2022 No.49

SUBARU技報

SUBARU TECHNICAL REVIEW

SUBARU

CROSSTREK

SOLTERRA

デザイン部　田中ひろ

表紙デザイン

SUBARUはお客様と共に過ごしてこそ輝く。そんなメッセージを込めてデザインしました。大地を走り自然を、地球を愉しむCrosstrek（クロストレック）とSolterra（ソルテラ）。一緒にアクティブに出かけられる相棒であり、FUNな気持ちにさせれくれます。皆様にSUBARUのある、笑顔な生活を想像していただけるよう考えました。

SUBARU TECHNICAL REVIEW

2022 No.49

巻頭言

技魂商才

常務執行役員　阿　部　一　博

新型コロナウィルス感染拡大以降、様々な困難が日常的に発生する中、お取引先様、開発・製造・調達、そして営業・販売特約店の皆様による事業継続への努力に対し、心より感謝を申し上げたい。そして、同時にSUBARUチームの大きな底力を目の当たりにし、SUBARUの将来の成長を確信している。

我々SUBARUは、1958年に『スバル 360』を誕生させて以来、新たな技術への挑戦を続けてきたことは皆が知るところであるが、今から35年前、この挑戦の根底に流れている想いと意義について、深く議論がなされ、『SUBARU IDENTITY』としてまとめ上げられたことを知る人は少ないのではないか。ここで、本書を紐解き、改めてSUBARUの技術追求の意義について考えてみたい。

『SUBARU IDENTITY』の冒頭には、歴史を真摯に見つめ直し、しっかりと自ら立つべき所を見極めることを目的とすると書かれている。本書の中心であるSUBARU技術理念を、私なりに解釈すると、以下に要約できる。（興味ある方は、是非全文をお読み頂きたい）

◆「すべての技術は、人のために」を信条としたクルマづくりに挑戦し続けてきた結果、SUBARUならではの「先進性」「独創性」「良心性」、またそれらの一体となったものがSUBARUらしさとして受け止められている。

◆伝統を生かしつつも、明日の伝統は自らの手で創るという固い意志を持って、新しいSUBARUらしさを築いて行かねばならない。その核になる理念が「すべての技術は、人のために」である。

◆我々SUBARUは、持てる技術を誇るのではなく、「いかに人間に貢献できたか」を誇りたい。

ここで明言されている技術による人間への貢献追求こそ、『SUBARUの技術魂』と言えるのではないか。そして、『安心と愉しさ』を提供価値に、『笑顔をつくる会社』を実現しようとする今日のSUBARUへはっきりとつながっていることも同時に感じて頂けると思う。

SUBARUが追求する技術の意義について述べたが、SUBARUという企業が持続的に成長していくには十分と言えない。

日本の資本主義の父と称される渋沢栄一は、その著書『論語と算盤』において、『士魂商才』という言葉を残している。士魂とは武士道を指し、世の中を正しく生きる道徳心と言い変えると判り易い。社会にとって正しいだけでは生けてはいけず、小賢しく利益を求めるだけでも続くことは無い。企業の永続的成長には、士魂、即ち道徳心と、強かな商才の両方を併せ持つことが必要であると説いている。SOAが米国で進めている『Love Promise』は、社会貢献と強かなビジネススキームを併せ持つ、まさに『士魂商才』の具現化の一つと捉えられる。

技術の高さを誇るのではなく、人々の生活を豊かにできるかを誇る『SUBARUの技術魂』を遺憾なく発揮すると共に、社会とお客様のニーズ変化を確実に捉えた商品・サービスの創造力と競争力のある価格で収益の出る原価力を持つことで、SUBARUの持続的な成長につなげていく。即ち、SUBARUらしい『技魂商才』の実践である。

SUBARUらしい『技魂商才』の実践には、技術者の皆さんの深い『智』、やり遂げようとする強い『意』、そして人々の生活に寄り添い続ける優しい『情』が、最大の源であることを付け加え、巻頭言を閉じる。

目　　次

✦巻頭言

「技魂商才」――――――――――――――――――――阿部　一博

✦小特集「新型ソルテラ」

1. SUBARU SOLTERRA の紹介――――――――SUBARU SOLTERRA 開発プロジェクトチーム … 1

2. SOLTERRAのデザイン開発について ――――大関　　透・安藤　貴洋・高松　雄輝・
太田　尚文・渕野　優子 …… 22

3. SUBARU SOLTERRA 走破性能の紹介―――野田　哲夫・岸田　太一・佐藤　淳一・
石井 健太郎 …… 29

4. SUBARU SOLTERRA走行性能の紹介 ―――野田　哲夫・古瀬　智広・吉羽　秀彰・
岸田　太一・矢吹　直人・廣田　光一 …… 33

5. SOLTERRAの衝突安全性能 ――――――――岡村　純也・木村　　亮・松本　知大・
藤原　誠二・池田　　聡・黒田　　貴 …… 39

✦小特集「新型クロストレック／インプレッサ」

6. 新型クロストレック／インプレッサの紹介 ――SUBARU IMPREZA 開発プロジェクトチーム … 44

7. 新型クロストレック／インプレッサのデザイン
井上　恭嗣・村瀬　信哉・塩田　　純・
西井　喬哉 …… 59

8. ファーサイドエアバッグモジュールの開発 ――山下　　透・庄子　　建 …… 65

9. 新型インプレッサの振動騒音シミュレーション技術
新井　惇規・用松　一真・今井　哲也・
阿部　啓介・蟻川　裕樹 …… 69

10. 新型インプレッサ　低燃費実現に向けたフロント席集中送風機能［北米］の開発
水野 多香子・山本　真範・奥村　雅充 …… 76

✦小特集「アセント改良モデル」

11. 23MY 新型ASCENTの紹介 ――――――――SUBARU ASCENT 開発プロジェクトチーム … 80

12. ASCENTの年次改良デザイン開発について ―大関　　透・源田　哲朗・田宮　　創・
川村　厚司・衛藤　輝美・加藤　　翼・
重田 美恵子 …… 90

✦論文・解説

13. 新型レガシィ／アウトバックのデザイン開発について
田中　繁・磯村　晋 …… 104

14. 人体有限要素モデルを用いた脳傷害評価指標の検討
吉川　満晴・江島　晋・
山本 健太郎 …… 108

15. ディープラーニングを用いた歩行者事故における頭部挙動の予測
外処　凌雲・長橋　晴彦・山本 健太郎 …… 114

16. カーボンニュートラルに向けた内燃機関向け合成燃料の調査および実証試験
大岩　浩司・加藤　真亮・中山　智裕・
桂　拓未・志岐　昌美・
アレッサンドロ フェラーリ・
マーティン ポピルカ …… 120

17. エンジン熱効率向上に向けた筒内流体解析技術の進化
安達　龍・菅沼　邦彦・若本　進児・
辻村　彬人・武藤　涼・中谷　辰爾 …… 129

18. 電動車用ハーネスの配策検討技術の開発――河野　正敏・竹内　広太 …… 138

19. 広角単眼カメラによるプリクラッシュブレーキの開発
高木　秀倫・磯田　弘之・多田　暁由・
野本　宏輝・安藤　祐介 …… 144

20. 次世代マルチビューモニタシステムの開発――笠原　隆宏・更科　博明・菅原　英紀・
藤井　建志・村越　政之・市川　駿・
岸　晃 …… 148

21. 不警報・誤警報が死角からの飛び出し回避行動へ及ぼす影響の分析
齋藤　貴太・松本　一樹・後藤　育郎 …… 153

22. 排気系熱疲労検討手法の構築――――――藤田　恒平・臼井　洋充・川島 有理子 …… 159

23. 新型車における一気通貫解析取り組みについて
松岡　瑛喜・緒方　博和・重松　秀・
帆足　海里・深澤　雄・坂田　笙輔・
佐藤　拓也 …… 163

24. 作業品質見える化技術の開発 ――――――――趙　　鵬・細谷　知希・沖野 振一郎 …… 168

25. 航空機生産情報のデジタル変換技術構築と現代化
（古い情報を活かす手段を切り口とした技術伝承）
村上　　孝・中沢　康史 …… 173

26. 多関節ロボットによる長尺形材部品自動塗装 ―野中　聖哉・今泉　真人・安野　好紀 …… 180

27. 航空機の製造コストを低減する要素技術 ――小野　遼平 …… 185

28. 飛行中の被雷回避の実現 ――――――――――西　孝裕樹・津端　裕之・宮木　博光・
神山 晋太郎・岡田　孝雄 …… 189

29. ドライブ体験を拡張するアプリケーションサービスSUBAROAD
小川　秀樹・村川　雄一・伊藤　駿史・
藤原　嵩之・鳥居　武史・佐藤 能英瑠 …… 196

✦特許紹介

30. 車両の運転支援装置 ――――――――――保科　雅俊・桑原　敬祐・関島　康博・
寺山　　悟・財前　元希…… 202

31. 自動運転可能な車両 ――――――――――山崎 研太郎・木下　　真・高山　圭介・
村松　悠太 …… 204

32. 車両の乗員監視装置、および交通システム ――時﨑　淳平・中村　亮太・丸橋　雅幸・
大西　恵太 …… 205

33. 車外モニタ装置 ――――――――――――長澤　　勇 …… 206

34. バッテリ電圧の制御装置及びバッテリ電圧の制御方法
森田　知洋 …… 207

35. 排ガス分析方法及び排ガス分析システム ――木谷　泰行・戸邊　祥太・田畑　邦夫・
武田　賢二 …… 208

36. 車両の制御装置及び車両の制御方法 ――――佐藤　章也・佐藤　能英瑠 …… 209

37. 部材接合構造 ――――――――――――坂本　　登・中村　計二・坂井　健輔・
稲見　顕子 …… 210

38. レーザピーニング加工装置及びレーザピーニング加工方法
橋本　麻由・足立　隆史 …… 211

39. シール剤吐出装置 ――――――――――――――松本　洋平・河野　　充…… 212

✦社外発表一覧(2021.4 ～ 2022.3 講演・寄稿)…… 213

CONTENTS

Foreword

Pursuit SUBARU Engineering Philosophy with a Business Sense
ABE Kazuhiro

Special Issue : New SOLTERRA

1. Introduction of SUBARU SOLTERRA ——SUBARU SOLTERRA ProjectTeam …… 1

2. Styling Design Development of SOLTERRA —OZEKI Toru, ANDOU Takahiro, TAKAMATSU Yuki, OTA Naofumi, FUCHINO Yuko …… 22

3. Introduction of SUBARU SOLTERRA Roughroad Driving Performance
NODA Tetsuo, KISHIDA Taichi, SATOU Junichi, ISHII Kentaro …… 29

4. Introduction of SUBARU SOLTERRA Driving Performance
NODA Tetsuo, FURUSE Tomohiro, YOSHIBA Hideaki, KISHIDA Taichi, YABUKI Naoto, HIROTA Koichi …… 33

5. Crashworthiness of SOLTERRA——OKAMURA Junya, KIMURA Ryo, MATSUMOTO Tomohiro, FUJIWARA Seiji, IKEDA Satoshi, KURODA Takashi …… 39

Special Issue : New CROSSTREK/IMPREZA

6. Introduction of SUBARU New CROSSTREK/IMPREZA
SUBARU IMPREZA Project Team …… 44

7. Design for New CROSSTREK and IMPREZA—INOUE Kyoji, MURASE Shinya, SHIODA Jun, NISHII Takatoshi …… 59

8. Development of FAR-SIDE AIRBAG Module —YAMASHITA Toru, SHOJI Takeru …… 65

9. Simulation Technology of Noise and Vibration for the Brand-New IMPREZA
ARAI Junki, MOCHIMATSU Kazuma, IMAI Tetsuya, ABE Keisuke, ARIKAWA Yuki …… 69

10. Development of the Front-Seat Centralized Air Blowing Function
to Achieve Low Fuel Consumption of the New IMPREZA for North America
MIZUNO Takako, YAMAMOTO Masanori,
OKUMURA Masamitsu ····· 76

✦Special Issue : ASCENT Annual Change Model

11. Introduction of 23MY New SUBARU ASCENT
SUBARU ASCENT Project Team ····· 80

12. Styling Design Development for ASCENT Annual Improvement
OZEKI Toru, GENDA Akiro,
TAMIYA Sou, KAWAMURA Atsushi ,
ETO Terumi, KATO Tsubasa,
SHIGETA Mieko ····· 90

✦Technical Paper & Explanation

13. Styling Design Development of New LEGACY/OUTBACK
TANAKA Shigeru, ISOMURA Susumu ····· 104

14. Evaluation of Brain Injury Criteria Using a Human Finite Element Model
YOSHIKAWA Mitsuharu, EJIMA Susumu,
YAMAMOTO Kentaro ····· 108

15. Prediction of Head Behavior in Pedestrian Accidents Using Deep Learning
TODOKORO Ryoun, NAGAHASHI Haruhiko,
YAMAMOTO Kentaro ····· 114

16. Synthetic Fuel Studies for the Carbon-Neutral Transportation Sector
OIWA Hiroshi, KATO Masaaki,
NAKAYAMA Tomohiro, KATSURA Takumi ,
SHIKI Masami, Alessandro Ferrari,
Martin Popilka ····· 120

17. Evolution of In-Cylinder Fluid Analysis Technology
for Improving Engine Thermal Efficiency
ADACHI Ryo, SUGANUMA Kunihiko,
WAKAMOTO Shinji, TSUJIMURA Yoshito,
MUTO Ryo, NAKAYA Shinji ····· 129

18. Development of Technology to Examine the Arrangement of Harnesses for Electric Vehicles
KOUNO Masatoshi, TAKEUCHI Kouta ····· 138

19. Development of Autonomous Emergency Braking by Wide-Angle Mono Camera
TAKAGI Hidemichi, ISODA Hiroyuki,
TADA Akiyori, NOMOTO Hiroki,
ANDOH Yusuke ····· 144

20. Development of Next Generation Multi-view Monitor System
KASAHARA Takahiro, SARASHINA Hiroaki,
SUGAWARA Hideki, FUJII Takeshi,
MURAKOSHI Masayuki, ICHIKAWA Shun,
KISHI Akira ····· 148

21. Analysis of the Effect of Non-Alarms and False Alarms on Driver's Behavior
Avoiding Rush out of Blind Spots
SAITO Takato, MATSUMOTO Kazuki,
GOTO Ikuo ····· 153

22. Development of the Heat Fatigue Analysis Method for the Exhaust System
FUJITA Kohei, USUI Hiromitsu,
KAWASHIMA Yuriko ····· 159

23. The Cross-Functional Analysis Approach for New Development Model
MATSUOKA Eiki, OGATA Hirokazu,
SHIGEMATSU Shu, HOASHI Kairi,
FUKAZAWA Yu, SAKATA Shousuke,
SATOU Takuya ····· 163

24. Development of Operational Quality Visualization Technology
ZHAO Peng, HOSOTANI Tomoki,
OKINO Shinichiro ····· 168

25. Construction and Modernization of Digital Conversion Technology
for Aircraft Production Information
MURAKAMI Takashi, NAKAZAWA Yasushi ··· 173

26. Automatic Painting of Long Extruded Parts by Articulated Robot
NONAKA Masaya, IMAIZUMI Masato,
YASUNO Yoshinori ····· 180

27. Element Technology to Reduce Aircraft Manufacturing Cost
ONO Ryohei ····· 185

28. Avoidance of Aircraft-Triggered Lightning Strikes in Flight
NISHI Takayuki, TSUBATA Hiroyuki,
MIYAKI Hiromitsu, KAMIYAMA Shintaro,
OKADA Takao ····· 189

29. SUBAROAD, an Application Service that Enhances the Driving Experience
OGAWA Hideki, MURAKAWA Yuichi,
ITOU Takashi, FUJIWARA Takayuki,
TORII Takeshi, SATO Noeru ····· 196

SUBARU Patent Review

30. Vehicle Driving Support System ——— HOSHINA Masatoshi, KUWAHARA Keisuke,
SEKIJIMA Yasuhiro, TERAYAMA Satoshi,
ZAIZEN Motoki ····· 202

31. Automated Driving Enabled Vehicle ——— YAMASAKI Kentarou, MURAMATSU Yuta,
KINOSHITA Makoto, TAKAYAMA Keisuke ··· 204

32. Occupant Monitoring Device for Vehicle and Traffic System
TOKIZAKI Junpei, NAKAMURA Ryota,
MARUBASHI Masayuki, ONISHI Keita ····· 205

33. Outside-Vehicle Environment Monitoring Apparatus
NAGASAWA Isamu ····· 206

34. Battery Voltage Control Device and Battery Voltage Control Method
MORITA Tomohiro ····· 207

35. Exhaust Gas Analysis Method and Exhaust Gas Analysis System
KIYA Yasuyuki, TOBE Shota,
TABATA Kunio, TAKEDA Kenji ····· 208

36. Control Apparatus for Vehicle and Control Method for Vehicle
SATO Fumiya, SATO Noeru ····· 209

37. Member Joining Structure ——— SAKAMOTO Noboru, NAKAMURA Keiji,
SAKAI Kensuke, INAMI Akiko ····· 210

38. Laser Peening Processing Device and Laser Peening Processing Method
HASHIMOTO Mayu, ADACHI Takafumi ····· 211

39. Sealant Discharging Apparatus ——————MATSUMOTO Yohei, KONO Mitsuru ····· 212

✦List of Published Reports ····· 213

SUBARU SOLTERRA の紹介

Introduction of SUBARU SOLTERRA

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

抄　録

SOLTERRAは、日常から非日常まで、あらゆるシーンでお使いいただけるクルマであり、皆さまの生活の中に、これまでにない新たな感動体験と、ライフスタイルや社会に対する意識の変化をもたらすクルマである。

我々は、SOLTERRAが皆さまの心を満たすことが出来るクルマだと確信している。心が満たされれば笑顔になる。このクルマがお客様の笑顔を作ってゆくことができれば、世界を変え、未来を作る第一歩になると考える。

より多くの皆様に笑顔をお届けできるよう、SUBARUのSOLTERRAにご期待頂きたい。

Abstract

SOLTERRA is a car that can be used in every scene from the day-to-day to the extraordinary. It is a car that brings new unforgettable experiences and changes in lifestyle and social consciousness to everyone's lives.

We are convinced that SOLTERRA can fulfill your heart. You will smile if your heart is satisfied. If this car can make customers smile, it will be the first step to change the world and create the future.

Please look forward to this SUBARU SOLTERRA bringing smiles to as many people as possible.

1.　まえがき

世界的な環境対応の流れを受け、今や自動車の電動化は必然の時代となっている。多様化するパワーユニットの中でも、Battery EV（以降BEV）はSUBARUの電動化戦略の一翼を担う存在と言える。一方で、環境問題は非常に大きなコストやインフラ不足、サプライチェーンの問題など多くの不確定要素を抱えており、これらに立ち向ち向かうためには複数の企業が協力して取り組まなければならない。

これまでTOYOTAとSUBARUは「いっしょにいいクルマつくろう!」を掛け声に、よいライバル、よいパートナーとして協業を進めてきたが、BEV開発においても協業を行うことによって、より多くの皆様に求められるような魅力的なクルマを届けられると考え、両社で新たなプロジェクトをスタートさせた。

開発にあたり大切にしたことは、まずは多くの方々に安心してお選びいただける、しっかりとした実用性をもったクルマとすること。次に、ただBEVの特徴を持つだけではなく、個性を備えたSUBARUのクルマであることである。

BEVならではの特性に対してSUBARUがこだわってきた思想や技術を取り入れることで、自動車そのものの基本的な性能や魅力を飛躍的に進化させている。

そのうえで、誰が乗っても「SUBARUのクルマだ」と実感いただける、走りの愉しさを実現したSUV BEVに仕上げた（**図1**）。

図1　SOLTERRA 外観

2.　車両概要

2.1　開発の狙い

商品コンセプトをUpscale Practical（一格上の実用性を備えたSUV BEV）とし、コンパクトSUVへの期待に一格上の「実用性」を備えたBEV、本質的な走行性能と環境性能の高さを備えるBEV、安心と愉しさで際立ち、本物志向のアクティブな人々に提供する、SUBARUらしいSUV BEVを目指した（図2）。

（1）確かな機能を持ち、不安なく日常的に使える

多くの方々が使用されるクルマにとって一番大切なことは、不安無く日常通り使うことができ、しっかりとした実用性を持っているということである。

SOLTERRAは、これまでのクルマと同様に日常で使える「Practical」（実用的）なクルマであることに重点を置いた。

高いエネルギー密度を備えた大容量バッテリを搭載し、日常的に使用する距離を十分カバーできる航続距離を確保している。加えて、熱マネージメントや空調制御の工夫によって、長期的な寿命にも配慮したバッテリシステムとした。

また、バッテリ構造と専用プラットフォームにより、万が一の際の安全性も確保しつつ、SUBARUがこれまでこだわってきた、SUVらしい居住空間と荷役性を確保。これらにより、日常的に安心してお使いいただき、長期間所有いただける実用的なBEVを実現した。

（2）これまでにない新しい体験がある

SOLTERRAには、これまでのクルマに無い魅力を与え、お客さまがお求めになるBEVへの期待に応えることで、新たな体験を感じていただけるクルマを目指した。乗り込んだ時から感じられる広々とした室内空間と、未来感のあるコックピットの新鮮なパッケージ。使い勝手の良さと、便利で先進的なインフォテインメントシステムを融合させた。

静粛性が高く、広々と居心地がよく、これまでにない体験が出来る室内空間は、新しい価値を生み出した。

また新たに開発したBEV専用のプラットフォームは、低重心から成るレイアウトの利点と高いレスポンスを持つモータの特性により、これまで感じたことの無い、ダイレクトでリニアな走りを体感いただける。

乗り込むだけで新鮮で、運転するだけで愉しく、日常から非日常へと抜け出すことができる、これまで体験したことの無い新たなライフスタイルを期待いただけるBEVとした。

（3）SUBARUらしい魅力がある

SUBARUは常に、人を中心とした開発を行ってきた。自らの運転であらゆる場所へ自由に移動できるよろこびと、大切な人の命を守るという想い。我々が追求してきたSUBARUの思想を新型車にも取り入れ、SUBARUへの期待に応えることで、変わらぬ「安心と愉しさ」を提供することを目指した。

BEVの特性を最大限に引き出した専用プラットフォームは大きな可能性を備えている。これまでSUBARUが実現してきた、走りの愉しさや安心感、使い勝手のこだわりを加えることによって、SUBARUらしさをより一層、引き立たせることができた。

特にこれまでSUBARUが大切にしてきたAWD制御とBEVシステムの組み合わせは、新たな時代のSymmetrical AWDの始まりとも言え、数あるBEVの中でもSUBARUのSOLTERRAをお選びいただくメリットとなっている。

これまでご愛顧いただいたファンに対しても、SUBARUを未経験のお客さまに対しても、SUBARUらしい「安心と愉しさ」、その進化をご体感いただける、魅力的なSUV BEVとした。

図２　SOLTERRA コンセプト

2.2　新車名「SOLTERRA」

我々が守らなければならない故郷である地球と大地、「TERRA」。地球上で生きていくうえで必要不可欠な太陽の力、「SOL」。太陽の光からエネルギーを生み出し、地球に寄り添って走るクルマが、持続可能な未来へ繋がっていく。

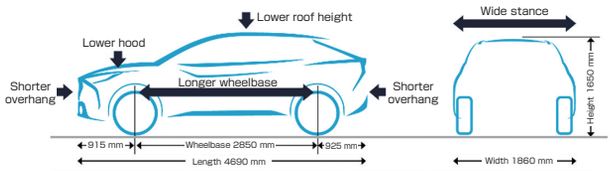
新型BEV「SOLTERRA」の名前には、そのような想いが込められている。

図３　新車名

2.3　パッケージング

BEVだからこそ実現できた、低重心、ロングホイールベース、ショートオーバーハングにより、特徴的なパッケージとした。

ロングホイールベースとフラットな床面を活かし、ゆとりのある空間を確保している。



[mm]	SOLTERRA	(Difference from FORESTER)	FORESTER	CROSSTREK	ASCENT
Overall Length	4,690	(+50)	4,640	4,485	4,998
Overall Width	1,860	(+45)	1,815	1,800	1,930
Overall Height	1,650	(▲80)	1,730	1,615	1,819
Overhang Front	915	(▲65)	980	985	1,028
Overhang Rear	925	(▲65)	990	835	1,080
Wheelbase	2,850	(+180)	2,670	2,665	2,890

図４　パッケージング

3　主要装備、諸元

表１　主要装備（国内向け）

：標準装備　：メーカー装着オプション

車種	ET－SS FWD	ET－SS AWD	ET－HS AWD
■AWDシステム・足回り・メカニズム			
前後独立モーター駆動AWD			
タイヤサイズ	235/60R18	235/60R18	235/50R20
アルミホイール	18インチ	18インチ	20インチ
X－MODE（2モード、ヒルディセントコントロール＆グリップコントロール付）			
ドライブモードセレクト	2モード	3モード	3モード
S PEDAL DRIVE			
■視界			
フルLEDハイ＆ロービームランプ[ヘッドランプレベライザー（オート）]			
LEDフロントフォグランプ			
LEDリヤフォグランプ			
LEDリヤコンビランプ			
■操作性・計器盤・警告灯			
キックセンサー付パワーバックドア			
ステアリングヒーター			
パドルスイッチ			
■ナビ・オーディオ			
12.3インチディスプレイナビゲーション＆オーディオシステム[オーディオ入力用USB端子(Type A)付]			
ハーマンカードンサウンドシステム[専用11スピーカー（フロント6＋リヤ4＋ウーファー)]			
6スピーカー（フロント4＋リヤ2）			
■シート			
シート表皮	ファブリック [ブラック （シルバーステッチ）]	ファブリック [ブラック （シルバーステッチ）]	本革 [タン(ブルーステッチ)]
運転席10ウェイパワーシート(前後スライド／前チルト/リフター／リクライニング／ランバーサポート)			
助手席4ウェイパワーシート(前後スライド／リクライニング)			
シートヒーター（運転席＋助手席＋後席左右）			
フロントシートベンチレーション			
■内装			
インパネトリム	ブラックファブリック	ブラックファブリック	ブラックファブリック
ドアトリム加飾	シルバー塗装	シルバー塗装	メッキ加飾＆照明付
ドアアームレスト	ブラックファブリック	ブラックファブリック	タン表皮巻
インナードアハンドル照明			
フロアコンソールリッド	ブラックファブリック	ブラックファブリック	タン表皮巻
前席カップホルダー（2ヶ）	カップホルダーリング シルバー塗装	カップホルダーリング シルバー塗装	カップホルダーリング メッキ加飾
フットランプ(前席／後席)			
■外装			
ルーフスポイラー			
ルーフレール			
パノラマムーンルーフ(電動ロールシェード付)			
ソーラールーフ			
■安全装備			
SUBARU Safety Sense			
ドライバー異常時対応システム			
ブラインドスポットモニター［BSM］			
Advanced Park			
リモート機能付			
パノラミックビューモニター			
コネクティッドサービス[T－Connect]			

表２　主要諸元（国内向け）

	車名	SOLTERRA		
	車型（認証上）	WAGON		
	グレード	ET-SS		ET-HS
	原動機（モーター）	EV		
	ミッション	−		
	駆動方式	FWD	AWD	
■寸法・重量・定員				
全長[mm]		4690	←	←
全幅[mm]		1860	←	←
全高[mm]		1650	←	←
室内長[mm]		1940	←	←
室内幅[mm]		1515	←	←
室内高[mm]		1160	ノーマルルーフ：1160 パノラマルーフ：1145	←
ホイールベース[mm]		2850	←	←
トレッド 前[mm]		1600	←	←
トレッド 後[mm]		1610	←	←
最低地上高[mm]		210	←	←
アプローチアングル[°]		17.7	←	←
ディパーチャーアングル[°]		25.4	←	←
ランプブレークオーバーアングル[°]		18.2	←	←
オーバーハング 前[mm]		915	←	←
オーバーハング 後[mm]		925	←	←
荷室フロア長[mm] 後席シートバック〜荷室後端		985	←	←
荷室フロア幅[mm] 最大幅		1425	←	1288
荷室フロア幅[mm] ホイールハウス間		967	←	←
荷室高[mm]		757/828	←	←
荷室開口幅[mm] 最大幅		1050	←	←
トランク容量[L] VDA		421 [Upper] 452 [Lower]	←	410 [Upper] 441 [Lower]
サブトランク容量[L]		31	←	←
車両重量[kg]		1910	2000－2020	2030－2050
前軸重量[重配%]		(55.4)	(52.8)	←
後軸重量[重配%]		(44.6)	(47.2)	←
重心高[mm]		559	548	←
乗車定員[名]		5	←	←
車両総重量[kg]		2185	2275－2295	2305－2325
■性能				
最小回転半径[m]		5.6	←	←
■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		ラック平行式電動／パワーステアリング	←	←
ステアリングギヤ比		14.1	←	←
サスペンション 前輪		ストラット式	←	←
サスペンション 後輪		ウィッシュボーン式	←	←
主ブレーキ形式		油圧・回生ブレーキ協調式	←	←
ブレーキ 前		ディスク	←	←
ブレーキ 後		ディスク	←	←
駐車ブレーキ形式		電気式	←	←
■モーター				
フロント	種類	交流同期電動機	←	←
	最高出力[kW (PS)]	150/5379－7500	80/4535－12500	←
	最大トルク[N·m (kgf·m)]	266/0－5379	169/0－4535	←
リヤ	種類	−	交流同期電動機	←
	最高出力[kW (PS)]	−	80/4535－12500	←
	最大トルク[N·m (kgf·m)]	−	169/0－4535	←
■駆動用バッテリー				
種類		リチウムイオン電池	←	←
個数		96	←	←
接続方式		直列	←	←
総電圧[V]		355.2	←	←
総電力量[kWh]		71.4	←	←

4. コンセプトを実現する価値

4.1 e－スバルグローバルプラットフォーム

BEVの特性を最大限引き出すことができる専用のプラットフォーム「e－スバルグローバルプラットフォーム」をTOYOTAと共同開発した(図5)。

動的質感の大幅向上と高航続距離・高効率・環境への対応で、お客さまにとって魅力的で実用的に使えるBEVとし、BEVだからこそ実現できる性能を最大限発揮させるため、BEV専用のプラットフォーム設計とした。

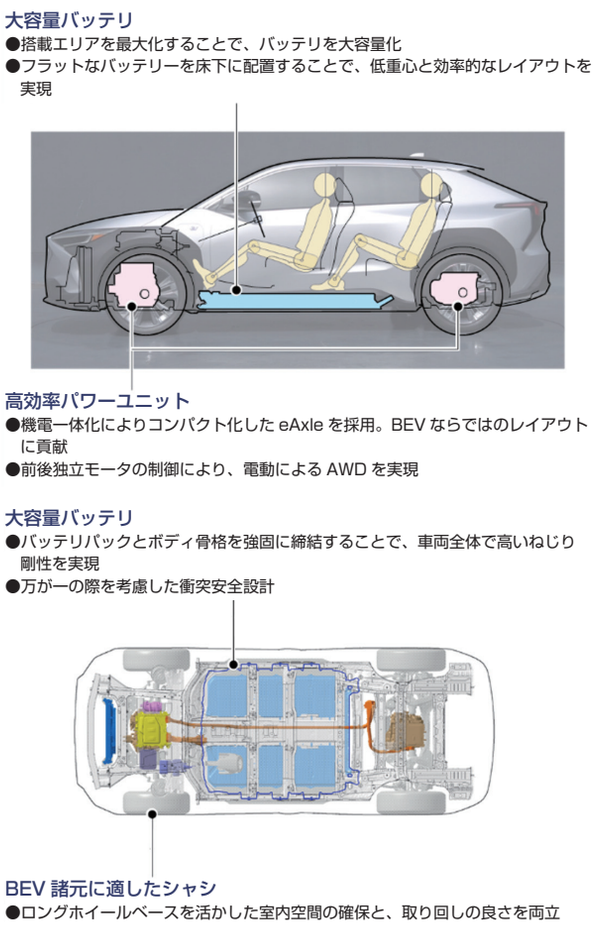


図５　e－スバルグローバルプラットフォーム

4.2 ドライビングパフォーマンス

(1) 新体験の気持ちよさと驚き

BEVを未体験の多くのお客さまが期待する、BEVならではの特性。これまでのエンジン車の概念とは異なる走りの特徴や魅力を最大限引き上げ、新たな体験を提供する(図6)。

図６　新たな体験の提供

(2) 日常から非日常まで自由に操れる愉しさ

BEVが持つ特性の良さに対してAWD制御の知見を加えることによって、意のままに操れる走りが大きく進化した。日常を非日常へとシームレスに変化させる新たな走りで、どのようなときもSUBARUの「安心と愉しさ」を実現する(図7)。

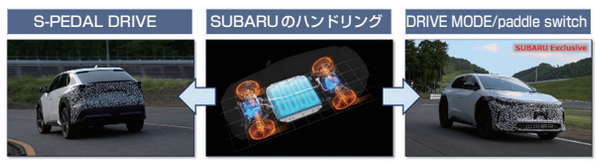


図７　意のままに操れる走り

(3) 非日常の中での冒険心や安心感

BEVの特性の良さを最大限引き出し、従来SUBARU SUVと同等の悪路走破性の高さを備えることで、どのような状況でもSUBARUの「安心と愉しさ」を実感できるBEVとした(図8)。

図８　高い悪路走破性

e－スバルグローバルプラットフォームがもたらす安全性能、走行性能、走破性能については別報で解説する。

5. デザイン

デザインについては別報で解説する。

6. エクステリア

6.1 開発の狙い

ガラス廻りの一体感から先進性を表現するためフードモールと、SUVらしい迫力を表現するため車両コーナーを強調した大型アーチモールを採用。Aピラーは一体成型の細幅タイプを採用し、低全高かつ低重心なシルエットを表現した。また、空気抵抗低減で航続距離に寄与するリアシルエットを実現している。

6.2 フロント周り

デザインコンセプトと同期して、黒い部品で機能を集約。Cシェイプシグネチャーのヘッドランプに、各灯火類の機能を集約した(図9)。

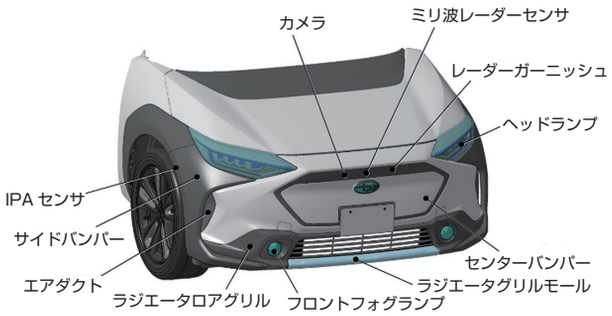


図９　フロント周り

6.2.1　ヘッドランプ

縦幅を縮小したヘッドランプユニットを採用。

光源を全てLED化。消費電力を抑えつつ、効果的な夜間の視認性を確保した(図10)。

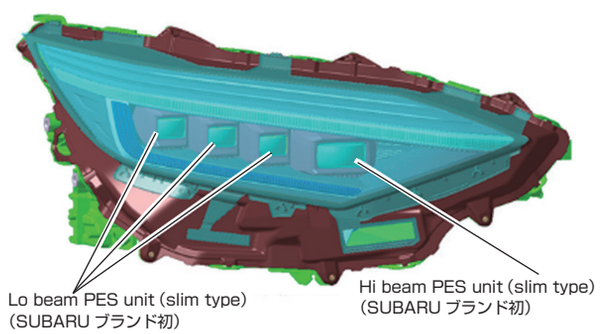


図 10　ヘッドランプ

6.2.2　フロントフォグランプ・サイドターンシグナルランプ

光源を全てLED化。消費電力を抑えつつ、効果的な夜間の視認性を確保した(図11)。

図 11　フォグランプ＆サイドターン

6.2.3　フロントグリル

冷却開口部をロアグリルのみに設定し、BEVらしい意匠を実現。ラジエータに風を効率良く取り込むことで、空調性能とユニット バッテリ冷却性能を確保。アッパー開口を無くすことで空力性能を向上させ、航続距離が向上。また、通風抵抗低減と冷却性能確保を両立する、グリルシャッターを設定 。高負荷時はシャッター開、低負荷時は最低限の常時開口を確保しつつシャッター閉で空気抵抗低減に寄与。冷却性能を確保しつつ、常時開口部分は極力最小化した(図12)。

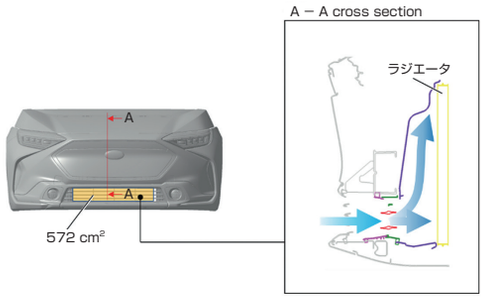


図 12　フロントグリル

6.2.4　フロントフード

BEV専用のプラットフォームにより、低フード化と歩行者保護性能を両立。フードモールを設定し、ウィンドシールドガラスまで続くガラスの一体感を演出。フードモールをフード面から一段下げることで一体感を強調した(図13)。

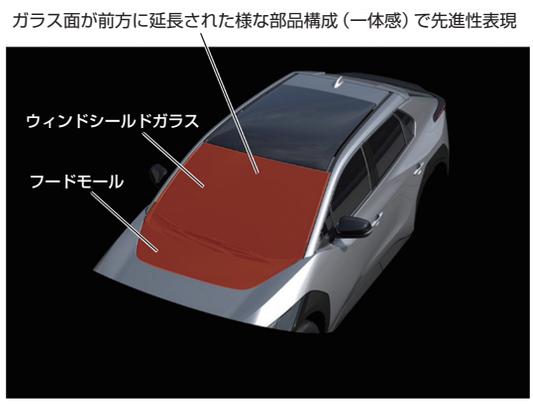


図 13　フロントフード

6.2.5　フロントフェンダー

ヘッドランプからサイドに繋がるキャラクターをスムーズに通し、先進感を実現(A)。SUVらしい迫力を表現した大型アーチモールと共存する充電リッド(B)。アーチAとBラインを綺麗に通し、低重心感を強調した(C)(図14)。

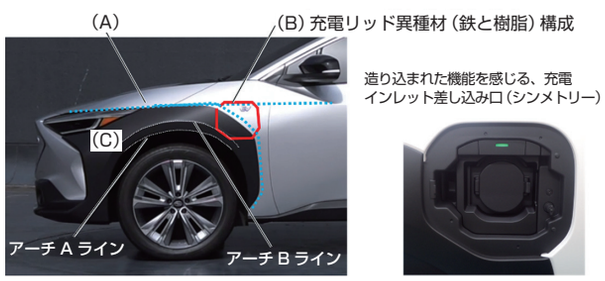


図 14　フロントフェンダー

6.3　フロントピラー

Aピラーを細幅化し、側面シルエットの意匠性を高めた。同等の車重モデルに比べて細幅化。

Aピラー部の一体成型を始めとした新技術を採用。全方位衝突に対応できる構造とすることで、優れた安全性を確保した(図15)。

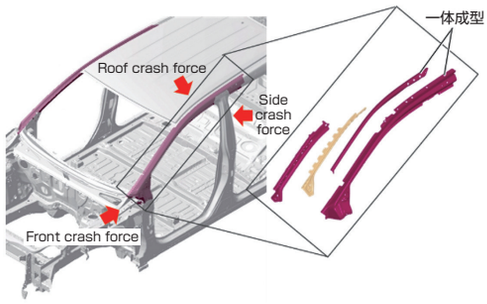


図 15　フロントピラー

6.4　ドア

ドアカーテシースイッチをドアロックアクチュエーターに内蔵。ドア開閉状態の検知精度を向上。

ドアを開けた時のすっきりとした見栄えを実現した(図16)。

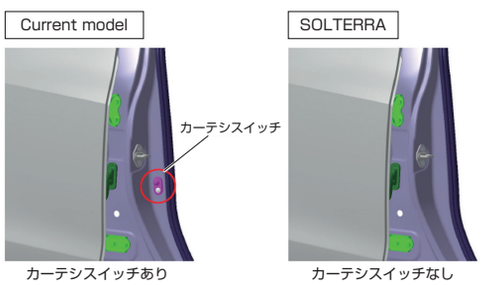


図 16　ドア

6.5　リヤ周り

ワイド感を強調した横一文字のラインと、奥行き感を見せるルーバーの組み合わせによってテールランプを構成。テールランプ構成を引き立たせるために、テールランプ内側にリヤターンシグナルランプ・バックアップランプ・リヤフォグランプをレイアウトした(図17)。

図 17　リヤコンビネーションランプ

6.6　空力性能向上の取り組み

以下の空力アイテムを織り込みクラストップレベルの空気抵抗値を実現した(図18)。

(A) 床下からの流れと理想的に合流するルーフからバックウィンドウへの傾斜角

(B) エアカーテンによる空気抵抗の抑制

(C) ダックテールスポイラー、サイド面の絞り、ディフューザーにより整流効果を向上させた。

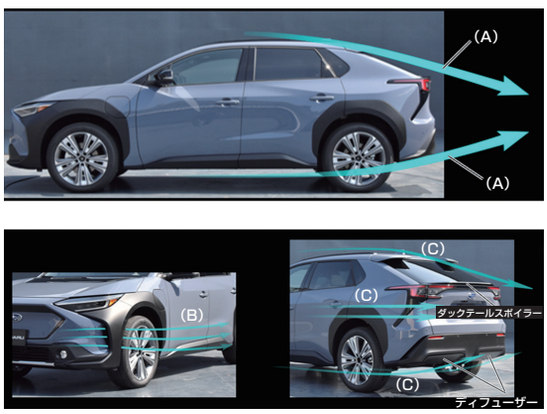


図 18　空力性能の向上

また、床下フルカバー化により、バッテリパック・サブフレームブレースを採用してフラット化。SUBARUトップレベルのアンダーカバー設定範囲を実現した。

床下の風流れをスムーズにすることで、大幅に空気抵抗を低減している(図19)。

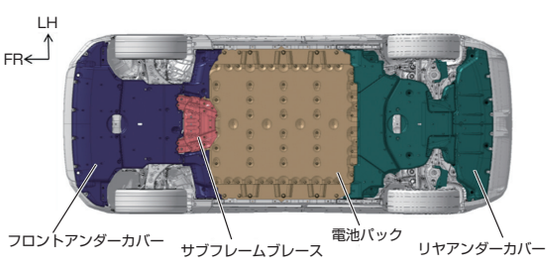


図 19　床下カバー

6.7　ルーフ

ハイグレード仕様にルーフスポイラー、パノラマ、ソーラルーフを設定した(図20)。

図 20　ルーフ仕様

6.8　アウターミラー

ベルトラインに合わせてミラーステーを配置し、車両側面のスマートなキャラクターラインを実現。ミラーステーを最小化してFIXガラスを設定。低いインストルメントパネルからつながる視界の良さと開放感を実現。アウターミラーとFIXガラスの間は、並行かつ風を流す空間を最大限確保し、風切り音を低減した。将来の自動駐車機能(IPA)を見据えて、デジタルカメラ・赤外線投光器を搭載(図21)。

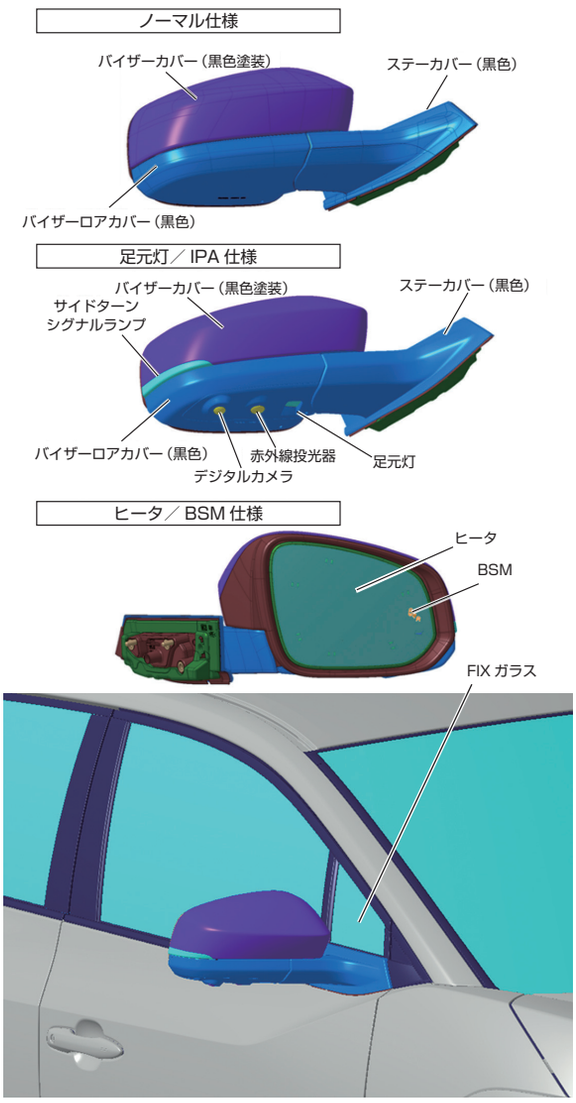


図21　アウターミラー

6.9　バックドア

パワーバックドアを採用。スイッチを押してから作動するまでの応答性を向上させ､作動時間を短縮した。

ユニット内部のねじピッチを見直し、ドアエッジの作動速度を向上。また、低回転・高トルクモータを採用。ギアの樹脂化により、特に耳ざわりの悪い低～中周波数帯の音圧レベルを低減した。

キックセンサー（中国、日本のみ）を採用し、利便性を向上させた。

足を入れたキックイン状態で検知情報を出力し、足を下げるキックアウトタイミングをブザーでお知らせする(図22)。

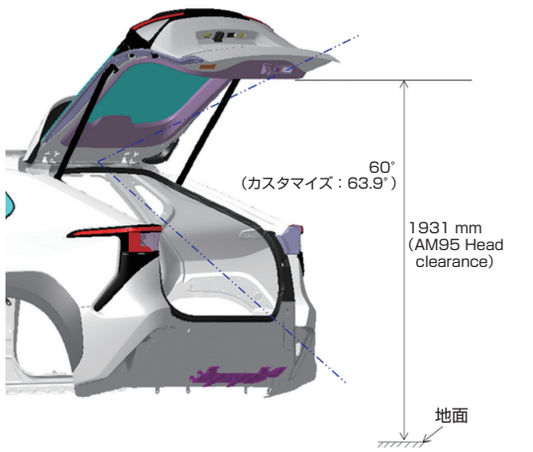


図22　バックドア

7.　インテリア

7.1　開発の狙い

運転の楽しさと、くつろぎの解放空間の融合：低く開放的なインパネや、すっきりとしたコンソール、先進的なコックピットなどによって、新たな価値の提供を狙った。

7.2　インパネ

前後に広がるバスタブ空間に、薄型化したインストルメントパネルを低い位置に配置、インパネとドアトリムの一体感のある構造を採用し、従来車と異なる広がり感を演出した。パノラマルーフ仕様のインテリアはより開放感のある空間を実現している(図23)。

図23　インパネ

7.3　コンソール

シェアリングテーブルの思想から、乗員皆が用いる機能をセンターに集約。どこの席からでも容易に情報にアクセス可能とした。新世代HMI＝情報ステーションを、前後に一枚板で繋ぐ造形とし、インテリアの主

軸としている。ワイヤレス充電付きスマートフォン用収納を採用。大切なスマートフォンがいつでも目に見えるように蓋をシースルー化した。大切な人に寛いでもらいながら、皆で楽しい時間を共有できる、心地良い空間を実現している(図24)。

図 24　コンソール

7.4　ユーティリティ

前後に長いアームレストクラス最大級にスライド機構を設けることで運転時の肘置き機能と収納性を両立させた。ドアトリムには、アームレスト、大型ポケットペットボトル2本収納を装備(図25)。

図 25　フロントユーティリティ

後席も前席と同じ装備と質感とし、全席同じ価値を等しく提供する(図26)。

図 26　リヤユーティリティ

7.5　シート

乗員の快適性と室内空間のアレンジ性を重視してシートを開発。広いカップルディスタンスの確保と多様なリクライニング機能を採用。

快適な乗員姿勢、調節可能なシートヒータやシートベンチレーションなどの快適装備を提供する。

7.5.1　フロントシート

フロントシートは、ロングラゲッジモードの採用や荷室拡大など、室内空間の様々な活用ニーズに対応。

図 27　シートマテリアル

高級感と先進性を備えた新表皮、デザインパーフォレーションを採用(図27 ※仕向により異なる)。

自動または3段階で温度調整可能なシートヒータを採用。着座時に負担のかかりやすい部分(Aゾーン)や冷えを感じやすい部位を効率的に温める構造とした。温度自動調整機能(SUBARU初)を追加することで車室内環境に合わせて温度を自動調整し、お客様が運転に集中できる環境を提供。

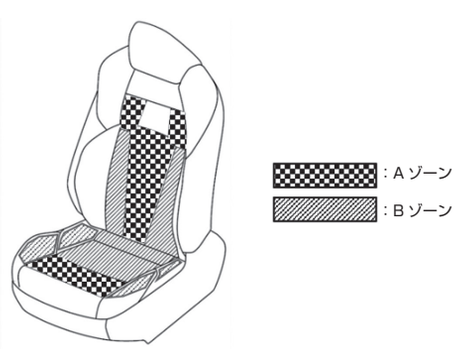


図 28　フロントシートヒータ

また、自動または3段階で風量調整可能なシートベンチレーションシステムを採用。エアコンからの冷風及び乗員周りの空気をシート背面と座面から吸い込むことで清涼感を提供する(図29)。

風量自動調整機能(SUBARU初)を追加することで車室内環境に合わせて風量を自動調整し、お客様が運転に集中できる環境を提供。

図29　シートベンチレーション

7.5.2　リヤシート

大切な人が乗る席に、BEVならではのパッケージを活かし、SUBARU車最大級の前後カップルディスタンスを確保。

その空間は前席と同じ装備と質感とし、全ての席に同じ価値を等しく提供する(図30)。

図30　リヤシート

6:4分割可倒式リヤシートリクライニング機能付き。3段階で温度調整可能なシートヒータを採用。長時間着座で負担のかかりやすい部分(Aゾーン)や冷えを感じやすい部位を効率的に温める構造とし、温度調整をフロントシートと同じ3段階にすることで快適性を追求した(図31)。

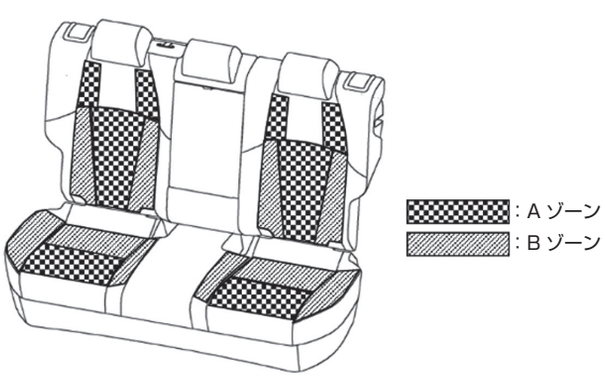


図31　リヤシートヒータ

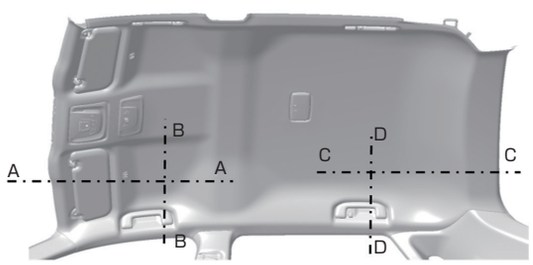
7.6　ドアトリム

後席空間は前席と同じ装備と質感とし全ての席に同じ価値を等しく提供。フロント リヤともに、上下部に加飾モールを2本設定。HIグレードにはサテンメッキを設定し、高級感を演出。ピアノブラック塗装部を広く設定し、質感を向上させた(図32)。

図32　ドアトリム

7.7　ルーフトリム

空力を考慮した低く滑らかな外形意匠と圧迫感のない室内空間を両立させた(図33)。



	ノーマルルーフ	パノラマルーフ
H1	47.5 mm/1.9 inch	42.3 mm/1.7 inch
H2	40.0 mm/1.6 inch	45.4 mm/1.8 inch
H3	23.7 mm/0.9 inch	23.7 mm/0.9 inch
H4	52.0 mm/2.0 inch	52.0 mm/2.0 inch

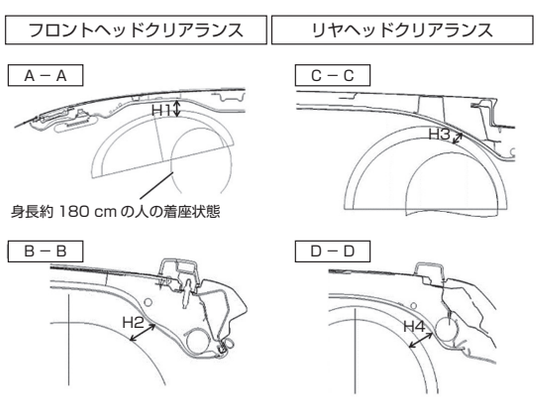


図33　ルーフトリム

7.8　静粛性の向上

BEVにふさわしい静粛な室内空間を実現。広範囲に遮音材・吸音材を最適配置。サイレンサ設定範囲を最適化(図34)。

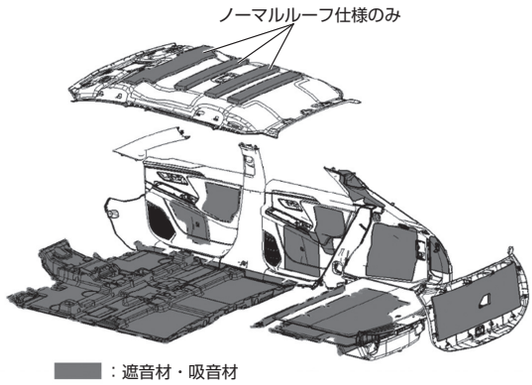
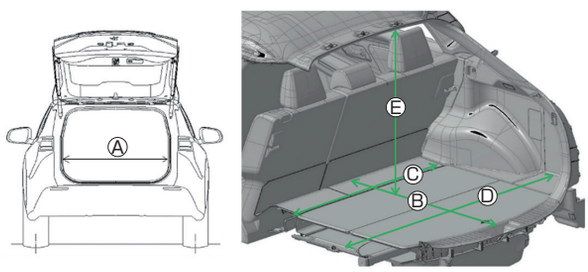


図 34　静粛性向上

7.9　ラゲッジスペース

ゴルフバックを横積みできる、必要十分な荷室空間を確保した(図35)。



サブウーハー		なし	あり
A	開口幅	1050 mm/41.3 inch	
B	長さ	985 mm/38.8 inch	
C	最小幅	967 mm/38.1 inch	
D	最大幅	1425 mm/56.1 inch	1288 mm/50.7 inch
E	高さ	757 mm/29.8 inch	828 mm/32.6 inch

図 35　ラゲッジスペース

上段と下段に可変することが可能なデッキボードを採用。

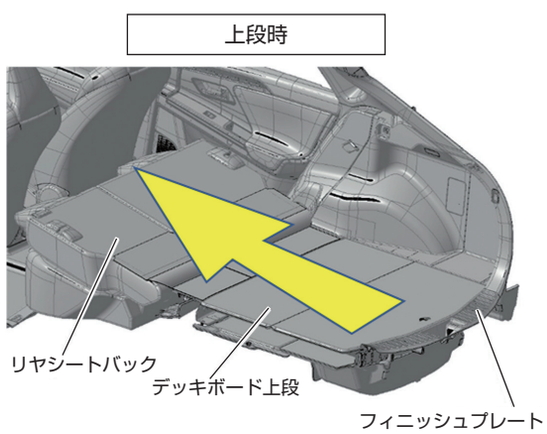


図 36　デッキボード（上段時）

上段時はフィニッシュプレートとデッキボードの高さが同じため荷物の出し入れが容易となる。

リヤシートバック可倒時、フィニッシュプレートからリヤシートバックまでほぼフラットになるため、長尺物を積載可能(図36)。

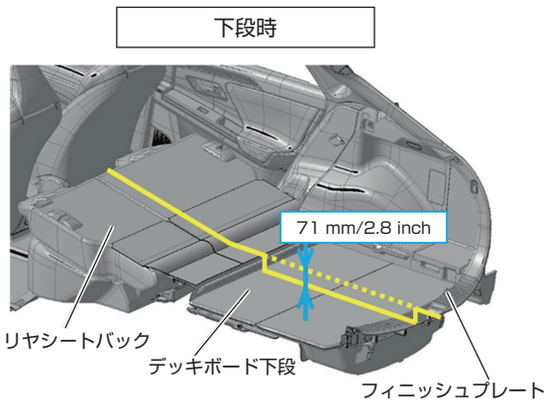


図 37　デッキボード（下段時）

下段時はから天井までの高さが71 mm広がることで、高さのある荷物の積載が可能(図37)。

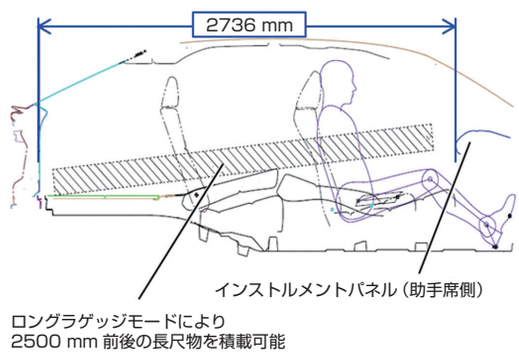


図 38　ロングラゲッジモード

また、リヤシート前倒しにより、荷室拡大、さらにフロントシートをフルリクライニングすることで長尺物の積載が可能(図38)。

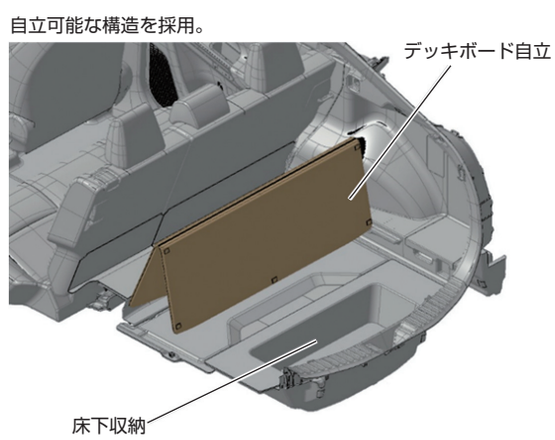


図 39　デッキボード（自立時）

デッキボードを折り畳んで前方へ立てかけることにより、床下収納へ両手でのアクセスが可能(図39)。

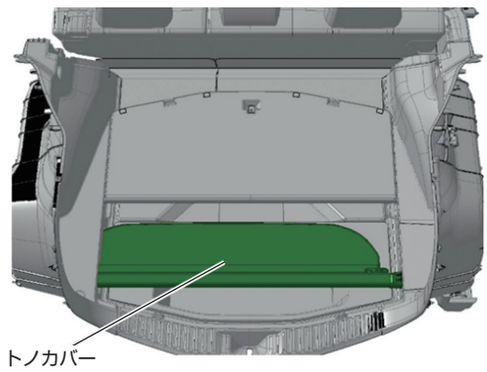


図 40　トノカバー収納

トノカバーの収納性を向上。

デッキボード上段時にトノカバーを床下へ収納可能（図40）デッキボード後方のみを開けることで収納できる。

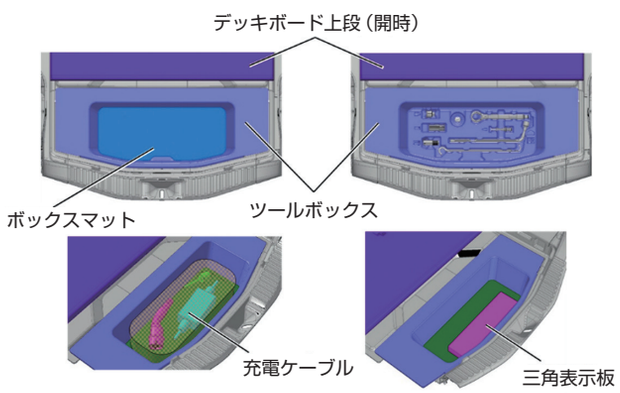


図 41　デッキボード下収納

デッキボード下側に、収納スペースを採用。（VDA：10）ツールボックスや充電ケーブル、三角表示板などを収納可能（図41）。

8.　コックピット&マルチメディア

8.1　開発の狙い

SUBARUのコックピット思想である、「より見やすく、よりシンプルに、より使いやすく」と車両の商品コンセプトである「Upscale Practical、一格上の実用性」を融合させた今までにない新しいコックピット開発にチャレンジした。

視差角度低減と遠視点化することで、反応時間を短縮。視線移動を減らし、優れた視認性を確保した（図42）。

低俯角：約20 ⇒ 約12°

遠視点化：約720 ⇒ 約850 mm

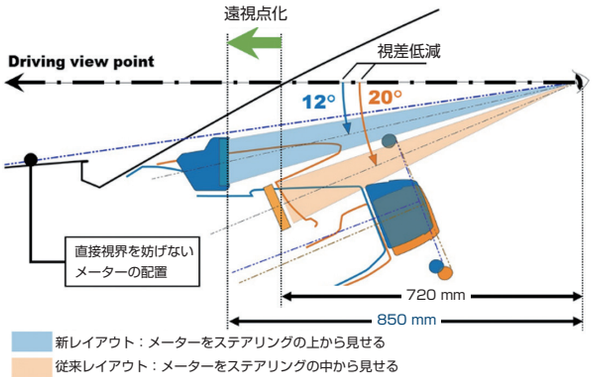


図 42　メーター配置のイメージ

ステアリングの上から見せるメーターレイアウト（図43）。

図 43　トップマウントメーター

フードレスにすることで、より先進的な見栄えを実現した。また、ドライバーのアイポイントは低いが、低フード化によって優れた路面死角長を実現した。

また車両感覚を掴みやすいよう

(1) メーターバイザーの稜線と車線の延長線を一致させた。

(2) フロントフェンダーの峰の谷間とバンパーコーナを一致させた（図44）。

図 44　掴みやすい車両感覚

8.1.1　ステアリングホイール

小径にすることで、視線移動の少ないメータ配置にも寄与。細いスポーク幅にすることで、9時15分位置での良好な握り心地を実現した(図45) また、従来のSUBARU車同様に、パドルスイッチを搭載。回生ブレーキの強度を自由に設定が可能。

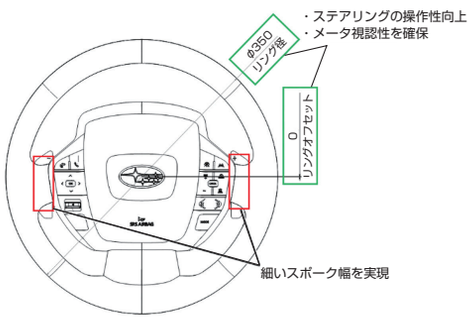


図 45　ステアリングホイール

全周昇温タイプのステアリングヒータを採用し、快適性を向上。さらにエアコンユニットと協調制御することで車室内環境に合わせて自動で温度調整する。また、乗員の好みに合わせて設定できる多段温度制御を実現した(図46)。

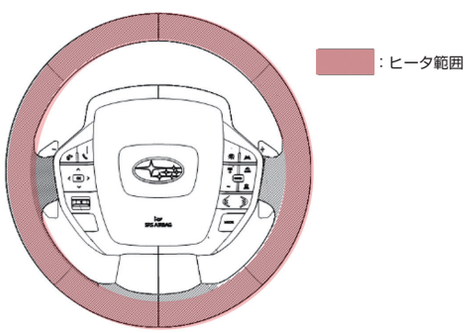


図 46　ステアリングヒータ

8.1.2　トップマウントメーター

ステアリングホイールの上方且つ遠視点にメーターを配置。

ドライバーの視線移動を低減させるとともに優れた視認性を確保。フードレスにすることで、より先進的な見栄えを実現(図47)。

図 47　トップマウントメーター

7-inch TFT LCD(フルグラフィックメーター)を採用。運転に集中し易いレイアウトとし、画面上側に全ての機能を表示。メーターリング周辺に、運転に必要な情報を集約した(図48)。

図 48　メータ表示

画面4隅に、外気温・ODOメーター・時計などの数値表示し、良好な識別性・バランスを実現。下部は、ドライブモードセレクトのアンビエント表現とした。X-MODE採用により、機能的で分かり易い表示を実現。

8.1.3　ダイヤルシフト

コンパクトなシフト操作が可能なダイヤル式シフトを採用。スマートなシフト操作性を実現。Pポジションへの切り替え操作がワンタッチで行えるPポジションスイッチを採用。シフトポジションは、メータおよびシフトポジションインジケータで確認可能。

自動駐車機能と連携し、ドライバー操作なしで前後進の切り替えおよび駐車を実現。自動Pポジション切り替え機能により、ドライバーのPポジション切り替え忘れを防止。シンプルで快適なシフト操作と先進意匠、すっきり感を両立(図49)。

図 49　ダイヤルシフト

8.1.4　センターコンソールスイッチ

使用頻度、実用性が高いスイッチを厳選し、センターコンソール上の手が届きやすい位置に配置した（図50）。

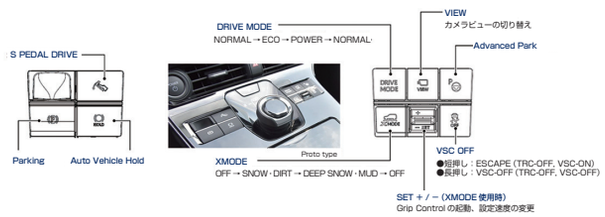


図 50　センターコンソールスイッチ
（スイッチの配置や有無は仕様により異なる。）

8.1.5　デジタルキーシステム

スマートフォンに専用のアプリケーションをダウンロードすることで、スマートフォンをスマートキーの代わりとして利用可能。物理キーなしでスマートフォンをキーとして使用。運転時以外にも車両を有効活用可能で、モビリティを活用したサービスの普及に貢献する。

スマートキーと同様、スマートフォンを携帯していればスマートフォンの画面操作なしでロック アンロック、エンジンスタートが可能（図51）。

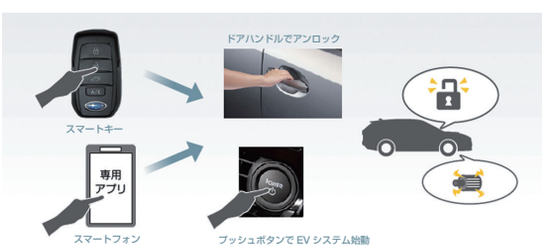


図 51　デジタルキーシステム

8.1.6　ドライバーモニターカメラ

ステアリングコラムに設置したドライバーモニターカメラによりドライバーの顔を認証することで、個人特定システムに対応。着座時のドライバーの顔を登録し、ユーザーが設定した車両情報を記憶。登録後は、顔IDとして照合し、記憶した車両設定を再生復元。ドライバー3名、ゲスト1名、合計4名の車両設定を記憶可能。また、ドライバーの顔の向きや目の開閉状態などを検知し、ドライバーがよそ見をしたり、居眠りをしていると判断した場合、音とディスプレイ表示によりドライバーに警告する（図52）。

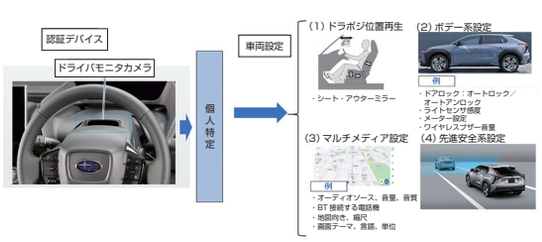


図 52　ドライバーモニターカメラ

8.1.7　オーディオシステム

電子機器のブラックアウトとオープニングシークエンスにより、スタートスイッチON時に物語の始まりを感じる演出を施した。

大型化、高解像度化した、Full HD 12.3インチ ワイドディスプレイとHD 8インチディスプレイ（北米のみ）のタッチディスプレイをラインナップ。鮮明な画像とタッチ操作による優れた操作性を実現した。

フロントパネルに、高い密着性を持たせた反射防止コーティングを施したガラスを採用し、鮮明なディスプレイを実現。直感的な使いやすさと見やすさに配慮したマルチメディアシステムを設定。

アイコンを使用したMENUを運転席側に常時表示することで優れたアクセス性を実現する。

画面レイアウトは、MENU→LIST→INFOの並びで、操作のフローが分かりやすく、直感的な操作が可能。使い慣れたスマートフォンやタブレットのような簡単操作ができる（図53）。

図 53　オーディオシステム

8.1.8　ハーマンカードンオーディオ

SUBARU車で一貫しているブランドオーディオ、“harman/kardon”を上級グレードに設定。フロント6個、リヤ4個のスピーカとウーファのシステムに加え、圧縮音源をオリジナルに近づけて再生するClari-Fi、音質向上と消費電力の低減に貢献する「GreenEdge」などハーマン社の最新技術を採用。4席等価で原音を忠実に再現するピュアサウンドを、SOLTERRA専用でチューニングした（図54）。

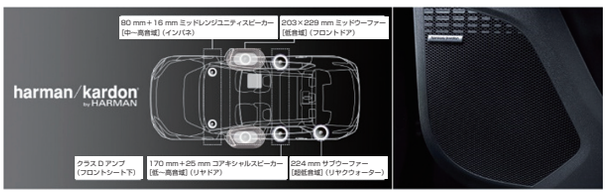


図 54　ハーマンカードンオーディオ

8.1.9　ナビゲーションシステム

直感的な使いやすさと見やすさに配慮したマルチメディアシステム。鮮明な画像とタッチ操作による優れた操作性を実現する。各市場向けに以下のナビゲーションを搭載する(図55)。

北米	ハイブリッドナビゲーション
日本	
欧州	
中国	
台湾	内蔵地図単体でのナビゲーション

図 55　ナビゲーション

8.1.10　コネクテッドシステム

ヘルプネットボタンを押下することで、ヘルプネットセンターに接続、救急車両の手配を要請やあおり運転等のトラブルに　巻き込まれた場合、状況に応じてヘルプネットセンターから警察に通報。エアバッグ作動時など、車に一定の衝撃が加わるような事故でドライバーが意識不明などで通報できない場合、自動でヘルプネットセンターに接続。ドライバーの救護が必要な場合、オペレーターは消防or警察に通報。事故の傷害リスクに応じて、病院側と連携してドクターヘリを手配する場合もある

警告灯が点灯した場合の車両状況や、車両のメンテナンス情報を、ユーザーにお知らせするeケアサービスは「走行アドバイス」「ヘルスチェックレポート」の2つがある。

その他、多彩なコネクトサービスを提供(図56)。

図 56　コネクテッドシステム

9.　多彩な走行モード

9.1　開発の狙い

BEVの新しい価値 走りのキャラクターを自在に選択できる様々なモードを装備した(図57)。

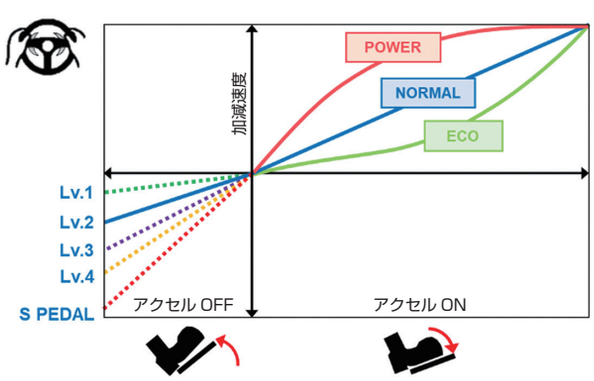


図 57　多彩な走行モード

9.1.1　パドルスイッチ

走行中にパルスイッチを使うことで、アクセルOFF時の減速特性を4つのレベルから自在に選択できる。

9.1.2　S PEDAL DRIVE

アクセルOFF時の回生減速度を高めることで、ブレーキペダルを踏みかえることなく、アクセルペダルの操作だけで速度コントロールができる。

9.1.3 ドライブモードセレクト

アクセルON時の加速特性を3つのモードから選択できる

9.1.4 X−MODE＋Grip Control（AWDモデルのみ）

SUBARUの技術とTOYOTAの技術を融合した、前後2モータのAWD BEV向け新オフロードモードを開発。

モード／コンセプト／目標性能／適合はSUBARU技術を用い、ブレーキ制御はMulti terrain SelectやDAC/CRAWLをベースに、BEV向けに開発したスリップ制御を組み合わせた。

概要は下記表の通り（表3）。

表３　各制御の組み合わせ

Drive mode		特性概要							
		駆動力			AWD		Brake		
		加速特性	過渡特性	減速特性	前後配分	スリップ抑制	TRC	ブレーキLSD	DAC
DMS	NORMAL	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	OFF
DMS	POWER	レスポンス優先		−	−	−	−	−	−
DMS	ECO	−	穏やか	−	−	−	−	−	−
SNOW		コントロール性優先		−	−	−	−	−	−
XMODE	SNOW/DIRT	コントロール性優先		−	−	弱化	−	強化	ON
XMODE	D.SNOW/MUD	コントロール性優先		−	−	弱化	無効化	強化	ON
XMODE	Grip Control	−	−	−	−	XMODE 特性を継承			ON
S-PEDAL DRIVE		DMS 特性を継承		Max0.15G	−	−	−	−	−
減速度切替パドル		−	−	4段切替	−	−	−	−	−

例えば、Grip Controlモード選択中は、基本的にX－MODEは作動しないが、アクセルを踏み込んでいる間はX－MODEが作動する。

9.1.5 X−MODE

2つのモード「滑りやすい路面」「タイヤが埋まるような路面」を採用し、駆動力特性とブレーキ制御を最適化し、悪路走破性を高めた（図58）。

図58　X-MOD

9.1.6 Grip Control

悪路において、滑らないように路面を捉え、一定の速度（約2～10 km/h）を維持できる、Grip ControlをX－MODEの付加機能として開発。Downhill Assist Controlに加えて、平坦路や登坂路においてもペダル操作がサポートされるため、ドライバーはよりハンドル操作に集中することができる。Grip Controlは、コンソールにあるスイッチで操作可能。専用のトグルスイッチを押し下げるとONになり、ONの状態で、X－MODEスイッチを操作または、ブレーキペダルを踏んで停車すると、OFFになる。Grip Controlの目標車速は、5段階（約2・4・6・8・10 km/h）で設定が可能（図59）。

図59　GRIP　CONTROLスイッチ

10. BEVシステム

10.1 開発の狙い

e－スバルグローバルプラットフォームの考え方に基づいたBEV専用のプラットフォーム。BEVシステムを最大限に活かす、低重心・高剛性化した車両パッケージとした。

床下一面にフラットな大容量バッテリを配置し、車両全体を低重心化バッテリパックと車体フレームを一体化し、高剛性化を図った（図60）。

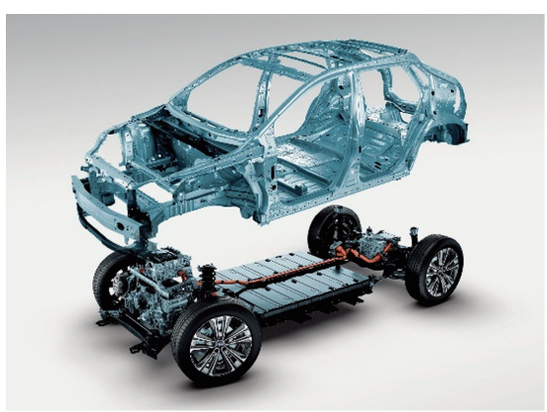


図60　高剛性車両パッケージ

BEV専用プラットフォームならではの操縦性・安定性と乗り心地、優れたライントレース性による、思い通りの操縦性を実現した。

車両の低重心化を図り、高い走行安定性を実現。フラットな電池パックを車室外床下に搭載し、車両全体の低重心化を実現（図61）。

10.1.1 バッテリ

Prime Planet Energy & Solutions（ppes）製セルとContemporary Amperex Technology Co., Ltd.（CATL）製BEVバッテリの2種類のセルを採用（図62）。

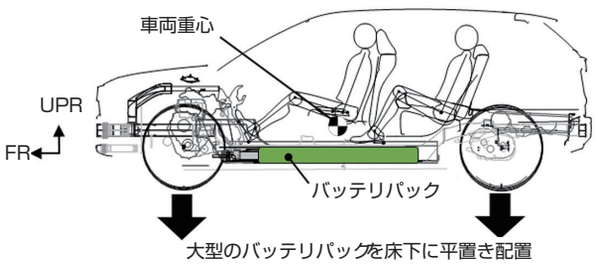


図 61　床下バッテリ配置による低重心化

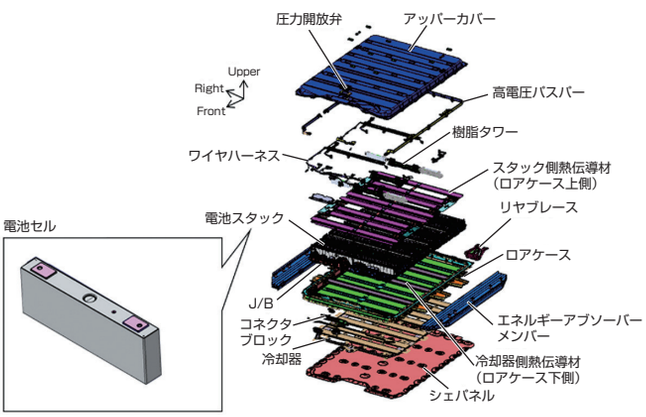


図 62　ppes バッテリ構成

10.1.2　バッテリパック

密閉されているパックに密着するように冷却器を配置し、パック下面よりバッテリを冷却 各バッテリセルに送る冷却水の温度と量を均等化、各バッテリセルへの冷却水量バランスを最適化し、各バッテリセル温度を均等に冷却するようにした(図63)。

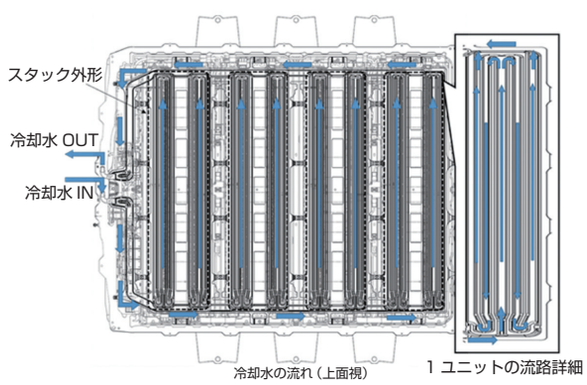


図 63　バッテリパック

10.1.3　バッテリ冷却

バッテリ大容量化、高出力化に合わせて効率的に温調できる水冷方式を採用。エアコンシステムの冷媒を用い、チラー(冷却水循環装置)を利用して冷却し温度をコントロールして冷却している。

これにより例えば、高速走行と急速充電を繰り返すような負荷が高いシチュエーションでも電池出力を最大限活用するとともに電池容量劣化の抑制を実現している。

車室内空調システムと協調し、最適制御を構築することで車両動力性能と車室内快適性を両立することができる(図64)。

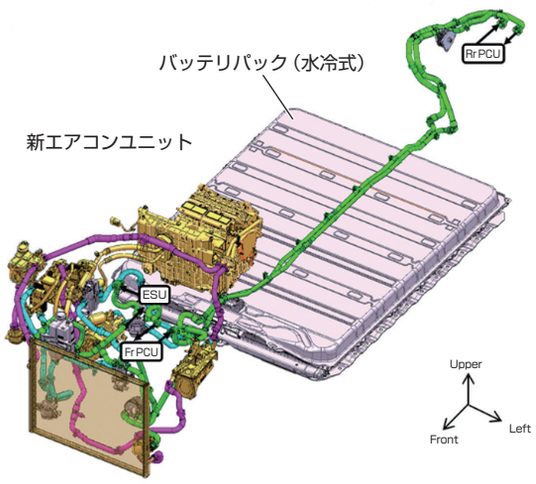


図 64　バッテリ冷却システム

10.1.4　バッテリ昇温システム

充電において電池加熱用水加熱ヒータを採用し、低温環境下で電池を昇温する。これにより安定した電池出力、充電時間短縮に貢献。

充電において電池加熱用水加熱ヒータを採用し、低温環境下にて電池を昇温。さらに急速充電時には高出力水加熱ヒータを利用することで電池を昇温。これらにより安定した電池出力を得ることが可能になるとともに、低温環境下での充電時間短縮に貢献する(図65)。

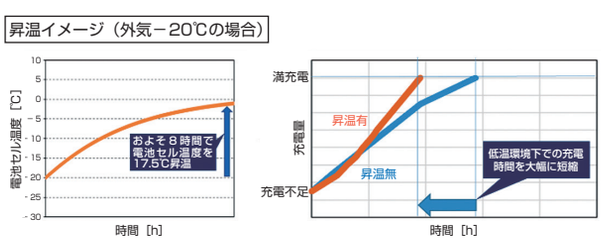


図 65　バッテリ昇温システムの効果

10.1.5　eAxle

シンプルな3軸トランスアクスルギヤトレーンの採用、オイル攪拌損失の低減、低粘度トランスアクスルオイルの採用により低損失を実現。

また、プレロードディファレンシャルの採用、左右等長化したドライブシャフトの採用により、優れた直進安定性を実現。歯面研磨加工、共振分散構造の採用で、低騒音を実現した。

トランスアクスルとモータ、インバータを機電一体構造化し、小型・軽量化を実現。

前後長を抑えたFront eAxle構造で、BEVらしい車両デザインと室内空間の確保を実現。

また、高さを抑えたRear eAxle構造で、荷室容量の確保を実現した(図66)。

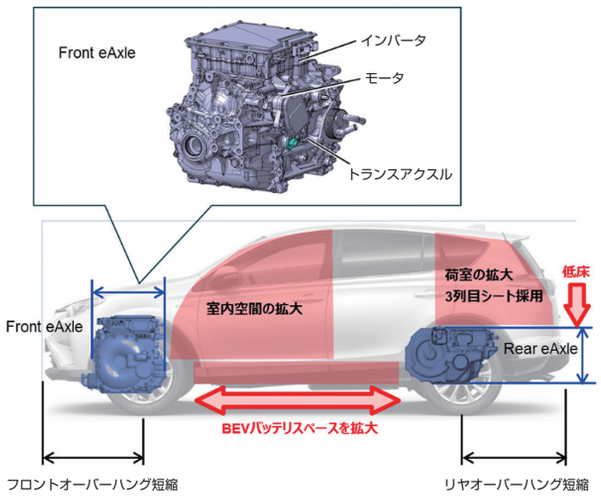


図66　eAxle

10.1.6　インバータ

機電一体化構造により、小型化を実現。構成部品をフレームに固定し、eAxleケースに内蔵するフレーム構造を採用し、ユニットの小型化に貢献している。

また、パワースタックを最適化し、低損失化と小型化を実現。高出力化に伴い、コンデンサの冷却性能を確保しつつ容量を低減し、体格を低減した(図67)。

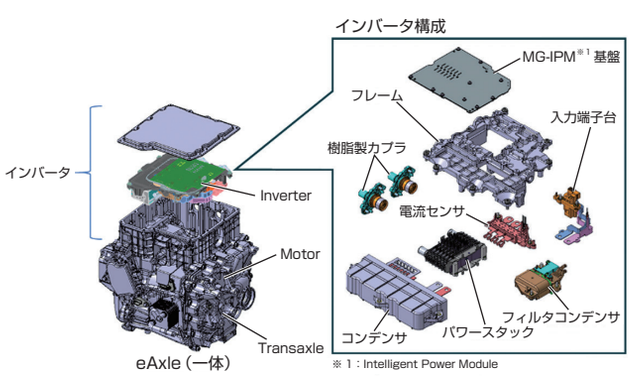


図67　インバータ

10.1.7　Electricity Supply Unit（ESU）

電力変換機能を1つのユニットに統合。ユニット全体を小型化することで、スペース効率を向上し、室内空間の確保に貢献する。

軽量化により、優れた電費を実現し、航続走行距離の確保に貢献。これまで電池パック内に搭載されていた、分岐BOX、DCリレーなどの構成部品をESU内に格納した。これによる電池容量拡大によりエネルギー密度が上がり、航続走行距離の確保に貢献(図68)。

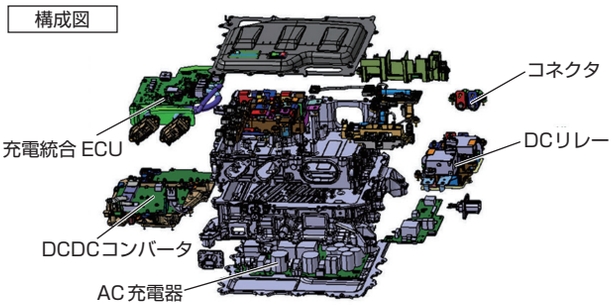


図68　ESU

10.1.8　充電システム

大容量のバッテリ容量を有しており、AC普通充電はもとより、各市場の高出力のDC急速充電器スタンド対応により、短い充電期間を実現。充電コネクタ接点部の接触抵抗低減と、太径タイプの導線を採用し、発熱性を抑制。DCDCコンバータ、充電統合ECUなどの周辺部品をユニット化。小型･軽量化することで、優れた航続走行距離に貢献する。また､充電スケジュールを登録することで、ユーザーの好みに合わせて充電の開始時間を設定可能とした。

表4　各仕向充電タイプ

	仕向け	日本	北米	欧州	中国
普通充電	供給電気	200 V	240 V	230 V	220 V
	定格電流	30 A	32 A	32 A	32 A
	充電電流	30 A	32 A	32 A	32 A
	充電時間	約 12 h	約 9 h10 m	約 9 h 30 m	約 9 h 40 m

	仕向け	日本	北米	欧州	中国
急速充電	充電規格	CHAdeMO	CCS1	CCS2	GB/T
	電池種類	PPES	CATL	PPES	CATL
	充電時間（80%まで充電）※2	約 30 min.	約 60 min.	約 30 min.	約 60 min.

DC：常温、電欠ランプ点灯～SOC80%
AC：常温、電欠ランプ点灯～SOC100%

10.1.9　エアコンシステム

高効率なヒートポンプシステムを採用し、外気からの吸熱だけでなくパワーユニットの廃熱や電池廃熱もヒートポンプに活用することで暖房の省電力化を図る。

ヒートポンプ連続運転で室外機として用いるラジエータには霜が発生してしまい暖房効率が悪化する原因となる。しかし、ユニット廃熱を活用して霜取りを行うことで効率悪化を防ぎ、ヒートポンプ作動時間を延長させている。これにより暖房効率向上を実現して優れた冬季航続距離実現に貢献する。

極低温環境下では高出力水加熱式ヒータを用いることで快適な車室内環境を提供している。

新開発エアコンユニットを採用することで従来のエアコンユニット比で省スペース、省電力化を実現。

また、内外気2層ユニット化とすることで防曇性確保と換気ロス低減による暖房能力向上、省エネルギー化を実現。車両の上層には低湿度な外気を導入して防

曇性を確保しつつ、下層(乗員足元)には車室内空気を用いて効率的に暖かい空気を循環させて暖房している(図69)。

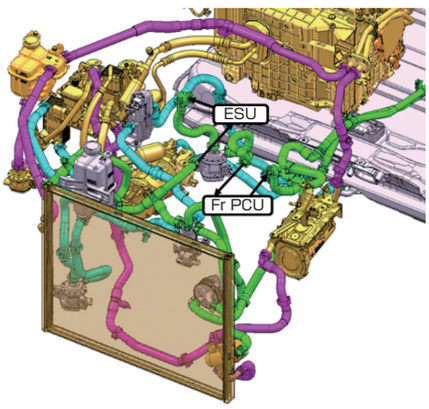


図 69　房内エアコンシステム

吸い込みセンタレイアウトとターボファンの新型エアコンユニットを採用。体格30%低減、消費電力30%低減を実現した(図70)。

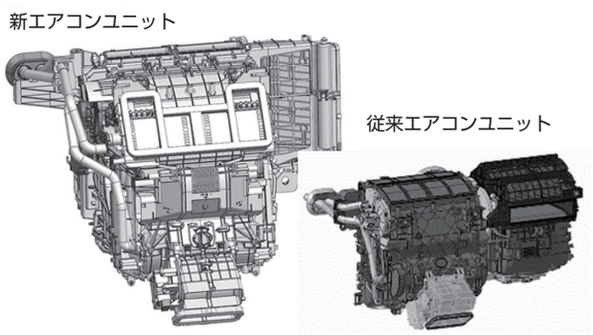


図 70　室内エアコンユニット

また、内外気2層ユニット化(1ファンで2層化)により、防曇性の確保と換気ロス低減による暖房性能向上を両立。車両の上層には低湿度な外気を導入して防曇を確保しつつ、足元には暖かい内気を循環させ、暖房性能と低燃費を両立した。

11.　シャシ

11.1.1　モータマウントシステム

3点支持方式のモータマウントシステムを採用し、効果的にモータ重心を支持：優れた動的性能の確保に寄与する(図71、72)。

11.1.2　ステアリングシステム

モータとモータ電流をコントロールするECUを一体化するMotor Control Unit(MCU)を搭載。

車速に応じてアシスト特性を変化させ、低速では軽く、高速では適度に手応えのある操舵感を実現。ステアリングホイールの動きを正確にホイールへ伝達する(図73)。

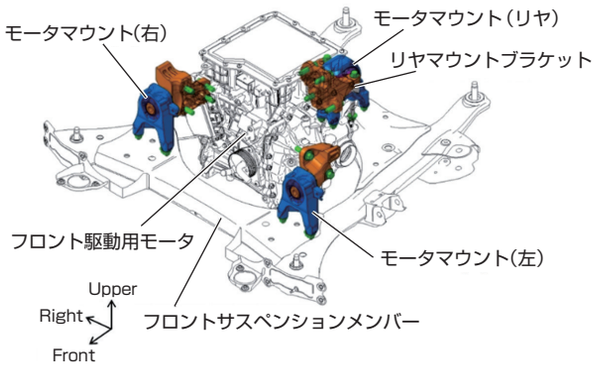


図 71　フロントマウントシステム

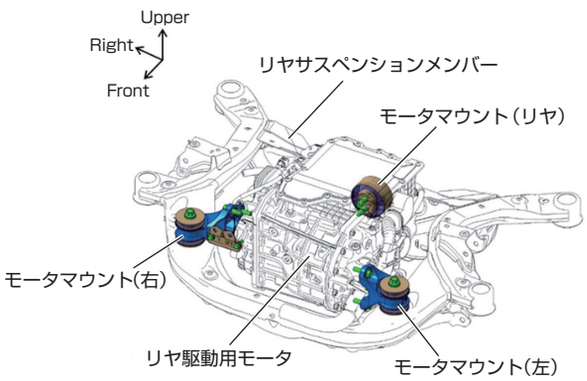


図 72　リヤマウントシステム

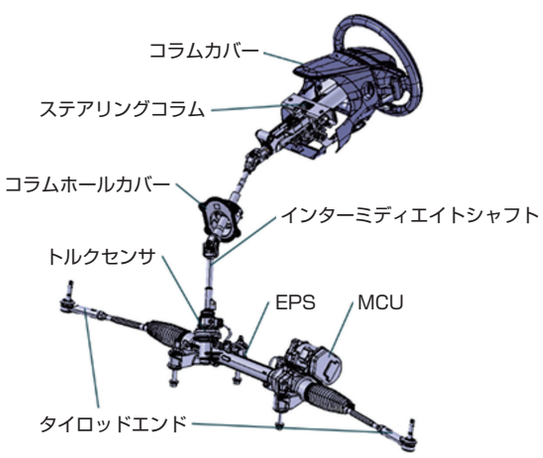


図 73　ステアリングシステム

11.1.3　サスペンションシステム

BEVプラットフォームとしてあるべき性能を追求。e-スバルグローバルプラットフォームの特徴を活かし、乗心地と操縦安定性を高次元で両立。

TOYOTAとの走行テストを繰り返して設計仕様を決め、双方が理想とする“操縦性能”と“安定性能”を実現した(図74、75)。

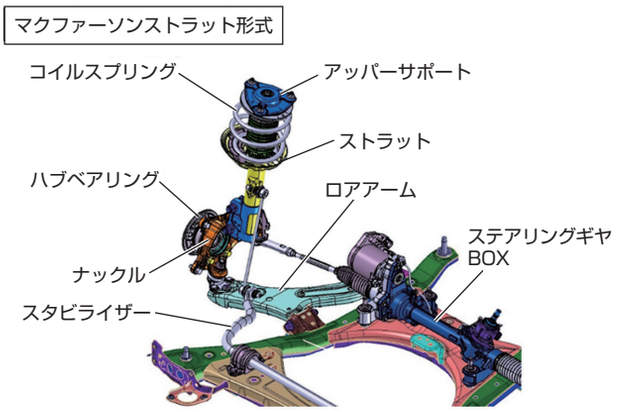


図 74　フロントサスペンション

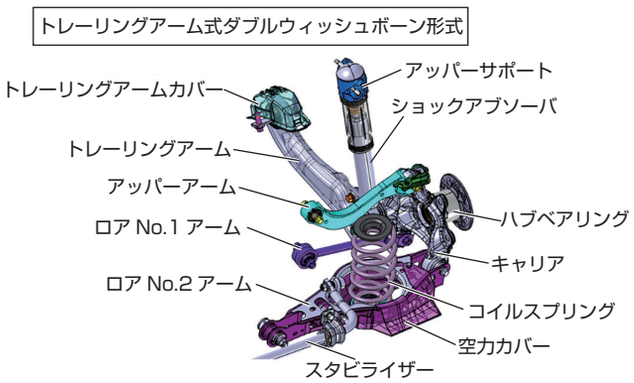


図 75　リヤサスペンション

11.1.4　ショックアブソーバ

減衰力設定を専用チューニングし、操縦安定性と乗心地を高次元で両立。e-スバルグローバルプラットフォームの特徴に合わせて低周波から高周波まで、バランス良く減衰力を最適化した。

電子制御デバイスや周波数感応ピストンなどの追加機能に頼らず、摺動デバイスを最適化しワンクラス上の競合BEVと同等の乗り心地を実現した(図76)。

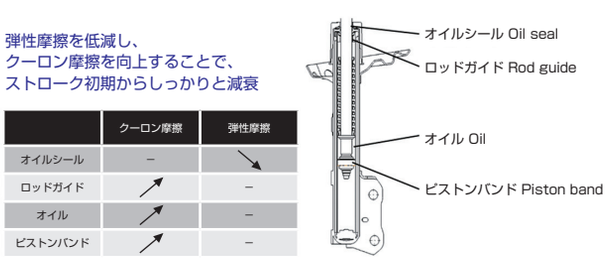


図 76　ショックアブソーバ

11.1.5　フロントロアアーム

アームの各ピボット点を最適化。

(1) ロールセンタ高を下げることで、車両ロール姿勢を最適化。

(2) 旋回時のサス剛性を骨格で確保してブッシュばね定数を低減することで、操縦安定性とNVHを高次元で両立。

(3) アンチリフト特性を向上。BEVならではの低速からの力強い加速に対しても車両ピッチングを抑え、フラットな車両姿勢を実現。

11.1.6　タイヤ

(1) 18 インチタイヤ

Rolling Resistance Coefficient (RRC) を低減し、航続距離に貢献しながら優れた静粛性や乗り心地を両立。

(2) 20 インチタイヤ

BEVならではの加速レスポンスの良さに対応した、より運動性能の高いタイヤを採用。

11.1.7　ブレーキシステム

前後の油圧を独立制御し、オンデマンド加圧方式の電子制御ブレーキシステム(AHB-G) を採用(図77)。BEVの電費向上および航続距離の向上に貢献する(FWDのみ)

また、Electric Parking Brake (EPB) を採用する。

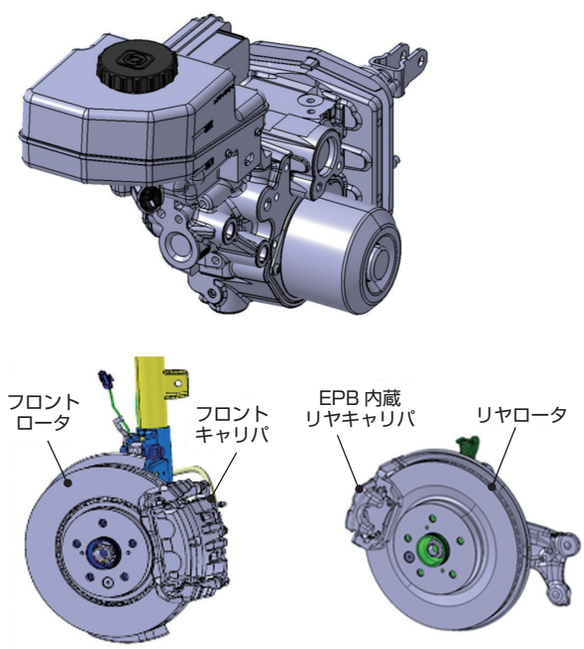


図 77　AHB-G と 前後ブレーキシステム

12.　先進安全

SUBARU Safety senseを採用。最新の先進安全機能を備えている。また､パノラミックビューモニター、Advanced Park (リモート機能付) などの駐車支援機能も充実させた(表5)。

表５　先進安全システム機能一覧

機能	主な特徴	北米	日本	欧州	中国	台湾
プリクラッシュセーフティ（PCS）	道路上の車両、歩行者、自転車、自動二輪車をミリ波レーダーと単眼カメラで検出。衝突の可能性が高いとシステムが判断した場合、ブザーとディプレイで危険をお知らせ。ブレーキを踏めた場合はブレーキ踏力をアシスト、踏めなかった場合はブレーキを作動させることで、衝突回避を支援、あるいは衝突被害の軽減に寄与する。 **おもな特徴** 出会いがしらの衝突回避支援や自動二輪車の検知、交差点での対向する自動車・自転車・歩行者の検知など、作動シーンを拡大した。	✓	✓	✓	✓	✓
レーダークルーズコントロール(ACC)	設定した車速で定速走行を行い、先行車がある場合は追従走行する。 **おもな特徴** 周辺車両の認識をより早め、自然な動作となるように制御改善を行った。 ACC作動中にカーブを検知したときは、必要に応じて速度抑制を行う機能を追加した。また、追い越しの際には、ターンレバー操作に連動して追い越し／走行レーンの車両を検知し、車両有無に応じて加減速の予備動作を行う制御とした。 ［欧州］ACCでの高速道路走行時、追い越し車線の車両に合わせて速度を抑制することで、走行レーン側からの追い越しを防止する。	✓	✓	✓	✓	✓
レーントレーシングアシスト(LTA)	ACC作動時に動作する。車線の中央付近を安定して走行するよう、ステアリング操作をアシストする。白線や先行車だけでなく、アスファルトや縁石などの境界も認識し、ステアリング制御を行う。 **おもな特徴** 認識機能を拡大させ、白線だけでなく立体物を検知できるようになった。対象物との横距離を取ることが可能となったため、車線中央だけでなく、道路状況に合わせて一時的に回避側にオフセットして走行する制御を加えた。	✓	✓	✓	✓	✓
レーンデパーチャーアラート(LDA)	車線を認識し、車両が逸脱する可能性があるとシステムが判断したときに、表示やブザー、ステアリング振動によってドライバーに通知。さらに操舵力のアシストによってドライバーに逸脱回避操作を促す。草や土などの立体物が無い道路（ロードエッジ）を認識し、転落回避をアシストする。 **おもな特徴** 電柱やガードレール、縁石など、認識対象を拡大させた。また道路上の歩行者や駐車車両を認識し、ドライバーの意思でこれを避けたと認識したときは、警告の発報や操舵支援を抑える制御とした。 ［日本］車線変更時、後側方に車両を検知するとBSM-LDAが作動するが、このとき音声でも警告するようにした。	✓	✓	✓	✓	✓
プロアクティブドライビングアシスト(PDA)	先進安全機能の支援領域を一般道まで拡大。複雑な道路環境に合わせてドライバーの操作をさりげなく支援することで、プリクラッシュセーフティ（RCS）や緊急時操舵支援の緊急動作を未然に防ぎ、安心できるドライブをサポートする。 日常走行域において、道路上の歩行者や自転車、先行車、カーブを認識したとき、ドライバーの操作から状況と行動の意図を理解し、減速度や操舵力を違和感なく制御することで、危機回避を支援する。	－	✓	－	✓	－
ドライバー異常時対応システム(EDSS)	レーントレーシングアシスト(LTA)が作動時に、しばらくの間ドライバーの操作が無く、ドライバー異常だと判断したとき、車外へ警告を行いながら減速し、車線内に停車する。	✓	✓	✓	✓	✓
ロードサインアシスト(RSA)	道路標識を認識しメーター上に表示することで、ドライバーへの告知漏れや誤認識を防ぐ。 **おもな特徴** ［欧州］RSAに連携して制限速度に合わせてスピードリミッターを設定できるようにした。 ［日本］高速道路の進入禁止標識を認識し逆走であることをメーターで警告する。また、システムが赤信号を認識したときにメーターに告知し、赤信号を見落としていると判断したときはブザーの吹鳴などで警告する。	✓	✓	✓	✓	✓
発進遅れ告知(先行車・信号)	［日本］先行車が発進したり、赤信号が解除されたときに告知する。赤信号は青色矢印信号にも対応した。	－	✓	－	－	－
パーキングサポートブレーキ(PKSB)	出庫や後退時の際に車両周辺の静止物をセンシングし、必要に応じてブレーキ制御することで、アクセルの踏みすぎや踏み間違いによる衝突を緩和し、被害軽減に寄与する。 Advanced Park機能付き車は、前後進だけでなく側方までをサポートするため、ステアリングを切りながらのバーキング時にも対応。 **おもな特徴** 後退時は歩行者までを検知する。	✓	✓	✓	✓	✓
パノラミックビューモニター	車両の周囲に搭載されたカメラの画像を合成し、車両を上から見たような映像を車内ディスプレイに表示。低速走行時の視覚補助を行うことで運転をサポートする。 ドライバー席視点からボディを透過するように表示するシースルービューや、車両を後ろ上方から見たような映像を表示し車両側方の安全確認ができるサイドクリアランスビュー、狭い道での積極回避を確認できるコーナリングビューも採用。従来死角となるエリアを表示することで車両周辺の安全確認を補助する。 パーキングサポートブレーキ(PKSB)などと連携することで、周辺の障害物を検知し画面表示で警告する。	✓	✓	✓	✓	✓
Advanced Park (リモート機能付)	車両の周囲を超音波センサーとビューカメラで検知。ステアリング、シフト、アクセル、ブレーキのすべてを制御して自動で駐車を行う。スマートフォンのデジタルキーを活用したリモート操作も可能としており、駐車が苦手なお客さまの駐車をアシストする。	✓	✓	－	✓	✓※1
安心降車アシストシステム Safe Exit Assist（SEA）	自車両が停車しているときに後側レーダーが接近車両を検知し、衝突の可能性があると判断すると、ドアミラーの警告灯を発光させて警告を促す。この時乗員が降車のためにドアを開けようとすると、「ドアミラー警告灯の点滅」とメーター表示とブザー吹鳴で警告。ドア開き事故や接触事故の低減に貢献する。	✓	✓	✓	✓	－

※１ リモート機能無し

【著　者】

SUBARU SOLTERRA 開発
プロジェクトチーム

［商品企画本部］　小野　大輔
藤枝 健一郎
中島　篤

［内外装設計部］　森岡　勇人
［CTO室］　岡村　純也
岸田　太一
稲越　賢司

［ボディ設計部］　吉羽　秀彰
［E&Cシステム開発部］　城所　直哉
本田　崇

SOLTERRA のデザイン開発について

Styling Design Development of SOLTERRA

大　関　　透*
OZEKI Toru
安　藤　貴　洋*
ANDOU Takahiro
高　松　雄　輝*
TAKAMATSU Yuki
太　田　尚　文*
OTA Naofumi
渕　野　優　子*
FUCHINO Yuko

抄　録

地球環境への配慮とライフアクティブなお客様の期待に応えるバッテリーEV（後述BEV）ならではのSUVが持つ新しい価値に「安心と愉しさ」というSUBARUならではの価値を融合させ、BOLDERデザイン戦略＝「各商品の固有性を大胆に表現」を骨格、シルエット、空間のすべてを大きく進化させたSOLTERRA。

今まで、お客様が経験したことのない新たな体験と、ワクワクした感動をSOLTERRAで提供するべく開発したデザインの目標と具体的な手法などの取り組みについて報告する。

Abstract

We fused a new value as a SUV BEV which meets customers' expectations who have environmentally-conscious mindsets and active lifestyles with SUBARU's unique value "Enjoyment and Peace of Mind" for SOLTERRA. We also boldly expressed the uniqueness of the product by drastically evolving the framework, the silhouette, and the space.

This paper reports our design targets and approaches for providing excitement and new experiences that our customers have never had before.

1.　まえがき

SOLTERRAのデザインは、環境意識が高く本物志向のアクティブなお客様に向けたBEVを実現するため、商品コンセプト「Upscale Practical」（一格上の実用性を備えたSUV/BEV）を目指した。加えて「安心と愉しさ」をデザインで表現する「DYNAMIC × SOLID」をさらに大胆に表現したBolderデザインで、BEV/SUVとしてのダイナミックで先進的なエクステリアや今まで感じたことのないワクワクする豊かな空間を持つインテリアの実現を目指した。

2.　エクステリアデザイン

エクステリアデザインテーマを「都会・自然のなかで存在感を主張するBOLDER SUV」とし、ダイナミックで先進的なデザインの実現を目指した。

造形テーマはヘキサゴンから始まるボディの造形

図１　フロントビュー

図２　リヤビュー

＊ デザイン部

と高い位置に水平な軸を通した厚みのあるボディボリュームとそぎ落したようなシャープな表情を加えることで精緻且つダイナミックな表情を実現。

加えて内側から押し出され隆起したような力感のあるフェンダー造形によりSUVとして頼りになる走破性を想起させるデザインとした。

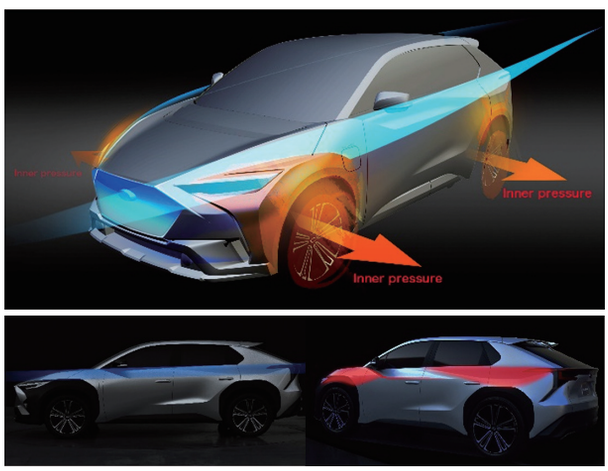


図３　エクステリアデザインテーマ

図４　最終クレイモデル

フロントデザインはBEVとして空力性能の良さとSUVとしての力強さをSUBARUのアイデンティティとともに先進的に、そしてアイコニックに表現した。

従来のガソリンエンジン車のような大きな冷却開口を必要としないBEVの特徴を生かし、開口の無いボディ同色で、上下が前方にせり出した新しい表現のヘキサゴン造形とすることで前進感と空気のスムースな流れのデザインとした。

図５　フロントヘキサゴン造形

ヘッドランプはフロントフェンダーと一体感を持たせたシンプルでアイコニックなデザイン表現とすべくブラックアウトされた薄型ヘッドランプを採用。非点灯時は多灯のプロジェクターの存在感を弱ることでシャープでクリスタル感あるCシェイプシグニチャーだけが黒いエリアに浮かび上がるアイコニックなデザインとして、フロントフェイスを引きしめた。

図６　画像はヘッドランプ非点灯時のイメージ

プロテクター表現はSUVの機能としてフロントからコーナーまで、悪路走行時に草や小石などが先当たりする部分を大きくカバーするプロテクター横造とした。さらに左右に空力の機能を持たせたインテーク、そしてヘッドランプと連続させた機能を集約したデザインとすることでシンプルかつ大胆な表現とした。

図７　プロテクター部とサイドインテーク

サイドのデザインは、基本フォルムによって空力性能をいかに高められるかがカギとなる。リヤガラスがファストバックに傾斜したそのフォルムは空力性能を高められるとともにスポーティでスリークなデザインを実現した(①)。

加えて長いホイールベースと四隅の配置された大径タイヤ(②)により,のびやかでスタンスの良い佇まいをもったBEV/SUVとしての新しいプロポーションを実現した。

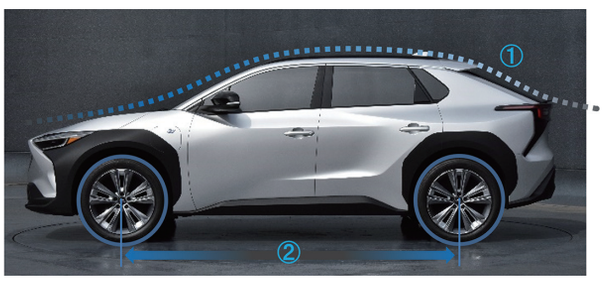


図８　空力フォルムと四隅にタイヤが配された新たなプロポーション

リヤデザインは高い位置に機能部品を配しリフトアップ感あるSUBARUのSUVらしい佇まいの実現と空力性能を追求した。

図９　リヤデザイン

左右に分かれた特徴的なデザインのルーフスポイラーは流速を増した走行風のメインの通り道である中央部の形状をルーフとリヤゲートに沿ってスムースにつなぐ断面形状とした。ルーフから流れてくる風をコントロールして中央に流す効果でダックテールスポイラーに導き空力性能の向上させた。中央部のスタビライジングフィンを装着し風の流れを整流させている。

ルーフスポイラーの左右はサイドから見たルーフの勢いを強調するために後方に大きく延びた形状で機能とデザインの両立を突き詰めたデザインとした。

リヤコンビネーションランプはガラスと一体感のある表面処理とフルLEDによる薄型のデザインでハイデッキなリヤの佇まいをさらに強調(①)。全体をブラックアウトした構成は前述のヘッドランプ同様にシグニチャー以外の存在感を控えることでCシェイプがアイコニックに赤く浮かび上がるデザインとした。

加えて、コンビランプから左右下方に伸びるモチーフはバンパーのロアプロテクターと共にリヤビューのスタビリティー感を強調(②)。悪路走行するSUVとして、安定感を感じさせ、頼もしさあふれるデザインとした。

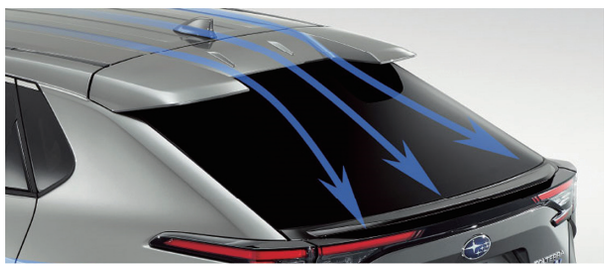


図 10　リヤスポイラー＆ダックテールスポイラー

図 11　リヤコンビネーションランプ

図 12　リヤコンビネーションランプ（拡大）

３　インテリアデザイン

インテリアデザインのテーマを「運転の愉しさとくつろぎの開放空間の融合」とし、BEV専用プラットフォームの利点であるロングホイールベースのパッケージングを生かした前後空間の広がりとともにSUBARU初のトップマウント(遠視点)メーターを採用するなど先進デザインを実現。

開放的でくつろげるインテリア空間を実現するため、前後の空間の広さに着目し前席はインパネ上面を低く存在感を弱めるとともに、ドライバーの前方の空間も大きく取れるSUBARU初のトップマウントメーター(遠視点メーター)を採用することでドアトリム

からつながるフロントガラス直前までを室内空間として感じていただける造形構成とした。

図 13　内装全体イメージ（タン本革内装）

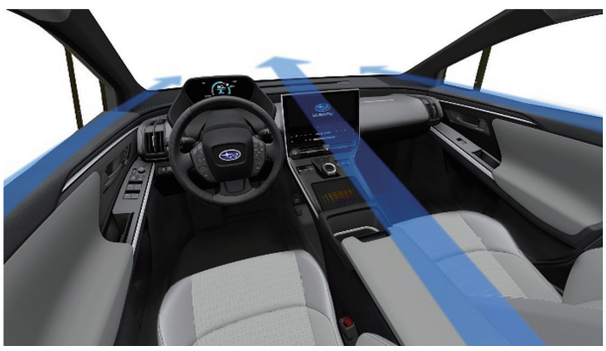


図 14　インテリア空間デザインテーマ

ステアリングの上から見るトップマウントメーターは運転時の視線移動を抑えるとともにメーターのコーナー部と車両の見切り位置の関連を持たせることで運転のしやすさも実現した。メーターからステアリングコラムに伸びる羽衣形状のデザインはハンドルを握るドライバーとの一体感を演出して運転の愉しさをさらに高めている。

図 15　トップマウントメーター

センターディスプレイとシームレスに連続したセンターコンソールは先進感を演出したダイアル式シフトと操作系スイッチを集合させることでシンプルで操作性に優れたレイアウトを実現。シフト手前にはシースルーカバーを持つ非接触スマートフォン充電付き収納と大容量のコンソールボックス、シフト下にはUSB電源を左右2か所に備え、使い勝手の良い、大きい収納スペースを設けた。乗員の膝との空間を確保するために側面の立体を削いだ形状とするなど先進性と実用性を兼ね備えたデザインとした。

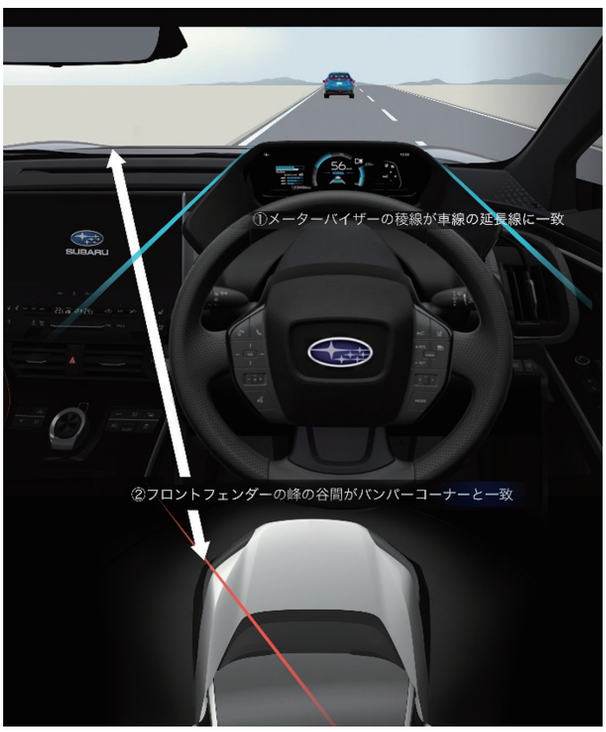


図 16　コックピット感と車両感覚の掴みやすさを融合したデザイン

図 17　センターコンソールデザインテーマ

図 18　ダイアル式シフトと集約されたコンソールスイッチ

後席については足元にトンネルが無いプロペラシャフトを持たないAWDシステムにフラットで前後に大きく取られたレッグルームを実現した。長距離の移動でもゆったりと過ごせる広々した室内空間を実現した。

さらにオプションで用意される大型グラスルーフは室内の開放感をさらに高める。

図19　大型グラスルーフ

4.　ホイールデザイン

18インチホイールは5本スポークのアルミホイールに質感を高めた樹脂等のフルカバーを装着することで空力性能とともにのびやかで力強いデザインを実現した。

ホイール中心部までスポークをながく伸ばすことで18インチでもそれ以上の大径ホイールに見えるのびやかで力強いデザインを実現した。

図20　18インチフルホイールカバー

20インチホイールは、SOLTERRAの逞しいボディを支える剛性感を感じるミディアムグレィメタリックと光輝切削のコンビネーションスポークの中央に、シャープでメカニカルな別体のシルバーモチーフを勘合させることで3トーンを表現した。SUVとして力強さとハイテクノロジー且つ先進性を融合したデザインとした。

図21　20インチアルミホイール

5.　ボディカラー

ボディカラーは、乗る人の個性やライフスタイルに応えるべく6色のバリエーションを展開。ツートーンカラーには、ピラーからルーフ、スポイラーまでブラック塗装とすることで、スポーティーさと先進性をさらに高めた。

【ブラック】
重厚感のある、シンプルなソリッドブラック

図22　ブラック

【プレシャスメタル】
強い陰影感と滑らかな粒子感で造形を際立たせる深みと力強い品格を持たせたグレーメタリック。

図23　プレシャスメタル

【エモーショナルレッド2】
スポーティさを際立たせる深みとつやのあるレッド。

図 24　エモーショナルレッド 2

【ダークブルー】
車格感のある、落ち着いたダークブルー

図 25　ダークブルー

【プラチナムホワイトパールマイカ】
洗練されたシャープなホワイトパール。

図 26　プラチナムホワイトパールマイカ

【ハーバーミストグレーパール】
包まれる安心感と先進感を兼ね備えたタフで包容力のあるソリッドライクブルーイッシュグレー。

図 27　ハーバーミストグレーパール

6.　内装カラーコーディネーション

【ブラック内装】
黒を基調とした杢調ファブリックをメインに落ち着いた内装空間の実現を目指した。

図 28　ブラック内装

【タン内装】
タンカラーの本革シートと合皮の表皮巻きをメインにアクティブで上質な内装空間を目指した。
フロントシート背面は黒の合皮を採用しリヤシートを倒しての荷物積載時の汚れに配慮した。

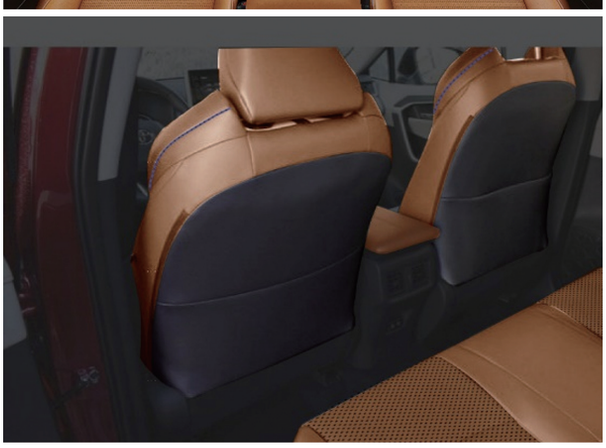


図 29　タン内装

7. 終わりに

SOLTERRAのデザイン開発ではお客様が今まで体験したことのない新しいワクワクする感動を提供するべくお客様のライフスタイルに向き合い、新しい技術とともに新しいSUBARUの表現を模索し推進してきました。

進化した「安心と愉しさ」をより沢山のお客様にSOLTERRAを日常、非日常で使って頂き体感、共感いただけたら幸いです。

【著　者】

大関　　透

安藤　貴洋

高松　雄輝

太田　尚文

渕野　優子

SUBARU「フォレスター」大幅改良モデルを発表

2021年8月19日

●新デザインのエクステリアを採用し、SUVらしい力強さを表現
●全グレードで足回りを改良し、より快適な乗り心地を実現
●「新世代アイサイト」を搭載し、安全性能をさらに向上
●ドライバーモニタリングシステムに「ジェスチャーコントロール機能」を追加

SUBARUは、「フォレスター」大幅改良モデル（日本仕様車）を発表しました。

フォレスター「X-BREAK」

SUBARU SOLTERRA 走破性能の紹介

Introduction of SUBARU SOLTERRA Roughroad Driving Performance

野　田　哲　夫[*1]　NODA Tetsuo
岸　田　太　一[*2]　KISHIDA Taichi
佐　藤　淳　一[*3]　SATOU Junichi
石　井　健太郎[*4]　ISHII Kentaro

抄　録

SUBARU SOLTERRAではトヨタ自動車との共同開発において「安心／安全」のSUBARUらしい走破性を具現化するために、BEV車向け「X－MODE」を開発すると共に新機能の「Grip Control」を付加する事で、より高次元の走破性能を実現した。本稿では「X－MODE」と「Grip Control」の基本的な性能と制御に関する技術を紹介する。

Abstract

This document shows an example for articles in SUBARU technical review. For more details see other explanations　included in the distributed document set. Thank you for your attention.

1.　まえがき

SUBARU初の量産BEVとなるSOLTERRAにおいて、今までのSUBARUらしい高次元の走破性能を実現するために「X－MODE」をBEVに採用すると共に、新機能となる「Grip Control」を開発した。本稿では「X－MODE」と「Grip Control」の基本的な性能と機能について紹介する。

2.　X－MODE

SUBARU SOLTERRAでは、BEVの期待を超える走破性能を実現すべくX－MODEを採用した。BEVの特性の良さを最大限に引き出し、従来SUBARU－SUVと同等以上の悪路走破性能を備え、どのような状況でもSUBARUの「安心と愉しさ」を実感できるBEVとした。

図１　SOLTERRA 走破性能イメージ

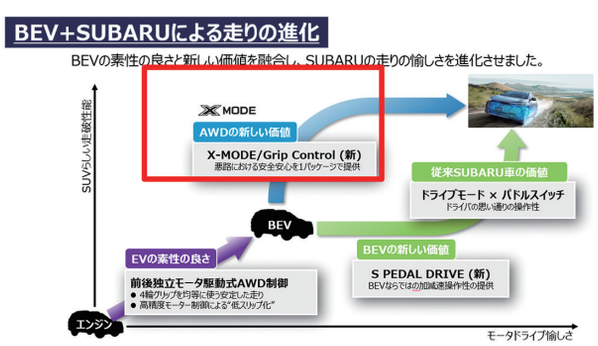


図２　SOLTERRA 走りの進化

2.1　機能概要

雪道などの滑りやすい路面（SNOW/DIRT）や、深雪や泥濘路などのタイヤが埋まってしまうような路面

＊1 車両開発統括部
＊2 CTO室
＊3 車両運動開発部
＊4 車両環境開発部

（D.SNOW/MUD）に合わせた2モードの駆動力特性とブレーキ制御により、悪路走破性能を高めた（図3）。

●凹凸路や滑りやすい路面で使用
●モーターのトルクやレスポンスの良さを活かして、グリップを最大限に引き出し、安定性と走破性をバランスよく実現

●タイヤが埋まるような砂地や深雪で使用
●モーターが雪や砂を力強く掻きだし、ブレーキ制御を加えることで、重量のある BEV でもしっかりと脱出できる

図３　X－MODE の２つのモード

2.2　操作スイッチ

X－MODE の操作スイッチは1スイッチタイプを採用し、操作系をシンプル化した（図4）。

X－MODE switch

図４　X－MODE 操作スイッチ

2.3　モード遷移

モード遷移は、X-MODE スイッチ操作に応じ、SNOW/DIRT、D.SNOW/MUD、X－MODE 解除と遷移する。また、所定車速以上で X－MODE は自動解除されるが、再度車速が下がってきた場合には X－MODE が再度 ON する仕様とすることで。利便性を高めた（図5）。

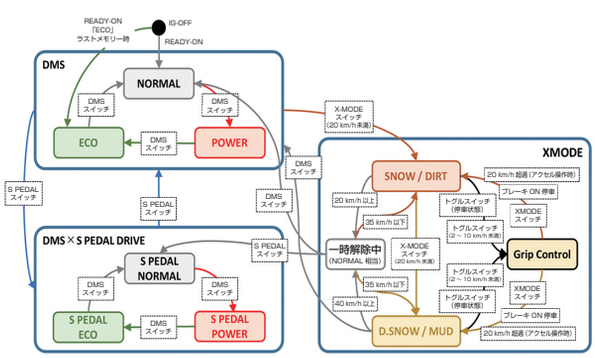


図５　X－MODE モード遷移

2.4　駆動力特性

駆動力特性は、以下の通り、路面に合わせた扱いやすい特性とした（図6）。

(1) SNOW/DIRT

低開度領域：駆動力発生を抑えた滑りにくい特性
中開度以降：悪路走破しやすいよう駆動力発生を優先した特性

(2) D.SNOW/MUD

悪路から脱出しやすいよう駆動力発生を優先した特性

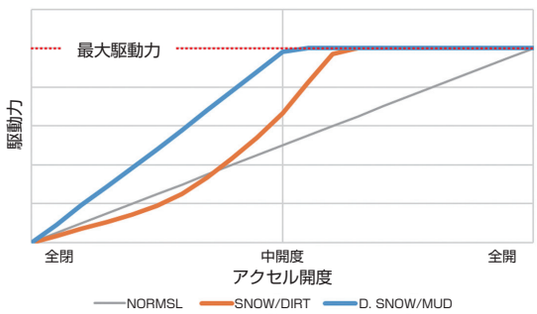


図６　X－MODE 駆動力特性

2.5　ブレーキ制御

ブレーキ制御は、スリップ量に応じてドライバ要求駆動力に対してトルクダウンを行う駆動力制御、スリップ輪に対してブレーキをかけることで推進力を確保するブレーキ LSD 制御から構成される（図7）。

また、ブレーキ制御は、通常の NORMAL モードと比較し、路面に合わせた駆動力発生を優先する駆動力制御とブレーキ LSD 制御により、悪路走破性を高めた（表1）。

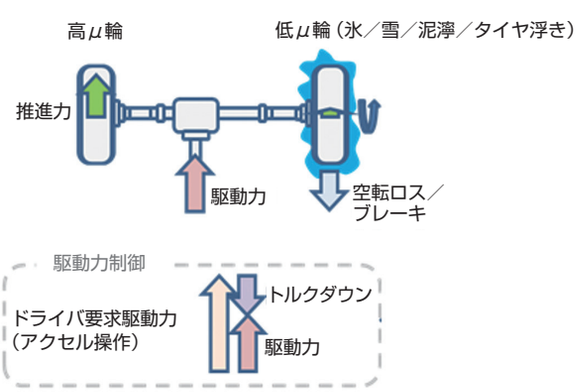


図７　X－MODE ブレーキ制御

表１　ブレーキ制御比較

モード	駆動力制御	ブレーキ LSD 制御
NORMAL	通常	通常
SNOW/DIRT	駆動力発生優先	ブレーキゲイン UP
D.SNOW/MUD	駆動力発生最優先	ブレーキゲイン UP

2.6　走破性能確認結果

2つのモード「SNOW/DIRT」「D.SNOW/MUD」の駆動力特性とブレーキ制御の最適化を実施し、悪路走破性を高めた(表2)。

表２　各制御内容と確認結果

モード	制御内容／狙い		確認結果
SNOW/DIRT	ブレーキ制御	通常より車輪スリップを抑制（跨ぎ時）	滑りやすい路面の走行を想定し、安定性と走破性をバランスよく実現。 低負荷領域はアクセルを遅開き特性にする事で低μ路での走行性を向上。 高負荷領域はアクセルを早開き特性にする事ですばやく最大トルクを出し、悪路走破性を向上。
	駆動力制御	通常よりも車輪スリップ時の駆動力を出し続ける（跨ぎ時）	
	アクセル駆動力制御	アクセル操作に対して駆動トルクをなます(アクセル低開度領域)	
D. SNOW/MUD	ブレーキ制御	通常より車輪スリップを抑制（跨ぎ時）	タイヤが埋まる路面の走行を想定し、タイヤをスリップさせて雪や泥を掻き出しながら走行。 凹凸路では空転輪にブレーキを掛けてLSD 効果を発揮。 低負荷領域～高負荷領域にてアクセルを早開きにする事ですばやく最大トルクを出し、スタック時の脱出性を向上。
	駆動力制御	通常よりも車輪スリップ時の駆動力を出し続ける（跨ぎ時）	
	アクセル駆動力制御	アクセル操作に対して駆動トルクを大きくする（アクセル低開度領域）	

車両重量のあるBEV車においても、従来のSUBARU車と同等の悪路走破性を実現できている事を確認した。又、独立した2モードの力強いトルクを 高レスポンスな制御によってX－MODEが大きく進化をさせる事ができた(表3)。

表３　X－MODE 性能確認結果

路面	SOLTERRA	FORESTER	XV
雪道の登坂発信	◎	○	○
砂利道の登坂	◎	○	○
曲がった悪路の登坂	◎	○	○
深雪、泥濘からの脱出	◎	○	○

3.　Grip Control

悪路において、滑らないように路面を捉え、一定速（約2～10 km/h）を維持できる、Grip Controlを新規開発した。

●より低速でステアリングとアクセルの制御が必要な凹凸路などで使用
●一定の速度で走行することで、ドライバがステアリングの操作に集中できる
●スイッチ操作によって速度調整も可能

図８　Grip control 機能

3.1　機能概要

Grip Controlは、X－MODEの付加機能である。X－MODE作動状態にて専用のトグルスイッチを押し下げると作動する(図9)。従来機能のヒルディセントコントロールによる降坂一定速走行に加え、平坦路や登坂路においてもアクセル／ブレーキペダル操作がサポートされるため、ドライバはよりハンドル操作に集中できる。

図９　Grip Control スイッチ

3.2　車速設定

Grip Controlは、不安定な環境下で「ハンドル操作に集中できる」事がうれしさである。想定シーンで必要となる車速域と安全性の観点から、上限車速は約10 km/hとした。

また、段差乗り越えや降坂、登坂など、シーンによって最適な車速は異なるため、トグル操作により、約2/4/6/8/10 km/hの5段階で目標車速を設定できるようにした(図10)。

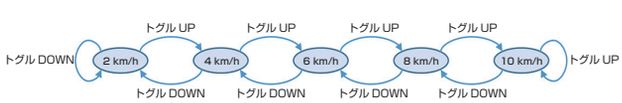


図 10　Grip Control スイッチ

3.3　アクセル／ブレーキオーバーライド制御

Grip Control作動中にアクセル操作した場合、その操作に応じた駆動力発生を優先する仕様とした。アクセルオフ後は、設定車速へゆっくりと戻る。

また、Grip Control作動中にブレーキ操作した場合、その操作に応じた制動力発生を優先する仕様とした。ブレーキ操作してもGrip Controlを解除しないようにすることで、悪路走行における利便性を高めた。なお、安全確保のため、ブレーキ操作によって停車した時は、Grip Controlを解除する。

3.4　ヒルディセントコントロール

ヒルディセントコントロールはXモード中に坂道を下る際にブレーキ制御によって一定の車速を保つ事が

出来る。ドライバはハンドル操作に集中出来るために安心した走行が可能となる。さらにGrip Control中はブレーキ制御に加えてモーターの駆動力制御が加わるためにより低速で安定した走行が可能となっている。

図 11　ヒルディセント試験風景

3.5　走破性能確認結果

急勾配悪路における各走行モード走破性能比較により、X－MODE同等の走破性能を有しつつ、ハンドル操作に集中できることで、安心感向上に寄与していることを確認した(表4)。

表 4　Grip Control 走破性確認結果

モード	急勾配 登降坂	ペダル 操作	安心感
NORMAL (クリープ)	不可	－	×
X-MODE	可	必要	○
GripControl	可	不要	◎

4.　まとめ

本稿ではSUBARU初の量産EVとなるSOLTERRAの走破性能について紹介した。近年、各社から様々なBEV車が市場投入されており、今後も多くのBEV車が市場投入される予定である。そうした中でSUBARUらしいBEV車を実現するためには「高次元の走破性能の実現」が重要な要素のひとつになると考えている。

今回の開発で得られたノウハウを活用する事でさらに技術に磨きを掛け「SUBARUらしい高次元の走破性能」の開発に取り組んで行く。

最後に今回のSOLTERRAの走破性能開発にあたり、御協力頂いた関係各位に感謝申し上げます。

【著　者】

野田　哲夫

岸田　太一

佐藤　淳一

石井 健太郎

SUBARU SOLTERRA 走行性能の紹介

Introduction of SUBARU SOLTERRA Driving Performance

野田哲夫[*1] NODA Tetsuo
古瀬智広[*2] FURUSE Tomohiro
吉羽秀彰[*2] YOSHIBA Hideaki
岸田太一[*3] KISHIDA Taichi
矢吹直人[*4] YABUKI Naoto
廣田光一[*4] HIROTA Koichi

抄　録

SUBARU SOLTERRAではトヨタ自動車との共同開発において「安心と愉しさ」のSUBARUらしい走りを具現化するために、シャシ設計の考え方や構造にSUBARUの知見を折り込むと共に、運転状況に応じたきめ細かい前後駆動力配分が可能な前後独立モーターAWD制御を構えている。本稿では走行性能に関する基本的なシャシ構造と、前後独立AWD制御に関する技術を紹介する。

Abstract

SUBARU SOLTERRA, jointly developed with TOYOTA, realizes SUBARU's unique driving performance which provides "Enjoyment and Peace of Mind" to customers. It utilizes SUBARU's knowledge of chassis concepts and structures and also has AWD control with independent front and rear motors.

This article introduces SOLTERRA's basic chassis structure and independent front and rear AWD control technology related to driving performance.

1.　まえがき

SUBARUが目指す「安心と愉しさ」「意のままに操る愉しさ」によりお客様を笑顔にするために、SUBARU初の量産BEVであるSOLTERRAにおいても、「SUBARUらしい走り」を実現している。本稿ではその実現の要素であるシャシ構造とAWD制御について紹介する。

2.　シャシ開発

2.1　シャシ開発の狙い

BEV化による変化点やニーズにしっかりと対応するとともに、現在SUBARUのガソリン車に乗られているお客様にも満足いただけるよう、既存資産を活用しつつも、SUBARUが大切にしている「動的質感」を徹底的に追及することを基本コンセプトとし、以下の3本を柱として開発した。

＊1 車両開発統括部
＊2 ボディ設計部
＊3 CTO室
＊4 車両運動開発部

図1　SOLTERRA走行性能イメージ

①BEVならではの素性の良さを活かす
②BEVの素性がゆえの不安をなくす
③BEVでもSUBARUらしさを際立たせる

2.2　BEVならではの素性の良さを活かす

BEV化に伴う変化点の1つに、エンジンからモータに変わることがある。モータはエンジンに比べ軽量、且つ、アイドル振動が発生しない特徴があり、それを活かしたモータマウント特性、及び、モータユニット固有値配列を検討。パワーユニットの固有値配列をサスペンションのバネ下共振より上に設定することで、車体の振動レベルを低減させ、バッテリマス効果と合

わせてスッキリとした乗心地を実現した(図2、3)。

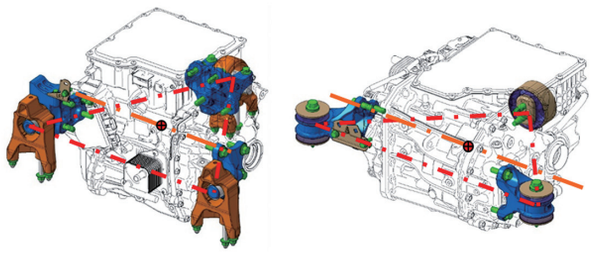


図２　フロントモータマウント(左)　リヤモータマウント(右)

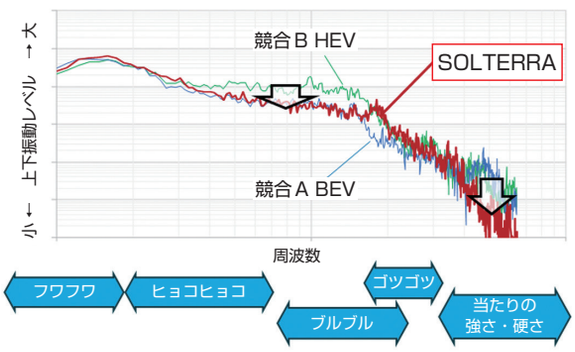


図３　バッテリマスによる振動レベルの低下

2.3　BEVの素性がゆえの不安をなくす

一方、キャビン下の車両中心部分に重たい駆動用バッテリが搭載され、また、バッテリ搭載スペース上、ホイールベースが延長される。その結果、正規化慣性モーメントが小さくなり、ヨー共振の収束性が低下、スピンし易くなる傾向となる。対策として、リヤアッパーアームブッシュの剛性上げやタイヤ特性(Cp・KL)見直しを行うことで、トレッド剛性・キャンバ剛性を向上させ前後のコンプライアンス特性を最適化した(図4)。

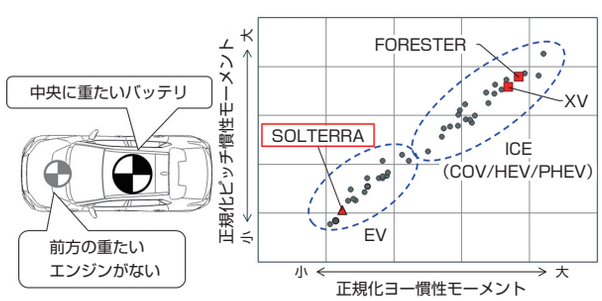


図４　正規化慣性モーメント比較

また、モータ駆動は低回転からトルクが発生し持続するという特徴があり、加速時に車両前上がりの姿勢となり易い。フロントロアアームの取付点等のジオメトリを見直しアンチリフト性能を確保することで、フラットな加速姿勢を実現した(図5)。さらに、左右等長ドライブシャフトやモータマウントを左右対称の配置とすることで、トルクステアを抑制し高い直進安定性を実現している(図6)。

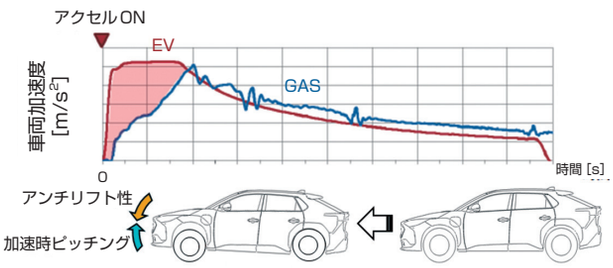


図５　フラットな加速姿勢

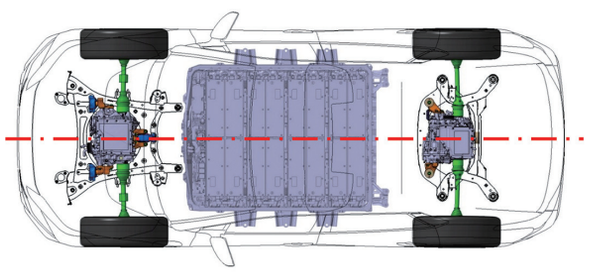


図６　左右対称 ドライブトレーンレイアウト

2.4　BEVでもSUBARUらしさを際立たせる

2.4.1　心地よい旋回姿勢

ドライバ操作に対し、重たさを感じさせない連続性のある挙動を実現するために、車体慣性主軸とロール軸を平行に近づけるジオメトリを設定。アブソーバの特性は前後配分をややリヤ寄りで圧縮側を強め、動き出しが滑らかでストロークをした後でもしっかり支えるSOLTERRA専用ショックアブソーバのセッティングとした(図7)。

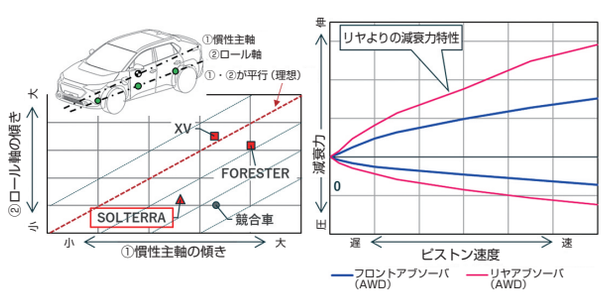


図７　車両ロール軸の最適化とアブソーバ減衰力イメージ

2.4.2　ドライバの意図通りの走行ライン

美深試験場での雪上テスト結果を基に車両挙動改善を実施。ドライ、ウェット、スノーいずれの路面状況でも素直な旋回特性を実現させるため、Rrサスのブッシュ剛柔のバランスを見直し、ドライバが狙ったラインに載せられるライントレース性を実現した(図8)。

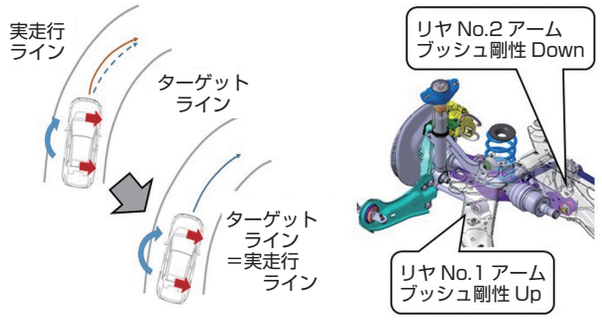


図８　ドライバの意図通りの走行ライン

2.4.3　心地良い操舵フィーリング

ハンドル操作に対しては動き出しよく、滑らかな操舵力変化で切った分だけしっかり曲がるステアリング特性を実現するため、専用ショックアブソーバとのバランスが最適となる電動パワステのアシスト特性を選択した。

2.4.4　優れた動的質感

SUBARU GLOBAL PLATFORMの知見として、車体骨格を前から後ろまで連続的に結合させることが動的質感を向上させるための非常に重要なポイントになる。BEVでは床下にバッテリを搭載することで、従来の床下骨格が配置できず、フロントからリアにかけて、骨格の連続性が確保できない。そこでSOLTERRAではバッテリケースの骨格を剛性部材として活用し、フロントサブフレームとバッテリケースの外周骨格(**図9①部**)、外周骨格とリヤフレーム(**図9③部**)をブレースで結合することで骨格の連続性を確保した。これによりサスペンションの取り付け部剛性を向上させた。さらにバッテリケース横のアルミ押し出し材とサイドシルを結合する(**図9②部**)ことで、車体ねじり剛性を従来車に比べ1.3倍まで高め、動的質感を向上させている(**図10**)。

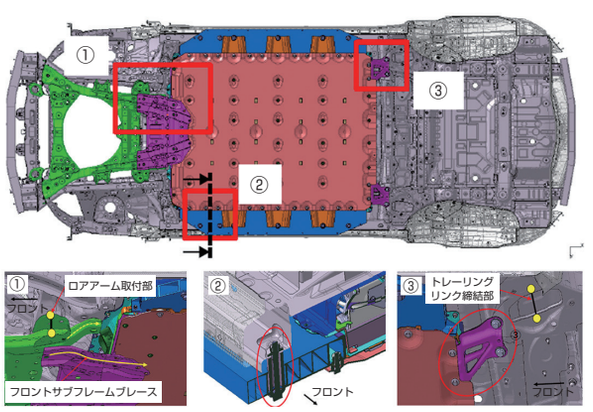


図９　車体骨格とバッテリケース骨格の結合構造

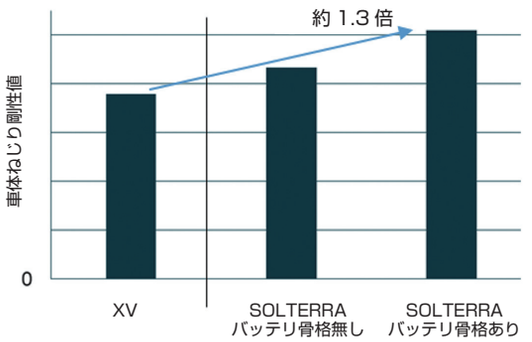


図 10　車体ねじり剛性

3.　制御開発

SOLTERRAでは以下3点に注力し、SUBARUらしい走りを実現した。本稿では(1)、(2)について解説する。

(1) BEVだから可能な基本性能の向上
(2) BEVならではの走り
(3) BEVの期待を超える走破性能

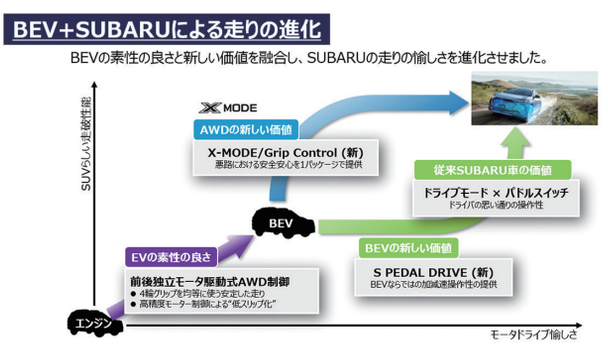


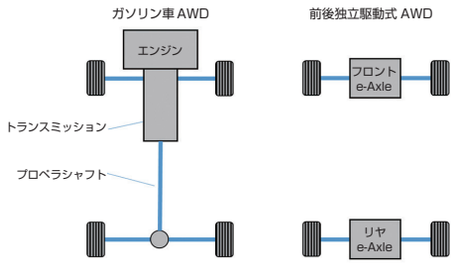
図 11　制御機能のコンセプト

3.1　BEVだから可能な基本性能の向上

3.1.1　AWD制御

前後独立モータ駆動式のAWDは、自在な前後配分コントロールが特徴である(**図12**)。さらに、モータの高精度・高応答なコントロール性によって、車両状態やドライバ操作に最適な前後配分コントロールが可能となる。これにより、4輪のグリップ力をバランスよく利用し、走破性、安定性、旋回性能を高次元で両立した。

その一例として、スリップ抑制制御がある。自在な配分コントロールに加え、タイヤスリップ検知からスリップ抑制トルクダウンをモータでレスポンス良く行うことで、大幅にスリップを低減し、安心感のある走りを実現した(**図13**)。



方式	前後配分比		
ガソリン車 AWD	100：0	～	50：50
前後独立モータ駆動式AWD	50：0	～	0：50

図 12　前後独立モータ AWD の自在な配分コントロール

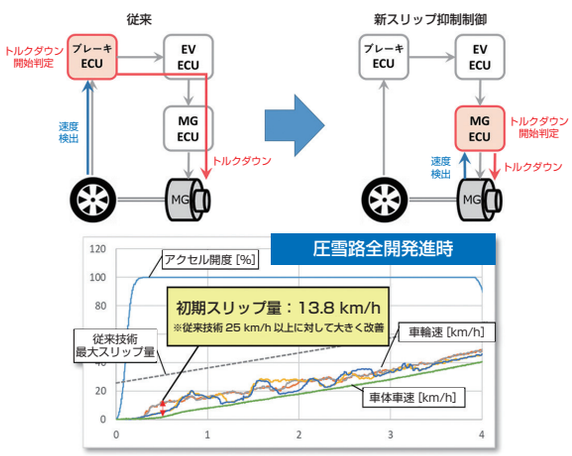


図 13　スリップ抑制制御

3.1.2　ドライブモード

ドライブモードはスイッチひとつでNORMAL、ECO、POWERの3モードを選択可能とした(図14)。モードに合わせたアクセル開度に対する加速特性と応答性により、意のままの加速コントロールを実現した(表1)。

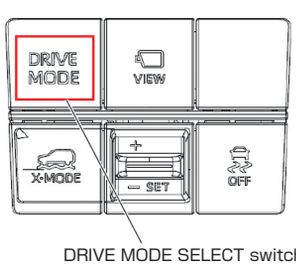


図 14　ドライブモード選択スイッチ

表 1　各モードのコンセプト

モード	コンセプト
NORMAL	すべてのシーンにベストバランスなモード
ECO	穏やかなアクセル操作性により、 実用航続距離を延ばすことができるモード
POWER	BEV らしい俊敏かつ加速の伸び感のあるアクセル操作性により、ワインディングを気持ちよく走行できるモード

(1) アクセル開度に対する加速特性

POWERモードは、NORMAL/ECOモードに対してアクセル開度に対する発生加速度を増やすことで、加速の伸び感を演出するアクセル操作性とした(図15)。

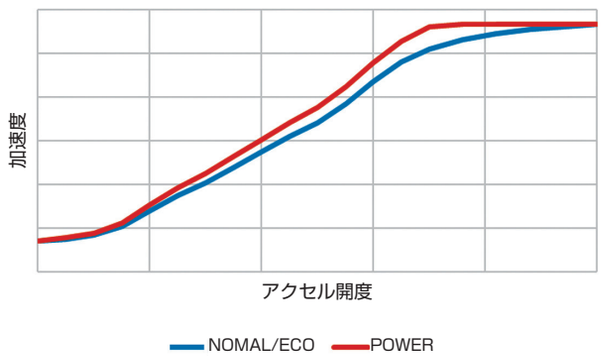


図 15　アクセル開度に対する加速特性

(2) 応答性

POWERモードは、NORMALモードに対してモータトルクの応答性を向上させることで、BEVらしい俊敏なアクセル操作性とした。また、ECOモードは、穏やかなアクセル操作性とした(図16)。

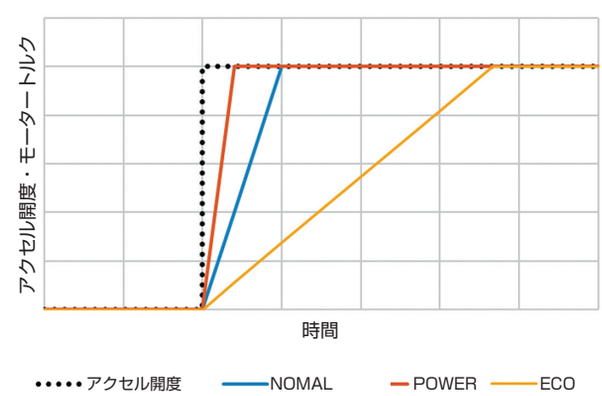


図 16　応答性

3.1.3　パドルスイッチ

ステアリング一体型のパドルスイッチを設定している。走行中にパドルスイッチを使うことで、アクセルOFF時の減速特性(回生減速度)を4段階選択可能とし、ステアリングから手を離す事無く意のままの減速コントロールを実現した(図17)。

(1) 減速特性

セーリング(Lv.1)からMax1.2 m/s^2(Lv.4)までの減速特性を設定(図18)。各減速特性間に大きな減速度差を設けることで、節度感のある減速度切り替えを実現した。

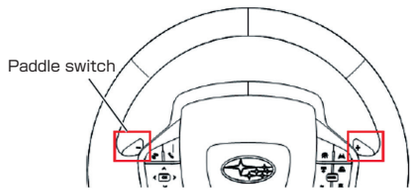


図 17　パドルスイッチ

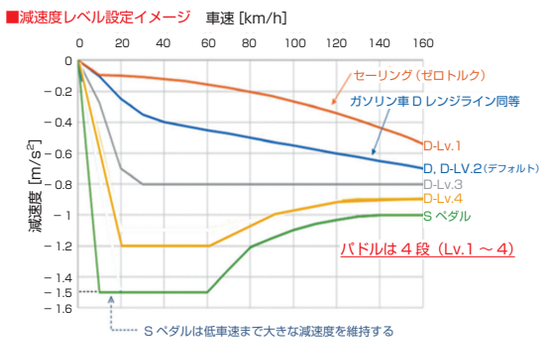


図 18　パドルによる回生減速度

(2) モード遷移

SOLTERRA はMシフトポジションを持たないため、デフォルトをLv.2とし、パドルスイッチ操作に応じて減速特性を切り替え、シフト操作等の操作がない限りはその減速特性を維持する仕様とした(図19)。

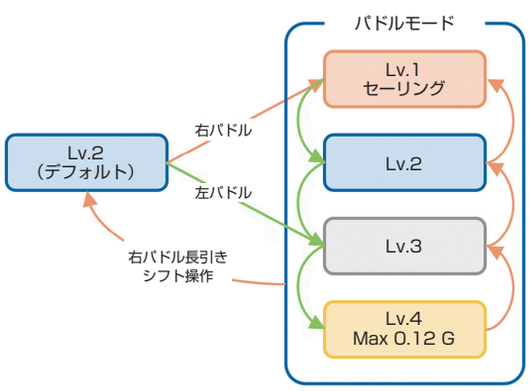


図 19　パドルスイッチによるモード遷移

3.2　BEVならではの走り

3.2.1　S Pedal Drive

回生による惰行減速度を高めた、S Pedal Driveを新規開発した。アクセルペダルによる加減速コントロールを可能にすることで、BEVならではの走りと、ブレーキペダルへの踏み替え頻度低減による運転負荷の軽減を実現した。

(1) BEVならではの走り

アクセル操作に対する減速特性を人の知覚特性に基づいて設計することで、自然な減速感を実現した(図20)。また、モータの高応答を活かすことで、減速感を瞬時に創出することができ、BEVらしい走りを実現した。

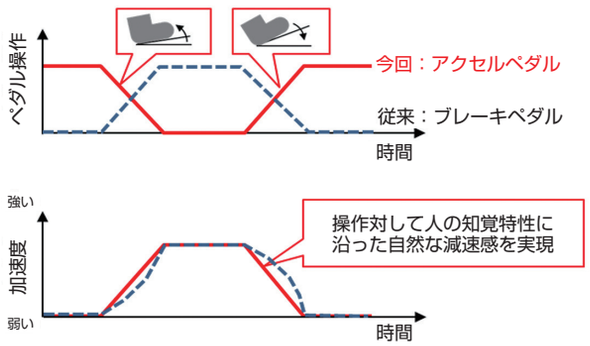


図 20　S Pedal Drive の自然な減速感

(2) 運転負荷の軽減

回生による惰行減速度を1.5 m /s²まで高めた。また、クリープ車速を通常より下げることでアクセルペダルによる加減速コントロール領域を拡大した(図21)。これにより、市場環境下で使われている減速度頻度の約80%をアクセルペダルによる減速コントロールでカバーした(図22)。ブレーキペダルへの踏み替え頻度を低減し、運転負荷を軽減した。

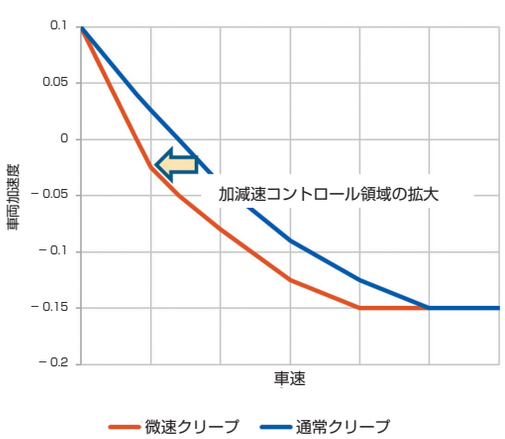


図 21　加減速コントロール領域の拡大

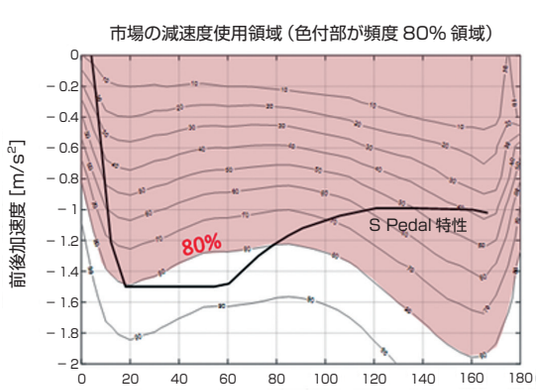


図 22　S Pedal Drive の減速度カバー域

(3) 安全思想

S Pedal Driveではアクセルだけでの完全停止(0 km/hまで)は行なっていない。これはいざブレーキペダルを踏み込まないといけない咄嗟の状況となった際のペダル踏み替え反応遅れを懸念し、完全停止の際はブレーキペダルを踏むという習慣付けが必要だろうという安全思想である。

但しクリープ車速は、通常モードの約6 km/hに対してS Pedal Driveでは約4 km/hと低速化する事で、よりコントロールできる車速領域の拡大を狙っている。

4. まとめ

本稿ではSUBARU初の量産BEVとなるSOLTERRAの走行性能について紹介した。近年、各社から様々なBEV車が市場投入されており、今後も多くのBEV車が市場投入される予定である。そうした中でSUBARU―BEV車としては「SUBARUらしさ」が重要なファクターとなると考えている。

今回の開発で得られたノウハウを活用する事でさらに走りに磨きを掛け「SUBARUらしいBEV車」の開発に取り組んで行く。

最後に今回のSOLTERRAの走行性能開発にあたり、御協力頂いた関係各位に感謝申し上げます。

【著　者】

野田　哲夫

古瀬　智広

吉羽　秀彰

岸田　太一

矢吹　直人

廣田　光一

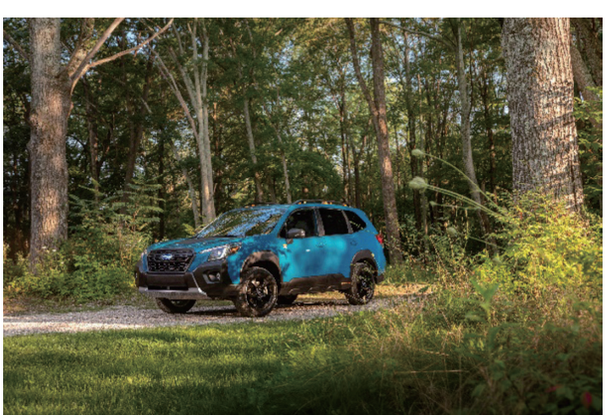
SUBARU「フォレスター ウィルダネス」を米国で発表

～ SUBARU SUVの個性をさらに際立たせたWildernessシリーズの第二弾～

2021年9月2日

●ひと目で高い機能性を予感させる、専用の内外装デザイン
●9.2インチの最低地上高と専用サスペンションやオールテレーンタイヤなどの組み合わせにより、走破性を強化
●アウトドアフィールドでの実用性を高める充実した装備

SUBARUは、北米専用車「Forester Wilderness（フォレスター ウィルダネス）」を発表しました。



フォレスター ウィルダネス（米国仕様車）

SOLTERRAの衝突安全性能

Crashworthiness of SOLTERRA

岡村純也[*1] OKAMURA Junya
木村亮[*2] KIMURA Ryo
松本知大[*2] MATSUMOTO Tomohiro
藤原誠二[*1] FUJIWARA Seiji
池田聡[*3] IKEDA Satoshi
黒田貴[*3] KURODA Takashi

抄　録

SUBARU初となる量産BEV SOLTERRAは、お客様に安心・安全を提供すべく、衝突安全性能にもこだわった開発を行った。BEVにおいてはモータ、電池といった高電圧部品の保護が必要となるため、SOLTERRAではSUBARUが長年培ってきた衝突安全技術を取り入れながら、乗員保護とBEV特有の高電圧保護を高次元で実現させた。重量物であるバッテリパック骨格を車両の一部として活用するなど、BEVならではの工夫で頑丈な車両構造を構築している。本稿ではSOLTERRAの衝突安全思想と車両構造体の詳細、さらにはSUBARU初となる安全技術について紹介する。

Abstract

We were particular about crashworthiness performance in the development of the new mass production BEV SOLTERRA to offer safety to our customers. We have achieved compatibility of pedestrian protection and high-voltage batteries that is unique to BEV at a high level while incorporating conventional occupant protection technologies and high voltage protection in BEV. As one of the implementation methods, we built the multi-load path structure that utilized vehicle and battery frames. In this report, we introduce the crash safety concepts, the details of the vehicle structure, and SUBARU's first safety technology to achieve high crashworthiness performance for SOLTERRA.

1. まえがき

BEVにおいてもSUBARUの安全性能に変わりはない。第一に視界や操縦安定性など日常の核となる0次安全と走行安全。事故の防止や被害の軽減を図る予防安全。そして、万が一事故を起こしてしまっても乗員を確実に守るための衝突安全である。本稿では衝突安全性能を実現するための各衝突形態における技術要素について紹介する。

＊1 CTO室
＊2 ボディ設計部
＊3 車両安全開発部

2. BEVの安全性能の狙い

2.1 衝突安全性能の考え方

BEVとガソリン車の大きな違いは床下に大容量バッテリを搭載していることである。このバッテリと繋がる部品群の多くは高電圧部品であり、衝突した時には確実に保護する必要がある(**図1**)。

SOLTERRAでは各国法規制や第三者評価、その他市場事故まで想定し、乗員が居るキャビンだけでなく、高電圧部品やそれらを繋ぐワイヤーハーネスまでを保護している。さらに、万が一の備えとしてフェールセーフ機能を有し、衝突を検知した時には電池からの電源供給をストップするなど、お客様を救助する場合まで想定したシステムを織り込み、BEVとしての衝突安全性能を高めた。

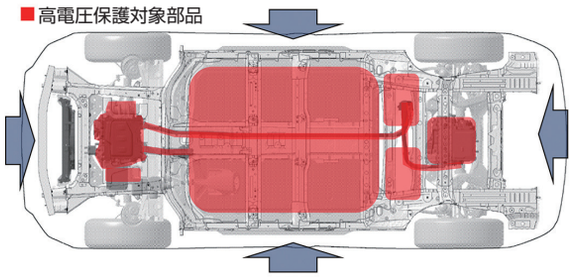


図１　高電圧部品

2.2　パッケージレイアウト

SOLTERRAでは床下に大容量バッテリを搭載するため、ホイールベースをFORESTERと比較し約180mm拡大した。それにより前後席の乗員空間が広がり1ランク上の室内空間を確保できている。一方、全長が伸びることを避けるために、フロントモータは前後長を最大限短縮し、前面衝突した時の変形スペースを確保することでフロントオーバーハングを短縮している。またリヤサイドメンバ(以下 Rrメンバ)にもホットスタンプ材を採用(SUBARU初)し、エネルギー吸収効率を高め、ショートオーバーハングの実現に貢献した(図2)。

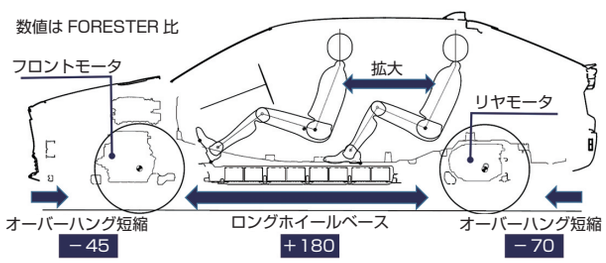


図２　パッケージレイアウト

3.　各種衝突形態の実現手段

全方位での衝突安全を実現するため、今回新たにプラットフォームを開発し、骨格の配置やロードパスを最適化した上で、乗員保護のためのセンターエアバック採用や、歩行者保護性能の強化など、車両としての安全性能を進化させた。

3.1　高強度材の適応拡大

BEVでは大容量バッテリによりガソリン車と比べ車両重量が増える傾向にある。そこで衝突性能の向上と軽量化の両立を図るため高強度鋼板を積極的に採用した。特に引張強度が780 Mpaを超える超高強度鋼板においては、現行車の約10%から40%へと飛躍的に増加させている（図3）。

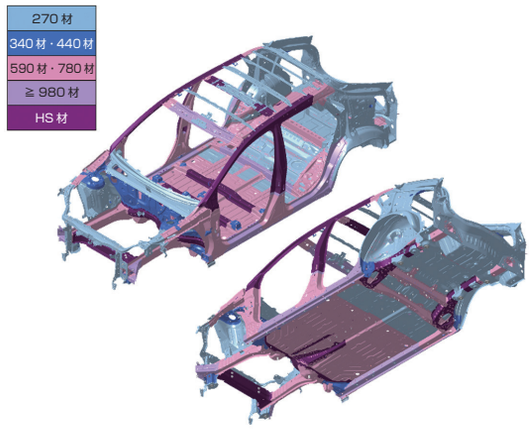


図３　ボディ高張力鋼板採用部位

3.2　前面衝突　マルチロードパス

SOLTERRAにはフロントの電動コンパートメントにe-Axleやエアコンコンプレッサーと言った高電圧を有する部品が多数搭載されている。そのため、衝突した時にフロントサイドメンバ(以下 Ftメンバ)が内側へ倒れ込み、高電圧部品を損傷させないよう、新たにクロスメンバを配置し、Ftメンバを支える構造を採用した。これによりスモールオーバーラップ衝突に代表されるような車両片側のみが衝突する形態においても、反衝突側へ荷重を伝達し効率的にエネルギー吸収(以下EA：Energy Absorptionの略)することができる。またFtメンバでのEAを最大化するために、鉄の座屈波長を考慮し、位置や方向まで考えたビード形状を設定した(図4)。

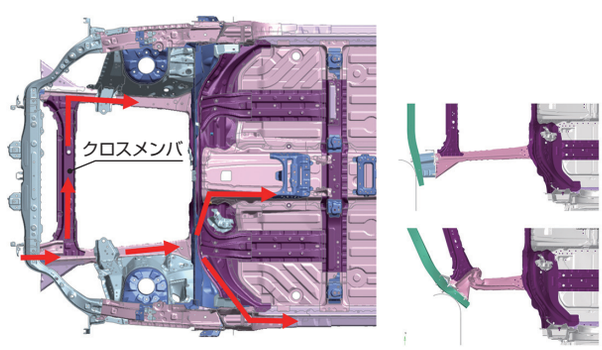


図４　フロント骨格構造（上面視）

Ftメンバ下側にはサブフレーム構造を採用した。これには2つの大きな役割がある。1つ目が大容量バッテリという重量物が衝突した時に発生する慣性力を効率よく受け止めEAを最適化すること。もう一つが、自車だけではなく衝突した相手車両への加害性を最小限に抑えることである。特に電気自動車は車両重量が増える傾向にあるため、自車を保護するために車両骨格はどうしても硬く強くなってしまう。そこで衝突した時に上下2つのメンバによって、可能な限り相手車両の広い範囲を“面”で押し込むことで加害性を軽減

させている（図5）。

前述のフロント骨格構造を支えるキャビン構造として、従来ではサイドシル、トンネル、そして床下フレームを車両後方まで連続的に配置し衝突時に受ける荷重を分散させていた。しかし、大容量バッテリを搭載しているSOLTERRAでは、フレームを床下に配置することができない。そのため、トーボード周辺に高強度材を配置し、サイドシルとトンネルへの荷重伝達効率を高めると共に、バッテリ骨格も活用し衝突した時の荷重を分散させるマルチロードパスを実現した。

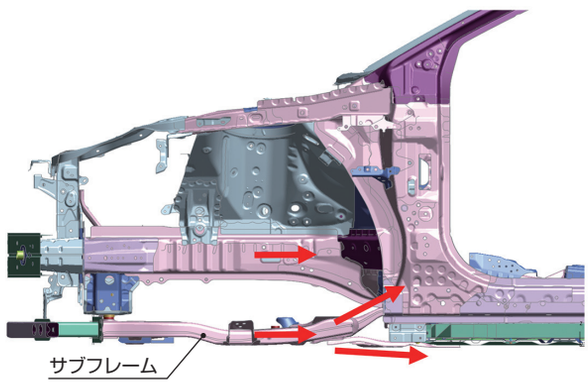


図５　フロント骨格構造（側面視）

3.3　側面衝突

3.3.1　バッテリ骨格

床下に搭載された大容量バッテリにより、側面から衝突された際のEAスペースが少なく乗員やバッテリへの加害性が懸念される。そこで大容量バッテリの周囲には衝突で入力を受けた時でも中のバッテリセルを確実に保護するため高強度鋼板の骨格で囲み、かつ車両横方向にはクロスメンバを配置することでバッテリパック全体を強化した。また、バッテリパックの側面には全域でEAを行うためのアルミ押し出し材を設けている。これにより、従来のガソリン車に比べ、ボディとバッテリ骨格を合わせて2倍程度の強度を実現しており、前後どの位置で衝突された場合であってもバッテリを守れる高い安全性を確保している（図6）。

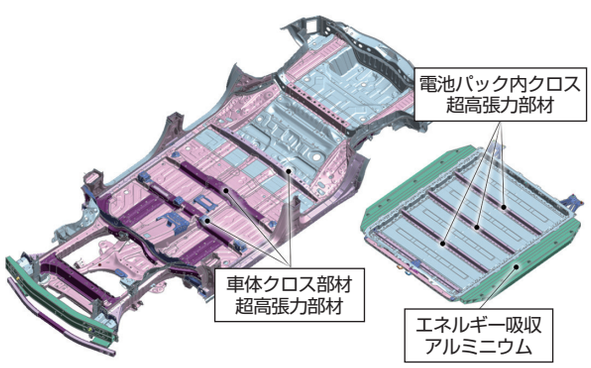
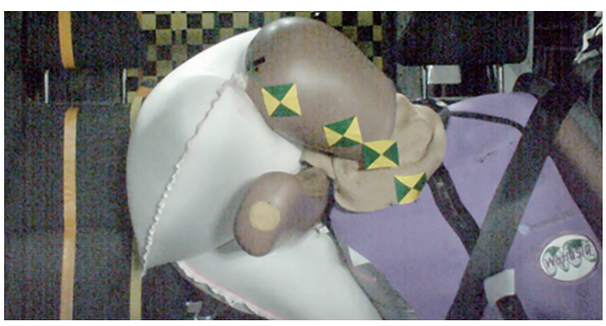


図６　フロア骨格構造とバッテリ骨格

3.3.2　センターエアバック

乗員保護のさらなる向上のためにセンターエアバックを採用した（SUBARU初）。これは衝突検知時にフロントシート内に配置されたエアバックが展開し、乗員の頭部や上肢が横倒れすることを防ぎ、車内の内装部品や乗員同士がぶつかることを回避する働きがある。特にBEVでは、バッテリを保護するために車両側の強度を高めているため、衝突時に発生する衝撃Gが高くなる。そこでエアバックの展開初期で内圧を上げられるよう内部構造を最適化することで上肢の拘束力を高めつつ、頭部がエアバックからこぼれ落ちるのを防止した（図7）。

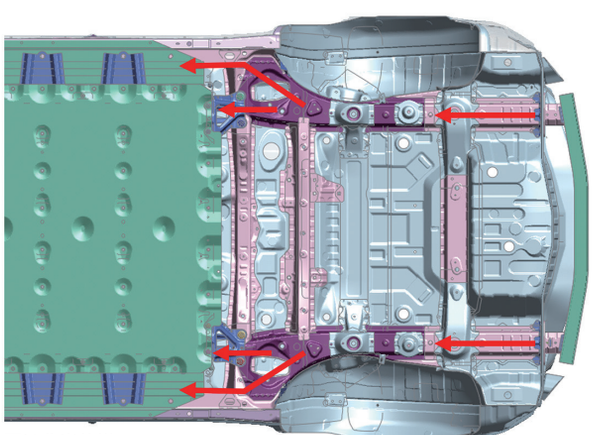


図は欧州仕様

図７　センターエアバックによる乗員保護

3.4　後面衝突

後面衝突した際にEA効率を最大化させるため、リヤバンパリンフォースを高剛性化することで左右のRrメンバへ荷重を分散させた。さらにRrメンバには780 Mpa級の高強度鋼板を採用し、短いリヤオーバーハングでも優れた衝突安全性能を実現した。またRrメンバを支える構造には1500 Mpa級のホットスタンプ材により強度と軽量化の両立を図ると共に、バッテリ骨格とも締結することで支持剛性を高めた（図8）。



図は北米仕様

図８　リヤ骨格構造

3.5　歩行者保護　a-PLI

自車だけではなく交通弱者である歩行者への対応も必要不可欠である。SOLTERRAではSUBARUとして初となるa-PLI（advanced-Pedestrian Leg form Impactor）に対応した。従来の歩行者脚部を評価するインパクタ（FLEX-PLI）に対して上半身の質量を持たせ、人体構造の再現性を高めることで、歩行者下肢における傷害値評価の精度が向上している。このa-PLI性能を達成させるためには車両前方部でのEAスペースが必要となる。そこで最小のスペースになるように部材の抗力特性を適正化した。具体的には上半身の倒れ込みを防止するため大腿部と脛部を支持することで、下肢全体を均一に受け止め脚部への加害性を軽減した。これにより性能とデザインを両立したフロントフェイスを実現した（図9）。

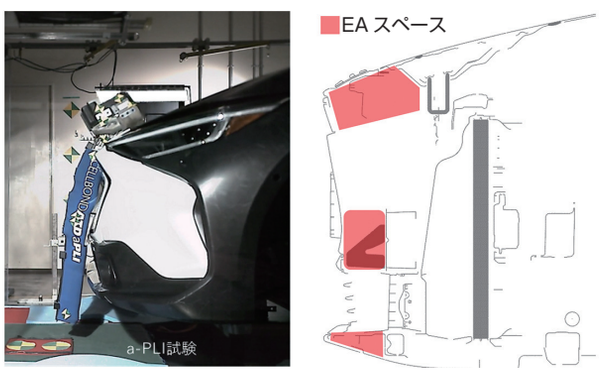


図9　a-PLI評価と対応概略図

3.6　路面干渉

一般道での縁石、雪道や山道といった悪路では岩や木など車両下面からの突き上げが想定され、その様な環境下においても床下にあるバッテリを保護する必要がある。そこで、バッテリパック下面には路面入力からバッテリを保護するためにアルミパネルを設置。さらに電池セルを冷却するための冷却パネルはバッテリパックの外側に配置し、万が一冷却水が漏れても内部への侵入を防ぐ構造を採用した（図10）。

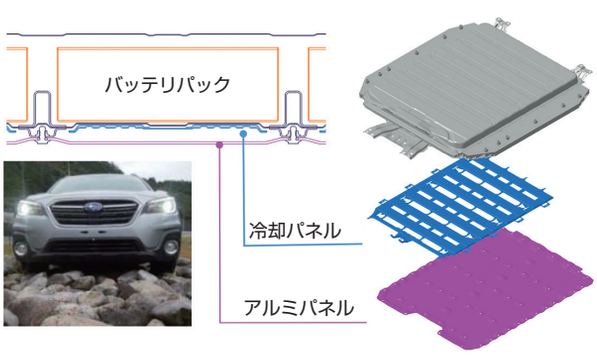


図10　路面干渉保護　対応構造

3.7　CAE予測技術

車両衝突性能を開発する上で重要になってくるのが、CAEを活用したデジタル開発である。開発段階での図面の品質を上げるためには、CAEの予測精度を向上させるだけでなく、製品ばらつきなど多少の変化が加わった場合でも性能を確実に満足するような車両構造が求められる。そこでSOLTERRAでは開発プロセスの中にCAEを使った“デジタルばらつき評価”を組み込み、ロバスト性の高い構造を実現した。“ばらつき”と一言で言ってもモノ造りにおいてその組み合わせは無限に存在し、全て包含するのは現実的ではない。そこで各衝突性能において影響ある部品群を選定し、想定される“ばらつき”（例えば個々の部品における板厚や材料強度など）をランダムに割り振り数十から数百のサンプリング計算を行い性能の分岐点がどこに存在するのかを可視化した。これにより試作車評価を行う前に構造弱点部を洗いだし、ロバスト性の高い構造を図面へと反映することが可能となった（図11）。

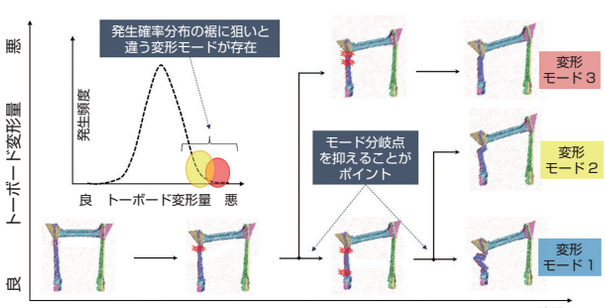


図11　ばらつき評価

4.　まとめ

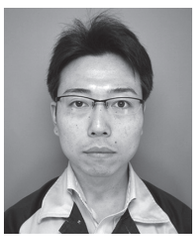
「SUBARUのBEVだからこそ安心して乗れる」

そのようにお客様に感じて頂けるように、全ての知見を詰め込み、乗員安全と電気安全を高次元で両立したSOLTERRAを開発した。

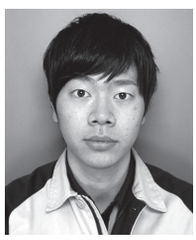
BEVであっても、SUBARUの安全性に変わりはなく、クルマに乗る全てのお客様に安心・安全を提供するため、SUBARUの安全は進化し続ける。

今回共に開発したトヨタ自動車株式会社をはじめ関係する多くの方に、紙面を借りて改めて御礼申し上げる。

【著　者】


岡村　純也

木村　　亮


松本　知大

藤原　誠二

池田　　聡

黒田　　貴

SUBARU 新型「WRX」を世界初公開

～刺激的な走りと、実用性を革新的に進化させた、新世代のAWDパフォーマンスカー～

2021年9月10日

●刺激的な動力性能をもたらす2.4L水平対向４気筒直噴ターボエンジン
●スバルグローバルプラットフォーム×フルインナーフレーム構造のボディとシャシー技術で進化した動的質感
●パフォーマンスカーらしい躍動感と、空力などの機能を両立した大胆でアグレッシブなデザイン

SUBARUは、新型「WRX」(米国仕様車)を、現地時間2021年9月10日に米国で世界初公開しました。

新型 WRX（米国仕様車）

新型クロストレック／インプレッサの紹介

Introduction of SUBARU New CROSSTREK/IMPREZA

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

抄　録

現行のインプレッサ・XVでは次世代プラットフォームを採用し、SUBARU新世代商品のトップバッターとして誕生し、多くのお客様へ評価いただいてきた。今回、新たにフルモデルチェンジを行いより多くのお客様を笑顔にするため「FUN」をキーワードに開発を進めてきた。その中で現行車の価値を継承しつつ、より広く期待に応えるべく、様々な進化を施した。

そのコンセプトと技術を本稿にて紹介する。

Abstract

The current IMPREZA and XV adopted the next-generation platform and were created as the SUBARU's first new-generation products. They have been well received by many customers. This time, we have made a full model change and promoted development under the keyword of "FUN" in order to bring smiles to even more customers. While maintaining the value of the current model, we have made various advancements to meet the expectations of a wider range of customers.

The concepts and technologies are introduced in this report.

1．まえがき

インプレッサは1992年、XVは2012年に誕生し、今日までSUBARUのCセグメント代表車種として存在し続けてきた。インプレッサはスポーティモデル、XVはコンパクトSUVとして多くのお客様に支持されている。今回モデルチェンジにて、これまでのイメージを大事にしながらも、お客様のアクティブなライフスタイルに寄り添える商品として開発を行った。

安全性能の強化、動的質感の向上、アクティブな外観、インフォテイメントの進化など、心地よい生活をさせる車として今回フルモデルチェンジを行った。

また、XVはこれまでは市場により「SUBARU XV」「CROSSTREK」と異なる名称を用いてきたが、より車のイメージを明確にするためにグローバルでCROSSTREKに統一した。

図１　クロストレック外観

図２　インプレッサ外観

2.　開発の狙い

2.1　コンセプト

開発の根底にあるキーワード「FUN」

クロストレック／インプレッサの開発の根底に、お客さまに「FUN」を提供するということを据えた。見て、乗って、使って、さまざまなシーンで「FUN」を感じていただけるよう開発に取り組み、アイテムを設定。SUBARUが提供する「FUN」を、最大限に磨き上げることで、クロストレック／インプレッサの魅力を新型にて具現化した。

図３　開発コンセプト

2.1.1　クロストレックの狙い

都市部での運転のしやすさに加え、優れた積載性とAWD性能により、日常からアウトドアなどのアクティブなシーンまで、お客様へ豊かなライフスタイルを提供する。

図４　クロストレック

2.1.2　インプレッサの狙い

移動が愉しくなる優れた運動性能、安心できる先進安全装備、使いやすさを求めたユーティリティなど、多面的なニーズから機能を付加し、高い実用性を備え、お客様のアクティブな行動を誘うユーティリティ・スポーツカーを提供する。

図５　インプレッサ

2.2　お客様への提供価値

遊び心ある外観デザイン、愉しく、気持ちよく走るための動的質感の向上。新しいインフォテイメントシステムを採用し快適性と実用性の向上。アイサイト＋モノカメラの採用と車体骨格の改良などによる安全性能の向上。これらを高次元でバランスさせ、車両トータルでの正常進化を実現。

お客様に愉しいライフスタイルを実現いただける価値を提供する。

図６　提供価値

3. 主要諸元

3.1 主要諸元

表１ 主要諸元

車名・型式	スバル・インプレッサ	スバル・クロストレック
	2.0 L DOHC 直噴+モーター（e－BOXER）	
	2WD［AWD（常時全輪駆動）］	
	リニアトロニック	
■ 寸法・重量・定員		
全長×全幅×全高[mm]	4475×1780×1515	4480×1800×1575
室内長×室内幅×室内高[mm]	1930×1505×1200	
ホイールベース[mm]	2670	
トレッド(前／後)[mm]	1540/1545	1560/1570
最低地上高[mm]	135	200
乗車定員[名]	5	
■ 性能		
最小回転半径[m]	5.4	
主要燃料向上対策	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／充電制御／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／ハイブリッドシステム	
■ 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	
ステアリングギヤ比	13.5：1	
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	
主ブレーキ形式	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	
駐車ブレーキ形式(後2輪制動)	電気式	
■ エンジン		
型式・種類	FB20	
	水平対向4気筒	
	2.0 L DOHC 16バルブデュアルAVCS 直噴	
内径×行程[mm]	84.0×90.0	
総排気量[cc]	1995	
圧縮比＊	12.5	
最高出力(ネット)[kW (PS) /rpm]	107（145）/6000	
最大トルク(ネット)[N·m (kgf·m) /rpm]	188（19.2）/4000	
燃料供給装置	筒内直接燃料噴射装置	
燃料タンク容量[L]	48	
燃料種類	無鉛レギュラーガソリン	
■ モーター		
型式・種類	MAI・交流同期電動機	
最高出力[kW (PS)]	10（13.6）	
最大トルク[N·m (kgf·m)]	65（6.6）	
■ 動力用主電池		
種類	リチウムイオン電池	
個数	32	
接続方式	直列	
容量 Ah]	4.8	
■ 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	
変速比(第1速～第8速)	3.600～0.502 [マニュアルモード時 1速3.552/2速2.201/3速1.473/ 4速1.288/5速1.024/6速0.852/7速0.681/8速0.559]	
変速比(後退)	3.688	
減速比	3.700	

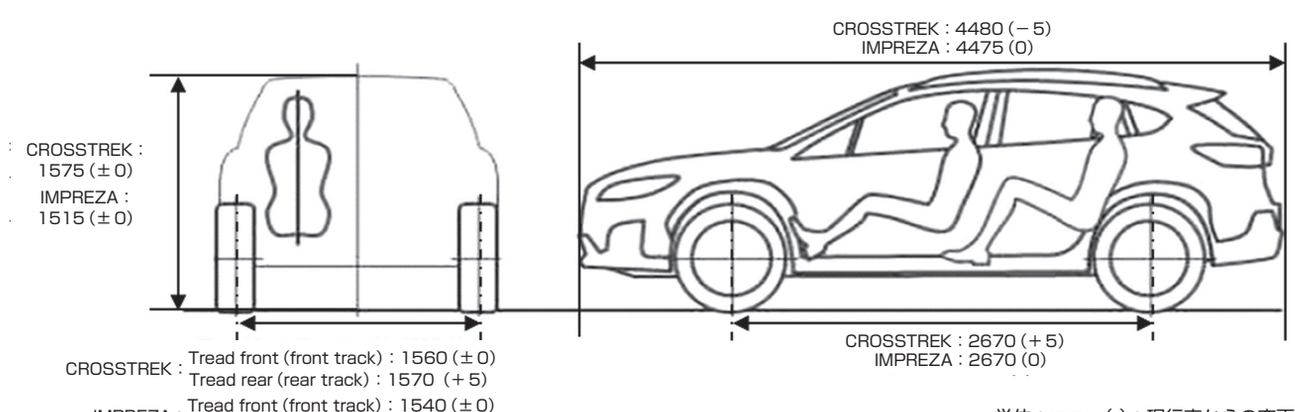


図７ 主要寸法

4. デザイン

デザインは別報で解説する。

5. 外装

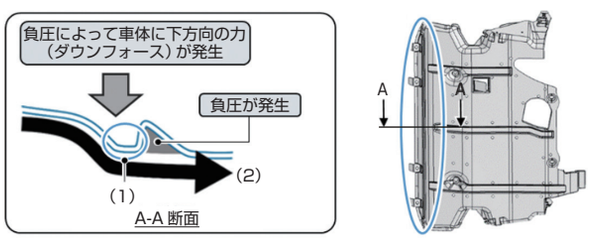
5.1 外装開発の狙い

シャープかつ大胆、積極的なアクティビティを想起させるデザインを実現しながら、ランプの視認性向上に加え十分な直接視界エリアを確保することで安全性を両立。さらに空力、操安性能に貢献するアイテムを多数取り込み、快適で安全な走行性に貢献する。

5.2 エンジンアンダーカバー

5.2.1 ビード形状

カバー前面下部に、ダウンフォースを発生させるビード形状を採用。直進性と接地感をさらに向上させた。



(1) ビード形状　(2) 空気の流れ

図 8　アンダーカバー

5.2.2 空力テクスチャ

空気の流れを整える空力テクスチャ（ヘキサゴンパターン）を採用し、空力性能を向上させた。

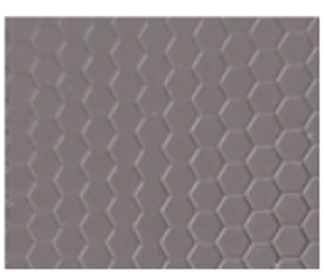
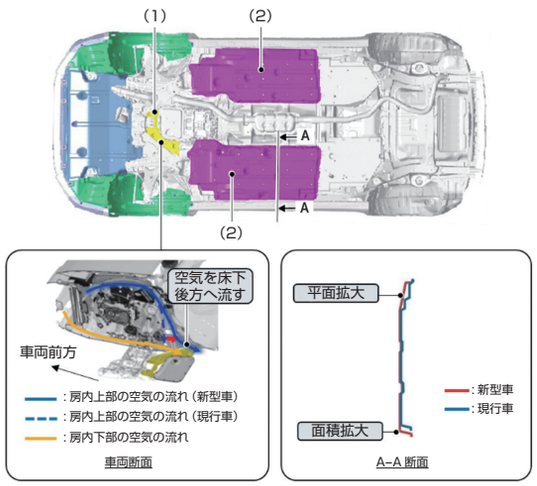


図 9　空力テクスチャ形状

5.3 カバーサポートクロスメンバ・床下アンダーカバー

カバーサポートクロスメンバを新規設定。エンジン房内の空気の流れを床下後方に流すことで、乱流の発生を抑制し、空気抵抗を低減させた。

床下アンダーカバーの面積および平面部を拡大。床下の空気の流れを整流することで、空気抵抗を低減させた。



(1) カバーサポートクロスメンバ　(2) 床下アンダーカバー

図 10　カバー配置図

5.4 フロントマッドガード

フロントマッドガードの前壁にスリットを設定。エンジン房内圧を低下させ、床下・側面の空気の流れを整流することで、空気抵抗を低減した。

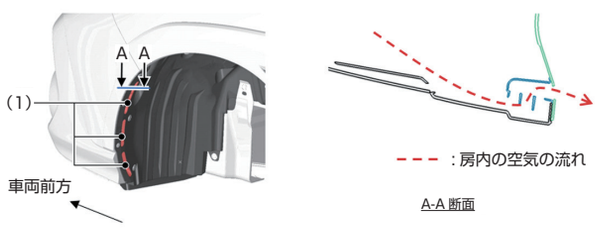


図 11　フロントマッドガード

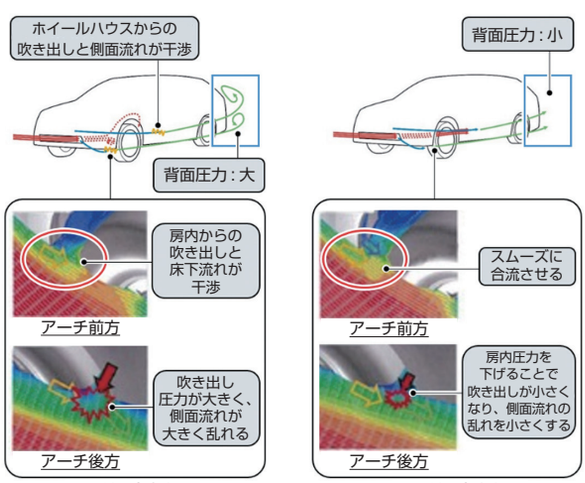


図 12　スリットによる整流効果

5.5 エアアウトレット

5.5.1 フロント側

ホイールハウス内に留まる空気をエアアウトレットから排出し、タイヤから発生する空気の渦をより外に遠ざけることで、フロントタイヤにかかる揚力を低減させた。これにより、車両後方への空気の流れをよりスムーズに整流し、操縦安定性の向上に貢献した。

5.5.2　リヤ側

リヤバンパ内に留まる空気を車外に排出し、車体後部で発生する空気の渦を車体から遠ざけることで、風の乱れによる車体の揺れやふわつきを抑制し、高速走行時にも、ぶれのない安心感のある走りを実現した。

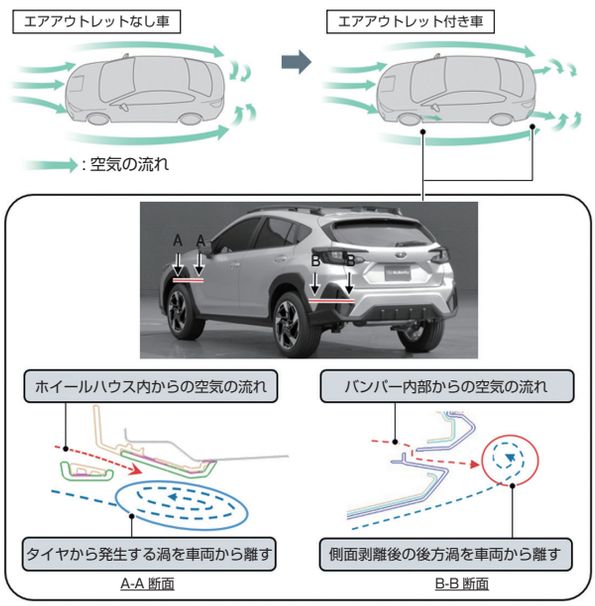


図 13　エアアウトレット

5.6　ドアミラー

従来よりも小型化した新造形のミラーボディを採用。小型でスリムな形状で空気抵抗を低減し、燃費向上に貢献した。

また、各部品のフラッシュサーフェス化および、サイドカメラの突出量を最小化することですっきりとした意匠を実現した。

鏡面横寸法を拡大し優れた視界を確保しつつ、ミラー全幅は現行車同等を維持することで、取り回しのよさとの両立を図った。

鏡面縦寸法を縮小しながらも、鏡面曲率半径を縮小することで、スリムなドアミラー形状と、現行車と同等の視界性能の両立を図った。

5.7　ルーフスポイラ

空力性能を向上するとともに、スポーティな外観を実現したルーフスポイラを採用した。

ルーフスポイラのロアと翼端板のアウターを薄肉化することで、軽量化を図った。

スポイラ側面とボディパネルとの分割部にリップを採用し、シールすることで空力性能を向上させた。

ルーフスポイラと翼端板との分割部の内側に、目隠しカバーを追加することで見栄えを向上させた。

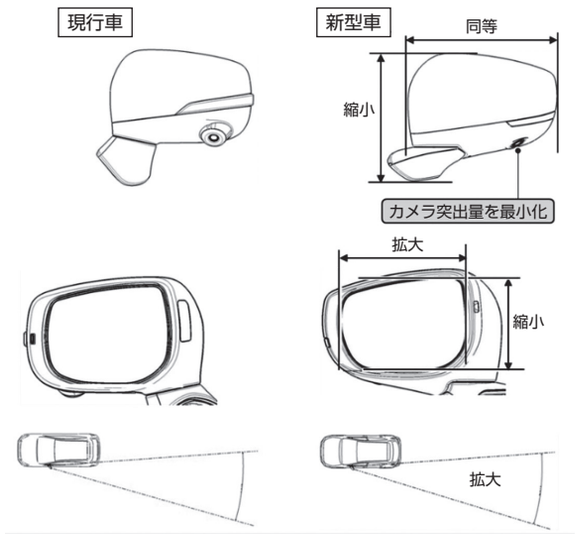
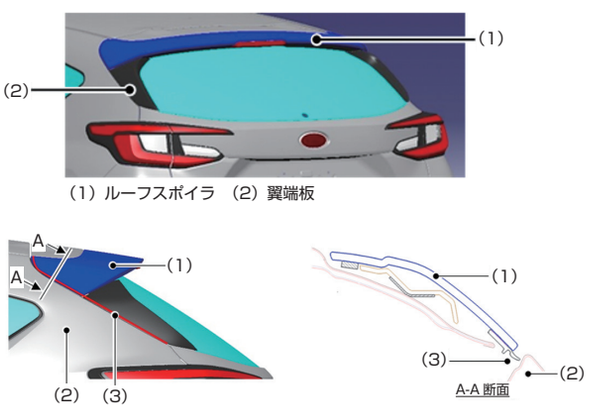


図 14　ドアミラー



(1) ルーフスポイラ　(2) 翼端板

(1) ルーフスポイラ　(2) ボディパネル　(3) リップ

(1) 目隠しカバー

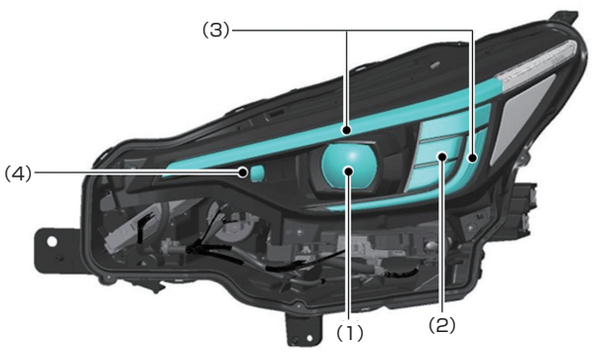
図 15　ルーフスポイラ形状

5.8　ヘッドランプ

全車にLEDヘッドランプを採用し、制御変更と合わせて消費電力を抑制、環境性能に貢献した。また、プロジェクターユニットに異形レンズを採用し、現行車と外観を差別化するとともに、ポジションランプとアクセサリランプにLED光源と異形断面導光棒を、そしてLEDターンランプをそれぞれ採用することで、特徴的なシグネチャランプ及びターンランプの意匠を実現した。

安全性ではSUBARU初となるLEDコーナーランプを採用した。夜間の右左折時に車両の進行方向を広く照らすことで歩行者、自転車を早期に発見し、事故の未然防止に貢献する。さらに夜間の優れた視認性を確

保するため、アレイ式アダプティブドライビングビーム(ADB)を採用した。これにより従来方式に比べより高精細なエリアコントロールを行い、対向車の眩しさを防止しながら、その後ろにいる歩行者、自転車を視認することを可能にした。また従来のステアリング連動ヘッドランプ(SRH)も設定し、コーナ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、夜間の視認性を確保している。



(1) ロービーム／ハイビーム
(2) ターンランプ
(3) ポジションランプ／アクセサリランプ
(4) コーナーランプ

図 16　ヘッドランプ

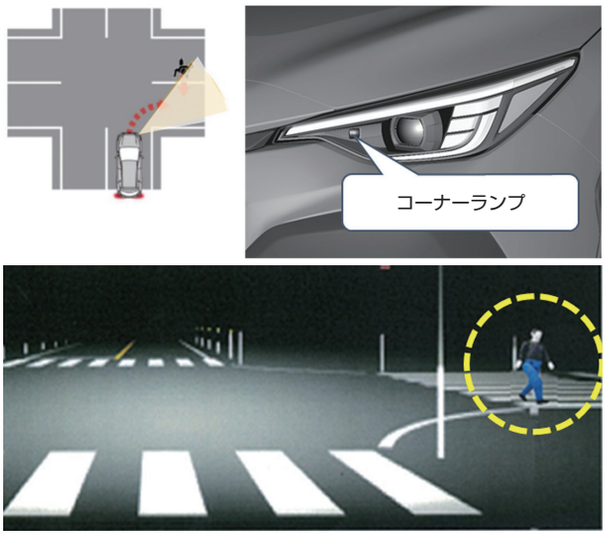


図 17　コーナーランプ

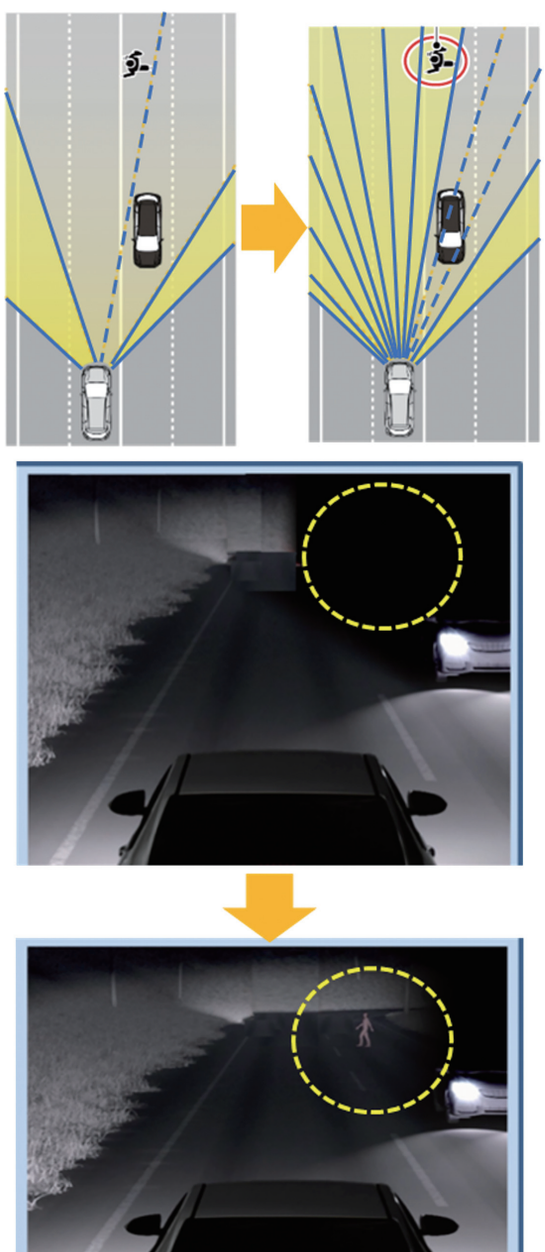


図 18　アダプティブドライビングビーム

6.　内装

6.1　内装開発の狙い

従来型に対して飛躍的に向上させたポイントは、快適性と使い勝手の2点である。新型車では、日常のお出掛けからアウトドアアクティビティなど様々なシーンで「愉しさ」を感じていただけることを目標とし、部品レイアウトや構造、素材を一から見直し、乗る人全てに快適で使い易い内装を実現した。

6.2　フロントシート

長時間の移動でも快適で疲れにくいシートを実現するために、医学的知見を基にフレーム構造を一から見直した新しいシートを開発した。

6.2.1　骨盤支持構造

疲れの要因となる振動、特に頭部の横揺れを抑えるために、要因となる骨盤の動きを抑えることを目的とした、仙骨部分をサポートする部材を新たに追加した。

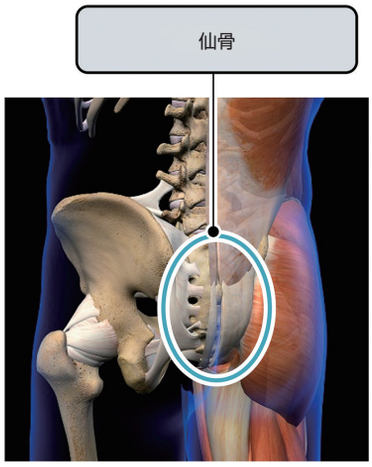


図 19　骨盤を支える位置

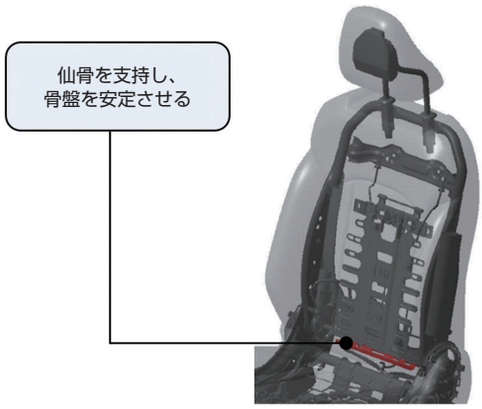


図 20　シートバック

6.2.2　体圧均一化

バックレスト内部構造を見直し、支持構造を横吊り式→縦吊り式への変更、パッド形状最適化により、着座時にシートへの面圧を均等に分散させ、長時間の運転でも疲れないシートを実現した。

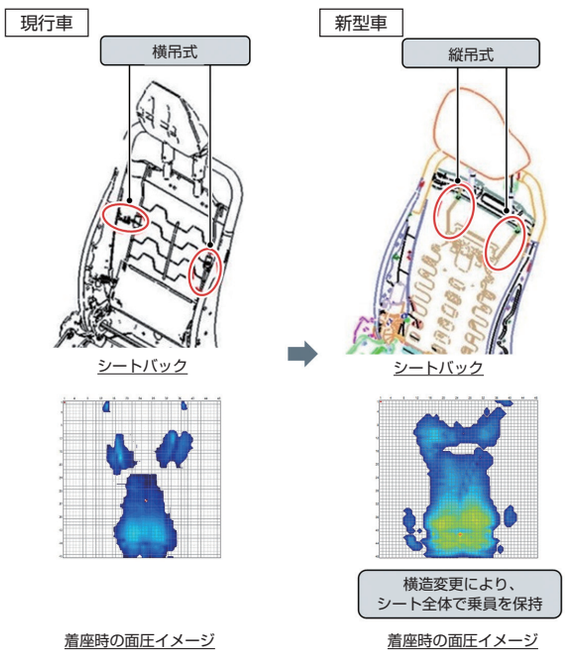


図 21　バックレスト構造

6.2.3　シート固定構造

シート固定構造を、ブラケット固定からシートレールの直留め構造へ変更。これにより、軽量化を実現するとともに、左右方向の振動の収まりがよくなり、乗り心地の動的質感が向上した。

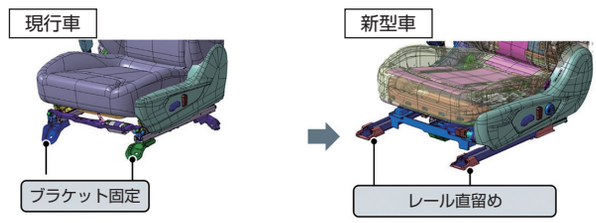


図 22　シート固定構造

6.3　インパネ／コンソール

使い勝手向上を狙い、収納スペースは容量拡大やレイアウト見直しを図り、シフトレバーなどの操作性を損なうことなく利便性の向上を実現した。

6.3.1　インパネセンタートレイ

トレイサイズは現行車同等としながら、横方向の開口寸法を現行車比で約40 mm拡大することで、大型のスマートフォンにも対応するとともに、トレイへの収納性・取り出し性が向上した。またトレイには、対応したスマートフォンなどを置くだけで充電できるワイヤレス充電器を設定した。

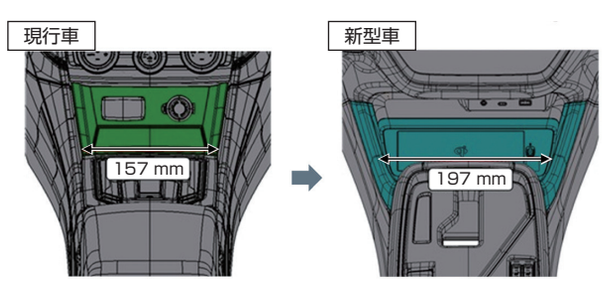


図 23　センタートレイ

6.3.2　カップホルダ

カップホルダは、従来型の並列配置から斜め配置にすることで、シフトレバー操作性を損なうことなく、カップの出し入れし易さを向上させた。また、各国で主流となっているボトル、カップ、缶をピックアップし、走行時に倒れにくいカップホルダ形状を採用した。

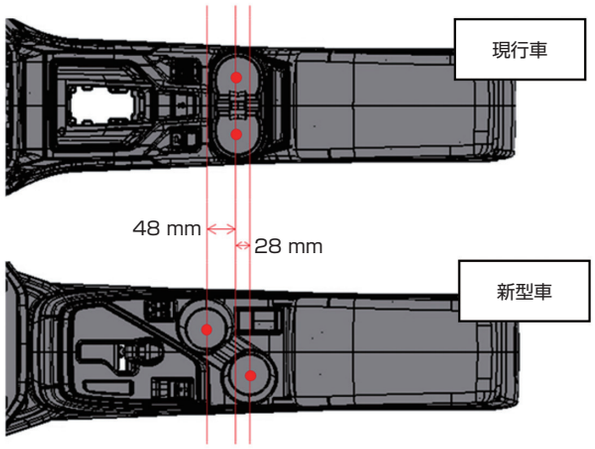


図 24　カップホルダ

6.4　内装トリム

随所に収納スペースを設定したことと、要所にデザインテクスチャを織り込むことで、使い勝手向上を図りつつ、お客様に楽しんで頂ける工夫を織り込んだ。

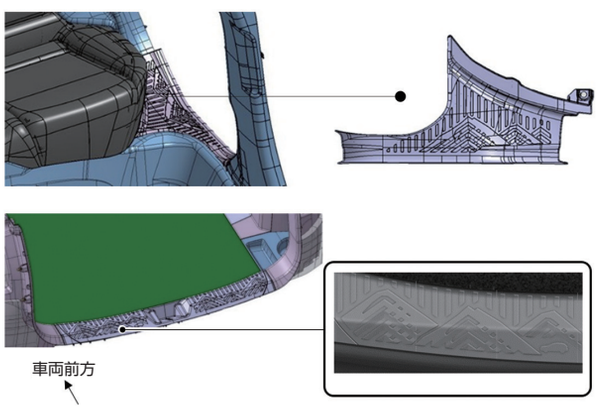


図 25　山柄モチーフのテクスチャ

6.4.1　ドアアームレスト

ドアアームレスト表層は軟質インジェクション工法を採用し、クッション性と外観品質向上の両立を図った。

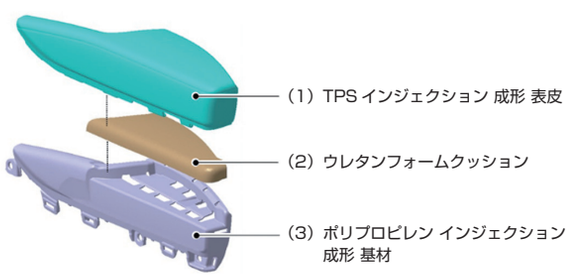


図 26　ドアアームレスト

6.5　エアコンシステム

エアコンシステムは高効率なコンプレッサやHVACの採用や、北米向けに1席集中制御システムを投入し、快適性能を向上させつつ、省動力化を実現した。

6.5.1　フロント席集中制御システム

乗員の有無をセンサーなどにより自動で判定し、DRIVER（運転席のみ）/FRONT（運転席、助手席の両方）/ALL（後席含め全席）の乗員のいる場所のみを空調するシステムである（インジケータのボタンにより機能のON/OFFが可能）。一席集中機能を採用することで、乗員のいる席に集中して空調し、エアコンの省動力運転が実現出来、快適性を確保しながら、（実用）燃費／環境性能の向上に寄与する。また、過剰なエアコンの動作を減らし、静音性向上に貢献する。

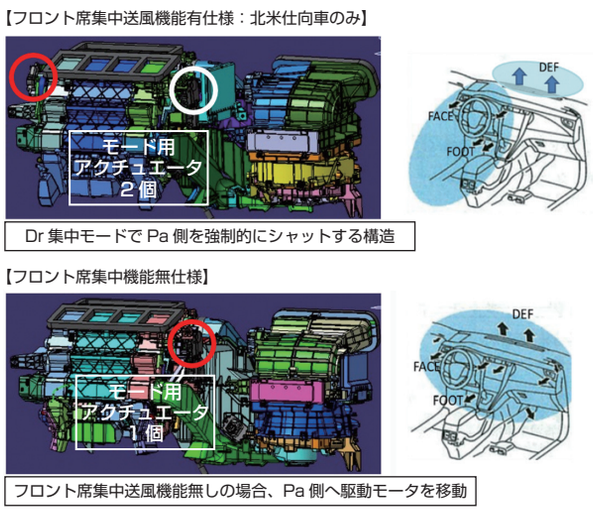


図 27　フロント席集中送風機能

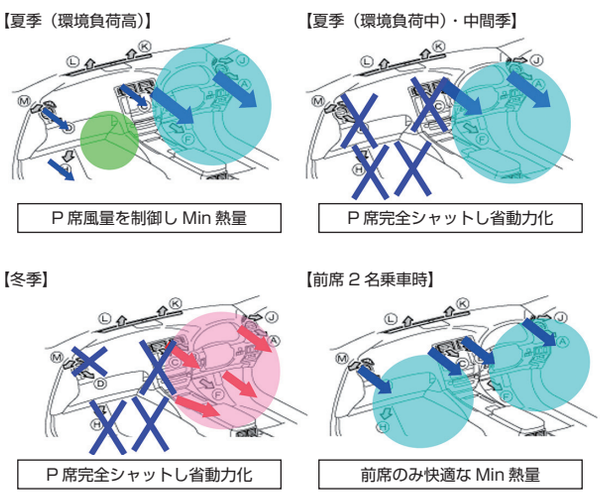


図 28　フロント席集中送風機能

7.　インフォテインメントシステム

7.1　コクピットシステム

レヴォーグ、アウトバックに搭載した4代目インフォテイメントシステムの機能を改善し、移動の時間をより快適に、より愉しくすごせるようにした。

7.1.1　インフォテインメントシステム

縦型に配置した11.6インチのディスプレイは、大画面での地図の確認やエンタテインメントを愉しめる。ホーム画面に配置したアイコンは、目的や属性毎に整理することで、わかりやすい操作を実現した。

図29　インフォテイメントディスプレイ

スマートフォンと連携するApple CarPlay、Google Android Autoも使い勝手を向上。これまで有線接続のみだったAndroid Auto、Apple CarPlayを、新型車ではワイヤレス接続できるようにした*1。これによりスマートフォンをポケットやカバンにしまったままでも利用できるほか、後部座席の人のスマートフォンともスムーズに連携できるようにした。Apple CarPlay、Google AndroidAutoともに縦型ディスプレイを最大限に表示できるようして優れた使い勝手を実現した。

※1：Google Android Autoは日本国内では有線接続のみ。Apple CarPlayはワイヤレス接続のみ対応。

図30　スマートフォン連携

ナビゲーション機能に目的地設定の新しい方式としてwhat3wordsを採用した。世界を3ｍ四方の正方形に区切り、3つの単語を割り当てることで正確な位置を特定できるサービスを提供、あらかじめwhat3wordsのWebサイトやアプリからその場所に対応する単語を調べることで、より詳細な位置までナビゲーションできるようにした。

図31　ナビゲーション画面

新型クロストレック、インプレッサからバレーモード（北米向け呼称。日本はセキュリティモード、日本以外はPIN Code Lock）を搭載し、ナビやオーディオ、車両設定機能を操作できないようにすることで、個人情報の流出などを防止し、安心してバレーサービスを利用できるようにした。

7.1.2　センタインフォメーションディスプレイ

車両中央のセンタインフォメーションディスプレイに11.6インチ大型ディスプレイ、7＋7インチのデュアルディスプレイ、オーディオレスに対応する7インチのシングルディスプレイを設定。インフォテインメントだけでなく、車両カスタマイズ画面やエアコン設定画面を集約し、使い勝手を向上した。

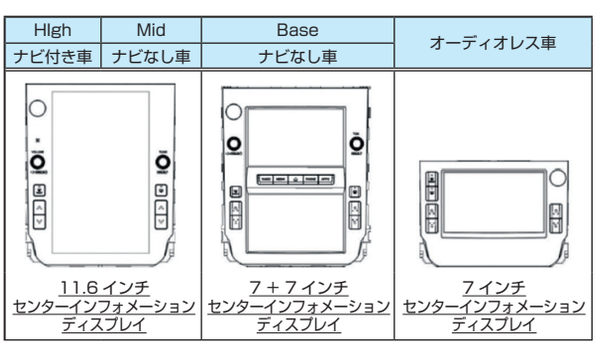


図32　オーディオバリエーション

7.1.3　コンビネーションメータ

コンビネーションメータ中央に4.2インチカラー液晶マルチインフォメーションディスプレイを設置、スピードメータ、タコメータにリング照明を設定、アナログ指針のルミネセントメータの採用と合わせて、視認性のよいメータとした。

図33　コンビネーションメータ

7.1.4　ドライバモニタリングシステム

ドライバモニタリングシステムをクロストレック／インプレッサにも初採用。車内のカメラによってドライバの安全を常に見守る他、個人認識により空調設定やドライバーポジションの自動再現、コンビネーションメータ・センタインフォメーションディスプレイと連携したおもてなし演出により、所有するお客様に悦びを感じていただける機能とした。

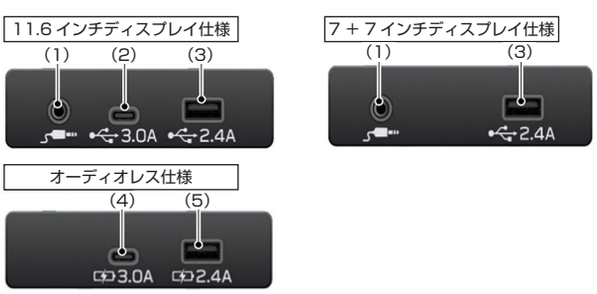
7.1.5　ワイヤレス充電・USBポート

ワイヤレス充電規格Qiに対応した充電器をスバルとして初採用。自動で充電用コイルの位置合わせができるムービングコイル方式とすることで、シフト前のセントートレイに設置した充電エリアにスマホを置くだけで充電ロスの少ない高効率充電を実現、10 W急速充電にも対応し短時間充電を可能にした。

（1）充電エリア　（2）インジケータ　（3）充電スイッチ

図 34　ワイヤレス充電

前後USBポートを刷新し、Type-Cポート（最大定格出力15W/DC5V/3.0A）を新たに設定、Type-Aポートも最大定格出力を12 W（DC5V/2.4A）に増加することで利便性を向上させた。夜間の使用を考慮し、ポート差込口にリング照明を採用、後席用USBポートの蓋廃止と合わせて、ポートへのアクセス性を改善した。



（1）AUX 入力端子（音声のみ）
（2）USB Type-C ポート（電源・通信）
（3）USB Type-A ポート（電源・通信）
（4）USB Type-C ポート（電源）
（5）USB Type-A ポート（電源）

図 35　USB ポート

7.1.6　ステアリングサテライトスイッチ

ステアリング周りのスイッチ配置を変更、ステアリング下部に独立していたマルチインフォメーションディスプレイスイッチをサテライトスイッチに統合、電話受話・終話スイッチにミュート機能を追加、各種スイッチをシーソースイッチ化することで機能のグルーピング、機能集約と操作性･認識性の両立を行い、利便性を向上させた。

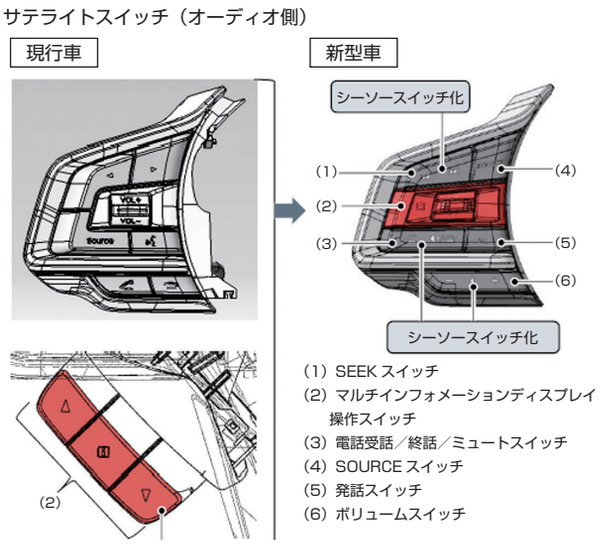


図 36　ステアリングサテライトスイッチ

7.1.7　ライティングスイッチ

現行車と同形状のライティングスイッチを採用。ハイビーム点灯操作をモーメンタリ化することで常にレバー位置を一定とし、操作性を向上させた。

7.2　テレマティクス

現行車から北米に導入しているテレマティクスのサービスをアップデートするとともに、日本に拡大展開する。24時間365日、車とSUBARUがつながることでさらなる安心を提供する

表 2　テレマティクス機能

●：導入済、●：機能向上、✓：新規適用、－：適用なし

分類／機能	項目	概要	北米	日本
安全	Advanced Automatic Collision Notification	衝突時にコールセンターへ自動通報	○	✓
	SOS Emergency Assistance	ボタン押下後のSOS通信機能	○	✓
	Emergency Roadside Assistance	Telematics Customer care Advisorが状況を確認し、適切なロードサインアシストをする	○	✓
	Dead Man Alert	ドライバ異常対応システム作動に合わせて自動でコールセンターへ接続	－	✓
セキュリティ	Stolen Vehicle Recovery Plus	車両盗難通知機能	○	－
	Stolen Vehicle Immobilizer	盗難時にエンジンの再始動を阻止	○	－
	Stolen Vehicle Flashing Light	盗難時に灯火機を点滅させることで、盗難車両の特定を補助	○	－
	Vehicle Security Alarm Notification	セキュリティシステムが作動した際に通知	○	✓
	Velet Alert Mode	バレーモード設定確認や違反運転の監視状態を通知	✓	－
見守り	Boundary Alert/Speed Alert/ Curfew Alert	危険エリアへの侵入／指定車速に到達／指定時刻になった場合に通知	○	－
	Trip Log and Driving Lournal	車両の走行状況を専用アプリで走行ログとして通知・確認	✓	－
便利	Remote Door Lock/Unlock	リモートでドアの開錠、施錠	●	✓
	Remote Hom & Light	リモートでハザードランプやクラクションを作動	○	✓
	Remote Vehicle Locater	車両位置の特定	○	✓
	Remote Engine Start	遠隔操作でエンジンを始動し、空調を作動	○	－
	IGN-OFF Cycle Data	IGNをOFFした時の車両情報をサーバーに送信、専用アプリで現在の車両状態を確認	○	✓
	Rear Seat Reminder	後席乗員警告を通知	✓	✓
快適	Wi-Fi Hotspot	車両の無線LANアクセスポイント化	○	✓
	SUBARU Concierge	オペレータによる目的地設定	○	－
	Send POI to Vehicle	専用アプリで目的地情報を送信、車載ナビの目的地設定を行う	○	✓
入庫促進	Service Appointment Scheduler	故障時などの入庫案内と予約	○	✓
	Diagnostic Alert	メータの警告灯が点灯するとともにメールで通知	●	✓
	Driving Recorder	サーバからの要求に基づき、車両のエンジン･トランスミッションデータを収集・送信する	✓	✓
その他	FOTA	データコミュニケーションモジュール経由でのFirmware Over-The Airの実施	●	✓

7.2.1　Valet Alert Mode

専用アプリから車にバレーモードのON/OFFや設定情報を送信し、違反運転（速度超過・盗難）の監視およびアプリユーザへの通知を行う機能。モードON時は設定情報に従いGPSによる車両位置や速度情報と連携し、お客様に通知することができる。

7.2.2　Trip Log and Driving Journal

車の走行状況（走行距離、燃費、移動経路）を、専用アプリに走行ログとして通知、確認できる機能。専用アプリでモードをONにした区間の走行状況を、ユーザ同士でシェアしたり、家族の運転見守りなどに活用できる。

7.2.3　Rear Seat Reminder

後席乗員警告のOFF設定時や、警告に気づかずに車から離れたとき、専用アプリへ通知する。

8.　安全装備

8.1　エアバッグシステム

側面衝突に対し、反衝突側の乗員保護に着目した前席ファーサイドエアバッグをSUBARU初採用、助手席シートクッションエアバッグをクロストレック／インプレッサとして初採用し、乗員保護性能の向上を行った。北米豪州欧州に展開されていた助手席乗員検知システムを日本、中国にも拡大展開、アダプティブベルト制御と組み合わせで、大人乗員の体格に応じた乗員保護を実現した。

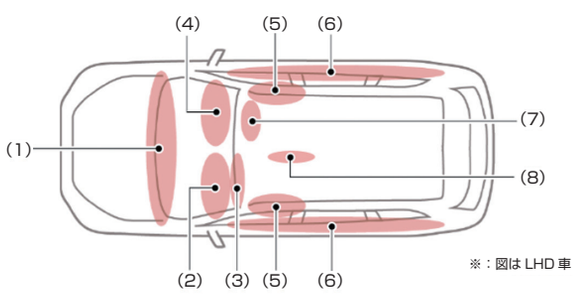


図 37　エアバッグ配置図

表 3　エアバッグ一覧

No.	種類	数量
1	歩行者保護エアバッグ	1
2	運転席エアバッグ	1
3	運転席ニーエアバッグ	1
4	助手席エアバッグ	1
5	サイドエアバッグ	2
6	カーテンエアバッグ	2
7	助手席シートクッションエアバッグ[CT/IMPREZA 初採用]	1
8	ファーサイドエアバッグ［SUBARU 初設定］	1

8.1.1　ファーサイドエアバッグ（一部海外のみ）

運転席の車両中央側にファーサイドエアバッグを設定。側面衝突時に展開することで反衝突側の乗員が衝突により侵入してくる内装物との衝突被害を軽減する、また、隣の乗員との衝突による傷害を低減する。

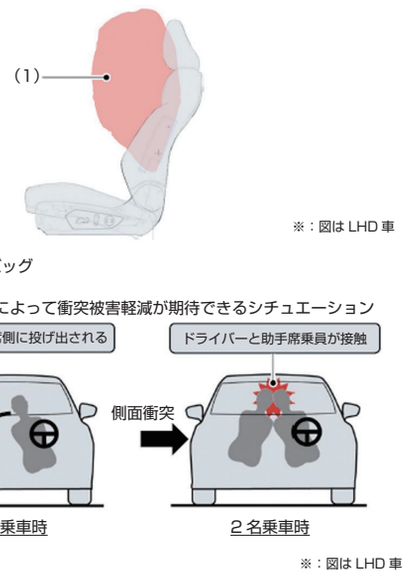


図 38　ファーサイドエアバッグ

9.　動的質感

9.1　車体開発の狙い

新型クロストレック／インプレッサでは、従来車を凌駕する性能とは何かを突き詰めて考えることから開発が始まり、辿り着いたものが、原点回帰の人を中心としたスバルグローバルプラットフォームのさらなる深化だった。不快な振動・騒音が少なく静粛性の良い快適性、長時間のドライブでも疲れることのない安心感といった、感性領域に踏み込んだ動的質感を目指して開発を行った。

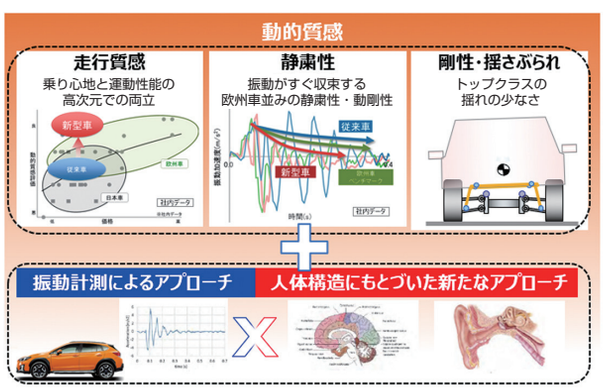


図 39　動的質感向上

9.1.1 車体骨格

新型車ではフルインナーフレーム構造を採用し、製造において、従来はアッパーボディとアンダーボディ

を別々に組み立ててから接合していたのに対し、フルインナーフレーム工法では、ボディ全体の骨格にスポット作業孔などの穴を廃止することで骨格を強固に組み立ててから、最終工程で外板パネルのみを接合する。アンダーボディにアッパーボディとの結合を強化する骨格を移設するとともに、アッパーボディの骨格を外板パネルから分離することで連続性を強化。これにより、さらなる高剛性と軽量化を実現した(図40)。

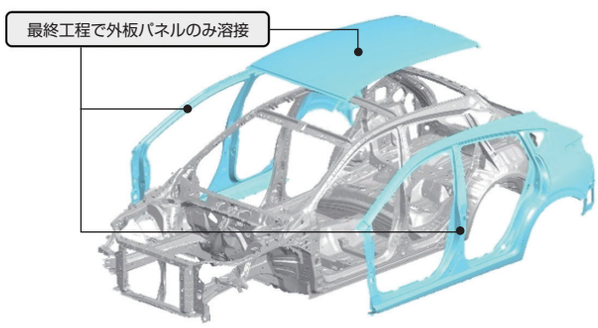


図 40　フルインナーフレーム構造

9.1.2　構造用接着剤

スバルグローバルプラットフォームでは、車体剛性、振動騒音性能の向上のため、構造用接着剤を採用しているが、新型車では従来の接着剤に対して高粘度タイプの材料を使用することで、現行インプレッサからクロスメンバー部、アッパーボディ骨格接合部など適応範囲を拡大(現行車：8 m・新型車：27 m)した(図41)。

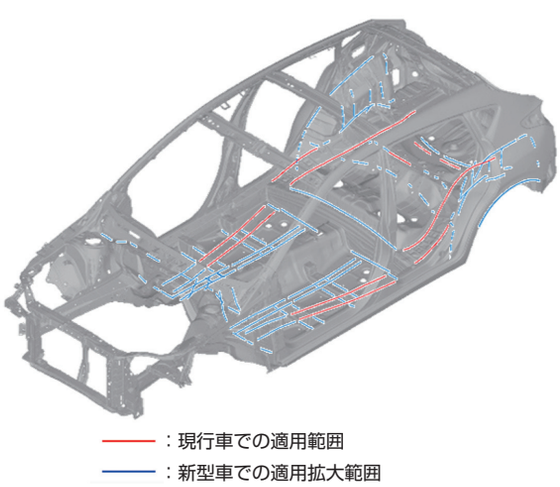


図 41　構造用接着剤塗布範囲拡大

ボディの各板金部品同士の接合部に使用することで、スポット溶接間を連続的に接合、微小な変形を抑えボディ全体の剛性を向上させた。また、接着剤自体も微小な振動を減衰することで、動剛性も向上させた(図42)。

図 42　構造用接着剤

9.1.3　振動

(1) 高減衰マスチック材

音を感じる耳に最も近い部位として、ルーフ部の振動を早く収束させるために、高減衰マスチック材料を新型車で初採用した。ルーフ部が振動することで発生する音の収束性を高めることで、すっきりとした車室内空間を実現した(図43)。

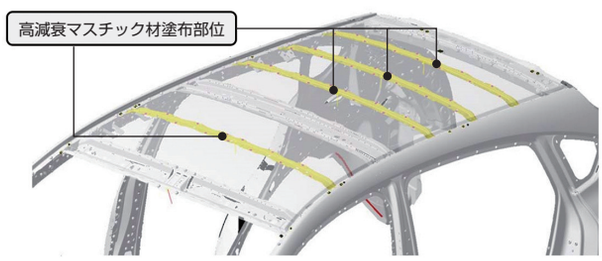


図 43　高減衰マスチック材塗布範囲

(2) シート取付け部構造

路面凹凸による車の揺れがシートに伝わり、人の頭が揺らされる。人は体の動きを検知するセンサが耳の内部構造に集中しており、揺れを認知している。人の揺れ低減として、シートの取付け部構造を刷新することで、路面、車、人へと伝わる振動を低減した(図44)。

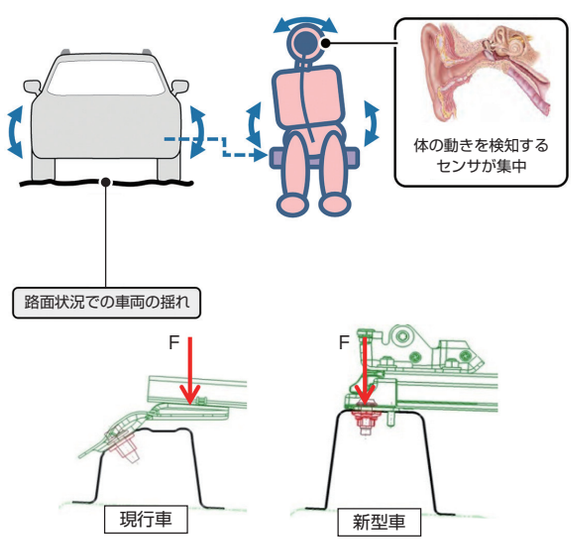


図 44　フロントシート取付け部構造

(3) 床下制振材

スバルグローバルプラットフォーム骨格に対し、パネル振動解析を用いて、制振材の板厚と配置の最適化

を実施。必要な厚さの制振材を効果的な箇所へ適用することで、ロードノイズの低減と軽量化を実現させた（図45）。

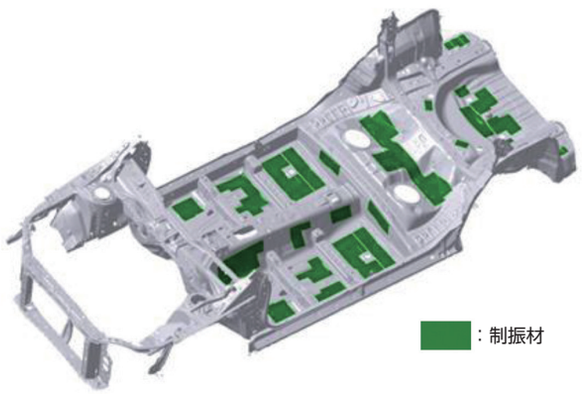


図 45　床下制振材

9.1.4　静粛性

断面発泡材

骨格内を通って、キャビンに浸入してくる走行音を防ぐため、ボディ骨格部に断面発泡材を設定。音の伝達経路を分析し、従来車に対して発泡材の配置を最適化した（図46）。

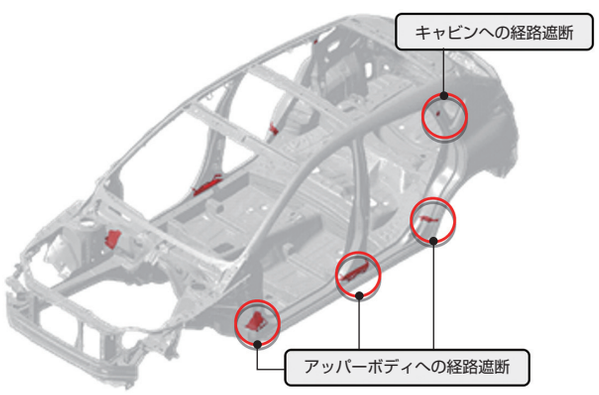


図 46　断面発泡材

10.　衝突安全

10.1　車体開発の狙い

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

ボディ構造が大きく寄与する衝突安全性能では、スバルグローバルプラットフォームを維持しつつ、設計思想を共有しながら新型車のコンセプトに応じた変更を行った。車体変形モードのコントロールにより効率的に衝突エネルギーを吸収しつつ、キャビン骨格の強化と衝突荷重分散により、あらゆる衝突形態において乗員の生存空間を保持しセグメントトップの衝突性能を実現した。

10.1.1　前面衝突

欧州・豪州NCAPに導入されたMPDB（Mobile Progressive Deformable Barrier）に対応するため、車両前面のバンパービームレイアウトの見直しを実施。新型インプレッサは車両外側までビームを拡大。新型クロストレックはビーム拡大に加えて衝突サブフレームを追加。衝突時の接触面積を増大することで、被衝突側の損傷を軽減した。また、ガセットまたはサブフレーム追加により衝突時の入力荷重を分散し、衝突エネルギ吸収効率を向上させた（図47）。

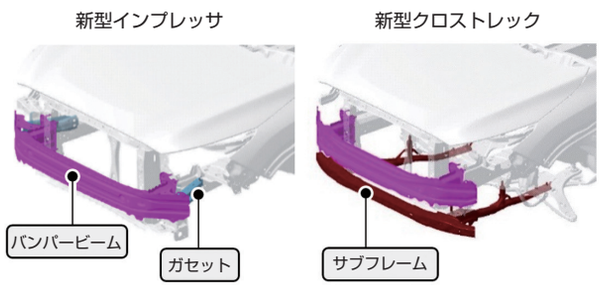


図 47　前面衝突対応の採用構造

10.1.2　側面衝突

従来車に対してリヤシート廻りの車体構造を大幅強化。主にクロスメンバの980 MPa材採用、Rフレーム及びサイドシル内部にリンフォースを追加した。またドアビームからの荷重を受け止めるために、ドアキャッチャ部にもリンフォースを追加している。さらにセンターピラーにはTWB（テーラードウェルドブランク）を採用し、軽量化と衝突時の変形モードコントロールを両立。加えてサイドレールのアウタは980 MPa材を採用し必要強度を確保しつつ軽量化を実現した（図48）。

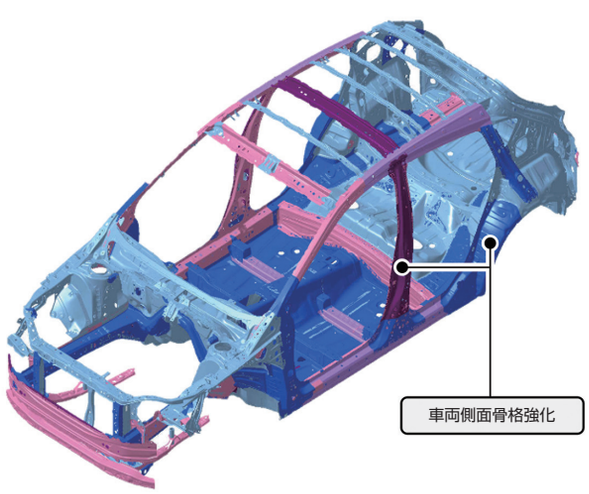


図 48　車体骨格強化部材

10.2　操安性能

10.2.1　2ピニオン電動パワーステアリング

スポーティと上質さを併せ持つストレスフリーな走りを実現する、2ピニオン電動パワーステアリングを採用した(図49)。

電動パワーステアリングのモータと、ドライバのステアリング操作の軸を切り離した2ピニオン方式を採用。モータ入力軸にかかっていた抵抗を分離してドライバ操作軸のフリクションを低減することにより、なめらかでリニアなトルク伝達を可能とし、ダイレクトで自然な操舵感を実現するとともに、応答遅れのないスポーティなステアリングフィールを実現した。

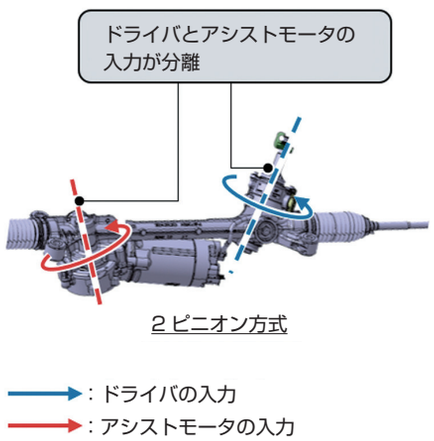


図 49　2ピニオン電動パワーステアリング

10.2.2　電動ブレーキブースタ

電動ブレーキブースタを設定した(図50)。優れた昇圧特性により、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制御時の応答性を向上。自転車の急な飛び出しなどへの対応を実現させた。

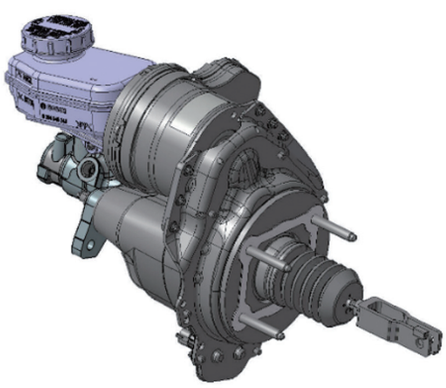


図 50　電動ブレーキブースタ

10.2.3　エンジンマウント

人間が感じる上下方向の感覚に着目し、液体封入式フロントエンジンマウントの減衰特性を最適化。ロングツーリングでも乗員がより快適と感じ、疲れにくい乗り心地を実現した。 また、エンジンマウントブラケットを樹脂製からアルミ製に変更。剛性を向上することで、エンジン振動との共振を抑制し、車体に伝わる振動・騒音を低減した。これにより、すっきりとした心地よい加速車内音を実現した。

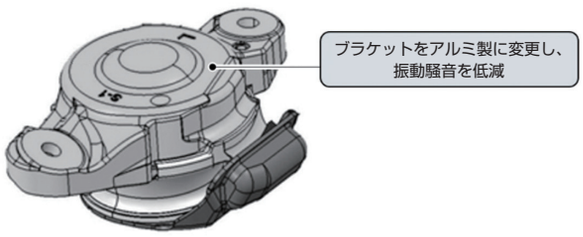


図 51　エンジンマウント

10.2.4　シフトレバー

コンソール上面の高さを上げたことにともない、シフトノブ位置を最適化し、より自然に操作できる、扱いやすいシフトレバーとした。加えて、レバーの剛性を向上させることで操作フィーリングを改善した。

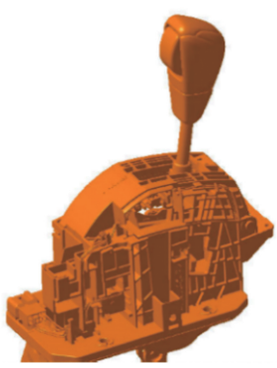


図 52　シフトレバー

10.3　まとめ

クロストレック／インプレッサは各市場において高い評価を頂いてきている。その期待に応えるべく、開発チーム一丸となり開発を進めてきた。お客様には愉しさを感じていただき、生活の良きパートナーとなれることを望んでいる。

本開発にあたり多くの関係者の協力が不可欠であり、この場を借りてそのご尽力に感謝いたします。

【著　者】

SUBARU IMPREZA
開発プロジェクトチーム

［商品企画本部］	毛塚 紹一郎
	刀祢　友久
	末棟　寛士
［内外装設計部］	田中　　純
	松田　哲也
［E&Cシステム開発部］	山崎　易治
	近藤　敬生
	間橋　利行
［ボディ設計部］	栗原　雄摩
	宇津木 芳明
［ADAS開発部］	小西　英祐
［車両開発統括部］	櫻井　登太

SUBARU 新型「アウトバック」がユーロNCAPの2021年安全性能テストで最高評価「ファイブスター」を獲得

2021年9月21日

このたび、新型「アウトバック」(欧州仕様車)が、ユーロNCAP[*1]の2021年安全性能テストで、最高評価である「ファイブスター」を獲得しました。SUBARUがユーロNCAPで「ファイブスター」を獲得するのは、2019年のフォレスターに続いて9度目です。

＊1：欧州各国の交通関連当局などで構成された独立機関が1997年より実施している安全性能評価プログラム

新型アウトバック（欧州仕様車）ユーロ NCAP 衝突試験

ユーロ NCAP 2021 年安全性能テスト ファイブスター

新型クロストレック／インプレッサのデザイン

Design for New CROSSTREK and IMPREZA

井 上 恭 嗣* INOUE Kyoji
村 瀬 信 哉* MURASE Shinya
塩 田 純* SHIODA Jun
西 井 喬 哉* NISHII Takatoshi

抄 録

新型クロストレック／インプレッサのデザインは、お客様の調査分析に基づいた商品コンセプト「アウトドアアクティビティの相棒」、「スポーティ・ユーティリティー」の具現化を目標とした。

デザインチームには「実際のお客様のアクティビティシーンの写真」が提示され、「それらにマッチする機能と気持ちの表現か」をアイディアの判断基準として開発が進められた。

その結果、頼もしく躍動的なクロストレック、アスレチックでシャープなインプレッサ、カジュアルで実用的なインテリア、それらを引き立てる色と材質に収斂していき、さらにFUNを感じるアクセントが散りばめられた。

本稿ではそれらを実現させた具体的な手法と、今後のSUBARUデザインの進化の目標について報告する。

Abstract

The design goals of the new CROSSTREK and IMPREZA were to embody the product concepts: “outdoor activity partner” and “sporty utility.”

The design team developed the designs by looking at the “photos of actual customers in activity scenes.” The criterion for deciding the design was "whether the design expresses the function and the feeling that match those scenes.”

As a result, the styling for CROSSTREK emphasizes “Reliable and dynamic”, the IMPREZA emphasizes “Athletic and sharp”.

This article reports the specific methods we took and the future design evolution goal of SUBARU.

1. まえがき

当社のBOLDERデザイン戦略＝「各商品の固有性を大胆に表現」を達成すべく、新型クロストレック・インプレッサのデザインは「お客様のアクティビティシーン」へのマッチングに焦点を当てて開発された。

しばらく前から「モノからコトのデザインへ」と言われ、当社もその表現に取り組んでいる。本開発ではそれを具現化するため、「実際のお客様から頂いたアウトドアアクティビティシーンの写真」がデザインの開発現場に掲げられた。デザインチームは常に「リアルなお客様シーン」に向けて創造活動を行ったのである。

2. デザインコンセプト

新型クロストレック／インプレッサのデザイン開発には、通常設定される「デザインコンセプト」なるフレーズはない。商品コンセプトの「アウトドアアクティビティの相棒（クロストレック）」、「スポーティ・ユーティリティー（インプレッサ）」にダイレクトに応えることを目標とした。

この商品コンセプトは商品企画部門が既存のユーザーを徹底的に分析して導いたものであり、また今後も市場において歓迎される商品像であることが示されているため、デザイン開発における全てのアイディアは、商品コンセプトを想起させるかどうかを判断基準にして進められた。

＊ デザイン部

3. エクステリアのデザイン

もちろん今回開発した新型クロストレックも通勤や買い物、また家族の移動など日常的な使い方もされる訳だが、お客様の分析が示していた特徴は、「1～2名で出かけ、現地で合流した仲間たちとアウトドアアクティビティを楽しむ。」というものだった。このような使い方・シーンに「丁度良い」と評価されていたボディスタイルは継承すべきと考え、クロストレックは「SUVカテゴリーとしては全高が低いが地上高は高い」車体のサイズをキープすることを最初に決めた。

3.1 プロポーション

お客様のアクティビティは、その「挑戦度が高い」ことも特徴である。 ハイキングではなくクライミング、サイクリングではなくクロスカントリーといった具合である。

そこで彼らのための車両も「挑戦にふさわしいカタチ」であるべきだと考えた。様々なアイディアの中から選ばれたのは、キャビンが小さく、前後のタイヤが張り出して見える基本骨格-つまり最も「積極的に走り回れそうな」プロポーションである(**図1**)。

実現に向けて最も注意深く検討をしたのはキャビン後半のサイズとドライバーの視界である。自転車やスノーボードなど、アクティビティを楽しむためのGear（ギア）を詰める荷室の広さ、特に振り返った時に他車や人を確認しやすい窓の広さと位置を吟味し、共に市場での優位性はキープしている。

図1　プロポーション

フロント周りはフードを高く、顔を大きくすることでボリュームを増した(**図2**)。新型クロストレックの先代に当たるXVは乗用車ベースの商品として好評であったことから、乗用車的な低さを際立たせるべきとの考えもあった。しかし拡大トレンドにあるSUVカテゴリーにより見えることで、SUVが欲しいというお客様に対して間口を広げることを優先した。同じ基本プロポーションを持つインプレッサにおいても、乗用車として違和感のないレベルに調整されている。

図2　フロント周り

3.2 クロストレック －「装備」のデザイン

アウトドアアクティビティを楽しむには装備が重要である。特に「挑戦的」に楽しむために、部品のデザインはそれに見合う機能と気持ちの表現になっている。

道路に飛び出した木の枝や、跳ねた小石からボディを守るプロテクターは拡大されたがそれだけでなく、車体の角を保護する位置に、立体的に最小限のサイズとなるように配慮された(**図3**)。これは人が身に着けるプロテクターと同様の配慮である。ライト類やエアアウトレットも内包し、合理的・機能的に見えるデザインである。

図3　プロテクター

近年アウトドアで使用されるライトはLEDによって小型である。ヘッドランプはこの状況に倣って可能な限り小型化を目指した。一方フォグランプは厳しい状況下を走るための追加装備なので、ポッド形状に収めることで頼もしさを強調した。

一般的には「枠と模様」で構成されるフロントグリルだが、クロストレックのそれは大柄の太いフレームが直接車体に取り付けられたような構成とし、タフさを強調した。外形も「ギザギザ」であることから、SUBARUのアイコンであるヘキサゴングリルとしても進化させている(**図4**)。

ルーフレールも通常は滑らかにデザインされるものである。クロストレックは「屋根の上に積む」という

行為に注目し、荷物を載せる土台として頑丈に見えるデザインとした。

17インチホイールは「大地を掴む」、18インチホイールは「大地を掻く」イメージで、歴代XVが備えていた特徴的な柄の表現に加え、立体的にも機械的な構成の表現とすることで「装備」を感じさせるようにしている。

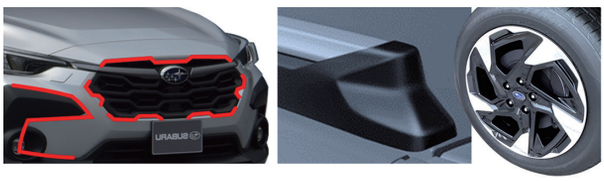


図４　装備

3.3　インプレッサー「スポーティ」のデザイン

前述したプロポーションにより、インプレッサはスポーティなプロポーションを得ることになった。パワフルなフロント、コンパクトなキャビン、張り出したフェンダーである。これらをベースにしてさらにインプレッサ固有のスポーティ表現を行っている。

「SUVではなくハッチバック乗用車を好む」と同時に、クロストレック同様にアクティビティを楽しんでいることを、インプレッサのお客様の分析は示していた。わが国では一般的にスポーティと言うと、「流麗で滑らかなカタチ」を想起することに異論はないだろう。しかしそれだけではアクティビティを楽しみたいお客様にはマッチしないと考え、この点をインプレッサのスポーティ表現の手掛かりとした。

ボディ全体に意図的に「硬いラインとカタチ」を散りばめることにより、整えられた美しさを超えた「愉しさを求め積極的に運転に出かけるクルマ」を表現した(図5)。

図５　インプレッサ

4.　インテリアーカジュアルで実用的なデザイン

「お客様の写真」にはアクティビティの現場で、また道中の車内で、思い思いの「自然体」で過ごす彼らが映っていた。彼らのために必要なインテリアデザインは、「豪華でドラマチックなこと」よりも、「カジュアルで実用的なこと」であると考えた。

4.1　前席のデザインー安心とワクワク

空間の基本的なテーマは「ラップラウンド」である。「挑戦的」なアクティビティのためには安心・安全感が不可欠である。目の前のダッシュボードからドアへの前方のラップラウンドに加え、背後のシートからドアへの後方のラップラウンドを表現した(図6)。

図６　ラップラウンド

ダッシュボードとフロアコンソールが連続していないのはそのためで、これは小物収納のスペースを拡大することにも寄与している。

安心・安全感だけでは「挑戦的」なアクティビティに向かう時の気持ちはワクワクしない。前方・後方のラップラウンドに沿って「パッド」をイメージした部品が配置されており、エクステリア同様にアクティビティの「装備」を感じさせ、「斜めのライン」によりスピード感を感じさせることで「ワクワク」を演出した(図7)。

図７　斜めのライン

4.2　後席と荷室のデザインーギアのための空間

従来からほぼ全てのSUV/乗用車のリヤドアのデザインは、フロントドアの反復である。これは乗員全てに同じ快適性を提供するという考え方に基づいている。

クロストレック／インプレッサは前述したように「1～2名」を重視する考え方なので、フロントとリヤのドアは異なるデザインとした。お客様が後席を倒して荷物を積むシーンを重視し、その時にリヤドアと荷室に一体感を感じるようなデザインテーマとなっている(図8)。また荷室として広くするためにリヤドアの物理的なボリュームは抑えられており、結果として後席乗員の空間を広く見せる効果も得られている。

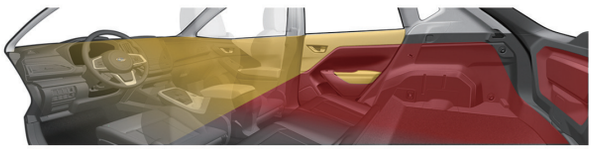


図８　後席と荷室

荷室の凸部とリヤハッチは敢えて多面体に造形されており、頑丈な造り／荷物を守る印象を演出した。リヤハッチは機能的には平面でいいのだが、「SUBARUは荷室に拘りがある」というメッセージでもある。

4.3　シートのデザイン－背骨に沿って支える

SUBARUデザインは「背骨に沿って身体を支える」というテーマでシートをデザインしてきており、本開発も同様である。構造が新設計となり乗り心地の改善が図られた本開発では、テーマ表現の進化を目標とした。

造形的にはスリム化を図っており、わき腹を支える張り出し部は三角形に切れ上がった形状とし、後席側のボリュームも最小限になるようにデザインされた。

またわき腹・大腿を支える張り出し部は、シート生地を貼り分ける構成とすることで、視覚的に「背骨を支える」範囲を広く見せている(図9)。

図９　シート

4.4　さらにトッピングとして

機能に基づくデザインがSUBARUデザインが重視する思想であるが、気持ちに訴えるデザインもトッピングした。

お客様は、リヤドアを開け乗り込もうとした時、またはリヤハッチを開けて荷物を積もうとした時、下方に「山柄」を目にするだろう(図10)。滑り止めや傷付き防止として凹凸が付けられるこれらの部分には、いつもの「並んだ線」ではなく「山柄」を採用した。アクティビティへの想いを演出したいという若いデザイナーの発案である。

また前方から荷室を振り返ると、リヤハッチにSUBARUのロゴを発見する。SUBARUがあなたの大切な荷物を守る、そんなSUBARUでアクティビティに向かうというベテランデザイナーのメッセージである。

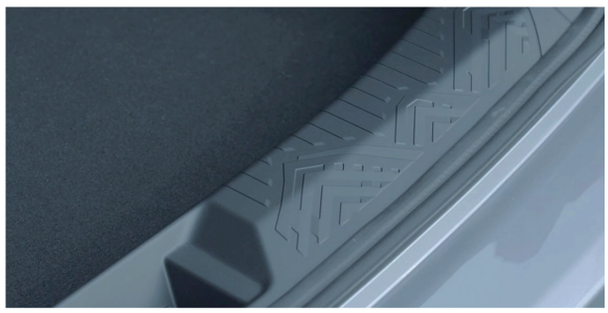


図 10　山柄

5.　色と材質－さらに引き立てるデザイン

カタチのデザインと同様に、色と素材についても「お客様のアウトドアアクティビティ」にマッチするように吟味された。

5.1　外装色のデザイン－自然を感じる専用色

クロストレック・インプレッサ専用色として3色が開発された。専用色の数としては市場の中では多く、商品コンセプトの表現を強調している。どれも自然をイメージした色である。

・オアシス ブルー（図11）

「砂漠の泉」をイメージした鮮やかなブルー。「挑戦的な気持ち」を表現した元気な色。クロストレックとインプレッサ双方に展開。

図 11　オアシスブルー

・オフショア ブルー メタリック(図12)

「広がる波間」をイメージ。「挑戦的な場所」を表現したアースカラー。クロストレック専用色。

・サン ブレイズ パール

「燃える太陽」をイメージしたシックなオレンジ。「挑戦的な気持ち」を表現したインプレッサ専用色。

図 12　オフショアブルーメタリックと
サンブレイズパール

5.2　外装のコーディネーション－クロストレック

クロストレックはグレードによって部品色のコーディネーションが2種類あり、それぞれフロントグリル・フォグランプベゼル・ドアミラー・ホイール・ルーフレールの色が揃えられている（図13）。

・グロス ブラック

スポーティに引き締め、トレンドをキャッチアップ。

・ダーク メタリック

控えめな金属調で、高品質を演出した。

図 13　外装のコーディネーション

ボディを覆うプロテクターの表面には、ダイヤモンド状の凹凸を施しタフさを演出した。

5.3　内装のコーディネーション

クロストレックとインプレッサの内装は形状を一にしている。どちらもツートーンの内装色だが車両に合わせて配置を変えている（図14）。

・クロストレック：ブラック＆グレイ

パッドイメージの部分をグレイとすることで、全体的に厚みのある頼もしい雰囲気を演出した。

・インプレッサ：ブラック＆シルバー

硬くシャープな部分をシルバーにすることでブラック基調の内装を引き締め、スピード感を演出した。

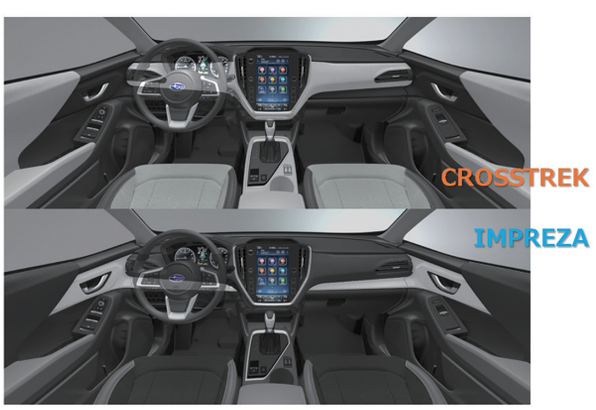


図 14　内装のコーディネーション

5.4　シート生地－アクセントのデザイン

クロストレックはアウトドアをイメージした2種類を設定した（図15）。

・テトラエンボス トリコット

テトラポッドのような立体的な柄が特徴。新しい表現手法でカジュアルな楽しさを演出した。

・グリッター ファブリック

アウトドアファニチャーの素材をイメージした、金属質感の立体的な織物。構造の奥にグリーンが覗くアクセントを施した。

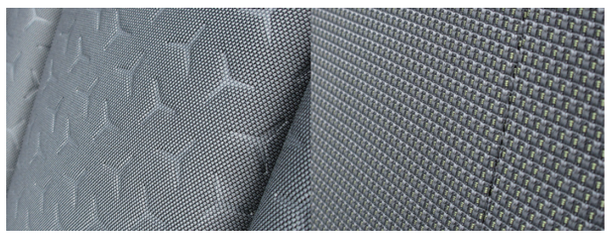


図 15　クロストレックのシート生地

インプレッサはベーシックなトリコットの他に、スポーティをイメージした2種類を設定した（図16）。

・ヘキサエンボス トリコット

身体のサポートをイメージさせるパッド状の凹凸柄。

・ミックス ジャジー

ざっくりと立体的に編んだ伸縮素材。奥に赤いアクセントを施した。

図 16　インプレッサのシート生地

6.　まとめ

SUBARUが「笑顔をつくる会社」になるために、デザイン部門が目指す今後の進化に触れてまとめとしたい。

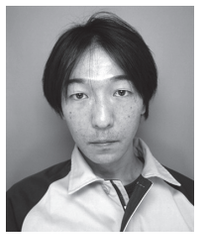
本デザイン開発では「お客様シーンへのマッチング」に注力してきたが、現在当社の「コトのデザイン」は次のステップに向かっている。

デザイン部員は「お客様と同じ体験」を実践することで、もっとお客様を理解しようとしている。またアイデア創出についても、リアル／バーチャル環境によるお客様シーンの中で創造／評価するなど、新しいプロセスにも取り組んでいる。

このように、デザインの開発手法を進化させることで、マッチングだけにとどまらず「新たなお客様体験の創造」を目標としているのである。

【著　者】

井上　恭嗣


村瀬　信哉

塩田　　純

西井　喬哉

SUBARU 新型「レガシィ アウトバック」を発表

～高度運転支援システム「アイサイトX（エックス）」を全車標準装備～

2021年10月7日

SUBARUは、新型「レガシィ アウトバック」(日本仕様) を発表しました。
今回の新型では、「知的好奇心を刺激し、新たな発見を促すクロスオーバー」というコンセプトのもと、歴代モデルが培ってきた価値に最新の技術を組み合わせることで、さらなる進化を遂げています。

レガシィ アウトバック Limited EX

ファーサイドエアバッグモジュールの開発

Development of FAR-SIDE AIRBAG Module

山　下　　透[*1]　　庄　子　　建[*2]
YAMASHITA Toru　　SHOJI Takeru

抄　録

新型インプレッサ／クロストレックの欧州・豪州・中国市場向けに、SUBARU初採用のファーサイドエアバッグを搭載し、ファーサイド衝突時の乗員保護性能レベルアップを図った。

本稿では、ファーサイドエアバッグの開発概要、部品構成、効果について説明する。

Abstract

The newly adopted FAR-SIDE AIRBAG was developed for the new IMPREZA/CROSSTREK for Europe, Australia and China to improve passenger protection performance of far-side collisions.

This paper describes the development outline, parts configuration, and effects of this FAR-SIDE AIRBAG.

1.　まえがき

SUBARUは、誕生から現在に至るまで一貫して「人を中心としたクルマづくり」を軸としてきた。クルマを使う人にとって一番大切なのは「安全」であると考え、SUBARU独自の「総合安全」思想として0次安全、走行安全、予防安全、衝突安全の4つを掲げ、これらに事故自動通報といった「つながる安全」を加え「2030年死亡交通事故ゼロ」を目指している。この中でもエアバッグが担うのは衝突安全であり、死亡交通事故ゼロを目指し継続的な衝突安全技術の強化を進めている。

2.　開発の背景

交通事故による死傷者数は車両の衝突安全性能向上により年々減少しているが、市場の事故ケースを見ると既存の保護デバイス（エアバッグ等）では保護しきれていない衝突形態も存在する。従来、側面衝突時に展開するエアバッグ（サイドエアバッグ、カーテンエアバッグ）は側面衝突された側の車体やドア・内装と乗員との間に展開することで乗員を保護していた。乗員が運転席のみに乗車している際に助手席側から側面衝突され内装物とぶつかることでの受傷や、運転席と助手席に乗車している際に側面衝突され乗員同士がぶつかることでの受傷など、これまでのデバイスでは保護できないケースも起き得る（**図1**）。

欧州で自動車安全性評価を行う第三者機関のユーロNCAPは、側面衝突で負傷した乗員の約半数は衝突側から遠い反衝突側に座っている乗員であるという調査結果を示しており、このファーサイド（遠い側）衝突時の乗員保護評価を2020年から開始した。

一方、SUBARUではユーロNCAPでの評価開始よりも前の2014年から、ファーサイド衝突時の乗員保護に着目した前席乗員の間に展開する乗員保護デバイス（ファーサイドエアバッグ）の先行開発を開始した。そして2030年死亡交通事故ゼロに向けた取り組みの1つとして2022年に発表した新型インプレッサ／クロストレックの欧州・豪州・中国市場向けの車両にSUBARUとして初採用した。

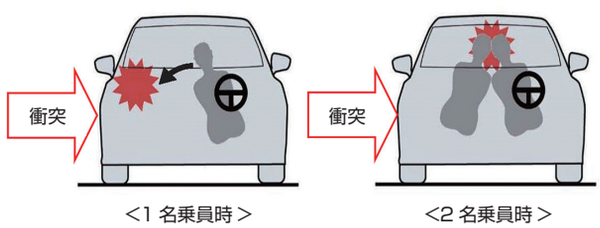


図 1　ファーサイド衝突

＊1　E&Cシステム開発部
＊2　車両安全開発部

3.　ファーサイドエアバッグについて

3.1　ファーサイドエアバッグの概要

ファーサイドエアバッグは既存のサイドエアバッグと同様にフロントシートバックのフレーム横に取付けられており、ファーサイドエアバッグの場合は運転席シートの車両中央側に配置されている（図2）。エアバッグの周囲にはウレタンパッドが配置され、エアバッグはシート内部に収まるように折り畳まれており、側面衝突時にエアバッグECUからの信号を受けたインフレータが着火、ガスが発生することで折り畳まれていたエアバッグが膨張する。膨張時の展開力によりシートの縫製部を突き破りシートの外へ展開する。図3にファーサイドエアバッグが膨張した様子を示す。

既存のサイドエアバッグは乗員胸部の車両外側を主に保護しており、カーテンエアバッグは乗員頭部の車両外側を主に保護している。対して、ファーサイドエアバッグは乗員の頭部・胸部の車両中央側を主に保護しているという違いがある（図4）。

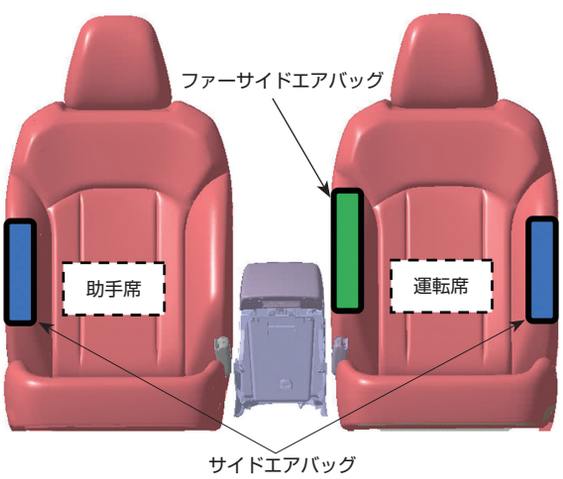


図２　ファーサイドエアバッグ搭載位置

図３　ファーサイドエアバッグ膨張時

3.2　部品構成

ファーサイドエアバッグの部品構成を図5に示す。ガスを発生させるインフレータ、インフレータを保持しシートに固定するためのリテーナ、ガスにより膨張するバッグで構成される。

ファーサイドエアバッグは頭部から胸部までを保護するために、既存のサイドエアバッグよりも大型化している。折り畳んだ際のエアバッグサイズも大きくなってしまうため、シート内レイアウトに対する影響が少ないように極力シンプルな構造とすることで小型化を目指した。

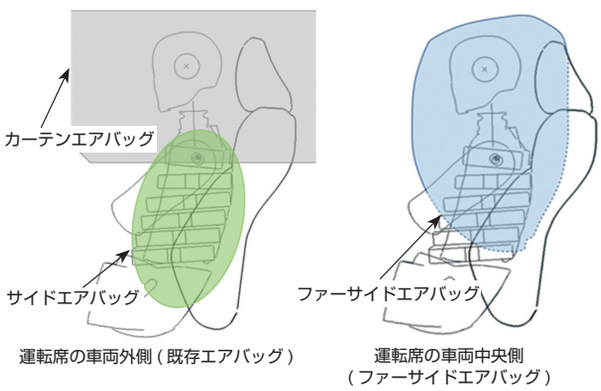


図４　既存エアバッグとの違い

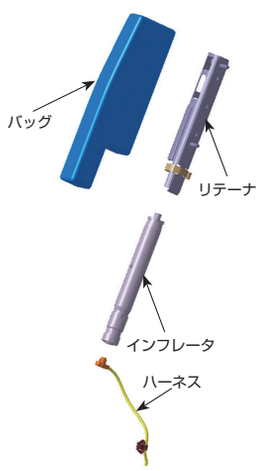


図５　ファーサイドエアバッグ部品構成

3.3　ファーサイドエアバッグによる効果

ファーサイドエアバッグは2つの保護目的を有している。1つ目は、運転席のみに乗車している際に助手席側から側面衝突され、助手席側のドアトリムなどの内装部品と運転席乗員がぶつかることを保護することである。2つ目は、運転席と助手席に乗車している際に側面衝突され、乗員同士がぶつかることを保護する目的である。SUBARUで行った実際の衝突試験時の様子を示す（図6）。

2名乗員のファーサイド衝突時において、ファーサイドエアバッグ有無による頭部加速度を比較した（図7）。エアバッグ無しで頭部同士が接触した場合に対して、エアバッグによる頭部保護を行った場合では頭部加速度が軽減出来ていることがわかる。

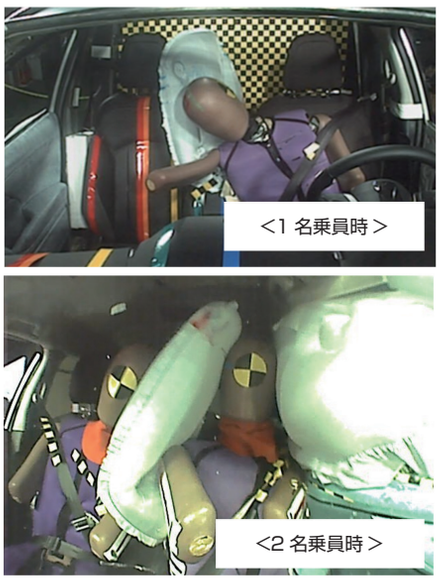


図６　ファーサイド衝突試験

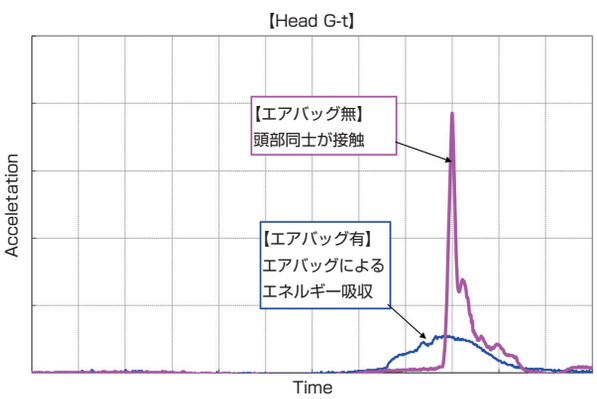


図７　２名乗員時ファーサイド衝突試験での頭部加速度

3.4　品質に対する取組み

先行開発段階から顕在化していた課題として、エアバッグを狙いの位置へ安定的に展開させる難しさが存在した。ファーサイドエアバッグは、レイアウト上シートへの固定点がバッグ膨張部の最下部にあるため、従来のサイドエアバッグに対して展開挙動が不安定になりやすい。また前席シート間という広い空間に展開するため周辺部品による反力が取りづらく揺動しやすい（図8）。また、展開途中にシートやコンソールに干渉させずに膨らませるため、展開時のバッグ挙動を細かくコントロールする必要があった。

これに対して①バッグ内部に設定したインナーチューブというガスを整流させる部品の形状最適化、②バッグの折り方の最適化、③バッグ内に設定したチャンバー（部屋）の最適化、を行うことで、周辺部品に干渉せずに安定的に展開させることを実現した。①～③について詳細を説明する。

図８　展開時のバッグ揺動

①インナーチューブ形状の最適化

インフレータから噴出したガスはまずバッグ内部にあるインナーチューブというガス整流布内に流れる。バッグを安定的に真上に展開させるにはガスを一旦バッグの最下部に流すことが効果的であり、インフレータ上方から出たガスをインナーチューブ形状により一気に真下へ流す構造とした（図9）。合わせてバッグの最下部部分の厚みを太く設定することで、結果としてバッグ揺動の減少に寄与させることができた。

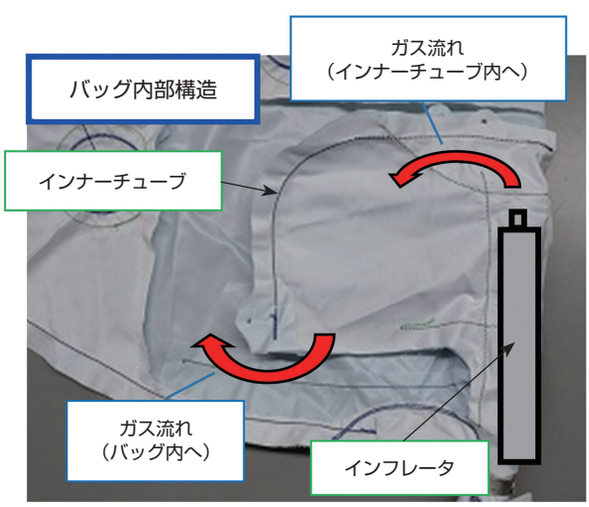


図９　インナーチューブ構造

②バッグの折り方の最適化

バッグはインフレータからのガス噴出により折りをほどきながら膨張するが、最初に膨らむバッグ最下部部分を「扇折り」という扇子状に折る方法を採用することで、バッグが安定的に真上に向くように設計した（図10）。この「扇折り」は当社のエアバッグとしては初めての採用となる。

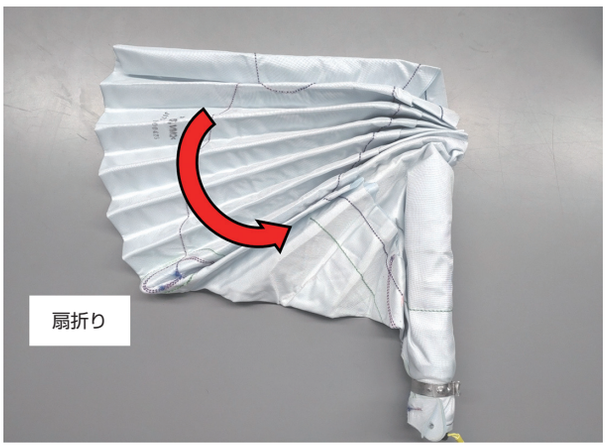


図 10　扇折り

③チャンバー（部屋）の最適化

本エアバッグは2枚の布同士の外周を縫い合わせることで袋状の構造としているが、バッグの内部についても同じように2枚の布同士を縫い合わせることで、バッグ内部をチャンバー（部屋）で分けることができる。この縫い合わせをシームと呼んでいる。本エアバッグではシームを縦方向に2本配置することで3つのチャンバーを設定し、ガス流れを縦方向に促すことでバッグがより真上へ開きやすい構造とした（図11）。

図 11　チャンバーとシーム構造

以上の①～③の改善アイテムを取り入れることで展開時の引っ掛かりや揺動の少ない展開挙動を実現することができた。

SUBARUのファーサイドエアバッグは、展開の安定化とシート内に収めるにあたってのエアバッグサイズを達成するため3種類の折り（ロール折り、ジャバラ折り、扇折り）を組み合わせている（図12）。開発初期からサプライヤ様と共同でFTA/FMEAを実施しながら3種類それぞれの折り回数や折り幅の調整を行いロバスト性の高いエアバッグを実現した。

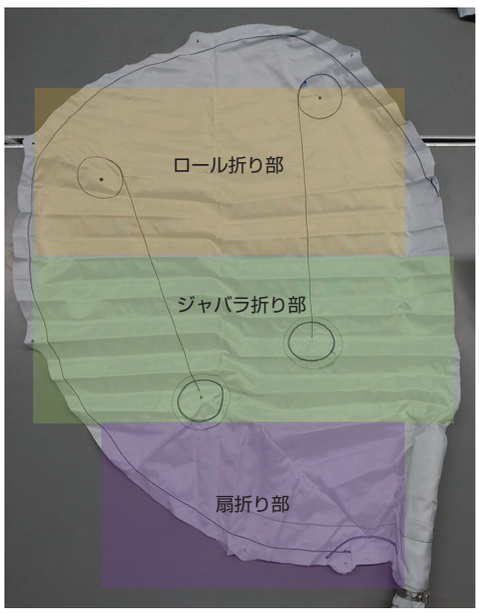


図 12　３種類のバッグ折り

4.　あとがき

新型インプレッサ／クロストレックの欧州・豪州・中国市場向けにSUBARU初採用であるファーサイドエアバッグを搭載し、ファーサイド衝突時の乗員傷害値の低減に寄与した。

多大なご協力を頂いたエアバッグサプライヤ、シートサプライヤ、関係部署の方々に深く感謝する。

最後に、お客様に安心して乗って頂けるように、これからも安全な車作りに貢献していきたい。

参考文献

(1) 林　丈樹，松崎雄士「前席ファーサイドエアバッグの開発」豊田合成技報 2020 Vol.62

【著　者】

山下　　透

庄子　　建

新型インプレッサの振動騒音シミュレーション技術

Simulation Technology of Noise and Vibration for the Brand-New IMPREZA

新井惇規* ARAI Junki
用松一真* MOCHIMATSU Kazuma
今井哲也* IMAI Tetsuya
阿部啓介* ABE Keisuke
蟻川裕樹* ARIKAWA Yuki

抄　録

新型インプレッサでは、どこまでも走りたくなるストレスフリーな車室内空間でお客様に笑顔を提供することを狙い、静粛性向上を目指した。

前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(SGP：SUBARU Global Platform)を採用し、大幅な進化を遂げた。

本開発では、走行中にお客様に聞こえるロードノイズや、内装材から発する異音など,静粛な車室内空間の提供に繋がる騒音現象についてシミュレーション技術を適用した。これにより、SGP共用のもとNV性能をさらに時代伸長させるとともに、モデルベース開発の適用により開発プロセスの合理化を実現した。

Abstract

For the brand-new IMPREZA, we aimed to enhance quietness so that we could deliver happiness to our customers in a stress-free interior space that makes them want to drive further.

The previous model adopted SUBARU Global Platform (SGP) and made great progress. For the brand-new model, we applied simulation technology for noise such as road noise emitted while driving and abnormal noise emitted from interior material for leading our customers to quieter interior space. As a result, NV performance has been further improved and renewed with the use of SGP, and the development process has been rationalized by applying model-based development.

1. まえがき

新型インプレッサでは、どこまでも走りたくなるストレスフリーな車室内空間の実現により、お客様に笑顔を提供することを狙い、静粛性向上を目指した。

「静か」な商品力だけでなく、その開発プロセスも合理化できなければ、自動車業界の激しい変革期を生き残ることはできない。開発後半における評価台車を用いた後追いの検討が、非合理的な開発プロセスとして挙げられる。今回、パッケージングや諸元検討などを行う開発初期段階から理屈に基づき車両性能からシステムや部品の機能要件に落とし込むモデルベース開発(MBD：Model based development)を適用拡大した。

荒れた路面や高速道路を走行する際に発生するロードノイズや、内装材から発する異音など、静粛な車室内空間の提供に繋がる騒音現象にフォーカスし、著者らはシミュレーション技術を開発し、新型インプレッサより適用を図った。

本稿では、ロードノイズ、高周波空気伝搬音、インパネ異音に適用したシミュレーション技術およびモデルベース開発事例を報告する。

2. ロードノイズ

荒れた路面を走行した際に、路面凹凸を起振源とする車室内音をロードノイズと呼ぶ。タイヤ、サスペンション、ボディなど伝達経路が多岐に渡るため、その発生メカニズムは複雑である。中でも、タイヤ内や車室内の共鳴現象は、ロードノイズの支配要因の一つであるが、その共振周波数やモードは空間形状で決定されてしまい、特性変更は困難である。そのため、ロードノイズを低減する手法としては車体骨格やパネルを設計対象に車体音響感度を低減する方法や、サスペンションから車体に伝達する力(以下、サスペンション伝達力)を低減する方法などが知られる。著者らは既

＊ 車両運動開発部

報[1]で、低周波ロードノイズの性能予測に向けたフルビークル有限要素（以下、FE）モデルでのシミュレーション技術を開発した。本技術により、車両走行時の車室内音の予測とともに、車室内音の発生要因となる振動伝達メカニズムの詳細分析を可能とした。新型インプレッサの開発におけるモデルベース開発事例を示す。

2.1　CAE技術の概要

評価路面を走行した際に発生する300 Hz以下のロードノイズを対象としたシミュレーション技術を構築した。**図1**にフルビークルFEモデルの概略を示す。路面の強制変位を受けるタイヤからキャビン内空気への伝達特性を定量的な精度で解析するためには、各コンポーネントの共振特性を再現する必要があり、トリムドボディ、サスペンション、タイヤで構成されるフルビークルFEモデルとした。本モデルに路面凹凸スペクトルをタイヤ接地面へ付与し、モーダル周波数応答解析により車室内音圧のエネルギー平均スペクトルを計算した。

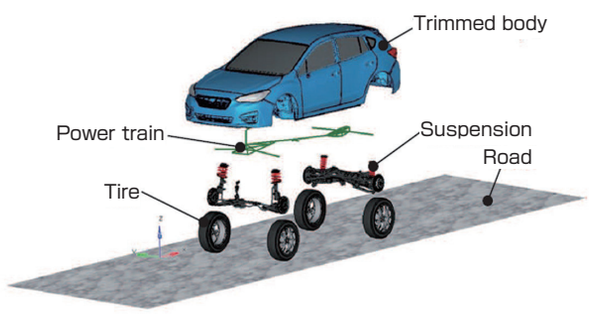


図1　フルビークルFEモデル概略

2.2　開発概要

新型インプレッサは前型に引き続きスバルグローバルプラットフォーム（SGP：SUBARU Global Platform）が採用されるが、アッパーボディの意匠変更、環境規制および法規制により生じる変更に対しても、静粛性と高い次元で両立させることを目指した。**図2**に前型車のロードノイズ（助手席音圧）レベルを示す。音圧のピークの低減を、ロードノイズ開発のターゲットと定め、シミュレーション技術を活用したメカニズム分析と改善検討を実施した。 一例として、200 ～ 250 Hz帯について述べる。

2.3　メカニズムに基づくシステム目標の設定

ボディおよびサスペンションのシステム要件を定めるために、伝達経路分析（TPA：Transfer Path Analysis）[3]を実施した。サスペンション伝達力と音響伝達関数の積により、複数ある経路の中から評価応

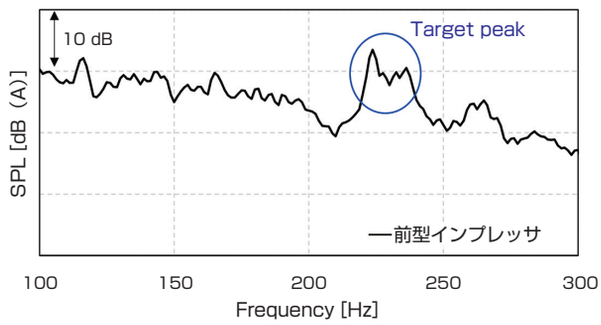


図2　ロードノイズ試験結果
（前型インプレッサ、助手席音）

答への寄与の高い経路を特定した。ターゲットの200 ～ 250 Hz帯において寄与の高いサスペンション取付点はフロントロワアームやフロントトップマウント、リヤトップマウントであることが分かり、これらについてサスペンション伝達力と車体音圧感度にシステム目標を設定した。本稿では、車体音圧感度の低減に向けたパネル振動の評価を抜粋して述べる。

2.4　車体振動のCAE検討事例

車室内音はパネルに伝搬した振動エネルギーがキャビン空間へ音響放射することで発生するため、パネル振動による発音量を予測する指標として、等価放射パワー（ERP：Equivalent Radiated Power）[2]を用いた。車室内音は、起振源からパネル間の構造体の振動感度と、パネル振動により生ずるキャビンの音響感度の積で表される。そのため、車体振動特性、キャビン音響特性の双方に対して感度の低いパネル特性とすることが重要であり、路面入力時におけるパネルERP、乗員耳位置（受音点）の音源加振におけるパネルERPの二つを指標とした。

新型インプレッサでは、パネルを新規製作し、ERPを機能要件として設定した。新製パネルで、ターゲットである200 ～ 250 Hz帯の車室内音に対して寄与があるパネルは、アーチリヤインナーが挙げられる。発音パネル寄与分析結果を**図3**に示す。色調は寄与の高さを表す。

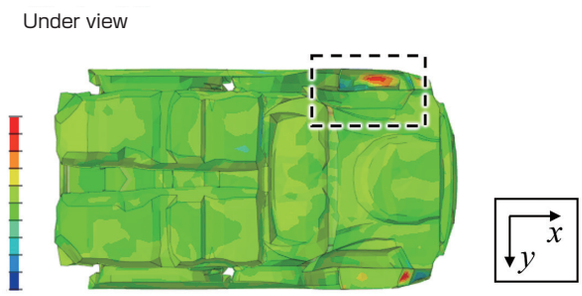


図3　パネル寄与分析結果

アーチリヤインナーパネル本体のビード形状やスポット溶接打点レイアウトの最適化により、パネルの面外剛性の向上を図った(図4)。これにより、アーチリアインナーパネルのパネル寄与は新型インプレッサで大幅に低下することを確認した(図5)。

アーチリヤインナーパネルのERP解析結果を図6に示す。ターゲットである200 ～ 250 Hz帯では、路面入力時および乗員耳位置(受音点)の音源加振におけるパネルERPは5 dB以上の低減を示し、車体振動特性、キャビン音響特性の双方に対して感度の低いパネル特性を実現した。

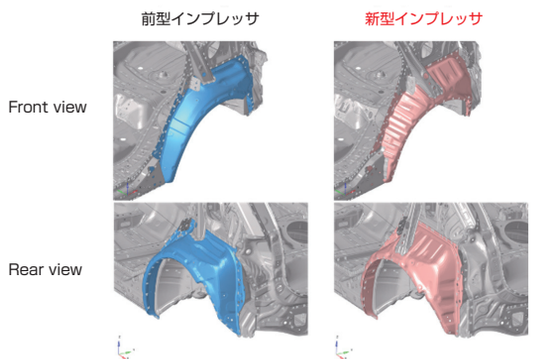


図4　アーチリヤインナーパネルの構造検討内容

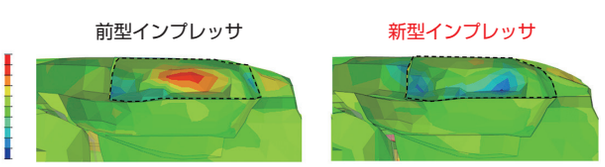
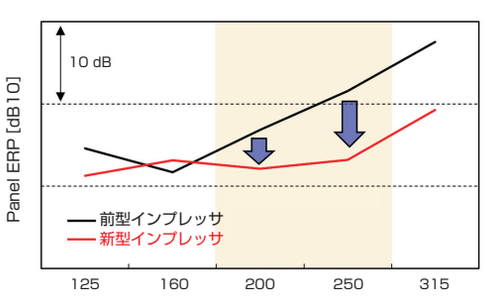
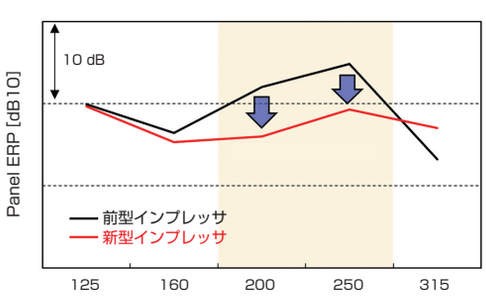


図5　前型／新型のパネル寄与比較



(a) 路面入力時



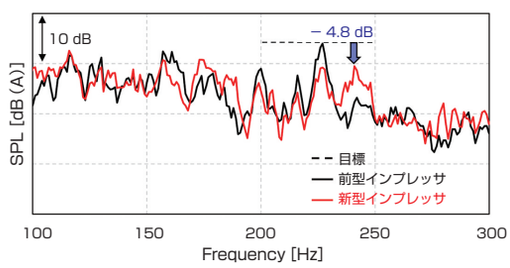
(b) 受音点音源加振時

図6　アーチリヤインナーパネル ERP 解析結果

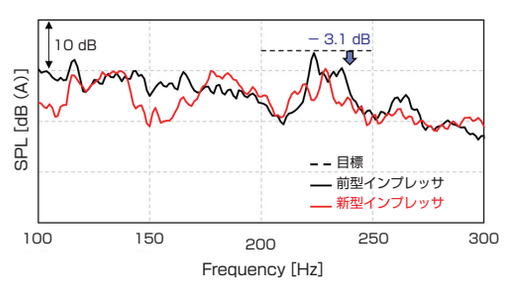
2.5　新型インプレッサのロードノイズ性能

先述を一例とした検討により実現したロードノイズ性能を示す。前型と新型のロードノイズ解析結果を図7に示す。ターゲット周波数帯のピーク値は解析結果では4.8 dB、試験結果では3.1 dB低減し、静粛性を高めることができた。

本取組みで、論理的な性能開発のプロセスを適用し、性能達成に必要な合理的な構造を実現した。



(a) 解析結果 (助手席音圧)



(b) 試験結果 (助手席音圧)

図7　前型／新型のロードノイズ性能比較

3.　高周波空気伝搬音

高周波空気伝搬音とは、走行中に主にパワートレインやタイヤ等から発せられた音が空気を伝わる現象である。この音を抑えることは、車内の静粛性に繋がり商品力となる重要な性能である。

この現象は実走時に音源から評価点(乗客の耳位置等)間の経路を実験的に確かめることが難しく、メカニズムに基づいた要件化に繋げることができなかった。

そこで著者らは、CAEを用いた車両一台での高周波音を予測する技術[4]を開発することで伝搬経路を可視化し、新型インプレッサ開発では、開発初期での合理的な吸遮音材配置を実現した。

3.1　CAE技術の概要

3.1.1　対象のメカニズムと技術の特徴

高周波空気伝搬音は、音源となるパワートレインやタイヤから放射された音が、車外空間の空気を伝搬、車体を透過し、車室内へ伝わることで乗員に聞こえる現象である(図8)。

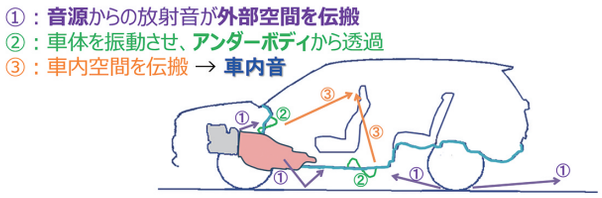


図８　空気伝搬音のメカニズム

本技術の特徴は、大きく2点挙げられる。1点目は、車外の空気伝搬、車体の構造振動、車内の空気伝搬とステップを分けて解析することで、実走時の音源から評価点までの経路を予測できることである（図9）。2点目は、Biot[5]—Allard[6]モデルを用いて吸音材内部を伝搬する現象を再現できることである。

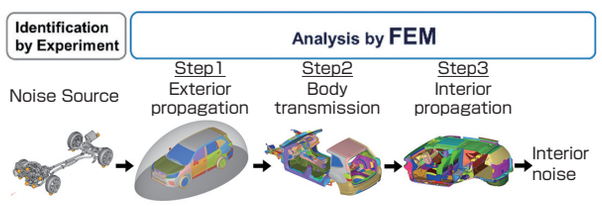


図９　空気伝搬音予測技術概要

3.1.2　解析モデルの精度検証

高周波車内音の車体性能を評価する手法として、音源位置で音響加振し評価点までの感度を計測する音響伝達関数（ATF：Acoustic Transfer Function）や拡散した音（以下：拡散音）が車内側へ透過する音（以下：音響透過損失）を計測する方法がある。解析モデルの精度検証は、上記の計測条件にて実施する。

フロントタイヤから助手席評価点間のATF精度検証結果を、図10に示す。1 kHz帯域において開発適用可能な精度が得られている。

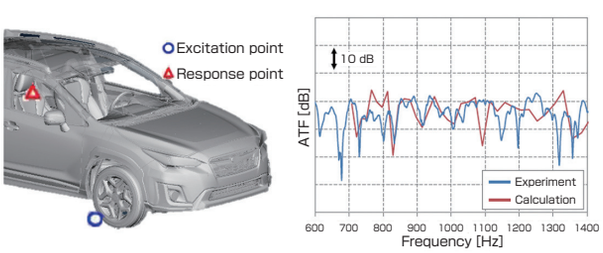


図10　フロントタイヤから助手席 ATF 結果

また、車体外面から入射した音波がカーペット表面へ透過する音の確からしさを検証した結果を図11に示す。

この結果からメタルから透過してくる音の様子とその先でカーペット表面やシート取付部へ伝搬する現象がモデルで再現できていることがわかる。

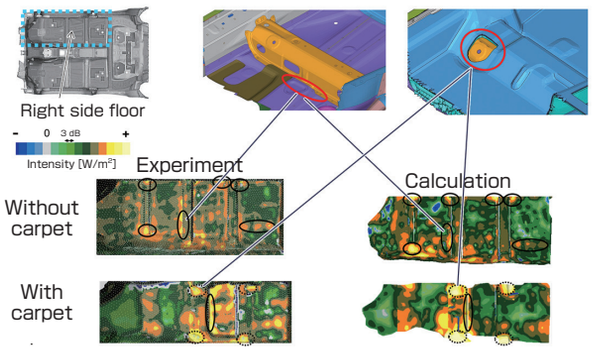


図11　実験 /CAE. フロア面からの透過音マップ

3.2　新型インプレッサCAE適用事例

新型インプレッサでは、高速道路走行時の静粛性を向上させ快適な車室内空間を提供するため、車内音目標を設定した。後席における静粛性向上のために実施した吸音材配置検討事例を紹介する。

高速道路走行中に後席で聞こえる騒音の一つとして、タイヤが路面に接する時に発する音波が空気中を伝搬する現象の高周波ロードノイズが挙げられる。

この音の後席への主な伝搬経路は、リヤタイヤで発した音がエアベンチレーション（図12）から侵入し、トランクトリム裏を伝ってクォータガラス周辺やリヤシートベルト穴からの透過である（図13）。

この経路に着目し本技術を活用することで、合理的な吸音材配置を検討した。

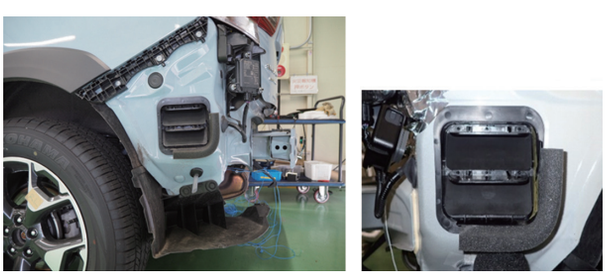


図12　エアベンチレーション

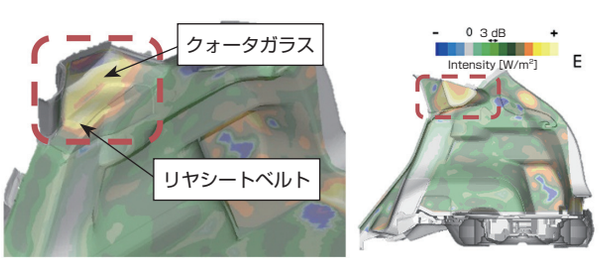


図13　前型インプレッサ
トランクトリム透過音マップ（CAE）

前型車の要因分析を進めるために、前型インプレッサモデルのトランクトリム裏音響インテンシティと伝搬経路を算出した。図14左はトリム裏の音響インテンシティマップを、右図中の青線は音響インテンシ

ティベクトルの接線より求めた流線を、また赤いエリアは前型車で搭載している吸音材を示す。

流線の結果より、クォータガラスやリヤシートベルト穴へ伝搬する音がプリテンショナ廻りを経由する現象であることを解明した。

図 14　左：音響インテンシティマップ
右：トランクエプロン裏経路解析

解明した現象に基づいて解析上で吸音材を配置した結果、当エリアの音響インテンシティが低減し、トランクトリムから車室内へ透過する音も低減効果を見積もることができた。

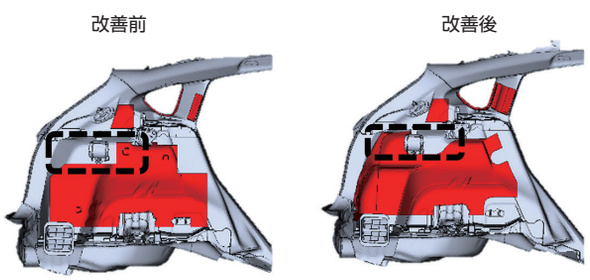


図 15　吸音材配置

試作車へ同様の施工を行い、高速道路走行状態での性能比較を実施した結果、目論見通りの低減効果であることを確認した。

本技術により、合理的な吸遮音材配置を実現することができた。

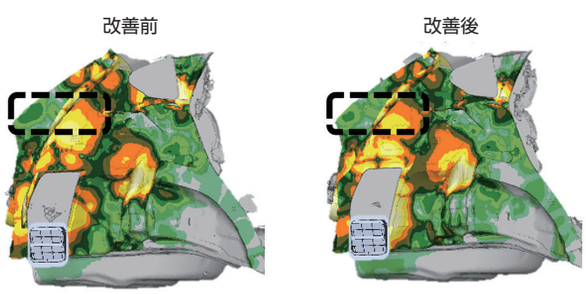


図 16　トランクトリム裏

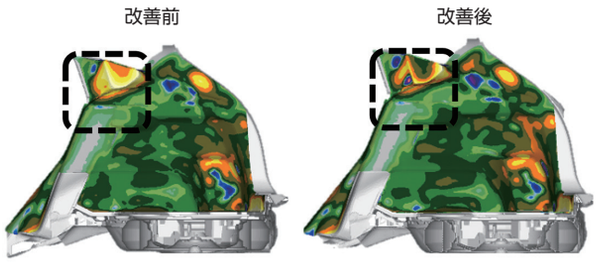


図 17　トランクトリム透過音マップ

4.　インパネ異音

部品間の衝突や軋みにより生ずる音は異音あるいは低級雑音と呼ばれる。その多くはユーザーの操作とは無関係に発生するため、建付けの悪さや故障等を想起させ、商品性を損なう原因となり得る。図面検討段階において構造に対する異音発生リスクの抽出と改善が求められる。

昨今では振動により部品間で生ずる相対変位から異音発生リスクを予測する解析技術に関する研究[7][8]が報告されている。これら背景から、新規構造に対する異音の品質向上を目指し、机上検討技術を構築した。新型インプレッサでは、樹脂部品の締結により構成され、異音が乗員の耳に届きやすいとされるインパネに着目した。本章では技術の概要と、具体的検討事例を述べる。

4.1　CAE技術の概要

本検討では、部品間の衝突により生ずる異音である「ラトル音」に限定し、シミュレーション技術の構築を行うこととした。FEモデルの概略を図18に示す。各部品をシェルおよびソリッド要素でモデル化した。入力には、車両が評価路面を走行した際に計測される振動を強制加速度として用いる。

解析ではラトル音を評価応答として直接出力することは困難であるため、部品間の相対変位量を代用特性として評価を行った。評価部位には形状補間要素と剛性を持たないばね要素を追加した。これらを用い、線形過渡応答解析でばね要素の両節点における変位を出力した後、ポスト処理で相対変位の算出を行った。

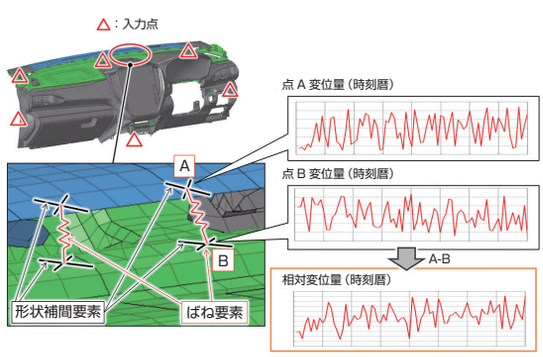


図 18　FE モデルの概略

4.2　ラトル音の代用特性化手法

評価手法の概略を図19に示す。ラトル音は断続的に発生し続ける傾向にあるため、瞬時のピーク値との相関はないと推察し、対象時間区間におけるエネルギー平均に基づく実効値D_{rms}を用いてリスク評価を行うこととした。

$$D_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \left(d_i^A - d_i^B\right)^2} \qquad (1)$$

ここで、Tはサンプリング時間、d_i^A、d_i^Bは時刻Tにおける部品A、B、節点iにおける変位である。部品の相対変位により生ずるラトル音の評価には、部品間の公差寸法を代用特性とすることも考えられるが、各部位における公差の把握や、部品の個体差や温度変化により生ずる公差のバラつきを加味すると現技術では困難である。そのため、今回は常温、同入力条件をノミナル値とし、他車系で解析された相対変位との相対比較で同等以下であることをリスク判定の指標とした。

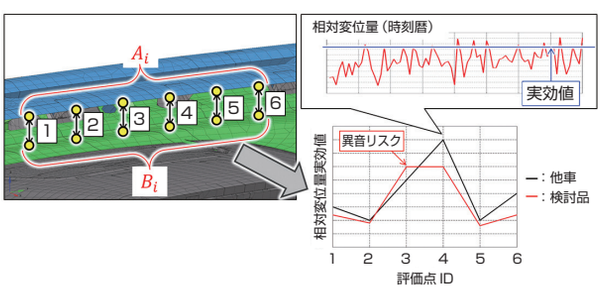


図 19　ラトル音代用特性の導出手法

4.3　新型インプレッサでの検討事例

図20に示すデフロスタダクトにおける検討一例を述べる。当部品はダッシュボード上面のデフロスタに位置する部品であり、上側、下側の2部品で構成される。

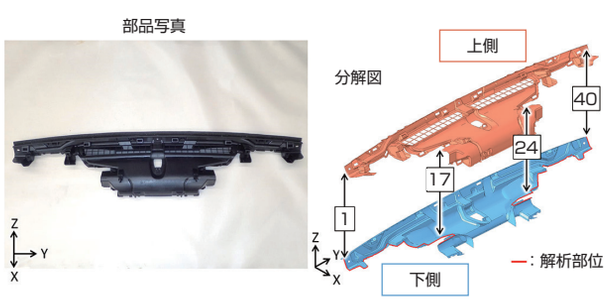


図 20　デフロスタダクト

同コンセプトのインパネデザインを採用する2代目レヴォーグを比較対象（以下、比較品）とし、ラトル音の解析評価を行った。図21に各評価部位における相対変位量の解析結果を示す。新型インプレッサ検討品では評価点17、24における相対変位量が比較品に対し増加していることが分かった。

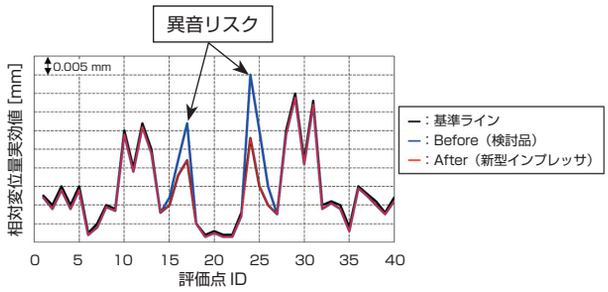


図 21　デフロスタダクト解析結果

悪化要因の分析と改善検討を実施した。当評価点における時刻歴の振動特性をフーリエ変換し、影響因子となる固有モードの確認を行った。図22に寄与の高い固有モード（32 Hz）を示す。インパネ上面の面外振動（①）により、デフロスタダクトの上側および下側部品に曲げ変形が生じ（②）、締結面で相対変位（接触）が生ずる（③）。新型インプレッサ検討品で比較品に対し相対変位量が増大した要因は、当該部位に他性能要件で構造変更がなされ、局所剛性が変化したためであると分析した。この分析結果を基に、リブを新たに追加し、変形を抑制することでラトル音のリスク低減を図った。

当部位を一例とした検討をインパネ各部位で実施し、改善策を図面に反映した。試作車で評価を実施したところ、検討部位において異音が発生しないことを確認した。

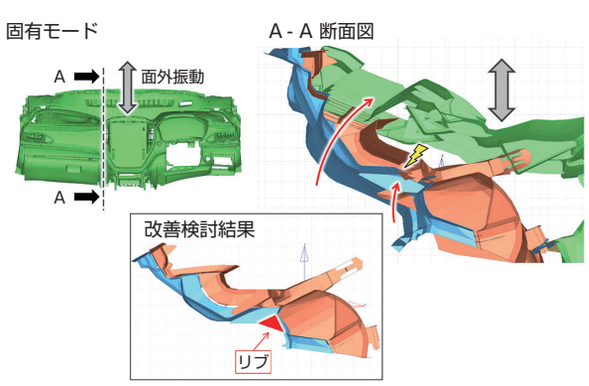


図 22　デフロスタダクトの検討内容

本技術により、図面検討段階におけるラトル音のリスク抽出と改善に向けた設計検討を可能とした。

5.　まとめ

新型インプレッサに適用したシミュレーション技術およびモデルベース開発を適用事例を報告した。

本取組みで、フルビークル視点で、各コンポーネントの機能要件を導出し、論理的な性能開発プロセスを商品開発に適用し、静粛な車内空間の実現に必要な構

造やパッケージを実現できた。

今後は、この機能要件の検証を拡充し、モデルベース開発を進化させることで、お客様が快適に過ごすことのできる運転環境を生み出していきたい。

最後に、本開発を進めるにあたり社内外の方々に多大なる協力を頂いた。感謝の意を表する。

参考文献

(1) 阿部啓介ら：低周波ロードノイズ性能予測に向けたフルビークルモデル化技術の開発, SUBARU技報(2017)
(2) Matthias KLAERNER,et al.： FE based measures for structure borne sound radiation,Proc.Of Internoise (2014)
(3) Van der Auweraer,H., Wyckaert, K., Hendricx、W.and Van der Linden,P.,Noise and vibration transfer path analysis,Lecture series – van Kareman Institute for fluid dynamics, van Kareman Institute, Rhode-Saint-Genese, Belgium (1979)
(4) 峯﨑崇弘ら：FEMによる車外音および高周波車内音予測技術の開発,自動車技術会公演予稿集,No.151-19,p.1-6, 2019286
(5) Biot M. A., Journal of the Acoustical Society of America, Vol.28, No.2, p.168-178 (1995)
(6) J. F. Allard, Propagation of Sound in Porous Media, Elsevier Applied Science, England, (1993)
(7) Jens Weber et al： SQUEAK&RATTLE SIMULATION AT VOLVO CAR CORPORATION USING THE E-LINE™ METHOD, 5th ANSA & μETA International Conference paper (2015)
(8) 伊藤和樹ら：過渡応答解析によるインパネ異音解析と異音の熱劣化評価への適用,自動車技術会公演予稿集,No.152-19,p.1-6, 20196294

【著　者】

新井　惇規

用松　一真

今井　哲也

阿部　啓介

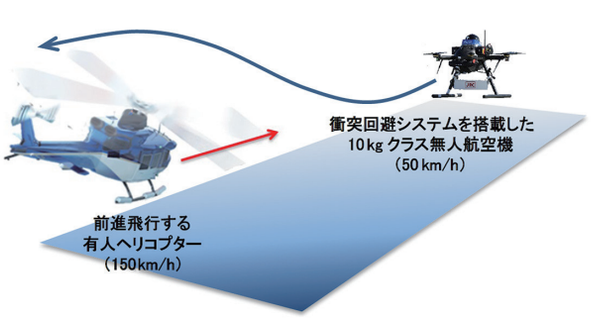
蟻川　裕樹

世界初、相対速度200 km/hでの小型無人航空機の自律的な衝突回避に成功

～小型化／低消費電力化したセンサで有人ヘリコプターを自律的に衝突回避～

2021年11月8日

(株)SUBARU、日本無線(株)、日本アビオニクス(株)、(株)ACSL、マゼランシステムズジャパン(株)は、9月9日から10日、広域飛行空域(福島県南相馬市)で、小型化／低消費電力化されたセンサを10 kgクラス無人航空機に搭載して、自律的な衝突回避試験を実運用速度域である相対速度200 km/hで実施し、世界で初めて成功しました。



衝突回避飛行試験イメージ

新型インプレッサ
低燃費実現に向けたフロント席集中送風機能［北米］の開発

Development of the Front-Seat Centralized Air Blowing Function to Achieve Low Fuel Consumption of the New IMPREZA for North America

水　野　多香子[*1]　MIZUNO Takako
山　本　真　範[*2]　YAMAMOTO Masanori
奥　村　雅　充[*3]　OKUMURA Masamitsu

抄　録

従来の車両の冷暖房技術は、車室内全体を温調するため、冷暖房で消費するエネルギーは大きい。お客様が期待する省燃費と快適性を両立させるには、空調の省エネルギー化が急務である。北米仕向の新型インプレッサに、乗員の場所を自動で推定し、乗員のいる場所のみに集中して送風するフロント席集中送風機能を持つHVACを搭載した本システムにより、快適性を確保しつつ、省エネルギーな冷暖房性能を実現した。本稿では、フロント席集中送風機能の特徴と開発経緯について紹介する。

Abstract

The conventional vehicle heating and cooling technologies control the temperature of the entire vehicle interior, so they consume significant energy. Therefore, energy saving in air conditioning is an urgent issue in order to achieve both good fuel efficiency and comfort expected by customers. The new IMPREZA for North America is equipped with a system having HVAC that automatically estimates the locations of occupants and blows air only to those locations. Thus, it realizes an energy-efficient heating and cooling system while ensuring comfort. This paper introduces the features of this front-seat centralized air blowing function and the development process.

1.　まえがき

自動車の開発は省エネルギー化に向け、大きな変革期を迎えている。燃費に関わるエネルギーの中でも、冷房での消費エネルギーが占める割合は比較的大きい。また、これまでエンジンの廃熱を活用していた暖房においても、低燃費化により利用可能な熱エネルギーが減少している。これらの背景より、従来の車室内全体を温調する技術から、乗員の周囲を効率よく温調する技術へシフトし、快適性を維持しながら、エネルギー効率を高めることが重要となっている。北米仕向の新型インプレッサは、乗員の場所を自動で推定して送風するフロント席集中送風機能を持つHVAC（冷暖房空調装置）を搭載し空調システムの開発を行った。

＊1 車両環境開発部
＊2 E&Cシステム開発部
＊3 内外装設計部

2.　フロント席集中送風機能の概要

2.1　空調ユニットの概要

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ーユニットで構成される横置きタイプである。ユニット内にはエバポレータとヒーターコアを搭載し、冷風と温風を混ぜ温度調整を行う機構となっている。各種吹き出し口は、従来のHVAC（冷暖房空調装置）で備わる左右独立温調機構に加え、新たに運転席及び助手席の各種吹き出し口ドアの開閉サーボモーター及びリンクを追加した（**図1**）。助手席への送風有無は独立してコントロール可能な機構とした。

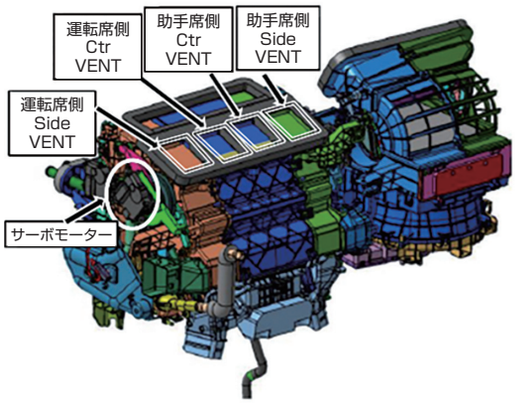


図１　フロント席集中送風機能を有する空調ユニット

2.2　フロント席集中送風機能の制御概要

2.2.1　フロント席集中送風機能

フロント席集中送風機能は、乗員位置と車外環境負荷、室内環境および車速をセンシングし、それらに合わせた吹き出し口開閉と風量調整をする。その結果、乗員がいない席への送風を抑制し、省エネルギーかつ快適性も損なわないようにする。フロント席集中送風機能の基本概念をまとめた(表１)。本稿では、特に重要な機能である①～④について、以降に詳細を説明する。

表１　フロント集中送風機能の基本概念一覧

機能	基本概念
①	省エネルギーと快適性を両立させること（３章、４章）
②	お客様が任意に機能を切り替えられること（２章､2.3 項）
③	お客様への状態表示が理解しやすいこと（２章､2.4 項）
④	送風モードの切り替わり時の変化感（温度、風量、風音）を少なくすること（４章）
⑤	フロント席集中送風機能が作動中でも曇りなく安全が確保できること
⑥	フロント席集中送風機能時でもエバポレータが凍結しないこと

2.2.2　乗員着座位置の推定の方法

乗員着座位置の推定は助手席と後席の以下を検知して判断している。

＜助手席検知＞

助手席側のドア開閉履歴／温調操作履歴／シートベルト装着の有無／着座センサ荷重を基に、助手席に乗員ありと推定する。

＜後席検知＞

後席のドアが一定時間以上開いていた場合、後席に乗員ありと推定する。

2.2.3　吹き出し口の選定の方法

吹き出し口は、乗員着座位置の推定結果、環境条件(外気温度、日射量)、室内温度、車速を入力情報として選定される(図２)。フロント席集中送風機能を含む吹き出しモードは計４種類ある(表２)。

本機能は、乗員の着座位置に応じ自動で集中送風モードを切り替えできる。例えば、乗員の位置推定の結果、運転席に１名で、且つ真夏や真冬で室内温度と設定温度の差が大きいと判定した場合、一時的に車室内全体へ送風し、快適な温度にしたのち運転席へ集中して送風する。このことで、お客様を不快にさせることなく、省エネルギーな空調へ切り替わる。

さらに、後席に人が乗車する予定がある場合や、ペット等を乗せた場合、後席を快適な温度に保持できるよう、任意にフロント席集中送風機能を解除できる専用ボタン(ALL 席ボタン)を設置した。また、デフロスターボタンやMAX A/C ボタンを押した場合、窓晴らし及び急冷を優先し、フロント席集中送風状態でも全席に自動で送風する。

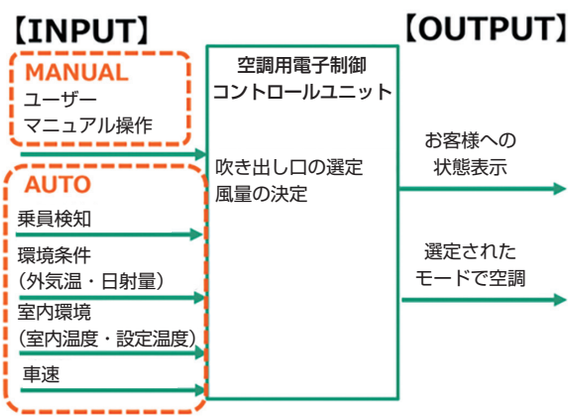


図２　フロント席集中送風機能の制御イメージ

表２　フロント席集中送風機能の送風パターン一覧

全席送風	前席送風	運転席送風と助手席微風	運転席送風

2.2.4　お客様への集中送風状態の表示

センターディスプレイ内のエアコン操作バーに集中送風状態を表示させることで、お客様がエアコンの状態を確認できるようにした。フロント席集中送風機能の送風パターン毎の表示例を示す(表３)。

表３　フロント席集中送風機能の状態表示一覧

送付状態	基本概念
全席送風	ALL 席ボタン点灯、助手席温度表示上に ALL 表示。
前席送風	ALL 席ボタン消灯、助手席温度表示上に FRONT 表示。
・運転席送風 ・運転席送風と助手席微風	ALL 席ボタン消灯、助手席温度表示上に DRIVER 表示。助手席設定温度非表示。

3.　省エネルギー効果

3.1　省エネルギー（省燃費）のメカニズム

フロント席集中送風機能では、乗員がいると推定される場所に絞って送風することで、以下の3つの効果を得て省エネルギー化している。

1.風量の低下により、ブロアの電力を抑制できる。
2.冬季は、風量の低下によりヒーターコアでの放熱が抑制できる。その結果、エンジンの暖機を促進しフリクションが低減できる。
3.夏季は、風量の低下によりエバポレータの吸熱が抑制できる。その結果コンプレッサの動力を低減できる。

3.2　省エネルギー効果の検証結果

フロント席集中送風機能の省エネルギー効果を検証した。夏季（外気35℃ 日射850 W/m^2）、冬季（外気－10℃ 日射0 W/m^2）で、実用走行を模擬した結果、夏季、冬季ともにフロント席集中送風機能のほうが省燃費であった（図3）。夏季の空調消費動力の内訳を図4に示す。コンプレッサ負荷とブロア電力の低下により、消費動力を低減できた。

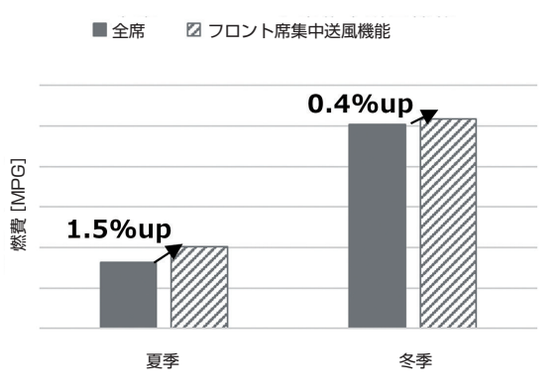


図３　フロント席集中送風機能の燃費効果

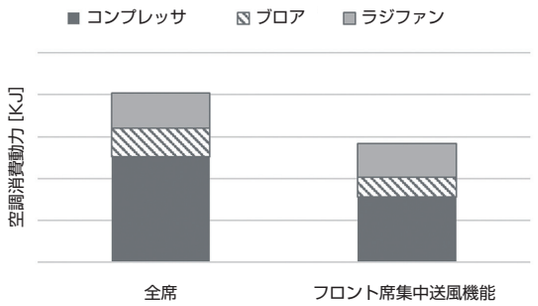


図４　夏季空調消費動力の内訳

4.　乗員の快適性

4.1　集中送風機能遷移時の風量変化抑制

開発当初の課題として、車室内全体の送風から、乗員がいる座席のみへの送風へ切り替わる時に、風量、風温、風音の変化を乗員が感じてしまうことがあった。この原因は、全席送風から運転席のみへの送風へ変化する際に、総風量の急激な減少であることがわかった（図5）。この課題を解決するために、運転席のみでなく助手席からも微風を出す中間モードを追加した。その切り替えタイミングを適正化することで、運転席の乗員が変化を感じ難くするようにした（図6）。

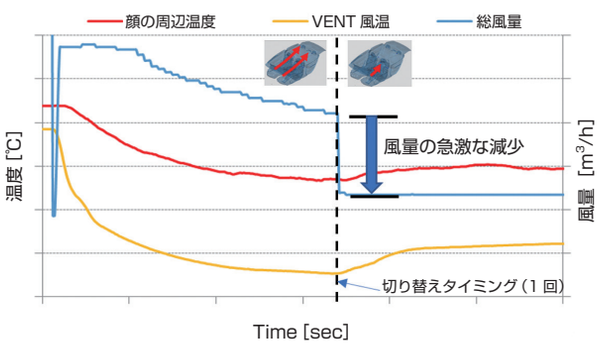


図５　集中送風機能の課題（風量変化）

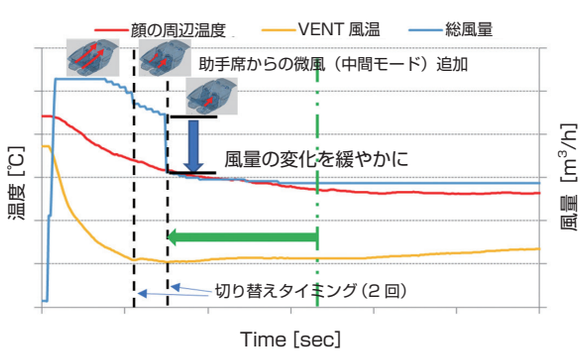


図６　集中送風機能の対策

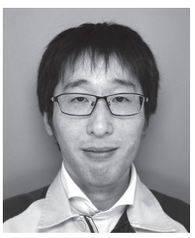
5. まとめ

フロント席集中送風機能で、送風モードの遷移時の快適性を担保することに苦労した。課題の原因を究明し一つずつ対策することで、省燃費と快適性の両立が実現できた。

最後に本開発を行うにあたり、多大なるご協力を頂いた関係会社ならびに社内関連部署の方々に深くお礼申し上げます。

【著　者】

水野 多香子



山本　真範

奥村　雅充

SUBARUが初めてグローバルに展開するBEV、「SOLTERRA」を発表

～ SUBARUらしいSUVをBEVで実現～

2021年11月11日

SUBARUは、新型BEV[*1]「SOLTERRA（ソルテラ）」を世界初公開しました。
SUBARUが初めてグローバルに展開するBEVとして「ソルテラ」を開発するにあたって目指したのは、今後SUBARUが生み出すBEVの礎として、今、BEVに求められるさまざまな期待を上回り、安心して選んでもらえる実用性を持ったクルマをつくること。同時に、SUBARUのSUVとして、SUBARUに乗り慣れたお客様にも「これは紛れもなくSUBARUだ」と感じてもらえるクルマであることです。

＊1：Battery Electric Vehicle（電気自動車）

新型 BEV ソルテラ（プロトタイプ）

23MY 新型 ASCENT の紹介

Introduction of 23MY New SUBARU ASCENT

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

抄　録

2018年に北米投入したSUBARU ASCENTは、SUBARU初のミッドサイズ3列SUVとしてファミリー層を中心にSUBARUならではの価値を提供してきた。

今回ビックマイナーチェンジを迎えるにあたり、競合ひしめくカテゴリーにおいても高い競争力を維持するために、内外装デザインに加え先進安全装備、走行性能向上等、従来以上に大きな進化、強化を織込んだ。その内容について紹介する。

Abstract

SUBARU ASCENT, which was launched to North America in 2018, has provided the value unique to Subaru, mainly for family users, as Subaru's first midsize 3-row SUV.

On this Mid cycle refresh, to maintain high level of competitiveness in the crowded category, we incorporated major progress and strengthen items than usual, such as interior and exterior design, advanced safety equipment and improved driving performance. Will introduce in more detail.

1.　まえがき

SUBARU初のミッドサイズ3列SUVとして2018年に市場導入したASCENTは、子育てファミリー層を中心にSUBARUにとって新しいお客様の獲得に貢献してきた。徹底的にファミリー＆子供目線を取り込んだ開発を行い、高い基本性能に加え使い勝手や高い居住性、快適性等、ASCENTならではの価値を評価頂いている。一方人気の高いこのカテゴリーには多くの競合モデルがひしめいており、ASCENT投入以降もFMCや新規参入が相次いでいる。ビックマイナーチェンジを迎えるにあたり、今後もより多くのお客様に選んで頂ける商品力を確保するべく、従来以上に大幅な進化、強化を織込んだのが23MY 新型ASCENTである。本稿ではその詳細内容について紹介する。

2.　車両概要

2.1　開発のねらい

今回ビックマイナーチェンジでは、個性を際立たせるBOLDERのデザイン表現、最新の先進安全機能、利便性を高めた先進装備の採用を中心に開発を行った(図1)。

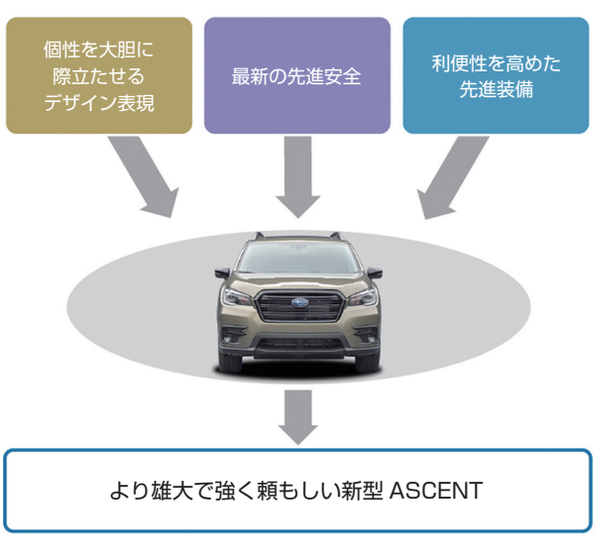


図 1　開発のねらい

2.2　デザイン

デザインは販売現場から最新のトレンドに埋没しない迫力あるデザインを期待されていた。この現地の声を大切にし、コミュニケーションを重ねながら煮詰めることで、ダイナミックで雄大な存在感を持つデザイ

ンを実現した(図2、図3)(詳細は「ASCENTの年次改良デザイン開発について」参照)。

図２　フロントデザイン

図３　リヤデザイン

2.3　主要変化点

大胆で迫力あるデザインへの挑戦や、先進的で利便性のある装備、最先端の安全装備の拡充を行った(表1)。

表１　主要変化点

分類	No.	主な変更項目
法規対応	1	排出ガス規制対応 (Tier 3 BIN70/LEV3 ULEV70)
	2	北米 OBD 法規対応等
グレード展開	3	Limited ベースの ONYX Edition 追加 ※専用仕様 (外装・内装) は別表参照
外装	4	フェースリフト (新型ヘッドランプ、新型フロントバンパー & グリル)
	5	リア意匠変更(リヤフィニッシャー、リヤゲートガーニッシュ)
	6	新意匠 20 インチ アルミホイール　採用
内装	7	11.6 インチ 大型センターインフォメーションディスプレイ & 最新型インフォテインメントシステム
	8	内装デザインリフレッシュ (インストルメントパネル、メーター)
	9	運転席 ランバーサポートの電動 4way 化
	10	ナッパレザーをシートに採用
先進装備	11	新型 Eyesight (新型ステレオカメラ、広角単眼カメラ) 搭載
	12	電動ブレーキブースター 採用
	13	360° サラウンドビューモニターシステム 設定 ★ SUBARU 初
	14	キャビンコネクト 採用　★ SUBARU 初
	15	ドライバーモニタリングシステム 設定
	16	最新ドアミラー作動制御 設定 ・キー連動格納ドアミラー ・ドアミラー連動シートメモリー機能 ・リバース連動チルトダウンドアミラー
走行性能	17	X モード 2 モード化

2.4　新グレード展開

22MY ASCENTでは、Premiumをベースにアクティブなイメージを牽引するOnyxを設定し好評を頂いている。今回新たにLimitedをベースに、より高い質感と機能を備えたOnyxを追加設定した。お客様の選択肢を広げ、さまざまな趣向にお応えする(図4、表2)。

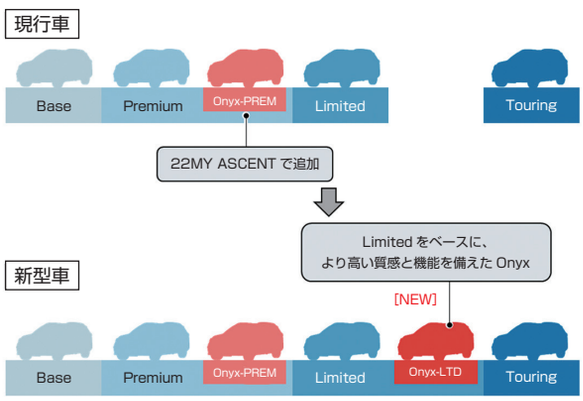


図４　新グレード展開

表２　Onyx Edition 専用装備

	専用装備	Onyx Edition
外装	アルミホイール	20 in (切削丸塗り、ダークメタリック)
	インテークサイドカバー	黒塗装
	フロントグリル WING	黒塗装
	リヤガーニッシュ：モール部	黒塗装
	マーク (車名、SUBARU、グレードバッジ、AWD)	ラスターブラック
	ドア廻り サッシュ	光モール無し
	モールディング (ガラス廻り)	黒色モール
内装	ルーフスポイラー	クリスタルブラック
	シート表皮	グレー & 黒コンビ PVC (グリーンステッチ)
	ステアリングホイール	本革 (グリーンステッチ)
	ステアリングホイール フィニッシャー	黒塗装
	ステアリングホイール カバースポーク	黒塗装
	ドアトリム アームレスト	黒 (グリーンステッチ)
	MID 加飾 (ドアトリム／インパネ)	黒巻き物 (グリーンステッチ)
	フロントアームレスト (兼 リヤコンソール蓋)	ソフトパッド縫製 (グリーンステッチ)
	インパネ オーナメントセンター	黒塗装
	インパネ サイドベンチグリル	黒塗装
	インパネ バイザーリング	黒塗装

3.　外装

3.1　ヘッドランプ

ヘッドランプは縦基調の個性的な形状に変更。フロントフェイス全体を大きく見せ、存在感を強調した。また、遠くから見てもひとめでSUBARU車だとわかり、かつASCENTらしさを強化した(図5、図6)。

サイドマーカーに導光レンズを採用。横長形状の全面が点灯し、これまでのSUBARU車のサイドマーカーにはないシャープな外観を実現した(図7)。

図５　ヘッドランプ（現行車）

図６　ヘッドランプ（新型車）

図７　サイドマーカーランプ

アクセサリーランプ意匠は、SUBARU共通モチーフ(Cシェイプ)をよりシャープな形状とした。微細カットとSUBARUロゴのテクスチャーを施し、Cシェイプのシグネチャー表現をより際立たせた(図8)。

図８　アクセサリーランプ

3.2　フロントバンパー／フロントグリル/インテークサイド

フロントバンパーの形状を刷新。ボディ表面を広く取り、大型化したフロントグリルとともに、フロントフェイス全体を大きく見せ、たくましさと頼もしさ、ASCENTらしさを強化した(図9)。

図９　フロントバンパー／フロントグリル／インテークサイド

3.3　ドアミラー

マルチビューモニターの設定にともないドアミラー底部にカメラを設置。ドアミラー下部にフィン形状を設け底部の表面積を増やすことで、整流効果を生みだし、カメラの追加による風切り音の増大を抑制した(図10)。

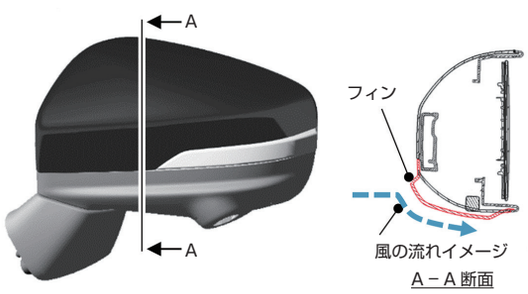


図 10　ドアミラー

3.4　リヤゲートガーニッシュ／リヤフィニッシャー

フロントフェイスの刷新に合わせリヤゲートガーニッシュ、リヤフィニッシャーの形状を変更した。リヤゲートガーニッシュとリヤフィニッシャーが嵌合し、フロントフェイスと同様に、より広がりと勢いのある構成とした。合わせてリヤフィニッシャーはブレーキランプと連続性を持たせ、SUBARU共通モチーフ(Cシェイプ)を際立たせて、力強さとASCENTらしさを強化した(図11)。

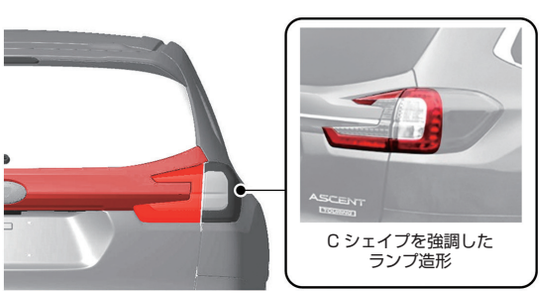


図 11　リヤゲートガーニッシュ／リヤフィニッシャー

3.5　リヤビューカメラウオッシャー

リヤビューカメラの上部にウォッシャーノズルを追加した。リヤガラスウォッシャーと連動して作動する。カメラが汚れたとき、洗浄することで視認性の低下を抑制し、利便性を高めた(図12)。

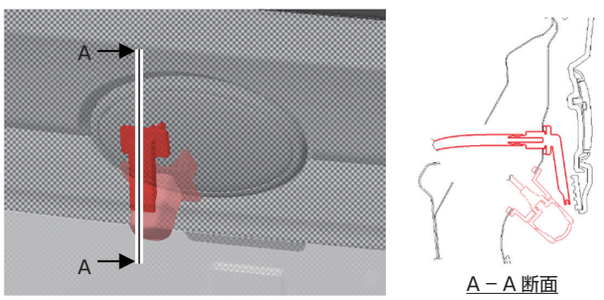


図 12　リヤビューカメラウオッシャー

4.　内装

4.1　インストルメントパネル／センターコンソール

モデルチェンジにともない、インストルメントパネルの造形を大きくブラッシュアップした。現行車のデザインテーマを継承しつつ質感を高め、先進的なインフォテインメントシステムにふさわしい豊かで上質な空間を創出した。各グレードの特徴をより際立たせる素材配置と配色とした。

4.1.1　インストルメントパネル

インストルメントパネルを刷新し、商品性を向上させた。ONYXグレードにはグリーンステッチを施し、アーバンなスポーティさを強化した(図13)。

：グリーンステッチ（ONYX グレード）

図 13　インストルメントパネル

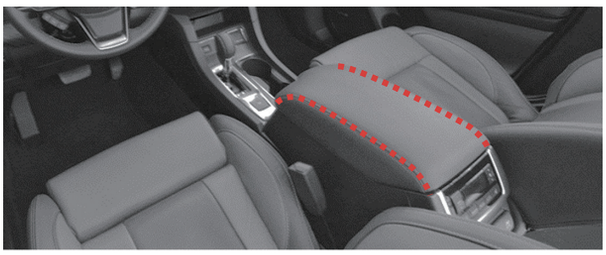
4.1.2　センターコンソール

インストルメントパネルの刷新に合わせ、センターコンソールの加飾を見直し商品性を向上させた。ONYXグレードにはグリーンステッチを施し、アーバンなスポーティさを強化した(図14)。

4.2　シート

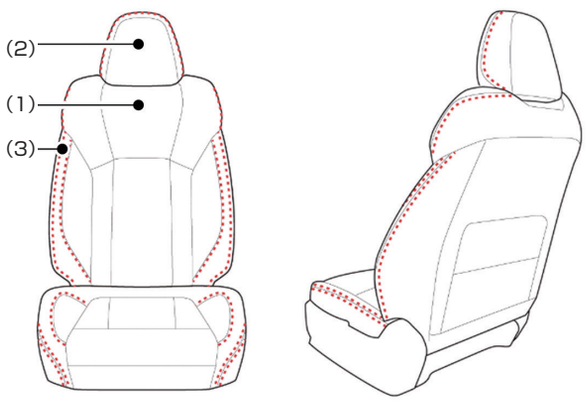
TOURグレードではシート表皮にナッパレザーを採用し、より上質さが感じられる仕立てとした。

ONYXグレードにはグリーンステッチを施し、アーバンなスポーティさを強化した(図15、表3)。



：グリーンステッチ（ONYX グレード）

図 14　センターコンソール



：ステッチ

図 15　シート

表 3　シート仕様

仕様	(1) シート	(2) ヘッドレスト	(3) ステッチ
TOUR グレード（ブラウン）	ナッパレザー／ブラウン	発泡 PVC／ブラウン	シルバー
TOUR グレード（ブラック）	ナッパレザー／ブラック	発泡 PVC／ブラック	
ONYX グレード	毛穴テクスチャーポリウレタン／ブラック＆グレー	毛穴テクスチャー PVC／ブラック	グリーン

4.3　フロントシート

4.3.1　ランバーサポートの電動4Way化

従来の電動2Wayランバーサポートに上下の動きを加えた電動4Wayランバーサポートを設定した。ドライバーの好みや体格に合わせて、ランバーの位置を、より自由に調節できるようにし、運転中の快適性を向上させた(図16)。

4.3.2　シートベンチレーション制御のリモートスタート機能(TOURグレードのみ)

シートベンチレーションの制御にリモートスタート機能を設定した。リモートスタートによって、あらかじめシート表面の温度を下げることができ、暑い日における、着座直後の快適性を向上させた。

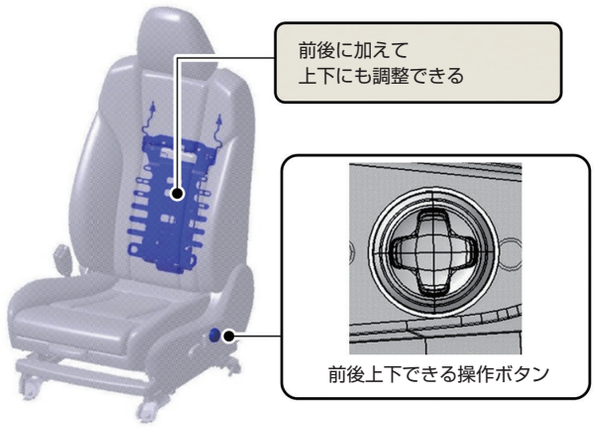


図 16　ランバーサポート

4.3.3　ドアミラー連動シートメモリー機能

ドアミラー連動シートメモリー機能を設定し、快適性および利便性が向上した。ドアミラー鏡面ポジションとシートポジションを登録できるようにすることで、登録ユーザーは常に快適なポジションで運転するための位置合わせを簡単に行うことを可能とした。

また、ドライバーモニタリングシステムと連動し、認識した乗員のドアミラー連動シートメモリーのポジションを再現する機能を追加した。これにより、複数の人で運転する場合の運転ポジション変更の煩わしさを解消した(図17)。

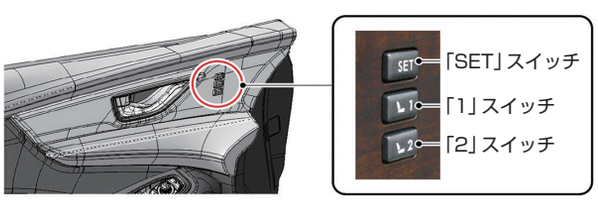


図 17　ドアミラー連動シートメモリー機能

4.3.4　ドアオープン連動シート後退機能

乗車時に運転席のシートスライドを自動的に後退させる機能を設定した。シート位置を乗りやすい位置まで手動で調整する煩わしさをなくし、スムーズな乗車をサポートする。乗車後は、ドライバーモニタリングシステムがユーザーを認識し、ドライビングポジションの再現を行う(図18)。

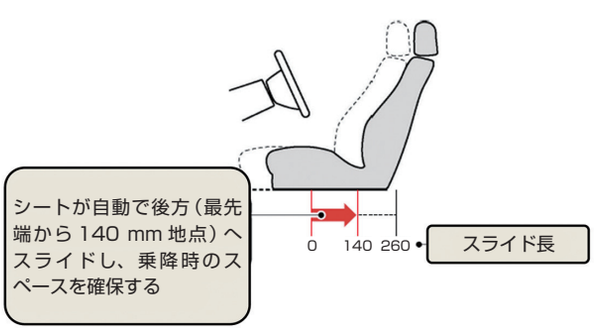


図 18　ドアオープン連動シート後退機能

4.4　ドアトリム

シート表皮の変更に合わせてドアトリムの設定表皮を変更した。インテリア全体の統一感をはかり、質感を高めた。ONYXグレードにはグリーンステッチを施し、アーバンなスポーティさを強化した(図19、表4)。

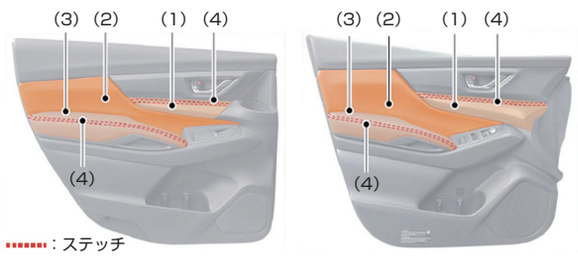


図 19　ドアトリム

表 4　ドアトリム仕様

仕様	(1) ミッドトリム 1	(2) ミッドトリム 2	(3) アームレスト	(4) ステッチ
TOUR グレード（ブラウン）	毛穴テクスチャー PVC ／ ブラック	パンチング PVC ／ ブラック	発泡 PVC ／ ブラウン	シルバー
TOUR グレード（ブラック）			毛穴テクスチャー PVC ／ ブラック	
ONYX グレード		毛穴テクスチャー PVC ／ グレー		グリーン

5.　インフォテイメント・テレマティクス

5.1　コクピットシステム

レヴォーグ、アウトバックに搭載した4代目インフォテイメントシステムの機能を改善し、移動の時間をより快適に、より愉しく過ごせるようにした。

5.2　インフォテイメントシステム

縦型に配置した11.6インチのディスプレイは大画面での地図の確認やエンタテインメントを愉しめる。ホーム画面に配置したアイコンは目的や属性毎に整理することで、わかりやすい操作を実現した(図20)。

図 20　11.6 インチ大型ディスプレイ

5.2.1　スマートフォン連携

スマートフォンと連携するApple CarPlay、Google Android Autoも使い勝手を向上した。これまで有線接続のみだったAndroid Auto、Apple CarPlayの使用を、新車ではワイヤレス接続できるようにした※1。これによりスマートフォンをポケットやカバンにしまったままでも利用できるほか、後部座席の人のスマートフォンともスムーズに連携できるようにした。Apple CarPlay、Google Android Autoともに縦型ディスプレイに最大限に表示できるようにして優れた使い勝手を実現した(図21)。

※1：Apple CarPlayはワイヤレス接続のみ対応

図 21　Google Android Auto/Apple CarPlay 表示例

5.2.2　ナビゲーションシステム

ナビゲーション機能に目的地設定の新しい方式としてWhat3wordsを採用した。世界を3 m四方の正方形に区切り、3つの単語を割り当てることで正確な位置を特定できるサービスを提供、あらかじめWhat3wordsのWebサイトやアプリからその場所に対応する単語を調べることで、より詳細な位置までナビゲーションできるようにした(図22)。

図 22　ナビゲーション機能の使用例

5.2.3　センターインフォメーションディスプレイ

車両中央のセンターインフォメーションディスプレイに11.6インチ大型ディスプレイを設定した。インフォテインメントだけでなく、車両カスタマイズ画面やエアコン設定画面を集約し、使用性を向上した(図23)。

5.2.4　車内の会話をサポートするキャビンコネクト機能(SUBARU初)

多人数乗車の機会が多いASCENT ならではの機能として、今回SUBARU 初となるキャビンコネクトを採用した。前席の声を3 列目のスピーカーから出力するので、走行中でも大きな声を出さずに意思疎通が行える。さらにリヤビューミラーと組み合わせればドライバーは乗員の顔も確認できるので、運転中でも自然な会話を愉しめる(図24)。

図 23　センターインフォメーションディスプレイ

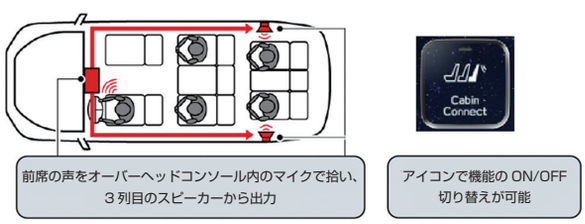


図 24　キャビンコネクト機能

オーディオの使用中にキャビンコネクト機能をONにすると、音声が聞き取れるようにオーディオのボリュームが自動で調整される※1。乗員の会話を優先し、快適なコミュニケーションをサポートする。

※1：キャビンコネクト使用中のオーディオ音量操作が可能

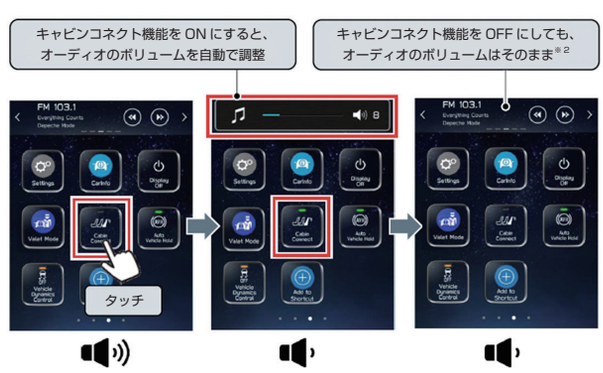


図 25　キャビンコネクト使用中の音量操作

※2：キャビンコネクト機能を使用していてもオーディオの音量操作ができることから、キャビンコネクト機能をOFF にしても、ボリュームをそのままとすることで、意図しない音量に復帰することを防ぐことが可能(図25)。

5.2.5　車両犯罪から車を守るバレーモード

ホテルやレストランでバレーサービス※1 を受ける際に、係員がナビやオーディオ、車両設定機能を操作できないようにするバレーモードを採用した。高いセキュリティ性を備えたバレーモードによって、安心してバレーサービスを利用することができる。

※1：係員が鍵を預かり、入出庫を代行するサービス

・ディスプレイを操作できないようにすることで、個人情報の流出などを防止する。
・あらかじめ設定したエリアの外に車両が移動した場合に、お客さまのスマートフォンに通知することで、車両の盗難や勝手に乗り回されることにすぐに気づくことができる（図26）。

バレーモード中の画面

画像は開発中のイメージ

図 26　バレーモード中の画面

5.3　テレマティクス

現行車からシステムをアップグレードすることで、下記性能を向上した（表5）。
・事故発生時や車両故障時の救護をよりスピーディに実行可能。
・SUBARU 専用プロトコルへの対応が可能。
・機能追加によってリモートで行えることを拡張することで利便性を向上。

5.3.1　Rear Seat Reminder

リヤシートリマインダー※1 のOFF設定時や警告に気づかずに車両から離れたとき、専用アプリへ通知する機能。コンビネーションメーターでの警告で気づかなかった場合や、車両カスタマイズで警告をOFFにしているときに、忘れ物をした状態で車から離れると専用アプリに通知が来るため、忘れ物に気づきやすくなる。

※1：後席のドア開閉履歴

表5　テレマティクス機能変更点一覧

［記号］●：機能向上、✓：新規適用

変更項目	変更内容	記号
Advanced automatic ciollision notification	万一の事故発生など、緊急時に後席の乗員数をより正確に把握できるようにした	●
リモートドアロック／アンロック※1	リヤゲートアンロックを追加	●
リモートエンジンスタート※1	エンジン始動時の空調設定にシートベンチレーションの ON/OFF 機能を追加	●
Remote vehicle condition check	サンルーフの開閉状態の情報を追加	●
Rear seat reminder※1	後席の忘れ物を検知し、スマートフォンに警告通知する機能	✓
Trip log and driving journal※1	車両の走行データを記録し、情報をシェアできる機能	✓
Valet alert mode※1	バレーサービス用の車両制御モードをリモートで設定できる機能	✓
多言語対応※2	スペイン語に対応	✓

※1：北米向け
※2：カナダ向け

5.3.2　Trip Log and Driving Journal

車両の走行状況（走行距離、燃費、移動経路）を収集し、専用アプリにて走行ログとして確認できる機能。記録した走行ログをお客さま同士でシェア、家族の運転の見守りなどを行うことができる。

5.3.3　Valet Alert Mode

専用アプリからバレーモード※1 のON/OFF設定情報を送信することで、自身の車両を監視（速度超過や盗難など）する機能。設定情報に従い、バレーモードをONにしているときはGPS情報や速度情報をサーバーと連携して監視し、お客さまに通知を行う。

※1：バレーパーキング利用時に車載オーディオ／ナビゲーションの設定により、車両モードの管理と、車両操作の一部を制限することができる機能

6.　先進安全装備

6.1　先進安全装備の進化：さらなる安全性の向上

SUBARUは2030年死亡交通事故ゼロを目指し、先進安全装備の機能向上、高度運転支援システムの開発に励んでいる。近年の多様な事故形態への対応、交通弱者に対する予防安全支援の必要性が高まる中、先進装備においてもさらなるレベルアップが必要と考え、ASCENTのビックマイナーチェンジのタイミングにて、新世代EyeSight、広角単眼カメラ、そして360°サラウンドビューモニターを新規採用し、さらなる安全性・利便性の向上を実現した。詳細は論文・解説の項で説明することとし、本項目ではASCENTビッグマイナーチェンジに新規採用された先進装備の機能概要について述べる。

6.1.1　新世代EyeSight

新世代EyeSight では、大幅に広角化した新型ステレオカメラおよび画像認識ソフト、制御ソフトの性能を向上させるとともに、車両近辺の二輪車や歩行者を識別できる広角単眼カメラを採用した。

遠方から近辺にいたるまで認識性能の広範囲化と制御性能の向上によってプリクラッシュブレーキ性能をさらに進化させ、衝突回避をサポートする領域が拡大した。また、新機能を追加することで、より幅広いシチュエーションで運転支援を実現。これまで以上に多くのシーンでドライバーをサポートすることで、より安心で愉しいドライブを提供する(図27、表6、図28)。

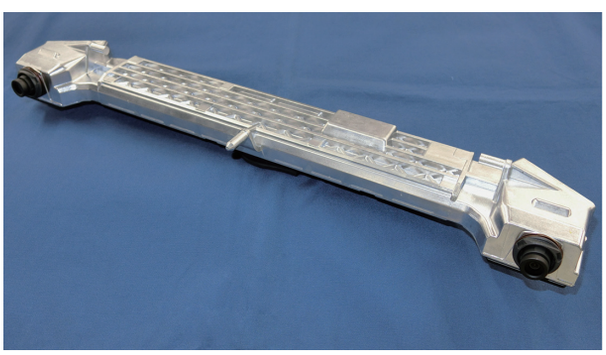


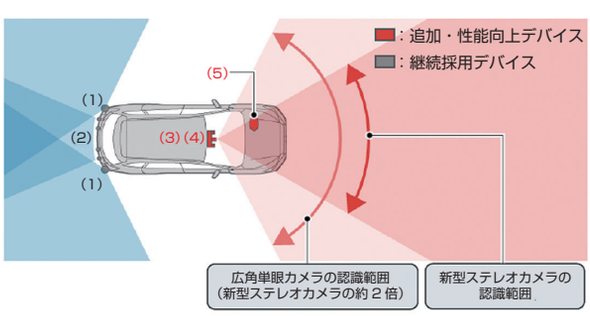
図 27　新世代 EyeSight　ステレオカメラ

表 6　新世代 EyeSight　機能変更点一覧

[記号] ●：機能向上、✓：新規適用

変更項目	変更内容	記号
プリクラッシュブレーキ	作動領域を拡大し、交差点での衝突回避もサポート	●
緊急時プリクラッシュステアリング※1	プリクラッシュブレーキ中の操舵制御により衝突回避をサポート	✓
全車速追従機能付クルーズコントロール	車線認識性能・制御性能を向上。カーブでの先行車追従性能や割り込み車両に対する検知性能を向上	●
車線中央維持制御・先行車追従操舵制御	広角カメラによって、これまで以上に認識精度を向上	●
車線逸脱抑制機能	車線認識性能・制御性能を向上	●

※1：後側方警戒支援システム（BSD/RCTA）[北米] /（SRVD）[北米以外] 付き車。



No.	デバイス	概要
(1)	後側方レーダー	現行車と同様に、後側方から接近する車両を検知。
(2)	リヤソナー	現行車と同様に、後退時の衝突回避をサポート。
(3)	新型ステレオカメラ	より広いエリアを認識できることで、衝突回避能力や運転支援能力を大きく向上させた。
(4)	広角単眼カメラ	新型ステレオカメラの認識範囲外となる、車両の左右近辺の二輪車／歩行者の識別ができ、衝突回避をサポート。
(5)	電動ブレーキブースター	ブレーキブースターを電動化することによって、ブレーキの応答性を向上させ、急な飛び出し対しても被害軽減量を向上。

図 28　　新世代 EyeSight　主要デバイス

6.1.2　広角単眼カメラ

広角単眼カメラは新型ステレオカメラより広角であり、主に二輪車／歩行者を認識する役目を持つ。二輪車／歩行者と衝突する可能性が高いと判断した場合、警報表示と警報音でドライバーに注意を促し、それでも衝突回避のための操作が行われないときはEyeSightシステムと連携したプリクラッシュブレーキを行い、衝突を回避、もしくは被害の軽減を図る(図29)。

図 29　広角単眼カメラ

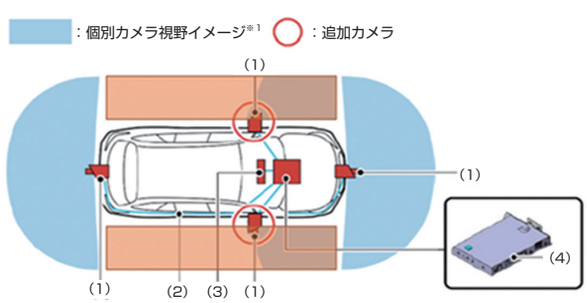
6.1.3　緊急時プリクラッシュステアリング

プリクラッシュブレーキの制御だけでは衝突回避が困難な場合に、自動で操舵制御を行うことで衝突回避をサポートする、緊急時プリクラッシュステアリングを採用した。

本機能は2次ブレーキ作動後、ステレオカメラによって区画線と対象物の位置を検知し、自車線内の回避スペースや近接車線の対向車の有無を確認、同時に後側方レーダーによって、後側方の接近車両の有無も確認し、自車線内で対象物を回避するようにステアリングを制御する。

6.2　360° サラウンドビューモニター

カメラ、モニターの性能を向上させるとともに、左右のドアミラーに側方の視認をサポートするサイドカメラを追加した。さらに4 つのカメラ映像を合成して車両周囲360° を映し出す3D ビュー／トップビューを設定した。車両周囲の視認性が向上、駐車場や狭い路地での事故防止に貢献する(図30、図31、図32)。



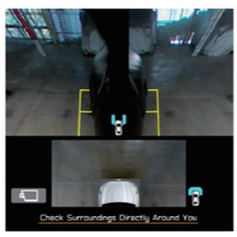
(1) カメラ（フロント／サイド／リヤ）
(2) 同軸ケーブル
(3) センターインフォメーションディスプレイ
(4) カメラ CU

※1：各ビュー（フロント、リヤ、サイド）の表示範囲

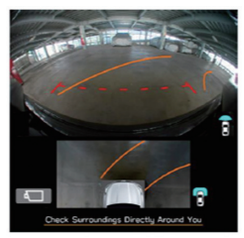
図 30　360° サラウンドビューモニター システム構成

（1）車両アイコン　（2）VIEW スイッチ

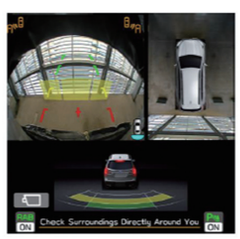
図 31　3D ビュー　表示コンテンツ



トップビュー＋サイドビュー



トップビュー＋フロントビュー



トップビュー＋リヤビュー
（後退時自動ブレーキシステム（RAB））

図 32　トップビュー　表示コンテンツ

7.　パワーユニット

7.1　エンジン　2.4L 水平対向直噴ターボエンジン

従来エンジンに対し、仕様改良を実施し排ガス性能レベルを向上させた（ULEV70 化）。

改良内容としてはフロント触媒の厳密化、および A/F センサの活性時間短縮により浄化性能を改善した。さらにエンジン制御の多角的な改良により NOx 等の排ガス成分の排出を抑制すると共に、出力性能やトルクコントロール性の両立を実現している（図 33）。

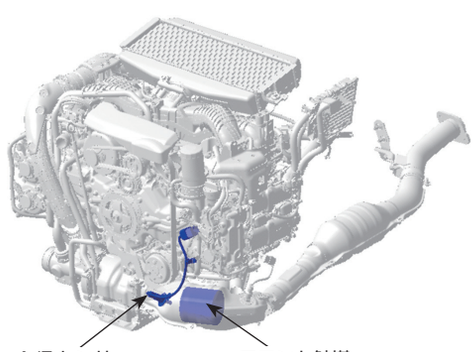


図 33　2.4L 水平対向直噴ターボエンジン

8.　ホーン

8.1　ホーン刷新

機械的な音を発する従来の平型ホーンと異なり、共鳴管によって空気の振動を増幅させる渦巻き型ホーンの採用により、柔らかく深い響きのある音色を実現した。

周波数の異なる 2 つのホーンを使用することで、豊かな響きのある音を実現した。

また、軽衝突時にホーンが押し込まれることでラジエーターを破損する可能性にも配慮し、ホーンをグリル開口ではなく、両サイドのフォグランプ裏に配置した。

9.　走行性能

9.1　X モードの 2 モード化

従来の X－MODE と同制御となる「SNOW/DIRT」に加えて、新たに「DEEP SNOW/MUD」を追加し、2 モード化した。

「DEEP SNOW/MUD」では、ECU の専用トルク制御によってエンジンから素早く最大トルクを発生。加えて、トラクションコントロールをカットし、駆動輪に適度なスリップを生み出すことで、深雪や乾いた砂地などのタイヤが埋まるような路面で高い脱出性を実現する。

10.　まとめ

ASCENT は北米市場からの強いニーズに応える形で投入されました。当時も後発としてお客様を惹きつける輝きを持ち、お客様に満足頂けるクルマとして徹底的に拘って開発が行われました。今回新型を開発するに当たっても、販売現地の声を丁寧に聞き、お客様の顔を思い浮かべながら、家族みんなが安心して楽しく使える車を目指し価値を磨き上げてきました。是非一人でも多くのお客様にその進化をご体感頂きたいと願っています。

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

【著　者】

SUBARU ASCENT開発プロジェクトチーム

[商品企画本部]	村田　　誠
	古賀　宏孝
	小宮山 朝宏
	岩﨑　真樹
	大抜　早慧
[内外装設計部]	水谷　能久
	田村　貴志
	田沼　敦史
[E&Cシステム開発部]	鈴木　基継
	間橋　利行
	杉山　恭平
[ADAS開発部]	高橋　　理
[パワートレイン設計部]	安並　正浩
	福重　貴之
	金澤　　潤

SUBARU 新型「WRX S4」を発表

～新開発2.4L直噴ターボ“DIT”エンジンとスバルパフォーマンストランスミッションを搭載～

2021年11月25日

SUBARUは、新型「WRX S4」(日本仕様)を発表しました。
エンジンは、圧倒的なパフォーマンスを発揮する新開発の2.4L直噴ターボ“DIT”エンジンを搭載。さらに、「スバルパフォーマンストランスミッション」を搭載し、エンジンとトランスミッションのきめ細かな協調制御がもたらす素早い変速や操作に対する応答性の良さにより操る愉しさを深め、ドライバーの意思に忠実に応える新次元の走りを実現しました。

WRX S4 STI Sport R EX

ASCENTの年次改良デザイン開発について

Styling Design Development for ASCENT Annual Improvement

大関　透*　源田哲朗*　田宮　創*　川村厚司*
OZEKI Toru　GENDA Akiro　TAMIYA Sou　KAWAMURA Atsushi
衛藤輝美*　加藤　翼*　重田美恵子*
ETO Terumi　KATO Tsubasa　SHIGETA Mieko

抄　録

SUBARUが目指すスタイリングデザインとは、お客様に提供する価値「安心と愉しさ」を一目見てわかる形を表現することであり、それがお客様の気持ちを豊かにし、様々な生活のシーンで役立つ存在となることである。ASCENTにおいても、お客様に信頼を感じて頂けるスタイリングを追い求め、今回の年次改良で一層の強化を図った。

Abstract

SUBARU's styling design goal is to express "Enjoyment and Peace of Mind," the value that we offer to our customers, in a form that is recognizable at a glance and contributes at a glance, to enrich customers' feelings, and to contribute to their everyday lives. ASCENT has also been pursuing styling that customers can trust and has been further strengthened in this annual improvement.

1. まえがき

ASCENTは、アメリカ市場のお客様の声を受けて誕生したクルマである。

ASCENTをカタチづくる全てのデザインは、SUBARUのデザインフィロソフィー「Dynamic × Solid」に基づいており、この年次改良でさらに力強く多人数SUVとしての個性を「BOLDER（大胆に）」進化させた。

米国市場の3列SUVカテゴリーは年々伸長し、ASCENTもお客様に受け入れて頂けたが、競合が激化する中でより大きなジャンプアップが必要と考えた。

個性を大胆に際立たせるデザイン表現により、エクステリアでは、"止まっていても今にも動き出しそうなDynamicな躍動感"と、"スタンスの効いたSolidな塊感によるSUVらしい力強さ"をより一層強化した。現地の景色の中で競合SUVやアメリカ市場でスタンダードなピックアップトラックに埋もれない、ASCENTらしい力強さと独自の価値表現に注力した。

インテリアでは、SUVらしい力強さ表現と、豊かさと広がりを表現した空間造りと演出に加えて、新世代インフォテイメントシステム導入と併せてインストルメントパネルを刷新した。お客様が過ごす豊かな時間と空間を、より快適に先進的で利便性高く進化させた。

エクステリアカラーは、洗練された上質さと圧倒的な存在感を高める新色を採り入れ、インテリアカラーは、豊かさをより際立てる新たな素材配置と配色とし、仕立ての良い上質な空間を創り上げている。

＊ デザイン部

2　エクステリア

2.1　ラギッドではない「SUVらしい強さ」表現

我々は上記テーマを掲げエクステリアデザイン開発をスタートさせた（図1）。

図1　開発初期イメージスケッチ

大胆に突き抜けた個性表現でASCENTの存在感を強固なものにするために、フロントフェイスからリヤゲートガーニッシュに至るまで、大きなチャレンジを行い、ASCENTの持つ逞しさを大胆に磨き上げ、ひと目でASCENTとわかるインパクトを実現した(図2、3)。

図２　最終デザイン (Touring)

図３　最終デザイン（ONYX Edition）

2.2　SUVらしい力強さと存在感を強めたフロントデザイン

2.2.1　フロントビュー特徴

フロントビュー周りは、以下の基本構成と造形テーマにより構築した(図4)。

(1) 個性を際立たせた存在感際立つフロント構成
(2) ダイナミックで力強い縦目ヘッドランプ
(3) どんなシーンでも際立つ洗練されたデザイン

図４　フロントビュー造形テーマ構成

2.2.2　フロント各部の工夫

フロントグリルは縦方向の大型化で、北米市場で埋没しないダイナミックで厚みのある力強い顔を表現。ヘキサゴン形状の外枠はクロームメッキを廃しブラック塗装としてより大きく際立たせた。ウイングが両サイドまで突き抜けヘッドランプに繋がるデザインとし、ダイナミックな動きとワイド感を「BOLDER(大胆に)」表現した(図5、6)。

図５　力強い存在感と厚みのあるフロントビューデザイン

開口部は最大5000 lbsのトーイング性能を実現する冷却性能を確保するために、バーの翼断面形状の工夫などを重ねデザインとの成立性を図った(図6、7)。

図６　より大胆な力強さと高い冷却性能を確保した大型グリル

図７　トーイング使用シーン

2.2.3　ダイナミックで精悍な表情のランプ廻り

ヘッドランプはLED仕様に統一し、縦方向に大きく堂々とした構えに眼力のある精悍さと力強さを併せ持つデザインとした（図8）。

図８　シグネチャー形状が際立つ縦型のヘッドランプ

ハウジング部分は黒とし、Cシェイプを強調、遠目からでもSUBARUの存在が認識出来るデザインとした。Cシェイプ部分には導光板ドットパターンを新採用し、シグネチャー表現がより際立つ光り方と共に、新時代のASCENTらしさを表現している。SUBARUロゴは導光により発光する（図9）。

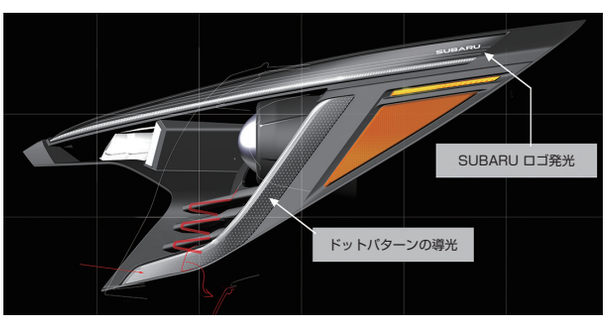


図９　ヘッドランプ機能構成図

インタークーラー開口部にはTouringはクローム加飾を配し機能性を際立たせた。ONYX Editionはブラック加飾とし機能と個性の両立を図った。

フォグランプベゼルは、ロアーの左右に広がる面と組み合わせた立体構成とし、スタンスの良さとSUVとしての力強さを表現した。幾何学のテクスチャーを効果的に用いて空気の整流、剥離効果で空力性能向上にも寄与している（図10）。

図 10　インタークーラー開口・フォグランプベゼル廻り

2.3　力強さとエッジの効いたシャープさをダイナミックに表現したホイール

2.3.1　20インチホイール特徴

足回りを力強く演出する20インチホイールは、SUBARU最大サイズとなるボディをしっかりと支える、大きさと車格を表現した。

切削光輝の輝きとダークグレーメタリック塗装とのコントラストで、動きがありより大きく見える力強いデザインを採用。リム側にボリュームと方向性を持たせたユニークな5本スポーク形状により、ダイナミックさを際立たせた（図11）。

図 11　２０インチホイール（切削光輝）

ONYX Editionは全体をブラック塗装としスポーティーで若々しくアクティブな印象を強めた（図12）。

図 12　ONYX Edition（ブラック塗装）

2.4　フロントのテーマと共通性を持たせたリヤデザイン

2.4.1　リヤビュー特徴

リヤビュー周りは、力強いスタンスとASCNETら

しさを実現させるため、以下の基本構成と造形テーマにより構築した(図13)。

図 13　高い位置に軸を通し SUV としての力強さを表現

(1) リヤゲートガーニッシュをリヤフィニッシャーと嵌合させ力強さを強化
(2) リヤ廻りに連続性を持たせ、CシェイプのSUBARU共通モチーフでシグネチャー表現を強化

リヤビューのデザインは、堂々としたSUVらしいスタンスを重視してデザインした。さらに、前方からのエクステリア全体の動きを連続させることで、SUVらしい力強さ、逞しさを表現。縦基調の厚みがありながらも、SUVらしい構成要素を高く置いたワイド感のある造形で、機能が凝縮された塊感のあるデザインとした(図14、15)。

図 14　リヤビュー造形テーマ構成

図 15　堂々とスタンスの効いたリヤデザイン

2.4.2　リヤ各部の工夫

ガーニッシュパネル、ガーニッシュモール、リヤランプフィニッシャーを彫の深い立体的な構成とし、力強さと逞しさを強化した(図16)。

図 16　リヤガーニッシュパネルまわり

リヤランプはヘッドランプと同様にC シェイプのモチーフを採用しSUBARU らしさを表現した(図17)。

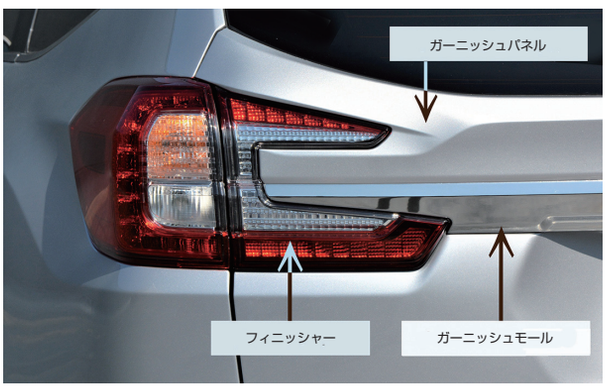


図 17　リヤランプ周り

ONYX Editionはガーニッシュモール、エンブレム類をブラックで引き締め、よりスポーティーな印象とした(図18)。

図 18　ONYX Edition リヤ周り

ONYX Editionには専用エンブレムを新設。アメリカの大地をアクティブに駆け抜ける様をイメージし、「ONYX(オニキス=石の一種)」から削り出された、ONYX Editionならではの独自性と力強さを表現した(図19)。

図 19　ONYX マーク

3.　エクステリアモデリングの取り組みについて

モデラーは、デザイナー、設計者と共に商品価値を立体具現化し、お客様に提供する役割を持つ立体造形の責任者である。「ラギッドではないSUVらしい強さ」が求められていた今回の年次改良では、北米市場で遠くからでもわかるASCENT独自の存在感、現行から大きくジャンプアップした大胆な造形が求められた。

3.1　先行開発モデル

日米双方のスタジオで造形開発を進め、北米現地でより力強く見えるためには、動きのある躍動的な立体構成が、ASCENT独自の存在感としてより重要な要素であることを見出した。

3.1.1　次期ASCENTに求められていたポイント

SUVらしいリフトアップ感や競合他社に負けない顔回り全体の力強い厚み感が重要と捉え、バンパーボディ色を上下に広く取り厚みを強調し、バンパーロアグリルの動きのある立体構成でスタンスの良さに拘った(図20)。

図 20　先行開発モデル

3.2　量産開発モデル

「躍動感と逞しさ、SUVらしい力強さと存在感、厚み」の強化

先行開発モデルから注力したポイントとして「ヘキサゴングリルから始まる立体の構成をより強化すること」、「光の微妙な明暗に拘り豊かな面を表現すること」がASCENTに必要な要素と捉え、デザイン価値をさらに高めた。

3.2.1　フロント周りの造形特徴

新時代SUVらしい力強さ、存在感表現を狙い、ウイングの軸を視覚的に高い位置に通し、ヘッドランプ、フォグランプも縦基調を強調して顔回りに厚みを持たせた。

また既存のSUVに見られる一般的なプロテクター表現ではなく放射状に配置したロア周りの造形テーマで、躍動感のある力強いスタンスの良さを表現。ASCNET独自の価値として、逞しく彫りの深い顔回りにまとめ上げた(図21、22)。

図 21　軸の通し方と面の見せ方の工夫

図 22　要素を後ろに引き彫りの深さを表現

3.2.2　リヤ周りの造形特徴

フロントやサイド周り同様、高い位置に軸を通しSUVらしい力強さ、厚みを表現した。

ガーニッシュモールは、力強さに加えてクローム素材の場合の映り込みの豊かさ等、ASCENTらしい車格や上質さを表現するべく位置と断面形状を吟味した。

またCシェイプ(コの字)フィニッシャーも平面的な見え方とならない様に、ガーニッシュとの段差処理

を利用して立体的存在感を増す工夫を織り込み、より豊かで力強い車格表現とした(図23)。

図 23　彫りの深い立体表現はリヤ周りにも

造形の力と工夫で限られた寸法を最大限に活かすため、幅を微妙に変化させ奥行きを感じる立体構成や明るい光を受ける面と暗い影の面の濃淡を使い、表情の豊かさを造形にてコントロール。ボリュームのメリハリを付け遠くからでもSUBARUとわかる、SUVらしい力強さと豊かさを伴ったASCENT独自の価値を造り込んだ(図24、25)。

図 24　高い位置に陰影を表現す

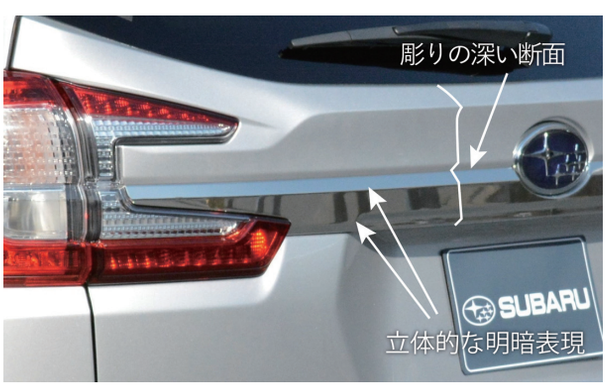


図 25　陰影表現と断面の工夫

4.　インテリアデザイン

4.1　ラギッドではない「SUVらしい強さ」とSUBARU車として「個車の魅力」を際立たせたインテリアデザイン

新型レヴォーグ、アウトバック同様の最新のインフォテイメントシステムをASCENTにも採用し、インパネデザインを刷新した。

大型画面化によるセンター周りのボリューム感を現行車のインパネデザインに取り込み、ASCENTらしい豊かさとより広がりを感じられる空間構成との両立を図った(図26、27)。

図 26　インパネ俯瞰ビュー、最終デザイン

図 27　新規造形部位 (赤ハッチング)

4.2　インテリアデザインの特徴

インテリアは、以下の基本構成と造形テーマにより構築した。

(1) 新世代のSUV骨格

SUVのインテリアデザインのトレンドは縦の流れを見せる骨格から、水平基調でリビングライクに見せる方向である。新しいASCENTでは、センターからサイドミラーに突き刺さるようなダイナミックな水平基調のテーマで、SUVらしい力強さと空間の豊かな広がりをより強化した(図28、29)。

(2) シリーズとしての統一感

最新のSUBARU車に共通するセンタークラスターから両サイドに広がるテーマと、画面周りの加飾でシリーズとしての統一感を表現し、フラッグシップモデルに

ふさわしい堂々とした佇まいを目指した(図28、29)。

(3) 塊を意識したセンター周りの造形

お客様に安心を感じて頂くため、アウトドアシーンでの使用を想起させる多角形テイストを織り込んだシルバー加飾(ONYXはブラック色)を施した。奥行きを表現するため、センターベンチグリル形状を受け、奥まで連続して見える構成とした(図30)。

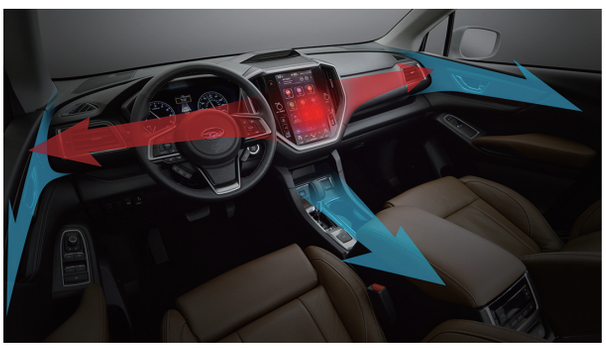


図28　造形の骨格

図29　開発初期イメージスケッチ

図30　奥行きを感じさせるベンチグリル直上の造形

4.3　助手席エリアの狙い

室内で造ったモデルを外光で確認すると、インテリアの造形が意図した見え方と異なることがある。様々な環境下で意図したテーマがはっきりと伝わるよう形状を工夫し、インパネ上面に北米現地での強い光を受けたときでも陰影や表情がしっかりと感じられる造形とした(図30、31)。

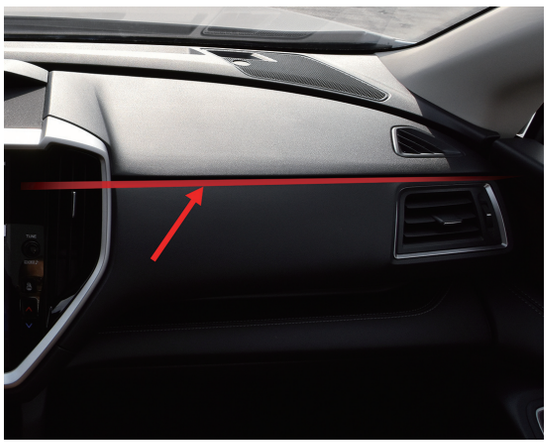


図31　外光での造形の見え方の確認

4.4　コンソール周りの仕立て

インパネ横基調の流れを最大限に活かすため、縦に流れる加飾を廃止し、インパネとコンソールの関係を弱めて、横基調の流れを強調させた。上向き面の表情の豊かさが増し、SUVらしい体格の良さがより感じられる造りとした(図32、33)。

図32　コンソール周りの構成

図33　コンソール周り最終デザイン

4.5　防眩性能を高める独自の工夫

センター周り上部の面形状は、インパネテーマの主軸となる重要な部位である。視線方向で反射が感じにくくなるよう、面の角度を一枚一枚変化させたレリーフを織り込んだ。センター周りの特徴となる造形と機能を両立させるため、様々な断面や角度のレリーフ形状を検証した(図34)。

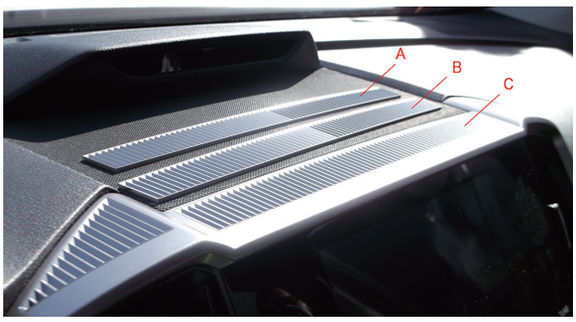


図 34　外光での加飾の見え方を検証

採用案のBは、視線方向からの面向きを段階的に変える工夫で、光が反射して見える物理量を抑え、造形テーマと防眩機能との両立を図ったSUBARUらしい考え抜かれたデザインが、センター周りのアクセントともなっている(図35)。

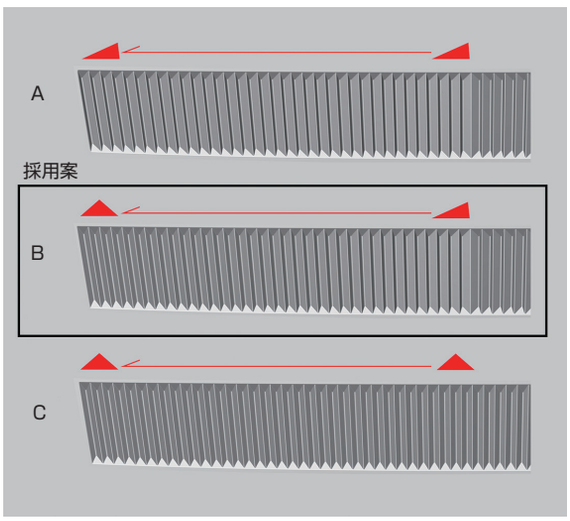


図 35　レリーフ形状詳細検討

4.6　DMS（ドライバーモニタリングシステム）カメラ

カメラユニットを車両前方に配置し、センター周りのボリュームを抑えた。インパネ全体との繋がりを加味したバイザー形状とした(図36)。

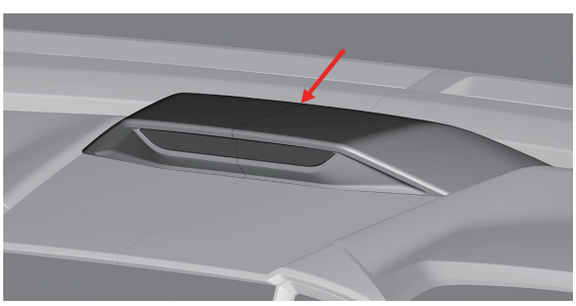


図 36　DMS カメラ最終形状

4.7　アイサイトカメラカバー

新型アイサイト採用に伴い、新規造形に刷新した。車両前方のガラスの接する部分をブラックとして視覚的なノイズ低減と突出感の軽減を図った(図37)。

図 37　アイサイトカメラカバー 最終形状

5.　インテリアモデリング

5.1　インテリアモデリングとデジタル開発の取り組みについて

インテリアモデリング開発では、アメリカ市場で際立つSUVらしい力強さと豊かで広がりある空間の実現を目指し、お客様に新しいASCENTを所有する悦びを感じて頂くことを狙いとした。

開発前半から最終意匠完成へ向けて、「新たな価値を知る」→「横基調の空間構成」→「3Dデジタルデータの VR 確認※1」→「量産造形の細部造り込み」と、クレイモデルとデジタルデータの両面の良さを活かした新しいプロセスで、これまで以上に情緒的価値を高める取り組みを実践した。

※1：VR＝ヴァーチャルリアリティ

5.1.1　新たな価値を知る　＜開発前半＞

「お客様の悦びとなる、新機軸の価値を創る」

インテリア最大のチャレンジは、11.3 inchの大型ディスプレイを組み込み、ASCENTが持つSUVらしい力強さ、豊かさ、広がりといった要素をより強化させ「情緒価値」と「機能価値」の両立を図ることである。

第1の造形プロセスとして、実車を用いて大型パネル化に見合ったインパネボリュームの変化をラフ検討した。エクステリアが持つ「縦の厚み」「高い位置で横へと広がる強い軸」という要素とも調和を図り、新たな価値を具現化できる確信を得た(図38)。

図 38　実車を用いたラフ検討で方向性を定める

5.2　横基調の空間構成

第2の造形プロセスでは、インパネ、ドア、コンソールの全体バランスを見極める手段として1/2サイズのクレイモデルを用いた。1/2クレイモデルのメリットは、「モデルサイズが小さく素早い立体修正が可能である」、「細かなディティールが目立たず大きな空間構成の把握に注力できる事」である（図39）。

本プロセスの気付きから、インパネからコンソールへと繋がっていた縦基調のシルバー加飾を変更し、ASCENT特有の幅広い寸法を活かした横基調の空間構成へ進化させ、より広がりを感じられる空間を実現した。

同時に、最小の作業量で効率良く造形確認を進め、DMS（ドライバーモニタリングシステム）の配置を車両前方に移動させてドライバーへの圧迫感を軽減し、縦寸法を抑えた横基調の空間構成を強めるバランスを早い段階で見極めることが出来た。

図39　1/2 クレイモデルでの空間づくり

5.3　スピード＋効率化で商品力を向上させるデジタル開発

クレイモデル製作と同時進行で、3Dデジタルツールである VR システムでの開発を推進した。開発初期の段階で、実車を想定した様々なマテリアルやテクスチャーを緻密に再現し、クレイモデルでは表現しきれない“表皮が持つ温もり”や“木目のアクセントがもたらす効果や価値”などを創り出す上で、大きな成果を得た（図40）。

5.4　スタイリングと設計要件を開発初期で両立させる

VR活用=1/1モデルレスで北米現地環境を再現したモデルづくりと評価を行い、これらの効率的な活用によってお客様目線で大切にするべき要素を十分に抽出する事が可能となり、情緒的価値表現と設計要件の両立を開発初期段階で確立させることが出来た（図41、42）。

図40　VR を活用した意匠確認と検証

図41　設計要件を可視化した 3D デジタル意匠データ

図42　1/2 造形モデルと VR を併せた意匠確認の様子

5.5　ASCENTとしての拘り ＜開発後半＞

モデラーとして開発後半ステージで重要な事は、インテリア全体で創り上げる「豊かな広がり（情緒価値）」と「先進的なインフォテイメントシステム（機能価値）」を魅力溢れる空間として組み合わせて練り上げ、端面処理に至る細部までテーマに沿って仕上げる事である。

モデラーが造る意匠の断面／端面の質感一つでASCENTがどういった性格のクルマであるかがお客様にダイレクトに伝わる。ASCENTは大切な家族と快適なロングツーリングを提供する自然共生型のSUVであり、そのためのASCENTの価値とポジションを改めて整理し、最終的な造り込みを行った。

ASCENT はSUBARU最大サイズのクルマである。インパネ助手席エリアは、快適なリビングで寛ぐようなエリアとしてパッセンジャーをもてなし、端面の硬さを抑え、柔らかな表現を与えてASCENT独自の豊かさと存在感を表現した(図43)。

図 43　最終クレイモデル…「豊かさ」を表現する量産造形の細部造り込み

5.6　外光でより豊かに見えるカタチ

外光評価とVRシステム開発を併用し、北米の強い太陽光線で見える陰影表現を最優先として、立体の造り込みと空間づくりを行った。

大型ディスプレイモニターを包み込む加飾は、外光とVR開発の併用効果を活かし、センター周りの存在感を際立たせつつ反射に因る眩しさを抑えた断面形状を見出し、機能との両立を図ることが出来た(図44)。

図 44　外光でより豊かに栄える陰影と加飾の表情

5.7　機能と情緒を感じる完成モデル

新しい開発プロセスにより得られた気付きから、日本に居ながらにして北米の現地環境やお客様の気持ちを、ダイレクトにモデルに織り込むことが出来た。豊かで広がりある情緒価値とあらゆるシーンを想定して造り込んだ機能価値により、ASCENT独自のお客様価値を高い次元で提供できている(図45)。

図 45　豊かで広がりのある進化を実現した最終モデル

6.　内外装のCMFデザイン

年次改良におけるASCENT CMFデザインは、スタイリングと同様に、SUBARU カラーデザインフィロソフィー「インパクトと深み」を力強く「BOLDER」に進化させ具現化した。

「インパクト」…このクルマで出かけたくなる気持ちを盛り上げる魅力、「深み」…このクルマと過ごす時間の経過と共に、さらに深みを増すじんわりと感じる要素である。

6.1　エクステリア・カラー

大自然の中で佇むASCENTを想定し、SUVらしい躍動感と力強さを表現したアースカラー中心の新色2色、継続色6色のカラーラインナップとした。BOLDERに進化したスタイリングを引き立てつつ、ASCENTと過ごす豊かな時間を表現する色設定となっている。

6.1.1　新外装色

①COSMIC BLUE PEARL

アウトドアアクティビティで体感する、静かで雄大な夜空を表現したブルー(図46)。

図 46　COSMIC BLUE PEARL 外装色

②DARK MAHOGANY BROWN PEARL

赤い木肌が美しい「マホガニー」の深みと艶をイメージし、ディープリッチな質感を表現したブラウン（図47）。

図47　DARK MAHOGANY BROWN PEARL 外装色

6.1.2　継続色

北米現地での様々なニーズに応えるべく、新色の他に以下の6色を取り揃えた。

①CRYSTAL WHITE PEARL

②ICE SILVER METALLIC

③MAGNETITE GRAY METALLIC

④CRYSTAL BLACK SILICA

⑤CRIMSON RED PEARL

⑥AUTUMN GREEN METALLIC

6.2　インテリア・カラー

ラギッドではない「SUVらしい強さ」を際立たせ進化する方向として、「雄大でダイナミックな存在感」をより強く表現することを狙いとした。

コーディネートの基軸は以下3点である。

1、豊かさと力強さ
2、上質さ、ひと手間かけた造りこみ
3、中央から横への伸びやかさ

6.2.1　内装の配色

内装色はブラックを基本に、アイボリー、ブラウンの3色展開とし、ユーザーニーズに合わせてグレードごとのキャラクターを際立たせた。

室内全体は、どの内装色でも基調部分は黒でまとめ、ファミリー志向のお客様には、明るく開放的なアイボリー内装をPREMIUMとLIMITEDに設定した。上質でより豊かな雰囲気を求めるお客様に向けて、ブラウン内装をTouringに設定した（図48～57）。

またONYX editionは、若々しくアクティブなお客様に向けて、ブラック＆グレーの2トーンの配色とした（ONYXについては、別途詳細説明する）

いずれの内装仕様でも加飾を効果的に用いて、中央インフォテイメントエリアを際立たせ、横方向への伸びやかな造形テーマをシンプルに表現した。

図48　Touring ブラック内装

図49　ファブリック仕様
Base（ブラック）

図50　ファブリック仕様
Premium（ブラック）

図51　標準革仕様
Limited（ブラック）

図52　Nappa 革仕様
Touring（ブラック）

図 53　Limited アイボリー内装

図 54　ファブリック仕様
Premium（アイボリー）

図 55　標準革仕様
Limited（アイボリー）

図 56　Touring ブラウン内装

図 57　Nappa 革仕様
Touring（ブラウン）

6.2.2　シート表皮

ファブリックと標準革の2種類に加え、上級 Touring グレードに Nappa 革を採用した。標準革より上質な Nappa 革は、革本来の風合いの良さが特徴。原皮を厳選し、銀面（皮革表面）を多く使い、独自のなめし手法と標準革とは異なる表面処理で、車格に見合った触感の良い滑らかな革に仕上げた（図58）。

図 58　Nappa 革（左）標準革（右）

6.3　ONYX edition

ONYX edition は、ASCENT が「BOLDER」に進化して行く過程で前の年に追加された、よりアクティブ嗜好のお客様に向けた新グレードである。

6.3.1　ONYX edition エクステリアカラー

よりアクティブなライフスタイルを求めるお客様に向け、エクステリアはクロームを廃し、ボディ全体の要素を黒で引き締めた。アウトドアは勿論のこと、アクティブに活動する様々なシーンでワクワクする気分を盛り上げるカラーコーディネートとなっている（図59）。

図 59　ONYX edition エクステリア

6.3.2　ONYX専用エンブレムの開発

ONYXをより特徴づける象徴として、専用のエンブレムを設定した。

アメリカのタフな使用シーンをアクティブに駆け抜ける様をイメージし、「ONYX（オニキス＝石の一種）」から想起される自然との親和性を表現した。表面に「ONYX」ロゴを刻み、ひと目でわかる独自性を、石の持つ力強さと併せて造り込んだ。

リアルな石の表現として実際の石からサンプリングしたパターンと、艶を抑えた微粒子メタリック塗装（ラスターブラック塗装）との組み合わせで、長い年月を経て風雨に晒された自然物ならではの「石」特有の表情と、石の持つ硬さ、刃物で刻印を彫り込んだエッジの鋭さ、磨いた時の滑らかさを表現した（図60、61）。

図60　ONYX エンブレム完成品

図61　イメージとした石の表情

6.3.3　石目調シボの開発

削り出した石の塊のイメージをリアルに再現するため、「石目調シボ」を開発した。

石目調シボは、金型を腐蝕させて模様を表現するエッチング工法を活用、多層（4層）化することで実現した。イメージした石（図61）から「石らしい」表情の要素を抽出し織り込んだ（図62）。

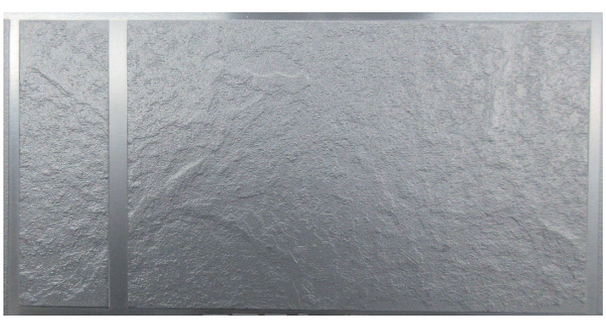


図62　自然石が持つ表情をリアルに再現し完成したシボプレート

1）抽出した要素を多層段階的にフィルム化（4層＝4パターン）。

2）1層ごとの段階的な腐蝕で意匠面を構成。異なるパターンを重ねて本物の石が持つ複雑な表情を再現した。

3）最後に丸み付け加工を加え、自然な石の表情の再現に加え、耐傷つき性を向上させた（図63）。

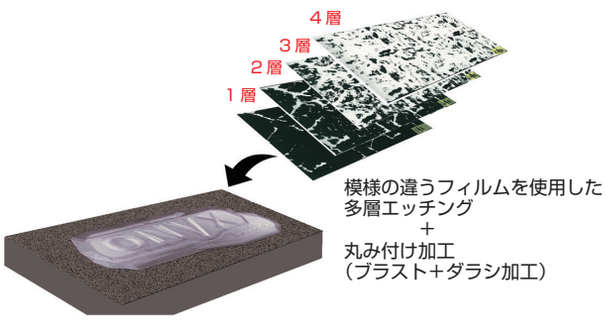


図63　シボパターン施工イメージ図

6.3.4　ONYX editionインテリアカラー

ブラック＆グレーのインテリアに、“アクティブなシーンを彩る”ONYX edition 専用のアクセントカラーであるグリーンステッチを施し若々しく華やかに仕立てた（図64）。

図64　ONYX edition 内装

シートには、防水性と透湿性（蒸れ難さ）、耐久性を併せ持つPU（ポリウレタン）を採用した（図65）。

図65　ONYX edition 仕様
PU ブラック×グレイコンビネーション

7. あとがき

2018年、お客様の大きな期待と共にASCENTは満を持して北米市場に投入された。そして今現在ASCENTが持つ存在感と独自性、使い勝手の良さ、優れたパッケージや機能がお客様から高く支持され、OUTBACKやFORESTERに続くSUBARU SUVのフラッグシップとして日に日に認知度は高まっている。この年次改良により、ASCENTに備わるこれらの価値を、より一層際立たせる内外装デザインとカラーデザインが完成したと自負している。新しいASCENTが、この先数多くのお客様に向けて笑顔をお届け出来る存在になると確信している。

【著　者】

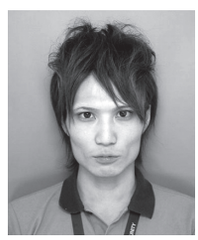
大関　　透

源田　哲朗

田宮　　創

川村　厚司

衛藤　輝美


加藤　　翼

重田 美恵子

SUBARU「レヴォーグ」一部改良モデルを発表

～新開発2.4L直噴ターボ“DIT”エンジン搭載グレード「STI Sport R」を新設定～

2021年11月25日

SUBARUは、「レヴォーグ」一部改良モデルを発表しました。今回の改良では、ドライバーの意思に瞬時に応える応答性と加速性能が特徴の新開発2.4L直噴ターボ“DIT”エンジンを搭載したハイパフォーマンスモデル「STI Sport R」グレードも新たに追加しました。

レヴォーグ STI Sport R EX

新型レガシィ／アウトバックのデザイン開発について

Styling Design Development of New LEGACY/OUTBACK

田　中　　繁*　　磯　村　　晋*
TANAKA Shigeru　　ISOMURA Susumu

抄　録

「安心と愉しさ」をデザインで表現する『DYNAMIC × SOLID』。そのフィロソフィーの全てを織り込み、2019年北米市場に誕生した第7世代レガシィ／アウトバック。

新型レガシィ／アウトバックでは、市場で高くご評価を頂いたエクステリアデザインを中心に、その独自性と存在感を「BOLDER」思想でさらに高めることで、お客線の嗜好の広がりと変化の激しいDセグメント市場の中でも、一目でお客様に伝わる新しいレガシィ／アウトバックらしさの表現を目指した。以下にその取り組みを説明する。

Abstract

“DYNAMIC × SOLID” is a concept that aims to express “Enjoyment and Peace of Mind” by styling. This philosophy is incorporated into the 7th generation LEGACY/OUTBACK launched in 2019 in the North American market.

For the new LEGACY/OUTBACK, we enhanced their uniqueness and presence with the concept of “BOLDER” while focusing on their exteriors highly evaluated by our customers so that the customers can easily notice the LEGACY/OUTBACK-ness at a glance in the rapidly changing D-segment market. This report explains our initiatives.

1.　まえがき

現行型レガシィ／アウトバックは「安心と愉しさ」をお客様へお届けするために「DYNAMIC × SOLID」を全身で表現してきた。

現在SUBARUデザインは、そのフィロソフィーをさらに進化させ、SUBARU車それぞれの商品性、個性を大胆「BOLDER」に表現し、商品価値を際立たせる事に取り組んでいる。

新型レガシィ／アウトバックでは、お客様へさらなる「安心と愉しさ」をお届けする事を目指し、その「BOLDER」思想を積極的に取り入れ、それぞれの存在感と独自性を大胆に際立たせるデザイン表現で、レガシィ／アウトバックらしさをさらに高めた(**図1**)。

図1　New LEGACY/OUTBACK production model

＊ デザイン部

2.　新型レガシィデザイン

新型レガシィは、お客様にとってSUBARUセダンのフラッグシップに相応しい存在として受け止めて頂ける様、造り込まれたディテールによる質感と先進性表現はそのままに、アグレッシブなスポーティさを融合させる事で、一目でお客様に伝わる新型レガシィらしい存在感有るデザイン表現を目指した(図2)。

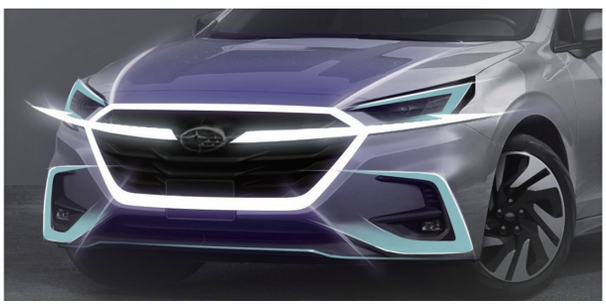


図２　BOLDER 概念の一例

具体的には、大型化し低く構えたヘキサゴンモチーフの強い立体を起点に、ロー＆ワイドのスタンスと躍動感を表現した力強い造形でスポーティさを強調した。

ディティールでは、ダークトーンに仕立てたフロントグリルのメインモチーフをヘッドランプにまで連続させ、ワイド感をさらに高めた。それに呼応するヘッドランプは、機能を高めつつ小型化し先進性表現も強化し、新型レガシィが目指すアグレッシブなスポーティさをお客様へアピールした。

また、ロー＆ワイドのスタンスを際立たせるフォグランプカバーには、操安性を高める空力シボを採用し、アグレッシブな表現の中にも、しっかりと機能性を付加する事で新型レガシィらしさも高めた。

サイド廻りでは、ドアモール類の黒色化と、躍動感を表現した新意匠の18インチアルミホイールを採用する事で、車輌全体で統一されたアグレッシブなスポーティさを際立たせた(図3)。

図３　New LEGACY production model

3.　新型アウトバックデザイン

新型アウトバックでは、市場において高くご評価頂いたクロスオーバー先駆者に相応しい、唯一無二の存在感をさらに高めるために、アウトバックの独自性であるタフ＆ラギッドさと機能性表現を強調する事で、お客様の期待を超える進化したアウトバックらしい存在感を表現した(図4)。

図４　BOLDER 概念の一例

具体的には、大型化し高い位置に配したヘキサゴンモチーフの強い立体を起点に、厚みとリフトアップ感を高めた強いスタンスの造形で、大胆なラギッドさと高い走破性を強調し、新型アウトバックが目指すアクティブな存在感を高めた。

ディティールでは、大型化したフロントグリルの勢いをヘッドランプにまで連続させ、ワイド感も強めた。

そのヘッドランプに呼応する特徴的なバンパーコーナーガードは、四隅をしっかり感じる力強さを強調した。

また、拡大したプロテクターエリアの車輌中央側の高い位置にLEDフォグランプを配す事で、アウトバックの独自性である機能性表現をアピールした(図5)。

図５　New OUTBACK production model

サイド廻りでは、たくましさと躍動感を備えた大型の前後アーチクラッディングと、力強さと躍動感を表現した新意匠の18インチアルミホイールを採用し、車輌全体でタフ＆ラギッドさとアクティブさをさらに強調し、一目でお客様に伝わる新型アウトバックの存在感を高めた。

また新型レガシィと同様に操安性を高める空力シボをリヤビューカメラ内蔵のルーフアンテナに施し、前側アーチクラッティングには空力改善形状を織り込む事で、スタイリングと機能性表現を高次元にバランスさせる、アウトバックならではの独自性もさらに高めた(図6)。

図6　New OUTBACK production model

4. それぞれのキャラクターを際立たせるカラーコーディネート

また新型レガシィ SportとアウトバックONYXでは、それぞれの世界観をさらに際立たせるカラーコーディネートによるアップグレードで存在感と独自性を高め、より幅広いお客様の嗜好にお応え出来るシリーズバリエーションの広がりを目指した。

新型レガシィ Sportは、アイキャッチの高い内外装部品をダークトーンで引き締め、アクセントカラーの赤色を効果的に配したコーディネートで、現行モデルが持つ上質なスポーティさに加え、2.4 L 直噴ターボのパフォーマンスに相応しいアグレッシブな存在感を強調し、よりスポーツマインドの高いお客様のご期待に応え得る専用仕立てとした(図7)。

図7　New LEGACY SPORT production model

また新型アウトバックONYXでは、撥水シート表皮材と黒色塗装部品で使い勝手とアクティブさを向上させた現行車のインテリアはそのままに、その世界観をエクステリアにも呼応させ、主要な外装部品に艶黒色塗装を施し、より軽快なアクティブさを表現したカラーコーディネートで、カジュアルなスポーティさを嗜好されるお客様のご期待に応え得る、新型アウトバックのシリーズバリエーションの広がりを目指した(図8)。

図8　New OUTBACK ONYX production model

5. おわりに

レガシィ／アウトバックは誕生以来、その独自性と機能性の高さを、沢山のお客様にご支持頂きました。

新型レガシィ／アウトバックでは、より沢山のお客様に「安心と愉しさ」をお届けするべく、「BOLDER」思想でその商品性と存在感をさらに磨きあげました。沢山のお客様に愛され、可愛がられるクルマに育つ様に。

【著　者】

田中　　繁

磯村　　晋

SUBARU オーナーのためのドライブアプリ「SUBAROAD」をリリース

2021年12月7日

SUBARUは、走りがいのある道と、新しい発見を提供する、SUBARUオーナーのためのドライブアプリ「SUBAROAD(スバロード)」をリリース[*1]しました。今回のリリースは伊豆エリアの3コースで、順次エリアを拡大していく予定です。

＊1：App Store、Google Playにてダウンロード可能

人体有限要素モデルを用いた脳傷害評価指標の検討

Evaluation of Brain Injury Criteria Using a Human Finite Element Model

吉　川　満　晴*　　江　島　　晋*　　山　本　健太郎*
YOSHIKAWA Mitsuharu　EJIMA Susumu　YAMAMOTO Kentaro

抄　録

交通事故において頭部傷害は死亡重傷の原因として多く発生しており重要な課題となっている。

本研究では、特に歩行者・自転車事故で多く発生している外傷性脳損傷の予測を目的として、人体の骨格・脳・内臓が精密に再現されたバーチャル人体モデルTHUMS（Total HUman Model for Safety）を用いて傷害を評価する為の指標を検討した。

米国ミシガン州における歩行者・自転車事故データベース（VIPA：Vulnerable Road Users Injury Prevention Alliance）の情報をもとに脳傷害が発生した歩行者事故9件について事故再現シミュレーションを行った結果、外傷性脳損傷の重症度をTHUMSの脳実質に発生する最大ひずみの値で予測できる可能性が示された。

本稿ではその詳細について述べる。

Abstract

Head injury is a severe problem in traffic accidents as they commonly cause fatalities and serious injuries. In this study, we examined the criteria for injury evaluation to predict traumatic brain injuries, which were particularly common in accidents involving pedestrians and cyclists. THUMS (Total HUman Model for Safety) that precisely realizes a brain and viscera was used as a virtual human body model. Based on the information from the pedestrian and bicycle accident database in Michigan, we conducted accident reconstruction simulations for nine pedestrian accidents in which brain injuries occurred. The results showed that the severity of traumatic brain injury could be predicted by the value of the maximum strain generated in the brain of THUMS.

1.　まえがき

日本における令和2年の交通事故死者の割合は歩行中が最も高く、損傷部位は頭部が54.2%と最も高い割合を占めている[(1)]。頭部に強い衝撃が加わると脳の損傷や出血など外傷性脳損傷が起こり、致命的な損傷を免れた場合でも、半身麻痺や感覚障害などの後遺症が残ることも多いため、重要な課題の一つである[(2)]。

近年、当社では歩行者保護エアバッグを車両に搭載し頭部傷害低減に取り組んでいる。これらの保護装置を効果的に作用させるには、市場事故の受傷状況を再現し傷害発生メカニズムを明らかにするとともに、傷害リスクを精度良く見積もる必要がある。

本稿では、市場事故を用いた衝突再現シミュレーションによる外傷性脳損傷の予測を目的として、人体の骨格・脳・内臓が精密に再現されたバーチャル人体モデルTHUMS ver.4.02（Copyright 2021 © TOYOTA MOTOR CORPORATION and TOYOTA CENTRAL R&D LABS., INC. All Rights Reserved.）を用いた。具体的には、脳傷害を評価する指標として提案されている脳実質のひずみ、圧力などの指標に対し、実事故で発生した脳傷害の重症度（AIS：Abbreviated Injury Scale）との関係を調べることで、THUMSを用いた脳傷害の重症度の評価指標について検討を行った。

2.　対象事例

本研究では、事故再現シミュレーションに用いる歩行者事故について、International Center for Automotive Medicine（ICAM）で調査された米国ミシガン州における歩行者事故データである、Vulnerable

＊ 車両安全開発部

Road Users Injury Prevention Alliance（以下、VIPAとする）[3]の中から事例を選定した。具体的には、歩行者と車両の衝突形態としては、件数が多い横断中、または車両と同一方向を歩行中の歩行者とし、**図1**に示すように歩行者の衝突後の挙動が比較的にシンプルなラップ軌跡（Wrap trajectory）[4]を選んだ。また、加害部位（IPC：Involved Physical Component）は、車両部品との接触により脳を損傷した事例を対象とするため、“Ground”と記録されている事例は除外した。

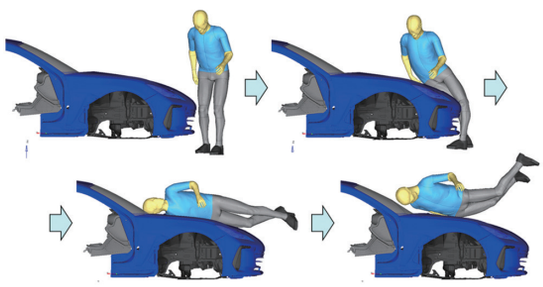


図1　Wrap Trajectoryの挙動

表1に事故再現シミュレーションに用いた事故事例の一覧を示す。事故再現シミュレーションでは歩行者モデルとしてTHUMSを使用するため、身長・体重については米国人男性の50%ile（AM50）体型に近い事故事例を選定した。また、年齢については20歳未満と65歳以上は除外することにより、比較的に標準的な生体特性を有する事例を選んだ。以上より、外傷性脳損傷が発生した事故事例9件について事故再現シミュレーションを行うことにした。なお、選定した9件の事例において頭蓋骨骨折は発生していなかった。

本検討で選定した事故事例で発生した脳傷害の最大AISと衝突速度の関係を**図2**に示す。

選定した事故事例の件数は9件と限られているが、Ashtonら[5]が報告している欧州で発生した歩行者事故のAISと衝突速度の関係と同様の傾向を示しており、選定したVIPAの事例については、脳傷害の議論ができるものと判断した。

3.　事故再現シミュレーション

車両対歩行者の衝突シミュレーションを実施するにあたり車両モデルを作成した。VIPAの事例は当社以外の車両も含まれることから、対象車両と車格の近いモデルを選び、グリルからフードに至るサイドシルエットが合うように車両モデルをスケーリングした。なお、車体特性については、同じ特性を仮定した。歩行者モデルには人体有限要素モデルである

表1　事故再現ケース（N＝9）

Case No.	性別	年齢	身長 (cm)	体重 (kg)	Vehicle class	衝突速度 (km/h)	脳障害	AIS	加害部位
#1	M	34	165	82	Midsize SUV	72	くも膜下出血	3	Hood Surface
							脳室内出血	4	
							脳浮腫	5	
							硬膜下血腫	4	
							脳幹圧迫	5	
#2	M	45	175	70	Compact SUV	80	くも膜下出血	2	Windshield
							脳挫傷	3	
							脳浮腫	5	
							硬膜下血腫	4	
#3	M	21	175	80	Midsize SUV	60	びまん性軸索損傷	5	A pillar
							硬膜下血腫	3	
							脳幹圧迫	5	Hood Surface
#4	M	49	170	63	Full size	51	脳内出血	4	Windshield
							びまん性軸索損傷	4	
#5	M	41	173	94	Full size	64	脳幹圧迫	4	Font Header
							硬膜下血腫	4	
							小脳血腫	4	
							くも膜下出血	3	
#6	M	63	165	86	Full size	24	脳震盪	2	Windshield
#7	M	20	173	66	Large pickup	26	脳震盪	2	Hood Surface
#8	F	21	168	64	Intermediate	37	くも膜下出血	3	A pillar
							脳挫傷	3	
#9	F	22	170	66	Compact SUV	19	脳震盪	1	Hood Surface

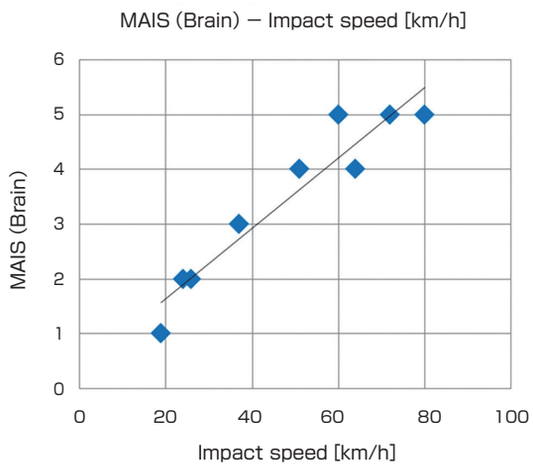


図2　VIPAによる脳傷害の最大AISと衝突速度の相関関係

THUMS ver.4.02 AM50を使用した。解析条件としては、VIPAに記載されている事故情報（**図3**）をもとに計算モデルの条件設定を行い、事故再現シミュレーションを実施した（**図4**）。

各事例の事故再現シミュレーションについては、事故現場の写真、およびVIPAに記載のある被加害部位の関係を参照した。車体に接触した痕跡と一致するようにTHUMSの初期位置や手足の位置、および向きの調整を行い、事故事例とシミュレーションの結果が一致するまで繰り返し計算を行った。**図5**にその例を示す。

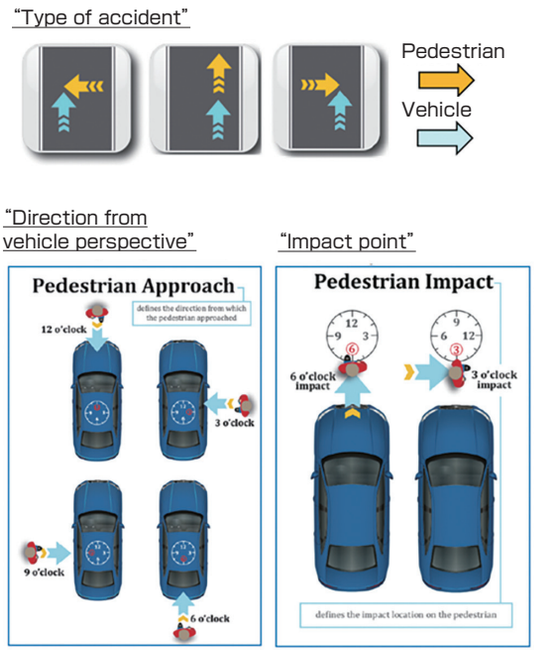


図３　VIPA の事故情報の例 [3]

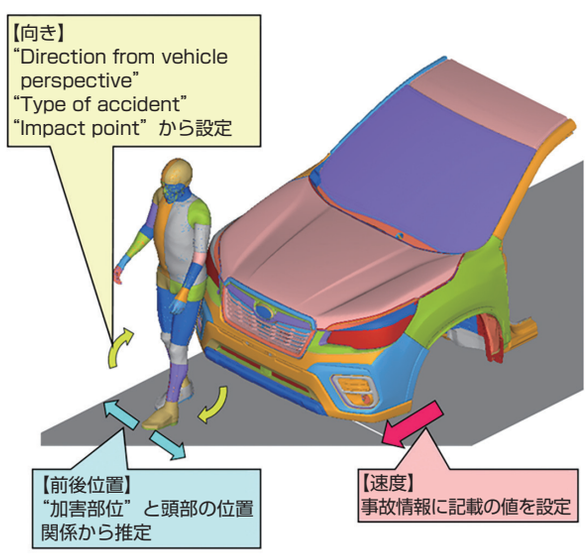


図４　計算モデルの条件設定

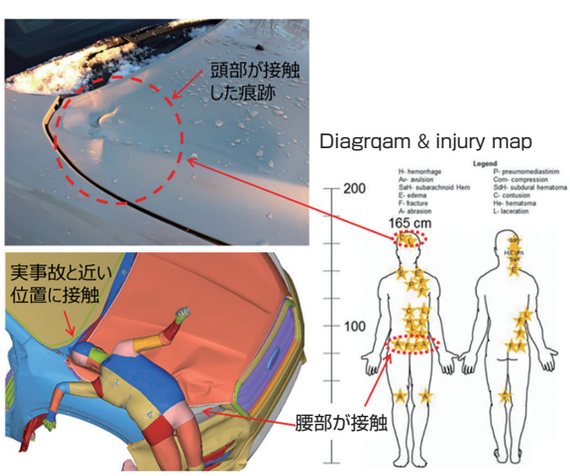


図５　事故事例と再現シミュレーションの比較（Case No.1）

4.　傷害評価

脳傷害に関するAISは、出血の程度を指標としているのに対し、脳の血液循環を有限要素モデル上で再現することは困難である。そこで、事故再現シミュレーションでは、頭部の傷害程度を示す指標とされているHIC15（Head Injury Criterion）を用いた。また、脳傷害のための力学的パラメータとして脳実質の最大圧力[6]、脳実質に発生する最大ひずみ（相当ひずみ、主ひずみ）[7]、脳脊髄液（CSF）の吸収エネルギー[8]を算出し、実事故で発生した脳傷害の最大AISとの相関を調べた（図6）。

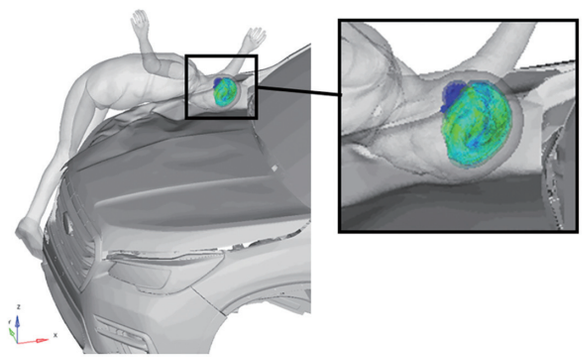


図６　車両接触時の脳ひずみの発生状況（Case No.1）

5.　結果

表2に9件の事故再現シミュレーションの結果を示す。また、事故で発生した脳傷害の最大AISと、事故再現シミュレーションでTHUMSに発生した力学的パラメータの関係を図7～11に示す。

図7～11の縦軸は、実際の事故で発生した脳傷害の最大AISを示し、横軸は事故再現シミュレーションにおいてTHUMSで発生した力学的パラメータ（HIC15、最大圧力、最大相当ひずみ、最大主ひずみ、CSFの吸収エネルギー）を示している。相関係数が1.0に近いほど正の相関が高いことを表している。全ての指標において正の相関が得られており、脳の最大主ひずみと、最大相当ひずみが最も強い相関を示し、相関係数は0.96となった。

一方、脳の最大圧力は0.61であり最も低い相関を示した。

表２　事故再現シミュレーション結果

VIPA 歩行者事故			事故再現シミュレーション結果				
Case No.	衝突速度 (km/h)	脳障害の最大 AIS	HIC15	脳実質の最大圧力 (kPa)	CSF 吸収エネルギ (mJ)	脳実質の最大主ひずみ	脳実質の最大相当ひずみ
# 1	72	5	5635	869	473	2.17	2.36
# 2	80	5	14342	212	544	2.13	2.30
# 3	60	5	3167	224	570	1.86	2.14
# 4	51	4	1739	157	631	1.32	1.42
# 5	64	4	1767	327	469	1.72	1.88
# 6	24	2	738	60	283	0.83	1.08
# 7	26	2	112	102	249	0.49	0.58
# 8	37	3	557	98	249	0.97	1.14
# 9	19	1	89	67	187	0.48	0.55

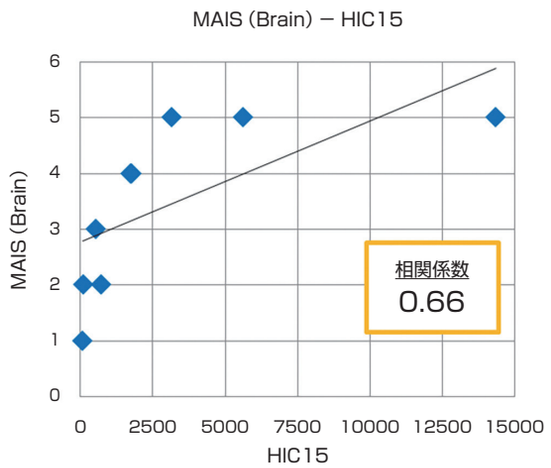


図７　脳の最大 AIS-HIC15

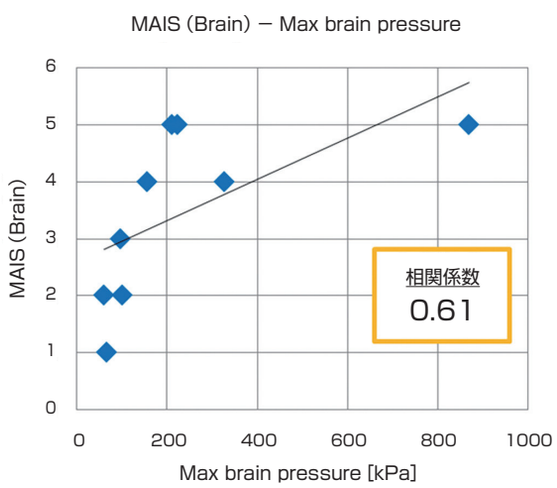


図８　脳の最大 AIS- 最大圧力

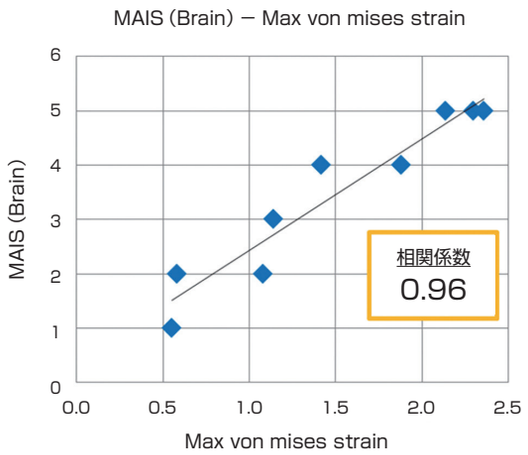


図９　脳の最大 AIS- 最大相当ひずみ

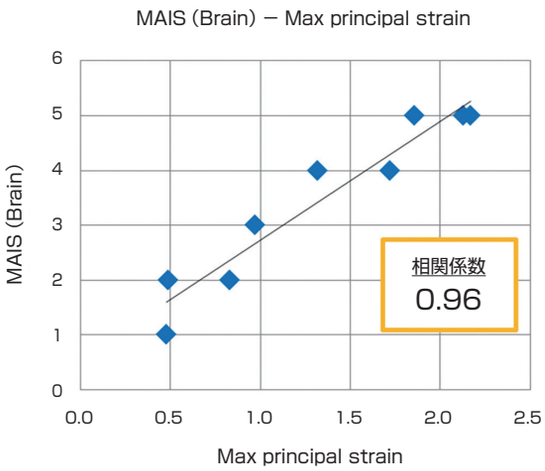


図 10　脳の最大 AIS- 最大主ひずみ

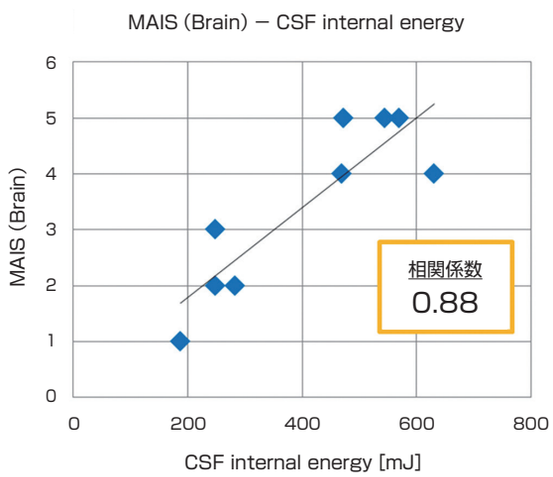


図 11　脳の最大 AIS-CSF の吸収エネルギー

6. 考察

実事故で発生した脳傷害の最大AISと、事故再現シミュレーションにおいてTHUMSの脳実質に発生した力学的パラメータを比較したところ、最大主ひずみと最大相当ひずみが最も強い相関（相関係数：0.96）を示した。

このことから、脳の最大ひずみは脳傷害の重症度に関係している可能性が示唆された。

脳傷害発生メカニズムの詳細は明らかにされていないが、脳傷害発生メカニズム解明のためには、THUMSをはじめとする人体有限要素モデルを用いた脳ひずみによる予測解析が有用であり、多くの研究者らにより脳の有限要素モデルの開発と検証が行われている[(9)]。

一方、頭部傷害の指標であるHIC15は脳の最大ひずみと比較して高い相関を示さなかった。この理由として、脳傷害の最大AIS 5を示した2事例（#1、#2）ではHIC15が3000を超える大きな値になっているためと考えられる。

Guardiolaら[(10)]が報告しているHICとAISの相関によると、AIS 5のリスクカーブはHIC：3000の付近で既に100%に達しているため、これより大きい領域において相関性が減少した可能性がある。

本研究では歩行者が車両に衝突する事故事例のうち、歩行者の衝突後の挙動がラップ軌跡だった事例（9件）を選定し、脳傷害と各力学的パラメータの関係を求めた。歩行者の衝突後の挙動については、ラップ軌跡だけでなく、その他の挙動（フェンダー落下、サマーソルト、ルーフ越え、etc.）もあることから、他の挙動についても脳傷害と最大ひずみの関係について検討する必要がある。

また、歩行者の年齢や体型も重要であり、今後、事故分析をもとにした事故再現シミュレーションを行っていきたい。

7. まとめ

本研究では、人体の骨格・脳・内臓が精密に再現されたバーチャル人体モデルTHUMS ver.4.02 AM50を使用し、米国ミシガン州の歩行者・自転車事故データベースであるVIPAの情報をもとに脳傷害が発生した歩行者事故事例（9件）について事故再現シミュレーションを行った。

実際の事故で発生した脳傷害の最大AISと、事故再現シミュレーションにおいてTHUMSで発生した力学的パラメータの関係を調査した結果、脳の最大主ひずみと、最大相当ひずみが最も強い相関（相関係数：0.96）を示した。このことから、外傷性脳損傷の重症度をTHUMSの脳実質に発生する最大ひずみの値で予測できる可能性があることが示唆された。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、VIPAメンバーの協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

(1) 内閣府： 令和2年度交通事故の状況及び交通安全施策の現況　令和3年度交通安全施策に関する計画, pp.3-4

(2) SanBio：外傷性脳損傷とは？ https：//www.sanbio.com/advantage/sb623/tbi/

(3) Wang, S. et al.：Vulnerable Road User Injury Prevention Alliance（VIPA）：Early Data and Insighets, JSAE Annual Congress Proceedings（2019）,20195095.

(4) Ravani Bahram：Pedestrian post-impact kinematics and injury patterns, SAE Transactions, pp.3279-3292,（1981）

(5) Ashton, S.J., G.M. Mackay.：Benefits from Changes in Vehicle Exterior Design：Field Accident and Experimental Work in Europe, Proceedings Pedestrian Impact and Injury Assessment, Detroit, March 1983.

(6) Nahum A.M., Smith R. and Ward C.C.：Intracranial pressure dynamics during head impact, Proc. 21st Stapp Car Crash Conference, pp.339-366

(7) Takhounts, E.G., Ridella, S.A., Hasija, V., Tannous, R.E., Campbell, J.Q., Malone, D., Duma, S.：Investigation of traumatic brain injuries using the next generation of simulated injury monitor（SIMon）finite element head model, Stapp Car Crash J., Vol. 52, p.19

(8) Deck C. and Willinger R.：Head injury prediction tool for predictive systems optimization, 7th European LS-DYNA conference, p.8

(9) 渥美範俊，中平祐子，岩本正実，平林智子，田中英一：頭部回転加速度波形が脳内ひずみに及ぼす影響の調査,「自動車技術会論文集」,Vol.47,p.1393,2016

(10) C. Moure-Guardiola et al.：Evaluation of combat helmet behavior under blunt impact, Applied Sciences, vol.10, p.8470, Nov. 2020. doi：10.3390/app10238470.

【著　者】

吉川　満晴

江島　　晋

山本 健太郎

SUBARU「インプレッサ」一部改良モデルを発表

～インプレッサ誕生30周年を記念した特別仕様車を設定～

2021年12月16日

SUBARUは、「インプレッサ」を一部改良し、本日発表しました。
さらに、インプレッサ30周年を記念し、1.6i-S EyeSightの内外装にSTI Sportのスポーティな世界観を加えた特別仕様車「1.6i-S EyeSight AccentBlack」を設定。専用デザインのホイールや、エクステリアをブラックカラーでコーディネートすることで引き締まった印象に仕上げました。

インプレッサ SPORT 特別仕様車「1.6i-S EyeSight AccentBlack」

ディープラーニングを用いた歩行者事故における頭部挙動の予測

Prediction of Head Behavior in Pedestrian Accidents Using Deep Learning

外 処 凌 雲* TODOKORO Ryoun
長 橋 晴 彦* NAGAHASHI Haruhiko
山 本 健太郎* YAMAMOTO Kentaro

抄 録

日本では、死亡交通事故における歩行者の割合が最も高く、歩行者事故の更なる対策が急務である。歩行者事故では頭部を受傷する頻度が高いことから、頭部の挙動を把握する必要がある。しかしながら、市場で発生する歩行者事故は様々な形態であり、コンピュータ上で再現し評価することは、莫大な計算時間が掛かり現実的ではない。

ここでは、様々な衝突形態を効率的に評価するために、CAE(Computer Aided Engineering)とディープラーニングを組合せ、頭部衝突速度が速い衝突形態の特徴の抽出に取り組んだ。これにより、予測精度を保ちながら、短時間で頭部挙動の評価が可能となった。本稿ではその詳細について述べる。

Abstract

In Japan, the proportion of pedestrians in fatal traffic accidents is the highest, and further measures for pedestrian accidents are urgently needed. In pedestrian accidents, the head is frequently injured, so it is necessary to understand the behavior of the head. However, pedestrian accidents that occur in the real world are in various forms, and it is not realistic to reproduce and evaluate them on a computer because it takes a huge amount of calculation time.

Here, in order to efficiently evaluate various collision forms, we combined CAE and deep learning to extract the characteristics of collision forms with high head collision speed. This made it possible to evaluate head behavior in a short time while maintaining prediction accuracy. This article describes the details.

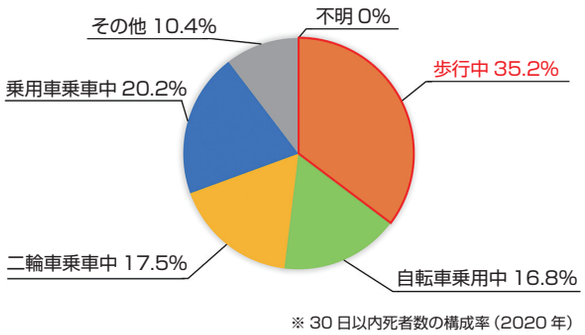
1. まえがき

予防安全性能や衝突安全性能の向上、また救急体制や医療体制の充実化により、日本における交通事故死者数・重傷者数は減少傾向にある[(1)]。一方で、交通事故による社会的損失は依然として大きな問題となっている[(2)]。自動車メーカには交通事故の防止および事故発生時の被害低減が求められており[(3)]、各企業では死亡交通事故ゼロに向けた取り組みとして、自動運転技術の確立や衝突安全技術のさらなる向上に努めている。

当社では、「0次安全」、「走行安全」、「予防安全」、「衝突安全」の4つの安全思想から成り立つ「総合安全」思想という考えに基づいて長年クルマを開発してきた。また、この4つの注力分野を強化すると共に「つながる安全」を加え「知能化技術」を活用することにより、2030年死亡交通事故ゼロの達成を目指している[(4)]。

筆者らは、「衝突安全」分野のさらなる強化に取り組んでおり、特に歩行者や自転車などの交通弱者の保護性能の改善に注力している。ここで、日本における交通事故死者数の構成率[(1)]を確認すると、歩行中の割合が最も高く、歩行者交通事故のさらなる対策が急務であることが分かる(**図1**)。歩行者事故対策を行うためには、市場で発生する様々な衝突形態を網羅的に評価し、危険な衝突条件を把握する必要がある。本稿では、様々な衝突形態を効率的に評価するために、ディープラーニングを用いて歩行者頭部の挙動予測に取り組んだ事例について紹介する。

* 車両安全開発部



※ 30 日以内死者数の構成率（2020 年）

図 1　日本における交通事故死者数の構成率

2.　歩行者頭部挙動の評価

2.1　CAEの検討方法

歩行者に発生する頭部傷害を精度良く見積るためには、生体忠実度の高い人体有限要素モデル[5]と詳細な車両モデルが必要となる。しかしながら、限られた開発期間の中で、様々な衝突形態を詳細な有限要素モデルで評価し対策検討することは困難である。

そこで、効率良く検討を進めるために、2段階の検討ステップによる傷害評価手法を考案した(**図2**)。検討の流れとして、まず計算コストの低いマルチボディモデル(MADYMO：Mathematical Dynamic Models)[6]により歩行者の挙動を評価する。その後、マルチボディモデルで得られた歩行者の挙動の情報を元に、頭部を模擬した有限要素モデルの頭部インパクタ[7]の解析条件を決定し、傷害値を評価する。なお、頭部インパクタによる傷害値評価は、歩行者の挙動から傷害値が大きいと想定される衝突形態のみを実施することで解析ケース数を削減する。

このように、歩行者の挙動解析と傷害値解析を使い分けることで、効率良く検討を進めることが可能となった。なお、歩行者挙動解析では計算コストを低減するため車両を剛体モデルとしている。

2.2　様々な衝突形態の評価

計算コスト低減の工夫により、CAEの解析時間を大幅に短縮することが可能となった。しかしながら、市場で発生する様々な衝突形態を再現するには、歩行者の体格や車両の種類、衝突速度や衝突位置など、様々なパラメータが必要となり、その組合せは無数に存在する。そのため、解析時間の短い歩行者の挙動解析を用いても、想定する全ての衝突形態を解析するには莫大な計算時間が掛かってしまう。

そこで、想定する衝突形態の組合せから一部を選択して歩行者の挙動解析を実施し、その結果を元にサロゲートモデルを構築することにより、想定する全ての衝突形態の予測に取り組む。なお、サロゲートモデル

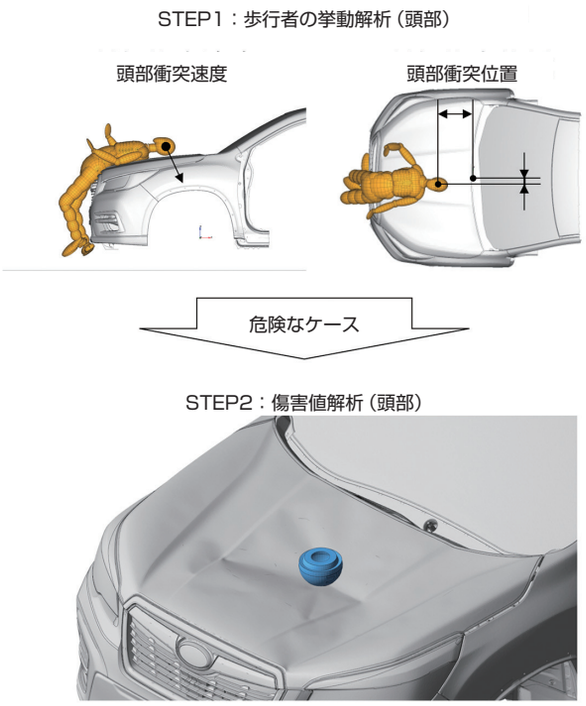


図 2　傷害値評価の検討ステップ

とは、CAEを代理表現するものであり、複雑な数値シミュレーションを行わずに入力情報から出力結果を予測するため、計算時間が非常に短いというメリットを有する。ここでは、これらの取り組みに向けた準備として、歩行者の挙動解析結果5,760件を使用し、未知の衝突形態でも歩行者挙動を予測可能か検証する。

2.3　歩行者挙動解析の概要

本稿で紹介する歩行者の挙動評価では、歩行者保護検討の一例として、交通事故で受傷した際に致命傷になりやすい頭部に着目して説明する。様々な衝突形態を表現するために設定した設計パラメータを**図3**に、各設計パラメータの水準数を**表1**に示す。

歩行者の設計パラメータは、体格を代表する頭部中心高さ、歩行速度、車両と歩行者の衝突角度、ならびに衝突時の衝突位置である。一方、車両の設計パラメータは、走行速度、ボンネット前端の高さを代表する寸法であるBLE(Bonnet Leading Edge)高さを用いた。BLE高さは、歩行者と車両の衝突後に歩行者の上半身が車両に倒れ込む際の回転中心付近となるため、車両形状を表現する上で重要であると考え設計パラメータに設定した。なお、歩行者の上半身が倒れ込んだ際に衝突するボンネットに関しては、当社の車両では、ボンネットの角度に大きな差は見られないことから、車両形状の表現に不要であると考え省略した。また、水準数は非線形性を確認できるように最低でも3水準とし、非線形性が強いと想定される設計パラメータには水準数を多く設定した。これらの設計パラメータを

元に歩行者の挙動解析を行うことで、歩行者が車両と接触してから(t_0)、頭部が車両に衝突するまで(t_1)の時間差分である頭部衝突時刻($t_1 - t_0$)や頭部衝突速度、ならびに頭部衝突座標を評価した(図4)。

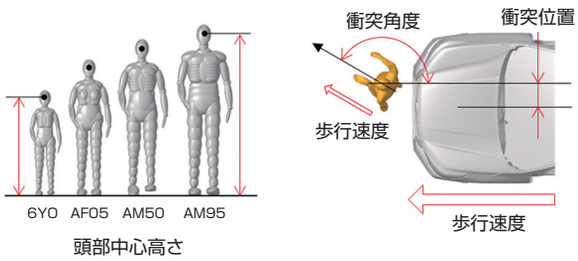


図３　設計パラメータの定義

表１　設計パラメータの水準数

	設計パラメータ	水準数
歩行者	頭部中心高さ	4
	歩行速度	3
	衝突角度	8
	衝突位置	5
車両	走行速度	3
	BLE 高さ	4
Total		5,760

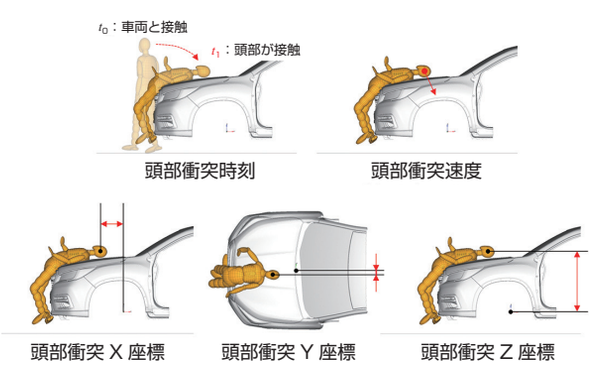
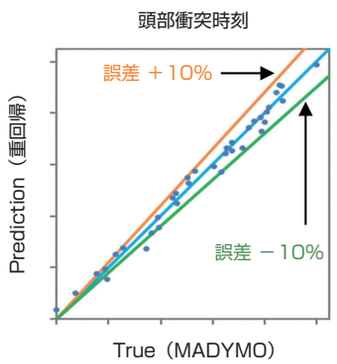


図４　歩行者挙動の評価項目

3.　歩行者頭部挙動の予測と精度検証

3.1　重回帰モデルによる歩行者挙動の予測

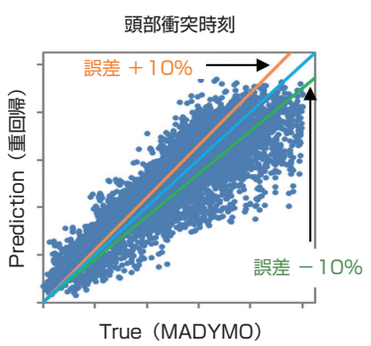
頭部衝突時刻の予測に関しては、重回帰式を用いたサロゲートモデルの構築を試みており、設計パラメータが頭部中心高さ、BLE高さの2つと少ない条件であれば、歩行者挙動を精度良く予測することが可能であった(図5)。しかしながら、設計パラメータが3つ以上存在する条件では、設計パラメータの非線形性や相互作用の影響により予測精度が大幅に悪化してしまい、歩行者の挙動評価には用いることは出来ないと判断した(図6)。そこで、複雑なサロゲートモデルも構築可能なディープラーニングの1つであるDNN(Deep Neural Network)[8]を利用し、歩行者挙動の回帰予測モデルの構築に取り組んだ。



$$y = 0.629x_1 - 0.329x_2 + 0.355$$

x_1：頭部中心高さ　　x_2：BLE 高さ

図５　重回帰式による予測 (2 パラメータ)



$$y = 0.426x_1 + 0.03x_2 - 0.083x_3 - 0.019x_4 - 0.102x_5 - 0.255x_6 + 0.489$$

x_1：頭部中心高さ　　x_2：歩行速度　　x_3：衝突角度
x_4：衝突位置　　x_5：歩行速度　　x_6：BLE 高さ

図６　重回帰式による予測 (6 パラメータ)

3.2　DNNによる歩行者挙動の予測

DNNは、人工的に脳の構造を模倣したモデルであり、脳神経細胞を模したニューロンを層毎に並べ、入力層－中間層－出力層の多層構造で構成される。今回用いたDNNの構造を図7に示す。入力層で各設計パラメータの数値が読み込まれ、中間層で特徴量を算出し、出力層で歩行者の挙動評価の予測値が出力される。DNNの学習には解析結果5,760件からランダムに選択した80%を訓練データとして用い、残りの20%は予測精度の検証データとして用いた。

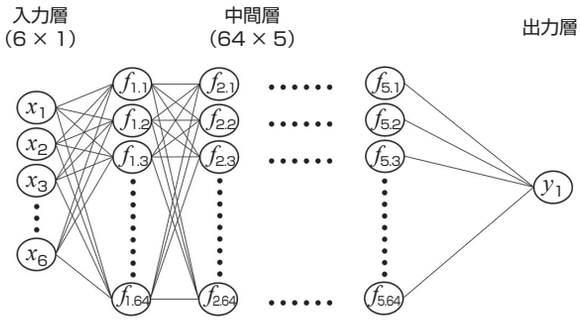


図７　DNN の構造

検証データにおける歩行者挙動の解析結果（MADYMO）と予測結果（DNN）の比較を図８に示す。乖離の大きなケースも見られるが、全ての評価項目で、検証データの90%以上が予測誤差±10%以内となっており、未知の設計パラメータの組合せに対しても高い精度で予測することができた。なお、今回は学習データをランダムに選択しているため、乖離の大きなケースでは設計パラメータが学習の範囲外に存在している可能性がある。

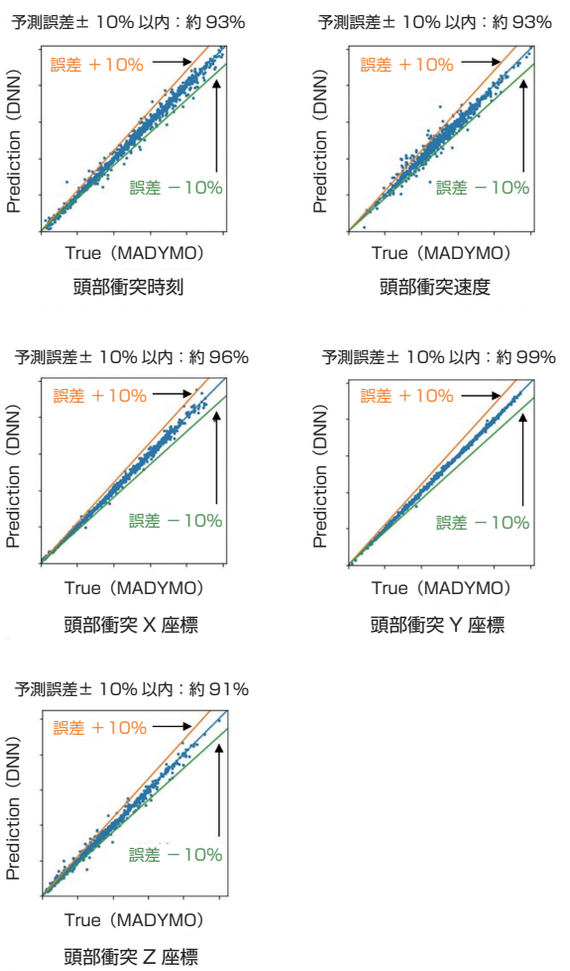


図８　DNN による歩行者挙動の予測精度

4.　DNNの活用

構築したDNNを用いて、様々な衝突形態の予測を行い、頭部傷害値が大きいと想定される衝突形態の特徴の把握に取り組む。

4.1　様々な衝突形態の予測

設計空間の網羅的な評価を行うため、表２に示す様に設計パラメータの水準数を増やし、約250万ケースの予測を実施した。CAEでは5,760件の解析を終えるのに約半月掛かっており、仮に今回の予測ケースを全て解析したとすると10年以上掛かる計算になる。一方で、DNNでは約10分で全ケースの予測結果を出力しており、大幅な時間短縮を実現することができた。

表２　設計パラメータの予測水準数

	設計パラメータ	学習 水準数	予測 水準数
歩行者	頭部中心高さ	4	30
	歩行速度	3	5
	衝突角度	8	22
	衝突位置	5	17
車両	走行速度	3	11
	BLE 高さ	4	4
Total		5,760	2,468,400

4.2　予測結果の分析

ここでは、頭部の加速度による傷害と強い正の相関の見られる頭部衝突速度に着目して分析を行った。予測結果の約250万ケースの内、歩行速度が0 km/h（止まっている）の条件である約50万ケースの頭部衝突位置、衝突角度、頭部衝突速度の関係を図９に示す。衝突位置と頭部衝突速度の関係に注目すると、衝突位置が車両の中央に近いほど、頭部衝突速度の速いケースが増加していることが分かる。また、衝突角度と頭部衝突速度の関係に注目すると、衝突角度が歩行者の後方になるほど、頭部衝突速度の速いケースが増加していることが分かる。したがって、車両の中央付近で歩行者後方から衝突する条件で、頭部衝突速度が速くなるという特徴を有することが分かった（図９）。

次に、BLE高さに注目すると、BLE高さによって頭部衝突速度が速くなる条件が異なることが分かった（図10）。BLE高さの低いスポーツカータイプの車両では、頭部衝突座標が車両の前端から遠くなるほど頭部衝突速度が速くなる傾向にある。一方、BLE高さの高いSUVタイプの車両では、ボンネットの中央付近で頭部衝突速度のピークが存在する。頭部衝突時の

X座標は、歩行者の身長が低いと車両前端側、身長が高くなるほど車両後方へと変化する（図11）。したがって、BLE高さの低い車両では身長の高い歩行者ほど頭部衝突速度が速くなるという特徴があり、BLE高さの高い車両では、標準的な身長の歩行者ほど頭部衝突速度が速いという特徴を有することが分かった。

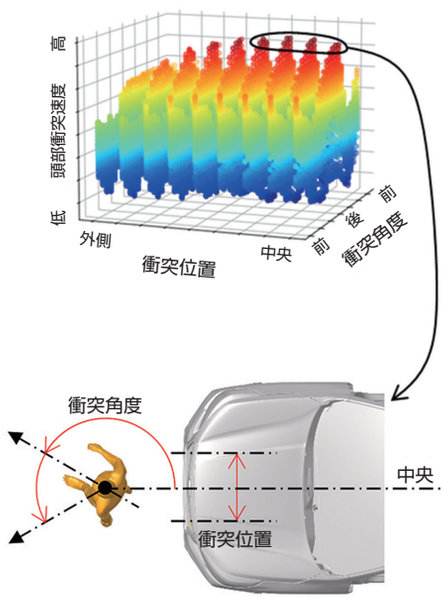


図９　頭部衝突速度の速い条件に共通する特徴

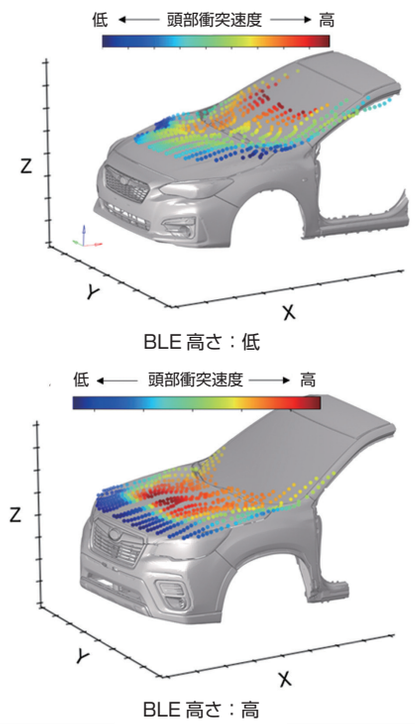


図 10　BLE 高さにより異なる特徴

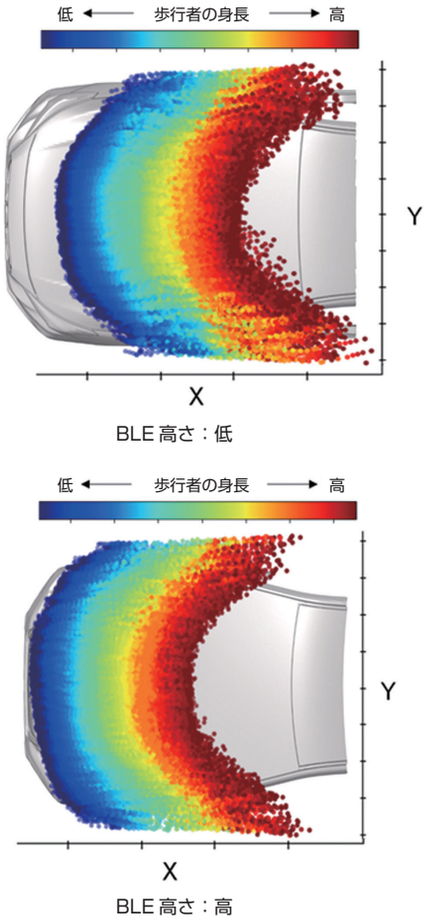


図 11　歩行者の身長と頭部衝突座標の関係

4.3　頭部衝突速度の検証

DNNを用いて得られた頭部衝突速度の速い衝突形態について、MADYMOによる歩行者の挙動解析で検証を実施した。検証には、BLE高さの低い車両と高い車両の2条件に対し、頭部衝突速度の速い衝突形態を各3ケース選択し、解析した（図12）。DNNによる予測は6ケースとも誤差±5%以内に収まっており、頭部衝突速度の速い衝突形態を正しく抽出することができていることを確認した。また、BLE高さの低い検証ケースでは、学習データよりも頭部衝突速度の速い衝突形態を抽出することができた。したがって、高い予測精度を有すれば、傾向把握だけではなくワーストケースの絞り込みも可能であると考える。

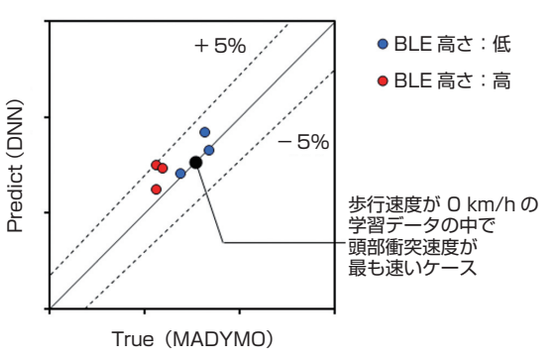


図 12　頭部衝突速度の検証結果

5. まとめ

本研究では、設計空間の網羅的な評価を行うには莫大な計算時間が掛かるという問題に対し、瞬時に精度良い予測が可能なDNNモデルを構築した。また、構築したDNNモデルを活用することで設計空間の網羅的な評価が可能となり、頭部衝突速度が速い衝突形態の特徴を短い時間で抽出することができた。

今回は、歩行者事故時の歩行者の頭部挙動を題材としたが、本検討での取り組み内容は様々な課題に対しても適用可能である。今後は、歩行者の姿勢や体型、サイクリストまでを考慮した挙動評価に適用範囲を広げ、より安全な車両開発に貢献する。

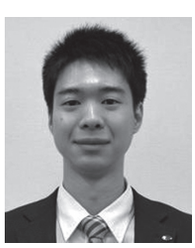
謝辞

本論文の作成にあたり、ディープラーニングに関する教育の機会を設けて下さった国立大学法人群馬大学大学院理工学府の岩瀬特任教授に深く感謝する。また、白石洋一准教授、福田悠人特任准教授、茂木和弘助教には、技術的な教育やアドバイスを頂いた。心より感謝する。

参考文献

(1) 警察庁：令和3年における交通事故の発生状況等について, https：//www.npa.go.jp/news/release/2022/20220303jiko.html（2022-5-30）
(2) 内閣府：交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査（平成29年3月）, http：//www8.cao.go.jp/koutu/chou-ken/h28/index.html（2022-3-29）
(3) 国土交通省：自動車アセスメント, https：//www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/02assessment/index.html（2022-7-7）
(4) 株式会社SUBARU：「SUBARU 技術ミーティング」プレゼンテーション資料, https：//www.subaru.co.jp/press/file/uploads/news/2020_0120_000002.pdf（2022-7-1）
(5) K. Shigeta, et al.：Development of Next Generation Human FE Model Capable of Organ Injury Prediction, Proceedings of the 21st International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles（ESV）, 2009, Paper Number 09-0111
(6) Siemens Industry Software and Services BV：Simcenter Madymo Human Body Models Manual, Release 2020.2
(7) Y. Matsui, et al.：Development of JAMA—JARI pedestrian headform impactor in compliance with ISO and IHRA standards, International Journal of Crashworthiness, Vol.9, 2004, pp.129-139
(8) 猪狩宇司, ほか：深層学習教科書 ディープラーニング G検定（ジェネラリスト）公式テキスト 第2版, 2021年（翔泳社・東京）, pp.158-160

【著　者】


外処　凌雲

長橋　晴彦

山本 健太郎

カーボンニュートラルに向けた内燃機関向け合成燃料の調査および実証試験

Synthetic Fuel Studies for the Carbon-Neutral Transportation Sector

大岩浩司[*1] OIWA Hiroshi
加藤真亮[*1] KATO Masaaki
中山智裕[*1] NAKAYAMA Tomohiro
桂拓未[*1] KATSURA Takumi
志岐昌美[*2] SHIKI Masami
アレッサンドロ フェラーリ[*3] Alessandro Ferrari
マーティン ポピルカ[*3] Martin Popilka

抄録

運輸部門の脱炭素化を目的として再生可能エネルギーを基盤としたPtX技術、インフラ、車両検討を行った。乗用車についてはエネルギー変換効率の観点で効率が高い国内オンサイトPtPと、既存の社会インフラの利用が可能で投資コストメリットが大きくエネルギーの備蓄と安定化に有効なPtLが有効である。PtPを用いたBEV及びPtLを用いたICE・PHEV車両についてLCAでのCO2排出を検討し2050年にて80%削減に必要となる技術とそれらの目標値を試算した。PtLで必要となる液体炭化水素合成燃料を試作しガソリン直噴エンジンにて燃焼試験を行った。燃費と燃焼特性としてはドロップイン可能な性能を持ち、一方HCやPNなど排ガス性能には改善の余地がある事が分かった。

Abstract

This study examines PtX technologies, social infrastructures, and vehicles based on renewable energy aiming for decarbonization in the transportation sector. For the passenger cars in the sustainable future, Japan on-site PtP and PtL are effective. Japan on-site PtP is highly efficient in energy conversion, and PtL can utilize the current social infrastructure and has big investment cost merits for energy storage and stabilization. LCA CO2 of BEV, ICE, and PHEV were calculated to clarify technologies and their targets required for 80% CO2 reduction by 2050. A synthetic fuel required for PtL was tested with a gasoline direct injection engine, and it was clarified that exhaust emissions of HC and PN can be further improved.

1. まえがき

パリ協定による国家間の気候変動枠組み条約に始まり、昨今では地球温暖化抑止に向けた持続可能社会の実現のための取り組みが各企業活動の責務の一部として重要な位置を占めるようになってきている。SUBARUでは中期経営方針に始まり北米で起案された“Subaru Love Promise”活動において“Love Means Being More Than a Car Company.”というスローガンやそれらの具体的活動施策にあるように、経営から開発、販売に至るまで企業活動の端々までグローバルサステナビリティの実現に向けた活動を行っている。自動車部門に目を向ければ「2030年までにEV、HEV車販売比率を40%以上」「2050年までにWell-to-Wheelで2010年比CO2を90%以上削減」という中期目標を掲げてそれらを達成すべく「持続可能な社会における運輸部門の将来像」に関するカーボンニュートラル(CN)化の具体的な検討と技術開発が進められている。

2. エネルギー

運輸部門における乗用車パワートレーンの技術方向性を検討するため、1次エネルギーの動向について検討を行った。全世界におけるエネルギー消費量は、2020年から2050年にかけて30%の増加が見込まれている[(1)]。それらは主に新興国と発展途上の国で経済生産が3倍に成長すると同時にエネルギー使用量が50%増加する事が主要因であり脱炭素化と経済成長の両立が求められている。そこには石炭の消費が低減する一

＊1 車両環境開発部
＊2 材料研究部
＊3 P1 Performance Fuels GmbH

方、天然ガスの消費量は増加する事も含まれる。

先進国ではエネルギー消費量の低下も予想される。

日本国内のエネルギー消費量[(2)]に目を移すと**図1**に示すように、2005年をピークに減少傾向となっている。国内では人口減少[(3)]に伴うエネルギー消費量の低下に伴い、2050年には1次エネルギーの消費量は約16EJ程度まで減少すると考える。**図2**に2020年における1次エネルギーの部門別、種類別の消費量を示す[(2)]。エネルギー源に着目すると、2020年段階において水力や原子力を除く再エネは1次エネルギー全体の6.7%、電源構成比で12%を占める。面積当たりの再エネ密度で換算すると59万kWh/km^{2}と、再エネ先進国である欧州のドイツの56万kWh/km^{2}を上回る[(4)]。その一方で1次エネルギーの約85%は化石燃料である天然ガス、石油、石炭で賄われており、外国からの送電網やパイプラインの無い島国特有の海運によるエネルギー輸入と港湾地区における備蓄、そして高密度のエネルギー変換という社会インフラが垣間見える数字である。エネルギーの最終消費量において運輸部門は全体の22.3%の2.7EJで原油換算にして約19万kℓ/dayを消費している。これは変換効率を経て使われる運動エネルギーに換算すると、家庭部門における総消費電力1.0EJに近しいエネルギー消費量である。今後、日本政府のエネルギー基本計画[(5)]によれば、再エネ比率は2030年段階の1次エネルギーにおいて23%、炭化水素燃料は約68%を見込んでいる。この一見低く見える目標は日本の国土が平地面積はドイツの半分、遠浅の海はイギリスの1/8、日射や陸上の風況も然程恵まれているとは言えない日本特有の地政学、地域経済学的な課題によるものである。2030年における野心的再エネ導入目標である3,530億kWhへ向けた投資トレンドがその後維持され、2010年から2030年の増加量Δ0.83EJをその後も維持した仮定で、2050年においては原子力2.7EJ、水力0.73EJバイオマスポテンシャル0.51EJ[(6)]を最大量加味すると国内自給可能エネルギーは最大で約6.0EJとなる。2050年段階においては1次エネルギー16EJに対し、化石燃料を含め、Power to X：PtXによりエネルギー変換され固気液体の形で輸入される1次エネルギーが、なお約63%必要であると分かる。これは運輸部門においても海運による固気液体エネルギー輸入による社会インフラを想定する必要性を示しており、その上で2050年の二酸化炭素の排出は部門収支上ゼロにする必要がある。

2.1　PtXの効率とインフラ

持続可能な社会インフラとしてこれら車両に供給されるエネルギーを考える場合、再生可能エネルギー電力(Power)から、電気エネルギー(Power)として使用をPower to Power(：PtP)、気体燃料に変換する場合をPower to Gas(：PtG)、液体燃料に変換する場合をPower to Liquid(：PtL)と分類できる。

各代表的な形態におけるエネルギーを保持した形での体積・質量密度を**図3**に示す。電子やイオンを用いたバッテリ、化学エネルギーであるガス、液体燃料の順にエネルギー密度が高く、質量エネルギー密度に関しては炭化水素よりも水素燃料の方が高い位置にある。これらは再エネからエネルギーを圧縮し安定に保持し運搬する際、持ち運べるエネルギー量の指標であり航続性能を表す指標として用いられる。航空宇宙分野の原子力電池などを除き、液体水素、燃料電池やケロシンなど、高性能で長大な航続距離が必要とされる自立型運輸機器に液体燃料が用いられる所以である。

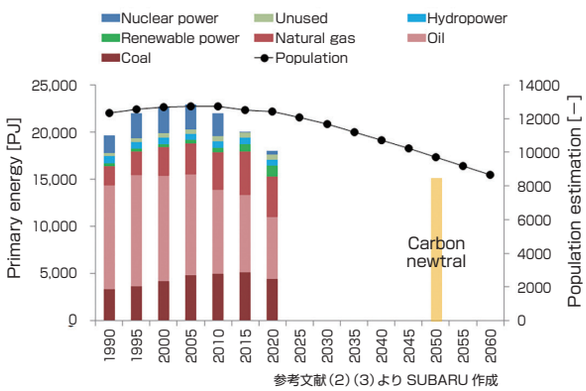


図1　日本国内の1次エネルギーと人口推計

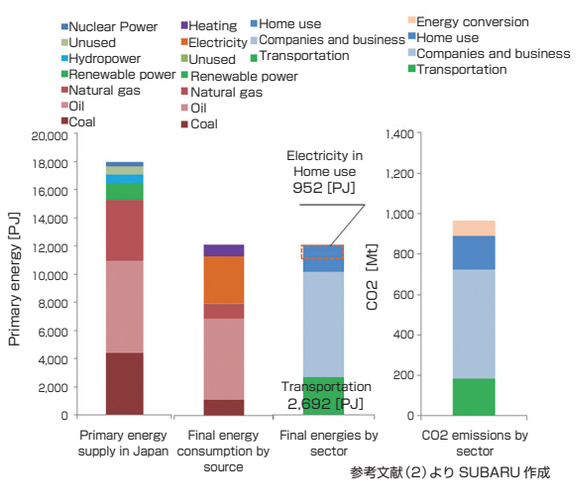


図2　2020年における日本のエネルギー消費内訳

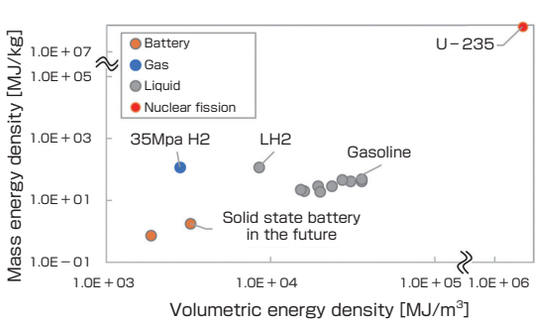


図3　エネルギー密度

運搬可能なエネルギー量に加え、風力や太陽光などの自然由来の再エネ発電電源には、設備稼働率自体が低く、それ自体は大規模エネルギーストレージ機能を有していないという課題が存在する。よって、社会インフラに用いた際はスワンカーブと呼ばれる従来発電設備への急激な電力要求を生むことも知られている。これらを解決するためには再エネ主体のPtP経路中にはエネルギーストレージ機能が必用となる事が知られているが、運輸部門においてはその消費エネルギーの約20%が車両以外のインフラとして必要であると言われている[7]。その観点でもPtP経路の安定化のためにエネルギー体積密度が小さいPtG、PtL変換によるストレージが有効である。

現在運輸部門のCNを達成する手段としては一般に電気自動車（BEV）、燃料電池車（FCEV）のほかに水素を燃焼させて用いる内燃機関車などが話題に上がる。それらを含め、ガス燃料や液体燃料を用いた内燃機関（ICE）自動車を含めたPtXの経路を検討した。ここでPtXを考える上で重要な事は自動車から直接排出されるCO2だけではなく、輸送エネルギー、エネルギー変換過程を含めた脱炭素化を考慮した上での最適、つまり効率と経済性が高く、消費者が扱いやすく社会経済的に実現可能な技術経路を選ぶ事である。**図4**に前章で検討した日本国内エネルギーインフラを想定した市場において、自動車へエネルギーが供給されるまでのPtX経路の模式図を示す。例えば最も効率の高い国内発電した再生可能エネルギーからBEVに供給する場合でさえ送電ロスなどが存在するし、輸入した液体水素で既存発電インフラを活用し発電に使用した場合はその経路にエネルギー変換効率が考慮される必要がある。同じく水素やガスと液体などの合成燃料についてもその経路には製造効率、輸送ロスなどが存在しており、排出した二酸化炭素の回収などについても考慮する必要がある。**図5**中のa国内再エネのBEVへの再エネ充填は効率が約87%と、送電、変換ロス、充放電効率を考慮しても非常に効率が高い。一方で同じBEVでも輸入液体水素について火力発電を経由して使用した場合は図中bで示す様に発電のGas to Power：GtP変換効率が68%となっておりWtTでは59%となる。液体水素輸入から高圧ガス化して車両に搭載してFCEV利用する場合の効率はcで示す様に、ボイルオフや高圧のガス製造などによる損失によりWtTで56%となる[8]。液体合成燃料のWtT効率では全て再エネの使用を前提として、最も効率が高いのがメタノール：MeOHで54%、最も低いのはOxymethylene Ether： OMEとバイオ燃料で約42%であった。液体合成燃料の効率に関してはコストやCO2量とは異なり、輸送・給油の寄与が小さくプラントの製造効率が支配的であった。

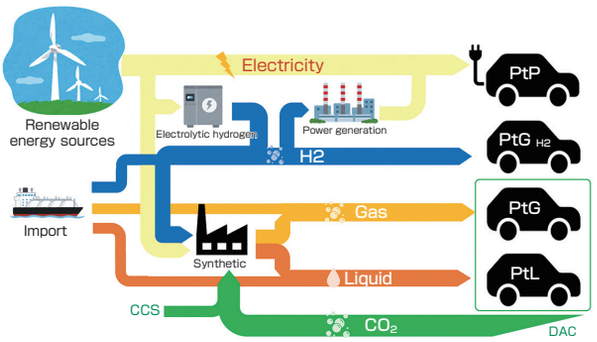


図４　PtX

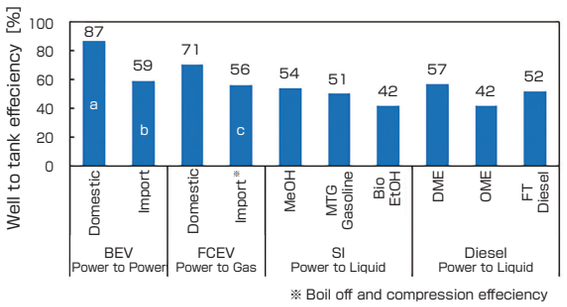


図５　エネルギー変換効率（Well to Tank）

次に車両におけるパワーユニット毎のエネルギー変換効率を**図6**に示す。最も効率が高いのはBEVで車両効率がモーターのエネルギー変換効率や減速時の回生エネルギーの利用などにより78%であった。一方で内燃機関によるエネルギー変換行程を含む火花点火機関では24%、HEV車両では31%の効率となっている。

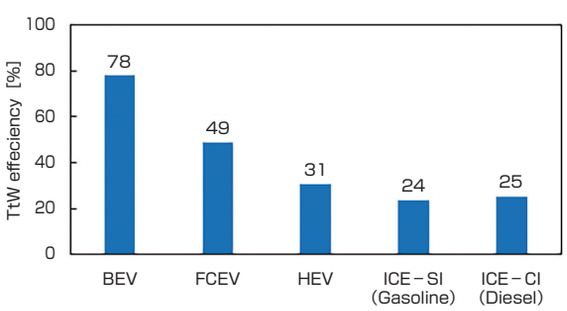


図６　車両効率（Tank to Wheel）

Well to Tank、Tank to Wheelの両効率を考慮すると、前章で述べた国内発電の再エネ電力の範囲においてはBEVのPtPは約68%と高い効率で運用できると考えられる。しかし、海外からのエネルギー輸入を考慮するとその効率はBEVで46%、FCEVで28%となる。これに対しPtLを用いた合成ガソリンHEV車で16%のエネルギー効率となる。

それらを実現する社会インフラについて検討を行

う。各々 500 km走行に必要となるエネルギーについて車両へのチャージに必要な時間と顧客が使用する充填装置のインフラのコストを**図7**に示す。同図よりエネルギーの充填時間についてはBEVのPtPが最も長くなっており150 kWの急速充電で約26分。PtLの液体燃料では最も短くディーゼルの1.0分からMtOHの2.3分の間に分布する。一方のインフラコストではPtGの水素充填設備が3.3億円で別格に高額であり、次いでPtLの液体燃料のスタンドが7.5千万円となる[9][10]。PtGの水素インフラは備蓄設備に加え、充填のための高圧圧縮設備にコストがかかるためである。エネルギー密度に依存するエネルギー充填時間は、車両の設備占有時間を意味し、社会的に必要とされるエネルギー充填インフラ総数と比例する。PtPのBEV充電設備は、エネルギー密度の高いPtL液体燃料スタンドの約10倍以上の数が必要となる事を考慮する必要がある。要求設備総数とコストを積算すると顧客が不満なく使用するのに必要な設備投資額が分かる。要求設備投資が従来の液体燃料ステーションは国内2.9万カ所で2.2兆円の設備総額である。水素ステーションでは現在では水素ディスペンサー数が少なく、必要ステーション数は膨大となり現実的ではない、そこで水素ディスペンサー1機辺りに換算し約11.6万機必要となるディスペンサー数から得られる水素ステーション設備投資額は約19兆円となった。BEV用充電設備では社会的に必要となる車両への充填エネルギーの50%を、3.2 kWの通常充電機、50%を150 kWの急速充電機に分担した仮定の下で、それらの合計設備投資額を算出した。3.2 kWの通常充電機が家庭用・出先・事業用の計7300万台、150 kW急速充電機が155万台で合わせて約51兆円となった。顧客に不満の無い運輸部門の社会インフラへの必要投資額の大きさが分かる。加えてこれらは顧客の触れる部分のみのインフラ投資額である。実際には液体燃料において製油、配送、備蓄設備が必要となるのと同じく、BEVのPtPを例にすれば発電、送電、蓄電インフラへの設備投資も必要となり運輸部門の陸上輸送全体について完全電化を想定するとインフラ投資は発電設備を除いても全体で百兆円規模となる事が予想される。

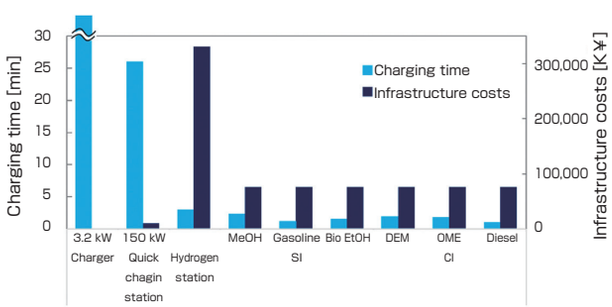


図7　インフラコストおよび充填時間の比較

以上を踏まえると運輸部門の将来像としては、1次エネルギーにおける再エネ割合の増加に合わせた給電インフラ投資を行い、インフラの整った地域においてPtPを利用したBEVを利用する。加えて日本国内においては海外からのエネルギー輸入を含むPtGやPtLを用いる事が有効であるが、こと水素インフラについては新規の設備投資が必要で既存液体燃料インフラの約9倍と高額の投資額であるため事業者向けと考える。一方で液体燃料は既に社会インフラが存在しており、加えてハイブリッドおよびプラグインハイブリッドというPtLからPtPをリニアに繋ぐ技術がすでに市場に存在しているというメリットが大きい。よって、再エネ比率を増やしていく中で、PtLによる脱炭素化した液体合成燃料を用いた社会インフラ活用はCN化に向けた有効な技術経路であると言える。

2.2　ライフサイクルアセスメント

車両のライフサイクルで排出されるCO2について検討を行い、今後のカーボンニュートラル化に向けた車両開発の技術課題と投入技術の目標値の算出を行った。今回の検討では先に述べた1次エネルギー、エネルギーインフラの連続性と社会受容性の観点より検討対象とした車両には純粋な内燃機関のみを搭載したICE、PHEV、BEVを選択し、内燃機関搭載車についてはガソリンエンジンを想定した。EV走行時のCO2排出量の算出には日本国内の電源構成とそれらの予測値を用いた。そこから各車種の車両製造、材料や油脂類の製造、10万kmの走行、燃料の製造・輸送など商品ライフサイクルにて生じるCO2の算定を行った。目標値は2020年度の内燃機関車のCO2排出量に対しΔ46%、Δ80%とした。また、2030年、2050年時点で**表1**に示す技術投入を前提としたCO2削減量を考慮した。これら技術による将来CO2削減量については多分に仮定を含んでおり、技術目標に近しい意味合いを持つ数字となっている。製造技術に関するバッテリを含む材料、および車両製造時に生じるCO2は2030年に50%、2050年段階で80%の削減を仮定した。2030年にはバイオマスと合成燃料を含む合成燃料の投入により燃料消費で排出されるCO2のうち10%のCO2削減を見込んでいる。これらは日本国内におけるバイオマスの総エネルギーポテンシャル510PJ[6]に対しを**図5**に示すPtL効率にて液体燃料化した年間の燃料製造量に基づいた値とした。2050年においてはBEV向けの社会的なPtP給電インフラの拡充の効果によりPHEV車両でも25%のEV走行を仮定し、その逆に電力発電において完全に脱CO2化されず排出されるCO2についてはCarbon dioxide Capture and Storage：CCSによる回収と再度合成燃料製造へ投入する事で発電排出

CO2も80%削減を織り込んでいる。2050年の燃料消費によるCO2についてはバイオマス由来燃料と国内外で製造される合成燃料を市場投入する事で発電と同等となる80%のCO2削減を見込んだ。

Life Cycle Assessment：LCAによるCO2検討の結果を**図8**に示す。2020年においてICE車はLCAのCO2で約24 tを排出している、PHEVで20 t、BEVで17 tのCO2排出である。特にICE車においては走行中排出CO2の割合が18 tと多く、一方でBEV車両の走行で排出されるCO2は6.1 tであった。BEV車両では既に知られているようにバッテリ製造のCO2排出が5.3 tと車両製造で生じる4.7 tと同等以上と大きく、バッテリの耐久性が10万キロ未満となるとCO2排出量は現時点でもPHEVと逆転する可能性が既に顕在化している。ICE車では2030年に22 tで2050年5.6 tとそれぞれ年次の削減目標には届かない。しかしながら内燃機関車は走行時以外の部分でのCO2排出がBEV比で44%少なく、走行時の燃料の脱炭素化が最も重要となる。その点は製造を伴わない既存市場車や中古車市場の脱炭素化にも同様の効果があると考えられる。一方でPHEVは2030年15 t、2050年に3.6 tで、BEVでは2030年8.8 tで2050年 4.4 tとなった。PHEVはエネルギーがPtXとPtPの両経路から供給可能であり双方の脱炭素化効果を享受できる事に加えて車両製造の中でもバッテリ容量を必要最低限とする事で、バッテリ製造分の排出CO2においてBEV比で優位性がある。BEVは発電CO2排出割合とバッテリ製造・リサイクル技術に依存するところが大きく、走行分については公共インフラである電源構成の中でも家庭用、事業用の電力供給容量の拡大と電源構成における脱炭素化に依存していると言える。

運輸部門のLCA CO2の削減には、前章までの検討でも述べた通りインフラ構築と企業・事業間さらには地政学的な課題を乗り越えるための国際協調が特に重要であり、それらは技術面な観点で見れば給電グリッドやCCSなどBEVに必要なインフラとPtLに必要なインフラとの相互協調に関しても共通して言える事である。LCA でのCO2削減検討を進めるほどに、既存のBEV、ICE車両との画一的な技術要否議論が然程重要ではなく、各PtX経路に対する汎用性が重要であると言える。その観点ではプラグインと液体燃料を併用可能であるPHEV車両の技術的重要性はLCAのCO2の低さも相まって非常に高いものと考える。加えて車両LCAにおけるCO2低減策を検討してなお、2050年のカーボンニュートラルに対しては車両や燃料の製造販売の企業活動をする限りにおいて低減しきれないCO2排出が存在している事が分かる。これらはCCSや自然保護など追加の企業活動が必要である事を示しており、これらについても地球環境の変化と並行して検討を継続していかなければならない。

表１　LCA 試算における想定技術

	Prerequisites	Considered technologies
2020	Power source composition in Japan LCA CO2 based on the SUBARU's mass production car	No battery replacement 100,000 km ηICE　24% ηPHEV 36%
2030	Vehicle manufacturing 50% CO2 reduction Materials and oils 50% CO2 reduction Electric power generation 46% CO2 reduction	Bio + synthetic fuel Recycled steel and aluminum alloy Solid state batteries ηICE　25% ηPHEV 38%
2050	Vehicle manufacturing 80% CO2 reduction Materials and oils 80% CO2 reduction Fuel 90% CO2 reduction	Bio + synthetic fuel Recycled Li-ion batteries V2H for all homes（BEV, PHEV） ηICE　25% ηPHEV 42% and 25% electric driving

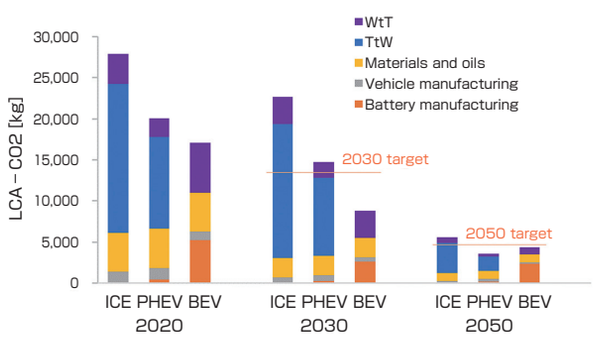


図８　車両 LCA CO2

3.　合成燃料

3.1　合成燃料の製造

脱炭素社会における車両及びインフラの検討を行ってきた中で、電動化社会におけるPtL技術開発の必要性について論じた。PtLで重要な事は現在日本国内の運輸部門では約19万kℓ/day消費される原油相当のエネルギー消費量に対し、それを上回る速度で効果的な一定量を安定的かつ断続的に、土地面積に対して高い密度で製造可能である事である。その実現には化学工学による燃料合成過程が有効となる。PtL経路として製造される合成燃料は広義の意味の合成燃料としてはバイオマス由来を含めると複数の製造経路が存在する。**図9**に代表的な液体合成燃料の製造経路を示す。直接的にガソリンに分類される特性を有する炭化水素燃料の製造経路としては主に触媒の違いによる分類としてアルコールを経由して合成されるMethanol to gasoline：MTGおよびEthanol to gasoline：ETGと、一酸化炭素と水素から合成されるFisher-Tropsch process（FT法）がある。

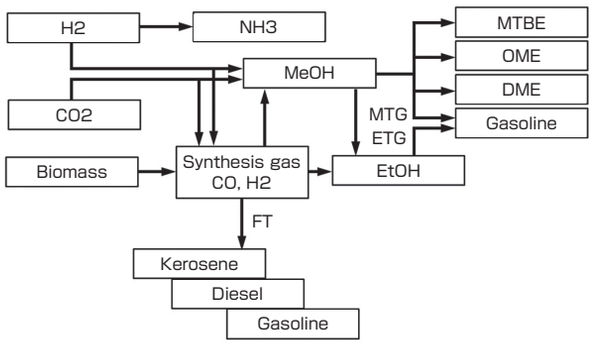


図９　合成燃料の製造経路

アルコールの転換反応によりガソリン成分を得る場合、ゼオライト系触媒が用いられる。メタノールなどについてはCOの水素化反応で比較的高い効率で得られる事が知られており、これらアルコール成分はそのままでも高いオクタン価を有している液体燃料であり、ガソリンエンジン用の燃料としても使える事が知られている。MTGによって各種ゼオライト触媒を用いて得られるガソリンの炭化水素成分の分布を**表２**に示す[11][12]。特にMobil社によって発見されたZSM-5触媒は**図10**に示すように酸素の10員環の細孔構造を有しており、その中をアルコール成分が通過する際に酸点に接触し転化反応を生じながら炭化水素に重合していく。ZSM-5ではこれら細孔構造が３次元的に交差する構造を有しており、その形状選択性によりガソリン成分に必要となる高いオクタン価を有するパラフィン系とアロマ系を多く含む炭化水素の成分の直接生成が可能となっている[13]。一方のFT法はFe、CO、Ru触媒などを用いその表面上にてCOの水素化と重合反応を用い炭化水素を合成する方法である。化学反応として総括反応式は次式

$$n\mathrm{CO} + 2n\mathrm{H_2} \rightarrow -(\mathrm{CH_2})_n + n\mathrm{H_2O}$$

で表される。直鎖炭化水素の生成については連鎖停止反応速度k_tと連鎖伝播反応速度k_pを用いて以下の式で表される。

$$\mathrm{CO} \xrightarrow{k_t} \mathrm{CH_4} \quad \mathrm{CO} \xrightarrow{k_p} C_1(a) \xrightarrow{k_t} C_2(\mathrm{p}) \quad C_1(a) \xrightarrow{k_p} C_2(a) \xrightarrow{k_t} C_n(\mathrm{p}) \quad C_2(a) \xrightarrow{k_p} C_n(a)$$

生成される炭化水素は直鎖炭化水素で、その炭素数はSchulz-Flory分布に従う事が知られている[11]。生成された炭化水素はオクタン価が低くセタン価が高いため航空用やディーゼル向きの燃料製造に適しているが、部分的にガソリンとして使用可能な成分も生成される。

表２　MeOH転化反応における生成物質

Hydrocarbon distributions [wt%]		Zeolite			
		Erionite	ZSM-5	Mordenite	H-Y
Aliphatic compound	C1	5.5	0.1	4.5	1.5
	C2	0.4	0.6	0.3	1.3
	C2 =	36.3	0.5	11.0	7.1
	C3	1.8	16.2	5.9	2.7
	C3 =	39.1	1.0	15.7	8.8
	C4	5.7	24.2	13.8	10.2
	C4 =	9.0	1.3	9.8	3.8
	C5 +	2.2	14.0	18.6	34.1
Aromatic compound	A6	–	1.7	0.4	0
	A7	–	10.5	0.9	0.6
	A8	–	18.0	1.0	0.9
	A9	–	7.5	1.0	1.8
	A10	–	3.3	2.0	2.3
	A11 +	–	0.2	15.1	24.8

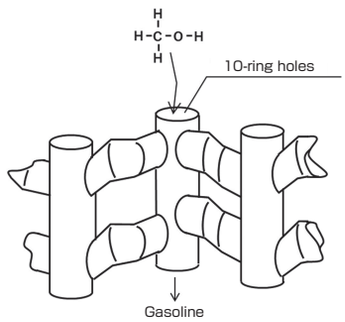


図 10　ZSM-5 の細孔構造

3.2　合成燃料燃焼試験

実際にゼオライト触媒を用いて製造された合成燃料を用い基本的な燃焼特性と排ガス性能の計測を行った。試験装置概略を**図11**にエンジン諸元を**表３**に示す。供試機関は625 ccの直噴単気筒ガソリンエンジンを使用した。供試燃料は国内レギュラーガソリンと合成燃料を用い、どちらもRON91、MON84と同じオクタン価を有している。エンジンの運転条件は、水温90℃、燃料噴射圧力は20 MPa、運転点は1600 rpm、負荷はIMEP725 kPaの燃費代表点相当の条件にて試験を行った。

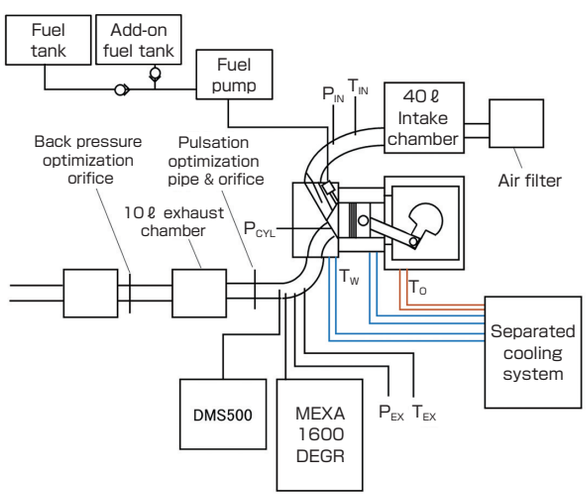


図 11　実験装置概要

表３　エンジン諸元

Single Cylinder Engine Specifications	
Bore Stroke [mm]	Φ 94 × 90
Displacement [cm^3]	624.58
Compression ratio [−]	12.0
Cooling water temperature [K]	273～373
Injection system	Side mounted gasoline direct injection
Fuel pressure [MPa]	10～38

3.3　合成燃料の燃焼特性と排ガス性能

燃費代表点にてλ1.0のトレースノック条件およびλ1.7のMBT条件において計測されたISFCを図12に、その際の点火時期および質量燃焼割合から算出した燃焼速度を図13に示す。図12に示す通り、市場ガソリンと合成燃料間における燃費差はΔ1 g/kWh未満の差であり1%未満の差であった。熱効率の観点においては、既存車両へのドロップイン燃料としては優秀な性能である事が分かる。図13に示す燃焼速度を見ると、λ1.0のノッキングを伴う条件においてオクタン価が同等にも関わらずノッキング耐力が市場ガソリンに対し向上しており点火時期が進角している現象が確認された。これは重質アロマを多く含む事で高沸点側の蒸発特性が高温側へ変化した事による気化潜熱効果の影響であると考えられる。一方で希薄燃焼限界に近いλ1.7条件においては、MBTとなり同一点火時期でMass fraction burned：MFB 10%と50%の初期燃焼時期は同じで、MFB90%については合成燃料が市場ガソリンに対しΔ1deg.遅角という僅かな差を生じた。

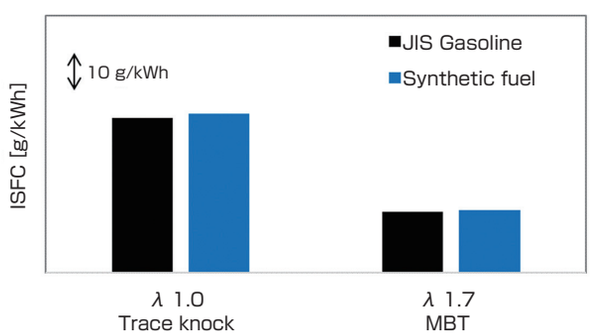


図 12　ISFC

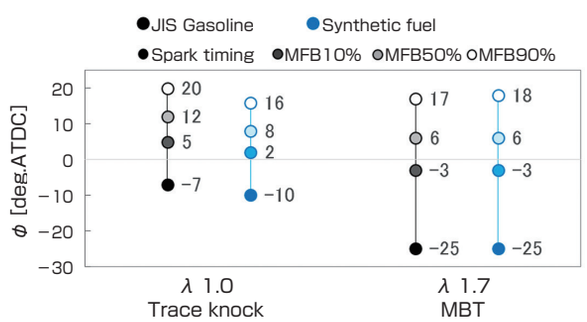


図 13　燃焼速度

同じく図14に1600 rpmのIMEP725kPaのλ1.0トレースノック条件およびλ1.7のMBT条件において計測されたNOxとHCの値を、図15に1600 rpmのIMEP725 kPaのEGR16%の希釈燃焼条件にて噴射時期違いにて計測されたPN計測の結果を示す。排ガスについては燃料間で特徴的な違いを生じており運転条件によらず合成燃料を用いた場合にNOxが減少し、HCとPNは増加の傾向となった。排ガスの特性からは燃焼温度の低下が予想されるが、前述の通り燃費と燃焼速度に大きな差は無く、その点引き続き液体燃料の蒸発特性や、及び燃焼時の化学反応と消炎などについて詳細の調査を必要とする。PNについては一意に増加の傾向であるが、これは前章で論じた通り合成製造過程の特徴が表れたもので、重質の芳香族炭化水素成分の含有割合増加に伴う現象であると言える。これら排ガス性能については将来的には改善が必要であるが、対策としてはオクタン価調整・プラント効率やコストと合わせた考察が必要である。具体的にはFT法による生成成分である直鎖炭化水素やMTG経路の中間生成物質であるMeOH、バイオ系の燃料合成で得やすいEtOHなどPN Indexの低い成分を混合する方法と、更に水素添加による改質行程を加える方法などが考えられる。引き続き、効率やコストの試算と燃料の試作、実証試験を継続していく。

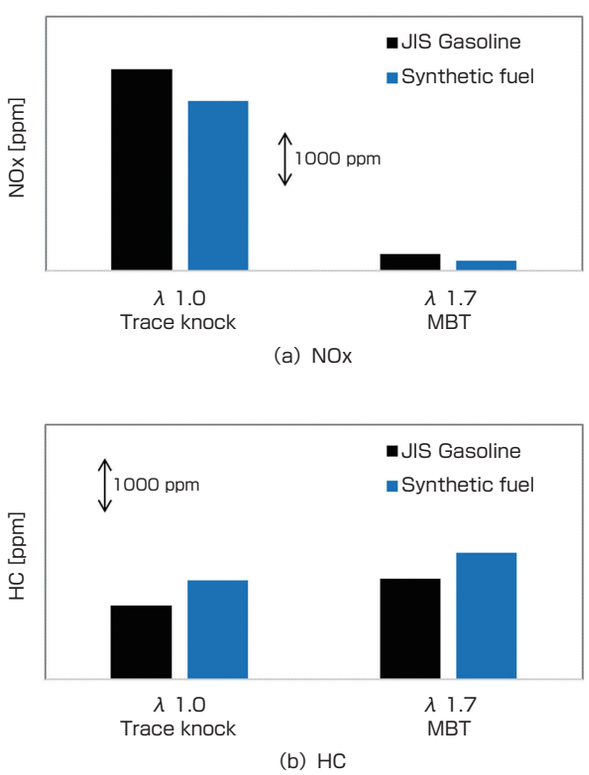


図 14　排ガス

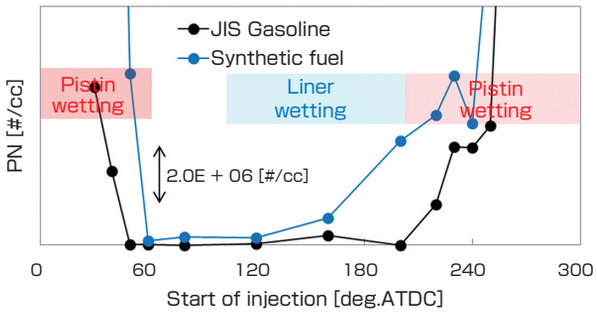


図 15　PN

4.　まとめ

CN社会の実現に向けた乗用車の将来像に関する社会工学的検討と液体合成燃料の実証試験を行い以下の知見を得た。

PtXの経路検討によりPtPによるBEV車とICEからPHEV車両を用いたPtL経路において将来のCO2削減目標達成に向けた道筋についての試算を行った。それにより乗用車のLCA CO2において2050年に現在の内燃機関車を基準としてBEVおよびPHEV車両において80%以上の削減達成に必要な技術と目標値を得た。オンサイトで効率の高いBEV車両とそれら市場構築に向けたPtPのインフラ投資に加えて、PtL技術を構築し既存社会インフラ及び市場車をPHEV技術によりPtPと結び付ける事は脱炭素化に有効な手段である。特に島国特有の課題を持つ日本では現在の社会エネルギーインフラからの転換には非常に大きなインフラ投資が必要であり、既存のエネルギーインフラと将来的な脱炭素化社会における運輸部門のインフラをリニアに繋ぐ事は社会的な受容性において重要である。

PtLによる脱炭素化に向け必要となる液体炭化水素の合成燃料についてエンジンを用いた実証試験を実施した。MTGやETGを用いた合成燃料は燃費などの性能についてはドロップインによる既存市場投入に課題は無いが、排ガスについてはHCやPNの増加が課題であるとわかった。これは燃料合成の過程で重質のアロマ成分が割合として多く含まれるためである。今後はこれらに対しFT合成による直鎖炭化水素やEtOHだけでなく、ガソリン合成の中間生成物であるMeOHを含むアルコール成分による燃料性状調整が有効であると考える。特にMeOHは二酸化炭素からの合成効率が高く、ガソリン製造過程の中間生成物でもあり、その毒性にさえ注意すればプラント工学上の有用性には着目すべき所がある。それら将来を見越した成分調整、合成を行った場合の合成燃料を使用したエンジン性能の改善について引き続き調査を行っていく。

参考文献

(1) IEA：Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector, October 2021（4th revision）
(2) 経済産業省：令和2年度(2020年度)におけるエネルギー需給実績(確報), 令和4年4月
(3) 国立社会保障・人口問題研究所 ： 日本の将来推計人口(平成29年推計), 2017年4月
(4) 経済産業省 ：今後の再生可能エネルギー政策について, 2021年3月
(5) 経済産業省：エネルギー基本計画, 令和3年10月
(6) NEDO： 再生可能エネルギー技術白書, 平成22年12月30日
(7) FVV： Defossilisierung des Transportseltors, FVV PRIME MOVERS.（2018）
(8) NEDO：NEDO水素エネルギー白書、2015年3月
(9) 経済産業省 ：エネルギービジネス戦略研究会　中間とりまとめ(案), 平成25年6月
(10) 経済産業省： 第27回 水素・燃料電池戦略協議会 今後の水素ステーション政策の方向性について, 2021年8月
(11) 菊池ら, 新版　新しい触媒化学、三共出
(12) 藤本ら, メタノールからの炭化水素合成における生成物分布の制御、日本化学会誌(化学と工業化学), 1982年 1982 巻 2 号 229-235
(13) G.T.Kokotailo、S.L.Lawton, Nature, 272, 437（1978）

【著　者】

大岩　浩司

加藤　真亮

中山　智裕

桂　　拓未

志岐　昌美

アレッサンドロ フェラーリ

マーティン ポピルカ

SUBARU BRZ「Cup Car Basic」を発表

2022年2月8日

SUBARUは、SUBARU BRZ「Cup Car Basic（カップカー ベーシック）」を発表しました。SUBARU BRZ「Cup Car Basic」は、2022年より開催予定のワンメイクレース「TOYOTA GAZOO Racing GR86/BRZ Cup」参戦用車両として開発しました。ロールケージや6点式シートベルト用アイボルト、空冷式のエンジンオイルクーラーなどを専用装備するとともに、レース参戦向けベース車両として、各種装備の仕様を最適な設定としました。

SUBARU BRZ「Cup Car Basic」

エンジン熱効率向上に向けた筒内流体解析技術の進化

Evolution of In-Cylinder Fluid Analysis Technology for Improving Engine Thermal Efficiency

安達　龍[*1] ADACHI Ryo
菅沼邦彦[*1] SUGANUMA Kunihiko
若本進児[*1] WAKAMOTO Shinji
辻村彬人[*1] TSUJIMURA Yoshito
武藤　涼[*1] MUTO Ryo
中谷辰爾[*2] NAKAYA Shinji

抄　録

近年、熱効率向上の手段として、EGRやリーン燃焼、高圧縮比化が着目されているが、燃焼安定化やノッキング抑制が背反課題となる。この課題解決のためには、着火性やノッキングのメカニズム解明と、これらを改善するための筒内物理量の要件化が重要となる。また、その要件を実現する手段として筒内流体解析技術が不可欠である。

そこで著者らは、急速圧縮機を用いた点火・着火メカニズムの解明、また光ファイバ計測によるノッキング発生時の自着火位置の把握や原因解明を実施した。加えて、着火やノッキングに影響が大きい筒内ガス流動を作り込むための吸気ポートの効率的な形状検討手法を確立した。

本稿では、開発事例を通して、これらの現象解明および筒内流体解析技術の進化について述べる。

Abstract

In recent years, EGR, lean combustion, and high compression ratio have attracted attention as means of improving thermal efficiency. However, to achieve these, combustion stabilization and knocking suppression are conflicting issues. We have clarified the ignition mechanism using a rapid compression machine and have determined the location and the cause of the auto-ignition when knocking occurs by optical fiber measurement. In addition, we have established an efficient method for studying the shapes of the intake port to create the targeted in-cylinder gas flow, which has significant impacts on ignition and knocking. This paper clarifies these phenomena and describes the evolution of in-cylinder fluid simulation technologies through case studies of development.

1. まえがき

昨今、環境性能向上の社会的ニーズが高まる中、内燃機関には熱効率向上やエミッション低減が求められている。熱効率向上の手段として、リーンまたはEGR燃焼や高圧縮比化が着目されている。リーンまたはEGR燃焼は比熱比増加による理論熱効率の向上や燃焼温度低減による冷却損失の低減、さらにスロットル開度の拡大によるポンプ損失の低減が可能である反面、燃焼安定性が悪化する。高圧縮比化は理論熱効率の向上に繋がる反面、ノッキングが発生しやすくなる。熱効率向上を実現するためには、これらの背反課題を解決することが必要である。

＊1 車両環境開発部
＊2 東京大学大学院 工学系研究科 航空宇宙工学専攻

リーン燃焼の課題である燃焼安定性は図示平均有効圧力(IMEP)の変動率(Coefficient of Variation, CoV)が指標となる。IMEPのCoVは着火安定性と強い相関がある。これまでの研究ではガス流動による火花の伸張と着火性の関係について議論されてきた[(1～4)]。ただし、エンジン筒内のガス流動はサイクル変動を有しているため、着火現象を解明する弊害となっている[(2)]。このことから、特に着火性が悪化するリーン条件における着火メカニズムを解明するために、再現性の高い流動場を作ることができる実験装置を用いて、着火性に影響する流動影響因子を調査した。

ノッキングは火炎伝播期間中に未燃ガスが自着火することで発生する。自着火位置は筒内ガス流動や、それによって変化する局所的な温度や燃料濃度、火炎伝播形状の影響を受ける。ノッキング耐力の改善方針を考案するために、実験とCAE技術を活用して自着火

位置に影響する流動影響因子を調査した。

ここまでで述べたように、着火性およびノッキングは筒内ガス流動と強い関係がある。また、筒内ガス流動は吸気ポート形状に強く依存する。従来、吸気ポートの形状検討は設計者の経験に基づいて実施しているため、多くの時間が要する上に改善幅も小さい。そこで、上記の着火・ノッキングの検討で抽出された流動影響因子を最適化する手法を構築した。

2.　点火・着火メカニズムの解明

2.1　実験装置

図1(a)は実験装置を示す。本研究ではエンジン筒内のタンブル流を模擬できるシンプルな形状の燃焼室とアダプターノズルを製作し、東京大学が有する急速圧縮機(Rapid Compression Machine, RCM)を用いて実験を行った[5]。予め封入した任意の燃料濃度の混合気をピストンの圧縮により燃焼室内に噴出させることでガス流動を発生させる。ピストン速度を調整することで、プラグ付近の流速を任意に設定することが可能である。**図1(b)**は可視化装置の概略を示す。火花と火炎核を同時に撮影するために、高速度カメラを2方向に設置した。火炎核は透過波長帯域310 nmのバンドパスフィルタとイメージインテンシファイアを用いてOH発光を捉えた。

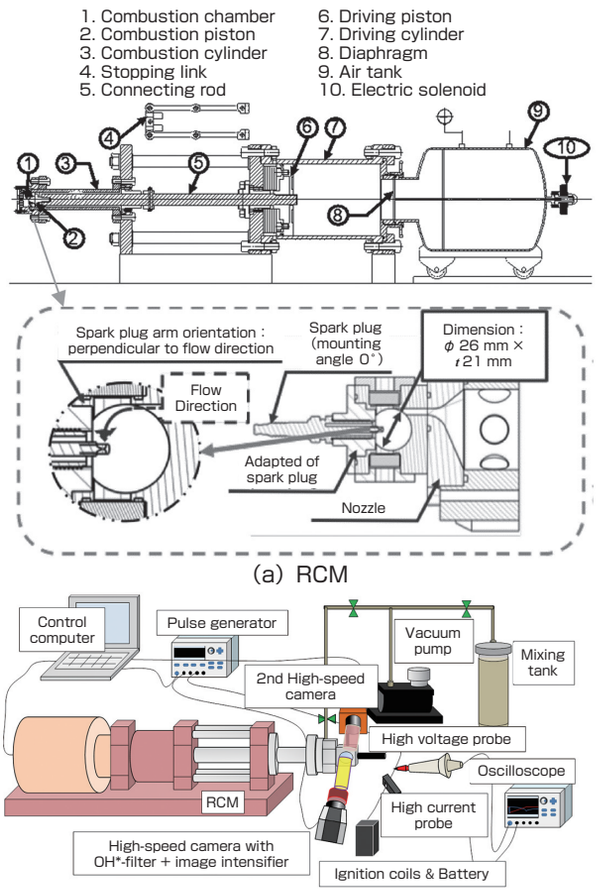


図1　実験装置[5]

2.2　流速と着火遅れ期間

ガス流動が着火性に及ぼす影響を調べるために、プラグ部流速と着火遅れ期間の変化を調べた。**図2**は空気過剰率λが1.5 の場合の結果である。ここで、着火遅れ期間は点火から容器内の圧力上昇率が最大になるまでの時間と定義した。計測は3回行い、そのバラつきを図中のエラーバーで示す。この図から、着火遅れ期間は10 m/sで最小となる。これは着火性に対して最適な流速が存在することを意味する。

流速が10 m/s以下では流速の増加に伴い火花の伸張が促進されて混合気への供給エネルギが増加するのに対し、10 m/s以上では流速の増加に伴い火花の短絡や再放電が発生しやすくなると推測する。

そこで混合気への供給エネルギを調べた。供給エネルギはコイルの2次電流/電圧波形を計測して計算した。**図3**はその時系列変化を示す。推測した通り、流速が5 m/sから10 m/sに増加すると、供給エネルギが増加することがわかる。これは火花が伸張して2次電圧が増加することが原因である。一方、20 m/sは供給エネルギがハンチングする。これは火花が短絡や再放電を繰り返すときに見られる現象である[1]。

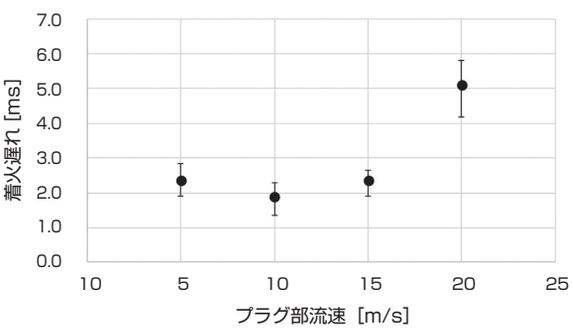


図2　流速と着火遅れ期間

2.3　火花の短絡と火炎核の挙動

火花の短絡や再放電が着火性に及ぼす影響を調べるために、火花と火炎核の同時撮影を実施した。**図4**はλが1.9、プラグ部流速が20 m/sのときの可視化結果を示す。上段は火花、下段はOH発光を示す。この図から、火花は短絡を繰り返していることがわかる。その後、火炎核は細切れに形成され、その一部が消炎することがわかる。これは火炎面の曲率に起因する火炎伸張を強く受けることが原因であると推測する[4]。この結果から着火安定化のためには火炎核が一塊になるよう火花を安定的に伸張させることが重要である。

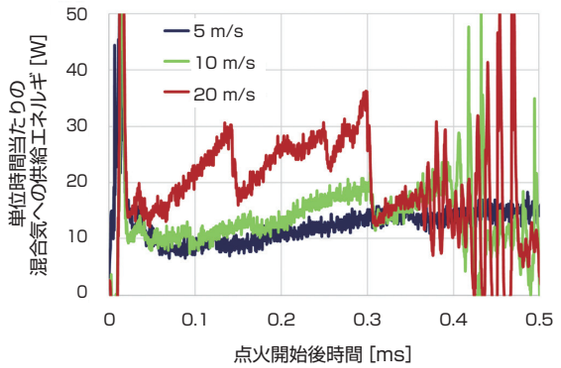


図３　流速の変化に対する供給エネルギの変化

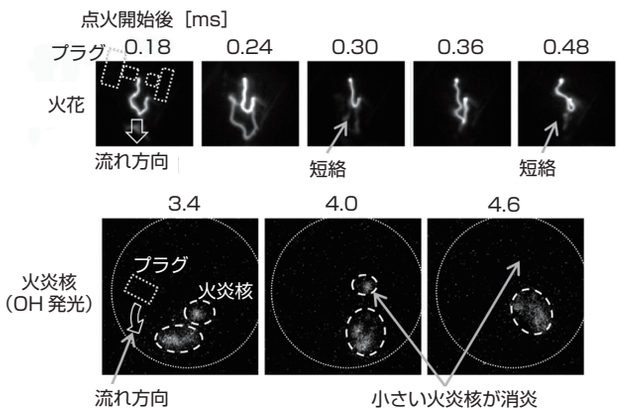


図４　火花短絡時の火炎核挙動

2.4　エンジンとの紐づけ

RCMから立てた着火安定化の方針について、エンジンと紐づけるために、可視化エンジンを用いて火花挙動を観察した。エンジン諸元は**表１**に示したCB18をベースとした単気筒エンジンである。**図５**は可視化装置を示す。吸排気バルブ間に設けた可視化窓から高速度カメラ(Photron製)を用いて撮影した。条件は**表２**に示した均質リーンである。

図６は火花の可視化結果を示す。この図から、燃焼の速いサイクルでは火花が排気側に流されて伸長する様子がわかる。一方、燃焼の遅いサイクルでは排気側に伸びた火花が吸気側に反転する。このようなサイクルでは排気側に形成された火炎核にエネルギが継続的に供給されず、火炎核成長が遅くなると推測する。着火安定性の向上のためには火花の伸張方向の安定化が課題である。

3.　自着火位置の把握と原因解明

3.1　光ファイバ計測

2章で用いた単気筒エンジンを対象に、ノッキング発生時の自着火位置を計測した。自着火位置の計測はSMETEC社製プラグ一体型の光ファイバ(Fiber Optic Spark Plug, FOSP)を用いた。**図７**は計測イメージを示す[6]。**表３**は実験条件を、**図８(a)**は各チャネルの自着火発生割合を示す。この結果から、自着火は排気側から発生しやすいことがわかる。

表１　エンジン諸元

エンジン	スーパーチャージャー付 単気筒エンジン
ボア／ストローク [mm]	80.6/88.0
排気量 [cc]	449
圧縮比 [−]	10.5
燃料噴射	直噴

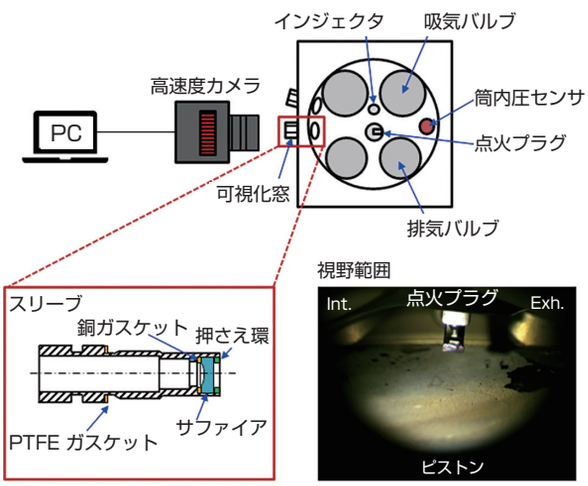


図５　可視化計測装置

表２　実験条件（リーン領域）

エンジン回転数 [rpm]	2000
IMEP [kPa]	800
λ [−]	1.70
点火時期 [deg. BTDC]	32
燃圧 [MPa]	20
噴射開始時期 [deg. ATDC]	− 300
IVO/IVC [deg. BTDC/ABDC]	41/12
EVO/EVC [deg. BBDC/ATDC]	23/18

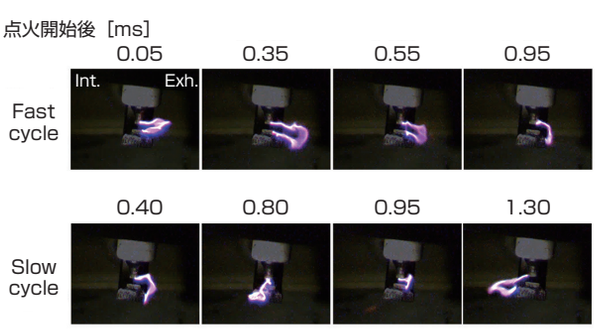


図６　火花挙動

図７　FOSP の計測イメージ [6]

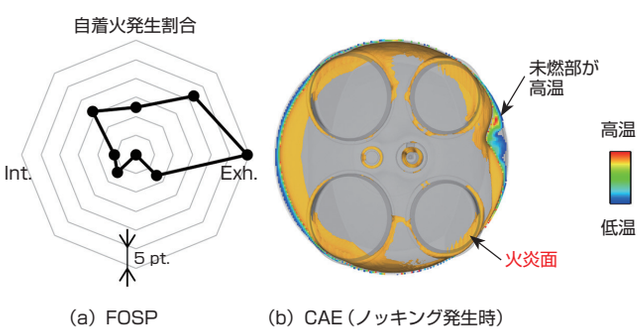
表３　実験条件（ノッキング領域）

エンジン回転数［rpm］	2400
IMEP［kPa］	1600
λ［−］	1.0
点火時期［deg. BTDC］	トレースノック
燃圧［MPa］	25
噴射開始時期［deg. ATDC］	− 300
IVO/IVC［deg. BTDC/ABDC］	41/12
EVO/EVC［deg. BBDC/ATDC］	32/9
EGR 率［%］	10

3.2　CAEによるメカニズム解明

CAEの自着火位置の予測精度を調べるために、表３の条件をCAEで再現した。計算ソルバーはCONVERGE v2.4を使用した。乱流モデルはRANS（Reynolds-Averaged Navier-Stokes）標準k-ε、燃料モデルはTRF（Toluene Reference Fuel）、反応メカニズムはガソリンサロゲート燃料簡略反応機構SIP-Gr2.0[7]を用いた。燃焼モデルは火炎伝播をG方程式で、未既燃領域を詳細化学反応ソルバーSAGEで計算した。

CAEのノッキングはエンドガス部の局所的な温度で評価する。図８(b)はその結果を示す。この図から、CAEは排気側の未燃ガス温度が高くなっており、自着火に至ると推測する。この位置はFOSPの結果と一致する。また、温度上昇する位置において、火炎伝播が遅延する様子が見られる。ノッキング耐力向上のためには火炎は局所的な遅延なく伝播させることが課題である。



(a) FOSP　(b) CAE（ノッキング発生時）

図８　FOSP と CAE の自着火位置の比較

4.　吸気ポート形状検討手法の構築

4.1　ガス流動要件

吸気ポート形状検討の具体的な手法を示す前に、リーン限界向上およびノッキング耐力向上に向けたガス流動の要件を定める。次項から詳細に述べる。

4.1.1　リーン限界

図６で示した火花の伸張方向が不安定となる原因を調べた。図９は表２の条件の点火時期付近における筒内の流速分布を示す。この図から、プラグのすぐ背後で排気向きと吸気向きの流れが衝突していることがわかる。ガス流動のサイクル変動を考慮すると、衝突面がプラグに近い場合、プラグ周辺の流速が変動しやすいと推定され、その結果火花の伸張方向の不安定性に繋がると考える。リーン限界向上のために衝突面をプラグから遠ざけることがガス流動の課題である。

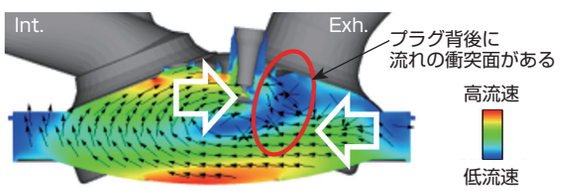


図９　ベース仕様の流速分布

4.1.2　ノッキング耐力

火炎伝播が排気側で局所的に遅延する原因を調査した。図10は図８(b)の流速分布を示す。この図から、排気側において火炎伝播に逆行する流れが発生していることがわかる。この流れはタンブル軸が圧縮行程においてシリンダ軸方向に倒れることで発生するωスワールと呼ばれる[8]。ノッキング耐力向上にはこのωスワールの抑制が必要である。

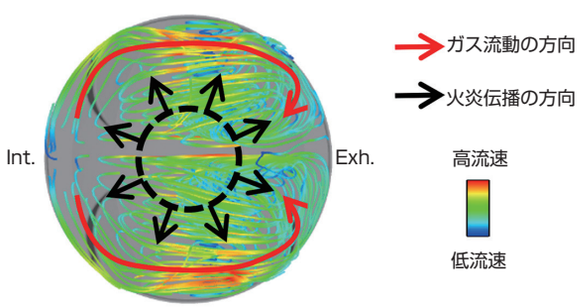


図 10　ωスワールの発生

4.1.3　ガス流動の指標

ここまでの結果から、ガス流動の改善方針が定まった。図9、10に示したガス流動が発生している場合は、プラグ部流速がTDC付近において吸気向きになる特

徴がある。そのため、プラグ部流速が排気向きを維持することがガス流動の指標となる。さらに吸気ポートの基本性能として、流動の強さ(タンブル比や乱れ強さ)と有効開口面積(μF)が挙げられる。これらは背反関係にあることから、高い次元で両立することが求められる。そこで、今回はTDCにおけるプラグ部流速、乱れ強さ、μFをガス流動指標とした。

4.2　吸気ポート形状検討の課題と改善方針

前節で定めた狙いのガス流動を実現する吸気ポートを効率的に見出すために、2段階に分けて検討する手法を考案した。

1段階目として、吸気ポートをシンプルな形状で模擬して、形状を特徴づける主要寸法のパラメータスタディを実施する。その結果から、狙いに近い流動を実現する吸気ポートの基本形状を決定する。

2段階目として、形状モーフィングにより、設計制約の中でガス流動性能をさらに改善するためのチューニングを実施する。次節から手法の詳細を述べる。

4.3　シンプル形状パラスタによる主要寸法決定

4.3.1　シンプル形状

図11は吸気ポートをシンプルな形状で模擬したイメージである。今回、主要寸法は①入射角H、②入射角V、③バルブピッチ、④吸気バルブ径とした。さらに実験計画法(Design of Experiments, DOE)を用いて決定したパラメータの組み合わせについてCAEを実施し、この4寸法と4.1.3項で述べたガス流動指標の関係を分析した。

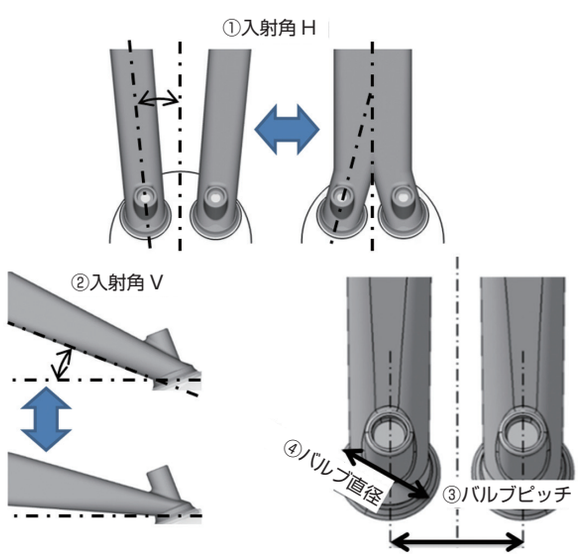


図11　シンプル形状で模擬した吸気ポート

4.3.2　主要寸法とガス流動指標の整理

主要寸法とガス流動指標の関係性を自己組織化マップ(Self-Organizing Maps, SOM)で可視化した。図12はその結果を示す。この図から、図中○で囲った領域は乱れ強さ、μF、ωスワールの指標であるプラグ部流速をいずれも高くできる。表4は図12中○で囲った領域の主要寸法とガス流動指標への影響を示す。このように、複数のガス流動指標を両立できる主要寸法の組み合わせを見出すことができた。

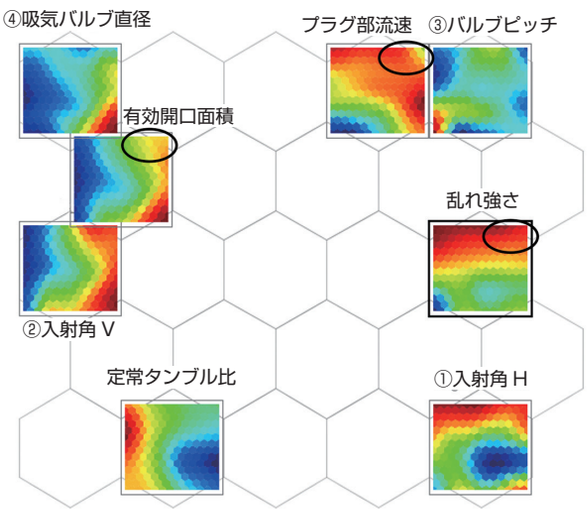


図12　SOMによる主要寸法とガス流動指標の分析

表4　主要寸法の方針とガス流動指標への影響

主要寸法	方針	乱れ強さ	μF	プラグ部流速
①入射角H	内向き	↑	→	↑
②入射角V	立てる	↓	↑	↑
③バルブピッチ	小さく	↑	→	↑
④吸気バルブ径	小さく	↑	↓	→

(↑：改善、→：不変、↓：悪化)

4.4　モーフィングによる形状最適化

ガス流動指標のさらなる改善を狙い、前節で得られた方針から定めた基本形状に対して、定常流解析とメッシュモーフィングを連成して形状最適化を実施した。計算ソルバーはSTAR-CCM＋v12を、モーフィングおよび形状最適化はHEEDS V2017をそれぞれ用いた。目的関数は定常タンブル比とμFとした。

図13は表4の方針から決めた形状(暫定仕様)の外観とモーフィングの基点を示す。基点は吸気ポート上下部それぞれ2点の計4点とし、周辺部品との干渉がないことを設計制約として形状変更した。図14はモーフィングで形状変化したときの定常タンブル比とμFの関係を示す。この図から、暫定仕様から両指標をさらに改善できる形状が存在することがわかる。この中で最も改善幅の大きい形状(改良仕様)を抽出した。

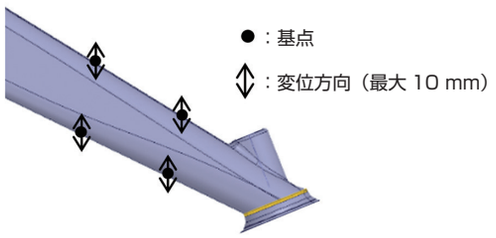


図 13　暫定仕様の外観とモーフィングの基点

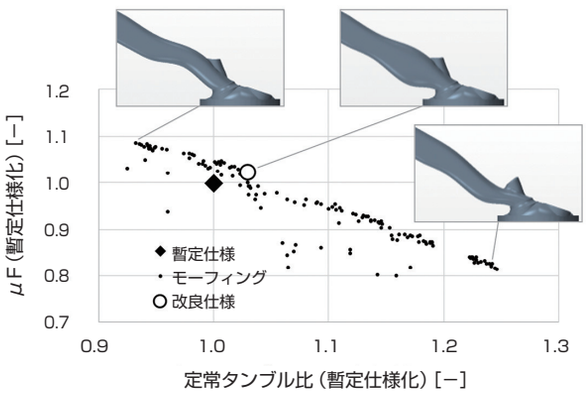


図 14　パレート解

4.5　着火安定性およびノッキングへの影響予測

図15はベースと改良仕様の外観を示す。なお、改良仕様はモーフィングで得られた形状を基に、製造性を考慮して微修正した。また、吸気ポートの形状に合わせて燃焼室の形状も一部修正した。

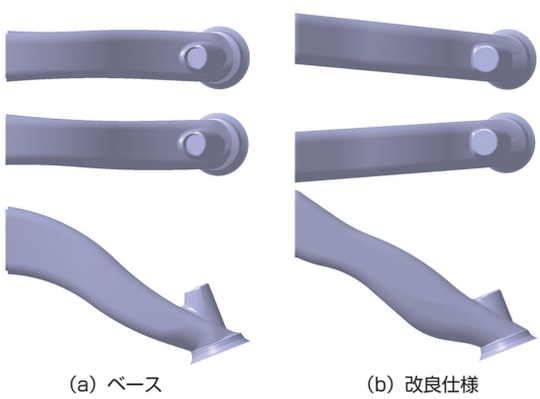


図 15　吸気ポートの外観

図16は表2のリーン条件における流速分布を示す。この図から、改良仕様はベースに対してプラグ背後の淀みがプラグから遠ざかっていることがわかる。図17は表3のノッキング条件における流速分布および火炎伝播の様子を示す。この図から、改良仕様はωスワールが抑制することで、排気側への火炎伝播の遅れが解消することがわかる。一方、改良仕様の火炎伝播の重心は排気側に偏っているため、筒内中央に近づけることでさらなる改善が見込める。なお、改良仕様の乱れ強さとμFはベース仕様から±3%の範囲内であることを確認している。

ここまでの結果から、本手法を用いて乱れ強さとμFへの背反なく、狙いのガス流動を実現できる吸気ポートを見出すことができた。

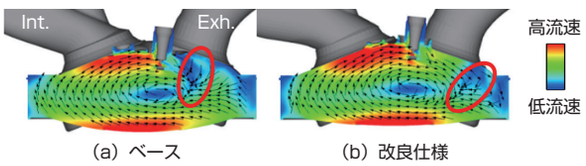


図 16　流速分布（リーン条件、点火直前）

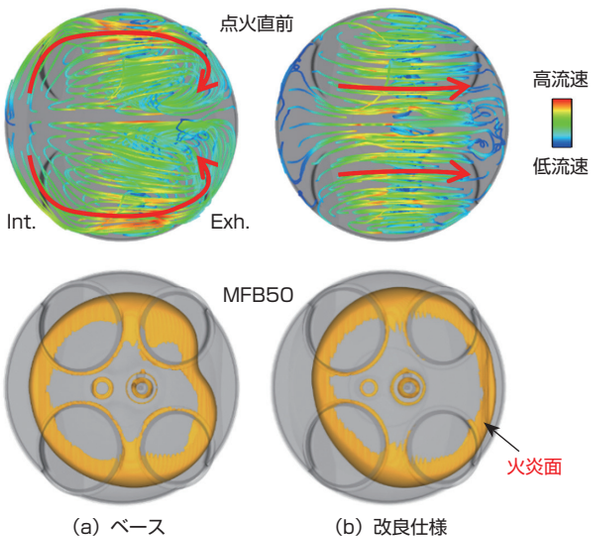


図 17　流速分布および火炎伝播（ノッキング条件）

4.6　実機検証

4.6.1　リーン限界

単気筒エンジンを用いて、ガス流動改善による火花の伸張方向の安定性を確認した。図18は図6の火花挙動を基に、火花の伸張方向が吸気側に反転する割合で整理した結果を示す。この図から、改良仕様はベースに対して反転割合が減少しており、伸張方向が安定化することがわかる。

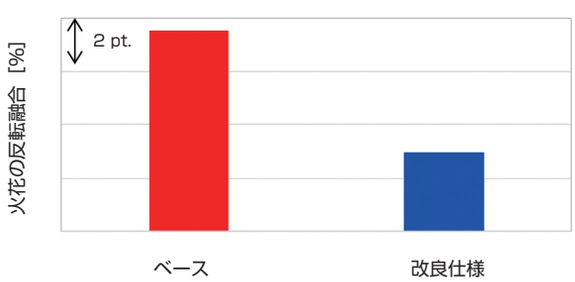


図 18　火花の伸張方向の安定性

次にリーン限界を確認した。図19は空気過剰率λに対するIMEPのCoVを示す。改良仕様はベースに対してリーン限界が向上することがわかる。図20はλ＝1.7における初期燃焼期間（点火から質量燃焼割合（Mass Fraction Burnt, MFB）が2%になるまでの期間）とIMEPの関係を示す。この図から、初期燃焼期間が長くなるとIMEPが低下することがわかる。改良仕様はベースに対して初期燃焼期間の変動が抑制されることで、IMEPが安定する。これらの結果から、改良仕様はプラグ付近の流動を安定化することで着火性が改善し、リーン限界が向上したと考える。

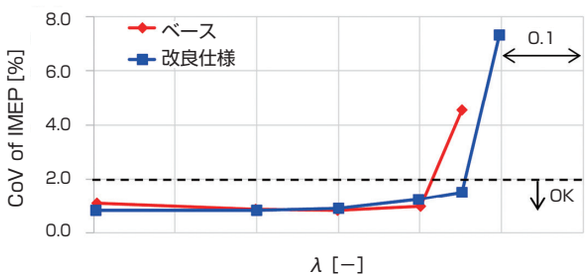


図19　空気過剰率と図示平均有効圧の変動率

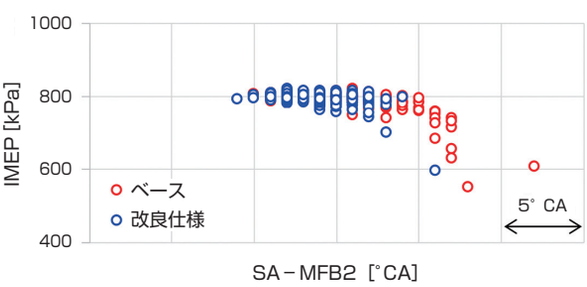


図20　初期燃焼期間と図示平均有効圧

4.6.2　ノッキング耐力

次にノッキング耐力への影響を検証した。図21は表3の条件におけるベースと改良仕様のMFB50を比較した結果を示す。この図から、改良仕様はベースに対してMFB50が進角することがわかる。

以上より、吸気ポートの改良によるガス流動改善効果によって、リーン限界およびノッキング耐力が向上することを実機で検証した。

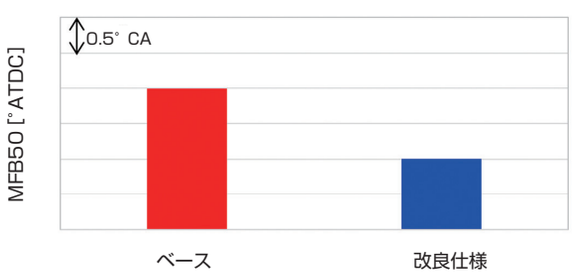


図21　ノッキング耐力

5.　点火・着火モデリングの現状と今後の展望

5.1　モデリングの狙い

2章と4章の結果から、火花の伸張方向の安定化のためのガス流動要件が明らかになった。一方、火花の短絡や再放電の抑制のためのガス流動要件は確立できていない。このためには、ガス流動によって生じる短絡や再放電を再現できる火花モデルと、それに応じて変化する火炎核形成を再現できる燃焼モデルが必要である。次節から、これらのモデル構築に向けて東京大学との共同研究で実施した内容と今後の課題を述べる。

5.2　火花モデル

火花挙動は武原らのモデルを用いた[9]。火花挙動は流速に応じた伸張と電界に応じた短絡および再放電の2つに大別できる。火花の伸張は流速によって空間を移流するラグランジュ粒子でモデル化している。また、短絡および再放電は点火回路計算と空間電位計算を組み合わせることでプラグ周辺の電界を求め、ダイクストラ法による経路探索することでモデル化している。

5.3　燃焼モデル

火炎核形成と火炎伝播はFGM（Flamelet Generated Manifolds）モデルを用いて再現した。FMGは火花モデルの放電経路上のセルに対して燃焼（平衡）状態の反応進行変数を与え、Flamelet Parameter（ζ）と呼ばれる変数の輸送方程式を解くことで火炎伝播を再現する。ζはHラジカルの質量分率とした。

5.4　モデルの精度検証

火花モデルと燃焼モデルを組み合わせたときの精度を検証した。図22は一様流中における火花および火炎核の挙動の計算結果を示す。条件はλ＝1.9、流速20 m/sとした。この図から、0.020 ms ～ 0.035 msで火花が短絡して火炎核が消炎する様子が見られる。その後、火花が再び伸張して火炎核が形成する。このように、図4で見られた現象を定性的に再現できた。

次にRCMの可視化と比較して火炎面積の精度を検証した。図23はその結果である。条件はλ＝1.9、流速20 m/sで点火後0.8 msにおける火炎面積である。この図から、（b1）の火炎核の面積はRCMに比べて大きなっており、消炎しにくいことがわかる。

ここで、ζの輸送方程式における物質拡散係数は図23（b1）では熱拡散係数と物質拡散係数の比で定義されるルイス数（Lewis Numeber, Le）を1.0として計算している。Leを小さくして物質拡散を促すことで消炎しやすくできる可能性がある。そこで、LeをH

ラジカル相当の0.18 にして再計算した[10]。図23(b2)はその結果を示す。この図から、火炎核面積はRCMと同等になり、再現精度を改善した。

ここまでの結果から、RCMを題材として火花および火炎核挙動を再現できるモデルを構築した。今後、これらのモデルをSIエンジンに適用し、精度検証や火花安定化のガス流動要件の確立が課題である。

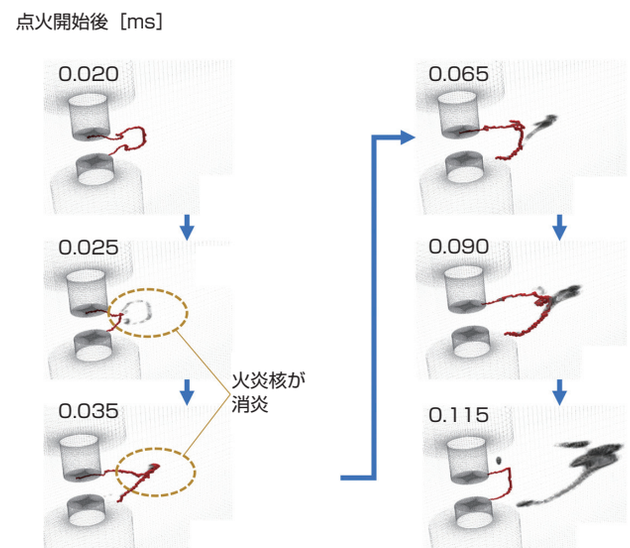


図 22　火花および火炎核挙動の精度検証

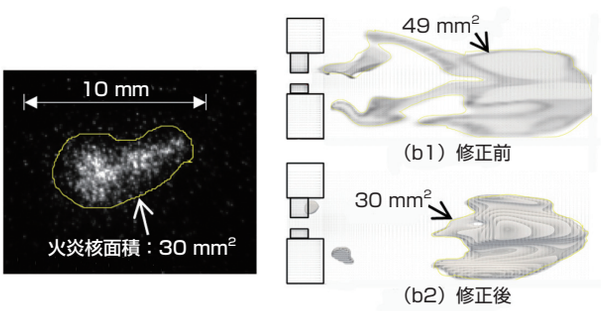


図 23　火炎核面積の精度検証

6.　まとめ

エンジンの熱効率向上の手段として着目されているリーン燃焼および高圧縮比化は着火安定化およびノッキング抑制が課題となる。これらの解決に向けて、現象解明および筒内流体解析の技術開発を実施した。

点火・着火の現象解明では、RCMを用いた点火に関する基礎試験から、着火性向上のためには火炎核が一塊になるように火花を安定的に伸張することが重要であることがわかった。モデリングでは、火花挙動は武原らのモデルを[9]、火炎核形成と火炎伝播はFGMモデルをそれぞれ用いることで、火花の伸張、短絡、再放電やそれに応じた火炎核形成を再現することができた。今後、SIエンジンにおける精度検証が課題となる。

ノッキング予測精度の検証では、光ファイバ計測で得られた自着火位置をCAEで再現することを確認した。

吸気ポート形状検討手法の構築では、シンプル形状パラスタにより主要寸法を決定した後、モーフィングにより詳細形状の修正と設計制約を満足する手法を考案した。今回構築した形状検討手法を用いることで、狙いのガス流動を実現する吸気ポートの仕様を効率的に見出すことができた。さらにその仕様を実機で評価した結果、狙い通りリーン限界およびノッキング耐力が向上した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、RCMを用いた着火メカニズムの解明およびモデリングにおいて、東京大学大学院工学系研究科の中谷辰爾准教授をはじめ、研究員の方々のご協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表する。

参考文献

(1) 白石ら，“スパーク放電チャンネル形成に関する点火環境および放電波形特性の影響解析”，自動車技術会論文集，Vo.46, No.2：283-288（2015）
(2) Todd D. Fansler, et al.,“Combustion Instability in Spray-Guided Stratified-Charge Engines – A Review”, International Journal of Engine Research, 16：260–305（2015）
(3) Brian Peterson, et al.,“On the ignition and flame development in a spray-guided direct-injection spark-ignition engine”, Combust. Flame, Vol.161：240-255（2014）
(4) Zheng Chen,“On the critical flame radius and minimum ignition energy for spherical flame initiation”, Proc. Comb. Inst. Vol.33（1）：1219-1226（2011）
(5) Fangsi Ren, et al.,“Effects of Flow Speed on Spark Ignition Process of Lean Gasoline Mixture under High Pressure Conditions using Rapid Compression Machine”, The 2nd Pacific Rim Thermal Engineering Conference, Hawaii, USA, Dec. 2019
(6) KISTLER, 光ファイバ内蔵圧力センサ付スパークプラグ, https：//www.kistler.com/en/product/type-mmsp/? application = 157（2022-7-18）

(7) 酒井, 三好, “ガソリンサロゲート燃料簡略反応機構の構築”, 第28回内燃機関シンポジウム 講演論文集, #59（2017）
(8) 中山ら、"SIエンジンにおける燃費・排ガス性能向上のためのガス流動と混合気得形成の要素開発”, SUBARU技報、Vol.45：183-192（2018）
(9) 武原ら, “高温高圧場におけるガソリン空気希薄混合気中の火花放電モデリング”, 第31回内燃機関シンポジウム 講演論文集, #28（2020）
(10) Knudsen, E., et al., “LES of a premixed jet flame DNS using a strained flamelet model”, Combust. Flame, Vol.160（12）：2911–2927（2013）

【著　者】

安達　　龍

菅沼　邦彦

若本　進児

辻村　彬人

武藤　　涼

中谷　辰爾

SUBARU 米国IIHSが新設したシートベルトリマインダー評価で最高評価を獲得（米国仕様車が対象）

2022年4月6日

この度、米国IIHS[*1]が自動車メーカーにシートベルトリマインダーの改良を促すため新設したシートベルトリマインダー評価プログラムにおいて、2022年モデルのアセントとフォレスター（米国仕様車）が最高評価を獲得しました。このプログラムでは、警告音の音量や継続時間、警告のタイミング等の指標に基づき、各車のシートベルトリマインダーを「Good」「Acceptable」「Marginal」「Poor」の４段階で評価します。
今回評価を受けた26車種のSUVモデルのうち、アセントとフォレスターの２車種のみが最高評価である「Good」を獲得しました。

フォレスター（米国仕様車）

＊1：Insurance Institute for Highway Safety（道路安全保険協会）

電動車用ハーネスの配策検討技術の開発

Development of Technology to Examine the Arrangement of Harnesses for Electric Vehicles

河　野　正　敏[*1]　　竹　内　広　太[*2]
KOUNO Masatoshi　　TAKEUCHI Kouta

抄　録

従来のハーネスの配策検討は、ハーネスの自重や、曲げ・引っ張り・ねじり剛性の考慮が困難である。このため、車両走行時の接続機器の相対動きによる周辺部品との干渉や、無理な曲げによる評価中の破損などが配策検証段階で発生する場合がある。そこで、ハーネス自重・剛性、周辺部品との相対動きなどを考慮した信頼性の高いハーネス配策技術を開発する。

本論文では、ハーネスの剛性を実測した上、ハーネスの自重、周辺部品の動きを考慮できる配策ツールにて検討し、実機と比較検証したので報告する。

Abstract

In the conventional examination of the arrangement of harnesses, it is difficult to consider the self-weight and bending, pulling, and torsional rigidity, and when prototyping and arranging the harnesses, interference with peripheral parts, pinching due to relative movement, and damage during evaluation due to unreasonable bending have occurred. Therefore, we develop a high-precision harness arrangement examination technology that takes into account the harness's self-weight, rigidity, relative movement with peripheral parts, etc.

In this paper, the harness's rigidity is measured by element test. The harness arrangement of a 3P motor is examined using a harness arrangement tool and compared to the actual machine.

1.　まえがき

近年の電動化に伴い、車両に搭載されるハーネス・ケーブル類は格段に増え、信頼性の高い配策技術が必要になっている。一方、ハーネス配策検討は、周辺部品のレイアウトが決定されてから実施されることが多い。さらに、自重や曲げ・引っ張り・ねじり剛性の考慮が困難で、かつ車両走行時の路面からの入力による機器の相対動きの考慮も困難である。その結果、周辺部品との干渉や無理な曲げによる破損などが開発検証段階で発生する場合がある。

本開発では、上記を考慮した配策ツールと実測した剛性値を使用することにより、開発時の配策を精度よく検証できた。

2.　現状のハーネス配策検討の課題

従来のハーネス配策検討は、周辺部品のレイアウトが決まり、機器間の始点と終点を既存のハーネスの曲げRを参考に結び、静的隙間を確保できるように3D−CAD上で配策することが多かった。しかし、下記が未考慮だったため、現物確認で干渉や破損などが発生することがあった。

・ハーネスの自重や剛性が考慮されていない。
・相対動きによる周辺隙間が検討できていない(図1)。
・固定点に入力される荷重が分からず、ハーネスクリップなどの強度検討ができていない。

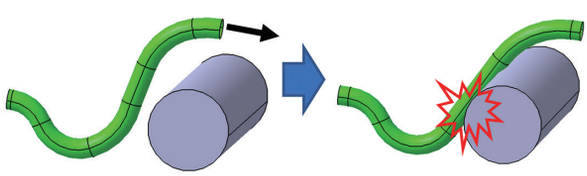


図1　動きによる周辺部品との干渉

＊1 CAE部
＊2 バッテリーシステム開発部

3.　ハーネス配策検討ツール

ハーネス配策検討ツールとして、以下①～⑤が考慮できるIPS Cable Simulation（開発元：fleXstructures GmbH）を使用した。

①ハーネス接続機器同士の相対動きによるハーネスの動き、干渉の影響（図1）
②ハーネスの自重、剛性の影響（図2）
③配策初期状態、及び相対動き時のハーネスクリップなどの入力荷重の影響（図3）
④ハーネスねじれの影響（図4）
⑤リアルタイムの計算と結果表示

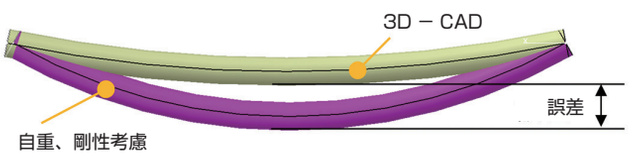


図２　ハーネスの自重、剛性の考慮

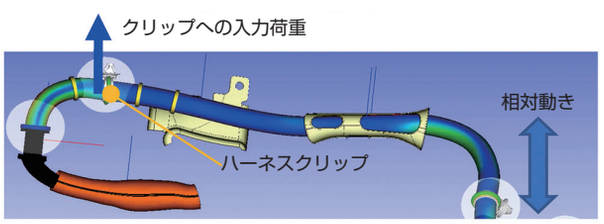


図３　クリップへの入力荷重

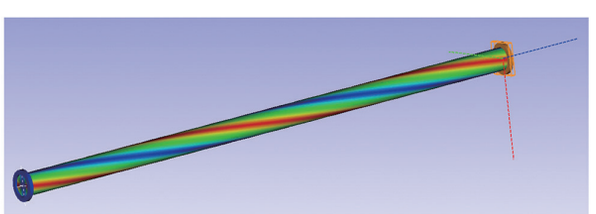


図４　ハーネスねじれ

4.　ハーネス剛性計測

4.1　ハーネス剛性の要素

ハーネス配策を精度よく行うためには、剛性の考慮が重要になる。しかし、ハーネスは複数部品から構成されており、個々にモデル化すると計算時間が増大する。そこで、ハーネスを単一部品とし、図5に示す剛性の3要素（引っ張り、曲げ、ねじり）で再現することにした。

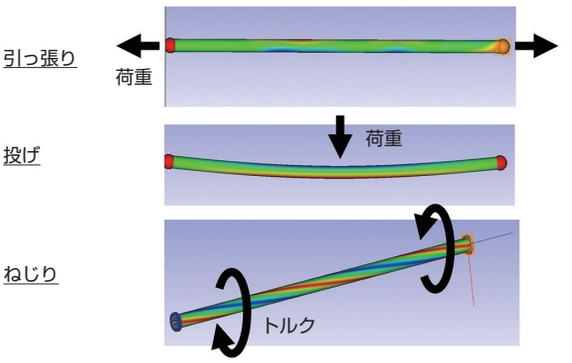


図５　ハーネス剛性の３要素

4.2　剛性計測した検証品

計測した検証品は今回配策検討を実施するインバータ／モータ接続用の三相線である。図6のように、三相線は複数本の銅線の周りに、シースと呼ばれる樹脂被覆（橙色）で覆われ、外径はΦ13.5 mmである。検証品は、長さ約200 mmに切断し、後述の計測設備にクランプした。

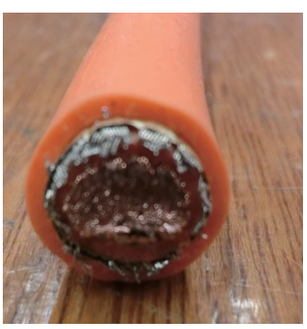


図６　モータ三相線（検証品）

4.3　剛性計測方法

剛性値があれば、正しく配策形状を再現できる。そこで、今回はIPS Cable Simulation国内代理店のSCSK株式会社と協力して、地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センターにてハーネスの剛性計測を実施した。

<引っ張り剛性>

図7のように、ハーネスの両端をクランプし、引っ張り荷重と変位量から剛性を算出した。

図8に引っ張り剛性の試験結果、図9に試験後の検証品写真を示す。図8の結果から、変位d_1以上では非線形に変位している。これは、図9に示すように、変位が大きくなると、シース～銅線間が滑り、シースだけが伸びるためと考えられる。よって、剛性値は、変位が小さい線形領域のグラフの傾きを用いた。

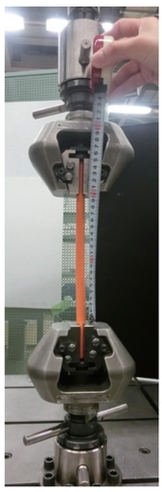


図７　引っ張り剛性試験前写真

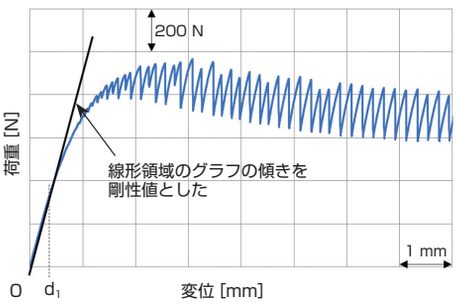


図８　引っ張り剛性試験結果

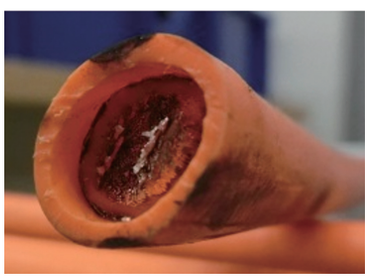


図９　引っ張り剛性試験後写真（シース～銅線間の滑り）

＜曲げ剛性＞

図10のように、上から軸直角方向に荷重を加え、荷重と中央部の変位量の関係から剛性を求めた。

図11に曲げ剛性の試験結果を示す。変位0 mm付近に非線形領域はあるものの、変位全域に渡ってほぼ線形であった。よって剛性値は線形部分の傾きを用いた。

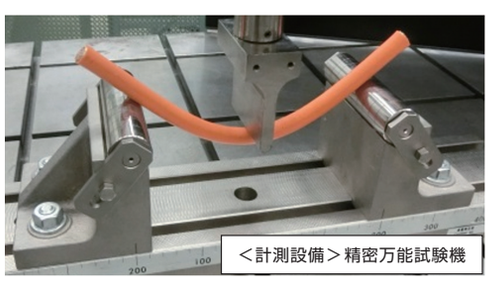


図 10　曲げ剛性試験後写真

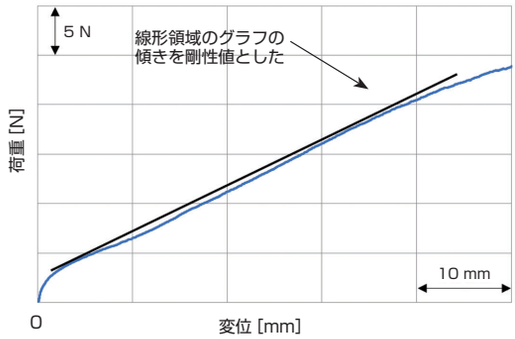


図 11　曲げ剛性試験結果

＜ねじり剛性＞

図12のように、ハーネス両端を固定し、ねじれ角360 degまでトルクを入力した。

図13にねじり剛性の試験結果を示す。ねじれ角A_1以上から非線形に変化している。引っ張り剛性試験と同様に、シースと銅線が局所的に滑り、シースのみが捩れているためと考えられる。そこで、引っ張り剛性算出時と同様に、線形領域での傾きを剛性値とした。

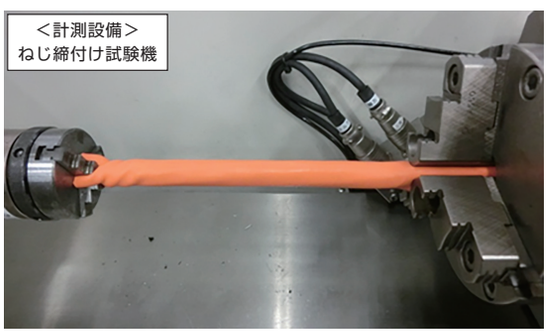


図 12　ねじり剛性試験後写真

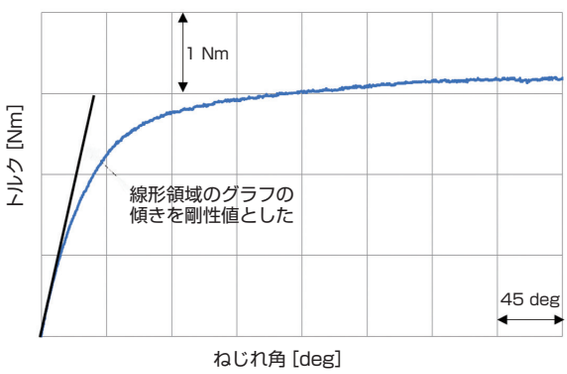


図 13　ねじり剛性試験結果

5.　配策検証結果と考察

5.1　検証仕様

検証仕様は前述のモータ三相線であり、この配策検討を実施した(図14)。但し、今回はハーネスクリップはなしとした。

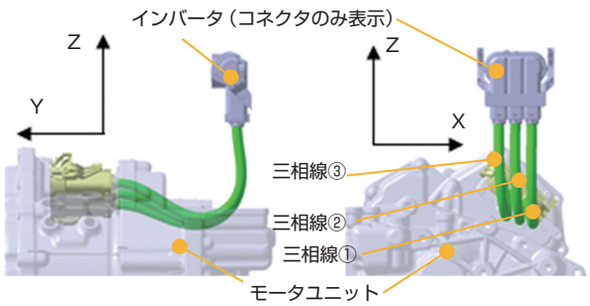


図 14　モータ三相線周辺図（周辺部品省略）

5.2　ハーネス強度信頼性評価基準

インバータとモータユニットは、車両走行時に路面からの入力により相対的に動く。そこで、車体に固定されているインバータは完全固定し、マウントブッシュに支えられるモータユニットを、X、Y、Z方向それぞれ**表1**の量の静的な動きを与えた（**図15**）。

その動きの際、ハーネス構成部品（銅線、シース）が破損しない**表2**の評価基準（強度信頼性要件）を適用した。

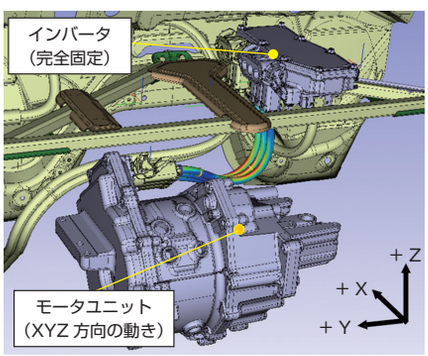


図 15　相対動きの説明図

表1　モータユニット相対動き量

X 方向	Y 方向	Z 方向
± 6.5 mm	± 6.5 mm	± 15.5 mm

表2　強度信頼性の評価基準

No.	項目		基準
1	曲げ R		4D（メーカー推奨値）以上
2	曲率変化		量産実績の範囲内
3	固定点荷重	平均荷重（初期配策状態）	量産実績の範囲内
		荷重振幅	
4	周辺部品との隙間		0 mm 以上（干渉なきこと）

＜曲げR＞

ハーネスメーカー推奨値は、曲げR>4D（D：ハーネス外径）である。そこで、モータユニットが相対動きしたときの曲げRを確認した。

＜曲率変化＞

芯線（銅線）の繰り返しによる疲労損傷はモータユニット動き時の曲率変化が大きい程、大きい。そこで、下式のように、（+）方向、（−）方向の動き時の曲げRであるR_1、R_2を用いて、R'を定義した。R'は曲率変化の逆数に相当し、大きいほど疲労損傷が少なく強度上有利となる。これが評価基準内かどうかを確認した。

$$R' = \left| \frac{1}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}} \right|$$

R_1：X、Y、Z 各方向の（+）方向に動き時の曲げ R
R_2：X、Y、Z 各方向の（−）方向に動き時の曲げ R

＜固定点荷重＞

ハーネスの機器との接続点（固定点）及びハーネスクリップに入力される荷重が大きい程、最外周にあるシースが破損しやすい。そこで、モータユニット動き時の固定点荷重（平均荷重、荷重振幅）が評価基準内かどうか確認した。

5.3　解析結果

三相線長さを変化させて、モータユニットが動く際の、周辺隙間、曲げR、固定点荷重、曲率変化の逆数R'を確認した。その結果、長さ290 mmで、全評価基準を満足することが確認できた。詳細を以下に示す。

＜曲げR＞

三本の三相線①②③のうち、最も曲げRが小さかった三相線③を**図16**に示す。曲げRは、上に凸（領域A、E）、下に凸（領域C）、及び両者の遷移領域（領域B、D）がある。領域B、Dはほぼ直線状態になるため、曲げRは十分大きい（**図17**）。

また、曲げRはモータユニットが動いた場合に変化する。最も変化が大きかったZ方向の動き時の曲げR変化を**図18**に示す。動きにより、曲げRは減少するが、最小曲げRであるR_{MIN}>4D（= 13.5 × 4 = 54）となり、メーカー推奨値を満足する。

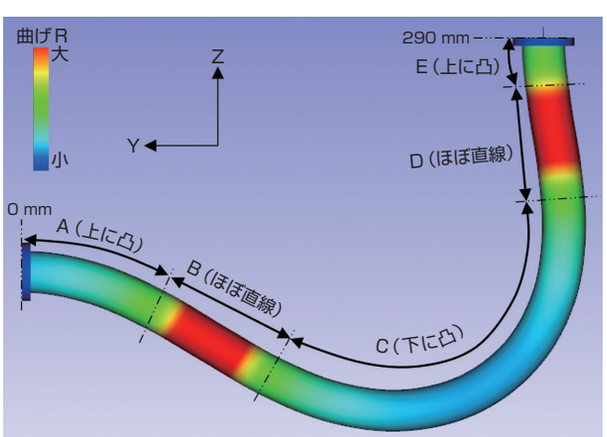


図 16　三相線③の曲げ R 説明図

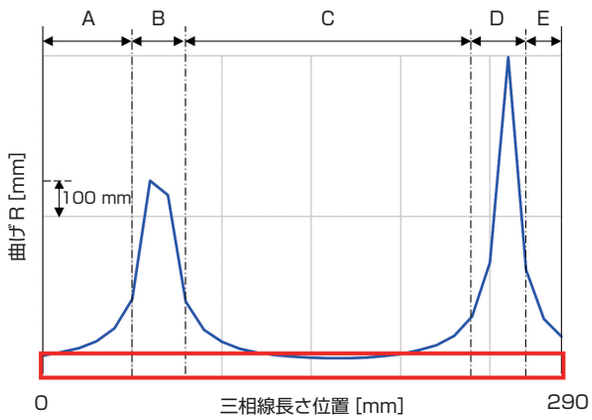


図 17　三相線③の長さ位置における曲げ R

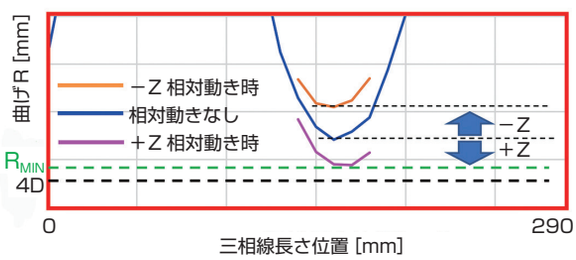


図 18　三相線③の相対動き時の曲げ R 変化

＜曲率変化＞

図19に、過去開発品（今回検証品の実験データはないため、実測データのある同様構造品で代用）のハーネス加振試験における、曲率変化の繰り返し回数と、曲率変化の逆数R'の関係を示す。R'の算出値は、曲げR（R_1、R_2）を使用するため、試験での加振ストロークからIPS Cable Simulationを用いた。R'は大きいほど強度上有利である。今回検証品は、過去開発品の芯線切れなしの実績最小値R'_{CRI}よりも大きく、評価基準内であることが分かった。

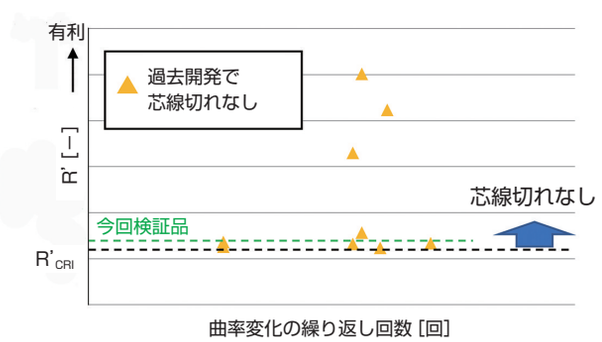


図 19　過去開発品の曲率変化と芯線切れの関係

＜固定点荷重＞

図20に、前述のハーネス加振試験における、固定点荷重（初期配策状態の平均荷重と相対動き時の荷重振幅）と破損有無の結果を示す。固定点荷重は、試験での振動ストローク量からIPS Cable Simulationで算出した。図20を見ると、平均荷重が大きければ、シース切れ、もしくはクリップバンド破損が発生していることが分かる。今回検証品は、図20のように評価基準内であった。

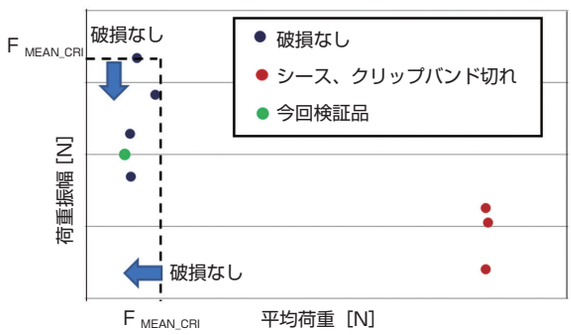


図 20　固定点荷重と破損の関係

＜動き時の周辺隙間＞

モータユニットが、インバータに対してX、Y、Z方向に動いた場合にも、隙間が確保できていることを確認できた。動き前の初期状態を図21に、代表として、最も隙間の小さかった＋Z方向動き時を図22に示す。

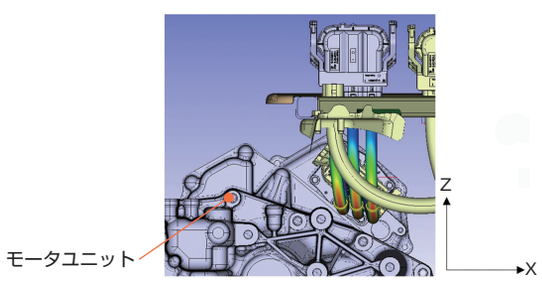


図 21　ハーネス周辺図（動き前の初期状態）

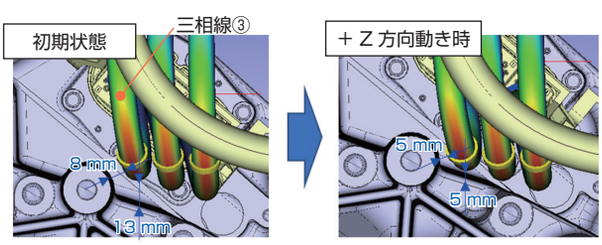


図 22　モータユニットとの隙間（拡大図）

5.3　考察

ハーネス長さに依存し、周辺隙間、曲げR、曲率変化の逆数R'、固定点荷重の各パラメータは変化し、かつ同じ長さでも動いた場合は変化する。例えば、図23にように、長さを240 mmにした場合、初期状態では問題ない。しかし、動いた場合、R'240 mm< R'_{CRI}となる領域が発生し（詳細計算省略）、図19の評価基準を満足しない。

今回の検証品の配策検討において、長さによる各パラメータは、表3のようにトレードオフの関係にあっ

た。すべてのパラメータの評価基準を満足するためには、長さを適切に設定することが重要で、3D－CAD上での配策検討では困難である。

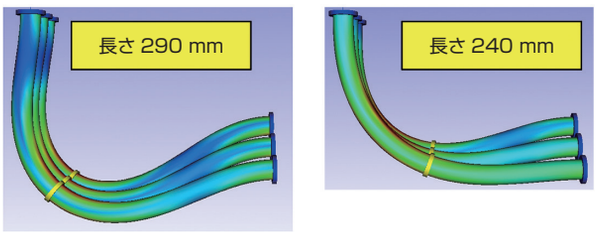


図 23　三相線長さによる配策形状の差異

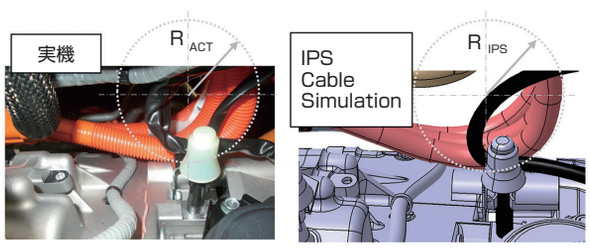
表3　長さ変化による各パラメータ変化の傾向

	周辺部品との隙間	曲げ R	曲率変化	固定点荷重
長い場合	×	×	○	○
短い場合	○	○	×	×

○：有利、×：不利

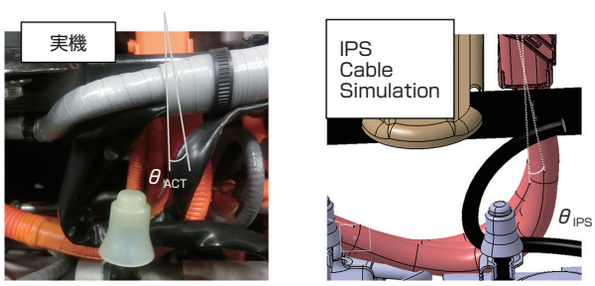
5.4　実機検証

配策ツールの精度検証のため、曲げR、コネクタとの角度を比較した。実車搭載時の隅Rは計測困難であったため、写真を撮影し、写真と同視点での計算結果とを寸法の目読みで比較した。目読みの誤差は約7～13%あるものの、実機と同等の精度で配索できた（図24～図25）。



⇒ R_{ACT} と R_{IPS} の差異約 7%

図 24　曲げ R の実機比較



⇒ θ_{ACT} と θ_{IPS} の差異約 13%

図 25　コネクタとの角度の実機比較

6.　まとめ

1. これまで、ハーネス配策検討は自重や剛性の考慮が困難であった。新たなツールは、実機の配策形状を精度よく再現できた。
2. 曲げRなどのパラメータ変化の予測は、3D－CAD上では困難である。但し、本ツールの有用性がハーネスが接続される機器同士が相対動きをする場合に確認できた。
3. 強度信頼性の指標として、ハーネス曲率変化、固定点荷重を用いたが、周辺隙間や曲げRとはトレードオフの関係になることがあった。各評価基準を満たすため、ハーネス存在可能スペースの中で、適切な長さを選定することが重要である。

参考文献

(1) 野口雄紀 他：自動車用ワイヤハーネス開発におけるシミュレーション技術の適用，フジクラ技報，No.128, 2015vol.1

【著　者】

河野　正敏

竹内　広太

広角単眼カメラによるプリクラッシュブレーキの開発

Development of Autonomous Emergency Braking by Wide-Angle Mono Camera

高　木　秀　倫*　TAKAGI Hidemichi
磯　田　弘　之*　ISODA Hiroyuki
多　田　暁　由*　TADA Akiyori
野　本　宏　輝*　NOMOTO Hiroki
安　藤　祐　介*　ANDOH Yusuke

抄　録

SUBARUが目標として掲げている2030年死亡交通事故ゼロの実現に向け、アイサイトの衝突被害軽減ブレーキの改良を行い、レガシィ、アウトバックに初搭載した。

具体的には、社会損失額から見て重要度が高いと考えた「交差点で右左折する際の巻き込み側の歩行者」「自車の側方から横断してくる自転車」に対し衝突回避や被害軽減を実現するため、新世代アイサイトに加えて広画角の単眼カメラを搭載した。

Abstract

SUBARU has improved Autonomous Emergency Braking to achieve “zero fatal traffic accidents by 2030.”

A “Wide-Angle Mono Camera” is installed in LEGACY and OUTBACK for the first time in addition to the next generation EyeSight. This enables the vehicle to avoid collisions and mitigate impact damage in accidents involving pedestrians when a vehicle is making right or left turns and cyclists crossing a road from the side of a vehicle.

This article describes the sensor technology and functions of the new “wide-angle mono camera.”

1.　まえがき

SUBARUは死亡交通事故ゼロという目標に向けてさらなる予防安全を進化させている。我々は従来の新世代アイサイトによる衝突被害軽減ブレーキ領域を拡充するため、広角単眼カメラシステムを導入した。本システムにより、事故形態の多い交差点内での歩行者や横断してくる自転車に対する衝突回避性能が向上し、安心安全への価値を高めている。本文では、単眼カメラ開発の狙いとシステムの考え方・取組みについて述べる。

2.　交通事故発生状況とSUBARUの事故低減活動

図1に2020年の日本市場における対横断歩行者の交通事故における事故類型を示す[(2)]。図1によると、自車右左折時の事故が76.3%を占めていることがわかる。これは、自車直進時ではドライバが歩行者を視野角に捉えやすい一方で、自車右左折時は、自車速度が低く、かつ、多くの操作を行う必要があることから、ドライバの視野角外に存在する歩行者に対しての注意力が低下する事が原因と推定される。

図2に自転車対自動車事故における事故類型を示す[(3)]。自転車の死者・重傷者数のうち、出合い頭による衝突事故が55%を占めており、そのうち交差点内での事故は事故全体の46%を占めていることが分かる。

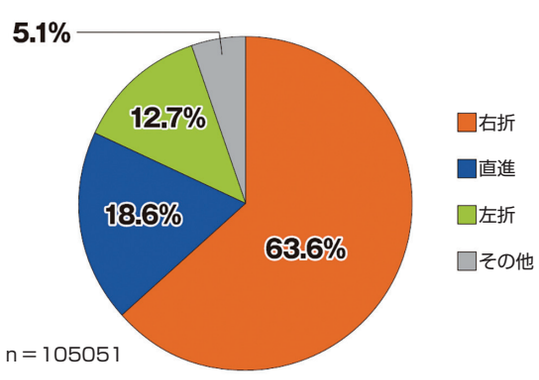


図1　信号交差点での四輪車の行動類型別[(2)]
対横断歩行者事故件数（2011年～2020年合計）

＊ ADAS開発部

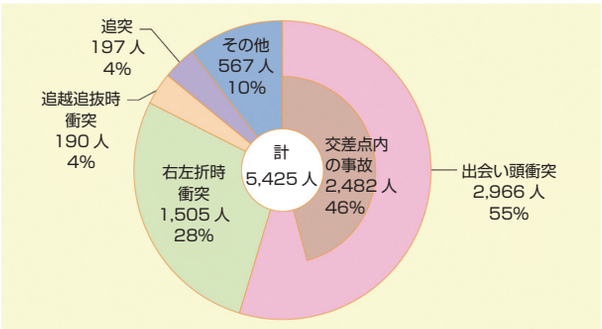


図２　自転車対自動車事故における事故類型別[(3)]
自転車の死者・重傷者数（2020年）

新世代アイサイトはアイサイトver.3に比べてステレオカメラの視野角を広角化することで交差点での右左折時に対向方向から来る歩行者との事故や、横断する自転車との事故に対する衝突回避を実現した。しかしながら、さらに大きな視野角が必要となる以下の事故形態には対応しきれていない現状があった。

・交差点内での右左折時に自車旋回内側から横断してくる歩行者・自転車
・自車に比して高速で横断してくる自転車

3.　システムの考え方

前項の事故形態に対応するため、新世代アイサイトのステレオカメラよりもさらに画角が広い広角単眼カメラを採用した。

3.1　システム構成

フロントガラス中心に搭載されたカメラで撮影した画像から歩行者／二輪車を検出し、認識情報（歩行者／二輪車の位置情報など）を演算、制御処理にて衝突の危険性があると判断した場合、ドライバへの警報要求やブレーキ要求をステレオカメラへ送信、ステレオカメラからメータへの表示と警報及びブレーキ制御を組み合わせることで、ドライバへの注意喚起と衝突の被害軽減または回避を行う。広角単眼カメラによる衝突被害軽減ブレーキのシステム構成を（図3）に示す。

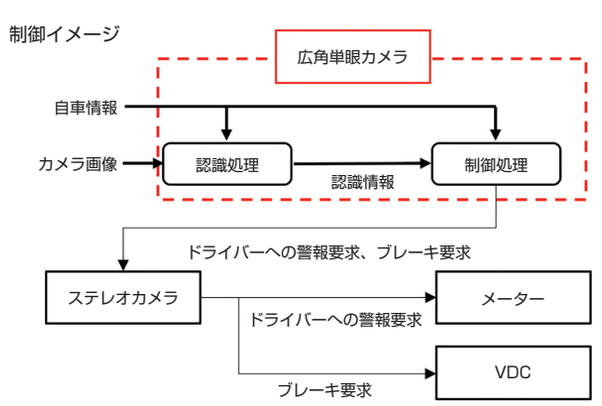


図３　広角単眼カメラによる衝突被害軽減ブレーキ
システム構成

3.2　ハードウェア

図4に車載された単眼カメラを示す。広角単眼カメラはステレオカメラと同様に、ガラス内面に取り付けられるレンズフードで保護することにより、不注意によってレンズに触れられない構造とした。

図４　広角単眼カメラの取り付け構造

4.　制御技術

広角単眼カメラは2章で述べた2つの事故形態に対応した。

4.1　プリクラッシュブレーキ制御

1つ目は交差点右左折時に自車旋回内側から横断してくる歩行者（以降巻き込み歩行者）に対応したプリクラッシュブレーキで、作動最低車速は徐行速度に当たる約10 km/h、作動最高車速は交差点での一般的な速度域を鑑みて約25 km/hとしてある。

2つ目は自車速度に比して高い速度で自車前方に飛び出してくる自転車（以降横断自転車）に対応したプリクラッシュブレーキで、作動最低車速は徐行速度に当たる約10 km/h、作動最高車速は自転車の一般的な走行速度に対しステレオカメラで識別・衝突回避が可能となる速度を鑑みて約30 km/hとしてある。

4.2　警報吹鳴制御

2章の事故形態に対する推定でも述べたように巻き込み歩行者及び横断自転車は、ドライバの視界外から急に自車前方に飛び出してくる。そのため、警報吹鳴時点では衝突対象をドライバが瞬時に発見できない恐れがあった。そこで、ドライバが警報音だけに反応し軽くブレーキを行った場合でも制動回避できるタイミングで警報を吹鳴させることで、ドライバ制動による衝突回避を期待する制御設定とし、それでもドライバの反応が間に合わなかった場合にはプリクラッシュブレーキ制御による急制動（～ 10 m/s^2）で衝突回避できるように制動開始タイミングを設定した。

これらの制動制御を支える認識制御について次項で述べる。

5.　認識技術

5.1　ターゲット検出

単眼カメラのターゲットの検出については、二つの検出器(DNN検出､辞書検出)を使用したパターンマッチングによる検出方法を使用。あらかじめ学習した辞書データを用いカメラ画像の中からターゲットの特徴量をマッチングさせ検出を行っている(**図5**)。画像中からターゲットを見つけ出し、距離、横位置、速度情報等を演算し、制御処理段に出力する。

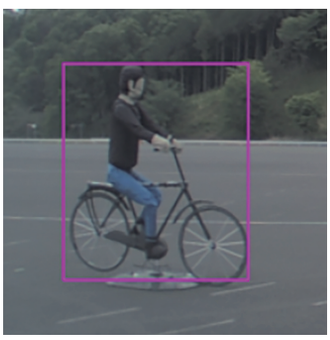


図５　ターゲット検出(自転車認識)例

5.2　広角単眼カメラの認識開発のポイント

事故形態の多いシーンを救うべく衝突回避に必要な出力をする一方で、制御対象と認識すべきでないターゲットに対しては、意図しない機能作動(誤作動・早期作動)を抑制しなければならない。

単眼カメラの認識開発は、サプライヤとSUBARUの共同により、数十万km分の走行データ(海外走行データ含む)(**図6**)をベースとし、アイサイト開発で過去経験した認識評価の重要シーンや認識を誤る可能性があるシーンを追加しながら評価を実施した。ターゲットと認識した類似形状を持つ対象物があるシーンや作動の判断が難しいシーンのデータとなっており、道路環境、交通環境による画像上の様々な変化を与えるものを選定している。上記の様に集約した画像データベースを基に開発の各フェーズでシミュレーション評価を実施し、認識状態の把握とターゲット検出結果の判断を進めた。

これらの評価により「作動範囲拡大による衝突回避性能の向上」を実現できたと考える。

図６　走行データ例

6.　あとがき

今回、開発・搭載した広角単眼カメラにより、従来のシステムで救いきれなかった巻き込み歩行者や横断自転車に対する衝突回避性能の向上を実現した。SUBARUが目指す「死亡交通事故ゼロ」の実現に向けて、さらに一歩前進することが出来た。これからも性能向上を継続していく。

7.　謝辞

本開発におきまして、株式会社デンソー、株式会社J-QuAD DYNAMICSの両社より多大なご協力を頂きましたことを記し感謝の意を表すとともに、改めてここに深く御礼を申し上げます。

参考文献

(1) 中川ほか：前側方レーダ(前側方プリクラッシュブレーキ)の開発, SUBARU技報, No47, P145
(2) 公益財団法人　交通事故総合分析センター：イタルダインフォメーションNo.140
https：//www.itarda.or.jp/contents/9370/info140.pdf
(3) 内閣府：令和3年版交通安全白書
https：//www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r03kou_haku/pdf/zenbun/f-2.pdf

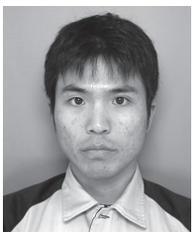
【著　者】

高木　秀倫

磯田　弘之

多田　暁由

野本　宏輝


安藤　祐介

SUBARU 北米向けアウトバックの予防安全機能を強化

～広角単眼カメラを初採用し、歩行者や自転車との衝突回避支援を強化～

2022年4月13日

SUBARUは北米市場向け主力車種アウトバックの一部グレードに、アイサイトの認識能力を強化する広角単眼カメラを新たに採用しました。新採用の広角単眼カメラは、アイサイトのステレオカメラに加わるもう一つの眼として機能するもので、ステレオカメラよりもさらに広い範囲を認識できることが特徴です。

広角単眼カメラ

次世代マルチビューモニタシステムの開発

Development of Next Generation Multi-view Monitor System

笠原 隆宏[*1] KASAHARA Takahiro
更科 博明[*1] SARASHINA Hiroaki
菅原 英紀[*1] SUGAWARA Hideki
藤井 建志[*1] FUJII Takeshi
村越 政之[*2] MURAKOSHI Masayuki
市川 駿[*3] ICHIKAWA Shun
岸 晃[*4] KISHI Akira

抄 録

2020年の新型レヴォーグにおいて初搭載した3カメラマルチビューモニタシステムはSUBARU初のメガピクセルカメラおよび高速映像伝送技術を織り込んだシステムを導入し、ドライバの視界を補助するビューモニタを高解像度化し、車両周辺の障害物や移動物の視認性を向上させることで、安心して愉しめるクルマの実現に寄与してきた。2022年に北米展開するアセントの年次改良では、運転席側のドアミラーにカメラを追加しソフトウェアを刷新することで、SUBARU初の4カメラマルチビューモニタシステムを実現する。本システムでは3カメラシステムの機能のみならず、車両周辺を俯瞰的に表示するトップビューモニタや車両外側の斜め上から俯瞰した3Dビューモードを備える事により、安全性および利便性をさらに向上させた。

本稿では各機能の紹介とともに、実現に向けた開発取り組みについて述べる。

Abstract

The 3-camera multi-view monitor system was installed in the new 2020 LEVORG with SUBARU's first megapixel camera and high-speed video transmission technology. The system has assisted the driver by its improved visibility of obstacles and moving objects and contributed to giving drivers Enjoyment and Peace of Mind.

The new 2022 ASCENT is equipped with SUBARU's first 4-camera multi-view monitor system which is realized by adding a camera to the driver's side door mirror and renewing the software. In addition to the 3-camera system functions, this system provides a bird's-eye view of the vehicle surroundings from the top and a 3D view from diagonally above the vehicle. These additional functions further improve the vehicle's safety and convenience.

This paper introduces each function and the development efforts for its realization.

1. まえがき

SUBARUでは、お客様に提供する車の価値として「安心と愉しさを」という方針を掲げており、これを基に車づくりに取り組んでいる。「安心と愉しさを」を実現する要素の一つに安全があり、SUBARUでは安全の考え方として0次安全を取り入れている。0次安全とは、そもそも事故が懸念される状況に陥らない様にするための要素であり、良好な視界の確保、すなわち死角の低減が挙げられる。SUBARUではフロントドア前側の三角窓や内装トリム形状などを工夫することによって、死角の低減を実現し良好な視界を確保している。

本稿では車両全方位の状況をモニタに表示することで、さらなる死角低減に貢献する「360°サラウンドビューモニタシステム」を構成する技術を報告する。

2. 開発背景

近年、国内における駐車場内での事故割合は、全体の事故件数のうち約3割を占めている。駐車場内での事故における要因としては、対象物の発見の遅れや車両操作上の誤りが大きな要因として挙げられている。これら要因に対する有効な車両側での対応策として、誤操作・誤認識に対する運転支援システム、駐車時の

＊1 ADAS開発部
＊2 品質保証部
＊3 E&Cシステム開発部
＊4 電動車両生産技術部

視界補助を目的とした視界補助システムの導入が考えられる[1]。SUBARUでは後退時の誤操作・誤認識が発生した場合に、Reverse Automatic Braking（RAB）と呼ばれる、超音波センサにより壁や車などの静止物を検知しディスプレイで運転手に注意喚起、必要に応じて自動でブレーキを作動させ、衝突回避・被害軽減する運転支援システムで対応している。

一方の視界補助システムについては、リヤビューカメラの装着率は増えており（**図1**）、また後退事故件数は減少傾向にある（**図2**）。しかし、後退事故件数が減少傾向にあるにもかかわらず、全死傷事故に占める後退事故件数割合は増加傾向となっている[2, 3]。

今回SUBARUではナビ画面などの大型ディスプレイ上に360°サラウンドビュー映像を表示することで、リヤビューカメラによる後方視界のみならず、一画面で容易に車両周辺の状況を確認することができるシステムを開発した。これにより、後退時に視線移動が少なく車両周囲を確認することができる。また、発進時や車両を幅寄せする際の安全確認も容易にすることができ、車両近傍における死角を減らすことができる。

以上により、駐車時の視認性不足による車両操作誤りの低減に貢献する他、駐車が苦手なドライバでもより安心して運転できる車の提供にも貢献するシステムを目指して開発した。

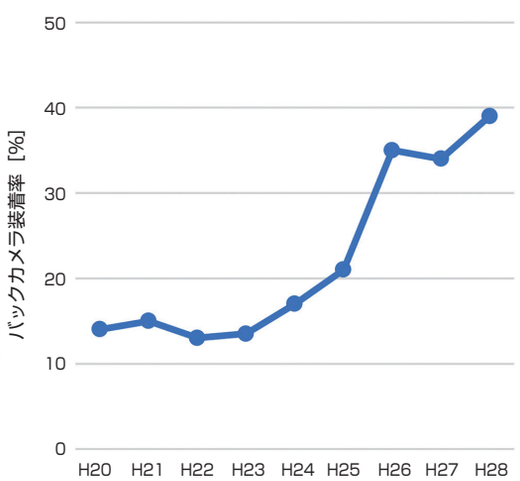


図１　リヤビューカメラ装着率[2]

3.　システム構成

360°サラウンドビューモニタシステムのシステム構成を**図3**に示す。フロントグリルに車両前方を映すフロントカメラ、リヤゲートに車両後方を映すリヤカメラ、左右の各ドアミラーに左右方向を映すサイドカメラを装備している。

また、カメラECUには各カメラの位置・姿勢（パラメータ）が記憶されており、この位置・姿勢を基に4つのカメラが撮像した映像を合成することで、車両全方位の状況を確認できる3Dビュー・拡大トップビュー画面を描画・表示する。

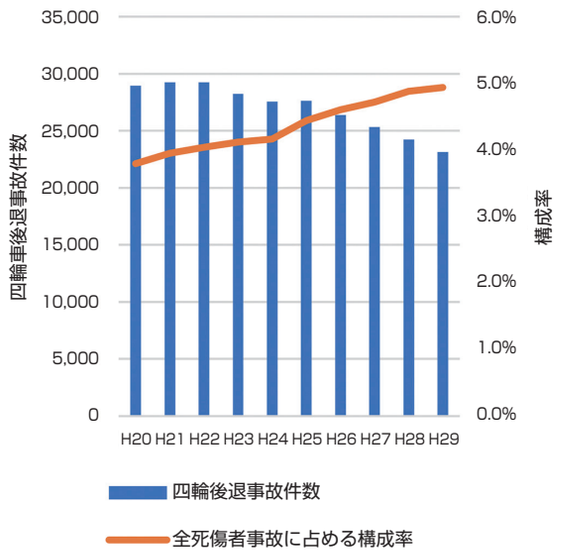


図２　四輪車後退時における事故発生状況[2]

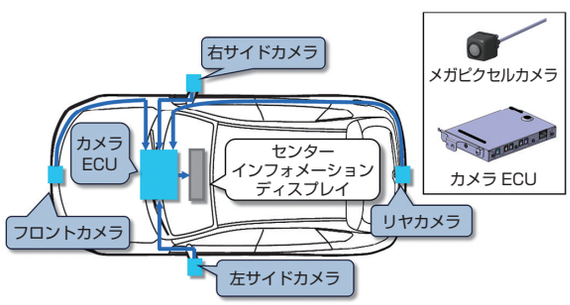


図３　システム構成図

3.1　カメラ

マルチビューモニタ・360°サラウンドビューモニタを構成するカメラは、年次改良前のアセントに装備される解像度30万画素のカメラから、100万画素とメガピクセル化することで、高精細かつ高解像度の映像をドライバへ提供することを可能とした。

高解像度化のメリットとして車両、歩行者、自転車、障害物等の対象物への認知スピードが高まり、ドライバの視認性確保に大きく寄与し、事故の未然防止に貢献することができるからである。

一方、高解像度化のデメリットとして、ある同一面積のイメージセンサーサイズにおいて、異なる画素数の感度を比較すると、高画素になればなるほど1画素あたりの受光面積が小さくなり、ノイズ悪化や色の階調整の低下を招き、画質の低下につながる。

新型レヴォーグ、新型アセントでは、昼間時・夜間時などの異なる環境・ユースケースにおいても、昼夜の視認性を両立できる様チューニングを行った。

3.2　同軸ケーブル

デジタル・メガピクセル化したカメラ映像を伝送するため高速かつ耐ノイズ性能に優れたケーブルとして同軸ケーブルを採用した。また、同軸ケーブルの内部シースに特殊配合樹脂（フェライト入りPVC）を用いることでさらに耐ノイズ性能を高めている。

同軸ケーブルを採用したことで、カメラ～カメラECU間の通信に電源重畳し、1つの経路で電源およびカメラ映像信号の伝送を完結させ軽量化を実現した。

また、既存の車両ハーネス配策に同軸ケーブルを同束することで、車両全体の配策を合理化した。

3.3　カメラECU

カメラECUは、各カメラより映像を取得し、合成・整理した上でセンターディスプレイユニットへ出力するユニットである。ドライバが周辺環境をより容易に認知できるよう採用したデジタル高解像度・メガピクセル化したカメラの性能を活かすため、カメラとの通信方式を従来のNTSC準拠コンポジットビデオ信号からFPD Link IIIに改めることで、デジタル・シリアル通信とし、通信速度を最大3.0 Gbpsまで向上させている。また、メガピクセルカメラ対応・映像合成を行うため、従来のカメラシステムと比べより高性能なSoCを採用した。

4.　システム機能

本項では、360°サラウンドビューモニタの主要機能である画面遷移構成、および新規機能である拡大トップビュー・3Dビューとキャリブレーションについて示す。

4.1　画面遷移構成

本システムは、シフトがRレンジまたはセンターコンソールに配置しているVIEWスイッチを押下したとき、車両に搭載したカメラにより得られる車両周辺の映像を車内ディスプレイに表示することで、ドライバの周辺視界を補助する機能である。

360°サラウンドビューモニタシステムの画面遷移を図4に、各ビューでの表示イメージを図5に示す。車両シフト状態により表示するビューを以下のように纏めている。

・Rレンジでのビュー：バックワードビュー
・N/D/Lレンジでのビュー：フォワードビュー
・Pレンジでのビュー：3Dビュー

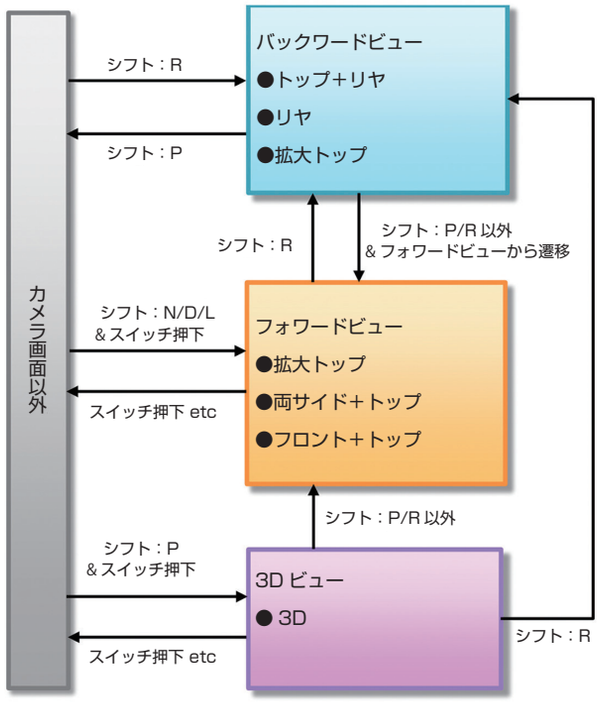


図４　画面遷移

図５　各ビューにおける表示イメージ

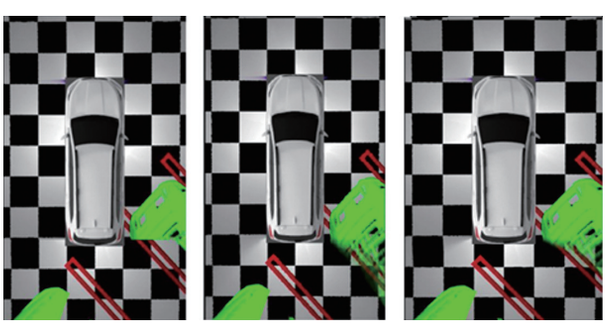
バックワードビューでは後退時・駐車時での使用を想定し、車両全方位確認可能なトップビュー及びリヤビューを表示する。フォワードビューでは一般道走行時での見通しの悪い交差点、すれ違いでの幅寄せ・駐車時を想定しトップビュー及びフロント・サイドビューを表示する。3Dビューでは出発時に車両周囲の確認を想定し、車両をバードビュー視点で360°旋回描画する3Dビューを表示する。

トップビューは周囲の環境をシームレスに表示可能なため、駐車時・極低速時に車両近傍を確認する際の利便性が高い。一方表示範囲は車両の周囲2-2.5 mであるため、一般道走行時のニーズは低いと考えられる。そのため、車速20 km/h以上の際にトップビューを表示せず、車両前方・側方をより広範囲に表示可能なフロントビュー・サイドビューのみを表示する仕様とし、環境ごとでの利便性向上を行った。

4.2 拡大トップビュー・3Dビュー

拡大トップビュー及び3Dビューは、2022年に北米展開するアセントの年次改良から搭載している新機能である。4つの高視野角のカメラで取得した映像を、カメラ搭載座標に基づき座標変換を行うことで、1画面に合成している。拡大トップビューは駐車時・極低速時に車の周辺確認することを想定しており、3Dビューは360°旋回描画することで、出発前に車両周囲の状況を確認することを想定している。

本システムでは車両全方位を表示するため、高視野角のカメラを使用している。高視野角のカメラは非常に広い範囲を撮影可能な一方で、映像に歪みが生じるため、補正を行い歪み除去を行うことが一般的である。トップビューや3Dビューでは、地面高さで映像の歪みがなく表示されるように映像補正を掛けて表示しているため、高さのある隣車両は引き伸びた表示となる。この映像補正の特性を考慮し、駐車時に自車が駐車しようとしている駐車枠と隣車両の視認性が確保されるようにカメラ映像の合成角度をチューニングした。図6に後退駐車時におけるトップビューシミュレーション結果を示す。



(a) (b) (c)

図6 トップビューシミュレーション結果

(a) 隣車両の一部が欠けて表示されているように見え隣車両の視認性が悪い
(b) 自車が駐車しようとしている駐車枠に隣車両が映り込み違和感がある
(c) 隣車両は一部が欠けた表示になっておらず実際に駐車している駐車枠に表示される

よって、本システムでは(c)の合成角度とし、駐車時に周囲を確認しやすいカメラ表示を実現した。また、縦長のセンターディスプレイの利点を活かして、トップビュー画面を大きく表示し、視認性の向上を図っている。

4.3 キャリブレーション機能

3Dビューや拡大トップビューは、車両のある位置を基準とする座標系における各カメラの位置・姿勢を基に実カメラ映像から見下ろした様な仮想カメラ映像を作成し(図7)、また4つのカメラ映像を合成する。実際の車両では地面接地面であるタイヤからカメラ取付部まで様々な部品で構築されており、これらの公差がカメラ視野に影響し、そのままの状態で映像合成を行うと図8(a)に示すように映像が歪んでしまう。そのためキャリブレーションを行いカメラの位置・姿勢を推定・補正する必要がある。

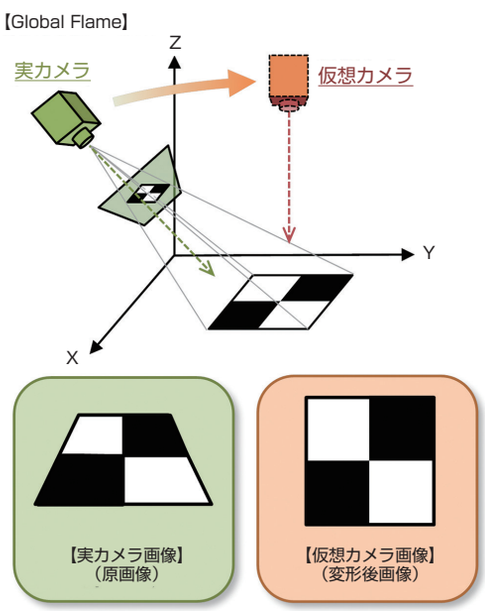
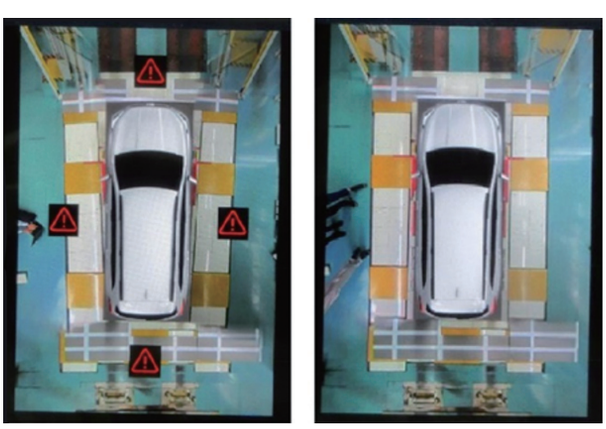


図7 キャリブレーション原理



(a) (b)

図8 キャリブレーション効果確認

キャリブレーションでは車両の周囲にターゲットと呼ばれる白黒チェック柄のボードを規定値通りに配置し、各カメラで撮像・カメラECUにて特徴点を抽出することで位置･姿勢の推定を行う。キャリブレーション後の映像を図８(b)に示す。車両両側に設置されている橙・白の設備が(a)では車両に対して曲がっていたことに対し、(b)では車両と並行になっていることが確認できる。

キャリブレーションでは、カメラで撮影したターゲットの色差を検出することで特徴点抽出を行っている。そのため、何等かの原因で特徴点を誤抽出してしまうと、キャリブレーション後の映像品質の低下を起こしてしまう懸念がある。今回は外的要因による特徴点の誤抽出を低減するため、本システムのキャリブレーション工程では精度に大きく影響する光源を特定・遮断し、また低反射のターゲット材質を選定することで､キャリブレーション後の映像品質を担保した。

5. まとめ

今回開発した360°サラウンドビューモニタは、車両近傍360°の映像を表示することで、駐車時の周辺環境確認が容易となり、駐車場内での事故低減に貢献する他、駐車が苦手なドライバでもより安心して運転できるシステムを開発できたと考える。今後もさらなる死角低減・利便性向上を目指すことでSUBARUの方針である「安心と愉しさを」に貢献し､お客様のニーズに応えていきたい。

最後に本システム開発においては、フォルシアクラリオン・エレクトロニクス株式会社様の多大なるご協力を頂きましたことを記し心から感謝の意を表すとともに、改めてここに深く御礼を申し上げます。

参考文献

(1) 公益財団法人東京都道路整備保全公社／株式会社サンビーム：「駐車場の交通事故減少に向けた安全性向上のための施設運用に関する研究」,（2018.3）
(2) イタルダ・インフォメーション, No.128（2019.1）
(3) イタルダ・インフォメーション, No.115（2016.3）

【著　者】

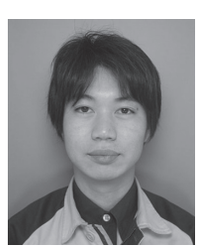
笠原　隆宏

更科　博明

菅原　英紀

藤井　建志

村越　政之


市川　　駿

岸　　晃

不警報・誤警報が死角からの飛び出し回避行動へ及ぼす影響の分析

Analysis of the Effect of Non-Alarms and False Alarms on Driver's Behavior Avoiding Rush out of Blind Spots

齋藤貴太* SAITO Takato
松本一樹* MATSUMOTO Kazuki
後藤育郎* GOTO Ikuo

抄　録

細街路で駐車車両の脇を通過する、あるいは見通しの悪い交差点を通過する場面では、死角からの飛び出しに備えた事前の減速などが事故防止に効果的である。

筆者らは、将来の車には上記のような潜在的な危険の存在をドライバへ情報提供し、予備的な回避を促す機能が必要と考えている。しかし実際には危険が発生せず、誤った情報提供をしてしまう場合がある。これが繰り返されると、ドライバが情報提供を信用しなくなってしまい無視する懸念がある。また車載システムが危険を見落とし、必要な時にドライバへ情報提供できない懸念もある。このように情報提供が不正確だと、飛び出しが発生した時にドライバが適切な回避行動をとれないように誘導してしまう恐れがある。

本稿では基礎検討として、情報提供の不正確さとドライバの回避行動の関連性を分析した結果を報告する。加えて本稿で得られた知見に基づき、将来の商品化を想定した場合の対策についても述べる。

Abstract

In case of passing by vehicles parked at the side of a narrow road or driving through a poor visibility crossing, earlier actions such as deceleration are effective for accident prevention.

We believe a certain function to notify the driver of potential danger and to make preliminary avoidance is required. However, in the real-world cases, there is a case that no such danger occurs, and wrong information is provided. When this happens continuously, the driver might start to doubt the information provided and ignore it. Also, the system might lead the driver to become incapable of taking appropriate actions to avoid dangers.

As a foundation study, we report our survey results of the driver's evasive behavior when experiencing several non-alarms and false alarms. Expected measures for the future products are also described based on the insights from the survey.

1. まえがき

技術研究所では交通事故撲滅に向け、一般道の複雑な交通環境を想定した運転支援技術の基礎研究に取り組んでいる。日本の一般道での車両対歩行者における事故形態は、単路での歩行者横断が約4割[(1)]と最多で、そのうち路上駐車車両による死角からの飛び出しが約3割[(2)]と最も多い。死角からの飛び出しは、相手を発見してから回避しようとしても難しい[(3)]ため、このような場面では、ドライバに対して予めの減速や死角と間隔を空けるよう促す運転支援が効果的である。

具体的には、主に自車センサが知覚した周囲環境、例えば遮蔽物によって作られる死角の存在などに基づき熟練ドライバのように飛び出しを予測して、予防的な回避を促す警報機能などを想定している。近年、路上センサや他車両などと連携して死角の歩行者を知覚し、高い精度で飛び出しを予測する技術が研究されている[(4)]。我々は、この技術が普及していない場所・搭載されていない車両相手でも有効な運転支援機能を提供することで、お客様の安心・安全を高めることができると考え、死角に存在する歩行者が知覚できない場合でも有効な技術開発に取り組んでいる。

我々の想定する機能は歩行者が知覚できない場合でも飛び出しを予測するため、飛び出しがないにも関わらず警報が行われる（誤警報）場合が多くなる可能性が高い。警報を行う条件を厳格化することで誤警報の

＊ 技術研究所

頻度を低減できるが、これにより飛び出しが発生したにも関わらず警報が行われない（不警報）場合が生じてしまう。

以上で述べてきたように、我々の想定する運転支援機能は誤警報・不警報が一定頻度で発生することが考えられる。このような運転支援では、以下(i)～(iii)が懸念される[5]。

(i) 警報がない時には飛び出しが発生しないとドライバが思い込み（過信）、不警報時に回避行動をとらず衝突してしまう

(ii) 誤警報が繰り返されることでドライバが警報を信用せず無視するようになり（不信）、正しい警報（正警報）に回避行動をとらず衝突してしまう

(iii) 不警報が繰り返されることでも不信が募り、正警報時に回避行動をとらず衝突してしまう

そこで我々は、上述した機能の不警報と誤警報の発生頻度を変化させ、ドライバの回避行動にどのような影響を与えるかを検証した。得られた結果から、過信・不信を引き起こしにくい工夫についても検討した。

2. 仮説および検証方法

まず実験にあたっての仮説を述べる。木俣ら[6]は、歩道の歩行者が車道を横断し始めた時に警報する機能の不警報と誤警報の発生頻度を変化させ、実験参加者が横断歩行者を認識するまでの反応時間を計測した。その結果、条件間で有意な差が見られなかったと述べている。しかし、木俣ら[6]の研究の歩行者はドライバから直接視認できるため横断を予見しやすく、警報への過信・不信が生じにくく差が見られなかった可能性がある。一方、死角で見えない横断歩行者は直接視認できないため、ドライバはより警報へ依存すると考えられる。その結果、不警報や誤警報の際に木俣ら[6]の研究よりも反応時間が悪化し、衝突の危険が高まることが懸念される。このように我々の想定する機能の特性に基づき、以下の仮説を立てた。

仮説① 不警報の発生頻度が低いと過信を招きやすく、不警報時に衝突しやすい

仮説② 誤警報の発生頻度が高いと不信を招きやすく、正警報時に衝突しやすい

また1章の懸念(iii)および仮説①から、以下の仮説を立てた。

仮説③ 不警報の発生頻度が低過ぎず、かつ高過ぎないことで過信・不信を招きにくくなり、衝突しにくい

3. 実験

3.1 実験シナリオ

ドライビングシミュレータ(DS)を用いて、住宅街走行を模擬した。走行ルートの概略図を**図1**に、詳細設定を**表1**に示す。

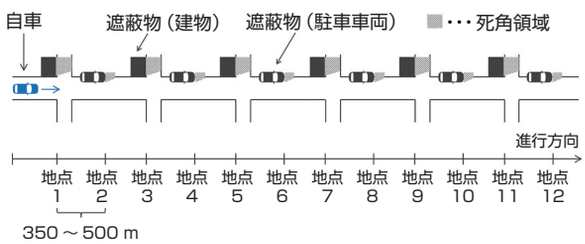


図1　走行ルート概略図

表1　走行ルートの詳細な設定

道路形態	片側1車線（幅3.5 m） 路肩あり（幅1.25 m）
走行距離	約5,000 m
飛び出しが発生し得る地点数	計12ヵ所（図1 地点1～12） ・見通しの悪い交差点：6ヵ所 ・路肩の駐車車両の陰：6ヵ所

歩行者の飛び出しは、自車の先端と歩行者側面の自車進行方向における距離が6.6 mの時に、ドライバが歩行者を視認できるよう設定した。この設定により、40 km/hで走行している場合、歩行者が見えてからブレーキを踏んでも衝突を回避できない。詳細を**図2**に、シミュレータ映像を**図3**に示す。

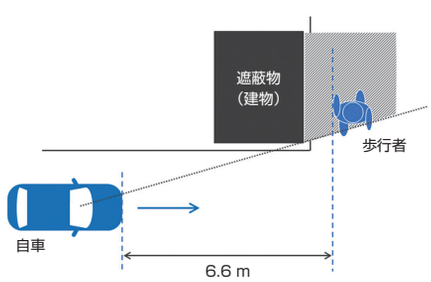


図2　見通しの悪い交差点での飛び出し設定

図3　歩行者飛び出し時のシミュレータ映像

警報はシミュレータ上への飛び出し注意のアイコンに加え、間欠音(2,000 Hz, 0.5秒間隔)を5秒間提示した。提示開始タイミングは、自車の先端と歩行者側面の自車進行方向における距離が44.7 mの地点とした。40 km/hで走行している場合、ドライバが飛び出し歩行者を視認できる約3.4秒前である。

3.2 不警報・誤警報頻度の設定

2、3走行目における不警報と誤警報の発生頻度設定を**表2**に示す。ここで発生頻度とは、地点12に到達した時点での不警報および誤警報の頻度を意味し、式(1)(2)で定める。そのため**図1**の地点1～11に正警報・不警報・誤警報を割り当て、発生頻度を設定した。なお全ての条件において、地点1と地点11では正警報、地点12では不警報が発生するよう設定した。また表2の条件(b)～(g)は、地点2において警報がなく歩行者飛び出しも発生しない状況が共通して設定され、地点3～10において警報および飛び出しの有無が異なるように設定されている。

$$\text{不警報の発生頻度} = \frac{\text{不警報回数}}{(\text{正警報回数} + \text{不警報回数})} \quad (1)$$

$$\text{誤警報の発生頻度} = \frac{\text{誤警報回数}}{(\text{正警報回数} + \text{誤警報回数})} \quad (2)$$

表2　不警報・誤警報の発生頻度の設定

条件	発生頻度		地点1～11での設定回数		
	不警報	誤警報	正警報	不警報	誤警報
(a)	10%	10%	9回	1回	1回
(b)	25%	25%	3回	1回	1回
(c)	25%	14%	6回	2回	1回
(d)	25%	0%	3回	1回	0回
(e)	17%	17%	5回	1回	1回
(f)	14%	25%	6回	1回	2回
(g)	0%	25%	3回	0回	1回

3.3 教示

実験参加者には、DSのアクセル・ブレーキペダルを操作し以下の行動をとるよう教示した。

- 40 km/hを維持して直進走行すること。
- 見通しの悪い交差点や駐車車両の脇を通過する際に危険を感じたら、減速すること。
- 他の交通参加者などと接触すると判断したら、停車すること。

また運転支援機能について以下を教示した。

- 実験車両には、進行方向に飛び出しが予測された場合に警報する機能が搭載されている。
- ただしこの機能は、飛び出しを完全に予測することができない。警報があっても飛び出しが発生しない場合や、警報がなく飛び出しが発生する場合が起こり得る。

3.4 実験手順および実験参加者

実験参加者は教示を受けた後、DS操作や警報を確認する慣熟走行を行った。また警報がない状態で歩行者の飛び出しを1度経験しブレーキ操作を確認した。その後、3回の走行を行った。1走行目では警報がない場合の回避行動を計測し、2走行目では同一の警報条件に対する回避行動を取得した。3走行目では実験参加者を6条件に分け、それぞれに不警報と誤警報の発生頻度が異なる警報条件での回避行動を取得した。この狙いは、1走行目と2・3走行目を比較することで警報の効果を確認し、2走行目と3走行目を比較することで不警報と誤警報の影響を詳細に分析することにある。

実験参加者は、運転支援機能の開発に携わっていない運転免許を保持する95人が参加した。年齢層比および男女比は、おおよそ均等である。1～3走行目の条件設定および実験参加者の詳細を**表3**に示す。

表3　1～3走行目の条件設定および実験参加者数

走行順	警報有無	条件(表2参照)	対象の実験参加者数
1走行目	なし	---	95人(全員)
2走行目	あり	(a)	95人(全員)
3走行目	あり	(b)	17人
		(c)	15人
		(d)	16人
		(e)	17人
		(f)	15人
		(g)	15人

なお本実験は、自動車技術会「人を対象とする研究倫理ガイドライン」に沿った株式会社SUBARU倫理審査委員会の審査承認を得て実施した。

3.5 計測データ

2章の仮説①～③より、ドライバが過信状態であると不警報時に減速が不十分となり、また不信状態であると正警報時に減速が不十分となる。その結果が下記のデータに現れると考え、計測した。

- 飛び出し歩行者との衝突率
- 実験参加者が歩行者を視認した時の車速の平均値

実験参加者が歩行者を視認した時とは、**図2**の状況である。この時の条件の車速の平均値を計測した。

4. 結果

4.1 衝突率

2章の仮説①～③を検証するため、**表2**の条件毎の衝突率を式(3)(4)より算出した。式(3)(4)の実験参加者数とは、**表3**で条件毎に割り振られた実験参加者数(15～17人)を意味する。

$$\text{不警報時の衝突率} = \frac{\text{地点12で衝突した実験参加者数}}{\text{実験参加者数}} \quad (3)$$

$$\text{誤警報時の衝突率} = \frac{\text{地点11で衝突した実験参加者数}}{\text{実験参加者数}} \quad (4)$$

地点11の正警報時は**表2**に示す全ての条件で衝突が発生しなかった。1走行目の地点12での衝突率と2･3走行目の地点12の不警報時の衝突率を条件毎に**表4**に示す。

表4　3走行目の不警報・誤警報発生頻度別各走行での地点12の衝突率

走行順＼条件	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
1走行目	18%	0%	0%	12%	27%	14%
2走行目	18%	0%	13%	12%	13%	7%
3走行目	6%	0%	13%	6%	13%	40%

表4の3走行目の衝突率に着目し、条件(b)～(g)の各条件間について、フィッシャーの正確確率検定で2条件間の有意差検定(ベンジャミン－ホッホバーグ法でP値を調整)を行ったが有意差は見られなかった。また、各条件の2走行目と3走行目の衝突率について、コクランのQ検定を行ったところ、条件(g)のみ有意差($p<0.05$)が見られた。

4.2 歩行者を視認できる地点での車速

2章の仮説①～③を検証するため、ドライバが歩行者を視認できる地点での車速を分析した。**図4**に3走行目における地点1、2、11、12での車速平均値を示す。条件(b)～(g)では地点1、2、11、12の警報および飛び出し有無は共通である。各条件間の車速平均値について、クラスカル・ウォリス検定を行ったが有意差は見られなかった。次に、車速平均値の差が大きかった地点12に着目し、**表5**に示す条件毎の車速の度数分布表で確認した。その結果、条件(g)は、21 km/h以上の車速であった実験参加者が15人中8人となっており、他の条件と比較して車速が高い実験参加者が多かった。

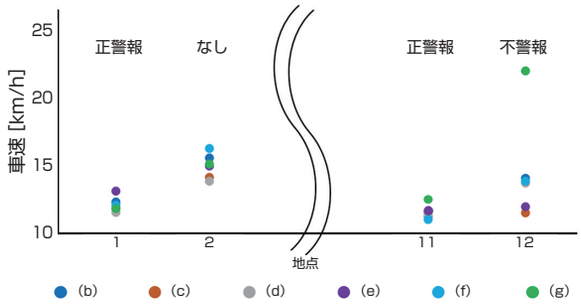


図4　飛び出し視認時の車速平均値の比較

表5　地点12における飛び出し目視時の車速の度数分布表

階級名＼条件	(b) 度数	(c) 度数	(d) 度数	(e) 度数	(f) 度数	(g) 度数
0－10	8	7	10	10	9	7
11－20	4	7	2	5	3	0
21－30	4	1	1	1	1	3
31－40	0	0	2	1	2	2
41－50	1	0	0	0	0	3

5. 考察

5.1 仮説①について

不警報の発生頻度が最も低い条件(g)は、過信を招いている可能性が高い。条件(b)～(f)と共通する2走行目で衝突率に顕著な差がない一方、条件(g)のみ2走行目から3走行目で有意に衝突率が上昇したためである。また車速も他条件と比べ高い実験参加者が多かった。以上から仮説①の「不警報の発生頻度が低いと過信を招きやすく、不警報時に衝突しやすい」可能性が考えられる。

5.2 仮説②について

誤警報の発生頻度に関わらず、本実験ではどの条件でも正警報時に衝突が発生しなかった。本実験の誤警報の発生頻度の設定(25%以下)では、仮説②の「誤警報の発生頻度が高いと不信を招きやすく、正警報時に衝突しやすい」とはいえなかった。この理由として、誤警報の発生頻度が25%以下では不信が生じにくい可能性が考えられる。

5.3 仮説③について

3走行目の地点12の不警報の衝突率には、条件(b)～(f)間に有意な差はなく、同様に飛び出し歩行者が視認できる地点での車速平均値にも顕著な差が見られなかった。

この点について、1～3走行目で衝突率が0%から変化しなかった条件(c)に着目した。条件(c)の実験参加者の多くは過信状態に陥りにくい特性を持ち、警報有

無に関わらず回避行動をとったと考えられる。そこで条件毎に回避行動を分析し、実験参加者を表6に基づいて2群に分類した。過信しやすい特性の実験参加者(群1)において、衝突率や車速が低下する条件があれば仮説③を検証できると考えたためである。また2走行目に着目した理由は、全ての実験参加者が共通の条件(a)を経験するため、過信しやすさを比較できると考えたためである。各群の人数構成を、表7に示す。

表6　実験参加者の2群への分類方法

過信しやすい特性 (群1)	2走行目の地点12の不警報で 衝突した実験参加者
過信しにくい特性 (群2)	2走行目の地点12の不警報で 飛び出しを回避した実験参加者

表7　条件毎の過信特性の群の人数構成

条件	群1	群2
(b)	3人	14人
(c)	0人	15人
(d)	2人	13人
(e)	2人	15人
(f)	2人	13人
(g)	1人	14人

まず、群1の実験参加者の衝突有無の変化を比較した。図5に各条件の地点12の2走行目と3走行目の衝突人数の変化を示す。条件(b)と(d)、(e)、(f)は衝突人数が減っていた。そこで、衝突人数が減っていた条件の車速の変化を比較した。条件(b)と(d)、(e)、(f)の地点12の2走行目と3走行目の車速を図6に示す。個人データの比較ではあるが、条件(b)と(d)、(e)には、一般的に車両が直ちに停止することができる徐行速度10 km/hまで減速している実験参加者が見られた。飛び出しに備えた回避行動を促せたと考えられる。これらの不警報の発生頻度が20%前後の条件は、過信しやすい特性の人を過信に招きにくい、不警報の発生頻度が低過ぎず、かつ高過ぎない条件であると考えられる。

以上より、対象人数が少ないものの、仮説③の「不警報の発生頻度が低過ぎず、かつ高過ぎないことで過信・不信を招きにくくなり、衝突しにくい」可能性が考えられる。

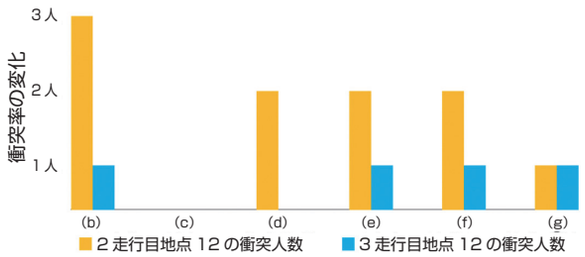


図5　各条件の1群の衝突人数の変化

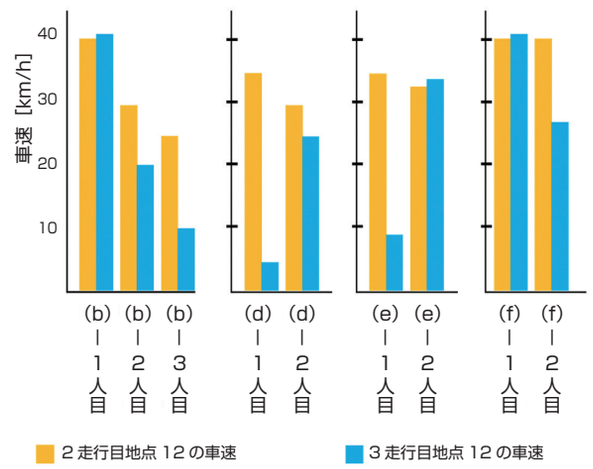


図6　各条件の1群の個人毎の車速の変化

5.4　過信・不信を引き起こさない工夫について

不警報や誤警報が衝突率や回避行動に影響を及ぼす理由について考察し、過信・不信を引き起こしにくい工夫について検討した。

衝突率や飛び出し視認時の車速の差が大きい条件間で平均車速を比較したところ、途中の地点で不警報が発生した条件ではその後の平均車速が低くなる傾向にあった。5.3節の結果も踏まえると、不警報を経験することで警報がない時でも自身の判断で回避行動を行うような影響があったと考えられる。

1章に述べたように、我々は死角の歩行者を知覚できない場合でも有効な運転支援機能を想定している。このため現実の交通環境では不警報や誤警報の発生頻度を制御できず、今回の知見を製品に活かすには別の観点が必要になる。ドライバ自身で判断して飛び出しに備える回避行動を促す上で、情報提示の工夫が挙げられる。例として堤ら[7]が行った、後方衝突警報の在り方を検討する中で、後方センサ認識信頼度がある一定値以上高い場合には警報を提示し、センサ認識信頼度が低い場合には注意喚起を提示する検討がある。これにより誤警報・不警報を減らし、一部ドライバでは警報のみの条件よりも事故率が低下したと報告している。例えば周囲環境から予測される危険の程度によって、警報と注意喚起を使い分けることで、誤警報・不警報を減らし過信・不信を抑制できると考える。

6. まとめ

不警報の発生頻度が低い場合、不警報時の衝突率が高い傾向にありドライバの警報への過信の可能性が認められた。本実験での誤警報の発生頻度(25%以下)では、正警報時に衝突は発生せず不信は認められなかった。さらに不警報の発生頻度が20%付近の場合、不警報時に衝突する人数が減っており、十分に衝突を回避できる速度になっている人が見られた。過信・不信を招きにくい条件であったと考える。警報の方法を工夫することで､同様の効果が得られる可能性がある。

今後の課題として、本稿では飛び出しを警報する機能単体で不警報と誤警報が回避行動に及ぼす影響についての検証を行ったが、既に車には、車線逸脱警報などの様々な警報機能が搭載されている。そのため、伊藤ら[(8)]が報告している、ドライバは似た機能が動作している状況において、それぞれの機能を個別にとらえるのではなく、関連する機能群をひとまとめにして捉えているという考え方が参考になる。その他の関連機能の警報により過信・不信となった時の抑制手法を警報機能全体で検証する必要がある。

参考文献

(1) 松井ほか： ドライブレコーダデータにおける車両と歩行者のニアミス状況の特徴, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.10-10, p.15-20（2010）

(2) 北島ほか： 歩行者事故・ニアミス発生前映像に基づく歩行者行動実態の解析, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.101-07, p.17-20（2007）

(3) 趙雨ほか： ドライブレコーダ映像を用いた事故再現による衝突被害軽減ブレーキの効果評価, 自動車技術会2018年春季大会講演予稿集, No.20185300（2018）

(4) 木村ほか： 協調型自動運転の交差点通過における安全･効率のシミュレーション評価, マルチメディア,分散協調とモバイルシンポジウム2018論文集, p.1377-1382（2018）

(5) 前東ほか： 自動化システムの使用と信頼の役割, 認知科学, Vol.21, No.1, p.100-112（2014）

(6) 木俣ほか： 歩行者警報における不・誤警報がドライバの信頼感に与える影響の研究, 自動車技術会論文集, Vol.38, No.1, p.49-54（2007）

(7) 堤ほか：3203 センサ認識信頼度を考慮した後側方警報の提示手法に関する研究（OS6-3 操作行動と支援, 一般社団法人 日本機械学会, OS6 ヒューマンファクタ, オーガナイズド・セッション）, 交通・物流部門大会講演論文集 2008.17（2008）

(8) 伊藤ほか：5205 追突回避支援に対する過信とその防止（DS2 ドライバモニタリングと追突回避支援, ディベロップメント・セッション）, 一般社団法人 日本機械学会, 交通・物流部門大会講演論文集 2008.17（2008）

【著　者】

齋藤　貴太

松本　一樹

後藤　育郎

排気系熱疲労検討手法の構築

Development of the Heat Fatigue Analysis Method for the Exhaust System

藤 田 恒 平[*1] FUJITA Kohei
臼 井 洋 充[*2] USUI Hiromitsu
川 島 有理子[*2] KAWASHIMA Yuriko

抄 録

排気系部品の低サイクル疲労寿命の推測方法を構築した。電動化シフトによるエンジン開発の効率化のため、従来の耐久試験に対してより短手番で検討ができる机上検討手法の精度向上に取り組んだ。排気系部品は管長の長さから解析モデルの規模が大きくなる。そのため、収束性悪化や作業手番の増加の懸念を回避するため、低サイクル疲労の検討に必要十分なモデルの構築を行った。また、既存の判断基準をベースに、排気系部品の入力環境に合致した基準に改良した。本稿では、今回構築した解析モデルと判断基準について報告する。

Abstract

We built the estimation method of the low cycle fatigue life of the exhaust system. For effective development of conventional engines, we improved the accuracy of the desk study and made it possible to develop engines in a shorter lead time than before. Because of the long length of pipes in the exhaust parts, the scale of the analysis model becomes larger than that of any other parts. This causes problems with convergence and operation time. In order to avoid these problems, we simplified the analysis model by studying the efforts that were required for the examination of the low cycle fatigue and suggested a new criterion that matches the environment of the exhaust system. This paper describes constructing the analysis model and new criterion.

1. 背景

近年の世界的な環境規制強化により、排出ガス規制は年々厳しくなっている。RDE規制対応やCO_2・燃費規制対応により、排出ガス温度は上昇傾向にある。排気系部品は排出ガスに直接触れる部品であるため、特に大きな影響を受けている。金属材料は高温環境では極端に強度が低下するため、実車における入力環境と耐力低下の両方を検討する必要がある。また、業界の動向が電動化シフトへ進んでいる一方で、カーボンニュートラル実現に向けた内燃機関の開発も継続的に進められている。開発のさらなる効率化を図り、製品の信頼性を損なわずに開発スピードを向上させる必要がある。

＊1 パワートレイン設計部
＊2 SRDホールディングス株式会社

2. 排気系部品の入力環境

排気系部品は自動車を構成する部品の中で最も高温環境で使用される部品であり、エンジン稼働時／停止時の部品温度の差は700℃を超える。また、排気系部品は管長も長いことから大きな熱膨張が発生する。材料温度の上昇による耐力低下も発生することから、ヒートサイクル環境では塑性変形を伴う大きな入力となり、低サイクル疲労が発生する懸念がある。

開発ではガスバーナーで発生させた高温ガスを排気管に流し、実車相当の温度を再現することで低サイクル疲労環境を作り出す耐久試験を実施している。排気管温度が上昇し、サチュレートするまでに一定の時間が必要となることから、一般的な疲労強度試験と比較して試験時間が非常に長くなる。従って評価基準未達による再検討が発生した場合、開発日程に影響を与えてしまう。また評価に必要な部品数や燃料の消費を抑え、環境負荷を軽減するという観点からも、机上検討

の精度向上による試験実施数の削減が求められている。

3.　水平対向エンジンの排気管について

当社で採用している排気管の例を図1に示す。左右のエンジン排気ポートから排出された排出ガスを1本の排気管に集合させる構造となっている。また排気管の途中には温度上昇による熱膨張で発生する応力を軽減するため、変位を吸収するベローズを組み込んでいる。この大きな変形が発生しやすいベローズや、左右バンクの排気管の熱膨張により押し合う状態になる集合部は最弱部位となりやすい。机上検討手法の構築にあたり、最弱部位及び破断寿命の推測ができる検討精度が求められる。

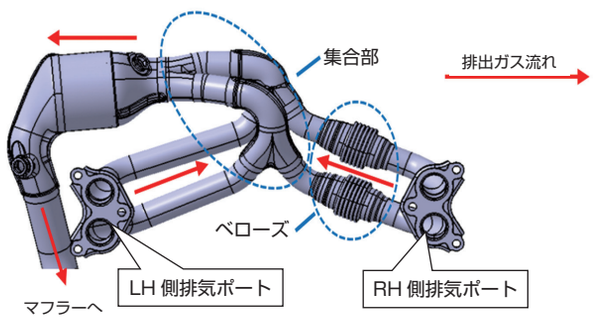


図 1　水平対向エンジンの排気管の例

4.　解析モデルの構築

排気系部品のヒートサイクル環境は静的挙動とみなし、解析モデル構築を行った。モデル構築にあたり、排気管は非常に高い温度となることから運転時の変形モードの計測が難しく、解析モデルの確からしさの検証が困難だった。そこで、3Dスキャン計測機の導入により、ヒートサイクル耐久試験前後の排気管の実機形状と解析結果を比較し、塑性変形のモードが合っているかを検証した。

また、熱応力解析は収束性が悪く、排気系部品の様に大きな部品構成では計算時間が極端に長くなり、開発に適用できない可能性がある。そこで3Dデータの挙動を再現できる最小限のモデル規模を検討した。

5.　判断基準の検討

5.1　低サイクル疲労の一般的な検討手法

一般に疲労破壊は破断に至る入力回数によって区別され、概ね10^4回以下で破断する疲労形態を低サイクル疲労と呼ぶ。この低サイクル疲労は塑性歪が支配的とされ、最も有名な寿命推測手段としてコフィン・マンソン則がある。疲労寿命N_fは塑性歪範囲$\Delta\epsilon_p$と材料定数C、αより算出できる[(1)]。

$$\Delta\epsilon_p \cdot N_f{}^{\alpha} = C \quad (1)$$

このコフィン・マンソン則を用いた場合の寿命推測方法を図2に示す。机上検討により塑性歪値を推測し、式(1)の疲労線図に当てはめて寿命を推測する。

また、低サイクル疲労は平均応力の影響が少ないとされ、式(1)にも平均応力の項は含まれていない。しかし、小森ら[(2)]の研究では一般的なコフィン・マンソン則は完全両振りによる疲労形態を前提とし、完全片振りで平均応力が作用する場合は短寿命となると報告している。また、原田ら[(3)]の研究でも同様の報告がされている。

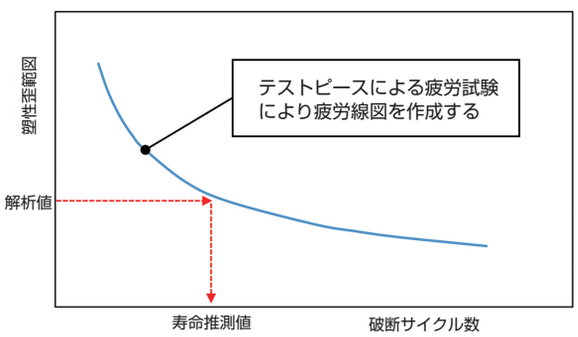


図 2　コフィン・マンソン則による寿命予測

5.2　排気系部品の疲労環境の検討

ここで排気系部品が晒される温度環境を整理する。低温側は外気温に依存することから、最低排気管温度は－30～－40℃程度と推測される。一方、高温側は排気ガス温度に依存し、700℃を超える排気管温度となる。よって排気系部品は高温側に偏ったヒートサイクル環境におかれることから、片振りの入力環境であると推測される。

耐久試験中の歪実測結果を図3に示す。新品状態で歪が発生していない状態から試験を開始し、試験の進行と共に一方向に残留歪が蓄積される「ラチェット変形」が発生している。これは両振りの入力環境では発生しない現象であることから、評価結果からも排気系部品は片振りの入力環境であると推測できる。

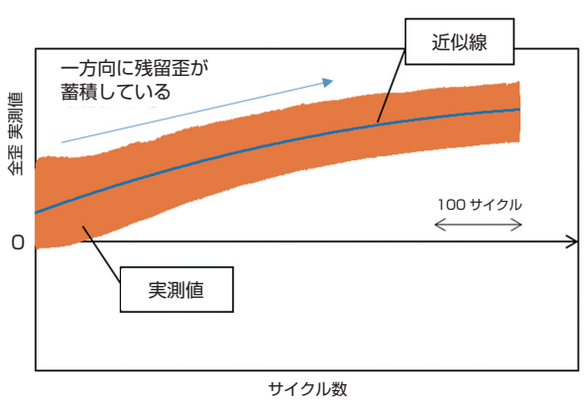


図 3　耐久試験における歪計測結果

従って両振りを前提とするコフィン・マンソン則を用いた検討は寿命を長く見積もってしまう懸念があり、性能基準未達による再検討が発生する可能性がある。よって、片振りにより発生した残留歪の影響を考慮できる手法に改良した。

5.3　低サイクル疲労の評価判定式

一般に塑性変形を伴うような大きな繰り返し入力が入る場合は有限寿命となり、材料に蓄積された損傷が一定値に達すると破断に至ると考えられている。

マイナー則ではN_i回で破断する入力がn_i回作用したと仮定し、式(2)の累積損傷値Dが1に達した場合に破断するとしている[(1)]。

$$D = \Sigma\, n_i/N_i \geq 1 \qquad (2)$$

この損傷の累積値を利用する考え方は多くの研究で支持されているため、排気系部品の寿命推測でも踏襲できると判断した。

また、累積損傷値Dを表現する指標として、コフィン･マンソン則では塑性歪範囲(または振幅)、マイナー則では応力振幅が用いられている。排気系部品の片振り状態を反映できる指標に置き換えることで、より実車環境にあった判断基準になる。

5.4　片振り環境に置ける低サイクル疲労

歪ゲージによる全歪の計測結果(図3)より、片振り条件下での繰り返し入力によりラチェット変形が起きることが分かっている。このラチェット変形に至る塑性歪の模式図を図4に示す。排気系部品のヒートサイクル環境では、昇温時と除熱時でそれぞれ発生する塑性歪値が一致しておらず、初期温度に戻した際に残留歪が発生する。そこで、塑性歪振幅と残留歪の両方を考慮できる指標として、①昇温時と②除熱時に発生した相当塑性歪を合算し、破断までに材料が受けた塑性歪の累積値を使用する方法を考案した。

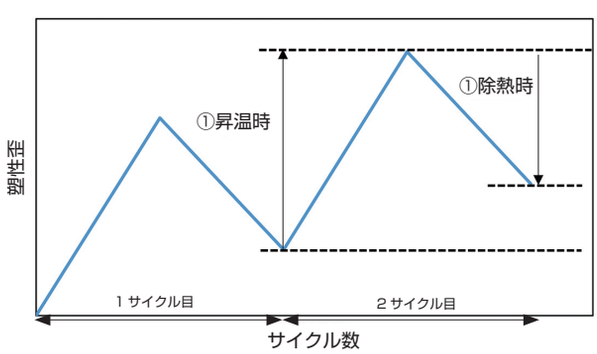


図4　ラチェット変形に至る塑性歪の模式図

また、金属材料の疲労耐力は材料温度に依存し、高温環境下で耐力低下を起こすことが分かっている。従って、5.3章に示した破断に至る閾値は材料温度により変化するため、相当塑性歪累積値と材料温度の関係から、低サイクル疲労寿命が推測できる。

塑性歪の累積を検討する際、昇温時と除熱時で歪の向きが逆転するため、スカラー量である相当塑性歪をパラメータとして適用する。昇温時、除熱時にそれぞれ発生した相当塑性歪をそのまま足し合わせることで、各サイクルで発生した塑性歪の累積値を算出することができる。

6.　判断基準の設定

6.1　破断時の塑性歪累積値の推測方法

前述の通り、熱応力解析は収束性が悪く、計算時間が長くなる傾向がある。また開発の中で、実車の破断サイクル数相当の計算を実施することは困難であり、初期サイクルの結果から破断時の挙動を推測する方法が必要となる。

図5に相当塑性歪の進行のイメージ図を示す。初期のサイクルでは1サイクル当たりに発生する相当塑性歪の挙動が不安定だが、一定のサイクル数を超えると安定した挙動となる。そこで、破断まで一定の傾きで相当塑性歪が蓄積されると仮定し、この傾きを利用して目標サイクル数に達した際の累積値を推測する方法を採用した。

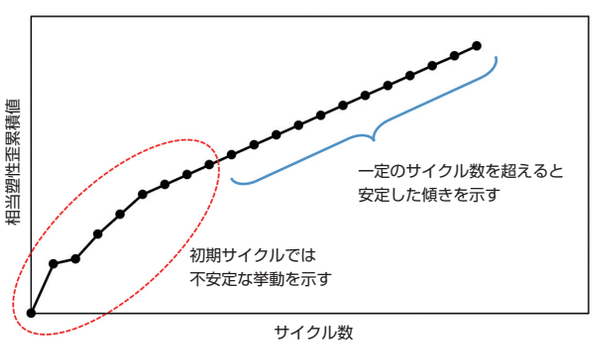


図5　相当塑性歪の進行のイメージ

6.2　耐久試験結果との比較

過去に実施した壊し切り耐久試験の結果を引用し、解析により算出した相当塑性歪累積値との関係を整理する。

まず、解析にて実機の最弱部位を再現できているかを確認した。図6に相当塑性歪のコンタを、図7に相当塑性歪の累積値を示す。ベローズ及び集合部で特に大きな塑性歪が発生し、集合部Cで最大値となっている。実機の壊し切り耐久試験でも集合部Cに破損が発生していることから、この解析モデルで最弱部位が再現できることがわかった。この他に数機種を対象に同

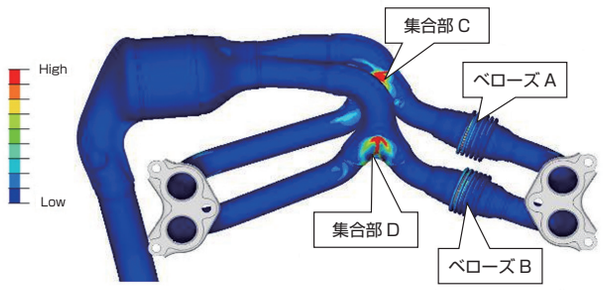


図６　解析結果（相当塑性歪コンタ）

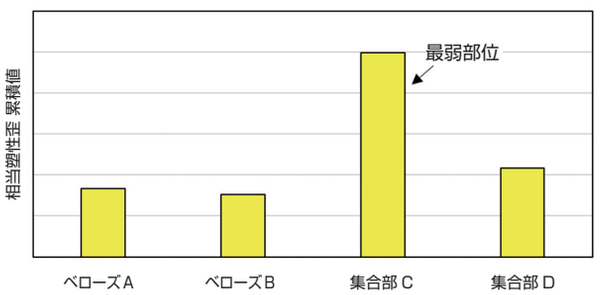


図７　解析結果（最弱部位の検討）

様の解析を実施しており、いずれも壊し切り耐久試験における破断部の推測ができる解析精度であった。

続いて相当塑性歪累積値と排気管温度の関係について整理する。**図6、7**の解析結果を**図5**の様に累積値とサイクル数の関係で整理することで、1サイクルあたりに発生する相当塑性歪値（傾き）を算出できる。また、壊し切り耐久試験を実施している機種は、破断サイクル数が把握できている。このため、破断サイクル数と上記の傾きの積を求めることで、破断時点での相当塑性歪の累積値を推測できる。

各機種の破断時の相当塑性歪累積値と材料温度の関係について、**図6、7**の機種を含む壊し切り耐久試験を実施した4機種を**図8**に示す。相当塑性歪累積値と材料温度は反比例の関係にあり、破断部の材料温度が高い機種はより少ない相当塑性歪累積値で破断に至ることが分かる。この直線近似線を判断基準線とし、各開発の目標サイクル数時点での相当塑性歪累積値が基準線を下回っていれば破断しないと推測できる。

また、近似線の決定係数R^2は0.9895であり、判断基準線として適用できる検討精度である。ただし、現状ではデータ点数が少ないため、今後N増しを実施してバラツキを把握し、必要な安全率を持たせた判断基準線を検討する。

7.　まとめ

・3Dスキャンを導入し、実機と解析の塑性変形モードの比較を行うことで、最適な解析モデルの検討が実施できた。

・排気系部品の低サイクル疲労寿命は、相当塑性歪累積値と材料温度の関係から推測できる。

・壊し切り耐久試験結果を利用して設定した判断基準線の決定係数から、開発に適用できる精度確保の見通しがある。

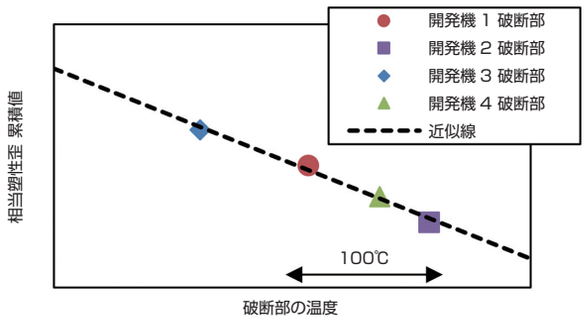


図８　判断基準

参考文献

(1) 日本材料学会：改訂　材料強度学（第4版），平成23年，p.116-118およびp.150-152

(2) 小森有祐美ほか：各種金属材料の片振り／両振り疲労における繰返し応力・歪曲線を用いた疲労寿命の支配因子の検討，日本金属学会誌第77巻第8号，2013年，p.295-299

(3) 原田昭治ほか：低サイクル疲労における平均応力効果とサイクリッククリープ，日本機械学会文集（A編）54巻501号，昭和63年，p.949-956

【著　者】

藤田　恒平

臼井　洋充

川島 有理子

新型車における一気通貫解析取り組みについて

The Cross-Functional Analysis Approach for New Development Model

松　岡　瑛　喜*　MATSUOKA Eiki
緒　方　博　和*　OGATA Hirokazu
重　松　　秀*　SHIGEMATSU Shu
帆　足　海　里*　HOASHI Kairi
深　澤　　雄*　FUKAZAWA Yu
坂　田　笙　輔*　SAKATA Shousuke
佐　藤　拓　也*　SATOU Takuya

抄　録

生産技術重点取り組みの一つに「机上開発の完遂」があり、その手段の一つが一気通貫解析である。

生産工程における「完成車視点」での解析は未着手であった。一気通貫解析では、これまで課題感を持っていてアプローチできなかった「工程間変化」にフォーカスして、部を跨いだ同席による解析予測結果をもとに改善形状を設計に織り込んだ。本報告は次期開発車のルーフ形状に対して取り組んだ内容である。

Abstract

The cross-functional analysis approach is one of the prioritized production engineering activities to improve the digital study process. We had not initiated the analysis from the perspective of “complete vehicle” in the production processes. We focused on the accuracy difference between each shop, which was our issue to be solved. This report describes our efforts on the roof shape for the next development vehicle.

1.　まえがき

製造本部では、完成車品質を向上させる活動を推し進めている。特に品質向上したい項目のひとつが、外観である。外観はお客様の目に真っ先に映る品質であり、お客様の満足度に直結する。直近では、開発の実車段階でルーフ歪が発生し、対応には多大な時間と労力を要した。次期開発車では、ルーフ歪を未然に防ぐため、プレス、ボディ、ペイント各工程の生産技術が開発初期から設計データを解析し、対応することに取り組んできた。

2.　ルーフの課題

ルーフの主な課題のひとつとして「歪」がある。歪は、図1のように外板面に凹凸が発生し、お客様に不快感を与えてしまう外観的現象のことである。

歪には、主にプレス成形による歪、ボディ溶接による歪、塗装焼き付けによる歪があり、各工程に跨る課題である。

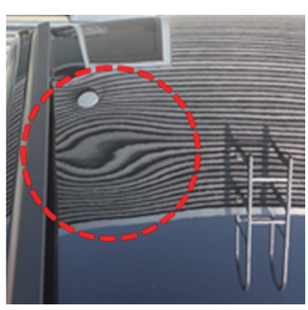


図1　歪について

3.　従来車の開発課題

従来車の開発における机上検討日程課題として、構造解析を行うことができるデータのリリースとデザイン面が決定する日程との差が挙げられる。ルーフデザイン面を決める節目は、構造解析を実施できるデータのリリースから間もなく迎えるため、構造解析の結果から課題提起しても、デザイン対応が難しい。

さらに、従来車の開発で用いられていたルーフ歪に対する解析技術は、前述の構造面での解析が出来ないため、主にプレス成形解析による歪予測とルーフデザイン面の剛性解析による製造工程の成立性予測だけであった。よって、各製造工程で発生する歪の発生原因

＊ 車体生産技術部

に対して､それぞれ解析を行う事ができていなかった。特に近年、デザインが自動車の付加価値として重きを置かれており、従来形状からの変化の幅が大きく、今まで蓄積していた経験から予測できない課題が発生しやすい傾向にある。

4.　次期開発車での日程課題対応

次期開発車の検討では、前述の日程課題が発生していたデザイン面に対して解析で必要な構造設計データを要求した。要求した設計データイメージを図2に示す。要求する際には、内容の齟齬が生まれないように生産技術部もクレイモデル確認を設計部・デザイン部と共に行った。これによりルーフデザイン決定前に課題を提起しプロジェクトチームを通してフォローできる環境を整えた。

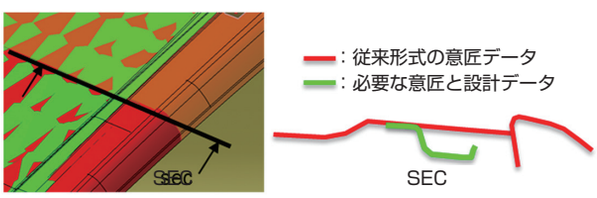


図２　要求データイメージ

5.　次期開発車での解析方法

5.1　プレス生産技術

5.1.1　ルーフプレス工程課題

ルーフの張り剛性は、製品精度、工程内搬送性、運搬性、端末作業性、修正作業性を確保する上で重要な評価項目となる。

開発車で検討されるデザインの中に、パゴタと呼ぶ形状がある。デザインに段差があり、これを起点としモーメントが発生するため、段差がない形状より剛性が低下する懸念がある（図3）。

図３　パゴタ形状

従来車の開発では、式(1) を用いて形状 曲率と板厚のみを考慮した評価を実施してきた。

$$K = \rho_x \cdot \rho_y \cdot t^3 \qquad \cdots (1)$$

ここで、ρ_xはデザイン面のＸ方向曲率、ρ_yはＹ方向曲率、tは板厚（$t < 1.0$）、Kは剛性である。これはパゴタのない形状で適用可能であることが分かっているが、パゴタがありデザイン面が複雑化すると定式化できない場合がある。そこで解析を用いて剛性の評価を行った。

5.1.2　解析を用いた張り剛性予測

解析実施に当たり、部品全体に均一な荷重を負荷する自重たわみ解析を実施した。ベンチマーク車種を含めた結果を図4に示す。次期開発車データ1が最大たわみ量を示していることが分かった。これに対して、考察を実施した結果、特にパゴタ高さが大きくなればなるほど自重たわみ量が増加する傾向にあることが分かった（図5）。

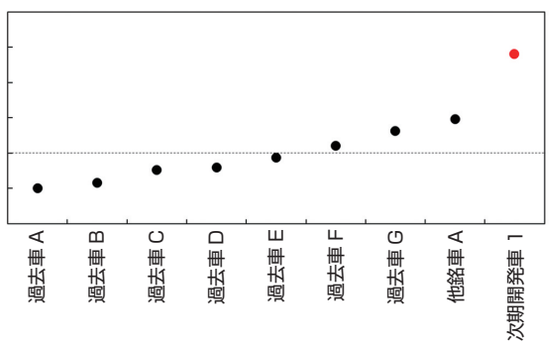


図４　自重たわみ解析結果

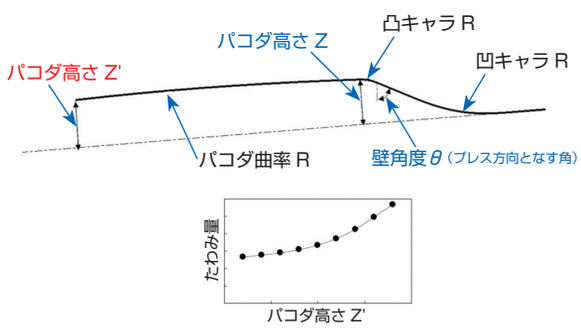


図５　パゴタ高さと自重たわみ量の関係

5.1.3　形状緩和と自重たわみ量の改善

解析による張り剛性予測を用いることで、パゴタ高さに着目しながら形状変更を行い、自重たわみ量の改善を進めた。結果、次期開発車データ2では自重たわみ量が大きく改善され、これまで懸念されていたパゴタによる張り剛性の課題をクリアすることができた（図6）。

5.2　ボディ生産技術

ボディ生産技術では、ルーフの溶接時に発生するスポット溶接歪について品質を向上させる必要があると考え、机上評価にて開発段階より対応した。

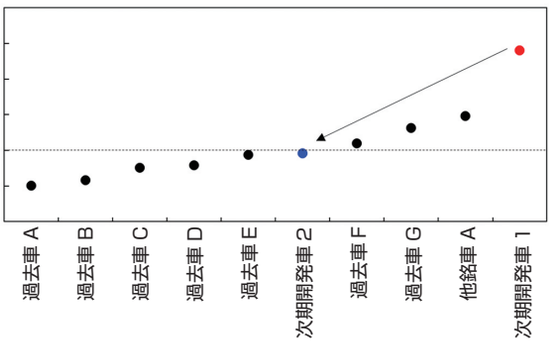


図６　図形状改善後　自重たわみ解析結果

スポット溶接歪は、ルーフと車体構造部間の板隙があり、溶接時にルーフ溶接面が押し潰されることで発生する。板隙は実車測定より確認した。解析にて実測同様にルーフの溶接位置をZ方向下に強制変位させ歪を再現した(図7)。さらにルーフ形状、溶接位置により発生する歪の影響について検証を行い、図８の①②③の3点について要件化を行った。

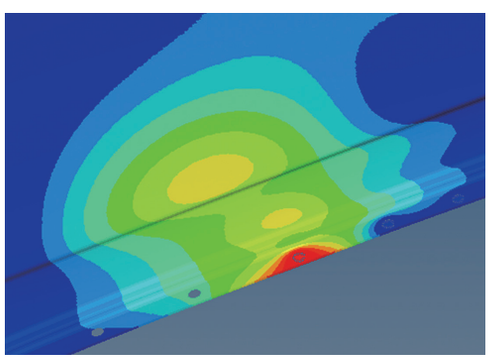


図７　図板隙による歪発生解析

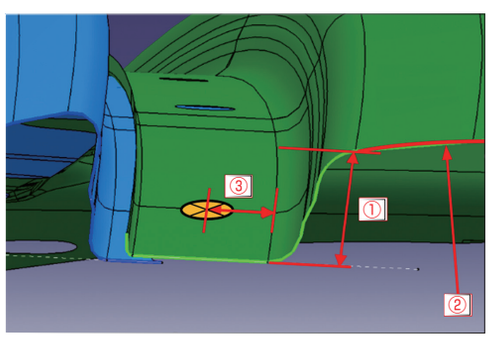


図８　ルーフ断面図

5.2.1　ルーフモール取り付け溝断面深さ（モヒカン深さ）

スポット溶接部の歪発生に対し、モヒカンの深さ方向①の距離が関係していると考察し解析を実施した(図9)。ルーフモヒカン部の打点面を1 mmずつZ方向に下げたモデルに対して、同様の荷重を加えた場合1 mmにつき4%程度の歪軽減が認められる。そのため、問題のなかった従来車同等の剛性となるようにZ方向高さの確保を要求した。

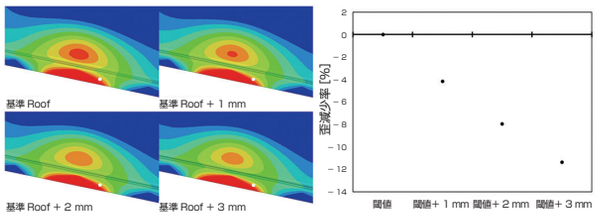


図９　スポット溶接面のＺ方向高さによる歪差

5.2.2　デザイン面のR形状

デザイン面のR形状②の違いによる解析結果を図10に示す。デザイン面のR形状が扁平である(曲率半径が大きい)と歪発生の原因となるため、問題のなかった従来車同等の剛性となるようにR形状とその範囲を要求した。

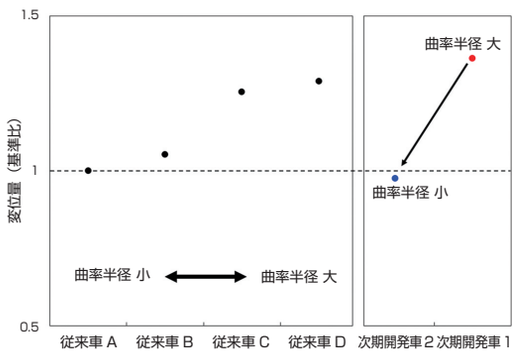


図 10　デザインＲ形状による歪差

5.2.3　ルーフと車体骨格部の溶接位置

従来、ルーフのスポット溶接部はデザインや工程成立性の観点から大きく変更することはなかった。しかし、解析を用いて歪に対する軽減効果を確認すると、①のモヒカン深さよりも効果が高いことが分かった。溶接中心から縦面への立ち上がりR形状の始点までの距離③の違いによる解析結果を図11に示す。ルーフ歪の発生量と相関があり、距離が1 mm離れると歪量を10%ほど抑制する事が出来る。問題のなかった従来車同等の剛性となるように縦壁下R部分始点から溶接中心までの距離を要求した。

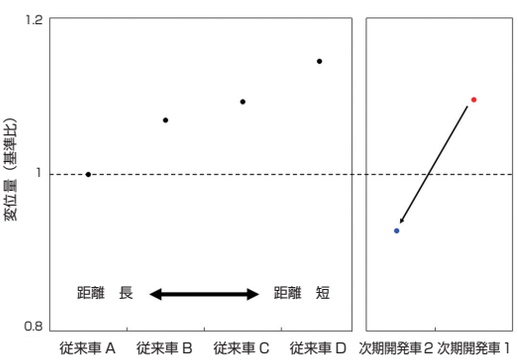


図 11　スポット溶接中心から縦面の距離による歪差

5.3　ペイント生産技術

ペイント生産技術では、炉体をモデル化した熱流体解析と熱影響による構造解析を組み合わせて熱歪の予測技術を構築している。次期開発車のルーフデザインが決定する前は、解析上必要なボディ構造データがないため、形状が近い既存のボディデータを代用して熱歪の予測解析を実施した。

5.3.1　炉体内ボディ温度予測解析

熱歪を解析する上で、塗装焼付け炉体内でボディ全体がどのような温度分布を有しているかは非常に重要である。従来車の開発では、実車段階でボディ1台当たり数か所しか温度測定できず、ボディ全体の詳細な温度分布を把握できていなかった。そこで、炉体およびボディの解析モデルを用意し、熱流体解析を利用して炉体入口から出口までの経時的なボディ温度分布を計算する。解析結果のコンター図を図12に示す。

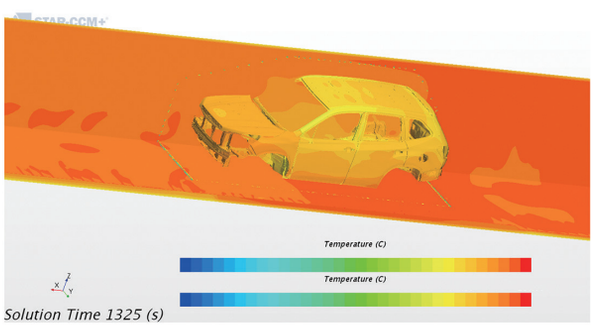


図 12　炉体内ボディ温度コンター図

同条件の炉体・ボディにおける実測と解析のルーフ温度履歴を図13に示す。時間ごとの誤差は5～10%程度に収まっており、昇温カーブも一致していることが分かる。

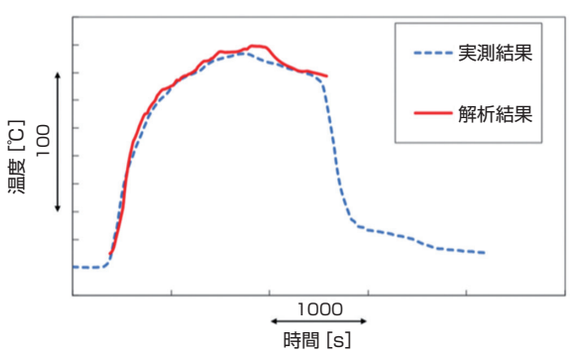


図 13　ルーフ温度　実測 - 解析比較

5.3.2　熱歪解析

前節よりボディ全体の温度履歴の平均・最大・最小および分散のグラフを図14に示す。解析上、ボディが常温に戻るまでの冷却過程を計算できないため、降温し始めた解析終盤の温度勾配から各節点ごとに線形補間し、冷却過程の温度変化を模擬している。

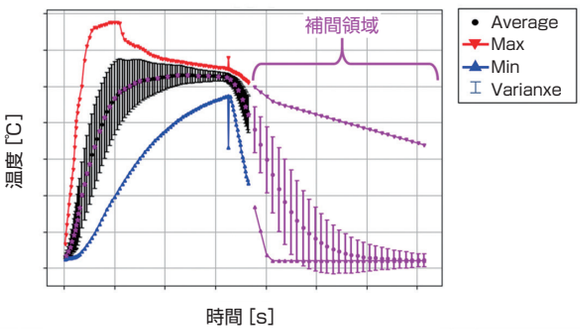


図 14　炉体内ボディ温度履歴 解析結果

従来車の開発段階において歪が発生したルーフについて熱歪解析結果および三次元測定した結果を図15に示す。X方向の曲率変化をコンター図で表しており、赤いところほど凸（＋）方向、青いところほど凹（－）方向の曲率変化が大きいことを示している。

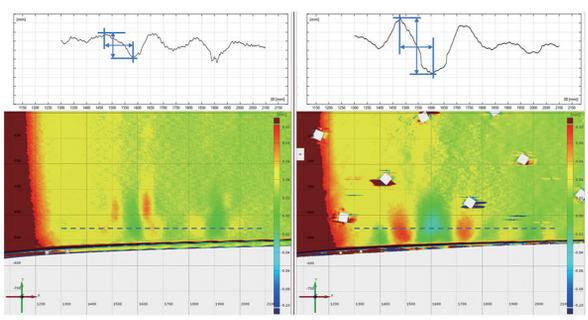


図 15　従来車の熱歪 解析（左）および測定結果（右）

測定結果において、中央付近よりY方向外寄りに凸、凹、凸の歪が確認できる。生産技術部門では歪量と幅の比をもとに歪を評価している。ここで、図15の実測結果では、生産技術部門で定める歪の指標を大きく超えていることが分かった。

今回の熱歪解析では、ペイント工程に流れているボディ状態を対象モデルとしている。塗装台車の搭載位置でボディを拘束し、前節の温度分布履歴と重力荷重を与えたときに、材料の熱膨張・収縮で発生する応力からルーフに残る歪を評価している。解析結果において、歪発生位置は概ね実測結果と一致している。また、解析結果における歪は実測結果よりも小さくなっている。

5.3.3　次期開発車における熱歪解析

前節において、熱歪解析によって実車で発生する歪について、定性的に評価できることが分かった。しかしながら、この熱歪解析にはボディ全体の解析モデル

が必要であり、次期開発車ではルーフのデザイン面を決定させるタイミングでボディ全体の設計データがリリースされていないという課題がある。そこで、ルーフを除くボディ部分を従来車の解析モデルで代用し、次期開発車のルーフ検討データを合成することで熱歪解析を実施した。次期開発車デザイン検討時のルーフ熱歪解析結果を図16に示す。従来車の歪量はH_1、幅はW_1、次期開発車の歪量はH_2、幅はW_2である。デザイン検討時の解析と従来車の解析結果を比較すると、従来車で発生しているような狭い幅で急激な凹凸は見られず、広い幅で緩やかな凹凸を示している。次期開発車の歪量と幅の比は、生産技術部門で定める指標に収まり良好な結果となった。

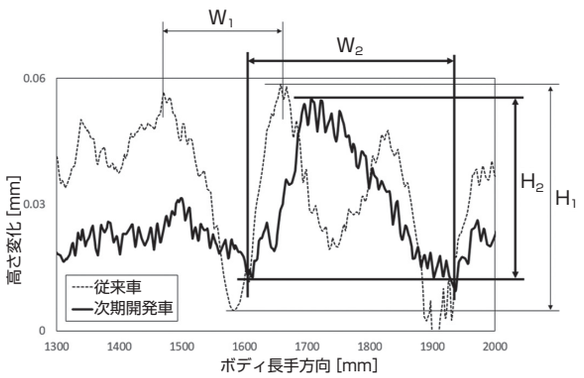


図 16　次期開発車の熱歪　解析結果

6. まとめ

以上のように、各工程における歪解析を実施することで次期開発車では机上検討段階で改善形状をルーフ構造に織り込むことができた。

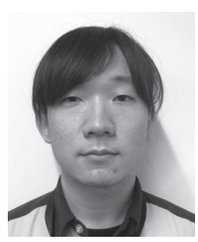
お客様の目に映る品質向上を目指し、生産技術の机上検討における重点項目としてルーフをテーマに注力した。取り組みで今まで実施していない解析もある中、様々な部署の関係者の協力があり、設計部門と調整し次期開発車の構造に織り込むことができた。この場を借りて感謝の意を述べさせていただきたい。

【著　者】

松岡　瑛喜

緒方　博和

重松　　秀


帆足　海里

深澤　　雄

坂田　笙輔

佐藤　拓也

作業品質見える化技術の開発

Development of Operational Quality Visualization Technology

趙　　鵬[*1] ZHAO Peng
細　谷　知　希[*2] HOSOTANI Tomoki
沖　野　振一郎[*1] OKINO Shinichiro

抄　録

自動車の生産には、人が直接作業を行う工程が数多く存在している。そこで、当社新中期経営ビジョンの最重要課題として挙げている品質改革の一環として、人の作業をより確実に保証できるように画像処理、AI（人工知能）を活用した技術開発に取り組んでいる。

今回、トリム工場からモデル工程を選定し、そこでの結線作業忘れを検出するシステムの開発に取り組んだ。本論文では、その開発における課題及び具体的な改善案と、実ラインにおけるトライの結果を紹介する。

Abstract

In automobile production, many processes are directly operated by human. Therefore, as part of quality reform, which is the most important issue of our new medium-term management vision, we developed image processing and AI technology to ensure the quality of the operation.

This time, we selected a demo project from trim line and developed a system to detect forgotten wiring. This paper introduces some issues in the development and specific countermeasures as well as the trial results in the actual production lines.

1. はじめに

当社は、異なる車種を同一ラインで生産する混流生産を行っている。そのため､同じ工程の同じ作業でも、取り扱う部品の種類が40を超えるものがある。1台1台異なる部品を正確に取り付けるため、部品を取れないポカヨケ装置の導入、部品を組付けできない部品設計など、作業ミスの発生を防止する取り組みを行ってきた。しかし、結線作業忘れや未組付けなど、不完全な作業の発生をその場で完全に防止することは難しく、作業品質見える化技術の開発を行っている。

第1報[(1)]では、Kinect, Leap motionなどの市販品を用いて手や体などの関節点を計測し、実作業と決められた標準作業の動線を比較することで、作業が正常か異常かをリアルタイムで判定する手法を開発した。しかし、計測精度改善不可という市販品の制約により、現場への実用化には至らなかった。

第2報[(2)]では、市販品の制約を安価なカメラ＆トレンド技術であるAIの応用により解決し、市販品以上の精度を達成できた。

今回は、作業者の直接作業の割合が一番多いトリム工場からモデル工程を選定し、最新のAI技術を使い、結線作業忘れを検出する技術の実用化に挑戦した。

2. モデル工程と対象作業の課題

図1に示すモデル工程では、一定の速度で動くコンベア上の車両に対し、作業者が追従しながら様々な作業を行っている。そのなかで、リヤゲートの裏側にあるリヤビューカメラのコネクタ結線が検出対象の作業である。

この工程では結線対象車と結線非対象車両方を生産しているため、作業者の忘れや勘違いにより、結線対象車のコネクタ結線作業が実施されず、未結線車両が後工程の検査で発見されることがあった。

過去には現場改善で、結線対象車の結線作業を行った後にそれを確認し、ラインサイドのポカヨケスイッチを引くことで作業完了を確認する仕組みを導入した。しかし、それでも未結線は無くならなかった。

＊1 生産技術統括部
＊2 電動車両生産技術部

図１　結線作業の風景

3.　結線作業忘れの改善策

上記仕組みの欠点は、「ポカヨケスイッチを引く」ことが必須の作業である、と作業者の体が覚えてしまい、その結果、結線作業の確認とは結びつかずにスイッチを引くようになることである。

そこで、結線作業のチェックを、カメラとAI技術を組み合わせたシステムで実施できれば、この問題を解決できると考えた。

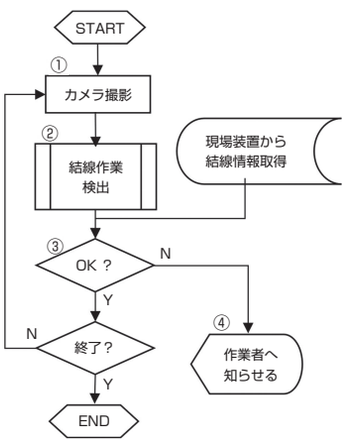


図２　システムフロー

全体の処理フローは図2のように、①カメラで結線作業の動画を撮影する。②AI技術で動画から結線作業を検出する。③現場装置（ポカヨケBOX）から結線対象車か否かの情報を取得して、②の検出情報と照合することで結線作業のOK/NGを判断する。④結線作業NGと判断された場合は、判定結果を音声で作業者に知らせる。

システムの構成を図3に示す。

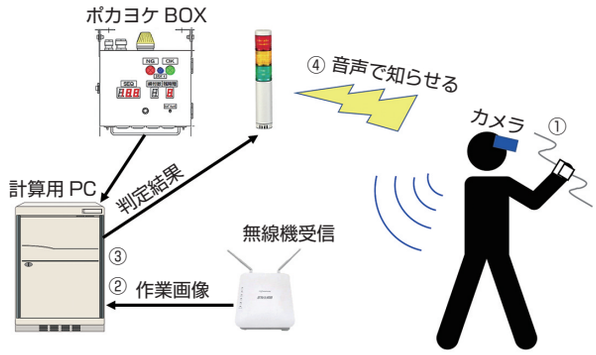


図３　システム構成

4.　モデル工程への実装

モデル工程への実装について、図2の処理フロー順に課題と改善策を紹介する。

4.1　カメラ撮影

モデル工程では、作業位置が常に変化していることと、リアゲートの下に入って作業を行っていることにより、第2報で紹介した定点カメラでの、結線作業の撮影は困難である。

図４　無線カメラ

そこで、作業者の作業位置に合わせて結線作業を撮影するため、無線ウェアラブルカメラ（図4）を試作した。

4.2　結線作業の検出

対象作業では、結線時の手の形、コネクタなど様々な作業に関連したものを画像から検出し、OK/NG判定を行う必要がある。これらを検出するため、画像の中から決められた物体の位置と個数を特定する物体検出AIを採用することとした。

さらに、AIによる物体の検出精度と処理速度を確保するためには、近年、深層学習の流行により様々なモデルが存在している物体検出AI（図5）の選定とその学習が重要である。

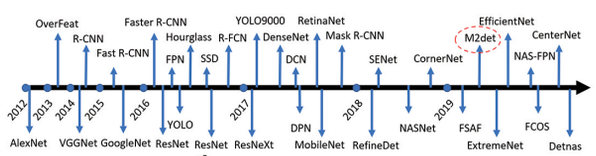


図５　重要な物体認識技術（2012-2019）[4]

4.2.1　物体検出AIの選定

モデル工程の結線作業において、コネクタを両手で持ってから接続し、車体に固定するまでの作業は非常に速い。さらに状況によっては、他のケーブル類により作業がカメラに映らない瞬間が生ずる場合もあり、検出精度を確保するために、計算速度の速いAIモデルが必要となる。そこで、処理速度と検出精度のバランスを検討し、M2det320を選定した（図6）。

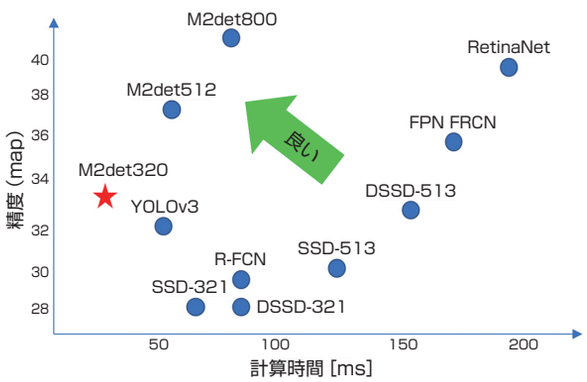


図6　AIモデル性能比較 [5]

ところが、実際にシステムへ実装して動かしてみると、使用するPCの制約もあり必要とする計算速度に届かなかった。そのため、処理速度をアップするAIモデルと検査アルゴリズムの改善に取り組んだ。

AIモデルについては、M2detのTUM（Thinned U-Shape Module）の計算回数を減らした。TUMは入力画像上にある検出ターゲット（手、コネクタなど）のサイズが変化しても検出できるようにする仕組みで、そのため複数回の計算を行っている（図7）。しかし、作業者の頭部に装着したカメラで捉える結線作業の画像においては、撮影距離がほぼ一定（≒腕の長さ）となり、手やコネクタのサイズ変化が少ない。そのため、TUMの計算回数を減らしても、検出精度に影響が低いと考えた。この改善策により、検出精度は同等のまま処理速度を倍にできた。

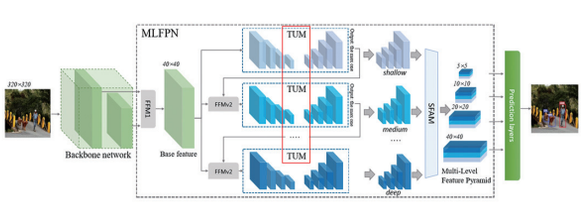


図7　M2det構造イメージ [5]

さらに、検査アルゴリズムついて、結線作業エリアの画像は全て処理し、その他の作業エリアの画像は数枚に一枚のみ処理する仕組みとしメリハリをつけた。以上の取組みにより、目標とする処理速度を達成できた。

4.2.2　物体検出AIの学習

一般的にAIは、人間と同様に作業の特徴を覚える学習が必要となる。人間は、作業を見ることでその作業の特徴を学習する。同様に物体検出AIも、その作業を撮影した画像からその作業の特徴を学習する。今回の場合は、作業を撮影した画像に、作業名とその作業を囲んだ矩形座標（図10）を教師データとして多数与えることで、物体検出AIが矩形内の色情報（明暗、色分布、色変化など）と矩形外の色情報を比較し、その違いを特徴として作業を学習する。

実用レベルまでAIを学習させるためには、一般的に10,000枚以上の教師データが必要とされている。1枚の教師データを作成するには一般的に約3分、10,000枚を作成するには、約500時間が必要となり、開発期間が大幅に伸びてしまう。

そこで、一気に10,000枚の教師データを作成してAIに学習させるのではなく、下記の仕組みを用いる事で、教師データ作成工数の削減ができた。

最初に、数百枚の教師データを作成し、AIの初期学習を行う。この初期AIは、まだ学習が不十分で、図8に示すように、「その他の作業」中に「結線作業」検出、「結線作業」中に「その他の作業」検出という間違いを犯してしまう。ここで、「結線作業」の時間帯を事前に設定しておくと、初期AIが間違った画像を自動出力することができる。この画像を人間がチェック＆修正し、AIに追加学習する。それら一連の作業を繰り返していくと、検出精度の改善ができる。

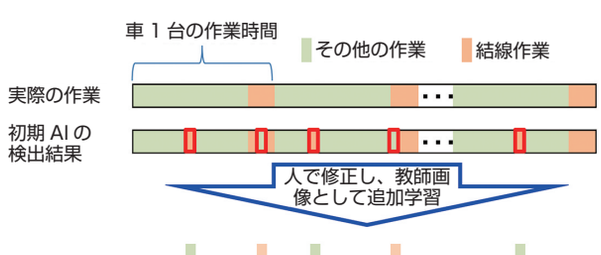


図8　教師データ作成

この手法を使うことで、教師データの作成工数は初期AI学習用とチェック＆修正を合わせても、全てを人が作成した場合の1/10と大幅に削減できた。さらに、この手法はAIの学習不十分箇所に対して追加学習しているため、今回の検証実験では当初想定の半分程度の教師データで十分な検出精度を達成できた。

4.3　結線作業のOK/NG判定

モデル工程には検出対象となる結線作業と似ている作業（図9）があるため、それを見分ける必要がある。

似ている作業は以下2つである。

①別の場所の結線作業（図9左）。

②同じ場所のコネクタのみを固定する作業(結線なし、図9中、以下固定のみ作業という)。

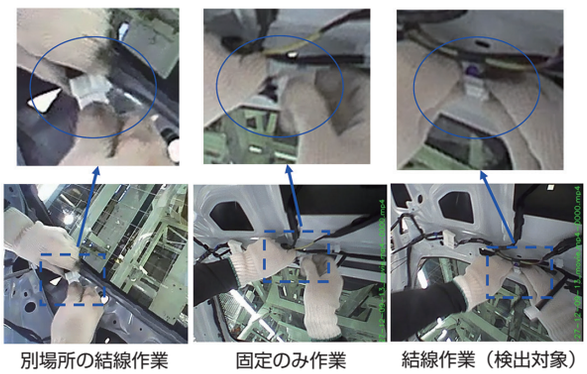


図９　固定のみ作業と結線作業

①に記載した、別の場所における結線作業を見分けるため、図10に示す結線作業そのものである「Connector」以外に、作業エリアである「RearGate」も検出対象として追加した。これにより、「RearGate」と同時に「Connector」を検出した時のみ結線OKと判定することで、別の場所での結線作業と見分ける事ができる。

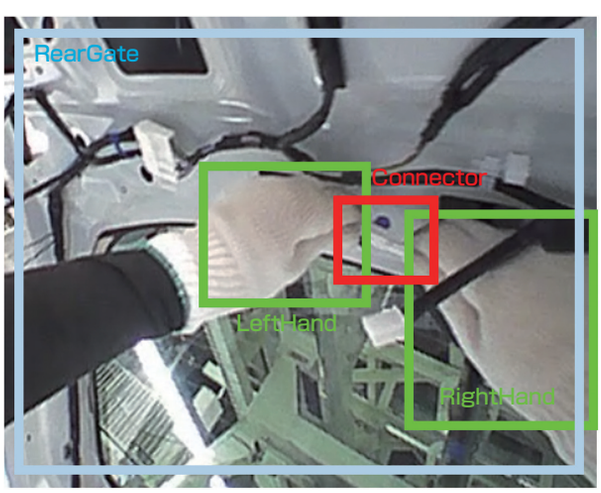


図 10　教師データサンプル

②に記載した、固定のみ作業と結線作業は非常に似ているため、一枚の画像で結線作業を判定するのは困難である。そこで改善策として、複数枚の連続画像で結線作業の過程を検出する事とした。具体的には、図10のように結線作業時左手でコネクタを持つ「LeftHand」、と右手でコネクタを持つ「RightHand」を検出対象として追加することで、図11のような時系列データを得ることができる。結線作業では「RearGate」を検出してから、数フレーム後に「LeftHand」を検出し、その後「RightHand」、「Connector」の順番で検出する。一方で、固定のみ作業では片側のコネクタしかないため、「RightHand」の検出がない。この違いを利用して、結線作業と固定のみ作業を見分ける事ができる。

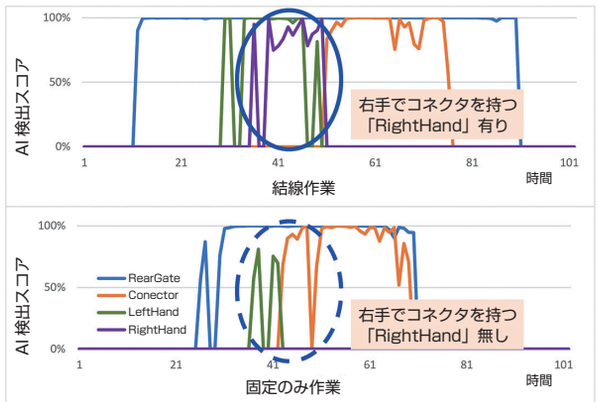


図 11　データの見える化

これらの改善策を織り込み、現場の実際の作業データを確認したうえで、結線作業のOK/NGを判定するアルゴリズムを作成した。

5.　トライ結果

現場の約2週間の動画データを元に教師データを作成してAIを学習した後、インラインの実作業での21,421台の車の判定精度確認を行った(表1)。

表 1　検出結果

		仕様検出結果	
		結線した	結線しなかった
仕様	結線対象車 (リヤビューカメラあり)	99.4% (20,373台/20,501台)	0.6% (128台/20,501台)
	結線対非象車 (リヤビューカメラ無し)	0.8% (15台/1,920台)	99.2% (1,905台/1,920台)

結果は、結線対象車の正解率は99.4%になり、結線非対象車(固定のみ作業がある)の正解率は99.2%であった。結線非対象車を結線したとする誤検出率は0.8%残っている。これは結線忘れをシステムが見逃す確率とみなす事ができるが、工程として考えると流出確率が1/100以下になる。

6.　今後の展開

モデル工程の結線作業忘れに対しては、実用可能な判定精度であることが確認できた。今後、ハードウェアや運用上の調整を進め、実用化の予定である。

本論文で紹介した技術を短時間で他の工程に横展開するため、主に次の課題が残っている。

①技術の汎用性が足りない。

②現場導入までの開発時間が長い。

③技術の伝承ができていない。

今後は対象工程の担当・製造と一緒にソフト、ハード、使い方の標準化を進め、課題①②③を改善していく。

7. まとめ

自動化されている工程では、設備情報により生産プロセスを見える化しながら、品質を保証している。一方人の手で作業しているトリム工場では、品質保証を作業者に頼らざるを得ない工程が残っている。

今回、物体検出AIを用いて実際の作業を見える化することで、生産現場の作業品質をさらに改善する技術を開発できた。最大の効果を発揮するため、本システムの開発標準化により、開発の効率化＆他工程横展開の容易化を積極的に進めていきたい。

8. 謝辞

本システム開発において、第2製造部、第3トリム課、2トリム技術課の方々には多大なるご協力とご助言を頂けたこと、この場を借りてお礼を申し上げる。

参考文献

(1) 沖野振一郎、他：作業品質見える化技術の開発（第1報）、生産技術技報（2017）
(2) 趙　鵬、他:作業品質見える化技術の開発（第2報）、生産技術技報（2018）
(3) 趙　鵬、他：XV-PHVバッテリー搬送品質保証技術の開発、生産技術技報（2019）
(4) Wu Xiongwei、etc：Recent Advances in Deep Learning for Object Detection
(5) Zhao Qijie、etc：M2det：A Single-Shot Object Detector based on Multi-Level Feature Pyramid Network

【著　者】

趙　　鵬

細谷　知希

沖野 振一郎

SUBARU 陸上自衛隊新多用途ヘリコプター（UH－2）量産初号機の初飛行を実施

2022年5月20日

SUBARUは、2022年5月19日に、航空宇宙カンパニー宇都宮製作所（栃木県宇都宮市）において製造中の陸上自衛隊新多用途ヘリコプター（UH－2）量産初号機の初飛行を実施しました。
新多用途ヘリコプター（UH－2）は、米国ベル・テキストロン社と共同開発した民間向け最新型ヘリコプター「SUBARU BELL 412EPX」を共通プラットフォームに、陸上自衛隊向けの仕様を織り込んだ機体です。

航空機生産情報のデジタル変換技術構築と現代化（古い情報を活かす手段を切り口とした技術伝承）

Construction and Modernization of Digital Conversion Technology for Aircraft Production Information

村　上　　孝*　　中　沢　康　史*
MURAKAMI Takashi　　NAKAZAWA Yasushi

抄　録

古い情報やシステムの最新化を切り口に、航空機産業の将来発展と技術伝承を推進した。

代表2つの取り組みを紹介する。

① デジタルハンドリングと管理手段の開発

全ての新旧工作機に対応可能な加工用データの保存性と拡張性を両立し、データが劣化しないシステムを開発。

②図形情報の現代化（アナログ図のデジタル化）

テレセントリックレンズを用いた正射投影機器に着眼し、機器性能を向上させながら、デジタル化期間を「1/10」、マンパワーを「1/3」、の成果を上げた。

これら取組みによって技術情報を最新化したうえで、技術と知識を最新状態で後世に受け渡し、伝承の真意である「発展し続けられる状態の保持、それが真の技術伝承であること」の考え方そのものを伝承した。

Abstract

We promoted the development and the technology transfer of the aerospace industry through updating old information and systems. We will introduce you two initiatives.

(1) We developed a new system by optimally leveling the digital handling and the management system in order to cover all the state-of-the-art NC machines and the old machines. We aimed to create a system that does not deteriorate by increasing the storage and expandability, which is the most important concept. By doing so, we succeeded in ensuring the future sustainability and future development of NC data storage.

(2) The digital data conversion of analog data is an essential condition for modernization. In other words, it is necessary to perform CAD conversion easily. Orthographic projection equipment using telecentric lenses was adopted to improve the equipment performance to a satisfactory level and reduce the work period to “1/10” and the manpower to “1/3”.

It is now possible to hand down the old analog data to the next generation in the form of the latest digital data. Through these efforts, we have been able to understand the hardships of our predecessors and the true meaning of their measures, and we have inherited their thoughts and techniques as well as their achievements. Passing on the culmination of technology and knowledge in an up-to-date state and handing down a state and a way of thinking that can continue to develop is the true technical tradition.

1. まえがき

航空機製造の比類なき特徴のひとつに、個体そのものの運用期間が終了するまでは部品を製造し続けるという、無期限にも近い考え方がある。寿命の長いものでは半世紀以上も飛び続け、その間、基礎設計に変更も無く、当時の治具を使って製作する部品も多数存在する息の長い世界である。また、航空機部品は大型か

＊ 航空宇宙カンパニー　生産技術部

つ特殊な仕様のものが多く、それに伴い工作方法と工作機が特殊になる。加えて当初部品と全く同じ部品を再現するために加工法も変えずに残り、工作機や工作ツールを延命して使用し続けるケースが多いのも航空機製造ならではのことである。

半世紀を遡ると、先ずデジタルという考え方が無い時代。勿論CADシステムも無い、全てが手作業でアナログの世界であることに驚かされる。そこから、今日に至るまで技術力の進歩／進化を積み重ねて発展し続け、最新技術を結集した機器を搭載する時代。

併せて航空機製造もデジタルデータを軸とする高精度高効率手段に置き換わり、半世紀前とは大きなギャップが製造過程に現れている。しかしながら最新鋭の基盤にはアナログ時代の布石があり、その継続の価値もある。私たちは、これからさらに進歩するための基盤固めと発展性拡張に着目し、古来情報そのものの最新化をもって将来へ繋ぐ取組み、併せて技術伝承を行うことに拘ってきた。そのような、時代変化によって困窮する案件解決から基盤底上げに貢献する活動として少しでもヒントになり、ひいては国内製造業の将来の糧にするため、活動の一例を紹介する。

2.　事例紹介

2.1　工作機インフラの一元化と将来発展性拡張

大型かつ特殊な仕様を持つ旧式のNC工作機械が多数存在する。それらは高価な加工機となり、延命して使用を継続する。そのため、旧式のNC工作機械にアナログ要素が残り、最新のNC工作機械と混在する運用となっている。最新の工作機も旧式のNC工作機械の運用を踏襲したかたちが色濃く、旧態に合わせたが故の課題が多い。

それら課題の中で、特に重視する改善ポイントとしてNCデータの「有形メディアのハンドリングと管理」（図1）があり、新旧統一化させることが望ましい。それを整えるには、足かせとなっている有形メディアの撤廃が最重要課題である。

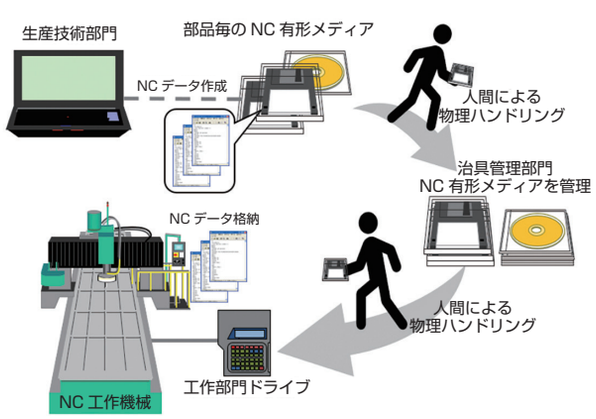


図 1　有形メディアのハンドリングと管理

世の中を見ると、書籍、音楽、映画、ソフトウェアなど、インターネットによりダウンロードして入手する時代になり、オンデマンド化されるところまで情報のハンドリングが進化している。

社内では、基準書／マニュアル、各種申請書、その他資料は、インターネット／イントラネット環境を用いた運用にシフトしている。反面、NCデータは取り残され、有形メディアによる現物ハンドリング、手作業による個別管理のままとなっている。これをデジタルハンドリング、デジタル管理に進化させたい。

導入時期による工作機械仕様のバラツキ、保管管理の手間、有形メディアのハンドリングなどの様々な課題に対し、最新鋭のNC工作機械と旧態のNC工作機械の最適なレベリングを行い、デジタルハンドリング／管理システムを開発する。それは劣化しない保存性の高さと拡張性を持ったシステムを構築し、NCデータ保管の将来持続性を確保する必要がある。

最上流の生産技術部門から、最下流のNC工作機械までLAN接続によるコントロールを可能にし、

①インデックスによる情報識別と電子承認を搭載した登録／管理ソフトウェア
②全データのサーバ管理をするソフトウェア
③機械仕様のバラツキに対応する一定化モジュールを搭載したダウンロードソフトウェア

の3つのソフトウェアで一元管理するシステムを開発した。

一番の課題である旧来の工作機械の対応は、NCデータ共有をLANと同等に扱えるようにすること。その手段としてソフトウェアに持たせた機械仕様のバラつき対応モジュールに、フレキシブルな中継機器を加えてオンライン運用を可能にした（図2）。

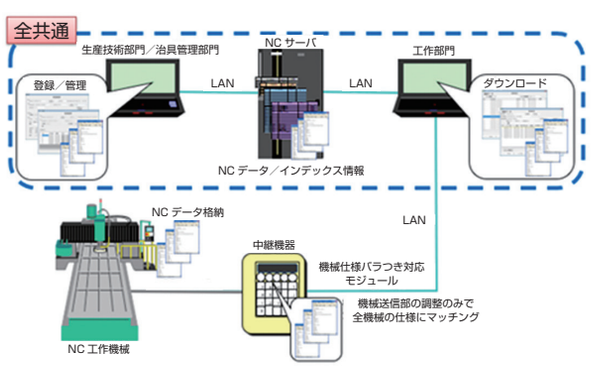


図 2　NC データのデジタルハンドリング

結果、デジタルハンドリング／デジタル管理による工数改善効果を比率化すると、

生産技術部門 従来比 ▲50%
治具管理部門 従来比 ▲100%

工作部門 従来比 ▲50%

を達成した。

ハンドリング／管理面のさらなる発展の一例として、中枢にある生産管理システムとNCサーバを直接連携させる。主要情報をトリガーとして加工対象のNCデータをNC工作機械に自動入力することで、ハンドリングの完全自動化を叶える。

次に、NCプログラミングの効率化とともに、高品質な切削面と加工時間短縮を叶える最適なNCパスの生成を狙い、QCDすべてを向上する構想を練った。

NC加工における様々な状況をセンサ等で取得してNCサーバにフィードバックする。それはNCサーバですべて保管され、さらには最適化がなされたNCパラメータをナレッジ化／テンプレート化し、CAMで選択してより良いNCデータを作成する。そのサイクルを回すことで、本項冒頭の課題全項を解決する。このようにデジタル一元化を叶えることで、NCサーバを基軸にQCDすべてが発展する。

またさらに、加工結果を蓄積したノウハウ（実績）とそれを基に最適化が行われたNCデータ（理想）で加工を行うサイクル（理想の実現）を回し、回数を重ねるとともにより良いNCデータの生成と加工結果が期待される。その状況変化のさまを見える化し、変化要素を裏付けるための分析材料としていく。分析結果が技術的知識となり、それを技術伝承する（図3）。

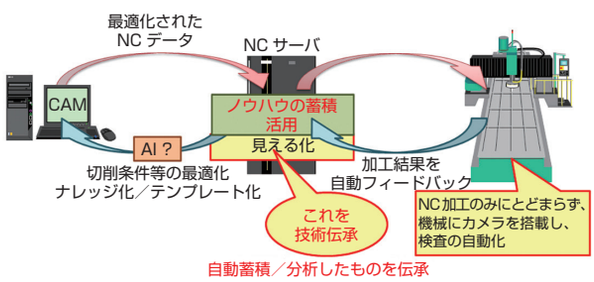


図３　NC 加工の発展性

ハンドリングと管理をデジタル化することで、NC加工における定常業務の圧縮に成功し、陳腐化しないシステム構成になり、データ保管の将来持続性を確保のうえ、将来発展性の可能性を広げることができた。

これにより発展性の底上げのみならず、思い描く技術伝承を踏襲していく土台ができた。

（旧態を発展させ、伝承の価値を創成の上、次世代につなげるという想いを叶える。）

2.2　製造用基礎情報の高精度デジタル化推進による現代加工法リソースの一元化

昨今の航空業界で問題となっているのがアナログかつ古い製造用基礎情報が現代工作法の足かせになっていることである。アナログな製造用基礎情報では、物理的側面を持つものであるが故、劣化・保管場所の問題が進行する。また、加工法によっては部品が製造できない事態にも陥るリスクが生じる。

アナログ情報の代表的なものにはマイラーがある。（図4）マイラーとはアナログの製造用基礎データとしてプラスチックフィルムに原寸大の部品や組図を作画した製造情報媒体である。当時の設計・製造情報は紙図面やマイラー等のアナログ媒体であり、形態を変更せず今日まで来ている。

そのような旧態アナログ情報が残っている限り、技術部門も製造部門も大きなリスクを抱え続けることになる。すなわちアナログ（型板、マイラー等）をデジタル（CADデータ）に置き換えることが現代化への必須条件となる。デジタル化が叶えば、

①温度変化を考える必要がない。

②物理的に朽ちることがない（経年変化がない）

③スケーリングが容易に行える。

④複製が容易に行える。

つまり製造過程すべての効率化に結び付く。その製造用基礎データのデジタル化を進めるにあたりマイラー情報・型板のCAD化を実行する必要があった。

デジタルデータを装備することで加工フロー改善や効率化を目指す活動への主要リソースとして柔軟に対応できるようになる。前事例のNC工作に対するインフラの一部、NCプログラミングのリソース部分も賄うことができ、現代の製造フローで主体となるNC加工工作法の底上げと発展性に貢献できる。

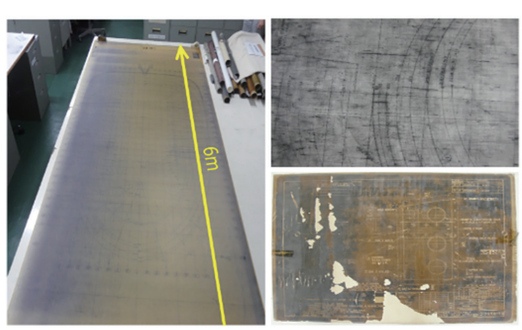


図４　マイラー

現代の治具製作ではCADデータを用いた製造法が主流だが、古い機体では現在でもアナログなモノづくりの手段は残っており、その背景に治具材料にマイラー情報を感光・転写・手加工により作成した、当時の治具が使われている。つまりは旧態の製造法である型板倣いによる部品製造フローが混在しており、それらは当時の製造根拠をマスターとして扱うためにフローを変えずにいるのが実情になっている（図5）。

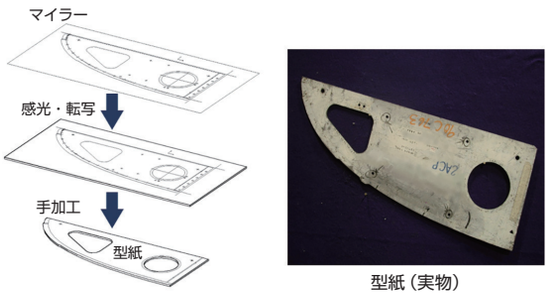


図５　型板製作（旧製造法）

航空業界の重要課題、構造改革のひとつにある作業フロー見直しとして、現代の製造法への追従、また製造フローの一元化に貢献するため、アナログ情報をデジタルデータに置き換える取り組みを行う。

今までの主なデジタル化手法としてはマイラーに直接スケールを当て寸法を読み取りCAD化を実施していた。しかしその手法では現在保有しているすべてのアナログ情報をCAD化する期間が最低でも40年かかることが分かっていた。そこで画像スキャンという手段が身近になり始めた20年ほど前より、アナログデータのデジタルデータ化への有効手段確立のため調査を開始していた。だが従来視点での調査ではローラースキャン等の技術しか見当たらず、歪みや送りなどが問題となり有効手段とは言えずにいた(図6)。

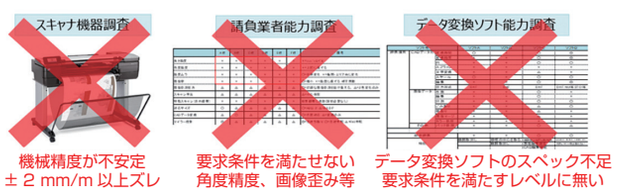


図６　有効手段の調査

そこで従来スキャンという概念から離れ、大きなレンズを使った撮影手段で再検討を始めた。一部歪の少ない部分だけを切りとってデジタル化する手法が候補に挙がったが、撮影した物体の長さが一定の数値を超えたところで修正ができなくなるほど歪みが大きくなり、ここでも有効な手段とは言えずにいた。

レンズ部分に特化して調査を進めていたところ、歪のない見え方をするテレセントリックレンズというものに辿り着いた。そのレンズを使用した機器の調査では、小さい範囲の撮影時に採用される限られた使途のものしかなく、広範囲で撮像できる装置を改めて調査する必要があった。そこからは、正射投影手法そのものに目線をシフトし、正射投影の開発技術調査に絞り込んだ。その中でのちにタイアップするまでに発展する協力企業と出会うことができた。

通常のレンズは中心投影になり、レンズの中心から徐々に歪みが生じるが、正射投影ではテレセントリックレンズという主光線が光軸に対して平行なレンズを用いるため、歪のない撮影が可能になる。この仕様に課題解決の糸口を見出すことができた(図7)。

図７　正射投影

実際に撮像装置でテストを実施したが、私たちが望むような用途は考慮されたことがなく、撮像精度も1 mm単位で誤差があり、課題が浮き彫りになった。そこで日常業務の活動で得ていた技術をもって撮像装置の送り機構精度を向上させ、独自のキャリブレーション手法の確立等の成果により、1 mあたりの精度はミリ単位から0.1 mm以下という製造用基礎情報の許容公差に収まるレベルを達成し、安定した高精度確保に成功した。また作業環境も撮影室を「防塵クラス10000」のクリーンルーム化したことで、生成されるデータに含まれるゴミ要素が激減し、データ変換や要素選別作業の半減も図ることができた。これらの研究と改善活動によって保証精度面の目標をクリアし、CAD化用撮像装置は運用レベルに到達した(図8)。

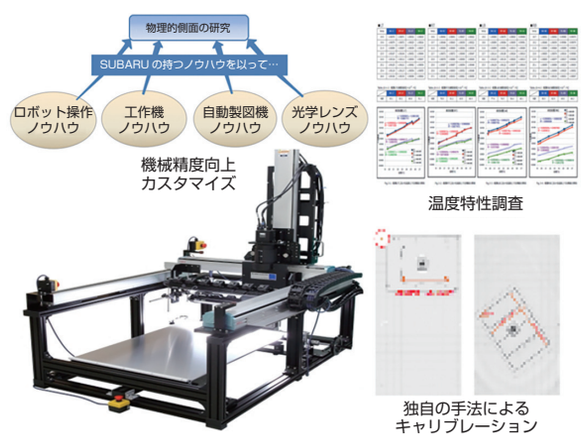


図８　高精度な変換技術力の獲得

次の課題は、マイラーの地色や作画状態起因で画像取得が不安定になること。濃淡さまざまな地色、そして鉛筆やインク、ボールペンなど濃淡と線の太さなど多種線が入混じる条件において、「光の種類」「取込解像度」「露光時間」「ガンマ値」など最適設定値を定め、

画像二値化(白黒2色)、複数色によるグラデーションを利用した判別手法を確立し、ほぼ100%で線の判別ができるようになった(図9)。

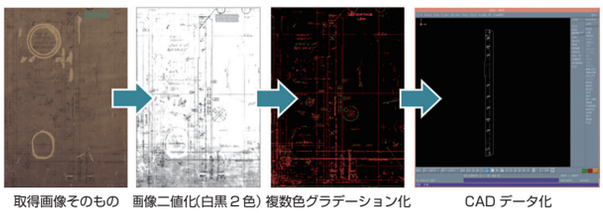


図９　必要な線の判別手法確立

これら大幅な改善の成果から、正射投影装置を用いた高精度データ取得技術が生まれた。そしてマイラー情報のデジタル復元が実現した瞬間であり、マイラーをマスターとして扱っていた製造フローの変革が叶う。撮像装置を所有する協力会社も装置のポテンシャル向上、工業分野への業務拡大が見込まれ、双方に利益のある研究成果を得ることができた。

撮像装置を使ったCAD化フローに移行した結果、

①手測定、手入力、後戻りの大幅削減により、作業時間を平均320分から110分へ1/3に削減成功。

②作業難易度が下がり、安定した作業と高精度なデータを確保し、従来手法である手測定によるCAD化技術の次世代への伝承を不要とした。

③CAD化完了まで40年かかる計算だったが、撮像装置の実用化により、問題点が改善され、最速4年でCAD化完了の目途が立った(図10)。

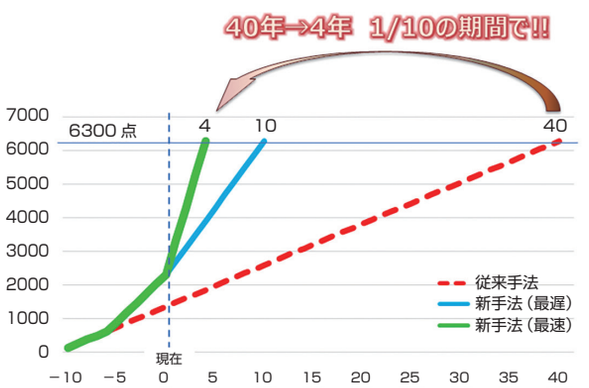


図 10　CAD 化の作業効率効果

3.　実例紹介

新規ヘリコプタ事業における治具製作事前検討に用いた実例を紹介する。

3.1　実例①　デジタル検証の実施

新ヘリコプタと旧ヘリコプタは基礎設計に同じ部分があり、一部の治具情報を共用し製造することが可能になる。マイラー治具情報を予めCADデータ化を実施しておき、CADデータ上で共用化の可否判断や、基準孔位置等の治具情報の共用に利用した(図11)。

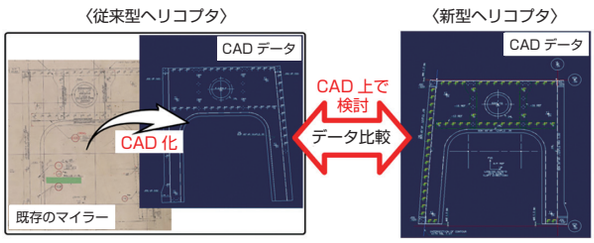


図 11　デジタル検証への活用

3.2　実例②　精度に難があった不活性データの保証

治具用CADデータのなかにはコピー機などのスキャンデータそのものを保管していたケースがある。部品公差を大きく外れるほど歪んでいたり、スケーリングが必要であったり、そのまま使用できない。

今回の活動の一環で、そういった変換途上で断念していた過去の不活性データを活かすことにも目を向けた。画像変換技術の中で機体基準線を基に歪補正を行う仕組みを練り上げ、治具設計の公差内に収まる精度に到達させて活用できるレベルにデータを進展させた。さらに、補正した治具用CADデータを用いて、図面では数値的に不明確な形状情報を参照し、形状定義、SOLIDモデル化を進めている(図12)。

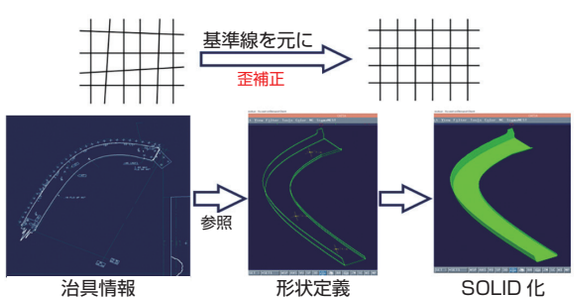


図 12　画像補正技術の活用

この、作成したSOLIDモデルを部品形状検討に利用するだけでなく、機体座標位置にモデルをデジタルモックアップとして組込み、累積誤差や干渉といった組立検討が容易にできるようにした。紙図面だけでは検証しきれない細部まで事前確認が可能になり、そのうえで検討時間を1/10に削減することができた。

3.3　実例③　製造フロー、一元化の実現

現在、航空宇宙カンパニではCADデータを直接NCデータ化し、NC工作機でトリム加工をしている。

型板の根拠であるマイラー図が寸分狂いなくCAD化できるようになった今では、データによる型板の復元ができる。そのデータは、型板レスNC化推進の原

動力となり、製造部の生産性向上活動として板金部品トリムNC化及び型板の廃止に大きく貢献した。

NC加工化の効果は、型板を使用するトリム加工に比べ、製造職場の段取り削減効果も併せて大幅に工数の削減ができた。型板レス化点数は数千点にのぼり、これまでの改善効果は数千万円の削減に及ぶ。現在も型板加工の全廃に向け奮闘している（図13）。

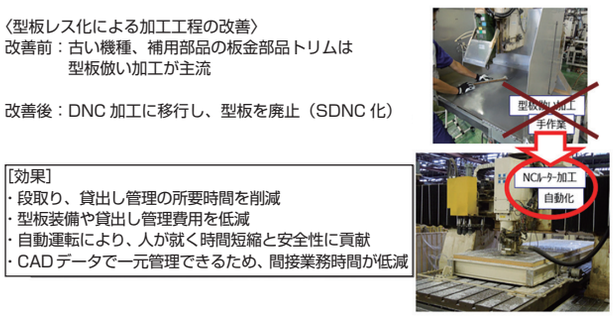


図 13　型板加工が NC 加工に進化

4.　デジタル化の発展性の追求

現在､マイラーによる技術資産は本数にして5000本、部品点数にして25000点ほどあり、CAD化が完了した部品はほんの一部にすぎない。これらマイラーを今後も維持、管理していくにあたりデジタル化を早急に完了させる技術力を強化していく必要がある。

また、マスターモデル等のアナログそのものといえる現物もあり、既存の3Dスキャナでは取得できない物のデジタル復元技術を確立しなければならない（図14）。

図 14　アナログ資産

今回の活動をきっかけに、より広い視野で将来を見据えてデジタル化計画のアプローチを図り、早期に、そして効果的にアナログレスを加速させる（図15）。

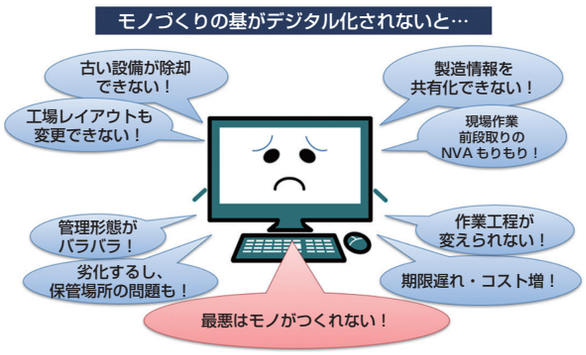


図 15　アナログレスを加速させる必要性

5.　まとめ

現在、私たちは新規ヘリコプタ事業の業務を遂行しているが、様々な面で旧態情報を現代情報に更新する作業が前準備として必要になり、そこに苦慮する状況が起きている。そのなかで、中枢にあたる情報更新をこの研究成果をもって事前に対応できていたことは事業成立の最重要案件への対策になったと言える。

改善例は、朽ちていくアナログ情報の歯止めと対策への苦悩から行った取り組みであるが、その効果を目の当たりにしたことで自分たちがやるべき事と立ち位置を明確にする事ができた。

基礎部分が整理できていれば、いざ必要となる時にスムーズにデータ移管と業務遂行ができ、品質の安定化が図れる。つまりは、発展性が無いアナログ状態が残っていると成長戦略が損なわれ、改善どころか何も生まない。今後、強く注視すべきはロジックの作り直しや古い情報の最新化を常に求め、土台強化を継続する仕組みそのものを伝承すべきと強く感じる。

今回、この活動で過去長年の苦悩と対策の真意を再認識し、活動成果を業務に活かした。フロー改善の流れは後世の人材と一緒に体験することで、想いと技術をしっかり引き継いだ。スポットライトが当たる最新の技術に対し、それらを支える背景には引き継がれるべき技術と土台、そして数々の将来への想いが詰まっていて、それが如何に大切で不可欠なものであるかを肌で感じることができた。先輩から後輩へ何度も伝えていた「お前らに、古いものを古いまま渡さない。」の言葉。重要課題をクリアした今でも、その大切な考え方を強めて、さらなる改善活動の励みにしている。

技術・知識の集大成を最新の状態で受け渡し、発展し続けられる状態と考え方を伝承することが本当の技術伝承だということ。具体的な活動をもって、伝えにくいとされる背景や想いもしっかり伝え、将来育ていく方向とポイントを後世に明示すること。

私たちは実務と並行して経験値を上げ、技術伝承の

あるべき姿の一つとして明確に共有化できたと思っている。

参考文献

(1) 一般社団法人 日本航空宇宙学会：第59回飛行機シンポジウム講演集,「航空機生産情報のデジタル変換技術構築と現代化(古い情報を活かす手段を切り口とした技術伝承)」
(2) 航空技術：「航空機生産情報のデジタル変換技術構築と現代化(古い情報を活かす手段を切り口とした技術伝承)」, No.805, Apr (2022), p.28-33
(3) 株式会社SUBARU：2020上期_改善事例発表資料「製造用基礎データづくりの改革と実用」

【著　者】

村上　　孝

中沢　康史

SUBARU BRZ（アイサイト装着車）とフォレスターがIIHS安全性評価でトップセイフティピックプラスを獲得(米国仕様車が対象)

2022年5月18日

- SUBARU BRZが初めて最高評価のトップセイフティピックプラス(TSP+)を獲得
- SUBARU BRZ（アイサイト装着車）とフォレスター共に全評価試験において最高評価を獲得
- SUBARU BRZとフォレスター含めSUBARUの８車種が米国IIHS[*1]による2022年安全性評価において賞を獲得

＊1：Insurance Institute for Highway Safety（道路安全保険協会）

2022 年モデル SUBARU BRZ（米国仕様車）

2022 年モデル フォレスター（米国仕様車）

多関節ロボットによる長尺形材部品自動塗装

Automatic Painting of Long Extruded Parts by Articulated Robot

野　中　聖　哉[*1]　NONAKA Masaya
今　泉　真　人[*2]　IMAIZUMI Masato
安　野　好　紀[*1]　YASUNO Yoshinori

抄　録

航空機の構造部品には大物重量部品や長尺部品が多く、かつ、多品種少量生産であることから作業者による生産加工が多い。そのため、生産性向上や作業時の安全性確保等が課題である。今回多関節ロボットによる自動塗装技術開発を行い、有機溶剤雰囲気中での作業者負荷低減、品質安定化、生産性向上を図った。本稿では、多関節ロボットによる長尺形材部品塗装100%自動化の詳細を報告する。

Abstract

Many of the structural parts of an aircraft are large heavy parts and long extruded parts, and they are often produced and processed by workers because they are produced in high-mix low-volume production. Therefore, improving productivity and ensuring safety during work are issues. This time, we have developed an automatic painting technology using an articulated robot to reduce the worker load in an organic solvent atmosphere, stabilize quality, and improve productivity. In this paper, we report the details of 100% automation for painting long extruded parts with an articulated robot.

1.　まえがき

当社では、新型民間航空機の生産立ち上げに伴い、加工・成形した部品の搬入後に行う検査、表面処理、塗装までの工程に、一貫した自動化・機械化設備を導入した。当社が製造を担当する部位である中央翼には、大物重量部品のSkin Panelや長尺部品のStringer等が多く使用されている。これら大型部品の内、長尺形材部品の塗装工程における多関節ロボットを用いた自動塗装技術開発を紹介する。

2.　塗装自動化検討

2.1　塗装工程自動化の狙い

塗装工程自動化の狙いについて、安全、品質、コスト、それぞれの項目について狙いを定めた。

安全については、塗装工程では塗料、シンナなど、人体に有害な化学物質を多く使用するため、これら有害化学物質使用環境下での、作業者負荷低減による労働環境改善を狙いとした。

品質面については、作業者の熟練度による塗装仕上がりのばらつきを無くし、塗装品質を安定化させることを狙いとした。

コスト面では、2名の作業者が塗装ブース内で作業する必要があるため、作業の設備自動化による塗装作業工数の削減を狙いとした。

これらの狙いを実現するために、部品塗装100%自動化を目標とした。

2.2　適用部品

対象となる部品は**図1**に示す長さ6 m、重さ約30 kgの長尺形材部品であり、両端の断面形状がJ形(A)、中央の断面形状がZ形(B-B)になっており、全体的に凹凸形状をしている。

2.3　塗料要求仕様

図2は当社が扱っている塗料の塗装膜厚の要求値と、条件によって許容される値の比較である。今回使用するのはAの塗料であり、他の塗料に比べて要求値が

＊1 航空宇宙カンパニー　製造部
＊2 航空宇宙カンパニー　生産技術部

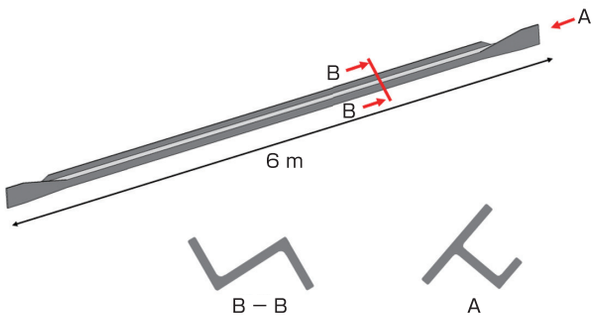


図１　長尺形材形状部品

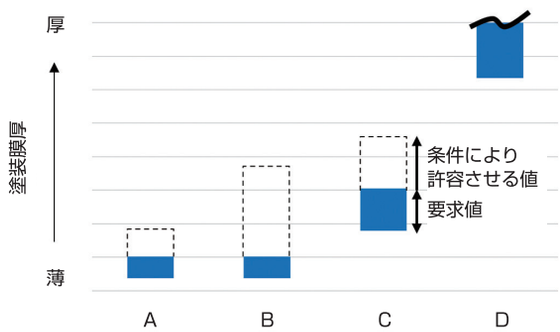


図２　所内使用塗料膜厚要求値一覧

薄く、かつ条件によって許容される値も薄い。要求膜厚値が薄いことにより、塗り重ねでの膜厚調整が難しくなり、部品全体での膜厚の均一性を確保する必要がある。

このように要求仕様が厳しい塗料を、図１に示す長尺形材の、凹凸部、2つの面の間の曲面部などを含む全面に対し、細部まで膜厚要求を満たして塗装する必要がある。

3.　塗装設備・機器

塗装ブース内のレイアウトを図３に示す。塗装を行う部品は、ブース天井に設置された搬送レールによって、塗装ブース入口から乾燥炉出口まで一貫して自動搬送を行い、品質保証のための各工程記録も自動で行っている。ブース内天井全面に給気口を設け、床中央に排気口がある、上下流のプッシュプル方式の空調を採用している。

搬入された部品は塗装ブース内の定位置で停止、固定され、部品を挟んで向かい合って配置された2台のロボットにより塗装される。幅6 mサイズの部品に対応するため、ロボットは搬送レールと平行に設置された走行装置の上に配置される。塗料配管が長くなることによる塗料の無駄を削減するために、塗料タンクも走行装置上に搭載している。また、ロボット塗装後の

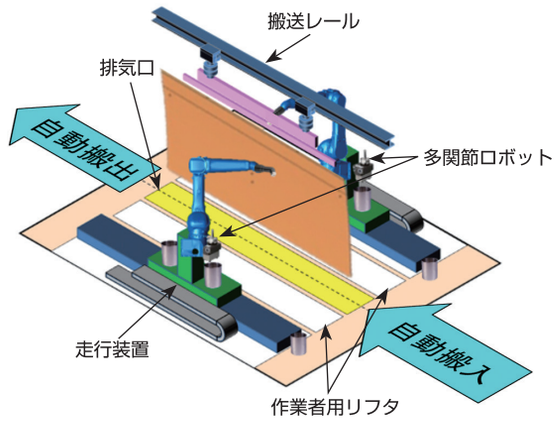


図３　塗装ブースレイアウト

塗装状態確認や、作業者の手吹き塗装に対応するため、部品とロボットの間に昇降リフタを設置している。リフタは、フロア下へ収納できる仕様とし、ロボットとの間でインターロックをとり、収納されていないとロボットが作動しないよう安全対策をとっている。

マニピュレータは防爆仕様で可搬重量15 kg、6軸＋走行軸1軸の垂直多関節型である。塗料は走行装置に設置された塗料タンクから、ギアポンプによってマニピュレータ先端の塗装ガンまで送られる。塗装ガンは、塗料がガン先端から真っすぐ吐出されるスプレータイプのものになっている(図4)。

吐出パターンは、ガン先端から出されるエアー流量の調整により変化させることが出来る。面の様に広い範囲を塗装する場合は、図4(a)に示す様に吐出パターンを広くし、細部を細かく塗装する際には、(b)の様にパターン径を絞って塗装を行えるように、本タイプの塗装ガンを採用した。

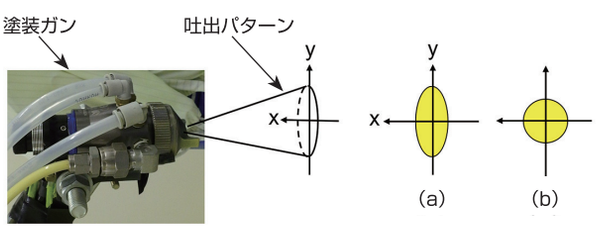


図４　塗装ガン

4.　塗装ロボット適用

4.1　ティーチング

ロボットの動きのプログラミングは、ティーチングペンダントを用いてロボット実機を動かしながら行う、オンラインティーチングが一般的に行われている。この方法だと、実機を動かしながらロボットの一つ一つの動きを作成していくため、工数が多くかかることが課題である。また、今回の塗装対象部品は大型部品なので、実寸大の模擬部品を用いてのティーチン

グ作業の負荷が大きい。

そこで、パソコン上で製品CADデータを対象としてプログラムを作成する、オフラインティーチングを行った。オフラインティーチングにてロボット2台分のプログラム全体を作成し、そのプログラムの微調整を現地で行うという、オフラインとオンラインの併用によるティーチングを行った。これにより、ティーチングに関わる工数削減を図った。

4.2　プログラム構成

部品は塗装用ハンガーにラッキングされた状態で(図5)、自動搬送機によって塗装用ハンガーごと塗装ブースに搬入される。搬入後、定位置で塗装用ハンガーが固定された信号をロボットが設備から受け取り、ロボットが動き出す。

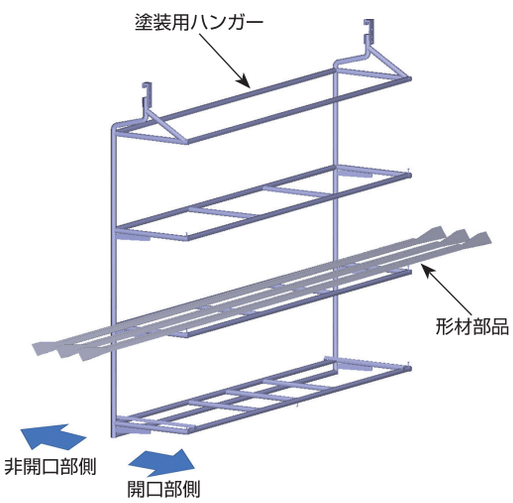


図５　形材部品ラッキング

まず、塗装を行う前に部品に付着したチリ、埃を払い不純物による塗装不良を防ぐため、塗装ガン先端からエアーのみを吹き出して、部品全体のエアブローを行う。エアブローの後、塗装用ハンガー開口部側のロボットは、図6－1に示すように、開口部側に向いている面を部品の端から端に向かって塗装を行う。非開口部側のロボットは、図6－2に示すように、まず部品長手方向端部(a)の塗装を行い、次にフランジ面(b)やフレーム付近(c)など、細部の塗装を行う。その後、非開口部側を向いている面の塗装を行い(d)、塗装用ハンガーのフレームを避けて、部品の端から端まで同様に塗装を行う。これら2台のロボットの塗装パスは、互いの塗装影響が相手の塗装範囲に極力影響が無いことや、塗装時間の短縮を考慮して作成した。

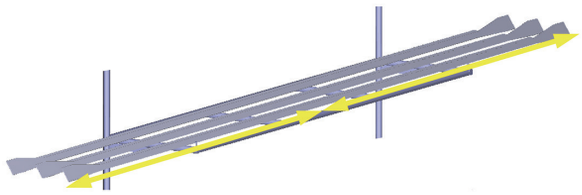


図６－１　ロボットプログラム構成（開口部側）

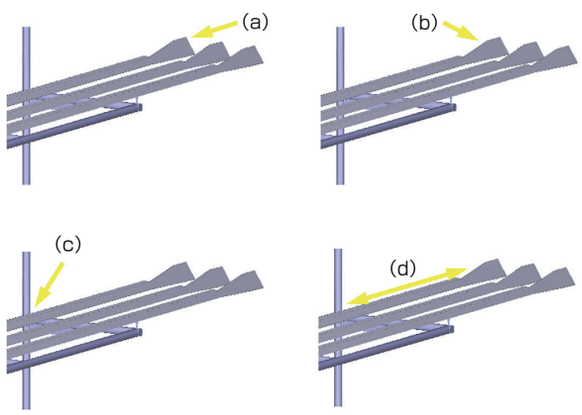


図６－２　ロボットプログラム構成（非開口部側）

部品は塗装用ハンガーの一つの段に複数本ラッキングされているので、2台のロボットは同じ段に載せられている部品を一度に塗装を行う。塗装終了後、2台のロボットが原位置に戻った信号を設備が受け取り、塗装作業終了になる。

4.3　細部塗装

塗装ガンと塗装箇所の角度は垂直に近い程塗料の塗着が良くなり、角度が浅すぎると塗料がエアーで流れてしまい、塗着が悪くなる。形材部品は凹凸が多く、狙った塗装箇所に対して塗装ガンを正面からアプローチするのが困難である場合が多い。そのため、凹凸形状の細部まで未塗装箇所無く塗装を行うために、細部の塗装条件出し、及び塗装パスの作り込みを繰り返し行った。

4.3.1　R部

図7は2つの面の間の曲面部(R部)を示している。このように面で挟まれていると、塗装ガンから出た塗料やエアーが両面に当たることで発生する塗料ミストの影響を受けやすく、R部の周辺領域に塗料が付きにくい。そのため、平面部との境目を含むR部の領域に対して、塗料が垂直に当たるように塗装ガンの角度や軌道を調整すると共に、吐出量とエアー圧を絞り、塗装ガンから吐出される塗料の広がりを狭くし、R部まで塗装ガンから真っすぐに塗料が届くように塗装パスや諸条件の作り込みを行った。

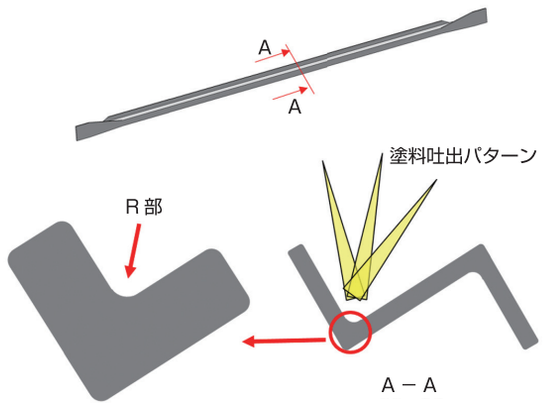


図７　R部

4.3.2　フランジ面

図８は形材両端部のフランジ面を示している。この面は部品を塗装用ハンガーにラッキングすると、塗布面が垂直から床方向に傾いた状態になるので、塗装ガンを面直に向けることが出来ない。そこで、塗装ガンを可能な限り水平に近い角度まで傾けることで、塗料吐出パターンを極力水平に近づけた。それと共に、塗料の吐出量を絞り、僅かに塗装ガンの軌道をずらしながら複数回塗装を行うことで、フランジ面の膜厚は規定値を守りつつ、それ以外の箇所には塗料を極力塗布せずに塗装を行うことが可能となった。

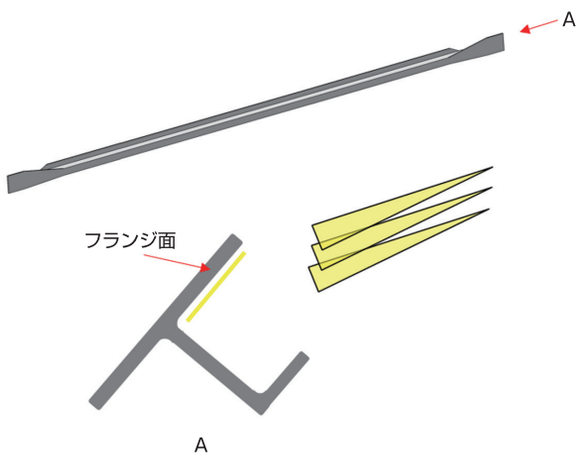


図８　フランジ面

4.3.3　塗装用ハンガーフレーム付近

図９に示すように、塗装用ハンガーの非開口部側にはハンガーのフレームがあることで、ロボットアームの折り返し(a)が必要になる。また、ハンガーフレームに一番近い部品については、塗布面に対して塗装ガンを面直にアプローチすることが出来ないため(b)、塗膜が薄くなる傾向となる。そこで、塗装ガンからの塗料吐出時間を短く区切り、複数回の塗装を行うことによって、フレームの影になって塗料が付着しづらい箇所を局所的に狙いながらも、周囲への余分な塗料の付着を最小限に抑えた。

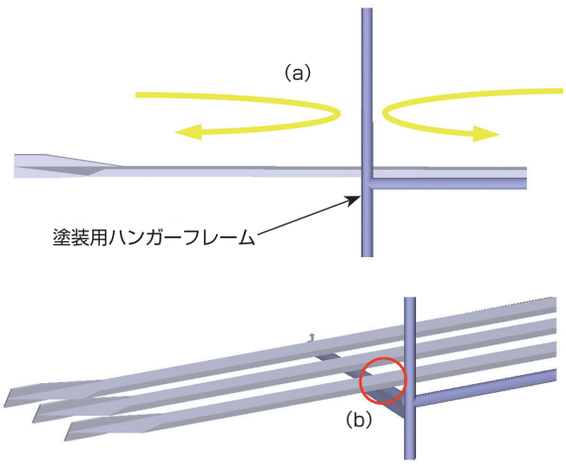


図９　フレーム付近

4.3.4　コバ

図10に示すのはコバと呼ばれる、部品の角の箇所になる。形材部品は凹凸が多い形状なので、コバの箇所が多い。コバは細い曲面状をしており、この曲面に垂直に塗料を当てないと塗料が微量しか付着しないため、この細い範囲を狙って塗装する必要がある。かつ、コバを狙うと確実に周囲の面に塗料が付着するので、その影響を考慮してコバの周囲の面の塗装パスを作成した。

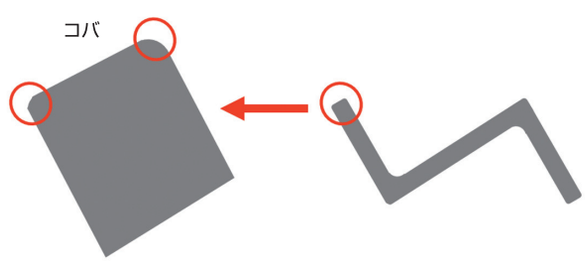


図 10　コバ

4.4　面塗装

部品は長さ約6ｍあり、ロボットアームの可動範囲よりも長い。そのため、塗装用ハンガー開口部側のロボットは、長手方向で2つのエリアに、非開口部側のロボットは、ハンガーフレームを挟んで3つのエリアに区切って、コンベアでエリア間を移動して塗装を行っている。

エリアの区切りでは、ロボットアームを折り返しさせる必要があるが、その動作を行う際に塗装ガンを部品の塗布面に面直のままにすると、折り返し点の塗膜が厚くなってしまう。そこで、折り返し点の手前から少しずつ塗装ガンを進行方向側に傾け、塗装ガンを塗装面に対して平行近くまで傾けながら折り返しの動作を行うようにした。これにより、折り返し点の膜厚を抑えながらロボットの動きを止めること無く効率的に部品の塗装が可能となった。

部品の断面図を図11に示す。このうち(a)、(c)面は開口部側ロボットが塗装し、(b)面は非開口部側ロボットが塗装を行う。(a)、(c)面は塗装ガンを塗布面に対して面直に近い角度とすることができ、塗装ガンを一定の間隔で平行移動しながら塗装を行う事ができる。2台のロボットそれぞれに適切な塗装担当箇所を設定し、面全体の塗装を行った。また、ロボットは塗装ガンの角度を一定に保ったまま、作業者の腕の届く範囲よりも広範囲にアームを動かすことができるため、形材部品の広範囲に渡って均一度の高い膜厚塗装が可能になった。

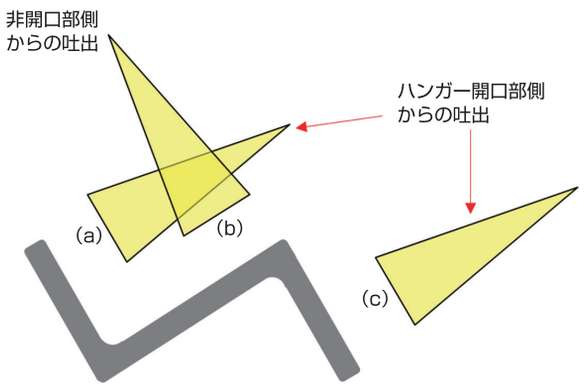


図11　面

ロボットによる自動塗装が終わったら、一度部品を乾燥炉で乾燥させる。その後、塗装用ハンガー上で部品を反転させて、表面の塗装と同様に未塗装の裏面全面の塗装を行う。以上により、長尺形材部品全面の自動塗装を行った。

5.　まとめと今後の取り組み

大型部品を扱う塗装工程でのロボットによる長尺形材部品の凹凸細部含む、部品全面の塗装100%自動化を実現した。これにより、安全面の狙いである労働環境改善については、作業者が塗料雰囲気中で作業する時間を0にした。品質面での狙いである品質の安定化については、作業者技量によらない、同じ品質、膜厚の均質性向上を実現した。コスト面の狙いである工数削減については、作業者塗装をロボットに置き換えることで、塗装工数の削減を実現した。

今後は、今回紹介した形材よりもさらに大きい形材や、より多くの形材をラッキングした状態での自動塗装、種類の異なる塗装ハンガーにラッキングされた大型形材部品の塗装100%自動化を行う計画である。それら自動塗装アイテムの拡大により、さらなる生産性向上を図っていく。

参考文献

(1) 社団法人日本航空宇宙学会：第60回飛行機シンポジウム講演集，多関節ロボットによる長尺形材部品自動塗装

【著　者】

野中　聖哉

今泉　真人

安野　好紀

航空機の製造コストを低減する要素技術

Element Technology to Reduce Aircraft Manufacturing Cost

小　野　遼　平*
ONO Ryohei

抄　録

航空機の製造コストの内、部品の加工や組立にかかるコストは、各メーカーやサプライヤーが生産技術を開発して競争している分野である。近年は自動化装置でコスト低減を目指す流れであるが、そこで必要になる加工用刃物や締付工具といった要素技術も年々改良が続いている。本稿では、過去に報告された要素技術のその後の変遷や、コスト削減効果について述べる。

Abstract

Among the aircraft manufacturing costs, the cost of processing and assembly is the competitive field for manufacturers and suppliers to develop manufacturing engineering. In recent years, the trend is to reduce costs by automation. Along with the trend, the element technologies such as machining tools and assembling tools used in gantry machines, robots, hand-held semi-auto tools required for the automation have also been improved every year.

This paper describes the subsequent transition of element technology and the cost reduction effect.

1.　はじめに

本稿では、航空機製造の要素技術がどういった方向性で進歩したり、取捨選択したりされてきたか紹介したい。

2.　複合材の外形加工

航空機の翼や胴体にFRP（Fiber Reinforced Plastics）でできた長尺で曲面をもつパネル部品が使用されているが、こういったパネルは金型で積層硬化されたのちに加工機に吸盤で固定され、余肉を切断している（**図1**）。

一般に、CFRPを加工するには超硬やダイヤモンド（電着、PCD：Poly-crystalline Diamond）の刃物を使用し、加工端面の粗さは細目程度であれば品質は十分とされる。加工端面は刃物が摩耗すると粗くなるので、刃物を交換するタイミングは刃物費やサイクルタイム、後工程の仕上げの手間等をトレードオフして判断する。

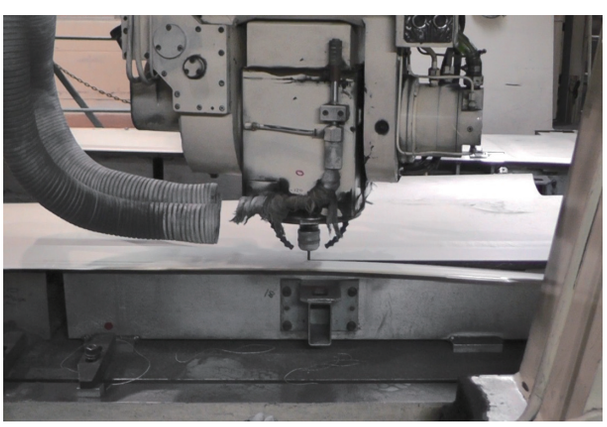


図1　吸着治具でワークを固定した加工

さて、コストの面では、単純に刃物1本の価格だけでいえばコーティング無しの超硬ダイヤ目で加工は可能で比較的安価に入手できる（**図2**）。

しかし、加工機を有効に活用したいという必要性から、要素技術としては長寿命で交換頻度が少なく、高送りで早く加工できる刃物を目指してきた。

例えば、超硬ダイヤコートの刃物は、コーティング無しより値段が高くなるが、相応に寿命があって交換の手間が減り、加工機の稼働率が良くなる。これによ

＊ 航空宇宙カンパニー　生産技術部

図２　超硬ルーター

るコスト削減効果が好まれ採用されることが多い。

加工速度を上げて加工時間を短縮する方法もあるが､切削抵抗に対して十分にワークを保持できないと、刃物は送り速度に比例して振動が大きくなり、コーティングが欠け、結果として寿命が短くなることが報告[(1)]されている。

現在では、ダイヤ目をベースに低い切削抵抗かつ振動を抑えた刃物が登場し、使用されている(図3)。従来品と比べると、ダイヤコートの寿命が長いだけでなく、切削抵抗が低いため、送り速度も従来比2倍以上にすることができ、加工機の稼働率は格段に向上した。

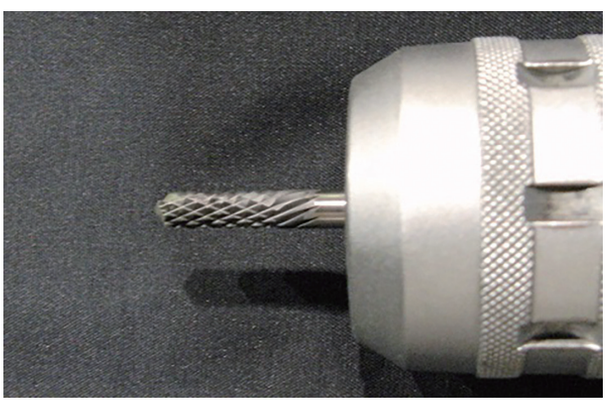


図３　ダイヤコート超硬ルーター

3.　FRPのフライス加工

航空機のCFRP構造間のギャップ調整に、FRPの板をくさび状にフライス加工(図4) したシムが使用されているが、積層物を剥ぐように加工するため、加工速度を上げると意図しない剥離によって不良が発生する危険がある。

PCDに比べて超硬ダイヤコートの方が高送り可能な鋭利な形状にできるため、加工速度を上げられるという報告がある[(1)]。しかし、寿命ではPCDが優れるため、交換頻度と加工速度でトレードオフしてコスト削減効果は判断される。

一方で加工機の方は、切粉を主軸貫通パイプで吸塵する仕様の加工機が、切粉の処理と刃先の冷却にも優れる。これと相性が良いのが寿命に優れるPCDで、付け替えの手間が少なく、切粉の掃除も無いので、高い稼働率が実現できた。

刃物寿命の点で、超硬ダイヤコートは刃先チップの各面を使えるようにしてPCDの寿命に対抗したが、結局は付け替えの手間がネックとなり、PCDが採用されている(図5)。

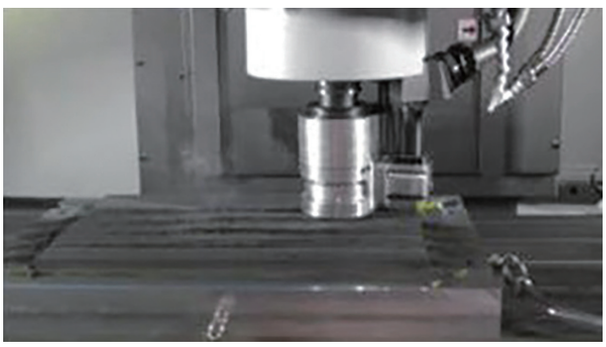


図４　シム加工

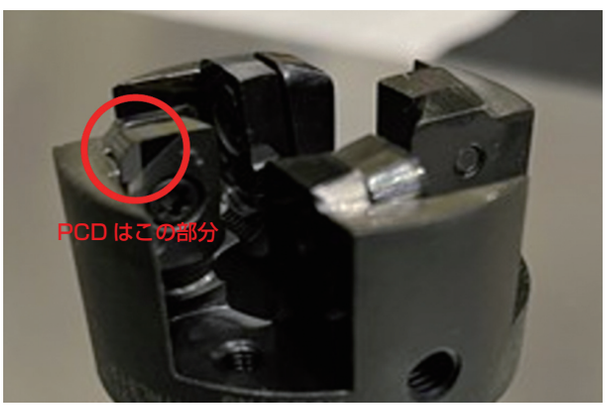


図５　アーバー &PCD チップ

4.　FRPのドリル加工

航空機の構造の多くはファスナで結合されるため、FRPに穿孔が必要となる。一般的なドリルでは穿孔の入口や出口でCFRP層の剥離(デラミネーション)が発生して不良になりやすいため当て板などで工夫が必要であるが、Rドリル(図6) による改善が報告されている[(1)]。

図６　Ｒドリル

加工機で使用する場合は、超硬ダイヤコート2枚刃Rドリルが寿命と加工速度のバランスに優れる。Rドリルは刃が研がれながら摩耗するため、刃型とダイヤコートの性能が合わさって寿命に影響する。現在で

は、ダイヤコートの技術向上などによって寿命は従来比1.5倍程度に延びている。

5. CFRPとチタンを重ねたドリル加工

航空機の構造ではCFRPとチタンを重ねて組み立てる場合があり、熱でダメージを受けてしまうCFRPと加工熱が発生しやすいチタンを通しで穿孔する要素技術の開発が進められてきた。

熱対策は、従来からオイルホールを介して刃先に切削油を供給するドリルが存在しているが、コスト低減のために刃先は交換式が良い(図7)。刃物メーカー各社でそれぞれデザインがあるが、中心から逃げ面を狙うオイル孔と、外周からスクイ面を狙うオイル孔を有するドリルが熱対策に有効であった。

図7　刃先交換式ドリル

寿命は、CFRP層で摩耗してチタン層の切削抵抗が大きくなることで限界となるが、スクイを負角にしたものが、寿命と切削抵抗のバランスが良いと報告されている[2]。

ホルダーの方はどうかというと、刃先交換式ドリルをポジティブフィード穿孔機で使用する場合、ブッシングチップとホルダーのマージンを滑合することで、穿孔精度が向上できるが、その際にマージンが摩耗するので、ホルダー側面にオイルホールを設けるなど改良を進めている[3、4]。

また、ハンドドリルによる穿孔では、下孔がある場合に限って先述のRドリルをコーティング無しでチタンやアルミに使用する場合もある。そうすると、ドリル＋リーマの効果で一度に仕上げまで加工できる。

6. シール合わせ面のボルト締結

機体の構造と一体化した燃料タンク周辺は、漏洩対策として部品間がシールされ、一度ボルトで締結された後、シールがなじんだ頃合いに締め直し(リトルク)を行う。特に高トルク範囲は工数低減のため電動工具を使いたいが、一般的なフィードフォワード制御の電動工具では締め直しでトルクを過剰にかけてしまうため、フィードバック制御の電動トルクレンチ(図8)が適していると報告されている[4]。

図8　電動トルクレンチ

電動トルクレンチの精度を保証して運用したい場合、使用前後にトルクチェッカで確認が必要であるので、専用のトルクチェッカも開発された(図9)。

図9　トルクチェッカで点検する様子

現在、電動トルクレンチはサーボモータを使用して制御精度を高めることで、数十～数百Nmのトルク用がバッテリ式でラインナップに追加されている(図10)。

図10　バッテリ式電動トルクレンチ

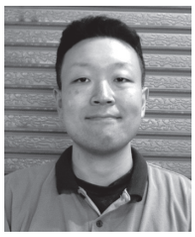
7. おわりに

航空機の製造においても、他の産業でも取り組んでいるように、加工用刃物の長寿命化や、電動工具による省力化といった要素技術でコスト低減を目指しているが、本稿で紹介した内容が、航空機の材料や製造要求に対し、どういったアプローチで取り組んでいるか参考になったならば幸いである。質問等があれば筆者まで気軽に問い合わせいただきたい。

参考文献

(1) 一般社団法人　日本航空宇宙学会：高能率CFRP切削技術, JSASS-2012-5073
(2) 住友電工ハードメタル株式会社, 住友電気工業株式会社, 株式会社SUBARU：刃先交換式ドリル, 特許第5519723号
(3) 株式会社SUBARU：ドリル, 穿孔ユニット及び穿孔方法, 特開2020-093316
(4) 株式会社SUBARU：回転切削工具, 回転切削ユニット及び回転切削方法, 特開2020-131312
(5) 一般社団法人　日本航空宇宙学会：自動トルク掛けツールの開発, JSASS-2014-5217

【著　者】



小野　遼平

SUBARU「レガシィ アウトバック」が、JNCAP「自動車安全性能2021ファイブスター大賞」を受賞

～衝突安全性能と予防安全性能の総合評価で最高得点を獲得～

2022年5月25日

このたび、国土交通省と独立行政法人 自動車事故対策機構（NASVA）が実施した、自動車の安全性能を比較評価する自動車アセスメント（JNCAP）において、SUBARU「レガシィ アウトバック」が2021年度の衝突安全性能と予防安全性能の総合評価で最高得点を獲得し、「自動車安全性能2021ファイブスター大賞」を受賞しました。

レガシィ アウトバック Limited EX

自動車安全性能 2021 ファイブスター大賞

飛行中の被雷回避の実現

Avoidance of Aircraft-Triggered Lightning Strikes in Flight

西　　孝裕樹[*1]
NISHI Takayuki
津　端　裕　之[*1]
TSUBATA Hiroyuki
宮　木　博　光[*2]
MIYAKI Hiromitsu
神　山　晋太郎[*2]
KAMIYAMA Shintaro
岡　田　孝　雄[*2]
OKADA Takao

抄　録

雷は離着陸中の旅客機等大型航空機や近年開発中の次世代空モビリティなどの低高度飛行においては運航に大きな影響を与えている。航空機への着雷の原因の多くは、航空機が雷雲に近づいたことがトリガーとなって電界が高まり、雷を引き起こす航空機トリガー誘雷である。この航空機トリガー誘雷により次世代空モビリティ等の運航が阻害される課題を解決するため、誘雷時の機体周辺電界分布に着目した。具体的には航空機上で電界をリアルタイムに検知し、機体の姿勢や帯電量を制御することにより、航空機トリガー誘雷が発生する電界分布を抑制する研究開発を開始している。本稿は、飛行中の機体への航空機トリガー誘雷を回避する技術の開発経過と、被雷回避技術のシミュレーション解析と着雷実験の結果について紹介する。

Abstract

Lightning has a significant impact on aircraft operations during low-altitude flights such as urban air mobility. Most aircraft lightning strikes are aircraft-triggered lightning. When an aircraft approaches a thundercloud, the increased electric field causes lightning. To avoid this aircraft-triggered lightning, we researched on reducing electric field distribution by detecting electric field around an aircraft and controlling the attitude and the charging of aircrafts.

This paper describes the development of a technology to avoid aircraft-triggered lightning strikes, numerical simulations of electric field environment around the aircraft, and the results of initial leader attachment experiments.

1. まえがき

近年、自動車に代わる新しい移動方法として、空飛ぶクルマやドローン宅配などの空の革命プロジェクト「次世代空モビリティ」開発が盛んとなり、今までにない雲の下の低高度の常用運航が増加する兆しである。低高度運航での安全性と運航効率を確保するためには、風雨による動揺等の制御および携帯電話基地局等との電磁干渉対策など、機体開発に反映すべき多くの新たな要素技術の開発が必要である。特に運航に大きく影響を与えるのは雷雲である。

現状の航空機運航では、雷雲発生が予想される空域を約30 km離れて飛行するか、待機や飛行中止することで対応している[(1)(2)]。

この現状の方法にて低高度・近距離で「次世代空モビリティ」を運航するとなると、近年の夏季ゲリラ豪雨が多発するシーズンでは、たとえば毎日午後は飛べないというように利便性に大きく影響すると考える。

航空機への着雷は、現在の耐雷標準の基となったNASAおよびONERA等の研究機関による航空機被雷実験結果によると、着雷発生の約90%は雷雲の近くを飛行する航空機がトリガーになった誘雷が原因とされている[(3)(4)(5)]。この航空機トリガー誘雷が曲者であり、雷が発生していない雲でも、飛行機が近づいた時だけ発雷することが多い[(6)]。つまり、自然雷が発生している空域の情報だけで被雷回避するのは難しい。

雷雲による航空機運航が阻害される課題を解決するため、近年研究開発が盛んである。航空機へ着雷する前駆放電現象である、機体から正極のリーダ放電が最初に発生することに着目し(**図1**)、機体を負極に帯

＊1 航空宇宙カンパニー　システム設計部
＊2 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
　航空技術部門　航空安全イノベーションハブ

電させてリーダの発生を抑制して被雷回避する研究（MIT, 2018）[7]、逆に機体が負極に帯電するため冬季雷雲の正極領域が航空機トリガー誘雷を誘発するという前提で冬季雷発生領域（図2、図3）を地上で推定する研究（Met Office UK, 2013）[8]、および冬季雷でも実際の航空機トリガー誘雷をデータベースにしてAIで被雷領域を高精度に地上で予測する研究（SUBARU, JAXA, 首都大学東京, 2017-2019）[9][10]が行われている。現状の研究開発は、特定の環境で有効であるが、地上計測の必要性や、季節により異なる雷雲形態が網羅されていない。

以上より、航空機スタンドアローンで各種雷雲形態でも着雷危険性を判断できる計測項目として「機体周辺電界」に着目し、「機体電界分布の抑制」を目指す研究に着手した。

本稿では、航空機トリガー誘雷が発生する機体周辺の電界環境をリアルタイムで検知し、機体の姿勢や帯電量を制御して、航空機トリガー誘雷が発生する電界分布を抑制する研究開発について述べる。

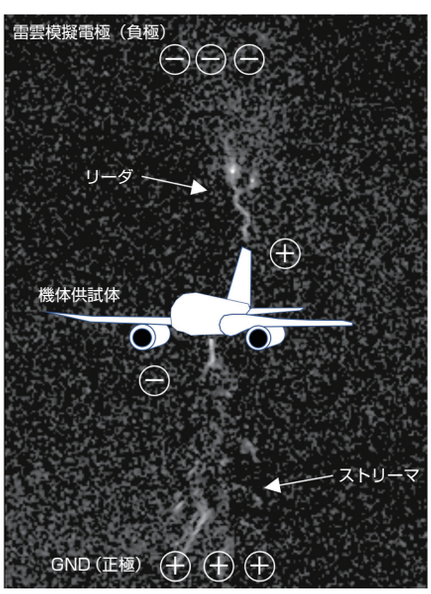


図１　機体からのリーダおよびストリーマ発生実験

2.　用語の定義

ストリーマ　電界が集中した物体の端部周辺の空気がイオン化し、フィラメント状に放電する現象。

リーダ　ストリーマから空気を絶縁破壊し、枝状に放電が伸びていく現象。

ブレークダウン　正極と負極のリーダがつながり、空間に絶縁破壊経路が形成される現象。この絶縁破壊経路に電流が流れ、一般的に雷と呼ばれる。

3.　航空機の着雷環境

雷を大きく分類すると図2に示す夏季雷と冬季雷に分けられ、航空機に与える影響はそれぞれ異なる。

夏季雷雲は、主に地上で熱せられた空気が上昇気流となり、湿った空気を上空に運び、それが氷結することにより発生する。上昇気流を起因としているため世界中同じ条件で雷雲が発生する上、上昇気流が比較的局所的であるため、雷雲位置と発雷位置はほぼ一致する。よって、気象レーダー等により雷雲位置を特定すれば、発雷域が比較的容易に判断できる。また、図3に雷雲内の電荷分布を示すが、ほとんどの発雷が地上に近い負極性電荷の領域であり、特性がわかりやすい。

一方で、冬季雷は季節風と水面温度により発生する現象であり、日本海側全域、諸外国では北海と米国五大湖周辺で発生する世界的に稀な自然現象である。稀な現象ではあるが、日本では冬季雷が頻発している。冬季雷の特徴として雷雲が広く低く垂れ込めるため、気象レーダーでは雷雲の中心をとらえ難く、発雷域が分かり難い。特に冬季雷はエネルギーも大きいため、被雷時に運航へ与える影響が大きい。

図２　日本の季節型雷雲

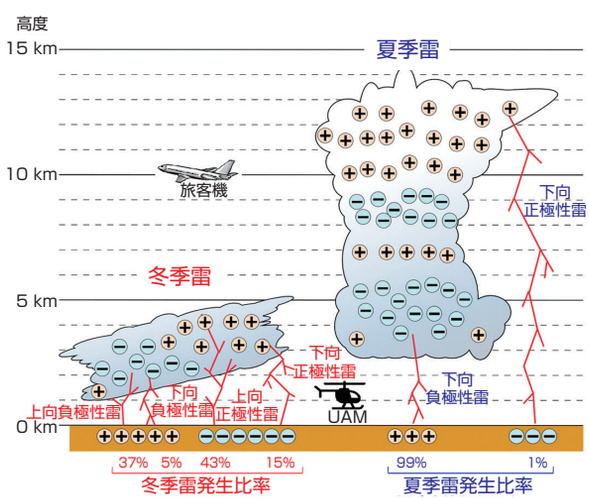


図３　冬季雷、夏季雷の特徴

冬季雷の電荷分布を同様に図3に示すが、冬季雷雲は雲底が数百mと低く「次世代空モビリティ」運航が想定される空域と重なる。また、負極性電荷と正極性電荷の存在域が低空で混在しているため、極性の異なる発雷が混在しているのが特徴である。

4. 被雷回避の取り組み

世界で稀な日本周辺の着雷環境を鑑みると、諸外国の被雷回避研究のように特定の種類の被雷回避をするのではなく、すべての雷雲に対応、且つ地上設備の援助不要で航空機スタンドアローンにて被雷回避を判断できるシステムが有効と考える。宇宙航空研究開発機構(JAXA)と当社は、航空機周辺電界変動とリーダ発生の相関に着目し、航空機トリガー誘雷が発生する際の機体周辺の電界を搭載型小型電界センサーで探知し、簡単な姿勢制御等の機動や機体帯電制御で回避する被雷回避システム技術の研究開発に着手した[11](図4)。

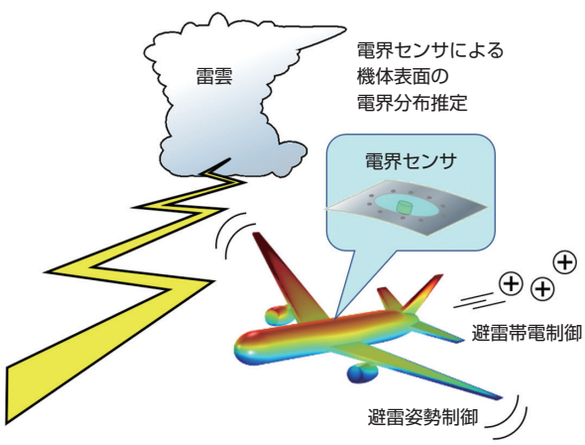


図4 被雷回避システム構想図

現在、コンセプト証明(PoC : Proof of Concept)を実施しており、以下の解析および実験を実施した。

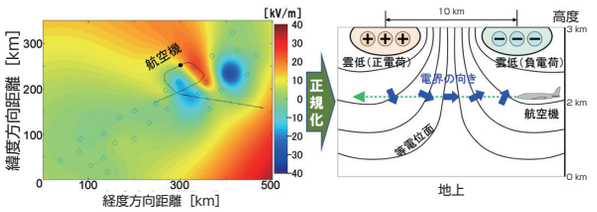
・機体周辺電界分布のシミュレーション
・機体姿勢変化による着雷の確認
・機体周辺電界分布の抑制効果確認

4.1 機体周辺電界分布のシミュレーション

機体周辺電界分布と着雷の相関を確認するには、まず航空機トリガー誘雷に至るまでの電界環境を把握する必要がある。そのため、雷雲発生時のデータ[12]を基に図5(a)に示す地上の電界分布を推定した[9]。地上電界分布推定結果より雷雲と航空機間の電界シミュレーションに使えるように正規化し、図5(b)に示す雷雲周辺電界の数学モデルを作成した。

この雷雲周辺電界の数学モデルの中に各種形状／材質の航空機を配置して、図6に示す雷雲近傍での機体周辺の電界強度の分布をシミュレートした。

シミュレーションにより、雷雲近傍を航空機が通過する際に、機体に搭載する電界センサーの検知範囲や精度についても検討した。



(a) 冬季雷の地上電界分布推定例　(b) 航空機周辺電界シミュレーション用モデル化

図5 機体周辺電界解析モデル例

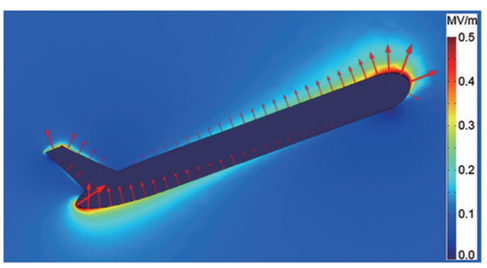


図6 機体周辺電界シミュレーション例

4.2 着雷実験

機体周辺電界分布と着雷の相関確認のため、インパルス発生器を用いて高電界環境を作り出し、雷雲を模擬して実験した。図7に着雷実験環境の概要図を示す。

航空機と同じ電界環境にするため、空中に浮いて接地されていない航空機模擬の浮遊供試体にて、航空機トリガー誘雷と同様なリーダの発生、伸展を観測した。観測方法としては、放電発光の波長域を撮影できるデジタルカメラと高速度カメラを用い、画像解析にてリーダ伸展の形状、発生時刻、伸展の速度を算出する方法とした。供試体に着雷ブレークダウン電圧のしきい値の算出に昇降法測定[13]を用いた。昇降法測定では印加電圧を最大900 kV、40 kVまたは50 kV刻みにて着雷確率 50%になるまで平均20回／供試体の着雷実験を実施した。供試体の帯電は静電気帯電ガンを用いて制御した。帯電量は表面電位計にて電荷量を推定した。実験では印加前と印加後の表面電位を記録した。

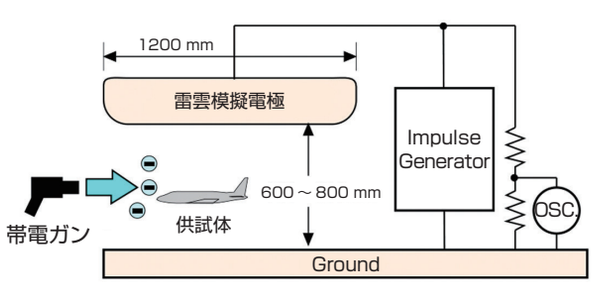


図7 着雷実験の実験系概要図

4.3　機体姿勢変化による着雷の確認

周辺電界と着雷の相関データを取得するため、周辺電界分布シミュレーションと実験系での着雷確率実験を比較した。比較は簡単な形状から複雑な形状へ供試体をステップアップし、確実にシミュレーションと実験を比較できるようにした。最初は数値モデルと供試体形状が一致しやすい片側紡錘形のI形の供試体とした。姿勢による電界変化の比較測定はピッチ軸1軸のみである。図8にI形供試体の実験系配置を示す。

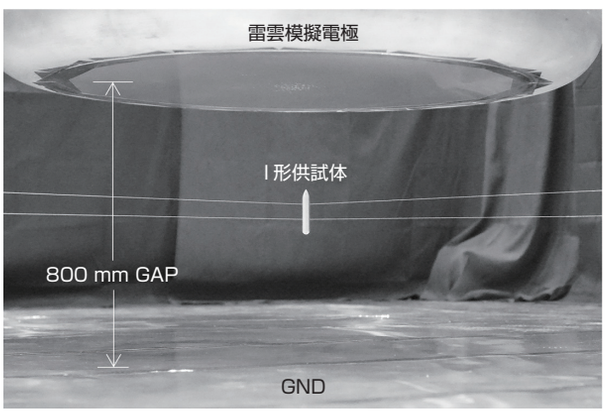


図８　I形（片紡錘形）供試体の実験系配置

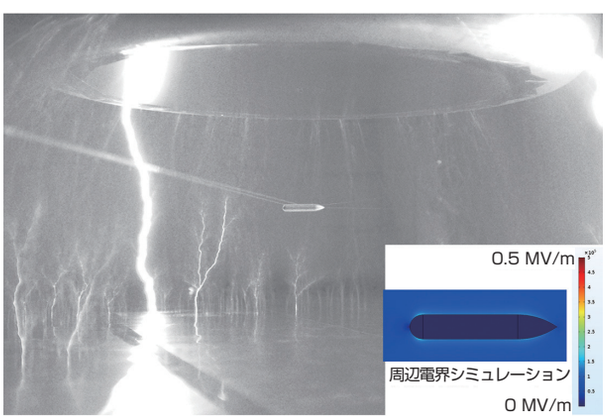


図９　雷雲電極（上）に対しピッチ角$\theta = 0^\circ$の場合
着雷しない（写真は印加電圧－800 kV例）

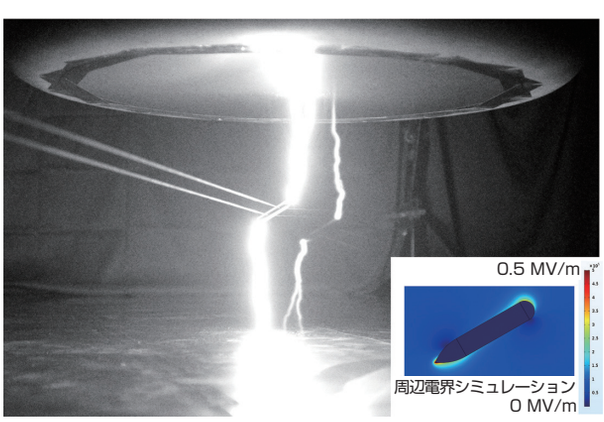


図10　雷雲電極（上）に対しピッチ角$\theta = 30^\circ$の場合
着雷（写真は印加電圧－550 kV例）
（右側の放電はカメラ・ゴースト像である）

本実験系形態でI形供試体ピッチ角$\theta = 0^\circ$時において、供試体周辺電界シミュレーションの最大値は約270 kV/m（－900 kV印加時）であるが、図9に例を示す着雷実験で－900 kVまで印加しても供試体に着雷せず、トリガー誘雷は発生しなかった。$\theta = 30^\circ$に傾けると、シミュレーション電界で最大約5,000 kV/m（－500 kV印加時）になり、図10に例を示す実験のように着雷を観測した。図11に各ピッチ角での着雷開始印加電圧を示すが、I形のような単純な形状での姿勢変化は大きく周辺電界を変化させることを確認するとともに、供試体へ着雷が開始する電圧のしきい値を確認できた。これより雷雲に対する機体姿勢の制御は、航空機トリガー誘雷の被雷回避に有効であるデータを得た。

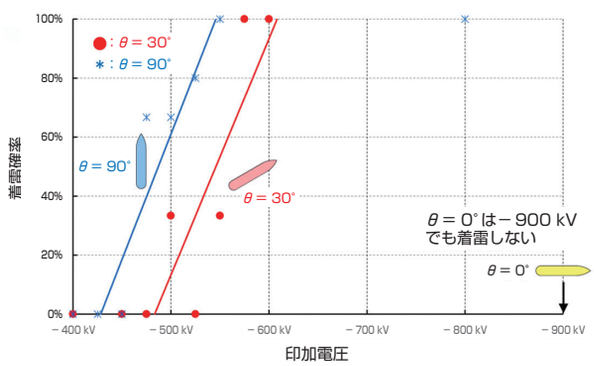


図11　ピッチ角$\theta = 0^\circ$、30°、90°の着雷開始電圧の比較

4.4　機体周辺電界分布の抑制効果確認

4.4.1　トの字型供試体よる着雷の確認

着雷開始における姿勢と機体帯電の相互作用を確認するため、I形供試体よりも形状による電界の影響が大きくなるトの字型供試体で着雷実験した。トの字形は、固定翼航空機の垂直尾翼のみが周辺電界シミュレーションと実験系に影響する機体形状としたものである。図12にトの字形供試体の実験系配置を示す。

着雷実験では、トの字型供試体のピッチ角を順次変えるとともに、帯電ガンで供試体の正／負極の帯電量を変えて実験した。

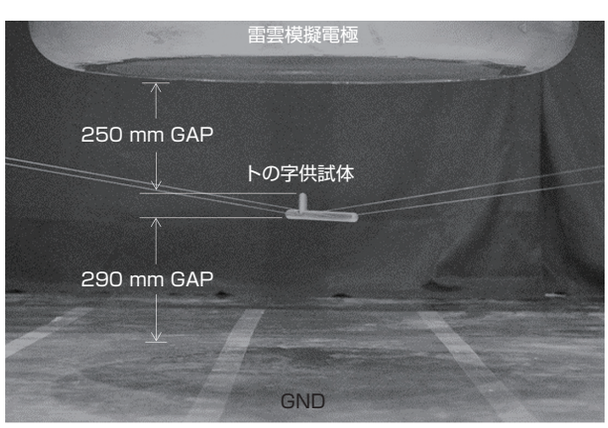
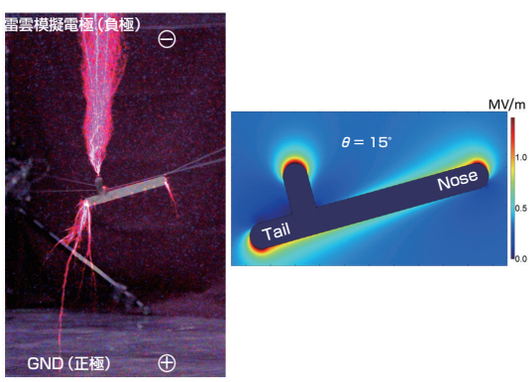


図12　トの字形供試体の実験系配置

トの字型供試体の着雷実験において、トの字型供試体$\theta = 15°$ケースのストリーマ放電発生方向と周辺電界シミュレーションの電界強度分布方向が、供試体Nose部で相違する状況を観測した。**図13**に比較を示すが、Nose部における実験でのストリーマ放電方向は下向きだが、周辺電界シミュレーションでは上向きに電界が集中している。

これは、シミュレーションでは静的な状態で雷雲の電界がかかった状態を演算しており、実際に高電圧が立ち上がる実験では、電圧上昇から放電するまでの遅れ時間(Δ_{tP})の間に、トの字型供試体内で分極が形成されて周辺電界の極性に影響を与えたと推定する。よって、周辺電界シミュレーションでは、Δ_{tP}の供試体分極を予測して補正の必要がある。



(a) ストリーマ放電　　(b) シミュレーション周辺電界

図13　$\theta = 15°$実験系とシミュレーションの比較

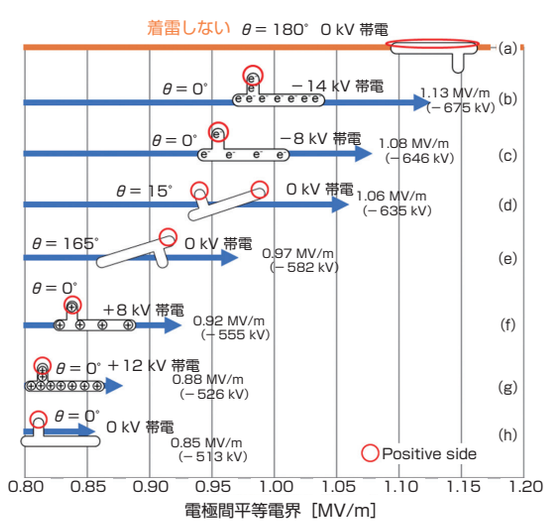


図14　トの字形供試体の着雷開始印加電界

ピッチ角および供試体帯電量の違いによる着雷開始の印加電界を**図14**に示す。印加電界は雷雲模擬電極とGND間を平等電界として近似している。**図14**の実験ケースは夏季雷でよく見られる雲底が負極の環境を模擬しており、上部の雷雲模擬電極に負極で印加するので、供試体上部が正極に分極している。

実験結果は、以下の傾向が見られる。

①$\theta = 0°$の垂直尾翼が上に向いた形態(**図14 (h)**)と、供試体が正極に帯電した場合(**図14 (g)**)は低い電界で着雷する。

②$\theta = 15°$(**図14 (d)**)で垂直尾翼とNoseの高さを面一にした形態と、$\theta = 0°$で供試体が負極に帯電した場合(**図14 (b)(c)**)は①よりも約20%高い電界で着雷する。

③$\theta = 180°$(**図14 (a)**)の雷雲模擬電極側を平面にした場合は着雷しない。

冬季雷を模擬した雲底が正極のケースの実験においても、**図14**と同様な傾向を示しており、$\theta = 15°$で供試体負極帯電の実験では着雷しなかった。

本実験では、雷雲に対する機体姿勢および負極帯電は航空機トリガー誘雷の被雷回避に有効であることを確認できたが、機体が負極に帯電して冬季雷雲(正極)からトリガー誘雷[8]する傾向は確認できなかった。

4.4.2　航空機形状供試体による着雷の確認

機体形状と着雷の相関を確認するため、複雑な電界分布を形成する凹凸が多い旅客機の形状を再現した供試体を用いて、着雷実験を実施した。**図15**に航空機形状供試体の実験系配置を示す。実験は4.4.1項と同様にピッチ角と帯電量を段階的に変えて測定した。

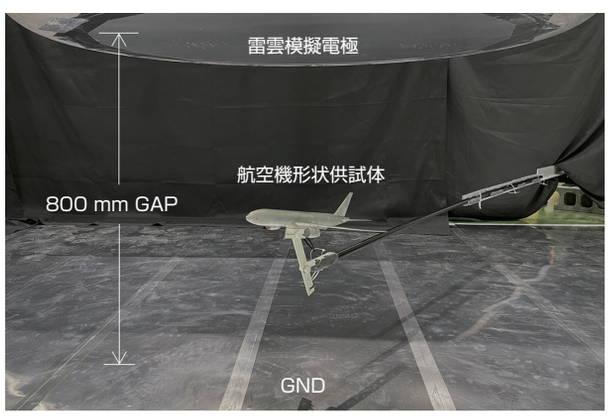


図15　機体供試体の実験系配置

航空機形状供試体(機体供試体)と着雷の相関の確認には、高速度カメラを用いてストリーマ発生から着雷ブレークダウンまでを記録し、画像分析により着雷開始箇所およびリーダ伸展時間等の着雷プロセス・データを取得した。実験系には、リーダ伸展が撮影可能なフレームレート10M fpsの高速度カメラと放電発光の紫外線帯域を撮影可能な紫外線レンズを用いた。

着雷プロセスの一例として、**図16**に着雷までの過程画像を、**表1**に着雷ブレークダウン・プロセス毎の状況を説明する。

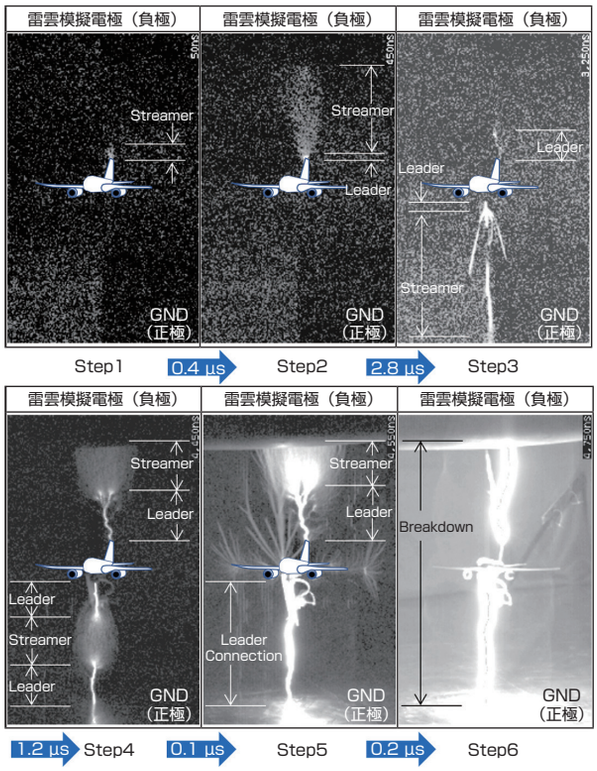


図 16　高速度カメラによる着雷観測

表 1　主着雷ブレークダウン・プロセス（機体帯電無）

Step	上部（正極分極側）	下部（負極分極側）
1	機体（垂直尾翼）から ストリーマ発生	無し
2	機体からリーダ伸展開始	無し
3	リーダ伸展中	機体からリーダ伸展開始
4	リーダ伸展中	機体と GND の両方から リーダ伸展
5	リーダ伸展中	機体と GND の リーダ接続
6	着雷ブレークダウン	

図16 Step1 ～ Step2に着雷開始時の状況を示すが、電圧印加開始時には供試体の正極分極側からストリーマが発生して正極リーダに発展する。正極リーダ発生後の図16 Step3 ～ Step4で、正極に遅れて負極リーダが発生する。供試体負極側リーダに対応してGNDからも正極リーダが伸展するため、リーダ同士の接近が早く、図16 Step5に示すように、図16 Step2で発生した正極リーダよりも早く負極リーダは機体-GND間で接続する。図16 Step6は電極間がつながり絶縁破壊経路が完成して大電流が流れ始めた着雷ブレークダウンである。

本実験を合計69回実施した結果、すべての結果が図16と表1 Step1 ～ Step3に示した着雷プロセスと同じ「正極リーダから開始」であり、航空機トリガー誘雷は、正極リーダの発生条件がトリガーになっていると推定する。

4.4.3　航空機形状供試体による着雷開始電界

複雑な形状である機体供試体において、ピッチ角および供試体帯電量の違いによる着雷開始の印加電界を実験した結果を図17に示す。

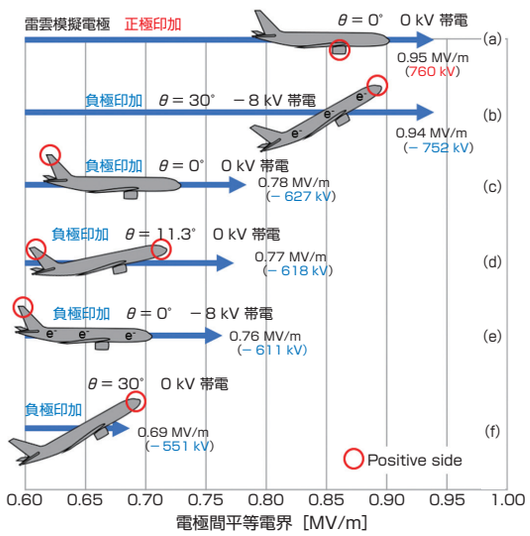


図 17　機体供試体の着雷開始印加電界

本実験の機体供試体は、一般的な旅客機と同様に垂直尾翼が長大で鋭利な端部を有する形状であるため、電界が垂直尾翼に集中して正極リーダが発生し易い。そのため、垂直尾翼の影響が出るピッチ角の範囲で、姿勢や帯電量を変えても（図17(c)(d)(e)）周囲電界が低い状態で着雷が開始しており、被雷回避の改善が見られなかった。

垂直尾翼の影響が小さくなる極端に機首を上げた姿勢での実験ケース（図17(b)(f)）では帯電量制御で大きな被雷回避効果の改善が見られる。これは帯電が無い状態では、機体が立った形状であるため着雷し易くなるが、機首が滑らかな形状であるため負極帯電による周辺電界集中の抑制効果が大きくなると推定する。

また垂直尾翼の影響が最も小さくなる冬季雷のような雷雲が正極と設定した電圧印加（図17(a)）では、周囲電界が高くても着雷しにくい結果であった。

5.　まとめ

航空機トリガー誘雷は、機体からの「正極リーダ開始」が支配的と考えられる。「正極リーダ開始」を抑制するには、適切な機体形状と姿勢制御、加えて帯電量の制御が有効である実験結果を得た。

ただし、既存の旅客機のような長大で鋭利な垂直尾翼が上向きにある機体形状では、形状依存の電界集中が支配的になり、姿勢と帯電量の制御での抑制効果が小さくなる。一方、機体形状設計の自由度が高い「次

世代空モビリティ」では、適切な機体形状を設計に適応し易く、姿勢および帯電量の制御による被雷回避が有効であると考える。

謝辞

本研究開発は国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)との共同研究である。JAXA共同研究者である方々に感謝致します。

また、貴重なご指導と助言を頂いた東京大学 石井勝名誉教授、熊田亜紀子教授、東京電機大学 日高邦彦教授、同志社大学 馬場吉弘教授、ならびに実験に協力して下さった昭電テクノセンター曽根原健夫氏に感謝致します。

参考文献

(1) FAA AC 00-24C：Thunderstorms,(2013)
(2) 西孝裕樹： 航空機の耐雷対策, SUBARU技報 42, SUBARU,(2015)
(3) Franklin A. Fisher, J. Anderson Plumer, Rodney A. Perala： Lightning Protection of Aircraft, Lightning Technologies Inc.,(2004)
(4) Bruce D. Fisher, Philip W. Browan, J. Anderson Plumer, Alfred J. Wunschel Jr.： Final Results of the NASA Storm Hazards Program, ICOLSE 1988, NASA, Lightning Technologies Inc., AFSC,(1988)
(5) Harold D. Burket, Lawrence C. Walko, Jean S. Reazer, Arturo V. Serrano： In-Flight Lightning Characterization Program on a CV-580 Aircraft, AFWAL-TR-88-3024, Flight Dynamics Laboratory Wright-Patterson AFB,(1988)
(6) Alexander V. Gurevich, Kirill P. Zybin：Runaway Breakdown and the Mysteries of Lightning, May 2005 Physics Today, pp.37-43, Russian Academy of Science,(2005)
(7) Carmen Guerra-Garcia, Ngoc Cuong Ngyen, Jaime Peraire, Manuel Martineez-Sanchez： Charge Control Strategy for Aircraft-Triggered Lightning Strike Risk Reduction, AIAAJ, Massachusetts Institute of Technology (MIT),(2018)
(8) Jonathan M. Wilkinson, Helen Wells, Paul R. Field, Paul Agnew： Investigation and Prediction of Helicopter-Triggered Lightning Over the North Sea, Meteorological Applications, pp. 94-106, Met Office,(2013)
(9) 西孝裕樹, 道本光一郎： 被雷危険性検知, 第4回 Weather-Eye オープンフォーラム. SUBARU, 音羽電気,(2019)
(10) Eiichi Yoshikawa, Tomoo Ushio, Takayuki Nishi, Atsushi Senoguchi, Masashi Kamogawa： Results of Initial Feasibility Study on Tactical Support Information for Avoiding Aircraft Lightning Strikes, J3.1 American Metrological Society 99th Annual Meeting, JAXA, Tokyo Metropolitan University, SUBARU, ENRI, Tokyo Gakugei University,(2019)
(11) 宮木博光, 岡田孝雄, 津端裕之, 西孝裕樹： 航空機の被雷制御に向けた高電圧雷撃試験, 第59回飛行機シンポジウム, 3D15, JAXA, SUBARU,(2021)
(12) 鈴川三男, 遠峰菊朗, 阿部成雄, 道本光一郎： 小松周辺の冬季雷雲下の電界分布について, 天気34(7), pp.443-452, 航空自衛隊,(1987)
(13) IEC 60060-1：High-voltage test techniques Part 1： General definitions and test requirements”, 3rd Ed.,(2010)

【著 者】

西 孝裕樹

津端 裕之

宮木 博光

神山 晋太郎

岡田 孝雄

ドライブ体験を拡張するアプリケーションサービス SUBAROAD

SUBAROAD, an Application Service that Enhances the Driving Experience

小川 秀樹[*1] OGAWA Hideki
村川 雄一[*1] MURAKAWA Yuichi
伊藤 駿史[*1] ITOU Takashi
藤原 嵩之[*1] FUJIWARA Takayuki
鳥居 武史[*2] TORII Takeshi
佐藤 能英瑠[*2] SATO Noeru

抄 録

SUBARUユーザ向けのドライブアプリSUBAROADを開発しサービスを開始した。

効率化の進む現代においても、クルマに乗ることを単純な移動手段としてではなく、プロセスも含め体験価値として提供できるSUBARU車において、そのドライブ体験をより拡張しユーザに届けるためのサービスである。

このアプリは通常のナビゲーションが案内する効率的な道ではなく、SUBARU車で走ることが愉しい道を案内し、運転中に見える景色やその場所と連動した音声コンテンツを提供する。アプリケーションの開発に至った過程と狙い、サービスを開始して得られたこと、今後のビジョンについて紹介する。

Abstract

We have developed and launched SUBAROAD, a road trip application for SUBARU users.

Even in today's increasingly efficient society, SUBARU does not simply provide a means of transportation. We also provide an experience that includes the process of driving.

SUBAROAD guides users to roads that are enjoyable to drive rather than to efficient roads that conventional navigation systems guide to. Moreover, it provides audio contents that are linked to the scenery while driving and to the driving locations.

This paper introduces the background and the goals of the application development, what has been learned from the launch of the service, and the vision for the future.

1. まえがき

当社中期経営ビジョンSTEP(2018)において掲げられたブランド強化の取り組みの一つに「SUBARU Digital Innovation」がある。これはコネクティッドをはじめとした「つながる技術」や「データ」を活用し、外部パートナと共に新たなお客様価値を協創していく取り組みである。

お客様(本稿では便宜上ユーザと称する)とのつながりを強めていくことが当社にとって大切なことであり、それは主に車両購入後にご利用いただく事により培われるものである。私たちは、この領域で新たなお客様価値を作っていくことに狙いを定めた。

＊1 デジタルイノベーション推進部
＊2 技術研究所

2. 企画の経緯

2.1 世界のデジタル化

100年に一度の大変革期とも言われる昨今の自動車業界において、お客様の自動車購入スタイルも大きく変化し、購入時の店頭への来店回数が2015年には1.5回(国内平均)へと減少、2000年から比較して約1/7である。自動車の購入の意思決定は既にデジタル上で行われているといっても過言ではない。この背景には急速に普及したスマートフォンをはじめとした世界のデジタル化が大きくかかわっていることは疑う余地もなく、日常を過ごす中で、もはや意識もせずにデジタルやデータを用いたテクノロジが私たちの周りを支えている現状にある。

2.2 サービスの企画に向けた分析

自動車におけるデジタル化といえば、やはりコネクティッドを基点として起こるCASEの文脈が最も注目

されるものである。自動運転やシェアリング、そしてEVまで、今までにないインターネットを通じた接続性と人工知能等の技術により飛躍的な進化を自動車に与えている。

一方で、その技術の利用用途は、利便性・効率性が主となっており差別化が難しく、例えばマニュアルトランスミッション車のように、一見非効率的であっても、それが生み出す“愉しさ”のような、効率という物差しでは計れない人間らしい選択の機会を減少させていくのではないかという危機感を抱いた。それはまさにユーザがSUBARUに対して感じる価値にも近いのではないかという仮説のもと、ユーザに求められるコネクティッドサービスについての検証を始めた。

2.3 仮説と検証

2.3.1 セールスヒアリング

まずはSUBARUを乗り継いでいるユーザをロイヤルユーザと定義し、国内のトップセールスを対象として、ロイヤルユーザに関する特徴についてヒアリングを実施した。10人ほどのセールスへのヒアリング後、共通項として得られた示唆は下記の2つである。

Ⅰ.ロイヤルユーザは自身のSUBARU車がもたらす自己への便益を機能的根拠も含め認識している。

Ⅱ.それは自らSUBARU車の運転中に起こった体験を通じて獲得されたものである。

2.3.2 ユーザーヒアリング

次に、ロイヤルユーザに対して直接調査を行った。上記の示唆による設問項目を元にⅠ、Ⅱの有無、これらの発生したプロセスを時系列で並べていくと、ロイヤルユーザであるほど上記の経験率が高く、また多くはディーラやセールスとの会話によって自己への便益とその機能的根拠の接点を認知していた。すなわち自身の便益とその背景理由が実体験を得た上でのコミュニケーションによって結びついているということである(図1)。

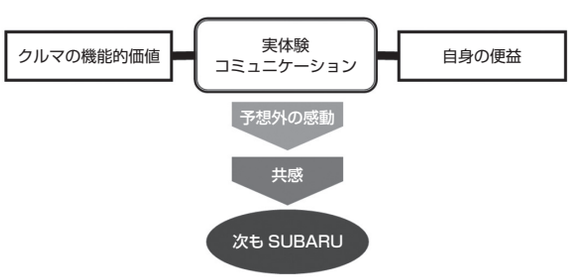


図1 ロイヤル化の要素

2.3.3 定量調査

併せて国内自動車ユーザ10000名を対象にパネル調査を行った。購入頻度を横軸、次期購入意向を縦軸、ロイヤルユーザを右上と定義し、各セグメントの量とセグメントごとの差異を分析した(表1)。

表1 ロイヤルユーザの定義フレームワーク

認知なし	認知あり					
	使用経験なし	使用経験あり				
		過去・休眠	使用中・他銘からの代替	使用中・自銘からの代替		
非認知	認知・非使用潜在ターゲット	過去・休眠潜在ユーザ	積極的一般ユーザ	ロイヤルユーザ	あり	次期購入意向
	認知・非使用非潜在ターゲット	過去・休眠非潜在ユーザ	消極的一般ユーザ	消極的ロイヤルユーザ	なし	

これにより、現在利用していないが利用したい意向があるユーザが現ユーザとほぼ同数存在すること、新規ユーザとロイヤルユーザの差として特に「運転の愉しさ」や「他社にない機能や性能」に経験・価値を感じていることが改めて浮き彫りになった(表1)。

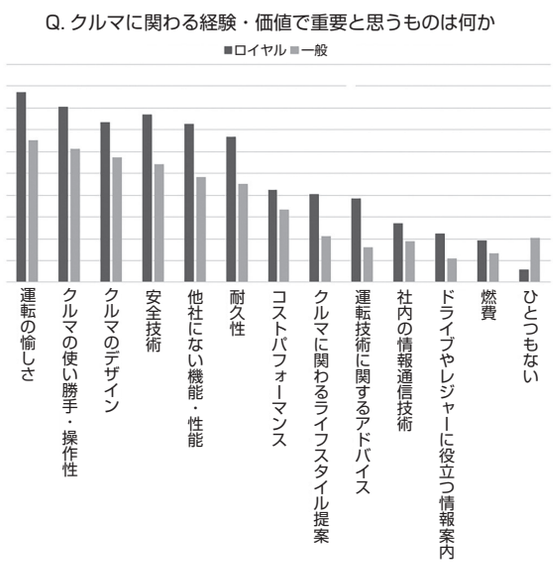


図2 ロイヤルユーザの重要視する経験・価値

2.3.4 顧客情報の分析

続いて、このフレームワークによって定義されたセグメントごとにDMS(Dealer Management System)上の顧客／販売情報の集計を行った。ロイヤルユーザと一般の間で特に有意な差がある項目は走行距離と店舗への入庫回数であった(表2)。

表2 一般ユーザを1とした場合の差

	ロイヤル	一般ユーザー	過去ユーザー
走行距離平均（年）	1.51	1.00	1.43
入庫回数平均（年）	2.05	1.00	0.69

これより、ロイヤルユーザは一般ユーザより走行距離が長く、入庫頻度が高い。過去ユーザは走行距離には差がないが、入庫回数頻度に大きな差があることが分かった。これはブランドへの最大のタッチポイントである走行／運転の距離と、店舗への入庫時来店によるコミュニケーションの差を示すものである。

2.4　検証結果から得られた示唆とコンセプトテスト

これらの調査結果をまとめるとロイヤル化のプロセスと特徴は下記のようになる。

(1) 実体験によって機能的価値を自身の便益として認識し、その機能的価値の根拠(裏付け)をコミュニケーションによって理解している。
(2) 運転の愉しさに価値を感じていることから、年間の走行距離が長く、店頭への来訪頻度も高いためコミュニケーションの機会も多い。
(3) ロイヤル化のプロセスを踏襲することができれば、現在のユーザ数に匹敵する市場獲得の見込がある。

このプロセスを再現できる顧客体験をデジタルサービスで提供することができないかと考え、複数のコンセプトをまとめた。そして選定するために、コンセプトのキーメッセージによって次期購入意向があがるのかを調査するコンセプトテストを行い、「ドライブ自体を楽しむ」が、次期購入意向のキーであるととらえた(**表3**)。

表３　コンセプトテスト結果

認知なし	認知あり					
	使用経験なし	使用経験なし				
		過去・休眠	使用中・他銘からの代替	使用中・自銘からの代替		
1. 事故なく運転できる	1. 家族・子供を怪我から守る・命を守る 2. ドライブ自体を楽しめる	1. 家族・子供を怪我から守る・命を守る 2. ドライブ自体を楽しめる	1. ドライブ自体を楽しめる 2. 家族・子供を怪我から守る・命を守る	1. ドライブ自体を楽しめる 2. 家族・子供を怪我から守る・命を守る	あり	次期購入意向
2. 家族・子供を怪我から守る・命を守る	1. 家族・子供を怪我から守る・命を守る 2. 事故なく運転できる	1. 事故なく運転できる 2. ドライブ自体を楽しめる	1. 家族・子供を怪我から守る・命を守る 2. ドライブ自体を楽しめる	1. 家族・子供を怪我から守る・命を守る 2. ドライブ自体を楽しめる	なし	

さらにロイヤルユーザに対しての個別インタビューを通じて、ユーザが想像以上に走りに対しての価値を感じ、実践していることが分かった(インタビュー内容抜粋)。

> 目的地に行くのに、家族にさとられないようわざと遠回りする。少しでも長く走っていたいから。SUBARUはそう思わせてくれる。
> わざとナビから外れた道をドライブする。そうするとその土地ならではの風景が広がっている。またSUBARUの性能を感じる道がある。そうした道は走っていて本当に愉しい。

冒頭の世の中のデジタル化の背景と合わせて、当然のように利便性が優先されてきた中で、いつしかナビの言う通りの経路を走り、偶然の出会いや個性、心躍る瞬間やその土地ならではの物語を見つける機会を失ってしまっていないか。そして、単純な移動手段としてのクルマではない、ドライビングカーを提供するSUBARUだからこそ目指すべきサービスの方向性に気づいたのである。

3.　コンセプトのサービス化

3.1　サービス要件定義

コンセプトに従い、サービスに実装させる機能として以下の4点を挙げた。

(1) 通常のナビゲーションが案内する効率優先の案内ではなくSUBARUの性能を感じることができる経路を案内する。
(2) ドライブ中に、その土地ならではの案内を音声で提供する
(3) 景色に合わせた音楽でドライブを演出する。
(4) ユーザのドライブの記録を保管しアーカイブする。

実装のプラットフォームは車両本体での実現ではなく、スマートフォンとした。理由は価値概念の検証が高速に実施できること、Google社提供のGoogle Mapsをベンチマークとして比較できることの二点があげられる。テレマティクス関連のサービス体系がフォーマットされていない中でもあり、サービスの形を決めた後で車両側と連携することとしている。

3.2　性能を感じることができる経路案内

地図およびナビゲーションサービスはMapbox社のサービスを使い自社開発している。これは自分たちのオリジナルナビ、地図を作ることを目指したためであり、地図作成プラットフォームであるMapboxを用いて自前で製作することにより、ログデータをはじめ、自社だけが収集できる情報の自由度が増すからである。

コース製作の過程では、SUBARU車の性能を感じることができるような道路区間(例：ワインディング)を選択した後、その経路を通りながら、ドライブの物語になりうる経由地点を結んでいく。その際、一般的なナビゲーションアプリでの案内経路と比較しながらルートを選択した(**図3**)。

道路区間の選択では、地図データからカーブ情報を抽出し、得られた特徴量からカーブを複数に分類し、曲率が一定以上のカーブの割合なども参考に選択した。カーブ情報は、OpenStreetMapから曲率などのカーブ形状を取得し、Google Mapsから高度に関する情報を取得した。実際に走行したデータと合わせて確

認することで、選択の際の有効な情報が得られるようにした。新たな道路区間の選択の際には、実際に走行する前に見通しを得ることができるようにした。

図３　一般経路と比較してルートを作成する例

3.3　土地ならではの案内を音声で提供

スマートフォン端末のGPS情報に応じて音声ナレーションを再生することにより景色とリンクした内容を提供できるよう工夫を凝らした(音声AR)。

音声で話す内容は､その場所から見える景色の話や、走行中のクルマに関する話題、走行中にこそ感じることができるクルマの機能(これは前述のロイヤルユーザに対するセールスの会話)などである。時間、場所も含め、現実としてその場にいて、ステアリングを握っているからこそ味わえるリアルな実体験を、音声によって拡張することを狙った。

3.4　景色に合わせた音楽でドライブを演出する

もう一つの位置情報を利用して実現する体験のアップグレードは音楽である。ユーザはドライブプランニングの機能の中で、ダイアログ形式で音楽を設定する。質問に応じた回答の形で音楽がスポットに配置され、その地点に接触したタイミングで再生される(例:海が見える場所で海をテーマにした音楽を再生するなど)。

音楽プレイリストは音楽ストリーミングサービス事業者と協業し、SUBAROAD用の機能を開発し実装した。ナビゲーションの案内音声､ナレーションの音声、再生する音楽の三種類の音源をコントロールするために、優先順位を設定し制御し、また極力重ならない配置としている。

3.5　ユーザのドライブの記録をアーカイブする

ドライブの記録をリワード形式で表現し、ユーザの走行記録とともに保管、ドライブの記録としてユーザがマイページから振り返ることができるようにしている。ドライバの記録は車両を横断して保持されていく必要があり、今後の車両情報の連携なども踏まえた実装とした。今後走行履歴を動的に可視化することも検討中である。

3.6　SUBARUらしい運転診断

コンテンツの充実を図るため、バージョンアップ版では、特定のコースの一部区間において、技術研究所が開発を進めている運転技能診断ロジックを追加することとした。SUBARUの独自性やSUBARUらしさを感じられるコンテンツとして提供すると共に、研究の成果を高速に検証する試みとして位置付けている。

車両開発に携わるエンジニアのドライビングスキルと評価能力を高める訓練を積んだSUBARU DRIVING ACADEMYの複数の熟練ドライバの運転をもとに、独自に開発したロジックである。ただゆっくり走ればいいものではなく、同乗者が安心できる運転が評価の高い運転となることを目指している。具体的には、スマートフォンのセンサーから得られたヨーレートや前後加速度といった複数の時系列データをカーブ区間ごとに画像に変換し、学習した分類モデルや画像の類似度などから判定を行なう(図4)。

ユーザの多様な使用状況や、運転の個性に対応できるよう、リリース後に収集したデータから、さらなる精度向上を目指しモデルを改良していく計画である。

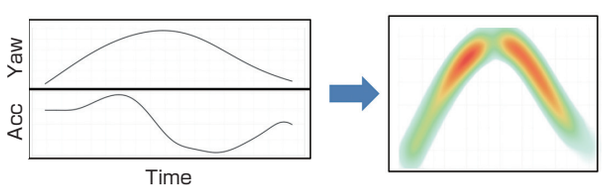


図４　時系列データの画像変換イメージ

4.　開発プロジェクト

4.1　オープンイノベーション(共創)

未だ世にない体験価値を定義していくにあたり、業種業界を越えたプロジェクト体制で臨んだ。コンセプトをいち早く形にしていく力を持つクリエイティブ会社の株式会社バスキュール、日本でのサービスを開始したばかりであったが、地図を自由にするというサービスを提供するマップボックス・ジャパン合同会社、先述の音楽ストリーミングサービス提供事業者であるAWA株式会社が開発プロジェクトに参画し、コンテンツ(コース)の開発においては地元自治体等にも話をしながら進めていった。

これは、車両販売の先である、利用を見据えたビジネスを顧客基点で考えたとき、SUBARU単独一社でできることはわずかであり、色々な方が参加できるオープンイノベーション型のプロジェクトが必要だと考えたからである。

4.2 β版の公開

α版アプリで技術的なフィジビリティスタディを実施した後、β版アプリで2020年3月に先行体験会を実施した。開発中のコースの一部を応募していただいたユーザを対象に公開し、フィードバックを頂いた。

フィードバックの中で一定数の評価と、多くの励まされる声をいただき一般公開へと進むことができた。

4.3 一般公開と評価

一般公開の前でCOVID-19の拡大により公開延期など、多くの苦難があったが、関係者の協力もあり無事に2021年12月に正式に一般公開を行った。徐々に認知を獲得し、多くのユーザに利用いただけるようになってきた。コンテンツであるコースを追加していくことを3か月ペースで進めており、広島でのコース制作では、地元ディーラの広島スバル株式会社の協力を経てコースを作成した。日本国内のユーザに届けるべく拡大を進めている。

5. まとめ

現在も発展途上であるが、このプロジェクトを通じて私たちはSUBARUらしいコネクティッドサービスの形づくりを行ってきた。そして、このプロジェクトの過程で得られた代表的な点を考察する。

5.1 一つのSUBARU

コースの制作において、地元ディーラとの共創を進める中で、ディーラとメーカの枠組みを超えて、共にユーザのことを考え、新たな価値づくりのプロジェクト体制を敷けていることは、これから益々必要となるワンチームのSUBARUとして大きな一歩だと考える。

5.2 ユーザと共につくる

開発中からユーザによるフィードバックをたくさんいただき製品に反映した。公開後もSNS等を通じユーザからいただく意見、課題を収集し即座に反映できる体制となっている。モバイルアプリだからこそ重要であるとともに、公開してからより良くしていくことができるのは、ユーザとも共創している状態であると大いに感じられる。また利用される度に蓄積される走行データを元にさらなる顧客理解、サービス向上、新たな価値の生成、コースやコンテンツの自動化など、ユーザが自分のドライブコースや自分だけのナビ、地図を持てるようインタラクティブなコンテンツの開発も進めている。

5.3 SUBARU体験を拡張するサービス

コネクティッドサービスの普及により、クルマに対してインターネットができることが増える一方で、クルマがインターネットにつながるだけではなく、ユーザや社会とつながるコネクティッドサービスこそSUBARUの独自性、クルマの価値を実現、拡張することができると考える。それは、情緒的なブランド価値を提供し続けてきた自動車メーカだからこそできるものである。情緒的なコネクティッドサービスにより、誰もが愉しさを感じ、実現できる場所になるための第一歩として、SUBAROADは制作されている。

6. 謝辞

末筆となるが、新たな価値づくりの挑戦を理解しいつも見守ってくれる臺卓司本部長をはじめIT戦略本部各位、国内ユーザへの導入を受け入れてくれた国内営業本部各位、共に作り、ユーザへ届けてくれる特約店各位、開発においてアドバイスを頂く技術研究所、商品企画本部の各位に、協力に際して厚くお礼申し上げる。

無理難題を解決してきた開発プロジェクトメンバ、共に歩んだ株式会社バスキュール、マップボックス・ジャパン合同会社、AWA株式会社にはこれまでの感謝と引き続きのご支援をお願いしたい。

そして、ご利用頂いているユーザの皆様に心から感謝する。

参考文献

(1) 株式会社SUBARU：新中期経営ビジョン「STEP」説明資料
(2) 西口一希：たった一人の分析から事業は成長する実践 顧客起点マーケティング(P.21 9セグマップ)

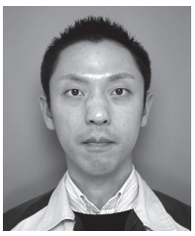
【著　者】

小川　秀樹

村川　雄一

伊藤　駿史

藤原　嵩之


鳥居　武史

佐藤 能英瑠

「SUBARU BRZ」一部改良モデルを発表

2022年5月26日

SUBARUは、「SUBARU BRZ」一部改良モデルを発表しました。
一部改良モデルでは、ライティングスイッチの操作性を見直し、車幅灯／尾灯&OFFで１ポジションから車幅灯／尾灯とOFFを分け、２ポジションに変更しました。

SUBARU BRZ「S」エクステリア

SUBARU BRZ「S」インテリア

特許紹介

SUBARU Patent Review

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。

車両の運転支援装置

【特許番号】特許第6920129号
【発明者】保科　雅俊／桑原　敬祐／関島　康博／
寺山　　悟／財前　元希

本発明は、車両のステアリング操作やアクセル・ブレーキ操作を支援する運転支援装置において、通行路の幅員等の情報から走行車速をコントロールすることで、システムの制御結果がドライバに与えるプレッシャ（圧迫感、恐怖心）を軽減する手段を提案するものである。

【発明の背景】

一般に、運転支援装置として、走行レーン中央に沿って走行するように操舵支援を行う車線維持（レーンキープ）制御や自車速を一定速度に保持し、先行車が検出された場合には当該先行車に追従走行する車間距離制御（Adaptive Cruise Control、以降ACC）装置等が知られている。これらの技術を利用して走行を行う際、狭路だったり、走行レーンの近傍に固定立体物がある場合でも、車線維持制御はレーン中央を維持し、先行車が不在のシーンではACC装置は減速制御を行わず、設定された車速にて走行を続ける。運転者は、たとえ電柱、ガードレール等の固定立体物に接触することなく、自車両が通過すると認識していても、通過速度が速いと感じた場合には、立体固定物が接近するプレッシャ（圧迫感、恐怖心）を覚える。

【発明の概要】

この課題を解決するために、道路に対する運転席側の必要余裕幅と助手席側の必要余裕幅を設定し、この両必要余裕幅を得ることのできる目標車速を設定すると共に目標進行路を設定する。これにより、自車両が狭路に接近し通過する際、運転者に強いプレッシャを与えることなく、安心して通過させることができ、良好な運転支援を継続することができる（**図1**）。

カメラ等から車線幅員や走行路近傍の固定立体物（駐車車両、電柱、樹木等）の位置を取得する。自車幅に対し、車線幅員が狭路と判定された場合、速度に対して必要な左右の余裕幅を算出し、左右の余裕幅の積算値が車線幅員以内に収まる速度に目標車速を設定し減速を行い、かつ左右の余裕幅を確保できる位置に操舵制御の目標経路を設定する。

尚、余裕幅の算出の際、近傍の固定立体物の有無や連続性（凹凸の変化量）により、プレッシャの増加が見込まれるため、これを配慮した上で算出を行う（**図2、3**）。

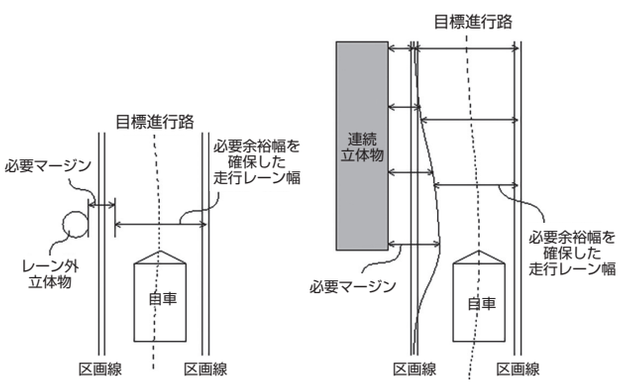


図1　必要マージン設定イメージ

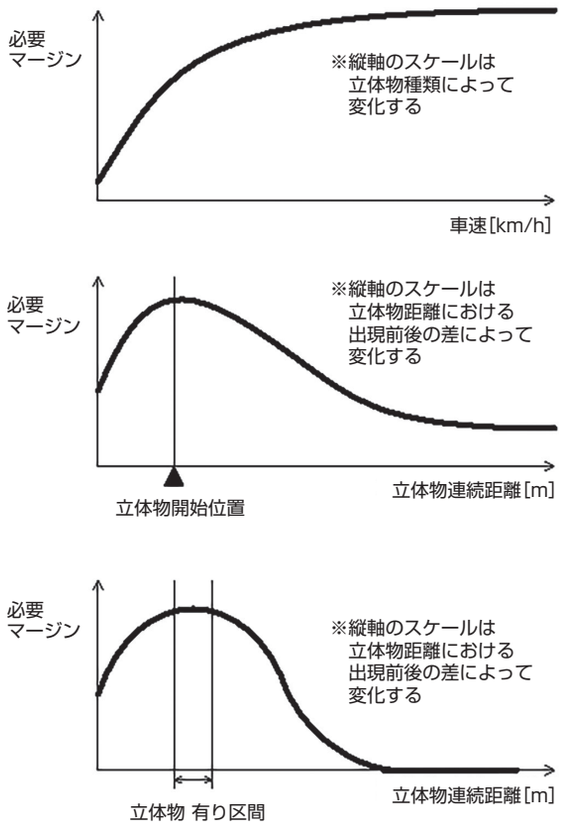


図２　必要マージン設定例

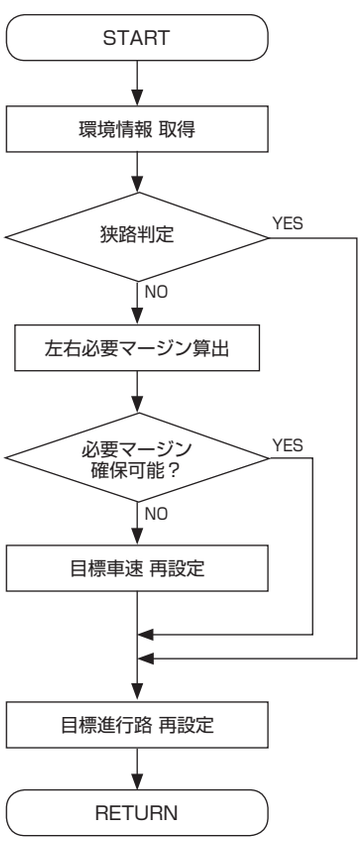


図３　処理概要フロー

【発 明 者】

保科　雅俊　　桑原　敬祐

関島　康博　　寺山　　悟

財前　元希

自動運転可能な車両

【特許番号】米国特許第11208036号
【発明者】山崎 研太郎／木下　真／高山　圭介／
村松　悠太

本発明は、自動運転可能な車両において自動運転中であることを車外から視認できるように点灯する自動運転表示灯を、走行環境の変化に応じて点灯状態を変化させることを目的とするものである。

【発明の背景】

様々な道路環境において自動車や歩行者などの交通参加者間で意思疎通を図るために、身振りやアイコンタクトなどのコミュニケーションが行われている。

一方、自動運転が普及するとともにドライバー側からのコミュニケーションの減少やドライバーそのものが不在となる状況が考えられ、自動運転車両の意図や状態を全周囲に伝えるために図1のような自動運転表示灯を義務付ける検討がされている。

しかし、この表示灯はターコイズブルーの発光色となっており、見慣れない色の灯火器は他の交通参加者に違和感を与える可能性がある。また、自動運転中に点灯し続けることは消費電力の増加を招く恐れがある。

【発明の概要】

この課題を解決するために自動運転車両の走行状態または走行環境の変化に応じて点灯状態を変化させることを提案する。

本システムは自動運転表示灯と点灯状態を制御するECU、ナビ、車載カメラ及び車外との通信手段などによって構成されている。

例えば以下のような状況において自動運転表示灯の点灯状態をコントロールする。

1) 自動運転専用車線を走行していると判断された場合、自動運転表示灯によって自動運転中であることを伝える必要が無いため、表示灯を消灯することを許可する。
2) 自動運転専用車線に落下物や故障車などの外乱を検知・予測し専用車線を逸脱した場合は、表示灯を消灯から点灯に切り替える。
3) 夜間、自動運転車両の隊列運転などにおいて、消費電力の低減のためにヘッドランプやテールランプなどを消灯した場合、自動運転専用レーンを走行中であっても自動運転表示灯を点灯する。

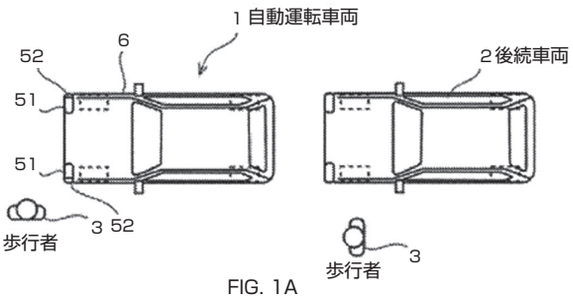


FIG. 1A

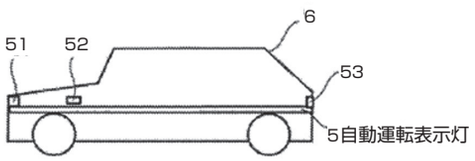


FIG. 1B

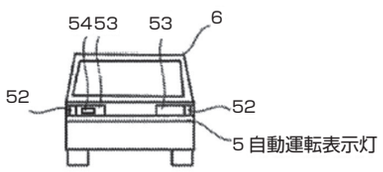


FIG. 1C

図1　自動運転表示灯の例

【発 明 者】

山崎 研太郎

木下　　真

高山　圭介

村松　悠太

車両の乗員監視装置、および交通システム

【特許番号】米国特許第11120283号
【発明者】時﨑　淳平／中村　亮太／丸橋　雅幸／
大西　恵太

本発明は、自動車に乗車した乗員を認識して、監視するために車両に設けられる乗員監視装置、および車両の衝突を予測または検出する交通システムである。

【発明の背景】

車両では、乗員監視装置を設けることがある。乗員監視装置では、あらかじめ組み込まれた車両に乗車している乗員を判定する機能を有する。乗員監視装置により判定された乗員に応じて、車両は、車両の制御を許可したり、禁止したりする事ができる。さらに、実用化にあたりドライバの姿勢などを判定することが求められる。このように乗員監視装置には多機能化が求められる。その一方で、乗員監視装置には、今後、これらの通常走行のための判定機能だけでなく、衝突の際に乗員の挙動を検出などすることが望まれてくると予想される。これらの多種多様な多くの検出機能や判定機能を実行するためには、乗員監視装置に用いる制御部としてのECUには、高い処理能力が求められる。しかも、乗員監視装置に用いる制御部としてのECUが単に高い処理能力を有するだけでは、たとえば乗員保護に対して十分な性能が得られない可能性がある。

このように、車両の乗員監視装置には、複数の判定機能を状況に応じて適切に実行することが求められる。

【発明の概要】

車両の乗員監視装置は、車両に乗車している乗員を撮像する撮像デバイスと、撮像された画像に基づいて、乗車している少なくともドライバについての挙動検出処理を含む複数の判定処理を実行可能な制御部と、を有し、前記制御部は、前記車両の衝突が予測または検出された場合、前記挙動検出処理以外の判定処理を停止して、前記挙動検出処理を実行する（図1）。

撮像された画像に基づいて、乗車している少なくともドライバについての挙動検出処理を含む複数の判定処理を実行可能な制御部は、車両の衝突が予測または検出された場合、挙動検出処理以外の判定処理を停止し、挙動検出処理を実行することで処理負荷を軽減する。よって、車両の衝突が予測または検出された後には、乗員監視装置の制御部は、非常に短い期間ごとに乗員の挙動検出情報を更新でき、乗員の挙動検出情報の即時性を確保できる。衝突時の乗員の挙動を、乗員保護に好適に活用できる程度に高い精度で検出して、乗員保護性能を向上することを期待できる。

	DMS 機能（通常起動の全機能）	通常時	衝突予測後	衝突検知後
基本	装置の全体制御	○（動作）	○（継続）	○（継続）
	撮像	○	○	○
	画像記録	○	○	○
	車内通信	○	○	○（×）
	車外通信	○	○（×）	×（○）
安全機能	ドライバ挙動（頭部の位置、動きなど）検出	○	○	×
	他乗員挙動（頭部の位置、動きなど）検出	△	○	×
	ドライバのわき見（視線）判定	○	×（停止）	×
	ドライバの居眠り・眠気判定	○	×	×
	ドライバのデッドマン判定	○	×	×
利便機能	ドライバのジェスチャ判定	○	×	×
	ドライバの感情判定	○	×	×
	ドライバの個人認識（判定）	○	×	×
	その他の機能	○	×	×
	AI 更新エンジン（精度向上）	○	×	×

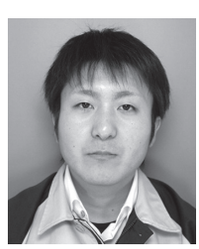
図1　実行する機能の一例

【発 明 者】

時﨑　淳平

中村　亮太

丸橋　雅幸


大西　恵太

車外モニタ装置

【特許番号】米国特許第10933812号
【発明者】長澤　勇

本発明は、自車後方の走行環境を把握するモニタ画像でありながら、自車と接近する移動体との位置関係を直感的に把握する手法を提案するものである。

【発明の背景】

ミラーシステムは、ミラー越してあっても移動体、及び自車の一部が、直接目視と同じ空間そのものを映し出せているから、接近する移動体との相対速度や距離感を一瞬で把握できている（図1）。

図1　ミラーシステムによる空間の広がり把握

さらに認識度を向上させる方法として、カメラ撮影とモニタ投影するモニタ装置に置き換えがある。広い画角を確保しながら、外光の影響を受けることなく明るさを視やすく調整できる事が利点である。しかし、モニタ画像は平面的で画面に焦点があり、映し出されている移動体までの距離を把握し難い。このモニタ装置の欠点を、人間の眼が持つ特性であるアモーダル補完の原理（図2※注）を活用し、相対速度や距離感について、基準点となっている車体の一部のみせ方で相対速度や距離感の把握の検討を行った。

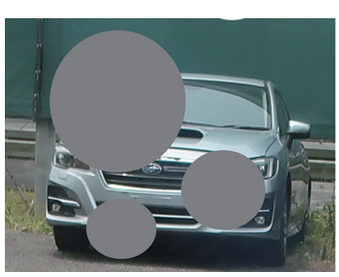


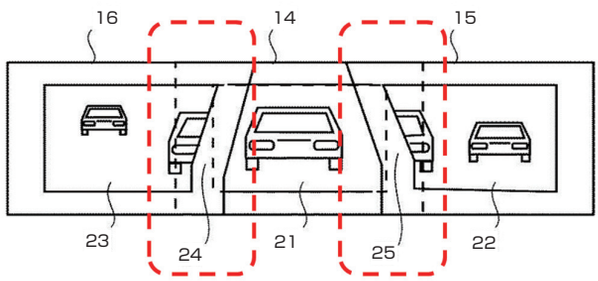
図2　アモーダル補完の原理

※注）対象物の一部が隠れていても、欠けた部分を脳内で補完して全体像を認識する特性

【発明の概要】

車外モニタ装置は、車両後方の左右や中央を撮像する複数の撮影装置で、映像をそれぞれ複数のモニタ画面に表示する。中央モニタ装置14、左右モニタ装置を16と15とする。中央モニタ装置14は、左右モニタ装置16と15間にあり、あえてモニタ画像どうしが重なるようにし、前後差をつけて設置する。中央モニタ画像21と左右モニタ画像22と23が接する部分は、自車の側方輪郭を表示している画像24と25になっている（図3、図4）。その際、あえて少しの自車の側方輪郭を映り込ませる（図1）場合もある。

アモーダル補完の原理を活用したモニタレイアウトと画像の表示方法24と25の部分により、脳内で映し出された画像と自車の関係を想像させ、接近する移動体との相対速度や距離感を一瞬で把握できる。



アモーダル補完の原理の活用部

図3　モニタ画面の見え方　代表例

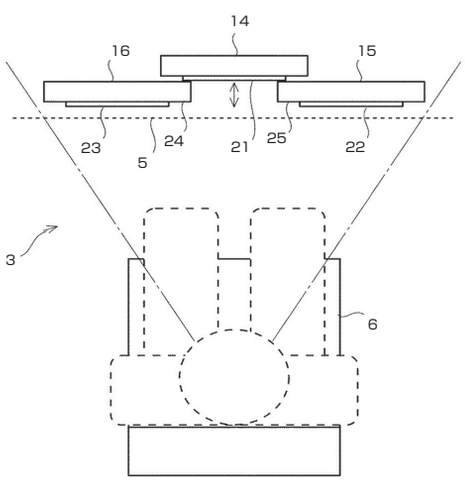


図4　車外モニタ装置と乗員の関係

【発 明 者】

長澤　勇

バッテリ電圧の制御装置及びバッテリ電圧の制御方法

【特許番号】独国特許第102015102163号
【発明者】森田　知洋

本発明は、車両の発進・停止やレーンチェンジによる追い越し加速、SIドライブのような走行モード状態など、ドライバの運転操作や車両状態に基づきバッテリ電圧を昇圧制御することで、ドライバビリティを向上するとともにモータドライブシステムの損失を最小限に抑えるバッテリ電圧の制御装置と制御方法を提案するものである。

【発明の背景】

環境に配慮した自動車として電気自動車、ハイブリッド自動車、燃料電池自動車等の電気モータを使用する車両が注目されている。このような車両においては、高電圧バッテリの直流電圧を昇圧コンバータによって昇圧しモータ駆動することで、モータ出力を拡大しドライバビリティを向上する技術が考案されている。

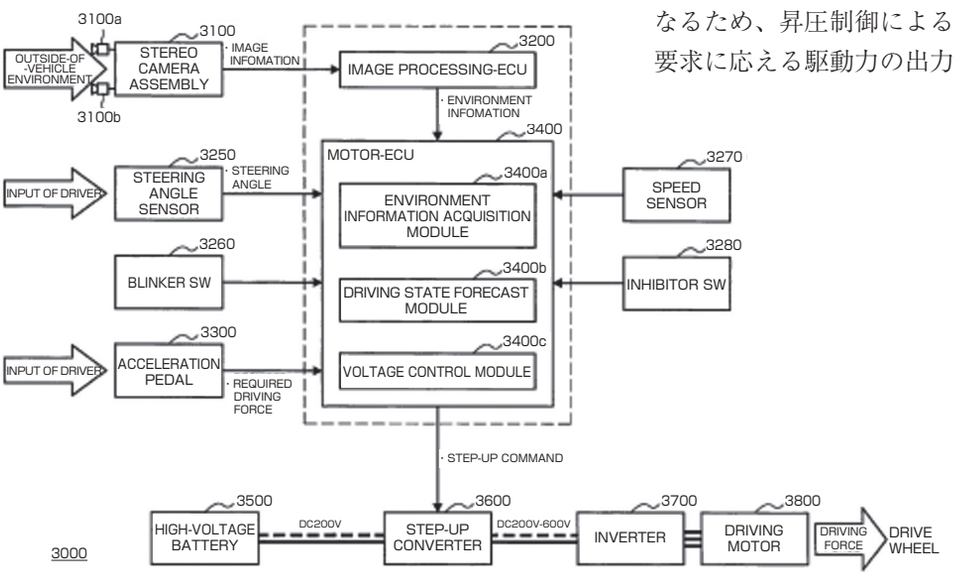


図1　実施例のシステム構成

一方で、昇圧コンバータによる昇圧制御を行うと、昇圧電圧が高いほど昇圧コンバータにおける損失が増加する。そのためドライバが要求する出力に対して、必要以上に電圧を上げることは好ましくなく、必要最低限の電圧とすることが望まれる。

したがって、昇圧電圧は昇圧制御の応答性とドライバの要求駆動力を踏まえた必要最低限の電圧マージンをもつ必要がある。

【発明の概要】

この課題を解決するために、本発明では図1に示すシステムを考案した。車両外の環境情報を取得する環境情報取得部(3400a)と、前記環境情報やドライバの操作情報に基づいて、レーンチェンジによる追い越し加速が行われるか否かを予測する運転状態予測部(3400b)と、前記追い越し加速が行われることが予測される場合に、車速又はドライバの要求駆動力に応じてバッテリ電圧を制御する電圧制御部(3400c)を提供する。

運転状態予測部による将来の要求駆動力に基づき、電圧制御部が電圧マージンの調整を行う。これにより、電圧マージンを動的かつ最小に設定することが可能となるため、昇圧制御による損失を削減しつつドライバ要求に応える駆動力の出力が実現できる。

【発 明 者】

森田　知洋

排ガス分析方法及び排ガス分析システム

【特許番号】特許第7064378号
【発明者】木谷　泰行／戸邊　祥太／田畑　邦夫／
武田　賢二

本発明は、エンジンより排出される排ガス中に含まれる粒子状物質に対する燃料の影響度合いと潤滑オイルの影響度合いとを分離して評価する手法を提案するものである。

【発明の背景】

近年、大気汚染の問題が深刻化しており、粒子状物質の人体への影響が懸念されている。このような状況の中、粒子状物質の排出量のさらなる低減を目指して、特に、直噴ガソリン車より排出される微小粒子状物質の生成源を特定する分析手法への関心が高まっている。

しかしながら、これまで、粒子状物質は、主に燃料由来の粒子状物質と潤滑オイル由来の粒子状物質で構成されると考えられている一方、それらの影響度合いを定量的に分離する方法は無く、例えば、燃料由来の粒子状物質と潤滑オイル由来の粒子状物質との比率計測や、それぞれの粒子状物質の定量化などが困難であった。

【発明の概要】

この課題を解決するために、本発明では、第１燃料としてイソオクタンを用いて排ガスを分析し、その分析された排ガス中の粒子状物質の数量または質量を潤滑オイル由来の粒子状物質として計測する。その分析結果を、注目する任意のガソリンを用いて得られた分析結果から差し引くことで、ガソリンに由来する粒子状物質を、潤滑オイルに由来する粒子状物質から分離する。その結果、排ガスに含まれる粒子状物質に対するガソリンの影響度合いを、潤滑オイルの影響度合いから定量分離して評価することが可能となる。

また、排ガス中の全硫黄成分濃度を潤滑オイルに由来する硫黄成分の濃度として測定し、この全硫黄成分濃度に基づき潤滑オイルの消費量を算出し、その消費量と潤滑オイル由来の粒子状物質の計測結果とを関連付ける。このようにすれば、潤滑オイルの消費量と潤滑オイルに由来する粒子状物質の発生量との相関関係を知ることができる（図１）。

本発明にかかわる排ガス分析システムは、エンジンから排出される排ガスを分析する排ガス分析システムであって、エンジンの燃料としてイソオクタンを用いた際に、エンジンから排出される排ガスを採取する排ガス採取部と、前記排ガス採取部により採取された排ガスを分析し、その分析された排ガス中の粒子状物質を潤滑オイル由来の粒子状物質として計測する排ガス分析装置とを備えることを特徴とする（図２）。

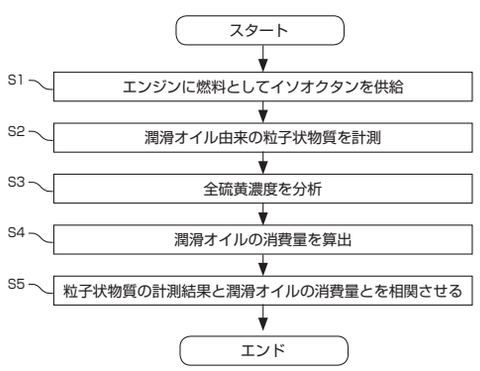


図１

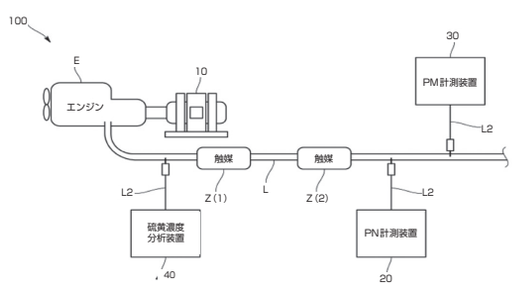


図２

参考文献

(1) Y. Kiya, et al., JSAE Proc., No. 20185038, 2018
(2) K. Tabata et al., JSAE/SAE 2019 International Powertrains, Fuels & Lubricants Meeting, No.2019-01-2328, 2019

【発 明 者】

木谷　泰行

戸邊　祥太

田畑　邦夫

武田　賢二

車両の制御装置及び車両の制御方法

【特許番号】特許第6626523号
【発明者】佐藤　章也／佐藤 能英瑠

本発明は、「車両が走行している路面」と「車両前方の路面」の摩擦係数を其々センシングし、その摩擦係数の推定結果に基づいて車両を最適に制御することを目的とした、車両の制御装置及び車両の制御方法を提案するものである。

【発明の背景】

路面摩擦係数に応じた車両の駆動力制御は走行安全の確保において重要になる。そのため、車両が走行している路面の摩擦係数を推定する技術は様々開発されている。しかし、正確に推定できたとしても、前方の路面状況が異なる場合は対応出来ない。例えば現在走行している路面が高μであり、車両前方に低μの路面が存在している場合は、突然低μ路に突入し、車両挙動が不安定になる可能性がある(図1)。この課題を解決するためには、低μ路に突入する前の事前対応が必要になる。

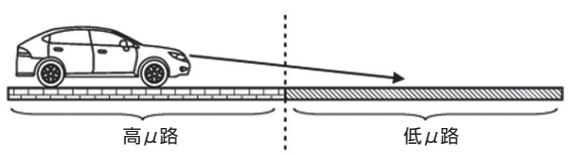


図1

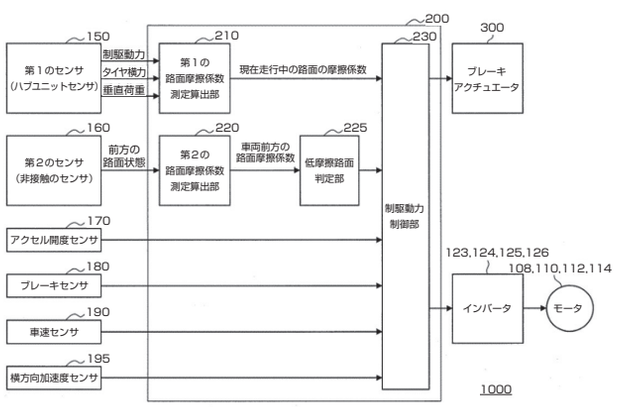


図2

【発明の概要】

本発明では、前述の課題解決のため、「車両が走行している路面」と「車両前方の路面」の摩擦係数を其々センシングし、その2つの摩擦係数結果に基づき事前に車両制御を実施する。

具体的には、車輪が接触している路面の摩擦係数を算出する第1センサ(150)と、 車両前方の摩擦係数を非接触で検出する第2センサ(160)を用い、路面状況に基づき優先度を決定する。その結果に応じて駆動力の上限値を設定し、駆動力を適切に制御する(図2)。

通常走行時は第1センサによる精度の高い摩擦係数情報を元に制駆動制御を実施し、第2センサより前方に摩擦係数が低い路面が存在すると判定された場合は、第2センサ情報を優先し、突入する前にスリップを最小限に抑制するためのトルク制御を実施する。また、低μ路に突入後は第1センサによる制駆動力制御を実施することで最小限にスリップを抑制した制駆動力制御を実施することができる。

【発 明 者】

佐藤　章也

佐藤 能英瑠

部材接合構造

【特許番号】独国特許第102015104121号
【発明者】坂本　　登／中村　計二／坂井　健輔／
稲見　顕子

本発明は、自動車車体を組み立てる際の異種材同士を接合するための手段を提供するものである。

【発明の背景】

一般に車体を構成する素材は鉄が主である。車体に求められている安全性・操安性に対し車体強度を上げていくわけであるが、さらに近年の車体軽量化のためには異種素材の採用も手段として考えねばならない。

異種素材の接合の工法として摩擦攪拌やエレメントを用いた接合が知られている。これら新工法を用いて異種材接合する場合、まず接合のための設備が必要となることと、導入までかなりの準備工数も必要である。

現状の車体組み立て設備にていかに異種材接合が可能か考え準備しておく必要がある。

【発明の概要】

例えば、アルミと鉄のスポット溶接は物理性質の違いすぎで不可能に等しい。

アルミの接合部位のみ相手と同種の鉄であれば従来の接合設備で接合は容易である。本発明は相手と同種の鉄の補助部材（クリップ状）をあらかじめアルミへ装着しておき、鉄と補助部材の鉄を通常スポット溶接101し接合する（**図1**）。

アルミ補助部材10取り付け部には穴13があり、補助部材20には凸形状30を備えたクリップ形状、アルミの板淵からその穴へ補助部材の凸形状を入るよう装着する。

装着は、手でも自動でも可能。

次工程では、前記補助部材17を装着したアルミ10と鉄17を重ね合わせ、補助部材の凸部をスポット溶接する。

本発明により、補助部材は容易に装着できスポット溶接も既存設備で可能であり、素材も固体であれば金属にかぎらない。

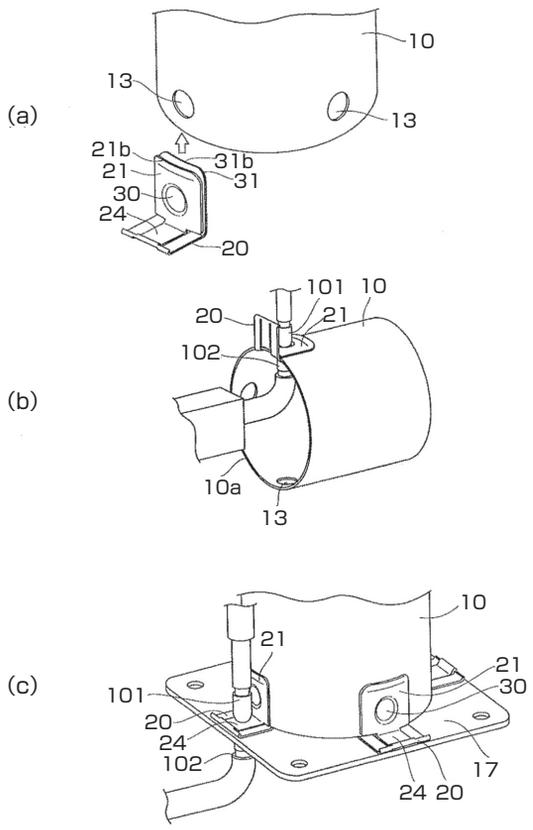
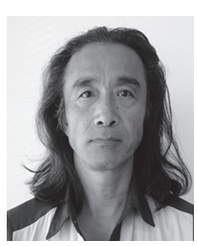


図1　本実施の形態に係る部材接合構造の概要を示す要部分解斜視

【発 明 者】


坂本　　登

中村　計二

稲見　顕子

坂井　健輔

レーザピーニング加工装置及びレーザピーニング加工方法

【特許番号】米国特許第11027369号
【発明者】橋本　麻由／足立　隆史

本発明は、航空機金属部品の表面に圧縮残留応力を与えて疲労特性を向上させるレーザピーニング加工において、加工物を傾斜させて照射中に発生する気泡を除去することで、レーザのエネルギー減衰を防ぐ手段を提案するものである。

【発明の背景】

一般的に、レーザピーニング加工では、水などの液体で覆われた状態で加工物表面にレーザビームを集光照射することで、発生した衝撃波の圧力が表面に付与され、圧縮残留応力が形成される。これにより、加工物表面における亀裂発生を制御することができ、加工物の疲労特性を向上させることができる。

しかし､レーザビームを加工物の表面に照射すると、その衝撃によって照射点において気泡が生じる。その気泡はレーザと一緒に噴射される水などの液体のよどみ点に滞留し、その結果、気泡によってレーザビームの光路が遮られ、レーザビームのエネルギー減衰が起きてしまい、設定したエネルギーでレーザピーニング加工を行うことができないという問題がある(図1)。

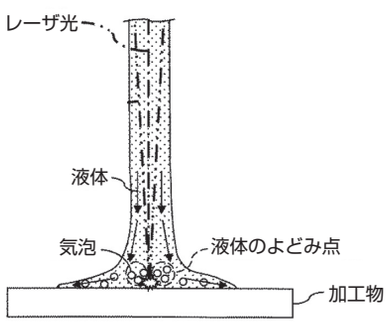


図1　レーザ照射中の気泡発生の様子

【発明の概要】

レーザのエネルギー減衰を回避するためには、レーザピーニング加工中に発生する気泡をレーザ照射点付近の液体から除去する必要がある。この課題を解決するため、レーザ光を発振するレーザ発振器(2)と、加工物表面に向けて水などの液体(L)を噴出しながらレーザ光を集光して照射するノズル(3)と、加工物(W)を保持して傾斜角度を可変制御できるロボットアーム等の傾斜機構(6)を有するレーザピーニング加工装置(図2)を開発した。

ノズルは、液体と加工物表面との衝突によって生じるよどみが低減されるように、液体圧力を制御する機構(4)を設けている。またロボットアーム等の傾斜機構は、加工対象となる部品の凹凸や曲面など3次元形状にあわせて、レーザピーニング加工しながら様々な向きに加工物を傾斜させることで、レーザ照射点付近における液体を任意の方向に流すことができる。これにより、レーザ照射時に発生した気泡をレーザ照射点付近に局所的に留まらせることなく、液体と共に傾斜方向に流すことができるため、気泡によるレーザビームのエネルギー減衰を防ぎ、加工物の疲労特性向上を確実に行うことができる。

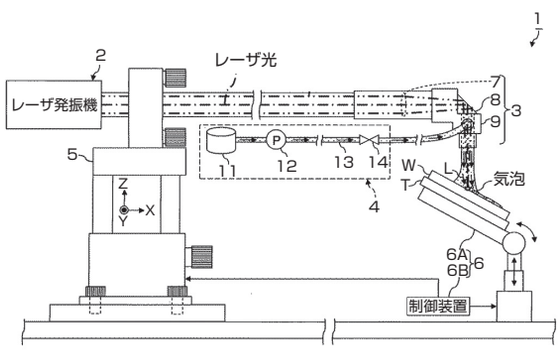


図2　レーザピーニング加工装置

【発 明 者】

橋本　麻由

足立　隆史

シール剤吐出装置

【特許番号】米国特許第11117158号
【発明者】松本　洋平／河野　　充

本発明は、ロボット等を用いたシール剤吐出装置において、安定したシール剤の塗布を実現するための手法を提案するものである。

【発明の背景】

一般に、シール剤吐出装置を用いて、粘度が変化しやすいシール剤を塗布する場合、吐出量が安定せず、定量を塗布することが困難である。

粘度変化の原因として、二液性シール剤混合後の時間経過による硬化や雰囲気の温湿度変化がある。この解決として、従来、シール剤吐出装置に二液混合機構やシール剤温調機構を設ける、また装置設置環境の空調管理が行われる。しかしながら、これらの解決法の場合、装置の複雑化、大型化、高コスト化に加え、メンテナンスに要する時間とコストもかかるといった問題がある。

【発明の概要】

この課題を解決するために、ロボットアーム3とその先端にシールガン2を固定したシール剤吐出装置1において、シールガン2に計測器33を配置する（**図1、図2**）。

シールガン2に配置されたノズル27より塗布対象物100にシール剤の吐出が行われると、ノズル27の先端且つシールガン2の移動方向の前方側にシール剤溜まりS1が生じ、シール剤溜まりS1はシールガンの移動に伴い、塗布対象物100とノズル27との隙間に入り込むことによって、塗布されたシール剤S2が形成される（**図3**）。

シール剤吐出装置1が塗布をしている間、計測器33はシール剤溜まりS1の大きさを観測し、ロボットアームの移動制御部10はシール剤溜まりS1の大きさが目標値を保つようにシールガン2の移動速度を制御することが出来る。これにより、シールガン2からのシール剤吐出量が不安定な場合においても、安定した塗布が実現できる。

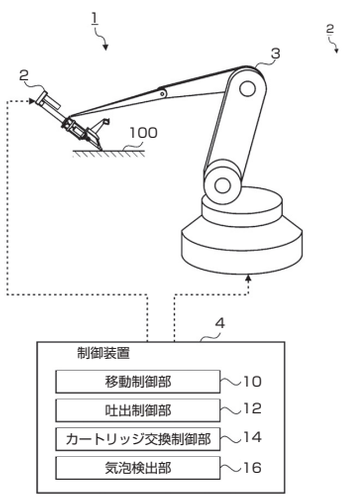


図1　シール剤吐出装置の構成

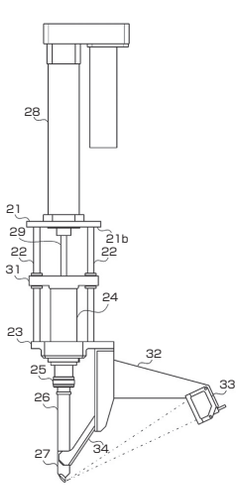


図2　シールガン構成

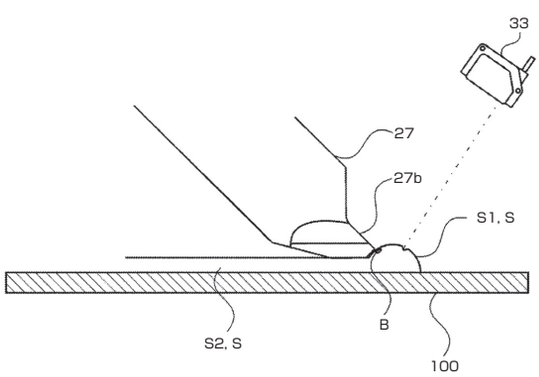


図3　シールガン移動速度制御説明図

【発 明 者】

松本　洋平

河野　　充

社外発表一覧表（2021.4 ～ 2022.3）

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	所　　属
2021/05	JSAE 自動車技術会春季大会 VIPAを用いたミシガン州(米国)における歩行者事故実態の把握	江島　　晋	車両安全開発部
2021/05	日本計算工学会 第26回　計算工学講演会 機械学習を用いた衝突CAEの計算コスト低減	山本 健太郎	車両安全開発部
2021/05	東京大学工学部航空宇宙工学科 「燃焼現象論」講義 SUBARUにおける「ライトCAE × AI技術」活用の取組み紹介	湯村　洋典	技術開発部
2021/05	公益社団法人自動車技術会 自動車技術会2021年 春季大会 学術講演会 「新型水平対向1.8L直噴ターボエンジンの燃焼技術」	柿沼　王基[*1] 辻村　彬人[*1] 菅沼　邦彦[*1] 糸櫻　　洋[*2] 脇本　一成[*1]	＊1車両環境開発部 ＊2事業戦略推進部
2021/05	公益社団法人自動車技術会 自動車技術会2021年 春季大会 学術講演会 「定常過渡におけるPM/PN排出低減に向けた燃料噴射系の開発」	加藤　真亮 中山　智裕 桂　　拓未 塚本　卓磨	車両環境開発部
2021/05	The 5th International Electric Vehicle Technology Conference 2021（EVTeC 2021） Model Based Development on Zero Emission Vehicles	布川　拓未 飯嶌　孝也 吉村　尚秀	技術研究所
2021/07	第53回流力講演会／第39回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム プラズマアクチュエータの制御特性に関する風洞試験	加藤　宏基[*1] 福地　亮太[*1] 岩本　智文[*1] 久保沢 真貴[*1] 藤井　孝蔵[*2] 関本　諭志[*2]	＊1航空宇宙カンパニー　研究部 ＊2東京理科大学
2021/07	日本学術会議 安全工学シンポジウム2021 安全・安心のための無人航空機の衝突回避技術の研究	三輪田　学	航空宇宙カンパニー 自律システム設計部
2021/09	第26回バーチャルリアリティ学会大会 熟練ドライバの運転操作追体験による運転技能向上手法の提案	加藤　　颯 鳥居　武史 佐藤 能英瑠	技術研究所
2021/10	アルテアエンジニアリング株式会社 小規模開発単位におけるクラウドCAE環境の活用と導入効果	渡邉　圭一	技術研究所

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者	所　　属
2021/10	公益社団法人自動車技術会 2021年秋季大会 学術講演会： 「新型水平対向2.4Lエンジンの高回転・高出力技術開発」	藤田　健冴	車両環境開発部
2021/10	JSAE 自動車技術会秋季大会 VIPAを用いたミシガン州(米国)の自転車事故分析	江島　　晋	車両安全開発部
2021/10	SAMPE先端材料技術協会　2021年度第2回技術情報交換会 航空機形状の多様化と安全課題	西　孝裕樹	航空宇宙カンパニー システム設計部
2021/11	情報処理学会 第195回 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会 ドレミハンドル　操舵角に応じた刺激音提示による運転支援システムの提案	松田 さゆり*1 中川　由貴*1 船﨑 友稀奈*1 細谷　美月*1 中村　聡史*1 小松　孝徳*1 鳥居　武史*2 澄川　瑠一*2 高尾　英行*2	*1明治大学 *2技術研究所
2021/11	電気学会　放電・プラズマ・パルスパワー／開閉保護／高電圧合同研究会 雷撃を受けたCFRPの導電率温度依存性を考慮した電磁界と熱のFDTD解析	長谷川 航大*1 馬場　吉弘*1 長岡　直人*1 津端　裕之*2 西　孝裕樹*2	*1同志社大学 *2航空宇宙カンパニー システム設計部
2021/11	日本燃焼学会 第59回燃焼シンポジウム 「希薄ガソリン／空気混合気の高速流動中での火花放電と火炎核生成挙動に及ぼす流動条件とプラグ角度の影響」	任　　方思*1 中谷　辰爾*1 津江　光洋*1 菅沼　邦彦*2	*1東京大学 *2車両環境開発部
2021/12	公益社団法人自動車技術会 第32回内燃機関シンポジウム 「LESによる筒内直接噴射式ガソリン機関の局所燃料濃度のサイクル変動評価」	松岡　正紘*1 伊藤　貴之*1 辻村　彬人*2 中山　智裕*2	*1日本自動車研究所 *2車両環境開発部
2021/12	公益社団法人自動車技術会 第32回内燃機関シンポジウム 「流動と混合気分布改善による直噴エンジンのEGR限界向上」	草壁　　亮*1 大場　久浩*1 中山　智裕*2 加藤　真亮*2	*1日立Astemo *2車両環境開発部
2021/12	第59回飛行機シンポジウム 3D15 航空機の被雷抑制に向けた高電圧雷撃試験	宮木　博光*1 岡田　孝雄*1 津端　裕之*2 西　孝裕樹*2	*1宇宙航空研究開発機構 *2航空宇宙カンパニー システム設計部
2021/12	共催：自動車技術会、日本機械学会 第32回内燃機関シンポジウム SUBARUの過去と未来	伊藤　康洋	パワートレイン設計部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者	所　　属
2021/12	NPO法人CAE懇話会 第39回中部CAE懇話会 機械学習を用いた衝突CAEの計算コスト低減	山本 健太郎	車両安全開発部
2022/1	情報処理学会 第196回 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会 選択によって誘発した内発的動機づけによる運転支援システムの提案	中川　由貴*1 松田 さゆり*1 船﨑 友稀奈*1 松山　直人*1 中村　聡史*1 小松　孝徳*1 鳥居　武史*2 澄川　瑠一*2 高尾　英行*2	＊1明治大学 ＊2技術研究所
2022/1	JSAE 自技会シンポジウム　18-21「デジタルトランスフォーメーション時代のCAE」 機械学習を用いた衝突CAEの計算コスト低減	山本 健太郎	車両安全開発部
2022/1	SAE Govement Industry Meeting Developing an Injury Severity Prediction Algorithm for SUBARU Telematics Assisted Accident Research (STAAR)	江島　　晋	車両安全開発部
2022/1	公益社団法人自動車技術会 計測・診断/CFD技術部門委員会 No.16-21 シンポジウム「AI時代の計測･CFD技術の新展開」 「欧州PN規制対応に向けた燃料噴射系開発の紹介」	加藤　真亮	車両環境開発部
2022/1	International Journal of Engine Research Influence of the Spark Plug Mounting Angle on Spark Ignition Process at Different Flow Velocities.	Ren, F.*1 Takehara, N.*1 Nakaya, S.*1 Tsue, M.*1 Adachi, R.*2 Suganuma, K.*2	＊1東京大学 ＊2車両環境開発部
2022/2	東京大学 モビリティ・イノベーション連携研究機構 第13回 自動車技術に関するCAEフォーラム 2022 機械学習を用いた衝突CAEの計算コスト低減	山本 健太郎	車両安全開発部
2022/3	MBD推進センター トライアル解析WP SUBARUのモデル流通事例紹介	町田　拓也	技術開発部
2022/3	一般社団法人　日本自動車工業会 JAMAデジタルエンジニアリングWebセミナー 2022 「3D図面・JIS化の取り組み　～ DTPDと自動車工業・パラダイムシフトを考える ～」	羽鳥　滋一	技術管理部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者	所　　属
2022/3	一般社団法人　次世代音振基盤技術研究会 INVITE総会・研究講演会 ロードノイズのサスペンション系伝達メカニズムの分析事例	阿部　啓介	車両運動開発部
2022/3	軽金属学会創立70周年記念事業 第122回シンポジウム チタン合金の航空機構造への適用	谷嶋　真一	航空宇宙カンパニー 研究部

（公社）：公益社団法人、（一社）：一般社団法人　（公財）：公益財団法人、（一財）：一般財団法人

2. 寄　稿

発表時期	寄　稿　先 「発表タイトル」	著　　者	所　　属
2021/6	自動車技術会 vol.75 No.6 直線とカーブ走行時の車両挙動の変化を用いた聴覚刺激による運転行動の誘導に関する研究	鳥居　武史 澄川　瑠一	技術研究所
2021/9	JSAE 自動車技術会論文集　Vol. 52 No. 5 VIPAを用いたミシガン州（米国）における歩行者事故実態の把握	江島　　晋	車両安全開発部

編　集　後　記

今年度も新型コロナウイルス、ロシアのウクライナ侵攻、急激な円安など多くの問題が次々と降りかかり、多大な影響を受ける事態となっています。我々だけではなく、世界中の方々が対応に苦慮してきたかと思います。この号が発行されている頃には、落ち着きを取り戻し、平穏な時が流れていることを期待します。

さて、私事にはなりますが、今年度から初めてSUBARU技報の編集に携わることになりました。実際に会合に参加したところ、多くの掲載希望があるにも関わらず、全てが掲載されるわけではなく、諸事情により遠慮していただく内容もあることを知り、技術者達が取り組んできた事を、多くの方に知ってもらえる機会として、改めて重要な冊子であることを実感いたしました。これからも読者の方たちに深くSUBARUを知っていただける価値あるツールの一つとして、このSUBARU技報があり続けるよう、編集に関わる一員として努められたらと思います。

最後になりますが、本号の発行にあたり、ご協力いただきました執筆者の皆様と、編集に携わっていただいた関係者に感謝を申し上げるとともに、SUBARU技報を手に取っていただいた皆様に深く御礼申し上げます。

（小國）

SUBARU技報編集委員会構成表

委員長：佐瀬　秀幸　技術開発部
委　員：刀祢　友久　商品企画本部
橋本　陽子　商品企画本部
大関　　透　デザイン部
角田　　隆　技術開発部
塚田　剛久　ボディ設計部
古瀬　智広　ボディ設計部
長屋　廣樹　内外装設計部
清水　孝則　E&Cシステム開発部
吉積　輝和　E&Cシステム開発部
冨士　　啓　E&Cシステム開発部
矢作　博道　E&Cシステム開発部
工藤　章一　材料研究部
永野　　弾　車両開発統括部
太田　康之　車両運動開発部
長澤　澄人　車両安全開発部
高橋　　理　ADAS開発部
阿部　幸一　ADAS開発部
小國　正和　開発試作部
関　　竜達　パワートレイン設計部
大抜 由起夫　パワートレイン設計部
委　員：松前　和伸　車両環境開発部
山本　光夫　車両環境開発部
松田　一彦　車両環境開発部
中山　智裕　車両環境開発部
長谷川　巧　車両環境開発部
長谷川　直　CAE部
鳥居　武史　技術研究所
中村　成寿　生産技術統括部
東稔　俊史　航空宇宙カンパニー
梶原　雅宏　航空宇宙カンパニー
事務局：山田　大輔　技術管理部（群馬）
細井 久美子　技術管理部（群馬）
木島　　誉　技術管理部（東京）
平瀬　和代　技術管理部（群馬）
中島　宏和　技術管理部（東京）
高橋　弘起　SUBARUテクノ株式会社
塚本　啓了　SUBARUテクノ株式会社
小杉　富雄　SUBARUテクノ株式会社
宮島　昭宏　SUBARUテクノ株式会社
富岡　淑美　SUBARUテクノ株式会社

SUBARU技報第49号（非売品）

発　　行　2022年11月
発行兼編集人　SUBARU技報編集委員会
発　行　所　株式会社SUBARU技術管理部
群馬県太田市スバル町1-1
電話　0276-26-3380
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

©2022 SUBARU CORPORATION
禁無断転載