2017 No.44

スバル技報

SUBARU TECHNICAL REVIEW

SUBARU

IMPREZA
G4

IMPREZA
SPORT

LEVORG

デザイン部　三谷 真哉

表紙デザイン

新たなプラットフォームを迎え、フルモデルチェンジしたインプレッサ。数々の新技術を実現した開発者の情熱を、赤を使って表現しました。
４月から社名も変わったSUBARUの勢いも感じ取っていただきたいです。

SUBARU TECHNICAL REVIEW

2017 No.44

巻頭言

「ここまでのスバルと、これからのスバル」

常務執行役員　臺　　卓　治

今回 '17年度の技報の巻頭文を書かせていただくことになり、昨年の '16年度を振り返り、そして今年 '17年度を考えてみると、スバルにとって非常な重要な年であると改めて思いました。

まず過去を自分自身と重ねて少し振り返ってみたいと思います。

'16 年度はスバルとして初めて販売が 100 万台を超えました。'10 年度の販売が約 56 万台でしたので、ほぼ 2 倍に販売を伸ばしたことになります。その原動力は何と言っても北米での販売の伸長で、'10 年度 25 万台、それに対して ' 16 年度 67 万台＋ 42 万台ですから、スバルの成長が北米での成長にあったことがよく分かります。この成長はもちろん偶然ではなく、会社としての意思をもった戦略と実行によって成し遂げることができたものです。その道筋について述べてみたいと思います。

1990年代のスバルはレガシィ WGNターボが国内でブームと言えるような人気を博し、WRCの3連覇もあり、会社としても「走り」の意識が高く、マーケティング訴求も水平対向エンジン＋シンメトリカルAWDのようなユニークなハードウェアが中心、お客さまのイメージも「走りのニッチブランド」であったと思います。当時自分は本社の商品企画にいましたが、明確なお客さま視点もなく、ただ「スバルは、これからも走りで生きていくんだ。(いけるんだ。)」と漠然と考えていました。

2000年代に入り日本経済の停滞、ミニバンブーム、プリウスの登場からエコカーシフト等により国内販売が伸び悩み、会社としても非常に厳しい局面を迎えました。そこでスバルの生き残りのための検討、議論が始まりました。　当時から当社の規模より「選択と集中」を進めることは前提でしたが、「何に集中する」かがポイントでした。その中で、まず市場を「北米基軸」と決めました。そしてターゲットユーザーを「ライフアクティブ層」のお客さまとして、それに合わせて商品を「クロスオーバー＆SUV」を主軸に置きました。それを基本戦略として、定量データ分析やクリニックなど、今では当たり前になっているお客様の志向を探る様々な手法を採用し、「戦略」だけでなく、それに基づく「戦術」も確立されました。

当時の自分はその「戦術」を実行する立場でしたが、従来の「プロダクトアウト」から、上記のようなスバルの生きる領域を決めて、その領域での徹底した「マーケットイン」の商品企画と開発に変わったことを強く感じました。そしてそれを明確にするため、「安心と愉しさ」をスバルの提供価値として規定しました。その結果が現在の北米での大きな販売の伸長に繋がったのです。

大きな成果を生んだ今となっては、当然の戦略と判断だったように思いますが、改めて考えるとこの「選択と集中」の判断は軽自動車の撤退に代表されるようにいくつかの大きな痛みを伴うものでした。

今自分が判断する側の立場に立ってみると、本当に難しく、厳しい判断であり、議論の材料から仮説構築、検証のプロセスの在り方や、退路を断って前に進む勇気と本当に学ぶべきことが多いと感じます。

そして今年 '17年度、我々は株式会社SUBARUとして新たな1歩を踏み出すことになりました。

この社名の変更に込められた気持ちは、皆さんもご存じのように私たちがこれから『価値を提供するブランド』として生きていくという『決意表明』です。それは、これからスバルがブランドとして、お客さまの心の中で輝く存在になっていく、そのためにブランドを磨いていくことだと考えています。

一方で世の中では「変化の時代」と言われています。実際に、今我々が直面している変化は過去に経験したものに比べて1つ1つが深化し、多様化しています。例えば燃費と排ガスの環境規制対応、加えて新領域での車両が外とつながるコネクトや、高度運転支援から将来の自動運転など、どれも大きな変化です。

スバルのブランド価値「安心と愉しさ」はぶれることはありませんが、人は大きな変化の中に立った時に意外に容易く自分の立ち位置や目指す方向を見失いがちです。

そんな時自分たちのポジションを考える際に、過去を振り返ること、少し大げさに言うと歴史に学ぶということも大事ではないでしょうか。自分自身のことで言えば、色々な変化に直面した時に、我々スバルは過去の強い判断の基で、全員が強い意志を持ってベクトルを合わせて今の場所に至っていることを思い出すことで、我々が進む方向を示してくれるだけでなく、自分自身がその変化を真正面から向き合い、勇気を持って1つ1つを判断していく、そんなことも教えられます。

この何年かの判断と実行が、将来のスバルのお客さまへの提供価値として、お客さまへの笑顔につながっていくことを肝に銘じて、皆さんと仕事をしていきたいと思っています。

一緒に将来のスバルのお客さまの笑顔を作って行きましょう !!

目　　次

✦巻頭言

「ここまでのスバルと、これからのスバル」――――臺　　卓　治

✦小特集「新型インプレッサ」

1. 新型インプレッサ／XVの紹介 ――――SUABRU IMPREZA 開発プロジェクトチーム … 1

2. 新型インプレッサ車体構造の開発 ――――中島　　篤・鈴木　　敦・竹内　源樹・植木　敏行 …… 28

3. 新型インプレッサのシャシー開発 ――――井本　昌志・圓尾　哲也 …… 35

4. 新型インプレッサ 水平対向エンジンの開発 ―関　　竜達・最首　陽平・岩上　宏之・長田　健志・金子　　隆・小野　大輔・石田　　礼・小野　　敏 …… 41

5. 新型インプレッサ向けリニアトロニックの開発 木嶋　俊介・立松　憲明・松本　　卓・山﨑　裕史・岡田　貴宏 …… 48

✦小特集「改良モデル」

6. 新型レヴォーグの紹介 ――――SUBARU LEVORG 開発プロジェクトチーム … 53

7. 新型WRX STI/S4の紹介 ――――SUBARU WRX STI/S4 開発プロジェクトチーム… 66

✦論文・解説

8. スバル デザイン戦略の進化 ――――石井　　守・坂口　慶明 …… 74

9. 新型インプレッサとSUBARU XV/CROSSTREKのデザイン開発
磯村　　晋・戸谷　裕之 …… 82

10. 新型 LEVORGのデザイン開発 ――――中 村 真 一 …… 89

11. 新型 WRX/WRX STIのデザイン開発――――中 村 真 一 …… 92

12. 新型XVのEyeSightの開発 ――――野村　直樹・金井　聡吾・田中　純一・熊谷　　光・関根　浩史・澤田　慎司 …… 97

13. 後退時自動ブレーキの開発 ――――濱田　祐介・持田　和人・加藤　寛基・吉尾　直純・水谷　公一・小西　英祐・鈴木　一文 …… 101

14. 路線信号情報を活用した運転支援機能の評価 ―松原　正悟 …… 104

15. 新型インプレッサ向けリニアトロニックのギヤ音開発
千田　博之・竹内　良彦・藤榮　　淳・
三好　慶和・飛澤 圭一郎・中村 新太郎・
片山　　順・…… 110

16. 新型インプレッサ 歩行者保護エアバッグの開発
太田　一宏・加藤　　肇・国沢　礼紀・
久田　岳夫・長沢　澄人・橋本　善之 …… 115

17. 新型インプレッサのNVH開発 ――――――関　　崇史 …… 122

18. インプレッサ低騒音空調、均一温度空間の開発
吉川　卓爾・岩瀬　洋直 …… 127

19. 感性に響く、ブレーキの動的質感 ――――――紀陸　達男・伴　　将史 …… 132

20. HMI連携システムの開発について――――――遠藤　秀明・岡本　洋平・紺野　大悟・
佐川　一洋・山根　　翔・早川　有香・
柄澤　英之・酒谷　淳寛 …… 136

21. ボディ電装系におけるモデルベースAUTOSARでの
コンフィグレーションとインプリメンテーションに関する研究
星野　欽哉 …… 140

22. ボディ系電子制御システム領域における
モデルベースドシステムズエンジニアリング適用に関する一考察
古賀 祐一郎・兼吉　知寛 …… 147

23. SUBARU GLOBAL PLATFORMの開発における衝突性能のロバスト設計事例紹介
桒原　光政・藤原　誠二 …… 155

24. 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 …… 163

25. 電磁ノイズ対策のための電磁波設計手法の検討
－第２報：車両モデル構築に向けた電気特性評価－
夏目　侑紀・大堀　勇二・犬童　翔太 …… 170

26. 直噴エンジン開発を支える筒内流体解析 ――― 齊藤　操希・菅沼　邦彦・金子　　隆・
細谷　沙織・辻村　彬人・三ツ橋 秀樹 …… 175

27. 運動性能分野における質感の更なる向上のための高分解能実走行中タイヤ３分力計測
日向　俊行・矢吹　直人 …… 183

28. 筋活動と動作の離散性による自動車の操縦快適感評価手法の研究
澄川　瑠一・鳥居　武史・佐藤 能英瑠・
杉山　明子・上條　正義 …… 188

29. ハイブリッド車の電磁ノイズ・シミュレーション技術の研究
戸野塚　徹・佐藤　雅之・吉高　　茜・
中村　健一 …… 194

30. 高意匠加飾フィルムのインサート成形技術 ―― 渡辺　　歩・青木　　恒 …… 198

31. 姿勢・タスクの違いによる自動運転時の危険回避行動への影響
内形　恭平・長沢　　勇・塩川　貴彦・
池田　徹志・川西　　直・内海　　章・
萩田　紀博 …… 203

32. トランクアウタへのレーザブレージングの適用
三島　智睦・川端　達也 …… 209

33. 構造最適化と金属３Ｄプリンタ技術による航空機部品軽量化
吉村　健佑・安部　雅勝・平林　大輔 …… 213

34. 構造健全性診断技術の実用化に向けた取り組み
副島　英樹・高橋　孝平・
平木　　恵・村田　　巌 …… 217

35. 超撥水塗料「FHI-4」の開発および適用例 ―― 吉田　剛士・柴﨑　　修・荻巣　敏充・
村田　　巌 …… 224

36. 中央翼自走式多頭自動穿孔機の開発 ――― 平井　久之 …… 229

37. 表面処理・塗装ラインの自動化・機械化範囲拡大
古郡　　享・松井　　匠・安野　好紀 …… 234

38. 自動トルク掛けツール用オフセットアダプタの開発
渡邉　政雄・小野　遼平 …… 239

39. 2 kWクラス携帯型インバータ発電機の開発 ―廣田 健太郎 …… 243

40. TSと言うスバル技術本部の重要なDNAについて
坂崎　明彦 …… 249

41. 空気の見える職人の養成について Part 2 ――坂崎　明彦・山内　大生・伊東　太壱 …… 255

42. 特許紹介 ――――――――――――――――技術開発部 …… 261

✦社外発表一覧（2016.1 ～ 2016.12 講演・寄稿） …… 268

CONTENTS

Foreword

SUBARU Past and Future ——————— Takuji DAI

Special Issue : New IMPREZA

1. Introduction of New SUBARU IMPREZA/XV SUABRU IMPREZA Project Team ····· 1

2. Development of New Body Structure of IMPREZA
Atsushi NAKASHIMA, Atsushi SUZUKI,
Genki TAKEUCHI, Toshiyuki UEKI ····· 28

3. Chassis Development for New IMPREZA ——Masashi IMOTO, Tetsuya MARUO ····· 35

4. Development of Horizontal-Opposed Engine Mounted on New IMPREZA
Ryuutatsu SEKI, Youhei SAISHU
Hiroyuki IWAGAMI, Kenji NAGATA,
Takashi KANEKO, Daisuke ONO, Rei ISHIDA
Min ONO ····· 41

5. Development of Lineartronic for New IMPREZA
Shunsuke KIJIMA, Noriaki TATEMATSU,
Suguru MATSUMOTO, Hirofumi YAMAZAKI,
Takahiro OKADA ····· 48

Special Issue : Annual Change Model

6. Introduction of New SUBARU LEVORG ———SUBARU LEVORG Project Team ····· 53

7. Introduction of New SUBARU WRX STI/S4 —SUBARU WRX STI/S4 Project Team ····· 66

Technical Paper & Explanation

8. Evolution of SUBARU Design Strategy ———Mamoru ISHII, Yoshiaki SAKAGUCHI ····· 74

9. Styling Design Development of New SUBARU IMPREZA
and SUBARU XV/CROSSTREK
Susumu ISOMURA, Hiroyuki TOYA ····· 82

10. Styling Design Development of LEVORG ———Shinichi NAKAMURA ····· 89

11. Styling Design Development of WRX/WRX STI
Shinichi NAKAMURA ····· 92

12. Development of EyeSight for New XV ——— Naoki NOMURA , Sogo KANAI, Junichi TANAKA, Hikaru KUMAGAI, Hiroshi SEKINE, Shinji SAWADA ····· 97

13. Development of Reverse Automatic Braking (RAB) Yusuke HAMADA, Kazuhito MOCHIDA, Hiroki KATO, Naozumi YOSHIO, Kouichi MIZUTANI, Eisuke KONISHI, Kazuhumi SUZUKI ····· 101

14. Evaluation of Driver Assist Function with Traffic-Signal Information Shogo MATSUBARA ····· 104

15. Development of Gear Noise Improvement of Lineartronic for New IMPREZA Hiroyuki CHIDA, Yoshihiko TAKENOUCHI, Atsushi FUJIE, Yoshikazu MIYOSHI, Keiichiro TOBISAWA, Shintaro NAKAMURA, Jun KATAYAMA ····· 110

16. Development of Pedestrian Protection Airbag for New SUBARU IMPREZA Kazuhiro OTA, Hajime KATO, Ayanori KUNISAWA, Takeo HISADA, Sumito NAGASAWA, Yoshiyuki HASHIMOTO ··· 115

17. NVH Development for New IMPREZA ——— Takashi SEKI ····· 122

18. Development of Low Noise A/C System and Uniform Temperature Area for IMPREZA Takuji YOSHIKAWA, Hironao IWASE ····· 127

19. Dynamic Quality of the Brake System That Appeals to Customers Tatsuo KIROKU, Masashi BAN ····· 132

20. Development of HMI Coordination System —— Hideaki ENDO, Yohei OKAMOTO, Daigo KONNO, Kazuhiro SAGAWA, Shou YAMANE, Yuka HAYAKAWA, Hideyuki KARASAWA, Atsuhiro SAKAYA ····· 136

21. Study of Model Based AUTOSAR Configuration and Implementation in Automotive Body Electronics
Kinya HOSHINO ····· 140

22. Study of Model Based Systems Engineering in Automotive Body Electronics
Yuichiro KOGA, Tomohiro KANEYOSHI ····· 147

23. Example of Robustness Design for Crash Performance in the Development of SUBARU GLOBAL PLATFORM
Mitsumasa KUWABARA, Seiji FUJIWARA ····· 155

24. Measurement of Spark Plug Temperature Distribution at Pre-Ignition
Ryo MUTO, Kenta KIMOTO,
Masaaki KATO, Tomohiro NAKAYAMA,
Makoto KANEKO ····· 163

25. Electromagnetic Wave Design Method for Protection against Noise
– Electric Characteristics Measurement for Constructing Vehicle Model –
Yuki NATSUME, Yuji OHORI,
Shota INUDO ····· 170

26. In-Cylinder Fluid Analysis for Development of Direct-Injection Gasoline Engine
Misaki SAITO, Kunihiko SUGANUMA,
Takashi KANEKO, Saori HOSOYA,
Yoshito TSUJIMURA, Hideki MITSUHASHI ··· 175

27. Tire Three Component Force Measurement System in Actual Driving Situation in Order to Achieve Higher Quality in Vehicle Dynamics
Toshiyuki HYUGA, Naoto YABUKI ····· 183

28. Study of Steering Feeling Evaluation Method for Vehicle by Analyzing Discreteness of Muscular Activity and Steering Action
Ryuichi SUMIKAWA, Takeshi TORII,
Noeru SATO, Akiko SUGIYAMA,
Masayoshi KAMIJO ····· 188

29. Research on Electromagnetic Noise Simulation Technology for Hybrid Vehicle
Toru TONOZUKA, Masayuki SATO,
Akane YOSHITAKA, Kenichi NAKAMURA ··· 194

30. Development of Insert Molding Technology for High-Quality Design Decoration Film
Ayumu WATANABE, Hisashi AOKI …… 198

31. Reaction to Critical Situations during Automated Driving in Different Driving Positions
Kyouhei UCHIKATA, Isamu NAGASAWA,
Takahiko SHIOKAWA, Tetsushi IKEDA,
Nao KAWANISHI, Akira UTSUMI,
Norihiro HAGITA …… 203

32. Application of Laser Brazing to Trunk Outer —Norichika MISHIMA, Tatsuya KAWABATA…… 209

33. Weight Saving of Aircraft Part by Optimization and 3D Printing Technology
Kensuke YOSHIMURA, Masakatsu ABE,
Daisuke HIRABAYASHI …… 213

34. Research and Development of Structural Health Monitoring Technology for Practical Use
Hideki SOEJIMA, Kohei TAKAHASHI,
Megumi HIRAKI, Iwao MURATA …… 217

35. Development and Application of Superhydrophobic Coating “FHI-4”
Takeshi YOSHIDA, Osamu SHIBASAKI,
Toshimichi OGISU, Iwao MURATA …… 224

36. Development of Multi-Head Automatic Drilling Vehicle for Center Wing Structure
Hisayuki HIRAI …… 229

37. Expansion of Automated Process for Surface Treatment and Painting
Susumu FURUGORI, Takumi MATSUI
Yoshinori YASUNO …… 234

38. Development of Offset Adapter for Automatic Torque Wrench
Masao WATANABE, Ryohei ONO …… 239

39. Development of 2 kW Class Portable Inverter Generator
Kentaro HIROTA …… 243

40. Very Important DNA of SUBARU Engineering Division : TS
Akihiko SAKAZAKI …… 249

41. How to Train Craftsmen who can See Air Flow (Part 2)
Akihiko SAKAZAKI, Daisei YAMAUCHI,
Taichi ITOU ····· 255

42. SUBARU Patent Review ——————— Advanced Engineering Department ····· 261

✦List of Published Reports ····· 268

新型インプレッサ／XV の紹介

Introduction of New SUBARU IMPREZA/XV

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

抄　録

インプレッサ／ＸＶはアクティブに生活する人たちの道具として、誕生以来多くの人に親しまれてきた。特に先代モデルは高い安全性能と運転する楽しさを備えると共に、全方位でバランスのとれたコンパクトカーとして、世界中の多くのお客様に選ばれ、高い評価を戴いてきた。

新型インプレッサでは、より多くのお客様に「最高の安心と愉しさ」をお届けしたいとの想いから、プラットフォームを刷新し、改革的に「安心と愉しさ」を進化させた。それは、単なるインプレッサのモデルチェンジというのではなく、次世代スバルの基盤を構築する開発であり、そのような商品に仕上がったと自負している。

Abstract

As a tool to lead an active life, IMPREZA and XV have been popular models since their initial launch. Previous models have been providing high safety performance as well as driving enjoyment. Many customers across the globe selected them as good-balanced models in all directions as compact cars, and we have been receiving excellent reviews.

This new IMPREZA has an innovated platform and has evolved “Enjoyment & Peace of Mind” with our hope to deliver “the Best Enjoyment & Peace of Mind” to our customers. We can confidently say that this is not just a model change of IMPREZA, but this is a development to establish a basis for next generation SUBARU.

1．まえがき

1992年の誕生以来、インプレッサは歴代モデルを通じて、一つ上のクラスであるレガシィと同等の基本メカニズムを採用することにより、他銘Ｃ セグメントモデルにはない高いポテンシャルを備えてきた。歴代インプレッサに流れる根幹的なブランド価値は「スタイリッシュ」、「スポーティ」、「上質さ」である。

今回のモデルでは、多くの人が乗るこのクラスだからこそ、「世界トップレベルの総合安全性能」を追求すると共に、内外装と様々な場面での走りで上質を超える「感動レベルの質感」の実現を目指して開発した。このクルマをお選びいただくことで、人生がより輝くものとなる、そんな魅力を備えたクルマに仕上げた(**図１、２**)。

図１　IMPREZA

図２　XV

2.　開発の狙い

2.1　インプレッサ

2.1.1　コンセプト

インプレッサを愛用していただいている多くの人たちは日常的にスポーツや趣味を積極的に楽しむライフスタイルを持っている。こうしたお客様は、どこへでも安心して走っていけるAWDならではの安全性・機動性、軽快な走りの良さ、後席と荷室を自在に使い分けることのできるバーサティリティ（多用途性）など、インプレッサが提供する商品魅力を高く評価してくれている。

もうひとつは、家族や友人を大切にし、地域や社会に対する責任を積極的に果たそうとする前向きな意思を持っている。したがって、クルマ選びにおいては何よりも安全性が重要であり、同時に同乗者が安心して快適に過ごせる居住性や乗り心地を重視する。

こうしたライフアクティブ層にインプレッサと過ごす毎日の楽しさを感じて戴きたい。そのためにはスバルが目指す価値である「安心と愉しさ」を改善では無く、改革的に進化させ、誰もがはっきりと感じ、魅力として認知していただける商品とする必要があると考えた。

そこで「乗る人全てに最高の安心と愉しさを」を開発コンセプトに設定し、ダントツの総合安全性能、感動レベルの動的質感とスポーティ先進デザイン＋クラスを超えた質感の融合による感動質感。これを最大のウリとしつつ、これまで評価の高かった実用性、実用燃費の良さ、快適室内空間についても向上させていくこととした（図3）。

図３　IMPREZA コンセプト

2.1.2　コンセプトを実現する価値

(1) 総合安全性能

“最高の安心と愉しさ”の最重要項目は安全性能である。0次安全、走行安全、予防安全、衝突安全と言う全ての安全性能をダントツのレベルまで妥協無く高めた。特に衝突安全性能はスバルグローバルプラットフォームの採用(図4)により、衝突エネルギー吸収量を飛躍的に高め、日本車としては初めて歩行者保護エアバッグを採用(図5)、さらにすべてのエアバッグを標準装備とした(国内仕様)。また、0次安全では、左右の見切りが悪い交差点､狭いスペースに駐車する時、悪天候で視界が悪い時など、どんなときでも安心して乗っていただける視界設計を行いつつ(図6)、スポーティなスタイリングとの両立を図った。

図４　スバルグローバルプラットフォーム

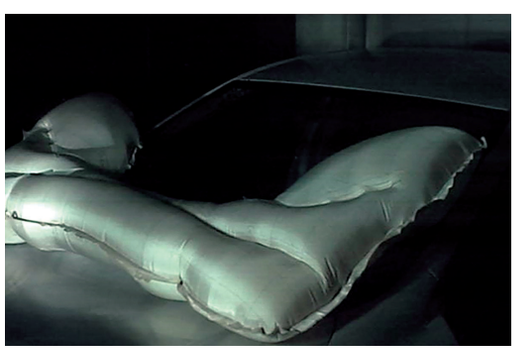


図５　歩行者保護エアバッグ

図６　最高レベルの0次安全性能

衝突安全、予防安全を飛躍的に高めることにより、各国の安全評価でトップレベルの総合安全性能を実現した(表1)。

(2) 感動質感

安全性能と並ぶ最大の価値が感動質感である。クラスを超えた動的、静的な質感の高さを目指した。

表１　レイティング

国		レイティング
米国	IIHS (米国道路安全協会)	2017 IIHS TOP SAFETY PICK+
米国	NHTSA (米運輸省道路安全局)	5-Star Safety Ratings More Stars. Safer Cars. U.S. Department of Transportation　safercar.gov
日本		JNCAP ファイブスター賞 / JNCAP 大賞 / JNCAP 特別賞

①動的質感

走って、乗って感じる全てをクラスの枠を超え、人々の心動かす領域まで高めることをテーマとして開発した。乗る人全てが安心で愉しく、そして気持ち良いと感じることを目指し開発。車体とサスペンションの剛性を最大で現行比200%とする等、スバルグローバルプラットフォームがもたらす動的質感を感動レベルまで仕上げた。また、パワーユニットもドライバーの意図とマッチする加速感や音を追求し、気持ち良い走りを実現した。

②静的質感

見て、触れて感じる静的な部分は“安心と愉しさ”を形で表現するスバルのデザインフィロソフィー“DYNAMIC × SOLID”を全面採用しつつ、クラスの枠に捉われない高い質感を融合。心を惹きつけ、そして深い満足を戴ける内外装質感を実現した(図7、8)。

図７　エクステリア

図８　インテリア

(3) 実用性

スバルグローバルプラットフォームの採用により、キャビンスペースを拡大。ホイールベースを25 mm拡大し、後席の居住スペースを拡大、前席足元も広げて、より最適なドライビングポジションが取れるようにした(図9)。

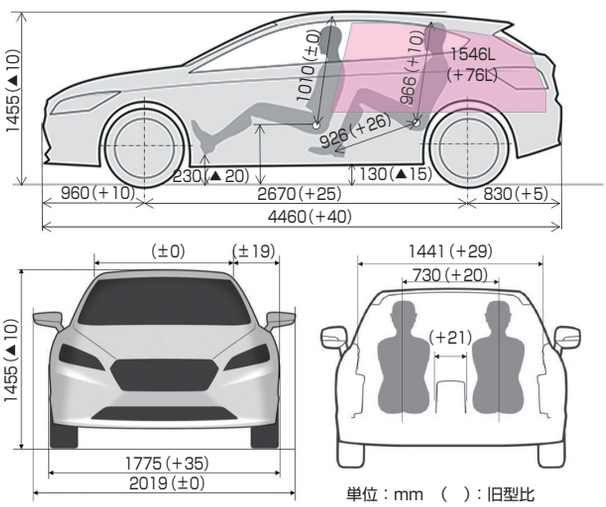


図９　主要諸元

また、ボディサイズを拡大しながらも、最小回転半径、ミラーtoミラーの幅は先代モデルと不変(北米仕様除く)として取り回しの良さを確保、スポーティデザインとクラスを超えたゆとりのスペースを両立した。

5D/XVの荷室容量は従来比＋5L拡大。ゴルフバッグ３個積んで、後方視界に影響ないスペースを確保した(図10)。また、フィニッシャーランプの採用で荷室開口部も従来比＋100 mm拡大し、長尺の荷物も積み降ろしがし易いようにして使い勝手をさらに高めるとともに、直角近くまで開くドアを採用。開口形状も工夫することで優れた乗降性を実現した。

(4) 実用燃費の良さ

2.0Lは直噴化し、1.6LもEGRクーラを採用、CVTでのレシオカバレージの拡大に加え、パワーユニット全体での軽量化とフリクションの低減等により、

図 10　荷室

アクセル操作に対してリニアに反応するスムーズな加速性能と実用燃費の大幅な向上を両立。特にカタログ燃費値から期待される以上の実用燃費を実現し、お客様が環境性能の良さを実実感戴けることを目指して開発した。

また、空気を流す、切るという空力向上の要素をシルエットに織り込み機能性とデザインを両立させた。

(5) 快適な室内

快適で安全な室内空間を乗る人全てに提供することもSUBARUが目指すFun to Driveであると考えて開発を進めた。特にインフォテイメントの進化とわかりやすいインターフェースには注力した。センターのインフォメーションディスプレイには運転に必要な情報を集約。MFDはコンテンツを強化、画面のデザインも一新し、すべての乗員に「愉しく役立つ情報」を「わかりやすく」伝えられるようにした。

さらに8インチの大画面ナビゲーションを展開(国内は用品にて展開)。インパネとの一体感を高め、MFDとの連携機能も強化した(図11)。

図 11　インフォテイメント

2.2　XV

2.2.1　コンセプト

2012 年にデビューしたSUBARU XV/CROSSTREK（以降XV）は、「ラギッド」と「スポーティ」を融合させた「Urban Adventure」という独自のコンセプトが受け入れられ、今やSUBARUブランドをけん引する重要なモデルへと成長した。

特に、近年拡大しているランニングやハイキング、自転車などのライトなアウトドアスポーツを楽しむお客さまにXVの世界観は受け入れられ、アクティブな生活の道具としてXVは活躍している。また、スタイリッシュな乗用車に無骨なアクセントを加えたデザインも好評で、都会にもアウトドアにもマッチするクルマとして支持を集めることになった。

拡大していくSUV市場を取り巻く環境の中で、SUBARU の強みとする、安心（総合安全性能＋動的質感）と愉しさ（デザイン＋質感）を融合させながら、現在受け入れられているXVらしい個性や機能をさらに際立たせ、ワクワクするような愉しさを表現することを開発の狙いとし、スタイリッシュな生活のなかにも溶け込めるようなデザインをテーマにした。

新型XVは、アクティブライフをより愉しめるだけでなく、日常での都会的な使い方でもより一層の魅力を感じられるデザインに仕上げている。

世界中の人々が毎日をよりアクティブに愉しみ、さらに冒険と感動に満ちた日々をともに過ごすためのパートナーのような存在となってもらいたい。

新型XVの商品コンセプトとして新たに生みだされた「Fun Adventure」という言葉には、このような想いが込められている（図12）。

図 12　XV コンセプト

2.2.2　コンセプトを実現する価値

ポイントのひとつはインプレッサで実現した“クラスを超えた内外装質感”に“街で映えるSUVデザイン”、“街での扱い易さ”を加え、「街の中でこそ映える使い易いSUV」とした。

ふたつ目は“世界トップレベルの総合安全性能”、“感動レベルの動的質感”に“本格SUVの走破性”と“多用途性”を加えた「行動範囲を広げるツーリングSUV」をポイントとして開発を進めた。

2.2.3　街の中でこそ映える使いやすいSUV

(1) さらに街で映えるデザイン

プロユースにも耐える本格的な性能を持ちながら、街で着ても様になる高機能ウェアのような“スポカジ”をテーマとしてデザインを行った。スポーティ＆アドバンスとタフ＆ラギッドを融合させて、ワクワクする愉しさを表現した(図13、14)。

図 13　エクステリア

図 14　インテリア

(2) 街での扱い易さ

日常シーンでの狭い道路や駐車場でも扱い易いボディサイズとした。全幅は1800 mmに抑え、他銘Cセグ SUVに対して圧倒的な扱い易さとしている(図15)。

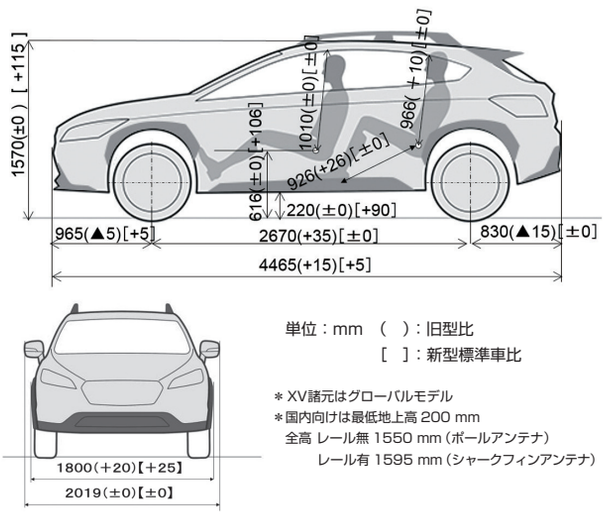


図 15　主要諸元

全高は高さ制限のある駐車場にも対応し易い1,550 mmとした。また、ミドルサイズSUVでありながら最大幅（ミラー toミラー）は現行同値の2,019 mm、最小回転半径は5.4 mに抑え、他銘 Cセグに対し抜群の取り回しの良さを実現した。

さらに、適度な高さのヒップポイントにより女性や子どもでもスムーズな乗降ができる点が他銘Cセグ SUVに対するアドバンテージである(図16)。

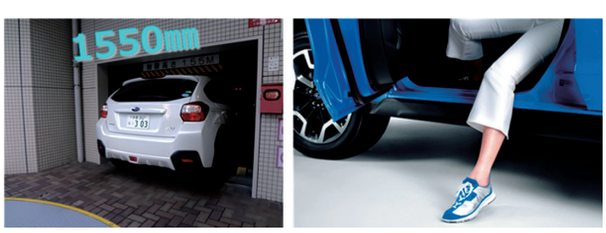


図 16　立体駐車場に対応し易い全高と優れた乗降性

2.2.4　行動範囲を広げるツーリングSUV

(1) 動的質感と本格SUVの走破性の融合(図17)

図 17　動的質感と本格 SUV の走破性の融合

①感動レベルの動的質感

スバルグローバルプラットフォームの採用により、優れた直進安定性とステアリング操作に対して瞬時かつ正確にクルマが反応する操舵応答性を実現、他銘のスポーティセダンを超える性能を実現した。

また、大幅な剛性向上、足回りの進化を実現。操縦安定性を飛躍的に向上させ、SUV とは思えないロールの少なさを実現し、安定した走りと優れた危険回避性能をさらに高いレベルへと引き上げた。高速走行時の車体上下動やピッチングを抑え、乗り心地を改善。SUV の常識を覆す感動レベルの動的質感を実現した。

②本格SUV の走破性

新型XV はアクティブスポーツをタフに楽しむ人たちの道具となるべく、スポカジデザインを採用しながらも本格的な走破性と機能性を持たせた。

フォレスターにも採用したX-MODE を採用。雪道での発進時や荒れた山を登坂するときなどタイヤが空転してしまうようなシーンで、あらかじめX-MODE のスイッチをONにしておけば制御が瞬時介入。エンジン・トランスミッション・AWD・VDC を統合制御し、4輪の駆動力やブレーキなどを適切にコントロールすることで、スムースな脱出を実現する(図18)。

図 18　X－MODE

またAWD も改良を行い、トラクション性能をさらに進化させた。さらにフォレスターと同じ大径タイヤの採用、クラストップレベルのアプローチアングル、最低地上高等の諸元としても走破性を高めた(図19)。

図 19　本格 SUV 同レベルの諸元

(2) 多用途性

最低地上高200 mm を確保しながら、全高は1,600 mm 以内に抑えているため、ルーフへアクセスし易い。また、ボックスやキャリアからの荷物積み下ろしがし易い(図20)。

全高 1595 mm

図 20　アクセスし易いルーフ

(3) トップレベルの航続距離

実感できる燃費の良さを目指し、先代モデルに対し、航続距離を大幅向上。燃料タンク容量も3L アップさせ、トップクラスの航続距離を確保した(図21)。

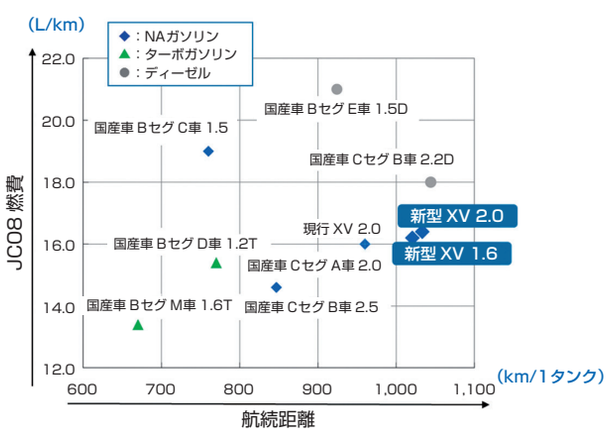


図 21　トップレベルの航続距離

3.　主要諸元・車種構成

3.1　主要諸元

代表として国内仕様を紹介する(表2)。

3.2　車種構成

1.6L のXV を追加し、より幅広いお客様に選んで戴けるような展開とした。

表２　新型 IMPREZA 新型 XV SPECIFICATIONS

［　］内は AWD の数値

SPECIFICATIONS	インプレッサ SPORT			インプレッサ G4			XV			
車種	1.6i-L EyeSight	2.0i-L EyeSight	2.0i-S EyeSight	1.6i-L EyeSight	2.0i-L EyeSight	2.0i-S EyeSight	1.6i EyeSight	1.6i-L EyeSight	2.0i-L EyeSight	2.0i-S EyeSight
	1.6ℓ DOHC	2.0ℓ DOHC 直噴		1.6ℓ DOHC	2.0ℓ DOHC 直噴		1.6ℓ DOHC		2.0ℓ DOHC 直噴	
	2WD［AWD（常時全輪駆動）］						AWD（常時全輪駆動）			
	リニアトロニック						リニアトロニック			

■ 寸法・重量・定員

全長×全幅×全高（mm）注１	4460 × 1775 × 1480			4625 × 1775 × 1455			4465 × 1800 × 1550			
室内長×室内幅×室内高（mm）	2085 × 1520 × 1200						2085 × 1520 × 1200			
ホイールベース（mm）	2670						2670			
トレッド［前／後］（mm）	1540/1545						1555/1565			
最低地上高（mm）	130						200			
車両重量（kg）　注２	1300［1360］（注）	1320［1370］（注）	1350［1400］	1300［1360］（注）	1320［1370］（注）	1350［1400］	1410	1410 注３	1420 注３	1440
乗車定員（名）	5						5			
車両総重量（kg）　注２	1575［1635］（注）	1595［1645］（注）	1625［1675］	1575［1635］（注）	1595［1645］（注）	1625［1675］	1685	1685 注３	1695 注３	1715

■ 性能

最小回転半径（m）	5.3						5.4			
燃料消費率（km/ℓ）（社内測定値）JC08モード	18.2［17.0］	17.0［16.8］	16.0［15.8］	18.2［17.0］	17.0［16.8］	16.0［15.8］	16.2	16.2（15.8）注４	16.4（16.0）注４	16.0
主要燃費向上対策	アイドリングストップ装置／電動パワーステアリング / 可変バルブタイミング／自動無段変速機／ロックアップ機構付トルクコンバーター						アイドリングストップ装置／電動パワーステアリング／可変バルブタイミング／自動無段変速機／ロックアップ機構付トルクコンバーター			

■ ステアリング・サスペンション・ブレーキ

ステアリング歯車形式	ラック＆ピニオン式	ラック＆ピニオン式
ステアリングギヤ比	13：1	13：1
サスペンション［前輪／後輪］	ストラット式独立懸架／ダブルウィッシュボーン式独立懸架	ストラット式独立懸架／ダブルウィッシュボーン式独立懸架
主ブレーキ形式	２系統油圧式（倍力装置付）	２系統油圧式（倍力装置付）
ブレーキ［前／後］	ベンチレーテッドディスク／ベンチレーテッドディスク	ベンチレーテッドディスク／ベンチレーテッドディスク
駐車ブレーキ形式（後２輪制動）	電気式	電気式

■ エンジン

型式・種類	FB16	FB20	FB16	FB20	FB16	FB20
	水平対向４気筒				水平対向４気筒	
	1.6ℓ DOHC 16 バルブ デュアル AVCS	2.0ℓ DOHC 16 バルブ デュアル AVCS 直噴	1.6ℓ DOHC 16 バルブ デュアル AVCS	2.0ℓ DOHC 16 バルブ デュアル AVCS 直噴	1.6ℓ DOHC 16 バルブ デュアル AVCS	2.0ℓ DOHC 16 バルブ デュアル AVCS 直噴
内径×行程（mm）	78.8 × 82.0	84.0 × 90.0	78.8 × 82.0	84.0 × 90.0	78.8 × 82.0	84.0 × 90.0
総排気量（cc）	1599	1995	1599	1995	1599	1995
圧縮比	11.0	12.5	11.0	12.5	11.0	12.5
最高出力［ネット］［kW（PS）/rpm］	85（115）/6200	113（154）/6000	85（115）/6200	113（154）/6000	85（115）/6200	113（154）/6000
最大トルク［ネット］［N·m（kgf·m）/rpm］	148（15.1）/3600	196（20.0）/4000	148（15.1）/3600	196（20.0）/4000	148（15.1）/3600	196（20.0）/4000
燃料供給装置	EGI（電子制御燃料噴射装置：マルチポイント・インジェクション）	筒内直接燃料噴射装置	EGI（電子制御燃料噴射装置：マルチポイント・インジェクション）	筒内直接燃料噴射装置	EGI（電子制御燃料噴射装置：マルチポイント・インジェクション）	筒内直接燃料噴射装置
燃料タンク容量（ℓ）	50				63	
燃料種類	無鉛レギュラーガソリン				無鉛レギュラーガソリン	

■ トランスミッション

変速機形式	リニアトロニック（マニュアルモード付）前進無段 後退１速				リニアトロニック（マニュアルモード付　注５）前進無段 後退１速	
変速比（第１速～第７速）	3.600～0.512［マニュアルモード時　１速 3.600/２速 2.155/３速 1.516/４速 1.092/５速 0.843/６速 0.667/７速 0.557］＊				3.600～0.512［マニュアルモード時　１速 3.600/２速 2.155/３速 1.516/４速 1.092/５速 0.843/６速 0.667/７速 0.557］注５ 注６	
変速比（後退）	3.687				3.687	
減速比	3.900	3.700	3.900	3.700	4.111	3.900

注１：全高はルーフアンテナを倒した状態での数値です。ルーフレール装着車は＋45 mm となります。
注２：ルーフレール装着車は車両重量／車両総重量が＋10 kg となります。
注３：運転席＆助手席８ウェイパワーシート装着車は車両重量／車両総重量が＋10 kg となります。
注４：（　）内はオプション装着により車両重量が 1430 kg 以上となった場合の数値です。
注５：1.6i EyeSight にはマニュアルモードは搭載されません。
注６：マニュアルモード時の各変速ポジションにおける代表的な変速比です。

4.　デザイン

デザインは別報で解説しているため、本報では割愛する。

5. 外装

5.1 開発の狙い

エクステリアデザインは、機能的価値と情緒的価値を高いレベルで融合させ、「DYNAMIC × SOLID」のコンセプトを表現した。「Sporty & Advance」をキーワードに、先進性・スポーティさ・クラスを超えた質感を表現する機能、構造を織り込んだ。さらに、新型XVは「Tough & Rugged」のキーワードを加えて次世代のスバル車に相応しいエクステリアを実現した。

5.2 ヘッドランプ

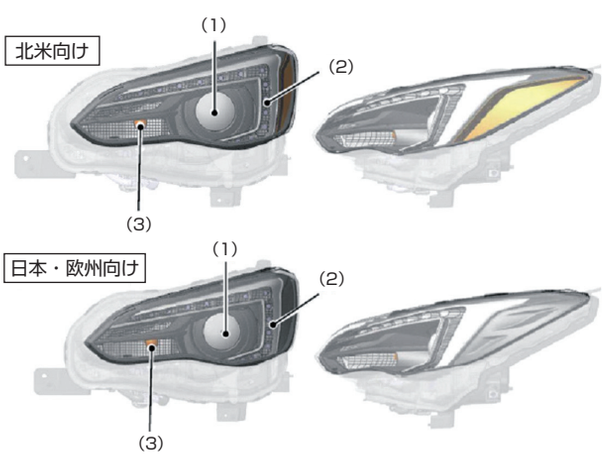
5.2.1 LEDヘッドランプ

デザインと性能を両立させながら、ランプ外径を薄型化し、さらにランプ内側を黒基調とする事でスポーティかつ先進的な印象に仕上げた。

メインランプには最先端の機能を備えた、バイファンクショナルLEDヘッドランプを採用した。LED光源は点灯してすぐに明るくなるため、トンネル進入時など、周囲が急に暗くなった状態でも、瞬時に視界を確保できる。

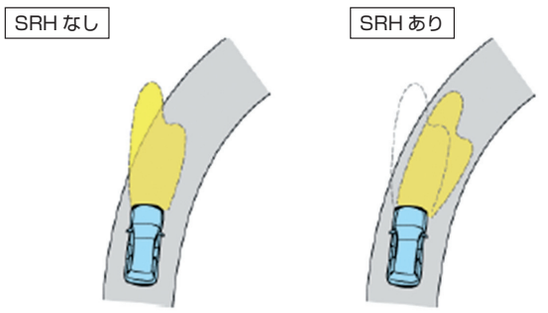
デイタイムラニングライト(DRL)にはLED光源を採用(ポジションランプと兼用)し、ハイビーム／ロービームを囲むスバル共通モチーフ(Cシェイプ)を発光させることで、昼夜を問わず周囲に先進性や存在感を印象づけることができる(図22)。

LEDヘッドランプにはSRH(Steering Responsive Headlight：ステアリング連動ヘッドランプ)を搭載した。コーナーや交差点で、ステアリング操作に合わせてヘッドランプ光軸を左右に動かすことで、車両進行方向を照射し夜間視界の向上を図った(図23)。



(1)ロービーム/ハイビーム
(2)ポジションランプ/DRL
(※DRLは北米・欧州等一部仕向けのみ)
(3)ターンランプ

図 22 LED ヘッドランプ機能レイアウト

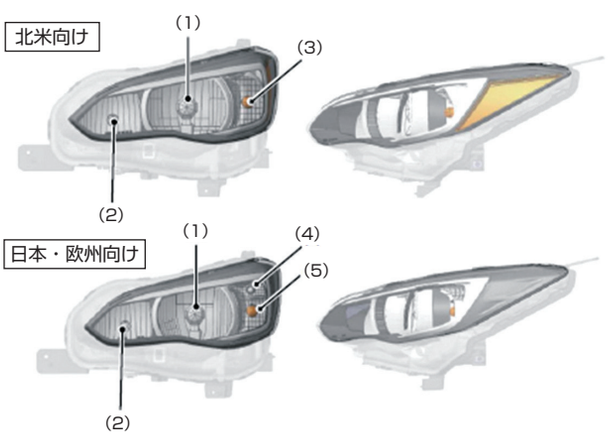


ロービーム／ハイビーム兼用のプロジェクタと組み合わせる事でハイビーム領域の照射範囲も拡大することができる。

図 23 SRH 作動イメージ

5.2.2 ハロゲンヘッドランプ

LED ヘッドランプと同様に、薄くシャープな形状とし、また、スバル共通モチーフ(Cシェイプ)でヘッドランプを囲み、スバル車とすぐわかる特徴的なデザインとした(図24)。



(1)ロービーム
(2)ハイビーム
(3)ターンランプ／ポジションランプ
(4)ポジションランプ
(5)ターンランプ

図 24 ハロゲンヘッドランプ機能レイアウト

5.3 リヤコンビランプ、フィニッシャーランプ

フィニッシャーランプを採用し、バックランプをフィニッシャーランプに設定することで、リヤコンビランプの幅を狭小化。荷室開口幅が拡大でき、実用性も向上させた。

テールランプからフィニッシャーランプにかけてスバル共通モチーフであるC シェイプを取り入れ、ヘッドランプ同様にスバルブランドの統一感ある外観を表現した。また、クリスタル調のカットを用いて宝石のような上質さを表現した。

車両の後端角部に位置するリヤコンビランプは、アウターレンズの角部に凸形状を設定する事で、空力性能を向上させた(図25)。

図 25　リヤコンビランプの空力性能向上形状
（図は 5 ドア、XV モデル）

フィニッシャーランプには、バックランプと共にリヤフォグランプを内蔵させ、すっきりとしたリヤ廻り外観を表現した(5ドア、セダンモデル)。

XV モデルはリヤフォグランプをバンパー両端に配置させ、リヤバンパーデザインと共に力強さを表現した(図26)。

図 26　XV モデルのリヤビューイメージ

5.4　フロントバンパー

ノーズコーンバンパーを採用することで、フード前端位置の後退が可能となり、スポーティなデザインと軽衝突性能、歩行者保護性能を高次元で融合させた(図27)。

低比重材の採用により軽量化を図ると共に、フォグカバー部に幾何学テクスチャーを採用して質感向上を図った(5D・セダンモデル)。

XV モデルには、ボディをプロテクトし、ラギッドさを強めたクラッディングを採用した。ブラックアウト部には幾何学テクスチャーを採用し、力強さのなかにも上質感を与えた。

また、バンパーブラケットの剛性を向上させ、バンパーとフェンダーとの組み付け精度の向上を図った。

5.5　フロントグリル

フロントグリルには､ヘキサゴンモチーフを採用し、グリルからヘッドランプまで連続する横バーによって､躍動感を表現しワイド&ローをさらに際立たせた。

XV モデルは、外周枠に幾何学テクスチャーを施す事でバンパーのテクスチャーとの一体感と共に「プロテクト感」を表現した。これにより本格SUVらしさ、およびタフさを演出し、Fun Adventure を体現したデザインとした(図28)。

図 27　フロントバンパーイメージ

図 28　フロントグリルイメージ

5.6.　フロントウィンドウシールド

現行OUTBACKでも採用しているヒドゥンモールを新型インプレッサ、XVでも採用し、モールがガラス表面より出っ張らず、すっきりとした外観とした(図29)。

また、遮音中間膜を採用し、走行時の風切音や4kHz付近の耳障りな騒音低減を図った(日本、北米、ロシア向け)。

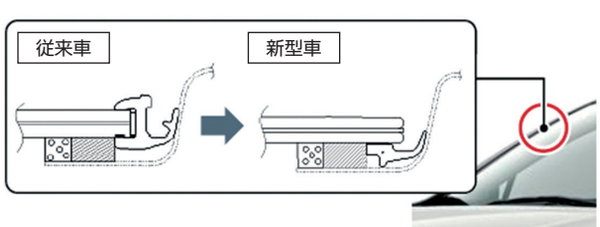


図 29　フロントウィンドウシールドモール断面

5.7　フロントワイパー

フラットブレードを初採用する事で薄型化を図り、前方視界の邪魔感を排除するとともに意匠性を向上させた(図30)。

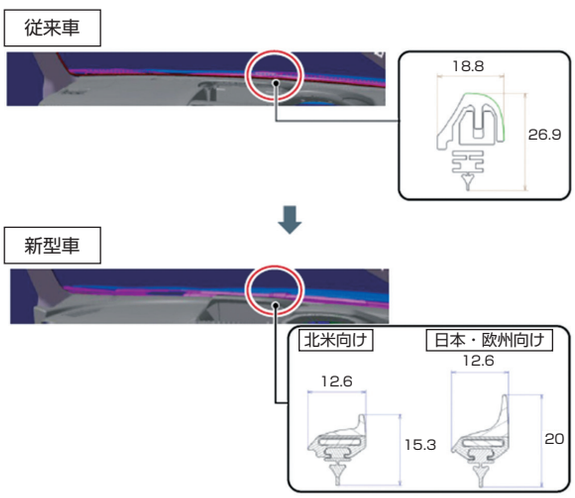


図 30　フロントワイパー断面

また、ウェットワイパー付き仕様では、ノズルを新規設計し、従来品より小型化を図り意匠性を向上させた(北米・欧州向け)(図31)。

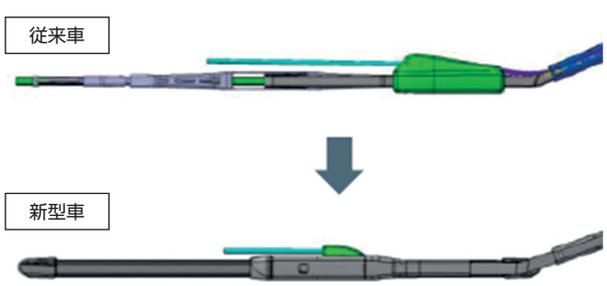


図 31　ウェットワイパー形状

5.8　カウルパネル

カウルパネルサイドの形状を見直し、Aピラー付け根付近の風の流れをスムーズ化し、風切音の低減を図った(図32)。

日本向けについてはカウルパネルの内部に歩行者保護エアバッグを搭載し、エアバッグ展開可能な構造を採用した。

5.9　アクティブグリルシャッター（AGS）

走行時に、状況に応じてシャッターを閉める事で、エンジン房内から床下に向けた排出される空気を減らし、空力性能向上による燃費性能向上を図った(図33)。

現行LEGACY、XV HYBRID(北米向け)に対して形状を見直し、約10%の軽量化を図った(北米、豪州、欧州一般向け)。

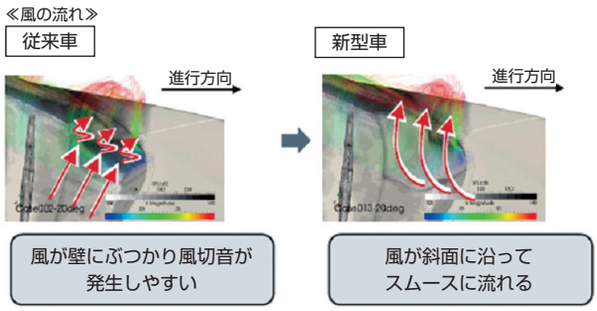


図 32　風切り音改善イメージ（カウルパネル部）

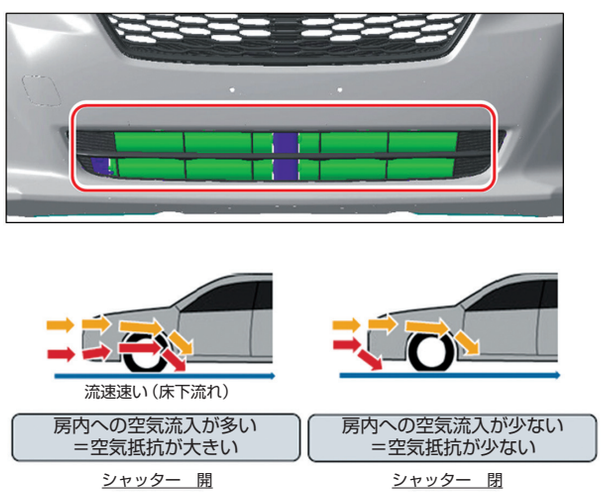


図 33　AGS 動作イメージ

5.10　ドア構造

5.10.1　ドア、パワーウィンドゥ

運転席、助手席のパワーウィンドウにオート開閉機能を採用すると共に、スバルとして初採用である速度制御機能を追加した。これによりガラス閉め切り時の昇降スピードを低速にし、耳障りな音の低減を図った。

シーリングパーツの断面変更およびガラス板厚を変更する事で静粛性を向上させた。

また、ドアビーム構造の最適化により、室内空間の拡大と側突性能の両立を図った。

5.10.2　2次外観

スバルでは、車両を見た時にすぐにお客様の目に入るエクステリアやインテリアを1次外観、ドアやフー

ドなどを開けた時に初めて見える部分を2次外観として定義している。

新型インプレッサ、XVでは随所にこの2次外観改善に取り組み、スバルらしいデザインの体現と質感向上に取り組んだ。以下に、具体的な留意点を記載する。

【設計留意点】
1. 形状における不要な線の排除
2. 形状の曲率連続性を追求し、違和感を与えない
3. 周辺部品、形状との一体感／一定感の追求

新型インプレッサ、XVでは、合計82箇所もの2次外観向上を追求し実現した。例えばドアを開けた時に目に入る部位ドア内側や、車体の面変化やビード形状をスムーズ化する事で2次外観の向上を図った（図34、35）。

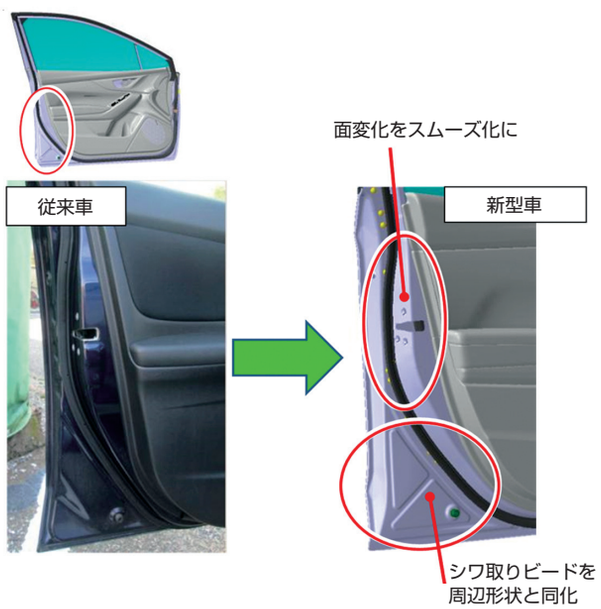


図34　フロントドアの2次外観向上

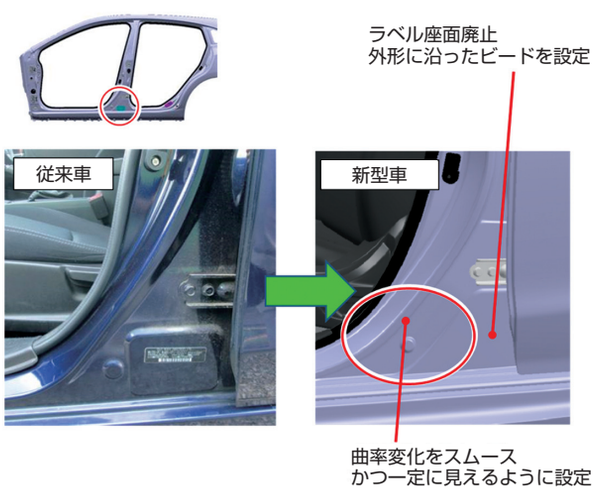


図35　ドア開口部の2次外観向上

5.11　リヤビューミラー

ミラーボディとサイドターンランプのデザインを刷新し、空力および静粛性の向上を図った。また、モーター作動音の静粛性向上を図った。

サイドターンランプには導光タイプのLEDターンランプを採用し、視認性および質感を向上させた（図36）。

図36　リヤビューミラーイメージ

また、後側方警戒支援システムのインジケータ位置を、従来の鏡面からリヤビューミラーボディの内側へ移動した。これにより後方確認時の視線移動を抑えると共に、鏡面は鏡面としての役割に特化させた（図37）。

図37　後側方インジケータ配置

5.12　ルーフレール

アルミ押し出し材の前後一体曲げ成形により、シンプルかつスタイリッシュなデザインのルーフレールを設定した（北米向け5Dモデル、XVモデル）（図38）。

キャリア設定範囲を従来比約15%拡大する事で、使い易さも向上させた。

前面投影面積を従来比約40%縮小し、空力性能（Cd値）で約0.4%向上を図った。

図 38　ルーフレールイメージ

5.13　リヤスポイラー

5.13.1　ルーフスポイラー（5 ドア、XV モデル）

空力性能、視界性能、スタイリングを並立させた樹脂製ルーフスポイラーを開発した(図39)。

大型の翼端板を組み合わせる事で、空力性能(Cd値)で従来比約2%の向上を図った。また、翼端板によりリヤゲートガラス面積を減らし、軽量化への配慮も取り入れた。

ルーフスポイラー本体は、薄型化等の複雑な形状を成立させるために上下分割構造とし、振動溶着工法を採用する事で、構造合理化を図った。

図 39　ルーフスポイラーイメージ

5.13.2　トランクスポイラー（米国セダンモデル）

よりスポーティさを際立たせるために、大型のトランクスポイラーを採用した(図40)。

大型ながらも、ウィング断面を薄型化およびレッグ部とのつなぎ部分を最小化する事で、視界性能とデザインを両立させた。

図 40　トランクスポイラーイメージ

5.14　リヤバンパー

バンパー側面にフィン形状を採用し、空力性能とデザインを両立させた造形とした。バンパー下面は車体との連続形状とし、タイヤ後方は空力用の大型カバーを採用することで空力性能の向上を図った(図41)。

フロントバンパー同様に、板厚低減とともに低比重材を用いて軽量化を図った。

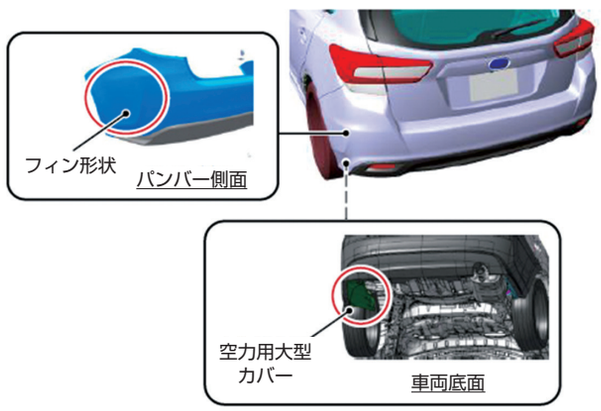


図 41　リヤバンパーの空力向上（図は 5D モデル）

5.15　クラッディング(XV モデル)

フェンダー、サイドシル、リヤクォーターにブラックのクラッディングを採用し、「Tough & Rugged」を感じさせるデザインとした。

バンパー同様に幾何学テクスチャーのクラッディングを施し、XV ならではの力強さを表現した(図42)。

また、発泡成形工法を採用することで従来比約33%の軽量化を図った。

図 42　クラッディングの幾何学テクスチャー

6.　内装

6.1　開発の狙い

“大胆なデザイン”と“クラスを超えた質感”の融合を開発テーマとし、ドアを開けたその瞬間から心奪われるダイナミックなデザインと、いざコックピットに身を委ねると、機能的で1クラス上の上質感を 感じられる内装を目指した。

従来型の強みであった「安全」「実用」は守りつつ、デザイン・質感を新たな価値として付与し、“安心と愉しさ”を一気に高めた(図43)。

図 43　5D & SDN インテリア（北米）

XVには、オレンジステッチや専用シート表皮によるアクセントカラーを加えることで、XVならではの遊び心やワクワク感を表現した。

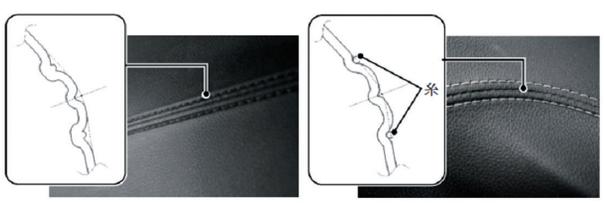
6.2　インパネ

ダイナミックな造形に、金属調パーツやステッチなどを採用し、上質感を高めた。 構造と寸法精度を一から見直し、緻密な建付けも実現した(図44)。

図 44　インパネ

6.2.1　インパネステッチ

当社初のインパネステッチは、断面形状にまで徹底的に拘り、本物感を追及した(図45)。



ダミーステッチ　　リアルステッチ

図 45　インパネステッチ

6.2.2　インパネ加飾パネル

金属やカーボンなどのテクスチャーを採用し、室内全体を演出した。

6.2.3　緻密に造りこまれたベントグリル

目を惹く印象的な形状で、かつ、操作性や配風性に優れたベントグリルを開発した。

6.2.4　振騒性能の向上

走行中、ステアリングに不快な振動を感じさせないよう、ステアリングサポートビームの剛性を高めた。

6.3　センターコンソール

コンソールをワイド化し、1セグメント上の充実感を表現。パーキングブレーキは、市場ニーズに合わせて、電動パーキングブレーキ仕様(北米以外)とハンドブレーキ仕様(北米向け)を準備した。

6.3.1　アームレストのソフト化

厚みのあるウレタンを用い、触感を向上させた。

6.3.2　シートヒータ位置変更による実用性向上

スイッチ位置をアクセスしやすい車両前方に移動し、使い勝手を向上した。

6.3.3　並列カップホルダー（電動パーキング仕様）

カップホルダーの並列化を実現し、使い勝手を向上(図46)。

図 46　カップホルダー（電動パーキング仕様）

6.3.4　コンソール表皮付き加飾

一部グレードには、手や膝が触れる箇所に、ステッチ付きの表皮を採用。実用性と触感の双方を高めた(図47)。

図 47　コンソールソフトパッド

6.4　シート

フロント、リヤ共に立体感のある機能的なデザインとするとともに、シート内部構造も刷新して、座り心地・居住性・安全性等を向上させた(図48、49)。

図 48　フロントシート

図 49　リヤシート

6.4.1　フロントシート

(1) しっかりと身体と支えるシートバック

・ランバー部にプレートを追加(図50)。

・形状を見直し、サポート性を向上。

(2) 座り心地を高めたシートクッション

・サイドウォールに、ワイヤーをインサート成形し、サポート性を高めた(図50)。

・座り心地と軽量化を両立し新素材を採用した。

(3) 調整機構の拡大

前後スライド量を20 mm増やし、利便性を向上した。

(4) 後席居住性の向上

プラットフォーム刷新の機に、シートレールピッチを拡幅させ、後席乗員の足元スペースを拡大させた(図51)。

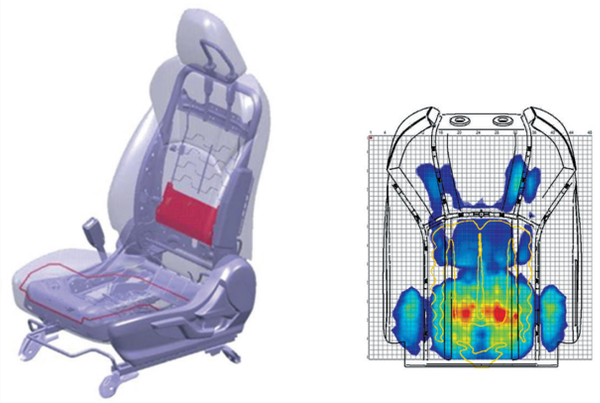


図 50　フロントシートの構造

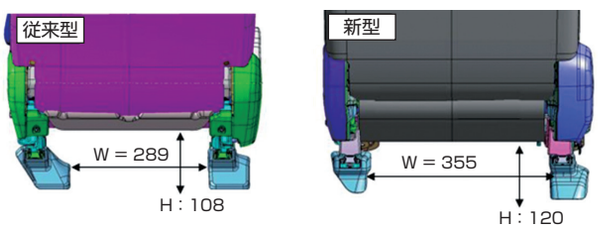


図 51　サイドレールの寸法

6.4.2　リヤシート

(1) チャイルドシート搭載性向上

・ロアアンカ位置を見直し、チャイルドシートの取り付け易さを高めた(図52)。

北米向けでは、2017年IIHS評価でSmall carsでは唯一のGood＋を獲得した。

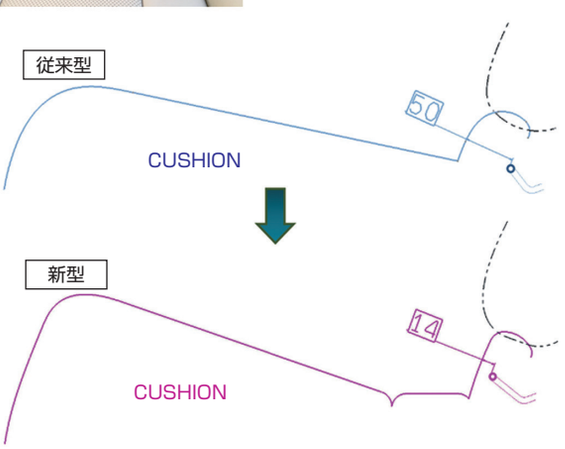


図 52　ロアーアンカーの寸法

・国内・欧州向けには、樹脂タイプのアンカーカバーを採用。従来型に対しキャップ構造を見直し、利便性を高めた(図53)。

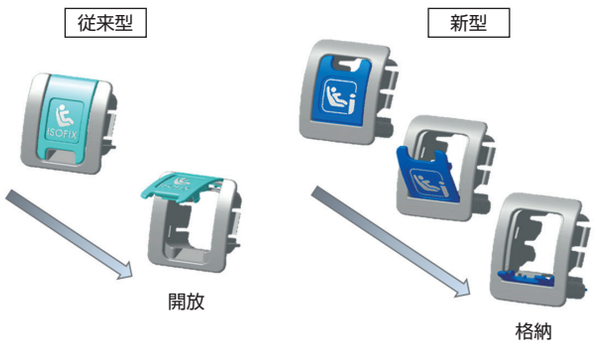


図 53　ロアーアンカーカバー

(2) シートベルトリマインダの進化

国内・欧州向けには、全ての方にシートベルトの装着を確実に促すため、後部3座席全てに着座センサー式のシートベルトリマインダシステムを採用した（図54)。

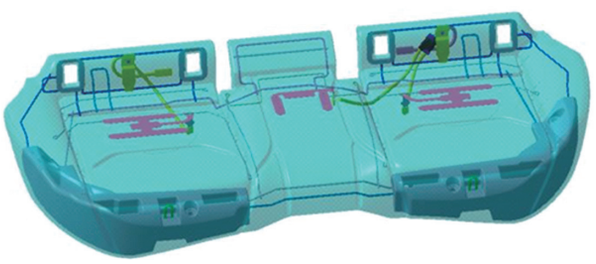


図 54　リヤシートの着座センサー

(3) 可倒時の質感向上

可倒機構は、シンプルで使い易い従来型を踏襲。可倒時の左右フラット感を改善した(図55)。

図 55　リヤシート可倒状態

6.5 空調

静かで、効き味のよい空調システムを新開発した(図56)。

尚、別報にて解説しているため、本報での詳細解説は割愛する。

図 56　空調パネル

6.6　トリム

加飾の使い方や素材の見直し、建付けの改善を積み重ねて質感を高めた。インパネからドアトリムでは、流れる様な連続造形を実現し、上質感を表現した。

6.6.1　ドアトリム

(1) インパネとドアトリムの連続造形(図57)

連続造形を実現させるために、部品の構造・公差を一から見直し、従来比で約30%の精度向上を図った。

図 57　連続造形

(2) インナーリモートとドアトリム加飾

使いやすさと上質感を兼ね備えたデザインを採用。周囲のオーナメント加飾にはリアルな素材感のカーボン調のテクスチャーで演出した(図58)。

図 58　インナーリモートとオーナメント

(3) アームレストのソフト化

コンソールと同様に、厚みのあるウレタンを採用し、触感を改善させた(図59)。

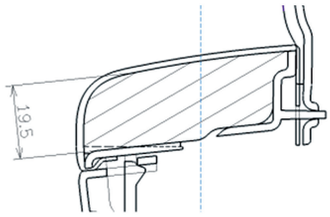


図 59　アームレスト断面

(4) パワーウィンドウスイッチの刷新

リモコンミラースイッチとの一体造形を実現させ、デザイン性と操作性を両立させたパワーウィンドウスイッチを刷新した(図60)。

図 60　パワーウィンドウスイッチ

6.6.2　ルーフ周り

ルーフトリムには、見映えの良いトリコット素材を採用。裏面にラミネートウレタンを設定し、触感も高めた。

6.6.3　フロアマット

裏面素材と工法を見直し、車両の隅々にまで吸音層を敷き詰めることで、車両全体の静粛性を高めた(図61)。

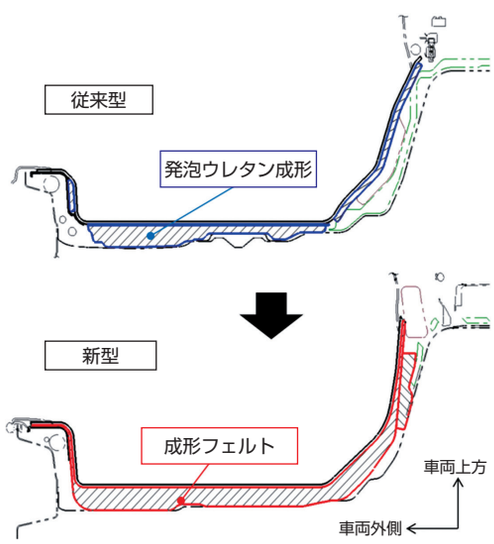


図 61　フロアマットの吸音層

6.6.4　荷室トリム

使い勝手の良い荷室を実現するため、車体とトリムの関係を限界まで追い込み、空間を拡大した(図62、64)。部分的に幾何学のテクスチャーを施し、見映え向上も図った(図63)。

図 62　ラゲッジスペース (5D)

図 63　幾何学テクスチャー

図 64　トランクスペース (SDN)

6.7　ステアリング・シフト

握り心地の良いステアリングホイールとシフトレバーを開発。操作するたびに運転する愉しさが味わえる上質なフィーリングを実現した。

6.7.1　ステアリングホイール

従来型に対して小径化(直径375 mm→直径370 mm)。さらに断面形状を最適化して、握り心地を向上した(図65)。

6.7.2　ステアリングスイッチ

必要な機能を集約し、ダイレクトで素早い操作ができる新レイアウトを採用。MFD コンテンツの表示切り替えスイッチは、従来のセンターパネルからステア

リングに変更。ステアリングから手を離さずに操作できるようにした(図66)。

図65　ステアリングホイール

図66　ステアリングスイッチ

6.7.3　シフトレバー

握り心地の良い新デザインのシフトノブを開発した。上級グレードには、シフトブーツ＋ピアノブラック調加飾を採用し、上質感を際立たせた(図67).

図67　シフトレバー

7.　インフォテイメント

7.1　開発の狙い

Fun to Driveを盛り上げ、乗る人すべてに愉しさを提供し、ストレスを感じさせない快適で使い易い室内空間を実現させるインフォテイメントを進化させた。

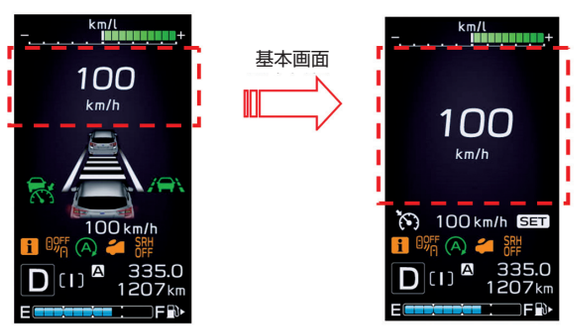
実現に向けては、直感的に理解・操作できるGUI(Graphical User Interface)やHMI(Human Machine Interface)を採用し、操作系はもちろん、

表示系や収納系など室内の装備のすべてに対して見易さと使い易さを徹底追及した。

7.2　コンビメータ

凹凸のないシームレスなパネル形状により上質感を表現。文字盤や指針などのディテールを造り込み、精緻感あるデザインとした(図68)。メータパネル中央には4.2インチのカラー液晶ディスプレイを採用し、車両の様々な情報を表示して快適なドライブをサポートする。アイサイトメインON時とOFF時、もしくはクルーズコントローズ時で表示エリアのサイズを自動で切り替え、走行状況に応じた最適な形で情報を提供する(図69)。

図68　コンビメータ



アイサイトメインON時　　アイサイトメインON以外

図69　コンビメータディスプレイ

7.3　マルチファンクションディスプレイ(MFD)

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、インパネ中央上部に6.3インチのカラー液晶ディスプレイを搭載し、アイサイト画面などSUBARUらしいコンテンツを多数用意した(図70)。

また“必要なときに必要な情報を提供する”をコンセプトとしてコンビメータ、オーディオ・ナビゲーション(日本向けはディーラーOPビルトインナビ)との連携機能を強化した。

操作は画面送りのみのシンプルな操作スイッチをステアリングに設定。ステアリングにあることで、運転していても安全に操作を行うことが可能となる。

図 70　マルチファンクションディスプレイ

7.4.　オーディオ・ナビゲーション

7.4.1　オーディオ・ナビゲーション(海外向け)

8インチ大画面液晶を採用し、スマホライクな使い勝手を追求したGUIとハードボタンにより先進感を演出。アクリルパネルとNormally Black 液晶によるシームレスデザインで高級感を表現(図71)。

今回のGen.3システムではメインマーケットである北米を軸に、次の項目に着目して開発を行った。

・スマートフォン連携のコネクティビティ強化(図72)
・お客さまのユースケースを考えたGUI
・先進感と使い勝手を融合したデザイン
・周辺部品との連携強化
・最新のもので構成されたハードウェア

GUIの詳細については、別報にて解説しているため、本報では割愛する。

図 71　オーディオ・ナビゲーションシステム

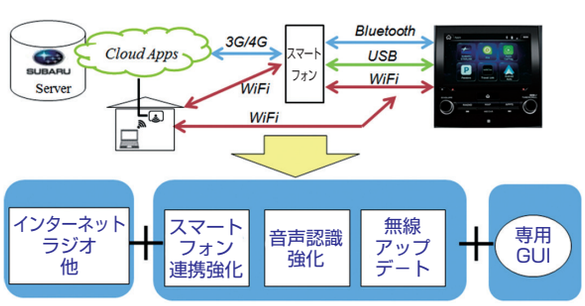


図 72　スマートフォン コネクティビティ

7.4.2　ナビゲーション(国内向け、ディーラー OP)

インプレッサ／XV向けに、インプレッサのインテリアデザインに溶け込むピアノブラック＆クリアパネルを採用したビルトインナビを専用開発した(Panasonic製、図73)。

図 73　パナソニック ビルトインナビゲーションシステム

(1) 操作性・視認性
・8インチ大型液晶採用＆MFD連携機能を搭載(図74)
・操作性の高い前面CD/DVDスロット＆ロータリースイッチ搭載
・車両ステアリングスイッチやイルミコントロール機能等、車両装備品との連携機能を強化

(2) ナビ機能・拡張性
・VICS WIDE、準天頂衛星「みちびき」に対応
・ETC2.0、外部入力ユニット(HDMI/USB/RCA)にオプション対応

(3) 快適な室内空間提供
・ナノイー発生機を搭載
・ハイレゾネイティブ再生に対応
・インプレッサ／XV専用 高音質回路搭載

図 74　MFD－ナビリンクイメージ

7.5　サウンドシステム

7.5.1　サウンドシステム標準スピーカ及びharman/kardonプレミアムオーディオ

標準スピーカとして4スピーカシステムと6スピーカシステムを設定。従来よりも耐入力を高め、大音量での歪み感を低減。より高能率でフラットな周波数特性を実現した。

北米仕様車では、ハイパフォーマンススピーカとハイパワーの外部アンプから構成される高機能harman/kardonプレミアムオーディオをインプレッサ／XVとして初採用。原音を忠実に、重低音をダイナミックに再現させながら、車速情報を基に周波数特性をコントロールする。harman/kardon専門の音響エンジニアと共同での車室内音響の設計によって、標準スピーカとは一線を画す上質な音場空間を実現させた（**図75**）。

図75　harman/kardonプレミアムオーディオ（北米）

7.5.2　サウンドシステム（国内向け用品）

前述のビルトインナビ搭載の音響回路の性能向上とあわせ、音の出口であるスピーカも専用開発（**図76**）。サウンドシステム全体の性能向上を図った。

図76　パナソニック スピーカシステム（フロント）

（1）材質・製品特徴

ドアウーファーのコーン部には、竹繊維・竹炭・竹プラントオパールを活用したハイブリッド材を使用し、環境性能にも配慮。ツイーター部にも竹ナノファイバーコーティングを施すことで、低音～超高音域に渡りフラットで統一感のある音響特性を実現した。

（2）専用チューニング

スタジオレコーディングのプロ集団である「ミキサーズ・ラボ」監修の元、ナビゲーション側のハードウェア面の性能向上を最大限に生かす、専用音響チューニングを実施（**図77**）。

図77　TAKUMI SOUNDイメージ

8.　安全装備

8.1　エアバッグ

国産初の歩行者保護エアバッグ（**図78**）と、7つの乗員保護用である、デュアルSRSエアバッグ、運転席SRSニーエアバッグ、SRSサイドエアバッグ＋SRSカーテンエアバッグを標準装備（国内仕様）。トップクラスの乗員保護性能を実現した。

歩行者保護エアバッグ詳細については、別報にて解説しているため、本報では割愛する。

図78　歩行者保護エアバッグ

8.2　アイサイト

今回、アイサイトを2WD車にも拡大展開。国内では全グレードアイサイト標準装備とした。さらにACC（全車速追従機能付クルーズコントロール）の進化、インプレッサ／XVとして初となる車線中央維持機能の採用などにより安全性能をさらに進化させた。

8.2.1　ACCの進化

(1) ACCの加速特性を4つのモードから選択可能とし、走行状態やドライバーの好みにあわせてカスタマイズできるようにした(図79)。

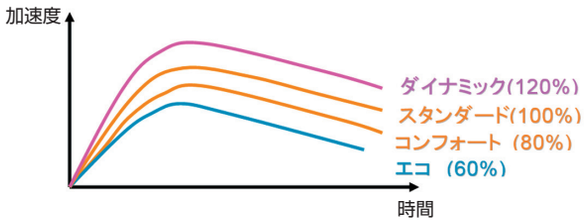


図 79　加速特性選択

(2) 停止中にブレーキを踏んでいる状態でSET（作動開始）できるようにして、ACCの作動開始をスムーズに行えるようにした(北米仕様除く)

(3) ACCセット中のアイコン表示色を変更してセット状態を把握しやすくした。

(4) 国内仕様では全車にEPB（電動パーキングブレーキ）を採用して、追従走行時の停止保持を可能とした。

8.2.2　車線中央維持機能の進化

(1) インプレッサ／XVとして「車線中央維持」機能を初採用。高速道路などでの走行時、ステレオカメラで走行車線両側の区画線を認識して車両が中央を維持して走行するようにステアリング操作をアシストする。

(2) 他車系の車線中央維持機能に対して、より曲率の大きいカーブ(図80)や横断勾配がある道路(図81)でも、しっかりと中央維持ができるようにした。

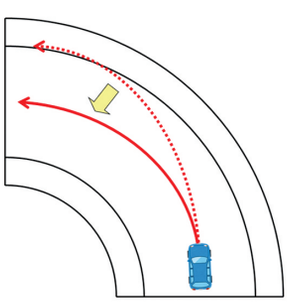


図 80　曲率の大きいカーブ

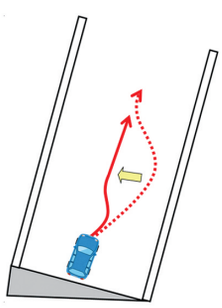


図 81　横断勾配

8.3　後側方警戒支援システム

車両後方に取り付けたレーダーセンサーにより、後側方の車両などを検知。後側方車両に対する注意喚起・警報を、ドアミラーのLEDインジケータ、またはメータからの警報音で行い、お客様の安心且つ愉しいドライブをサポートする(図82 ①〜③)。

① BSD（Blind Spot Detection：死角検知）
Dピラー等の死角に存在する車両を検知

② LCA（Lane Change Assist：車線変更支援）
車線変更時の接近車両を検知

③ RCTA（Rear Cross Traffic Alert：後退時支援）
後退時の接近車両を検知

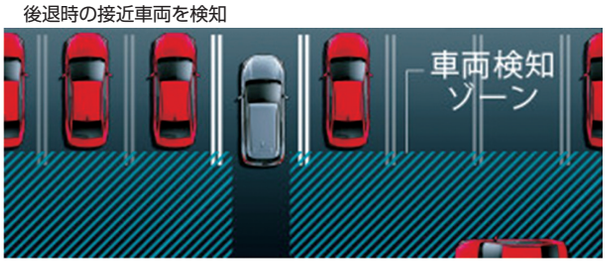


図 82　スバル後側方車両検知

8.4　後退時自動ブレーキシステム(北米仕様)

車両後退時の安心・安全をサポートする運転新システム。後退時、リヤバンパーに装着した4つのソナーセンサーが障害物を検知。衝突の可能性がある場合、警報でドライバーに注意を喚起。ブレーキ操作などドライバーにより回避操作がない場合、自動的にブレーキをかけ、衝突回避または衝突による被害軽減を図る。

このシステムは次の2つの機能からなる(図83)。
・後方障害物警報機能・・・ 機能(1)
・後退時自動ブレーキ機能・・・ 機能(2)

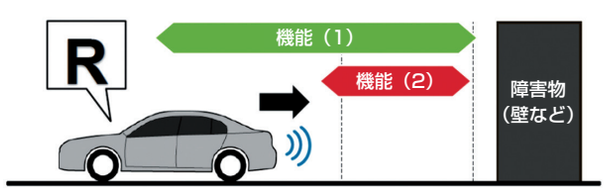


図 83　後退時自動ブレーキ

新型インプレッサ／XVはシステムの作動状態をオーディオ／ナビゲーションシステムのヘッドユニットの画面に表示する。リヤビューカメラの映像と連動するため、車両状態の把握がしやすい。

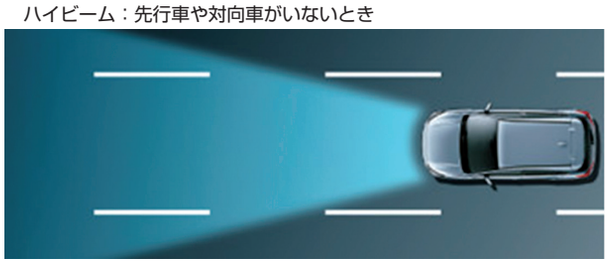
8.5　ハイビームアシスト

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（図84）。従来車と異なり、検知にはアイサイトのステレオカメラを用いる（北米、国内仕様車）。

本システムを採用することにより、アイサイトの歩行者・障害物認識性の向上も見込まれる。

＜作動イメージ＞

ハイビーム：先行車や対向車がいないとき



ロービーム：先行車や対向車がいるとき

図 84　ハイビームアシスト

8.6　歪式乗員検知センサー（助手席）

シートを介してセンサーに加わる荷重を測定することで乗員の体重を算出。体重から体格を読み取り、衝突時のシートベルトのエネルギー吸収荷重＆エアバッグ展開を最適に調整する（図85）。

図 85　乗員検知システム

8.7　アダプティブベルト

運転席のシートポジション検知センサーと助手席の歪式乗員検知センサーで乗員の体格を判定。体格に応じた最適なエネルギー吸収荷重を選択するアダプティブ機能を採用（図86）。

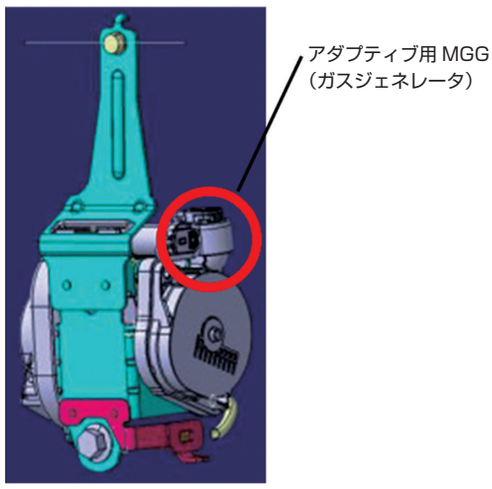


図 86　アダプティブベルト

8.8　ロッキングタング

衝突時に腰部のベルトをロックし、乗員の拘束性を上げて障害値を低減するロッキングタングを採用（図87）。

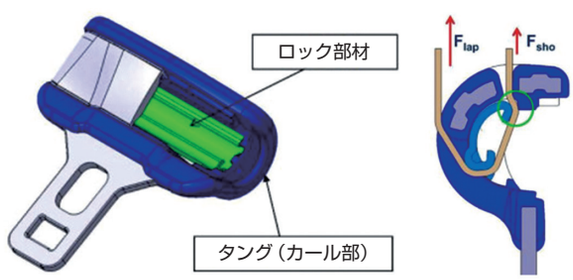


図 87　ロッキングタング

9.　パワーユニット

9.1　エンジン

9.1.1　開発の狙い

実用燃費の良さを向上させつつ、動的質感である気持ち良い走りをクラスの枠を超えたレベルまで高めるため、以下3つをコンセプトとして、FB20、FB16エンジンを刷新した。

(1) 軽快な加速感
(2) 音と加速の一体感
(3) 実感して頂ける燃費の良さ

9.1.2　2.0L 直噴 水平対向エンジン

FB20エンジンをベースに、グローバルで強化されていく環境性能に対応させつつ、軽快にストレスなく回るエンジンとするべく、燃料噴射システムの直噴化による燃焼改善を軸に、以下の技術を投入した。

(1) NVH

NVH性能は目標を欧州車に置き、エンジン本体では中周波の振動伝達音の改善に取り組んだ。特に緩加

速領域における、クランク系入力によるエンジン振動の改善を目指した。起振力低減のため、ピストン、コンロッド、クランクプーリなどの主運動系部品の軽量化と、暖機後メインジャーナルクリアランスの縮小を図った。さらに振動伝達低減のため、シリンダブロック、オイルパンアッパ等の本体構造系部品の補剛を行い、同時に剛性UPによるクランクシャフト捻じれ量減少により、マスダンパー軽量化を実現、直噴化による効果と合わせて、レスポンス向上を実現した。

また、強めの加速では、CVTの変速をオートステップ化することで、CVT特有のエンジン音が先行する形から実際の加速感との一体感を感じられるようにした。オートステップ化により、全開加速時に最高出力回転数以外も使用することになり、加速力低下の背反が生じる。これに対応するため、4000 rpm以上のエンジントルクを向上させた。

(2) エンジン出力

エンジン出力向上のため、吸気能力及びガス交換能力の向上、ノッキングの抑制を図った。吸気ダクト、インテークマニホールド、吸気ポートの形状変更による吸気系通気抵抗の低減、4-2-1排気系の採用による掃気効率向上、排気系全体の通気抵抗低減、燃料噴射システムの直噴化によるシリンダ内温度低減および燃焼室壁面の冷却、高熱伝導ピストンリングの採用、Na封入吸排気バルブの採用などによる燃焼室壁温度引下げによるノック抑制を実施した。

(3) 軽量化

NVH対応のため、変更が必要となった部品群は、エンジン全体質量の50%を超える。特に主運動系部品は水平対向エンジンにおいて機能信頼性上、最も重要な部位であり、本体構造系部品も全体質量の40%を超える。これらの部品設計に当たっては、初期形状検討に最適化解析を活用し、3.2 kgの軽量化をしつつ、高剛性化を実現した。また、4-2-1エキゾーストマニホールドの設計では、水平対向エンジン特有のレイアウト起因の熱疲労強度に対し、熱応力解析を適用することで、形状、板厚、材質を最適化、軽量化を図り、製品化した。

(4) 燃焼改善

熱効率向上に対し、高圧縮比化、クールド高EGR化により理論熱効率を高めるべく、燃焼改善を図った。特に、高回転域の出力性能と実用域である低回転域の熱効率向上の両立のため、吸気圧縮行程におけるシリンダ内ガス流動の解析を行い、圧縮行程後半にもタンブル流が残存しやすいような筒内ガス流動パターンを設計し、圧縮上死点での乱れ強さを向上させるTGV (Tumble Generation Valve)、吸気ポートのデザインを決めた。結果、全域で燃焼改善が可能となり、高圧縮比化と出力性能の両立、さらなる高EGR率化が可能となり図示熱効率の向上を実現した。

その他、グローバルでの排ガス規制対応として米国のSULEV30、欧州のEuro6c、国内のSULEVに対応した。

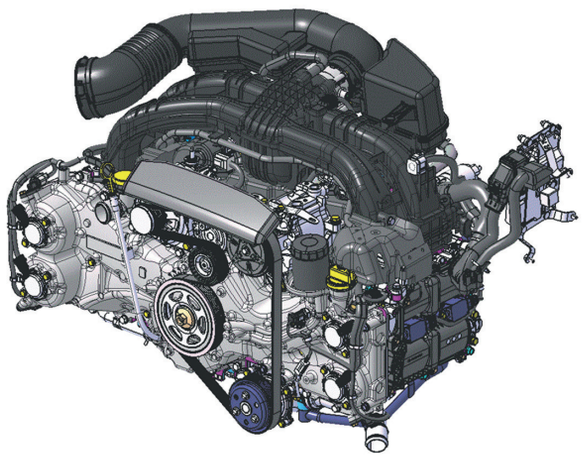


図 88　FB20 DI エンジン

9.1.3　1.6L 水平対向エンジン

2011年に採用したFB16エンジンをベースに、上述のFB20で採用した新技術の内、直噴化とジャーナルピースの採用を除く技術をFB16に最適化した上で投入した。出力性能を維持しつつ、EGRクーラーの新規採用等による環境性能向上と共に、NVHの改善と大幅な軽量化を実現した。

9.2　トランスミッション

9.2.1　開発の狙い

実用燃費の向上とドライバーの意図に気持ちよく応答する変速特性、感動レベルの動的質感を実現するため、リニアトロニックを改良し搭載した。北米仕向けに適用するマニュアルトランスミッションは、操作質感と振騒性能を向上した。AWD車用リヤデフは、低粘度オイルを採用して損失を低減した。

9.2.2　リニアトロニック

(1) 環境性能向上

中トルク用リニアトロニックを改良し全仕向けに適用した(**図89**)。燃費性能向上のため、トルクコンバータのダンパーを従来比約53%に低剛性化し、ロックアップ可能車速を低速化した。バリエータチェーンはショートピッチ化を行い、LOW側とオーバードライブ側の双方へレシオカバレージを拡大した。副変速機を持たないCVTとして最大レベルのレシオカバレージを持ち、必要な加速性能をもたせるとともに巡航時のエンジン低回転化による燃費性能向上に寄与した。フロントハイポイドギヤ部とプーリー部のオイルバッ

フル形状を最適化、リバースブレーキはフェーシング形状を変更しオイル保持性と排出性を両立し低フリクション化した。トランスミッション後部にオイルスペーサを織込み、加速や登坂時に内部のフルードが後部空間へ移動する量を抑制した。これにより油圧回路吸入口からのエア吸いを回避し、油面高さの低減を行うことで攪拌抵抗を低減した。

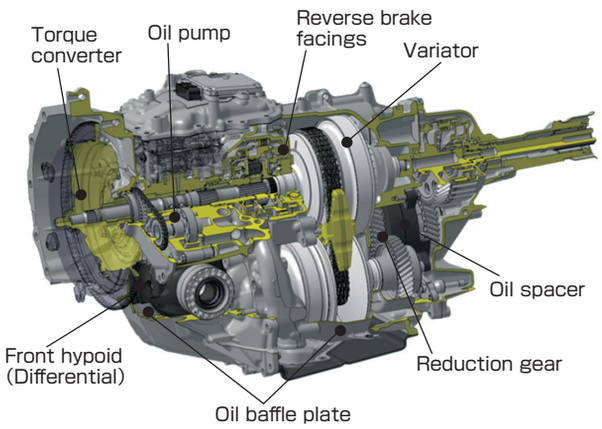


図 89　リニアトロニック

(2) 軽量化

トルクコンバータはトーラス径を小径化し、軽量化と走りの軽快感を向上した。フロントハイポイドギヤは固定方法をボルトから溶接化し軽量化と攪拌抵抗の低減を行った。ケースは最適化解析によりリブ形状と肉厚変更を行い軽量化と振騒性能を両立した。リダクションギヤは、シャフトとギヤを一体構造とし軽量化した。これらによりトランスミッション全体で約7.8 kg軽量化し、燃費への貢献と車両の運動性能向上に寄与した。

(3) 動的質感向上

①振騒性能向上

快適な走りのために振騒性能の向上を行った。バリエータチェーンのショートピッチ化とシーブ剛性の最適化にて、チェーン音性能を向上した。リダクションギヤは支持ベアリングをボールからローラへ変更し、制振用スナップリングの追加と歯形チューニングを行い、ギヤ音性能を向上した。オイルポンプは、歯形、ポート形状、ポンプハウジングを変更し、駆動増速比を下げることで高回転時の異音感を低減した。

②ドライバビリティ向上

トルクコンバータ軽量化によるイナーシャ低減で軽快感を向上し、アダプティブ制御の作動範囲を拡大して、エンジン回転上昇を抑えて早期に所定の車両加速度に到達する変速特性とし、加速質感をアップした。オートステップ変速制御を織込み、アクセル低開度時は従来通りの無段変速による滑らかな加減速特性とし、高開度時は任意のポイントから有段変速状にアップシフトを行う変速制御とし、エンジン音と加速の一体感を向上した。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段とし運転の愉しさ向上をはかった。リバースブレーキは非締結時のクリアランスを20%縮小しリバースセレクト時の応答時間を短縮した。また締結遷移時の油圧制御を変更し、セレクト操作時の動き出し加速度を早めながらショック感はおさえる特性とし、操作に対する応答性を向上した。

9.2.3　マニュアルトランスミッション

北米向け5D/SDNには5速マニュアルトランスミッションを、XVは高速走行時の快適性と最大駆動力を得るために6速マニュアルトランスミッションを搭載し、下記改良を織込んだ。

(1) 操作質感向上

ロッドフォーク(5速MT、6速MT)、アームシフター(6速MT)のディテントプロフィールを変更することでシフトチェンジ時の節度感を強め、運転操作の愉しさを向上した。

(2) 振騒性能向上(6速MT)

2ndと3rdのドリブンギヤにホーニング加工を追加することで振騒性能を改善し、快適性を向上した。

10.　スバルグローバルプラットフォーム

10.1　開発の狙い

スバルグローバルプラットフォームは10年先まで見据えたプラットフォームであり、高性能を超えた感性に響く動的質感と世界最高水準の安全性能を目指し開発を行ってきた。また今後の電動化も含めた全車種を一括企画し、一つの設計思想を共有しつつ、各車種の商品特徴に柔軟に合わせた対応を可能とするプラットフォームである(図90)。

図 90　スバルグローバルプラットフォーム

10.2　世界最高水準の「総合安全性能」

交通事故による死亡者ゼロの実現に向けて、スバルとしては安全を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、それらすべてにおい

て世界トップレベル（セグメントトップ）の総合安全性能を目指している（図91）。

これらすべての安全において世界トップレベル（セグメントトップ）を達成すべく、これまで培ってきた安全性能をさらに進化させた。ここでは、特にプラットフォームが大きく寄与する走行安全と衝突安全について紹介する。

図 91　世界最高水準の『総合安全性能』

10.2.1　走行安全（アクティブセーフティ）

走行中の不意な飛び出しや落下物などを回避する場合に車がドライバーの意思通りに素早く反応し、危険を回避できるよう走行性能を向上させている。後述の「まっすぐ走れる・思い通りに走れる」で紹介する取組みやさらなる低重心化（従来比5 mm ダウン）等により、ロールが少なく、リヤの挙動が安定した操縦安定性を実現し、高性能なスポーツモデルと同等の高い危険回避性能を実現した（図92）。

さらに最低地上高200 mmを確保したXVにおいても、他銘スポーティセダンに勝る危険回避性能を実現した（図93）。

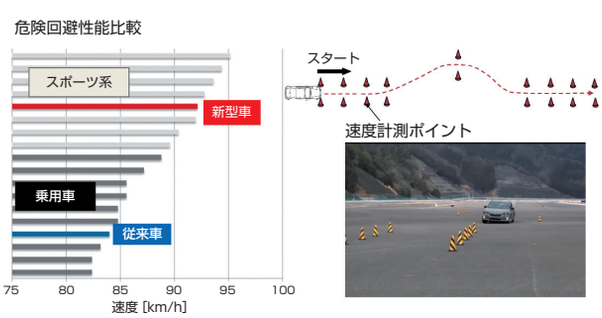


図 92　危険回避性能の向上（インプレッサ）

10.2.2　衝突安全（パッシブセーフティ）

衝突事故による死亡者ゼロに向けて、10 年先の安全性能を見据えた車づくりを行っている。実際に起こっている死亡事故を想定し、よりシビアな衝突、さまざまな方向からの衝突に対して安全を確保できる性能開発を行っている。その結果が各国アセスメントでの評価につながっている（図94）。

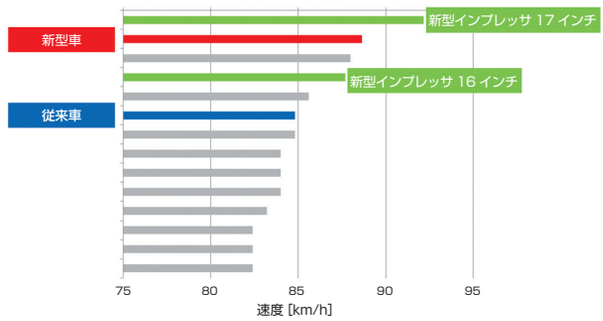


図 93　危険回避性能の向上（XV）

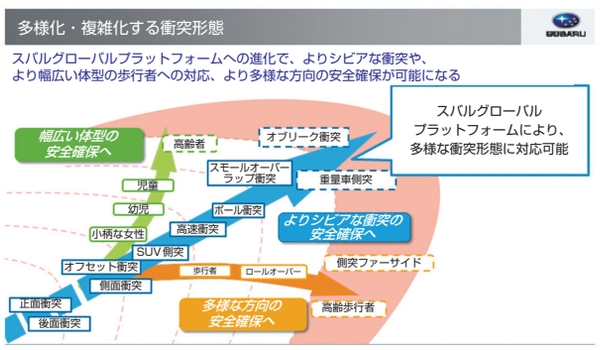


図 94　多様な衝突形態への対応

リアルワールドで起こるさまざま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し、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ように開発した（図95）。

（従来比1.4倍の衝突エネルギーにも対応し，衝突安全性能をさらに高めている。）

衝突吸収エネルギーを従来車比 40% 増

さらに、2025 年までの衝突安全性能を見据える

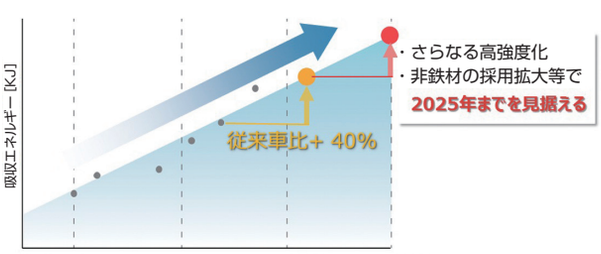


図 95　車体強度向上

10.3　感動レベルの動的質感

スバルとして乗る人すべてに最高の「安心と愉しさ」を提供するため、乗っていて「すべての動作がスムーズで本当に気持ちが良い」「このクルマとずっと走っていたい」と感じていただけることを目指している。このようにスペックで表現される性能だけでなく、感性に響く質感を「動的質感」として開発している。

具体的には下記の三つに関して指標を設定し開発した。

・まっすぐ走れる・思い通りに走れる
・不快な振動騒音がない
・快適な乗り心地

これら三つの動的質感について、目指したこととその実現のために採用した技術を紹介する。

10.3.1　まっすぐ走れる・思い通りに走れる

通常、走行時の多くは直進している状態であり、ハンドル角としては5°以下の時間が大半を占めている。その直進時に不必要なハンドル操作をせずともまっすぐ走ることでドライバーは気持ち良く感じ、疲労も低減することができる（図96）。また、カーブを曲がる際にはハンドル操作に対して遅れなくハンドルを切っただけ車両が旋回することでクルマの動きがスムーズで気持ち良く思い通りに走れると感じることができる（図97）。これにより安心して長時間運転することができ、かつ愉しく運転することができる。

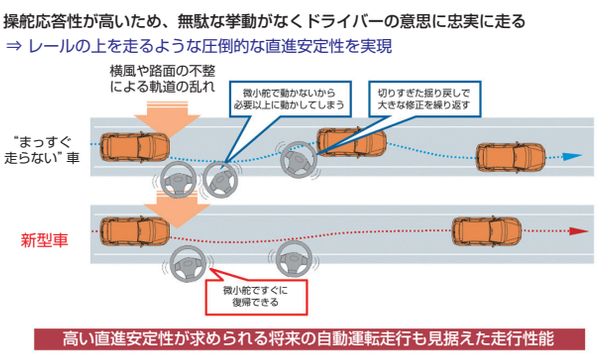


図 96　『まっすぐ走れる』の狙い

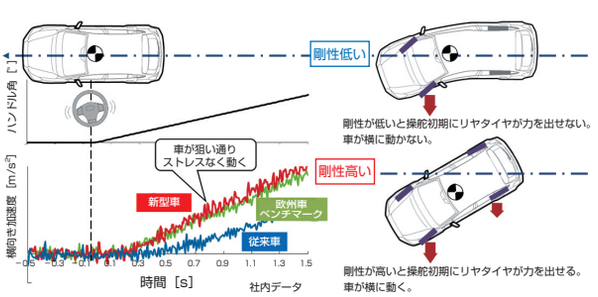


図 97　『思い通りに走れる』の狙いと車体剛性

10.3.2　不快な振動騒音がない

走行時に乗員は直接体が触れているシート・フロア・ステアリングなどからさまざまなことを感じている。

手・足・尻・背中の触覚で感じている情報の中でも運転する上で必要なインフォメーションはしっかりドライバーに伝えつつ、不快な振動や騒音は遮断する必要がある。そのためシート・フロア・ステアリングの振動の中でも人が不快だと感じる周波数を特定し、その周波数帯の振動を抑制することで不快な振動のみを低減した（図98）。

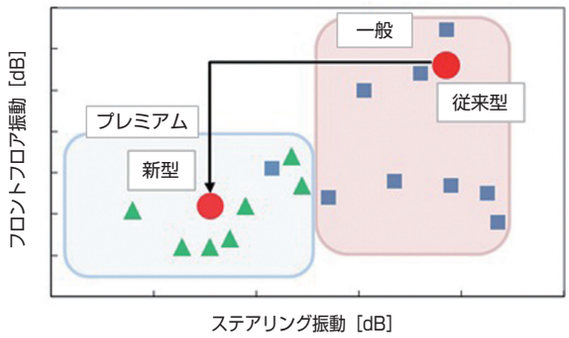


図 98　フロア・ステアリング振動レベル

10.3.3　快適な乗り心地

優れた運動性能を実現させても、突起乗り越しでの突き上げや路面の凹凸によるボディの揺れが大きいと、快適に長時間運転することは難しい。そこで重要なのが、不快な衝撃や振動、揺れは抑制しつつ、危険回避や高速コーナーでは車両挙動が乱れず安定した走行が可能な運動性能と快適な乗り心地を高い次元で両立させたことである（図99）。

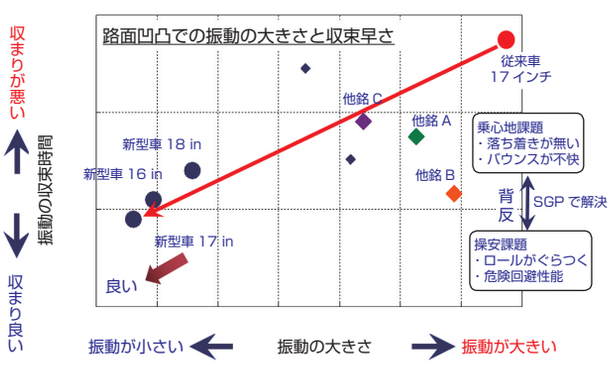


図 99　振動の大きさと収束早さ

11.　まとめ

新型インプレッサは発売以来、各市場において目標を上回る販売を続けており、スバルとしては13年ぶりの日本カー・オブ・ザ・イヤーを受賞、さらにJNCAP大賞、特別賞を受賞することもできた。今後も多くのお客様にご満足いただけると確信している。最後に関係各位のご尽力に対し、深く感謝し、紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

【著　者】

SUBARU IMPREZA
開発プロジェクトチーム

［スバル商品企画本部］	阿部　一博
	井上　正彦
	藤枝 健一郎
	豊崎　恵三
	水元　恭史
［外装設計部］	高山　圭介
［内装設計部］	岡本　一樹
［電子商品設計部］	柄澤　英之
［用品開発部］	田中　大徳
［エンジン設計部］	関　　竜達
［トランスミッション設計部］	長屋　浩之
［車体設計部］	中島　　篤
［シャシー設計部］	井本　昌志
［電子プラットフォーム設計部］	吉積　輝和

スバル新型インプレッサSPORT/G4が「2016－2017日本カー・オブ・ザ・イヤー」を受賞
～ 2003年レガシィ以来 13年ぶり２度目の受賞～

2016年12月

日本カー・オブ・ザ・イヤー実行委員会が主催する「2016－2017日本カー・オブ・ザ・イヤー」を 新型「インプレッサSPORT/G4」が受賞。スバルの受賞は2003年のレガシイ以来13年ぶり２度目。

新型「インプレツサSPORT/G4」は、お客様に最高の「安心と愉しさ」を提供する事を目指し、次世代プラットフォーム“SUBARU GLOBAL PLATFORM”をはじめとした様々な新技術を投入。国産初となる歩行者保護エアバッグを標準装備し、「総合安全」と「動的質感・静的質感」の大幅向上を実現したモデルです。

新型インプレッサ車体構造の開発

Development of New Body Structure of IMPREZA

中　島　　篤*　　鈴　木　　敦*　　竹　内　源　樹*　　植　木　敏　行*
Atsushi NAKASHIMA　Atsushi SUZUKI　Genki TAKEUCHI　Toshiyuki UEKI

抄　録

新型インプレッサでは、スバルグローバルプラットフォームの第1弾として、安全性能を高めるとともに、高性能を超えて感性に響く車づくりを行うことで「安心と愉しさ」を提供すべく車両開発を行ってきた。

本稿では新型インプレッサで採用した技術とその概要について紹介する。

Abstract

All New IMPREZA was developed as the first model adopting SUBARU GLOBAL PLATFORM. It aims to improve safety performance and dynamic quality for “Enjoyment and Peace of Mind”. This paper introduces technologies adopted to realize the top level safety performance and the dynamic quality that goes beyond high performances.

1.　開発の狙い

スバルグローバルプラットフォームは10年先まで見据えて開発したプラットフォームであり、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を行ってきた。新型インプレッサはこのプラットフォームの第一弾として開発を進めてきた。

衝突性能については、従来よりもさらに激しい事故形態にも対応するために車体構造を全面刷新して大幅な性能向上を実現した。また、動的質感については、日常の使用環境で実感できるレベルで質感向上を実現した。

2.　衝突安全性能

交通事故による死亡者ゼロの実現に向けて、スバルとしては総合安全性能を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、それらすべ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について紹介する。万が一、事故が起きてしまった時の衝突安全性能は大きく二つに分類される。一つはクルマに乗っている方の命を守る乗員保護、もう一つは事故の被害者である歩行者の命を守る歩行者保護である。特に、歩行者が多い日本では交通事故による死亡者の約半数が歩行者もしくは自転車であり、歩行者保護性能の重要度が高い。

2.1　乗員保護

リアルワールドで起こる事故を想定し、さまざま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し、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車体構造を開発した(**図1**)。

図1　衝突試験後の車両

具体的にはフレームワークを刷新するとともに、各骨格の断面最適化、およびホットスタンプ材などの超高張力鋼板の採用拡大などにより、従来比1.4倍の衝

＊ 車体設計部

突エネルギーに対応し、衝突安全性能をさらに高めている。

(1) マルチロードパス

衝突性能向上のため、フレームワークを刷新した。衝突エネルギーが伝わるロードパスを三方向に分散させることで、あらゆる方向からの入力をバランス良く分散し、より効率的にフロントフレームで衝突エネルギーを吸収できるようにした。また、フロントからリヤまで屈曲部のないスムースなフレームにすることで、衝突時に保護すべきキャビン内での局所的な変形を抑制することができている。これらは、後述する車体剛性の向上にも大きく寄与している(図2)。

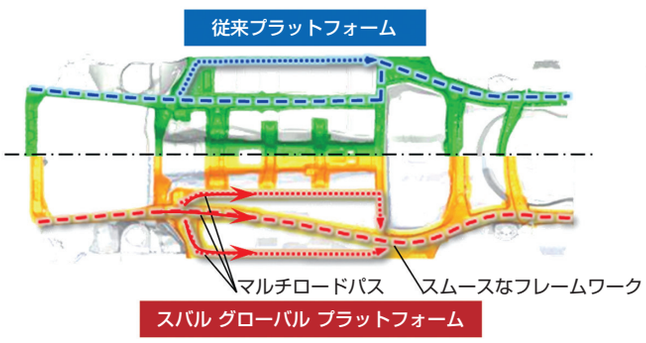


図２　プラットフォーム比較

(2) 断面最適化

衝突時に高い抗力を安定して維持し、エネルギー吸収効率を高めるため、すべての骨格断面の最適化を行った。一例として、フロントフレームでは従来よりも骨格断面を拡大して抗力を約10%向上させるとともに断面形状を変更し、エネルギー吸収効率をアップさせた(図3)。

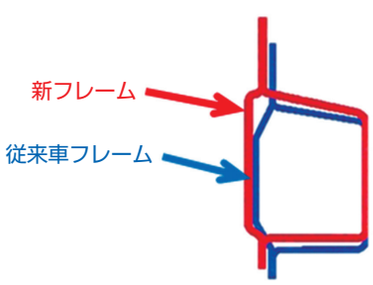


図３　フロントフレーム断面

(3) 高張力鋼板採用拡大

衝突時のキャビン強度を高めるために高張力鋼板の採用を拡大し、衝突性能の向上と軽量化を両立させた。高張力鋼板の使用比率は、従来型の49%から54%へと高め、特にキャビン下のメインフレームやセンターピラー、バンパービームなどにはホットスタンプ材を採用した(図4、5)。また、ホットスタンプ材の適用拡大のみならず、パッチワーク工法やテーラー・ロールド・ブランク材(北米仕様のみ)などを採用し、質量増加を抑制しつつキャビンの高強度化を図っている。

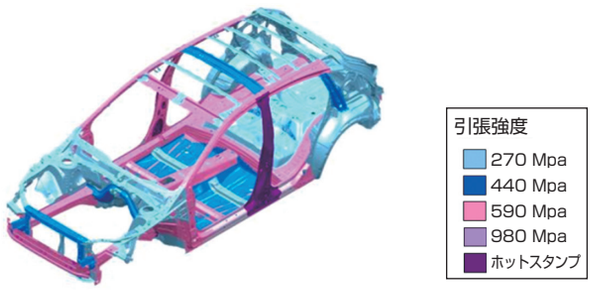


図４　高張力鋼板採用部位

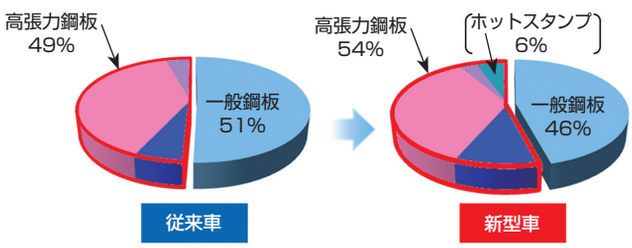


図５　高張力鋼板比率

・パッチワーク・ホットスタンプ

センターピラー(国内)などにパッチワーク・ホットスタンプ[1]工法を採用することにより質量増加を抑えつつ効率的に性能を向上させた(図6)。

・テーラー・ロールド・ブランク

センターピラー(北米)にはホットスタンプ用のテーラー・ロールド・ブランク材(差厚鋼板)を採用することで、側突時の変形モードと板厚を最適化し、側突性能の向上と軽量化を両立した(図6)。

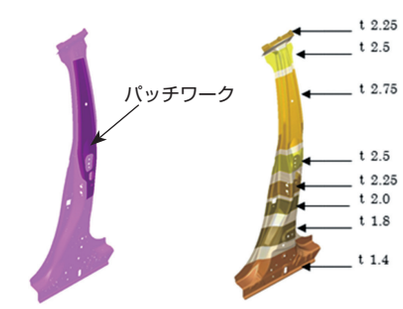


図６　パッチワークおよびテーラー・ロールド・ブランク

2.2　歩行者保護

歩行者保護の観点から、エンジンルーム内のレイアウトを変更してエネルギー吸収スペースを確保し、変形モードをコントロールすることでエネルギー吸収効率を向上している。フードにアルミ材を採用すること

により材料強度が低下し、エネルギー吸収効率は低下するが、それ以上の性能改善を実現した。これにより軽量化と歩行者保護性能の向上を両立させた。

(1) フードロックレイアウト変更

歩行者保護性能向上のため、ラジエタ取付構造を見直すと共にフードロックをラジエタの後方に配置することで車両前側のエネルギー吸収スペースを拡大した。これにより大腿部や頭部への加害性を低減した(図7)。

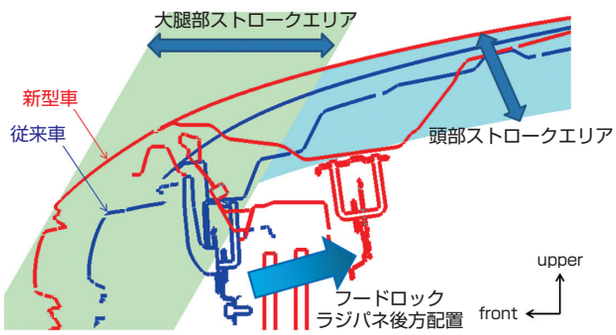


図7　フードロックレイアウト変更

(2) 変形モードのコントロール

フードのインナーパネルおよび補強部材の形状を工夫することでフードの剛性を確保しつつ、衝突時には抗力を効率良く発生し、且つ潰れ残りが少なくなるように変形モードをコントロールした(図8)。これにより、頭部への加害性を低減し、軽量化・頭部保護性能・デザインを両立することができた。

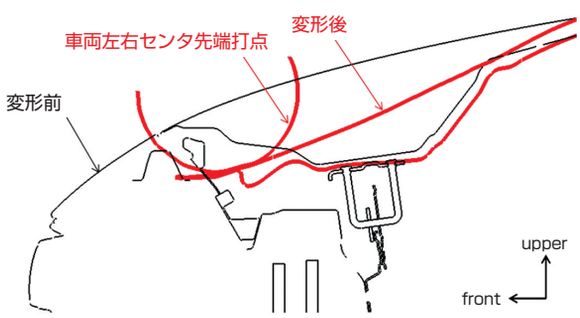


図8　フードの変形モード

3.　感動レベルの動的質感

スバルとして乗る人すべてに最高の「安心と愉しさ」を提供するため、スペックで表現される性能だけでなく、感性に響く動的質感を定義し指標を設定して開発を進めた。下記の二つの例について目指したこととその実現のために採用した技術を紹介する。

①まっすぐ走れる・思い通りに走れる

②不快な振動騒音がない

3.1　まっすぐ走れる・思い通りに走れる

直進時に不必要なハンドル操作をせずともまっすぐ走り、カーブを曲がる際にはハンドル操作に対して遅れなくリニアに車両が旋回することにより安心して長時間運転することができ、かつ愉しく運転することができる。

これを実現するために、ハンドル操作してから、リヤタイヤが力を速やかに発生できるよう車体剛性と剛性の連続性の向上を図った。

3.1.1　車体剛性と剛性の連続性の向上

動的質感を高めるためボディ剛性を最大90%向上(図9)させるとともに、ボディのフロントからリヤまで剛性が均一で弱点部のない骨格を目指した。これを「剛性の連続性」として定量化し、剛性の弱点部がない骨格を構築した(図10)。

フレームワークの刷新や骨格の結合強化、部品の結合強化により車体剛性と剛性の連続性を向上させることで、走行時の局所的な変形を抑え、荷重伝達のロスを抑制することで、リヤの追従性を向上させた。また、後述する走行時のボディ振動も抑制することができた。

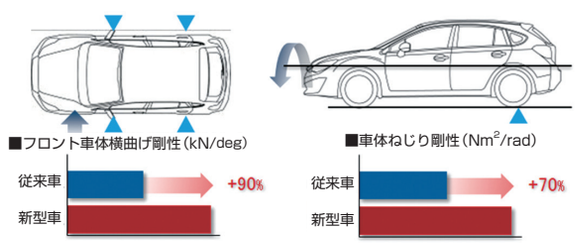


図9　車体剛性の向上

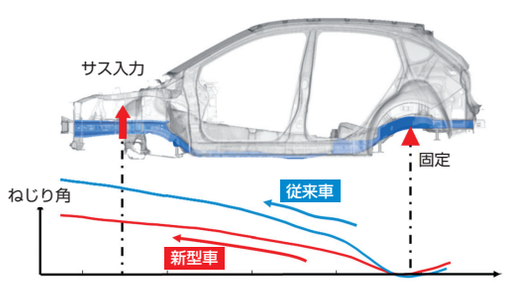


図10　車体剛性の連続性

(1) フレームワークの刷新

剛性と剛性の連続性を向上させるため、フレームワークを刷新し、フロントからリヤまで屈曲部のないスムースなフレームワークとした(図2)。

(2) 骨格の結合強化

剛性および剛性の連続性を向上させるために、骨格と骨格の結合強化およびプラットフォームと上屋の結合強化に取り組んだ。

・フロントバルクヘッド

フロントバルクヘッド周りでは部品同士の板組みを見直し、フロントストラットマウント取付け部とキャビンの結合をインナーパネルで強化し剛性を大幅に向上させた(図11)。

・リヤフレーム

また、サイドシルとリヤフレームの結合構造も骨格と骨格の稜線が連続的につながる板組みに見直し、骨格同士の結合を強化した(図11)。

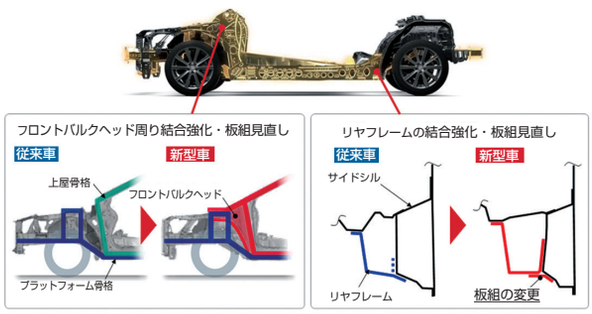


図 11　骨格の結合強化

・リヤゲート開口部(5ドア)

最大荷室幅を拡大しつつ、ねじり剛性および車体固有値を向上させるため、リヤゲート開口部まわりの構造を見直した。Dピラー骨格をスムースかつ連続的に通し、環状構造とすることにより、リヤゲート開口部の剛性を向上させた。さらにリヤレール、Dピラーの結合部やスカートのコーナー部にセパレーター設定し、断面崩れを抑制することで、開口部の変形を効率的に抑制した(図12)。

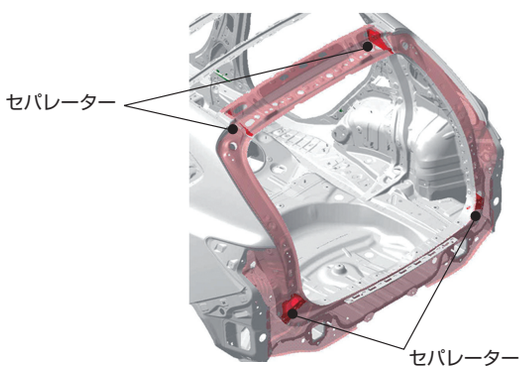


図 12　リヤゲート開口部

・リヤバルクヘッド(セダンモデル)

セダンモデルにおいてもリヤバルクヘッド廻りの骨格構造を大きく見直した。従来車に対して骨格をストレート化し、剛性を向上させた。さらにバルクヘッド骨格のコーナー部は、トランクスルー開口を確保しつつ環状骨格を補剛することで、サス入力による車体変形を抑制している(図13)。

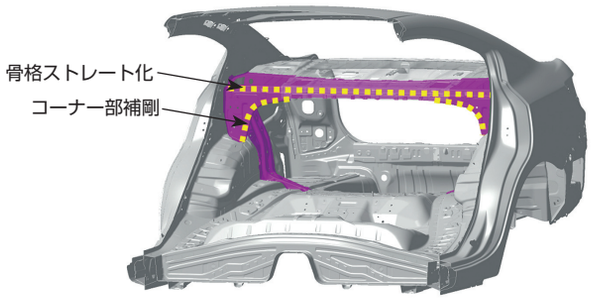


図 13　新リヤバルクヘッド

(3) 部品の結合強化

・構造用接着剤

スポット溶接しているフランジ部に構造用接着剤を約7 mに渡って塗布し、ボディの微小変形をさらに抑制した。これにより、突起乗り越し時などの不快な振動を抑制することができた。また、荷重の伝達ロスを低減することによりハンドル操作初期の応答性向上にも寄与している(図14)。

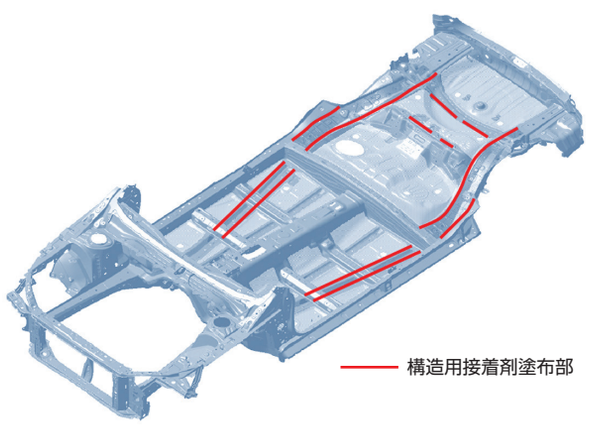


図 14　構造用接着剤

・高剛性発泡剤

リヤフレーム断面内に高剛性発泡剤を適用して、サス入力によるリヤフレームの断面変形を抑制し効率的に剛性を向上させた。従来構造と同様にリヤフレームのハット断面内に板金セパレーターを設定しスポット溶接することでフレームの3面を拘束し、スポット溶接では接合できない面を高剛性発泡剤で結合することにより、剛性を効率的に向上させることができた(図15)。

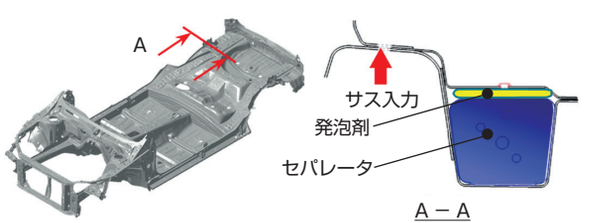


図 15　高剛性発泡剤

3.2　不快な振動騒音がない

走行時に手・足・尻・背中の触覚で感じている情報の中でも運転する上で必要なインフォメーションはしっかりドライバに伝えつつ、不快な振動や騒音は遮断する。

3.2.1　振動

シート・フロア・ステアリングの振動の中でも人が不快だと感じる周波数を特定し、その周波数帯の振動を抑制することで不快な振動の低減に取り組んだ。具体的には、タイヤおよびサスペンションの入力とシート・フロア・ステアリングなどの固有値を分散し共振振動を抑えた。

(1) 固有値コントロール

路面からの入力に対して、ステアリング・シート・フロアから乗員に伝わる振動を最小限に抑えるため、サスペンション・車体・ステアリング・シートなどの固有値をコントロールし、共振しないように分散することで不快な振動を抑制した(図16)。

車体剛性の向上については3.1.1節で述べたとおりであり、ここではシートの取付部剛性向上について紹介する。

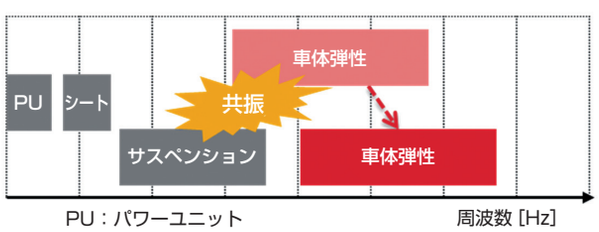


図 16　固有値の分散

・シート取付部剛性向上

リヤシートの取付部剛性を向上させるため、従来車の艤装ブラケットへの取付け構造から、車体に直付けする構造に変更した。これによりリヤシートの固有値を従来車に対して向上させ、車体およびリヤサスペンション周りの固有値から離し、シートの不快な振動を抑制した(図17)。

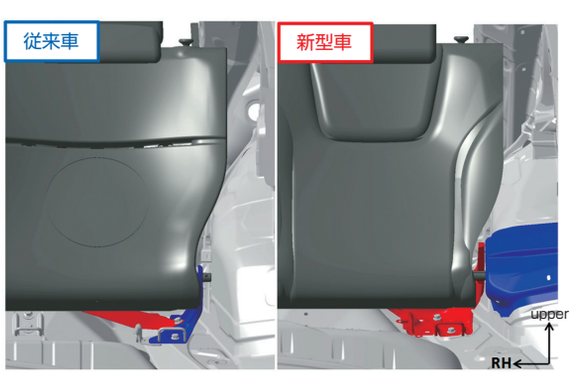


図 17　シート取り付け構造

3.2.2　静粛性

新型インプレッサでは静かで快適な室内空間を造るとともに、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。

空気伝播音に対しては、徹底的に音の経路を遮断し、効果的な部位に吸音材を設定した。固体伝播音に対しては、パワーユニットおよび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し、車室内の各パネル固有値をコントロールすることでパネル共振によるパネル放射音を抑制した。

(1) 吸遮音材

・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インシュレータの性能を強化し、車内音を低減した。エンジンルームとキャビンを貫通する穴を従来車に対して14%削減した。また、インシュレータとしては、貫通穴周辺の隙間を徹底的に縮小するとともに、透過損失が低くなってしまう厚さが薄い部分を減らす様に厚さ分布率を管理し効率的に透過音を抑制した(図18、19、20)。

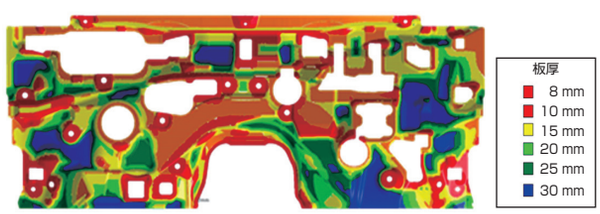


図 18　インシュレータ板厚分布（従来車）

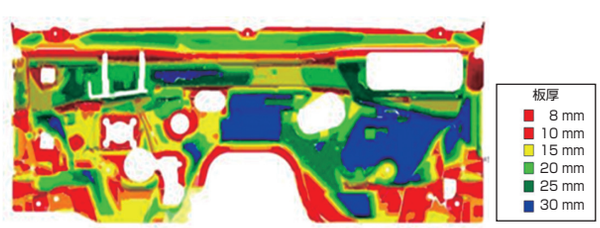


図 19　インシュレータ板厚分布（新型車）

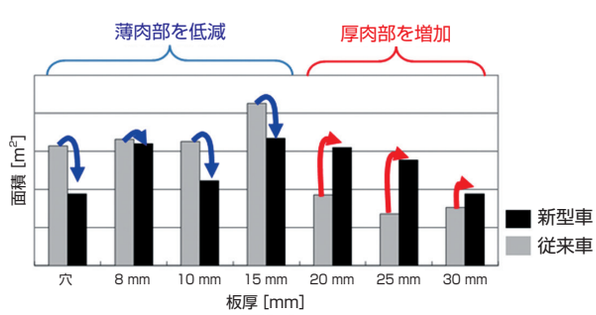


図 20　インシュレータ板厚分布

・フェンダーインシュレータ

エンジン音がエンジンルームから室内に侵入する経路であるフェンダー内にインシュレータを設定し、エンジン音を遮音および吸音する(図21)。

・吸音マッドガード

ロードノイズはもちろん、道路の継ぎ目や石はね、水はねなどリヤホイールハウスまわ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した(図21)。

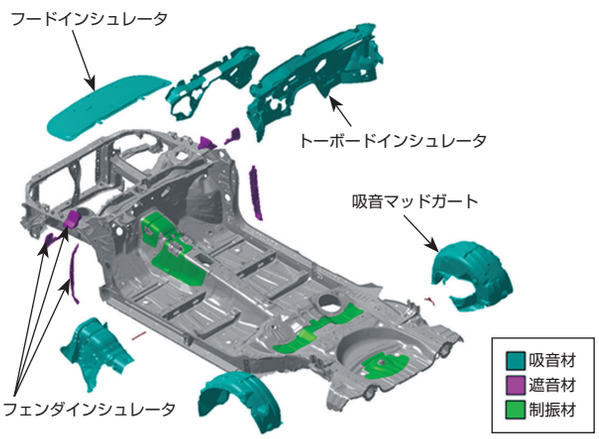


図21　吸遮音材および制振材

・ピラー内発泡剤

キャビン室内への音侵入を防ぐため、ボディ骨格の不必要な穴を削減した上で、骨格断面内に発泡剤を設定して音の侵入経路を遮断した(図22)。

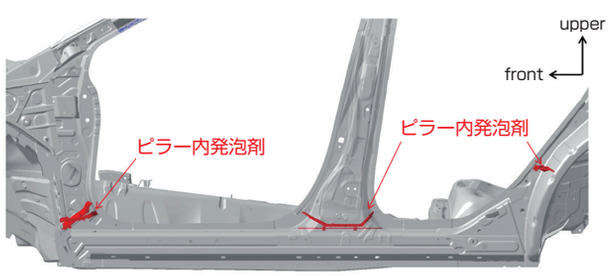


図22　ピラー内発泡剤

(2) 取付部剛性向上

エンジン音・ロードノイズの伝達経路となるパワーユニットおよびサスペンションの取付部剛性を向上し、振動遮断率を向上させた。取付部剛性の目標を設定する上では、目標の振動遮断率およびブッシュと車体の剛性比率を定め、取付部毎にブッシュに合わせた取付部剛性の目標を設定し、剛性を最大で50%向上させた。これにより固体伝播音を低減した(図23)。

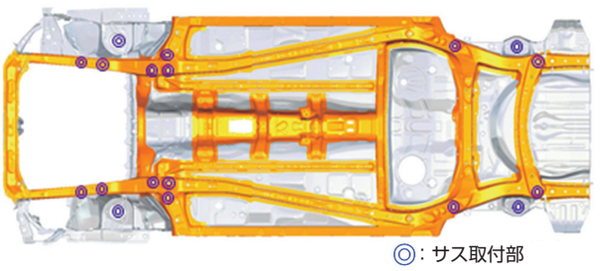


図23　サス取付部

(3) パネル剛性コントロール

タイヤ・サスからの入力により車室内のパネルが共振すると、パネルがスピーカーとなってロードノイズおよびこもり音を悪化させてしまう。新型車では車室内のパネル一つ一つの面の固有値をコントロールし、ロードノイズおよびこもり音を抑制した(図24)。

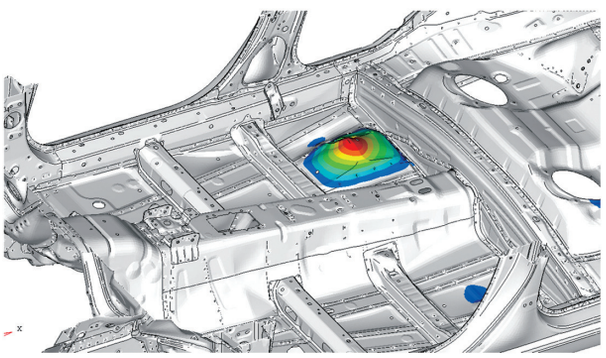


図24　パネル剛性

4.　実感できる実用燃費

4.1　軽量化

前述のとおり、構造の合理化により性能向上させることで質量増加を抑制すると共に、材料置換により軽量化を実現している。高張力鋼板の採用を拡大し、特にセンターピラーやバンパービーム・床下骨格などにホットスタンプを採用している(図4)。また、軽量化だけでなく低重心化および前後重配の適正化のため、フロントフードにアルミ材を採用した。

4.2　空力

(1) アンダーボディ

燃費向上のため、床下部品の拡大およびフラット化により、床下を流れる空気の整流化を行った。特に部品と部品の分割部分の段差と隙間を小さくすることでスムースな空気の流れになる構造にした。また、タイヤ前に設定したフラップも従来車に対して面積を拡大し、タイヤに当たる空気を減らし、空気抵抗を低減させた(図25)。

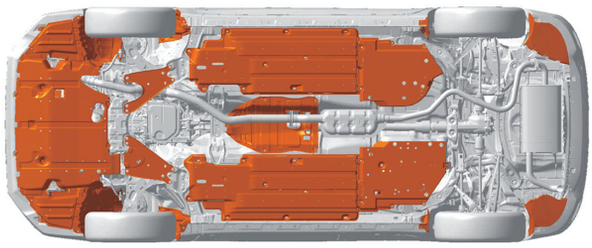


図 25　アンダーボディ空力部品

(2) アッパーボディ（トランク）

新型インプレッサでは、空力性能の向上とスポーティなデザインの両立のためにトランク後端部をキックアップ形状としている。このデザインを実現するために、トランクパネルを上下2分割とした。また、その分割部の接合にレーザーブレーズ技術を採用することで、ガーニッシュが無く、かつ接合部の見栄えもすっきりとした一体感のあるデザインを実現した（図26、27）。

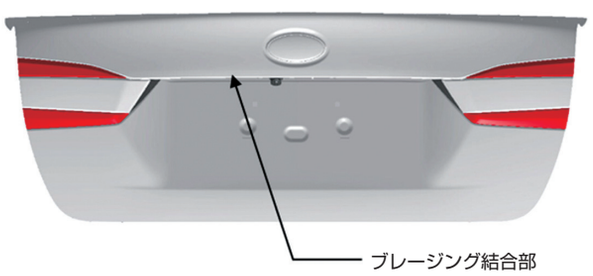


図 26　トランクレーザーブレージング

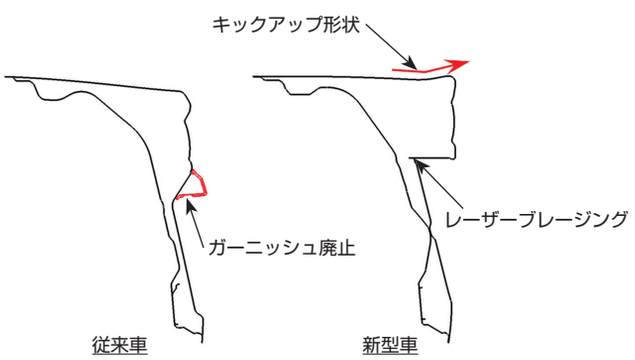


図 27　トランク断面

5.　まとめ

以上のように新型インプレッサの車体構造は、衝突性能と動的質感を大幅に向上させるため、プラットフォームを含めて刷新し、構造を徹底的に合理化することで衝突エネルギー吸収量と車体剛性を大幅に向上させた。 その結果、クラストップレベルの安全性能と、感性に響く動的質感を実現することができた。具体的には、クルマに乗り込んでドアを閉めた瞬間、またはエンジンをかけた瞬間からクラスを超えた静粛性として感じて頂けるレベルに仕上げることができた。また、クルマが走り出した瞬間からスムースな乗り心地や意のままに操れるなど日常の使用環境で実感できるレベルで質感向上を実現できたと確信している。

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)

【著　者】

中島　　篤

鈴木　　敦

竹内　源樹

植木　敏行

新型インプレッサのシャシー開発

Chassis Development for New IMPREZA

井　本　昌　志*　　圓　尾　哲　也*
Masashi IMOTO　　Tetsuya MARUO

抄　録

新型インプレッサの車両コンセプトは「乗る人全てに“最高の安心と愉しさ”を」である。この実現のために採用したスバルグローバルプラットフォーム関連部品を始めとしたシャシー開発の技術と概要について紹介する。

Abstract

The concept for New IMPREZA is to offer the “utmost Enjoyment and Peace of Mind” driving experience to all drivers and passengers. In order to realize this concept, SUBARU GLOBAL PLATFORM (SGP) was adopted to New IMPREZA. Here we introduce key technologies of SGP and chassis development.

1.　まえがき

近年、スバルでは高性能を超えた感性に響く車づくりを目指している。そのためにスバルグローバルプラットフォーム(以下SGP)を始めとして、新型インプレッサではサスペンションからステアリング、ブレーキなど全ての部品について設計の見直しを行った。本稿ではこれらの技術について紹介する。

2.　サスペンション

フロントサスペンションは簡潔でコンパクトなストラット式独立懸架を踏襲し、リヤサスペンションはダブルウィッシュボーン式独立懸架を採用した。

新設計に当たり、車体も含めた構成部品の剛性アップを図り、従来車比フロントトレッド剛性で7割、横曲げ剛性で9割アップ、リヤのサブフレームでは2倍の剛性を確保しつつ、剛性の連続性を持たせた車体のねじり剛性も7割向上させた。これにより、思い通りに真直ぐ走る事と、不快な振動や騒音を低減させ、快適な乗り心地と安定性を実現した。また、スバルグローバルプラットフォームによって高めた剛性はステアリング操作に対するレスポンスとリニアリティを高め、自在性の感じられるステアリングの操舵感とした。

さらに車体のサスペンション取付け部分の剛性を上げ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長くとることで路面の凹凸をしっかりと吸収し、乗り心地の良さを高めた。

2.1　フロントサスペンション

トップマウントの入力分離化(図1)で振動と操縦安定性を両立させつつ、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。スプリングそのものに横力をキャンセルする構造を採用し、ストローク時のフリクション低減により安定性と乗心地の両立も図った。

またフロントサスペンションのレイアウトではマスオフセットを15%低減(図2)しバネ下軽量化のためのアルミ鋳造製ハウジング採用も合わせて操舵の安定性や快適な乗り心地を実現した。

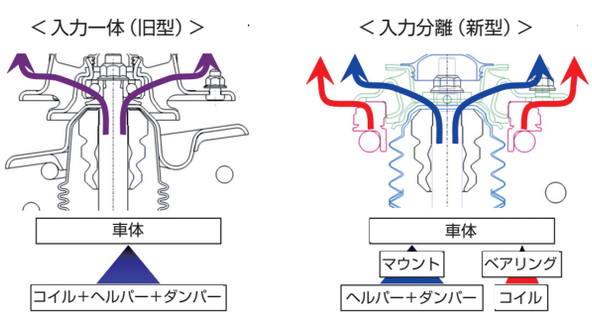


図1　入力分離マウント

＊ シャシー設計部

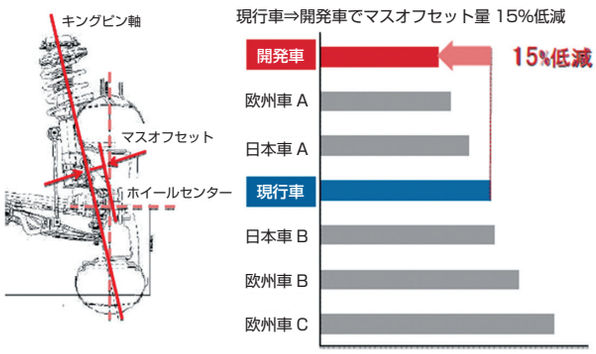


図２　マスオフセット低減

フロントスタビライザーは、効率改善として入力位置をロワアームからストラットに変更した(図3)。

ロール性能比較ではスタビ径に置換えると約2サイズアップとなるロール剛性向上を図った。

フロントクロスメンバーは、車体固定部からアームフロント、エンジンマウント、ステアリングギヤボックス、スタビライザーと全ての取付部剛性を向上し、人間の操作に自然な手ごたえで反応するハンドリング性能を実現した。また、エンジンマウントの周りの剛性向上は、エンジンの上下振動を低減させすっきりとした乗り心地を実現した。

フロントクロスメンバーとアームフロントのリヤブッシュ部分をつなげる大型のサポートフロント(図3)は、クロスメンバーの前後振動を抑え、操縦安定性と乗り心地を向上させている。

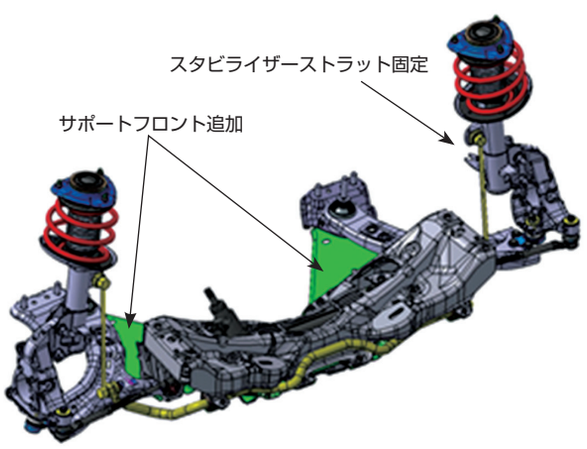


図３　フロントサスペンション構成

また、インプレッサとXVでアームとハウジングを結合するボールジョイント構造を変えることで、両車に最適なロールセンター高を実現した(図4)。

2.2　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車体の高剛性化に合わせ従来車に対してサブフレーム剛性を2倍に

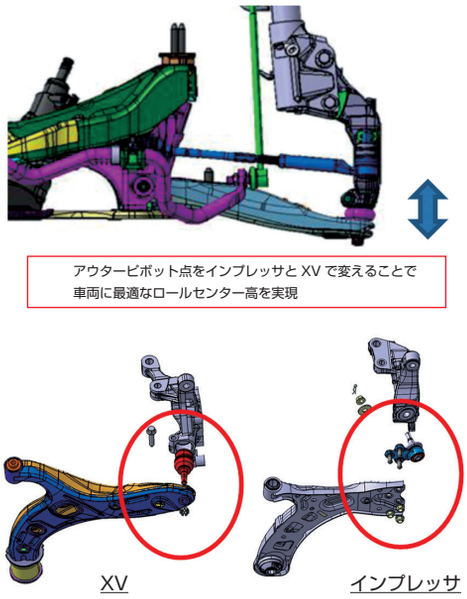


図４　ロールセンターの最適化

す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は弾性軸をコントロールして、サブフレームの弾性中心とロールセンターを一致させることで、モーメント力を打ち消し、ブッシュを硬くすることなく、サブフレームの動きを抑制する非連成タイプを採用することで振騒性能と操安性能の両立を図った(図5)。

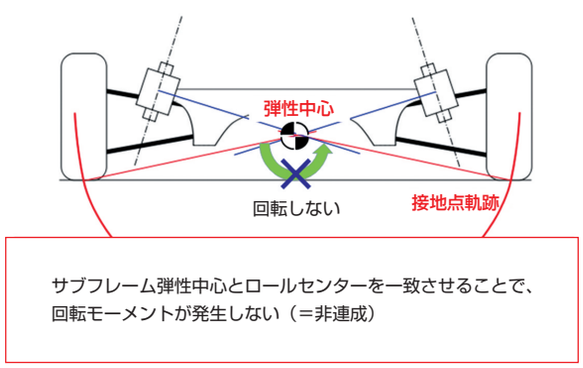


図５　非連成サブフレームブッシュ

また2.0Lはリヤスタビライザーの支点をサブフレームではなく車体に配置(図6)し作用点(スタビリンク)はハウジング固定とすることで、より効率的なロール抑制を実現し、安定性と乗心地性能の両立に貢献した。

さらにフロント同様アッパーマウントは入力分離化し振動と操縦安定性の両立をさせつつ、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車両安定性を確保した。

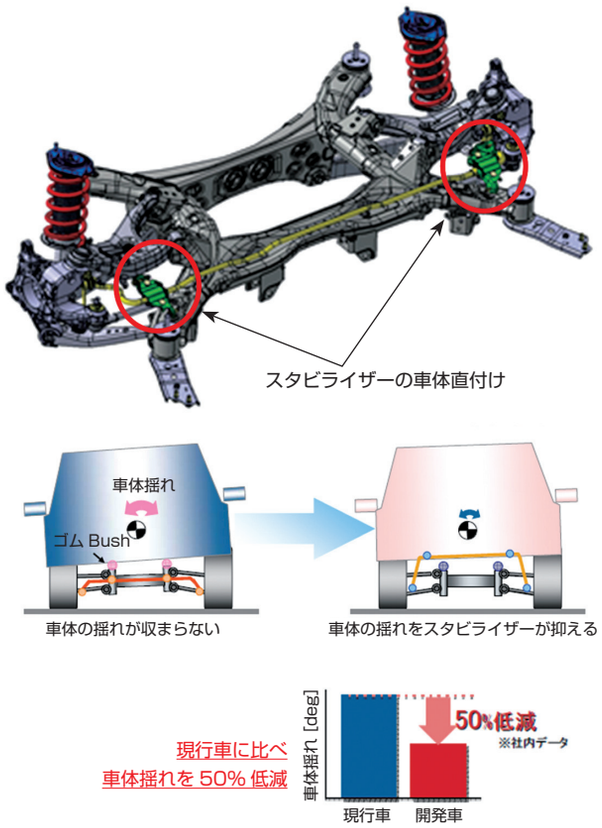


図６　リヤスタビライザー直付け

3.　ステアリング

ステアリングは従来同様にピニオンアシスト式の電動パワーステアリングを全車に採用した。またVA/軽量化のため制御ユニットが内臓された機電一体タイプとした。さらに全ての人がより快適なドライビングポジションがとれるようにチルト・テレスコのストローク拡大を図った(図7)。

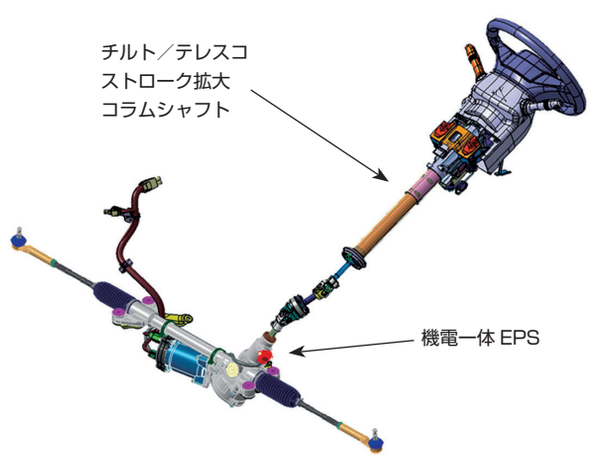


図７　ステアリングシステム

3.1　電動パワーステアリング

自然でダイレクトな操舵フィーリング、微小舵応答性の向上を実現するために、機構部の見直しを行い、舵力変動や舵力左右差の低減を行った(図8)。さらにステアリングギヤ比は13：1(従来車14.5：1)化を行い取り回し性の向上を図った。

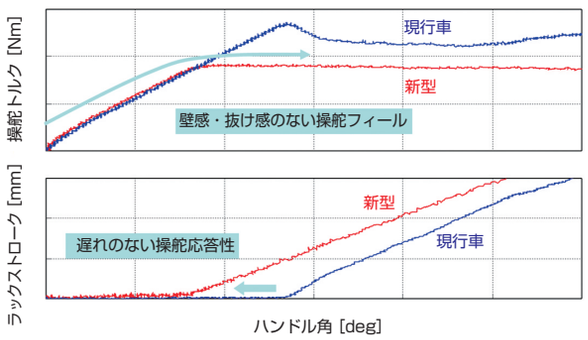


図８　ステアリング操舵フィールと応答性

3.2　ステアリングコラム

衝突安全性のさらなる向上のため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。

また、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。

3.3　ステアリングホイール

操作性向上のため、外径をϕ 370(従来車ϕ 375)とし、握りやすさ向上のため、グリップ形状を異形断面形状に見直した(図9)。

またXVの1.6i-L以上の革巻きハンドルにはオレンジステッチを採用し一般車高車との差別化を図った。

4.　ブレーキシステム

SGPのブレーキシステムは、運転する人の思いのままに車が動く、「運転のしやすさ」を目指した。

ブレーキを踏んだ瞬間に、人は無意識にペダルから伝わる力や減速感から車や路面の状態を予測し、どれだけペダルを踏み込めば車が思い通りに減速出来るかを考え、車をコントロールしている。

この時に、効き始めの不明瞭感や、減速感が鈍いとペダルコントロールが安定しないため、思い通りに車をコントロールする事が出来ない。

新型インプレッサのブレーキは、効き始めを明確に感じる事が出来、効き始めからの減速度もリニアなため、ドライバーが車を思い通りにコントロールする事ができるので、誰が運転しても・どんな路面でも今まで以上に安心感が高いブレーキとなっている。

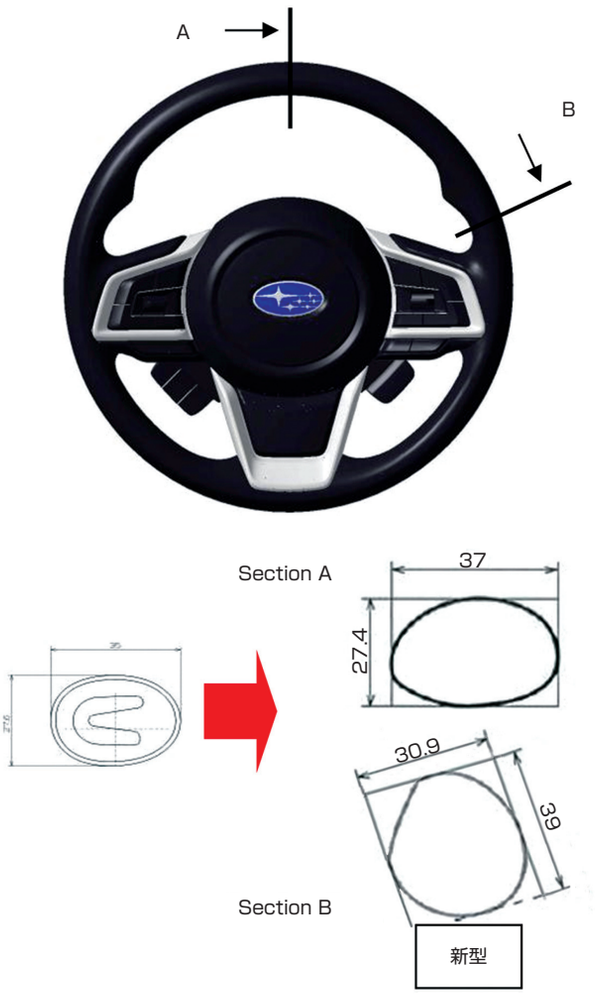


図９　ステアリングデザインとグリップ断面

新型インプレッサはブレーキシステムの全面新製をすると共に全車EPBを採用し利便性の向上とEyeSightと協調した停止保持の補完を行った。

4.1　フロントブレーキ

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フロントブレーキの新規開発を行った。

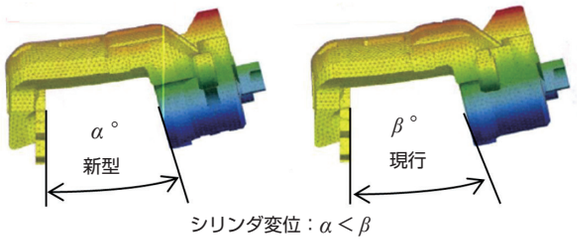
4.1.1　シリンダ径ダウン

シリンダ径を下げることで消費液量を減らし、無効ストロークを低減した。背反性能となる制動トルクの低下を補填するために、新たに開発した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。

4.1.2　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た(図10)。

ロールバックロスを低減する事により、消費液量及び引き摺り抵抗を約30%低減した。



シリンダ変位：$\alpha < \beta$

図 10　シリンダ剛性の向上

効き始めを明確に感じ取れ、リニアな減速感の実現

低液圧時から減速度が発生出来る様に、クランプ効率を向上させた。これにより初期から効き始めを感じる事が出来る。

さらに、低圧～高圧の効率低下を極力抑える事で減速度のリニア感を確保している。クランプ力効率の向上と安定化、新開発したPADとの組合せで1サイズ上の効力性能を実現し、ドライバーが車を思い通りにコントロールする事が出来る安心感のあるブレーキとなった(図11)。

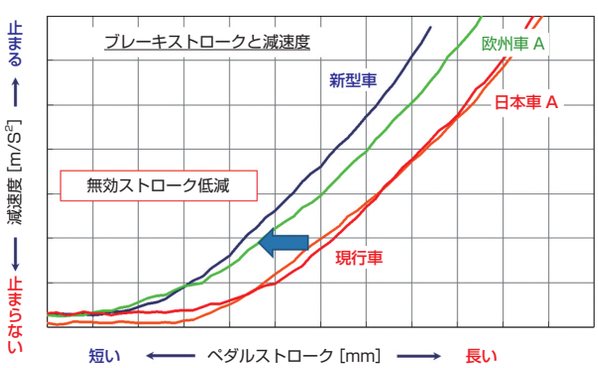


図 11　ブレーキストロークと減速度

5.　タイヤ

全車に、転がり抵抗低減を図った新開発のエコタイヤを採用した。タイヤの材質、トレッドパターン、内部構造などを見直し、優れたグリップ性能を確保し、操縦安定性を高めながら、転がり抵抗の低減を図り燃費性能向上を図った(表1、表2)。

6.　ホイール

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、スタイリッシュなデザインとしている。特に16インチホイールは空力性能を重視するために、空力改善効果の高い外周部をフラットに設定しつつ、軽

量化のために、裏面の肉盗みを行い、質量増を最小限に抑えている(図12、図13)。

表１　＜一般車高車＞

サイズ	メーカー	銘柄
205/55R16 91V	BRIDGESTONE	TURANZA T001
205/50R17 89V	BRIDGESTONE	TURANZA T001
225/40R18 92W	YOKOHAMA	ADVAN Sport V105F

表２　<XV>

サイズ	メーカー	銘柄
225/60R17 99H	YOKOHAMA	BluEarth　E70
225/55R18 98V	BRIDGESTONE	DUELER H/P SPORT

〈一般車高車〉

16"alloy wheels

17"alloy wheels

18"Sporty alloy wheels

図 12　インプレッサホイールバリエーション

〈XV〉

XV　17"alloy wheels

XV　18"alloy wheels

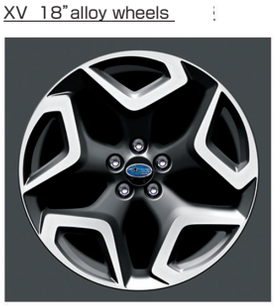


図 13　XV ホイールバリエーション

7.　VDC

HUは次世代品を採用し小型化を実現した。危険回避時の限界性能を向上させるべく、ダブルレーンチェンジや18 mピッチスラロームの侵入・通過速度を向上させた。

VDCを全車に標準装備し、走行時の安全性を大きな底上げを図る(図14)。

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し、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。

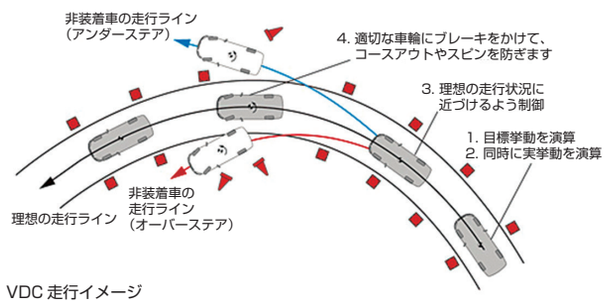


図 14　VDC 走行イメージ

また、全車マルチモードVDCを採用した。

OFFモードを利用することでVDC制御とTCS制御をキャンセルすることが可能となる。ぬかるみや雪道の脱出やサーキット走行などに有効である。

TRACTIONモードを利用することでVDC・TCS制御のエンジントルク抑制機能のみキャンセルすることを可能とした。ブレーキ制御は残存しているため、安全性を残しつつエンジンパワーを最大限に活かしたドライブが可能であり、サーキット走行などで有効な機能である。

アクティブトルクベクタリングを新規導入した。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を実現した(図15)。

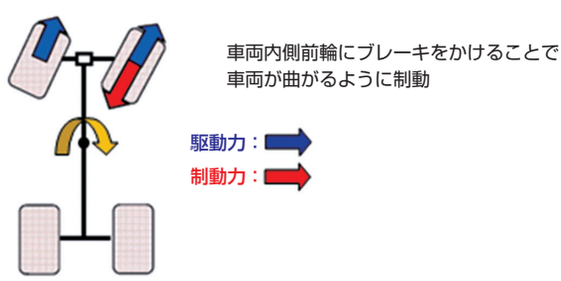


図 15　アクティブトルクベクタリング制御

8. 燃料システム

燃料システムは実用燃費向上効果を有効に活用し航続距離を現行車と同等としつつ、燃料タンク容量を低減し、実用性と軽量化を実現した。

表３　燃料タンク容量と航続距離＜インプレッサ＞

	グレード	燃料タンク容量	航続距離
従来車	1.6i FF CVT	55 L	902 km
新型車	1.6i FF CVT	50 L	910 km

一方、XVにおいてはレジャー性を考慮して、さらなる航続距離向上のため、燃料タンク容量を3L増やし、1タンク航続距離 1000 kmオーバーを実現した。

表４　燃料タンク容量と航続距離 <XV>

	グレード	燃料タンク容量	航続距離
従来車	2.0i AWD CVT	60 L	972 km
新型車	2.0i AWD CVT	63 L	1033 km

9. おわりに

新型インプレッサのシャシー開発では、スバルグローバルプラットフォームの採用により単なる性能向上だけではなく、大幅に動的質感を進化させることができた。その一方で従来以上に部品の精度管理が必要になったり、製造面においても部品の仕様分けや作業性の悪化などの弊害も発生させましたが、関係各部署のご協力により新技術の導入が実現できた。

ここにインプレッサのシャシー開発に携わった全ての方々に感謝致します。

【著　者】

井本　昌志

圓尾　哲也

新型インプレッサ 水平対向エンジンの開発

Development of Horizontal-Opposed Engine Mounted on New IMPREZA

関　竜達[*1] Ryuutatsu SEKI
最首陽平[*2] Youhei SAISHU
岩上宏之[*3] Hiroyuki IWAGAMI
長田健志[*4] Kenji NAGATA
金子隆[*5] Takashi KANEKO
小野大輔[*6] Daisuke ONO
石田礼[*7] Rei ISHIDA
小野敏[*5] Min ONO

抄　録

新型インプレッサで「安心と愉しさ」を具現化すべく、FB20エンジンを刷新した。約80%の部品を新設計し、環境性能を向上させつつ、NVH（Noise, Vibration, Harshness）質感向上、出力向上、軽量化を実現させた。

Abstract

This report shows the design and improvement process of the horizontally-opposed 2.0L gasoline stoichiometric DI Engine.

This new engine has realized a good balance in NVH, dynamic performance, and lightweight, while enhancing fuel consumption.

1.　まえがき

スバルの水平対向（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。2010年には、グローバルに求められる環境性能を進化させるべく、新世代ボクサーエンジンとしてFB20を世に送り出した。今回報告するエンジンは、このFB20の約80%の部品を改良、刷新し、車両の「安心と愉しさ」を具現化したものである。「安心と愉しさ」の具現化のため、①軽快な加速感、②音と加速の一体感、③実感できる燃費の良さ、を狙いとして開発した。上記①②③を実現するため、NVH、出力、燃費の各性能向上と軽量化をバランスさせるべく、直噴化を核とした各種改良、刷新に取り組んだ。

本報告では、これらをバランスさせた開発手法、および、その結果として得られたエンジン性能について報告する。

＊1 エンジン設計部
＊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2部
＊4 パワーユニット研究実験第3部
＊5 CAE部
＊6 PU先行開発総括担当部 兼 技術開発部
＊7 PGM（環境対応）

2.　エンジン主要諸元

今回報告するエンジンの主要諸元を示す。

表1　エンジン主要諸元

	Previous	New
E/G model	FB20	FB20
Cylinder layout	H4	H4
Valve layout	DOHC 4 valve	DOHC 4 valve
Cam drive train	Timing chain	Timing chain
Variable cam phase	Int/Exh	Int/Exh
Fuel system	MPI	DI
Displacement [L]	1.995	1.995
Bore × Stroke [mm]	84.0 × 90.0	84.0 × 90.0
Max. output [kW]	110	113
Max. torque [Nm]	196	196
Compression Ratio	10.5 : 1	12.5 : 1

3.　NVH

3.1　静粛性の向上

新型エンジンのNVH性能は、競合欧州トップクラス車に迫る質感を実現すべく、従来型に対して中周波の振動伝達音の改善に取り組んだ。特に緩加速領域でのクランク系入力によるエンジン振動の改善を目指し、起振力と振動伝達感度それぞれに対して改善を織り込んだ。

3.1.1　クランク系起振力低減

クランク系の起振力低減に向け、先ずピストン、コンロッドの軽量化による往復慣性力低減に取組み、クランクシャフトへの入力低減を図った。

次に、クランク挙動に基づいた起振力低減に取組んだ。水平対向4気筒エンジンでは、緩加速領域にて軸受け隙間内でクランクシャフトが左右方向に横切る挙動が発生し、これを起振源とした振動が発生する。スチール材クランクシャフトとアルミダイカスト製シリンダ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、横切り挙動による起振力を増加させている。これを改善するため、シリンダブロックの前後端の軸受けに鉄系材料のピースを鋳込む構造を採用した(図1)。

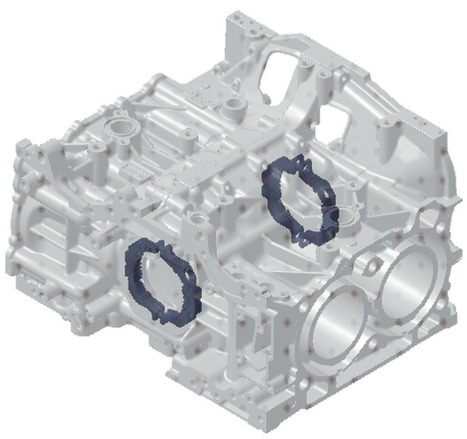


図１　鋳込みジャーナル

これにより暖機後の軸受け隙間が縮小することで、振動低減を達成した(図2)。

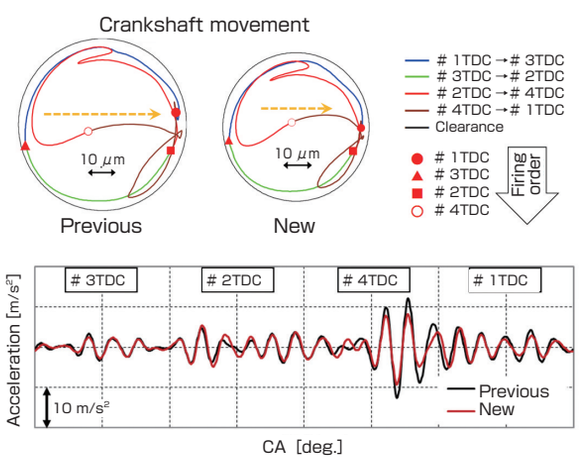


図２　鋳込みジャーナルによる振動低減効果

さらに従来機種に対し、クランクプーリ重量を約50%低減させ、振れ回りによる入力を低減することで振動を低減した(図3)。

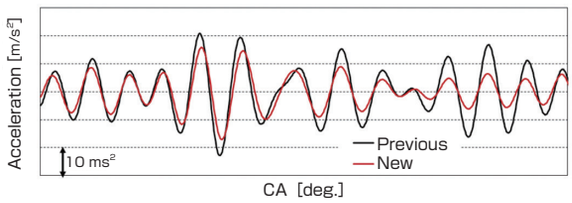


図３　クランクプーリ軽量化による振動低減効果

3.1.2　振動伝達感度低減

振動伝達系への取組みとしては、運転時のパワーユニット振動モード分析に基づき、振動低減へ寄与が大きい左右シリンダブロック下面に締結されるオイルパンアッパ補剛に取組んだ。中周波領域で水平対向4気筒エンジンには、左右のシリンダヘッドを振動の腹としたエンジン捩り振動が発生する。ウェットサンプ構造のためシリンダブロック下面は開口部となっており、エンジン捩り振動により四隅が接近したり、遠ざかったりする挙動が発生する(図4)。

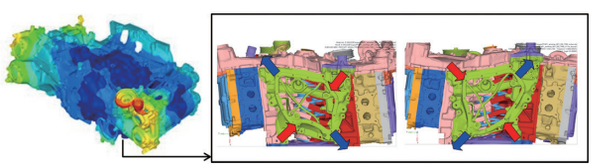


図４　H4 エンジン捩り振動モード

FBエンジン開発時からオイルパンアッパには筋交い状のXリブを設け､中周波振動低減に取組んできた。新型エンジンではXリブ断面形状を見直すことにより従来型に対し振動伝達感度を低減させた。

3.2　音と加速の一体感向上

3.2.1　オートステップ変速制御

エンジンの振動伝達音低減に加えて、音と加速の一体感の演出のため、アクセルペダル高開度で強めの加速をする際に、CVTの変速をオートステップ化する制御を追加した。

変速制御の変更により、アクセルペダル踏込み直後のエンジン回転の急激な立ち上がりや加速中のエンジン回転数の高止まりを抑制することで、CVT特有のエンジン音が先行する形から実際の加速感とエンジン音変化の一体感を感じられるようにした(図5)。

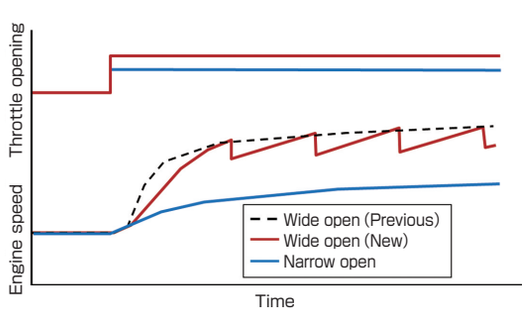


図５　オートステップ変速制御

エンジンや車体の静粛性向上と変速制御のオートステップ化により、加速時のエンジン音は競合欧州トップクラス車に迫る質感を実現した(図6)。

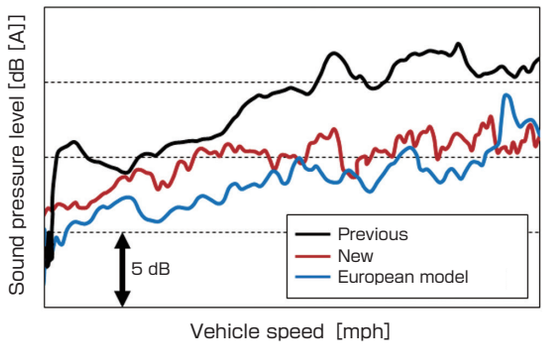


図6　加速時車内音 OA 比較

4.　出力

4.1　オートステップ制御に対応した出力向上

上述のオートステップ化により、全開加速時に最高出力回転数以外も使用することになり、加速力低下の背反が生じる。これに対応するため、4000 rpm以上のエンジントルクを向上させた。

エンジン出力向上のため、①ノッキングの抑制、②吸気能力向上、③排気効率向上を図った。

4.1.1　ノッキング抑制

先ず、燃料噴射システムを直噴化し、筒内冷却によるノッキング抑制を行った。直噴化により、圧縮比同等では等容度の約3ポイント向上が実現した(図7)。

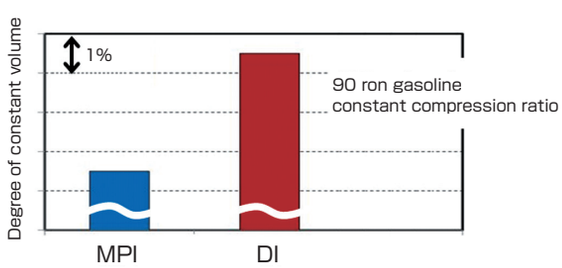


図7　直噴化による等容度向上効果

また、従来型に対して圧縮比が高められたため、さらなるノッキング耐力向上に着手した。冷却水通路最適化による燃焼室壁面の冷却強化、高熱伝導ピストンリングの採用、ナトリウム封入排気バルブを採用した(図8)。

4.1.2　吸気能力向上

吸気ダクト、吸気ブーツ、インテークマニホールド、吸気ポートの形状変更により、現行機種に対して通気抵抗を低減させた。

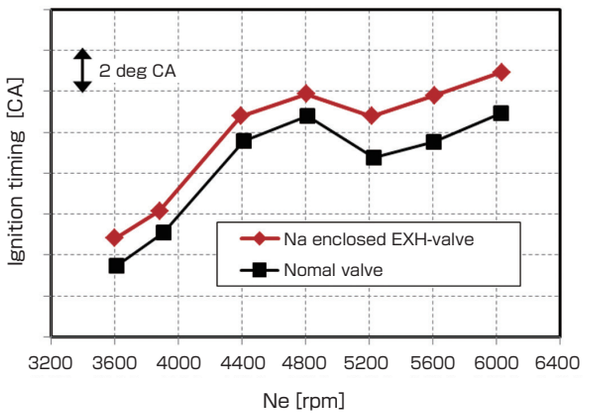


図8　Na 封入排気バルブによる点火進角効果

4.1.3　排気効率向上

先ず、排気系全体の通気抵抗低減に着手した。具体的には排気管径アップ、曲り部の形状見直し、マフラー通気抵抗低減を行った。次にエキゾーストマニホールド形状を4-1排気から4-2-1排気へ変更し(図9)、掃気効率向上を図りつつ、ブランチ径を拡大し、通気抵抗を下げた。

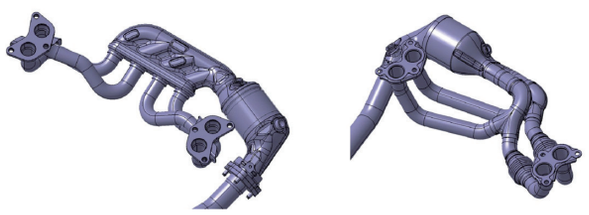


図9　エキゾーストマニホールド

また、4-2-1化、ブランチ径拡大することにより触媒昇温能力の低下が懸念されたため、ブランチ部および4-2集合部の形状を見直し、フロント触媒までの距離短縮を図り、エンジン出口から触媒入口までの表面積縮小と4-2-1化の両立を実現した(図10、11)。

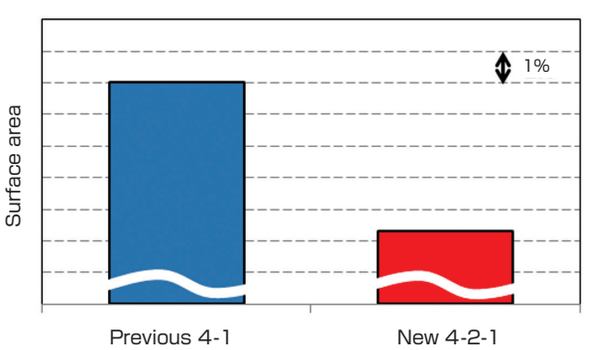


図10　エキゾーストマニホールドの表面積縮小

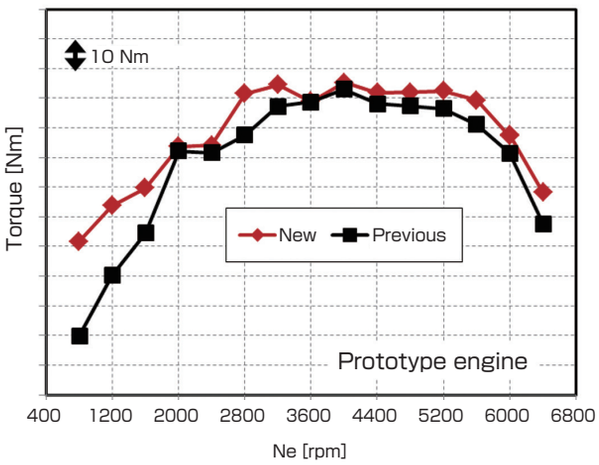


図 11　排気系変更による出力向上効果

5.　軽量化

競合する欧州トップクラス車に迫るNVH性能と軽快な加速感を同時に訴求するためには、リブによる補剛など重量増加を伴うNVH改善検討からの脱却が必要である。両立に向け、起振力低減にもつながる主運動部品の軽量化推進と本体構造系部品の軽量化に取組んだ。これらの部品設計に当たり、初期形状検討にトポロジ最適化解析を援用している。

5.1　主運動系部品

主運動部品では、クランクプーリの振動リング見直しによる1.14 kg軽量化の他、ピストンやコンロッドを対象に数g単位まで踏み込んだ軽量化検討を実施した。コンロッドは従来機種においても、信頼性を確保できる限界まで軽量化を行ってきたため、さらなる軽量化には、より合理的な形状への見直しが必要となる。そこでトポロジ最適化解析を援用した桿部形状の見直しに取組んだ。部品運動軌跡を考慮したうえで、桿部に肉を盛り、最大限の設計自由度を持たせた形状領域を作成する。信頼性成立条件として、慣性力、爆発荷重および曲げ方向の単位荷重を入力。さらに製造制約条件も考慮したうえで、各評価項目が基準を満たし、かつ質量が最小になるよう、桿部の最適形状を求める。この方法で桿部断面形状の見直しを行った(図12)。最終結果としてコンロッド1本あたり29 gの軽量化を達成した。ピストン、クランクシャフトの軽量化と合せ、クランク系主運動部品を従来機種より0.49 kg軽量化した。

5.2　本体構造系

本体構造系部品では、最重量部品であるシリンダブロックの軽量化に注力した。シリンダブロック、オイルパンアッパを組み付けた状態で、トポロジ最適化解析を実施。機能要件、部品運動軌跡、周辺部品との干渉等を考慮した状態で、コンロッド検討と同様、最大限の設計自由度を持たせた形状領域を作成した。信頼性とNVHに影響する入力荷重、振動モード等を整理し、評価内容を網羅した解析条件を決定。従来機種と同等の剛性を確保するために、力の伝達経路を分析し、寄与度が高い部位を抽出した(図13)。これらのアイディアを基に、積極的に補剛すべき部位、軽量化すべき部位を見極め、初期設計形状に反映することで、シリンダブロックの1.70 kg軽量化を達成した。

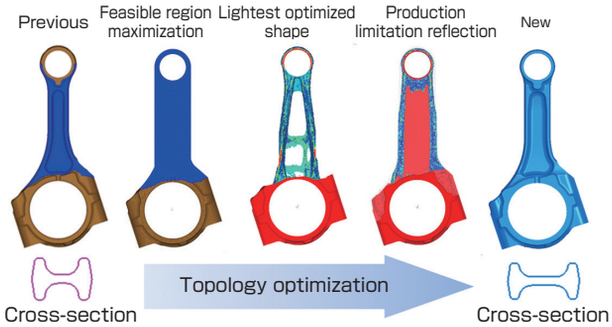


図 12　コンロッドのトポロジ最適化解析プロセス

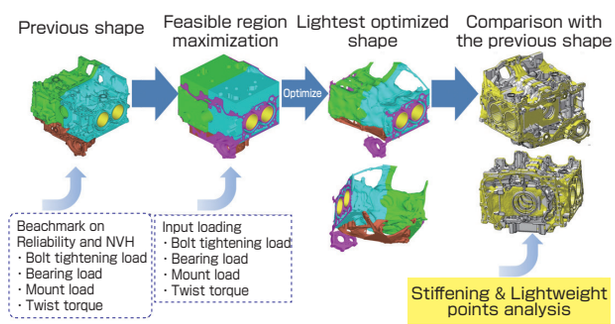


図 13　シリンダブロック＆オイルパンアッパのトポロジ最適化解析プロセス

NVH要件も鑑みたトポロジ最適化解析の結果から、オイルパンアッパ開口部周辺の剛性が、NVH性能への寄与が大きいことが分かった。従来機種より振動伝達感度を下げる目標達成のため、オイルパンアッパの初期設計形状ではバッフルプレート一体構造を採用し、従来型より1.75 kg程度増加した。この重量増加を回避するため、一体構造のバッフルプレートを廃しても同等のシリンダブロック捩り剛性を確保できるようにXリブ断面形状のケーススタディを実施した(図14)。結果として断面形状をI字→逆T字とすると補剛効果が高くなり、壁面部の除肉検討を併せて行うことで、重量を増加させずに伝達感度低減を達成できる形状を見出した(図15)。

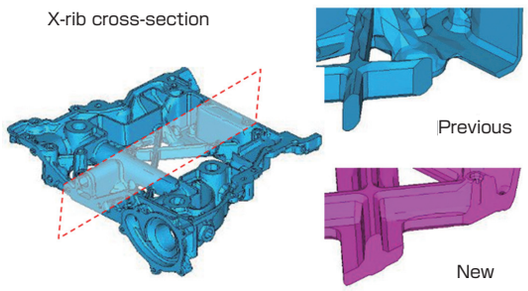


図 14　X リブ断面形状

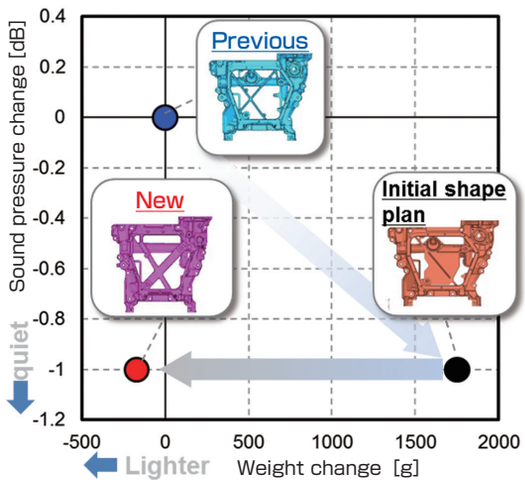


図 15　オイルパンアッパの形状変更効果

5.3　エキゾーストマニホールド

水平対向4気筒エンジンの排気系は、その特有のレイアウトに起因する課題がある。エキゾーストマニホールドは左右シリンダヘッドをつなぐ様にレイアウトされるため、熱膨張の吸収が必要となる。今回の4-2-1エキゾーストマニホールドの設計に当たっては、熱疲労強度に対し熱応力解析を援用することで、形状、板厚、材質を最適化した。これにより3.30 kgの軽量化を図りつつ、熱応力に対する信頼性、ガス交換能力、排気ガス浄化能力を向上させた(図16、表2)。

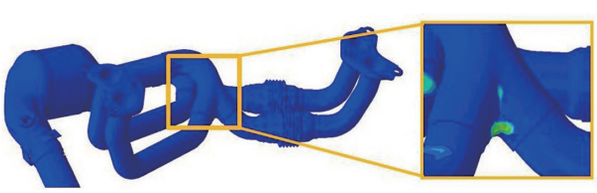


図 16　熱応力解析結果

表 2　エキゾーストマニホールド諸元

	Previous	New
Branch pipe layout	4-1	4-2-1
Diameter of branch pipe [mm]	35	38.1- 42.7
Pipe thickness [mm]	1.5, 1.2	1.2, 1.0
Flange thickness [mm]	10	3
Cover plate thickness [mm]	0.7, 0.7 + 0.5	0.6

6.　燃費

図示熱効率の向上と、各部フリクション低減を通じて、クラストップレベルの正味熱効率を実現した。

6.1　図示熱効率の向上

FB20エンジンのコンセプトである、筒内ガス流動強化によるEGR導入時およびミラーサイクル時の燃焼安定化を踏襲、進化させるために、吸気ポート形状の見直し、TGVの形状最適化を行った。形状検討に際しては、設計者自らが解析実施可能なLiteCAEシステムを用いて筒内ガス流動予測を行い、タンブル比や乱れ強さといった性能影響要素の最適化を行った。また、筒内ガス流動計測により、LiteCAEの精度を検証しながら設計を進めた結果、燃費目標達成に必要な乱れ強さを実現した(図17)。

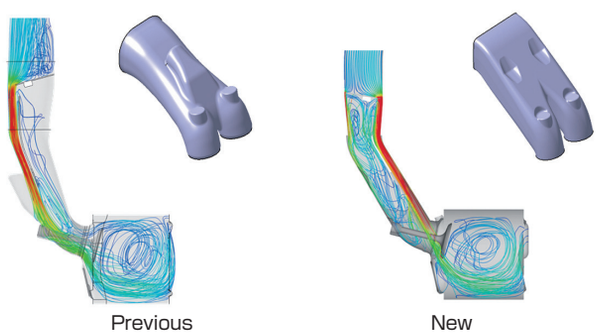


図 17　筒内ガス流動解析結果

また、より多くのEGRを導入するため、EGRクーラーの効率向上、EGRバルブ大容量化などのシステム改良を加えた。これらの結果、最大EGR率を従来比で5 pt向上させた。また、吸気カム開角を120⇒123°に拡げることで、ポンプロスを低減した。

6.2　フリクション低減

摺動部の面圧低減、摩擦係数低減、デバイス駆動損失低減の3つをポイントとしてフリクション低減を行った。

摺動部の面圧低減に対しては、受圧面積と入力荷重をパラメータとして要因分析に取り組んだ。クランクピンのメタル幅を変化させ、解析と実機検証の相関取りを行った上で改善アプローチを検討した結果、コンロッド、ピストンの軽量化が最適な手段と判断した。高圧縮比化による筒内圧上昇に耐える強度を確保しつつ、これらを4.4%軽量化することで、入力荷重を緩和しフリクションを低減させた(図18、表3)。

摩擦係数低減については、ピストンスカートコーティング(図19)、メインメタルへのモリブデン処理、吸排気バルブのステム部鏡面仕上げを織込んだ。

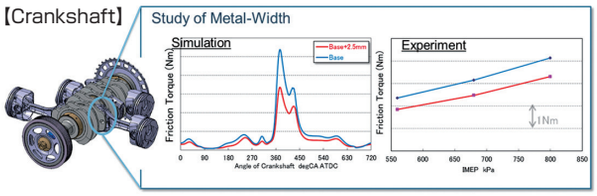


図 18　コンロッドメタル幅拡大によるフリクション低減効果

表 3　軸受部フリクション低減の取り組み

Decrease of bearing pressure	Method	Element
Decrese load pressure	Lightweight	Connecting rod Piston
Expand bearing area	Widen contact width	Connecting rod bearing Pin of crankshaft Large end of connecting rod

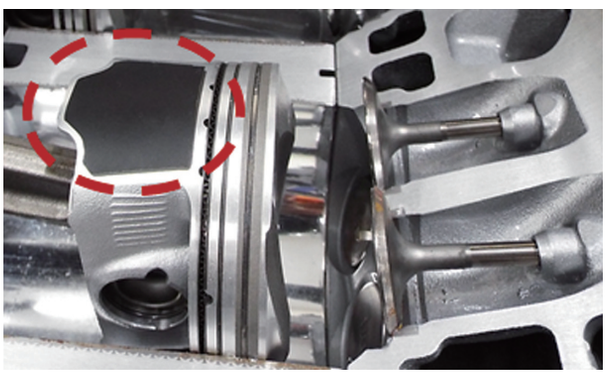


図 19　ピストンスカートコーティング

デバイス駆動損失低減に向けては、補機ベルトレイアウトを刷新し、信頼性を確保しつつベルト屈曲や巻き角を最適化した(図20)。

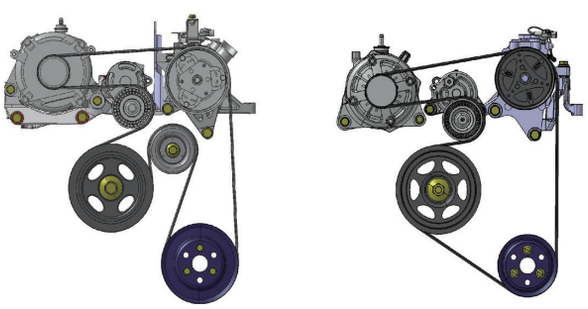


図 20　補機ベルトレイアウト

また、オイルポンプの効率改善にも取り組み、ローター径縮小とローター幅拡幅の最適化を行い、フリクション低減を達成しながら、ポンプ吐出圧を確保する事で信頼性との両立を図った。

これらの取り組みを通じて、0.5 Nmのフリクション改善を実現した(図21)。

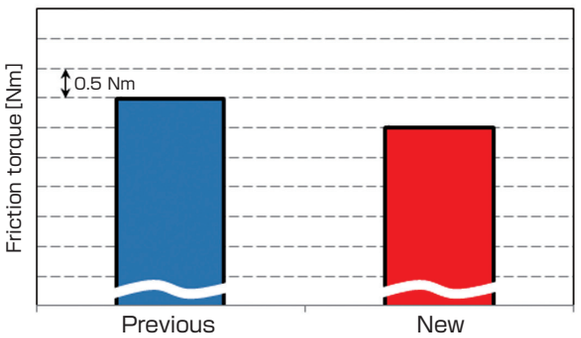


図 21　モータリングフリクショントルク

7.　まとめ

以上の取り組みを行った結果、NVH、出力、燃費の各性能と軽量化をバランスさせた上で、エンジン性能として以下を得た。

7.1　BSFC

クラストップレベルの正味熱効率を実現した(図22)。

7.2　トルクカーブ

燃費性能を高めたうえで、従来型を上回るトルクカーブを得た(図23)。

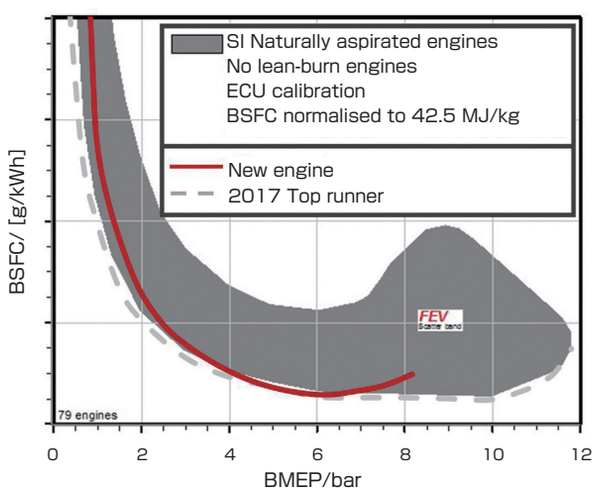


図 22　Comparison of fuel consumption with scatter band (Scatter band : @1500 rpm as of 2014/New engine : @1600 rpm)

8.　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申し上げます。

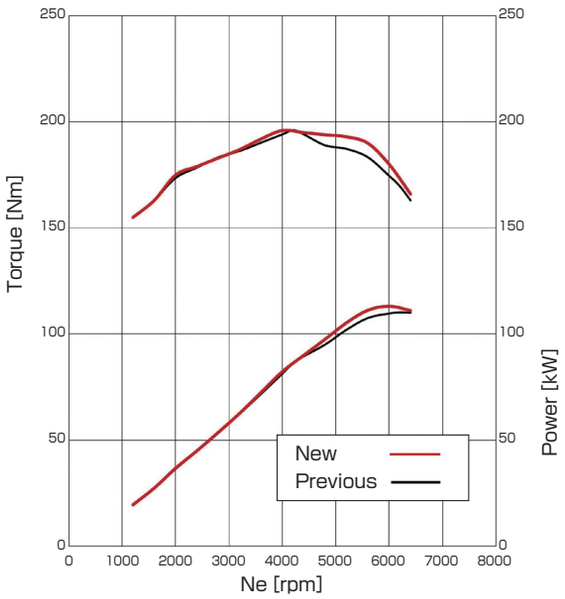


図 23　エンジントルクカーブ

参考文献

(1) 関竜達ほか：新型水平対向2.0L直噴NAエンジンの開発，自動車技術会学術講演会前刷集，No.20175338（2017春季大会）
(2) 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前刷集，No.20175339（2017春季大会）

【著　者】

関　　竜達

最首　陽平

岩上　宏之

長田　健志

金子　　隆

小野　大輔

石田　　礼

小野　　敏

新型インプレッサ向けリニアトロニックの開発

Development of Lineartronic for New IMPREZA

木嶋俊介[*1] Shunsuke KIJIMA
立松憲明[*1] Noriaki TATEMATSU
松本卓[*1] Suguru MATSUMOTO
山﨑裕史[*2] Hirofumi YAMAZAKI
岡田貴宏[*3] Takahiro OKADA

抄　録

2011年4代目インプレッサ向けに開発した中容量タイプの縦置きチェーン式CVT『リニアトロニック』から質量ベースで80%以上の構成部品を改良し、新型インプレッサ向けリニアトロニックを開発した。

時代要求の『環境性能向上』と新型インプレッサの開発コンセプトである『動的質感向上』に貢献した。本稿では、具体的な構造と特徴を紹介する。

Abstract

SUBARU CVT (Lineartronic) was launched for the 4th IMPREZA in 2011. The new Lineartronic was developed for the new IMPREZA by improving over 80% of its components.

This paper describes the structure and the features of the new Lineartronic that has contributed to the enhancement of fuel economy and dynamic quality, which is the development concept for the new IMPREZA.

1. まえがき

2011年に発売したインプレッサで初搭載した中容量タイプの縦置きチェーン式CVT『リニアトロニック』[(1)]を2016年10月発売の新型インプレッサ搭載に向けて改良を図り大幅な性能向上を実現した。本稿ではその改良内容について紹介する。

2. 開発の狙い

近年益々要求が高まる『環境性能向上』に加え、新型インプレッサから採用となったスバルグローバルプラットフォームの開発コンセプトである『動的質感向上』を実現すべく、リニアトロニックの大幅な性能向上を図った。ただし、外観寸法や軸配置といった基本構造は従来仕様を踏襲し、室内空間を犠牲にせず、質量ベースで80%以上の構成要素を改良することで性能向上を実現した。また改良の中でも車両の重心位置適正化にこだわり、軽量化に取り組んだ。主要構造を図1に、主断面図を図2に示す。

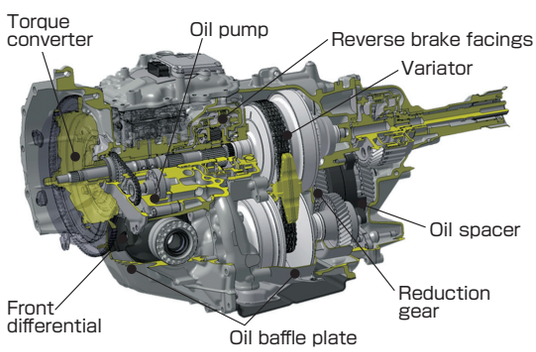


図1　リニアトロニックの主要構造

2.1　環境性能向上

レシオカバレージを拡大により、ローギヤ比を広げ発進加速性能確保し、オーバードライブギヤ比を広げてのエンジンの低回転化の両立を実現した。『ハイブリッド・リニアトロニック』[(2)(3)]で開発した技術も取り込みながら、バッフルプレート形状の最適化、リバースブレーキの低フリクション化、オイルスペーサの設置により機械損失低減を実現した。さらに、トルクコンバータの小型化、フロントハイポイドギヤの溶接固定化(ボルトレス化)、トランスミッションケースの薄肉化により軽量化を実現した。

＊1 トランスミッション設計部
＊2 パワーユニット研究実験第3部
＊3 電子技術部

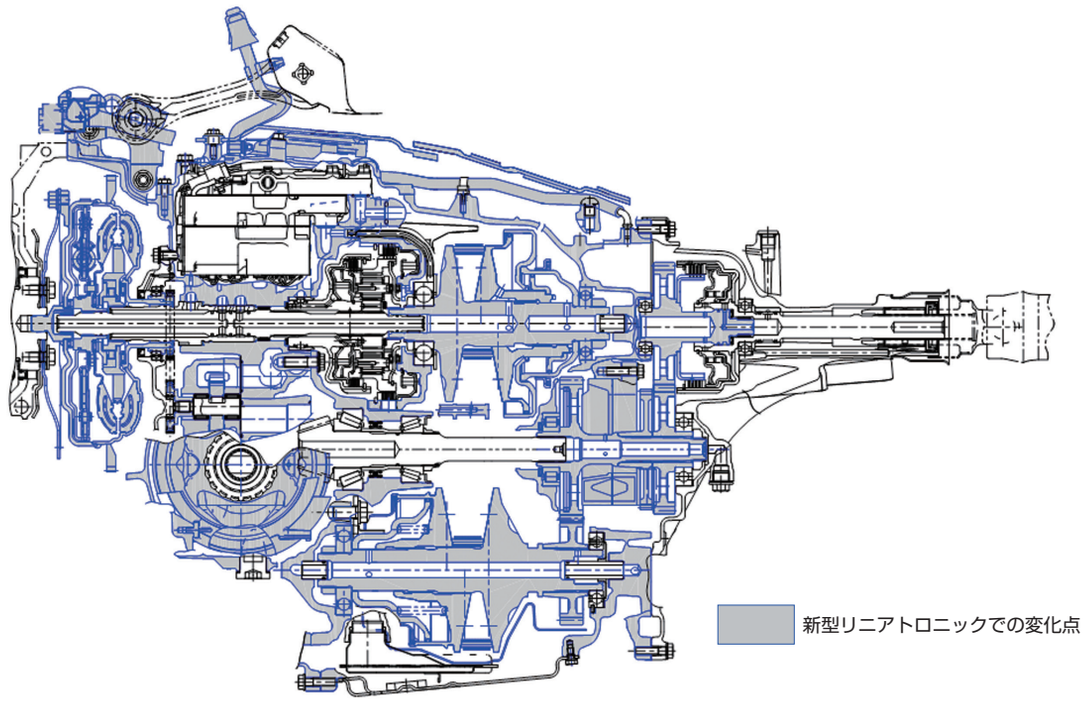


図２　リニアトロニックの主断面図

2.2　動的質感向上

新プラットフォーム採用による車両の静粛性向上に伴い、トランスミッションの主要振騒性能であるチェーン音、ギヤ音、オイルポンプ音すべての性能向上を図った。またドライバビリティ向上のため、スポーツリニアトロニックでも採用し[(4)]、好評を得ているオートステップ変速を採用し、音(エンジン回転数)と加速の一体感を演出しつつ、さらにアダプティブ制御の作動範囲を拡大することで再加速時のレスポンスを向上させた。

3.　構造と特徴

4代目インプレッサと新型インプレッサに搭載のリニアトロニックに関して、主要諸元を**表１**に示す。

3.1　レシオカバレージ拡大

バリエータチェーンの小型ショートピッチ化(**図３**)、及びプーリシャフト径縮小(**図４**)によりチェーンの最小巻きかけ径を縮小することで、プーリ芯間距離を変えずにレシオカバレージ拡大(6.3→7.0)を実現した。巻きかけ径縮小によりチェーン負荷が増加するがチェーン幅を拡大することで強度を確保した。また、シャフト径縮小によるプーリシーブ剛性低下は伝達効率低下や振騒悪化を招くため、シーブ背面を補剛することで性能を確保した。

表１　主要諸元

Vehicle model		4th IMPREZA (2011)	New IMPREZA (2016)
Engine max torque		250 Nm	
Gear ratios	Ratio coverage	6.3	7.0
	Pulley ratio	2.549～0.406	2.683～0.382
	Reduction ratio	1.405	1.342
	Final ratio	3.700	
T/M power loss @80 km/h road load		–	– 16%

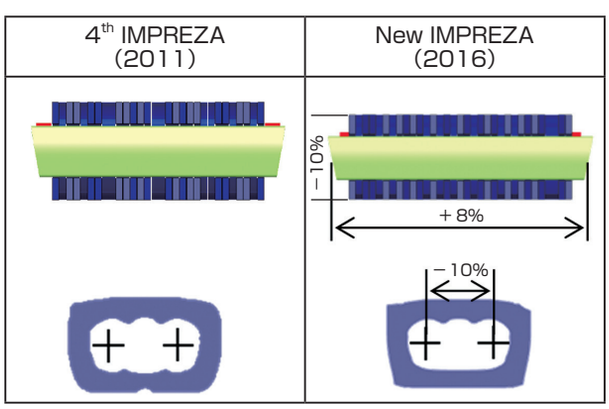


図３　バリエータチェーン

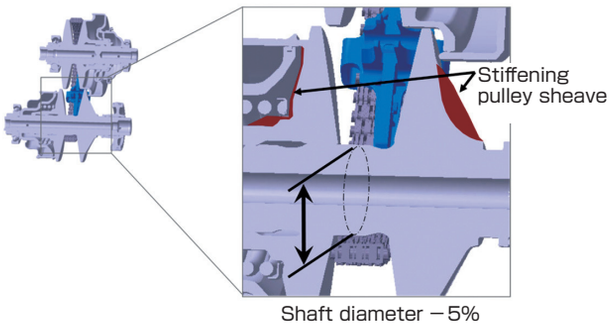


図４　プーリシャフト

3.2　機械損失低減

リバースブレーキに低フリクションフェーシング（図5）を採用することでドラグトルクを低減した。また、オイル撹拌抵抗低減のため、フロントハイポイドギヤおよびプーリのバッフルプレートを形状変更しオイル流入排出性を改善した（図6）。さらに、オイルスペーサを設置して加減速時のオイル移動を抑制し油面高さ低減も図った。これらの効果によりトランスミッション全体で16%の損失低減（80 km/h定常走行）を実現した（図7）。

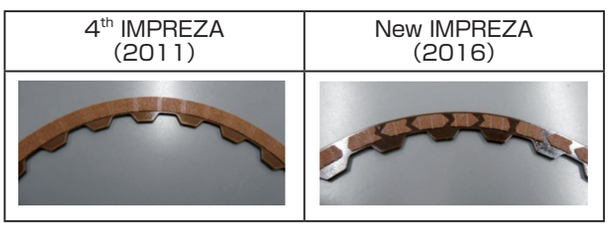


図５　リバースブレーキフェーシング

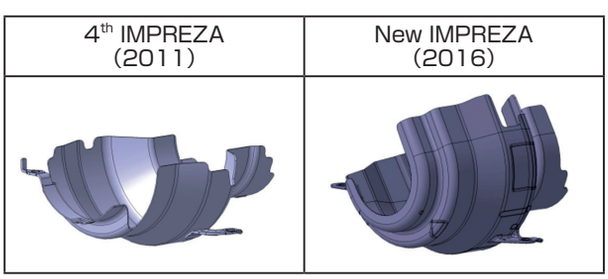


図６　プーリ用バッフルプレート

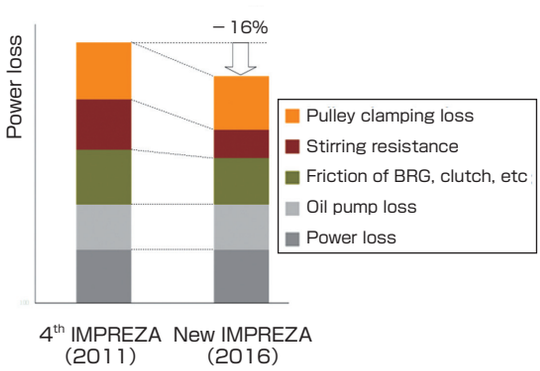


図７　トランスミッション損失（80 km/h 定常走行）

3.3　軽量化

3.3.1　トルクコンバータ小型化

これまで他車種の2.5Lと基本設計を共用していたトルクコンバータについて、適用排気量を2.0L以下に絞り専用設計とすることでトーラス径をΦ236→Φ215に縮小し、35%の軽量化を実現した（図8）。ダンパ部はバネを内周直列配置にして動的ヒステリシスを抑えつつ、バネストロークを確保して捩じり剛性を低減することで振騒性能を確保した。

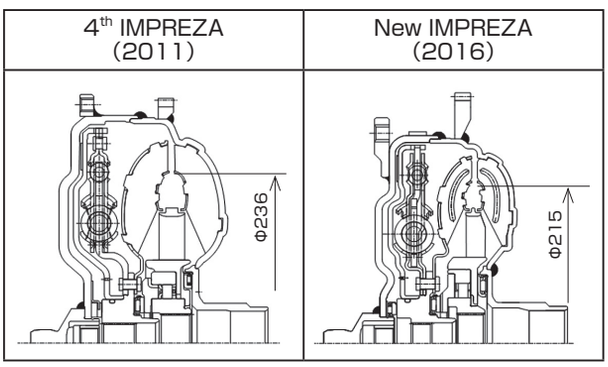


図８　トルクコンバータ

3.3.2　フロントハイポイドギヤ溶接固定化

デフケースとハイポイドギヤを従来のボルト締結から溶接接合に変更した（図9）。ボルト締結、周辺レイアウトおよび組み立て作業性両立のため必要だった肉厚部が不要になり、部品点数を削減しつつ、16%の軽量化を実現した。なお、溶接化による形状変更で撹拌抵抗低減も実現した。

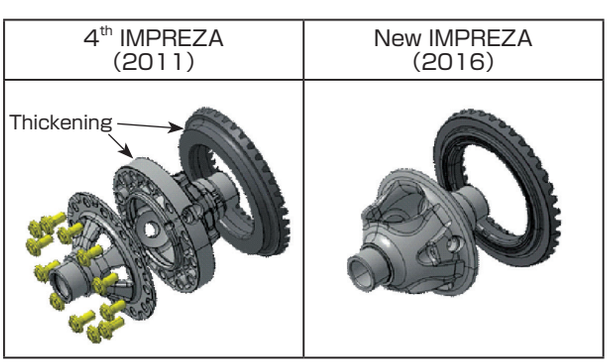


図９　フロントディファレンシャル

3.3.3　トランスミッションケース薄肉化

トランスミッション全体質量のおよそ20%を占めるトランスミッションケースを軽量化すべく最適化解析を導入した。最適化解析は2フェーズで構成した。強度及び剛性最適化（図10）はトポロジー最適化で軸の倒れ量を、振騒最適化（図11）は板厚最適化で音響パワーレベルを制約に、質量最小化という目的を与え、繰返し計算させ最適形状を導く手法とした。なお、振

騒性能は、3.4項に示す起振力低減での性能向上代を踏まえて解析検討した。結果として最小肉厚2.5 mm、振騒性能を確保しつつ5%の軽量化を実現した。

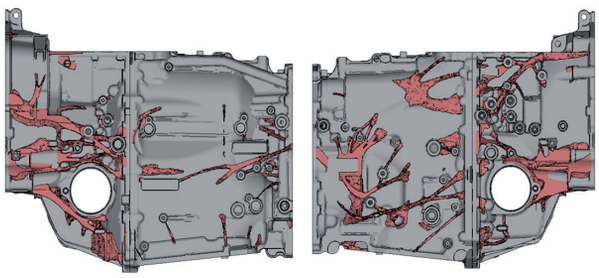


図 10　強度・剛性最適化解析

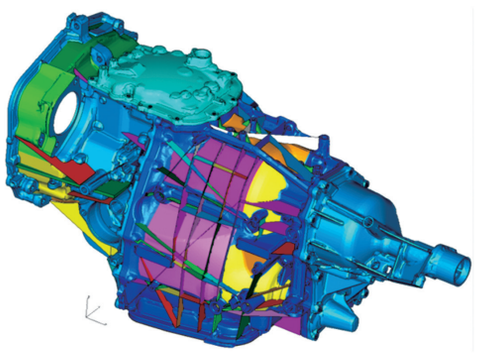


図 11　振騒最適化解析

3.4　振騒性能向上

チェーン音はショートピッチチェーン採用とリンクプレート配置最適化による起振力低減、チェーンガイド剛性とチェーン保持部の仕様最適化による弦振動抑制、およびシーブ剛性最適化で振騒低減を実現した(図12)。ギヤ音は固有値対策として、軸支持ベアリングの剛性UP（ボールタイプ⇒ローラタイプ）とスナップリングを追加し、合わせて歯形のチューニングを実施することで起振力を低減し性能向上を実現した(図13)。オイルポンプ音は歯形及びポート最適化により容量を上げつつ、増速比を下げることで高回転時の起振力を低減し性能向上を実現した。

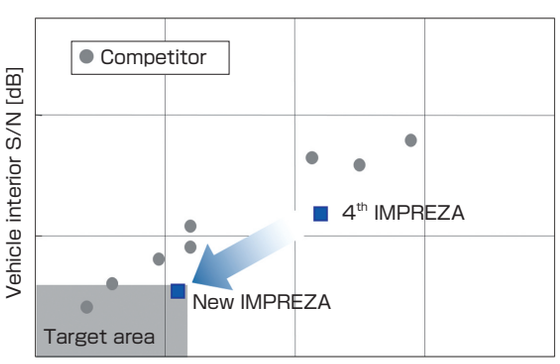


図 12　チェーン音のポジショニング

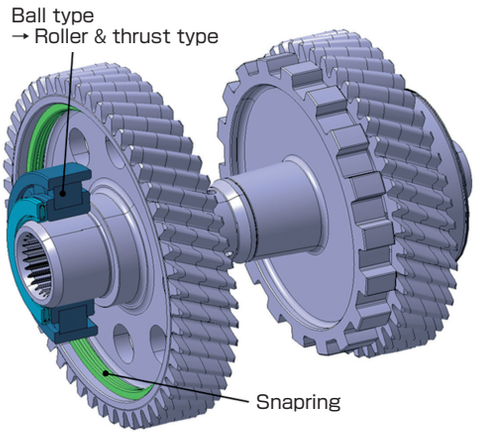


図 13　リダクションドリブンギヤ

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ることで加速の伸び感を演出した(図14)。また、レシオカバレージ拡大に伴い、マニュアルモードも6速から7速化した。トルクダウン制御の最適化により、アップシフトの応答性を高め、変速品質、車両としての動的質感の向上を実現した。

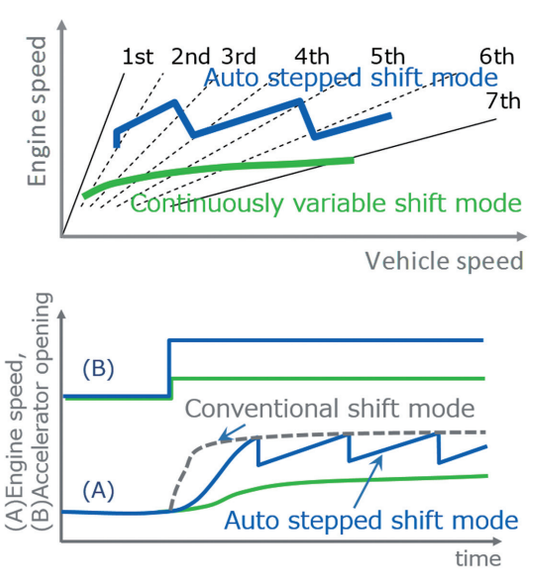


図 14　変速制御

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ダウンシフトさせ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レベル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レベルに変更した。これにより通常走行においても再加速のレスポンスを改善することで快適性を向上した。

5. あとがき

質量ベースで80%以上の構成要素を新設計し、新型インプレッサ開発の狙いである、環境性能向上と動的質感向上に貢献した。今後もリニアトロニックを進化させ続け、再度お客様に選んで頂き、その進化を体感頂ける商品の開発を行っていく。

参考文献

(1) 佐藤ほか：新型インプレッサ用リニアトロニックの開発,自動車技術会シンポジウムNo.03-11, p.25-28（2011）
(2) 木嶋ほか:ハイブリッド･リニアトロニックの開発, スバル技報, No.40, p67-72（2013）
(3) Kijima, S.： Development of Hybrid Lineartronic, 12th CTI Berlin, Vol.2, p211-219（2013）
(4) 鯵本ほか：スポーツリニアトロニック用新変速制御の開発,スバル技報, No.41, p73-77（2014）

【著　者】

木嶋　俊介

立松　憲明

松本　　卓

山﨑　裕史

岡田　貴宏

新型レヴォーグの紹介

Introduction of New SUBARU LEVORG

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

抄　録

2014年春、「革新スポーツツアラー」をコンセプトに実質のレガシィツーリングワゴン後継としてデビューしたレヴォーグ。レガシィで培ってきた「グランドツーリング」性能とWRXで代表される「スポーツ」性能のふたつを融合したワゴンとして、国内はもとより、追加展開した欧州等でも高い評価を得ている。

今回のビッグマイナーチェンジでは、スポーツツアラーとしての本質をさらに伸ばすべく、操縦安定性や乗り心地、静粛性に至る基本性能から1ランク底上げすると共に、アイサイトを核とした予防安全と運転支援技術の大幅な進化を織り込み、さらに魅力ある商品として作り込んだ、その変化点について紹介する。

Abstract

SUBARU LEVORG made its debut in the spring of 2014 based on the concept of “innovative sports tourer” as a successor to Legacy touring wagon. As a wagon blending “Grand Touring” performances cultivated by Legacy and “Sporty” performances represented by WRX, LEVORG has been highly evaluated not only in Japan but also in Europe, where this model was additionally launched.

In this big minor change, the basic performances such as driving stability, ride comfort, and quietness have been leveled up to further enhance essentials as a sport tourer. Also, drastic evolution of preventive safety and driving support technologies have been implemented to make the vehicle more attractive.

1.　まえがき

我々が目指す「安心と愉しさ」を実現するクルマとは、『操る愉しみ、走ることの本質的な喜びを味わえるクルマ』であり、その上で危険回避や衝突安全という性能に加え0次安全としての予防安全により運転者の負荷を軽減し『事故を起こさないクルマ』である。

今回の年次改良では、フェイスリフトによる外観変更に合わせ、クルマ本来の基本性能の向上や、将来の自動運転技術の先駆けとなるアイサイト・ツーリングアシスト（全車速追従操舵支援）を取り込み、時代の先端を切り拓くスポーツツアラーとして細部まで磨き直すと共に、装備面でも大幅な進化を与えている。

所有する喜びと、操る愉しさが生み出す豊かな時間、高度な運転支援技術により最大限の安心が提供されていることが実感できる商品となっている。

以降の説明を以下5項目に整理し紹介する。

- デザイン変更
- 先進安全技術のさらなる強化
- 動的質感の向上
- 内外装質感と利便性向上
- 各国環境対応に向けた取り組みの紹介

2.　デザイン変更

2.1　デザイン・質感

お客様より高い評価をいただいているレヴォーグの基本路線を維持しながら、さらに多くのお客様にも満足いただける内外装質感の実現を目指した。

2.2　さらに上質に洗練されたエクステリア

レヴォーグ特有のフロントマスクのモチーフを活かしつつ、よりワイドでスポーティーな印象と一格上の質感を想起させるフロントフェイスとした。新しいLEDヘッドランプは特徴となる「コの字モチーフ」とプロジェクター本体の目力を、より強く打ち出して

精悍さを強調した表情とした。新デザインの18インチアルミホイールは大きく、伸び伸びとした動きのあるスポークデザインに進化、今にも走り出しそうなスタンスと躍動感を表現した(図1)。

図1　エクステリアデザイン

2.3　レヴォーグらしさと高い質感を両立したインテリア

内装質感のさらなる向上に向け、ブラックとシルバーの質感表現を全面的に見直した。

シルバー塗装パーツに対するお客さまの不満を払拭し、より洗練された室内空間とすることを主眼に置いた改良を施した。艶を抑えたシックなブラックパネルと艶やかなハイグロスブラックパネルを使い分け、シルバーの処理を細くシャープな表現にすることで室内の雰囲気を引き締め、乗り込んだ瞬間の印象を一新、お客様に所有する悦びを感じていただける内装を実現した(図2)。

図2　インテリアデザイン

3　先進安全技術のさらなる強化 …業界最高水準の高度運転支援技術を提供

3.1　アイサイトの進化

クルマは、いつでも、どこまでも行くことができる自由な翼を人に与えてくれる。アイサイトの運転支援は、アクセル・ブレーキ・ステアリング、これらの操作を部分的に自動化し、ドライバーの疲労を低減することで、ドライバーがより遠くへ、もっと違った場所へ行きたくなるように、クルマの翼としての個性を強調した。

今回のアイサイト運転支援の改良は、さらなる利便性の向上を目指し「運転支援領域の拡大」と「操舵支援性能の向上」という二つの進化を実施した。特に、操舵支援を0 km/h以上とし、渋滞から高速走行まで実用車速全域での操舵支援を実現し、2020年へ向けた自動運転の前身となる機能を付加した。

3.2　運転支援領域の拡大と対応

従来、操舵支援が作動する車速は60 km/h以上としていたが、0 km/hからの低速域へ拡大。停車状態から高速域までスムーズにアクセル・ブレーキ・ステアリング操作の部分的な自動化を可能とした(図3)。

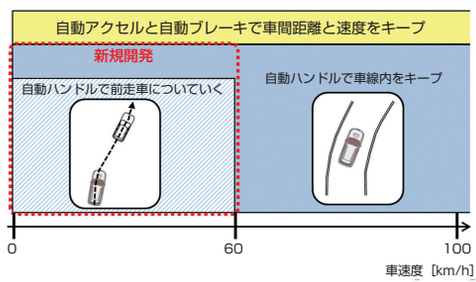


図3　運転支援領域の拡大

3.2.1　低速領域(0～60 km/h)対応

低速領域では、高速領域よりもハンドル角度を大きく、速く動かすことが要求される。そこでアイサイトが要求する制御値に対し、実際のハンドル角度と速さとを一致させるフィードバック制御を適用した。この制御により、カーブ中の渋滞(首都高やジャンクションでの渋滞を想定)において、安定して車線中央を維持することが出来る。

3.2.2　高速領域(60 km/h～)の性能向上

高速道路の長距離移動でも安心・安全な車線中央維持性能を提供するために、制御パラメータの再調整と最適化を実施。従来よりも車両のふらつきを低減し、車線中央付近をしっかり維持できるようにした(図4)。

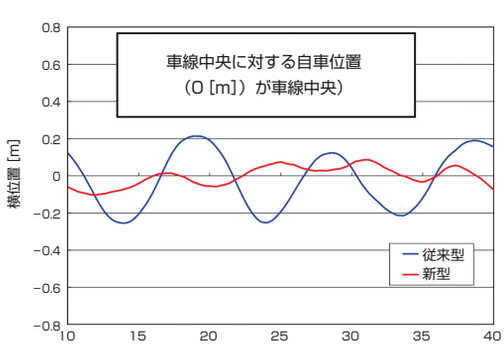


図4　車線中央維持制御改善

3.3　新認識技術の追加

操舵支援を停車まで作動させるために、白線認識にもちいる画像処理技術の改良と併せ、以下二つの最新技術をSUBARUとして初採用。車線または先行車の情報をもとに制御するシステムを構築した。

3.3.1　先行車に追従する操舵制御の開発（先行車の位置情報を活用した操舵制御）

この機能は、雨や雪、センターライン等の線の薄れなどにより車線の認識が困難である場合、または渋滞などにより先行車との車間距離が短く、先行車によって車線が隠される場合に、低速時（停車～約60 km/hの範囲）に限定して作動する。このとき、先行車の車両中心を自車の進行方向とし、そこへ向かうように操舵制御を実施（図5）。従来、車線認識が困難である場合は操舵制御を中断していたが、制御が途切れず継続することで利便性を高めた。

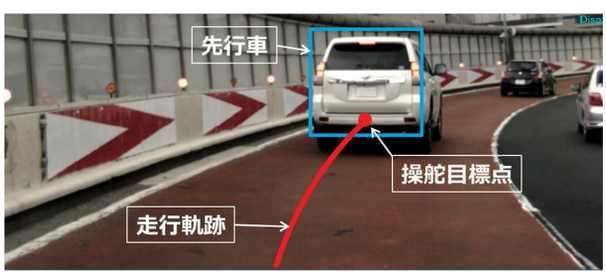


図５　先行車追従　操舵制御イメージ

3.3.2　白線情報と先行車情報を融合した操舵支援

低速では車間が狭くカメラで撮影できる車線の長さが短くなり、車線認識を安定しておこなうのが難しくなる。そこで先行車の走行ラインをアイサイトで推定し、この情報と車線情報とを併用させることで制御情報の安定化を図った。従来手法ではトラックのような横幅の大きい先行車に続いて走行する場合、車線認識ができないことが理由で操舵支援をキャンセルしていましたが、本手法を適用することで操舵支援の継続を可能とした（図6）。

図６　先行車追従　協調制御イメージ

3.4　作動頻度の向上

アイサイトの進化により渋滞走行を含む東名高速道路では、操舵支援の中断、およびドライバーによる修正舵の必要は無く、停車～高車速まで広い作動範囲で高い利便性を確認できた（表1）。一方、首都高の実用車速では制御限界を超えたカーブがあり操舵支援の中断が発生する。これは今後の課題として捉えている。

表１　実路走行結果

	①東名道	②首都高	③東北道・北関東道
操舵支援の中断回数	0	12	3
修正舵の回数	0	18	0

各走行区間は図７に示す

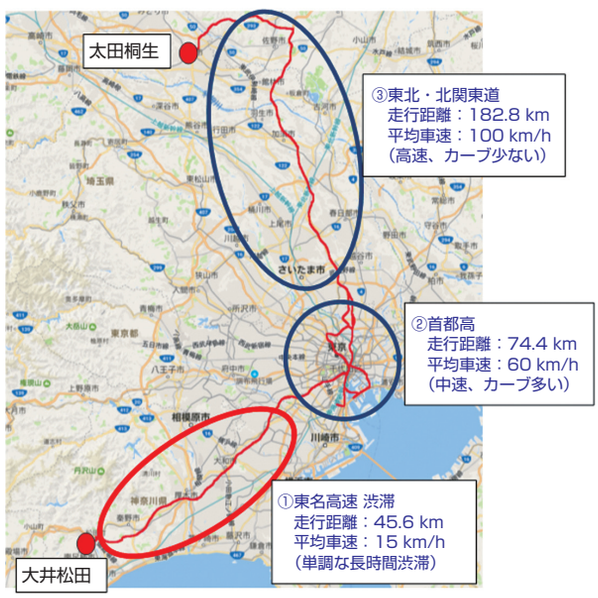


図７　実路評価路

3.5　渋滞時の発進待機制御

渋滞時の運転負担軽減に配慮し、先行車追従中の車両停止から3秒間は再発進を待機する制御を採用した。発進と停止を繰り返すような渋滞時の利便性をさらに向上させた（図8）。

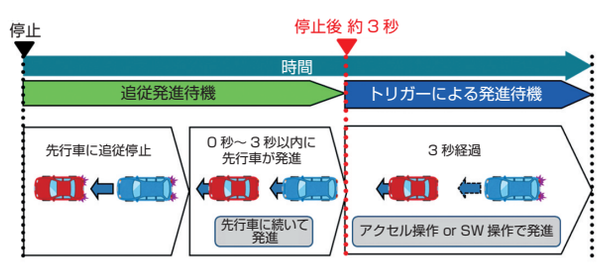
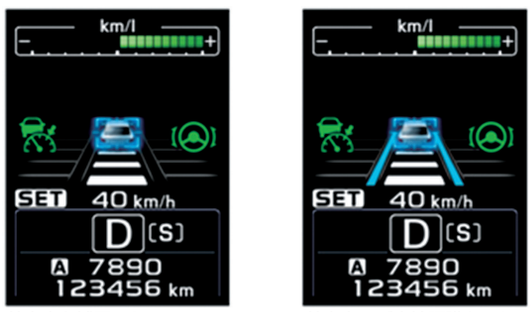


図８　発進待機制御

3.6　表示系の刷新

操舵支援制御車速の拡大に伴い、HMIの見直しを実施。多くの情報をドライバーが認識しやすくするため、コンビネーションメータ内のマルチインフォメーションディスプレイ（図9）の背景色やアイコンを変更

し制御状態を示した。また、インパネ中央にあるマルチファンクションディスプレイ（図10）では、同乗者へのエンターテイメント性も含めた画面としてシステムが作動していることを強調。また、アイサイトアシストモニタの点灯方法を変更し、ドライバーに作動状態が直感的に分かるようにした。



前走車を補足した操舵支援状態　　前走車及び車線認識をした操舵支援状態

図９　マルチインフォメーションディスプレイ

図 10　マルチファンクションディスプレイ

3.7　フロントビューカメラ

車体フロント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、マルチファンクションディスプレイに表示できるようにした。ドライバーから死角となる前方の様子を確認できるようにすることで、出合頭の事故防止に貢献する。

サイドビューモニタ付車の場合、フロントビューモニタとサイドビューモニタをマルチファンクションディスプレイに同時表示させることで、狭い場所への駐車時などをサポートできるようにした（図11）。

《フロントビューモニター表示》

《フロントビューモニター＆サイドビューモニター表示》

図 11　フロントビューカメラ表示

3.8　後退時自動ブレーキシステム

後退時、障害物に接近すると警報吹鳴と共にマルチファンクションディスプレイ画面に障害物との距離感を模式的に表現（図12）。その後、回避動作が無く障害物と接近した場合には自動的にブレーキをかけ衝突回避または衝突による被害軽減を図る制御を採用した。

図 12　障害物検出　（全点灯時）

リヤバンパーに設置したソナーセンサーで障害物を検知し、障害物との距離を認識、衝突の可能性を判断した場合にブレーキをかける（図13）。

昨今、ブレーキペダル踏み間違いによる事故が報道で取り上げられているが、既に展開済のAT誤後進抑制と併せて後退時の安全をより強化した。

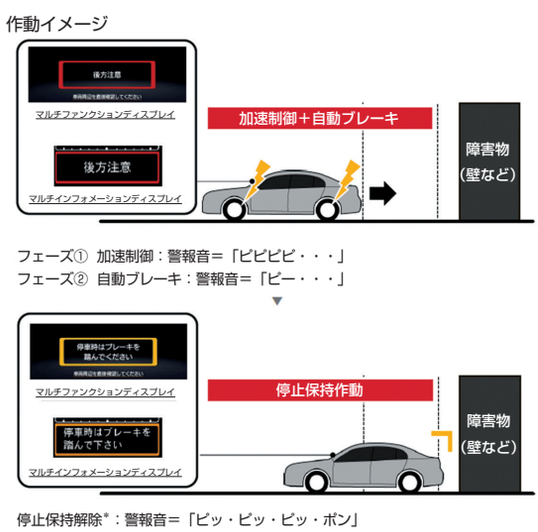


図 13　作動イメージ図

3.9　スマートリヤビューミラー

リヤゲート上部室内側に搭載したカメラにより車両後方の映像を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SUBARU 初設定した（図14）。

夕方や夜間など、環境の変化でミラー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、カメラの映像を映し出すことでクリアに後方を確認できるようになり安全性を向上させた。

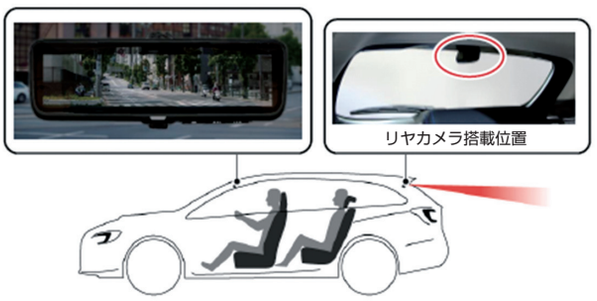


図 14　スマートリヤビューミラー

3.10　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、渋滞時、坂道での停車時などに、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を維持する。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2)。

表 2　従来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

3.10.1　操作性・作動

従来のヒルホールド機能の操作性を維持するため、AVHスイッチの設置場所及び構造はヒルホールドスイッチと同一とした。システムのON-OFFは同スイッチで実施し、メータ内のAVH表示灯の点灯で目視確認出来る(図15)。

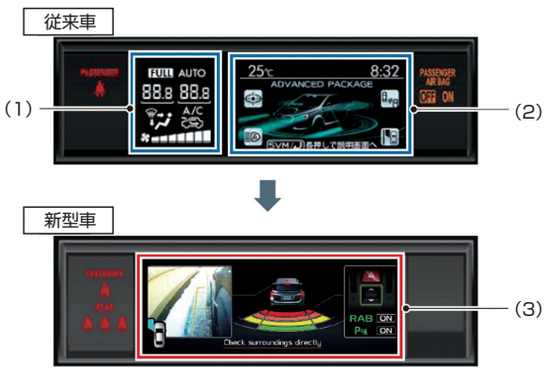
図 15　オートビークルホールドスイッチ

3.10.2　停車保持／保持解除の方法

システムスタンバイ状態時にブレーキを踏んで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が解除する。

3.11　マルチファンクションディスプレイ

ワイドで高精彩な5.9インチTFTカラー液晶を全車に採用(図16)(表3)。全ての画面意匠を刷新し、表示コンテンツを集約・再構築することで、より見やすく理解しやすい情報表示を実現した。



(1) モノクロ液晶(ネガ表示)
(2) 4.3インチカラー液晶
(3) 高精細 5.9 インチカラー液晶

図 16　マルチファンクションディスプレイ

表 3　液晶仕様

[変更内容]

	従来車	新型車
サイズ	4.3 inch + LCD	5.9 inch
画質	標準画質 (400 × 234)	高画質 (1140 × 350)
ピクセルサイズ	0.237 × 0.225 mm	0.123 × 0.123 mm
フレームレート	60 fps	90 fps

3.12　警報ボイスインフォメーション

車両に機能障害が発生した場合のドライバーインフォメーションとして、従来のメーター内のワーニング表示に加えて音声ガイダンスによるお知らせ機能を追加。また、メーター内マルチインフォメーションディスプレイにも文章表示を行い、警告に対するドライバーの対処方法を明確にし「どうして良いか分からない」という不安感を払拭できるようにした。また、アイサイトの先行車発進お知らせも、従来の電子音から音声ガイドに変更し、分かり易くした。

4.　動的質感の向上
… スポーツ性能とより上質な乗り味の追求

アイサイトを初めとした先進装備性能の拡充によりツーリング性能を大幅に向上。

快適に乗り続けられる車内空間とするために、操縦安定性を確保した上で、乗り心地やNVH（Noise, Vibration, Harshness）の基本性能を向上させた。

4.1　シャーシ

革新スポーツツアラーとしてさらに磨きをかけるべく、動的質感の向上としてサスペンションチューニングによる最適化を行った。走り出した瞬間から高速走行に至るまで、全域にわたって走りの質が底上げされ、より快適で気持ちの良い愉しい走りを実現した。

4.1.1　サスペンション

フロントアームのリヤ側ブッシュをピローボールブッシュからゴムブッシュに全車統合しハーシュネスの改善を行った。また、リヤスタビライザーの小径化を 行い路面へのタイヤ追従性を高めた。

コイルスプリングは、前後ばね定数ダウン、車高アップ（1.6GT,1.6GT.Sのみ）を実施。ストラット及びショックアブソーバーはリバウンド長の延長と減衰力の最適化を実施することで、荒れた路面ではしなやかにストロークし平坦路ではフラットな乗心地を実現した（図17、18）。

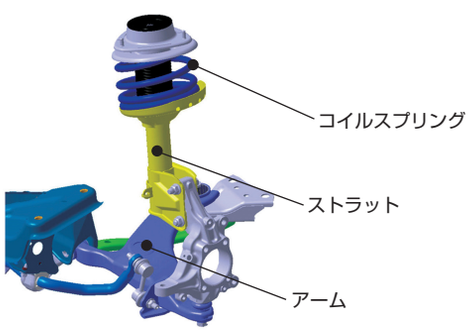


図 17　フロントサスペンション

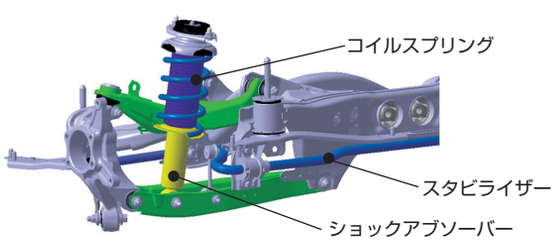


図 18　リヤサスペンション

4.1.2　電動パワーステアリング

ステアリングギヤボックスの構造及び特性の見直しを実施した。制御面では、転舵状態からハンドルを戻す際に、セルフアライニングトルクによる自然な舵の戻りを再現する制御を追加。併せて、モータ制御の最適化を行い、ステアリング操作にリニアにアシストが追従する自然で滑らかな操舵フィーリングを実現した。ハード変更として、モータとECUを一体構造とし、システム重量で△1,500 g強の大幅な軽量化を行った（図19）。WRX STIと共用。

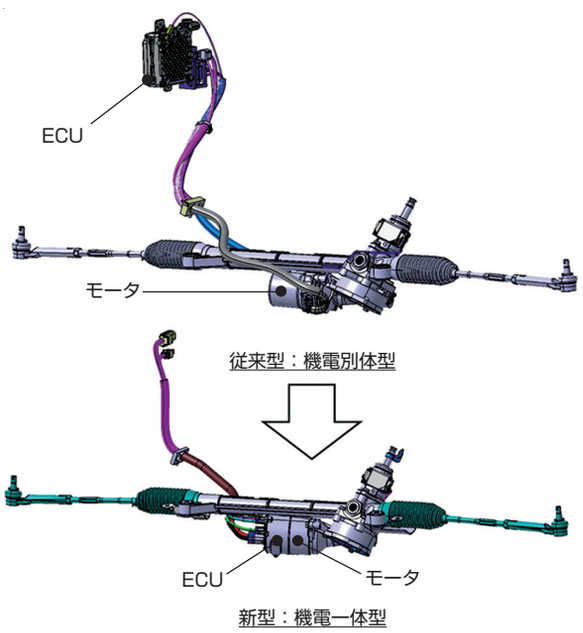


図 19　電動パワーステアリング

4.2　静粛性向上アイテムの織込み

4.2.1　車体

①フロントレールの内部に発泡インシュレータを採用し、耳元近くの雑音を低減。レール内にある空洞が共鳴して起こる車内で耳障りに感じる音の抑制と、フロントルーフレールの揺れ動きをこの発泡インシュレータで抑制した（図20）。

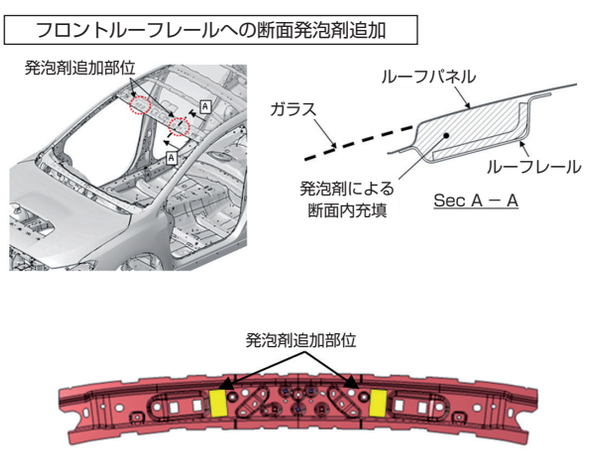


図 20　発泡インシュレータ

②粗い舗装路を走行したときのロードノイズを低減するために、フロントフロア部のサイレンサー板厚アップと面積拡大を行った。さらに荷室フロア部にも追加することで静粛性の向上を図り、室内の会話明瞭度を向上させた(図21)。

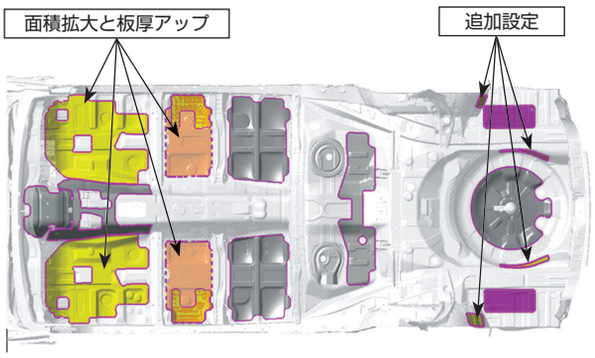


図21　制振材変更部位

4.2.2　キャビン廻り

車室内への透過音低減を狙い、ドアガラスの板厚を厚くすると共に、ドア周りのウェザーストリップを新設計し遮音性能を向上した(図22)。

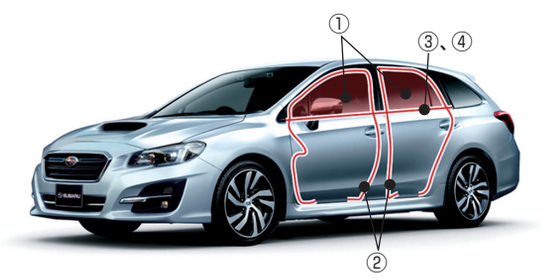


図22　変更概略図

①ドアガラスの板厚アップ

フロントドアガラス、リヤドアガラスの板厚をそれぞれ3.5 mm→4.0 mmに増加し、遮音性を高めることで、透過音性能を改良した。

②ウェザーストリップにハイソフトスポンジ追加

ボディーフランジのくわえ込み部分にハイソフトスポンジ(図23)を追加し、透過音性能を改良した。

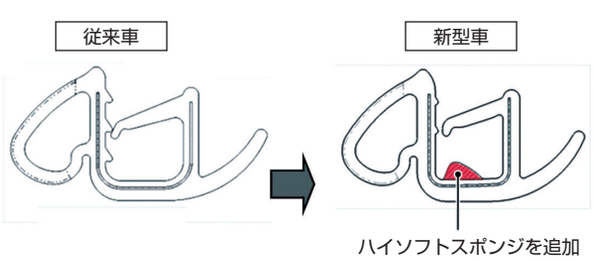


図23　ウェザーストリップ断面

③ドアウエザーストリップを新製

フロントガラス板厚アップに伴う、シール断面適正化のため、ガラスと摺動するドアウェザーストリップインナのリップを変更。特にリヤ側をフロント同様に2枚化することで、遮音性を高め、透過音性能を改良した(図24)。

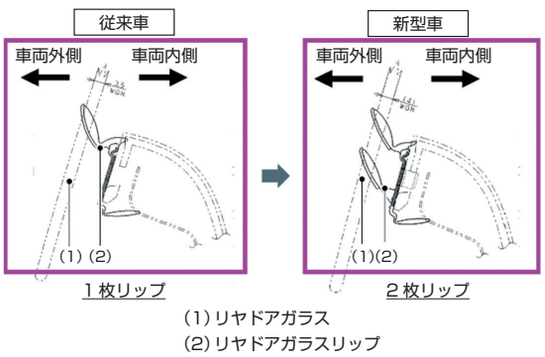


図24　ドアウエザーストリップ

・フロントドアガラス　室内側

リップの形状をガラス板厚アップに合せて変更(2枚リップ　→　2枚リップ)。

・リヤドアガラス　室内側

ガラス板厚アップ対応と共にリップを1枚から2枚に変更した(1枚リップ→2枚リップ)。

④アウターモール部分の穴埋め

アウターモールの取り付けクリップ周辺にエプトシーラーを追加。穴の周りの隙間を埋めることで、車外からの音侵入を低減させ、遮音性能を向上した(図25)。

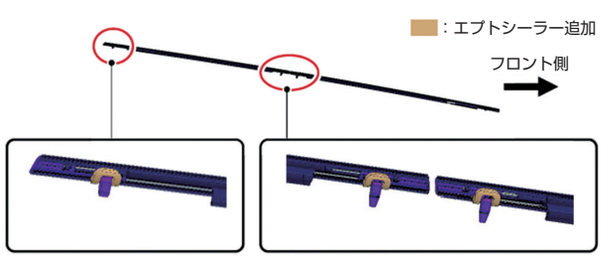


図25　アウターモール隙間処理

4.2.3　カーゴルーム

ワゴン特有の改善として、カーゴルームからの雑音侵入を抑え、車室内全体の静粛性に繋げた。

①リヤゲートガラスの板厚を2.8 mm→3.5 mmに変更し、遮音性を高め静粛性を向上。また、ドリップリヤゲートのルーフ分割部のサイズを拡大し、車体とリヤゲートの隙を埋め遮音距離を稼ぐ対応を織込んだ(図26)。

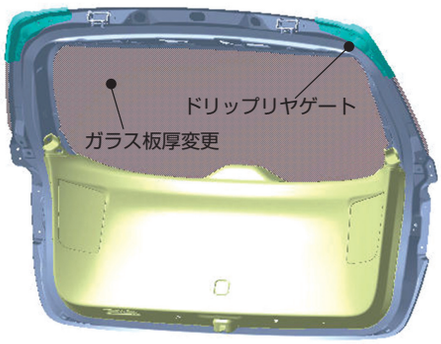


図 26　リヤゲート周辺

②その他、荷室構成部品への吸音材追加や面積の拡大を行い静粛性向上に寄与。

・フロントスペーサーシンサレート追加
・フロントスペーサー形状変更（前壁延長）し遮音
・フロアマット裏面ウレタン形状変更（パネルサイレンサー板厚アップ対応）
・リヤゲートロアのシンサレート面積拡大
・リヤゲートアッパのシンサレート追加

5.　内外装質感と利便性向上 … より厳しい視点のお客様に応える

5.1　フロント廻りフェイスリフト

SUBARUらしさ、レヴォーグらしさを活かしながら質感向上を実施。フロントグリルはヘキサゴングリルを踏襲しながら車体中央から外側に向けて、より一体感のある連続面で造形。グリル枠、フォグカバーに加飾に加え、バンパーインテーク部にもメッキモールを付加し質感を向上。フォグカバー部をよりシャープにし動きのある形状として躍動感のある造形とした（図27）。

図 27　フロントグリル

5.2　LEDヘッドランプ

夜間の視認性向上を狙い、上級グレード用のLEDヘッドランプを新設計した（図28）。WRX S4, STIと共用。

図 28　LED ヘッドランプ

5.2.1　機能レイアウト

LEDヘッドランプの機能レイアウトを示す（図29）。

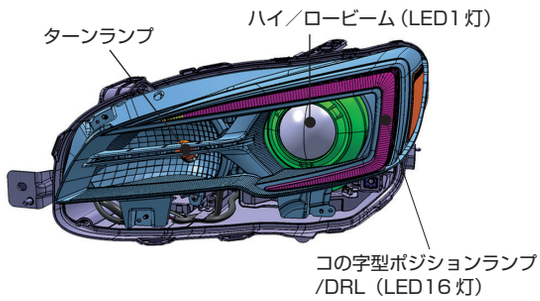


図 29　機能レイアウト図

5.2.2　変更箇所の特徴

①SRH（Steering Responsive Headlight）の採用

カーブ先の視認性向上のためヘッドランプにSRHの機能を追加する。SRHは、コーナーや交差点でヘッドランプの照射方向をカーブに合わせて変え、進行方向の視認性を向上させる（図30）。

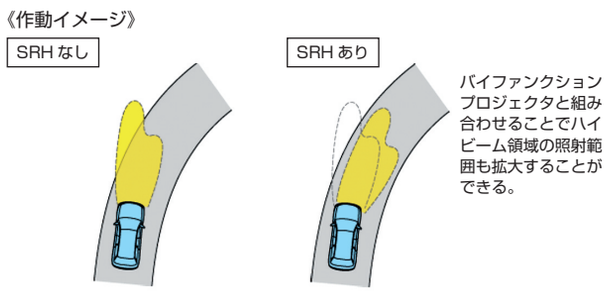


図 30　SRH 作動イメージ

②バイファンクショナルプロジェクタLEDランプの採用

一つのLED光源でハイビームとロービームを切り替えるBi-Functional LED Headlampを採用。SRHと組み合わせることで、ロービームだけでなくハイビーム領域でのSRHを可能とし、より遠方の視認性を確保する。

③ポジションランプと輸出のDRL（Daytime Running Lamp）機能を統合。シグネチャー表現を強化し、昼間でも遠くから見て、一目でSUBARUとわかる外観を実現した。

④ターンランプ機能を灯体内に統合(図31)

バイファンクションプロジェクタLED ランプの採用に伴いヘッドランプ灯体内にターンランプ機能を統合することで、従来車との外観を差別化した。

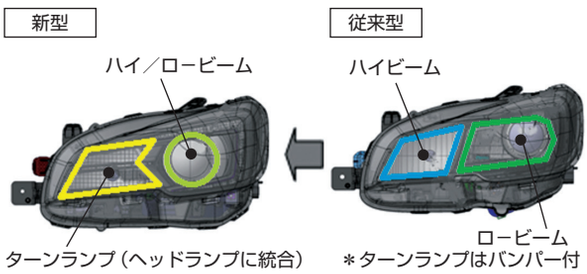


図31　灯火器レイアウト比較

⑤インナーレンズカットにクリスタルカットの採用

コの字モチーフの質感向上を狙い、インナーレンズのカットにクリスタルカットを採用(図32)。

図32　クリスタルカット採用

5.3　LEDフォグランプ

夜間の視認性向上を狙い、LEDフォグランプを採用。レヴォーグ STI Sportで採用のLEDフォグランプを全車に横展開。LED光源の採用によって消費電力の低減(ハロゲン比72%減)と共に側方の配光エリアを拡大させ視認性向上により夜間の安全性に寄与(図33)。WRX S4と共用。

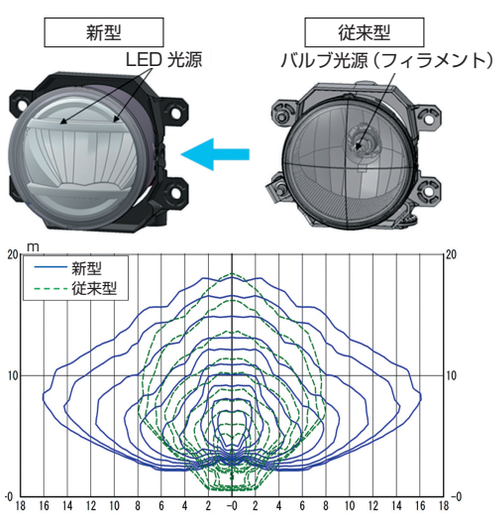


図33　新型・従来型外観、照射エリア比較

5.4　内装

さらなる内装質感向上・使い勝手向上の取り組みとして、従来のSUBARUファンはもちろん、より視点の厳しい新たなお客さまにも満足していただける内外装質感を目指し“仕立ての良いインテリア“を目標に開発に取り組んだ(図34)。“加飾表現の進化”“使い勝手向上”について以下に述べる。

図34　内装

5.4.1　加飾表現の進化

艶やかで硬質感のあるハイグロスブラックパネルを基調に金属調アクセントを付加、シャープさを感じるシルバーの縁取りやラインを施し、精緻な印象を実現。インパネセンターパネル、シフトノブ周囲、ドアスイッチパネルの表現を見直し、室内の雰囲気を引き締めた(図35)。

図35　各部の加飾表現

インパネオーナメントは専用柄のアルミ調、水圧転写に変更し、メッキラインとの組み合わせにより、室内空間のコーディネートに配慮した(図36)。

図36　インパネオーナメント

5.4.2　4：2：4分割可倒式リヤシート

4：2：4分割可倒式リヤシートを、SUBARUのワゴンモデルで初採用。多彩なシートアレンジを可能とし使い勝手と利便性を向上させた。センター席のみを倒すことにより、スキー板等の長尺物を載せた場合でも、大人4人が快適に移動できるようにした。また、左右席それぞれのバックレストとセンター席の組合せでの前倒しが可能となり、荷物を積んだ状態でも、後席での座り方を自由に選ぶことができるようにした。

さらに乗員や利用者への安全性に配慮し、右バックレスト内にオイルダンパーを設定。センター席を倒した状態からのフォールディング速度を抑えることで、キャッチャ勘合部での指挟み傷害防止構造とした。また、従来のリモート可倒機能とリクライニング機能を踏襲し、利便性を確保した構造とした(図37)。

図37　外観およびシートアレンジ

5.4.3　ドアグリップ

ドアプルカップ部にTPO（Thermoplastic Olefin）製のグリップを追加し、触感及び握りやすさを実現、ドア開閉の質感向上に繋げた(図38)。

5.4.4　8インチナビ搭載対応

大画面化による圧倒的な見やすさをお客様の選択肢に入れるため、ナビヘッドユニット取付開口の8インチ化を実施。レヴォーグ専用ディーラーオプションの設定も追加し、多様なニーズに対応する。また、インパネセンターのマルチファンクションディスプレイと表示連携し、ターンバイターン表示や楽曲タイトルも表示する事が可能。快適なドライビングと共に同乗者へのエンターテイメント性の向上に繋げた(図39)。

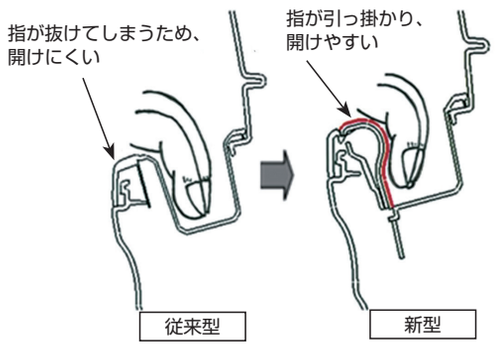


図38　ドアグリップ

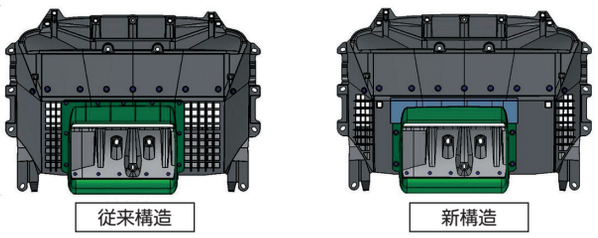
図39　インパネセンター＆空調

5.4.5　空調

8インチナビの搭載に合わせヒーターコントロールの薄型化を実施。温度調整は直感で操作しやすいダイヤル方式を踏襲。ダイヤルへのメッキリングや根本でのアイスブルーの透過照明により、夜間での操作性・質感を向上させた。エアコンの作動状態は、インパネセンターのマルチファンクションディスプレイに表示し、運転中に視線移動の少ない操作を実現した(図39)。

5.5　房内美観の維持向上

房内美観の維持を図るため、インテークダクトから侵入する水の排水構造の見直しを行なった。フード裏から房内に滴下する水滴経路をエンジンヘッド外側に変更するため、メッシュ位置の見直しを実施、コレクトカバー意匠面の美観維持を実施した(図40)。



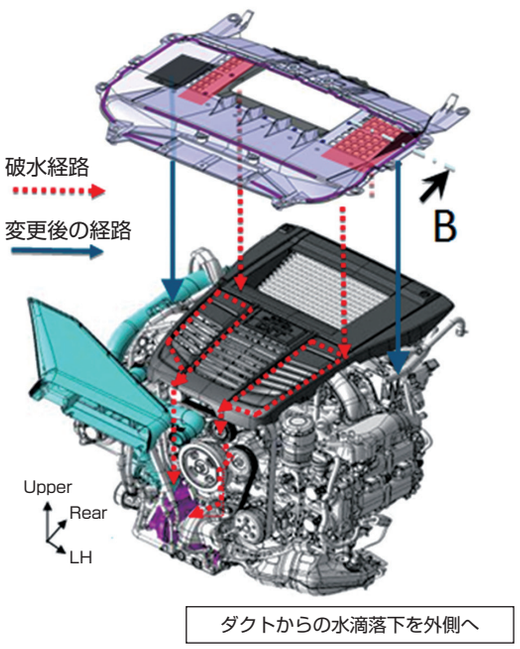


図 40　排水経路変更

6.　各国環境対応に向けた取り組みの紹介

6.1　エンジン

将来の欧州EURO6c排ガス規制に対応するため1.6Lターボエンジンに改良を行った(図41)。

吸気ポート、ピストン冠面、インジェクタ、シリンダヘッドウォータージャケット等の変更により燃焼改善を実現させた。また、振騒低減と軽量化を狙い、クランクプーリ、オイルスペーサの変更を行った。

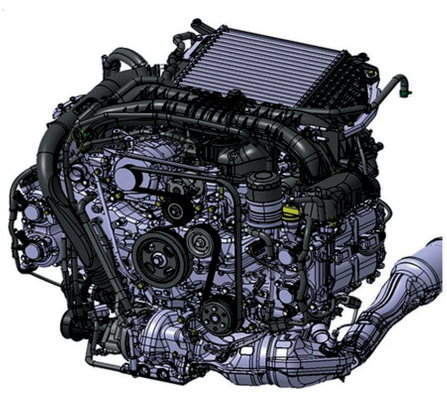


図 41　1.6L　DIT エンジン

6.1.1　燃焼改善

欧州排ガス規制の強化に伴いPN(Particulate Number)低減及び、ストイキオ燃焼領域の拡大を実現するため、以下の変更を実施した。

6.1.2　シリンダヘッド

燃焼速度を高めるため、シリンダヘッドの吸気ポート及びピストン形状を変更(図42)。

吸気ポートは燃焼室入射角及び形状を変更しタンブル流の強化による筒内乱れ強さの向上を実現(図43)。

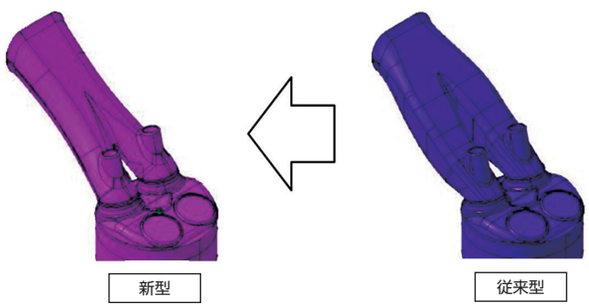


図 42　ポート形状

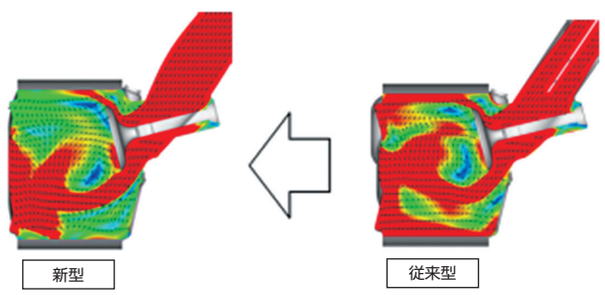


図 43　筒内流動図

ノック限界の向上のため、シリンダヘッド内ウォータージャケットに変更を加えた。これにより、圧力損失を悪化させることなく燃焼室周りの流速を向上させ冷却改善を図った(図44)。

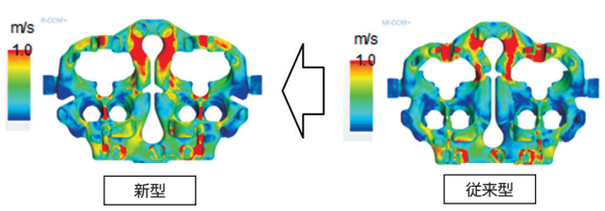


図 44　ウォータジャケット流速分布図

6.1.3　ピストン

燃焼改善に伴いピストン冠面形状を変更(図45)。従来のウォールガイド+エアガイドでの流動コンセプトからエアガイドへ変更。シンプルな形状とすることで熱効率向上に寄与している。

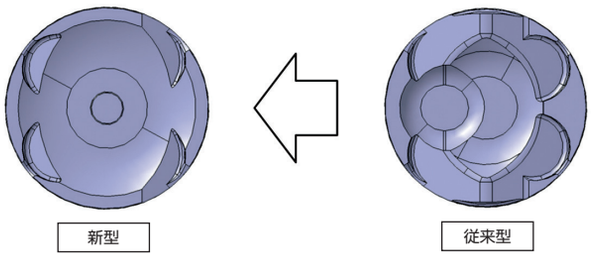


図 45　ピストン冠面形状

6.1.4　インジェクタ

噴霧パターンの変更と多段噴射、高燃圧対応のため、フューエルインジェクターに変更を加えた。これによりライナーウェットの抑制によるPN低減、燃料噴霧の微粒化向上によりストイキオ燃焼領域の拡大を実現させた。

6.1.5　コンロッド

燃焼改善に伴う筒内圧増加対応としてコンロッドを強化(図46)。

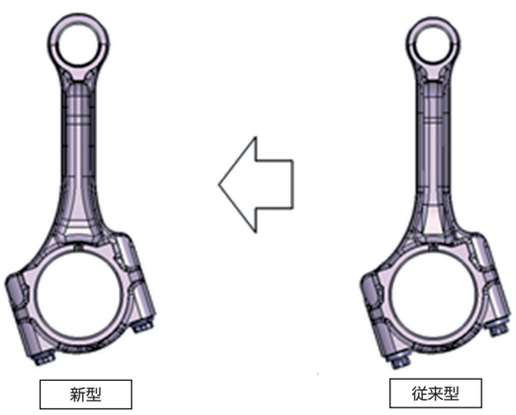


図 46　コンロッド形状

6.2　軽量化・振騒改善

6.2.1　クランクプーリ

クランクプーリの形状を変更することで振騒低減と軽量化を図った(図47)。

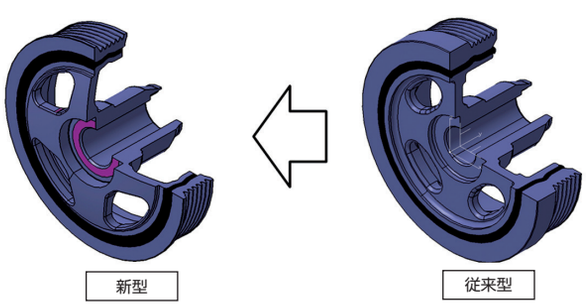


図 47　クランクプーリ形状

6.2.2　オイルスペーサ

軽量化を目的とし、シリンダヘッド内オイルスペーサ材質をアルミから樹脂へ変更した(図48)。

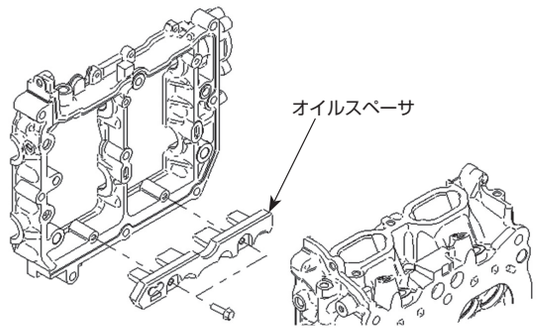


図 48　オイルスペーサ

6.3　トランスミッション

各仕向けのリニアトロニックを改良。走りの愉しさ、環境対応を織り込み、仕向けに適した改良を加えた。

(1) 欧州向け1.6L DIB用リニアトロニック

EURO6c規制適合及び燃費向上のためレシオカバレージ変更他、大幅な改良を加えた。

バリエータチェーンはショートピッチ化を行い、LOW側とオーバードライブ側の双方へレシオカバレージを拡大した。必要な加速性能をもたせるとともに巡航時のエンジン低回転化による燃費性能向上に寄与した。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を最適化、リバースブレーキはフェーシング形状を変更しオイル保持性と排出性を両立し低フリクション化した。トランスミッション後部にオイルスペーサを織込み、加速や登坂時に内部のフルードが後部空間へ移動する量を抑制した。これにより油圧回路吸入口からのエア吸いを回避し、油面高さの低減を行うことで攪拌抵抗を低減した。

また、快適な走りのために振騒性能の向上を行った。バリエータチェーンのショートピッチ化とシーブ剛性の最適化にて、チェーン音性能を向上した。リダクションギヤは支持ベアリングをボールからローラへ変更し、制振用スナップリングの追加と歯形チューニングを行い、ギヤ音性能を向上した。オイルポンプは、歯形、ポート形状、ポンプハウジングを変更し、駆動増速比を下げることで高回転時の異音感を低減した(図49)。

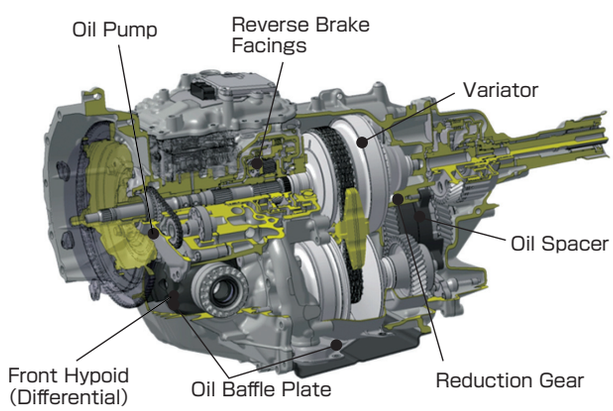


図 49　TR58

(2) 国内向け1.6L DIB用リニアトロニック
　オートステップ変速を採用し、走りの愉しさをより向上させた。
(3) 全仕向け2.0L DIB用リニアトロニック
　セレクト操作性向上のためディテント構造を変更し、よりスムーズな操作性にした。

7. まとめ

SUBARU のクルマづくりに共感し、レヴォーグ のさらなる進化に期待してくださるお客さまの信頼に応え、さらにはお客さまの期待値を上回る商品進化を遂げることができたと自負しております。
それは、私たち開発プロジェクトメンバー全員がレヴォーグ の本質を貫きつつ、ビッグマイナーチェンジとして実現すべき進化幅の目標を大きく掲げ、全力で取り組んできたからこそ可能になったものです。
一人でも多くのお客さまに、進化したレヴォーグが提供する価値をご理解いただき、自動運転時代の到来を予感させられる高度運転支援(アイサイト・ツーリングアシスト)を実感していただけることを心より願っています。

※レヴォーグで採用したアイサイト技術は、WRX S4にも展開をしています。

【著　者】

SUBARU LEVORG
開発プロジェクトチーム

[スバル商品企画本部]	熊谷　泰典
	石塚　計一
	夘埜　敏雄
	篠塚　順三
[車体設計部]	原　　幸夫
[外装設計部]	山岡　　龍
[シャシー設計部]	堀越　　旭
[内装設計部]	鈴木　正志
[電子商品設計部]	近藤　敬生
[電子プラットフォーム設計部]	杠　　憲敏
[エンジン設計部]	刀祢　友久
[トランスミッション設計部]	関谷　雄一
[車両研究実験第4部]	久保　貴嗣
	渡邉　明博
	田村 悠一郎

「スバル360－K111型」が日本機械学会2016年度「機械遺産」に認定
(群馬製作所矢島工場スバルビジターセンター展示車)

2016年8月

(株)SUBARUが保存・展示している「スバル360－K111型」が、一般社団法人日本機械学会により2016年度「機械遺産」第78号に認定されました。
「機械遺産」とは、歴史に残る機械技術遺産を大切に保存し、文化的遺産として次世代に伝えることを目的に、日本国内に現存する機械技術面で歴史的意義のある遺産を同学会が認定するものであり、2007年より継続的に実施され、本年度認定されたものを含め83件が認定されています。
スバル360は、1958年に発表・発売したスバル初の量産軽乗用車。全長3 m以下という当時の軽自動車規格の中で大人4人が乗車できる実用性や、コンパクトにまとめられた軽快なデザインから、「てんとう虫」の愛称で広く親しまれました。

新型 WRX STI/S4 の紹介

Introduction of New SUBARU WRX STI/S4

SUBARU WRX STI/S4 開発プロジェクトチーム
SUBARU WRX STI/S4 Project Team

抄　録

WRXはSUBARUブランドにとってスポーツスピリットの象徴と言える存在であり、1993年のデビュー以来､常に走りのパフォーマンスの追求を続けている。今回のビッグマイナーチェンジでは、絶対的な速さや操る愉しさ、先進装備による安全思想や質感への拘りをより進化させ、お客様の期待を超える際立つ存在にする事を目指して開発した。

Abstract

WRX is an icon of sporty spirits for SUBARU brand, and SUBARU has always been pursuing WRX driving performance since its debut in 1993. In this big minor change, through evolution of absolute speed, pleasure of operation, safety concept with advanced features and focus on quality, this new model was aimed to be a prominent model that would transcend customers' expectations.

1.　まえがき

WRXはその誕生以来、WRC、ニュルブルクリンク24時間レース、米国グローバルラリークロス等のモータースポーツフィールドにおいて、常にライバルとトップレベルの争いを行っている。新型WRXはその血統を受け継ぎ、より思い通りに操ることの出来るハンドリング性能の実現を目標に高いコーナリング性能を実現した。又、WRXシリーズのスポーツセダンとしての実用性への拘りや動的質感向上を行い、独自の価値観を磨き上げた。

2.　デザイン

スポーツマインドを持ったお客様の期待に応える「WRXらしさ」を追求した。

2.1　エクステリア

ハイパフォーマンスをより強く表現したエクステリア

SUBARUらしさとハイパフォーマンスを印象付けるデザインに進化。モータースポーツシーンで磨かれた機能美と、高性能を期待させるインパクトのある表現でWRXの世界観を際立たせた(**図1**)。

2.2　インテリア

図1　外観デザイン

スポーティーで質感の高いインテリア

インテリアは今回のビックマイナーチェンジでドライバーがWRXの運転する愉しさを得られるようなスポーティーな仕立てを強化するとともに、質感を向上した(**図2**)。

3.　内装

スポーティでかつ、内装質感向上の取り組み

ドライバーがWRXの運転する愉しさを感じられるようなスポーティでかつ、高質感なインテリアの達成を目標に開発に取り組んだ。運転する愉しさを実現するために行った“加飾表現の進化”“専用レカロシートの開発”“使い勝手向上”について以下に述べる。

図２　内装デザイン

3.1　加飾表現の進化

新型WRXでは、艶やかで硬質感のあるハイグロスブラックのパネル部品に加えて、艶を落とした鋳物ブラックを使うことにより質感向上を実現した。インパネセンターパネル、シフトノブ周囲、ドアスイッチパネルの表現を見直し、室内の雰囲気を引き締めた(**図３** STI全車、WRX S4)。

図３　ドアスイッチパネル

走りの象徴である、WRX　STIのシフトまわりはハイグロスブラックに加えて、両サイドにレッドステッチを施した表皮巻きを追加し質感向上を達成した(**図４** STI全車)。

図４　センターコンソール

インパネオーナメントは、WRX　STI・S4共にピアノブラック調に統一。室内空間のカラーコーディネートに配慮した(**図５** STI、S4全車)。

図５　インパネオーナメント

3.2　専用レカロシートの開発

WRX　STI専用として、レカロ社の座り心地思想に基づき、優れたホールド性と快適性の両立を実現した(**図６**)。従来のホールド性実現手法であった、身体が左右へ動いた後にサイドの土手で支持する手法から、ショルダー部を面全体で支持する手法へ変更した。これにより体圧変化を抑えられリニアなホールド性と快適性との両立を図った(**図７**)。

さらに、メイン部とサイド部の硬さが異なる異硬度ウレタンを採用しスポーティなドライビングをした場合にも体幹の転がりを抑制し優れたヨー特性を実現した。

鞭打ち安全性能に於いてはSUBARUのレカロシートとして過去最高の性能を実現した。

また、快適装備としてSUBARUのレカロシートにとって初のパワーシートを採用し、お客様の好みに合った細やかな調整が可能となり、調整のし易さも向上させている。

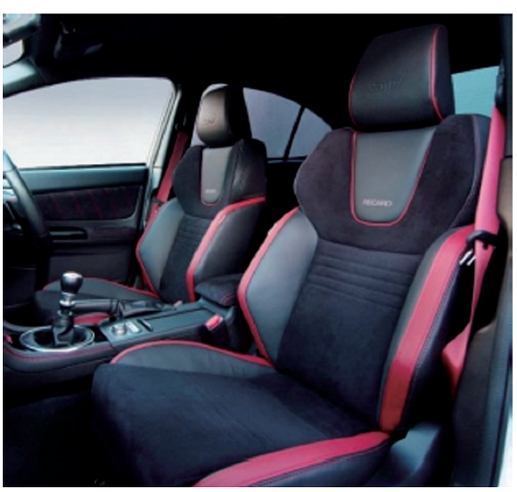


図６　レカロシート

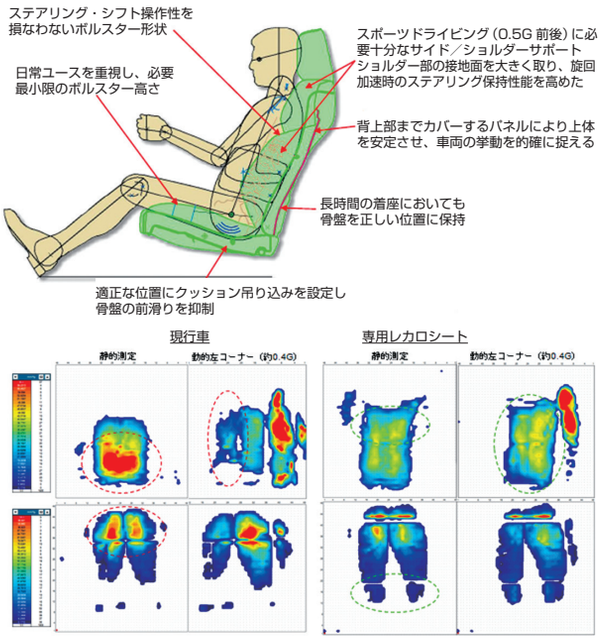


図７　体圧分布

3.3　シートベルト

スポーティさを強調するために、フロントシートベルト及びリヤ左右のシートベルトを赤色に変更した。特別な車であることの証しであり、シートベルトを装着した際の走り始めの高揚感を演出している（図8 STI全車）。

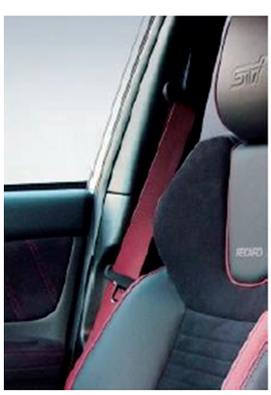


図８　赤色シートベルト

3.4　使い勝手の向上

ドアグリップ

指が引っ掛かりやすくドアを開閉しやすいように、プルカップ部にTPO（Thermoplastic Olfin）製のグリップを追加し、触感及び握りやすさを実現した（LEVORGと共用）。

HMIの進化

8インチナビ対応（国内）及び5.9インチ高精彩MFD（全車）を採用した（LEVORGと共用）。

4.　ボディ

4.1　衝突安全性の向上

近年市場事故調査の結果、米国ではその交通環境より、道路外の立木、固定物への衝突事故で死傷者の数が多い背景にある。そこで、さらなる衝突安全性能向上を目指し、対象物に対して車両衝突ラップ量が微小な「スモールオーバーラップ衝突性能」を強化させた。乗員に対する安全性能を向上させるため、重量を踏まえた骨格強度の向上を図った。フレーム先端に衝撃を受け止める抗力部材を設定し、フレームからキャビン部へ続く骨格部材も強化させた（図9）。

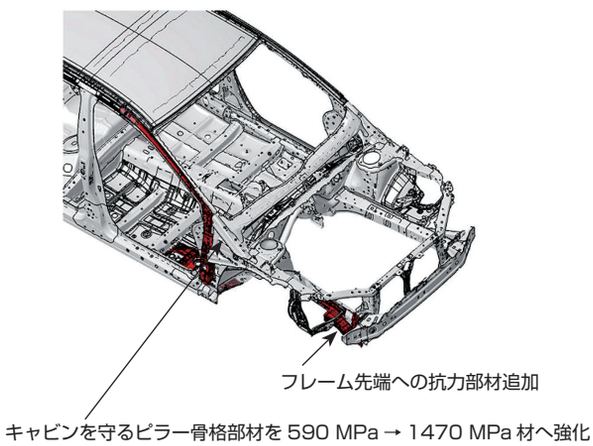


図９　スモールオーバーラップ対応

4.2　静粛性の向上

・フロントレールの内部に発泡インシュレータを採用して、耳元近くの雑音を低減させた。レール内にある空洞が共鳴して起こる車内での耳障りに感じる音の抑制と、フロントルーフレールの揺れ動きをこの発泡インシュレータで抑制させる（図10）。

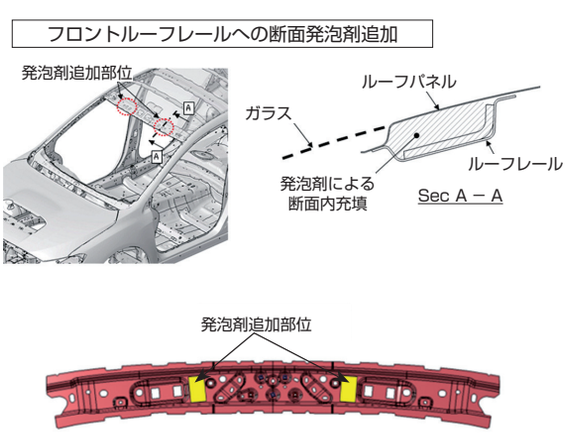


図 10　静粛性改善（発砲インシュレータ）

・粗れた舗装路を走行したときのロードノイズを低減するために、フロントフロア部のサイレンサー板厚アップと面積拡大を行った。さらに荷室フロア部にも

追加することで静粛性の向上を図り、室内の会話明瞭度を向上させた(図11)。

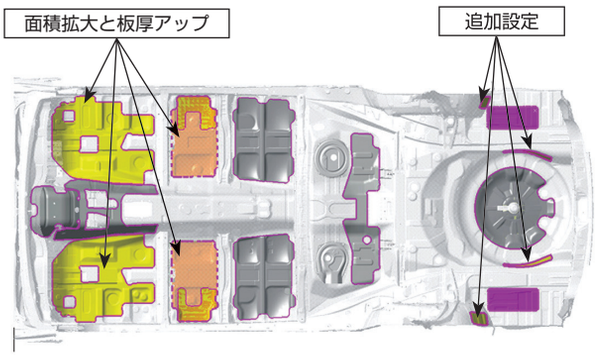


図 11　静粛性改善（サイレンサー）

併せて、以下の項目を実施した。
・WRX S4のリヤウィンドガラスの板厚UP（t:3.1→t:3.5）
・後席での静粛性を向上させるために、リアシェルフ、Cピラートリムのシンサレート密度アップ。
・フロントドアガラスの板厚UP、及び室内側ウェザーストリップ新製
・前後ドア開口部のボディ側ウェザーストリップにハイソフトスポンジ追加
・前後ドアアウターモール取付穴周りのシーリング追加

5.　外装

5.1　フロントバンパー・フロントグリル

SUBARUらしさとハイパフォーマンスを印象付けるよう、フロントグリルはヘキサゴングリルを踏襲しつつも、より立体感のあるメッシュ形状と、ヘッドランプにつながる横バーモチーフを表現した造形とした。

さらに、バンパー開口部を新シボ表現による黒原着(ブラックアウト)仕様として強調、フロントグリルを現行比約30 mm薄型とすることで、よりワイド&ローの迫力あるデザインとし、フォグカバー部もよりシャープな形状とすることで、進化感・先進感を表現し、高性能を期待させるインパクトのある造形とした(図12)。

図 12　フロントバンパーデザイン

5.2　LEDヘッドランプ(LEVORGと共用)

商品性及び、夜間の視認性向上を狙い、SRH(Steering　Responsive Headlamp)機能を持ったLEDヘッドランプを新設計した。

5.3　利便性向上

新たにルーフキャリヤブラケットを追加し、アウトドアライフ等での使い易さの向上を図った。

6.　シャシー

商品コンセプトである「Pure Power in Your Control」を継承してさらに磨きをかけるべく、下記取り組みを行った。
・スバル初の標準装着である19 インチタイヤ・アルミホイールにより、俊敏なハンドリングと高い限界性能を実現した(WRX STI)。
・ブレンボ社製強化ブレーキとドリルドローターの組み合わせにより、優れた耐フェード性・制動性を実現した(WRX STI)。
・シフトとクラッチの操作フィーリングを高め、クルマを操る愉しさ、気持ちよさをさらに拡大した(WRX MT車)。
・サスペンションチューニング最適化により、優れた操縦安定性とフラットな乗り心地を両立させ、ドライビングの愉しさと気持ちよさをさらに高めた(全車)。
・先進安全技術の強化による安全性能のさらなる進化としてスバル初のAVH（オートビークルホールド）をあらたに採用した(電動パーキングブレーキ(EPB)付き車)。
・ステアリングギヤボックスの構造及び特性を見直し、自然で滑らかな操舵フィーリングを実現した。合せてモータとECUを一体構造とし、システム重量で1,500g強の大幅な軽量化を行った(全車)。

6.1　19インチタイヤ・ホイール

(1) タイヤ

スバル初の純正装着である19インチタイヤを新規設定し、コーナリングの限界性能を高め、優れた初期応答性を実現した。

表 1　19 インチタイヤ対象仕向け

日本	STI high + L/STI high + W
北米	STI base 以外
豪州	STI 全車
欧州	STI 全車
その他一般	STI high (台湾 , 香港 , シンガポール) STI high+W (トルコ、香港、シンガポール)

名称：ヨコハマタイヤ「ADVAN Sport V105」
サイズ：245/35/R19　89W

図 13　19 インチタイヤ

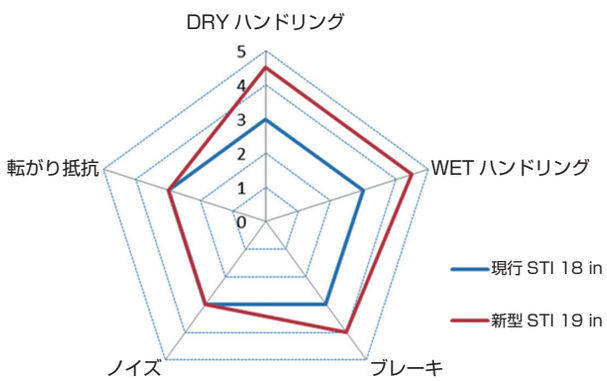


図 14　19 インチタイヤ性能（イメージ）

6.1.2　ホイール

スバル初の純正装着である19インチサイズのアルミホイールを新規設定した。シャープな直線基調のスポークと、ホイールの大きさが強調される造形により、力強さとパフォーマンスを感じさせるデザインとした（図15）。

図 15　19 インチホイール

6.2　操作系

ギアシフトレバー操作感

ギヤシフトレバーの操作質感向上を図るため、レバーとスライダー内部の接触面を変更した。さらにシフトケーブルの材質変更とガイド先端にクッションを追加することで、操作力低減と操作音向上を行った（STI以外のMT車）（図16、17）。

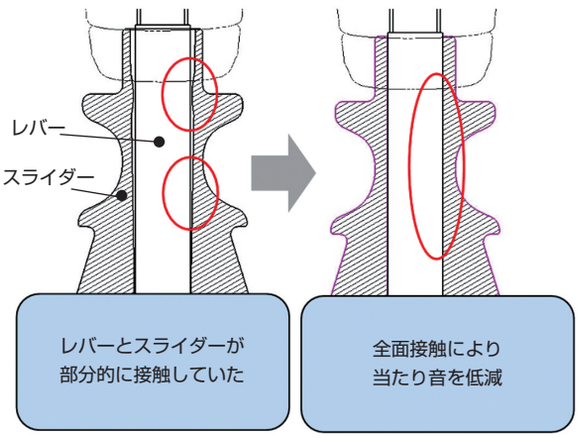


図 16　シフトレバーデザイン

図 17　ギヤレバーシステム

MT クラッチ操作感

クラッチ全踏時の動的質感向上を狙い、クラッチペダルレバー比とアシストスプリングの出力ピーク位置の最適化を図り、全踏踏力低減と操作フィーリング向上を行った（図18 STI以外の左ハンドルMT車）。

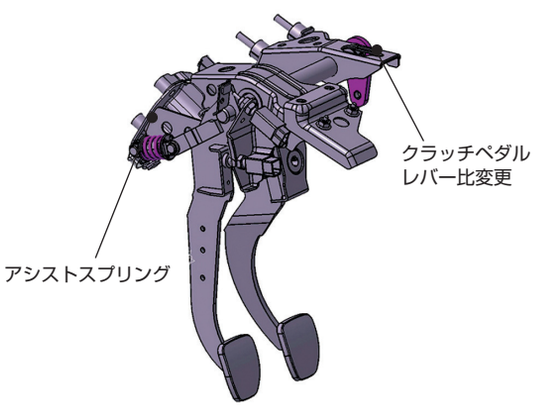


図 18　ペダルシステム（左ハンドル MT）

6.3　ブレンボブレーキ

ブレンボブレーキを全面的に新開発し、性能向上と共に、見た目の存在感も際立たせるためにカラーリングも一新した。

・キャリパは、ブレンボ製モノブロック構造のフロント 6POT、リヤ2POTを採用(図19、表2)。

図 19　ブレンボ製ブレーキシステム

表 2　ブレーキシステム仕様

	現行車	新型車
フロントブレーキ	17 インチ 2 ピース対向 4POT	18 インチ モノブロック対向 6POT
リヤブレーキ	17 インチ 2 ピース対向 2POT	18 インチ モノブロック対向 2POT
キャリパーカラー	ブラック	イエロー
ローター	ベンチレーテッド ディスク	ベンチレーテッドディスク (ドリルドローター)

・外装色は、モーターショーに出品したWRXコンセプトをイメージした、イエロー塗装を専用開発し、外観でのインパクトを強くした。

・ブレーキパッドは、新開発した銅規制対応のパッドで、パッド面積をフロント約20%アップ、リヤ約50%アップさせる事で、効き、フェード性能、コントロール性を高次元で成立させた。

・ブレーキロータは大型化のみでなく、摺動面厚さを見直し熱容量を増やすと共に、ドリルド穴を追加する事で、パッド面のクリーニング効果と耐フェード性能を向上させた(図20)。

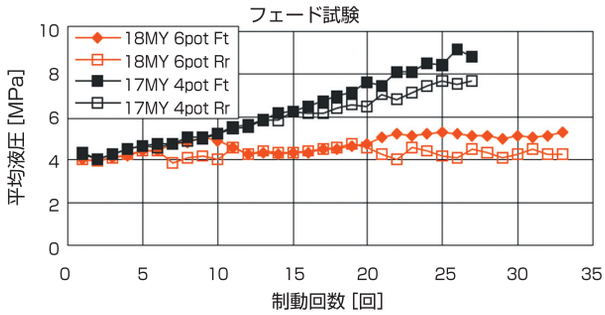


図 20　ブレーキ耐フェード性能

・ブレンボキャリパの新製に伴い、ディスクカバー、パーキングブレーキASSY、前後ブレーキホースを専用に新製した。

6.4　サスペンション

リヤスタビライザーの小径化を行い路面へのタイヤ追従性を高めた(図21 WRX STI)。

・WRX STI

245/35R19タイヤ採用に伴い、コイルスプリングの前側ばね定数ダウンとストラット及びショックアブソーバーの減衰力最適化を行い、ハンドリング性能をさらに向上した。

・WRX

コイルスプリングの前後ばね定数ダウンを実施。ストラット及びショックアブソーバーのリバウンド長の延長と減衰力の最適化を実施することで、荒れた路面ではしなやかにストロークし平坦路ではフラットな乗心地を実現した。

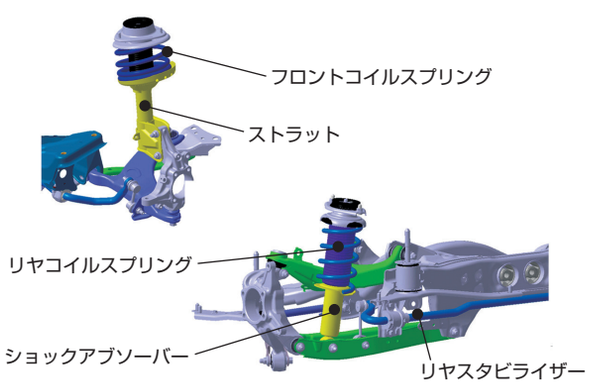


図 21　サスペンションシステム

7.　トランスミッション

走りを追求し、より運転が楽しくなるようマニュアルトランスミッションを改良した。

7.1　WRX STI用6速マニュアルトランスミッション

コーナリング時の回頭性向上のため、DCCDの制御特性を変更。従来のメカLSD+電子制御から電子制

御のみとし、車体特性によりマッチした制御でフロントタイヤにかかる負荷を軽減し、回頭性を向上した(図22)。

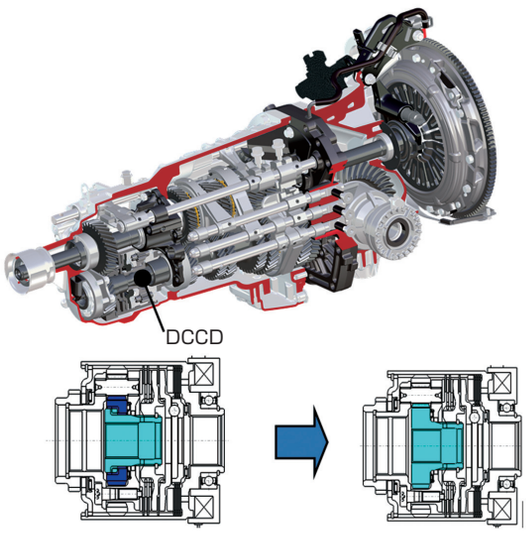


図 22　DCCD 構造

7.2　WRX輸出用6速マニュアルトランスミッション

シフト操作性向上のため、1速と2速のシンクロ機構をダブルコーンからトリプルコーンへ変更し、シフト時の荷重を低減した(図23)。

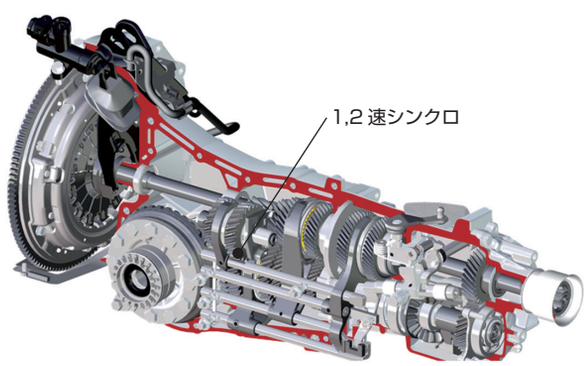


図 23　トランスミッション 1,2 速シンクロ

8.　電装関係

8.1　コンビネーションメータ

S207で採用した意匠をベースとしてメータパネルを新製。赤照明+白指針としていた従来メータを、白照明としながら赤色を残しつつ、指針を赤色とした。また、メータガラスも従来のクリアからスモークに変更した(図24)。

8.2　冷却性能向上

WRX STIは、ラジエータファンのモータ出力アップにより、冷却性能の30%向上を図った。

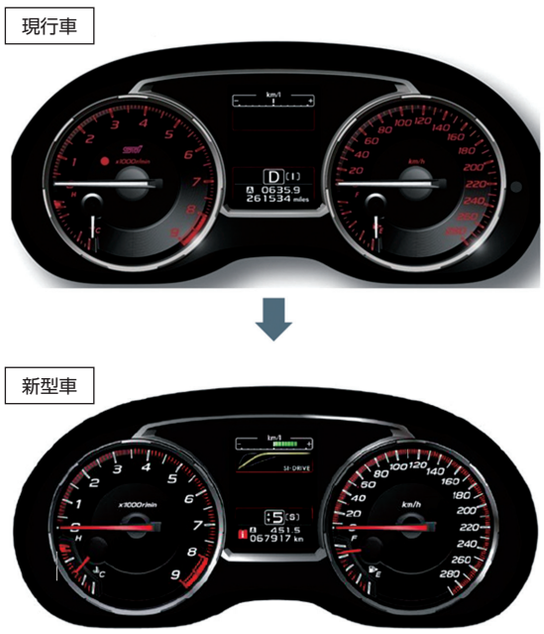


図 24　コンビネーションメーター

9.　安全（LEVORGと共用）

新型車では、WRX S4にアイサイト・ツーリングアシスト(前車連追従操舵支援)、RAB(後退時自動ブレーキ)追加、AVH(オートビークルホールド)、フロントビューカメラ等、先進安全装備を充実させ、より高いスバルの安全思想を実現させた。

10.　あとがき

今回のビックマイナーチェンジでは、WRXシリーズの開発コンセプトである「Pure Power in Your Control」のさらなる進化を遂げ、トップクラスのハンドリング性能を実現しました。是非ともこの新たな走りを味わい、SUBARUのブランド価値である“安心と愉しさ”を実感頂ければ幸いです。

最後に関係各位の御尽力に対し、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】

新型WRX開発プロジェクトチーム

[スバル商品企画本部]　五島　賢
　　嶋村　誠
　　舟橋　悟
[デザイン部]　中村　真一
[車体構造設計部]　原　幸夫

［外装設計部］　山岡　龍
［シャシー設計部］　堀越　旭
［内装設計部］　鈴木　正志
［電子商品設計部］　近藤　敬生
［電子プラットフォーム設計部］　杠　憲敏
［トランスミッション設計部］　関谷　雄一

スバル先進運転支援システム「アイサイト」搭載モデルが世界累計販売台数100万台を達成

2016年11月

スバルが販売する先進運転支援システム「アイサイト」搭載モデルの世界累計販売台数が、2016年11月に100万台を達成。
2008年5月に日本で発売して以来、8年7か月での達成。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。現在、アイサイト搭載車は日本をはじめ、豪州、北米、欧州、中国の各市場で販売。

スバル デザイン戦略の進化

Evolution of SUBARU Design Strategy

石　井　　守*　　坂　口　慶　明*
Mamoru ISHII　　Yoshiaki SAKAGUCHI

抄　録

2013年4月以降、デザイン部では、将来のお客様に『安心と愉しさ』の価値を提供するため、デザイン戦略を研究。スバルデザインフィロソフィ『DYNAMIC×SOLID（ダイナミック＝躍動感×ソリッド＝塊感）』を策定し、量産車デザインとして初めて新型インプレッサに全面採用した。

新型インプレッサは、市場からも高く評価されており、日本カーオブザイヤー大賞を13年ぶりに受賞した。自動車専門誌のデザインアワードにもスバル史上初めて選出される等、デザインも受賞に貢献できたと考える。

デザイン部では、将来のお客様の笑顔創造のために、環境の激変が予測される次世代に向けて『DYNAMIC×SOLID』を継続的に進化させ、お客様の求める情緒的価値を高次元で実現する活動を推進している。

本文では、5年目を迎え、次世代を見据えてさらに進化するスバルデザイン戦略と、具現化に向けたデザイン部の取り組みを説明する。

Abstract

Since April 2013, our design department has explored design strategies to provide the value of “Enjoyment and Peace of Mind” to our future customers, and as a result, SUBARU Design Philosophy “DYNAMIC × SOLID” was established. This philosophy was implemented in the whole area of the new IMPREZA for the first time as a design for mass production model.

The new IMPREZA has been highly evaluated in the market and awarded with Car of the Year Japan for the first time in 13 years. SUBARU also received a Design Award from an automobile magazine.

To bring smiles to our future customers, we at design department will continue to evolve “DYNAMIC×SOLID” for the next generation models and provide emotional values desired by our customers at a higher level.

This paper introduces further evolving SUBARU Design Strategy and our efforts to implement that in our product.

1. まえがき

現在スバルでは、お客様の笑顔をつくる会社として『安心と愉しさ』の価値を創造～提供し、お客様の心の中で際立った存在（ブランド）になるべく、ブランドを磨く6つの取り組みを掲げ、活動している。

デザイン改革もその取り組みの1つであり、デザイン部では次世代に向けたデザイン戦略を策定した。新しい時代の全ての市場のお客様に満足し続けて頂くために、新たなスバルらしさを構築し、一目でスバルと分かるデザインを具現化する活動に邁進している。

デザイン戦略策定にあたり、まず「全ての市場のニーズ」・「スバルの強みと弱み」・「受継がれるDNA」を再確認し、新スバルデザインが目指すべき中長期的な大目標を部内で共有した。目標とすべきスバルのデザイン価値は、お客様の人生を豊かにする『ライフスタイルデザイン』と、お客様が長く使いたくなる『ロングライフデザイン』であると導き出した。

2. ライフスタイルデザイン

現在、スバル車を愛し使って下さっているお客様

＊ デザイン部

は、全ての免許保有者ではなく、その内の20%を占めると言われるライフアクティブ層である。彼らは知的好奇心が旺盛で、本質的な価値を心得ており、積極的に人生の豊かさを追求するマインドの持ち主である。

お客様の生活シーンに心地よくフィットし、新しいライフスタイルに繋がる一歩先の「これが欲しかった！」と言って頂ける価値をお客様に提案・提供してゆくことが、『スバルのライフスタイルデザイン』の目的である。この思想は、スバルの黎明期から続いている。

スバル360は、昭和時代の人々のライフスタイルを一変させた商品であった。「家族全員で気軽に自由に遠くまで出掛ける」というライフスタイルを提案し、航空機メーカ直系の設計思想とデザインによって、当時の人々の夢を手の届く価格で実現した。

図１『クロスオーバーデザインの歴史』

現代においては、多様化するライフスタイルを満足させるため、二面性を持った価値を備えたアウトバック・フォレスター・XVを提案。クロスオーバーデザインの『機能的価値』で、あらゆるシーンにフィットし、自在に活動できる心地よさを実現した。

図２『ライフスタイルデザイン』

将来に向けては、お客様の笑顔をつくるために、ハードの使いやすさだけなく、一目見て「人生がもっと愉しくなる」と感じて頂ける『情緒的価値』をより充実させたデザインを追求。将来のお客様の満足を実現するために、スバルならではの価値表現で『ライフスタイルデザイン』を創造してゆく。

3. ロングライフデザイン

もうひとつ、お客様に提供するデザイン価値として、『ロングライフデザイン』がある。「ずっと乗っていたい」「ずっと使いたい」と思って頂ける価値である。

『安心と愉しさ』の価値を具現化し、気持ち良く使い続けて頂くために大切なことは「ストレスなく使える」ことである。『スバルのロングライフデザイン』では、普遍的な機能をデザインに着実に織り込み、「目先の流行」を追わない。流行とは、数ヶ月～数年で周期的に変化し続ける価値観で、『旬』が過ぎれば、ただの時代遅れのスタイルになる。

調査によると、スバルを愛し使って頂いているお客様のマインドは「動かなくなるまで使いたい」という傾向が明らかになっている。何年たっても「買って良かった」「良いパートナーだ」と感じて頂ける「持続型で本質的なデザイン」こそ、スバルが実現すべき価値であり、実現に向けて継続的に活動している。

図３『ロングライフデザイン』

『ライフスタイルデザイン』と『ロングライフデザイン』は、『安心と愉しさ』を具現化するためのスバルならではのデザイン価値である。

スバルから発信される全てのデザインは、上記の思想によって構築されている。

4. デザインフィロソフィ『DYNAMIC×SOLID』

際立ったブランドとして存在を認知して頂くためには、誰もが「一目見て そのブランドの商品だ」と直感できる、象徴的で一貫した印象のデザインが必須である。一貫したアイデンティティは、ブランドのブレない意志やビジョンを 人々に印象づけて安心感を与え、強い信頼関係の獲得につながる。

スバルにおいては、ブランドの本質である『安心と愉しさ』が一目で感じられることが重要で、ラインナップ全体でデザインイメージを共有させている。

さらに、次世代の全ての市場の お客様に、「スバルの商品だ」「安心と愉しさのブランドだ」と直感し認知して頂くことを目標に策定したデザインフィロソフィが、『DYNAMIC × SOLID』である。

『DYNAMIC × SOLID』は、一部のデザイン要素に頼ることなく、車体全体のデザインから醸成される印象によって『一貫性のあるブランド』を表現する様に考えた。

自動車業界の一般的なデザイン手法では、グリルの形状など、グラフィック的なデザイン要素だけの統一が主流だが、『DYNAMIC × SOLID』では一線を画し、車両全体のデザインで『スバルらしさ』を表現している。

このフィロソフィでは、スバルデザインが従来からこだわってきた「安心感あふれるカタマリ」を『SOLID』で表現し、新たに次世代に向けて提案したい情緒的価値「心をときめかせる躍動感」を『DYNAMIC』で表現。スバルグローバルプラットフォーム等の技術革新で実現された豊かな動的質感の性能を、カタチで強力に表現するための新世代のデザインフィロソフィである。

図４　デザインフィロソフィ『DYNAMIC × SOLID』

『DYNAMIC × SOLID』は、2013年からデザイン活動に織り込み、コンセプトカーで具現化。“SUBARU VIZIV 2 CONCEPT”“VIZIV GT”“SUBARU VIZIV FUTURE CONCEPT”で世の中に将来デザインメッセージとして発信し、改良を重ねて完成度を高めてきた。

VIZIVシリーズのコンセプトカーでは『SOLID』のイメージを大切にしながら、次世代に向けて、より『DYNAMIC』のイメージを豊かにするデザインを研究。インプレッサコンセプトで一つの完成形に昇華させ、満を持して量産インプレッサに採用した。

新型インプレッサでは、『次世代のDYNAMIC × SOLID』の情緒的価値を、お客様に提供している。

『DYNAMIC × SOLID』によって表現される「ワクワクするエモーショナルな印象」は『ライフスタイルデザイン』としてお客様の人生を 活き活きと彩り、「力強く堅実な印象」は『ロングライフデザイン』として長く使いたくなる持続的な安心感に繋がると確信している。

図５　デザインフィロソフィ『DYNAMIC × SOLID』の進化

4.1　『VIZIV』コンセプトカー

各社とも、ブランディング戦略やデザイン戦略が高度化するにつれ『コンセプトカー』に与えられる使命も変わりつつある。派手なスタイリングで話題性を求めるだけの時代は既に終焉し、緻密な戦略によるブランドバリューの向上に視点は移っている。

モーターショーで発表するショーカーには二種類ある。一つは、近々発売される量産車の告知である『ティザーカー』。もう一つは、お客様にブランドメッセージを明確に伝えるための『コンセプトカー』である。

ティザーカーの使命は、次期車の存在を認知して頂き、お客様の期待感を高揚させることである。

図６　ティザーカー

『コンセプトカー』の使命は二つある。 一つは、アニュアルレポートの様に、お客様や投資家の方々へブランド・デザイン・技術等の将来ビジョンを伝達し、企業の将来性や存在価値を見出して頂くこと。もう一つは、量産車（現行車と数年内に発表される全ての車種）のプロモーションである。

『コンセプトカー』では、これらの使命をバランスよくカタチや映像等のコンテンツで表現する必要がある。

例えば、現行車で採用しているデザインモチーフの進化形を『コンセプトカー』の造形にも採用。デザイ

図７　コンセプトカー

ンとブランドネームを強く関連付けて訴求することで、スバルブランドの認知度向上と、量産車のデザイン鮮度を保つ効果が得られる。

同時に、スバルがある素敵な生活シーンを想像できる機能的価値・情緒的価値を、車体デザインや映像等の各コンテンツのデザインで分かりやすく表現。『DYNAMIC × SOLID』の新しい解釈をエッセンスとして加えることで、ブランドの将来性に対する期待値をさらに向上させる効果が得られる。

スバルの『コンセプトカー』に冠される名称「VIZIV」は、“VISION FOR INOVATIVE”を表現した造語である。

スバルでは、この『VIZIV コンセプトカー』にて将来の『安心と愉しさ』の価値をメッセージとして展開。

2014年“SUBARU VIZIV 2 CONCEPT”から始まり、2015年は“SUBARU VIZIV FUTURE CONCEPT”でブランドやデザインのビジョンをお客様に伝えた。

“SUBARU VIZIV 2 CONCEPT”では新世代を担うデザインフィロソフィ『DYNAMIC × SOLID』を具現化し、デザインの将来性を訴求。“SUBARU VIZIV FUTURE CONCEPT”では 自転車も併せてプロデュースし、お客様に『スバルのある愉しさあふれる生活シーン』を想像できるデザインを提案。人生に寄り添

図８　コンセプトカー『VIZIV』の系譜

う『安心と愉しさ』の価値をお客様に訴求した。

次世代のモーターショー コンセプトカーでは、お客様に伝えるメッセージを、『ライフスタイルデザイン』『ロングライフデザイン』に託して表現。お客様にスバル ブランドのアイデンティティを伝える場として、効果的に活用してゆく。

4.2　エクステリアの『DYNAMIC × SOLID』

エクステリアデザインの構築は『DYNAMIC × SOLID』のフィロソフィを基に、立体造形によって、直感で分かる「スバルらしいカタチ」を具現化している。立体造形は様々な構成要素によってカタチ造られているが、スバルでは、その中から『構え』『カタマリ』『サーフェイス』の要素を重視し、立体造形テーマを決めた。

『構え』とは、プロポーションとも言い、プロフィールを決定づける『骨格』に相当する。

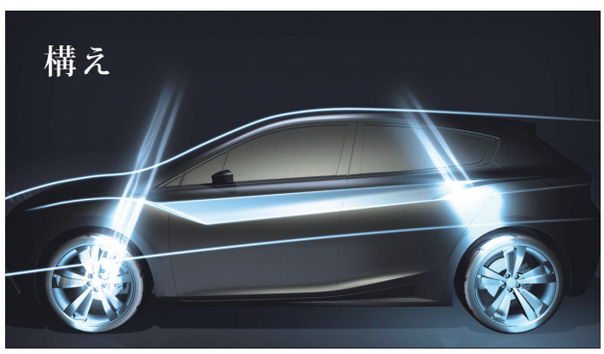


図９『構え』

『カタマリ』とは、量感とも言い、信頼感などを印象付ける『筋肉』に相当する。

図 10『カタマリ』

『サーフェイス』とは、面構成のことで、個性を印象付ける彫の深い『面質や表情』に相当する。

図 11『サーフェイス』

上記の3つの要素でスバルブランドの統一感を表現。ラインナップ全てに共有させることで、一目見てブランドのアイデンティティを認知して頂ける一貫性のあるイメージを実現している。

ただし、ラインナップ全てを 細部に至るまで同じデザインで揃えるという意味では無い。例えばフォレスターに求められる価値と、WRXに求められる価値は、それぞれのお客様によって全く異なる。求められる価値を、それぞれ最高の状態でお客様に提供することが各車系に課せられた役割である。

スバルデザインでは、各車系の役割を重視し、各々のキャラクターを的確に表現するために、統一感を与えながらも、車系毎に造形バランスを最適化してデザインしている。

フロントフェイスも、一貫性のあるブランドアイデンティティの表現に極めて効果的な要素である。

国内外を問わず 様々なブランドが特徴的なフロントフェイスを採用しているが、スバルにおいても、独自のフロントフェイスを構築している。

スバルのフロントフェイスは、「安定」・「剛性」・「効率」を象徴する六角形ハニカム構造をモチーフにした『ヘキサゴナル グリル』と、航空機のDNAから生まれた“水平対向エンジンのピストンの動き”による心地よいパルスを意匠化した『Cシェイプランプ』で構成され、一目見てスバルと分かる『ブランドの顔』を創っている。

この、統一感のある特徴的なフロントフェイスも、上記のように各車系の役割を意識し、それぞれ最適な比率にバランスさせた上でデザインしている。

次世代に向け、ボディデザインの立体造形と合わせて最適化した『DYNAMIC × SOLID』で、お客様の満足を実現し続けてゆく。

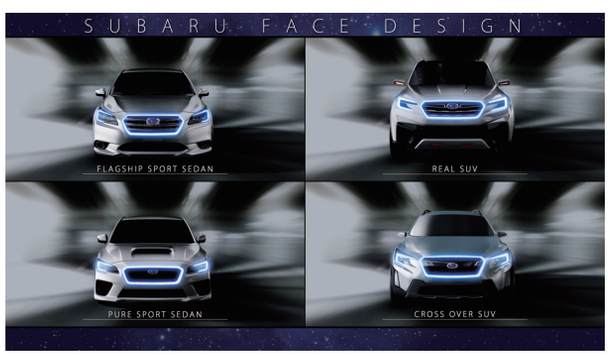


図 12　各車系に最適化したスバルフェイスバランス

4.3　インテリアの『DYNAMIC × SOLID』

次世代のインテリアデザインで目指すことは、スバルならではの機能美で『安心と愉しさ』を実現し、

1000 kmドライブしても疲れない『機能デザイン』

100の趣味に使える『ライフスタイルデザイン』

10年使える『ロングライフデザイン』

を、お客様へ スバルの独自の価値として提供してゆくことである。

スバルのインテリアにおいて、大前提となる価値は、「ストレスなく、心地よく使えること」だと考える。その一つが視界の良さである。ドライバーが直接目視で安全を確認できる視界設定を必ず守っている。

また、初めてのお客様でも分かり易い操作レイアウトや、長距離運転でも疲れにくいシート形状など、細部まで配慮したデザインを基本としている。

長きに渡って使えるロングライフなインテリアは、『心地よくて 毎日でも使いたい』と思って頂けることが第一であり、使う人の立場に立った「思いやり」によって実現される。

新生スバルインテリアの第一段階として、新型インプレッサ／XVでは、アクティブでワクワクするインテリアデザインを実現した。具体的には、光と影をコントロールしたダイナミックな立体造形と、包み込まれる安心感を 加飾からサイドに流れるラウンドした樹脂部のプロテクト感で表現し、さらには、クラフトマンシップが息づく精緻なディティールによってインテリアデザイン改革を実現した。

北米でも高い評価を受け、2017年のインテリアデザインアワードを獲得。

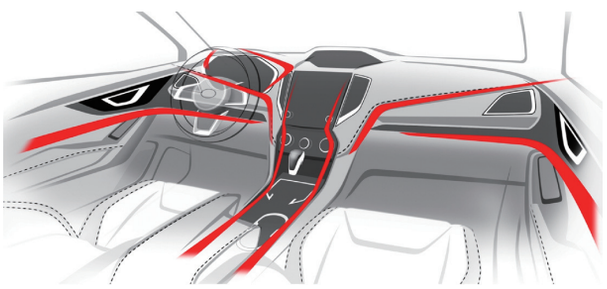


図 13　『DYNAMIC × SOLID』による新型インプレッサのデザイン

4.4　カラーの『DYNAMIC × SOLID』

カラーデザインは、誰にでも分かりやすい価値基準であるため、一目で好き嫌いを判断され、最も記憶に残りやすいデザイン要素の一つである。

さらに、色による心理効果は極めて大きく、立体造形によって提供できる情緒的価値を何倍にも高められる。 例えば、同じ立体造形であっても、色相や彩度等の違いによって、心理的によりダイナミズムを強く感じたり、ソリッドネスを強く感じたりする効果が得られる。戦略的にカラーデザインを計画することで、同一の車種であっても、お客様個々の価値観に、より幅広く、よりきめ細かく、フィットさせることが出来る。

エクステリアでは、ダイナミズムやソリッドネスの表現力をより豊かに実現するために、各車系に求められる価値に最適な配色を展開している。

図 14 『DYNAMIC × SOLID』によるカラーデザイン

新型XVのエクステリアカラーを例に挙げると、快活なライフスタイルをイメージした『サンシャインオレンジ』は、アクティブなダイナミズムを効果的に演出。氷河をイメージした『クールグレイカーキ』は、高剛性なソリッドネスを効果的に演出させた。

インテリアでは、配色は元より、様々な素材やステッチ等の加飾を使って、立体感を豊かに表現。肌触りや質感によって、硬さと柔らかさを効果的に演出している。また、ガラスへの不要な映り込み抑制のために、無反射のシボ開発を行うことで、メリハリのある心地よい室内空間づくりも実現している。

スバルでは、次世代に向けた取り組みとして、カラーデザインの『DYNAMIC × SOLID』表現の方程式である『インパクトと深み』を追及。『インパクト』でお客様の心を掴み、『深み』でお客様の持続的な満足を実現している。

二面性の価値を両立させるカラーデザイン開発で『安心と愉しさ』の価値を効果的に実現してゆく。

5. 情緒的価値

お客様が商品に求める価値は、数値や資産価値だけでなく、多くの場合、体験から得られる感情である。自動車において、感情に訴求できる価値は『情緒的価値』と『機能的価値』の2つがある。

『情緒的価値』とは、視覚・聴覚・触覚などの感覚によって「安心だ」「信頼できる」「愉しそうだ」「ワクワクする」などの感情を体験できる価値。『機能的価値』とは、優れた操作性・視認性・実用性などによって「使って気持ちよい」「乗りやすい」「居心地がよい」などの感情を体験できる価値である。

デザインにおける『情緒的価値』表現は、『DYNAMIC × SOLID』のデザインフィロソフィと、後述の感性による造形表現で具現化している。

図 15 『情緒的価値』

新型インプレッサ・XVでは、先代モデルで高評価を得たスポーツカジュアルの快活なイメージをさらに印象的にするデザインを追求。『DYNAMIC』の成分を強めた造形表現で、「見ているだけでワクワクする」「思わずドライブしたくなる」様な『情緒的価値』を具現化した。

さらに スバルデザインでは、デジタルデータ解析による理論的なアプローチでも『情緒的価値』を追及。客観的な視点でデザインを評価・検証し、確実にお客様の心を捉えられるように取り組んでいる。

取り組みの一つが『市場標準モデル プロジェクト』である。このプロジェクトの目的は「市場毎の標準的なプロポーションを可視化し、グローバル視点で客観的にデザイン評価する」ことである。

プロポーションの可視化に際しては、測定した3Dデジタルデータを独自開発のプログラムで解析し、中央値を算出。デジタルモデリングで立体化し、VRによって開発中のデザインと比較評価している。

重要なことは、目指すカタチは「算出した標準モデルでは無い」ということである。スバルのデザインと『標準』との距離感を測って客観的に評価することが目的であり、スバルのデザインの優位性と至らぬ点の正確な把握が肝要である。

『標準』に近付き過ぎると際立てなくなり、離れ過ぎるとお客様のニーズから外れる。『情緒的価値の標準の姿』を客観的に可視化し、スバルデザインが目指すべき目標を明確にすることで、バランスよく際立つデザイン創造ができる。

図 16 『市場標準モデル』

6. 機能的価値

優れた機能性を表す言葉に『機能美』がある。

『機能美』という言葉は、本来「実用品として作られたものが、その機能を十分に発揮することで発現する美」の意味であるが、一般的には「Form Follows Function（機能を突き詰めたら、結果的に美しさも生まれる）」という意味で語られることが多い。古の日本刀やF1のエンジンがそうであるように、機能性が目的の全てであり、情緒性は副産物に過ぎない、という意味合いである。

しかしながら、スバルデザインにおける『機能美』は、やや意味合いが異なる。追求した使いやすさを、美しくまとめ上げる（仕上げる）『機能的価値と情緒的価値の高度な融合』である。情緒性もまた、商品がもつ性能の一部であるという考え方である。

図 17　スバルの『機能美』

一般のお客様が、アクティブな生活シーンの中で『使いたくなるカタチ』こそ、スバルの追求する『機能美』であり、航空機の設計思想から創造された、スバル360やスバル1000の時代から連綿と続く、スバルスピリット（DNA）である。

デザイン部では、『情緒的価値』と『機能的価値』の両立と、バランス配分によって、お客様が笑顔になり、使い込むほどに、満足し続けて頂けるデザインの具現化に邁進している。

7.「論理」と「感性」

デザインはアートとは異なり、論理的な戦略によって計画・実行されるが、美的感覚や革新性など、アーティスティックな価値要素も少なからず存在する。この価値を生み出すことができる源泉は『感性』である。デザインのコンセプトやディレクションは 論理によって実現できるが、最終的にカタチを決定付けるのは、クリエイターの経験則に基づくセンスである。

デザイン部では、効果的に「スバルらしさ」を表現するための、造形表現技法を研究。感性の領域までクリエイティビティを強化している。

「スバルらしさ」の核たるイマジネーションの原点を言葉で表すならば『芯・深・心』であり、全てのデザイナーが共有し、クリエイションに活かしている。

『芯』とは、動態の軸を意味し、骨格における背骨に相当する。走りの安定性や俊敏性を生むスバルのシンメトリカル レイアウトや水平対向エンジンに共通する要素は、ブレない明確な中心軸である。イマジネーションの際に『芯』を強く意識することで、スバルらしい安定したダイナミズムを表現できる。

『深』とは、事物を深く捉えることを意味し、自動車の本質たる 構造や機能を表現する技法である。自動車を構成する 機械や空間、人まで含めて「エレメント」として捉え、それぞれの存在感を強く意識しながら全体の調和を図ることで、フトコロの深いスバルならではの『機能美』を表現できる。

『心』とは、『芯・深』でインスパイアした「スバルらしさ」を、お客様に直感で感じて頂くための多様な造形テーマを指す。例えば、内部から主張する自動車の「エレメント」と、外部から削られる空気力学的な「絞り込み」によって、『内の機能と外の動態のコントラスト』が強調されることにより、心に響くカタチが生まれる。

上記の『芯・深・心』の順番を重ね合わせることで内部の存在感と 外部の存在感の強弱を意識した緊張感の度合いや 空間の豊かさを、柔軟かつ効果的に表現した形態を導き出せる。

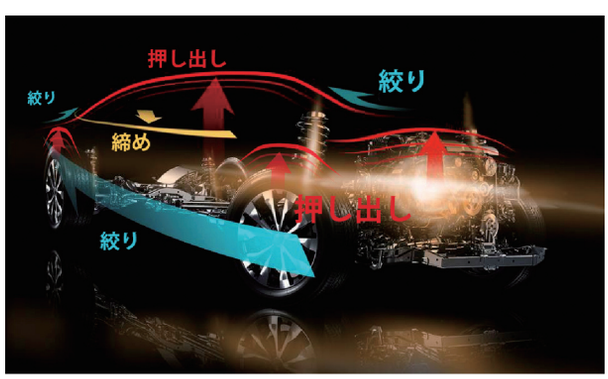


図 18 『エレメンタルデザイン』による感性表現

8. あとがき

『DYNAMIC × SOLID』『市場標準モデル』など、独自の根拠ある論理と、自由で個性的な感性『芯・深・心』の相乗効果によって、スバルならではのデザインを確実に創造し、『お客様の心の中で際立つ存在』を実現できると確信している。

好調な今だからこそ、真面目で誠実なデザイン創りで、お客様の笑顔をつくってゆく所存である。

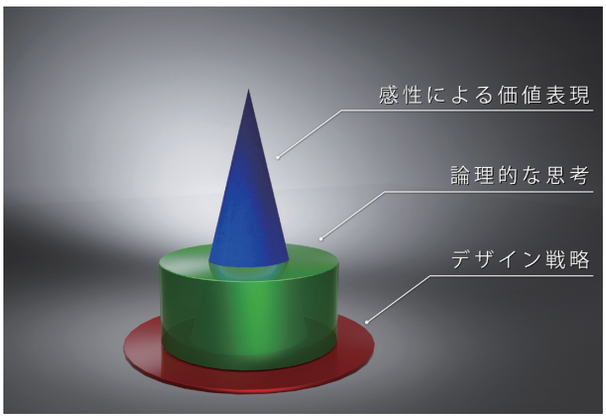


図 19　スバルのデザイン構築の模式図

【著　者】

石井　　守

坂口　慶明

スバル・運転支援システム「アイサイト」搭載モデルが国内累計販売台数50万台を達成

2017年3月

運転支援システム「アイサイト」搭載モデルの国内累計販売台数が、2017年2月に50万台を達成。2008年5月に日本で発売して以来、8年10か月での達成。
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。現在、アイサイト搭載車は日本をはじめ、豪州、北米、欧州、中国の各市場で販売しており、2016年11月には世界累計販売台数100万台を達成。

新型インプレッサと SUBARU XV/CROSSTREK のデザイン開発

Styling Design Development of New SUBARU IMPREZA and SUBARU XV/CROSSTREK

磯　村　　晋*　　戸　谷　裕　之*
Susumu ISOMURA　　Hiroyuki TOYA

抄　録

「安心と愉しさ」をデザインで表現し「新たなスバルらしさと存在感」を全面に押し出すことで、スバルブランド確立を目指し策定した、『DYNAMIC × SOLID』。

新型インプレッサ、SUBARU XV/CROSSTREK は、そのフィロソフィーの全てを織り込んだ第一歩と成る重要な商品で有る。以下にそのデザインの狙いを説明する。

Abstract

Design philosophy, “DYNAMIC×SOLID,” was decided aiming to establish SUBARU brand by expressing “Enjoyment and Peace of Mind” with our product design and emphasizing the “new SUBARU uniqueness and its sense of value”. New IMPREZA and SUBARU XV/CROSSTREK are our initial products with all of the philosophy implemented. Here are the targets of the designs.

1.　まえがき

新たなスバルらしさとお客様に提供する価値をデザインで表現する『DYNAMIC×SOLID』。それは、スバルデザインの根幹思想である“ロングライフデザイン”と“ライフスタイルデザイン”を極め、「安心と愉しさ」の「安心軸」と「愉しさ軸」のバランスの制御から生まれる。

具体的には、それぞれの商品に求められる価値と時代の進化を的確に捉えた『DYNAMIC×SOLID』最良バランスを導き出し、スバルらしさを表現する事で有る。

新型インプレッサ／SUBARU XV は、ライフアクティブ層のお客様へ提案すべく、「安心軸」をしっかり押さえつつ、「愉しさ軸」を大きく広げる交配率で「スタイリッシュ」、「スポーティ」、そして「上質さ」表現を目指した(図1)。

図 1　スバル デザインフィロソフィ

2.　デザイン開発の狙い

2.1　新型インプレッサデザインの狙い

2.1.1　エクステリアデザイン

『DYNAMIC×SOLID』の「愉しさ軸」を大きく広げる「Sporty & Advance」をテーマに先進性とスポーティさ、そしてクラスを超える質感表現で、次世代 SUBARU に相応しいエクステリアデザインを目指した(図2)。

＊ デザイン部

図２　エクステリア プロダクションモデル

具体的には、スバルグローバルプラットフォーム（以降SGP）がもたらす「ロー＆ワイド」のスタンスと、「エモーショナルさとバーサティリティ（多機能性）の高次元融合による先進性とスポーティさの表現と、造り込まれた質感表現の追求である。

(1) ロー＆ワイド スタンス

フロント廻りでは、スバルアイコンのヘキサゴングリルをよりスポーティに、ロー＆ワイドな比率とし、ブラックアウトしたヘッドランプのCシェイプへ連続する流れで可視化。リア廻りでは、ダイナミックに絞り込まれたキャビンと塊感或るロワーボディとコントラストに加え、空力性能を追求したコンビランプのスタンスとインナーレンズの存在感で際立たせた。

(2) エモーショナルさとバーサティリティの融合

フロントガラスの傾斜と流麗なルーフラインをバランスさせた躍動感あるフォルムと、クラスを超える室内空間と良好な視界性能を整合させた。

さらに前後を絞り込んだキャビンとAWD表現の力強くソリッドなロワーボディとのコントラストで、躍動感と存在感あるスポーティフォルムを実現した。

また先進性表現として、空気を流す、切るという空力向上の要素をフォルムと部品単位にまで徹底し織込み、優れたエアロダイナミクスとスポーティさを高次元で融合させた。

(3) クラスを超える質感表現

「ダイナミックブレード」モチーフのドアサイドをはじめ、抑揚のある表情豊かな面質と毛筆のテンションで変化を持たせたシャープエッジと長いモーションのキャラクターラインを徹底し造り込んだ（図３）。

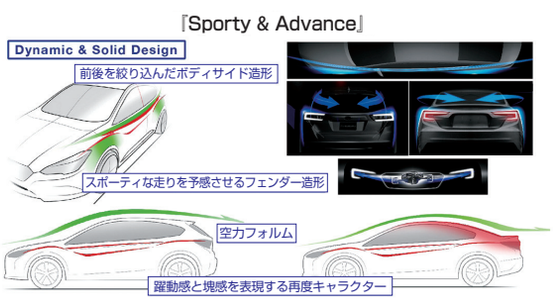


図３　エクステリア デザインスケッチ

上記によりSPORTは、「Sporty & Advance」を一目見て感じられる、躍動感あるフォルムとバーサティリティ―を高次元融合させた、次世代スポーティハッチバックに相応しいデザインを実現した（図４）。

図４　北米 SPORT プロダクションモデル

G4セダンは、流麗なルーフラインからハイ&ショートデッキに繋がる先進フォルムと優れた空力性能、バーサティリティを兼ね備える次世代スポーティセダンを具体化した（図５）。

図５　インプレッサ G4 プロダクションモデル

2.1.2　インテリアデザイン

『DYNAMIC×SOLID』の愉しさ軸を大きく広げる「大胆と精緻」をテーマに先進性とスポーティさ、そしてクラスを超える質感表現で、次世代SUBARU に相応しいインテリアデザインを目指した（図６）。

図６　インテリア プロダクションモデル

具体的には、SGPがもたらす機能的で充実感あるセンター廻りを起点に、立体的で表情豊かな造形面をダイナミックな3つの流れの連続造形で、躍動感と安心感と空間の広がりを表現する大胆なスポーティさと、クラフトマンシップの精緻な造り込みの融合によるクラスを超えた感動質感表現の追求である（図７）。

(1) 大胆さの表現

SGPメリットを可視化したセンター部のボリューム

をインパネから左右のドアへ大きく伸びやかに連続しラウンドする流れで、空間の広がりと包まれる安心感を表現。また、ステッチワークを伴い前方へと広がる流れで、クラスを超える開放感を演出した。さらに立体感あるセンターコンソールへ連続し、後方へ伸びやかに抜ける流れでクラスを超える充実感を表現。その3つ流れの連続造形で大胆さを際立たせた。

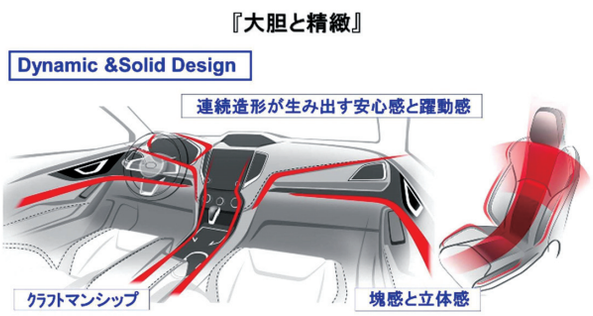


図７　インテリア デザインスケッチ

(2) 精緻さの表現

立体的で表情豊な造り込まれた造形面の要所に「しっかりとしたケースで大切なものを守る」を表現したケーシングモチーフを統一性を持たせ配し、安心感と造り込まれた上質感を表現した。加飾パネルも単なる「飾り」ではなく、乗員を守る車体構造の一部としてプロテクト感を表現し、さらに造り込まれたマテリアル表現で安心感と精緻さを際立たせた(図8)。

図８　インテリア プロダクションモデル

2.1.3　カラーデザイン

(1) エクステリアカラー

「Sporty & Advance」を表現する造り込まれた面質とシャープエッジをさらに高める効果を発揮する色域と色数の厳選された8色のカラーバリエーションを提案(図9)。

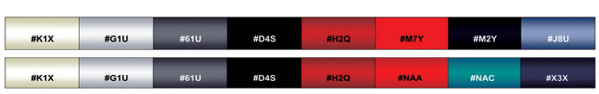
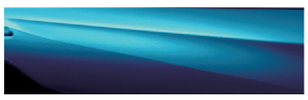


図９　エクステリア カラーバリエーション
（上段国内展開色、下段北米展開色）

①新規色(北米生産車)

ISLAND BLUE PEARL：瑞々しい透明感のカジュアルなブルーグリーンで、清潔感と精緻なスポーティさを表現。



LITHIUM RED PEARL：先進性とスポーティさある鮮やかなレッドで、存在感あるピュアなスポーティさを表現。

②新展開色(国内生産車)

PURE RED：ソリッドカラーが持つ存在感と発色の良いレッドで、カジュアルなスポーティーさを表現。

③新テクスチャー表現

前後バンパの黒樹脂部には、「Sporty & Advance」のエクステリアをさらに際立たせる立体的でシャープな新テクスチャーパターンを採用し、スポーティさと質感をさらに高めた(図10)。

図 10　エクステリア ディテイル

(2) インテリアカラー

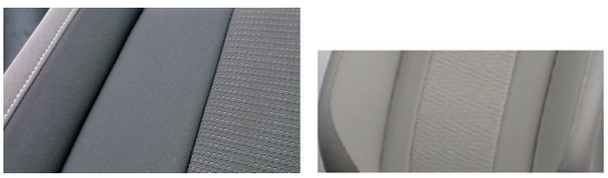
「大胆と精緻」をさらに際立たせる、厳選された色域と色数、素材とのコンビネーションで先進性とスポーティさを表現したシート表皮材とカバーリング、ベースグレードからアッパーグレードまで全てのお客様にご満足頂ける最適なカラーコーディネートでクラスを超えた感動質感の室内空間を提案(図11)。

図 11　インテリア カラーバリエーション

①シート表皮材

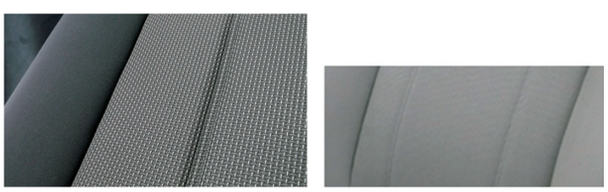
お客様が思わず座りたくなる立体感ある形状を飛躍的に高める多分割造形に貼り込まれる表皮材は、色域と素材のコンビネーションを図り、クラスを超えた質感と充実感有るカラーバリエーションを提案。

BASE：メイン材を広範囲に使用する「ゆとりあるカバーリング」で、1クラス上の質感を表現。



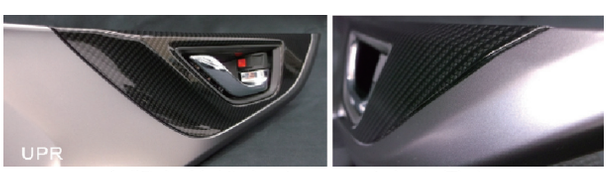
上級：立体感あるシート形状をさらに際立たせる「メリハリあるカバーリング」で先進感とスポーティさを表現。

レザー：異なるパターンのコンビネーションとキャッチあるステッチ色、「クラフトマンシップのこだわり」で造り込まれた上質感を表現。



②加飾パネル

UPR：異なる素材の組み合わせが生み出すコントラストで、先進感とスポーティさを表現。



BASE：大胆と精緻をイメージする異なるテクスチャー表現のコンビネーションで、充実感のあるスポーティさを表現。

③新テクスチャー表現とステッチワーク

大胆な造形に造り込まれた表情を与える、精緻で彫りの深い新テクスチャー（シボ）パターンの採用と、連続造形を際立たせるステッチワークで上質感を表現（図12）。

図 12　インテリア ディテイル

2.2　SUBARU XV/CROSSTREKデザインの狙い

OUTBACK、FORESTER、そしてSUBARU XV/CROSSTREK（以降XV）。異なる3つの個性に磨きをかけ、全てのお客様に「安心と愉しさ」をお届けするスバルSUVシリーズ。その3つの柱の中で、最もアクティブでスポーティな個性の“スポカジ”スタイルを提案するXV。

新型XVは「Fun Adventure」をテーマに、さらなる“スポカジ”表現の追及とクラスを超えた質感表現の融合によるワクワクする愉しさ表現を目指した（図13）。

図 13　SUBARU SUV 戦略

2.2.1　エクステリアデザイン／カラー

『DYNAMIC×SOLID』の愉しさ軸を大きく広げる「Fun Adventure」をデザインテーマに、さらなる「スポカジ」表現の追及による進化したXVらしさ表現と、造り込まれた質感との融合で、次世代XVに相応しいエクステリアデザインを目指した（図14）。

具体的には、スタンス、カジュアルな機能表現、キャッチ有る外装色、のXV独自三要素に「Fun Adventure」デザインで磨きをかける、“スポカジ”表現のさらなる追及である（図15）。

図 14　エクステリア プロダクションモデル

図 15　エクステリア デザインスケッチ

（1）スタンス

『DYNAMIC×SOLID』の最良バランスが生み出す、シャープで躍動感ある「Sporty & Advance」なキャビンと、力強く機能的な「Tough & Rugged」のロワー廻りのコントラストで、先進性と力強さを兼ね備える進化したXVらしいスタンスを目指した（図16）。

図 16　エクステリア デザインスケッチ

（2）カジュアルな機能表現

カジュアルさと機能を融合させたXV独自の部品デザインに、新規性ある幾何学シボの新テクスチャーを配し「XVらしさと上質感」を表現。フロントグリルまで統一する事で進化した“スポカジ”表現を際立たせた（図17）。

図 17　エクステリア ディテイル

またアルミホイールでは、光輝面の一筆書きグラフィックとブラックアウトが生み出すXV 独自性をさらに進化させた。地面を力強く捉え前進するモーションで躍動感と遊び心を表現する18インチアルミホイールと、力強くモダンなスタイリッシュさを表現した17インチアルミホイールで、唯一無二の「スポカジ」スタイルにだけマッチする、「Fun Adventure」デザインを実現した（図18）。

図 18　エクステリア ディテイル

(3) エクステリアカラー

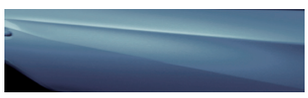
活動的で冒険に誘う無垢な道具感をテーマにしたビビッドで個性的なソリッドカラー2色を新設定、一目でXVと分かる個性と先進性、クラッティングとのコンビネーションが最も映える9色展開のカラーバリエーションを提案（図19）。

図 19　エクステリア カラーバリエーション

①新規色

クールグレーカーキ：

XVらしく最も機能的で無垢な道具感を表現し都会にも自然にも溶け込むようなクールさも併せ持つXVの進化を象徴する先進性あるカラー。ソリッドカラーの艶が生み出すリフレクションによりボディの持つ躍動感と塊感を際立たせる表現とした。



サンシャインオレンジ：

XV を象徴する記号性を持つオレンジ色をよりXVらしさを強めて進化。鮮やかなソリッドカラーで愉しく元気なイメージのある無垢な道具感を表現。

2.2.2　インテリアデザイン／カラー

『DYNAMIC×SOLID』の愉しさ軸を大きく広げる「Fun Adventure」をデザインテーマに、「大胆と精緻」を表現した、躍動感あるスポーティさとクラスを超えた質感を融合させた、次世代SUBARU SUXに相応しいインテリアデザインを目指した(図20)。

図 20　インテリア プロダクションモデル

さらに、キャッチ＆コントラストをテーマにワクワク感と愉しさを表現するカラーコーディネートを施し、XVらしい進化した“スポカジ”表現を追及した(図21)。

図 21　インテリア デザインスケッチ

(1) キャッチの表現

XVテーマカラーのオレンジ色ステッチ等を造形テーマに沿って室内全体に効果的に配し、遊び心と愉しさを演出(図22)。

図 22　インテリア ディテイル

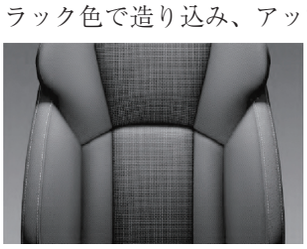
(2) コントラストの表現

チャコールグレーとライトグレーの色差と明度差、メイン材／サイド材／アクセント材の異なるテクスチャー、そのコンビネーションが生み出すコントラストで、上質な遊び心を表現(図23)。

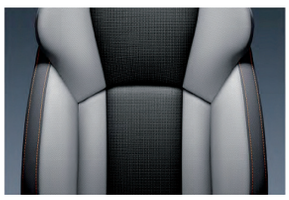
図 23　インテリア カラーバリエーション

(3) シート表皮材

BASE：カジュアルさとスポーティさを定評あるブラック色で造り込み、アップグレード感を表現。

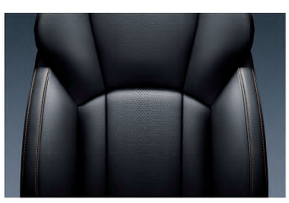
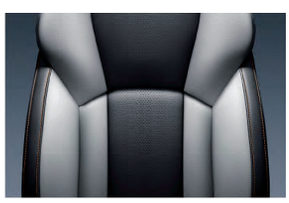


中級：アクティブでタフなメイン材と質感が高いサイド材とのコントラストにオレンジステッチ配し、XVらしい遊び心を表現。



上級：先進性を高めたメイン材と上質感有る合成皮革をサイド面と背面に配し、機能性と高質感有るXVらしさを表現。

レザー：大中小3つのヘキサゴンで構成するグラデーションのパーフォレーションとオレンジステッチで、造り込まれた質感とXVらしい愉しさを表現。

3. まとめ

お客様へ「安心と愉しさ」の価値をデザインで表現した『DYNAMIC×SOLID』。

その全てを注ぎ込み、次世代スバルデザインの第一弾として送り出した新型インプレッサ／ＸＶ。

我々が、沢山の想いを込め、難易度の高い「あるべき姿」に果敢にチャレンジし実現出来たのは、開発に携わった全ての方々の熱意と勇気によるものである。

新型インプレッサ／ＸＶは、今産声をあげた。

お客様に愛され、良きパートナーとなって可愛がられるクルマに育つ様、今後さらに「安心と愉しさ」のデザイン表現に、磨きをかけて行く所存である。

【著　者】

磯村　　晋

戸谷　裕之

新型 LEVORG のデザイン開発

Styling Design Development of LEVORG

中　村　真　一*
Shinichi NAKAMURA

抄　録

LEVORGは2014年の登場以来、「スポーツ」と「グランドツーリング」を高次元で融合した「スポーツツアラー」という価値を多くのお客様に提供し高い評価を得てきた。

今回のビックマイナーチェンジではLEVORGの本質を磨き進化させるため、内外装においてもさらに多くのお客様に満足いただける質感を実現した。ここにそのデザイン開発を紹介する。

Abstract

LEVORG has been highly evaluated by customers since its launch in 2014 for the value of “sport tourer” blending “Sporty” and “Grand Touring” at a higher level.

In this big minor change, quality feel that can satisfy our customers is provided to both interior and exterior in order to brush up and evolve the essentials of LEVORG. The contents of our design development are introduced here.

1.　まえがき

日本市場を中心に、歴代LEGACYの魅力を受け継ぐLEVORGは、スポーティでスタイリッシュなエクステリアとユーティリティの高さで評価を集めた一方、近年では輸入車に乗られているお客様からの乗り換え対象として注目されてきた。今回のビックマイナーチェンジでは高い質感を経験されたお客様にも十分納得頂ける内外装デザインを実現した。

2.　デザインの狙い

<u>さらに上質に洗練されたエクステリア</u>

LEVORGの特徴をさらに磨き上げ、さらにスタイリッシュで質感の高いデザイン(**図1**)。

<u>機能性と質感を高めたインテリア</u>

所有する悦びを高め、さらに機能的で上質に進化したデザイン(**図2**)。

図１　エクステリア

図２　インテリア

＊ デザイン部

3.　エクステリアデザイン

1) LEVORGらしさを活かしつつ飛躍的に質感を向上させたフロントデザイン

・LEVORGのフロントのデザインの特徴であるシャープでダイナミックな造形を活かしながら、伸びやかで滑らかな面質で格上の質感を実現した(図3)。

図３　フロントデザイン

①さらに磨きをかけたSUBARU車共通表現
②ワイド＆ローで躍動的なフロントバンパー
③高質感が際立つロアグリル
④引き締まった表情の新意匠LEDヘッドランプ

①さらに磨きをかけたSUBARU車共通表現

・ヘキサゴングリルとCシェイプを備えたヘッドランプは、デザイン構成はそのままにヘッドランプにはウィンカーを内蔵し、フロントグリルからヘッドランプの連続感を強化した。水平対向エンジンを搭載するSUBARUらしさをより強調するデザインを採用(図4)。

図４　フロントデザイン

②ワイド＆ローで躍動的なフロントバンパー

・フロントバンパーは基本モチーフは踏襲しつつ、前方から後方へ流れる動きのあるデザインに変更。

③高質感が際立つロアグリル

・ロアグリルへ追加したメッキ加飾により質感をより際立たせた(図5)。

図５　フロントバンパー

④新意匠ヘッドランプ(ウィンカー内蔵)

・新設定のLEDヘッドランプはさらに目力が強く引き締まった表情を備え、Cシェイプはクリスタルのような輝きを放つデザインに変更(図6)。

図６　ヘッドランプ

2) 躍動感を高めたアルミホイールのデザイン

・新デザインの18インチアルミホイールを設定。力強く動きのあるスポークデザインでスポーツツアラーであるLEVORGらしい躍動感を表現(図7)。

図７　ホイールデザイン

4.　インテリアデザイン

1) ひと目でわかる圧倒的な質感向上を実現したインテリア

・輸入車と比較しても見劣らない魅力を持つ内装質感、この実現に向けて今回のマイナーチェンジでは、ブラックとシルバーの使い方を全面的に見直した。

・艶を抑えたブラックパネルと艶やかで硬質感のあるハイグロスブラックパネルを使い分け、シルバーの範囲を狭くメリハリの利いたシャープな表現を拡大し、室内の雰囲気を引き締め、よりお客様に所有する悦びを感じていただける質感を実現した(図8)。

図８　インテリア

2) インストルメントパネル加飾

・インストルメントパネルの加飾はドッド柄アルミ調のパネルに変更。細かい模様のテクスチャーで上質な質感を実現した(図9)。

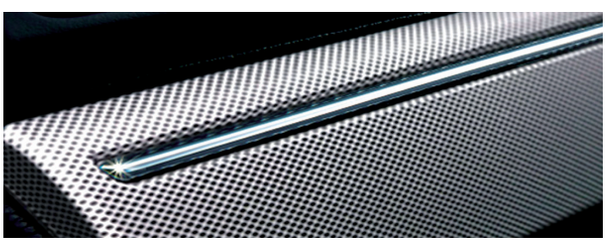


図９　インストルメントパネル

3) ステアリングセンターベゼル

・艶を抑えた質感の高い鋳物ブラックにより、スポーティーかつ落ち着いた雰囲気を演出した(図10)。

図 10　ステアリングホイール

4) マルチファンクションディスプレイ

・よりワイドで高精彩な5.9インチカラー液晶に変更し、車両情報を魅力的に表示する(図11)。

図 11　ディスプレイ

5.　LEVORGのための新外装色

・LEVORGのキャラクターカラーのスチールブルーグレー・メタリックの後継色として、先進感で都会的な印象を演出する「ストームグレー・メタリック」を新規設定した(図12)。

図 12　エクステリアカラー

【著　者】

中村　真一

新型 WRX/WRX STI のデザイン開発

Styling Design Development of WRX/WRX STI

中　村　真　一*
Shinichi NAKAMURA

抄　録

4代目となる現行WRXシリーズはSUBARUのスポーツスピリットの血統を受け継ぎ、あらゆるシーンでダイナミックな走りを愉しめるスポーツセダンとして、スポーツマインドを持った多くのお客様から支持されている。今回のビックマイナーチェンジでは、その価値をさらに深く追求し、お客様への提供価値「安心と愉しさ」を際立たせることを狙い、内外装においても走りのフラッグシップにふさわしい、上質なスポーティ感とポテンシャルの高さの表現をさらに強化した。

Abstract

Current 4th generation WRX series have inherited SUBARU sporty spirits, and the model has been supported by customers who also have sporty spirits as a sporty sedan by which these customers can enjoy the dynamic driving performance in various scenes. In this big minor change, this value has been further deeply pursued. Aiming to accentuate “Enjoyment and Peace of Mind” in both interior and exterior styling, the expressions of high quality sporty feel and high potentials appropriate for this flagship model were further enhanced.

1.　まえがき

WRXシリーズの最大の価値であるスポーツ性能を、内外装の外観で明確にアピールするため、他銘のハイパフォーマンスモデルに負けない圧倒的な高性能感を表現し、スポーツマインドを持ったお客様に満足頂けるデザインを実現した。

2.　デザインの狙い

ハイパフォーマンスをより強く表現したエクステリア

SUBARUの走りのフラックシップにふさわしい、ハイパフォーマンスな走りの愉しさをより鮮烈に表現した(図1)。

スポーティーで質感の高いインテリア

速く安全に走りたいという気分を高揚させ、所有する悦びをさらに高める室内空間(図2)。

図1　Exterior design

図2　Interior design

* デザイン部

3. エクステリアデザイン

1) SUBARUらしさとハイパフォーマンスを印象付けるさらに進化したフロントデザイン

フロントデザインはスポーツセダンである「WRXらしく、パワフルでシャープな走り」を感じさせるデザインに進化。モータースポーツシーンで磨かれた機能美と、高性能を期待させるインパクトのある表現でWRXの世界観を際立たせた(図3)。

図3　Front design

①さらに磨きをかけたSUBARU車共通表現
②パフォーマンス表現と機能を両立したフロントバンパー
③引き締まった表情の新LEDヘッドランプ

①さらに磨きをかけたSUBARU車共通表現

ヘキサゴングリルとCシェイプを備えたヘッドランプの構成はそのままにウィンカーを内蔵、フロントグリルからヘッドランプの連続感を高め、SUBARU共通デザインをシャープに表現。水平対向エンジンを搭載するSUBARUらしさをより強調するデザイン(図4)。

図4　Front design

②パフォーマンス表現と機能を両立したフロントバンパーデザイン

フロントバンパーはハイパフォーマンスカーらしい力強いデザインへ進化。フロントグリルに対し、バンパー下部開口部のブラック範囲を拡大し、冷却性能を向上させるとともにWRXらしい迫力と低重心感を強化(図5)。

図5　Front bumper

③新意匠ヘッドランプ(ウィンカー内蔵)

新設定のLEDヘッドランプはさらに目力が強く引き締まった表情、Cシェイプはクリスタルのような輝きを放つデザインに変更(図6)。

図6　Headlamp

2) 躍動感を高めたアルミホイールのデザイン

新デザインのアルミホイールで走りのイメージを強調、力強さとパフォーマンスを感じさせるシャープな新デザインのホイールを19インチ18インチサイズで表現(図7)。

19 inch (WRX STI)　　18 inch (WRX)

図7　Wheel design

4. インテリアデザイン

今回のビックマイナーチェンジにより、WRXのインテリアはドライバーがスポーツドライビングを通じ、気持ちよく愉しい経験が得られるようなスポーティな表現を強化するとともに質感を向上させた(図8)。

図８　Interior design

1) 質感の高いブラックによるコーディネート

インテリア全体を質感の高いハイグロスブラックと鋳物ブラックブラックでコーディネートし、スポーティさを高めドライブに集中しやすい空間と上質な仕立てを両立した(図9)。

【ステアリングセンターベゼル】

ハイグロスブラック（WRX STI）

鋳物ブラック（WRX/WRX S4）

【インストルメントパネル】

ハイグロスブラック（WRX/STI　WRX/S4 Model）

【ドアスイッチパネル】

ハイグロスブラック（WRX STI/WRX S4）

図９　Panel design

3) 握りやすい断面形状にこだわったドアグリップ

手が直接触れる部分の触感や仕立ての良さは、お客様の満足感が高まるため、ドアトリムのグリップ部を改善した。指先があたる部分に握りやすい形状＆素材に変更したことでドアの開閉がより快適に行える(図 10)。

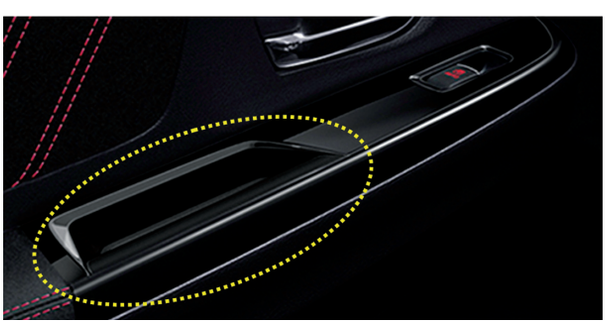


図 10　Door trim design

2) 走りのイメージの強化

走りのイメージを象徴するメーターは、照明色のレイアウトに一部改良を施した。数字と大きな目盛は、これまでのレッドからホワイトに変更し、高次元の走りへの期待感を高め瞬読性を向上させた(図11)。

※WRX/STI Model

図 11　Meter design

WRX/STIを象徴するアイテムの一つであるシフトまわりには、レッドステッチを施した仕立ての良い表皮巻を追加し特別感をさらに高めた(図12)。

図 12　Shift design

・ WRX/STIのさらなる特別感の演出として、レッドシートベルトを採用(図13)。
※WRX/STI Model

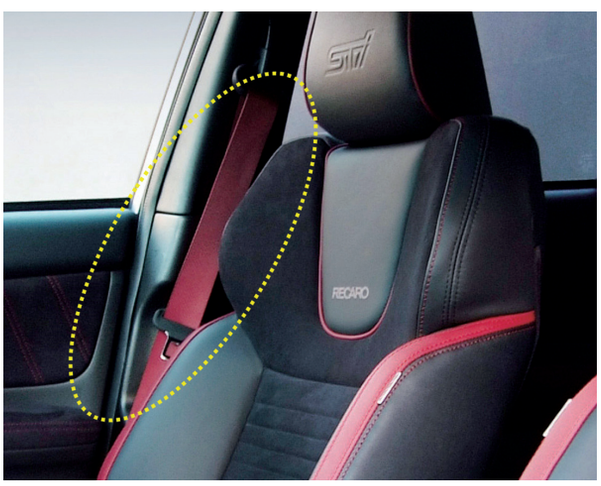


図 13　Seat belt color

3) 優れたホールド性とコンフォート性を高次元で
両立したRECARO社製シート
フロントシートには、優れたホールド性とコンフォート性能を両立するRECAROシートを追加設定。
RECAROロゴ刺繍やオーナメント、レッドのアクセントカラーで特別感のあるシートはさらに高い次元の走りの期待を高める(図14)。

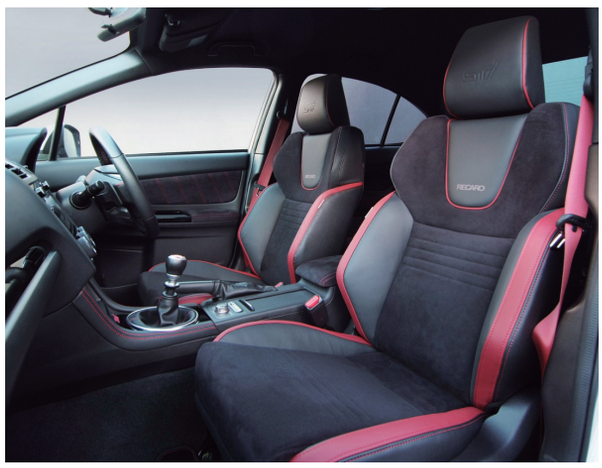


図 14　RECARO Seat design

4) ドライブの愉しさをひろげる8インチNAVI (用品)
これまでの7インチディスプレイNAVIに対し、ディーラーオプションで8インチディスプレイのNAVIを選択可能とし、フェイスパネルデザインも周囲の質感に合うよう専用デザインを採用(図15)。

図 15　Navigation design

5.　おわりに

新型LEVORG、WRX/WRX STIのデザインを通じ、お客様に“安心と愉しさ”の価値を提供し、ご満足いただけるものと信じている。今後も引き続き『Dynamic × Solid』デザインを造り込みブランドを磨く取組みを進め、喜ばれる価値を創出しお届けしていく。

【著　者】

中村　真一

スバル 2017年型インプレッサが米国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

2017年2月

北米地区で現在販売しているスバルの2017年型インプレッサ（アイサイト装着車）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+」を獲得。
全面改良モデルとなる2017年型インプレッサは小型車として唯一、IIHSの全評価項目で最高評価を獲得した車種として認定。

新型 XV の EyeSight の開発

Development of EyeSight for New XV

野村直樹* Naoki NOMURA
金井聡吾* Sogo KANAI
田中純一* Junichi TANAKA
熊谷光* Hikaru KUMAGAI
関根浩史* Hiroshi SEKINE
澤田慎司* Shinji SAWADA

抄　録

新型XVのEyeSight（ver.3）として、さらなる事故被害低減と利便性向上を目指し、歩行者に対するプリクラッシュブレーキ性能とアクティブレーンキープ（車線中央維持機能）の作動率を強化した。プリクラッシュブレーキ性能は、2点向上させている。一つは、障害物の陰（ブラインド）から出てくる横断歩行者への反応を早め、速度低減効果を向上。もう一つは、夜間歩行者への対応であり、周囲の明るさや歩行者の服装による認識性能の低下を抑え、作動率を向上させた。アクティブレーンキープ（車線中央維持機能）については、カーブ曲率の対応範囲を拡げ、高速道路のカーブでの連続作動率を向上させた。EyeSightの性能向上により、お客様にとって、より高い安全性と利便性を提供できると考えている。

Abstract

EyeSight（ver.3）has enhanced the operation rate of Pre-Collision Braking system and Active Lane Keep Assist function (to keep the vehicle driving in the lane center) for pedestrians, aiming at a further reduction of accident damage and improvement of convenience. The Pre-Collision Braking system was refined in two points. One point is to hasten the reaction to crossing persons coming out from behind obstacles to improve the speed reduction effect. The other point is to improve the reaction to night-time pedestrians. The operation rate has been raised to suppress the drop in the recognition performance caused by peripheral darkness or the color of pedestrians' clothes. For the Active Lane Keep Assist function, the curve curvature coverage was expanded to improve the consecutive operation rate on highways. These improvement of EyeSight will offer higher safety and convenience.

1．まえがき

2014年6月に導入したEyeSight（アイサイト）ver.3では、ステレオカメラのカラー化や視認角・視認距離の拡大、3D画像認識エンジンの性能向上などを図り、より多くの対象を迅速・正確に認識できるようになった。その結果、広い車速域（前方車両との速度差0～50 km/h、歩行者の場合は約35 km/h）においてプリクラッシュブレーキが作動可能となった。また高速道路走行時の車線中央維持や車線逸脱抑制を実現するアクティブレーンキープ機能を搭載するなど、安全で快適なドライブを実現する多彩な運転アシスト機能を提供している。

新型XVのEyeSight ver.3では、横断歩行者と夜間歩行者に対するプリクラッシュブレーキ性能の強化と、アクティブレーンキープ（車線中央維持機能）のカーブでの連続作動率を向上させ、さらに事故被害の低減と利便性向上を実現した。

2．システム構成

EyeSightは、「ステレオカメラ」によって前方を常に監視しており、人の目と同じように距離と形状を認識することができる。車両だけでなく、白線やガードレール、歩行者や自転車まで認識することが可能である。システム構成としては、ステレオカメラで認識した情報と自車の走行状況をもとに、ソフトウェアが必要な制御を判断し、状況に合わせてエンジン、トランスミッション、VDC、メータ、ステアリング（EPS）などのユニットを適切に制御する構成となっている（**図1**）。

＊ 車両研究実験第4部

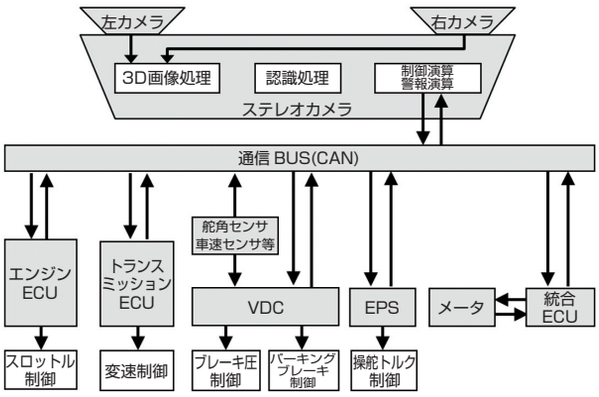


図１　システム構成図

新型XVのEyeSightでは、以下の運転支援機能を実現している。

・プリクラッシュブレーキ
・全車速追従機能付クルーズコントロール
・アクティブレーンキープ
・AT誤発進抑制制御
・AT誤後進抑制制御
・車線逸脱警報
・ふらつき警報
・先行車発進お知らせ機能

以下の項では、新型XVで性能を向上させた2機能について、述べる。

3.　対歩行者プリクラッシュブレーキ機能の性能向上

物陰から飛び出した歩行者および、夜間の歩行者に対するプリクラッシュブレーキ機能の反応速度を高めた。日本の歩行者死亡事故うち、物陰からの飛び出しは2割強、夜間に発生した事故は約7割を占めている（表1、表2）。この2つに対応していくことで、アイサイトの事故被害低減性能を強化した。

表１　2015年 横断中死者の法令違反の状況

	件数	割合
違反なし	377	36.3%
車両等の直前直後横断	240	23.1%
横断歩道以外横断	150	14.4%
信号無視	124	11.9%
斜め横断	44	4.2%
横断禁止場所横断	37	3.6%
その他違反	68	6.5%

表２　2015年 昼夜別歩行中死亡者数

	件数	割合
夜	1062	69.2%
昼	472	30.8%

3.1　実現方法

これまでのアイサイト開発で蓄積された膨大なデータを解析し、有効と判断された新規特徴量を機械学習させた。その結果を、ステレオカメラの強みである3次元距離情報を活用した領域抽出技術と組み合わせることで、歩行者を検知するスピードを高めた（図2）。

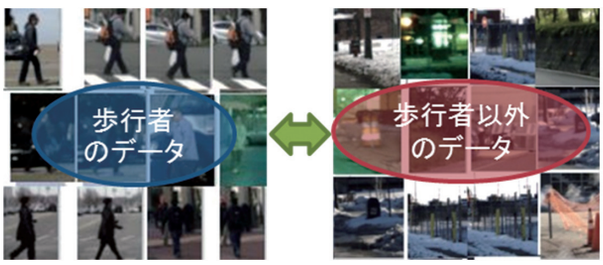


図２　アイサイト画像学習データ例

また、夜間の画像はセンサーで撮像すると非常にノイズの多い画像となる。3次元距離情報を用いたノイズ除去技術を進化させ、暗い画像の中からも、より早く歩行者の領域だけを抽出可能とした（図3）。

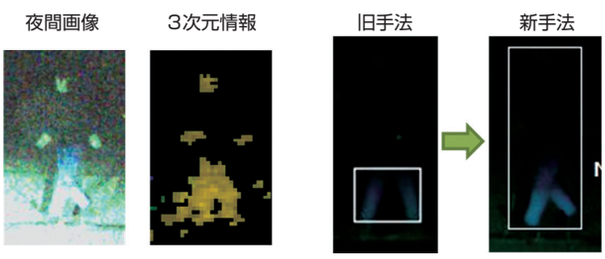


図３　夜間画像からのノイズ除去

3.2　検証結果［物陰からの飛び出し］

本技術の効果を検証するため、遮蔽車両から歩行者が飛び出すシーンでのプリクラッシュブレーキ性能評価を実施した（図4）。

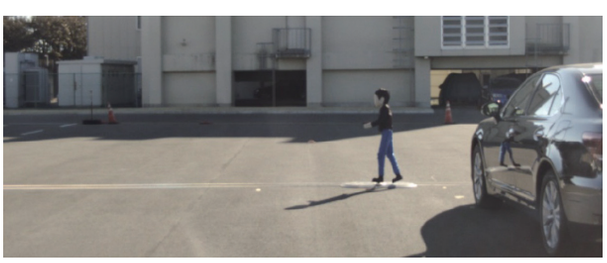


図４　物陰飛び出し試験の試験環境

試験の結果を表3に示す。旧型車では自動ブレーキが作動し減速するものの止まりきれなかったが、新型XVではより早くから減速開始し衝突回避が可能となった。

表３　物陰飛び出し試験の試験結果

	試験速度 [km/h]	衝突速度 [km/h]	ブレーキ開始時の歩行者までの距離［m］
旧型車	30	9.2	7.4
新型 XV	30	0	9.3

＜試験条件＞
歩行者横断速度：5 km/h

3.3　検証結果［夜間歩行者］

本技術の効果を検証するため、夜間に歩行者が自車前方に横断してくるシーンでのプリクラッシュブレーキ性能評価を実施した（図5）。

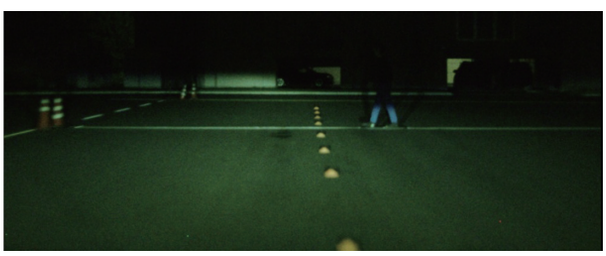


図５　夜間歩行者試験の試験環境

実施した試験の結果を表4に示す。旧型車では衝突する直前に警報および自動ブレーキが作動したのでほとんど減速していないが、新型XVでは早期に警報およびプリクラッシュブレーキが作動したことにより衝突回避することができた。

表４　夜間歩行者試験の試験結果

	試験速度 [km/h]	衝突速度 [km/h]	ブレーキ開始時の歩行者までの距離［m］
旧型車	30	29.5	1.1
新型 XV	30	0	9.9

＜試験条件＞
歩行者横断速度：5 km/h
周辺照度；0.1 Lux 未満

4.　車線中央維持機能の作動率向上

従来の車線中央維持機能（以下、ALK-C機能）は、カーブ走行中のキャンセルが多かったため、高速道路のカーブでの連続作動率を向上させ、お客様の利便性を向上させることが課題であった。

4.1　実現方法

旋回可能なカーブ曲率の範囲を広げること、また、カーブ中の制御キャンセルを削減することでカーブでの連続作動率を向上させる。そのために、ソフトウェアの組み替えを行い、様々な走行シーンを想定した、よりきめ細やかな車両適合を可能にした。

単純に、制御性能を強めると車両のふらつきを助長し、ステアリングの動きが早くなり舵感が悪化するという背反もあったが、様々な走行シーンでの走り込みを実施し、制御性能と舵感の両立を実現した。

4.2　性能検証

ALK-C機能で走行することができた距離と、ALK-C機能がどれだけキャンセルされずに制御を継続できたかの2つの観点で検証した。

4.2.1　走行距離でみる作動率

高速道路・自動車専用道を走行した距離（総走行距離）と走行中に計測したデータからALK-C作動中の走行距離を比較し、走行距離ベースの作動率を算出した。

結果ALK-C作動中の走行距離は2791 km。全走行ルートは上信越道、北陸道、中国道、山陽道、九州道、中央道等、合計約3100 kmに対し作動率は90%となった。各主要道路別の作動率を表5に記す。

表５　主要道路別の作動率

	走行距離 [km]	ALK-C 作動距離 [km]	作動率 [%]
上信越自動車道	285	260	91
北陸自動車道	374	352	94
中国自動車道	746	710	95
山陽自動車道	432	359	83
中央自動車道	155	138	89
九州自動車道	135	121	89
阪神高速 ※1	43	24	55
名古屋第２環状自動車道	29	23	79

※１ 渋滞のため車速が低下し、その間 ALK-C 制御が入らないため作動率が低下した。

4.2.2　制御キャンセル頻度で見る作動率の算出

前述の走行データを使用して、今回の改善が織り込まれていないレヴォーグの制御ソフトウェアで机上シミュレーションを行い、そのキャンセル回数と、新型XVとのキャンセル回数の比較を行った。

その結果、ドライバが意図しないキャンセルの回数が大きく減少した。ドライバ意図によるキャンセルの回数（車線変更やブレーキなど）とドライバが意図しないキャンセルの回数の比較を図6に示す。

さらにドライバが意図しないキャンセルの要因別の回数比較を行った（図7）。その結果、急カーブ走行によるキャンセル頻度が大きく減っていることがわかった。ドライバ意図によるキャンセル及びドライバが意図しないキャンセルの合計回数が35%削減された。

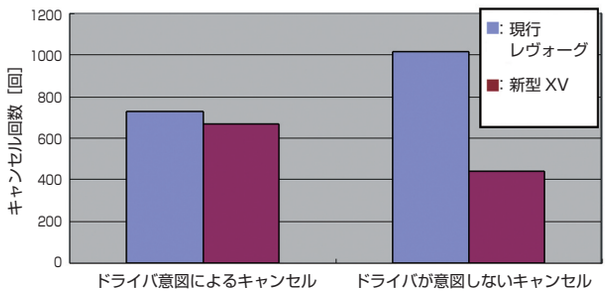


図６　意図／無意図分類によるキャンセル回数

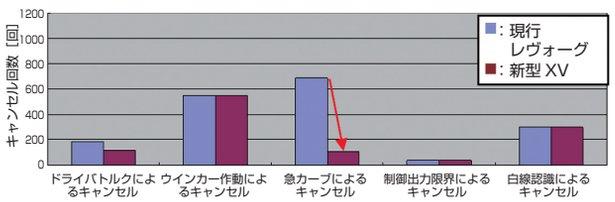


図７　キャンセル要因別の回数

高速道路／自動車専用道路での作動効率90%を達成し、現行レヴォーグに比べ制御解除回数が約35%削減することができた。それにより、カーブでの連続作動率を向上させることができた。

今後、渋滞走行時でもALK-Cを作動させ、より利便性の向上を図っていく。

5.　まとめ

今回開発したEyeSightでは、事故の実態に合わせた対歩行者の事故被害低減と、アクティブレーンキープの作動率を高めたことで利便性向上が実現でき、「安心と愉しさ」を一段と向上させることができたと考える。

これからも、運転支援システムの性能向上と技術革新を行い、あらゆる走行シーンにおいて、利便性、快適性、安全性の向上をお客様に提供していきたい。

参考文献

(1) EURO-NCAP：AEB VRU Test Protocol v1.0.1
http：//euroncap.blob.core.windows.net/media/21509/euro-ncap-aeb-vru-test-protocol-v101.pdf
(2) 関口ほか：新開発ステレオカメラによる運転支援システムの開発，スバル技報，No.35（2008）
(3) 野口ほか：運転支援システム「EyeSight ver.2（アイサイト ver.2）」の開発，スバル技報、No.38（2011）
(4) 木戸ほか：運転支援システム「EyeSight（ver.3）」の開発，スバル技報，No.41（2014）
(5) 水谷ほか：アクティブレーンキープ・AT誤後進抑制機能の開発，スバル技報，No.41（2014）

【著　者】

野村　直樹

金井　聡吾

田中　純一

熊谷　　光

関根　浩史

澤田　慎司

後退時自動ブレーキの開発

Development of Reverse Automatic Braking (RAB)

濱田祐介[*1] Yusuke HAMADA
持田和人[*1] Kazuhito MOCHIDA
加藤寛基[*1] Hiroki KATO
吉尾直純[*1] Naozumi YOSHIO
水谷公一[*2] Kouichi MIZUTANI
小西英祐[*2] Eisuke KONISHI
鈴木一文[*3] Kazuhumi SUZUKI

抄　録

当社は、後退時において車両や壁等を検知し、ドライバへ注意喚起および自動でブレーキを作動させる予防安全システム後退時自動ブレーキ(Reverse Automatic Braking：RAB)を開発した。本システムはリヤバンパに搭載されたソナーセンサを使用して障害物を検知、衝突の可能性が高い場合は、警報音とともに自動ブレーキを作動させることで衝突の被害軽減を図る。衝突の可能性が低い場合は、障害物との距離に応じてドライバへ注意喚起する。

本システムにより、車両後方の予防安全機能を拡大させ、運転支援システムEyeSightと共に、全方位の安全・安心の実現を加速させていく。

Abstract

SUBARU has developed an active safety system “Reverse Automatic Braking (RAB).” This system prevents or reduces collision damage by applying the automatic braking when the vehicle has a high possibility of collision. This possibility is calculated and judged by four ultra-sonic sensors mounted on the rear bumper which detect obstacles and distances. When the possibility of collision is low, the system alerts the driver by sound and the indicator on the rear view monitor.

This system is expected to reduce or prevent accidents in rear-end collisions. In combination with the EyeSight, this system helps achieve the safety all around the vehicle.

1. まえがき

当社は、際立とう2020におけるスバルブランドを磨く取組みの中で、前方だけでなく全方位衝突安全を掲げ、安全・安心をお客様に提供できることを目指している。全方位衝突安全への第一歩として、後退中の障害物との衝突を防止する、後退時自動ブレーキ(Reverse Automatic Braking：RAB)を開発した。

2. 開発の狙い

本システムは、後退時において障害物の有無や距離を検知し、自車速との関係から衝突の可能性があると判断した場合、音と表示で注意喚起する。さらに衝突の可能性が高くなった場合、自動でブレーキを作動させ衝突を回避するシステムである。

2015年のアメリカでの事故統計を図1[(1)]に示す。後退時の事故は全要因における9番目である。上位の追突、右左折、車線変更等において事故防止に向けて開発を続けているため、後退時においても同様に事故防止の機能を開発する必要があった。

Vehicle Maneuver	Crash Severity						Total	
	Fatal		Injury		Property Damage Only			
	Number	Percent	Number	Percent	Number	Percent	Number	Percent
Going Straight	24,049	63.2	1,359,000	55.6	3,523,000	50.0	4,907,000	51.5
Turning Left	2,577	6.8	295,000	12.1	654,000	9.3	952,000	10.0
Stopped in Traffic Lane	491	1.3	252,000	10.3	907,000	12.9	1,160,000	12.2
Turning Right	341	0.9	85,000	3.5	314,000	4.5	400,000	4.2
Slowed in Traffic Lane	297	0.8	115,000	4.7	409,000	5.8	525,000	5.5
Merging/Changing Lanes	639	1.7	64,000	2.6	349,000	5.0	414,000	4.3
Negotiating Curve	7,656	20.1	154,000	6.3	337,000	4.8	499,000	5.2
Backing Up	119	0.3	15,000	0.6	180,000	2.6	195,000	2.0
Passing Other Vehicle	695	1.8	19,000	0.8	76,000	1.1	97,000	1.0
Starting in Traffic Lane	231	0.6	55,000	2.2	174,000	2.5	229,000	2.4
Leaving Parking Space	30	0.1	5,000	0.2	35,000	0.5	39,000	0.4
Making U-Turn	143	0.4	15,000	0.6	33,000	0.5	48,000	0.5
Entering Parking Space	9	*	2,000	0.1	29,000	0.4	32,000	0.3
Disabled or Parked in Traffic Lane	41	0.1	1,000	*	2,000	*	3,000	*
Other Maneuver	344	0.9	6,000	0.2	18,000	0.3	24,000	0.3
Total	**38,046	100.0	2,443,000	100.0	7,041,000	100.0	9,522,000	100.0

*Less than 0.05 percent.
**Includes 384 vehicles involved in fatal crashes with unknown vehicle maneuver.

図1　米国における事故時の運転操作の割合

＊1 車両研究実験第4部
＊2 先進安全設計部
＊3 電子商品設計部

後退時の事故ケースを図2[2]に示す。46%が移動車両との衝突であり、34%が静止している車両や障害物への衝突である。移動車両物に対しては、レーダセンサを使った「スバルリヤビークルディテクション(SRVD)」の「後退時支援(Rear Cross Traffic Alert：RCTA)」[3]により、自車後方を横切る車両に対して注意喚起することができる。しかし、レーダの特性により静止物を検知することは難しいため、静止物の事故を防止するには別の手段で対応する必要があった。

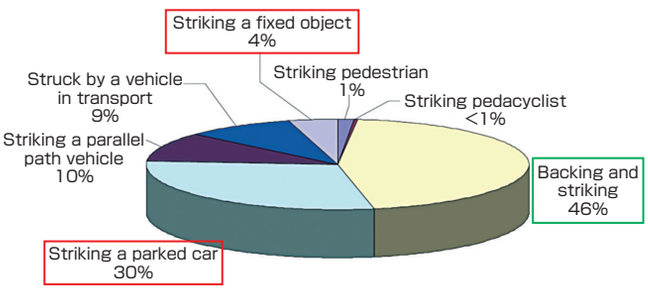


図２　後退時の事故分類

3.　システムの考え方

3.1　システム構成

システム構成を図3に示す。リヤバンパー内にソナーセンサが4つ搭載されている。これらのセンサはSonarECUと接続されており、4つの距離情報を基に障害物の検知、衝突可能性の判断を行っている。SonarECUからの指示によりEyeSightがVDCやエンジンに対してブレーキによる制動やトルクの抑制制御を行う。また、メータへのHMIに対しても同様にEyeSightを経由し、表示や警報の指示を行う。

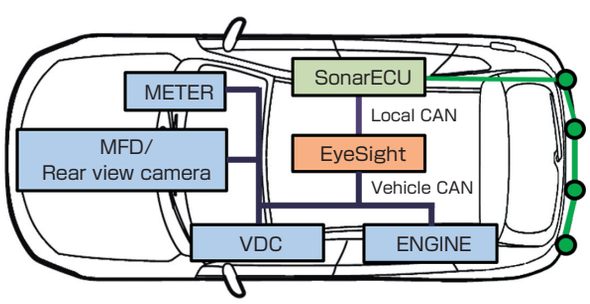


図３　RAB システム概要

3.2　ソナーセンサ

RABで使用しているセンサは、長距離検知用のソナーである。ソナーは、レーダと比べて比較的安価であり、静止物の検知に優れているという特徴を持つ。これは車両や壁などに対しての衝突防止を目的とした本機能の要求と合致している(図4)。

図４　ソナーセンサ

3.3　詳細機能

本システムは2つの機能がある。各機能について説明する。

3.3.1　ソナー警報機能

この機能は障害物の距離に従って、表示と音を変化させ、ドライバに対して注意を促すものである。

MFD(マルチファンクションディスプレイ)もしくは、リヤビューカメラのディスプレイに警報が表示される(図5、6)。警報は距離毎に変化し、センターソナーの表示は4段階、コーナソナーの表示は3段階切り替わる。警報音は3段階で変化し、距離が近づくに従い吹鳴周期が短くなる。

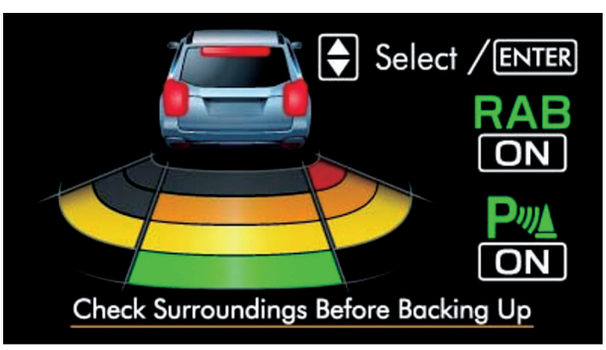


図５　マルチファンクションディスプレイ

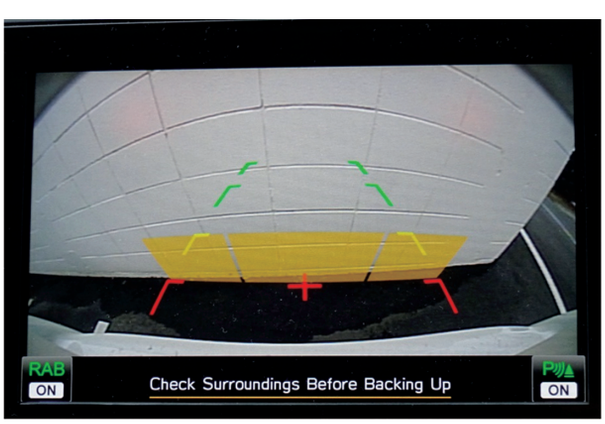


図６　リヤビューカメラディスプレイ

3.3.2　自動ブレーキ機能

この機能は、障害物の距離と自車速度から衝突の可能性を判断し、衝突の可能性がある場合、ドライバに

注意喚起を行い、アクセル操作による加速を抑制する。回避操作がなく、衝突の可能性がさらに高くなった場合、自動でブレーキをかけることによって、衝突回避または衝突による被害軽減を図るものである(図7)。

電動パーキングブレーキ付の車両はブレーキ作動後、ドライバのアクセルやブレーキ操作があるまで停止状態を保持する。装着されていない車両は約3秒間、停止を保持した後、解除される。

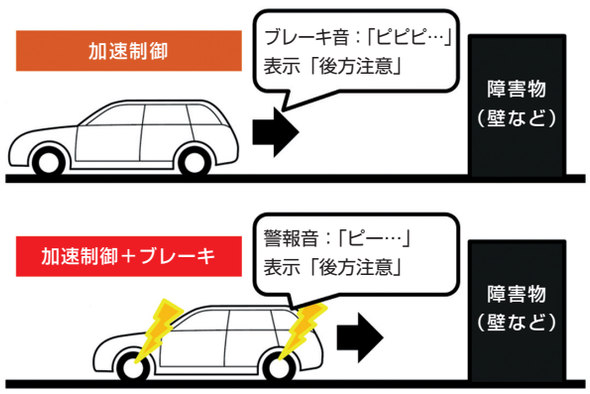


図7　RAB作動概要

3.4　HMI（ヒューマンマシンインタフェース）

警報表示、機能のON/OFF表示は、MFDもしくはリヤビューカメラディスプレイで行う。

MFDの場合はギアがリバースになると、専用の画面に切り替わる。MFD下部にあるスイッチを上下操作して機能を選択し、スイッチを押しこむことでON/OFFを切り替える(図5)。

リヤビューカメラディスプレイの場合は、リヤビュー画面に透過して、ソナー警報を表示する。また、画面下部にスイッチがあり、直接画面にタッチすることで、ON/OFFを切り替える(図6)。

4.　おわりに

この開発によって全方位衝突安全に向けて前進できた。今後も性能向上やセンサ拡張により、移動車両との衝突事故防止など、さらなる安全を追求し、スバル車が関わる事故をゼロになるよう開発を続けていく。

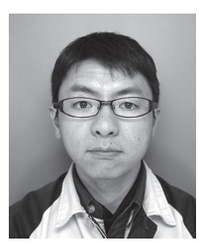
最後に開発に多大な協力をいただきました、パナソニック オートモーティブ&インダストリアルシステムズ社様にこの場を借りて深く感謝申し上げます。

参考文献

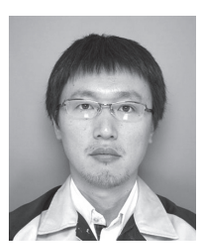
(1) NHTSA：2014 Traffic Safety Facts FARS/GES Annual Report（DOT HS 812 261）
(2) NHTSA：Advanced Crash Avoidance Technologies（ACAT）Program（DOT HS 811 452）
(3) 高橋ほか：スバルリヤビークルディテクション（SRVD：BSD/RCTA）の開発，スバル技報No.42, p.58-63

【著　者】

濱田　祐介

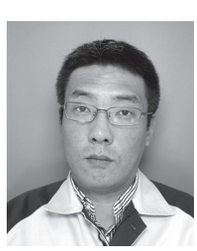

持田　和人

加藤　寛基


吉尾　直純

水谷　公一

小西　英祐


鈴木　一文

路線信号情報を活用した運転支援機能の評価

Evaluation of Driver Assist Function with Traffic-Signal Information

松　原　正　悟*
Shogo MATSUBARA

抄　録

スバルでは、様々な事故低減の取り組みの一環として、多数の重大事故の発生場所となっている交差点付近での支援機能の実現に向け取り組んでいる。今回、前方交差点の信号の情報を車両が取得し、ドライバを支援する予防安全機能の評価を行った。

信号の状態を検知する方法としては、国内で道路上に設置された光ビーコンから配信される路線信号情報を利用した。またモニタ実験として、内閣府主導の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)[(1)]の枠組みを使い、効果の見極めを行った。

本稿では、試作した支援システムの紹介、SIPでの実証実験結果、及び商品化に向けた課題と考察を報告する。

Abstract

SUBARU is working, as a part of our approach to accident reduction, to realize a driver assist function at intersections, where many serious accidents occur. This time, we evaluated an active safety system that utilizes the state of traffic signal information.

As a method of detecting signal information, we used the traffic-signal information distributed from IR beacon which had been installed on the roads in Japan. Also, we conducted a subjective experiment in Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP)[(1)] led by the Cabinet Office.

This document reports the support system and evaluation results obtained in the SIP.

1.　まえがき

国内の交通死亡事故は約3割が信号交差点とその付近で発生している[(2)]。信号交差点では、ドライバは変化する信号灯色に応じて運転する必要がある。もし、前方の交差点に到達する時点の信号情報を前もって知ることができれば、運転負荷を軽減しより安全な運転に誘導できる可能性がある。

信号の状態を検知するために、車両に搭載したカメラ等の自律センサを使用する方法がある。しかし、先行車に視界を遮られて検知できない点や、より早く停止・通過の判断をするために必要な、灯色変化の予測が困難であるという課題がある。この課題に対し、国内では、道路上に設置された光ビーコンの赤外線通信により、信号の状態を示す路線信号情報を配信する技術がある。この技術により、ビーコン下の道路を通過することで、確実に情報を取得することができる。配信される情報には、信号灯色の計画情報が含まれており、変化を予測することも可能である。

今回、この路線信号情報を活用して、より安全に交差点を走行できるよう、ドライバへ推奨する走行方法を知らせる、信号通過支援システム、及び赤信号減速支援システムを試作した。

本稿では、まず、試作した支援システムの内容、構成を報告する。そして、効果検証のために参画した、内閣府主導で平成26年度より創設された戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の内容を述べる。最後に実証実験の結果と、商品化に向けた課題と考察を報告する。

2.　路線信号情報とは

国内の交通管制システムでは、路上に設置している各種センサで収集した、交通量や車両プローブデータ

＊ 先進安全設計部

を基に各交差点の信号機を遠隔制御している。この管制センタで管理している信号の情報を、路線信号情報として、路上に設定された光ビーコンより赤外線通信で配信する(図1)。

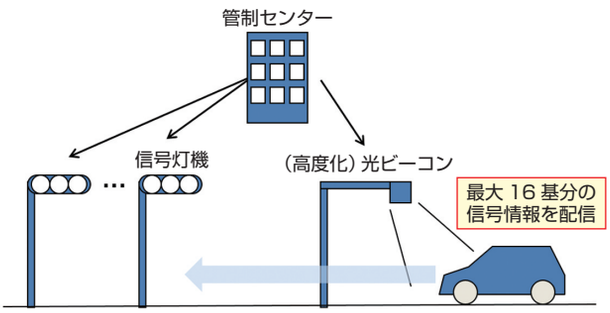


図 1　路線信号情報の概要

路線信号情報は、信号灯色の変化の周期、交差点手前の停止線までの距離を含んでおり、停止線に到達した時点での、信号灯色を予測することができる。

光ビーコンとの通信は光ビーコン下を通過時に成立し、車両からプローブ情報を渡すことで、路線信号情報を受け取ることができる。

下流最大16個の交差点の信号情報を配信しており、一度の通信で光ビーコン以降の長い区間の情報をカバーすることができる。尚､路線信号情報の配信には、近年実用化された通信速度を向上した光ビーコンを用いており、高度化光ビーコンと呼ばれる。

3.　運転支援システム

本章では、試作した信号通過支援システム、及び赤信号減速支援システムを説明する。この2つの支援システムは、前方の交差点通過時の信号状態を前もって通知し、ドライバが余裕を持った運転操作ができるようにすることで､交差点付近の交通流をスムーズにし、渋滞や事故の削減、赤信号に対する操作遅れ防止による事故の削減を目指した機能である。

3.1　信号通過支援システム

信号通過支援システムとは、交差点を通過する際、赤信号での停止・発進を減らすよう、青信号で通過可能な推奨走行速度まで減速を促す機能である(図2)。

具体的には、青に変わる数秒前に交差点への到達が予測され、アクセルオフによる減速にて交差点で止まらずに通過が可能となる場合に、アクセルオフ推奨をドライバに通知する。また、すでに通過可能速度で走行している場合は､そのままの速度の維持を推奨する。ドライバは余裕を持った運転操作が可能となり、無駄な加減速がなく交差点を通過できる。

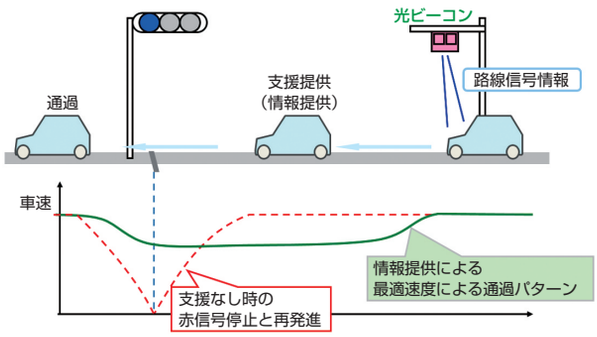


図 2　信号通過支援システムの概要

3.2　赤信号減速支援システム

赤信号での停止が必要な場合に、緩やかに減速できるよう、アクセルオフを促す機能である(図3)。

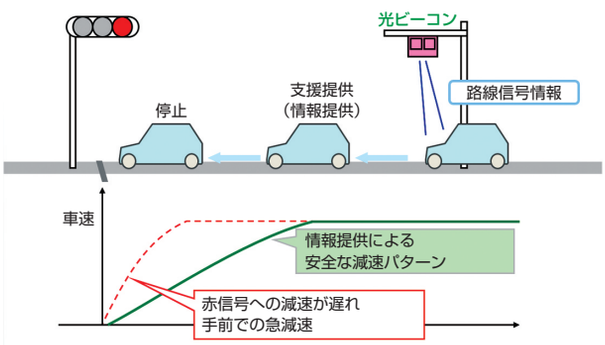


図 3　赤信号減速支援システムの概要

具体的には、交差点に到達する時点で赤信号であることが予測されるにもかかわらず、交差点に一定距離まで近づいても、ドライバがまだアクセルを踏んでいる場合に、アクセルオフ推奨をドライバに通知する。結果として赤信号に対する減速操作の遅れ防止しにつながり、事故の削減が期待される。

4.　システム構成

本章では、試作した支援システムを説明する。

4.1　車載システム

道路上の光ビーコンより路線信号情報を受信する光ビーコンアンテナ、自車位置を判定するためのGPSアンテナを搭載する。取得した情報と自車情報から、車載ECUで支援要否の判定処理を行う。処理結果はHMI表示装置に渡され、表示と音でドライバに通知される(図4)。

4.2　HMI (Human Machine Interface)

支援情報の表示には、インスツルメントパネル中央に設置されているMFD(マルチファンクションディスプレイ)の場所を用いた(図5)。

各支援システムの詳細な表示内容は、それぞれ次節に示す。

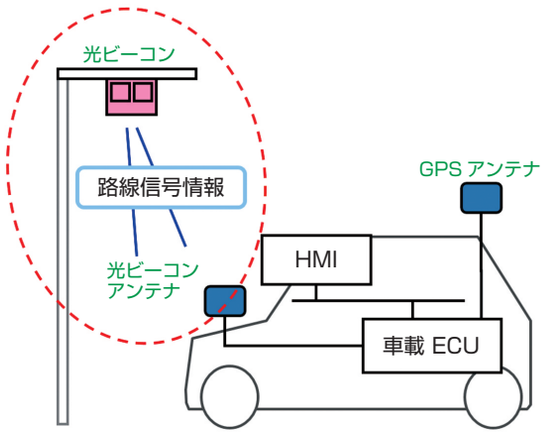


図４　支援システム構成

図５　HMI 表示位置

4.2.1　信号通過支援表示

ドライバに推奨走行速度までの減速を促す画面（図6）と、現在の速度で交差点が通過可能であることを示す画面（図7）の2種を用意し、前者のみ通知音と共に表示する。

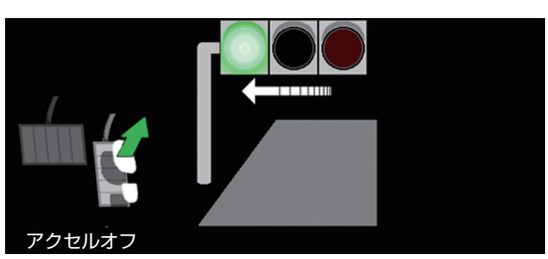


図６　信号通過支援（減速推奨）画面

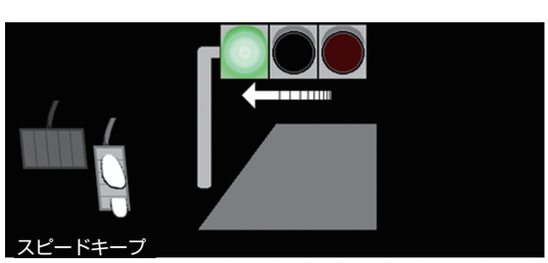


図７　信号通過支援（速度キープ推奨）画

4.2.2　赤信号減速支援表示

ドライバに赤信号での停止に向けたアクセルオフを促す画面（図8）を用意し、通知音と共に表示する。

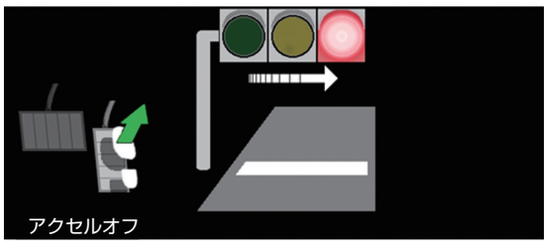


図８　赤信号減速支援 画面

5.　実験・評価結果

本章では、試作したシステムの実用性を見極めるために参画した、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）での実証実験の紹介、及び得られた評価結果と課題の考察を説明する。

5.1　プログラム概要

スバルは、H26 ～ 27年度までの2年間、戦略的イノベーション創造プログラムの自動走行システム分野の1テーマである、「信号情報等のリアルタイム活用技術等の開発及び実証」[3][4]に参画した。このプロジェクトでは、一般モニタの走行による実験を実施し、支援システムの効果、実用性、及びドライバ受容性を評価した。 実験は、スバルを含めたカーメーカ3社により、交通環境の異なる3地域で、統一の評価方法により実施された。

5.2　評価場所

群馬県太田市内の国道122号線の只上交差点から竜舞東交差点までの約7.1 kmで、全線片側2車線以上を有し、地方都市の外縁を南北に貫く規制速度60 km/hの路線の区間内を利用した（図9）。この場所の特徴として、周辺に点在する民間企業の大型事業所や、沿線の大型商業施設の存在により、交通密度の高い場所や時間帯が発生する点が挙げられる。

5.3　評価方法

5.2節に示した実験場所にて、年代、性別を分散して募集した一般モニタ50名による走行評価を実施した。まず、支援システムの効果を評価するため、支援システム無し・有りでそれぞれ走行し、走行結果の比較・検証を行った。次に、発生した支援に対するドライバの受容性を評価するため、走行体験したドライバへのアンケート・インタビューを実施した。

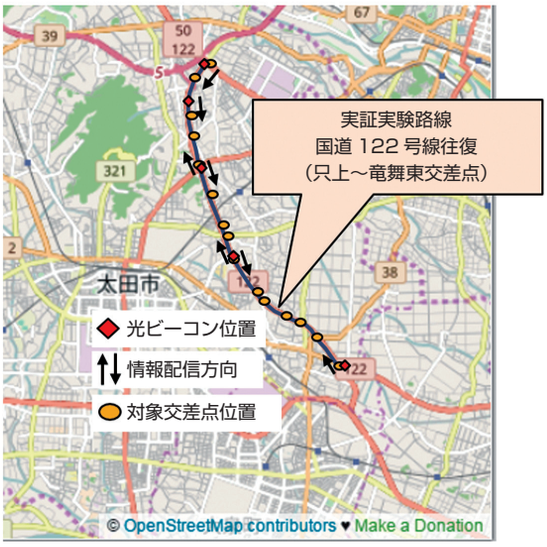


図 9　実証実験路線

5.4　支援効果評価結果

5.4.1　信号通過支援

信号通過支援システムの効果として、支援システム無し・有り各走行での、交差点で停止することなく通過できた割合をそれぞれ計測した(表1)。結果、両者に大きな差は無く(有意水準5%で差なし)、効果が無い結果となった。

表 1　信号通過支援効果

	交差点通過率の平均値
支援システム無し走行結果	65.2%
支援システム有り走行結果	63.5%

効果が表れなかった要因を示すため、支援に対する各走行の結果分類を示す(表2)。

表 2　信号通過支援時の結果

支援発生回数 25 回（総交差点通過数の 1.7%）				
	支援通りに通過した			24%
	支援通りに通過しなかった	通知タイミングずれ	有効期限切れ	36%
			期限内のずれ	4%
		減速せず赤信号で停止		12%
		渋滞で通過できず停止		24%

信号通過支援の発生は、全交差点通過回数の1.7%と少なく、さらに支援が発生した場合に、ドライバが支援の狙い通り減速・通過した割合も低いため、全体的な効果に繋がらなかったと考えられる。

また、狙い通り通過できなかった大きな要因に、信号の灯色に対し、支援の通知タイミングがずれたことが挙げられる。この通知タイミングずれは、路線信号情報の持つ情報の有効期限が、支援発生時に切れてしまった場合に多く発生している。また、期限内であっても発生しているケースがあった。この有効期限については5.6節にて詳細と考察を述べる。

5.4.2　赤信号減速支援

赤信号減速支援の効果として、支援システム無し・有り各走行での、赤信号で停止する際の最大減速度をそれぞれ計測した(表3)。結果、両者に大きな差は無く(有意水準5%で差なし)、効果が無い結果となった。

表 3　信号通過支援効果

	最大減速度の平均値
支援システム無し走行結果	1.46 m/s^2
支援システム有り走行結果	1.42 m/s^2

信号通過支援と同様に、支援に対する各走行の結果分類を示す(表4)。

赤信号減速支援の発生割合、支援の狙い通り停止できた割合が限られており、全体的な効果に繋がらなかったと考えられる。

また、狙い通り通過できなかった大きな要因には、信号通過支援と同様に、通知タイミングずれが挙げられる。

表 4　赤信号減速支援時の結果

支援発生回数 562 回（総交差点通過数の 37.4%）				
	支援通りに停止した			77%
	支援通りに停止しなかった	通知タイミングずれ	有効期限切れ	17%
			期限内のずれ	3%
		加速し赤信号を通過		3%

5.5　ドライバ受容性評価結果

ドライバ受容性として、アンケート・インタビュー結果による、「先進性」「うれしさ」「便利さ」「必要性」の4つの観点での評価結果を示す

5.5.1　信号通過支援

8割近いモニタは先進性があると評価し、主に「周囲に車がいないときに、安全に走行できる速度の目安が立てられる」と高評価だった。しかし、他の項目は否定的な評価が過半数を占めている(図10)。

否定的な評価の要因として、アンケートで「後続車の追突が心配で、指示通りの減速ができない」と意見が出ていたことから、通過のために周辺の走行速度に反して減速し、後続車に危険と感じさせることを不安に感じたためと推測される。

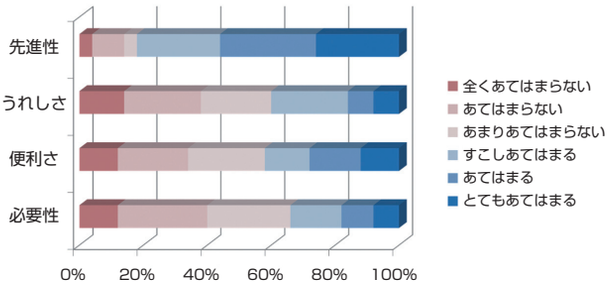


図 10　信号通過支援アンケート結果

5.5.2　赤信号減速支援

6割を超えるモニタが便利であると評価し、主にカーブ路や、大型車のせいで見通しが悪いケースで「止まるための心構えができる」と高評価だった。一方で、うれしさ・必要性では、否定的な評価が半数となった（図11）。

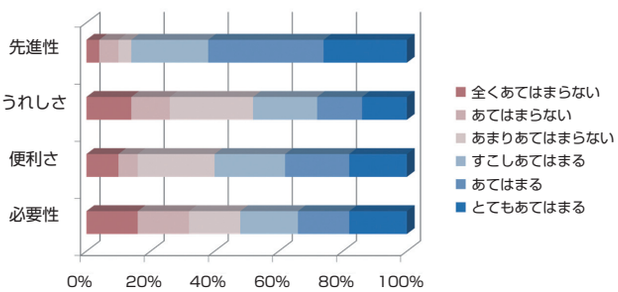


図 11　信号通過支援アンケート結果

否定的な評価の要因として、アンケートで「自分ならこの状況では通過したい」と意見が出ていたことから、周辺の交通状況に合わせたいという、自身の運転感覚との違和感があったと推測される。

5.6　課題及び考察

5.6.1　情報有効期限

5.4節の評価結果より、有効期限切れによる通知タイミングずれが、支援の効果を下げる大きな課題であると分かった。

有効期限切れが起きる要因の一つに、管制センタにて信号情報を定期的に更新していることが挙げられる。この更新までの有効期限時間は路線信号情報に含まれているが、期限が短く、期限内に路線信号情報のカバーエリアを通過することができない。特に、光ビーコン受信位置から交差点までの位置が遠い程、期限が切れて支援機会が無くなる。今回の走行評価では、300 mを超えると全走行の約半数で有効期限が切れ、2.5 km以上離れると全て期限切れとなっていた。

今回の実証実験ではサンプル数確保のため、有効期限切れの場合も評価対象にカウントしたが、通知タイミングずれ発生時の9割近くのケースで、有効期限切れとなっている。

信号情報の更新期間を伸ばすことや、各光ビーコンがカバーするエリアを、有効時間内で通過できる範囲に収まるよう最適化することが今後望まれる。

5.6.2　配信情報のずれ

5.4節の評価結果のうち、信号灯色時間ずれについて述べる。実際に確認できたずれ時間の分布（図12）では、20秒近いずれの他、±5秒以内の小さなずれも多く発生している。

このずれは、管制センタから信号機へ出す制御指令と、指令を受ける側の信号機との間で、信号灯色周期の位相にずれがあるためと考えられる。

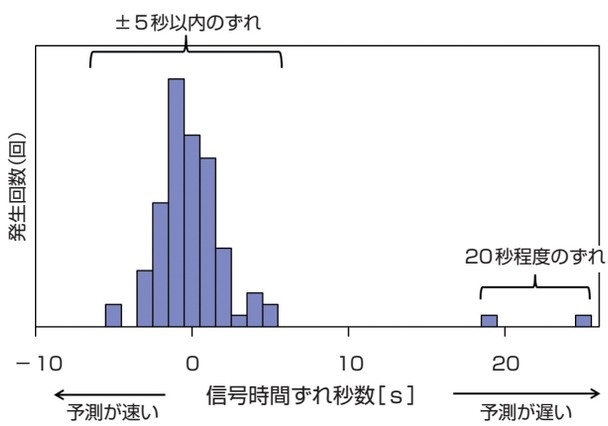


図 12　信号情報の時間ずれ秒数の分布

信号機では位相ずれを解消するために、灯色周期を増減させて少しずつ位相をずらし、制御指令に追従させている。路線信号情報には、予めこの追従のための変動幅を持っているが、追従中であることは路線信号情報には含まれていないため、予測がずれ誤通知を引き起こしてしまう。

今後、情報を配信するインフラ側のシステムにて、位相のずれを解消し、変動幅の無い情報を配信することが望まれる。

5.6.3　ドライバ受容性の改善

5.5節の受容性評価結果より、支援通りに運転することに対しドライバが否定的になることは、後続車・周辺車両に対する影響への不安が要因であると推測された。

改善には、運転挙動による道路の混み具合の推定、各種自律センサによる周辺車両の検知情報を活用し、ドライバに伝える情報の内容や、通知タイミング、通知方法に工夫を施すことが有効な手段であると考えられる。

6. まとめ

信号交差点での事故削減に向け、国内のインフラシステムである、光ビーコンから配信される路線信号情報を活用した、運転支援システムを試作・評価した。

評価の結果、配信される路線信号情報に、有効期限の短さや、 時間ずれの課題が有る事が判明した。今後、改善に向けたインフラ技術・整備状況の動向を継続調査していく。

また、ドライバに後続車・周辺車両に対する影響への不安を与えることが課題であり、通知内容、タイミングの工夫による改善を検討していく。

一般道での安全・安心な運転をお客様に提供するためには、交差点での事故低減は重要な課題である。今後も事故ゼロに向け、本稿で評価したインフラ設備との協調技術の活用に取り組んでいく。

参考文献

(1) 内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）
http：//www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/
(2) 平成27年中の交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況等について警察庁交通局
(3) 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）自動走行システム 研究開発計画
http：//www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf
(4) 信号情報等のリアルタイム活用技術等の開発及び実証 報告書－経済産業省 http：//www.meti.go.jp/meti_lib/report/2016fy/000462.pdf

【著　者】

松原　正悟

新型インプレッサ向けリニアトロニックのギヤ音開発

Development of Gear Noise Improvement of Lineartronic for New IMPREZA

千田博之[*1] Hiroyuki CHIDA
竹内良彦[*2] Yoshihiko TAKENOUCHI
藤榮淳[*3] Atsushi FUJIE
三好慶和[*4] Yoshikazu MIYOSHI
飛澤圭一郎[*5] Keiichiro TOBISAWA
中村新太郎[*1] Shintaro NAKAMURA
片山順[*1] Jun KATAYAMA

抄録

新型(5代目)インプレッサ向けリニアトロニックの開発では、新たな振動・騒音、軽量化最適解析技術やギヤ音開発手法を取り入れ、リダクションギヤ音低減と軽量化を実現した。また、ギヤ歯面の量産品質を早期より玉成することで、量産立ち上がり直後から高い出荷検査合格率も達成した。本稿では、新型リニアトロニックの振動・騒音性能向上と軽量化に関して、開発から量産フェーズに渡る一連の開発プロセスを報告する。

Abstract

In the development of new Lineartronic for new IMPREZA, we achieved both weight reduction and gear noise improvement by adopting the analysis of transmission case shape optimization and new gear noise design method. In addition, by making gear tooth surface high quality in early stages of mass production, we obtained a high shipping inspection pass rate as soon as mass production started. In this paper, we report a series of development processes from development to mass production phases with respect to the improvement of gear noise performance and weight reduction of the transmission.

1. まえがき

自動車を取り巻く環境の急激な変化により、自動車用トランスミッションにおいても低燃費・静粛性・軽量化の開発を高次元かつ、短期間で成立させることが求められている。

2016年10月発売の新型(5代目)インプレッサでは、SUBARUが訴求する『安心と愉しさ』にさらなる磨きをかけ、直感的に感じる『動的質感』をお客様価値として提供することをコンセプトに愛をもって開発に取り組んだ。トランスミッションとしては2011年発売の4代目インプレッサで初搭載した中容量タイプの縦置きチェーン式CVT『リニアトロニック』に対し、外観寸法や軸配置といった基本構造は踏襲しつつ、低燃費、静粛性の向上及び軽量化に取り組み、質量ベースで8割もの部品に改良を加えてこれを実現し、量産化につなげた。

一方、SUBARUの主力トランスミッションである本リニアトロニックは生産台数が2012年の34万台／年から2016年の82万台／年へと飛躍的に増加している。量産立ち上がり直後から多くのお客様に早く確実に商品をお届けするため、高い振動検査合格率を維持させる早期量産品質の玉成が必要である。本開発では従来から一歩進んだ開発プロセスを構築し、目標通りの振動検査合格率を達成した。

本報告では、リニアトロニックの振動・騒音性能と軽量化の両立に焦点を当て、解析、試作、評価のプロセス構築といった開発手法や、開発部門と生産部門の協業に対する従来からの改善点、得られた成果について紹介する。

＊1 トランスミッション設計部
＊2 第3生産技術部
＊3 パワーユニット研究実験第3部
＊4 CAE部
＊5 SUBARUテクノ株式会社

2. 動的質感向上

車両コンセプトである『動的質感向上』を実現するために、4代目インプレッサ用のリニアトロニックのギヤ音性能の向上に取り組んだ。そのため新型インプ

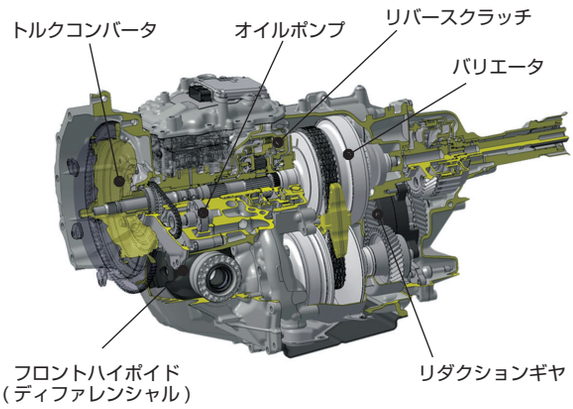


図１　新型インプレッサ用リニアトロニック

レッサ用のリニアトロニック開発にあたっては、様々なギヤ音性能向上の取り組みを行った。以下ではその主な内容を紹介する。

2.1　ギヤ支持方法の変更

ギヤ音は主に噛合による「起振力」と、軸物・箱物の「感度」によりレベルの大小が決まる[(1)(2)]。ギヤ音のピークを詳細に分析した結果、1100 Hzのピークは支持剛性が寄与するドライブピニオンシャフトの曲げモードによる共振であることが分かった(図3)。そこで従来ボールベアリング(ギヤ前側)であった支持系を剛性の高いローラベアリングに変更(図4)。曲げモード腹部の支持剛性を向上することにより、共振系の振幅を抑えることで感度を低減させ、4 dBのギヤ音低減効果を得た(図5)。

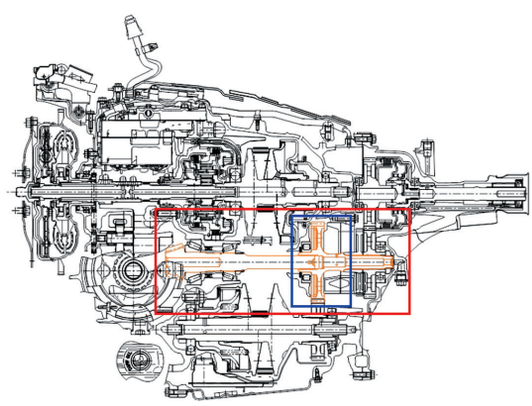


図２　リニアトロニック主断面

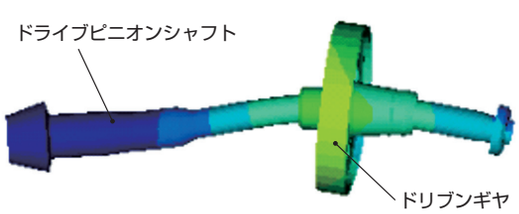


図３　ドライブピニオンシャフト曲げモード
（図 2. 赤枠部）

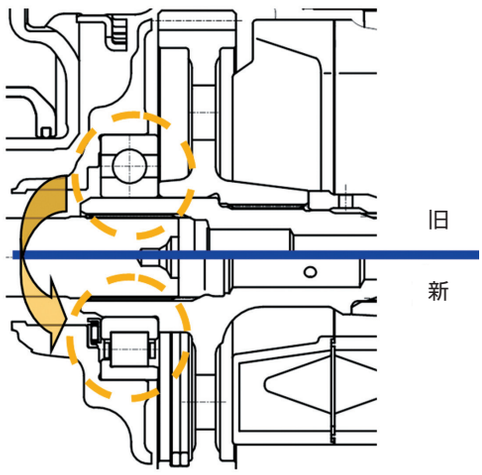


図４　支持方法変更部位概略（図 2. 青枠部）

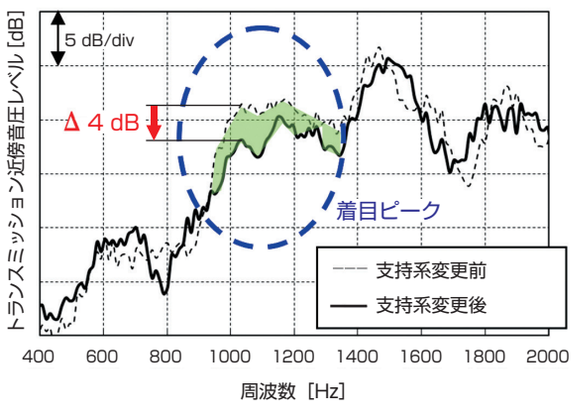


図５　支持方法変更によるギヤ音低減効果

2.2　ギヤへの制振スナップリングの追加

2.1項同様の分析で2400 Hzのピークはギヤが椀型に変形するモードであることが分かった(図6)。そこでこのモードに対する感度低減策として制振スナップリングを追加した(図7)。これは高周波数で変位する部位に減衰効果を狙った機構を追加することで、共振系の振幅を抑えることが目的である。制振スナップリングの仕様は、必要な減衰量が得られるよう、リング外径とギヤ取り付け部内径で緊度をコントロールした。 このスナップリング追加により、ギヤ音レベルは4 dBの低減効果を得た(図8)。

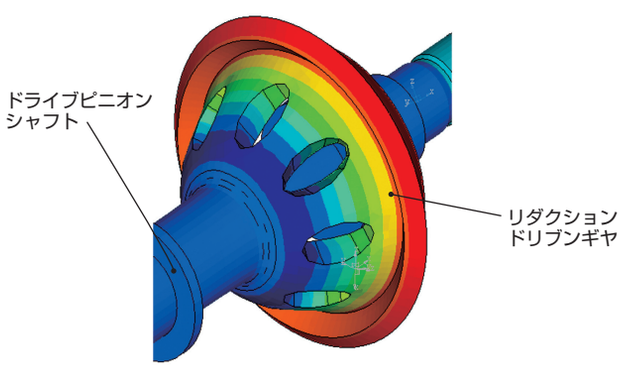


図６　リダクションドリブンギヤ椀型変形モード（2400 Hz）

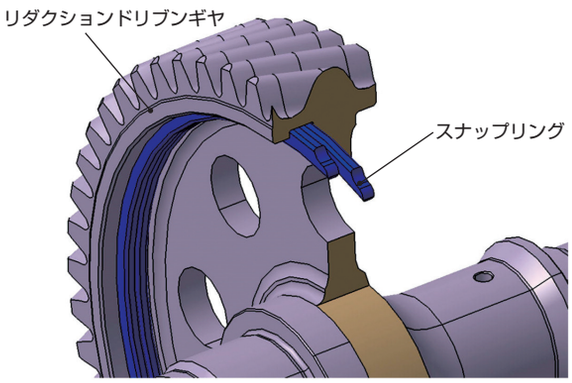


図７　スナップリング追加部位概略

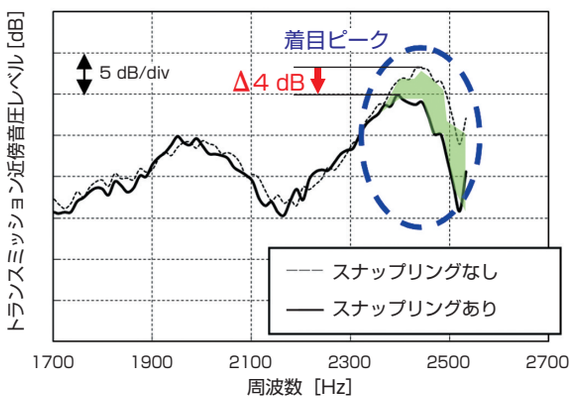


図８　スナップリング追加によるギヤ音低減効果

2.3　新たな噛合起振力解析の適用

ギヤ音レベル低減のため、新たな噛合起振力の低減手法も取り入れた。従来は一般的に知られるような噛合伝達誤差計算を用いて歯面設計し、試作品を評価、歯面決定を行ってきた[(3)(4)]。しかし量産時に採用する創成歯車研削工法では、歯筋方向の丸みを大きく付けた歯面に意図しないバイアスが大きくついてしまうため、歯当たりが抜けやすくなる。結果、ギヤ音レベルが大きくなる傾向があることが開発過程で分かった。これを防ぐには歯筋方向の丸みを小さく設定するしかないが、ギヤ倒れに対する影響を受けやすくなることで歯面端部への当たりが強くなり、噛合伝達誤差による性能予測精度が低下する。そこで歯面端部への歯当たりを考慮するため、歯面噛合方向3箇所の荷重の和を噛合起振力の代用特性値として開発した(図9)。結果、噛合起振力をより高精度で予測できるようになり、音圧レベルを最大で10 dB程度低減できた(図10)。

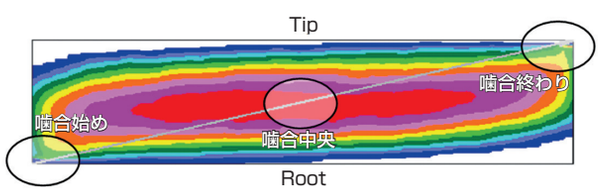


図９　荷重和イメージ（解析結果）

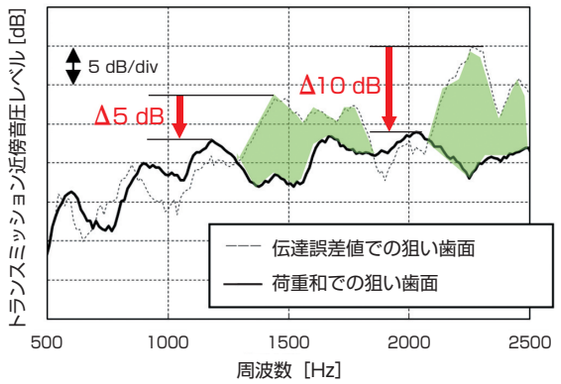


図 10　歯面形状最適化によるギヤ音低減効果

3.　新型インプレッサ用リニアトロニックの軽量化

3.1　リダクションドリブンギヤ軸構造の合理化

4代目インプレッサ用リニアトロニックのリダクションドリブンギヤ軸は、鍛造技術上の制約から、リダクションドリブンギヤと後輪へ駆動力を伝達するトランスファードライブギヤ及びこの2つのギヤを支持する軸の別体構造を採用してきた。近年の鍛造技術の向上に伴い、リダクションドリブンギヤと軸一体成形の量産化に目途を得て、新型インプレッサ用のリニアトロニックではリダクションドリブンギヤと軸の一体化に取り組んだ(図11、12)。

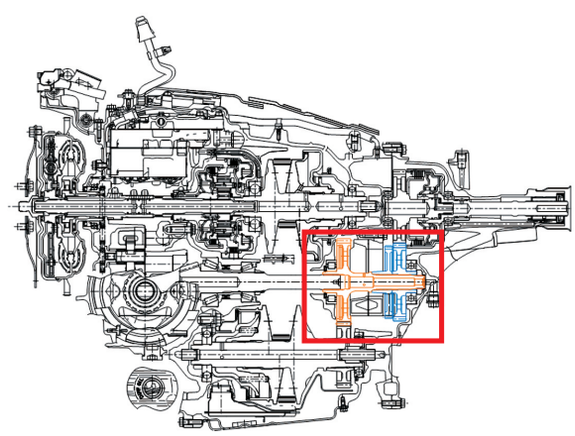


図 11　リニアトロニック主断面

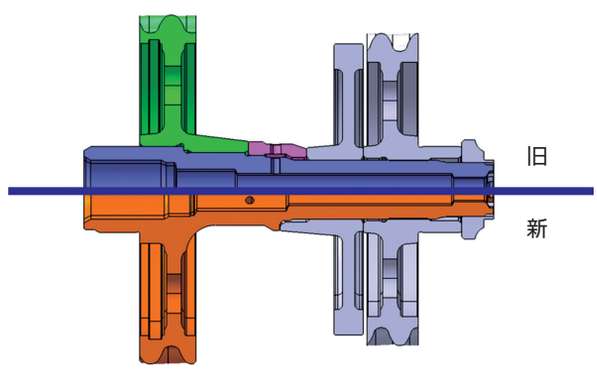


図 12　リダクションドリブン軸

これにより、ギヤと軸のスプライン構造を廃止でき、ギヤ軸細径化により軽量化が実現可能となった。一方で、細径化するとギヤ軸の倒れ量が増加することで、歯当たりの悪化を招き、振動・騒音性能に影響を与える。**図13**はギヤ歯面を加振した際の軸部のイナータンス(振動加速度)解析結果であり、これをチューニングすることで全体の振動・騒音性能向上と、本軸周りでの10%の軽量化を両立した。

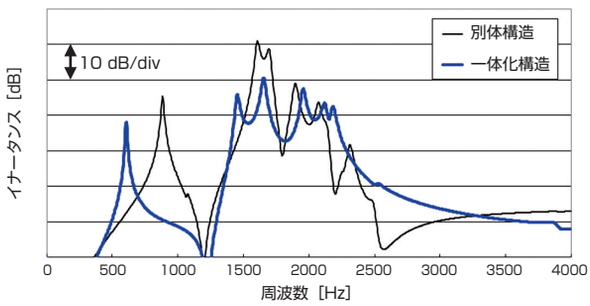


図 13　イナータンス解析結果

3.2　トランスミッションケースの薄肉化

トランスミッション全体質量のおよそ20%を占めるケースに対し、振動・騒音性能と軽量化を両立すべく最適化解析を導入した。最適化解析は2フェーズで構成した。1フェーズ目としては、トポロジー最適化(**図14**)を用い強度及び剛性確保できる基本骨格を設定。2フェーズ目の振動・騒音最適化(**図15**)は、音響パワーレベルを制約に、質量最小化という目的を与え、繰返し計算をさせて最適形状を導く手法を用いた。結果として最小肉厚2.5 mm(従来:3.0 mm)で、振動・騒音性能を確保しつつ5%の軽量化を実現した。

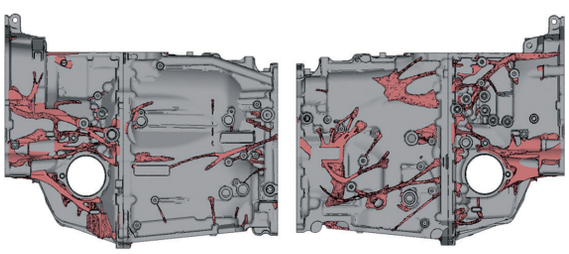


図 14　強度及び剛性最適化解析

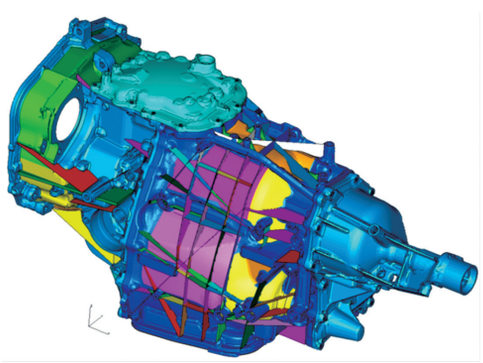


図 15　振動・騒音最適化解析

4.　量産品質の早期玉成

新型インプレッサ用リニアトロニックでは、量産立ち上がり直後から高い振動検査合格率(99.9%以上)を達成するために、「量産品質の早期玉成」を開発段階から行なってきた。以下にその主な内容と効果を紹介する。

4.1　量産バラツキの早期確認

今回、歯面の解析手法を噛合伝達誤差解析から荷重和による噛合起振力解析に変更した(2.3項参照)。新たな解析手法により設定した歯面をベースに、歯面修正量の量産公差上下限品を製作し、初期製造トライ品でギヤ音評価を行った。**図16**は、量産公差内で、意図的に歯当たり位置を変化させたイメージである。このように、噛合進行方向に対して、噛合始め、噛合中央、噛合終わりと3つの歯当たりになるように作り分け、それぞれの歯当たり位置品を複数個準備した。**図17**は、それぞれの歯当たり位置の歯車対を同一ユニットに搭載した時のギヤ音振動結果を示したものである。噛合中央品の振動レベルが低い結果を示す一方、噛合始め、噛合終わりでは、振動レベルは高くなる傾向にあったが、バラツキ含めて全て目標値(規格値)を満たしていることを早期に確認できた。以上より、量産立ち上がり直後から目標通りの振動検査合格率を確保し、多くのお客様に早く確実に商品をお届けすることが出来た。

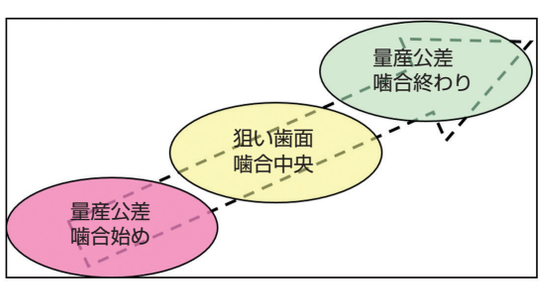


図 16　歯当たり位置のイメージ

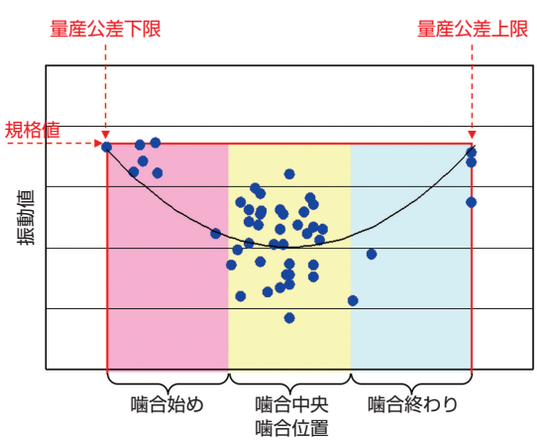


図 17　噛合位置による振動値の傾向

5. まとめ

新型インプレッサ向けリニアトロニック開発では、新たな振動・騒音、軽量化最適解析技術やギヤ音開発手法を取り入れたことにより、以下の結果を得た。

1. トランスミッション近接リダクションギヤ音の音圧レベルを4～10 dB低減。

2. リダクションドリブン軸周り▲10%、トランスミッションケース▲5%の軽量化。

3. 量産立ち上がり直後から目標通りの振動検査合格率を確保。

参考文献

(1) 山田章吾ほか：FF-HVトランスミッションのギヤノイズ低減技術，自動車技術会春季大会学術講演会前刷集，No.60-10，p15-18（2010）

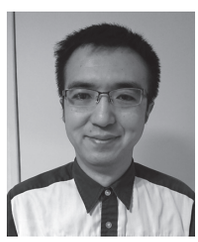
(2) 宮本崇史ほか：SKYACTIV T/Mユニット同時開発に対するギヤノイズ解析の適用，自動車技術会動力伝達系シンポジウム，p1-6（2012）

(3) Miyoshi Y., et al：Composite Analysis Method of Tooth Contact Load Distribution of Helical Gear, Proceedings of PTG2007 in ASME, DETC2007-34118, P1-8（2007）

(4) 竹内良彦ほか：リニアトロニック開発における歯車研削技術の適用，スバル技報，No.37（2010）

【著　者】

千田　博之


竹内　良彦

藤榮　　淳

三好　慶和

飛澤 圭一郎

中村 新太郎

片山　　順

新型インプレッサ 歩行者保護エアバッグの開発

Development of Pedestrian Protection Airbag for New SUBARU IMPREZA

太田一宏[*1] Kazuhiro OTA
加藤肇[*2] Hajime KATO
国沢礼紀[*3] Ayanori KUNISAWA
久田岳夫[*3] Takeo HISADA
長沢澄人[*4] Sumito NAGASAWA
橋本善之[*5] Yoshiyuki HASHIMOTO

抄　録

日本は世界的にみても歩行者の死亡事故割合が高く、その低減が課題である。特に、傷害発生確率の高いAピラーとウインドスクリーン下端部から頭部を保護可能な歩行者保護エアバッグを新型インプレッサに初採用した。目指したのはシンプルかつ信頼性の高いシステムである。センシングシステムは誤作動の可能性が低い圧力チューブ式を採用した。エアバッグはボンネット後方から展開し、ボンネット上とAピラー、ウインドスクリーン下端部を保護する構造とした。本稿ではセンシングシステム、エアバッグそれぞれの詳細について紹介する。

Abstract

Especially in Japan, pedestrian fatality ratio is very high, and we need to reduce this ratio. Therefore, we have adopted a pedestrian protection airbag to reduce the high incidence of head injury on the A-pillars and the lower end of the windscreen on new IMPREZA. What we aimed for was a simple and reliable system. Concretely, we have adopted a pressure tube sensor which has a low malfunction possibility. Our airbag is deployed from the rear of the bonnet to protect the top of the bonnet, the A-pillars and the lower end of the windscreen. We introduce details of the sensing system and airbag in this paper.

1. はじめに

近年日本では交通事故による死亡者のうち、自転車を含む歩行者の死亡者数は年間約2000人にもおよび[(1)]、これは全死亡者数の約50%を占めている(図1)。さらに、その中で頭部が主要受傷部位となる形態は全体の50%を超えている[(2)]。また、重篤傷害の発生確率が高く危険部位であるAピラー及びウインドスクリーン下端部は、Cセグメントの乗用車で頭部が衝突しうるエリアの約20%を占めている(図2)。

この背景を受け、危険部位の受傷による死傷者数低減を目的として、世界的に見てもまだ2車種と採用車種の少ない歩行者保護エアバッグを新型インプレッサから日本で導入した。歩行者ダミーを使用したエアバッグによる頭部保護の様子を図3に示す。

歩行者保護エアバッグの性能目標は重篤傷害の発生確率が5%以下となるHIC※650以下とした。

※HIC：Head Injury Criteria・・・頭部傷害指標

歩行者保護エアバッグの搭載により、HIC650以下の領域は54%から82%まで拡大し、HIC1000以上の領域は0%と保護性能を劇的に改善するとこができた(図2)。

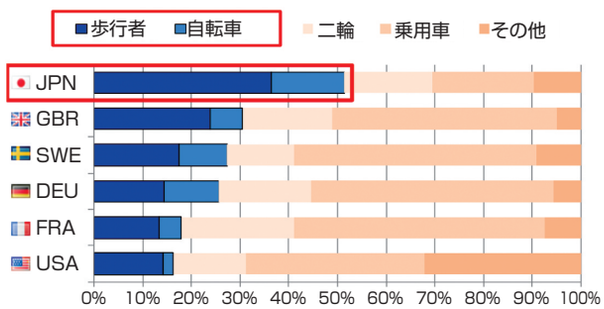


図1　各国の歩行者死亡者比率の比較

＊1 外装設計部
＊2 車体設計部
＊3 電子商品設計部
＊4 CAE部
＊5 車両研究実験第2部

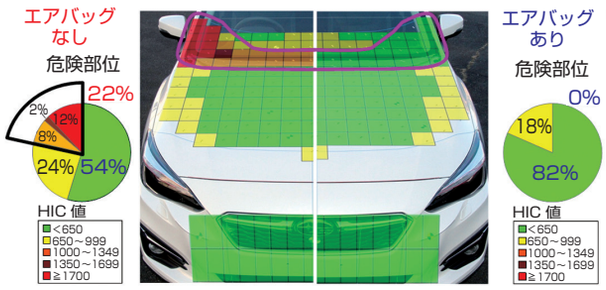


図２　歩行者保護エアバッグの保護範囲と効果

図３　歩行者ダミー試験

2.　システム構成概要

新型インプレッサの歩行者保護エアバッグは、センシングシステムとエアバッグモジュールから構成されている。

センシングシステムは、①バンパ内に配置した歩行者衝突検知センサが取得情報をECUに送り、②ECUにて衝突物を歩行者と判別した場合に点火信号を出力する。③点火信号を受け取ったエアバッグモジュール内のインフレータがエアバッグを展開させる（図4、5）。

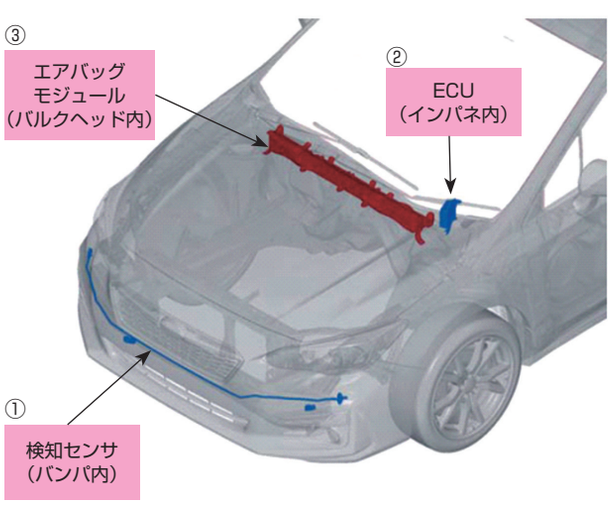


図４　主要部品搭載位置

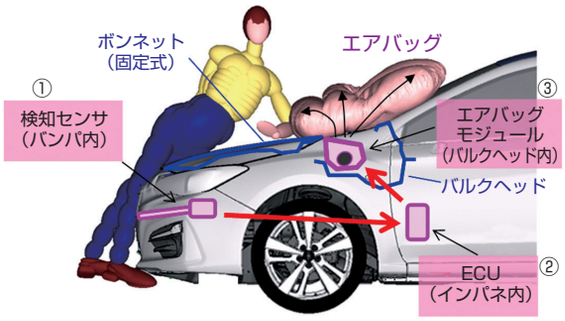


図５　システム作動イメージ

3.　センシングシステム

3.1　システム構造

3.1.1　歩行者検知センサ

歩行者との衝突を検知するセンサは圧力チューブ式を採用した。

加速度式センサは、搭載位置によっては一定値を検出できず、悪路等の振動を誤検出しやすい。圧力チューブ式は、搭載エリア内で一様の検知性能を得ることが可能であり、振動によるチューブ内の圧力変動も微小であるため、安定した判別性能を有する（図6）。

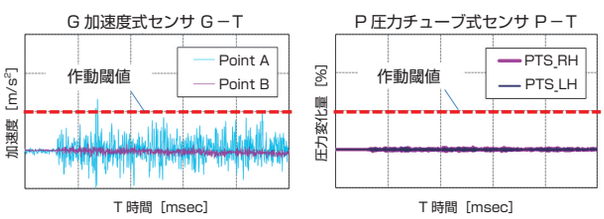


図６　車体振動によるセンサ出力への影響の比較

圧力チューブ式センサはシリコンチューブの左右両端に圧力センサ本体を結合している（図7）。シリコンチューブはフロントバンパ内のエネルギー吸収材前方の溝に配索し、樹脂カバーによって保護している。圧力センサ本体はバンパビーム端部の樹脂ブラケットに固定している（図8）。

チューブの受けとなるエネルギー吸収材は中実構造としている。軽微な衝突による破損で、チューブ保持の機能を果たせなくなることを防止している。

また、作動閾値の補正のために外気温センサに加え歩行者センサ用の温度センサも搭載している（3.4.2項参照）。

3.1.2　歩行者保護エアバッグECU

歩行者保護エアバッグECUは車室内に搭載している。歩行者検知センサ通信機能、衝突判別機能、歩行者保護エアバッグ制御機能、CAN通信機能、システム自己診断機能、EDR（Event Date Recorder）機能を有する。

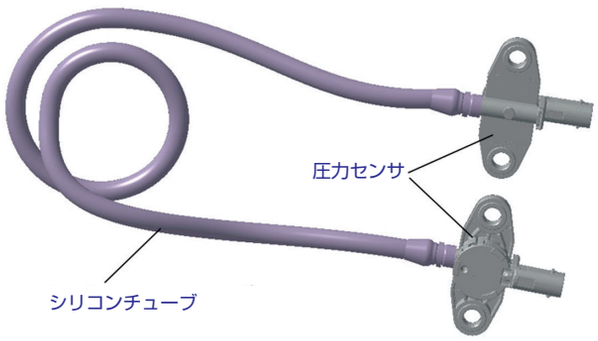


図７　圧力チューブ式センサ構造

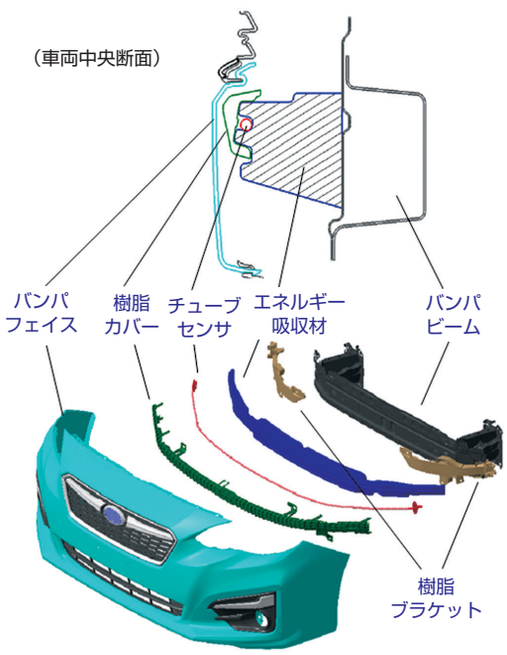


図８　歩行者検知センサ全体構成図

3.2　圧力検知原理

衝突時、外力によってバンパ、樹脂カバーを介してチューブが押される。チューブ後方はエネルギー吸収材によって保持されており、チューブ変形による内部圧力の変化を左右2つのセンサで検知する。

バンパの荷重特性は車両横方向で一定でないため、樹脂カバーやエネルギー吸収材の形状最適化により、全域で同等の圧力値を得ている。

また、衝突位置によって生じる左右センサの入力波形の立ち上がり時間差を使用して衝突位置判別が可能であり、温度補正(3.4.2項)に用いている(図9)。

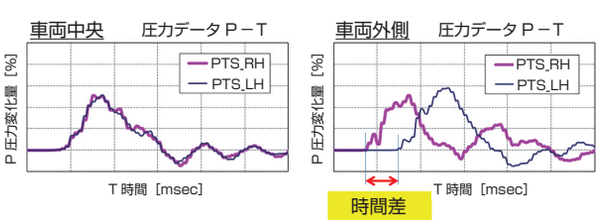


図９　衝突位置による波形の差異

3.3　センシングロジック

ECUは以下3点のタスクを常時実行している。

①車両速度の受信

②圧力変化量の受信

③作動閾値の補正計算(3.4項 参照)

車両速度が作動範囲内にあり、圧力変化量が一定値を超えた場合に作動判定計算を実行し、計算結果が補正閾値を超えるかを30 msec以内に判断する(図10)。

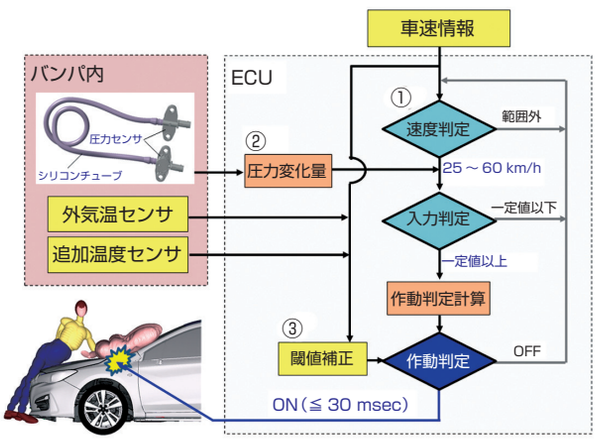


図10　センシングロジック ブロック図

3.3.1　作動速度範囲

不要作動を防止するため25 ～ 60 km/hの車速時のみ展開する。25 km/h以下は、衝突速度が遅いため全域でHIC1000以下の十分な安全性を確保できる。60 km/h以上は、2次衝突が発生する可能性があるため、安全に停止できることを優先し非作動としている(図11)。

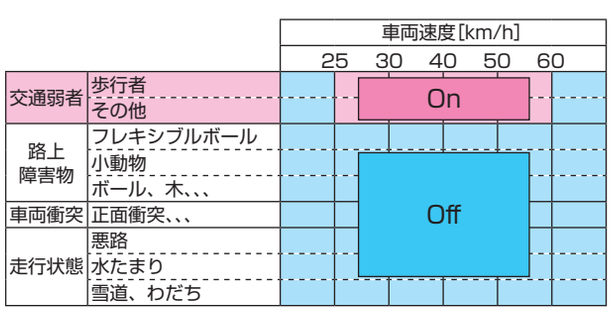


図11　センシング範囲と対象物

3.3.2　作動対象

作動対象は、交通弱者である歩行者とし、路上障害物や車両衝突､悪路等では検知しない仕様としている。また、信頼性は、部品単品試験、実車衝突試験、実走行試験等で検証している(図12)。

3.4　閾値補正

3.4.1　速度補正

速度が上がると衝突エネルギーが上昇し圧力変化量⊿Pが大きくなるため、歩行者以外の対象物を検知す

図 12　信頼性評価の一例

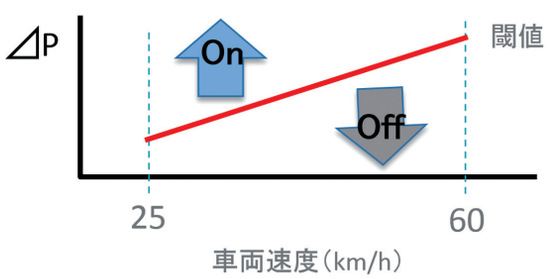


図 13　速度とセンサ出力の関係

る可能性がある。また、低速では逆に歩行者を検知できない可能性がある。

車速に寄らず安定した検知性能を得るため、車速に応じてエアバッグ作動閾値を補正している（図13）。

3.4.2　温度補正

高温環境下ではセンサ周辺の樹脂部品の剛性が低下するため、チューブ変形量が増え、圧力変化量が大きくなる。逆に低温環境下では剛性が上昇し、圧力変化量が小さくなる。

様々な温度環境においても安定した検知性能を得るため、温度に応じてエアバッグ作動閾値を補正している（図14）。

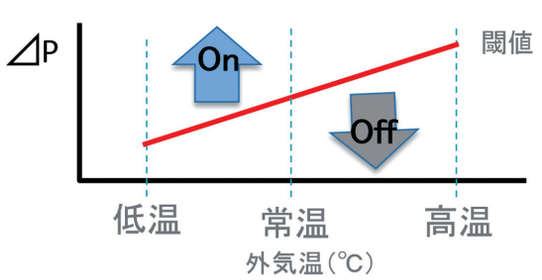


図 14　温度とセンサ出力の関係

バンパ内部の雰囲気温度は、外気温に加えエンジンから放出される熱の影響を受けるため一定でない。高速走行時はラジエータグリルからの外気流入により外気温に追従するが、低速走行時は特に、車両外側でエンジンの熱がこもり外気より高い状態となる（図15）。

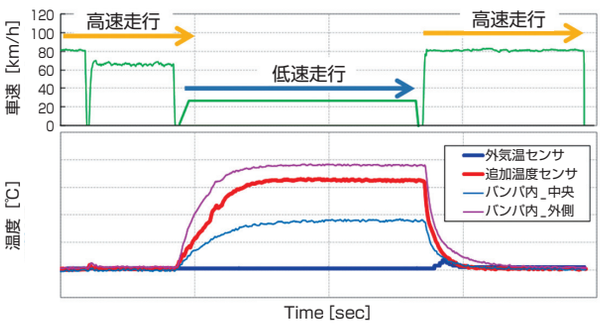


図 15　走行状態によるバンパ温度の変化

そこで、バンパ内の温度分布情報を様々な条件下で取得し、温度変化の傾向とその分布を把握した（図16）。

搭載位置の異なる外気温センサと追加温度センサの2つの温度情報と、衝突位置判別（3.2項）の結果より、衝突位置の想定温度に応じた補正を可能としている。

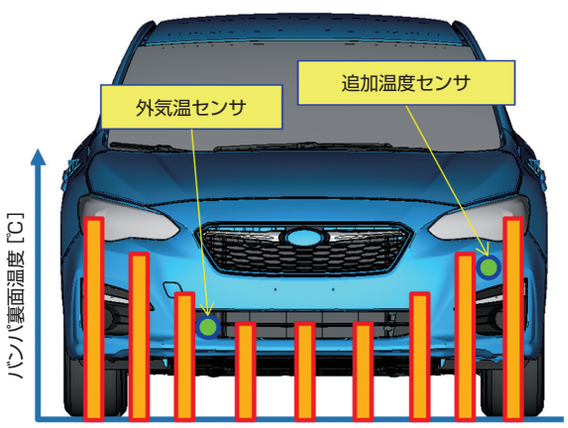


図 16　バンパ内の温度分布イメージ

4.　エアバッグシステム

4.1　エアバッグ展開方式

シンプル・低コストとするため、ポップアップボンネットを不要とする構造とした。

ボンネットを持ち上げ、スペースを確保してからエアバッグを展開させる構造もあるが、ポップアップボンネットと歩行者保護エアバッグという2つのデバイスが必要である。ポップアップには火薬を使った複雑なヒンジ構造やボンネットの剛性対策等も必要である。

それに対し新型インプレッサは、ボンネットとウインドスクリーン下端部の間にエアバッグが展開できる最小限のスペースを確保し、ボンネットを持ち

上げることなくエアバッグ展開が可能なシステムとした(図17、18)。

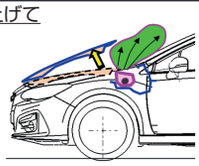
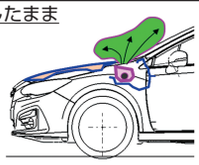
展開方法	特徴
ボンネットを持ち上げてエアバッグを展開 	ポップアップシステムあり × システムが複雑 × 価格が高く、重い
ボンネットは固定したままエアバッグを展開 	ポップアップシステム無し ○ システムが単純 ○ 価格が安く、軽い △ レイアウトが難しい

図 17　エアバッグ展開方式の比較

図 18　エアバッグ展開状態

4.2　エアバッグモジュール構造

エアバッグモジュールは、金属ケース、インフレータ(ガス発生装置)、エアバッグ本体、樹脂カバーから構成されている(図19)。

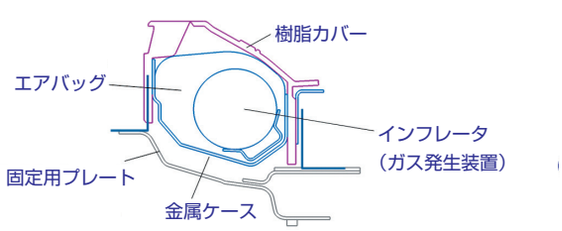


図 19　エアバッグモジュール断面図

プラットフォームの刷新により、エアバッグモジュールを支持するバルクヘッド廻りの構造を合理化した。展開時の反力を効率的に分散・支持するため、固定用プレートを介して車体に取付けている(図20)。

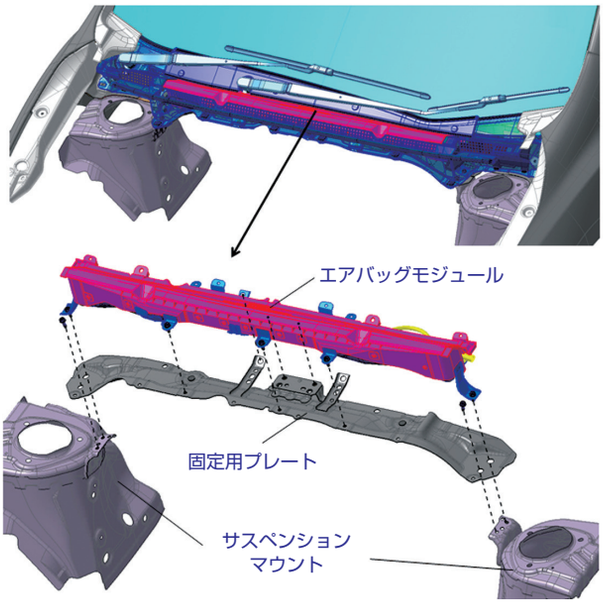


図 20　エアバッグ全体構成図

4.3　展開メカニズム

ECUからの信号により火薬を着火し、インフレータ内の高圧ガスを推進力としてエアバッグを約70 msecで完全展開させる。また低速域での頭部衝突を考慮し、エアバッグ内部圧力は300 msec以上保持している。

4.4　展開形状の安定性

歩行者保護エアバッグに必要な要件として展開形状の安定性が挙げられる。Aピラー保護部が後方にせり出しているため、狙った位置に安定させることが難しい。そこで、エアバッグ前側をボンネット上に乗り上げる形状を取り入れた。前側をボンネットで支えることで、モジュール部を中心に後側がAピラー方向に押さえつけられ、展開形状を安定させることができる(図21)。

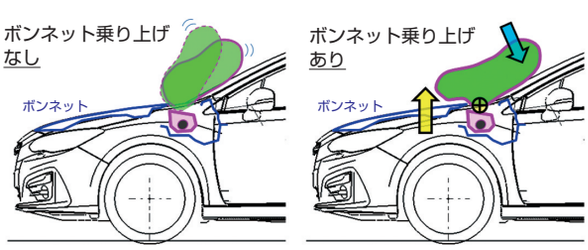


図 21　展開挙動安定化策

このような工夫により、旋回状態を模擬した横G、急ブレーキを想定した前後G、強風などの市場走行を想定した評価でも安定性を確認できている。

4.5　作動後の視界確保

作動後の視界確保も必要な項目である。歩行者との衝突では車両は動かせる程度のダメージであるため、

収納用の紐を設定している。オーナーズマニュアルに従い収納することで安全に車両移動をすることが可能である（図22）。

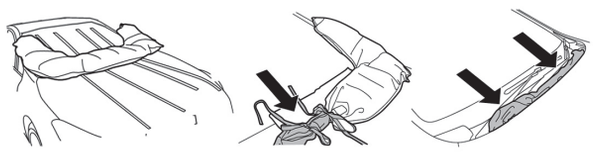


図 22　展開後の収納方法図

4.6　樹脂カバー

樹脂カバーは常に外部環境にさらされるため、耐候性（特に紫外線劣化防止）に配慮している。表面は塗装を施してあり、外観品質／環境品質を向上させている。

5.　エアバックシステム開発におけるCAE活用

5.1　頭部衝突時刻の検討

事故分析結果に基づいて設定した図2の頭部保護範囲に頭部が衝突する条件（ダミーの種類や向き、姿勢、衝突速度）を検討した。実物のダミーを準備し、全ての衝突条件を試験評価する事は難しいため、CAEでのダミー検証が必要となる（図23）。

これらの衝突条件の中で、最も早い頭部衝突時刻を参考とし、歩行者を守るために必要なエアバック完全展開時刻を算出した。

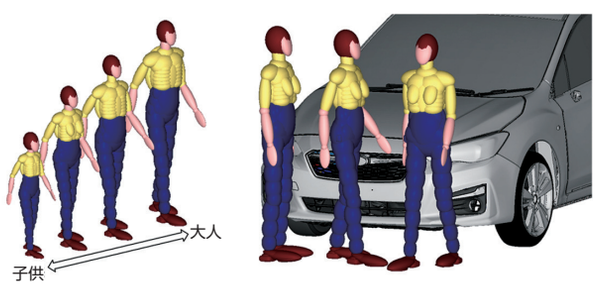


図 23　多様なダミー解析条件検討

5.2　頭部衝突時刻の信頼性検証

5.1項を実施する前に、ダミー挙動や頭部衝突時刻の実車試験とのコリレーションを実施し、解析の信頼性を確保している（図24）。

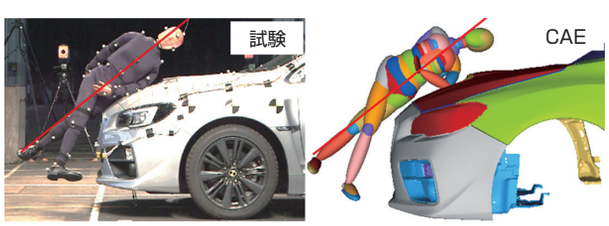


図 24　歩行者ダミー挙動比較

5.3　歩行者検知センサ開発

歩行者検知センサの出力を解析で評価する事によって、樹脂カバー形状、圧力チューブのレイアウト、エネルギー吸収材等の詳細形状を検討した。

これらの部品は歩行者脚部保護性能や前面軽衝突性能にも影響するため、性能を両立出来る形状や抗力が必要である。これらの評価を、部品の無い段階で成立させるためにCAEを活用してきた。

今回の開発では、チューブ内の体積変化に応じた圧力を算出する方法と構造解析の連成で計算する手法を用いた。今後は、圧力センサの左右差や作動判定まで評価できる技術開発を進めていく。

6.　まとめ

様々な検討を重ね、搭載が困難であった歩行者保護エアバッグシステムを市販車に投入することができた。当社は今後も歩行中死亡者の低減に努め、自動車社会の目指す交通死亡事故“0”に貢献していく。

参考文献

(1) 内閣府：参考－2 欧米諸国の交通事故発生状況，平成26年版交通安全白書，p.148（2014）
(2) 公益財団法人交通事故総合分析センター：状態別・損傷主部位別死傷者数，交通統計平成24年度版，p.79（2013）

【著　者】

太田　一宏

加藤　　肇

国沢　礼紀

久田　岳夫

長沢　澄人

橋本　善之

基準が強化された米国IIHSの2017年安全評価で「トップセイフティピック(TSP)+」を獲得

2016年12月

北米地区で現在販売しているスバルの2017年型レガシィ、アウトバック、フォレスター（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2017年の安全性評価において、最高評価の「トップセイフテイピック+」を獲得。

新型インプレッサのNVH開発

NVH Development for New IMPREZA

関　　崇　史*
Takashi SEKI

抄　録

新型インプレッサの車両コンセプトは「乗る人全てに“最高の安心と愉しさ”を」である。この実現に向け、新型インプレッサのNVH開発では「動的質感」を際立たせるため、従来型に対して大幅にNVH性能を高め、同クラスの欧州車に肩を並べるレベルを目指した。プラットフォーム刷新時にしか採用できない当社初の試みを含めた多くの施策を取り入れ、狙いの性能を達成した。

Abstract

The concept of New IMPREZA is to “Provide the best Peace of Mind and Driving Pleasure to all drivers.” To enhance the dynamic quality, we needed to upgrade the NVH performance to be equivalent to that of European competitors. Including our first try items, we adopted many items that can be taken in without revamping the platform, and we achieved our target performance.

1. はじめに

新型インプレッサはスバルグローバルプラットフォームを初めて採用し、次世代スバル車の基盤となるべく開発され、動的質感とクラスを超えた安全性能により市場で好評を博している。動的性能を際立たせるためには、新型インプレッサのNVH性能を従来型に対して大幅に高めることが必須であった。本稿では、NVH性能向上のための手段とその達成性能を紹介する。

2. 開発の狙い

新型インプレッサのNVH開発では、従来型に対して大幅にNVH性能を向上させるべく、車体骨格の素性を向上させるとともに、NVH対策の効果を最大限に発揮できるような車体構造を目指した。また、従来型に対してより市場での使われ方に則った評価方法を取り入れて目標設定することで、お客様に大きな進化を体感していただくことを狙いとした。

＊ 車両研究実験第1部

3. 達成手段と達成性能

3.1 低周波振動

触れた部分からブルブル・ビリビリと感じる低周波振動は、動的質感を阻害する。この改善には車体骨格構造での対策が効率的であるが、プラットフォームが制約されると大幅な構造変更は困難であり、従来型では剛性部材の追加などの対策がとられてきた[(1)(2)]。

新型インプレッサではプラットフォーム刷新に際し、目標とする低周波振動レベルを達成するために従来の知見を結集して必要な車体骨格の目標値を設定した。具体的には一節ねじりモード(**図1**)固有値を従来型より高くすることでサスペンション共振と離して振動入力が小さい周波数帯に持っていき、さらに車体上下曲げモードやステアリングなどの固有値を分散させた。リヤシートについては、シート固有値を従来型に対して8 Hz上げてリヤシート振動への寄与が高いリヤサブフレーム入力から離し、振動レベルを低減した(**図2**)。これらの固有値目標に対し、プラットフォームの構想段階からCAE解析を全面的に活用することで、後付けの剛性部品を付加することなく、軽量高剛性ボディを実現している。車体の具体的構造については、別報[(3)]のとおりである。

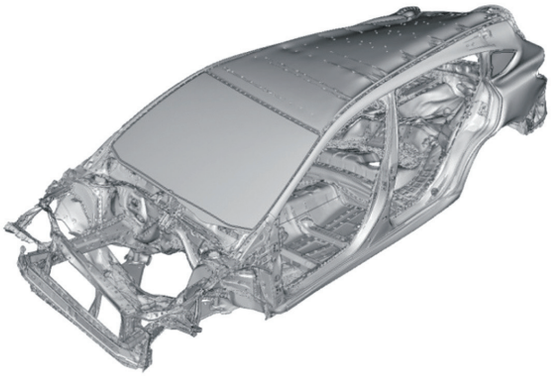
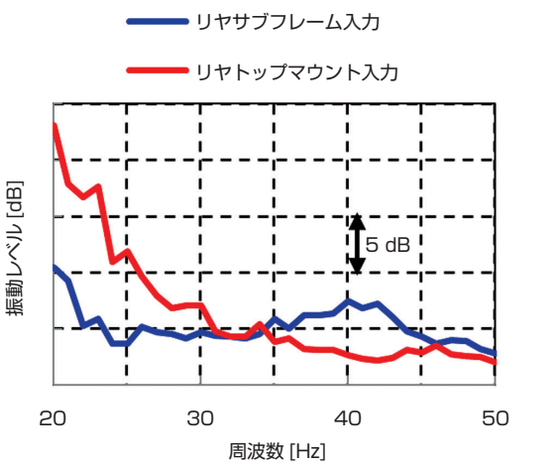


図１　一節ねじりモード



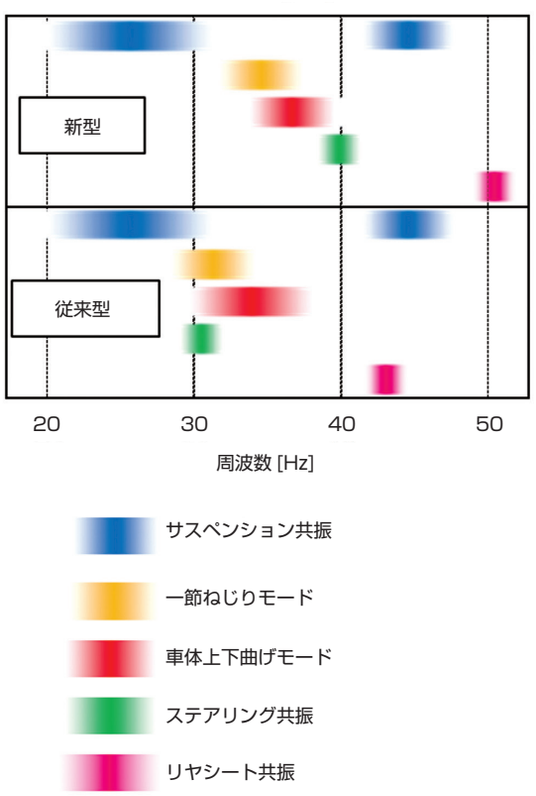


図２　入力と車両固有値

また、常に触れているため動的質感に非常に重要なステアリングについて、他車系で採用実績のあるエアバッグインフレータダイナミックダンパ(DD)に対し、より振動低減効果の大きいホーンパッド全体をDDとして使うパッドDDを当社として初めて採用し、質感向上につなげた。

さらにサスペンションジオメトリを刷新し、キングピン軸に対するマスオフセット量を15%低減した。これによりタイヤ外力により生じるキングピン軸周りのモーメントを低減し、ステアリング系の振動を抑制している。

上記のような対策により、従来型に対して大幅に低周波振動レベルを低減し、欧州車に肩を並べるレベルを実現した(図3)。

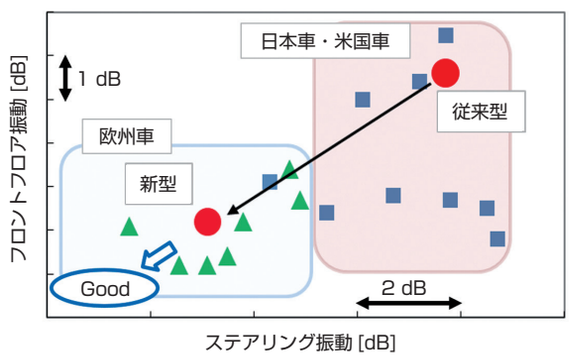


図３　低周波振動比較

3.2　加速車内音

加速時に車内で聞こえるエンジン音については音の侵入経路を徹底的に排除した。従来型ではトーボードにハーネス貫通穴やユニット類の締結点、燃料配管など42個もの穴が開いており、侵入音の大きな要因となっていた。新型ではプラットフォーム刷新にあたり、構想段階から穴数の低減に取り組んだ。具体的には燃料配管を室外置きとし、ハーネスは廃止・統合を進めた。ユニット類は固定点をインパネや空調ユニットに移動した。これらにより穴数を22個と大幅に低減し、トーボードインシュレータの開口面積を約40%低減した。さらに周辺部品との隙間設定の見直しにより従来型では一般部で10 mm前後であったインシュレータ厚さを20 mm前後として吸音率を大幅に向上した(図4)。

フロアマットは従来型ではフレーム配置やフロア形状の凹凸の影響で吸音層が分断されていたが、新型ではフレーム配置を見直しフロア形状も共振点を管理しながらフラットに近づけ、吸音層を連続して隅々まで配置し、センタートンネル付近にはマスバッグを設定した。図5に示すように、フロアマットとトンネルインシュレータとを合わせて従来型に対して吸音性能を500～4 kHzで2～5 dB向上している。

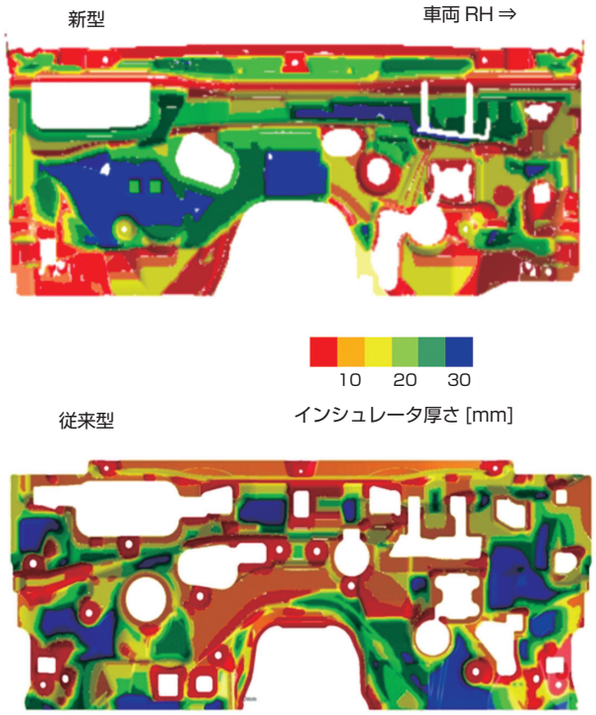


図４　トーボードインシュレータ

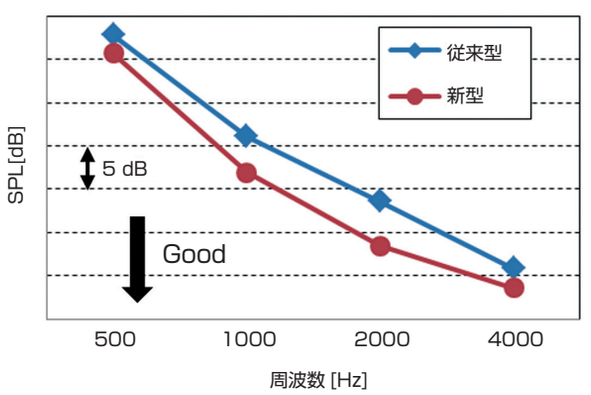


図５　フロアマット＋トンネルインシュレータの吸音性能

上述のように吸音性能は向上しつつも、部品構成や配置の最適化により、トーボードインシュレータ、フロアマット、トンネルインシュレータの3部品で従来型に対して約15%の軽量化を実現している。

またエンジンの新規開発に合わせ、にごり感につながる500 Hz付近の音を重点的に低減すべく、ピストン・コンロッドの低慣性力化やクランクプーリの軽量化など、軽量化に貢献しながらも効果的に対策した。詳細は別報[4]のとおりである。

従来型ではエンジン回転数基準での車内音レベルを指標としていたため、実際にDレンジでお客様が運転した際に感じる加速車内音を完全には表現できていなかった。Dレンジでの走行ではCVT制御も車内音を形成する重要な要素となる。このためDレンジの車速基準での車内音に目標値を設定した。走行速度域も速く条件が厳しい米国での走り込みにより、最適な条件を見い出した。条件設定においては、米国現地スタッフからの意見も取り入れた。

特に米国ではCVTのラバーバンド感は敬遠されがちであるため、これを払拭すべくCVT制御開発チームと一体となって取り組んだ。

これらの車体対策、エンジン対策、CVT制御とよりお客様目線に立った目標値設定により、従来型に対して静かで軽快な気持ちの良い加速音を実現した（図6）。

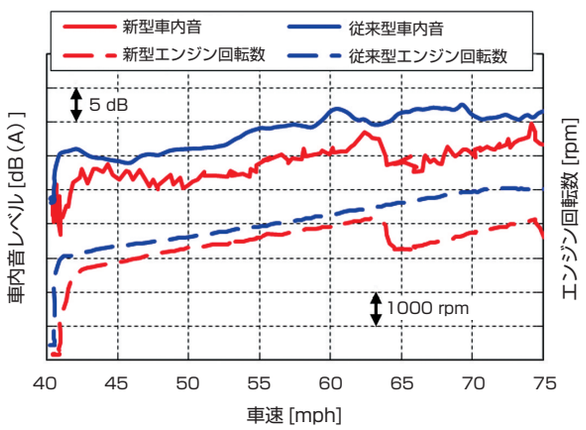


図６　加速車内音とエンジン回転数（2.0L モデル）

3.3　ロードノイズ

ロードノイズについては、従来型に対しサブフレームブッシュとサスペンションマウントの構造を変更し、操縦安定性との両立を図った。サブフレームブッシュは、弾性軸をコントロールしてサブフレームの弾性中心と車両ロールセンターを近づけた。これによりブッシュのバネ定数に頼らずに操縦安定性を向上させることができ、結果としてブッシュを約20%柔らかくすることができ、ロードノイズとの両立を実現している（図7）。

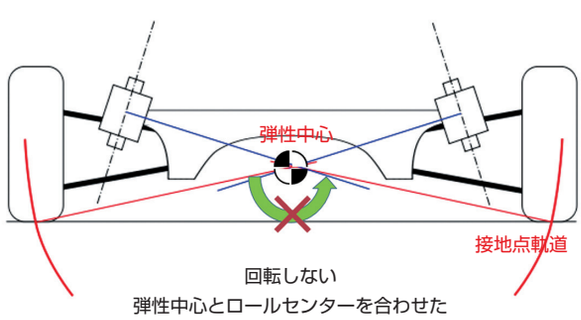


図７　リヤサスペンション（イメージ図）

またサスペンションの車体取付部のマウントを入力一体型から入力分離型に変更した。車体とコイルスプリング側のマウントに対して、車体とダンパー側のマ

ウントを柔らかくして車体への入力を抑え、ロードノイズを改善した(図8)。

さらに車体フロアの各パネルの固有値やサスペンションの取付部剛性はタイヤ入力特性値と合致しないようにCAEも活用してコントロールした。

上述の対策や3.1節で述べた車体対策により、定常走行時の車内音を従来型に対し大幅に改善した。図9に車内の会話のし易さをポイント化した良路での会話明瞭度と荒れた路面でのロードノイズレベルを示す。

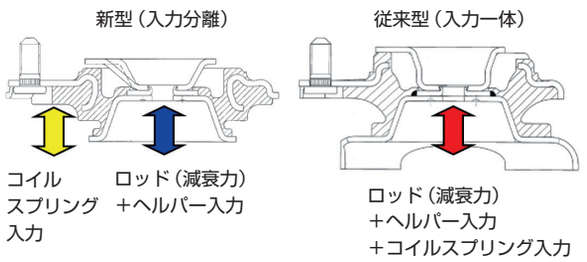


図 8　新サスペンションマウント

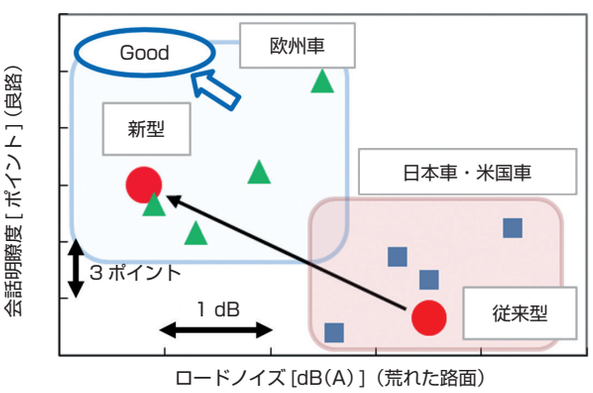


図 9　会話明瞭度とロードノイズ

3.4　風切音

Aピラーとドアミラー周辺で発生する風切音は特に耳障りであるため、開発初期段階からデザイン部門と協力し、風の流れを阻害しない外観形状とした。カウルサイド形状をスムース化し(図10)、AピラーとAピラーカバーをフラッシュサーフェス化して車体との段差を従来型比1/4以下にした(図11)。新規開発のドアミラーは視界を確保しつつも小型化し、風切音のエネルギーを従来型比半減させた。

風切音は無風状態や正面から風を受けている時は性能差が分かり難いが、横風を受けた際に明確となる。このため横風に対する評価として、実車風洞にて風に対して車両にヨー角を付け、実路で横風を受けている状態を再現した。この条件下で風切音の車内音目標値を設定して開発を進めた。

上述の風切音源対策などにより、図12のようにAピラー周りの風の流れをスムース化でき、欧州車並の風切音性能を達成した(図13)。

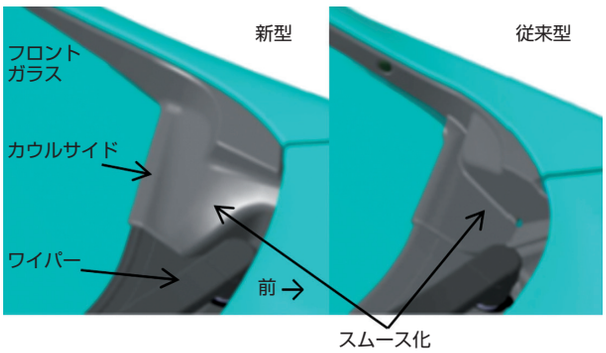


図 10　カウルサイド形状

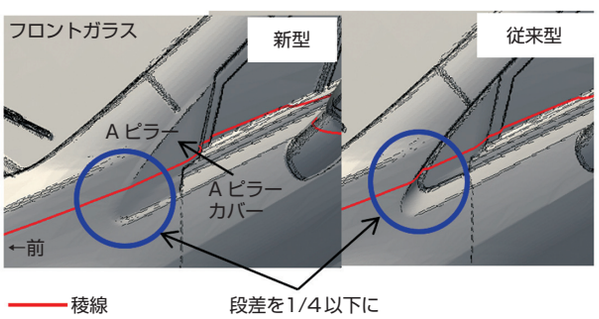


図 11　A ピラーカバー形状

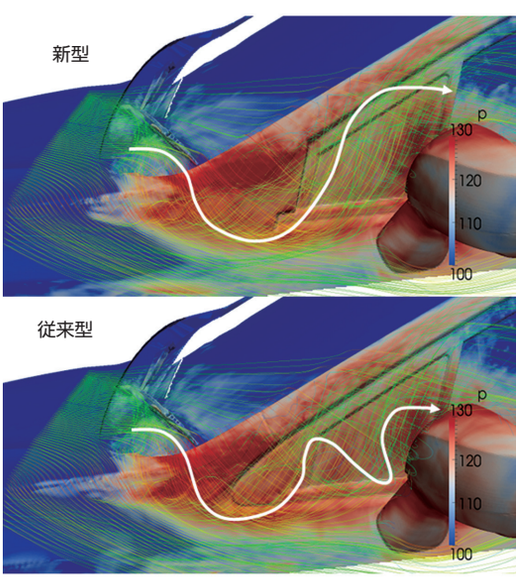


図 12　横風を受けた時の風の流れ

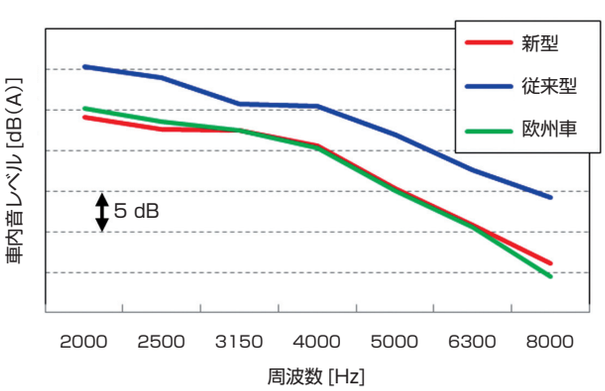


図 13　横風想定条件 風切音

3.5　異音・雑音の撲滅

内装トリムの固定点のガタつきやハーネスの擦れによるカタカタ、コトコトといった異音・雑音は質感を大きく損ねる。このような音は路面からの入力によって発生するため、様々な路面を走行することで確認は可能だが、樹脂部品は温度の影響も受けやすく、開発時期によっては、例えば低外気温でしか発生しない音の確認は困難であった。

新型インプレッサの開発では、様々な路面入力を再現できる加振機を温度管理が可能な試験室内に設置して、真夏から真冬まで網羅した評価を実施した。図14に加振機での路面入力例を示す。

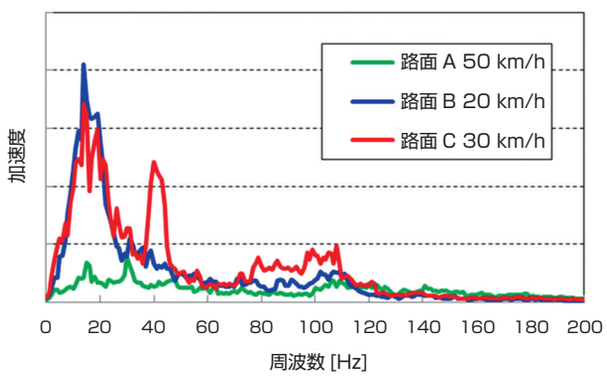


図 14　加振機での路面入力例

さらに、従来は試作車での実走確認により対策を織り込んでいたが、過去知見をまとめたハザードマップを作成し、車両製作前に発生懸念のある部位に対策を施し、異音・雑音に対する耐力を大幅に向上させた。

上記のような取り組みにより、異音・雑音で質感を損ねることのない車両にすることができた。

4.　おわりに

新型インプレッサのNVH開発では、プラットフォーム刷新時にしか織り込むことができない新たな発想を具現化し、音の侵入経路を徹底的に排除して各音源レベルも大幅に低減した。抜群の動的性能を際立たせるために静粛性を高めたことで、視界や乗り心地の良さも相まって長時間の運転でも疲れない快適な車となった。

最後に新型インプレッサのNVH性能開発に携わった全ての方々に感謝致します。

参考文献

(1) 蟻川ほか：新型インプレッサ CAEを用いた低周波振動性能向上の取り組み，スバル技報，No.39（2012），p.61-66
(2) 丹羽仁史：CAEを用いた新型レガシィの車体振動性能開発，自動車技術会シンポジウムテキスト 20154654 No.05-15 p.41-45（2015）
(3) 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（2017）
(4) 関ほか：新型インプレッサ用水平対向エンジンの紹介，スバル技報，No.44（2017）

【著　者】

関　　崇史

インプレッサ低騒音空調、均一温度空間の開発

Development of Low Noise A/C System and Uniform Temperature Area for IMPREZA

吉 川 卓 爾[*1]　　岩 瀬 洋 直[*2]
Takuji YOSHIKAWA　　Hironao IWASE

抄 録

四輪駆動を基本にプラットフォームを形成するスバルでは、トランスミッションのレイアウトにより空調ユニットのスペースが限られるため、狭いスペースの中で高い性能の実現が必要とされてきた。

新型インプレッサでは、空調ユニットの設計を見直し、より静かで、より均一な温度空間を追求した。特に空調ユニットの風流れ最適化と、効率的にお客様に均一な温度を提供する大型フットダクトと多段吹出しモードの採用により快適性を向上させた。

本稿では、新開発した室内空調ユニットの構造、特性の詳細を報告する。

Abstract

Since SUBARU forms our platform on the basis of all wheel drive, the space for air conditioning unit is limited due to the layout of the transmission. Hence, realization of high performance in the small space has been required.

For New IMPREZA, the design of the air conditioning unit was revised from the beginning, and quieter and uniform temperature space was pursued. The comfort level was improved particularly by optimizing the wind flow of the air conditioning unit and adopting a large-size foot duct and a multi-stage ventilation mode to provide uniform temperature.

In this paper, the newly developed structure of the air conditioning unit and its characteristic details are reported.

1. まえがき

新型インプレッサは、スバルグローバルプラットフォーム(SGP)を初めて導入する車両として、お客様に今までにない快適空間を提供することを目的に開発してきた車両である。

快適な空間を提供するためには、お客様が不快と感じる空間を一掃することが重要と考え、

①静か：低騒音化

②心地よい：均一な温度空間

を追求し、空調システムの開発を行った。

＊1 内装設計部
＊2 車両研究実験第3部

2. 空調ユニットの概要

2.1 システム構成

インプレッサに搭載する空調ユニットは、ブロアユニットとヒータユニットで構成される横置きタイプを採用した(**図1**)。

ヒータユニット内にエバポレータとヒータコアを搭載し、冷風と温風を混ぜ温度調整を行った。また、ヒータユニット内部の各ドアの開閉により配風を行う構造とした。

吹出し口は、VENT、HEAT、DEFの3方向に吹出せるようになっており、用途により使い分けを可能とした(**図2**)。

2.2 諸元

新型インプレッサに搭載する空調ユニット諸元は下記の通りである(**表1**)。

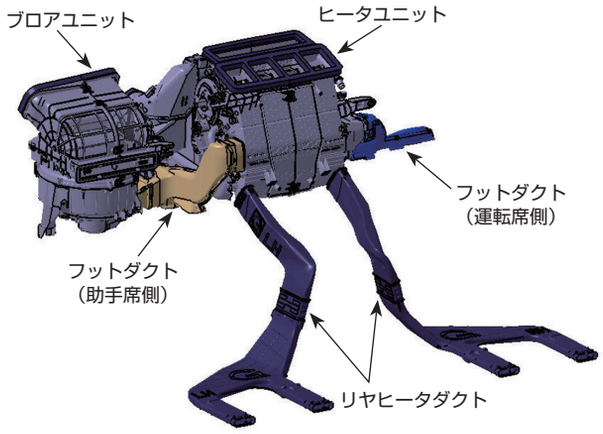


図１　空調ユニット

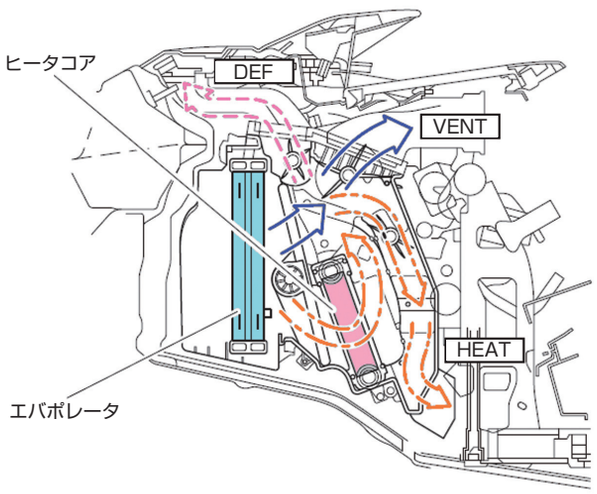


図２　吹出し口（ヒータユニット中央断面）

表１　空調ユニット諸元（国内仕様）

ヒータユニット	暖房容量	5 kW
	ヒータコア	H257.7 × W118.5 × t 27
	冷房容量	5.5 kW
	エバポレータ	H290.1 × W225 × t39
	吹出しモード	9 段（ユーザ選択 6 段）
	フットダクト	大型タイプ
ブロアユニット	ブロアモータ	260 W（定格 12 V）
	ファンタイプ	シロッコファン
	ファン径	φ160 × H75
	内外気切換え	あり
	フィルタ	抗アレルゲン

2.3　レイアウト設計

お客様へ広い室内を提供するために、空調ユニットが搭載できるスペースは限られている。その中で、目標性能を満足させるためには、省スペース技術の活用が重要である。

温度調節するためにはエバポレータで冷やされた空気とヒータユニットで暖められた空気を混ぜ、適切な吹出し口に配風する必要があるが風が乱れやすいという問題がある。レイアウトと性能を両立させるために、内部構造の最適化を進め、コンパクトな空調ユニットを実現した。

また、フロアマット下を通過する後席暖房ダクトも乗員の足元を阻害しないレイアウトにすることで室内空間確保に貢献した(図3)。

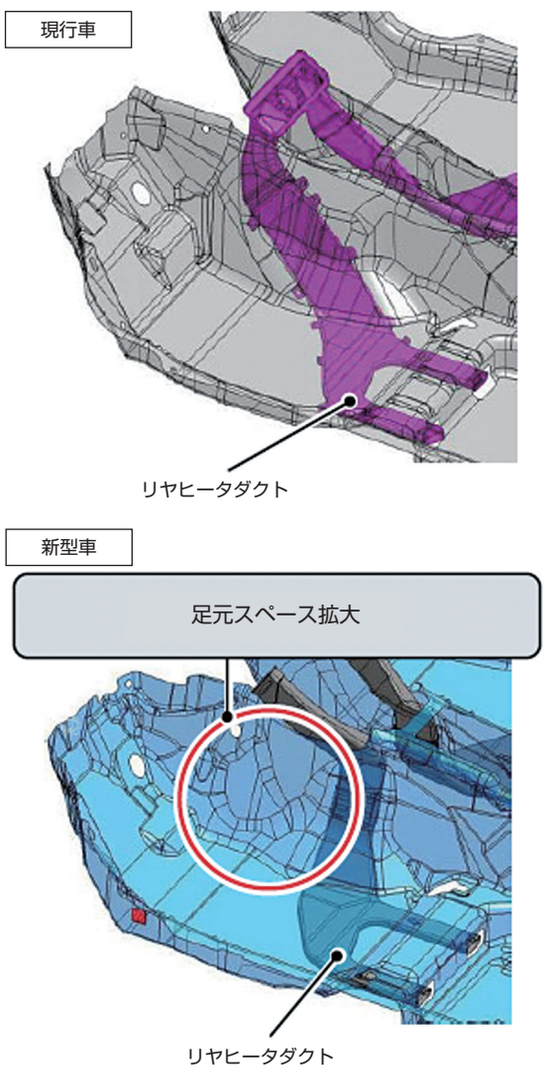


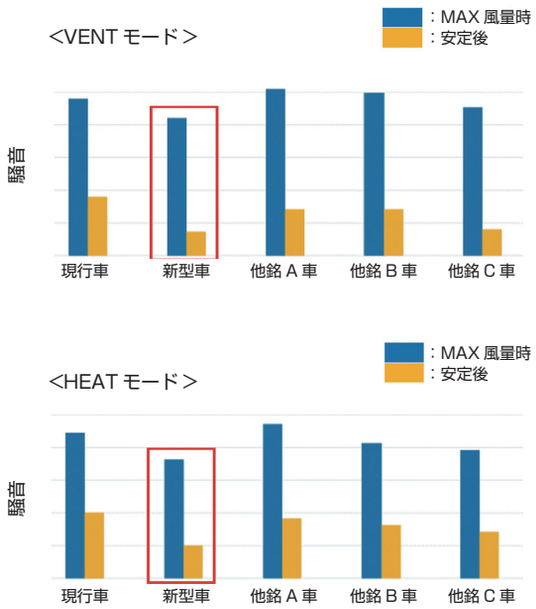
図３　足元空間の拡大

3.　空調ユニットの低騒音化

3.1　開発の狙い

近年、車室内の静粛性が進む中、空調の低騒音化の要望が高まっている。また、さらなる快適性への要求も期待される。そこで、開発にあたり、インプレッサ以降の共用化も視野に入れ上級グレードであるDセグメントでも市場競争力のある騒音性能開発を目標とした。また、季節を問わず快適な車室内空間を実現するため、人間が快適と感じる温度分布を目標設定し開発を進めた(表2)。

表２　騒音値の比較



3.2　空調ユニットの低騒音化

空調騒音を低減するためには、広い通路で可能な限り直線的に流し、風を乱さないことが理想だがそれでは空調ユニットが大型化し搭載できない。

そのため空調ユニット内部の部品構成の省スペース化や、内部の風流れ方法の変更を行った。

また、空調ユニットから吹出す風の均一化や、空気の乱れとなる要因を徹底的に排除することで、目標とする低騒音化を実現できた(図４～６)。

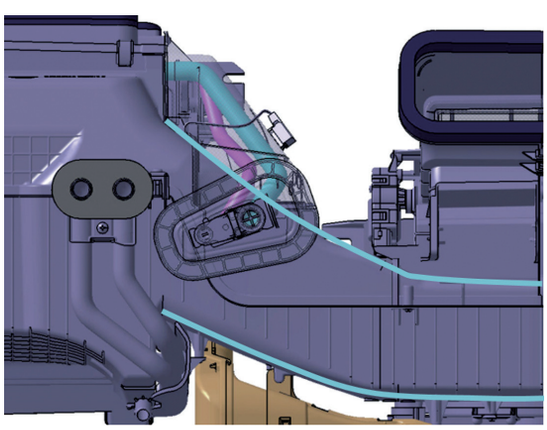


図４　ブロア後流のスムーズ化

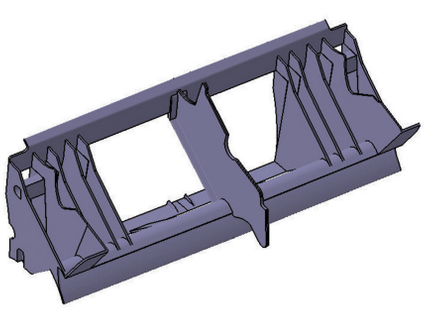


図５　騒音低減を考慮した温調ガイド

風を乱れなく均一に吹出させることが、空調ユニットの騒音低減の最大テーマである。そのため、吹出し口にネットを貼るなど、騒音低減アイテムを積極的に取り入れた。

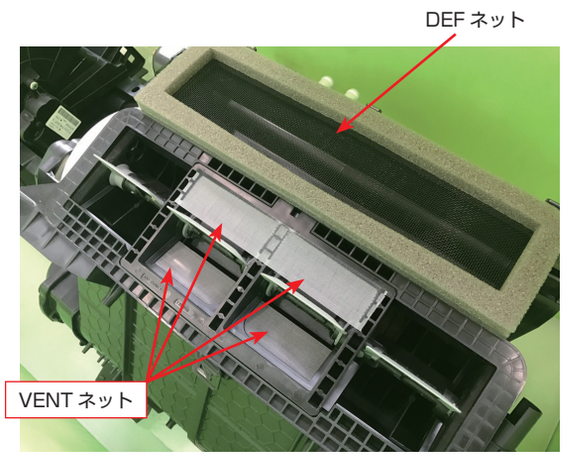


図６　整流ネット

4.　均一な温度空間

4.1　温度分布

【冬季、暖房時】

大型フットダクトを採用することにより、左右の足元の温まり方の均一化を向上させた。さらに、人体快適特性を基に、上下温度差(顔と足元の温度差)を５～７(degC)でキープするオートエアコン制御で、快適性を向上させた(図7)。

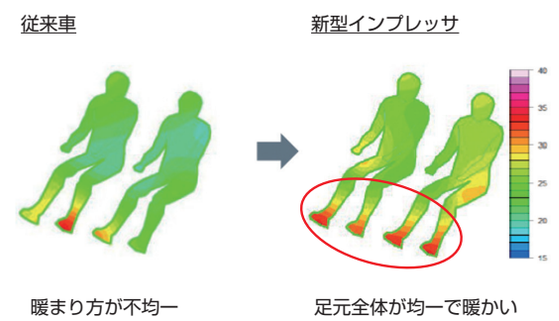


図７　足元の温度分布（外気 0℃、走行 10 分後）

【夏季、冷房時】

特に米国市場で求められる全身冷房感を実現するため従来のVENTモードに対して足元へ冷風をリークするモード、VENT Ⅱモードを新設した。これを利用したオートエアコン制御で、上下温度差(顔と足元の温度差)を従来車６～８(degC)⇒新型車０～２(degC)へ縮小できた。足元が暑い不満から足元が涼しい嬉しさへ転換することで快適性を向上させた(図8)。

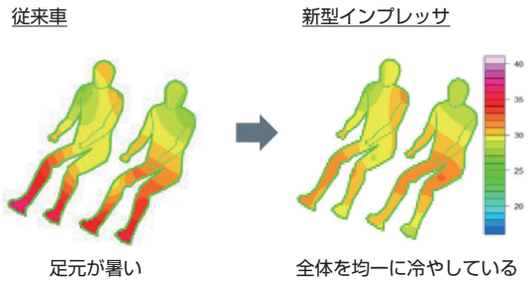


図８　乗員全体の温度分布（外気 40℃、走行 10 分後）

4.2　フットダクト

フットダクトを大型化し、足元近傍から吹出すことで均一な温度空間を実現した。

また、クルーズコントロール時の足位置、女性の足の置き方を調査し、それらを考慮した風向と風配とした。特に運転席は、クルーズコントロール使用時に、足をＡペダルとＢペダルの間に置くシーンを想定し、風を供給する吹き出し口を設定した。助手席は、足を閉じて座る女性を意識した吹出口を設定することで、足の置き方で温冷感が変わることが無いよう配慮した（図9）。

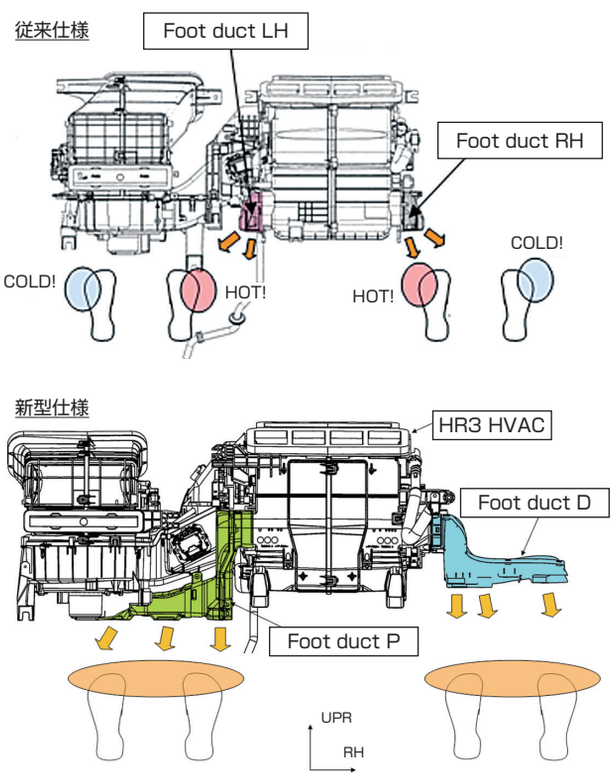


図９　フットダクトの効果

4.3　ベントグリル

インパネからの吹出し口は、風を上下方向に広げる設定にした。冷風時に上半身～大腿部まで風を向けられるようになり、お客様がより好みに合わせられる自由度を持たせることができた（図10）。

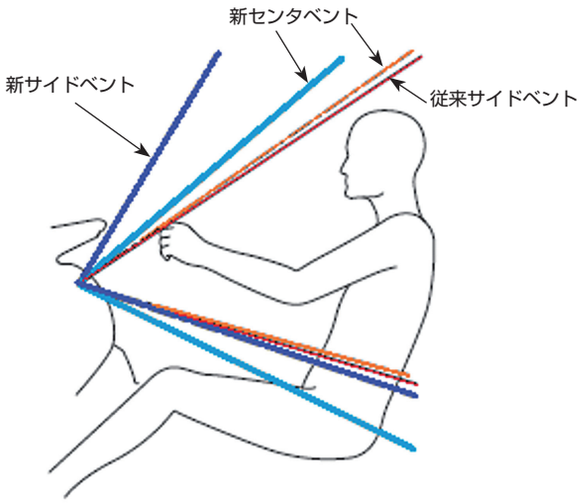


図 10　センターベントグリルの風の範囲

4.4　吹出し口の多段モード化

空調ユニットから吹出せるモードの多段化を行い、乗員への快適性を向上させた（表3）。

夏季冷房時、足元へ冷風を漏らすVENT Ⅱモードを追加し、冬季暖房初期には、足元・手元も温められる中間モードをオート制御時に設定した。また、VENT出口からの暖風を手にかざすことで、早期に手元も温められる機能となっている。

表３　モード一覧

仕様		吹き出し口モード							
		VENT	VENT Ⅱ	B/L	中間モード	HEAT	中間モード	D/H	DEF
オートエアコン（新型車）	オート制御時	○	○	○	○	○	○	○	○
	マニュアル選択時	○	○	○	－	○	－	○	○
オートエアコン（従来車）		○	－	○	－	○	－	○	○

5.　日米同時開発

新型インプレッサは、北米で生産を行うため、北米専用の空調ユニットを開発した。

国内仕様との同等の性能を有しつつ、冷房時に足元を冷やしたい現地の要望にも対応したチューニングを施すことができた。

・北米仕様の空調ユニット

風を流す方法を見直し、風を直線的に流す手法を取り入れた（図11、12）。

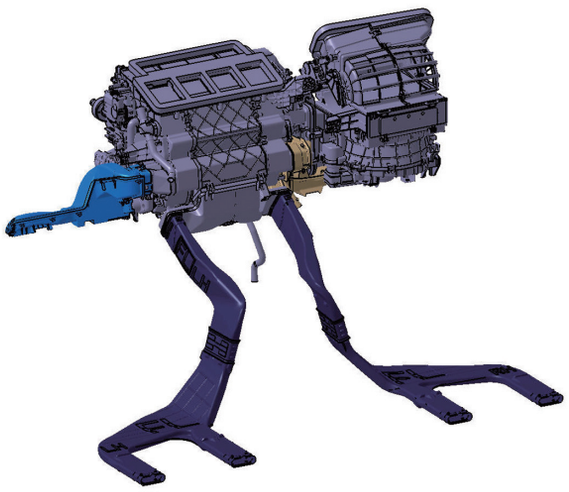


図 11　空調ユニット（北米仕様）

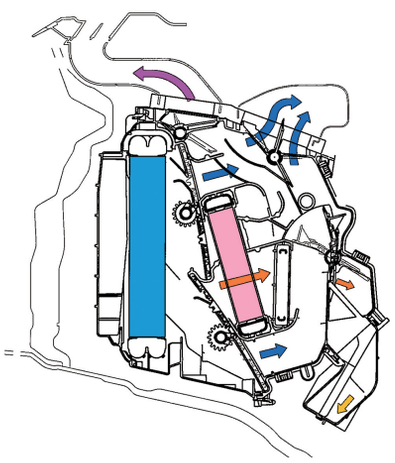


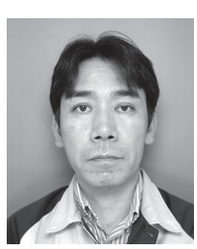
図 12　ヒータユニット中央断面

6.　おわりに

新型インプレッサは、SGP最初の車両としてセグメントを超えた快適性を追求したため、空調システムが目指す目標も高く設定し、非常に困難な開発に取り組んだ。従来にないアイテムや日米同時開発など、多くの課題を解決する必要があったが、高い目標を達成した最適なシステムを構築することが出来た。

最後に本検討を行うにあたり、多大なるご協力をいただいた関係会社ならびに社内関連部署の方々に深くお礼を申し上げます。

【著　者】



吉川　卓爾

岩瀬　洋直

感性に響く、ブレーキの動的質感

Dynamic Quality of the Brake System That Appeals to Customers

紀 陸 達 男*1　　伴　　将 史*2
Tatsuo KIROKU　　Masashi BAN

抄 録

SUBARU GLOBAL PLATFORMは、「安心と愉しさ」を加速させるため、高性能を超え、感性に響く動的質感を目指し、開発してきた。

ブレーキを踏んだ瞬間に、人はペダルから伝わってくる力や減速感から車や路面の状態を予測する。例えば、車間調整や停止する時、ブレーキペダルを踏んだ瞬間にどれだけブレーキペダルを踏めば車が思い通りに減速出来るかを無意識に予測し、ブレーキをコントロールしている。

ブレーキにおける感性に響く動的質感とは、ドライバーのペダル操作に対し、車体から感じ取れる減速感に遅れが小さく、なめらかでリニアに応答する車であると考えている。今回、新型インプレッサの開発では、その実現のために、ブレーキの効き始めの部分を捉え、極低液圧領域での発生減速度の応答に注目し、新型ディスクブレーキシステムを開発したので、その取り組みを報告する。

Abstract

To accelerate “enjoyment and peace of mind” of driving experience, SUBARU GLOBAL PLATFORM has been developed, aiming at realizing dynamic quality that appeals to customers’ sensitivity beyond high efficiency.

At the moment driver depresses the brake pedal, (s)he predicts the state of the vehicle and the road conditions from the feedback force of the pedal with deceleration. The driver would unconsciously predict the deceleration momentarily with its pedal force, for the distance between the vehicle and a vehicle ahead or stop points.

The dynamic quality and appeal to human sensitivity are provided in a car where driver’s sense of deceleration delay is minimal and the response is linear to the pedal operation. We are here to report the development of the new IMPREZA focused on the very beginning part of the brake operation. We paid attention to the response of the deceleration in the lowest fluid pressure domain, and developed a new disc brake system.

1. はじめに

ディスクブレーキが行う仕事はシンプルである。マスターシリンダーで発生した液圧を利用して、キャリパのピストンを押し出し、ブレーキパッドをローターに押し付けて（クランプさせて）制動力を発生させる事である。一方で、ブレーキフィーリングは前述の作動原理の様にシンプルではなく、複数の部品の組合せによって性能影響を受け、非常に繊細である。

一般的にブレーキフィーリングを上げる手段として、パッドの摩擦係数を上げる事やブレーキのサイズを上げる事が考えられるが、鳴き性能や引き摺り抵抗の悪化、重量増などの相反やブレーキパッドの銅規制などの制約もある。

今回、これらの相反する性能との両立を図るために、ディスクブレーキの極低圧領域のクランプ力効率を上げ、ブレーキフィーリングを向上させる開発を行った。

2. 安心感のあるブレーキとは何か。

実際の道路環境で走行をすると、安心感のある車と無い車で大きな差がある。例えば、自車線に割り込んで進入してくる車両と適切な車間を確保するために咄

＊1 シャシー設計部
＊2 車両研究実験第1部

嗟にブレーキを踏む時や、信号や一時停止で止まる時のブレーキ操作で体感することができる。ドライバーは、ブレーキを操作した際に、ペダルから伝わる反力や車両の減速感を感じながら､その先の状態を予測し、制動力をコントロールしている。この時、ドライバーはペダルから伝わる反力が出なかったり、意図する減速感の発生が遅れたりすると、ブレーキをかけすぎたりしてペダル操作が安定しないため、思い通りに車の車速を合わせたり、止めることが出来ず、安心感が得られない。

安心感のあるブレーキとは、ドライバーの意志と車両のフィードバックの一体感から得られるもので、ドライバーにとって車のコントロール性が高いほど、安心を感じやすいと考えた。今回、ブレーキ開発において、ブレーキの効き始めの部分に注目し、検討を行った。

3. ブレーキ開発のコンセプトと安心感の定量化

ドライバーが感じる安心感を定量的に捉えるために、様々な角度から検証を行った。

3.1 ブレーキ開発のコンセプト

ブレーキの効き始めに着目し、関連する要素、特性を抽出、その考え方を図1に示す。

このコンセプトをもとに、従来車(旧型インプレッサ)と安心感のある車(欧州車A)のベンチマークを行った。

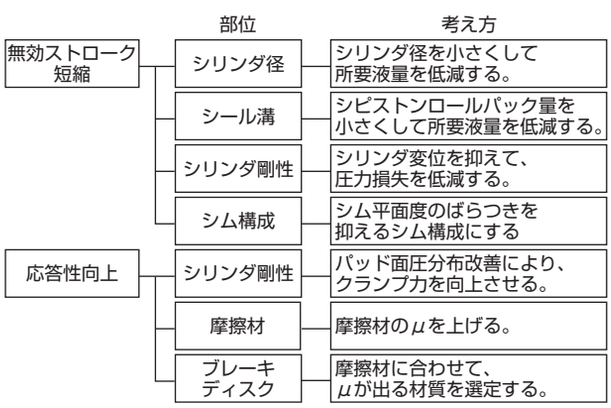


図1 DISC BRAKEのコンセプト

3.2 ペダルストローク－ペダル踏力－減速度特性の比較

旧型インプレッサと安心感のある車(欧州車A)のペダルストローク－ペダル踏力－減速度の特性を計測した結果を図2に示す。

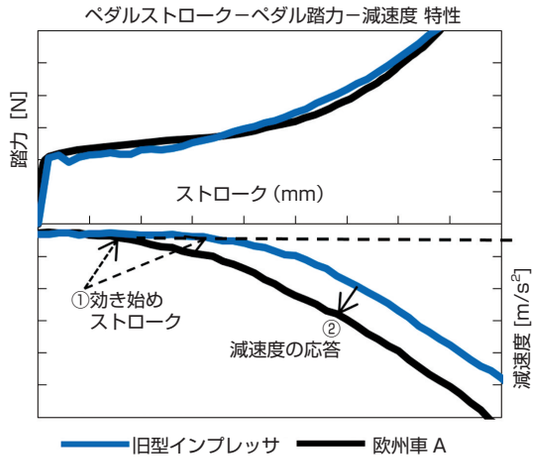


図2 ペダルストローク－ペダル踏力－減速度 特性

比較した結果、安心感のある車(欧州車A)の特徴は2点ある事が分かった。

安心感のある車は、

①効き始め迄のペダルストロークが短い(図2 ①)

②ペダルストロークに対して減速度の応答性が良い(図2 ②)

効き始めのペダルストロークと減速感に影響する要素を明確にするため、極低液圧域※のペダルストロークと効きに着目し、ブレーキシステムを構成する各部品の所要液量特性試験を行った。

※減速度が立ちあがる液圧0.5 MPaを、極低液圧域と定義した。

3.3 ペダルストローク特性(所要液量特性)

ペダルストロークの代用特性として、ブレーキシステムの所要液量特性を計測した結果を図2に示す。

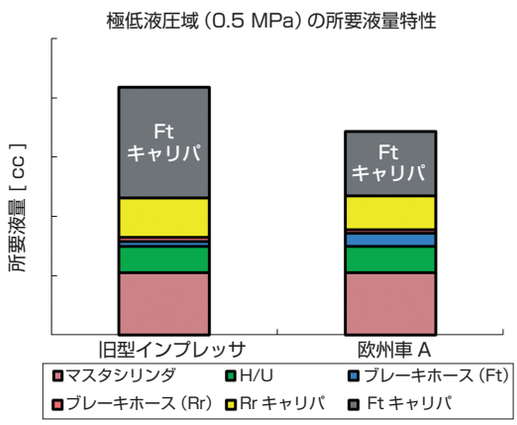


図3 所要液量特性

欧州車Aは所要液量が小さい。車両1台分で見ると、効き始めに占める所要液量は、Ftキャリパが支配的である事が分かった。

3.4　減速度－時間特性

ブレーキペダル一定操作に対する減速度と時間の特性を図3に示す。

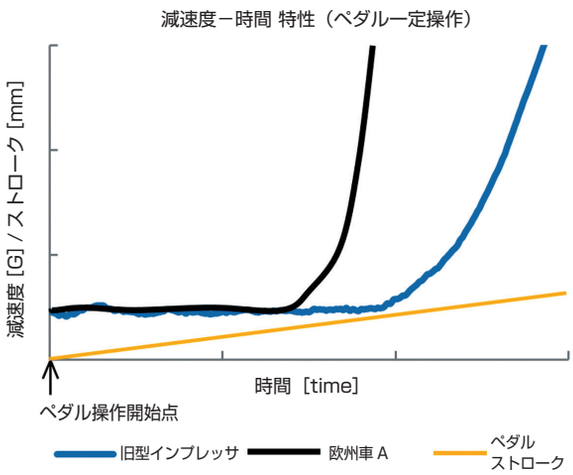


図４　減速度－時間 特性

同じペダル操作をした場合、欧州車Aは減速度の立ち上がりが早く、応答が良いことが分かる。

要因として、ブレーキキャリパまで伝達した液圧が、ロス無く、ブレーキパッドを押す力（クランプ力）に変換できているため、素早く制動力を発生し、減速度の立ち上がりが早くなっていると考えられる。

そこで、実際にブレーキパッドがローターを押さえつけるクランプ力を実測し、机上で求められる理論値に対して、どれくらいの効率で液圧をクランプ力に変換できているかを「クランプ力効率」と定義し、計測を行った。

$$\text{クランプ力効率} = \frac{\text{クランプ力実測値}}{\text{クランプ力理論値（シリンダ面積×液圧）}} \times 100\ [\%]$$

3.5　Ftキャリパのクランプ力効率

所要液量計測結果から、最も差が大きいFtキャリパのクランプ効率を計測した。クランプ力計測手段を図5、計測した結果を図6に示す。

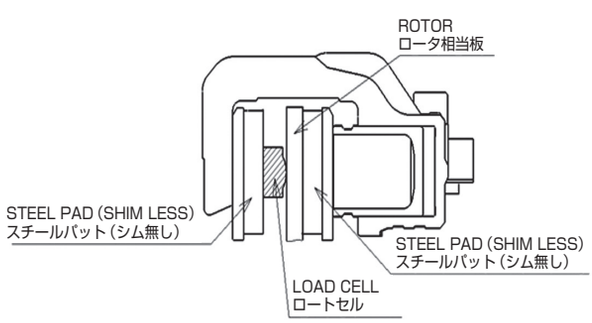


図５　クランプ力計測方法

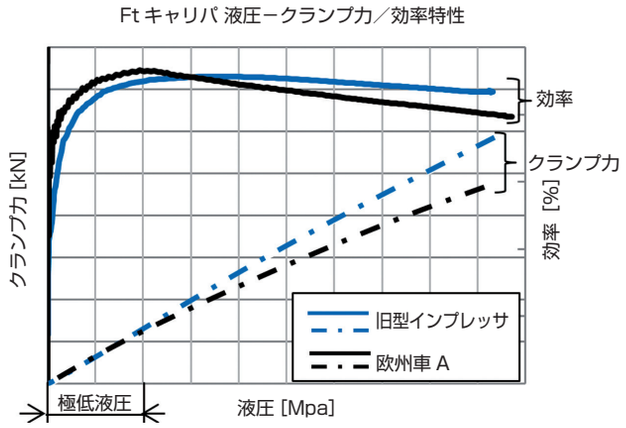


図６　クランプ力効率特性

欧州車Aに使われているFtキャリパは極低液圧域からブレーキパッドがローターをクランプする際の効率が高く、キャリパの液量損失が小さい事が分かった。

従来からある制動トルクの計算式にクランプ力効率ηを考慮する事で、ドライバーが感じるブレーキフィーリングをより精度高く定量化する事が出来る。

$$\text{制動トルク} = \mu \times ((A \times P) \times \eta) \times r$$

μ　：摩擦係数
A　：シリンダ面積 [mm^2]
P　：液圧 [MPa]
r　：有効半径 [mm]
η　：クランプ力効率 [%]

4.　効果確認

ブレーキコンセプトに基づき、新型インプレッサ向けに新規開発したFtキャリパの所要液量特性を図7、クランプ力効率を図8に示す。

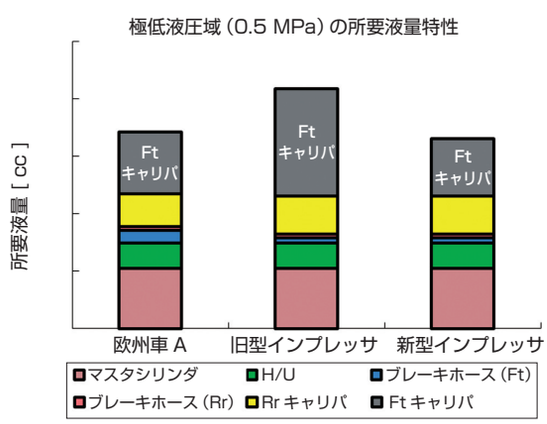


図７　所要液量特性

Ftキャリパの所要液量を低減し（寄与度は下記参照）、車両としての所要液量特性を欧州車並とした。

	Ftキャリパ変更項目	クランプ効率寄与度(%)
①	シリンダ径ダウン	43
②	シリンダ剛性向上	31
③	シム変更	16
④	シール溝変更	10

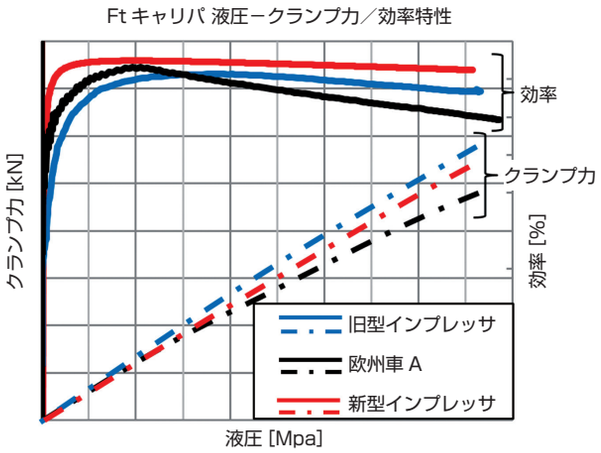


図８　クランプ力効率特性

極低液圧域のキャリパの液量損失を低減し、効き始め初期のクランプ力効率を向上させた。これにより、極低液圧～高液圧域まで効率低下を抑制する事ができ、応答性良く、リニア感のある特性を確保出来た。

5.　実車試験

新規開発Ftキャリパを織込んだ新型インプレッサでブレーキ特性実車試験を行った。

5.1　ペダルストローク－ペダル踏力－減速度特性および減速度－時間特性

ペダルストローク－ペダル踏力－減速度特性を図９に示す。

新型インプレッサは、旧型に対し、効き始め迄のペダルストロークが短く、減速度に対する応答性が向上したことがわかる。

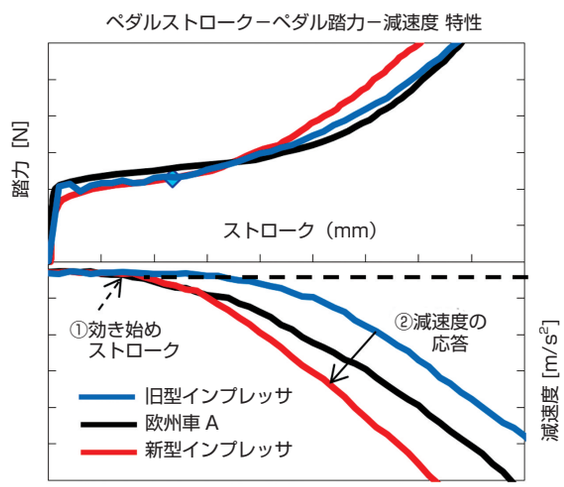


図９　ペダルストローク－ペダル踏力－減速度 特性

減速度－時間特性を図10に示す。

旧型インプレッサと比較し、ペダル操作に対する減速度の立ち上がりも早くなり、よりドライバーの意図する車速、減速度に合わせることができるようになった。

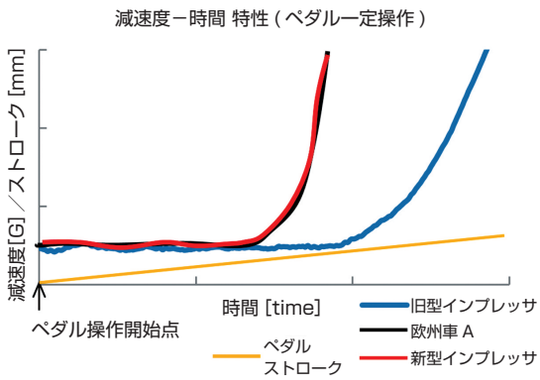


図 10　減速度－時間 特性

今回着目した、効き始め・極低液圧域の特性を定量化し、部品特性に織り込んだ結果、コントロール性の高い・安心感の高いブレーキフィーリングを実現することができた。

6.　おわりに

ディスクブレーキシステムは古典的な技術だが、新たな切り口で性能開発する事により、ブレーキフィーリングを大幅に向上させる事が出来た。

SUBARU GLOBAL PLATFORMでは、乗る人すべてに最高の安心と愉しさを提供するために、これまで培った知見や技術を注ぎ込み、実現することができた。

今後も、乗る人すべてが気持ち良い、様々なシーンで安心できるような走りの質感を追及し、お客様へ提供していきたい。

【著　者】

紀陸　達男

伴　　将史

HMI 連携システムの開発について

Development of HMI Coordination System

遠藤秀明[*1] Hideaki ENDO
岡本洋平[*1] Yohei OKAMOTO
紺野大悟[*2] Daigo KONNO
佐川一洋[*1] Kazuhiro SAGAWA
山根翔[*1] Shou YAMANE
早川有香[*1] Yuka HAYAKAWA
柄澤英之[*1] Hideyuki KARASAWA
酒谷淳寛[*3] Atsuhiro SAKAYA

抄　録

近年、スマートフォンやタブレット等、お客様が手にするデバイスの時代進化が急激に進んでいる。車中でも、そのような外部デバイスとの連携を強化し、必要な情報をタイムリーに提供していく事が急務である。ヒューマン・マシン・インターフェース（以下HMI）連携開発では、インフォテイメント・メータ・マルチファンクションディスプレイ（以下MFD）の各ユニットで表示させる情報と役割区分について、市場の声を反映させながらスバルとしての新しいHMIを確立し、実用化に至ったため、その内容について紹介する。

Abstract

In recent years, devices like smart phones and tablets which are closely related to our customers' daily lives have been developed rapidly. In this context of the market, the ability to strengthen the connection with such external devices and provide customers with timely and necessary information is our primary issue. In the integrated human-machine interface (HMI) development this time, to address the issues of information description and function classification in each unit of infotainment, meter and multifunction display (MFD), we established a SUBARU's own HMI as the result of reflecting market demands and successfully putting the system into practical use. The following is a detailed introduction to this content.

1. まえがき

近年、車内に搭載されるディスプレイは、メータとインフォテイメントの2ディスプレイ構成が主流となっている。しかし、スバルは先代インプレッサを皮切りに、第3のディスプレイとしてMFDを採用している。MFDは運転者だけでなく同乗者にとって有用＆愉しい情報を提供すると共に、インテリアの先進感／高質感を高める装備として商品力となっている。新型インプレッサも先代インプレッサのディスプレイ構成を継承し、MFDを継続採用／発展させた。

各ディスプレイに表示させる情報（お客様が外部デバイス経由で入手する情報／車両から通知する情報）は増加している。各情報の表示場所／表示タイミング／グラフィックが適切でないと、運転中の判断に誤りや遅れが生じ、運転を阻害することになる。

＊1 電子商品設計部
＊2 人事部付SRD-MI出向
＊3 車両研究実験第2部

2. 開発の狙い

新型インプレッサでは、ドライバーが安全に愉しく運転できるよう、**『必要な時に必要な情報を受け取ることが出来る』**をHMI連携のコンセプトとし、開発を進めてきた。

2. 1　表示分担の考え方

2.1.1　各ディスプレイの役割の定義付け

インフォテイメント・メータ・MFDの3つのディスプレイについて、搭載位置や操作方法、液晶サイズを考慮しながら、各ディスプレイ毎に役割の定義付けを行い、あるべき姿を導いた（図1）。

【各ディスプレイの役割定義】

・インフォテイメント：**“愉しく見せる／操作する”**
ナビ、オーディオ、リヤビュー表示に加えエンターテイメント情報を表示する。

・メータ：“読ませず見せる”
　ドライバーの運転操作に必要な情報を表示する。
・MFD：“解り易くグラフィカルに見せる”
　ドライバー、乗員に有用且つ愉しい情報を表示する。

図１　各ディスプレイのあるべき姿

2.1.2　表示要素の決定

新しい表示コンテンツと現行車で実施している既存コンテンツを全項目抽出した後、定義した役割と照らし合わせ、各ディスプレイに表示するコンテンツを整理した（図2）。

図２　各ディスプレイの表示棲み分け

2.1.3　定義に沿った表示要素割り付け

上記で定義した役割と表示要素を商品展開上の組み合わせを網羅しながら各ディスプレイに割り付けた。

ハード仕様としては、新型インプレッサからHMI第3世代となり、カラー液晶を大型化し、よりお客様の視認性と使い勝手向上に配慮した（図3）。

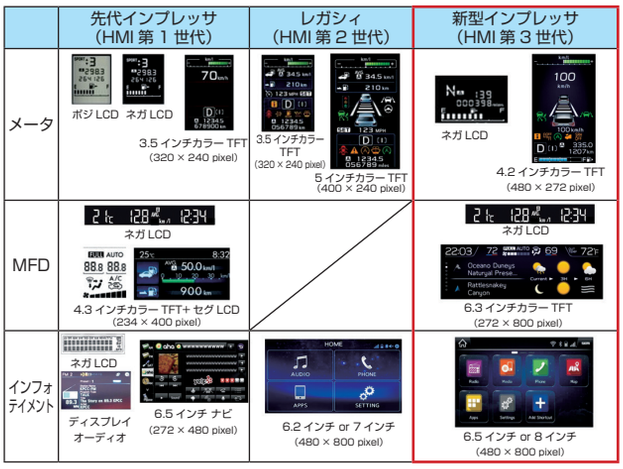


図３　HMI 世代毎のハード仕様

2.2　使い勝手を考慮したグラフィカルユーザーインターフェース（以下GUI）の実現

2.2.1　インフォテイメント

“愉しく見せる／操作する”を実現するため、具体的には“Easy to Use”を標榜し、誰もが使いこなせる機能性と操作性を持つインフォテイメントを目標として開発した。

本インフォテイメントの構築ではスバル最大のマーケットである米国で受け入れられるものを目指して米国に拠点を置くSubaru Research & Development, inc.（以下SRD）主体で開発を進めた。開発メンバー全員の議論により、多民族で構成される米国で広く受け入れられるGUIが実現出来れば日本に限らず世界に通用する“Easy to Use”が実現できると結論づけた。

主眼を置いたのは、スマートフォンに代表されるホーム画面を基本にしたGUIのフローと、どの画面でも同じように要素をレイアウトしたことである（図4）。これによりお客様が普段使っているスマートフォン等のデバイスと同じイメージで違和感なく操作でき、初めて操作する時から分かり易いGUIとした。

図４　ユーザーインターフェース思想

本インフォテイメントの実開発も米国に拠点を置く企業をパートナーとして現地目線のアイデアを追加し画面デザインを作り込んだ。一例としてホーム画面のアイコンはそれぞれに“色”を持たせた。これにより運転中でも一瞥しただけでお客様が呼び出したい機能を認識することができ、ストレス無く操作できることに繋がっている（図5）。

図５　色分けしたホーム画面

車両に持ち込まれるスマートフォンとの連携では、スバルとして初のApple CarPlay※1、Android Auto※2に対応した。車両にナビゲーション機能を持たないモデルでも、スマートフォン側の地図・ナビゲーションをヘッドユニットで表示・操作することが可能になるとともに、車両でスマートフォンを使いたいお客様のニーズにも応えた。

今後の車両を取り巻くデバイスの進化に対応するため、Over The Air（無線）でのソフトアップデート機能も織込んだ。家庭のWi-Fiインターネット環境やスマートフォンを介して最新ソフトウェアへアップデートすることで、変わりゆくIT時代にも追従する。

※１ Apple CarPlayは、米国およびその他の国で登録されたApple Inc.の商標です。

※２ Android Autoは、米国およびその他の国で登録されたGoogle Inc.の商標です。

2.2.2　メータ

運転シーンに応じて適宜表示が切り替わる“割り込み表示機能”を充実化した（図6）。これら車からのプッシュ型情報により、メータを見ながらステアリングスイッチで操作を行い、“安全な運転”が出来る。

図６　電話着信、はみだし注意 割り込み表示

また、メータが主体となり言語や単位など“3ディスプレイが連動”したカスタマイズ機能を追加した（図7）。メータの設定を変えるだけで、簡単に自分好みに車両全体のディスプレイをカスタマイズすることが可能となった。

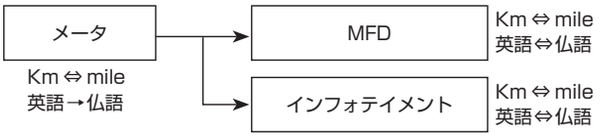


図７　言語、単位連動イメージ図

2.2.3　MFD（マルチファンクションディスプレイ）

ドライバーが気になる一歩先の情報を提供するコンテンツを付与し、快適なドライブを実現した。具体的にはナビゲーションで設定した目的地の天気情報が自動で表示（図8）されたり、交差点に近づくとTurn by Turn表示（図9）が自動的に割り込み表示する。

図８　現在地と目的地の天気表示

図９　ナビのTurn by Turn表示

また、日本仕向けのディーラーオプションナビとも連携し、一歩先のナビ／交通情報を表示する（図10）。

図 10　ナビの交通情報表示

ドライバー以外の乗員もドライブを愉しむことができる表示コンテンツを用意した。各種ランプ類や周辺検知システムの動作状況が一目でわかる電装品作動状態画面（図11）や、アイサイトの認識状態をリアルタイムで把握できるアイサイト画面（図12）を表示し、最先端の技術を視覚で堪能できる様、解り易くグラフィカルに表現した。

図 11　電動品作動状態表示

図 12　アイサイト表示

3. まとめ

昨今、デュアルディスプレイが主流になりつつあるが、新型インプレッサは判読性を追求した結果、3ディスプレイにこだわった。それぞれのディスプレイの役割を決める作業は困難を極めたが、多種多様な情報の中からドライバが知りたい情報を直感的に得られるシステムを実現した。同時に日本仕向けのディーラーオプションナビと互換性を保つことも配慮し、寛容なグレード展開が実現可能となった。

量産後、機能性／質感／操作性などを総合評価し選定される“米国の自動車専門メディアWards社”の「2017 Wards 10ベストインテリア賞」を受賞でき、開発陣一同確かな手ごたえを得ることが出来た。

今後もこのシステムをベースに、お客様がどのグレードを選択しても、ご満足いただけるHMI連携システムを継続的に改良／提供していきたい。

【著　者】

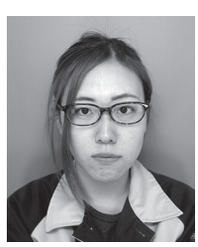
遠藤　秀明

岡本　洋平

紺野　大悟

佐川　一洋

山根　　翔


早川　有香

柄澤　英之

酒谷　淳寛

ボディ電装系におけるモデルベースAUTOSARでのコンフィグレーションとインプリメンテーションに関する研究

Study of Model Based AUTOSAR Configuration and Implementation in Automotive Body Electronics

星　野　欽　哉*
Kinya HOSHINO

抄　録

ボディ電装系の制御系開発において、MBD（Model Based Development）と連携したAUTOSAR（AUTomotive Open System ARchitecture）対応は、今後の基礎技術となる。

制御系開発の各段階で、これらの基礎技術を適用する事で、ソフトウェアの開発生産性、信頼性の向上が期待できるが、量産開発適用までの課題は多い。

本稿では、AUTOSARの全体を概観した上で、MBDと連携したAUTOSAR対応のシミュレーションからプロトECU実装までを試行した研究結果をまとめる。

Abstract

Going forward, AUTOSAR（AUTomotive Open System ARchitecture）support in alliance with MBD（Model Based Development）will become basic technologies in control system development of automotive body electronics.

Although improvements in software development productivity and reliability can be expected by applying these basic technologies at each stage of control system development, many challenges remain before these technologies can be adapted to mass production development.

After providing an overview of AUTOSAR, this report outlines the research results of an attempt at simulation and proto-ECU implementation supported by AUTOSAR in alliance with MBD.

1．まえがき

モデルベースAUTOSAR対応の制御系ソフトウェア開発において、次の手順で設計早期の段階からソフトウェアの妥当性を確認する事は重要[1]である。

・モデル（MATLAB/Simulink）で設計して機能を実現。
・実現した制御機能を検証（シミュレーション）。
・機能をテスト（自動コード生成、プロト実装）。

これには、開発の各段階においてAUTOSAR規格に準拠した開発ツールを活用する事が必須となる。

ここで、自動車メーカの設計技術者が、複雑で難解なAUTOSAR規格を理解して使いこなす事は、相応の困難が予想される。一般的にAUTOSAR開発ツールは、ソフトウェアの専門家向けに設計されているからである。また、自動車メーカがAUTOSARを採用した場合、そのプロセスは、制御仕様をAUTOSAR規格のXMLで記述する開発プロセスから、直接AUTOSAR仕様でECUに実装する開発プロセスまで多岐にわたる。

ボディ電装系においては、自動車メーカがECUの実装まで行う事はほとんど無く、要求仕様や制御仕様をサプライヤーに提示する場合が多い。この場合でも、内部アルゴリズムの動作を保証し、提示するXMLの品質を向上する事は、以後の開発プロセス全体の工数低減と信頼性の向上に寄与することになる。

今回は、ボディ電装系の開発プロセスを考慮して、MATLAB/Simulinkと連携して、AUTOSAR開発ツールを活用する事により、モデルベースでのAUTOSAR開発にアプローチした。具体的には、dSPACE社製の仮想検証ツール（VEOS）と、RCPツール（MicroAutoBoxII（以下MABXII））を用いて、AUTOSAR規格に則ったシミュレーションとテスト[9]を実施した。本稿は、実践した仮想検証技術とRapid-AUTOSAR技術を解説する。

＊ 電子プラットフォーム設計部

2. AUTOSARとは

AUTOSARとは、自動車ソフトウェアに係わる課題を解決するために生まれた標準化のための団体である。欧州自動車メーカや部品メーカを中心にコンソーシアムを設立し、アーキテクチャーおよびデータ交換フォーマットの標準規格等を策定している。

現在、自動車メーカ、部品メーカ、半導体メーカ、ソフトウェアベンダーなど100社以上がAUTOSARコンソーシアムに参加している。

2.1 AUTOSARにおける標準化

AUTOSARにおける標準化は以下となる。

・アーキテクチャー（Architecture）
・メソドロジー（Methodology）
・アプリケーションインターフエース（API）

2.2 アーキテクチャー概略

AUTOSARアーキテクチャーとして、標準化されているECU用階層ソフトウェア仕様が図1である。

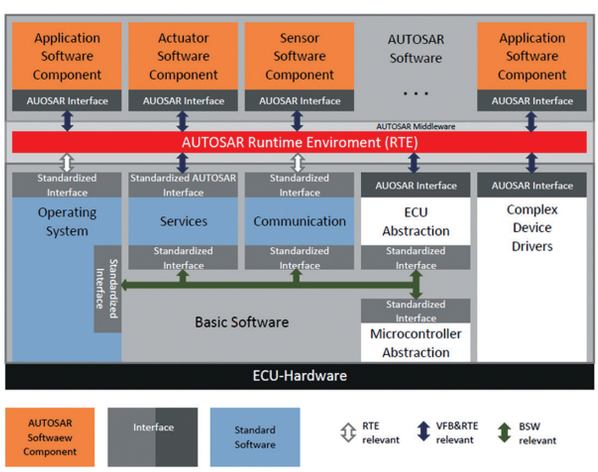


図1　アーキテクチャー概略図 (12)

図1における語句の説明を以下に示す(5)。

【Standardized Interface】
標準化されているC言語のAPIで、主にソフトウェアモジュール上で使われる。

【AUTOSAR Interface】
構文と記号がAUTOSAR規格に基づいて記述され、ソフトウェアコンポーネント(SW-C)との情報をやりとりする。

【Standardized AUTOSAR Interface】
構文とセマンテックがAUTOSARプロジェクトで標準化され、主にサービスで使用されるAUTOSARインターフェース。

【Sensor/Actuator Software Component】
センサー／アクチュエータの制御専用のSW-C。

【Runtime Environment（RTE)】
AUTOSARのランタイム環境で、ECU内部で実行するコードであり、コードジェネレータで生成する。

【Services】
低レベルのECU全体にわたって標準化されている機能(NVRAM、診断サービス、ECU状態管理など)へのアクセスを可能にする。

【Complex Device Driver】
ハードウェアに直接アクセスするドライバ(高速な処理速度要求および、標準化できない特殊なソフトウェアに使用)。

【Basic Software（BSW)】
AUTOSARの基本ソフトウェア(BSW)で、オペレーティングシステム、サービス、抽象化層からなる。

AUTOSARではモジュールおよびインターフェースが標準化される。

2.3 メソドロジー（方法論）

AUTOSARでは、仮想機能バス(VFB)から実際にECU上で動作するソフトウェアの生成までのメソドロジー(方法論)を定義している。

このメソドロジーでは、SW-CやBSWのXMLフォーマットのファイルを使用し、最終段階でC言語などの実行形式に変換する方式をとる。

VFB機能を実現するAUTOSARメソドロジーが図2である。

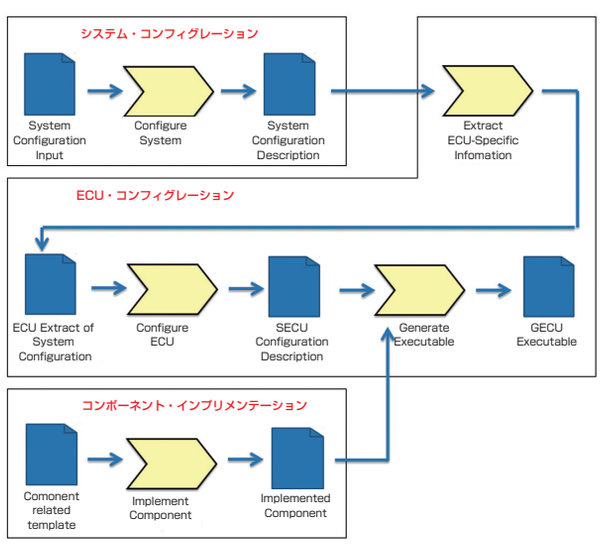


図2　AUTOSAR メソドロジー

2.4 RTE

AUTOSARの実行環境であるRTEは、SW-CからAUTOSARプラットフォームを使用するためのAPIを提供するコンポーネントである。

SW-CやBSWの設定情報からVFB機能を実現するためのAPIが生成される。語句の説明を以下に示す[2]。

【RTEとSW-C】

RTEから提供されるAPIを使用して、SW-C間の通信処理や排他制御を行う。

【ランナブル】

SW-Cの機能を実現するための処理単位（関数）。

各ランナブルは、設計時に指定された起動契機（周期起動等）により実行される。

【SW-C間連携】

ポート：SW-C間で通信を行う接続点。

インターフェース：SW-C間の連携単位で、データの送受信、およびサービスの呼出しなどの連携はインターフェース要素毎に行われる。

【S/R（Sender/Receiver）連携】

SW-C間でデータ要素の送受信を行うデータ要素。

データ送信：送信データを受信側ポートに伝搬。

データ受信：受信データの値をOUT引数に設定。

【C/S（Client/Server）連携】

SW-C間でサービスの呼出しを行うオペレーション。

サーバ：サービスの提供元。

クライアント：サービスの呼出し元。

2.5　AUTOSAR OS

AUTOSARでは、特定のOSを規定してはいないが、基本的にOSEK OSをベースにしている。

【主な機能】

タスク管理、割り込み処理、イベント、リソース、カウンター、アラーム、フックルーチン（スタートアップ、シャットダウン、プレタスク、ポストタスク、エラー、プロテクション）[2]等からなる。

【OSジェネレータ】

ECUコンフィギュレーションファイル（XML）からOSデータを生成し、コンフィグレーションデータファイル（.H .C）を出力する。

2.6　通信

AUTOSARでは、同一ECU間の通信はRTEのみで行うが、他のECUとの通信はCommunication（図1参照）を使用する。本稿では、Communicationに関しては言及しない。

3.　AUTOSARでのシステム設計

AUTOSARでのシステム設計では、機能を記述したSW-Cを連携させて、コンポジションを作成して、実ECUにマッピングする[5]（図3）。

3.1　SW-Cの設計（機能構成）

・SW-Cはハードウェアに依存しないAUTOSARインターフェースを使用する。

3.2　コンポジションの設計（論理構成）

・コンポジションは、コンポーネント同士を接続し、システム機能を構成する。

3.3　ハードウェアECU機能の設計（物理構造）

・SW-CのECUへのマッピング。

・ネットワークトポロジー（バス型）の設定。

・データエレメントのメーセージへのマッピング。

3.4　システムコンフィグレーション

・コンフィグレーションツールによりOS、COM、BSW及びRTEを生成。

・これらのファイルをマージした後に、コンパイル、リンクして実行形式が完成する。

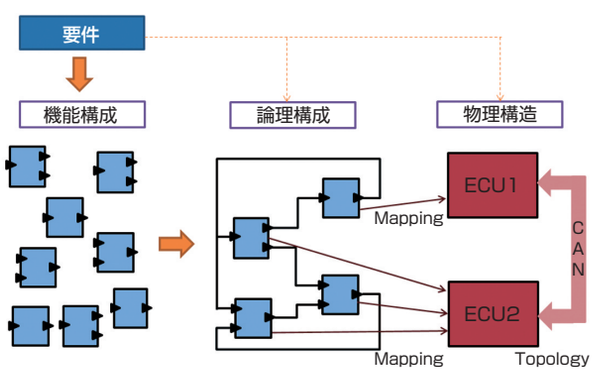


図3　AUTOSARシステム設計概要

4.　モデルベースAUTOSARでのワークフロー

モデルベースAUTOSARでのアプリケーションソフトウェア開発は、AUTOSARオーサリングツールとモデリングツール（Simulink）のラウンドトリップの開発が基本となる（図4）。ワークフローの種別を次に示す[8]。

4.1　トップダウンワークフロー

AUTOSARオーサリングツールからXMLファイルをモデリングツールにインポートしアルゴリズムを実装する。

4.2　ボトムアップワークフロー

モデリングツールで、制御アルゴリズムを設計して、オーサリングツールにエクスポートする。

4.3　ラウンドトリップワークフロー

オーサリングツールとモデリングツールで連携してアルゴリズムを開発し、動作を検証する。

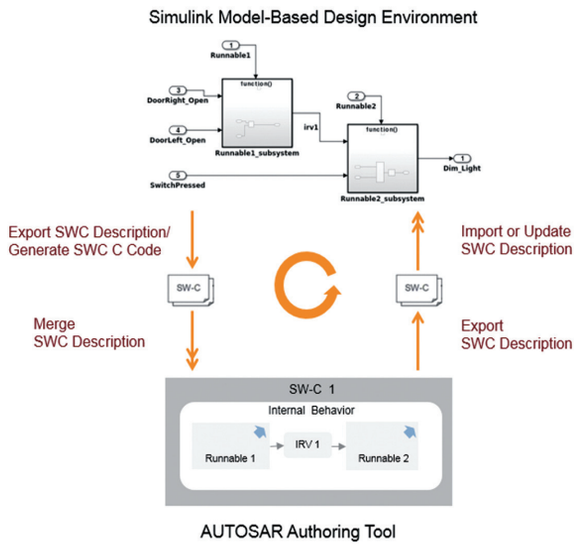


図４　モデルベース AUTOSAR 開発ワークフロー [10]

5.　AUTOSAR開発適応

今回の試行では実機のコントローラとアクチュエータを用いて、4.3節のラウンドトリップワークフローを適応したAUTOSAR開発を実施した。

5.1　供試システム(電子ベンチ)

供試システムは、パワーリヤゲート等のドアロックの施錠、解除に用いられる電動クロージャーアクチュエータの制御開発用の電子ベンチを用いた。

コントローラは電子ベンチ制御部分、プラントはモータ駆動部分を含むアクチュエータ部分である(図5)。

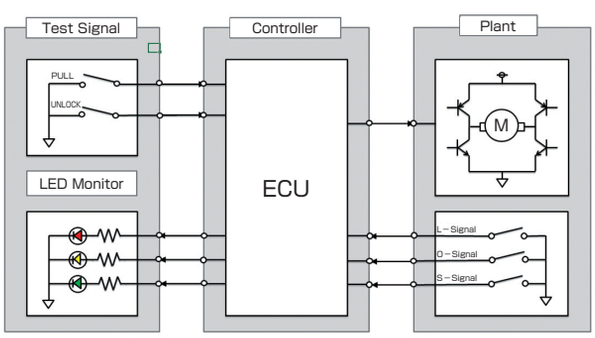


図５　システム構成

供試システムをAUTOSAR準拠のSW-Cとして構成する。これらのSW-Cは、AUTOSAR Interfaceを経由してRTEに接続される(図6)。

各SW-CはSender/Receiverポートで接続され、複数のタスクで動作する並行システムとして生成される(図7)。

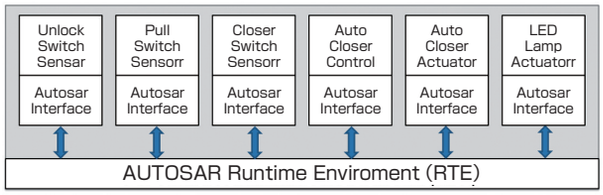


図６　RTE 接続構成

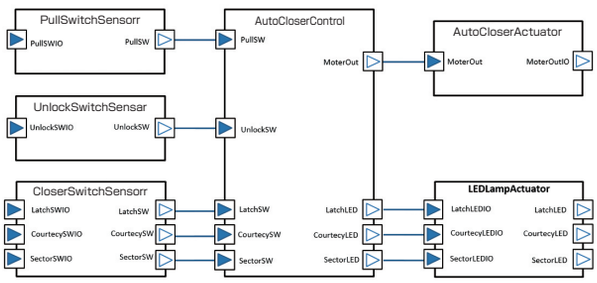


図７　コンポジション構成

これらを実際にAUTOSAR開発ツールチェーンの連携機能を活用して構成し実装する。

5.2　開発プロセス

今回の開発プロセスは、dSPACE社製のSystemDeskとTargetLinkを活用したラウンドトリップ開発となる(図8)。

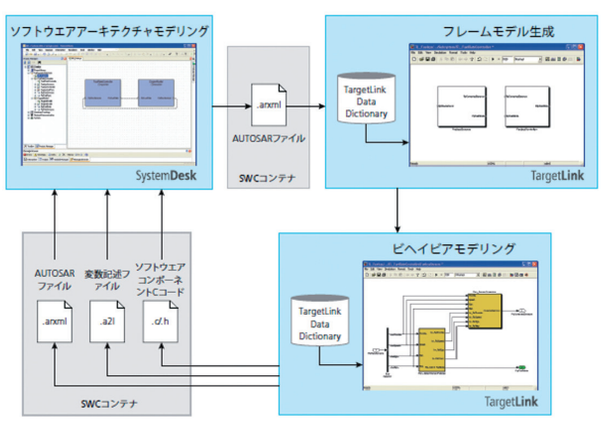


図８　開発ツールチェーンの連携[3]

PCベースのシミュレーションツール(VEOS)と、ラピッドプロトECU(MABXII)への実装に必要な、バーチャルECU(V-ECU)を作成する(図9)。

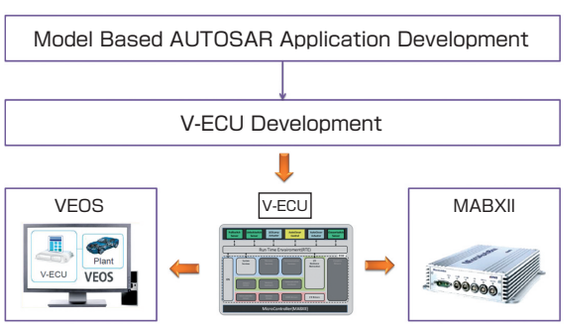


図９　V-ECU の作成

5.3　SystemDeskでのモデル開発

SystemDeskは、モデリング機能として、AUTOSARに準拠したSW-C作成とコンポジション設計が可能であり、通信機能の接続やSW-Cのマッピングの機能も備えている。

さらに、V-ECUインプリメンテーションの接続対象として、VEOSシミュレーションで使用するプラントモデルを統合してビルドする機能を有する。

まずは、トップレベルのコンポジションとコンポーネントを作成する。今回の供試システムのトップレベルコンポジションを図10に示す。

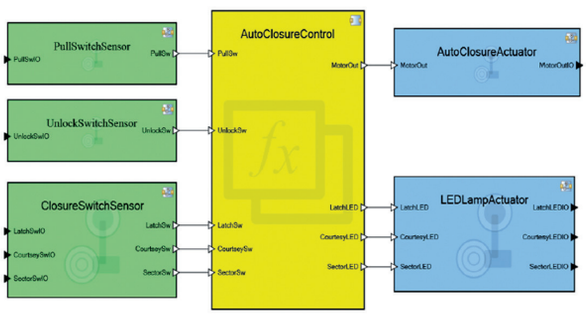


図 10　コンポジションモデル

次に、ポート・インターフェース・データタイプ・CompuMethod等の情報を設定し、ランナブル、RTEイベント、インターランナブルバリアブル、パー・インスタンスメモリ等の情報を設定[6]する。

最後に、TargetLinkで設計したインプリメンテーション用コードファイルと統合する。

SystemDeskでは、設定されたデータによりECUコンフィグレーションが作成される。

これには、RTEとOSのコンフィグレーションとECUソフトウェアコンポジションが含まれる。

同時に、ソフトウェアアーキテクチャーのRTEイベントに基づいてスケジューリングを計算し、各タスクにマッピングされる。

5.4　TargetLinkでのモデル開発

SystemDeskで作成したSW-CをXMLファイルでエクスポートし、コントローラをTargetLinkでモデリングする。

TargetLinkでは、XMLファイルからSW-C用サブシステム、ランナブルを備えたフレームモデルを生成[4]する。

ここで、生成されたフレームモデルにビヘイビアモデル（図11）を統合する。

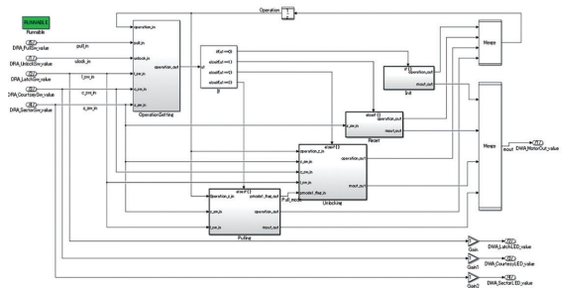


図 11　ビヘイビアモデル

5.5　生成されたAUTOSARコード

各コンポーネントに対して、フォルダ別にAUTOSAR関連のファイルおよびコードが生成される（図12、図13）。

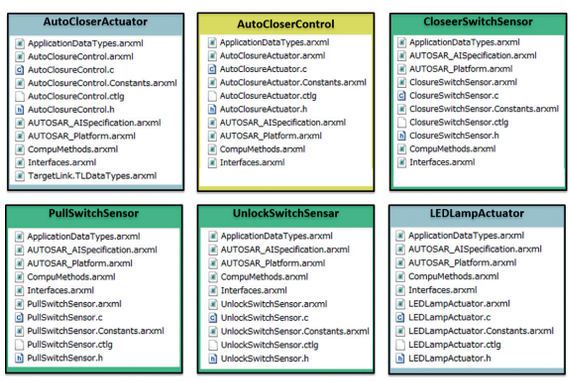


図 12　コンポーネントフォルダ構成

```
FUNC(void, AutoClosureActuator_CODE) AutoClosureActuator_AutoCA(void)
{
  /* # combined # TargetLink outport: TL_AutoClosureActuator/AutoCA/DWA_MotorOutIO_value
     # combined # Gain: TL_AutoClosureActuator/AutoCA/Gain
     # combined # TargetLink inport: TL_AutoClosureActuator/AutoCA/DRA_MotorOut_value */
  Rte_IWrite_AutoCA_MotorOutIO_value((float32) (sint16) Rte_IRead_AutoCA_MotorOut_value());
}

FUNC(void, AutoClosureControl_CODE) AutoClosureControl_AutoCC(void)
{
  /* $LLocal: Default storage class for local variables | Width: 16 */
  sint16 Sc4_Switch;

  /* $LStaticLocalInit: Default storage class for static local variables with initvalue | Width: 32 */
  static float32 Sc2_Merge = 0.F;
```

```
FUNC(void, LEDLampActuator_CODE) SensorActuatorSwComponentType_Runnable(void)                    dth: 8
{
  /* # combined # TargetLink outport: TL_LEDLampActuator/AutoLEDA/DWA_SectorLEDIO_value
     # combined # Gain: TL_LEDLampActuator/AutoLEDA/Gain2
     # combined # TargetLink inport: TL_LEDLampActuator/AutoLEDA/DRA_SectorLED_value */          dth: 16
  Rte_IWrite_AutoLEDA_SectorLEDIO_value((uint8) (((uint16) (((uint16)
    Rte_IRead_AutoLEDA_SectorLED_value()) << 14)) >> 14));

  /* # combined # TargetLink outport: TL_LEDLampActuator/AutoLEDA/DWA_CourteseyLEDIO_value
```

```
FUNC(void, ClosureSwitchSensor_CODE) ClosureSwitchSensor_ClosureSw(void)
{
  /* # combined # TargetLink outport: TL_ClosureSwitchSensor/ClosureSw/DWA_SectorSw_value
     # combined # Relational: TL_ClosureSwitchSensor/ClosureSw/Relational Operator3
     # combined # TargetLink inport: TL_ClosureSwitchSensor/ClosureSw/DRA_SectorSwIO_value */
  Rte_IWrite_ClosureSw_SectorSw_value((uint8) (Rte_IRead_ClosureSw_SectorSwIO_value() >= 1));
}

FUNC(void, PullSwitchSensor_CODE) PullSwitchSensor_PullSw(void)
{
  /* # combined # TargetLink outport: TL_PullSwitchSensor/PullSw/DWA_PullSw_value        */
     # combined # Relational: TL_PullSwitchSensor/PullSw/Relational Operator1           );
     # combined # TargetLink inport: TL_PullSwitchSensor/PullSw/DRA_PullSwIO_value */
  Rte_IWrite_PullSw_PullSw_value((uint8) (Rte_IRead_PullSw_PullSwIO_value() >= 1));      ue

FUNC(void, UnlockSwitchSensor_CODE) UnlockSwitchSensor_UnlockSw(void)                              ;
{
  /* # combined # TargetLink outport: TL_UnlockSwitchSensor/UnlockSw/DWA_UnlockSw_value
     # combined # Relational: TL_UnlockSwitchSensor/UnlockSw/Relational Operator1
     # combined # TargetLink inport: TL_UnlockSwitchSensor/UnlockSw/DRA_UnlockSwIO_value */
  Rte_IWrite_UnlockSw_UnlockSw_value((uint8) (Rte_IRead_UnlockSw_UnlockSwIO_value() >= 1));
}
```

図 13　生成されたAUTOSARコード

5.6　V-ECUインプリメンテーション手順

V-ECUインプリメンテーションでは、シミュレーションとMABXII実装に使用するV-ECUをビルドする。

【RTEおよびBSWの生成】

SystemDeskを使用して、シミュレーション用のRTEおよびBSWモジュールのコードを生成する。

【ECU コンフィギュレーション】

AUTOSARでは、各モジュールをアプリケーションに応じて設定するコンフィギュレーションパラメータが大量に規定されている。ECUコンフィギュレーションでは、下記モジュールにECU固有情報を設定する。

- CanIf　・COM　・Dap
- EcuC　・EcuM　・IoHwAb
- MemMap　・OS　・PduR
- RTE　・Sab

【V-ECUインプリメンテーション】

V-ECUインプリメンテーションには、アプリケーションソフトウェアとBSWのコードファイル、その他のコンフィギュレーションパラメータや変数記述ファイルを含む(図14)。

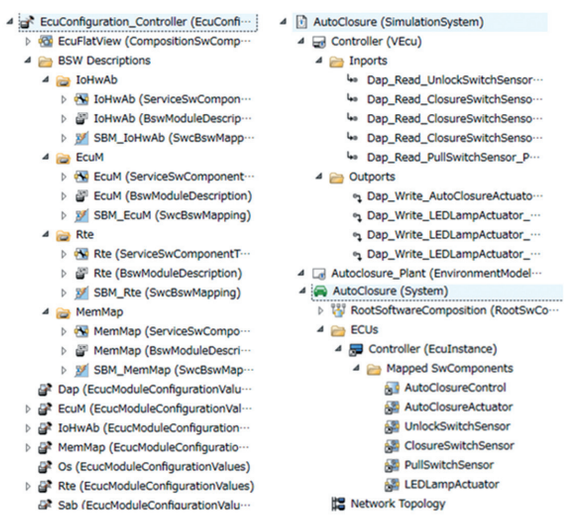


図 14　V-ECU コンフィグレーション

5.7　仮想環境(VEOS)でのシミュレーション

VEOS PlayerでV-ECUをインポートしビルドする。プラントモデルをインポートしてビルドする(図15)。

V-ECUのI/Oポートとプラントの入出力を接続する。

ControlDeskに、VEOSをプラットフォームとして登録し、計測画面を構築する(図16)。

ControlDeskより、シミュレーションを実行する。

5.8　RCP (MABXII) テスト

V-ECUに、RTI AUTOSAR Blocksetを使用して、MABXIIインプリメンテーション用のコードを生成する(図17)。MABXII用ライブラリブロックセットを使用して、MABXIIのハードウェアにアクセスするための入出力用ブロックを追加[7]する(図18)。

コンフィグレーションファイルを指定してビルドしてControlDeskに、プラットフォームとしてMABXIIを登録する。計測画面を構築した上テストを実行する。

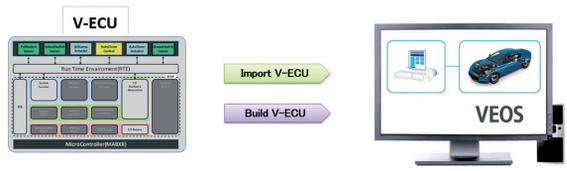


図 15　V-ECU を VEOS 実装でシミュレーション

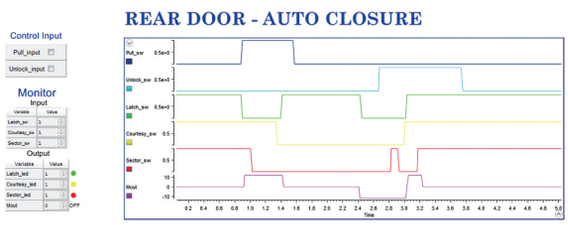


図 16　ControlDesk でのモニタリング

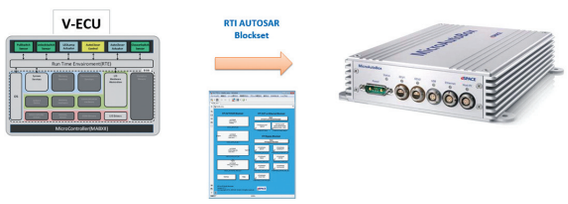


図 17　V-ECU を MABXII へ実装してテスト

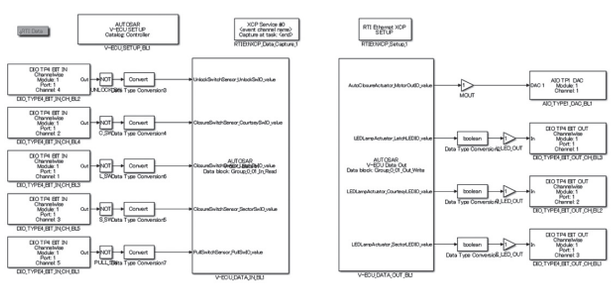


図 18　MABXII 実装用 TargetLink モデル

6.　まとめ

dSPACEツールチェーンにおける仮想検証(VEOS)環境でのシミュレーションには、V-ECUを作成する事で対応できる。このV-ECUは、プロトECU環境でのMABXIIへもほぼそのまま実装できる。

計測モニタリング環境としては、ControlDeskを活用でき、これらのツールは、NON AUTOSARでのMBD開発環境をベースにしており、比較的容易に習得できる。

これにより、ボディ電装系開発におけるAUTOSAR対応の制御アルゴリズムのシミュレーション検証とリアルタイム実装が可能となり、今後の先行開発等に応用できる基礎技術の紐解き、開発環境の整備ができた。

7.　形式検証の必要性

モデルベースを応用したAUTOSARソフトウェア開発においても、ソフトウェアの品質を確保するには複雑なテストパターンの組み合わせになりがちである。

形式手法を応用した制御ロジック検証およびソフトウェア検証は、これらを解決する手段になると期待される（**図19**）。今後の検討課題でもある。

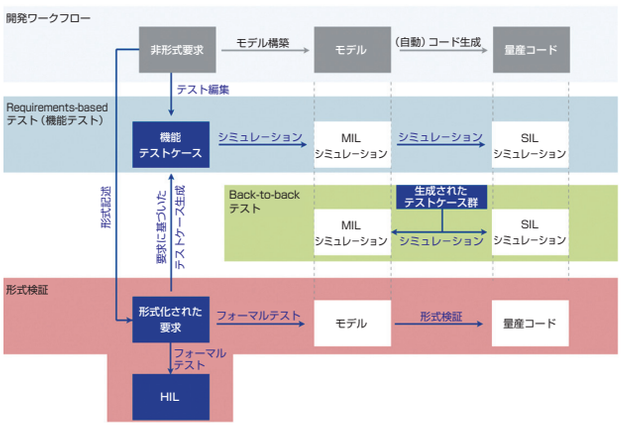


図 19　形式検証技術コンセプト [11]

8.　おわりに

今後の自動運転等に適応する新技術に対応するには、従来型のAUTOSARの様な静的コンフィグレーションでの対応は難しく、動的コンフィギュレーションが必要になる。また、メニーコア対応のアーキテクチャーも考慮すべきである。これらに対応する目的で、現在、AUTOSARコンソーシアムではAUTOSAR Adaptive PlatformがPOSIXベースで計画されており、従来型AUTOSARはClassic Platformとなる[12]。

Adaptive Platformでは、機能拡張の結果、今まで以上に難解で複雑な仕様が予想されるが、自動車メーカの設計技術者が、ソフトウェア構造の内部仕様をこと細かに紐解きをする事なしに、自動車制御系が開発できるツールチェーンの出現を期待したい。

謝辞

本論文の執筆にあたり、図の提供、技術支援、査読等に、ご協力を頂いた、dSPACE Japan（株）、MathWorks GK、BTC JAPAN（株）（順不同）の関係者の皆様に感謝致します。

なお、本稿中での製品名は、各社の登録商標です。

参考文献

(1) 星野欽哉ほか：制御系モデルベース開発のボディ電装系への適応研究，スバル技報，No42（2015），110-115
(2) 日本テクノセンター（株）：AUTOSARによる車載ソフトウェア開発とその事例および導入のポイントセミナーテキスト
(3) dSPACE Japan（株）：dSPACE SystemDeskチュートリアル Release 2016-A
(4) dSPACE Japan（株）：dSPACE TargetLink AUTOSARモデリングガイドRelease 2015-B
(5) dSPACE Japan（株）：AUTOSARトレーニングテキスト
(6) dSPACE Japan（株）：SystemDesk Basicトレーニングテキスト
(7) dSPACE Japaan（株）：TargetLink AUTOSARトレーニングテキスト
(8) MathWorks GK：Embedded Coder によるAUTOSAR量産向けコード生成セミナーテキスト
(9) dSPACE Japan（株），https：//www.dspace.com/ja/jpn/home.cfm（2017-3-30）
(10) MathWorks GK，http：//jp.mathworks.com/（2017-3-30）
(11) BTC JAPAN（株），https：//www.btc-es.jp/ja/（2017-3-30）
(12) AUTOSAR，http：//www.autosar.org/（2017-3-30）

【著　者】

星野　欽哉

ボディ系電子制御システム領域における モデルベースドシステムズエンジニアリング適用 に関する一考察

Study of Model Based Systems Engineering in Automotive Body Electronics

古　賀　祐一郎*1　　兼　吉　知　寛*2
Yuichiro KOGA　　Tomohiro KANEYOSHI

抄　録

自動車の電子化を支える開発技術として、Model Based Designと呼ばれる技術が広く知られている。MBDは、制御器と制御対象からなる制御システムを、モデリング／シミュレーションすることにより、早期の品質向上を目指すものである。

近年では、モデルにより表現する領域を、制御－機械、制御－電気など複数の技術領域に拡張するModel Based Systems Engineeringという技術が注目されている。本技術を用いることで、開発の初期段階での全体構造の最適化、仕様／性能の検証、見通し付けを行うことができ、最終品質の向上、開発効率化に繋がると言われている。

本稿では、このMBSEを、自動車の電子制御システムの開発、特にボディ系電子制御システムの開発に適用するにあたり、プロセスの検討、今後の課題に対する考察を行う。

Abstract

Model Based Design is a method for quality improvement in the automotive electronics. In the MBD process, engineers model controllers and plants of control systems.

In recent years, Model Based Systems Engineering (MBSE) is studied flourishingly. MBSE expands its modeling domain from control system domain to system of systems. The application of MBSE brings improvement in quality and development efficiency.

In this paper, we describe a study of MBSE in the automotive body electronics.

1. まえがき

近年における自動車の電子制御装備は、複数の制御システムの協調(制御システム群)により新たな付加価値を創出し、市場での競争力を確保している。この複雑化する制御システム群の開発においては、制御器及び制御対象という領域に加え、システム間の繋がりや車両レベルで提供するサービス、お客様の求める価値といった、上位の視点(system of systems)が不可欠である。

この上流領域における開発手法として、Model Based Systems Engineering(以下、MBSEと称す)が注目されている。本手法によれば、要求開発の充実、機械／電気／制御／ソフトの領域を跨いだ機能／構造の最適化、及び開発初期段階での性能見通し付けを実現でき、最終的な製品品質向上、製品の開発効率化に繋がると言われている。

本稿では、ボディ系電子制御システムの開発にMBSE を適用する際の考察を行った。ボディ系電子制御システムの特徴から導かれるMBSE適用の方針、開発プロセスに関する検討、MBSE適用の試行結果、今後に対する課題について述べる。

2. 背景

2.1　ボディ系電子制御システムの特徴

今回、MBSEを適用する対象であるボディ系電子制

＊1 電子フラットフォーム設計部
＊2 株式会社オージス総研

御システム領域の特徴を、代表的な車両制御であるパワーユニット制御、シャシー制御との対比により述べる。

2.1.1　制御の特徴

パワーユニット制御や、シャシー制御においては、連続的に変化する制御対象を扱うことが主であることに対し、ボディ系制御においては、ON/OFFの変化といった離散的な状態を対象として扱うことが主である。

2.1.2　制御により最適化する対象

燃費や出力、車両運動といった具体的性能を最適化するパワーユニット制御／シャシー制御に対し、ボディ系制御では、電子機器が最終的にお客様に提供するサービス（利便性）を向上させる。

表１　制御領域の比較

領域	パワーユニット	シャシー	ボディ
制御対象	連続系 物理値		離散系 状態
制御の狙い	性能向上		サービス向上
制御例	エンジン制御 トランス ミッション制御	車両運動制御 ブレーキ制御	ドアロック制御 ライト制御
最適化する項目	出力、燃費	走行安定性	利便性

ボディ系制御は、日常的にお客様が使用する機能が大多数であり、この品質の優劣が、お客様の不満に直結することが考えられる。また、これまで電子化されていない機能・機構が多かったが、電子化が急速に進んでおり、自動車業界外からの技術が転用されることも多い領域でもある。

2.2　ボディ系電子制御システムへのMBSE適用方針

2.1節で述べた特徴より、ボディ系電子制御システムへのMBSE適用にあたり、下記の方針を定義する。

方針① 機能／サービス観点での開発

ボディ系制御が最適化する項目は、最終的なお客様の利便性である。そのため、お客様の求める価値や機能の観点で開発を進め、最終的な設計仕様を明確化する必要がある。

方針② 構造の最適化／柔軟性の担保

これまで電子化されていなかった機能・機構が急速に電子化されており、短期間、かつコストを抑えた開発を達成する必要がある。また、車両全体としては燃費向上等の環境対応も必須であり、軽量化や原価低減の観点から全体構造を最適化しつつ、今後を見据えた柔軟性を備えたシステムを開発する必要がある。

方針③ 振る舞いの妥当性の早期見通し付け

システムが機能する（＝振る舞う）ことで、お客様へ価値を提供する。そのため、システムの振る舞いを早期に確認し、お客様の要望や、提供したい価値を満たすことの早期確認が必須である。これにより、開発の手戻りを防止することが可能となる。

3.　MBSEとは

Model Based Systems Engineering（モデルベースドシステムズエンジニアリング）の略で、システムズエンジニアリングを、モデルを用いて進めるアプローチ及び手段である。

MBSEでは、要求－機能－実体の関係を整理したモデルや機能を表すモデル、論理設計結果を検証するモデル、物理設計結果を表すモデルなど、開発を進める上で検討対象となるあらゆる事項をモデル化して扱う。

文書ではなく視覚的に理解しやすいモデルを用いて開発を進めることにより、関係者間の共通言語となり、複数人での協働開発もスムーズに進めることができる。

3.1　システムモデリング言語SysML

MBSEを実施していくに当たり、モデリング言語としてシステムモデリング言語であるSysML（System Modeling Language）を用いることが一般的である。SysMLは、ソフトウエア業界で広く普及しているモデリング言語であるUML（Unified Modeling Language）を基本として発展したモデリング言語であり、システム記述に特化している。各領域で用いるダイアグラムの種類を、図１に示す。

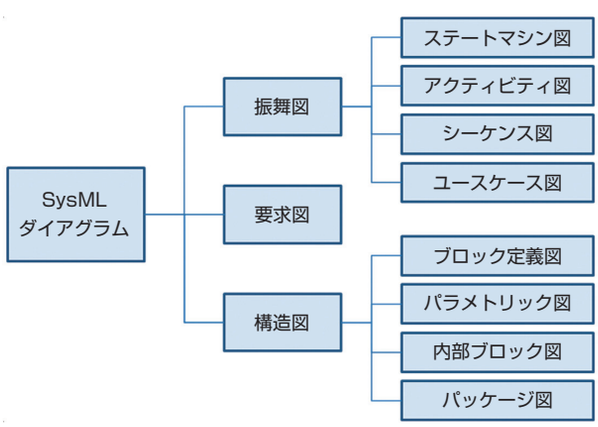


図１　SysMLダイアグラム

4. ボディ系電子制御システム開発へのMBSE適用

3章にて説明を行ったMBSE手法を、ボディ系電子制御システム開発に適用、試行した。

【適用試行に関する前提】
・既存の車両システムへの新システム追加の想定。
・トランクを自動開閉する制御システムを追加する。

4.1 適用方針に対する施策

4.1.1 方針①に対する施策

要求図やユースケース図を用いた要求分析工程にて、システムに求められる目的、要求を導出することにより実現する。

4.1.2 方針②に対する施策

システムの構造を、実現手段によらない論理構造と、実現手段を考慮した物理構造に分けて検討する。論理構造を物理構造に割り当てる過程で、トレードオフを行うことにより、最適化及び、柔軟性を見通す最終的な構造とする。

4.1.3 方針③に対する施策

必要機能を導出した段階で、アクティビティ図、シーケンス図、ステートマシン図により、振る舞いを確認し、要求を満足するかを検証する。

4.2 実施プロセス

JIS X 0170（システム開発の進め方を定めた規格）で定められたプロセスを元に、SysMLのモデルを活用したプロセスを適用する。

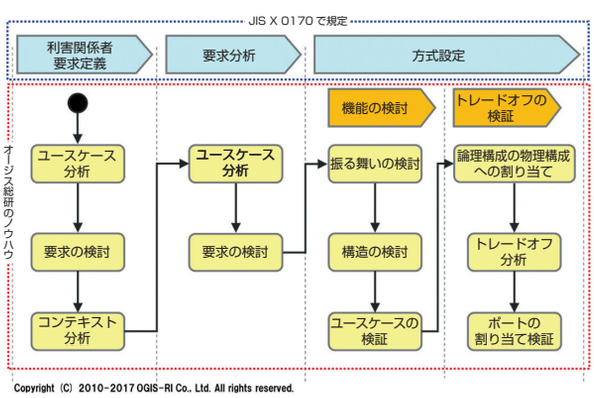


図２ MBSE適用プロセス

4.3 エンジニアリングスコープ

今回のMBSE適用試行においては、V字プロセスの左側、上流工程を対象とした。

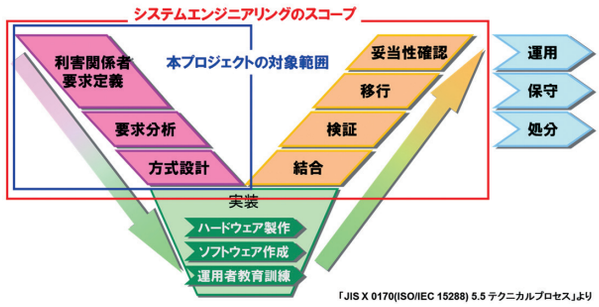


図３ MBSE適用試行のスコープ

5. MBSE工程の具体的解説内容

5.1 利害関係者要求定義

利害関係者要求定義工程では、開発を行うシステムに関係する利害関係者や開発システムの目的を明確にする。利害関係者とは、システムに関係する人や組織のことであり、必ずしも、最終製品を利用するエンドユーザだけではない。開発設計部門でMBSEを実施する場合では、企画、評価、製造や、営業といった他部門も利害関係者として扱い、各部門が有する要求を洗い出す必要がある。

利害関係者要求定義は、以下の作業フローで行う。

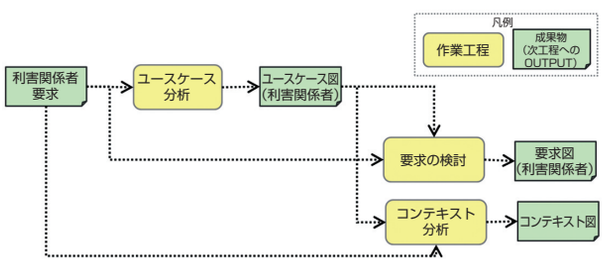


図４ 利害関係者要求定義の作業フロー

5.1.1 ユースケース分析

ユースケース分析では、ユースケース図を用いて、ユーザの要求の他、社内外の各部門が期待していることを把握することで、開発の方向性を確認する。

システムの機能検討ではユーザ向けの機能に目が行きがちである。しかし、実際は開発者向けのテスト機能や、工場生産時の組み付け用機能など、ユーザ向けでない機能も多く存在する。これらの抽出のためには、ユーザ以外の利害関係者を漏れ無く挙げておくことが必要である。そのためには、製品企画から廃棄に至るまでのライフサイクルを想定し、そこに関わる部門を挙げておく等の工夫が必要である。

5.1.2 要求の検討

先のユースケースを元に、利害関係者の要求を実現する手段を検討する。ここでは、可視化の手段として

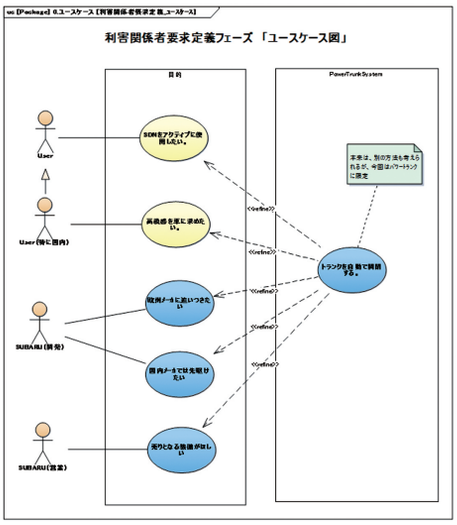


図５　利害関係者のユースケース図

要求図を用いる。

要求図では階層的に要求の整理を行う。最上位の階層には、ユースケース図にあったアクターを「利害関係者要求」として配置する。その下の「利害関係者目的」の階層には、ユースケース図にあるユースケースを要求に置き換え、「利害関係者」と、それらの要求を階層化する

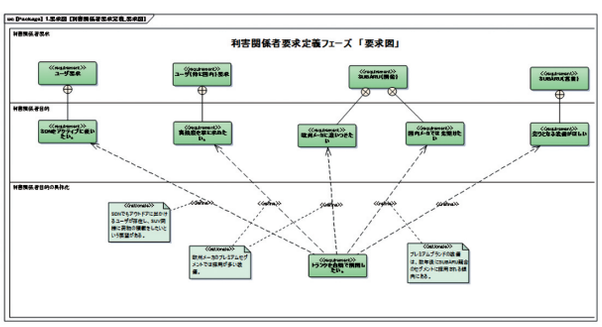


図６　利害関係者要求定義の要求図

5.1.3　コンテキスト分析

本システムとシステム外とのやり取りを示すため、今回試行したプロセス独自のモデルとして、コンテキスト図を作成した。この図を描くことによって、システムの境界を明確にできる。なお、今回の適用試行の対象としたシステムでは、システム外とのやり取りが少なく、簡素なモデルとなった。

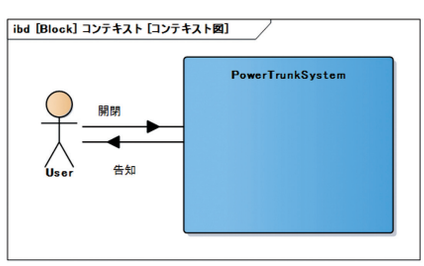


図７　コンテキスト図

5.2　要求分析

要求分析工程では、利害関係者要求定義で抽出した要件／要求を、製品が有すべき機能／仕様として詳細化していく工程である。要求分析は、以下の作業フローで行う。

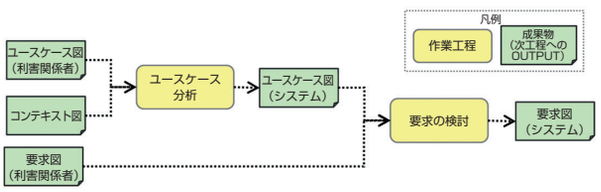


図８　要求分析の作業フロー

5.2.1　ユースケース分析

利害関係者要求定義を踏まえ、システムとして実現すべき機能をユースケース図として記述する。これにより、機能全体の概要が明らかになるとともに、各機能がどのような目的で実装される機能なのかが整理できる。

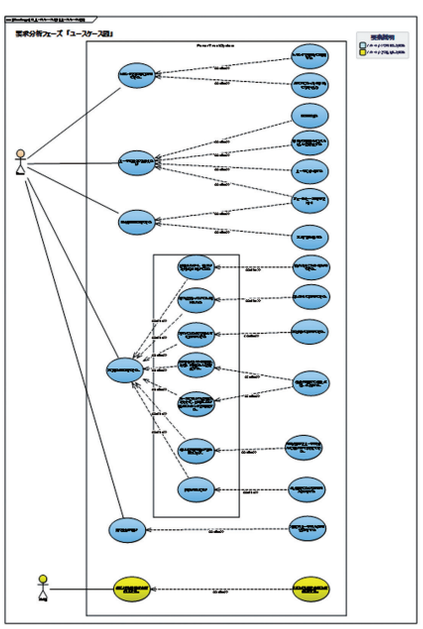


図９　要求分析のユースケース図

5.2.2　要求の検討

この工程では、ユースケース分析で抽出した機能について、要求図を使って具体的な要求仕様としていく。要求図では、上位の要求をツリー状に展開し、階層的に整理することで、必要な仕様を漏れ無く抽出することを目指す。これにより、要求仕様の全体像が可視化され、組織内で仕様についてのレビューや議論を容易にする。

5.3　機能の検討

機能の検討工程では、システムが実現すべき機能の

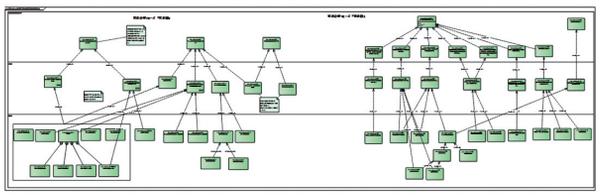


図 10　要求分析の要求図

振る舞いと、それを実現するための構造の定義を行う。機能の検討は、以下の作業フローで行う。

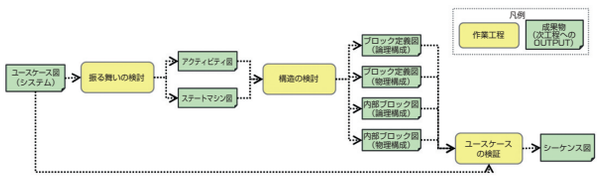


図 11　機能の検討の作業フロー

5.3.1　振る舞いの検討

この工程では、これまで要求として洗いだした機能が、どのような振る舞い（動作）をするのかを明らかにする。本工程では、ステートマシン図とアクティビティ図の2種類のダイアグラムを用いる。

ステートマシン図は機能の振る舞いのみを表現していることに対し、アクティビティ図は機能の実行順序や、やり取りが行われる情報の表現も行っている。後工程の構造の検討工程では、アクティビティ図で表現した機能要素を、構造の要素として扱い、構造化していく。

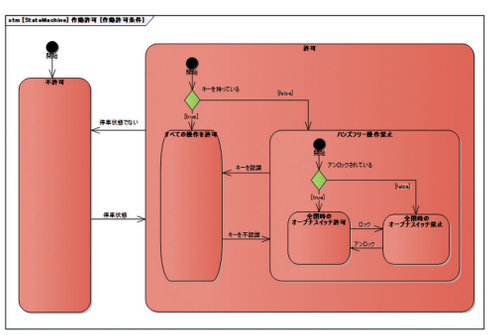


図 12　ステートマシン図の例

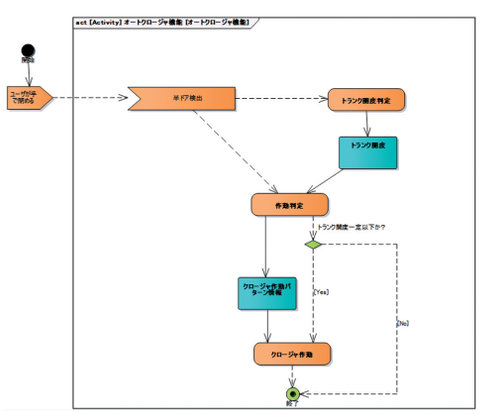


図 13　アクティビティ図の例

5.3.2　構造の検討

構造の検討工程では、システムの構造を検討する。本工程は、下記の3段階で実施する。

・論理構造の検討：機能の繋がりを表現
・物理構造の検討：部品の繋がりを表現
・論理要素の物理要素への割り当て：最終構造決定

これにより、どの部品にどの機能が割り当てられているかが明確化される。そのため、開発費の見積もりや、既存機能との連携といった観点での構造最適化を行うことが可能である。また、新機能追加時にも、現状機能の割り当てが明確であるため、どの部品を主で改良し、どの部品への影響を検討すべきか?という検討が容易となる。

5.3.2.1　論理構造の検討

論理のブロック定義図を作成し、その内部を内部ブロック図にて表現する。ここでは、ブロック定義図のモデリング要素として、前工程でアクティビティ図により抽出した機能要素を、構造の要素として用いる。

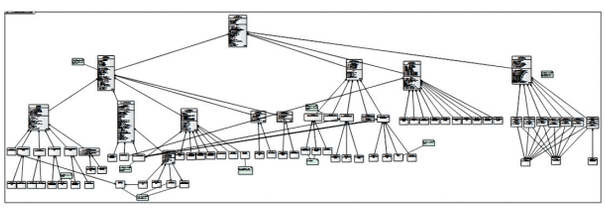


図 14　論理ブロック図

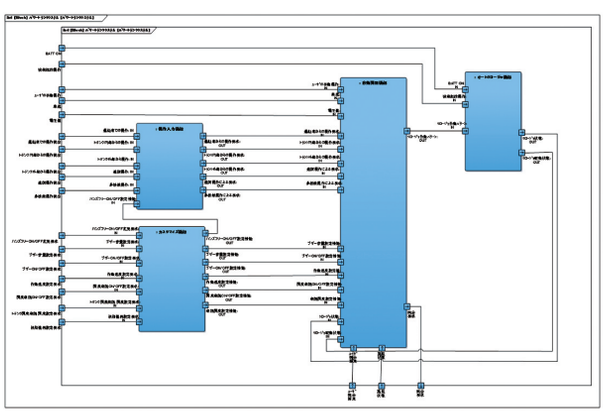


図 15　論理構造の内部ブロック図例

5.3.2.2　ユースケースの検証

抽出した論理ブロックで必要十分なのか、関係に不整合が無いかを検証する。具体的には、ユースケース図から各ユースケースのシナリオを導出、その後、導出したシナリオを（5.3.2.1）で検討した論理構造にて実現できるかを、シーケンス図を用いて確認する。

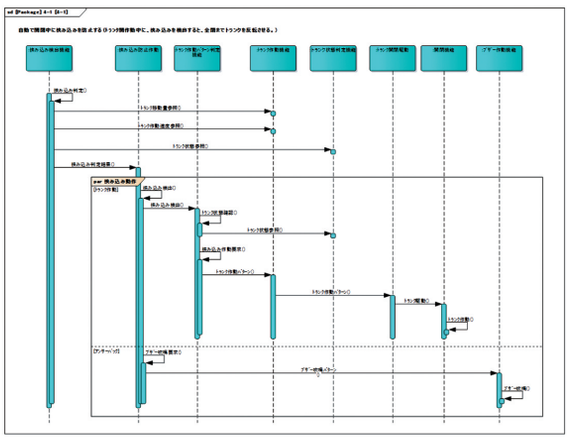


図 16　シーケンス図の一例

5.3.2.3　物理構造の検討

論理構造の検討の後は、物理構造の検討を行う。ブロック定義図では、使用する具体的な部品をツリー状に並べて整理する。論理構造と異なり、物理の構造では該当する部品が1つとは限らない。ここでは候補になりうる部品を全て挙げておき、後のトレードオフ分析でどの部品を選択するのかの検討を行う。

また、物理構造の内部ブロック図は、各部品がどのような物理的接続(例えば、通信やワイヤリングハーネスによる電気的接続など)で関係しているかを表現する。

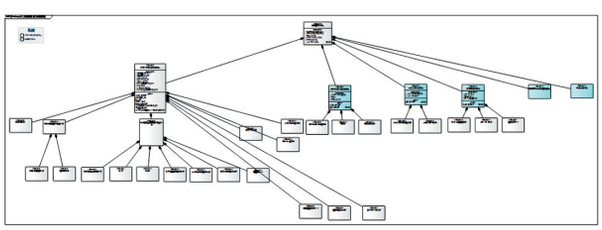


図 17　物理ブロック図

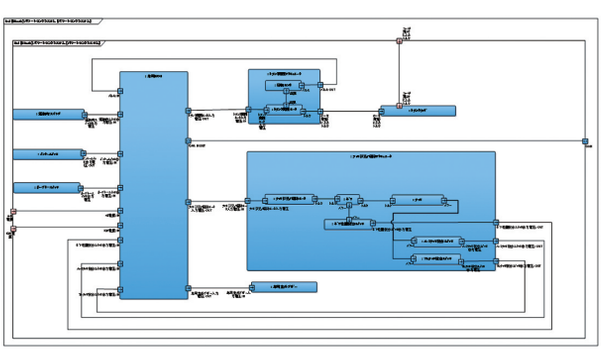


図 18　物理構造の内部ブロック図

5.4　トレードオフの検証

前工程で明らかにした論理構造を物理構造に割り当て、最終的なシステムの構造を決定する。構造決定にあたっては、複数の機能割り当てを用意し、トレードオフの検証を行うことで、最適解を導く。本工程は、以下の作業フローで行う。

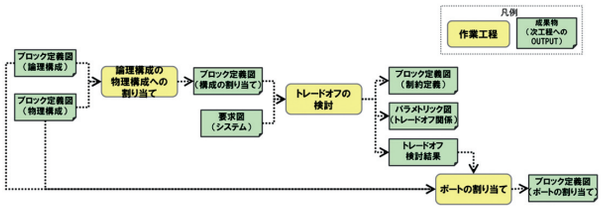


図 19　トレードオフ検証の作業フロー

5.4.1　論理構成の物理構成への割り当て

構造の検討で作成した論理ブロック図の各要素を、物理ブロック図の各要素に割り当てることで、実現すべき機能とそれを実現する部品の関係を明らかにする。

図20及び、図21に割り当ての事例を記載する。各図において、左側に並べている要素が新システムで必要となる詳細機能、右側に並べている要素が開発候補の具体的部品である。図20では、既存部品での新機能実現を想定し、図21では、新開発部品での新機能実現を想定した割り当てとしている。

また、この工程で、機能と部品の対比をモデリングすることにより、必要機能の織込み漏れの防止や、織込み機能の採否を判断することも可能となる。

構造最適化を行うため、割り当て案は、複数の観点で作成する。

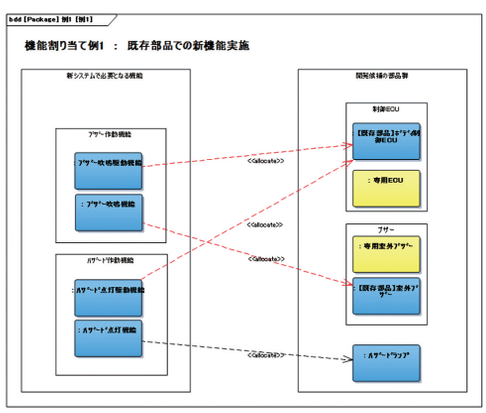


図 20　機能割り当て例 1（既存部品割り当て）

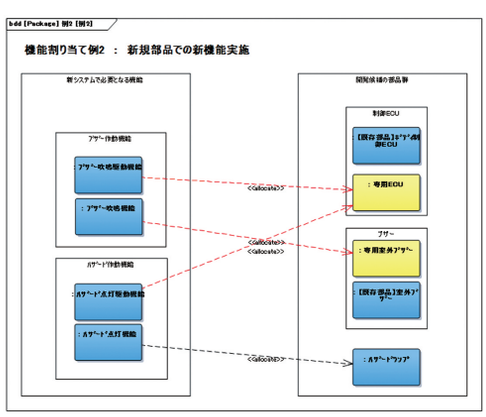


図 21　機能割り当て例 2（新規部品割り当て）

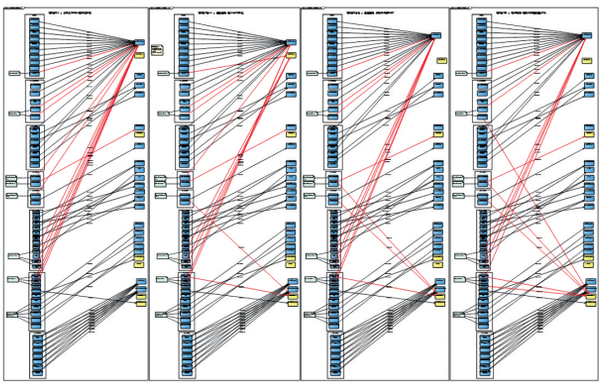


図 22　割り当案のモデル一覧

5.4.2　トレードオフ分析

トレードオフの分析工程では、前工程にて導出した割り当て案に対し、トレードオフの分析を行い最適な構造を選択し、最終的なシステム構造を決定する。

2.1節で述べた通り、パワーユニット制御、シャシー制御においては、検討した構造をMBDの世界に移行させシミュレーションを行うことで、性能を最適化する構造を検証することができる。

一方、ボディ系制御の場合は、数値化困難な利便性という性能を最適化する必要があるが、それは主として要求分析工程や機能検討工程において達成される。構造が利便性に与える影響は小さく、最終構造の決定工程においては、利便性の観点で最適解を選択できるとは限らない。そのため、本試行では、以下のような観点でのトレードオフ分析を実施し、最終構造を決定した。

観点① ワイヤリングハーネスの最小化

物理構造に、論理構造を割り当てた段階で、ワイヤリングハーネスがどのような部品を接続するかが明確となる。制御ユニットや、構造部品のレイアウトはある程度、過去知見から一意に決定出来るため、検討したシステム構造でワイヤリングハーネスが最短経路、最小質量となるような構造を選択する。

観点② 制御ユニット統廃合による質量／コスト比較

物理構造には当然制御ユニットも含まれる。そのため、特定のユニットに機能を集中させた場合、ユニット数が低減できるが、ユニットサイズの大型化を招く可能性がある。割り当て案の中で、ユニット質量、コストが最適な構造を選択する。

観点③ 制御ユニット開発負荷／機能拡張性

新機能割り当てにおいては、既存の制御ユニットに新機能を織込む案、新機能のみを専門的に実施する専用の制御ユニットを開発する案等が存在する。それぞれを行った場合の開発負荷や、今後の装備展開を考慮し、最適構造を選択する。

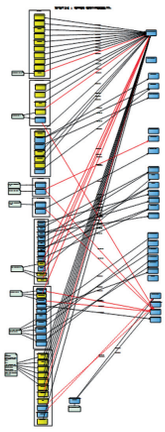


図 23　最終的に選択した機能割り当て
（図 22 の右端の構造）

6.　考察

MBSE適用試行により、ボディ系電子制御システム開発に求められる、①機能／サービス観点での開発、②構造の最適化、③振る舞いの妥当性早期見通し付けを、それぞれMBSEの要求分析工程、構造のモデリング、振る舞いのモデリングにより達成できることを確認した。

一方、実運用に向けては次の課題がある。要求分析の工程における要件管理は、実開発を考慮した場合、ダイアグラムでの表現及び管理には限界があり、これまでの業務の主流であるドキュメントベースでの要件定義、管理との連携の検討が必要である。振る舞いの検証や、トレードオフ解析などでは、より効率的に判断を行えるようMBDとの連携によるシミュレーション技術の開発が求められる。

7.　まとめ

システムモデルにより、技術者は、システム全体を見渡すことができ、担当するサブシステムやコンポーネントが他のサブシステムやコンポーネントとどのような関係をもつのかが明確に把握できる。さらに、システムレベルでの議論を経てどのようなシミュレーションを実施する必要があるのかを明確にすることができる。

MBSEの適用により、システム開発の初期段階で、コンポーネントやサブシステムの統合に関連する有用な気づきが与えられることで、手戻りを減少させる効果は大きい。

謝辞

最後に、MBSEの試行にあたり、多大なご助言、ご協力を頂きました、株式会社オージス総研の関係者の皆様に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

(1) 西村 秀和：モデルに基づくシステムズエンジニアリング, 日経BP（2015）
(2) 鈴木 茂：実践SysMLその場で使えるシステムモデリング, 秀和システム(2013)
(3) SysMLによるシステムモデリング入門,（株）オージス総研
(4) SysMLによるシステムモデリング実践,（株）オージス総研
(5) ゼロからはじめるEnterprise Architect, SPARX SYSTEMS
(6) http：//www.ogis-ri.co.jp/（2017.03.31）
(7) http：//www.sparxsystems.jp/（2017.03.31）
(8) http：//www.omgsysml.org/（2017.03.31）

【著　者】

古賀 祐一郎

兼吉　知寛

スバル レヴォーグが欧州の2016年安全性能総合評価で最高評価「ファイブスター」を獲得

2016年8月

スバル レヴォーグ（欧州仕様車）が、欧州の新車評価基準である「ユーロNCAP」における、2016年安全性能総合評価で最高評価の「ファイブスター」を獲得。
ユーロNCAPでの最高評価の獲得は2009年のレガシイ、2011年のSUBARU XV、2012年のフォレスター、2014年のアウトバックに続き、5回目になる。

SUBARU GLOBAL PLATFORMの開発における衝突性能のロバスト設計事例紹介

Example of Robustness Design for Crash Performance in the Development of SUBARU GLOBAL PLATFORM

桑原光政* 藤原誠二*
Mitsumasa KUWABARA Seiji FUJIWARA

抄録

近年、安全性能向上のため、衝突性能開発は数多くの試験形態への対応を求められており、軽量化との両立が大きな課題である。また、合理的に開発を進めるためには、他性能との背反を事前に検討し、手戻りなく開発を進めることが必要となる。そのためには、狙いの変形状況(＝変形モード)、エネルギ吸収を開発初期段階に定めるだけでなく、設計変更や、入力条件が変化しても、狙いの特性を実現できる構造の設計(＝ロバスト設計)が重要となる。

統計学を活用してばらつきの要因を捉える手法や、トポロジー最適化を活用した軽量な対策構造導出などの技術構築を行い、前面衝突へ適用した。

本稿では、CAEを活用したロバスト設計技術の構築と、SUBARU GLOBAL PLATFORMの衝突性能開発での活用事例を紹介する。

Abstract

Recently, crash performance development is required to meet many test conditions. Hence, balancing performance and weight reduction is a critical issue. Moreover, we consider trade-off between crash and other performance in advance to avoid reworking in product development. Because of this, it is very important to decide target deformation mode and energy absorption, and to develop robustness design even if scatter occurs.

Regarding frontal crash, we developed technologies that analyze the cause of scatter and create a method for light weight structure by topology optimization.

This paper introduces the development of robustness design technology for crash performance and examples of its applications to the development of SUBARU GLOBAL PLATFORM.

1. まえがき

SUBARUは、お客様へ「安心と愉しさ」をお届けするため、総合安全性の継続的な向上に努めてきた。衝突安全に対しても、市場事故を見据えた乗員安全性を確保するため、その一環として多様な情報公開試験への対応を迅速に行っている。

前面衝突性能では、多くの衝突試験条件があり、フルラップ衝突では、乗員に影響のない領域でキャビンを変形させ、急激な減速Gの発生を防ぐことで乗員への傷害を低減させている。一方、オフセット衝突やスモールオーバーラップ衝突[5][6]では、キャビン変形を抑制し、乗員空間を確保している。

このような背反の中で手戻りなく開発するためには、骨格強度の設計段階で、衝突時の変形領域に対し、設計思想となるエネルギ吸収特性と変形モードの目標を定めることが必要となる。

しかしながら、わずかな変化(入力の変化、製造のばらつき、多少の構造変更)で特性が敏感に変化する設計では開発の手戻りに繋がる。そのため、ロバスト設計の重要性が増しており、欧州を中心に研究が進んでいる[1][2]。ロバスト設計による効果は以下である。

・複数条件での背反克服
・開発手戻りの低減
・性能の早期達成

SUBARU GLOBAL PLATFORMの開発では、全車系で統一した設計思想を適用していくために、ロバスト設計の重要性が高まった。本稿では、CAEを活用したロバスト設計技術を構築し、衝突性能開発時の構造検討に適用した事例を紹介する。

＊ CAE部

2.　衝突ロバスト設計技術

2.1　衝突性能のロバスト設計と課題

車体の衝突性能に対するロバスト設計とは、「変化（入力の変化、製造のばらつき、多少の構造変更）が生じても、狙いの変形モード、エネルギ吸収を安定して実現する構造設計」と定義した。

衝突現象はエネルギ収支の問題であり、車体の初期設計段階で、車両運動エネルギをどのように吸収するかを計画する事が重要となる。

フルラップ前面衝突における車体構造に対する衝突エネルギ吸収の割り付けイメージを図１に示す。

図１の赤、青、緑の３本のバネは、主要な車体骨格の強度を表す。各バネに対し、衝突時に許容できるストローク（S）と、発生させる荷重（F）を積み上げ、狙いの性能を図２（a）に示すF-S特性（＝エネルギ吸収特性）として構築する。その際、図２（b）に示すように耐力のばらつき幅を考慮した場合、前後の耐力が逆転するような状態では、狙いの変形モードにならず、性能が確保できなくなる。そのため、ロバスト設計によりばらつきの幅を小さくすることが重要となる。

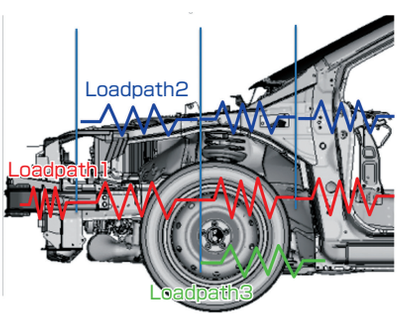


図１　前面衝突における荷重伝達経路

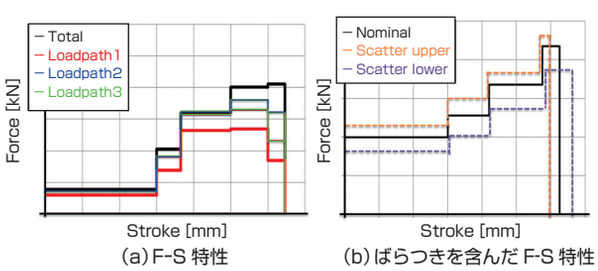


図２　エネルギ吸収特性

しかし、衝突性能のロバスト設計においては、以下の３つが課題となる。

① ロバスト性の定量評価指標
② ばらつき発生のメカニズム分析
③ 軽量化との背反

2.2　ロバスト性の評価と分析手法

CAEを活用したロバスト性に対する評価、分析手法を以下に示す。

① ロバスト性の定量評価
　実験計画法を活用し、想定されるばらつき因子に対する応答の最小値、最大値、及び3σ値を数値化し、定量評価する。
② ばらつき発生のメカニズム分析
　実験計画法の結果を基に、主成分分析、相関分析などの統計的手法を活用し、寄与の大きいばらつき因子と変形モードを抽出する。
③ 軽量化との背反
　トポロジー最適化[7]を活用し、効果的な骨格レイアウトを導出する。

これらの手法を、車体骨格に対する影響が大きく、ロバスト性に対する課題も多いフルラップ前面衝突とスモールオーバーラップ前面衝突をターゲットに、SUBARU GLOBAL PLATFORMの開発で活用した。

本研究における、衝突性能のロバスト設計の検討フローを図３に示す。

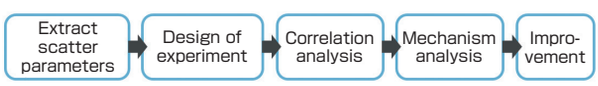


図３　ロバスト設計の検討フローチャート

2.2.1　ばらつき因子の抽出

ロバスト設計を行う上では、評価する性能に対し、影響があると想定されるばらつき因子を抽出する必要がある。本研究では、これまでの試験結果を踏まえ、ばらつき因子を４つに分類し、具体的な因子の抽出を行った。抽出した因子の一覧を図４に示す。

Type	Scatter parameters	Crash mode	
		Full Lap	Small Over Lap
Scatter of test conditions	Barrier position	None	○
	Contact friction (barrier to vehicle)	○	○
	・・・	・・・	・・・
Scatter of manufacturing	Thickness	○	○
	Material strength	○	○
	Spot-welds position	○	○
	・・・	・・・	・・・
Scatter of deformation and fracture in the crash test	Fracture at Suspension Lower Arm	None	○
	Fracture at Housing	None	○
	・・・	・・・	・・・
Parameter of vehicle specification	Weight balance	○	○
	Wheel Strength (Aluminum , Steel…)	None	○
	・・・	・・・	・・・

図４　ばらつき因子

抽出した因子の中で、フルラップ性能評価時には、影響が小さいことが分かっている物は除外した。各因子の上下限値については、情報公開試験のプロトコルや、社内規定における材料強度規定を基に設定した。

2.2.2　実験計画法

衝突解析は陽解法ソルバを用いるため、静解析に比べ計算コストを要する。前述のばらつき因子に対し、全ての組合せを全水準で評価することは現実的でないため、実験計画法を適用した。実験計画法の手法は数多く存在するが、本研究ではラテン超方格法を採用した。他の実験計画法における総実験数は、水準数と因子の数によって決定されるが、本手法では、実験総数を指定することが可能である。そのため、衝突解析におけるロバスト性評価では、頻繁に用いられている[3]。

2.2.3　相関分析

実験計画法から得られた結果のばらつきや、ばらつき因子に対する相関を統計的に分析した例を図5に示す。これらの情報を活用し、ばらつき発生のメカニズム分析を実施した。

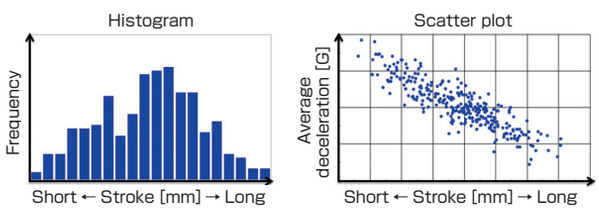
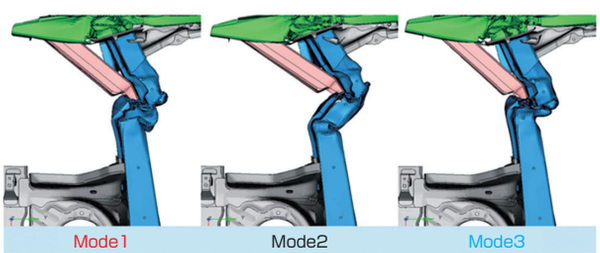


図5　実験計画法の統計分析

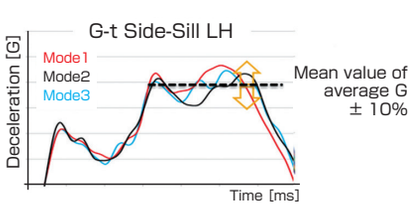
3.　フルラップ前面衝突

3.1　実験計画法に基づくばらつき分析結果

300ケースの実験計画法を実施し、フロントフレームの変形モードの差が大きい3ケースを図6(a)に示す。フロントフレームのばらつきに伴い、後半領域の車体平均Gについても、図6(b)に示すように中央値±10%のばらつきがあることが分かった。



(a) 左フロントフレーム変形モード(上面視)



(b) G－t波形のばらつき

図6　変形モードと車体Gのばらつき

3.2　相関分析

フロントフレームの変形ばらつきが大きい個所における座屈タイミングを取得し、これを変形モードのばらつきの指標とした。この指標を用いて、ばらつき因子に対する相関分析を行ったが、図7に示すように明確な相関関係は確認できかなった。

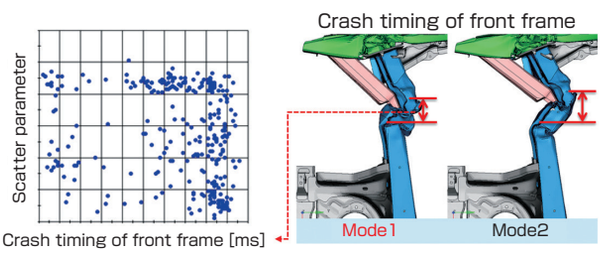


図7　変形モードとばらつき因子の相関

フルラップ衝突では、現象の初期から終盤にかけて、時々刻々と変形モード、変形タイミングにばらつきが生じ、様々な最終変形に分岐していく。そのため、最終変形のばらつきの大きさだけを指標に相関分析を行っても、ばらつきの要因を特定することは難しい。

よって、図8に示すように、ばらつきが生じるきっかけとなる部位を時系列で捉え、変形モードの分岐を抑制し、狙いの最終変形に収束させることが重要となる。

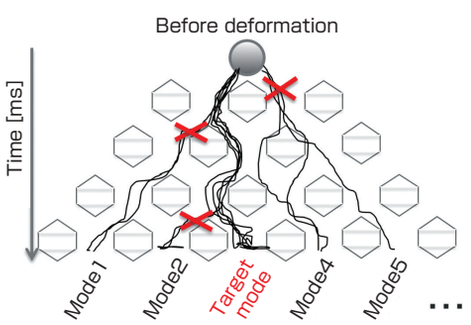


図8　フルラップ衝突のばらつき発生イメージ

3.3　メカニズム分析

実験計画法の結果を活用した統計分析には、市販ソフトDIFFCRASHを用いた[4]。DIFFCRASHは、複数の衝突解析アニメーションを基に、ばらつきの量や発生タイミング、その支配因子を分析できる。

メカニズムを明確にするには、ばらつきのきっかけを捉える必要があるため、図9に示すように前半領域Gから後半領域Gの順に分析を進めた。

3.3.1　前半領域Gに対する分析

各時刻における変形ばらつきの大きさをコンター図で表示し、“いつ、どの部位で、ばらつきが生じるか”

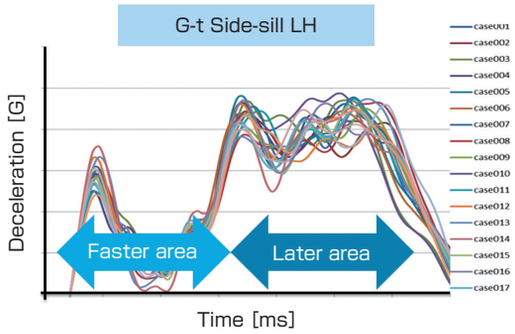


図９　フルラップ衝突の車体 G

を分析した。 その結果、図10赤枠内の部材＝クラッシュボックスからばらつきが生じている事が分かった。クラッシュボックスは衝突の初期段階(5 ～ 10 ms) に圧潰する部材であり、これをきっかけに、フロントフレームの変形ばらつきが生じたと推測できる。

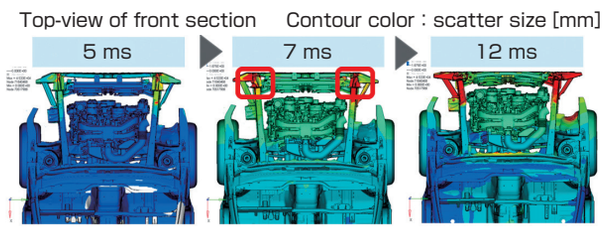
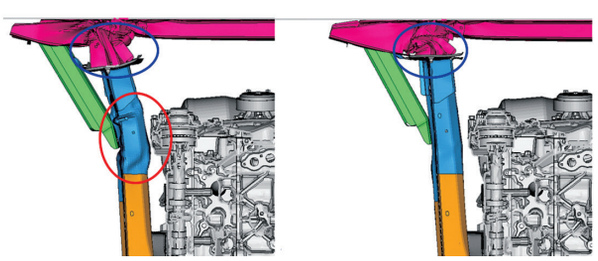


図 10　DIFFCRASH 結果

次に、主成分分析 PCA (Principal Component Analysis) を適用した。第一主成分の最大、最小となる変形モード(P1、P2と呼ぶ) を分析することで、最もばらつきの大きい変形モードが分岐するきっかけを特定する。

クラッシュボックスの変形完了タイミング10 msにおける、フロントフレームのばらつきに対してPCAを行った結果を図11に示す。



(a) P1 mode　(b) P2 mode

図 11　主成分分析結果

P1モードでは、クラッシュボックス(青枠部) の圧潰が終了する前に、フロントフレーム(赤枠部) の座屈が生じている。 一方、P2モードでは、フロントフレームの座屈は生じていないことが分かった。

そこで、クラッシュボックスに対するフロントフレームの座屈荷重の比率を評価した。図12に示すように赤枠部のケースでは、クラッシュボックスの座屈耐力が、フロントフレームを上回っていることが確認された。

車体Gのばらつきを改善するため、クラッシュボックスの座屈耐力を下げ、耐力の比率を改善させた解析を実施した。その結果、図13に示すように、検証ケースはベースモデルに対し、P1、P2モードの差が非常に小さくなっており、それに伴い前半領域Gのばらつき幅も改善されていることが確認できた。

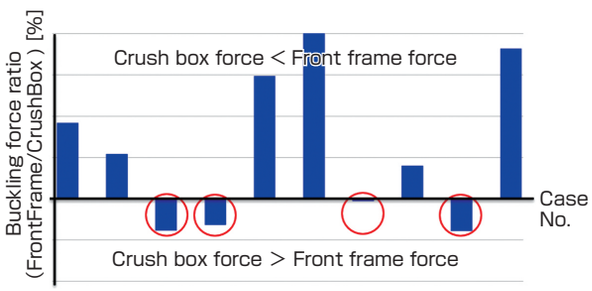


図 12　クラッシュボックスに対するフロントフレームの座屈荷重比率

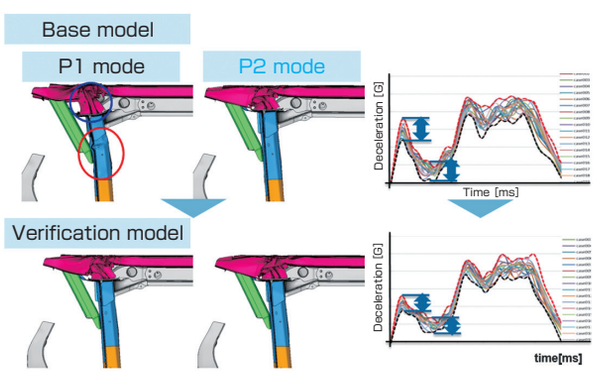


図 13　CAE 検証結果

3.3.2　後半領域Gに対する分析

後半領域Gは、フロントフレーム以外の部位でもエネルギ吸収が生じ、車体Gに影響を与える。そこで、DIFFCRASHのDifferential PCA機能を用い、後半領域Gのばらつきに対する各部品の寄与度を算出した。その結果、図14に示すように最も寄与度が高い部品は、フロントフレーム後部(Front Frame B) であることが分かる。

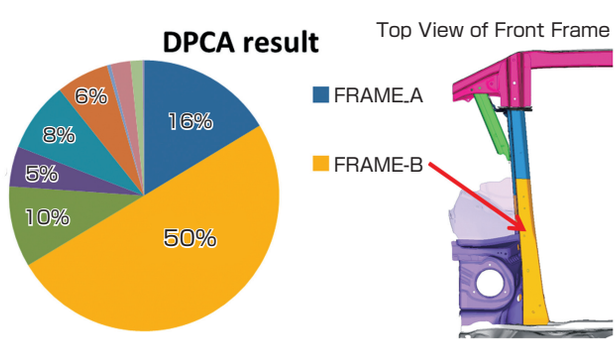
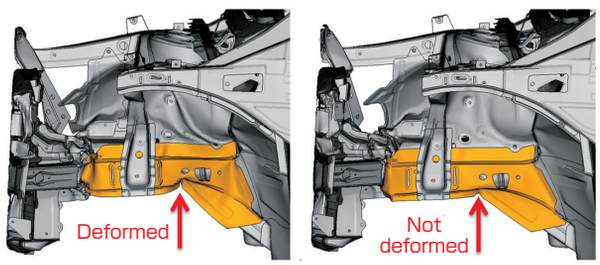


図 14　後半 G 領域における支配因子

そこで、フロントフレーム後部に対してPCAを適用し、変形モードのばらつきのきっかけを分析した。図15(a)及び(b)から、フロントフレーム後部の下面フランジ(赤矢印部)において、大きく変形が異なることが分かる。詳細を分析したところ、サスクロスメンバー取り付け部前側のばらつきをきっかけに、赤矢印部の変形ばらつきが生じていることが分かった。



(a) P1 モード　　(b) P2 モード

図 15　フロントフレーム B の変形モード(側面視)

3.4　対策立案と効果確認

メカニズム分析を基に、図16に示すばらつき低減の対策を立案した。

対策①：前半領域Gのばらつき改善

クラッシュボックスとフロントフレームの座屈抗力のバランス改善

対策②：後半領域Gのばらつき改善

フロントフレームのサスクロスメンバー取り付け部前方へ、座屈安定化を図る部材を追加

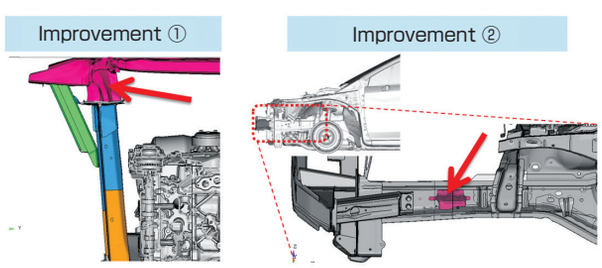


図 16　ばらつき低減対策

前述の①②を織込んだモデルを作成した。実験計画法を実施し、PCA でP1、P2モードを確認すると、図17に示すように変形モードの差が改善していることが確認できた。

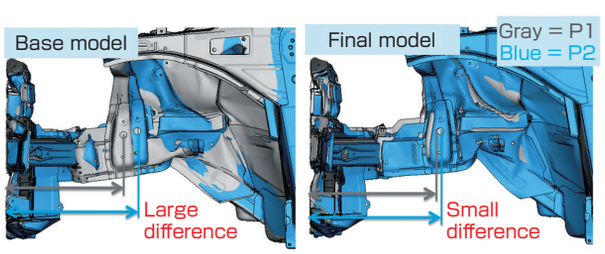


図 17　対策前後での変形モードばらつき確認結果

車体Gのばらつきを確認した結果を図18に示す。変形モードのばらつき改善に伴い、車体Gのばらつきも改善され、後半領域の車体Gのばらつき幅を約4割改善できた。

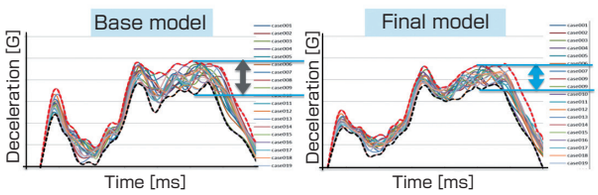


図 18　対策前後での減速度ばらつき確認結果

4.　スモールオーバーラップ前面衝突

スモールオーバーラップ衝突の特徴は図19に示すように車両と剛体壁のラップ量が少ないことで、衝突時にフロントフレームで効果的にエネルギ吸収が出来ず、タイヤを介してフロントピラー下部周辺へ大部分のエネルギが入力されることにある。そのため、フルラップ衝突で抽出したばらつき因子に、タイヤ挙動に影響のある因子を追加し、300ケースの実験計画法を実施した。

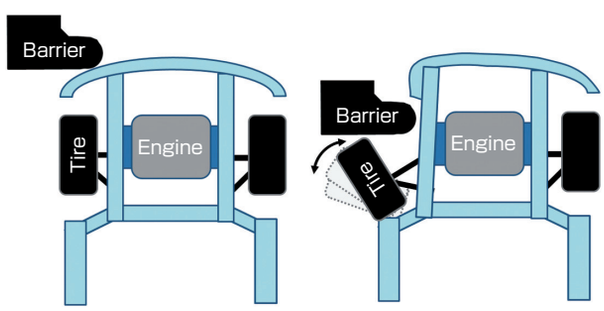
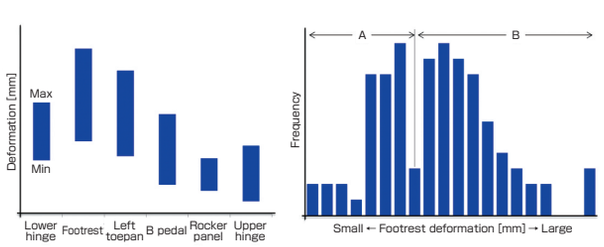


図 19　スモールオーバーラップ試験におけるタイヤ挙動

4.1　実験計画法に基づくばらつき分析結果

図20(a)に示す実験計画法の結果より、最もばらつきが大きく、変形量が多い部位としてフットレストを選定した。フットレストでは2倍以上のばらつき幅が発生し、図20(b)に示す変形量のヒストグラムでは、ある変形量を境にし、変形量が少ない領域(区間A)と多い領域(区間B)に分かれることが判明した。



(a) Result deformations of DOE　(b) Footrest deformation histogram

図 20　変形量のバラツキ

4.2　相関分析

各ばらつき因子単体では車体変形との相関関係を確認できなかったため、応答曲面を作成し、複合した因子の相関関係を分析した。バリア位置とフロントロアアームの破断タイミングを複合した場合、高い相関がある事が判明した。バリア位置とフロントロアアームの破断タイミングに対するフットレスト変形量の応答曲面を図21に示す。フロントロアアームの破断タイミングが遅く、かつバリア位置が車体外側にずれた場合(=バリアと車体とのラップ量が少ない場合)に、フットレスト変形量は多くなることが確認できる。

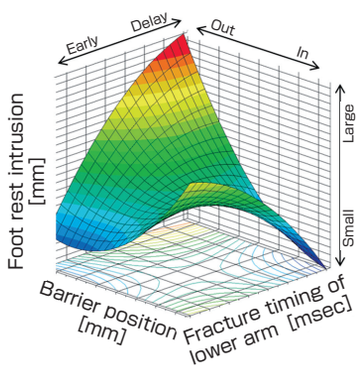


図21　応答曲面

4.3　メカニズム分析

変形量のばらつき発生状況と、相関分析結果を基に、フットレスト変形量が変化するメカニズムを分析した。

区間Aでは、フロントロアアームの破断タイミングが早く、図22(a)に示すようにタイヤがタイロッドを中心に回転する挙動となった。その結果、図23(a)で示すようにタイヤが車体内側に引き込まれず、ホイール内側のリムがフットレストより車体外側に衝突し、サイドシルを押し込む現象となる。

区間Bでは、フロントロアアームの破断タイミングが遅く、図22(b)に示すようにタイヤがフロントロアアームにより車体内側に引き込まれる変形状況となる。その結果、図23(b)に示すようにホイール内側のリムがフットレスト近傍を直接押し込む現象となり、区間Aと変形量に差が生じていることが分かった。

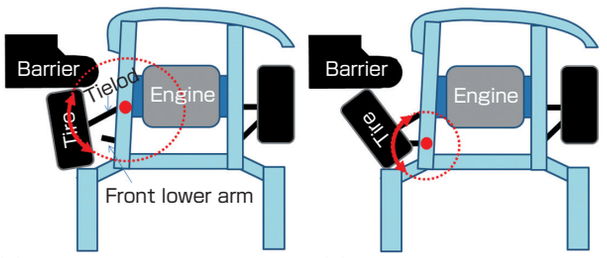
そこで、タイヤと車体の接触位置に対するフットレスト変形量の相関を確認した結果が図24であり、相関係数0.73の強い相関がある事が確認できた。

4.4　対策立案と効果確認

メカニズム分析結果から、フロントロアアームの破断タイミングを早くすることで、変形のばらつきを低減できることが判明した。しかし、早期に破断させるには、剛性及び強度が低下するため、操縦安定性や耐久信頼性などに大きな影響を与える。

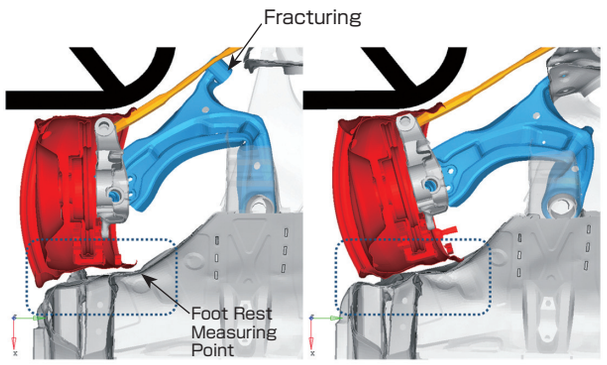
そこで、車体の強度を上げることで、サスペンションの様々な破断状況に対してロバスト性を向上させる方針とした。トポロジー最適化を用いて、タイヤ入力に対して最適な骨格レイアウトを検討することで、ロバスト性向上と軽量化の両立を狙った。トポロジー最適化での入力条件を図25に示す。フルラップ衝突、オフセット衝突、スモールオーバーラップ衝突時に発生する荷重を衝突解析から算出し、入力を与えた。

トポロジー最適化の結果、図26で示すようにフロントフロアとトーボードとの締結部分付近に、車両の幅方向全域に渡る荷重伝達経路が確認できた。そこで、図27で示すフロントフロアの車両幅方向に荷重を伝達するクロスメンバー構造を、ロバスト性向上部材として配置した。



(a) Front lower arm fracturing at early timing　(b) Front lower arm fracturing at delayed timing

図22　ばらつき因子が及ぼす影響分析



(a) Front lower arm fracturing at early timing　(b) Front lower arm fracturing at delayed timing

図23　CAE検証結果

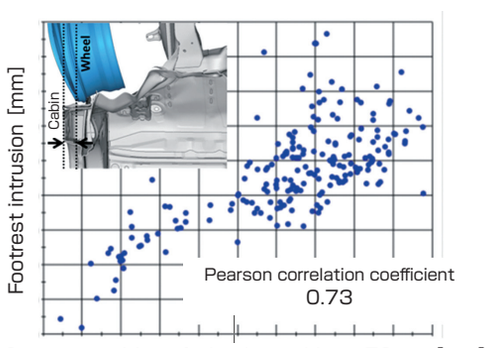


図24　フットレスト侵入量とホイール位置との相関関係

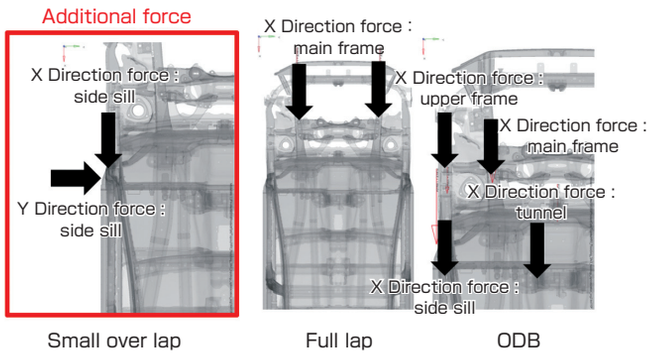


図 25　トポロジー最適化への入力条件

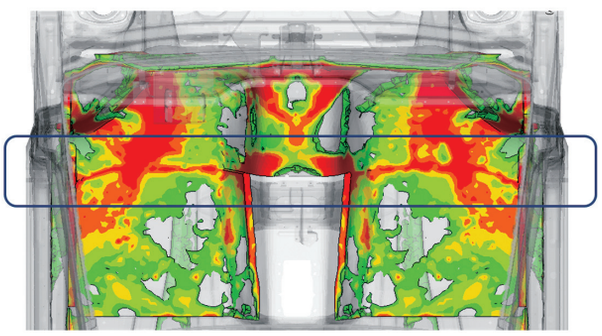


図 26　トポロジー最適化結果（要素密度コンター）

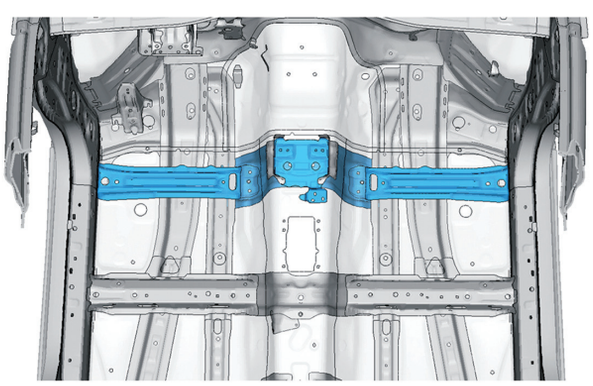


図 27　新型インプレッサ構造

実験計画法を再度実施し、車体変形量のばらつき改善を確認した。各評価点における変形量の最大値と最小値を図28に示す。ほぼ全ての評価点でばらつきの幅が減少し、ロバスト性の向上が確認できた。最もばらつきの大きかったフットレスト部の侵入量は、ばらつき幅が3割減少した。ばらつきが増えたロアヒンジ部の侵入量についても、最大変形量は改善しており、本対策の有効性が確認できた。また、本手法適用前と比較すると、5%の質量低減効果を得た。

5.　まとめ

本研究では、SUBARU GLOBAL PLATFORM及び新型インプレッサの開発で要求された高い衝突性能と軽量化を両立するために、前面衝突性能開発にロバスト設計を適用した。

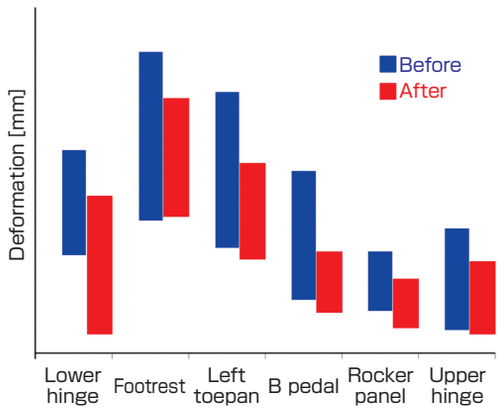


図 28　ロバスト性評価結果

実験計画法を用いて、ばらつき因子に対する応答の評価手法を構築し、車体構造のロバスト設計に対し、定量評価を可能とした。ばらつき要因のメカニズム分析では、主成分分析などの統計的手法の適用が有効であることが分かった。

軽量化との両立検討では、車体変形量にばらつきが大きい部位を抽出し、トポロジー最適化を活用することで、軽量かつロバスト性の高い構造を導出できた。

今後も「安心と愉しさ」に繋がる、世界最高水準の安全性能をお客様へ提供し続けるため、ロバスト設計の適用を拡大し、さらなる安全性の向上を実現していく。

参考文献

(1) Dominik Borsotto：Improving Robustness of Chevrolet Silverado with Exemplary Design Adaptations Based on Identified Scatter Sources, SIDACT.GmbH,（2015）
(2) Clemens-August Thole：Reasons for Scatter in Crash Simulation Results, Fraunhofer Institute for Algorithms and Scientific Computing,（2009）
(3) Will Johannes：Robustness Evaluation of Crashworthiness using LS-DYNA and OptiSLang, Dynardo.GmbH,（2007）
(4) 鈴木友和，宮田悟志，荒木敏弘，小田穂高，小出貢，先田款，篠原啓，立神清浩，田中友樹，玉置健二，寺本真人，花田裕，林賢司：多変量解析を活用した衝突特性のロバスト性検討，自動車技術学会シンポジウムテキスト No.16-11,（2012）
(5) Bengt Larsson：Small Overlap Frontal Impact – Experience and Proposal for A Future Approach, Daimler AG,（2014）

(6) Becky C Mueller：REPEATABILITY OF IIHS SMALL OVERLAP FRONTAL CRASH TESTS, Insurance Institute for Highway Safety,（2013）
(7) 宮田豊，永野弘樹，桒原光政，高木祐亮，水野博史，今村孝一，吉川満晴，深町和弘：BRZのボディ開発におけるCAE事例，スバル技報2012 No.39

【著　者】

桒原　光政

藤原　誠二

スバル「アイサイト」を搭載する 新型インプレッサ、レガシィ、フォレスター、レヴォーグ/WRX S4が 2016年度予防安全性能アセスメントで最高ランクを獲得

2016年11月

スバル独自の運転支援システム「アイサイト」を搭載するインプレッサ、レガシィ、フォレスター、レヴォーグ/WRX S4が国土交通省と独立行政法人自動車事故対策機構（NASVA）が実施する、2016年度予防安全性能アセスメントにおいて、最高ランクであるJNCAP「予防安全性能評価ASV++」を獲得。

プレイグニッション発生時の点火プラグ温度分布計測

Measurement of Spark Plug Temperature Distribution at Pre-Ignition

武藤　涼*
Ryo MUTO
木本健太*
Kenta KIMOTO
加藤真亮*
Masaaki KATO
中山智裕*
Tomohiro NAKAYAMA
金子　誠*
Makoto KANEKO

抄　録

ガソリンエンジンのさらなるダウンサイジング化、熱効率向上には、高圧縮比化と高過給化が有効である。しかしその跳ね返りとして、ノッキングやプレイグニッションといった異常燃焼が発生し、エンジンの異音、振動、場合によってはエンジンの破損を招く恐れがある。プレイグニッションが発生する主な原因として、燃焼室内に飛散する油滴やデポジットと点火プラグである。本研究では、点火プラグのガスボリューム内混合気の自着火により発生するプレイグニッションに着目した。点火プラグガスボリューム内の混合気は、碍子からの受熱により温度が上昇し、着火に至ると推測し、点火プラグ碍子の温度分布を時系列で計測する方法を確立した。

Abstract

For further downsizing of gasoline engines and improvement of thermal efficiency, high compression ratio and high boosting are effective. However, they tend to trigger combustion such as knocking and pre-ignition, which may lead to engine abnormal noise, vibration, and in some cases, catastrophic damage. The main causes for pre-ignition are oil-fuel droplets, deposits in the combustion chamber and spark plug temperature. In this report, we focused on pre-ignition caused by auto ignition of the mixture in the gas volume of the spark plug. It is imagined that the temperature of the mixture in the gas volume rises due to the heat from insulator of the spark plug, and it induces auto ignition. Therefore, we established a technique for measuring the temperature distribution of the spark plug insulator in time series.

1. まえがき

ガソリンエンジンの熱効率向上のために、高圧縮比化・高過給化が進んでいる。しかし、その跳ね返りとしてノッキングやプレイグニッションといった異常燃焼が発生し、エンジンの異音、振動、場合によってはエンジンの破損を招く恐れがある。

低速プレイグニッション（Low Speed Pre-Ignition：LSPI）は、筒内に飛散する油滴やデポジットが原因で発生し[(1)(2)]、オイル中のCa成分を低減させることでLSPIの発生を抑制できることが報告されている[(2)(3)]。その他のプレイグニッション発生要因として、点火プラグが挙げられる。点火プラグが起因となって発生するプレイグニッションには、碍子先端からの熱面着火とガスボリューム（碍子と主体金具間）内混合気の自着火がある[(4)]。前者について岡部ら[(5)]は赤外カメラにより碍子を含めた点火プラグの温度分布を計測し、プレイグニッション発生時の碍子の温度は1,000度に達しているとしている。後者について岩塚ら[(4)]は可視化計測とCFD解析から、ガスボリューム内で自着火が発生していることを特定し、その発生要因としてガスボリューム内に滞留したガスが高温となり自着火に至ることを報告している。しかし、後者によって発生するプレイグニッションに関する知見は少ない。

そこで、本研究では後述する実験装置において点火プラグガスボリューム内混合気の自着火によってプレイグニッションが発生する領域を調べた。各エンジン回転速度において徐々に過給していき、プレイグニッションが発生し始めた正味平均有効圧力（Brake Mean Effective Pressure：以下BMEP）をプロットした。その結果を**図1**に示す。冷え型の点火プラグでは低回転・高負荷領域において発生し、焼け型の点火プラグを使

＊ 技術本部PGM（環境対応）

用すると発生領域が高回転・低負荷側に拡大することがわかった。ガスボリューム内に滞留した混合気は高温になった碍子からの受熱により温度が上昇し、着火に至ると推測した。

そこで本研究では、点火プラグのガスボリューム内混合気の自着火により発生するプレイグニッションの特徴を理解することを目的に、点火プラグ碍子の温度分布を時系列で計測する手法を確立した。この方法を用いてプレイグニッション発生時の碍子温度を調べた。

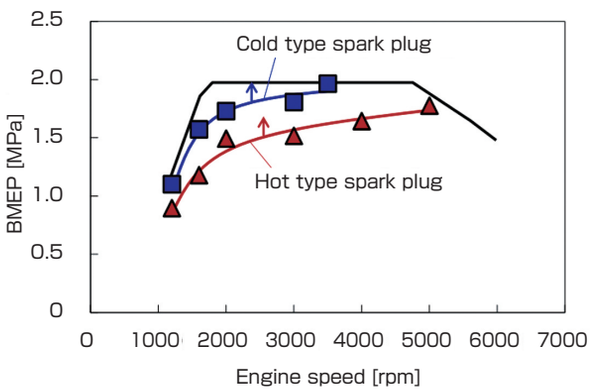


図１　点火プラグ起因プレイグニッションの発生領域

2.　実験方法および実験条件

2.1　プレイグニッション発生時の筒内可視化

市販の4気筒水平対向ガソリンエンジンを1気筒のみ可視化できるように改修した。可視化加工に伴い燃焼室容積が増加するが、ピストン冠面にあるステップの深さを浅くすることで圧縮比の低下を防いだ。図2に実験装置の概要を示す。可視化窓にはサファイア（φ10.4 mm、厚さ4.5 mm）を用いた。サファイアの取り外し・清掃を容易にするために、押さえ環をねじ込むことでサファイアを銅ガスケットに押し付けて、可視化スリーブ側に取り付けた。

プレイグニッション発生時の火炎発生位置を特定するために、高速度カメラ（Photron：FASTCAM Mini AX200）を用いて点火プラグ近傍を直接撮影した。光源にはLED（IDT：LED1）を用い、撮影速度は20,000 fps、露光時間は50 μsとした。点火プラグは吸気側に外側電極が向くように設置した。

筒内圧力の計測にはAVL製ピエゾ式圧力センサを用い、クランク角センサから出力される信号をもとに128サイクル間計測した。突発的に発生するプレイグニッションを検出するために、筒内圧力が10 MPa以上のときにトリガ信号処理を実施し、その信号をもとにプレイグニッション発生前後サイクルの筒内圧力履歴および可視化画像を取得した。

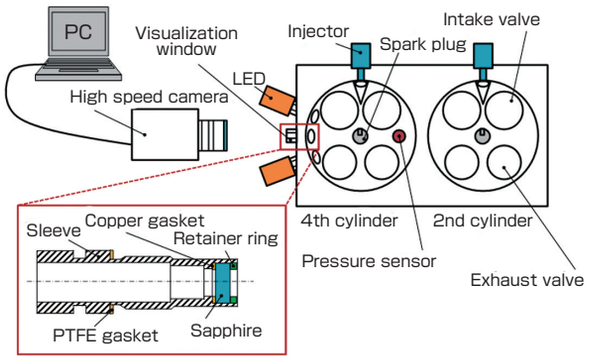


図２　実験装置

2.2　点火プラグ温度分布計測

従来、点火プラグの温度を計測する方法として測温プラグがある。これは中心電極や外側電極に熱電対を埋め込む方法である。しかし、本研究の計測対象である碍子の主成分であるアルミナは非常に割れやすく、熱電対を埋め込むのは困難である。そこで、可視化エンジンを用いた非接触温度計測方法を検討した。

物体の温度と放射エネルギーの関係はプランクの放射則に従い、物体からの総放射エネルギーはステファン・ボルツマンの法則により温度の4乗に比例する。低温の物体は遠赤外線しか放射しないが、温度が高くなるほど放射エネルギーが増加する。また、ウィーンの変位則により高温物体の放射エネルギーのピーク波長は短波長側にシフトし、可視光領域でも放射するようになる。放射エネルギーはカメラの撮影可能波長範囲であれば濃淡画像として記録できる。画像の明るさと温度の関係を特定する校正を行うことで、濃淡画像を温度画像に変換することができ、この方法により点火プラグ碍子の温度を計測した。

高速度カメラで撮影する波長は、高速度カメラの波長感度、レンズや可視化窓、ガス組成の透過波長、時系列で計測するため短い露光時間でも十分な放射エネルギーを得られることを考慮し、レンズの前にバンドパスフィルタを設置することで700 ～ 900 nmの近赤外線領域とした。

このような非接触温度計測において、計測対象の正確な放射率を知る必要がある。放射率は材質や形状などの物体の表面状態に依存する。点火プラグは燃焼により表面の酸化が進み、放射率が変化していくため、正確な放射率を知ることが困難である。そこで、点火プラグに黒体塗料（ジャパンセンサー：JSC-3号、放射率0.94、耐熱温度1,500℃）を塗布し、高放射率にて一定とした。点火プラグ表面に塗布した黒体からの熱輻射は、可視化窓、バンドパスフィルタ、Micro-Nikkorレンズ（焦点距離105 mm、f2.8）を介して、高速度ビデオカメラ（ナックイメージテクノロジー：HX-3）で撮影した。

濃淡画像を温度画像に変換するために、温度校正装置を用いた。**図３**に温度校正装置の概略を示す。点火プラグに塗布したものと同様の黒体塗料を塗布した鋼製の撮影ターゲットを加熱し、その温度は撮影ターゲット内部に埋め込んだR型熱電対で計測した。できる限り表面の温度が均一となるように配慮し、加熱には赤外線加熱器(サーモ理工：IR198UT)を用いた。温度校正は可視化実験と同じ光学系のレイアウトで行った。露光時間により計測できる温度範囲が異なるため、計測したい温度範囲に対して最適な露光時間となるように、撮影速度を1,000 fps、露光時間を1 msとした。**図４**に高速度カメラで撮影した放射強度と撮影ターゲット温度の関係を示す。この関係を用いて**図５**に示すように濃淡画像を温度画像に変換した。

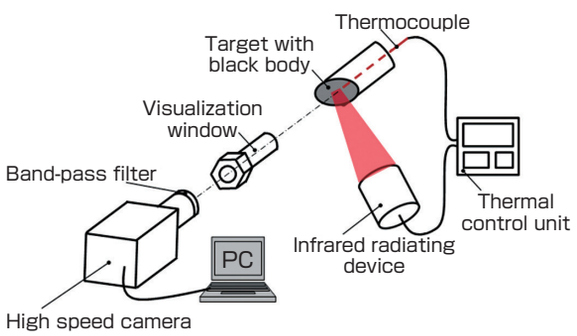


図３　温度校正装置

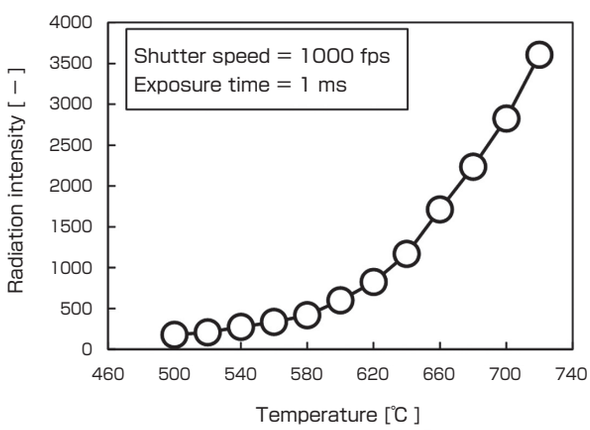


図４　温度校正曲線

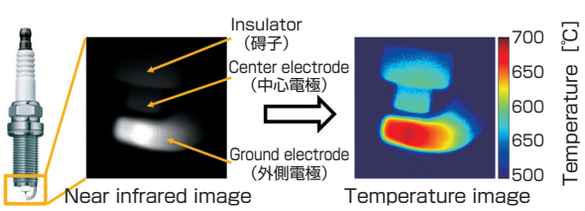


図５　温度校正結果の一例

非接触温度計測の計測結果の妥当性を確認するため、まず点火プラグに塗布した黒体塗料が点火プラグ温度に与える影響を調べた。**図６**に中心電極用測温プラグに黒体塗料を塗布した場合としていない場合の中心電極温度を示す。黒体塗料の有無による温度差が小さく、岡部ら[(5)]と同様の結果を得た。したがって、黒体塗料が点火プラグ温度に与える影響はほとんどないと判断した。

次に、プレイグニッション発生時の点火プラグ温度を時系列で計測可能かどうか確認した。**図７**にプレイグニッション発生時の筒内圧力と点火プラグ温度の履歴を示す。燃焼後は火炎の発光により計測できないが、吸気行程から燃焼開始までは時系列で点火プラグ温度を計測できた。

非接触温度計測方法で計測した中心電極温度と、測温プラグで計測した中心電極温度の比較をした。その結果を**図８**に示す。非接触温度計測方法で計測した点火プラグの温度は圧縮上死点前360度から燃焼開始までの平均温度を用いた。計測箇所、計測時間が厳密には異なるため一概に両者を直接比較することはできないが、大きな乖離がないことを確認した。

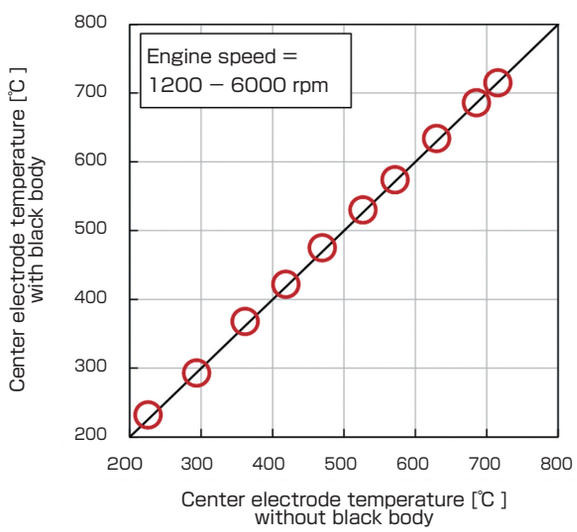


図６　点火プラグ温度に対する黒体塗布有無の影響

2.3　実験条件

表１に実験条件を示す。プレイグニッション発生時の筒内可視化計測では、エンジン回転速度を1600 rpm、BMEPを1.85 MPa、空気過剰率(以下λ)を1.0、燃料噴射時期を圧縮上死点前330度一定とした。プレイグニッション発生頻度の計測と点火プラグ温度計測では、エンジン回転速度を2000 rpm、BMEPを1.96 MPa、λを0.7から0.95まで変化させた場合と、燃料噴射時期を圧縮上死点前310度から270度まで変化さ

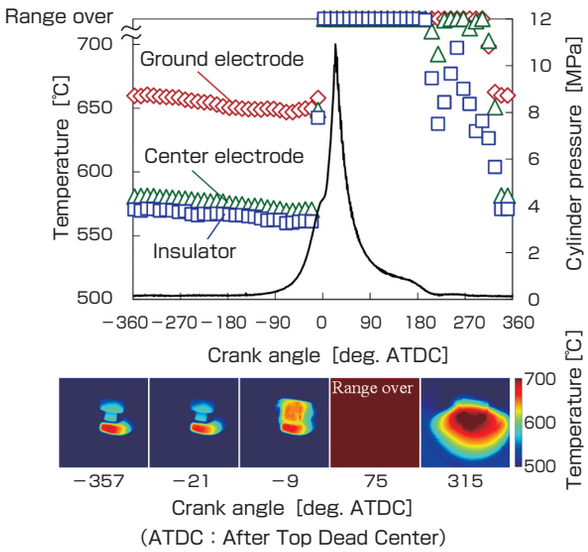


図７　筒内圧力と点火プラグ温度履歴

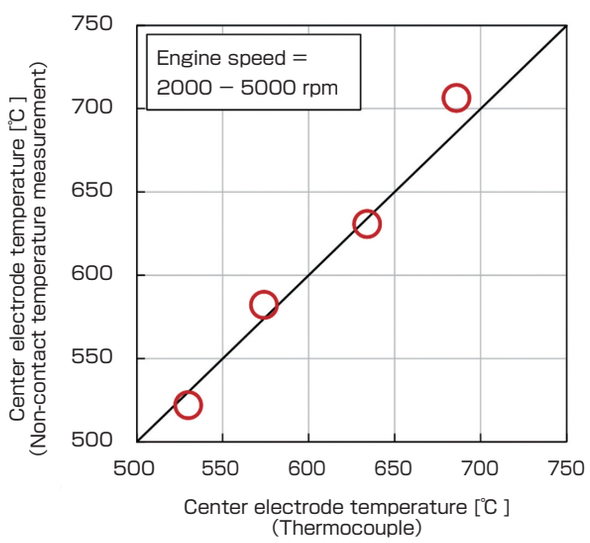


図８　非接触温度計測結果と測温プラグ計測結果の比較

せた場合について計測した。点火時期は、ノッキングが最も発生し易かった、空気過剰率を0.95、燃料噴射時期を圧縮上死点前310度のときのノックトレース点とした。供試燃料は市販のレギュラーガソリン（Research Octane Number 90）を用い、焼け型の点火プラグを使用した。また、吸入空気温度を25℃、冷却水温度と潤滑油温度は、エンジン入口で90℃となるように制御した。

3.　実験結果および考察

3.1　プレイグニッション発生時の筒内可視化

プレイグニッション発生時の火炎発生位置を可視化し、点火プラグに起因していることを確認した。図９

表１　実験条件

Engine speed [rpm]	1600	2000
BMEP [MPa]	1.85	1.96
λ [−] （λ : Excess air ratio）	1.0	from 0.7 to 0.95 as a step of 0.05
Injection timing [deg. ATDC]	−330	from −310 to −270 as a step of 10
Igniton timing [deg. ATDC]	4	
Spark plug	Hot type	

にプレイグニッション発生時の筒内圧力を示す。通常燃焼時(a)を1サイクル目とし、(b)～(e)は通常燃焼時からの経過サイクル数を示している。はじめは、点火時期後に燃焼が開始(a)していたが、燃焼開始時期が進角し(b)、プレイグニッション(c)に至った。さらにプレイグニッションが連発すると、燃焼開始時期の進角と最大筒内圧力が増加した(d)(e)。そのときの筒内画像を図10に示す。 図10の筒内画像(a)～(e)は図９の筒内圧力波形(a)～(e)と一致している。通常燃焼時(a)は、点火プラグのスパークにより燃焼が開始しているが、サイクルが進むにつれ、ガスボリューム付近からの火炎が見られるようになり(b)、プレイグニッション発生サイクル(c)では点火時期前に火炎が発生した。さらにプレイグニッションの連発により外側電極が赤熱し、外側電極からも着火し始め(d)、ガスボリュームよりも先に外側電極から火炎が発生する(e)ことがわかった。

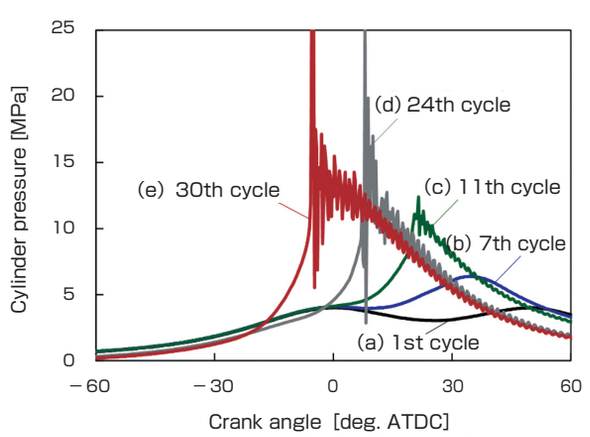


図９　筒内圧力履歴

3.2　運転条件とプレイグニッション発生頻度

点火プラグガスボリューム内混合気の自着火により発生するプレイグニッションの特徴を理解するために、燃料噴射時期がプレイグニッション発生に与える影響を調べた。燃料噴射時期を圧縮上死点前310度一定とし、λを0.7から0.95まで変化させた場合と、λ

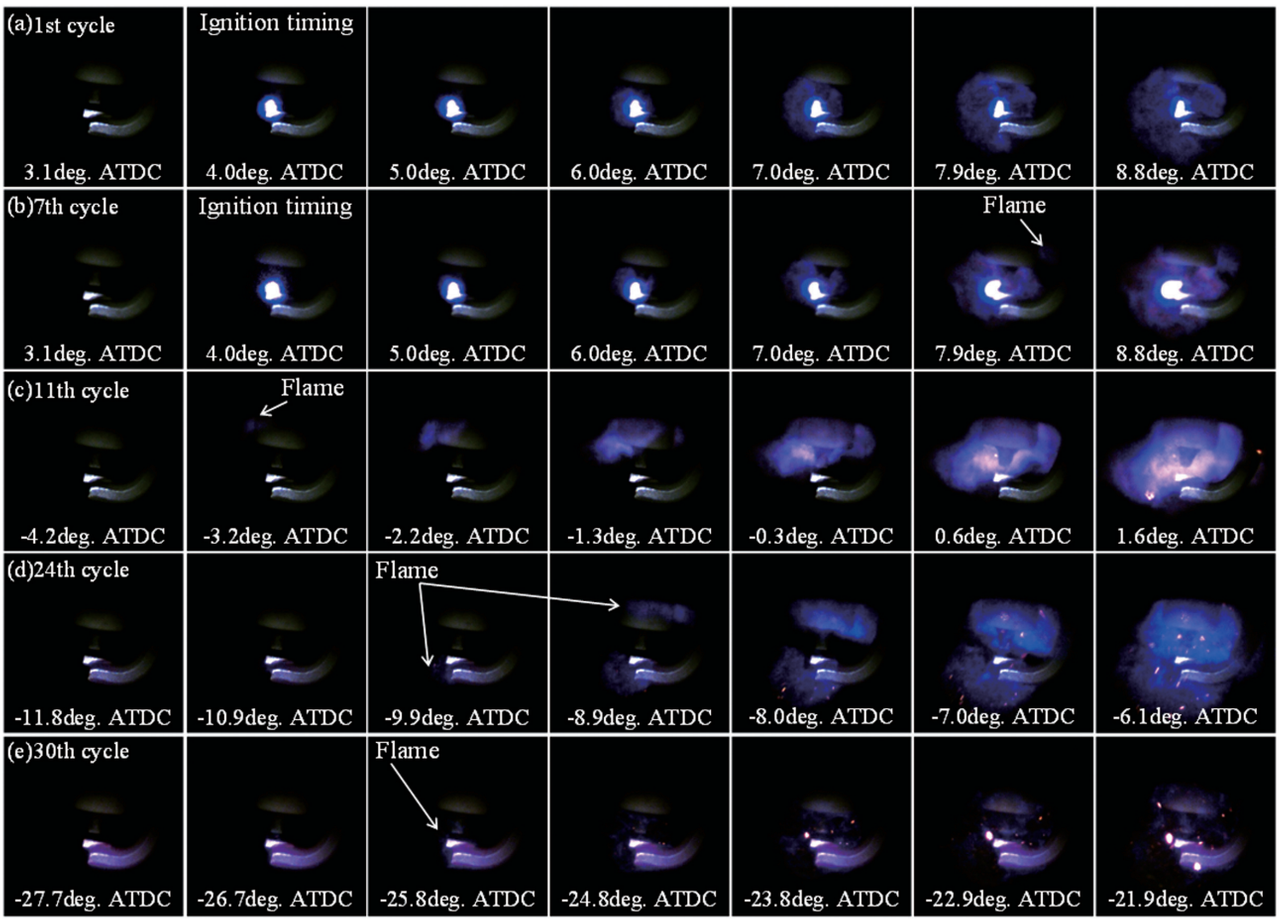


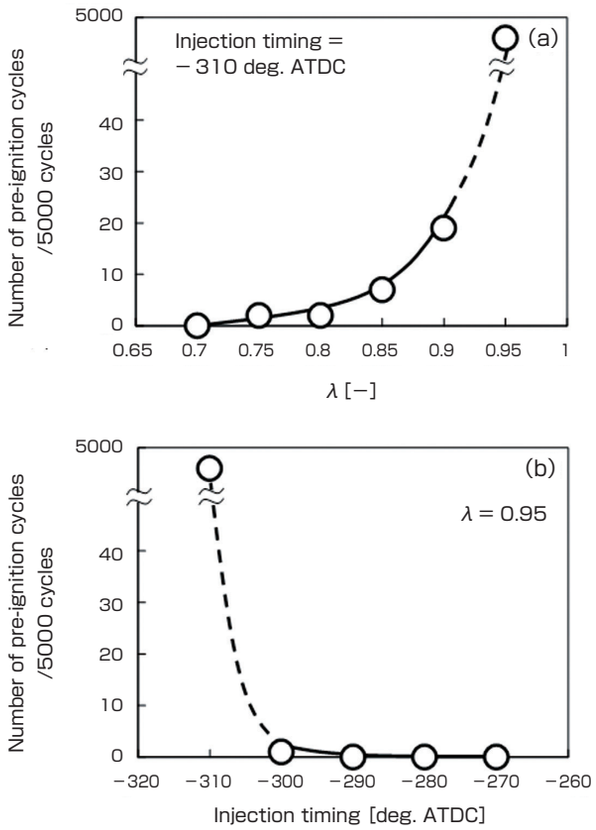
図 10　通常燃焼時とプレイグニッション発生時の筒内画像

を0.95一定とし、燃料噴射時期を圧縮上死点前270度から310度まで10度刻みで変化させた場合について、5000サイクルあたりのプレイグニッション発生頻度を調べた。また、点火プラグ起因のプレイグニッションであることを確認するため、プレイグニッション発生頻度を計測するのと同時に筒内を可視化した。その結果を図11に示す。図11(a)はプレイグニッション発生頻度に対するλの影響を示している。リーン化に伴いプレイグニッション発生頻度が増加し、λ＝0.95で急増した。図11(b)はプレイグニッション発生頻度に対する燃料噴射時期の影響を示している。燃料噴射時期を進角させていくにつれプレイグニッションの発生頻度が増加し、圧縮上死点前310度で発生頻度が急激に増加した。リーン化および早期噴射化に伴いプレイグニッション発生頻度が増加した理由を考察するために、次節では同条件において、点火プラグ碍子の温度を計測し、碍子温度とプレイグニッション発生の関係を調べた。

3.3　プレイグニッション発生時の点火プラグ温度

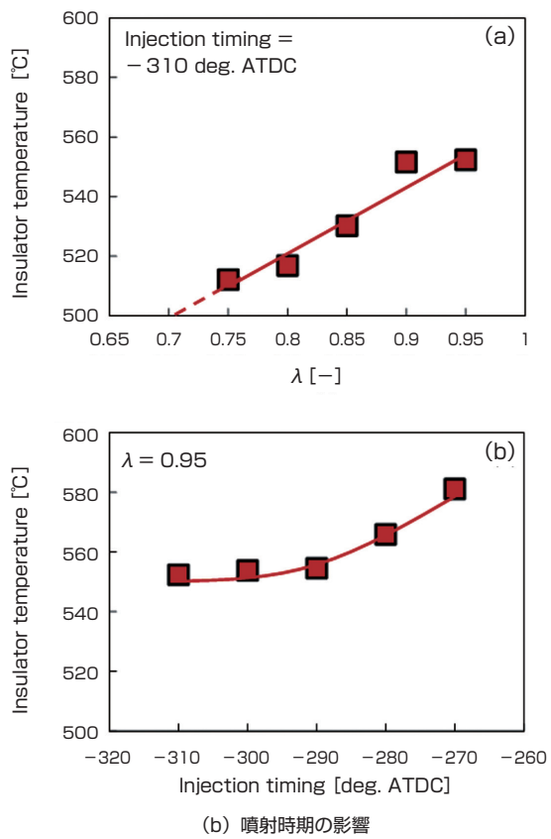
図12にλと燃料噴射時期を変化させたときの碍子温度を示す。プレイグニッションが連発すると点火プラグの温度が上昇し、λと燃料噴射時期が点火プラグ碍子温度に及ぼす影響を評価できない。そこでプレイグニッションが発生する条件ではプレイグニッション発生前の点火プラグ碍子温度をプロットした。図12(a)はλの影響を示しており、リーンにすると碍子温度は上昇した。リーンにすることで蒸発潜熱が小さくなり、混合気温度が上昇したためプレイグニッションが発生しやすくなったと考える。図12(b)は燃料噴射時期の影響を示しており、燃料噴射時期を進角させると、点火プラグ碍子温度が低下した。プレイグニッション発生頻度は燃料噴射時期を圧縮上死点前300度から310度に進角すると急激に増加するが、点火プラグ碍子の温度はほとんど変化がなかった。

以上の結果より、プレイグニッション発生の有無は碍子温度を把握するだけでは不十分なことがわかった。点火プラグガスボリューム内混合気の自着火によるプレイグニッションの発生は、碍子からの受熱以外の要因があることが示唆された。今後はガスボリューム内混合気の燃料濃度や温度をCFDあるいは実測により把握し、プレイグニッション発生要因を明らかにしていく。



（b）噴射時期の影響

図 11　プレイグニッション頻度に対する (a) λの影響 (b) 噴射時期の影響



（b）噴射時期の影響

図 12　碍子温度に対する (a) λの影響 (b) 噴射時期の影響

4. まとめ

点火プラグガスボリューム内混合気の自着火によって発生するプレイグニッションの特徴を理解するため、燃料噴射時期および空気過剰率がプレイグニッション発生に与える影響を調べた。また、点火プラグ碍子の温度を時系列で計測する手法を確立し、プレイグニッション発生時の碍子温度を計測した。その結果、以下のことがわかった。

1. 非接触温度計測により、プレイグニッション発生時の点火プラグ温度分布を時系列で計測することができた。
2. 点火プラグガスボリューム内混合気の自着火によるプレイグニッションが連発すると外側電極が赤熱し、高温になった外側電極が着火源となる。
3. プレイグニッション発生頻度は、λをリーン化、燃料噴射時期を進角させるほど増加する。一方、点火プラグ碍子温度は、λをリーン化、燃料噴射時期を遅角させるほど上昇した。したがって、プレイグニッション発生の有無は碍子温度を把握するだけでは不十分なことがわかった。今後はガスボリューム内混合気の燃料濃度や温度をCFDあるいは実測により把握し、プレイグニッション発生要因を明らかにしていく。

参考文献

(1) C. Dahns, K. Han, U. Spicher, M. Magar, R. Schießl and U. Maas：Investigations on Pre-Ignition in Highly Supercharged SI Engines, SAE Technical Paper（2010）, 2010-01-0355

(2) 森川弘二，森吉泰生，窪山達也，山田敏生，畑村耕一，鈴木正剛：過給ガソリン機関のLSPI発生メカニズムに関する研究，自動車技術会学術講演会予稿集，20155277, pp.1445-1450（2015）

(3) K. Fujimoto, M. Yamashita, S. Hirano, K. Kato and I. Watanabe：Engine Oil Development for Preventing Pre-Ignition in Turbocharged Gasoline Engine, SAE Technical Paper（2014）, 2014-01-2785

(4) 岩塚知宏，津荷俊介，加納大，井上芳樹，森清輝：スパークプラグからのHSPI・LSPIに関する研究，自動車技術会学術講演会予稿集，20166143, pp. 745-750（2016）

(5) 岡部伸一，守野哲也，堀恒円，端無憲：赤外カメラによる点火プラグの温度計測，デンソーテクニカルレビュー，Vol. 13, No. 1, pp. 64-70（2008）

【著　者】

武藤　　涼

木本　健太

加藤　真亮

中山　智裕

金子　　誠

スバル AWD車の累計生産台数 1,500万台を達成
～生産開始から44年目での達成～

2016年3月

AWD（All Wheel Drive：全輪駆動）車の累計生産台数1.500万台を達成。
1972年9月に発売した「スバルレオーネ4WD エステートバン」に初めて搭載してから、44年目での達成。
1972年にAWD車の生産を開始して以来、2015年世界販売台数に占めるAWD車の比率は98%となっている。また、その全てが水平対向エンジンとの組み合わせによる、スバル独自のシンメトリカル AWD 方式となっている。

電磁ノイズ対策のための電磁波設計手法の検討 －第２報：車両モデル構築に向けた電気特性評価－

Electromagnetic Wave Design Method for Protection against Noise − Electric Characteristics Measurement for Constructing Vehicle Model −

夏　目　侑　紀*　　大　堀　勇　二*　　犬　童　翔　太*
Yuki NATSUME　　Yuji OHORI　　Shota INUDO

抄　録

電動車両の開発ではインバータなどの高電圧部品から発生する電磁ノイズの低減が課題となっている。従来の電磁ノイズ対策は、トライアンドエラーの繰り返しとなっており、多くの時間と費用が必要となっていた。

本報では、アースやフィルタなどのノイズ対策部品の設計手法確立に向けてボディやハーネスの電気特性を測定し、設計に必要なボディの物性や回路パラメータを把握するための取組を紹介する。

今後は上記データを元に、車両全体を考慮した解析技術を検討し、机上検討を活用したノイズ対策部品の設計手法確立を目指す。

Abstract

Suppression of electromagnetic noise generated by high-voltage components has become more and more important for electric vehicles. The purpose of our work is to establish an electromagnetic wave design method for taking countermeasures against noise, which can reduce development time and cost.

In this report, we measured the electric characteristics of automotive body and harnesse to establish a design method for noise suppressing parts.

In the future, we will develop noise suppression technologies for entire vehicles with the above measurement data.

1.　まえがき

地球温暖化や資源枯渇などの問題を背景に、電動車両のニーズが高まっている。電動車両はバッテリやインバータなどの高電圧部品によってモータを駆動することで動力を発生させている。高電圧部品は従来のガソリン車の部品と比べて電磁ノイズの放射が大きい。そのため、他の車載機器と電磁気的に干渉しやすく、ラジオ音質の悪化などの問題を引き起こすことが知られている[(1)]。

従来の電磁ノイズ対策は、試作車両を用いたトライアンドエラーの繰り返しにより行われていた[(2)]。この方法を電動車両に適用すると、対策の繰り返し回数が増大し、設計や評価に多くの時間と費用が必要となる。そこで、我々はこれらの問題に対処するため、電磁界解析や回路解析を活用した電磁波設計手法の開発を進めている。

＊ 電動ユニット設計部

図１に示すように電動車のノイズ発生源は、高電圧部品とそれに繋がるハーネスの2つがある。ここから放射されたノイズが車載のラジオアンテナに伝わり、ラジオノイズ問題を発生させる。

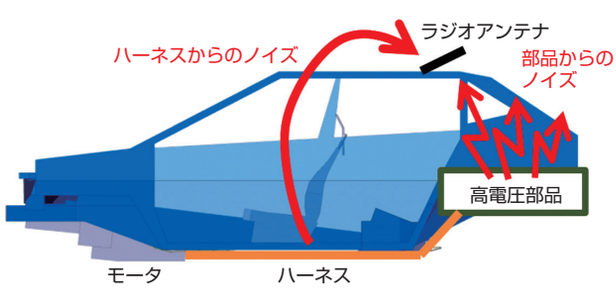


図１　電動車から発生する電磁ノイズ

電磁ノイズ対策は表１に示す手法に分類できる。図２に示すように、シールドは金属筐体などにより高電圧部品から放射されるノイズを遮蔽する技術である。アースは、回路グランドとボディ間の電気抵抗値を下げて電気的接続を強固にすることで回路動作の安定化

表１　高電圧部品のノイズ対策手法

手法	目的	メカニズム
シールド	ノイズの放射防止	電磁遮蔽による放射ノイズの漏えい防止
アース	ノイズの発生抑制	グランド電位設計による回路動作安定化
フィルタ	ノイズの伝導抑制	伝導ノイズを回路的にフィルタリング

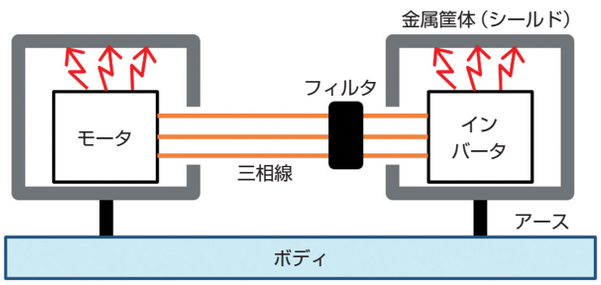


図２　ノイズ対策手法の模式図

を図り、回路からのノイズ発生を抑制する。フィルタは、コイルやキャパシタなどを用いて、ハーネスを伝導するノイズを減衰させる。

初報[3]では上記対策手法のうち、シールドの構造設計に向けた電磁界解析の取組みとして、インバータや電池を搭載した高電圧パックを事例とした検証を報告した。その結果、シールド構造の効果を机上検討する手法を確立し設計に活用できるようになった。

本報では初報では報告していないアースやフィルタの設計手法開発に向けた進捗を記載する。

2.　目指す姿と課題

アースやフィルタは、前述のメカニズムで示したとおり、回路動作を考慮した設計が必要となる。そこで車両の電気特性を回路モデルに落とし込み、回路解析を活用して設計する手法を検討する。

目指す設計フローを図３に示す。まず、車両システムの選定を通じて、車両形状や搭載配置、ハーネスのおおまかな位置を決定する。この情報を元に電磁界解析モデルを構築し､車両の回路パラメータを抽出する。回路パラメータは、配線インダクタンスや寄生容量などの回路素子の特性値である。最後に、回路解析にて車両全体のノイズ解析を行うことで、アース・フィルタ設計を実現する。

なお、回路パラメータ抽出はさらに以下のステップを踏む。まず、ボディの構成要素である鋼板やハーネスの電気特性を設定し、この物性に従って車両の電磁界解析モデルを構築する。このモデルを電磁界解析に適用し、車両の回路パラメータを抽出する。

しかし、本手法の構築には以下の3つの課題がある。

①車両構成要素の電気特性の明確化

電磁界解析では材料物性の設定が必要だが、車両で使用される鋼板は透磁率などの電気特性が不明であることが多い。そこで、車両構成要素に対して詳細な特性の測定が必要となる。

②電磁界解析による回路パラメータ抽出手法の確立

車両構造は複雑であるため、回路パラメータを電磁界解析にて抽出するには解析時間や精度などの問題が存在する。そこで、これらの問題を考慮してパラメータを抽出する手法が必要となる。

③車両全体を考慮した回路解析手法の確立

従来、部品単体に関する回路解析手法の検討はあるが、車両全体に対する取組みは少ない[4]。車両で発生するノイズ現象はボディやハーネスなどの寄与度が高く、部品単体のみでは十分な評価はできない場合が多い。そこで車両全体の回路モデルを用いた解析手法の確立が必要となる。

本報では①②の課題に向けた電気特性の測定に関する取組みについて報告する。

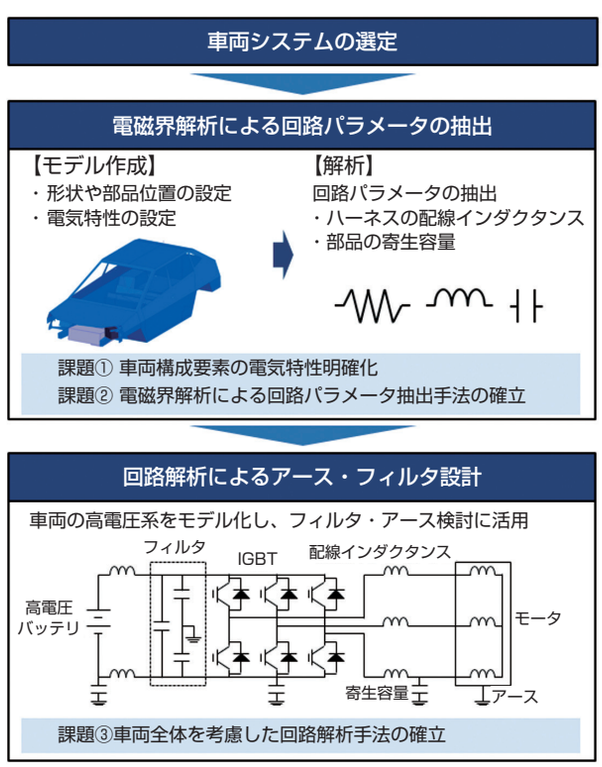


図３　アース・フィルタの設計フロー

3.　車両構成要素の電気特性評価

車両の電磁界解析を行う際には、ボディ鋼板とボルトなどの接続点に対して電気特性を設定する必要がある。そこで、上記2要素に対して特性の評価を行った。

3.1　鋼板の電気特性

ボディは剛性や衝突性能の確保のため、引張強度が異なる複数の鋼板で構成される。これらは炭素などの材料混合の比率が異なるため、電気特性に差異があることが想定される。そこで、引張強度が異なる複数の鋼板を測定対象とした。

測定する電気特性は、電磁界解析に必要となる電気抵抗率と透磁率の2項目とした。電気抵抗率は主に回路の直流特性に影響し、アース性能を確保するためには小さい値を取ることが好ましい。透磁率は主に回路の交流特性に影響し、シールド性能を確保するためには大きい値を取ることが好ましい。

電気抵抗率は4端子法で直流抵抗を測定し、サンプルの断面積や長さから換算した。また、透磁率は圧延方向とその直角方向の最大比透磁率を測定し、その平均値を採用した。

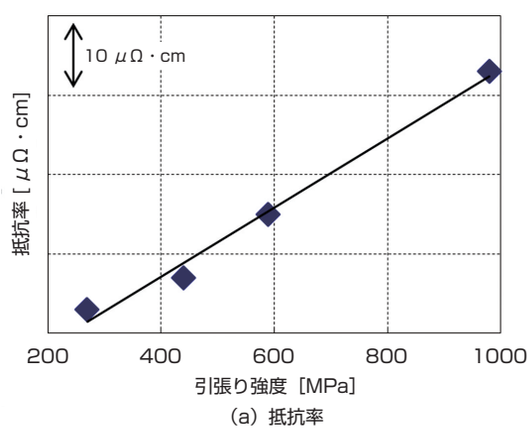


図４　引張強度と電気特性の関係

測定結果を図４に示す。図４(a)は電気抵抗率を表しており、引張強度が大きくなるにつれて抵抗率も大きくなることが分かる。図４(b)は比透磁率を表している。引張強度が大きくなるにつれて、透磁率が低下していることが分かる。

以上の結果から、引張強度が高いほど電気特性は悪化することが分かった。

一般に、剛性や強度の確保のためには引張強度が高い材料が必要であることを考えると、これらと電気特性はトレードオフの関係にある。車両設計の際には、強度に影響がない部分は引張強度が低い材料を選ぶことが電気的には好ましいことが分かった。

3.2　接続点の電気特性

スポット溶接、及びアースボルトの電気特性を測定するため、図５に示す測定サンプルを用意した。図５(a)は比較用の1枚の鋼板、図５(b)は鋼板2枚の中央をスポット溶接で接続したもの、図５(c)はアースボルトでボルト締結したものである。これらの直流抵抗を4端子法にて測定した。

測定結果を図６に示す。スポット溶接とボルト締結は、鋼板より10倍ほど直流抵抗が大きい。直流抵抗はアース性能上は小さいことが好ましいことから、できる限り締結点は少ない構造が良いことが分かる。特に、ノイズの影響を受けやすい部品同士は、接続点が少なくなるように車体分割を介さずに配置することが好ましい。

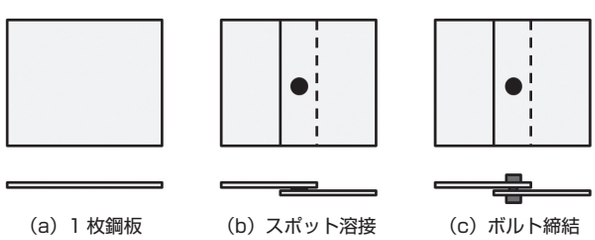


図５　接続点の電気特性評価用サンプル

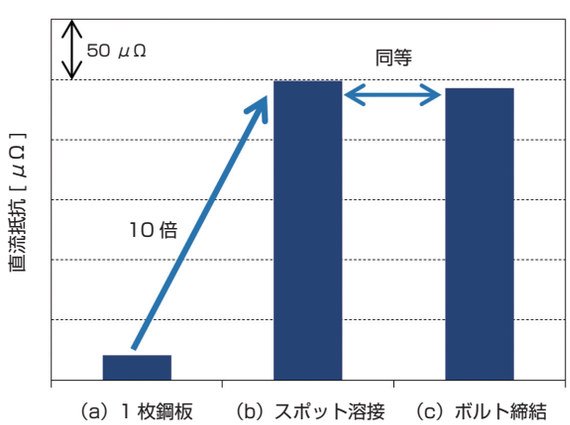


図６　接続点の電気特性評価結果

4.　回路パラメータ抽出に向けた車両の電気特性評価

電磁界解析による回路パラメータ抽出手法は、解析モデルの作成、実測データの取得、実測と解析の合わせ込みの3ステップで検証を行う。本報では、XV Hybridの実車両を対象とした電気特性測定の取組みについて報告する。

車両の電気特性は、配線インダクタンスや寄生容量などの回路パラメータによって決定される。そこで、車両各部位のインピーダンスを測定し、この結果から回路パラメータを算出した。

三相線のU相端子とボディ側のアース点の間のインピーダンスを測定している様子を**図7**に示す。測定結果は、**図8**に示すようにインピーダンスの絶対値と位相にて表される。絶対値が周波数とともに増加しており、かつ位相が90度となっていることから、三相線はインダクタンス成分が支配的であることが分かる。

上記方法にて車両の各部位を測定し、回路パラメータを抽出した。ここでは、高電圧バッテリとインバータ、モータから成る**図9**に示す系を事例として示す。高電圧バッテリとインバータはPN線にて接続され、インバータとモータは三相線にて接続される。三相線はシールド線を採用しており、インバータ側の末端はハーネスにてボディへ、モータ側の末端はコネクタにてモータ筐体へ接地される。

測定結果を**図10**に示す。ここでは比較のため、他社車両と単品試験系の測定結果も示している。単品試験系は、車載機器向けのEMC試験として標準的な構成の結果を使用している。

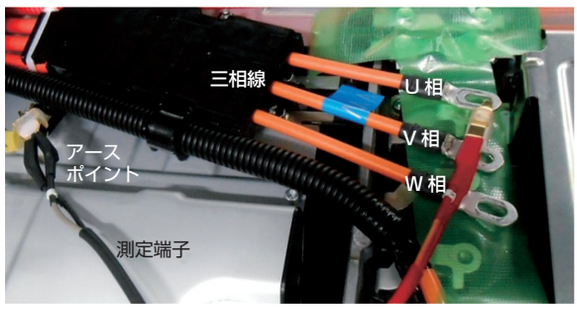


図７　インピーダンス測定の様子

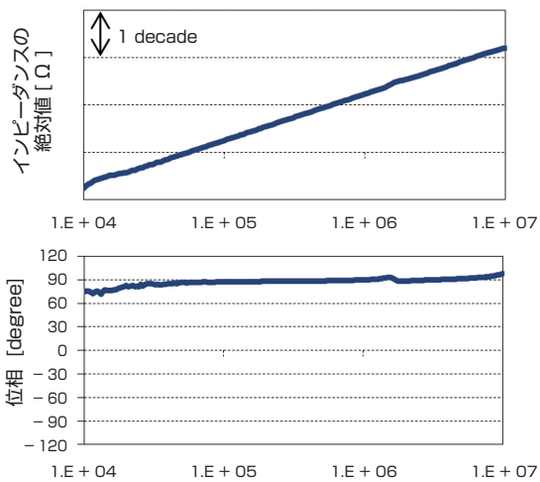


図８　インピーダンス測定結果の例

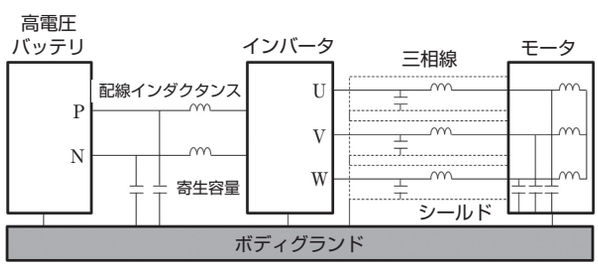


図９　インバータ系の交流回路モデル

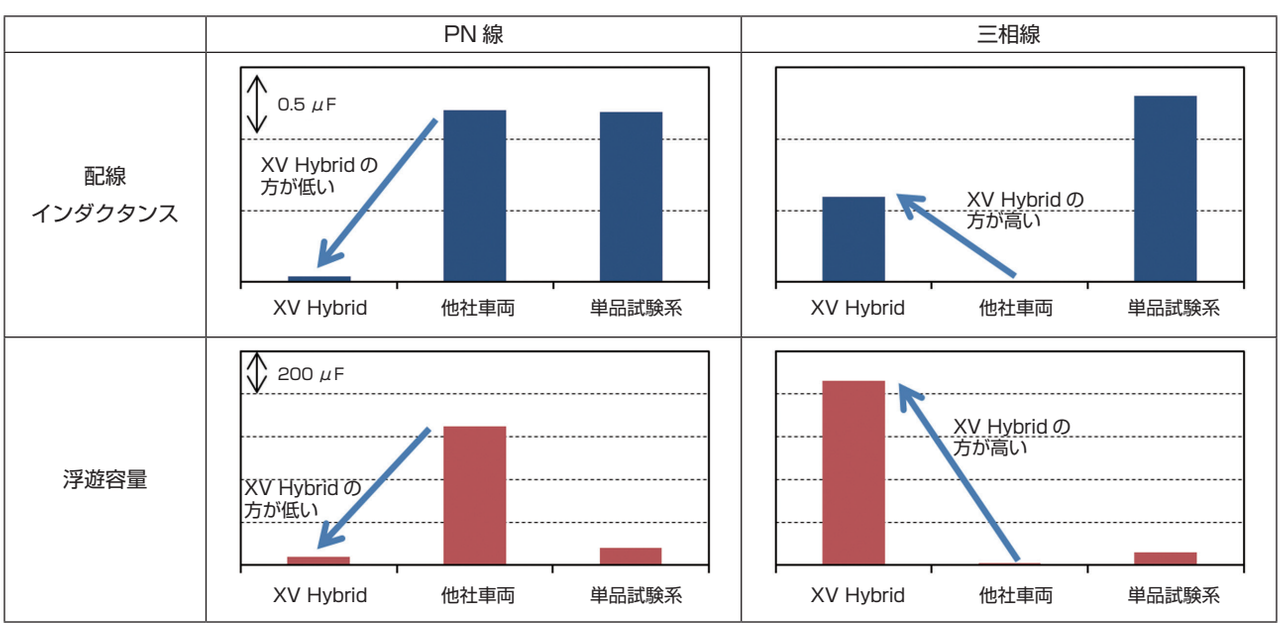


図 10　インバータ系の交流回路モデル

この結果から、XV Hybridと他社車両、単品試験系では回路パラメータの値が大きく異なることが分かる。例えばPN線の配線インダクタンスと浮遊容量については、XV Hybridが他社車両より小さい。一方で三相線は、XV Hybridの方が大きくなっている。

回路パラメータはノイズ挙動に大きく影響するため、車両ごとにノイズの傾向が異なることが想定される。そのため、ある車両に採用したノイズ対策をそのまま別車両に適用しても十分な効果が得られず、車両ごとの対策が必要となる可能性が高い。

以上から、車両開発で得られたノイズ対策の知見を他車種に展開するためには、解析などの検討手法の活用が必要と考える。

5.　まとめと今後

本論文では、アース・フィルタの設計手法確立に向けた測定の取組みを報告した。鋼板や接続点の測定から車両構成部品の電気特性を把握し、インピーダンス測定から車両全体の電気特性を把握することができた。

今後はこれらのデータを活用し、回路パラメータ抽出方法と回路解析技術の検討を進める。ここでは回路解析の事例として、インバータから成る系の解析結果を**図11**に示す。このデータは電圧スペクトラムであり、周波数ごとの電圧成分の大きさを表している。

図11(a)は車両の回路パラメータを設定しない状態での解析結果、**図11(b)**は三相線やPN線などの回路パラメータを設定した場合の解析結果である。2つのデータから、車両の回路パラメータを設定することでノイズのピークやFM帯でのノイズ悪化などが発生していることが分かる。このように、車両全体を考慮した解析を行うことで、車両構造が原因となるノイズ現象を把握できるようになる。

この解析技術はまだ実測データと比較できておらず、設計へ活用可能なレベルとはなっていない。今後は本測定の結果を活用し、解析精度の向上を図り、アースやフィルタ設計に活用可能な解析手法の構築を進めていく。

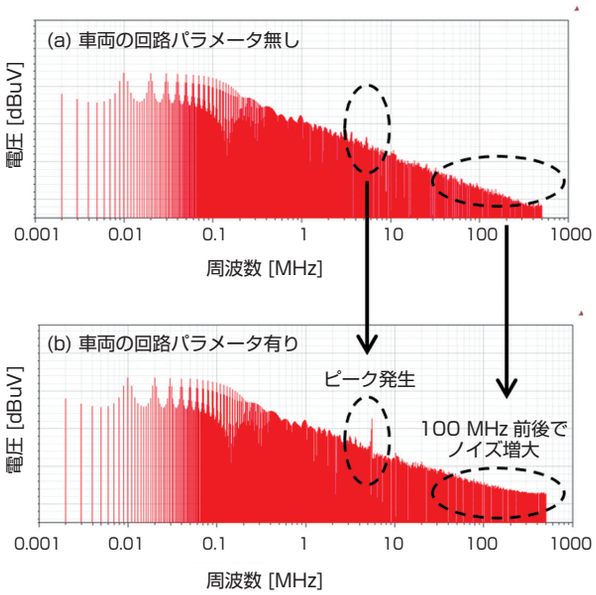


図11　車両を考慮した回路解析

参考文献

(1) 竹村純編：自動車技術ハンドブック―設計(EV・ハイブリッド)編＜第7分冊＞, p332, 自動車技術会(2016)

(2) M.Mardiguian著(羽島光俊監修, 小林岳彦訳)：EMC設計の実際－放射妨害波の制御, p279, 丸善(2005)

(3) 夏目侑紀ほか：電磁ノイズ対策のための電磁波設計手法の検討―初報：電動車の高電圧部品への適用―, スバル技報, No.42 pp116-121（2015）

(4) 峰岸瞳：車載充電器における伝導ノイズシミュレーション技術の開発, パナソニック技報, Vol.61, No.1, pp52-57 (2015)

【著　者】

夏目　侑紀

大堀　勇二

犬童　翔太

直噴エンジン開発を支える筒内流体解析

In-Cylinder Fluid Analysis for Development of Direct-Injection Gasoline Engine

齊藤操希[*1] Misaki SAITO
菅沼邦彦[*1] Kunihiko SUGANUMA
金子隆[*1] Takashi KANEKO
細谷沙織[*1] Saori HOSOYA
辻村彬人[*2] Yoshito TSUJIMURA
三ツ橋秀樹[*3] Hideki MITSUHASHI

抄　録

近年厳しさを増す燃費、排ガス要求と、出力性能両立のために、エンジン筒内現象の理解が重要である。特に直噴エンジンの開発では、筒内に燃料噴射した後の混合気挙動を把握するために、流体解析の利用が不可欠になっている。

新型インプレッサ搭載の、水平対向2.0L直噴NA（自然吸気）エンジンの開発過程において、エンジン筒内の新気と燃料の挙動を流体解析で可視化して、TGV、ポート隔壁形状、ピストン冠面形状検討を実施した。また最新の設計者向けCAEシステム（LiteCAE）や吸気ポート最適化、燃焼解析にも取り組んでいるので紹介する。

Abstract

Recently, understanding engine cylinder phenomenon is important for achieving strict fuel economy, emission and engine performance requiements.

In the development process of horizontally opposed 2.0L DI engine adopted for the new Impreza, we designed intake port, TGV, tumble sheet and piston crown shape by visualizing the behavior of air and fuel injection in the engine cylinder by CFD. Here, we also introduce the CAE system for engine designer (LiteCAE), intake port optimization, and combustion simulation.

1．筒内流体解析の概要

直噴エンジンは、直接筒内に燃料を噴射するため、PFI（吸気ポート噴射）に比べて流動と燃料噴射、燃焼を高度なバランスで成立させる必要がある（**図1**）。そこで、**図2**に示すような検討フローで、筒内の流体解析を適用している。第1段階の吸気ポート定常流解析は、設計制約条件を考慮しながら、流量係数やバルブ流速を確認し、素性の良い吸気ポートを選定する。その後、第2段階でピストンの往復運動を再現した筒内ガス流動解析に移行し、吸気行程～圧縮行程のタンブル比や乱れ強さを予測した上で、燃焼室形状やTGV（タンブル・ジェネレーション・バルブ）形状、隔壁形状を決めている。なお、ここまでの解析はLiteCAEシステムを構築し、設計部門で対応している。第3段階の混合気解析では、筒内に燃料を噴射して、混合気分布や均質度を解析する。これにより、ピストン冠面形状やインジェクターの燃料噴射方向・噴射時期を検討する。第4段階の燃焼解析では、火炎伝播やノッキングを解析し、より詳細な筒内現象の解明と燃焼室形状の改良につなげている。なお、第3段階以降は、より高度な解析技術が必要なため、CAE部門の専任者が対応している。

本報ではこれらの解析技術の紹介と、最新の解析技術として、吸気ポート定常流解析と最適化ツールを組合せた事例を紹介する。

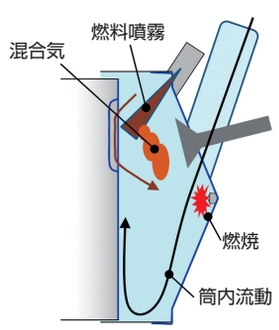


図1　直噴エンジン概念のイメージ

＊1 CAE部
＊2 第2技術本部技本PGM（環境対応）
＊3 SUBARUテクノ株式会社

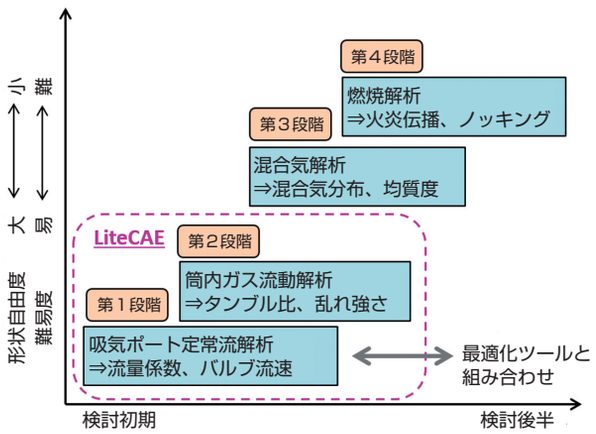


図２　筒内流体解析の検討フロー

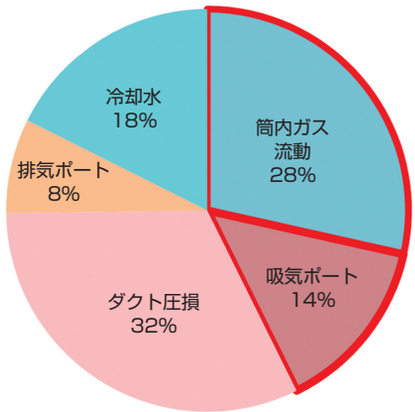


図４　１年間あたりの LiteCAE 用途

2.　設計現場で活躍するLiteCAE

2.1　LiteCAEの紹介

筒内流体解析検討フローの第1、第2段階では、流体解析専任者ではなく、設計者向けCAEシステム（LiteCAE）を利用して、設計者自ら解析している。このシステムは2004年に吸気ポート定常流解析などを自動化し、設計現場で活用を開始した。その後、2007年には筒内ガス流動解析をシステムに組み込む等、年々改良を加えて今日に至る。最近では300件／月以上実行されており、設計現場で図面形状を決定するための解析ツールとして根付いている。システム構築初期は吸気ポート定常流や吸排気管の圧力損失解析の事例が多かったが、近年は、筒内ガス流動の検討事例が増えており、今やLiteCAEは筒内燃焼設計には不可欠なツールとなっている（図3、4）。

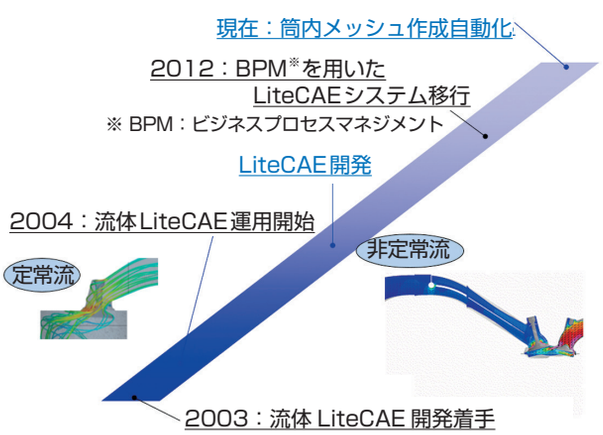


図３　LiteCAE の変遷

2.2　LiteCAEの機能拡張

第2段階で実施する筒内ガス流動解析は、解析専任者が事前に準備した燃焼室形状を元に、設計者が吸気ポートやTGVを差し替えて解析していた。しかし直噴エンジンを開発する上でキーポイントとなるのは、ピストン冠面等の燃焼室形状である。この燃焼室形状のメッシュ作成は手作業で時間がかかるため、仕様検討数に限りがあった。

そこで、自動的に燃焼室のメッシュ作成ができる様にシステムを改良した。解析出来ない品質のメッシュでも計算を実施してしまう可能性が有るので、メッシュ品質に問題がある際は、自動的にメッシュサイズ等のパラメータをチューニングして、品質が高いメッシュを再度作成しなおすフローとした（図5）。

その結果、解析専任者のメッシュ作成工数がなくなり、設計者自らが燃焼室形状を変更して解析できる環境が整った。筒内メッシュ作成自動化を導入後は、燃焼室の解析数が3倍になり、スバル直噴エンジンの燃焼開発を支えている。

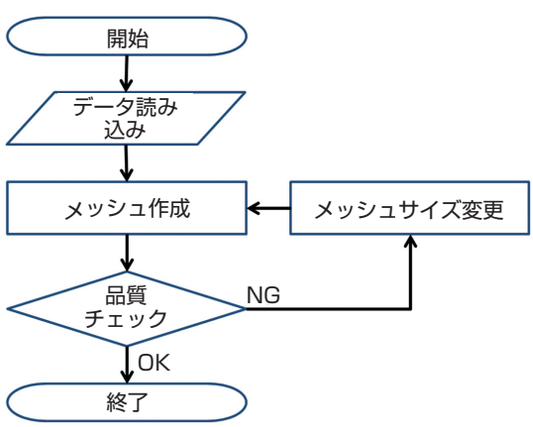


図５　メッシュ品質自動チェックのフロー

3.　燃焼設計解析の適用と検証

本章では、図2のフローで示した第1～第3段階での筒内流体解析について、新型インプレッサ用直噴エンジン開発への具体的適用事例を交えて紹介する。

3.1　吸気ポート定常流解析

第1段階の吸気ポート定常流解析は、設計部門でLiteCAEシステムとして10年以上活用した経験と実績がある。現在では、これまでの知見を活かし、ほぼ全ての吸気ポート、TGV、隔壁形状を設計部の技術者が仕様選定している。

出力性能に影響する流量係数と、燃費に影響するタンブル比のバランスを取るために、吸気バルブ径やスロート径、バルブピッチ、TGVの開口面積や吸気ポートの角度などの主要諸元を設計初期段階で決定する。その際には、バルブ通過流速を16方向に分割したレーダーチャートや流速ベクトルの解析結果を確認し、筒内への吸気ガスの流入形態の最適化を図っている。(図6、7)。

新型インプレッサでは本解析を利用して、TGV開(出力域)時は流量係数を確保し、TGV閉(燃費域)時は、次章で紹介する乱れ強さが10%改善する吸気ポート形状を見出した。

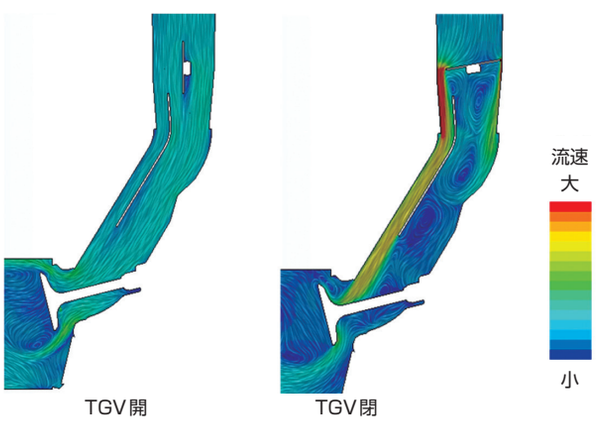


図６　吸気ポート内の流速分布

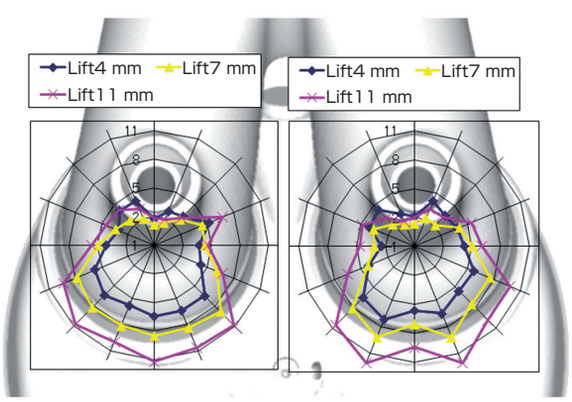


図７　吸気ポート定常流のバルブ流速

3.2　筒内ガス流動解析

第2段階の筒内ガス流動解析では、ピストンの往復運動とバルブの開閉を再現し、吸気～圧縮行程の流れ場を解析する。新型インプレッサの直噴エンジン開発では、燃料の混合を促進する「吸気行程タンブル比」と燃焼期間の短縮に寄与する「乱れ強さ」を指標として、TGV、隔壁、燃焼室形状を選定している。

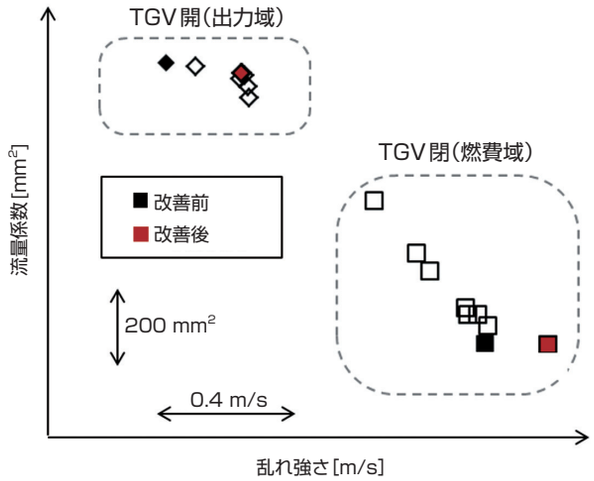


図８　流量係数と乱れ強さの関係

LiteCAEシステムを利用した筒内ガス流動解析の実施にあたり、PIV(Particle Image Velocimetry)可視化試験による精度検証を実施した。図9に示す吸気ポート形状において、2種類の隔壁の解析を実施し、PIV可視化試験と比較した結果、フローパターンの傾向が解析とPIVでほぼ一致した(図10、11)。またタンブル比を比較した結果、定性的傾向が一致し、計算精度の妥当性を確認した(図12)。

この2仕様の解析において、当初、隔壁が長い方が、タンブル比が大きいと予測していたが、本TGV仕様では隔壁が長すぎると、主流が隔壁にガイドされて、吸気バルブに主流が衝突してしまうことが分かった(図13)。そのため、筒内ガス流動解析で隔壁付近の流れを可視化して、最適な隔壁長さの検討を実施した。他にも、TGVのバタフライ形状、TGVと隔壁の距離、ピストンのキャビティ深さなどを解析で選定し、タンブル比と乱れ強さを向上させた。

その結果、新型インプレッサのエンジンでは、従来エンジンに対して乱れ強さが10%向上し、燃費率4%改善に貢献した。

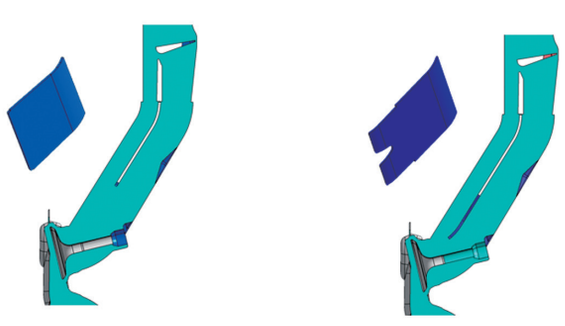


図９　吸気ポート形状

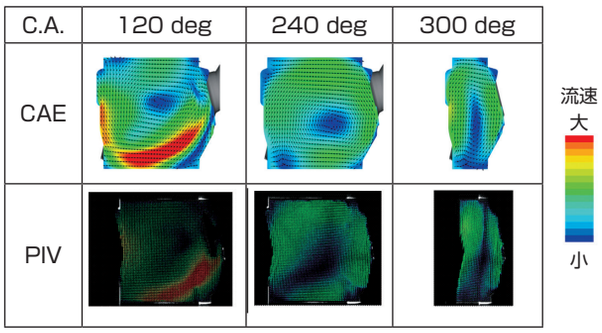


図 10　TGV 閉時シリンダ中心の流速分布（隔壁短縮）

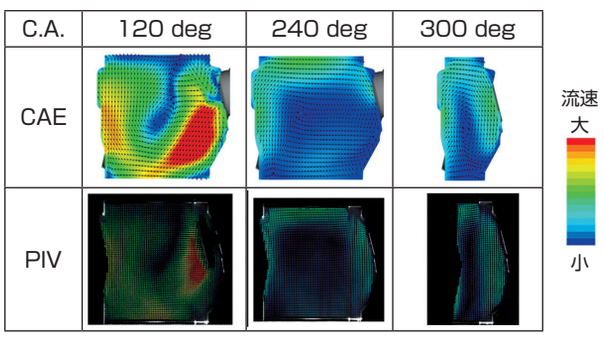


図 11　TGV 閉時シリンダ中心の流速分布（隔壁延長）

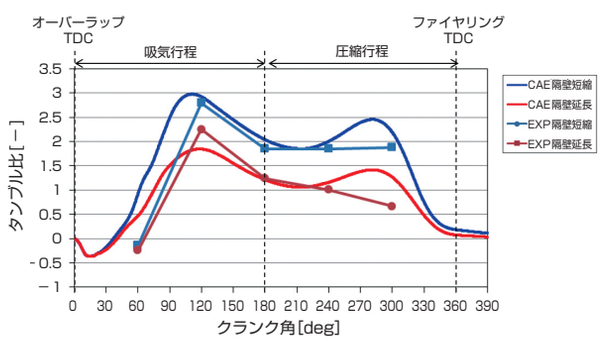


図 12　タンブル比の比較

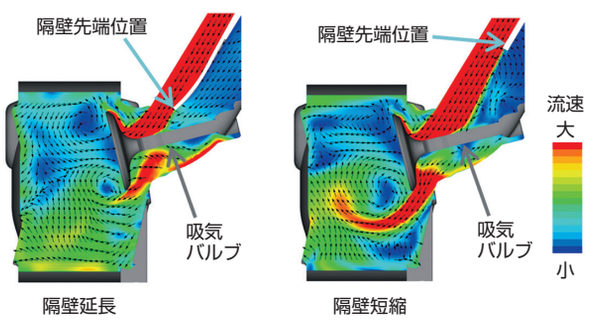


図 13　隔壁付近の流れ

3.3　混合気解析

第3段階の混合気解析における解析事例と精度検証を紹介する。国内・北米向けの新型インプレッサの直噴エンジンは、始動暖機時にウォールガイドコンセプトを採用し、直噴を活かして点火プラグ周りに可燃混合気を集めることで、冷態始動時の燃焼安定性の向上を目指した。そのため混合気解析を活用し、点火プラグに的確に燃料を導くためのピストン冠面形状を検討した。

図14にピストン冠面のステップ高さを検討した事例を示す。ステップが高い時、ピストン冠面形状に噴射燃料がガイドされ、かつ筒内の空気流動にのり、ステップが低い時よりも点火プラグ近傍に可燃混合気を集められる事が判った。またLIF（レーザ誘起蛍光）可視化試験との相関も良い事を確認している。

図15に解析で求めたプラグ周り空燃比と実験の燃焼安定性との相関を示す。新型インプレッサのエンジンは、混合気解析を活用してプラグ周り空燃比=8の最適化を図った結果、高い燃焼安定性を確保できた。これにより、点火リタード時でも、燃焼が安定し、排気温度を上げることで触媒活性の早期化を実現している。

また、混合気の均質度や燃料の壁面付着率もCAE指標として抑えており、これらの指標の悪化を最小限に抑えながら、なるべく少ない燃料噴射で、プラグ周り空燃比の最適化を狙っている。

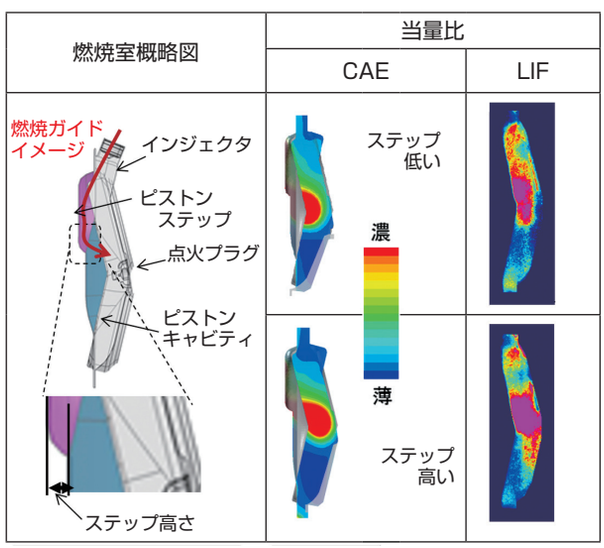


図 14　混合気分布（当量比）の比較

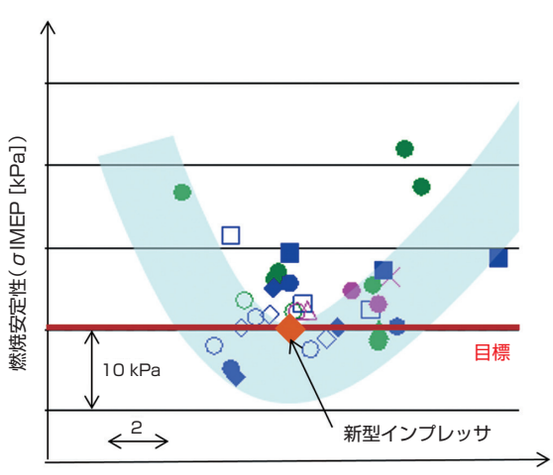


図 15　プラグ周り空燃比と燃焼安定性の相関

4.　燃焼解析の紹介

本章では、図2のフローで示した第4段階の燃焼解析について、新型インプレッサ用直噴エンジン開発への具体的適用事例を交えて紹介する。

4.1　燃焼解析

ガソリンエンジンの熱効率を向上する上で、高圧縮比化は有効な手段である。新型インプレッサの直噴エンジンは圧縮比12.5とし、旧型エンジンに対して圧縮比を2.0引き上げている。高圧縮比化による燃費効果を最大限に引き出すためには、ノックの発生を抑制する必要がある。そこで、ノックを予測する3次元燃焼CAEの技術開発に取り組んでいる。本節では、その計算事例を紹介する。

ノックは、燃焼期間後半にエンドガスが自着火することで生じる(図16)。混合気温度の上昇はノックを起こしやすくすることから、混合気温度の抑制に有効な冷却部位を検討した。図17は、燃焼解析で各部位の壁温50℃を下げた場合に、点火～自着火発生に至るまでの時間がどれくらい変化するかを予測した結果であり、解析の結果、ライナーの寄与度が最も大きいことが分かった。図18は、混合気がエンジン各部で受ける熱量を示しており、ライナーからの受熱量が最も大きいことがわかる。吸気行程中は混合気温度よりも壁温が高く、その期間に表面積が大きいライナーの影響を受けやすいためであると考えられる。

次に、ライナーの中で混合気の受熱に影響が大きい位置を調査した。熱流束分布を図19に示すが、ライナー上部が大きい。吸気行程の混合気が強く接するため、熱伝達が促進されたと考えられる。以上の検討から、混合気温度の抑制には、ライナー上部の冷却が有効であることがわかった。

新型インプレッサのエンジンでは、ライナー上部の水流れに配慮したウォータージャケット形状を採用し(図20)、ノック抑制を図ることで、高圧縮比化を実現させた。

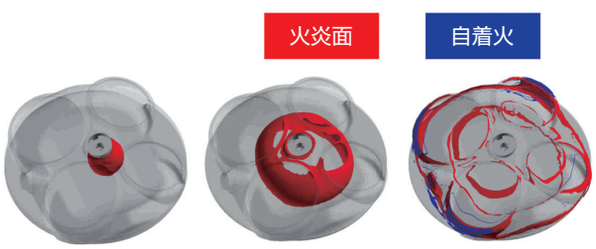


図 16　火炎伝播と自着火

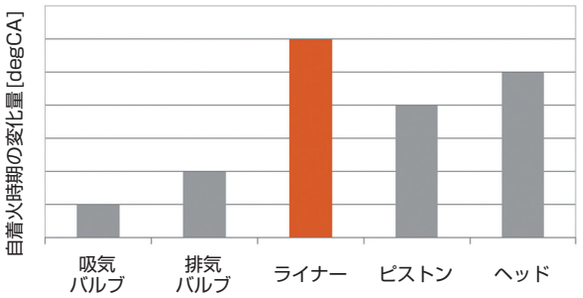


図 17　各部壁温 50℃低減による自着火時期の変化量

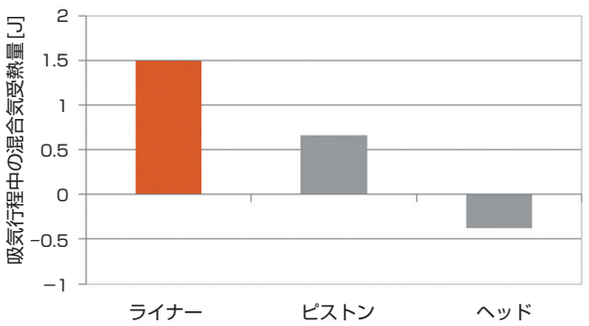


図 18　吸気行程中の混合気の受熱量

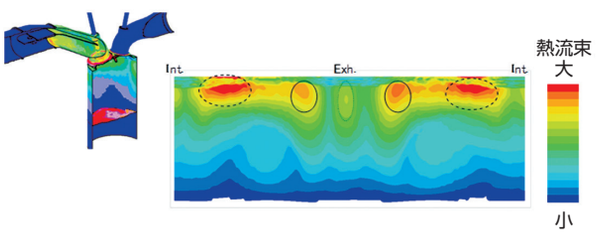


図 19　吸気行程中の熱流束分布

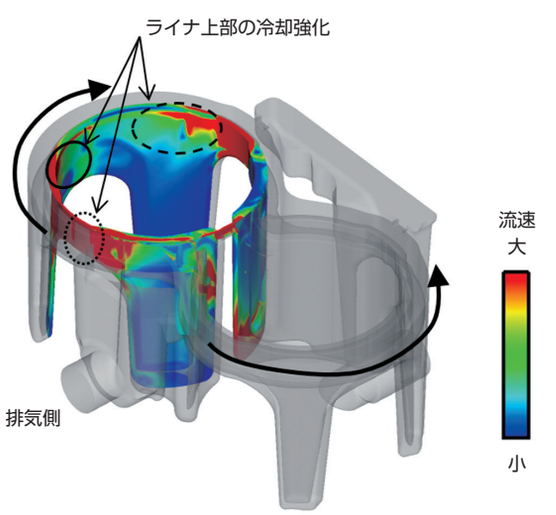


図 20　ウォータージャケット内の水流れ

5.　吸気ポート最適化

本章では、最新の解析技術として、吸気ポート定常流解析と最適化ツールを組合せた事例に関して紹介する。

5.1　吸気ポート最適化の目的

筒内流体解析の第1段階では、設計者がLiteCAEシステムを用いて吸気ポートの定常流解析を実施している。しかし吸気ポートの性能指標である流量係数とタンブル比がトレードオフの関係にあるため、どこを変更させるか判断するのが難しく、形状変更の方向性を決めるのは個々の設計担当者の経験に依存している状態だった。このためLiteCAEシステムを活用しているものの、トライ＆エラーの繰り返しのため、計算や分析に多大な工数を要していた。

そのため、最適化ツールと流れ解析ソフトを組み合わせて、形状最適化が実施できるような仕組みを作成し、背反する2性能を効率よく両立できるような取り組みを現在進めている（図21）。

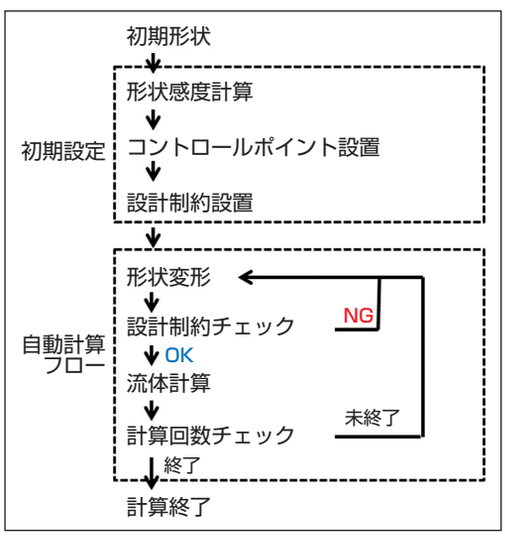


図21　最適化計算のフロー

5.2　最適化技術のプロセス

初期形状を性能改善していくためには、どこの形状を変形させると効率的なのか知ることが大事である。そのためAdjoint法を用いた形状感度計算を実施し、タンブル比と流量係数に対するポート表面形状の感度の大きさを算出した。この感度が大きい領域にコントロールポイントを配置し、このポイントを移動させることで表面形状を変形させていく。形状の変形例を図22に示す。今回の検討では、コントロールポイントは半径方向に動き、ポート形状が左右対称形状になるように変位量を制御した（図23）。

形状変形テストを実施したところ、ポート形状はコントロールポイント制御のもと自由に変形できた。しかしレイアウト制約、例えば油穴、インジェクター等とポートが干渉する事例や、工具隙間との干渉、型抜き影響から成る製造制約影響で、実形状としてポートが成立できない事例が多く見られた。そこでこれらの領域を設計制約として解析モデル上に設定した（図24）。設計制約と形状変形後のポートが干渉する際は計算を実施しないフローとし、計算負荷の低減をはかった。

計算終了後、指定計算回数に到達していない時は自動的に探査アルゴリズムが働き、よりよい形状になるように次の計算のコントロールポイント制御量を決める。この計算の繰り返しによって、吸気ポート形状の最適化を実施した。計算条件を表1に示す。

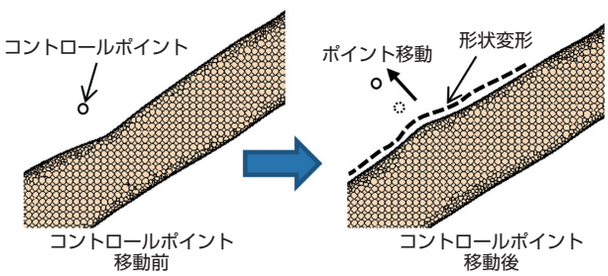


図22　コントロールポイント移動による表面形状変形例

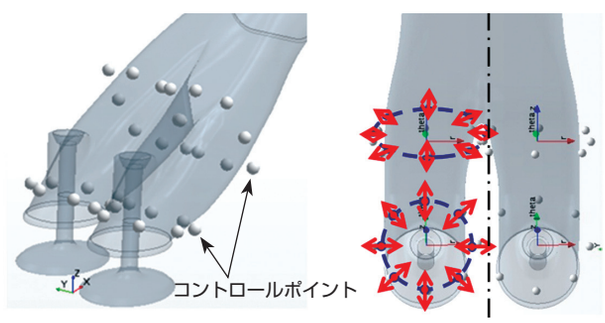


図23　コントロールポイント設置位置と動作方向

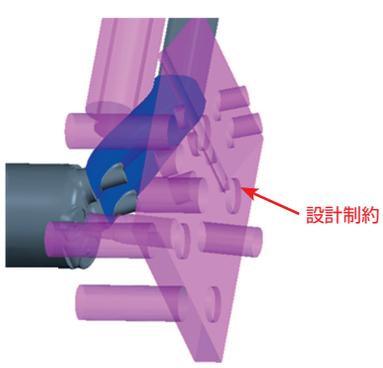


図24　設計制約の配置

表1　最適化計算の条件

目的関数	流量係数最大　かつ　タンブル比最大
設計変数	コントロールポイント変位量
計算回数	500回
制約条件	流量係数、タンブル比がベースの80%以上
アルゴリズム	Sherpa 局所／大域探査のハイブリッド

5.3　最適化計算の実施

指定回数の計算が終わると、複数のパレート解が得られる。流量係数とタンブル比性能が共に向上する結果が得られており、例えばパレート解の1つ、解1の結果はベース形状よりも、流量係数が4%、タンブル比が3%向上している(図25)。本計算は500回実施しているが、300回以降の計算結果では性能向上がほとんど見られなかったため、最適化計算は収束していると判断した。解析に要した期間は約1週間であり、エンジン開発の中で十分利用できる計算負荷であることが確認できた。

ベースと解1のバルブ中心断面流速を比較すると、排気バルブ方向の流れに関して、よりライナー壁面に沿う流れが強くなっており、タンブル渦が強められている。また同時にポート裏面の流れの剥離が解消しており、流量係数が増加している。燃焼室とポートの繋ぎ形状が最適化された結果、背反する2性能を両立することができたものと考える(図26)。

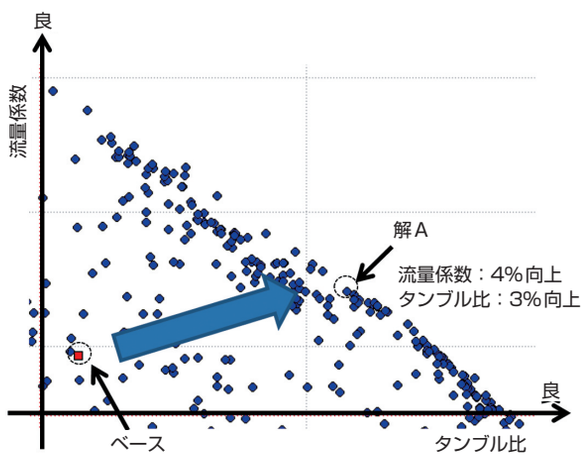


図 25　全計算結果のタンブル比と流量係数比較

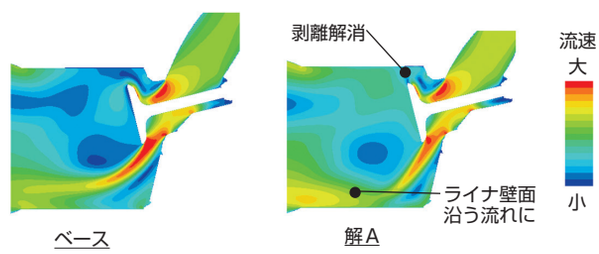


図 26　バルブ中心断面の流速比較

5.4　最適化計算の今後

最適化解析の利用により、優れた性能の吸気ポート形状を短期間で見つけ出すと同時に、得られた解から形状の特徴を抽出することで、的確な設計知見を見出すことが可能になった。本取り組みによって、個人に依存した開発から脱却し、誰でも、優れた吸気ポートを素早く見出すことが出来る環境が整えられると考えている。今後は筒内流体解析の第2段階であるガス流動解析の最適化や、他部品の形状最適化展開を見据えていきたい。

6.　おわりに

CAE技術を活用して、エンジン筒内の現象を可視化し、スバル初の直噴NAエンジンである新型インプレッサの開発に貢献した。

解析専任者のみならず、設計者自らが解析し、現象を理解しながら設計するためのツールとしてLiteCAEシステムを整備し、高いレベルで量産性と性能向上の両立を図ることができた。今後、最適化技術を導入し、より効果的に設計ポイントを抑え、短期間で高性能な直噴エンジンの開発を可能にしていく。

参考文献

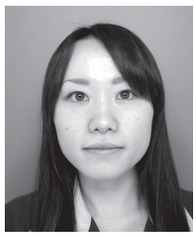
(1) 後藤大輔　他：吸気ポート定常流の可視化とライトCAEの精度検証，自動車技術会学術講演会前刷集，No.119-07，20075943（2007）
(2) 石田礼　他：エンジン筒内流動計測とライトCAEの精度検証，自動車技術会学術講演会前刷集，No.79-09，20095335（2009）
(3) 石田礼　他：非定常筒内流動ライトCAEの開発とPIVによる精度検証 第二報，スバル技報，第36号(2009)
(4) 石田礼　他：レーザー計測を用いた筒内非定常流動CAE解析の精度検証，第20回内燃機関シンポジウム，20090040（2009）
(5) 中山智裕　他：ガソリン直噴エンジンの混合気濃度分布の解析，スバル技報，第38号(2011)
(6) 石田礼　他：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前刷集No.70-02，20175339（2017）

【著　者】

齊藤　操希

菅沼　邦彦

金子　　隆


細谷　沙織

辻村　彬人

三ツ橋 秀樹

スバル「SUBARU BRZ」の大幅改良モデル
～走りのポテンシャルを高めた最上級グレードを追加～

2016年8月

「SUBARU BRZ」は、「Pure Handling Delight－新しい次元の運転する愉しさ」をコンセプトに、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」を採用した。誰もがクルマを操る愉しさと喜びを感じる事のできるスポーツカー。
2012年2月の発表以来となる今回の大幅改良では、パワーユニットからシャシーに至るまで全性能を進化させることで、走行性能を飛躍的に向上。フェイスリフトによりスバルらしいスポーティさを強調したエクステリアやインテリアの大幅な質感向上によって、より洗練されたスポーツカーへと磨き上げた。

運動性能分野における質感のさらなる向上のための高分解能実走行中タイヤ３分力計測

Tire Three Component Force Measurement System in Actual Driving Situation in Order to Achieve Higher Quality in Vehicle Dynamics

日　向　俊　行*1　　矢　吹　直　人*2
Toshiyuki HYUGA　　Naoto YABUKI

抄　録

ステアリング操舵初期のフィーリングは、タイヤ復元力（セルフアライニングトルク：SAT）の過渡特性によって大きな影響を受ける。実走行中のSATと相関の高いと考えられるタイヤ接地面荷重（Fx, Fy, Fz）に着目した。その計測手段として、実車実走行中のタイヤ3分力を高分解能で計測できる環境を構築した。3分力計測の距離分解能はセンサの大きさに依存するが、配置及び演算処理の工夫により高分解能化を図った。高分解能化したタイヤ3分力計測装置により、詳細なタイヤ接地面解析が行えるようになり、ステアリング操舵初期のフィーリングと相関のある指標構築への足掛かりを得た。

Abstract

The transient tire Self Aligning Torque (SAT) greatly affects vehicle subjective evaluation in the minute steering input region, so we have investigated the tire three component forces which are considered to be correlated with actual SAT and constructed a high resolution tire three component force measurement system in actual driving situation. The measurement resolution depends on sensor size, but we have developed a higher resolution system by arranging the sensor and changing the calculation procedure. With this system, we have been able to get clues to grasp the parameter which correlates with initial steering feel.

1.　まえがき

車両運動性能分野での更なる質感向上において、主に操舵初期の操舵感や車両応答性の向上を図っている。特にタイヤ復元力（セルフアライニングトルク：SAT）の過渡特性が操舵初期のフィーリングに与える影響が大きいことが分かってきており、実車走行中に生じる実SATと相関の高いと考えられるタイヤ接地面荷重（Fx, Fy, Fz）分布に着目した。また、タイヤ単体の影響だけでなく、シャシー部品やジオメトリ、車両諸元などによる影響も把握するために、実車走行中のタイヤ3分力を高分解能で計測できる環境を構築した。本論文では、実車走行中のタイヤ3分力計測の高分解能化手法についての概要と、高分解能化した実走行中タイヤ3分力計測システムを用いた計測事例及びタイヤ接地面解析事例について報告する。

＊1 技術開発部
＊2 車両研究実験第1部

2.　タイヤ３分力計測装置の高分解能化

2.1　計測原理

路面埋込式タイヤ接地面3分力計（Force Matrix Sensor：FMS）は8×8 mmのセンサを複数個並べて構成される。センサの構成単位は8×8 mmのセンサが10個で1ユニットごとにまとめられ、その信号が動ひずみアンプ、A/Dコンバータを介してデジタル信号化され、DSPハードウェアへ100 kHzのサンプリングレートで送信される。

例としてFMSを横方向に4ユニット（40センサ）を配置した際の計測を説明する。このときセンサ領域はW×H＝320×8 mmとなる。この領域では、特に縦方向領域においてタイヤ接地面の接地長よりも短い領域しかなく、同一時間における接地面3分力分布は計測できない。

しかしながら、縦方向には100 kHzでサンプリングしている時系列データが存在する。この時系列データを速度情報とかけ合わせて、位置情報に変換しフッ

トプリントを構成することができる。概念図を図1に示す。

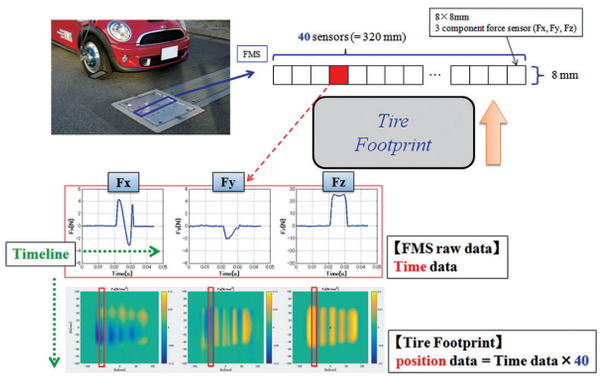


図1　計測原理概念図

2.2　導入システム概要

スバル研究実験センター（SKC）に、新たに横方向に6ユニット、縦方向に6列の計6×6＝36ユニット、8×8　mmセンサとしては360個をマトリクス状に配置した装置を導入した。路面埋め込み時の外観写真を図2に示す。

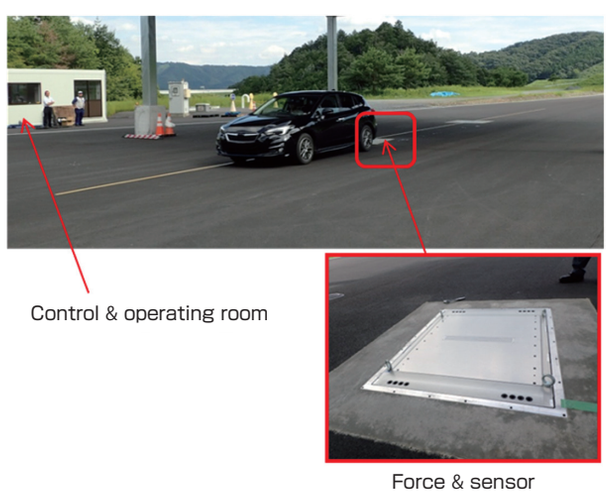


図2　システム外観写真

導入したシステムは、FMSよりもサイズの大きいプレート型の6分力センサを備え、その計測値を基にプレート上の通過位置及び通過速度を計算することが可能である。この通過速度を用いてFMSで計測した時間データから位置データを求める。

本FMSは6ラインで構成されるため、1度の試験走行で6つのフットプリントが生成される。これらを補正処理して重ね合わせることで、位置分解能が向上した1つのフットプリントを構成する。

2.3　従来計測手法

いま図3にあるような車両進行方向に対して直角に置いたセンサ配置を考える。試験車速をV、サンプリング時間をT_s、センサ長をL_sとすると、縦横方向の位置分解能⊿X、⊿Yはそれぞれ、

$$⊿X = V \times T_s$$

$$⊿Y = L_s = 8\ \text{mm}\ (= \text{sensor size})$$

となる。例えば、$V = 100$ km/h、$T_s = 1.0 \times 10^{-5}$ secのときは、⊿X ≒ 0.28 mmとなる。このように、横方向の位置分解能はセンササイズに依存し縦方向と比べて極めて分解能が粗くなってしまう。

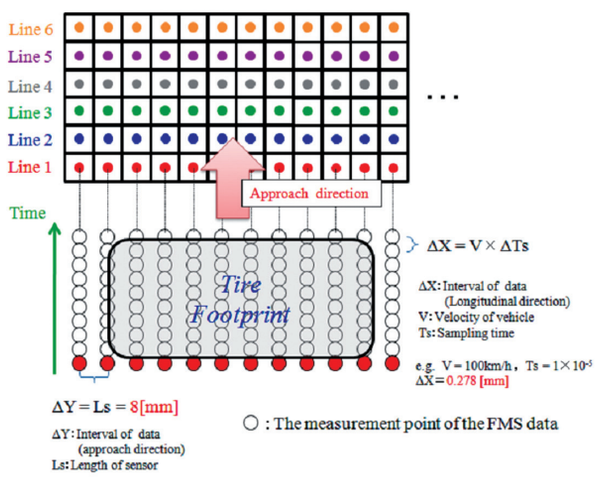


図3　従来センサ配置方法概略図

2.4　導入システムによる計測手法

そこで、図4にあるようなセンサ配置を考える。具体的には、センサ配置方向と車両進行方向にθだけ傾斜角を設ける。この状態でセンサ上を走行すると、各ラインにおけるFMSへの進入タイミングは、センサ左側から右側にかけて遅れが生じる。その遅れ時間に対し縦方向速度だけ位置補正をかけることで、フットプリントが構成できる。この処理を6ラインすべてのFMSデータに対して適用することで、フットプリントが6つ生成される。

次に、これらのデータを結合し横方向の位置分解能が向上したフットプリント1つを生成する。ただしこれは進入角θを適切に指定することにより、図4の過程で生成した6つのフットプリントに関して、データ点を横方向に順番に並べるだけでこの処理は完了する。

この処理の様子を図5に示す。θは補正後のLine 1～6のフットプリントのサンプル点が、横方向に順番に並ぶようにとれば良いので、$\theta = \arcsin(1/6) \fallingdotseq 9.55$ degとなる。

縦横方向の位置分解能Δ X、Δ Yはそれぞれ

Δ X = V × T_s = 0.278 mm（V = 100 km/h時）

$\Delta Y = L_s \times \sin\theta \fallingdotseq 1.33$ mm

となり、図3で示した車両進行方向に対して直角に置いたセンサ配置の場合に比べ、横方向の分解能が6倍向上する。

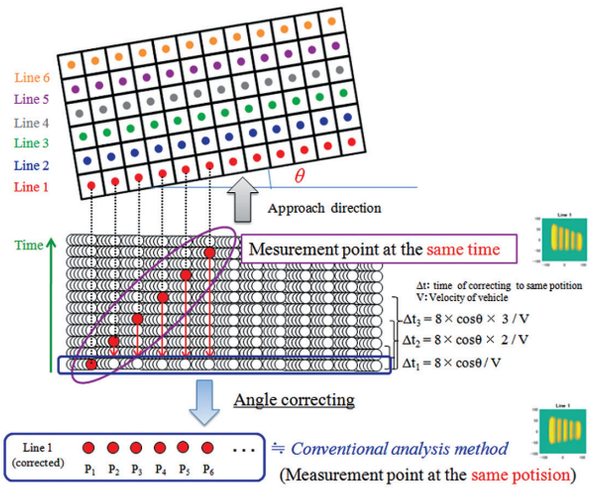


図４　角度補正手順概略図

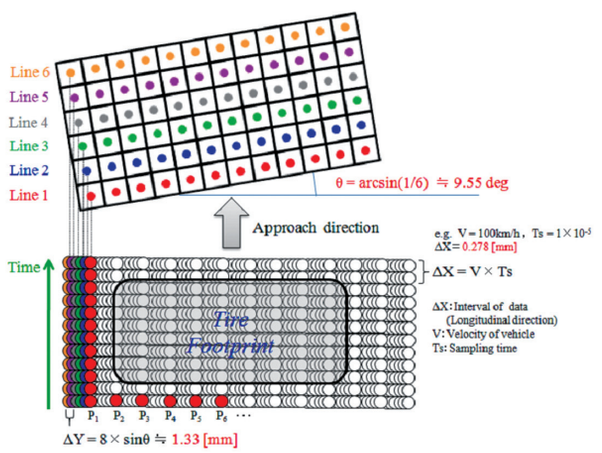


図５　６列データ重ね合わせ概略図

3.　実験条件

今回は装着タイヤ違いでの評価及び走行速度違いによる接地面形状への影響検証を実施した。

試験条件を表１に示す。

4.　タイヤ違いでの評価結果

4.1　タイヤ違いでのフィーリング評価比較

FMS試験に先立ち、タイヤ違いでの車両フィーリング評価を行った。その結果、Tire Aを装着した状態ではTire B装着時に比べ、ステアリングセンター付近の手応えが増加し、かつ微小舵角域におけるステアリングトルクのリニアリティが向上するという点が特に顕著な差として現れた。

表１　試験条件

試験－１　タイヤ違い	
Test vehicle	D segment Wagon
Test tire	1. Tire A 2. Tire B
Tire size	225/45R18
Rim width	7.5J
Vehicle speed	30 km/h (straight driving)

試験２　走行速度違い	
Test vehicle	D segment SUV
Tire size	225/60R18
Rim width	7.0J
Vehicle speed	30, 60, 100 km/h (straight driving)

4.2　タイヤ定常特性比較

タイヤ特性値をフラットベルト試験機にて計測し、計測結果にもとにコーナリングパワー（CP）とセルフアライニングトルクパワー（SATP：注）を算出した（表2）。

表2のタイヤ特性値は Tire Aの方がCPの絶対値が小さく、CPの前後バランスでも Tire A と Tire Bに差が無く（共に前輪／後輪＝1.26）、さらにSATPに関しても Tire Aの方が小さい結果になっている。

4-1項で述べた実車フィーリング評価の結果と相関が無い結果となった。

なおキャンバー角をつけた状態（±1°、2°）でのタイヤ特性値も計測しているが、同様の傾向がみられた。このことから、タイヤ特性値だけではステアリングセンター付近のステアリング手応えといった実車性能を必ずしも把握できるレベルではないと考える。

（注）セルフアライニングトルクパワー：微小横滑り角領域における単位横滑り角あたりのセルフアライニングトルク

表２　タイヤ特性計測結果

	Load condition 5 kN (Front)	
	CP [N/deg]	SATP [Nm/deg]
Tire A	1722	62
Tire B	1742	68
	Load condition 3.5 kN (Rear)	
	CP [N/deg]	SATP [Nm/deg]
Tire A	1363	36
Tire B	1384	38

4.3　タイヤ違いでの接地面形状・荷重分布の比較

4.1項での実車フィーリング評価差は、実走行中のタイヤ接地面荷重(Fx, Fy, Fz)によって説明できると考え、タイヤ違いでの実走行中の実車両におけるFMS計測を行なった。

図6に、Tire A、Bそれぞれのタイヤでの3分力の計測結果を示す。コンター図で接地荷重分布(Fz)を、コンター上のベクトルによって水平方向分力(Fx, Fyの和)を示している。

タイヤ違いで大きくタイヤ接地面形状が異なり、Fx, Fyの分力に関しても接地面内における分布や大きさに差異が確認された。接地面内における分力分布、大きさは、実走行中に実際に生じるセルフアライニングトルクにダイレクトに影響を与えると考え、接地面内分力データを詳細に解析した。その結果、実車フィーリング評価で顕著な差となったステアリング手応えと相関のある結果が得られる見通しが立った。従来からあるタイヤ特性値だけでは捉えることができなかった、実車におけるステアリングセンター付近の手応えと結びつく特性が、高分解能化したFMSによって把握できるようになった。

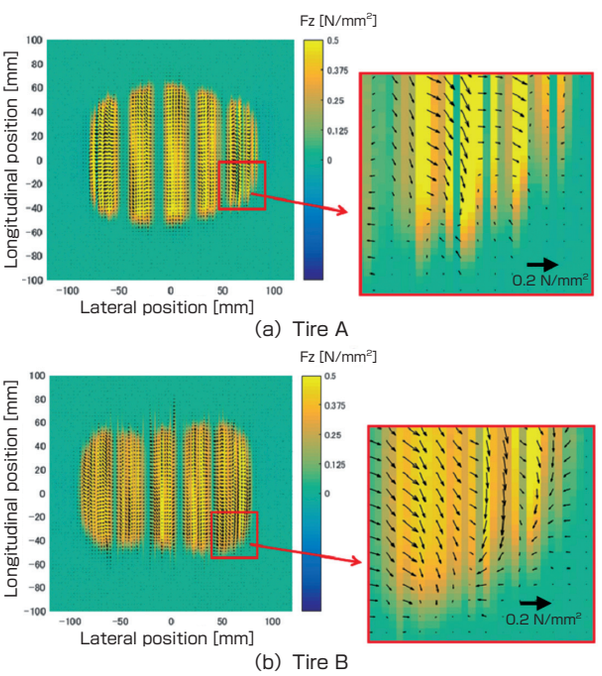


図6　高分解能化したFMSでのタイヤ違い接地面形状・分力比較結果
（分力ベクトルは3 mmピッチで描画）

5.　走行速度違いでの評価結果

次に、走行速度がタイヤ接地面に与える影響を把握するため、走行速度違いでの評価を行った。速度違いでの接地面形状の差が分かりやすいようタイヤ接地面の輪郭を図示した結果(FMSデータ処理ソフトで算出)を図7((A) 30 km/h, (B) 60 km/h, (C) 100 km/h)に示す。

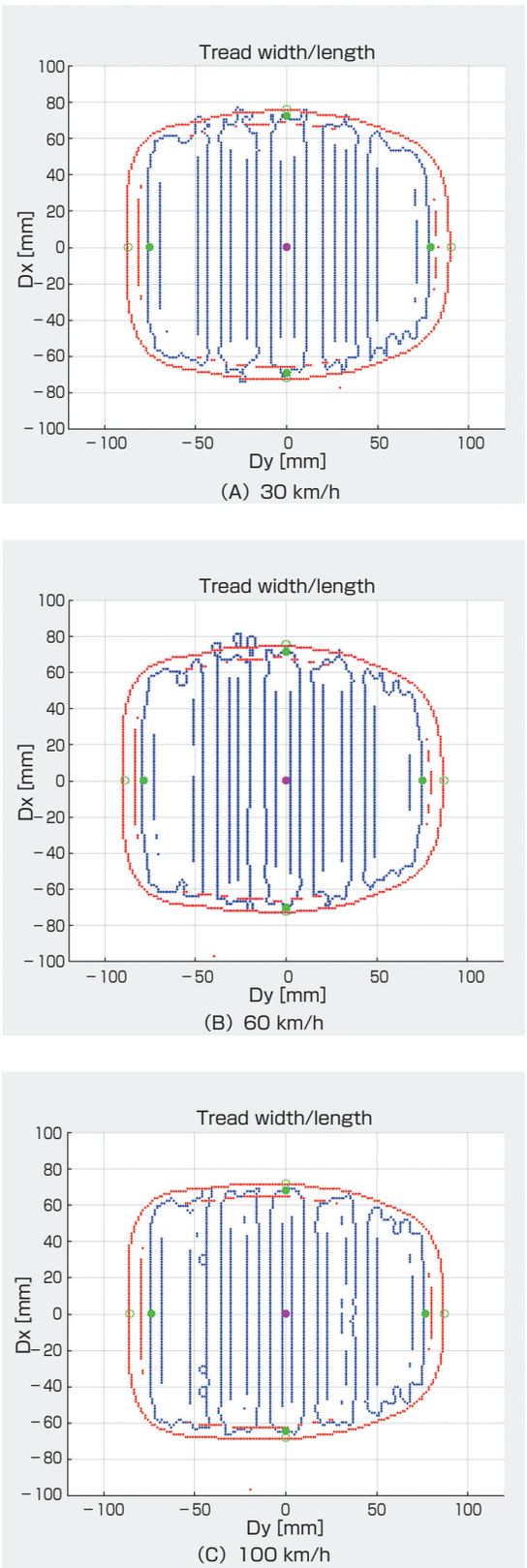


図7　走行速度違いでのタイヤ接地面形状

走行速度違いによって、タイヤ接地面における接地前後長、及び接地左右幅に差が見られた。特に100 km/hでは接地前後長、接地左右幅が大きく減少することがわかった。走行速度30 km/h時の接地前後長、接地左右幅をそれぞれ100とした場合の60 km/h、100 km/hの結果を図８に示す。

本試験タイヤは、高速域においてステアリング中立域のステアリング手応えが急激に減少するとのフィーリングコメントがあり、その車両評価との相関があると考えている。

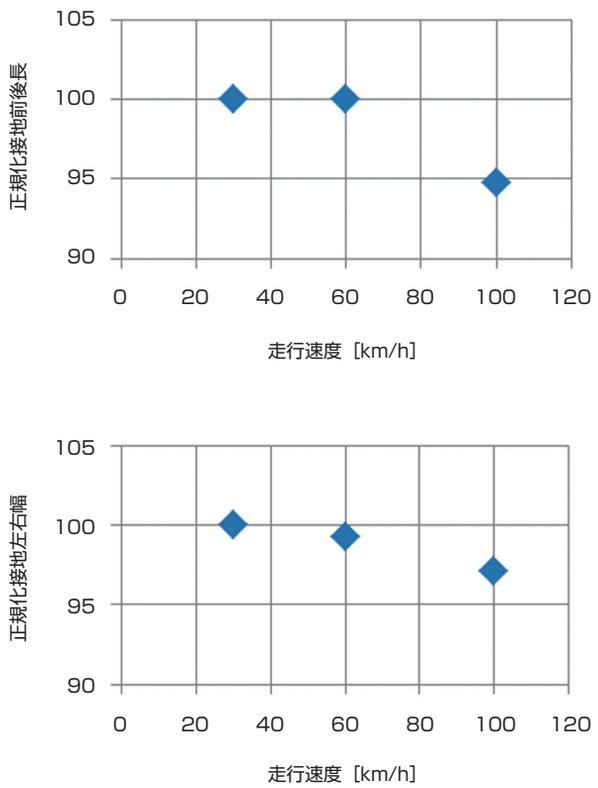


図８　走行速度に対する正規化接地前後長・接地左右幅

5.　まとめ

高分解能化した3分力センサによって、今まで定量的に把握することが出来なかったタイヤ接地面における分力分布の詳細な解析が可能になり、タイヤ違いによるタイヤ接地面形状や接地面内分力に大きな差があることがわかった。さらに走行速度変化に対して、非線形的にタイヤ接地前後長や左右幅が変化するケースがあることも明らかになった。継続して実車評価との相関を明らかにし、新たな評価指標構築に向けて取り組んでいく。そして、今回報告したステアリング操舵初期のフィーリング向上だけでなく、操縦安定性全般及びNVH性能、摩耗性能などとの高次元での成立に繋げていく。

本装置は、車両の実走行中のタイヤ接地面3分力を高分解能で計測可能という点が世界においても類を見ない装置である。この特長を活かし、車両諸元やジオメトリの影響さらにサスペンション部品がタイヤ接地面に与える影響を確認し、最適なタイヤ接地状態を実車走行時に得るにはどうすればよいか、タイヤ単体だけでなく車両諸元、ジオメトリ、サスペンション部品を含めた実験的なアプローチを今後も継続していく。

6.　謝辞

本論文を作成するに当たり、本装置開発元の株式会社エー・アンド・デイの関係者の皆様、特に機械設計本部　坂野正昭様、第2設計開発本部　木戸一希様、第1営業部　山本章央様には多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。大変有難うございました。

参考文献

(1) 桑山　勲：タイヤ路面内剪断力分布の計測・可視化技術，自動車技術会論文集，Vol.43, No.5, p.1075 (2012)

【著　者】

日向　俊行

矢吹　直人

筋活動と動作の離散性による自動車の操縦快適感評価手法の研究

Study of Steering Feeling Evaluation Method for Vehicle by Analyzing Discreteness of Muscular Activity and Steering Action

澄川瑠一[*1] Ryuichi SUMIKAWA
鳥居武史[*1] Takeshi TORII
佐藤能英瑠[*1] Noeru SATO
杉山明子[*1] Akiko SUGIYAMA
上條正義[*2] Masayoshi KAMIJO

抄　録

本研究では操縦快適感を上肢の筋活動および動作解析と車両情報から評価する手法を提案することを目的とし、実車を用いた実験を行った。パワーステアリングのアシスト量を変更できる実験車両を用いて、異なる操舵感覚「軽い」「中間」「重い」の3つを実験条件に設定した。計測には筋電計と加速度計を用いた。筋電計は三角筋・前部に電極を装着し、加速度計は手首に装着して行った。解析に用いるデータは操舵時にステアリングホイールの持ち替えを必要としないカーブ区間の定常円旋回部のみとした。操縦快適感が高い条件では運転中における動作の再現性が高くなるという仮説を立て実験データの離散性に着目し、筋活動量と加速度平均の座標原点からの各点の距離の平均を求め離散度Dを計算した。この仮説では離散度Dが低い程操舵が安定し、操舵快適感が高いと考えられる。実験の結果、操縦快適感が高い条件では離散度Dが低くなることが分かり、指標としての可能性が示唆された。

Abstract

In this study, we conducted experiments using an actual vehicle to investigate evaluation methods of steering feeling by analyzing upper limb muscular activities, steering actions and vehicle information. Using a vehicle which could change the quantity of the power steering assist, we set three experiment conditions, which were light, middle and heavy. EMG was attached to the front of the deltoids and an accelerometer was attached to the wrist. In the analysis, we used data in the steady-state cornering of the curve section. The curve does not require re-holding the steering wheel. We hypothesized that in conditions that the steering feeling is good, the reproducibility of the steering action would be higher. We determined the average distance from the origin and calculated a discrete value D. It is considered that if the discrete value D is lower, the steering action is more stable and the steering feeling is better. As a result of the experiments, the discrete value D had a lower score in a better feeling condition. Since the experiments concluded with similar results, they indicated possibility of estimating steering feeling.

1. まえがき

自動車にとって、単に運転できることだけではなく、快適に操縦できることは重要な要素である。多くのドライバがより快適で運転しやすいと感じる自動車を開発するためには、操縦快適感の定量的な評価が必要である。自動車の操縦快適感の評価は、テストドライバによる官能評価が行われることが多い。しかし、リアルタイムでの計測・評価が困難で、ドライバの記憶に依存するために評価の精度の低下を招くことや、それに伴って連続した複雑な実験試技の評価に不適であること、ドライバの主観に依存するため客観的な評価が難しいことなどの問題点がある。そのため、より客観的に操縦時の快適感を計測評価できる手法を研究している。自動車の操縦快適感評価の方法としては、脳活動や心電図、脈波などから推定される自律神経活動を計測することによる人の生理反応から評価する方法や、表情変化やパフォーマンス性などの動作解析から評価する方法などが検討されてきている[1～3]。加速度計による動作分析は様々な分野で行われてきたが、ドライバの運転動作に着目した先行研究は少ない。

＊1 技術研究所
＊2 信州大学

運転しやすい自動車と運転しにくい自動車を操縦する際には筋活動や動きに違いがあると考えられ、筋電計や加速度センサを用いた実験を行ってきた[4]。ドライビングシミュレータを用いた実験では、操舵荷重が重くなるほど腕の筋活動量は大きくなり、腕の加速度平均が小さくなる結果が得られた。この結果から筋活動量Mと加速度平均AのZ得点の積から操舵の妥当性Vを式(1)のように定義し、主観評価と高い相関を得たことから評価手法としての可能性を示した。本研究では実車を用いた実験を行い、操舵動作時の腕の筋活動と加速度を解析することで、操舵の妥当性Vの検証を含む操縦快適感の評価手法についての検討を行った。なお、本検討における全ての実験は当社倫理審査委員会の承認を受け、実験参加者には事前に実験内容を説明し了承を得た後に行った。

$$V = M \times A \quad (1)$$

2. 実験Ⅰ

2.1 実験概要

実験Ⅰではパワーステアリングのアシスト量を変更できる実験車両を用いて、3つの異なる操舵感覚「軽い」「中間」「重い」を実験条件として設定した。実験に使用するコース1を1周走行した際の各条件における操舵トルクの平均を**図1**に示す。実験条件の違いによるドライバの操舵動作を筋電計・加速度センサを用いて計測した。また、走行終了後に条件毎にアンケート評価を行った。

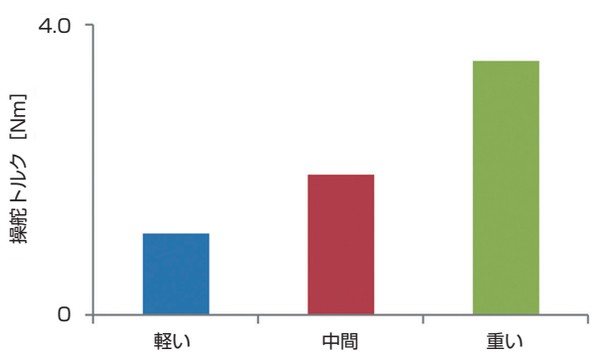


図1 コース1走行時の操舵トルク平均値

2.2 実験環境

走行コースにはスバル研究実験センター内にある複数のカーブを有する周回路を使用し、実験参加者は健常な成人男性5名とした。筋電計は三角筋・前部に電極を装着し、加速度計は手首に装着した。また、解析に用いるデータは操舵時にステアリングホイールの持ち替えを必要としないカーブ区間の定常円旋回部のみとし、最初の左カーブを区間1、右カーブを区間2、最後の左カーブを区間3とする。**図2**にコースと各評価区間を示す。

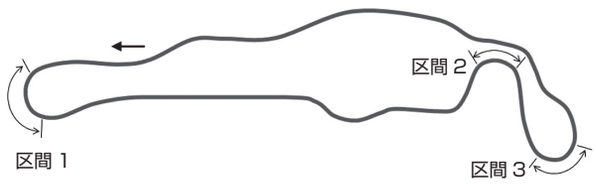


図2 コース1と解析区間

2.3 測定方法

実験条件毎にコースを5周し1人15周を走行した。運転速度はドライバが安全と判断できる範囲で50 km/hを維持し、カーブではステアリングホイールを押し上げるような動作で操舵を行うように指示した。順序効果の影響を考慮し実験条件は1周毎に変更し、1セット3周ずつにランダムに設定した。また、実験条件の違いによる心理的印象を主観評価により把握した。具体的には10項目の質問に対し5段階で評価した。なお、評価は13・14・15周目それぞれの走行後に記述式にて行った。

3. 実験Ⅰ結果

3.1 主観評価

全実験参加者の主観評価の平均結果を**図3**に示す。項目「ステアリングが軽い」「取り回しやすい」は同じような傾向を示した。これは操舵トルクの大小が取り回しやすさに大きく影響していると考えられる。「操舵感が良い」「走りに安定感がある」「走りに安心感がある」「乗り味が好き」の項目は軽い＜重い＜中間の傾向を「滑らかに走ることができる」の項目は重い＜軽い＜中間の傾向を示した。これら5項目は項目「総合的に良い」との相関が高く、総合評価に影響のある評価用語といえる。項目「総合的に良い」は軽い≒重い＜中間の関係を示した。全項目を通して中間が最も評価が高く、適度な重さがドライバに操舵感の良さや安定感・安心感といった操縦快適感覚を与えると考えられる。

3.2 筋活動量

式(2)を用い実験参加者毎に%MVCを算出した。なおRMS1は各解析区間を走行した際の電位変化の実効値、RMS2は別途計測した最大随時収縮時における電位変化の実効値を示している。また、実験参加者間に大きな値の差がみられたため、式(3)を用い平均0、標準偏差1となるようにデータの正規化を行った。なお、

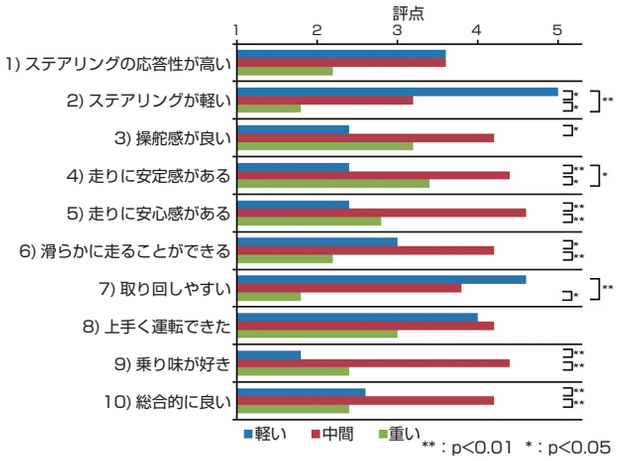


図３　主観評価結果

xは測定値、iはデータ数、σは標準偏差、Mzは計算結果である筋活動量のZ得点を表す。**図４**に全実験参加者の平均結果を示す。本実験は押し操舵による定常円旋回区間を解析対象としているため、各区間において主導と考えられる側（区間1 左旋回：右腕、区間2 右旋回：左腕、区間3 左旋回：右腕）の三角筋・前部を被験筋とした。**図４**の結果において、区間1は軽い＜中間＜重いとの傾向を示し、操舵トルクが軽いほど筋活動量が低く、操舵トルクが重いほど筋活動量が高くなり実験条件の特性と一致する結果を得たが有意差はみられなかった。区間2は区間1と逆に操舵トルクが重くなると筋活動が低くなる傾向を示した。操舵トルクの設定に変化はなく旋回半径の違いも少ないことから、この区間では左腕の三角筋以外の筋による操舵が行われていた可能性がある。区間3は区間1および区間2と異なる傾向を示したが、この区間も走行条件には大きな差異はないことから連続したカーブ区間による影響から右腕の三角筋以外の筋による操舵が行われていたと考えられる。

$$\%MVC = \frac{RMS1}{RMS2} \times 100 \qquad (2)$$

$$Mz = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \qquad (3)$$

3.3　加速度

加速度は3軸方向の合成ベクトルを計算し、各解析区間を走行した際の平均値を実験参加者毎に算出した。加速度平均も実験参加者間で大きな値の差がみられたため、筋活動量と同様に平均0、標準偏差1となるようにデータの正規化を行った。計算結果はAzとし、**図５**に全実験参加者の平均結果を示す。筋活動と同様に比較するため、解析には区間1 左旋回：右腕、区間2 右旋回：左腕、区間3 左旋回：右腕の計測結果

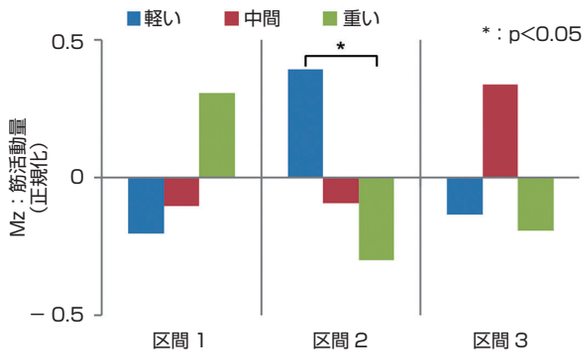


図４　筋活動（正規化）

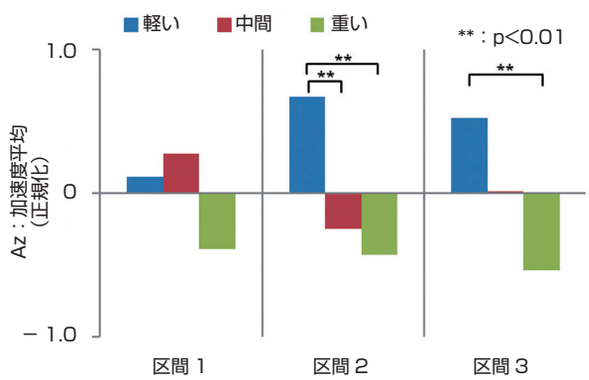


図５　加速度平均（正規化）

を用いた。区間2および区間3は軽い＞中間＞重いとの傾向を示し、操舵トルクが軽いほど動作が素早く、操舵トルクが重いほど動作が遅くなり実験条件の特性と一致する結果を得た。区間1は中間＞軽い＞重いとの傾向を示した。

3.4　操舵妥当性

式(1)により筋活動量Mzと加速度平均Azの積から操舵妥当性Vを求めた結果を**図６**に、主観評価の得点と妥当性Vの相関係数を**表１**に示す。**表１**において操舵感に関する項目の相関係数が低いことから、操縦快適感覚の指標としての有用性は認められなかった。

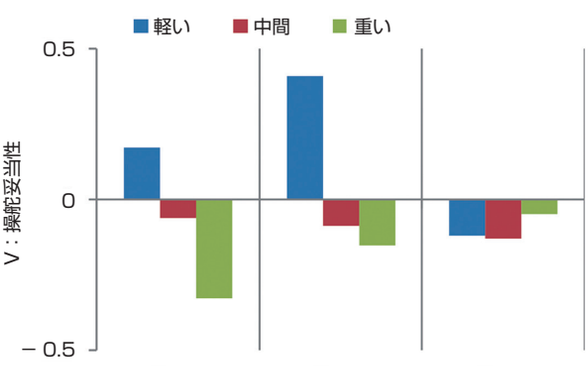


図６　操舵妥当性

表１　主観評価と操舵妥当性の相関係数

質問	区間１	区間２	区間３
1) ステアリングの応答性が高い	0.89	0.59	− 0.99
2) ステアリングが軽い	0.99	0.94	− 0.75
3) 操舵感が良い	− 0.41	− 0.77	− 0.19
4) 走りに安定感がある	− 0.46	− 0.81	− 0.13
5) 走りに安心感がある	− 0.13	− 0.55	− 0.46
6) 滑らかに走ることができる	0.44	− 0.01	− 0.87
7) 取り回しやすい	0.98	0.79	− 0.92
8) 上手く運転できた	0.80	0.46	− 1.00
9) 乗り味が好き	− 0.18	− 0.60	− 0.41
10) 総合的に良い	0.14	− 0.31	− 0.68

表２　標準偏差

	軽い	中間	重い
区間１	0.90	0.54	1.86
区間２	1.19	0.61	0.99
区間３	1.29	0.41	0.91

3.5　離散度

図３より総合的な評価は安心感や安定感と傾向が近いこと、表２より総合的な評価が高い条件では標準偏差が小さいことに着目し、操縦快適感が高い条件では運転中における動作の再現性が高くなる仮説を立てた。そこで、図７における各条件の離散性に着目した。原点付近に集約するということは、操舵が中程度の筋活動と加速度を伴い安定したバランスを保っていると考えられる。座標原点からの各点の距離平均を式(4)によって求め、離散度Ｄを計算した。なお、Ｎはデータ数を表す。図８に得られた離散度Ｄを、表３に主観評価との相関結果を示す。離散度Ｄが低いほど操舵が安定し操舵快適感が高いと考えられる。また、区間１および区間２の離散度は主観評価と強い負の相関(－0.8以下)がみられたことから、指標としての可能性が示唆された。

$$D = \frac{1}{N}\Sigma\sqrt{Mz^2 + Az^2} \qquad (4)$$

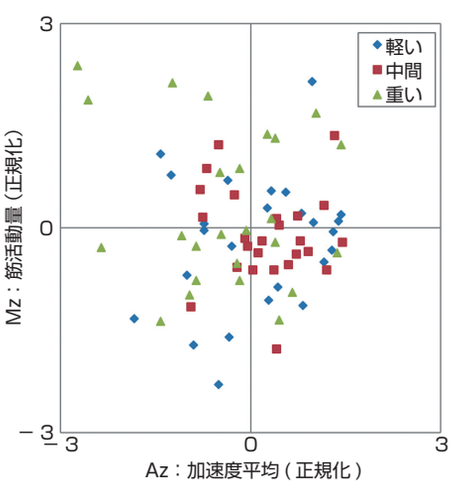


図７　筋活動と加速度平均の相平面図（区間１）

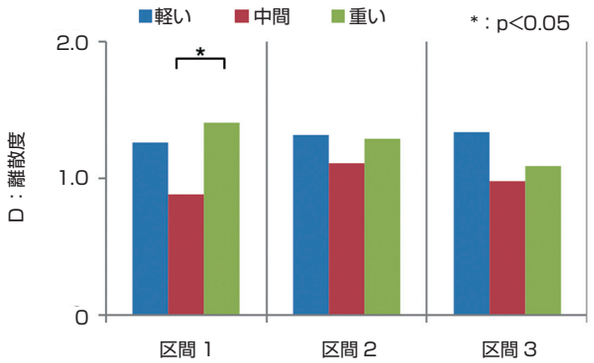


図８　離散度（コース１）

表３　主観評価と離散度の相関係数

質問	区間１	区間２	区間３
1) ステアリングの応答性が高い	− 0.72	− 0.38	0.21
2) ステアリングが軽い	− 0.20	0.20	0.72
3) 操舵感が良い	− 0.74	− 0.95	− 0.96
4) 走りに安定感がある	− 0.70	− 0.92	− 0.98
5) 走りに安心感がある	− 0.90	− 1.00	− 0.85
6) 滑らかに走ることができる	− 0.99	− 0.86	− 0.42
7) 取り回しやすい	− 0.50	− 0.11	0.47
8) 上手く運転できた	− 0.82	− 0.52	0.05
9) 乗り味が好き	− 0.88	− 1.00	− 0.87
10) 総合的に良い	− 0.98	− 0.97	− 0.67

4.　実験Ⅱ

4.1　実験概要

実験Ⅰとは異なる環境にて離散度の検証を行うために、実験参加者と走行コースを変更した実験Ⅱを行った。実験Ⅰと同様にパワーステアリングのアシスト量を変更できる実験車両を用いて同じ実験条件を設定し、ドライバの操舵動作を筋電計・加速度計を用いて計測した。また、走行終了後に条件毎にアンケート評価を行った。

4.2　実験環境

走行コースには東京事業所内にあるコース２を使用し、実験参加者は健常な成人男性６名とし、１人12周を走行した。筋電計は三角筋・前部に電極を装着し、加速度計は手首に装着した。また、解析に用いるデータは操舵時にステアリングホイールの持ち替えを必要としないカーブ区間の定常円旋回部のみとし、最初の左カーブを区間1、次の右カーブを区間2とする。なお、コース２はコース１に対してカーブ区間の距離が短く、曲線半径は区間１がコース１と同程度であり、区間２がコース１よりも小さくなっている。図９にコースと各評価区間を示す。

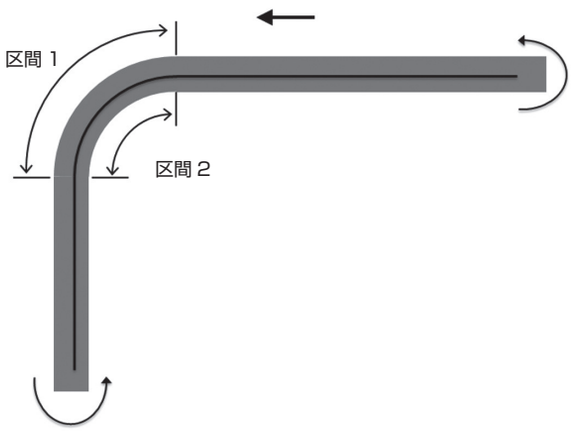


図９　コース２と解析区間

4.3　測定方法

実験条件毎にコースを4周し1人12周を走行した。運転速度は評価区間にてドライバが安全と判断できる範囲で50 km/hを維持し、評価区間のカーブではステアリングホイールの持ち替えをせずに操舵を行うように指示した。順序効果の影響を考慮し実験条件は1周毎に変更し､1セット3周ずつにランダムに設定した。

4.4　実験結果

筋活動は押し操舵による定常円旋回区間を解析対象としているため、各区間において主導と考えられる側（区間1 左旋回：右腕、区間2 右旋回：左腕）の三角筋・前部を被験筋とした。操舵トルクが重い程、筋活動量が高くなる結果となった。三角筋を主導とする操舵を行っていたと考えられる。加速度は筋活動と同様に比較するため、解析には区間1 左旋回：右腕、区間2 右旋回：左腕の計測結果を用いた。加速度は実験条件間に違いはみられなかった。図10に示す離散度の結果は、区間1、2共に中間操舵トルクが低い値を示した。これは実験Ⅰと同様に操舵快適感が高いと離散度が低くなる結果となった。

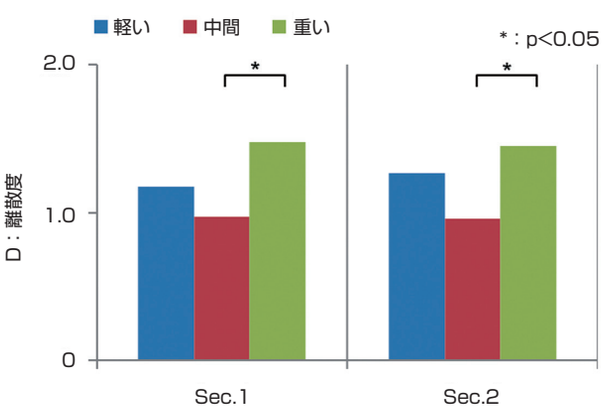


図 10　離散度（コース 2）

5.　まとめ

操舵トルクの異なる車両を用いた実験を行い、ドライバの筋活動、加速度を解析することで次のことが明らかとなった。

①筋活動と加速度平均の積である操舵妥当性はシミュレータ実験と実車実験では異なる傾向を示すことが分かった。

②操舵快適感が高い条件では運転動作の再現性が高く、筋活動と腕の加速度平均の相平面における原点からの離散度を求めることにより主観評価と強い相関を得ることが分かった。

③異なる走行コースでも操舵快適感が高い条件は離散度が低くなることが分かった。

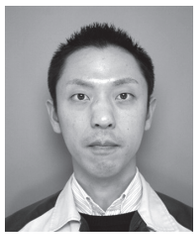
今回の実験から、離散度を求めることによって定常円旋回部におけるドライバ状態から印象評価を推定する可能性を得た。離散度を求めるには、筋電計、加速度計を装着し、同じコースを複数回走行する必要があるため、今後はより簡便な手法が求められる。

参考文献

(1) 横森求：発汗によるドライバの精神的負荷の検討，自動車技術，Vol.58, No.4, p.111 − 116 (2004)
(2) 東朋幸ほか：唾液アミラーゼ活性を利用した交感神経活動モニターの開発，YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW, No.40 (2005)
(3) 早田有利ほか：運転開始前後の生体情報を用いたドライバ覚醒度低下状態の早期予測、電気学会論文誌C, Vol. 133, No. 12, p.2160 − 2166 (2013)
(4) 石浦宏樹ほか：操舵動作解析による自動車の操縦快適感評価手法に関する検討，第11回日本感性工学会春季大会予稿集，Vol.11, P − 11 (2016)

【著　者】

澄川　瑠一


鳥居　武史

佐藤 能英瑠

杉山　明子

上條　正義

特別仕様車「SUBARU XV 2.0i EyeSight Proud Edition」
～ BOXERエンジン50周年特別記念車の第一弾～

2016年5月

スバル初のBOXER（水平対向）エンジン搭載車「スバル1000」の発売から50周年を記念した特別仕様車の第一弾としてSUBARU XV に「2.0i EyeSight Proud Edition」を設定。

車種名	グレード	エンジン	駆動	変速機
SUBARU XV	2.0i EyeSight Proud Edition	2.0L 水平対向 4 気筒 DOHC	AWD	リニアトロニック

ハイブリッド車の電磁ノイズ・シミュレーション技術の研究

Research on Electromagnetic Noise Simulation Technology for Hybrid Vehicle

戸野塚　徹* Toru TONOZUKA
佐藤雅之* Masayuki SATO
吉高　茜* Akane YOSHITAKA
中村健一* Kenichi NAKAMURA

抄　録

ハイブリッド車の高電圧部品から発生する電磁ノイズの低減は、重要な課題である。電磁ノイズは、車両ハーネスの長さや配置、電装部品の設置場所やアンテナ性能など、多くの要因に影響される事が周知であり、実車の無い段階で予測する事が難しい。本稿では、電磁ノイズが伝搬する経路や分布などを予測するための電磁ノイズ・シミュレーションに対する取り組みを紹介する。

Abstract

The simulation technology of electromagnetic noise generated from high voltage components of hybrid vehicles was researched. It is well known that electromagnetic noise is influenced by many factors such as the length and arrangement of vehicle harnesses, the installation place of components and antenna performance, so it is difficult to predict the influence in advance. The efforts to perform the simulation for predicting the propagating path and distribution of electromagnetic noise are introduced in this paper.

1. まえがき

環境保護や低燃費が期待されるハイブリッド車の需要は、年々増加している。一般的に、ハイブリッド車には高電圧の電装部品が使用されており、それらが作動すると電磁ノイズが発生する。その中でも、インバータを含む高電圧部品から発生する電磁ノイズは、車両に搭載している全ての電装部品に影響を及ぼし、ラジオ・アンテナに混入した場合には、ラジオの音声に雑音としてあらわれ、商品性の問題に波及する。

電磁ノイズは、車両ハーネスの長さや配置、電装部品の設置場所やアンテナ性能など、多くの要因に影響される事が周知であり、実車の無い段階で予測する事が難しい。従来の開発では、ラジオ・アンテナに混入する電磁ノイズを低減させるため、試作車を用いて検討を行っており、試作品を製作する負担や開発後期での設計変更が課題となっていた。

このような問題に対応するため、実車が無い段階で電磁ノイズが伝搬する経路や分布などを予測するための、電磁ノイズ・シミュレーションを行ったので紹介する。

2. シミュレーションによる数値解析の概要

2.1 解析手法

電磁界の主な解析手法には、モーメント法、有限要素法、FDTD（Finite Difference Time Domain）法がある。本研究の目的は電磁ノイズが伝搬する経路や分布を車両全体で解析する事である。そのため、丸みを帯びたモデル形状の再現に課題はあるが、大規模解析に有効なFDTD法を用いた。

FDTD法とはマクスウェルの微分方程式（式1）（式2）を差分化し、時間領域で解く方法である。電界と磁界は時間的および空間的に交互に計算される（図1、2）。

$$\nabla \times E = \frac{\partial B}{\partial t} \quad \text{（式1）}$$

$$\nabla \times H = \frac{\partial D}{\partial t} + J \quad \text{（式2）}$$

＊ 車両研究実験第3部

E［V/m］：電界
H［A/m］：磁界
D［C/m^2］：電束密度
B［T］：磁束密度
J［A/m^2］：電流密度

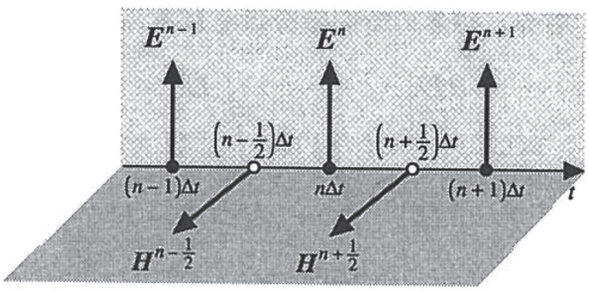


図１　電界と磁界の時間配置 (1)

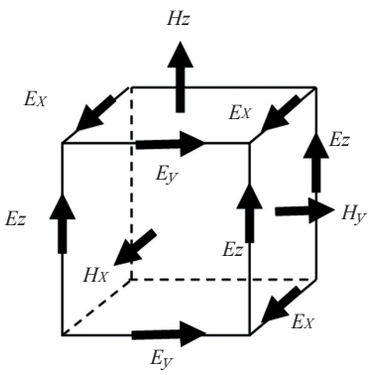


図２　単位セルと電磁界の配置 (1)

2.2　解析モデル

車両は、インプレッサ XV HYBRIDを選定し、実車両で電磁ノイズの低減を検討した結果をもとに解析することとした。

解析モデルの再現部品は、車両ボディとエンジンやトランスミッション、シートフレームなどの金属部品とし、ノイズ源は、インバータを含む高電圧部品とした(図3)。解析する周波数帯はFMのラジオ帯域とした。そして、電磁ノイズが低減する施策の“あり”と“なし”の2モデルを作成した。

電磁ノイズを低減させる施策とは、実車両でノイズが強かった高電圧バッテリーカバーとシャシーの隙間への金属テープの追加である。追加箇所はバッテリーカバーの前方と側面の2箇所である(図4)。

3.　解析結果

3.1　実車計測結果と解析結果の比較

電磁ノイズ分布の解析結果の確からしさを検証した。検証条件は下記①～④とした。

①施策の“あり”と“なし”による電磁ノイズの低減効果の比較。

②比較する場所は、ノイズ源の近傍であるインバータを含む高電圧部品の上部である荷室とした。

③比較する周波数は、FMラジオの周波数である70 MHz ～ 110 MHzにおいて10 MHz毎とした。

④電磁ノイズの成分は、実際のラジオノイズと相関が強い電界とした。

まず、解析結果と実車計測結果の電界分布を比較した(図5)。結果、解析結果と実車計測結果ともに“施策なし”に対して“施策あり”は、全周波数において電界が弱くなっていることがわかった。

次に荷室を81区画に分割し、各区画を解析結果と実車計測結果との差の大きさに応じてA ～ Dの4段階のレベルに置き換えた(図6)。結果、周波数ごとのA ～ Dの分布に規則性がないことがわかった。

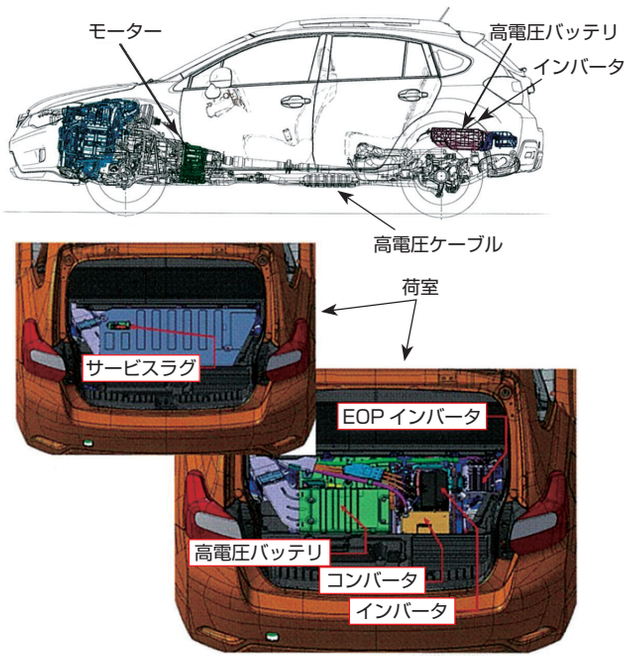


図３　主な高電圧システムのレイアウト (2)

追加箇所	施策なしの状態	施策ありの状態（金属テープ追加）
A		
B		

図４　電磁ノイズが低減する施策（金属テープ追加）

最後に、解析結果と実車計測結果の差を±2 dB未満・±5 dB未満・±10 dB未満に分類し、荷室の面積に占める割合を示した(表1)。結果、周波数ごとの傾向はほぼ一致しており、全体の約80%が±10 dB未満の差におさまっていることがわかった。

以上から、解析結果は、荷室全体の傾向で見れば、実車計測結果同等の電磁ノイズの低減効果を再現できているといえる。

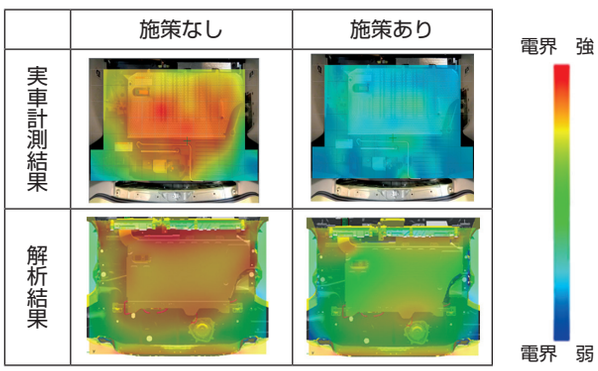


図５　解析結果と実車計測結果の比較
（※代表として90 MHzの結果を示す）

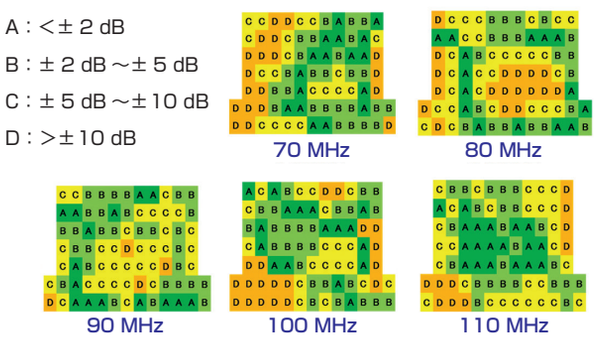
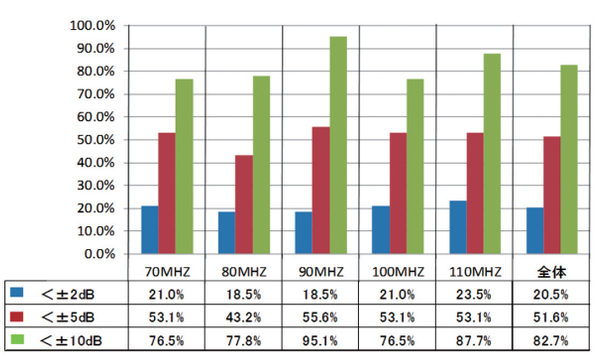


図６　解析結果と実車計測結果との差

表１　荷室の面積に占める解析と実車計測結果の差の割合



	70MHZ	80MHZ	90MHZ	100MHZ	110MHZ	全体
＜±2dB	21.0%	18.5%	18.5%	21.0%	23.5%	20.5%
＜±5dB	53.1%	43.2%	55.6%	53.1%	53.1%	51.6%
＜±10dB	76.5%	77.8%	95.1%	76.5%	87.7%	82.7%

3.2　電磁ノイズが伝搬する経路の解析結果

電磁ノイズが伝搬する経路の解明を試みた。電磁ノイズの伝搬する経路は、意図しない電流の経路であり、大きい電流が流れる部分には強い磁界が発生する。そのため、モデル表面近傍の磁界の解析結果を電磁ノイズが低減する施策あり、なしで比較した。

(1) ノイズ源に近い場所の解析結果

インバータを含む高電圧部品付近における、施策なし(図7)と施策あり(図8)の磁界分布を比較した。磁界の強い部分を赤枠で示す。結果、インバータを含む高電圧部品と車体の締結箇所で磁界が強く、施策なしに対し、施策ありでは、磁界の強い部分が高電圧ケーブル直下の1カ所に減少している。これより、インバータを含む高電圧部品と車体の締結箇所に発生していた意図しない電流が、施策により減少したといえる。

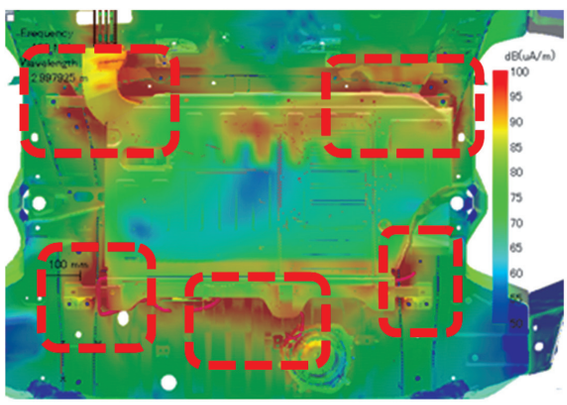


図７　インバータを含む高電圧部品付近の磁界分布［施策なし］

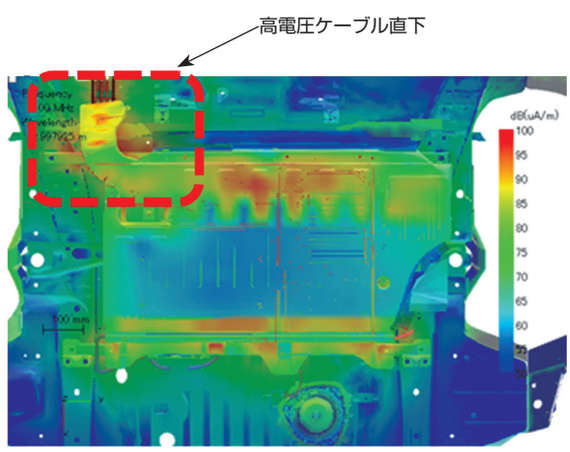


図８　インバータを含む高電圧部品付近の磁界分布［施策あり］

(2) 車体床下の解析結果

車体床下おける、施策なし(図9)と施策あり(図10)のモデル表面近傍の磁界分布を比較した。磁界の強い部分を赤枠で示す。両図とも車両の前方から後方にかけて、直線的に磁界の強い部分があるが、これは高電圧ケーブルの電流によるものである。

高電圧ケーブルの電流以外の部分に着目すると、施策なしで車体に広く分布していた強い磁界が、施策ありでは減少し、高電圧ケーブルの周辺に局在化している。これより、高電圧ケーブルの電流に対する車体全体に渡る帰還電流が、施策により高電圧ケーブル付近に局在化したといえる。

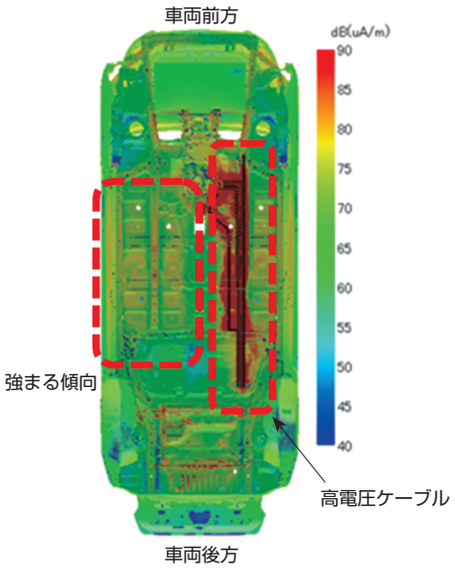


図９　床下の磁界分布 [施策なし]

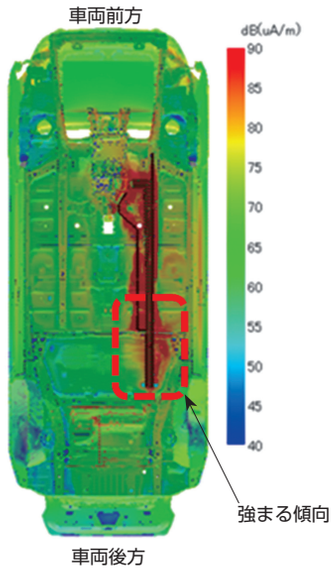


図 10　床下の磁界分布 [施策あり]

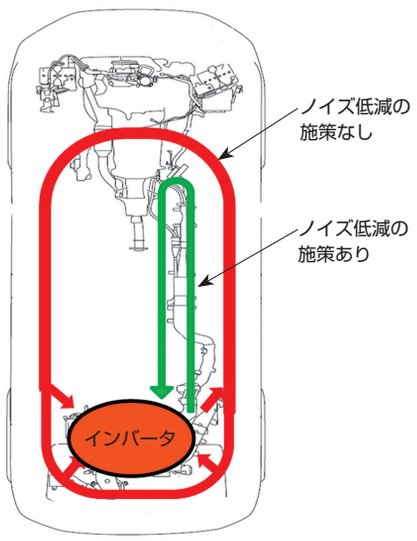


図 11　電磁ノイズが伝搬する経路

(3) 考察

上記(1) ノイズ源に近い場所の解析、および、(2) 車体床下の解析結果より、施策なし、ありの車両において電磁ノイズが伝搬する経路は以下の通りと考える(**図11**)。

施策なし：インバータを含む高電圧部品と車体の締結箇所複数を経由し、車体全体に渡って大きな経路を形成している。

施策あり：インバータを含む高電圧部品と車体の締結箇所1箇所を経由し、高電圧系ケーブル付近に局在した経路を形成している。

以上から、施策によって電磁ノイズが低減するメカニズムは、追加した金属テープによりインバータと車体の電位差が小さくなることで、車体全体に流れていた帰還電流が高電圧ケーブルに局在化し、電磁ノイズの伝搬経路が縮小したためと考えられる。

4. まとめ

今回の電磁波ノイズ・シミュレーションによって、これまで得られなかった車体全体の電磁ノイズの伝搬経路や分布を見える化することができ、電磁ノイズ伝搬メカニズムの仮説を立てることが可能となった。

今後は、解析モデルの必要精度の見極めと、解析結果を読み解く技術の向上に取り組み、お客様に満足していただける高品質な商品開発につなげていく。

参考文献

(1) 宇野　亨：FDTD法による電磁界およびアンテナ解析, コロナ社, 2009年7月, p.1-5

(2) SUBARU XV HYBRID開発プロジェクトチーム：SUBARU XV HYBRIDの紹介, スバル技報No.40, 平成25年6月, p.3-13

【著　者】

戸野塚　徹

佐藤　雅之

吉髙　　茜

中村　健一

高意匠加飾フィルムのインサート成形技術

Development of Insert Molding Technology for High-Quality Design Decoration Film

渡　辺　　歩*　　青　木　　恒*
Ayumu WATANABE　　Hisashi AOKI

抄　録

表面に微細なレンズ構造を持つ樹脂製の高意匠加飾フィルムを内装部品に適用する開発を行っている。

内装部品で多用されるインサート成形工法にて本フィルムを成形する場合、フィルムを部品形状に成形できる伸び特性が要求される。一方でフィルムが伸びることでレンズ形状が崩れるとフィルムの視覚効果が得られない。そのためレンズ形状を変形させずに成形可能なフィルムを開発することが課題となる。

そこで本報ではフィルムの耐熱性と成形性に着眼し、レンズ構造を有した特殊なフィルムのインサート成形工法における、フィルムの材質と成形条件が及ぼす影響について調査した内容を報告する。

Abstract

We are engaged in developing technology for applying a resin-made high-quality design decoration film with a lens structure that is minute on the surface to interior parts.

For molding the film into three-dimensional shapes, elongation characteristic is required, but the lens gets deformed if the film is extended. The issue is how to satisfy these two contradicting characteristics.

Therefore, we examined the film material and molding requirements for fulfilling those characteristics at the same time.

1.　まえがき

見る角度によって意匠面の柄が変化したり立体的に見えたりする樹脂製の高意匠加飾フィルムを内装部品に適用する開発を行っている。

内装部品に適用を検討している本フィルムの特徴は、微細加工によって表面にかまぼこ状の断面を付与しており、かまぼこ状の断面によるレンズ効果で左右の視差が生じ、冒頭に記した視覚効果が生まれる。

フィルムを部品に適用する場合、部品表面の形状に合わせて3次元形状に成形する必要があり、フィルムを部品形状に成形できる柔軟性(＝伸び特性)が要求される。一方、フィルムが伸びることで表面のレンズ形状が崩れてしてしまうと狙いの視覚効果が得られない。このため、レンズ形状を変形させないように3次元に成形可能なフィルムを開発する事が課題となる。

本研究では、フィルムインサート成形工法での部品製造を想定し、フィルム材質と成形条件を変化させて、部品成形性と視覚効果への影響について調査した。

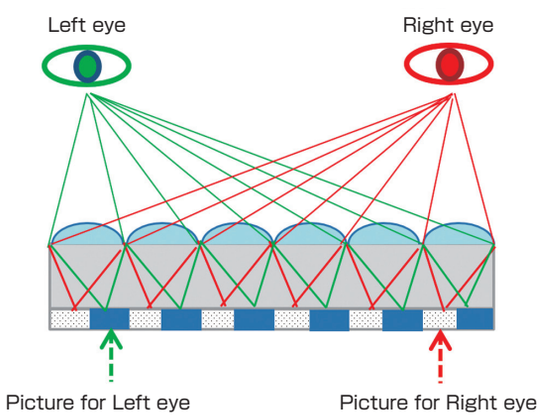


図１　レンチキュラーの原理

＊ 材料研究部

2. フィルムの特徴

2.1 視覚効果の原理

フィルムで視覚効果を発生させる原理と特徴について述べる。本フィルムは基材の表面に微細なかまぼこ状の凸レンズ(レンチキュラー構造)を作り、レンズ配置に沿うように柄が交互に印刷されている(図1)。これによりレンズを通して印刷面を見た時、左右の視差が生じて印刷面の柄が変化する視覚効果が生じる[(1)]。

2.2 フィルムの材料構成

フィルムの断面構造を図2に示す。フィルムは大別して表面のレンズ、基材、印刷面の3層で構成されている。フィルムに使用する材料は、成形時の耐熱性および部品としての外観、耐久性確保のためレンズ、基材はそれぞれPETおよびアクリル樹脂を候補材として検討した。

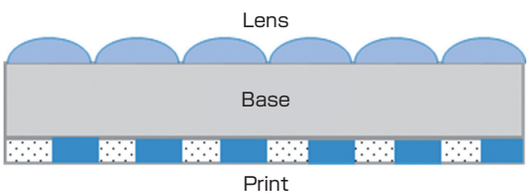


図2 フィルム断面

3. 想定する部品成形工程

内装部品へのフィルム適用にあたり、加飾用内装部品に一般的に適用されるフィルムインサート成形工法(以下インサート成形と呼ぶ)を想定し、適正なフィルム材質、成形条件について調査した。図3に想定する部品成形工程を示す。工程はフィルムの予備成形、トリミング、射出成形の大きく3つの工程で構成される。フィルムの予備成形では、予めフィルムを加熱してフィルムの柔軟性を確保する(図3-①)。また、予備成形方法はレンズの変形を抑制しつつ、フィルム端末までを成形するため、雄引きの真空成形法を用いた(図3-②)。トリミングは部品形状に合わせて不要部分を裁断(図3-③)、射出成形は予備成形したフィルムを射出成形型にセットし、フィルム裏面側から樹脂を射出して成形する工程となっている(図3-⑤)[(2)(3)]。

4. 試験条件および視覚効果の判定基準

4.1 成形試験条件

本研究においては、内装部品の既存型を用いたインサート成形試作実験を行った。表1にフィルム、射出樹脂の供試材料および成形条件(予備成形温度、射出樹脂温度)の試験条件を示す。

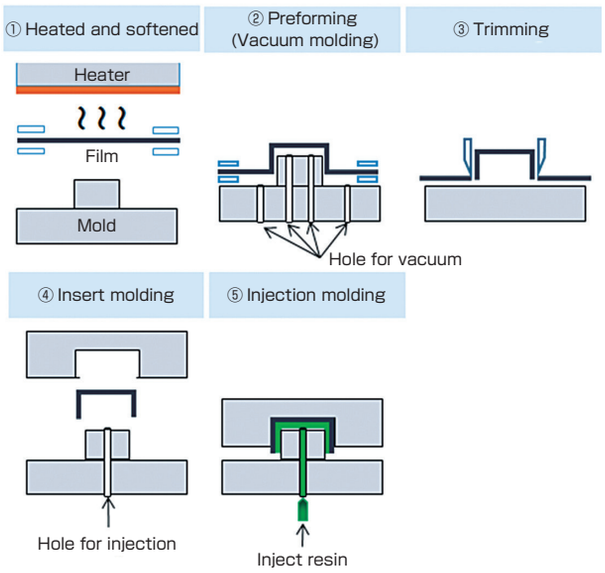


図3 インサート成形工程

表1 成形試験条件

フィルム材料(レンズ、基材)	PETおよびアクリル樹脂
射出樹脂	ABS樹脂
予備成形温度	25～190℃
射出樹脂温度	230～260℃

4.2 視覚効果の判定基準

前述の通り、予備成形ではフィルムを3次元形状に成形する際にレンズの形状を保持しつつ、フィルムを延伸させることが必要となる。レンズの変形による視覚効果への影響を調査した結果、図4に示すように成形によってレンズの高さが減少することにより左右の視差が生じ難くなり、視覚効果が低下することが分かった。そこで、視覚効果を確保するためのレンズ変形の許容限界を明確にするため、式(1)に示す成形前後のレンズ高さ比H(以下H値という)指標を定義し、視覚効果に影響を与えないH値を調査した。結果を表2に示す。この結果より視覚効果に影響を与えない基準をH値:90%以上と設定した。

尚、H値による視覚効果への影響確認は、JIS Z 8720:2012 D65標準光源下において対象物から30 cm離れた位置での目視判定にて行った。

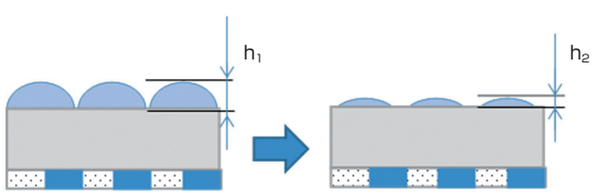


図4 予備成形前後のレンズ断面

$$H = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad \cdots (1)$$

H：レンズ高さ比[%]
h_1：変形前高さ[μm]
h_2：変形後高さ[μm]

表２　チェンジング機能判定結果

	Height ratio of lens (H) [%]			
	100	90	80	70
Judgment for changing OK：○、NG：×	○	○	×	×

5.　予備成形温度による視覚効果への影響確認結果

予備成形時の成形性を確保するためには成形温度を上げることが効果的であるが、一方でレンズが変形してH値:90%以上を確保できなくなる事が想定される。そこで､透明で耐久性のあるレンズ材料の候補として、PET、光硬化性アクリル樹脂を用い、成形温度を変化させた時のH値を調査した。

図5に結果を示す。PETの場合、80℃以上でH値が90%を下回るのに対し、光硬化性アクリルは130℃以下であればH値90%以上を確保できることが確認された。

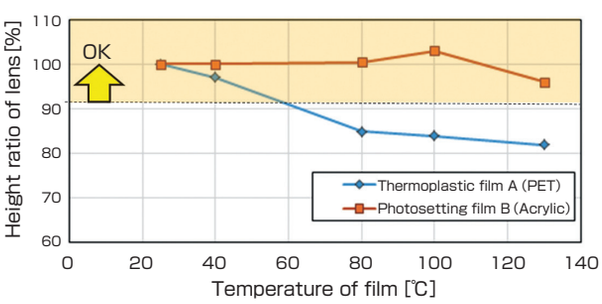


図５　レンズ高さ比線図

6.　予備成形温度による成形性への影響確認結果

図6にフィルム予備成形時の模式図を示す。成形時に必要な伸びは、式(2)に示すフィルム長さL_{AC}と部品長さL_{ABC}の比E（以下E値という）を指標とし、検討対象の内装部品において最もフィルムが伸ばされる部位のE値が170%であったため、E値の目標を170%に設定した。

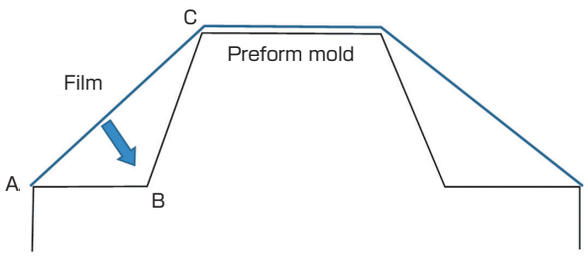


図６　フィルムの伸び率

$$E = \frac{L_{ABC}}{L_{AC}} \times 100 \quad \cdots (2)$$

E　：フィルム伸び率
L_{ABC}：部品長さ[mm]
L_{AC}　：フィルム長さ[mm]

その上で、予備成形時の温度を変化させてフィルムの伸び特性を調査した。**図7**に結果を示す。PETは100℃以上で目標の伸びを確保可能であるが、光硬化性アクリル樹脂は190℃まで昇温しても目標の伸びを確保できないことがわかった。

そこで、光硬化性アクリル樹脂の架橋密度を下げることで伸びと熱変形をバランスさせたフィルムを製作し、100 ～ 190℃の温度領域で目標の伸びを得ることができた。

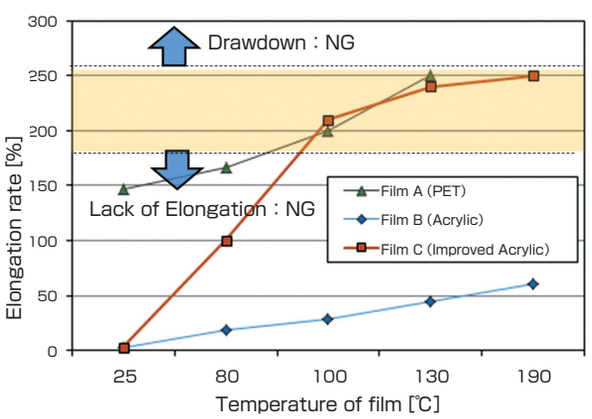


図７　伸び率比較結果

7.　射出樹脂温度による外観影響の確認結果

射出成形後のフィルムを確認したところ、射出用ゲート付近の印刷面に柄の変色が確認されたものがあった。調査の結果ゲート付近では高温樹脂が連続的にフィルム裏面に接触してフィルムが変形し、変色したように見えることがわかった。

そこで、印刷柄の変色度合いを定量的に評価するため、分光測色計を用いてJIS Z 8730に準じて一般部との色差ΔE^*を求めた。**表3**に目視判定とΔE^*値の関係

を示す。目視で変色が認められないΔE^*値を求めた結果、ΔE^*：0.5以下であった。以上からΔE^*の目標を0.5以下と設定し、射出樹脂温度による柄変化(＝外観影響)について調査した。図8に結果を示す。射出可能な温度範囲では目標のΔE^*を確保できないことがわかった。

表３　目視判定基準

Visual rating	ΔE^*
○	～0.5
△	0.5～1.0
×	1.0～

○：変色が認められない
△：見る角度によって変色が認められる
×：正面視で変色が認められる

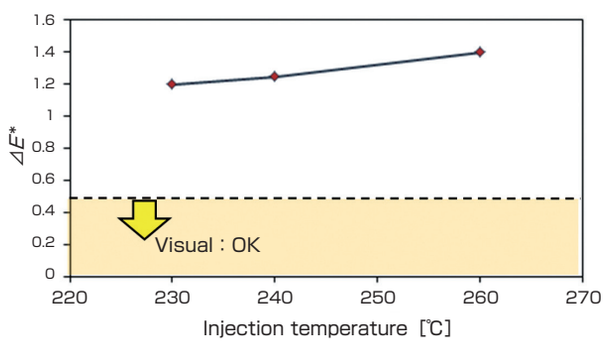


図８　射出温度差による色差ΔE^*結果

以上の結果から、熱による印刷柄の変色を抑制する手法として、射出速度を速めて熱負荷時間を低減する方法とフィルム裏面に遮熱層を追加する手法について検討した。図9に遮熱層を追加したフィルムの断面模式図を示す。尚、遮熱層の材質は、射出樹脂との密着性を確保するため射出樹脂と同じABS樹脂を選定した。

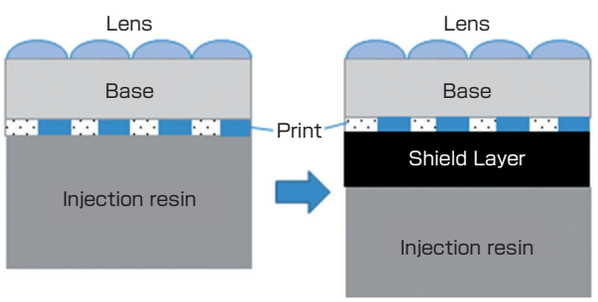


図９　改良前後のフィルム断面図

射出速度と遮熱層の厚さを変化させて外観影響を調査した。結果を図10に示す。射出速度を速くすること、遮熱層の厚さを厚くすること共に効果があり、外観影響につながるフィルムの変形を発生させない成形条件の見通しが得られた。

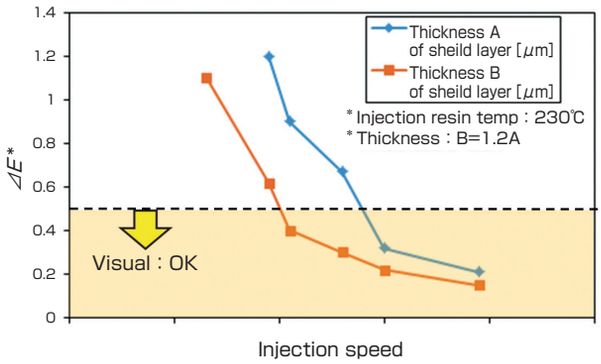


図 10　射出速度差による目視判定結果

遮熱層を追加したことによる視覚効果、成形性への影響について調査した。結果を表4に示す。遮熱層を厚くすることによる外観影響(ΔE^*)は改善するが、フィルムの伸び特性(E値)は低下することがわかった。

表４　材料構成差での特性結果

Material composition		Lens (Acrylic)	Acrylic (Improved elongation)	Acrylic (Improved elongation)
		BASE (Acrylic) / Injection resin (ABS)	(Acrylic) / Shield Layer(ABS) / Injection resin (ABS)	(Acrylic) / Shield Layer(ABS) / Injection resin (ABS)
Height ratio of lens (Film temp. : 80℃)	H≧90%	84%	100%	100%
Elongation rate of film (Preforming temp : 100℃)	E≧170%	29%	210%	170%
Color difference of print (Injection resin temp : 230℃) (Injection speed : 0.2 cc/sec)	ΔE^*≦0.5	1.3	0.8	0.4

8.　まとめ

今回はレンズ構造を有した特殊なフィルムのインサート成形手法において、フィルム材質と成形条件が及ぼす影響について調査した。結果、レンズ部の耐熱性と伸び特性を両立することが重要であること、ゲート付近のフィルムの変形を抑制するために射出速度やフィルム構成を工夫することが有効であるとわかって来た。今後、フィルム材質・構成と成形条件の影響を更に詳細に調査し、高意匠加飾フィルムのインサート成形手法を確立していく。

参考文献

(1) 井上弘：立体視の不思議を探る，オプトロニクス社，p76-83 (1999)
(2) 山口進，栗山卓，濱田泰以：フィルムインサート成形におけるフィルム／樹脂の相溶性と成形品物

性に関する研究，成形加工 Vol.15 No.8, p588-589,（2003）
(3) 桝井捷平：プラスチックへの加飾技術全集，p192,技術情報協会(2008)

【著　者】

渡辺　　歩

青木　　恒

特別仕様車　「フォレスター Brown Leather Selection」
～ BOXERエンジン50周年特別記念車の第二弾～

2016年7月

スバル初のBOXER（水平対向）エンジン搭載車「スバル1000」の発売から50周年を記念した特別仕様車の第二弾としてフォレスターに「Brown Leather Selection」を設定。

グレード	エンジン	駆動	変速機
☆　S－Limited Brown Leather Selection	2.0L 水平対向 4気筒 DOHC	AWD	リニアトロニック
2.0XT EyeSight Brown Leather Selection	2.0L 水平対向 4気筒 DOHC 直噴ターボ“DIT”		

姿勢・タスクの違いによる自動運転時の危険回避行動への影響*1

Reaction to Critical Situations during Automated Driving in Different Driving Positions

内形恭平*2 Kyouhei UCHIKATA
長沢勇*2 Isamu NAGASAWA
塩川貴彦*3 Takahiko SHIOKAWA
池田徹志*4 Tetsushi IKEDA
川西直*4 Nao KAWANISHI
内海章*4 Akira UTSUMI
萩田紀博*4 Norihiro HAGITA

抄録

自動車の運転中、衝突等の危険状況が発生した際には、ドライバは安全かつ迅速に対応しなければならない。通常の運転において適切な運転姿勢を取っていれば安全かつ迅速に危険回避できる。今後想定される自動運転では、ドライバは様々な姿勢、運転以外のタスクを実行している可能性がある。また、自動運転中、実際には運転していないが運転姿勢をとっていることはドライバにとって身体的な負担が大きいことも考えられる。本研究では、自動運転を想定し、ドライバの姿勢と運転に関係しないタスクが危険回避行動と回避時間に及ぼす影響を実験的に調査した。

Abstract

When a dangerous situation such as a collision occurs during driving a car, the driver must respond safely and promptly. The driver can safely and promptly avoid danger if he/she is in the proper driving posture in a normal driving operation. In future automated driving, there is a possibility that a driver is taking various postures and carrying out tasks other than driving. Also, during automatic operation, physical burden on the driver may be great if the driver is actually not driving but taking a driving posture. In this research, we experimentally investigated the effect of tasks not related to driver's postures or driving operation on his/her risk avoidance behaviors and avoidance time, assuming automatic operation.

1. はじめに

自動運転や運転支援機能は安全性やドライバの快適さを高めることが期待されている。中でもACC（Adaptive Cruise Control）やLKA（Lane Keep Assist）は、弊社アイサイトの機能の一部として搭載されており、これら両システムの国内総生産台数に占める装着率は、2006年では、両者共に0.1%程度であったのが、2015年に前者で5%強、後者で1%程度まで普及されてきている(1)。これらの運転支援機能の装着率向上は、安全性を高めた運転を実現し、ドライバの快適性を高めているためと考えられる。

今後、運転支援技術が向上する一方で、ドライバがこれまでの運転姿勢からリラックスした姿勢となることも想定できる。その際、運転義務である交通環境の中で自車両の挙動を監視することが疎かとなり、緊急時の対応に遅れが発生することが懸念される。

特に運転支援機能の作動中に発生した緊急時でもドライバが適切に反応できる車両の実現が不可欠であり、その緊急時に対応するドライバの行動の解析が重要である。

これまでACCを用いた際のドライバの行動分析の研究(2)として、Fancher et al.(3)は3段階のACC車間距離（TTC；Time To Collision）の設定における年齢や性別による選好の違いを報告した。 Lin et al.(4)は、前走車が減速する緊急事態に対するドライバの行動を計測し、ACC利用時に適切と考えられるTTCの主観的選好の調査および行動計測結果からの推定を行った。緊急事態の行動に影響を与える要因を調べた研究

---

*1 本報告は、公益社団法人自動車技術会2016年秋季大会（札幌）にて主発表者Tetsushi Ikeda（ATR）が発表した内容を一部改変したものである。

*2 車両研究実験第2部
*3 車両研究実験総括部
*4 株式会社 国際電気通信基礎技術研究所（ATR）

として、Puccinini et al.[5]、Kircher et al.[6]は緊急事態時のドライバの行動に影響を与える要因を調査し、ACCへの信頼性の程度は運転時のTTCに影響を与えないと結論づけた。これら従来の研究では、緊急時のドライバ行動に影響を与える要因として、運転時のドライバの姿勢や、衝突警報の影響が考慮されていない。高度運転支援の延長線上にある自動運転の普及後には、ドライバの運転姿勢は変化し、緊急時の行動にも影響を及ぼすと考えられる。また、自動運転時に提示される衝突警報もまた、ドライバの行動に影響を及ぼす大きな要因である。

本報告は、ACCとLKAを組み合わせた運転支援機能の利用時を想定しドライバの行動を解析する。自動運転時には、ステアリングホイールに手を添え、ブレーキペダルをいつでも踏めるような姿勢より、ドライバはよりくつろいだ姿勢をとると考えられる。このため、通常姿勢と肘掛けを利用してくつろいだ安楽姿勢を取った場合との違いを検証する。さらに、ドライバは運転中、飲料の摂取やスマートフォンの操作などを行うことを想定し、安楽姿勢にてこれらのタスクを行う利用形態での行動も解析し、通常姿勢との比較を行う。ペダル操作は、より詳細に解析するため、モーションキャプチャを用いて、ブレーキペダルが踏み込まれる前の脚の動きを計測する。

2.　実験

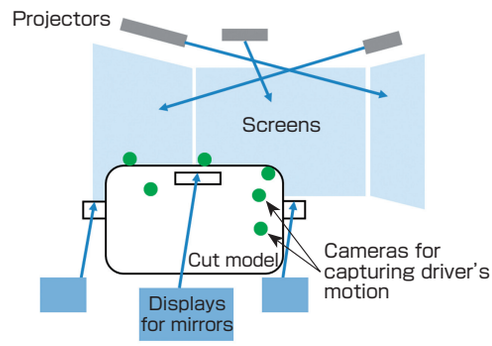
2.1　実験参加者

あらかじめ実験の参加について同意を得た18名（男性7名、女性11名、平均41歳、標準偏差8.6年）が、実験に参加した。実験参加者の運転経験は平均12.1年（標準偏差9.9年）であり、全員が日常的に車を運転している。ACC、LKA、その他の運転支援機能を備えた車両の運転経験については、全員がいずれの機能についても運転経験がなかった。

2.2　実験装置

実験には定置型ドライビング・シミュレータを用いた。定置型ドライビング・シミュレータの概要を図1に示す。前方映像は、天井に設置した3台のプロジェクタを用いて210度の視界で前方スクリーンに呈示した。後方映像は、バックミラーおよび左右のサイドミラーから視認できるように、後方に置いたディスプレイを用いて呈示した。運転シミュレータのソフトウェアはForum8社製のUC-win/Roadを使用し、実車と同様のACC、LKAの運転支援機能を追加で実装した。実車に近い運転環境を再現するため、実車両のカットモデルを用い、ステアリングの反力、ペダルの踏み圧は実車に近い反力とした。

ドライバの行動を計測するため、モーションキャプチャーを使用した。モーションキャプチャ用のカメラは、ドライバ周辺に設置し、行動計測用マーカはドライバに装着した。カメラおよびマーカの配置を図2に示す。実験時には38個のマーカを用いて全身の行動を計測した。



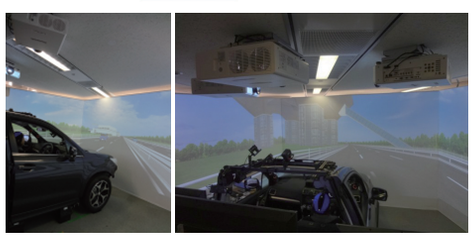
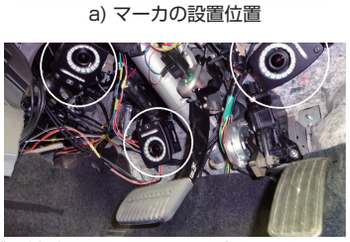
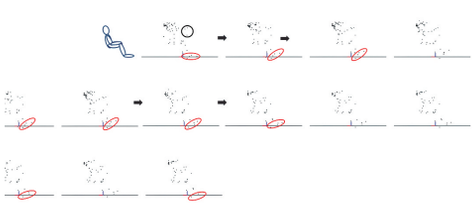


図1　ドライビングシミュレータの構成と外観

a) マーカの設置位置



b) ペダル付近のモーションキャプチャ用カメラ（白丸）



c) 肘掛を用いた安楽姿勢条件でドライバがブレーキ操作

図2　モーションキャプチャによる行動計測

2.3　運転支援機能

実験システムの構成を図３に示す。ドライバが運転中にステアリング上のボタンを押すことで自動運転モードに切り替わり、ACC&LKAモジュールがペダルとステアリングの指令を生成し、現在走行している車線を保ちながら前走車が不在の場合114 km/hの速度で自動運転モードに遷移する。前走車が存在する場合には、一定の距離を保って追従する。

この自動運転中にドライバがブレーキ操作をすると、自動運転モードは解除される。アクセルまたはステアリング操作をした場合には、ドライバの操作が優先されるが、ドライバが操作を止めた場合には自動運転モードが再開される。

ACCの車間距離は3種類を用意した。車速と車間距離の関係を実車での制御に即し、図４のfar、middle、nearの3段階に設定した。114 km/hでの走行中のTTCはそれぞれ約2.0、1.5、1.0（sec）に相当する。車速が100 km/h程度以下では車間距離は線形に増加し、それ以上の車速では増加が緩やかになる。

自動運転モード時には、1）前走車との衝突警報、2）LKA異常警報の2種類の警報を呈示し、実車のACCおよびLKAの警報と同等の警報音を用いた。前走車との衝突警報は、前走車が現在の減速度を維持した際に、自車両が0.8秒の空走期間の後に0.2 G（1.96 m/s^2）の減速度で減速を開始したと仮定し、将来に衝突が起こる場合に警報を呈示した。LKA異常の警報は、自車両がレーンを見失った場合に呈示した。

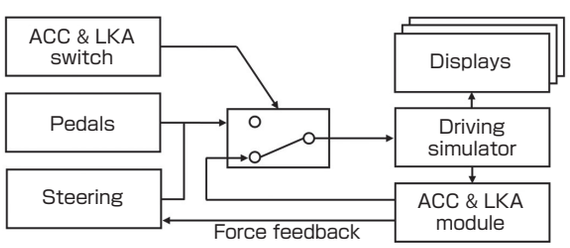


図３　実験システムの構成図

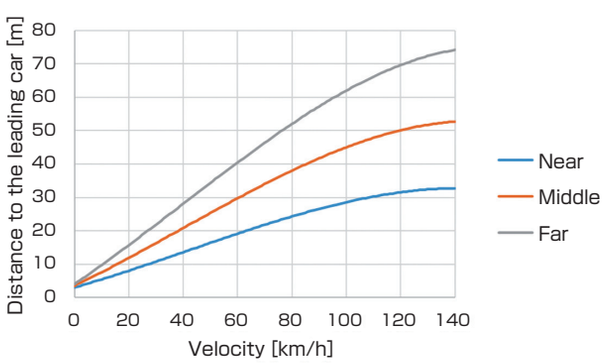


図４　ACC作動時の前走車までの距離・定義

2.4　実験手順

実験参加者は、実験概要の説明を受けた後に、運転年数、運転の頻度、自動運転の経験の有無について回答した。

次に全身に行動計測用のマーカを取り付け、運転席ですべてのマーカが計測される基準姿勢を取ってマーカ位置の計測を行った。被験者はシートやステアリングの位置を普段の運転時の状態に調整し、以降の実験中には調整を変更しないものとした。運転方法や走行コースについて説明を受けた後、20分の手動運転を行い、運転時の感想を回答した。10分の休憩の後に、自動運転についての説明を受けた。特に、ACCおよびLKAの機能が正常に働かない場合があること、その場合にはドライバがブレーキやステアリングを操作して、事故を回避する必要があることの説明を受けた。実験参加者は自動運転による走行を5分程度行い、自動運転の切り替えや、自動運転中のペダルおよびステアリング操作時の挙動について確認した。ACCの車間距離は、far、middle、nearの3種類の中から1つを選択した。選択した車間距離の設定は、以降の実験中には変更しないものとした。

自動運転モード中、被験者は、1）ステアリングホイールに手を添えブレーキペダルに足を構えた通常姿勢条件（normal）、2）肘掛けを用いた安楽姿勢条件（relax）、3）安楽姿勢でスマートフォンを用いたタスクを行うまたは飲料を口にするタスク条件（task）を各20分実施した。これら条件提示の順番は被験者毎に異なるランダムとし、全ての運転実験が終了した後、図５に示す質問に回答し、10分の休憩を取った。

Q1. 自動運転は信頼できましたか（5段階）。
　それはなぜですか（自由記述）。
Q2. このような自動運転が車に搭載されたら利用しますか（5段階）。
　それはなぜですか（自由記述）
Q3. 自動運転時の危険な状況で鳴らした警報は有用でしたか。
　それはなぜですか（自由記述）。
　警報のタイミングについてはいかがですか（自由記述）。
Q4. その他，運転してみた感想をお書きください（自由記述）。

図５　実験後のアンケート内容

2.5　緊急事態の発生

緊急時のドライバの行動を計測するため、自動運転モードでの走行中に、前走車の急減速およびLKA異常の2種類の緊急事態を発生させた。前走車の急減速は、コースの後半のランダムな時点で2回程度発生させた。前走車は0.35 G（3.43 m/s^2）の減速度で時速50 km/hまで減速し、20秒間その速度を保った後に通常

走行に復帰させた。LKA異常は、コースの特定の場所で実験条件毎に各2回発生させ、ステアリングが異常に制御され、ドライバの操作無しではコースアウトする状態となる。

3.　実験結果

3.1　前走車減速時のドライバ行動

衝突警報からブレーキペダルを踏むまでの反応時間を図6に示す。通常姿勢条件と安楽姿勢条件の間に反応時間の差は見られなかった。両条件をタスク条件と比較すると、有意な差が見られた（$F(2,72)=13.8$, $p<0.05$）。

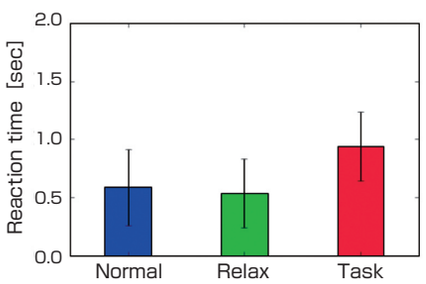


図6　衝突警報後にブレーキを踏むまでの反応時間

衝突警報が呈示される条件では、ドライバが警報前にブレーキペダルを踏むための行動を始めている場合と、警報を聞いて行動を始めた場合の両方が含まれているため、ドライバが行動を起こしたタイミングを解析した。モーションキャプチャを用いた解析により、前走車減速時にペダル操作のために右足を動かし始めた時点を求めた。これにより右足の移動が警報前の場合と、警報後の場合を区別して分析することが可能になった。表1にドライバが前走車減速時にペダル操作の行動を行った時点を示し、図7に各条件のデータ数を100としたときの割合（%）を示す。表の列（1）は、衝突警報が呈示される条件に達することなくドライバがブレーキペダル等の行動により衝突を回避した場合を示す。それ以外の列は、衝突警報が呈示された場合である。次の列（2）、列（3）はモーションキャプチャを用いて計測されたドライバの右足を動かした時点を、衝突警報の前または後の場合に分けて示した。次の列（4）は衝突までにブレーキを全く踏まなかった場合、最後の列（5）は、初めからブレーキペダル上に足を置いていた場合や、計測に失敗した場合である。

通常姿勢条件（normal）と安楽姿勢条件（relax）を比較すると、ドライバがブレーキペダルを操作した時点に有意な差が見られた（$x^2(2)=14.0$, $p<0.05$）。通常姿勢条件では警報以前の時点で行動している割合が大きく、より安全な反応を行っていることが分かる。また、両条件とタスク条件（task）を比較すると、警報後に行動する割合が顕著に大きかった（$x^2(2)=66.2$, $p<0.05$）。

表1　前走車急減速時にドライバがブレーキを踏んだ時点の分類

Condition (n)	(1) Brake without alarm	(2) Foot motion before alarm	(3) Foot motion after alarm	(4) No brake	(5) Motion data is not available
Normal (28)	13	5	4	0	6
Relax (35)	8	14	5	0	5
Task (44)	9	4	27	2	2

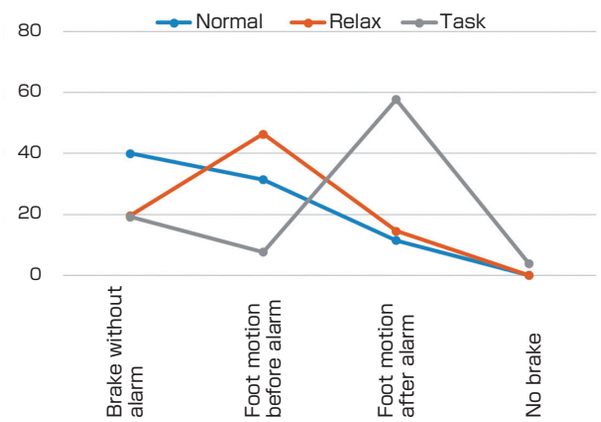


図7　前走車急減速時にドライバがブレーキペダルを踏んだ時点（表1参照）

前走車が急減速時にドライバがブレーキペダルを操作した際の、先行車両までの距離の平均を図8に示す。通常姿勢条件では有意に安楽姿勢条件よりも長かった（$t(62)=2.0$, $p<0.05$）。

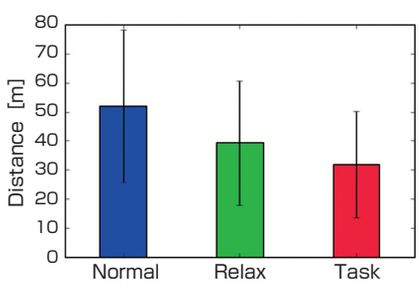


図8　ブレーキを踏んだ時点での前走車との距離

3.2　LKA異常時のドライバの行動

LKA異常時が起こった際には、ドライバが車両を持ち直して直進走行に手動で戻すことが求められる。両端の車線を走行していた車両の多くが、LKA異常の発生後5秒以内に道路の左右端に接触した（表2列（1））。特にタスク条件では、ほとんどの事例で車両を道路内

に維持することはできなかった。左右端への接触が無かった事例(列(2))に対して、図9に示す幅を定義し、各条件における幅の平均値を求めた(列(3))。

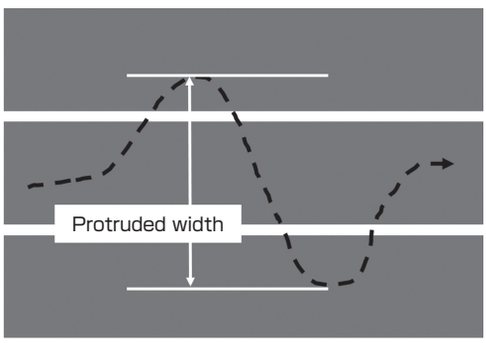


図９　LKA 異常が発生した場合の車線からの逸脱評価方法

表２　LKA 異常発生時の車線逸脱の程度および図９で定義される幅の平均値

Condition(n)	(1) Car hit the border of the road	(2) Car remained inside the road	(3) Protruded width
Normal (34)	19	15	2.5
Telax (34)	25	9	2.4
Task (34)	31	3	1.4

3.3 アンケート結果

図5のアンケートのQ1 ～ Q3への回答の平均と標準偏差を表3に示す。通常姿勢(normal)と安楽姿勢(relax)の条件による有意な差は見られなかった。各姿勢条件の総合的な好感度を5段階で評価した結果を図10に示す。通常姿勢条件と安楽姿勢条件を比較すると、安楽姿勢条件が好まれる傾向がある(Wilcoxon signed-rank test, W=23.5, p<0.10)。

表３　運転支援機能に関する実験後のアンケート結果
(1 = “fully disagree”and 5 = “fully agree”)

Condition (n)	Q1 Trust the system	Q2 Prefer to use automated driving	Q3 Collision alarm is useful
Normal (16)	3.2 ± 1.2	3.2 ± 1.2	4.3 ± 0.9
Relax (16)	2.8 ± 1.1	3.0 ± 1.2	4.5 ± 0.8
Task (16)	2.4 ± 1.2	2.8 ± 1.3	3.8 ± 1.3

4.　考察

通常姿勢条件と安楽姿勢条件の比較では、姿勢の違いによって警報後のブレーキまでの所要時間は変化しなかった。しかし、通常姿勢条件の方が、警報前に行動する場合が有意に多かった。また、ブレーキペダルを踏んだ時点での前走車との車間距離も有意に長かった。これは通常姿勢条件でステアリングホイールを持つ姿勢を維持することにより、前方への注意が維持され、早い段階で前走車の減速に反応することができたためと考えられる。その一方で、運転姿勢の主観的評価では、緊急事態を含む実験後の評価においても、安楽姿勢条件が総合的には好まれた。これは、反応時間が遅れる場合があっても、姿勢が楽であることが好まれたためと考えられる。通常姿勢条件と安楽姿勢条件では、緊急事態での衝突はほとんど発生しておらず、被験者は両条件での自らの反応の違いを自覚していなかった可能性がある。タスク条件では、通常および安楽条件と比較して、警報後のブレーキまでの所要時間は有意に長かった。また警報後に足を動かし始めることが多く、ブレーキ時の車間距離も有意に短かった。このことから、安楽条件と同じ条件で運転を行う場合に、タスクの有無は安全性に大きな影響を及ぼすことが確認できた。

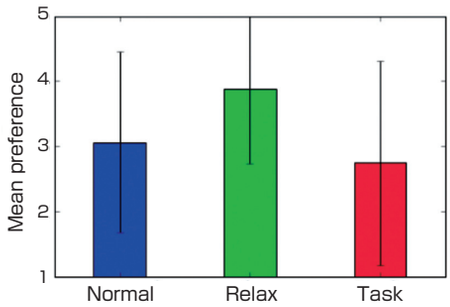


図 10　３条件の主観的選好

今後、ドライバが安楽姿勢、タスク姿勢を実施していることを車両側で検知し、それらの姿勢の場合には、先行車との車間距離を設定値よりも伸ばす、プリクラッシュブレーキのような体感に訴える事前警報を提示する等が可能となるよう車両統合システムの採用が必要と考えられる。

5.　まとめ

ACCとLKAを組み合わせた運転支援機能を利用する際に、緊急時のドライバの挙動にドライバの姿勢が与える影響を調査した。ドライビング・シミュレータを用いて、通常の運転姿勢条件、肘掛けを利用したくつろいだ安楽姿勢条件、さらに飲料の摂取やスマートフォンの操作を行うタスク条件の3条件でのドライバの緊急時の挙動を比較を行った。特にモーションキャプチャを用いて右足の動きを計測し、緊急時にペダルを操作するまでの時間に注目した解析を行った。前走

車が急減速した緊急事態の挙動について、衝突警報が鳴った後にブレーキを踏むまでの時間は、通常姿勢条件と安楽姿勢条件で差はみられなかった。一方で、通常姿勢条件では警報の呈示より前に右足が反応する場合がより多くみられるなど、安楽姿勢条件と比較して有意に早い段階で行動していることが明らかになった。これらの結果により、運転支援機能を利用時の姿勢によるドライバの反応の違いが明らかになった。また3条件で緊急事態を経験した後のアンケートでは、安楽姿勢が最も好まれる結果が得られた。

参考文献

(1) ASV技術普及状況調査, http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/resourse/data/H27souchakudaisuu.pdf, 国土交通省：自動車総合安全情報HP

(2) S. Kaplan, M. A. Guvensan, A. G. Yavuz, Y. Karalurt：Driver Behavior Analysis for Safe Driving：A Survey、IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., Vol. 16, No. 6 pp. 3017-3032 (2015).

(3) P. Fancher, R. Ervin, J. Sayer, M. Hagan, S. Bogard, Z. Bareket, M. Mefford, J. Haugen：Intelligent cruise control field operational test. (Technical report DOT HS 8080 849) National Highway Traffic Safety Administration, Washington、DC (1998).

(4) T-W. Lin, S-L. Hwang, P. A. Green：Effects of time-gap settings of adaptive cruise control (ACC) on driving performance and subjective acceptance in a bus driving simulator, Safety Science, Vol. 47, No. 5, pp. 620-625 (2009).

(5) G. F. Bianchi Piccinini, C. M. Rodrigues, M. Leitao, and A. Simoes：Reaction to a critical situation during driving with Adaptive Cruise Control for users and non-users of the system, Safety Science, Vol. 72, pp. 116-126 (2015).

(6) K. Kircher, A. Larsson and J. A. Hultgren：Tactical driving behavior with different levels of automation, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., Vol. 15, No. 1, pp.158 -167 (2014).

【著　者】

内形　恭平

長沢　　勇

塩川　貴彦

池田　徹志

川西　　直

内海　　章

萩田　紀博

トランクアウタへのレーザブレージングの適用

Application of Laser Brazing to Trunk Outer

三　島　智　睦*　　川　端　達　也*
Norichika MISHIMA　　Tatsuya KAWABATA

抄　録

さまざまな利点からトランクアウタの接合をレーザブレージングで実施することが検討されてきた。いくつかの課題があったが、検討の積み重ねと機器のコストが導入可能なレベルになってきたことから、今回量産適用へと踏み切ることができた。量産適用において加工条件出しのみならず、熱歪、ピンホール、塗膜密着性といった課題が発生した。これらの課題の内容と解決方法について報告する。

Abstract

To perform trunk joining by laser brazing due to its various advantages has been studied. Although there were several problems, we were able to start applying it this time because the study has been accumulated and the cost of the equipment has come to an inexpensively introducible level. Problems such as thermal distortion, pinholes and paint adhesion occurred in addition to the need of setting processing conditions for the application. We report these problems and solutions.

1.　まえがき

デザイン自由度、空力性能の向上といった利点からトランクアウタを上下に分割しその接合をレーザブレージングで実施することは過去に検討されてきた。長い加工部がお客様の見える部位に適用されることからくる見栄え評価対応の困難さと高額な機器が課題であったが、これまでの検討の積み上げと比較的に機器の価格が導入可能なレベルになってきたことから、新型インプレッサへの適用に踏み切ることができた。

2.　従来技術

2.1　従来の仕様

旧インプレッサのトランクアウタは1枚のパネルから成形されていた。この方法では複雑な成形ができないため、ライセンスプレート照明用のランプ、リアビューカメラなどを設置するためのガーニッシュが必要であった。また、空力性能のよい形状への成形も難しく、樹脂スポイラを取り付けていた(図1)。

図1　従来の仕様

2.2　新型インプレッサのトランク

新型インプレッサではトランクアウタを上下に分割し(分割された上側をUPR、下側をLWRと呼ぶこととする)レーザブレージングにより接合している。分割することでより複雑な形状にすることができ、ランプ・カメラのためのガーニッシュが廃止できる。またトランク上端が少し突き出たような形状(ダックテイル形状、空力性に寄与)が可能となり、スポイラも廃止することができる(図2)。

2.3　レーザブレージング

レーザブレージングはレーザを熱源としたロウ付け工法である。アーク溶接のような連続接合なので、スポット溶接のように接合点間を漏水防止のためシール

＊ 第1生産技術部

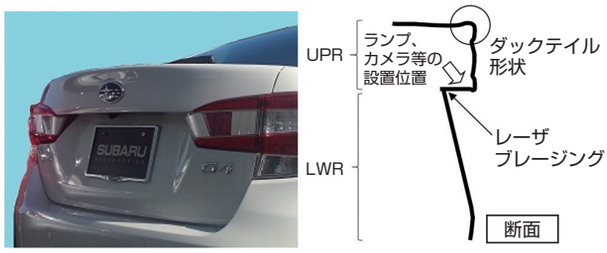


図２　新型インプレッサのトランク

する必要がない。またアーク溶接と異なり母材を溶かさない加工法であるので、熱歪が小さく外観が滑らかでお客様の目に触れる部分に適用することができる（図3）。

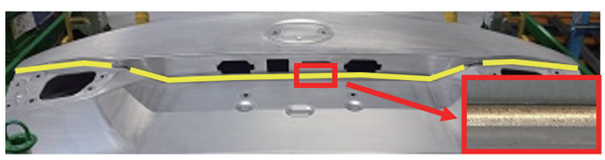


図３　トランクアウタのレーザブレージング加工部

この接合方法で重要な役割を果たすのがヘッドという設備である。加工部にロウ材であるワイヤを供給しレーザを照射する光学機器で、ワイヤ供給部とレーザの焦点の角度を変化させることができる。この構造により曲線形状を追従（倣い機能と呼ばれる、図4）して加工することができ、また必要があれば可動方向に微小な力を加えることができる。この機能により曲線形状に安定的にビード（溶融凝固した金属部）を形成することができる。

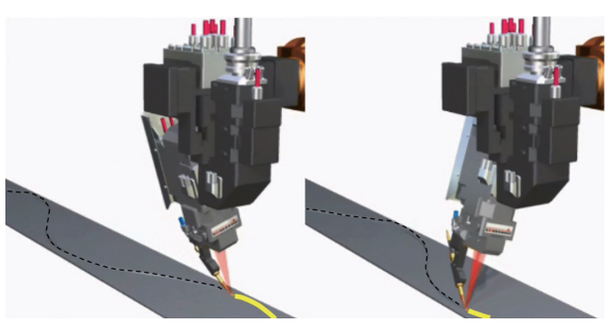


図４　ヘッドの倣い機能 [1]

3.　課題と解決方法

3.1　強度品質とレーザ照射角度

レーザブレージングのビードの断面を図5に示す。レーザで溶かされたロウ材（銅ワイヤ）はUPRとLWRにまたがるように広がり、両部品を接合している。ビードがパネルと接している部分の長さを脚長、ビードの厚みを喉厚と呼び接合強度を得るために規格値をビード全長にわたって満たさなければならない。図5ではLWR側脚長の方がUPR側脚長より大きくなっている。これはヘッド（＝ワイヤ及びレーザー光）が重力方向よりLWR側に倒れた角度になっているためである（図6）。バランスをとるために重力方向に姿勢を取った場合、反射したレーザ光がヘッドを通って発振機に返り、発振機内部を焼損するというトラブルが起こったためそういう姿勢は避ける必要がある。またUPR側に倒れた角度を取るとLWR側脚長が小さくなる。反射による機器の損傷を避けつつ品質を出すために角度を調整し、それでも品質が得られない場合はUPR側に微小な力を加えた。このように加工位置に適した角度や力を調整することにより強度に関する品質を確保している。

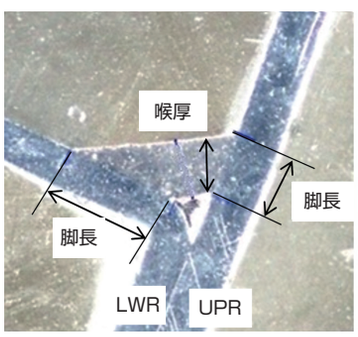


図５　ビード断面

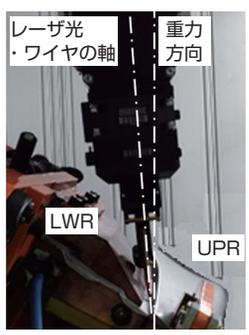


図６　ヘッドの角度

3.2　熱歪

局部に熱を集中できるため、レーザを用いた加工方法では比較的熱歪の発生は小さいとされている。しかしライセンスプレート取付け部は広い面積が平面となっているため歪が発生しやすい。加工後のライセンスプレート取り付け部に触感で歪が感じられたので、ビードから数センチ下方の位置を3点式ダイヤルゲージで測定した（図7）。

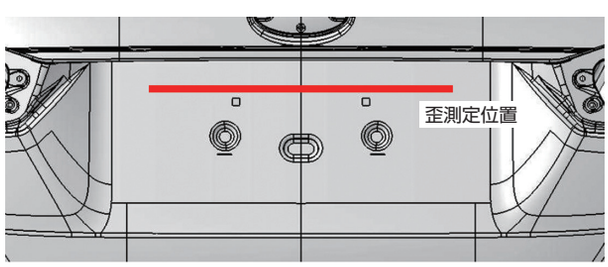


図７　歪測定位置

図8に示す通り、当初は大きな歪があった。歪を抑えるためにライセンスプレート部の押さえの長さを変更、パネルと治具のかつぎを減らすなどを実施したが大きな効果が得られなかった。最終的にLWRパネルのビードから10 mmの位置にビードと平行に段差を設けた（図9）。これにより歪は段差部分で止められ、

触感や塗装後の視覚の評価で歪はほぼ感じられなくなった。

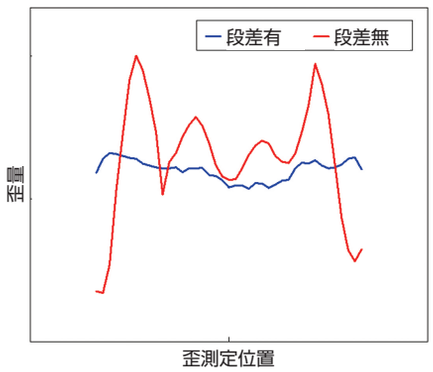


図８　歪量

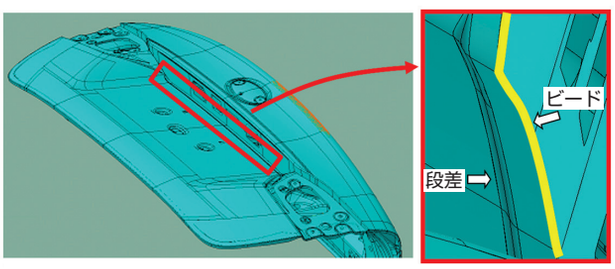


図９　歪防止のための段差

3.3　ピンホール対策

レーザブレージングの欠陥にビードに小孔が空くピンホールというものがある(図10)。ピンホールは大きくなると塗装によって埋まらず外観品質不適合となる。また多数発生すると強度が低下するため、発生個数が定められている。加工長が1ｍ以上に及ぶのに対し、ピンホールの大きさは非常に小さく、作業者の目視確認だけでは見落とすことが懸念されたので、作業者の目視確認を補助するピンホールの検査装置を設置した。検出されたピンホールは数や大きさに制限があるが、紫外線硬化樹脂で補修している(図11)。

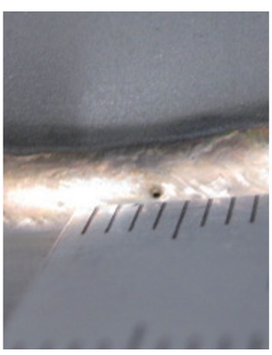


図10　ピンホール

図11　ピンホール補修

検出方法はラインレーザでビード全長をスキャンしビード表面の3次元画像を作成、高さ成分を持った2次元画像に変換する。その画像を細かくメッシジングし隣同士を比較したときに高さが急激に変化した場合異常として通知するというものである(図12)。

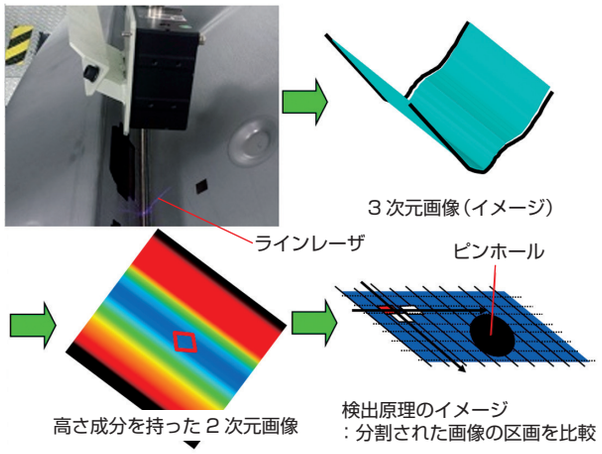


図12　検出原理

塗装で埋まらない大きさのピンホールを検出することはできたが、異常のないところで異常と判定する誤検出が発生した。原因としてトランクのブレージングのように2枚のパネル谷間に加工部がある場合、多重反射により誤検出が発生することがわかった(図13)。多重反射の方が1次反射より高強度で返ってくるとそこが測定面と誤判定し、ピンホールと認識してしまう。

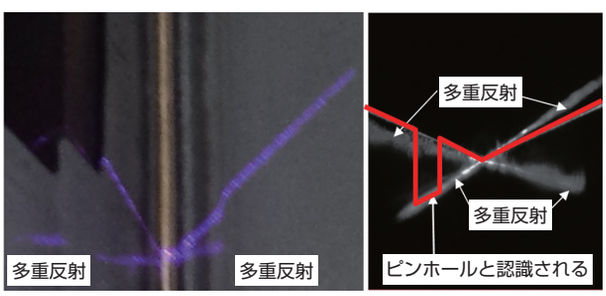


図13　多重反射

ラインレーザのビードに対する角度を正反射からずらすようにした(図14)。これにより多重反射の強度を下げることができた。またラインレーザの照射強度や受光部の感度、ピンホール検出のパラメータの調整などを行った。これらの施策により量産で使用可能なレベルまで誤検出の発生頻度を減少させることができた。

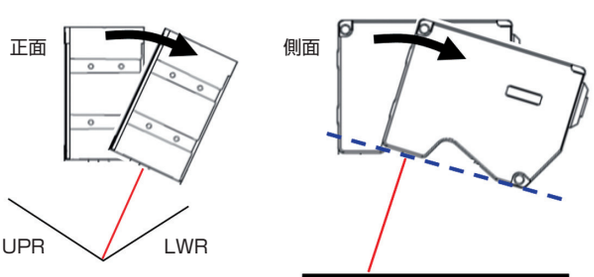


図14　ラインレーザの角度変更

3.4　塗膜密着性

溶接後ボディは塗装が施されるが、塗膜の鋼板への密着性がブレージング部では他の部分より弱いことがわかった。下図は塗膜密着性を確認する試験の1つであるが、加工後無処理ではブレージング部の塗膜が剥離していることがわかる（図15）。

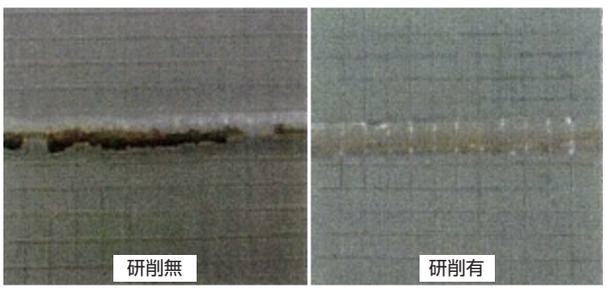


図 15　塗膜密着試験

塗装工程ではまず化学処理によりリン酸化成被膜が形成されるが、この被膜が鋼板への塗膜密着性を確実なものにしている。レーザブレージング後の加工部は高温となるため周辺の酸素により酸化され、酸化被膜を形成する。この酸化被膜がリン酸化成被膜の形成を阻害する。

塗膜密着性を確保するために当初ワイヤホイールブラシにより加工部を研削することで酸化被膜の除去を計画していた。本ブラシにより酸化被膜が除去できることは確認していたが、作業中にワイヤが抜け飛ぶことがわかり作業安全性が問題となった。そこでさまざまな研削材からナイロン不織布に砥粒をコーティングしたディスク（国内用）と砥粒を含有するナイロン毛ホイールブラシ（米国用）を選定した。国内と米国では同一のものが入手できないために別々の研削工具を使うこととなった（図16）。両者で塗膜密着性能について評価を行い、社内基準を満足したため研削工具の変更を行った。

図 16　研削工具

4.　あとがき

欧州車では一般的に適用されているレーザブレージングであるが、自社での量産適用となるとさまざまな課題が発生した。設備面では機器が複雑であることや外国製であることから通常国内設備と比べて使いこなすのに時間を要した。また、薄板で常に問題になる歪の問題や塗装密着性というボディ工場ではあまりなじみのない問題でも苦労した。

新技術の国内米国2拠点同時に立ち上げということからくる難しさもあった。同じ品質出し手法で対応したつもりが、後に差のあることがわかり、品質玉成に日米で手間をかけてしまった。また、国内で改善として仕様変更した点を後から米国で織り込んでもらい、余計な工数を使わせてしまったところもあった。

いろいろな課題への対応でスムーズにいかない場面も多かったが、最後まで解決に御尽力いただいた全ての方々に感謝申し上げる。

参考文献

(1) Scansonic社資料：ALO3 Seam Tracking + AUFO

【著　者】

三島　智睦

川端　達也

構造最適化と金属 3Dプリンタ技術による航空機部品軽量化

Weight Saving of Aircraft Part by Optimization and 3D Printing Technology

吉 村 健 佑[*1] Kensuke YOSHIMURA
安 部 雅 勝[*1] Masakatsu ABE
平 林 大 輔[*2] Daisuke HIRABAYASHI

抄 録

航空機の質量は、機体性能を左右する重要な要素であり、構造の軽量化は主要課題の一つである。

そこで、トポロジーを変数とする構造最適化技術を適用した新設計法と、金属3Dプリンタ技術を適用した新製造法の組み合せによる軽量化手法を確立した。本研究では、その検証のため、航空機の金属金具部品を一例として新手法を用いて設計、試作し、従来の設計・製造法に比べ、部品の質量が50%以下となることを確認した。併せて、形状精度や内部欠陥が検査できることも確認した。

Abstract

Weight saving of an airplane structure is one of the most important issues for the performance. We established a new weight saving method by a topology optimization for an airplane structure and metal 3D printing technology. In order to confirm advantages of the new method, we designed and manufactured a prototype of a metal fitting part using this method. As a result, the part weight is more than 50% lighter than a conventional design and manufacturing method. In addition, we also confirmed that dimensional accuracy and internal defects of the product can be inspected.

1. まえがき

航空機の構造設計においては、剛性・強度等の要求を満足しつつ、可能な限り軽量な構造を設計する必要があり、軽量化は、航空機の基本性能を左右する重要な要素である。

この軽量化を行う設計法の中で特に注目されているものの一つとして、部品の板厚や板幅といった寸法ではなく概形自体(トポロジー：位相幾何形状)をコンピュータにより最適化する方法がある。近年のコンピュータ性能の大幅な向上によって進歩してきたこの構造最適化技術の特長は、剛性・強度などの力学要求や形状要求などを満足しながら、人間の発想を超えた最も軽量な形状を導くことが出来ることである。しかし、構造最適化解析により導出される最適解は、製造困難な形状となる場合がほとんどであった。

この解決策として、金属3Dプリンタ技術を適用した製造法がある。金属3Dプリンタ技術は、3次元CADデータに基づく電子ビームやレーザ走査により金属粉末を選択的に溶融・凝固させて積層することで3次元構造体を製作する技術である。これにより従来の機械加工や鋳造では困難であった部品の一体化や複雑な部品形状の加工が実現出来る[(1)]。

そこで本研究では、航空機構造部品を対象にして、実際に構造最適化解析により設計した部品を金属3Dプリンタにて試作し、非破壊検査法の検証を行うとともに質量低減効果の確認を行った。

＊1 航空宇宙カンパニー　航空機設計部
＊2 航空宇宙カンパニー　研究部

2. 試作品の設計および製造概要

本研究にて実施した構造最適化解析による設計および金属3Dプリンタによる製造の概要を以下に述べる。

2.1 構造最適化解析による試作品設計

本研究の試作対象部品として、一般的な金属3Dプリンタ装置で製造可能なサイズであり、かつ形状が比較的複雑な航空機ドアヒンジ金具を選定した(**図1**)。

従来の設計法では、機械切削加工により製造可能な概形を設定した後に剛性・強度等の要求を満足する板厚や板幅を設定していた。しかし、金属3Dプリンタを用いることで製造方法の制約を受けない自由な設計が可能となる。

そこで、対象部品に対して、設計／解析条件や強度／剛性要求を入力パラメータとし、自由な設計領域の中でコンピュータによりトポロジー最適化解析を実施した。最適化解析のプロセスを**図2**に示す。結果として、従来設計部品に対して体積が小さいにも関わらず、強度／剛性の優れる部品形状を導出することができた。従来設計と構造最適化解析を用いた設計の強度及び剛性比較を**図3**に示す。

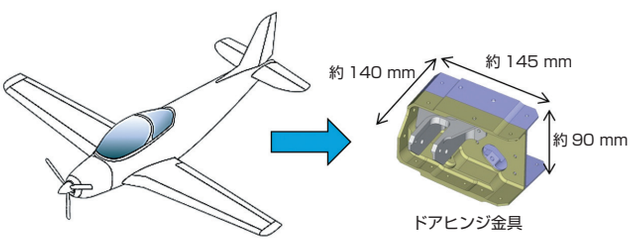


図１　対象部品概要

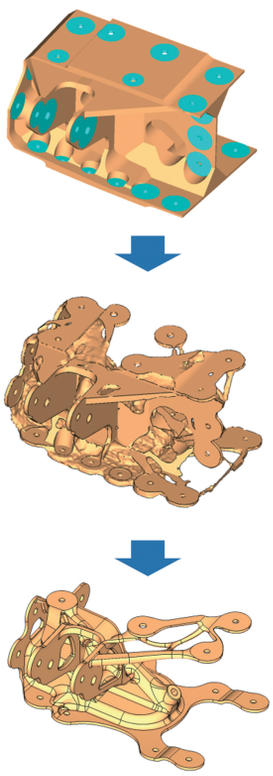


図２　最適化解析プロセス

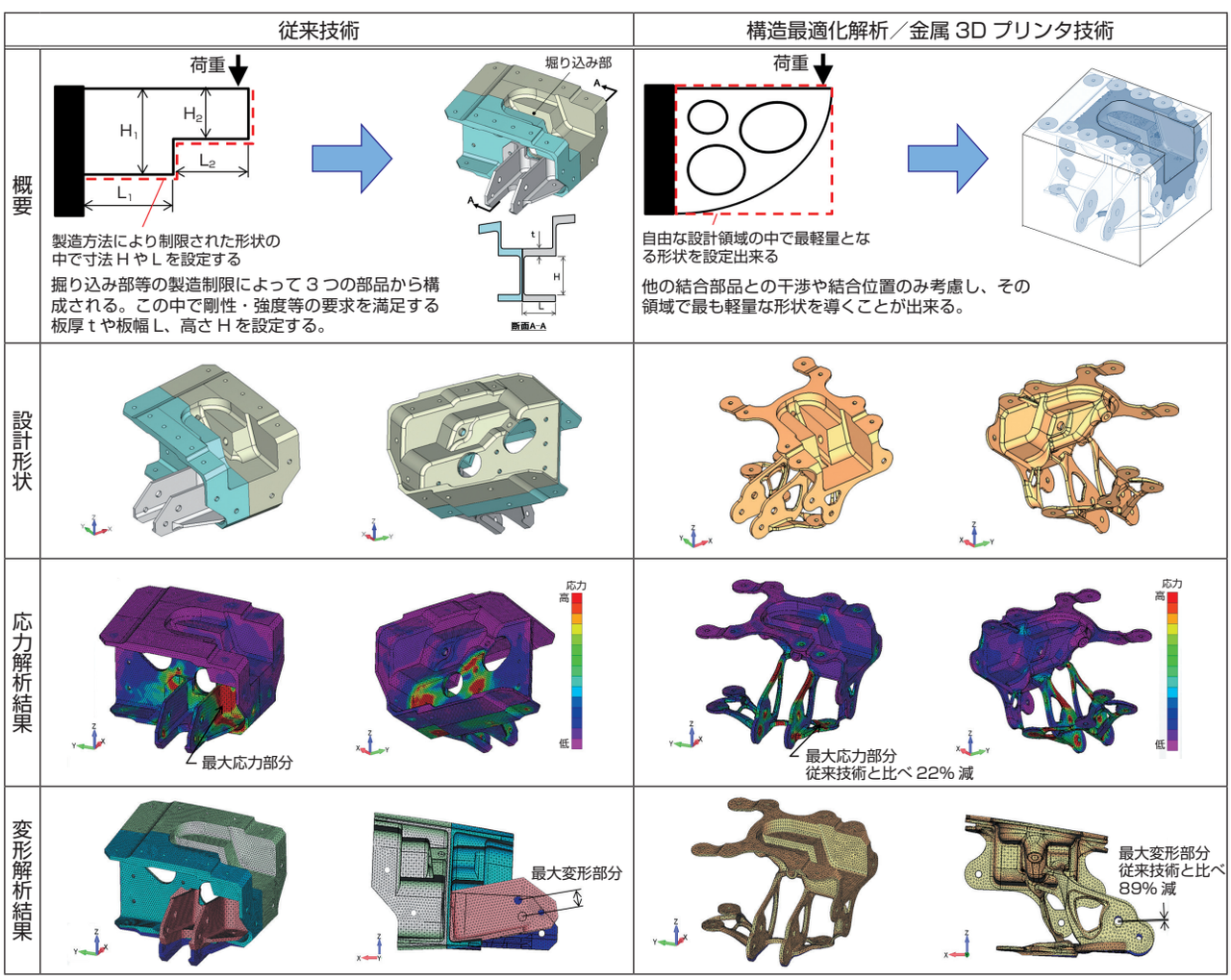


図３　従来技術と最適化解析技術の結果比較

2.2　金属3Dプリンタによる試作品製造

構造最適化解析により設計した部品について、金属3Dプリンタ装置Arcam Q2（Arcam AB製）を用いて、3次元CADデータに基づく電子ビーム走査により金属粉末を選択的に溶融・凝固させた層を繰り返し積上げて製造した。製造概要について図４に、試作品について図５に示す。

また、試作にて使用する金属3Dプリンタ装置で製作した部品が、従来技術で製作したものと同等の強度を有することをクーポン試験片にて確認した。材料の引張強度試験結果を図６に示す。

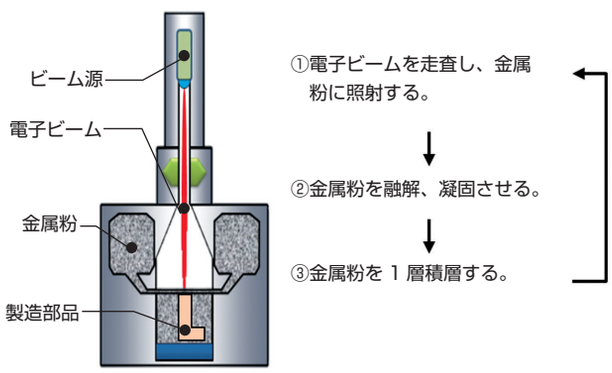


図４　金属 3D プリンタ製造概要

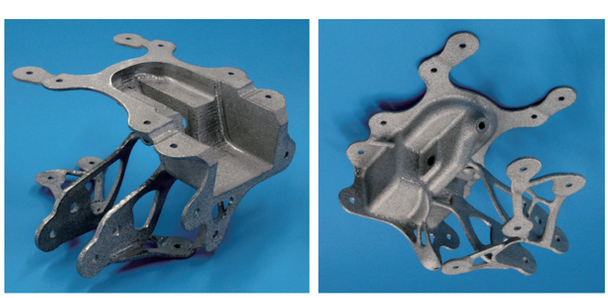


図５　試作品概要

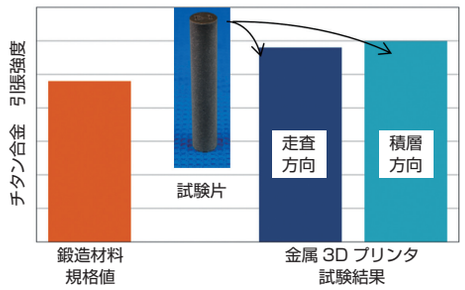


図６　金属 3D プリンタ製造のチタン合金強度（静強度）

3.　試作品の評価

3.1　質量軽減効果の評価

構造最適化解析と金属3Dプリンタ技術を組み合わせることで航空機部品の部品最適／一体化ができ、従来技術を適用した部品に比べて、剛性・強度の性能を低下させることなく、54%の軽量化が実現できることが確認できた（図７）。

3.2　３次元形状評価

金属3Dプリンタは、加熱による溶融と冷却による凝固を繰り返すという製造方法の性質上、部品サイズが大きくなると熱歪による変形が懸念される。

そこで、試作品を非接触式3次元測定し3次元CADデータと比較することで、金属3Dプリンタ作成精度を確認した。結果として、概ね精度良く製造できていることが確認できた（図８）。

一方、表面粗さについては、従来の機械切削加工より劣っており、表面粗さ要求の厳しい航空機部品に適用する場合は、外表面を研磨するなどの追加工が必要となる。また、本研究では電子ビームによって粉体金属を溶融させる金属3Dプリンタ装置を使用したが、その他にレーザによる溶融方式がある。電子ビームの方が、製造時間が短いものの、レーザは高精度造形に優れており、表面粗さ要求の厳しい航空機部品の場合はレーザによる溶融方式が適していると考えられる。

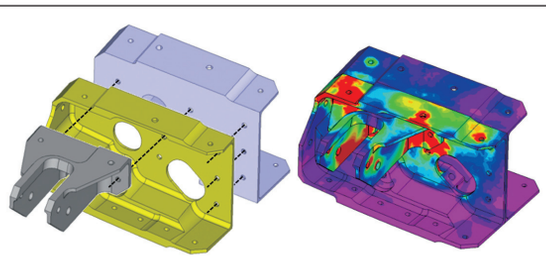
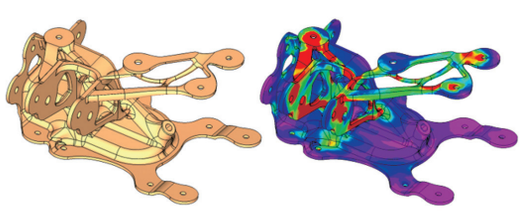
技術	従来技術適用		構造最適化解析／金属 3D プリンタ技術適用
形状／応力			
製造法	３部品の機械加工製造＋ボルト結合		一体化部品の金属 3D プリンタ製造
質量	564 g	54% 減	261 g

図７　従来技術と最適化解析技術の結果比較

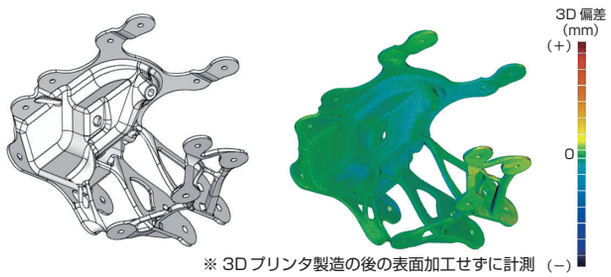


図８　３次元測定結果

3.3　内部欠陥の非破壊検査法検証

金属3Dプリンタは、金属粉末を積み上げる製造法のため、製造プロセス次第では内部に欠陥を有する可能性がある。そこで、中外テクノス株式会社協力のもとマイクロフォーカスX線CTスキャンXT H320（Nikon製）で検査することで、内部の微少な欠陥の検出が可能かどうかを確認した。

内部欠陥の有無を確認した結果を3次元ビューアで示したものを図９に示す。欠陥部分が明瞭に示され、X線CTスキャンは、本試作品のような均一材料で複雑形状部品の内部検査に対して有効な非破壊検査方法であることがわかった。

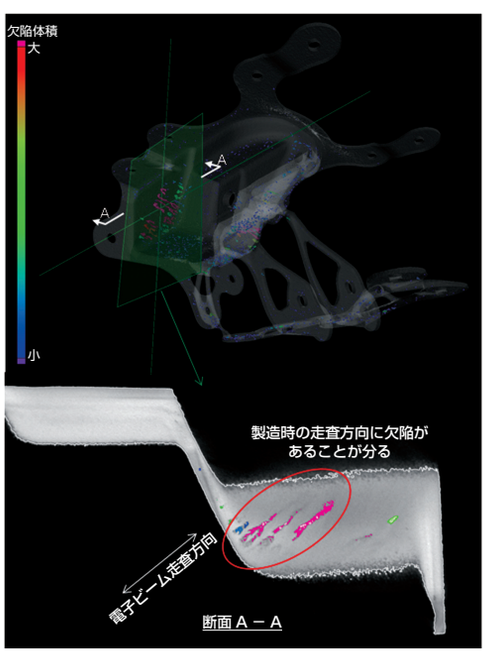


図９　X線CTスキャン検査結果

また、金属3Dプリンタで製造した部品の内部欠陥は、製造時の電子ビームの走査方向にのびていることが分かった。これらの欠陥は微少なサイズであり、静強度に影響を与えるものではないものの、繰り返し荷重が作用した場合はこれらがき裂進展の起点となり、疲労強度低下を引き起こす懸念がある。

この疲労強度を改善させる手段として、HIP（Hot Isostatic Pressing）処理が考えられる。HIP処理は、加熱炉を内蔵した耐圧容器中において、等方的な圧力と温度を同時に加えて処理する技術であり、微少な内部欠陥を除去することで疲労強度向上が期待できる。

4.　まとめ

航空機のドアヒンジ金具を対象に、構造最適化解析技術を適用して設計を行い、導出された複雑な形状を金属3Dプリンタ技術にて製造することで、従来技術適用部品に対して、剛性・強度の性能を低下させることなく、50%以下の軽量化の可能性があることを確認した。

また製造部品の検査法として、形状については非接触式3次元測定により検査可能であり、内部欠陥についてはX線CTスキャンにより検査可能であることを確認した。

近年の航空機構造分野では、炭素繊維強化樹脂複合材の材料開発や解析技術、製造技術の発展により、航空機の軽量化が飛躍的に進んでいる。しかし、全ての部品を複合材化できるわけではなく、集中荷重が入る脚取付部や翼胴結合部、動翼取付部には依然として金属材料金具が用いられている。そこで将来の航空機構造の金属材料金具に対して、本研究のように構造最適化解析と金属3Dプリンタ技術を適用することにより大幅な軽量化が期待できると考える。

参考文献

(1) 早野誠治ほか：AM（付加製造）, SOKEIZAI Vol.57 (2016) No.5

【著　者】

吉村　健佑

安部　雅勝

平林　大輔

構造健全性診断技術の実用化に向けた取り組み

Research and Development of Structural Health Monitoring Technology for Practical Use

副島英樹*1　高橋孝平*2　平木恵*3　村田巖*4
Hideki SOEJIMA　Kohei TAKAHASHI　Megumi HIRAKI　Iwao MURATA

抄　録

運用中の航空機は、雹や鳥等の衝突、あるいは落雷等様々なリスクに遭遇する可能性がある。従って、エアライン等では、安全に航空機を運用するために、所定のコストをかけて、規定された整備、検査を実施している。我々は、これらのコスト削減に寄与できる構造健全性診断(Structural Health Monitoring：SHM)技術の実用化を目指し、研究開発を行っている。開発しているSHMシステムは､構造に貼り付けたアクチュエータとセンサで超音波を送受信し、計測した超音波を解析することで構造の異常を自動、かつ瞬時に検知できる。これまで、地上試験にて、損傷検知能力やシステムの耐久性等を評価して航空機構造に適用できる技術レベルにあることを示してきた。平成28年度には、宇宙航空開発機構(Japan Aerospace eXploration Agency：JAXA)の実験用航空機「飛翔」による飛行実証を行い、飛行中でも超音波計測が可能なことを、さらには、計測した超音波の解析から損傷等が発生していないこと、すなわち、構造健全性が維持されている(実際の構造の状態を把握できる)ことを示し、本SHMシステムが実機でも適用可能なことを示した。将来的には、本SHM技術を人工知能等と融合し、飛行中の構造健全性診断や診断結果を活用した機体の運用最適化等を行うことで、さらなる空の安全を提供できる技術へと発展させていく。

Abstract

Aircraft might experience several events, such as bird strikes, lightning, and so on. In order to assure airworthiness of aircraft, predetermined maintenances and inspections, which are time-consuming and labour-intensive, are conducted. In order to reduce costs of maintenance and inspections, we have been developing a Structural Health Monitoring (SHM) system. The SHM system can detect damages in aircraft structures by analysing changes of ultrasonic waves which are measured with the SHM system. Damage detection capability and environmental durability have been evaluated so far. Moreover, flight verification tests have been conducted with a Flying Test Bed (FTB) owned by Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). As a result of the tests, it confirmed that ultrasonic waves could be measured even during flight with the SHM system which had been installed in the FTB, and evaluation of structural integrity by analyzing the ultrasonic waves was successfully accomplished. In the future, the SHM technology and artificial intelligence (AI) will be integrated, which can make future flight operation safer and more efficient.

1. まえがき

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技術を一般的に構造健全性診断(Structural Health Monitoring：SHM)技術と称する。SHM技術の適用先は航空機に限らず、鉄道や船舶等の輸送機器、ある

＊1 航空宇宙カンパニー　固定翼機設計部
＊2 航空宇宙カンパニー　新多用途ヘリコプター設計部
＊3 航空宇宙カンパニー　研究部
＊4 航空宇宙カンパニー　技術開発センター

いは、橋梁、プラント、風車等の社会インフラ等多岐に渡り、世界的に研究開発が行われている[(1)(2)]。様々なシステムの安全性を担保するための維持管理コストを、安全性を維持しつつ削減できることが、SHM技術のメリットの1つであるが、コンピュータの性能が大きく向上し、ビッグデータを扱う環境が整う中で、様々なデータを活用するSHM技術の適用可能性はさらに広がっている。

我々は、これまで、航空機構造の検査コストの削減に寄与できるSHMシステムの開発を1つの目標として開発を進めてきた[(3～6)]。航空機の検査は、機体が地上にある間、すなわちダウンタイム中（機体が地上に駐機している時間）に実施されるが、検査時間の削減はダウンタイムの削減につながり、航空機を運用するエアライン等のサービス向上にも大きく貢献できる。さらに、SHMシステムは検査に活用しながら、構造に関するデータを計測・蓄積していくことができるため、現設計では実現できないコンセプト等を考慮した新たな設計手法の考案に有益な情報を提供できると考えられる。将来的には、航空機において一般的に収集されている飛行データと、SHMシステムで計測・蓄積されるデータとを統合して評価することにより、安全性を維持しつつも、さらに効率的な航空機の運用を実現できると考えられる。本報告では、これまで実施してきたSHMシステムの研究開発の一部を紹介する。

2.　超音波を用いたSHMシステム

2.1　SHMシステムの構成

現在開発を行っているSHMシステムの概要を**図1**に示す。本SHMシステムは大きく、超音波を送受信するための小型アクチュエータと光ファイバセンサ、超音波を計測するための計測装置、及び、計測した超音波を解析し、損傷検知と構造健全性診断を行う診断アルゴリズム（ソフトウェア）で構成されている。超音波を送受信するための小型アクチュエータと光ファイバセンサは診断対象となる構造に直接施工される。

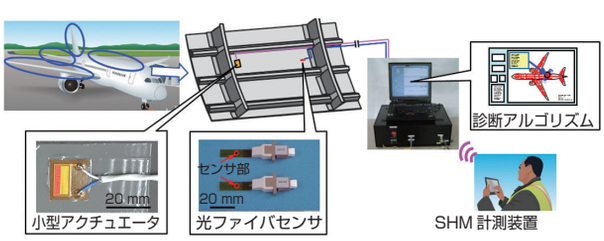


図1　開発中の SHM システムの概要

2.2　損傷診断原理

超音波の伝搬経路に、損傷発生／進展等による構造変化が生じると、そこを伝搬する超音波はその構造変化の影響を受け変化する。本SHMシステムでは、損傷のない状態（健全状態）において計測した超音波と、損傷発生後に計測した超音波とを比較し、それらの変化を定量的に評価することにより航空機構造中に発生・進展する損傷を検知し、構造健全性を診断する。**図2**にその原理を示す。本SHMシステムでは、超音波の変化を定量的に評価するために、計測した超音波に対してフーリエ解析やウェーブレット解析等を行い、構造の変化に応じて変化する特徴値を抽出して損傷検知、すなわち、構造健全性診断を行っている。

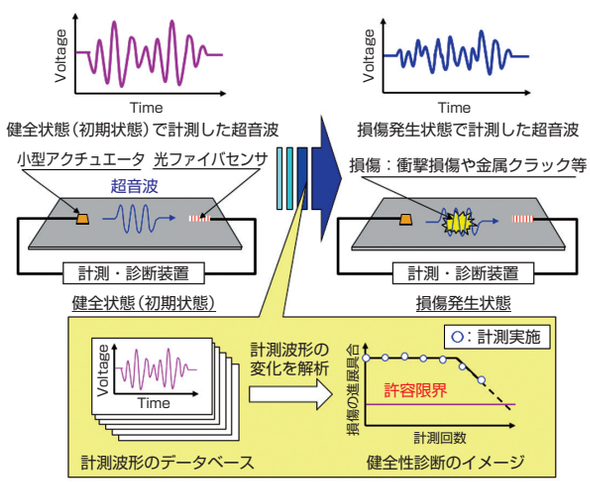


図2　損傷／健全性診断の原理

また、超音波を利用する他のSHMシステムとは異なり、本SHMシステムで用いている小型アクチュエータと光ファイバセンサは共に、共振周波数が存在しないため、損傷の形態に応じて最適な周波数帯域を選択することで、種々構造に発生する種々損傷を検知できる可能性を有している。さらに、小型アクチュエータ、光ファイバセンサ共に超音波の送受信方向に指向性があるため、両者の配置を適切に設定することにより、超音波の解析精度を低下せしめる構造境界からの反射等の影響を低減でき、超音波を利用するSHMシステムとしては優れたシステムであると考えられる。

3.　損傷検知能力の評価

本SHMシステムの実機適用を目指し、地上にて種々評価試験を行い、本SHMシステムの技術レベルを向上してきた。本項では、損傷検知確率、所定の構造に適用可能なことを示す損傷検知能力、及びセンサ等の耐環境性について評価を行った結果の概要を、それぞれ示す。

3.1　損傷検知確率の評価

航空機の構造検査に適用される検査手法は、JSSG-

2006の中で、以下の検知確率を有することが規定されている[7]。

・設計で許容されている損傷サイズよりも小さい損傷を、90%の確率で検知できること。
・その確率が95%の信頼度を有することを統計的に実証すること。

現在適用されている検査手法の支援、あるいはそれらに代わって検査を行い、検査の効率化に寄与するためには、本SHMシステムも先述の規定を満足することを示す必要がある。そこで、本SHMシステムの損傷検知確率を評価するために、本SHMシステムに適した評価手法を提案し、これに基づき評価を行った。提案した評価手法の概要を以下に示す。

1.図3に示す試験片を用いて、実際の損傷サイズと本SHMシステムにより導出する損傷サイズとの関係を取得する。
2.図4に示すように、複数の試験片で取得した結果に統計処理を施し、先述の損傷検知確率を満たす損傷サイズを導出する。

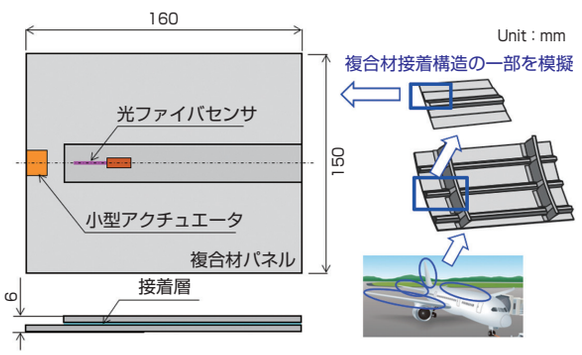


図3　損傷検知確率の評価手法概要

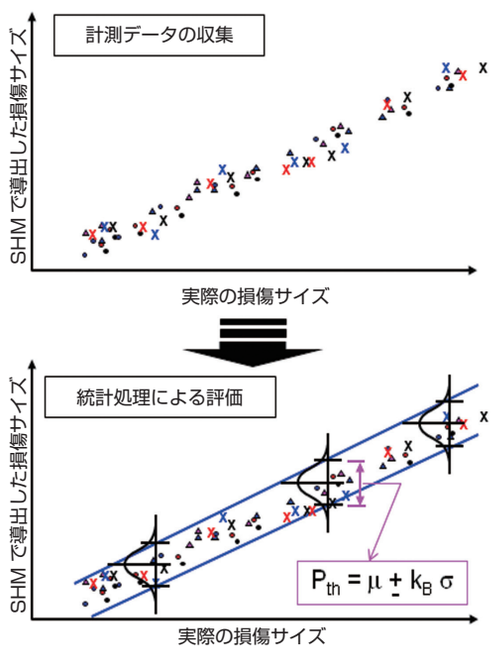


図4　検知確率評価用試験片

複合材構造に多用されている接着構造中に発生するおそれのある接着剥がれについて、本SHMシステムの検知確率の評価を行った。その結果、本SHMシステムは±9 mmの精度で規定の検知確率を有しつつ接着剥がれ長さを診断できることを確認した(図5)。

3.2　損傷検知能力の評価

他の構造物同様、航空機も様々な構造様式で構成されている。本SHMシステムは構造中を伝搬する超音波の変化を解析して損傷検知を行うため、構造様式の違いを考慮した評価は必須であり、これまで、様々な構造を模擬した供試体において検知能力の評価を行ってきた。ここでは、それらの試験のうち、コンポーネントレベルの実大供試体を用いて実施した損傷検知能力評価試験について示す。

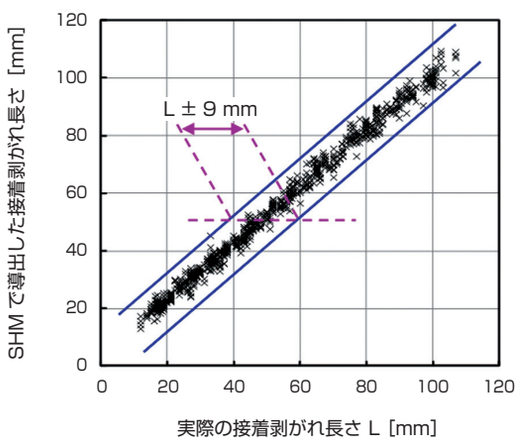


図5　SHMシステムの検知確率

図6に、本評価に用いた供試体の概要を示す。本供試体はビジネスジェット機の主翼BOX構造を模擬して製造されており、外板、リブ、及び桁等、主翼BOX構造を構成する要素には全て複合材料が適用されている。本供試体の様々な位置に、運用中に発生する可能性のある衝撃損傷を付与し、これらの損傷を検知できることを示すことで、本SHMシステムの損傷検知能力の評価を行った。なお、付与した損傷はBarely Visible Impact Damage(BVID)レベルである。本レベルの損傷は目視での検出が困難であり、このレベルの損傷を付与した後の複合材料の強度(Compression After Impact(CAI)強度)が構造設計における機械的特性値の1つとして用いられている。仮に、現在検査員が目視あるいは超音波検査装置を用いて実施している衝撃損傷の検査をSHMシステムで代替できれば、コスト削減を実現でき、さらには、SHMシステムの適用により検出可能なBVIDレベル(損傷サイズ)を小さくできれば、航空機構造のさらなる軽量化も可能となるため、衝撃損傷検知能力の評

価は、本SHMシステムを実用化する上では重要である。

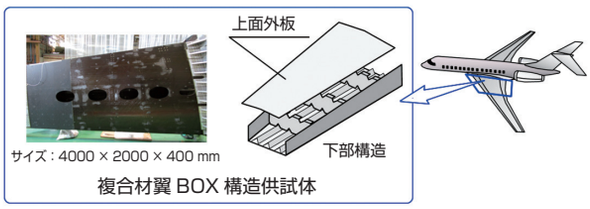


図６　損傷検知能力評価用翼 BOX 構造供試体

図7に、小型アクチュエータと光ファイバセンサの設置位置、及び、衝撃損傷を付与した位置を示す。本SHMシステムでは、外板の補強材（ストリンガ）とリブで囲まれたエリア（1Bay）を1つのアクチュエータ／センサペアで監視することを想定しているため、衝撃付与位置は、1Bay内の中央部等の一般的な位置や、超音波の伝搬経路を考慮して損傷検知が比較的難しいと予想される位置等、損傷検知能力の評価に必要十分と考えられる位置を選定した。

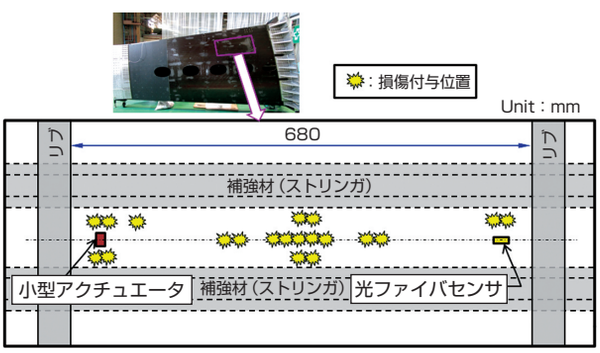


図７　衝撃損傷付与位置

本SHMシステムでは2.2項に示した通り損傷付与前後に計測した超音波の差異を解析することにより損傷検知を行う。従って、本試験でも衝撃損傷を付与する前後で超音波計測を行い、これら2つの超音波の差異を解析することより衝撃損傷検知能力の評価を行った。

試験結果の一例を図8に示す。本図に示す通り、損傷発生により計測した超音波には明確な差異が確認でき、本SHMシステムで損傷検知が可能なことを確認した。同様の評価を、図7に示す全ての損傷付与位置に対して実施したところ、いずれの位置でも同様の差異を確認することが出来た。従って、本SHMシステムは、1つのアクチュエータ／センサペアで、1Bay内の様々な位置に発生する衝撃損傷を検知できる能力を有していると判断できる。なお、実際の運用においては、診断ソフトウェア上で、図8に示した差異を、例えば修理の要否等、検査員や作業者が取るべきアクションに変換して示すことになる。

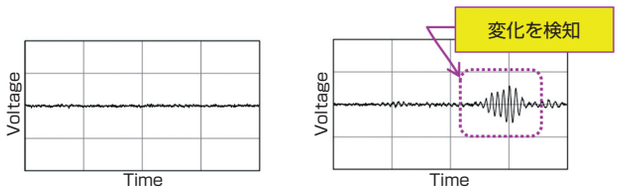


図８　衝撃損傷検知能力の評価結果の一例

4.　アクチュエータとセンサの耐環境性評価

運用中の航空機は様々な環境に曝されるため、航空機構造並びに搭載機器は、想定される環境の中でも機能を発揮できるよう様々な要求や規定に基づき設計されている。民間航空機に搭載される電子機器や装備品の耐環境性を評価するための試験法は、RTCA/DO-160にまとめられており、機器の種類や使用形態、搭載する機体や機体内の搭載箇所等によって試験法、環境条件、及び満足すべきレベルが規定されている[(8)]。ここでは、航空機構造に半永久的に施工される小型アクチュエータと光ファイバセンサの耐環境性を評価した結果についてその概要を示す。

図9に試験に供した試験片の外観を示す。実機への適用形態と同様の仕様で試験を行うべく、小型アクチュエータと光ファイバセンサを航空機用接着剤で複合材パネルに貼り付け、航空機用シーラントで保護した。環境条件はRTCA/DO-160を参考に選定したが、本資料には長期耐久性に関する条件は規定されていないため、民間航空機の一般的な耐用年数を考慮して各環境への暴露時間を設定した。

一例として、塩水噴霧環境下に所定の期間暴露して耐環境性を評価した結果を図10に示す。図には、塩水噴霧環境下へ暴露する前と後に計測した超音波を示しているが、2つの超音波はほぼ一致しており変化は確認できない。従って、本SHMシステムで使用している小型アクチュエータと光ファイバセンサは塩水噴霧環境に対して十分な耐環境性を有していると判断できる。実施した耐環境性試験の環境条件を表1に示す。いずれの試験も塩水噴霧環境での評価同様、計測した超音波に変化はほとんど確認されず、小型アクチュエータと光ファイバセンサが十分な耐環境性を有していることを確認できた。

5.　飛行実証試験

3、4項に示した通り、我々は実際の運用環境等を考慮して本SHMシステムの損傷検知能力や耐環境性等を評価してきた。本SHMシステムは構造を伝搬する超音波を解析することにより損傷診断を行うが、飛

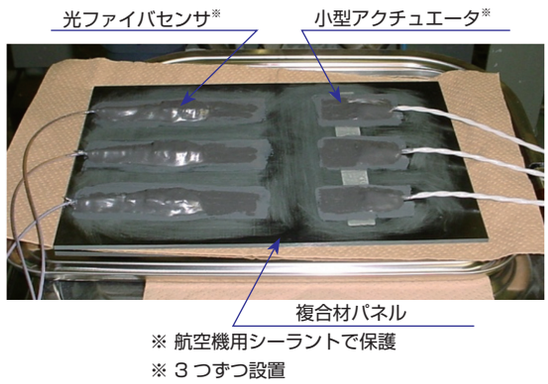


図９　耐環境性評価用試験片

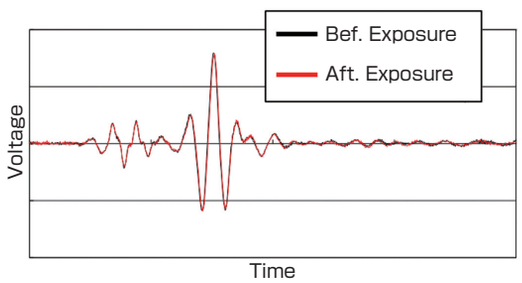


図 10　耐環境性試験の結果の一例（塩水噴霧）

表１　実施した耐環境性試験一覧

環境条件
高温／低温環境暴露、高圧／減圧環境暴露、温度変化、高温高湿環境暴露、温水浸漬、塩水噴霧環境暴露、燃料浸漬、作動油浸漬、溶剤浸漬、トイレ洗浄剤浸漬、除氷液浸漬、消火剤浸漬、静荷重印加、疲労荷重印加

行中に超音波計測、及び損傷診断を行う場合、エンジン等の振動や飛行中の空気力による振動等の影響の有無を把握し、影響が確認された場合はそれらの影響を除外して損傷診断を行うことができるロバストなシステムとする必要がある。我々は宇宙航空研究開発機構（Japan Aerospace eXploration Agency：JAXA）との共同研究の中で飛行試験を実施し、飛行中の超音波計測に及ぼす飛行環境の影響評価と、実機を用いた本SHMシステムの損傷診断コンセプトの成立性の確認を行った。

5.1　実験用航空機

図11に、飛行試験に供したJAXAの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Citation 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り、高速・高空飛行実証環境等の機会を提供し、我が国の航空技術研究開発の発展に寄与するために導入された機体である。

図 11　実験用航空機「飛翔」の外観

5.2　試験方法と結果の概要

飛行試験に先立ち、小型アクチュエータと光ファイバセンサをアルミ合金製の胴体上面外板に貼り付けた。また、超音波計測装置等は専用設計したラックに搭載し、FTBのキャビン内に据え付けた。なお、本改修は航空法第11条1項の但し書きに従い実施し、国土交通省航空局の認可を得て、本飛行試験のために実施した。

図12に飛行パターンの一例を示す。超音波の計測は、地上（格納庫内、駐機中、走行中）と飛行中（上昇中、水平飛行中、各種マニューバ中、下降中）の両方で行った。

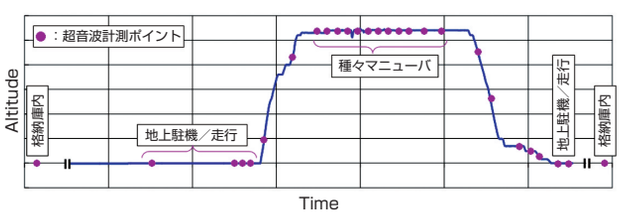


図 12　飛行試験プロファイルの一例

図13にフライトの前後に格納庫内で計測した超音波の一例を示す。図に示す2つの超音波はほぼ一致しており、飛行前後で波形の変化は確認されない。すなわち、図12に示すフライトを行った後もアクチュエータとセンサを施工した胴体上面外板の構造健全性は、当初の想定通り維持されていると判断できる。なお、型式証明を取得した航空機では、通常の運用で構造健全性を低下せしめるような事象が発生することはない。本飛行実証試験終了後、センサ等を取外し該当構造の状態を目視で確認したが、本SHMシステムで診断した通り、構造に異常は確認されなかった。この結果より、本SHMシステムが実機でも適用可能なことを示すことができたと考える。また、図14に飛行中に計測した超音波の一例を示す。図に示す通り、計測された超音波に若干の振幅変化は確認できるものの、波形の全様は図13に示す地上で計測した超音波と大差無く、飛行中も超音波計測に悪影響を及ぼす様な周波数領域の振動は存在せず、超音波が地上と同じように計測できることを確認した。

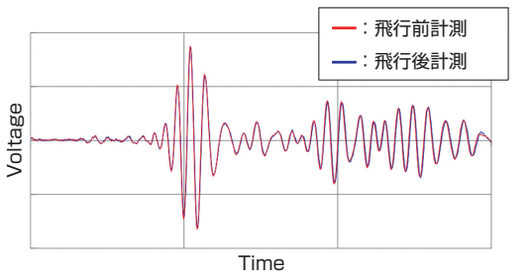


図 13　格納庫内で計測した超音波の一例

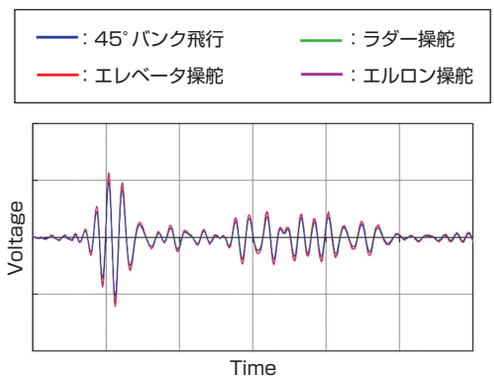


図 14　飛行中に計測した超音波の一例

6.　まとめ

我々は、航空機のメンテナンスコスト削減に寄与できるSHMシステムの開発を行ってきた。本SHMシステムは、構造に施工した小型アクチュエータと光ファイバセンサで構造中に超音波を送受信し、損傷発生等の構造変化に伴い生じる超音波の変化を解析することより、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できる。これまで、本SHMシステムの実用化を目指し、クーポン試験片を用いた損傷検知確率の評価や耐環境性の評価、翼BOX構造を模擬した実大構造供試体を用いた損傷検知能力の評価、さらには実験用航空機による飛行実証試験等を行い、本SHMシステムが実用できる技術レベルにあることを示した。今後、実機を用いた実運用下での耐久性試験や顧客ニーズに応じたシステムのカスタマイズ等を行い、早期の実用化を目指す。

さらに、IoT、Big data、AI等のデジタル化の波を好機と捉え、本SHMシステムにより取得・蓄積するデータと、航空機が現在取得している飛行データ等とを総合的に解析・診断し、航空機運用者に有益な情報を提供できるシステムへと発展させていく。

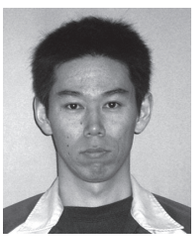
6.　謝辞

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) NDT.net：8th European Workshop on Structural Health Monitoring
(2) F. K. Chang：Structural Health Monitoring 2015, Proceedings of the 15th International Workshop on Structural Health Monitoring
(3) T. Ogisu, M. Shimanuki, H. Yoneda, Y. Okabe, N. Takeda and T. Sakurai：Evaluation of FBG/PZT Actuator Hybrid Damage Monitoring System using Structural Element Specimen, Proc. 5th International Workshop on Structural Health Monitoring 2005
(4) H. Soejima, K. Takahashi, Y. Okabe, N. Takeda and Y. Yoshida：Investigation of the probability of detection of our SHM system, Proc. European Workshop on Structural Health Monitoring 2012
(5) K. Takahashi, H. Soejima, A. Sakabe, Y. Okabe, N, Takeda and M. Yoshida：Damage detection technology for CFRP structure using MFC/FBG hybrid sensor system, Proc. International Workshop on Structural Health Monitoring 2013
(6) K. Takahashi, H. Soejima, M. Hiraki, N. Takeda and H. Kojima：Development of FBG-MFC hybrid SHM system for aircraft composite structures in collaboration study with Airbus, Proc. European Workshop on Structural Health Monitoring 2016
(7) Department of Defense, USA：Joint Service Specification Guide, Aircraft Structures -2006（JSSG-2006）, 1998
(8) U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration：Composite Aircraft Structures, Advisory Circular 20-107B, 2009
(9) RTCA inc.：Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment, RTCA/DO-160

【著　者】


副島　英樹

高橋　孝平

平木　　恵

村田　　巖

特別仕様車「LEGACY OUTBACK X－ADVANCE」
～ BOXERエンジン50周年特別記念車の第三弾～

2017年1月

スバル初のBOXER（水平対向）エンジン搭載車「スバル1000」の発売から50周年を記念した特別仕様車の第三弾として、LEGACY OUTBACKに「LEGACY OUTBACK X－ADVANCE（エックスアドバンス）」を設定。「LEGACY OUTBACK X－ADVANCE」は、LEGACY OUTBACKをベースに、「本物の機能性を備えたスタイリッシュなアウトドアギア」をデザインテーマとして開発した特別仕様車。

車種名・グレード	エンジン	駆動	変速機
LEGACY OUTBACK X-ADVANCE	2.5L 水平対向 4気筒 DOHO	AWD	リニアトロニック

超撥水塗料「FHI-4」の開発および適用例

Development and Application of Superhydrophobic Coating “FHI-4”

吉田 剛士[*1] Takeshi YOSHIDA
柴崎 修[*1] Osamu SHIBASAKI
荻巣 敏充[*1] Toshimichi OGISU
村田 巖[*2] Iwao MURATA

抄 録

航空機はとても安全な乗り物であり、いかなる状況においても飛行継続が可能なシステムを備えている。しかしながら、特殊気象による突発的環境変化により、事故を引き起こす可能性がある。その原因の一つとして機体への着氷がある。着氷を防ぐことを目的とした防除氷装置としてエンジン抽気や除氷液を用いたシステムが存在するが、燃費や安全性、環境負荷の点で課題を抱えている。最新の民間機であるボーイング787型機では、従来の抽気利用システムに替えて電気式の防除氷システムが採用されているが、電気エネルギーの省電力化が課題の1つとなっている。

これらの課題の解決のために、航空宇宙カンパニーでは、超撥水性を活用して機体表面の着氷を防ぐ塗料及びそれを用いた防除氷システムの開発を行っている。

本稿では、航空宇宙カンパニーで開発した超撥水塗料を航空機に適用して耐久性試験を実施した結果や、その応用として、自動車ドアの着氷防止対策として試験した結果を紹介する。

Abstract

Aircrafts are very safe vehicles and equipped with a system that can continue flight in any situation. However, there is a possibility of causing an accident due to a sudden environment change caused by special weather conditions. Ice accretion on aircraft is one of the reasons that cause an accident. Although there are conventional aircraft ice protection systems such as pneumatic bleed air or deicing fluid, these systems need further improvements in terms of fuel consumption, safety and environmental effect. In the latest aircraft Boeing 787, an electric ice protection system is used instead of a conventional bleed air system, but large consumption of the electric energy is one of the problems.

To solve these problems, new superhydrophobic coating and an ice protection system that prevents ice formation on aircraft surface have been developed at SUBARU Aerospace Company.

This paper describes the results of durability and anti-icing tests of the developed coating applied on airplane and automobile.

1. まえがき

大気中に存在する水滴が凍結せずに氷点以下に冷却されたものを過冷却水滴という。それが物体に衝突した際、衝撃エネルギーを引き金として瞬時に衝突物に氷を生成する現象は着氷と呼ばれている。着氷は雪山の樹氷など寒冷地の高木や鉄塔等で実際に見ることができるが、航空機は上空の低温環境下を飛行するため、寒冷地に限らず着氷が発生する可能性がある。航空機の翼上では、着氷が始まると急速に氷が成長し揚力の大幅な低下を招き、結果として飛行性能の極端な低下に繋がる。さらに着氷の状況によっては事故に至る可能性もある。NSTB（National Transportation Safety Board：米国国家運輸安全委員会）の調査によると、気象の影響で発生した航空機墜落事故のうち、7%は着氷が原因である[(1)]。

航空機の安全を確保するために、現在では多くの機体にジェットエンジンで圧縮された加熱空気の一部を用いて加熱する抽気利用システムや、ヒータにより加熱する電熱システムで防除氷する安全対策が施されている。

＊1 航空宇宙カンパニー　技術開発センター 研究部
＊2 航空宇宙カンパニー　技術開発センター

しかし、これらの防除氷システムはエンジン出力の一部を利用しているため、航空機の燃費に影響を及ぼすほか航空機から排出される二酸化炭素による環境負荷も問題視されており、これらの観点からも防除氷システムの省エネルギー化は強く求められている[(2)]。

このような背景を基に、氷が付着しにくい表面を実現できれば、付加的なエネルギーが無くとも航空機の着氷の課題を軽減できることに着目し、表面エネルギーが極めて小さいポリテトラフルオロエチレン（以下、PTFE）を配合し、超撥水効果並びに着氷低減効果のある塗料を開発した[(3)]。

さらに、経済産業省の助成を受けた研究開発プロジェクトJEDI ACE（Japanese-European De-icing Aircraft Collaboration Exploration）にて耐久性を向上させた超撥水塗料[(4)]、ならびに、電熱式防除氷装置と超撥水塗料を組み合わせた先進的な防除氷システムの開発を行った。

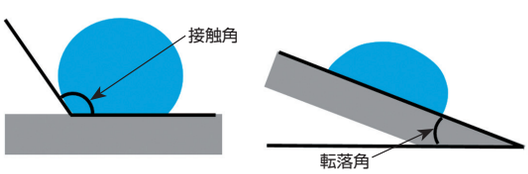
2. 超撥水塗料および防除氷システム開発

2.1 超撥水塗料開発

前述のJEDI ACEプロジェクトにおいて従来の技術を基に耐久性の高い超撥水塗料を開発した。

一般的に超撥水性を示す塗料は表面に生成される凹凸構造（ロータス構造）により高い撥水性を示すが、耐久性（雨滴衝突による耐エロージョン性）の低さが課題とされている。開発塗料は耐摩耗性の高いベース塗料を用いることで、従来塗料を上回る高い耐久性を実現している。

本報告では、撥水性を評価する指標として、水滴接触角及び転落角を用いた。接触角とは塗膜上の水滴と塗膜がなす角度（**図1(a)**参照）を指し、角度が90°以上を撥水、150°以上を超撥水とされている。逆に90°以下では親水と呼ばれている。一方、転落角とは塗膜上の水滴が試験片を傾けた際に移動を開始する角度（**図1(b)**参照）を指し、低ければ低いほど撥水性に優れているといえる。ここで、航空機で一般的に使用されているポリウレタン塗料と開発塗料の接触角及び転落角を**表1**に示す。又、それぞれの塗膜上に水滴を滴下した際の水滴の様子を**図2**に示す。これらより航空機の一般的な塗料と比べ、開発塗料が撥水性に非常に優れていることが分かる。

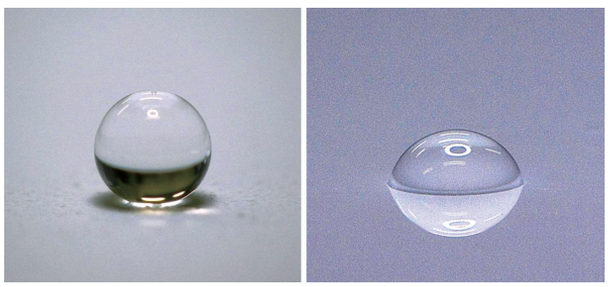


(a) 接触角　(b) 転落角

図1 接触角および転落角

表1 撥水性の比較

塗 料	接触角	転落角
開発塗料	≥150°	≤5°
ポリウレタン塗料	80°	≥45°



(a) 開発塗料　(b) ポリウレタン塗料

図2 塗膜上の水滴

2.2 防除氷システム開発

前述した超撥水塗料の航空機適用に向け、飛行環境を模擬した着氷風洞試験を実施した。ビジネスジェット機の主翼を想定した翼型供試体の前縁部に電熱ヒータを組込み、その供試体（**図3**）に開発塗料又はポリウレタンを塗装した。電熱ヒータなどの加熱装置を防除氷装置として用いる場合、翼に衝突した水滴は、前縁部では加熱により着氷を防止できるが、後縁に流された水滴は、加熱されていない領域で再凍結するリスクを持つ。この再凍結した氷はランバックアイス（Runback ice）と呼ばれる。再凍結のリスクを低減するためには、大面積又は高出力の加熱のための多くのエネルギーが必要となる。そこで、開発塗料を併用することにより、翼前縁部に付着した水滴が後縁方向に移動する際に、気流および撥水性表面により水滴を表面から除去できるため、加熱による消費エネルギーを抑制できると考えられる。

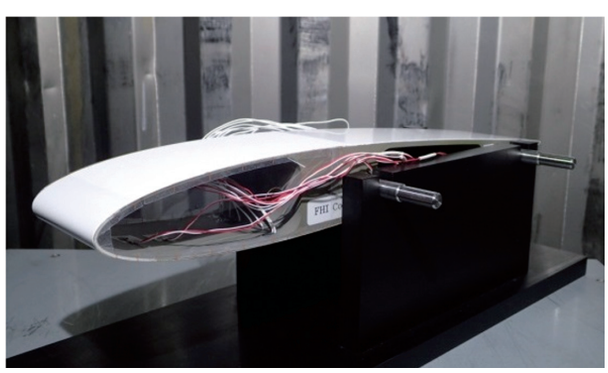
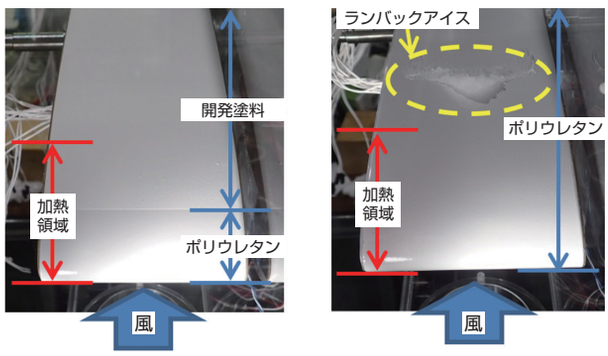


図3 着氷風洞試験用の翼型供試体

着氷風洞試験後のそれぞれの塗膜上の着氷状態を観察したものを**図4**に示す。ポリウレタン塗料（**図4(b)**）を塗装した供試体ではランバックアイスを起点とし着氷の成長が確認されたが、開発塗料（**図4(a)**）ではラ

ンバックアイスは全く発生しなかった。この時、それぞれの供試体の電力消費量を比較評価した結果、ポリウレタン塗料に比べ開発塗料を塗装した供試体では7割程度消費電力を低減できることが確認できた。これは開発塗料の高い防氷性により着氷及びランバックアイスの発生を抑えられたことによると考えられる。



（a）開発塗料　（b）ポリウレタン塗料

図４　着氷風洞試験後の供試体（上面側から観察）

この防除氷システム開発に関しては、2016年度よりJAXAの研究プログラム「気象影響防御技術（WEATHER-Eye）」内の共同研究プロジェクトにおいて継続して実施している。

3.　超撥水塗料適用例

開発した超撥水塗料について実飛行環境下での耐久性の実証や、航空機以外の分野へ適用先を拡大するために、以下の試験を実施した。

3.1　飛行実験機を用いた耐久性評価

3.1.1　目的

前述の共同研究プロジェクトにおいて、2.1項で述べた超撥水塗料の耐久性評価を目的として、JAXA所有の実験用航空機「飛翔」のアクセスパネル等に適用し、実機飛行試験を実施した。

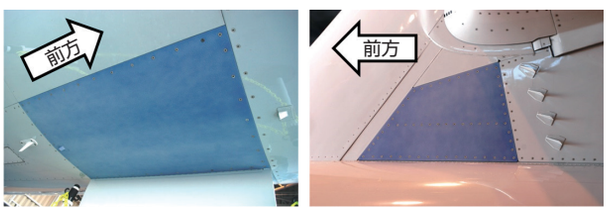
3.1.2　飛行試験

本試験で使用した機体（JAXA「飛翔」）を図５に示す。また、開発塗料を適用した部品は、①胴体下面パネル（図６(a)参照）、②垂直尾翼パネル（図６(b)参照）の2部品である。開発塗料は薄白色だが、認識しやすいように、塗装部分には青色塗料の上に開発塗料を塗装している

耐久性の評価方法として、各部品の接触角および転落角を測定しその変化を比較した。

（写真提供：JAXA）

図５　JAXA実験用航空機「飛翔」



（a）胴体下面パネル　（b）垂直尾翼パネル

図６　開発塗料施工部品

3.1.3　試験結果

飛行試験前後の接触角の測定結果を図７、転落角の測定結果を図８に示す。飛行試験前後で接触角および転落角ともに変化は無く、開発塗料が高い撥水性を維持していたことがわかる。

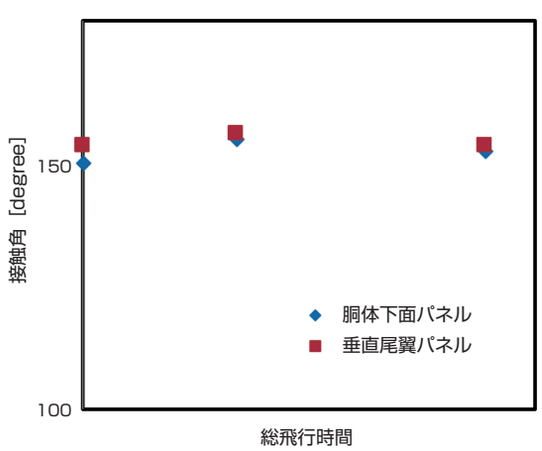


図７　接触角の変化

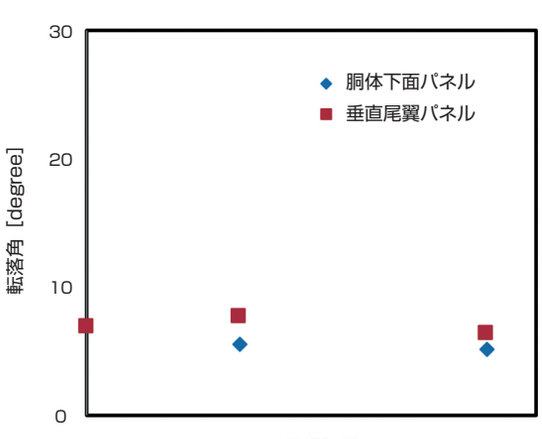


図８　転落角の変化

3.2　ヘリコプター防食対策

3.2.1　目的

洋上を運行するヘリコプターは、塩害により構造部品に腐食が発生することがあり、修理コストや整備期間の長期化が問題になっている。そこで、開発塗料の超撥水性により、機体表面の海水、雨水等を速やかに除去し腐食を防ぐ、あるいは腐食の進行を遅らせることを目的として、運用中の機体を用いて試験を行った。

3.2.2　試験方法

試験にはBell製ヘリコプター（Bell412）を使用した（図9、同型機参考写真）。機体外表面のアクセスパネルに開発塗料を適用し、通常の運用における撥水性の変化を観察した。

図９　Bell412（Bell 社ホームページより）

3.2.3　試験結果

運用後7ヶ月時点での途中経過について示す。図10は7ヶ月経過後の開発塗料適用パネルの撥水状況である。一部、表面がわずかに汚染された部位では撥水性の低下は見られるものの、それ以外の部位では十分に高い撥水性を維持していた。また、撥水性が低下した部位についても、洗浄により高い撥水性を回復することが可能である。

現時点では運用後7ヶ月と短期間のため、防食性能についてはまだ確認できていないが、今後も継続的に観察を行い、耐久性および耐食性を評価する予定である。

図 10　運用後 7 ヶ月時点での撥水性確認結果

3.3　自動車ドア凍結防止対策

3.3.1　目的

寒冷地では冬季の夜間などに長時間駐車した際、ドアが凍結してしまい、開扉できない事象が発生することがある。開発塗料をドアとボディの合わせ面に適用し、凍結防止を目的として試験を実施した。

3.3.2　試験方法

車体側のドアウエストが当たる箇所全周に開発塗料を施工したステッカーを貼付した（図11参照）。ドアウエストに水を吹き付けてからドアを閉めた後、低温下で放置し凍結させた。その後、開扉する際の荷重を測定し通常塗装と比較した。

図 11　開発塗料適用箇所

3.3.3　試験結果

図12に開扉荷重を示す。開発塗料を使用すると、通常塗料に比べて約40%ドア開扉時の力を低減させることができた。開発塗料の持つ超撥水性により、塗膜と氷の付着力を低減したためと推定される。

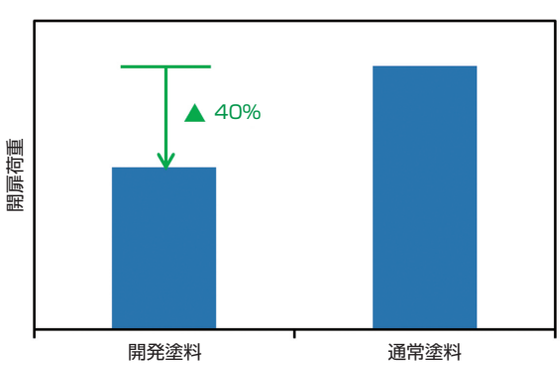


図 12　開扉荷重の比較結果

3.4　波及効果

本開発塗料の持つ超撥水性は前述した航空機、自動車以外にも、様々な分野へ適用が可能である。以下に他分野での着氷に関する課題を挙げる。

・風力発電：ブレードへの着氷による発電効率低下。
・送電網：送電線への着氷による倒壊。
・船舶：船体へ着氷した氷の落氷による事故。

これらに本開発塗料適用により着氷を防止し、発電効率向上、整備に係るコストや危険作業の削減などの効果が期待できる。

4. まとめ

本開発塗料を適用した種々の試験の結果、以下のことが実証された。

・実飛行環境下に暴露された後も撥水性能は低下することなく、高い撥水性を維持することが可能。
・自動車のドア凍結に対し氷の付着力を低減させることが可能。

さらに、耐久性を向上させた本開発塗料を適用して着氷を防止することにより、予防安全性を高めるだけでなく、省エネルギー、メンテナンスコストの低減等も期待できる。今後は航空機のみならず他産業への積極的な展開を進めていく計画である。

参考文献

(1) NSTB：WEATHER-RELATED AVIATION ACCIDENT STUDY 2003-2007（2010）
(2) 国土交通省： 航空分野の低炭素化(CO2排出削減)について，
https：//www.mlit.go.jp/common/001027544.pdf
(2015-3-25)
(3) 富士重工業株式会社：混合塗料及びその製造方法，特許第3848334号（2006）
(4) 富士重工業株式会社： 混合塗料，特許第5842023号(2015)
(5) FAA：FAR 14 CFR Parts 25 appendix C

【著　者】

吉田　剛士

柴﨑　修

荻巣　敏充

村田　巖

特別仕様車レヴォーグ「1.6GT EyeSight Smart Edition」
～ BOXERエンジン50周年特別記念車の第四弾～

2016年12月

スバル初のBOXER（水平対向）エンジン搭載車「スバル1000」の発売から50周年を記念した特別仕様車第四弾として、レヴォーグに「1.6GT EyeSight Smart Edition」を設定。
「1.6GT EyeSight Smart Edition」は、「1.6GT EyeSight」をベースに、アドバンスドセイフティパッケージを標準装備。

車種名・グレード	グレード	エンジン	駆動	変速機
レヴォーグ	1.6GT EyeSight Smart Edition	1.6L 水平対向 4気筒 DOHC 直噴ターボ “DIT”	AWD	リニアトロニック

中央翼自走式多頭自動穿孔機の開発

Development of Multi-Head Automatic Drilling Vehicle for Center Wing Structure

平　井　久　之*
Hisayuki HIRAI

抄　録

当社ではボーイング787型機（以降B787）とボーイング777型機（以降B777）の中央翼を製造し、主脚格納室と結合した上で米国ボーイング社へ納入している。

中央翼の製造は、構造が複雑なため大がかりな機械設備による自動化は一部に限られ手作業に頼っている。手作業による工程の中でも、作業者の負担が大きい特定の部位に対する穿孔機の開発に取組み自動化を実現した。

Abstract

This is a report of the development of a self-propelled drilling vehicle. SUBARU is manufacturing Boeing 787 center wing structure. There are lots of manual operations and only a small portion of automated operations at assembly. In order to productively improve the assembly operations, we investigated each process step and decided a limited specific area for drilling to be automated.

1.　まえがき

中央翼の製造は、構造が複雑なため、大がかりな機械設備による自動化は一部に限られ手作業に頼っている。手作業による工程の中でも、作業者の負担が大きい特定の部位に対する穿孔機の開発に取組み自動化を目指した。

2.　本研究の背景と目的

当社ではB787とB777の中央翼を製造し、主脚格納室との結合作業を行い米国ボーイング社へ納入している。図1に中央翼の鳥瞰図を示す。

中央翼の構造は、構造が複雑なため、手作業に頼る工程が多い。その中でも、特に、座席取付用レールとオーバーウィングビームの穿孔作業は孔数が約1600個と多く、長時間の中腰姿勢（図2）のため、作業者の負担が大きい。

当社ではH25年度に、B777中央翼自走式自動穿孔機を開発した。その発展型の装置としてB787の座席取付用レールとオーバーウィングビームの自動穿孔機の開発に取り組んだ。本稿は、この開発取り組みについて述べる。

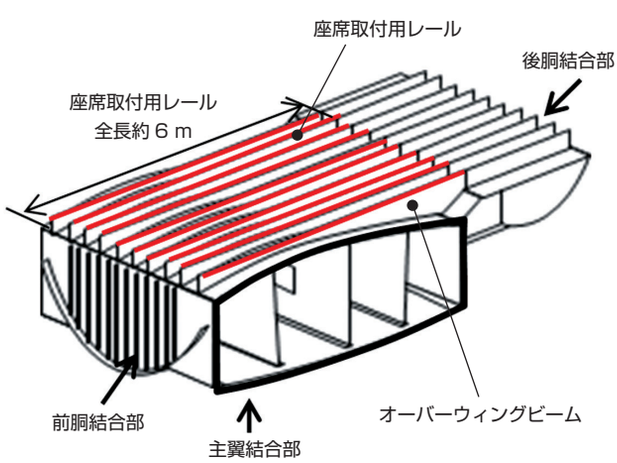


図１　中央翼 鳥瞰図

図２　座席取付用レールの穿孔作業

＊ 航空宇宙カンパニー　生産技術部

3.　機体構造概要と適用部位

3.1　機体構造概要

中央翼とは、左右の主翼と胴体を接合する部分、航空機の中心にあり客室の真下の構造部材である。座席取付用レールとは、客室の座席を固定するための部品で中央翼の上部に取付く。オーバーウィングビームとは座席取付用レールを結合するための支柱で客室の床板を支える構造部品である。

3.2　適用部位

本研究での適用部位は前述の通り、座席取付用レールとオーバーウィングビームの結合孔とした。拡大図を図3に、断面図を図4に示す。

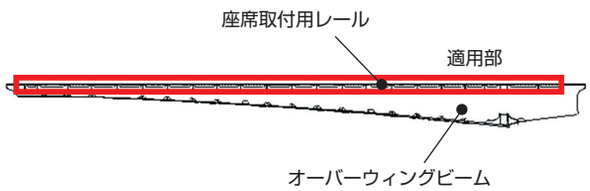


図３　適用部位拡大図

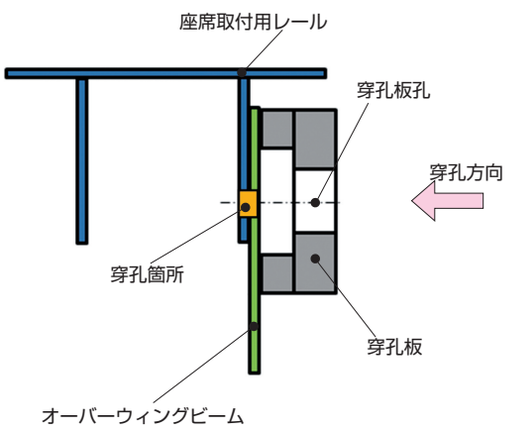


図４　適用部位断面図

4.　現行の手作業による穿孔方法

図4に示す穿孔板と図5に示す自動送り機能付き穿孔機を用いて穿孔する。

初めに座席取付用レールの位置決めを行い、穿孔板のセットを行う。セット完了後にクランプ工具を使用して座席取付用レールとオーバーウィングビーム及び穿孔板を固定する。

次に、作業者が穿孔板に加工された孔に自動送り機能付き穿孔機を挿入し、穿孔機を稼働させ、1孔の穿孔を行う。これを孔数分繰り返し行い、全体の穿孔を完了させる。

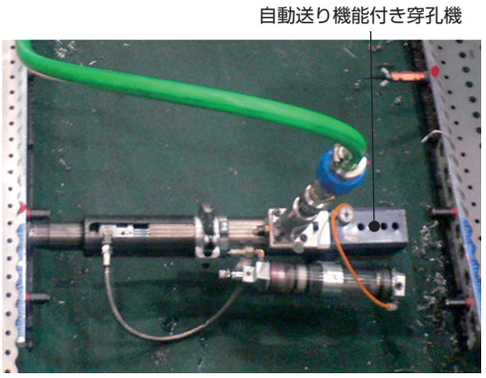


図５　自動送り機能付き穿孔機

5.　自走式自動穿孔機化の技術的課題と対策

適用対象とした機体(B787中央翼)は穿孔機の開発計画時点で月産レートが高く、長期にわたる組立治具改修は不可能である。従って、組立治具フレームの改修が必要となるような大掛かりな穿孔機は望ましくないため、小型の自走式タイプを選択した。

当社で開発したB777中央翼自走式自動穿孔機の仕様をベースに、B787特有の新たな課題(表1)を抽出し、開発を行った。

表１　B787 特有の新たな課題

課題 a	穿孔機の軽量化コンセプトの確立
	穿孔方向、移動方向、孔種類増に伴う重量増による機体へのセット作業悪化対策
課題 b	加工位置検出方法の確立
	B777 に比べ穿孔孔数が約 3.8 倍へ増加に伴う穿孔時間増加の対策
課題 c	駆動方式の確立
	座席取付用レールに対し水平方向の穿孔への変更に伴う駆動方式の変更
課題 d	穿孔ユニットの開発
	チタン合金とアルミ合金を重ね合せた状態での穿孔に対応した、ドリルヘッドの開発

5.1　穿孔機の軽量化(課題a)

本研究の適用部位は水平方向の穿孔が必要であり、B777の垂直方向の穿孔に比べて、装置の支持構造が必要となり重量的に不利である。

また、穿孔機の移動方法について、1本の座席取付用レールを用いた方式では、移動／位置決め及び穿孔の反力を取ることが困難であると判断した。そのため、2本の座席取付用レール上を走行するタイプを採用したが(図6)、穿孔機本体のフレーム重量の増加につながる。

さらに2種の孔径への対応のため、穿孔ユニットを複数搭載した多頭式を選択しており、重量的に不利となっている。

この対策として、穿孔ユニット及びフレームの軽量化に加え、穿孔ユニットを着脱式とした。これにより作業者が運搬する重量を軽減し、人力により装置を容易にセットする形態とした。この結果、天井クレーンやその他の重量搬送装置を使用することなく装置をセットすることができ、装置の準備及び段取り時間の削減につなげた。

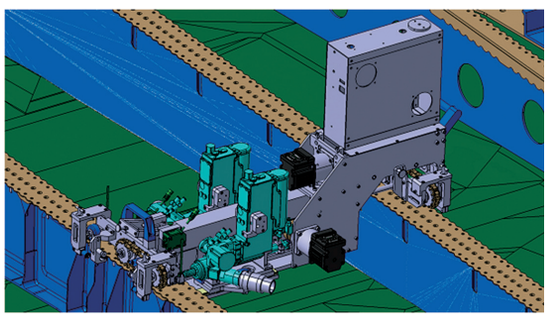


図６　２本の座席取付用レール上を跨り走行する穿孔機

5.2　加工位置検出方法の確立(課題b)

B777の穿孔機では、穿孔する孔位置をセンサが読取り、正確な位置補正を行い穿孔する方式である。

B787では約1600箇所と孔数が多く、一つ一つの孔位置をセンサで読取る方法では穿孔サイクルに時間がかかるため、新たな方式として穿孔板倣い方式を採用することとした。穿孔板倣い方式とは、以下のような方式である。

・穿孔板端部から各孔位置寸法を読み取らせて穿孔機の位置決めを行う。
・装置に取り付けた同心コレットを穿孔板に自動セットすることで孔位置の微調整を行う。

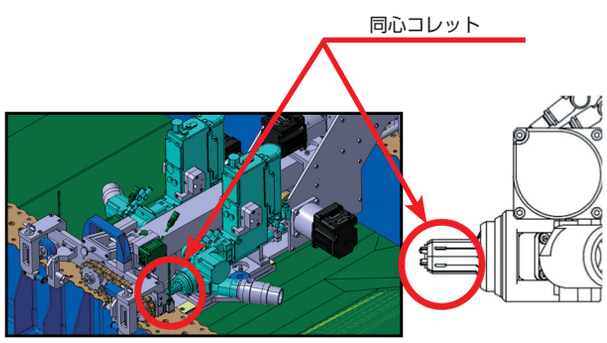


図７　同心コレット

図7に示す同心コレットが穿孔板の孔に入り、同心コレット外径が広がり固定されることで、穿孔板の基準孔に倣い正確な穿孔が可能となる。

5.3　駆動方式の確立(課題c)

穿孔機は2本の座席取付用レール上を跨り走行するため、走行中に走行輪が滑るおそれがある。この場合装置の移動量エンコーダの数値とのズレが発生し同心コレットでは穿孔機の正確な位置決めができないおそれがある。

これを解決するために、部品形状を捕えて走行輪が滑らず駆動する方式とした。また製品である座席取付用レール上を走行するため、走行中にキズをつけないよう配慮した。

5.4　穿孔ユニットの開発(課題d)

5.1項で述べたように,穿孔機の軽量化を実現するために穿孔ユニットを装置本体より着脱可能としたが、機体搭載時も装置本体の重量軽減が課題となる。

さらに、穿孔板倣い方式の自動穿孔に対応するため、穿孔時に発生するドリルの反力で穿孔板から脱落しない構造開発が課題となる。

市販品の電動モータでも小型･軽量なものはあるが、難削材のチタン合金の穿孔に適した低回転高トルクを連続で出力し所要性能を満足する電動モータはない。エアーモータでは小型で所要性能を得られるため、エア式を採用することとした。

6.　自走式自動穿孔機(開発品)の仕様

穿孔機全体を図8、9に示す。主要な構成品は表2のとおりである。

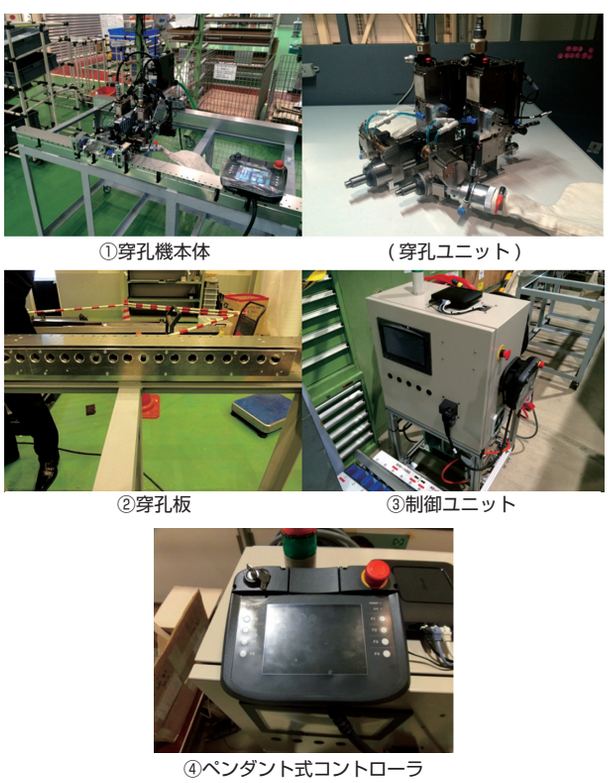


図８　穿孔機主要構成品

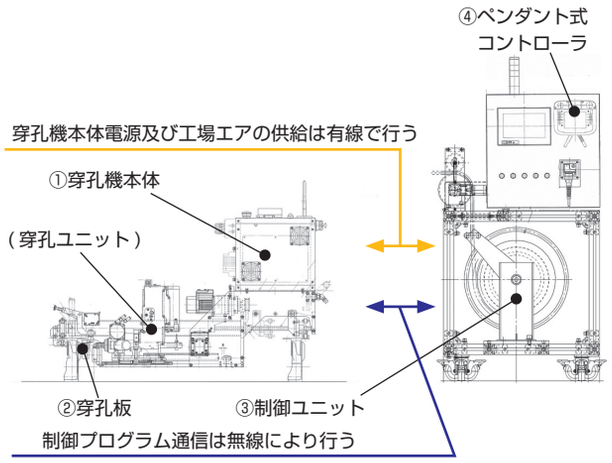


図９　穿孔機本体、制御ユニットの分離

表２　穿孔機の構成品

番号	構成品名
①	穿孔機本体（穿孔ユニットを含む）
②	穿孔板
③	制御ユニット
④	ペンダント式コントローラ

6.1　穿孔機の軽量化（課題a）

作業者が運搬する重量を軽量化するために、図９に示すとおり、制御ユニットを穿孔機本体から分離し、さらに穿孔ユニットを着脱式とした。穿孔機本体は穿孔ユニット、走行機構、孔位置検出機構及びその他センサ類の検出部、制御通信ボックスのみとなる。穿孔機本体の駆動に要する電源と穿孔ユニットのモータ駆動に要するエアは制御ユニットを介して供給される。制御ユニットから穿孔機本体への制御プログラムの通信は無線により行うことした。また、穿孔ユニットは2種類の孔径に対応するため2基搭載した。機体へセットする時には、穿孔機本体と穿孔ユニットは別々に搭載することでセット時の作業者の負荷軽減と軽量化を可能とした。

その他本体にアルミ材を多用し軽量化を行った結果、機体セット時の重量は2 kg（穿孔ユニットは含まず）と他社開発製品（60 kg以上）に比べ作業者負荷の軽減を図ることが出来た。

6.2　加工位置検出方法の確立（課題b）

穿孔板倣い方式は、穿孔板端部を起点に孔位置座標を設定している。穿孔板端部の位置を正確に読み取るためにレーザ変位センサを用いた。穿孔板１枚で約40～50孔に対応する。そのため、B777穿孔機と比べ穿孔板１枚あたり約40～50孔分の位置読取にかかる時間を削減できた。

さらに、各穿孔板にICタグを取付けて穿孔機側で穿孔板識別を行うことで、作業者の指示操作ミスや穿孔板取付けミスを、穿孔機側で異常と検知することができるようにした。

加工位置検出及び加工フローを図10に示す。現状の作業に比べ、約20%のフロー短縮を図ることができた。各STEPは以下のとおりである。

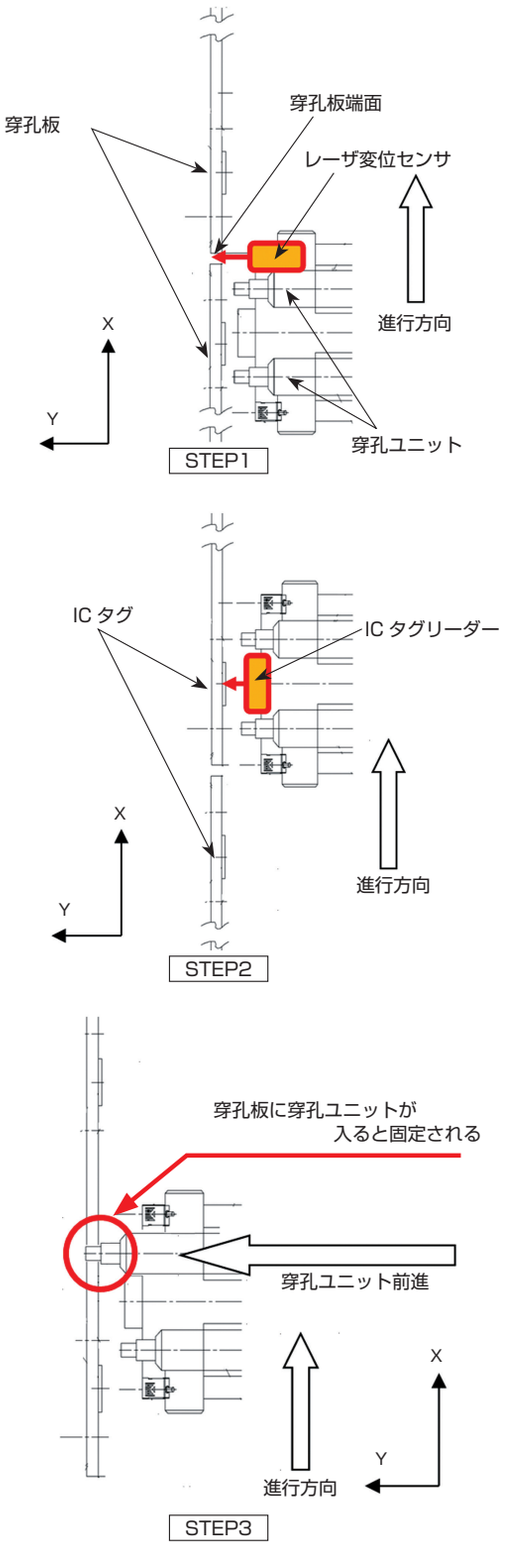


図 10　加工位置検出及び加工フロー

STEP 1

穿孔機は座席取付レールに取り付ける穿孔板の端面を基準点とするため、最初に穿孔板端面をレーザ変位センサにより読取り基準点を検出する。

STEP 2

基準点を検出すると、穿孔板に取付けられているICタグで穿孔板の識別を行う。ICタグ内に記録された数値情報を穿孔機が読取り、制御ユニットから孔の座標PLCデータを呼び出すことで、穿孔機は決められた穿孔位置に移動する(X軸方向)。

STEP 3

穿孔機の移動完了後、搭載された穿孔ユニットが穿孔方向(Y軸)へ前進する。この時、穿孔板の孔に穿孔ユニット先端部の同心コレットが入り、同心コレットの外径が広がることで、穿孔板に固定され、穿孔板の孔に倣い正確な自動穿孔を行う。

穿孔作業は、座席取付用レール上を1往復することで指定された2種類の孔径の穿孔を行う。

図11に示す様に、往路で1種目の孔径を穿孔し、穿孔板終端部に達すると、折り返し運転を行い復路で2種目の穿孔を行う。また穿孔機本体の走行・移動軸(X軸)の穿孔板端面から穿孔板孔間での位置決め精度±0.07 mm以下を達成している。

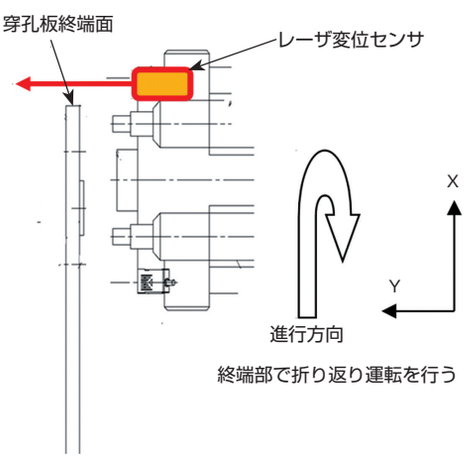


図11　加工位置検出及び加工フロー

6.3　駆動方式の確立(課題c)

今回採用した2本の座席取付用レール上を跨って走行する駆動方式は、走行時に発生する滑りによる穿孔機の移動量エンコーダの数値とのズレが発生するおそれがある。従って図12に示すアルミ合金製のタクトチェーンに樹脂製のピンを取付け無限軌道の様に駆動させる方式とした。

機体の損傷防止のため、機体の材質であるチタン合金より柔らかいアルミ合金製のタクトチェーンを使用することとした。

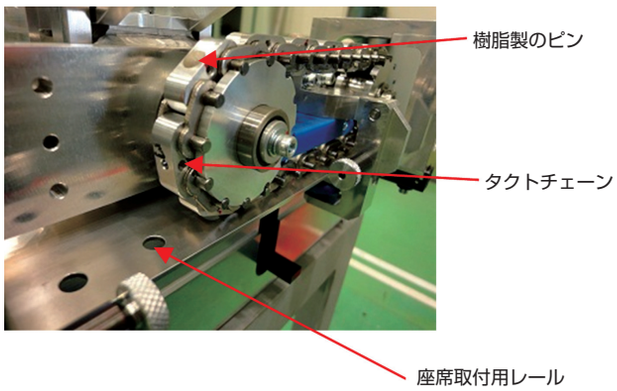


図12　装置本体の駆動車輪

6.4　穿孔ユニットの開発(課題d)

今回は、5.4項に示したように、市販エアーモータ式の自動送り機能付き穿孔機に改良を加えたものを採用した。

穿孔ユニットを着脱式とし、機体セット時の運搬を容易にした。

7.　まとめと今後の課題

一連の課題に対して様々なアイディアを用いることで、実機に適用できるレベルの中央翼向け自走式多頭自動穿孔機を開発できた。装置本体は24 kgと2人の手で持ち運べることができるようになった。

穿孔板倣い方式を採用することで、穿孔機本体のセンサ機構及び位置決めのプログラムも簡素化することができた。本手法は他の同様の部位の自動穿孔機にも踏襲する予定である。

今後は本研究で開発した穿孔機を実機に適用し、さらに改善を進めていく。

【著　者】

平井　久之

表面処理・塗装ラインの自動化・機械化範囲拡大

Expansion of Automated Process for Surface Treatment and Painting

古　郡　　享*1　　松　井　　匠*1　　安　野　好　紀*2
Susumu FURUGORI　　Takumi MATSUI　　Yoshinori YASUNO

抄　録

当社は、新規開発中であるボーイング777Xセンターウイングセクションの製造を受注した。777X部品には、環境改善に対応した新しい防蝕表面処理（ホウ硫酸処理）が採用された。また、大型で重い部品の表面処理・塗装時の生産性向上と作業時の安全性確保がこれまで課題となっていた。

そのため、航空機部品の表面処理・塗装工程に、自動搬送装置及びロボットを採用した、自動化装置を導入した。

Abstract

SUBARU CORPORATION received an order to manufacture the newly developed Boeing 777X center wing section. A new surface treatment for corrosion protection (boric sulfuric acid anodizing) is applied to 777X parts to improve its environmental-friendliness. And, existing equipment need improvement in its productivity and mechanics' safety during the surface treatment and painting process of large heavy parts.

Therefore, new automated surface treatment equipment and painting robots were introduced.

1.　まえがき

航空機の構造部品には大物重量部品や長尺部品が多く、部品製造においては、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。

当社は、ボーイング777の後継機である777Xにおいても、既存機777と同様に中央翼の製造を担当する。777Xでは、表面処理の規格が変更となり、且つ部品サイズも大きくなったことから、新規設備を導入することとした。

図1に示す中央翼を構成する主要部品は、大物重量部品のスキンパネルや長尺部品のストリンガー等が多く、運用面での課題を有していた。この新規ラインにおいて、自動化・機械化により、これらの課題解決に取り組んだ。本稿では、設備、運用の概要と成果の事例を紹介する。

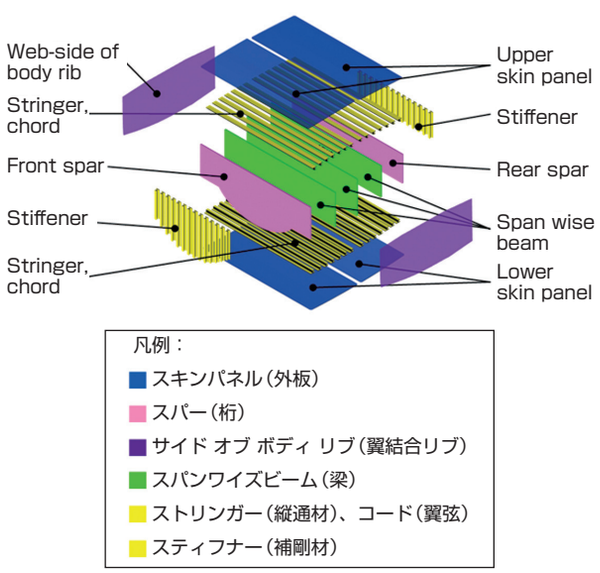


図1　中央翼構造概略

2.　現行設備の課題

図1に示した主要部品の製造工程は、概ね以下の通りである（仕上げ、矯正、チェック等は省略）。

＊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　製造部

・加工、成形
・非破壊検査
・ショットピーニング
・表面処理
・塗装
・出荷

現行の表面処理・塗装ラインは既存機のために25年前に取得した設備で、非破壊検査、ショットピーニング、表面処理、塗装までが一貫した設備レイアウトであり、動線 及び 作業性を考慮した設備となっているが、設備間を繋ぐハンドリングや塗装作業は、人手に頼った設備であった。

大物重量部品や長尺部品を取り扱う上で、不安全要素を含む作業や重量物を取り扱う作業があり、また、塗装作業は、有機溶剤の使用や防護服着用での作業である。新規設備においては、これらの作業の人的負荷を排除、軽減し、今まで以上に効率的な生産方式へ移行することが課題であった。

3. 新規設備での取り組み

3.1 表面処理設備の部品搬送AGV化
（部品搬入後、非破壊検査・表面処理完了まで）

非破壊検査前のエッチング工程、非破壊検査工程、及び表面処理工程では､部品を専用の治具に固定して、吊り下げた状態で搬送する。また、各工程前後の部品待機をストック装置により行う。

図2に示すように、部品によって吊り下げ形態が異なるが、各設備の仕様を統一し、治具の機構を共通化することで、表面処理全設備間での部品搬送を、治具の付け替えをすることなく、**図3**に示すAGVで行うことを可能とした。

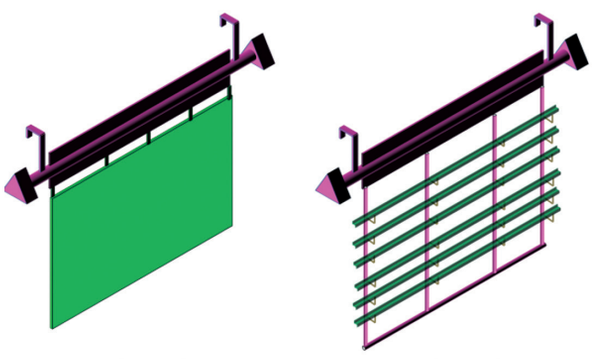


図２　部品吊り下げ形態

AGVと表面処理ライン、非破壊検査ライン、及び作業前後のストック装置を連動させ、表面処理のロード･アンロード、及び 非破壊検査のロード･アンロード作業を自動で行う。表面処理のロード作業は、以下の通りである。

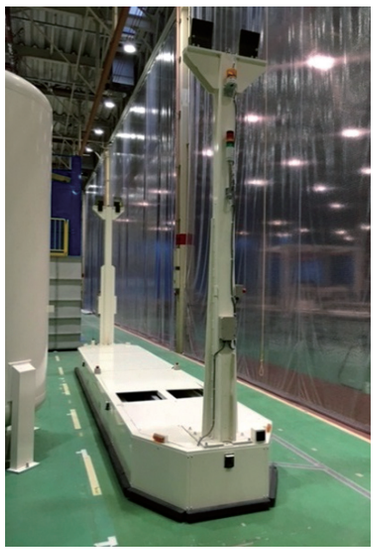


図３　AGV（Automatic Guided Vehicle）

・ストック装置の搬送キャリアがAGVに部品を降ろす
・AGVが表面処理設備手前のロードポジションへ進入・停止
・表面処理設備の搬送キャリアがAGVから部品を引き抜き、ロード台に降ろして待機
・表面処理設備の搬送キャリアがロード台から処理槽に部品を降ろす（表面処理開始）

これまでの部品搬送は、2人以上での作業が常であった。設備から設備へドーリーで部品を搬送し、部品を吊るすためのスリングやボルトの固定作業を、昇降踏み台等を用いて都度行っていたが、AGV化により、これらの人手作業を排除した。

3.2 表面処理完了部品の載せ替え容易化
（表面処理完了後、塗装開始まで）

表面処理完了後、次工程で塗装を行うが、表面処理と塗装で吊り下げ治具を共用した場合、塗料が固着したままの治具を表面処理槽へ入れることは出来ず、都度塗料を剥がす作業の発生、表面処理液の汚染のおそれ等、作業効率や品質に影響を与えるため、表面処理と塗装で治具を分けることとした。

図2で示したように、部品によって吊り下げ形態が異なるため、載せ替え作業の方法も異なるが、**図4**に示す載せ替えポジションにおいて、全ての作業ができる設備の配置とし、アンロードポジションに隣接するリフターにより、載せ替え作業を容易化・ミニマム化した。**図5**に設備の位置関係を示す。

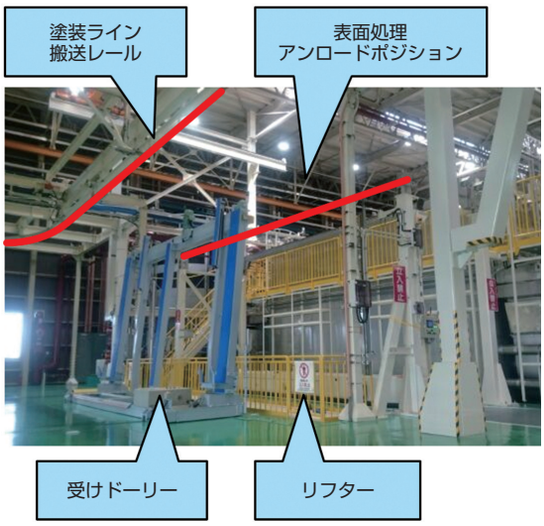


図４　載せ替えポジション全景

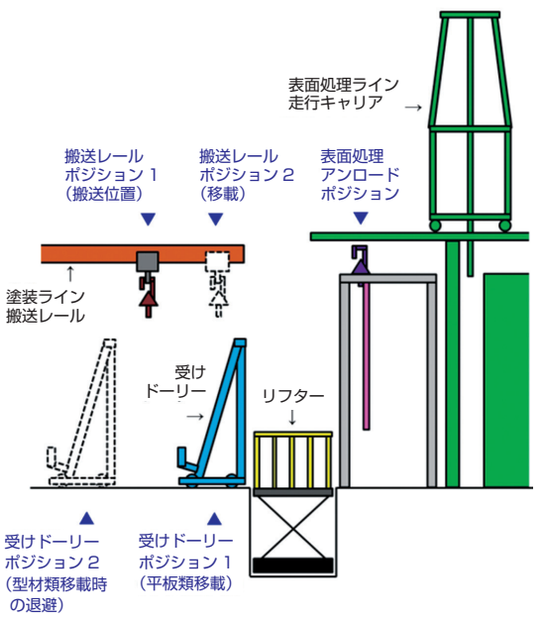


図５　載せ替えポジションの設備配置

3.2.1　平板類の載せ替え作業

スキンパネル等、平板類の載せ替え作業概略を図6に示す。平板類は、以下の手順で作業を行う。

(a) 表面処理ライン走行キャリアがアンロードポジションに部品を降ろす
(b) 作業者がヤードクレーンで受けドーリーに部品を載せる
(c) 作業者が受けドーリーを上昇させて荷重を抜き、表面処理治具を取り外す
(d) 塗装治具を搬送レールごと部品側へスライドさせて、部品を固定する

表面処理治具の取り外し、塗装治具への固定作業はリフターを上昇させて行う。受けドーリー、搬送レール動作はリモコン操作でき、作業者は、載せ替え作業完了までリフターから下りることはない。

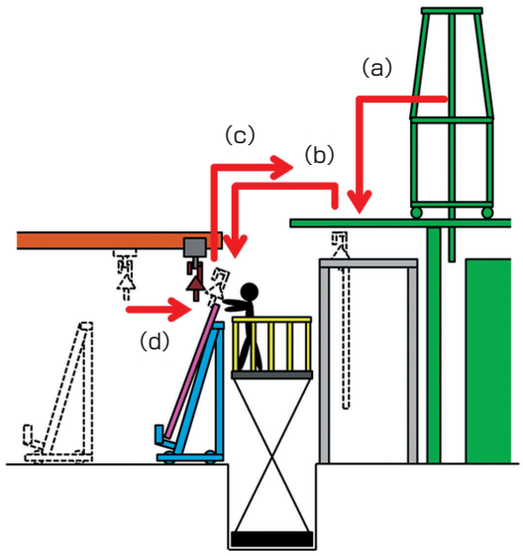


図６　載せ替え作業①平板類

3.2.2　型材類の載せ替え作業

ストリンガー等、型材類の載せ替え作業概略を図7に示す。型材類は、以下の手順で作業を行う。

(a) 受けドーリーを退避する
(b) 塗装治具を搬送レールごと部品側へスライドさせて、リフター横へ近づけておく
(c) 表面処理ライン走行キャリアがアンロードポジションに部品を降ろす
(d) 作業者がリフターに乗って、順次 塗装治具に部品を載せる

リフターの使用により、部品の位置に合わせて作業高さの調整を可能とし、また、可動範囲をフロア下まで設定したことで、低い位置にある部品に対して、無理な姿勢にならずに載せ替え作業を行える。

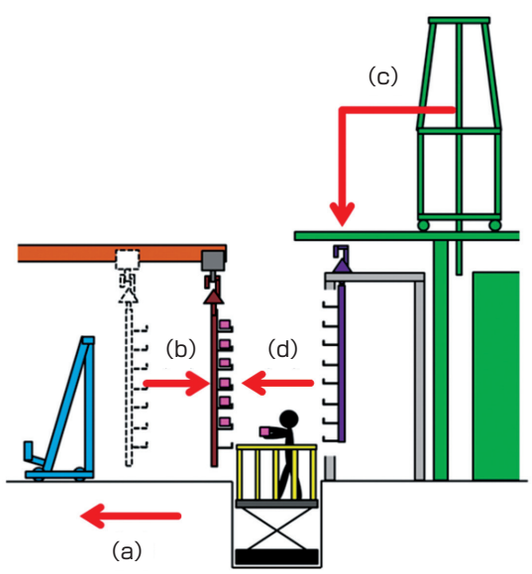


図７　載せ替え作業②型材類

3.3　塗装ロボット適用

新規塗装設備では、作業の効率化と多種の部品形状の塗装を可能とするため、多関節ロボットによる塗装自動化を適用した。図8に示すように、部品進行方向の両側に1台ずつ、計2台を設置し、部品の両側から塗装を行う。

ロボットは、塗料の供給経路を短くするため、塗料タンク、スプレーガン洗浄シンナータンクと共に、走行装置に搭載した。

また、塗装ロボットと部品の中間に作業者用リフターを設置し、ロボット塗装後に人手による塗布状態確認、及び補正塗装を行うことを可能とした。リフター未使用時はフロア下へ収納し、ロボットとの干渉を回避している。

これまでは、部品の両側に防護服を着た作業者が2名立っての作業であったが、ロボット適用により、有機溶剤使用環境下での作業を軽減した。

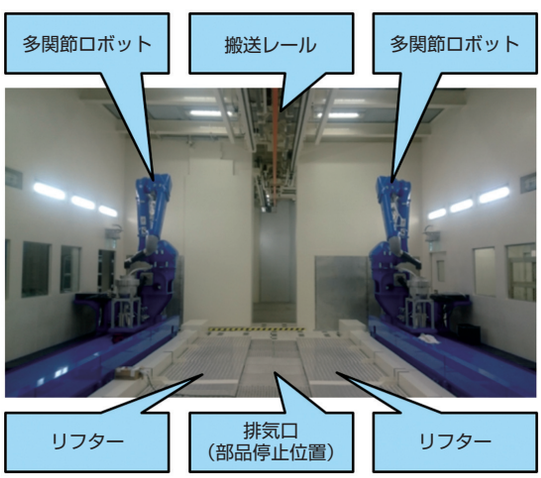


図８　塗装ブース内の設備

3.4　塗装ライン内の部品搬送コンベヤ化
（塗装開始→出荷手前まで）

塗装治具に付け替えた後の部品は、組立工場へ出荷するドーリーに載せるまで、オーバーヘッドタイプの搬送レールから、搬送キャリアに吊り下げて搬送する。塗装ブース入口→塗装ブース→風乾室→乾燥ブース→乾燥ブース出口までは、図9に示すコンベヤにより自動搬送を行う。

塗装ラインでは、部品によって塗装完了後の流し方が変わる。スキンパネル等の平板類は基本的に搬送1回で塗装を完了するが、ストリンガー等の型材類は、1回目の塗装で治具の影になる塗り残しが出るため、短時間での風乾、乾燥の後、直ぐに2回目の塗装を実施し、再度風乾、完全乾燥をすることが必要なため、2パターンでの流し方となる。

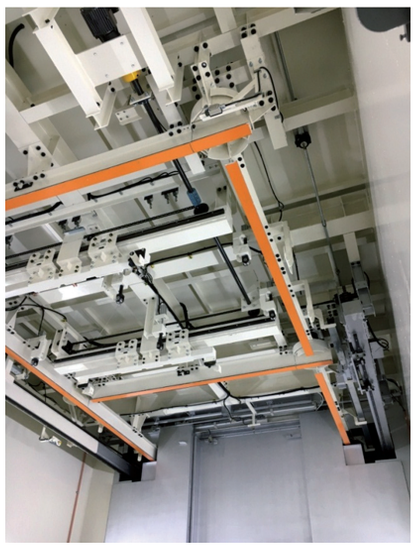


図９　塗装ライン内 搬送コンベヤ

・平板類：塗装→風乾→乾燥
・型材類：塗装→風乾→乾燥→塗装→風乾→乾燥

短時間で風乾、乾燥を行う部品の搬送を、完全乾燥中の部品が妨げないよう、図10に示すように塗装後の風乾室で搬送ルートを分岐させ、乾燥を短縮するルートと完全乾燥のルートを用意し、塗装対象物により、乾燥後の搬送順番を入れ替えられる仕様とした。

風乾室でのルートの分岐は、塗装ブース投入前の部品情報登録時に、平板類か型材類かの情報を入力し、どちらのルートを通るか自動で識別する。塗装ブース搬入から、風乾、乾燥後の搬出までは、自動搬送コンベア適用により、人手による部品移動を排除すると共に、乾燥時間の自動管理を可能とした。

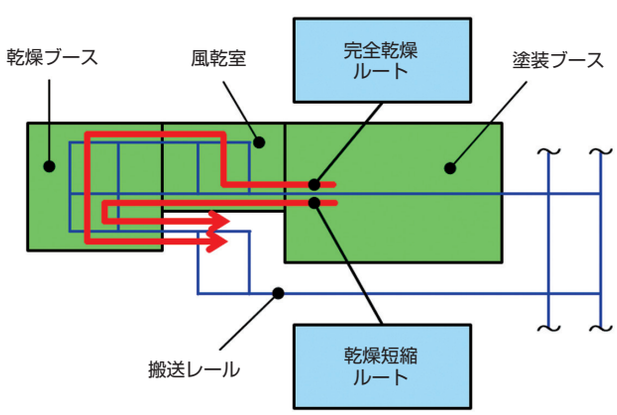


図 10　搬送ルート分岐

3.5　作業記録の自動取得

新規設備では、DBMS（Data Base Management System）を導入し、部品ストックエリアからの搬出から表面処理完了、及び塗装ブース搬入後から乾燥後の

搬出までを、部品製造スケジュールに基づき、自動運転プログラムにより一貫して行える仕様とした。

航空機部品の表面処理、塗装は特殊工程として位置づけられており、各工程の作業記録(処理時間、温度、電流、電圧等)を部品毎に残すことが求められている。今までの設備では、これらの記録を作業者が計測器から読み取り、手書きにより記録を行ってきたが、必要な情報を設備から受け取りデータベースに集約、デジタル保管し、必要な情報を品質記録帳票に印字できるようにした。

これにより、作業者が品質記録業務に割く時間を大幅に削減し、また、ヒューマンエラーによる誤作業の可能性を排除した。

4. まとめと今後の取り組み

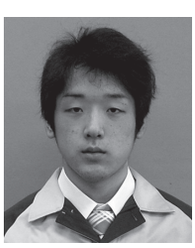
新規設備では、AGVによる部品搬送、表面処理－塗装工程間の搬送レール適用、塗装ロボットの採用、DBMSによる自動運転、工程・品質管理により、高レート生産に対応できる効率的な部品製造が可能となった。

また、大物重量部品や長尺部品の取り扱いに伴う、不安全要素を含む作業、重量物取り扱い作業や、塗装の有機溶剤使用環境下での作業から、人手作業を排除、削減することができた。

実用段階に入り、今後は、設計変更や緊急部品製造等、イレギュラーな変更にも即時に対応できるシステムにしていく計画である。

【著　者】

古郡　　享


松井　　匠

安野　好紀

自動トルク掛けツール用オフセットアダプタの開発

Development of Offset Adapter for Automatic Torque Wrench

渡 邉 政 雄*　　小 野 遼 平*
Masao WATANABE　Ryohei ONO

抄 録

航空機用ファスナのトルク掛けは、他業種に比べてより厳しい締め付け精度を要求される場合が多く、市販ツールによるトルク掛けの自動化は困難であった。スバル技報No.42にて、要求精度に合致する自動トルク掛けツールの開発について報告を行ったが、この自動トルク掛けツールは作業空間が狭い部位には適用できないという課題が残っていた。そこで、狭隘部に対応するためのオフセットアダプタの開発を行ったので、本稿はその開発経過について報告する。

Abstract

Applying torque to airplanes often requires high accuracy, and automation of torque application was difficult. The development report of a highly-accurate automatic torque wrench was introduced in the SUBARU TECHNICAL REVIEW 2015. However, the tool was not applicable to small space. Therefore, an offset adapter for small space has been developed. In this paper, we report the technological development progress.

1. はじめに

近年の航空機は、これまで主要材料として適用されてきたAL合金に加え、Ti合金とCFRP（炭素繊維強化プラスチック）の適用が一次構造部材にまで及んでいる。ワークの切削、穿孔、トリム等の加工に関する研究は日々進化しているが、「ファスニング」なかでも「トルク掛けの自動化」に関する技術の進歩は乏しい。

近年の航空機は大型化が進んでおり、適用されているファスナの径も太くなってきている。それに伴い、適用トルクが10,000 in-lbs（1,130 Nm）を超える要求が出されている。この場合、従来のシグナル式（クリッカタイプ）のトルクレンチを用いる方法ではアームの長さが3 mを超え、さらに作業者が3名以上で連携して作業することとなる。このような作業は安全上の問題が懸念されるため、自動トルク掛けツールの適用が必要であった。しかし、市販の自動トルク掛けツールには航空機組立の要求に合致するものは無かった。

航空機用ファスナのトルク掛けに要求される技術的課題は、締め込み精度とリトルク要求である。

＊ 航空宇宙カンパニー　製造部

締め込み精度は、設計上の規定（ノミナル）トルク値に対し、±3%以内の精度が要求される場合がある。これはトルクの大小にかかわらず一定である場合がほとんどである。

リトルク要求は、一度規定トルクを掛けたのち、再度同じトルクを掛ける要求である。燃料漏洩防止などの目的で航空機翼構造の部材間にシール材が適用された箇所のファスニングには、部材同士の密着性、気密性、ファスナの緩み防止等の観点からリトルクが要求される。

スバル技報No.42にて報告した自動トルク掛けツールは、上記の締め込み精度とリトルクの要求を満たす電動トルクレンチである（**図1**）。トルク掛けの仕組みの概要は、ソケット部後方のセンサ部でトルクを計測し、モータにフィードバック制御を行うというものである。

2. 狭隘部に適用するための技術的課題

先に開発した自動トルク掛けツールは、モータ部・減速部・センサ部・ソケット部がファスナ軸に対して直線に並んでいる（**図2**）。そのため、トルク掛けを行

図１　自動トルク掛けツール

う際にはファスナ軸上に550 mm以上の作業空間を必要とする。

組立作業ではファスナ軸上に十分な作業空間を確保できない場合がある。このような場合、オフセットツールを使用してトルク掛けを行うことが一般的である(図3)。自動トルク掛けツールに既存品のオフセットツールを使用すると、締め込み精度は20%以上の誤差が出てしまい、要求される締め込み精度±3%以内は既存品のオフセットツールでは対応できないことがわかったため、要求される締め込み精度を確保できるオフセットツールを開発することとした。

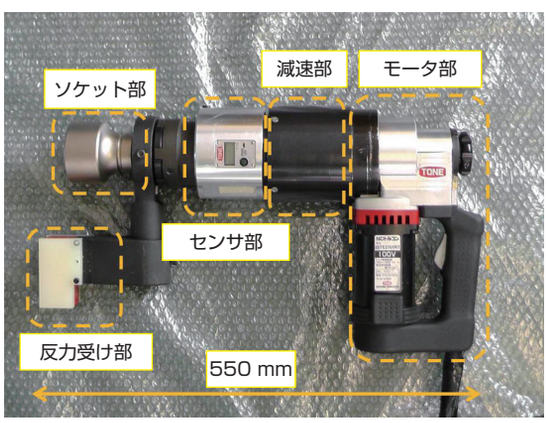


図２　自動トルク掛けツール

図３　既存品オフセットツールの例 [2]

3.　解決策の模索

締め込み精度が悪化する要因として、オフセットツールの動力伝達機構が挙げられた。これには歯車が用いられており、このバックラッシュによりトルクの計測精度が悪化する。ソケット部から見て、バックラッシュが無いのはその軸上である。そこで、センサ部をソケット部の軸上に取り付けることとした(図4)。センサ部が本体から離れ、配線の方法が問題となったため、本体とセンサ部の間を無線化することとした。

作業性を考慮すると、オフセットツールの寸法は小さくしたい。そこで、従来のシグナル式のトルクレンチ相当のツールクリアランスを目標として、オフセットツールの小型化を検討した。センサー部は、電源の電池を単4型からボタン電池に変え、歯車の軸内に収めることで小型化することとした。動力伝達機構は、全長及び外径ともに可能な限り小型化することとした。

限られた空間では反力受けの向きも制限される。従来品では反力受けが本体に固定されていて、向きを変えるには反力受けを取り外す必要があった。そこで、オフセットツールではワンタッチで回転できる機構として、作業性を向上させることとした。

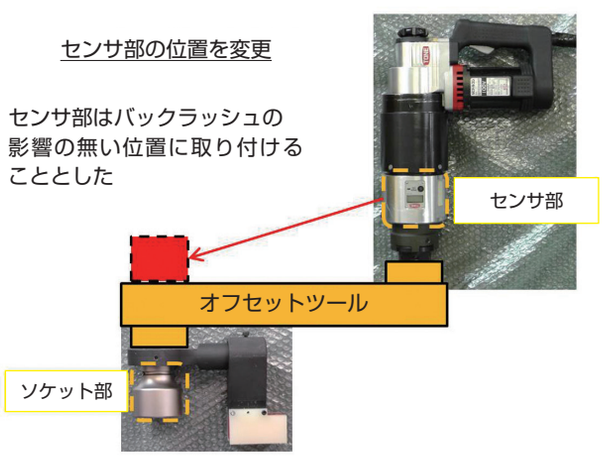


図４　解決策の模式図

4.　開発品

開発したオフセットツールは、ファスナ軸上に150 mm以上の作業空間があれば使用できるものである(図5)。センサ部はソケット部の軸上にある。反力受けはリングを押してロックを解除すれば12°毎に回転できる。トルク掛けの仕組みは従来品と同様であり、センサ部でトルクを計測し、モータにフィードバック制御を行っている。本体は従来のピストル型(図6)の他、コーナ型(図7)に交換することも可能とした。製作したオフセットツールにて試験を行った結果、締め込み精度は要求スペックの±3%以内に収まった。従っ

て、本開発品は製造工程に適用することが可能である。

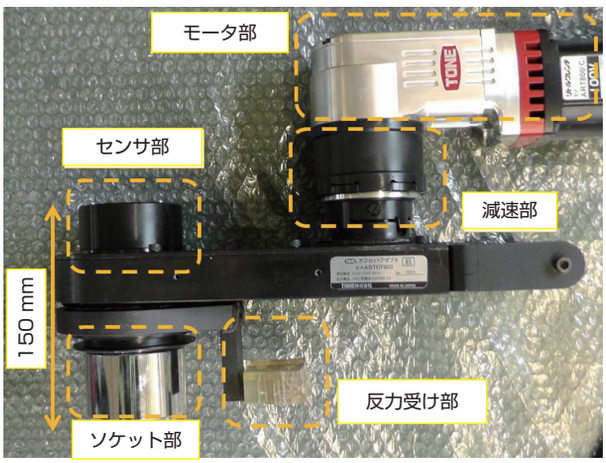


図５　開発品

図６　ピストル型

図７　コーナ型

5.　開発品の仕様

開発品の仕様を表１に示す。

表１　開発品の仕様

	ピストル型	コーナ型
電圧（単相）［V］	100	
周波数［Hz］	50-60	
最大電流［A］	13.8	15
最大消費電力［W］	1,300	1,400
トルク制御範囲［in-lbs］	3,100 ～ 7,080	
トルク最小表示［in-lbs］	10	
トルク制御精度［%］	± 2%	
無負荷回転数［rpm］	最大 15	最大 17
締め付け方向	左右両方向	
本体重量［kg］	12.6	12.9
連続使用回数［回］	約 20,000	
使用温度範囲［℃］	0 ～ 40℃	
締め込みモード	通常／リトルク	
トルク表示	設定／実測	

6.　注意事項

本自動トルク掛けツールの実機使用にあたり、下記3点の注意事項を守る必要がある。

(1) 機体図面、SPEC (Specification)

機体図面やSPEC等の設計要求で、今回の開発品のような自動トルク掛けツールの使用が認められている必要がある。

(2) 反力受け

今回の開発品の様な動力式レンチでボルトまたはナットを締めるとき、隣接したボルトや部材に反力受けを当てて反力を取る必要がある。そのため、反力を受ける側の強度計算(設計検討)が必要となる。

(3) ツールクリアランス

狭い空間にて作業を行う場合は、トルク掛けツールが機体と干渉せずに操作が可能か検討する必要がある。

7.　まとめと今後の課題

今回の開発で、先の開発にて課題であった狭隘部に対応可能な自動トルク掛けツールの開発を行うことができた。航空機の組立作業にはトルクの制御範囲が3,100 in-lbs以下の場合もあるため、本ツールのサイズ展開を今後の課題とする(図8)。また、ツールの重量が重く作業性が良いとは言えないため、軽量化も課題である。

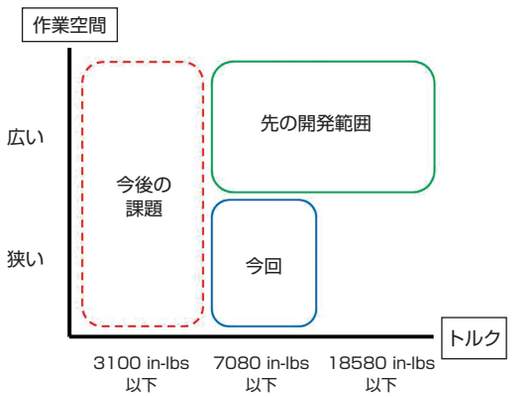
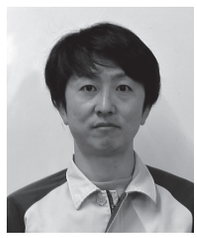


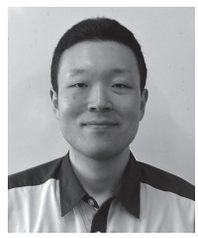
図８　トルクの制御範囲と作業空間の関係

参考文献

(1) 社団法人日本航空宇宙学会：第52回飛行機シンポジウム講演集,自動トルク掛けツールの開発
(2) TONE株式会社ホームページ：
http://www.tonetool.co.jp
(3) 斎藤 学，他：自動トルク掛けツールの開発，スバル技報，No.42, P164 ～ 168

【著　者】


渡邉　政雄


小野　遼平

スバル特別仕様車 CROSSOVER7「Actlve Style」
～ BOXERエンジン50周年特別記念車の第五弾～

2016年10月

スバル初のBOXER（水平対向）エンジン搭載車「スバル1000」の発売から50周年を記念した特別仕様車の第五弾として、CROSSOVER 7（正式名称：EXIGA CROSSOVER7」）に「Active Style」を設定。

車種名・グレード	グレード	エンジン	駆動	変速機
CROSSOVER 7	Active style	2.5L 水平対向 4 気筒 DOHC	AWD	リニアトロニック

2 kWクラス携帯型インバータ発電機の開発

Development of 2 kW Class Portable Inverter Generator

廣　田　健太郎*
Kentaro HIROTA

抄　録

日本、北米を主要販売地域とする2 kWクラス携帯型インバータ発電機「SGi18」を開発した。

従来型に対して、出力・使いやすさ・運び易さを向上させると共に、日常用途として要求される優れた静粛性も兼ね備えた。また、SUBARUの商品を持つ喜びをお客様に感じていただく事ができる魅力的な外観デザインを採用した。

本稿では「SGi18」の特徴と開発で得られた技術成果について紹介する。

Abstract

We developed the SGi18, a 2 kW-class portable inverter generator to be mainly sold in Japan and North America. The output, usability and easiness of carrying were improved compared to the conventional type while its excellent silence was maintained. And, the attractive appearance design was adopted so that customers can feel delight with our product. This article introduces the features of SGi18 and technical outcomes gained through the development.

1.　まえがき

使用機器の高度化による高品質電源の需要が拡大する先進国市場向けの発電機として、インバータ発電機の需要が拡大している。また、世界的な環境改善意識の高まりと震災などの天災に対する一般消費者の防災意識の高まりが、さらなる需要の拡大を後押ししていくと思われる。

当社では、市場拡大する先進国向けインバータ発電機として、従来型「SGi14」に対し、お客様の利便性をさらに向上させると共に、当社商品を持つ喜びをお客様に感じていただける2 kWクラス携帯型インバータ発電機「SGi18」(図1)の開発を行った。

図1　SGi18

2.　開発コンセプト

2.1　コンセプト

アウトドアレジャーなどの趣味用途ユーザから業務用途ユーザまでの幅広い市場におけるニーズを満たすと共に、いざという時の防災用途のバックアップ電源になる携帯型インバータ発電機を、コモディティ化する発電機市場において新たな価値をお客様に提供し、当社商品を持つ喜びをお客様に感じていただくフラッグシップモデルとして開発することを目標とした。

どのように競合商品に対して差別化するかについて表した本商品におけるPositioning mapを図2に示す。

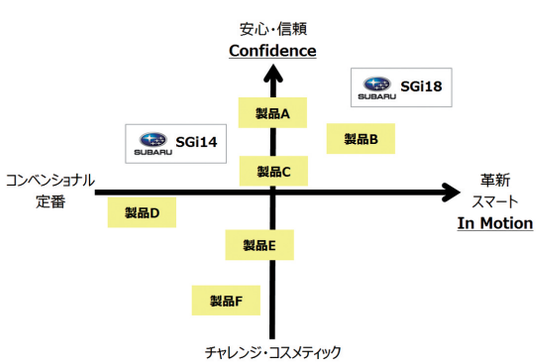


図2　Positioning map

＊ 産業機器本部　技術部

『Confidence in Motion（信頼と革新）』というキーワードを縦横軸に設定し、従来機及び競合機に対して、より安心、より信頼性が高く、より革新的、よりスマートな商品を目標Positioningとして位置付けた。

目標Positioningを、商品開発に落とし込むための要件として、下記の3つのコンセプトを掲げ、開発を行った。

- 高出力でしかも連続運転時間はトップクラス
- 低騒音 No.1
- 機能、使いやすさの充実

2.2　ターゲットユーザ

北米市場と日本市場において、下記のユーザ層をターゲットとし、その市場におけるユーザニーズの声を最優先指標とした。

- 北米市場
  アウトドアレジャー等の趣味用途がメイン
- 日本市場
  業務用途から災害時の備えがメイン

ユーザニーズ『高出力』『低騒音』『価格』

2.3　調達・製造

インバータ発電機の市場においても、中国製競合商品の台頭により、商品のコモディティ化が進んでいる。したがって、いくら商品の機能性やデザイン性を高めても、商品の価格がその価値以上に高価であれば、お客様にとって魅力的な商品とはならない。商品の価値と価格のバランスを最適化し、お客様に魅力的と感じていただけるように、本開発では①海外でのエンジン製造、②エンジン・発電機筐体部品および電装品の海外調達率の大幅な引き上げを進めた。

3.　発電機諸元

発電機の諸元を**表1**に示す。定格出力は、従来機1.35 kW、競合機1.6 kWを上回る1.8 kWとし、より大きな負荷の電気機器に対応させた。出力アップしたにもかかわらず、サイズと静粛性は従来機並みに抑え、様々なシーンでお客様にお使いいただける商品性を持たせた。

4.　商品デザイン

「SGi18」開発にあたっては、出力・使い易さ・機能面・価格面でのお客様の満足だけでなく、当社商品を持つ喜びを感じていただくことを目標に掲げ、商品が持つ機能性と当社の自動車ユーザを中心としたSUBARUブランドイメージ性を両立させることに取り組んだ。

表1　発電機諸元

製品名	SGi18	SGi14
定格交流出力	1.8 kW	1.35 kW
乾燥重量	22.6 kg	20.5 kg
サイズ（L × W × H）	497×318×425 mm	490×295×445 mm
静粛性（1/4 負荷時）	54.2 dB @450 W	54 dB @340 W
連続運転時間（1/4 負荷時）	8.7 Hr	7.0 Hr
並列運転機能	装備	非装備
可搬性	メイン＋両手ハンドル	メインハンドル
Power インジケータ	装備	非装備

4.1　外観デザイン

外観デザインのコンセプトを三つ掲げ、多数のデザインスケッチ画の中から、最もそれらコンセプトに合致するデザインを採用した（**図3**）。

- 『Confidence in Motion』をイメージできる
- 未来の当社のクルマのイメージと合致
- 新しい当社発電機シリーズの新デザインを構築

試作段階においては、実物デモ機を用いたデザイン評価会を開催し、改善事項を洗い出し、最終試作機に改善内容を織り込み、最終商品としての外観デザイン完成度を高めた。

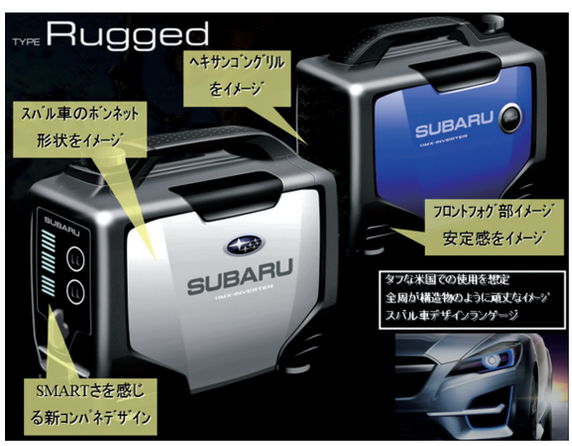


図3　開発初期デザインスケッチ画

当社のクルマのフロントフードパネルをイメージしたサイドパネルフォルムやクルマのフロントグリルデザインで使用しているヘキサゴンデザインを採用し、先進性とスマートさを表現した。サイドパネルの艶感、コントロールパネルの線やロゴ、点火プラグメンテナンス用ホールのゴムキャップデザイン、燃料タンクキャップデザイン等の細部にまでに拘り、従来のインバータ発電機に対するイメージを一新した（**図4.5.6**）。

図４　商品外観

図５　点火プラグゴムキャップ

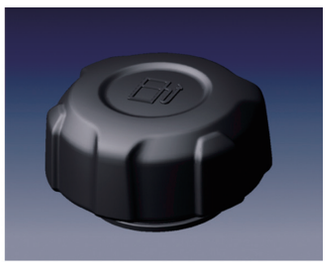


図６　タンクキャップ

4.2　機能性との両立

ユーザの利便性向上を目的とした各種機能追加に際し、外観デザインを決して阻害する事の無い様に配慮し、魅力的な外観デザインと機能の両立を図った。

4.2.1　積み下ろしも持ち運びも楽々

従来のセンターハンドルに加え、両手ハンドルを装備し、両手で、或いは2人で持ち運びができるデザインとし、積み下ろしや持ち運びの負担を軽減した(図7)。

図７　持ち運び方法

4.2.2　誰にでも使い易く、多彩な用途に

「SGi18」はユーザ利便性を向上するための多くの機能を採用し、様々な使用シーンでお客様が抱えていた困りごとを解決する使い易い商品として仕上げた。各機能を下記①から⑤に示す。それぞれコントロールパネル(図8)からアクセスできる。

①LED出力インジゲーター

300 Wごとに青色LEDが点灯し、点灯数で電気出力レベルが分かるようにし、新たな電気機器を追加できるかどうかが一目瞭然となるようにした。

②オートパワーセーブ機能

電気機器の負荷に応じて、エンジン回転数を自動制御する。負荷が小さい時は回転数を低くして静粛性を高め、ガソリンの消費も抑える事ができる。

③シガーソケット式DC12V出力

質の高いDC出力とシガーソケット式端子接続により、自動車向けの多くの電気機器の使用や携帯電話やゲーム機などのデジタル機器への充電を可能とした(図9)。

④ワンダイヤルスイッチ

燃料コック・チョーク・停止機能を一つのダイヤルに集約し、簡単かつ安全な操作を実現した。

⑤並列運転

2台の発電機を並列接続し出力を約2倍とすることで、負荷の大きな電気機器を使用可能とした(図10)。

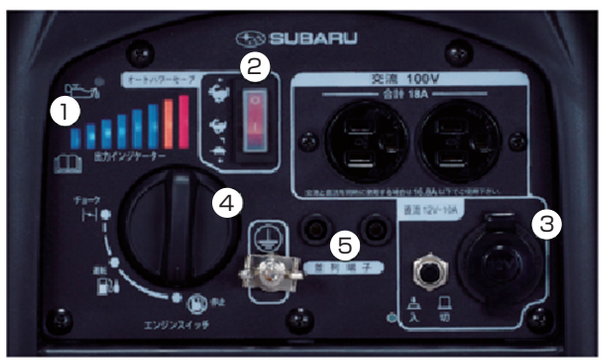


図８　多機能コントロールパネル

図９　デジタル機器充電

図 10　並列運転

4.2.3　楽々メンテナンス

コインでも回す事ができるボルト1本を取り外すだけでサイドパネルの開閉を可能とし、日常のメンテナンスを片側面に集約させ、また開口部を広くとり、業務用途では特に重要な日々のメンテナンスを楽に行なえるようにした(図11)。燃料配管にドレインコックを装備したことで、長期保管時や移動時の燃料タンク内のガソリン抜きも楽に行うことができる(図12)。

図 11　メンテナンスカバー

図 12　燃料ドレイン

5.　採用技術

開発目標達成のために、出力と静粛性や冷却性、および機能性と使い易さなどの互いに背反する要素どうしを両立させなければならなかった。それらの背反課題をどのように克服したのかについて説明する。

5.1　出力向上と静粛性の両立

5.1.1　大排気量化

発電出力向上のために、エンジンの出力向上と発電体性能の向上を中心に改良を行った。従来機と同等サイズの発電機筐体スペースで定格出力24%向上を達成した(表2)。

表２　エンジン諸元表

製品名	SGi18	SGi14
排気量	122 cm^3	86 cm^3
動弁方式	OHC 2valve ゴムベルト駆動	OHV 2valve
シリンダ オフセット	9 mm	0 mm
idle 回転数	2400 rpm	3000 rpm
定格出力回転数	3900 pm	4200 rpm
発電体外径	146 mm	146 mm
発電体コア積厚	31 mm	25.5 mm

①低速運転化

エンジンの騒音および発電体コア部の電力の熱損失は回転数の上昇と共に増加する。そのため、大排気量化し、従来機より低回転域で使用する事で、出力向上と静粛性の両立を図った。また、大排気量化による低回転域のエンジントルク増加により、電気機器起動時に生じる瞬間的な負荷の増加への耐性を向上させた。

②オフセットシリンダ

大排気量化は、燃焼荷重の増加によりクランク軸系の騒音を増加させる。その増加を防ぐため、クランク軸中心に対して、ピストンの摺動中心を排気側に9 mmオフセットさせ、燃焼荷重によるピストン打音の低減を実現した。

③発電体性能向上

発電体は、永久磁石によるアウターロータ構造とし、磁束密度が従来品よりも優れる材料を採用した。ステータコイルと磁石の間の空隙縮小・ステータコイル厚さに対する磁石の相対厚さアップ・電力の熱損失が少ないコア材の採用・銅損低減を目的とした巻き線仕様の見直しも合わせて実施し、コア積厚増加率22%に対し発電体定格出力増加率は33%まで向上させた。

5.1.2　冷却性と静粛性の両立

CAE解析を利用した筐体内冷却バランスの最適化を図り、静粛性を犠牲にせず冷却性を確保する仕様を確立することができた。

①筐体開口位置と面積の最適化

冷却性能を満足させるために筐体外装部の開口箇所を増やすことや開口面積を拡大することは、静粛性を阻害してしまう。冷却性と静粛性の両立にあたっては、エンジンを含めた発電機フルモデルによるCAE解析を行ない、筐体内を流れる冷却風が最も効率良くなる開口箇所と位置を検討し、開口部形状の作りこみを行うことで筐体開口部仕様を最適化した(図13)。

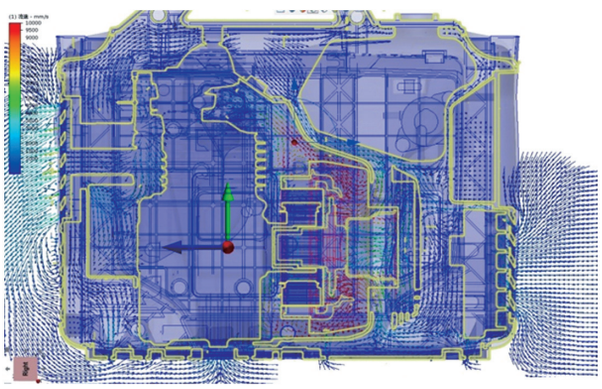


図 13　筐体内冷却に関する CAE 解析例

②新構造冷却ファン

出力向上したエンジンと発電体の両方の冷却性と静粛性を限られたスペース内で満足させるため、新構造冷却ファンを採用した。その特徴を以下に説明する。

- RADIAL&AXIAL複合ファン構造による風量増＋4%
- 不等ピッチフィンによる特定周波数騒音の抑制
- 発電体コアへの冷却風の導入

ファンからの冷却風の流れは、エンジン側に送られる系統と、ファン中心のダクトより直接発電体コアへ送られる系統の2系統を持つ構造とした。この構造により、各部の冷却に必要な冷却風量を少ないスペースで確保することが可能となった(図14)。

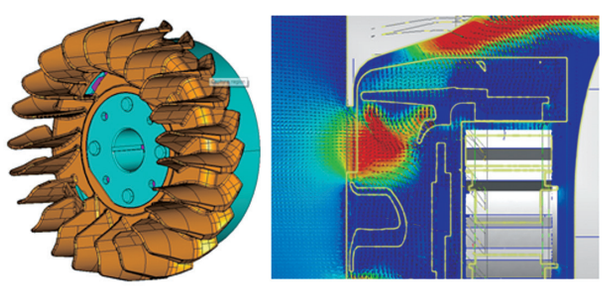


図 14　冷却ファン構造と冷却性能 CAE 解析例

5.1.3　部品単位での静粛性への拘り

構成部品一つ一つの静粛性寄与度と静粛性向上の

ための仕様改良による他機能への影響度を総合評価し、静粛性向上策の採用可否判定を行った。「SGi18」に採用された静粛性向上策の一部を紹介する。

①エアークリーナーの吸気シュラウド

エアークリーナー入口の吸気通路を延長することで、低周波域の静粛性を向上させた(図15)。

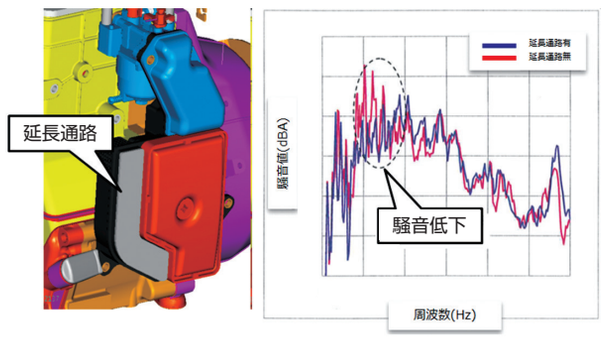


図 15　吸気通路仕様と騒音影響

②マフラー容積と構造

マフラー内部容積の拡大・内部構造の改良・テールスクリーンの採用により、排気音を低減させた。

③筐体部品合わせ部シール構造

整備性向上のため、ボルト1箇所を取外すのみでサイドパネルを取り外せる構造とし、整備が必要なオイル給油孔やキャブレタ部、点火プラグ部に容易にアクセスできるようにした。サイドパネルの締結1箇所化においては、静粛性の確保のために、合わせ部にラビリンス構造を採用し、また、合わせ部のスポンジ材と厚さの最適化により気密性を確保した。

5.2　連続運転時間の向上

ユーザ利便性向上の要素の一つとして、1回のガソリン給油で運転できる時間を長くし、給油回数を減らすことで給油作業の負担を軽減する事に取り組んだ。具体的には、3次元デジタル点火やエンジンフリクション低減による燃費向上と筐体の内部構造見直しによる燃料タンク容積増加を行った。

①電流値検知式3次元デジタル点火

発電電流値によるエンジン負荷量と回転数をパラメータとする3次元デジタル点火システムを採用し、負荷量と回転数に応じ、出力・燃費・排気ガスに最適な点火時期を設定した。

②ピストンフリクション低減

エンジンの大排気量化による全高拡大を抑制するため、ピストン高さは従来機種の相場より低く設定する必要があった。ピストン高さが低い事は、ピストン挙動が不安定となり静粛性の悪化およびシリンダとの接触面圧増加による信頼性の低下を引き起こす。その課題を克服するため、CAE解析を活用し、ピストン挙動・接触面圧・油膜・損失エネルギ等のバランスの最適化を図り、低フリクション・静粛性・高信頼性を高次元で融合したピストンを開発した(図16)。

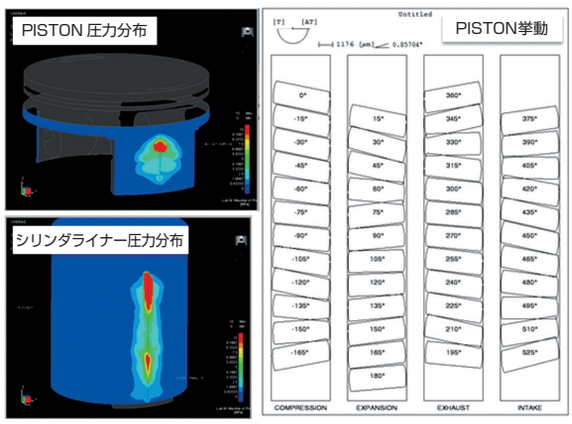


図 16　ピストン CAE 解析例

③燃料タンク容量増加

限られた筐体内スペースの中で燃料タンク容量を最大化するため、燃料タンクを筐体外装部品で直接保持する構造に変更した(図17)。また、ブロー成形を用いた製造を前提として、開発初期より形状と製造法案の詳細検証を進め、肉厚の均一化による全体薄肉化を行った。「SGi18」の燃料タンク容量は、従来機に対して15%増加することができた。

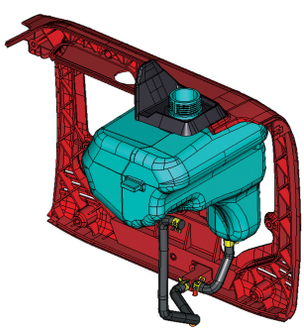


図 17　燃料タンク支持方法

5.3　機能、使い易さとの両立

様々な機能の追加・発電出力の向上・静粛性の向上は、商品の構造を複雑化させ、メンテナンス性の悪化や重量を増加させ、取り扱い性を悪くする。そのため、部品構造の簡素化・部品個々の小型化を進め、高性能でありながら、軽量で持ち運びし易く且つメンテナンス性にも優れる商品として仕上げた。

①結合構造の簡素化

従来機では内蔵部品の支持部品が、筐体外装部品とは別体のため、構造が複雑化し、メンテナンスしにくい・重量増・コスト増の課題があった。その課題を克服するため、内蔵部品はエンジンや筐体外装部品が直接支持する構造に改良した(図18)。

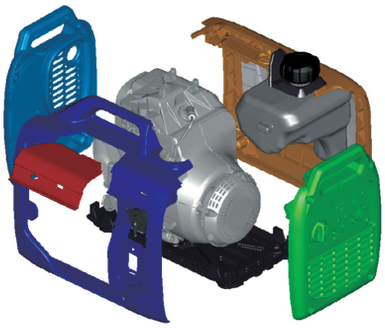


図 18　筐体構造

②コンパクト化

• エンジンまるごとフルカバー構造

エンジンン全体を筐体外装部とは別に、まるごとカバリングする防音・冷却構造(図19)を採用した。エンジン騒音をエンジンフルカバーと筐体外装を用いて二重に防音する構造とする事により、高出力･静粛性･冷却性・コンパクト化を高次元に融合した。

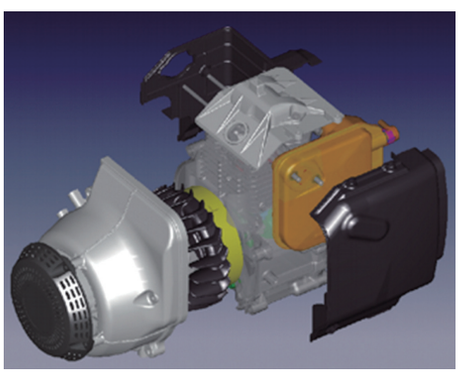


図 19　エンジンまるごと防音・冷却構造

• インバータユニットの小型化

制御機能を従来機のアナログ処理からデジタル処理へ変更した。また、電子部品一つ一つの仕様および回路設計を見直し、発電出力33%増加にもかかわらず、インバータユニットのサイズは従来機に対して36%低減した(図20)。

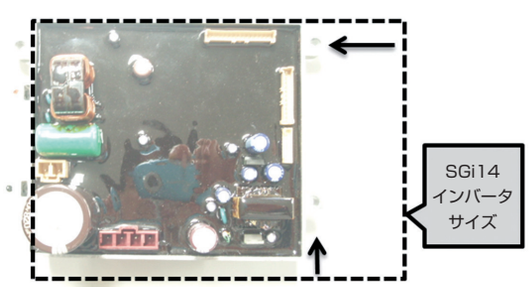


図 20　インバータユニットサイズ比較

また、発電出力の増加に伴い、インバータユニットの冷却性を強化させるため、CAE解析を用いた冷却性評価を実施し、冷却フィンの向き・高さ・ピッチについて最適化を行った(図21)。

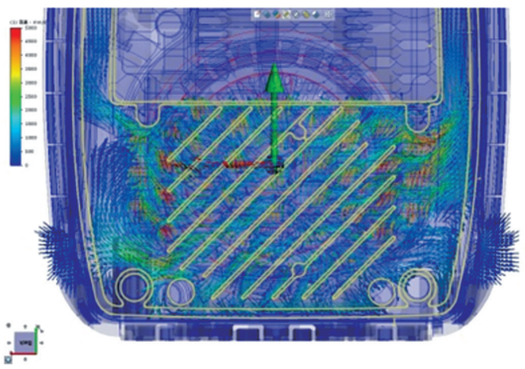


図 21　インバータユニット冷却 CAE 解析例

6.　あとがき

「SGi18」は、お客様の満足を最優先判断基準として、当社エンジニア一人一人の思いを結集し、企画、開発、調達、製造、販売それぞれのPhaseにおいて最適化を行い、お客様が満足いただける次世代インバータ発電機として仕上がった。

当社経営戦略における産業機器事業終了の中で、本商品をお客様にお届けする事は残念ながら出来なかったが、魅力ある商品の開発を成し遂げたエンジニア一人一人の想いと経験は決して失われるものでは無く、今後も生み出され続ける当社商品をさらに魅力的に仕上げるための原資となるであろう。

最後に「SGi18」の開発にあたり、取引先、関係会社、関係部署の方々から多大なご支援とご協力を賜りました事を、本誌面を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

(1) 柿崎敬一，杉浦規郎：産業機器用エンジン開発におけるCAEの活用，スバル技報，No.41，p.194-200（2014）

(2) 杉浦規郎，北嶋祐介：産業機器用エンジン開発におけるCAEの活用（第2報），スバル技報，No.43，p.133-140（2014）

【著　者】

廣田 健太郎

TSと言うスバル技術本部の重要なDNAについて

Very Important DNA of SUBARU Engineering Division：TS

坂　崎　明　彦*
Akihiko SAKAZAKI

抄　録

内藤子生氏は、日本最初の後退翼ジェット機T-1の開発を、虎の巻、猫の巻等を使って指揮し、この活用は成功したと言って良い。

虎の巻、猫の巻の基本コンセプトや精神は、スバル自動車部門にも継承されTSと言う形で発展を遂げた。

TSには昭和33年発売のスバル360から60年近くに渡る先輩達の、成功、失敗を含む様々な体験が凝縮されている。

TSはスバル自動車部門の財産であり、伝家の宝刀であり、それを錆び付かせぬ様、活用、メンテ続けて行って欲しい。

Abstract

Mr. Yasuo Naito succeeded in directing the development of Japan's first sweptback wing jet aircraft T-1 using Tora-no-Maki and Neko-no-Maki (books of secrets). The basic concept and spirit of those books have also been passed down to Subaru Automotive Division and have been developed in the form of TS (Technical Standard). Various experiences including success and failure of our seniors have been condensed in TS since SUBARU 360 released in 1958. TS is an asset of Subaru Automotive Division. It is a treasure sword of our traditional family. I want you to keep using it so that it will not rust.

1.　まえがき

スバル技術本部のTS（Technical Standard）は、スバルの部品の標準化、設計の標準化、車輌の性能の標準化に活用され、無くてはならぬ存在になっているが、その忘れられそうな歴史と流れを紐解かせて頂く。

現在のTSは、

①協力企業殿に技術的要求スペックを提示するもの。
②協力企業殿にも守って頂きたい、製図規格、GPS、部品標準化、用語の統一等に関するもの。
③スバル社内で車の開発をする際にその設計基準、評価基準として拠り所にする門外不出のもの。
④スバル社内での車の開発のノウハウに関するもの。

に大きく分類出来る。

スバル技報の読者はスバル社内の技術者はもちろん、国内外の特約店、取引先、大学、官公庁、海外事務所、同業他社の皆さんである。

前出の①②はスバル社内と取引先サプライアの皆様にしか見られないもの、③④はスバル社内のみ、それも機密ランクの高いものは閲覧許可された者のみにしか見られないものである。

従って、①～④はそれ以外の皆様の目には触れないものであるが、それを承知でTSと言う大事なものについての一般的な事を論じさせて頂きたい。

2.　宇都宮航空の虎の巻、猫の巻、標準類

2.1　虎の巻

内藤子生氏は『飛行力学の実際』の中で『空気力学設計の実際』について以下述べている[(1)]。

曰く、飛行機を実際に設計する時に、経験者は既往機の問題を再び繰り返さぬよう配慮する。

さらに徹底のため他社の経験、他国の経験をも加えて配慮項目を書き上げ、理論と照合して体系付け、それにより設計を組織的に進める。

そのリストは試作機毎に充実される。

内藤氏が設計虎の巻と呼んだリストは**表1**の通り。

＊ 技術管理部

表１　虎の巻リストの項目数

内容	項目数
縦関係	15
横関係	15
方向関係	16
操舵力	12
失速性	11
脚関係	8
その他特性	9
合計	86

内藤氏が指揮し、このリストにより設計を仕上げた日本最初の後退翼ジェット機T-1は、その試験飛行の経過が好調で、試験飛行中の改修事項が極めて少なく、操縦三舵の改修は全然必要無く、タブ関係の改修だけで量産に移行したとの事。

それは設計の早期から、上記86項目に渡り、綿密に検討し、その結果を取入れた事によるとの事。

理論と経験との融合リストにより、飛行機設計は堅実かつ体系の整った新時代へ入ったと言う。

また、内藤氏はT-1の開発を振返った社内資料にて、T-1の設計における虎の巻の活用について上記の他に以下述べている[2]。

曰く、分類法は設計者が使い易い様にし、かつ表現はあくまで操縦者に理解し得る用語を用いた。

主任設計者としての内藤氏は、この虎の巻を通して機体の形状の改修を担当者に要望し、線図の末端を自らの手で描くと言う旧時代の設計者のやり方は一切これを避ける方針を採った。

2.2　猫の巻

T-1の設計を多くの新人で遂行するために、内藤氏は“設計猫の巻”と称するものも作成したと言う[3]。

猫の巻には極めて単純な形で結論だけが書いてあるが、その代り類例が示してあって記憶にも残り、自由に駆使すると中々良い設計が出来る様になっている。

例えば柱の長さと太さとの関係は、中程度の荷重の時は（日本建築の）4寸角6尺柱に似せて直径の10倍の長さになる様に定めると指示してある。

（4寸角対角線≒5.6寸≒6寸、6尺÷6寸=10）

T-1設計室で「猫の巻」を配布され活用した当時の設計担当者も設計基準の要点を取り纏めた他社には例を見ない富士重工業の宇都宮独特のものとして評価していたようである[4]。

また、猫・虎という名前は使われなくても、強度計算法の基準等は、今日の航空宇宙カンパニーにもその精神が脈々と繋がっているとのことである。

2.3　宇都宮の設計基準・製図基準

戦前･戦中と戦後の日本の航空技術の大きな違いは、設計基準・製図基準の完備だったと言う。

設計基準・製図基準に関しては、米国機のライセンス導入で入手した資料を元にゼロからの再出発で、確立された設計基準と製図基準が入手出来たのはライセンス導入の大きな収穫の一つだったようだ。

設計基準には、材料の使い方、標準部品や基本部品の扱い方、その許容応力、局部座屈等のデータも、しっかり整理されていて、基本となる細部構造の金具や軽減孔等の各項目について、初歩の設計者でも材料力学の素養があれば扱えるように、強度計算の基本的な方法、それに使われる許容応力の算出法等の事項がギッシリ網羅されていたとの事[4]。

3.　虎の巻、猫の巻等の車両開発への継承

3.1　虎の巻 ⇒ TSへの変化

報告者は、高校時代に当時富士重工業の内藤氏の『飛行力学の実際』の『虎の巻』に関する記述に感動、さらに大学の自動車部に所属し当時富士重工業のスバル1000から1300Gを乗り回して他の車との違いに感動、実習で水平対向エンジンをバラバラにして先輩にその機能、構成、扱い方を教えて貰いながら組み立て、再始動して他社のエンジンとの違いに感動。

これが、富士重工業入社の重要な動機になっている。

報告者が入社した1979年頃、車体設計の各担当には、その部門に関する、赤と緑と青の各15 mm厚のA4のファイルが数冊置かれているのが通例で、3つのファイルの体系は図１の様になっていた。

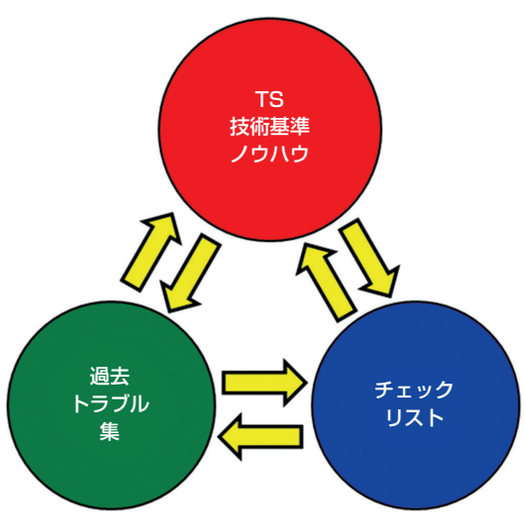


図１　３つのファイルの体系

この中の赤いファイルのTSこそが、高校時代に読んで感激した『飛行力学の実際』の『虎の巻』の自動車部門での変化形であったのである（図2）。

図２　懐かしいTSのファイルの雰囲気

当時は､宇都宮航空に虎の巻､猫の巻と言うのがあって非常に宜しいので、これ等に倣ってTSを簡単な所から整備して行こうと言うTS黎明期であった。

当時の技術本部群馬の統制課に、設計、製図、部品標準化について非常に熱心な担当者がいて、この方を中心に製図規格、コイルやトーションバー等の機械要素の一般設計、標準部品の使い方、ロゴマークの使用法等について既にかなりTSの整備が進んでいた。

また、車輌全体の耐接地性、耐久性、強度等、多部門に跨る標準化必要案件は、TS分科会が設けられ、ここで合議の上統一基準が設けられていた。

3.2　猫の巻、設計基準 ⇒ 設計ハンドブックへ

内藤氏の“設計猫の巻”に相当するのが技術本部群馬の『設計(製図)ハンドブック』であった。

猫の巻は主として強度関係のマニュアルだった様だが、該ハンドブックは設計部門の新人が車の事を良く判らなくても、これを見れば上司に命じられた新人の仕事はかなりこなせる様、強度に限らず、設計、製図基準も含め、厳選された使用頻度の高いTSの抜粋を中心に構成され、最終改訂状態ではA4 155頁で、15mm厚の茶色のファイルに収め、技術系新人に全員配布されていた(表2)。

表２　『設計ハンドブック』の内容

分類	内容
全体	作業推進と標準類の関係
図面管理	部品番号、図面作成、互換性等
製図	製図規格、GPS 規格、ロゴの入れ方等
設計基本	標準部品、締付トルク、加工制限等
金属材料	金属材料規格、熱処理、表面硬化法等
非金属材料	ゴム材料規格、樹脂材料規格
表面処理	電気メッキ規格、塗装規格等
その他	密度の常用値、試作工事の手配等

報告者も新入社員時に配られた該ハンドブックを今も使い続けているし、これをコピーして部下に使わせているベテランも散見される。

これは1992年6月まで、図面、設計や車の開発に明るく、その時代の新人が何を必要とするであろうか見極められ、かつ根気のある担当者により改訂が続いていた痕跡があるが、この方の退職で△11版以降これが成されなくなり、やがて2005年頃、新人への配布も止められてしまったのが残念。

話は変わるが､報告者は『ISOは農業国のビジネス。工業国には受け入れられない部分もあるのでISO-DINとかISO-JISとかが出来る。ISOは体系立った素晴らしい考えはあるが、現場が一つの作業をするのに繋がる沢山の規格を引張り出さなければならぬ等使い難いので､各企業が社内運用上の規格を作らざるを得ない。規格の3重構造になってしまうが、これが作れるか否かがその企業の実力、体力』と言うGPS普及促進のために社内講演会に招いたK先生の薫陶を受けた。

そこで、設計管理第一課長だった2004 ～ 2006年、20年以上に渡って改訂が成されていなかったGPSを含む製図関連規格を、当時抱えていた機械プラント製図の技能五輪選手を使ってリニューアルさせた。

今回の執筆で、それに続いて『設計ハンドブック』を復活させようとしてた矢先に該課長の任を解かれ、これがメンテナンス途中で放置されてた事を、資料が出て来て思い出した(図3)。

報告者は最後の御奉公でこれを復活させてスバルを去るか？

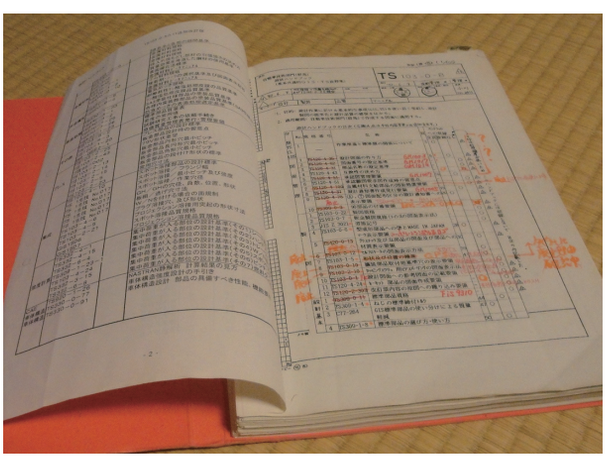


図３　復活させようとしてた設計ハンドブック

3.3　燃料系のTSの父、斎藤氏

スバルのTSの流れに大きな影響を与えたのは、報告者入社時燃料系のグループリーダだった斎藤昌夫氏である。

今ならブラックになるのだろうが、当時は残業100時間超えの中、氏は自宅に帰ってから深夜まで燃料系の設計バイブル的TSを執筆し続けた。

最初に出来たのが1980年12月の『燃料タンク設計法』、続いて1981年4月のエバポ規制対応や気液分離

のセパレータを含む『ブリーザ系の設計』、最後に1981年9月のリターンを含む『燃料供給ラインの設計法』で、何れもA4 100～200頁超えの大作で燃料系設計虎の巻ともいえる存在であった。

振返ると燃料系のグループリーダだった氏の卒業論文的色彩もあった様で、この功績を認められた氏はその後燃料操作系の担当、燃料、操作系、排気系、動力艤装を纏めるシャシ設計課長と仕事の守備範囲をどんどん広げて行った。

斎藤氏がTS＊＊＊－0＊－0＊＊『燃料タンク設計法』の序文に曰く、

スバルという名前の自動車が、昭和33年に誕生してから30余年以上（当時。今なら60年弱）の年月が経過している。

その間、日本の高度成長期という幸運に恵まれ、マイカー時代を迎えてモータリゼーションは国民に定着し、現代では自動車なしの社会、マイカーなしの家庭というものが考えられなくなっている。

この30年間を燃料系、特に燃料タンクについて振返ってみると、

①昔は燃料が入る容器でしかなかった。

②今は安全規制、公害対策に関する燃料蒸発ガス規制等を受けて燃料タンクの設計は大変難しいものになっている。

①から②に移り、今日にいたるまで経験不足から来る高価な代償を払いつつ多くのことを学んできた。

これらの問題の解決を通じて設計基準ともいうべきものを少しずつ作成してきたものが現在22件にもなった。

しかしながらバラバラでまとまっていない状態であり利用しにくいことから今回、燃料タンクに関する設計法として編集し新製することにした。

燃料タンクの設計は今や車の基本設計の段階から、そのレイアウトを十分検討して掛らないと、決して良いものは出来ない。

本設計法は、新しい車を設計する場合に、実際に設計者が行う作業項目を作業順序に従って説明し、次に具体的方法を説明してある。

順を追って読んでも良いし、必要な個所を先に読んでも結構だが､是非一度は全体に目を通して頂きたい。

自動車は経験工学と言う事において、不具合を経験する度に、氏のTSは拡充された。

不具合で凹む新人時代の報告者に､「いいTSが書けるなぁ。」とニコニコ声を掛ける氏であった。

その後、技術本部のTOPが斎藤氏の元上司になり、この方は斎藤氏の活動を高く評価してたので、設計に限らず実験、研究も含む技術本部全体に、氏の後に続いて自分の守備範囲で立派な開発マニュアル的TSを作ろうと言う気運を高めてくれた事もあり、各部署が競って立派なTSが作成される時期が続いた。

3.4 パワステ系のTS魔、報告者

報告者はその後燃料系の斎藤担当の下を離れ、機構設計課に転籍になったが、斎藤氏の背中を見て育ったので、ステアリングを中心とする足回りのTSを書きまくった。

特に部品メーカ殿と共同開発のインテグラルシリンダのラック＆ピニオン式パワーステアリング・ギアボックスの量産化は、スバルが日本最初なのに、そのTSが一件も無い事に憤慨し、油圧パワステについては、その全主要諸元の設定法をTS化し、同時にBASICのプログラムにも組んで、略自動設計が出来るレベル迄技術力を引き上げた。

報告者はTS＊＊＊－0＊－0＊＊『PS SYS（Power Steering System）設計法』の序文に曰く、

技術は一代で滅びるものにあらず。
次代に伝えより確かな技術の礎と成すべし[5]。
我等は、より美しき物、より確かな物を求めて荒野を歩き続ける技術屋なり。
荒野の中に、後輩に見せたき物を発見したれば、道しるべを作るべし。
後輩に見せねばならぬ物を発見したれば、踏み分け道を作るべし。
これ業務のルーチンワーク化なり。
しばしば通らねばならぬ道を見極めたれば、そこに石を敷き詰めよ。
これ業務のTS化なり。
本TSは完全なものではない。
後輩諸君が本TSのメンテを続け、より確かで実用的なものに育ててくれることを希望する。

該TSは1988年12月までの富士重工業ステアリング担当のKNOW HOW 及び各パワステメーカ（K社、U社、J社）から吸収した知識を基にまとめたと、その制定経緯に記されている。

師匠の斎藤氏に続けとばかり、数年間は家に帰って1日1頁はTSを書かぬと眠らない事にし、瞬間最大風速では1日1件TS発行と言う無茶もやった。

TSは『べからず集』的な発想が必要な場合もあるが、報告者は『べからずに陥らない合理的設計』に拘った。徒然草の『わろしもの』に相当するのが『べからず集』､『美しきもの』に相当するのが『べから

ずに陥らない合理的設計』と言う感覚ある

TSを書き過ぎるのも後進の育成には問題あり、後輩達がマニュアルに頼り過ぎ、勉強しなくなってしまう傾向も経験した。

これを防止するにはTSの定期的なメンテナンス、或いは新規TSの発行を最初は組織的に指導、その後は自発的に行う様仕向ける事が肝要である。

魚を与えれば一日の食を得る。

漁りを教えれば一生の食を得る。

さらには漁りの方法を開拓出来る人に育てる事が必要。

4. TSの危機

報告者の価値観で見て、ここ40年近くの間に、大きく2回のピンチを経験したと考えている。

4.1 TS存亡の危機

2000年、スバル技術本部はピンチに見舞われた。

ブレーキパッドの面積の測り方について、面取り部を含めるか否かで、面取り部を含めた書類が誤りとされ、社内的に大騒ぎになった。

何で面取り部をパッド面積に含めたと質問されたブレーキの担当者は、当時自信を持って「TSに従いました。」と回答した。

これはTSが世の中の流れに対し整備され続けている事が保証されているならば、全く間違って無い。

ところが当時技術本部では、「TSが悪い。TSを一旦全部捨ててしまって良いのではないか。必要なものはまた書けば良い。」と言う短絡的な動きになりかけてしまった。

坂崎は激怒した。

元々、技術は一代で滅びるものにあらず。次代に伝え、より確かな技術の礎と成すべし。をモットーとし、虎の巻や猫の巻に憧れて当時の富士重工業に入社し、自動車部門でもその流れを汲むTSが発展しつつあるのを喜び､自らもそのさらなる発展に貢献してきたし、これからもさらに発展させようとしていた矢先、TSを捨てると言う事は、スバルがスバルでなくなる事と感じた。

4.2 危機を乗り越え塞翁が馬

技術本部としては、TSの改廃、整備に関する分科会が設置され、報告者も自ら志願してそのメンバーになった。

分科会はTSを一旦全部捨ててしまうと言う動きはせず、廃止や改訂すべきTSを抽出分類し、計画的にメンテナンス作業を定着させる事から作業を始めた。

メンテナンスが一定年限以上成されてないTSは、全件点検し、使われ無いなら『廃止』、実情に合って無ければ『改訂』、そのままで良ければ『確認』と記述された。

また系統立った分類をして､統合すべきものは統合、分離すべきものは分離された。

まえがきで触れた①～④以外に､技術的色彩の弱い、事務手続き的ルーチンワークや、装置の取扱要領等もTSとして発行されたものが多く存在したが、これ等はBR（Business rules;これは大抵の会社にあるでしょう。）と言う別文書体系に移動させられた。

①②と③④がごちゃ混ぜになったTSも存在したが、①②と③④のグループに明確に分けられる様、編集し直され、非常に使い易くなった。

数年の活動の結果、TSは若返りを果たし、その後整理統合も進んで、今日では管理部門の号令の下、年に一度総見直しが義務化されている。

尚、ブレーキパッドの面取りについては、その後、見直され当初のTS通りで問題ないという解釈になった。

4.3 サンバー生産終了に伴う危機

スバル技術本部はISO9000シリーズを取得しているので、使わない基準は廃止が基本である。

サンバーの生産中止に伴い、キーワード検索で、

サンバー16件、ドミンゴ単独1件、1BOX4件

軽貨物22件、トラック36件、商用7件

合計86件 の設計基準や評価基準的TSが廃棄されてしまった。

この86件と内藤氏が設計虎の巻と呼んだリストの項目数86が奇しくも同じ数字なのは運命の悪戯か？（本当はキーワード以外にも存在の可能性あり）

サンバーは日本の文化遺産にしても良いのではと思える程、御客様とスバルの2人三脚により、独自の進化を遂げ、惜しまれつつ生産終了となった車両である。

そのため、他に類を見ない特殊なスペック、所謂意地悪試験や、桁外れな耐久や強度のスペックを持っていたが、これ等がサンバーだけのものとして捨てて良いものか、連想ゲーム的に現在のスバル、将来のスバルの開発の参考にすべきものかは、再吟味が必要である。

4.4 廃止されたサンバー関係のTSの再吟味を

報告者がステアリングの設計に従事していた1980年代、文書管理が各部署に大方自由裁量で任されていたスバル360時代からのステアリングに関するメモやら報告書やらが紙で大量に居室に残っていた。

報告者はこれ等を読破し、捨てて良いものは捨て、

残す価値のあるもののみ一定のグループ毎に束ね、当時の文書体系で纏めて発行、その後プリンシパルの部分は、TS作成の参考にした経験ある。

サンバー TSは、次代を担う若手技術者から有志を募り、次代に伝えるべき内容を吟味して既存の残された車用のTSに織込む、或いは新規のTSとして再発行すべきである。

味噌も糞も一緒の中から味噌を選び出す作業は大変だが、サンバーのノウハウについては、先人がTSと言う形で厳選してくれているのだから、その中から次代に伝えるべき内容を選び出すだけで簡単だ。

5. まとめ－TSの今後について希望する事－

2014年、スバルの躍進に大きな影響を与えた平川元副本部長は退任の挨拶で残る技術本部の職制に「御客様にどう言う性能、品質の車を提供すべきか？それを実現するためにはどう目標を定量的に設定すべきか？そしてその目標を実現するためにはどうすべきか？そのプロセスにおける皆さんの開発力は世界のトップレベルになった。これは誇りに思って良い。これからも自信を持って開発に励むように。」と話した。

平川氏が褒めてくれた内容を実現するための最重要ツールはTSであったと報告者は考えている。

スバルは富士重工業時代を含めて、同業他社との協業をしてるが、スバルのTSの様に、技術基準のみならず、KNOW HOWだけでなく、KNOW WHYについても先人たちの知恵と努力と経験を融合した技術指南書には御目に掛って無い。

この企業文化であるTSを次代に伝え、より確かな技術の礎にして行って欲しい。

新人向けTS『設計ハンドブック』も復活すべきである。

参考文献

(1) 内藤子生：飛行力学の実際, 平成9年(社団法人 日本航空技術協会・東京), p.149 飛行機の空気力学設計の実際 初版はS45/8/15
(2) 日本最初の後退翼ジェット機 T-1 社内教育資料, 平成17年(富士重工業 航空宇宙カンパニー), p.63
(3) 日本最初の後退翼ジェット機 T-1 社内教育資料, 平成17年(富士重工業 航空宇宙カンパニー), p.66
(4) 日本最初の後退翼ジェット機 T-1 社内教育資料, 平成17年(富士重工業 航空宇宙カンパニー), p.159
(5) 新谷かおる：ふたり鷹, 週刊少年サンデー 巻数及びページ 確認出来ず, 小学館(1980年代)

【著　者】

坂崎　明彦

空気の見える職人の養成について Part 2

How to Train Craftsmen who can See Air Flow (Part 2)

坂 崎 明 彦*1　山 内 大 生*2　伊 東 太 壱*3
Akihiko SAKAZAKI　Daisei YAMAUCHI　Taichi ITOU

抄 録

第2次世界大戦頃の航空機における空力開発では、空気の見える職人が、手で木型を作り性能の向上を図っていたのではと思われる節がある。

量産車の空力開発や高速走行可能な空力台車製作時に、そのルネサンスを試み一定の成果を上げた(1)。

今回、Part 2では、STIでの空気を見ることができる職人の養成に焦点を当てる。

デジタルの世界でも、空気を見ようとする職人気質は大いに重要である。

空気反力ベクトルや、乱流の見える職人も養成して行きたい。

Abstract

At the time in the Second World War, craftsmen who could see air flow in aircraft aerodynamics development seem to improve the performance by making wooden molds by hand.

In the aerodynamics development of vehicle production and in making an aerodynamic test vehicle which can run at high speed, we tried this Renaissance, and achieved certain results.

In this Part 2, we will focus on training people to be craftsmen who can see air flow in STI.

Even in the digital world, the temperament of craftsmen trying to see air flow is of great importance.

We would also like to train craftsmen who can see air reaction force vector and turbulence.

1. まえがき

図1は中島飛行機の試作職場における隼の実大模型(木型、モックアップ)である。

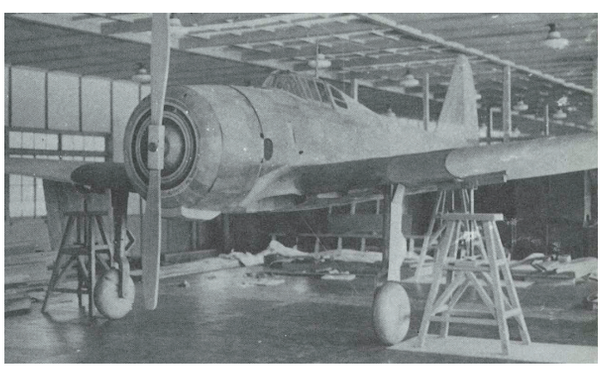


図1　隼の実大模型(2)

第2次世界大戦頃の航空機開発に於いて、空力開発では空気の見える職人が、手で木型を作り性能の向上を図っていたのではと思われる節がある。

執筆者の一人は2009～2011年に、試作部モデル課の仲間と、量産空力試験台車の製作、それから一般先行開発としての走行可能な空力試験台車の製作を大きく3サイクル回す機会に恵まれ、前述の航空機の開発状況を文献等で興味を持って勉強していたので、当時の部下を指導してそのルネサンスを実践し、それなりの成果を上げた事を前回のスバル技報43号で述べた(1)。

今回はその続編で、Part 2としてSTIにおける空気の見える職人の養成を中心に論を進めさせて頂く。

2. STIのレースにおける空力職人の活躍

スバルのCAE技術はSTIにも移転され、山内がNBR等のレース車両、STIパーツの空力開発に活用し、成果を上げつつある(図2)。

＊1 技術管理部
＊2 STI 車体技術部
＊3 STI 車両実験部

その発展速度は指南したスバル側が「STI、此処までやるか？」と瞠目するレベルに達している。

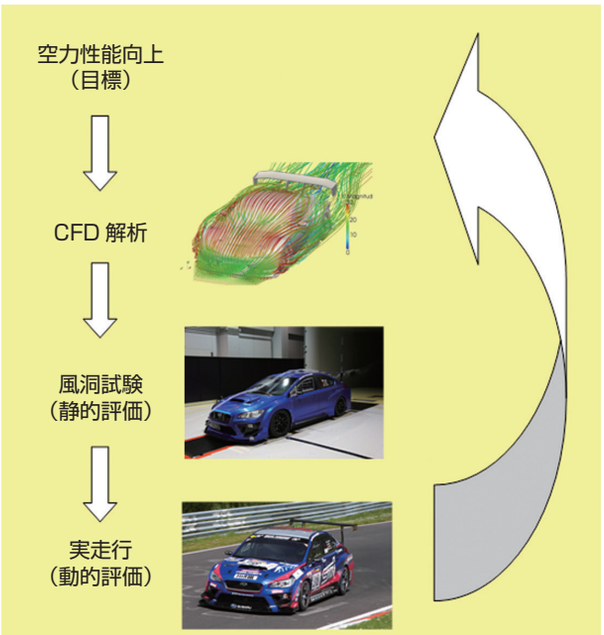


図２　STI 空力開発の PDCA

デジタルの世界でも、空気を見ようとする職人気質は大いに重要である（図3）。

それを鍛えるには、モータスポーツを含むSTIのPDCA高速回転の活動の場は非常に適している。

またSTIは非常に小さな会社であり、一人の守備範囲が広い事も総合力の育成に役立っている様だ。

山内の達した職人レベルに後進を如何に引き上げるかがSTIとしての課題で、必要なマニュアル類を整備し、OJTのやり方を模索している処である。

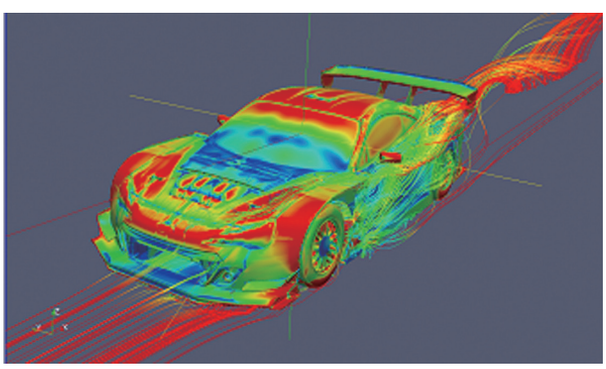


図３　モータスポーツ車両の解析例

3.　空力反力ベクトルの見える職人に

NBR出場車のリヤウイングの取付スパンも山内の関心事の一つである（図4）。

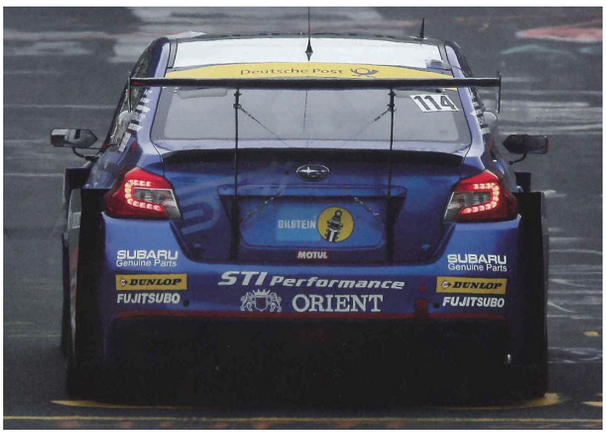


図４　NBR 車のリヤウイング取付スパン[3]

空気の見える職人と言うのは、流線だけではなく、空気の反力ベクトルも見える様になるべきである。

材力の初歩で『名刀正宗の支持方法』と言うのがあり、正宗を何百年も安置するには、支持により生じる曲げ応力を最小にしなければならない[4]。

図5、図6は刀では無いが、この支持スパンの不適により、槍が曲がってしまった例を示す。

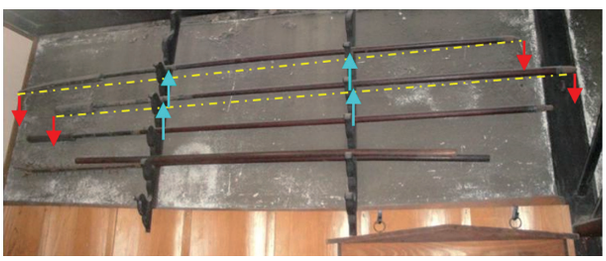


図５　槍の支持方法 －スパン狭過ぎ－

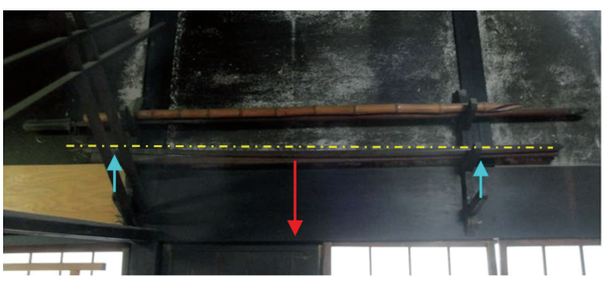


図６　槍の支持方法 －スパン広過ぎ－

梁の曲げモーメントを最小にするためには、支持点スパンをウイングの幅に対して振って見て、圧縮側の最大値と、引張側の最大値を等しくすれば良い。

試みに、ウイング幅1 m、横方向1 cmごとに単位荷重を掛けて取付スパンを①60 cm、②50 cm、③70 cmとした場合の積算をしたBMD（Bending Moment Diagram）は図7のグラフになる。

取付スパンをウイング幅の約60%に指示した場合に、圧縮と引張の曲げモーメントの最大値が略等しくなる事が判ろう。

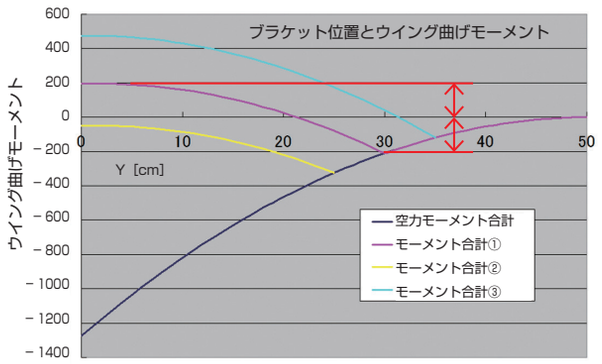


図７　ウイングの取付スパンを変えた場合の BMD

微分積分の得意な方は、厳密解を求めると、58.6%がBESTである事が求められよう[4]。

リヤウイングが矩形翼で、前から流れて来る気流も一様とすると、空力反力は2点支持梁の一様分布荷重になるから、BMDはトラックの荷台に車両左右方向に一様分布荷重を載せた状態と同じになる(図8)。

ウイングや荷台のBMDは支持点反力のBMDと一様分布荷重のBMDを重ねたものになる。

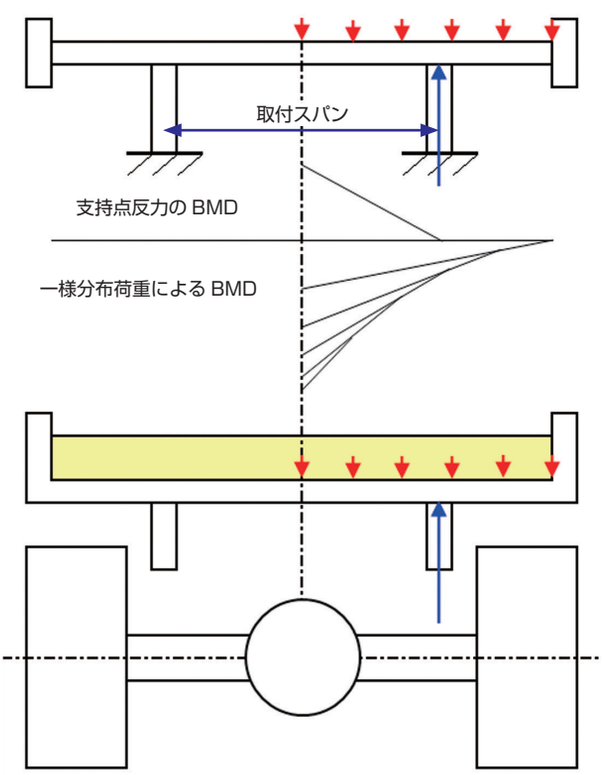


図８　ウイングと荷台の BMD の相似性

2016年のSTIのNBR車両は量産車をベースとしているため、図8のトラックのフレームと同様の位置に骨を持っている。

空力要件が特別に無ければ、矩形翼のリヤウイングは、ウイング幅の60%程度で支持し、ブラケットをリヤのフレームに真っ直ぐ降ろすのが、確実かつ軽量に設計するコツである。

4.　インプレッサのスバル純正STIエアロ

STIパーツはパフォーマンスを追求すべきで、コスメはやらないのが基本になっている。

今回のインプレッサから、スバルの車両開発に同期し、目標を開発初期から明確化し、CAEで目途を付け、風洞試験や実車走行試験において目標が達成されている事を確認、さらにリファインして量産する取組になった。

ライバル企業が何処までおやりになっているか判らないが、インプレッサのSTIエアロパーツはCdの向上を図りつつ操安性も向上させた、かなりの優れものである。

図9の②～⑤がインプレッサのスバル純正STIエアロパーツである。

図９　インプレッサのスバル純正 STI エアロ

報告時入社2年目のSTI車両実験 伊東が上図②～⑤の空力デバイスを一つずつ追加し、図10のレーンチェンジを車速120 km/hで行ったフィーリング所見は以下の通り。

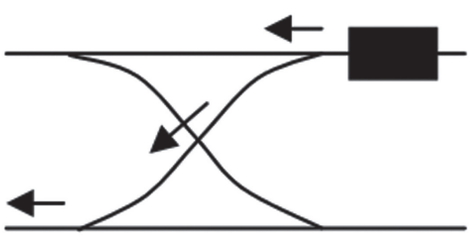


図 10　レーンチェンジ試験

①量産インプレッサセダンのイニシャル状態
これを基準として以下評価した。
②フロント・アンダ・スポイラ
イニシャルと比較し、前輪の接地感が向上する。
ヨーと横Gの遅れが少なくなり応答性全般が向上。
安定して曲がりやすくなる(図11参照)。

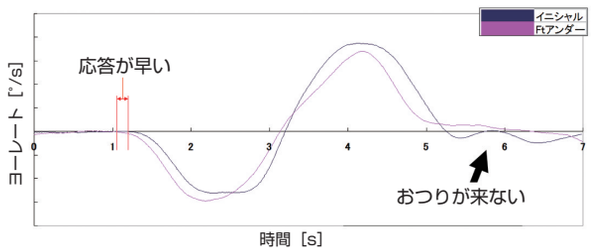


図 11　イニシャル①に②追加のヨーレート変化

③サイド・アンダ・スポイラ

主に直進安定性に寄与しており、車両のふらつき改善。

フロント・アンダのみ装着時に感じたリヤから感じる細かい揺れが収まる。

④リヤ・サイド・アンダ・スポイラ

サイド・アンダよりもさらに直進安定性が増し、車体の上下揺れが穏やかになる。

ハンドル復元時のヨーや横Gの収束が早くなる。

⑤トランク・スポイラ

応答性がやや穏やかになり軽快感が薄くなるもののヨーの変化はリニアになる。

より車体の上下揺れが抑えられフラットになる。

⑥イニシャルと②～⑤取付との差

イニシャルとフルエアロ状態の差である（図12）。

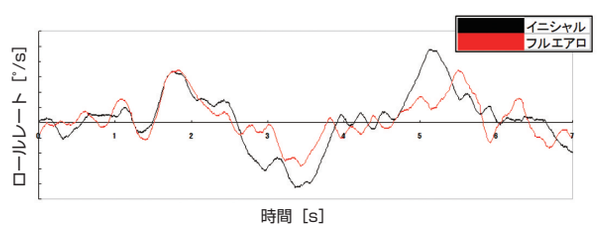


図 12　イニシャルに②～⑤追加のロールレート変化

フィーリング所見を評点数値化したのが表1である。

表 1　フィーリング所見の定量化

	操安性寄与度	乗心地寄与度	～評点～
①イニシャル（STI エアロ無し）	－	－	± 0：同等
②フロント・アンダ・スポイラ追加	＋ 2	± 0	± 1：プロが分る
③サイド・アンダ・スポイラ追加	± 0	＋ 1	± 2：普通の人が分る
④リヤ・サイド・アンダ・スポイラ追加	＋ 1	＋ 1	± 3：誰でも分る
⑤トランク・スポイラ追加	＋ 1	＋ 1	
⑥ ①と⑤の差	＋ 2	＋ 2	

イニシャル状態①に対し、②～⑤の空力デバイスを追加した時の、北米悪路相当路面を80 km/hで直進走行した時の、操安、乗り心地指標の各パラメータの変化を示したのが、図13である。

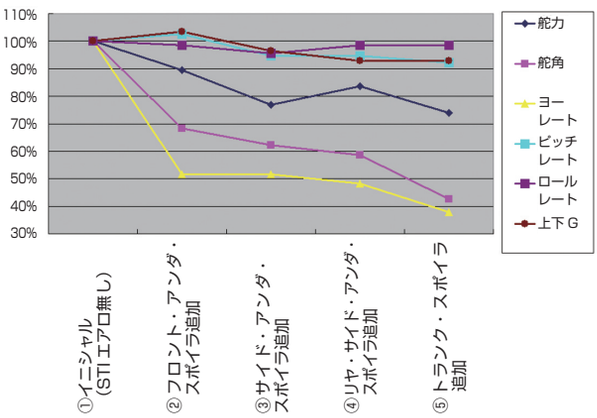


図 13　イニシャルに②～⑤追加の直進性・乗心地

計測後、伊東は、北米悪路相当路面を走行した際の乗り心地性能の向上を大いに体感出来た事、操安指標においても変化点を体感できたが、計測結果には顕著に表れている訳ではないものもあったため、より効果的な計測手法を今後探って行く事を報告している。

伊東達が、評価、試験等を通じよりハイレベルな「職人」に育って行く事を期待したい。

インプレッサを購入されたお客様におかれては、伊東が試験した様に、いきなりフルエアロにするのではなく、②フロント・アンダ・スポイラ、③サイド・アンダ・スポイラ、④リヤ・サイド・アンダ・スポイラ、⑤トランク・スポイラ を順番に取付け、その変化を体感して頂くのも一興かと思われる。

5.　乱流の見える職人に

本論文の読者は、図14のA、Bどちらが抵抗が少ないとお考えだろうか？

前面投影面積、全長、全幅及び外板を並べる基準線を同じにするのは言うまでも無い。

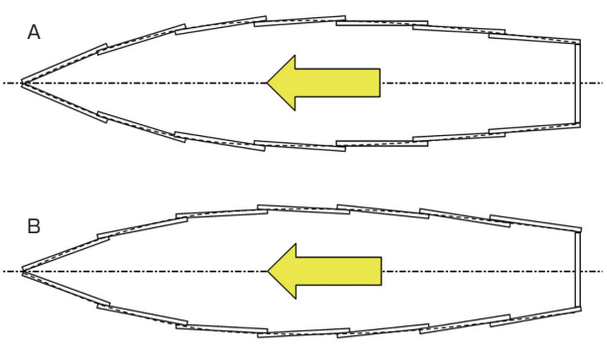


図 14　船の板組

報告者は千葉大学工学部在学中、恩師の西川助教授（当時）から、Aの方が早いと思う人が多いと思うが、実際に船を作って同じ動力でBの方が速かったらしいと聞き、当時実際に大学の図書館で確認すると、そういう外国の文献が確かに存在していた。

教えを受けて約40年、**図14**をA4横描きサイズに拡大コピーし木端に張付けて削り、藤沢の実家の近くの引地川でイコライザで曳航したら**図15**の通り特定の流速でBの方が抵抗が少ない事を確認出来た。

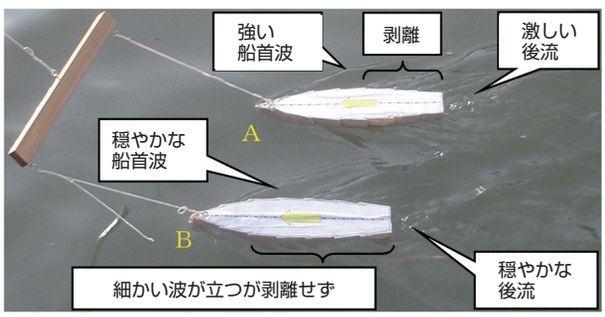


図 15　船の板組の差、曳航確認

Bでは、板組が所謂ボルテックスジェネレータになったと言う事である。

この様な水遊びを通して、**図16**に示すインプレッサ5DとXVに適用可能なSTIリヤルーフスポイラのボルテックスジェネレータ等の改良に勘の働く職人を養成する事もやって行きたい。

図 16　STI リヤルーフスポイラ [5]

6.　エンジン吸気ポート内の流れ

空気の流れを見ようとする努力は、車両の空力開発だけでなく、エンジンのポート内の流れに対しても、その効率向上のために重要である。

鈴木孝氏の『ディーゼルエンジンの挑戦』には1970年代、窒素酸化物を少なくしても黒鉛を吐かないエンジンがあり、その秘密が吸気ポートの形状にあった事、懐炉灰に着火し吸気ポートから吸わせて観察した事、シリンダに流入する空気を二分し、この二つの流れをピストン下死点位置より手前で衝突させれば燃焼が良くなる事、長らく教師であったドイツメーカの皆さんに、データと良くなる理由の仮説を披露したら、先方が内容をノートに写し取り、今迄この様な事は無く、技術レベルが教師と対等レベルになった事を自覚した内容の記述がある[6]。

埼玉県上尾市の元沖自動車の池田東巧氏（故人）が、坂崎が1979年スバルに入社した頃にはヘッドにバルブをリフト分開けて支えて、吸気口から煙草の煙を吹き込み、「こう言う渦が出来る様にすっと、エンジンが調子良いんだよ。」と仰っていた事、さらに氏によれば、氏はこれをその10年以上前から実践し、渦と燃焼の相関を掴んでいたと言う事は驚嘆に値する。

氏の流れの可視化の写真は是非此処に掲載したいと考えていたが、2016年5月に御逝去され、果たせず残念。氏の冥福を祈らせて頂く。

ところで、氏のチューニングしたエンジンはダートトライアル全日本戦で優勝する等、良く回ったが、そのポート内面の鏡面研磨は成されておらず、リューターの目の跡が凸凹で残っていた。

スバルのWRC全盛時代、FHIの先輩技術者に吸気口の入口で集音した録音を聞かせて貰った事があるが、吸気が音速に達した瞬間スッと音が消えていた。

この雰囲気を音符で表すと**図17**の様になろうか？

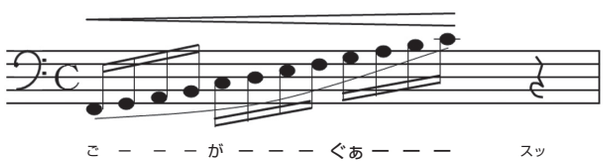


図 17　ターボ吸気系の音速突破

表面の荒れたポートは、音速付近では衝撃波が凹凸部分を起点として早く発生し、それ以上出力が上がらなくなる可能性あるが、それ以下の運用ではディンプル付のゴルフボールが良く飛ぶ、或いは**図14**、**図15**のBに示したボルテックスジェネレータ的板組の船の抵抗が少なくなる様に、低中速トルクを向上させ得る可能性があるのではなかろうか？

現在、STIの高出力エンジン開発は、スバルの開発したエンジンに手を加える域を出て無いが、行く行くは吸気、排気、オイル、冷却水の流れの見える職人、或いは分る職人を育て、ゼロから高性能エンジンを設計、構築出来る様になりたいものである。

7.　まとめ

空力経験を徒然なるがままに記させて頂いた。

STIの理論と経験の融合した空力開発が本格化したのは平川社長体制になったここ2年位の事である。

未だ未だ伸び代あり、それを実現するための空気の見える職人を養成するには、記した様な空力に付随する様々な経験を、若い内から思いっきりやらせたい。

またSTIの本領であるレース活動においても、PDCAの高速回転により、通常の量産開発設計ではあり得ぬスピードで良き経験を積ませたい。

（株）SUBARUの指導、ライバルメーカ、コンストラクタとの切磋琢磨も宜しくお願いする。

参考文献

(1) 坂崎ほか: 空気の見える職人の養成について, スバル技報, No.43, p.165 − 169（2016）
(2) 中島飛行機の想い出（磐石の名声の確立）
http://www.ne.jp/asahi/airplane/museum/nakajima/nakajima − saito/naka34 − 36.html
（2016 − 3 − 26）
(3) STIカレンダー, 4月（2016）
(4) 大場次郎：機械部品材の力学p.67 〜 68自費出版？（1970年代？）
(5) スバルXVの用品カタログより（2017）
(6) 鈴木孝: ディーゼルエンジンの挑戦, p.108 〜 110, 三樹書房（2003）

【著　者】

坂崎　明彦

山内　大生

伊東　太壱

富士重工業株式会社が「株式会社SUBARU」に社名変更

2017年4月

本社（東京都渋谷区）および各事業所・製作所3 ヶ所にてそれぞれ、社員向けの記念式典を開催。本社の式典会場には、SUBARUを自動車と航空宇宙事業における、魅力あるグローバルブランドとして成長させていく象徴として、2016 年10 月に発売された新型インプレッサと最新型ヘリコプター412EPI 発展型機の大型模型が展示された（3月31日）。

群馬製作所本工場西本館において、当社関係者、官公庁、お取引先、各工場近隣区長、マスコミ計400名をお招きし、社名変更記念式典を開催。為谷所長から主催者挨拶、ご来賓の方々からのご祝辞の後、新社名看板の除幕式を行った。記念講演として前橋市文化スポーツ観光部 手島講師による『中島知久平の先見性』をテーマに、飛行機研究所から100年の歴史と共に語っていただき、また記念対談として、スポーツキャスターの荻原次晴さんが吉永社長と対談。自身の愛車レヴォーグでの体験談や現役時代共に戦ったスバル車についてユーモアを交えながら語っていただいた（4月2日）。

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。

車両の足回り部材の連結構造

【出願】公開番号2016-068602
【発明者】富澤　英久、石田　斗志、寺崎　創、
宇津木 芳明、小暮　　勝

【発明の背景】

自動車の足回りにおいて、アクスルハウジングとリンク部材の連結に、ボールジョイント部材を用いる場合がある。アクスルハウジングとリンク部材とは、ボールジョイントで連結することにより、外力の入力が入ってもストレス無く動作させることが可能となる。

また、自動車の軽量化を目的として、従来鉄で鋳造されていたアクスルハウジングを、アルミニウムなどの軽金属材料を用いて形成することが考えられる。しかし、アクスルハウジングといった足回り部材を軽金属材料で形成した場合、アクスルハウジングの連結穴に対して、鉄などで形成されたボールジョイント部材のソケットを挿入して連結すると、外部の入力により軽金属製のアクスルハウジングが局所的に変形してしまう懸念がある。

【発明の概要】

本発明の目的は、自動車などの車両の足回り部材における、異種金属間の連結構造の強度　及び　電蝕対策に関するものである。

具体的な本発明の構成を、以下に説明する。まずボールジョイントには、円柱形状の連結部の外周面全周にわたってボルト溝27を形成する。アクスルハウジング側は、ボールジョイントの円柱部を挿入するための円柱内形の連結穴32と、連結穴と交差する向きであって連結穴と連通して形成されるピンチボルト用のボルト孔35と、ボルト孔を分断するとともに前記連結穴に割りを入れるように形成される部材スリット34が形成される。

さらに、円柱外形の連結部の外周面に被せられる、円筒形状のカラー51を追加する。本カラーはボルト逃げ孔54を有しており、ボールジョイントとアクスルハウジングとは、円筒形状のカラーが被せられた状態で、連結穴内に配置され、ボルト孔に挿入されるピンチボルト41によって、アクスルハウジングとカラーとボールジョイントを連結する。

またカラーは、ボールジョイントの連結部と同種の金属材料で形成され、アクスルハウジングと接触する外周面には、電蝕対策処理を施すものとする。

この連結構造によって、ボールジョイントを直接アクスルハウジングに取り付ける場合に対し、中間にカラーを設ける事により、アクスルハウジングに対して局所的に力が作用して、その局所的に力が作用する部分が変形してしまうことを、効果的に抑制できる。

さらに、カラーのアクスルハウジングとの接触面に、電蝕対策処理を設ける事によって、本結合構造における電蝕対策を行う事が可能となる。

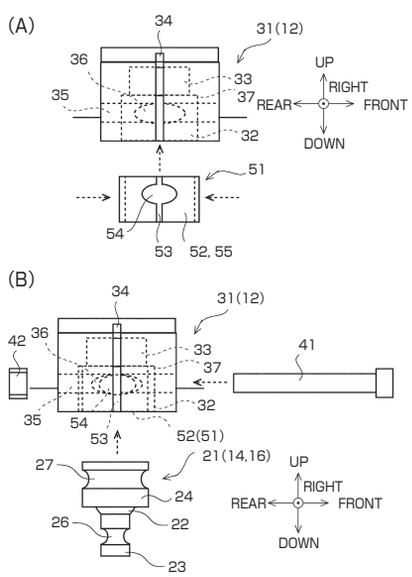


図　アクスルハウジングとボールジョイント部材との連結方法の説明図

車両用シート

【出願】特許第5989884号
【発明者】長沢　勇

【発明の背景】

自動車等の車両用シートにおいて、シートバック内に配設したエアバッグの膨張展開により衝突時の衝撃から着座者を保護するエアバッグシステムが知られている。

しかし従来案では、後席着座者の前席へのシートバック後方からの衝突による衝撃を防止出来ない構造であったり、衝撃を防止出来たとしてもシートバッグの構造が複雑化するという課題があった。

【発明の概要】

本発明の目的は、構成の複雑化を伴うことなく、衝突時におけるエアバッグでの着座者の直接の保護及びシートバック後方からの衝撃の的確な軽減を可能とする車両用シートを提供することにある。

本発明の具体的構成を、以下に説明する。自動車用シートにおいて、シートバック内部にシートバックフレーム24とエアバッグ30とを備え、エアバッグ30をシートバック内部で膨張展開可能とする。さらにシートバック内部にエアバッグが膨張展開する際の反力を受ける反力受け部材27を有し、その反力受け部材は、前記シートバックフレーム24間にそれぞれ架設された架設弾性部材およびランバーサポートである。エアバッグは反力受け部材とシートバック背面43との間に設けられ、ランバーサポートは、シートバックの横断面視で車体前方から車体後方側に凸となる撓み変形可能に、且つシートバックの横断面視で車体後方から車体前方側に凸となる撓み変形不能に構成されている。

この構造により、シートバック内でのエアバックの膨張展開が、着座者の上体を弾性的に支持し、且つシートバック背面に付与される衝撃力を弾性的に受け止めるように行われる。

また、エアバッグは着座者上体の直後に位置するシートバック内でそのシートバックの内部形状にある程度拘束されて安定的に膨張展開する。このエアバッグの膨張展開の方向を反力受け部材の配置によりコントロールすることで、衝突による着座者の上体の後方移動によりその上体がシートバック前面に押し当てられる衝撃及び後方からのシートバック背面に付与される衝撃が的確に軽減される。

また、架設弾性支持部材およびランバーサポートを反力受け部材として、衝撃の入力方向であるシートバックの前後方向にエアバッグを膨張展開させることができるので、シートバックの前後方向から入力される衝撃を効果的に吸収することが可能となる。

さらに、架設弾性支持部材およびランバーサポートを反力受け部材として積極的にシートバック背面方向にエアバッグを膨張展開させることができるので、シートバック後方から入力される衝撃をより効果的に吸収することができる。

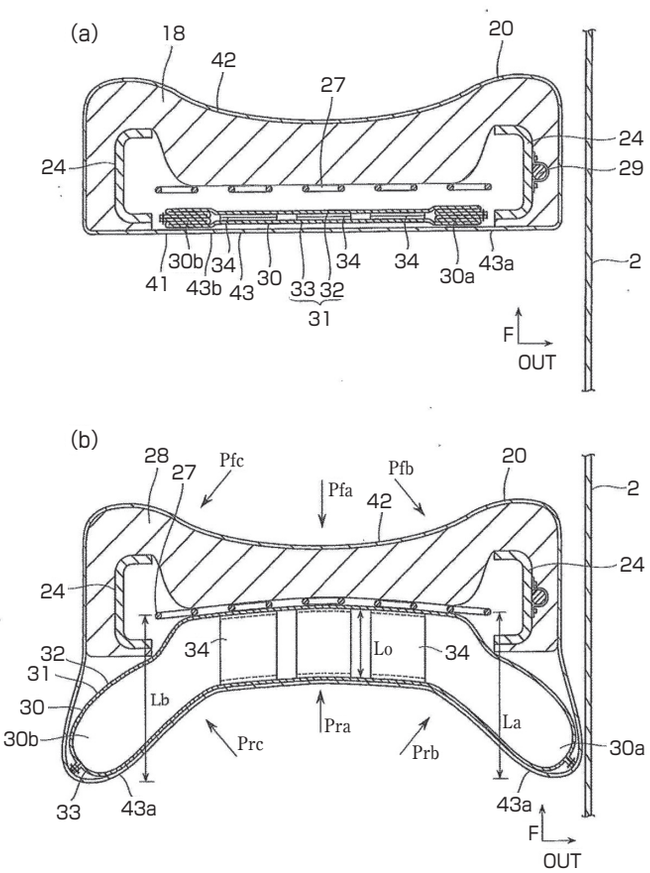


図　実施の形態における車両用シートの断面図

ヘム部加工体及びヘム部加工方法

【出願】特許第5875652号
【発明者】稲見　顕子、中村　計二、坂井　健輔、
坂本　　登

【発明の背景】

近年、車両軽量化のために、従来の金属板に代えて合成樹脂製の板状部材を用いることが検討されている。例えば、ヘム部を形成するアウタパネル及びインナパネルの一方に熱可塑性樹脂を用い、他方に金属材料を用いる場合などである。しかし、金属と樹脂とでは物性が大きく異なるので、従来のヘム部加工体及び加工方法では強固に保持されたヘム部を得られない可能性がある。このため、ヘム部に関して新規の加工体及び加工方法等が求められていた。

【発明の概要】

本発明の目的は、金属板と合成樹脂板とを用いてヘム部を形成する場合に、板材の位置を固定するための保持力が高いヘム部加工体及びヘム部加工方法を提供することである。

本発明でのヘム部加工体及びヘム部加工方法の例を以下に2つ示す。

図(A)に示すヘム部加工体1は、溶接等の従来の固定方法に因ることなく、内側折曲部22、外側折曲部31、折れ部33、及び折曲部34等を形成することによって、第1部材2の端部21が第2部材3の折曲部34の内側に包み込まれるように挟まれ、第2部材3の端部32が第1部材2の内側折曲部22に包み込まれるように挟まれて、さらに第2部材3の折れ部33が第1部材2の脆弱部23に食い込むようにして挟まれている。これにより、第1部材2及び第2部材3が相互に巻き込まれ合った状態となるので、樹脂製の第1部材2と金属製の第2部材3とが相互の位置を固定するための保持力が良好となる。

図(B)に示す第2部材300は、上記第2部材3よりも短く形成されている。つまり、図(B)に示すように、第1部材2の端部21を内側に包むように折曲される第2部材300の折曲部304から端部302までの延在距離が、第2部材3よりも短い。このため、ヘム部加工体11は上記折れ部33のような脆弱部23に挟み込まれる部位を有していない。この場合であっても、第1部材2の端部21が第2部材300の折曲部304の内側に包み込まれるように挟まれ、第2部材300の端部302が第1部材2の内側折曲部22に包み込まれるように挟まれている。このように、第1部材2及び第2部材300が相互に巻き込まれ合った状態となるので、第1部材2と第2部材300とが相互の位置を固定するための保持力が良好となる。

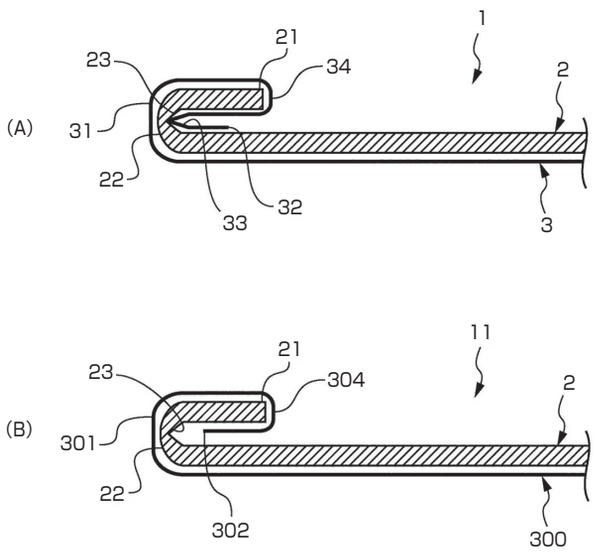


図　ヘム部加工体の一実施形態を示す概略図

供試体及び電流測定方法

【出願】特許第5878963号
【発明者】川島　愛、藤田　博康、関根　尚之

【発明の背景】

本発明は、導電性の繊維を含む複合材料中に流れる電流を測定するための供試体およびその電流測定方法に関するものである。

近年、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）などの複合材料の構造体への適用拡大が進んでいる。一方、複合材料は炭素繊維等の導電性繊維を含むため、漏電や落雷などが生じた際、構造体の設計上意図しない電流径路となり得る。例えば、航空機では、雷撃によるスパーク発生に起因する燃料引火などの可能性があるため、雷撃時における機体中の電流分布を明らかにすることが重要である。

しかし、CFRPのような導電性の繊維を含む複合材料は、電気的に導体である炭素繊維と絶縁体である樹脂とで構成されているので繊維配列方向の影響を受け易く、金属材料に比べて電流経路が複雑となる。このため、複合材料中に流れる電流をより正確に測定する技術が必要となる。

【発明の概要】

本発明の目的は、積層型複合材料の各層に流れる電流を測定することができる供試体及びその電流測定方法を提供する事である。

具体的には、導電性の繊維を含む複数の複合材料の各層を複数枚積層する際に、各層間に一方の端部から中央側にかけて離型フィルムLi（L1・L2・・・）を介在させ、複数の各層を積層した状態で加圧、加熱を行なって複合材料を成型する。複合材料の離型フィルムを介在させた側の各層の端部表面に、測定電流を流すための個別導電線Wi（W1・W2・・・）を接続し、複合材料の離型フィルムを介在させた側と反対側の端部の最上層または最下層の表面に、測定電流を流すための共通導電線Wcを接続し、共通導電線と個別導電線との間に電流を流して、各層の電流を電流計14で順次または同時に測定出来るようにしたものである。

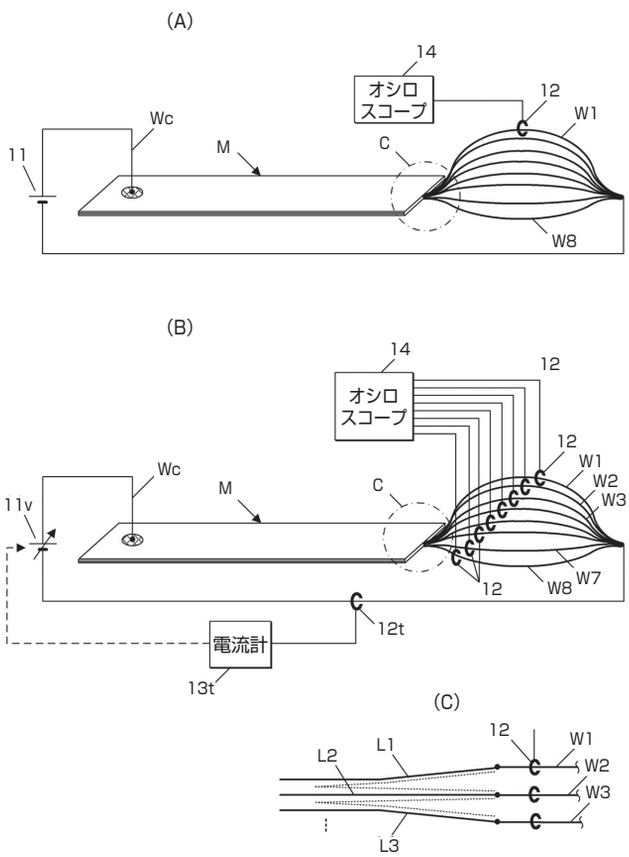


図　供試体の各CFRP層に流れる電流の測定方法の例

バッテリ電圧の制御装置及びバッテリ電圧の制御方法

【出願】特許第5923126号
【発明者】森田　知洋

【発明の背景】

EV・HEV等にて使用するモータの電気駆動システムにおいて、バッテリの電圧に昇圧コンバータを用いる昇圧制御を行った場合、昇圧を開始した後目標とする昇圧電圧に到達するまでに遅延が発生してしまう。このため、車両発進時に急にコンバータを昇圧制御したとしても、コンバータの応答遅れにより即座に最大出力を得ることができず、加速にもたつき感が生じ、発進加速性能が劣化するという問題がある。

さらに、昇圧電圧が高いほど昇圧コンバータにおいては損失が増加する。このため、車両の走行状態から停止する場合、急にコンバータをオフにしても、直ちにコンバータを停止することができず、昇圧コンバータによる損失の低減が遅れるという問題がある。

【発明の概要】

本発明の目的は、車両の発進又は停止を含む運転状態を予知してバッテリの昇圧を制御することで、ドライバビリティを向上するとともに損失を最小限に抑えることが可能な、新規かつ改良されたバッテリ電圧の制御装置及びバッテリ電圧の制御方法を提供することである。

具体的な構造を、図によって説明する。本構造のシステム1000では、車両発進時に、ステレオカメラ100を含む画像処理システムにより自車両の停車状態から発進の予兆を検出する。発進の予兆としては、前方の交通信号機の色が赤から青へ変わったこと、先行車のブレーキランプが点灯から消灯へ変わったこと、先行車が停車状態から発進したこと、等が挙げられる。この画像処理システムにより、発進の予兆を検出する。そして、発進の予兆を認識すると、ドライバーによるアクセルの踏み込みよりも前に昇圧コンバータ600を駆動してインバータ700の電圧を上昇させることで、ドライバーのアクセルオンに対し即座に最大出力を出すことが可能になる。

また、車両減速停車時には、画像処理システムにより、自車両が走行状態から停車する予兆を検出する。停車の予兆としては、前方の交通信号機の色が青から赤へ変わったこと、先行車との車間距離が小さくなったこと、等が挙げられる。システム1000は、画像処理システムによりこれらを認識することで、停車の予兆を検出する。そして、停車の予兆を認識すると、その後にドライバーから大出力を要求されることは無いため、昇圧コンバータ600を停止することで,昇圧コンバータ600による損失を抑制する事が可能となる。

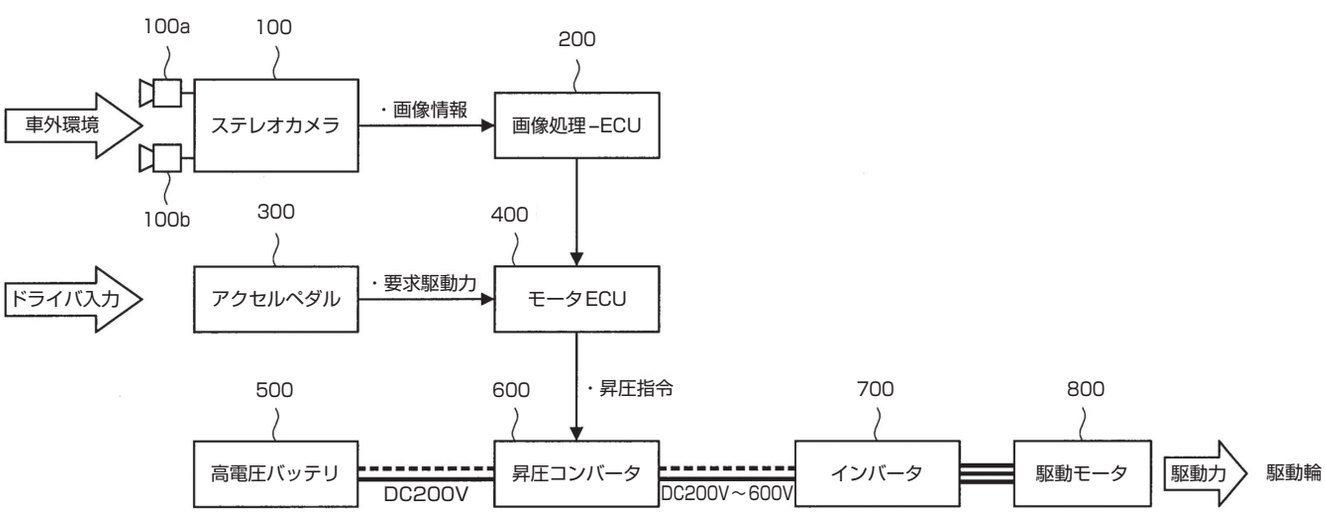


図　本発明の一実施形態に係るシステムを示す模式図

シフト制御装置

【出願】特許第6006425号
【発明者】木下　貴博

【発明の背景】

運転者が選択したシフトレンジをスイッチ等によって検出し、その検出結果に基づいて電動モータ等のアクチュエータを駆動することにより、自動変速機のシフトレンジを電気的に切り替える、シフトバイワイヤ機構を備えた自動変速機が実用化されている。

しかし、シフトバイワイヤ機構では、例えば、勾配が急な路面上に車両が停車しているときに、エンジンが停止しているキーオン状態でパーキングレンジが他のシフトレンジに切り替えられることが発生すると、運転者が意図していないにもかかわらず、路面の勾配によって車両が動き出すおそれがあった。

【発明の概要】

本発明の目的は、シフトバイワイヤ機構を備える自動変速機のシフト制御装置において、例えばエンジン等のパワーユニットが駆動力を出せないときに、車両が意図せず動き出すことを防止することが可能なシフト制御装置を提供することである。

具体的構造としては、自動変速機のシフトレンジが駐車レンジから、駐車レンジ以外のシフトレンジが選択された場合(S100)で、パワーユニットが駆動力を出力できない状態であると判定され、かつ、路面の勾配が所定のしきい値以上の場合(S102でYes)には、切替制御手段が、自動変速機のシフトレンジを切り替えることなく駐車レンジを保持する(S106)ことを特徴とする。この事により、パワーユニットが駆動力を出せないときに、路面の勾配により車両が意図せず動き出すことを防止することが可能となる。

また、自動変速機のシフトレンジが駐車レンジから、駐車レンジ以外のシフトレンジが選択された場合(S100)で、パワーユニットが駆動力を出力可能な状態であると判定された場合、又は、路面勾配が上記所定のしきい値未満の場合(S102でNo)には、切替制御手段が、選択情報に基づいて、自動変速機のシフトレンジを切り替える(S104)ものである。この場合、パワーユニットが駆動力を出力できるとき(例えばエンジンが稼働しているとき)、又は路面勾配が所定のしきい値未満のとき(勾配がゼロか又は緩やかなとき)には、運転者の操作に従って自動変速機のシフトレンジが切り替えられる。すなわち、車両が運転者の意図しない動きをすることがないとき、又は車両が動き出しても対処可能な状態であると判断されるときには、運転者の要求に従ってシフトレンジを切り替えることができる。

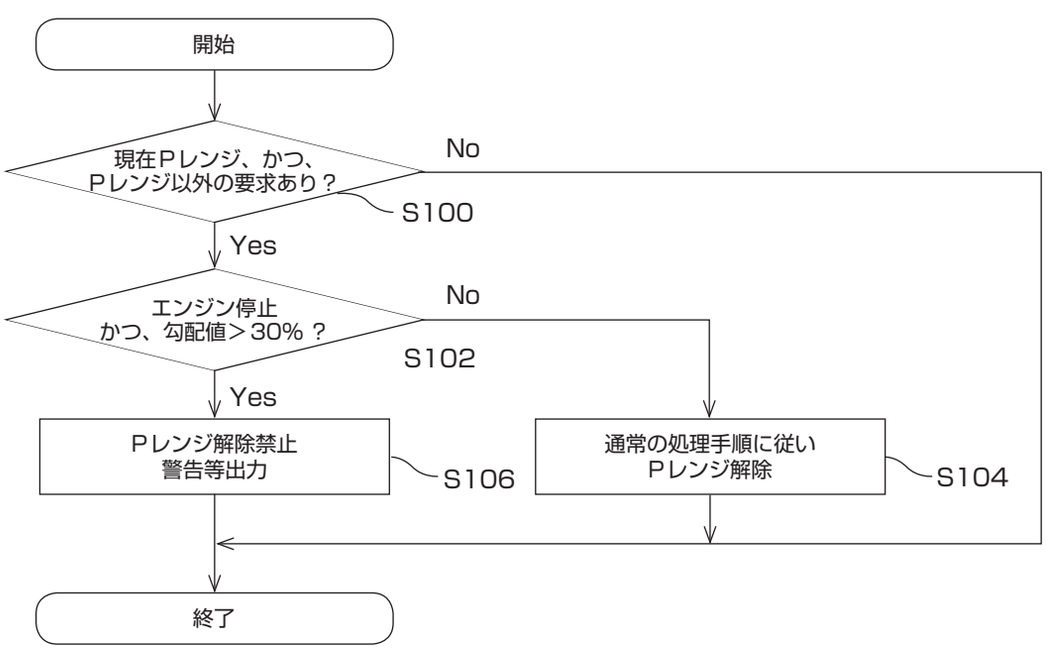


図　実施形態に係るシフト制御装置によるシフトレンジ切替処理の処理手順を示すフローチャート

車両の制御装置及び車両の制御方法

【出願】特許第5883490号
【発明者】家永　寛史

【発明の背景】

自動車の各車輪を独立して駆動するシステムにおいて、ある車輪がスリップした場合にそのスリップを防止する制御が提案されている。しかし、従来案ではトルクの配分方法によって配分後のモータトルクに振動が発生しドライバビリティが悪化する問題が発生したり、トルク移動量に上限値を設けざるをえず、確実なスリップ抑制が難しい場合があった。

【発明の概要】

本発明の目的は、各車輪を独立して駆動するシステムにおいて、各車輪のスリップの発生を抑えるとともに、モータやタイヤの振動を抑えてドライバビリティを向上させることが可能な、新規かつ改良された車両の制御装置及び車両の制御方法を提供することにある。

具体的には、前後左右の車輪を独立に駆動する複数のモータを持つ車両において、各車輪の回転数を車輪速センサにより検出し、車輪速センサが検出した各車輪の回転数のうち最も低い回転数を基準回転数とする。次に、各車輪に対応するモータの回転数をセンサにより検出し、前記基準回転数とモータの回転数を比較して、各車輪のスリップを判定する。スリップ判定の結果に基づいて、スリップしているスリップ車輪の回転数が目標回転数と一致するようにトルクダウンして、スリップ輪を駆動するモータの要求トルクを算出する。その上で、要求トルクの算出の結果から得られるスリップ車輪のトルクダウン量を、スリップしていない非スリップ車輪へ再配分する事を特徴とするものである。

このように、各輪のモータの回転数を独立して制御・拘束することで、トルクで制御する場合と比較してモータの振動を確実に抑えることができ、制御の応答性、安定性を高めることができる。また、回転数制御と独立してトルクの再配分制御を行い、トルクの再配分制御を回転数制御の上位に配置したことで、回転数制御を働かせた状態でトルクの再配分制御を行うことができ、モータの振動を抑えた状態でトルク配分を確実に行うことができる。

また、トルク再配分結果を回転数制御への要求トルクとすることで、再配分によるスリップや振動を回転数制御により抑制することができるため、トルク上限を設けることなくトルクの再配分を行うことが可能となり、駆動力低下を確実に抑えることができる。従って、差動制限機能に制限をかけることなくドライバビリティを向上させることができ、またトルク上限を設けない場合であってもドライバビリティを向上させることができる。

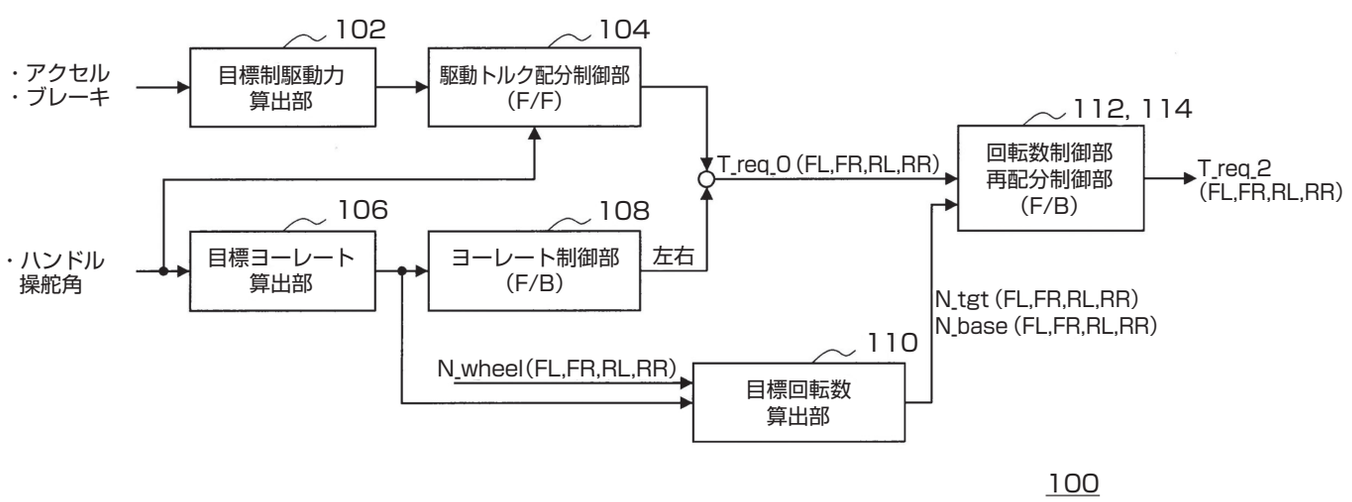


図　本実施形態に係る車両制御装置の全体構成を示す模式図

社外発表一覧表（2016.1 ～ 2016.12）

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
2016.1	Analysis of Decreasing Traffic Accidents With A Driving Support System	柴田　英司	車両研究実験第4部
2016.2	自動車産業の未来2016 最新技術研究講座 「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
2016.2	第22回 エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術 シンポジウム 「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
2016.2	ASRC-AFRL　Composite Workshop（Japan） “Lightning Protection Technology of FHI”	○西 孝裕樹 佐藤　保宜 津端　裕之 永井　祐一	航空宇宙カンパニー システム設計部
2016.3	電気学会東海支部研究フォーラム 「『電力システムに対する雷・自然災害と環境問題に関する研究』航空機における雷対策」	西　孝裕樹	航空宇宙カンパニー システム設計部
2016.3	平成28年電気学会全国大会 「静電容量型放電発光のJPEG画像と放電エネルギーの関係に関する基礎検討」	○阿部 凌太[*1] 淵崎　貴之[*1] 白石　智也[*1] 大塚　信也[*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
2016.3	第11回日本感性工学会春季大会 「操舵動作解析による自動車の操縦快適感評価手法に関する検討」	石浦　宏樹[*1] 上條　正義[*1] 吉田　宏昭[*1] 鳥居　武史[*2] 澄川　瑠一[*2] 佐藤 能英瑠[*2]	＊1 信州大学 ＊2 スバル技術研究所
2016.3	文部科学省「HPCI戦略プログラム」第6回 分野4 次世代ものづくりシンポジウム（最終成果報告会） 「車両運動性能向上を目指した非定常空力シミュレーション」	小林　竜也	車両研究実験第3部
2016.4	自動車技術会2016年春季大会 「単気筒エンジンの改良による開発プロセスの課題対応」	山口　　暁	環境対応PGM
2016.5	自動車技術会 2016年春季大会 「車両構造部材へのCFRP適用研究」	○向中野 侑哉 飯野　準也 下山　　浩	スバル技術研究所
2016.5	自動車技術会2016年春季学術講演会 「滑らかな作動フィーリングを実現する配光可変型前照灯の開発（第1報）」	小川　原也[*1] 村松　悠太[*2] 友枝　　優[*3]	＊1 車両研究実験第4部 ＊2 外装設計部 ＊3 車両研究実験第2部
2016.5	自動車技術会2016年春季大会学術講演会 「シャシ板金溶接部品の耐食性＆疲労強度向上技術の開発」	中澤　嗣夫	材料研究部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2016.5	自動車技術会2016年春季学術講演会 「滑らかな作動フィーリングを実現する配光可変型前照灯の開発（第2報）」	村松　悠太[*1] 浅野　憲昭[*1] 小川　原也[*2] 友枝　　優[*3] 山本　照亮[*4]	＊1 外装設計部 ＊2 車両研究実験第4部 ＊3 車両研究実験第2部 ＊4 株式会社小糸製作所
2016.5	自動車技術会 春季大会 2016 「運転支援システムによる交通事故低減効果の分析」	熊谷　　光	車両研究実験第4部
2016.5	ATCx 2016 パワートレインソリューション 「水平対向エンジンの強度剛性解析及び効率化の取り組み」	新井　孝英 小野　　敏	CAE部
2016.6	STAR Japanese Conference 2016 「水平対向エンジン吸気ポートへの多目的最適化計算」	齊藤　操希	CAE部
2016.6	ECCM17- 17th European Conference on Composite Materials（Germany） “Electric Current Distribution between a Pair of Electrodes on Opposite Surfaces of CFRP Laminates”	○山根 拓也[*1] 轟　　章[*1] 水谷　義弘[*1] 鈴木　良郎[*1] 西　孝裕樹[*2] 関根　尚之[*3] 川島　　愛[*4]	＊1 東京工業大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部 ＊3 航空宇宙カンパニー 研究部 ＊4 航空宇宙カンパニー 新多用途ヘリコプター設計部
2016.6	Eccomas（欧州計算工学会） “Modeling of Fiber-Reinforced Plastics Taking into Account the Manufacturing Process”	C.A.Reclusado[*1] 長澤　澄人[*2]	＊1 Fraunhofer ＊2 CAE部
2016.6	34th AIAA Applied Aerodynamics Conference（US） “Dynamic Mode Decomposition of Flow around a Full-Scale Road Vehicle using Unsteady CFD”	池田　　隼[*1] 松本　大樹[*1] 坪倉　　誠[*2] 内田　匡則[*3] 長谷川　巧[*3] 小林　竜也[*3]	＊1 北海道大学 ＊2 神戸大学 ＊3 車両研究実験第3部
2016.6	VDI Wissensforum Drivetrain for Vehicles（Germany） “SUBARU CVT toward 2020 ”	江里口　磨	スバル第2技術本部
2016.6	VDI Wissens forum Drivetrain for Vehicles（Germany） “Enhanced performance of next generation LINEARTRONIC® ”	小栗　昌己	トランスミッション設計部
2016.7	長野県テクノ財団 浅間テクノポリス地域センター 「スバルの総合安全の取組と今後の先進安全」	佐瀬　秀幸	技術開発部
2016.8	デジタルビジネス研究会（第4回） クローズド・ミーティングとして開催	樋渡　　穣	車両研究実験第4部
2016.9	SAE AE2 Lightning Committee（U.S.A.） “ARP5416 Ignition Detection Test Method Revision Round-Robin Test Program Voltage Spark Digital Photo”	○西 孝裕樹[*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
2016.9	電気学会　基礎・材料・共通部門大会 「CFRP供試体への大気中雷撃試験で発生するスパーク発光の分光特性に大気成分が及ぼす影響」	○阿部 凌太[*1] 白石　智也[*1] 大塚　信也[*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
2016.9	電気学会　電力・エネルギー部門大会 「三角柱セルを適用したFDTD法による多層CFRPパネルの雷電流分布解析」	○中川 真希[*1] 梅田　晃央[*1] 馬場　吉弘[*1] 長岡　直人[*1] 津端　裕之[*2] 西　孝裕樹[*2] 藤澤　　浩[*2]	＊1 同志社大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2016.9	電気学会 基礎・材料・共通部門大会 「間接雷試験におけるファスナ付きCFRP複合材のスパーク発生方向に関する基礎検討」	○白石 智也[*1] 阿部　凌太[*1] 大塚　信也[*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
2016.9	Prometech Simulation Conference 2016 「CVTフロントデフのオイル挙動解析とブリーザ性能向上」	河野　正敏	CAE部
2016.9	一般社団法人 溶接学会　平成28年度秋季全国大会 「スポット溶接適用拡大化」	坂井　健輔	第1生産技術部
2016.9	歯車技術研究会　第60回 歯車技術研究会 「スバルの歯車技術変遷」	竹内　良彦	第3生産技術部
2016.10	LS-DYNA Forum 2016 “Modeling of Fiber-Reinforced Plastics Taking into Account the Manufacturing Process”	C.A.Reclusado[*1] 長澤　澄人[*2]	＊1 Fraunhofer ＊2 CAE部
2016.10	自動車技術会　2016年秋季大会 「プラネタリギヤノイズ予測手法の開発」 学術講演会優秀発表賞	○青木 寛子[*1] 三好　慶和[*2] 小川　雅人[*3] 新谷　啓行[*4] 三石　人生[*4]	＊1 パワーユニット研究実験第3部 ＊2 CAE部 ＊3 トランスミッション設計部 ＊4 株式会社エステック
2016.10	電気設備学会 中部支部 通信設備及び鉄道と航空機の雷保護技術 「航空機の雷被害対策」	西　孝裕樹	航空宇宙カンパニー システム設計部
2016.10	ATCx 最適化ソリューションセミナー 「トランスミッションへの最適化解析適用事例の紹介」	原　　淳史	CAE部
2016.10	2016年自技会秋季大会 「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	CAE部
2016.10	次世代自動車フォーラム2016 「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
2016.10	航空宇宙学会 第54回飛行機シンポジウム 「落雷時の複合材構造のスパーク発生特性」	○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

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2016.10	航空宇宙学会 第54回飛行機シンポジウム 「複合材航空機雷撃時のスパーク現象の検出評価技術とスパーク検知に関する動向」	○大塚 信也[*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
2016.10	第54回　飛行機シンポジウム 「小型超音速旅客機のCFDを援用したスピレージ抵抗計測」	上野　篤史[*1] 牧野　好和[*1] 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
2016.10	（社）自動車技術会秋季学術講演会 「操舵動作時の筋活動と動作解析による操縦快適感評価手法の研究」	澄川　瑠一[*1] 鳥居　武史[*1] 佐藤 能英瑠[*1] 石浦　宏樹[*2] 上條　正義[*2] 吉田　宏昭[*2]	＊1 スバル技術研究所 ＊2 信州大学
2016.10	自動車技術会2016年秋季大会 “Reaction to Critical Situations during Automated Driving in Different Driving Positions”	○Tetsushi Ikeda[*1] Akira Utsumi[*1] Nao Kawanishi[*1] Isamu Nagasawa[*2] Takahiko Shiokawa[*2] Kyouhei Uchikata [*2] Norihiro Hagita[*1]	＊1 ATR ＊2 2nd Vehicle Research & Experiment DEPT.
2016.11	第54回飛行機シンポジウム 「中央翼自走式多頭自動穿孔機の開発」	平井　久之	航空宇宙カンパニー 生産技術部
2016.11	自動車技術会　動力伝達系の最新技術 2016 「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
2016.11	CAE POWER 2016 「DAFULを活用したチェーンCVTの挙動 把握と起振力低減検討」	蓬田　嘉之 青木　寛子	CAE部
2016.11	Prometech Techno Forum 2016 in NAGOYA 「CVTフロントデフのオイル挙動解析とブリーザ性能向上」	河野　正敏	CAE部
2016.11	LS-DYNA&JSTAMP フォーラム 2016 「衝突性能のロバスト設計事例紹介 ～ DIFFCRASHを用いた前面衝突性能のばらつき改善～」	桒原　光政	CAE部
2016.11	CarSim/TruckSim/BikeSim/SuspensionSim User Conference 2016 「CarSimの車両運動性能開発への適用について」	橋爪　和哉	CAE部
2016.11	型技術ワークショップ ダブルブランク対策による生産性向上	三上　聡巳	第1生産技術部
2016.11	第28回 日本国際工作機械見本市 工作機械トップセミナー 「スバルのクルマ造りを支える工作機械と進化する技術への期待」	柿沼　邦幸	第3生産技術部
2016.12	埼玉ビジネスマッチング　埼玉県産業振興公社 「スバルの総合安全の取組と今後の先進安全」	佐瀬 秀幸	技術開発部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2016.12	理系学生のための就職準備講座	樋渡　　穣	車両研究実験第4部
2016.12	日本人間工学会関東支部第46回大会 「自動車運転時の実験データの解析 －車両データに適した手法の提案－」	土橋　央輝*1 菅原　滉平*1 河合　隆史*1 三家　礼子*1 鳥居　武史*2	＊1 早稲田大学 ＊2 スバル技術研究所
2016.12	自動車技術会 2016年秋季大会 学術講演 「自動車用接着剤の劣化挙動研究」	清水　誠吾	材料研究部
2016.12	デジタルプロセス株式会社 主催 機械設計の3次元化及び活用事例セミナー 「製造設備設計の3D化について」	鈴木 耕太朗	工機部

2. 寄　稿

発表時期	寄　稿　先 「発表タイトル」	著　　者	所　　属
2016.1	自動車技術会論文集 Vol.47, No.1 「歯車箱によるハイポイドギヤ振動と放射音の基礎研究」	渡辺　　健 白木 啓一郎 斎木　康平	CAE部
2016.4	(株)技術情報協会 「ドライバ状態の検出、推定技術と自動運転、運転支援システムの応用：運転車の状態検知と周囲への提示による運転状態の見える化」	内海　　章*1 多田　昌祐*2 松尾　典義*3 鳥居　武史*4 志堂寺 和則*5	＊1 国際電気通信基礎技術研究所 ＊2 近畿大学 ＊3 車両研究実験第2部 ＊4 スバル技術研究所 ＊5 九州大学
2016.5	日本航空宇宙学会誌 第64巻 第5号 「D-SEND#2 機体システムの開発」	冨田　博史*1 本田　雅久*1 佐々木　豊*2 奈良橋 俊之*2 山崎　哲夫*3	＊1 宇宙航空研究開発機構 ＊2 航空宇宙カンパニー 航空機設計部 ＊3 航空宇宙カンパニー 研究部
2016.5	自動車技術会　2016年春季大会 「浮動ライナー法によるピストン摩擦力計測法に関する研究」	岩澤　良太*1 田畑　秀規*2 三原　雄司*3 岩崎　秀之*3 村上　元一*4 石川　泰裕*5 須田　尚幸*6 荻原　秀実*7	＊1 パワーユニット研究実験第2部 ＊2 東京都市大学工学部 ＊3 東京都市大学 ＊4 トヨタ自動車株式会社 ＊5 株式会社いすゞ中央研究所 ＊6 スズキ株式会社 ＊7 株式会社本田技術研究所
2016.05	車椅子シーティング研究1巻 「自動車シートの座り心地に影響を及ぼす要因に関する質的研究」	亀ヶ谷 忠彦*1 吉高　　滋*2 長澤　　勇*2 長野　　永*2	＊1 群馬大学 ＊2 車両研究実験第2部

発表時期	寄　稿　先 「発表タイトル」	著　　者	所　　属
2016.6	Eccomas（欧州計算工学会） “Modeling of Fiber-Reinforced Plastics Taking into Account the Manufacturing Process”	C.A.Reclusado*1 長澤　澄人*2	*1 Fraunhofer *2 CAE部
2016.7	日本航空宇宙学会誌 第64巻 第7号 「D-SEND#2 誘導制御系開発の概要」	二宮 哲次郎*1 鈴木　広一*1 川口 純一郎*1 冨田　博史*1 佐藤　維大*2 板橋　直亮*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
2016.8	IEEE TEMC Vol. 58 No.5 “FDTD Simulation of Lightning Current in a CFRP Panel：Comparison of the Use of Conductivity Matrix Approach With That of Triangular Prism Cells”	中川　真希*1 馬場　吉弘*1 津端　裕之*2 西　孝裕樹*2 藤澤　　浩*2	*1 同志社大学 *2 航空宇宙カンパニーシステム設計部
2016.9	日本航空宇宙学会誌 第64巻 第9号 「D-SEND#2 構造設計・評価」	高戸谷　健*1 平野　義鎮*1 矢野　克彦*2 秋葉 公三郎*3	*1 宇宙航空研究開発機構 *2 航空宇宙カンパニー航空機設計部 *3 航空宇宙カンパニー研究部
2016.10	自動車技術会 2016年秋季大会 「浮動ライナー法によるピストン摩擦力の計測精度向上に関する研究（第1報）」	岩澤　良太*1 田畑　秀規*2 三原　雄司*3 岩崎　秀之*3 村上　元一*4 石川　泰裕*5 須田　尚幸*6 荻原　秀実*7	*1 パワーユニット研究実験第2部 *2 東京都市大学工学部 *3 東京都市大学 *4 トヨタ自動車株式会社 *5 株式会社いすゞ中央研究所 *6 スズキ株式会社 *7 株式会社本田技術研究所
2016.10	自動車技術会2016秋季大会 「2輪フラットベルト式台上試験装置によるサスペンション過渡応答の計測」	峯　　隆馬*1 木戸　一希*2	*1 技術開発部 *2（株）エー・アンド・デイ
2016.11	Material Stage 11月号 「車室内のディスプレィ導入で想定される新たな課題」	松尾　典義	車両研究実験第2部
2016.12	自動車技術 Vol.70, No.12, 2016 「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*1 日向　俊行*2 直井　利之*3	*1 CAE部 *2 技術開発部 *3 車両研究実験第1部
2016.12	産報出版（株） 月刊「溶接技術」 「既存技術を磨いて使いこなす抵抗スポット溶接適用拡大化」	坂井　健輔	第1生産技術部

（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

編 集 後 記

株式会社SUBARUとなり、初めてのスバル技報です。モノをつくる会社から、笑顔をつくる会社となりました。突然、笑顔に飛躍した訳でなく、今までの「安心と愉しさ」をお届けする活動の延長にあります。日本カー・オブ・ザ・イヤーを受賞した新型インプレッサの紹介では、お客様を意識し質を高めたモノづくりを読み取っていただけると幸いです。

新型レヴォーグの紹介では自動運転に向けたアイサイトの進化も紹介しております。何かにつけ“自動運転”という言葉だけに期待と注目が集まりがちですが、スバルにとって自動運転技術は、安心で愉しく笑顔をつくるものであること文字に秘め紹介しております。

その他、デザイン、予防安全、生産技術、航空宇宙、産業機器など各分野の紹介、研究報告が出揃っております。決して派手ではありませんが、どれも愚直にお客様価値を意識した富士重工業からの取組みを感じていただけるものと思います。

最後に、本号の発刊にあたり、執筆にご協力いただきました皆様、編集にご尽力いただきました関係各位に深く御礼を申し上げるとともに、スバルの語源「統(ス)ばる＝まとまる」のように、各分野・部門からの笑顔をつくる技術を集め、技報が輝き続けることを願って結びとさせていただきます。　(碓井)

スバル技報編集委員会構成表

委員長	佐瀬　秀幸	技術開発部
委　員	藤枝 健一郎	商品企画本部
	大関　　透	デザイン部
	佐瀬　秀幸	技術開発部(委員長兼務)
	坂崎　明彦	技術管理部付
	塚田　剛久	車体設計部
	山村　英人	外装設計部
	小林　秀樹	CAE部
	宇津木 芳明	シャシー設計部
	北原　　昇	内装設計部
	石田　　卓	電子商品設計部
	室伏　　徹	電子プラットフォーム設計部
	碓井　茂夫	先進安全設計部
	阿久澤 光弘	材料研究部
	塚崎 裕一郎	車両研究実験第1部
	調所　弘和	車両研究実験第2部
	冨士　　啓	車両研究実験第3部
	手塚　俊介	車両研究実験第4部
	高橋　　泰	試作部
	渡邉　泰啓	生産技術管理部
	早川　　健	エンジン設計部
委　員	高橋　　裕	トランスミッション設計部
	金子　　誠	技術本部 PGM
	塩崎　竜二	パワーユニット研究実験第2部
	山本　光夫	パワーユニット研究実験第3部
	飯島　　真	電子技術部(東京)
	大抜 由起夫	電動ユニット設計部
	天笠　義則	技術研究所
	村田　　巖	航空宇宙カンパニー 技術開発センター
	京兼　靖明	産業機器本部 技術部
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

スバル技報第44号(非売品)

発　　行　平成29年6月
発行兼編集人　スバル技報編集委員会
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
©2017 SUBARU CORPORATION
禁無断転載

SUBARU