2018 No.45

SUBARU技報

SUBARU TECHNICAL REVIEW

SUBARU

FORESTER

ASCENT

デザイン部　佐藤 佑香

表紙デザイン

SUBARUのクルマはどこまで進化し、どこまで走り続けるのか。そんな期待感を高める表紙にしました。新型FORESTERでは、限りなく広がる空をバックに、普段行くことの出来ない場所を走破したくなる機能と、幅の広いゲート開口が特徴的な造形が際立つ構図にしました。ASCENTでは、SUBARU初となる最高5000ポンドトーイングに対応する駆動系を実現したこれまでにない力強い走りを、果てしなく続く海を用いて更なる発展を期待させるデザインにしました。

SUBARU TECHNICAL REVIEW

2018 No.45

巻頭言

SUBARUブランドの一翼を担って輝く

常務執行役員
航空宇宙カンパニープレジデント　戸塚　正一郎

当社が株式会社SUBARUに社名を変更して1年となりました。中島飛行機研究所の設立から100年目に、当社の航空宇宙部門もSUBARU航空宇宙カンパニーとして生まれ変わりました。
この記念すべき年にSUBARU技報の巻頭言を仰せつかり大変名誉なことと感謝しております。

中島知久平翁は誰よりも時代を先取りして航空機事業に取り組み日本の工業力を高めました。そして富士重工は国民車スバル360のデビューと時を同じくして、国産初のジェット練習機T－1を飛ばし、以降多くの航空機やヘリコプタを量産し、FA200など民間機も手掛けました。さらに本格的な無人機システムの実用化を果たしたのも富士重工です。愛知県の半田工場は大型旅客機の中央翼センターとしてグローバルに名が通るまでになりました。このように私達の先輩達はSUBARU車の輝かしい歴史とともに、航空宇宙分野においても決して規模は大きくはないけれども常に新進気鋭の精神で時代の先端に挑戦しそれを実現してきました。

ここまで私達とSUBARUを育ててくださった数えきれない多くの先輩方、パートナ会社様、そして防衛省やボーイング社などのお客様に対して心から感謝を申し上げたいと思います。そしてこれら素晴らしい業績と先輩達との楽しい思い出とともに富士重工、丸フマーク、そしてFHIの名は中島飛行機とともに永遠に私達の心に生き続けることでしょう。

SUBARUの合言葉「安心と愉しさ」は飛行機に由来しています。落ちたらおしまいの飛行機は安全が最優先。操縦する愉しさもクルマと同じです。また私達が生産する航空機システムは災害対応などの社会貢献や国家防衛において国民に安心をもたらす装備品でもあります。安全と品質にこだわりをもちながら、こうして世の中に貢献していこうという強い想いを大切にすることがお客様に対して際立つことだと私は考えます。

一方で今後の成長のためには、過去の伝統にすがっているだけでは無論不十分であり、常に新たな可能性と技術革新を追求していくことが必要です。従来の仕事のやり方や技術基盤を常に謙虚に見つめ直し、本質的な目的と課題達成に向けていろいろなことを変えていくこと、直すべきところは素直に改善することにも真摯に取り組んでいきます。そして人が見ていないところにこそ品質の拘りと気持ちを込める風土に磨きをかけて、今後も「新たな価値を創造し続けるグローバルキープレーヤー」として飛行機会社ならではの「強い特徴を持つ、存在感と魅力あるカンパニー」を実現し、SUBARUブランドに貢献していきたいと考えます。

今、SUBARUは年100万台を超える生産を誇る自動車会社に成長しました。そして圧倒的な強さを誇る安全技術に加えて電動化や自動運転、それらを実現するための軽量化など次世代技術に次々と挑戦を続けています。

航空宇宙分野においても環境対応技術や軽量化の必要性は従来以上に強く求められています。また昨今の優れたセンサーや高速通信技術を活用したネットワークシステムによる斬新な航空機システムも研究しております。加えてモノ造りの世界においても自動車生産に代表されるライン生産、自動化、物流改善など抜本的な生産性向上による圧倒的な生産スピードの向上やコスト低減が、世界中で進んでいます。

さらにはこれらの基盤技術と自動車事業で培った設計・生産・お客様とのつながりをクロスオーバーさせることにより、将来モビリテイを俯瞰し次世代のモノやヒトの輸送を構想し考えていくことになると確信しています。

航空宇宙カンパニーはSUBARUブランドの一翼を担っているとの自覚と責任を持って全員が明日の成長と技術革新を目指して日々研鑽を重ねておりますので、どうか今後ともよろしくお願いいたします。そして自動車部門とともにモノ造りの会社から「お客様の笑顔を作る」会社へ成長していくことをお約束します。

目　　次

✦巻頭言

「SUBARUブランドの一翼を担って輝く」――――戸塚　正一郎

✦小特集「新型アセント」

1. 新型　アセントの紹介 ――――――――――SUBARU ASCENT 開発プロジェクトチーム … 1

2. 新型ASCENTのシート開発 ――――――――南雲　健二・朝倉　孝幸・前田　剛佑・
北仲　史門 …… 24

3. SUBARU ASCENT 3列目座席乗員　後面衝突時の安全性開発
杉田　能典・真塩　泰徳・篠塚　直樹・
鎌田　義弘・渡森　孝有 …… 30

4. ASCENT用トランスミッション、リヤデファレンシャル開発
伊藤　　奨・山形　　進・高見　成希・
藤榮　　淳・鈴木　優一・海老沼　剛・
野村　健一・堀江　信也…… 35

5. アクティブベントホール付き助手席エアバッグモジュールの開発
山根　和也・益子　功一 …… 42

6. 新型水平対向直噴2.4Lターボエンジンの開発 ―
仙石　哲考・永洞　真康・坂本　　繁・
尾上　雅夫・森　　崇・斎藤　操希・
坂田　紀彦…… 46

7. 新型ASCENTの車体開発 ――――――――安田　政宜・中川　修一・宮崎　高志・
大津　　隆 …… 53

✦小特集「新型フォレスター」

8. 新型フォレスターの紹介 ――――――――SUBARU FORESTER 開発プロジェクトチーム … 59

9. 新型フォレスター用　水平対向エンジンの紹介 ―
堀　　智宣・国府寺 弘明・木島　　誉・
渡辺　将章・金子　　隆…… 93

10. 新型フォレスターのアルミフェンダー開発――矢代　佑樹・佐藤　　晃・天野　雄太・
坂田　笙輔 …… 100

✦論文・解説

11. SUBARUカラーデザインフィロソフィー
「インパクトと深み」を極めたコンセプトカラーとは？
相賀　博志 …… 105

12. ASCENTのデザイン開発について ――――源田　哲朗・田宮　　創・井田　康之・
高木　曽太・橋本　勇気・斎藤　　實 …… 109

13. 新型フォレスターのデザイン開発 ――――大関　　透・小澤　修司・古屋　　貴・
杉浦　　東・大田　真人・武井 真奈美 …… 122

14. SUBARU VIZIV PERFORMANCE・TOURER CONCEPTのデザイン開発
河内　　敦・小林　寛之 …… 134

15. 次世代Zr化成処理＆対応電着の実用化開発 ―辻　　智子・清水　　純・内田　克也・
板野　展昭…… 139

16. Power Train Test Benchの車両開発への応用
海口　大輔・廣瀬　　隆・熱田　正彦・
佐藤　真人 …… 145

17. ボディ電装系制御の簡易HILSによる機能評価 ―
青木　勇人 …… 150

18. 縦置CVTフロントデフのオイル挙動解析とブリーザ性能向上
斎藤　　誠・河野　正敏・宮原　英和・
宮武　健太 …… 154

19. ドライバーモニタリングシステムの開発 ―――浅井　恵二・野尻　剛史・中田　翔真・
柿丸　良佑・中村　亮太・大西　恵太・
枝田　健志 …… 159

20. 新型ASCENT／新型FORESTER用インフォテイメントの開発
手原　大貴・紺野　大悟・遠藤　秀明・
石田　　卓・山崎 まひろ・張　　偉 …… 165

21. パワートレイン入れ替えを想定したSPCによる加速車内音机上予測
堀川　　敦・佐藤　正彦・佐藤　　満・
山科　耕一 …… 169

22. SKC減圧環境エバポ試験室の活用 ――――鈴木　康史・竹村　聡浩・森　　智一 …… 175

23. 車両運動性能の質感向上に向けたアルミホイールCAE技術の開発
寺崎　　創・前田　凌雅 …… 179

24. SIエンジンにおける燃費・排ガス性能向上のためのガス流動と混合気形成の要素開発
中山　智裕・加藤　真亮・武藤　　涼・
山口　　暁・浜崎　敬介・木村　翔平・
吉本　雄亮 …… 183

25. 高効率・高品質ヘッドシリンダ加工ラインの取組み
浅野　雄介 …… 193

26. 新多用途ヘリコプター 412+（仮称）の開発 ―太田　智基・上田　浩司・緒方　　浩・
堤谷　信雄・大山　貴史・永吉　　力・
大園　隆一・音居　啓太 …… 197

27. 福島ロボットテストフィールドを活用した無人航空機の開発実証
高橋　　由・大塚　昭夫・松隈　洋平・
友永　行信・阪口　晃敏・芝尾　裕規 …… 201

28. 次世代航空機運航支援システムの開発 ――――岡田　悟史・河野　　充・西　孝裕樹・
鈴木　　啓・荻巣　敏充・村田　　巌 …… 206

29. 航空機超音速インテークスピレージ抵抗評価技術の研究
高谷　亮太・三友　俊輝・山﨑　哲夫…… 210

30. 感じる構造～ SHM技術～の実用化を目指して ―
副島　英樹・中野　拓也・内山　重和・
原田　　淳 …… 215

31. プロジェクション・マッピングを活用した航空機の生産性向上
菊池　麿介・遊馬　　徹・芝尾　裕規・
鈴木　　啓・戸井 健太郎・梅津　友太・
清水　酉一 …… 220

32. 大型サブ組立の一気通貫生産ラインの構築 ――粟飯原 光一・福島　　敦・佐々木 慎太郎・
柿﨑　広平 …… 225

33. 航空機向け大物チタン機械加工部品専用機の開発
大曲　康輔 …… 230

34. 大型複合材部品加工への多関節ロボットの適用 ―
西脇　康人・松尾　晋哉 …… 234

35. 航空機組立における自動穿孔機のドリル異常検知技術の開発
石丸　大祐・井坂　晃一・大西　　徹 …… 240

36. 飛行機のデザインからSUBARUのDNAを紐解く
若井　　洋・佐藤　一成・加藤　宏基 …… 244

37. 中島飛行機四式戦闘機「疾風」RC機の製作およびその飛行試験
池田　勝也・若井　　洋 …… 253

38. あるSTIパーツ低背圧マフラの開発顛末 ―――坂崎　明彦・平野　　誠・片岡　　誠・
伊東　太壱 …… 259

39. 設計者の知っておきたい材料力学の初歩 ―――坂崎　明彦 …… 264

40. 特許紹介 ―――――――――――――――技術開発部 …… 270

✦社外発表一覧（2017.1 ～ 2017.12 講演・寄稿） …… 277

CONTENTS

Foreword

Aerospace as a part of the SUBARU brand ———Shoichiro TOZUKA

Special Issue : New ASCENT

1. Introduction of New SUBARU ASCENT ———SUBARU ASCENT Project Team ····· 1

2. Seat Development of New ASCENT ————Kenji NAGUMO, Takayuki ASAKURA, Gousuke MAEDA, Fumito KITANAKA ····· 24

3. SUBARU ASCENT 3rd Row Seat Occupant Safety Development at Rear Collision
Yasunori SUGITA, Yasunori MASHIO, Naoki SHINOZUKA, Yoshihiro KAMATA, Takatomo WATAMORI ····· 30

4. Development of New CVT and Rear Differential for ASCENT
Susumu ITO, Susumu YAMAGATA, Masaki TAKAMI, Atsushi FUJIE, Yuichi SUZUKI, Tsuyoshi EBINUMA, Kenichi NOMURA, Shinya HORIE ····· 35

5. Development of Passenger Airbag Module with Active Vent Hole
Kazuya YAMANE, Koichi MASHIKO ····· 42

6. Development of New 2.4-Liter Horizontally-Opposed Turbocharged Direct-Injection Engine
Tetsutaka SENGOKU, Masayasu NAGADO, Shigeru SAKAMOTO, Masao ONOUE, Takashi MORI, Misaki SAITO, Norihiko SAKATA ····· 46

7. Body Development for New Model ASCENT Masayoshi YASUDA, Syuichi NAKAGAWA, Takashi MIYAZAKI, Takashi OTSU ····· 53

Special Issue : New FORESTER

8. Introduction of SUBARU New FORESTER——SUBARU FORESTER Project Team ····· 59

9. Introduction of New SUBARU FORESTER's Horizontally Opposed Engine
Tomonobu HORI, Hiroaki KOODERA, Homare KIJIMA, Masaaki WATANABE, Takashi KANEKO ····· 93

10. Development of Aluminum Fender of New FORESTER
Yuki YASHIRO, Akira SATO,
Yuta AMANO, Shosuke SAKATA ····· 100

✦Technical Paper & Explanation

11. Color Design Philosophy of SUBARU
Concept Color which Mastered "Impact and Depth"
Hiroshi AIGA ····· 105

12. Styling Design Development of ASCENT ———Akiro GENDA, Sou TAMIYA,
Yasuyuki IDA, Sota TAKAGI,
Yuuki HASHIMOTO, Minoru SAITO ····· 109

13. Styling Design Development of New FORESTER —
Toru OZEKI, Shuji OZAWA,
Takashi FURUYA, Azuma SUGIURA,
Makoto OTA, Manami TAKEI ····· 122

14. Styling Design Development of SUBARU VIZIV PERFORMANCE & TOURER CONCEPT
Atsushi KOCHI, Hiroyuki KOBAYASHI ····· 134

15. Next Generation Zr Chemical Treatment and Its Suitable ED Coating
Tomoko TSUJI, Jun SHIMIZU,
Katsuya UCHIDA, Nobuaki ITANO ····· 139

16. Application of Power Train Test Bench to Vehicle Development
Daisuke UMIGUCHI, Takashi HIROSE,
Masahiko ATSUTA, Masato SATO ····· 145

17. Function Test of Body Electronic System Control by Simplified HILS
Yuto AOKI ····· 150

18. Oil Behavior Analysis and Breather Performance Improvement
of Front Differential for Longitudinal CVT
Makoto SAITO, Masatoshi KOUNO,
Hidekazu MIYAHARA, Kenta MIYATAKE ··· 154

19. Development of Driver Monitoring System ——Keiji ASAI, Tsuyoshi NOJIRI, Shoma NAKATA, Ryosuke KAKIMARU, Ryota NAKAMURA, Keita ONISHI, Kenshi EDA ····· 159

20. Development of Infotainment for New ASCENT/New FORESTER
Daiki TEHARA, Daigo KONNO, Hideaki ENDO, Takashi ISHIDA, Mahiro YAMASAKI, I CHO ····· 165

21. Prediction of Acceleration Sound with Replaced Power Train by SPC Analysis
Atsushi HORIKAWA, Masahiko SATO, Mitsuru SATO, Kouichi YAMASHINA ····· 169

22. Utilization of SKC High Altitude Environment Fuel Evaporative Emission Test Room
Yasufumi SUZUKI, Akihiro TAKEMURA, Tomokazu MORI ····· 175

23. Development of Aluminum Wheel CAE Technology for Improving Vehicle Dynamics Performance
Hajime TERASAKI, Ryoga MAEDA ····· 179

24. In-Cylinder Phenomena Development Processes for Improvement of SI Engine Potential
Tomohiro NAKAYAMA, Masaaki KATO, Ryo MUTO, Satoru YAMAGUCHI, Keisuke HAMASAKI, Shohei KIMURA, Yusuke YOSHIMOTO ····· 183

25. Efforts of High Efficiency and High Quality Head Cylinder Production Line
Yuusuke ASANO ····· 193

26. Development of 412+ Utility Helicopter ——Tomoki OOTA, Kouji UEDA, Hiroshi OGATA, Nobuo TSUTSUMITANI, Takafumi OOYAMA, Tsutomu NAGAYOSHI, Ryuuichi OOSONO, Keita OTOI ····· 197

27. UAV Development & Demonstration at Fukushima Robot Test Field
Yuu TAKAHASHI, Akio OTSUKA ,
Yohei MATSUGUMA, Yukinobu TOMONAGA ,
Akitoshi SAKAGUCHI, Yuki SHIBAO ····· 201

28. Development of Next Generation Aircraft Operation Support System
Satoshi OKADA, Mitsuru KONO,
Takayuki NISHI, Kei SUZUKI,
Toshimichi OGISU, Iwao MURATA ····· 206

29. Study on Supersonic Intake Spillage Drag Evaluation Method
Ryota TAKAYA, Toshiteru MITOMO,
Tetsuo YAMAZAKI ····· 210

30. Forward to Practical Use of Structures with Nervous System
Hideki SOEJIMA, Takuya NAKANO,
Shigekazu UCHIYAMA, Atsushi HARADA ····· 215

31. Productivity Improvement for Aircraft Manufacturing by Projection Mapping
Marosuke KIKUCHI, Toru ASUMA,
Yasunori SHIBAO, Kei SUZUKI,
Kentaro TOI, Yuta UMEZU, Yuichi SHIMIZU ··· 220

32. Continuous Streamlining Production Line for Sub Assembly
Kouichi AIBARA, Atsushi FUKUSHIMA,
Shintaro SASAKI, Kohei KAKIZAKI ····· 225

33. Development of Titanium Profiler Specific to
Large Titanium Aerospace Structure Parts
Kosuke OMAGARI ····· 230

34. Machining of Large Composite Parts with Articulated Robot
Yasuto NISHIWAKI, Shinya MATSUO ····· 234

35. Development of Anomaly Detection Technology for
Automated Drilling in Aircraft Assembly
Daisuke ISHIMARU, Koichi ISAKA,
Toru ONISHI ····· 240

36. DNA of SUBARU Originated in Aircraft Designs
Hiroshi WAKAI, Kazushige SATO,
Hiroki KATO ····· 244

37. Fabrication and Flight Test of Nakajima Ki-84 Hayate
(Frank) Radio Control Airplane
Katsuya IKEDA, Hiroshi WAKAI ····· 253

38. Development of STI Part Low Back Pressure Muffler
Akihiko SAKAZAKI, Makoto HIRANO,
Makoto KATAOKA, Taichi ITOU ····· 259

39. Basic Idea of Material Mechanics that Designers Should Know
Akihiko SAKAZAKI ····· 264

40. SUBARU Patent Review ——— Advanced Engineering Department ····· 270

✦List of Published Reports ····· 277

新型　アセントの紹介

Introduction of New SUBARU ASCENT

SUBARU ASCENT 開発プロジェクトチーム
SUBARU ASCENT Project Team

抄　録

SUBARUの最重要市場である北米において、現在の商品ラインナップにはお子様が3名以上の子育てファミリーが選択できるクルマが無いため、独身～結婚～ファミリー形成というライフステージを経てSUBARUに乗り続けたくても、他銘に乗り換えざるを得ないという米国販社やお客様からの強い訴えにお応えし、子育て世代のライフステージ商品として開発したのが、新型ASCENTである。3列車の本質である室内空間を極めSUBARUの安心と愉しさをより一層高めると共に、お待たせした分、120%の満足を提供できる3列車として、きめ細かく造り込んだ。その内容について紹介する。

Abstract

Until now, SUBARU has had no model for families with three or more children in the most important market for SUBARU, North American. Thus our US distributors and customers have been saying that they have no choice but to buy other brands cars after they get married and have children. The New ASCENT was developed to meet these strong demands. ASCENT provides sufficient interior space essential for any three-row vehicle, while enhancing customers' Enjoyment & Peace of Mind. Moreover, every feature was carefully created to be able to satisfy customers more than 100%. This article introduces these features in detail.

1.　まえがき

このクルマは、ミッドサイズ3列SUVとして、大勢で乗る機会が多いライフステージで最大限のご満足を提供すべく、ファミリー目線＆子供目線を取り込むという、従来にない開発アプローチにチャレンジした。

これまで決して得意とは言えなかった分野、ファミリーユーザー目線で嬉しいクルマは？ 商品選択では何を重視しているのか？ 等の仮説を立て室内空間のモックアップを企画初期段階から試作、お客様に接する最前線である販社の方々に実際に乗り込んで触れてもらい、客観的な意見を伺いながら「室内空間は他銘トップクラス、外回りは決して過度には大きくしない」という方針を掲げ、SUBARUらしい『Right Sized SUV』として諸元やパッケージングを突き詰め、お客様が必要としている3列SUVとは何かを考え抜いたクルマ造りを行ってきた(**図1、2**)。

図1　エクステリア1

図2　エクステリア2

2.　車両概要

2.1　開発の狙い

これまでのSUBARUのラインナップではカバーしきれなかった子育てファミリー層の穴を埋め、お客様にずっとSUBARU車に乗り続けて頂けるカーライフサイクルを完成させる価値ある商品を開発、提供する事がプロジェクトの使命であった（図3）。

現地目線の知見や、子育て世代目線の気づきを漏らさず織込み、お客さまが不便に感じる要素や棄却につながるようなネガティブ要素は残さない「3列SUVとしての本質的な価値」の実現を目指して開発に臨んだ。

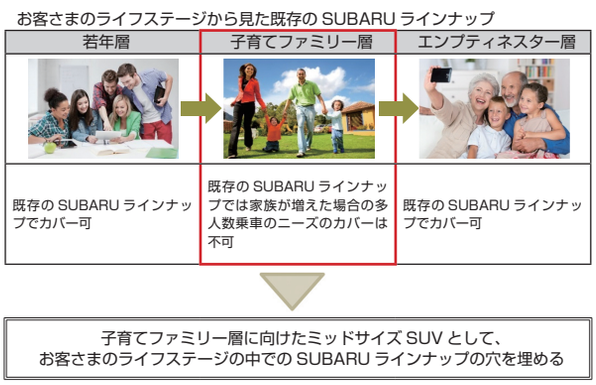


図３　SUBARU ブランドにおける使命

2.2　商品のポジショニング

「家族と一緒に過ごす時間」と、「充実した個人のライフスタイル」のどちらも大切にするお客さまに選んでいただける商品とするために、以下の機能価値と情緒価値をお客さまに提供するミッドサイズSUVという、独自の商品ポジショニング獲得を目標とし開発を行った（図4）。

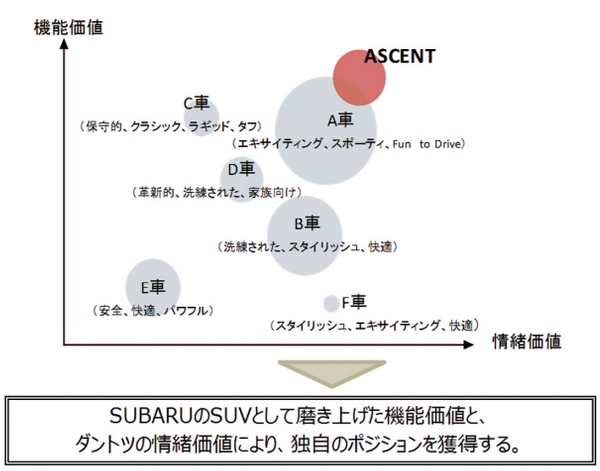


図４　商品ポジショニング

2.3　ユーザーベネフィット

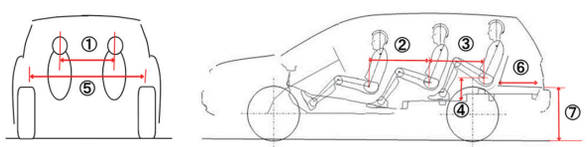
このクルマの重要な売りのひとつが、3列車の本質である室内空間、そして3列車としての安心と愉しさの強化である。新ジャンルに挑むクルマとして、この商品は多くの未体験ゾーンを克服しながら図5のユーザーベネフィットを実現させた。

ASCENT の最大の提供価値。 競合車に対する 最大の優位性	1. 家族のための最適な装備と空間 パッケージの工夫と SUV らしい力強さや広さと豊かさを表現したデザインにより、乗る人すべてがどんなシーンでも使いやすさを実感し、愉しく過ごすことができる室内空間
競合 3 列シート SUV に対する 差別化ポイント	2. たくましさと躍動感を表現した外観 ひとりで乗っていても Cool な自分を感じることができる、たくましさと躍動感を表現した、SUV らしい力強いエクステリアデザイン
	3. 最高の総合安全性能 愉しく、安心して大切な家族を乗せてドライブすることができるクラストップの総合安全性能
競合車に対して 優位性となる SUBARU の SUV であれば 当然備えている性能	4.SUV の走破性と走りの愉しさ 日常やアウトドアまで、乗る人すべてが快適で愉しく過ごせる走破性と走り

図５　ユーザーベネット

2.4　パッケージング

2列目と3列目の空間は他銘比でトップクラス、加えて3列目へのアクセス性のよさや3列目に乗ることの楽しさをファミリー＆子供目線で突き詰め、他銘に対する売りとして高めるパッケージを実現した（図6）。



				ASCENT		Tribeca		A 車		B 車		C 車	
				mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
着座配置	①	カップルディスタンス	Front	770	30.3	760	29.9	799	31.5	784	30.9	781	30.7
	②	タンデムディスタンス	Front-2nd	875	34.4	773	30.4	923	36.3	898	35.3	862	33.9
	③		2nd-3rd	748	29.4	715	28.1	683	26.9	715	28.1	769	30.3
	④	チェアハイト	3rd	302	11.9	269	10.6	261	10.3	261	10.3	302	11.9
室内空間	⑤	ショルダールーム	2nd	1,533	60.3	1,461	57.5	1,534	60.4	1,500	59.1	1,549	61.0
			3rd	1,454	57.2	1,303	51.3	1,450	57.1	1,398	55.0	1,320	52.0
	⑥	荷室	長さ	505	19.9	419	16.5	502	19.8	450	17.7	495	19.5
	⑦		床高さ	814	32.0	763	30.0	816	32.1	765	30.1	825	32.5

図６　パッケージング

2.5　新車名「ASCENT」

アクティブなライフスタイルをイメージさせ、たくましさや力強さを表現。お客さまのライフステージのステップアップを支え、SUBARUブランド全体をさらなる高みに引き上げるという意味も込めて、ASCENTという新車名とした（図7）。

図７　新車名イメージ

2.6　グレード展開と主な仕様装備

すべての価格帯の商品において、お客様にご満足頂けるよう、競合優位性の高い装備、性能を有するグレード展開とした(図8、表1)。

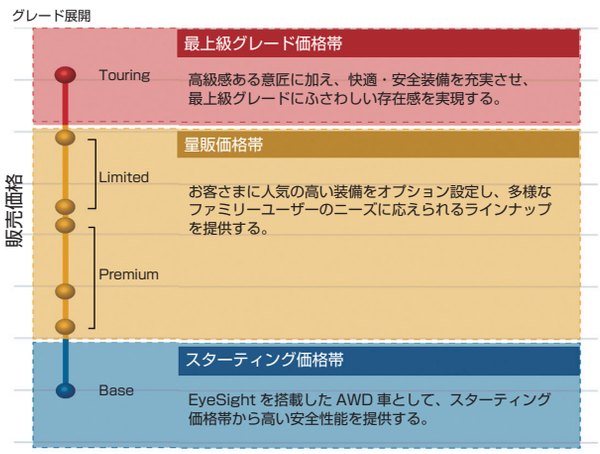


図８　グレード展開

表１　主な仕様装備

		BASE	PREMIUM		LIMITED		TOURING
	乗車定員	8人 ベンチ	8人 ベンチ	7人 キャプテン	8人 ベンチ	7人 キャプテン	7人 キャプテン
外装	タイヤ、ホイール	18in アルミ	18in 切削 /20inOP	18in 切削 /20inOP	20in 切削 光輝	20in 切削 光輝	20in 切削 光輝
	フロントグリル	一般	一般	一般	一般	一般	専用色
	光輝サイドモール	X	X	X	○	○	○
	パワーリヤゲート	X	Canada：○ US：OP	○	○	○	○
	大型サンルーフ	X	Canada：○ US：OP	○ OP	○ OP	○ OP	○
	LED ヘッドランプ& ハイビームアシスト	Canada：OP US：X	OP	OP	○	○	○
	FOG ランプ	DOP	Canada：OP US：DOP	Canada： OP US：DOP	○	○	○
内装	シート表皮	布	布＋撥水	布＋撥水	革	革	革
	フロント ベンチレーションシート	X	X	X	X	X	○
	座面長調整＆パワーシート	X	X	X	○	○	○
	シートヒーター	Canada： フロント US：X	フロント	フロント	フロント & 2nd	フロント & 2nd	フロント & 2nd
	アンビエント照明＆木目加飾	X	X	X	X	X	○
	フロント＆ 2nd USB	○	○	○	○	○	○
	3rd USB	X	X	X	○	○	○
	120V アウトレット	X	X	X	X	X	○
	R ドアシェード	DOP	DOP	DOP	○	○	○
	トノカバー	DOP	Canada：○ US：OP	Canada：○ US：OP	OP	OP	○
安全装備	アイサイト＋ アイサイトアシストモニター	○	○	○	○	○	○
	フロント ビューカメラ＋ スマートインナーミラー	X	X	X	X	X	○
	後退自動ブレーキ	Canada：OP US：X	Canada：○ US：OP	○	○	○	○
その他	プッシュ EG スタート& スマートエントリー	X	Canada：○ US：OP	○	○	○	○
	キーレスエントリー	○	○	○	○	○	○
	雨滴感知フロントワイパー	X	X	X	X	X	○
	トーイング 5000lbs 対応	X	○	○	○	○	○

3.　主要諸元

家族のための居住性、乗降性、積載性を徹底的に追求し以下を実現した(表2)。

表２　主要諸元

車名		ASCENT					
駆動方式		4WD					
エンジン		2.4　DOHC　B					
ミッション		CVT					
グレード		BASE-ES	PREM8-ES	PREM7-ES	LTD8-ES	LTD7-ES	TOUR-ES
◆寸法・重量・定員							
全長 (mm)		4,998					
全幅 (mm)		1,930					
全高 (mm)		1,819					
ホイールベース (mm)		2,890					
トレッド［前］(mm)		1,635					
トレッド［後］(mm)		1,630					
最低地上高 (mm)		220					
F アプローチアングル (°)		17.6°（SAE）					
R ディパーチャアングル (°)		21.8°（SAE）					
ランプブレークオーバーアングル (°)		18.2					
車両重量 (kg)		2,005	2,014	2,012	2,043	2,036	2,083
乗車定員 (名)		8	8	7	8	7	7
パッセンジャーボリューム（CuFt）		153.5	153.5（STD）/150.0（SUN）				
カーゴボリューム（1st シート以降）(CuFt)		86（STD）/86.5（SUN）					
ヘッドルーム（1st）(mm)		1,048	1,048（STD）/1,019（SUN）				
ヘッドルーム（2st）(mm)		1,016	1,016（STD）/984（SUN）				
ヘッドルーム（3st）(mm)		922					
レッグルーム（1st）(mm)		1,072					
レッグルーム（2nd）(mm)		979					
レッグルーム（3nd）(mm)		804					
◆性能							
最小回転半径 (m)		5.8					
ラベル燃費値（mpg）	City	21			20		
	Hwy	27			26		
	Comb	23			22		

4.　デザイン

デザインについては、別報で解説しているため本章では割愛する。

5.　内装

5.1　開発の狙い

子育てファミリーのお客様を笑顔にすることを目指し、どんなシーンでも使いやすく、快適に、ワクワクした気分で愉しく過ごすことができる室内空間を実現した(図9)。

図９　ASCENT の実用シーン例

5.2　シート

米国ユーザーの使用環境を徹底調査し、①長距離移動でも3列全ての乗員が快適に過ごせる居住空間と座り心地 、②スムーズな3列目への乗降、③トップクラスの安全性 などの機能性を実現、LEGACY から続く感覚に訴えかける内装質感と融合させた(図10)。

シートについては別報で解説しているため、本章では詳述を割愛する。

5.3　収納性

米国における3列SUV の使われ方を徹底的に研究し、見出したあらゆる生活シーンで大人のみならず子供も便利に使える収納を実現した。

図 10　ASCENT のシート

5.3.1　インパネ中段トレイ(SUBARU初)

スマートフォン、サイフ、ペンなどを収納するのに便利なトレイを採用し、使い勝手を向上させた(図11)。

図 11　インパネ中段トレイ

5.3.2　コンソールボックス、ボックス内トレイ

SUBARU 最大容量となるL：280 mm、W：170 mm、D：240 mmを確保し、タブレット端末(240 × 170 mm相当) などを収納可能とした。また、脱着可能なボックス内トレイにてスマートフォンなどの収納性に配慮した(図12)。

図 12　コンソールボックス収納例

5.3.3　合計 19 個のカップ＆ボトルホルダ

乗員あたり 2 個以上のドリンクを携えドライブすることも多い米国の生活シーンに配慮し、合計 19 個のカップ＆ボトルホルダを配置した。3rd 席カップホルダは形状の工夫にて、大型のタブレット端末を置くことが出来る（図 13、図 14）。

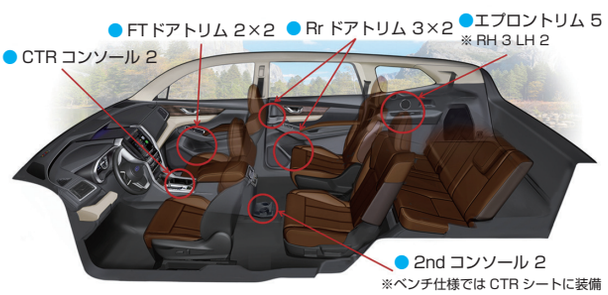


図 13　カップ＆ボトルホルダ配置

図 14　3rd 席乗員の収納

5.3.4　3rd 席 USB 電源付収納スペース

3rd 席乗員がスマートフォンや小物を収納するスペースを設定した（図 15）。

図 15　3rd 席 USB 電源付収納スペース

5.3.5　荷台

3rd 席に乗員が乗っている状態においても、3 輪（654 × 477 × 806 mm）または 4 輪（356 × 596 × 980 mm）の大型ストローラーを 1 台積載可能な荷室とし、利便性を実現している（図 16）。

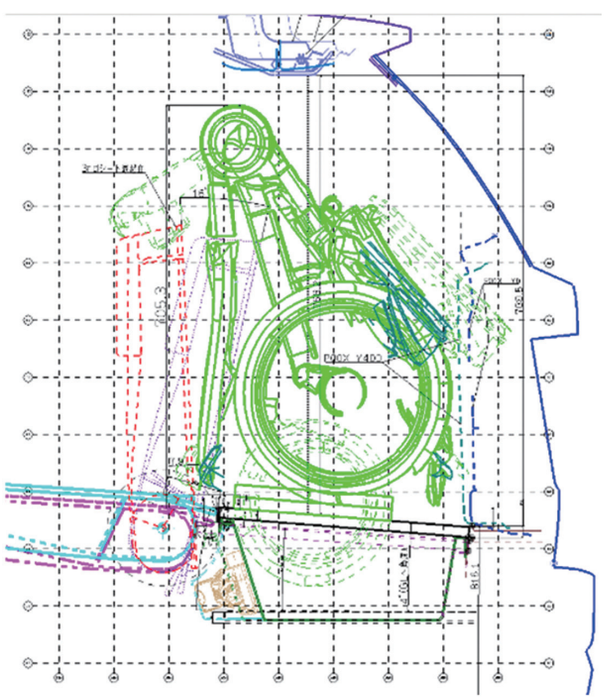


図 16　大型ストローラー搭載

また、床下に物を収納することができる大型のサブトランクを採用した。工具およびジャッキを整理して収納できるようにし、意匠性と使い勝手を向上させた（図 17）。

伸縮構造を持つトノカバーを床下に収納できるようにし、利便性を向上させた（図 18）。

5.4　利便性／快適性

子育てファミリーのクルマへのニーズを洗い出し、日々の移動からロングドライブに至るあらゆるシーンで役立つ機能装備を採用した。

図 17　大型サブトランク

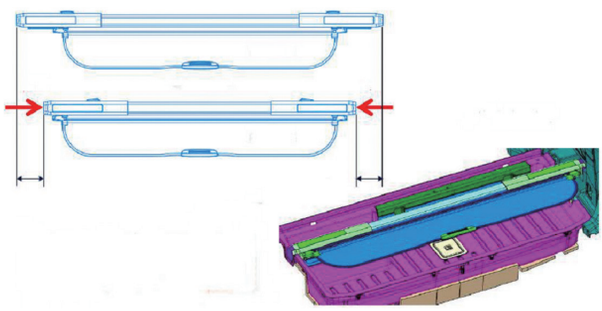


図 18　トノカバー伸縮＆サブトランク収納

5.4.1　キャビンビューミラー

運転席から振り返ることなく後席の様子が見られるよう、グラスケースに凸面鏡を配置した(図19)。

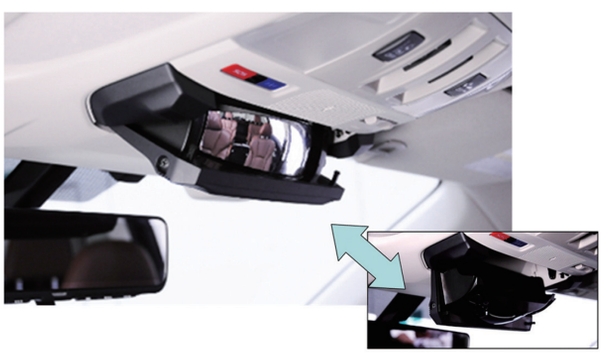


図 19　キャビンビューミラー

5.4.2　ドアトリムシェード

リヤドアトリム上部に格納できる巻き取り式サンシェードを設定し、2列目乗員の遮光性に配慮した(図20)。

5.4.3　アンビエント照明

お客様に心地よい時間を過ごしていただけるようアンビエント照明を設定。光学解析にて光の幅を一定に見えるよう光源の位置と内装パネルの造形を最適化した。また、点灯制御を研究し、乗員の操作に応じて点灯・消灯・減光させる制御により、おもてなし感を演出した(図21)。

図 20　ドアトリムシェード

図 21　アンビエント照明

点灯制御の例：
- ドア開で0.5 秒かけて100% 点灯
- ドア閉で60% 減光
- 30 秒間点灯した後、1 秒かけて消灯

5.5　ヒューマンマシンインターフェイス

お客様に『安心と愉しさ』を提供するヒューマンマシンインターフェイスとは何かを考え、ヒューマンマシンインターフェイスの開発に取り組んだ。今まで築き上げてきた、乗る人全てが愉しく、ストレスを感じさせない快適で使いやすい室内空間を進化させると同時に、フラッグシップ車としての質感の向上にも取り組んだ。

5.5.1　コンビメータ

速度、エンジン回転数、水温値、燃料残量を示す4指針を備えたシンプルで視認しやすい構成で視認性を高めるとともに、全車4.2インチカラー TFT 液晶を採

用し、実用性を向上させた。文字盤は凹凸のないシームレスな形状を採用し、上質感を表現した。高級モデル(LTD、TOUR)は高輝度LEDを用いた白色文字盤照明、スピンドル印刷＆ミラー印刷の文字盤加飾、アイスブルーの指針を施し、先進性と高級感を演出した(図22)。

図 22　コンビネーションメータ (ハイグレード)

5.5.2　マルチファンクションディスプレイ

ドライバー、乗員全員に有用＆愉しい情報をわかりやすくグラフィカルに伝えるため、インパネ中央上部の視認性の良い位置に6.3インチのカラー液晶ディスプレイを搭載し、SUBARUらしいコンテンツを多数用意した。画面下には操作ボタンを配置し、直感的に操作しやすいインターフェイスを備えている。ASCENTならではのコンテンツとして、①カメラで交差点での視界確保や子供や障害物との距離を把握できるフロントビューモニター、②多数装備されている先進装備の使い方を分かり易く説明した先進装備説明画面を用意した(図23、図24)。

図 23　表示、操作レイアウト

先進装備説明画面例

図 24　先進装備仕様 (アイコンは車両装備を示す)

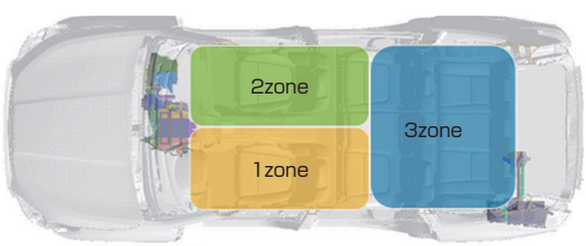
5.5.3　夜間照明の統一感の向上

お客様が普段良く使用し、良く見える部位の操作スイッチの夜間照明を白色に統一し、コクピット全体の統一感や質感の向上を図った(図25)。

図 25　夜間照明表示状態

5.6　3ZONE 空調

SUBARU 初採用。広い室内空間においても十分な冷暖房能力を確保するため、フロントHVAC(Heating, Ventilation, and Air Conditioning)に加え、荷室エリアに後席専用のリヤHVAC を搭載。これにより、広い室内空間における十分な冷暖房能力の確保と、運転席、助手席、後席の3 つの領域(ZONE)を独立して空調することを実現(3ZONE 空調)。お客さまの座る座席に合わせて快適な空間づくりを可能とした(図26)。



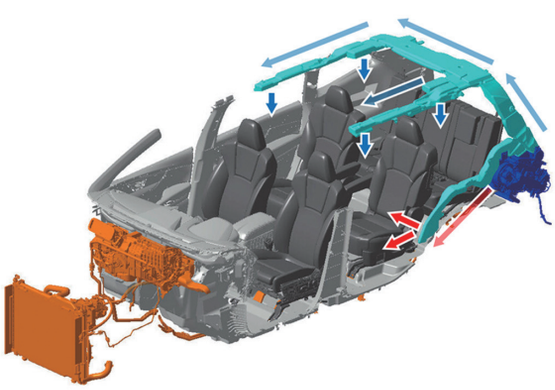


図 26　3 ゾーン空調と後席空調レイアウト

フロントHVACにおいてはブロワファン駆動用に小型ブラシレスモーターを採用し、風量をUP させながらも省電力、高耐久性、低ノイズ、低騒音、軽量化を実現した。また、ディーゼル車などに補助暖房として搭載していたPTC ヒーターをSUBARU のガソリン車として初採用。広い室内、かつ低燃費エンジンであっても、米国北部・カナダの寒冷地域にて従来同様の暖房性能を確保した(図27)。

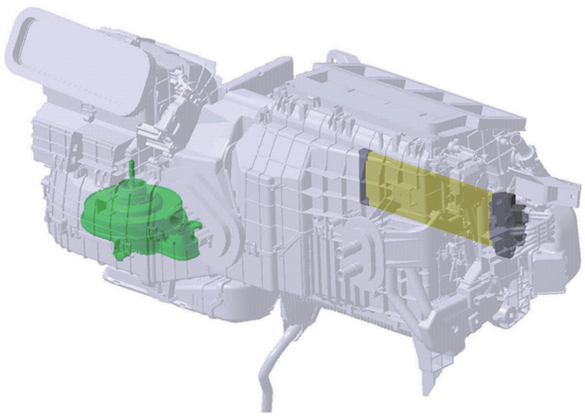


図 27　小型ブラシレスモーターと PTC ヒーター（HVAC 内）

足元を均一な温度にするため、大型フットダクトを採用。足元全体に風を当てることを可能にし、足元まわりの快適性を向上した（図28）。

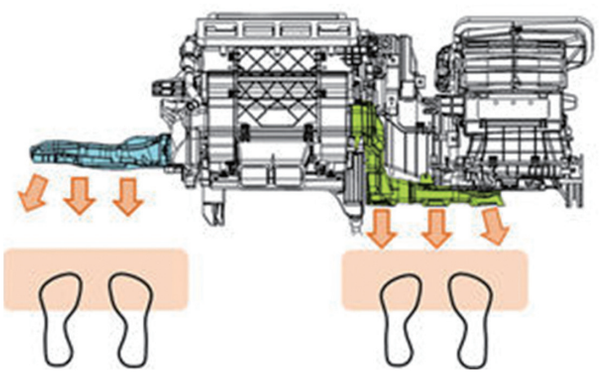


図 28　大型フットダクト

また、ベンチグリルはSUBARU車最大の室内空間を快適な空調環境とするため、最大の開口面積を確保した（図29）。

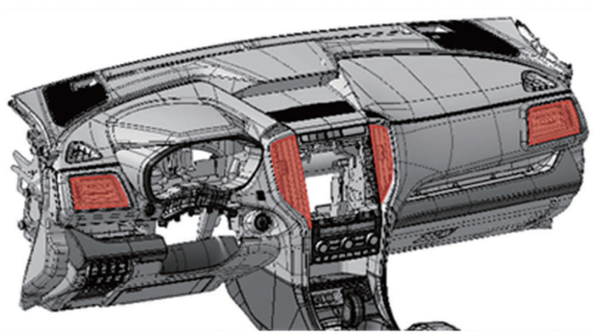


図 29　インパネベンチグリル

5.7　セレクトレバー

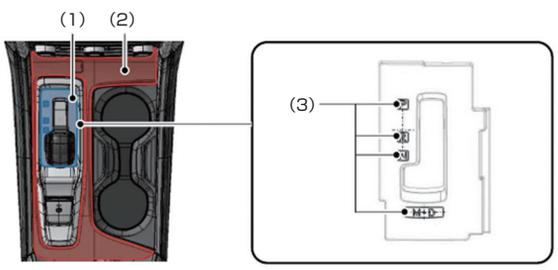
ドライビングポジションに合わせて、最適操作範囲にグリップを配置した。

グリップ表面には、樹脂及び革巻きの2仕様を設定した（図30）。

図 30　セレクトレバー

インジケータの夜間照明色を白色とし、文字盤色をハイグロスブラックとすることで質感を向上させた。

また、インジケータハウジングにシルバー塗装仕様とハイグロスブラック仕様を設定し、質感を向上させた（図31）。



(1) インジケーターハウジング（シルバー塗装／ハイグロスブラック）
(2) パネル（艶消し黒塗装／木目調）
(3) インジケーター（夜間照明色：白、文字盤色：ハイグロスブラック）

図 31　インジケータ

5.8　電源

日常生活においてスマートフォンやタブレットPC、携帯型ゲーム機等が普及している時代において、車室内での電源は非常に重要なものになってきた。ASCENTでは、全ての乗員がパーソナルアイテムを愉しめるように多数の電源を準備した。特に3列目はキッズスペースとして電源とスマートフォンやタブレットPCを格納できるポケットを装備し、ファミリー全員が愉しめる車に仕上げた（図32、図33）。

図 32　電源の種類と数

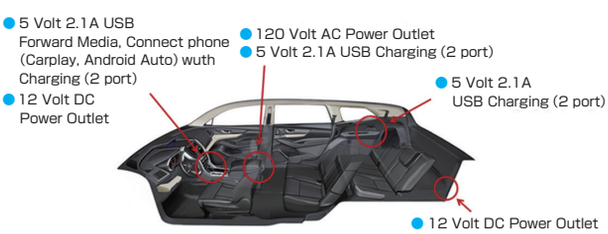


図 33　電源の配置

6.　外装

6.1　開発の狙い

視界や衝突性能などSUBARUならではの「安心・安全」に加え、ファミリーで楽しく使える「実用性・利便性」、そして、一人で乗っても「かっこ良い」エクステリアデザインとの融合を実現させた。

6.2　フロントバンパー

たくましさや躍動感のあるデザインと、衝突安全性能、空力性能のすべてを高次元で融合させた。フロントグリルとロアグリルを大型化することでラジエーターの冷却性能を確保。さらに冷却ダクトを採用することで房内下回りの部品を冷却し、最大5,000 lbs のトーイング性能を実現させた(図34)。

図 34　フロントバンパー

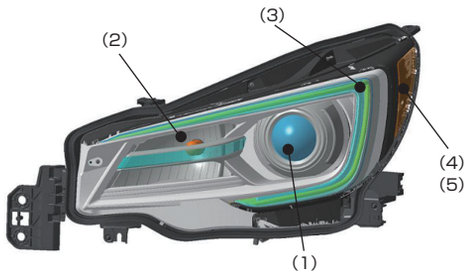
6.3　ヘッドランプ

遠くから見てもひと目でSUBARU らしさを表現する、新型LED ヘッドランプを設定した。ステアリング連動ヘッドランプ(SRH) を組み合わせることで、コーナーや交差点での右左折時での照射範囲を拡大させ、夜間や遠方の視認性を向上させた。1 灯でハイビーム／ロービームの切り替えが可能なバイファンクショナルLED ランプを搭載。SUBARU 共通モチーフ(C シェイプ) であるポジションランプはデイタイムランニングライト(DRL)*としても機能。日中の被視認性を向上した。ヘッドランプやポジションランプ、DRL、サイドマーカーランプにLED 光源を採用することで、消費電力を低減させた(図35)。

＊ポジションランプとDRLは光度を変更し点灯。

6.4　フロントグリル

大型グリルを縁取るクロームメッキの枠とSUBARU最大の六連星オーナメントにより、車両サイズにふさわしい力強さや存在感を表現した。グリル開口を大きくし、冷却性能を確保。TOURINGには、さらに質感の高いハイグロスブラック塗装を施すとともに、フロントビューモニター用のカメラを設定した(図36)。



(1) ロービーム／ハイビーム
　(バイファンクショナルLED ランプ)
(2) ターンランプ(バルブ)
(3) ポジションランプ／ DRL (LED)
(4) サイドマーカーランプ(LED)
(5) サイドリフレクター

図 35　ヘッドランプ

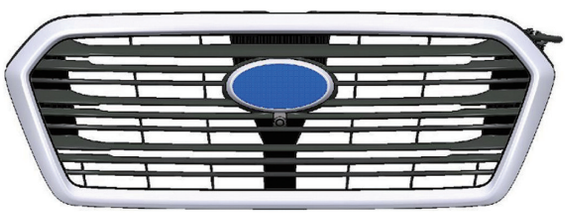


図 36　フロントグリル

6.5　フロントウィンドシールド

フロントウィンドシールドの板厚を4.96 mmにするとともに、遮音中間膜を全グレードに採用。風切音など耳障りな音(2 ～ 6.3 kHz域) の透過を低減し、室内の静粛性を向上させた(図37)。

図 37　フロントウィンドシールド

6.6　フロントワイパー

助手席側のワイパーアームにウォッシャーノズルを装着。EyeSightのステレオカメラ前のガラス面にウォッシャー液を直接噴射させることで洗浄性を向上させ、さまざまな道路環境下でEyeSightの性能と乗員の安全な視界を確保した。ワイパーブレードをフラットブレードにすることで、高さ方向の寸法を低くした。これにより、ワイパー作動時の視界の遮りを抑え、風切音も低減させると共に、室内から見たときのワイパーの突出量を低減し、スマートな外観を実現した(図38)。

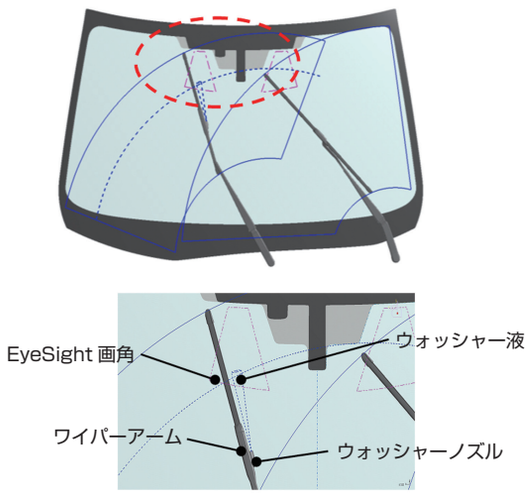


図 38　フロントワイパー

6.7　オートワイパー

雨天時のワイパースイッチ操作の煩わしさ軽減のため、フロントワイパーにオートワイパーを採用。ワイパーコントロールスイッチをAUTO設定しているとき、レインセンサーが雨滴を検知し、雨量と車速に応じてフロントワイパーを自動作動させる（図39）（北米向けSUBARU車として初採用）。

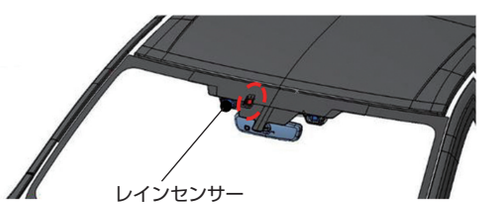


図 39　オートワイパー（レインセンサー）

6.8　ドア／リヤゲートガラス

フロントウィンドシールドと同様に、フロントドアガラスを合わせガラス化し、フロントパーテーションガラスの板厚を5.0 mmとすることで、静粛性を向上させた。

また、リヤドアガラスを4.0 mm、リヤクォーターガラスを4.0 mm、リヤゲートガラスを3.5 mmと、SUBARU最大となる板厚とし、後席の遮音性能も大きく向上させた（図40、図41）。

図 40　ドア／リヤゲートガラス

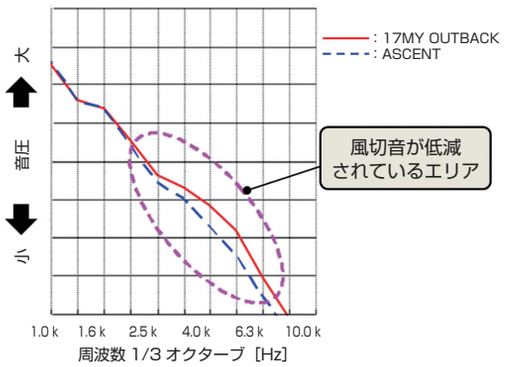


図 41　風切音低減効果（実走 100 km/h 直進時）

6.9　ドア　ウェザーストリップ

ドアウェザーストリップの断面を改良し、ルーフ部のリップを2枚化。また、室内側WSTRをフロントドア前端まで延長し、車内の静粛性を向上させた（図42、図43）。

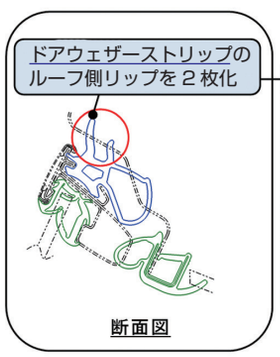


図 42　ウェザーストリップ断面

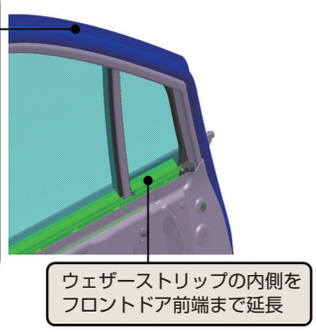


図 43　ウェザーストリップ（内側）

6.10　ドア　パワーウィンドウの制御変更

パワーウィンドウのレギュレーターに、細かな動作制御ができるモーターを採用した。これにより、昇降質感の向上や誤反転の抑止が可能となった。ウィンドウが締まりきるときのスピードを緩める制御によって、ガラスの突き上げ音を軽減させた（リヤドアはグレードにより適用あり）また、ウィンドウの昇降負荷を学習する機能によって反転しきい値を最適化し、誤反転のないスムースな動作とした（フロントドアのみ）。

6.11　リヤドア開度

3 列目への乗降性や、チャイルドシートの搭載性を向上させるため、リヤドアの開度を拡大した（図44）。

6.12　ドア　リヤドアガラス全開化

艤装サッシュの位置を最適化することで、リヤドアガラスを降ろした際のガラス下端とドアパネルとの隙間を確保した。これにより、大きなガラスサイズを確保しつつ、リヤドアガラスの全開化を可能とした（図45）。

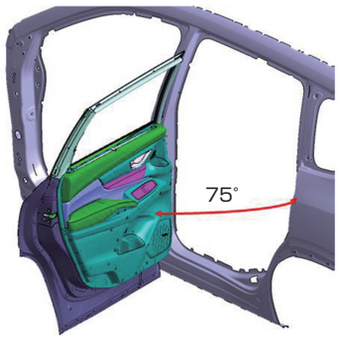


図 44　ドア開度

図 45　リヤドアガラス

6.13　ドア　開閉動作の操作感向上

ドアの開閉時、どんな人でも安心して操作することができるように配慮した。ドアが自重で閉じる方向に力が加わるように、ドアヒンジのジオメトリを見直した。ドアを開ける際、子どもが操作した場合でも意図せず開き過ぎないように調整。ドアの開度によって操作力のピークをしっかりとつけることで、ドアの保持性が高く、しっかりとした操作感を得られるものとした(図46)。

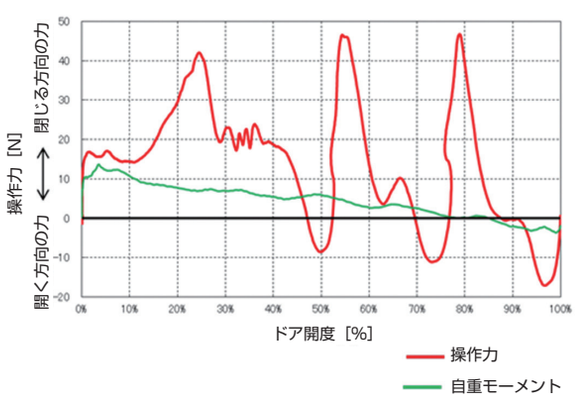


図 46　ドア開け操作時と自重時の操作力の比較

6.14　ドア　ワンモーションラッチ採用

車速検知オートドアロックの採用に伴い、ワンモーションオープン機構を採用した。車両のドアがロック状態のときでも運転席／助手席のインナーリモートレバーを引くことでドアロックを解除できる。オートドアロック後でも、ロックノブを操作せずにドアを開けることができるため、ロック解除の煩わしさを解消できた。

6.15　ドアミラー

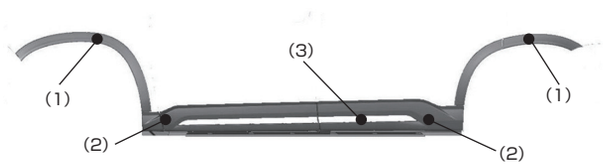
新造形のミラーボディとターンランプを適用。形状を工夫することでシャープな造形を実現するとともに空力性能を向上。また低周波数域の風切音を改善した。ターンランプ全体が発光する導光タイプのLED光源を採用し、周囲からの視認性と質感を向上させた。BSD/RCTAのLEDインジケーターの発光位置をドアミラー本体の内側に配置。後方確認時のドライバーの視線移動を抑えることができ、従来型ドアミラーよりも視認安全性を向上させた(図47、図48)。

図 47　ドアミラー

図 48　BSD/RCTA
インジケーター

6.16　サイドクラッティング

前後ホイールまわりに、ボディパネルと一体感のあるアーチガーニッシュを採用。タイヤ全域を保護する機能を表現し、力強いSUV らしさを表現した。ドアアンダーガーニッシュはボディへの石跳ね防止をねらい、厚みのある力強いデザインを具現化した。上級グレードはドアアンダーガーニッシュにメッキモール加飾を追加し、車格に相応する質感の高い外観とした(図49)。



(1) アーチガーニッシュ
(2) ドアアンダーガーニッシュ
(3) メッキモール

図 49　サイドクラッティング

6.17　サンルーフ

2 枚のガラスを使用したパノラミックサンルーフを設定し、採光量を拡大した。2 列目の頭上が固定ガラスとなるため、室内はより開放的になり、3 列目の閉塞感を緩和させた。また、可動部ガラスをアウタースライド型にすることで、サンルーフを薄型化。これらにより競合トップレベルのヘッドルーム寸法を実現し

た。室内シェードはロールシェードとすることで3列目のヘッドクリアランスを確保しつつ、2枚目ガラス部まで広がる大開口のものとし、開いたときに開放感のあるものとした。遮光タイプの素材を採用しているため、シェードを閉じれば強い日差しを遮ることができる（図50、図51）。

図50　室外視

図51　室内視

6.18　ルーフレール

高さのある機能的なルーフレール（黒色）を新設した。利便性を考慮したロープ穴を設定するなど、サイドクラッディング等と同様にSUVらしく、アウトドア感がいっそう引き立つデザインとした（図52）。

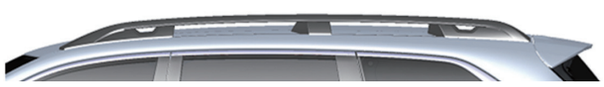
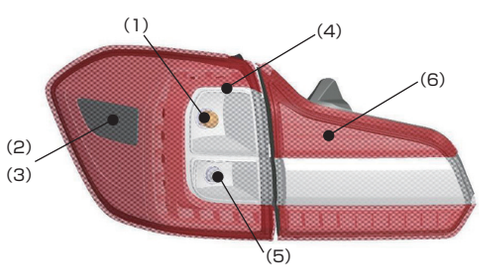


図52　ルーフレール

6.19　リヤコンビネーションランプ

ランプは、ヘッドランプと同様、共通モチーフ（Cシェイプ）によりSUBARUらしさを表現するデザインとした。アウターレンズの共通モチーフ（Cシェイプ）部にはキラキラ感を表現したレンズカットを設定し、SUBARUのシグネチャー表現を強化。テール／ストップランプにLED光源を採用することで、消費電力を低減させた（図53）。



(1) ターンランプ（バルブ）
(2) サイドリフレクター
(3) サイドマーカーランプ（バルブ）
(4) テール／ストップランプ（LED）
(5) バックランプ（バルブ）
(6) リヤフィニッシャー

図53　リアコンビランプ

6.20　リヤバンパートレーラーヒッチカバー

リヤバンパーにトレーラーヒッチカバーを採用した。トレーラーヒッチ装着車はバンパー自体に穴あけ加工をすることなく、ヒッチカバーを外すことによってヒッチボールを簡単に取り付け、牽引ができるようにした。クリップ2ヶ所を外すだけで簡単にヒッチカバーの取り外しができる。リヤバンパーのデザインに沿った形状とすることで、ヒッチカバー装着時も一体感のあるデザインとした（図54、図55）。

図54　トレーラーヒッチ装着時

図55　ヒッチカバー装着時

6.21　リヤゲートガーニッシュ

リヤゲートガーニッシュの採用により、板金では形成不可能な造形を実現し、高い機能性を保ちながら、見栄えや質感が高いリヤゲートとした。高車高とリヤゲートの操作性を両立させるため、ハンドル形状を最適化した。リヤガラス合わせ部となるガーニッシュ上側のリップ幅を短縮し、見栄えをよくした（図56、図57）。

図56　リヤゲートガーニッシュ

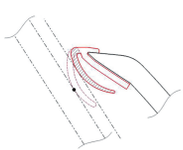


図57　リップ断面

6.22　リヤゲートガラス

スマートリヤビューカメラのエリアに専用デフォッガーを配置し、ガラスが曇る状況でもクリアな視界を確保できるようにした（図58）。

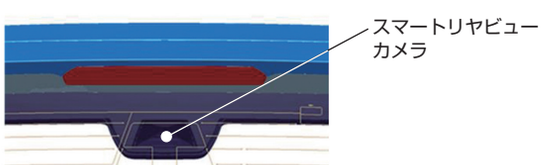


図58　リヤゲートガラス

6.23　パワーリヤゲート

オートクロージャー機能や挟み込み防止反転機能など、従来の機能や安全性を維持したまま、さらに利便性、操作性を高めて進化させた(図59)。

(1) リヤゲートスイッチ (LED インジケーター)
(2) リヤゲートラッチ (オートクロージャー機能付き)
(3) 駆動ユニット内蔵リヤゲートステー
(4) リヤゲートストライカー

図 59　パワーリヤゲート

リヤゲートにモーターを内蔵したゲートステーを採用。 駆動ユニットが荷室内からなくなったことにより、広くすっきりとした開口部と荷室空間を確保した。また、スイッチを操作しなくても、ゲートを直接手で操作することによって、ゲート開閉の意図をセンサーが読み取り、自動でのゲート開閉動作に切り替える。従来のパワーリヤゲートと同様に、ハイトメモリー機能を設定した。天井の低い駐車場やルーフに長尺物を積載したときなどにリヤゲートをぶつけないよう、ゲートの停止位置を記憶させることができる。さらにゲートの自動開閉時間を短縮させ、パワーリヤゲート使用時の電動開閉時間の煩わしさを払拭させた。

7.　インフォテイメント・テレマティクス

7.1　インフォテイメント・テレマティクス

新時代の商品の頭出しとして、車載器とクラウドを連携し、お客様の利便性を高める新たなサービスを開発し、SUBARUで初採用した(図60)。

図 60　インフォテイメント、テレマティクスユニット

7.1.1　インフォテイメント(無線地図データ更新)

ナビゲーション機器と地図データサイト(クラウド)を連携し、無線データ更新技術(OTA：Over the air)を用い、Wi-Fi経由でナビゲーションの地図データ更新を可能とした。更新エリア(州単位)はユーザーが選択でき、1回の更新データ容量を絞ることで短時間での更新を可能とした。従来のUSBメモリ更新と比較し、より使い易く、タイムリーに最新地図データをお客様に提供することが可能となる(図61)。

図 61　地図更新画面表示例

7.1.2　テレマティクス

北米現地ニーズをリサーチし、多くの新規サービスを開発し、SUBARUで初採用した(表3)全ての乗員がお好みのコンテンツを愉しめるWi-Fiホットスポット(最大8台接続可能)等のエンターテイメント機能から、セキュリティやリモート機能、故障入庫予約機能等のテレマティクス機能まで、多種多様なサービスに対応した。また、インフォテイメント機器とも連携し、ユーザーによる画面操作やナビゲーション情報受信(オペレータからの目的地情報)にも対応できるものとした。

表 3　テレマティクス機能一覧

分類／機能	項目　New Function	従来	ASCENT
安全	SOS Emergency Assistance	✓	✓
	ACN(Automatic Collision Notification)	✓	✓
	Advanced Automatic Collision Notification	–	✓
	Enhanced Roadside Assistance	✓	✓
セキュリティ	Stolen Vehicle Recovery	✓	✓
	Stolen Vehicle Recovery Plus : Stolen Vehicle Flashing Light	–	✓
	Stolen Vehicle Recovery Plus : Stolen Vehicle Immobilizer	–	✓
	Vehicle Security Alarm Notification	✓	✓
	Boundary Alert	–	✓
	Speed Alert	–	✓
	Curfew Alert	–	✓
利便機能	Remote Lock and Unlock	✓	✓
	Remote Horn and Lights	✓	✓
	Remote Vehicle Locator	✓	✓
	Remote Engine Start	–	✓
エンタメ	Wi-Fi Hotspot	–	✓
	SUBARU Concierge	–	✓
入庫促進	Vehicle Health Report	✓	✓
	Maintenance Notifications	✓	✓
	Service Appointment Scheduler	–	✓
故障連携診断	Diagnostic Alerts	✓	✓
その他	SUBARU STARLINK System Update	–	✓

7.2 ハーマン カードン プレミアムオーディオ

12ch高性能の外部パワーアンプと重低音をダイナミックに再現するボックス型サブウーファを含め14個の原音を忠実に再現する高性能スピーカを配置したハーマン カードン プレミアムサウンドシステムを採用した。ハーマン カードンのプロの音響エンジニアと共同でASCENTの室内空間に合わせた専用のチューニングを施し、車室内どこにいても音楽を楽しめる音響空間を実現した(**図62**)。

図62 ハーマン カードン オーディオシステム

【システム構成】
・12 ch 高性能パワーアンプ
・インパネ左右スピーカ
80 mm + 25 mm Mid-High ×2
・インパネセンタースピーカ 80 mm Mid-High
・フロントドアスピーカ 7×10 inch Woofer ×2
・リアドアスピーカ
170 mm Woofer + 25 mm Tweeter ×2
・リアトリム左右スピーカ 80 mm Mid-High ×2
・サブウーファー 200 mm Box Subwoofer

8. 優れた総合安全性能

8.1 充実した先進安全装備

EyeSight をはじめとする先進の安全装備を多数搭載し、お客様の安全運転をサポートする仕様とした。

8.1.1 EyeSight (Ver. 3)

SUBARU独自の運転支援システム、EyeSightとアイサイトアシストモニターを全車に標準装備し、すべてのお客様にSUBARUの先進安全装備を利用いただけるようにした。

EyeSightはステレオカメラを用いた画像処理により、先行車や障害物、車線などを認識し、状況に合わせてエンジン、トランスミッション、ステアリングなどを協調制御する運転支援システムである。

アイサイトアシストモニターは、EyeSightの状態や警報をフロントガラスに表示することで、運転者が周辺の道路環境から視線を離さず警告／表示を認知できるようにし、より早い状況把握と危険回避を可能とした(**図63**)。

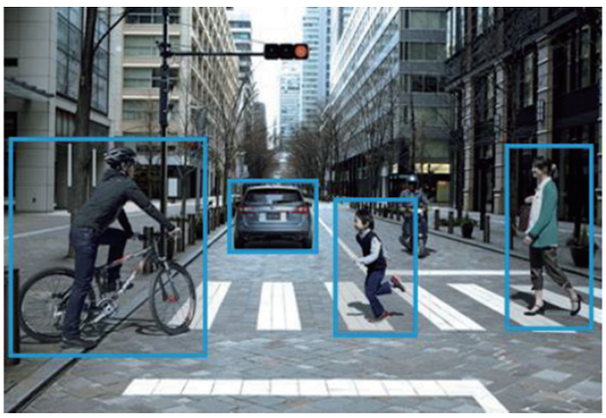


図63 EyeSightの認識イメージ

8.1.2 EyeSightの機能

EyeSightは以下の機能を提供する。

1) プリクラッシュブレーキ／ブレーキアシスト

前方の車両や障害物に衝突のおそれがあるときに注意をうながすと共に、回避操作がない場合は自動ブレーキにより減速または停止し、衝突回避または被害軽減が可能。また、ドライバーによるブレーキ操作があるときは制動力を高める支援を行う。

2) 全車速追従機能付きクルーズコントロール

0～90 MPH(0～145 km/h)の車速の範囲で先行車を追従し、速度を自動調節する。また、先行車のブレーキランプ点灯を認識し状況に応じた加減速を行う。

先行車がいないときはセット車速約20 ～ 90 MPH(30～145 km/h)で定速走行する。

3) レーンキープアシスト(車線逸脱抑制機能)

車速が約37 MPH(60 km/h)以上のとき、車線からはみ出しそうになるとステアリング操作をアシストし、車線からの逸脱を抑制する。

4) AT誤発進抑制機能

前方に障害物などがあるときに、ペダルの踏み間違いなどによる急発進を抑制する。

5) 車線逸脱警報

車速が約30MPH(50 km/h)以上のとき、車線を逸脱しそうになると警報音と警告表示で注意喚起する。

6) ふらつき警報

継続して車両のふらつきを検知したときに、警報音と警告表示で注意喚起する。

7) 先行車発進お知らせ

自車が停止時、先行車が発進しても自車が発進しない場合、警報音と表示でお知らせする。

8.1.3　後退時自動ブレーキ(RAB)

後退時、後方の障害物をセンサーで検知し、表示と警報音により後方の障害物の存在を知らせることで、ドライバーの後方確認をサポートする。警告表示をリヤビューカメラの映像と連動してヘッドユニットディスプレイに表示させ、後退時に車両状態を把握しやすくした(図64)。

また、衝突の可能性が高い場合は、加速を抑制するとともに自動的にブレーキをかけ、衝突回避または被害軽減を図る仕様とした。

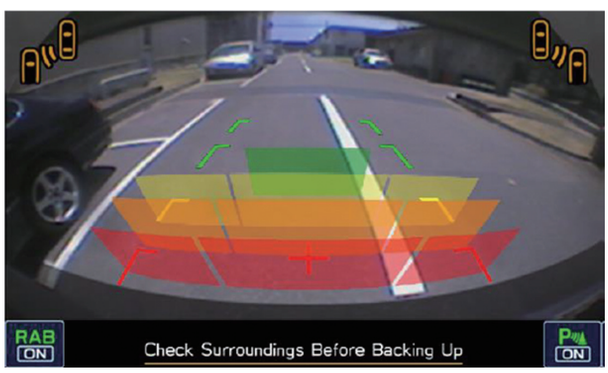


図 64　後退時自動ブレーキの警告表示

8.1.4　後側方警戒支援システム(BSD/RCTA)

車体後部に内蔵したセンサーによって、自車の後側方から接近する車両を検知し、ドアミラーのLEDインジケーターや警報音でドライバーに注意を促すことで、お客様の安心かつ愉しいドライブをサポートする。

後側方警戒支援システムは次の3つの機能を提供する(図65)。

1) 死角車両検知(BSD)

車両の左右後方の死角となるエリアに存在する車両を検知すると、インジケーターの点灯で運転者に知らせる。また、車両を検知した状態で運転者がターンランプを操作した場合、車線変更の意思があるとシステムが判断し、インジケーターの点滅により運転者に注意を促す。

2) 車線変更支援(LCA)

後方から近づいてくる隣車線の車両を検知し、車線変更すると衝突の危険性があると判断した場合に、インジケーターの点灯で運転者に知らせる。車両を検知した状態で運転者がターンランプを操作した場合、車線変更の意思があるとシステムが判断し、インジケーターの点滅により運転者に注意を促す。

3) 後退時支援(RCTA)

後退時に左右から近づいてくる車両を検知し、衝突の危険性があると判断した場合に、インジケーターの点滅と警報音で運転者に注意を促す。

図 65　後側方警戒支援システムイメージ

8.1.5　ハイビームアシスト(HBA)

約20 MPH(32 km/h)以上で走行中に、対向車や先行車の有無など車両前方の状況に応じて、ヘッドランプのハイビームとロービームを自動で切り替え、夜間走行時の視認性を向上させる。検知にはEyeSight のステレオカメラを用いている。ライティングスイッチの操作負荷低減やハイビームの消し忘れの防止、さらに　EyeSightの認識性能の向上などに効果がある(図66)。

図 66　ハイビームアシストの動作イメージ

8.1.6　フロントビューモニター

ドライバーの死角をマルチファンクションディスプレイ(MFD)で確認できるフロントビューモニターを設定した。車体のフロント(エンブレム下)に搭載したカメラで見通しの悪い交差点での接近車両や歩行者などの有無を確認しやすくし、出合い頭の事故防止などに貢献する(図67)。

フロントビューカメラ搭載位置と画角範囲

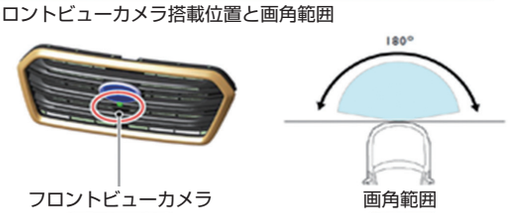


図 67　フロントビューモニタ表示例

8.1.7　スマートリヤビューミラー

2 列目、3 列目シートの乗員や室内の荷物がミラーに大きく映り込むシチュエーションで役立つスマートリヤビューミラーを設定。リヤゲートガラス上部室内側に搭載したカメラの車両後方を撮影し、その映像をリヤビューミラーに映し出すシステムを搭載した(**図68**)。

図 68　スマートリアビューミラー概要図

8.1.8　ドアロック制御

安全性向上のため、走行開始時に、自動で全席のドア、リヤゲートおよびフューエルリッドを施錠するオートドアロックを採用した。また、降車時に、自動で全席のドア、リヤゲートおよびフューエルリッドを解錠するオートドアアンロックを採用。これにより、降車時のドア解錠操作を不要とし、利便性を向上させた。

また、オートドアロック・オートドアアンロックのタイミングを調整できるようにカスタマイズ機能を追加し、お客様のお好みで調整できるようにした(ユーザーカスタマイズ機能)(**表4、表5**)。

さらに、車両が強い衝撃を受けたときに、自動で全席のドアおよびリヤゲートを解錠し、乗員の閉じ込めを防止する衝突検知アンロック機能を採用した。

表 4　オートドアロック機能

カスタマイズ項目 （ナビゲーション or ディスプレイ）	デフォルト設定
車速が 13 mph（20 km/h 以上）	レ
セレクトレバーを P 以外に入れたとき	
機能 OFF	

表 5　オートドアアンロック機能

カスタマイズ項目 （ナビゲーション or ディスプレイ）	デフォルト設定
運転席ドア開	レ
セレクトレバーを P に入れたとき	
エンジンスイッチを ON → OFF	
機能 OFF	

8.2　後突時の３列目シートの乗員保護性能

IMPREZA で初めて採用したスバルグローバルプラットフォームを3列車用に最適化した。車両サイズの拡大に対応するため、フレームの構造追加や断面の拡大およびシートの強度アップにより後突時の3列目シートの優れた乗員保護性能を実現させた(**図69**)。

図 69　後面衝突試験イメージ

9.　パワーユニット

9.1　エンジン(2.4L 直噴ターボエンジン：FA24)

9.1.1　まえがき

新型ASCENTに搭載する専用エンジンとして、2.4L水平対向直噴ターボエンジン、FA24エンジンを新開発した。FA24はFA20ターボエンジンをベースにボア径を拡大することで排気量を2.4Lとし、環境性能と動力性能の両立を図りながら、NV性能と軽量化を高次元でバランスさせ、さらなる『安心と愉しさ』を具現化した。

9.1.2　開発の狙い

新型FA24エンジン(**図70**)は、子育てファミリー層にも『安心と愉しさ』を提供することを目的に、新型ASCENT向けに専用設計したエンジンである。ミッドサイズSUV搭載の主要パワーユニットには、動力性能に加え低燃費に対する要求が年々高まっている。この二律背反の要求を両立させるために、FA20に対して排気量拡大と燃焼改善等により、ミッドサイズSUVカテゴリートップクラスの燃費と実用域における十分な動力性能をレギュラーガソリンで両立させるとともに、車両の加速と音の一体感を開発の狙いとした。

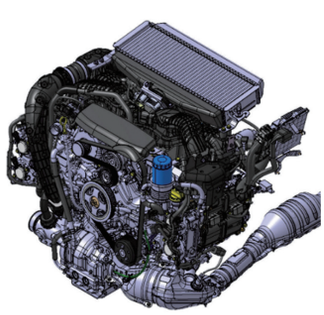


図 70　FA24 エンジン

9.1.3　エンジン主要諸元と主要変化点

表6にエンジンの主要諸元、表7にFA20に対する主要変化点を示す。排気量拡大や燃焼改善や冷却改善によるノック限界向上を図るため、シリンダブロック、シリンダヘッドやピストンなど新設計した。排ガス規制に対応するため、吸・排気系変更やEGRクーラ強化を実施した。二律背反であるNV性能向上と軽量化にも取り組み、FA20に対し約4.6 kgの軽量化を行い、車室内の静粛性との両立を図った。新規設計でありながら、開発効率化や原価低減のために部品の4割を共用化した。

表6　エンジン主要諸元

	2.4L DIT	（参考）2.0L DIT
エンジン型式	FA24	FA20
配置	水平対抗	水平対抗
燃料供給方法	筒内噴射	筒内噴射
使用燃料	87AKI	91AKI
気筒数	4気筒	4気筒
総排気量	2387 cc	1998 cc
最高出力	260HP/5600 rpm	250HP/5600 rpm
最大トルク	277 lb-ft/ 2000-4800 rpm	258 lb-ft/ 2000-4800 rpm
排ガス規制対応	Tier3 BIN125/ LEV3 ULEV125	Interim-Tier3 Bin160/ LEV2 LEV + Optional LEV3
吸気方式	過給吸気	過給吸気
弁機構	DOHC4バルブ	DOHC4バルブ
駆動方式	タイミングチェーン	タイミングチェーン
動弁系デバイス機構	吸気／排気 AVCS	吸気／排気 AVCS
ボア×ストローク	94.0 × 86.0 mm	86.0 × 86.0 mm
圧縮比	10.6	10.6

表7　FA20に対する主要変化点

変更目的 （◎：主目的 ○：◎に付随）	燃費向上	出力向上	NVH改善	法規対応	軽量化
主体構造系	◎	○	◎	○	◎
主運動系	◎	○	○		◎
動弁・動弁駆動系	◎	○	◎		◎
潤滑系	◎				◎
冷却系					○
吸気系	◎	◎	◎	◎	◎
排気系	◎			◎	◎
燃料系	○	○	○	◎	
電装系	○	○		◎	◎

9.1.4　燃費性能

燃焼改善による筒内ガス流動の強化や主機系冷却強化によるノック限界向上を図った。インテークマニホールド形状変更による外部EGR分配の最適化、高効率EGRクーラコア採用による外部EGR冷却を強化し、高EGR導入を可能にした。図71に競合他銘と比較した車両燃費のグラフを示す。これらの取り組みにより、カテゴリートップクラスの燃費を実現した。

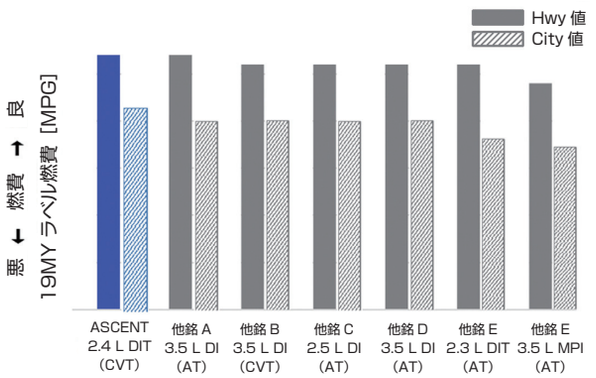


図71　ラベル燃費

9.1.5　出力性能

図72にトルクカーブを示す。吸気系形状変更による吸気圧損の低減、主機冷却および吸気冷却性能の強化などによりノッキング限界を向上させたことで、実用域における十分な動力性能をレギュラーガソリンで実現した。

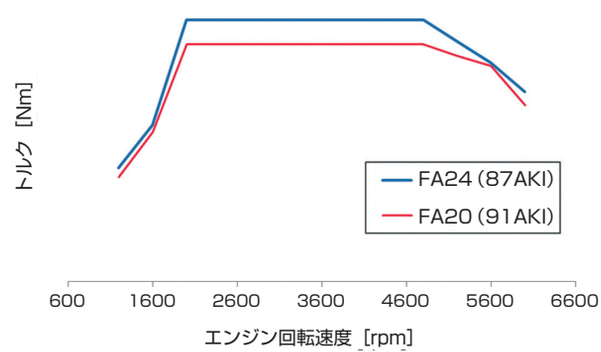


図72　トルクカーブ

9.1.6　NV性能

車室内静粛性向上を目的に、エンジン全体としては中高周波域の振動伝達音の低減に取り組み、特に緩加速時のクランク系からの入力による振動伝達の改善を図った。暖機後のクランクジャーナルクリアランスの縮小と主運動系部品の軽量化による起振力低減を図った。振動伝達系においては、シリンダブロック、オイルパンアッパ等のエンジン主機構造系の最適化を図った。

9.1.7　軽量化

NVの背反となる質量に対しては、初期検討時にフルASSY解析を行うことで全体最適を図った。また、樹脂化による材料置換や構造合理化などにより、FA20に対して4.6 kgの軽量化を図った。

9.2　パワートレーン

9.2.1　開発の狙い

SUBARU最重量車両を支え、且つ全SUBARU車で最大容量となる5,000 lbsトーイングを実現するため、ASCENT向けトランスミッションは米国向けレガシィ6気筒エンジン仕様に適用されている高容量リニアトロニックを全面改良した(図73)。また、リヤデフについては、ハイポイドギヤ径を大径化したφ167サイズを新規開発し、搭載した(図74)。

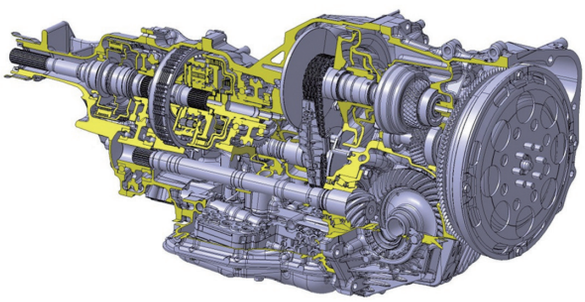


図73　新型リニアトロニック

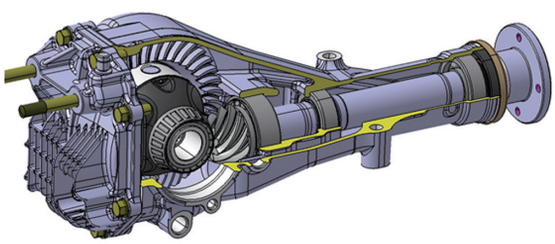


図74　新型リヤデフ（φ167サイズ）

9.2.2　主要諸元と変更部品

一覧を以下に示す(表8、表9)。

表8　主要諸元表能

Model		OUTBACK (2017年)	ASCENT
Engine Max Torque		335 Nm	375 Nm
T/M Gear Ratios	Ratio Coverage	6.44	6.91
	Pulley Ratio	0.365 ～ 2.349	0.381 ～ 2.628
	Total Reduction Ratio	12.8	14.3
Final Gear Ratio		4.111	4.444
T/M Power Loss @80 km/h Road Load		–	−10%
Rear Diff Spin Loss @ 80 km/h		–	−37%

表9　パワートレーン変更部品一覧

変更要素 / 目的		車重UPトーイング	軽量化	燃費性能向上	振騒性能質感向上
T/M	トルクコンバータ新設			●	●
	チェーン・バリエータ新設	●		●	●
	オイルポンプ新設			●	
	省燃費オイル新設			●	
	ギヤ類新設	●			●
	コントロールバルブ新設			●	
	デファレンシャルケース新設	●	●	●	
	遮音カバー新設				●
	シフト操作系新設	●			●
	オイルストレーナ新設		●		
	ケース類新設	●	●		●
	リバースクラッチ新設			●	●
	セカンダリ圧独立制御			●	
Rear Diff	ハイポイドギヤ新設	●		●	●
	デファレンシャルキャリア新設	●	●	●	
	リヤカバー新設	●	●	●	
	デファレンシャルケース新設	●	●		
	ベアリング新設		●	●	
	省燃費オイル適用			●	
	油温センサ新設	●	●		

9.2.3　新型リニアトロニック

(1) トーイング容量の向上

高容量リニアトロニックを全面改良し、ASCENT全グレードに適用した。トランスミッション質量全体の80%の部品を変更(図75、表9)し、ギヤ幅の拡大、軸受及びデフの強化、ケース補剛、冷却性能向上を図ることで、トーイング容量5,000 lbsを達成した。さらに、プライマリプーリとセカンダリプーリの芯間を増やさず、全体骨格を不変としながらレシオカバレージを拡大し、トーイング時(低速)の駆動力確保と高速巡航時の燃費性能向上を両立した。

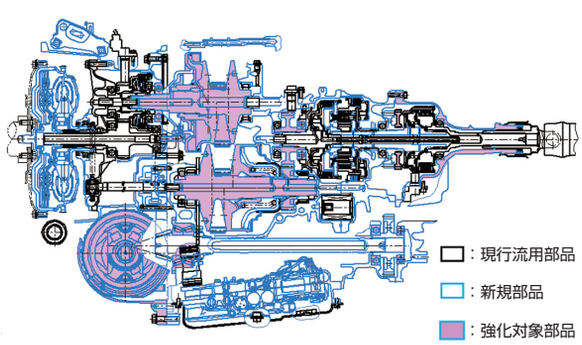


図75　新型リニアトロニック変更部品

(2) 軽量化

車両重量増加、トーイング容量UPによって必要となる駆動系の強化によって増加した質量の低減に取り組み、溶接デフ化、CAEの最大活用によるケース関係の除肉、オイルストレーナの小型化などにより約5.3%の軽量化を実現した(図76)。

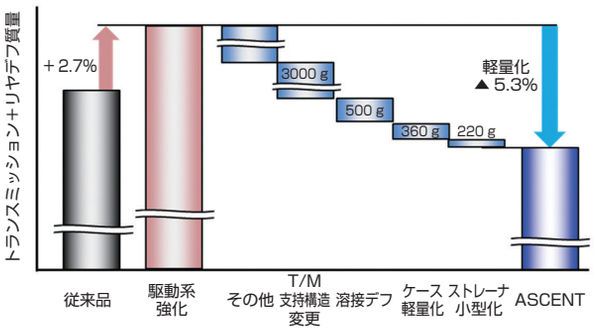


図 76　パワートレーン質量

(3) 環境性能向上

油圧制御系ではSUBARUのCVT初となるオイルポンプ吐出ポートの2ポート化を行った。オイルポンプ吐出回路を2系統で構成し、共に高圧側へ供給する状態(2ポート)から、1系統を低圧側へ吐出する状態(1ポート)へ切り替えることで高回転時のオイルポンプ駆動トルクを最大32%低減した。

9.2.4　新型リヤデフ

ASCENTの駆動力要件(動力、登坂、トーイング)を満たすため、ハイポイドギヤ径をφ160からφ167へ大径化した。また大径化による質量アップはケースの基本肉厚を薄肉化することで従来モデル同等の質量へ抑えると共に、外観上の大きさも現行モデルを維持した。また、ディファレンシャル内部の容積詰め、オイル潤滑構造の最適化、低フリクションベアリングの採用などによりスピンロスを37%低減し、燃費性能向上を実現した。

10. ボディ構造

ボディ構造については別報で解説しているため、本章では詳述を割愛する。

17MY IMPREZA で初めて採用されたスバルグローバルプラットフォーム(SGP)を ASCENTへ採用した(図77)SGPのポテンシャルの高さからシリーズ最大級でありながら高い車体剛性と軽量化を両立することが可能となった(図78、79)。

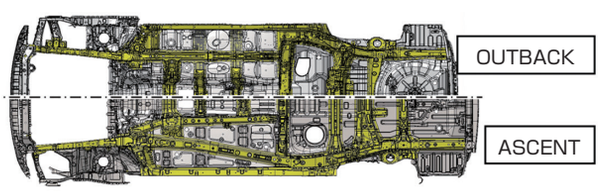


図 77　SGP

アッパーボディについては二つの環状骨格を有し、フロントにはサブフレームを搭載し(図80)3列車の大型ボディーでありながら他の車両と比較しても秀でた車体剛性と衝突安全性能、操安性能を確保することが可能となった。

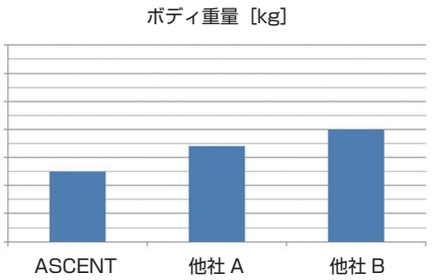


図 78　ボディ重量比較

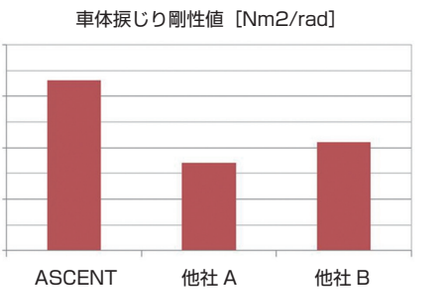


図 79　ボディ剛性比較

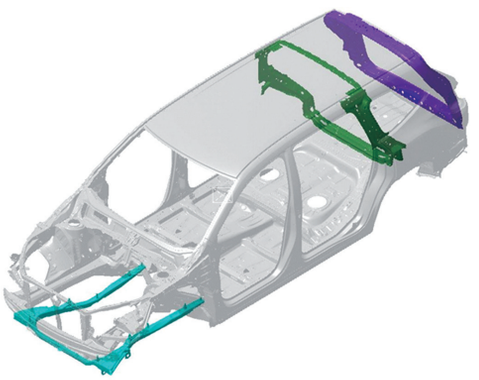


図 80　環状骨格とサブフレーム

動的質感向上のため当社では初の高粘度ウエルドボンドをフロアを中心に塗布した(図81)。

これにより前席から後席まで不快な微振動などを低減した。

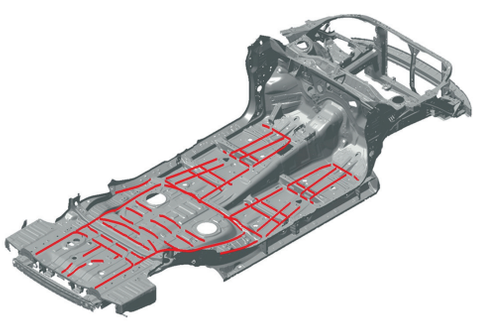


図 81　高粘度ウエルドボンド塗布位置

11. シャシー

11.1 開発の狙い

SUBARUの「安心と愉しさ」を、より一層高めたクルマ造りを狙い、スバルグローバルプラットフォームを継承、多人数SUV用シャシーとして進化させた。ASCENTは、車格・車両重量ともSUBARU最大であるが、それを感じさせない「直進安定性」「危険回避性能」「快適な乗心地」を実現、安心の走りと快適性の両立を図った。

11.2 サスペンション

多人数乗りのロングドライブでも快適な乗心地を実現するため、ダンパーの滑らかな動きと十分なサスペンションストローク量の確保、振動・騒音の低減を図った。また、車格に見合うトレッドの設定により耐転覆性の向上、ロールステアを小さくする最適なリンク配置、コイルスプリングとスタビライザのバネ定数最適設定によりロール剛性を向上させ、ミッドサイズSUVの車格でも高い操縦安定性を実現した。従来スバル車の中で最重量車として、フル積載状態でも十分な強度を確保した。

11.2.1 フロントサスペンション

従来車同様にマクファーソンストラット式サスペンションを採用しつつ、特に以下の性能向上に注力して開発した(**図82**)。

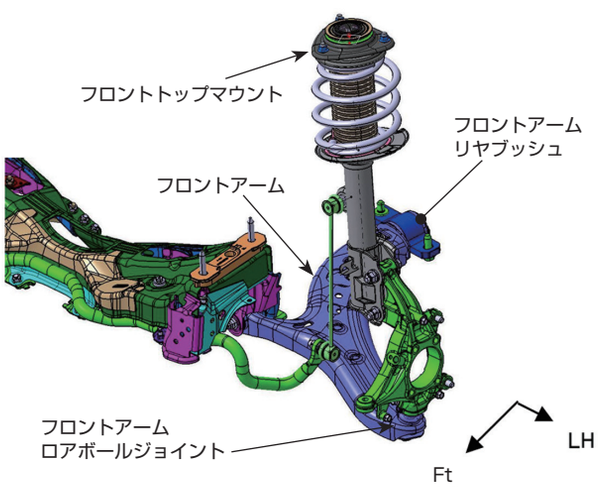


図82　フロントサスペンション

(1) ステアリング振動の低減

フロントアームロアボールジョイントの取り付け位置をマスオフセット(**図83**参照)が小さくなるように設定した。タイヤから入る外力により生じる回転モーメントを小さくし、ステアリング振動を低減させた。

また、さらなる振動低減アイテムとして、フロントアームリヤ側ブッシュは減衰性能に優れた液封タイプを採用した。

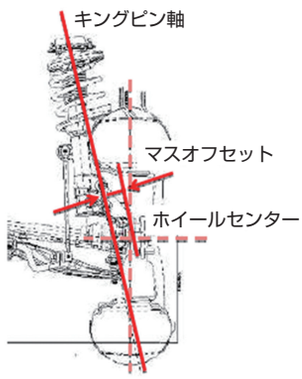


図83　マスオフセット

(2) 衝突性能の確保

実用上必要なサスペンション強度を確保した上で、万が一の衝突による大きな荷重が加わったときにアームを適切な位置で変形させる構造とし、衝突後のタイヤの動きをコントロールすることでスモールオーバーラップ(SOL)性能向上に貢献した。

11.2.2 リヤサスペンション

従来車同様にダブルウィッシュボーン式サスペンションを採用しつつ、特に以下の性能向上に注力して開発した(**図84**)。

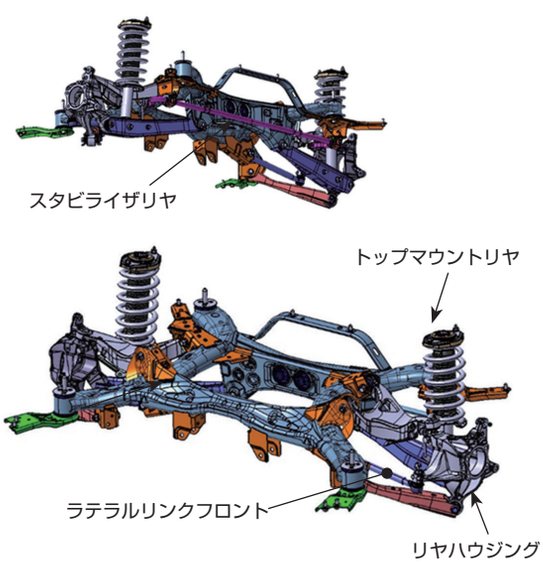


図84　リヤサスペンション

(1) 高い直進安定性の確保

リヤハウジングとラテラルリンクフロントの取り付け位置を最適化する事でロールステア(サスペンションストロークに対するトー変化)を小さくした。これにより、路面のうねりや突起乗り越しに対するアライメント変化を抑制し、高い直進安定性を確保した。

(2) 快適な乗心地の実現

コイルスプリングとヘルパーの入力荷重を分離する新設計マウントを採用した。ヘルパー荷重を分離する事で大荷重や積載によるヘルパータッチ後も、ダンパーがロス無くストローク出来るため、ダンパーの減衰効率が向上し、定員乗車時でも高い乗心地性能を実現した(図85)。

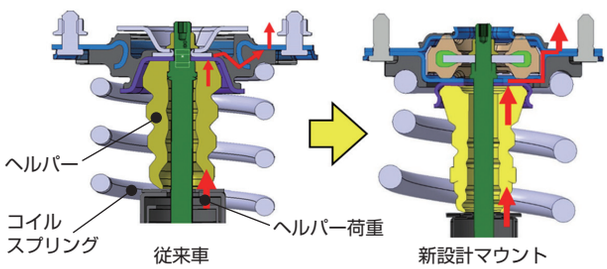


図 85　トップマウントリヤ

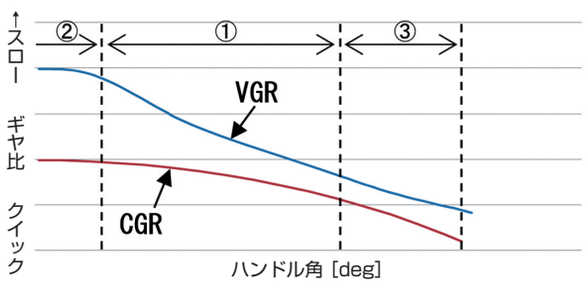
スタビライザリヤの取り付け位置をサブフレームではなく車体に固定する構造にすることで、より効率的なロール抑制を実現し、操縦安定性と乗心地の両立を実現した。

11.3　ステアリング

11.3.1　電動パワーステアリング

ピニオンアシスト式の電動パワーステアリングを採用することで、車線逸脱防止制御の実現と燃費向上を行った。

ラック＆ピニオンのギヤ比はバリアブルギヤレシオ(VGR)とし、ハンドル最大回転数の抑制による取り回し性と、穏やかな車両挙動の両立を図った(図86)。



①小舵角域：直進
②中舵角域：交差点
③大舵角域：駐車

図 86　VGR と CGR のギヤ比の比較イメージ

11.3.2　ステアリングコラム

衝突安全性の更なる向上としてコラプスストロークを186.5 mm以上確保した。

より自然な運転姿勢を実現するために、充分なチルト／テレスコピック調整量を確保した(チルト：53 mm、テレスコ55 mm)また、操舵時のしっかり感実現およびステアリング振動抑制を目的に、高剛性かつ軽量なステアリングコラムを採用した。

11.3.3　ステアリングホイール

最上級グレードのTOURINGに高触感本革を標準設定した。また、TOURING、LIMITEDにヒータ機能を標準装備した。

11.4　タイヤ&ホイール

11.4.1　タイヤ

新規トレッドパターンの採用及び構造の最適化を行い、多人数乗りSUVとしての限界安定性や操縦安定性を確保した(表10)。さらに軽量化を図ることで優れた転がり抵抗を両立させた。

表 10　タイヤ仕様

サイズ	メーカー	銘柄
245/60R18 105H	住友ゴム	ZIEX ZE001A A/S
245/50R20 102H	住友ゴム	ZIEX ZE001A/S

11.4.2　ホイール

新デザインのアルミホイールを採用した。空力性能、高剛性、軽量化に配慮しながら、SUVらしい力強いスタイリッシュなデザインとした(図87、図88)。

18 × 7 1/2J 鋳造
①シルバー丸塗り
②スターリンググレイメタル 切削光輝

図 87　18 インチ外観

20 × 7 1/2J 鋳造
ダークグレイメタリック 切削光輝

図 88　20 インチ外観

11.5　ブレーキ

車格による重量を感じさせないブレーキ性能を実現するため、必要な制動力を確保したブレーキシステムの18インチブレーキを新開発した。

＜開発の狙い＞

(1) 効き始めの食いつきがよく、安心して踏め、定員が乗車しても安全に止まれるブレーキ性能の実現。

－ブレーキブースター特性の最適化
－大径ブレーキサイズの採用
－高μブレーキパッドの採用(新パッド材)
－メカニカル式負圧ポンプ採用(高地冷態時でも安定した効きを確保)

(2) トーイング5000 lbs対応
　－大径リアブレーキサイズの採用
(3) 法規対応(環境対応)
　－2025年法規制対応の銅フリーブレーキパッド採用

11.5.1　マスタシリンダー／ブレーキブースター／ブレーキ負圧ポンプ

効き始めから踏力に応じてリニアにコントロールできるブレーキ性能を実現するため、ブレーキブースター出力特性のチューニングを行った。

また、ブレーキブースター負圧低下時に、VDCコントロールユニットでの加圧機能により制動力を助勢する機能を採用した。

高地冷態時でも安定した効きを確保するため、ブレーキブースター用負圧供給源にメカニカル式負圧ポンプを採用し、安定したブレーキ制動力を確保した。

11.5.2　フロントブレーキ

必要な制動力を確保するめに、18インチベンチレーテッドブレーキを新開発した(図89)。

2025年の法規制に対応し、どんな時も安定したブレーキ性能を実現した。

●ロータ仕様(大径化)
　外径×厚み：φ333 mm × 30 mm
●キャリパ仕様(サイズアップ)
　シリンダ径：φ44 mm × 2
　有効径：136 mm
　パッド面積：73.9 cm^2
　パッド材質：新規採用材(銅フリー材)

ディスクカバーには、冷却ルーバーを設定し、耐フェード性能を向上するカバーを新製した。

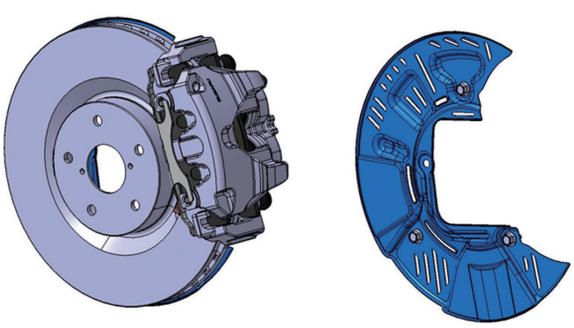


図89　フロントブレーキ

11.5.3　リヤブレーキ

必要な制動力確保と5000 lbsトーイングに対応するため、電動パーキング内蔵の18インチベンチレーテッドブレーキを新開発した(図90)。

フロントブレーキ同様に、2025年の法規制に対応し、どんな時も安定したブレーキ性能を実現した。

●ロータ仕様(大径化)
　外径×厚み：φ331 mm × 18 mm
●キャリパ仕様(サイズアップ)
　シリンダ径：φ40
　有効径：144 mm
　パッド面積：30 cm^2
　パッド材質：新規採用材(銅フリー材)

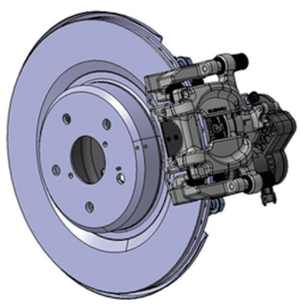


図90　リヤブレーキ

11.6　VDC

全車に標準装備し、走行時の安全性を大きく底上げした。

車両の挙動を常時チェックしABS(アンチロック制御)、TCS(エンジン制御、ブレーキLSD制御)、VDC(横滑り防止のためにエンジンとブレーキを制御)をフレキシブルに制御。介入タイミングの最適化により高い安全性を確保する制御とした。

(1) トレーラースタビリティコントロールの採用

トーイング5000 lb.でも安心して走行できるようにするため、牽引走行時にトレーラーのふらつきを検知すると、危険な挙動に発展する前にふらつきの収束を行うトレーラースタビリティコントロールを採用した(図91)。

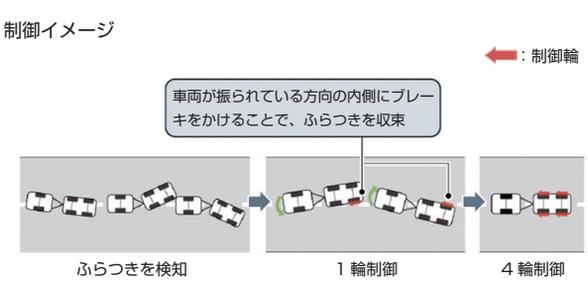


図91　トレーラースタビリティコントロール制御イメージ

(2) オートビークルホールドの採用

信号待ち、渋滞、坂道停車時の「ブレーキペダルを踏み続ける」というドライバーの負荷を軽減するため、ブレーキペダルから足を離しても停車保持ができ

るオートビークルホールドを採用した。

制御開始から10分、若しくはVDC異常時の場合は電動パーキングブレーキを作動させることで故障時も考慮した設計とした(表11)。

表 11　現行車の類似機能との比較

仕 様	オートビークルホールド（AVH）	ヒルホールド機能	ヒルスタートアシスト機能
保持機構	VDC ＋電動パーキングブレーキ	電動パーキングブレーキ	VDC
保持時間	電動パーキングブレーキに移行することで制限なし	制限なし	約１～２秒
保持路面	全路面（ただし、電動パーキングブレーキで停車できる勾配）	登坂路	登坂路

(3) アクティブトルクベクタリングの採用

旋回時に内側前輪にブレーキを掛け、外側前輪へのトルクを多く内側の前輪へのトルクを少なく配分することで、車両の限界旋回性能向上するアクティブトルクベクタリングを採用した(図92)。

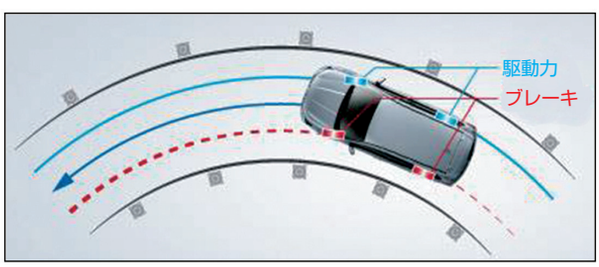


図 92　アクティブトルクベクタリング制御イメージ

11.7　TPMS

各輪の空気圧をドライバーに知らせるシステムを採用した(図93)。

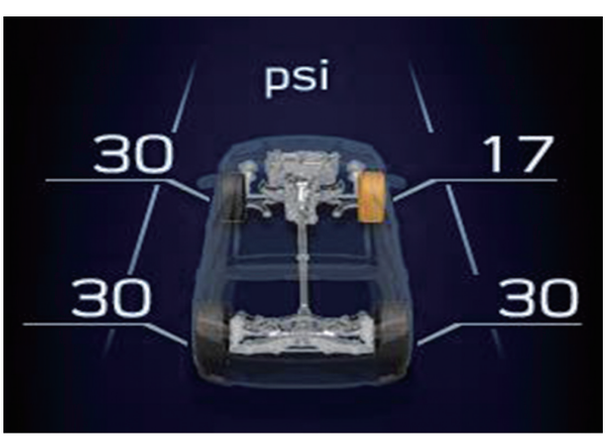


図 93　空気圧表示例 (MFD)

11.8　燃料システム

樹脂製鞍型燃料タンクとし、2列目／3列目の居住空間の確保、また床下ではAWD駆動系との両立をさせつつも73Lの容量を確保した。

12.　まとめ

米国市場のこのカテゴリーは、多くのクルマが競合する激戦区となっており、後発車として投入する分だけお客様を惹きつける輝きを持ち、お客様にご満足を提供できるクルマに磨き上げました。このクルマの誕生がSUBARUを愛する子育て世代のお客様の人生をより豊かなものにし、より多くの新しいお客様にもSUBARUを選んでいただく大きな戦力になることを確信しています。

最後に、関係各位のご尽力に対し、プロジェクトメンバー一同深く感謝し、紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

【著　者】

SUBARU ASCENT開発プロジェクトチーム

[商品企画本部]	熊谷　泰典
	村田　　誠
	小宮山 朝宏
[内装設計部]	橋本　　淳
[外装設計部]	山下　大輔
[電子商品設計部]	石田　　卓
[電子プラットフォーム設計部]	
	中村　昭教
[先進安全設計部]	手塚　俊介
[エンジン開発推進PGM]	松尾　崇邦
	仙石　哲考
[トランスミッション設計部]	下中　一彦
[車体設計部]	安田　政宜
[シャシー設計部]	長島　　健
	片海　哲哉

新型 ASCENT のシート開発

Seat Development of New ASCENT

南 雲 健 二* 朝 倉 孝 幸* 前 田 剛 佑* 北 仲 史 門*
Kenji NAGUMO Takayuki ASAKURA Gousuke MAEDA Fumito KITANAKA

抄 録

ASCENTは全ての乗員が快適に過ごせるゆとりある居住空間と安全性に拘り開発された3列シートSUVである。

お客様の使い易さを第一に考え、居住スペース、座り心地、安全性を重点に、走行時の快適性を感じてもらえるシートを実現した。

Abstract

ASCENT is an SUV with third-row seats to have affordable space and safety. We realized the seats where customers can feel comfort during driving as we focused on space, sitting comfortability and safety, while giving our first priority to customer friendliness.

1. まえがき

ASCENTは最重要市場である北米より多人数乗り車の強い要望を受けて開発がスタートした戦略車である。SUBARUの掲げる『安心と愉しさ』を全ての乗員に提供すべく、全ての乗員が快適に過ごせるゆとりある居住空間と安全性に拘り開発を行った。多人数乗り車の商品力を決定付ける上で内装は重要度が高い。ここでは内装商品力の中でも大きな役割を担うシートの開発について紹介する。

2. 開発の狙い

北米市場における多人数乗り車の使用環境は、家族みんなでバカンスに出かける車であり、子供の送迎に乗り合いで使用されることも多い。開発に当たってはお客様の使用環境の徹底リサーチを行い、シートに求められる商品像として ①3列全ての乗員が長距離移動でも快適に過ごせる居住空間と座り心地 ②スムーズな3列目へのアクセス ③トップクラスの安全性などの機能性と、LEGACYから続く感覚に訴えかける内装質感との融合を目標とした。

＊ 内装設計部

3. 開発内容

3.1 快適性

3.1.1 居住スペース

ASCENTは、日常使いに便利な8人(又は7人)乗りSUVとして、1列目シートだけではなく、3列すべての乗員が快適に過ごせる居住スペースを目指した。2列目シート乗員の膝廻りや、ウォークスルー時のスペースに配慮するため、1列目シート背面をmm単位で薄型化し、2列目シート乗員足入れスペースはLEGACY比で+18 mm拡幅した(**図1**)。

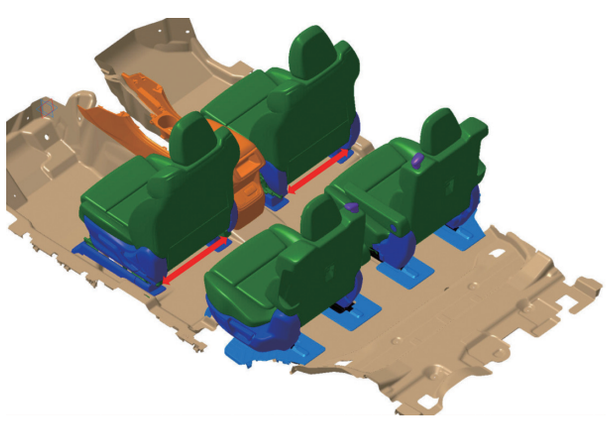


図1 2列目シート乗員の足入れスペース

3列目シート乗員が自然な形で足を置けるよう2列目シートのスライドレール配置に配慮し(図2)、3列目シートにも大人が座れる空間を十分確保した。

ベンチシートは、中央席が片持ちのため、一般的に強度や振動に対して不利なシート構造であるが、効果的なフレーム補強により、相反する性能を両立させた。

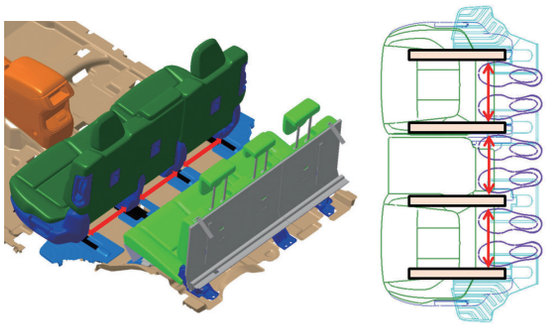


図２　３列目シート乗員の足入れスペース

3.1.2　座り心地

1) 1列目シート

シートに求められる性能は、姿勢保持、フィット感、ホールド性、振動吸収性など多岐に渡る。

ASCENTの1列目シートでは、フィット感とホールド性を両立させるよう座面部の密度、硬度を設定。さらにシートバックとシートクッションのウレタンフォーム側端部を異硬度化することで、LEGACYよりもさらに広い接触面積と身体へのフィット感を実現し、横Gに対しても窮屈さを感じる事無く、しっかりと身体をサポートできるようにした(図3、4)。

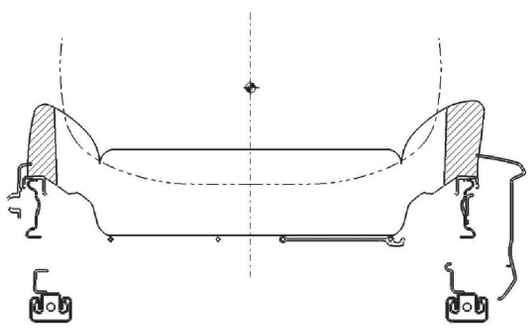


図３　ウレタンフォーム側端部異硬度

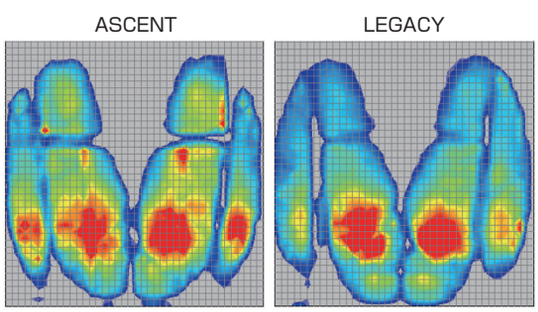


図４　１列目シートクッション体圧分布

2) 2列目シート

3列シート車の2列目は、乗車頻度が高いため1列目と同等の座り心地を目指した。スプリングが無い分、座面のウレタンを厚くし、心地よいフィット感と適切な体圧分布となるように密度と硬度を設定した。座面角度は、大腿部をしっかり支えられる角度とした。これらにより1列目同等の座り心地を達成した(図5)。

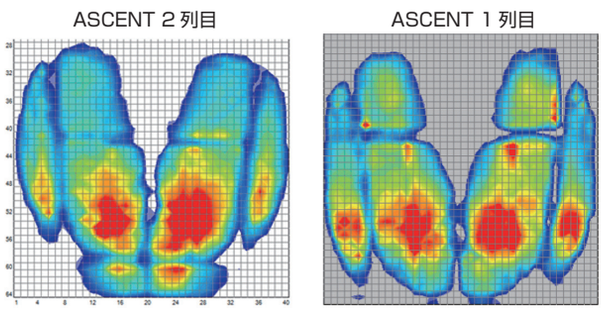


図５　２列目シートクッション体圧分布

3) 3列目シート

3列目は窮屈な乗車姿勢になることが多く快適とは言い難い。全ての乗員の快適性を目指すASCENTの3列目シートでは、座面高さを高く設定し、膝を抱えるような着座姿勢になることを抑えることで腹部の圧迫を低減。シートクッションと大腿部の接触長を長く取り、ウレタン厚をフロントシート同等の厚さとする事で適切に体圧を分散し、長時間でも快適に座る事が出来る座り心地を実現した(図6、7、8、9)。

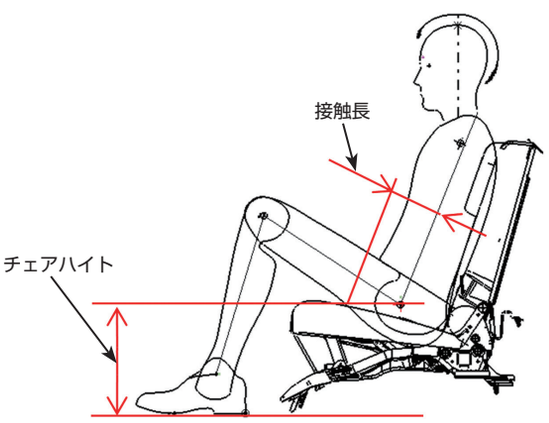


図６　３列目シート着座姿勢

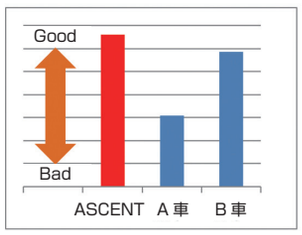


図７　チェアハイト比較

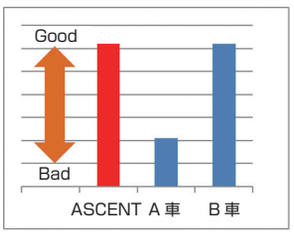


図８　接触長比較

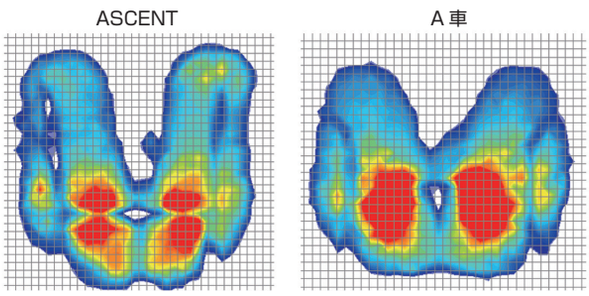


図９　３列目シートクッション体圧分布

3.1.3　振動

米国では長時間走行する機会が多く、シートから伝わる振動が疲れを助長する。ASCENTの開発では走行評価を重ね当社独自の評価基準を設定し車体を含めたシート振動低減に取組んだ。CAE解析を駆使し、フレーム構造や断面形状の最適化を行うことでシート剛性を高め、2列目、3列目シートでは他車に対し大幅な振動の低減を行い、長時間走行でも快適な座り心地を実現した(図10)。

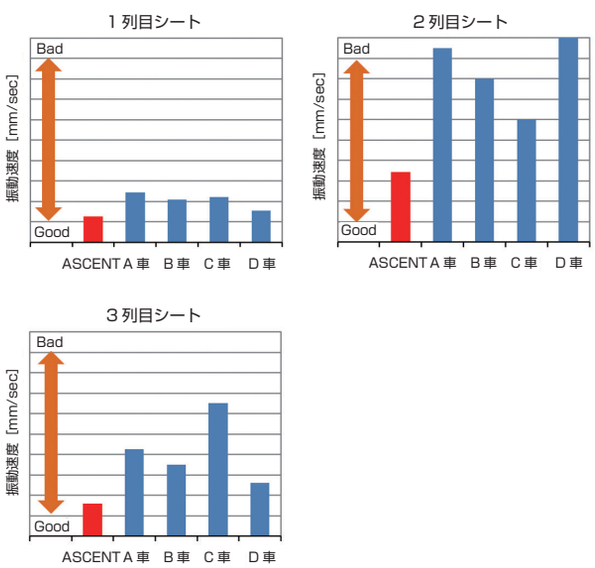


図 10　シートバック振動

3.1.4　シートベンチレーション

暑い日の長時間運転でもシートと密着している背中や足腰の蒸れを防ぐため、ASCENTではバックレストとクッションにSUBARU初となる吸い込み方式のシートベンチレーションを採用した(図11)。

吸い込み方式とする事で、暑い車内に乗り込んだ直後でも身体の熱気を吸い込むため、素早く冷涼感を感じることができる。HVACとの協調制御により最大冷房時にはExtraモードに移行する機能を有し、高い即冷性能を実現した(図12)。

ベンチレーションブロアはゴムブッシュを介して固定し、乗員に不快な振動や作動音を感じさせないよう配慮した(図13)。

図 11　吸い込み方式シートベンチレーション

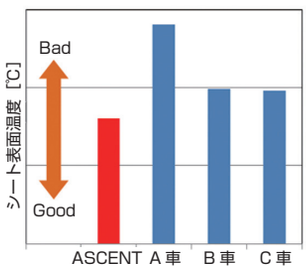


図 12　５分後冷却性能

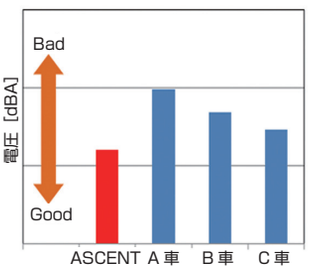


図 13　騒音性能

3.1.5　クッション長調整機構

一部グレードの運転席にSUBARU初のクッション長調整機構を採用。乗員の体型に合わせクッション長さを前後に調整する事が可能となり、小柄な乗員から大柄な乗員まで、快適な運転姿勢がとれるようにした(図14)。

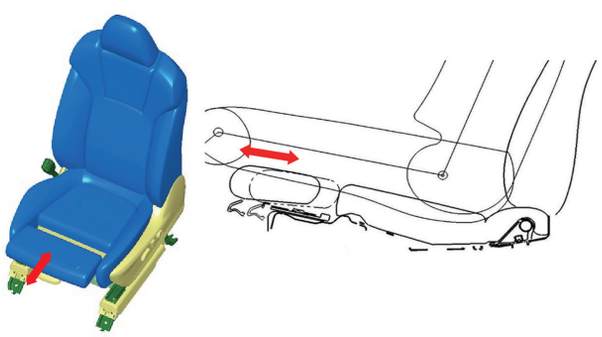


図 14　クッション長調整機構

3.1.6　座り心地と荷室の両立

3列目シートには荷室アレンジの際クッションが沈み込む機構を採用(図15)。本機構を採用した事で座り心地と競争力のある荷室空間の両立が可能となった。2列目シートも倒すことで使い勝手の良い広大な荷室空間となる(図16)。

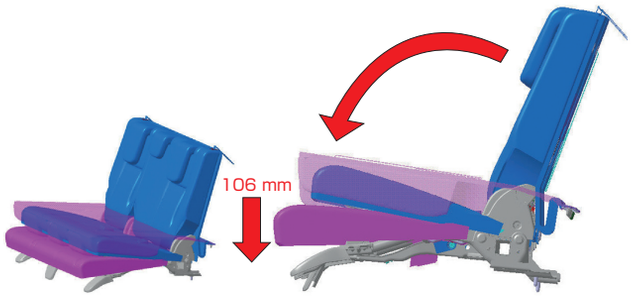


図 15　フォールドフラット機構

図 16　ASCENT 荷室空間

3.2　乗降性

3列目シートへの乗降を安全且つスムーズに行えるよう、2列目シートのロングスライド化とシート／トリム形状のミニマム化により、大人が無理なく乗降可能なクラス最大級の通過スペースを実現(図17、18)。結果、チャイルドシートを取り付けたままでも3列目シートへの乗降を可能にした(図19)。また、広く平らなステップを設定し、子供も安全に乗降できるよう配慮した(図17)。

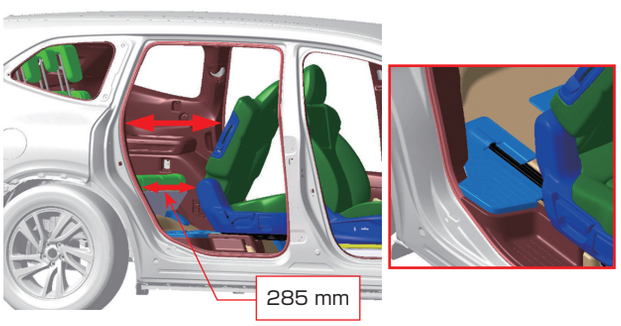


図 17　通過スペース

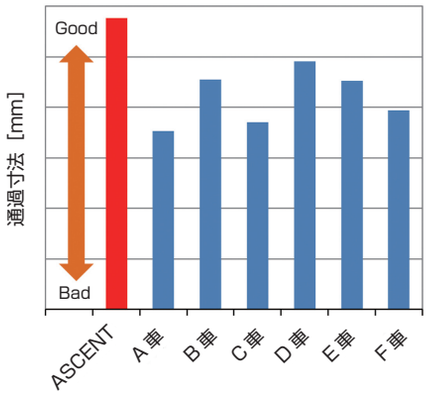


図 18　通過スペースの比較

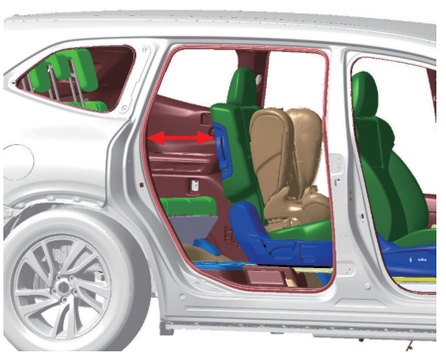


図 19　チャイルドシート搭載時通過スペース

シート操作は『直観的でスムーズ且つ安全』を目標に掲げ、ウォークインアレンジは複雑なレバー操作が不要な1アクションとし、直観的な操作を可能とした。また、子供が操作することも考慮し、車外から手が届くシートクッション側と、主に車内から操作するシートバック側のどちらのレバーからも操作可能とした。フォールドフラットアレンジは操作を2アクションとすることで、不意にシートバックが倒れ挟まれないよう安全に配慮した(図20)。

動きのスムーズさでは、引っ掛かり感を低減した適度な操作感と作動音に配慮し、質感の向上を実現した。

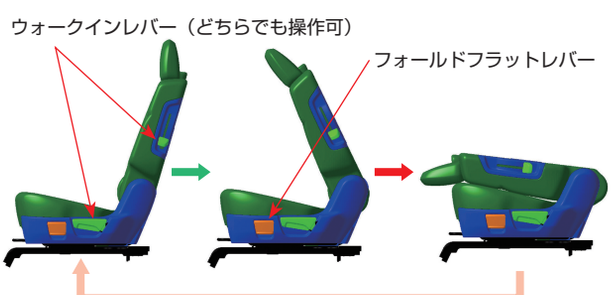


図 20　操作レバー配置

2列目キャプテンシートでは、シート操作をすることなく3列目シートにアクセスできるよう左右のシート間に十分なスペースを確保した(図21)。

図 21　ウォークスルースペース

さらに3列目シートからの立ち上がり易さに配慮し、SUBARU初採用のアシストグリップを設定。形状は人間工学に基づき乗降のどちらからも掴みやすい形状とし、バッグなども掛けられるよう利便性にも配慮した（図22）。

図 22　アシストグリップ

3.3　安全性

3.3.1　乗員保護性能

ASCENTは特に3列目の衝突安全性にこだわった。実は情報公開などの衝突安全評価項目には3列目の評価が無い。法規に基づく評価だけでなく、後ろから衝突された時に乗員が受ける傷害値基準を当社独自に設け、車体の衝撃吸収性やシートバックの強度アップに取組んだ。シートバック強度においては先代車両（TRIBECA）比約80%アップを達成した（図23、24）。

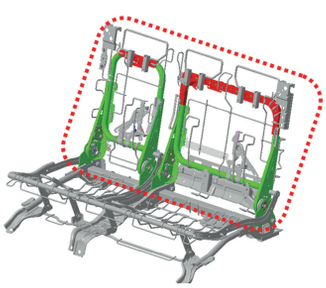


図 23　3列目シート骨格

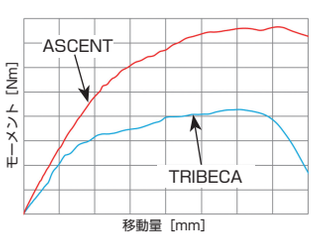


図 24　シートバック強度比較

3.3.2　チャイルドシート

子育てファミリーに配慮しチャイルドシート搭載性にもこだわった。8人乗り車の2列目には3つ同時搭載※1も可能とし、搭載性に優れるISOFIXロアアンカレッジを中央席にも設定。さらに3列目シートにも設定した。後部各座席にテザーアンカレッジを設け、8人乗り車では最大5つのチャイルドシートを同時搭載可能とした。ロアアンカレッジには当社独自基準を設け、従来車に比べチャイルドシートの固定を容易にさせつつチャイルドシート非使用時にも違和感なく安心して使って頂けるよう配慮した（図25）。

（※1チャイルドシートの種類によっては3つ同時搭載できない場合がある。）

図 25　ロア／テザーアンカレッジ概要

3.4　見て感じる上質感

LEGACYより取組んだ感覚に訴えかける“見て感じる上質感”を進化させた。シートカバーを構成するパーツを増やすことで形状デザインの自由度を上げ、広さ感とSUVらしい力強さを表現すると共に、仕立ての良さを感じる上質感と包まれ感を融合した（図26）。

図 26　シートデザイン

1列目シート下部に、2列目乗員の足元を照らすフットライトを採用。アンビエント照明と共に乗員を包み込み、おもてなしを演出した(図27)。

図 27　フットライト

4.　あとがき

今回全ての乗員が安心して快適に過ごせるシートを実現させるため、SUBARU初採用となるアイテムを多数取り込んだ開発に挑戦した結果、お客様に選んでいただける魅力ある商品を実現できた。本開発を通じて得たノウハウを今後の車種に活かしさらなる魅力ある商品の開発に取り組んで行きたい。

最後に多大なご協力をいただいたシートサプライヤ、関連部署の方々に深く感謝申し上げます。

【著　者】

南雲　健二

朝倉　孝幸

前田　剛佑

北仲　史門

新型「SUBARU XV」を発表
～2016年度自動車アセスメント「衝突安全性能評価大賞」を受賞～

2017年4月6日

社名変更後初の新型車として、
新型「SUBARU XV」を発表。
「Fun Adventure」をコンセプトに、都会的で洗練されたデザインとSUBARUらしいSUVとしての走破性、そして世界トップクラスの安全性能を兼ね備えたクロスオーバー SUVです。

SUBARU ASCENT 3列目座席乗員後面衝突時の安全性開発

SUBARU ASCENT 3rd Row Seat Occupant Safety Development at Rear Collision

杉　田　能　典[*1]
Yasunori SUGITA

真　塩　泰　徳[*2]
Yasunori MASHIO

篠　塚　直　樹[*2]
Naoki SHINOZUKA

鎌　田　義　弘[*1]
Yoshihiro KAMATA

渡　森　孝　有[*1]
Takatomo WATAMORI

抄　録

米国での交通死亡事故調査から、被害事故のうち『後突』による交通死亡事故件数は「対向車衝突」に次いで多い事故ケースに挙げられる。

これらの背景を踏まえ、3列目シートを持つ新たなSUV開発において、その乗員を後突被害から保護することは、ユーザーに商品を提供する上で重要な項目と捉え、開発に取り組んだ。

一方で、従来3列シートを持つようなSUVでは、3列目乗員後方の空間は小さく、車体変形とシートバックの後方倒れにより、特に乗員頭部の生存空間を確保することは厳しい状況にあった。

後突時の乗員保護空間の確保量を定め、後廻りの諸元、フレーム構造の検討、シート各部や取付部の強化に注力し、狙いを達成させた。

本稿では、「ASCENT」での取り組みについて、詳細を紹介する。

Abstract

According to the recent analysis report of traffic accidents in the US, “rear-end collision” counted the second most following “head-on collision” among fatal accidents caused by other drivers. With this background, we developed SUBARU ASCENT, a new SUV with third row seats, based on the concept that protecting occupants against rear-end collision should be the key to providing our vehicles to users. On the other hand, it is difficult for existing SUVs with third-row seating to secure space required for survival of passengers and especially for protection of the passengers’-heads from vehicle deformation and/or the seat back falling down in accidents.

We determined the amount of space for protecting passengers from rear-end collision, with a focus on the specifications for the vehicle rear side, studying the frame structure, and strengthening each part of the seats and attachments and we eventually achieved the target. This paper introduces the details of our efforts for “SUBARU ASCENT”.

1.　はじめに

米国での交通死亡事故調査から、「被後突」による死亡事故件数は、「対向車衝突」についで多い事故ケースである（図1）。

この背景から、3列目後席シートを有する車両の3列目乗員は、後席からの後方スペースが少ないことなど商品上の背景からも、他の席より後突被害リスクにさらされると予測される。

新たなSUV商品開発に取り組む際、上記状況を踏まえ、真のユーティリティーヴィークルを造る上で、「3列目後席乗員を後突被害から保護、傷害値低減」する取組みは、クルマの根源価値である「安心と愉しさ」を提供するために欠かせないと考え、対応に取組んできた。本稿ではその取り組みを紹介する。

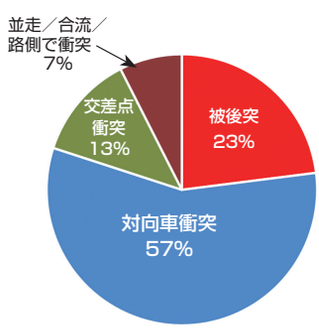


図1　米国2016年FARS　NHTSA交通死亡事故調査
（被害死亡事故の内訳資料より）

＊1 車両研究実験第2部
＊2 SUBARUテクノ（株）

2.　市場での後突事故分析と開発目標の設定

2.1　事故分析

米国市場で起きた後突事故データからその被害は、約9割が被後突車両の相対速度80 km/h以下のエネルギー被災である(図2)。よって、「80 km/h後突オフセット衝突(停車している自車に対し約1.4 tonのデフォーマブルバリアカートを80 km/hで後突する試験)」を評価条件とすることで市場後突事故を包含することが出来ると考え、試験条件を設定した(図3)。

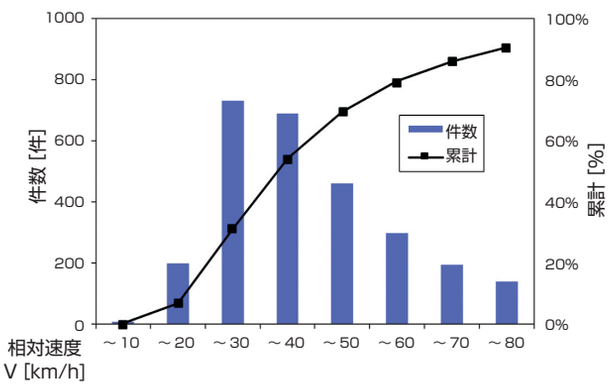


図２　被後突車の相対速度 V [km/h]
(米国法規改訂時の市場事故調査結果 NASS より)

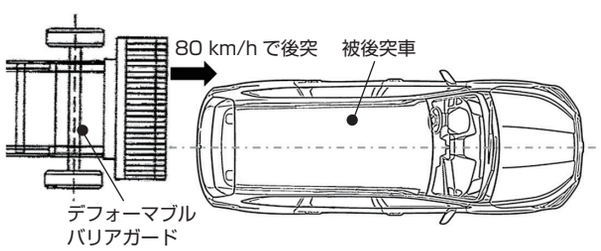


図３　80 km/h 後突オフセット衝突

次に市場の後突事故で乗員が被る傷害分析を行った結果、衝突エネルギーの増大に伴い頸部傷害AIS2(中等症)以上の発生と、その他の重大な傷害が発生する傾向が高いことを把握した(図4)。

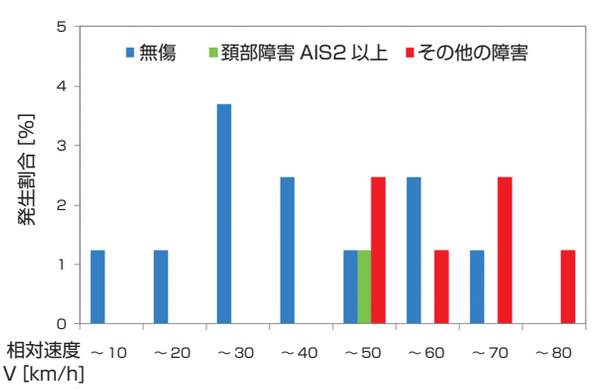


図４　被後突時の傷害部位と傷害レベル
(米国法規改訂時の市場事故調査結果 NASS より)

2.2　開発目標の設定

これらのことから、我々は80 km/h後突オフセット衝突試験時に3列目後席AM50(成人男性体格)乗員の頭部、頸部(鞭打ち症を除く)、胸部が受傷する確率をAIS2発生確率30%以下と目標を定め、技術課題の抽出、対応にあたった。

先ず、上記のような傷害値目標を達成させるためには、乗員の生存空間、及び、拘束性を確保することが必須と考え、以下を目標として設定した(図5)。

Ⅰ.乗員の生存空間確保
Ⅱ.乗員頭部の2次衝突回避のスペース確保
Ⅲ.乗員の拘束性確保

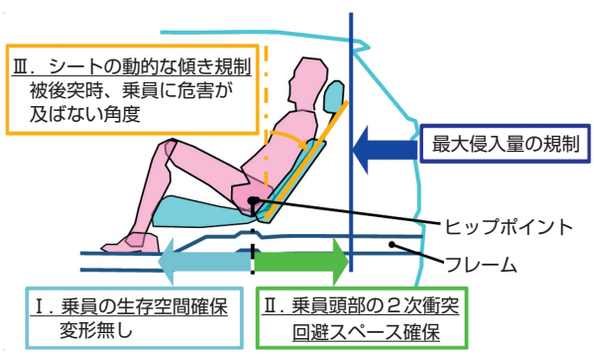


図５　80 km/h 後突オフセット衝突での各要素の目標値

3.　技術課題への取組み

市場事故データの乗員傷害実態分析と市場占有率の高い他車調査結果から、課題は車体が乗員の頭部や背部を2次衝突しない構造とすることであり、そのための技術課題は、以下2点が必要と考え取組んだ。

①車体が乗員に突出しない車体構造とすること。
そのために、限られた後方スペースで、効率的なエネルギー吸収を可能とする車体構造とすること。

②乗員拘束を確実にするシート剛性・強度及び固定強度を確保すること。

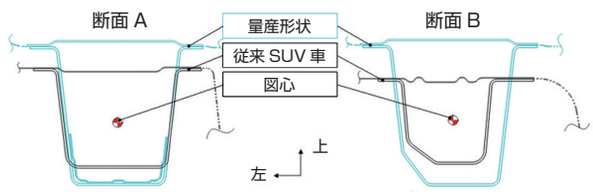
3.1　車体の後面衝突エネルギー吸収構造の開発

後突時、3列目の乗員頭部や背部の車体干渉を避け、車体からの乗員攻撃が生じないストローク量を設定。授受するエネルギーを効率良く安定的に吸収するため、フレーム断面の拡大、センターメンバの追加、バンパービームの強化、及び、それら入力に対する反力支持Up等、CAEを活用して解析、仕様決定を行ってきた。

3.1.1　フレーム断面の拡大、境界条件の活用

フレームで吸収させるエネルギーの増大を図るために、断面の拡大(図6)を検討。フレーム断面拡大によ

り、抗力を従来SUV車の断面に対し、約30%増大させた。



断面比較は図心合わせ、断面位置は下記

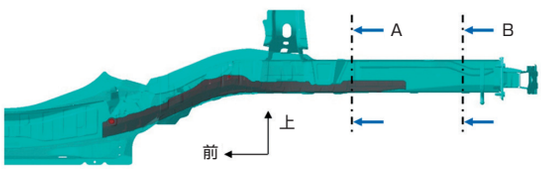


図６　フレーム断面

また、リヤバンパービームへの高強度ホットスタンプ材の採用、センターメンバの追加、Rrスカートの形状最適化により、非衝突側へのエネルギー伝達、せん断場を支持条件として有効活用、などを利用して、安定的に狙ったモードに変形させ効率よくエネルギー吸収をすることが出来る構造としている（図7、8）。

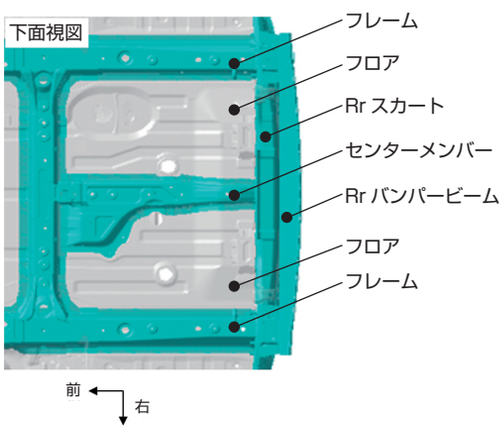


図７　車体後部 主要骨格構造

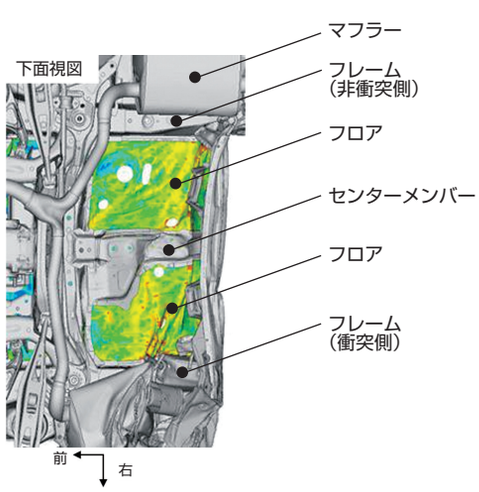


図８　フロアのせん断場の有効活用

3.1.2　フレーム反力支持について

フレームの抗力増加を図る一方、その特性を最大限に引出すために、反力支持構造は重要である。

フレームの図心とキャビン部につながるサイドシル構造の図心の上下オフセット量を出来るだけ少なくするため、フレーム内に適切にリンフォース材を配し、また、フレームからキャビン部をつなぐ間のフレーム形状を出来るだけなだらか形状とした。これらの取組みの積み重ねにより、サイドシル図心に対するフレーム図心のオフセット量は、当初計画に対し約10～25%程度低減させることが出来、充分な反力支持の確保を可能とした（図9）。

結果、CAE解析で、目標とする車体変形ストローク内に抑えることを確認し、仕様Fixとした（図10）。

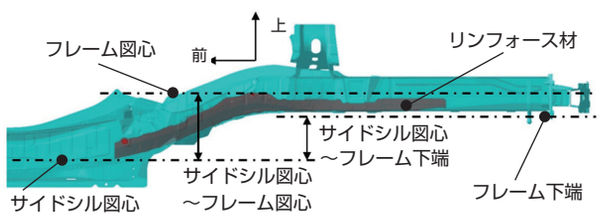


図９　フレーム反力の確保

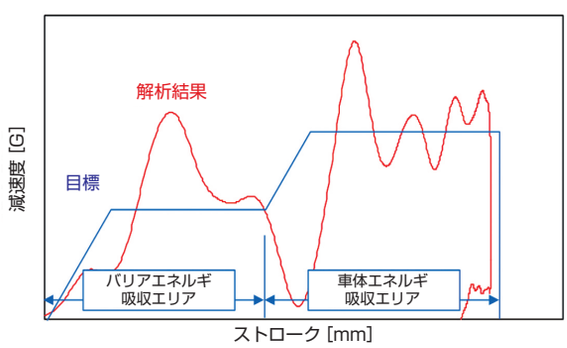


図 10　目標エネルギー吸収特性と解析結果

3.2　シート剛性・強度確保の取組み

限られたストローク内で車体はエネルギーを吸収しなければならない。車体を強化すると、後突時に乗員が受ける衝撃は、最大で25%程度上昇することが、CAE解析やサーベイ試験から明らかになった。

それを踏まえ、CAE解析とスレッドなどの台上評価から、乗員頭部が車体と2次衝突しないシート構造の仕様を決定した。

シートフレームの材料強化、板厚Upと、シートバックヒンジ部の強化を行った。 その結果、シートバックを支持する部位への入力が増大することを把握し、ベースフレームの強化、レッグ部と車体の固定の強化を行った。

これにより、80 km/hオフセット衝突試験時に、充分な生存空間を確保し、AM50乗員でも頭部が車体

と2次衝突が発生しないことが確認出来ている(図11、12)。

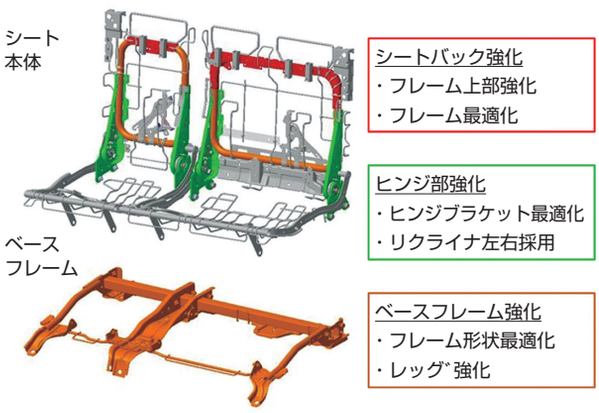


図 11　シートの強化部位

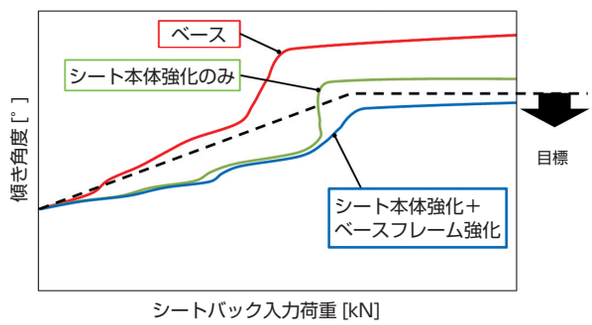


図 12　シート倒れ解析結果

4.　実車検証結果

前項で述べた仕様をASCENTに織込み、実車を用いた80 km/h後突オフセット衝突評価モードでの検証を市場占有率の高い2台の他車を含め、社外機関にて試験を実施した。結果、車体変形は狙いのストローク内に収まり、危害が生じる様な局所変形はなし。シートバックの動的変形や固定部の支持も確実であり、衝突中も乗員頭部がルーフやRrガラスなどに干渉することは無かった(図13、14)。

これにより、目標とした80 km/h後突オフセット衝突評価モードでAM50乗員(成人男性体格)の頭部、頸部(鞭打ち症を除く)、胸部の受傷レベルをAIS2発生確率30%以下に抑えることが出来ている。これらの取組みから、ASCENTにおける後突時の3列目後席乗員保護性能は目論見を達成し、比較他車と比べて一定のリスク回避が出来ていることを確認した(図15)。

図 13　衝突中（80 ms 時）の生存空間の状況

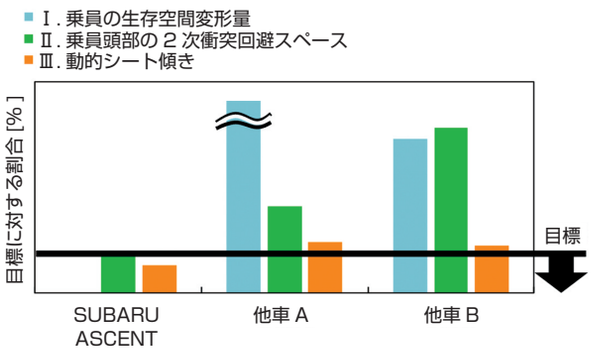


図 14　生存空間確保に向けた各要素の試験結果
（ASCENT および他車 2 社との比較）

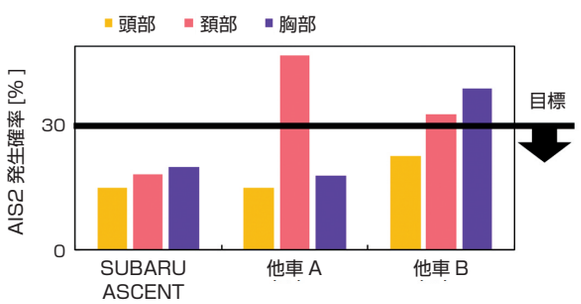


図 15　3列目乗員の傷害値試験結果
（ASCENT および他車 2 社との比較）

5.　まとめ

ASCENT開発で米国の事故実態調査から、特に3列目席を持つ車両の被後突時の3列目乗員の保護、被害軽減は、大変重要と捉え開発に取り組んできた。

特に車体は限られたストローク内でのエネルギー吸収と、特性最大化をする反力支持の設定に注力すると共に、車体を固めたことによる背反である、乗員からのシートバック入力が増大することについては、シート骨格と固定箇所の最適化や強化を行うことで目論見を達成させた。

CAE机上、部品単品試験を重ね、最終的に社外機関にて80 km/h後突オフセット衝突評価モードでの実車確認を行い、目標である3列目後席AM50（成人男性体格）乗員の頭部、頸部（鞭打ち症を除く）、胸部のAIS2傷害発生確率30%以下を確認。市場占有率の高い他銘2車と同指標で比較しても、ASCENTは一定のリスク回避ができた。

今後も交通事故死傷者の低減につとめることで、クルマの根源的価値である「安心と愉しさ」を磨き上げ、お客様の「笑顔をつくる」ことに貢献していく。

参考文献

(1) 米国　FARS（NHTSA交通死亡事故調査データベース）被害死亡事故資料
(2) 米国　NASS（NHTSA市場事故調査結果）資料

【著　者】

杉田　能典

真塩　泰徳

篠塚　直樹

鎌田　義弘

渡森　孝有

SUBARU北米市場専用新型３列SUV「ASCENT（アセント）」を世界初公開

2017年11月29日

米国ロサンゼルスにおいて、北米市場専用新型車「ASCENT（アセント）」を世界初公開。
SUBARUが北米市場でのさらなる成長を追求し、特にファミリーユーザーに向けて新規開発した３列ミッドサイズSUV。
クルマとともに過ごすアクティブライフを満喫するファミリー層のための全く新しいSUBARUのSUV、それがアセントです。

ASCENT用トランスミッション、リヤデファレンシャル開発

Development of New CVT and Rear Differential for ASCENT

伊藤　奨*1 Susumu ITO
山形　進*1 Susumu YAMAGATA
高見成希*1 Masaki TAKAMI
藤榮　淳*1 Atsushi FUJIE
鈴木優一*2 Yuichi SUZUKI
海老沼　剛*3 Tsuyoshi EBINUMA
野村健一*3 Kenichi NOMURA
堀江信也*3 Shinya HORIE

抄　録

2018年に北米で発売されるASCENT向けに高容量縦置きチェーン式CVT「リニアトロニック」およびリヤデファレンシャルを開発した。

お客様が求められる「環境性能」と5,000 lbsトーイングまで考慮した「動力性能」、動的質感に直結する「振動・騒音性能」の向上、「軽量化」に取り組んだ。

本稿ではASCENT向けに開発したCVTおよびリヤデファレンシャルの構造ならびに、性能向上の詳細を報告する。

Abstract

SUBARU CVT Lineartronic (high capacity) and a rear differential were developed for ASCENT, which was released in the North American market in 2018.

Environmental friendliness, driveability with 5,000 lbs towing capacity, NVH performance for dynamic quality, and weight reduction were focused on.

This paper reports details of the new Lineartronic and rear differential structures as well as their performance improvement.

1. まえがき

2009年に量産を開始した高容量リニアトロニック(1)の『環境性能』と『動的質感』を向上するため大幅改良を実施し、2018 年に北米で発売の、SUBARU最重量かつ最大トーイング容量となる新型SUV ASCENTに搭載した。また、リヤデファレンシャル(以下、リヤデフ)は新規ユニットを開発し、ASCENTに求められる車両性能を達成した。本稿ではその開発内容について紹介する。

2. CVT開発の狙い

益々要求が高まる『環境性能』に加え、SUBARU最重量かつ最大のトーイング容量を謳うASCENTに求められる『動的質感』の向上を狙い、レシオカバレージ拡大、油圧損失の低減、撹拌損失の低減、振動・騒音性能向上に取り組んだ。さらに、車両重量増加や5,000 lbsトーイング容量実現による質量の増加を回避するため、CAEの活用、部品構造の見直しによる部品点数削減や小型化、軽量化にも取り組んだ。

また、本開発においては、車両の居住空間に影響を与えないように外観寸法や軸配置は従来型CVTを踏襲し、質量ベースで80% の構成部品を新設計した。主要構造を図1、主断面を図2に示す。

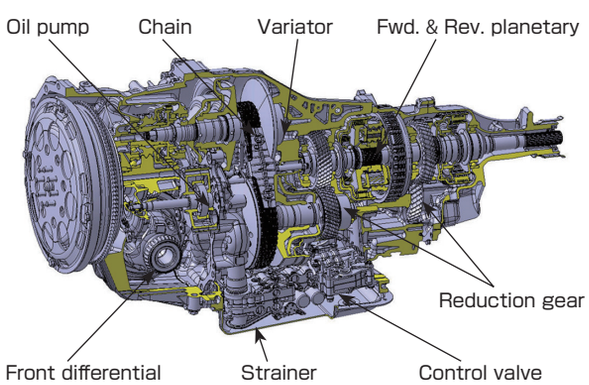


図1　リニアトロニックの主要構造

＊1 トランスミッション性能開発部
＊2 CAE部
＊3 トランスミッション設計部

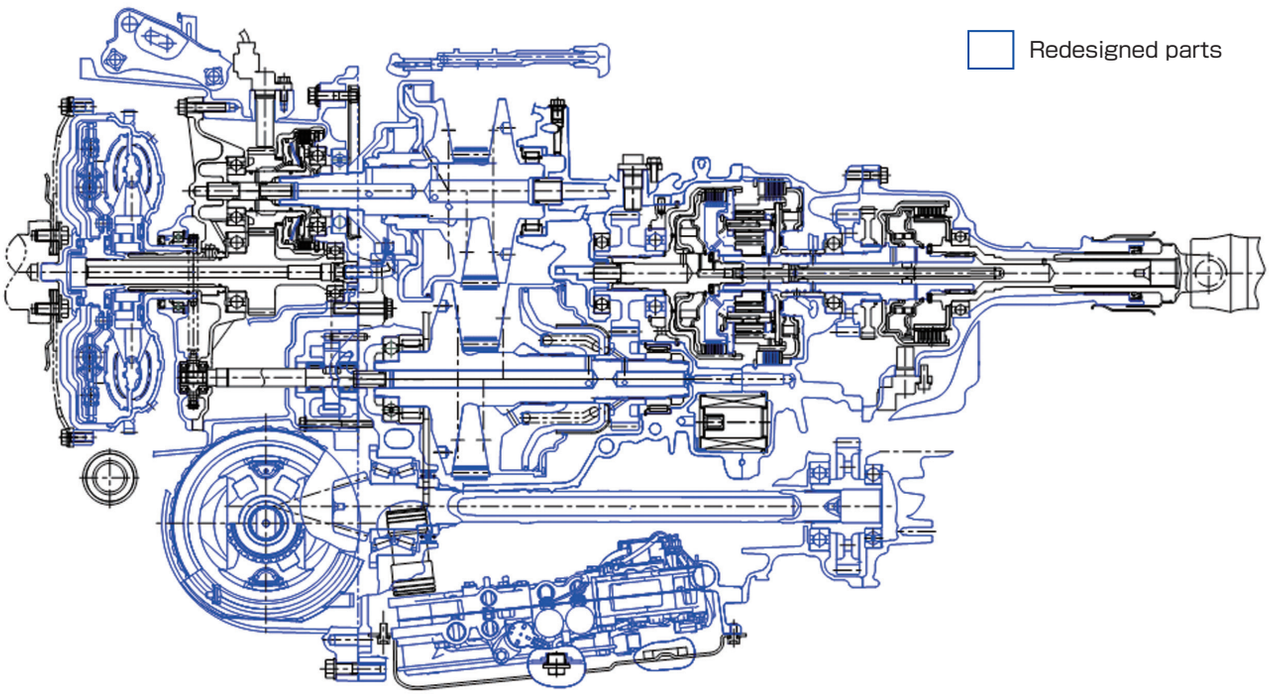


図２　リニアトロニックの主断面図

2.1　環境性能向上

クラストップの燃費性能の実現に貢献するべく、レシオカバレージ拡大による高速巡航時のエンジン低回転化、さらに、油圧損失と撹拌損失の低減によりCVTの損失を従来型比10%低減した（図3、4）。

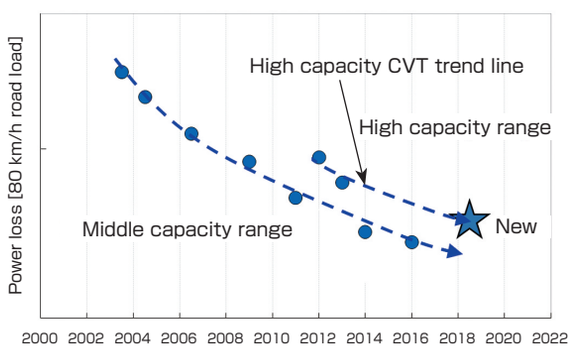


図３　トランスミッション損失仕事率の動向予測

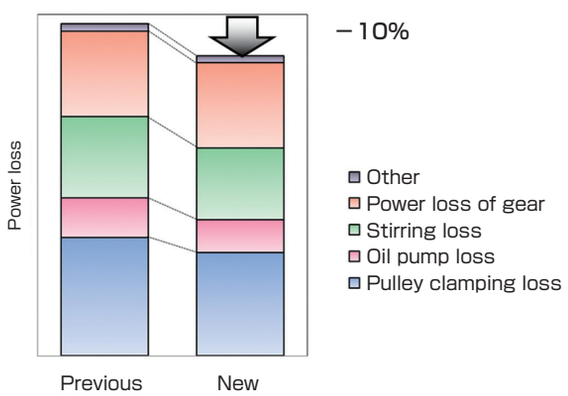


図４　トランスミッション損失仕事率（80 km/h road load）

2.2　動的質感向上

SUBARU最重量車となるASCENTの発進加速性能と登坂性能を確保するため、レシオカバレージ拡大とあわせてギヤ比を新設し、発進加速性能と登坂性能を確保した。

また、CVTの動力伝達部のチェーン起振力低減とギヤ剛性の最適化を行い、チェーン、ギヤの振動・騒音性能向上を図った。

さらに、アクセル開度に応じてスポーティな加速感を提供するオートステップ変速制御、スムーズな走りを愉しめる無段変速制御のいずれかの走行モードを自動的に選択し、走りの愉しさと快適さを両立すると共に、アダプティブ制御の作動範囲を拡大することで、ドライブシーンに適した加速感を提供することを可能とした。

2.3　軽量化

車両重量増加やトーイング容量実現のために必要となる駆動系の強化によって増加した質量の低減に取り組み、5.3%の軽量化を実現し、従来のリニアトロニック比で2.6%の軽量化を達成した（図5）。

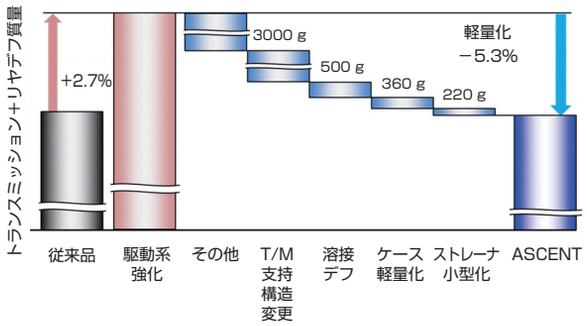


図５　パワートレーン質量

3.　新型CVTの構造と特徴

新型CVTの主要諸元を表１に示す。

表１　主要諸元

Engine max torque		375 Nm
Gear ratios	Ratio coverage	6.91
	Pulley ratio	0.381 ～ 2.628
	Reduction ratio	1.228
	Final ratio	4.444

3.1　レシオカバレージ拡大

芯間不変でプライマリプーリとセカンダリプーリの巻き掛け径を最適化し、ローギヤ側の変速比を拡大することで、レシオカバレージを従来型比7%拡大、高容量CVTのトップランナーとなるレシオカバレージ6.91を確保した(図6、7)。

ローギヤ側の変速比を拡大したことでセカンダリ側への入力トルクが増加するため、セカンダリ側プーリの軸径拡大や形状変更を実施して強度と剛性を確保した。

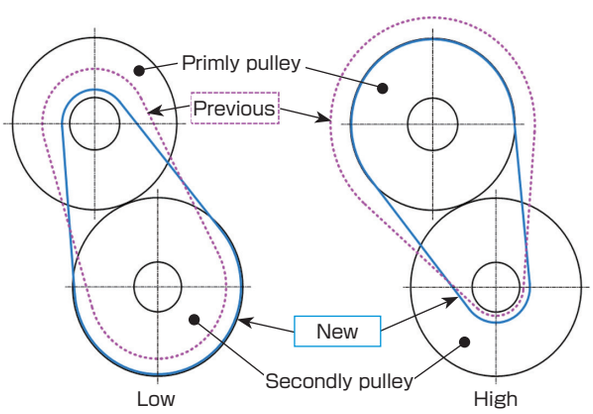


図６　巻き掛け径の新旧比較

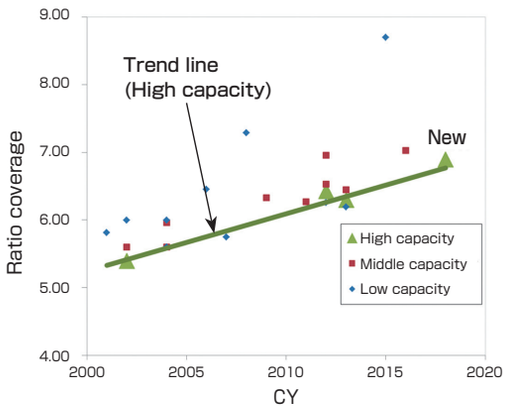


図７　CVT レシオカバレージの動向予測

3.2　油圧システムの刷新

環境性能向上に貢献するため、新型CVTではライン圧とセカンダリ圧の独立制御と、オイルポンプ吐出ポートの2ポート化を採用し、油圧システムの刷新を行った(図8)。

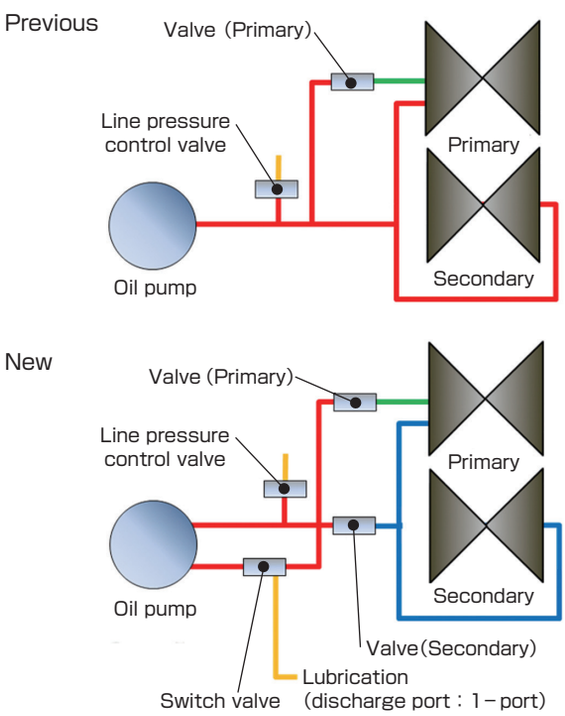


図８　油圧回路概略図

3.2.1　ライン圧とセカンダリ圧の独立制御

従来、ライン圧を使用していたセカンダリ圧を、新型CVTでは独立して制御できる油圧回路を採用した。これにより、従来型CVTではセカンダリ圧以外(プライマリ推力、クラッチ容量等)の要件でライン圧が決まりプーリクランプ力が過多となる状態を解消し、80 km/h road loadのプーリクランプ損失を従来型比13%低減した(図9)。さらにライン圧を低減することによって、オイルポンプ損失を従来型比3%低減した。

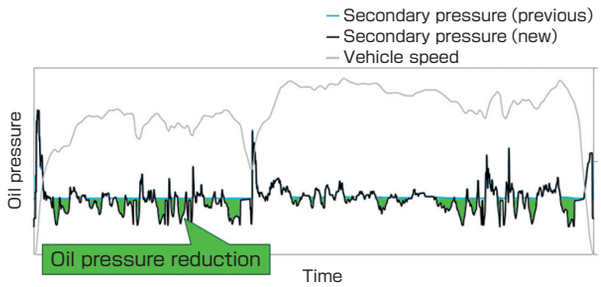


図９　油圧低減効果（US highway モード）

3.2.2　オイルポンプ吐出ポートの２ポート化

従来型CVTのオイルポンプは、全吐出量をライン圧回路に供給しており、必要流量が少ない低負荷走行条件では余剰な仕事が発生していた。新型CVTでは、従来1つであった吐出ポートを2系統で構成した。2系統共に高圧側へ供給する状態から、1系統を低圧な潤滑回路へ吐出してオイルポンプ負荷を軽減する状態へ切り替えることで、潤滑流量を確保しながらオイルポンプの損失を80 km/h road loadで14%、常用域でのオイルポンプ駆動トルクを最大32%低減した（図10）。

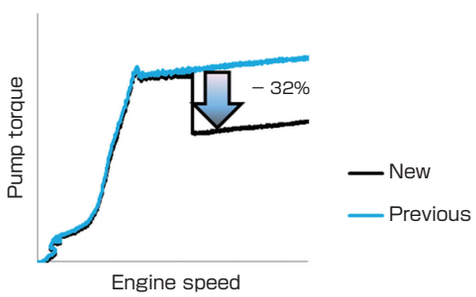


図 10　オイルポンプ駆動トルク低減効果

3.3　撹拌損失低減

従来型CVTで採用しているCVTフルードに対し、低油温～高油温の全域で低粘度化に取り組むと共に、各部撹拌損失低減に取り組み、80 km/h road loadの撹拌損失を従来型比12%低減した（図11）。

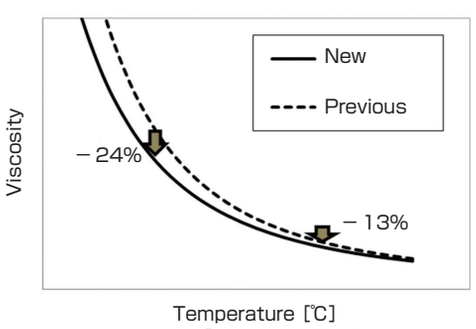


図 11　CVT フルード粘度

3.4　チェーン音の低減

チェーン音低減アイテムとして、リンクプレート配列の最適化を行った。チェーンを構成しているリンクプレートが1種類の場合、起振力の周波数が単一となり大きな起振力となる。そのため、長さの異なる2種類のリンクプレートを組み合わせ、配列にランダム性をもたせることで起振力の周波数を分散させ、起振力のピークレベル低減を図っている。従来は経験則と実機評価で決定していたが、新型CVTの開発ではImpact noiseを低減することに主眼をおきつつModulation noiseにも配慮し、理論上のすべての組み合わせから目標値を達成できる可能性のある約600万通りの組み合わせをシミュレーションで抽出し、最も低騒音となる配列を採用した（図12）。さらに、ケース類の補剛による伝達感度改善や、遮音材による放射音低減とあわせ、従来型比で最大8 dB低減した（図13）。

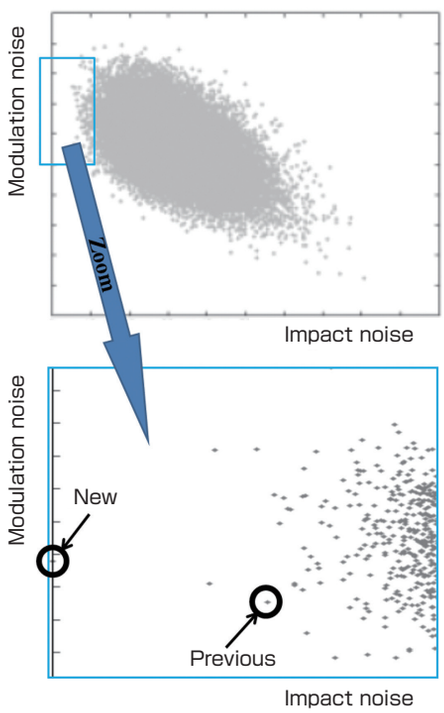


図 12　リンクプレート配列最適化

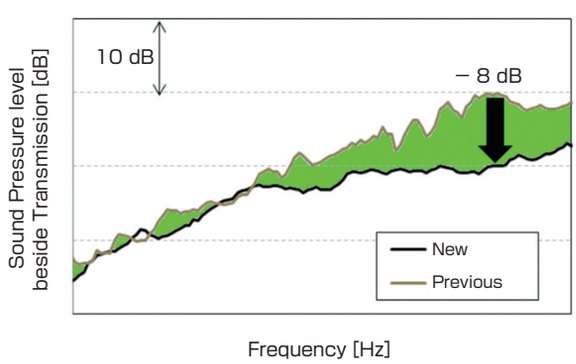


図 13　チェーン音改善結果

3.5　リダクションギヤ音の低減

新型CVTの開発では、ウェブ部の変形によって噛み合いが理想状態から軸方向にずれることに新たに着目し、複数歯の軸方向についての噛み合い剛性の包絡線を「噛み合い剛性変動」として定義し、新たな指標とした(図14)。

ギヤウェブ部のフロント側とリヤ側の剛性バランスを最適化し噛み合い剛性変動を従来型比で24%低減することで、騒音ピークレベルを2 dB低減した(図15、16)。

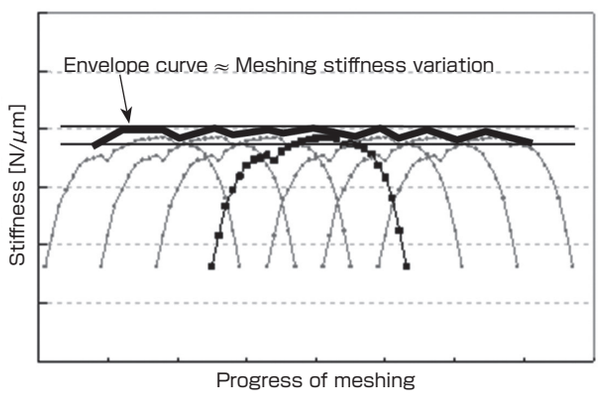


図 14　噛み合い剛性変動（軸方向成分）

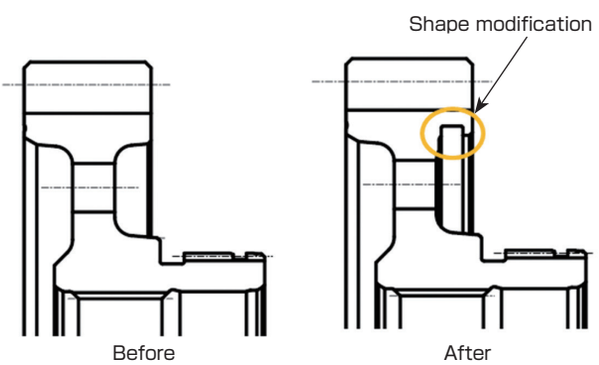


図 15　ギヤウェブ形状

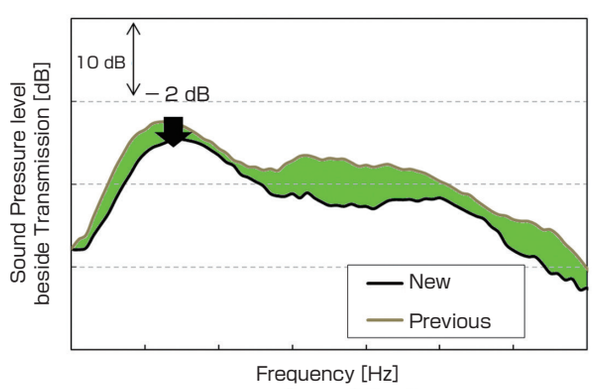


図 16　ギヤ音改善結果

3.6　軽量化

従来の高容量リニアトロニック搭載車両に対してASCENTは車両重量が増加しており、また5,000 lbsのトーイング容量を実現するため、駆動系に入力される荷重が増加した。これに伴い、リニアトロニックの強度・信頼性を確保するため、バリエーター、パーキングロック機構、ケースの強化や、各種BRG類の容量UPなどで2.7%質量が増加した。しかし、トポロジー最適化によるケース類の質量増の抑制、フロントハイポイドギヤへの溶接固定方式の採用(図17)、ストレーナへのプリーツメッシュ構造採用による小型化(図18)、さらにはスバルグローバルプラットフォーム(SGP)の採用に伴うT/M支持構造変更により、5.3%の軽量化を実現し、従来比で2.6%の軽量化を達成した。

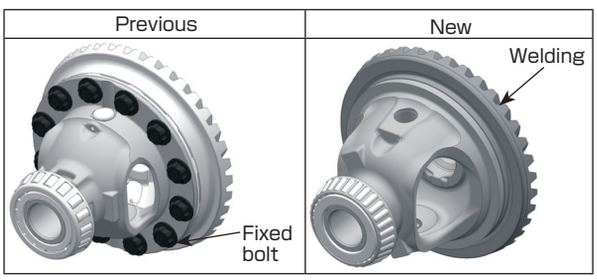


図 17　溶接固定式ハイポイドギヤ

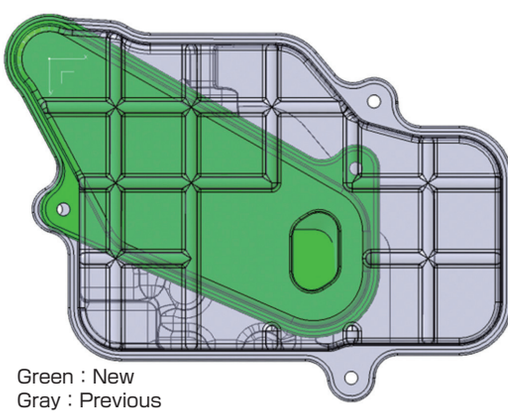


図 18　小型オイルストレーナ

4.　電子制御の特徴と進化

4.1　オートステップ変速制御の採用

通常のCVT変速モードとマニュアルモードに加えオートステップ変速モードを追加することで音と加速の一体感を実現した。アクセル高開度においてアップシフト挙動を入れることで音(エンジン回転数)の高止まりを抑えつつ、変速によりリズム感を与え加速の伸び感を演出した(図19)。

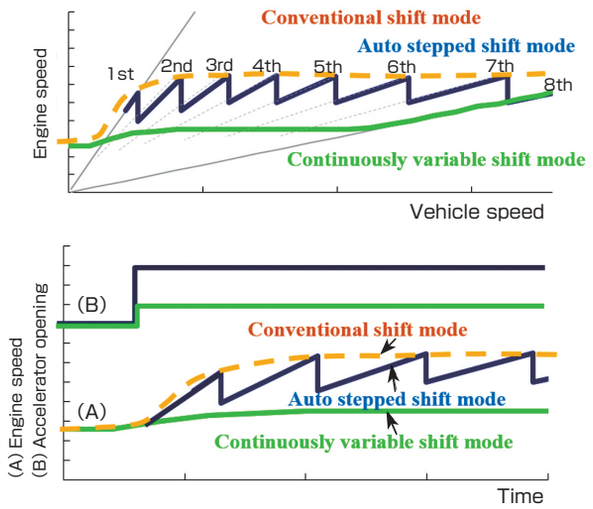


図 19　変速制御

4.2　アダプティブ制御の作動範囲拡大

主にスポーツ走行をアシストするために、急旋回、急減速からの再加速時に加速応答性を向上するアダプティブ制御について作動範囲を拡大した。これまでのスポーツ走行に限定した作動領域から、通常走行でも必要に応じて作動する制御に変更し、ドライブシーンに適した加速感を提供することを可能とした。

5.　新型リヤデフの構造と特徴

SUBARUの既存リヤデフは、ハイポイドギヤ径φ152、φ160、φ180で構成されている。新型リヤデフは、ASCENTの車両重量とエンジントルクに適応させるため、ハイポイドギヤ径をφ167として新設定した。また、損失低減に取り組み、ASCENTに求められる燃費性能の向上にも貢献した。同時に軽量化にも取り組み、従来のφ160サイズと同等の質量に抑えた。以下、主要構造（図20）、主断面（図21）を示す。

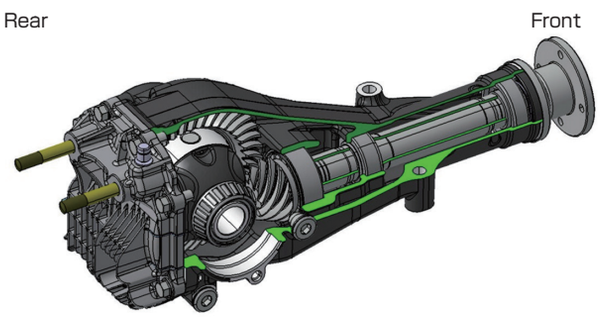


図 20　リヤデフの主要構造

5.1　燃費性能の向上

燃費性能向上のため、従来のφ160サイズに対して、ハイポイドギヤはギヤ径アップに伴うオフセット率縮小により伝達損失を低減した。ピニオンベアリングで

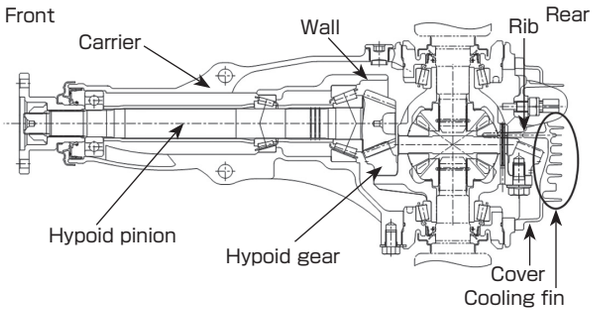


図 21　リヤデフの主断面

はクラウニングの適正化、ころ数の削減により、低フリクション化し作動損失を低減した。さらに低粘度オイルを採用すると共に、背反となる潤滑性能を確保し、油面を下げることで攪拌抵抗も低減した。これらの結果として、従来のφ160サイズに対して、80 km/h road loadでのリヤデフ単体の損失仕事率を37%低減した。

5.2　潤滑の最適化

リヤデフ攪拌損失低減と内部潤滑の両立を図るため、粒子法解析を用いた検討を実施した。キャリア内部に壁を設置することにより、前方のオイルがハイポイドピニオンの歯部に流入することなくオイル溜めに戻るようにした。それにより、攪拌損失を低減させると共に、潤滑のために必要なハイポイドギヤ掻き揚げ油量を確保した（図22）。同時に、カバーへのリブ追加により、ハイポイドギヤ部へ流入する油量を減らし、攪拌損失低減にも寄与させた（図23、24）。

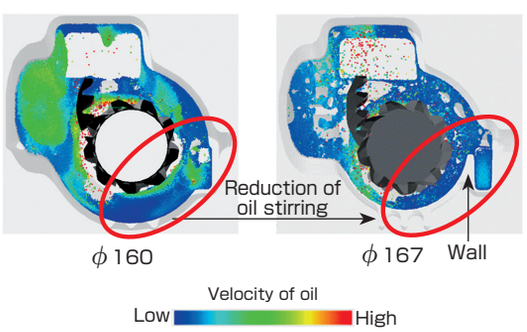


図 22　キャリア壁追加による効果

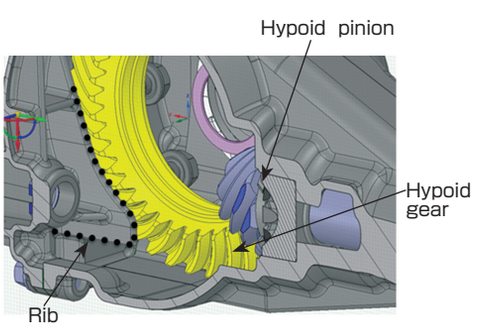


図 23　攪拌損失低減用リブ

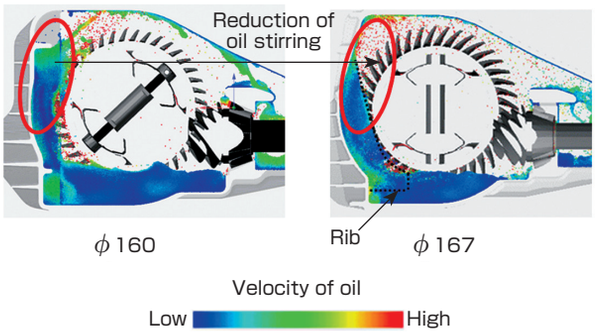


図 24　リブ追加による効果

5.3　軽量化

軽量化の取り組みとしては、リヤデフ全体質量の39%を占めるキャリア及びカバーに対し、基本肉厚を薄肉化することで軽量化を図った。従来のφ160サイズに対して、キャリアでは最大10%、カバーでは最大40%の薄肉化を行った。背反となる強度、剛性の低下を補うため、CAE解析を用いた各部補剛の最適化を行い、強度信頼性と振騒性能を両立させた。結果、従来のφ160サイズに対し、キャリア及びカバーで3.3%の質量を低減した。

5.4　冷却性能の向上

SUBARU最大となる5,000 lbsトーイング容量を実現するため、冷却フィンをキャリア下部及びカバー後部に設け、放熱性能を向上した。

6.　まとめ

新型高容量リニアトロニックでは、質量ベースで80% 以上の構成要素を新設計し、本稿で述べたレシオカバレージ拡大、油圧システムの刷新、撹拌損失の低減により、80 km/h road loadでのCVT損失を10%低減し、ASCENTの環境性能の向上に貢献した。また、チェーン音、ギヤ音に代表される振動・騒音性能の改善、電子制御の進化によるドライバビリティの改善により、動的質感の向上に貢献した。加えて、これらの性能を従来型のCVT比で2.6%の軽量化と両立させた。

リヤデフでは、車両重量対応や5,000 lbsのトーイング容量を実現するため新規ユニットを開発し、φ160サイズと比較してサイズアップしながらも質量を低減した。さらに伝達損失低減、作動損失低減、攪拌損失低減により、80km/h road loadでの損失を37%低減し、環境性能の向上に貢献した。

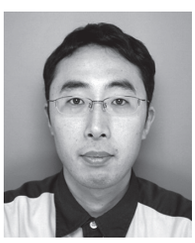
今後もSUBARU車をお客様に選んでいただけるよう、リニアトロニック、リヤデフを進化させ続け、SUBARUを支える駆動系を実現していく。

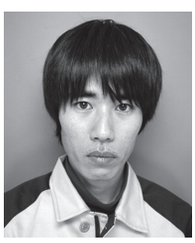
参考文献

(1) 江里口　磨ほか：乗用車用チェーン式縦置きCVTの開発，動力伝達系の最新技術2009－環境と快適性を両立させる次世代駆動系－，No.03-09, P.32-36

(2) 千田　博之：新型中容量チェーン式CVTの開発，2017年秋季大会学術講演会公演予稿集，No.166-271, P1459-1463

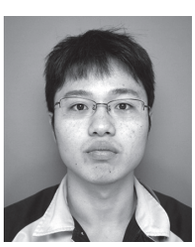
【著　者】


伊藤　　奨


山形　　進

高見　成希

藤榮　　淳


鈴木　優一

海老沼　剛

野村 健一

堀江　信也

アクティブベントホール付き 助手席エアバッグモジュールの開発

Development of Passenger Airbag Module with Active Vent Hole

山 根 和 也*1　　益 子 功 一*2
Kazuya YAMANE　　Koichi MASHIKO

抄 録

北米市場向け新型3列シートSUV ASCENTにおいて、衝突安全性能のさらなるレベルアップのため助手席エアバッグモジュールにSUBARUとして初めて可変ベントホール構造を採用した。

本稿では、北米衝突安全性能トップクラス獲得に寄与するアクティブベントホール構造の部品構成、効果について説明する。

Abstract

Active vent hole was adopted for the passenger airbag module equipped to ASCENT, the new three-row SUV intended for the US market. SUBARU uses airbag module with active vent hole for the first time to improve crash safety performance.

This paper describes the structure of the parts and effect of this active vent hole that contributes to the achievement of the top-class crash safety performance in North America.

1. まえがき

市場での交通事故による死傷者数を低減するためには、市場で想定される様々な種類の衝突形態や乗員条件に、より幅広く対応していく事が必要である。また、法規制や第三者評価の基準は、年々複雑化しており、上記と同様に、幅広い条件への対応が必要となっている。

北米向けに新たに発売するASCENTは、多人数乗車のSUVとして家族全員が安心して愉しむことができるクルマを目指した。助手席に着座する様々な乗員の体格／シート位置における、乗員保護性能を高次元で両立する事を目的とし、アクティブベントホール機構を搭載したエアバッグモジュールをSUBARUで初めて採用した。

＊1 電子商品設計部
＊2 車両研究実験第2部

2. 開発の狙い

FMVSS208法規に規定されるベルト装着無しの大柄体格の乗員(Hybrid Ⅲ AM50ダミー)が衝突したケースにおいては、ベルトを使わずにバッグ単体で大きなエネルギーを吸収することが必要となるため、バッグ拘束面の反力を高く設定する必要がある。

一方、耐性の低い小柄な乗員を保護する場合、同じく高い反力のバッグで拘束すると、接触した頭部が急激に減速することにより、頭部や首に与えるダメージが増加してしまう。

そこで従来、助手席エアバッグモジュールでは
(1) インフレータ(ガス発生装置)の出力
(2) ベントホール(排気穴)からのガス排気量
(3) バッグの拘束面外形
の3つのパラメータを用いて、この背反する事象に対して最もバランスのとれた反力設定を導き出すチューニングを実施してきた(**図1**)。

このような従来型助手席エアバッグモジュールの課題として、一度決めた3つのパラメータは固定であるため、乗員／シート位置等によって反力を変化させる

ことができないといった点がある。より高次元で性能を両立させようとした場合、新たな手段が必要である。

本課題を解決するために今回アクティブベントホール機構を初採用した。

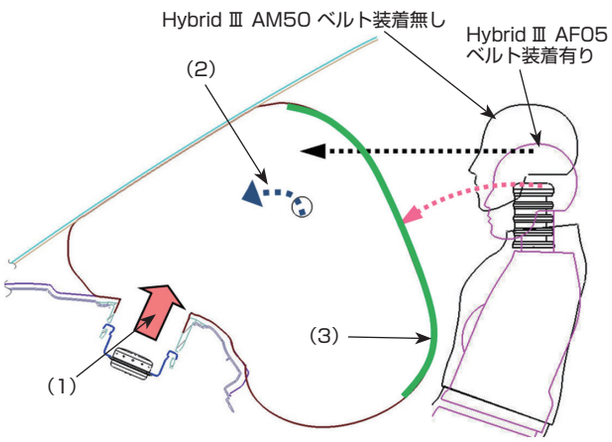


図１　従来の助手席エアバッグ開発イメージ

3.　アクティブベントホール機構

3.1　構造概要

エアバッグモジュールのケース底面にはテザーカッターと呼ばれるアクチュエーターが取り付けられており(図2)、バッグ車両内側面に縫いつけられたベントホールチューブのテザー部(図3)がテザーカッターに設けられた穴を通してくくられている。

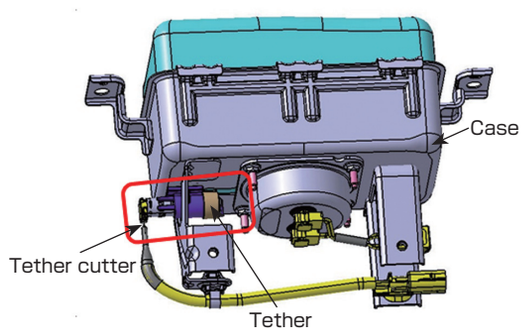


図２　アクティブベントホール機構概要

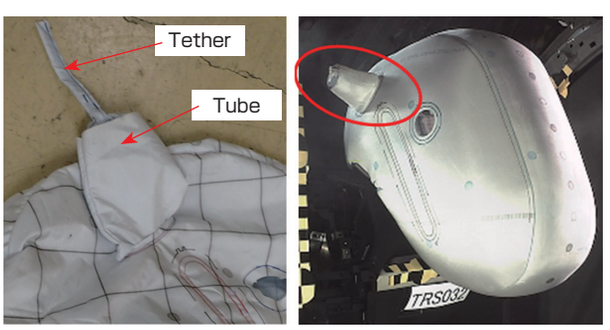


図３　ベントホールチューブ

テザーカッター機構の内部構造は図4に示す通り、テザーを切断するためのカッター、カッターを押し出すためのガスを発生させる火薬、火薬への点火装置であるイニシエータにより構成される。

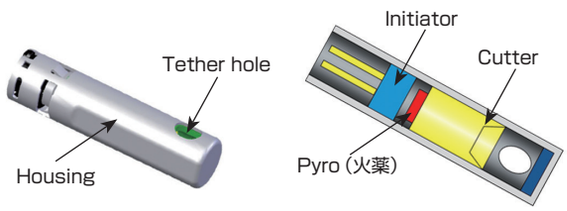


図４　テザーカッター概要

3.2　作動原理

アクティブベントホールの作動概要を図5に示す。

まず、車両からの電流によりイニシエータが発着火し、火薬を燃焼させる。次に発生した燃焼ガスの圧力によりカッター部が押し出され、くくられたテザーを切断。最後に、ケースから解放されたベントホールチューブがバッグの膨張する際の内圧によりバッグ外に押し出され、チューブを通してガスが排出される。

反対に電流を流さない場合、ケースに固定されたテザーにより内側へチューブが引き込まれることで密閉され、通常のベントホールのみからガスが排出される。

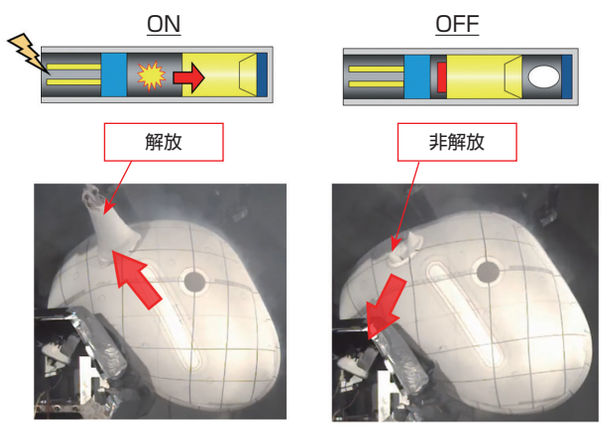


図５　作動原理

以上のことから、解放・非開放によりバッグ反力を変化させる事に加え、時間での制御も可能となり、これまでよりも様々な条件下において最適なバッグ反力を得る事ができるようになった。

具体的に電流を流すタイミングの制御に関するシステムブロック図を図6にまとめる。

各種センサより情報がインプットされ、エアバッグECUにより条件の組み合わせごとに最適な着火時間を判定し、テザーカッターへ着火信号がアウトプットされる。

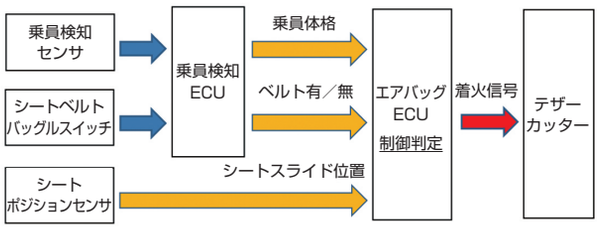


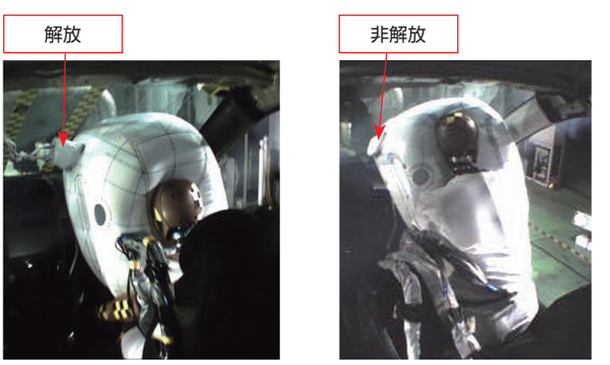
図６　システムブロック図

4.　アクティブベントホールの効果

4.1　体格・拘束条件差におけるバッグ反力最適化

前述したように、大柄体格の乗員がベルト装着無しの場合と小柄な乗員がベルト装着有りの場合の両立は、従来型助手席エアバッグの大きな課題であった。

今回、システムブロック図にあるように、乗員種別、着座状態等の情報を元にアクティブベントホールの作動設定を大柄乗員・ベルト無しにおいては非開放、小柄乗員・ベルト有りにおいては解放とした。実機試験での作動状況を図７に示す。



Hybrid Ⅲ AF05 ベルト装着有り　Hybrid Ⅲ AM50 ベルト装着無し

図７　アクティブベント作動状態

小柄乗員・ベルト有りにおいて、アクティブベントホールを解放しバッグの反力を低減させることで、大柄乗員・ベルト無し条件と両立を行いながら従来に対し47%頭部傷害値の低減を行うことができた（図８）。

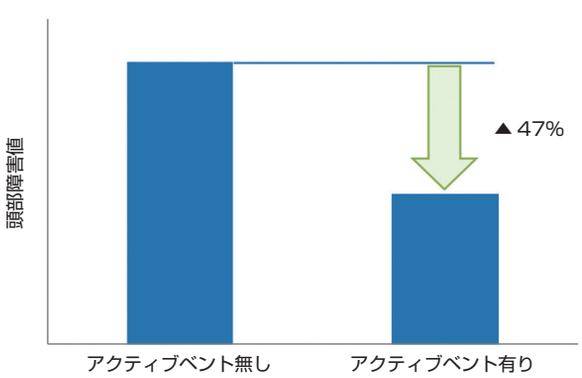
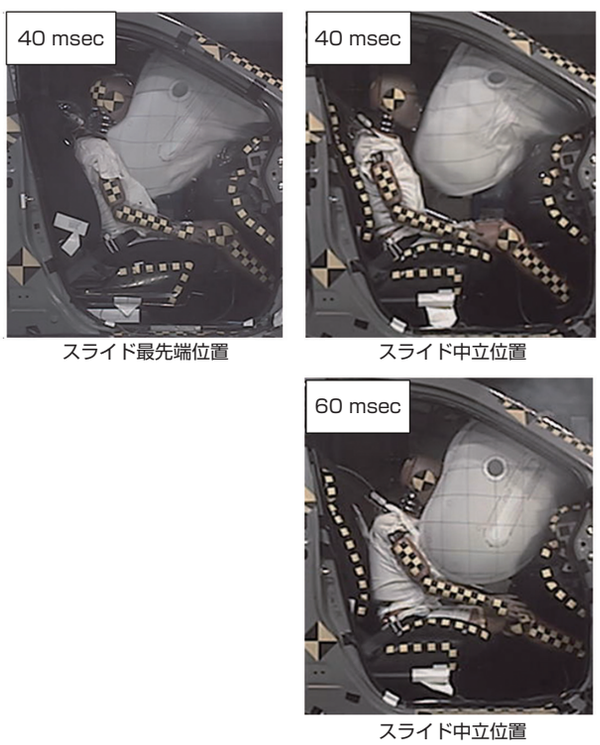


図８　傷害値比較 アクティブベント有無
（小柄乗員・頭部傷害値）

4.2　シートポジション違いにおけるバッグ反力最適化

同じ体格の乗員においても、図９に示すようにシートスライドポジションによってバッグへのコンタクトタイミングが異なることから、最適なバッグ反力特性は変わってくる。

今回ASCENTでは、シートポジションセンサにて乗員の着座位置（シートスライド位置）情報をアクティブベントホール作動パラメータに使用し解放タイミングを決定する事で、様々な条件下において最適なバッグ反力特性を実現した。



スライド最先端位置　スライド中立位置

スライド中立位置

図９　コンタクトタイミング

一例として小柄な乗員がスライド最前端位置に着座する場合と、スライド中立位置に着座する場合の検討結果を図10に示す。

中立位置に着座の際は、アクティブベントホール解放タイミングをTime－A（Long delay）として設定した。

しかし、最前端位置に着座した際は、中立位置に着座した際に対し乗員突入タイミングが早期化する事から、Time－Aのままではバッグ反力が過大となり頭部傷害値は57%悪化する。

そこで、スライド最前端に着座した際はアクティブベントホールの解放タイミングをTime－B（Short delay）に設定し、中立位置に着座の際よりも早期にバッグ内圧を下げる事で傷害値の悪化を抑制することができた。乗員の着座位置に関わらず、高い安全性能を実現する事ができた。

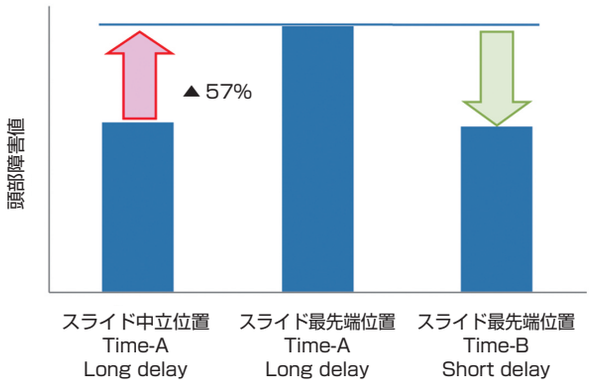


図 10　傷害値比較 着座位置、アクティブベント作動時間違い
（小柄乗員・頭部傷害値）

5.　まとめ

今回、市場での死傷者数低減をめざし、想定される様々な種類の衝突形態や乗員条件に、より幅広く対応していく手段として、SUBARUとして初めてアクティブベントホール構造を採用した。

アクティブベントホール構造を採用することで、乗員体格、着座条件に応じた最適なエアバッグ反力を実現し、これまでよりも幅広い条件下で高い安全性能を実現することができた。

量産化に際し、多大なご協力を頂いたオートリブ株式会社、関係部署の方々に深く感謝する。

本構造は、画像認識システムで乗員の姿勢に応じバッグ反力を切り分けるなど、様々なセンシングの組み合わせによって、将来的により広く市場環境に適応していくことのできる発展性をもったシステムであると考えている。

今後も交通死亡事故ゼロを目指し、全ての乗員に最適な保護性能を提供するエアバッグシステムの開発を継続していく。

【著　者】

山根　和也

益子　功一

「レガシィ アウトバック／ B4」大幅改良モデルを発表
～安全性能、走りと内外装の質感を大幅向上～

2017年9月4日

「レガシィ アウトバック／ B4」大幅改良モデルを10月5日に発売。
SUBARUの考える「機能的価値」「情緒的価値」をお客様に提供し、生活を豊かにするかけがえのないパートナーとなれるよう、安全性能や走行性能はもちろん、内外装のデザインや質感を徹底的に磨き上げたモデルです。
2014年10月の現行モデル発売以来、すべての乗員が安全で快適に、愉しく移動できるクルマとしての進化を続けてきました。

新型水平対向直噴 2.4L ターボエンジンの開発

Development of New 2.4-Liter Horizontally-Opposed Turbocharged Direct-Injection Engine

仙石 哲考[*1] Tetsutaka SENGOKU
永洞 真康[*2] Masayasu NAGADO
坂本 繁[*2] Shigeru SAKAMOTO
尾上 雅夫[*3] Masao ONOUE
森 崇[*4] Takashi MORI
斎藤 操希[*4] Misaki SAITO
坂田 紀彦[*5] Norihiko SAKATA

抄 録

新型“ASCENT”において『安心と愉しさ』を具現化すべく、新型水平対向直噴2.4Lターボエンジン(FA24)を開発した。熱効率向上により、動力性能及び環境性能を両立させ、動的質感の向上と軽量化も実現した。また、約40%の部品に対してFA20との共用化を図った。

Abstract

A new 2.4-liter horizontally-opposed turbocharged direct-injection engine (FA24) has been developed to embody the “Enjoyment and Peace of Mind” in the new “ASCENT”. This engine's dynamic performance and environmental performance are balanced through heat efficiency improvement. The engine is also improved in dynamic quality and weight reduction. Approximately 40% of the engine parts are common with FA20.

1. まえがき

SUBARUの水平対向(ボクサー)エンジンは、シンメトリカルAWD(All Wheel Drive)と融合したユニットとして認知されてきた。2012年には、動力性能と環境性能の両立を実現したFA20を世に送り出した。今回報告するエンジンは子育てファミリー層にも安心と愉しさを提供することを目的に新型“ASCENT”向けに新開発したものである。FA20をベースとして、ボア径を拡大することで排気量を2.4Lとし、環境性能、動力性能、NV、軽量化をそれぞれ高次元でバランスさせ、『安心と愉しさ』を具現化したものである。

本報告では、環境性能、動力性能、動的質感など諸性能に対する達成手段と北米法規制対応の取組みについて報告する。

＊1 エンジン開発推進PGM
＊2 エンジン設計部
＊3 エンジン制御開発部
＊4 エンジン性能開発部
＊5 電子技術部

2. 2.4L直噴ターボ 水平対向エンジン

2.1 開発の狙い

近年、ミッドサイズSUVに搭載する主要パワーユニットに対して、動力性能に加え環境性能に対する要求が高まっている。この二律背反の要求を両立させるために、FA20に対して排気量拡大と燃焼改善などにより、カテゴリートップクラスの燃費と実用域における十分な動力性能をレギュラーガソリンで両立させるとともに、車両の加速と音の一体感を狙いとして開発した。

2.2 エンジンコンセプト

今回報告するエンジンの外観を**図1**に、主要諸元を**表1**に示す。他車両との互換性を持たせるため、エンジン外形寸法はFA20、FB20/25から不変とした。

実用域における動力性能と環境性能をレギュラーガソリンで実現するため、FA20エンジンをベースとしてボア径拡大による排気量UPと共に燃焼設計から見直しを行い、燃焼改善などによりノッキング限界やEGR限界の向上を図った。また、約40%の部品の共用化を図りながら、FA20に対し約4.6 kgの軽量化と車室内の静粛性の両立を図った。FA20に対する変更目的と各システム毎の主要変更点を**表2**に示す。

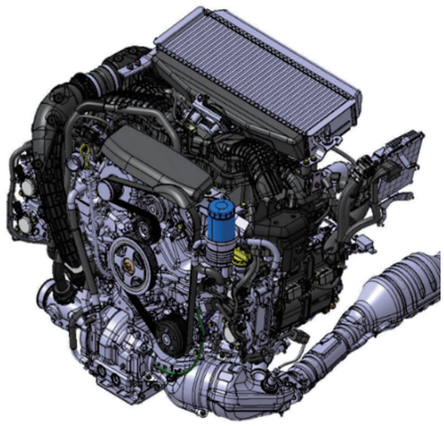


図 1　新型水平対向直噴 2.4L ターボエンジン

表 2　FA20 に対する主要変更点

	2.4L DIT	(参考) 2.0L DIT
エンジン型式	FA24	FA20
配置	水平対向	水平対向
燃料供給方法	筒内噴射	筒内噴射
使用燃料	87AKI	91AKI
気筒数	4 気筒	4 気筒
総排気量	2387 cc	1998 cc
最高出力	260 HP/5600 rpm	250 HP/5600 rpm
最大トルク	277 lb-ft/2000-4800 rpm	258 lb-ft/2000-4800 rpm
排ガス規制対応	Tier3 BIN125/ LEV3 ULEV125	Interim-Tier3 Bin160/LEV2 LEV + Optional LEV3
吸気方式	過給吸気	過給吸気
弁機構	DOHC4 バルブ	DOHC4 バルブ
駆動方式	タイミングチェーン	タイミングチェーン
動弁系デバイス機構	吸気／排気 AVCS	吸気／排気 AVCS
ボア×ストローク	94.0 × 86.0 mm	86.0 × 86.0 mm
圧縮比	10.6	10.6

表 1　エンジン主要諸元

変更目的 (◎：主目的 ○：◎に付随)	燃費向上	出力向上	NV 改善	法規対応	軽量化
本体構造系	◎	○	◎	○	◎
主運動系	◎	○	○		◎
動弁・動弁駆動系	◎	○	◎		◎
潤滑系	◎				◎
冷却系					○
吸気系	◎	◎	◎	◎	◎
排気系	◎			◎	◎
燃料系	○	○	○	◎	
電装系	○	○		◎	◎

次項では、FA20 に対する変更内容の詳細について述べる。

2.2.1　燃焼改善

燃費・出力性能向上のためには、燃焼速度とノッキング限界の改善は非常に有効である。FA24 は FA20 に対してボア径を拡大しているため、火炎伝播距離が長くなる。主燃焼期間を短縮するためには、FA20 以上の火炎伝播速度が必要であり、乱れ強さの強化を狙い燃焼室形状とポート形状を変更した。

《燃焼室形状》

ピストン冠面形状は FA20 で採用していた噴霧ステップを廃止しキャビティを球形状化にするとともに、ペントルーフをピストンに合わせた形状に変更(図 2)することで、圧縮工程中におけるタンブル残存性を高める狙いとした。

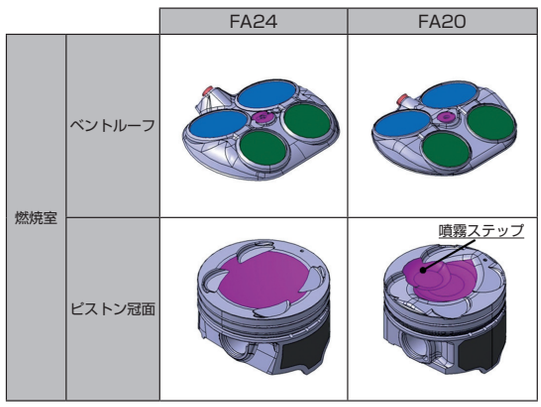


図 2　燃焼室形状

《吸気ポート形状》

シリンダヘッドの吸気ポート側面から見た形状を S 字化することで、筒内流入時にバルブへの流動衝突を避け、排気ペントルーフ面に沿う流れを形成するとともに、吸気ポートの分岐位置を吸気上流側に設定(図 3)することで、筒内に指向性を持った剛体渦(タンブル流)を形成できるようにした(図 4)。

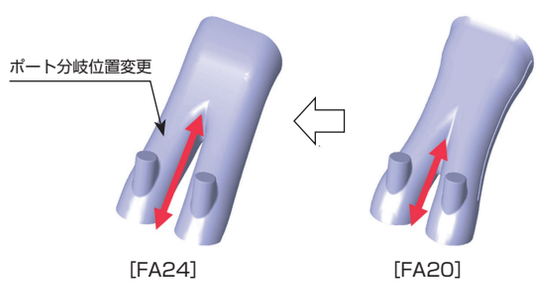


図 3　吸気ポート形状

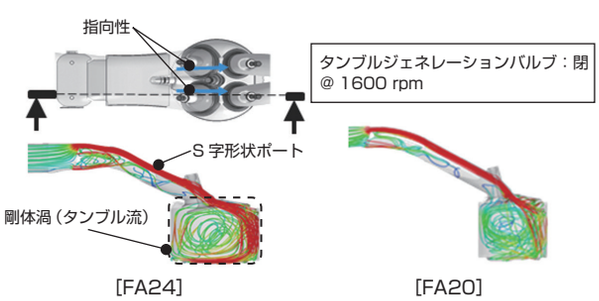


図 4　タンブル流比較

図5にクランク角に対するタンブル比と乱れ強さについて、FA24とFA20の比較を示す。燃焼室と吸気ポートを新設計することで、圧縮工程での筒内ガス流動（タンブルおよび乱れ強さ）の強化を実現した。さらに、FA24ではガス流動強化を活かしたインジェクタ噴霧設計をすることにより、燃料のミキシング促進とバルブとライナへの燃料付着を抑え、PM排出量を低減した。

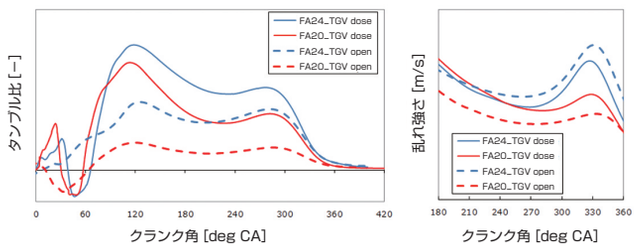


図５　筒内ガス流動（タンブル比・乱れ強さ）

また、ノッキング限界を改善するために、シリンダブロックおよびシリンダヘッドの冷却強化、インタークーラ大型化による吸気冷却性能の向上、高熱伝導ピストンリングの採用などに取り組んだ。以下に、主機冷却と吸気冷却強化について紹介する。

《主機冷却強化》

ノッキング限界向上には燃焼室壁温を下げることが有効である。吸気行程から圧縮行程におけるエンジン各部位からの受熱量分析結果によると、吸入空気はシリンダライナと吸気ポートからの受熱が大部分を占めている。そのため、シリンダライナ周りと吸気バルブシート周りの温度を以下①～③の手法により最大で約10℃低減させた。

①シリンダブロックのボア周り冷却水流量増によるシリンダライナ冷却強化
②シリンダブロックのボア間スリット追加によるシリンダライナ冷却強化
③シリンダヘッドの吸気バルブシート近傍および点火プラグ周りの冷却水流速向上による吸気バルブシート周りの冷却強化

図6にシリンダヘッドのウォータージャケットの水流れ解析結果を示す。

《吸気冷却強化》

吸入空気の温度を下げることによる充填効率とノッキング限界の向上を狙い、空冷インタークーラのコア容積を大型化することで吸気放熱量を約5%改善した。

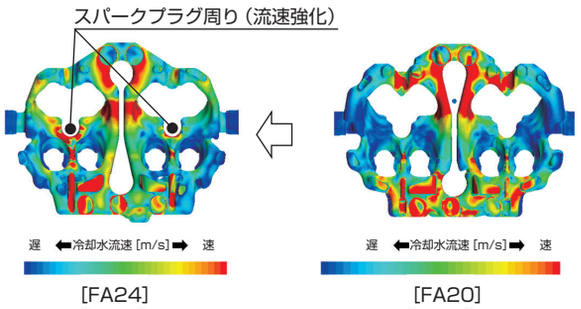


図６　シリンダヘッド ウォータージャケット 水流れ解析結果

2.2.2　燃費性能

燃費改善の取組みとして、ノッキング限界の向上（2.2.1参照）、電制ウエストゲートバルブの活用、外部EGR導入強化などにより、FA24を搭載したASCENTはカテゴリートップクラスの燃費性能を実現した。図7に、競合他銘と比較した車両燃費を示す。

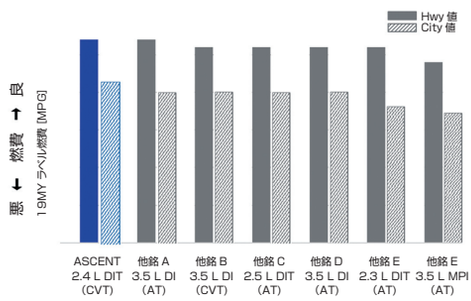


図７　車両燃費

以下に、電制ウエストゲートバルブの活用と外部EGR導入強化について紹介する。

《電制ウエストゲートバルブの活用》

図8にノック運転領域でのウエストゲートバルブ開閉状態の図示燃費率を示す。FA20はメカ式バルブを採用しているため、過給域でのウエストゲートバルブの作動となる。一方、FA24は電制式バルブを採用しているため、実用域でも任意の開度を設定でき、ノック領域でウエストゲートバルブを開けることができる。それにより背圧を下げ、内部EGRを低減させるとともにポンプロスを低減させることで、燃費改善に貢献した。

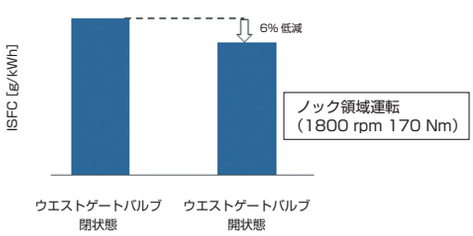


図８　ウエストゲートバルブ開閉での ISFC 比較

《外部EGR導入強化》

FA24は、FA20に対して筒内ガス流動を強化することにより燃焼速度の改善を図り、EGR限界を高めた。また、外部EGR導入強化によるポンプ損失低減効果を狙って高効率EGRクーラコアを採用し、FA20に対して外部EGRガスの冷却効率を平均で約75%向上した(**図9**)。さらに、気筒毎の燃焼変動に起因するフロア振動を抑制するため、インテークマニホールド内への外部EGRガス吐出位置とインテークマニホールド形状を最適化することで、各気筒のEGR率のバラつきを±10%以下に抑えた。**図10**に、#1ポート吸入時の外部EGRガス流れ解析結果を示す。コレクタチャンバ形状を最適化することで、#1・#3側への過剰な流入を抑え、各気筒への分配を改善した。

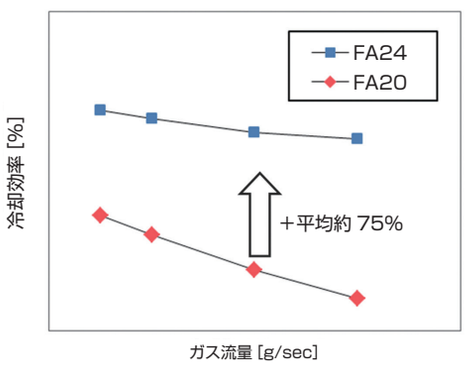


図 9　EGR クーラの冷却効率

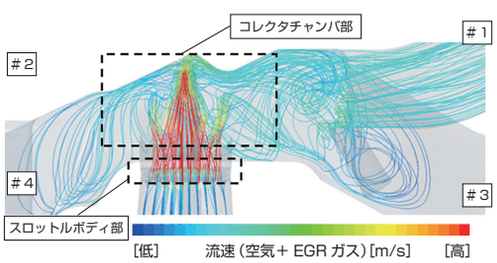


図 10　外部 EGR ガス流れ解析結果

図11にエンジン回転数と発生トルクにおけるEGR率について、FA24とFA20の比較を示す。燃焼改善による筒内ガス流動の強化、主機冷却強化によるノック限界向上、外部EGR冷却強化、EGR分配改善などにより、FA20に対して高EGR率での運転を可能にすることで実用域での燃費性能を向上させた。

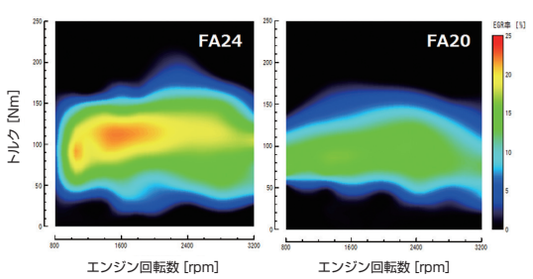


図 11　EGR 率 MAP

2.2.3　出力性能

モデルライフを通してカテゴリー中位以上の動力性能を狙える出力性能(最大トルク375 Nm、最高出力：260 HP)を設定した。**図12**に、トルクカーブを示す。ストレスなく発進・加速できるよう実用域での出力性能を確保するためにFA20に対して低速トルクを向上させ、2000 rpmから4800 rpmまで最大トルクを発揮するトルク特性をレギュラーガソリンで実現した。その結果、競合他銘に対して優れた加速性能を実現した(**図13**)。

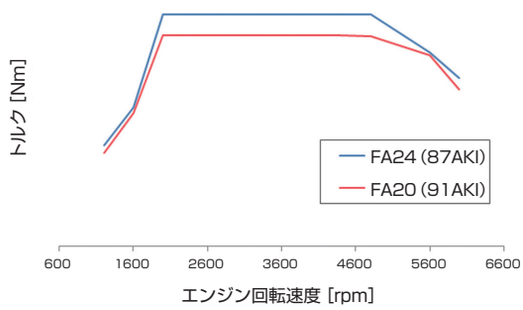


図 12　トルクカーブ

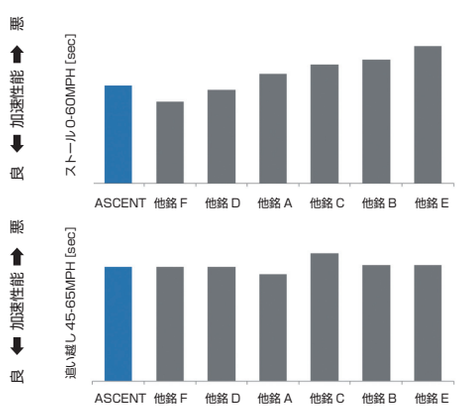


図 13　車両加速性能

2.2.4　NV性能

車内静粛性向上のため、エンジン全体のNV性能向上を図った。特に中高周波域における緩加速時の車内音およびNVの改善取組みとして、以下に振動伝達感度、チェーン音、動弁着座音、高圧燃料系脈動音、ターボ気流音の低減について紹介する。

《振動伝達感度低減》

オイルパンアッパー開口部周辺のクロスリブ形状を変更(**図14**)することで、捩り剛性を約10%向上させた。背反である質量アップを抑制しつつ、パワープラント振動を0.5 dB低減した。

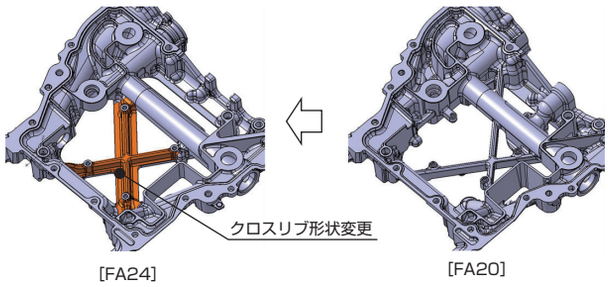


図 14　オイルパンアッパー補剛

《チェーン音低減》

チェーンの噛み合い荷重を抑えるため、チェーンテンショナのバックラッシを見直し、チェーン音の音圧レベルを約25%低減した（図15）。また、テンショナボディをアルミ化することで約49%軽量化した。

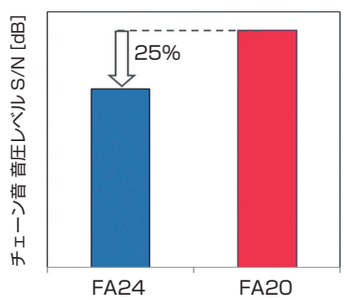


図 15　チェーン音　音圧レベル

《動弁着座音低減》

カムプロフィールの見直しにより、着座速度を約23%低下させることで動弁着座音の起振力を低減した。さらに、ロッカーカバー材質をアルミから樹脂へ置換するとともに締結点を最適化することで、放射伝達音改善と軽量化を両立させた。その結果、動弁着座音を約67%低減（図16）するとともにロッカーカバー重量を約38%低減した。

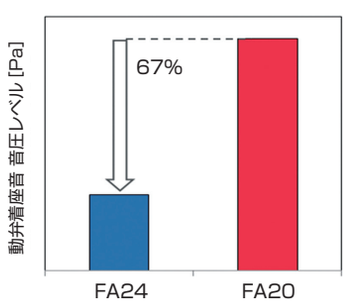


図 16　動弁着座音　音圧レベル

《高圧燃料系脈動音低減》

燃料脈動音低減、軽量化を高レベルでバランスさせるため、燃料配管の材質変更と吸音材容積の拡大（約20%増大）などにより、FA20に対して車外音を約1.5 dB改善した。図17に高圧燃料系の車外音を示す。FA24は他銘群に対して遜色ない高圧燃料系の車外音レベルを達成させながら、システム全体で軽量化との両立を図った。

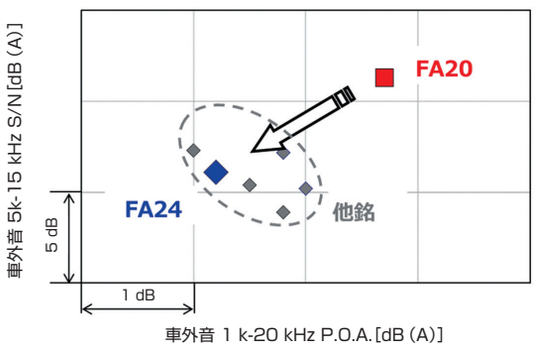


図 17　高圧燃料系車外音

《ターボ気流音低減》

加速時の静粛性向上を目的として、エンジン出力性能と振騒性能をバランスしたターボチャージャを新設することでターボ気流音の起振力を低減した。また、ターボ下流ダクトへの吸音材追加とインタークーラ上流側タンクにアルミ材を適用することで放射音を低減させた。ターボ気流音について、図18にエンジン回転速度と車内音レベルの関係を、図19にエンジントルクと吸入音S/Nの関係を示す。FA20に対して、車内音で約6 dB改善し、吸入音では約7 dB改善した。

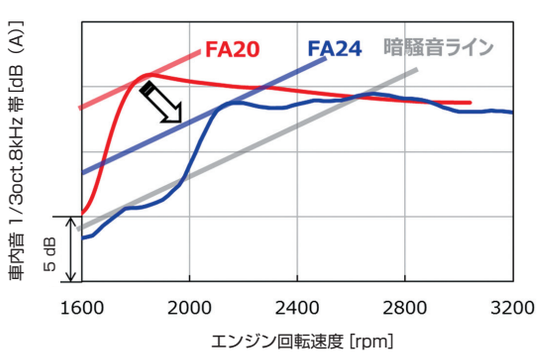


図 18　車内音レベルとエンジン回転速度

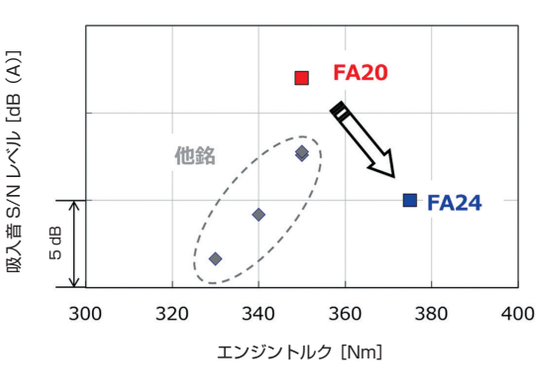


図 19　吸入音 S/N レベルとエンジントルク

2.2.5　法規制対応

FA24では、排気ガスやOBDなど各種法規制に対応した技術を開発した。以下に、一例としてPCVリーク診断強化とパージ流量およびリーク診断強化の取組みについて紹介する。

《PCVリーク診断強化》

図20にPCV回路配管を示す。PCVリーク診断強化に対応するため、従来採用していた新気回路の電気的接続による配管外れ検出を見直し、吸気ダクト接続部に大径クイックコネクタを使用することで燃料システム制御によるコネクタ外れ診断を可能にした。

また、掃気配管についても配管内径を拡大することで、燃料システム制御によるリーク診断を強化した。

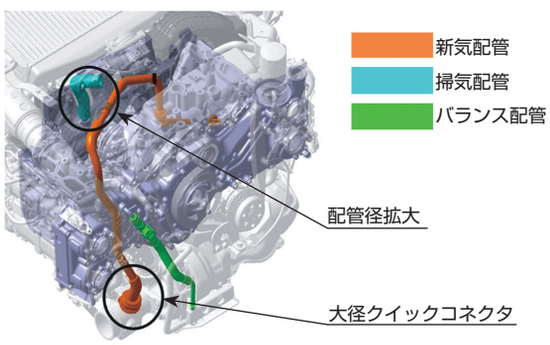


図20　PCV配管

《パージ流量・リーク診断強化》

図21に、ASCENT（FA24）とFORESTER（FA20）のパージ回路の概略を示す。北米LEV Ⅲ/Tier3エバポ規制に適合したパージ流量を確保するため、パージ関連配管径の拡大やパージバルブのシングル化などにより、システム全体の圧損を低減した。また、過給領域でのパージ処理能力を増加させるため、ベンチュリ効果が見込めるエジェクタを回路に組込んだことにより、FORESTERのパージシステムに対してLA4 SHORT COLD/HOT（低地）で約26%流量増加を可能にした。また、エンジンのパージ回路内に圧力センサを設定することでリーク診断精度を向上させた。

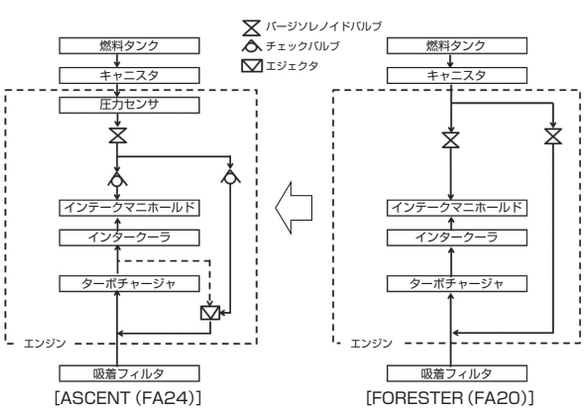


図21　パージ回路概略

2.2.6　軽量化

樹脂化による材料置換や構造の合理化を図ることで、FA20に対して4.6 kgの軽量化を達成した。以下に軽量化の一例を記述する。

《シリンダブロック》

NV性能向上のための補剛をする一方で、基本肉厚薄肉化、ライナ薄肉化、ウォータージャケット浅底化、駄肉除去による仕様最適化を実施し、FA20に対して約7%の軽量化を実現した。

《スカベンジポンプ》

FA20のスカベンジポンプは、エンジン右バンクの吸気カムシャフトリア側で駆動する方式であったが、FA24ではクランクシャフトの前軸で駆動する方式へ変更した（**図22**）。これにより油回路の簡素化やスカベンジポンプの小型化が可能となり、約30%の軽量化を実現した。

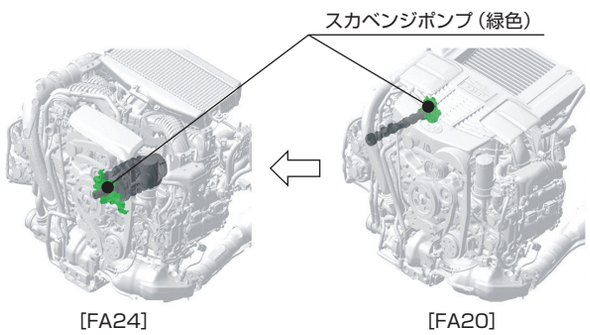


図22　スカベンジポンプ搭載レイアウト

《インテークマニホールド》

図23に、FA24とFA20のインテークマニホールドの部品構成を示す。タンブルジェネレーションバルブのハウジング部の樹脂化とインテークマニホールドを一体構造化することで、約15%の軽量化を実現した。

図23　インテークマニホールド部品構成

3. まとめ

北米市場に新たに投入する3列SUV“ASCENT”に搭載する、新型2.4L直噴ターボエンジンのコンセプトと諸性能について紹介した。新型2.4L直噴ターボエンジンは、筒内流動を強化することによりノック限界の向上を図り、レギュラーガソリン対応としながら従来の2.0L直噴ターボエンジンと同等以上の出力､燃費、排気ガス性能を実現した。

4. 謝辞

本エンジン開発に際して、多大なるご支援、ご協力を頂いた関係各位に深く感謝を申し上げる。

参考文献

(1) 松尾 崇邦ほか：新型2.4L直噴ターボエンジンの基本コンセプトと性能，自動車技術会学術講演会前刷集（2018春季大会）
(2) 尾上雅夫ほか：新型水平対向2.4L直噴ターボエンジンの燃焼設計，自動車技術会学術講演会前刷集（2018春季大会）

【著　者】

仙石　哲考

永洞　真康

坂本　　繁

尾上　雅夫

森　　崇

斎藤　操希

坂田　紀彦

「WRX STI」大幅改良モデルを発表
～新電子制御マルチモードDCCDの搭載により、ハンドリング性能がさらに向上～

2017年5月24日

「WRX STI」大幅改良モデルを2017年6月20日に発売。
圧倒的なスポーツ性能と４ドアセダンの実用性を兼ね備えた個性的なスポーツセダンとして、SUBARUのAWDスポーツパフォーマンスを象徴するモデルです。

新型 ASCENT の車体開発

Body Development for New Model ASCENT

安　田　政　宜*　Masayoshi YASUDA
中　川　修　一*　Syuichi NAKAGAWA
宮　崎　高　志*　Takashi MIYAZAKI
大　津　　隆*　Takashi OTSU

抄　録

ASCENTでは、スバルグローバルプラットフォームをインプレッサに引き続いて採用した。当社で最大サイズの3列シートSUVであるが、安全性能と車体剛性を高め、インプレッサ同様、感性に響く車づくりに取り組み「安心と愉しさ」を追求した。本稿ではASCENTで採用した技術とその概要について紹介する。

Abstract

Following IMPREZA, ASCENT uses the SUBARU Global Platform. ASCENT is the largest SUV in our product lineup, yet having increased safety performance and body rigidity. Just like IMPREZA, ASCENT was created to be emotionally engaged with customers for pursuing “Enjoyment and Peace of Mind”. This article outlines the engineering techniques used for ASCENT.

1.　開発の狙い

スバルグローバルプラットフォームはSUBARUの車両ラインアップすべてを想定し世界最高水準の安全性能と高性能を超えた感性に響く動的質感を目指し開発された。今回、最大級の車両に対する本プラットフォームのポテンシャルを実証すると共に、3列シート車特有の構造を添加し、先代のトライベッカの性能を大幅に上回ると同時に軽量化も実現し、厳しい環境規制に対応することを命題とした。

特に安全性能については世界トップレベルの性能を目標とし、パッケージ上安全確保が困難な3列目の乗員保護も含め、全方位の衝突安全性能を目指した。

また、ハイウェイでの長距離移動が多い北米地域に向けた専用車として、走行ノイズ・振動の低減・乗り心地・危険回避性能においても競合車に比べ高い性能を目指し、ドライバーのみならず乗員全員が快適に移動可能なフラッグシップ車両を開発することを狙いとしている。

2.　骨格構造

2.1　衝突安全

2.1.1　前面衝突

乗員が増え、サイズの拡大したキャビンの重量を効率的に受け止め、後方にあるフロア部の骨格に分散させるため、フロント部にサブフレームを採用した(図1)。荷重伝達経路を増やすことで、安定したエネルギー吸収と変形モードを実現し、あらゆる前面衝突形態において高い安全性を実現させた。

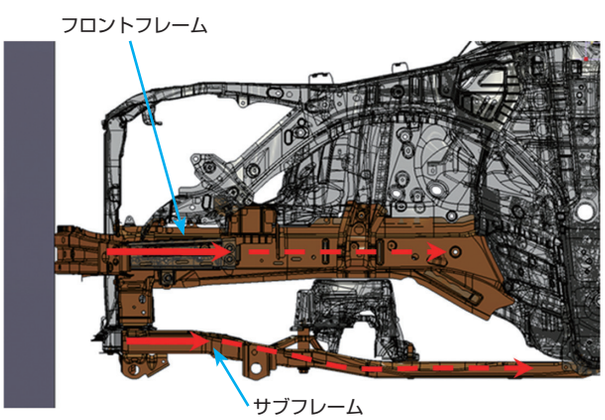


図1　フロントフレーム構造

＊ 車体設計部

2.1.2　後面衝突

様々な衝突形態に対応する、高いロバスト性を持つリヤフロアとするため、リヤバンパービームへ高強度ホットスタンプ材を採用した。車体変形抑制のため、リヤセンターブレースを追加で設定。これらによりオフセット衝突など均一に荷重が入らない場合でも、高強度バンパービームが局部変形をせず、効率よく反対側のフレームやセンターブレースに荷重を伝達し、効率の良いエネルギー吸収を実現している（図2）。

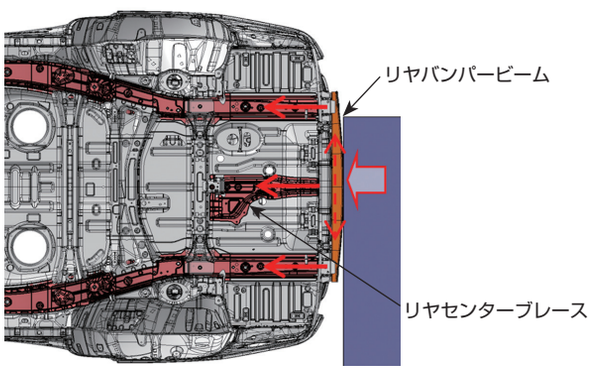


図２　後面衝突時の荷重伝達経路

また、リヤフレーム断面拡大によるエネルギー吸収量の向上、及び、高さ方向のオフセット量の低減によるスムーズな荷重伝達と合わせて、衝突時の車体変形を抑制させている（図3）。

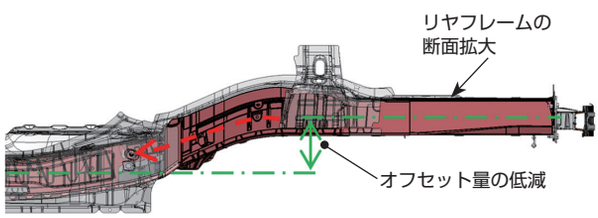


図３　リヤフレームレイアウト

2.1.3　歩行者保護性能

北米地域での法規・情報公開に歩行者保護性能への評価項目は無いが、安心・安全のため、他のSUBARU車同様に歩行者保護の観点を取り込んだ設計とした。軽量化のために採用したアルミ製フードはスチール製フードよりもエネルギー吸収効率は低下するが、フード下に十分な空間（エネルギー吸収スペース）を確保することで性能を満足した。

フードの前廻りでは補強部材やインナーパネルの形状を工夫し変形モードをコントロールしている（図4）。又、フード裏面に設定したインタークーラへの導風ダクトにも、冷却性能に影響しない部位にスリットを設け、衝撃を吸収し傷害値の悪化を防いでいる（図5）。

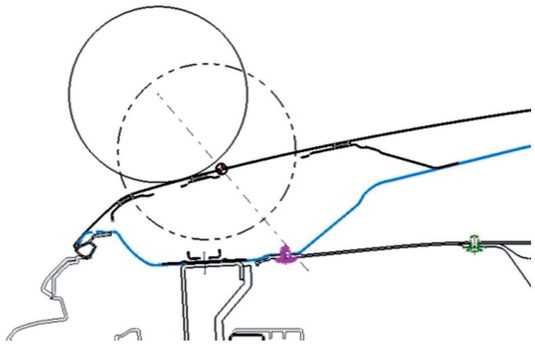


図４　フード先端歩行者保護構造

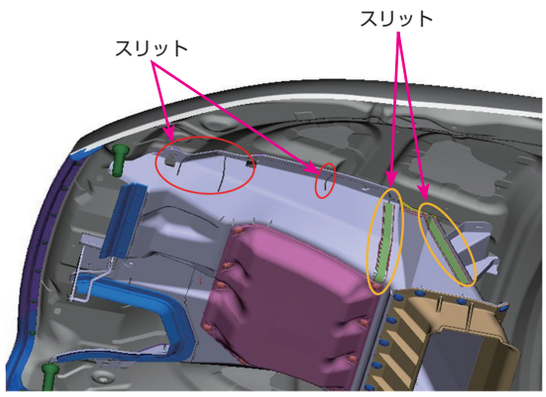


図５　導風ダクト

2.1.4　高張力鋼板の適用

衝突時のキャビン変形を抑え、乗員の生存空間を確保すべく、高張力鋼板を活用し衝突性能向上と軽量化を両立させた。3列目の安全性確保のため、リヤゲート廻りの骨格にも高張力鋼板の適用を拡大。車体としては590 MPa以上の高張力鋼板の使用率を50%以上に高めた（図6、7）。

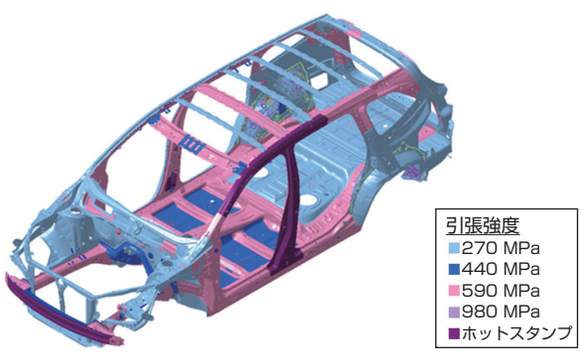


図６　高張力鋼板採用部位

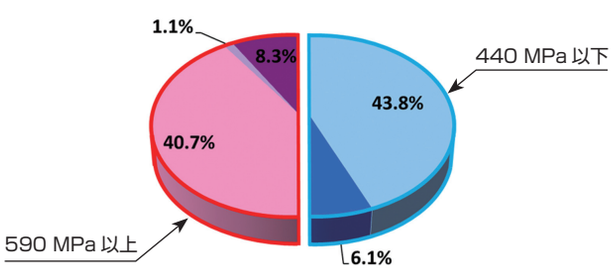


図７　高張力鋼板適用割合

パッチワーク・ホットスタンプ工法[1]を主要骨格であるセンターピラー及びサイドレールに採用した。特にセンターピラーでは、テーラード・ブランク工法も組み合わせ、1つの部品の上下で異なる材質とした。上部は高強度材＋パッチワークにて変形を抑制し乗員の生存空間・エアバッグの展開スペースを確保。下部は積極的に断面をつぶすことで衝突エネルギーの吸収と車体変形モードの安定化を図り、トップレベルの側突性能と軽量化を両立させた(図8)。

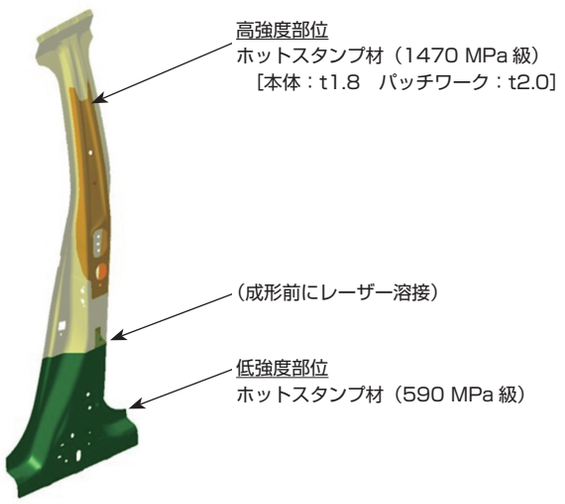


図 8　パッチワーク及びテーラードブランク

2.2　動的質感

「安心と愉しさ」を提供し、乗る人すべてが快適に移動できる車両として、スバルグローバルプラットフォームを3列シート車向けに発展させた。

2.2.1　フレームトンネルサイド

衝突性能向上のため、衝突エネルギーが伝わるロードパスを3方向へ分け、あらゆる方向からの入力をバランスよく分散させ、効率的にフロントフレームでエネルギーを吸収させるスバルグローバルプラットフォームフレームワーク[2]を採用。発展型としてトンネル側フレームをフロアの屈曲部を囲う設定とし、フロア強度、剛性を上げている。これにより衝突性能向上に加えフロア振動を抑制し、動的質感の向上を実現させている(図9)。

2.2.2　構造用接着材

スポット溶接するフランジ面へ構造用接着剤を約20 mに渡ってフロア骨格全面へ塗布し、フロア全域の結合部剛性を向上させた(図10)。これによりボディの微小変形を抑え、走行時の不快な振動の抑制と操舵応答性の向上を実現させている。

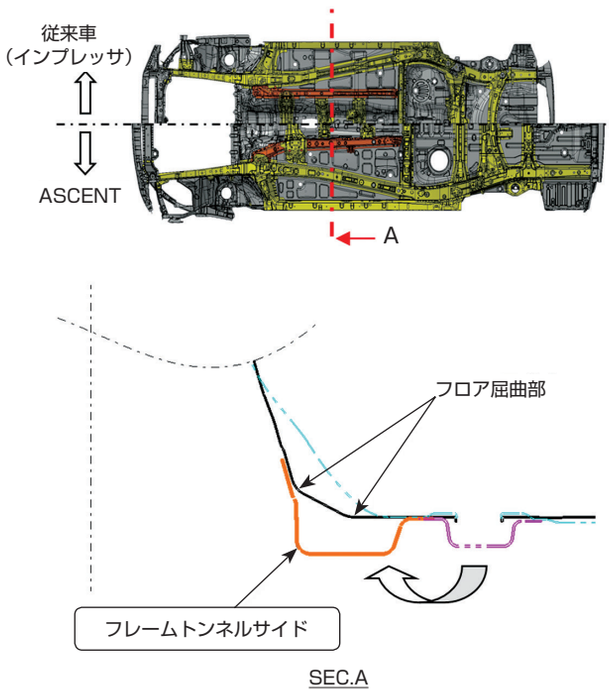


図 9　フレームレイアウト

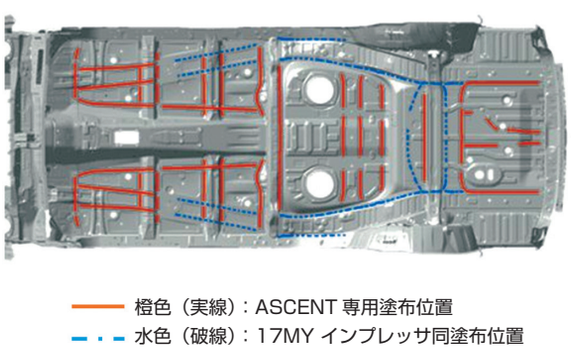


図 10　構造用接着剤塗布レイアウト

2.2.3　ブレースフロアセンター

車体のトンネル開きを抑える艤装補剛部材を床下に設定。サイドシル間に加えトンネル部を直線的に結合する事で、効果的にねじり・曲げ剛性を向上させている。又、悪路走行時の燃料タンクの保護も兼ねている(図11)。

2.2.4　クロスメンバーリヤアッパー

サス入力によるフロア振動を抑制するための補剛部材を設定。サス間を連結する事でサス取付け部の局部剛性を向上させ、突き上げなどの衝撃を効果的に抑制している。これらは、シート振動低減へとつながり、快適性の向上を実現させている(図12)。

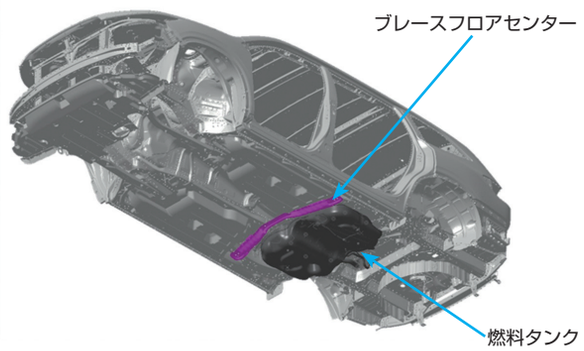


図 11　ブレースフロアセンターレイアウト

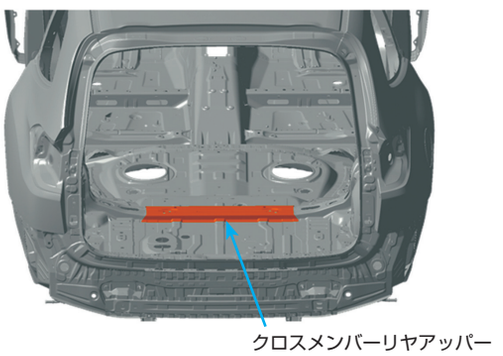


図 12　リヤフロア補剛

2.2.5　リヤゲート開口部　環状構造

不快なこもり音や振動を抑え快適な空間と振騒性能を確保するため、リヤゲート開口部の構造を見直した。開口部のマッチ箱変形を抑制するため、応力の集中するコーナ部において、剛性への寄与度の高いインナ側の結合部をコーナ部から離れた部位に設定。アウタ側の結合位置はインナ側の接合位置とずらすことで剛性変化部位が重ならないようにした。さらにコーナ部にセパレータを追加することで、3名が乗車できる空間を確保しながらも高いリヤ周り剛性を確保している（図13、14）。

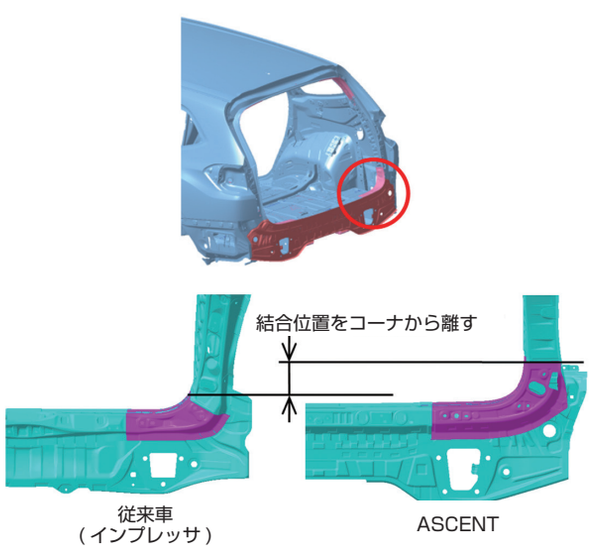


図 13　コーナ部結合位置の差

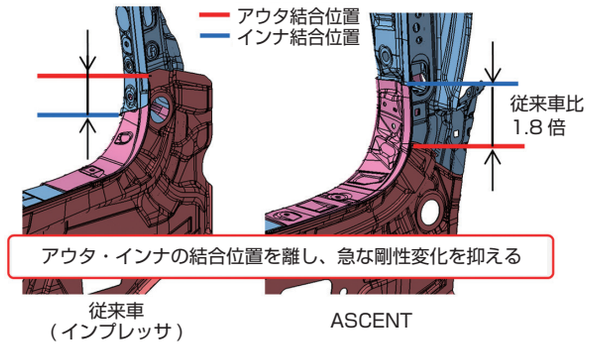


図 14　リヤゲート廻り　部品つなぎ位置

3.　快適性・実用性

3.1　振騒性能アイテム

快適な室内空間を作るため、ASCENTでは既存の防遮音材の強化は勿論、アンダーフロア、ルーフ裏面など制振材の拡大採用を行い、振騒性能を大幅に向上させている（図15）。

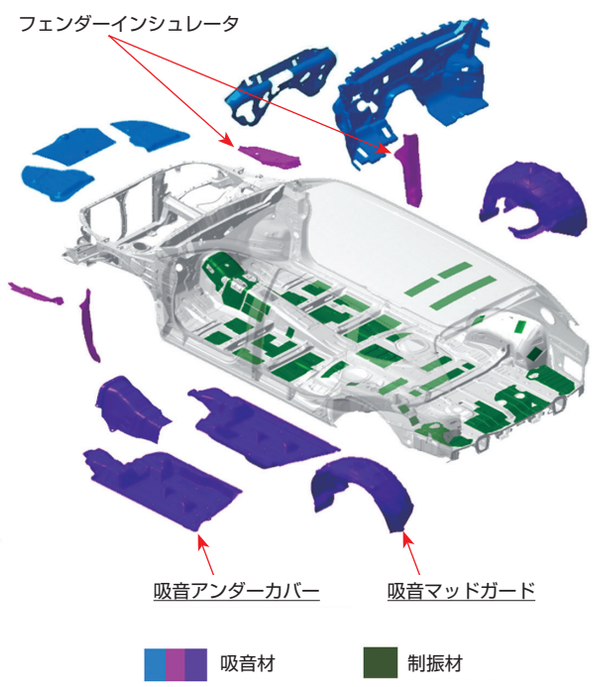


図 15　防遮音材配置

3.1.1　トーボードインシュレータ

エンジンルームとキャビンを仕切るトーボードパネルの貫通穴面積の最小化、並びにインシュレータの性能強化により車室音の低減を実現した。インシュレータは構造を最適化し、車内への音の透過を抑制している（図16）。又、パネルへの左右への廻し込みにより遮音材としての面積を拡大して静粛性を向上させた。

3.1.2　床下、タイヤ廻り吸音材

車室内への音の通路となるフェンダとＡピラーの

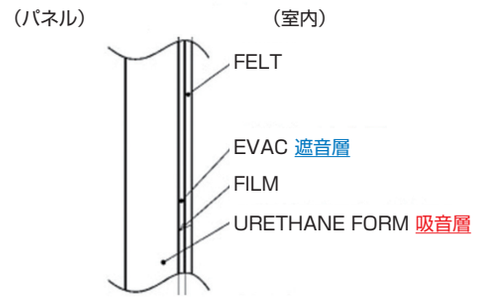


図 16　インシュレーター・トーボードインナー材料構成

間に吸音インシュレータを全車へ設定。又、ロードノイズ、道路の継ぎ目や石はね、水はねなどで発生する音を吸収するため、フロントマッドガードには吸音材を付加し、フロア部のアンダーカバー並びにリヤマッドガードには吸音素材を採用した(図15)。アンダーカバーへの採用はSUBARU初である。

3.1.3　ピラー内発泡剤

キャビン室内への音の侵入を防ぐため、フロント及びセンターピラー骨格、リヤホイールハウス部の断面内に発泡剤を設定し音の侵入経路を遮断した(図17)。

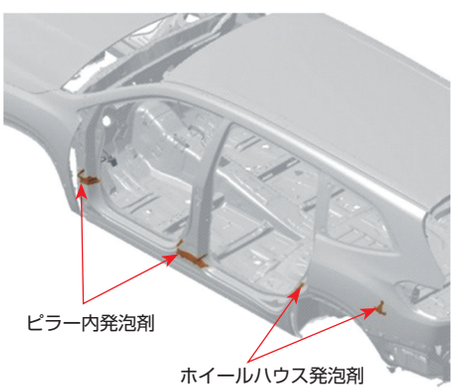


図 17　骨格断面内発泡材

3.2　3列目の居住性

ASCENTでは3列目の快適性・居住性に拘りを持って開発を進めた。大人3名でも圧迫感を感じずに乗車できるよう、頭上空間が確保できるリヤレールの断面を設定した(図18)。

3.3　大型サンルーフ取付構造

北米では日本と比較しサンルーフの装着率が高い。2列目頭上にまで至る大型サンルーフを採用することで、開放感向上を実現した。開口部の大型化により、センターピラーを左右に繋ぐ骨格(ブレースセンター)の設定が出来なくなるが、サンルーフを囲うフレームの強度を確保することで、サンルーフ非装着車と同等の側突性能とルーフ強度を確保した(図19、20)。

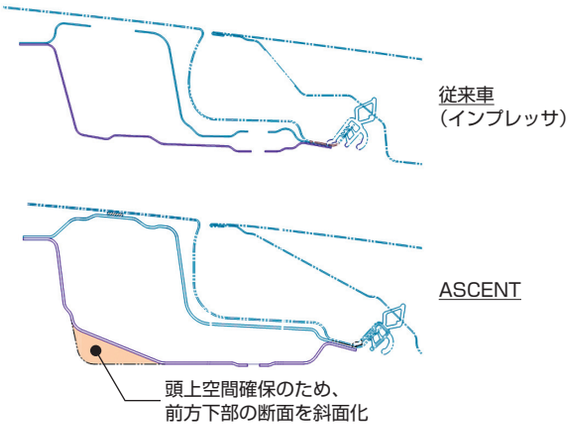


図 18　リヤレール断面

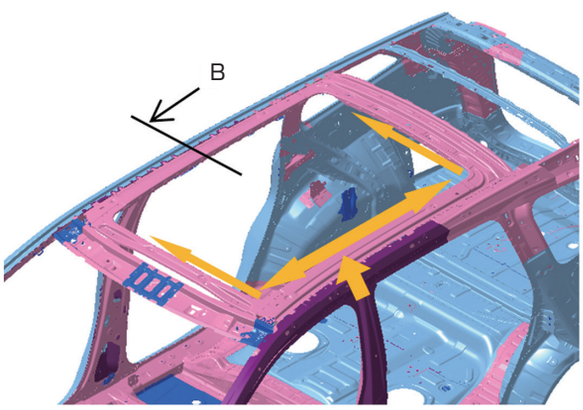


図 19　サンルーフ開口部骨格構造

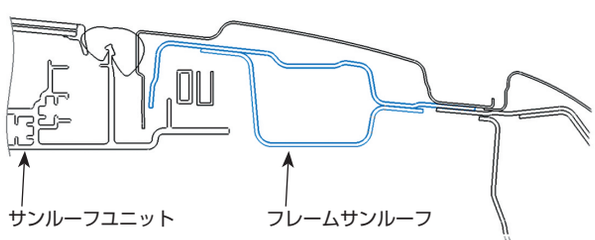


図 20　フレームサンルーフ断面

3.4　フューエルリッド

給油作業性向上のため、フューエルリッドの室内オープナを廃止し、プッシュオープンタイプのリッド及び電動アクチュエータを用いたロック／アンロック機構を採用した(図21)。(SUBARU初)

図 21　フューエルリッド

フューエルリッドは日常で使用頻度が高く、目に付きやすいため外観の品質向上を狙い、フラップアウタパネルをヘム構造とした。従来車のフランジ構造に対し、リッド閉時の分割スキ縮小を実現させている（図22）。

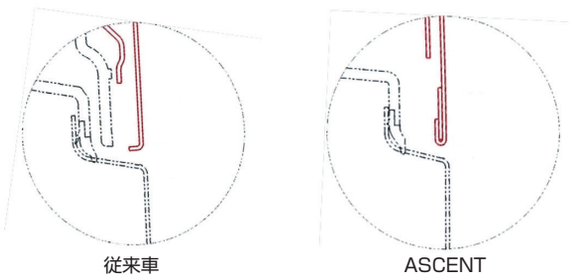


図 22　フューエルフラップ端部形状

4.　空力性能

床下面の均一化による走行抵抗の低減を狙い、最適な地上高さにアンダーカバー類を設定した。取り付け部のように、面が変化する部分も形状へ配慮を加え、床下空気の流れを乱さない様にしている。同時に、前後タイヤ前フラップを高さ・幅共に拡大し、空力性能向上を図っている（図23）。

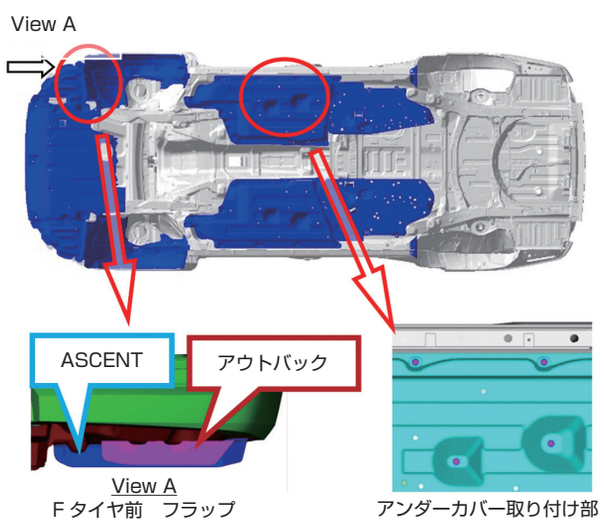


図 23　床下カバー類

5.　まとめ

以上のようにASCENTの車体構造は、衝突性能と動的質感を大幅に向上させるため、スバルグローバルプラットフォームを踏襲・発展させ、その結果、クラストップレベルの安全性能、車体剛性を確保しながらも競合車に比べ最軽量のボディを開発することができた。さらにそのポテンシャルを基に北米のニーズや使われ方を徹底的に調査しそれに特化した構造を付加させることにより競合車を凌駕する車両に完成することができた。北米での「安心と愉しさ」を代表として表現するSUBARUのフラッグシップモデルとして仕上がったと考える。

最後に、車体開発に携わった全ての方々に対して、紙面を借りて御礼申し上げます。

参考文献

(1) 松崎ほか：衝突安全と軽量化を両立するホットスタンプパッチワーク技術の実用化，スバル技報，No.41, p.109-113（2014）
(2) 中島ほか：新型インプレッサ車体構造の開発，スバル技報，No.44, p28-34（2017）

【著　者】

安田　政宜

中川　修一

宮崎　高志

大津　　隆

新型フォレスターの紹介

Introduction of SUBARU New FORESTER

SUBARU FORESTER 開発プロジェクトチーム
SUBARU FORESTER Project Team

抄　録

家族で過ごす快適な時間、心地の良いドライビングフィール、荷室にキャンプ道具を載せて出かけるワクワクした気持ち、安心感のある特別な空間。人によって感じる気持ちはそれぞれだが、新型FORESTER は、豊かさ、快適さ、愉しさ、冒険心といった「エモーショナルな気持ち」が感じられる身近で特別な存在として、機能やデザインを磨き上げてきた。

従来の信頼感あるクルマ造りをエモーショナルな領域まで拡大したのが新型FORESTERである。

Abstract

Delightful family time, comfortable driving feel, exciting feeling when driving a car fully packed with camping tools at the back, exquisite interior space with peace of mind. New FORESTER has refined its functions and designs to express a sense of fulfillment, comfort, excitement, and adventure and to be a close and special partner for our customers.

This new FORESTER has expanded its reliable presence to emotional areas.

1. まえがき

1.1　現行型の価値(Trust)を継承

2012年に登場した現行型FORESTERは、「どこにでも行ける、どんな場面でも使える」そんな期待を感じさせてくれるクルマだった。実用性や機能性など、SUVの基本価値を軸に、高い安全性と走行性能を備えることで、アクティブマインドを持つお客さまの信頼できる道具として国や地域を超えて支持を集めている。

1.2　求められる価値、期待に向き合う

現行型FORESTERの持つ信頼感(Trust)に加え、新たにふたつの価値観に向き合うことに取り組んだ。

1.2.1　Comfort for Loved Ones

SUVに何を求め、どんな瞬間に歓びを感じるかについてお客様のご意見を直接伺いわかったことがある。

ひとつは、家族と過ごす時間や、成長する子供たちと過ごす時間を大切にしたい、といった身近で大切な人への思いやりに応える空間であることである。

その一方で現在の市場に目を向けると、FORESTERが属するクラスには多くのメーカーから多様なモデルが続々と参入を続けている。

新型の開発に際しては、より多くのお客さまに、FORESTERとともに過ごす全ての瞬間にワクワクした気持ちを感じてほしいという想いを原動力に、我々は開発に着手した。

1.2.2　Stir of Adventure

もうひとつは、普段行くことが出来ない場所を走破する冒険への期待感やチャレンジを後押ししてくれるような頼もしい存在であることである。確かな機能や性能を持ち、安心・安全に運転そのものが愉しめることを新型FORESTERの開発で目指した。

2.　車両概要

2.1　パッケージング&ユーティリティ

2.1.1　快適な後席空間の実現

このような背景から､新型FORESTERではパッケージングを再構築し、後席を含む家族の皆さまが快適に感じる居住空間と、高い実用性を持った荷室を極めることを重要な開発要素とした。

新型FORESTERからスバルグローバルプラットフォームを採用しているが、前モデルから拡大されているホィールベース間の寸法を前後席間距離の拡大にあてることで、後席空調等の快適装備とあわせて快適な後席空間を実現した。

また、後席のオープニング寸法最大化と共に、足元形状を見直し、ドア開度拡大を取り込むことで実現した乗降性の良さも新型FORESTERの大きな特徴である。

2.2　ワクワクする積載性の良さ

2.2.1　荷室積載性の良さ

SUVとして優れたレベルである1300 mmの荷室開口部最大幅を確保し、たくさん荷物を積んでも取り出しやすいリヤゲートを実現した。また、開口部下側幅でも1258 mmとし、ゴルフバッグや4人掛けのテーブルベンチが真横に出し入れできる大きさとしている。これにより、大量の荷物の積み下ろしがスムーズに行なえるだけでなく、ベンチ代わりとして大人ふたりがゆったり並んで座ることもできるなど、あらゆる場面で活用できる多用途性を実現した(**図2**)。

2.2.2　ルーフ積載性の良さ

上級グレードのルーフレールにはロープを直接タイダウンできるループホールを追加した。サイドシル部のステップの大型化及び、サイドドア開口を大きく広げることにより、ルーフへの荷役作業時に自然な姿勢を取ることが出来るようになり、カヌーやキャンプ用品などが載せやすい設計とした(**図3**)。アクティブな生活を送るお客さまにとって使いやすい積載性の向上が新型FORESTERには取り込まれている。

そしてアクティブなライフスタイルを持つお客さまにとって家族や友人など大切な人と過ごす時間をより躍動的に愉しめるような価値を提供するFORESTERでありたい。これが我々が新型FORESTERの開発に込めた想いである。

表１　主要諸元

	現行	新型	差
全長(mm)(1)	4610	4625	＋15
全幅(mm)	1795	1815	＋20
全高(mm)	1735	1730	－5
ホイールベース(mm)(4)	2640	2670	＋30

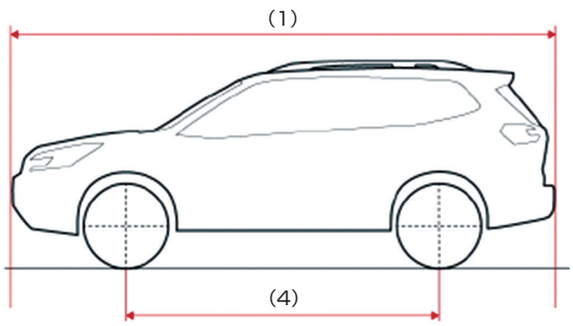


図１　主要諸元

図２　荷室開口

図３　ルーフ積載イメージ

図４　エクステリアデザインイメージ

2.3　デザイン

2.3.1　冒険心を掻き立てるエクステリア

・グリルからヘッドランプ、ボディへの造形の動きで活動的な愉しさを表現した。
・リフトアップされたボディ表現でSUVらしいたたずまいを表現した。
・厚みのあるバンパーで安心、安全を表現した。
・ショルダーラインをピラーに沿ってまわし、高さと厚みの協調でSUVらしい逞しさを表現した。
・キャビンとボディの一体感を強調させ、容積感を感じられるモダンキュービックフォルムを採用した。
・張り出しを強調したフェンダーで力強さを表現した。

2.3.2　大切な人と大事な時間を過ごす

快適な空間表現のインテリア

・インストルメントパネル中央から広がる固まり感と空間で、躍動感と開放感を実現した。
・コンソールやドアトリムなど、人の触れる場所はふくよかでゆとりを感じる造形とすることで、安心感を表現した(図5)。

2.4　冒険心を後押しする走破性の進化

2.4.1　X−MODEの進化

現行型FORESTERでは、X−MODEの制御中に手動でビークルダイナミクスコントロールOFFスイッチを操作することでトラクションコントロール(TCS)を解除し、深雪路面での脱出性を向上させるといった路面に合った機能選択が必要だったが、新型FORESTERでは、路面状況に適したモードを1つのスイッチで直感的かつ簡単に選択できるようにした(図6)。

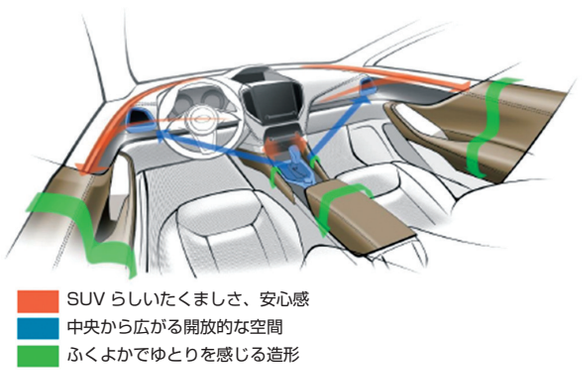


図５　インテリアデザインイメージ

図６　X-MODE機能概要

また、選択しているモードに応じてマルチファンクションディスプレイ(MFD)の背景表示が変化する。車両の前後ピッチ角や左右ロール角などの傾斜角度を

詳しく表示するようにし、視覚的なわかりやすさだけでなく、使う愉しさも高めた(図7)。

さらに使いやすくなったX－MODEを活用することで、どこにでもいけそうでワクワクするような冒険を安心して愉しんでもらいたいと考えている。

2.4.2　モーターアシストの活用

新型FORESTERでは高い走破性と経済性を合わせ持つ新開発の2.5LDIエンジンとモーターアシスト機能を持つ2.0LDIエンジンを設定した。

特に、新開発のモーターアシスト車は、

・X－MODEと組み合わせることで悪路走行時のコントロール性能を高めた(図9)。
・SI－DRIVEを活用することで、街中のきびきびした走行フィーリングを実現した(図10)。

また、Sモード選択時のマルチファンクションディスプレイにモーターアシスト状況を表示することが出来る(図8)。

図７　車両姿勢、X－MODE 状態表示例

図８　モータアシスト状態表示例

2.5　大切な人との愉しい時間を守る高い安全性能

2.5.1　安全装備の充実

正しい姿勢の維持、周辺の視認性といった0次安全の高さに加えて、EyeSightの機能向上を軸として、従来の安全装備にフロントビューモニター／サイドビューモニター(SVM)、スマートリヤビューミラー、後退時自動ブレーキシステム(RAB)などの装備を加えることによって全方向の安全性をさらに高めた(表2)。

また、新開発のドライバーモニタリングシステムは脇見、居眠り検知による安心で愉しいドライブサポートに加え、お客様の顔認識機能を活用したおもてなし機能(ミラー、シート等の自動調整機能)追加等、SUBARUの提供価値である「安心と愉しさ」をさらに拡大する(図11)。

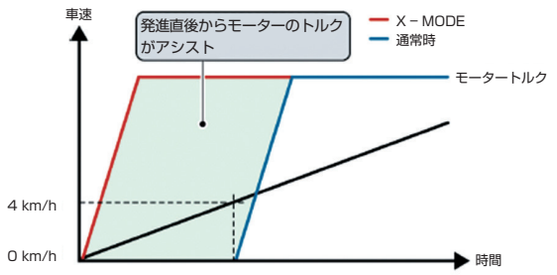


図９　X－MODE へのモーターアシスト活用例

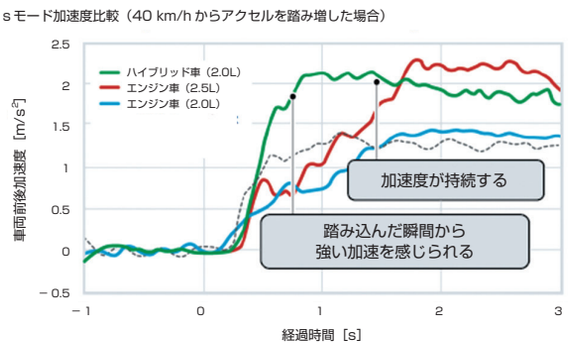
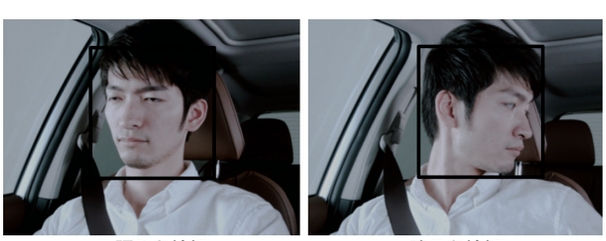


図 10　SI－DRIVE へのモーターアシスト活用例

表２　各市場の装備展開一覧

［記号］●：新規導入、✓：適用あり、－：適用なし

No.	変更項目（搭載機能）	仕向け				
		日本	北米	中国	豪州	ロシア
(1)	EyeSight	✓	✓	✓	✓	●
	渋滞時追従支援機能	●	－	－	－	－
	エマージェンシーレーンキープアシスト	－	－	－	●	－
(2)	フロントビューモニター	●	－	●	●	－
(3)	サイドビューモニター（SVM）	●	－	✓	✓	✓
(4)	スマートリヤビューミラー	●	－	－	－	－
(5)	後退時自動ブレーキシステム（RAB）	●	✓	－	●	●
(6)	ドライバーモニタリングシステム	●	●	●	●	－



居眠りを検知（開眼度、時間）　脇見を検知（顔の向き）

図 11　ドライバーモニタリングシステム　※認識イメージ

2.5.2　クラストップの衝突安全性能

ボディ構造の最適化と、高張力鋼板の適切な配置により、前面、側面、後面すべての衝突安全性能を向上させると共に、適切な安全デバイスの設定によって乗員の保護性能を高めた。

また、万が一の際、ピラーやフロントガラス下部といった硬いパーツを覆うように歩行者用エアバッグを

設定した。歩行者の頭部への衝撃を低減することで、被害を軽減する。乗る人だけではなく、歩行者の安全も考えた装備である。

2.6　乗る人すべてに快適さを提供するスバルグローバルプラットフォーム採用

2.6.1　思ったとおりに走れる

車体・シャシー各部剛性の大幅な向上(現行比約1.4～2倍)やサスペンションなど足回り機構の進化により、ドライバーの意志に忠実な高い操舵応答性を実現した。操舵時の無駄な挙動がなく、路面に吸い付くような走行を実現している(図12)。

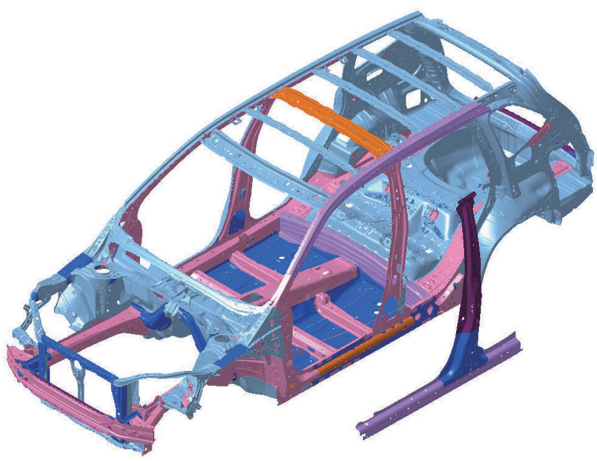


図 12　車体骨格構成

2.6.2　快適な乗り心地

サスペンション取付け部の剛性を向上させることでサスペンションの緩衝性能を十分に機能させ、路面の凸凹を感じさせない快適な乗り心地を実現した。さらに、リヤスタビライザーを車体へ直接取り付けることで、車体の揺れを現行比で50%低減している。

3.　動的質感

3.1　狙い

新型FORESTERはスバルグローバルプラットフォームを採用すると共に、上屋の結合部を強化して車体剛性を向上させる事で、フロント横曲げ剛性を2倍にアップ、車体ねじり剛性も1.4倍にアップさせるとともに、ホイールPCDを114.3 mmに拡大することで、従来車に対して一格上の操舵応答性・安定性と快適な乗り心地を実現した。

さらにサスペンション取付け部の車体剛性向上と合わせてトップマウント構造もダンピングとバネの入力を分離することで振動減衰の合理化を図り、ダンパーストロークを拡大して路面の凹凸をしっかりと吸収して、乗り心地向上を図っている。

3.2　車体剛性向上

以下の改善により、現行車比で横曲げ剛性100%向上、捩じり剛性40%向上を実現した(図13)。

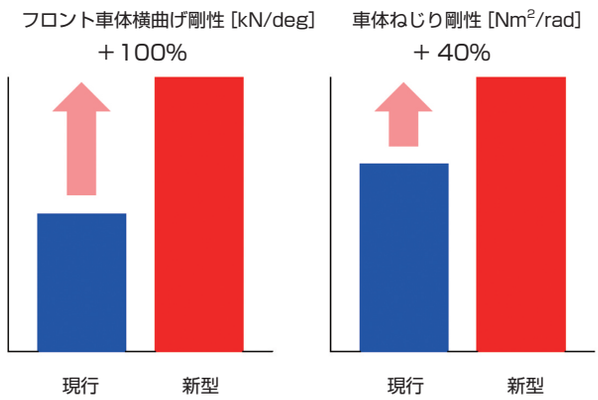


図 13　車体剛性の向上

3.2.1　フレームレイアウト

リヤフレーム骨格通しと板組みの見直しにより、キャビンと前後フレーム結合を強化した(図14)。

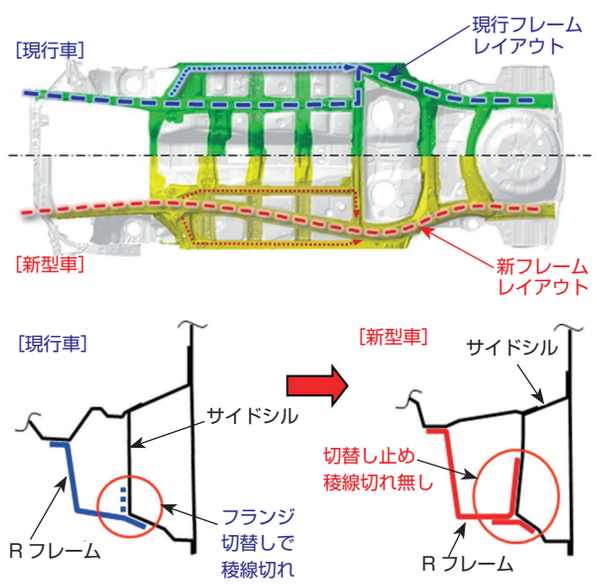


図 14　プラットフォーム比較

3.2.2　フロントバルク周り結合部

プラットフォームと上屋の骨格をインナーパネルで強固に結合しフロントバルクまわりの結合を強化する事を目的とし、インナーボディコン構造を採用した(図15)。

3.2.3　リヤ周り車体構造

荷室の積載性向上のため、リヤゲート開口幅を1300 mmに拡大しつつ、不快な振動の抑制、乗り心地向上のため、リヤクォーター廻り及びリヤゲート開口廻りの骨格結合部の構造改善を行い車体剛性向上を図った(図16、17)。

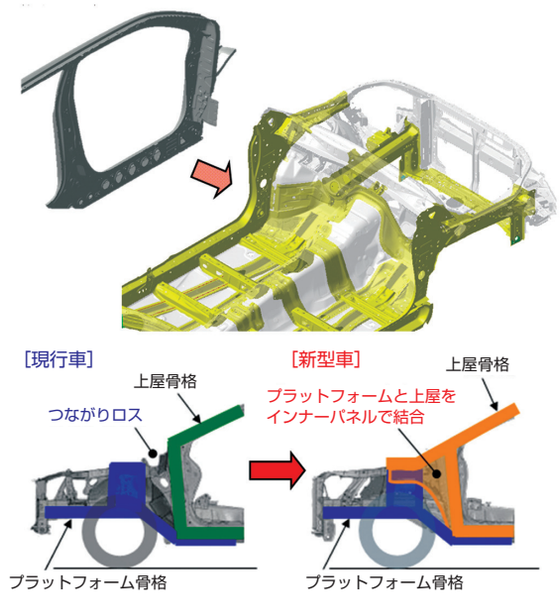


図 15　上屋骨格の結合強化

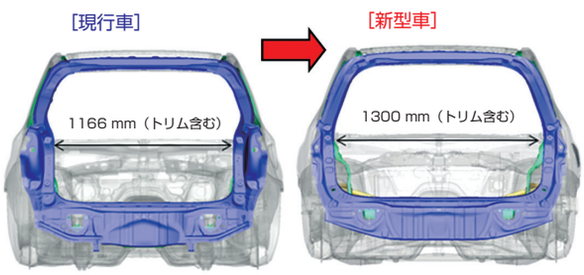


図 16　リヤゲート開口部

①上端コーナー部に応力が集中するため、分割位置を車体内側へずらしコーナー部の剛性向上を図り変形を抑制した。
②上端三つ又部の稜線通しをDピラーからリヤレールへ通す環状構造とした。コーナー部の断面形状を見直し、スポット溶接による結合強化の最適化と作業孔の削減を行い、効率的なリヤゲート開口部の剛性向上を行った。
③リヤサス取付部からCピラー部への結合部の強化
④WHL APRからクロメンBへの結合部の強化

3.2.4　ウエルドボンド

エポキシ系の構造用接着剤を採用し、スポット溶接の間に塗布し板同士の結合を強化する事でボディの歪、たわみを低減した（塗布長：7 m＝現行IMPREZA同等）（図18）。

3.3　静粛性

新型FORESTERでは、心地良い音楽が楽しめる空間、ご家族やお仲間との会話が弾む空間を作ると共に、静かさから感じる質感を格段に高めるため、静粛性の大幅な向上を狙った。

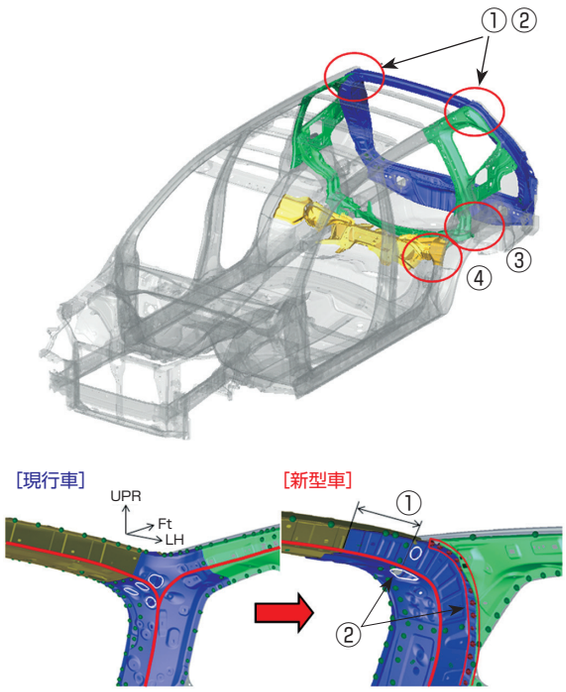


図 17　リヤゲート開口拡大のための補強

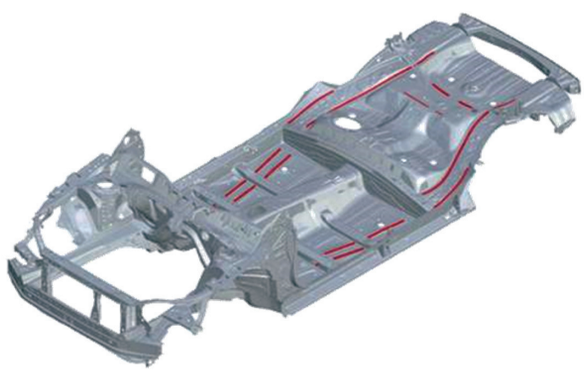


図 18　構造用接着剤

現行車よりも高い質感を有する商品にするために、パワーユニットやサスペンションの取付部剛性を向上させて振動伝達を低減、車体パネルの穴を削減し音の経路を遮断、さらに高性能な防遮音材を追加する事により静粛性強化を図った（図19、20）。

①取付部の剛性UP（◎部）による振動遮断特性の向上

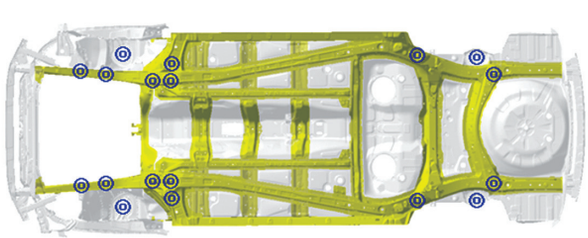


図 19　サス取付部

②トーボードやフロントピラーのエンジンルームに近いパネルの穴を削減
③エンジンルームキャビンを仕切るインシュレーター トーボードの性能強化
④道路の継ぎ目や石はね、水はねなど、リヤホイールハウス廻りで発生する音を吸収するため、吸音タイプのマッドガードを採用(リヤのみ)
⑤キャビン室内の密閉性(気密性)を高めるためにボディ骨格内へインシュレータを追加し、不必要な穴、隙間を削減

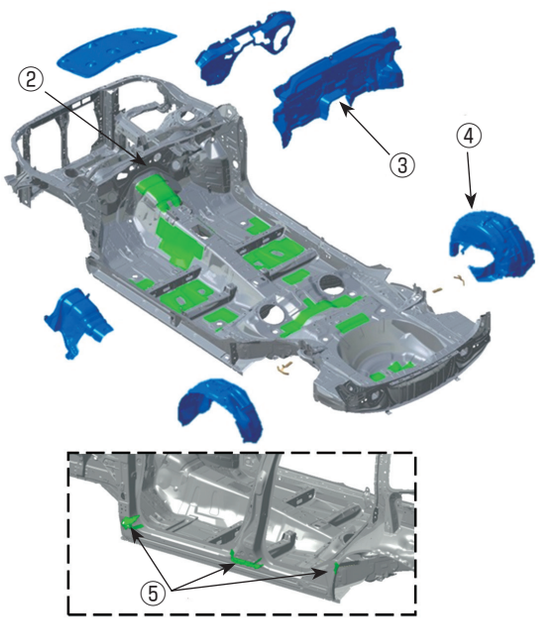


図20　吸遮音材および制振材

3.4　サスペンションシステム

3.4.1　フロントサスペンション

現行IMPREZA、XV同様にマクファーソンストラット式サスペンションを採用した。アッパーマウントの入力分離化で振動特性と操縦安定性の両立を図り、スプリング構造も上下を小径化した樽型構造とする事で省スペース化による大径タイヤの採用を可能とした。また、荷重軸制御スプリングを採用することでストラットに発生する横力をキャンセルし、ストローク時のフリクション低減を図ることで乗り心地を向上させた。

さらにスバルグローバルプラットフォームのサスジオメトリーを採用することでロールセンター適正化、アンチダイブ低減を図るとともにマスオフセットを15%低減させ、操舵応答性と振動性能を高次元で両立させた(図21)。

また、スバルグローバルプラットフォームのフロントスタビレイアウト(ストラット取付、スタビ径φ24)を採用することでスタビ効率向上を図り、スプリングレートのチューニングと合わせてロール剛性をアップ(+35%)させることでフラットで快適な乗り心地を実現した。

さらに、サスペンションの構成部品はスバルグローバルプラットフォームの高剛性クロスメンバー及びサポートを採用。フロントアームはアーム形状を最適化することで、前突性能と操縦安定性の両立を実現するとともに、低フリクションタイプのボールジョイントを新規採用し、さらなる操舵応答性向上を図った(図22)。

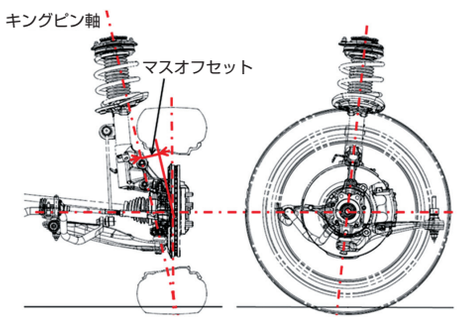


図21　マスオフセット

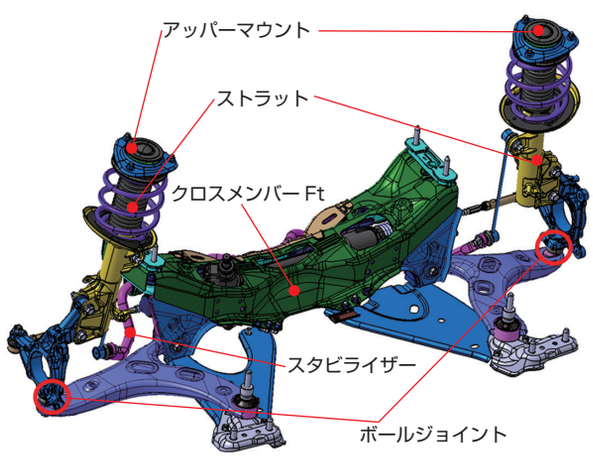


図22　フロントサスペンション

3.4.2　リヤサスペンション

スバルグローバルプラットフォームで開発したダブルウィッシュボーン式サスペンションを採用した。

車体フレームの高剛性化に合わせて現行XV踏襲のリヤサブフレームを採用し、従来車に対してリヤサブフレーム横剛性を高める事で路面入力に対する安定性を向上させた。また、車体と繋ぐサブフレームブッシュも各方向の入力に対して非連成化させて、サブフレームの弾性中心と車両のロールセンターを一致させて、ブッシュ特性最適化を図ることで振騒性能と乗り心地性能の向上を図った(図23)。

また、アルミ鋳造製ハウジングを採用し、バネ下質量低減を図り、快適な乗り心地を実現した。

さらにリヤスタビライザーの固定点をサブフレームから車体直付け化することで従来車に対し車体横揺れを50%低減し、スタビリンクのハウジングへの取付化含めたスタビ効率向上とスプリングレートのチュー

ニングによりロール剛性をアップ(+15%)させることで、後席でも快適な乗り心地を実現した(図24)。

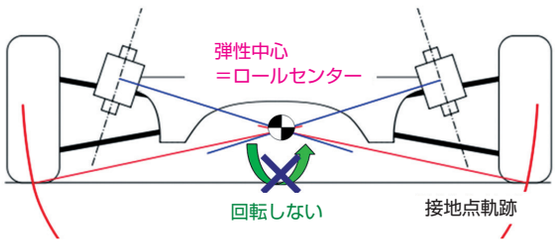


図23　非連成サブフレームブッシュ

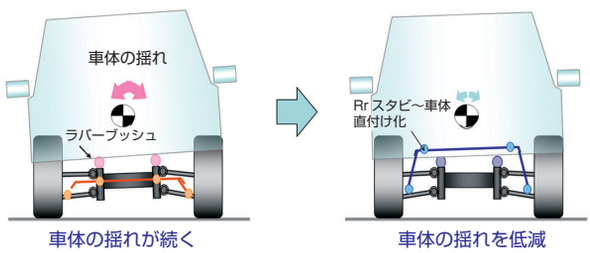


図24　リヤスタビライザー車体直付け化

また、フロント同様にリヤアッパーマウントも入力分離化して、振動と操縦安定性を両立させつつ、十分なサスストロークによる接地性向上で安心感のある操縦安定性を確保した。尚、ハイブリッド車については車体剛性確保を目的としてサポートサブフレームリヤを専用設定した(図25)。

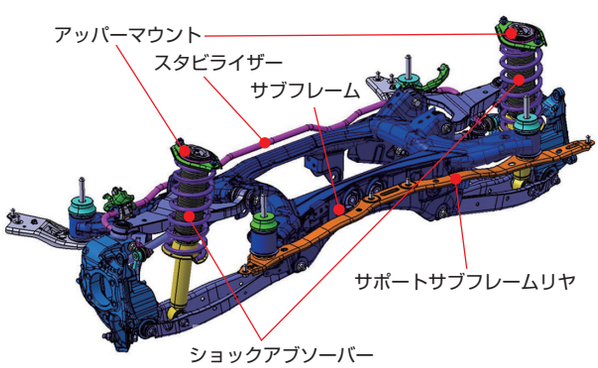


図25　リヤサスペンション

4.　安全性～衝突安全～

4.1　狙い

交通事故による死亡者ゼロの実現に向けて、SUBARUとして総合安全性能を0次安全、走行安全、予防安全、衝突安全の四つのステージに分類し、それら全てにおいて世界トップレベルの総合安全性能を目指している。

ここでは、特に車体構造が大きく寄与する衝突安全性能、歩行者保護性能について紹介する。

4.2　車体構造

リアルワールドで起こる事故を想定し、様々な方向からの入力に対して強固なキャビンで生存空間をしっかり確保、クラッシャブルゾーンで効率的に衝突エネルギーを吸収するため、滑らかなフレームの通しと荷重伝達経路の多重化により衝突安全性を一段と向上させた車体構造を開発した。

4.2.1　前面衝突

①フロントフレームの断面を拡大し20%の抗力UP(現行車比)
②キャビン耐力向上
③床下(トンネル部)に骨格追加
④FRAME SD FRのホットプレス化
⑤トンネル前方部位の外郭強化
⑥ガセット構造(北米のみ)
⑦トルクボックス～サイドシル強化
⑧サイドシル断面内に1.2 GPa材採用(北米のみ)
⑨後席クッション下に発泡PPとその支持部材を追加することで乗員の沈み込みを防止し、シートベルトが適正に作動する位置に乗員を維持する構造を採用
⑩高張力鋼板の使用拡大

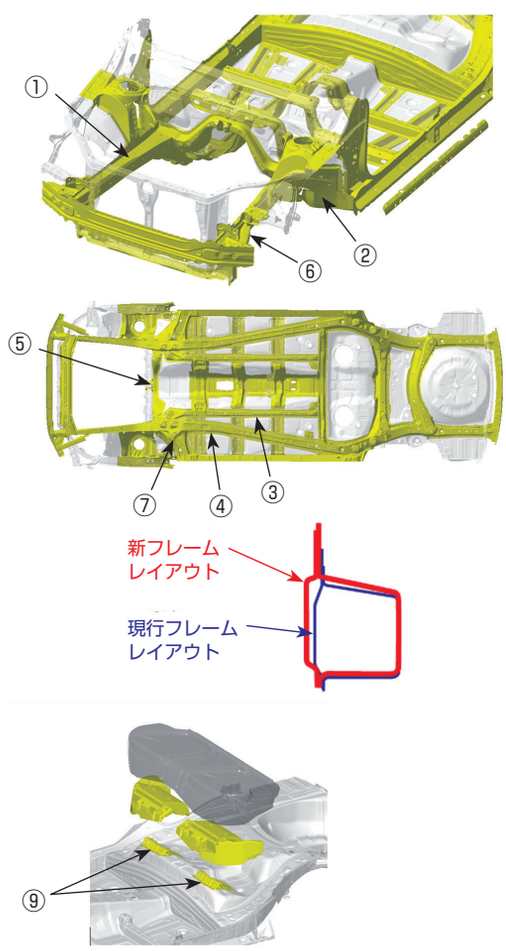


図26　衝突性能向上のための工夫

⑩《ハイテン比率》
現行車：49% →新型車：56%（＋ 7%）
※比率は北米

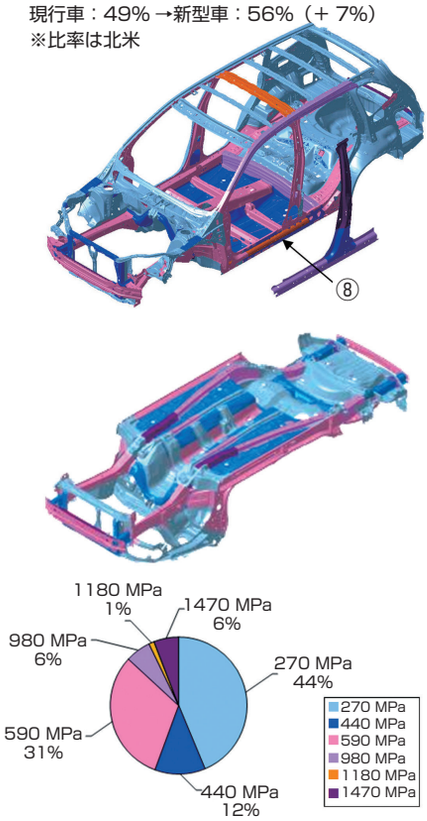


図 27　高張力鋼板採用部位

4.2.2　側面衝突

US NCAP及びIIHSアップグレードに対応。車体骨格を強化し車体変形を抑制、変形モードの最適化及び生存空間の拡大を行い、乗員傷害値の低減を図った。

①センターピラーにホットプレス焼分け材をテーラード・ウェルド・ブランクで接合する構造を採用（SUBARU初）、軽量化と高い衝突性能の両立を実現、ロバスト性も向上した（北米）。

②センターピラーにホットプレス+パッチワークを採用、軽量化と高い衝突性能の両立を実現した（北米）。

③ブレースセンター、サイドシルダブラーに1180 MPa冷間超ハイテン材を採用、軽量化と高い衝突性能の両立を実現した（北米）。

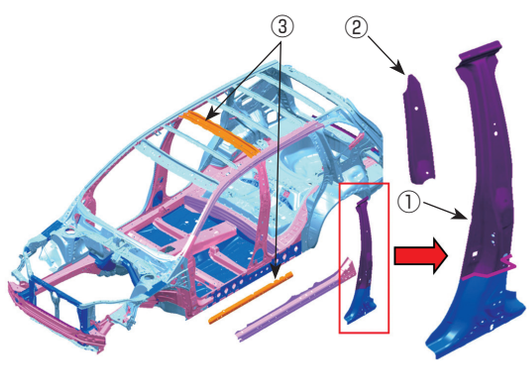


図 28　ホットプレス焼き分け材および冷間超ハイテン材

④センターピラー付け根に狭ピッチ連続スポット溶接を採用（図29）。

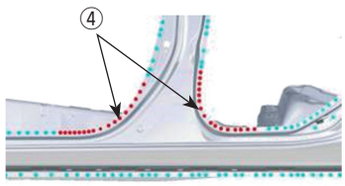


図 29　狭ピッチ連続スポット溶接部位

⑤乗員横の隙を拡大することで生存空間を確保、傷害値を低減（図30）。

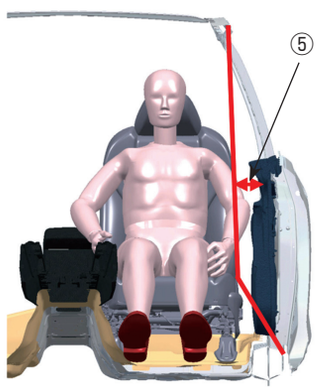


図 30　センターピラーとの乗員スペース拡大

4.2.3　後面衝突

フレームのオフセット量を低減することで車体変形量を抑える荷重伝達効率の良いフレームレイアウトとした。

①リヤフレームのオフセット量を減らし、衝突荷重によるフレームへの曲げモーメントを低減させた（図31）。

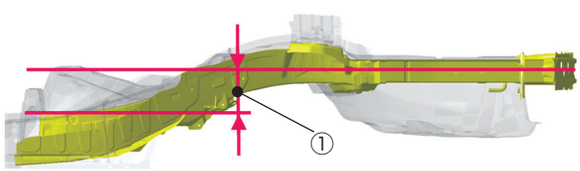


図 31　リヤフレームのオフセット量の低減

4.2.4　低速衝突

衝撃吸収性能の向上のためにフレーム前端のクラッシャブルゾーンを拡大。フレーム損傷を無くし、修理費の低減を図っている（図32）。

4.2.5　歩行者保護（国内）

①頭部歩行者保護エアバッグモジュールを搭載し、ガラス下端、フロントピラー廻りの傷害値を低減させた。エアバッグモジュール搭載と展開スペースを確保するため、フード後端を現行車比約30 mm前出しした（図33）。

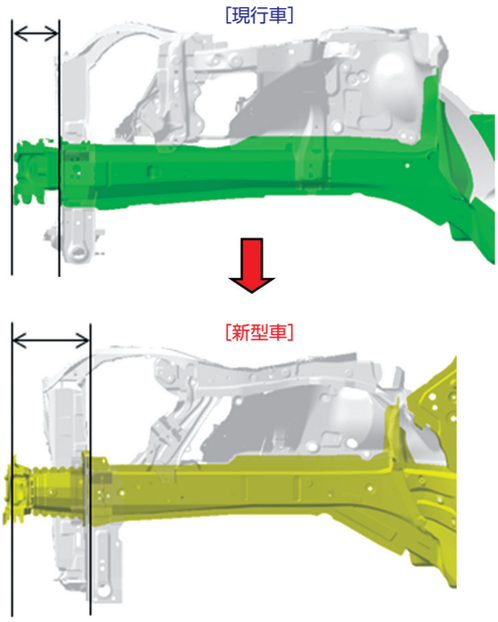


図 32　フレーム前方のクラッシャブルゾーン拡大

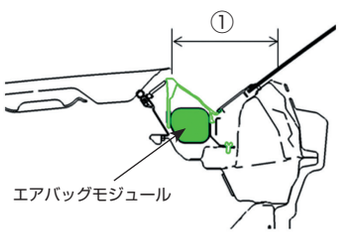


図 33　歩行者保護エアバッグの採用

②フードインナーに変形を促進させる稜線とスリットを設定して衝撃エネルギーを吸収、大腿部保護性能を向上させた（図34）。

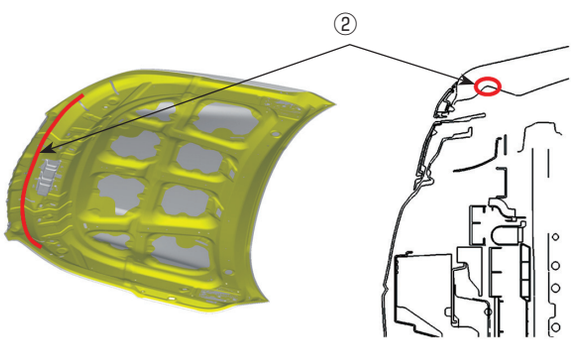


図 34　大腿部保護性能向上のためフードに衝撃吸収構造

5.　先進安全装備

新型FORESTERでは、EyeSightをはじめとする先進の安全装備を多数搭載した。なかでも新開発のドライバーモニタリングシステムをSUBARUとして初採用した。

5.1　ドライバーモニタリングシステム

脇見、居眠り検知によるお客さまの安全運転サポートに加え、顔認識機能を活用したおもてなし機能（ミラー、シート等の自動調整機能）により、SUBARUの提供価値である「安心と愉しさ」をさらに拡大するシステムに仕上げた。

5.1.1　システム構成

インパネセンター上部に配置したカメラにより、ステアリングの陰になるような事の無く、ドライバーの顔を適正に認識できるレイアウトとした。赤外線LEDを備え、ドライバーへ照射する事で昼夜問わず撮像できる。検知精度としてカメラとLEDのデバイス仕様は最適なバランスで設計した（図35）。

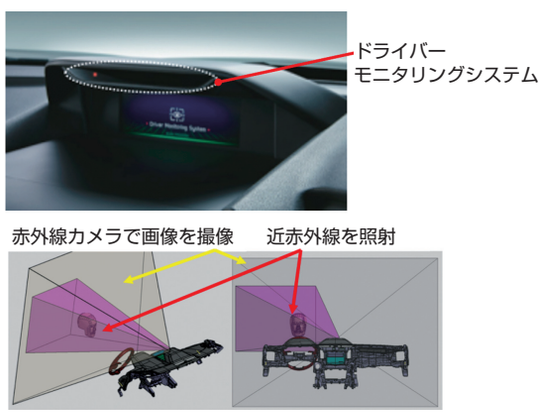


図 35　レイアウト及び撮像　※撮像イメージ

5.1.2　居眠り警報と脇見警報

居眠り警報はドライバーの開眼状態と経過時間に応じて発令し、脇見警報は顔の向きと経過時間に応じて発令する機能である。顔の目、鼻、口パーツの変化量（位置、角度、時間）をカメラの元画像と比較して判別する（図36）。

尚、方向指示器が作動していると、車線変更等の周囲確認と見なし、脇見警報はキャンセルする。

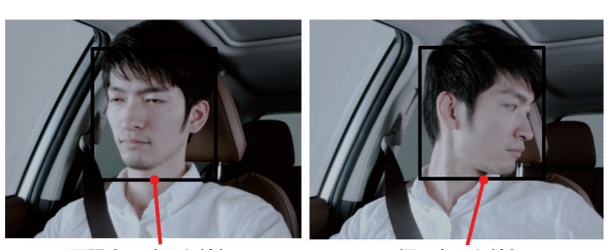


図 36　居眠り及び脇見検知　※認識イメージ

脇見の警告メッセージはメータ内に表示されるが、眠気や居眠りを検知するとマルチファンクションディスプレイ（MFD）にも表示し、助手席や後席の同乗者も認識できるように考慮した（図37）。

ステータス	メータ	マルチファンクションディスプレイ（MFD）
居眠り		
強い眠気		
脇見		
眠気（休憩提案）		

図 37　居眠り、脇見警報、休憩提案

5.1.3　個人認識と登録機能

個人の乗車姿勢に合わせて運転席シート位置とドアミラー鏡面角度をあらかじめ登録する事ができ、顔認識機能によりシステムが登録された個人を認識するとシートとミラーの位置を自動調整する機能である。

5人まで登録でき、アルファベットでの名前入力に加え、以下8つのアイコンを選び個人登録が出来るようになっている（図38）。

図 38　ドライバーモニタリングアイコン

5.2　EyeSight（Ver.3）

EyeSightはステレオカメラを用いた画像処理により、先行車や障害物、車線などを認識し、状況に合わせてビークルダイナミクスコントロール、エンジン、トランスミッション、ステアリングなどを協調制御する運転支援システムである。新型FORESTERでは、現行モデルに対し、さらに進化した機能を搭載し、優れた予防安全機能と運転負荷軽減機能を実現している。

5.2.1　ツーリングアシスト（国内のみ）

ツーリングアシストは、自車速度0 km/h ～約120 km/hで走行しているとき、システムが区画線または先行車を認識し、車両が車線の中央付近を維持、または先行車に追従するようにステアリング操作をアシストする機能である。

図 39　マルチファンクションディスプレイ表示例

5.2.2　ドライバーモニタリングシステムとの協調

ドライバーモニタリングシステムの脇見警報は、ドライバがあらかじめ決められた範囲より大きな顔向きを継続した場合、脇見として判定し、警報吹鳴とマルチファンクションディスプレイ表示によってドライバに注意を促す機能である。今回、EyeSightが先行車への衝突可能性があると判断した場合、脇見判定時間をより短く設定することで、通常より早く脇見警報を吹鳴させ、ドライバに前方注視行動を促すことを図っている。

5.2.3　アクセル踏み間違いブレーキ（国内のみ）

クリープ時などの低速状態で前方に障害物があり、誤ってアクセルペダルを踏んだと判断した際に、プリクラッシュブレーキを作動させる機能を追加した。ただし、運転者の操作状態から衝突回避操作をしたと判断したときは、プリクラッシュブレーキを作動させず、運転者の操作を優先させる。また、プリクラッシュブレーキ作動後に再度アクセルペダルが踏まれた場合、またはプリクラッシュブレーキ作動後一定時間経過した場合には作動を解除する。

5.2.4　プリクラッシュブレーキの性能向上

従来は、先行車と自車両との距離と相対速度によって減速を開始するタイミングを決定していたが、先行車の減速度を判断基準に加えることで、状況に応じてより早く減速を開始するよう変更した。これにより先行車が急ブレーキなどで急減速した場合の衝突回避の可能性を向上、または衝突被害を軽減する。

また、EyeSightの認識対象が自車と同一進行方向に移動中の歩行者または自転車の場合、それぞれに応じて減速を開始するタイミングを早めることにより、衝突回避の可能性を向上、または衝突被害を軽減する。

5.2.5　エマージェンシーレーンキープアシスト（豪州のみ）

自車両が車線から逸脱しそうになったとき、隣接車線の後方車両や対向車が接近していることを検知した場合に警告音を鳴らし、マルチインフォメーションディスプレイ（MID）に警告画面を表示してドライバに注意を喚起するとともに、ステアリング操作をアシ

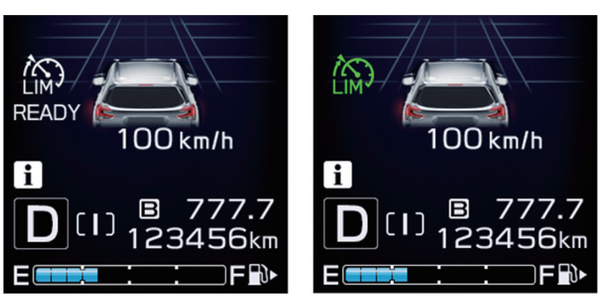
ストし、車線逸脱を抑制する機能を搭載した。

なお、車線逸脱抑制機能では、車線変更時にウインカ操作をした場合はキャンセルされるが、後方車両の接近によりエマージェンシーレーンキープアシストが作動している場合は、危険回避のためウインカ操作時も作動を継続する仕様としている。

図 40　作動イメージおよび表示例

5.2.6　マニュアルスピードリミッター（豪州のみ）

ドライバが設定した車速を超過しそうな場合に、トルク制御またはブレーキ制御を実施し、速度超過を抑制する機能を追加した。設定車速を超えない範囲では、ドライバのアクセルやブレーキ操作に応じて加減速を行う。これにより、「アクセル操作をして運転を行いたいが、速度超過を防ぐ」といったドライバの要望に応えられるようになった。なお、アクセルペダルを強く踏み込むと抑制制御は一時的に解除され、設定した車速を超える加速が可能となる。



READY 状態　　作動状態

図 41　マルチインフォメーションディスプレイ表示例

5.2.7　アイサイトアシストモニター（豪州のみ）

EyeSightの状態や警報をフロントガラスに表示し、ドライバが周辺の道路環境から視線を離さず、警告や表示を認知できるようにする。そのため、より早く状況を把握し、危険回避行動を行うことができるようになる（図42）。

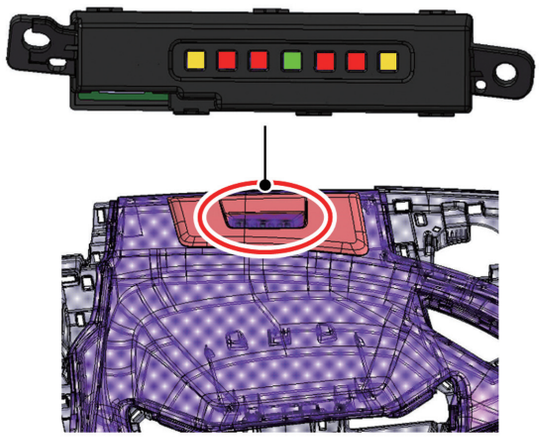


図 42　アイサイトアシストモニター

5.2.8　後退時自動ブレーキ（RAB）（中国以外）

後退時、リヤバンパに装着した4つのソナーセンサで障害物を検知し、表示と警報音により後方の障害物の存在を知らせることで、ドライバの後方確認をサポートする。北米・豪州・その他一般仕向けでは、警告表示をリヤビューカメラの映像と連動してナビゲーション画面に表示させ、後退時に車両状態を把握しやすくした。

また、衝突の可能性が高い場合は、加速を抑制するとともに自動的にブレーキをかけ、衝突回避または被害軽減を図る。

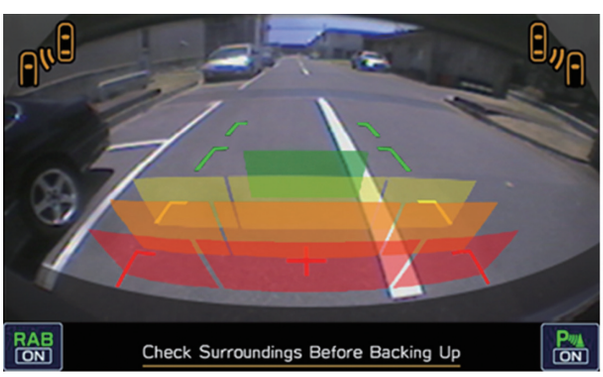


図 43　表示イメージ（北米、豪州、その他一般）

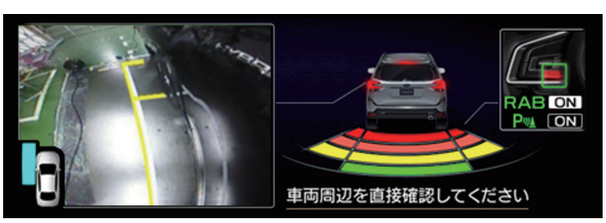


図 44　表示イメージ（国内）

5.2.9　アダプティブドライビングビーム（ADB）（国内、豪州）

対向車や先行車など、他の車両を眩惑しないように自動的に照射範囲を制御しながらハイビームによる最大の視界を確保する機能である。

5.2.10　ハイビームアシスト(HBA)
（国内、豪州以外）

夜間走行時の視認性を向上させるため、車両前方の状況に応じて、ヘッドランプのハイビームとロービームを自動で切り替える。検知にはEyeSightのステレオカメラを用いる。

5.3　後側方警戒支援システム(SRVD)

車体後部に内蔵したレーダーセンサによって、自車の後側方から接近する車両を検知し、ドアミラーのLEDインジケーター（図45）や警報音でドライバに注意喚起を行う。

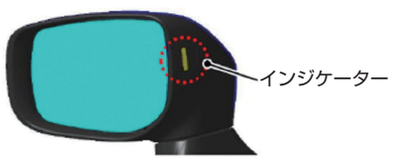


図45　ドアミラー内側配置のインジケーター

5.3.1　死角車両検知(BSD)

車両の左右後方の死角となるエリアに存在する車両を検知すると、インジケーターの点灯でドライバに知らせる機能。車両を検知した状態でドライバがターンランプを操作した場合、車線変更の意思があるとシステムが判断し、インジケーターの点滅により、ドライバに注意を促す。

図46　死角車両検知の動作イメージ

5.3.2　車線変更支援(LCA)

後方から近付いてくる隣車線の車両を検知し、車線変更すると衝突の危険性があると判断した場合に、インジケーターの点灯でドライバに知らせる機能。車両を検知した状態でドライバがターンランプを操作した場合、車線変更の意思があるとシステムが判断し、インジケーターの点滅により、ドライバに注意を促す。

図47　車線変更支援の動作イメージ

5.3.3　後退時支援(RCTA)

後退時に左右から近づいてくる車両を検知し、衝突の危険性があると判断した場合に、インジケーターの点滅と警報音でドライバに注意を促す機能である。

図48　後退時支援の動作イメージ

5.4　フロントビューモニター（FVM）
（国内、中国、豪州）

ドライバの死角をマルチファンクションディスプレイ(MFD)で確認できる、フロントビューモニターを設定した。車体のフロント(エンブレム下)に搭載したカメラで、前方路面状況や、見通しの悪い交差点での接近車両や歩行者などの有無を確認しやすくし、ドライバの安全走行をサポートする。

図49　前方路面状況がわかりにくいシーンでの表示イメージ

5.5　サイドビューモニター（SVM)(北米以外)

車体の助手席側ドアミラー下部に搭載したカメラの画像をマルチファンクションディスプレイ(MFD)に表示する、サイドビューモニターを設定し、幅寄せ時など、死角が多い車両の助手席前方を視認できるようにした。これにより、従来車にあったサブミラーを設定することなく、直前直左の視界確保を実現した(図50)。

5.6　スマートリヤビューミラー（国内のみ）

リヤゲートガラス上部内側に搭載したカメラの車両後方の映像を、スイッチ操作でリヤビューミラーに映し出す、スマートリヤビューミラーを設定した。夕方や夜間など、環境の変化により、車両後方部が見えにくくなる場合や、乗員や室内の荷物がミラーに大きく映り込んでしまう場合でも、カメラの画像を映し出すことで、後方の視認性を向上させた(図51)。

図 50　サイドビューカメラ外観と表示例

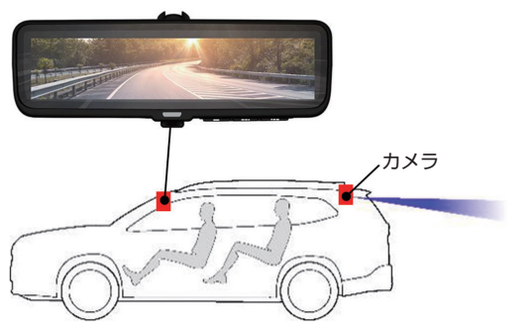


図 51　スマートリヤビュー概要図

5.7　テレマティクス（Telematics）

※ Telematics = Telecommunication（通信）と、Informatics（情報科学）の造語。

顧客ニーズに応える「繋がっている安心」の提供と、顧客満足度向上の基点となるメンテナンス情報の提供を目的とし、新たなテレマティクスシステムを開発した。

5.7.1　テレマティクスアウトライン（米国）

SUBARUとして、すでにリモートドアロック／アンロックや、SOS・ロードサイドアシスタントなどのテレマティクスサービスを導入しているが、今回から新しい世代のテレマティクスシステムを搭載し、さらなるサービスの充実を図った（図52、表3）。

5.7.1.1　Remote Engine Start

専用アプリを使って、遠隔操作で車両のエンジンをかけることができる機能である。あらかじめ空調を設定しておくことで、夏場は冷却、冬場は暖気、デフロスターの作動による除氷作業も可能となる（図53）。

5.7.1.2　Wi-Fi Hotspot

車両が無線LANのアクセスポイントとなることで、お客様は持ち込んだパソコン・ゲーム・タブレット端末などを車両に接続することで、インターネットサービスを利用可能となる（図54）。

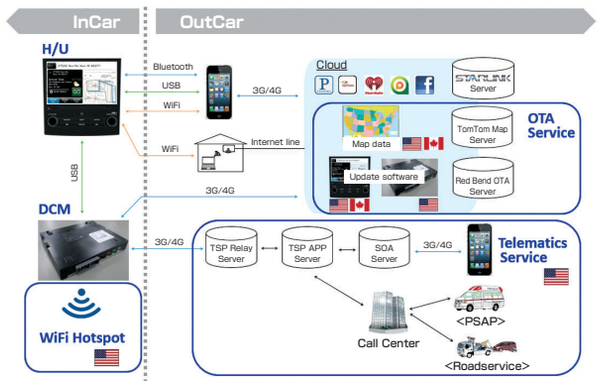


図 52　相関図

表3　テレマティクス機能一覧

分類／機能	項目	概要	従来	新型車
安全	SOS Emergency Assistance	ボタン押下後の SOS 通信機能	✓	✓
	ACN(Automatic Collision Notification)	衝突時にコールセンターへ自動通報	✓	✓
	Advanced Automatic Collision Notification	事故状態の詳細情報を取得し、コールセンターへ通知	–	✓
	Enhanced Roadside Assistance	Telemat ics CustomerCare Advisor が状況を確認し、適切なロードサイドアシストを提供。	✓	✓
セキュリティ	Stolen Vehicle Recovery	車両盗難通知機能	✓	✓
	Stolen Vehicle Recovery Plus : Stolen Vehicle Flashing light	盗難時に灯火点滅させることで、盗難車両の特定を補助	–	✓
	Stolen Vehicle Recovery Plus : Stolen vehicle immobilizer	盗難時にエンジンの再始動を阻止	–	✓
	Vehicle Security Alarm Notification	セキュリティシステムが作動した際通知	✓	✓
	Boundary Alert	危険エリアなどに入ったら通知	–	✓
	Speed Alert	指定の車速度になったら通知	–	✓
	Curfew Alert	指定の時刻になったら通知	–	✓
利便機能	Remote Lock and Unlock	リモートでドアの解錠・施錠	✓	✓
	Remote Horn and Lights	リモートでハザードランプやクラクションを作動	✓	✓
	Remote Vehicle Locator	車両の位置を特定可	✓	✓
	Remote Engine Start	遠隔操作でエンジンを始動し、空調を作動	–	✓
エンタメ	Wi-Fi Hotspot	車両の無線 LAN アクセスポイント化	–	✓
	SUBARU Concierge	オペレーターによる目的地設定	–	✓
	Destination to Vehicle	専用アプリでの目的地設定	–	✓
入庫促進	Vehicle Health Report	車両詳細分析レポート	✓	✓
	Maintenance Notifications	車両の走行距離を取得し、エンジンオイルや定期点検などの時期を通知	✓	✓
	Service Appointment Scheduler	故障時などの入庫先案内と予約	–	✓
故障連携診断	Diagnostic Alerts	インストルメントパネルの警告灯が点灯するとともに、メールでお客さまに通知	✓	✓
その他	SUBARU STARLINK System Update	無線通信を使って自動で DCM をアップデート	–	✓

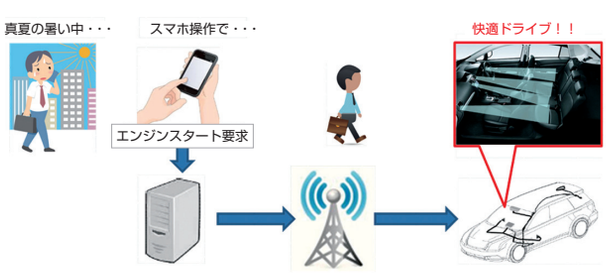


図 53　Remote Engine Start

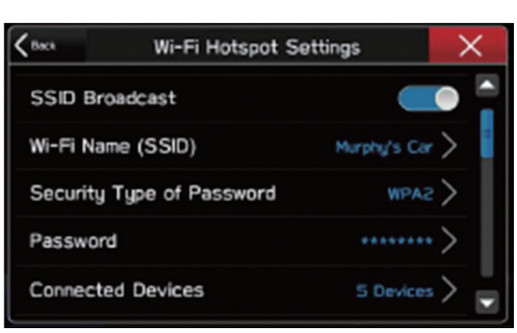


図 54　Wi-Fi Hotspot 画面

5.7.1.3　SUBARU Concierge

コールセンターに電話を掛け、オペレータとの会話を通じて行きたい場所(目的地)を選択し、ナビの目的地設定を行う機能である。運転中であっても、自動で目的地をセットすることができる(図55、56)。

図55　SUBARU Concierge 画面

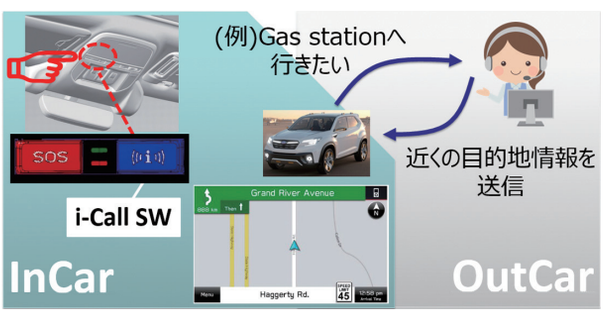
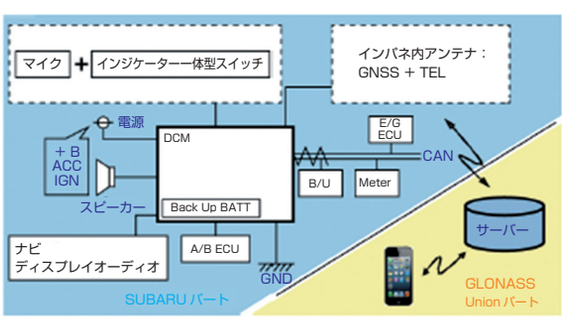
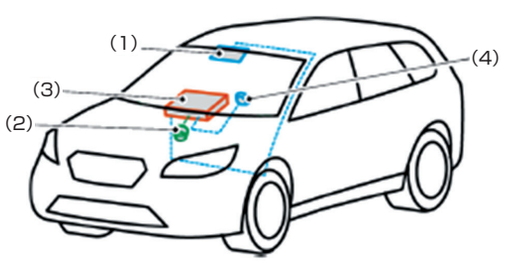


図56　SUBARU Concierge





※イラストはシステム構成を説明するためのものであり、実際の車両とは異なります。

(1) マイク
(2) センタースピーカー
(3) DCM
(4) 室内アンテナ：TEL、GNSS

図57　システム構成

5.7.2　テレマティクス アウトライン (ERA-GRONASS)(ロシア)

5.7.2.1　テレマティクス機能

下記サービスを実現するためのシステムを構築した(図57)。

・緊急時自動発信…エアバッグが作動するほどの衝突事故が発生した際、自動的に112へ発信する。
・SOS緊急アシスト…ボタン操作により、112へ発信する。

5.7.2.2　スピーカーシステムの構成

従来は、ナビゲーションシステムまたは、オーディオのH/Uに接続されているインストルメントパネルサイドスピーカーを使用していたが、新型車では、専用のセンタースピーカを開発したことで、ナビゲーションシステムまたは、オーディオのH/Uにて、インストルメントパネルサイドスピーカーを使用できるようにした。

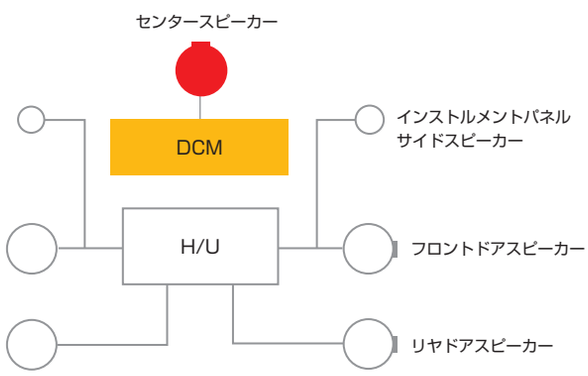


図58　スピーカーシステム構成図

6.　外装

6.1　開発の狙い

トップレベルの歩行者保護性能や現行車の良好な視界を踏襲しつつ、広さ感や利便性の向上等一目で分かる機能を織込んだ。又、SUV外観を際立たせつつ、細部の端正な仕上げに拘り質感の向上を図った。

6.2　外装質感

現行車からの一層の進化を狙い、訴求点である広さ感、利便性を感じるSUVらしい外観と端正な仕上げの実現にチャレンジした。

6.2.1　ヘッドランプ廻り

フロントグリルのウイングとヘッドランプのコの字部を横一線でつなぐ意匠に対し、見る角度やバラつきによるズレ感が生じ難い端面構成とすることで、ワイド感のある外観を実現した(図59)。

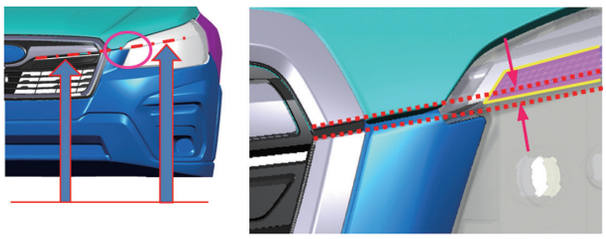


図 59　ヘッドランプ廻り端面構成

6.2.2　リヤコンビ廻り

徹底したランプ構成部品の小型化やリヤガーニッシュの取付け構造の工夫により、灯体を車両左右端且つ高い位置へ配置することで、ワイドでリフトアップ感のある外観を実現した(図60)。

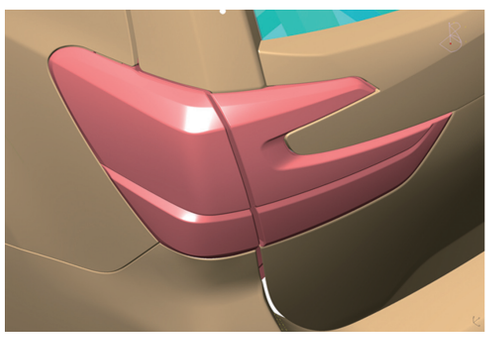


図 60　リヤコンビ廻り鳥瞰図

6.2.3　リヤゲート廻り

取付け構造の工夫により、開口廻りのリヤコンビランプ、バンパーの固定ボルトを見せないよう配慮すると共に、リヤゲートサイド面に大型のカバーを設定することで､最大開口幅1300 mm化と併せてすっきりとした開口廻りを実現し、利便性の良さを演出した(図61)。

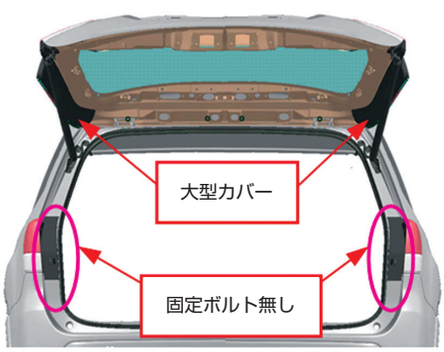
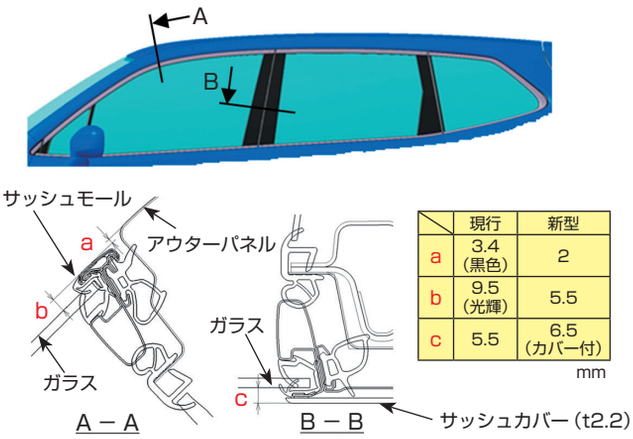


図 61　開口廻り部品構成

6.2.4　窓廻り

黒色と光輝2仕様のサッシュモールの断面を共通化し、アウターパネルとの段差を全仕様統一すると共に、サッシュモールの勘合構造及びグラスランの断面を工夫し、モールとガラスとの段差を縮小することで、窓廻りの一体感を演出し高い外装質感を実現した(図62)。



	現行	新型
a	3.4（黒色）	2
b	9.5（光輝）	5.5
c	5.5	6.5（カバー付）

mm

図 62　窓廻り端面比較

6.2.5　リヤゲートガーニッシュ廻り

両サイドに設けたブラケットにより、リヤゲートパネルを仕様分けすることなく2仕様のガーニッシュの装着を可能とすると共に、建付けの安定化を図ることで、外観質感の向上を実現した(図63)。

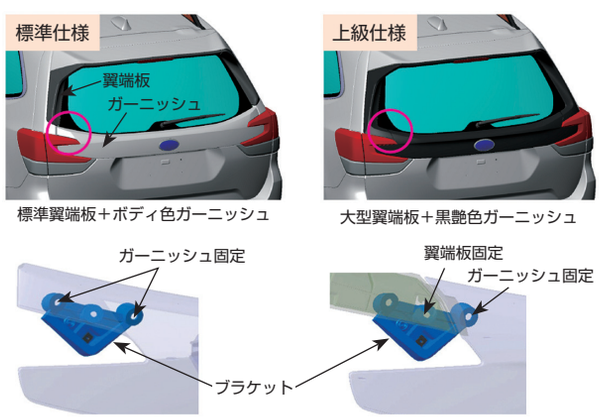


図 63　ブラケット固定部品

6.3　視界

パッケージングや意匠の具現化と併せて、視界向上アイテムを採用することで、現行車同様クラストップの視界を確保した。

6.3.1　リヤゲートガーニッシュ

ガーニッシュの裏面側でリップとガラスをラップさせ、リップを表に出さない構造とすることで、後方見下げ視界と外観向上の両立を図った(図64)。

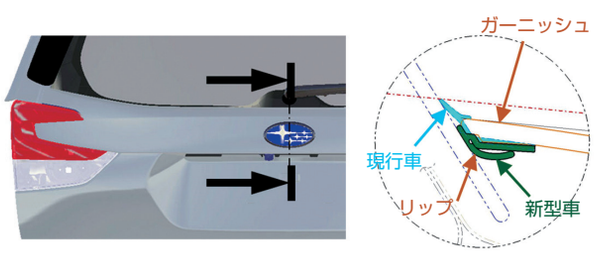


図 64　リップ断面比較

6.3.2　ドアミラー

直前直左ミラーをカメラ化することで、直接視界と外観向上の両立を図った(国内)(図65)。

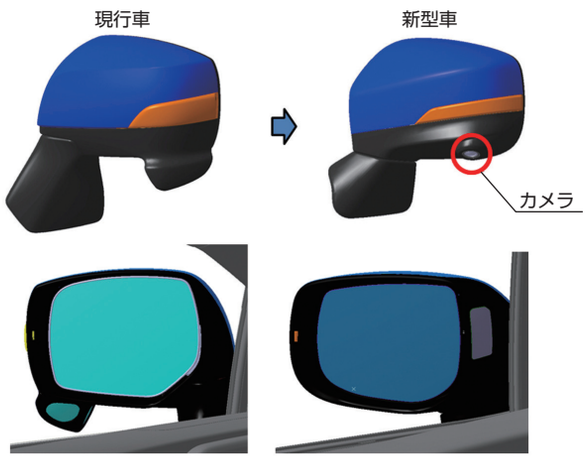


図 65　ドアミラー外観比較

助手席側にアスフェリカルミラー(広角鏡)を採用することで、死角の最小化を図った(北米以外)。

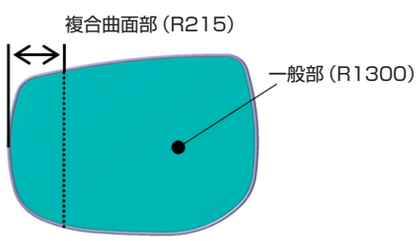


図 66　鏡面曲率詳細

6.3.3　リヤビューカメラウォッシャー

リヤビューカメラに洗浄機能(ウォッシャー)を追加することで、レンズ面の汚れの除去を可能とし、悪路走行時等の視認性向上を図った(国内以外)。

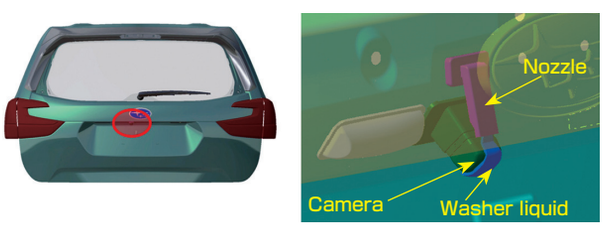


図 67　ウォッシャー鳥瞰図

6.3.4　ヘッドランプオートレベラー

車両姿勢を検出する機械式車高センサーを加速度センサー式に置換え検出精度を向上することで、乗員や積載による車両姿勢変化に応じて正確にヘッドランプの光軸高さを調整することを可能とし夜間視認性の向上を図った。又、従来比約50%の軽量化を実現した(オートレベラー装着車)。

6.4　利便性

限られたスペースの中で部品の小型化やレイアウトを工夫することで乗降性や荷役性を向上すると共に実際の使われ方に即したアイテムを織込むことで、利便性の向上を図った。

6.4.1　リヤドア廻り

トリムやドアヒンジの形状を見直すことでドア全開時のスペースを拡大すると共に、サッシュ廻りの構造を工夫しCピラーを後方に下げることで、乗降性及びチャイルドシート等の積み降ろし性の向上を図った(図68)。

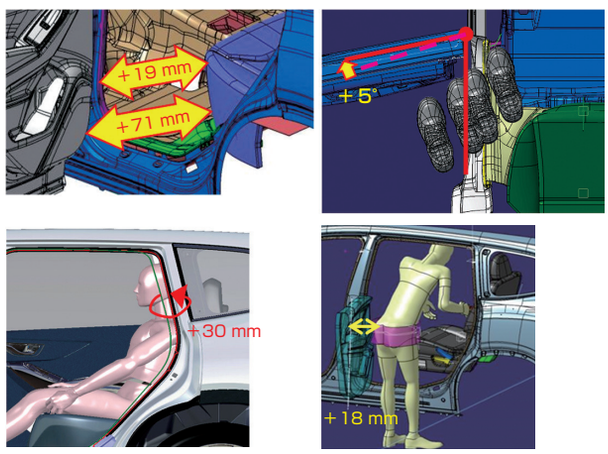


図 68　主要拡大スペース

6.4.2　ルーフ廻り

ルーフレールの前後レッグ部に固縛用のロープ穴を設定すると共に加飾を施すことで、機能性と質感向上の両立を図った(上級ルーフレール装着車)　さらに、リヤ席ステップの平面部を拡大することで、ルーフトップへのアクセス性の向上を図った(図69)。

図 69　機能向上アイテム

6.4.3　フューエルリッド

フューエルリッドをプッシュオープン式とし、かつ施錠・開錠をドアロックと連動させることで、レバー操作を不要とし利便性の向上を図った(図70)。

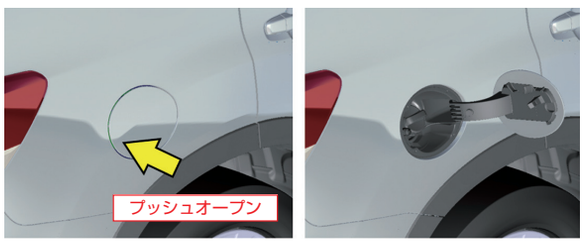


図 70　フューエルリッド鳥瞰図

6.4.4　パワーリヤゲート

オートクロージャー機能や挟み込み反転機能など、従来の機能や安全性を維持したまま、さらに利便性を高めたシステムを採用した(パワーリヤゲート装着車)。

(1) 省スペース化

リヤゲートステーにモーターを内蔵することで、パワーリヤゲート無し仕様と同等の荷室空間を確保すると共に、広くすっきりとした開口を実現した(図71)。

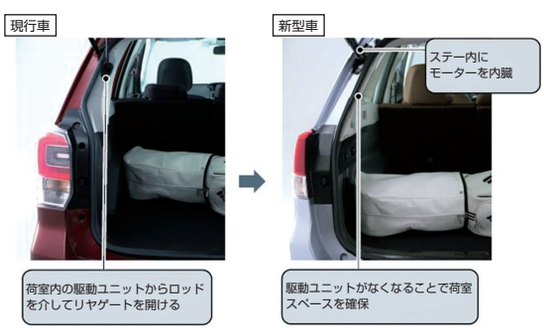


図 71　ユニット廻りスペース比較

(2) 操作性向上

リヤゲートの自動開閉時間を約5秒に短縮することで、開閉時の煩わしさの改善を図った。

さらに、ゲートが閉まると同時に車両施錠を自動で行うクローズ＆ロックスイッチを追加することで利便性の向上を図った(図72)。

(キーレスアクセス＆プッシュスタート付き車)

6.4.5　荷室開口

車体骨格含め、リヤゲートステイ、リヤコンビランプ、ストッパー等のレイアウトを一から見直しを行い、最大開口幅：1300 mm、下部開口幅：1258 mmを実現することでゴルフバッグ等の長物を真横のまま積み下ろしすることを可能とした(図73)。

又、リヤゲートパネルの骨格を最適化することで大型化に伴う重量増を抑制し、現行車同等の手動開閉操作力を確保した(パワーリヤゲート無し車)。

図 72　スイッチ外観

図 73　開口幅比較

7.　内装

新型FORESTERのインテリアは、乗る人すべてが愉しくなる快適で機能的な空間を目指して取り組んだ。

図 74　インテリア鳥瞰図

7.1　ゆとりと安心の空間

インテリア造形や表皮材、表面処理について詳細はデザイン部のパートで報告するが、その一部についてこちらでも紹介をする。

7.1.1　ふくよかさの表現

乗員が包まれる部位を厚み感のある造形とすることで深い安心感を提供。コンソールとドアトリムのアームレストには荷重特性に合わせた厚みのあるクッションを隅まで配置し、肘を置いた時の質感を向上させた(図75、76、77)。

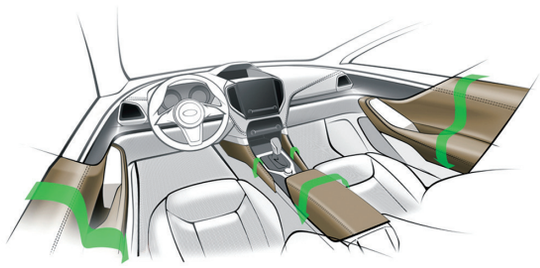


図 75　ふくよかさの造形表現

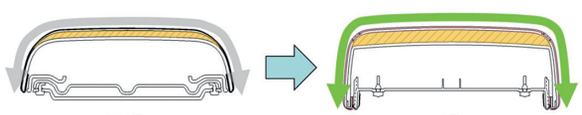


図 76　コンソールアームレスト断面

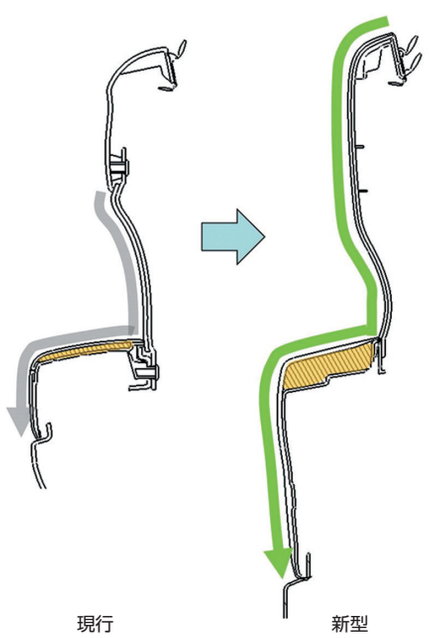


図 77　ドアトリム断面

また、現行車に対してシフト位置を上方へレイアウトすることで、シフト操作性の向上と厚み感のあるコンソールを実現した(図78)。

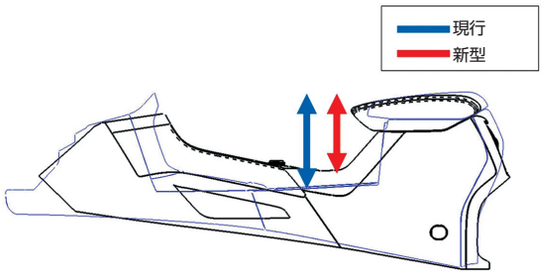


図 78　コンソール側面図

7.1.2　触れて感じる心地よさ

新型FORESTERでは室内空間におけるソフト素材のエリアを拡大した。体に触れる部位を柔らかくすることで、包まれ感による安心を提供する(図79)。

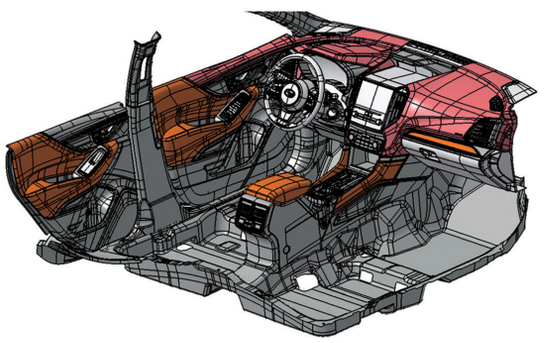


図 79　ソフト素材採用部位

また、ルーフトリムには質感が高く、触感の良いクッション層付きのトリコット表皮を採用した(図80、81)。

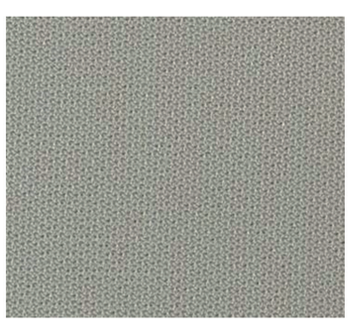


図 80　トリコット表皮

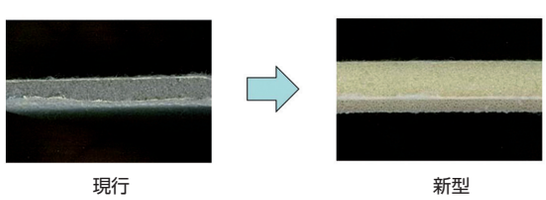


図 81　ルーフトリム断面

7.1.3　細部までこだわった造り込み

インパネやドアトリムには仕立ての良さを感じられる長く連続したステッチを採用した(図82、83、84)。

図 82　インパネパッド

図 83　インパネ表皮巻きパネル

図 84　ドアトリム

また、プルハンドルは現行車に対して掴みやすい形状と滑りにくい素材を採用し、握った時にしっかりと指になじむように設計した(図85)。

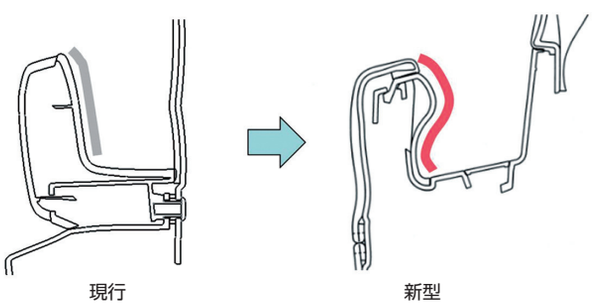


図 85　プルハンドル断面

7.1.4　全ての席にくつろぎを提供するシート

新型FORESTERのシートは、広い接触面積と最適な体圧の支持で包まれ感による安心を提供する。

パッド硬度や支持形状の見直しを行い、快適性と運転時のサポート性向上を両立させた。

図 86　専用パッド部位

また、フルサプレッションのエアバックに対応した乗員検知センサー付きの助手席8 wayパワーシートを新規設定した。リフター調整機構を求める市場のお客様要望と安全性能の両立を果たした。

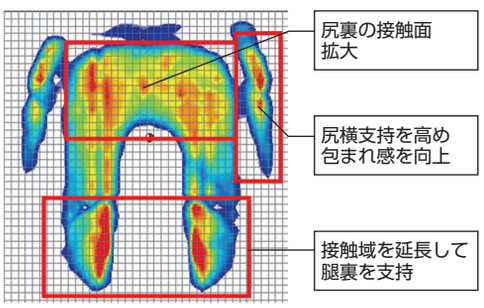


図 87　フロントシートクッションの体圧分布図

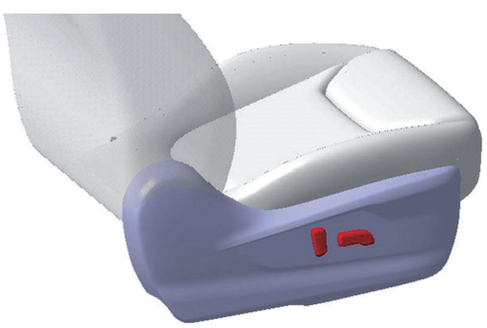


図 88　助手席 8 way パワーシート

7.1.5　快適な温度空間

どんな環境、天候でも長時間のドライブを愉しむためには快適な温度空間が欠かせない。新型車では全ての座席において快適な空間を実現した。

7.1.5.1　シートヒーター

現行車に対して背中のヒーター範囲を拡大。また、座面及び背中の接触面積を増やし、体圧を均一にすることで、効率的な速暖性と均一な温かさを実現した(図89)。

図 89　シートヒーター設定範囲

加えて、上級グレードの前席シートヒーターは3段階の温調機能を装備(図90)。

シートの暖房制御にサーミスタを追加することでハンチングを抑制し、木目の細かい温度制御を実現した。

図 90　ヒーターコントロール(上級)

7.1.5.2　後席空調

後席のお客様にも快適な室内空間を提供するために後席用の空調ダクト、ベントグリルを追加した。従来の足元に加え、上半身への送風を行い、快適性を高めている(図91)。

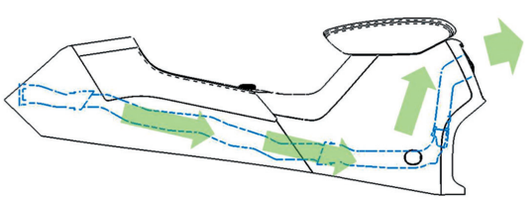


図 91　コンソール内通風経路

7.1.5.3　空調HMI

SUBARU初の空調HMIとして2つの機能を設定。

①空調基本設定選択

基本作動を4タイプで設定。お客様の好みにより選択出来、より好みに合った快適な空間を提供する(図92、表4)。

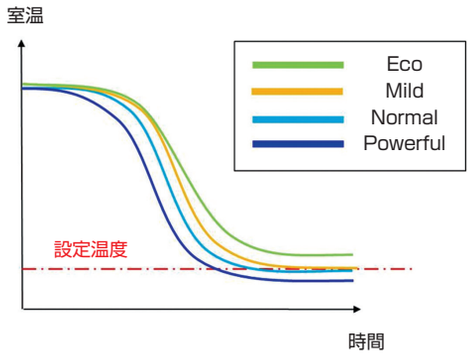


図 92　空調作動イメージ

表4　タイプ別モード説明

タイプ	作動イメージ
Eco	・空調全般を弱めにしたエコ空調モード ・アイドリングストップを長めにし、燃費を優先させる
Mild	・乗員に優しい空調モード ・風景を弱めて変化感を和らげる
Normal	・通常の空調モード
Powerful	・エアコンの作動をしっかりと感じる空調モード ・冷房強め、暖房強め ・アイドリングストップを短めにし、空調を優先させる

②乗員連動切り替え

助手席と後席の乗員有無に応じた空調作動とすることで、より状況に応じた快適性向上を実現した(図93)。

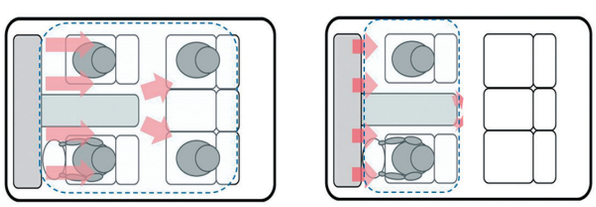


図 93　空調切り替えイメージ

7.1.5.4　大型フットダクト

現行車に対して、フットダクトを大型化。足全体に風を供給することで足元の均一な温度を実現した(図94、95)。

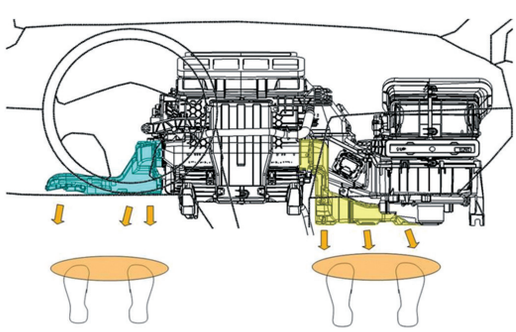


図 94　大型フットダクト構造

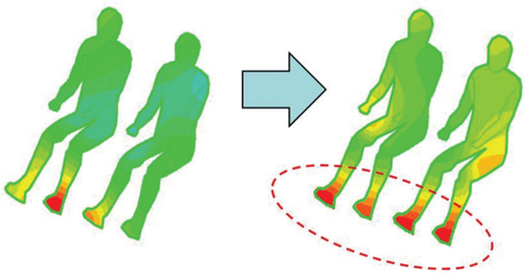


図 95　足元温感イメージ

7.1.5.5　湿度センサー付き内気センサー

2.5Lエンジン搭載車とハイブリッド車には湿度センサー付きの内気センサーを追加。暖房時、室内の湿度検知精度を上げる事で、窓曇りなく内気の割合を増やし暖房性能を高めている（図96）。

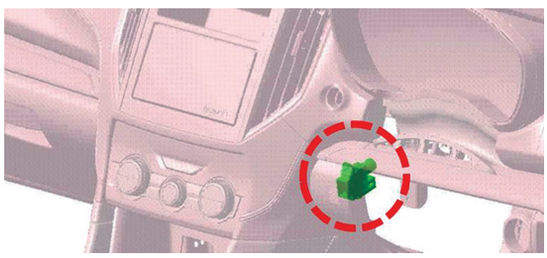


図 96　センサーレイアウト

7.2　利便性を高めた快適装備

7.2.1　一目で分かる後席の快適性

新型FORESTERでは乗る人全てに移動中でも愉しく過ごせるような利便性の高い快適装備を備えた。

前席のシートバックポケットにはSUBARU初となる分割タイプを採用。大きさの異なる3種類のポケットに雑誌やスマートフォン、タブレット端末を収納することが出来る（図97）。

また、後席用のUSB充電ポートをコンソール後方へ追加し、どの席に座っても電源を気にすることなく携帯機器でのエンターテイメントを愉しむことが出来る（図98）。

図 97　分割シートポケット

図 98　コンソール背面

7.2.2　日常使いで感じられる機能の進化

7.2.2.1　マップランプ

前席のマップランプにはSUBARU初のLEDを採用。高い質感と夜間の優れた視認性を提供する。

図 99　LED マップランプ

7.2.2.2　カップホルダー＆ドリンクホルダー

前席コンソールのカップホルダーは現行車の縦置きから横置きのレイアウトへ変更し、利便性を高めている。また、ドアトリムのボトルホルダーは大型ボトル収納にも対応した（図100）。

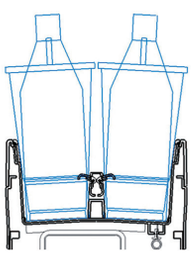


図 100　カップホルダー＆ボトルホルダー

7.2.2.3　サンバイザ

アイサイトカバーとサンバイザのレイアウトを工夫することで、EyeSight仕様のサンバイザを大型化。遮光性の向上を実現した（図101）。

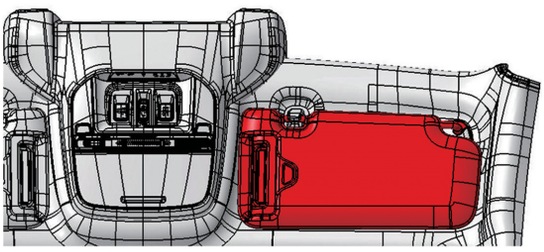


図 101　サンバイザレイアウト

7.3　荷室

新型FORESTERでは、「気軽に荷物を積んで出かけたくなる使いやすい荷室」を目指して開発に取り組んだ。

7.3.1　大容量の荷室空間

現行車に対して、長さや幅の寸法を拡大することで荷室容量を拡大。また、荷室ボード上の空間はスペアタイヤの種類やハイブリッドのバッテリー格納に左右されず、同一の床面高さと空間を実現した。

大開口と合わせて、ゴルバックやスーツケース、マウンテンバイクなど楽に積み込むことが出来る。

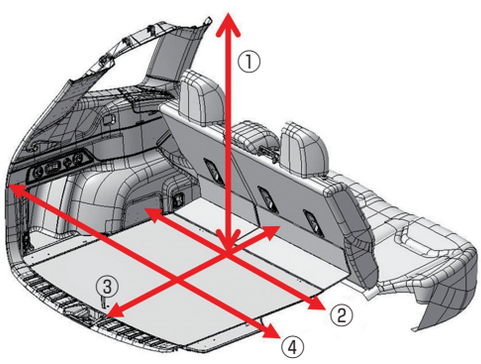


図 102　荷室鳥瞰図

表5　荷室寸法、容量一覧

No.	項目	現行	新型	差
①	高さ※1	884 mm	884 mm	0
②	フロア幅	1073 mm	1100 mm	＋27 mm
③	フロア長さ	873 mm	908 mm	＋35 mm
④	開口最大幅	1166 mm	1300 mm	＋134 mm
－	VDA 容量※2	505 L	520 L	＋15 L

※1：サンルーフ無し
※2：ドイツの自動車工業会による測定方式
（ハイブリッド車は 509 L）

7.3.2　スクエアで使いやすい荷室形状

トリムの張り出しを最小限とし、直線基調の造形、部品分割とすることで、角までしっかりと使えるスクエアな荷室とした(図106)。

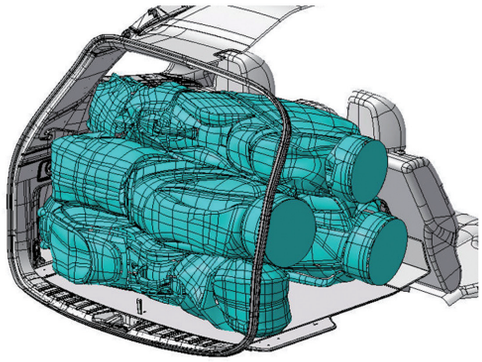


図 103　ゴルフバッグ搭載状態

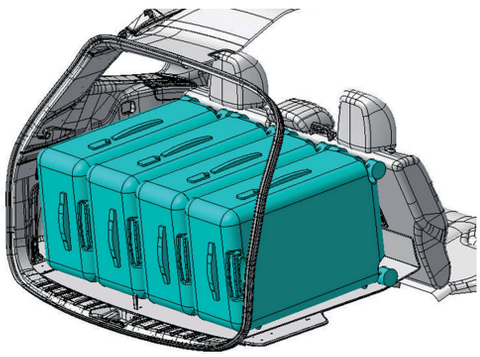


図 104　スーツケース搭載状態

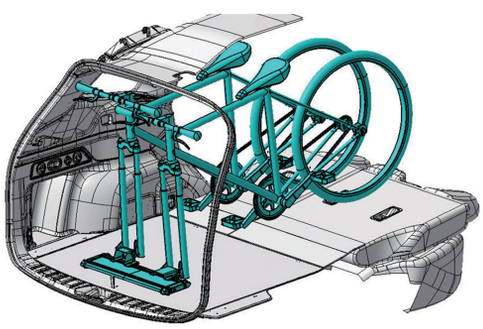


図 105　マウンテンバイク搭載状態

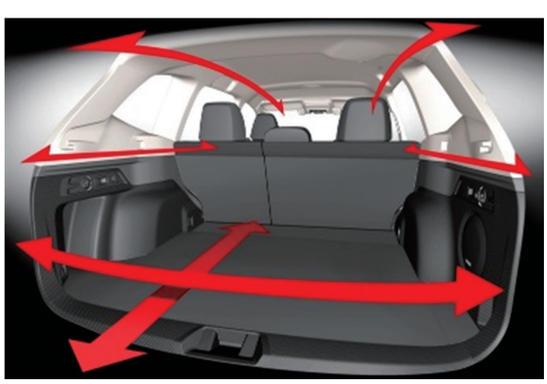


図 106　スクエアな造形

7.3.3　フラットな荷室段差

現行車に対してリヤバックレストのヒンジ位置を見直し、背面マット構造を変更。後席を倒した時の荷室段差を大幅に改善し、長尺物や大型収納物の出し入れをしやすくした(図107、108)。

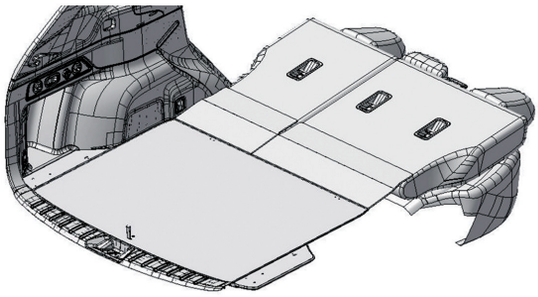


図 107　荷室段差改善

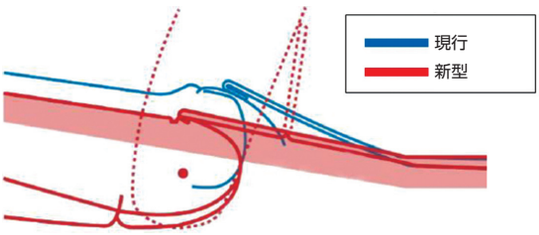


図 108　断面

7.3.4　使い勝手の進化

荷室は広い空間を提供するだけでなく、色々な用途に対応出来るような使い勝手を向上させるアイテムを多く取り込んだ。

7.3.4.1　荷室フック

荷室上部のフックは片側1ヶ所増設。4ヶ所とすることで使い勝手の幅を広げた。例えば、ネットを水平に掛けることで、荷室の上下で荷物の仕分けをすることが可能。空間を効率的に活用し、より多くの荷物を収納することが出来る（図109～111）。

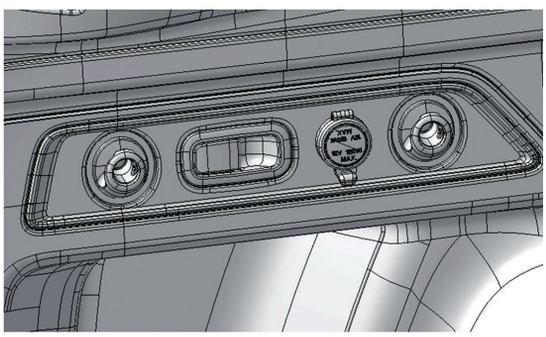


図 109　荷室フックの増設

図 110　ネット水平使用

図 111　ネット垂直使用

7.3.4.2　荷室ランプ

現行車で荷室側面に配置していたランプをルーフ側へ変更。上からの照射により、片側に寄せた荷物に遮られることなく荷室を照らすことが出来る。

また、一部グレードにはLEDのランプを採用し、リヤゲート側にもランプを追加した。より広い範囲で照射することが出来、夜間のアウトドアシーンなどで活躍する（図112、113）。

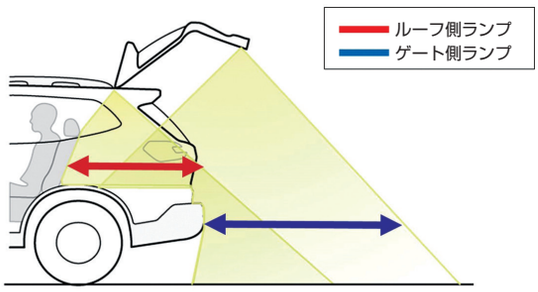


図 112　荷室ランプ照射イメージ

図 113　アウトドアシーンでの使用イメージ

8.　インフォテイメント

8.1　開発の狙い

乗る人すべてに居心地の良さを提供する事を目的とし、長時間運転でのストレスフリーを目指し、あらゆるシーンにおいて快適さが提供できる究極のインフォテイメント室内空間を追求してきた。

インフォテイメントとコンビメータとMFDの3ディスプレイを設け、表示要素を定義付けする事で、お客様のシチュエーションに合わせた使い勝手と視認性を

考慮すると共に、初めての方が簡単に操作できるようにGUI（Graphical User Interface）を取り入れて直感的な理解と操作を可能にした。

8.2　コンビメータ

上級仕様コンビメータ文字盤にテクスチャー印刷を採用して質感を向上させた。呼称[e－BOXER］やグレード名称[X－BREAK］等のロゴを追加し、指針CAP加飾のブルーめっき（青色グラデーション印刷とセット）やオレンジめっき（リング外周オレンジリング印刷とセット）を実施して特装感あるデザインにした（図114、115）。

図 114　Combination meter（e－BOXER）

図 115　Combination meter（X－BREAK）

メータパネル中央の4.2インチカラー液晶ディスプレイは国内EyeSightツーリングアシストの車線中央維持を表示。従来の白線から青線に変える事で区画線の認識状態が視覚的にも分り易い画像に改良を施している（図116）。

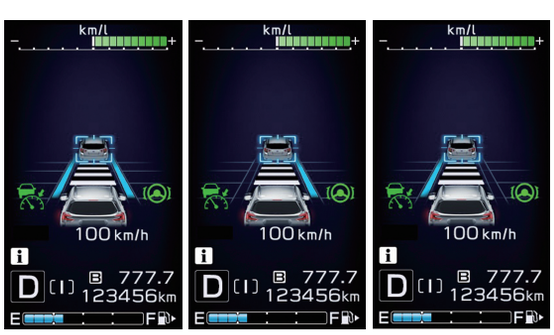


図 116　EyeSight ツーリングアシスト車線中央維持
（先行車追従操舵制御併用状態）

8.3　マルチファンクションディスプレイ（MFD）

ドライバー・助手席・後席すべての乗員が視認できる様にインパネ中央上部に6.3インチのカラー液晶ディスプレイの高級MFDを配置した。乗員全員が愉しくなるコンテンツを多数用意した。コンビメータ、ヘッドユニット（ナビゲーション、オーディオ）、ドライバーモニタリングシステムと車両連携制御して必要なときに必要な情報を提供するシステムに仕上げている（図117）。

図 117　Multi-function display

先進装備機能の作動状態や説明が分かる画面を新設した。操作方法が分かる様に第一階層は機能状態を表示し、第二と第三階層はO/M記載の説明画面を完備充実させた（図118～120）。

図 118　MFD 先進装備（第一階層）

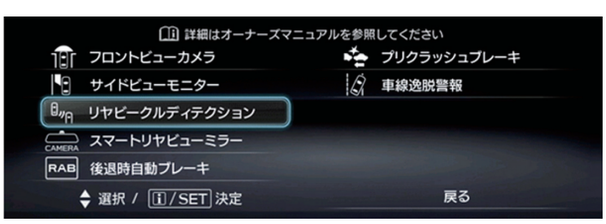


図 119　MFD 先進装備（第二階層、
リヤビークルディテクション選択）

図 120　MFD 先進装備（第三階層、
リヤビークルディテクション ON）

予防安全のX－MODEはSNOW/DIRTとDEEP SNOW/MUDの2モード状態と車両傾斜角度の前後ピッチ＆左右ロールを表示。サイドビュー中央の左右半分表示を雪と泥に分けてモード選択状態が一目で分かり、使用シーンも直観的に理解できる表示に仕上げた（図121）。

図 121　MFD 予防安全

国内EyeSightツーリングアシストの先行車捕捉・区画線・ハンドルの作動状態表示は青色に統一した。

ツーリングアシストの2つの機能とエコクルーズコントロール（ECO－C）のアクティブ状態を1つの専用アイコン緑色表示に集約して、状態理解が用意な画面デザインとした（図122）。

図 122　MFD 国内 EyeSight ツーリングアシスト

e－BOXERのエネルギーフローはリアルさを追求して各パーツを精緻感有る意匠で構成した。Sモードもモータアシスト状態を判り易くするために、ゲージ表現を採用して動画を用い判読性を向上させた（図123）。

図 123　MFD 国内 e－BOXER（エネルギーフロー、S モード）

ドライバーモニタリングシステムのスキャン画面は緑のラインが上から下にサーチして動かしスキャン状態を演出している（図124）。

図 124　MFD ドライバーモニタリングシステム
（スキャン画面）

8.4　Audio/Navigation system（海外向け）

海外向けシステムは主要マーケットの北米を念頭に、画面液晶は静電タッチパネルを採用し、スマホ生活スタイルのユースケースを追求したGUIとハードボタンにより先進感を向上した。アクリルパネルとNormally Black 液晶によるシームレスとフラッラシュサーフェースを両立させインパネセンター周りの高級感を向上している（図125）。

北米向けNavigation地図はMap OTA に対応した。

図 125　Audio/Navigation system

オーディオ／ナビゲーションシステムは主に次の項目の開発を進めた。

①Apple CarPlayやAndroid Autoなどのスマートフォン連携のコネクティビティ（図126）
②先進感と使い勝手を融合したデザイン
③お客さまのユースケースを考えたGUI
④高パフォーマンスで最新機能を充実させたハードウェア

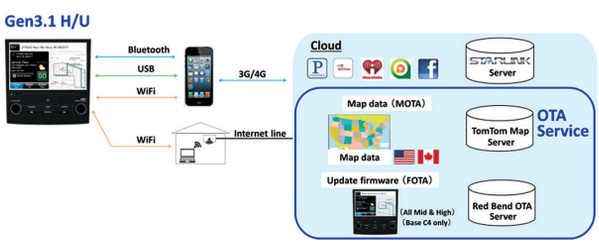


図 126　Smartphone connectivity

8.5　ハーマン カードンサウンドシステム（海外向け）

海外向け上級グレードOP選択仕様としてハイパフォーマンススピーカとハイパワー外部アンプから構成された高性能ハーマン カードンサウンドシステムを採用した。原音を忠実に再生する事を狙いサブウーファーを新規開発し、今までドアスピーカのみで低音を補完していた部分を、専用のサブウーファーに低音域を振り分ける事で、ドアスピーカ側の振幅量を抑える事が出来るため、音の応答性が改善され、よりタイト感のある中低音を実現した。また、ドアの振動改善にも寄与した。専用に設定したサブウーファーでは、必要なエンクロージャー容量を確保し、重低音をダイナミックに引き出す事ができる。また、車速に応じて音圧も自動で適正値にコントロールされる。

ハーマン カードン専門の音響スタッフと共同開発に

より、設計思想をレイアウト検討段階から織込み、上質でアコースティックな音場の実現と臨場感あるプレミアムな音響空間を実現している(図127)。

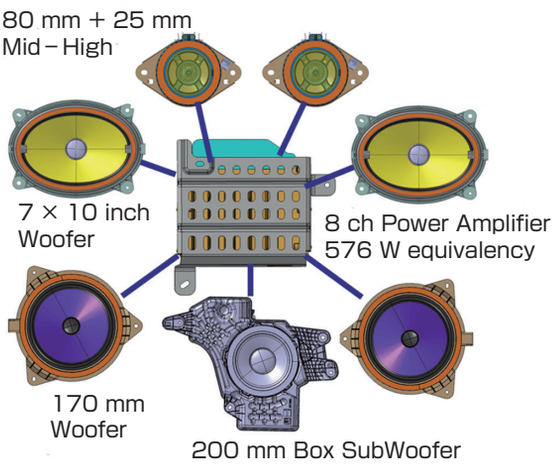
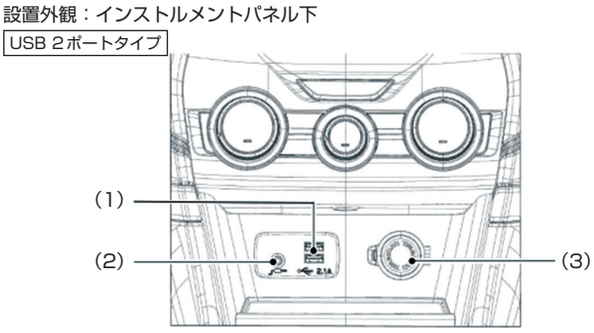


図 127　スピーカー構成

8.6　USBポート、USB電源、AUX入力端子

インパネパネル下部ポケットとセンターコンソール後端にUSBポート、USB電源、外部入力端子を配置。表示は白印刷化して暗がりの視認性を改善した。最大定格電流も表示して機能性をUP。表示は機能のグローバルな理解と訴求を目的にシンボル化している(図128、129)。

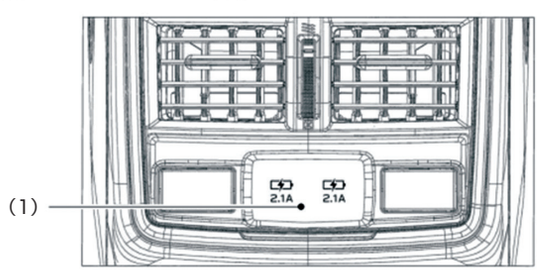
設置外観：インストルメントパネル下



(1) USB ポート
(2) AUX 入力端子
(3) 電源ソケット

図 128　前席用 USB ポート／ AUX 入力端子

設置外観：センターコンソール後端



(1) 後席 USB 電源

図 129　後席用 USB 電源

9.　パワーユニット関連

9.1　エンジン

9.1.1　開発の狙い

新型FORSTERのエンジンには、従来価値として省燃費を筆頭とした環境性能のさらなる向上をさせることは勿論、Stir of Adventureを駆立てるような動力性能を持たせることが開発の使命であった。エンジン性能では相反する項目もある中で、これらを高次元で両立させるべく開発した。

2016年に発売したIMPREZAから始まったFBエンジンの次世代化を新型FORESTERでも適用し、NAエンジンは全て燃料の筒内直噴仕様とすることで、環境性能の向上と動力性能向上に寄与するトルクアップを達成している。またハイブリット車のエンジンも専用設計を施し、機関の熱効率を最大化する開発を行った。

9.1.2　搭載エンジンの紹介

新型FORESTERは開発の狙いと市場特性に合わせ、3種類のエンジンを用意している。

(1) 2.5L　直噴NAエンジン

従来の2.5Lエンジンに対し、直噴化を始めとした次世代化を施すとともに、SUBARU初採用となるエンジン冷却水の温度をコントロールするバルブを採用し、エンジン各部の温度管理によるフリクション低減を実現し低温時の燃費改善に貢献させている(図130)。

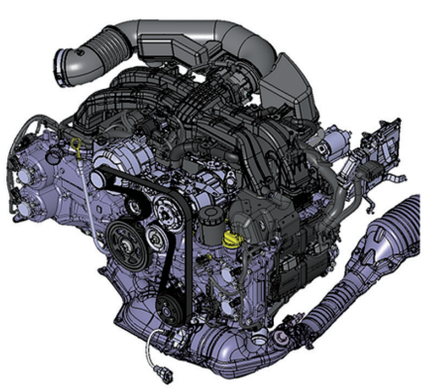


図 130　2.5L エンジン外観図

(2) 2.0L　直噴NAエンジン

新型IMPREZAと共用するパーツを活用しながら、新型FORESTERにも相応しい動力性能と環境性能を有するよう開発を行った。一部仕向けではエンジン制御システムを刷新し、発生トルクベースの適合を取入れることで、開発効率の改善にも取り組んでいる(図131)。

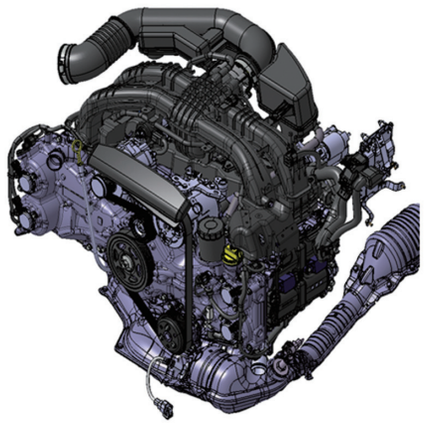


図 131　2.0L エンジン外観図

(3) 2.0L　直噴NA　ハイブリット車用エンジン

ハイブリット車用のエンジンは(2)と同じ2.0Lエンジンをベースとしながら、より熱効率向上を目指して専用開発を行った。EGR導入システムの改善や、フリクション低減となる専用アイテムの投入により。38.5%の最大熱効率を発揮することができ、SUBARU最良の機関まで環境対応を進めることが出来た。出力諸元値は低減するが、モーター出力による動力性能向上とSI-DRIVEによって、最上級グレードに相応しいトルク感のあるドライバビリティーを発揮したエンジンに仕上がった。

9.1.3　エンジン諸元、諸性能

上述したエンジン諸元と性能は以下となる。

表 6　エンジン諸元一覧

	新型 FORESTER		
	FB25	FB20	FB20 (HEV)
気筒配列	水平対向 4 気筒	水平対向 4 気筒	水平対向 4 気筒
ボア×ストローク [mm]	94 × 90	84 × 90	84 × 90
排気量 [L]	2.498	1.995	1.995
圧縮比	12.0 : 1	12.5 : 1	12.5 : 1
燃料供給	筒内噴射	筒内噴射	筒内噴射
最高出力 [kw/PS]	136/184	115/156	107/145
@rpm	5800	6000	6000
最大トルク [Nm/kgfm]	239/24.4	196/20.0	188/19.2
@rpm	4400	4000	4000

尚、エンジン性能や機能説明は後述するので割愛する。

9.2　トランスミッション

9.2.1　開発の狙い

新型FORESTERの動的静的質感と環境性能向上のため、リニアトロニック(図120、121)を改良し搭載した。動力伝達部、ケース、操作系部品の変更により質感を向上し、フリクション低減と軽量化を行い環境性能を向上した。ハイブリッド・リニアトロニックはスバルグローバルプラットフォームに適するレイアウト変更を実施した。

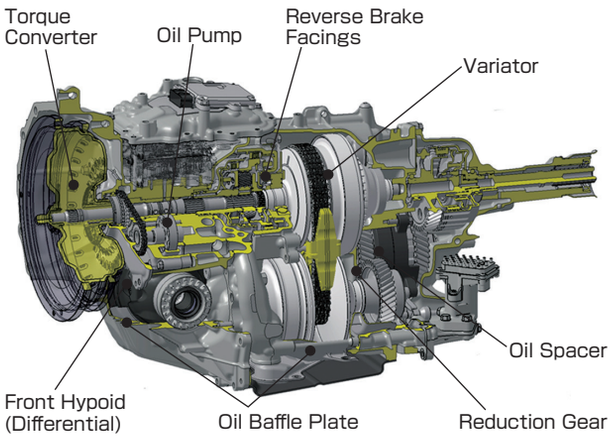


図 132　Lineartronic

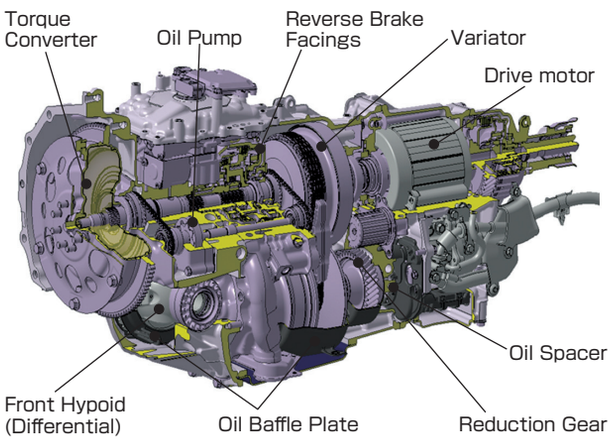


図 133　Lineartronic-hybrid

9.2.2　動的、静的質感

9.2.2.1　振動騒音性能向上

全てのパッセンジャーに対する快適さと心地良さを向上するため、バリエータチェーン音、オイルポンプ音、ギヤ音性能を向上した。バリエータチェーンは10%のショートピッチ化と、シーブとチェーンガイドの最適剛性形状化を行った。オイルポンプ音性能向上のため、歯形、歯幅、ポート形状を変更し吐出性能を確保したうえで駆動増速比を低減し、またポンプハウジング質量を最適化した(ハイブリッド・リニアトロニックを除く)。ギヤ音性能向上のため、歯形のチューニング、軸支持ベアリングの剛性向上、制振用スナップリングをギヤ内側に追加した。

9.2.2.2　操作質感向上

セレクトレバー操作時にドライバーが感じる静的質感向上のため、トランスミッション内部の操作系部品を変更した。マニュアルプレートのディテント形状を変更し、セレクトレバー上で大きな操作力が必要となるストロークを短縮し、また、ディテントスプリングのマニュアルプレート接点にベアリングを追加し、操作の滑らかさを向上した。

9.2.2.3　ドライバビリティ向上

バリエータチェーンのショートピッチ化によりレシオカバレージを11%拡大し、発進加速性能と高速巡航時のエンジン低回転化を行った。変速制御はオートステップ変速を採用するとともに、マニュアルモードはレシオカバレージ拡大を活かし従来の6段から7段化し、運転の愉しさ向上を行った。2.0L車のトルクコンバータはトーラス小径化でイナーシャを低減し加速軽快感を向上した。

9.2.3　環境性能

9.2.3.1　燃費性能

トルクコンバータのダンパーを変更し、前モデルに対しねじり剛性を48%(2.0L)～51%(2.5L)低減した。エンジンからのトルク変動の減衰性を向上することで駆動系から発生するこもり音や振動を低減し動的質感を向上するとともに、低車速からロックアップ可能とし燃費性能を向上した。レシオカバレージ拡大、フロントハイポイドギヤ部とプーリー部のオイルバッフル形状の最適化、リバースブレーキフェーシング形状の変更により低フリクション化を行った。トランスミッション後部のオイルスペーサにより、加速や登坂時の内部のフルード移動量を抑制し、油面高さを下げることで攪拌抵抗を低減した。これらによりトランスミッション全体で最大16%損失を低減した。

9.2.3.2　軽量化

2.0L車用トルクコンバータは小径化にて35%軽量化し、フロントハイポイドギヤは溶接固定化による軽量化と攪拌抵抗低減を行った。ケース形状は最適化解析により導出したリブ形状、肉厚変更を織り込んだ。なお、ハイブリッド･リニアトロニックのケース形状は、スバルグローバルプラットフォーム適用のために高電圧ケーブルのトランスミッションへの配策を車両左側から右側接続へ変更した。さらにスバルグローバルプラットフォームに適した衝突対応のため、各ケース形状、電動ポンプ用ハーネス配策と構造を変更した。トランスミッションコントロールユニットは、車室内配置からトランスミッション上部への直接搭載方法とした。これらによりトランスミッション全体で3～6%の軽量化を行った。

9.3　動力性能(ガソリン車)

2.5Lエンジンの DI化によるトルク向上、リニアトロニックのレシオカバレージ拡大により動力性能を向上。2.5Lクラス競合車の中ではトップクラスの加速性能を達成した(図134)。

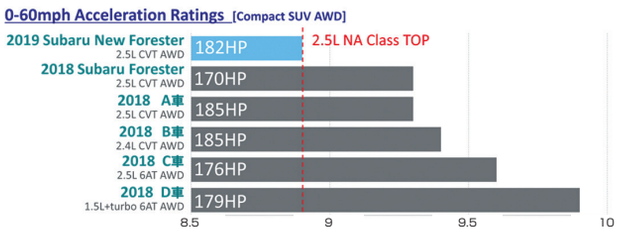


図 134　0-60 mph 加速タイム比較

9.3.1　SI-DRIVE

ガソリン車はグレードにより、ハイブリッド車は全グレードにSI-DRIVEを設定した。

制御仕様を最適化することで、現行車に対しIモードでは燃費に有利な設定とし、Sモードではエンジン回転数を高めにするなどにより運転の愉しみを向上させた。

ハイブリッド車はSモードにすると、エンジンを常に始動させた状態にすることで加速レスポンスを向上させ、さらにモーターアシストによりガソリン車以上の力強い加速を実現した。

9.3.2　X-MODE

FORESTERは悪路走破性向上のため、スイッチ一つで走破性を向上させるX-MODEを装備している。しかし、泥濘路等極端に路面状況が悪い場合には、合わせてTCS(トラクションコントロールシステム)をOFFにする必要があった。

新型FORESTERではX-MODEを2モードの設定とし、従来のX-MODEと同等のSNOW/DIRT モードとTCS OFF機能も兼ね備えたDEEP SNOW/MUDモードを設定。スイッチ一つで誰でも簡単に路面に適したMODEを選択することができるようになった。さらに、DEEP SNOW/MUDモードではエンジン特性も最適化し、条件の悪い路面でも安心して運転することを可能とした。

また、マルチファンクションディスプレィ(MFD)やマルチインフォメーションディスプレィに選択モードや車両状態を表示。悪路走行時に車両の傾きなどを把握できるようにした(図135)。

図 135　X－MODE スイッチ、マルチファンクションディスプレイ

ハイブリッド車では、X-MODEにすることで常時エンジンがかかった状態となり、低速から高いトルクを生み出すモーターのアシストを活かすことで、さらに高い脱出性と扱いやすさを両立した(図136)

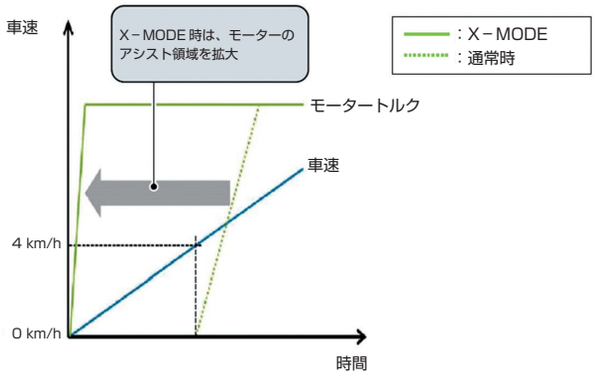


図 136　X－MODE（e－BOXER）

10.　ハイブリッドシステム

10.1　開発の狙い

新型FORESTERの上級グレードの位置付けとし、各国燃費規制に対応したハイブリッド車を開発。SUBARUらしい走りの愉しさと安心感、高い実用性や安全性はそのままに、環境時代に向けたAWD－SUVカテゴリートップ（PHEV除く）の低燃費やドライブモータによる加速の質感とEV走行感を向上させることを狙った。

10.2　システム構成

14MY SUBARU XV（北米：CROSSTREK）の1モータシステムを踏襲（図137）し、主動力としてのエンジンと、トランスミッションに内蔵された駆動／発電を兼ねる1つのモータからなるパラレルハイブリッドシステムを採用した。

高電圧バッテリをニッケル水素からリチウムイオンへ変更。さらに、ドライブモータインバータ、DC/DCコンバータを次世代化し効率向上を狙った（表7）。また、図138にシステム全体図を示す。

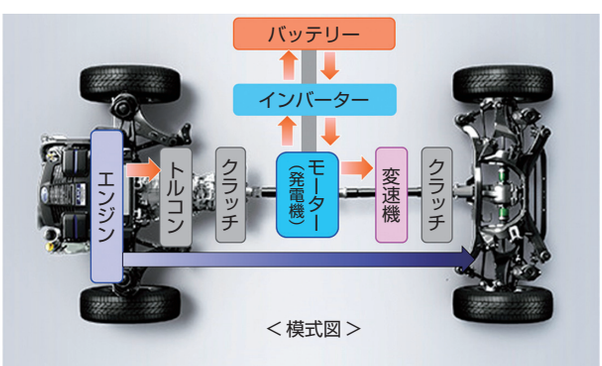
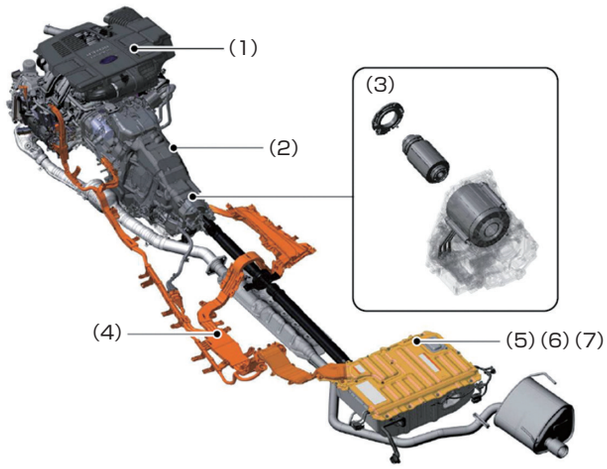


図 137　SUBARU HYBRID SYSTEM

10.3　ブレーキ制動の制御改善

10 km/h程度の低速域からブレーキをかけた際に、電動車特有の回生ブレーキと機械ブレーキの作動が重



(1) ハイブリッド車専用2.0L直噴エンジン
(2) ハイブリッドリニアトロニック
(3) ドライブモータ
(4) 高電圧ケーブル
(5) ドライブモーターインバータ
(6) DC/DCコンバータ
(7) 高電圧バッテリ

図 138　System Configuration

表7　Specification

項目	機能	性能
ドライブモータ	駆動／充電用電動機	最高出力 10 kW（日本） 9.6 kW（中国）
		最大トルク 65 Nm（日本） 63 Nm（中国）
ドライブモータ インバータ	直流ー交流変換	
DC/DC コンバータ	直流電圧変換	出力電流 120 A
高電圧バッテリ	駆動／回生用電源	公称電圧 118.4 V

なるときに発生する急な減速フィーリングの改善を図った。これより他銘電動車に比べブレーキと車両動作がリニアにする事が出来、ガソリン車同等のフィーリングを実現している（図139）。

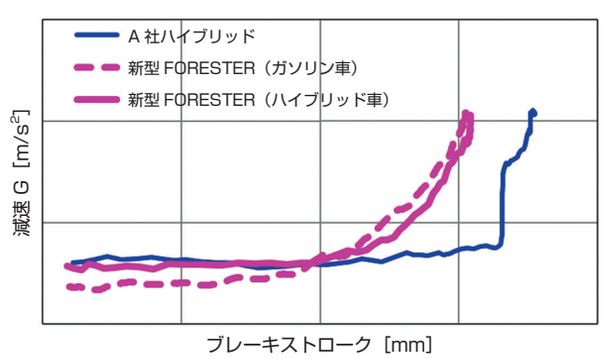


図 139　10 km/h からのブレーキストロークと減速度

10.4　制御概要

エンジンとドライブモータは、それぞれ独立して車両の駆動に関与。駆動力の発生はおもにエンジンで行

い、ドライブモータはエンジンに負荷がかかった場合のアシストの役割を担い、低速時にはドライブモータのみで駆動(EV 走行)する。また、減速時には発電機として働き、減速エネルギーを効率よく回収し高電圧バッテリに充電する。

さらに発進時にはモータアシストを加える事により、加速時の軽快感を向上させた(図140)。

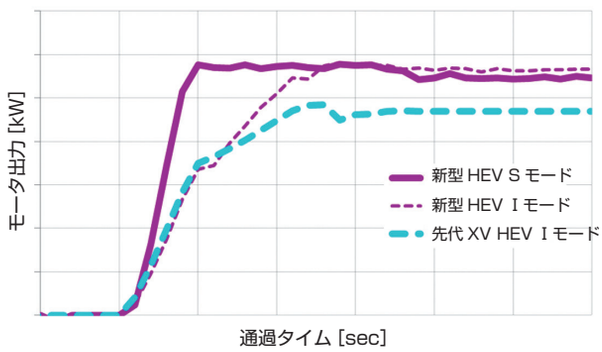


図 140　Comparison of power performance

10.5　オートステップ変速制御

アクセル開度に応じて、滑らかで燃費性能のよい変速特性とスポーティな変速特性を切り替えられるオートステップ変速制御を採用した。

・アクセル開度が小さいときは、走行状態に応じた適切な変速比での走行を可能とする無段変速制御となり、燃費性能の高い走りを実現する。
・アクセル開度が大きいときは、エンジンサウンドと車速上昇の一体感を高める有段変速制御となり、スポーティな走りを実現する。

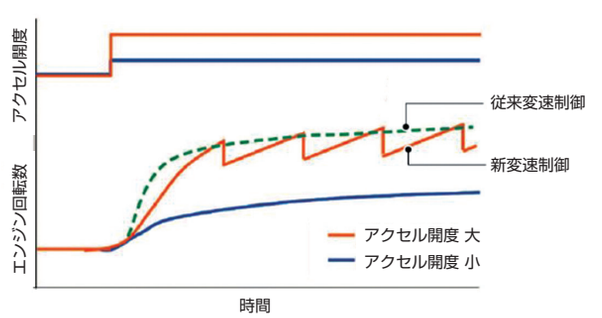


図 141　Theoretical line of Auto Step mode

11.　シャシー

11.1　ステアリングシステム

11.1.1　電動パワーステアリング

従来車同様にピニオンアシスト式電動パワーステアリングを全車採用することで、車線逸脱防止制御の実現と燃費向上を行った。

さらにラック＆ピニオンギア比はVGRとし、ハンドル最大回転数の抑制による車両の取り回し性向上と、穏やかな車両挙動の両立を図るとともに、EyeSightツーリングアシストにも対応した(図142)。

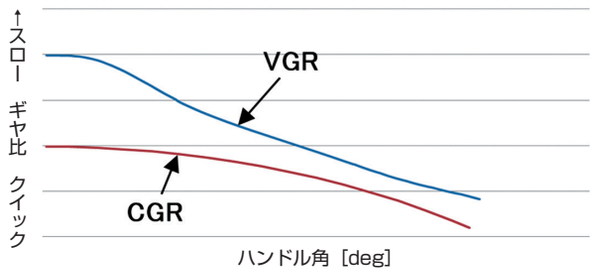


図 142　VGR と CGR のギア比比較イメージ

11.1.2　ステアリングコラム

現行IMPREZA、XV同様に衝突安全性のさらなる向上を目的としてコラプスストロークを186.5 mm以上(従来車165 mm以上)確保した。

より自然な運転姿勢を実現するために、チルト／テレスコピック調整量を、チルト：54 mm(従来車42 mm)、テレスコ55 mm(従来車40 mm)に拡大した。

また、操舵時のしっかり感の実現およびステアリング振動抑制を目的に、高剛性かつ軽量なステアリングコラムを採用した。

11.1.3　ステアリングホイール

現行IMPREZA、XVと同様に操作性向上のため、外径をφ370(従来車φ375)とし、握りやすさ向上のため、グリップ形状を見直した(図143)。

さらに上級グレードにステアリングヒーターを設定するとともに、国内(X-BREAK)・北米(2.5i-S、2.5i-Spt)には赤オレンジステッチを採用し、他グレードとの差別化を図った。

図 143　ステアリングホイール

11.2　ブレーキシステム

現行IMPREZA、XV同様のブレーキシステムを踏襲しつつ、全車EPBを採用し利便性の向上とVDCに

よる負圧低下時の助勢制御の導入により、緊急時の制動性能を確保した。

11.2.1　マスターシリンダー＆ブースター

メリハリある質感の高いブレーキフィーリングを狙うため現行IMPREZA、XV同様に高応答性ブースターを採用。

高応答性ブースターは高応答性バルブ構造等の採用により、従来からのペダルの踏み込みに応じたリニアな利き味を活かしつつ剛性感を向上。より応答性を高めて、とっさのブレーキ作動時でも高いブレーキ性能を発揮し、安心感あるブレーキを実現。

また、ペダル踏み込み時にブースターへ大気を供給する流路抵抗を削減することで、ペダル踏み込み時の応答性を格段に向上させた（図144、☆部が主な変更部位）。

さらに車格、キャラクターに合わせ、ブースターの特性をチューニング。意のままに操れるコントロール性と剛性感、効き味を高いレベルでバランスさせ、クラストップレベルのブレーキ性能を実現した。

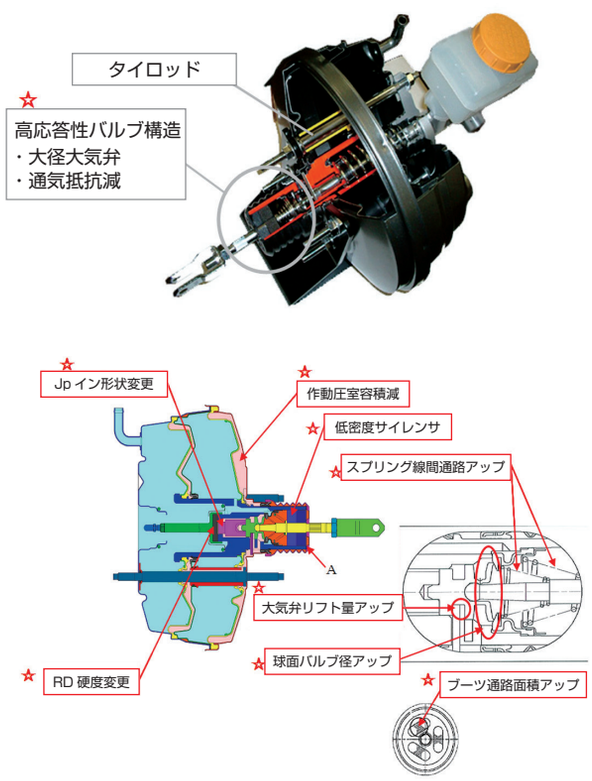


図 144　マスターシリンダー＆ブースター

11.2.2　フロントブレーキ

現行IMPREZA、XV同様のフロントブレーキシステムを踏襲しつつ、北米仕向けはブレーキ性能向上のため、17インチブレーキを新製するとともに、欧州仕向けについてはブレーキの効き及び耐フェード性能向上のため、新摩擦材（GA5504H）対応のPADを新規採用した。

ブレーキを踏んだ瞬間にペダルから伝わるストローク、反力、減速感を感じられる様にするため、下記に示す改良を行うと共に、車の運動性能に見合った熱容量を確保した。

■シリンダ径ダウン

シリンダ径を小さくする事で所要液量を減らし、無効ストローク低減に繋げた。背反となる制動トルクの低下を補填するため、摩擦係数の高いPADを採用しシリンダ径を下げても制動トルクが等価となるシステムとした。

■ シリンダ剛性の向上

液圧に対するシリンダ変位が、ピストンロールバックのロスになる事から、変形モードの改善とシリンダ剛性を上げている。ロールバックロスを低減することにより、消費液量及び引き摺り抵抗を約30%低減した。

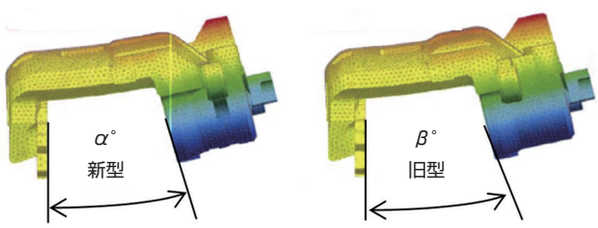


図 145　シリンダ変位：α ＜ β

尚、ハイブリッド車については回生ブレーキに合わせた専用シリンダボディを採用。

無効ストローク領域でエネルギー回生を行うため、ガソリン仕様に対してシリンダ径をアップし、制動力向上と無効ストローク領域で燃費に必要なエネルギー回生を確保した。

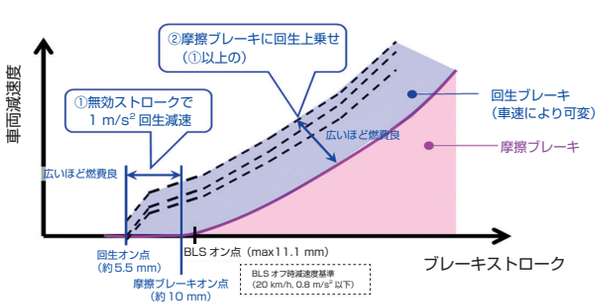


図 146　ブレーキストロークと車両減速度の関係

11.3　タイヤ・ホイール

11.3.1　タイヤ

17インチ、18インチサマータイヤは新規開発、18インチオールシーズンタイヤは現行XVで開発したタイヤを採用。タイヤの材質、トレッドパターン、内部

構造などを見直し、トータルバランス向上を図った。

また、従来車では警告灯のみでドライバーに空気圧の低下を知らせていたTPMSシステムを、空気圧が低下している車輪を特定してドライバーに知らせるシステムとした(図147)。

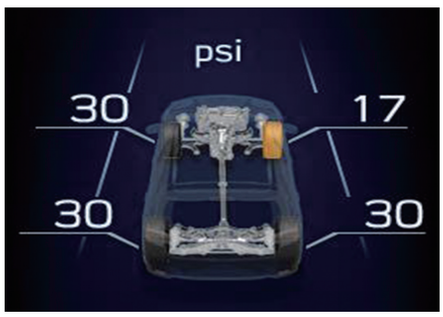


図 147　TPMS 空気圧表示

表8　タイヤー覧

サイズ	ブランド	銘柄
225/60R17 (サマー)	BRIDGESTONE	DUELER H/P SPORT
225/60R17 (オールシーズン)	YOKOHAMA	GEOLANDAR G91
	BRIDGESTONE	ECOPIA H/L422 PLUS
225/55R18 (サマー)	BRIDGESTONE	DUELER H/P SPORT
225/55R18 (オールシーズン)	FALKEN	ZIEX ZE001

11.3.2　ホイール

ホイールPCDを114.3 mm化するとともに、アルミホイールおよびフルホイールキャップのデザインを新設計した。空力性能の高さや軽量化に配慮しながら、しっかりとボディを支える安心感と大地をとらえる力強さを表現したデザインとした。

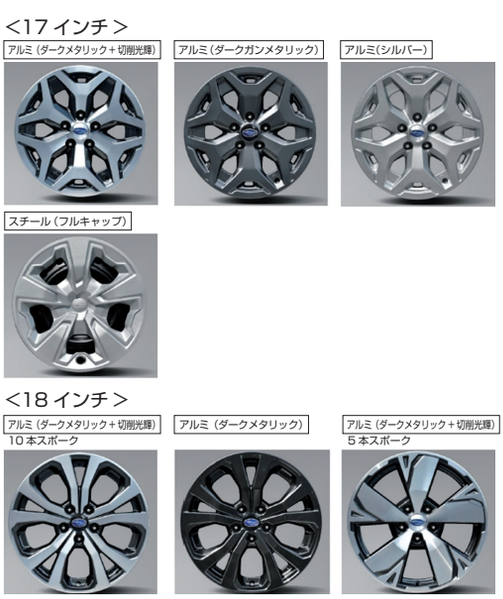


図 148　ホイール一覧

11.4　制御

11.4.1　VDC

車両の挙動を常時チェックしABS(アンチロック制御)、TCS(エンジン制御、ブレーキLSD制御)、VDC(横滑り防止のためにエンジンとブレーキを制御)をフレキシブルに制御すると共に、介入タイミングの最適化により高い安定性を確保する制御とした。

さらにH/Uには次世代品を採用して小型化を実現した。

また、危険回避のシチュエーションで効果を発揮する制御ロジックを織り込み、トップレベルの危険回避性能を実現すると共に、アクティブ・トルク・ベクタリングを導入し、左右輪へのトルク配分を個別制御することで、旋回時のコーストレース性を高めた。

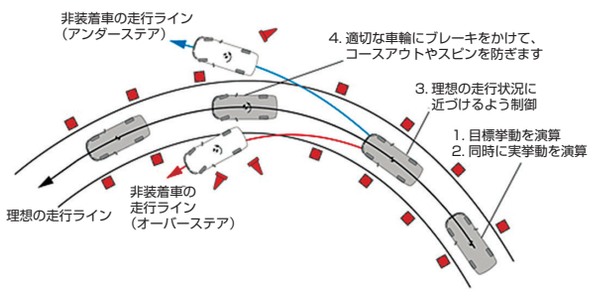


図 149　VDC 走行イメージ

■オートビークルホールド(AVH)

ドライバーの運転負荷軽減を目的として、オートビークルホールド(AVH)機能を採用した。

AVH機能は信号待ち時、渋滞時、坂道での停車時などでブレーキペダルを踏み続けなくてもVDCシステムの液圧保持機能により停車保持を実現する。また、一定時間経過時や異常時は電動パーキングブレーキと連携することで車両の停車状態を維持することが可能である(表9)。

表9　現行車の類似機能との比較

仕様	オートビークルホールド(AVH)	ヒルホールド機能	ヒルスタートアシスト機能
保持機構	VDC +電動パーキングブレーキ	電動パーキングブレーキ	VDC
保持時間	電動パーキングブレーキに移行することで制限なし	制限なし	約1～2秒
保持路面	全路面(ただし、電動パーキングブレーキで停車できる勾配)	登坂路	登坂路

尚、AVHスイッチの設置場所はセンターコンソールとした。また、AVHスイッチ(図150)を押すことでメータ内のAVH表示灯の点灯で目視確認出来るものとした(図151)。

再度押すとAVH表示灯が消灯しスタンバイ状態を解除する。

システムスタンバイ状態時にブレーキを踏み停車すると停車保持され、アクセルペダルを踏み込むことで停車保持を解除する。

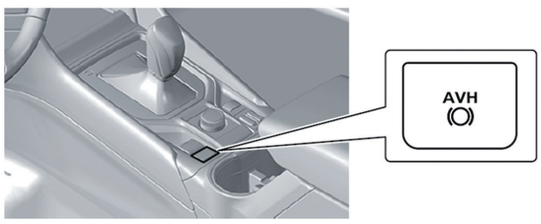


図 150　AVH スイッチ

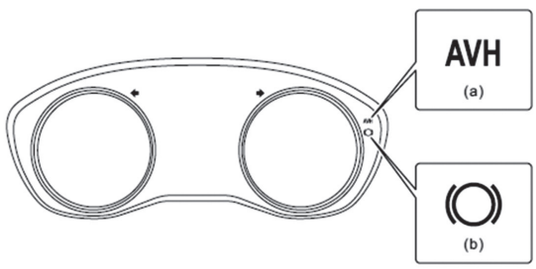


図 151　AVH 表示灯

■電動パーキングブレーキ

インドラム式のパーキングブレーキシステムから、電動パーキングブレーキに変更した。

パーキングブレーキレバーを無くしたことによる快適な室内空間の実現と、パーキングブレーキレバー操作の負担をなくしつつも、安定したパーキングブレーキの制動力を確保した。

尚、EPBスイッチはドライバーが操作しやすいように、センターコンソールにスイッチを設置した(図152)。

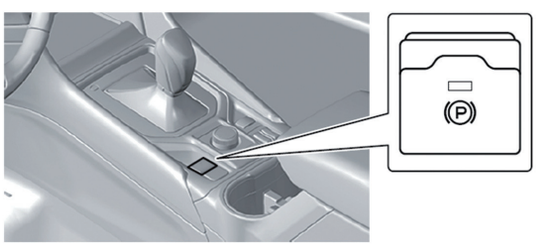


図 152　EPB スイッチ

電動パーキングブレーキが作動すると、コンビネーションメータ内に配置された電動パーキングブレーキランプが点灯する(図153)。

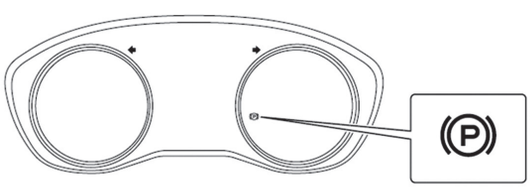


図 153　EPB 表示灯

11.5　燃料システム

燃料システムは車の実用性に配慮し、居住空間の有効活用と航続距離を向上させながら、現行XV同様に軽量樹脂製燃料タンクを採用した。

表１０　燃料タンク容量

	仕様	国内	欧州	中国	北米
従来車	ガソリン車	60 L			
新型車	ガソリン車	63 L			
	ハイブリッド車	48 L	−	50 L	−

12.　まとめ

激戦が続くSUVカテゴリーであるが、決して奇をてらう事なく実直に作り込んできたのが、この新型FORESTERである。歴代のFORESTERが培ってきた「どこにでも行ける、どんな場面でも使える」という信頼感を継承しつつ、全ての乗員が快適に感じていただける空間と、冒険心を掻き立てるような外観を加え、多くのお客様にご満足いただける車に仕上がったと自負しています。この車が多くの方の手に渡り、皆様の人生が豊かで活動的なものになる事を望みます。

最後にこの場をお借りして、この新型FORESTERの開発に携わった関係各位のご尽力に対し、プロジェクトメンバー一同心から御礼申し上げます。

【著　者】

SUBARU FORESTER
開発プロジェクトチーム

[商品企画本部]　布目　智之
　　只木　克郎
　　松崎　輝男
[車体設計部]　青田　裕之
　　瀬川　貴弘
[シャシー設計部]　根本　顕弘
[外装設計部]　福田　知弘
[内装設計部]　岡留　聖二
[電子商品設計部]　本多　雄二
[電子プラットフォーム設計部]　武島　　護
[先進安全設計部]　金子　法正
[エンジン設計部]　堀　　智宣
[トランスミッション設計部]　長屋　浩之
[電動ユニット設計部]　田中　基之
[車両研究実験総括部]　武藤　政英

新型フォレスター用　水平対向エンジンの紹介

Introduction of New SUBARU FORESTER's Horizontally Opposed Engine

堀　　智　宣[*1]
Tomonobu HORI
国府寺　弘　明[*2]
Hiroaki KOODERA
木　島　　誉[*2]
Homare KIJIMA
渡　辺　将　章[*3]
Masaaki WATANABE
金　子　　隆[*4]
Takashi KANEKO

抄　録

新型フォレスターでは2.5L　NAエンジンと2.0L NAエンジン、さらにハイブリッド車用の2.0Lエンジンと3種類の新型エンジンを開発した。

その中から生産台数の最も多い2.5Lエンジンとハイブリッド車用エンジンで採用した技術及び構造の説明、性能達成手法の紹介を本章で行う

Abstract

All new SUBARU boxer engines were developed for new FORESTER, which has a line-up of 2.0L NA, 2.5L NA and 2.0L hybrid.

This report introduces the overview of the technical features and components used to achieve targeted engine and vehicle performances, focusing on 2.5L engine, the highest production engine for FORESTER and 2.0L hybrid engine.

1.　まえがき

フォレスターはSUVとしての従来価値を高く評価され、スバルの成長と共に世界中で販売台数を伸ばしてきた。今回の新型フォレスターではさらにエモーショナルな価値を持たせ、本格的な走行性能やタフな機能を有する、Stir of Adventure（冒険心をかき立てる）という新たな価値提供を目指した。

その中で重要な要素であるパワーユニットも、時代進化分の成長を実現することが求められた。これに応えるべく、水平対向エンジン（SUBARU BOXER）を継続採用し、次世代化することで、現行インプレッサから進めてきたNAエンジンの進化を今回のフォレスターに展開した。また、従来のターボエンジンによる絶対的な加速性能でなく、ガソリン車においては自然吸気ならではの回転フィーリングを生み出す特性によって、一方ハイブリッド車においてはモーターの動力補助によって、新型フォレスターの特徴に合わせた気持ちのよい加速感を実現した。次世代化したNAエンジンの開発内容を整理し、進化の過程を記しておく。

＊1 エンジン設計部
＊2 エンジン開発推進PGM
＊3 エンジン制御開発部
＊4 CAE部

2.　エンジン開発の狙い

2.5Lエンジンは、2016年に投入したインプレッサ用2.0Lエンジンに続き、次世代NAエンジンとして燃料システムを直噴仕様へ変更し、環境性能と動力性能を高次元で進化、両立させた。

またハイブリッド車用2.0Lエンジンは、先行した2.0Lエンジンをベースとしながら、燃費性能の向上と、最上級モデルに相応しい静粛性と質感の改善を図った。

今回、フォレスターのフルモデルチェンジにあわせて、パワーユニットは大幅な進化を達成した。本報にて、基本設計内容・構造・性能達成状況・車両性能への貢献について報告する。NAエンジンの次世代化によって、

・軽快な加速感
・心地良さを感じる静粛性
・実感して頂ける燃費の良さ

を車両として実現させ、お客様へ『安心と愉しさ』に加えてエモーショナルな価値を提供する事を目指した。

3.　2.5L　NAエンジン

3.1　設計の狙いと諸元

表 1　新型エンジンと従来エンジンの諸元

	FB25	
	新型フォレスター	現行アウトバック
気筒配列	水平対向　4気筒	水平対向　4気筒
ボア×ストローク	94 × 90 mm	94 × 90 mm
排気量 [L]	2.498	2.498
圧縮比	12.0 : 1	10.3 : 1
燃料供給	筒内直噴	ポート直噴
最高出力 [kw]	136	129
@ rpm	5,800	5,800
最大トルク [Nm]	239	235
@ rpm	4,400	4,000
使用ガソリン	90 RON	90 RON
可変動弁機構	Dual-AVCS	Dual-AVCS
熱マネジメントSYS	有り	無し

表1に新型エンジンと従来エンジンの諸元を示す。新型2.5Lエンジンは燃料システムを直噴化して次世代化することと合わせ、全方位の性能向上を図った。例えば、約90%の部品仕様を見直し、その結果、現行比約1.9 kgの軽量化を実現している。

またSUBARU初採用となる熱マネジメントシステムによって、冷間時からのエンジン暖機特性を改善した。これにより、燃費向上・暖房性能向上、オーバークールの防止などに寄与したエンジン発生熱量のコントロールを実現した。

3.2　熱効率の改善

3.2.1　燃焼改善の取り組み

熱効率の改善を図るために、直噴化によるノック抑制と高圧縮比化以外の手段として、冷却損失の改善を実施した。燃焼期間の短縮を目的とし、燃焼速度向上や筒内ガス流動の強化による燃焼改善を図った。

燃焼速度を高めるためにTGV・ポート内隔壁と吸気ポート形状を変更した。また、ピストン冠面を含めた燃焼室形状の最適化に加え、ウォールガイドからエアガイドへ変更することで、より強いガス流動を上死点近傍まで維持させ、燃焼期間短縮による損失改善を実現した。図1に構成部品を示す。図2に筒内流動解析による、ガス流動強化の実例を示す。吸気バルブ開時の流速を高め、かつ筒内でもその流速が維持できていることを解析ベースで確認し、実機反映することで熱効率改善を行い、同クラスのエンジンの中でもトップクラスの図示熱効率を実現した。

3.2.2　熱マネジメントシステムの採用

1) コンセプト

熱マネジメントのために冷却回路の集合部にサーモコントロールバルブを配置した(図3の青色部)。さらに、エンジン出入口に水温センサを追加することで、目標水温となるように水温と水流をコントロールすることを可能にした。これにより、ヒーターへの通水量とラジエータへの通水量を制御し、早期暖機を実現した。これらの効果を図4と以下に示す。

・低水温時は水流を止める事により、2.0Lエンジンに対して暖機時間を3/5にした(図5)。また、早期暖機効果により、燃焼の安定性向上と、フリクション低減による燃費性能向上を実現している。

・低負荷時はラジエータへの通水を制限することにより高水温制御を行い、オイル粘度を低減しフリクション低減を行っている。

・高負荷時には低温制御によりノッキング発生を抑制し、点火進角を進めることで出力向上に貢献させている。

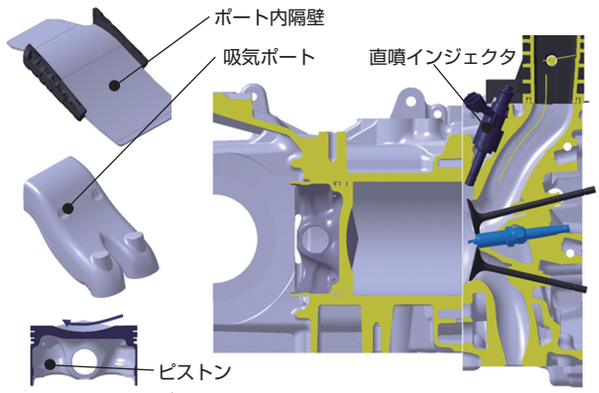


図 1　ガス流動の強化のための部品構成

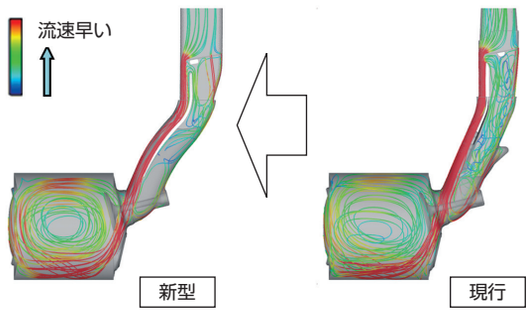


図 2　CAE 解析による机上検証結果

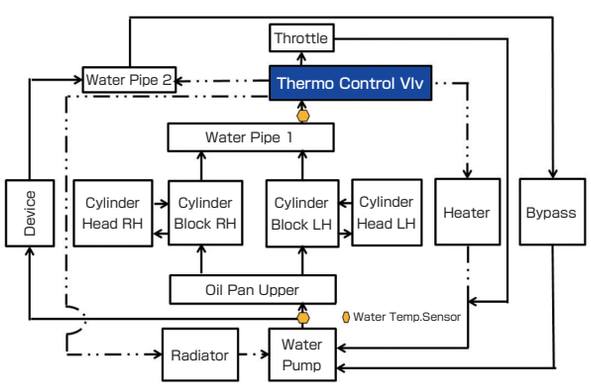


図 3　エンジン冷却水回路図

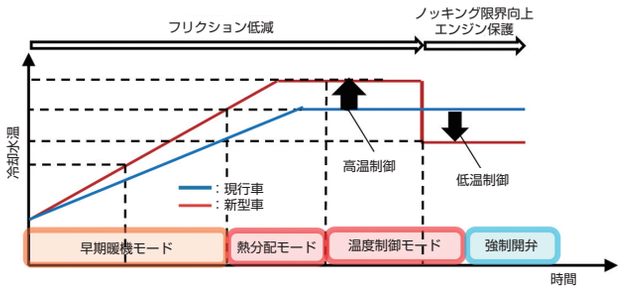


図４　水温制御の狙い

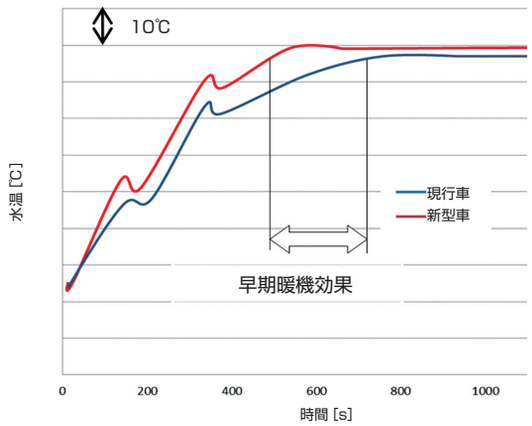


図５　エンジン水温上昇の比較

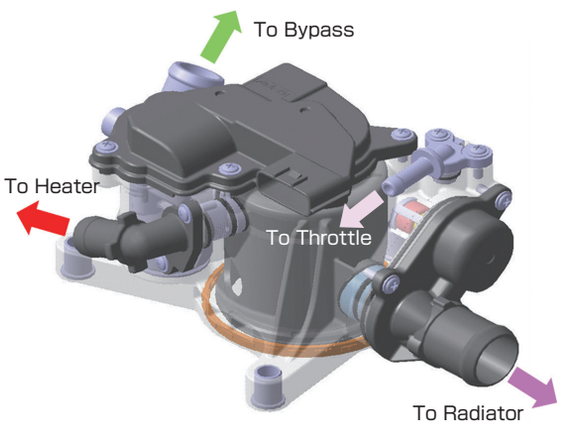


図６　サーモコントロールバルブ

2) 熱マネジメントシステムの構成

熱マネジメントシステムを実現させるためのデバイスとしてサーモコントロールバルブ(図6) を採用している。

ラジエータへの水流をエンジン出口制御に変更することで、バルブによる水流切り替え時に、従来エンジンよりもエンジン冷却水の圧力が上昇する。これに対して、バルブの開度制御と、エンジンハード仕様の両面から対策を取ることで、最適設計仕様を実現した。

制御面では冷却水圧の上昇を抑えるため、一定の運転領域下では強制的にラジエータへ通水させることにより、水圧を低下させている。

仕様面では、冷却水止め時に発生する水圧上昇とエンジン内部に生じる温度差から発生する口開きと呼ばれるシリンダーブロックとヘッド間の相対動きに追従するため、ヘッドガスケット構成を3.5層にした(図7)。

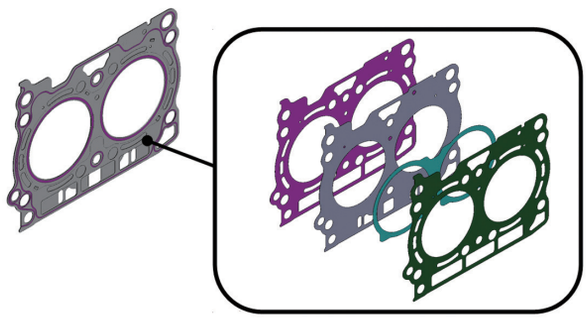


図７　ヘッドガスケット構成変更

3.3　NV改善

車内音改善のために起振源となるクランク挙動の抑制に取り組んだ。

クランクシャフトとアルミダイカスト製シリンダーブロックの線膨張係数差による暖機後の軸受け隙間拡大が、振動を悪化させている事は従来から判明している。新型エンジンでは、シリンダーブロックの前後端の軸受けにジャーナルピースを鋳込む事(図8)と、形状の最適化によって、起振源での振動低減を図った(図9)。

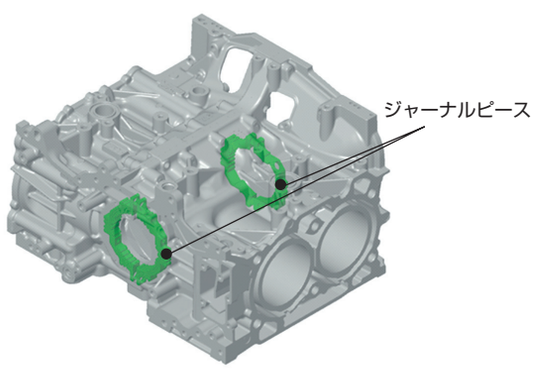


図８　ジャーナルピース形状

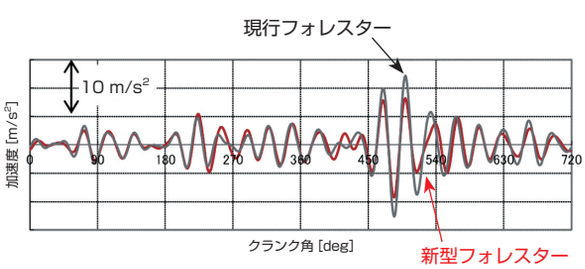


図９　シリンダーブロック振動レベルの比較

3.4　出力向上

直噴化による燃焼室冷却、及び低水温制御によるノック抑制によってエンジンの出力性能を向上させて

いる。加えて、吸排気系部品のレイアウトと仕様を新型エンジンに合わせて最適化することで、同排気量の従来エンジンに比べて大幅なトルク改善を行った。NAエンジンならではの高回転域の伸びやかさとともに、低中回転域のトルク向上によるドライバビリティ向上に寄与した(図10)。

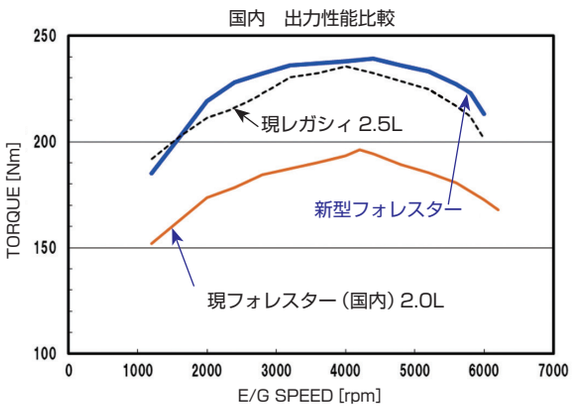


図 10　2.5L NA エンジン出力性能

4.　2.0L　ハイブリッド用エンジン

4.1　設計の狙いと諸元

上級グレードのラインナップとなるハイブリッド車用エンジンは、2.0Lエンジンをベースとして、専用開発による燃費性能向上を行った。TGV・EGRシステムの変更による熱効率の改善、クランクシャフトの変更による摺動部のフリクション改善を実現した。

表2に新型エンジンと従来エンジンの諸元を示す。

表 2　新型エンジンと従来エンジンの諸元

	FB20		
	新型フォレスター ハイブリッド車	現行インプレッサ ガソリン車	旧型インプレッサ ハイブリッド車
気筒配列	水平対向　4 気筒	水平対向　4 気筒	水平対向　4 気筒
ボア×ストローク	84 × 90 mm	84 × 90 mm	84 × 90 mm
排気量 [L]	1.995	1.995	1.995
圧縮比	12.5 : 1	12.5 : 1	10.8 : 1
燃料供給	筒内直噴	筒内直噴	ポート噴射
最高出力 [kw]	107	113	110
@ rpm	6,000	6,000	6,000
最大トルク [Nm]	188	196	196
@ rpm	4,000	4,000	4,200
使用ガソリン	90 RON	90 RON	90 RON
可変動弁機構	Dual-AVCS	Dual-AVCS	Dual-AVCS
ISS 始動機構	ISG	Starter	ISG

4.2　熱効率の改善

4.2.1　高EGRシステム

熱効率の改善を図るため、EGRの取り出し位置を変更(#3気筒→フロントエキゾーストパイプ集合部)し、さらに構成部品の圧損を低減し、高効率EGRクーラを採用した。これにより大量EGRの導入を実現した(図11)。

また、インテークマニホールドへのEGRパイプ先端位置を吸入空気導入部まで突き出す事で、チャンバー室手前で新気とEGRガスをミキシングし、各気筒間でのEGR量バラツキを低減した(図12、13)

これにより大量EGRでありながら安定した燃焼が可能となり、冷却損失とポンピングロスを低減する事で熱効率の大幅改善を実現した。

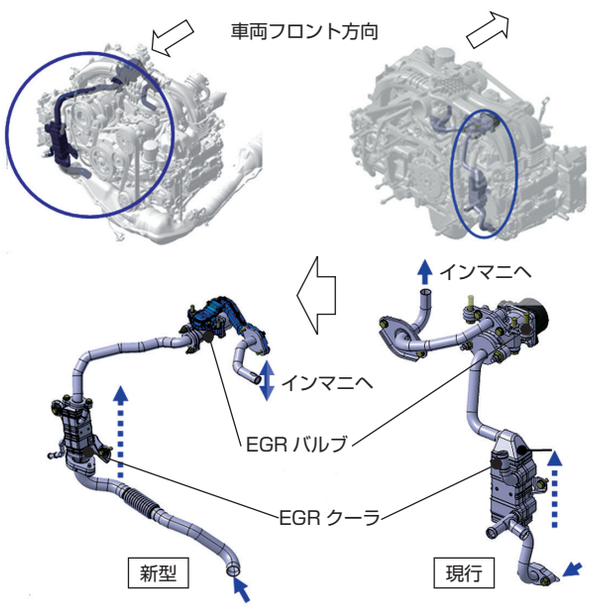


図 11　EGR システム

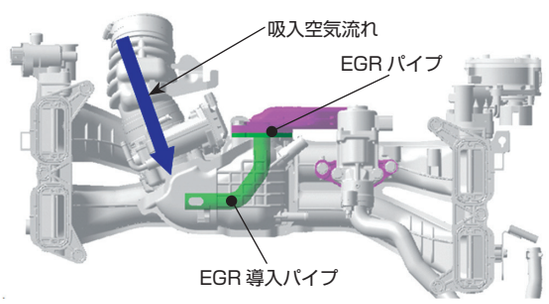


図 12　EGR パイプ

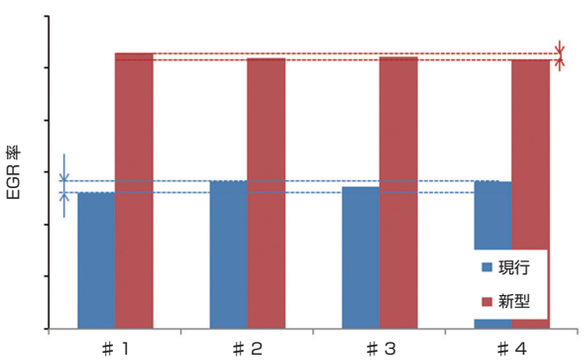


図 13　EGR 率と EGR 分配

4.2.2　TGV閉時のバルブ形状最適化

大量EGR化に伴い、TGV閉時の面積の最適化を検討した。TGV閉時の面積を小さくすることで、ガス流動を強化できるが、一方で、TGV閉時の領域が少なくなる。最も燃費として効率の良い面積とするために、従来エンジンに対してポート内隔壁の取り付け位置を変更した(図14、15)。

大量EGRを導入しても燃焼が安定する、かつ、幅広い領域でTGV閉じを実現できる面積とした(図16)。

このデバイス効果により、2.0Lエンジンに対して最大3%の図示熱効率の向上を実現している(図17)。

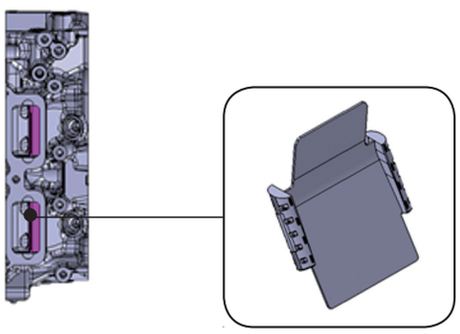


図 14　ヘッド・ポート内隔壁

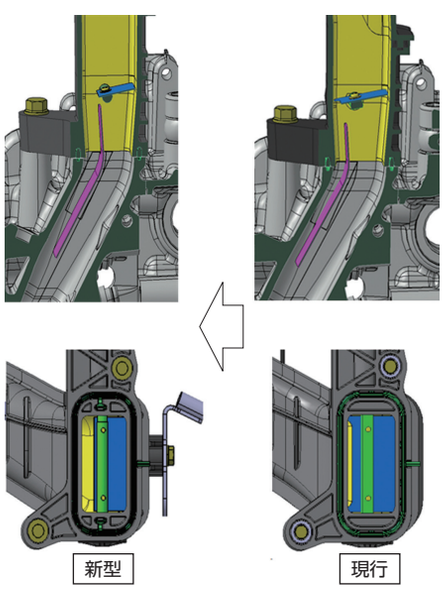


図 15　隔壁・TGV 位置

4.2.3　フリクション低減

クランクシャフトのピン幅を拡大し、摺動部の面圧低減、それによる油膜保持を改善することでフリクション低減を図った(図18)。

高EGR化に伴い、筒内圧変化の影響で、クランクシャフトへの要求強度が下がった事により実現可能となった。

1サイクルにおけるファイアリング運転時のクランク軸フリクショントルクを従来機種と比較した図を示す(図19)。

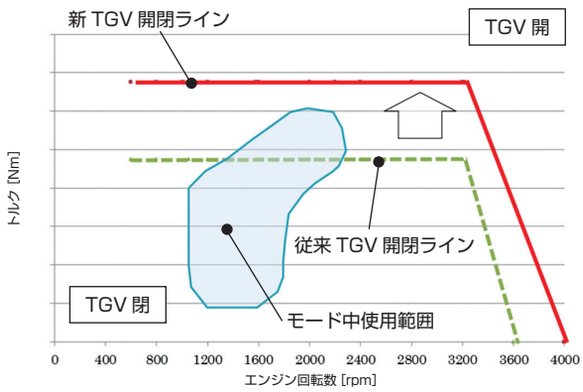


図 16　TGV 開閉領域の変更

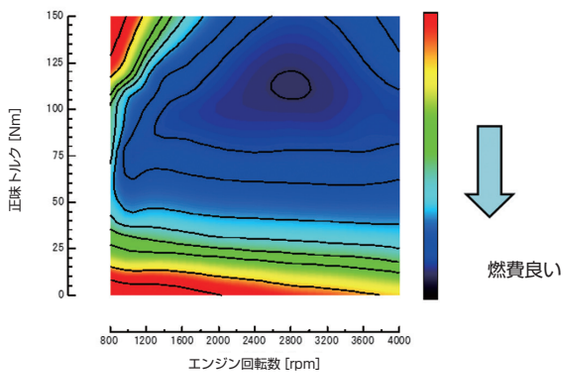


図 17　ハイブリッドエンジン ISFC

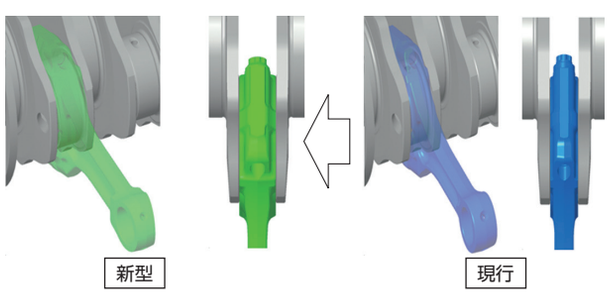


図 18　クランクピン幅拡大

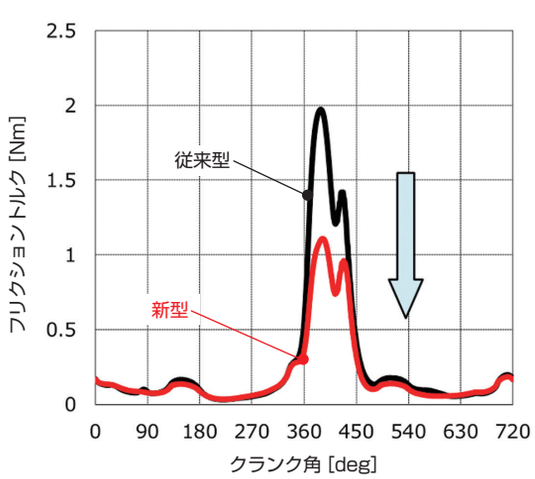


図 19　クランクピン幅拡大フリクショントルク

4.3　NV改善

熱効率向上の背反により筒内圧ピークが高くなるので、2.5Lエンジンの頁でも紹介したジャーナルピースを採用する事で振動レベルの悪化を防いだ。また、ハイブリッド専用アイテムのインテグレーティドスタータジェネレータ(ISG)で始動時の静粛性を実現した(図20)。

このISGは、従来機に対して小型・軽量化(1.2 kg)を進めた。これにより、衝突性能の向上にも寄与している。

12Vバッテリ2個化に伴い吸気系レイアウトの変更が生じたが、レゾネータをチューニングする事で吸気音を同等以下とした(図21、22)。

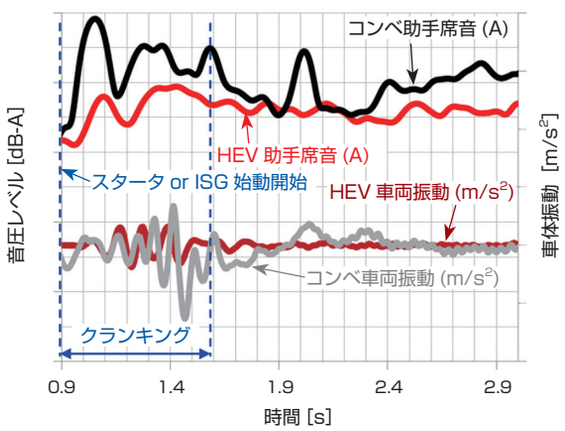


図 20　始動性評価結果

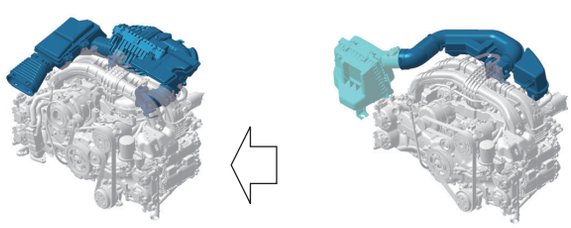


図 21　吸気系部品の変化

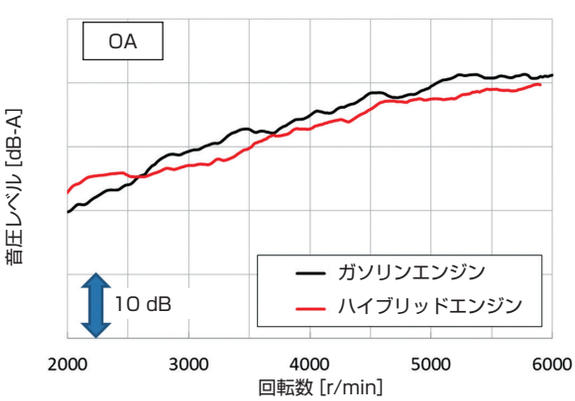


図 22　吸気系部品の効果検証

4.4　動力性能の向上

アクセル踏み増し時の加速感を得られるよう、低回転からのエンジントルクを高める設定とし、吸排気系部品の形状変更を行った。

また、ハイブリッド車特有のモータアシストを使用した、踏み出し直後の加速の立ち上がりを強め、ターボエンジンに代わる新しい加速感を得られるようにし、上級グレードとして新しい価値を提供できた(図23)。

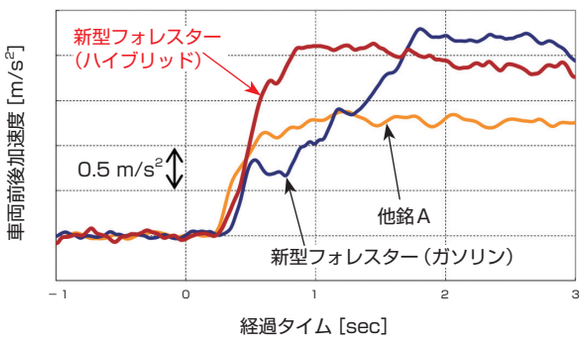


図 23　アクセル踏み増し時の車両加速比較

5.　謝辞、引用

今回の新型フォレスター用のエンジン開発にあたり、関係する社内外の皆様には多大なる協力をいただくことにより、SUBARUの次世代NAエンジンの拡充ができた。熱効率をはじめとする燃費性能の進化とSUBARUの安心と愉しさを伝える動力性能を十分に発揮することが出来たと感じている。皆様へ改めて感謝申し上げる。

参考文献

(1) 関ほか：新型インプレッサ水平対向エンジンの開発,スバル技報No44（2017）
(2) 関竜達ほか：新型水平対応2.0L直噴NAエンジンの開発，自動車技術会学術講演会前印刷集No.20175339（2017春季大会）
(3) 森下大作ほか：新型V6気筒3.5L過給ガソリンエンジン冷却システム開発,自動車技術会学術講演会予稿集　No20176043（2017秋季大会）

【著　者】

堀　　智宣

国府寺 弘明

木島　　誉

渡辺　将章

金子　　隆

「WRXS4」大幅改良モデルを発表
～ SUBARUの走りのフラッグシップとしての性能にさらなる磨きをかけ、「アイサイト・ツーリングアシスト」を全グレードに標準装備～

2017年7月3日

「WRX S4」大幅改良モデルを８月７日に発売。
SUBARUの走りのフラッグシップである「WRX」としてのスポーツ性能と、アイサイトをはじめとする最先端の安全性能を兼ね備えた、SUBARUが誇るハイパフォーマンススポーツセダンです。

新型フォレスターのアルミフェンダー開発

Development of Aluminum Fender of New FORESTER

矢代佑樹*1　佐藤晃*2　天野雄太*3　坂田笙輔*3
Yuki YASHIRO　Akira SATO　Yuta AMANO　Shosuke SAKATA

抄　録

環境規制対応において軽量化は必須であり、車体は鉄の高強度化に加えて、鉄に代わる軽量化素材への代替(マルチマテリアル化)を進める必要がある。

新型フォレスターにおいて、車体外板部品のフェンダーを鉄からアルミニウム素材に材料置換し、2.4 kg/台の質量低減を図り軽量化の成果を上げた。

本稿では、SUBARU初採用となるアルミフェンダー開発について設計の狙い、製造(プレス成形性等)、性能(ガルバニック腐食等)に関して具体的構造や取組みについて紹介する。

Abstract

It is essential to reduce body weight for meeting environmental regulations; therefore, we must use high-strength steel and lightweight materials (multi-materials) for vehicle body.

In the all-new FORESTER, we changed the material of the fender panel from steel to aluminum. As a result, we achieved reducing the weight by 2.4 kg.

This paper introduces the purpose of the design, production (formability) and performance (galvanic corrosion) of the fender made of aluminum, which was adopted in SUBARU for the first time.

1. まえがき

アッパーボデー領域を軽量化することは、燃費向上はもとより、車両の低重心化と前後の重量配分のバランスをとることで危険回避性能(アクティブセーフティ)を含む高い運動性能を確保することが可能となる。したがって新中期経営ビジョン「際立とう2020」におけるSUBARUブランドを磨く6つの取り組みのうち「総合性能(運動性能)」、「安全」、「環境対応」を実現するうえで軽量化は必要不可欠な要素である。

今回の新型フォレスターは軽量化と、コンセプトである「世代を超えて元気で若々しく活動的な気持ちを駆り立てるクルマ」の両立を実現すべくアルミフェンダーを採用し、開発を行った。本稿では異材接合、デザインと成形性の両立を中心に課題とその解決方法を紹介する。

＊1 車体設計部
＊2 材料研究部
＊3 第1生産技術部

2. フェンダー概要

フェンダーはフロントタイヤ上部に位置する外板部品(**図1**)であり、回転するタイヤへの接触を保護する(ホイールガード)役割を持っている。また車体のデザインに大きく寄与する部品でもある。その他にも質感(手で押した時の剛性)を確保する必要がある。

図1　フェンダー取付け位置

2.1　材料の選定

当社では外板部品に5000系と6000系のアルミ材を

使用してきた。5000系では成形時に表面不良であるStretcher-Strainマーク（図2）が発生する恐れがあるため、今回は6000系のアルミ材を採用した。また、軟鋼と比較してアルミ材はヤング率が低い。軟鋼では0.65 mmとしていた板厚を1.0 mmとし軟鋼と等価の剛性を確保した。

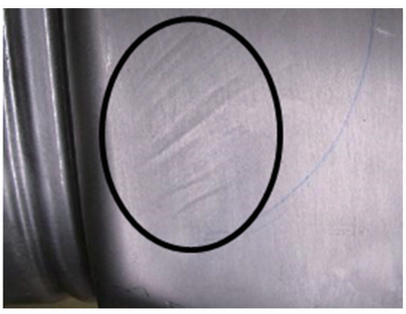


図２　Stretcher-Strain マーク

2.2　構造

新型フォレスターのフェンダーは大きく分けてバンパーフロント部、フード部、フロントピラー部、サイドシル部の4ヶ所で車体に取り付けられている（図3）。アルミ材は軟鋼と比較し延性に劣り、成形時の絞り深さにおいて不利である。そのため、バンパーフロント部とフード部は車体側のブラケットをかさ上げし、フェンダーの絞り深さを浅くできる構造とした。取付け部の成形難部位を別部品とする案もあるが、周辺部品との合わせ精度を考慮し、部品単品のバラツキ要素を減らすためにフェンダーは分割せず一体構造とした。

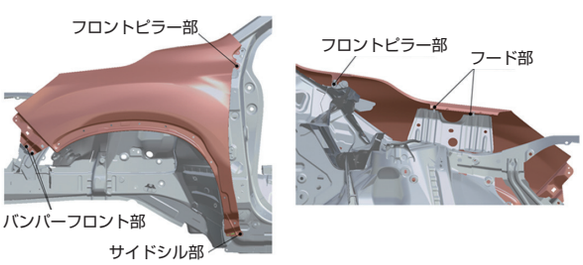


図３　フェンダー取付け構造

3.　異材接合

アルミ材の適用にあたり、アルミ材と鉄（車体）の異種金属締結部のガルバニック腐食の防止が必要となる。ガルバニック腐食とは、自然電位の異なる材質の接触部に電解質（塩水等）が介在する場合に、局部電池を形成し、電位の卑な金属が優先的に腐食する現象である。接触する金属の組合せによっては、それぞれの金属単体での腐食よりも速く進行する。従来当社の車体パネルでは、フード、リヤゲート、トランクでアルミ材を採用した実績がある。これらの部品ではアルミ材と接する部品（ヒンジ等）をカチオン電着塗装して、アルミ材と、鋼板が直接接触しない様にして、ガルバニック腐食を発生させない構造としてきた。一方、フェンダーでは、ヒンジ等の部品を介さず車体へ締結されるため、新たなガルバニック腐食防止構造の確立が必要であった。本課題に対し、新型フォレスターでは、異種金属締結部にボルト・ナットサートを用いた締結構造（図4）とした。

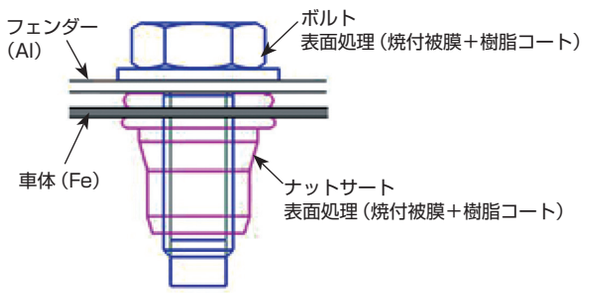


図４　ガルバニック腐食防止構造

3.1　防錆仕様検討結果（構造）

ガルバニック腐食を防止する方法を検討するにあたり、当社の生産ラインが、複数車種を混流生産するフレキシブルラインであることを考慮し、既存の鉄製フェンダーと同様のボルト締結で組付け可能な構造とした。このボルト・ナットサートを用いた締結方法の防錆上の目的は、I.板合せ部、II.締結部に分け、以下の通りである（図5）。

I. 板合せ部は、ナットサートのフランジ分板合せを浮かせることで、異種金属が直接接触しない且つ、電着塗装が付着する構造とした。

II.締結部は、異種金属の接触が不可避であるため、ボルト・ナットサートに表面処理を施し、絶縁する構造とした。表面処理の選定経緯は、3.2項参照。

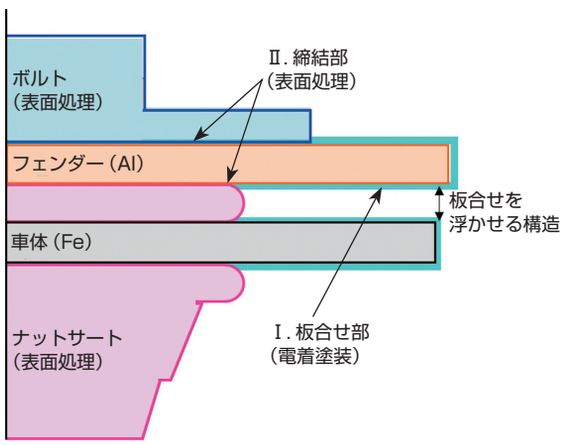


図５　ガルバニック腐食防止構造詳細

3.2　防錆仕様検討結果（表面処理）

3.1項で示したボルト・ナットサートの表面処理の検討を実施した。

Znめっきや、焼付被膜でも、ガルバニック腐食に対し効果を示すが、フェンダーのような厳しい被水環境に曝される部位では、めっき層の早期腐食等により、想定通りの防錆効果が得られない懸念がある。

そこで水や、塩素イオン等に対し、バリア効果のある樹脂コートを付加することにより、ガルバニック腐食を防止する仕様とした。図6に表面処理により絶縁可能な電圧と、ガルバニック腐食の腐食電位の関係を示す。図6より、バラツキを加味しても、腐食電位を絶縁可能な焼付被膜＋樹脂コートを選定した。

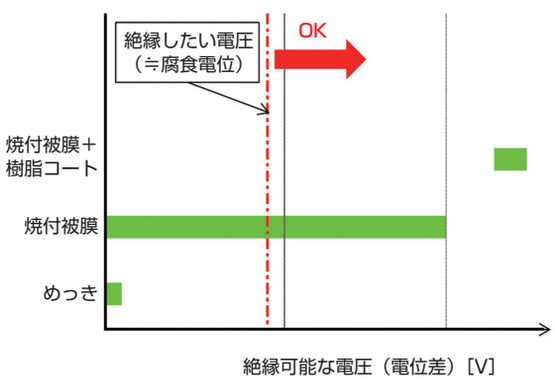


図６　表面処理ごとの絶縁可能電圧

3.3　耐食性試験結果

前項までの検討により選定した仕様を、錆の厳しい融雪剤散布地域（塩害環境）を模擬した実車耐久試験で効果確認を実施した。結果、塩害環境下でも、ガルバニック腐食を防止可能であることを実証した（図7）。

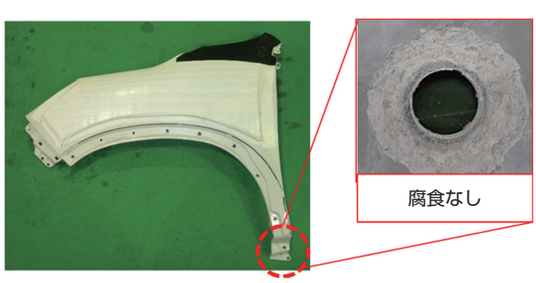


図７　実車耐久試験結果

4.　プレス成形性

一般的にアルミ材は軟鋼に比べて絞り深さに不利である。加えてスプリングバック量が多いため寸法精度の悪化が課題となる。そこで寸法精度向上のため、現行インプレッサのフェンダーを題材にCAEを用いた新しい金型見込み技術の構築に取り組み、新型フォレスターのフェンダー開発へ適用した。

4.1　アルミ材の意匠部品への適用

内板面と異なり、外板面はデザイン部が緻密に造り上げた面であり、お客様に車の印象を伝えるものである。見込み技術は、スプリングバックした結果が欲しい形状になるように、スプリングバックをあらかじめ予測して金型を見込む技術である。従って見込みを行うと金型の意匠面は正規の意匠面とは異なる形状となる。

CAEを用いた見込みでは意匠面のイメージを保ったまま変形させるのは難しく、意匠面の微妙な凹凸変化が発生する。いかにこの凹凸変化を抑え、正規通りの意匠を保つことが課題であった。

4.2　CAEが及ぼす意匠面への変化

見込みによって面品質が変化する可能性については以前から認識しており、ゼブラ・ガウス・最大／最小曲率にて見込み後の面質変化を評価していた。

見込み後の金型形状が正規形状に近ければ、影響の度合いは少なくなるが、CAEを用いた見込みでは変化量の調整をすることが難しく、意匠とかけ離れた金型形状が出来上がることも珍しくなかった。そこで、CAE内で調整できる3つのパラメータ（トレランス、材料メッシュ、工具メッシュ）の影響度を調査し、最適化することで意匠とパネル精度の両立を目指した。

4.3　トレランスが及ぼす影響

トレランスとは、スプリングバック後のパネル精度を良くするために、金型形状と正規形状との形状差の許容値を決定するパラメータである。この値が大きいとパネル精度は良く、小さいとパネル精度は悪くなる。

パネル精度を向上させるためには、金型形状を正規形状から変化させる必要があるが、そのためにトレランス値を大きくすると意匠面への影響が大きくなる（図8）。トレランス値による面変化は著しく大きく、意匠面とパネル精度を両立させるためには、このパラメータが最も重要となる。新型フォレスターでは、意匠面を崩さないようトレランス値の限界値を見極め、パネル精度の向上を図った。

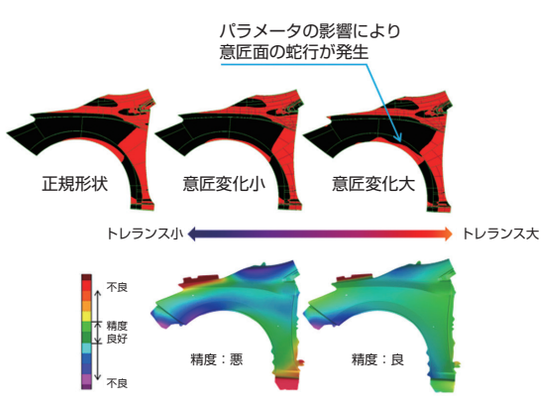


図８　トレランス変更時のガウスと精度

4.4　材料メッシュサイズが及ぼす影響

材料メッシュサイズとは解析時に使用する材料を表現する三角形の一辺のサイズである(図9)。

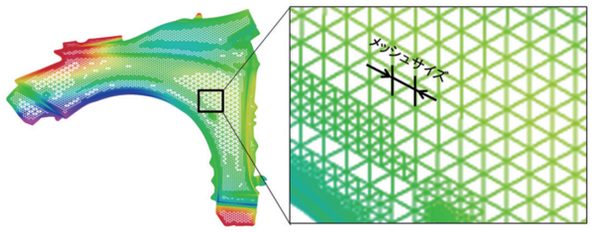


図９　解析上のメッシュ

メッシュサイズは、解析精度と解析時間に影響が大きいが、意匠面への影響度は低い(図10)。新型フォレスターの解析では、メッシュサイズは現状を維持し、安定した解析結果が得られるように設定した。

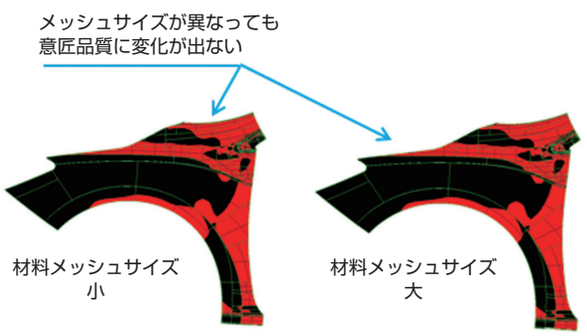


図 10　材料メッシュ変更時のガウス

4.5　工具メッシュサイズが及ぼす影響

工具メッシュサイズとは解析時に使用する工具(金型)を表現する三角形の一辺のサイズである。このパラメータについては、トレランス程ではないが意匠面への影響が確認できた(図11)。

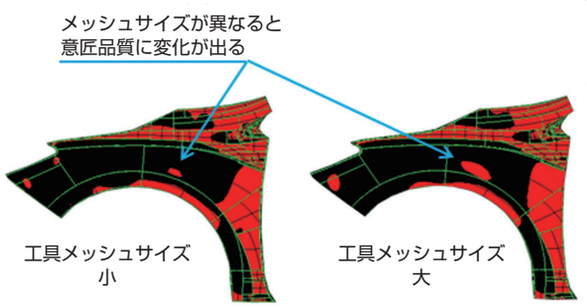


図 11　工具メッシュ変更時のガウス

意匠面に影響するのは、見込み面作成時のマッピングに、工具の点群データを使用することが関係している。この点群自体は、各メッシュを構成する節点で、メッシュ数を増やすことにより、面形状を緻密に再現でき、その結果、変形時に滑らかな変形が可能となり意匠面の性質が保持されるからである。また、工具メッシュサイズは、解析結果および計算時間への影響がほぼなく、比較的調整しやすいパラメータである。新型フォレスターでは、このパラメータを可能な限り小さくし、意匠面への影響度を低下させた。

4.6　スプリングバック的中精度

意匠部品は、内板部品と異なり、製品剛性が低いためにパネル精度が固まりにくい。そのため、軟鋼のフェンダー造形をベースにテスト型を作成し、4.4項から4.5項にて述べた、各パラメータ調整後のCAE解析結果と比較し、見込み精度と意匠面への影響を確認した。

その結果、図面形状との一致率は、内板部品よりも低い55%であった。一致率が低下した要因の1つとして、実物とCAE解析の材料流入量の違いによる応力分布の差が挙げられる。この応力分布の差によりスプリングバック量の解析誤差が生じ、図面形状との一致率低下につながったと考えられる。得られた結果から各パラメータを調整し、材料流入量の合わせ込みを行い、再度見込みを実施したところ、一致率は14%増加した(図12)。

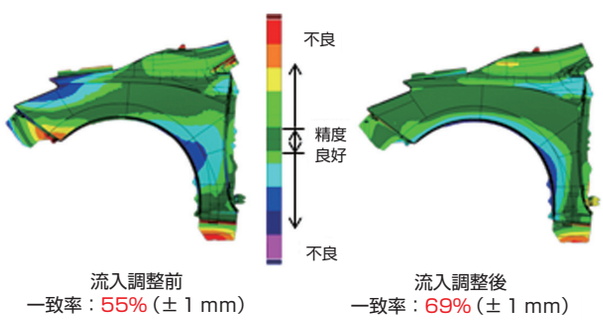


図 12　実パネルと正規形状の表面偏差

このことから、材料流入量が多いと解析上でのスプリングバック量の的中が難しく、結果としてスプリングバックの再現性が低下することが分かった。新型フォレスターのアルミフェンダーでは、可能な限り材料流入しないような成形・ビード形状とした。懸念していた意匠面の面質については、前述のパラメータ最適化により、ゆがみ等は見られなかった(図13)。

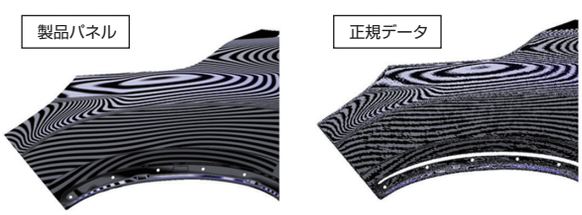


図 13　取得パネルと正規形状のゼブラ評価

4.7　量産型への適用結果

以上を踏まえて、新型フォレスターアルミフェンダーに対して精度見込みを行った結果、型完成直後の分割および面差精度については81.6%と軟鋼同等とすることができたが、面の一致率については軟鋼よりも低く、依然課題が残る結果であった(図14)。

型完成後、数回の金型修正を加えて精度向上を果たし、量産までに精度100%を達成した。

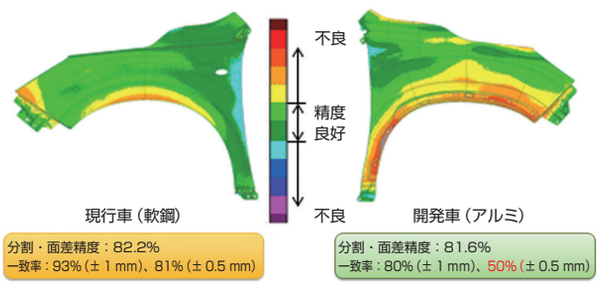


図 14　新型フォレスターへの適用結果（型完成直後）

5.　デザインとの両立

今回の新型フォレスターのコンセプトである「世代を超えて元気で若々しく活動的な気持ちを駆り立てるクルマ」を実現すべく厚み感とリフトアップ感を意図したデザインとしている。

フェンダーにおいては窓肩部の張り出し感とAピラー付け根の高さを上げることで厚み感を出せるデザインとした(図15)。しかし、軟鋼に比べアルミ材は絞り深さに不利な材料であるため、デザインとプレス成形性の両立が困難であった。この課題を解決するため、前述の成形シミュレーションとクレイモデルによる検討をデザイナー、製造、設計で幾度も行いこれを解決、実現した。

図 15　新型フォレスターデザイン

また、板厚を増したことにより曲げRが軟鋼に比べ大きくなり、ドアの開閉軌跡に対し不利な傾向であった。しかし、担当設計者とドアヒンジのレイアウト検討をmm単位で行い、当社最小の分割幅である新型インプレッサの分割幅と同等にまで狭め、一次外観にもこだわった。

6.　まとめ

以上のように新型フォレスターのアルミフェンダー開発においてマルチマテリアル化による異材接合、プレス成形の解析精度、デザインとの両立等様々な課題に直面してきた。その都度関連部署やサプライヤの協力を得ながら一丸となって開発を進め、軽量化と静的質感向上を実現することができた。

今回培った技術は今後の車両開発でも活かし、更なる技術力の向上とより価値ある車をお客様に提供できるよう邁進していく。

最後に、車体開発に携わったすべての方々に対して、紙面を借りて御礼申し上げます。

参考文献

(1) 浅野 峰生ほか：自動車用アルミニウム板材について, UACJ Technical Reports, Vol.2, No.2, p.47 (2015)
(2) 中谷 大：シミュレーションを用いたハイテン部品の事前精度織り込み, スバル技報, 2012

【著　者】

矢代　佑樹

佐藤　　晃

天野　雄太

坂田　笙輔

SUBARU カラーデザインフィロソフィー「インパクトと深み」を極めたコンセプトカラーとは？

Color Design Philosophy of SUBARU Concept Color which Mastered “Impact and Depth”

相　賀　博　志*
Hiroshi AIGA

抄　録

“モノをつくる会社から、笑顔をつくる会社へ”。SUBARUカラーデザインフィロソフィー「インパクトと深み」は、SUBARUの安心と愉しさを具現化するSUBARUデザインフィロソフィー「DYNAMIC×SOLID（ダイナミック×ソリッド）」を、カラーデザインで具現化するための考え方である。

それを、時代に合わせて表現してきたこれまでのSUBARUコンセプトカーの歴代VIZIVシリーズを通して、“鉄”の表現を突き詰め、そして、進化させてきた。その“鉄”の系譜を、今回のSUBARU VIZIV PERFORMANCE CONCEPTのカラーに体現した。

また、2017東京モーターショウに出展した他の2台のコンセプトカーのカラーについて、タフでラギッドなXV ファン・アドベンチャー・コンセプトのカラーと、インプレッサスポーツの新しい価値を提案するインプレッサ・フューチャースポーツ・コンセプトのカラーを紹介する。

Abstract

“From a company making things, to a company making people smile.” The color design philosophy of SUBARU, “Impact and Depth,” is a concept to embody SUBARU design philosophy, “DYNAMIC×SOLID,” for Enjoyment and Peace of Mind with color design.

Through the VIZIV series expressing their concepts to fit with the times, we have been pursuing and evolving the expression of “iron”. The inherited “iron” expression is now exemplified by the colors of SUBARU VIZIV PERFORMANCE CONCEPT.

Two concept colors exhibited at Tokyo Motor Show 2017, Tough and Rugged XV FUN ADVENTURE CONCEPT COLOR and IMPREZA FUTURE SPORT CONCEPT COLOR, are introduced.

1. カラーデザインフィロソフィー「インパクトと深み」について

モノをつくる会社から、笑顔をつくる会社へ。SUBARUの安心と愉しさを、具現化するデザインフィロソフィー「DYNAMIC×SOLID（ダイナミック×ソリッド）」を、カラーデザインで具現化するテーマが「インパクトと深み」である。

「インパクト」とは、ハッと一瞬で人を引き付ける魅力であり、「深み」とは、時間の経過と共に、じんわりと感じる要素の事である。

図 1

全てのSUBARUカラーデザインは、この考え方に基づいて開発している（図1）。

＊ デザイン部

2. コンセプトカラーの系譜

図２

SUBARUのカラーデザインは、歴代のコンセプトカー VIZIVシリーズを通して、“鉄”の表現を突き詰めてきた。

なぜなら、“鉄”は強くしなやかなその特性から、「インパクト と 深み」を端的に表現する力を秘めているからである（図2）。

図３

高温で熱した鉄を繰り返し叩いて、鍛え上げられた鋼（はがね）は、硬く強くしなやかであり、この過程を経て造り上げられる鋼（はがね）と、SUBARUカラーデザインを重ね合わせ、インパクトと深みを追及し続けている（図3）。

図４

実際に、刀鍛冶の現場を見て、鉄を鍛錬している刀匠の教えを聞き、より本物の鉄の表現を極めた（図4）。

3. SUBARU VIZIV PERFORMANCE CONCEPT

（SUBARU・ヴィジヴパフォーマンス・コンセプト）：
METEORITE SILVER
（メテオライト シルバー）

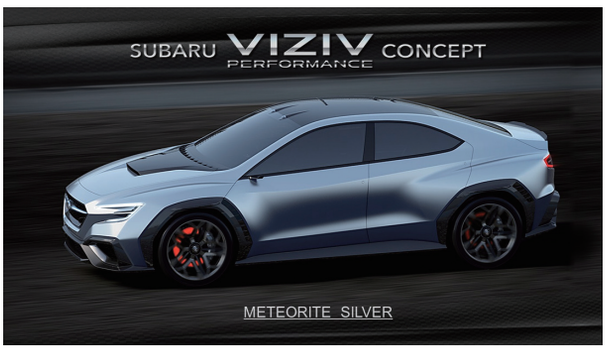


図５

SUBARUの前身である航空機メーカー 中島飛行機の時代から培ってきた、安全性能のDNAが息づくスポーツセダン、VIZIV PERFORMANCE CONCEPT（ヴィジヴ・パフォーマンス・コンセプト）。その硬質で躍動的なフォルムをさらに魅力的に表現する、ボディーと一体感のある無垢なカラー、それが、メテオライト シルバーである。クルマのハイパフォーマンスな性格を、硬く強く、しなやかなボディーカラーで表現した（図5）。

具体的には、シャープな立体感と、無垢なカタマリ感を表現するため、ハーフマットの金属調シルバーを採用。

そのうえで、力強く張り出したフェンダーや、ボディーの鋭いキャラクターラインを強調するため、シェード（陰面）に行くほどブルーイッシュさが増す質感を吟味した。

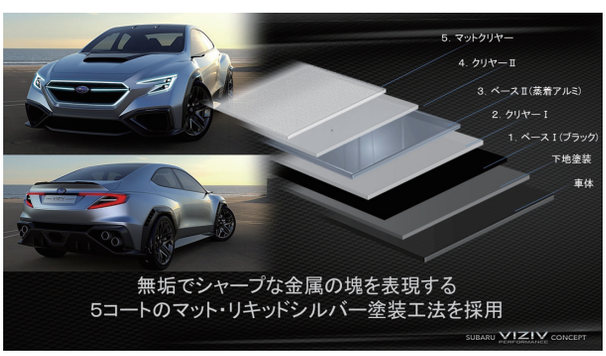


図６

5コートペイントの各層での光の屈折の差を利用し、奥行き感を表現。鉱物である宝石にも似た、強く硬い質感の中に、滑らかな色味の移ろいと、深みを感じられる質感表現に拘った（図6）。

図７

ディティールにおいては、軽量・高剛性なカーボンファイバーの空力パーツと、“鉄”を表現したボディーとのカラーコーディネイトに注力した。あえてカーボンファイバー素材の持つウォームの色味を活かし、クールな金属のボディーカラーとの、リズムあるコントラスト表現に挑戦した。

凄みのあるダークトーンのホイールもポイントの一つである。 ただダークなだけでは無く、カラークリヤーで、軽合金ホイールの素材の輝きを活かした、キラリと輝くダークメタルの質感にも拘った(図7)。

4. 2017東京モーターショウに出展した他の2台のコンセプトカーのカラーについて

4.1 XV FUN ADVENTURE CONCEPT（ファン・アドベンチャー・コンセプト）：KOHAKU YELLOW（コハクイエロー）

図８

XVのタフでラギッドなデザインを、一層強調したデザインコンセプトモデルに相応しい色表現に拘った。遊び心をくすぐる、タフでバイタリティー溢れるアドベンチャーカラーとして開発した色が、今回のカラー、コハクイエローである。化石ながら、硬さは鉱物に匹敵する琥珀をイメージしたイエロー系キャンディー・トーン(カラークリアを用いたカラー)である。

パーツとのコーディネイトにおいては、マットブラック・パーツとの強いコントラストによって、一目でXVとわかるユニークで力強い色の演出に注力した。

インテリアカラーについても、ブラックとのハイコントラストを中心としたコーディネートに、デニム素材を採用したシートのカバーリングや、インパネをはじめとする室内各所のステッチに、ゴツゴツしたダートタイヤのイメージを取り入れたデザインを採用(図8)。

図９

また、XVロゴをあしらった革製のタグ、6か所に織り込んだ隠れXVなど、遊び心満点のコーディネイトとし、楽しさを表現した(図9)。

4.2 IMPREZA FUTURE SPORT CONCEPT（インプレッサ・フューチャースポーツ・コンセプト）：CITRINE YELLOW PEARL（シトリンイエロー・パール）

図 10

気軽に運転を愉しみたくなる、インプレッサスポーツの新しい価値を提案する、このコンセプトモデルに相応しい色の表現に拘った。

水晶のようにフレッシュで目の覚めるような、インパクトのあるビタミンカラーを想起させる、透き通るような瑞々しいイエロー、それがシトリンイエロー・パールである。

なお、シトリンとは黄水晶のことで、パワーストーンとして、希望や勇気などの明るいエネルギーをもたらすとされる。

パーツとのコーディネイトにおいては、シルバー&グロスブラックとの組み合わせによって、若々しくも洗練されたカジュアルな色の演出に拘った。

インテリアカラーは、軽快な素材のブラックに、加飾をはじめとするホワイトづかいと、イエローのポイントカラーの組み合わせによって、スポーツ心をかき立てる爽やかなカラーコーディネイトとした(**図10**)。

5. 最後に

カラーデザインは、人の心にストレートに響く力を持っており、別の表現で例えるなら、音楽や映像をクリエイトする事と似て、全体のストーリーとリズム、そしてディティールの造り込みと、それら全ての調和がとても重要である。

今後も、お客様が笑顔になっていただくカラーデザインを考え提案し続けていく。

画像提供

(1) 図1：カラーデザインフィロソフィー
(2) 図2：歴代コンセプトカー VIZIV シリーズ
(3) 図3：日本刀(鍛え上げられた鋼)
(4) 図4：刀鍛冶
(5) 図5：VIZIV PERFORMANCE CONCEPT
(6) 図6：塗装プロセス解説
(7) 図7：VIZIV PERFORMANCE CONCEPT 各部位
(8) 図8：XV FUN ADVENTURE CONCEPT
(9) 図9：シートの革製XVタグと隠れXV
(10) 図10：IMPREZA FUTURE SPORT CONCEPT

【著　者】

相賀　博志

「レヴォーグ」大幅改良モデルを発表
～ SUBARU初となる「アイサイト・ツーリングアシスト」を全グレードに標準装備し、総合安全性能とツーリング性能を大幅進化～

2017年7月3日

「レヴォーグ」大幅改良モデルを8月7日に発売。
「革新スポーツツアラー」をコンセプトに2014年4月に発表した「レヴォーグ」。アイサイトをはじめとする最先端の安全性能と、SUBARUが培ってきたツーリング性能を高い次元で両立したスポーツワゴンです。

ASCENTのデザイン開発について

Styling Design Development of ASCENT

源田哲朗* Akiro GENDA
田宮創* Sou TAMIYA
井田康之* Yasuyuki IDA
高木曽太* Sota TAKAGI
橋本勇気* Yuuki HASHIMOTO
斎藤實* Minoru SAITO

抄　録

SUBARUが目指すスタイリングデザインとは、お客様に提供する価値「安心と愉しさ」が一目でわかる形を表現することであり、それがお客様の気持ちや生活シーンに役立つ存在となることである。ASCENTにおいても、お客様に信頼感を感じて頂けるスタイリングを追い求めデザインした。

Abstract

Styling design which SUBARU is aiming for is to represent shapes expressing “Enjoyment and Peace of Mind” recognizable at first glance. The styling has to be valuable for customers’ feeling and in their life scenes. With ASCENT, we pursued styling designs which would produce a sense of trust.

1. まえがき

ASCENTは、アメリカ市場のお客様の声を受けて誕生したクルマである。

ASCENTをカタチづくる全てのデザインは、SUBARUのデザインフィロソフィー「DYNAMIC×SOLID」に基づいている。

エクステリアでは、止まっていても今にも動き出しそうなDynamicな躍動感と、スタンスの効いたSolidな塊感で、SUVらしい力強さを表現した。また、現地の景色の中で競合SUVに埋もれない力強さと躍動感、アメリカ市場でスタンダードなピックアップトラックやSUVと比較しても、決して負けない堂々とした力強いスタンスの実現に注力した。

インテリアでは、SUVらしい力強さ表現と、豊かさと広がりを表現した空間造りと演出により、お客様がどの座席に乗っても、広さを実感でき、安心して心地よく豊かな時間を過ごして頂けるようにデザインした。日常使用でも長距離移動でも、全ての乗員が安心して快適に過ごせる上質な空間づくりを行った。

エクステリアカラーは、躍動感と力強くたくましい車格をモダンでスタイリッシュに演出し、インテリアカラーは、豊かさとひと手間かけた造り込みとコーディネートで、仕立ての良い上質な空間を創り上げている。

＊ デザイン部

2. エクステリア

2.1 たくましさと躍動感を表現した外観

2.1.1 「ひとりで乗ってもダントツにカッコいいSUV」を全身で表現したエクステリアデザイン

図1　開発初期イメージスケッチ

我々は上記テーマを掲げエクステリアデザイン開発をスタートさせた(図1)。

フルサイズのピックアップトラックと日常的に接する機会の多い北米でも存在感で負けないようなSUV

らしい大きな造り、力強さ表現にこだわった。また、SUBARUの歴史の中で最も大きなサイズのクルマとして、OUTBACKの一格上のスケール感の表現にも注力した。

アクティブライフを楽しむユーザー層（子育て世代のファミリー）を強くイメージし、ミッドサイズSUVに求められる機能や使い勝手などもしっかりと表現し、お客様にクルマのポテンシャルとして感じて頂くSUBARUデザインの本質を突き詰めた。

車両全体の基本的な考え方として、縦方向の強さと厚みにより「たくましさ」を表現し、面表現の強さと切れのあるシャープさにより「躍動感」を表現した（図2～4）。

図2　最終デザインフロントビュー

図3　最終デザインサイドビュー

図4　最終デザインリアビュー

2.2　SUV らしい力強い存在感のあるフロントデザイン

2.2.1　フロントビュー特徴

フロントビュー周りは、以下の基本構成と造形テーマにより構築した（図5）。

（1）厚く押し出し感のあるフロントフェイス
（2）抑揚のあるプラン（平面ビュー）造形
（3）ボディ下端を、SUVらしい力強いクラッディングで引き締めた縦方向の厚み表現

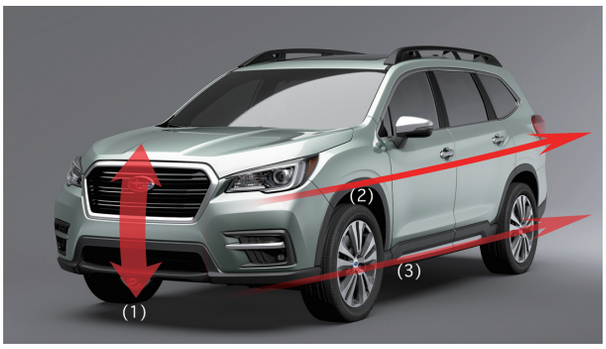


図5　フロントビュー造形テーマ構成

「安心と愉しさ」の「安心」の表現としてのヘキサゴングリルに、「愉しさ」の表現の水平対向エンジンのピストンの動きを表現したCシェイプのポジションランプを組み合わせたフロントフェイスは、SUBARUらしさを象徴的に、そして大胆に表現。北米市場で埋没しない厚みのある強い顔廻りとし、衝突安全性能、空力性能のすべてを高次元で融合させた（図6）。

図6　力強い存在感と厚みのある顔周り

2.2.2　フロント各部の工夫

図7　力強さ表現と高い冷却性能を確保する大型グリル

最大5,000 lbsのトーイング性能を実現する冷却性能を確保するためにグリル開口を大型化しながらも、力強さが凝縮された精悍な顔周りを実現した（図7、8）。

図８　トーイング使用シーン

ランプ類周辺は、遠くからフロントを見て、SUBARUのクルマであることをはっきりと感じて頂けるデザインを狙った。

図９　精悍で大きな表情のヘッドランプ

ヘッドランプには、ハロゲン仕様とLED仕様を設定。前方を見据える鷹の眼のような眼力のある精悍さと、大きく堂々とした構えを併せ持つ、シャープで力強い表情を創出した(図9)。

図 10　フォグランプベゼル周り

ブラックアウトさせたクラッディングとフォグランプベゼルにはSUVとしての機能を表現した幾何学のテクスチャーを採用した。空気の整流、剥離効果で空力性能向上にも寄与している(図10)。

2.3　力強さとエッジの効いたシャープさを動的に表現したサイドデザイン

2.3.1　サイドビュー特徴

サイドビュー周りは、以下の基本構成と造形テーマにより構築した(図11、12)。

(1) 高い位置まで上げられたクラッディングで、SUVらしいリフトアップ感を演出
(2) ロアボディの高めの位置にある車体ボリューム
(3) 大径のタイヤまわりを中心に踏ん張りの効いた強い造形とアーチ状のクラッディング
(4) 後方に向かって切れ上がるブレード造形とエッジを効かせたシャープな造形
(5) サイドウインドウトリムラインをシャープに、強さを強調したDピラーまわり
(6) 躍動感のあるシルエット

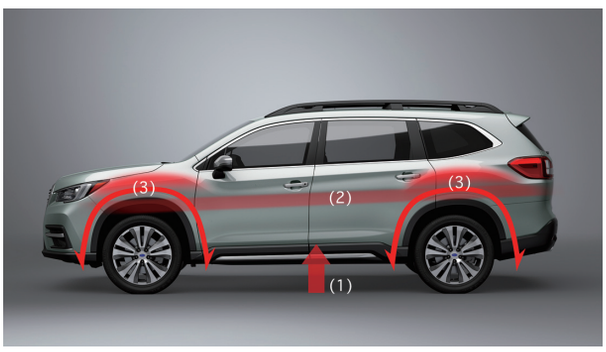


図 11　サイドビュー造形テーマ構成 1

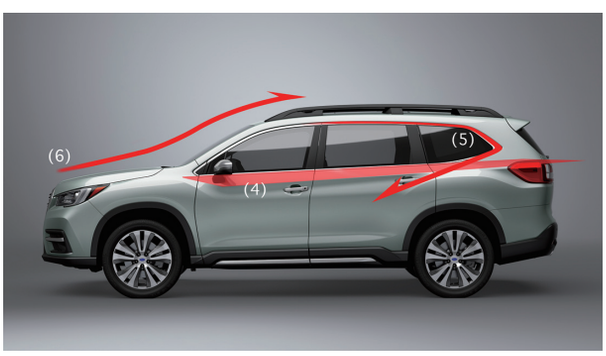


図 12　サイドビュー造形テーマ構成 2

新世代のSUVデザインとして、アッパーは流れを感じるシルエット、ロアボディは力強い造形と大径タイヤでコントラストを強く表現した。

フロントからルーフエンドに流れる流麗なシルエットと傾斜角のついたリヤガラスで、ファミリーユースのクルマであってもミニバンとは一線を画し、乗っているお客さま自体が「Cool」に見えるクルマであることを目指した。

ロアボディの高めの位置に強い軸を通し、ドアサイドの上下のラインで陰影がしっかりと見える断面で構成。たくましい骨格＆体幹を感じる塊を表現した。力強く踏ん張りの効いた造形のフロントフェンダーとリヤフェンダーで4輪をしっかりと支え、大地をしっかりと掴み、動き出した瞬間の最も力の放出される状態と、SUVらしいリフトアップ感を表現した。

2.3.2　サイド各部の工夫

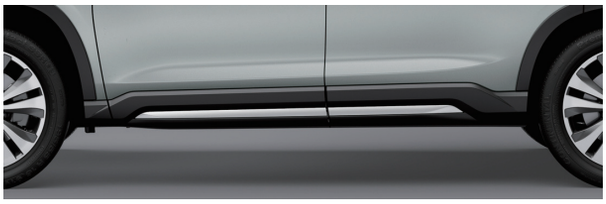


図 13　下周りを支えるサイドクラッディング

サイドクラッディングは動きとボリュームを持たせ、クルマ全体を支えるような表現とした。ボディをしっかりとプロテクトする機能を満たしつつ、視覚的にもお客さまの安心感を高めることを狙った。

また、クロームモールを設定し太陽の下で美しく輝くようなデザインにより、足元の存在感をさらに際立たせた(図13)。

足回りを力強く演出するホイールは、SUBARU最大サイズとなる力強いボディをしっかりと支える、大きさと車格を表現した。

図 14　20 インチホイール（切削光輝）

図 15　18 インチホイール（切削光輝）

図 16　18 インチホイール

20インチホイールは、切削光輝の輝きとダークグレーメタリックの塗装面のコントラストや、抑揚のあるスポーク形状により、立体感を際立たせた(図14)。

18インチホイールはグレーメタリック＋切削光輝とシルバーの2種類を設定。スポークが立体的に回転した形状により、動きのあるデザインとした。また、切削光輝仕様はその動きが強調され、全体の大きさをより感じられるものとした(図15、16)。

2.4　縦方向の強さと、構成要素を高く置いたワイド感のあるリヤデザイン

2.4.1　リヤビュー特徴

リヤビュー周りは、力強いスタンスを実現させるため、以下の基本構成と造形テーマにより構築した(図17)。

(1) 縦方向の強さを持つ大きく張り出したフェンダー
(2) 高い位置に配置したワイド感あるランプとガーニッシュ
(3) 高い位置のプロテクター

図 17　リヤビュー造形テーマ構成

リヤデザインは、堂々としたSUVらしいスタンスを最も重視してデザインした。更に、前方からのエクステリア全体の動きを連続させることで、SUVらしい力強さ、たくましさを表現。縦基調の厚みがありながらも、SUVらしい構成要素を高く置いたワイド感のある造形で、機能が凝縮された塊感のあるデザインとした(図18)。

図 18　堂々とスタンスの効いたリヤデザイン

2.4.2　リヤ各部の工夫

図 19　質感高く力強いリア周り

ヘッドランプと同様にC シェイプのモチーフを採用しフロントデザインとの連続性を持たせ、SUBARU らしさを表現した(図19)。

アウターレンズには奥行きのある、クリスタルのように輝く幾何学のカットを施し質感を高め、SUBARU のシグネチャー表現を強化した。テール／ストップランプにLED光源を採用することで、より視認性の高いものとした。

2.5　その他の外装部品デザイン

2.5.1　ルーフスポイラー

空力性能の向上をねらい、全車に大型リヤスポイラーを設定した。ルーフスポイラー下面は原着色とし、広いガラスエリアを阻害しないデザインとしている。

また、ルーフスポイラーの下面にハイマウントストップランプを配置し、視認性、空力性能、デザインのバランスを図った(図20)。

2.5.2　ルーフレール

高さのある機能的なルーフレールには、ロープやベルトを直接結びつけられるロープ穴を前後に設定し、積載性や使い勝手を向上させ、高い機能と共にアクティブライフを一層際立てるデザインとした(図20)。

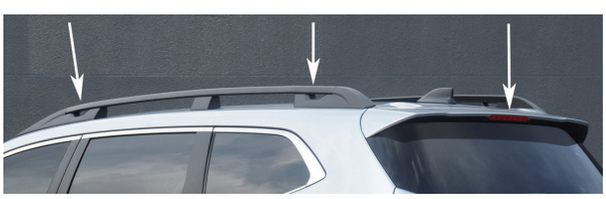


図 20　機能的なルーフレールとリヤスポイラー

3.　エクステリアモデリング

モデラーの役割は、デザイナーと共に立体で議論を重ね、「DYNAMIC × SOLID」を具現化し、デザインの価値をカタチに込めてお客様に提供する事である。ASCENT では、「ひとりで乗ってもダントツにカッコいい」価値を目指し、スタンスが効き躍動的な塊と面質を造り込むことで実現させた。

3.1　SRD 先行開発モデル

3.1.1　存在感を造り上げる

ミニバンとは違い、お客様が一人で乗っても「Cool」に見えるSUV の存在感と力強さを出すために、車体の四隅から内面に力が漲っているような塊としての凝縮感を表現した。ボディサイドにたくましい骨格をイメージさせる強い芯を通すことで、躍動的で強い塊を印象付ける表現を狙った(図21)。

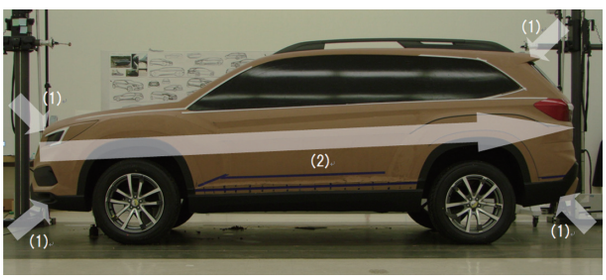


図 21　SRD 先行開発　初期 1/1 モデル

(1) 四隅から内面に力が漲ったような塊の凝縮感を表現
(2) たくましい骨格をイメージさせる力強い芯

躍動感あるシルエットの実現のため、外光下での確認を繰り返した。縦方向での厚みが重たく見えないよう、サイドクラッティングを山型に動きのある形状とし高めの位置に設けた。また、量感溢れる前後フェンダーは陰影の変化に注力し、力強さと躍動感を表現した。

ドアの断面とプランビューを平板なハコにならないように吟味し、力強い骨格を表現して北米市場で埋没しない存在感を造り上げた(図22)。

図 22　現地外光での確認

3.2　量産開発モデル

3.2.1　面質を造り込み、情緒的価値を追求する

先行開発モデルの骨格を基に各部を造り込み、デザインの情緒的価値を高めていった。

3.2.2　フロントの造形特徴

厚く押し出しのある造形を目指し、正面視でのグリルの大きさと縦横比の調整を何度も繰り返した。またグリルから始まる厚みと量感が感じられる力強い立体構成で、存在感のある造形を実現した(図23)。

図 23　量産開発中期 1/1 モデル

3.2.3　サイドの造形特徴

グラフィック的な線で動きを出すのではなく、キャラクターラインが、北米現地の太陽光で最も魅力的な立体に感じられるように、強い陰影の表現に拘って造形した。

フロントフェンダーからドアに掛けて連続する面の表情の変化を、開発後半になるに従ってより強め、躍動感とたくましさを表現した(図24、25)。

図 24　量産開発中期 1/1 モデル

図 25　量産開発後期 1/1 モデル

3.2.4　リヤ周りの造形特徴

縦方向の重心を吟味し、車両前方から立体全体で動きを連続させ、縦方向の厚みとワイド感を強調した躍動感溢れる力強い塊を表現した。

上半身は高い位置に重心を置いて動きを出し、下半身は形状変化のあるクラッディングで、大きな塊をしっかりと支えるように造り込んだ(図26)。

図 26　相対比較し、繰り返し検討した

4.　インテリアデザイン

図 27　インパネ俯瞰ビュー

4.1　乗員すべてを優しく包み込む、ひと手間かけて造り込んだインテリアデザイン

インテリアデザインは、SUBARU のデザインフィロソフィー「DYNAMIC × SOLID」に基づき、SUV らしい力強さと、豊かさと広がりを表現した空間造りと演出により、お客さまがどの座席に乗っても、広さを実感でき、安心して心地よく豊かな時間を過ごしていただけるようにした(図27)。

4.1.1　インテリアデザインの特徴

インテリアは、以下の基本構成と造形テーマにより構築した。

(1) SUV らしい力強さ表現

堂々としたボリュームあるセンターゾーンから始まる、ダイナミックで広がりのある造形。力強い立体表現で車格感と先進感を表現した、充実したセンター周り(図28、29)。

(2) 豊かな広さを表現した空間造りと演出

乗員を包み込むようにレイアウトしたMID加飾、懐深い造形によって広さを感じるインストルメントパネル～ドアトリム(図28、29)。

4.1.2　シートデザイン

シートは、ショルダー部分が肩をサポートしながら外に向けて広がるような形状とし、車外から見た時も、室内の豊かさと広さを感じさせる。しっかりと厚

図 28　インパネ周りの造形テーマ構成

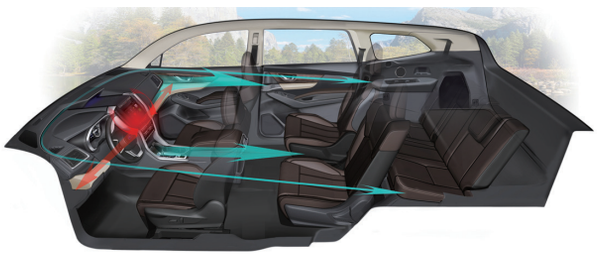


図 29　インテリアデザイン全体のテーマ構成

図 30　統一された室内空間

みのあるサイド部で、SUBARU らしい安心が感じられるドライビングサポート性能も備わっている。1列目から3列目までイメージを共通させ、統一された室内空間を提供する(図30)。

4.1.3　2列目3列目の特徴

全ての乗員が、どの座席でも豊かさと広がりが感じられるような、多彩な工夫を織り込んだ。

リヤドアトリムは、使いやすい位置にカップホルダーを配置し、伸びやかな線使いで豊かさを表現した(図31)。

3列目の空間でも、豊かさと広さを感じて頂けるように窓を大きくして、明るく大らかな空間とした。アームレストには、タブレットや携帯ゲーム機も入る大型カップホルダーを装備。前席周りと共通の意匠テーマで、細かな部分まで造り込みを感じて頂ける(図32)。

図 31　豊かさと機能の両立を図ったリアドアトリム

図 32　使い勝手の工夫が溢れる 3 列目

4.1.4　室内各部の工夫

豊かさと広さに加え、快適に過ごせる工夫を、多彩なデザイン的な見どころと共に織り込んだ。

図 33　機能と高い質感が融合するシフト周り
(写真は Touring 仕様)

木目に2種類の金属加飾を配し、コントラストを効かせた、質感高いシフト周りのデザイン(Touring仕様、図33)。

フロントのセンターパネル部と意匠テーマを合わせたリヤヒーターコントロールパネル(図34)。

図 34　リヤコンソール（キャプテンシート仕様）

3列目には、小さな子供でも乗り降りし易い階段状のステップを設定した。各段それぞれ広い面を設け、また乗降時の足の方向とグリップ機能を考慮したビード形状を織り込んだ(図35)。

図 35　３列目乗降ステップ

3列目に座った子供が乗り降りしやすいように、グリップを装備。握り易さに加え、カバンなどが吊り下げられる工夫を織り込んだ、ASCENT ならではの装備である(図36)。

図 36　３列目乗降用のグリップ

荷室サイドのウーハーは、SUV らしい力強い道具っぽさを表現。形状と室内サウンドの両面から豊かさと広さを体感して頂ける(図37)。

図 37　荷室にも豊かさを提供する

4.1.5　夜間照明演出

図 38　フロント周りの夜間照明演出

操作する機会の多いスイッチ類に、視認性が高く先進表現を併せ持った白色夜間照明を SUBARU として初採用。さらに、コンソールのカップホルダーにアイスブルーの照明を設定。機能をわかりやすく表現するだけでなく、洗練された空間を演出した(図38)。

図 39　室内全体の夜間照明演出

豊かさの空間演出として暖色のアンビエントライトを、また、前席と2列目に足元照明を設定。乗員を優しく包み込み、おもてなしを演出する照明を配置したことにより、室内空間の豊かさと広さを表現し、お客

さまに心地良い時間を過ごして頂けるように配慮した(図39)。

5. インテリアモデリング

5.1 先行開発ステージ

ASCENT 先行開発ステージで、お客様に向け創り上げた価値は以下の2つである。

(1)「DYNAMIC × SOLID」に基づいた、SUV らしい力強さを感じる事
(2) 豊かさと、広がりを感じる事

5.1.1 SUV らしい力強さの演出

SUV らしい力強さと豊かな広がりを両立させるために、縦方向と横方向の力の融合を造形テーマとした。インパネセンター部分に縦方向の幹を通して力強さを、中央から外側に広がる横方向の動きにより豊かな広がりを表現した(図40)。

図 40 先行開発モデルの造形テーマ構成

5.1.2 豊かさの演出

SUBARU の中で最も車幅があるため、これまでの車種で用いて来た面質では平板に感じてしまう。お客様が安心と感じる適切な量感を目指し、大らかだがメリハリの利いた立体構成を吟味し、豊かさと広がりを感じて頂ける造形を構築した(図41)。

5.1.3 広がりの演出

車格にふさわしい広さが感じられる様、横基調に造形要素が重なる構成とした。またアッパー部をインパネロアよりも外側に拡げるといった、お客様がより広さを感じられる造形工夫を織り込んだ。さらに、インパネからドアに連続する乗員を包み込む造形テーマにより、しっかりと守られる安心感と豊かさを表現した(図41)。

図 41 先行開発モデル

5.2 量産開発ステージ

一人で乗ってもダントツにカッコイイ SUV の実現

先行開発から基本的な考えは踏襲しながら、より豊かな広がりと SUV らしい力強さ感じて頂けるような立体構成を目指した。

5.2.1 力強さの強化

先行開発モデルでは、縦方向と横方向を融合させていたが、より力強く豊かな広がりを感じられるように、インパネセンター部分の堂々と力強い立体構成と、水平方向の大胆な広がりが勘合する造形とした。センターベントグリル上部から始まる立体の量感が、コンソールを経由し後席までダイナミックに貫き、インパネからドアに連続する横方向の量感との組み合わせで、どの座席に座っても力強さと豊かな広がりを感じて頂ける空間造形を行った(図42)。

図 42 縦方向の強化を織り込む

5.2.2 ドライバー視点での広がりと力強いカタチを強化

豊かさをさらに向上させるため、キャラクターラインで見せるのではなく、車幅と奥行きを最大限に活用し、インパネ中央部の力強い塊から立体が外に広がっていくような立体構成で、より力強さと広がりが感じられるようにした(図43の黄線)。

また、インパネミッド部分の断面を吟味し、動きと

広がりを向上させながら安心感との両立を図った(図43の緑線)。

さらに、インパネミッドの外側でアッパー部を支える立体構成をより強くし、力強さと広さが一層感じられる造形とした(図43の赤線)。

図 43　力強さと広がりをより強化する構成の整理

この造形工夫により、インパネアッパーの塊感が向上し、助手席の豊かさが増した。さらに、ミッド部のポケット奥までの陰影のコントラストも造形の見せ場として活用し、力強く安心を感じる豊かなインパネ造形を実現した(図43)。

5.3　2列目、3列目エリアの造形

5.3.1　全体イメージの統一

インパネ周りの立体構成と造形の考え方を、室内全体造形に行き渡らせた。全ての乗員が等しく豊かさと広さを感じられるよう、線質や面質など細かな部分の造り込みを徹底し、全体が統一された豊かで快適な室内空間を実現した(図44)。

図 44　全体イメージの統一

5.3.2　機能に拘る

使いやすさを実現するために、乗降時にお客様が直接触れたり踏んだりする機能的な部位を実際に乗降出来るように造り、造形と人間工学的な評価を繰り返し、お客様の乗降の動線や使い心地に配慮し、造り込んだ(図45)。

5.3.3　お客様の使いやすい快適な空間の実現

3列目の快適な空間実現のため、実際にシートに着座しお客様視点での空間を意識して、ユーティリティやひじ周りに配慮し、造り込んだ。特に視界に関わるCピラー・Dピラートリム周りは断面に工夫し、眼に優しく邪魔に感じないカタチを造り上げた(図46)。

図 45　機能部品の造り込み

図 46　お客様が使い易く快適な空間を造り込んだ

6.　内外装のカラーリング

SUBARUカラーデザインフィロソフィー「インパクトと深み」は、SUBARUの安心と愉しさを具現化するSUBARUデザインフィロソフィー「DYNAMIC×SOLID(ダイナミック×ソリッド)」を、カラーデザインで具現化するための考え方である。

「インパクト」とは、ハッと一瞬で人を引き付ける魅力であり、「深み」とは、時間の経過と共に、じんわりと感じる要素の事である。

SUBARU並びにASCENTの全てのカラーデザインは、この考え方に基づいている。

6.1　エクステリア・カラー

SUVらしい躍動感と、力強いたくましさと車格を感じる、アースカラー中心のモダンでスタイリッシュなカラーラインナップとした。若々しい発色の良さで「インパクト」を、輝きと映り込みの変化で「深み」を実現した。

6.1.1　新外装色

①ABYSS BLUE PEARL

図 47　ABYSS BLUE PEARL 外装色

車格を感じる、モダンで知的なアースカラーのブルー。穏やかで暗すぎないトーンと、緻密でスムースなパール粒子感がポイント。

②CINNAMON BROWN PEARL

図 48　CINNAMON BROWN PEARL 外装色

たくましく、ナチュラルでリッチなブラウン。粗くラギッドな粒子感と、レディッシュでコクのある色味がポイント。

6.1.2　継続色

北米現地での様々なニーズに応えるべく、新色の他に以下の6色を取り揃えた。

①CRYSTAL WHITE PEARL

②ICE SILVER METALLIC

③MAGNETITE GRAY METALLIC

④CRYSTAL BLACK SILICA

⑤CRIMSON RED PEARL

⑥TUNGSTEN METALLIC

6.2　インテリア・カラー

大胆なミッド加飾の配色で「インパクト」を、室内全体を質感高く包み込むコーディネートと素材で「深み」を実現した。

コーディネートの基軸は、以下の3点である。

1、豊かさと力強さ

2、上質さ、ひと手間かけた造り込み

3、インパクトのあるメリハリ

6.2.1　内装の配色

基本内装色は、ブラック内装とアイボリー内装の2色展開。最上級グレードTouringにはブラウン内装を専用で設定し、鮮やかさと深みのある最上級グレードらしい上質な雰囲気を演出している。

室内全体は、機能に基づいた色と素材で仕立てた。どの内装色でも基調部分は黒でまとめ、SUVらしい力強さとお客さんを安全に守る空間を形成する。アイボリー内装のシートでは、背面を黒色として、汚れの目立ち難さにも配慮した(**図49、50、51**)。

図 49　黒内装

図 50　アイボリー内装

図 51　ブラウン内装

6.2.2　加飾表現

広々とした豊かな空間を印象付ける手段として、お客様を柔らかく包みこむ素材表現をミッド加飾に織り込んだ。

Base と Premium では、朱子織の織物をモチーフに、若々しい家族をイメージしたカジュアルなシボ柄を織り込んだ。Limited と Touring グレードでは、レザー調表皮に W ステッチを織り込み、上質な仕立ての良さと柔らかさを表現した。

Touring グレードの木目加飾は、ブラウン内装と共鳴する鮮やかなブラウン色の板目調の木目をモチーフとした。リアルな木目の導管表現とマットな艶の質感と塊感のある形状との合わせで、ソリッドで「深み」のあるリアルな木目表現を実現した。

6.2.3　シート表皮

素材は、革とファブリックの2種類。豊かさと SUV らしい力強さを表現した、量感のあるシート形状に見合う仕立てとした。

黒ファブリックの立体感のある表情は、SUV らしい豊かさと力強さを感じる厚みと丈夫な印象を与え、散りばめられた多色のアクセントのミックスで、深みを与えつつ、汚れが目立ちにくくする機能性も狙った。

アイボリーファブリックでは、従来にはない多彩な色ミックスを施し、明るさは保ちながら防汚にも配慮した明度でコーディネートした。

鮮やかで深みのあるブラウン革は、パーフォレーション（パンチングの穴形状）を最大限にまで用いて、空調シートの性能を満たしながら、手の込んだ仕立てを両立させた。

図 52　ファブリック仕様
Base（黒）

図 53　ファブリック仕様
Premium（黒）

図 54　ファブリック仕様
Premium（アイボリー）

図 55　革仕様 Limited（黒）

図 56　革仕様 Limited
（アイボリー）

図 57　革仕様 Touring
（ブラウン）

6.2.4　ひと手間かけた造り込みと仕立ての良さ

インパネ、ミッド加飾、シート、アームレスト等にグレーのステッチワークを施した。クラフトマンシップを感じるひと手間かけた造り込みで、車格に見合う上質さを演出した（図58）。

図 58　内装各所のひと手間かけた造り込みの数々

7.　あとがき

ASCENTは、お客様の大きな期待のもとに、SUBARUが満を持して北米市場に送り出す3列SUVである。北米市場でギラリと放つ存在感の強さは勿論のこと、3列全てのお客様が快適に長距離移動できる空間パッケージに徹底的に拘り、そしてクルマ全体を織りなす内外装デザインとカラーデザインが完成したと自負している。今後市場に出た際に、必ずや数多くのお客様にご支持頂けるものと確信している。

【著　者】

源田　哲朗

田宮　　創

井田　康之

高木　曽太

橋本　勇気

斎藤　　實

「インプレッサ」改良モデルを発表
～アイサイトをはじめとする安全機能をさらに進化～

2017年9月11日

「インプレッサ」改良モデルを10月5日に発売。
SUBARUが中期経営ビジョン「際立とう2020」において次世代モデルの第1弾と位置付け、2016年10月に発表した戦略車です。お客様に最高の「安心と愉しさ」を提供することを目指し、SUBARUの次世代プラットフォームである「SUBARU GLOBAL PLATFORM」をはじめ、国産初となる歩行者保護エアバッグなどの新技術を投入。「総合安全性能」と「動的質感・静的質感」の大幅向上を実現しました。

今回の改良では、アイサイトの夜間走行における歩行者認識性能を強化したほか、後退時自動ブレーキシステムを追加。さらに、アイサイトセイフティプラスとしてサイドビューモニター機能を追加し、「乗る人すべてに最高の安心と愉しさを提供すること」を目指して開発されたインプレッサの「総合安全性能」を一層高めました。

新型フォレスターのデザイン開発

Styling Design Development of New FORESTER

大　関　　透*　小　澤　修　司*　古　屋　　貴*
Toru OZEKI　Shuji OZAWA　Takashi FURUYA
杉　浦　　東*　大　田　真　人*　武　井　真奈美*
Azuma SUGIURA　Makoto OTA　Manami TAKEI

抄　録

SUBARUが目指すデザインは、お客様を笑顔にするための原動力となる価値提供「安心と愉しさ」を一目見てわかる“カタチ“に表現することである。その結果、お客様の求めるライフスタイルをサポートし、ワクワクする気持ちの醸成や生活シーンではストレス無く使いこなせ、役に立つ存在となることである。

世界中のお客様にSUVの価値を提供する新型フォレスターは信頼を感じて頂けるデザインを追い求めた。

Abstract

Styling design which SUBARU is aiming for is to represent “shapes” expressing its driving values to make our customers smile, providing “Enjoyment and Peace of Mind” recognizable at first glance. As a result, our models can support customers’ lifestyles, generate excitement, and provide stress-free usability and values.

With this new FORESTER providing the values of SUV to our global customers, we pursued styling designs from which customers feel a sense of trust.

1．まえがき

1997年、クロスオーバー車として誕生した初代フォレスターは3代目ではSUVとしてのパッケージを備え、ワゴンスタイルからの進化を遂げた。4代目では群を抜く視界性能と使い勝手の良さを突きつめ都会からアウトドアシーンまでの多様なフィールドでお客様のアクティブなライフスタイルに応える存在としてさらに進化、成長し、現在SUBARUで一番多くの台数を売上げ、お客様の笑顔を増やし続けている。

そして5代目となる新型フォレスターは、そのデザイン全てがSUBARUデザインフィロソフィー「DYNAMIC×SOLID」に基づいている。

エクステリアでは、スクエアなシルエットから左右に大きく張り出したフェンダーの「Modern Cubic Form」で取りまわしの良いサイズでありながらグローバル市場でSUVらしい逞しさと豊かな室内空間をもった躍動感あるデザインの創出に注力した。

インテリアでは、SUVらしい力強さとふくよかな厚みのある造形で乗る人すべてが安心と居心地の良い豊かな時間を過ごせるデザインとした。

荷室についてはクラスを大きく超えたリヤゲート開口とスクエアな荷室空間を創り上げている（**図1**）。

図1

＊ デザイン部

2.　エクステリアデザインの狙い

「ひと目で冒険心を掻き立てる逞しいデザイン」

新型フォレスターを進化させるにあたって代々受け継いできた基本価値“どこでも行ける安心感”の追求は当然ながら、活動的な躍動感のあるデザインを織り込むことで、将来のお客様の冒険心を掻き立てる新しいフォレスターの魅力を具現化した(図2、3)。

図２　フロントビュー

図３　リヤビュー

図４　デザインイメージスケッチ

2.1　モダンキュービックフォルム

新型フォレスターのデザインは単なる四角いカタマリではなく、豊かな荷室空間やひと目でわかる使える機能価値表現とお客様の気持ちを掻き立てる躍動感表現の融合から、活動的なライフスタイルを想起させ、日常と非日常の生活にフィットするデザインを目指した。それを我々は「モダンキュービックフォルム」としてデザインを進めた。

グリルからヘッドランプへ、さらにボディーから後方へ勢いよく軸が貫く力強い造形テーマと、ショルダーラインをピラーに沿って上までまわす構成から、躍動感とフレームのような強さを表現、同時に乗員をしっかりと包み込む安心感を醸し出す。

また キャビンとボディを1つのボリュームで構成することでフォレスターの持ち味である豊かな室内空間を強く表現した。ボディーは左右に大きく張り出した力強いフェンダーとの組み合わせでSUVらしい佇まいを感じさせる(図4)。

2.1.1　SUVらしい冒険心を掻き立てるフロントデザイン

フロントフードの厚みを増しフェンダーを左右に大きく張り出すことで堂々としたボリュームとスタンスを表現。拡大されたヘキサゴングリルを頂点にフロントコーナー部に配置されたグリルと同じ質感を持ったフォグランプカバーにより悪路でも安定して走行できそうな安定感のあるスタンスを実現(図5)。

図５　最終クレイモデル正面ビュー

2.1.2　厚みのある力強いヘキサゴングリルと スタンスを表現したフォグベゼル周り

ヘキサゴングリルを大型にすると共に周囲を黒のトリムで縁取ることで輪郭を強調。

遠距離でもしっかりとヘキサゴン形状を主張するデザインとした。

加えて左右に配したグリルと同じ仕立てのフォグランプベゼルは、グリルの勢いを左右に強調する配置とし安定感と力強さを表現。

ADVANCEグレードではヘキサゴングリルとフォグランプベゼルの内部をグロスブラック塗装とすることでさらに質感を高めている（図6）。

図６　フロントデザイン（スタンス表現）

2.1.3　力強く存在感のあるヘッドランプ

Cシェイプをさらに印象的にすると共にプロジェクター機能部をよりメカニカルに印象強く表現することで、どのような環境下でも行先をしっかりと光を照射する高機能で存在感あるデザインとした（図7）。

図７　ヘッドランプ

2.2　豊かな荷室空間と使い勝手の良さが 一目でわかるリヤデザイン

クラスを超えた1300 mmの開口幅を実現しつつリヤゲート面の構成も縦、横に広く連続した張り感ある造形と、ワイド感を強めたゲートガーニッシュで一目で荷室空間の豊かさや使い勝手の良さを表現するとともにSUBARUらしさの記号であるCシェイプのリヤコンビランプはリヤビュー全体を高位置に保ちリフトアップしたSUVの逞しさと個性を主張（図8、9）。

図８　最終クレイモデルリヤビュー

図９　リヤゲート開口

2.2.1　リヤゲートまで回り込んだCシェイプ ランプは夜間でもその個性を主張する（図10）

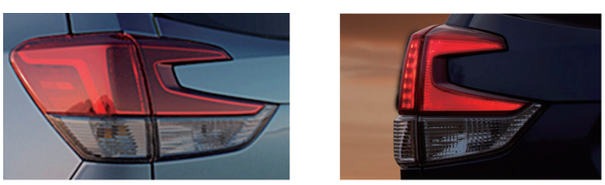


図 10　テールランプ

2.2.2　空力性能を高めた大型リヤスポイラー

左右に翼端板を備え、空力性能を高められた大型リヤスポイラー（図11）。

図 11　大型リヤスポイラー

2.3　冒険心を掻き立てるディテール

2.3.1　ボディ全体で黒い樹脂部のエリアを 拡大しフォレスターの逞しさを進化させた

ホイール・アーチプロテクターの追加やフロント、リヤバンパー、ドアのクラッディングエリアのボリュームを拡大することでボディのリフトアップ感とプロテクトする機能を強化。

さらにフロント、サイド、リヤのアンダーガードを設定し、どこでも行けるようなフォレスターの逞しさを進化させた(図12、13、14)。

図 12　フロントアーチプロテクター & アンダーガード

図 13　リヤアーチプロテクター & アンダーガード

図 14　サイドアンダーガード

2.3.2　大地をとらえる力強いホイールデザイン

ADVANCE用18インチホイールは立体感ある幅広の5本のスポークがリム側と勘合するデザインと切削光輝の輝きとダークグレーメタリック塗装とのコントラストで先進感のある力強いデザインとした(図15)。

PREMIUM用18インチホイールは、切削光輝とダークグレーメタリック塗装のコントラストとホイールの中心まで伸びた10本のスポークによりシャープでスポーティーなデザインとした(図16)。

TOURING用17インチホイールは、切削光輝とダークメタリック塗装のリムをしっかり支えるトラス構造をイメージさせる6本のスポークで車体をしっかり支える剛性感あふれるデザインとした(図17)。

図 15　ADVANCE 用 18 インチホイール（切削光輝）

図 16　PREMIUM 用 18 インチホイール（切削光輝）

図 17　TOURING 用 17 インチホイール（切削光輝）

2.3.3　お客様の使う様々なシーンに合わせ、載せ方の可能性をイメージさせるルーフレールデザイン

ルーフレールの前後にはロープなどの固定に使える穴を設定、その穴の内側には黒樹脂部品を配しロープを使用した際に傷が目立ちにくいシボを採用することで、機能性とワクワクする愉しさを演出している(図18)。

図 18　ルーフレール

3. エクステリアモデリングの狙い

新型フォレスターに求められる『安心』は、“クラストップレベルの高い積載能力やSUVらしい逞しさ”を、『愉しさ』は、“お客様のアクティブなライフスタイルを支える躍動感ある若々しさ”を。

これらをお客様が一目見て感じられる“カタチ”を創造すべくモデリングを推進した。

お客様から信頼されているフォレスターの高い積載能力とSUVらしい逞しさを実現するためには、容積があることをお客様に見せる「スクエア（大きさ）」感と、中身がしっかりと詰まっていることを感じさせる「カタマリ（凝縮）」感を同時に満足させる必要があった。

この課題を解決するために、全体シルエットでそれぞれの強みが互いを際立たせる“カタチ”を模索した。

サイドから見た時のリヤゲートガラスの角度が「スクエア」を表現するために特に重要であることに気が付き、様々な光源・距離から観察しトライを重ねることで最適解を導き出した（図19）。

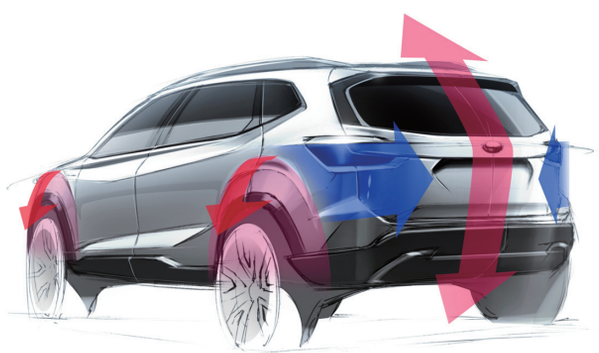


図19　モデリング造形意図図

サイド周りの造形がフロントやリヤに向かって巻き込んでいく様に、コーナー部分の絞り込み量や方向性を調整することで車全体の一体感が増し、さらにタイヤに向かって荷重・力感が集約される様な方向性を持つボディのボリュームとフェンダーの張り出しを強調する陰影の調整で「カタマリ」を表現した（図20）。

図20　最終クレイモデル（シャープな面表現）

これらのトライを重ねることで、「スクエア」と「カタマリ」を両立させ『安心』を感じていただけるモダンキュービックフォルムの造形が完成した。

お客様がよりアクティブなライフスタイルが想像でき、それを支持する車であることを表現するために、面や線の表情に「シャープな動き」を表現できる様に造形を進めた。

北米の強い太陽光の下でモダンキュービックの造形が映える様に光と影をバランスさせ、「中身の詰まった強いカタマリ」を表現。そこを一枚のシャープな面で削ぎ取った様な造形をすることで、コントラストの強い明暗を造りだし、様々な光源下で動きを感じられる面構成を施した。また、カタマリをシャープに削いだ後に表れるキャラクターラインも、後端を跳ね上げる手法をとることで躍動感ある若々しさが表現でき、『愉しさ』を感じていただける造形になった。

こうして、アクティブなマインドを持つスバルのお客様にとって信頼できるツールであり、安心してワクワク活用できる、新型フォレスターのエクステリアデザインをモデリングとして造りだすことが出来た（図21、22、23）。

図21　最終クレイモデルフロントビュー

図22　最終クレイモデルサイドビュー

図23　最終クレイモデルリヤビュー

4. インテリアデザインの狙い

新型フォレスターのインテリアデザインのコンセプトは、『人を中心に考えた豊かで快適な空間』と『SUVの力強さと上質さを兼ね備えたインテリア空間』である。それを実現させるため立体的でSUVらしい力強い表現を幅広で立体的な厚みのあるコンソールで強調。本物の作り込みを感じる上質な仕立てとして、身体に触れるところへ厚みのある造形のソフト素材を配置することでふくよかさを表現。

“愉しさ”を解放感のある広がりを感じるライン使いやシフトとベンチグリルを関連性のあるデザインでの空間の広がりで、“安心”をインパネからコンソールにつながる力強い造形でSUBARUのデザインフィロソフィーである「DYNAMIC×SOLID」を表現している(図24)。

インテリアの見せ場であるコンソール、ドア、ラゲッジルームはSUVらしさの表現と実用性の両立として特に拘って作り込んでいる。

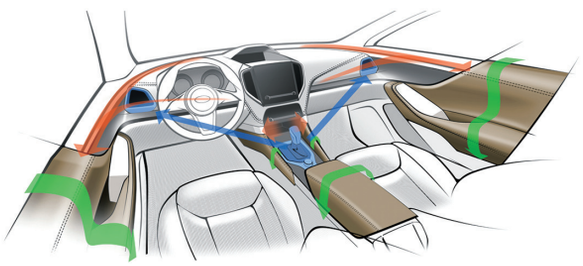


図24　インテリアデザイン意図図

コンソールは着座位置が高いSUVに適したシフトノブの高さに配置しインパネからコンソールへ繋がる厚みのある表現で安心感のあるSUVらしい逞しさをデザインで表現した。また、インパネとコンソールの合わせにシルバー加飾を用いることで上質で力強い印象を持たせた。シフト周りは2モードダイヤル式X-MODEスイッチを配置し括ることでSUVらしい力強さとメカニカルさを併せ持つ特徴的なデザインとした。アームレストやコンソールサイドは側面までたっぷりと表皮を使った“厚み”の表現をすることで頼れるSUVの表現としている。

また、機能部位をフレームで囲ったケージングデザインで使い易さと精緻さを表現している(図25)。

ドアは窓肩までたっぷりと表皮を使用しコンソールと統一された“厚み”表現と質感向上を狙った。ダブルステッチとキルトステッチを使い分けることでクラフトマンシップを感じて頂ける仕上げとした。アームレストもサイド面の厚みを増し表皮を巻くことで人に近い部分を柔らかい素材で覆われている安心や上質さを感じて頂けるようデザインしている(図26)。

図25　コンソール

図26　ドアトリム

ラゲッジルームはスクエアで凹凸の少ない広くすっきりとした荷室空間を実現し、使い勝手の良さを表現している。床もフラットな面構成にすることで荷物が無駄なく積めるようデザインしている(図27)。

図27　スクエアで凹凸の少ない荷室空間

エプロントリムでは荷物が当たりやすい場所にエクステリアのクラッティングで使用されているシボを用いることで傷が目立ちにくく汚れが落ちやすい配慮を加えている。エプロントリムの左右それぞれにスイッチやフックを集約して配置し整理され使いやすいようデザインした(図28)。

図 28　シボの切り替えと SW まわり UP

以上、SUV らしさの表現と上質な仕立てを感じるデザインをストレートに表現することでユーザーに安心と愉しさを感じて頂けるデザインを目指した。シルバー加飾の表現一つをとってもSUVらしく力強い印象を与えるよう統一しデザインしている。

新型フォレスターは居住性も積載性も満足して頂けるインテリア空間を実現し、多くのお客様の期待に応えるデザインに仕上げることができた。

5. インテリアモデリングの狙い

インテリアモデリングは、お客様にあらゆる状況下でも安心して運転して頂くため造形テーマを「ふくよかさ」として造形を推進した。

特に注力したのは、直接お客様の目に入る／手が触れる、ドアトリムとコンソールである。

「ふくよかさ」と感じる“カタチ”の表現は多種多様である。そこで、新型フォレスターに相応しい「ふくよかさ」は何かと考え、・スポーティさを犠牲にしない・造形の指針になるモノは何か？を考えて導き出したのが、乗馬用の「鞍」である。鞍は、人と馬との人馬一体感をつかさどるためのコミュニケーションを取る大切な道具であり、騎手を落馬させない様に守り、快適に乗れる機能を有する。無駄な装飾は無く、機能から生み出されるシンプルな美しさと頑丈な信頼感がある。そこで、実物の鞍を造形現場に置き、表面質感や反力などを、観る／触る／感じることで、造形に織り込んだ(図29)。

革は、しなやかに連続する面で構成、嵌合部に向かって圧力が掛かり、張りが押さえ込まれる。その質感表現を行うために、今までの一面ごとに仕上げ、硬質になりがちな造形手法を変える必要があった。

そこで、全体を一つのカタマリとして捉え、複雑な曲面も、職人が手びねりで形造ってゆくかの様に、室内の造形テイストを統一させた。結果、内部から滲み出る反力や、端末の納まりなどを表現することが出来た(図30)。

図 29　実物の「鞍」

図 30　クレイ造形中のドアトリム／コンソール

さらに、当社では初となる「ドアトリム・キルト表現」をクレイで行い、実車と見紛うばかりのリアリティを追求した。結果、斜めに駆け上がる躍動感の具現化が出来た(図31)。

図 31　最終艤装を施したドアトリムモデル

お客様が、手に触れて心地良いドアトリム／コンソールアームレスト。膝が当たっても心地よいコン

ソールカバーフロント。「ふくよかさ」に注力し、安心と愉しさ溢れるフォレスターの内装に仕上げることが出来た(図32)。

図 32　艤装後の室内全体モデル

6.　インテリアのカラーデザインの狙い

6.1　内装色配色

基本内装色は、ブラック内装、プラチナ内装、ツーリングにブラウン内装を揃えた。

6.1.1　ブラック内装

落ちつきのある黒内装は、上質な革とタフな表情の素材によるコントラストで、質の高い室内空間を実現(図33)。

図 33　黒内装スケッチ

6.1.2　プラチナ内装(海外仕様)

ベースの黒と新色のプラチナカラーによる華やかなコントラストで、若々しさと開放感を表現した。シートの実用的頻度が高い部分には黒の帯材を採用するなど、乗降時の擦れや汚れに配慮した仕立てとしている(図34)。

6.1.3　ブラウン内装

ふくよかな表皮巻の仕立てに合わせ、黒と深みのあるブラウンのコンビネーションで1クラス上の上質さを表現した。また、インストルメントパネルの表皮巻加飾により、お客様に上質な仕立てに包まれた安心感を感じていただけるコーディネートとした(図35)。

図 34　プラチナ内装スケッチ(海外仕様)

図 35　ブラウン内装スケッチ

6.2　仕立て表現

上質さやふくよかさ、使い勝手の良さをこだわりぬいた空間

ドアトリムのアームレストから窓肩部まで続く、大型の表皮巻きを設定。人に触れるところにはふくよかな造形をするとともに、触感の良い表皮とコントラストのあるステッチや立体感あるツインキルトで作り込まれた仕立てにより、上質でゆったりとした雰囲気を感じられるようにした。

6.3　加飾表現

SUV のタフさを表現する幾何学のテクスチャー

インストルメントパネルからドアトリムにかけて、ディンプル模様の幾何学テクスチャーを採用。上質さを感じさせると同時に、お客様のアクティブなライフスタイルにマッチしたSUV としての機能的な頼もしさやタフさを表現した(図36)。

図 36　幾何学テクスチャー

6.4　シート表皮

6.4.1　ファブリックシート

ブロック調の幾何柄による立体的な表情でさまざまな使用シーンで応えてくれるSUVの持つタフさを表現。触感にもこだわりぬいた居心地のよい表皮を実現した。

乗降車時に擦れやすい部分には、帯材を追加することで質感を高めるとともに、破れにくいように配慮した。

中級グレードでは上級のファブリックとPVCとのコンビシートを採用し、タフな使い心地をさらに高めた(図37)。

図37　ファブリックシートバリエーション

6.4.2　レザーシート

深みのある革の上質はもとより、機能的なパンチング加工に加えてキルト縫いによる立体的な表情を加えることで、ふくよかで頼もしく上級感のあるシートとした。帯部に配置したシルバーステッチはシートにコントラストを与え、車内の表情をさらに豊かにしている(図38)。

図38　レザーシートバリエーション

7.　エクステリアのカラーデザインの狙い

コントラストのある元気で若々しいカラーラインナップ

「DYNAMIC × SOLID」をもとに、パッと目に留まるインパクトや、長い間乗っていたくなるような深み、ワクワクとした気持ちを感じられるカラーラインナップとした。エクステリアのカラーラインナップは、従来から設定されているロングライフで使えるカラーを継続するとともに、活動的で若々しい印象を持つ新色を加えた、全9色を設定した。

7.1　新色：ジャスパーグリーン・メタリック

自然の持つ力強さや、おおらかな広がりを感じさせる、自然との親和性が高いフォレスター専用の新色グリーン。アウトドア感度の高いユーザーに向けた力強さ、ナチュラルさを連想させるカラーとした(図39)。

図39　ジャスパーグリーン・メタリック

7.2　新色：ホライゾンブルー・パール

鉱物が持つ深い色合いとソリッドでがっちりした印象を持つ、明るくクリアでフレッシュな新色のブルー。色変化で魅せる造形とのマッチングがよい、活動的な印象を与えるカラーとした(図40)。

図40　ホライゾンブルー・パール

7.3　新色：クリムゾン レッド・パール

明度と彩度を高めて、はっきりとした色味としたレッド。鮮烈さと上質さを印象付ける、奥深い質感を持ったカラーとした(図41)。

図 41　クリムゾンレッド・パール

7.4　継続色

①クリスタルブラック・シリカ
②ダークグレー・メタリック
③ダークブルーパール
④セピアブロンズメタリック
⑤クリスタルホワイト・パール
⑥アイスシルバー・メタリック

8.　X−BREAKのデザインの狙い

新型フォレスターをアウトドアギアの様にさらにアウトドア・アクティブなシーンでもスマートに使えるタフで頼もしいスタイリングを目指した。

8.1　エクステリア

エクステリアデザインでは、機能部位に配したアクセントカラーとハイグロスブラックのコンビネーションでアウトドアギアイメージを表現(図42、43)。

図 42　X−BREAK フロントスケッチ

8.1.1　アウトドア・アクティブシーンを想起させるディティール

グリル、フォグベゼル、ホイールはダーク調とすることで機能感とスポーティーさを表現(図44、45)。

図 43　X−BREAK リヤスケッチ

図 44　フロントディテール

図 45　17 インチホイール

リヤガーニッシュはリヤスポイラーの翼端板と連続した専用デザインとハイグロスブラック色とすることでコンビネーションランプが組み込まれた、レイヤー構造のような見え方を演出し先進性を強調(図46)。

図 46　スポイラー一体リヤガーニッシュ

ルーフレールをタイダウンホール付とするなどアウトドアシーンで頼りになる機能を装備(図47)。

図47　ルーフレール

8.2　インテリア

機能部位にオレンジレッドのアクセントカラーを配することで､室内の広さとともに機能感を感じられる、スポーティでアクティブな印象とした(図48、49、50)。

図48　インテリアスケッチ

図49　量産車インテリア

図50　ディテール

シート、ドアなどの汚れやすい部分には撥水加工を施した濃いグレー表皮を使用し、汚れが落としやすくて目立ちにくい機能性も確保(図51)。

図51　シート&ドアトリム

リヤシートをフロントシートと同じデザインとすることにより、4 人乗りのクルマに見えるようなアクティブなワクワク感を演出した(図52)。

図52　インテリア全体スケッチ

グロスブラックのメーターリングとオレンジレッドのアクセントカラー、夜間点灯するX-BREAKロゴ入りメーターはで内外装デザインと同様のコーディネートで機能的でアクティブなデザインとした(図53)。

図53　メーター

9.　あとがき

新型フォレスターは、SUBARUがグローバル車種として世界中のお客様に寄り添いお客様の期待に応えるためパッケージング、内外装デザインとカラーデザインを徹底して造り込みを行った。新型フォレスターに乗っていただくことで世界中のお客様を笑顔にしライフスタイルを豊かにできると確信している。

【著　者】

大関　　透

小澤　修司

古屋　　貴

杉浦　　東

大田　真人

武井 真奈美

「SUBARU BRZ」改良モデルを発表

～ボディ剛性向上により、走りの性能を強化～

2017年9月11日

「SUBARU BRZ」改良モデルを10月5日に発売。
「Pure Handling Delight－新しい次元の運転する愉しさ」をコンセプトとした、誰もがクルマを操る愉しさと悦びを感じることのできるスポーツカーです。FRレイアウトと水平対向エンジンを組み合わせた「超低重心パッケージング」により優れたハンドリング性能を実現し、2012年2月の発表以来、走りの性能や内外装の質感に繰り返し磨きをかけてきました。

SUBARU VIZIV PERFORMANCE・TOURER CONCEPTのデザイン開発

Styling Design Development of SUBARU VIZIV PERFORMANCE & TOURER CONCEPT

河内　敦*　小林寛之*
Atsushi KOCHI　Hiroyuki KOBAYASHI

抄　録

スバルが将来のお客様に提供する価値「安心と愉しさ」と「新たなスバルらしさ」を一目見て認識できる形にするためにデザイン戦略「DYNAMIC × SOLID」を具体化しデザイン創造に織り込んでいる。

VIZIVシリーズはこの思想を具現化したコンセプトモデルで、スバルが従来からこだわってきた「安心感あふれるカタマリ感」を「SOLID」で表現し、新たに、次世代に向けて「心ときめかせる躍動感」を「DYNAMIC」で表現している。この統一したデザイン表現をもとに、車種に合わせたデザインを構築している。

Abstract

In order to make it possible for customers to instantly recognize the values, “Enjoyment and Peace of Mind” and “New SUBARUness,” we have embodied and integrated our design strategy “DYNAMIC × SOLID” when designing. The VIZIV series are concept models embodying this concept. They are expressing “SOLID” with “solidity with full of safety feel” which SUBARU has been focusing on, and “DYNAMIC” with “dynamism that makes you feel excited” newly for the next generation of customers. Based on this unified design expression, we are constructing design that matches with each model.

1. まえがき

「DYNAMIC × SOLID」は、安心と愉しさをクルマ全体で表現するためのフィロソフィであり、「スタンス」「ボリューム」「サーフェス」、それぞれのデザイン構成要素に意味を与えている。本質をとらえるスバルのクルマ造りを因数分解し、デザイン表現に落とし込むことで「カタチの意味」を明確化し、スバルの価値表現に繋げている。

2. VIZIV PERFORMANCE CONCEPT デザイン開発の狙い

VIZIV PERFORMANCE CONCEPTはスバルのハイパフォーマンスセダンの将来像を示すコンセプトモデルとしてデザインフィロソフィ「DYNAMIC × SOLID」に基づきデザインした。

ヘキサゴングリルから始まる前傾姿勢の硬質なボディに、内側から強い圧力で張り出した躍動感あふれる4つのフェンダーを組み合わせ、動き出す瞬間のエネルギーを放出するスタンスを表現、走りの愉しさを強調しつつ、安心感を表現した(**図1**)。

図1　VIZIV PERFORMANCE CONCEPT デザイン

2.1　フロントデザイン

デザインフィロソフィ「DYNAMIC × SOLID」に基づき、お客様が一目見てスバルと認識して頂けるフロントフェイスを構築した。

フロントグリルは、「安心」の表現としてヘキサゴンの力強いモチーフを採用している。六連星由来の六角形は、自然界に存在する強靭で合理的な、ハニカム

＊ デザイン部

構造を採用し、安定性、効率性、シンプルな強さを象徴する形状で、鉱物などの硬質な結晶体をイメージしている。

コの字のヘッドランプは「愉しさ」の表現として航空機の思想を受け継ぐ、水平対向エンジンのピストンが生み出すなめらかなパルスを表わし、さらにはワイド感と低重心のスポーティな表現としてデザインした。　このヘキサゴングリルとコの字のバランスによって一目でスバルと認識できるフロントフェイスを形作っている。VIZIV シリーズではそれぞれの車型によってこのバランスをスタディしている（図2、3）。

図２　PERFORMANCE フロントグリル

図３　PERFORMANCE フロントビュー

2.2　サイドデザイン

“安心してドライビングを愉しめるスポーツセダン”を具現化するため、「ヘキサゴングリルから始まる前傾した軸」と、「内側から強い圧力で張り出したフェンダーによるスタンス」を基本に立体構築している。

動態デザイン表現として、停まっていても今にも走り出しそうな前傾軸と、ハイパフォーマンスを想起させる安定したスタンスを組み合わせ、お客様が笑顔で走っている瞬間を切り取ったような、動的な表情を織り込んだ。

前後フェンダーのアーチラインは前傾させた六角形を採用し、タイヤが回り出す動的なイメージとスバルの特徴である AWD を強調している（図4）。

アーチ廻りのパーツは空力性能を向上させる機能デザインで、空気の整流効果により操安性の向上に寄与し、スバルの走りのパフォーマンスを向上させる機能的なアイテムである（図5）。

図４　PERFORMANCE サイドビュー

図５　PERFORMANCE リヤフェンダーアーチライン

2.3　リヤデザイン

見た人をハッとさせるスタンスを表現するために、リヤの立体はキャビン後方を絞り込み、フェンダーをボディに対して張り出すことで、駆動力をしっかりと大地に伝えるデザインとした。

オーバーハングのボリュームをタイヤに近づけ、俊敏な走りを想起させるデザイン構成と、ディフューザーなどの機能部品により、スバルのスポーツセダンとしてのパフォーマンスを感じるデザインとした（図6）。

図６　PERFORMANCE リヤクォータビュー

2.4　ホイールデザイン

パフォーマンスセダンにふさわしい軽さと強度、そして機能性をテーマにデザインしている。

スポークは力強い中心部から外側に向かって細く枝

分かれしていく力学的に優れたフォルムと、放熱処理パーツを構造体のように組み合わせた形状で、車両全体の高性能なイメージをより増幅させる表現としている（図7）。

図７　PERFORMANCE ホイール

3.　VIZIV TOURER CONCEPT デザイン開発の狙い

VIZIV TOURER CONCEPT はスバルが代々受け継いできた高い実用性と走りを両立した商品性を念頭に置き、デザインフィロソフィ「DYNAMIC × SOLID」に基づき、新しい価値提案としてデザインした。

VIZIV PERFORMANCE CONCEPT と同様に、ヘキサゴングリルから始まるボディと、躍動感あふれる4つのフェンダーを組み合わせ、走りの愉しさを強調しつつ、安心感を表現している。 リヤには機能的なカーゴスペースを設け、道具としての高い実用性も兼ね備えている。乗る人のアクティブライフをさらに充実できる、トータルバランスに優れた、スバルのツアラーとして具体化した。

図８　VIZIV TOURER CONCEPT デザイン

3.1　フロントデザイン

VIZIV PERFORMANCE CONCEPT のフロントの基本構成をベースとしながら、ツアラーとしての伸びやかな構成と上質感を表現している（図9）。

空気を取り込むようなアグレッシブな構成の VIZIV PERFORMANCE CONCEPT に対し、ツアラーの空気を整流しながらスムーズに走るシーンをイメージし、上質で洗練された構成としている。

インテーク等の機能部品についても車体にインテグレートさせ、大人のツアラーとしての処理を織り込んでいる。

図９　TOURER フロントビュー

3.2　サイドデザイン

サイドビューは、ヘキサゴングリルから始まる前傾のボディを軸に、機能的なカーゴエリアを付加し、ツアラーとしての伸びやかなシルエットを形作っている。

また、安心・安全を感じさせる硬質なカタマリを削りとったようなボディのサーフェスと、内圧を感じさせる盛り上がったフェンダーのボリュームで、スバルらしい俊敏で信頼感のある走りを表現している（図10）。

図 10　TOURER サイドビュー

3.3　リヤデザイン

ツアラーとしての価値表現は特に特徴的なリヤ廻りに表現されている。

サイドのシルエットでは充分なラゲッジのボリュームを確保しつつ、コーナーのボリュームをタイヤに近づけることで、俊敏な走りをスポイルしない形状を意識している。立体的なリヤ廻りの構成と、カタマリを

削りとったような硬質なサーフェスによりダイナミックな表情と、ソリッドな表現を両立している。

サイドとクォーターのシルエットのコントラストがツアラーとして重要なポイントであり、ユーティリティと走りのパフォーマンスの両立を立体として表現している(図11、12)。

またリヤゲートはサイドへ回り込んだ、開口部の大きなデザインとしており、荷役性に優れた機能的な構成としている。

ワゴンとしての機能を有しながら、スバルの走る愉しさをツアラーとしてデザイン表現した、よりアクティブなライフスタイル層に向けたコンセプトの提案である。

図 11　TOURER リヤクォータビュー

図 12　TOURER リヤビュー

3.4　ホイールデザイン

車両のコンセプトと合わせストレートの軸と伸びやかなストロークを意識しデザインした。

走りのパフォーマンスを支える力強いスポーク構成をベースに、しなやかに変化するブレード形状のスポークを付加することで洗練された表情を付加している。

またブレードの捻じれた表情は、航空機のエンジン等の部品を想起させ、スバルのヘリテージと空力機能の表現としてデザインに織り込んでいる(図13)。

図 13　TOURER ホイール

4.　カラーデザインの狙い

デザインフィロソフィ「DYNAMIC × SOLID」を、カラーデザインで具現化する考え方である「インパクトと深み」を根底に、歴代の VIZIV シリーズを通して、“鉄”の表現を突き詰め、進化させてきた。

硬く強くしなやかな鋼と、スバルカラーデザインを重ね合わせ、「インパクトと深み」を追及し続けている。

4.1　VIZIV PERFORMANCE CONCEPT

VIZIV PERFORMANCE CONCEPT のボディカラーでは、その硬質で躍動的なフォルムをさらに魅力的に表現するため、塊感のある無垢な質感表現に拘った。

具体的には、5コートのハーフマット金属調塗装を採用し、力強く張り出したフェンダーや、ボディの鋭いキャラクターラインを強調し、且つ、ほんの少しブルーイッシュな色味を持たせる事によって、深み表現にも拘ったボディカラーとした(図14)。

図 14　PERFORMANCE ボディカラー

4.2　VIZIV TOURER CONCEPT

同じく“鉄”の系譜を、VIZIV TOURER CONCEPT では、大人を魅了する上質で洗練された、力強くしなやかな「チタン剛」のボディカラーに昇華させた。

具体的には、4コートの金属調塗装を採用し、滑らか且つシャープなメタリックの輝きと、わずかなウォームの色味によって、「チタン剛」を表現したボディカラーとした(図15)。

図 15　TOURER ボディカラー

5. まとめ

VIZIV シリーズはデザインフィロソフィ「DYNAMIC×SOLID」の進化と共にスバルがお客様へ提供する価値を車種毎に織り込みながら、将来デザイン表現のスタディとして進化させて提案していく。

スバルのお客様に響く、新しい価値の本質を表現するため「カタチの意味」を熟考し、デザインにて機能的価値、情緒的価値として論理的に構築していくアプローチを行っている。

今後も量産車、コンセプトカーともに「DYNAMIC×SOLID」を進化させて織り込み、一貫したメッセージとして提案することで、スバルの「ブランドを磨く」取り組みに繋げていく。

【著　者】

河内　　敦

小林　寛之

SUBARU BRZに最上級グレード「STI Sport」を設定
～STIとの共同開発により、走行性能や走りの質感、内外装の質感をさらに向上～

2017年10月25日

SUBARU BRZ最上級グレード「STI Sport」を、10月25日に発売。
SUBARU BRZ STI Sportは、SUBARUのモータースポーツ統括会社であるスバルテクニカインターナショナル(STI)との共同開発により、SUBARU BRZが持つ走行性能や走りの質感、内外装の質感をこれまでよりもさらに高めた最上級グレードとして設定。ドライバーの意のままに動くシャープなハンドリング性能に加え、優れた操縦安定性としなやかな乗り味を両立したほか、高い走行性能に相応しい、洗練された専用内外装を採用することで、SUBARU BRZの魅力を最大限に引き出しました。

次世代 Zr 化成処理 & 対応電着の実用化開発

Next Generation Zr Chemical Treatment and Its Suitable ED Coating

辻　　智　子[*1]　清　水　　純[*1]　内　田　克　也[*2]　板　野　展　昭[*3]
Tomoko TSUJI　Jun SHIMIZU　Katsuya UCHIDA　Nobuaki ITANO

抄　録

生産台数の増加により、車体の塗装前処理工程（化成処理工程）から発生するスラッジ（産業廃棄物）が増加している。また、化成処理の排水には、環境汚染物質であるP、Ni、Mnが含まれており、環境保全の観点から、これらの低減が求められている。そこで、スラッジ発生量の低減が期待でき、環境汚染物質のP、Ni、Mnを含まないZr化成処理を導入した。

導入にあたり、懸念点である①当社の車体材料に対する防錆性能と塗装密着性確保、②電着塗装の付き廻り性確保が可能な条件を見極め、Zr化成に適合する電着塗料を開発した。

その結果、従来のリン酸亜鉛化成処理と同等の防錆性能、塗装密着性を確保しつつ、スラッジ発生量の大幅低減、環境汚染物質P、Ni、Mnを含まない塗装工程を実現した。

Abstract

For the purpose of reducing the amount of sludge (industrial waste) produced in the pre-coating chemical treatment process for vehicle bodies, and also reducing the amount of P, Ni and Mn contained in the sludge, introduction of Zr chemical treatment to the process was studied instead of the conventional zinc phosphating.

Some concerns arose for the introduction: (1) assurance of rust-proof and paint adhesion performance and (2) appropriate conditions for sufficient throwing power of ED coating. To resolve these concerns, ED paint suitable for Zr chemical treatment was developed.

As a result, a paint process which produces much less sludge and does not contain P, Ni or Mn, was realized without undermining the rust-proof and paint adhesion performance.

1. まえがき

自動車車体には、防錆性能や塗装密着性を確保するため、塗装の下地処理として化成処理と電着塗装を施している。化成処理は、リン酸亜鉛系の処理が主流であるが、処理過程で発生するスラッジが、処理槽内や配管を汚すだけでなく産業廃棄物となる。また、生産台数増加に伴ってスラッジが増加しており、今後、車体軽量化を目的としてアルミの使用量が増加するとさらにスラッジが増加する事が懸念されている。また、排水中には赤潮やアオコの発生の原因となるPや重金属のNi、Mnが含まれるため、これらを抑制＆低減する技術導入が求められている。

そこで、処理液にP、Ni、Mnなどの汚染物質を含まず、スラッジ発生の低減が可能なZr化成処理とZr化成処理に適合する電着塗料をライン導入するために、従来の塗装設備を活用することを前提として、以下の技術課題解決に取り組んだ。

①車体用の鋼板・アルミ板に対して防錆性能、塗装密着性が確保できる処理条件の明確化
②Zr化成皮膜に対し、リン酸亜鉛化成皮膜と同等の付き廻り性を確保できる電着塗料の開発

＊1 材料研究部
＊2 第2生産技術部
＊3 神東アクサルタコーティングシステムズ株式会社 第1電着技術部

2.　現状整理と対策検討

2.1　現状整理（スラッジ発生量）

国内工場の化成処理工程から発生するスラッジ量の推移を図1に示す。生産台数と共にスラッジ発生量も増加しており、2016年時点では、2009年度比で約40%増加している。

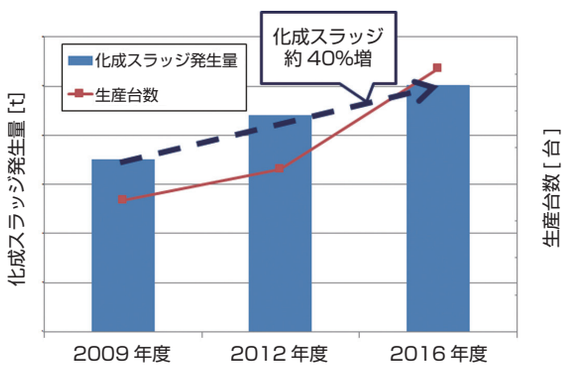


図1　国内工場における化成スラッジ発生量

また、今後、車体軽量化を目的としてアルミ材の使用量が増加すると、化成スラッジ発生量がさらに増加する。これは、図2に示す通り、アルミ材のスラッジ発生量は、裸鋼板の約2.3倍、GA材の14倍となるためである。

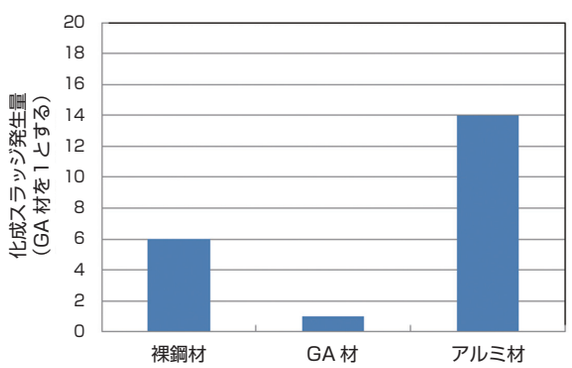


図2　各車体材料の化成スラッジ発生量

2.2　対策検討[(1)(2)]

欧米ではP、Ni、Mnの排出規制の強化により、これらを含まないZr化成処理が普及していることから、化成スラッジの発生量低減とP、Ni、Mnフリーを実現するため、Zr化成処理に着眼した。

図3に裸鋼板に対するZr化成処理剤とリン酸亜鉛化成処理剤の皮膜析出機構の模式図を示す。

リン酸亜鉛化成処理剤は、主にエッチング力の強いリン酸の他、硝酸とフッ化物が車体材料表面をエッチングし、処理液中に溶出した鉄イオンがリン酸塩と化学結合して化成皮膜となるが、この際、過剰にエッチングされた鉄イオンが皮膜に取り込まれずに化成

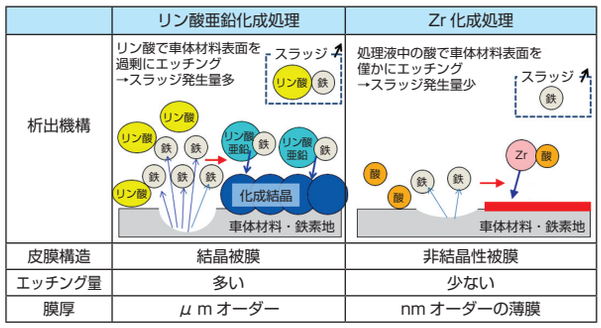


図3　各化成処理剤の皮膜析出機構

スラッジとなる。一方、Zr化成処理剤は、処理液中の硝酸とフッ化物により僅かにエッチングすることでZr皮膜が析出する特徴があるため、化成スラッジ発生量を大幅に低減することが期待できる（図4）。

そこで、現有の塗装工程・設備を活用しつつ、Zr化成処理を実用化することを検討した。

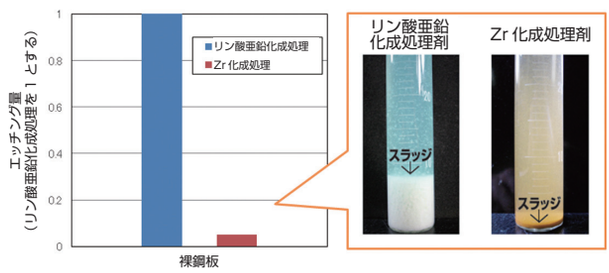


図4　各化成処理剤のエッチング量

2.3　開発目標[(1)(2)]

Zr化成処理剤のエッチング量は、リン酸亜鉛化成処理剤に対して90%以上低減できるため（図4参照）、理論上は化成スラッジ発生量もリン酸亜鉛化成処理剤比で90%削減可能と言える。

また、図5に示す通り、Zr化成処理剤はP、Ni、Mnを含まないため、化成処理後の水洗排水中の環境汚染物質を削減できる。

また、Zr化成皮膜は非晶質なため、リン酸亜鉛化成皮膜のように結晶核を形成するための表面調整工程が不要であり、工程短縮も実現できる。さらに、皮膜の析出機構の違いにより、化成処理時間最大25%短縮も期待出来る。

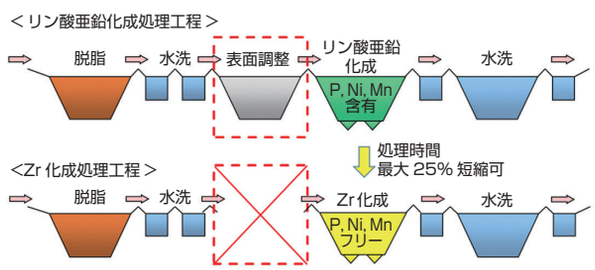


図5　各化成処理剤の工程の違い

以上より、下記の開発目標を設定した。

【開発目標】

リン酸亜鉛化成処理と同等の防錆性能、塗装密着性を確保しつつ、下記①～④を実現するZr化成処理と電着塗料を実用化する。

①化成スラッジ発生量90%低減
②排水中のP、Ni、Mnフリー
③表面処理工程廃止
④処理時間　25%短縮

3.　量産ライン導入における課題と取り組み内容

3.1　各種車体材料に対する塗料性能確保

3.1.1　Zr化成処理の課題

Zr化成処理剤は、リン酸亜鉛化成処理剤に比べてエッチング力が低下するため、表面がエッチングされ難い材料ほど化成皮膜が析出し難く、防錆性や塗装密着性が確保し難くなることが懸念される。このため、熱延鋼板やハイテン材等車体に使用される全ての材料に対して防錆性能、塗装密着性能を確保可能な処理条件を明確にすることが課題である。

3.1.2　防錆性能＆塗装密着性能確認結果

先ずは、当社各種車体材料の防錆性能、塗装密着性能を確保する化成皮膜析出量を把握するため、化成処理メーカー推奨標準条件（化成B条件）を中心に量産条件の管理幅を想定して設定したA～Dの4条件にて、材料毎の化成皮膜析出量を測定した。結果を**図6**に示す。

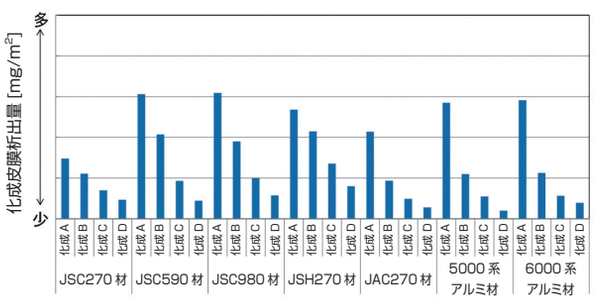


図６　各種車体材料の化成皮膜析出量

結果、同条件で化成処理を行っても、材料によって析出する皮膜量が異なり、JSC590以上のハイテン材（冷延鋼板）とJSH270材（熱延鋼板）は、化成皮膜析出量が多い傾向となった。

次に、**図6**のテストピースを用い、Zr化成処理対応電着塗装との組み合わせにて、性能確認（塗装密着性、防錆性能、中・上塗りとの相性確認、副資材との相性確認）を行った。結果を**表1**に示す。

表１　各性能確認結果

評価項目	化成条件	JSC 270 材	JSC 590 材	JSC 980 材	JSH 270 材	JAC 270 材	5000 系アルミ材	6000 系アルミ材
塗装密着性	化成 A	○	○	○	○	○	○	○
	化成 B	○	○	○	○	○	○	○
	化成 C	○	○	○	○	○	○	○
	化成 D	○	○	○	○	○	○	○
防錆性能	化成 A	○	○	×	○	○	○	○
	化成 B	○	○	×	○	○	○	○
	化成 C	○	○	×	○	○	○	○
	化成 D	○	○	×	○	○	○	○
中＆上塗装との相性（代表錆種で実施）	化成 A	○	–	–	○	○	○	○
	化成 B	○	–	–	○	○	○	○
	化成 C	○	–	–	○	○	○	○
	化成 D	○	–	–	○	○	○	○
副資材との相性（代表錆種で実施）	化成 A	○	–	–	○	○	○	○
	化成 B	○	–	–	○	○	○	○
	化成 C	○	–	–	○	○	○	○
	化成 D	○	–	–	○	○	○	○

※○：OK、×：NG

表1より、化成条件A～Dにおいて、JSC980材以外の材料は各種性能を満足したが、JSC980材のみ、防錆性能がNGとなった。防錆性能の詳細について、Zr化成皮膜析出量と最大錆膨れ幅の関係を**図7**に示す。

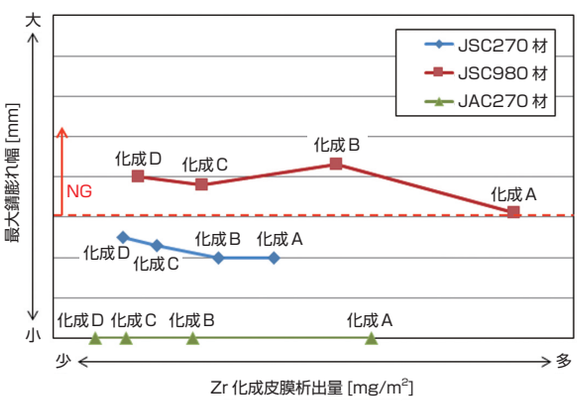


図７　防錆性能試験結果詳細

結果、皮膜析出量が多いほど最大錆膨れ幅が小さくなる傾向であるが、JSC980材は皮膜析出量が多いにも関わらず防錆性能がNGとなった。

3.1.3　防錆性能NGの原因と対策

皮膜析出量が多いにも関わらずJSC980材の防錆性能がNGとなった原因を究明すべく、EPMAにてZr化成処理前後の材料表面の分析を行った（**図8**）。材料表面に鋼板中のある添加元素が濃化している部分があり、その近傍でZr化成皮膜が析出していない事が分かった。そこで、添加元素が濃化した部分を除去した結果、均一なZr化成皮膜が生成されることが確認された。

しかし、均一なZr化成皮膜が生成されても、Zr化成皮膜量が少ない化成D条件では防錆性能がNGとなったことから、防錆性能を満足するためには、化成条件A～Cで析出する化成皮膜量を確保する必要が

あることが分かった。

以上より、防錆性能と塗装密着性を確保するため、JSC980材はZr化成皮膜の析出を阻害する添加元素を表面に濃化させない改善を実施すると共にZr付着量の下限基準を定めた。

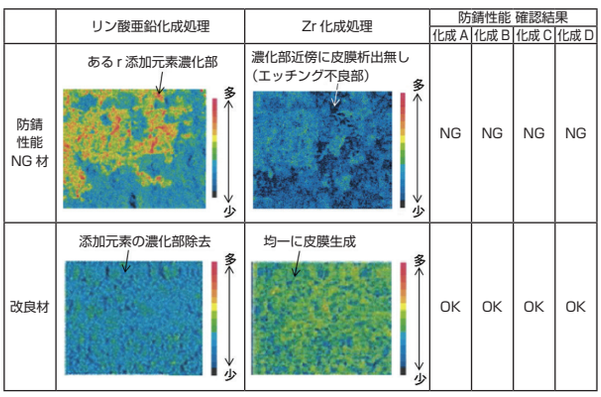


図８　JSC980 材表面の EPMA 分析結果

3.2　電着塗装の付き廻り性確保

3.2.1　電着塗装の付き廻り挙動と課題

自動車車体の防錆性能は、化成処理と電着塗装との組み合わせで確保しており、車体骨格の袋構造部において電着塗装の付き廻り性能が重要となる。

図９に示すように、電着塗装は、電気が流れ易い（＝電流密度が高い）部位ほど塗膜が析出しやすく、ある一定の膜厚になると塗膜抵抗が上がり、塗膜の付いていない部位に電流が流れることで、車体全体に塗膜が形成される。このため、車体骨格の袋構造部等の電気が流れにくい（＝電流密度が低い）部位では塗膜が析出し難いため、電着塗膜の付き廻りが課題である。

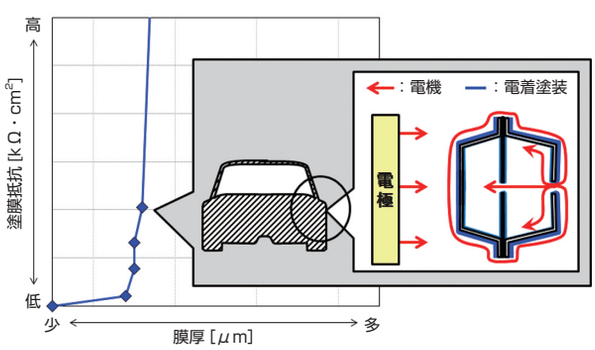


図９　膜厚と塗膜抵抗の関係

3.2.2　電着塗装の付き廻り性改善

先ず、一般的な付き廻り性能確認方法である４枚BOX法（図10）にて、付き廻り性の実力を確認した。結果を図11に示す。

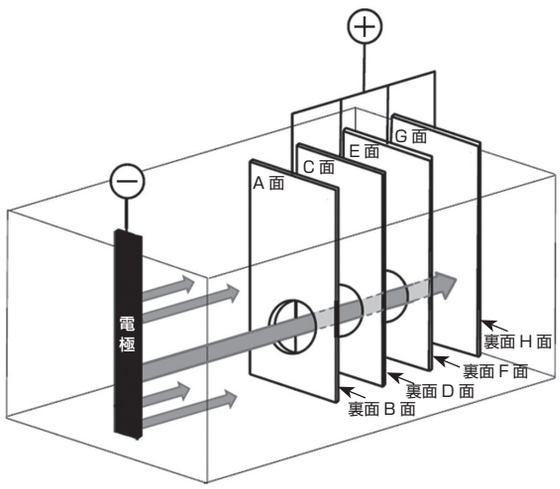


図 10　４枚 BOX 法

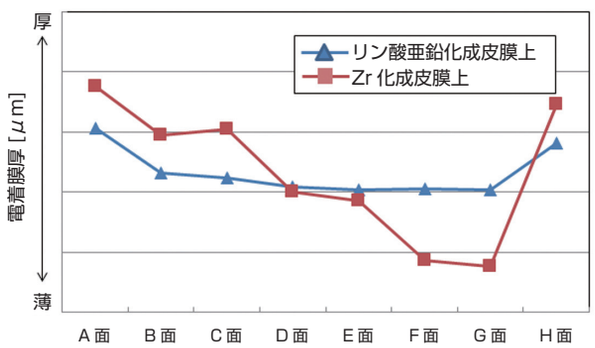


図 11　各化成皮膜上の電着付き廻り性能結果

電極からの距離が近いＡ～Ｃ面ではリン酸亜鉛化成皮膜上とZr化成皮膜上の電着塗装の膜厚差はないが、電極から離れた電流が流れにくいＦ面やＧ面では、リン酸亜鉛化成皮膜上に対してZr化成皮膜上は膜厚が低下する結果となった。

そこで、電流が流れにくいＦ面やＧ面を想定した微弱電流密度領域でのリン酸亜鉛化成皮膜上とZr化成皮膜上の電着析出性能を確認した。結果（図12）、リン酸亜鉛化成皮膜上に対してZr化成皮膜上では塗膜析出が遅いことが分かった。

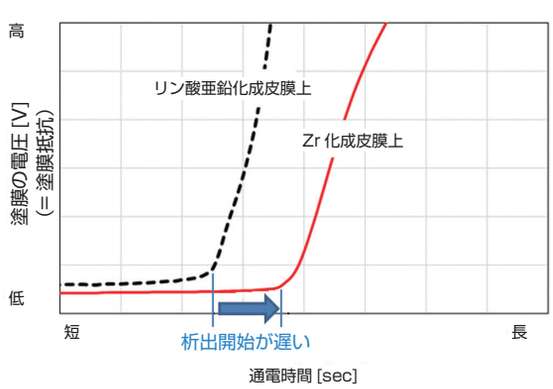


図 12　微弱電流密度領域での各化成皮膜上の電着析出性能確認結果

原因は、従来のリン酸亜鉛化成皮膜上の電着析出機構は、図13のように電気分解の基点の数が多く密であるため、pHが均一に上昇し、塗膜抵抗が上がりやすい。しかしZr化成処理の場合、電気分解の基点が少ないため、pH上昇が不均一となり、塗膜抵抗が上がりにくいためである。

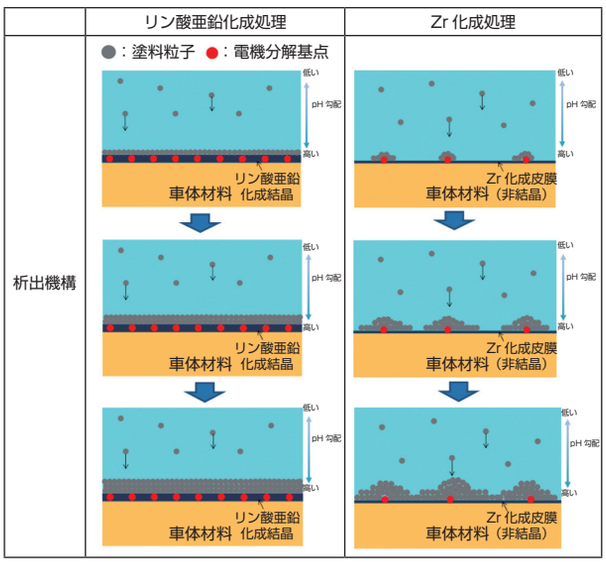


図 13　各化成皮膜上の電着析出機構

そこで、電着塗料イオン中の塩基数と水素イオン数の最適化を行い、電着塗料分子を析出しやすくする事を考えた。

電着塗装時の通電時間と被塗物表面pHの関係を図14に示す[3]。

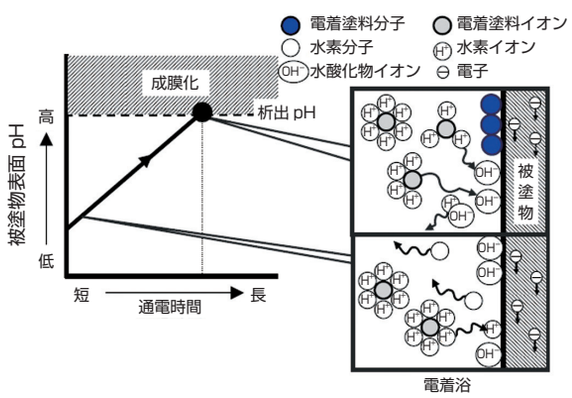


図 14　通電時間と被塗物表面 pH の関係

通常、カチオン電着塗料樹脂は、電着塗料イオン中の塩基を酸（＝水素イオン）で中和することで塗料中に安定化させている。通電開始に伴って水の電気分解が起こり、浴中の水素イオンが優先的に被塗物表面の電子と結合し、水素分子として放出するため、被塗物近傍での水素イオン濃度低下＝pH値は上昇（水酸化物イオン上昇）していく。通電を継続し、一定のpH値に達した時点から電着塗料イオンの水素イオンが水酸化物イオンと結合することで電着塗膜の析出が開始する。このpH値を“析出pH”と呼んでいる。本開発では、電着塗料イオン中の塩基数を増やし塩基価を高める一方で、中和するための水素イオン数をこれまでと不変とすることで電着塗料樹脂を不安定にし、電着塗料分子として析出しやすくした（＝析出pHを下げる）。具体的には、電着塗料中の塩基価を塗料が不安定にならない範囲で水準A→B→Cと少しずつ高め、微弱電流密度領域での電着塗膜析出時間の測定を行った。結果を図15示す。

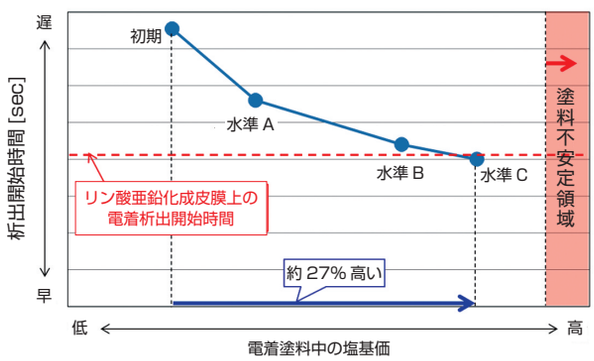


図 15　改良電着塗料の微弱電流密度領域での電着析出性能

結果、塗料中の塩基価を初期よりも約27%高い水準Cにすることで、微弱電流密度領域においても従来と同等の電着塗膜析出開始時間にすることが出来た。これにより、従来と同じ塗装工程で塗装を行っても、従来レベルの付き廻り性を確保し、車両としての塗装性能を満足させる電着塗料を開発した。

4.　まとめ

今回、産業廃棄物である化成スラッジの低減と環境汚染物質削減を目的に、エッチング力低減&P、Ni、Mnを含まないZr化成処理剤とそれに対応する電着塗料を当社塗装ラインに導入すべく、実用化開発を行った。これにより、従来と同等の防錆性能と塗装密着性を確保しつつ、以下に示す効果を得た。

・産業廃棄物排出量：化成スラッジ発生量約98%低減（図16）
・環境汚染物質：P、Ni、Mn排出ゼロ
・工程：表面調整工程廃止
・処理時間：25%短縮

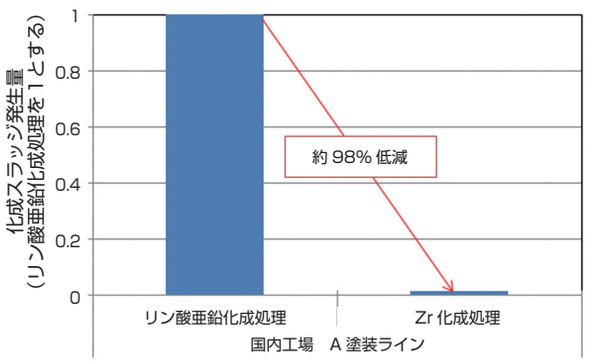


図 16　化成処理工程のスラッジ削減効果

5.　謝辞

本処理剤の開発・導入にあたって、多大なるご協力を頂きました関連部署の皆様方、ならびに日本パーカライジング(株)殿、神東アクサルタ コーティングシステムズ(株)殿に改めて深く御礼申し上げます。

参考文献

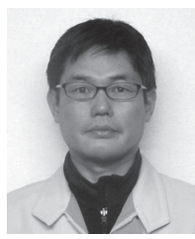
(1) 迫 良輔：塗装工学Vol.48, No.11 479-487（2013）自動車鋼板の化成処理技術
(2) 岡田栄作,細野宏：表面技術Vol.55 No.11（2004）自動車用化成処理の環境対応
(3) 奈須秀樹,斉藤裕樹,青木康治：スバル技報No.34（2007）　高付き回り電着塗料の開発

【著　者】

辻　　智子

清水　　純

内田　克也


板野　展昭

新型「SUBARU XV」を発表
～2016年度自動車アセスメント「衝突安全性能評価大賞」を受賞～

2017年4月6日

国土交通省と独立行政法人 自動車事故対策機構(NASVA)が実施した、自動車の安全性能を比較評価する自動車アセスメント(JNCAP)において、新型「SUBARU XV」が過去最高の得点を獲得し、2016年度「衝突安全性能評価大賞」を受賞しました。

Power Train Test Benchの車両開発への応用

Application of Power Train Test Bench to Vehicle Development

海口大輔[*1] Daisuke UMIGUCHI
廣瀬隆[*1] Takashi HIROSE
熱田正彦[*1] Masahiko ATSUTA
佐藤真人[*1] Masato SATO

抄録

電動車は、多数のコントロールユニットを協調制御することで、高い環境性能、動力性能を実現している。品質を向上させるためには開発初期から車両を使用し、様々な路面でのテストを精度良く繰り返し実施する事が必要である。しかし、路面状況や周囲の車両によって同一環境による精度の良い定量的な評価が困難である。また、任意の路面条件を意図的に作り出すことも容易ではないため、必要な試験を必要なタイミングで実施することが難しかった。この現状を打開するため、テストコース、一般道の再現及び新規路面を作成し、台上に反映する事で適合・評価を行うPower Train Test Bench（PTTB）システムを構築した。

Abstract

Electrified vehicles realize the high environmental and power performance by controlling multiple control units collaboratively. It is necessary to implement many tests repeatedly with accuracy on various road surfaces from early phases of vehicle development to improve quality. However, it is difficult to evaluate vehicles accurately and quantitatively due to various road conditions and other test vehicles. In addition, it is difficult to create desired road conditions for vehicle tests in a timely manner. To resolve these problems, we have established a Power Train Test Bench（PTTB）system which can simulate various road conditions on the test bench.

1. はじめに

電動車は、ガソリン車に比べるとモータや電池等のコントロールユニットが追加され、多くのコントロールユニットを協調制御する事で走行している。そのため制御が複雑になり、品質を向上させるためには、開発初期から実車を使用して精度良く、網羅的に評価する事が重要となる。しかし、実路試験は天候の影響により、路面状況が刻々と変化し、同一条件で安定した試験を行う事が困難である。また、網羅的に評価を行うためには膨大な工数を要す。

これらの課題を解決するために我々はパワートレインテストベンチ（以下PTTB）を導入した。PTTBは路面及び車両運動シミュレータと実車搭載型低慣性駆動吸収システムを接続したシステムで、シミュレータで作成した走行抵抗をダイナモメータから車両へ与える事が可能である。

本報告ではまず実車試験を行う際の課題を提起する。次にこれらの課題を解決するPTTBのシステムについて解説し、PTTBを使用した評価の一例を報告する。最後に今後の活用方法について展望を示す。

2. 実車での開発課題

従来の評価では、テストコースとシャシーダイナモメータ（以下CDM）を使用した評価を中心に品質・性能向上を進めてきた。しかし、整備されたテストコースや外乱の影響を抑制できるCDMを使用しても実車評価には課題がある。

2.1 テストコース評価の課題

実路試験での一番の課題は気温変化や車両走行により刻々と路面μが変化することである。特に雪上路面（圧雪・凍結・シャーベット等）では1度走行しただけで路面状況が変化してしまい路面μを安定させることは困難である。またテストコースでは、多くの車両が

＊ 電動ユニット研究実験部

走行しているため他車の進路変更等により試験のやり直しが発生する。

さらに、テストコースであっても試験路面の種類には限りがあり勾配やμを自在に変更・組み合わせることは不可能である。

2.2　CDM評価の課題

CDMは天候などに影響されないため実路試験よりも安定したデータ取得が可能である。しかし、一般的なCDMではローラの慣性が大きいため、全開発進はローラ上でタイヤがスリップしてしまい試験を行う事が出来ない。また、低μ路面を模擬した評価ではスリップ量のコントロールが出来ないため、試験を行う事は困難である。したがって、車輪速が急変するような試験は実路と同等のデータを得ることが出来ない。

2.3　電動車評価の課題

近年の車両、特に電動車は多くのユニットの協調制御を行っている。そのため制御は非常に複雑化し、品質の維持・向上を行う上では高精度で網羅的な評価が求められる。協調制御によって品質・性能に影響するパラメータが増えることで評価条件・適合項目数が膨大となるため、効率的に試験を進める必要がある。

上記3点以外にも実車評価ではドライバーによって運転技量が異なることから、車両への入力がばらつく。これらの課題を解決するために我々が導入したベンチHILS（Hardware-in-the-Loop-Simulation）システムがPTTBである。

3.　PTTB概要

PTTBは実車搭載型低慣性動力吸収システム、路面および車両運動シミュレータ、統合システム（オペレーションシステム）で構成されている。図1に構成図を示す。

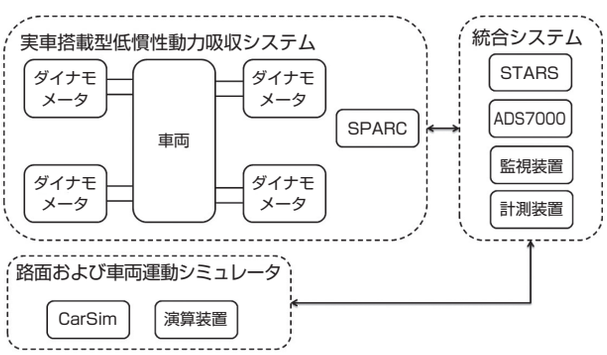


図1　PTTB構成図

3.1　実車搭載型低慣性動力吸収システム

動力吸収システムは低慣性ダイナモメータ4基と制御システムのSPARC（共に堀場製作所製）で構成している。車両との接続は各車輪軸と低慣性ダイナモメータを直結する仕様となっている。またダイナモの慣性モーメントをタイヤ同等にし、4輪独立で負荷を与える仕様とすることで低μ路面でのスリップアップや低μ→高μのμジャンプ等CDMでは不可能であった走行パターンを実施可能とした。図2に車両との接続図を示す。

図2　車両接続図

3.2　路面および車両運動シミュレータ

路面と車両運動のシミュレータにはCarSim（Mechanical Simulation製）とリアルタイム演算装置としてLab VIEW/PXIシステム（National Instruments製）を使用している。CarSimは社内でも多くの部署で使用しており、車両モデルは車体部分のCAE及び実験部署にて実車との同定を行った物を使用し、実験の精度を向上させている。路面モデルは目的に合わせ勾配と路面μを自由に作成、組み合わせ可能である。したがってテストコースには存在しない路面や冬季評価でしか実施できないような路面を作成することが出来る。作成した路面と車両モデルから路面負荷をリアルタイムで演算し、動力吸収システムへ路面負荷の指令を行う。シミュレーションに関する流れを図3に示す。

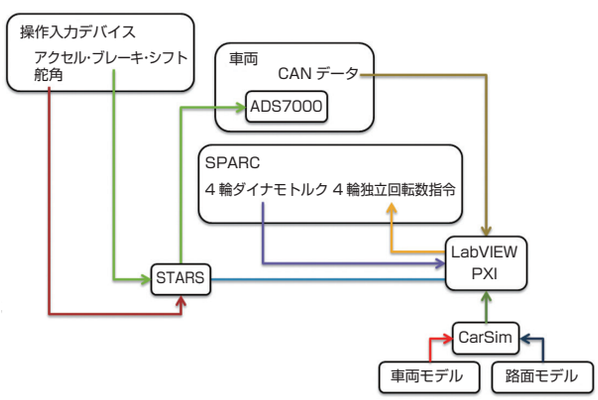


図3　シミュレーション流れ図

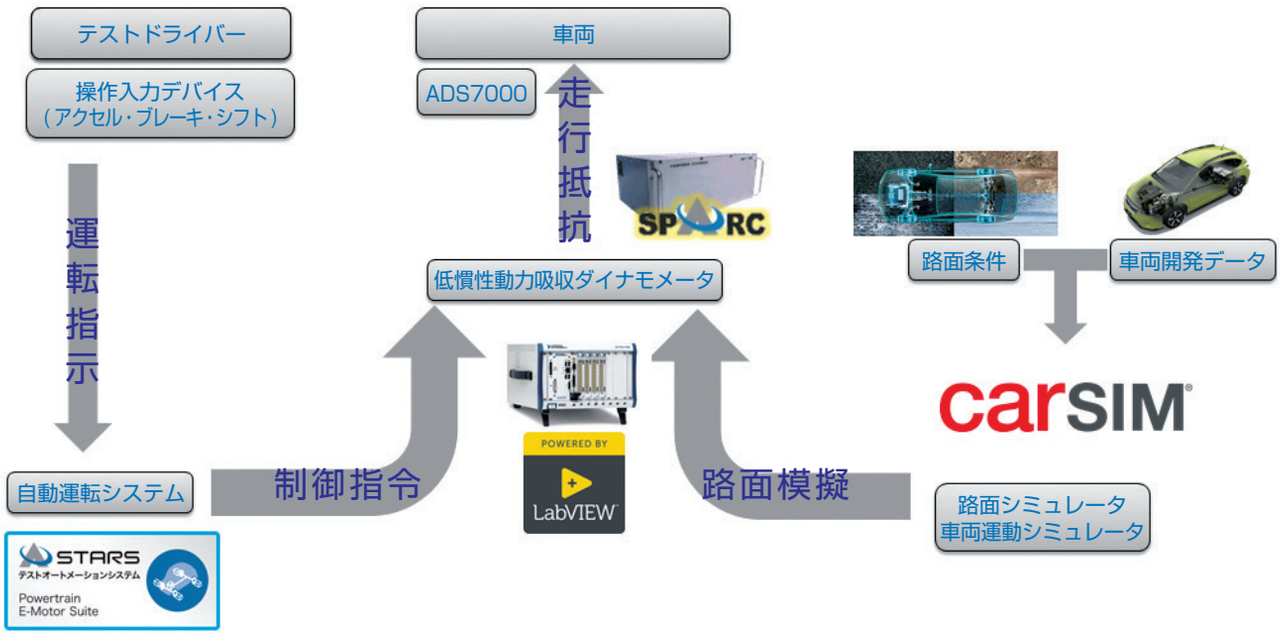


図４　PTTB システム概要

PTTBのシステム統合ソフトはSTARS（堀場製作所製）、運転ロボットにはADS7000（堀場製作所製）を使用している。STARSはPTTBを統合する役割を担っており、ダイナモ監視、安全監視、実験値計測、アクセル･ブレーキ操作を運転ロボットに指令する。また、自動運転を行う際の試験プログラムもSTARSによって管理・実行される。

図4にシステム概要を示す。

今回導入したPTTBを使用して、実車評価の課題解決に取り組んだ。結果の一例を次に示す。

4.　PTTBを用いた評価例

テストコース評価の課題解決例として、「低μ→高μのμジャンプ走行」「低μ登坂路走行」の結果、CDM評価の課題解決例として「停車からの全開発進」の結果を示す。

4.1　低μ→高μのμジャンプ

低μ路で停車から全開発進し、高μ路へ突入（μジャンプ）する試験をPTTBと実路で実施。図5にシミュレーション路面、図6に比較結果を示す。発進時のスリップアップ（図6−①）とμジャンプ時の車輪速急変動（図6−②）に着目すると、実路とPTTBで同等の傾きとなっている。低慣性ダイナモを採用したことで実路での急峻な車輪速変化をPTTBでも実現できることを確認した。また、車体速の上昇に着目すると、こちらも同等の傾きとなっている。よって車体モデル及び路面モデルも実車・実路と同等であるといえる。

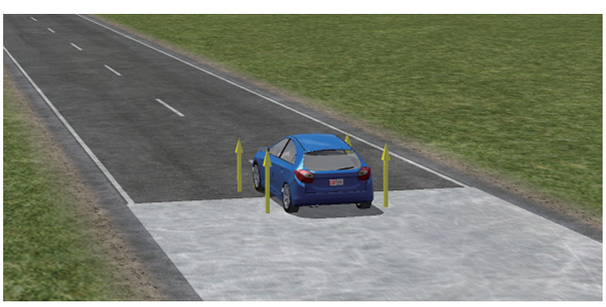


図５　低μ→高μのμジャンプシミュレーション画面

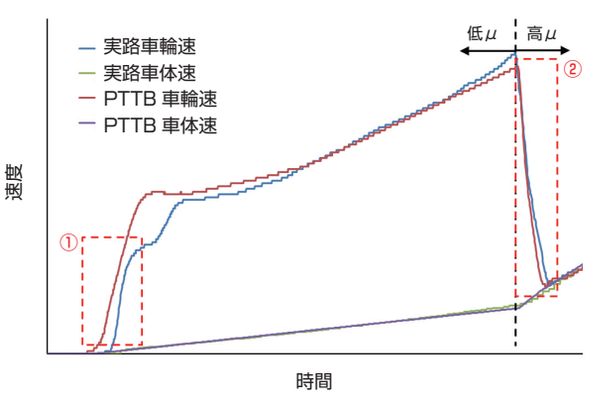


図６　低μ→高μのμジャンプデータ

4.2　低μ登坂路走行

低μ登坂路途中で停車し、全開発進する試験をPTTBにて実施。図7にシミュレーション画面、図8に車輪速と車体速データを示す。スリップしながら登坂発進（図8−①）出来ていることがわかる。

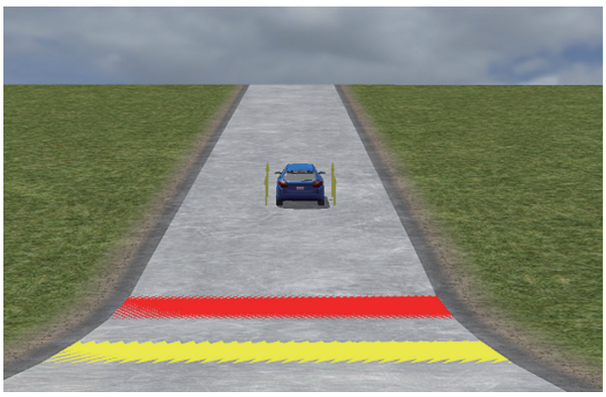


図７　低μ登坂路走行シミュレーション画面

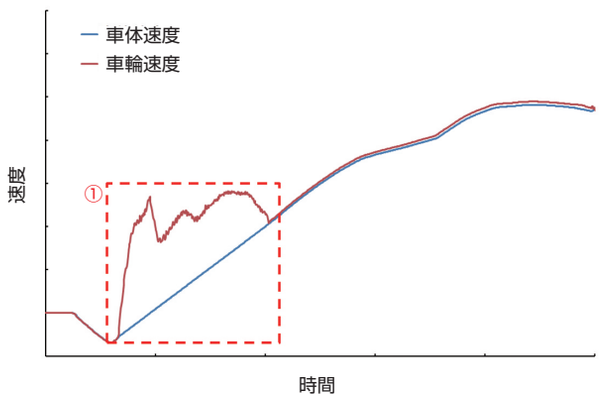


図８　低μ登坂路走行データ

4.3　停車からの全開発進

停車から全開発進をPTTBと実路で実施。図９に比較結果を示す。車速プロフィールは実路とPTTBで5%以内。CDMで発生するような車輪のスリップは無い。

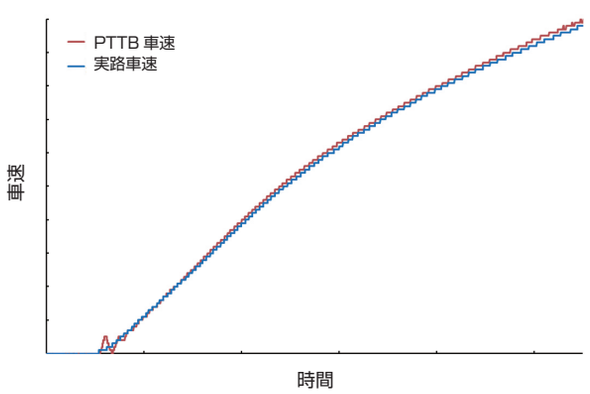


図９　全開発進走行データ

PTTBでは路面μの値を任意の値で常時一定に保てる。よって、異なる路面μを設定でき、同一条件で繰り返し試験が可能である。また、テストコース上のように他の試験車が存在しないため、任意のタイミングで試験が可能である。

5.　導入効果

我々は実車を使った試験の課題を解決するためにPTTBを導入した。本報告ではPTTBを使用した評価の一例を紹介した。さらに下記の導入効果が確認できた。

5.1　試験時の安全性向上

リバース全開走行や走行中の故障発生試験は危険が伴うため、限定されたプロフェッショナルドライバーしか担当することができなかった。この試験をPTTBに置き換えることで、通常のテストドライバーでも安全に試験を行うことが可能になった。

5.2　試験効率化

電動車開発の中で、実路で実施していた試験の約8割をPTTBで実施可能なことを確認した。この実路からPTTBへの置き換えにより、PTTBを使った自動運転試験に発展が可能と考える。自動運転試験を行う事が出来れば、24時間の稼働により今よりも高精度で網羅的な評価を短時間で実施できると予測する。

5.3　運転ばらつきの解消

運転ロボットの導入により、アクセル、ブレーキ操作は何度でも同じように再現できるようになり、ドライバーによる操作ばらつきを解消する事が出来た。

6.　まとめ

電動化や自動運転の開発に向けて車両の評価は今後さらに複雑化し、試験数も増加していく。これらの評価を実路試験とPTTB試験を使い分けて実施することで効率的でかつ網羅的な評価が可能になる。さらに今後は、手動オペレーション操作を極力自動化し、開発工数削減に取り組み、効率化により得られた時間で「お客様を笑顔にする」車両づくりを加速させる。

参考文献

(1) 海口大輔：Lab VIEW及びPXIを使用した実車搭載型ベンチHILSシステムの構築, NIDays, (2017/10/25)
(2) 日本ナショナルインスツルメンツ：PXIを活用したSUBARU向けの車両試験システム, HILシミュレーションにより実路と同等の負荷を生成,http：//japan.ni.com/usersolutions/subaru2

【著　者】

海口　大輔

廣瀬　　隆

熱田　正彦

佐藤　真人

第６回技術経営・イノベーション賞において、「運転支援システム アイサイト」が科学技術と経済の会会長賞を受賞

2018年2月13日

一般社団法人科学技術と経済の会（JATES）主催の「第６回技術経営・イノベーション賞」において、「運転支援システム アイサイト」に対する取り組みが、「科学技術と経済の会会長賞」を受賞しました。

SUBARU「運転支援システム アイサイト」は、世界で初めてステレオカメラのみで、自動車だけでなく歩行者、二輪車までも対象としたプリクラッシュブレーキや、全車速追従機能付クルーズコントロール等を実現したシステムです。国土交通省とNASVAが実施する予防安全性能アセスメントにおいて、最高評価であるJNCAP「予防安全性能評価ASV＋＋」に選定されるなど、第三者機関から高い評価を獲得しています。

ボディ電装系制御の簡易 HILS による機能評価

Function Test of Body Electronic System Control by Simplified HILS

青　木　勇　人*
Yuto AOKI

抄　録

ボディ電装系は、近年の高機能・高性能化に伴い、複数のECU（Electronic Control Unit）が協調制御して車両機能を実現する事が進んでいる。制御品質の確保には、それらECU接続状態での実機検証は重要である。その実機検証による品質の早期確保を目的に、簡易HILS（Hard In-the Loop Simulation）を開発した。これにより従来、実機検証のために試験車完成を待つ必要があったが、試験車を用いず評価を前倒しする事が可能となった。

本稿では、今回開発した簡易HILSの構成および車両開発適用時の効果を報告する。

Abstract

Along with recent high functionality and high efficiency of body electric systems, cooperative control of multiple ECUs（Electronic Control Unit）has been adopted to realize vehicle functions. In order to ensure the control quality, actual device verification with ECUs connected is important. For early quality assurance through actual unit verification, we have developed a simplified HILS（Hard In-the Loop Simulation）.

In this paper, the configuration of the simplified HILS and effects of the application to vehicle development are reported.

1.　まえがき

近年、ボディ電装系制御システムは、高機能化・高性能化により制御の大規模・複雑化が進んでいる。これらは、複数のECU がCAN（Controller Area Network）等の車両ネットワークを介し協調制御をすることで実現している。そのため、制御品質確保の難易度も高くなる。制御品質確保の要として協調するECU接続状態での実機検証を行う試験車テストは非常に重要である。

しかしながら、試験車を主体とした実機検証では、品質確保の面で以下の課題がある。

（1）開発手戻り

ボディ電装系の開発プロセスは、設計、実装、検証の各開発フェーズで進み、一般的なV字サイクルプロセスをとる（図1）。また、多くのボディ電装系の開発はサプライヤ標準品をベースに独自ロジックを追加する開発スタイルをとり、実装工程はサプライヤの担当である。開発手戻りとは、これらの各開発フェーズを前工程まで遡り設計不備の修正を行う事である。試験車主体の実機検証では、設計不備が発覚した場合、試験車テストフェーズから詳細設計フェーズまで遡る必要があり、非常に大きな手戻りとなる。そのため、設計不備を修正し再検討するまでに多くの時間を必要とし、限られた試験車テスト期間内での品質確保が難しくなる可能性がある。

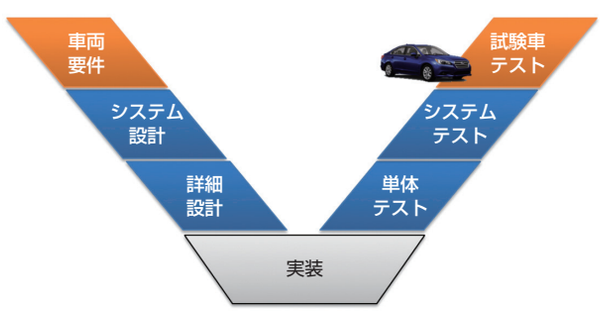


図1　V字サイクルプロセス

＊ 電子プラットフォーム設計部

(2) バリエーションに対応した品質確保

開発初期に、車種バリエーション(仕向地、グレード、オプション)に対応した試験車を全て揃える事は困難であり、全バリエーションの品質確保は開発後半となる。そのタイミングで開発手戻りが発生すれば試験車テスト期間内での品質確保が難しくなる可能性がある。

これらの課題対応として、試験車を用いず机上でシミュレーションを活用して実機検証を行うHILSの導入が欧州自動車メーカーを筆頭に進められている[(1)]。

今回、前記の課題解決のため、ボディ電装系制御システムを対象とする簡易HILSを開発した。車両1台相当の車両運動、制御対象のシミュレーションを行うフルビークルHILSに対し、評価対象範囲が狭域なため、簡易HILS(電子ベンチ)とした。本稿では、簡易HILSの構成、効果について述べる。

2. 開発の狙い

試験車主体の実機検証で顕在化した設計不備を要因分析した結果、約8割が設計仕様に従い制御が構築されているかの検証項目であった。ECUによる制御には電子回路、メカニズムのハードウェア面とソフトウェアのロジック部に分けられる(**図2**)。ここでの設計不備はソフトウェアに起因する部分を対象としている。また、設計仕様が市場要件を満たしているかの市場要件の妥当性は含まない。

これらのことから、簡易HILSの開発の狙いを以下とした。

(1) ECUへの入力信号を自由に制御可能な環境

設計仕様通りである事を検証し切るには、ECUに入力される全ての信号を検証者が意のままに制御する必要がある。また、検証対象のシステムが変更されても共用可能な汎用性のある検証環境(システム構成)を構築する。

(2) バリエーション変更への対応

1つのシステムでもバリエーション違いによりECUの仕様が異なる事がある。そのため、検証環境の変更を最小限に抑えECU交換可能な環境を構築する。

(3) 属人性の低い検証内容(テストシナリオ)の導出

検証者により検証内容にバラつきが生じると、検証の信頼性が低下する。属人性を低くするため、検証項目を作業的に導出可能なテスト観点を策定する。

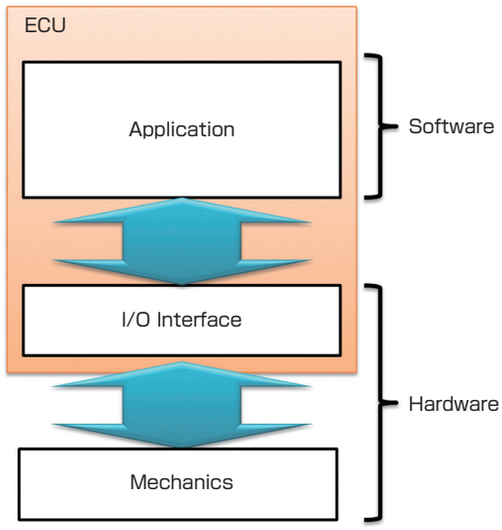


図2　制御システム構造

3. システム構成

前章で述べた狙いを満足する、簡易HILS装置を選定した。ボディ電装系制御システムには以下の特徴がある。

(1) ボディ電装系は、エンジン制御などのように、連続的に値が変化する連続制御系ではなく、ON/OFF信号が主な入出力となる離散制御系である。

(2) 制御で要求されるリアルタイム性は1/1000秒程度である。ただし、モータ制御などで高応答性を必要とする場合、この限りではない。

(3) 入出力信号は多くのスイッチ、センサー、制御対象(ランプ、モータなど)に接続されるため、入出力信号線を多く必要とする。

上記の要件を満足し、導入ハードル(拡張性、サードパーティ製品との互換性、操作性、コスト)を考慮し、HILS装置としてVector社製(ドイツ)のVTシステム、制御ソフトとして同社のCANoeを用いた簡易HILSシステムを構成した(**図3**)。

【適用範囲】

初期導入時は、2つのECUに跨り車両制御を成すシステムを検証対象とした。

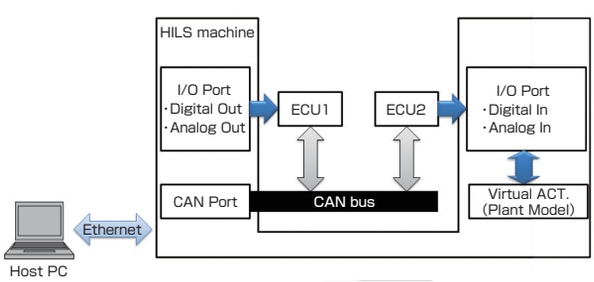


図3　簡易 HILS のシステム構成

3.1　ハード構成

3.1.1　I/Oポート

汎用性を確保するために、I/Oポート数は以下とした。また、ON/OFF信号に対応するため、多くのデジタルI/Oを搭載した。

アナログI/O：72ch

デジタルI/O：144ch

これらのI/Oポートにはスイッチ入力（ON/OFF）に相当するリレー回路、センサー入力に相当するポテンショメータなどに加え、信号線の異常状態を再現するための短絡、断線回路を含む。また、ECUは実動作環境ではランプやモータなどの負荷に接続されるため、電子負荷を含む。バリエーション変更容易性の対応のため、HILS装置とECU間のハーネスに中間コネクタを設ける事でECUの交換作業性の向上を図った。

3.1.2　通信I/O

車両ネットワークは複数の通信ラインを有するため、通信I/Oは以下の数を搭載した。

CAN I/O：max. 8ch（CAN-FD対応可）

LIN I/O：max. 4ch

3.1.3　電源構成

車両にはバッテリ電源（常時接続電源）、ACC電源、IGN電源などの複数の電源ラインが存在する。通常、電源元は車載バッテリの1つであるが、個々の電源ラインの異常状態を再現するため、複数の外部電源を用いて個々の電源ライン毎に電源操作可能とした。さらに、1つのECUでも複数の電源ラインを有する場合があり、個々の電源線のON/OFFを可能とするため、リレーBoxを介し、ECUに電源を供給する構成とした（図4）。

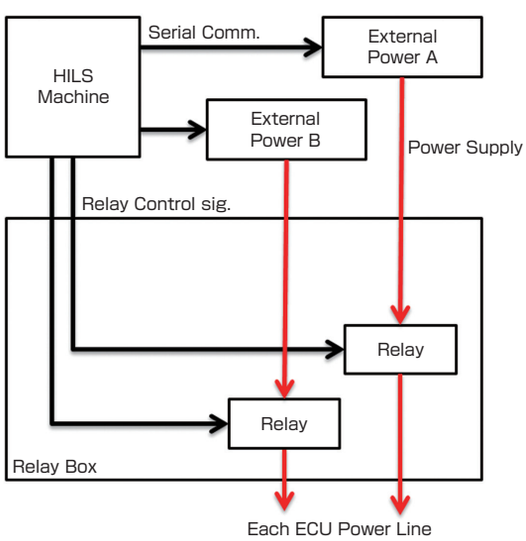


図４　電源ラインの構成

3.2　制御対象（プラントモデル）

制御対象の動きを制御側にフィードバックし制御をおこなうフィードバック制御がある。簡易HILS環境では、制御対象を仮想化するためにモデル化（制御対象の動きを数式化）する必要がある。モデルはMATLAB/Simulink（MathWorks社）を用いて作成し（図5）、モデルを簡易HILS装置に組み込んだ。

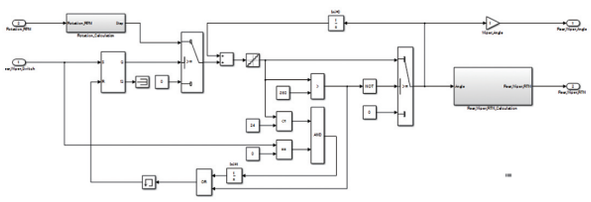


図５　プラントモデル例

3.3　自動テスト

簡易HILS環境には、以下の理由により自動テストを導入した。

（1）テスト精度および再現性

制御は、ミリ秒単位で実行されるため、信号操作のタイミングも同様の精度が求められる。しかし、人による操作だと精度保証する事は難しく、再現性も低くなる。

（2）効率的なリグレッションテスト

設計不備の修正後、修正箇所に加えて他の場所が修正の影響を受けて変化していない事を確認する必要がある。そのため、何度も同じ試験を行う必要があるが都度、人による操作で実行するのは非効率である。

3.3.1　テストパターン

属人性の低いテストシナリオ導出のため、以下の視点を軸にテスト観点を策定した。テスト観点に従いテスト仕様（図6）を作成する事で属人性を抑えた。

（1）設計者視点

設計仕様に表現された通りの制御動作である。また、設計仕様に表現された条件以外では意図した動作を外れる事がない。

（2）ユースケース視点

想定されるユースケース操作を実施し、意図した動作を外れる事がない。

3.3.2　テスト実行／判定

簡易HILS環境でテスト仕様に従いECUに信号を印加、出力結果を判定するテスト実行を行うためには、ホストPCが認識可能なデータ形式にテスト仕様を変換する必要ある。今回、テストデータ作成には、テスト仕様の流れをツリー形式で表現する事で直観的にテ

ストデータを作成可能な、Vector社製のテストデータ作成ツールvTESTstudioのTest Sequence Diagram Editorを用いた(**図7**)。テストデータはCANoeに取り込みテスト実行および結果判定を行う。

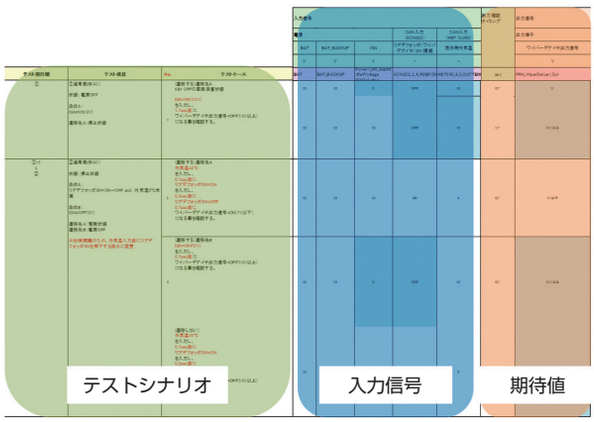


図６　テスト仕様書のサンプル

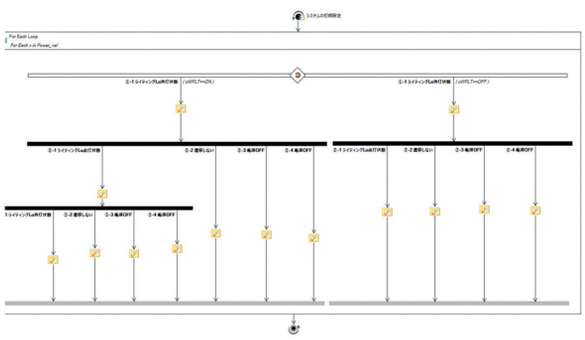


図７　Test Sequence Diagram Editor の例

4.　導入効果

試験車を必要としないため、機能評価を従来比1ヶ月前倒しで実施することができ、開発手戻り期間を短縮した。また、バリエーション違いも含め約7500件のテストを行う事ができた。

5.　まとめ

簡易HILSを用いる事で、検証者は試験車完成を待たずに実機検証が可能である。また、テスト仕様を再利用する事で再現性の高い実機検証が効率的に行える。これらの効果として、開発手戻りの短縮が得られた。

簡易HILS環境でのテスト仕様のデータ化作業には手間がかかるため、改善の余地が残る。

6.　謝辞

本取組にあたり、ご支援、査読のご協力をいただきましたベクター・ジャパン株式会社のご関係者の皆様には感謝致します。

参考文献

(1) 中島　募：ADAS, 統合制御が加速するモデルベース開発, 日経Automotive, 2016.11,p.40
(2) https：//jp.vector.com/
(3) https：//jp.mathworks.com/

【著　者】

青木　勇人

縦置 CVT フロントデフのオイル挙動解析とブリーザ性能向上

Oil Behavior Analysis and Breather Performance Improvement of Front Differential for Longitudinal CVT

斎藤　誠[*1]　河野正敏[*1]　宮原英和[*2]　宮武健太[*3]
Makoto SAITO　Masatoshi KOUNO　Hidekazu MIYAHARA　Kenta MIYATAKE

抄　録

フロントデフ一体型の縦置きCVTは主変速室とデフ室にそれぞれブリーザ室を有しており、内部圧力の上昇を抑える役割を果たしている。トランスミッション開発では、軽量化や燃費改善に向け、ブリーザ室やデフ室の形状が変更されることがあり、オイル噴き対策としてブリーザの容積拡大だけでなく、オイルの侵入量そのものを減らすことが求められている。そこで、本稿ではフロントデフ内のオイル挙動を粒子法で計算し、オイル噴きのメカニズム解明から対策案を提案し、実験でもその有効性を確認したので報告する。

Abstract

The front differential device built in CVT has a breather chamber to suppress the rise of internal pressure. This function saves oil temporarily and separates the gas liquid. In the development of a transmission, it is important to modify the shape of the front differential device and breather system for weight saving and mileage improvement. As measures for oil spouting, we need to prevent oil invasion into the breather system as well as to expand the capacity of the breather chamber. This paper introduces the oil behavior analysis in the front differential device using a particle method, devised measures for oil spouting, and the effectiveness verified through tests.

1.　まえがき

環境規制強化や電動化など自動車を取り巻く環境が急速に変化している中、自動車用トランスミッションにおいても短期間で燃費改善や軽量化をすることが望まれている。当社の縦置きCVTにおいてもその例外ではなく、燃費改善に向けたレイアウト検討では、いかに早く背反性能を見極め対応できるかが、お客様へタイムリーに商品を届けるためのポイントとなる。

近年、開発効率化のツールとしてCAEはますます注目されており、その役割は「実験の代替え」に加え、「気づきの道具」として実験では可視化が困難な現象を「見える化」することも担っている。本稿では、スバルの縦置きCVTフロントデフ（図1）のブリーザ性能の向上を目指し、まずデフ室内で起きているオイル流れの現象に着目し、従来の可視化実験と経験による開発プロセスにCAEを加えた合理的な潤滑開発を行ったので、報告する。

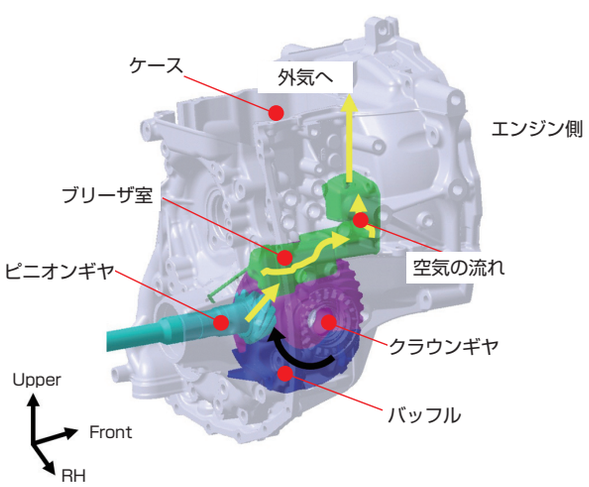


図 1　フロントデフ室内の主要構造

＊1 CAE部
＊2 トランスミッション性能開発部
＊3 トランスミッション設計部

2. ブリーザの機能と課題

2.1 ブリーザの役割

ブリーザはデフ室内部と外気を連通させて内部圧力の上昇を抑える役割があり、デフ室内部のオイルが外部に流出しないよう適切な容積を持たせることで、一時的にオイルを溜めたり、気液分離させる機能をもっている(図2)。一方、外部へのオイル噴きが発生すると、オイルがエンジンの排気管など高温部品にかかり火災になるリスクや、地面にこぼれ落ちて環境事故に繋がることもあるので、必ず対策しなければならない。オイル噴き対策には、ブリーザの位置や容積、その形状が肝となる。しかし、トランスミッション開発の中では構造合理化のため十分な容積がとれない場合もしばしばあり、条件によってはオイル噴き耐力が大きく低下してしまうこともある。

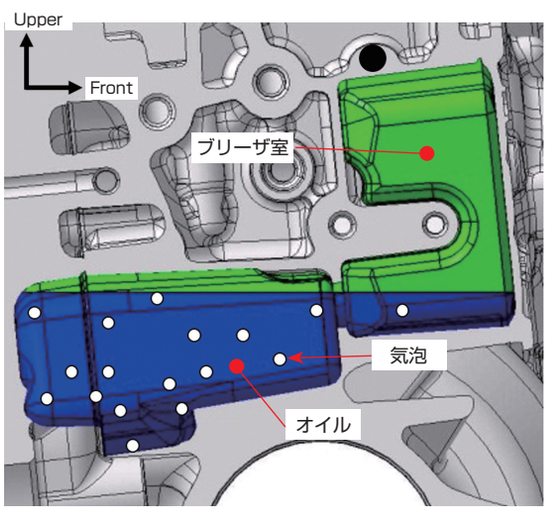


図 2　ブリーザ室周りの構造

2.2 ブリーザ性能の確認方法と課題

ブリーザ性能を実験で確認するには、まず台上ベンチで以下の試験を行いオイル噴き耐力を確認する。

①実車相当の加速度を与えるため台上ベンチでトランスミッションを傾け、車速相当の回転数で回しながらオイル噴きの有無を確認。

②平坦路を想定してトランスミッションを傾けずに高速回転し、昇温させてオイル噴きの有無を確認。

本稿では、構造合理化のためにブリーザ形状や容積を変更した仕様で試験をした結果、極低温からの昇温試験にて60℃時点でオイル噴きの発生を確認した。一方、フロントデフ室内のオイル流れを目視で確認することはアクリル窓からも困難なため(図3)、CAEを活用したオイル噴きメカニズムの解明と対策形状の提案をした。

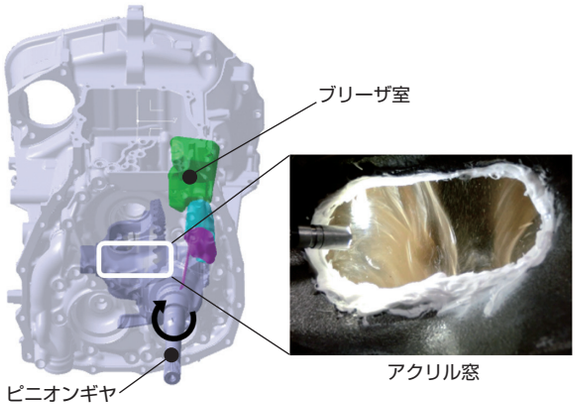


図 3　アクリル窓での可視化

3. オイル挙動可視化技術

3.1 解析ツール選択の指針

解析ツール選択の指針について図4に示す。これまで自動車開発で実際に適用されているCFDは空気のみやオイルのみといった単相流の計算が多かったが、最近では混相流が現実的な時間で計算できるようになってきた。ここで、混相流(ここではオイルと空気)を扱う場合、“界面の動き”によって、解析手法を選択するとより効果的な結果が得られる。界面の変形が小さい場合は、界面を精度良く安定して計算できるVOF法を選択し、実際にオイルストレーナのエア吸い解析などに適用している[(1)]。一方、ギヤによるオイル掻き揚げで発生する飛沫のような界面の変形が大きい場合は、粒子法を選択すると有効で、複雑な構造であるトランスミッション内部全体のオイル挙動計算などに活用している。本稿では実際に粒子法を適用したので詳細に述べる。

3.2 粒子法

粒子法とは、流体の運動を有限個の粒子の運動に置き換えて計算する方法であり、以下①～③の特徴を持ち、トランスミッションの流体解析に非常に適している。

①CADデータからダイレクトに流体シミュレーションを行うことが可能で、メッシュレスのために複雑な形状でも短時間で簡単に解析モデルを作成できる。

②粒子同士の位置関係は固定されないため、大変形に対応できる。

③自由表面は粒子の位置によって簡単に切り出すことができる。

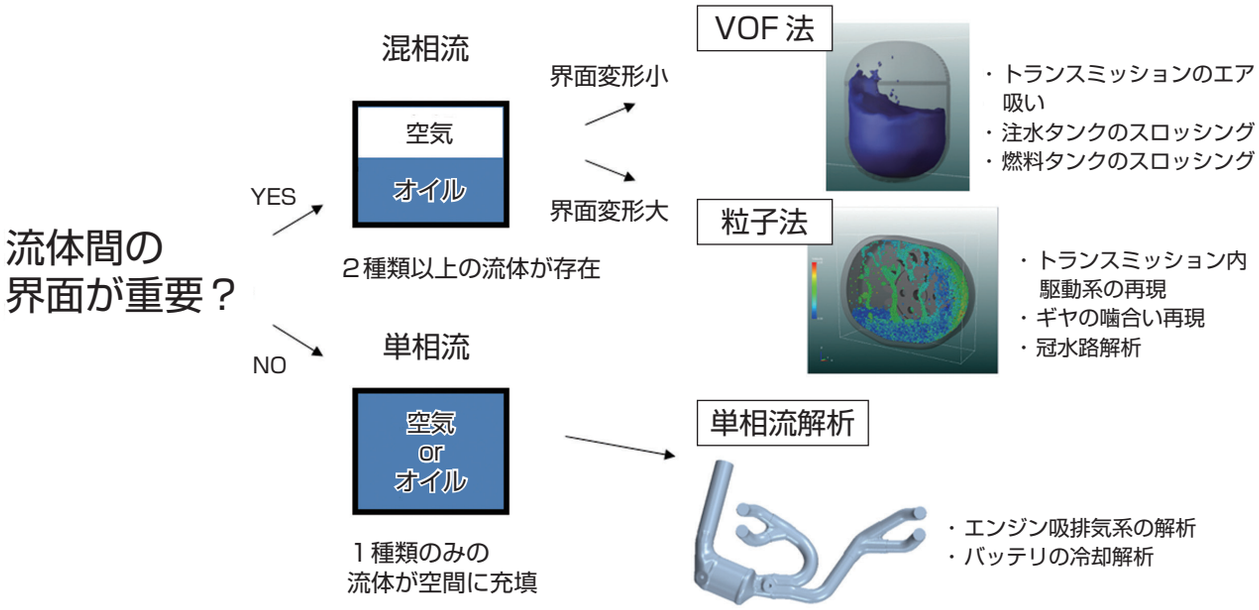


図４　解析ツール選択の指針

4.　粒子法を用いたオイル挙動解析

4.1　解析モデル

フロントデフ室内のオイル挙動を粒子法で計算するために、解析モデルを準備した(図5)。前述のとおり、粒子法は従来の格子法のようなメッシュ生成が不要なため、モデル作成時間は大幅に減少している。オイルについては、デフセンターよりもやや低い位置で油面高さを設定しており、物性値に関してはオイル噴きが発生した60℃相当の条件とした。なお、回転数については240 km/h相当の条件を入力している。

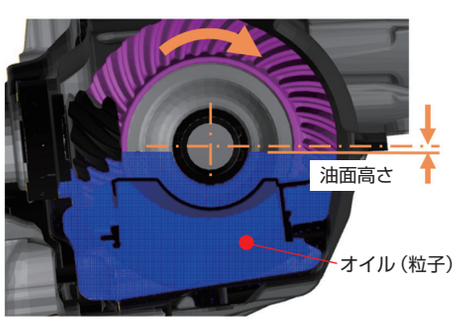


図５　解析モデル

4.2　解析結果と考察

解析結果を考察すると、クラウンギヤが掻き揚げたオイルはフロントデフ室の内壁にまとわりつき、ブリーザ室にもオイルが侵入していることが確認できる(図6)。そこで、ブリーザ室へのオイル侵入経路を特定して対策案を検討するため、粒子法の特徴である“流跡線”を使ってオイル流れの軌跡を“見える化”する。

流跡線とは、流体粒子がたどる軌跡であり、例えば、空気中に風船を浮かべたときにその風船がたどる軌跡を指す。本稿での流跡線の算出方法は、ブリーザ室に入り込んだ粒子を任意に数点ピックアップして、その粒子の過去の動き(経路)を表示させている。その結果、以下①～③のようなブリーザ室へのオイル侵入メカニズムが明らかになった(図7)。

①クラウンギヤがリヤ側にオイルを掻き揚げる。
②オイルは軸受ハウジング内壁に沿って流れ、斜め前方に向きを変える。
③前方にあるブリーザ室入口にオイルが侵入する。

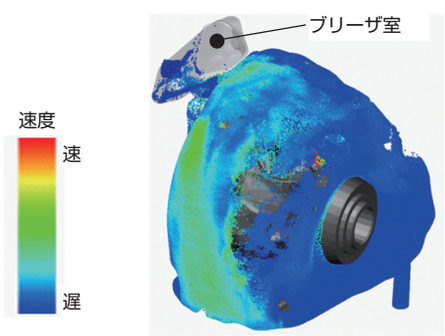


図６　フロントデフ室内のオイル挙動

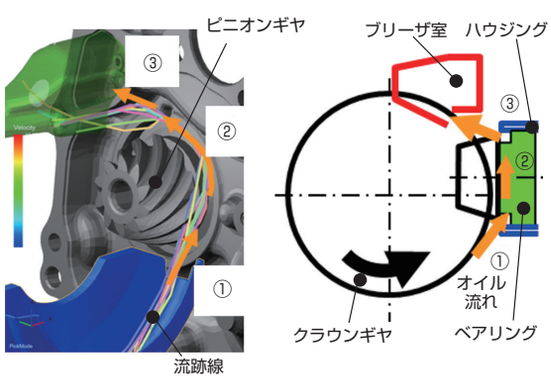


図７　ブリーザ室へのオイル侵入経路

5. オイル噴き対策

5.1 対策形状と解析結果

オイル侵入メカニズムを踏まえて対策形状を検討する。まず、クラウンギヤが掻き揚げたオイルの流れの向きを変えるため、軸受ハウジングの一部を減肉した。次に、その流れをブリーザ室の手前でせき止めるため、リブを2箇所に追加した(図8)。

提案した対策案の効果を確認するために解析を行った結果、ブリーザ室のオイル量が大幅に減少していることを確認できた(図9)。

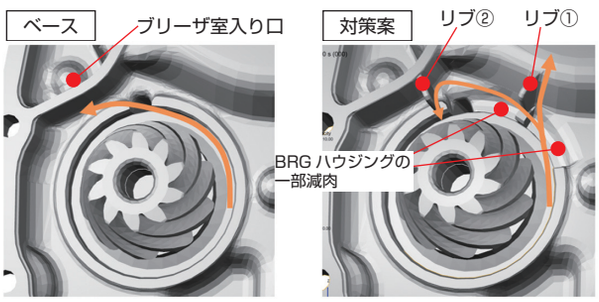


図 8　ブリーザ室オイル侵入の対策

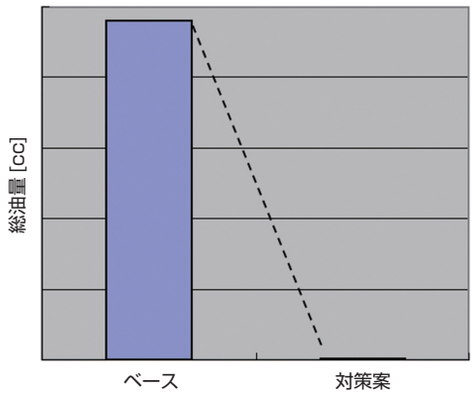


図 9　ブリーザ室内のオイル量

そのメカニズムについても考察する(図10)。図10(a)は対策前後のオイルの速度ベクトルを示しており、対策形状では狙いどおりに2箇所のリブで多くのオイルを遮断できている。図10(b)はブリーザ内部のオイル挙動を示しており、対策形状ではブリーザ室にオイルがほとんど入っていないことがわかった。

5.2 対策形状での実験結果

トランスミッションケース内のオイル流れを確認する場合、従来は図3のようにケースにアクリル窓を貼り、部分的な流れを可視化していたが、本稿ではフロ

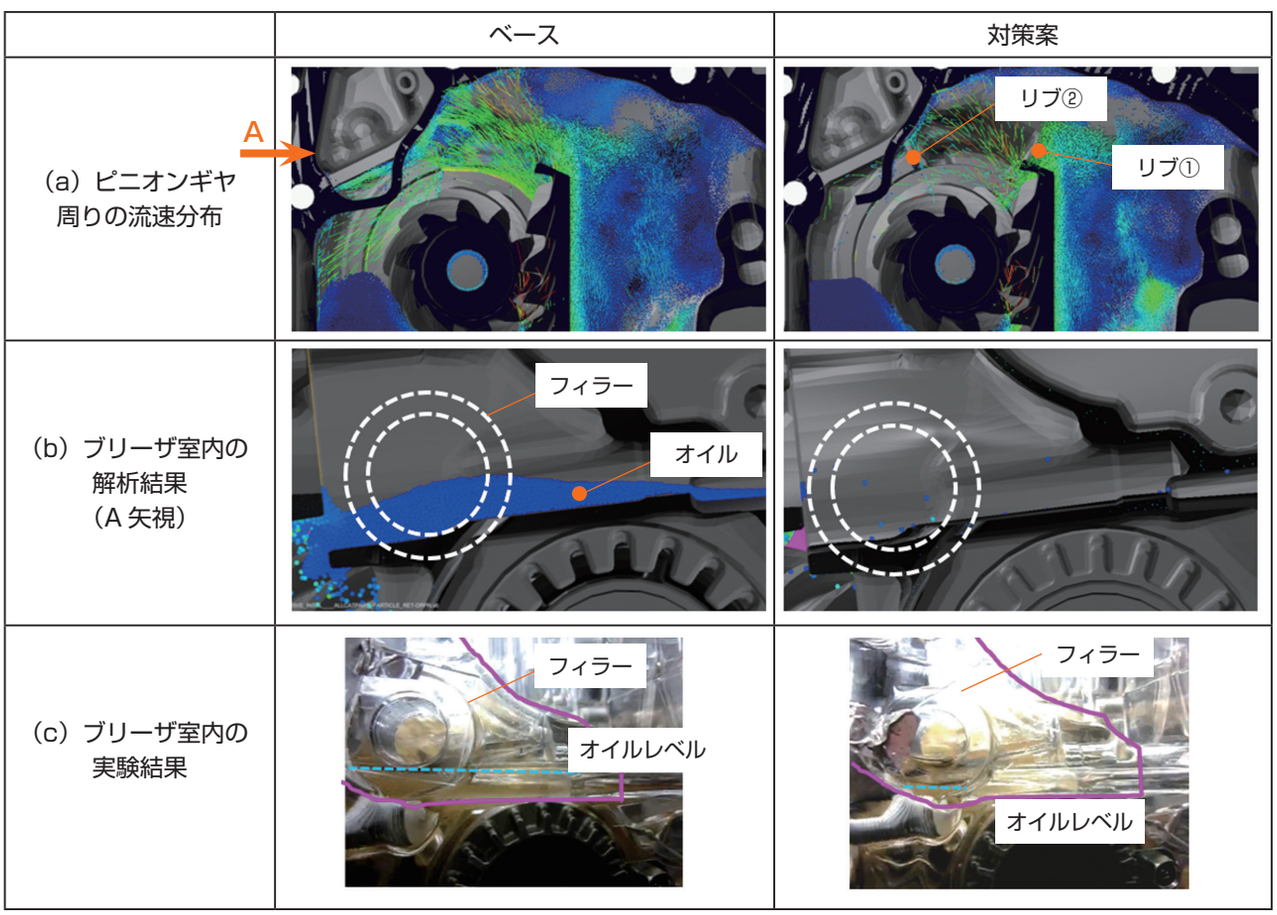


図 10　対策形状の解析結果と実験結果

ントデフ室を透明樹脂で製作して全体的なオイル流れを確認した(図11)。結果、図10(c)のように、オイルフィラーの位置(白の点線二重丸)を目安に比較すると、ブリーザ室内の油面位置が低下していることが確認できた。また、台上ベンチでも昇温試験を行った結果、オイル噴きが発生しないことがわかった。以上より、本対策案の有効性が実験でも明らかとなった。

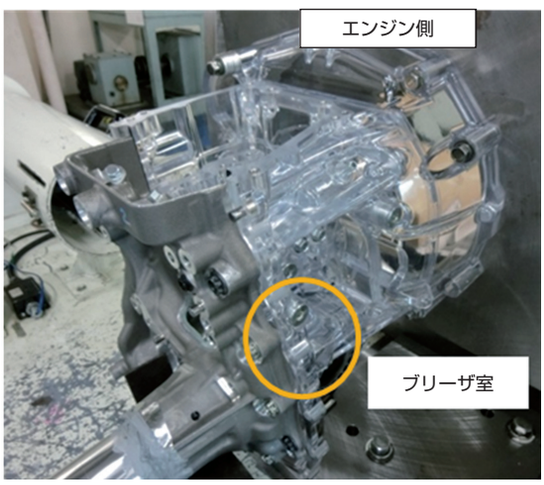


図 11　透明樹脂で製作したデフ室

6. まとめ

1. フロントデフ室内のオイル挙動を粒子法で計算し、流跡線によりブリーザ室への侵入メカニズムを明らかにした。
2. オイル噴き対策として、軸受ハウジングの一部を減肉し、オイルをせき止めるリブを追加することで、ブリーザ室へ流入するオイル量を大幅に減少させることができた。
3. 透明樹脂でデフ室を製作してオイル流れを比較し、実験上でもブリーザ室へのオイル量の減少を確認し、本対策案の有効性を明らかにした。

オイル挙動の予測技術はここ数年で飛躍的に進化しているが、今後はオイルのマクロ的な挙動だけでなく、熱や泡の解析にも取り組んでいく。

参考文献

(1) 斎藤誠ほか：自動車用トランスミッションのオイル挙動解析，日本機械学会2015年度年次大会，S1120304（2015）

【著　者】

斎藤　　誠

河野　正敏

宮原　英和

宮武　健太

ドライバーモニタリングシステムの開発

Development of Driver Monitoring System

浅 井 恵 二[*2] Keiji ASAI
野 尻 剛 史[*2] Tsuyoshi NOJIRI
中 田 翔 真[*1] Shoma NAKATA
柿 丸 良 佑[*1] Ryosuke KAKIMARU
中 村 亮 太[*1] Ryota NAKAMURA
大 西 恵 太[*1] Keita ONISHI
枝 田 健 志[*1] Kenshi EDA

抄 録

SUBARU初となるドライバーモニタリングシステムを開発し、新型フォレスターに搭載した。本システムでは、マルチファンクションディスプレイ(以下、MFD)バイザー下に搭載したカメラと近赤外LEDを使用してドライバーの顔画像を撮像し、処理・演算することで居眠り判定、脇見判定、個人認識判定を行う機能を備えている。ヒューマンエラーを起因とした事故に対して回避行動を促すためにドライバーの運転を見守り、脇見や居眠りを判定した場合は警報を行う。また個人認識判定を利用したパーソナライズ機能によって快適なおもてなしを提供している。当社は今後も「自動車による事故をゼロにすること」の実現に向けて開発を進めていくと共に、お客様の利便性を始めとした“愉しさ”の価値を追求していく。

Abstract

SUBARU has developed the first “Driver Monitoring System” for the new FORESTER. In this system, a camera and near-infrared LED are installed under the visor of the Multi-Function Display (MFD). This system judges the drowsiness, distraction, and individual recognition by imaging, processing, and calculating the driver's face images. For car accidents caused by human errors, this system alerts drivers to encourage the avoidance of the accidents in the status of drowsiness and distraction. This system also provides user-friendliness by using individual recognition. SUBARU will further advance the development to realize “Zero-car accident”. And we will pursue the value of “enjoyment” including user-friendliness.

1. まえがき

当社は中期経営計画“際立とう2020”の中で「安心と愉しさ」で際立つことを最大の命題として掲げており、総合安全NO.1の実現に向けた取り組みとしてアイサイトや歩行者保護エアバッグを始めとする安全技術を軸に、お客様に魅力ある商品開発を目指してきた。一方で近年自動車業界を取り巻く環境は大きく変化しており、IT技術を活用した新しい価値が広く社会に受け入れられつつある。これらを背景にお客様へ提供する商品の安全性と利便性のさらなる進化を目指しSUBARU初となるドライバーモニタリングシステム(以下、本システム)を開発した。

＊1 電子商品設計部
＊2 車両研究実験第2部

2. 開発の狙い

近年、我々を取り巻く社会環境の変化(高齢化、モバイル端末の普及、車載機器の高機能化、若者の車離れ　等)が目まぐるしく、その変化に応じて顧客のニーズも多様化している。本システムは、当社が掲げる「安心と愉しさ」双方の価値を高めていくために開発したものである。

2.1 安全性の進化

死亡事故における人的要因比較を図1に示す。ドライバーのヒューマンエラー(安全不確認、脇見運転 等)に起因する事故は、全体に対して過半数を占めている[(1)]。本システムは、これらのヒューマンエラーに起因する事故の中で比較的に大きな割合を占める脇見や居眠り状態を判定し、ドライバーに警告することで未然の事故回避行動を促すことを目指した。加えて、本システ

ムはアイサイトシステムから取得する情報を活用することで、より危険なシーンを抽出して脇見検知時の警報タイミングを早める機能も搭載しており、アイサイト技術の付加価値をより一層高めるものになっている。

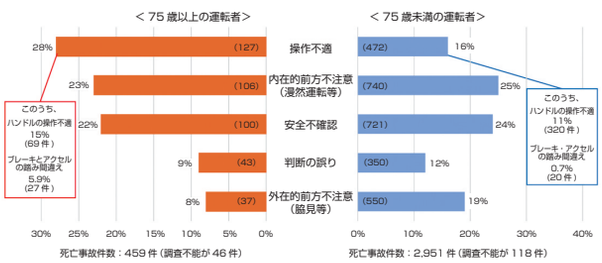


図１　死亡事故における人的要因比較（平成 28 年）

2.2　利便性の進化

多様化する顧客ニーズのひとつに不特定多数の顧客でなく、一人一人の個人にフォーカスしたサービス（例えば、インターネットショッピング時のレコメンド機能 等）が広く社会に受け入れられつつある。本システムが提供する個人を特定する機能を用いることで車がドライバー（顔）を認識し、あらかじめ設定・登録しておいた状態（シート位置 等）を自動で再生するパーソナライズ機能を搭載した。

3.　システム構成概要

3.1　システム　ブロック図

システム構成を図2に示す。車室内に搭載されるドライバーモニタリングシステム ASSY（以下、本ユニット）がセンシングしたドライバー（顔）情報とCAN 経由で各ユニットから取得する車両情報（車速他）を演算し、各判定を行った上で出力結果を各ユニットへ送信する。

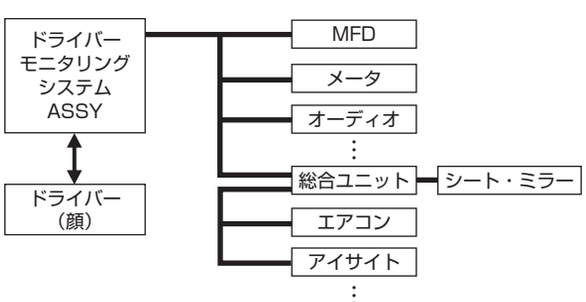


図２　システム　ブロック図

3.2　3大機能

本システムは居眠り判定、脇見判定、個人認識判定を行う機能を備えている。本ユニットがドライバー（顔）をセンシングして取得した近赤外画像情報を処理・演算することで顔の各パーツ（目、鼻、口 等）検知を行い、閉眼や顔向き検知を行う。これらの算出結果と各車両情報から上記3大機能の各判定を行っており、各判定結果を各ユニットへ出力する事で各車両制御を実現している。

4.　センシングシステム

ドライバー状態をセンシングする一般的な手法としては車室外認識センサを使った車両挙動やステアリング、ブレーキ、スイッチ等の操作情報を使った間接的な方式とカメラ等のセンサを使用してドライバーをモニターする直接的な方式がある。前者は既存のハードウェアで構成可能な場合が多く、比較的安価にシステムを構築できるが、居眠り等の状態が実際に発生した際、運転無操作状態が一定時間継続している等の判断に至るまでには（誤検知への配慮から）相応の時間を要すると考えられる。また各操作には個人差があるために一律に閾値等を設定することが容易ではない。つまりセンシング精度や応答性の点で不利な方法である。一方、後者は専用のセンサが必要となるが直接ドライバーをモニターするのでセンシング精度、早期検知の点で有利となる。今回のシステムではセンシング精度や応答性を重視し、カメラを使った直接的な方式を採用した。夜間の運転でも眩しさ等で煩わしさを感じさせず、太陽光を始めとした外光の影響に対しても高いロバスト性が期待出来る近赤外カメラを採用した。さらにカメラで取得した顔画像情報から個人を特定するために有益である各顔特徴をメモリーする機能も備えたシステムとした。

4.1　ハードウェアの構成

主なハードウェア構成を図3に示す。本ユニットの主な構成部品はCPU、カメラモジュール、近赤外LEDである。近赤外LEDが発光し、その反射光をカメラモジュール内に搭載されたイメージセンサで受光し、近赤外画像として撮像・認識してメインCPUで処理を行っている。

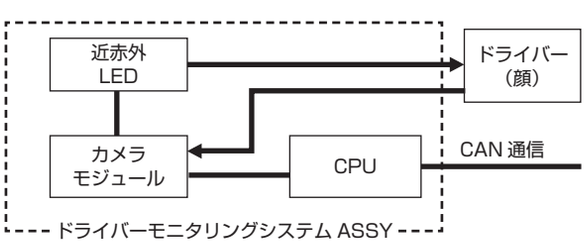


図３　ハードウェア構成

4.2　レイアウト

図4に示すように本ユニットはMFDバイザー下部に搭載している。主な設計要件として、センシング対

象であるドライバー（顔）を検知する近赤外LEDとカメラの画角エリア確保、MFDの視認性確保、前方視認性確保等に配慮してレイアウトしている。

図４　ドライバーモニタリングシステム ASSY
搭載位置及び外観

4.3　検知原理

近赤外LEDが発光し、ドライバー（顔）に反射した光を受光して撮像された近赤外画像の中から顔エリアの探索を実施する。探索された顔エリアから各顔パーツ（目、鼻、口 等）を検知して、顔を特定する。それらの情報をもとに閉眼や顔向き検知を実施する（図5）。

4.3.1　顔パーツ検知

顔の各パーツ（目、鼻、口 等）を検知し、それぞれのパーツに対して幾つかの特徴点を抽出する。これらの抽出した点群を個人毎の顔特徴として検知する。

4.3.2　開閉眼検知

ドライバーの目周辺における画像情報から瞼状態をセンシングして開閉眼度を検知する。

4.3.3　顔向き検知

ドライバーの各顔パーツ情報から2次元の平面を算出する。その平面の法線方向を顔向き方向として検知する。

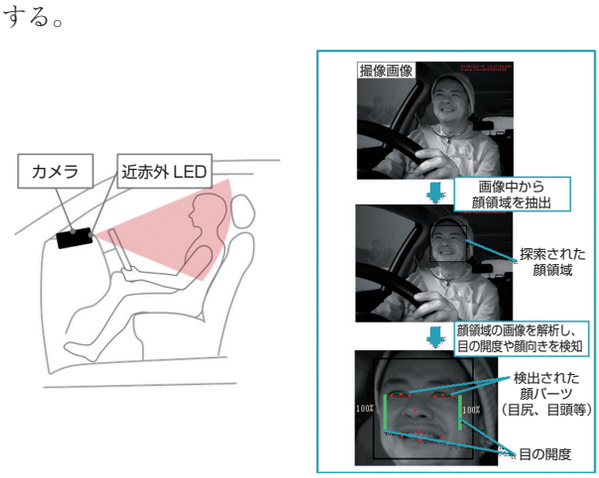


図５　検知原理

4.4　判定ロジック

本ユニットでセンシングした各検知結果と車両の各情報を組合せて以下に示す各判定を行っている。尚、これらの検知対象（各顔パーツ、開閉眼、顔向き）は個人差による影響を大きく受けるため、キャリブレーション（補正）を採用することで判定性能の向上を図っている。

4.4.1　居眠り判定

閉眼状態が継続し、あらかじめ設定しておいた継続時間の閾値を越えた場合や閉眼状態の発生頻度によって居眠り推定を行い、警報を作動させている。閉眼状態から居眠り度合を推定する方法としてはPERCLOS[(2)]と呼ばれる指標が一般的に利用されており、本システムでも参考としている（図6）。

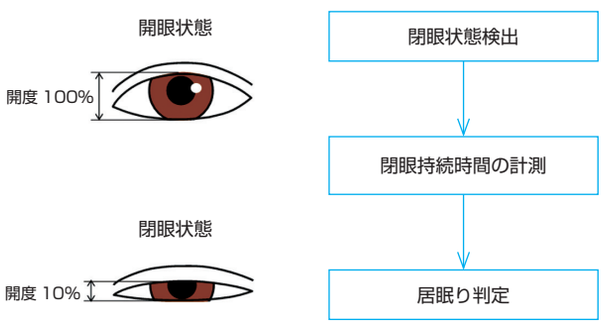


図６　居眠り判定

4.4.2　脇見判定

顔向き角度があらかじめ設定しておいた閾値を越えている状態が継続し、且つあらかじめ設定しておいた継続時間の閾値を越えた場合に脇見状態が生じていると推定し、警報を作動させている（図7）。

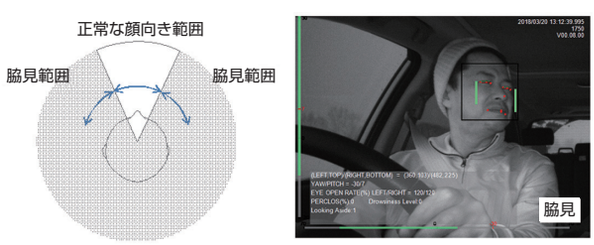


図７　脇見判定

アイサイトによる車や歩行者との衝突警報や、本システムによる脇見警報は、それぞれむやみに早期化するとドライバーにとって不要で煩わしい作動となりがちである。そこで、アイサイトが車や歩行者との衝突リスクがあると判断した状態で、且つ本システムがドライバーの脇見を検出した場合に、早期に警報を作動させている。危険な状態に限定して警報を早期化する

ことにより、所謂オオカミ少年ではない信頼のおけるシステムとなる上、より早期にドライバーが危険回避行動に移れることにより従来以上の事故低減効果を期待するものである（図8）。

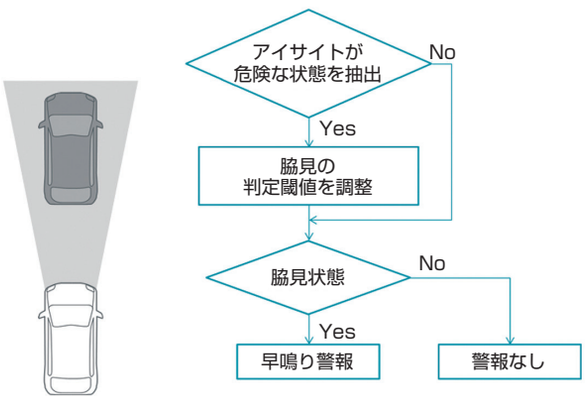


図８　脇見警報の早期化

4.4.3　個人認識判定

本ユニットが検知する顔パーツ情報と事前に登録しメモリーしておいた顔パーツ情報（最大5人分）との類似性を算出する。あらかじめ設定しておいた閾値を満たした場合に本人と推定し、各ユニットへ結果を出力する。事前に登録した本人の顔情報とある瞬間の本人の顔情報は、撮像時の周辺環境や体調、化粧、加齢等により完全に一致するものではない。これの対策を目的に認識における判定閾値を広く設定して本人受容率を高めると本人乗車時の認識率は高まるが、一方で他人が乗車した際も本人であると誤判定する懸念がある。そこで本システムでは顔パーツ情報の登録数を最大で5人と限定することで実用領域での使い勝手を重視しているが、その理由として以下2つがある。

①不特定多数のユーザーが使用するようなシェアリング用途では無く、車両を所有する家族の間で使用されるような使用環境を想定している

②一対一の絶対値で比較して類似性を算出する方式に比べて、限定されたデーターベース中から最も類似性が高いデータを相対的に算出する方式は認識精度面で優れている

このように本システムでは使用環境を限定した上で個人認識判定の精度を高め、実用性を確保している（図9）。

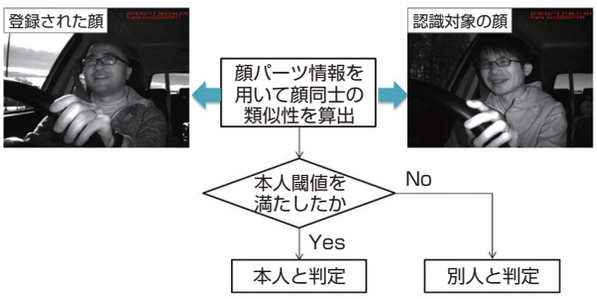


図９　個人認識判定

5.　ヒューマンマシンインターフェイス

ヒューマンマシンインターフェイス（以下、HMI）の構成を図10に示す。本システムが発する警報表示はコンビネーションメータ（以下、メータ）とMFDにて行われる（図11）。視線移動が少なくドライバーが瞬時に確認できるため、主にはメータ内のマルチインフォメーションディスプレイ（以下、MID）上に警報表示を行っている。一方で居眠り判定した場合はメータだけでなく、ドライバー以外の乗員への情報伝達を目的として、助手席と後席乗員からの視認性を確保しているMFDでも警報表示を行う。これにより気が付いた乗員がドライバーに覚醒を促す等のアクションが期待出来る。警報音についてはメータが制御しており、居眠り等の緊急度が高い状態にあると判定した場合は、オーディオのボリュームを自動調整し、ミュート状態にして本システムの警報音のみを吹鳴する。

本システムは顔画像を登録してメモリーする機能（以下、顔登録）を有しており、事前の顔登録及び各設定値の登録が行われていれば、ドライバーごとに設定されているシート位置等へ自動再生する機能を備えている。顔登録を行うためにはドライバーの顔画像を撮像する必要があるが、本システムのカメラレイアウトやアルゴリズムを工夫することで顔画像登録時の煩わしさを低減する配慮を行った。顔画像登録を行う際のHMIとしてはMFDを使用しており、登録中はドライバーの顔がMFDを向くように設計している。また本システムのカメラはMFDバイザー下にレイアウトしているのでカメラ正面の顔画像がスムーズに撮像できる構成としている。これに加えて、登録の際にMFD上に表示されるガイダンス表示文、吹鳴音及び本システムの顔向き検知機能を活用し、運転席正面の顔画像も取得しており、異なる角度の顔画像を複数取得することで個人認識の精度を高めている（図12）。

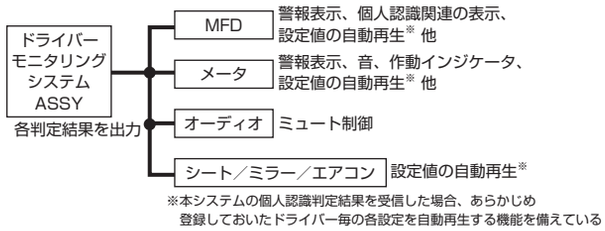


図 10　HMI システム構成概要

図 11　居眠り警報表示

図 12　個人認識表示
（上段は登録時／中段は認識中／下段は認識完了後）

6.　機能限界とユーザーへの報知

本システムは画像センサを使用しているので太陽光を始めとした外光や熱、振動等によるノイズの影響を完全に除去することが難しい。また検知対象としているドライバー（顔）に関するパラメータは千差万別であり、加えてマスクや眼鏡、サングラス等の影響も含めた万人に合致する各性能を確保することは極めて困難な状況にある。これらの状況に配慮しつつ、可能な限り誤作動を低減する考えのもと、一時的な要因により性能限界に達したと本システムが判断した場合には一時的に本システムの機能を停止すると共にMID上でユーザーへの報知を実施している（図13）。

図 13　一時機能停止表示

7.　まとめ

SUBARUが掲げる「安心と愉しさ」を具現化すべく、ドライバーモニタリングシステムの市場導入を行ってきた。ヒューマンエラーを起因とした事故に対する回避行動を促すことを目的に脇見、居眠りを判定する機能を開発して予防安全性能を進化させ、且つ個人認識を利用したパーソナライズ機能によって新しい価値を提供している。当社は今後も「自動車による事故をゼロにすること」の実現に向けて安全技術の開発を推進すると共に、お客様の利便性を始めとした“愉しさ”の価値を追求していく。

8.　謝辞

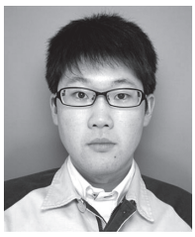
最後に本システムの開発並びに執筆に多大なる御協力を頂きました三菱電機株式会社の関係各位に心より御礼申し上げます。

参考文献

(1) 岩浅太一：高齢運転者の交通事故防止に向けた警察の取組, 自動車技術, Vol.71, No.12, 2017
(2) R.Knipling：PERCLOS：A VALID PSYCHOPHYSIOLOGICAL MEASURE OF ALERTNESS AS ASSESSED BY PSYCHOMOTOR VIGILANCE,（1998）
(3) 平野敬ほか：ドライバーモニターカメラの活用, 自動車技術会2016年春季大会学術講演, No_026

【著　者】

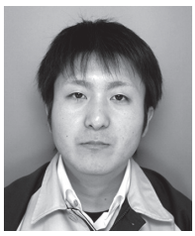
浅井　恵二


野尻　剛史

中田　翔真

柿丸　良佑

中村　亮太


大西　恵太

枝田　健志

SUBARUインプレッサが米国Wards社の「10ベストインテリア」賞を受賞
～ SUBARUデザインランゲージに基づいた内装デザイン・質感、マルチメディアシステムの操作性に高評価～

2017年4月19日

SUBARUインプレッサ（米国仕様車）が、米国の自動車専門メディアであるWards社の「2017 Wards10ベストインテリア賞」を受賞しました。SUBARU共通のデザインランゲージ“DYNAMIC×SOLID”に基づき構築した大胆な造形や、クラスを超えた質感を実現したインテリアデザインが高く評価されました。

優れた操作性を実現するマルチファンクションディスプレイを縦型エアベントで挟む形で構成したインストルメントパネルが特徴的なインプレッサのインテリアは、金属調・カーボンファイバー調の各種トリムやステッチ等のアクセントにより造りこまれた質感とともに、人間工学的に配置されたスイッチ類や、より立体的な造形に刷新したシートなどにより、次世代SUBARUの第一弾にふさわしい機能性も提供しています。

新型 ASCENT／新型 FORESTER 用 インフォテイメントの開発

Development of Infotainment for New ASCENT/New FORESTER

手 原 大 貴[*1] Daiki TEHARA
紺 野 大 悟[*1] Daigo KONNO
遠 藤 秀 明[*1] Hideaki ENDO
石 田 卓[*1] Takashi ISHIDA
山 崎 まひろ[*2] Mahiro YAMASAKI
張 偉[*1] I CHO

抄 録

新型ASCENT／新型FORESTERでは、現行IMPREZAから採用しているインフォテイメントシステムを進化させ、使い勝手のさらなる向上と時代に合わせた先進の機能を採用した。使い勝手の向上としては、統一感があり、わかりやすいグラフィカル・ユーザ・インターフェース（以下GUI）を新たなデザインに変更した。また機能の向上としては、無線通信にて地図を更新できる機能や、新テレマティクスとの連携に対応し、商品力向上を図っている。

Abstract

The infotainment system for New ASCENT/New FORESTER adopted first by IMPREZA has been evolved from IMPREZA into even more enhanced product offering improved user-friendliness and advanced functions to meet the current era.

To improve the user-friendliness, the system has been transformed to have a new design with high sense of unity and easy-to-understand GUI.

Furthermore, for funcational enhancement, map update function via wireless communication and collaboration with brand-new telematics system have been added as up-to-date features to ensure the improvement of our product capabilities.

1. まえがき

2017MY新型IMPREZAから量産化したインフォテイメントシステムに時代に合わせた先進の機能を追加した。IMPREZAから使い勝手とデザイントレンドを取り入れてGUIを新たなデザインに変更した。また、機能の向上として、新テレマティクスとの連携に対応した。

2. 開発の狙い

新型ASCENT／新型FORESTERに向けて、分かり易く、親しみやすいインフォテイメントを提供するために開発を進めてきた。IMPREZAよりもさらに直感的に理解出来る画面意匠への刷新、SUBARU初の地図の無線アップデート機能を追加して、時代の流れに沿ったインフォテイメントの強化を狙った。本稿ではこれら機能の紹介をする。

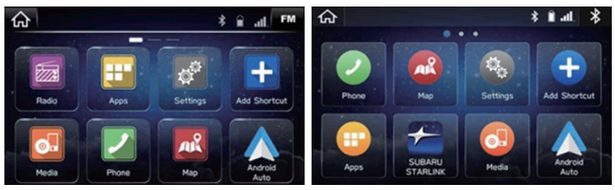
2.1 画面意匠刷新

より良いインフォテイメントシステムを目指し、画面意匠を以下のように刷新した。これにより、スマートフォンとの親和性を演出し、瞬間的に判断できるHMIを実現した。

2.1.1 HOMEアイコン及び各機能表示画面

HOME画面に表示する『Radio』や『Map』などのアイコン類の意匠を変更し、ポップで柔らかいイメージとすることで、ユーザが親近感をもてるよう演出した。また、各アイコン選択後に移行する下階層の画面にもアイコンと同じ色を使用した加飾デザインを追加することで、どの機能を使っているかイメージしやすくすることで、お客様の使い勝手に配慮した（**図1**、**図2**）。

＊1 電子商品設計部
＊2 人事部付　SRDMI出向



IMPREZA　ASCENT/FORESTER

図１　ホーム画面比較

IMPREZA　ASCENT/FORESTER

図２　メディア（オレンジアイコン）選択時の画面比較

2.1.2　ボタンやキーボードの意匠変更

ユーザが各機能を選択、操作する際に表示するポップアップ画面やキーボード画面の意匠を変更した。スマホに似せたレイアウト、配色とすることで親しみやすく使い易い画面とした(図3)。

IMPREZA　ASCENT/FORESTER

図３　電話（緑アイコン）選択時の画面比較

2.1.3　ドライバプロファイル背景の追加

ユーザが選択できる背景画面を従来の6種類から10種類に増加、明るい色味を取り入れることで、ユーザの嗜好に合わせてカスタマイズできるようにした(図4)。

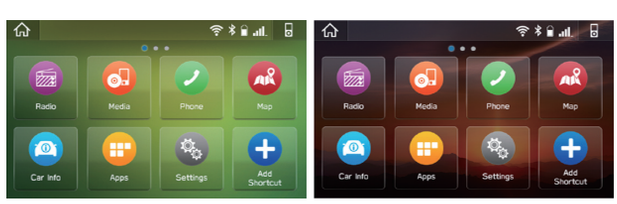


図４　ASCENT/FORESTERで新規採用した背景の例

2.2　テレマティクス連携

新型ASCENT／新型FORESTERは、新テレマティクスシステムを採用している。このテレマティクスシステムは、インフォテイメントシステムとUSB通信で情報のやり取りを行う。これにより、インフォテイメントシステムで表示できる情報量が格段に増え、機能性や操作性が大幅に向上した。テレマティクスシステムとの連携機能について以下に示す。

2.2.1　Voice Call

従来のオーバーヘッドコンソールにあるスイッチからだけでなく、インフォテイメントシステムの画面操作からでもテレマティクス画面へ遷移できるようにした(図5)。iCall機能を、ロードサイドアシスタンスコールとコンシェルジュコールの2種類に大別。お客様の契約内容に応じてサポートする機能を充実させた。また、ナビゲーション付車は、コンシェルジュコール中にオペレータから目的地の情報を受信、ナビゲーション機能に移行できる機能を追加することで利便性を向上させた(図6)。

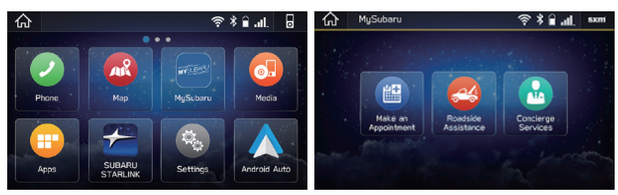


図５　左図の「My Subaru」アイコンから
右図のテレマティクス画面へ遷移する

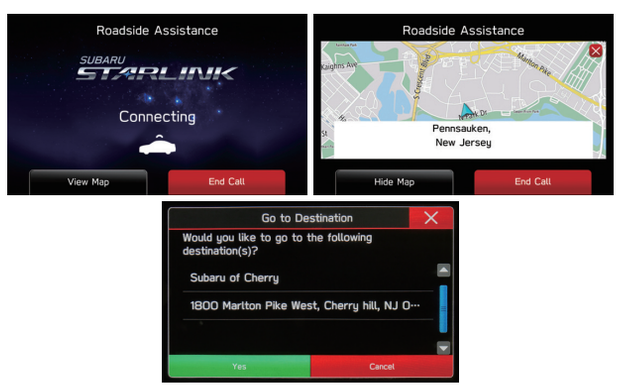


図６　目的地情報の受信の様子

2.2.2　Service Appointment Scheduler

インフォテイメントシステムの画面を操作し、SUBARU特約店へ車両メンテナンス予約をすることができる。

ユーザが任意にオイル交換などの車両メンテナンスのために予約をしたい場合は、インフォテイメントシステムの“Service Appointment Scheduler”アイコンを押下することでサーバへ接続し、画面表示に従って希望する特約店に時間帯を指定して予約することができる。

また、SUBARUサーバから該当車両のテレマティクスシステムにメンテナンスに関する情報を配信することで、車両側からユーザに点検や修理のための予約を促すこともできる。予約を促す画面は重要度に応じて2種類装備。いずれも画面内のボタンを押下することでサーバへ接続、画面表示に従って希望する特約店と時間帯を指定して予約を行うことができる。

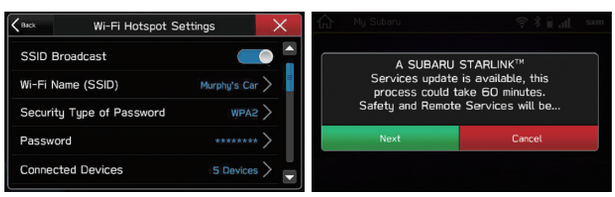
2.2.3　Curfew Notice

My Subaruアプリ上でCurfew Noticeを行う日時を設定すると、設定した時刻の15分前になるとインフォテイメントシステムの画面上に図7のような画面を表示し、ユーザに通知する。

図７　Curfew Notice のポップアップ画面

2.2.4　テレマティクスシステムの状態表示

上記以外に、Wi-Fiホットスポットの設定表示や、ソフトアップデート情報の表示等、テレマティクスユニットの状態表示を行う（図8）。



Wi-Fi ホットスポットの設定表示　　ソフトのアップデートに関するポップアップ画面

図８　テレマティクスシステムの状態表示画面

2.3　MOTA (Map Over the Air update)

SUBARU初の対応として、地図データのOTA更新に対応した。従来から採用している、USBによる更新に加え、Wi-Fi経由でも地図データを更新することができるようになった。また、更新にかかる時間や通信量を抑制するため、更新するエリア（州、又は国）をお客様が好みで選択することができる（図9）。お客様はインフォテイメントシステムの設定画面から、米国の場合は州ごと、欧州の場合は国ごとに選択でき、最大8エリアまで同時選択できる。

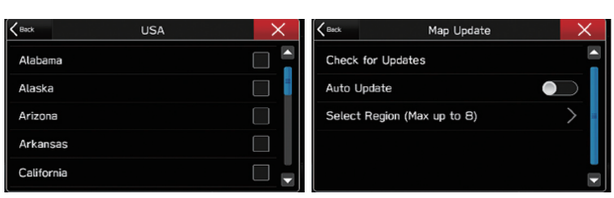


図９　MOTA 地域選択画面

地図の自動更新にも対応した。毎IGN ON後、Wi-Fi接続が成立した時点でサーバと通信を行い、更新用の地図データがあれば自動でダウンロード、インストールを行う事が出来る（図10）。本機能を持たせることでお客様が最新データを確認する事への煩わしさに配慮した。また、本機能はお客様が任意にMANUALへ切り替える事が出来る。MANUALに設定した場合は、お客様の任意のタイミングで最新地図データ有無の照会を行う事が出来る。

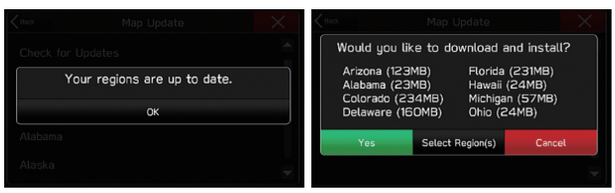


図 10　更新地図の確認画面

本システムでは、ダウンロードする更新地図データのサイズに応じて、差分更新とするか、又は全更新とするかをインフォテイメントシステムか判定し、更新を行う。差分更新とする場合では、地図データのダウンロード中にナビ機能の継続使用を可能にして、お客様への使い勝手に配慮した。

2.4　Sound Setting/SXM3.0

新型ASCENT／新型FORESTERからAudio画面に“Sound Setting”釦と“Traffic & Weather Now”釦を追加した（図11）。図中の①を選択すると音響チューニング画面に遷移する。お客様が音響チューニングにストレスなく移行できるようにした。

②を選択すると事前に設定した地域の天気／交通情報アナウンスを視聴する事が出来る（図11）。本機能はSiriusXM社が提供する衛生ラジオの新サービスSXM3.0による。他にも、お気に入り登録したチャンネルからシャッフル再生する“Tune MIX”、お気に入りスポーツチームのBig game速報を再生する“Sports Flash”を新たに実装し、お客様へ愉しさを提供する。

図 11　Sound Setting と Traffic & Weather Now

3.　まとめ

新型ASCENT／新型FORESTERより展開されるインフォテイメントの新機能を紹介した。今後も時代

進化に同調しながら先進の機能を取り込みつつ、お客様が便利で使い易いシステムの開発に取り組んでいく。

参考文献

(1) 遠藤ほか：HMI連携システムの開発について,スバル技報,No.44（2017）

【著　者】

手原　大貴

紺野　大悟

遠藤　秀明

石田　　卓

山崎 まひろ

張　　偉

2018年型SUBARU XV、WRXが米国IIHSの2017年安全評価で最高評価「トップセイフティピック（TSP）＋」を獲得

～アイサイトを装着したSUBARU全車がTSP＋を獲得～

2017年10月6日

北米地区で現在販売している2018年型SUBARU XVとWRXが、IIHS（道路安全保険協会）が行う最新の2017年の安全性評価において、最高評価の「トップセイフティピック（TSP）＋」を獲得しました。2018年型レガシィ、アウトバック、フォレスター、インプレッサに続く今回の受賞により、アイサイトを装着したSUBARU全車がTSP＋を獲得したことになります。

全面改良モデルとなる2018年型SUBARU XVはすべての耐衝突・衝撃性能試験において最高評価「Good」を獲得するとともに、アイサイトの装着により、衝突予防性能試験において、時速12マイル・時速25マイルいずれの速度域においても衝突を未然に回避し、最高評価「Superior」を獲得しました。

パワートレイン入れ替えを想定した SPC による加速車内音机上予測

Prediction of Acceleration Sound with Replaced Power Train by SPC Analysis

堀川　敦[*1]　佐藤正彦[*1]　佐藤　満[*1]　山科耕一[*2]
Atsushi HORIKAWA　Masahiko SATO　Mitsuru SATO　Kouichi YAMASHINA

抄　録

本稿では、SPC（発生源経路寄与）解析により、実験データから車両モデルを構築し、パワーユニットを入れ替えた仮想モデルを作成し、加速時の車内音を予測した。パワーユニット、車体の異なる2台について、台上加振試験、実走試験を行い、その計測データを使って車内音のSPC解析を実施し、NVHシミュレータ上で再生できる車両モデルを構築した。そのモデルを使い、パワーユニットを入れ替えた仮想車両のモデルを作成し、車内音の机上予測を行った。パワーユニット入れ替え時の車内音机上予測の概要、試験計測の内容、分析結果について紹介する。

Abstract

This paper provides prediction of acceleration noise generated by vehicle models made from experimental data based on SPC analysis. The vehicle models which have different power units and bodies were made based on the data measured in bench test and running test. A virtual vehicle model which has a replaced power unit was prepared. And the sound was analyzed in a NVH simulator. Part of the acceleration sound was changed with the replaced power unit. This paper describes the outline, measurements and analysis results for the prediction of acceleration sound.

1. 背景

環境性能や、年々厳しくなる法規制に対応しつつ、お客様のニーズに合った商品をタイムリーに市場に提供することが求められている。自動車開発における振動・騒音性能の開発では、CAEを活用し、机上予測を行った上で、試作車による確認･評価を行っている。机上での予測が困難な現象において、試作車による評価で初めて性能が判明したのでは、開発に遅れが生じてしまう恐れがある。そこで、試作車が完成する前に、精度良く性能予測する手法が必要と考え、実験的アプローチにより、実在しない車両の車内音を予測する手法を行ったので紹介する。

2. SPCによる加速車内音の机上予測手法

SPCは、発生源経路寄与(Source Path Contribution)の頭文字を取ったもので、TPA解析(Transfer Path Analysis)の事である。本稿では、実験データに基づき、SPC解析により求めた入力、車体の伝達特性からNVHシミュレータで再生可能な車両モデルを構築し、そのモデルの組み合わせにより、実在しない仮想車両の車内音を机上で予測、分析を行った。

2.1　TPA解析の概要

振動騒音現象の要因分析手法の1つとして、TPA解析(Transfer-Path-Analysis)が用いられる。TPA解析の概要を、**図1**に示す。対象となる振動や音について、起振源からの入力とその入力点からの伝達特性をかけ合わせ、全て足し合わせることで、対象となる現象を表すものである。

対象となる現象の入力、伝達特性を掛け合せたものがその経路の寄与であり、どの経路の寄与が高いのか、入力側に要因があるのか、それとも伝達特性に要因があるのか、といった詳細分析をすることが出来る。

＊1 車両研究実験第1部
＊2 SRD

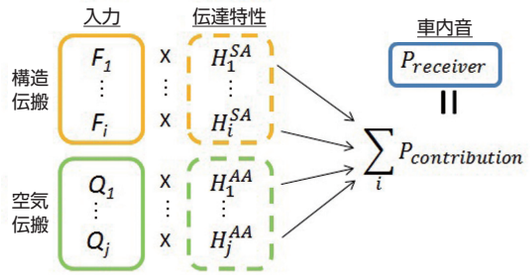


図１　TPA 解析の概要

TPA 解析には、

1）周波数領域（Frequency Domain）で行うもの

2）時間領域（Time Domain）で行うもの

がある。本稿で行ったSPC解析は、時間領域で行うことで、分析結果を“音”として再生し、聴くことが出来るメリットがある。

2.2　実施イメージ

パワーユニットと車体プラットフォームが異なる車両A、車両Bの2台を用いて、下図のような組み合わせによる仮想車両Cのモデル化を行い、車内音予測を行った。そのイメージを図2に示す。

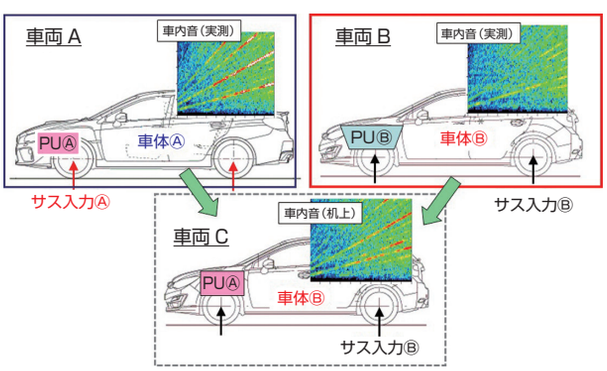


図２　時間軸 TPA 解析による加速車内音の予測

始めに、車両A、車両Bのそれぞれについて、台上での振動・音響加振試験と、テストコースでの実走試験を実施した。その試験結果から、SPC解析を行い、車内音に対する振動・音の入力を同定した。求めた入力と車体の伝達特性より、車両A、Bに加えて、仮想車両CのNVHシミュレータで再生可能な車両モデルを作成した。

3.　モデル構築のための計測

3.1　試験車両の仕様について

本試験で使用した車両仕様を表１に示す。パワーユニット、ボデーの異なる2台の車両を用意した。この2台は、トランスミッションの仕様・形状が異なるため、ボデーとの支持懸架系も異なる。また、排気系仕様も異なる。

表１　車両仕様について

	パワーユニット		ボデー		排気出口
	エンジン	トランスミッション	プラットフォーム	形状	
車両 A	４気筒 2L ターボエンジン	６速 マニュアル	SI シャシー	セダン	左右
車両 B	４気筒 2L 自然吸気エンジン	CVT	SGP	セダン	右のみ

3.2　加振試験の実施

TPAモデルを構築する上で、構造伝搬と空気伝搬の両方の伝達特性を取得するため、ハンマー加振と体積速度音源による音響加振を実施した。

3.2.1　ハンマー加振試験の実施

パワーユニットの振動が車体に伝達する経路として、エンジンマウント、トランスミッションマウント、トルクロッド、排気マフラーハンガーがある。これらの伝達点において、振動伝達の上流側と下流側に、それぞれに加速度ピックアップを設置する。下流側の計測点近傍に、入力同定する際に用いるインジケータ点を設けている。図３に車両Bの計測点の例を示す。

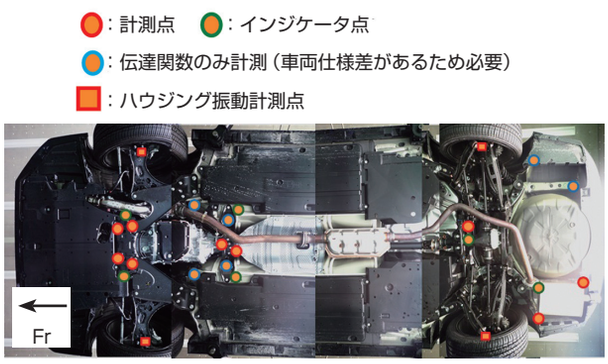


図３　車両下回りの計測点（車両 B）

NVHシミュレータで分析する際に、エンジンノイズ成分とロードノイズ成分を分離する必要がある。そのため、ロードノイズ成分のリファレンスとして、図４のように、各輪のハウジング振動も計測している。

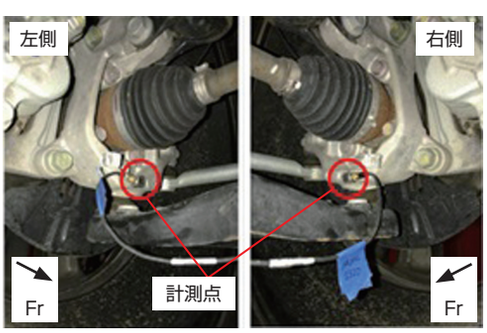


図４　フロントハウジング振動計測点（車両 B）

入力同定するため、伝達系の入力点をハンマー加振した際の、車内音の音圧データと、入力部位のアクティブ側及びパッシブ側の振動データ、パッシブ側計測点の周辺に設けたインジケータ点の振動データを計測した。加振試験では、振動伝達の回り込みを防ぐため、ボデーからパワーユニットを切り離して、試験している。

3.2.2　音響加振試験の実施

エンジン・トランスミッション・吸気系・排気系・タイヤそれぞれからの放射音の寄与を求めるため、音響加振による車室内までの伝達特性を計測した。音響加振器は、B&K体積速度音源Type4295/4299を使用した。

エンジン、トランスミッション周辺に合計22点のマイクロフォンを設置した。計測点の位置を図5、6に示す。

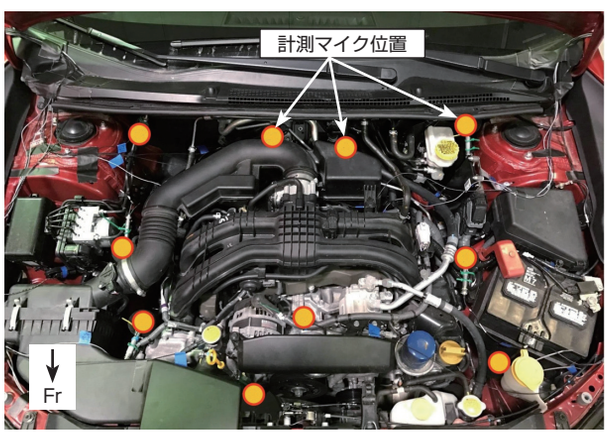


図5　エンジン房内の計測位置（車両B）

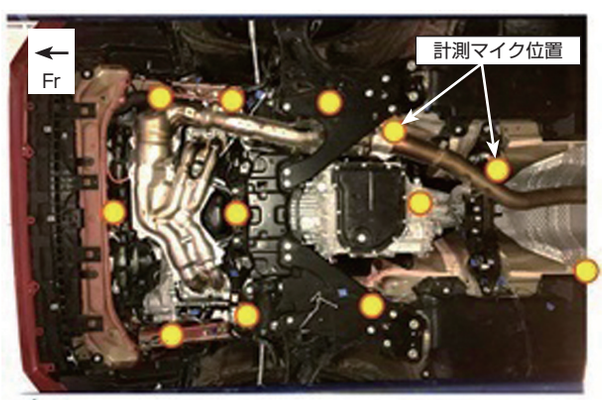


図6　パワーユニット下面の計測位置（車両B）

吸気系では、吸気のインテーク入口部付近にマイクを設置し、その周辺にインジケータ点を設定した（図7）。

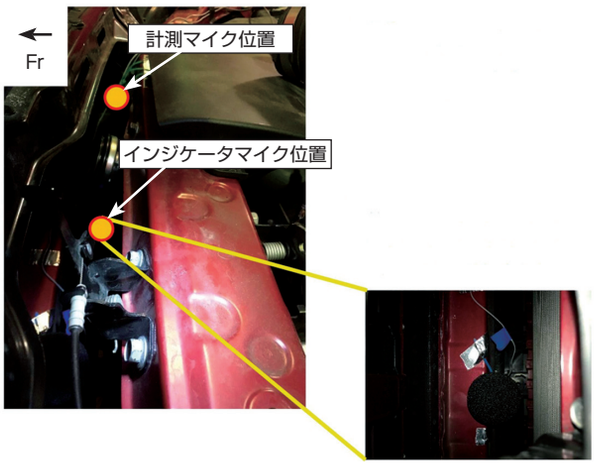


図7　吸気系の計測位置

排気系は、マフラー出口周辺に3点（図8）、マフラー近傍に2点のマイクロフォンを設置した。車両Aは、マフラー出口が左右2ヵ所あるため、計10点の計測を行った。

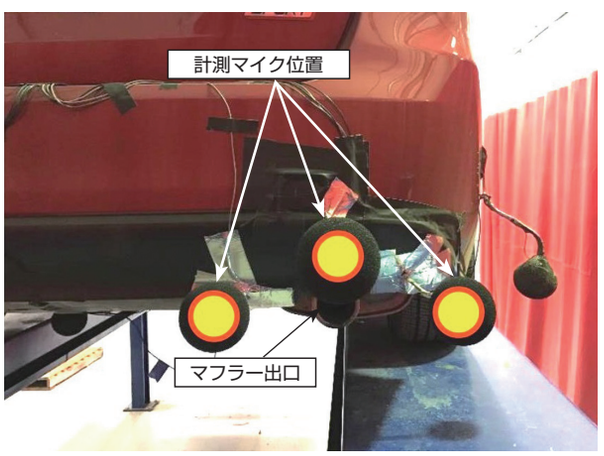


図8　マフラー出口周辺の計測位置

タイヤについては、各タイヤの踏み込み側、蹴り出し側に、タイヤ設置面から100 mmの位置にマイクロフォンを設置した（図9、10）。

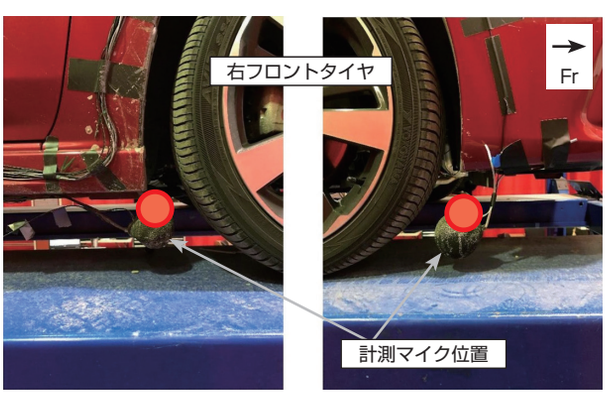


図9　右フロントタイヤ周辺の計測位置

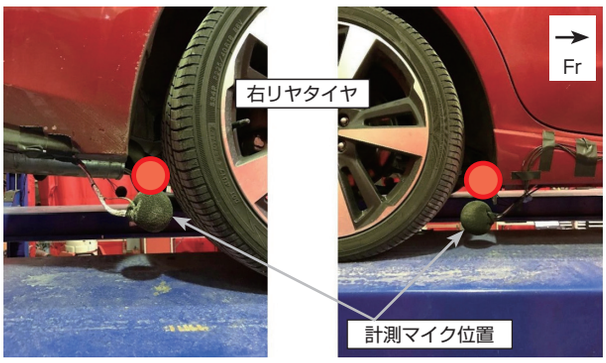


図 10　右リヤタイヤ周辺の計測位置

3.3　トランスミッションメンバからの入力の変換

車両Aと車両Bではトランスミッション後方の支持構造が異なるため、パワートレイン入れ替えを行う際に、ボデーへの入力点を揃える必要がある。車両A、Bのトランスミッション支持方法を図11に示す。

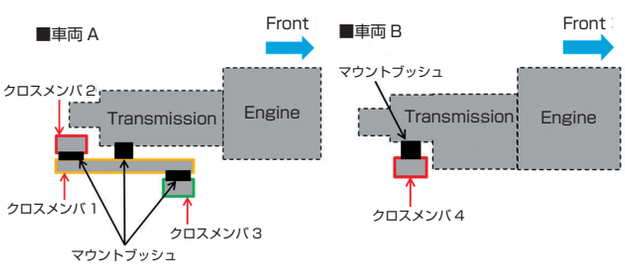


図 11　トランスミッション後部支持構造

車両Aは、3本構成のメンバがあり、メンバ1はメンバ2、3とブッシュを介して結合しており、メンバ2及び3により車体に取付けられている。一方、車両Bは、マウントが取り付けられたメンバ4で車体に取り付けられている。車両Aでは、トランスミッションからの入力を図12に示す*F1*としていた。パワーユニット入れ替えでは、クロスメンバ仕様も変わるため、クロスメンバをパワーユニット側の部品として考慮し、ボデーへの入力*F2*及び*F3*を求める必要があった。

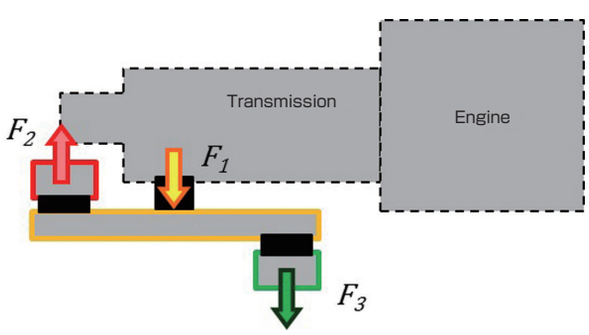


図 12　トランスミッションからボデーへの入力の変換

加振試験により取得した、トランスミッションメンバの伝達関数及び*F1*より、*F2*及び*F3*を求めた。

図13にエンジン回転2次における入力波形を示す。オーバーオールとしては、およそ近似出来ていた。

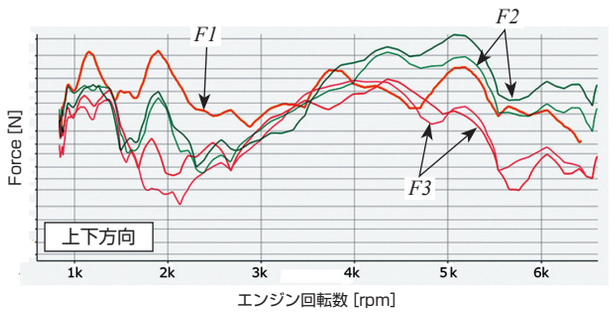


図 13　トランスミッションメンバの入力波形

3.4　走行試験

加振試験で計測した点における、走行時の振動・音データを計測した。NVHシミュレータで再生可能なモデルを作成するため、ギヤ段、アクセル開度、車速等のパラメータを変えながら、合計46パターンでの計測を行った。

4.　仮想車両モデルの構築

計測データより、SPC解析を行い、各入力、伝達特性を求め、車両A、車両Bそれぞれのモデルを構築する。作業は、B&K社Pulse Reflex Core、SPC、NVHシミュレータを利用した。NVHシミュレータを図14に示す。

図 14　NVH シミュレータ

ドライバーのペダル操作、シフトチェンジ操作に合わせて、車両が走行した際のサウンドを再生することが出来て、スクリーン上に表示される視覚情報と合わせて、走行時のサウンドを評価することが出来る。

4.1　机上予測結果

今回のパワートレイン入れ替えにより、仮想車両Cの走行時の音を机上で予測し解析を行った。解析結果の一例として、図15に2速全開加速時の車内音カラー

マップデータを示す。左に車両A、右にボデーのみが異なる仮想車両Cの結果である。

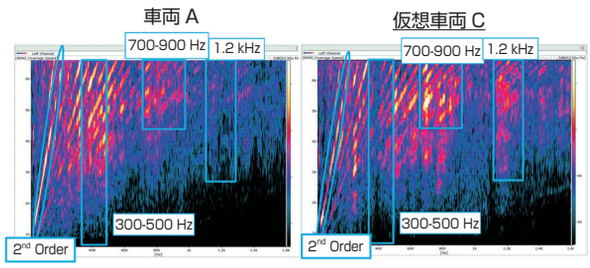


図 15　加速時の車内音カラーマップ

比較した結果、①300 ～ 500 Hz帯、②700 ～ 900 Hz帯、③1200 Hz帯の音圧レベルに違いがみられた。NVHシミュレータでは、伝達経路毎の音を個別にOn/Offをしながら聴くことが出来、要因となる部位を特定することが出来る。③1200 Hz帯について、エンジンのトルクロッドの前後、上下入力による感度特性が影響していることが分かった。その感度特性を図16に示す。高周波域に限り感度レベルが増加している領域があり、車内音の変化要因を把握出来た。

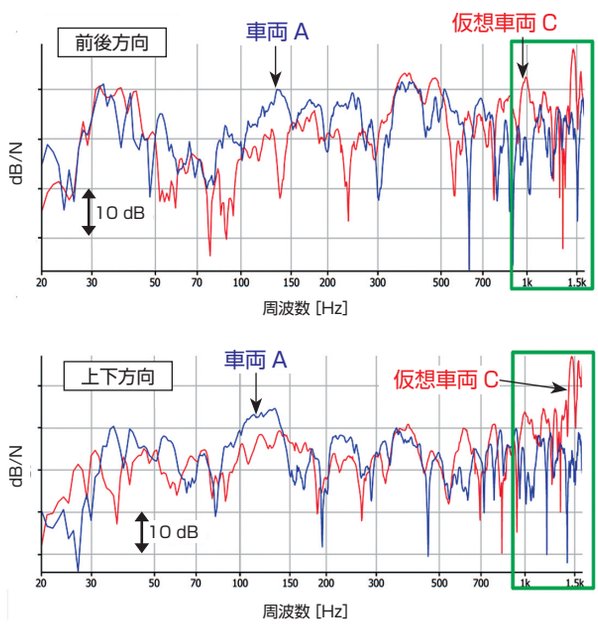


図 16　トルクロッド～乗員耳位置間の音圧感度

次に、この感度特性を、NVHシミュレータ上で、車両A同等までレベルを下げ、要因の検証を行った。結果を図17に示す。ボデー感度を変更することで、1.2 kHz帯のレベルが低減し、車両Aと同等となることを確認出来た。

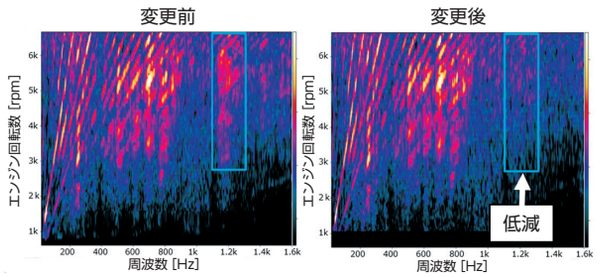


図 17　感度変更による車内音の低減

以上のように、実際には存在しない車両の加速時の車内音の机上予測を行った。車体への入力、車内音の評価点までの伝達特性の変化により、車内音レベルが変化する領域があり、その要因分析を行うことが出来た。

5.　まとめ

車両A、車両Bの2台のSPC解析を行い、NVHシミュレータで再生可能な車両モデルを構築し、実在しない仮想車両Cの加速時の車内音を机上で予測した。分析結果から、パワーユニットと車体の新規組み合わせにより、車内音が増加する周波数領域があり、その要因を特定することが出来た。

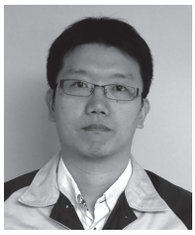
6.　今後について

パワーユニットや、車体プラットフォームが変更になる場合に、事前に本手法を実施することで、試作車が完成する前に予め性能予測することが可能となる。また、試作車での評価結果におけるトラブルシューティングツールとしても活用できると考える。

参考文献

(1) Petor Akos Gajdatsy：伝達経路解析の基礎から応用,エルエムエスジャパン,(2012)
(2) Todd Freeman, Pete Jacobsen ,Virtual Powertrain swap in vehicle Development utilizing a Time・Domain source・path・Receiver Model, NOISE. CON 2014,

【著　者】


堀川　　敦

佐藤　正彦

佐藤　　満

山科　耕一

SUBARU 6車種が米国IIHSの2018年安全評価で「トップセイフティピック(TSP)」を獲得

2017年12月8日

北米地区で現在販売しているSUBARUの2018年型インプレッサ、SUBARU XV、レガシィ、アウトバック、フォレスター、WRX（いずれもアイサイト装着車）が、IIHS（道路安全保険協会）が行う最新の2018年の安全性評価において、「トップセイフティピック」を獲得しました。これら6車種は、要求される全ての耐衝撃性能試験において最高評価「Good」を、前面衝突予防性能試験においても最高評価「Superior」を獲得。さらに、2017年評価から導入されたヘッドライト性能試験においてもインプレッサ、レガシィ、アウトバック、WRXが「Good」を、SUBARU XVとフォレスターが「Acceptable」を獲得しました。

SKC 減圧環境エバポ試験室の活用

Utilization of SKC High Altitude Environment Fuel Evaporative Emission Test Room

鈴 木 康 史* 竹 村 聡 浩* 森 智 一*
Yasufumi SUZUKI Akihiro TAKEMURA Tomokazu MORI

抄 録

米国EPA（環境保護庁）の排ガス規制プログラムの1つである燃料蒸発ガス（エバポ）排出規制が2017年以降、規制強化され、高地条件におけるエバポ排出規制についても厳格化されている。

これまで、SUBARUとしては米国の高地地域のラボを借用し、車両の実力を確認することで規制対応の確認を行ってきたが、今後の厳格化される規制に確実に対応するためには、開発の初期段階から高地環境にも対応したエバポシステムの開発が必要となる。

今回、新たにSKCに高地環境を再現し且つ、エバポ排出量が測定可能な設備を備えた減圧環境エバポ試験室を導入した結果、現地ラボでの試験結果と同等の結果が試験室で得られることが確認できた。

今後は規制に則った車両確認だけでなく、確実に規制に合致する開発を効率的に行っていく。

Abstract

The fuel evaporation gas (evapo) regulation that is one of the exhaust gas regulations of American EPA (the Environmental Protection Agency) has been strengthened since 2017 and is tightened even in high altitude conditions. SUBARU has borrowed a laboratory in a high altitude area in America and proved the conformity with the regulation by confirming the ability of vehicles. However, in order to assure the conformity with the tightening regulations, it is necessary to develop an evaporation system that also supports high altitude environments from the initial phase of vehicle development.

This time, we established a Fuel Evaporative Emission Test Room in SKC that can reproduce high altitude environments to measure fuel evaporation gas. In the future, we will effectively develop vehicles that meet the regulation as well as we will check the conformity with the regulation.

1. はじめに

環境汚染防止のために、世界各国で燃料蒸発ガス（エバポ）排出規制の強化が進んでいる。中でも米国EPA（環境保護庁）の高地条件（1620 ± 100 m）におけるエバポ排出規制は2017年以降、規制値が厳しくなり、審査も厳格化されている。これまでも高地条件は存在し高地の方がエバポは多く発生するが、その増加以上に高地の規制値は大きく設定されていた。

そのため、システム開発としては低地条件がワーストであり、低地条件に合致するシステムを構築すれば、高地条件は米国高地ラボを借用しての確認のみで規制を満足できていた。しかし、2017年以降はその規制値の厳しさから開発初期段階から高地環境にも適応したエバポシステムの開発が必要となっている。今回その対応のため、スバル研究実験センター（以下SKC）に新たにSKC減圧環境エバポ試験室を導入した事による、現地試験の再現結果および今後の活用について紹介する。

2. エバポ排出規制

2.1 エバポ排出規制とは

エバポとは、ガソリン（燃料）の蒸発ガスを示し、炭素（C）と水素（H）の化合物である炭化水素（HC）の混合物である。このエバポには様々な揮発性有機化合物が含まれ、光化学大気汚染の原因物質であるとともに、大気中に微小粒子を発生させる働きもあり、発がん性物質とも言われているため、世界各国で排ガスの一部として排出量が規制されている。

＊ 車両研究実験第3部

エバポ排出規制は世界各国で規制値や試験法など若干異なるが、最も厳しいとされる米国EPAの規制を例にとると、大きく4つの車両状態での規制が設けられている（図1）。

・Running Loss（R/L）
　炎天下を走行中の車両からのエバポ排出量
・Hot Soak Loss（HSL）
　車両走行直後のエバポ排出量
・Diurnal Breathing Loss（DBL）
　駐車中の車両から出るエバポ排出量
・On－board Refueling Vapor Recovery（ORVR）
　給油時のエバポ自己回収規制

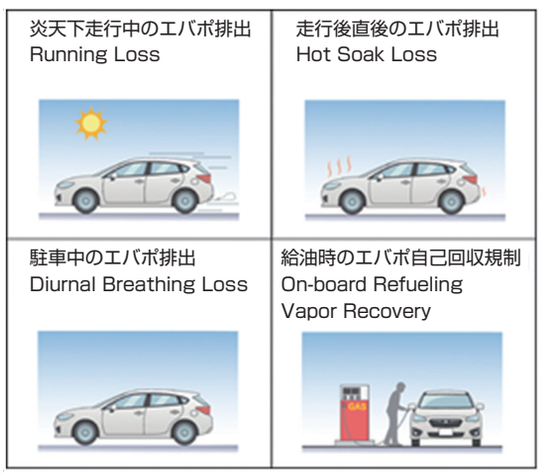


図１　エバポ排出規制の種類

エバポの車外排出を抑えるためには、エバポを一旦貯蔵するキャニスタの役割が重要となる。図2にエバポシステムの概略図を示す。

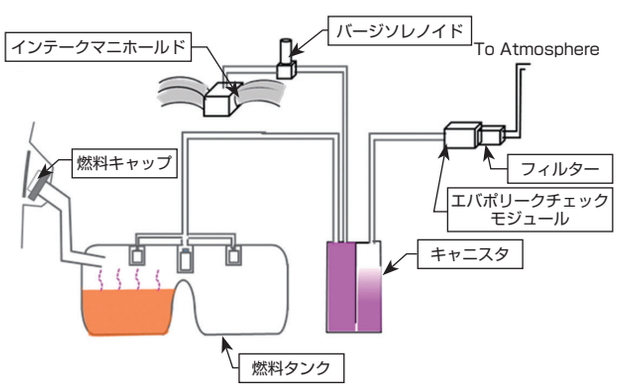


図２　エバポシステム概略図

駐車中や給油時にタンクから出てくるエバポは、一時的にキャニスタに吸着させた後、エンジン稼働時に吸入管の負圧を利用しキャニスタから掃気（パージ）し、エンジンで燃焼させる。このエバポ発生によるキャニスタへの吸着とパージによるキャニスタからの脱離との収支バランスで、エバポがキャニスタから溢れ出ないようにするのが開発のポイントとなる。

2.2　高地規制の課題

2.2.1　吸入管負圧の減少

高地環境下では低地に対し、空気密度が下がる事により同じ出力をE/Gが発生させるためには、低地より多くの空気量が必要となる。結果、低地と同一負荷の状態で走行した場合は、低地よりスロットルを開き、吸入管の負圧は浅い（大気圧に近い）状態となってしまうため、キャニスタに吸着したエバポをパージすることが難しくなる。

2.2.2　エバポ発生量の増加

エバポの発生は燃料の性状（蒸気圧）と温度のパラメータによって決まる。同じ蒸気圧のガソリンの場合、大気圧の下がる高地では相対的に蒸気圧が上がるため蒸発量が増える。つまりエバポの発生量としては多くなる。

2.2.3　規制値

米国EPAのエバポ排出量規制値を表1、2に示す。

2017年より段階的に導入されたTier3規制はこれまでのTier2規制に対し、規制値が約2倍に厳しくなっており、開発段階から高地規制を満たす開発を進める必要がある。

但し、高地条件はエバポ発生量の増加や吸入管負圧の減少など、低地条件より厳しくなる環境条件に対して、試験燃料（蒸気圧の低い燃料）や規制値の緩和により調和が図られている。

表１　EPA　Tier2 エバポ規制値

Tier2	車両区分	H+2D※1 [g/test]	H+3D※2 [g/test]	R/L [g/mile]	ORVR [g/Gal]	試験燃料蒸気圧 psi
低地	LDV	0.65	0.50	0.05	0.20	8.7～9.2（E0）
	LDT1	0.85	0.65			
	LDT2					
高地	LDV	1.20	0.95			7.6～8.0（E0）
	LDT1					
	LDT2					

※1：H＋2D：HSL（25°）＋2日間 DBL
※2：H＋3D：HSL（35.6°）＋3日間 DBL

表２　EPA　Tier3 エバポ規制値

Tier3	車両区分	H+2D※1 [g/test]	H+3D※2 [g/test]	R/L [g/mile]	ORVR [g/Gal]	BET [g/test]	試験燃料蒸気圧 psi
低地	LDV	0.300		0.05	0.20	0.020	8.7～9.2（E10）
	LDT1						
	LDT2	0.400					
高地	LDV	0.650					7.6～8.0（E10）
	LDT1						
	LDT2	0.850					

※1：H＋2D：HSL（25°）＋2日間 DBL
※2：H＋3D：HSL（35.6°）＋3日間 DBL

3. 設備仕様

3.1 減圧チャンバ

今回新たに導入したSKC減圧環境エバポ試験室（図3）は、「高地環境での燃料蒸発ガス測定設備」を有する「SHED室」と、「低温、高温、高地環境適応の走行試験設備」を有する「CDM室」の2つの試験室で構成している。それぞれの試験室をひとつの減圧チャンバー内に配置し、それぞれ独立して制御することで、効率的な試験の運用ができる。

3.1.1 基本仕様

CDM試験室

・温度：－10 ～ +35℃／湿度：40 ～ 60%RH
・気圧：大気圧～ 79.5 kPa abs.（SKC標高～ 2,000 m）
・日射：400 ～ 850 W/m^2（EPA規格対応）

SHED試験室

・温度：+20 ～ +30℃／湿度：40 ～ 60%RH
・気圧：大気圧～ 79.5 kPa abs.（SKC標高～ 2,000 m）

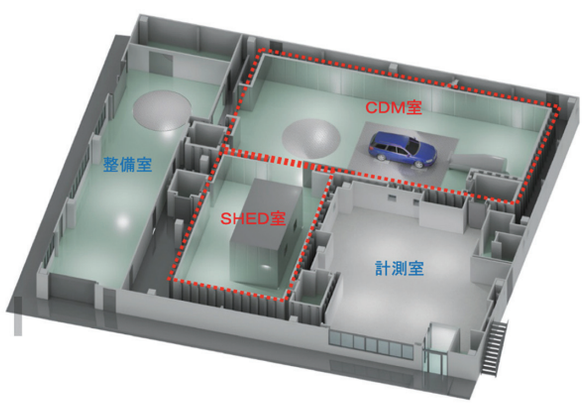


図３　試験室レイアウト

3.2 シャシダイナモメータ（CDM）

ローラーの上に車の駆動輪を乗せ、エンジンの力でローラーを回すことで動力を測定する。実際の路上走行状態を再現できることから、排出ガス・燃費等の測定に用いられる。エバポ試験においてはキャニスタのパージドライブとして、法規に定められた走行モードを走行する。

3.2.1 基本仕様

・準拠法規：米国EPA CFR40 Part86 Subpart B
　　米国EPA CFR40 Part1066 Subpart C
　　ECE N0.83
・ローラー：4輪駆動用、48インチシングル（1219.2 mm）
・MaxSpeed：200 km/h
・車両固縛装置：チェーン固定式、ロッド型固定式
・エンジン冷却ファン：車速追従及び固定風速
・風量／ 風速：75000 m^3/h/150 km/h
・タイヤ冷却ファン：可動式、風量：3500 m^3/h

3.3 圧力吸収型SHED装置（V－T SHED）

HSLやDBLの評価のための設備。

密閉した部屋の中に車両や部品を入れ、内部を温調し供試物からのエバポ排出量を評価する。例えばEPAでは22.2℃→35.6℃→22.2℃を24hのサイクルで温調する。また、密閉箱で温度変化させると、箱の内圧が変化してしまうが、V－T SHEDは体積を吸収するバッグを備え、内圧が変化しないようになっている。（法規要件で定められている）

また、減圧環境下で使用するため、試験中に急激な圧力変化が生じた場合でもSHEDを守るリリーフ弁を設定している。

3.3.1 基本仕様

・対応試験法：EPA、CARBのエバポHSL&DBL&ORVR試験法対応、ECE&JAPANのエバポHSL&DBL試験法対応
・寸法：外寸：3400 mm（W）× 6450 mm（D）× 3050 mm（H）

4. 高地環境再現結果

4.1 吸入管負圧

図４に各試験（SKC低地、高地及び米国高地ラボ）における吸入管負圧（相対圧）の差異を示す。車両は2.5LのNAエンジンの車両であり、モード走行時における吸入管負圧を示している。本結果においても、SKCの高地条件における試験結果は米国高地ラボ同様の吸入管負圧であることを確認できた。

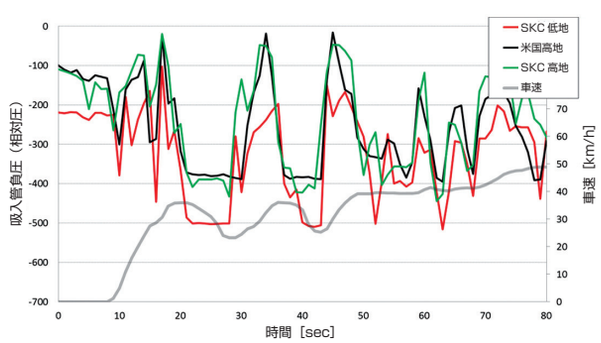


図４　モード走行における吸入管負圧

4.2 エバポ発生量

図５に各試験（SKC低地、高地及び米国高地ラボ）におけるDBL試験時のエバポ発生量の差異を示す。

SKCでの低地試験に対し、大気圧が低い米国高地

ラボ試験時のエバポ発生量は増加している。今回、SKCの高地条件における試験でも米国高地ラボと同等の発生量増加を確認できた。

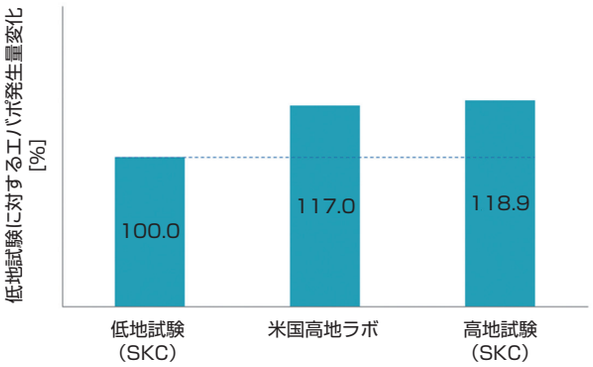


図５　低地に対するDBL試験時のエバポ発生量変化

以上のことからSKC減圧環境エバポ試験室は米国の高地ラボと同一の環境の再現を確認できたため、今後の開発において、開発初期から高地環境を踏まえた検討が実施できるようになった。

5.　おわりに、今後の活用

SKC減圧環境エバポ試験室は、高地環境を再現でき且つエバポ試験が実施できる試験室であるが、それ以外にも、CDM室は高温、低温の室温制御や日射装置があり、空調関係の試験など、様々な試験を実施することができる（**図6**）。

図６　CDM室の日射装置

また、CDM室とSHED室は独立して空調制御可能なため、SHED室で高地条件のエバポ試験を進めながら、CDM室では他の試験を実施するといった、効率的な運用を行い、社内の開発試験に幅広く活用していく。

【著　者】

鈴木　康史

竹村　聡浩

森　　智一

車両運動性能の質感向上に向けたアルミホイールCAE技術の開発

Development of Aluminum W heel CAE Technology for Improving Vehicle Dynamics Performance

寺崎　創[*1]　Hajime TERASAKI
前田凌雅[*1]　Ryoga MAEDA

抄　録

ホイールが、操舵初期の車両応答性に影響することは広く知られているが、車両性能への要求が高まる中で、従来の剛性解析では実車の傾向を捉え切れなくなっている。本報では、さらなる車両運動性能の質感向上を目的に、タイヤ＋ホイール状態での静剛性試験、及びCAEによる再現に取り組んだ。

Abstract

It is well-known that the performance of wheels influences vehicle response to minute steering inputs. However, our stiffness analysis cannot catch such vehicle performance fully, while demands for higher vehicle performance grow increasingly. In this report, we conducted static stiffness tests under tire and wheel combined condition and simulated the condition with CAE in order to make vehicle performance better.

1. まえがき

一般道での走行環境下においては、車両は舵角5度以下で使われる時間が8割近くを占め、この領域での操舵に対する車両応答の遅れを小さくすることが、直進性や操舵感の動的質感向上に繋がると考え、研究に取り組んでいる。アルミホイールと車両応答性の関係については、従来より研究が行なわれており、剛性に関する定性的な知見は広く知られているが、それを定量的に解明した研究、報告例は少なく[(1)]、本報の研究はこの分野を進める上での一助になると考える。

社内では効率的な開発を推進するため、ホイール剛性に着目したCAEを行なっているが、従来はホイール単品を路面と剛結で繋ぎ、入力を与える簡易的な剛性解析であり、CAEの指標で車両応答遅れの傾向が捉え切れず課題である。原因として、ホイールへの入力再現や、変形のメカニズム分析が不十分と考え、タイヤを介して荷重を負荷し、微細な変形を評価する手法に取組んだ。初めに、静剛性試験にてホイールの変形モードを把握し、車両応答性と関係する変形の特徴を定量的に掴んだ。その上でそれをタイヤ＋ホイール状態のCAEにて再現したので紹介する。

2. ホイール変形の考え方

ホイールはタイヤからの入力を受けて弾性変形するため、車両運動性能において大きなファクターを占めるタイヤの変形の考え方が、ホイールへも適用出来ると考えた。一般的に、横ばね定数が高いタイヤの方が、車両応答遅れは小さい[(2)]。また、タイヤ性能を引き出すためには、路面による垂直荷重変動下にあっても、できる限り正立に近い状態で接地させることが良いと考えられている。そのため、ホイールとしても横力に対するホイール剛性、及び正立状態の保持は車両の応答性にも影響を与えていると考える。

上記の考えから、ホイールの変形は意匠面の倒れに着目した。**図1**に示す様に、タイヤからの入力に対してホイール意匠の上端(a)、下端(b)のY方向の変位から面倒れ角度、またそれをタイヤの横力入力で除する事で面倒れ剛性を算出する。

＊ シャシー設計部

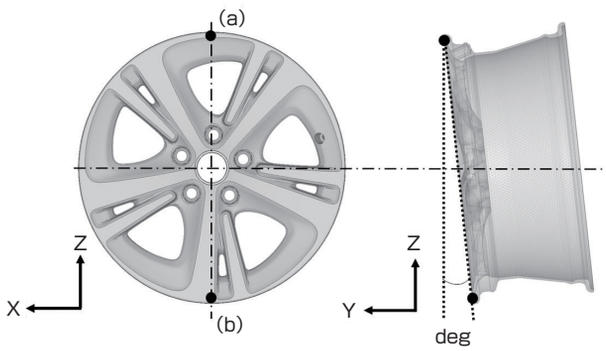


図１　ホイールの変位計測点

3.　ホイール仕様

本報では意匠、及びリムの形状が異なる３仕様のホイールで検証した(表１)。車両応答性の実車評価は、同一仕様のホイールを４輪に装着し、一定車速からのランプ入力で、操舵角に対する車両横向き加速度の応答遅れ時間を確認した。遅れの小さい順に、ホイール(A)、(B)、(C)とする。また、条件を揃えるため、タイヤは同一のサイズ、銘柄、生産ロットの品物を使用している。

表１　ホイール仕様一覧

ホイール仕様	(A)	(B)	(C)
サイズ	17 × 7J		
P.C.D.	114.3		
インセット	55		
適合タイヤサイズ	215/50R17		
操舵に対する車両横向き加速度の応答遅れ	←→ 小さい		大きい

4.　静剛性試験

4.1　試験概要

ホイールの変形モードを精度良く捉えるため、車両からタイヤ＋ホイール単位に切り離し、静剛性試験を実施した。図２に試験の外観を示す。

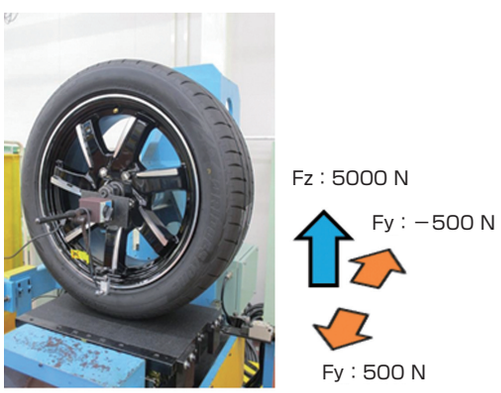


図２　静剛性試験外観

試験機はタイヤと接する荷重テーブルが垂直、水平に作動出来る機構であり、荷重で制御している。拘束はホイールのナット５ヶ所を、治具にボルトで締付け固定した。変位計測にはリニアゲージを使い、ホイール意匠面にゲージ先端を当て、図１(a)(b)上下端の変位を測った。

4.2　試験条件

試験条件を表２に示す。垂直荷重は車両１輪の輪重相当とし、横力は操舵初期領域の旋回の内外輪を想定した荷重として、接地点に±500 Nを負荷した。変位は、それぞれの荷重負荷条件下で、図１(a)、(b)のY変位を計測し、面倒れ角に換算した。

表２　試験条件

垂直荷重 [Fz]	5000 N
横力 [Fy]	± 500 N (垂直荷重は保持)
空気圧	240 kPa
イニシャルキャンバ角度	0 度

4.3　横力に対する面倒れ角度

横軸にタイヤ横力、縦軸に意匠の「面倒れ角度」をとり、整理したものを図３に示す。接地状態(タイヤ横力無負荷)から横力負荷までの意匠面の角度変化を「面倒れ剛性」と定義すると、グラフの傾きが面倒れ剛性を示すが、今回の操舵初期領域の範囲内では(A)～(C)で有意差が見られず、この差と応答性との相関は見出し難い。

一方、赤枠で示した接地状態での面倒れ角度には、(A)が(B)、(C)に対して約10%小さく、(A)の優位性が表れている。これをより分かり易くするため、操舵初期領域における応答遅れと面倒れ角度の関係に置き直したものを次項に示す。

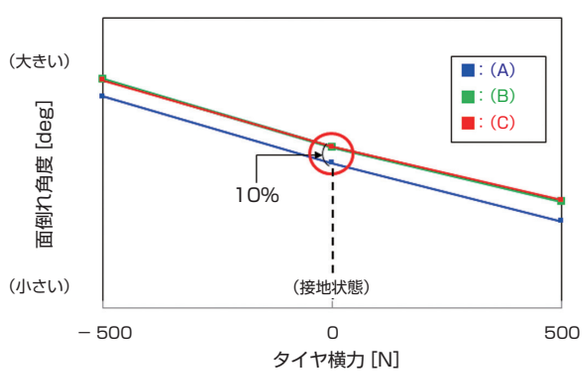


図３　タイヤ横力に対する面倒れ角度比較

4.4　応答遅れと面倒れ角度

横軸に車両横向き加速度の応答遅れ、縦軸に面倒れ角度をとったグラフを図４に示す。応答遅れの小さ

かった（A）は接地状態、横力負荷時共に面倒れ角度が最も小さい。また、同一入力（破線内）の線形近似をみると傾きaは0.11 ～ 0.15の正数となり、面倒れ角度が大きくなるに連れて、応答遅れも大きくなる傾向が見られた。

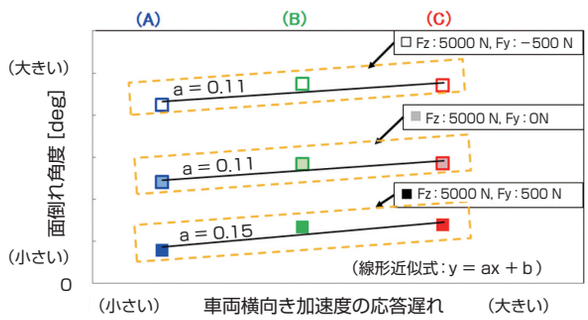


図４　面倒れ角度試験結果

図4から、面倒れ角度の絶対値と応答遅れの間に、線形の相関性があることを示せた。このことから、操舵初期領域の範囲内では、タイヤ横力による面倒れ剛性よりも、接地状態時の正立保持の方が応答遅れへの影響が大きいと考える。

5.　CAEを用いた静剛性解析

4項の結果を製品設計に活かせる様にするため、CAEによる現象再現の技術構築に取り組んだ。

5.1　従来解析の結果

図5にホイール単品による、従来の解析結果を示す。尚、結果の示し方は図4に則り、横軸に車両横向き加速度の応答遅れ、縦軸に面倒れ角度のグラフとする。紫破線のように、Fy = − 500 Nの入力では傾きが負となっていることから、従来手法では今回着目していた面倒れ角度と応答遅れの関係性は再現できなかった。

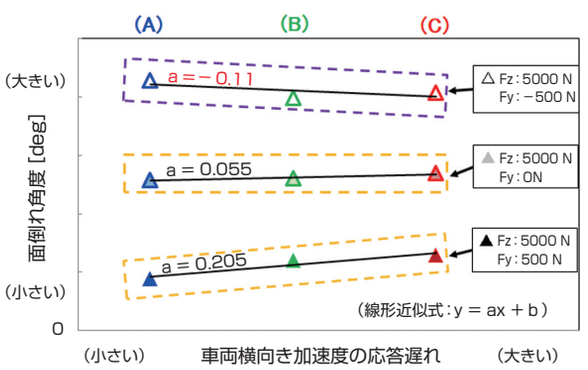


図５　従来手法の面倒れ角度解析結果

5.2　タイヤを考慮したCAEモデルと解析条件

試験結果を再現するためにはホイールへの入力をより正確に再現する必要があると考え、タイヤを考慮したCAEモデルの構築に取組んだ。図6にタイヤ＋ホイールのCAEモデルを示す。荷重テーブルの材質は剛体とし、拘束はロータ取り付け面、及びナット周りを完全拘束とした。解析条件は表2の試験条件を反映する。

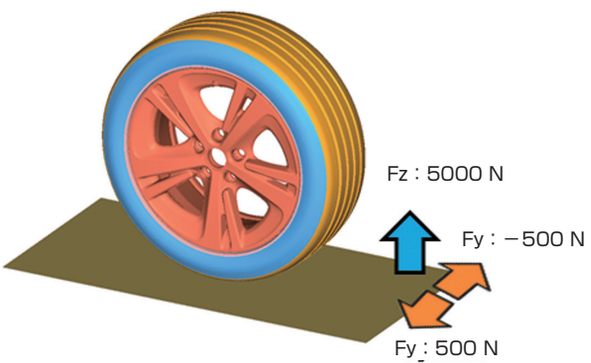


図６　タイヤ＋ホイール CAE モデル

5.3　解析結果

解析結果を図7に示す。どの入力条件においても（A）の面倒れ角度が最も小さく、同一入力（破線内）の線形近似で比較しても、傾きaは0.093 ～ 0.11の正数となり、試験結果の傾向が再現できた。

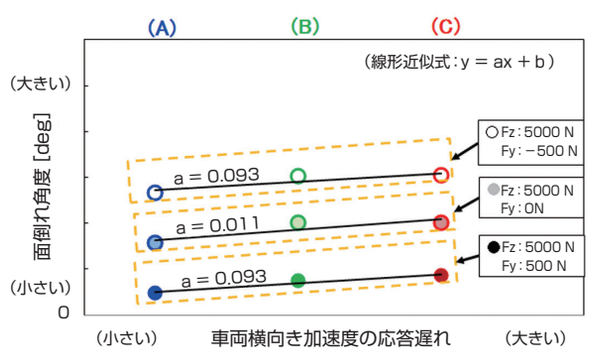


図７　タイヤ＋ホイール状態の面倒れ角度解析結果

5.4　試験結果との比較

最後に試験と解析を重ねたグラフを図8に示す。入力別に各仕様の平均をとると、解析はロータ取付面とナット穴周りを完全拘束している影響で変形は抑えられる傾向にあり、17 ～ 27%面倒れ角度が小さいが、試験の特徴は再現出来ており、この差を考慮すれば実践で使えるレベルだと考える。

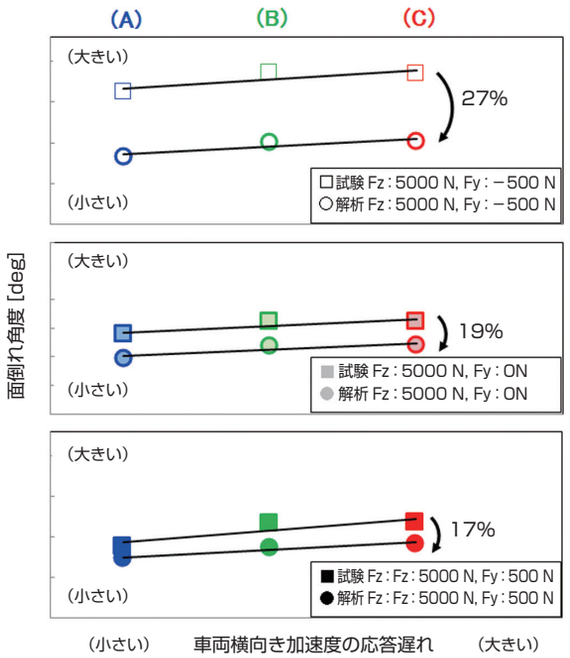


図８　試験結果と解析結果重ね合わせ

6.　まとめ

操舵初期の応答性の異なる3つのホイールで、意匠の面倒れ角度に着目した静剛性試験を行った。その結果、微小な横力範囲内では意匠面の剛性よりも面倒れ角度の絶対値が小さい程、応答遅れも小さい傾向である事が分かった。また、タイヤを介して荷重を負荷した静剛性解析により、試験で得られた特徴を精度良く再現する事が出来た。今後は、今回分かった事を踏まえて、CAE技術も活用しながら検証を重ね、より良いホイール形状の検討を進めていく。

7.　謝辞

本論文を作成するに当たり、静剛性試験にご協力頂きました中央精機株式会社の関係者の皆様に感謝の意を表します。大変有難う御座いました。

参考文献

(1) 平野　敦史：ホイール剛性がタイヤ動特性および操縦安定性に及ぼす影響，自動車技術会学術講演会前刷集，No.20175158（2017春季大会）
(2) 株式会社ブリヂストン：自動車用タイヤの基礎と実際

【著　者】

寺崎　　創

前田　凌雅

SIエンジンにおける燃費・排ガス性能向上のための ガス流動と混合気形成の要素開発

In-Cylinder Phenomena Development Processes for Improvement of SI Engine Potential

中山 智裕[*1] Tomohiro NAKAYAMA
加藤 真亮[*1] Masaaki KATO
武藤 涼[*1] Ryo MUTO
山口 暁[*1] Satoru YAMAGUCHI
浜崎 敬介[*2] Keisuke HAMASAKI
木村 翔平[*2] Shohei KIMURA
吉本 雄亮[*2] Yusuke YOSHIMOTO

抄 録

可視化計測や単気筒エンジンによる要素開発を活用しさらなるガス流動の制御、改良型ステップ付きピストンの評価を行い燃費・排ガス性能向上を実現した。本報では、その燃費・排ガス各々について物理諸量の把握と制御方法を紹介する。

燃費開発には希釈燃焼向けに、さらなるタンブル流の改善を行った。開発目標とした指標を満たすガス流動を用い、発火試験を行い、燃費性能を計測した。排ガス性能向上については、触媒暖機時のステップ付きピストンによる混合気形成に着目し、発火試験と混合気分布計測を用い現象を紐づけた。これにより制御の変更のみで各国法規への対応可能性を示した。

Abstract

An agile engine development process with single cylinder engine which has phenomena closely related to 4 cylinder engine has been implemented. This process includes enhancement of gas flow and stepped piston top. In this study, measurement and control methods for in-cylinder phenomena are introduced.

It is shown that meeting the standardized flow characteristics target makes it possible to improve the thermal efficiency and the stability of lean and diluted combustion limits. Fuel mixture formation with stepped pistons and exhaust gas emissions are correlated.

1. まえがき

パリ協定における我が国の国際約束目標に対し、自動車企業には各国法規の順守に加え、社会的貢献として“well below 2℃”の実現へ対応する技術開発が求められている。これらの社会環境の要望に加え魅力ある商品を市場に提供するべく、これまで水平対向エンジンの熱効率改善に取り組んできた[(1)]。熱効率向上の主な手段として、大量EGR燃焼コンセプトを適用し、TGV（Tumble Generation Valve）によるタンブル流強化を行ってきた[(2)]。タンブル流による燃焼効率改善に関する研究は数多く行われており、近年ではそのフローパターンが希薄・希釈燃焼に与える影響が調査・報告されている[(3)(4)]。本研究では、そのフローパターンに着目し、LDV（Laser Doppler Velocimetry）の多点計測により燃焼室を通過するタンブル流の流速分布を把握し、そこから幾何旋回距離から算出される流速と比較する事でタンブル流の質を評価する手法を開発した。そして新たに設定したタンブルの質を含むガス流動要件に基づき発火単気筒エンジンを試作し、燃費試験を行った。また排ガス性能の改善には、特に触媒暖機時の混合気形成に着目し、ガス流動制御に加えステップ付きピストンを用いることで混合気形成を制御する事で各国法規対応を行った。

また、これらの要素技術開発は既報の単気筒エンジンを用いたエンジン開発プロセス[(5)]を適用し、アジャイル型の要素開発とする事で最低限の資源で実践された。これらの要素開発成果は標準化を行う事で同じ時間軸の中で並行して進められるV字プロセス型量産開発にフィードバックし、検証を行う事で立ち戻りを最低限にした開発体制を構築した。

＊1 エンジン性能開発部
＊2 電動ユニット研究実験部

2. 供試エンジン

燃費・排ガス性能の向上に向けて、水平対向エンジンはストロークボア比や、排気レイアウトなどの観点で、独自の技術アプローチが必要になる。ガス流動改善を起点とした希釈・希薄燃焼限界向上による熱効率最大化に取り組んだ。その中で、筒内流動に関する物理要件と設計要件を明らかにし、指標化することを目指した。同時に、ステップを有するピストンを用いた場合の燃焼安定性と排ガス、混合気形成の紐付を行った。

表1に供試したエンジンの諸元を示す。量産FB20エンジンをベースとし、ピストンや吸気ポートなどに燃費・排ガス性能向上に必要な要素技術を投入した仕様となっている。**図1**に供試した可視化単気筒エンジンを、**図2**に流動制御用のTGVシステムを示す。TGVは流路切り替えバルブと吸気ポート内に設置される隔壁で構成される。可視化・発火単気筒エンジンは既報の燃焼開発プロセス[5]に基づき、**表2**に示す手法を導入し、4気筒エンジン相当の脈動や内部EGRを再現可能な仕様とした。

表1　供試エンジン諸元

Bore × Stroke [mm]	Φ 84 × 90
Compression ratio ε [−]	12.0 ～ 16.0
Valve layout	DOHC 4 valves
Piston	Wall + Air guide concept
Intake system	Mass production port + TGV
Fuel injection	DI
Ignition system	Mass production, High energy with multi coil and current wave controlled 250 mJ

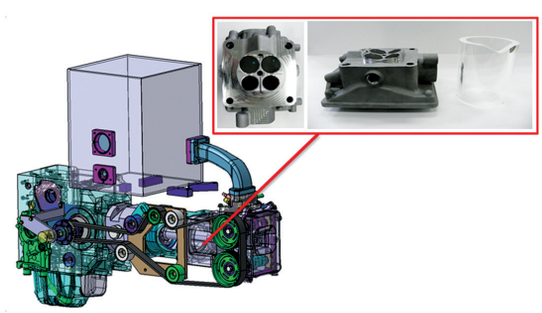


図1　可視化エンジン

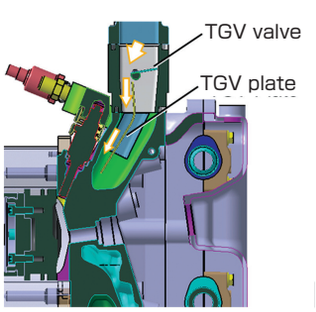


図2　TGVシステム

表2　単気筒開発プロセスに投入した手法

Main Different Phenomena	Solutions
Cooling	Segment cooling system
Internal EGR	Adjustable Exhaust Chamber and pipe length systems
Intake Pressure Drop	Intake Chamber
Intake Pulsation	Attachable resonator
Engine Speed Fluctuation	Large Moment Flywheel
After Burning	Fast FID Measurement

3. 燃費性能開発

3.1　乱れ強さと有効開口面積

図3に過去の機種を含め、様々な諸元の可視化エンジンにてLDVを用いて計測された、ボア半径(∝最大火炎伝播距離)で標準化した乱れ強さとEGR限界の関係を示す。EGR率の限界は、既存の希釈率範囲内においては、標準化した乱れ強さにほぼ比例する。したがって燃費目標値から算出される目標EGR率とボア径から、燃焼安定性を維持するために必要となる乱れ強さが算出される。

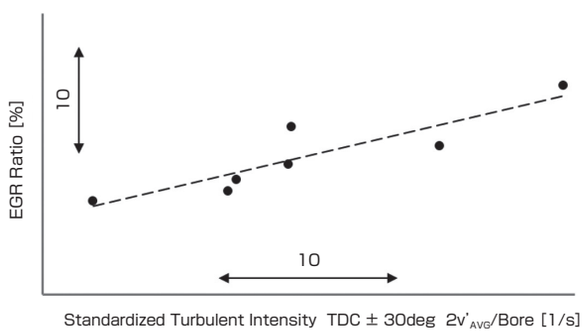


図3　EGR限界と標準化した乱れ強さ

次に、乱れ強さと有効開口面積の関係を示す。**図4**に実測された圧縮TDC ± 30 deg.期間の平均乱れ強さv'_{AVG}と有効開口面積μFの関係を示す。目標出力から求まる吸気系の有効開口面積と、出力域での要求燃焼速度から算出される目標乱れ強さを満たす領域が(A)。燃費域においてボア半径と要求希釈率から算出される目標乱れ強さと、後述する最良モード燃費をとるTGV閉のカバー領域から算出される目標有効開口面積により定まる領域が(B)。そして、ポートのみで両性能を実現しようとした際に、これらの両立が成立する領域が(C)となる。**図3**のトレードオフの関係から領域(C)の実現にはボア縮小による要求乱れ強さの低減と、吸気バルブ傘径縮小を補うためのロングストローク化による流動強化が同時に必要となる。一方でTGVによるガス流動の可変制御を用いることで(A)出力と(B)燃費目標の成立可能範囲を広くとれることが分かる。

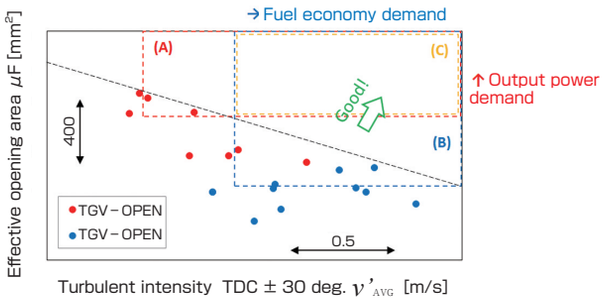


図４　有効開口面積と乱れ強さ

3.2　有効開口面積と燃費性能

次に車両燃費とTGVの有効開口面積の関係性について述べる。**図５**に実機で計測された有効開口面積の異なるTGV閉の実車制御上でのカバー領域を示す。この領域は燃費とデバイス制約上から決められている。その中から2000 rpmにて有効開口面積を変えたエンジンで計測したBMEPとBSFCの関係を**図６**に示す。**図５**で示されるように有効開口面積によってTGV閉のカバー領域が異なる。**図６**で2000 rpmに着目すると有効開口面積238 mm^2のTGVを用いた場合、BMEP 630 kPa付近で最良BSFCをとり、その後750 kPaを超えたあたりから吸入空気量の不足と、ノック耐力の低下により効率が悪化し TGV開の方が効率は良くなる。一方で有効開口面積416 mm^2のTGVを用いると、タンブル比TR（Tumble Ratio）と乱れ強さの低下によりBMEP 500 kPaまでの低負荷燃費はむしろ悪化するが、最良BSFCはBMEP 700 kPaの高負荷側へシフトし、最良BSFCで見ると13 g/kWhの改善が見られる。車両燃費改善にはTR、乱れ強さだけでなくエンジン使用領域に合わせたTGV閉の有効開口面積が重要である事が分かる。内燃機関だけで走行する場合、走行中の使用頻度を考慮し低負荷から高負荷までを通してトータルで最も高い効率が得られる有効開口面積設計が必要になる。一方、HEV車では低負荷は内燃機関使用率が低いため、その分TGV閉の開口面積を広げ高負荷側で燃費の目玉領域に合わせた最大熱効率改善を行う。このように機種と仕様毎に異なる設計思想に基づき、TGV閉の有効開口面積が算出される。

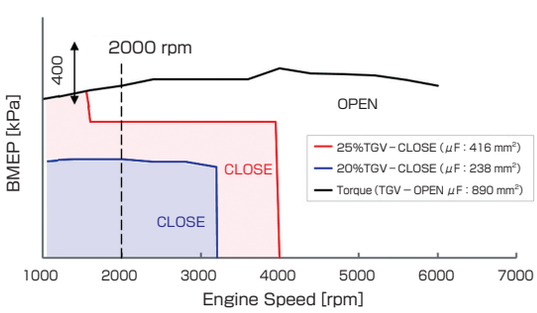


図５　TGV制御マップ

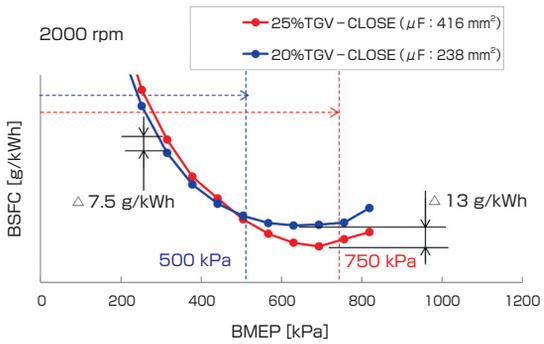


図６　有効開口面積とBSFC

3.3　タンブル流の質

前述の**図２**のような乱れ強さの強化にはタンブル流の強化が用いられる。 **図７**に可視化エンジンにてPIV（Particle Image Velocimetry）とLDVで計測したTRと乱れ強さの関係を示す。おおよそTRを大きくすると乱れ強さは大きくなるが、TRが強くなるほど、同一TRでも乱れ強さの分散が大きくなる。

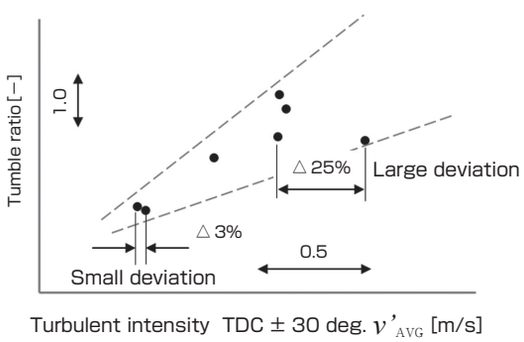


図７　乱れ強さとタンブル比

過去研究[3]よりこの傾向は流動のフローパターンに起因する事が示されており、初期の燃焼安定性との紐付も行われている[4]。

そこで、高流動場におけるタンブル流の質に着目しフローパターンによって乱流特性がどのように変化するか調査した。 **図８**に供試したTGV隔壁の仕様を示す。隔壁下端部の隙間の有無が相違点となる。これらの隔壁を用い有効開口面積をほぼ同一としPIVにより計測されたボア断面でのフローパターンを**図９**に示す。

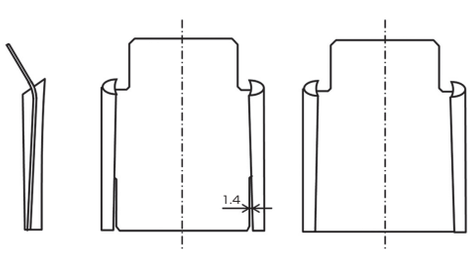
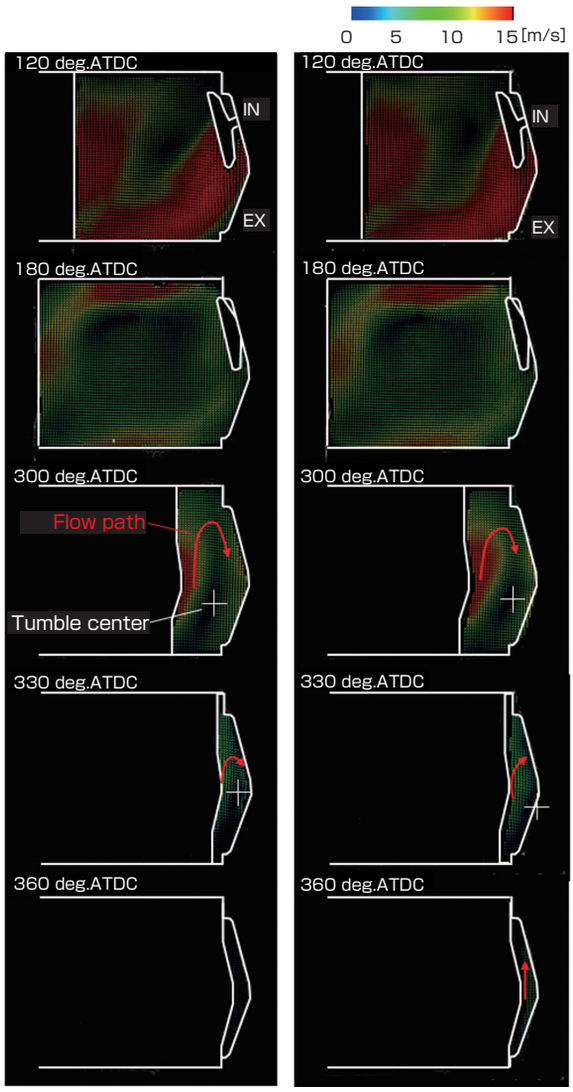


図８　供試TGV隔壁



(a) TGV Case-A (b) TGV Case-B

図９　フローパターンとタンブルの質

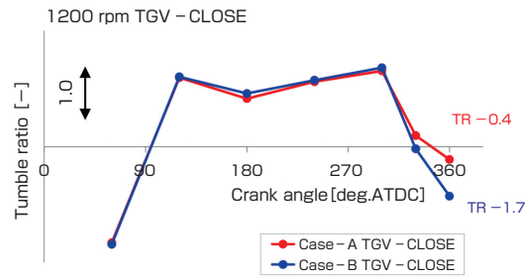


図 10　タンブル比

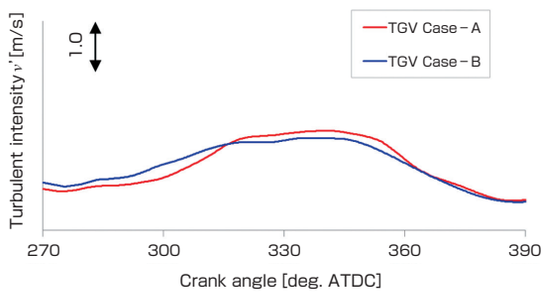


図 11　乱れ強さ

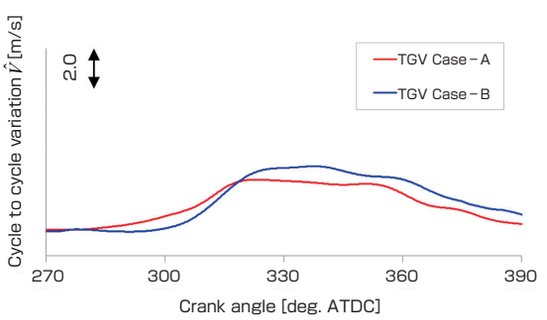


図 12　サイクル変動

以降クランク角度の表記は吸気TDCを原点する。これを見るとCase－A、Case－B共に吸気行程からBDCにかけてタンブル中心は明確でなく、この断面での流速分布の違いも明確とは言えない。一方で圧縮行程後半になると、タンブル流を構成する流れに僅かに違いが生じ始める。**図９(a)**のCase－Aではタンブル流が圧縮TDCまで、明確に旋回中心を保ちつつ減衰するのに対し、**図９(b)**のCase－Bでは330 deg.において旋回中心は燃焼室壁面排気側へ移動し、圧縮TDCでは排気から吸気方向の2次流れとなって残存する。この差異を定量的に見るために、**図10**にボア中心断面の PIV結果より算出されたTR時系列変化を示す。同様にCase－AとCase－Bを比較すると、吸気行程ATDC 0 deg.から300 deg.まではTRの差は小さい。しかし､圧縮行程のADTC 300 deg.からTDCにかけて、Case－Bではタンブル流が消散し切らずTRが－1.7となっているのに対し、Case－Aでは圧縮TDCでTR－0.4と綺麗にタンブル流が消散していることが分かる。

次に、点火プラグギャップ部でLDVにより計測した圧縮行程後半の乱流特性を示す。カットオフ周波数[(2)]により平均流速 $\overline{v}$、乱れ強さ v'、サイクル変動 $\hat{v}$ を分離した。**図11**の乱れ強さの傾向を見ると、タンブルの崩壊直前のATDC 320 deg.まではCase－Bが Case－Aに比較して大きいのに対し、燃焼に影響する圧縮TDC ± 30 deg.においてはCase－Aの方が乱れ強さが大きい。

一方で**図12**に示されるサイクル変動は逆の傾向を示し、同TDC ± 30 deg.においてはCase－Bの方がサイクル変動は大きくなる。このようにタンブルの質は、圧縮行程後半の乱れの生成とサイクル変動にも影響する。タンブルの質を制御する事が着火・燃焼安定性と火炎伝播の観点で希薄・希釈燃焼の限界向上に対し有効な手段であると考えられる。

3.4　LDV多点計測を用いたタンブル流の質評価

エンジン開発に上記知見を導入し、燃焼室内でLDV多点計測をする事で、通過するタンブル流の主

流流速の分布を把握し、タンブルの質を評価する手法を開発した。図7のTRと乱れ強さの関係の中で、2次流れを生じずにタンブルが崩壊し乱れの生成効率が良いフローパターンを解析すると、図13に示すように、タンブルの強さによって2つのフローパターン(①、②)がある事が分かった。

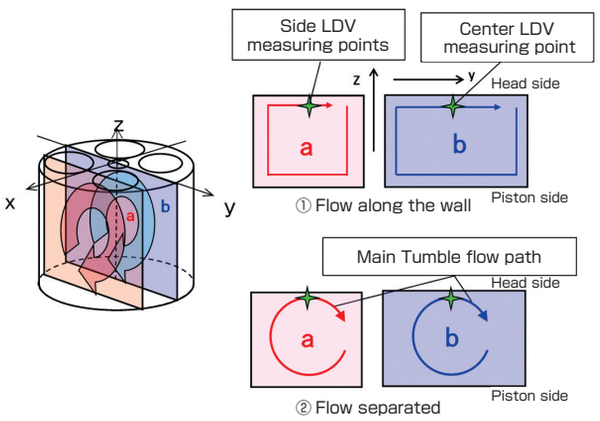


図 13　タンブル流のフローパターン

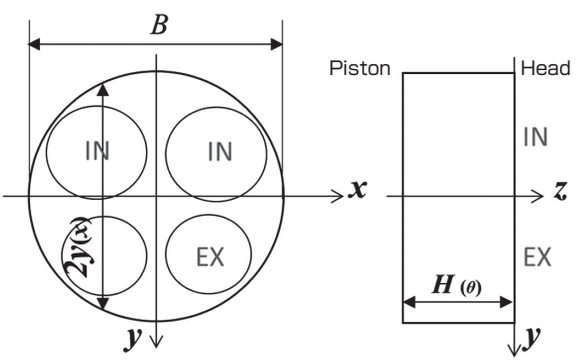


図 14　燃焼室概寸

まず、図13の流れのうち①のように壁面から剥離せず理想的なタンブル流が形成される場合を考える。タンブルの旋回中心がシリンダ幾何中心と仮定しその流動が壁面に沿う流れだとすると、x座標ごとにyz断面内の流体塊の旋回距離は異なる。この場合x軸上においては、タンブル流の旋回距離に比例した速度分布に近ければ、各断面での旋回角速度が揃うため、タンブル旋回中心軸が安定し、2次流れは最小限に抑えられると考えられる。この時、図14に示すように各x座標における$y(x)$は

$$y_{(x)} = \sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 - x^2}$$

で表され、ボア断面周長さ$L(x,\theta)$は、クランク角度θ、ボア径B、連接棒長さl、クランク半径rとピストン位置$H(\theta)$で以下のように表され

$$L_{(x,\theta)} = 2\cdot 2y_{(x)} + 2H_{(\theta)} = 2\cdot 2\sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 - x^2} + 2r\left\{1-\cos\theta + 4\frac{r}{l}(1-\cos 2\theta)\right\}$$

タンブル流が燃焼室内を旋回する代表時間をaと仮定すると、

$$\bar{V}_{(x,\theta)} = \frac{L_{(x,\theta)}}{a}$$

で理想とするタンブル流のx方向流速分布が得られる。次に図13のうち、②のようにさらにタンブルを強化し燃焼室壁面から剥離した剛体渦を形成する場合を考える。燃焼室形状によらず、壁面から剥離した流れを形成した場合、は燃焼室代表長さ により旋回直径が定まるため、

$$L_{(x,\theta)} = \pi H_{(\theta)}$$

となり速度分布は

$$\bar{V}_{(x,\theta)} = \frac{\pi H_{(\theta)}}{a}$$

で表され、θだけの関数となり燃焼室内の壁面付近を除いた速度分布はほぼ一定に近い事が理想的となる。以上より、得られる2パターンの理想的な速度分布を図15に示す。

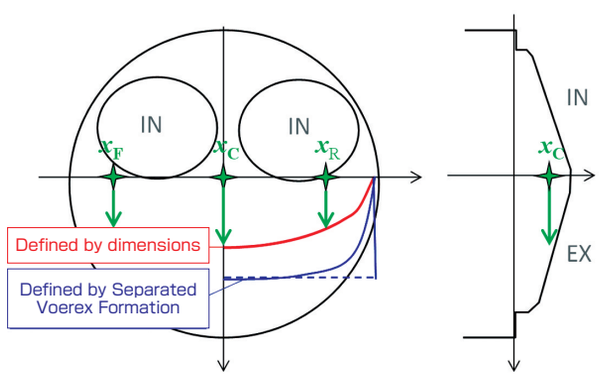


図 15　理想とするタンブル主流流速分布

剥離しない場合の流速分布に計測位置、燃焼室形状などの影響補正係数βを加味した値を下限値、壁面付近から剥離した場合の速度分布を上限値とした。LDVを$x = x_c, x_F, x_R$の3点で計測する場合を例とすると、シリンダ中心に対するフロント・リヤの流速比は、各々次式で表される。

$$R_{TQ(x_F,\theta)} = \frac{V_{(x_F,\theta)}}{V_{(x_c,\theta)}} \qquad R_{TQ(x_R,\theta)} = \frac{V_{(x_R,\theta)}}{V_{(x_c,\theta)}}$$

この流速割合R_{TQ}が、上記幾何的に求めた二つの速度分布から算出されるR_{TQ}の上限と下限の範囲にあれば、タンブル流の幾何旋回中心は比較的直線的となり、タンブル崩壊過程でも2次流れを生じ辛くなると言える。その際の関係性は次式で表される。

$$\frac{L_{(x_F,\theta)}}{L_{(x_C,\theta)}} + \beta \le R_{TQ(x_F,\theta)} \le 1 \qquad \frac{L_{(x_R,\theta)}}{L_{(x_C,\theta)}} + \beta \le R_{TQ(x_R,\theta)} \le 1$$

指標を実機で確認するために図16に示すように燃焼室側方にも点火プラグ挿入型LDVプローブを設置し、フロント、リヤで流速の計測を行う。タンブル流の形成には吸気バルブ閉じ時期、燃焼室形状の影響があるため、それらの影響が十分小さくタンブルが崩壊する直前の310 deg.ATDCの流速分布を用いて評価を行った。これをLDV多点計測によるタンブルの質評価指標とした。

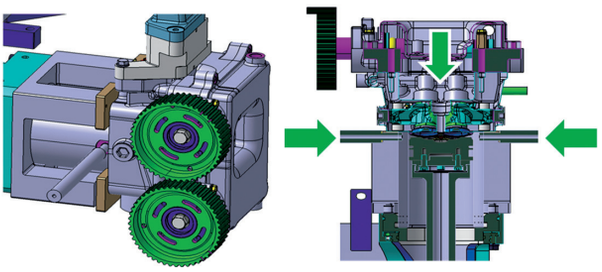


図16　LDV多点計測装置

3.5　LDV多点計測手法の検証

実際にタンブルの質要件がフローパターンを捉えられるかを検証するため、別の要素開発用エンジン燃焼室内でもLDV多点計測を実施した例を示す。LDV点火プラグギャップの平均流速を図17に示す。図9(a)に示したように圧縮TDCまでタンブル流が綺麗に減衰するCase－1、TDC前で流速が反転するCase－2に加え、圧縮行程中も点火プラグギャップ部で正流速が残存するCase－3を供試した。表3にLDV3点計測による310 deg.ATDCにおけるタンブルの質指標を示す。目標値(72≦RTQ≦100%)に入っているのはCase－1で、Case－2は目標レンジを上回り、Case－3では目標レンジを下回っている事が分かる。その後、圧縮TDCの時点で計測されたボア断面での流速分布を図18に示す。このクランク角度ではCase－1では境界層を除いて一律正流速分布となっており、2次流れが生じず減衰していく。Case－2ではボア中心で流速が反転しω方向に、Case－3では逆ω方向の二次流れを生じている。

同流動を用い1600 rpm IMEP(図示平均有効圧：Indicated Mean Effective Pressure)800 kPaにて発火試験を行った際のEGR限界を図19に示す。タンブルの質が良い流動の方が、同一の燃焼変動制約内でEGR限界が向上している。以上より、LDV多点計測とタンブルの質指標は、タンブルの減衰する過程を評価する指標として用いる事ができ、さらなるタンブル流の強化に際しそれを制御し、希薄・希釈燃焼限界向上に有効である事が分かった。

3.6　燃焼試験

発火単気筒でTGVにガス流動要件を適用した際の

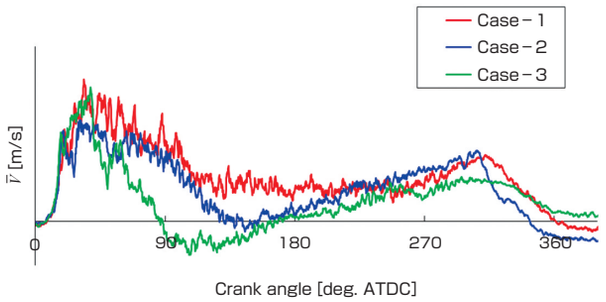


図17　点火プラグ部平均流速分布

表3　タンブルの質実測値

R_{TQ}		Case－1	Case－2	Case－3
72≦R_{TQ}≦100 [%]	Front $R_{TQ(x_f,\ \theta)}$	87.2	115	－2.2
	Rear $R_{TQ(x_r,\ \theta)}$	93.5	137	28.4
	Average	90.3	126	13.1

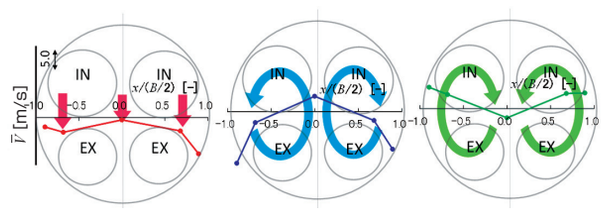


図18　圧縮TDCにおける2次流れの速度分布

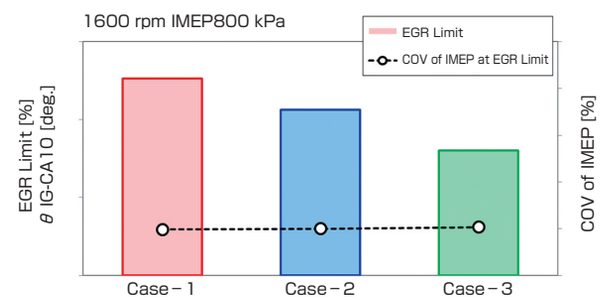


図19　フローパターンと燃焼

燃費ポテンシャルを確認するため燃費計測を実施した。まず、ガス流動作り込みに先行して実施した圧縮比振りの試験結果を図20に示す。運転領域は2000 rpm IMEP800 kPaとした。この結果から燃費ポテンシャル試験に供試する機関の圧縮比は13.5を選択した。その後表3に示す様にガス流動の開発指標を設定し、実験を元に最適な吸気系を設計した。排ガス性能に対しては後述のステップ付ピストンを適用し、希釈燃焼については各国排ガス規制に対応させている。

図21にガス流動の最適化に合わせ改良した点火系システムを用いた際のアーク挙動を示す。点火プラグ外側電極形状とギャップ間長を最適化し、放電特性を変え、投入エネルギ量を250 mJ投入した場合、図21に示す様にタンブル流のバルクの流れに乗ってアークが伸長する様子が捉えられた。

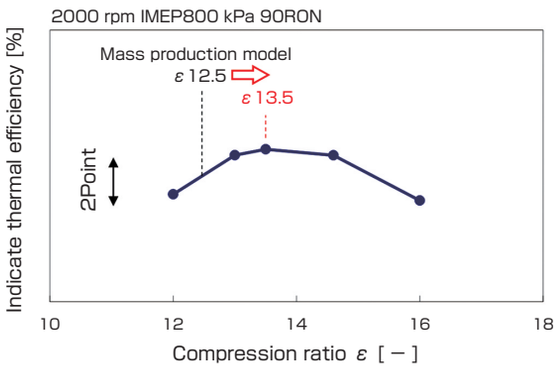
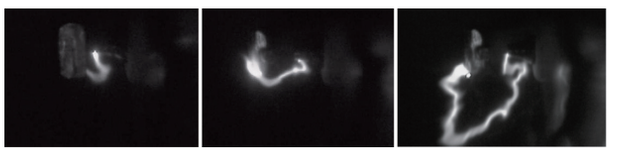


図 20　圧縮比と熱効率の関係



Plug：Normal
Plug Gap：0.8 mm
Coil ：Mass Production Turbo Base
Input Energy：70 mJ

Plug：Oval Ground Electrode + Tip（NGK）
Plug Gap：1 mm
Coil ：High Power
Input Energy：100 mJ

Plug：Oval Ground Electrode+ Tip（NGK）
Plug Gap：1 mm
Coil ：High Power 5-Units Multi
Input Energy：Current Wave controlled total 250 mJ

図 21　流動制御に合わせた点火系とアーク挙動

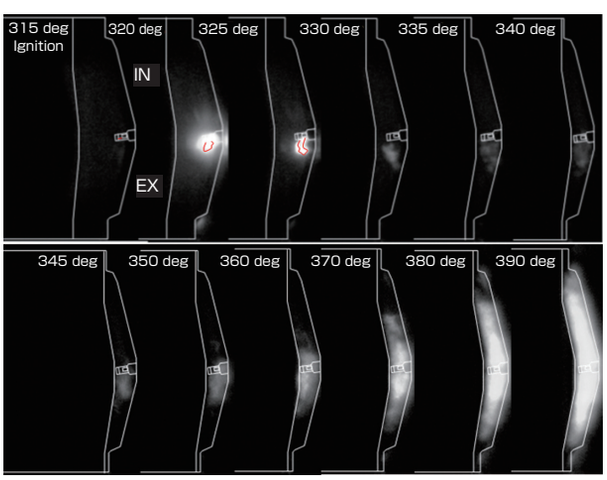


図 22　希薄燃焼における着火と火炎伝播

図22に可視化エンジンにて実施したλ1.6での火炎伝播挙動を示す。点火後に伸長したアーク経路上から初期火炎伝播し始める。その後、タンブル流によって旋回しつつ、その旋回中心付近に火炎が保持され、そこから火炎が成長する。TDC付近ではバルクの流れは弱まり、その後火炎伝播は均等に吸排方向へ伝播していく様子が見られる。上記の技術を投入し、製作されたエンジンにて計測された結果を図23に示す。ガス流動を最適化する事で、CPi2%以下の安定した燃焼を保ちつつ、図示熱効率はNA希釈燃焼で42.8%、過給希釈燃焼で43.1%。過給希薄燃焼条件ではλ1.82で安定した燃焼を実現し、図示熱効率45.7%が達成可能である事を確認した。

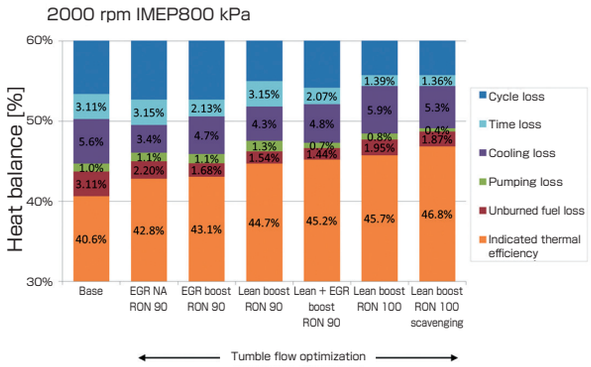


図 23　燃焼解析結果

4.　排ガス性能開発

4.1　ピストン冠面ステップ形状

水平対向エンジン特有の排気系の取り回しの中で触媒昇温性能を確保し、厳しくなる各国の排ガス規制に対応するため、前述の流動制御に加えサイドDIとステップ形状を有するピストンを用いた。これらを組み合わせる事で混合気形成を制御し、それぞれ最適な噴射制御を選ぶことで各国の異なる規制値に柔軟に対応する事が可能となっている。図24にピストン冠面のステップと、各噴射時期（Start of injection：SOI）から算出した噴霧が到達する時期における噴霧衝突予想箇所を示す。図24①で示されるように、圧縮行程前半の噴射時期ではステップに噴霧は干渉する事は無い。

一方、そこから噴射時期を遅角化させていくと、図24②で示すように330 deg.ATDC付近で5噴孔、340 deg.ATDCで6噴孔と衝突する噴霧ビームが保持されるステップ形状となっている事が分かる。また、ステップ形状で特徴的なのが、フロント・リヤ方向に噴霧衝突幅に合わせ最適化したステップ幅により混合気をボア中心軸上に集中して保持し点火プラグへ誘導する。この効果により最終段噴射量を最低限に抑えつつ、必要な領域のみ混合気を成層化し着火安定性を得ることが可能となっている。

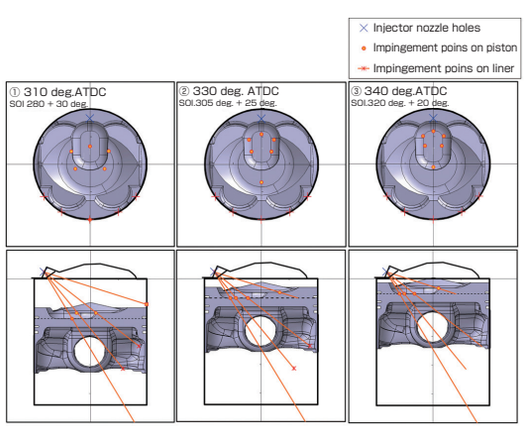


図 24　噴射時期と噴霧衝突位置

4.2　触媒暖機モードの噴射時期と排ガス特性

図25に、このステップを有するピストンを用い、触媒暖機モードにて、噴き分け率を7:3の2段噴射とし、2段目噴射時期を振った際の燃焼特性と排ガス性能を示す。運転条件は1700 rpm IMEP200 kPa点火時期373 deg.ATDCである。IMEPの標準偏差σPi見ると、2段目噴射時期が260 deg.ATDCと300 deg.ATDC付近で2つの最良点を取っている。これは前者がエアガイド化され均質に近い混合気に噴霧による流動効果が加わったもの、後者がウォールガイドによる点火プラグギャップ周辺への混合気成層化によるものであると考えられる。NOx排出量に着目すると、2段目噴射時期をリタードするほどNOx排出量は少なくなっていき、ウォールガイド領域にて北米排ガス規制の目標値達成が可能であることが分かる。これは同じ排気A/Fでも、点火プラグ周辺のみ局所成層リッチ化し相対的に周辺領域を弱リーン化する事で、燃焼時の混合気形成と燃焼温度がNOx生成領域から外れる事によると考えられる。次にSmokeの排出量に着目すると、圧縮行程前半での噴射の場合は、燃料の壁面付着の低減と均質度の改善により欧州規制の目標値を満足している。

一方で2段目噴射時期が300 deg.ATDC付近になるとSmokeが増加し始め北米規制目標のPM規制量に対しては十分な性能であるが、欧州規制目標は満足しない排出量の領域が存在する。最後に排気温度に着目すると、2段目噴射時期を遅角化していくほど排気温度は昇温され、触媒暖機時間短縮に有効である事が分かる。これらの結果から、NOxとSmokeと触媒暖機をバランスよく両立させる場合は305 deg.ATDCを超えて噴射リタードさせない範囲でのウォールガイド制御が有利となり、Smoke抑制に重点をおく場合はエアガイド制御が有利となることが分かった。

4.3　混合気形成の制御

前述の結果を踏まえて噴射制御を作りこんだ結果、最終的に、実車で北米規制と欧州規制を満足する制御値を見出した。図26に、それらの制御値を用い、可視化エンジンにてlaser Induced Fluorescence：LIFで計測された触媒暖機モード中の混合気形成を示す。

北米規制対応の制御では86 deg.ATDCに噴射された1段目が均質な混合気を形成し、その後305 deg.に噴射された燃料がピストンのステップにより保持され360～370 deg.ATDCにかけて点火プラグから吸気側にて、ややリッチな混合気を形成している事が分かる。欧州規制対応の噴射時期では、図25の特性を踏まえさらに燃料付着低減と均質度向上のため、さらに

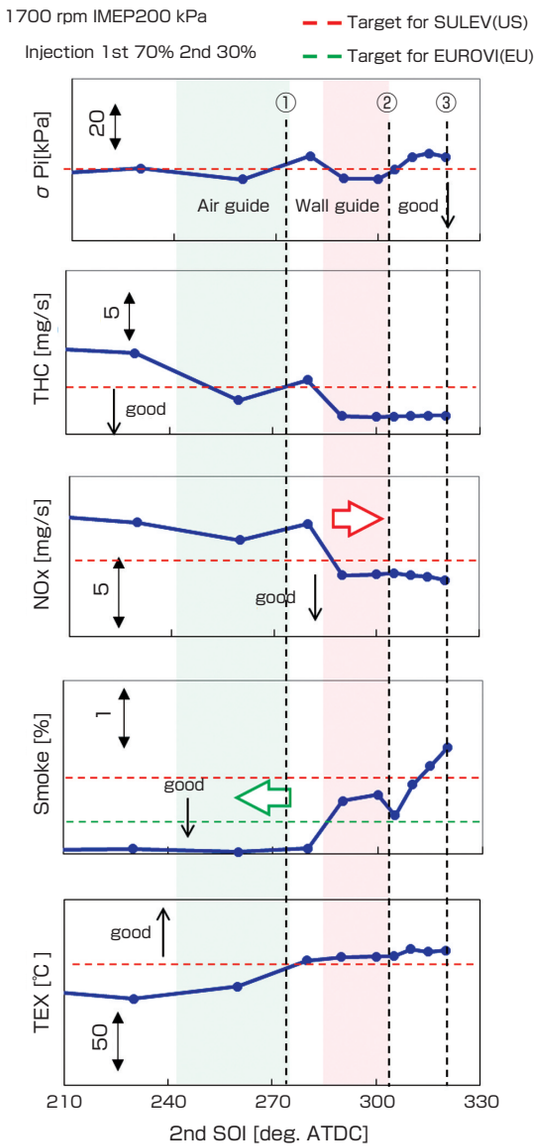


図25　2段目噴射時期振り排ガス特性

160、224、260 deg.ATDCの3段噴射を採用している。3段目噴射後、混合気はタンブルに乗って移流・拡散してゆき、圧縮上死点後の370 deg.付近ではほぼ均質な混合気が形成されている事が分かる。

図27に図26のLIF結果より算出した当量比と均質度の時系列変化を示す。当量比はプラグギャップ部5×5 mm範囲内の当量比の平均値を、均質度は燃焼室内の均質度[6]を算出している。図27(1)より点火時期の当量比を見ると、北米規制対応の噴射制御では成層化によりややリッチ、欧州規制対応の噴射制御ではややリーンであった。一方で図27(2)の均質度を見ると、欧州規制対応仕向けの三段噴射では330 deg.ATDC以降はほぼ均質であるが、北米規制対応の制御では成層化しているため、点火時期においても均質度は欧州規制対応の制御と比較して低い事が分かる。このようにして、最適化されたガス流動の中で噴射時

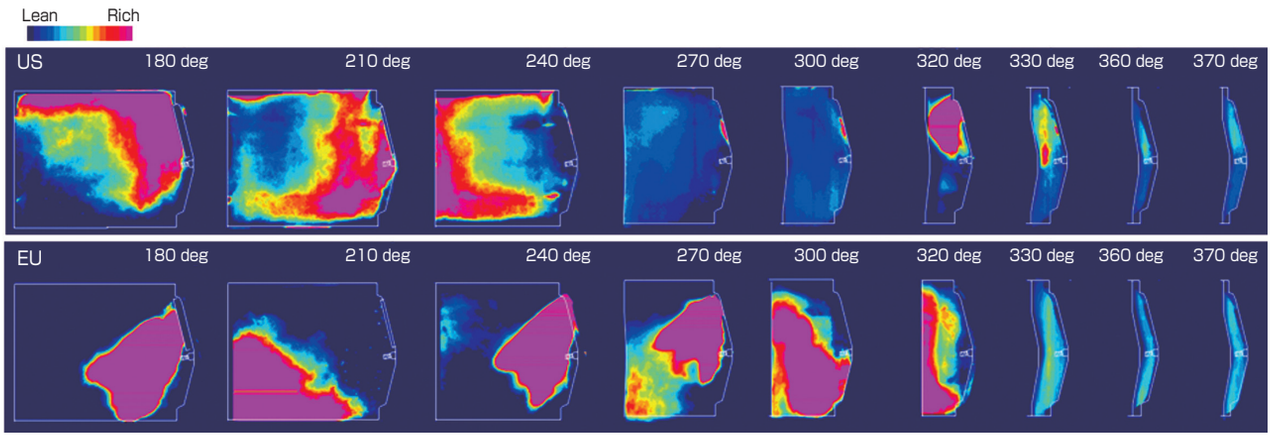
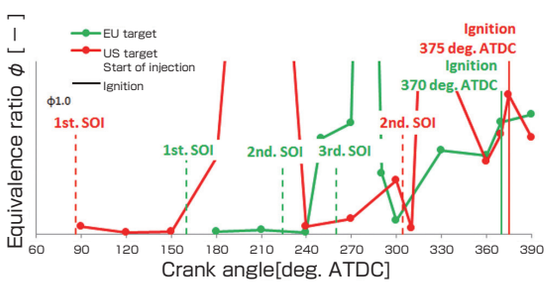
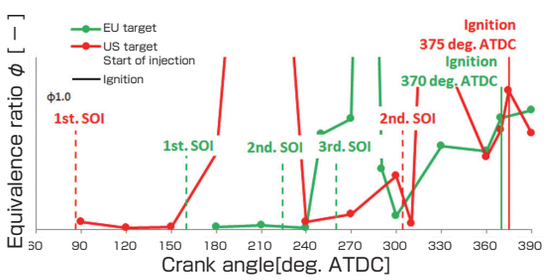


図 26　混合気形成



（1）プラグギャップ周り当量比



（2）燃焼室内の均質度

図 27　当量比と均質度

期とステップを用いることで、異なる混合気形成でそれぞれ異なる排ガス規制時の触媒暖機モードの制御に対応出来る事が分かった。

5.　まとめ

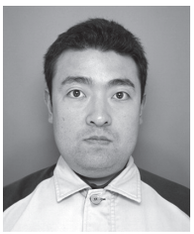
可視化・発火単気筒エンジンによる要素試験と標準化を用いた開発を行い下記知見を得た。

1. LDV の多点計測を用いることでタンブル流の質を評価可能にし、さらなるガス流動の強化と制御を可能とした。これより希薄・希釈燃焼限界の拡大と熱効率の向上を実現した。
2. 可視化エンジンを用いガス流動を計測し、タンブルの質を含むガス流動要件を構築した。TGV を用い、それらを満たす仕様により、量産水平対向エンジンと同じボアストロークにて燃費効果を確認し、λ 1.82で安定した燃焼を実現、図示熱効率は希薄過給燃焼において45.7% を実現した。
3. ステップ付きピストンを用いガス流動を最適化する事で、噴射時期の制御で異なる混合気形成を可能とし、制御のみの切り替えで各国排ガス法規に対応する触媒暖機時の排ガス性能を達成する事が出来る事が分かった。

参考文献

（1）石田礼ほか：新型水平対向2.0L直噴NAエンジンにおける燃焼設計，自動車技術会学術講演会講演予稿集，No. 70-17, p.1881-1886（2017）
（2）M.KANEKO, et.Al.：Tumble Generation Valve（TGV）control of in-cylinder bulk flow and its turbulence near spark plug in SI engine, SAE Paper, 2001-01-1306（2001）
（3）田岸竜太郎ほか：ガソリンエンジンの熱効率追求，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 121-14、p. 1-4（2014）
（4）大村哲生ほか：高タンブル化と燃焼変動抑制手法に関する影響，自動車技術会学術講演会講演予稿集，No. 59-16, p. 1431-1436（2016）
（5）山口暁ほか：単気筒エンジンの改良による開発プロセスの課題対応、自動車技術会講演会前刷集，No. 48-16, p. 1188-1192（2016）
（6）中山智裕ほか：LIF を用いた直噴エンジンの混合気分布とサイクル変動の解析，内燃機関シンポジウム講演論文集，No. 21, p. 401-406（2010）

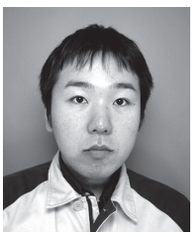
【著　者】


中山　智裕

加藤　真亮

武藤　　涼

山口　　暁


浜崎　敬介

木村　翔平

吉本　雄亮

北海道・美深試験場の「高度運転支援技術テストコース」完成
～2017年11月より本格的な運用を開始～

2017年10月23日

スバル研究実験センター美深試験場（北海道中川郡美深町）に、高度運転支援技術のためのテストコースを新設しました。今後の運転支援技術の高度化に向けて、2017年11月より運用を開始しました。

美深試験場は、寒冷地における性能評価や雪上試験などを目的とした開発拠点として、1995年に開設しました。総敷地面積361ヘクタールの中に、各種試験路やハンドリング路のほか、2003年には高速周回路を増設し、実際の公道に見立てたテストコースとして、通年に渡り様々な試験を実施しています。

今回新設した美深試験場の「高度運転支援技術テストコース」は、既設のコースをベースに、より実際の道路に近づけるように見直して建設しました。

・高速周回路 全長4.2 km（既存の高速周回路を実際の道路に近づけるよう改修）
・市街地路
・その他の試験設備

高効率・高品質ヘッドシリンダ加工ラインの取組み

Efforts of High Efficiency and High Quality Head Cylinder Production Line

浅　野　雄　介*
Yuusuke ASANO

抄　録

新型インプレッサの立上げや本・矢島工場のチョコット能増、米国工場でのライン新設による車両工場の年間107万台体制化に伴い、大泉工場エンジンラインの能増が計画された。この計画の中でヘッドシリンダ加工ラインは、生産能力の不足を補うために新規ラインの導入にて対応することとした。一方で、増産対応とは別に、コスト低減を実現する技術開発活動を行ってきた。今回の増産対応は、これまでの活動を生かす絶好の機会と捉え、先入観にとらわれず、設備仕様や工程設計をゼロから見直し、これまでより一段高いコスト低減実現に向けた第一歩を踏み出すことができた。

Abstract

Along with the launch of new IMPREZA, Main and Yajima Factories capacity increased, and the newly established line at U.S. Plant, Oizumi Plant engine line's production increase was planned. In this plan, we decided to adopt a new head cylinder process line to compensate for the shortage of production capacity. Meanwhile, apart from the production increase, we have been engaged in technology development activities to reduce the costs. For this increase in production, we were able to review the existing equipment specifications and process design from scratch and take the first step toward advanced cost reduction.

1. まえがき

ヘッドシリンダ加工ラインは、2010年モデルエンジンの立上げ以降、急速な増産に対応するため、複数のラインを順次新規導入してきた。これらの能増ラインでは、高効率生産に加え、世の中の変化に素早く追従するために製品仕様の変化に対するフレキシブル性を上げ、かつコストを抑えた競争力の高いラインを目指してきた。今回のラインは、加工工程の集約化による加工効率の向上に取り組み、設備投資の低減や立上げ期間の短縮、スペースのミニマム化などを実現した。上記に加え、今後一層厳しくなる省燃費ニーズに応えていくために、新直噴エンジンの開発と同期して、燃焼室の容積バラつき低減も実施した。

＊ 第3生産技術部

2. 従来ラインからの変移

従来のラインは、専用加工機を織り交ぜた直列（分散工程）ラインを主流とし、投資効率・生産効率を重点として多量少品種生産に適した構成を取っていた。また、要求品質が高い工程では、専用加工機を使用して加工精度を確保していた。しかし、近年では製品仕様の多様化が進み、製造への要求が多量少品種から少量多品種へシフトしてきており、さらに製品寿命も短命となってきている。この要求に応えるべく生産ラインも、フレキシブル性を重視したものへ姿を変えてきた。

2.1 既設ライン構成

近年、一部のラインを除きフレキシブル性の高い汎用加工機（以下、M/C：マシニングセンタ）を主としたフレキシブルラインを導入してきた。M/CのNC制御性能、電子機器（リニアスケール、タッチセンサ等）を応用した精度保証技術が向上したため、専用加工機

から汎用加工機に置き換えることができ、ある程度のフレキシブル性は担保出来た。また、生産性向上のためにライン構成も直列(分散工)ラインから複列(集約工程)ラインとしている。工程の集約は多くなるほど、製品の搬入出時間等、非加工時間の占める割合を下げることができるため、加工効率を上げることができる。これまでは定時での品質確認の時間増加の理由により、班員を増員させない限界の集約がM/C2台であった。

2.1.1　品質面

近年、エンジンの高出力・低燃費に対してのニーズが増加してきている。従来からも、エンジンの性能へ影響する燃焼室容積バラつきを低減させる取り組みを行ってきた。燃焼室内に粗材で高さ基準を設け、この高さ基準を加工機内で測定し、計測値を基準にロッカ面を粗フライス加工している(図1)。燃焼室容積に影響のある燃焼室面仕上フライス及びバルブシート及びバルブガイド(以下シートガイド)加工は、このロッカ面の粗フライス面を基準に加工している。燃焼室内の基準を使用することよりも容積バラつきを抑えることに成功している。

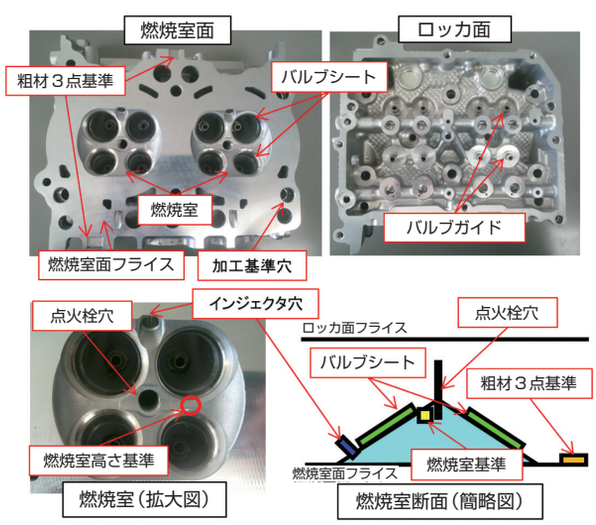


図１　ヘッド概要及び燃焼室

2.1.2　ラインのレイアウトと作業の内容

工場の基本的な考え方として、同一建屋内に粗材の納場から加工ライン、そして組立ラインを配置するよう計画をしてきた。建屋内の物流動線をスムーズにするため､加工ラインは､細長い直線のレイアウトをとっており、粗材・加工・組立て間の物流を効率良く行っている（図2)。作業員の主な業務は、一定のインターバルでの抜取計測（品質確認）及び工具交換である。品質確認はライン各所に設置した製品払い出し口より抜き取り、近くの計測エリアにて確認を行っている。

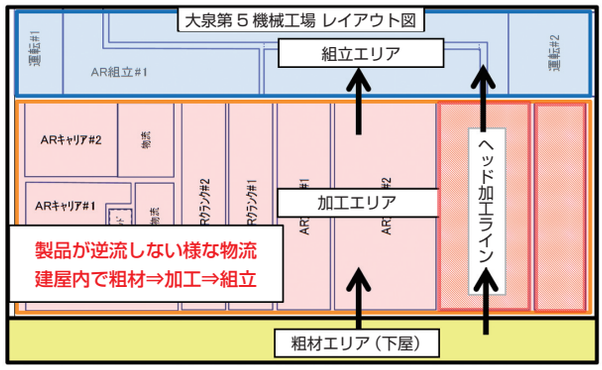


図２　建屋レイアウト

2.2　課題

急速に増え続ける営業要望台数に即座に応えるため、ある期間は、増設ラインの立上げ日程を優先し、既存ラインと同一構成のラインをタイミング良く順次導入してきた。しかし、今回新設するラインは、多様化する市場ニーズへの対応、新直噴エンジンの開発、またコスト競争力の高いライン作りを具現化するべきと考え、以下の課題を挙げ、実現に取り組んできた。

(1) 市場ニーズに応えるための製品品質向上
- さらなるリーン燃焼を目指した容積バラつき低減

(2) コスト競争力を高めるため、さらなる高効率化
- 設備投資の削減
- 開発、能増による準工・立上げ期間の短縮
- 作業工数の低減
- ラインスペースのミニマム化

3.　新ライン導入への取り組み

3.1　市場ニーズに応えるための製品品質向上

省燃費化は加速しており、さらなるリーンな燃焼を目指していく必要がある。今回のラインでは燃費への影響が大きいヘッドシリンダの燃焼室容積バラつきをミニマムにすべく、工程の考え方を基本から見直した。

3.1.1　燃焼室容積バラつき低減

ヘッドシリンダの切削加工に必要な主な工程は、キャリア面、燃焼室面の2面の切削加工と、シートガイドの部品を圧入した後のシートガイドと燃焼室面仕上になる。ここから、切削加工の最小数は、圧入前の燃焼室面とキャリア面の加工と圧入後のシートガイドと燃焼室面仕上の3工程が理想となる。しかし、シートガイドの圧入には相応の力が製品にかかるため、実際の製品での検証では、圧入力によって燃焼室とロッカ面に変形が発生していた。このことから、ロッカ面はシートガイドの圧入前に粗加工し、圧入後に仕上げる必要があることが分かった。また、シートガイドの

仕上は、M/Cで使用できる単純な回転工具では、要求される精度を満たすことができなかったため、従来の専用機による加工を選択し、燃焼室面の仕上と分割した。そのため、今回の最小の工程数は、5工程であるとした(図3)。

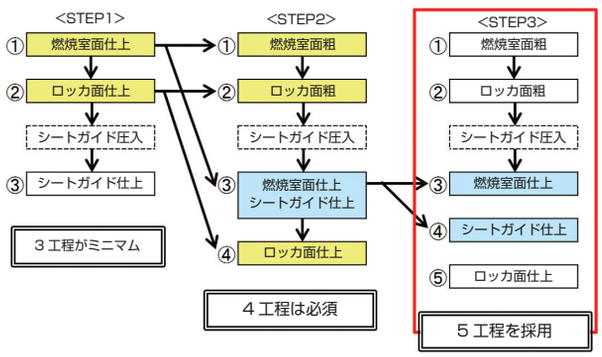


図3　工程フロー検討

従来は、シートガイド圧入後、シートガイド仕上⇒燃焼室面仕上の順序で加工を行っていた。今回のラインでは逆の順序に変更した。これにより、燃焼室容積に影響のあるシートガイド仕上は、燃焼室仕上面を基準に加工することができ、バラつきを抑えられる。加えて、燃焼室が粗材で形成されており、粗材と加工のズレを低減するため、燃焼室面仕上の加工基準をロッカ面粗から燃焼室基準(粗材基準)へ変更し、燃焼室容積バラつきを抑える工程設定とした。燃焼室容積のバラつきを抑えることは、圧縮比を引き上げられ、燃焼効率向上に繋がり、燃費と出力の向上を狙うことができる。結果、従来工程での燃焼室容積バラつきは、図4の①、②、③の3要素から、④、⑤の2要素のみの影響となり、約55%の燃焼室容積バラつき低減することができた。

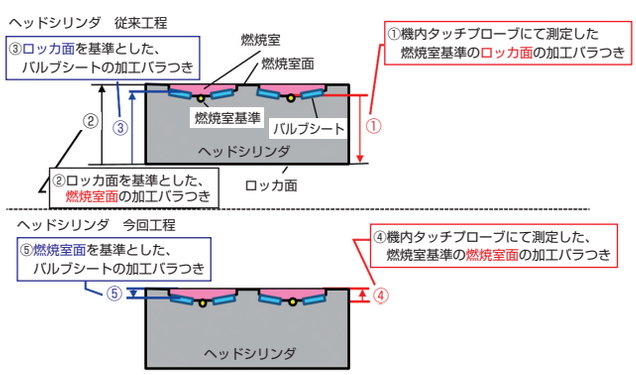


図4　燃焼室容積バラつき低減

3.2　コスト競争力の高いラインの実現

既存ラインより加工機台数を減らし、設備投資を低減させるべく、さらなる加工の高効率化に取り組んだ。加工で効率化を図るには、加工時間の短縮及び非加工時間の削減が必要となる。加工時間とは、実際に製品を削っている時間、非加工時間とは、製品の搬入出、姿勢変換、工具交換等に掛かる時間のことである。

3.2.1　加工時間短縮

従来より、ドリル・フライス加工等の高速化の取り組みを進めており、さらに加工時間を短縮する手段を検討した。複数の径・深さで構成される多段穴では、複数のドリル、リーマを用いて加工していた。今回は、異なる径・深さを有する複合化工具にて、一度に加工することで加工時間の短縮を図った。複合化することで、切粉の巻き込みによる加工面のムシレ、切削負荷によるビリ等が懸念されるため、新設ラインへの導入前に、事前のトライにて要求精度を満たしていることを確認した。対象工具での加工時間を約半分まで下げることができた。

3.2.2　非加工時間短縮による設備台数削減

非加工時間削減アイテムとしては、工程集約による各設備への搬入出時間削減、工具交換時間削減に取り組んだ。工程を集約することで製品1個当たりのM/Cへの搬入出回数を減らすことができ、搬入出時間と製品脱着時間を削減することできる(図5)。集約数を増やすことで非加工時間の削減効果が大きくなり、M/Cの台数を減らすことができる。

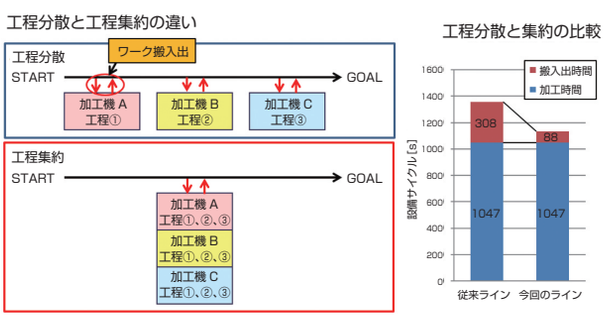


図5　工程集約と分散

その反面、集約が進むと設備1台あたりの加工できる時間が増え、M/C1台で使用する工具の本数も増える。標準的なM/Cでは工具収納数が30本程度であり、これを超えると特殊仕様となり設備単価が大幅に上がってしまう。集約効果による設備台数減と特殊仕様による設備単価増を比較し、標準仕様の範囲で集約を行うこととした。また、集約することで同じ加工を複数のM/Cで行うため、品質確認が増加する。工程能力を検証し、品質確認頻度を見直した。また、全てのM/Cの品質確認を最小の数で確認できる搬送ルートを設定し、作業時間を抑えた。

3.2.3　加工・非加工時間短縮による設備台数削減

工具改善、工程集約等を行った結果、従来ラインと比較しM/Cの総台数を9%削減することができた。

3.2.4　準工期間の短縮

今回立上げを行ったラインでは、生産開始後1ヵ月で総合効率85%、3ヵ月で90%の達成を目標に取り組んだ。従来は生産開始後3ヵ月で85%、5ヵ月で90%達成が通常であった。設備仕様の検討段階で、過去に発生したトラブルの対策を織込み、ライン立上げ時の不具合・トラブル・チョコ停を低減した。さらに、これまでの直列工程では、単体の設備停止で即ライン稼働低下であったところ、今回進めた工程集約によるラインの複列化により、設備停止によるライン稼働への影響を低減した。また、工程数のミニマム化及び工程集約化により加工プログラムの横展開が可能となり、デバック時間の短縮につながった。これらにより準工期間短縮・早期目標稼働達成を実現した。結果、従来は設備搬入～立上げ～設定稼働まで準工3ヵ月＋設定稼働達成5ヵ月の計8ヵ月､今回のラインでは準工2ヵ月＋設定稼働達成2ヵ月の計4ヵ月となり、約半分での準工期間で立ち上げることができた(**図6**)。

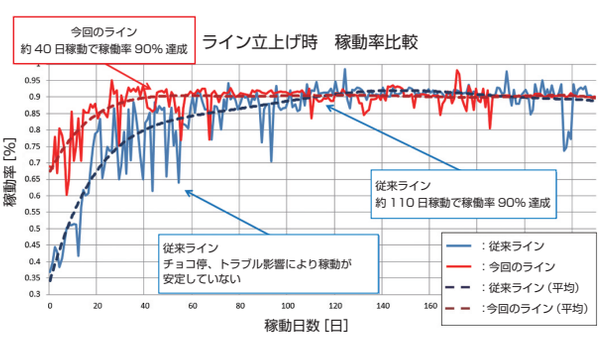


図6　立上げカーブ比較

3.2.5　作業工数低減とラインスペースミニマム化

今回導入のラインは、部品での輸出を主とした加工専用工場に設置するものであり、加工ラインとしての最適なレイアウトを検討した。従来のレイアウトは縦長であり､作業員1人あたりの作業エリアが広いため､歩行ロスが多くなっていた。 今回のラインでは、ブロックレイアウトを正方形にし、作業エリアを中央に集中させ作業動線を最低限とした(**図7**)。また、作業者間のコミュニケーションも容易となっている。

これによりラインスペースがミニマムとなり、また作業員数も低減することができた。設備としても、ライン内搬送距離が低減したことにより、搬送装置への投資も削減することが可能となった。

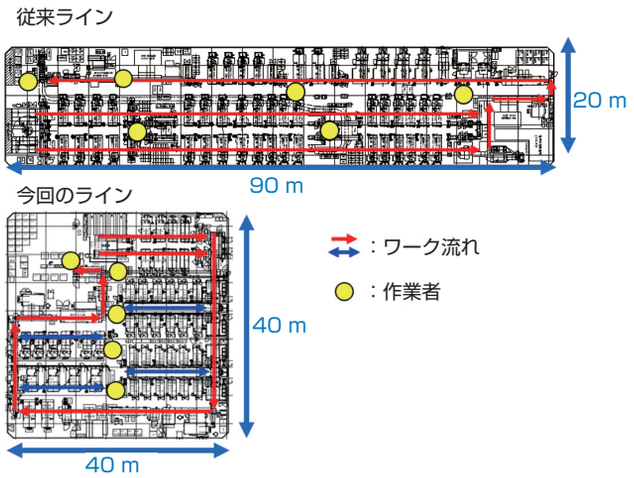


図7　レイアウト比較

4.　効果まとめ

今回、新ライン立上げの取り組みにより、**表1**の効果を得ることができた。

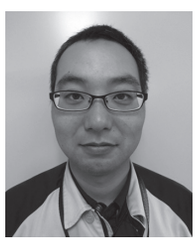
表1　新ラインによる効果

評価項目	低減・削減率 （既存ライン比）
燃焼室容積バラつき	55%
設備投資	加工機台数　8% 搬送設備台数 12%
ラインスペース	11%
作業員数	16%
ライン準工期間	50%

5.　あとがき

今回の取り組みで燃焼室容積のバラつき低減し、工程集約による投資低減を達成することができた。今後も市場の変化に追従すべく、IoT・自動計測技術等の新技術も取り入れ、競争力の高いライン作りを目指していく。最後に本ライン導入に際し、関係部署の皆様方、設備メーカ様に多大なるご支援を頂きました。この場を借りて、厚くお礼申し上げます。

【著　者】



浅野　雄介

新多用途ヘリコプター412＋（仮称）の開発

Development of 412 + Utility Helicopter

太　田　智　基[*1]　Tomoki OOTA
上　田　浩　司[*1]　Kouji UEDA
緒　方　　浩[*1]　Hiroshi OGATA
堤　谷　信　雄[*1]　Nobuo TSUTSUMITANI
大　山　貴　史[*1]　Takafumi OOYAMA
永　吉　　力[*2]　Tsutomu NAGAYOSHI
大　園　隆　一[*2]　Ryuuichi OOSONO
音　居　啓　太[*2]　Keita OTOI

抄　録

当社とベル社が共同開発する民間機412＋用メイン・トランスミッション搭載機の飛行試験を2017年12月より開始した。

開発母機である412EPIは、その高い信頼性により国内外で高い評価を得ており、本開発では多様化する運用環境に対応するためにさらなる信頼性と安全性の向上を目的にSUBARU独自の金属表面加工技術の適用及びトランスミッションの能力向上を図っている。

本稿では、これらの技術及び各開発試験の概要について紹介する。

Abstract

SUBARU and Bell are jointly developing a new commercial helicopter based on Bell 412EPI. Its flight test started from December 2017.

In this project, liability and safety improvement have been realized to accommodate itself to diversifying operational environments by applying SUBARU's unique Metal Treatment Technology and to upgrade the main transmission for Bell 412EPI helicopter, which is well-known for its high capability and liability in the world.

1．まえがき

「民間機との共通プラット・フォームをもとに、国内企業と海外企業による共同開発を行うこと。」これは陸上自衛隊の現多用途ヘリコプター（UH－1J）の後継機（UH－X）の機種選定における要求の1つである。

上記の要求に対し、当社は、長年パートナー関係にあるベル社※1と共同し、民間機の共通プラット・フォームとして、412EPI※2を改造母体とした412＋（仮称）の開発を提案した。そして、当社及びベル社が、UH－Xの開発事業者として選定されたのが2015年7月である。

開発した412＋（**図1**参照）は、現在ベル社で製造されている民間機412EPIをベースに、信頼性向上を目的とした動力伝達系統※4（メイン・トランスミッション等）の改造開発を主として、全機インテグレーションの見直しを施した機体である。

図1　412＋

本開発は、改造開発部位の設計段階、及び、各開発部位の機能・性能・耐空性等を証明するための開発試験段階の2段階により実施している。本稿では、412＋の開発において適用した技術及び各開発試験の概要について紹介する。

※1 ベル社：米国の航空機メーカー
※2 412EPI：2014年12月に米連邦航空局（FAA※3）の型式認証を取得した民間機（ベル社開発）
※3 FAA：Federal Aviation Administration
米国の航空機の飛行安全を維持する機関
※4 エンジンの出力トルク／回転数を減衰し伝達する機構

＊1 North American Subaru Inc.
＊2 航空宇宙カンパニー　新多用途ヘリコプター設計部

2. 412＋の概要

当社及びベル社にて共同開発（図2参照）した412＋の主要諸元を表1に示す。412＋は、幅広い用途での運用を想定した中型の多用途ヘリコプターである。

412＋の開発にあたり、機体の信頼性及び安全性を主としたさらなる付加価値を得るため、412EPIより以下の改造開発を実施した（図3参照）。

(1) トップクラスの運搬能力の確保

多用途ヘリコプターは、その名の通り警察、消防、報道等、様々な場面で活躍しており、いずれも限られた時間の中でより多くの荷物や要員を運搬できる能力が求められる。

開発母機である412EPIは、広いキャビンスペースと大開口のスライド式ドアにより、このニーズに応えている。

開発した412＋は、最大全備重量の増加及びトランスミッション出力の向上により、搭載可能な積載量を増強しつつ高い運搬能力を兼ね備えた機体へと進化を遂げている。

(2) メイン・トランスミッションの生存性向上

航空機技術の発展に伴い、ヘリコプターの生存性は向上しているものの、残念ながら今日でも痛ましい事故は無くなっていない。航空機にとって、飛行安全を確保することは、最も重要な要求の1つである。

ヘリコプターの事故原因の1つに、潤滑系統のトラブルによりメイン・トランスミッションの機能を喪失するケースがある。

開発した412＋は、非常事態に備えて補助潤滑機能を新たに追加設計している。仮に、潤滑系統に異常が発生し、潤滑油の供給が停止した場合でも、安全に着陸するまでの飛行時間を確保することが可能である（ドライラン性能）。

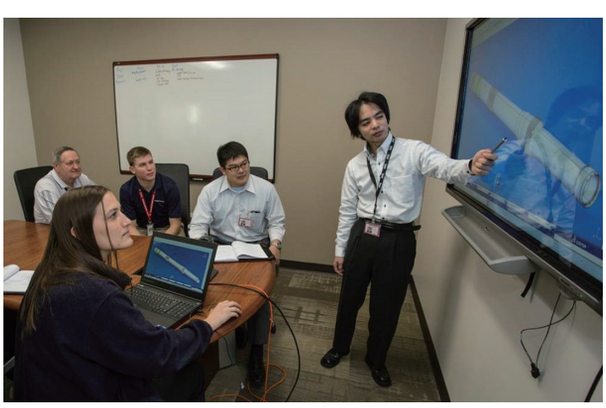


図2　ベル社本社（米国フォートワース市）での開発の様子

表1　412＋の主要諸元

項　目	諸　元
全　長（ローター回転時）	17.1 m（55.8 ft）
機体長	13.1 m（43.0 ft）
全　高	4.5 m（14.8 ft）
全　幅	2.9 m（9.5 ft）
乗員＋乗客数	2＋13
エンジン	双　発

図3　412＋ 概要

3. 412＋の設計

3.1　メイン・トランスミッションのドライラン能力付与

ドライラン能力を付与するため、改造開発母機である412EPI のメイン・トランスミッションのトップ・ケースの上部にオイル・リザーバ・タンクを追加し、主潤滑系統が故障した場合、補助的にオイル・リザーバ・タンク内の潤滑油をギア及びベアリングに自由落下にて供給し、金属同士の接触による温度上昇を抑制する設計とした（図4参照）。 また、その他としてメイン・トランスミッション内のギアやベアリングの材料を耐熱強度に優れた材料への設計変更等も実施した。

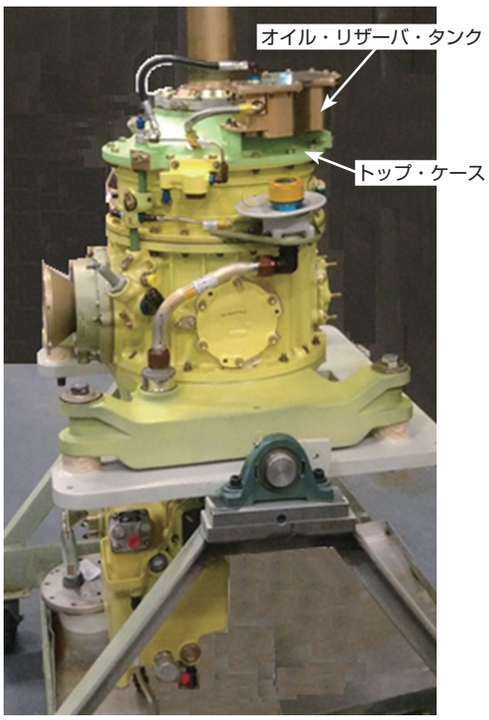


図４　メイン・トランスミッション

3.2　アビオニクス／ソフトウェア設計

412＋では、3.1項に示した改修に伴い、統合アビオニクス・システムの表示内容を変更するため、ソフトウェア改修を実施した。統合アビオ二クス・システムの表示装置を図５に示す。

ソフトウェアの主要改修内容を以下に示す。

(1) 最大全備重量増加に伴う重量重心計算及び重量超過警告表示の変更

(2) メイン・トランスミッション最大出力の増強に伴う動力計器表示の変更

(3) メイン・トランスミッション最大出力の増強に伴うホバリングが可能な全備重量計算の変更

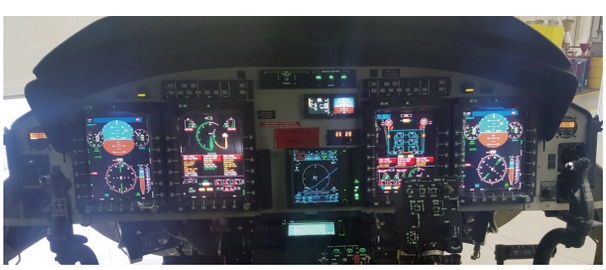


図５　統合アビオ二クス・システム表示装置

4.　412＋の開発試験

4.1　試験装置

本開発に使用した試験装置により、実運用を模擬した荷重を負荷した試験を実施することができる（図6、図7参照）。それらの試験装置を用いて次項（4.2項（1）～（4））に示す試験を実施する。

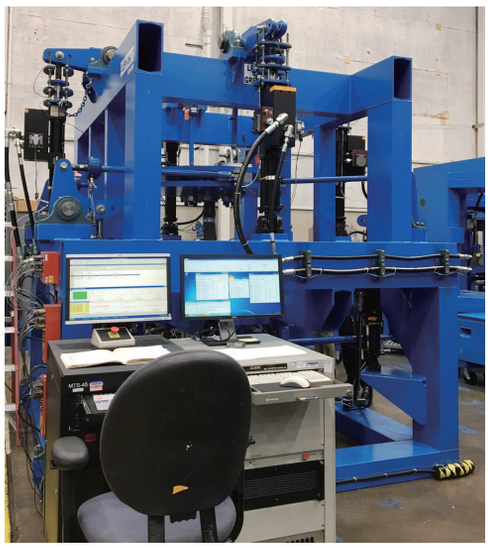


図６　マスト疲労試験装置

図７　トランスミッション試験装置

4.2　試験内容

(1) 動力伝達系統構成品疲労試験

本試験はマスト疲労試験装置（図６参照）を使用し、マストの3軸方向及びねじり方向に対して、実運用を模擬した疲労荷重を繰り返し負荷することで、マストへの負荷荷重と破壊が生じるまでの負荷回数の関係性を示すデータ（S－Nデータ）を取得する。

(2) ギア歯曲げ疲労試験

本試験は、トランスミッション試験装置（図7参照）を使用し、運用中に負荷される荷重よりも過負荷条件下においてメイン・トランスミッションのギア歯が十分な寿命を有することを確認する。

(3) 動力伝達系統機能確認試験

本試験は、トランスミッション試験装置(図7参照)を使用し、実運用を模擬した条件下でメイン・トランスミッションを運転し、補助潤滑系統が所望の機能を果たすことを確認する。

(4) ドライラン試験

本試験は、トランスミッション試験装置(図7参照)を使用し、潤滑系統の機能を喪失した状態(ドライラン状態)でメイン・トランスミッションを運転し、一定時間エンジンからの入力をマストに伝達が出来ることを確認する。

(5) メイン・トランスミッション耐久試験

本試験は、飛行試験機を地上に固定した状態で運転し、メイン・トランスミッションの耐久性を確認する(図8参照)。

図8　メイン・トランスミッション耐久試験

(6) 飛行試験

本試験は、試験機を使用し機能、性能及び飛行中の各部位の荷重についてデータ取得を行う(図9参照)。

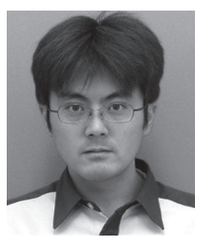
図9　飛行試験

5. まとめ

当社で製造した412＋は、日本国内のみならず世界への販売を行う予定であり、当社のヘリコプター事業が世界に進出する重要なプロジェクトである。

最後に、関係者各位のご尽力に対し深く感謝し、本紙面を借りて深く御礼申し上げます。

【著　者】


太田　智基

上田　浩司

緒方　　浩

堤谷　信雄

大山　貴史

永吉　　力

大園　隆一

音居　啓太

福島ロボットテストフィールドを活用した無人航空機の開発実証

UAV Development & Demonstration at Fukushima Robot Test Field

高橋　由[*1]
Yuu TAKAHASHI

大塚昭夫[*1]
Akio OTSUKA

松隈洋平[*1]
Yohei MATSUGUMA

友永行信[*1]
Yukinobu TOMONAGA

阪口晃敏[*1]
Akitoshi SAKAGUCHI

芝尾裕規[*2]
Yuki SHIBAO

抄　録

ドローンをはじめとする無人航空機が社会に受け入れられ、使える道具となるためには、ルールの確立や安全技術の確立が喫緊の課題となっており、関連省庁横断プロジェクトが進行中である。この一環として、当社は、評価基準の策定と衝突回避技術の実証に取り組んでおり、本年度は、日本初の試験を実施し課題解決に資する基礎データ取得に貢献した。本稿は、その成果について報告する。なお、この成果は、NEDOの委託業務の結果得られたものです。

Abstract

In order to make drones and other unmanned aerial vehicles acceptable to the society and useful tools, the establishment of rules and safety technologies are urgent issues; therefore, projects across related ministries and agencies are under way. As part of these projects, SUBARU is working on the establishment of evaluation criteria and the demonstration of collision avoidance technology. This fiscal year, SUBARU ran the first test in Japan and contributed to acquiring basic data to solve the said issues. This paper reports the results of the test. This achievement was obtained in the project commissioned by NEDO.

1. はじめに

昨今、無人航空機は、いわゆるドローンブームにあるように、爆発的にその数を拡大している。無人航空機が社会に受け入れられ、使える道具となり、新たな空のモビリティを実現するには、目視外の運航や第三者上空での運航を実現するためのルールの確立や安全技術の確立が喫緊の課題となっている。

このために、我が国では、2015年に、「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」が設置され、無人機の安全性確保と産業育成を両立するための取り組みについての議論が関連省庁と民間団体により行われ、2017年には、「空の産業革命に向けたロードマップ～小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備～」が公表された。

この中では、2018年度には、ドローンを用いた物流事業の開始が目指されており、2020年代には、目視範囲外で、第三者の上空の飛行を実現することが謳われている。

このロードマップに基づく研究開発を推進するため、経済産業省では、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）にて、「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト（DRESSプロジェクト：Drones and Robots for Ecologically Sustainable Societies project）」を推進中である。

DRESSプロジェクトでは、ユーザが安心して使用できるように、無人航空機特有の機体システムの機能・性能の評価基準を定めるとともに、安全かつ自律的に飛行するために必須となる運航管理システムや衝突回避技術の研究開発が進められている。

当社は、この中で、50年以上の無人航空機の開発実績と有人航空機の製造実績をふまえ、無人航空機単独で、有人ヘリコプターとの衝突回避を実現する衝突回避システムの開発や衝突回避のための性能評価手法の研究等を受託している。

また、無人航空機の評価・開発のための施設も福島県が同時並行で建設中であり、東日本大震災及び原子

＊1 航空宇宙カンパニー　無人機設計部
＊2 同　システム設計部

力災害で失われた福島県浜通りの産業回復を図る「福島イノベーション・コースト構想」の一環として、無人航空機を含めたロボットの総合試験場として福島県南相馬市に「福島ロボットテストフィールド」が2018年度から順次開所する予定である。

本年度は、この取り組みの一環として、2017年12月に、建設中の福島ロボットテストフィールドの広大な敷地を利用し、日本初となる有人航空機と無人航空機を使った「無人航空機が有人航空機からどのように見えるのか」「有人航空機にどの程度近づいても飛行に影響を及ぼさないのか」についての基礎データを約400ケース取得し、評価基準への反映を行うとともに国のルール作りの議論の場にデータを提供した。

2. 基礎データ取得試験概要

無人航空機の運用件数は､増加の一途を辿っており、日本の国内においても航空法が改正されて以降既に1万件以上の飛行許可申請がされている。その一方で、ドクターヘリや防災ヘリの低高度における運用も増加しており、2006年には5,000件程度であった出動回数は2013年には20,000件を超えている。無人航空機の多くは対地高度150 m以下のいわゆる航空管制がされていない空域で運航させることが多く、ドクターヘリ等とのニアミスの案件についても複数件報告されている。

こういった状況の中で無人航空機を使える道具とするために、有人航空機と無人航空機の衝突回避の性能評価基準の策定は喫緊の課題である。

衝突回避の性能評価基準の設定のためには、衝突回避の基本ルールを制定する必要があるが、これを整備するには「有人航空機が回避できるのか？」「無人航空機が回避できるのか？」「最低限確保すべき安全距離はどの程度なのか？」といったことが明確となる必要がある。

このため「無人航空機が有人航空機からどの程度の距離で視認できるのか」の「視認性試験」またヘリコプターが巻き起こす下向きの風をダウンウォッシュと称するが､「有人航空機のダウンウォッシュはどの程度無人航空機に影響を及ぼすのか」についての「ダウンウォッシュ影響確認試験」の基礎データを取得することとした。

この際、使用する無人航空機は日本において使用実績のある機体を基本とした。また有人航空機については、日本国内の回転翼航空機の在籍機数の最も多く、ドクターヘリも含まれる全備重量2000 kg ～ 3000 kgのクラスを採用することとした。

試験実施場所は、福島ロボットテストフィールドの建設予定地を利用した。福島ロボットテストフィールドは、水中、水上、地上そして空で活躍するロボットの性能評価試験を実施できる各種試験設備と研究棟を保有する施設である。

福島ロボットテストフィールドの完成予想図を**図1**に示す。

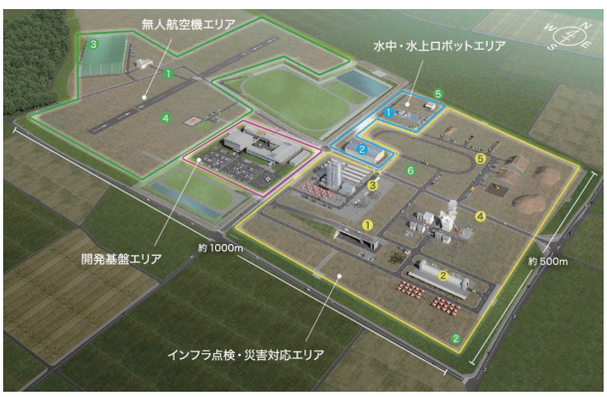


図１　福島ロボットテストフィールド
（福島県パンフレットより抜粋）

試験ケースは約400ケースに及び、2017年12月11日～ 20日にかけて実施した。

3. 視認性試験結果

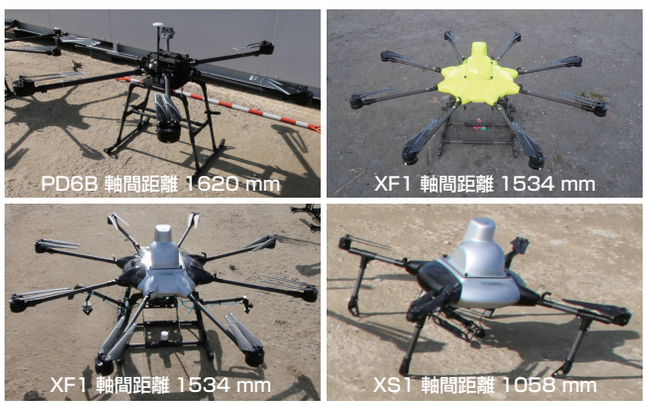
視認性試験に使用した無人航空機は機種、大きさ、色、灯火の違いにより15種類を準備し、さらに背景の違い及び明るさの違いによる見え方の違いのデータを取得した。使用した機種の外観を**図2**に示す。

試験は、有人航空機と無人航空機の距離を150 mから最大400 mまで離隔し、有人航空機に搭乗しているパイロットから視認が可能か否かのパイロットコメントを取得すると共に広角カメラによる画像取得によって実施した。

この結果、無人航空機の視認性は、背景とのコントラストが強い塗色や、ストロボライトを搭載することで、向上が期待できることや視程の極端な低下等が無い気象条件においては、塗色が黒以外か灯火有りのものは150 mの相対距離であれば無人航空機の発見後の目視は可能であることが判明した。

試験の実施状況の例としてコントラストの違いによる見え方の違いを**図3**に示す。また、得られた視認可能距離のまとめを**図4**に示す。

自律制御システム研究所　PF1（軸間距離 1173 mm）



プロドローン

エンルート　QC730 軸間距離 730 mm

ヤマハ　FAZER R G2　　SUBARU　RPH2

図２　使用した機種

コントラストが弱い　　コントラストが強い

コントラストが最も強い

図３　コントラストの違い

項目	時間	日中						薄暮					
機種	色・灯火	相対距離 (m)						相対距離 (m)					
		150	200	250	300	350	400	150	200	250	300	350	400
ヤマハ	白／黒／青／赤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
自律制御システム研究所	黒	○	○	×	×	×	×	×	×	−	−	−	−
	赤	○	○	○	○	×	−	○	○	×	−	−	−
	白	○	○	○	○	○	×	○	○	○	×	−	−
	橙	○	○	○	○	×	−	○	○	○	○	×	−
	白＋灯火	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
エンルート	白	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	＋灯火	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
プロドローン	黒 Φ1620 mm	○	○	○	−	−	−	×	×	−	−	−	−
	黄 Φ1534 mm	○	○	○	○	○	○	○	−	○	−	−	○
	黒／銀 Φ1534 mm	○	○	○	○	○	×	○	○	○	×	−	−
	黒／銀 Φ1060 mm	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	×	−
	黒 Φ1620 mm ＋灯火	○	○	×	−	−	−	○	○	○	○	○	○
SUBARU	白／青／赤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	＋灯火	−	−	−	−	−	○	○	○	○	○	○	○

図４−１　有人航空機及び無人航空機が地面にある場合

項目	時間	日中						薄暮					
機種	色・灯火	相対距離 (m)						相対距離 (m)					
		150	200	250	300	350	400	150	200	250	300	350	400
ヤマハ	白／黒／青／赤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
自律制御システム研究所	黒	○	○	○	×	×	−	○	○	×	×	×	×
	赤	○	○	×	×	×	×	−	−	−	−	−	○
	白	−	−	−	−	−	○	−	−	−	−	−	○
	橙	○	○	○	○	○	○	−	−	−	−	−	○
	白＋灯火	−	−	−	−	−	−	○	○	○	○	○	○
エンルート	白	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	×
	＋灯火	−	−	−	−	−	−	○	○	○	○	○	○
プロドローン	黒 Φ1620 mm	○	○	○	○	×	−	○	○	−	−	−	−
	黄 Φ1534 mm	○	○	○	○	○	○	−	−	−	−	−	○
	黒／銀 Φ1534 mm	○	○	○	○	○	○	−	−	−	−	−	○
	黒／銀 Φ1060 mm	−	−	−	−	−	○	−	−	−	−	−	○
	黒 Φ1620 mm ＋灯火	−	−	−	−	−	−	○	○	×	−	−	−
SUBARU	白／青／赤	−	−	−	−	−	○	○	○	○	○	○	○
	＋灯火	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	○

図４−２　有人航空機が空、無人航空機が地面にある場合

項目	時間	日中						薄暮					
機種	色・灯火	相対距離 (m)						相対距離 (m)					
		150	200	250	300	350	400	150	200	250	300	350	400
ヤマハ	通常	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
自律制御システム研究所	黒	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	赤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	白	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	橙	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	日中：黒＋灯火 薄暮：赤＋灯火	○	○	○	○	○	○	－	－	－	－	－	○
エンルート	白	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	＋灯火	○	－	－	－	－	○	○	○	○	○	○	○
プロドローン	黒 Φ1620 mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	黄 Φ1534 mm	○	○	○	○	○	○	○	－	○	－	－	○
	黒／銀 Φ1534 mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	黒／銀 Φ1060 mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	黒 Φ1620 mm ＋灯火	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	○

分析の結果視認可能と判断したもの
分析の結果視認不可と判断したもの
○：視認可能
×：視認不可
―：視認不可のため取得しなかった、当該距離よりも遠い距離又は灯火無しで視認できたため取得しなかったケース

図４−３　有人航空機が地面、無人航空機が空にある場合

4.　ダウンウォッシュ影響確認試験結果

ダウンウォッシュ影響確認試験は、ドローンメーカ3社の機体を使用して実施した。 有人航空機はドクターヘリによく使われる機体の大きさに該当するヘリコプターの内、国内において最も機数が多く、試験の安全性を考慮しエンジンを2基搭載しているAS355を使用した。

試験は、衝突回避の際に遭遇しうる最大の影響として有人航空機がホバリングしている際に下方を通過した場合の影響の確認と、前進している有人航空機の下方を通過した際の影響の2種類を考慮し試験を実施した。

ダウンウォッシュは、環境風により流され、機体の真下に降下しなくなるため、風が極力無い早朝に試験を実施した。

また、無人航空機への影響が未知数であったため、ダウンウォッシュが有人航空機との相対距離でどの程度発生するかを計測し安全を確保した上で、相対高度を設定し試験を実施した。

試験の結果、有人ヘリ（2.5 ton級）が前進飛行している場合、速度28 km/h（15 kt）、高度差20 mでは、ヘリの後方約340 m付近で風速6 m/s程度のダウンウォッシュが観測された。

有人ヘリ（2.5 ton級）が前進するケースでは、無人航空機が、下方30 mにいても、無人航空機の飛行が破綻するような影響を与えることはなかった。

また、ホバリングしている有人ヘリ（2.5 ton級）の下方50 mであれば、無人航空機の飛行が破綻するような影響を与えることはなかった。

ホバリングのダウンウォッシュ試験の状況を図５に示す。また、前進飛行のダウンウォッシュ試験の状況を図６に示す。

図５　ホバリング試験実施状況

図６　前進試験実施状況

5.　まとめ

今回の一連の試験の結果より、安全離隔距離として、水平150 m／垂直30 m（ホバーは50 m）であれば、ダウンウォッシュを含めて、ドローンとヘリは安全に飛行できる。また、視認性の向上のための灯火は、点灯かつストロボが有効であるが、塗色による視認性向上は、背景とのコントラストの強調が有効であるため、単色では困難であることがわかった。

上記の試験結果については、国土交通省と経済産業省が主催している「無人航空機の目視外及び第三者上空等の飛行に関する検討会」に報告され、今後の目視外飛行に必要な無人航空機の要件検討の資とされることとなった。

当社は、引き続き関連省庁との連携を図り、無人航空機が社会に受け入れられ、新たな空のモビリティを実現するために、法整備・規制ルールの制定や、衝突回避システムをはじめとする安全技術の確立を行い、

我が国の無人航空機産業の発展の一助となることを目指していく。

謝辞

本実証試験において多大なる御指導・ご協力を頂いた、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）ロボット・AI部、福島県商工労働部ロボット産業推進室、南相馬市商工労政課に深く感謝いたします。

【著　者】

高橋　　由

友永　行信

松隈　洋平

阪口　晃敏

大塚　昭夫

芝尾　裕規

SUBARU XV、インプレッサが2017年ユーロNCAPにおいてベスト・イン・クラス・セーフティ賞を受賞

2018年1月12日

SUBARU XVおよびインプレッサ（欧州仕様車）が、2017年ユーロNCAPにおける最高評価「ファイブスター」獲得全車中でトップとなる「ベスト・イン・クラス・セーフティ賞」をスモールファミリーカー部門において受賞しました。
安全性能のさらなる進化にも貢献するSUBARU GLOBAL PLATFORMを新たに採用したSUBARU XVとインプレッサは、「乗員（成人）保護性能」、「乗員（幼児）保護性能」、「歩行者保護性能」についてスモールファミリーカー部門最高得点を獲得するとともに、SUBARU独自の運転支援システム「アイサイト」を標準装備し、「安全支援性能」についても高い評価を得ました。

次世代航空機運航支援システムの開発

Development of Next Generation Aircraft Operation Support System

岡　田　悟　史[*1]
Satoshi OKADA

河　野　　充[*2]
Mitsuru KONO

西　　孝裕樹[*3]
Takayuki NISHI

鈴　木　　啓[*3]
Kei SUZUKI

荻　巣　敏　充[*2]
Toshimichi OGISU

村　田　　巖[*3]
Iwao MURATA

抄　録

今後、航空機の交通量増加が予想されるなか、高効率で安全な航空機運航の実現が不可欠である。現在、パイロットが手動で対応している飛行計画の変更等について、各種データ（運航データ、気象データ、熟練パイロットのノウハウ等）とAIおよびIoTを活用したパイロットの判断・操縦を支援するシステム開発の取り組み概要を紹介する。

Abstract

Realization of safe aircraft operation with high efficiency will be indispensable in future while air traffic is expected to increase. A pilot is currently required to do complicated tasks for getting an ATC clearance of amended routes. For these pilots, we strive to offer a data utilization system for safety aviation. The system which applies AI and IoT technologies is going to support decisions of pilots in flight by using various kinds of data: flight data, weather data, and knowledge of expert pilots.

1．まえがき

航空機は、他の交通機関と比べて極めて安全性の高い乗り物だといわれるが、飛行中は乱気流や雷等の特殊気象に加えて、他の航空機との異常接近や鳥の衝突など安全運航を阻害する様々なリスクに遭遇している。また、航空輸送のニーズは今後20年間でおよそ2倍になると予測されており[(1)]、交通量が増えることで航空機の事故も増えることが想定される。

航空宇宙カンパニーは、一昨年行われた2016年国際航空宇宙展において、安全・安心で効率的な航空交通システムの実現を目指した「空の安全を守る革新技術」のコンセプトを発表した（図1）。「空の安全を守る革新技術」は、AI（Artificial Intelligence：人工知能）を活用した予防安全としての「アクティブ・セーフティ」、被害軽減としての「パッシブ・セーフティ」、さらに万が一の備えとしての「フェイルセーフコントロール」の3つの安全技術で構成されている。

図１　空の安全を守る革新技術のコンセプト

＊1 航空宇宙カンパニー　技術開発センター
　　主査（技術戦略）
＊2 同　研究部
＊3 同　システム設計部

このうち「アクティブ・セーフティ」への取り組みとして、現在、ビッグデータを活用した予測・判断技術の開発に取り組んでいる。具体的には、航空機のフライトデータや気象データ等の航空機運航に関する様々なデータ(ビッグデータ)を資源とし、これらのデータをAIで分析することにより、飛行中に遭遇するリスクを予測し、回避するシステムの研究開発を行っている。

本研究はまだ端緒についたばかりではあるが、今回はその取り組みについて概要を紹介する。

2. 航空機の運航

2.1 現在の航空機運航

航空機は地上の管制官や各航空会社と通話・通信を行いながら出発地から目的地までの飛行を行っており、各航空機間の連携や情報共有は管制官等を介して行われている。例えば、事前に予期していなかった悪天候の通知をパイロットから受けた場合、管制官は担当する空域を飛行予定の航空機や、他の管制官に対して音声を用いて情報を伝達することで円滑な運航を実現している[(2)]。

このように、管制官は担当する空域を飛行する複数の航空機と調整を行う必要があり、また地上と航空機を結ぶ無線通信のデータ通信量には制限があることから、個々の航空機への情報伝達は最小限とならざるを得ない。このような状況の中で、パイロットおよび管制官は熟練したスキルによって、絶えず変化する状況に臨機応変に対応している。

2.2 IoTを活用した新しい航空機運航の流れ

近年、航空業界においても、AIやIoT(Internet of Things)といった技術の発展を受けて、民間企業を中心にビッグデータを活用した新しい運航支援サービスが見られるようになってきた。

例えば、アビオニクスメーカであるHoneywell社は、複数の機体が飛行中に計測した気象情報を地上の自社データセンターで統合し、飛行中の機体に無線送信する気象情報配信サービスの提供を行っており、これにより運航者はこれから飛行する場所の気象状況を事前に把握して飛行経路の変更等に活用することが可能となる。これは複数の航空機が取得した情報を共有することで新たな付加価値を創造するというIoTの概念を実現したサービスだといえる。

また、大手機体メーカであるAirbus社は、オープンデータプラットフォーム“Skywise”を発表し、2017年に航空会社へのサービス提供を開始している。Airbus社は航空会社の持つ運航データを収集・活用することで、装置故障等の予測、整備時期の最適化によって航空機の信頼性や運航効率を改善するシステムの構築を狙っている。将来的には各航空会社が独自にアプリケーションを開発することもできるようになるとしている。

一方で、今後の航空需要の拡大に伴い、熟練パイロットが不足し安全運航が損なわれることが懸念されている。ICAOの調査によれば、2030年にはアジア／太平洋地域では現在の約4.5倍のパイロットが必要とされ、年間約9、000人のパイロット不足が見込まれている[(3)]。そのため、AIやIoTを活用してパイロットの判断を支援しワークロードを低減する仕組みを実現することが期待されている。

3. 特殊気象のリスク低減への取り組み

3.1 気象の影響

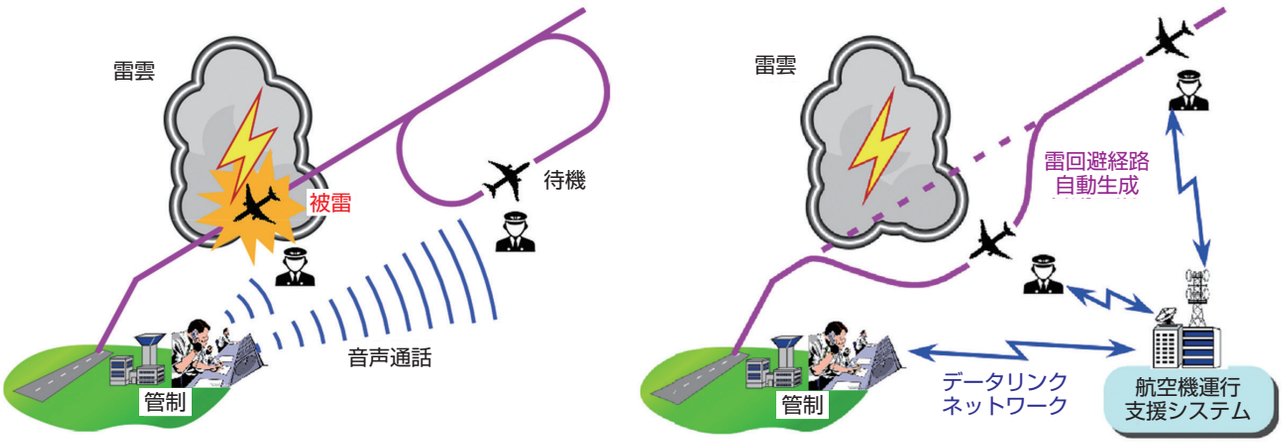
航空機の運航に支障を来す要因のうち、殆どが気象による影響である。飛行安全と円滑な運航のため、気象予報士、航空管制官、運航管理者および運航乗務員等の多くの専門家が互いに連絡を取り合って調整を行っている。具体的には、各専門家が各々所有する機体および気象衛星やレーダ等から得られるセンサ情報を用いて、各々が有する知見にて解析した結果を基に、各専門家間で調整して運航計画の作成やその変更を決めている。これら分散したセンサデータおよび知見を、IoTを活用して共有・集約し、AIを活用して高度な知見を得た上で運航に供することにより、今まで以上にスムーズで高度で安全な航空システムの実現が期待できる[(4)]。

そこで本研究開発は、航空機の運航に伴って記録されるフライトデータに加え、気象データ等の航空機運航に関連するデータを資源として、データ分析や機械学習等の技術を活用することで、パイロットに対して安全性および運航効率の向上に寄与する情報(例えば高度な気象予測情報)の提供等を行う新たなシステムの実現を目指している。

3.2 被雷予測システム

航空機の運航に支障を来す具体的な気象として、低視程、雷、着氷、乱気流、雹及び火山灰等があり、これらが飛行の安全や経済的運航に悪影響を及ぼしている。

中でも離着陸時の雷は回避が難しく、現在、日本国内では年に数百件の航空機への被雷が発生している。その内100件程度が修理を必要とする損傷であり、航空会社にとっては大きな経済的損失につながっている。特に、近年増加している複合材を多用した航空機



被雷回避はパイロットの豊富な経験及びスキルが要求されるうえ、回避方法設定及び管制とのやり取りなど負担が大きい業務である。

従来手法

本技術を適用した航空機運航支援システムにて確実に被雷危険領域を予測することで、被雷回避に伴う運航の負荷を減らし、飛行安全及び効率的運航を実現できる。

開発手法

図２　従来の航空交通管理と開発手法の比較

においては、飛行中の機体が受ける損害の原因の第一位が被雷による損傷である。雷の予報に関しては気象庁や民間気象会社による広域の発雷確率の解析が進んでいるが、未だ飛行中の航空機へ被雷するリスクの予測手法は確立されていないのが現状である[5]。

これら気象に係る課題を解決するために、本研究では気象影響による危険領域を高精度で推定して、最適な回避方法の情報支援をする手法を開発し、各業界を横断する標準仕様とすることを目指している（図2）。

3.3　被雷予測アルゴリズムの開発

被雷予測のアルゴリズムは、①データの相互関連分析、②気象影響予測・判断技術構築の2つのステップで開発する計画である（図3）。

①データの相互関連分析

エアラインが持つ航空機運航データや被雷データ、気象庁が持つ気象データ等を各機関から収集し、収集したデータを基にAIを用いたデータの相互関連分析を行い、航空機への被雷予測・判断に有効なパラメータを抽出する。また、有効なパラメータは関連理論や経験則に基づいて、航空機への被雷予測・判断に効果のあるパラメータを導出する。特に航空機への被雷事象を中心とした各種データ間の位置的・時間的相関関係について分析する。

②気象影響予測・判断技術構築

雷雲の挙動や雷雲の影響に係る関連理論及びAI学習手法に関する知見及び相互関連分析による有効パラメータを基に、雷雲挙動・影響に係る関連理論や経験則等を用いて航空機への被雷の予測・判断するための要素技術を検討する。さらに研究結果を基に、被雷予測判断技術を開発する。

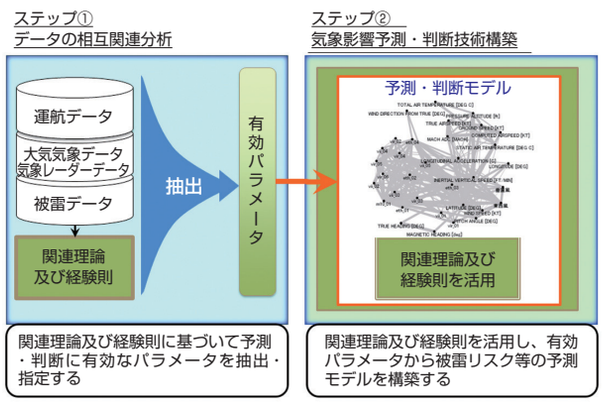


図３　被雷予測アルゴリズム開発の概要

最終的な目標としては、この被雷予測判断技術を用いて安全かつ効率的な運航を提供する航空機運航支援システムを構築し、航空機運航へ実装することを目指している。航空機運航支援システムの表示例を図4に示す。

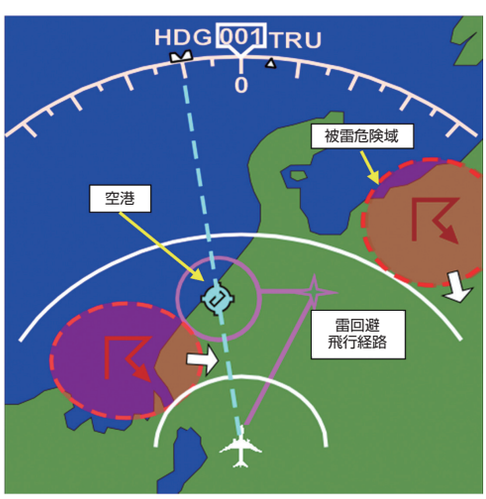


図４　運航支援システムの表示例

平成29年度はステップ①の有効パラメータの見通しを得たが、今後は、「雷雲の影響範囲を高精度に予測・判断するための要素技術開発」、「被雷危険域の影響度の指標設定とその予測・判断するための要素技術開発」を行う計画であり、本技術の社会実装に向けて「データ収集・配信における既存インフラの活用検討」を行っていく。

おわりに

本研究開発は、平成29年度から国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の受託業務である「IoTを活用した新産業モデル創出基盤整備事業／次世代航空機運航支援システムの開発」の一環として実施しているものである。

参考文献

(1) 一般財団法人日本航空機開発協会：民間航空機に関する市場予測2017－2036, p.1（2017）
(2) 青山久枝：航空管制の仕組み－航空管制官の眼から－, 情報処理Vol.53 No.10（2010）
(3) ICAO：Global and Regional 20-year Forecasts：Pilots. Maintenance Personnel. Air Traffic Controllers（Doc 9956）
(4) JAXA WEATHER-Eyeコンソーシアム：WEATHER-Eyeビジョン, JAXA-SP-16-012（2017）
(5) E. Yoshikawa et al.：Development of Tactical Lightning Avoidance Product for Terminal Weather Support, AGU Fall Meeting 2015（2015）

【著　者】

岡田　悟史

河野　　充

西　孝裕樹

鈴木　　啓

荻巣　敏充

村田　　巌

航空機超音速インテークスピレージ抵抗評価技術の研究

Study on Supersonic Intake Spillage Drag Evaluation Method

高　谷　亮　太*　　三　友　俊　輝*　　山　﨑　哲　夫*
Ryota TAKAYA　　Toshiteru MITOMO　　Tetsuo YAMAZAKI

抄　録

超音速旅客機実現に向けた技術課題の一つに、低抵抗化、騒音低減のためにエンジンを効率的に機体に搭載する機体／推進系統合設計技術がある。

本研究では、その技術検討に必要な推進系により生じる抵抗評価の高精度化に取り組んだ。風洞試験及びCFD解析を併用した手法により、インテーク流量変化に伴うスピレージ抵抗の増減を高精度に評価可能となった。

Abstract

The design for airframe/engine integration has been one of the issues under consideration for the development of supersonic transports. In this study, improvement was made in the accuracy of drag evaluation required for addressing the issue above. It became possible to evaluate the spillage drag with high accuracy by an evaluation method utilizing both wind tunnel test data and CFD analysis result.

1.　まえがき

経済性、環境適合性に優れた超音速旅客機の実現を目指して、現在、宇宙航空研究開発機構（以下JAXA）を中心として小型超音速旅客機の概念検討、研究開発が進められている。主な技術課題は、機体の低抵抗化、ソニックブーム低減、離着陸騒音低減および機体重量軽減の4つである。

これらの課題のうち、機体の低抵抗化と離着陸騒音低減を両立させるためには、必要最低限のバイパス比を有するエンジンを効率的に機体に搭載する「機体／推進系統合技術」が重要となる。そして、この技術の確立のためには、推進系が全機特性に与える影響を適切に評価可能な風洞試験やCFD等の空力特性評価技術が求められる[(1)]（図1）。本研究ではその中でも特に、推進系によって生じる抵抗に着目し、抵抗評価の精度向上に取り組んでいる（図2）。推進系における主な抵抗としては、インテークに流入しようとする空気流量がエンジン必要空気流量を上回る場合に流れを押し戻し、インテークから流れが溢れることによって生じるスピレージ抵抗が挙げられる。これまでに、風洞試験で使用する模型形状に関する考察を行い[(2)]、風洞試験及びCFD解析を併用した手法を用いることで、インテーク流量変化に伴うスピレージ抵抗の増減が高精度に評価可能であることを確認した。

本稿では、このスピレージ抵抗評価手法の概要及びJAXAとの共同研究において実施した小型超音速機旅客機第3.2次形状（図3）における評価試験の概要を紹介する。

図 1　本研究の目的（概念図）

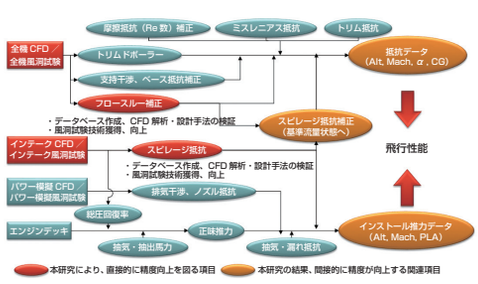


図 2　本研究の取り組み内容（© 日本航空宇宙学会）

＊ 航空宇宙カンパニー
技術開発センター　研究部

主要諸元	
胴体長	53.0 m
主翼スパン	22.9 m
主翼面積	175.0 m^2
巡航マッハ数	1.6

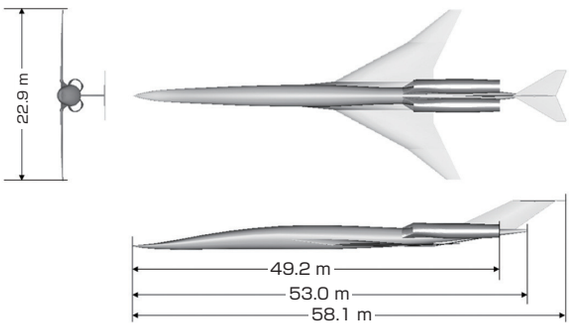


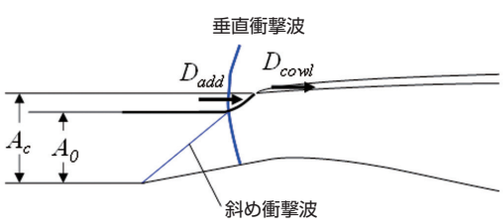
図３　JAXA 小型超音速旅客機第 3.2 次形状

2.　スピレージ抵抗計測手法

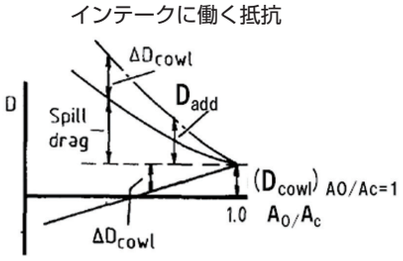
スピレージ抵抗は、インテークから流れが溢れることによって生じる抵抗である。以下に計測手法概要を示す。

インテークが発生する抵抗D_{intake}は、インテークを覆うカウルの抵抗D_{cowl}と、インテークに流入する流管が減速される際に発生する抵抗D_{add}の和で表される（式(1)）。ここで、D_{cowl}を基準状態（$A_0/A_c=1$）における抵抗とその状態からの差分ΔD_{cowl}に分けた際の、ΔD_{cowl}とD_{add}の和がスピレージ抵抗である。つまり、スピレージ抵抗はインテーク抵抗の基準状態におけるカウル抵抗からの変化量である（図4）。

$$D_{intake} = D_{cowl} + D_{add} = \underbrace{(D_{cowl})_{A_0/A_c=1}}_{\text{基準状態}(A_0/A_c=1)\text{でのカウル抵抗}} + \underbrace{\Delta D_{cowl} + D_{add}}_{\text{基準状態からの変化量}=D_{spill}} \quad (1)$$



インテークに働く抵抗



AO/Ai に対する各抵抗要素の変化

図４　インテーク抵抗[3]

インテークの抵抗を風洞試験にて計測する場合、図5に示す通り、天秤で計測される抵抗$D_{balance}$は、カウル抵抗D_{cowl}、ランプ抵抗D_{ramp}、ダクト抵抗D_{duct}、ベース抵抗D_{base}から構成される。この時、ランプ抵抗D_{ramp}およびダクト抵抗D_{duct}には流管に作用する力（付加抵抗D_{add}）の反力が含まれる。

$$D_{balance} = D_{cowl} + D_{ramp} + D_{duct} + D_{base} \quad (2)$$

よって、カウル抵抗D_{cowl}は以下のよう整理できる。

$$D_{cowl} = D_{balance} - D_{ramp} - D_{duct} - D_{base} \quad (3)$$

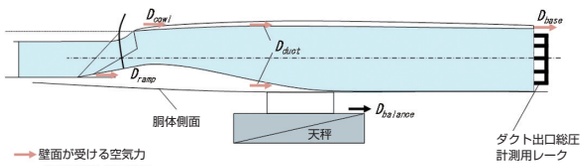


図５　インテークに作用する抵抗

一方、インテークに流入する流管に作用する力のつり合いは以下のようになる（図6）。

$$\rho_0 u_0^2 A_0 + D_{add} - D_{ramp} - D_{duct} - (\rho_e u_e^2 + (p_e - p_0))A_e = 0 \quad (4)$$

ここでρは密度、uは速度、Aは流管断面積、pは静圧であり、添え字0は無限遠、eはノズル出口を示している。

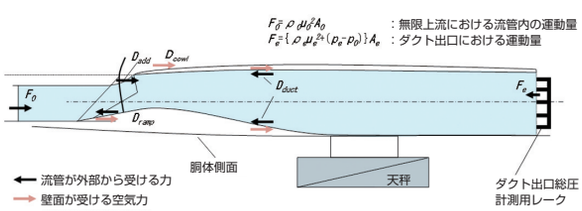


図６　インテークに流入する流管に作用する力

よって、付加抵抗D_{add}は下式のように表せる。

$$D_{add} = D_{ramp} + D_{duct} + (\rho_e u_e^2 + (p_e - p_0))A_e - \rho_0 u_0^2 A_0 \quad (5)$$

式(3)、(5)より、天秤計測値にベース抵抗補正と内部流補正を行う事で、スピレージ抵抗を評価することができる。

$$D_{cowl} + D_{add} = D_{balance} - D_{base} + (\rho_e u_e^2 + (p_e - p_0))A_e - \rho_0 u_0^2 A_0 \quad (6)$$

実際の風洞試験では、インテークへ流入する空気流量を変化させる必要があり、そのために使用する流量調整プラグの影響が生じる。この場合、インテークに

作用する力は図7に示すようになり、天秤計測値に流量調整プラグの抵抗D_{plug}が含まれる。

$$D_{balance} = D_{cowl} + D_{ramp} + D_{duct} + D_{base} + D_{Plug} \quad (7)$$

$$D_{cowl} = D_{balance} - D_{ramp} - D_{duct} - D_{base} - D_{Plug} \quad (8)$$

流管に作用する力の釣り合いにおいてもプラグ抵抗D_{plug}の影響が生じ、式(4)、(5)はそれぞれ以下のようになる。

$$\rho_0 u_0^2 A_0 + D_{add} - D_{ramp} - D_{duct} - D_{Plug} - (\rho_e u_e^2 + (p_e - p_0))A_e = 0 \quad (9)$$

$$D_{add} = D_{ramp} + D_{duct} + D_{Plug} + (\rho_e u_e^2 + (p_e - p_0))A_e - \rho_0 u_0^2 A_0 \quad (10)$$

(8)式、(10)式から以下に示す(11)式が導出され、流量調整プラグが供試体に設置されている場合でも、天秤計測値にベース抵抗補正及び内部抵抗補正を施せば、スピレージ抵抗を評価できることがわかる。

$$D_{cowl} + D_{add} = D_{balance} - D_{base} + (\rho_e u_e^2 + (p_e - p_0))A_e - \rho_0 u_0^2 A_0 \quad (11)$$

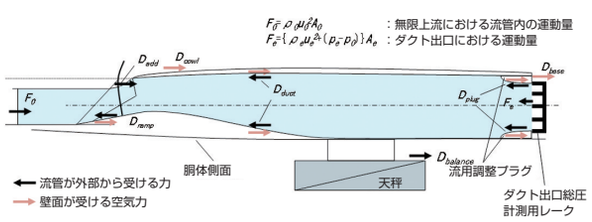


図7　インテークに作用する力
（流量調整プラグを用いた場合）

3.　風洞試験

3.1　試験概要

風洞試験はJAXA 1 m×1 m超音速風洞において、マッハ数1.6（単位レイノルズ数は25.5×10^6［1/m］）の条件で実施した。風洞試験模型はJAXA小型超音速旅客機第3.2次形状3%スケールであり、図8に示す通り、試験装置における制約を満たすため、スピレージ抵抗の計測に影響の無い主翼の外翼、尾翼を含む後胴部を削除し、前胴部を短縮した形状となっている[4]。

インテーク内に流入する空気流量は、図9に示す流量調整プラグをダクト内に取り付けることで実施し、異なる内径のプラグを用いることで、流量の調整を行った。流量条件は、流量調整プラグを用いないフロースルー形態と、流量調整プラグにより最小流路断面をそれぞれ85%、80%、75%、70%に減少させた場合の合計5ケースについて試験を実施した。また、前項に示したベース抵抗、内部流抵抗の補正を行うため、ベース圧及びダクト出口面における総圧及び静圧の計測を行った。ここで、総圧計測には図10に示す総圧計測レークを用いた。総圧の計測点は、ダクト出口面積を17等分した領域の図心位置であり、左右それぞれのダクト出口において90度間隔で十字に配置される。左右で45度傾けて取り付けられていることで、インテーク内の流れが左右対称であるという仮定のもと、45度間隔で17点の圧力計測を行うことが可能である。風洞試験実施状況を図11に示す。

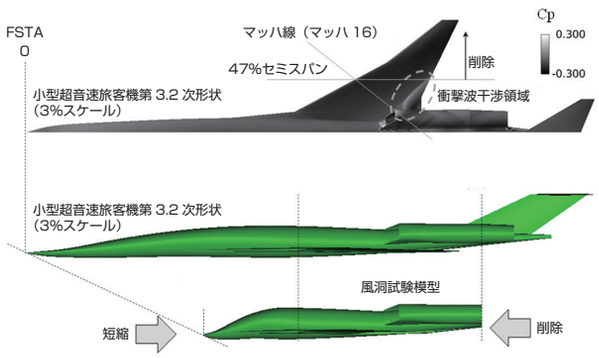


図8　風洞試験模型形状の設定[4]（© 日本航空宇宙学会）

図9　流量調整プラグ

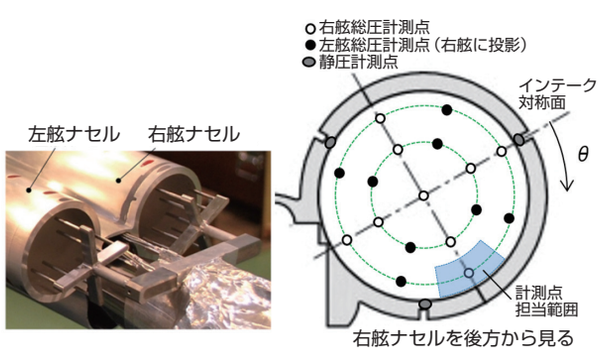


図10　ダクト出口圧力計測点

図11　風洞試験実施状況

3.2　CFD解析による補正

2項に示す通り、内部流補正にはダクト出口位置での総圧及び静圧が必要となる。風洞試験においては、ダクト出口面取得した圧力データ（総圧17点、静圧3点）の単純平均を代表値として処理に用いるためには、ダクト出口面での面平均値と風洞試験での離散的な圧力計測値の平均値が概ね一致している必要がある。しかし、流量調整プラグを装着した影響等により、ダクト出口面での圧力分布が均一ではなく、風洞試験で取得した圧力データの単純な平均ではダクト出口面での平均値を表現できないことが判明した。そのため、CFD解析（図12）を用いて風洞試験では計測することのできない圧力分布の補正を行った。なお、補正は以下に示す関係式により実施した。

$$\text{総圧} = \text{計測値} \times \frac{\text{計測点担当範囲平均ピトー圧(CFD)}}{\text{計測点位置ピトー圧(CFD)}}$$

$$\text{静圧} = \text{計測値平均} \times \frac{\text{計測点担当範囲平均静圧(CFD)}}{\text{静圧孔3点平均静圧(CFD)}}$$

ここで、計測点担当範囲は、ダクト出口面積を17等分した際の各領域である（図10）。

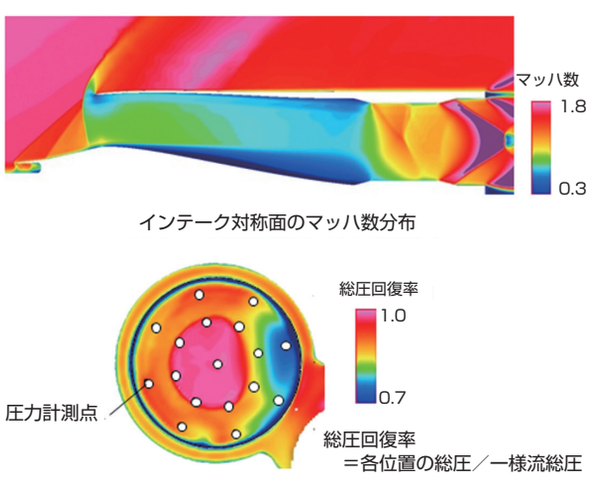


図 12　CFD 解析結果

3.3　試験結果

図13に試験により取得した揚力係数（C_L）と抗力係数（C_D）のドラッグポーラーを（a）内部流補正前、（b）風洞試験結果による内部流補正後、（c）CFD解析結果援用による内部流補正後についてそれぞれ示す。

内部流補正前のドラッグポーラーを見ると（図13（a））、インテーク内の流量をプラグにより制限していないフロースルー時が最も抵抗が小さく、流量を制限していく毎に抵抗も増加する傾向を示している。一方、風洞試験結果を用いて内部流補正を行うと（図13（b））、流量調整プラグ装着時に対し、フロースルー形態時の抵抗が大きくなり、流量を制限した際の抵抗増加をとらえられていない。この要因として、プラグ後端より生じる衝撃波の影響が挙げられる。図12のノズル出口面の総圧回復率の分布をみると、中央付近に不連続な分布があり、同図のマッハ数分布と比較すると、この不連続な境界面に衝撃波が生じていることが確認できる。つまり、この不連続な圧力分布を風洞試験における離散的な計測ではとらえることができず、内部流抵抗の補正量を過大に見積もり補正した結果、フロースルー形態時の抵抗よりも流量調整プラグ装着時の抵抗が小さくなる結果となった。そこで、CFD解析の結果を用いてこの分布を考慮した補正を行うと（図13（c））、フロースルー時に対し流量調整プラグ装着時の抵抗が大きくなり、流量を制限していく毎に抵抗も増加する結果を得られた。

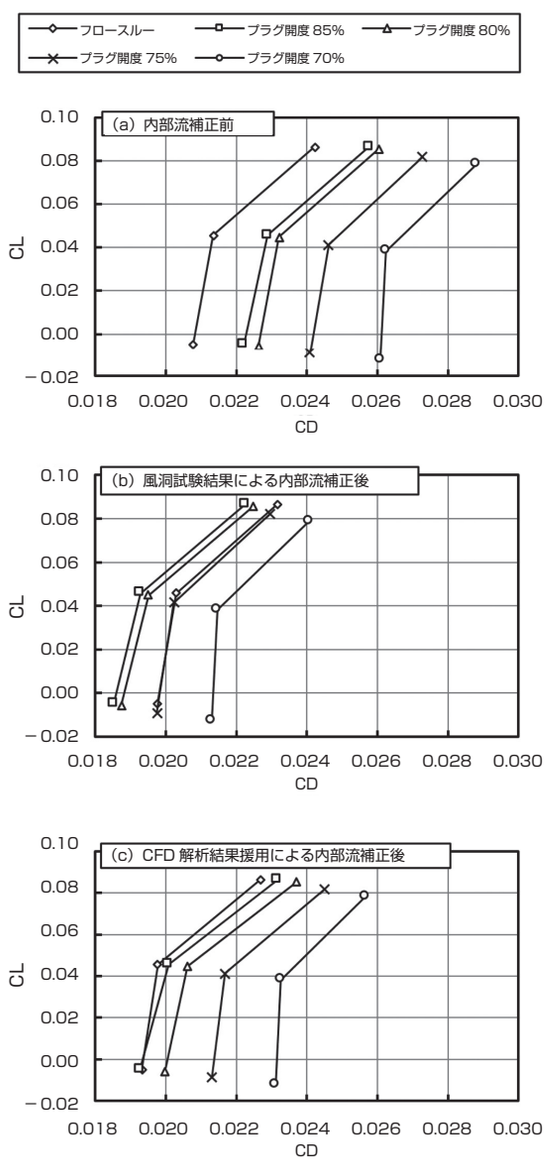


図 13　ドラッグポーラー

図14に揚力係数CL＝0におけるスピレージ抵抗を示す。ここで、スピレージ抵抗は、図13のドラッグポーラーに対して2次の近似曲線を作成し、その曲線のCL＝0における抵抗係数を求めて算出した。また、フロースルー形態（プラグ開度100%）を基準とし、そこからの差分として示した。

プラグ開度に伴い抵抗が変化し、流量を制限する毎に抵抗が増加する定性的に正しい傾向をとらえることができている。また、プラグ開度85%においては、スピレージ抵抗が生じない結果であるが、CFD及び風洞試験においてフロースルーとプラグ開度85%では、インテーク衝撃波と主翼上面の干渉領域に変化がないことが確認されている[(4)]。これは、インテークからの溢れ流れがフロースルーとプラグ開度85%では同等であるということを示しており、スピレージ抵抗が生じないという結果と整合する。以上のことから、CFD解析結果を用いて圧力分布を考慮することで、高精度に内部流補正を行うことができ、定量的にも正しくスピレージ抵抗を評価できることが確認された。

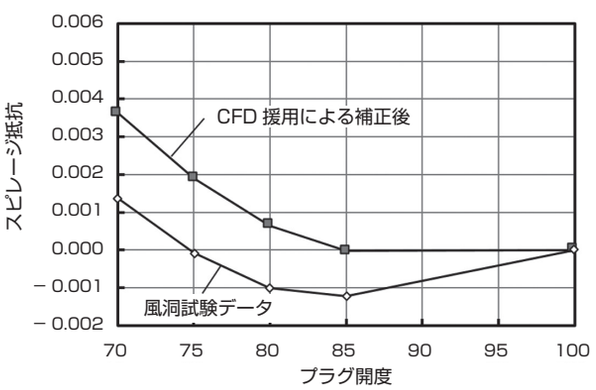


図14　スピレージ抵抗（CL＝0）

4. まとめ

本研究では、航空機超音速インテークにおいて生じるスピレージ抵抗の評価手法の高精度化に取り組んだ。従来の風洞試験における離散的な圧力計測結果のみを用いた手法では、ダクト出口面における圧力分布を捉えることが困難であり、スピレージ抵抗評価における内部流補正の精度低下を招いていた。そこで、CFD解析を用いることで、圧力分布の情報を考慮してスピレージ抵抗の評価を行った。その結果、流量を制限する毎に抵抗が増加する傾向をとらえることができるようになり、スピレージ抵抗高精度に評価可能であることが示された。

参考文献

(1) 佐藤一成，三友俊輝，磯英雄，牧野好和，渡辺安：超音速旅客機の機体／推進系統合設計のための空力特性評価技術について，第52回飛行機シンポジウム，JSASS-2014-5205, 2014.
(2) 上野篤史，牧野好和,佐藤一成，磯英雄，三友俊輝：小型超音速旅客機のCFDを援用したスピレージ抵抗計測，第54回飛行機シンポジウム，JSASS-2016-5052, 2016.
(3) J. Seddon, E. Goldsmith：“Intake Aerodynamics”, AIAA Education Series, 1999
(4) 上野篤史，牧野好和，高谷亮太，佐藤一成，磯英雄，三友俊輝：CFDを援用した小型超音速旅客機のスピレージ抵抗計測,日本航空学会論文集，65, pp. 235–242（2017）

【著　者】

高谷　亮太

三友　俊輝

山﨑　哲夫

感じる構造～ SHM 技術～の実用化を目指して

Forward to Practical Use of Structures with Nervous System

副　島　英　樹*　　中　野　拓　也*　　内　山　重　和*　　原　田　　淳*
Hideki SOEJIMA　　Takuya NAKANO　　Shigekazu UCHIYAMA　　Atsushi HARADA

抄　録

我々は、航空機の安全性を維持しつつ、機体の運航コストを低減できる「構造健全性診断(Structural Health Monitoring;SHM)技術」の開発を行っている。

2017年度の同技報において、我々のSHM技術の開発目的、システム構成、健全性診断原理、及び航空機の開発に適用されるBuilding Block Approachを参考に地上で実施した各種評価試験と初の飛行試験の成果を紹介した。本稿では、2016年度までの成果を受け実施した2017年度の飛行実証試験の概要を紹介する。本試験では、実運用環境下でも損傷検知が可能なことを実証すべく、JAXA実験用航空機に欠陥の導入が可能な供試体を取り付け、当該システムの損傷検知能力の評価を行った。本飛行実証試験の結果、SHMシステムで計測するデータに対して構造ひずみや環境温度の影響等を補正する必要はあるが、実運用環境下においても損傷検知が可能なことを実証できた。

Abstract

We have been developing a Structural Health Monitoring (SHM) system which can contribute to reduce maintenance cost without any influence on the airworthiness of aircraft.

Objectives, overview of the system, detection principle of damages, and several development results were summarized in the previous report. In this report, results of a flight test campaign conducted in 2017 to demonstrate detection capability of the system is described. In the test campaign, damages were introduced to a test specimen, which was installed to a wing spar region in a Flying Test Bed (FTB) owned by Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) in order to demonstrate that the system could detect damages even in the actual operating environments. As a result of the campaign, it was confirmed that the system could detect damages in actual operating environments.

1. まえがき

2016年度の本技報において、現在我々が実用化に向け開発に取り組んでいる構造健全性診断(Structural Health Monitoring：SHM)技術について紹介した[1]。SHM技術とは、構造に施工したセンサ等で取得したデータに基づき、構造の状態、すなわち構造健全性を評価するものである。SHM技術の実用化によるメリットの1つは維持管理コストの低減であり、航空機に限らず、その他の輸送機器や橋梁等の種々構造物への適用が期待されている。航空機の分野では加速度やひずみ等の物理量をセンサで計測し、そのデータを運航管理に生かすシステムが適用されているが[2,3]、これらは直接構造の状態を把握するものではなく、計測した多数のデータから事前に想定したリスクを予測し運用に活用するものである。一方、SHM技術は、対象構造に直接施工したセンサ等を用いて計測したデータから、直接構造健全性を診断するものであり、先の技術をより発展させた技術と考えられる。

2016年度の同技報では、当該SHM技術の開発概要と共に、当該SHMシステムの初の飛行試験について紹介した。本技報では、2016年度までの成果を受け、今年度実施した飛行実証試験について、その概要を紹介する。

なお、今年度の飛行実証試験も、2016年度同様、宇宙航空研究開発機構(Japan Aerospace eXploration Agency：JAXA)との共同研究の中で実施した。

＊ 航空宇宙カンパニー技術開発センター
固定翼機設計部

2.　超音波を活用したSHMシステム

開発中のSHMシステムの概要を図1に示す。本システムは大きく分けて、構造に施工するセンサシステム（小型アクチュエータと光ファイバセンサから成る）、センサデータを取得する計測装置、及び計測装置の操作とデータ解析を行うソフトウェアで構成される。

当該SHMシステムはアクチュエータで超音波を励起するアクティブなSHMシステムであるため、計測／構造健全性診断をオンデマンドで実施することができ、現航空機の製造／整備時に適用されている超音波検査装置と同様の使い方がより簡便に実施出来る。

図１　開発中の SHM システムの概要

図2に、当該SHMシステムの損傷検知／健全性診断原理の概要を示す。

当該SHMシステムでは構造中を伝搬する超音波をセンサシステムで計測する。超音波の伝搬経路に損傷発生／進展等の構造変化が生じると、伝搬する超音波はその構造変化に伴い変化する。当該SHMシステムでは、損傷のない健全な状態において計測した波形と、損傷発生後に計測した波形とを比較し、その変化を解析することにより構造中に発生／進展する損傷を検知して、構造健全性を診断する。

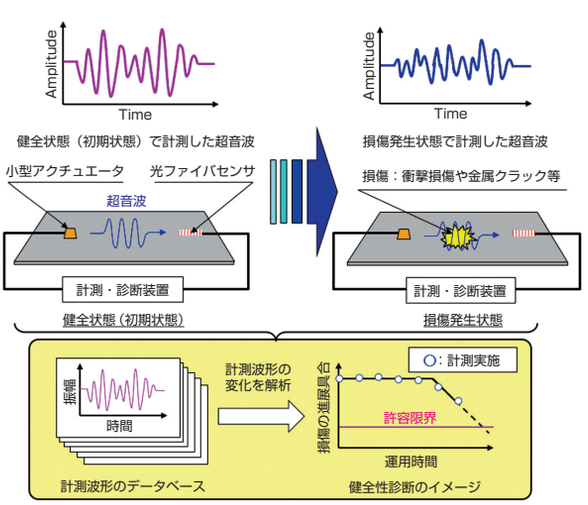


図２　損傷検知／健全性診断の原理

3.　飛行実証試験

3.1　飛行実証試験の目的

これまでの研究開発において、ハード（センサシステム、計測装置の耐久性や耐環境性等）とソフト（損傷検知能力や自己診断機能等）の両面から当該SHMシステムを作り上げてきた。2016年度、当該SHMシステムの飛行中の超音波計測能力を確認すべく、初の飛行試験を行った。その結果、機体の与圧部（キャビン）内に施工したセンサシステムで計測した波形から、飛行環境下でも地上と同様に超音波を計測できることを示した。これを受け、今年度は、高荷重が負荷され、気圧／温度が制御されておらず、2016年度よりも厳しい環境と想定される与圧部外においても超音波計測が可能なこと、及び、航空機実運用環境下でも損傷検知が可能なことを示すべく、飛行実証試験を行った。

3.2　試験に供したSHMシステム

図3に、飛行実証試験に供したSHMシステムの全様を示す。本試験では先に示した2つの目的を実証すべく、二組のセンサシステムを機体に施工した。

一組のセンサシステムは、中央翼前桁のうち比較的大きなひずみが発生すると想定される桁フランジに近いウェブ面に直接貼り付けた。もう一組のセンサシステムは、中央翼前桁のウェブ面に貼り付けたアルミニウム合金供試体に施工した。

なお、上記二組のセンサシステムは与圧部外に設置されており、与圧部内に搭載した超音波計測装置等とは、機体既設のフィードスルーコネクタ等を介して接続した。

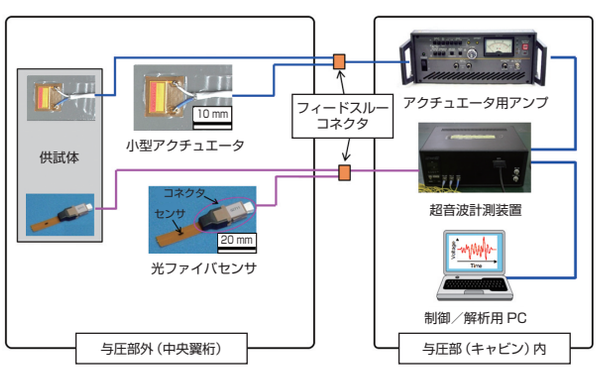


図３　搭載した SHM システムの全様

3.3　試験に供した実験用航空機

図4に、飛行実証試験に供したジェット実験用航空機（Flying Test Bed：FTB）「飛翔」の外観を示す。本FTBは、Cessna社のSitation Sovereign（セスナ式680型）を母機としてJAXAが実験用航空機へと改修した機体である。

なお、前述のセンサシステム及び供試体は図４中に図示する部位のアクセスパネル（機体外板）を外して中央翼前桁の左舷エリアに施工した。

図４　実験用航空機「飛翔」の外観

3.4　評価方法

本飛行実証試験では約3週間の期間で当該SHMシステムの施工、複数回のフライト、及び撤去を行った。

機体への当該SHMシステムの施工が完了した後、SHMシステムと実験用航空機の計器類とが互いに干渉しないことを確認するために電磁干渉試験を実施した。後述する損傷検知能力の評価においては、このとき計測した波形を基準波形としている。この後、先述の2つの目的を達成すべく複数回のフライトを行った。図５に示すように、各フライト時の超音波計測はフライト前／中／後の所定のフェーズ（離陸、定常飛行、及び旋回時等）において実施した。

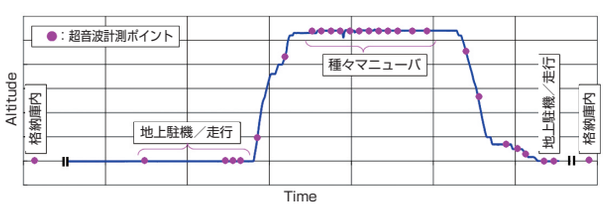


図５　飛行試験プロファイルの一例

3.4.1　計測に及ぼす飛行環境の影響評価

超音波計測に及ぼす環境影響、すなわち、構造ひずみと環境温度の影響を評価するために、中央翼前桁に直接貼り付けたセンサシステムを用いて超音波の計測を行った。なお、光ファイバセンサの近傍にはひずみゲージと測温抵抗体を設置し、ひずみと温度を連続計測した。飛行環境の影響は、当該SHMシステムで計測した波形の変化とひずみや温度の変化とを比較検証することにより定性的に評価した。

3.4.2　損傷検知能力の評価

当該SHMシステムの損傷検知能力を評価するため、供試体に施工したセンサシステムを用いて超音波の計測を行った。図２に損傷検知／健全性診断原理を示したが、当該SHMシステムでは、健全状態において計測した波形と損傷発生時に計測した波形とを比較し、その変化を解析することにより損傷検知／健全性診断を行う。本試験では、健全状態すなわち基準波形を電磁干渉試験時に計測した波形、所定のフライトの前後に地上で計測した波形を、損傷発生時に計測した波形として当該SHMシステムの損傷検知／健全性診断能力の評価を行った。なお、損傷発生を模擬するため、供試体には、所定のフライトの後に地上で切り込みを導入した。

波形の変化を定量的に評価するために、基準波形と各比較対象波形との類似度を指標化する相互相関係数cを診断指標として導出した。なお、相互相関係数は、1.0の時に基準波形と比較対象波形が完全に一致し、1.0から低下するにつれ、基準波形との相違が大きくなることを示す。

$$c=\frac{\sum_{t=0}^{t=t_{max}} f(t)\cdot g(t)}{\sqrt{\sum_{t=0}^{t=t_{max}} f(t)^2}\sqrt{\sum_{t=0}^{t=t_{max}} g(t)^2}} \qquad (1)$$

f（t）：基準波形　　g（t）：比較対象波形

4.　試験結果及び考察

4.1　計測に及ぼす飛行環境の影響評価

図６に、フライト中に計測した波形の一例を示す。各グラフには、基準波形（電磁干渉試験時に計測）を各飛行フェーズで計測した波形と合わせて示している。本図から、与圧部外に設置したセンサシステムを用いて超音波の計測が可能なことが確認できる。ただし、いずれの飛行フェーズで計測した波形とも、基準波形に対して振幅が低下しており、その低下の程度は、定常フライトでは小さく、旋回時及びElevator操舵時では大きい。図７に、図６に示した波形を計測した際に連続計測していたひずみと温度のプロファイルを示す。図７中には、図６の波形を計測した際の飛行フェーズも合わせて示しているが、波形の振幅が大きく低下している旋回時及びElevator操舵時のひずみ変化が大きいこと、また、波形の振幅低下がそれほど顕著でない定常フライト時はひずみの変化がほとんど無いことが確認できる。従って、飛行中に計測した波形の振幅低下の原因は、飛行中のひずみ変化によるものと推察される。また、図７によれば、温度の変化はおおよそ2℃程度と小さく、図６に示す波形には温度変化の影響はないと考えられる。以上の結果は、過去に実験室等で実施した評価試験と同様の傾向を示しており、超音波計測に及ぼす飛行環境の影響をおおよそ把握することができたと判断する。

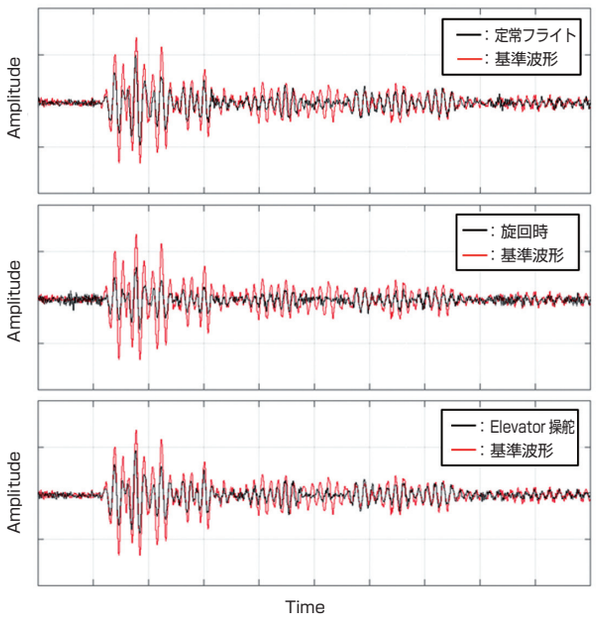


図６　フライト中に計測した波形の一例

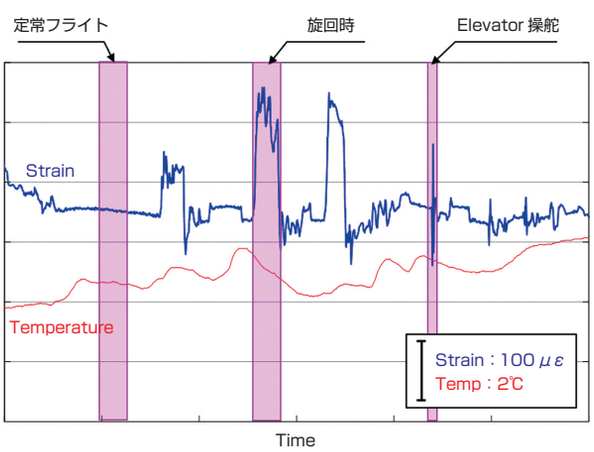


図７　フライト中に計測したひずみと温度

4.2　損傷検知能力の評価

図８に、供試体に施工したセンサシステムで計測した波形を用いて導出した診断指標を示す。本図より、フライトNo.n後にハンガ内で切り込みを導入した後、診断指標が大きく低下していることが確認できる。また、切り込み導入前においては、診断指標はほぼ1.0を示しており、電磁干渉試験時（基準波形）から波形が変化していない、すなわち、供試体に変化が無いことを示していると判断できる。さらに、同診断指標は、切り込み導入後、フライト（n＋1）を経た後もほぼ同じ値を示しており、供試体に導入した切り込みが変化せず、同じ状態を維持していることを示していると判断できる。これらの結果は、フライト後ハンガ内でアクセスパネルを外して実施した供試体の目視確認等の結果と一致している。従って、例えば、図８中の青線の値に当該指標の閾値を設定することにより、切り込み導入、すなわち供試体に発生した損傷を検知できると判断できる。

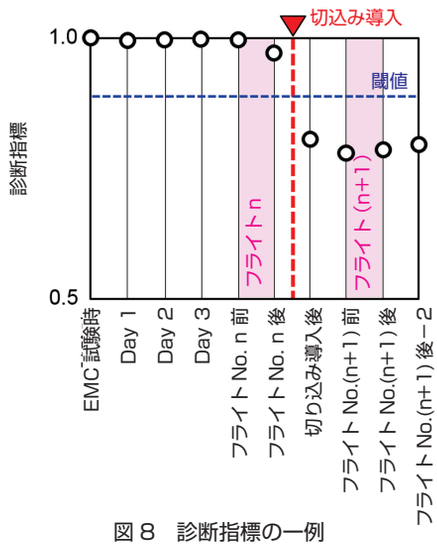


図８　診断指標の一例

参考までに、図８の診断指標を導出する際に用いた波形の一例を図９に示す。

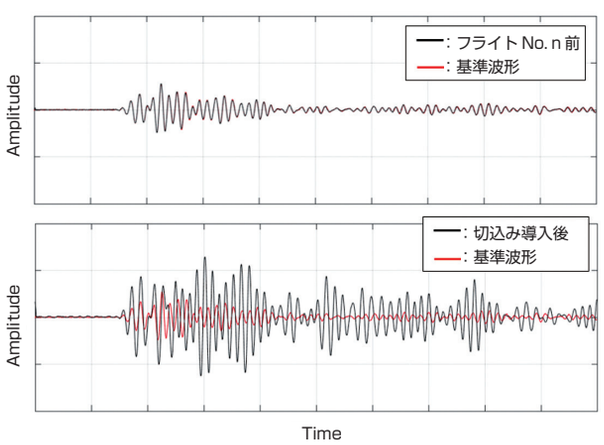


図９　切り込み導入前後に地上で計測した波形

図９からも明らかなように、診断指標が1.0を示すフライトNo.n前に計測した波形と基準波形とは一致しており（グラフでは2つの波形が完全に一致しているため2つあることが確認できない）、切り込み導入後に計測した波形は基準波形から大きく変化している。なお、切り込み導入後に計測した超音波の振幅が増加しているのは、切り込み導入により供試体の剛性が低下したため伝搬する超音波の見かけ上の減衰率が低下したことがその一因として考えられる。

4.3　環境影響を考慮した損傷検知能力

当該SHMシステムは原理的に航空機のあらゆる運用フェーズで活用できると考えられるが、そのためには様々な環境条件下で適切な損傷検知／健全性診断を

行うことが必須である。

図8の診断指標を詳細に確認すると、フライトNo.nの前後等で当該指標が若干低下しているのが確認できる。図10に、これらに該当するフライトNo.n前後に計測した波形を示すが、診断指標の変化に相当する波形変化が確認できる。この間、供試体への切り込み導入等は行っておらず、この変化の要因は、フライト中のひずみ／温度変化の影響が供試体に蓄積されたことによるものと推察される。このような微小な変化を捉えられることは超音波を用いる損傷検知／健全性診断技術の特長の一つと考えられ、この特長を生かすためにも、4.1項で示した環境影響の評価結果、及び、超音波が伝搬する構造や伝搬する超音波の特性等を十分考慮して、適切な診断指標と閾値の設定を行うことが必須である。本件については、AIやBig data分析といった技術を活用することも選択肢の一つと考え、様々な手法を検討中である。

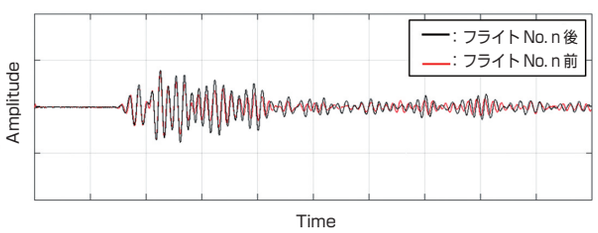


図 10　フライト No.n 前後に地上で計測した波形

5.　まとめ

2016年度、今年度の2カ年で開発中のSHMシステムの飛行実証試験を行い、飛行環境下でも超音波計測が可能なこと、及び実運用環境下でも損傷検知が可能なことを実証した。本結果は、航空機構造そのものに発生した欠陥を検知した例ではないものの、実際の航空機を用いて実運用環境下において損傷検知能力を実証した例であり、著者の知る限り同様の結果は無く、SHM技術の開発にとって非常に意義のある一歩と考える。

本結果を含むこれまでの知見をもとに、環境影響を考慮した損傷検知／健全性診断が可能となれば、飛行中に損傷検知／健全性診断した結果をパイロットに伝え、機体構造の状態に応じたフライトを行う、あるいは、診断結果から導出した必要なアクションを、着陸前に空港に伝えておき、着陸後直ちにそのアクションをとる等の対応が可能となる。

今後、実証試験等によるデータの蓄積及び蓄積した多量のデータの解析(Big data分析等)を行うと共に、航空機適用のために必須となる規格への対応を図り、当該SHMシステムを実用化して、運航の安全性向上や運航コストの低減／運航効率の向上に寄与したい。

6.　謝辞

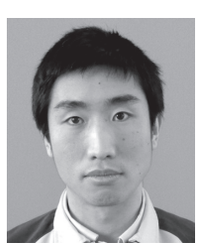
本研究の一部は、経済産業省、(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構、及び(一財)素形材センターとの契約に基づき実施したものである。また、実験用航空機を用いた飛行実証は、(国研)宇宙航空研究開発機構との共同研究の一環として実施したものである。関係各位に謝意を表する。

参考文献

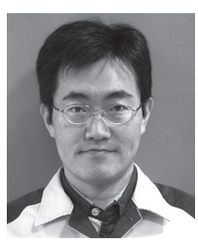
(1) (株) SUBARU：スバル技報No.44 2017
(2) Department of Defense, USA： Aircraft Structural Integrity Program（ASIP）(MIL-STD-1530D) 2016
(3) M. R. Woodward, JC MacConnell, and R. J. Burt：Structural Prognostics and Health Management（SPHM）for the F-35 Lightening II, 2009 Aircraft Structural Integrity Program（ASIP）Conference, 2009

【著　者】

副島　英樹


中野　拓也

内山　重和


原田　　淳

プロジェクション・マッピングを活用した航空機の生産性向上

Productivity Improvement for Aircraft Manufacturing by Projection Mapping

菊池 麿介[*1] Marosuke KIKUCHI
遊馬 徹[*1] Toru ASUMA
芝尾 裕規[*2] Yasunori SHIBAO
鈴木 啓[*3] Kei SUZUKI
戸井 健太郎[*4] Kentaro TOI
梅津 友太[*5] Yuta UMEZU
清水 酉一[*5] Yuichi SHIMIZU

抄 録

航空機の製造工程で実施しているマーキングの代替としてプロジェクション・マッピングを活用し、生産性の向上を実現させた。具体的には、図面情報の記載作業及びその清掃作業を削減した。

本稿では、航空機製造におけるプロジェクション・マッピングの活用方法について詳しく報告する。

Abstract

Productivity improvement is achieved by applying a projection mapping system to aircraft manufacturing instead of marking process. The system took out risks of making errors occurred in the marking process which includes transcribing and cleaning drawing information. In this paper, we summarized issues and solutions for applying the projection mapping system to actual aircraft manufacturing.

1. まえがき

航空機の需要は今後も増加が予測されているが[(1)]、競争の国際化など航空機製造を取り巻く環境は厳しくなっており、今後の事業獲得には低コスト及び高い生産性へ対応等、製造面での市場競争力の確保が必要である。航空機組立の現場では、構造間の精度の確保のための摺合わせ作業等、未だ人の手による作業が多く行われており、これらの手作業を無くすことは低コスト化、高い生産性対応への鍵の一つである。

当社で製造中の大型固定翼機の組立工程において、手作業の削減／改善可否について観察及び分析を行った所、作業ミスの防止を目的として図面情報を基に部品情報等を実機表面に書き写し／消しとる「マーキング」と呼ばれる手作業が行われていることが分かった。

本稿では「プロジェクション・マッピング」の活用による「マーキング」作業の削減／代替検討及び適用結果についてまとめる。

＊1 航空宇宙カンパニー　技術開発センター
　固定翼機設計部
＊2 同　システム設計部
＊3 同　新多用途ヘリコプター設計部
＊4 航空宇宙カンパニー　生産技術部
＊5 同　製造部

2. マーキング

マーキングは、穿孔や孔の皿取り、打鋲作業におけるミスの防止を目的とした補助作業（**図1**）であり、以下に示す①、②、④を行う。

①図面情報を実機に書き写す。
②図面情報と見比べ間違いがないか確認する。
③作業（例：穿孔・皿取り・打鋲等）
④清掃作業（マーキングのふき取り）

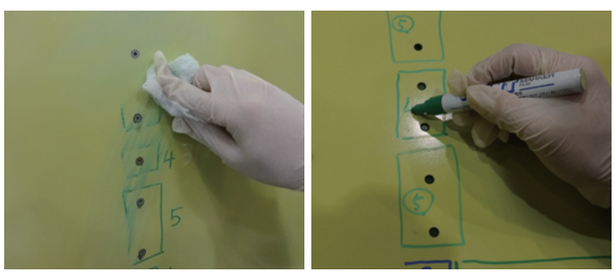


図1　マーキングと清掃作業

作業者は誤記載による作業ミスへの不安を感じ、記載した内容に間違いが無いかの確認行為等で心身的な負荷を受けている。また、作業完了後は溶剤による清掃作業が必要であり、環境への負荷を与えている。

3. マーキング代替技術選定

マーキングの代替技術として、拡張現実(AR)とプロジェクション・マッピングを検討した。検討項目として、安全性・作業性・コストを評価し、総合的に優れているプロジェクション・マッピングを選定した。以下に検討内容を示す。

3.1 拡張現実(AR)

拡張現実(AR)は、現実空間に仮想情報を重ねて表示する技術である。作業者がウェアラブル端末を利用する場合、作業者の視野が狭まるため安全性や作業上の観点から好ましくない。さらに、対象物へ正確に情報を重ねるためには高度な画像解析技術が要求され、導入までには多大なコストが必要である。

3.2 プロジェクション・マッピング

プロジェクション・マッピングは、映像やコンピュータグラフィック等をスクリーンのような平面に単純投影するのではなく、建物や家具などの立体物、または凹凸のある面にプロジェクタ等で投影する技術である[(2)]。ARと比較し、作業者には視覚的な制限がなく安全性に影響を及ぼすことはない。また、複数人での確認が可能のため、お互いに作業の誤りを発見することができヒューマンエラー防止の効果が高まる。さらに、一般のエンターテインメント等で利用されているような既存の技術で対応できるため、導入までのコストは比較的安価である。

4. プロジェクション・マッピング適用技術

航空機の構造部品は曲面から構成されているため、投影した画像の補正を行う必要がある。また、比較的大きいため、複数台のプロジェクタを使用し、それらから投影した画像を滑らかに繋ぎ合わせる必要がある。そこで、以下の技術を活用した。

4.1 曲面補正技術

図2に示すように、曲面から構成された対象物に投影すると図3のように画像が歪んでしまう。投影した図面情報を正しく認識できるようにソフトウェアを利用して画像を補正する(図4)。

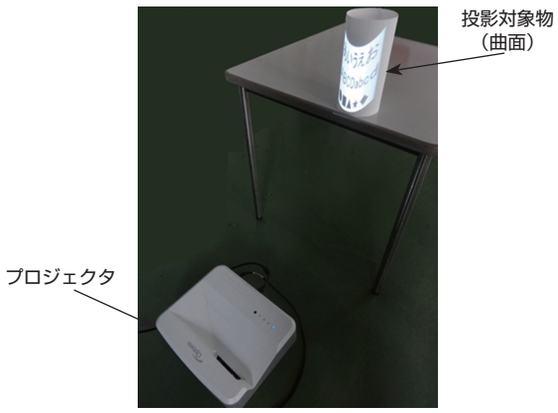


図２　投影

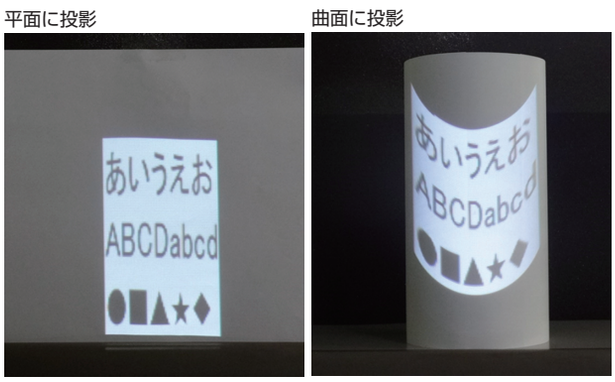


図３　平面および曲面に投影した場合

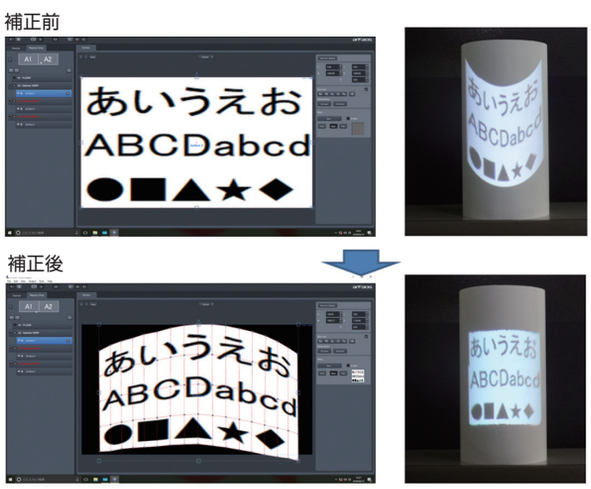


図４　画像補正前と補正後

4.2 ブレンディング技術

複数のプロジェクタによる投影を行う場合、重なり合った部分の輝度が上がってしまい不自然に見える。そこで、航空機のフライトシミュレータ開発で適用実績のあるブレンディング技術を利用した。ブレンディング技術とは、重なり合った部分の輝度を調整する技術であり、複数の投影画像がひと続きになっているように見せることができる(図5、6)。

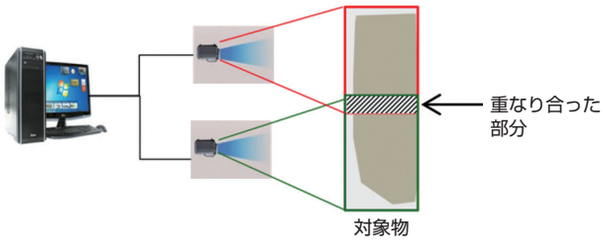


図５　ブレンディング技術適用範囲

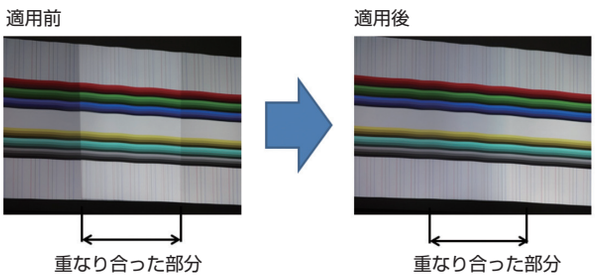


図６　ブレンディング技術適用前と適用後

5.　試行

4項で示した技術が適用可能か確認するため、必要な機材を選定し、実機で試行した。その結果を以下に示す。

5.1　機材の選定

5.1.1　ソフトウェア選定

ソフトウェアには、曲面補正技術およびブレンディング技術が使用可能であり、複数のプロジェクタへ画像を出力させる機能を持ったArkaos社製のGrandVJを選定した(図7)。尚、今回は手動で曲面補正及びブレンディングを行った。

図７　Arkaos 社製「GrandVJ」

5.1.2　プロジェクタ選定

プロジェクタには、短い距離で投影が可能な短焦点プロジェクタであるOptoma社製のEH320USTを選定した(図8)。一般的なプロジェクタは、焦点距離が長いため投影対象物から距離をとる必要があり、図9にあるように作業者の影が発生する。短焦点プロジェクタは焦点距離が短く、プロジェクタを投影対象物に近づけることが可能であり、作業者が間に立ち入ることがないため影が発生しない。短焦点とすることにより、作業者の影の問題を解消した。

輝度は、組立職場環境を考慮して4000ルーメンとした。

図８　Optoma 社製「EH320UST」

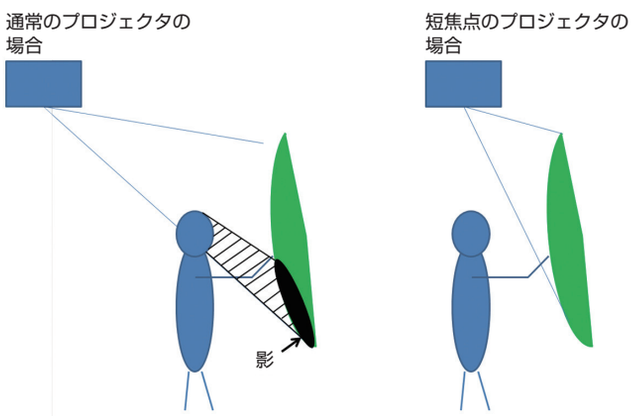


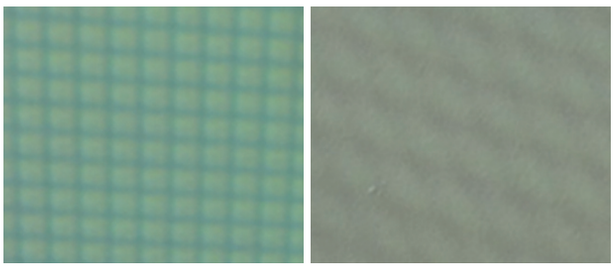
図９　短焦点プロジェクタによる影の発生防止

5.2　投影パラメータ

実機に投影された画像で、適切な文字の大きさ、フォント、色合い等の見やすさを確認した。投影面からプロジェクタの照射レンズまでの水平距離は約560 mmである。適切な投影パラメータは以下であった。

・文字の大きさ…最低10 mm以上
・フォント…英数字：Arial、かな：MSPゴシック
・色…今回は投影対象部品の表面が黄色だったため、白、黄色、黄緑、緑などは見づらかった。なお、見づらい色を使用する場合は、周囲を黒やグレーで囲う・塗りつぶす対策が必要である。

プロジェクタを傾けて設置すると、画素形状が図10のように変形してしまい文字等が見づらくなる。よって、プロジェクタは水平に設置することが好ましい。



プロジェクタを水平にした場合の画素形状　　プロジェクタを右斜め下に傾けた場合の画素形状

図 10　プロジェクタの設置角度による画素形状

これらの投影パラメータは、ある機体についての試行により得られたものであり、投影した画像の見やすさはプロジェクタの投影距離や対象物の色等で異なる。実機適用する際は、画像の視認性を高めるために作業環境に適した投影パラメータを確認することが望ましい。また事前に確認しておくことで画像作成時の戻り作業を削減することができる。

6.　実機適用

5項の試行で得られた知見を基に治具を設計・設置し、プロジェクション・マッピングを、大型固定翼機の組み立て職場(図11)に適用した。

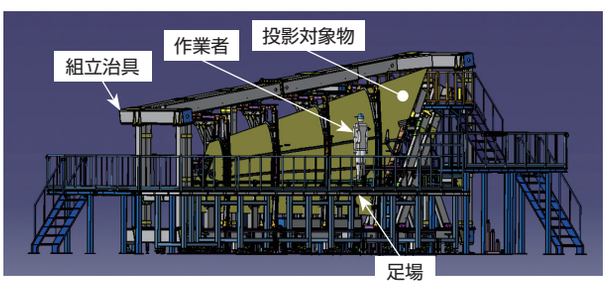


図 11　大型固定翼機の組立職場イメージ

6.1　前提事項

投影画像は、投影対象物の決められた位置に毎回映し出す必要がある。そのため投影対象物とプロジェクタの相対位置は一定に保つ必要がある。本組立職場において、投影対象物である実機は組立治具に固定されるため、プロジェクタも毎回同じ位置に設置する。

6.2　プロジェクタ設置位置の設定

プロジェクション・マッピングを用いた組立作業の環境構築にあたり、下記の要領でプロジェクタ設置位置を設定した(図12)。

・投影対象物の全面に投影するため、プロジェクタの投影可能範囲から設置位置と台数を算出。
・作業者による影の発生を防止するため、上方から投影する。
・作業の邪魔にならないよう作業者の作業範囲と未使用時の格納位置を考慮。

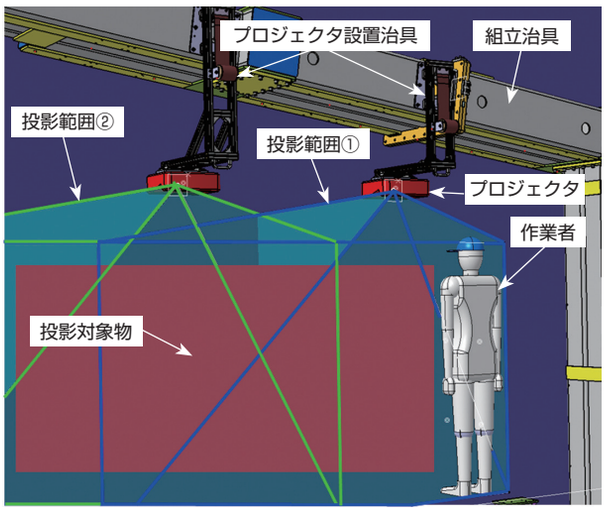


図 12　プロジェクタ設置位置

6.3　プロジェクタの格納と投影位置の再現性

プロジェクタ設置治具には、未使用時にプロジェクタを格納するための、上下方向に移動可能な機構を付けた。また、プロジェクタを取り出して元の位置に戻せるように、ロック機構を付けた(図13)。

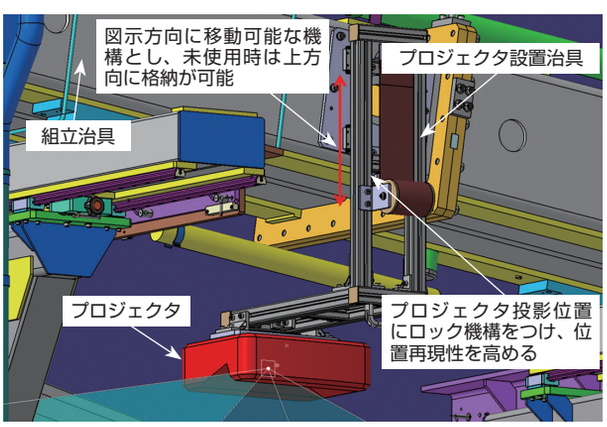


図 13　プロジェクタ設置治具

6.4　プロジェクション・マッピング適用工程

実際の作業にて適用した工程と投影内容及びその目的を表1に示す。

表 1　適用工程

工程	投影内容及び目的
穿孔	孔径や皿取りの有無を投影することにより間違った穿孔及び皿取りを防止する。
打鋲	ボルト、ナットなどの規格名称を投影することによって同じ工程内で打鋲する数十種類のファスナの誤取付けを防止する。

7. 実機適用結果

プロジェクション・マッピングを大型固定翼機の組立作業である穿孔及び打鋲に適用し、作業者が投影画像に記載された図面情報を確認しながら作業をスムーズに行うことができた。そして想定していた組立作業時間の短縮が可能であることを確認した。

8. 水平展開

以下に、プロジェクション・マッピングの活用により生産性向上が見込める工程を示す。今後は各々における導入までのコストと改善効果を吟味しながら適用の検討をしていく。さらに、活用できる他工程を調査し、適用範囲を拡大していく。

(1) 組立作業工程
・機体に部品の番号と輪郭を投影することによって、類似形状部品の誤取付けを防止する。
・部品間の隙間量や電気抵抗等の図面指示内容を測定対象物に投影することによって、図面指示を確認する手間を省く。
(2) 塗装作業工程
・迷彩色の境界線を投影することによって、マイラー作業の代替とする。投影された境界線を確認しながら塗り分けることが可能となる。

9. まとめと今後の課題

航空機製造におけるプロジェクション・マッピングの活用により、マーキングの作業時間を削減し、誤記のリスクを排除することができた。製造作業のアシストとして充分に機能し、低コスト及び高い生産性に寄与することが分かったため、さらなる適用範囲の拡大を自動車製造も視野に入れて検討する。

今後の課題は、航空機製造の塗装職場や自動車製造の溶接職場など、プロジェクタ位置の固定あるいは再現ができない職場への適用である。その実現には曲面補正を自動化する技術が必要となるが、候補技術はあるため、費用対効果を鑑みながら適用可能なシステム仕様の検討を進めていく。

最後に、本技術適用によりマーカー・溶剤等の副資材削減による環境負荷も低減できたことを補足する。

参考文献

(1) 一般財団法人 日本航空機開発協会：民間航空機に関する市場予測，
http：//www.jadc.jp/files/topics/118_ext_01_0.pdf（2018-3-15）
(2) 一般財団法人 プロジェクションマッピング協会：プロジェクションマッピングについて，
http：//www.projection-mapping.jp/（2018-2-27）

【著　者】

菊池　麿介

遊馬　　徹

芝尾　裕規

鈴木　　啓

戸井 健太郎

梅津　友太

清水　酉一

大型サブ組立の一気通貫生産ラインの構築

Continuous Streamlining Production Line for Sub Assembly

粟飯原　光一*　福　島　　敦*　佐々木　慎太郎*　柿　﨑　広　平*
Kouichi AIBARA　Atsushi FUKUSHIMA　Shintaro SASAKI　Kohei KAKIZAKI

抄　録

航空機の構造組立では、大物重量部品や長尺部品の組立作業に対して、要求される組立精度を維持しつつ、安全性や作業性を充分に確立すること、その上で、種々の設備レイアウトや動線を構築することが、効率的に生産を行うための重要な要素である。中でも中央翼の組立作業では、10種類以上の大型サブ組立作業を経て最終組立に至る。新しい中央翼のサブ組立生産に伴い、自動化・省人化によるコスト削減、各工程間の物流最適化を狙い、生産ラインを新たに構築した。本稿では、導入した治具・設備・運用の概要と成果の事例を紹介する。

Abstract

In assembly work using large parts of aircraft, it is important to construct a safe and easy-to-work facility layout while maintaining the accuracy of assembly. SUBARU has been manufacturing the Center Wing Box of a large aircraft. We also built a new production line for a new aircraft which is larger than the previous aircraft. This production line was constructed for automation, cost savings through labor saving, and optimization of transport between assembly areas. This document introduces jigs, equipment, operation outline and examples of results.

1.　はじめに

当社は、長年にわたって中央翼(Center Wing Box)、主脚扉(Main Landing Gear Door)、前方翼胴フェアリング(Wing/Body Fairing Forward Section)等の製造を行ってきた。 中でも中央翼(**図1**)の組立作業では、10種類以上の大型サブ組立作業を経て最終組立に至るが、この内の主要なサブ組立作業は、栃木県の宇都宮工場で部品加工、処理・塗装から組立作業までを行い、完成後に愛知県の半田工場に輸送し、最終組立を行っている。

これまでの生産ラインは、20年以上前に構築した専用工場を使用しており、当時としては最新の自動打鋲機(リベッター)を導入し、コンパクトな工場の中に、部品製作から組立までの工程を効率的に構築している一貫生産ラインであった。今回この現行の生産ラインを見直し、自動化、省人化によるコスト削減、各工程間の物流最適化を狙って、新たな生産ラインを構築した。

＊ 航空宇宙カンパニー　生産技術部

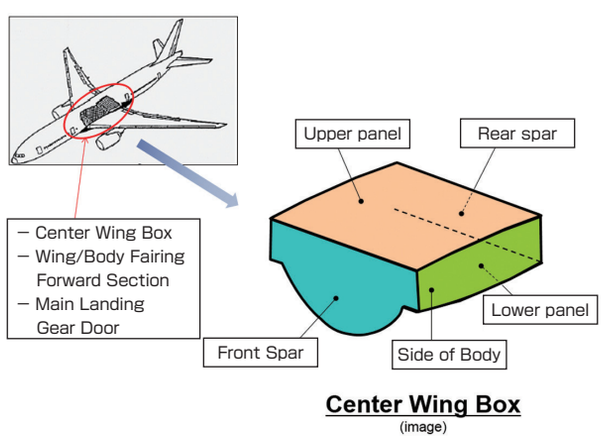


図 1　航空機中央翼の例

2.　現行生産ラインの課題

現行生産ライン(**図2**)は、部品受入、保管、部品の位置決め･仮取り付け、自動打鋲作業、残手打鋲作業、シーラント塗布作業の各エリアに分かれている。この現行生産ラインは、工程間動線を最小化するために組立治具を集中配置して自動打鋲機に供給するコンセプ

トだが、ワークの移動は天井クレーンに頼っており、有資格者による作業、クレーン待ち、ワーク移送時の高所作業が伴っていた。また、ワークの動線が一方通行となるラインレイアウトでないため、部品搬入から出荷までのモノの流れも効率的ではなかった。課題は大物重量部品の組立作業と移動に対して、人的負荷を排除、軽減し、今まで以上に効率的な生産方式へ移行することである。

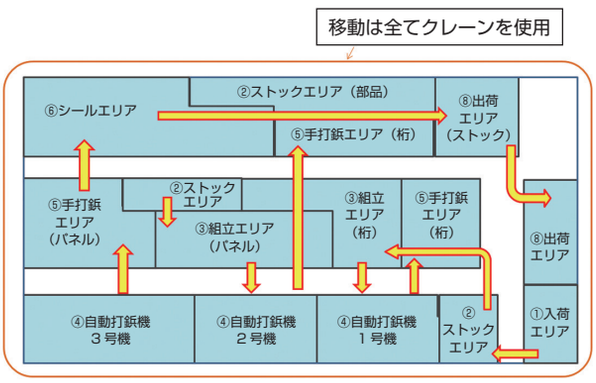


図２　現行生産ライン

3.　新規生産ラインでの取り組み

3.1　工場レイアウトの見直し

図3に作業工程に対して戻り作業が無く、ワークが一方通行に流れていく整流化を基本コンセプトとした「新規生産ライン」を記載する。新規生産ラインでは、大きさが異なる大物組立品に対して、各工程での作業性やポジション間移動の容易さ、載せ替え時間の削減等を考慮した。具体的には「ワークフレームを使用する搬送エリア」と「モノレール式搬送ラインエリア」の2パターンに分け、それぞれに無人搬送車AGV（Automatic Guided Vehicle）を組み合わせた（後述）。

全体の作業の流れは、最初に部品入荷から打鋲作業までである。サブ組立は形状で大きく分けると、「パネル」・「桁」の2つに分類ができる。部品形状や作業内容を考慮し、新規生産ラインは、「パネル」と「桁」でそれぞれエリアをまとめた。具体的な作業の流れとしては、まず、それぞれ専用の組立治具を用いて、スキンと補強材（Stringer）の仮止め作業を行う。その後、自動打鋲機による穿孔・リベット打鋲作業を行い、残った箇所は手打鋲エリアで電磁打鋲機を用いて作業する（後述）打鋲完了したワークは、シールエリアに移動され、シール→検査→出荷と流れていく。

各エリア間の搬送には、AGV、ワークフレーム搬送、モノレール式搬送の3つの搬送方式を効果的に組み合わせるレイアウトとした。モノの流れと逆走するようなワーク移動の無駄が解消され、搬送に要する人数をミニマム化できた。

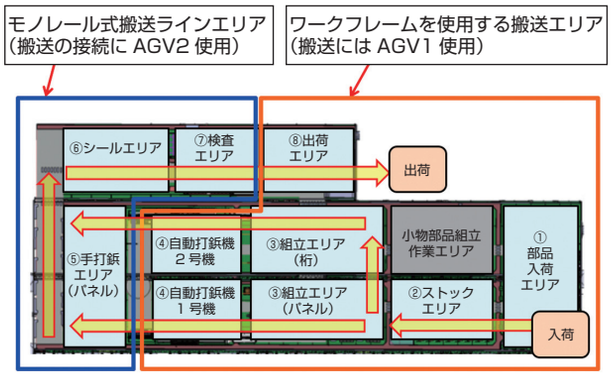


図３　新規生産ライン

3.2　部品供給・組立品移動へのAGV導入

横幅6 mを超える大物部品を搬送するため、専用のAGVを導入し、大物搬送の無人化と安全確保を両立した。

新規生産ラインでは、2種類のAGVを用意した（AGV1、AGV2）。AGV1は、主に生産ラインの前半で使用するもので、様々な形状の部品保持用治具を持ち上げる方法により汎用性を高めることで、3つの機能を持たせた（図4）。①部品を組立エリアまで搬送、②仮組立品（ワークフレーム）を自動打鋲機へ搬送、③検査エリアから完成品を出荷エリアへ搬送、である。それぞれ形状が異なった治具の下に潜り込み、治具ごとワークを担ぐ形に工夫することで、AGVの共用化を実現し、設備導入費用を抑制した。

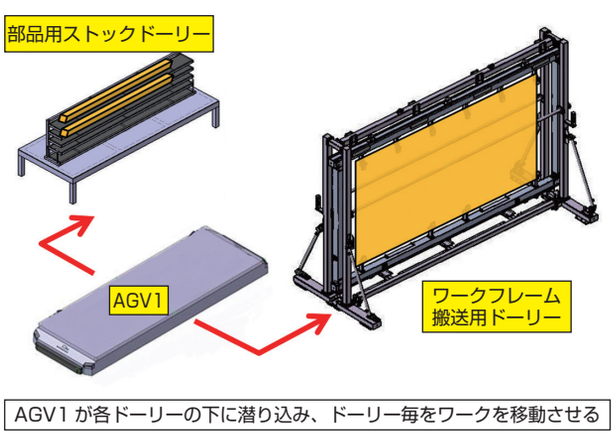


図４　AGV1（使用イメージ）

AGV2は、生産ラインの後半で使用するもので、2つの機能を持たせた。①AGVの上部構造にモノレールを一体化した。モノレール式搬送ラインへの搬送に対応（図5）。②自動打鋲機前に設置された、ワークフレームを使用した搬送ラインから、ワークのみをモノレールに吊り下げる作業を行うためのAGVに足場を一体化させたことである。

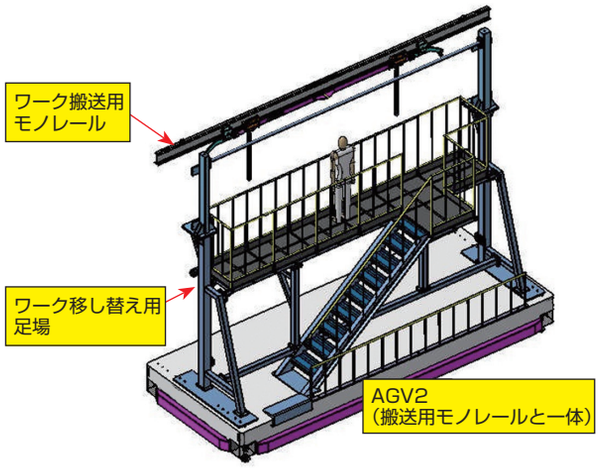


図５　AGV2（モノレール式搬送ライン用）

これらのAGVは、自動で目的地に向かうことが可能で、今までのクレーン作業とは異なり、だれでも安全にワークを移動させることができる。

3.3　搬送ラインの導入

ラインの中間にワークフレーム（約4×9 mの額縁型フレーム）搬送ライン、後半にモノレール式搬送ラインを導入した。

3.3.1　ワークフレーム搬送ライン

組立エリアと自動打鋲エリアでは、ワークにワークフレームと呼ぶ部品保持用治具をセットした状態で移動、及び組立作業を行う。これにより、①ワークの載せ降ろし回数を削減、②自動打鋲作業完了後、ワークフレームが組立エリアに戻るまで次の組立が始められないことによる作りすぎの無駄を排除、の2点の効果がある。

新規生産ラインは、2台の自動打鋲機での作業を通過するため、自動打鋲作業がタクトタイムをコントロールする。また、自動打鋲機にワークを自動で積載するために、搬送装置と連携したローディング装置を導入した（図6）。

今まではクレーンで縦吊りされたワークを人力で自動打鋲機に積載していたため、高所作業が伴い、作業も2人作業であった（図7）。

新ラインでは、自動打鋲工程でのタイムロスを減らして稼働率を上げること、安全に自動的にワークを積載できること、の2点が重要と考え、（ⅰ）自動打鋲機に自動でワークを積載させる（ⅱ）自動打鋲機の前に次のワークをストックさせる（ⅲ）自動打鋲作業が完了したワークをすぐに自動で流す、の3つの機能を満たす搬送ラインとした（図6）。

AGV1から受け取ったワークフレームは、搬送ライン上に縦置きで自動打鋲機前にストックされる。次に、自動打鋲機にワークフレームを水平にセットするため、ワークの回転→水平セット用ドーリに積載→自動打鋲機のフレーム下へ移動→リベッターのフレームへの積載までの工程を自動で行う（図8）。自動打鋲機の作業が完了すると、次工程用のストックエリアに流され、AGV2へワークが移動する。

本搬送ラインの導入により、自動打鋲機の作業を止めずにワークを流すことができ、作業者は最初にボタンを押すだけで、クレーンを使用せずに自動で安全にワークを自動打鋲機に積載・移動させることができるようになった。

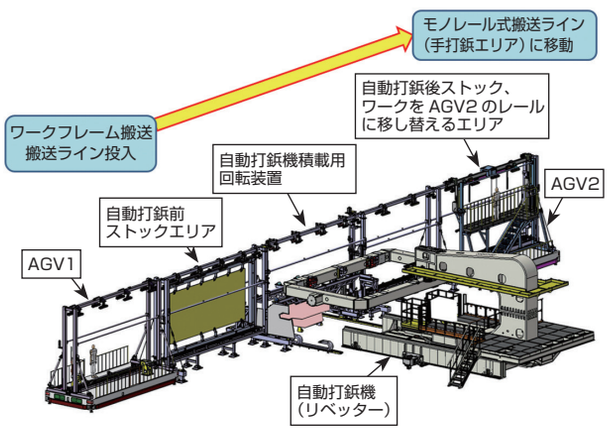


図６　新規ワークフレーム搬送ライン外観図

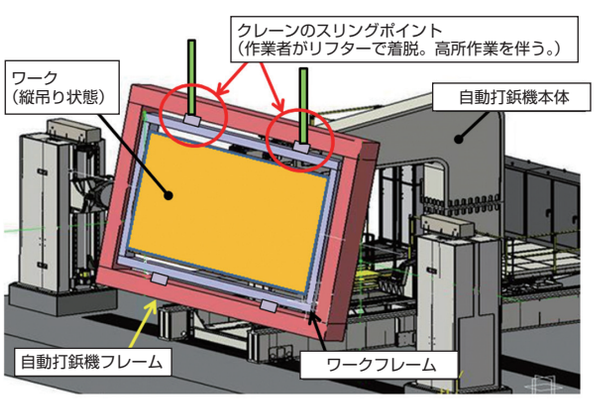


図７　現行生産ラインの自動打鋲機へのワーク積載方法

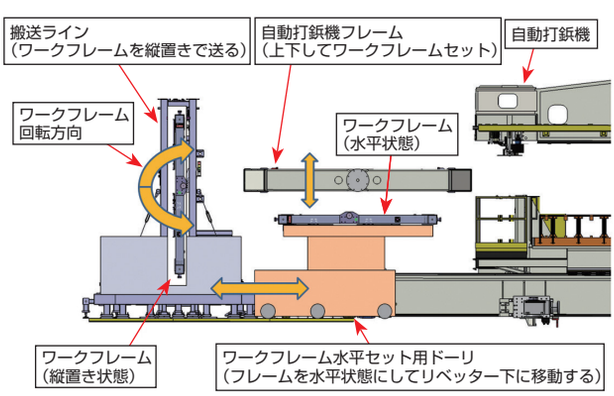


図８　新規生産ラインの自動打鋲機へのワーク積載方法

3.3.2　モノレール式搬送ライン

手打鋲エリア以降は、ワークフレームを使用せず、ワークをスリング金具により縦吊りし、モノレールに沿って、ワークを移動させる(図9)。手打鋲エリアからシールラインへの棟内移動には、AGV2を使用している。シーラントエリアに移動されたワークは、モノレールで「シールエリア→乾燥室→手直しエリア→検査エリア→出荷エリア」の作業順番に沿って一方通行にワークが流れていくレイアウトとした(図10)。旧ラインでは、ワーク毎に専用のドーリを用意していたが、新ラインでは、どのワークもモノレールに吊るして、ポジションを移動することで、工程内在庫の削減、ドーリ削減、積み替えの削減、及びワーク移動時の作業人員を2人から1人に減らすことができた。また、この方式は、大きさが異なる部品の搬送とシール作業中の機体保持方法の汎用性を高めた。

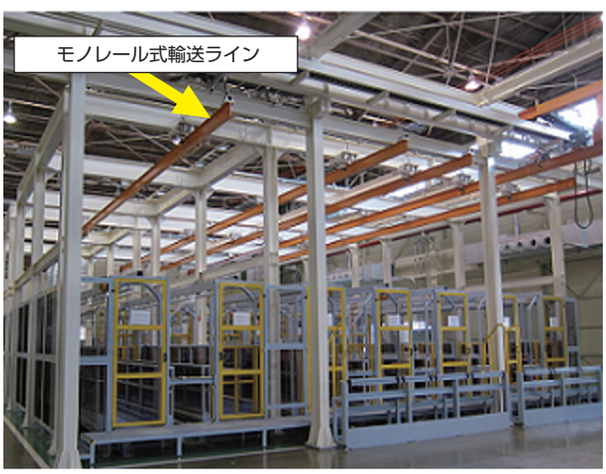


図9　モノレール式搬送ライン

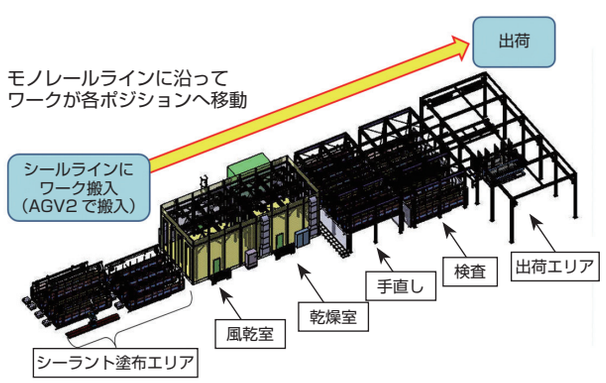


図10　新シールライン外観図

3.4　自動打鋲機の導入

中央翼のリベットには、締結したリベットに対して膨らみ量のコントロールが求められる場合があり、高度な技術が要求される。さらに、対象ワークのサイズや板厚が拡大されることや、リベットサイズも直径10 mmを超えるものが使用される可能性があり、荷重が20 t程度まで出力できる自動打鋲機が必要になる。

また、既存の自動打鋲機では1人が1台を操作するセミオートの機械であったが、新たな自動打鋲機(図11)では、作業者が目視で行っている確認作業を、画像処理やセンサーを使って自動判定・異常検知することにより、無人運転を可能とし、機械の多台持ち、作業兼務できるシステムを構築した。

具体的には、①切粉の自動検知を狙い、カメラによる穿孔後の自動孔検査、②リベット倒れやドリル折損の自動検知を狙い、寸法測定機による使用リベットとドリルの自動チェック機能、③工具使用間違え防止、工具費削減･管理容易化を狙い、RFIDによる使用ツールの管理と打鋲条件の自動呼出し等の機能を新たに追加した。

これらの機能は、打鋲前の切粉の有無、リベット倒れ、使用工具の間違い等、エラー発生時に対して自動で動作を停止させ、不具合を防止することを狙ったものである。これらの施策によって、従来は3台の自動打鋲機に各1名の作業者が常に確認作業を行っていたが、2台の自動打鋲機に台数を減らし、且つ、1名のオペレーターで確認作業をすることができ、大幅な効率化が図れた。

図11　自動打鋲機外観

3.5　電磁打鋲機の導入

自動打鋲機では打鋲が出来ないワーク表面が曲面形状の箇所や仮止め鋲の箇所は、2名の作業者による手打鋲が避けられない。直径が10 mmを超えるサイズのリベットを使用する場合、打鋲時の衝撃が大きく作業者負担が格段に増え、1本当りの連打回数の増加に伴い、打鋲時間に60秒以上要することが課題となる。そこで、新たに電磁打鋲機(Hand Held Electro Magnetic Riveter)を導入した(図12)。本設備は、電磁力により、ダイを瞬発的に飛ばし、瞬間的にリベットの打鋲をする装置である。この機械の導入により、打鋲作業には2人必要だが、打鋲時間が1秒に短縮されると同時に、打鋲時の作業者への負担が大幅に軽減された。

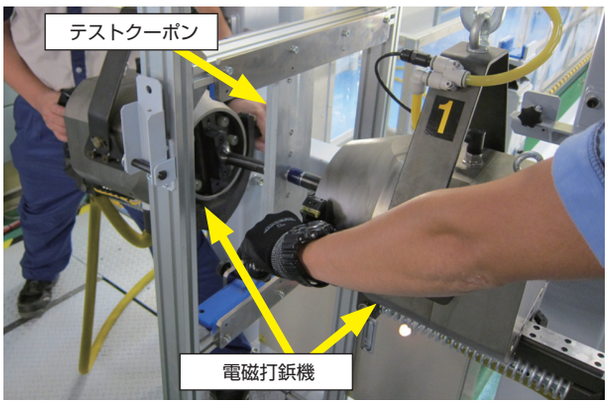


図 12　電磁打鋲機での作業イメージ

4.　まとめと今後の取り組み

生産ラインの見直しにあたり、これまで課題として把握していながら効果的な手を打てなかった数々の問題、新たな挑戦をこの新組立工場に適用した。まだ、試行錯誤している部分もあるが、生産安定化と共に、新技術の定着に務めて行く。

また、次のステップとして、高レート生産を想定し、以下の取り組みを行っていく計画である。

①作業の編成効率を最大化する作業者の効果的な配置のため、作業負荷を予測したスケジューリング機能とリソース管理手法の導入。

②仕掛品の削減のため、リアルタイムの生産ライン情報とスケジューリング機能をリンクさせた上で自動搬送させることで、生産のペースメーカーにできる機能を持ったAGVへの改修。

出典

第55回飛行機シンポジウム講演集(2017年11月)
©日本航空宇宙学会

【著　者】

粟飯原 光一

福島　敦

佐々木 慎太郎

柿﨑 広平

航空機向け大物チタン機械加工部品専用機の開発

Development of Titanium Profiler Specific to Large Titanium Aerospace Structure Parts

大　曲　康　輔*
Kosuke OMAGARI

抄　録

近年の航空機におけるチタン合金の使用量増加の予測に伴い、チタン合金切削加工の高能率化、低コスト化が課題となっている。航空宇宙カンパニーではチタン合金高能率切削技術の開発・取得とチタン合金部品のコスト削減、また将来機種の大物チタン合金部品の加工優位性確保を狙って、独自仕様を盛り込んだ大型5軸チタン加工機をコマツNTC（株）と共同で開発、導入した。

Abstract

Recently, highly-efficient machining of titanium alloy and reducing its costs have become issues due to the increasing demand for the use of titanium alloy in airplane structures. SUBARU has developed an original 5-axis titanium profiler jointly with Komatsu NTC Ltd. for large titanium structure parts to realize a highly-efficient machining process and to increase our advantage in machining titanium structure parts for future projects.

1. まえがき

近年の航空機では、機体の主構造への炭素繊維複合材（CFRP）適用増加に伴い、CFRPと電位的に相性が良いチタン合金の使用量も増加している。また航空機部品は軽量化と強度確保のため部品の一体化、大型化が進んでおり、チタン合金部品においても5ｍ級の大物の鍛造材からの機械加工部品が用いられるなど、今後更に複雑化した部品の増加が予測される。今後の航空機事業獲得の上で、チタン合金の高能率加工技術取得によるコスト削減と技術的優位性の確保は必須である。

2. チタン高能率加工の課題

航空機部品用チタン合金はTi-6Al-4Vが主として用いられている。チタン合金の機械加工は、従来から航空機で用いられてきた2000系や7000系のアルミ合金と比べて加工が難しく、難削材と呼ばれている。以下に高能率加工の課題を述べる。

2.1　航空機大物部品の製品要求への対応

航空機用チタン合金部品は材料製造時の熱影響による変質層を避けるため、全面削り出しが要求される。また部品形状は翼断面形状に合う曲面を持ち、軽量化を目的とした肉抜きが多く存在する。そのためあらゆる方向、角度から加工する5軸加工が不可欠となる。

2.2　切削時に発生する振動の抑制

チタン合金の切削加工は、チタンの引張強度の高さが切削時の粘りとなり、切りくず離れが悪いことから微振動を伴うせん断型の切削となり、その切削抵抗はアルミ合金のおよそ4～5倍となる。そのためチタン加工機は振動を抑える機械剛性と、切削抵抗に耐えることが出来る主軸性能が必要となる。

2.3　切削熱による工具摩耗の抑制

チタン合金の熱伝導率は鉄の約1/8、アルミ合金の約1/16と低く（**表1**）、切削熱が材料へ逃げず切削点に留まるため、工具刃先摩耗が促進される。チタン合金加工では一般的に超硬工具が用いられ、工具寿命は約1時間であり、工具コストが課題となっている。

＊ 航空宇宙カンパニー　生産技術部

表１　チタン合金の代表的物性

材料		熱伝導度	引張強度	ヤング率
種類	規格	W/mK	MPa	GPa
チタン合金	Ti-6Al-4V	7.5	960	113
アルミ合金	7075	120	570	71
鉄	SS400	62	400	192
超硬合金	K 種	71	1300	620

3.　チタン加工機CMC-546STの特長

これら課題を解決すべく、国内外のチタン加工機の仕様、加工方法、加工条件を調査すると同時に、市場に出ている設備を用い加工試験を実施した。加工条件は大物鍛造材部品の粗加工を想定し、図１に示すようなφ80の大径ポーキュパイン工具を用いた肩削り加工及び突っ切り加工とした。この試験結果を基に、想定加工が可能な主軸性能及び機械剛性を備えた機械仕様を決定し、コマツNTC（株）と共同でチタン加工機を開発した。チタン加工機 CMC-546ST の外観と主な仕様を示す（図2、表2）。

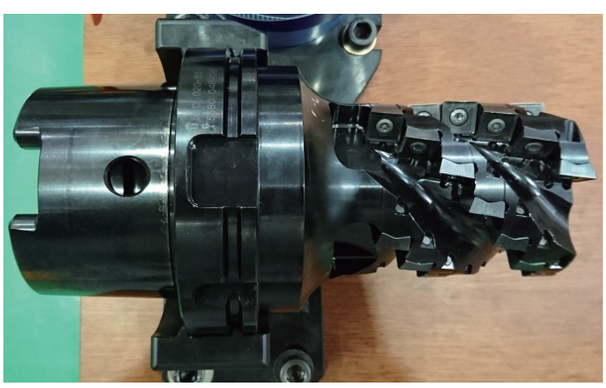


図１　試験用ポーキュパイン工具

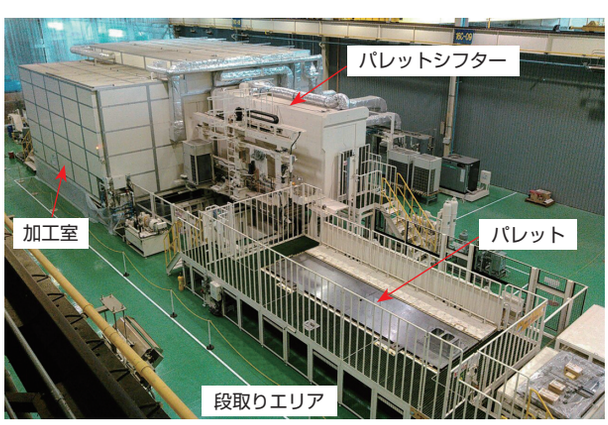


図２　CMC-546ST 外観

表２　CMC-546ST の主な仕様

項目		単位	数値
主軸定格出力		kW	100
主軸回転数		min^{-1}	40 ～ 4,000
主軸連続定格トルク		Nm	1,000
移動量	X	mm	6,200
	Y	mm	1,800
	Z	mm	1,000
	A	deg	± 100
	C	deg	無限回転
早送り速度／切削送り速度	X	mm/min	16,000/16,000
	Y	mm/min	16,000/16,000
	Z	mm/min	16,000/16,000
	A	deg/min	3,600/3,600
	C	deg/min	3,600/3,600
テーブルサイズ		mm	1,500 × 6,000

3.1　加工機の構造と設備構成

加工機の構造は大きく分けて門型、立型、及び横型があるが、本機は切りくずのワーク上への堆積による噛みこみを防ぐため、切りくず排出性の良い横型構造を採用した。また回転軸2軸を主軸に持たせることで5軸加工に対応した。回転軸構造は主軸サイズを抑えるため、AC軸構造とした。本機の全体構成を示す（図3）。本機は大きく分けてパレットの段取りエリア、パレットシフター、加工室に分かれている。段取りエリアではパレットは水平状態となり、チタン合金材や大物部品用治具のような重量物でも安全に作業を行うことが可能である。パレットは2枚装備しており、1枚が加工室に入り加工している間、もう1枚は段取りエリアで段取り作業が可能となっている。パレットは段取りエリアからの搬送時に90°起立し、パレットシフターを介して加工室へ搬送される。

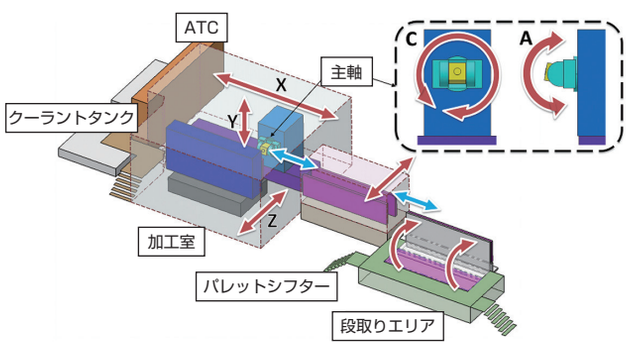


図３　全体構成

3.2　主軸スピンドルユニット

チタン合金加工における主軸に求められる能力は、アルミ合金加工で必要となる20,000 ～ 30,000 min^{-1}の高主軸回転数や120 kWの大出力よりも、チタン合金切

削の切削抵抗や振動に耐えるための主軸性能と剛性が重視される。本機ではFANUC製の連続定格トルク1,000 Nmのダイレクトドライブモータを採用した。また剛性確保のため、主軸テーパはHSK-A125を採用した。

3.3　A軸/C軸

A軸は切削時の切削抵抗をモーメントで受ける部位であり、軸の剛性が低いとA軸が切削抵抗に耐えられずたわむことで振動が発生し加工トラブルに繋がる。そこでA軸の回転機構にローラドライブ(図4)を採用することで、剛性、トルク、振動全てに対応した。

ローラドライブとは(株)三共製作所製の回転位置決め装置であり、従来の歯車式やウォーム式減速機と比較して伝達効率、機械寿命、外力に対しての保持力に優れ、バックラッシの無い駆動が可能であるという特長がある。本機ではA軸の駆動トルクを高め、切削抵抗に耐えられるようにするため、A軸の両側に駆動モータを持たせた。C軸もツインモータ駆動にすることで切削抵抗に対応した。

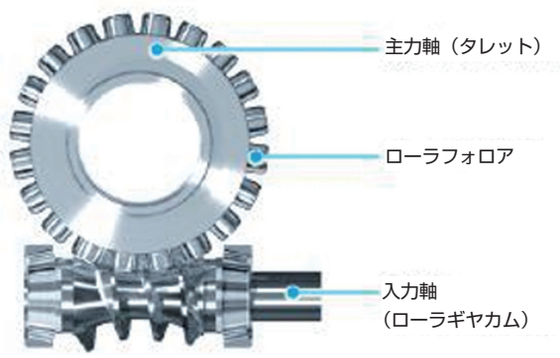


図４　ローラドライブ機構

3.4　X/Y/Z軸機構

各軸は振動に対する信頼性の高いスライドレール方式を採用した。特にコラムを制動するX軸とテーブルを制動するZ軸は油静圧による制動方式を採用することで振動の減衰性を向上させた。

3.5　振動解析

本機の構造仕様を決めるにあたり、荷重のかかるX軸及びZ軸摺動面のFEM解析を実施することで静圧油の油量、油圧を決定した(図5)。またA軸機構の評価においては加工中発生する周波数に対する動剛性解析を実施し、加工中発生する切削抵抗にローラドライブ機構が耐えうることを確認した(図6)。加えて機械全体の周波数応答解析を実施することで構造評価を実施した。基礎についても同様に厚みを変化させた場合の周波数応答解析を実施し、加工時の振動影響を抑える適切な基礎厚みを設定した(図7)。

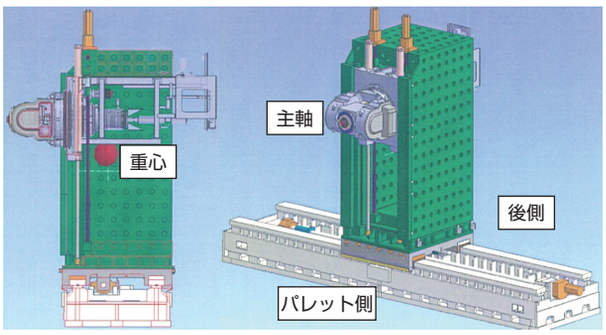


図５　X軸のFEM解析モデル

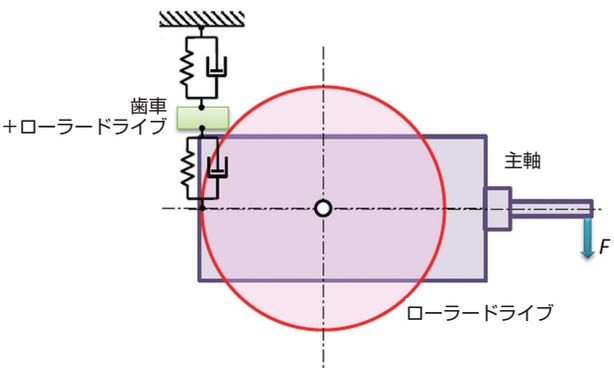


図６　主軸動剛性解析の伝達モデル例

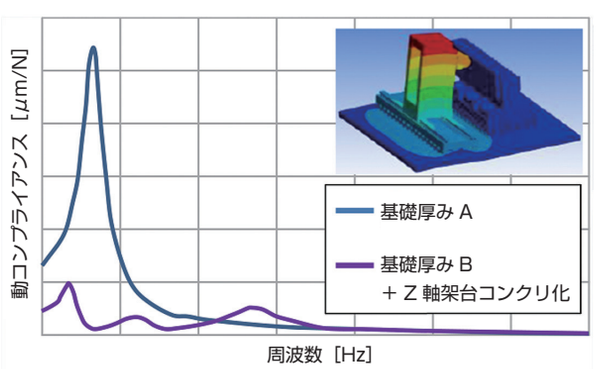


図７　基礎厚みによる周波数応答解析例

3.6　クーラント装置

切削熱による工具摩耗を抑えるため、切削熱を効率的に除去する必要がある。冷却性重視のため水溶性クーラントを用いることは一般的であるが、さらに大容量のクーラントを高圧で吐出することで、刃先へ速やかにクーラントを供給出来ることが推奨される。また切りくずを吹き飛ばし除去できることからも高圧クーラントは普及が進んでおり、明確な基準はないものの、一般的には吐出圧が3 MPaを超えたあたりから高圧クーラントと呼ばれている。本機ではセンタースルークーラントに圧力7 MPa、吐出量200 L/minの高圧・大容量クーラントを採用し、更にクーラントの冷却機能を強化することでより低温のクーラントを使用することを可能にした。

3.7　自動工具交換装置(ATC)

航空機部品加工では1部品あたりの加工時間が10時間を超えることは珍しくない。2項で述べたようにチタン合金加工における工具寿命は1時間程度と短く、工具摩耗抑制を図ったとしても、部品の加工完了までに同種の工具交換が必要となるケースは依然として存在する。そこで同一の工具を複数本ストックして工程毎や工具寿命管理により自動工具交換し、連続して加工可能にするために工具収納本数を200本まで拡張した。また工具収納本数増加に伴い、ATC機構は従来大型機械で用いられるチェーン式ではなくマトリクス式を採用することで、工具呼出の順序に関わらず工具交換時間をほぼ一定に揃えた。

4.　性能評価

本機の性能評価として、図8のようにチタン合金ブロックを10°傾けた状態でセットし、コーン形状に加工することでAC軸を傾けた5軸加工時における加工能力を評価した。粗加工ではブロック高さ101 mmの外周面に一気に切込み、肩削りで加工を行った結果、主軸トルクに十分な余裕を持った状態で切りくず排出量約277 cc/minを達成し、加工面も振動なく加工出来ることが確認出来た。またコーン仕上げ面真円度0.05 mmを達成し、5軸加工でも精度が得られることが分かった(図9)。

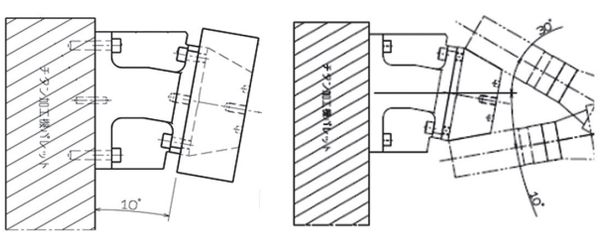


図８　試験加工図

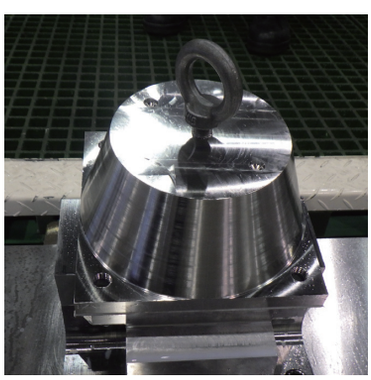


図９　加工後のコーンワーク

5.　まとめ

以上のように、航空機部品用チタン5軸加工機としては世界でもトップクラスの設備を導入することが出来た。今後は量産加工及び試験加工を通じて、設備能力を発揮するための工具開発や加工方法の開発に取り組むことで、チタン合金加工技術をより高めていく。

参考文献

(1) 株式会社神戸製鋼所：チタンの特性,
http：//www.kobelco.co.jp/products/titan/characteristic/index.html
(2) 吉田邦彦：超硬工具, 1967
(3) 株式会社三共製作所：三共のカム技術,
https：//www.sankyo-seisakusho.co.jp/cam/drive.html
(4) ヤマザキマザック株式会社：旋削機能付同時5軸制御立形マシニングセンタVARIAXIS i-1050Tと航空機部品加工, 機械技術2016年5月号 Vol.64 No.6
(5) EDWARD F. ROSSMAN：Collected Thoughts on High-Speed Machining of Titanium, Society of Manufacturing Engineers（SME）Technical Paper MR03-347, 2003

【著　者】

大曲　康輔

大型複合材部品加工への多関節ロボットの適用

Machining of Large Composite Parts with Articulated Robot

西　脇　康　人*　　松　尾　晋　哉*
Yasuto NISHIWAKI　　Shinya MATSUO

抄　録

航空機部品の中でも、複合材部品製造では大型かつ深い曲面を有する部品の適用が増加しており、外表面および外形形状の複雑化も重なり、従来の手加工による二次加工(特に外形トリムやハニカムコアチャンファ加工等の切削加工)が困難なため機械化を進めている。

しかし、従来の門型NC加工装置では、部品高さが高いために加工装置全体が大型化し設置面積が大きくなる、部品および部品保持用治工具の加工装置への設置などに時間を要するため生産効率が悪いといった課題があり、機械化が進んでいなかった。

そこで、汎用性が高くレイアウト自由度の高い多関節ロボットに各種センサ、三次元測定による工具位置補正システムを組み込むことで、これらの課題を解決したので紹介する。

Abstract

Very large composite parts which have deep and/or complex mold are increasingly adopted to recent aircrafts. To eliminate hand operation especially on trimming, drilling and chamfering of honeycomb core, mechanization has been proceeded. However, setting time of big fixture and large area required to install machine are thorny issues for Gantry-type NC machine.

This paper introduces our solution with articulated robot which has sensors and compensation technologies supported by 3-dimensional measuring system.

1. まえがき

これまでの航空機生産は、多品種、少量生産であること、および熟練の作業が要求されるため、人手が中心となっていた。

近年航空機需要は拡大しつつあり、航空機製造メーカーでは、効率的な生産、品質の安定化および増産対応のために、ロボットを適用した自動化技術の開発が活発となっており、その事例を紹介する。

2. 概要

近年の航空機部品では、大型かつ深い曲面を有する複合材部品が増加し、外表面および外形形状の複雑化も重なり、成形後の従来の手加工による二次加工(特に外形トリムやハニカムコアチャンファ加工等の切削加工)が困難になっている。そのため機械化が進められているが、従来の門型NC工作機械では、部品および部品保持用治具を工作機械テーブル面に精度を確保して設置するために時間を要する、部品高さが高いために工作機械全体が大型化し設置面積が大きくなり、かつ門型が高くなることによる設置面基礎により高い強度を要するといった課題があった。

そこで、当社では、汎用性が高くレイアウト自由度の高い多関節ロボットに走行軸、各種センサ、ツールチェンジャー付エンドエフェクタおよび三次元測定器を活用したロボット位置補正システムを組み込むことで、これらの課題を解決した。

図1に本稿で紹介する設備構成の概要図を示す。

＊ 航空宇宙カンパニー　生産技術部

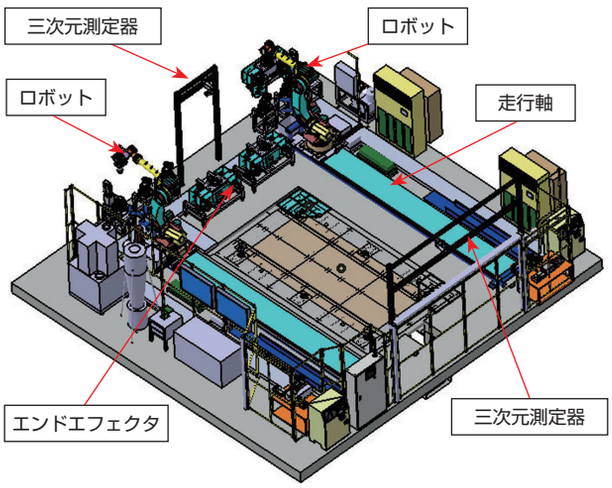


図１　設備概要図

3.　二次加工への多関節ロボット適用の課題対策

3.1　ロボットプログラミング

（課題）

多関節ロボットの一般的なプログラミングには、ティーチングペンダントを使用し、部品／治具の現品に合わせてロボットを移動しながらプログラミングする直接教示法、または、教示をパソコン上で行うオフラインティーチング法が適用されてきた。

しかしながら、航空機部品の大型で複雑な曲面に沿った形状にロボットの姿勢を合わせ込むことは極めて困難である。

（対策）

3次元CADデータを用いたプログラミング手法を構築した。

汎用のロボットオフラインプログラミングソフトでは、加工精度を考慮した工具パスを生成する機能が不十分であった。

そこで、当社が構築したプログラミング手法では、

・CATIA v5製造図データを基に、
・CATIA NC機能によりNCパスを生成、
・このNCパスを汎用ロボットオフラインプログラミングソフトに取り込み、ロボット動作をプログラム。
・最終段階として、ロボットメーカー提供のシミュレーションソフトにより、ロボット周りの干渉を含めた動作確認および各種センサ類の設定を編入しロボットプログラムを作成することとした。

図2にプログラミングの流れを示す。

この手法により複雑な曲面に対しても

・適切な刃物適用角度
・スキャロップハイト
・加工面精度
・ロボット姿勢

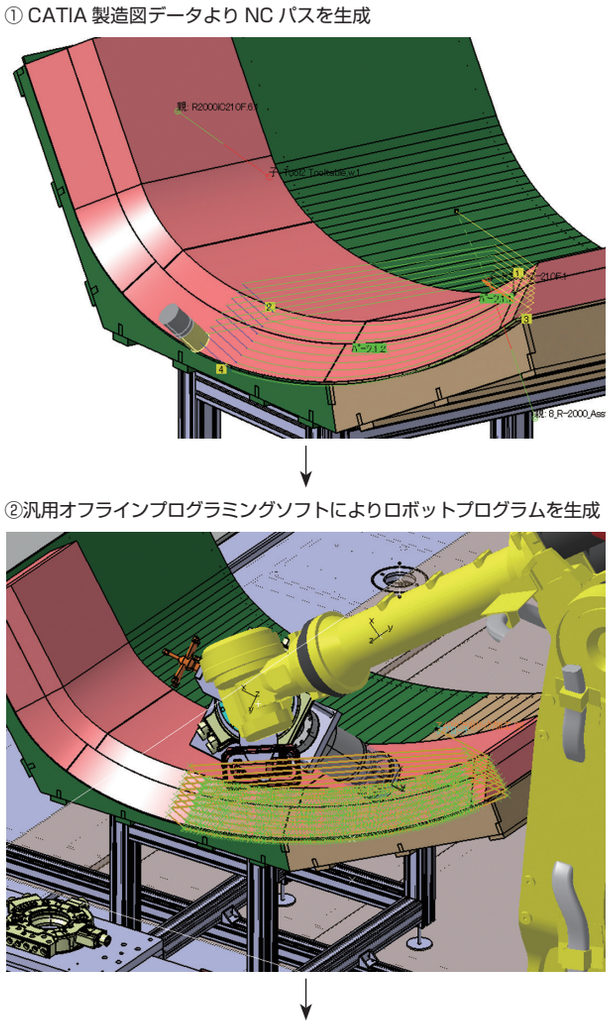


図２　プログラミングの流れ

を短時間に自在に設定できるようになった。

また、本手法を適用することで、教示によりロボットを拘束する時間が不要になると共に、今後の改善策反映での装置稼働率低下を削減することができる。

3.2　ロボット位置補正

（課題）

多関節ロボットは駆動軸が多いため絶対位置精度が低く、航空機部品で要求される精度を満足する切削加工、外形切断加工は極めて困難である。今回当社で導入したロボットにおいても（エンドエフェクタを取り付けた状態で）最大5 mmを超える誤差が確認されている。

（対策）

外部測定器によるロボット位置測定結果を用いてロボット位置を補正するシステムを導入した。

補正手順は次の通りである。

(1) 第1ステップ：各ロボット固有の誤差補正
－各ロボット固有の誤差を補正する。
－走行軸上の数カ所でロボットアームを動作させ、外部測定器による測定値とプログラム制御位置を比較し、差分をロボットプログラム中の制御位置に反映する。
－部品外周チャンファリング加工および穿孔加工に適用した。
(2) 第2ステップ：ドライランによる補正
－加工用エンドエフェクタを取り付けた状態で加工用ロボットプログラム通りに走行させる。
－制御点位置で停止させ、都度、測定および差分計算を実行する。
－差分値をロボットプログラムに上書きする。
－部品外周チャンファリング加工および穿孔 加工に適用した。
(3) 第3ステップ：工具先端位置の補正
　エンドエフェクタに取り付けられた工具は、レーザー光による測定装置で先端位置が測定され、あらかじめロボットに設定されている工具先端位置情報へ反映される。また、工具の状態（傾き、形状）の監視機能により、工具の誤使用、摩耗状況等の不適切状態を検知することもできる。
　工具先端位置測定装置を**図3**に示す。

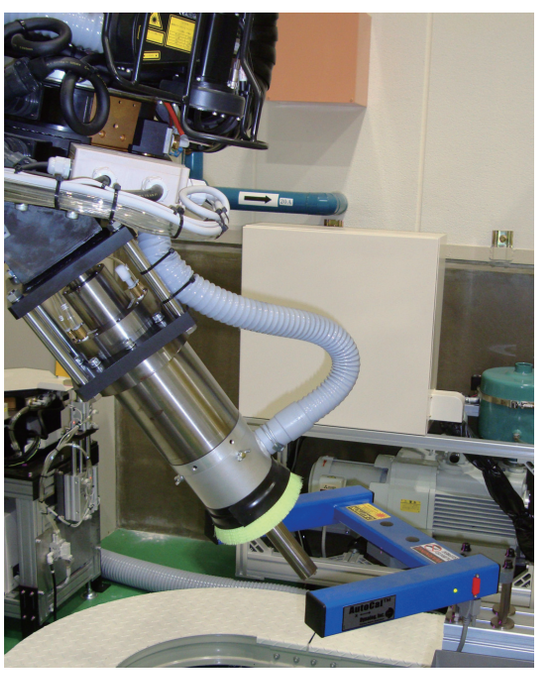


図３　工具先端位置測定装置

(4) 第4ステップ：部品加工中の補正
　部品加工中に制御点位置で停止させ、都度、測定および差分計算結果によりロボット位置を補正する。
　穿孔加工にのみ適用した。

3.3　治具設置位置検出

（課題）
　工作機械に、大型かつ大重量治具を正確に位置決めする作業は、微調整が困難なこともあり工数を要する。
（対策）
　製品保持治具の工作機械内への位置決めには従来のピンおよびクランプボルトによる精度の確保された固定方法ではなく、概略位置にドーリーで搬入後、ストッパーパッドでズレ防止を図る程度での概略位置決めおよび固定とした。
　概略位置で固定された保持治具は、保持治具外周に取り付けられたターゲットを後述する三次元測定器で検出することで、装置内での面内方向位置および、傾斜を含めた面外方向位置が取得される。
　取得された位置情報に合わせてロボットのユーザー座標を修正することで、ロボットプログラムの修正、正確な治具設置位置の測定および治具の正確な工作機械内での位置決め作業を省略することができた。

3.4　加工速度調整および工具寿命の検出

（課題）
　手加工では、加工負荷を作業者の感覚により加工速度の変更および工具寿命を判断することができるが、機械加工では困難であった。
（対策）
　ロボット力センサにより工具に加わる反力を検知し、加工速度の変更および工具寿命を判断できる仕組みを構築した。

3.5　切削加工時間の短縮

（課題）
　チャンファ面加工はエンドミルタイプ工具による切削加工である。曲面が複雑なためプログラムパス数が多大になり、加工時間が長くなってしまう。
（対策）
　粗加工としてワイヤーソーにより余肉を大きく除去することで、エンドミルタイプ工具での加工量を大幅に削減した。
　さらに、エンドミルタイプ工具での切削加工に比して粉塵の発生が大幅に削減できることから作業者への衛生上および心的負担も大幅に軽減できた。
　図4にワイヤーソー加工を示す。

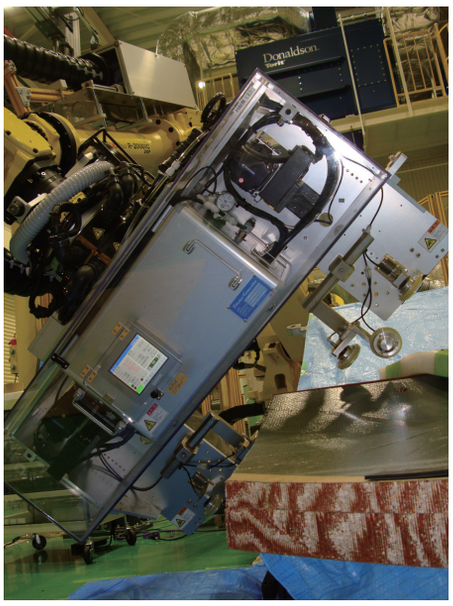


図４　ワイヤーソー加工

3.6　パネル組立品コンター誤差の外形精度への影響

（課題）

数値制御による大型のパネル組立品の加工は、スプリングインの影響のため、モールドが若干でも変動すると外形精度が著しく悪くなる。

（対策）

かぶせ型板による倣い加工とした。

倣い加工では、一般的な手加工で用いられるハンドルーターガイドと同様のガイドを装備し、ロボット力センサで切断面面直方向とモールド面面直方向に押し当てながら工具を移動させる。

4.　設備の構成

本設備は、ロボットと測定器に大別される。

設備構成を図５に示す。

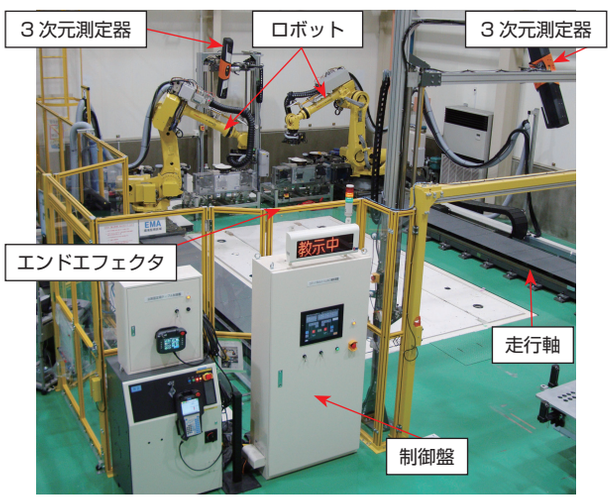


図５　設備構成

4.1　ロボット

加工範囲、エンドエフェクタ重量、加工抵抗を考慮し、動作範囲2.6 m、可搬重量最大210 kgの6軸垂直多関節ロボットを選定し、2台装備とした。

また、次の目的でセンサ類を装備している。

a.視覚センサ（図６）

（二次元画像処理＋三次元レーザー検出式）

・部品保持治具位置の検出

b.力センサ（6成分同時検出型、図６）

・倣い加工による外周切断

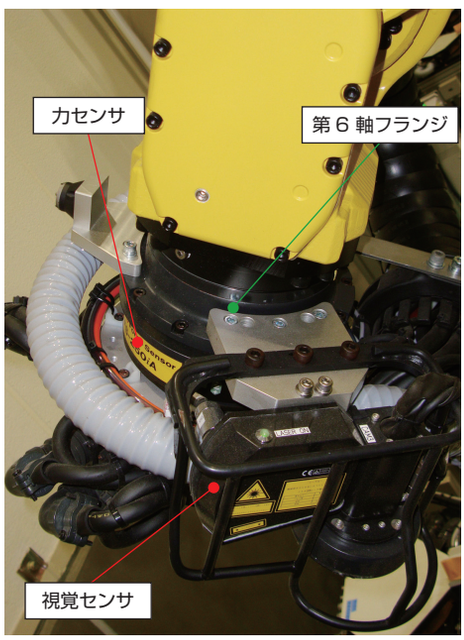


図６　視覚センサと力センサ

4.2　測定器

ロボットの位置と姿勢を検出し、位置補正量を算出するためには、位置座標に加えて各座標軸周りの回転角度を測定する必要がある。このため、三眼式カメラ型三次元測定器を導入した。

ロボット本体には図７の十字型ターゲットを取り付けることで上記に必要な値を入手している。

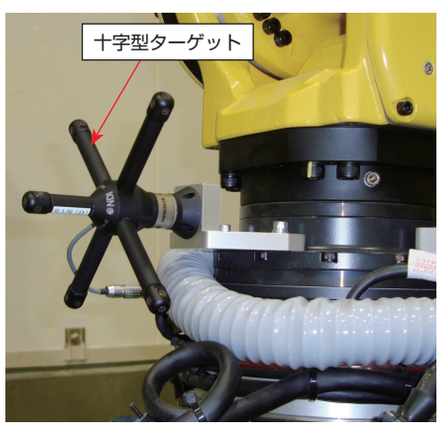


図７　十字型ターゲット

5.　加工の実際

5.1　被削対象部品

・2.5 mW × 5.5 mL × 1.1 m（コンター深さ）、約100 mm厚さ
・ハニカムサンドウィッチ構造のコア組立品およびパネル組立品
（図8～11は被削対象実機部品を模した切削試験片）

5.2　加工の詳細

(1) コア組立品
a.外周チャンファリング加工
・コア組立品全周について約30～45度に変化する面切削加工を行う。
・コア上面エッジや隅部のフィレットRも加工する。
チャンファリング加工の様子を図8および図9に示す。

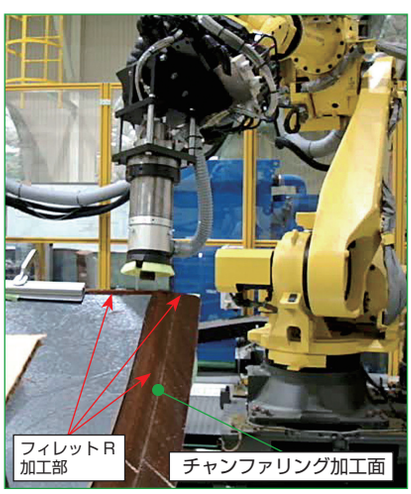


図8　外周チャンファリング加工

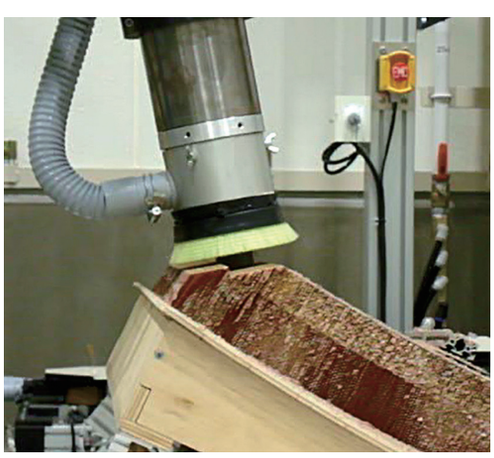


図9　外周チャンファリング加工

b.穿孔加工（約1インチ径孔）
3.2 (4) 項で示した位置補正後、ロボットアーム動作により、厚さ100 mmのパネルに約1インチ径の貫通孔を穿孔する（図10）。

図10　穿孔加工

(2) パネル組立品
コア組立品に外皮を積層、硬化したパネル組立品の外周切断加工を実施している。
大型のパネル組立品はスプリングインの影響でモールドが若干でも変動すると外形精度が著しく悪くなるため、数値加工ではなく、かぶせ型板による倣い加工としている。
倣い加工では、一般的な手加工で用いられるハンドルーターガイドと同様のガイドを装備し、ロボット力センサで切断面面直方向とモールド面面直方向に押し当てながら工具を移動している。

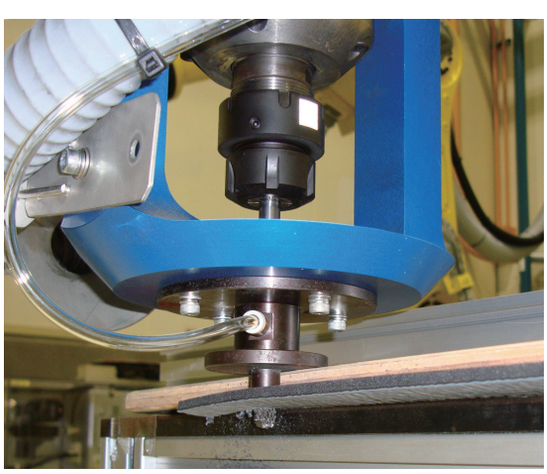


図11　倣いによる外形加工

6. まとめ

ロボット本体の持つ大きな位置決め誤差を、ロボットセンサ類および三次元測定器と補正システムの導入により位置補正を図ることで航空機部品に要求される精度を確保した切削および穿孔加工の自動化が実現できた。また、従来困難であった大型大重量部品保持治具の装置内位置決め作業の排除による工数削減も図ることができた。

今後は、以下のことにより、生産性の向上と多品種加工対応を図っていく。

・パネル組立品外形切断加工における倣い加工を数値制御加工化し、装備治具と治具取り付け工数を削減する。
・ロボットプログラム補正精度と治具位置測定精度を高め、部品加工中の補正を排除し加工時間を削減する。

出典

第55回飛行機シンポジウム講演集(2017年11月)
©日本航空宇宙学会

【著　者】

西脇　康人

松尾　晋哉

SUBARU汎用エンジン・発電機等の生産・販売を終了

2017年10月2日

2017年9月末をもちまして、汎用エンジン・発電機等の生産・販売を終了しました。
産業機器事業は、1951年に旧大宮製作所(当時大宮富士工業(株))にて540 ccの「M6型」エンジンの生産を開始してから60年以上にわたり事業を継続し、世界各国で生活基盤を支える動力源として高い信頼を得てきました。建設機械や産業機械、農業機械に搭載する汎用エンジンをはじめ、スノーモービルやオフロードカー等向けの高性能車載用エンジン、発電機、ポンプ等の完成商品を生産・販売してきました。

航空機組立における
自動穿孔機のドリル異常検知技術の開発

Development of Anomaly Detection Technology for Automated Drilling in Aircraft Assembly

石　丸　大　祐*2　Daisuke ISHIMARU
井　坂　晃　一*1　Koichi ISAKA
大　西　　徹*2　Toru ONISHI

抄　録

航空機組立において穿孔作業は大きな割合を占めるため、航空宇宙カンパニー生産技術部では穿孔作業の自動化に取り組んでいる。一方で、自動化レベルが高まるにつれ、ドリルの欠け等に起因する穿孔中の異常及び孔品質の不良を作業者が感知できなくなることにより、連続して不良が発生するリスクが高くなる。航空機組立で広く用いられるエア駆動のドリルモーターには穿孔中の異常を検知できる機能がなく、後付可能な異常検知装置も市販されていない。本研究では後付可能なドリル異常検知装置を開発したので報告する。

Abstract

Drilling process accounts for a large portion of aircraft assembly, so SUBARU is encouraging automation of drilling operation. Meanwhile, a risk of causing continuous failures becomes higher than manual process since mechanics are not able to notice an anomaly condition caused by a damaged drill bit in automated process. Pneumatic drill motors, which are de facto standard equipment in aircraft assembly, do not have functions to detect anomaly, and there is no detection equipment which can be installed to drill motors. This paper reports anomaly detection equipment developed by the authors which can be installed on existing drill motors.

1.　はじめに

当社では図1に示すような航空機中央翼及び主脚格納部を製造している。中央翼は閉構造であるため自動化が難しく労働集約型となるが、コスト削減及び作業者の負荷低減の点から自動化が必要である。特に組立工程における穿孔作業に重点的に開発に取り組んでいる[(1)(2)]。しかし穿孔作業においては孔径に対する要求は非常に厳しく、自動化を進めると同時に穿孔中の僅かな異常を検知することが必要となる。

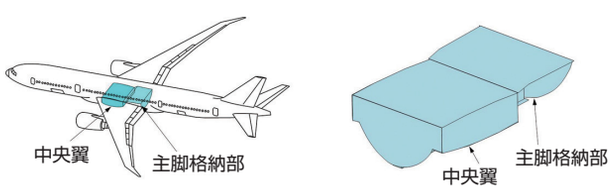


図1　航空機中央翼の例

＊1 航空宇宙カンパニー　生産技術部
＊2 航空宇宙カンパニー　品質保証部

2.　開発ターゲット

2.1　組立工程のおける穿孔作業

航空機の大型構造の組立では図2に示すように部品同士の位置決め(仮止め)、穿孔、バラシ、バリ取り、ファスニングを繰り返しながら組立を進める。ファスニングに要求される孔の公差が厳しいため高い同軸度が必要なことや場合によっては複数枚の部材を同時穿孔することが技術要求として定義されていることなどから、組立の際に穿孔作業を実施する必要がある。大型構造の組立においては穿孔数が多く、自動化の効果が大きい。

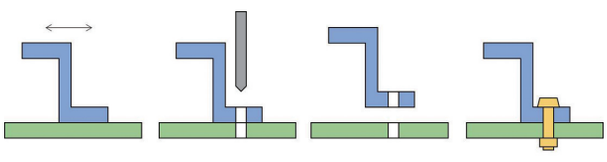


図2　組立手順の例

2.2　穿孔作業の自動化レベル

組立における穿孔の自動化レベルを本報では図３に示すように大きく４段階に分けて定義する。

自動化レベル０は、ドリルのみ回転するハンドドリルモータを作業者が手に持ち軸方向に押すことでマニュアル穿孔を実施する作業とする。

自動化レベル１は、軸方向への送り機構が付与されたドリルモータによる穿孔作業とする。作業者が穿孔開始ボタンを押すことでドリルの回転と軸方向送りを設定通りに行い、穿孔が終わると動作を停止する。作業者が再びドリルモータを次の孔位置にセットし、穿孔開始ボタンを押すというサイクルを繰り返すことで必要な穿孔作業を完了させる。このような自動送り付きドリルモータは各メーカーから広く市販されており、航空機組立では主流となっている。当社でも複合材の重ね穿孔を想定して独自に開発を行っている[3]。

自動化レベル２は、ドリルの軸方向送りのみならず、次の孔への移動と穿孔作業開始を自動で行うものとする。これにより無人での穿孔作業が可能となる。

自動化レベル３は、穿孔後のファスニングまでを自動で行うものとする。技術的な評価を経てプロセス保証とすることで部材間のバラシとバリ取りを省略してファスニングを行うことができる場合があり、レベル３の設備を適用可能である。人手による作業を排除できるため理想的だが、設備が大型になり穿孔部位へのアクセス性が悪く適用可能な範囲は一部に限られる。

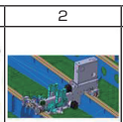
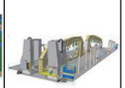
	自動化レベル	0	1	2	3
	使用設備	ハンドドリルモータ	自動送り機能付きドリルモータ	 専用自動穿孔機	 オートリベッター
	不良が連続する可能性	小 ＜---------- ＞ 大			
自動化要素	ドリル回転	○	○	○	○
	ドリル軸送り	×	○	○	○
	次の孔への移動	×	×	○	○
	ファスニング	×	×	×	○

図３　穿孔作業の自動化レベル

2.3　ドリル異常検知技術の開発ターゲット

当社の航空機組立で使用している穿孔設備はエアで駆動するものが主であり、工作機械のように消費電力から加工状態を監視することが難しく、設備自身が小型であるため組み込み式にすることも難しい。

そこでエア駆動式自動穿孔設備の穿孔中の異常を検知する技術を開発することとした。まず、当社で開発した代表的な自動化レベル２の設備である自走式多頭自動穿孔機[2]において、穿孔中の異常を検知する技術を開発することとした。 本設備は自動穿孔であること、データが取得しやすいことなどから、より広範囲に使用している自動化レベル１の穿孔作業の異常検知へ発展可能であると考えたことから、本研究の開発ターゲットとして選定した。

また、テスト穿孔においてドリルの切れ刃に一定以上の欠け（チッピング）が発生した場合、孔径が大きくなることが確認されており、本研究ではこの欠けた切れ刃による穿孔を検知すべき異常状態と定義した。

3.　測定する物理量の選定

穿孔中の異常を検知するためには穿孔中に発生する何らかの信号を監視し、その信号から異常の有無を判断する必要がある。穿孔中に発生する振動、音、切削抵抗、主軸回転数、ドリルの温度、駆動エアの流量などに異常の有無が表れていると考えられる。これらのうち切削抵抗はエア駆動式ドリルモータにおいては測定が難しいこと、温度は正確な測定が難しいこと、駆動エア流量は工場内の他のエリアでのエア消費量の影響を受けることから、監視する候補から除外した。

振動、音、回転数を候補として、測定する物理量を決定するための試験を行った。図４に測定試験の結果を示す。試験では欠けが無いドリルと欠けがあるドリルを用いた。振動の測定結果にはドリルに欠けがある場合、穿孔中に振幅が大きくなっている時間帯があることがわかる。音の測定結果では欠けの有無による違いを確認できない。可聴音域においては顕著な違いがあまり現れないことや、エア駆動式のドリルモータは様々な機構をエア駆動させているため穿孔中のドリルの異常に起因する音の変化が相対的に小さくなるためであると考えられる。回転数の測定結果には穿孔を開始すると回転数が低下する様子が現れているが、欠け有無による違いは見いだせない。

また、機械の異常検知技術に採用されている実績を調査した結果、高度な手法を用いた回転機械の異常診断例[4]やMT（マハラノビス・タグチ）法を適用したヘリコプタトランスミッションの異常検知システム[5]などにおいて回転系の振動を測定することで異常を検知できることが多数示されている。

以上から本研究においては振動を測定対象として選定した。

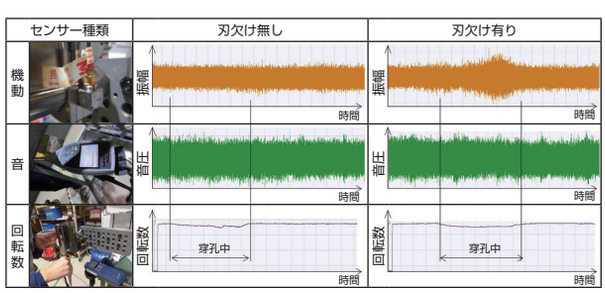


図４　振動、音、回転数の測定結果

4.　ドリル異常検知技術

4.1　自走式多頭自動穿孔機用振動測定装置

本開発のターゲットである自走式多頭自動穿孔機は異なる径のドリルをセットしたエア駆動式ドリルモータを2台備え、プログラムにより所定の位置へ機体上を走行して移動し2種類の径のうち一方のドリルモータで穿孔を行うものである。

異常検知装置の開発にあたり自走式多頭自動穿孔機に後付けできること及び2つのドリルモータそれぞれの振動を測定できることを考慮して**図5**に示す装置を製作した。本装置は2つのドリルモータそれぞれに取り付けたフローセンサーによって駆動エアの流量を測定し一方の流量が閾値を超えた場合にそのドリルモータに取り付けた加速度センサーによりその振動を測定し、アナログセンサーターミナル[(6)]からPCへデータを転送し保存する。本装置を実機組立で稼働中の自走式多頭自動穿孔機に取り付けて穿孔中のデータを取得した。

ある機体において**図6**に示すように穿孔された孔の直径が過大となっていたことが穿孔後の検査で発見された。その後正しいプロセスで修理され、機体の健全性を確認した後に出荷されたが、修理等の損失コストが発生した。穿孔後のドリルを確認したところ、前述の欠けが発生していたことが分かり、これが孔径過大の原因と推定された。この異常状態での穿孔を検知するため、振動データを解析した。

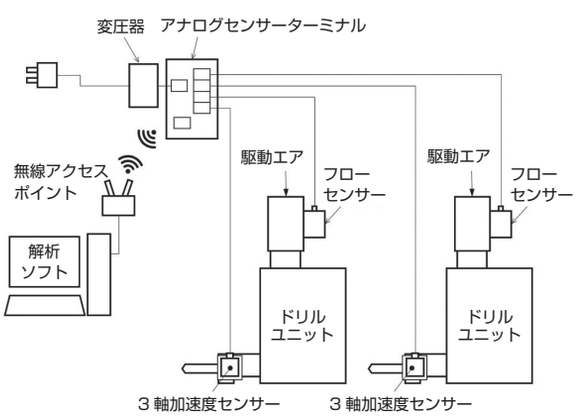


図５　装置概要

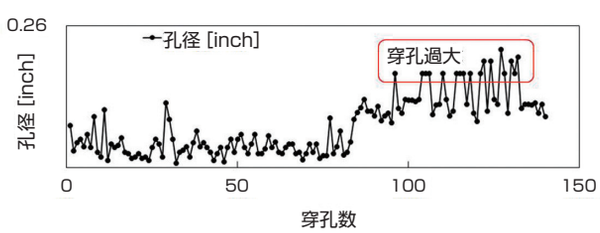


図６　自走式穿孔機による穿孔後の孔径例

4.2　振動解析

穿孔中の振動データの周波数解析を行ったところ孔径が公差内の場合と孔径が公差上限を超えた場合では、特定の周波数帯域のスペクトル強度に違いがあることが分かった。**図7**はある軸方向の解析の結果を示している。3軸加速度センサーの各軸方向に対して同様の解析を実施し、異常有無で違いが出る周波数帯域を特定した。

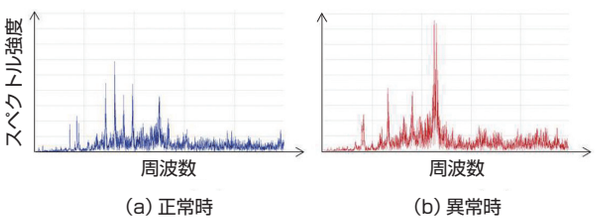


図７　FFT 結果の比較

4.3　特徴量の定義

前節で述べた方法で3軸加速度センサーの各軸に対して変化が現れる周波数帯域のRMS（Root Mean Square）値を時系列で確認したところ、すべての場合で違いが絶対値として現れるわけではないことが分かった。測定された振動全体の強度が低いときは監視対象となる周波数帯域のRMS値も同様に小さくなってしまうためである。

そこで、全周波数帯域に対して監視対象とする周波数帯域がどの程度寄与しているかを評価するため**図8**に示す無次元パラメータRMS比で整理した。**図6**で孔径が大きくなった80孔目付近から各軸のRMS比に変化が現れていることがわかる。特定の周波数帯域のRMS比が増加するだけでなく、Y軸では減少する様子も捉えることができた。

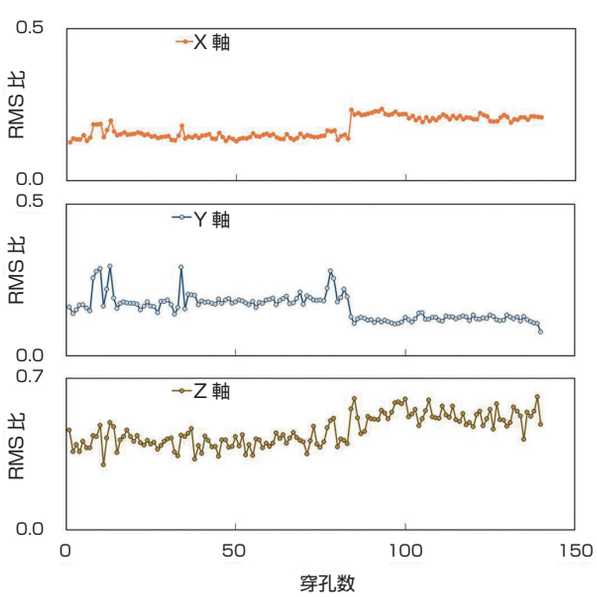


図８　各軸の RMS 比

以上の解析結果から異常検知を行うにあたって、各軸の振動データから抽出したRMS比から独自に特徴量を定義した。特徴量とは異常検知においてシステムの状態を数値で表したものである。

定義した特徴量と孔径の関係を図９に示す。図８に示した各軸のRMS比のみでは正常な穿孔状態でもドリル欠け発生後のRMS比に近い値が現れることがあったが、各軸のRMS比を用いて特徴量を定義することで、孔径が変化した80孔目付近から特徴量が大きくなっており、この特徴量に閾値を設けることで明確に穿孔中のドリル欠けを検知できることがわかる。

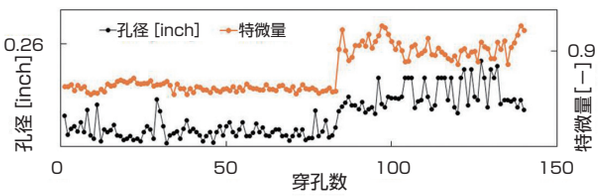


図９　孔径と特徴量の比較

4.4　異常検知技術の実装

異常検知の実装にあたり、図10に示すような検知フローを定義した。適用対象としている自走式多頭自動穿孔機にはドリルモータが2台搭載されており、本装置はそれぞれから振動データを測定している。ソフトウェア上で系統1と系統2に対してそれぞれ異なる監視周波数帯、結合方法、特徴量の判定閾値も任意に設定可能とした。

以上の特徴量定義方法及びソフトウェアの設計により、パラメータを任意に設計できるエア駆動式ドリルモータ用異常検知装置を開発、実装できた。

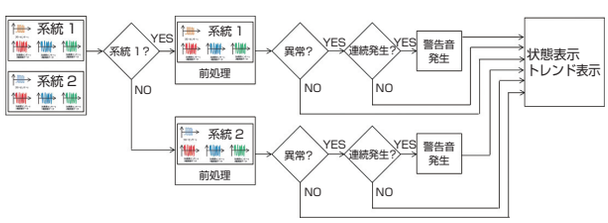


図 10　異常検知の処理フロー

5.　まとめ

本報では航空機組立における自動穿孔機のドリル異常検知技術の開発を行った例を報告した。特に自動化レベル2の設備である自走式多頭自動穿孔機に適用することを目的として開発を行った結果、実機作業において穿孔中の異常を検知できる装置を開発、実装できた。今後は既に広範囲に導入済みの自動化レベル1の自動穿孔機に対して適用可能な異常検知装置の実装を目指して開発を進めていく。

謝辞

本研究では装置開発にあたり株式会社マクニカ殿に多大な御協力を頂いたことに謝意を表します。

参考文献

(1) 内藤ほか：中央翼自走式自動穿孔機の開発,スバル技報, No.43, p121-126 (2016)
(2) 平井：中央翼自走式多頭自動穿孔機の開発,スバル技報, No.44, p229-233 (2017)
(3) 斎藤ほか：重ね部材への穿孔技術,スバル技報, No.38, p157-162 (2011)
(4) 明智ほか：高精度振動波形解析による機械の異常診断,JFE技報, No.27, p.20-25 (2011)
(5) 松浦ほか：ヘリコプタ用トランスミッションの異常検知技術,三菱重工技報, Vol.45 No.4, p66-69 (2008)
(6) 株式会社マクニカ：工場のIoT化, http：//iot-solution.macnica.co.jp/factory/ (2018-03-07)

【著　者】

石丸　大祐

井坂　晃一

大西　徹

飛行機のデザインからSUBARUのDNAを紐解く

DNA of SUBARU Originated in Aircraft Designs

若井　洋[*1]　Hiroshi WAKAI
佐藤一成[*1]　Kazushige SATO
加藤宏基[*2]　Hiroki KATO

抄　録

飛行機では機体の「かたち」そのものが、性能や機能に対して極めて重要な役割を果たしている。本稿ではSUBARUの源流である中島飛行機の創業間もない頃からの飛行機のかたちを考察し、そこにみられる設計思想や現在のSUBARUとの共通点を調べることで、飛行機会社を起源にもつSUBARUらしさを考えてみる。

Abstract

An aircraft shape plays important roles in the aerodynamic performance, stability, controllability, and so on. Consequently, the aircraft shape indicates the design philosophy of the designer and manufacture. In this paper, the design philosophy of aircraft shapes developed by Nakajima Aircraft Company, the origin of SUBARU, is discussed. The identity of SUBARU has been reconfirmed by finding common points between the philosophy back then and now.

1．飛行機のかたち

1.1　飛行機のかたちの意味

自動車では、走行中の車体を支持しているのは、地面（タイヤと路面の接地面）であり、タイヤ1本あたりハガキ1枚とも言われるこの接地面が、「走る」、「曲がる」、「止まる」といった車体の運動に対して、主要な役割を果たしている（**図1**上図）。

一方で飛行機では、機体を空中に支持しているのは空気によって生じる揚力であり、機体をとりまく空気の力を利用している。飛行中の姿勢のコントロールや旋回等の運動においても、同様に機体と空気の間に生じる力を利用している。つまり、自動車の接地面に相当するのは、飛行機の場合、気流にさらされる機体表面全体であり、機体の「かたち」そのものが、性能や安定性、操縦性に対して極めて重要な役割を果たしている（**図1**下図）。

自動車ではタイヤと路面の接地面が車体の運動に対して大きな役割を担う。（写真：WRX STI NBR CHALLENGE PACKAGE）

飛行機では気流にさらされている機体表面が機体の運動に対して大きな役割を担う。（写真：FUJI/FA-200 エアロスバル）

図1　自動車の接地面と飛行機の機体表面

＊1 航空宇宙カンパニー　技術開発センター
＊2 同　研究部

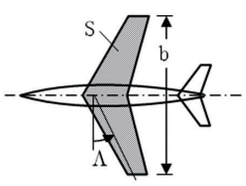
1.2　飛行機の形状設計

かたちと性能の関係の例として、**表1**に主翼の平面形状に関する設計パラメータと性能の相関を示す。**表1**より、例えば旋回性能や着陸性能の良い機体を作ろうとした場合には、主翼面積を大きく、後退角を小さく、アスペクト比を大きく、といった設計にすれば良いことがわかる。ただし、このような飛行機は逆に最大速度が低くなる傾向となるから、実際の設計においては主翼の断面形状やフラップ等の設計を組み合わせて、相反する要求を満足するかたちを見出していくこととなる。

飛行機の主翼、胴体、尾翼、舵面、空気取入口といったあらゆる部分のかたちには、このような設計、評価、トレードオフを繰り返し、最適化された結果が表れている。

表1　主翼平面形状パラメータと性能の相関

パラメータ	性能		
	最大速度	旋回性能	着陸性能
主翼面積　S	↘	↗	↗
主翼後退角　Λ	↗	↘	↘
主翼アスペクト比　AR	↘	↗	↗



S　：主翼面積
Λ　：主翼後退角
　　（25% 翼弦位置）
b　：主翼翼幅
AR　：アスペクト比
　　（=b^2/S）

【記号の意味】

↗：パラメータを増加させると性能が向上する。

↘：パラメータを増加させると性能が低下する。

1.3　飛行機のかたちの相似性

前項までに述べたように、飛行機では性能や運動特性に対して、かたちそのものの影響が強く表れるため、逆に言えば要求される性能や運動特性が同じなら、かたちが似かよってくる（設計要求が近いと言われる代表的な機体の例を**表2**、**図2**、**表3**および**図3**に示す）。航空技術が発展するにつれて、設計要求、規格、基準が厳密化・詳細化され、かたちの相似性が強まる傾向があると考えられるが、同じようなかたちに見えても細部には会社独自の設計基準や設計者の思想、信条が表れる。

次項では、SUBARUの源流である中島飛行機の創業間もない頃からの飛行機のかたちを考察する。そして、それらのかたちに特徴的な思想や現在のSUBARUとの共通点が見いだせないかを調べることで、それぞれのデザインからSUBARUに受け継がれている所謂DNAを見いだせないかを探ってみる。

表2　要求の近い2機種の機体諸元比較
（ボーイング777とエアバスA330）[1][2][3]

機種名		ボーイング 777－200	エアバス A330－300
性能	座席数※1	312	277
	航続距離	5,120 nm	6,340 nm
	巡航速度	Mach 0.84	Mach 0.82
機体諸元	最大離陸質量	247,000 kg	230,000 kg
	全長	63.7 m	63.7 m
	全幅	60.9 m	60.3 m
	全高	18.5 m	16.8 m

※1　座席数は3クラス配置の標準例

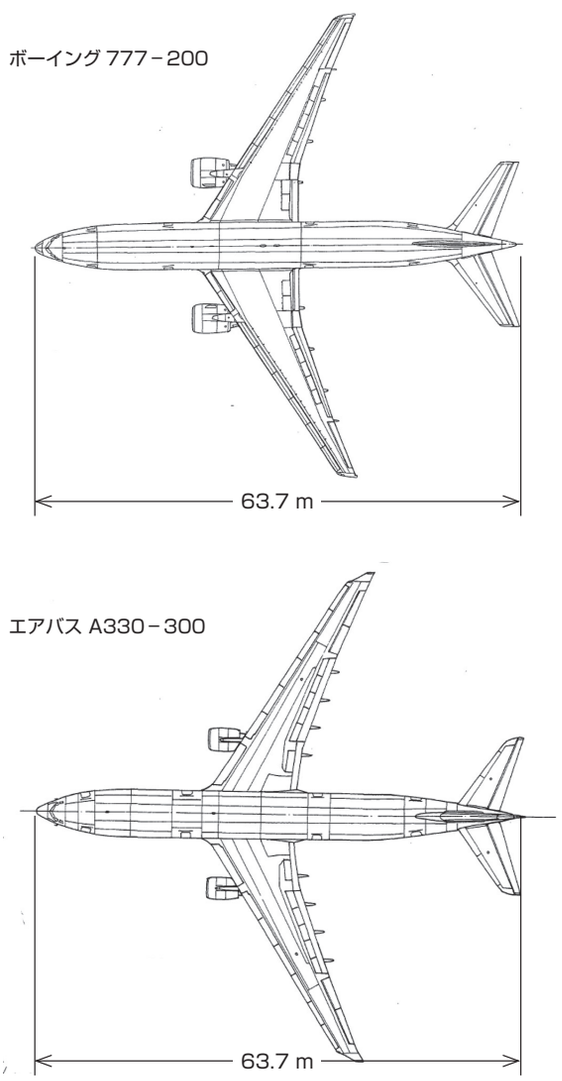


図2　要求の近い2機種の形状比較
（ボーイング777とエアバスA330）[3]

表３　要求の近い２機種の機体諸元比較
（F－15（米）とMiG-31（露））[4][5]

機種名		F－15	MiG－31
性能	航続距離	1933 nm	1780 nm
	最大水平速度	Mach 2.5	Mach 2.8
最大離陸質量	36,741kg	46,200 kg	230,000 kg
	全長	19.4 m	22.7 m
	全幅	13.1 m	13.5 m
	全高	5.6 m	6.2 m

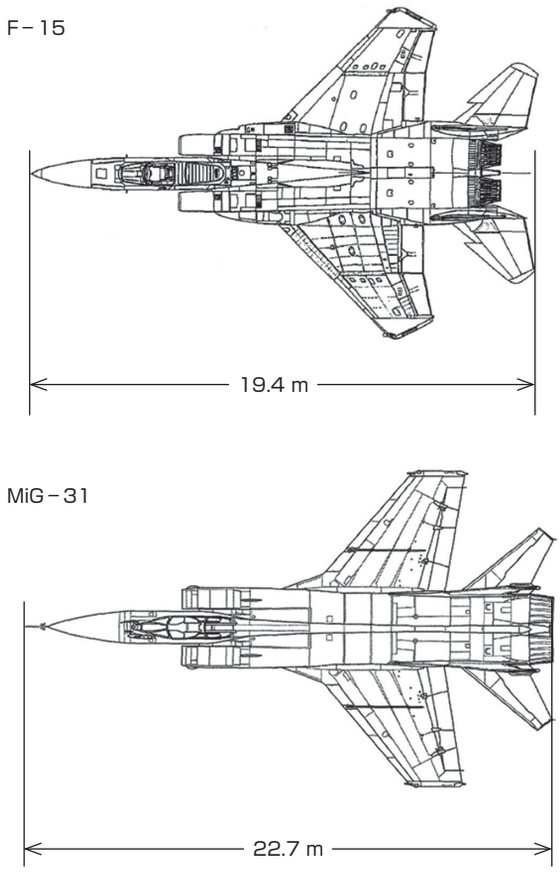


図３　要求の近い２機種の形状比較
（F－15（米）とMiG－31（露））[6][7]

2.　中島飛行機のデザインの考察

本項では主に中島飛行機時代に得意とした陸軍の代表的な戦闘機のデザインに注目し、そこに秘められた設計思想を考察する。

中島飛行機は終戦時、東洋最大の航空機メーカーであり、数々の名戦闘機を生み出した。次項以降、中島飛行機が産み出した航空機のうち、九一式戦闘機、九七式戦闘機、二式戦闘機と呼ばれる機体（図４～６）について紹介する。

2.1　九一式戦闘機

中島飛行機の創業から10年後の1927年、陸軍航空本部では、陸軍指定工場であった中島飛行機製作所、

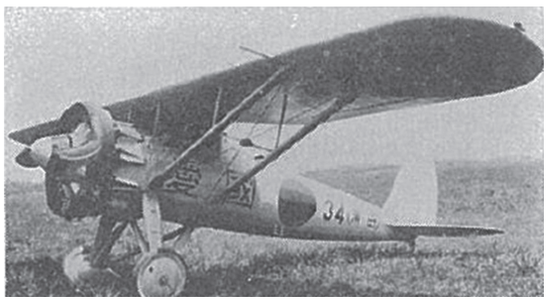


図４　九一式戦闘機[8]

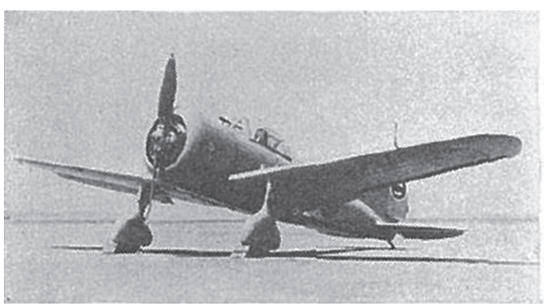


図５　九七式戦闘機[8]

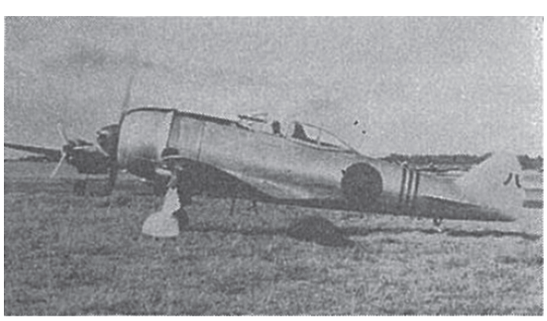


図６　二式戦闘機（愛称「鍾馗」）[8]

三菱内燃機、川崎造船所、石川島飛行機製作所の４社に、日本で初めての試みである戦闘機の競争試作を行わせ、その中から優秀なものを制式機に採用することを決めた。 当時、国内における航空技術が未成熟であったため、中島はフランスのニューポール社から招いたアンドレ･マリー技師、三菱内燃機はドイツのシュツットガルト大学のバウマン博士、川崎造船所は同じくドイツのドルニエ社のフォークト博士の指導のもとで設計を開始した。

このときマリー技師の助手となったのが、新人で入社してきた小山悌（こやま・やすし）技師であった。小山技師は後に中島飛行機の技師長となり世界に肩を並べる名機を次々と生み出すことになる。

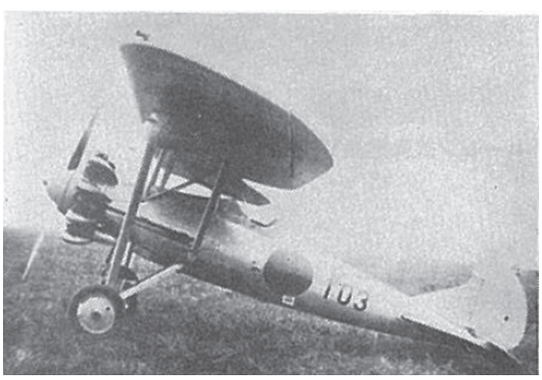
マリー技師の設計思想は、パイロットの安全を最重視するもので、第一次大戦の戦訓によるものであった。第一次大戦では数々の飛行機が空を舞ったが、燃料タンクが燃える空中火災がよく起こった。マリー技師は空中火災が起こったとしても、パイロットを助ける設計を信条とした。

マリー技師が設計した中島NC型試作戦闘機は、主

翼支柱のうち前部支柱が胴体にとりつけられることなく、水平な脚支持までのびた、きわめて長いものとなっている(**図7**)。当時の戦闘機では、燃料タンクを胴体の前部、つまり操縦席の前においているものが多く、一度火災を起こすとすぐに操縦席に火がまわる恐れがあった。NC型試作戦闘機の長い主翼支柱は火災発生時に胴体内燃料タンクを切り離し、パイロットが生還できるよう工夫した結果である。

その後、このNC型試作戦闘機は苦心の経緯を踏み、改良を重ねた結果、九一式戦闘機(**図4**)として競争試作に勝ち、制式採用となった。

九一式戦闘機の開発を経て、マリー技師の安全を重視する思想は以降、小山技師にとっても信条となり、中島の飛行機作りの基本となった。



マリー技師の設計思想が組み込まれたNC型試作戦闘機。前部の主翼支柱が脚支持までのびた長いものとなっている。

図7　NC型試作戦闘機(3号機)[8]

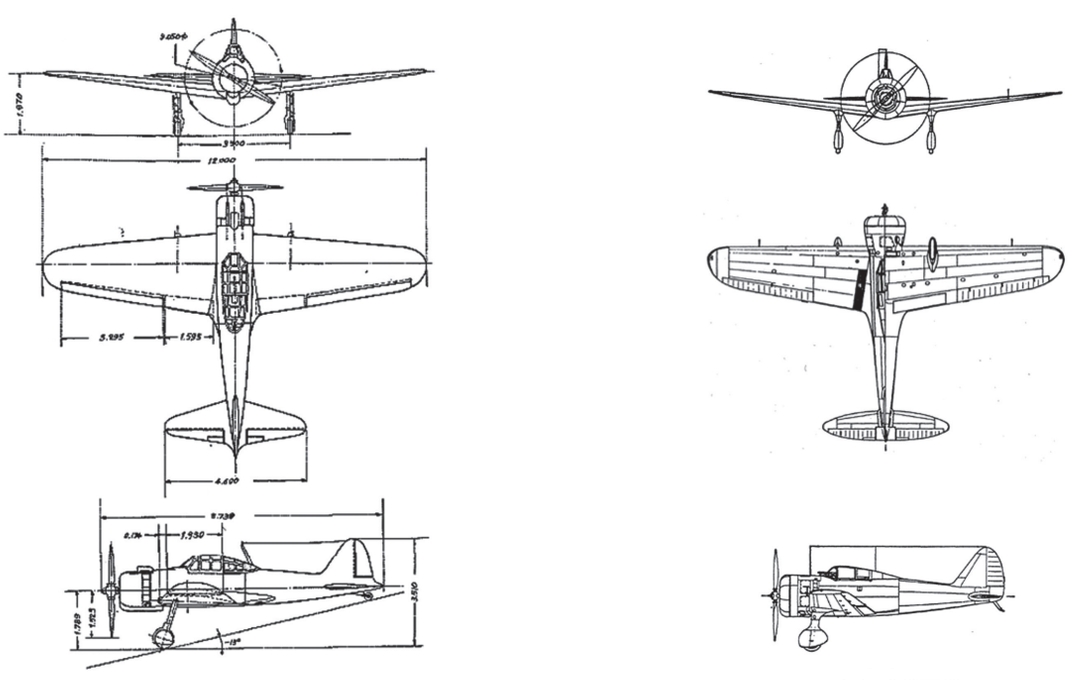
2.2　小山技師と九七式戦闘機

図5に示した九七式戦闘機は1935年に実施された陸軍の競争試作の結果採用された戦闘機であり、非常に高い操縦性を要求する日本人パイロットを満足させる機体であった。

九七式戦闘機の開発において、設計主任はマリー技師から飛行機設計を学んだ小山技師が担当した。九七式戦闘機の機体三面図を**図8**右図に示す。**図8**左図には参考のため、零式艦上戦闘機(開発：三菱重工業)の三面図を示す。

まず主翼の平面形に注目すると、九七式戦闘機は主翼前縁が直線であり後縁が翼端に近づくに従い前方に向かっている。実際に三面図から測ってみると、主翼の後退角(**表1**下部の図を参照)は、零式艦上戦闘機の1度に対して九七式戦闘機は−2度となっており、前進翼となっていることがわかる。

この前進翼は機動性や運動性を考慮した結果とみることができる。すなわち、戦闘機は急降下時の急激な引き起こしや、激しい旋回運動などにおいて大きな迎角となることがしばしばある。この時に安定性や操縦性を確保するためには、翼端側で気流の剥離が起きないことが必要である。翼端で気流の剥離が起きると機体が不意の横転を起こす可能性がある上、エルロン(補助翼)の効きが失われるため、コントロールが不可能となる。翼根位置(胴体側)では気流が剥がれても、エルロンのある翼端側の剥離がなければ機体の姿勢のコントロールが可能である。機体表面を流れる空



零式艦上戦闘機　　九七式戦闘機

図8　零式艦上戦闘機(通称「零戦」)と九七式戦闘機　三面図[9][10]

気には、機体表面に沿って流れながら乱れが発達し、その乱れ具合がある閾値を超えると剥離を起こすといった性質がある。前進翼では図9に示すような翼端から翼根に向かう方向の空気の流れが発生するため、空気が機体表面を沿う距離は翼端よりも翼根側が長くなる（図9）。この結果、翼端は翼根に比べて剥離が起こりにくく、最後までエルロンの効きが残るから飛行機はコントロールを失うことがない。なお、零式艦上戦闘機は主翼に捩り下げを与えることで、翼端の剥離を防いでいる。

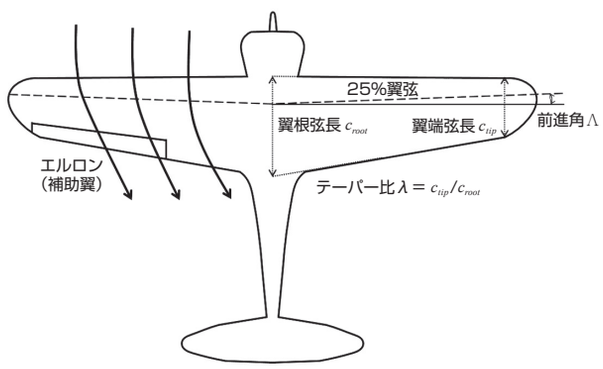


図９　前進角とテーパー比

また、九七式戦闘機の主翼のテーパー比（テーパー比の定義は図9を参照）は0.6と大きい。テーパー比の大きな主翼もまた翼端での剥離を生じにくい。さらにテーパー比の大きな機体は、ロール時に主翼に作用する空気がダンパーの役目をして、機体の動的な安定性が増す傾向がある。

次に図8の正面図、側面図に注目すると、主翼の翼端がつり上がるように上反角がついていることが見てとれる。上反角には機体の静的なロール安定性を向上する効果がある（図10に上反角によってロール安定性が生じる理由を示す）。九七式戦闘機の上反角は7度と当時の戦闘機の中でも大きくとっている。

このように主翼形状から、九七式戦闘機が高い安定性と良好な操縦性を得ることを目指した設計であったことがわかる。これは激しい運動をしながら精確な射撃が求められる戦闘機にとって、非常に重要であった。

中島飛行機の設計者がパイロットの要求を具体的な形として構築していく中で、ひとつのエピソードがある。

小山技師の下で空力設計を担当していた糸川英夫技師（のちにペンシルロケットを開発し、「日本の宇宙開発・ロケット開発の父」と呼ばれる）は、パイロットの要望に沿う飛行機を提供すべきと考え、入社早々に小山技師と陸軍の飛行学校に赴き、パイロットに「どんな飛行機が欲しいか？」と質問した。そのパイロットは「スピードはいらない、『敵と遭遇すれば一触にしてこれを斬る』という戦闘機が欲しい」と真顔で答えた。その表現があまりに抽象的であり、小山技師も糸川技師も理解することができなかった。そこでこの要求を具体化するために、糸川技師は社内テストパイロットと一緒に暮らし、要求の解釈を試みた。半年を経て、一つの結論にたどりつくことができた。

「スピードはいらない」「一触にして敵を斬る」とは、素早く相手の後ろに回って打ち落とせるということであった。要は方向転換が1秒でも速い機体が良い。同時に旋回半径が1メートルでも、1センチでも短い方が相手の後ろに早くつける。

このように、中島の設計者は安全性とともにパイロットが意のままに操れる機体を提供することを最重要視した。小山技師も、設計者は刀鍛冶のようなものだから、パイロットが使いやすい飛行機をつくらなければならない、ということを信念としていた。

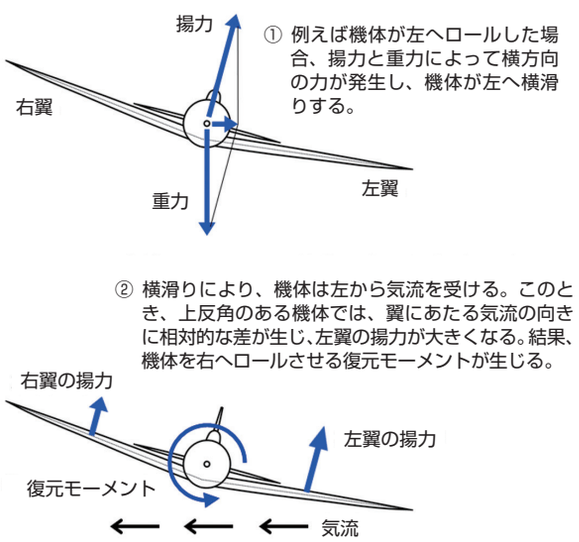


図 10　上反角の効果（図は機体を前方から見たもの）

九七式戦闘機をまとめあげる上で、小山技師は生産性も考えた発想も行った。それまでの機体構造は、まず胴体全体を作り、左右から主翼を取り付ける製造方法が一般的であったが、小山技師の設計は、主翼を左右合わせて一枚とし、その上に胴体を載せる一体構造とした。これにより高い強度と組立精度が要求される主翼と胴体の結合部がなくなり、複雑な工作が不要となる上、重量もかなり軽減できた（図11）。

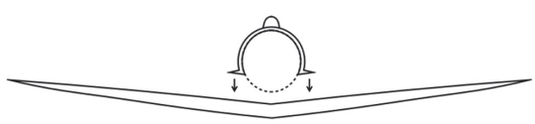


図 11　主翼と胴体の結合方法

さらに小山技師は、胴体を操縦席前後で分割することで、製造、輸送時の機体の搬送性も向上させた(図12)。以上のように、小山技師の設計は原理、原則を重視し、複数の設計要求を高いレベルでまとめあげる極めて革新的且つ合理的な発想を採っていた。

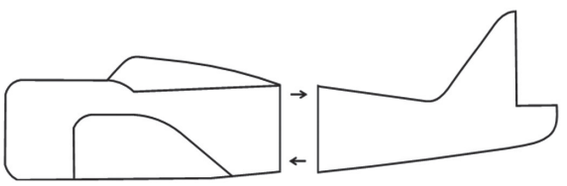


図 12　胴体の分割方法

防火性という観点でも、小山技師はマリー技師の信条に従い、火災発生時、胴体中央下面から燃料を機外に排出できるようにするとともに、操縦席下面の床板を厚くし、火のまわりをできるだけ遅らせてパイロットが脱出する時間をかせげるようにした。

2.3　糸川技師と二式戦闘機

図6に示した二式戦闘機は、1938年に中島に一社指名で内示された試作の採用機であり、当時の世界の開発動向に即した高速性能優先とする機体であった。

図13に二式戦闘機の三面図を示す。二式戦闘機の特徴として、主翼の付け根後縁に取り付けられた蝶型フラップがある(図14)。これは、本来着陸時に主翼面積(＝揚力)を増加させる役割を持つ、ファウラーフラップの一種である。ファウラーフラップはフラップの胴体側も翼端側も一様に展開する。対して蝶型フラップは外側よりも内側を大きく展開する。この動きが蝶の羽の動きに似ているということからついた名前である。蝶型フラップにより翼の面積を増大させ、旋回半径を短くすることを可能とし、高速性とパイロットの求める運動性の両立を図った設計とした。

翼の面積を増大させるという効果は、ファウラーフラップでも蝶型フラップでも同じであるが、違いはフラップを展開した時の翼の形と空気の流れに現れる。ファウラーフラップのように一様に展開すると、翼の中程にできる端部から生じる渦による抵抗、振動等の問題が発生しうる。蝶型フラップでは翼平面形の不連続が生じず、空力的な損失が生じない。

また、二式戦闘機は尾翼の配置が独創的である。二式戦闘機の尾翼を中島の一式戦闘機(愛称「隼」)と比較すると(図15)、二式戦闘機の垂直尾翼は水平尾翼よりも大分後方にあり、一式戦闘機の尾翼配置と位置関係が大きく違うことがわかる。

ここで、垂直尾翼が水平尾翼に与える流れの影響について考える。例えば、パイロットが機種を左に向けようとして、図16のようにラダーを左へ切ると、垂直尾翼右側の流れが加速され圧力が下がり、垂直尾翼左側の流れが減速され圧力が上がる。一式戦闘機のように水平尾翼と垂直尾翼の位置が近いと、水平尾翼がこの圧力変化による空力的な干渉を受け、パイロットが意図しないロール運動が生じうる。一方で二式戦闘機の尾翼配置では両尾翼の空力的な干渉を避けることができ、縦と横の動きが互いに連動しない。これは特に射撃体勢時の安定性を高める上で有効である。

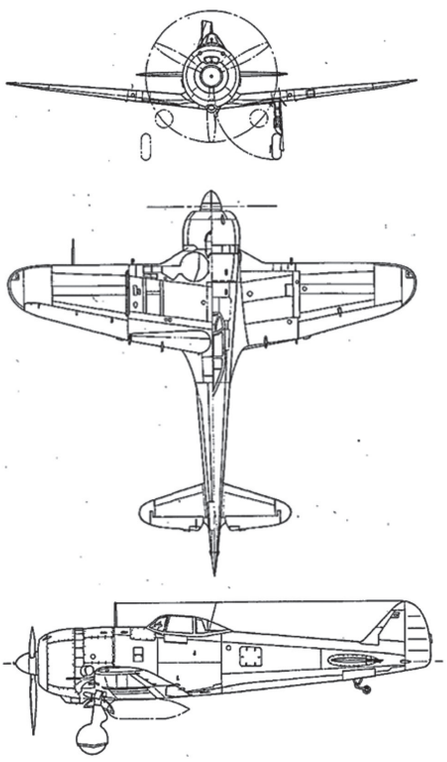


図 13　二式戦闘機　三面図 [11]

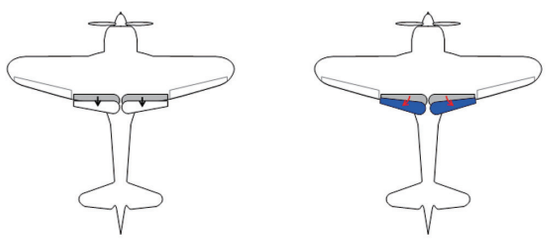


図 14　ファウラーフラップと蝶型フラップ

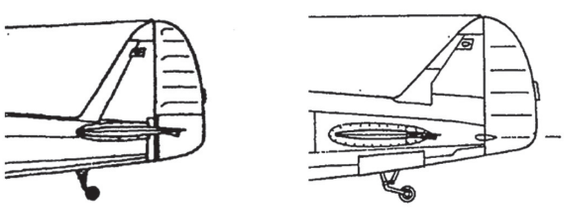


図 15　一式・二式戦闘機の尾翼配置の違い [10][11]

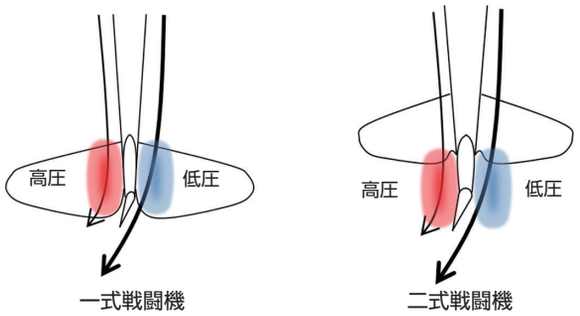
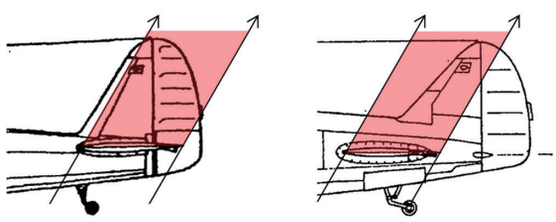


図 16　一式・二式戦闘機の水平尾翼

加えて、逆に水平尾翼が垂直尾翼に与える流れの影響についても考える。回転しながら失速状態で落下する、きりもみからの離脱という観点では、前下方60度からの吹上気流を受けた際の垂直尾翼有効面積で評価することができる（図17）。二式戦闘機はより広い有効面積があり、きりもみという極限状態においても優れた離脱能力を有している。

ここでも、中島飛行機の安全性と運動性を高い次元で両立させる思想と、それを実現するための合理的発想が見て取れる。



前下方 60 度からの吹上気流の影響範囲を赤塗りで示す。

図 17　一式・二式戦闘機の垂直尾翼

3.　現在へ受け継がれるスピリットと技術

以上、中島飛行機が創業間もない頃からの飛行機のデザインを追いかけることで、そこにみられる思想と技術を考察してみた。

そこには、万が一の場合でもパイロットの命を守る安全思想とともに、極限状態においてもパイロットの意のままに操れる高い安定性と操縦性の追及、そしてそれを実現する合理的発想がみられた。中島時代に得意とした戦闘機においては特に、極限状態での高い安定性と操縦性はパイロットの命を守ることに直結する。すなわち、根底には製品を使う人や、使われる場面を良く理解し、考え抜いた上で、安全と使いやすさを兼ね備えた飛行機を作るという技術者の信念があったと考えることができる。

このような機体を世界に肩をならべるレベルで次々と生み出せたのは、挑戦を良しとし、たとえ上司に対してでも率直に意見、議論できる自由闊達な風土によるものと言われている。

現在に目を戻せば、これら安全性と運動性を追求する中島のスピリットは戦後の航空機開発（図18～20）はもちろん、SUBARU AWDやアイサイトなど、高い安全技術と運動性能（図21～24）に裏打ちされた「安心と愉しさ」に受け継がれているのではないだろうか。

4.　あとがき

中島の戦闘機づくりに始まった安全性といかなる状況でも意のままに操れる安定性と操縦性の追求の意味を考えながら、今、改めてそれらを支えるスピリットと技術を時代にふさわしい形で、正しく継承していかなければならないと強く思う。

T－1 の計画書には、高い安全性とともに最優秀の安定操縦性を狙った設計をする方針が明記されている。

図 18　T－1 ジェット練習機

無人機研究システムは、高度な任務を自律的かつ安全に遂行できる。

図 19　自律運航技術（無人機研究システム）[12]

UH－X は油圧が喪失しても安全に飛行継続可能なドライラン性能と高い安定性を備えている。

図 20　陸上自衛隊新多用途ヘリコプター UH－X（防衛省ホームページより）[13]

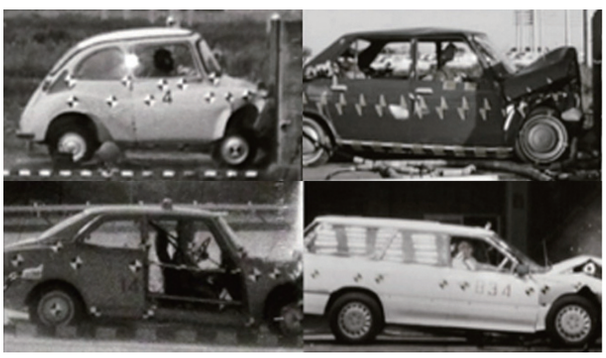


図 21　スバル 360 の時代から続く衝突安全への取組み

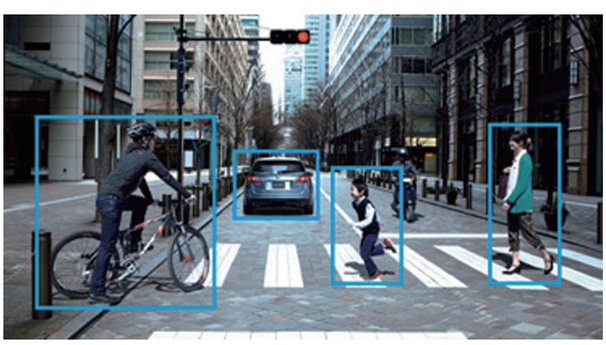


図 22　アイサイトによる認識イメージ

図 23　低重心・左右対称レイアウトのシンメトリカル AWD

図 24　WRC で疾走するインプレッサ[14]

参考文献

(1) Paul Jackson： Jane's All the World's Aircraft 2017-2018
(2) 平成 28 年度版 民間航空機関連データ集, 日本航空機開発協会
(3) 世界航空機年鑑 2002, 酣燈社
(4) STANDARD AIRCRAFT CHARACTERISTICS F-15C EAGLE, http：//www.alternatewars.com/SAC/F-15C_Eagle_SAC_-_February_1992.pdf（2018-3-19）
(5) Paul Jackson： Jane's All the World's Aircraft 2001-2002
(6) 世界航空機年鑑 2006-2007, 酣燈社
(7) 世界航空機年鑑 2015-2016, 酣燈社
(8) 富士重工業株式会社：富士重工業三十年史
(9) 堀越二郎：零戦 その誕生と栄光の記憶, 角川書店
(10) 碇義朗：戦闘機「隼」昭和の名機その栄光と悲劇, 光人社
(11) 碇義朗：決戦機疾風 航空技術の戦い, 光人社
(12) 宮川武, 岡田悟史, 中沢哲, 宮田研史, 阪口晃敏：無人機研究システムの開発－自動運航技術について, JSASS-2012-5109, 第 50 回飛行機シンポジウム 2A14
(13) 陸自新多用途ヘリコプター（UH－X）の開発事業者決定について, http：//www.mod.go.jp/j/procurement/chotatsu/uhx_ipt/pdf/270717_shiryo.pdf（2018-3-19）
(14) http：//subaru.rallye-info.com/galleryphoto.asp?sid=5&mediaid=208（2018-3-19）
(15) 鈴木五郎：不滅の戦闘機 疾風 日本陸軍の最強戦闘機物語, 光人社
(16) 内藤子生：飛行力学の実際、日本航空技術協会
(17) 長島芳明：銀翼のアルチザン 中島飛行機技師長小山悌物語, KADOKAWA

【著　者】

若井　　洋

佐藤　一成

加藤　宏基

新多用途ヘリコプター用整備工場が完成
～ヘリコプター整備体制を年間130機に拡大～

2018年1月18日

航空宇宙カンパニー宇都宮製作所（栃木県宇都宮市）の南工場内に、「新多用途ヘリコプター（陸上自衛隊UH－X）および民間機412EPI発展型機」用の整備工場を建設しました。
同カンパニーでは、多用途ヘリコプターUH－1Jを始めとする陸・海・空自衛隊向けの航空機や、海上保安庁、消防、警察、地方自治体向けヘリコプターなど、年間約100機の定期整備や修理改造を実施しています。今回新たな整備工場（建築面積約3,700 m^2）を建設したことにより、約3割増の年間130機の整備体制を目指します。

中島飛行機四式戦闘機「疾風」RC 機の製作 およびその飛行試験

Fabrication and Flight Test of Nakajima Ki-84 Hayate (Frank) Radio Control Airplane

池　田　勝　也*1　　若　井　　洋*2
Katsuya IKEDA　　Hiroshi WAKAI

抄　録

中島飛行機は、航空機及び航空機エンジンメーカーとして大戦中活躍した。2017年、SUBARUは、中島飛行機の設立から100周年を迎えた。中島飛行機で開発した、日本を代表する傑作機として、四式戦闘機「疾風」が有名である。大日本帝国陸軍の戦闘機試作名称はキ-84、愛称は「疾風」、連合軍のコードネームは「Frank」。戦後の米国によるテストでは687 km/h/6,100 m[(1)]を記録し、高速性能、運動性能、航続距離、充実した武装を備え、The best Japanese fighter（日本最優秀戦闘機）と評価された機体である。1/5スケール四式戦闘機「疾風」のラジオコントロール機（以下RC機）を製作、飛行試験をしたので概要を報告する。

Abstract

The Nakajima Aircraft Company was a prominent Japanese aircraft manufacturer and aviation engine manufacturer throughout World War II. In 2017 SUBARU Corporation celebrated the 100th anniversary of its foundation. The Nakajima Ki-84 Hayate, Allied codename: Frank, was a single-seat fighter flown by the Imperial Japanese ArmyAir Service. After the war a captured example was tested in the US and proved a speed of 687 km/h (430 mph) /6,100 m (18,600 ft)[(1)]. The Ki-84 is generally considered the best Japanese fighter to see large-scale operation. The aircraft boasted high speeds, excellent maneuverability, long range and formidable firepower. This report explains fabrication and flight test of 1/5th scale Ki-84 Hayate radio control airplane.

1. まえがき

20年ほど前、米国の小さなRC飛行機キットメーカーから1/5スケール「中島Ki-84疾風」が発売された。メーカーの社長に電話し、何故、人気があり良く売れると思われる米国戦闘機のP-51「マスタング」、F-4U「コルセア」や日本戦闘機「零戦」のキットではなく、中島「疾風」を最初に開発し売り出したのかとの質問に、「Best Japanese fighter in WWIIだから」との回答、即購入を決めた経緯がある。驚くことに、このキットは主翼、胴体がCFRP複合材製で、当時としては最新の材料を使用し開発されたキットで他に類を見ない構造様式、新テクノロジーを採用し、将来の航空機構造を見据えていたことも購入した理由に挙げられる。1/5スケールの四式戦闘機「疾風」のRC機を製作、飛行試験をしたので概要を報告するとともに、中島飛行機の高揚力装置（フラップ）、空力設計技術力の高さを中心に論を進める。実機写真を**図1**に示す。

図1　実機「疾風」の写真

2. 「疾風」の実機とRC機の比較

2.1　諸元比較

「疾風」の実機と製作したRC機の緒元を比較し、**表1**に示した。

＊1 富士エアロスペーステクノロジー株式会社　技術部
＊2 航空宇宙カンパニー　技術開発センター

表１　実機、RC 機諸元比較[1) (3)]

	全長 (m)	翼長 (m)	主翼面積 実機 (m^2) RC 機 (dm^2)	最大離陸重量 (kg)	翼面荷重 実機 (kg/m^2) RC 機 (g/dm^2)	エンジン型式	エンジン出力 (HP)	馬力重量比 (Kg/HP)	機体主構造様式
実機	9.93	11.24	21.00	3890.0	185.2	ハ 45-21「誉」(35.8L)	2,000（離昇）	2.0	金属セミモノコック構造
RC 機	1.99	2.25	84.00	12.60	150.0	DLE-55 (55ccガソリン)	5.5	2.3	CFRP モノコック構造

2.2　RC 機「疾風」の主構造概要

機体主構造はCFRPを多用した複合材構造。主翼構造上下面外板はそれぞれ左右一体成型。桁はアルミ構造。リブは中央と主脚取付部の集中荷重導入部の3箇所だけの完全なモノコック構造。それらは2次接着によるファスナーレス構造で組み立てられる。

胴体構造は、エンジン取り付け部、主翼取り付け部の集中荷重導入部に4箇所胴体フレームを配置した完全なモノコック構造で、主翼同様2次接着によるファスナーレス構造。まさに将来の航空機構造を先取りした大胆な斬新設計である。部品点数も少なく、組立性を考慮した軽量、高強度、高剛性を確保している。完成したRC機を図2に示す。

図２　RC 機「疾風」の写真

3.　蝶型フラップの採用

3.1　蝶型フラップとは

四式戦闘機「疾風」を製作するにあたって、避けて通れないのが、中島飛行機伝統の蝶型フラップである。残念ながら本キットは単純なスプリットフラップ（下面外板が下に開くフラップ）で蝶型フラップを自設計、製作する必要があった。蝶型フラップの名前は、蝶が羽を開く動作、つまりフラップの外舷側より内舷側のせり出し量（ファウラー量）が大きく、フラップが回転しながら作動する動きに由来する。つまり蝶型フラップは一般的なファウラーフラップの2次元的な動きと違い、3次元的動きをするフラップである。

3.2　蝶型空戦フラップの目的

運動（速度）エネルギーが充分ある状態で、フラップを後方にせり出すことにより、翼面積を増大、翼面荷重を小さくすることにより、旋回半径を小さくして旋回性能を向上、空中戦で優位性を確保するため開発されたもので、中島飛行機を代表する一式戦闘機「隼」、二式戦闘機「鍾馗」等に空戦フラップとして装備された。

3.3　蝶型フラップの設計

蝶型フラップの設計するにあたり下記を考慮し設計を進めた。

・平面形の作動は上述したが、側面での動きは、作動初期では後方にせり出し、主翼面積を増大、抵抗の増加を抑えるため舵角は少ない動きとし、機体姿勢変化を最少にする。
・着陸時にもフラップを使用するため、着陸フラップ（フルダウン）では、後方へのせり出しに加え、舵角を増大させ、揚力、抗力を増大させる。
・可能な限り、実機「疾風」の構造様式を踏襲する。
・構造は極力簡単にし、片側1個のサーボアクチュエータで作動し信頼性を確保すると同時に飛行中に左右の舵角調整を可能とする。
・簡単に入手できる、汎用素材を使用し製作する。

3.4　フラップ荷重を支えるメインレールと舵角を決める舵角設定レールの配置

実機フラップレール配置の平面図を図3に示す。RC機のフラップレール配置を図4に示す。平面での動きでは、フラップ内外舷のせり出し量は違うため、図のような回転運動を基本とする動きを設定した。フラップの舵角を決める舵角設定レール1箇所、メインレール3カ所を配置した。最外方のレールは、フラップ本体の剛性が十分なため、レールは削除した。

図5、図6に上面写真、図7、図8に下面写真を示す。

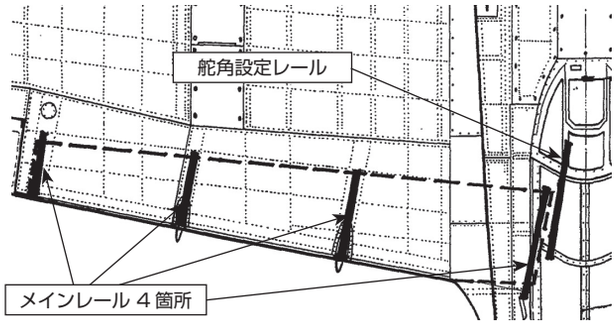


図 3　実機フラップレール配置図 [5]

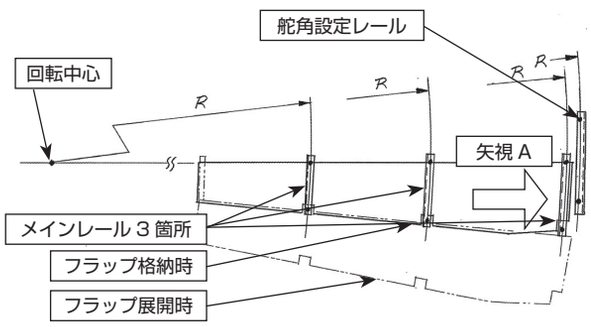


図 4　RC 機フラップレール配置図

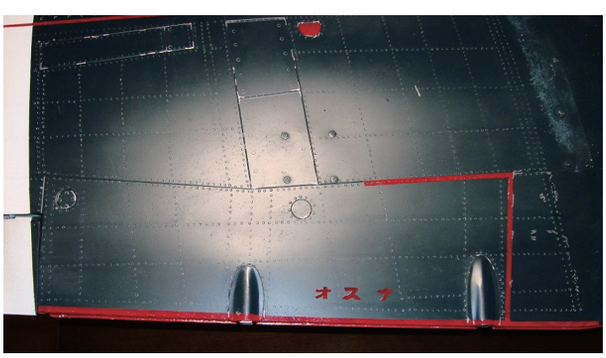


図 5　RC 機フラップレール上面写真（格納時）

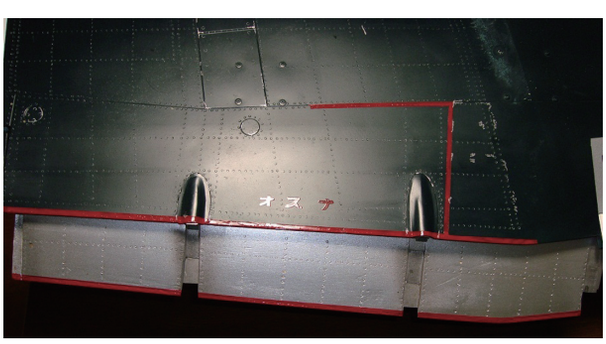


図 6　RC 機フラップレール上面写真（展開時）

図 7　RC 機フラップレール下面写真（格納時）

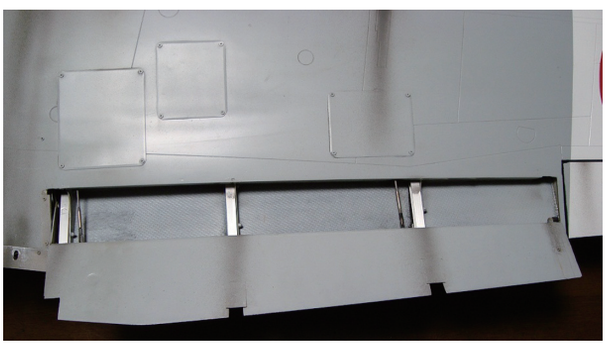


図 8　RC 機フラップレール下面写真（展開時）

フラップレールの配置側面図矢視 A を図9に示す。フラップ下げによる主な空気力はメインレールにより荷重を伝達する。舵角設定レールはフラップの舵角を決めるレールで、ローラー取り付けアームは、フラップトルクを伝達するため十分な強度が必要で、GFRP 板から切り出して製作した。

アーム先端のローラーは潤滑が不要な樹脂部品を使用した。本部位の写真を図10に示す。

単純な直線レールの組み合わせだけで、フラップ展開初期の小舵角、大ファウラー量、展開後期の大舵角、高揚力発生を実現している。

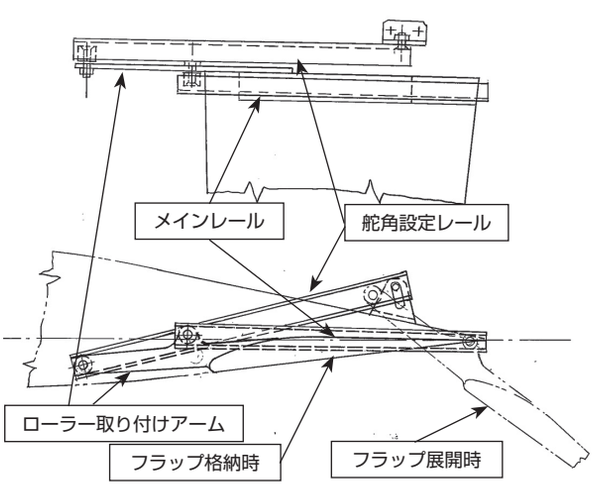


図 9　図 4 中の矢視　A

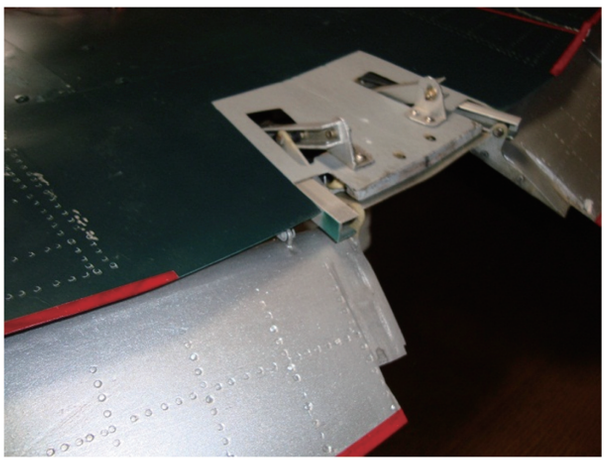


図 10　図４中の矢視 A 部 写真（フラップ展開時）

3.5　フラップ作動機構

片翼のフラップは、1個のサーボアクチュエータにより作動させるため、ベルクランクとプッシュプルロッドの組み合わせによる機構とした。概要を図11に示す。ベルクランクの初期設定角度を変えることで作動量を変化させ、フラップの内舷、外舷のせり出し量（ファウラー量）を設定、最適位置を決定した。

ベルクランク、作動ロッドを全て主翼内に収めることを前提に設計したため、実機同様、ホーンやロッドが主翼外部に突出すること無く、全て主翼内に収め、実機スケール感と信頼性を実現することができた。

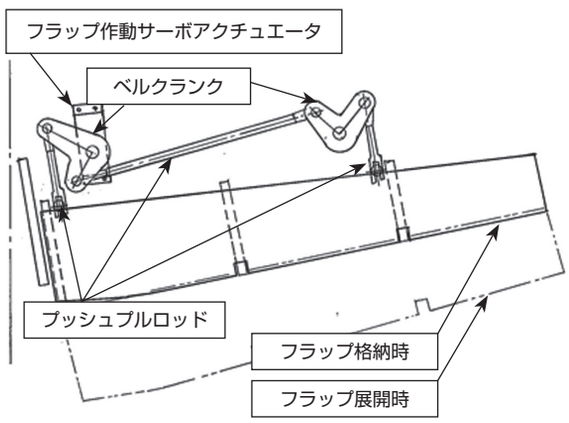


図 11　フラップ作動機構概要
（左翼フラップを下面から見る）

4.　RC機「疾風」の飛行試験

4.1　実機「疾風」の操縦性

飛行可能な実機「疾風」は現存しないため、実機の飛行特性、操縦性は確認するすべが無い。30年以上も遡るが、元富士重工業（現SUBARU航空宇宙カンパニー）パイロット室長を務めた故藤田俊二室長から「疾風」の操縦性を聞いたことがある。藤田氏は中島飛行機出身のテストパイロットで、四式戦闘機「疾風」での試験飛行を任務とし、疾風での胴体着陸の経験もある強者であった。FA200開発時の試験飛行や、海外売り込み飛行ツアー、国内イベントでの曲技展示パイロットも務めていた。藤田氏の写真を図12に示す。

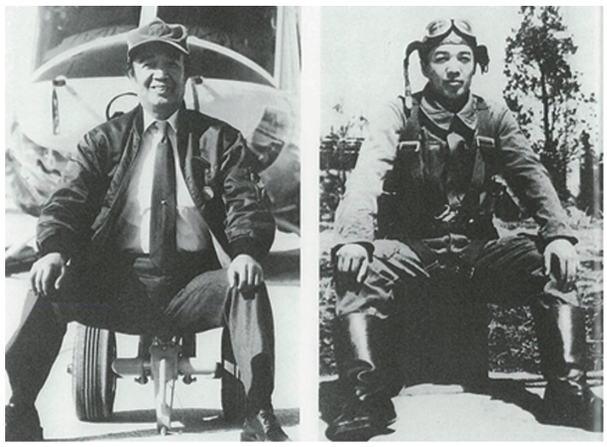


図 12　藤田氏写真　　昭和 18 年、22 歳の藤田氏

藤田氏の「疾風」の評価のポイントは下記。

・「疾風」は中島が開発した最高傑作優秀高性能機で、最高速度、航続距離、武装、あらゆる速度域において操縦性に優れた機体であった。
・失速特性に優れ、「鍾馗」に比べ、着陸が容易。
・防弾装備が充実していた。
・良くバランスのとれた操縦性を持った重戦闘機。

1973年に、米国でレストアされた「疾風」が日本に里帰りし、「誉」エンジンの轟音を響かせ入間基地で開催された国際航空ショーで展示飛行をした。その後宇都宮飛行場でも一度飛行し、最後の飛行となった。入間基地での「疾風」の雄姿を図13に示す。

図 13　入間基地航空ショーでの「疾風」の雄姿 [3]

4.2　RC機「疾風」の操縦性

私が所有する「疾風」と同じ1/5スケールの「零戦」52型、「スピットファイア」Mk14との操縦性を比較した。比較に使用した機体の写真を図14に示す。

図 14　比較した「零戦」52 型（上）、
「スピットファイア」Mk14（下）の写真

「零戦」、「スピットファイア」と操縦性を比較した「疾風」の評価は、

・3舵とも舵が良く効き、操縦しやすい。
・翼面荷重が大きく着陸速度が高いが、フラップ使用時の着陸は低速で進入可能で比較的容易。
・旋回性能は、空戦フラップを使うと良好だが、フラップ使わないと旋回半径が大きい。
・飛行中の安定性は格段に良い。
・主翼前縁直線で、低速性能、失速特性は良好。

4.3　蝶型フラップ作動時の機体姿勢変化の確認

RC機「疾風」による飛行試験で下記が認められた。

・空戦フラップや離陸フラップとしての小舵角時、また着陸フラップとしての最大舵角時、双方において、機首上下等のピッチング機体姿勢変化は殆ど発生せず使い勝手の良い優れたフラップである。
・着陸時のフラップの効果は大きく、離陸重量12.6（kg）、翼面荷重150（g/dm^2）の機体を短距離で簡単に、そして安全に着陸することができる。

4.4　フラップ展開時の機体姿勢変化の考察

フラップ展開時のピッチング機体姿勢変化は、主翼で発生した揚力分布の変化（揚力中心が後方移動する等）による。主翼だけの揚力変化を見ると揚力中心が後方に移動するので機首下げモーメントになるが、フラップ後方の流れが下方に曲げられ（ダウンウオッシュ）、それが水平尾翼へ影響し、下向き揚力が増大して生ずる機首上げモーメントとのバランスで決まる。それらの影響は、主翼と水平尾翼の距離、主翼に対する水平尾翼の上下位置、フラップの形式、フラップ舵角、機体重心位置等に左右される。どのようなフラップ舵角でも殆ど姿勢変化が発生しない「疾風」に対し、「零戦」のスプリットフラップ作動時は強い機首上げモーメント、「スピットファイア」のスプリットフラップ作動時は逆に、弱い機首下げモーメントが発生した。飛行試験で比較した3機と戦後SUBARUで開発したFA200のフラップのスパン方向の長さに対する、フラップのダウンウオッシュの影響を受けると推定される水平尾翼の長さ比率を検証し、図15に示す。

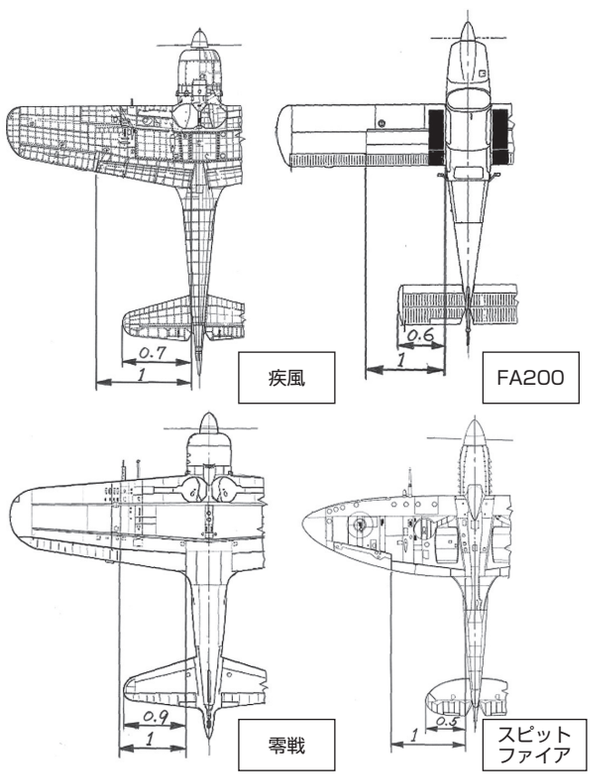


図 15　フラップ長さに対する、ダウンウオッシュの
影響受ける水平尾翼の長さ比率(4)(5)(6)

前述のように、平面図で比較したフラップ長さとダウンウオッシュの影響を受ける範囲だけで姿勢変化は決まらないが、一連のRC機飛行試験で、空力的な推論とRC機の挙動傾向の合致が確認できた。

RC機「疾風」がフラップフルダウンで着陸時の写真を図16に示す。

図 16　RC 機「疾風」蝶型フラップフルダウンでの着陸写真

実機FA200は、私自身約250飛行時間の飛行経験があるが、フラップ作動時の姿勢変化を強く感じたことは無い（無意識にトリム操作しているからか）。戦後、中島飛行機のDNAを受け継いで開発されたFA200エアロスバルの素晴らしさは認められ、今も世界の空を飛び続けている。実機の「零戦」と「スピットファイア」は、飛行可能な機体が現存するため、いつかパイロットにその操縦性をヒアリングし確認してみたい。

5.　まとめ

1/5スケールRC機「疾風」を製作し、約50フライトの飛行試験を実施した。他の同スケールの機体と比べ、高速、低速域でも安定し、良好な運動性能を発揮できる機体である。CFD（Computational Fluid Dynamics）や高性能風洞など無い時代に、空戦用に設計された中島伝統の蝶型フラップは、空戦フラップ位置での旋回性能、着陸時の揚力増大、失速特性を改善し、機体姿勢変化を殆ど発生させない等、空力性能は勿論、信頼性の全てにおいて優れていた。「Best Japanese fighter」の評価を得た「疾風」。この傑作機を開発した中島飛行機の高い空力設計技術、構造設計技術、高性能機を開発することで、パイロットの命を守るための安全性を追求した中島飛行機のスピリッツ、DNAを改めて実感させてくれた。

参考文献

(1) 松葉稔,精密図面を読む[1] 航空機の原点 第2次大戦の花形戦闘機編, p.29-30, 酣燈社（1994）
(2) 世界の傑作機No.19 陸軍４式戦闘機「疾風」,文林堂（1989）
(3) 丸メカニックNo.33 マニュアル特集 四式戦闘機「疾風」,p.2,28,潮書房光人新社（1982）
(4) エアロディテール24 中島四式戦闘機「疾風」,p.62,73-74,大日本絵画（1999）
(5) 世界の傑作機No.9 零式艦上戦闘機22-63型,文林堂（1988）
(6) 世界の傑作機No.25 スピットファイア,文林堂（1990）

【著　者】

池田　勝也

若井　　洋

あるSTIパーツ低背圧マフラの開発顛末

Development of STI Part Low Back Pressure Muffler

坂崎明彦[*1] Akihiko SAKAZAKI
平野誠[*2] Makoto HIRANO
片岡誠[*2] Makoto KATAOKA
伊東太壱[*3] Taichi ITOU

抄　録

これは世に出なかった、あるSTIパーツ低背圧マフラの開発顛末である。

世に出なかったとは言え、略ゼロからの新規開発で、騒音低減、背圧低減の根幹に遡り、トライアンドエラーを繰り返した結果、STI内での人材育成が大いに進んだ。

次回の開発では、得られたノウハウと育てた人材を生かし、商品としても納得出来るレベルの、コスト、質量、性能バランスの取れた製品を、最小工数で開発したい。

Abstract

This is the whole story of the development of a certain STI part, low back pressure muffler which did not see the light of day. Although it did not see the light of day, as a result of reviewing the principles of noise and back pressure reduction and repeating trials and errors for this new development which started with abbreviation zero, personnel training in STI was advanced very much. In the next development, we would like to take advantage of the know-how and human resources gained through this experience, and develop a part with a good balance of cost, mass and performance with a minimum of man-hours.

1. まえがき

これは世に出る事の無かったある車種に適合するSTIパーツ低背圧マフラの開発顛末である。

開発のある程度進んだ段階からは、簡単なシミュレーションで、特定の周波数をピタリと止めた上で背圧のそれなりの低減を図る等、レベルアップの手応えを感じられる様になったが、投資費用対効果のバランス等で量産化は諦めざるを得ない状況に追い込まれた。

2. 開発のスタート段階

STIが依頼されたのは、既に開発の進んでいる**図1**の低背圧マフラがあるので、この開発の仕上げを行い、量産品としてのバイタル故障モードやミル点灯の無き事と、法規に絡む品質と性能を、STI、SUBARUのグループとして保証して欲しいという事であった。

さらに、装着はディーラではなく、港で行いたいという条件が追加された。

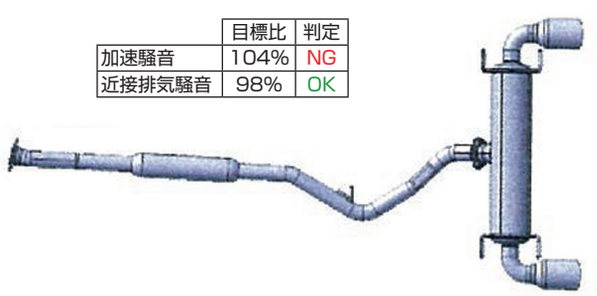


図1　1次試作排気系

2.1　1次試作排気系の評価

マフラ本体は、外観品質の向上のため、量産品に対しかなりの厚肉になっていたが、チャンバ自体が小型のため、質量は量産品と同程度には収まっていた。

加速騒音と近接騒音を測定したところ、加速騒音がSTIの考える目標値未達でNGである事が判った。

＊1 技術管理部
＊2 STI車体技術部
＊3 STI車両実験部

また法規とは関係無いが、車両との相性の問題で、排気脈動がトランクのフロアを加振し、室内のこもり音がかなり大きい事が判った。

2.2　1次試作排気系の騒音対策

この時点でSTIの中に排気系の専門家は事実上ゼロで、SUBARUの設計や実験、量産サプライヤにノウハウを聞きまくり、手探りでの改善模索となった。

1次試作のマフラの中身を色々弄ったが、加速騒音を下げる手段は見い出せなかった。

室内こもり音については、マフラカッタ出代に対する相関確認を行い、5速3000 rpmから3500 rpmまで緩加速した際の車内音を各3回計測し平均値を比較したのが**表1**である。

表1　マフラカッタ出代と音圧レベルの関係

オーバーオール平均値	音圧レベル [dB (C)]
出代 ＋ 0 mm（標準状態）	98.2
出代 ＋15 mm	97.2
出代 ＋40 mm	96.3

フィーリングでも、マフラカッタ出代延長15 mmと40 mmで、車内音の低減が確認できた。また、出代延長15 mmの場合は、後面衝突試験を必要としないゾーンのため、こもり音改善、見栄え向上、法規要件適合を並立させる案として、マフラカッタ出代延長15 mmを採用した。

2.3　最初のボタンの掛け違い

依頼側は、EO（CARBのExecutive Order パーツ認証的なもの）でディーラ販売前に港装着が出来るという認識で、騒音規制は、近接騒音の95 dB以下（SAE J1470）だけを満足すれば良いと考えていた。

近接騒音だけについても、SUBARU、STIで保証せよという事になると一定のマージンを確保しなければならなくなる。

さらに、港装着という事になると、自己認証の国でディーラ販売前に施す作業は、当然一般量産車と同じ縛りを受けるので、認証の対象になり、上記近接騒音の他に、加速騒音80 dB以下（SAE J1169）に一定マージンを取った値も満足しなければならなくなる。

これにより、依頼側の期待した荒々しい排気音は大幅にマイルドにせざるを得なくなった。

また、量産のエンジン制御仕様には手を加えずに、バイタル、ミル点灯、法規に絡む品質を確保しようとすると、量産に対して極端な吸排気系の特性変更は出来ず、依頼側の期待するパワーアップは大幅に制限せざるを得なくなった。

2.4　さらなる逆風

SUBARUの量産部隊も年次改良で、パワーアップに取り組んでいる事を開発の途中で知らされた。

結果、本プロジェクトでのパワーアップは、量産と同じペースで進む事になり、本来数馬力の出力アップを謳える筈が、SUBARUに負けぬと頑張っても、同じ技術レベルでは結果的に年次改良状態に対しては僅かな出力アップが謳えるか否かという戦いになってしまった。

3.　トライ＆エラーによる排気音チューニング

STIはそれでも騒音規制クリアと馬力アップの両立を何とかしようともがき続けたが、小さなマフラのままでは中々解が見い出せなかった。

ひょっとしたら道を誤ったか？本来は量産に対して排気系の背圧を下げて、音も何とかしようとしたら、マフラの容量を上げなければならないのかもと坂崎が言ったら、排ガス、燃費、ミル点灯の問題について全面的に支援してくれていた、SUBARU側のエンジニアが反応した。

「量産の俺達も馬力とスポーツ音出そうと手は抜いてない。それをSTIが何とかすると言うので、そんな事が本当にあるのかなあと思いつつ手伝って来たが、結局到達したのはSUBARUの量産パワーアップ仕様のレベルと殆ど同じという事みたい。」

そこで、メインマフラ容積を90%増加し、1次試作排気系の騒音対策で得られたマフラカッタの延長を織込んだ、3次試作の排気系をサプライヤに試作して貰った（**図2**）。

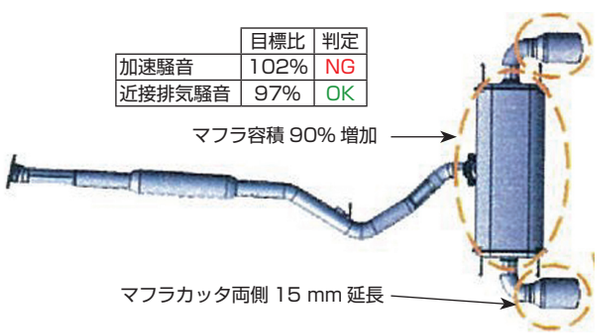


図2　3次試作排気系

マフラ本体は、外観品質の向上のため、量産品に対しかなりの厚肉なので、チャンバ自体が大型化し、質量は量産品より大分重くなってしまった。

この3次試作品の評価結果は、加速騒音がわずかに下がったものの目標未達であった。伊東らは、最大音圧レベルの加速騒音を周波数分析し、排気音が全回転数域で明確な500 Hz帯のピークを持つ事を掴んだ（**図3**）。

500 Hz帯はエンジン回転数の次数が影響しない帯域のため､排気系の管長による気柱管共鳴と推測され、平野、片岡によるメインマフラの特性シミュレーションにより、メインマフラ内部分岐～テールカッタ出口に490 Hzの共鳴モードが発生している事が判明した。

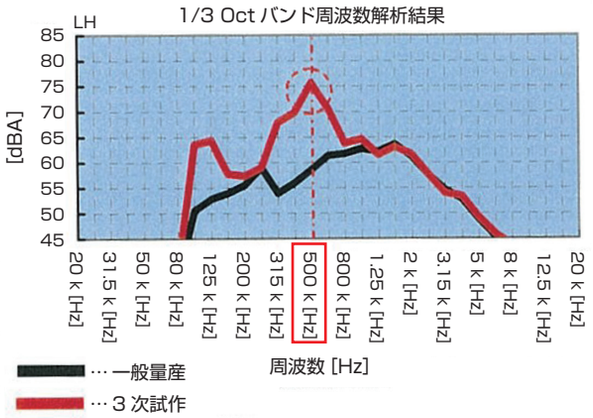


図３　３次試作の500Hz帯のピーク

500 Hz帯のピークを潰すため、共鳴室を内部に追加した状態をシミュレーションし、図4のとおり0.53Lの共鳴室を追加すれば良さそうな事が判った。

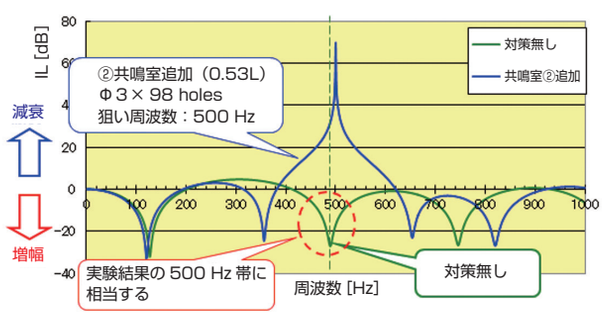


図４　500 Hz対策のシミュレーション

図5の様なバラック試作をして評価試験したところ、500 Hzの周波数はLH側でドンピシャ下がった。

片岡に、排気温度やその他のばらつきもあるだろうに、何でこんなに上手くいったんだと聞いたら、「気合です」との事で脱帽。

図５　バラックの共鳴室追加

伊東やその上司が、試験結果の解析や試作品の改造を行い、平野らはメーカに試作を御願いし、それを試験するPDCAサイクルを2カ月近く繰り返し、図6の6次試作まで漕ぎ着けた。

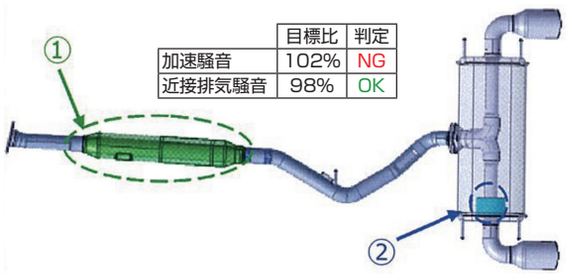


図６　STI６次試作排気系

そもそも消音室の容量を大きくして、パイプの径を太くするのが、低背圧で消音性能の良い排気系設計の基本である事から、消音室の総体積を増やそうと、センタチャンバ①もSUBARUの量産品を流用して、この部分の排気管は径を28%拡大し、量産性を考慮した0.53Lのチャンバ②を入れた。

試験の結果、図7のとおり500 Hz帯の低減が得られた反面、追加したチャンバの反共振と思われるピークが、315 Hz帯に発生してしまった。

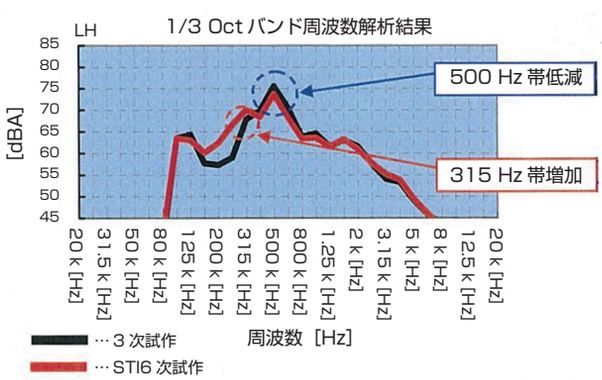


図７　500Hz対策チャンバの効果

315 Hz帯のピークを潰すため、共鳴室を内部に追加した状態をシミュレーションし、図8のとおり0.38Lの共鳴室を追加すれば良さそうな事が判った。

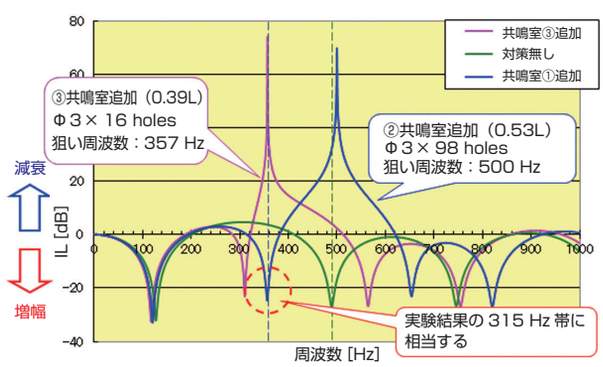


図８　315 Hz対策のシミュレーション

図6の6次試作に対し、7次試作では図9のとおり量産性を考慮した0.38Lのチャンバ③を入れた。

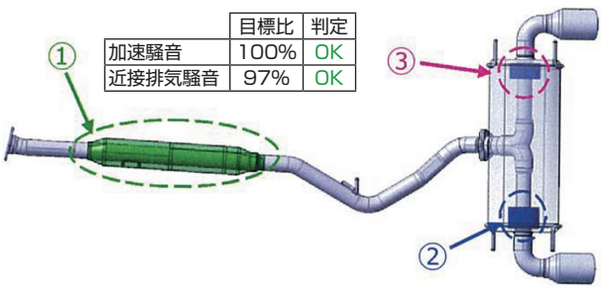


図9　STI 7次試作排気系

騒音レベル最大時の周波数特性は、315 Hz帯の騒音が狙い通り少し下がり、加速騒音も近接騒音も法規に対しマージンを取った目標値に収まった（図10）。

315 Hz対策のチャンバを追加した事による反共振を心配したが、こちらは上手く減衰されてしまったためか、目立ったピークは出なかった。

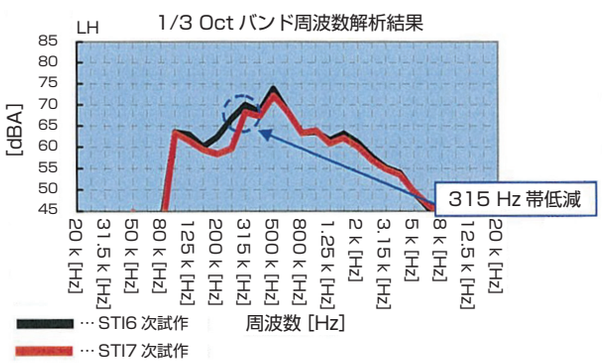


図10　315Hz 対策チャンバの効果

通気抵抗も図11に示した通り、量産より大幅に低減し、1次試作状態を若干下回る事に成功した。

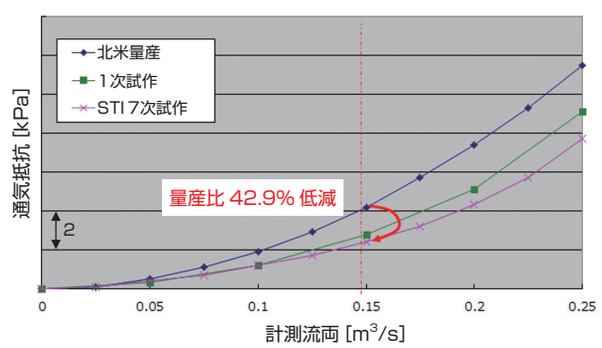


図11　通気抵抗測定結果

量産も考えて仕様を固めた、最終的なマフラの内部構造を図12に示す。

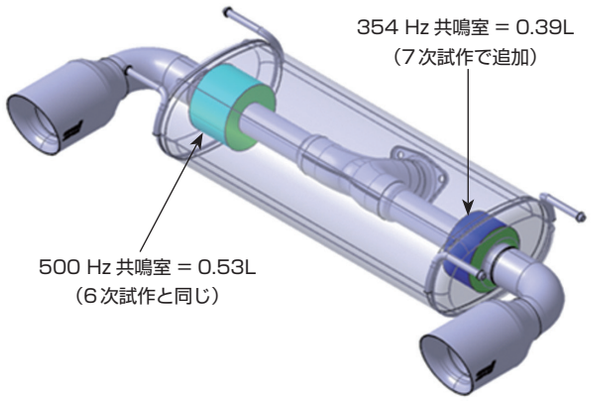


図12　7次試作のメインマフラ

4.　逆風に立ち向かい

出力ゲインは吸気系と合わせて1PS強、コストはそこそこ、質量はスポーツキットなのに量産より若干増、これで世に出す意味があるのかという議論は当然起こった。

坂崎は、「USAヒーローのニールアームストロング船長が言っていたでしょう。“That's one small step for (a) man, one giant leap for mankind.”[(1)]（(一人の)人間にとっては小さな一歩だが、人類にとっては偉大な飛躍である）って。つまり、“That's one small HP for this car, one giant leap for our collaboration.”（この車にとっては小さな1HPだが、我々の協業にとっては偉大な飛躍）なんだよ」と、蘇秦の様に遊説して回った。

英語人も日本語人も、これを聞くと苦笑するか、大笑するかで、何とかプロジェクトは崩壊する事無く、ギリギリの状態ではあったが進捗していった。

5.　プロジェクトの突然の中止

STIは、本プロジェクトを、将来ハイパフォーマンス路線を進むための重要な布石と捉え、例え利益が出なくても実行するつもりでいた。

そこで、海外のサプライヤに出向き、夜遅くまでミーティングして仕様決めを行った。

先方のエンジニアは、STIからの図面を先方の製作都合に合わせて、出向いたその日のうちに設計変更し、この方とプロフェッショナル職人がマフラの中身の試作サンプル作って下さり、翌朝の会議には出来立てのホカホカ（本当に溶接で暖かかった。）を提示されたのには本当に魂消、何H掛ったか聞いたら冗談で100Hだと肩をたたかれた。

サプライヤもSTIも量産準備に向けやる気満々であったが、STIメンバが帰国するとすぐに依頼側から

計画を中止すると通告されてしまった。中止の理由は以下のとおりであった。

①1HP強の改善のために、コスト高過ぎ採算性ない（コストとは部品仕入れ＋ポート装着費用含む）。
②パフォーマンスパーツにしては質量が大き過ぎる。
③いろいろいじった結果、（パフォーマンスマフラーというには）サウンドが小さく魅力がなくなった。
④ミニマムオーダー数が多過ぎ、負担が大きい。

②は当時としてのSTIの実力の問題もあるが、①はSUBARU本体の企画とのバッティングの不運、③は推奨した販売後のディーラ装着が港装着とされた結果、④は他の作り方の交渉の余地が本当に無かったか、後悔先に立たずである。

6. まとめ

世に出なかったとはいえ、略ゼロからの新規開発で、騒音低減、背圧低減の根幹に遡り、トライアンドエラーを繰り返した結果、STI内での人材育成と技術蓄積が大いに進んだ。

これは、その後のSTI特装車や、STI排気系パーツ開発に有効に活かされている。

今後のSTIの絡むSUBARUグループの協業では、得られたノウハウと育てた人材を生かし、商品としても納得出来るレベルの、コスト、質量、性能バランスの取れた製品を、前提条件を明確に、最小工数で開発していきたい。

末筆になるが、開発に際し貴重なアドバイスをしてくれたSUBARUのシャシ設計部門、騒音測定等のノウハウを伝授してくれた車両研究実験部門、量産化確認について準備してくれたパワーユニットの実験部門の皆様にも感謝の意を述べたい。

参考文献

(1)「ニール・アームストロング」, ウィキペディア日本語版, https://ja.wikipedia.org/（2018.4.11閲覧）

【著　者】

坂崎　明彦

平野　　誠

片岡　　誠

伊東　太壱

設計者の知っておきたい材料力学の初歩

Basic Idea of Material Mechanics that Designers Should Know

坂　崎　明　彦*
Akihiko SAKAZAKI

抄　録

知っている様で知らない事の多い、材料力学の初歩を判り易く解説する。

先ずは、強度、剛性 について。

これは知っている様で知らない方がベテランにも散見される重要事項である。

続いて、単純な片持ち梁の考え方について。

さらに、材料力学観点での材料の選定方法に言及する。

最後に、熱処理残留応力を利用した日本刀の材料力学的仮説に迫る。

Abstract

I will explain the basic idea of material mechanics in an easy-to-understand manner.

First of all, I will discuss strength and stiffness. This is an important point to know but it seems that even some experienced designers don't know.

The next topic is the idea of simple cantilever beam.

Thirdly, I will describe the method of selecting materials from the viewpoint of material mechanics.

Finally, I will approach the material mechanics hypothesis about Japanese sword which utilizes heat treatment residual stress.

1.　まえがき

設計初心者時代の報告者自身が知らなくて時間を浪費した、或いは上手い設計が出来なかった、材料力学の初歩的常識がある。

同じ轍を若い世代が踏まないよう、勘所を厳選して説明する。

2.　強度(Strength)と剛性(Stiffness)の違い[1]

「部下にもこの両者の相違はキチンと理解できるように指導している」と仰っている方が、何となく判っているようでも、本当にちゃんと説明できるだろうか？案外難しいものだ。

ちなみに著者自身、設計者になっても、かなりの時間ちゃんと理解できぬまま仕事をしていた気がする。

【強度】強さの程度。

【剛性】物体に外力を加えて変形しようとする時、物体がその変形に抵抗する程度。
特に、ねじれ・ずれに対する弾性をいう。

と辞書にある[2]。

この両者の相違を正しく理解できていないということは、設計をする者にとって“致命的”になる場合がある。

2.1　強度

例えばある太さの棒があったとする。

この棒の両端をつかんでグーっと引っ張ると、やがて材料は伸びて、どこかでブチっと切れる。

切れるまでの間に一番大きく掛った力の大きさが、その材料の“引張強度”である。

この引張強度は、同じ材質、例えば“鋼鉄”にも、弱い鋼鉄から、うんと強い鋼鉄まで様々である。

自動車の世界では“ハイテン”という言葉が一般化しているが、これは“High-Tensile Strength Steel”

＊ 技術管理部

の略で、日本語で言えば“高張力鋼”となり、一般鋼に比べ非常に高い引張強度を有している。

一般鋼では引張強度は270 MPa程度。

常温プレス成形で良く使われている材料強度の高いものでは980 MPa程度と、実に4倍近い差がある。

従い、同じ太さの棒、同じ“鋼鉄”という括りの材料であったとしても､その鋼種の引張強度が異なれば、棒そのものの強度には差があることになる。

2.2　剛性

先程の棒を、今度は折り曲げてみると、細ければ針金のようなものだから、金属でも手で容易に曲がる。

曲げようとして力を加えたときに、どれだけ曲がり難いか？が剛性に相当する。

ただ、ここで注意が必要なことが1つ

2本の同じ太さの棒を、それぞれ強度の低い“鋼鉄”と、強度の高い“鋼鉄”で作ると、これ等を曲げたときには、少しくらいの変形なら手を離せば元の真っ直ぐの状態に戻る。

しかし、ある程度の変形量を越えると、曲がったままで元の真っ直ぐには戻らなくなり、このときの強度を“降伏点”と言う。

材料が「もうダメ・・・」と降伏する訳である。

降伏点は、引っ張り強度と相関関係にあり、強度の低い方は、降伏点も低いので、少ない力で曲がって、元に戻らなくなり、これを“永久変形”と言う。

これに対し、同じ太さでも強度の高い鋼鉄で作った棒は、降伏点も上がるので、強度の低い鉄で作った棒が永久変形する力でも、曲がりはするが手を離せば元の真っ直ぐに戻る。

強度が高いのだから当然と言えば当然である。

しかし強度が低くても、高くても、材質が“鋼鉄”である以上、強度の低い鋼鉄が永久変形する以前、つまり降伏点以前の領域では、強度の低い、高いに関わらず同じ力をかければ、同じだけ曲がる

このように、材質毎に決まってしまう剛性を司る値を“ヤング率”と言い、鋼鉄なら鋼鉄、アルミならアルミで、強度とは全く関係なく決まる値になる。

2.3　強度と剛性を混同すると

強度は、同じ材料(例えば鋼鉄)であっても鋼種によって幅広くコントロールできる一方、剛性については、材料が決まってしまえば自動的に決まってしまうので、これを高めようとした場合、板であれば厚くするし、構造体であれば断面積を大きくしたり、形状を最適化したりして設計的に制御することになる。

この辺りの認識を間違っていると、従来材に対して高強度材に置換したから、材料を薄くできるだろうなどという過ちを犯すことになる。

実際には高強度材にして上がったのは単に強度であって、設計形状が同じ場合、材料の厚みを薄くしてしまったら剛性は如実に下がる。

こうした強度と剛性の違いについては、確かに教科書を紐解いてみれば、書いてあるのだが、教科書を読んだだけで、口頭指導を受けただけで、これらを実感して正しく理解できているエンジニアは、実はあまり多くないような気がする。

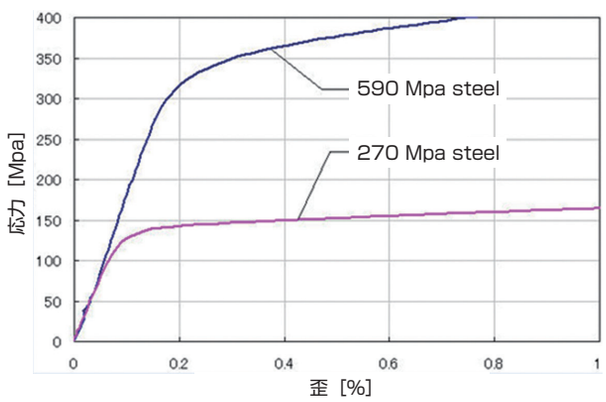


図１　鋼材の応力－歪線図

図１のグラフは所謂“軟鋼”と言われる270 MPa級の鋼鉄と“ハイテン”といっても今や中級程度だが590 MPaの鋼鉄を応力、歪線図に重ねてプロットしたものである。

グラフでは“ハイテン”の方が“軟鋼”に比べ上の方まで伸びていて、“引張強度”は高い。

“ハイテン”自体はかなり以前からあり、“強さ”と引き換えに伸びなど成形性に関する性能が確保できず、普及しない時期が永く続いたが、材料技術の進歩により強くて伸びる新しいハイテン技術が確立され、21世紀に変わる頃から大幅に普及した。

ここ20年ほどは“ハイテン”化による軽量化の時代であったといっても過言では無い。

一方で、再び**図１**のグラフに着目すると590 MPaのハイテンは降伏強度が上がっているが、270 MPaの軟鋼の降伏強度以下では2つのグラフはピッタリと重なりあっている。

実は、ここに“ハイテン”の落とし穴がある。

軟鋼の降伏強度以下の領域で使うなら。ハイテンであろうが、その上の超ハイテンであろうがさらにその上のホットプレスであろうが鋼である以上この部分に限ってはほとんど差は無い。

このグラフの傾きは所謂“ヤング率”に相当し“鋼鉄”や“アルミ”といったような材質に依って決まってしまう値となり、“剛性”を司る重要なポイントとなる。

つまりハイテンに代表される“高強度材”を最大限有効に活用しようとした場合、それは軟鋼の降伏強度を超えた領域で初めて機能するものであって、裏を返せば、軟鋼で永久変形しない領域しか使わないものに対してはハイテン化は全く意味を為さない。

3.　材料力学観点での材料の選定について

以下を明確にしなければ設計は開始出来ない。
設計は、　剛性設計か？強度設計か？
空間制約は、あるか？無いか？
荷重方向は、ブッシュプルか？剪断か？面外か？
荷重は、　一定荷重か？交番荷重か？

3.1　ハイテンを使うべき部位[1]

2項で論じた鋼鉄の特性の違いを十分認識した上で、改めて、ハイテンのような高強度材を使うべき部位を考えてみる。

例えば、最近の車ではキャビン（客室）を構成する骨格は、相当な割合でハイテンやホットプレス材といった高強度材が適用されている。

当初はサイドシルやBピラー等、主に側面衝突に対応する部材から採用が始まったようだが、現在は、クロスメンバーやセンタートンネル等々、キャビンを構成する骨格部材の大半がホットプレス材化されたという車種も珍しく無くなって来た。

これは乗員の安全を確保するために、キャビンの［永久］変形を最小限に抑えるため［永久］変形しない、つまり、降伏強度が高いことが求められるからだ。

この他、バンパービームや、ドアビームといった部材も、ハイテンやホットプレス材の適用が多い。

これらは変形をさせないことを前提に設計される。

一方、フロントやリヤのサイドフレームは、ハイテン化の歴史でみるとこちらの方が先で、特にフロントフレームは前端が軸圧潰することで、衝突エネルギーを吸収し乗員への負担を軽減する機能があり、限られた寸法内でエネルギーを効率的に吸収するため、比較的早い時期にハイテン化が進められたのに、980 MPaの冷間プレスや、ホットプレスによって1500 MPa級の部品が増える中、590 MPa程度で足踏みしている。

ここには、エンジンやサスペンションが取り付けられ、これらをガッチリ支えるためには強度だけでは無く剛性が重視されるからである。

強度は高強度材料を採用することで担保できたとしても、剛性を司るヤング率は材料に依って決まってしまう値であり、変えることができないため、自ずとハイテン採用にも限界が来てしまう。

3.2　丸棒のプッシュプル荷重の剛性設計

鋼鉄の直径がφD、断面積がAで成立する剛性設計条件があったとする。

これをアルミに置換すると、アルミのヤング率は鋼鉄の1/3であるから、同じ剛性を確保しようとすると、断面積を、3倍にしなければならず、直径は、1.732倍になり、比重が1/3でも質量は同じになる（図2）。

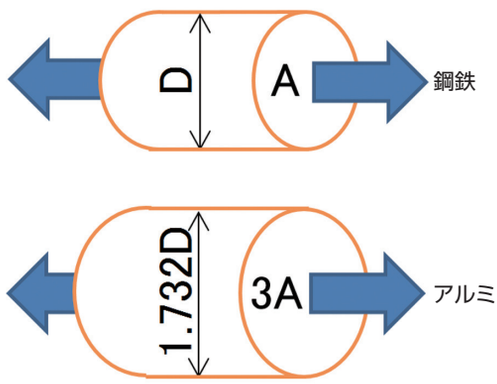


図２　鋼棒とアルミ棒のプッシュプル剛性設計

質量が同じなら、コストは 1.3 ～ 6.3倍程度になるから、ここでアルミに材料置換した効果は、質量が変わらず、コストが 1.3 ～ 6.3倍程度になるだけと言う事になるから、鋼鉄の採用が正解。

また、昔の複葉機の翼間支柱を剛性設計する場合も、空気抵抗を少なくする意味で、鋼管の方が有利だ。

理解に必要な式は、フックの法則

$$\delta = \frac{PL}{AE}$$

ここで、δ：変位　P：プッシュプル力
L：部材長さ　A：断面積　E：ヤング率

3.3　平板面外荷重の剛性設計、強度設計

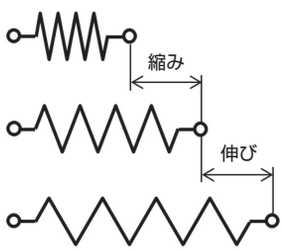
平板の幅をb、厚さをhとすると、
断面二次モーメント　$I = bh^3/12$
断面係数　$Z = bh^2/6$
であるから、プッシュプルの時の断面寸法1次比例とは異なり、面外荷重に対する剛性の指標のIは板厚の3乗に比例、同じく曲げ強度の指標Zは板厚の2乗に比例するから、例えば板厚を2倍にすると、剛性は8倍、曲げ強度は4倍になるので、鋼鉄のアルミへの置換は大いに有効である。

面外荷重が支配的なアルミのホイール、フード、トランクは軽量、高剛性、高強度に効く。

4.　片持ち梁の考え方について

設計者は、梃子［てこ］の計算とか、フープ応力（箍［たが］張応力）の計算とか、片持ち梁や2点支持梁の様な初歩的材料力学の計算で、与えられた荷重と拘束条件に対し答えが出せる形状の設計を心掛ける。

4.1　片持ち梁の曲げ



バネに掛る力と変位はフックの法則の変形で、
F＝K X となる。
ここで、F：外力
K：バネ定数
X：変位
である。

このバネを使って曲げ力を受ける梁を図3の通り、連結ブロックで模式化する。

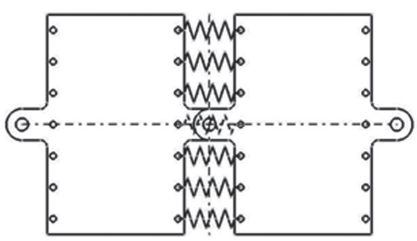


図３　梁の模式化（無負荷時）

これに曲げモーメントを負荷したのが図4で、主軸からの距離に比例してバネが伸ばされたり圧縮されたりするから、それに比例した反力が生じ、それを積算或いは積分する事により、梁の変形、梁の反力を計算する事が出来る。

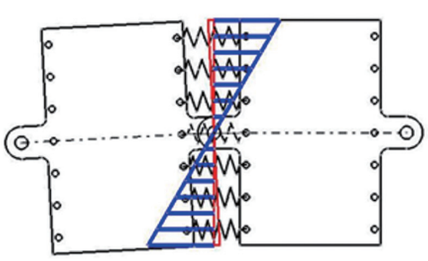


図４　梁の模式化（曲げモーメント負荷時）

ブロックをさらに繋げ、一端を壁に固定し、反対側の端部に一点集中荷重を加えたのが、図5である。

壁に近付くにつれ、梃の長さが増えるので、モーメントが大きくなり、その部分の変形も大きくなり、必然的にその部分のバネに相当する部分の応力も大きくなる事が容易に理解出来よう。

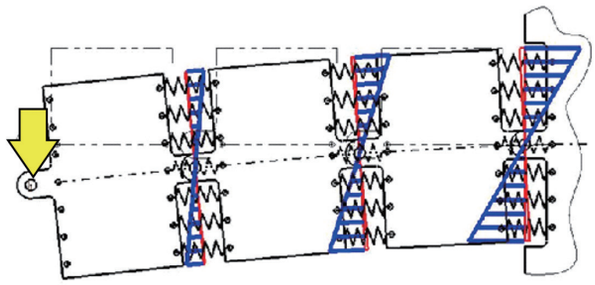


図５　先端一点集中荷重片持ち梁の模式化

4.2 曲げに抵抗するために

曲げに対し、剛性設計をするなら断面2次モーメントIを上げ、強度設計をするなら断面係数を上げる。

両者を成立させるためには、主軸から離れた部分の幅を確保するのが基本である[(3)]。

コの字材の荷重方向を間違えてはいけない。

コの字材は片持ちでも、両持ちでも図6の絵の様な荷重方向で使うのが正しく、そうすれば、中立軸から上下に離れた部分の幅が確保出来る。

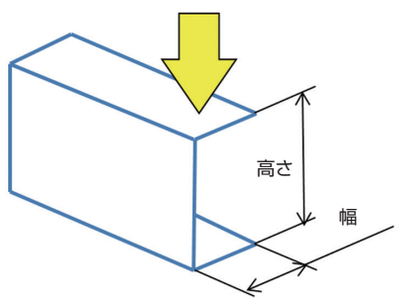


図６　コの字材の使い方 正

コの字材は片持ちでも、両持ちでも図7の絵の様な荷重方向で使うのは誤用で、主軸から部材の上下端迄の距離がアンバランスになり、ピン角の応力過大で弱くなる。

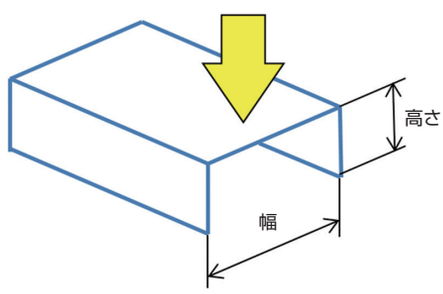


図７　コの字材の使い方 誤

この様な場合は、ピン角を少し折るだけで、部材の断面積は変わらず、IとZを大幅に大きく出来る。

昔報告者の設計時代、深夜迄、このコの字材の誤用設計で、強度確保のためフランジ高さを一生懸命稼ごうとしている新人が5名連続した事がある。

設計制約条件を聞くと、皆、図8の様にピン角部分にフランジを立てるスペースがあり、その様に形状変更指導すると当然応力が下がり、狐に抓まれた顔ではあったが、無事に帰宅させる事が出来た。

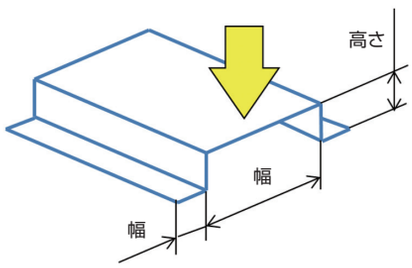


図８　ハット材の活用

5.　日本刀の秘密

バネのセッチングは、成形・熱処理などの製造工程後に、耐へたり性、耐疲労性の向上を図ることを目的に、そのバネが使用される方向の過荷重を与え、ばね表面層に有効な残留応力を付加させる事を言う[(4)]。

日本刀では、過荷重では無く、熱処理による残留応力を利用している様である。

図9の左の様な平板を残留応力無しで打ち下ろすと、同じく右の様に材料試験の最大引張応力で、下縁から切れる。

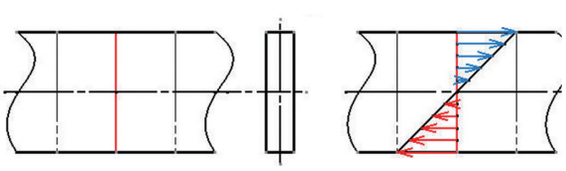


図９　残留応力０平板打ち下ろし

図10の左の様な下縁圧縮残留応力目一杯の平板を打ち下ろすと、材料試験の最大引張応力の2倍で、下縁から切れる。

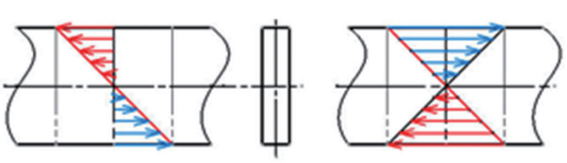


図 10　残留応力最大平板打ち下ろし

日本刀が「折れず、曲がらず、良く切れる。」のは、残留応力の使い方が非常に巧妙なのが重要なポイントである。

日本刀は焼入れ前は、図11の通り真直ぐとの事。

図 11　日本刀の反り（やきれ焼入れ前）

これを焼入れると、刃先は薄い置土で沸騰冷却が抑制され、急冷により熱収縮し、図12の様に逆反りするとの事[(5)(6)]。

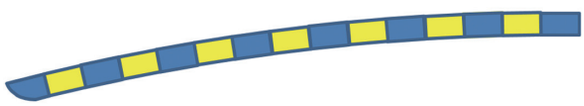


図 12　日本刀の逆反り（やきれ焼入れ途中の一形態）

その後、各部の冷却収縮や変態で反りや逆反りの複雑な動きをし、最終的には刃先がマルテンサイトに変態して体積膨張し、図13の様な日本刀独特の反りを持つとの事[(5)(6)]。

本図は想定される体積膨張だけが刃先で起こったとして、台形を繋ぎ合わせる事により近似作図した。

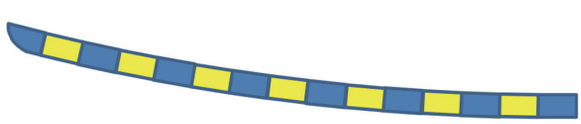


図 13　日本刀の反り（やきれ焼入れ後）

日本刀を打ち下ろした時、圧縮残留応力が引張に転じてギリギリまで使われるのは、下縁の刃の部分だけでなく、断面の図心近くにまで及んでいると仮定し、図14の右側の図の緑の線が、打ち下ろし最大目標応力と仮定すると、打ち下ろし前の残留応力は図14の左側の図の様になっていると考えるのが自然である。

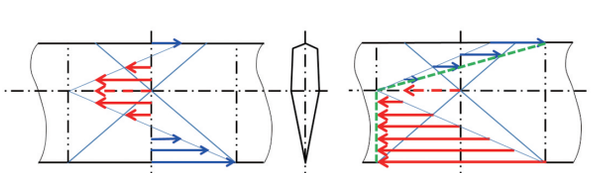


図 14　日本刀の打ち下ろし

焼入れシミュレーションによる残留応力コンター図は、実際に図14に近い状態になっている様[(5)(6)]で、自動車の技術は、未だ戦国時代の刀匠の技術レベルに届いていない。

ホットプレスの先の世界として、日本刀の様な残留応力分布のセンタピラーを作って見たいものである。

6.　まとめ

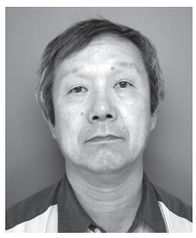
徒然なるままに記したが、若い世代の皆様には、先

人の経験を踏まえ、合理的に思考し、より良い車を作って行って欲しい。

参考文献

(1) 本項は, 2014年頃, 深井製作所 開発部 須永行氏の許可を得て, 当時の同社のHPからスバルの社内ガイドに転載したものの抜粋, 加工である。
(2) 出典：「大辞林 第二版」
(3) 中原一郎：実践材料力学, p.55, 養賢堂(1994)
(4) 東海バネTOP>ばねっと君のなんでも相談室>セッチング
https：//www.tokaibane.com/topic/3174
(5) 日本塑性加工学会鍛造分科会 ：日本刀の鍛錬と焼入れのシミュレーション
http：//y-nts.fuhrc.fukuyama-u.ac.jp/gakubu/mecha/staff/inoue/sword/nihonto.pdf#search=%27%E6%97%A5%E6%9C%AC%E5%88%80%E3%81%AE%E9%8D%9B%E9%8C%AC%E3%81%A8%E7%84%BC%E5%85%A5%E3%82%8C%E3%81%AE%E3%82%B7%E3%83%9F%E3%83%A5%E3%83%AC%E3%83%BC%E3%82%B7%E3%83%A7%E3%83%B3%27（2018-3-25）
https：//www.jstage.jst.go.jp/article/materia1994/35/2/35_2_174/_pdf（2018-3-25）

【著　者】



坂崎　明彦

ボーイング777X型機の初号機中央翼が完成
～半田工場をさらなる中央翼生産拠点へ～

2018年2月9日

航空宇宙カンパニー半田工場（愛知県半田市）にて、米国ボーイング社の大型旅客機777X型機の初号機用中央翼の製造および主脚格納部の組立結合を完了し、中央翼ワークパッケージが完成しました。半田工場では、ボーイング社の大型旅客機「777」、中型旅客機「787」、および防衛省の「固定翼哨戒機（P－1）」、「輸送機（C－2）」の中央翼の生産を行っており、世界的にも類まれな中央翼生産センターからの新たな中央翼の生産となります。

特許紹介

SUBARU Patent Review

技術開発部

最近登録になった特許の中から代表的なものを紹介する。

アームレストの制御装置及びアームレスト装置

【特許番号】特許第6185543号
【発明者】鳥居　武史、澄川　瑠一

【発明の背景】

従来技術として、自動車の運転状況に応じて、シートの左右に付随するアームレストの位置を、調整するものが提案されている。また近年、自動運転車の提案が盛んであり、自動運転車は、常に自動運転モードのみによる走行だけではなく、手動運転モードでの走行も行われ、それぞれのモードは切り替えが可能という特徴を持つ。

手動運転モードでは、ドライバはステアリング操作をする必要があるが、自動運転モードではドライバがステアリングを把持する必要がない。よって、自動運転モードではドライバの疲労を軽減するため、アームレストの位置は、ドライバの楽な姿勢に合う様に調整することが考えられる。

ここで、自動運転モードから手動運転モードへの切り替えが行われる場合、手動運転モードへの切り替えが完了する時点で、ドライバはステアリングを把持している必要がある。ゆえに、上記切り替えが行われる間にて、ドライバによるステアリングの把持を促すことによる、運転モードの切り替えの前後でのドライバの姿勢の円滑な移行を実現することが期待される。

【発明の概要】

本発明は、上記に対応するものであり、自動運転モードから手動運転モードへの切り替えが行われる場合に、ドライバによるステアリングの把持を促す、アームレスト(206a)の制御 及び 装置を提供することである。

具体的には、車両の自動運転モードから手動運転モードへの切り替えを判定し、それに伴いアームレストがドライバの腕を支持する部分を、ステアリングホイール(310)へ近づくように移動させるものである。

また、上記切り替え時に、ドライバが前記ステアリングホイールを把持していると判定された場合は、アームレスト支持部をステアリングホイールから遠ざかるように移動させてもよい。

さらに、自動運転モードから手動運転モードへの切り替えが開始した時に、ドライバの両手がステアリングホイール以外のものを掴んでいると判定された場合に、アームレスト制御部の位置を保持した上で、手動運転モードへの切り替えをドライバに報知してもよい。

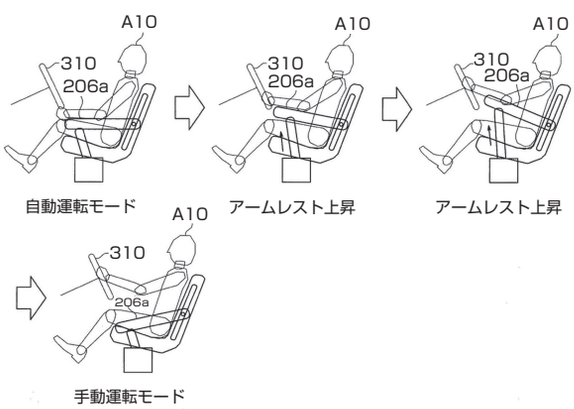


図　制御装置が行う手動運転モードから自動運転モードへの切り替えにおける処理によるアームレストの位置調整の一例

サスペンション装置

【特許番号】特許第6148515号、特許第6148516号、
特許第6166085号

【発明者】小暮　勝、塚崎 裕一郎、齊藤　正容、
諸田　和也、綿貫　賢二、日向　俊行、
山田　大輔、大島　健介、宇津木 芳明、
仲武　聖仁、富澤　英久、井本　昌志、
石田　斗志

【発明の背景】

車両の後輪用サスペンション装置として、後輪を支持するハウジングを、車体床下に取り付けられるサブフレームに、前後ラテラルリンク 及び トレーリングリンクを用いて位置決めしたものがある。これらの各リンクの端部は、防振用のゴムブッシュを介しサブフレーム 又は ハウジングに接続される。

ここで、車両が旋回して横力が働いた場合、前後のラテラルリンクのゴムブッシュの変形量の違いにより、後輪がトーイン又はトーアウト方向にトー角変化する横力コンプライアンスステアが生じる。

一般に、車両の旋回時には、旋回外輪側がトーイン、旋回内輪側がトーアウト傾向となることが好ましいから、前後ラテラルリンクのゴムブッシュの剛性は、後側に対して前側で大きくなるように設定する。

また､サスペンションを構成するリンク類の配置も、旋回外輪側すなわちバンプ側(縮側)でトーイン傾向、旋回内輪側すなわちリバウンド側(伸側)でトーアウト傾向となるような特性を与えている場合が多い。

しかし、旋回時の横力により外輪側でトーイン、内輪側でトーアウトとなるようなサスペンションの場合、旋回初期には上下力に起因する上下力コンプライアンスステアによって、外輪側でトーアウト、内輪側でトーインとなる傾向を示す場合がある。

その後横力が増加し、サスペンションのストロークが開始し、横力コンプライアンスステア、バンプステアが生じると、最終的に外輪側でトーイン傾向、内輪側でトーアウト傾向となるものの、旋回初期に一時的に後輪が逆相にステアされ、操縦安定性が低下する。

【発明の概要】

本発明では、旋回初期に一時的に外輪がトーアウト側、内輪がトーイン側へトー変化することを防止し、操縦安定性が向上する後輪用サスペンション装置を提供することである。

具体的には、①前後ラテラルリンク(30、40)のゴムブッシュの剛性を変化させる剛性可変手段を持ち、旋回初期において一時的に前側ラテラルリンク 及び後側ラテラルリンクのゴムブッシュの剛性を変化させ、サスペンションスプリング 及び ダンパのストロークが所定値以上となるのに応じ、ゴムブッシュの剛性を旋回開始前の状態に復帰させるものである。(特許第6148515号)

または、②車両の旋回初期において、旋回外輪側のダンパをアクチュエータにより圧縮側に強制的にストロークさせる制御手段により、上下力コンプライアンスステアに起因するトー変化を相殺又は抑制するものである。(特許第6148516号)

あるいは、③後輪にステア角を付与する後輪操舵アクチュエータを備え、車両の旋回初期において一時的に上下力コンプライアンスステア特性に起因するトー変化を相殺又は抑制する方向に後輪にステア角を付与し、サスペンションスプリング及びダンパのストロークが所定値以上となるのに応じステア角の付与を終了することを特徴とする。(特許第6166085号)

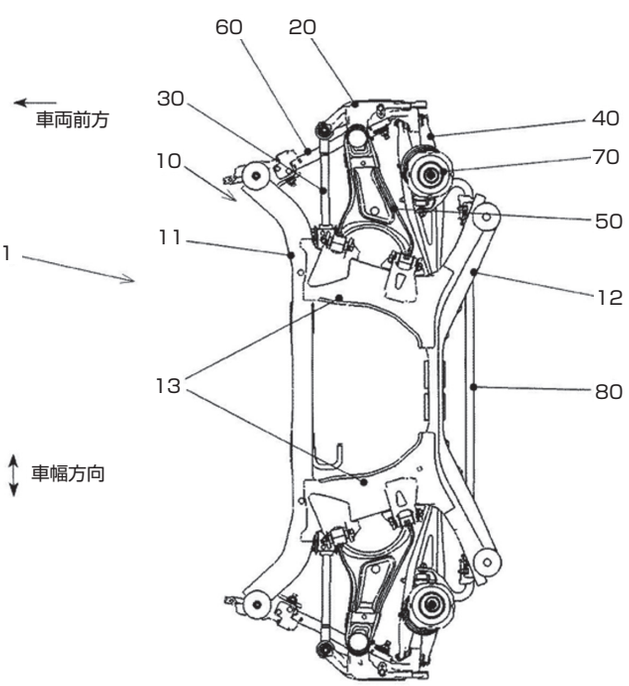


図　実施例のサスペンション装置を上方から見た図

スポット溶接機の電極検査装置、及び、スポット溶接機の電極検査方法

【特許番号】特許第6116054号
【発明者】沈　建栄、趙　　鵬

【発明の背景】

スポット溶接による品質を維持するためには、溶接条件を所定に保つことが大切である。特に、溶融亜鉛メッキ鋼板を溶接する場合、融点の低い亜鉛が溶接熱によって溶融する、連続溶接により電極先端に鋼板の亜鉛メッキが付着する、電極素材の材料である銅が亜鉛と合金を生成するなど、が発生し、スポット溶接の品質を低下させる原因となる。

そこで、スポット溶接の品質を維持するために、電極(チップ)のドレッシング(電極整形、あるいは研磨)処理が実施される。このような電極のドレッシング処理は、従来、溶接回数、使用時間毎に応じて行われている。この電極のドレッシング処理の良否を判定する方法としては、所定回数の溶接後に、電極の画像を取得し画像処理を行う事で、ドレッシング処理前後の電極の根元と先端との距離の差により警告を発する技術が開示されている。

しかし、この技術のように、所定回数の溶接後に判断を行うのでは、必ずしも最適なタイミングを検出することができないという課題がある。このため、溶接品質を維持することを第1に考えると、所定の回数を短かめに設定せざるを得ない。しかし、必要以上にドレッシング処理を行うと電極の消耗量の増加、生産性の低下を招く事になる。さらに、画像による判定を行う技術では、電極を撮影する方向で誤差が生まれ、また精度の良い演算が求められる。

【発明の概要】

本発明は、高価で複雑な装置･演算をする必要なく、短時間に精度良く容易に電極のドレッシング処理の要否・最適なタイミングを検出して、処理を最低限に抑えかつ処理を適切に行って、十分な溶接品質を得ることを目的とする。

具体的には、スポット溶接機の電極検査装置(20)は、電極(10)をカラー画像にて撮影(22)し、その画像をHSVの色空間に変換(31a)して、それぞれの画素のＨ値とＳ値とＶ値の値が予め設定しておいた電極に付着するメッキの値か否かを判定(31b)する。電極の接触端面の画素数と電極に付着したメッキの画素数に基づき、メッキ面積割合を算出し、上限閾値を超えた場合には、電極に付着したメッキと判定された画素のＶ値に基づいて電極の研磨時間を算出するものである。

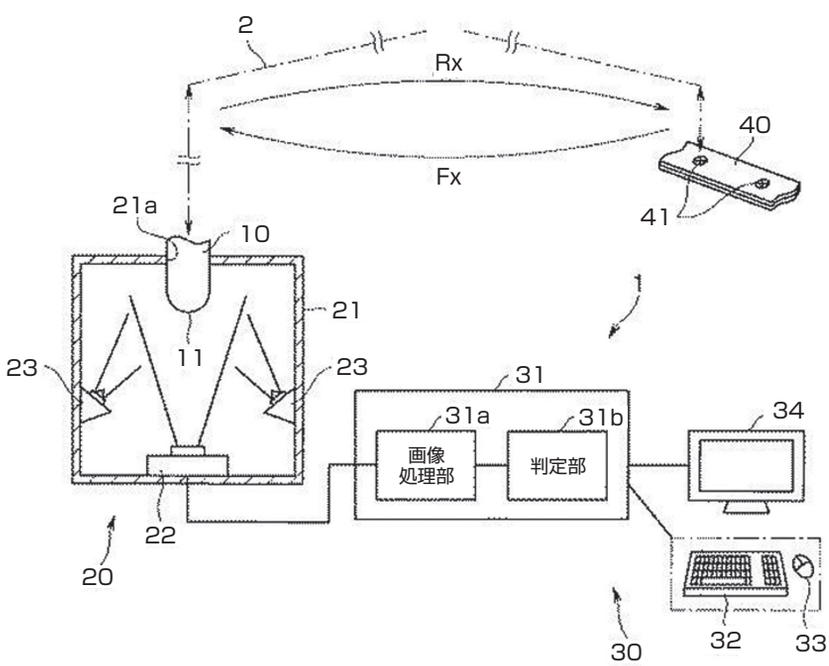


図　本発明の実施の一形態に係る、スポット溶接機の電極検査装置の概略構成図

航空機のインテーク構造

【特許番号】特許第6128568号
【発明者】佐藤　一成、磯　英雄、大須賀 健

【発明の背景】

航空機のインテーク（空気取入口）構造の設計では、インテーク前方の機体表面で発達してくる境界層（機体表面との摩擦によりエネルギーを失った気流）の取り扱いが重要となる。境界層がインテークに流入してエンジンへ供給されると、エンジン性能の低下などの問題が生じる。

近年、境界層を排除する技術として、インテーク前方の機体表面にバンプ（こぶ）を設けるダイバータレス・インテークが提案され、実用化されている。このダイバータレス・インテークでは、バンプ上に生じる圧力勾配によって境界層をインテークの側方へ排除することで、当該インテークへの境界層の流入が抑制されるものである。

しかし、現在実用化されているダイバータレス・インテークでは、バンプの幅がインテークの幅よりも狭いものとなっている。そのため、インテークの側部近傍に気流の集中を生じさせ、空気抵抗の増加などの空力特性の悪化を招来してしまうおそれがある。

【発明の概要】

本発明は、インテーク側部での気流の集中を抑制しつつインテークへの境界層の流入を抑制することを目的とする。

具体的には、同様にインテーク（10）の直前（10a）には、機体前方から滑らかに隆起したバンプ（21）が設けられているが、そのバンプの最大幅（W2）が、インテークの周辺の平面視において、インテークの最大幅（W1）よりも広いことを特徴とする。このバンプは、機体前方からインテークに向かって滑らかに幅が広がるように形成されていてもよい。また、バンプの幅方向で、インテークよりも側方まで延在する部分を備えていてもよい。さらには、バンプの幅方向に圧力勾配を生じさせ、機体前方からの境界層をインテークの側部よりもさらに側方へ排除するように構成されていてもよい。

この構成によって、機体前方からインテークに向かう境界層が、バンプ上に生じる圧力勾配によってインテーク側部よりもさらに側方へ確実に排除され、インテーク側部での気流の集中を抑制しつつ、インテークへの境界層の流入を抑制することができる。

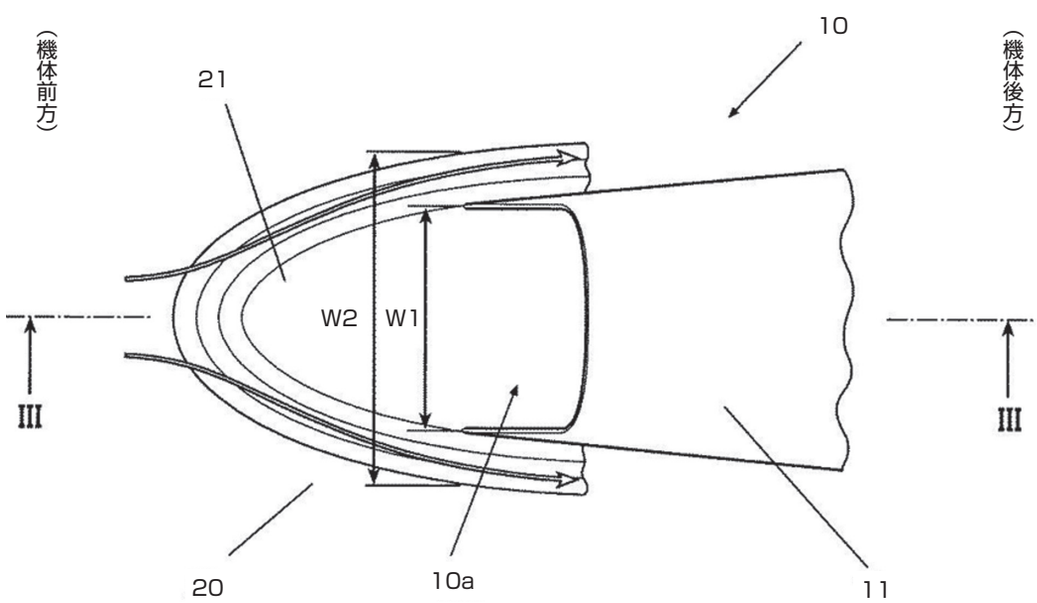


図　本発明の一実施の形態であるインテーク周辺の平面図

車両の走行制御装置

【特許番号】特許第6110680号
【発明者】仲井　隆良、丸山　匡

【発明の背景】

レーダやカメラ等を用い、自車両前方の環境（先行車等）を認識し、車両の走行制御を行う技術が提案されている。このような走行制御の一つとして、車間距離制御付クルーズコントロール（ACC：Adaptive Cruise Control）装置が実用化されている。このACC装置は、先行車を捕捉していない場合は、運転者が設定した車速を目標車速として定速走行し、先行車を捕捉し先行車の車速が運転者の設定した車速以下の時には、先行車に対し所定の車間距離を開けて追従する制御が行われる。

この制御において、自車両が降坂路を走行している場合は、設定車速度が降坂路により増加するのを防ぐため、エンジンブレーキや自動変速機のダウンシフトを行い、目標とする負の加速度を得る制御を行う。しかし、これらの制御でも目標の負の加速度が得られない場合は、制動力を補うためブレーキを強制的に作動させて、実際の加速度を目標加速度に収束させる。

また上記制御において、自動ブレーキによる制動時間が長時間になるのを防ぐため、負の目標加速度を所定より低い値に設定し、さらに目標の車速もそれに合わせて低車速にすることで、自動変速機のさらなるシフトダウンやシフトダウン時間の延長による、ブレーキの制動時間の短縮する案が提案されている。

しかしこの技術では、実車速が目標の車速に減速されるとブレーキが解除され、それに伴い車速を目標車速に収束させようとするため、自動変速機の変速比は必然的にアップシフトされる。これにより、エンジンブレーキが弱められて加速し、運転者に不快感を与えてしまう。さらに、加速する事で、セット車速を超えると、再びブレーキが作動すると共に変速比がダウンシフトされるため、加速と減速が短い周期で繰り返される制御ハンチングが発生してしまう。

【発明の概要】

本発明は降坂路走行において、変速制御により目標車速（Vt）に達した後　自動ブレーキを解除した場合でも、自動ブレーキを解除する前に設定した駆動側回転数を、変速機の変速制御により維持させるものである。さらにブレーキ制御手段は、自車両の車速がセット車速（Vt）よりも低くなっても、所定の車速（Vt－ΔV）に低下するまで自動ブレーキを継続するものである。

これにより、降坂路走行において、自動ブレーキにより減速した後、この自動ブレーキが解除された場合であっても、変速制御では、自動ブレーキが解除される前に設定した要求駆動源側回転数を維持させる変速比を設定するので、大きく加速されることがなく、運転者に与える不快感を払拭することができると共に、加速と減速とを短い周期で繰り返す制御ハンチングを未然に防止することができる。

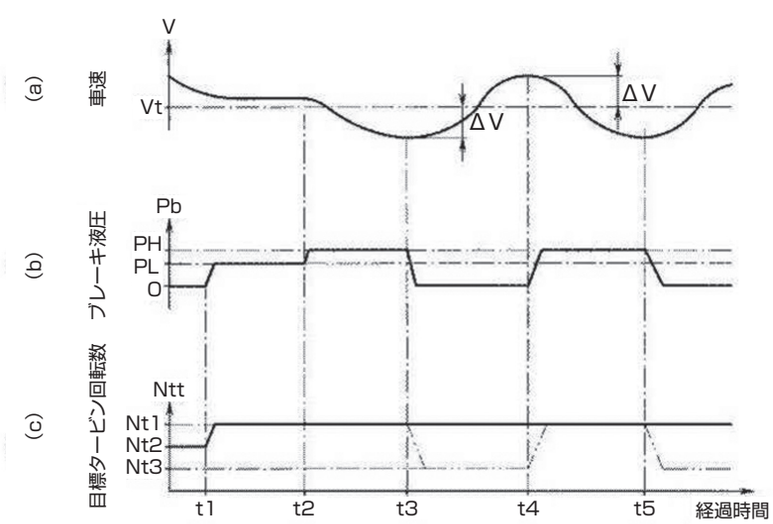


図　降坂路走行時のタイミングチャート
（a）は車速の変化を示すタイミングチャート
（b）は自動ブレーキの作動状態を示すタイミングチャート
（c）は目標タービン回転数の設定状態を示すタイミングチャート

車両用電源装置

【特許番号】特許第6082420号
【発明者】鈴木　浩史、木下　貴博

【発明の背景】

車両に搭載される車両用電源装置として、複数の電池(蓄電体)を備えた装置が開発されている。この電池としては、鉛バッテリやリチウムイオンバッテリ等が用いられる。従来技術としての電源装置の一例としては、車両減速時に回収される回生電力を、鉛バッテリだけでなくリチウムイオンバッテリに充電するものがある。これにより、車両減速時に多くの電力を回生させることができ、車両のエネルギー効率を向上させることができる。

しかし、上記の電源装置の一例では、リチウムイオンバッテリの端子電圧を、鉛バッテリの端子電圧よりも低く設定し、さらにリチウムイオンバッテリを積極的に充放電させるため、リチウムイオンバッテリ側に放電専用回路を設置し、電源装置にコンバータを組み込む案がある。この案の場合、再始動時に瞬低保護負荷を放電専用回路に接続して保護する必要がある。このように、電源装置の制御方法や回路構造を複雑にすることは、車両用電源装置のコストを増加させる要因であった。

【発明の概要】

本発明の目的は、複数の電池を備えた車両用電源装置のコストを下げることにある。

本発明の車両用電源装置は、エンジンに接続される発電機(16)と、発電機に接続される第1電池(27)と、第1電池と並列に発電機に接続され、第1電池よりも端子電圧の低い第2電池(28)を持ち、発電機の発電電圧を制御する事で、第1電池の充放電を制御する充放電制御部(50)を持つ。また、充放電制御部は、前記発電電圧を第1電池の端子電圧よりも上げることにより、発電機から第1電池に電力を供給し、発電電圧を第1電池の端子電圧よりも下げることにより、第1電池から車両の電気負荷 及び 第2電池に電力を供給するものである。

この構成によって、発電機の発電電圧を制御することにより、第1電池の充放電を制御することができる。よって、車両用電源装置を簡単に構成することができ、車両用電源装置のコストを下げることができる。

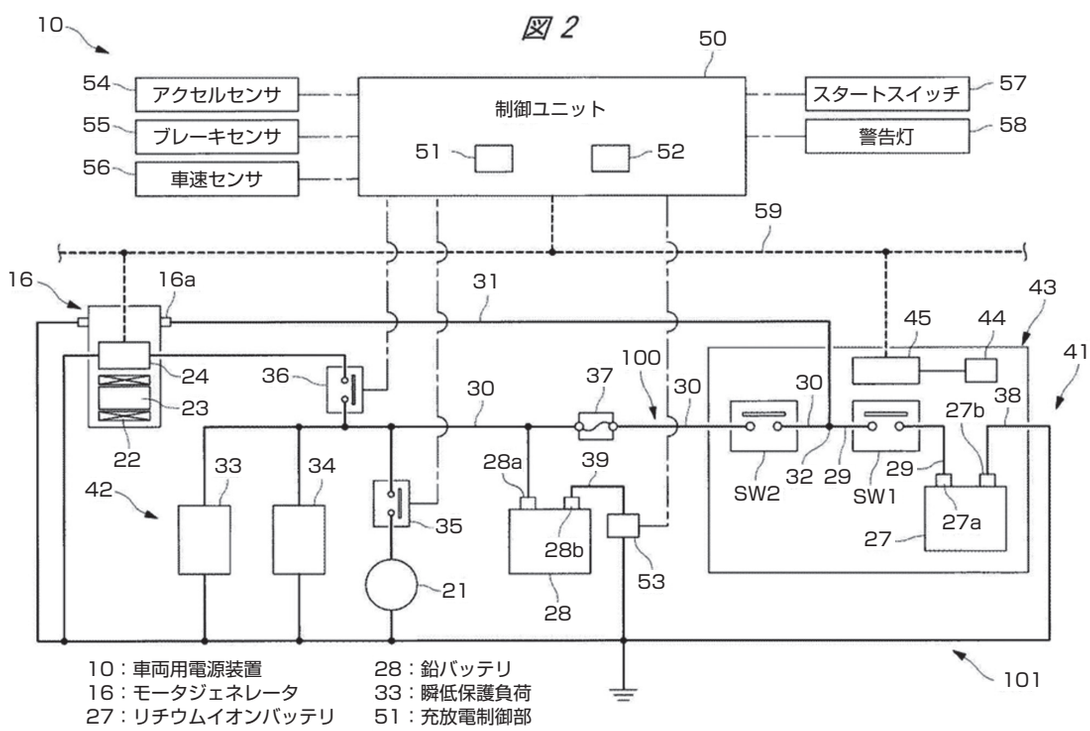


図　本発明の一実施の形態である車両用電源装置を備えた車両の構成例を示す概略図

溶接構造及び溶接構造の製造方法

【特許番号】特許第6196271号
【発明者】白川　裕介、前川　卓也、瀬戸　博人、
土屋　貴雅

【発明の背景】

自動車には、旋回時等において駆動力を左右の駆動輪間に配分する、差動装置（デフ）が備えられている。差動装置は、駆動力が伝達されるデフリングギヤと、デフリングギヤと接合されてデフリングギヤと一体に回転するデフケースと備える。これら二つの接合方法の一つとして、溶接がある。例えば、炭素鋼からなるデフリングギヤと鋳鉄製のデフケースとが当接する位置に対してビーム溶接を施すことによって、これら二つが接合される。

通常、この溶接における溶接位置では、ビーム入射側が開先状に形成され、ビーム先端側の溶接位置の奥に空間部が形成される。ビーム溶接時には、溶融した金属を空間部にまで到達させる貫通溶接となる。このとき、溶接時の入熱により、空間部内の圧力が上昇して、溶融した金属の一部からガスが噴き出し、溶接部に穴が開く欠陥が生じる場合がある。そのため、空間部の内圧の上昇を抑制するために、空間部を外部と連通させる孔又は溝を設けた差動装置が提案されている。

また、デフリングギヤとデフケースとを接合する際には、デフリングギヤの精度を確保するため、デフリングギヤの内周部に対してデフケースの外周部を圧入し、デフリングギヤとデフケースとの突き当て面に対して溶接を施すことが行われている。このとき、圧入面でのカジリを防ぐため、当該圧入面にガス抜き用の溝を設けるのではなく、空間部と外部とを連通する連通孔を設ける必要がある。

しかし、空間部と大気開放された外部とを連通する連通孔は、デフを装置に組み付けた後に、圧入時に生じた圧入粉や溶接時のスパッタ等の異物が、連通孔を介して外部に排出されるおそれがある。異物の排出を防ぐためには、連通孔にプラグを嵌め込む等による閉塞工程が必要である。

そこで本発明は、組立工程及び生産コストの増加を伴わずに、溶接時に内部のガスが膨張し得る貫通空間からのガス抜き用の連通孔を閉塞可能な、溶接構造を提供するものである。

【発明の概要】

本発明では、部材（20、30）のいずれか一方が、一端が空間部に開口し、他端が空間部以外の位置で外部に開口した連通路（24）を有し、本連通路が閉塞すること以外の所定の機能を有し、溶接後に連通路に挿入されてなる挿入部材（80）によって連通路が閉塞されるものである。

また連通路は、挿入部材が挿入される挿入孔と、空間部及び挿入孔を連通する連通孔（26）があり、挿入孔の内周面に開口する連通孔の開口端が、挿入部材によって閉鎖されてもよい。

具体的に差動装置（デフ）の場合では、挿入部材（80）はピニオンギヤを支持するピニオンシャフトの抜け落ちを防ぐための抜け止めピンや、ピニオンギヤを支持するピニオンシャフトであることが考えられる。

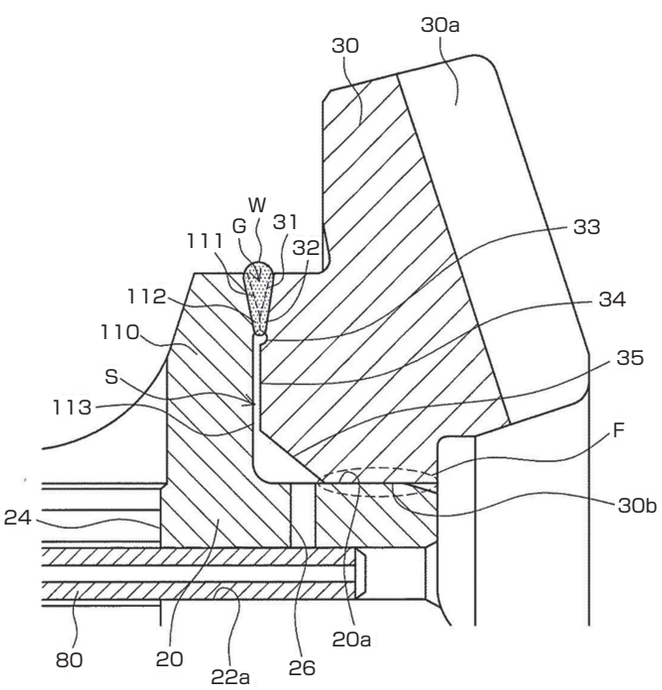


図　本発明の実施形態の溶接構造の接合部分の周囲を示す断面図

社外発表一覧表（2017.1 ～ 2017.12）

1. 社　外　講　演

※所属は発表時点を示す。

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2017/2	日本フルードパワーシステム学会 平成28年度ウインターセミナー 「自動車の動力伝達機能を支える油圧技術」 新型インプレッサ用リニアトロニックの開発	立松　憲明	トランスミッション設計部
2017/2	自動車技術会 No.14－16シンポジウム「新開発エンジン」 新型インプレッサ用水平対向エンジン開発について	石田　　礼	PGM（環境対応）
2017/2	グローバル知財戦略フォーラム2017 データを含む知的財産のオープン＆クローズ戦略による事業進化 ～データ分析、課題の発見と解決、知的財産戦略、事業進化～	樋渡　　穣	車両研究実験第4部
2017/2	自動車産業の未来2017最新技術研究講座 スバルの総合安全の取組みと今後の先進安全	樋渡　　穣	車両研究実験第4部
2017/2	自技会中部支部第6回技術講習会 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	車両研究実験第4部
2017/3	第25回日本人間工学会システム大会： 時系列解析による自動車運転時の筋電図データの解析方法の検討	菅原　滉平[*1] 土橋　央輝[*1] 河合　隆史[*1] 三家　礼子[*1] 杉山　明子[*2] 鳥居　武史[*2]	＊1 早稲田大学 ＊2 技術研究所
2017/3	MPT2017（Motion and Power Transmissions）： Experimental Research of Hypoid Gear Noise and Vibration by Gearbox Test	渡辺　　健[*1] 斎木　康平[*1] 飛澤 圭一郎[*2]	＊1 CAE部 ＊2 STC
2017/3	MPT2017（Motion and Power Transmissions）： Development of Design Procedure for Planetary Gear Noise Improvement	三好　慶和	CAE部
2017/4	IBM Watson Summit 2017 スバルアイサイトの強みを支援する実験映像データの統合管理への取り組み	樋渡　　穣	統合制御統括上級PGM
2017/4	日本航空宇宙学会　第48期年会講演会 無人機による空力特性データの計測について	若井　　洋	航空宇宙カンパニー 技術開発センター
2017/5	トライボロジー会議2017春 東京 リニアトロニックの進化	木嶋　俊介	トランスミッション設計部
2017/5	自動車技術会2017年春季大会： CAEによるチェーン式CVTの挙動把握	蓬田　嘉之	CAE部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2017/5	自動車技術会2017年春季大会： 自動車用パワーユニット開発におけるMBD適用事例	湯村　洋典 神丸　慎二 田辺　大樹 高田　知洋 伊津井　裕 高橋 俊太郎 山本　俊介 渡邉　　豪	CAE部
2017/5	自動車技術会　2017年春季大会 新型水平対向2.0L直噴NAエンジンにおける燃焼設計	石田　　礼*1 高畑　夏紀*2 勝俣　雅人*2 山崎　祥史*3 金子　　隆*4 金子　　誠*1 中山　智裕*1 関　　竜達*5	＊1 PGM（環境対応） ＊2 パワーユニット研究実験第1部 ＊3 パワーユニット研究実験第4部 ＊4 CAE部 ＊5 エンジン設計部
2017/5	自動車技術会　2017年春季大会 プレイグニッション発生時の点火プラグ温度分布計測	武藤　　涼 木本　健太 加藤　真亮 中山　智裕 金子　　誠	PGM（環境対応）
2017/5	自動車技術会2017年春季大会学術講演会： 空力安定性向上を目指した非定常流れ分析手法構築	小林　竜也*1 長谷川　巧*1 池田　　隼*2 坪倉　　誠*3 大島　伸行*4	＊1 車両研究実験第3部 ＊2 神戸大学 ＊3 神戸大学／理研AICS ＊4 北海道大学
2017/5	(社) 自動車技術会　春季学術講演会： 車両搭載型空力計測システムの開発	森澤　亮太*1 下山　　浩*1 永野　弘樹*2 坂本　昌也*3	＊1 技術研究所 ＊2 CAE部 ＊3 車両研究実験第1部
2017/6	ICAF2017（Japan） Development of Ultrasonic Wave Based Structural Health Monitoring System for Practical Use	○副島 英樹*1 高橋　孝平*1 吉村　健佑*1 安部　雅勝*1 武田　展雄*2 澤井　規行*3	＊1 航空宇宙カンパニー固定翼機設計部 ＊2 東京大学大学院 ＊3 (一財) 素形材センター
2017/6	International Committee on Aeronautical Fatigue and Structural Integrity ICAF2017（Japan） Thermal Concentration Fluctuations in CFRP Structures Caused by Lightning Strike	○佐藤 保宜 津端　裕之 西　孝祐樹	航空宇宙カンパニー システム設計部
2017/6	MSC Software 2017 Users Conference フロントサスペンションが微小操舵時の車両応答時間に及ぼす影響	藤田　裕幹	CAE部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2017/6	CAE POWER 2017 製造プロセスを考慮した繊維強化複合材シミュレーション	長澤　澄人	CAE部
2017/7	「走りを創る先端技術」シンポジウム－自動車技術会－ フロントサスペンションが微小操舵時の車両応答時間に及ぼす影響 Front Suspension System Influence of Vehicle Response Time to Micro Steer	藤田　裕幹	CAE部
2017/7	Ricardo Software Userセミナー 2017 機械系プログラム 水平対向4気筒エンジンNVH性能開発におけるENGDYN活用事例	加藤　　望	CAE部
2017/7	日本技術士会　船舶・海洋／航空・宇宙部会7月講演会 航空機の耐雷対策	西　孝裕樹	航空宇宙カンパニー システム設計部
2017/9	東陽ソリューションフェア 2017 スバル アイサイトの開発責任者が考える自動運転の意義について	樋渡　　穣	統合制御統括上級PGM
2017/9	第6回イノベーション実践戦略研究会 ぶつからないクルマ？ ～スバルが生んだアイサイトの秘密～	樋渡　　穣	統合制御統括上級PGM
2017/9	11th IWSHM（USA） For the Practical Use of a Lamb Wave-Based SHM System	○副島 英樹[*1] 高橋　孝平[*1] 平木　　恵[*1] 岡部　洋二[*2] 武田　展雄[*3] 澤井　規行[*4]	＊1 航空宇宙カンパニー 固定翼機設計部 ＊2 東京大学 生産技術研究所 ＊3 東京大学大学院 ＊4（一財）素形材センター
2017/9	2017年電気学会電力・エネルギー部門大会 導電率テンソルを用いたFDTD法による多層CFRPパネルの電流分布解析	○上野 航暉[*1] 梅田　晃央[*1] 馬場　吉弘[*1] 長岡　直人[*1] 津端　裕之[*2] 西　孝祐樹[*2]	＊1 同志社大学 ＊2 航空宇宙 カンパニー システム設計部
2017/9	2017 International Conference on Lightning and Static Electricity ICOLSE 2017（Japan） Measurement and Analysis of Fastener Spark Occurrence of Improved Conductive CFRP	○佐藤　保宜 津端　裕之 西　孝裕樹	航空宇宙カンパニー システム設計部
2017/9	2017 International Conference on Lightning and Static Electricity ICOLSE 2017（Japan） FDTD Simulation of Lightning Current in an Anisotropic Material	○津端 裕之[*1] 西　孝裕樹[*1] 佐藤　保宜[*1] 馬場　吉弘[*2] 梅田　晃央[*2]	＊1 航空宇宙カンパニー システム設計部 ＊2 同志社大学

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2017/9	2017 International Conference on Lightning and Static Electricity ICOLSE 2017（Japan） Issues on Light Emission Detection of 200uJ Voltage Spark by Digital Cameras for the Aircraft Lightning Strike Test	○鴨田 将一[*1] 阿部　凌太[*1] 白石　智也[*1] 大塚　信也[*1] 佐藤　保宜[*2] 西　孝裕樹[*2]	＊1 九州工業大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2017/10	自動車技術会秋季大会 新型中容量チェーン式CVTの開発	千田　博之	トランスミッション設計部
2017/10	2017 デザインフォーラム 東京モーターショー同時開催イベント 主催：Car Design News	石井　　守	商品企画本部 デザイン部
2017/10	2017年自技会秋季大会 「前面衝突性能に対するロバスト設計技術の構築と開発適用事例」	楽原　光政	CAE部
2017/10	International VDT Conference − CVT in automotive applications 2017（Netherlands） Analytical estimation of dynamic behavior of chain type CVT	青木　寛子[*1] 蓬田　嘉之[*2]	＊1 パワーユニット研究 実験第三部 ＊2 CAE部
2017/10	（社）自動車技術会秋季学術講演会： ステアリングへのクロスモーダル感覚呈示が反力知覚に与える影響	盛川　浩志[*1] 鳥居　武史[*2] 佐藤 能英瑠[*2]	＊1 青山学院大学 ＊2 技術研究所
2017/11	超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム 「未来のモビリティと超臨場感」ワークショップ：未来のモビリティと超臨場感 SUBARUの取組みとテーマ提案	佐藤 能英瑠 鳥居　武史	技術研究所
2017/11	PUCA2017 − ESI Users' Forum Japan − ： フル弾性体モデルによるチェーン式CVTの挙動解析	花本　　茂	CAE部
2017/11	JTEKT TECHNICAL FAIR 2017 特別講演 人と家族を大切にするSUBARUの車づくり	樋渡　　穣	統合制御統括上級PGM
2017/11	ガイオ プライベートセミナー G−TEC “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括上級PGM
2017/11	2017年度「品質講演」（東芝） “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括上級PGM
2017/11	日本電気学会　高電圧研究会 CFRPパネルの実寸モデルにおける雷電流分布および端部電界分布のFDTD計算	○上野 航暉[*1] 梅田　晃央[*1] 馬場　吉弘[*1] 津端　裕之[*2] 西　孝祐樹[*2] 佐藤　保宜[*2]	＊1 同志社大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2017/11	第55回飛行機シンポジウム CFRP複合材雷撃試験における放電探知技術開発に向けた基礎検討	○大塚 信也[*1] 鴨田　将一[*1] 白石　智也[*1] 西　孝裕樹[*2]	＊1 九州工業大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2017/11	第55回飛行機シンポジウム 航空機CFRP構造への落雷ににおける放電発生部の解析	○西 孝裕樹*1 佐藤　保宜*1 津端　裕之*1 梅田　晃央*2 馬場　吉弘*2 大塚　信也*3	＊1 航空宇宙カンパニー システム設計部 ＊2 同志社大学 ＊3 九州工業大学
2017/11	15th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition（JISSE15）,（Japan） Measurement of Spark Light　Emission on CFRP Structure for Verification of Ignitable Spark	○大塚 信也*1 鴨田　将一*1 白石　智也*1 西　孝裕樹*2 津端　裕之*2	＊1 九州工業大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2017/11	15th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition（JISSE15））,（Japan） Charastaristics of Ignitable Spark in Composite Fuel Tank Structure	西　孝裕樹*1 佐藤　保宜*1 ○津端 裕之*1 大塚　信也*2	＊1 航空宇宙カンパニー システム設計部 ＊2 九州工業大学
2017/11	第55回飛行機シンポジウム 大型サブ組立の一気通貫生産ラインの構築	○粟飯原 光一 福島　　敦 佐々木 慎太郎 柿﨑　広平	航空宇宙カンパニー 生産技術部
2017/11	第55回飛行機シンポジウム 航空機製造におけるロボット適用による自動化	○西脇 康人 松尾　晋哉	航空宇宙カンパニー 生産技術部
2017/12	「トヨタホームオーバル会」の矢島工場見学 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括上級PGM
2017/12	神奈川大学　暮らしの中のサイエンス　ワイヤレス給電技術の最前線 ワイヤレス給電が開く電動車両の未来	荒井　一真	電動ユニット設計部
2017/12	第8回　群馬県高校生電気自動車大会： “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイト	柏瀬　　一	技術開発部

（公社）：公益社団法人、（一社）：一般社団法人　（公財）：公益財団法人、（一財）：一般財団法人

2. 寄　稿

発表時期	寄　稿　先 「発表タイトル」	著　　者	所　　属
2017/9	自動車技術 Vol.71, No.9, 2017. トランスミッション各機種についての現状と展望	○丸山 圭一[*1] 神谷　雅治[*2] 西牧　　啓[*3]	＊1 トランスミッション設計部 ＊2 スズキ(株) ＊3 日野自動車(株)
2017/9	自動車技術 Vol.71, No.9, 2017. 軽量化への挑戦－レーザ溶接技術を活用した異材溶接の紹介	○木嶋 俊介[*1] 立松　憲明[*1] 白川　裕介[*1] 鈴木　　透[*2] 前川　卓也[*2] 中村　　仁[*2]	＊1 トランスミッション設計部 ＊2 PU研究実験第3部
2017/12	日本航空宇宙学会論文集 第65 巻 第6 号 CFDを援用した小型超音速旅客機のスピレージ抵抗計測	上野　篤史[*1] 牧野　好和[*1] 高谷　亮太[*2] 佐藤　一成[*2] 磯　　英雄[*2] 三友　俊輝[*2]	＊1 宇宙航空研究開発機構 ＊2 航空宇宙カンパニー研究部

編 集 後 記

本号も例年通り、桜の咲く大変多忙な時期に原稿総仕上げに尽力を頂き、執筆関係者各位と内容チェックを頂いた諸先輩各位へ、心より感謝申し上げます。

さて、本号概要についてですが、巻頭言で紹介のあった航空宇宙カンパニーからは、新多用途ヘリコプターやドローン、超音速旅客機他の技術紹介を充実掲載していますので、是非ご一読下さい。

また、自動車部門からは株式会社 SUBARUとなり初の新車種:ASCENT（北米地域専用車）や、新型フォレスターの「安心と愉しさ」を小特集で大紹介。激しい技術イノベーション時代に適応すべく、ここ数年行ってきた開発プロセスの進化や新鋭設備の活用成果も掲載しましたので、SUBARUの「もっと安心・もっと愉しい」商品創出へ期待を頂ければ幸甚です。

今後も、技術に裏付けされた高品質な商品で、一人でも多くの方々から笑顔が頂ける様、新商品開発へ邁進して参ります。（早川）

SUBARU技報編集委員会構成表

委員長：佐瀬　秀幸　技術開発部
委　員：只木　克郎　商品企画本部
大関　透　デザイン部
坂崎　明彦　技術管理部付
塚田　剛久　車体設計部
山崎 研太郎　外装設計部
林　憲孝　CAE部
宇津木 芳明　シャシー設計部
田中　毅　内装設計部
石田　卓　電子商品設計部
吉積　輝和　電子プラットフォーム設計部
手塚　俊介　先進安全設計部
沖　修一　材料研究部
近藤　和幸　車両研究実験第1部
小林　正明　車両研究実験第2部
冨士　啓　車両研究実験第3部
関口　弘幸　車両研究実験第4部
高橋　泰　試作部
沈　建栄　生産技術管理部
京徳　信夫　エンジン設計部
委　員：高橋　裕　トランスミッション設計部
中山　智裕　エンジン性能開発部
塩崎　竜二　エンジン性能開発部
山本　光夫　トランスミッション性能開発部
五十嵐 雅敬　電子技術部
大抜 由起夫　電動ユニット設計部
天笠　義則　技術研究所
齋藤　義弘　航空宇宙カンパニー 研究部
田邉　敦　航空宇宙カンパニー 研究部
事務局：福島　儀隆　技術管理部（群馬）
黒田　宏彦　技術管理部（東京）
髙見澤　剛　技術管理部（群馬）
大町　昭司　技術管理部（東京）
藤田 江利子　技術管理部（群馬）
中島　宏和　技術管理部（東京）
小杉　富雄　SUBARUテクノ株式会社
永澤　精一　SUBARUテクノ株式会社
石松 喜代司　SUBARUテクノ株式会社
丸山　次郎　SUBARUテクノ株式会社
富岡　淑美　SUBARUテクノ株式会社

SUBARU技報第45号（非売品）

発　行　2018年6月
発行兼編集人　SUBARU技報編集委員会
発行所　株式会社SUBARU技術管理部
群馬県太田市スバル町1-1
電話　0276-26-2411
印　刷　SUBARUテクノ株式会社
群馬県太田市金山町27-1
電話　0276-26-2626

©2018 SUBARU CORPORATION
禁無断転載

SUBARU