2019 No.46

SUBARU技報

SUBARU TECHNICAL REVIEW

SUBARU

LEGACY

OUTBACK

CROSSTREK™
HYBRID

デザイン部　中村遼平

表紙デザイン

SUBARUのクルマは日常生活で便利に使えるのは勿論、レジャーやスポーツ、ロングツーリングといった非日常のシーンでも愉しく使えるポテンシャルを備えています。お客様の人生をイキイキと彩り、非日常的な体験へと誘うSUBARUの愉しい世界観を表現しました。動きやリズムを感じる構図と色にし、観ていて楽しい遊び心あるデザインにしました。今までのSUBARU技報の表紙のイメージを大胆に変更し、手に取りたくなる表紙を目指しました。

SUBARU TECHNICAL REVIEW

2019 No.46

巻頭言

新たな時代のSUBARUの実現にむけて

執行役員　江　里　口　　磨

自動車業界は100年に1度と言われる大変革期を迎えています。CASEに代表されるモビリティ革命の潮流の中、私たちはこの大変革期を技術イノベーションで乗り越えていかなければなりません。従来の自動車技術を超えた新たな技術領域での競争や、異業種との連携は避ける事が出来ないでしょう。私たちがこれまで関わってきた技術領域は、自動車全体から見れば相対的に狭まっていくことが予想されます。様々な分野で起こる多くの変化が、車造りや自動車そのものの姿を変えてしまう可能性は否定できず、将来が見通せない不透明な時代を迎えています。

足元では、各国で厳しさを増す環境規制への対応が喫緊の課題であることは間違いありません。電動化を中心とする環境規制対応車へのシフトや、2030年代でも多くの車に搭載されるであろう内燃機関の進化の両面から、技術で規制に向き合う必要があります。しかしながら、リソースや事業性、商品力との両立と言った数多くの課題があり、明確な方向性が見いだせていません。

30年続いた“平成”が終わり新たな“令和”が始まります。私たちは、将来が見通せない不透明な時代に向き合いながら、新たな時代のSUBARUを実現しなければなりません。

平成の30年間でSUBARUは大きな成長を遂げました。この原動力はこれまで磨き上げてきたAWD、水平対向エンジン、アイサイトと言った技術・機能を、お客様に寄り添いながら安心、愉しさ、信頼と言った情緒的価値として提供し、お客様の共感を得たからに他なりません。世の中のスピードは加速度的に速まり個々の技術、機能が優れているだけで時代をリードし、商品価値を飛躍的に高める事は難しくなっています。優れた技術・機能を如何に商品としての情緒的価値に結び付け、お客様の共感を得る事ができるのかが持続的成長のカギと言えるのではないでしょうか。

将来が見通せない不透明な時代、技術開発の姿が大きく変化するであろう新しい時代においても、私たちが生み出す技術・機能を情緒的価値としてお客様に提供することは普遍的な行為です。そして、この行為は自動車に限らず全てのSUBARUのエンジニアに共通するものでしょう。技術で商品を支えお客様の期待を超える新たな価値を提供する事こそが、SUBARUのエンジニアとしての誇りと喜びではないかと思います。

弊社は昨年大きな転機を迎えました。新たな時代のSUBARUの実現には、失った信頼を取り戻すだけではなくお客様の期待を超える新たな普遍的価値が必要です。品質で失った信頼を品質で取り戻し、新たな時代のSUBARUには“期待を超える品質・サービス”と言う新たな価値を加えようではありませんか。

品質・サービスを提供価値とするためには、モノづくり分野のみならずお客様とのコミュニケーションも含めた総合力の底上げが必要です。総合力の底上げには新たな時代の“ツナガル”技術・機能を最大限に活用する事が欠かせません。モノづくり分野に留まらずお客様と直接・間接的に繋がる事により、新たな価値が生み出される期待があります。車のライフサイクルでお客様と繋がる事が、車を通して得られる愉しさや嬉しさと言った情緒的価値を引き上げ“期待を超える品質･サービス”の実現に近づいていくと信じています。

30年前、平成の始まりと共に初代レガシィが誕生しました。そして今年“人々が美しく心を寄せ合う中で、文化が生まれ育つ”という意味が込められた新元号“令和”と共に新たな時代が始まります。本号では新たな時代の提供価値の序章とも言える新型レガシィやクロストレック・ハイブリッドの特集に加え、航空宇宙分野における電動化についても紹介しています。電動化はモビリティ業界全体へ広がりを見せており、自動車と航空宇宙を持つSUBARUならではのシナジーへの期待が膨らみます。SUBARU技報が全社の技術開発の方向性と成果を俯瞰し、新たな時代のSUBARUを考える手引きとなる事を願って巻頭言の結びといたします。

目　　次

✦巻頭言

「新たな時代のSUBARUの実現にむけて」――――江里口　磨

✦小特集「新型CROSSTREK HYBRID」

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

2. CROSSTREK HYBRID用　パワーエレクトロニクス部品の搭載技術
石井　孝憲・谷藤　　光・平田　尚吾・
中田　　薫・藤谷　貴昭・下村　優平・
木本　恭郁・前島　勇太 …… 24

3. 新型クロストレックハイブリッドのヒートポンプシステム開発
吉川　卓爾・松隈　寛人・佐藤　識夫・
山本　真範・小川　尚幸 …… 29

✦小特集「新型アウトバック／レガシィ」

4. 新型OUTBACK/LEGACYの紹介（北米モデル）
SUBARU OUTBACK/LEGACY
開発プロジェクトチーム …… 34

5. 新型OUTBACK/LEGACY用リニアトロニックの開発
岸本　拓也・小林　隆浩・前川　卓也・
篠原　　剛・右近　靖幸・小川　雅人 …… 60

6. 新型レガシィ／アウトバック　動的質感向上ボディの開発
青田　裕之・綾部　俊宏・松田　浩幸・
戸田　貴博・青野 健太郎・垰下　慶介 …… 65

✦論文・解説

7. 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・小林　昂平・滝本　　崇・
戸谷　祐之・瀧澤　圭司・佐々木 崇宏 …… 73

8. コックピット統合システムの開発について ――佐川　一洋・清水　孝則・藤本　　清・
安宅　　淳 …… 89

9. SUBARU XV、FORESTER e-BOXER用ハイブリッドリニアトロニック開発
千田　博之・鈴木　雄樹・前川　卓也・
小室　正樹 …… 94

10. CROSSTREK HYBRID用プラグインハイブリッド
トランスミッションの開発
足森　崇志・迫田 雄一郎・纓田　勝司・
小橋　建斗・佐々木 高晴 …… 99

11. テレマティクスを使用した車両診断機能の開発
早川　和裕・松嶌　臣弥・花沢　雅史・
水野　重雄・富岡　雄一 …… 104

12. ハイブリッド車HMIの開発 ――――――早川　有香・間仁田 夏樹・中田　翔真 …… 107

13. ランキンサイクル排熱発電システムの最適化 ―種岡　秀之 …… 112

14. 車載音声対話システムの研究 ――――――泉名　克郎・鹿野　達夫・天笠　義則・
馬場　直哉・宗平　　真・古田　　訓・
小路　悠介・土屋　政人 …… 117

15. 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
阿部　啓介・上野　　亮・津久井 啓雄・
蟻川　裕樹 …… 123

16. SUBARU CROSSTREK HYBRID衝突時の電気安全性能開発
中瀬　哲也・松澤　公雄・杉田　能典・
齋藤　　仁・小林　正明・真塩　泰徳・
古川　啓太 …… 130

17. モデルベースによるドライバビリティと環境性能の調和開発
渡辺　　健・内川　浩一・瀧本　英晴・
高畑　夏紀・青木　寛子・村中　英史・
直井　利之・和氣　嵩暁 …… 137

18. 新型ハイブリッド用水平対向エンジンの開発 ―木村　翔平・浜崎　敬介・加藤　真亮・
中山　智裕 …… 144

19. XV-PHEVバッテリー搬送品質保証技術の開発
趙　　鵬・山本　拓哉・沖野 振一郎 …… 149

20. 航空機電動化コンソーシアムの紹介 ――――中里　展之・村田　　巌・渡辺　重哉・
西沢　　啓 …… 153

21. 大型主要構造組立の生産ライン構築 ――――西村　和範 …… 158

22. 『彩雲』に学ぶ軽量コンパクト設計の極意 ――坂崎　明彦 …… 163

23. 車体番線座標の原点は何処にすべきか？ ―――坂崎　明彦 …… 169

24. 特許紹介 ――――――――――――――――技術開発部 …… 174

✦社外発表一覧（2018.1 ～ 2018.12 講演・寄稿） …… 181

CONTENTS

Foreword

Realizing SUBARU in New Era ——————Osamu ERIGUCHI

Special Issue : New CROSSTREK HYBRID

1. Introduction of SUBARU CROSSTREK HYBRID
SUBARU CROSSTREK HYBRID Project Team … 1

2. Mounting Technology of Power Electronics Parts for CROSSTREK HYBRID
Yukinori ISHII, Hikaru TANIFUJI,
Shogo HIRATA, Kaoru NAKADA,
Takaaki FUJITANI, Yuhei SHIMOMURA,
Yoshifumi KIMOTO, Yuta MAESHIMA …… 24

3. Development of Heat Pump System for New CROSSTREK HYBRID
Takuji YOSHIKAWA, Hiroto MATSUGUMA,
Norio SATO, Masanori YAMAMOTO,
Naoyuki OGAWA …… 29

Special Issue : New OUTBACK/LEGACY

4. Introduction of New SUBARU OUTBACK/LEGACY (U.S Model)
SUBARU OUTBACK/LEGACY Project Team … 34

5. Development of Lineartronic for New OUTBACK/LEGACY
Takuya KISHIMOTO, Takahiro KOBAYASHI,
Takuya MAEKAWA, Tsuyoshi SHINOHARA,
Yasuyuki UKON, Masato OGAWA …… 60

6. Development of Body Structure with Advanced Dynamic Performance for New LEGACY/OUTBACK
Hiroyuki AOTA, Toshihiro AYABE,
Hiroyuki MATSUDA, Takahiro TODA,
Kentaro AONO, Keisuke TAOSHITA …… 65

Technical Paper & Explanation

7. Styling Design Development of New LEGACY/OUTBACK
Shigeru TANAKA, Kohei KOBAYASHI,
Takashi TAKIMOTO, Hiroyuki TOYA,
Keiji TAKIZAWA, Takehiro SASAKI …… 73

8. Development of HMI Coordination System ——Kazuhiro SAGAWA, Takanori SHIMIZU, Kiyoshi FUJIMOTO, Atsushi ATAKE ····· 89

9. Development of New Hybrid Lineartronic CVT for SUBARU XV and FORESTER
Hiroyuki CHIDA, Yuki SUZUKI, Takuya MAEKAWA, Masaki KOMURO ····· 94

10. Development of Plug-In Hybrid Transmission for CROSSTREK HYBRID
Takashi ASHIMORI, Yuichiro SAKODA, Katsushi ODA, Kento KOBASHI, Takaharu SASAKI ····· 99

11. Development of Vehicle Diagnostic Function by TELEMATICS
Kazuhiro HAYAKAWA, Shinya MATSUSHIMA, Masafumi HANAZAWA, Shigeo MIZUNO, Yuichi TOMIOKA, ····· 104

12. Development of HMI for Hybrid Cars ————Yuka HAYAKAWA, Natsuki MANITA, Shoma NAKATA ····· 107

13. Optimization of Rankine Cycle Waste Heat Recovery System
Hideyuki TANEOKA ····· 112

14. Research on in-Vehicle Spoken Dialogue Systems
Katsuo SEMMYO, Tatsuo KANO, Yoshinori AMAGASA, Naoya BABA, Shin MUNEHIRA, Satoru FURUTA, Yusuke KOJI, Masato TSUCHIYA ····· 117

15. Development of Full Vehicle FE Model for Predicting Low-Frequency Road Noise Performance
Keisuke ABE, Ryo UENO, Norio TSUKUI, Yuki ARIKAWA ····· 123

16. Development of Electrical Safety Performance at Vehicle Collision for SUBARU CROSSTREK HYBRID
Tetsuya NAKASE, Kimio MATSUZAWA, Yasunori SUGITA, Hitoshi SAITO, Masaaki KOBAYASHI, Yasunori MASHIO, Keita FURUKAWA ····· 130

17. Harmonious Development of Drivability and Environmental Performance by Model Based Development
Takeshi WATANABE, Koichi UCHIKAWA, Hideharu TAKIMOTO, Natsuki TAKAHATA, Hiroko AOKI, Hidefumi MURANAKA, Toshiyuki NAOI, Takaaki WAKI ····· 137

18. Development of Boxer Engine for New Hybrid System
Shohei KIMURA, Keisuke HAMAZAKI, Masaaki KATO, Tomohiro NAKAYAMA ····· 144

19. Development of Battery Transport Quality Assurance Technology
Peng ZHAO, Takuya YAMAMOTO, Shinichirou OKINO ····· 149

20. Introduction of Electrification Challenge for Aircraft (ECLAIR) Consortium
Nobuyuki NAKAZATO, Iwao MURATA Shigeya WATANABE, Akira NISHIZAWA ····· 153

21. Construction of Production Line for Large Structure Assembly
Kazunori NISHIMURA ····· 158

22. Learning from "Saiun" : Secret of Lightweight Compact Design
Akihiko SAKAZAKI ····· 163

23. Where Should Origin of Body Lines Coordinates Be ?
Akihiko SAKAZAKI ····· 169

24. SUBARU Patent Review ——————Advanced Engineering Department ····· 174

✦List of Published Reports ····· 181

SUBARU CROSSTREK HYBRIDの紹介

Introduction of SUBARU CROSSTREK HYBRID

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

抄　録

CROSSTREKは、北米市場におけるSUBARUのラインナップの中で最もコンパクトなモデルであり、優れた機動性と、高い機能性、多用途性を備え、SUBARUユーザーの中でもより若くアクティブな層に受け入れられているクルマである。

私たちは、コンパクトSUVとPlug-In Hybridシステムという組み合わせによって、新しい時代に向かうSUBARUの先進性を表現できると考え、CROSSTREK HYBRIDを開発。電動化によって新しい魅力を付与しつつ、CROSSTREKが持つ世界観を活かしてポテンシャルを最大限伸長することによって「安心と愉しさ」を拡張し、先進感のある新時代のオールラウンドSUVを作ることを目指し、開発を行って、その様に仕上がったと自負している。

Abstract

CROSSTREK is the most compact model in the SUBARU lineup for the North American market, with its excellent maneuverability, high functionality and versatility, and is a car that is accepted by younger and more active people among SUBARU users.

We developed CROSSTREK HYBRID, thinking that the combination of a compact SUV and a Plug-In Hybrid system could represent the advancedness of SUBARU facing a new era. While giving new attractiveness by motorization, we maximized the car's potential by utilizing the CROSSTREK's world view to expand "Enjoyment and Peace of Mind" and to produce a new era's all-round SUV with a sense of advancedness. We are proud to say that we have developed a car fulfilling these aims.

1．はじめに

社会から企業に求められる環境への取り組みのニーズは年々高まっている。企業理念において環境への配慮を最重要課題の一つとして位置付けている私たちSUBARUも、地球温暖化をはじめとした環境問題に対して正面から向き合い、しっかりと社会的責任を果たしていかなければならない。

近年、世界的に加速しつつある環境問題や社会ニーズの増加、環境基盤の拡充に伴い、自動車業界のグローバルな流れは電動化技術を採用する方向に向かいつつある。

SUBARUにとっても、電動商品の導入は環境に対する企業責任を果たす上で、なくてはならない要素であり、将来の自動車社会に対応するために必要な投資でもある。

私たちは、将来のクルマの在り方について真剣に考え、SUBARUらしい商品の提案に向けて日々取り組み続けており、電動商品導入の第一歩として、このたびSUBARU初となるPlug-In Hybridシステムを導入するに至った。

SUBARU初のPlug-In Hybrid車の企画・開発にあたって私たちはまず、お客さまがPlug-InHybrid車を所有することで嬉しさを感じるシーンはどのようなものか、環境性能に優れたPlug-In Hybrid車の特徴をどのような形でお客さまに提供できるかを考えることから始めた。

議論の結果行きついたところは、自然環境に配慮したPlug-In Hybrid車ならではの特徴は、自然豊かなエリアとの親和性が高いSUVこそにふさわしいのではないか、ということであった。そのSUVはSUBARUが最も得意とする領域でもあり、電動化技術の普及によ

り新たなフィールドが拡大しつつある市場でもある。

私たちは次の時代へ踏み出すにあたり、この新たなフィールドでSUBARUらしさを表現することにより、次世代のSUVを提案できるのではないかと考え、開発を進めてきた。

Plug-In Hybrid車ならではの「安心と愉しさ」を表現した次世代のSUVは、SUBARUの未来に向けて踏み出した、新たな一歩と言えるであろう。

2.　開発のねらい

2.1　商品キーワード：New Era Fun Adventure

Plug-In Hybrid車でしか味わえないような新しい価値と、ワクワクさせる先進性により、CROSSTREKの商品コンセプトである「Fun Adventure」の魅力をさらに拡大。お客さまにこれまで味わったことのないような新しいライフスタイルを提供したいという想いを込めて、CROSSTREK HYBRIDの商品キーワードとして「New Era Fun Adventure」を設定した。

図１　＜車名：CROSSTREK HYBRID＞

CROSSTREKにPlug-In Hybridシステムを搭載したモデルとして「HYBRID」を付与。最上級モデルとしての先進性と特別感を表現している。

3.　ユーザーベネフィット

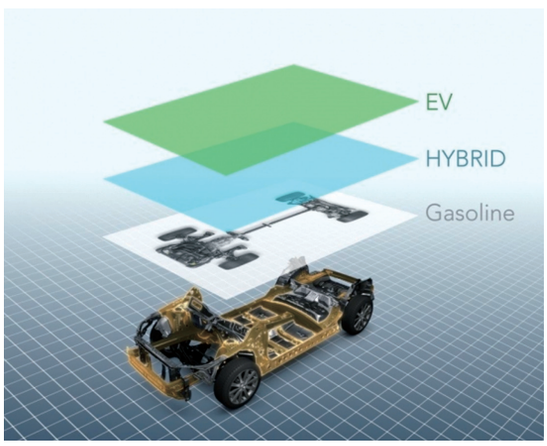
CROSSTREKから継承した価値が、毎日をよりアクティブに愉しめるようにし、さらに冒険と感動に満ちた日々を提供する。

3.1　Point 1
乗る人すべてがあらゆるシーンでFun to Driveを感じられる

ドライバーの思い通りの加速や減速、そして、ふらつきやロールの少ないコーナリングなど、クルマが運転操作にリニアに反応することで得られる動的質感の高さによって、運転の安心感や愉しさを大幅に高めている。同時に、ドライバーだけでなく同乗者にとっても不安のない、気持ちよい走りを提供できる。

3.1.1　スバルグローバルプラットフォームがもたらす優れた動的質感

スバルグローバルプラットフォームは設計構想時からEV化やPlug-In Hybridユニットの搭載対応も想定されたプラットフォームであり、今回、ガソリン車から車体基本骨格を変えることなく、Plug-In Hybrid化に伴う重量増に対応した車体フレーム強化を実施している。これにより、CROSSTREKの優れた動的質感を継承し、CROSSTREK HYBRIDにおいても、「思ったとおりに走れる」「不快な振動騒音がない」「快適な乗り心地」の3要素を高次元で実現している。



（画像は設計構想イメージ）

図２　スバルグローバルプラットフォーム

3.1.2　フラットで快適な乗り心地と優れた操舵応答性

Plug-In Hybrid化による車両重量の増加は、通常は走りに大きな影響を及ぼしている。重量増による慣性力の増加は操舵応答性の悪化の要因となり、ロール増加分を抑えるためのバネレートアップにより乗り心地が悪化することもある。

しかし今回、ガソリン車が実現してきた走りの性能を継承するため、ホイール剛性の向上、サスペンションのアブソーバーとコイルの最適チューニング、ステアリングへのVGR（Variable Gear Ratio）採用などを実施。優れた直進安定性を維持しつつコーナリング時の軽快な動きと運転のしやすさを実現し、さらに路面からの振動の少ないフラットで快適な乗り心地も実現している。

このような走りの実現には、スバルグローバルプラットフォームがPlug-In Hybrid化まで想定したサスペンション等の設計としていることも大きく貢献しており、CROSSTREK HYBRIDにおいても、お客さまに重量増を感じさせず、ガソリン車と同様に愉しく快適なドライブを提供できる。

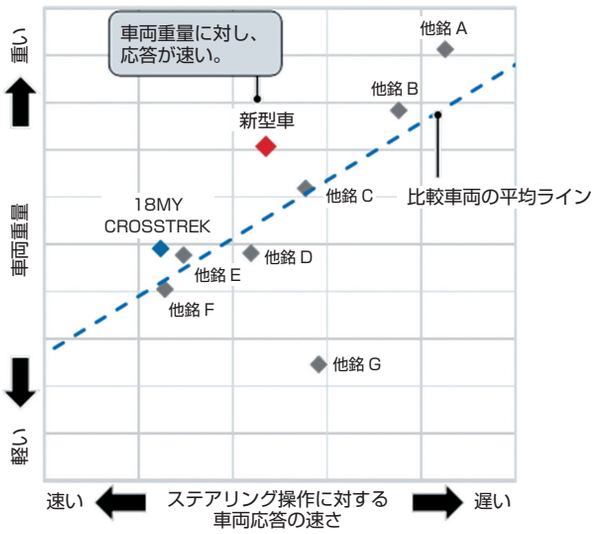


図３　操縦安定性評価（応答の速さと車両重量）

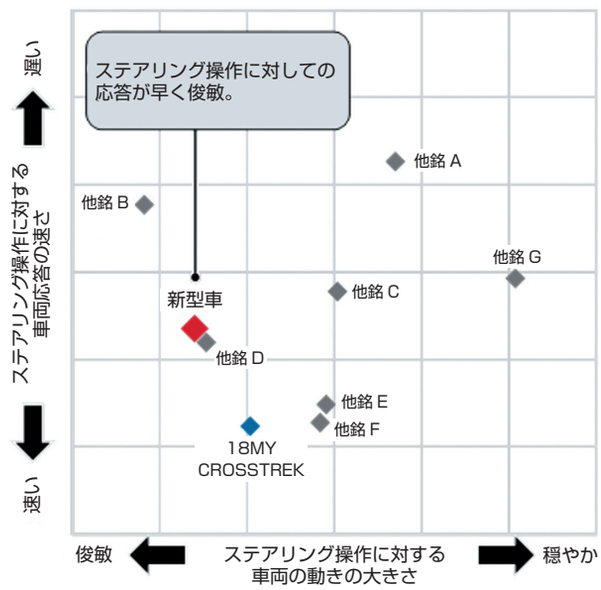


図４　操縦安定性評価（操舵の効きと応答の速さ）

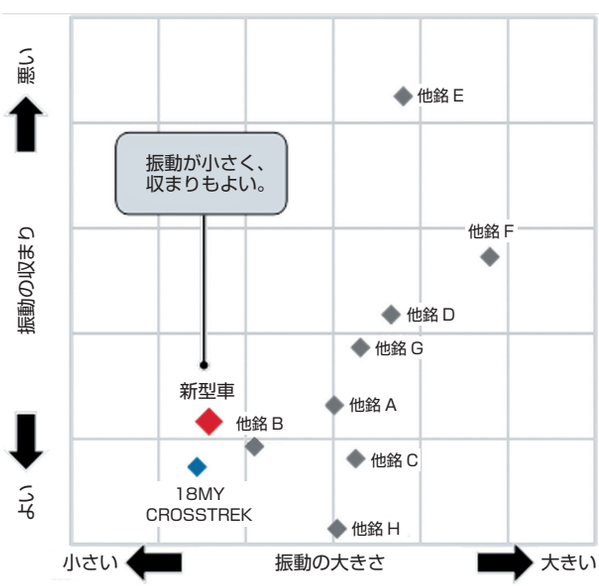


図５　乗心地評価（路面凹凸による振動の大きさと収束の速さ）

3.1.3　安心感のあるブレーキフィールと制動性能

Plug-In Hybrid化に伴い、回生ブレーキとメカニカルブレーキを組み合わせた電子制御ブレーキシステムを採用。走行の状況によって、4輪すべての減速力を利用する回生ブレーキと、メカニカルブレーキの制動力を緻密に制御しているが、ガソリン車同様に安心感のあるブレーキフィールを得られるよう、こだわってチューニングを行った。

ドライバーの意思に忠実な減速度の立ち上がりと、剛性感の高いしっかりとしたフィーリングを実現し、ドライバーにとって自然で違和感がなく、高い信頼感を得られるブレーキとしている。

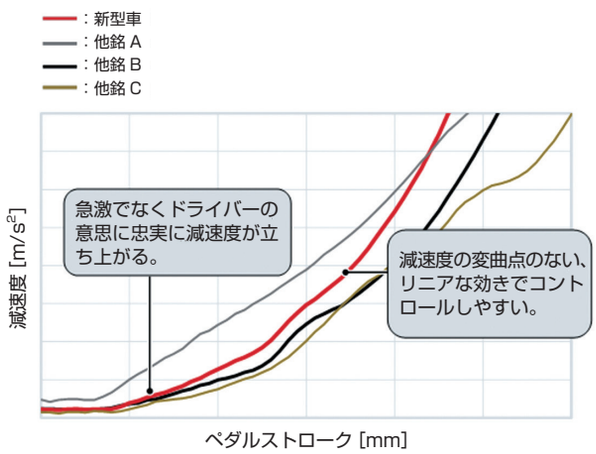
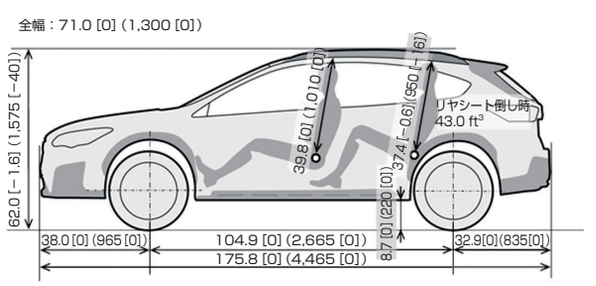


図６　Plug-In Hybrid モデルのペダルストロークと減速度

3.2　Point 2
使い易く快適な室内空間と多用途性が毎日を愉しくさせる

Plug-In Hybrid 化に伴い、高電圧関連部品や High voltage battery など、ガソリン車にはない部品を多数搭載しているが、使い勝手のよさや快適さへの影響を最小限とし、お客さまのアクティブライフをより充実させる多用途性を確保したパッケージングを実現している。



単位：in（mm）、[ ] 内の数字はガソリン車比

図７　主要諸元

3.2.1　乗る人すべてに優しい快適な空間の創出

CROSSTREK の大きな魅力である多用途性を実現する、クルマへの乗り降りのしやすさや居住性につい

てはCROSSTREK HYBRIDにおいても踏襲している。Power Control Unit（PCU）を搭載した影響を最小限とすることで、他銘比上位の広さ感を確保し、座り心地がよいように最適チューニング。Plug-In Hybrid車であることを意識せずに快適に過ごしていただけるようにした。

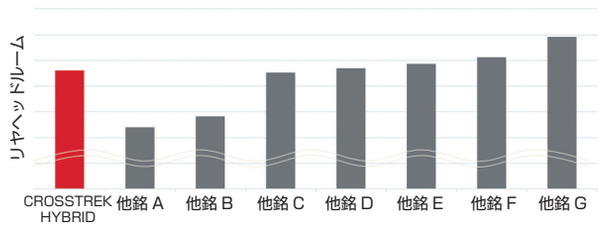


図 8　リヤヘッドルームの比較

3.2.2　アクティブライフを充実させる荷室の使い勝手

今回、High voltage batteryを荷室下に搭載しているため、ガソリン車と比べると荷室容量は減少している。しかし、バッテリーや高電圧部品の小型化などにより荷室面の上昇は最小限となるように工夫を施した。6：4分割可倒式の右側リヤシートを倒せば、ゴルフバッグ3個を搭載できるだけでなく、旅行鞄などを置けるスペースを確保。さまざまな荷物を積んでキャンプやアウトドアスポーツに出かけられるように配慮している。

図 9　荷室

表 1　荷室容量

		ガソリン車（参考）	Plug-In Hybrid*車
荷室容量（SAE）[ft³]	シートバック起立時	20.8	16.1
	シートバック倒し時	55.3	43.0

＊：新型車の公称値は諸元表を参照してください。

3.2.3　荒れた山道や雪道でも安心の最低地上高

さまざまな道を力強く、かつ安心して走破できるSUVとして、CROSSTREK HYBRIDでもガソリン車と同様の最低地上高を確保。Plug-In Hybrid車であることを気にせずに、雪道をはじめ、未舗装路などのアウトドアシーンでも余裕の走破性を発揮できるようにしている。

3.3　Point 3
ダントツの安全性能が大切な人との愉しい時間を守る

万一のときだけでなく、安全な運転を支える技術まで、SUBARU独自の総合安全思想に基づいて、ガソリン車と同等にダントツの安全性能を実現している。

3.3.1　優れた視界性能や疲れにくいシートなどで安全の基本を確保―0次安全

周囲の環境を正確に把握するための視界性能や、疲労を軽減するシートについては、Plug-In Hybrid化による影響はなく、ガソリン車と同等の性能を確保。

さらに、ドライバーが運転操作に集中しやすいインターフェースについても、お客さまにわかりやすく、直感的に操作いただけるものとしながら、バッテリーの充電状態など、Plug-In Hybridシステムの状況などをお客さまに提供している。

さらに、今回Plug-In Hybrid化に伴い、バッテリーの充電状態など、Plug-In Hybridシステムの状況をお客さまに提供するマルチインフォメーションディスプレイやマルチファンクションディスプレイ（MFD）の表示を追加しているが、ドライバーが運転操作に集中しやすいように開発している。

3.3.2　SUBARUならではの先進安全装備―予防安全

先進の運転支援システムには、ガソリン車と同様に最新のものを多数搭載。

ステアリング連動ヘッドランプ（SRH）、ハイビームアシスト（HBA）、後側方警戒支援システム（BSD/RCTA）、後退時自動ブレーキシステム（RAB）、EyeSightを、CROSSTREKの最上級グレードとして全車に採用している。

さらに、コンビネーションメーター上部のDriver Assist IndicatorによってEyeSightの状態や警報を把握できる機能をSUBARU初搭載。EyeSightの情報をよりわかりやすく提供することで、安全なドライビングをサポートできる。

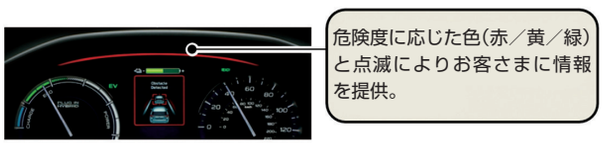


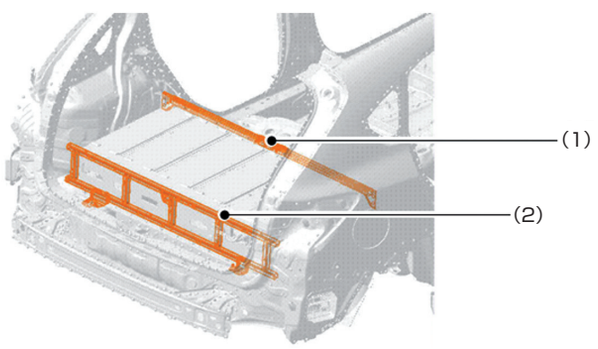
図 10　ドライバーアシストインジケータ

3.3.3　万一の衝突時でも電気から乗員を守る、厳しい安全基準とバッテリー保護

後方または側方から追突されてもHigh voltage

batteryは大丈夫なのか、衝突事故に巻き込まれたときに感電や発火は大丈夫かなど、EVやPlug-In Hybrid車などに対して不安を持たれるお客さまはまだまだいらっしゃると考える。市場で実際に起こりうる衝突形態からHigh voltage batteryを保護するため、衝突時のエネルギー入力荷重を軽減させる構造としバッテリーの前後にリヤフロアバーフロントとリヤフロアバーリヤの保護バーを採用した(図11)。さらに堅固なケースでより保護することで活電部の損傷を防ぎ発火することがないように安全対策を施し、側面および後面衝突などでHigh voltage batteryの高電圧部位に荷重を入力させない高剛性のバッテリーケースを専用設計した(図12)。

尚、バッテリーケースはアルミ押出材を多用することで小型化を図りながら強度を確保すると共に荷室スペース確保の両立を実現した。また、スチールや樹脂などを適材適所に使用し効率的に組み合わせることで軽量化と燃費の向上を図った。



(1) リヤフロアバーフロント
(2) リヤフロアバーリア

図 11　衝突のエネルギーから High voltage battery を守るリヤフロアバー

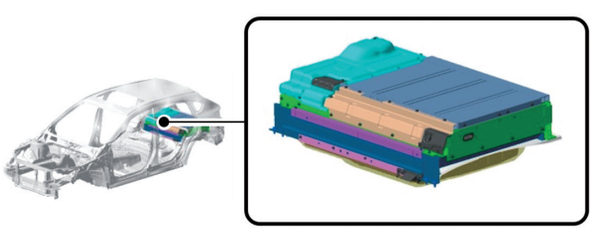


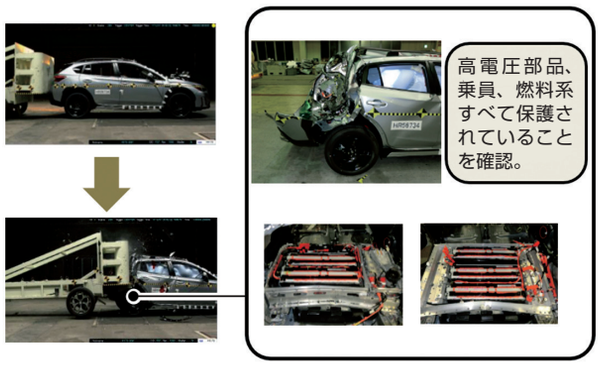
図 12　バッテリーケース　レイアウト及び全体像

合わせて、安全性能を検証するためにさまざまな衝突試験を繰り返し、安全・安心なPlug-In Hybrid車を開発した。

3.3.4　Plug-In Hybrid車でも高い衝突安全性がすべての乗員を守る―衝突安全

衝突安全性能については、スバルグローバルプラットフォームの安全性の高い骨格を基本として、Plug-In Hybrid化に伴う重量アップに対応した車体フレーム強化や、High voltage batteryなどの追加部品を保護する車体骨格の採用など、スバルグローバルプラットフォームをPlug-In Hybridシステム搭載に対応した構造に進化させた。

・Charge port doorの設定などに伴いサイドアウターパネルの専用設計。
・ダッシュパネルやサイドメンバー、リヤまわりの専用設計。



＊：法規と情報公開基準での各種試験条件をクリアできることを検証したうえで実施している、SUBARU 独自の試験。車体フレームではなく、直接荷室に当てる条件で実施・検証。

図 13　オーバーライド後突試験結果*

CROSSTREKにて高い評価を得ている衝突安全性能をCROSSTREK HYBRIDにおいても継承し、クラストップの性能を実現した。

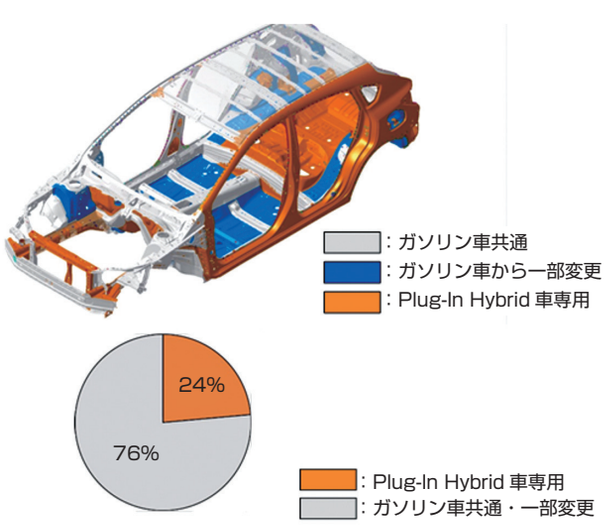


図 14　Plug-In Hybrid 車新規部品（重量比）

4.　先進性と高機能感あふれるデザインと装備

特別感のあるデザインと最先端のコネクティビティで、先進性と高機能感を際立たせたCROSSTREKの最上級モデル。

先進性と高機能感を際立たせた特別感のあるデザ

インと、SUBARU最先端のコネクティビティにより、CROSSTREKの最上級モデルにふさわしい上質なカーライフをお届けする。

4.1　Point 1

先進性と高機能感を際立たせた特別感のあるデザイン

CROSSTREKが持つラギッドさと、先進性と高機能感を表現したアイテムを効果的に配し、最上級モデルにふさわしい特別感を表現し、「Fun Adventure」の拡張をひと目で感じていただけるデザインとした。

(1) フロントグリル
(2) ヘッドランプのプロジェクターリング
(3) フロントバンパーカバー
(4) フォグランプベゼル
(5) サイドシルスポイラー
(6) ルーフレール
(7) リヤスポイラーの翼端板
(8) Charge port door
(9) レターマーク
(10) ホイール
(11) インストルメントパネル加飾
(12) ドアトリム加飾
(13) ステッチ色
(14) センターコンソール
(15) シート表皮
(16) マルチファンクションディスプレイ（MFD）
(17) コンビネーションメーター

図 15　専用部位

4.1.1　エクステリアデザイン

エクステリアの要所に配した専用アイテムの形状とコンビネーションでボディの厚みとラギッドさを表現し、色とマテリアルで先進性や上質感を表現した。エクステリア全体をコーディネートすることで存在感と特別感を際立たせるデザインとしている。

(1) ヘッドランプのプロジェクターリング

ヘッドランプのプロジェクターリングにテーマカラーであるブルー色のクリア塗装を採用。Plug-In Hybrid車の持つ先進性を表現した。

(2) フロントグリル

プロテクト表現のフロントグリル外枠はそのままに、横バー下側に金属調塗装を採用。Plug-In Hybrid車の持つ先進性を表現した。

図 16　エクステリア

図 17　ヘッドランプのプロジェクターリング

図 18　フロントグリル

(3) フォグランプベゼル

フォグランプベゼルにLシェイプの金属調加飾を採用。ヘッドランプのCシェイプとつながりを持たせたコンビネーションで、厚みのある力強いフロントフェイスを表現した。さらにクロムメッキのリングを採用することで、CROSSTREKらしいラギッドさと特別感を際立たせている。

図 19　フォグランプベゼル

(4) フロントバンパーカバー

フロントバンパーカバーに金属調加飾を採用。上質感とともに、厚みのある力強いフロントフェイスを表現した。

図 20　フロントバンパーカバー

(5) サイドシルスポイラー

サイドシルスポイラーにも金属調加飾を採用。統一された上質感とともに、厚みのある力強いサイドビューを表現した。

図 21　サイドシルスポイラー

(6) ルーフレール

平置きタイプのルーフレールを採用。ルーフレールの両端をハイグロスブラック塗装とすることで上質感を表現し、レール部を艶消し黒とすることで機能性を表現している。

図 22　ルーフレール

(7) リヤスポイラーの翼端板

リヤスポイラーの翼端板にハイグロスブラック塗装を採用。リヤガラスまわりの造形に統一性を持たせることで上質感を表現している。

図 23　リヤスポイラーの翼端板

(8) レターマーク

フェンダー左右とリヤゲートにPlug-In Hybrid車専用のレターマークを採用。テーマカラーのブルーを基調に、レターマークの両端に充電プラグとソケットをイメージしたアイコンを配置した。Plug-In Hybrid車であることの存在感を表現するとともに、CROSSTREKらしい遊び心あふれるデザインとした。

図 24　レターマーク

(9) Charge port door

Charge port doorは、CROSSTREK HYBRIDを象徴する重要なアイテムである。

表面に配した「PLUG-IN」の文字と、リッド開閉時の操作部分に凹部のアイキャッチを設けることで機能性と遊び心を表現した。さらに、充電口まわりをシ

ンプルな造形とし、フロントグリルと同じ幾何学テクスチャーを効果的に配することで、充電口をプロテクトする機能性を表現。さらに、リッドを開けた際の2次外観にもこだわり、最上級モデルにふさわしい上質感を表現している。

図 25　チャージポートドア

4.1.2　ホイールデザイン

Plug-In Hybrid車専用の意匠にダークメタリック塗装＋切削光輝、18インチアルミホイールを採用。

XVらしい個性を継承した躍動感を切削光輝部で表現し、ダークメタリック塗装部はレイヤー表現で奥行き感と芯の通った力強さを表現し、立体感のあるデザインとした。

図 26　18インチアルミホイール

4.1.3　インテリアデザイン

インテリア全体をブルー基調でコーディネートし、最上級モデルにふさわしい、先進性と特別感のある室内空間とした。

ステッチ、トリム、シート表皮など効果的なアイテムにブルー色を採用。SUBARUのスポーティさとクリーンで先進的な高質感を表現する、最適な色艶と明度のコーディネートを施した。特にシートまわりは、ダークブルー色（ネイビー色）と濃紺、ライトグレーのハイコントラストとキャッチあるブルーステッチのコンビネーションで、CROSSTREKの持つラギッドさと特別感を際立たせている。

図 27　インテリア

(1) コンビネーションメーター

専用のコンビネーションメーターを採用。テーマカラーのブルー色を基調に、スポーティさと精緻さを表現し、このクルマの先進性と特別感を一番強く感じられるアイテムとなっている。

図 28　コンビネーションメーター

(2) インストルメントパネル加飾

インストルメントパネル加飾は、連続造形を際立たせるスムーズな立体表現と、テーマカラーのブルー色をマットな金属調に仕立てたコンビネーションにより、CROSSTREKの持つ世界観と先進性の融合を表現している。

図 29　インストルメントパネル加飾

(3) シート表皮

ファブリックとレザーの2種類のシートを設定。レザーシートでは、パーフォレーションにテーマカラーのブルー色を配し、ヘキサゴンパターンをグラデーションで表現。ドアを開けた瞬間、シートの存在感が特別に感じられ、上質さを際立たせている。

図 30　シート表皮

4.1.4　エクステリアカラー

先進性と上質感を表現した、全10色のエクステリアカラーを設定。専用の新規開発色も加え、先進性の中にも「Fun Adventure」を感じられる最適なカラーラインアップを実現した。

(1) ラグーンブルー・パール(新規開発色)

新規開発色としてラグーンブルー・パールを設定。クリーンでインパクトがあり、瑞々しく透明感のあるブルーで特別感を表現した。

図 31　ラグーンブルー・パール

新色のほか、図32の既存9色を設定した。

カラー	イメージ
クリスタルホワイト・パール	
アイスシルバー・メタリック	
ダークグレー・メタリック	
クリスタルブラック・シリカ	
ピュア レッド	
クールグレーカーキ	
サンシャインオレンジ	
ダーク ブルー パール	
クォーツブルー・パール	

図 32　既存エクステリアカラー

4.2　Point 2
最先端のコネクティビティによりさらにクルマとの生活を快適にする

最先端のコネクティビティとPlug-In Hybridシステムの融合で、次世代テレマティクスシステムの機能強化を実現。利便性や快適性の高いリモート機能の拡充や表示コンテンツの充実により、Plug-In Hybrid車ならではの特別なカーライフをお届けする。

4.2.1　テレマティクスでPlug-In Hybrid車の魅力が高まる

次世代テレマティクスシステムの機能強化で、空調や充電の設定を車載スイッチだけでなく、スマートフォンでの遠隔操作を可能とした。快適な室内温度とバッテリー満充電の状態でお客さまをお迎えし、EV走行を最大限に活用していただけるなど、Plug-In Hybrid車の魅力をさらに引き立てている。

(1) Remote Battery Charging Timer

スマートフォンでの遠隔操作により、クルマに乗り込まなくても充電できるRemote Battery Charging Timerを採用。クルマから離れた場所にいながら、充電の設定変更や、充電時間・充電結果を確認できるようにした。充電の煩わしさを感じることなく、手元のスマートフォンで簡単に充電の管理がでる。

(2) Remote Climate Control

スマートフォンやキーでの遠隔操作により、クルマに乗り込まなくても空調を稼働させることができるRemote Climate Controlを採用。夏はクルマに乗り込む前に車内を涼しくし、冬は車内を暖かくするとともにデフロスターやリヤデフォッガーでガラスの曇りを取ることもできる。また、設定温度や風量、吹き出し口なども選択でき、きめ細かな空調制御を実現。快適な室内空間でおもてなし感を演出し、クルマに乗り込んだ瞬間から快適なドライブが始まる。

4.2.2　Plug-In Hybrid車ならではの表示コンテンツ

コンビネーションメーターやマルチファンクションディスプレイ(MFD)に、Plug-In Hybrid車専用の表示コンテンツを用意。Plug-In Hybrid車の特別感や、特有の充電に関する情報をドライバーに提供し、

Plug-In Hybrid車ならではの先進性や高機能感を演出している。

(1) コンビネーションメーター

①Power Meter

システムの出力やエネルギーの回収状況をリアルタイムに表示するPower MeterをSUBARU初採用。ドライバーが指針をECOのエリアに保って運転することで、環境に配慮した状態で走ることができる。

図33　パワーメーター

コンビネーションメーター内の照明の点灯色や点灯状態で、Plug-In Hybrid車特有の車両モードや充電状況をドライバーにお伝えするDriver Assist IndicatorをSUBARU初採用。この照明はアイサイトアシストモニターと同等の機能も兼ね備え、Plug-In Hybrid車の先進性と高機能感を強く感じることができるとともに、Plug-In Hybrid車特有の充電機能を分かりやすく表現している。

Hybrid battery charge mode

Hybrid battery save mode

“Lane Departure” warning

“Obstacle Detected” warning

図34　ドライバーアシストインジケータ

(2) マルチファンクションディスプレイ(MFD)

① Welcome画面

クルマに乗り込みPlug-In Hybridシステムを起動すると、マルチファンクションディスプレイ(MFD)にWelcome画面を表示。特別なクルマならではのおもてなし感を演出している。

図35　ウェルカム画面

②走行関連画面

エネルギーの流れやHigh voltage batteryの残量をリアルタイムに表示できるようにし、お客さまが直感的に走行状態を把握できるようにしている。

EV走行時

ハイブリッド走行時

回生走行時

図36　走行関連画面

③充電関連画面

充電に関する情報をマルチファンクションディスプレイ(MFD)やスマートフォンに表示することで、車内でも車外でも充電状況や充電予定などの把握を可能とし、機能の分かりやすさと先進性を表現している。

充電中画面

次回充電予定画面

図37　充電関連画面

5. まとめ

これまでのクルマでは経験したことのない体験や日常生活の変化により、もっと新しいことにチャレンジしたくなり、新たなライフスタイルが生まれるクルマ。そんな愉しい冒険のパートナーとなる存在が、SUBARU初となるPlug-In Hybridシステムを搭載したCROSSTREK HYBRIDです。

お客さまには、さらにフィールドを広げ、「Fun Adventure」の未来に向けて踏み出したSUBARUならではのPlug-In Hybrid車とともに、ぜひ、新たなライフスタイルを愉しんでいただきたいと思います。

以降、各システムの紹介です。

6. 各システムの紹介

6.1 ハイブリッドシステム

6.1.1 ハイブリッドシステム開発の狙い

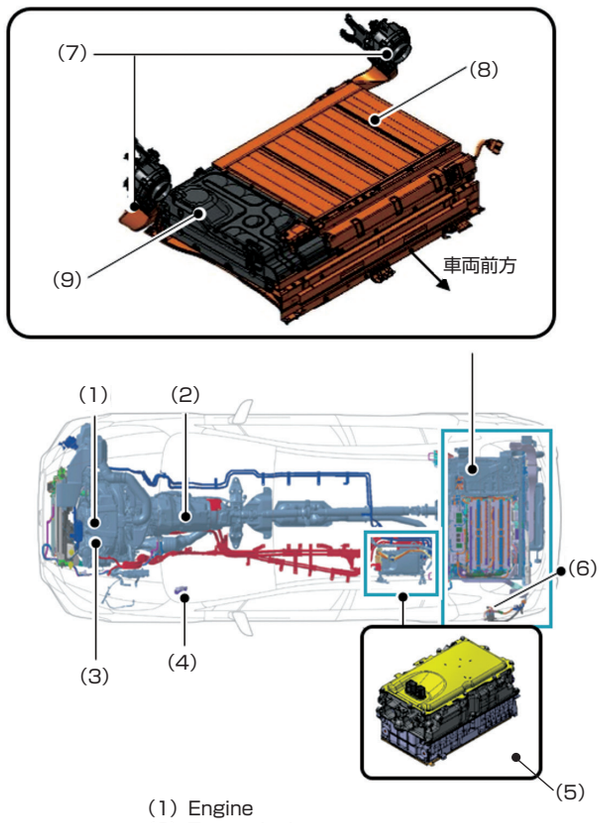
アトキンソンサイクル化した水平対向エンジンにシリーズパラレルハイブリッドシステムを組み合わせた、SUBARUならではのPlug-In Hybridシステムを採用。大容量のリチウムイオンバッテリーとPlug-In充電機能、高出力モータージェネレーターを搭載することで、従来のハイブリッドシステムに対してモーターのアシスト領域、EV走行領域、EV走行可能距離を大きく伸長させ、①加速性能の向上、②低排出ガスの実現(EV走行時はゼロエミッション)、③優れた静粛性、④低燃費、⑤走破性の向上、⑥使い勝手の向上の魅力を創出した。

表2 システムの仕様

満充電時EV走行距離	17 mile
最高EV速度	65 mph
電池定格電圧	351.5 V
電池総電力	8.8 kWh
充電時間 120 V/240 V	約5 h/ 約2 h

6.1.2 ハイブリッドシステムの構成

エンジンは、ボクサー4、トランスミッションは縦置きを採用。シンメトリカルAWD構造となってる。エンジン、ギヤボックス、電子制御ブレーキシステム、電動エアコンは、エンジンルーム内に搭載。高電圧バッテリー、充電器は、荷室下に搭載。PCU、密閉燃タンは、リヤシート下に搭載した。



(1) Engine
(2) Transmission
・motor & generator－1
・motor & generator－2
・PS Planetary Gear
(3) Electric Compressor
(4) HV-control unit
(5) PCU
・DCDC converter
・Inverter
・Boost converter
(6) Charge port
(7) Battery cooling fan
(8) High voltage battery
(9) On Board Charger

図38 ハイブリッドシステムの構成

6.1.3 ハイブリッド制御

(1) システムの動作モード

ドライバーのスイッチ操作で、Plug-In Hybridシステムの動作モードをNormal mode/Hybrid battery save mode/Hybrid battery charge modeの3種類に切り替えられるようにした。

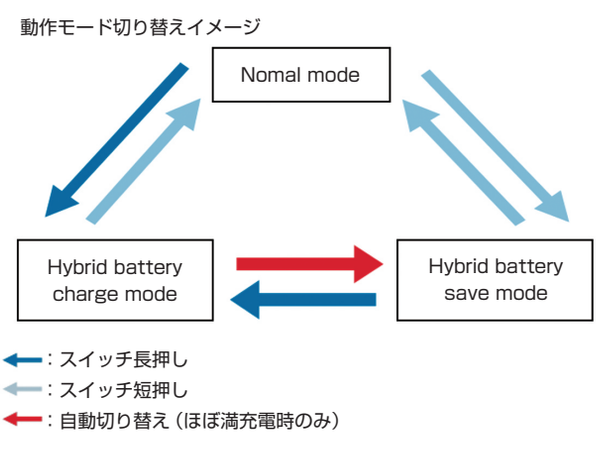


図39 ハイブリッド制御モード

①Normal mode

Normal modeでは、High voltage batteryの充電量の推移に従って、EV走行およびハイブリッド走行を自動で行う。

・High voltage batteryの充電量が多い場合は、積極的にEV走行を行う。ただし、高負荷時や高速走行時はエンジンが自動的にかかる。
・High voltage batteryの充電量が不足したときは、エンジンとモーターを併用したハイブリッド走行を行う。ただし、回生などで充電量が回復すれば再びEV走行を行う。

② Hybrid battery save mode

Hybrid battery save modeでは、High voltage batteryの充電量を減らすことなく走行する。これにより、移動先でEV走行をしたいときなどに備え、電力をためた状態を維持することが可能となる。

・High voltage batteryの充電量が多い場合でも、EV走行を控えてハイブリッド走行をすることで電力を蓄積したままにする。

③ Hybrid battery charge mode

Hybrid battery charge modeでは、走行しながらHigh voltage batteryを積極的に充電する。これにより、移動先でEV走行をしたいときなどに備え、Plug-In充電に頼ることなく、エンジンの駆動力を発電にも使って充電することができる。

・走行時のエンジンの負荷を高めることにより、High voltage batteryの充電を行う。
・High voltage batteryが十分に充電されると、自動的にHybrid battery save modeに移行する。

(2) Plug-In Hybrid システムの作動例

Plug-In Hybridシステムは、High voltage batteryの充電量や走行負荷、動作モード(Normal mode/Hybrid battery save mode/Hybrid battery charge mode)などによって作動が変化するが、代表的な使用シーンでの作動例を紹介する。

① 発進時・軽負荷走行時

発進時や、低速走行や下り坂などでの軽負荷走行時は、エンジンを始動せず、High voltage batteryの電力によりMG2を駆動してEV走行する。

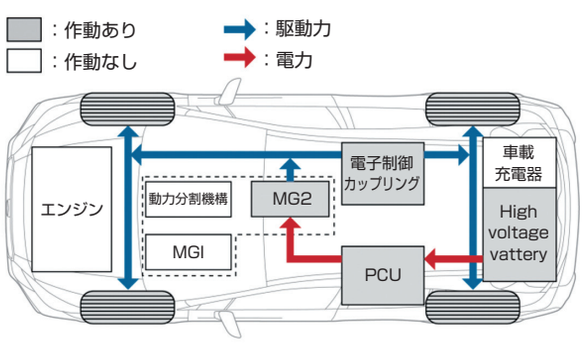


図40　エネルギーフロー（EV走行時）

② 高負荷走行時

高速走行や登り坂などでの高負荷走行時は、エンジンの駆動力および、MG1で発電した電力とHigh voltage batteryの電力を使って発生させたMG2の駆動力を、状況に応じて効果的に使用するハイブリッド走行をする。

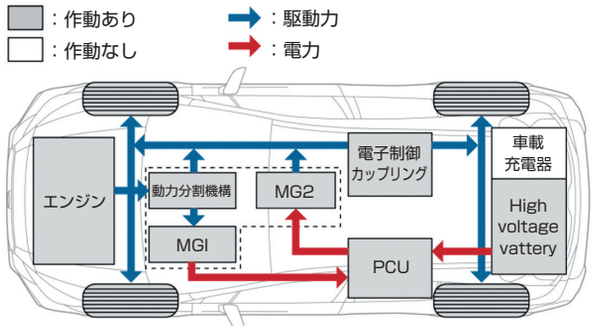


図41　エネルギーフロー（ハイブリッド走行時）

③ 減速・制動時

減速・制動時は、状況に応じてエンジンを停止し、制動エネルギーをMG2で電力に変換しHigh voltage batteryを充電する。

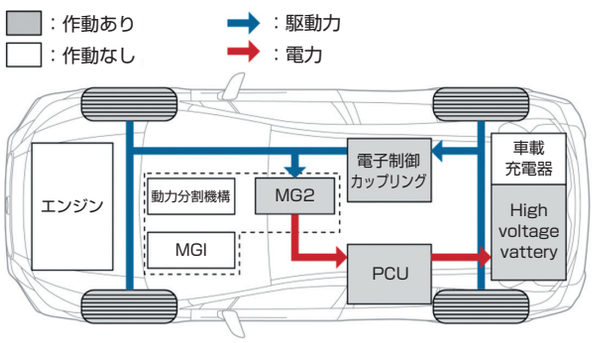


図42　エネルギーフロー（回生走行時）

④ Plug-In充電時

Charge portからのPlug-In充電時は、車載充電器を介してHigh voltage batteryに充電される。

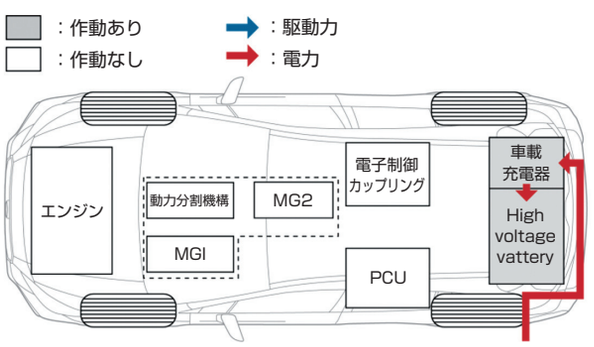


図43　エネルギーフロー（充電時）

6.1.4　ハイブリッド構成ユニット

(1) モーター

発電モーターとスターターモーターの働きをするMG1と、駆動モーターと回生ブレーキによる充電を行うMG2を電気式無段変速機のケースの中に内蔵した。

① モーター搭載概略

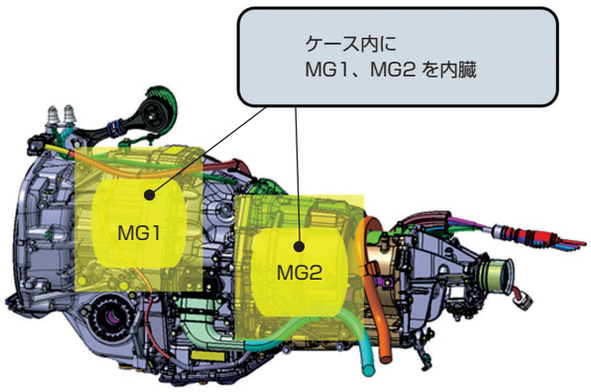
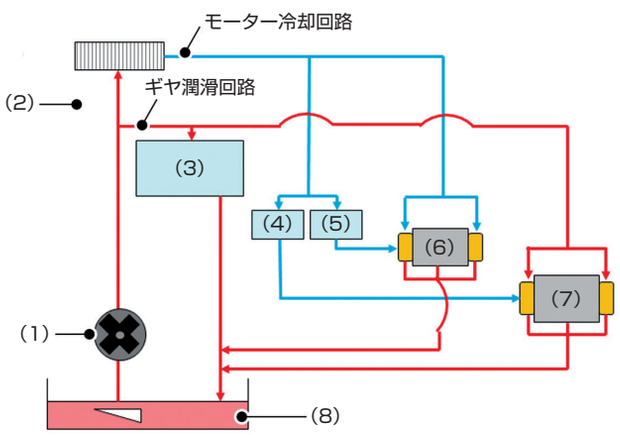


図 44　モーターの構成

表 3　モーターの仕様

	MG2 （発電・駆動用モーター）
最大トルク [lbf・ft (Nm)]	149 (202)
最大出力 [kW]	88

②モータージェネレーター冷却システム



(1) Mechanical oil pump
(2) Air-cooled oil cooler
(3) Transmission lubrication
(4) Intermediate shaft
(5) Input shaft
(6) MG1
(7) MG2
(8) Oil pan

図 45　モータージェネレーター冷却システム

(2) PCU

High voltage batteryから供給される電力を調整し、モーターの回転や出力トルクを制御するPCUをリヤシート下に搭載した。

・インバーター、昇圧コンバーター、DC/DCコンバーターの機能を一つのユニットに統合することで省スペース化を実現するとともに、トップレベルの電力変換効率を実現。車両の電費向上に寄与した。
・ユニットを床下搭載とすることで室内空間を確保する一方で、ボートけん引や過酷な道路環境下での悪路走破性などのSUV使用を考慮して、ボディカバーとアンダーカバーで覆い、さらに防錆剤による耐塩水害対策を実施した。

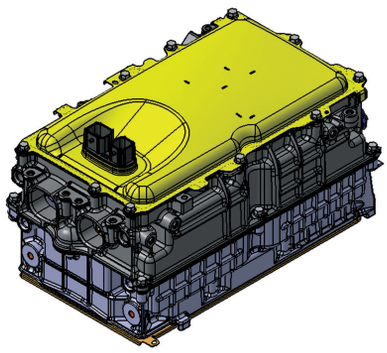


図 46　PCU

表 4　PCU の機能

機能	概要
インバーター	High voltage battery から供給される直流電力を駆動用モーターで使える交流に変換。また、発電用モーターから供給される交流電力を、High voltage battery に蓄積できるように直流に変換する。
昇圧 コンバーター	高出力モーターが性能を発揮できるように、High voltage battery から供給される電力を最大 650 V まで昇圧させる。
DC/DC コンバーター	High voltage battery から提供される電力をエンジン補機や電装部品の電源として使える電圧（12 V）となるように降圧する。

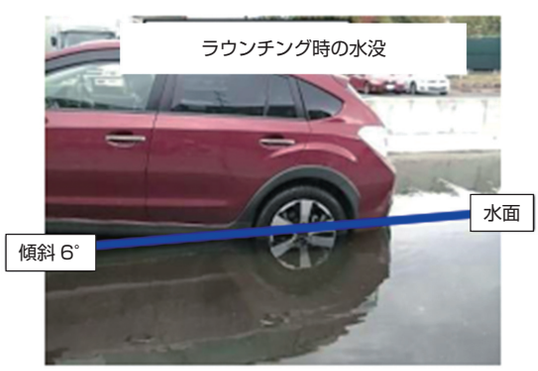
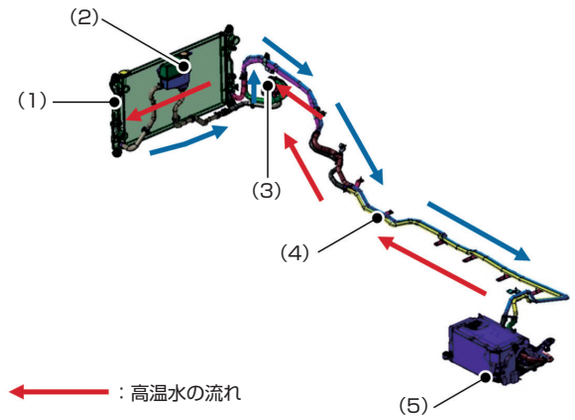


図 47　ボートラウンチング

① PCU冷却システム

エンジン冷却用クーリングシステムから冷却水経路を独立させた、水冷式のPCU冷却システムを採用した。

・PCU冷却用ラジエーターとエンジン冷却用ラジエーターを一体化した多機能ラジエーターを採用し、省スペース化による軽量化と冷却性能を両立した。
・PCU冷却用電動ウォーターポンプに小型・高出力なブラシレスモーターを採用し、長寿命化した。



(1) Multifunction radiator
(2) Reservation tank (For PCU cooling)
(3) Electric water pump (For PCU cooling)
(4) Underfloor piping structure
(5) PCU

図48　PCU冷却システム

(3) バッテリー

① High voltage battery

大容量のリチウムイオン電池を採用し、EV走行距離の拡大と燃費向上を実現した(表5、図49)。

・バッテリーモジュールを上下段(下段3モジュール、上段2モジュール)に配置し、高電圧ケーブルで直列接続。高電圧回路内には高電圧システムメインリレーおよびメインヒューズを搭載し、回路の導通遮断による安全性の確保および過電流通電時の部品保護を実現した。

・バッテリーモジュール上下間にインターロック回路付きサービスプラグを採用することで、システムメインリレーによる高電圧回路の遮断と合わせて物理的な遮断をも可能とし、安全性に配慮した。

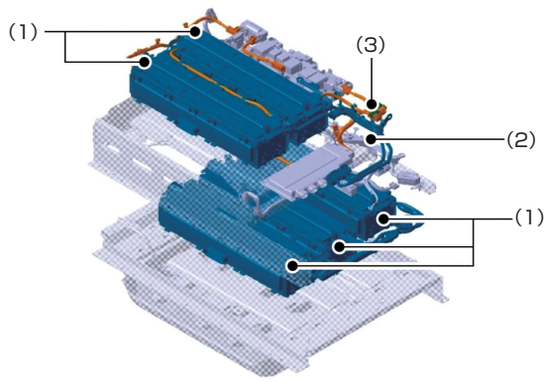
表5　バッテリーの仕様

電池種類	密閉型リチウムイオン電池
セル数×モジュール数	19セル×5モジュール
定格電圧［V］	351.5（3.7×95セル）
電池容量［Ah］	25

② High voltage battery冷却システム

大容量のHigh voltage batteryを効率よく冷却するため、2個の小型バッテリー冷却ファンで室内の空気を循環させるバッテリー冷却システムを採用した(図50)。

・冷却風は、温度が比較的安定している室内の空気をリヤピラー窓付近に配置した吸い込み口から取り入れることで、冷却性能を確保した。



(1) Battery module
(2) High voltage cable
(3) Service plug

図49　バッテリーシステム

・ダクトや吸い込み口を騒音・振動に配慮した構造とし、低騒音・低振動の車内空間を実現した。

・左右テールランプの裏へ小型のバッテリー冷却ファンを2個配置し、後面衝突安全および荷室確保を実現した。

・High voltage batteryの温度が高温になると、バッテリー冷却ファンが作動し、室内の空気をバッテリーパック内へ送り込むことでHigh voltage batteryを冷却する。

・冷却風は、バッテリーモジュールの上下段で独立した冷却経路を通り、荷室のマット下へ排出するようにした。

・吸い込み口にグリル、フィルターを採用し、異物の侵入に配慮した。

③ High voltage battery昇温システム

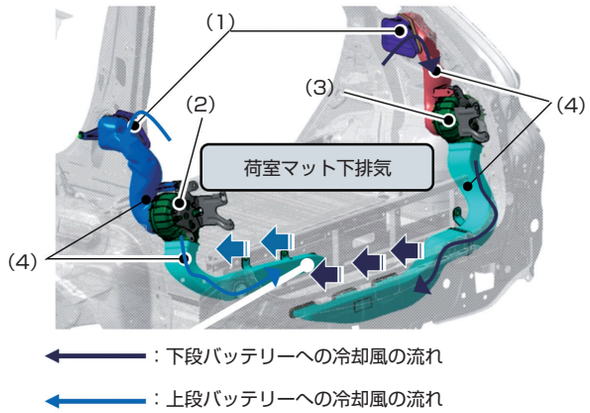
Plug-In充電時かつHigh voltage batteryが低温時の場合、High voltage battery内の上下段モジュールにそれぞれ設置されている電気ヒーターを駆動させ加熱するバッテリー昇温システムを採用した(図51)。

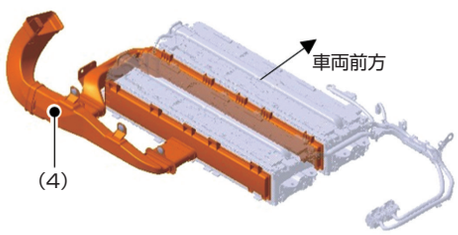
・低温環境下でのバッテリー出力の低下を抑制することで、EV走行中のエンジン始動回数の低減およびEV走行の航続距離を確保した。

・EV走行ができない外気温が低温時(約−10℃［14° F］未満)でも力強いハイブリッド走行を実現した。

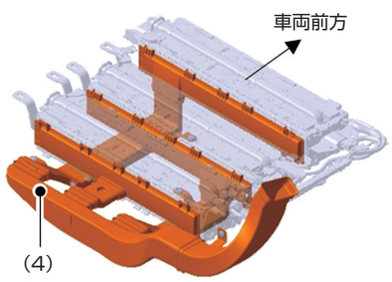
④ 排煙機構

安全を最優先事項と考えてHigh voltage batteryの機構設計を行うべく、電池セル製造時の微小内部短絡等に起因したバッテリ単セルから発煙するワーストケースを想定し、乗員の安全確保のために煙を荷室床下から車外に排出する専用ダクトを設置した(図52)。





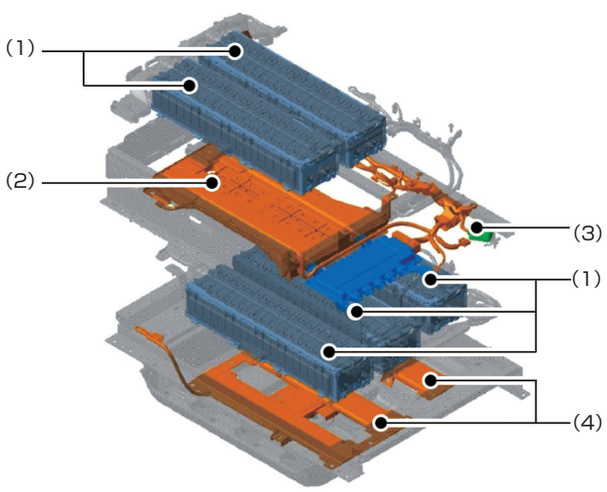
上段バッテリーモジュール



下段バッテリーモジュール

(1) Inlet filter
(2) Battery cooling fan (Left side)
(3) Battery cooling fan (Right side)
(4) Duct

図 50　バッテリー冷却システム



(1) Battery module
(2) Upper heater
(3) Heater relay
(4) Lower heater

図 51　バッテリー昇温システム

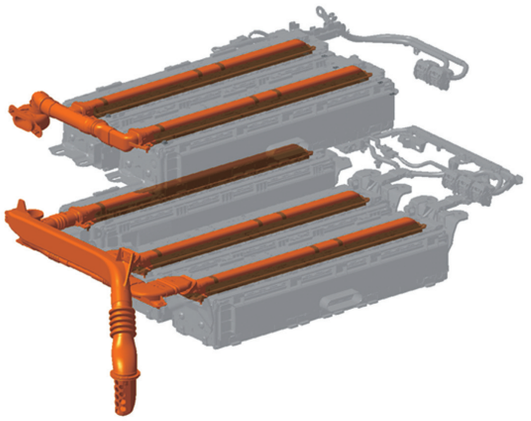


図 52　バッテリーの排煙ダクト

⑤ 被水・水没対策

荷室内で水をこぼしても、また水濠路を走行しても、上方および下方からバッテリパック内部に水浸入しにくい構造を採用した。

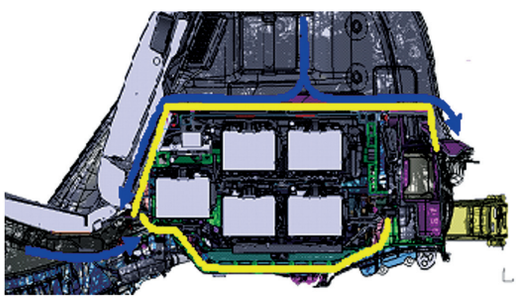


図 53　防水構造

(4) 車載充電器

① Plug-In 充電機能

AC 充電に対応の SAE J1772 type1 コネクターにより、外部 AC 電力を車載充電器で DC 電力に変換し、High voltage battery を充電する。

表 6　車載充電器の仕様

AC 240 V 16 A 充電時間	約 2 h
AC 120 V 12 A 充電時間	約 5 h
AC 240 V 車載充電器出力	3.3 kW

② 車載充電器冷却システム

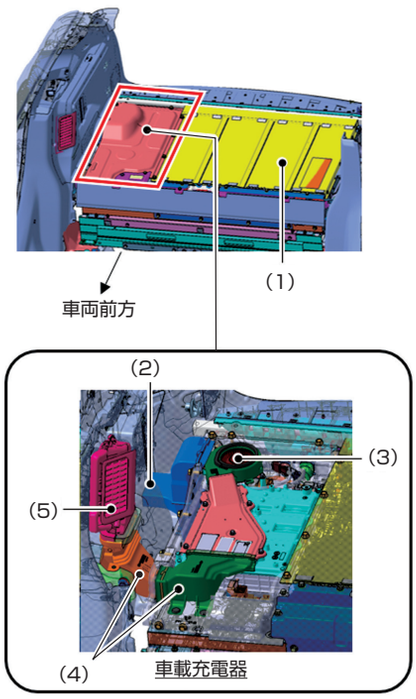
車載充電器に一体化された冷却ファンを採用し、省スペースと安定した充電性能を両立した。

(5) 充電口

① Charge port

車両左側後方に Charge port を採用した（図55）。

現在の充電状態または異常状態などがわかるインジケーターと充電中に車から離れる際に充電コネクター



(1) High voltage battery
(2) Air intake duct
(3) Charger cooling fan
(4) Exhaust duct
(5) Exhaust port

図 54　車載充電器冷却システム

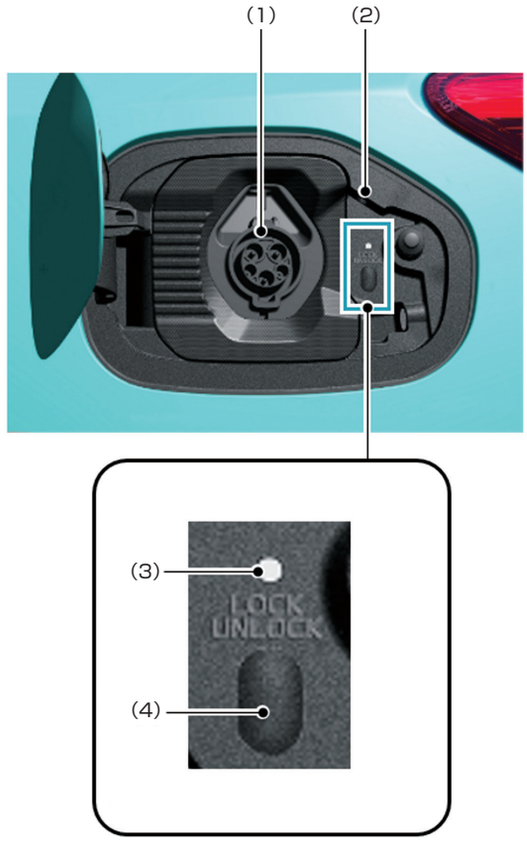
を施錠するCharge cable connector locking systemをPlug-In Hybrid車専用品として採用し、お客さまの使い勝手を向上した。

② Charging indicator

現在の充電状態または異常状態などを点灯、点滅により通知するインジケーターを採用した。

状態	インジケーター点灯パターン	
充電中		点灯
タイマー 待機中		充電コネクター接続後、 約15秒間点滅 （1秒間隔）
システム異常		点滅 （0.2秒間隔）

図 56　チャージングインジケーター点灯パターン



(1) Charge port
(2) Charge port light
(3) Charging indicator
(4) Charge cable connector lock switch

図 55　チャージポート

③Charge cable connector locking system

盗難防止のため、Charge port脇のCharge cable connector lock switchを操作することで、充電コネクターを施錠できるようにした。また、充電コネクターの施錠はアクセスキーとも連動しており、利便性の高いものとした。

④Charge port doorロック機能

・Charge portへのいたずらを抑止するため、Charge port doorを閉じているときは車両ドアとCharge port doorが連動して施錠されるようにした。
・Charge port doorは、車両のドアが解錠された状態でCharge port doorを押したときに解錠する。
・アクセスキーを携帯するとCharge port doorを単独で解錠できる、Charge port door用照合機能を採用した。車両が施錠されているが、Charge port doorのみを使用したいときの利便性を考慮した。

⑤Charge port light機能

Charge port doorを開いたり充電コネクターを抜き差したりすると、自動的にCharge port lightが点灯し、Charge portまわりの視認性を高めるようにした。

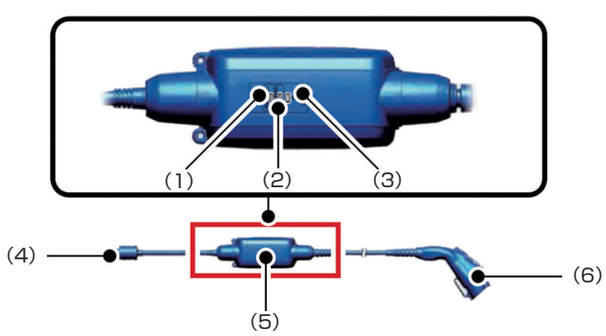
また、アクセスキーを携帯した状態で車両に近付くとCharge port lightは再び点灯するようにした。これにより、Charge portまわりの視認性を確保することで夜間の使用に不便がないように考慮した。

⑥車載用Charge cable

・充電コネクター、Charging Circuit Interrupting Device（CCID）およびplug-cordで構成されたAC 120 V充電用の車載用Charge cableを採用した。
・コンセント側の接触部の緩みによる発熱を検知するため、plug-cordに温度センサーを内蔵。安全性に配慮し、状況に応じて充電電流を抑制することで、plug-cordの発熱を抑えるようにした。
・CCIDに各種状況を表示するインジケーターを採用した。
・車載用Charge cableのケーブル長を7.5 mとし、充電環境に関わらず、充電コネクターをCharge portに接続しやすい長さを確保した。

表7　CCIDインジケーターの機能

インジケーター	点灯／点滅内容
電源インジケーター	電源接続時に点灯 電源プラグ発熱時に点滅
充電インジケーター	Plug-In 充電時に点灯 充電電流制限時に点滅
エラーインジケーター	故障時に故障内容により 点灯／点滅



(1) Power supply indicator
(2) Charging indicator
(3) Error indicator
(4) Plug-cord（Temperature sensor is built in)
(5) Charging Circuit Interrupting Device
(6) Charging connector

図57　車載用Charge cable

6.2　プラグインハイブリッドトランスミッション

6.2.1　開発の狙い

SUBARUのパワーユニットの特徴であるシンメトリカルAWDを継承し、スバルグローバルプラットフォームに対応したプラグインハイブリッドトランスミッションを新規開発した。

主に高圧バッテリーの充電、駆動用電力供給を行うモータ（MG1）と、エンジン補助動力源として状況に応じてエンジン出力をアシストするモータ（MG2）を内蔵。加えて､エンジン動力を分割する動力分割機構、モーターリダクション機構、減速、デファレンシャル機構で構成されたギヤトレインの採用により、クラストップの低燃費と優れた動力性能を両立した。

また、小型・軽量オイルポンプの採用とオイル潤滑回路の最適化により、優れた冷却・潤滑性能を実現。エンジンが停止しているEV走行時においても車軸側からポンプを駆動させることで冷却・潤滑性能が満足できる、ワンウェイクラッチを用いたツインドライブシステムを採用した。

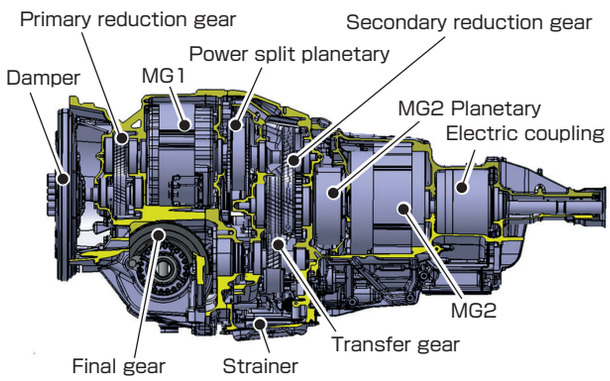


図58　プラグインハイブリッドトランスミッション

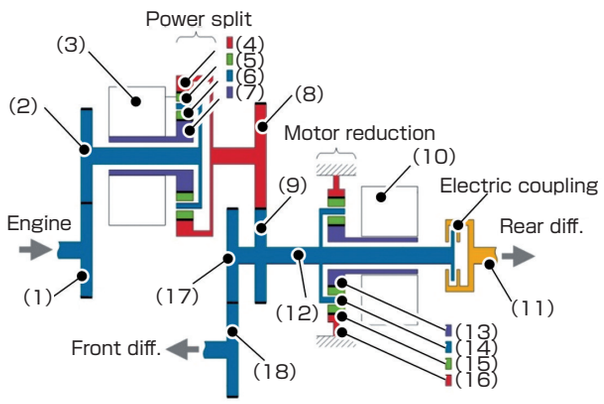
表8　主要諸元

Engine max torque		183 Nm
Motor max torque		202 Nm
Gear ratios	Power split planetary	Power generation : 0.278
		Drive : 0.722
	MG2 planetary	3.429
	Primary reduction ratio	1.057
	Secondary ratio	0.780
	Transfer ratio	1.000
	Final ratio	3.700

6.2.2　動力分割機構

動力分割機構は、エンジンの動力を動力分割プラネタリギヤの働きにより、MG1を発電機として駆動する動力と、車輪を駆動する動力に分割する。加えて、エンジン始動時には、本機構によってMG1の動力をエンジンへ伝えることでMG1をスターターとして機能させることが可能。図59に示すように、本動力分割機構のプラネタリキャリア（図59(6)）とエンジンは連結しており、エンジンから入力される動力はピニ

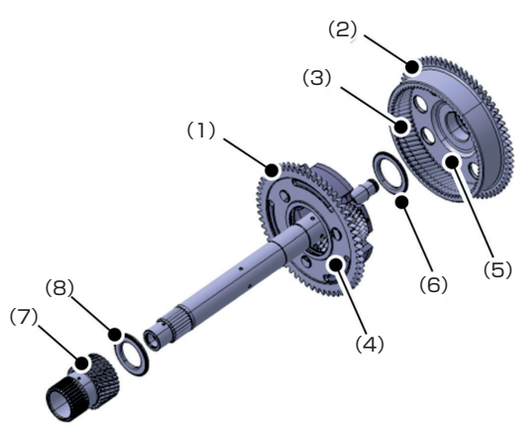
オンギヤ（図59（5））を通じて外周のリングギヤ（図59（4））と内側のサンギヤ（図59（7））に動力が分割される。リングギヤは出力軸と連結しているため、車輪に駆動力を伝達することができる。一方の、サンギヤはMG1に連結されているため、MG1による発電が可能となる。尚、本機構は、エンジン（プラネタリキャリア）とMG1（サンギヤ）の回転数を制御することにより、出力軸（リングギヤ）の回転数を変化させ、電気的に無段変速を行うことが可能となる。



(1) Primary reduction drive gear
(2) Primary reduction driven gear
(3) MG1
(4) Ring gear
(5) Pinion gear
(6) Planetary carrier
(7) Sun gear
(8) Secondary reduction drive gear
(9) Secondary reduction driven gear
(10) MG2
(11) Rear shaft
(12) Reduction shaft
(13) Sun gear
(14) Planetary carrier
(15) Pinion gear
(16) Ring gear
(17) Transfer drive gear
(18) Transfer driven gear

図59　ギヤトレイン構造

図60に動力分割機構の主要な部品である動力分割プラネタリギヤ周辺構造を示す。(1)(2)のオイルポンプドライブギヤと(3)リングギヤ、(4)のプラネタリキャリアと一体化させた構造を採用することで、軽量でコンパクトなレイアウトを実現した。

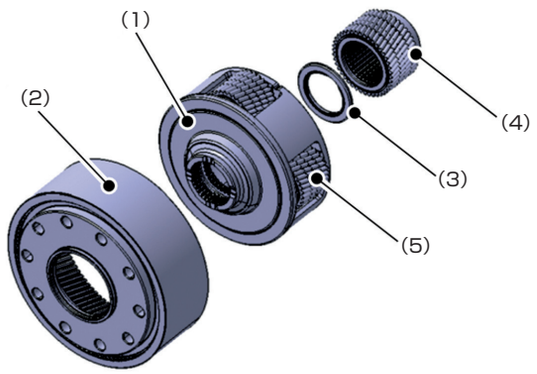


(1) Oil pump drive gear (E/G drive)
(2) Oil pump drive gear (Axle drive)
(3) Ring gear
(4) Planetary carrier
(5) Plate internal gear
(6) Thrust bearing
(7) Sun gear
(8) Thrust bearing

図60　動力分割機構

6.2.3　モーターリダクション機構

MG2が発生する駆動力を増幅させ、車両に適した動力性能を確保するため、図61に示すようなモーターリダクション機構を採用。プラネタリギヤ式の減速機構を採用することでコンパクトなレイアウトを実現した。



(1) Planetary carrier
(2) Ring gear
(3) Thrust bearing
(4) Sun gear
(5) Pinion gear

図61　モーターリダクション機構

6.2.4　オイルポンプ機構

エンジン停止時のEV走行においても車輪側からの動力を用いてポンプを駆動させ、必要な冷却性能、潤滑性能を満足させるため、図62で示すワンウェイクラッチを用いたツインドライブオイルポンプシステムを採用した。

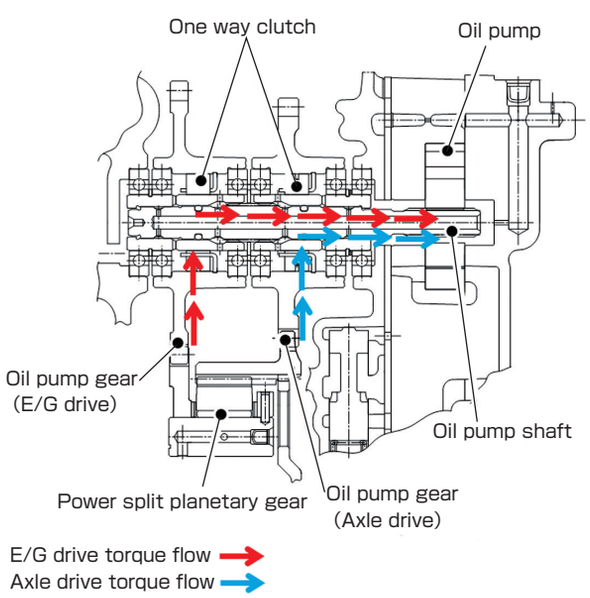


図62　ツインドライブオイルポンプ構造

6.2.5　フロントデファレンシャル機構

図63に示すようにクラウンギヤとデファレンシャルケースを溶接したフロントデファレンシャルを採

用。軽量化とオイル撹拌抵抗の低減を実現した。

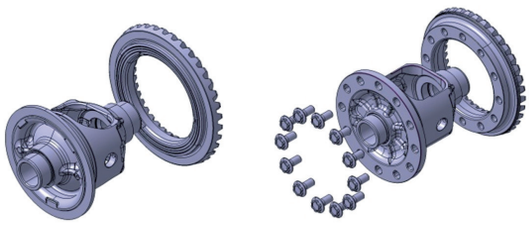


図 63　フロントデファレンシャル

6.2.6　バッフルプレート

トランスミッションの損失を低減させるべく、油没するフロントデファレンシャル、トランスファギヤ部にバッフルプレートを採用。オイルの流れを整流することで撹拌抵抗低減を実現した。

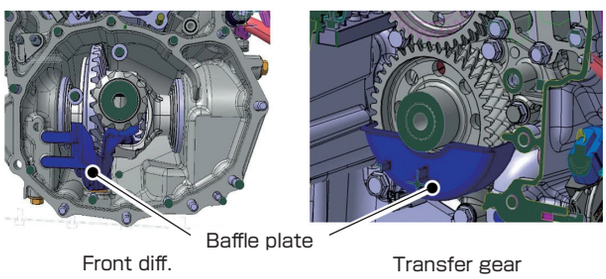


図 64　バッフルプレート

6.2.7　AWDシステム

SUBARUの特徴であるAWDシステムは、変速に油圧を用いない本トランスミッションに最適な、電子制御カップリングを採用することで後輪トルク配分を制御し、燃費性能と走行性能の両立を実現した。

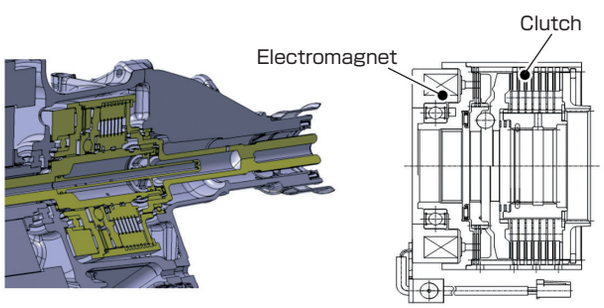


図 65　電子制御カップリング

6.2.8　ダンパ、トルクリミッタ機構

エンジンから入力される回転変動を吸収し、不快なNV発生を防止するため、図66に示すコイルばね式のダンパを採用した。加えて、衝撃的な過大トルクの入力を防止するトルクリミッタ機構を採用し、トランスミッション信頼性を確保した。

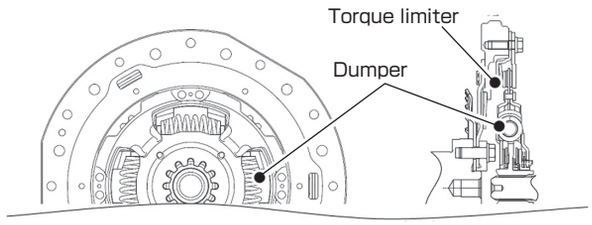


図 66　ダンパー＆トルクリミッター

6.3　エンジン

6.3.1　開発の狙い

Plug-in Hybridのエンジンは、環境性能のさらなる向上として省燃費化を加速させた。燃料の筒内直噴仕様化によって環境性能を向上させた他、ハイブリット車のエンジンとして専用設計を施し、内燃機関の熱効率を最大化する開発を行った。

IMPREZAの 2.0Lエンジンをベースとし、より熱効率向上を目指して専用開発を行った。EGR導入システムの改善や、フリクション低減となる専用アイテムの投入により38.5%の最大熱効率を発揮し、スバル最良の内燃機関として環境対応を進めることが出来た。出力諸元値は低下するが、モーター出力がもたらす動力性能と相まって、最上級グレードに相応しいトルク感のあるドライバビリティを発揮するエンジンに仕上がった。

吸気バルブの閉じるタイミングを遅くすることでアトキンソンサイクル化した。これにより、シリンダー内に残った膨張圧力を効率的に活用し、熱効率を向上した。アトキンソンサイクル化に伴い、ガソリン車用FB20から高圧縮比化(12.5→13.5)し、熱効率を向上した。

EGRガスの取り出し位置と導入位置の最適化、低圧損のEGR回路、およびポート毎のバラツキ低減を実現。これにより、大量EGRでも安定した燃焼を実現することができ、燃費の向上に貢献した。

タンブルジェネレーションバルブの開閉面積比を最適化し、広範囲での大量EGR導入も実現した。

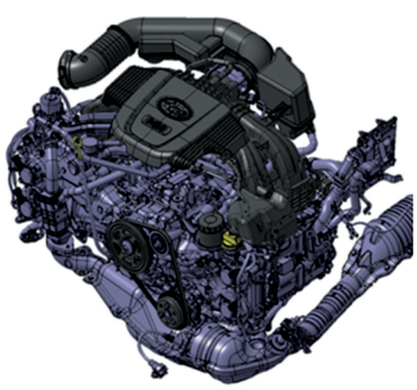


図 67　Plug-In Hybrid 用エンジン

6.3.2　エンジン諸元、諸性能

上述したエンジン諸元と性能は以下となる。

表9　エンジン諸元

Spec	FB20	
	ハイブリッド車用	ガソリン車用
気筒配列	水平対向4気筒	水平対向4気筒
ボア×ストローク	84×90 mm	84×90 mm
排気量	1,995 cm^3	1,995 cm^3
圧縮比	13.5：1	12.5：1
燃料供給	筒内噴射	筒内噴射
最高出力	103 kw（139 PS）	113 kw（153 PS）
@rpm	5,600	6,000
最大トルク	183 Nm（18.7 kgfm）	196 Nm（20.0 kgfm）
@rpm	4,400	4,000
可変動弁デバイス	Dual-AVCS	Dual-AVCS
ISS方式	MG1	スタータ

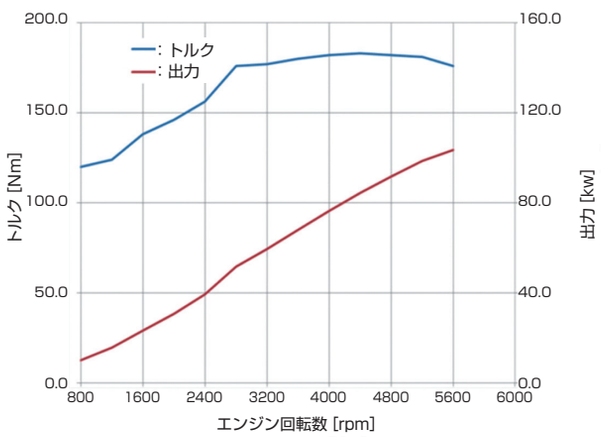


図68　エンジン性能曲線

6.3.3　熱効率の改善

(1) ピストン

エンジンのアトキンソンサイクル化に伴い、冠面を肉厚化したピストンを新設することにより圧縮比を13.5まで高め、燃費向上を実現した。

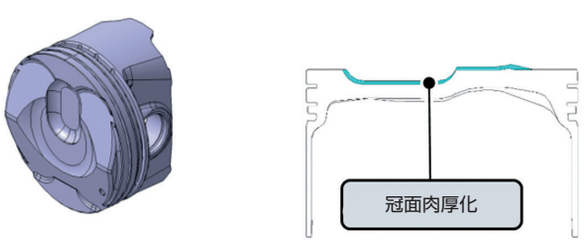


図69　ピストン

(2) EGRシステム

燃費向上のため、大量EGRシステムを採用。EGRの取り出し位置を変更(#3気筒→フロントエキゾーストパイプ集合部)し、さらに各部品の圧損低減と高効率EGRクーラーを採用した。これにより、大量EGRでありながら安定した燃焼が可能となり、冷却損失とポンピングロスを低減した。

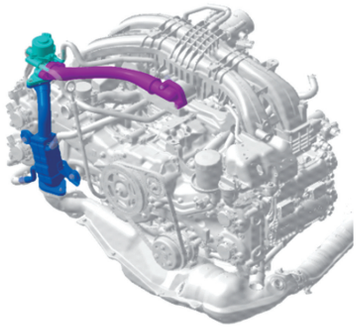


図70　EGRシステム

(3) インテークマニホールド

大量EGRを各ポートへ最適に分配するため、別体のEGR分配室を採用。吸入空気の主流部に直接EGRを導入することで、各気筒へのEGRガス分配の均一性を高めた。

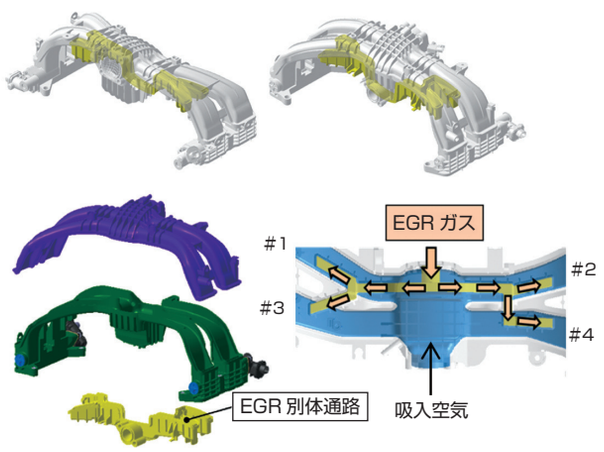


図71　インテークマニホールド

(4) タンブルジェネレーションバルブ

ポート隔壁の取り付け位置を変更し、タンブルジェネレーションバルブ閉時の開口面積を拡大。バルブ閉時でもタンブル流入量を確保し、EGR導入領域の拡大を図ることで燃費向上を実現した。

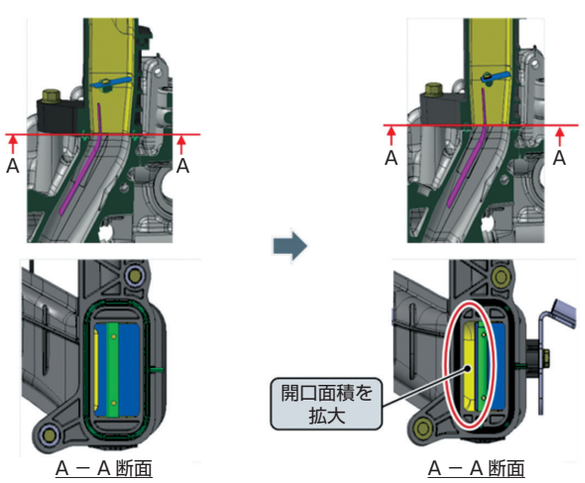


図72　タンブルジェネレーションバルブ

6.4　Plug-In Hybridにおけるブレーキと燃料システム

Plug-In Hybridでは、回生ブレーキを積極的に有効利用することによる、メカニカルブレーキとの協調制御が重要になる。また、Plug-In Hybridで北米排ガス（エバポ排出）規制に対応するために、新しい密閉燃料システムの採用が必須となった。この二つのシステムについて、紹介する。

6.4.1　ブレーキシステム

回生ブレーキとメカニカルブレーキを協調制御させる電子制御ブレーキシステムを採用した。

・ブレーキペダルの踏み込む速度やストロークに応じて、制動力を回生ブレーキとメカニカルブレーキに効率的に分配し、燃費が向上した。

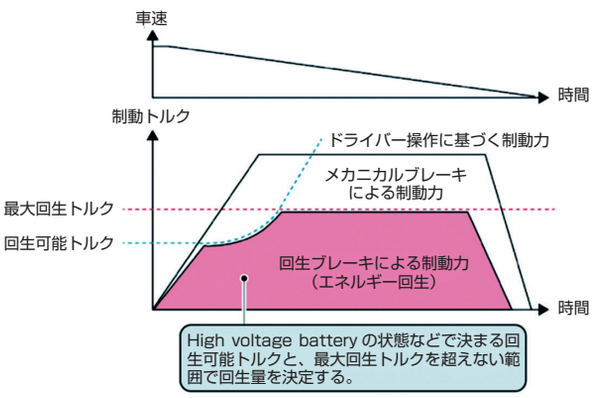


図 73　回生協調時の制動イメージ（回生先行時）

・回生ブレーキと油圧ブレーキの切替え時に発生する減速Gの変動を小さくし、安心感のあるブレーキフィーリングを実現した。
・全車速追従機能付クルーズコントロールによる追従走行中の減速時にも回生ブレーキを使用し、燃費が向上した。

全車速追従機能付クルーズコントロールのブレーキ制御機能を、ビークルダイナミクスコントロール（VDC）による制御から電子制御ブレーキシステムによる制御に変更した。

電子制御ブレーキシステムは次の制御を行っている。

・油圧（メカニカル）ブレーキ制御
・回生協調ブレーキ制御
・ブレーキアシスト制御
・クルーズコントロール（ブレーキ制御）
・プリクラッシュブレーキ制御

6.4.2　燃料システム

北米の排ガス（エバポ排出）規制に対応した密閉型樹脂製燃料タンクを開発した。

・燃料タンク横に走行モーターのパワーコントロールユニット搭載スペースを確保しながら、EV走行＋HEV走行での航続可能距離がガソリン車と同等になるよう、燃料タンク容量50Lを確保した。
・断熱材の採用および燃料タンクの強度の確保により、樹脂製燃料タンクでの密閉燃料システムを実現すると共に、ガソリン車に比べて約1 kgの軽量化を実現した。

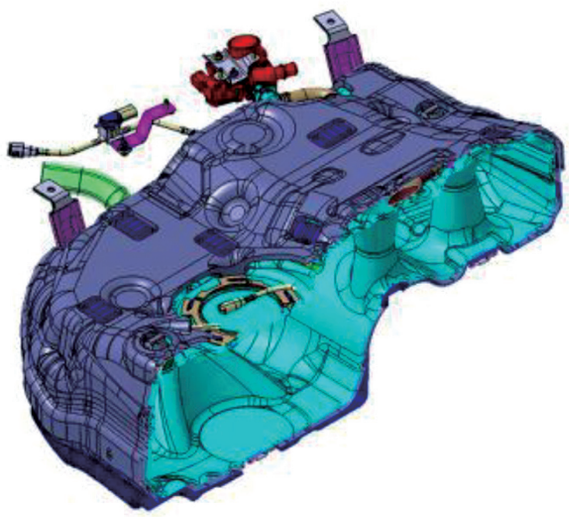


図 74　樹脂製燃料タンクカット図

従来のガソリン車では走行中、燃料蒸発ガスをエンジンで燃焼して処理し、排出ガス規制に対応している。それに対しPlug-In Hybrid車は、停車中およびEV走行中は燃料蒸発ガスを燃料タンク内に密閉し、エンジン走行時に燃料蒸発ガスをエンジンに送って処理する密閉燃料システムを採用することで、EV走行と排出ガス規制への対応を両立している。

密閉燃料システムでは給油時の燃料蒸発ガスの大気放出を防止し、かつ安全な給油作業が行えるように、フューエルドアの開操作を電子制御化した。インストルメントパネルの給油リクエストスイッチを押すと密閉バルブが開いてタンク内圧の減圧を開始し、タンク内圧が大気圧まで減圧されるとフューエルドアを開く。給油後、フューエルドアを閉じると密閉弁が閉じて燃料タンクは密閉状態に戻る。

6.5　テレマティクス（Telematics）

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

6.5.1　開発の狙い

テレマティクス基本機能＋利便性や快適性を高めるため、Plug-In Hybrid車専用機能を提供。

6.5.2　Remote Climate Control（ガソリン車のRemote Engine Start機能同様）

専用アプリを使って、遠隔操作で車両の電源をREADY ONにして空調設定を行うことで、夏場は冷房、冬場は暖房、デフロスターの作動による除氷作業も可能としている。

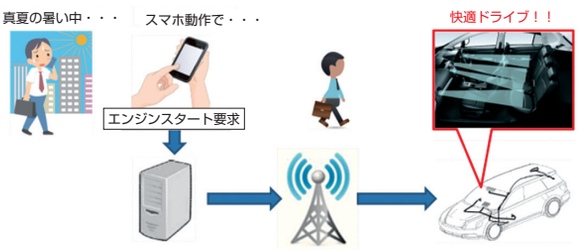


図 75　リモートクライメートコントロール

停車中の車のエアコンをアクセスキーやスマートフォン（テレマティクス）を利用して、リモートで作動させることができるRemote Climate Control機能を採用した。エンジンをかけずに暖房ができるヒートポンプシステムの採用により、ガソリンを消費せず排出ガスも出さないエアコン作動を可能とし、省燃費・環境性に配慮した。

- 炎天下や寒冷地の駐車状態から乗車するときの、暑い／寒いといったお客さまの不快感を低減する。
- 冬場はデフロスターやリヤウインドゥデフォッガーで曇りをとっておくことで、乗り込んですぐの出発を可能にする。
- 充電中でなくてもバッテリー残量があれば、Remote Climate Controlの使用を可能にした。
- 充電中であれば外部からの電力をRemote Climate Controlに使用するため、通常の走行でエアコンに使用されるエネルギーを減らすことを可能にした。
- Remote Battery Charging Timerの出発時刻設定との連動機能を採用した。Remote Battery Charging Timerと連動する設定にすることで、出発設定時刻の約10分前に自動でのエアコン作動を可能*とし、利便性を向上させた。
- 設定した出発時刻直前に充電を開始した場合は、充電が完了していなくても、充電とRemote Climate Controlによるエアコン作動を並行して行う。

6.5.3　Remote Battery Charging Timer

(1) Remote Battery Charging Timer

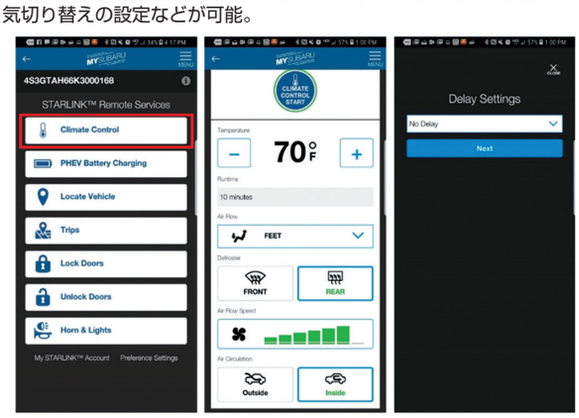
マルチファンクションディスプレイ（MFD）操作だけでなく、スマートフォンでの遠隔操作により、クルマに乗り込まなくても充電設定が可能である。

操作機器	操作の概要
スマートフォン ＊：画面は開発中のものにとき、実際とは異なる場合あり。	・作動条件が成立した状態であれば、リアルタイムでRemote Climate Controlの作動ができる。 ・温度設定、吹き出し口モード、ウィンドゥデフォッガー、風量、内外気切り替えの設定が可能。
アクセスキー (1)“A/C”	・作動条件が成立した状態で、アクセスキーの電波が届く範囲であれば、アクセスキーの“A/C”操作でRemote Climate Controlの作動ができる。 ・72°FのAUTO制御で作動する。
マルチファンクションディスプレイ（MFD） 	・作動条件が成立した状態で、あらかじめマルチファンクションディスプレイ（MFD）でタイマーを設定しておくことで、指定時間にRemote Climate Controlの作動ができる。 ・72°FのAUTO制御で作動する。

図 76　リモートクライメートコントロール操作機器と概要

Remote Climate Control*

温度設定、吹き出し口モード、ウィンドゥデフォッガー、風量、内外気切り替えの設定などが可能。



＊：画面は開発中のものにつき、実際とは異なる場合あり。

図 77　リモートクライメートコントロール スマートフォンでの操作画面例

(2) 充電目安時間表示機能

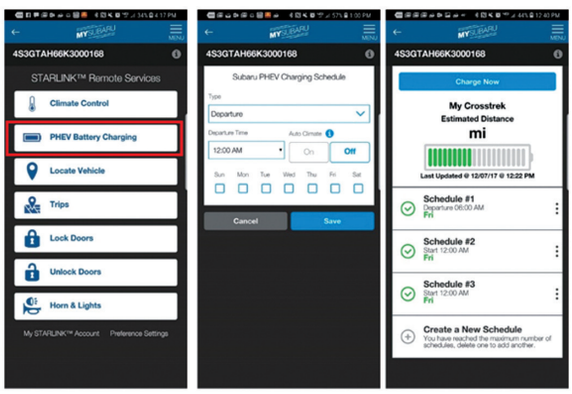
マルチファンクションディスプレイ（MFD）だけでなく、スマートフォンでお客さまが充電完了するまでの目安時間を確認可能としている。

(3) 充電結果のお知らせ機能

マルチインフォメーションディスプレイだけでなく、スマートフォンで充電が途中停止したときの要因を確認可能としている。

Remote Battery Charging Timer*

出発時刻に合わせて充電するモード設定、選択した曜日に繰り返し充電する設定、エアコン連動設定、Charge Now 設定などが可能。



＊：画面は開発中のものにつき、実際とは異なる場合あり。

図 78　リモートバッテリーチャージングタイマー
スマートフォンでの操作画面例

【著　者】

SUBARU CROSSTREK HYBRID
開発プロジェクトチーム

[商品企画本部]	井上　正彦
	金田　幸二
	末棟　寛士
[デザイン部]	磯村　晋
[コネクトビジネス部]	山本　憲一
[車体設計部]	熊谷　圭一
[シャシー設計部]	米川　弘文
[外装設計部]	田沼　敦史
[内装設計部]	濱田　好房
[電子プラットフォーム設計部]	全　大鎬
[電子商品設計部]	石田　武
[トランスミッション設計部]	林　辰哉
[エンジン開発推進PGM]	木島　誉
[電動ユニット設計部]	平本　真

新型「フォレスター」を発表
～「ドライバーモニタリングシステム」・「e-BOXER」搭載グレードが最も人気～

2018年6月20日

第５世代となる新型「フォレスター」を発表。
乗る人すべてが愉しく、快適な空間を共有できるよう、取り回しのよさと室内の広さを両立したパッケージングや、使い勝手の良い装備を採用。SUBARU共通のデザインフィロソフィー“DYNAMIC×SOLID”のもと、SUVらしいたくましさや、機能的で使いやすさが感じられるモダンキュービックデザイン*を表現しました。

＊：キュービックなシルエットがもたらす容積感と、左右フェンダーの張り出しによるスタンスの良さを併せ持ったフォルム。

Advance

X-BREAK

CROSSTREK HYBRID 用 パワーエレクトロニクス部品の搭載技術

Mounting Technology of Power Electronics Parts for CROSSTREK HYBRID

石 井 孝 憲[*1] Yukinori ISHII
谷 藤 光[*1] Hikaru TANIFUJI
平 田 尚 吾[*1] Shogo HIRATA
中 田 薫[*1] Kaoru NAKADA
藤 谷 貴 昭[*2] Takaaki FUJITANI
下 村 優 平[*2] Yuhei SHIMOMURA
木 本 恭 郁[*2] Yoshifumi KIMOTO
前 島 勇 太[*2] Yuta MAESHIMA

抄 録

米国に導入したCROSSTREK HYBRIDにSUBARU初のPlug-In Hybridシステムのパワーエレクトロニクス部品(Power Control Unit(PCU)、車載充電器)を搭載した。

PCUは車両パッケージ要件より後席床下へ搭載し、ラウンチング時の水没や悪路走行時に対応するため、防錆塗装を施すと共に専用接地プロテクタを設置した。車載充電器は荷室下High voltage battery内に搭載し、衝突安全と軽量化を両立させるため、マグネシウム合金を構造部品に採用した。また、冷却効率を高める吸排気ダクトを設置した。

本稿では、それらパワーエレクトロニクス部品の搭載技術について紹介する。

Abstract

We mounted power electronics parts (Power Control Unit (PCU), On Board Charger) of SUBARU's first Plug-In Hybrid system on CROSSTREK HYBRID to be introduced in the US.

With the vehicle packaging requirements to meet, we decided to install a PCU under rear seat. In order to cope with to submersion and rough road driving, antirust coating was applied and a protector were set.

The On Board Charger was installed inside the High voltage battery below the luggage room, and magnesium alloy was used as a structural parts to achieve both collision safety and weight reduction. Also, air intake/exhaust ducts were installed to enhance the cooling efficiency.

1. 搭載設計の狙い

1.1 PCU搭載設計の狙い

PCUはインバータ、DCDCコンバータ、昇圧コンバータ、モーターコントロールモジュールを一体化したユニットである。他銘の多くはPCUをエンジンルームや荷室に搭載している。しかし、CROSSTREK HYBRIDではエンジンルームに水平対向エンジン、荷室にHigh voltage batteryを搭載するため、PCUは後席床下搭載を選択した(図1)。この選択はSport Utility Vehicle(SUV)としての使い勝手や信頼性を低下させず、ガソリン車同等の性能実現を果たした。

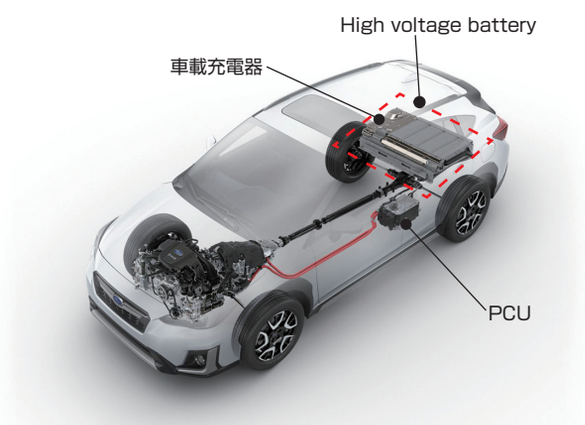


図1 PCUと車載充電器の搭載位置

1.2 車載充電器搭載設計の狙い

車載充電器は車両外部電源から供給される交流電力を直流電力に変換し、駆動用リチウムイオン電池へ出力するユニットである。CROSSTREK HYBRIDでは充電関連部品や駆動用リチウムイオン電池を車両後部に集中配置することで、部品点数の増加抑制及び軽量化を実現し、荷室スペースへの影響を最小限に抑えた。

＊1 電動ユニット設計部
＊2 SUBARUテクノ株式会社

2. PCU搭載技術

2.1 防錆性能向上

SUVの特異な使われ方として、ボート等を牽引し、湖等へ乗り入れるラウンチングモードがある(図2)。この時付着した塩水がPCU筐体を侵食し、故障に繋がる可能性があるため、CROSSTREK HYBRIDではPCU筐体に防錆塗装を施している(図3)。この塗装により未塗装のPCUに対して防錆性能を約3倍に高め、過酷な環境下での使用に応えている。

図２　ラウンチングモード

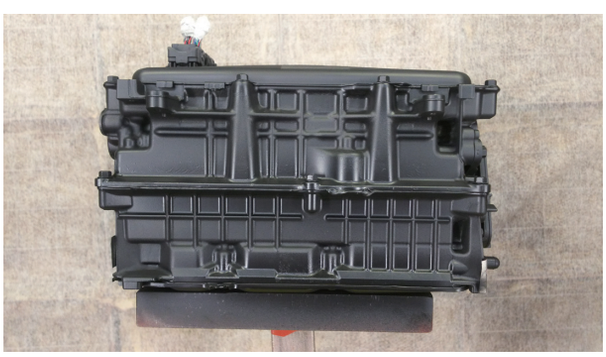


図３　防錆塗装後の PCU

2.2 悪路走破性の確保

河川敷等の悪路を走行した際(図4)、床下に搭載したPCUに玉石が接触し(図5)、故障する懸念がある。そこで、CROSSTREK HYBRIDでは専用接地プロテクタをPCU下面に設けた。この接地プロテクタとPCUを支える各ブラケットの構造により、玉石によるPCUへの攻撃を抑え、電動車でありながらSUVとしての悪路走破性や耐久性を確保している。

2.3 静粛性向上

PCUは電力変換の過程で、内部に搭載されたリアクトルやコンデンサから耳障りな高周波音を発する。PCUをエンジンルーム内に搭載する場合、乗員からの距離が遠いことに加え、トーボードインシュレータ等の吸音効果により、高周波音が減衰する。

図４　河川敷等の悪路走行

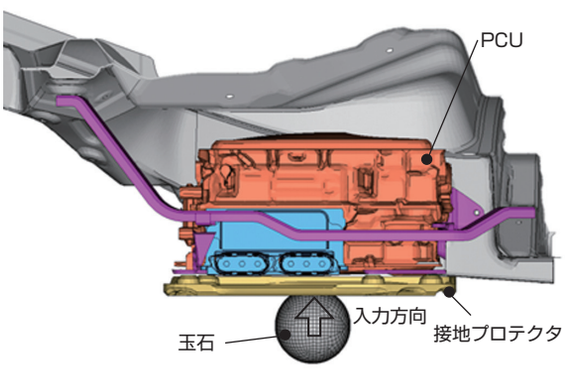


図５　玉石による PCU への入力

CROSSTREK HYBRIDでは後部座席床下搭載で乗員に近いため、静粛性を向上させる部品をPCU周辺に追加した。フェルト素材の遮音・吸音カバー及びインシュレータをPCUに接続されるケーブルや周辺部品を避けながら配置することで、高周波音を遮音・吸音している(図6)。これにより、後部座席乗員耳元付近の音圧を約5 dB低減し、静粛性を向上させている。

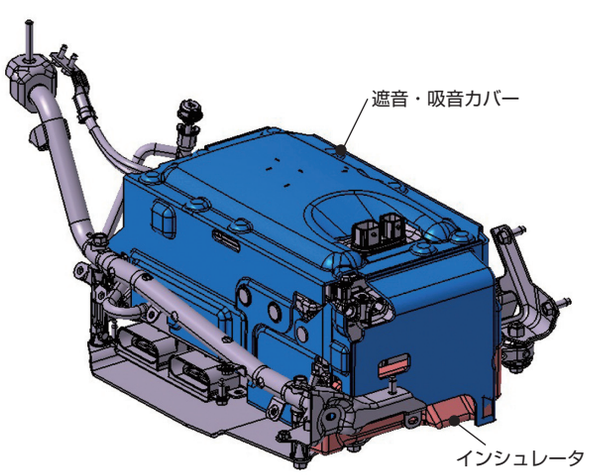


図６　PCU 周辺の遮音・吸音カバーとインシュレータ

3.　車載充電器搭載技術

3.1　マグネシウム合金部品

車載充電器搭載部品は、フレーム、プレートサイド、プレートリアの鋳造部品に加え、板金及び樹脂部品にて構成されている（図7）。車載鋳物部品の多くはコストや強度の観点からアルミニウム合金が用いられるが、CROSSTREK HYBRIDでは、アルミニウム合金と同等の強度を備えるマグネシウム合金をフレーム及びプレートサイドに採用した。形状最適化によりコストアップを最小限に抑え、アルミニウム合金と比較して、約3割の軽量化を実現した（図8）。

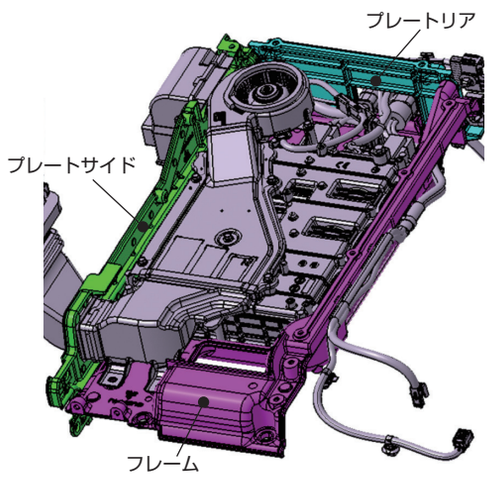


図7　車載充電器及び車載充電器搭載部品

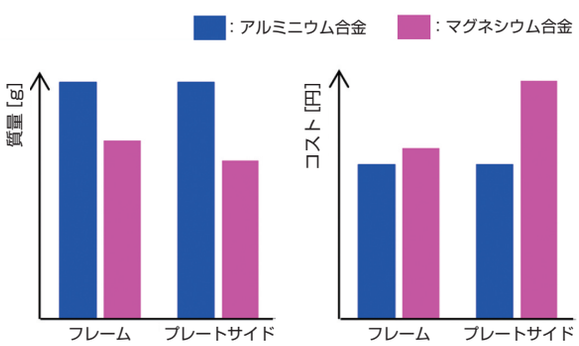


図8　アルミニウム合金とマグネシウム合金の比較

3.2　剛性向上及び結露対応

CROSSTREK HYBRIDのHigh voltage batteryはバッテリーモジュール空間と車載充電器空間で構成されている。車載充電器はHigh voltage batteryの車両進行方向右側上部に搭載し、車載充電器搭載部品がHigh voltage batteryの中骨、右側面及び後面の一部を担い、剛性向上に貢献している（図9）。

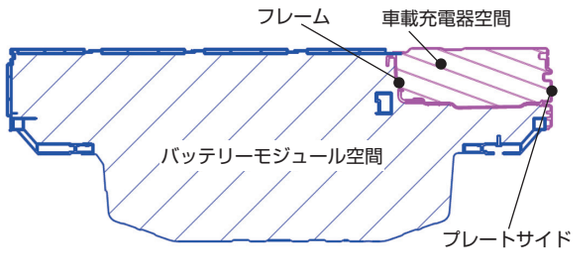


図9　High voltage battery 断面（後面視）

車載充電器及びバッテリーモジュールは発熱タイミングが異なるため、High voltage battery内で温度差が発生する。搭載空間が同じ場合、車載充電器で温められた空気が低温のバッテリーモジュールに触れ、図10のように結露・氷結し、バッテリーセル間の絶縁抵抗を低下させる恐れがある。車載充電器搭載部品はこの様な状態を排除すべく、バッテリーモジュールと冷却空間を分ける隔壁の役割も果たしている。

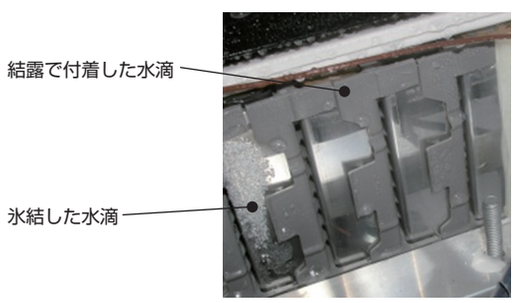


図10　バッテリーモジュールの結露

4.　車載充電器冷却技術

4.1　車載充電器冷却構造

車載充電器は筐体上部に冷却ファンを備え、強制空冷システムを採用している。車載充電器はHigh voltage battery内に搭載し、フレームやプレートサイドで周囲が覆われているため、吸排気ダクトを設置することで、効率の良い冷却を実現している（図11）。

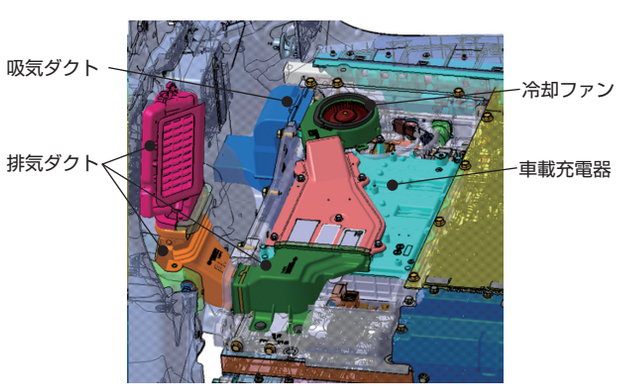


図11　車載充電器と吸排気ダクト

4.2　吸気ダクト

ユーザーの実使用環境を鑑み、真夏炎天下での車両充電においても常温時と同じ充電時間を担保する必要がある。そこで、車載充電器の冷却に用いる吸気温度低減のため、High voltage battery外に吸気ダクトを設置し、日射影響を受けにくい荷室下部から空気を取り込むようにした。また、CAEを用いて吸気ダクトの圧力損失と隔壁内の風流れを解析し(図12)、車載充電器冷却性能と搭載要件を高レベルで両立させた。

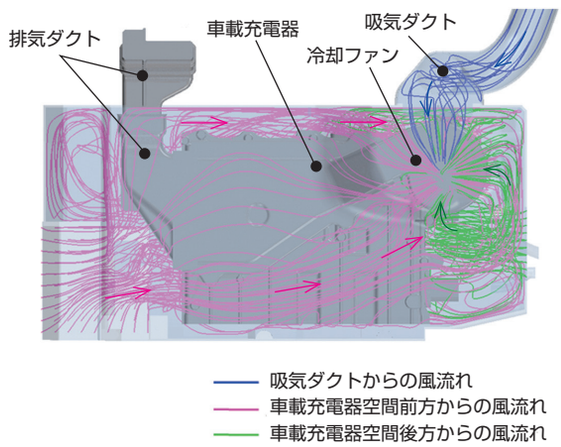


図 12　冷却ファンの吸気風流れパワー CAE 解析（上面視）

4.3　排気ダクト

排気ダクトは3部品で構成され、車載充電器の排熱を荷室へ逃がしている。排気ダクトが無い場合、車載充電器の内部素子が高温になり、出力制限がかかると充電時間が延びてしまう。また、排熱でHigh voltage battery内のバッテリーモジュールを局所的に温めるため、寿命低下や電圧バラツキが生じる原因となる。

排気ダクトは吸気ダクトと共に形状を工夫することで、車載充電器冷却フィンの風量分配を改善する役割も担い、充電中特に高温になる内部素子温度を約4℃低減している(図13、14)。

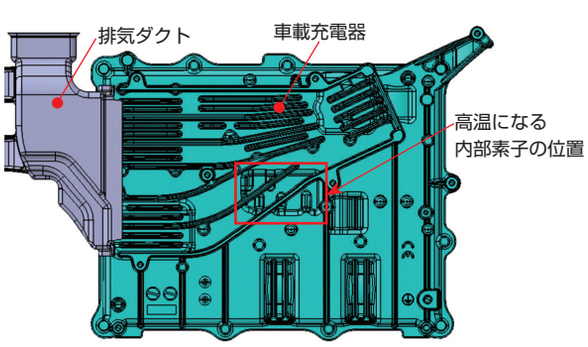


図 13　冷却フィン構造と充電中高温になる内部素子位置

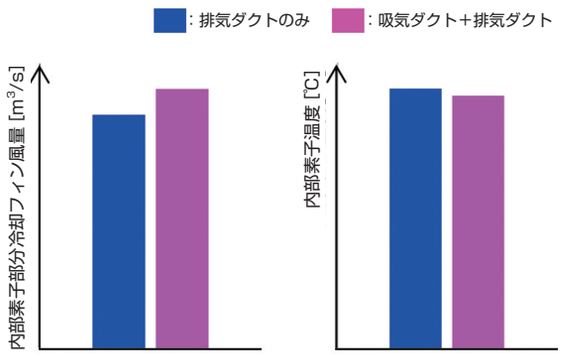


図 14　内部素子部冷却フィン風量と内部素子温度

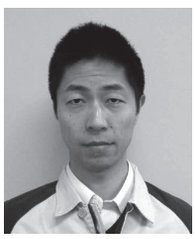
5.　まとめ

SUBARU 初 の 量 産 Plug-In Hybrid 車 で あ る CROSSTREK HYBRIDにPCU及び車載充電器を最適に搭載したことで、ベース車のSUVとしての商品力に加えて、トップクラスの燃費性能を実現し、商品価値を高めることができた。

6.　謝辞

当社初のPlug-In Hybrid車の量産化にあたり、サプライヤ並びに社内関連部署の皆様には多大なご協力を頂きましたことを深く感謝致します。

【著　者】


石井　孝憲

谷藤　　光

平田　尚吾

中田　　薫

藤谷　貴昭

下村　優平

木本　恭郁

前島　勇太

SUBARU「WRX S4 STI Sport」を発表

～STIとの共同開発により、走行性能と質感を高めた最上級グレード～

2018年9月3日

「WRX S4 STI Sport」を発表。
スポーツ性能と先進の安全性能を兼ね備えたハイパフォーマンススポーツセダンであるWRX S4の最上級グレード。SUBARUのモータースポーツ統括会社であるSUBARU TECNICA INTERNATIONALとの共同開発により、しなやかな乗り心地と俊敏なハンドリング、高い操縦安定性を兼ね備えた走りの性能を実現したほか、「STI Sport」ならではの特別な内外装デザインを採用し、WRX S4の持つポテンシャルを最大限に引き出しました。

新型クロストレックハイブリッドの ヒートポンプシステム開発

Development of Heat Pump System for New CROSSTREK HYBRID

吉　川　卓　爾[*1]
Takuji YOSHIKAWA
松　隈　寛　人[*1]
Hiroto MATSUGUMA
佐　藤　識　夫[*1]
Norio SATO
山　本　真　範[*1]
Masanori YAMAMOTO
小　川　尚　幸[*2]
Naoyuki OGAWA

抄　録

新型クロストレックハイブリッドはSUBARUで初のプラグインハイブリッドシステムを搭載した車両である。その最大の特徴であるEV走行距離の長さを最大限生かすため、空調システムも省動力に優れたヒートポンプシステムを新たに開発した。

本稿では、ヒートポンプシステムの特徴及び省動力と快適性を両立させてきた開発経緯、またお出かけ前に車室内を快適な温度にするリモート空調について報告する。

Abstract

The new CROSSTREK HYBRID is the first SUBARU vehicle equipped with a plug-in hybrid system. For making the most of the long-distance driving ability of EV mode, a better power-saving heat pump system was newly developed.

This article reports the characteristics of the heat pump system, the development process for balanced power-saving performance and interior comfort, and the remote air control system which makes a comfortable cabin temperature before driving.

1.　まえがき

新型クロストレックハイブリッドは、プラグインハイブリッドをSUBARUとして初めて導入する車両として、お客様に優れた燃費性能を提供することを目的に開発してきた車両である。

そのため、空調システムは省動力を追及したヒートポンプシステムを採用し、エンジン停止時も効率よく電気の力で空調することを可能にした。またエンジン停止時も空調できる特徴を生かし、乗り込んだ瞬間から快適でかつ走行中の空調負荷を少なくするリモート空調を採用している。

2.　空調ユニットの概要

2.1　システム構成

クロストレックハイブリッドに搭載する空調システムは、電動コンプレッサを用いたヒートポンプシステムを採用している（図1）。

電磁弁にて冷媒の流れを変えることで、冷房運転と暖房運転の切り替えができるため、エンジンの動力に頼らず冷暖房することができる。ヒータユニット内部にはベースのガソリン車に対し、熱交換器としてヒータコアに加えてさらに室内コンデンサとPTCヒータを追加し、状況に応じて最適な熱源を活用できるようになっている（図2）。

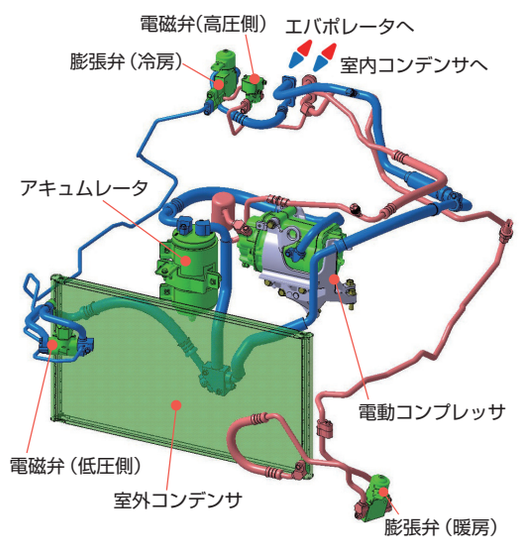
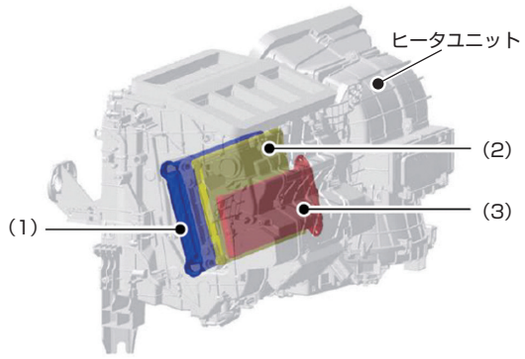


図１　空調システム（エンジン房内）

＊1 内装設計部
＊2 車両研究実験第三部



(1) ヒータコア
(2) 室内コンデンサ
(3) PTC ヒータ

図２　熱交換器（室内）

2.2　諸元

クロストレックハイブリッドに搭載する空調システムは下記仕様を採用している（表１）。

表１　空調システム諸元

項目		仕様
暖房能力		5 kW 以上
最大風量		480 m^3 /h以上
ヒータコアサイズ		W263.9×H120×t27 mm
ブロアモータ	ファン型式	シロッコファン
	サイズ	Φ 137×H60 mm
PTCヒータサイズ		W267.5×H84×t12 mm
冷房能力		5 kW以上
冷媒		HFC-134a
		0.79±0.025 kg
コンプレッサ	モータ型式	DCブラシレス
	型式	スクロール
	容量	27 cc/rev
室外コンデンサ	コア正面面積	0.191 m2
	コア厚さ	22 mm
室内コンデンサ	コア正面面積	0.029 m2
	コア厚さ	11.5 mm
アキュムレータ	全容量	630 cm3
エバポレータ	サイズ	W279.7×H191×t38 mm
ラジファン（サブ）	消費動力	160 W
	ファン径	300 mm
ラジファン（メイン）	消費動力	160 W
	ファン径	300 mm

2.3　レイアウト設計

ガソリン車であるクロストレックをベースにハイブリッド化したエンジンルームは非常に限られたスペースしかない。その中で、ヒートポンプシステムは各種要求性能を満足できるようレイアウトされている（図3）。また、ガソリン車と同一のライン艤装を考慮し構成部品のモジュール化による作業効率の向上も行っている。

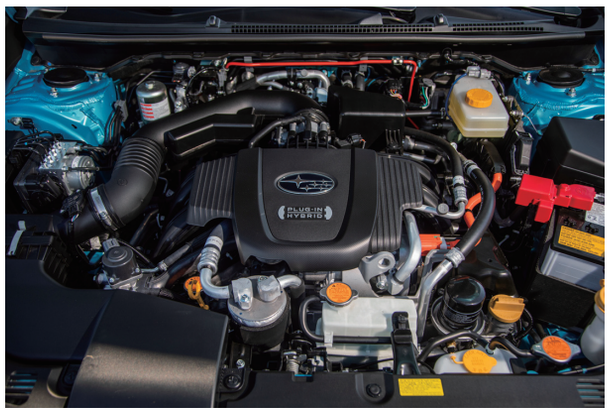


図３　エンジンルーム

3.　ヒートポンプシステムの開発

3.1　開発の狙い

クロストレックハイブリッドの空調システムはガソリン車と同等性能を確保できるよう開発した。またテレマティクスを活用したリモート空調機能を追加することで、乗り込み時の快適性向上とバッテリ走行距離向上を目指した。

ハイブリッド車における空調システムの課題は、エンジン停止中の冷房・暖房能力確保であり、特に暖房ではPTCヒータなど消費電力の大きいアイテムを使用すると航続距離への影響が非常に大きくなる。

課題解決のため、省動力を追及したヒートポンプシステムの採用と、制御などソフト面の徹底したチューニングにより、快適性と省動力が両立できる空調システム開発を進めた。

3.2　システム概要

従来のエアコンシステムは、コンプレッサで圧縮した冷媒を室外コンデンサで放熱し、膨張弁で膨張させることによりエバポレータで空気を冷やしている（クーラサイクル）。

ヒートポンプシステムでは、冷媒の流れを切換える機能と室内コンデンサを追加することで、今まで室外コンデンサで外に放熱していた熱を室内コンデンサで室内に放熱し、暖房に利用できるようにした（図4、図5）。

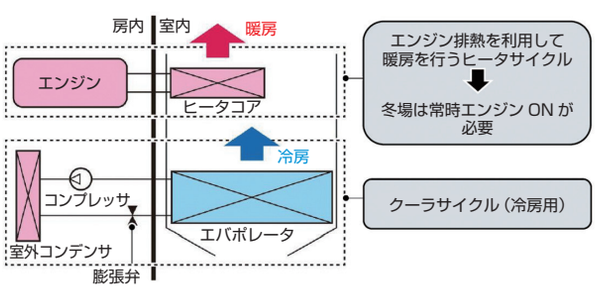


図４　従来のエアコンシステム

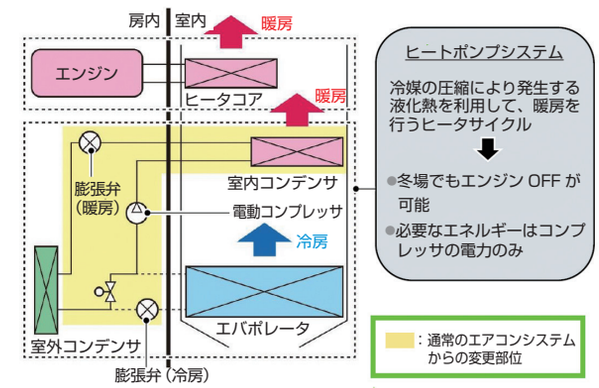


図５　ヒートポンプシステム

3.3　冷暖房性能

クロストレックハイブリッドの空調システムの冷暖房性能はベースであるガソリン車並みを確保し、快適な車両空間を提供可能にしている（図6）。

また外気温度－10℃付近までヒートポンプを作動させることができるため、燃費に厳しい暖房時も他銘と比べて優れた省動力性能を発揮している（図7）。

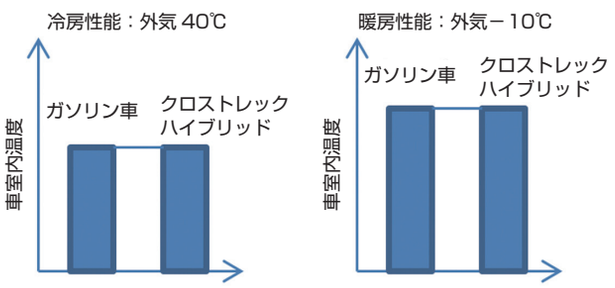


図６　空調性能（冷房、暖房）

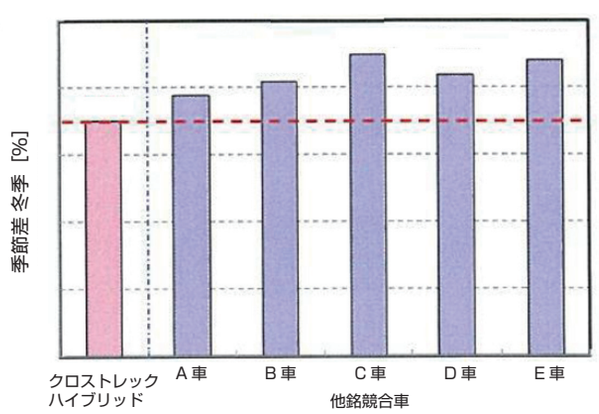


図７　空調燃費（冬季燃費悪化率）

3.4　電動コンプレッサの振騒対策

水平対向エンジンに初搭載となる電動コンプレッサはベースであるガソリン車とほぼ同位置にレイアウトされている。電動コンプレッサは高回転で作動するため騒音管理が重要となるが、クロストレックハイブリッドでは2つのブラケットで強固に固定することで車両への伝達を抑制している（図8）。また当該ブラケットは衝突時に電動コンプレッサの高電圧回路などを保護する形状を採用している（図8）。

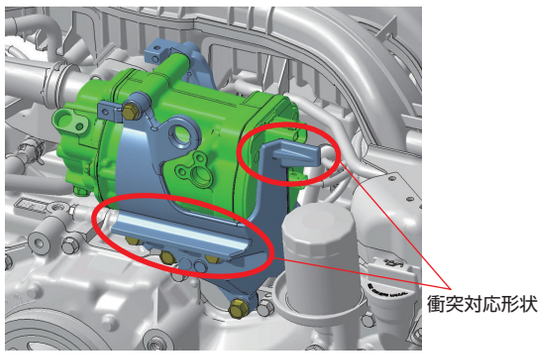


図８　電動コンプレッサ固定方法

また制御により、車速が低いときなど電動コンプレッサ騒音に気付きやすい場面で、電動コンプレッサの回転数を下げるなどの騒音対策を行っている（図9）。

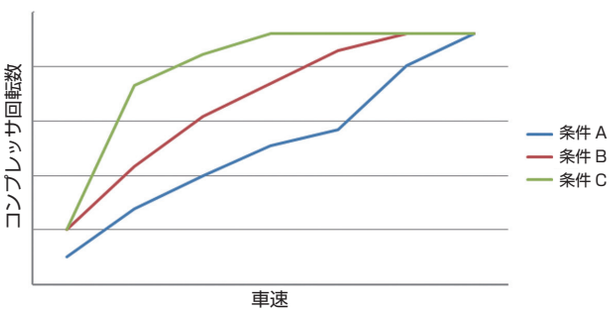


図９　電動コンプレッサ回転数制御

4.　リモート空調機能

4.1　開発の狙い

停車中にアクセスキーやスマートフォンで空調を作動させることができるリモート空調機能と、充電タイマに連動したプレ空調機能を採用した。エンジンをかけずに駆動できる電動コンプレッサとヒートポンプシステムの組合せにより、ガソリンを消費せずに快適な車室内環境にすることが可能になった。併せて充電中は、外部電源を用いた空調実施を可能とする事で、走行時の空調負荷を減らし航続距離を増加させることも狙い開発を行っている。

4.2　リモート空調のメリット

・車に乗り込む前にエアコンを効かせて、乗車時から快適な空間を提供できる（図10、図11）。
・冬場のガラスの霜取り（リヤ側も）を乗り込み前に実施できる。
・大きな電力を要する冷暖房立ち上り時、充電中であればバッテリを消費せずに空調可能なため、未使用時に比べ、走行距離を増やすことができる。

・バッテリ充電タイマと連動し、エアコンを出発時間の10分前に作動させ、快適性を向上できる（図12）。

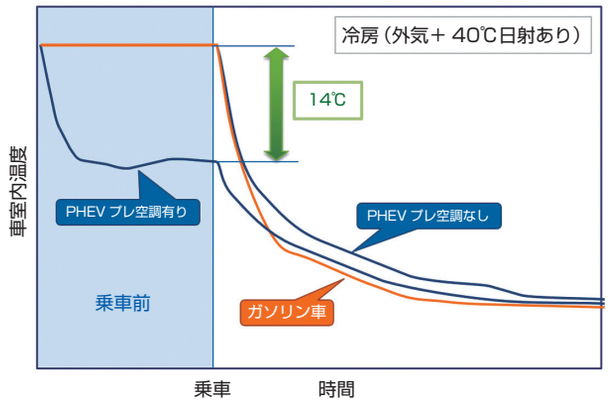


図 10　リモート空調時の車室内温度（冷房時）

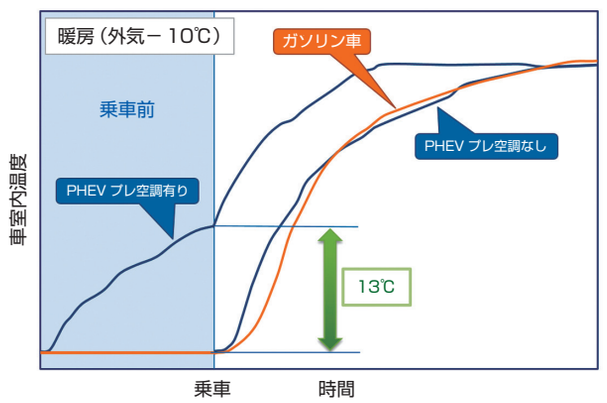


図 11　リモート空調時の車室内温度（暖房時）

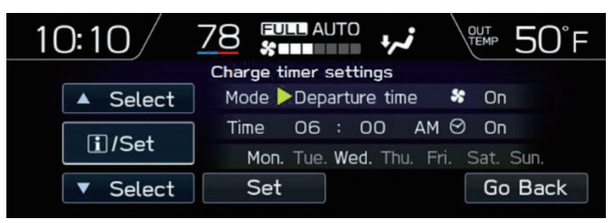


図 12　充電タイマ画面

4.3　安全性とセキュリティ

リモート空調は乗員が乗り込む前に作動するシステムのため、安全性及びセキュリティを考慮した設定になっている。

主に下記のような設定で制御している。

【作動条件】　すべて満たした場合。
・シフトポジションがP になっている
・パワースイッチがOFF になっている
・すべてのドアが閉まっている（リヤゲート含む）
など。

【不作動条件】　いずれかの条件があるとき。
・高電圧バッテリの充電量が少ないとき
・外気温が極めて低いとき
など。

【自動停止条件】　いずれかの条件があるとき。
・リモート空調作動から約10 分経過後
・高電圧バッテリの残量が少ないとき
など。

【セキュリティ機能】
盗難防止のため、リモート空調を作動するときにドアを自動的に施錠し、ブザーとハザードの点滅でお知らせ。

4.4　コントローラ

リモート空調はスマートフォン（テレマティクス）かアクセスキーでコントロールできる。

スマートフォンでは温度設定、吹き出し口モード、ウインドウデフォッガ、風量、内外気切り替えの設定が可能となる（図13）。

アクセスキーは“A/C”スイッチを押すとオート制御で作動する（図14）。

図 13　リモート空調操作画面（スマートフォン）

図 14　リモート空調操作部（アクセスキー）

6. おわりに

クロストレックハイブリッドでは、エンジン停止時間が長く冷熱源が得られにくい車両であり、空調システムには非常に困難な条件であった。対応策としてヒートポンプやリモート空調など新しいシステムを活用し、一つ一つの課題を理解し解決することを積み重ねることで、快適空間の提供が実現できた。

最後に本検討を行うにあたり、多大なるご協力をいただいた関係会社ならびに社内関連部署の方々に深くお礼を申し上げます。

【著　者】

吉川　卓爾

松隈　寛人

佐藤　識夫

山本　真範

小川　尚幸

SUBARU「レガシィ アウトバック/B4」改良モデルを発表
～ SUBARU60周年特別記念車、レガシィ アウトバック「X-BREAK」を追加～

2018年9月10日

「レガシィ アウトバック／ B4」改良モデルを発表。
SUBARUの考える「機能的価値」「情緒的価値」をお客様に提供し、生活を豊かにするかけがえのないパートナーとなれるよう、安全性能や走行性能はもちろん、内外装のデザインや質感を徹底的に磨き上げたモデルです。

レガシィ アウトバック「X-BREAK」

レガシィ B4「Limited」

新型 OUTBACK/LEGACY の紹介（北米モデル）

Introduction of New SUBARU OUTBACK/LEGACY（U.S Model）

SUBARU OUTBACK/LEGACY
開発プロジェクトチーム
SUBARU OUTBACK/LEGACY Project Team

抄　録

誕生から約30年の歴史を刻んできたOUTBACK/LEGACYが一貫して提供してきた価値は「お客さまの生活に寄り添うクルマ」である。シンメトリカルAWDによる抜群のロードホールディング、荷物を賢く積載できる機能性、そしてその機能を表現したデザイン。

OUTBACK/LEGACYが持つこれらの価値がお客さまのライフスタイルを支え、受け入れていただけたことで、代を重ねるごとに進化し、成長してきた。

これまでのお客さまだけでなく、初めて乗るお客さまにも、OUTBACK/LEGACYを選んだことで活動範囲が広がり、生活が豊かになったと実感していただけるよう、想いを込めてつくり込んだ車である。

Abstract

Carving out almost 30 years of the OUTBACK/LEGACY history, the consistent value they have offered is “a vehicle that accompanies the customers in their everyday lives” with the excellent road holding ability provided by the symmetrical AWD, the smart cargo loading functionality, and the design that truly expresses the functions. These values have supported customers' lifestyles and received acknowledgment, so OUTBACK/LEGACY have evolved and come into their own through the generations.

By choosing the OUTBACK/LEGACY, I hope that everyone ranging from long-time customers to those getting behind the wheel for the first time will feel the range of their activities expanded and their everyday lives enriched. It is with this feeling in mind that we developed the new models.

1．まえがき

歴代のOUTBACK/LEGACYが築き上げてきた価値とは何か、さらに何を造っていくべきかから開発がスタートした。どこまでも走り続けられるような安心感と快適性、荷物を効率的に積める積載性、質感の高い内装などはしっかり受け継ぎ、時代を追うごとに革新を続ける先進技術を取り入れ進化をさせた。

OUTBACK/LEGACYの根底には、SUBARUの共通思想である「安心と愉しさ」を提供したいという強い想いが息づいている。その思想をベースとして、セダンとクロスオーバーSUVの相乗効果を発揮するためにはどうすれば良いのかを突き詰め、お互いの完成度を高め、OUTBACK/LEGACYならではの唯一無二の価値につながるクルマづくりを行った(**図1**、**図2**)。

図1　OUTBACK

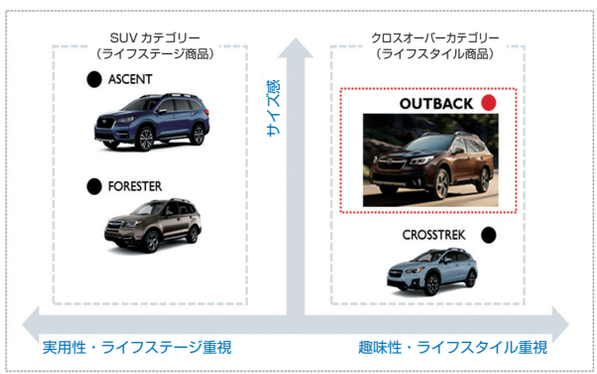
図2　LEGACY

2.　車両概要

2.1　商品のポジショニング

2.1.1　OUTBACK

ASCENT と FORESTER による「SUV カテゴリー（ライフステージ商品）」と、OUTBACK と CROSSTREK による「クロスオーバーカテゴリー（ライフスタイル商品）」を明確にし、それぞれのモデルの個性がより発揮できる構成として、OUTBACK の独自性を武器に新しいお客さまを考えた開発に臨んだ（図3）。

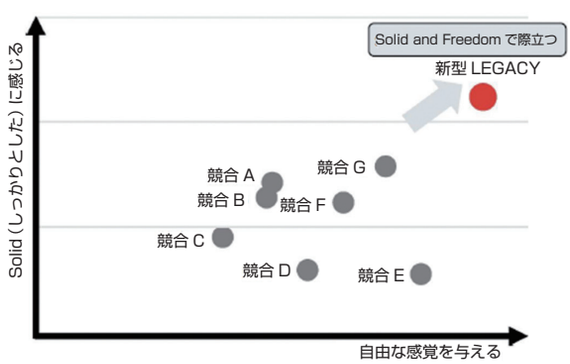


ASCENT の市場導入で、SUV カテゴリーとクロスオーバーカテゴリーが明確化。
OUTBACK はライフスタイル商品として個性を発揮し、
独自の世界観をさらに際立たせる。

図３　ポジショニング

2.1.2　LEGACY

技術に裏付けされた機能性により、活動的なライフスタイルを提案。スリークなデザインを取り入れながらも、LEGACY の個性である Solid 感を訴求した（図4）。



しっかりとした安心感と、どこにでも行けそうな自由な感覚を重視。
競合車にはない力強さと、今にも走り出しそうな活動的なイメージで、
LEGACY の個性を発揮する。

図４　ポジショニング（LEGACY）

2.2　グレード展開

OUTBACK/LEGACY は以前からお客さまの多様なライフスタイルに適応するため、さまざまなグレードを用意している。シンプルな「Base」、質感を高めた「Premium」、ワンランク上の室内空間を演出する「Limited」、走りのイメージをかき立てる「Sport」（LEGACY のみ）。今回はさらに、OUTBACK にはアクティブなイメージを強調した「Onyx」を、LEGACY には現行 OUTBACK に設定されている「Touring」を新たに設定。多彩なグレード展開により、お客さまの多様なライフスタイルを演出できるグレード展開とした（図5）。

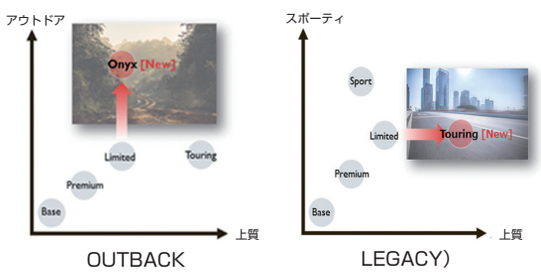
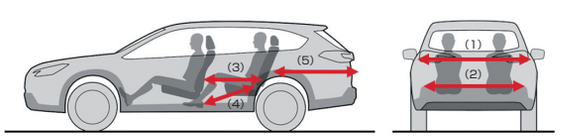


図５　グレード展開

2.3　パッケージングとユーティリティ

2.3.1　OUTBACK

新型 OUTBACK は、フロントガラスを前方に、フロントドアガラスを外側に広げることで前席の室内空間を拡大し、クラストップレベルの広々とした空間を生み出した。また、全長を伸長することで OUTBACK の強みである後席空間や荷室スペースをさらに拡大させ、すべての乗員が快適に過ごすことができる室内空間を実現した（図6）。



単位 [mm (inch)]　：1 位　：2 位　：3 位

No.	部位	現行車	新型車	現行比	競合 A	競合 B	競合 C	競合 D	競合 E
(1)	フロント ショルダールーム	1472 (58.0)	1479 (58.2)	+7 (+0.3)	1477.2 (58.2)	1455.0 (57.3)	1422.2 (56.0)	1462.6 (57.6)	1431.0 (56.3)
(2)	フロントヒップルーム	1381 (54.4)	1411 (55.6)	+30 (+1.2)	1362.8 (53.7)	1333.8 (52.5)	1352.0 (53.2)	1386.2 (54.6)	1363.8 (53.7)
(3)	カップルディスタンス	942.8 (37.1)	953.6 (37.5)	+10.8 (+0.4)	886.7 (34.9)	921.2 (36.3)	846.1 (33.3)	864.7 (34.0)	861.5 (33.9)
(4)	リヤレッグルーム	967.1 (38.1)	973.2 (38.3)	+6.1 (+0.2)	974.9 (38.4)	901.3 (35.5)	828.4 (32.6)	972.9 (38.3)	902.0 (35.5)
(5)	荷室長	1061.6 (41.8)	1085.5 (42.7)	+23.9 (+0.9)	848.6 (33.4)	950.0 (37.4)	845.0 (33.3)	958.0 (37.7)	830.0 (32.7)

＊数値は社内調べによる参考値。新型車の公称値は諸元表を参照してください。

図６　パッケージング（OUTBACK）

アクティブにアウトドアを楽しむ気持ちを湧き起こす、便利で快適なアウトドアギアとしての機能性を充実させた（図7）。

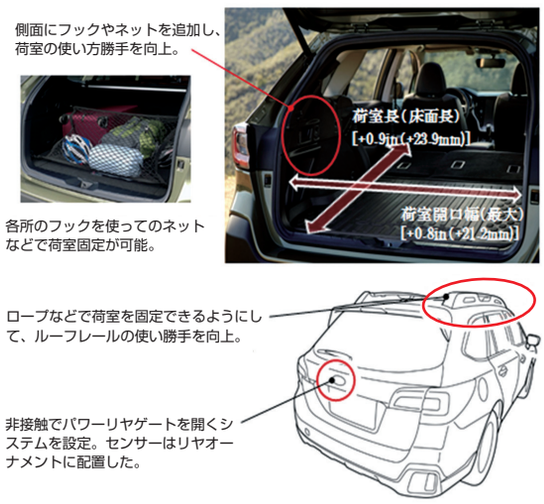


図７　機能アイテム（OUTBACK）

現行車と同様にルーフレールにはクロスバータイプを採用。サーフボードやカヌーなどを搭載しやすいルーフレール形状にするだけでなく、前後部分に穴を開けることで、ロープを通して固定しやすいように工夫した。また、荷物を積まないときには収納することによって、風切り音の低減、燃費向上を実現。

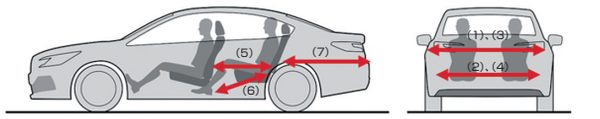
SUVなどの競合車と比べ、ルーフの位置が低く、荷物が搭載しやすいのもOUTBACKの特長である（図8、図9）。

図８　クロスバータイプのルーフレール

図９　カヌー搭載 OUTBACK 車両

2.3.2　LEGACY

新型LEGACYは、OUTBACKと同様に室内空間を拡大した。全長の伸長分の多くを荷室長に割り当て、多くの荷物を載せることができるようになり、使い勝手を向上させた。多くの荷物を積んでもこれまで通りすべての乗員がゆったりとくつろぐことができる（図10、図11）。



単位[mm(inch)]　：1位　：2位　：3位

No.	部位	現行車	新型車	現行比	競合A	競合B	競合C	競合D	競合E	競合F	競合G
(1)	フロントショルダールーム	1472 (57.9)	1479 (58.2)	+7 (+0.3)	1495.8 (58.9)	1470.3 (57.9)	1437.2 (56.6)	1483.6 (58.4)	1474.0 (58.0)	1489.4 (58.6)	1484.8 (58.5)
(2)	フロントヒップルーム	1381 (54.4)	1411 (55.6)	+30 (+1.2)	1398.1 (55.0)	1345.7 (53.0)	1329.5 (52.3)	1362.2 (53.6)	1386.7 (54.6)	1362.2 (53.6)	1384.3 (54.5)
(3)	リヤショルダールーム	1457 (57.4)	1457 (57.4)	0 (0)	1429.2 (56.3)	1424.2 (56.1)	1407.9 (55.4)	1428.0 (56.2)	1416.2 (55.8)	1446.9 (57.0)	1442.7 (56.8)
(4)	リヤヒップルーム	1379 (54.3)	1380 (54.3)	+1 (0)	1348.7 (53.1)	1336.1 (52.6)	1300.6 (51.2)	1352.8 (53.3)	1371.3 (54.0)	1355.6 (53.4)	1370.3 (53.9)
(5)	カップルディスタンス	942.8 (37.1)	953.6 (37.5)	+10.8 (+0.4)	930.7 (36.6)	906.8 (35.7)	927.8 (36.5)	961.0 (37.8)	879.6 (34.6)	920.5 (36.2)	995.9 (39.2)
(6)	リヤレッグルーム	967.1 (38.1)	973.2 (38.3)	+6.1 (+0.2)	931.8 (36.7)	884.2 (34.8)	939.0 (37.0)	946.6 (37.3)	884.5 (34.8)	926.6 (36.5)	1009.0 (39.7)
(7)	荷室長	1067.1 (42.0)	1102.8 (43.4)	+35.7 (+1.4)	1165.0 (45.9)	1200.0 (47.2)	1135.3 (44.7)	1122.0 (44.2)	1155.0 (45.5)	1130.0 (44.5)	1268.0 (49.9)

＊数値は社内調べによる参考値。新型車の公称値は諸元表を参照してください。

図 10　パッケージング（LEGACY）

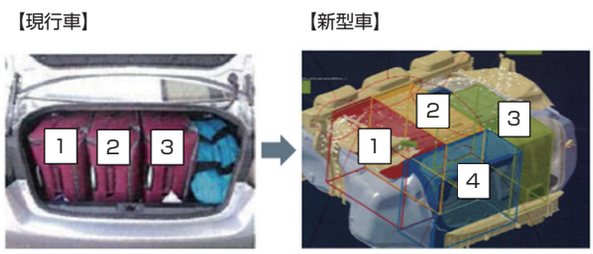


図 11　荷室スペース

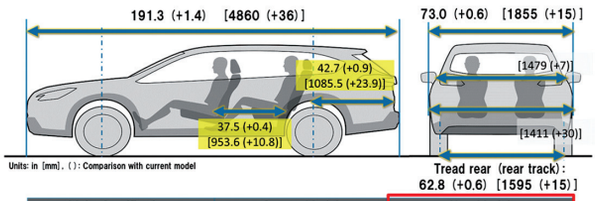
2.4　車格にふさわしい動的質感

操縦安定性や乗り心地・静粛性を向上。街乗りからロングドライブまで、幅広いシーンで快適性を実現した（図12）。

図 12　動的質感の向上を支える技術

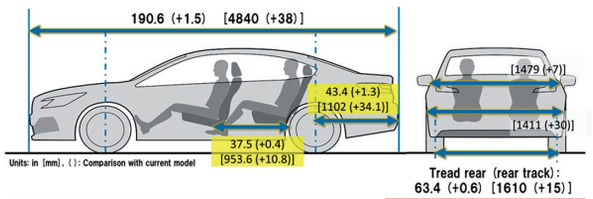
3.　車両諸元

快適な居住性、乗降性、積載性、運動性能を徹底的に追及した。現行車からのおもな変更点（図13、図14）。



Major Specifications	Current Model	New Model
Overall length	189.9 [4824]	191.3 (+1.4) [4860 (+36)]
Overall width	72.4 [1840]	73.0 (+0.6) [1855 (+15)]
Overall height including roof rail	66.1 [1680]	66.1 (0) [1680 (0)]
Wheel base	108.1 [2745]	108.1 (0) [2745 (0)]
Tread front: front track	61.8 [1570]	61.8 (0) [1570 (0)]
Tread rear: rear track	62.2 [1580]	62.8 (+0.6) [1595 (+15)]

図 13　OUTBACK 諸元



Major Specifications	Current Model	New Model
Overall length	189.1 [4802]	190.6 (+1.5) [4840 (+38)]
Overall width	72.4 [1840]	72.4 (0) [1840 (0)]
Overall height including roof rail	59 [1500]	59.1 (+0.1) [1500 (0)]
Wheel base	108.3 [2750]	108.3 (0) [2750 (0)]
Tread front: front track	62.2 [1580]	62.2 (0) [1580 (0)]
Tread rear: rear track	62.8 [1595]	63.4 (+0.6) [1610 (+15)]

図 14　LEGACY 諸元

4.　デザイン

デザインについては、別報で解説しているため本章では割愛する。

5.　内装

5.1　開発の狙い

従来から「OUTBACK/LEGACY」で提供している安全性や視界の良さ、実用性の高さを継承・強化しながら、新しい価値として、先進装備を融合し、躍動感を持った意匠を実現することで、Dセグメントをリードする魅力的な室内空間を実現した。

5.2　魅力的な室内空間

デザインの詳細は別報の解説によるが、新型車の開発にはS-PQ（SUBARU Perceived Quality）と呼ぶ、感性質感の指標を取り入れ、立体感や連続感のほか、各部位の形状統一を進め、上質で一体感のある仕立てを行った（図15）。

5.3　収納性

ユーザーの意見や生活スタイルの変化による新たな使われ方を研究し、便利に使える収納を設定した。

図 15　S-PQ 手法を用いた魅力的な室内空間

5.3.1　インパネ中段トレイ（助手席）

スマートフォン、ペン、小物類を収納するのに便利なトレイを採用し、使い勝手を向上させた（図16）。

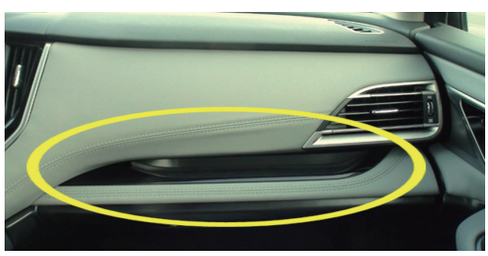


図 16　インパネ中段トレイ

5.3.2　コンソール横ポケット

助手席側のシフトパネル側面部へポケットを採用し、グローブボックス内の12 Vソケットやシフト前のUSB電源を使用した充電中のスマートフォンなどの置き場対応している（図17）。

5.3.3　コンソール中段リッドの採用

コンソールリッド内部を上下で分け、下部の収納物に対するアクセスのしやすさを向上させた（図18）。

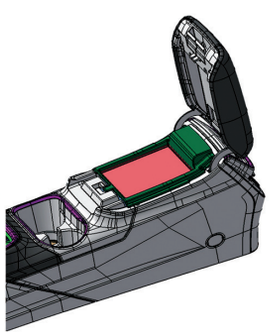


図 17　コンソール横ポケット　　図 18　コンソール中段リッド

5.3.4　コンソール大型カップホルダー

カップホルダーの形状を大型化した。深さも確保し、シフト操作に影響が無く、かつスペーサの設定や横壁形状の工夫により、取出しやすさにも配慮した（図19）。

図 19　大型カップホルダー

5.3.5　ドアトリム 収納

ドアのプルハンドル部を小物の置き場としても使いやすくするためにポケット形状を拡大、ボトルホルダーの収納サイズについても拡大した(図20)。

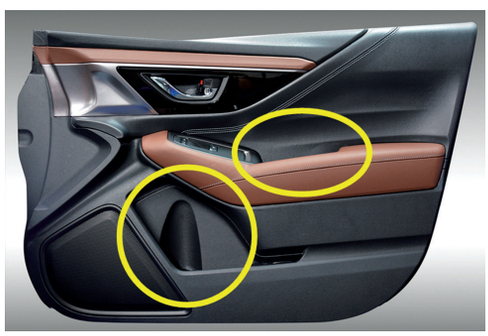


図 20　プルハンドルポケットとボトルホルダー

5.4　快適性

購買層のクルマへのニーズを洗い出し、日々の移動からアクティブな行動やロングドライブを支える、あらゆるシーンで頼りになる工夫と機能装備を採用した。

5.4.1　シート形状

ウレタンパッド形状や部位ごとに硬度の切り替えを行い、疲れにくい長時間安定して座れるシートを開発(図21)。また、運転手の好みや体型に合わせて座面を前後に最大60 mm調整できるクッション長調整機構(図22)を採用した(Limited、Touring)。

図 21　上部：フロント
下部：リヤシート

図 22　クッション長調整機構

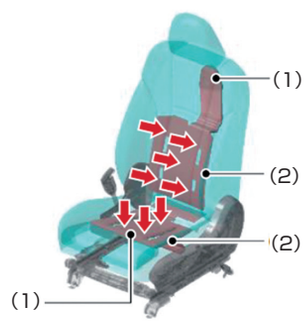
5.4.2　シート表皮

OnyxとSportグレードには「ポリウレタン人工皮革」を採用し、防水性とムレにくさを兼ね備えながらスムースな触感による高い質感を実現した。

またTouringグレードには「ナッパレザー」をSUBARUで初めて採用。通常の革に対し、高級車にも使用されるソフトな風合いのフルグレイン原皮を採用。

5.4.3　シート機能

エアコンの冷気を吸い込み循環させ、夏場のムシ暑さを軽減する前席ベンチレーションシート(図23)を採用(Touring)。また、シートヒータ(図24)の適用範囲を肩部まで拡大すると共に、ユーザーが暖かさを感じやすい部位に発熱部を重点配置し、冬場での作動効率を高めている(グレードによりシートヒータの有無および、前席、後席の適用が分かれる)。



(1) 吸気ブロア
(2) ベンチレーショントリムバッグ

図 23　ベンチレーションシート

図 24　シートヒータ範囲

また、助手席にも電動のシートリフターを採用し、快適に感じる高さの調整を可能とした(Limited、Touring)。

5.4.4　シートレイアウト

前席と後席の距離を拡大し、スペース向上を図ると共に、後席のチャイルドシートを積載しやすく、固定用アンカーを4点から5点に増加することで、ロアアンカーを使用した後席中央席の固定も可能とした。

5.4.5　空調性能

大型コンデンサとエバポレータを採用し、熱交換率をアップするとともに、空調通路の形状を改善して低圧損化を図り、十分な風量を確保しながら送風騒音を低減し、クラストップレベルの静音性を実現した。

快適性と燃費向上のため、湿度センサーを車内へ設定し、空調切り替え制御・時間を最適化し、暖房性能向上と省動力化を実現した。また、始動直後時に効果的な補助暖房PTCヒータを搭載(2.4Lターボ車)し、

低燃費エンジンであっても米国北部・カナダなどの寒冷地域にて従来同様の暖房性能を確保。前席は足元を均一な温度にするためにフットダクトを大型化して、足元配風面積を大幅に向上させた（図25）。

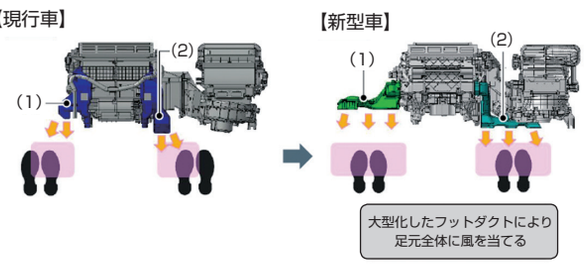


図 25　前席足元暖房

後席空調は風量の増加（165%）と配風角度の調整域を拡大し、快適性を向上した（図26）。

図 26　後席空調（グレードにより有無あり）

5.4.6　サンルーフ開口

「ガーニッシュレス」タイプとし、解放感と開口部の外観を向上した（図27）。

図 27　サンルーフ開口部

5.4.7　室内静粛性

床面のカーペット裏面全体にフェルトの吸音材を採用するとともに、内装とボディの間にも広い面積で遮音表皮と吸音材を配置した。ボディやガラスを透過し室内側に侵入する騒音については、発生する周波数帯域に応じて遮音と吸音をうまくバランスして、発生源に近い場所での抑え込みを行うことで静粛性を向上させた（図28）。

5.5　視界の向上

ドライバーがいち早く危険を察知でき、コーナリングや右左折、バックのときなども安心して運転できるよう、トップクラスの優れた運転席の視界を実現し

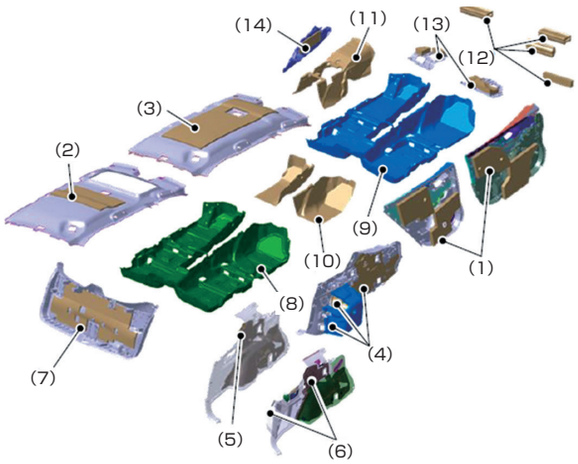


図 28　内装材による　吸・遮音材配置

た。また、A ピラーの死角と A ピラー下方の死角を低減し、横断歩道などでの歩行者の視認性はトップクラスの現行車からさらに向上させた（図29）。

図 29　視界性能比較

また、後方の視認性についても LEGACY はハイマウントストップランプ位置をリヤガラス上部に移動することで、後方路面や周辺物に対する視界拡大を実現。OUTBACK はリヤワイパーの付け根部のトリム形状を最小化し、車外の視認性を向上している（図30）。

図 30　後方視認性の向上

5.6　荷室

LEGACY：トランク内部の高さ、長さ、幅をすべて拡大しサイズアップ、開口寸法についても拡大し、荷物を効率的に積める積載性を確保した。

キャリーバッグの積載は従来は3個の積載であったが、1つ増加し、4個の積載を可能としている（図31）。

図 31　LEGACY キャリーバッグ積載

OUTBACK：長さ、幅を拡大、よりスクエアな開口形状と荷室内レイアウトを採用し、積載性を向上、ストローラのタテ積みを可能とした(図32)。

また利便性装備についても、窓肩フック、ポケットネット、ポップアップトノカバー機構を採用し(図33、34)、多様な荷物の保持機能や積載時の使い勝手を大きく向上させた。

図 32　OUTBACK ストローラ積載

図 33　利便性装備

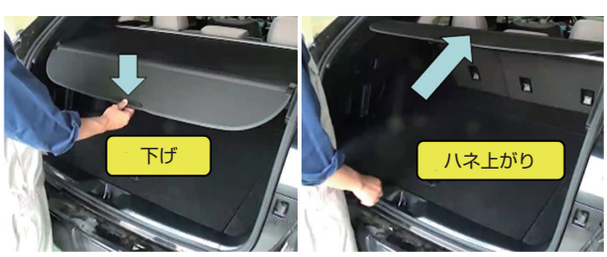


図 34　ポップアップトノカバー

5.7　コクピットシステム

5.7.1　開発の狙い

4代目インフォテイメントシステムは、CPUの処理能力を向上させた新システムを採用するとともに、大型の縦型ディスプレイを設定、大画面に集約されたさまざまな情報を、スマートフォンを扱うように快適に操作できるようにした。

新型インフォテイメントシステムでは、個別のプロセッサで動作していた複数のHMI(Human Machine Interface)を、SUBARU初となる「ハイパーバイザーシステム」の採用により、メータ液晶とセンタインフォメーションディスプレイを通信遅れのないスピーディな連携表示を実現した(図35)。

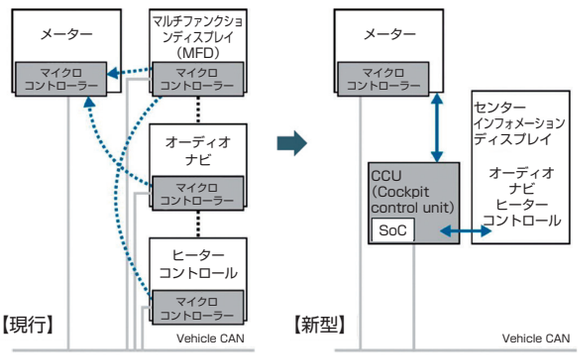


図 35　システム構成比較

従来から採用しているCarPlay、AndroidAuto、SUBARU STARLINKを継続、刷新しつつ、新しくスマートデバイスリンク(SDL)を導入し、多様なアプリに対応できるようにした。機能向上した音声認識とスマートフォンと連携した音声操作により、ステアリングから手を離すことなく、快適に情報を得られるようにした。緊急を要しないハードスイッチをインフォテイメントシステムに組み込むことで、使い勝手を損なうことなく、インストルメントパネルからハードスイッチを省いている。

5.7.2　センタインフォメーションディスプレイ

中上級グレードにはSUBARU初となる11.6インチFullHDディスプレイをインストルメントパネル中央部に配置した。SUBARU初のスプリット表示により、ナビゲーションやオーディオといった2つの情報を同時に表示することを可能とした。常時表示したい情報や、必要に応じて確認・設定したい情報などを、分かりやすさと操作しやすさに配慮した表示内容とした。

ベースグレードには、SUBARU初となるデュアルディスプレイ(7インチWVGA×2)を採用した(図36)。

ベースグレード

中上級グレード

図 36　センタインフォメーションディスプレイ

車両カスタマイズメニューを集約し、大画面でのタッチ操作にすることで、簡単かつ分かりやすい操作を実現した。各アイコンは、スマートフォン同様の操作で移動を可能にした。また、使用頻度の高い機能はユーザーの好みに応じてアイコンとして追加可能とすることで、利便性を高めた。

5.7.3　コンビネーションメータ

車両グレードに合わせて標準仕様／上級仕様のコンビネーションメータを設定した。上級仕様ではメータリング照明、シームレス文字盤を採用し、商品性を向上した（図37）。

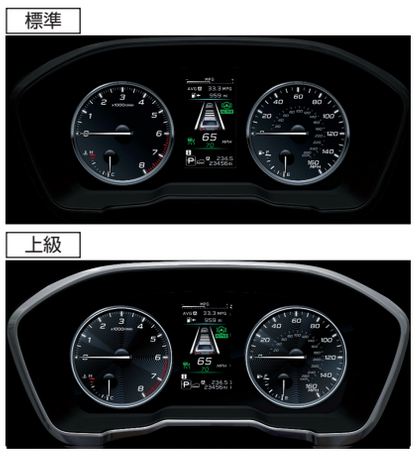
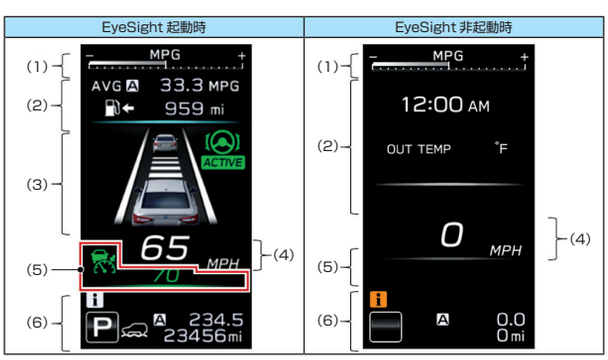


図 37　コンビネーションメータ

メータ中央部には、ドライバーに適切な情報を提供するため、分かりやすさと瞬読性を追求し、画面意匠を刷新した4.2インチのマルチインフォメーションディスプレイを採用した。

クルーズコントロール使用時は、セット車速の上にデジタルスピードメータを常時表示させることで、実車速とセット車速との比較を少ない目線移動で行えるようにした。従来のECOゲージ領域を、カスタマイズでECOゲージ・外気温／時計・方位計（ナビ付のみ）・航続可能距離から選んで表示可能とした。その他、現行車と同様、EyeSight使用時の走行状態や警告表示の他、ドライビングに関するさまざまな情報を表示する（図38）。



No.	表示エリア	表示内容
(1)	インフォメーション	ECO ゲージ、時計／外気温、航続可能距離、方位計※1、割り込み画面
(2)	基本画面	通常画面、割り込み画面
(3)	EyeSight	EyeSight 画面、割り込み画面
(4)	デジタルスピードメーター	速度表示
(5)	クルーズコントロール	作動状態、セット車速
(6)	固定表示	インフォマーク、固定警告表示、シフト表示、X-MODE 表示、オド／トリップ表示

※1：ナビ付き車のみ

図 38　マルチインフォメーションディスプレイ

5.7.4　スマートデバイスリンク対応

車載インフォテインメントシステムとスマートフォンを連携するスマートデバイスリンク（SDL）に対応させた。SDL対応アプリは、スマートフォンのOSに依存することなく、インフォテインメントシステム上で利用可能となり、以下のメリットを提供できるようにした。

・スマートフォンにインストールした多くのアプリを利用可能
・車載インフォテインメントシステム上へのインストール等が不要でアプリの追加やアップデートはスマートフォン上で実施
・車載インフォテインメントシステムの音声認識機能やタッチパネルを利用した安全な操作が可能

5.7.5　Harman/Kardonオーディオシステム

すべての座席で高品質な音楽を愉しめるオーディオシステムを開発、コンサート会場で生演奏を聴いているような自然な音響空間を実現した。

Harman社の圧縮音源復元技術“Clari-Fi”を採用。圧縮により失われた音楽成分をCD相当の音質まで復元が可能としている。リアルタイムの演算処理によって、MP3やAAC、また異なる圧縮率の音源をそれぞれ適切な補正量で復元可能とした。

Harman社の“GreenEdge”システムを採用。高能率のスピーカとそれに合わせ最適に設計されたパワーアンプとの構成により、車両配線や回路内部でロスしていた電力を極限まで排除。中小音量時は低消費電力であり、かつ大音量は状況に応じて従来システムよりも大きな音量を出力可能とした。

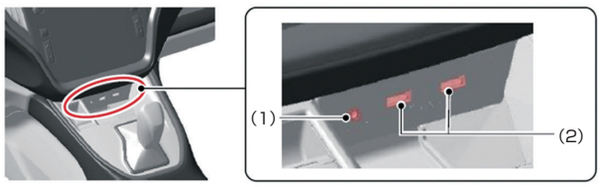
OUTBACKでは、10L Boxタイプのサブウーファを搭載。周辺の車体設計による音響性能の低下を回避し、ウーファー本来の性能を確保。迫力のある重低音の再生を可能とした。

5.7.6　CDデッキ

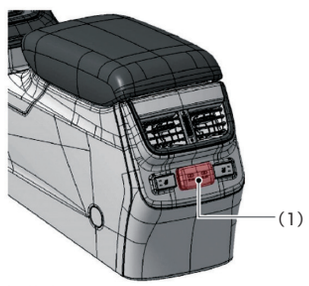
インフォテインメントシステムからCDデッキを分離し、センタコンソールボックス内に設置した。

5.7.7　USB入力端子

USB端子を電源とするスマートフォンや電子機器の車内持込増加に対応するため、インストルメントパネル下に前席乗員用、センタコンソール部後端に後席乗員用のUSB端子を配置した。それぞれ最大定格2.1Aとし2台同時に急速充電可能とするとともに、前席乗員用はスマートフォン、タブレット端末等とインフォテインメントシステムとの通信ポートとすることでCarPlay, Android Autoにも対応可能とした（図39）。



（1）AUX 入力端子　（2）USB 電源



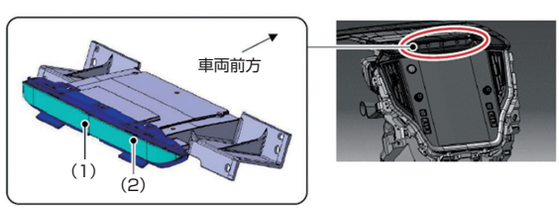
（1）後席 USB 電源

図 39　USB 入力端子（上 : 前席用、下 : 後席用）

5.7.8　ドライバーモニタリングシステム

フォレスターで初採用したドライバーモニタリングシステムをOUTBACK/LEGACYにも採用し、ドライバーの安全を常に見守るだけでなく、おもてなし機能としても活用する(図40)。

ドライバーが乗り換えた時の利便性を高めるとともに所有するオーナーが悦びを感じられるように、自動的なポジション調整・空調設定に加え、マルチインフォメーションディスプレイ・センタインフォメーションディスプレイでのおもてなし演出を実施する。



（1）カメラ
（2）近赤外線 LED

図 40　ドライバーモニタリングシステム

5.7.9　スイッチ

ステアリングスイッチ及びインパネ周辺スイッチ、ドアスイッチの夜間照明を白色とし、質感を向上させた。

5.7.10　12 V電源ソケット

グローブボックス内、センタコンソール内(一部グレード除く)、リヤカーゴルーム内(OBKのみ)に、スマートフォンやパソコンなどの充電に使用できる12 V電源ソケットを装備し、利便性を高めている。

6.　外装

6.1　悪天候でも安心して運転できる視界の実現

6.1.1　フロントワイパーブレード

フラットブレードを採用して高さを約11 mm低くし、室内から見た時のワイパーの突出量を低減した(図41)。

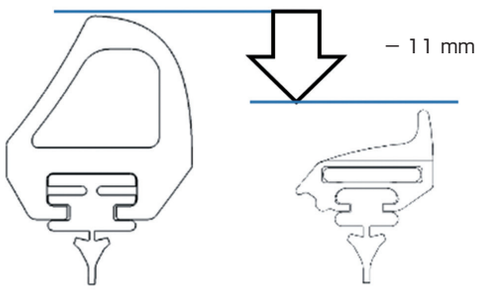


図 41　ワイパーブレード

6.1.2　フロントウォッシャー

助手席側のワイパーアームにウォッシャーノズルを装着し、EyeSightのステレオカメラ前のガラス面にウォッシャー液を直接噴射させることで洗浄性を向上させた(図42)。

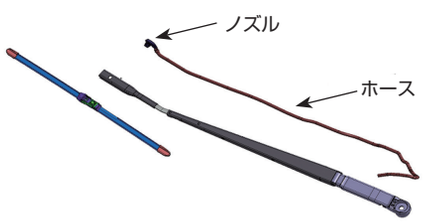


図 42　フロントウォッシャー

6.1.3　リヤワイパー

アームを50 mm延長し、払拭範囲を拡大した(図43)。

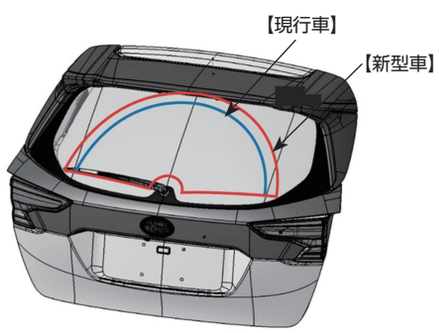
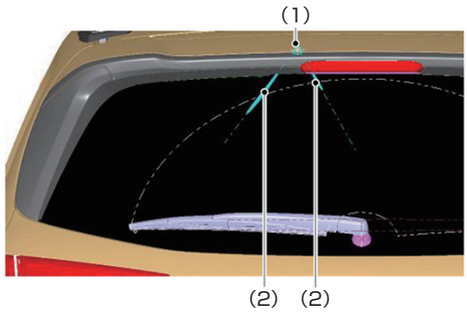


図 43　リヤワイパー (OUTBACK)

6.1.4　リヤウォッシャー

リヤゲートガラスの広範囲にウォッシャー液が行きわたるよう、同時に2方向へ噴射するウォッシャーノズルを採用した(図44)。



(1) ウォッシャーノズル
(2) ウォッシャー液の打点位置

図 44　リヤウォッシャー（OUTBACK）

6.1.5　リバース連動チルトダウンミラー

シフトポジションのリバースへの操作と連動して、助手席側のドアミラー鏡面を自動で下方に向けることで、後退に必要な視界を補助的に確保。リヤタイヤ付近の地面を映すことで、駐車しやすい視界を提供する（図45）。

図 45　リバース連動チルトダウンミラー

6.2　静粛性の向上

ロングドライブを快適に過ごして頂くため、遮音性能を強化した。

6.2.1　ドア開口部の遮音性強化

ドアのウェザーストリップに隔壁を追加し、遮音性能を強化した（図46）。

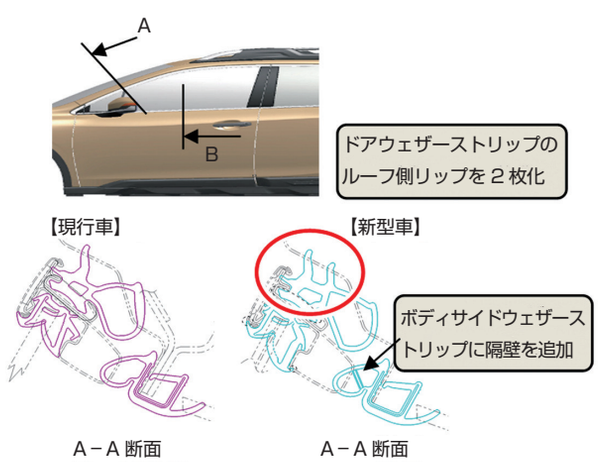


図 46　ドア開口部の遮音性強化（A 断面）

6.2.2　ドアショルダー部構造変更

ドアトリムの内部を通過する雑音を遮断するため、ショルダー部の構造を変更（図47）。

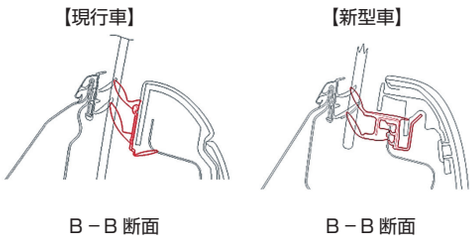


図 47　ドアショルダー部構造変更（B 断面）

6.2.3　ガラスからの透過音低減

ガラスの板厚を上げガラスを透過する風切音等の雑音を低減した。効果の高い部位に絞り重量増を最小限に抑えた（表1）。

表 1　透過温

ガラス種類		現行車	新型車
フロントガラス（遮音ガラス）		t4.7	t5.0
フロントドア	フロントパーティションガラス	t4.0	t5.0
	フロントドアガラス （FB25：2.5L 直噴 NA 強化ガラス） （FA24：2.4L ターボ 遮音ガラス※）	t4.7	FB25 t5.0 FA24 t4.7
リヤドア	リヤドアガラス	t3.5	t4.0
	リヤパーティションガラス	t4.0	
OUTBACK リヤクォーターガラス		t3.5	t4.0
OUTBACK リヤゲートガラス		t3.1	
LEGACY リヤガラス		t3.1	

※ 2.4L ターボ Onyx 除く（強化ガラス設定）

6.3　機能とデザイン性の融合

6.3.1　ヘッドランプ

薄型かつシャープな造形によりスポーティさを表現し、DRL・Hi/Lo ビーム・サイドマーカーランプには LED を採用して、配光性能と省電力・ロングライフを実現した。さらに上級グレードには SRH（Steering Responsive Headlight）を採用した（図48）。

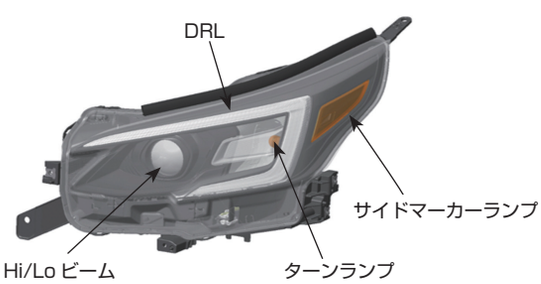


図 48　ヘッドランプ

6.3.2　リヤコンビネーションランプ

Rフィニッシャーまで連続したCシェイプテールランプを採用した。テールランプ・ストップランプをLEDとし省電力とロングライフを実現した(図49)。

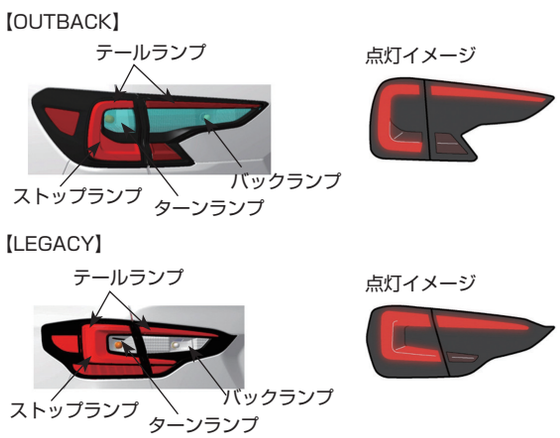


図 49　リヤコンビネーションランプ

6.3.3　ドアミラー

ショルダーモールと一体化した新意匠を採用し、ステーを薄くする事で、風切音と空気抵抗を低減した(図50)。

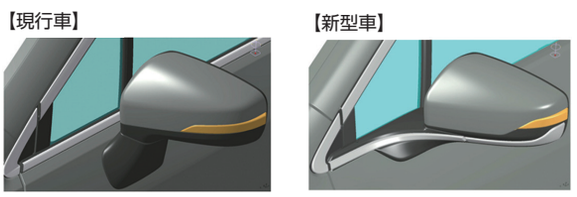


図 50　ドアミラー

6.3.4　ルーフレール

ルーフレールの前後にロープやベルトを直接結び付けられるアルミバーを追加。クロスバーと組み合わせることで、長尺物の安定した積載など、多彩な積載方法が可能な機能的なルーフレールとした(図51)。

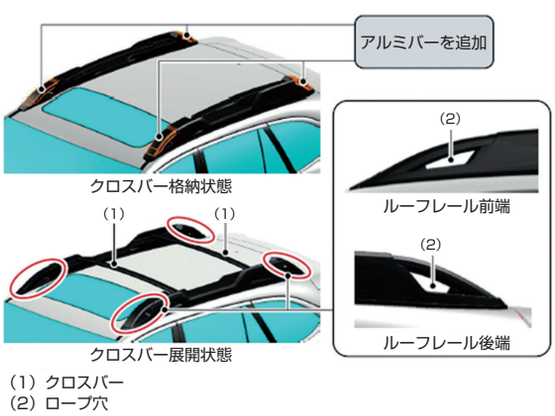


図 51　ルーフレール

6.3.5　サイドクラッディング

新たに前後のアーチ部にもガーニッシュを採用し、プロテクション効果を高めてSUVらしい力強い外観を実現した。また、パネルからの張り出しを抑えて空力の悪化を抑え、Cd値への影響をなくすことで、燃費性能も確保しつつ、フィン形状を設定し高速走行時の安定性を高めた(図52)。

サイドシルガーニッシュの張り出しを抑えることで、現行車と同等の乗降性を確保。ドアガーニッシュ下端にリップを設けて、汚れの侵入を防止した。

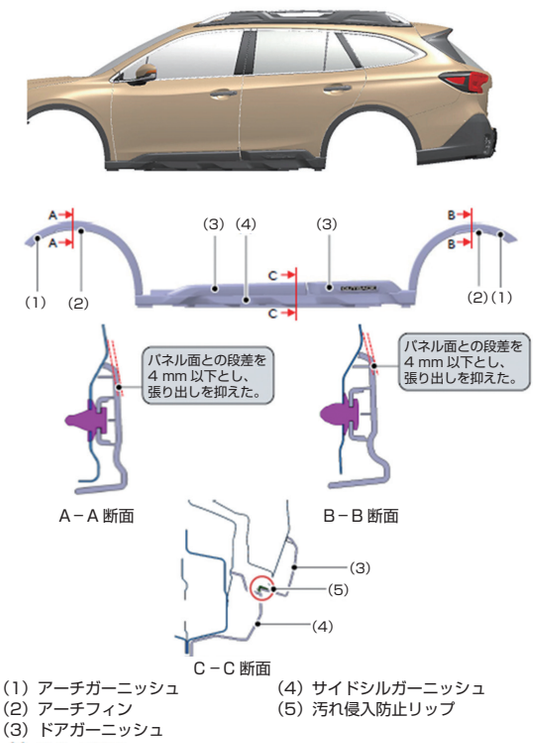


図 52　サイドクラッディング

6.4　パワーリヤゲート使い勝手向上

6.4.1　ハンズフリーパワーリヤゲート

リヤゲートのSUBARUオーナメントに手や腕をかざすことでリヤゲートを開けることができる、ハンズフリーパワーリヤゲートを採用し、利便性を向上させた(図53)。

図 53　ハンズフリーパワーリヤゲート

6.4.2　開閉速度の向上

安全性を確保しながらゲートの自動開閉時間を40%短縮し煩わしさを払拭した(図54)。

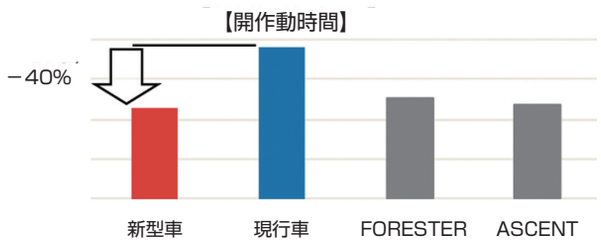


図 54　リヤゲート開作動時間

6.4.3　手動操作オート移行制御

スイッチを操作しなくても、ゲートを直接手で操作することによって、お客さまによるゲート開閉の意図をセンサーが読み取り、自動でのゲート開閉動作に切り替える。

6.4.4　リヤゲートロックスイッチ

リヤゲートロックスイッチを押すことで、リヤゲートの自動閉作動と車両施錠を行う。スイッチにはLED照明を採用し、夜間でもスイッチを認識しやすくした(図55)。

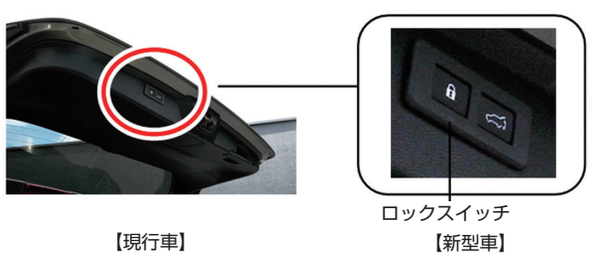


図 55　リヤゲートロックスイッチ

6.4.5　駆動ユニットの省スペース化

リヤゲートに、モーターを内蔵したゲートステーを採用。 駆動ユニットが室内からなくなったことにより、標準仕様と同等の荷室空間を確保した(図56)。

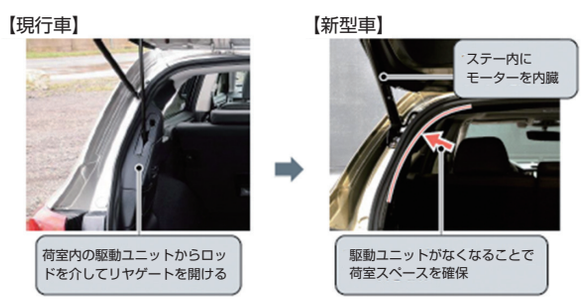


図 56　リヤゲートゲートステー

6.5　ドア操作フィーリングの向上

6.5.1　フロントドアヒンジ取付け角度

現行車では前傾させていたフロントドアの開閉回転軸を垂直に近づけ、ドア開度によって変化していた操作力を一定に近づけることで、自然な操作フィーリングを実現した(図57)。

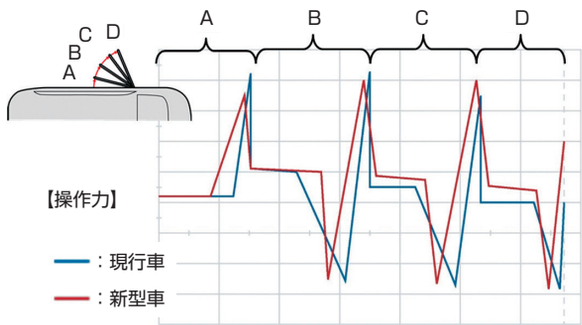


図 57　フロントドアヒンジ取付け角度

6.5.2　ドア閉まり音質の向上

ドアウェザーストリップ断面を拡大することで、オーバーラン許容値を増加させた。これにより不快な叩き音を低減し、ドア閉時の音質を向上させた(図58)。

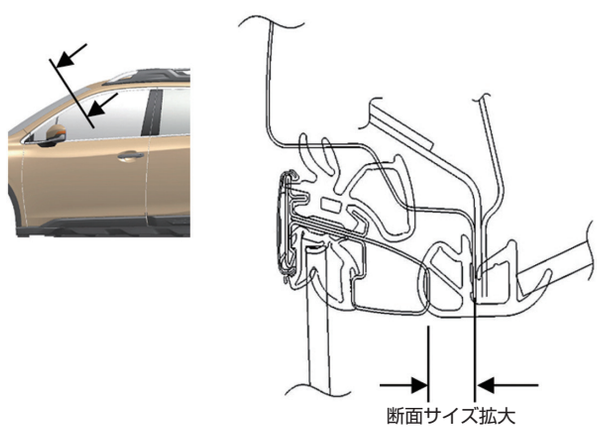


図 58　ドアウェザーストリップ

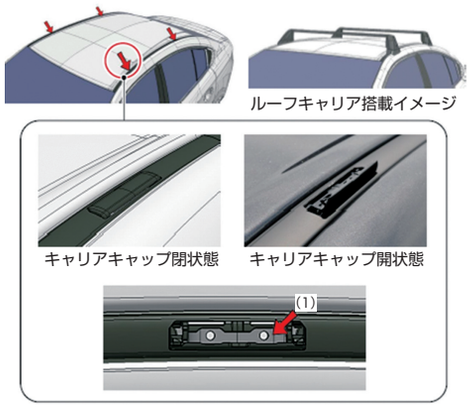
6.5.3　パワーウインドゥ

乗員への細やかな配慮が感じられる洗練された動作を実現するため、オート作動時の速度制御機能を追加した。全閉／全開位置の少し前から上昇／下降速度が遅くなり、最後はゆっくりと静かに閉まる／開く制御により、耳障りな音をなくすとともに上質感を演出した。

6.6　その他　使い勝手向上

6.6.1　セダン ルーフキャリア用ブラケット

ルーフモールにキャリアブラケットを4ヶ所に内蔵しルーフキャリアの装着を容易にした(図59)。



（1）キャリアブラケット

図 59　セダン ルーフキャリア用ブラケット

6.6.2　電動格納式ドアミラー

北米向けとしてSUBARU初となる電動格納機構を設定した。スイッチ操作でのミラーボデーの展開／格納が可能で、アクセスキーでの車両アンロック／ロック操作にも連動し自動で展開／格納させることも可能とし利便性を向上させた。

6.6.3　ドライバーポジションメモリー

メモリースイッチ※1（Mem1、Mem2）、アクセスキー※1、ドライバーモニタリングシステム※1の各ユーザー IDに対応して、シートポジション再生と連動して鏡面ポジションを再生する機能を設定した。各ユーザーに最適な鏡面ポジションを登録しておくことで、次回以降同じポジションの提供が可能となり、利便性を向上させた。また、登録時にはリバース連動チルトダウンドアミラーの鏡面ポジションも同時に登録される。

※1：メモリー登録方法は各シート登録方法と同じ。

6.6.4　パワーウインドゥ　オート開閉機能

現行車では前席のみに設定していたオート開閉機能を、全席に設定した。

6.6.5　パワーウインドゥ　オフディレイ機能

現行車では運転席のみに設定していた、エンジンスイッチOFF後も一定時間ウインドゥを操作することができるオフディレイ機能を、新型車ではオート開閉機能付きの全てのウインドゥに設定することで、利便性を向上した。

7.　テレマティクス

7.1　テレマティクス機能

次世代のテレマティクスシステム（ASCENTから導入）をOUTBACK/LEGACYへも搭載し、従来のテレマティクスサービスのさらなるサービスの充実を図った。OUTBACK/LEGACYで対応するテレマティク機能を以下に示す（表2）。

表 2　テレマティクス機能一覧

分類／機能	項目 New Function	概要	ASCENT	LEGACY OUTBACK
安全	SOS Emergency Assistance	ボタン押下後の SOS 通信機能	✓	✓
	ACN (Automatic Collision Notification)	衝突時にコールセンターへ自動通報	✓	✓
	Enhanced Roadside Assistance	Telematics Customer Care Advisor が状況を確認し、適切なロードサイドアシストを	✓	✓
セキュリティ	Stolen Vehicle Recovery	車両盗難通知機能	✓	✓
	Stolen Vehicle Recovery Plus : Stolen Vehicle Flashing Light	盗難時に灯火点滅させることで、盗難車両の特定を補助	✓	✓
	Stolen Vehicle Recovery Plus : Stolen Vehicle immobilizer	盗難時にエンジンの再始動を阻止	✓	✓
	Vehicle Security Alarm Notification	セキュリティシステムが作動した際通知	✓	✓
	Boundary Alert	危険エリアなどに入ったら通知	✓	✓
	Speed Alert	特定の車速度になったら通知	✓	✓
	Curfew Alert	指定の時刻になったら通知	✓	✓
利便機能	Remote Lock and Unlock	リモートでドアの解錠・施錠	✓	✓
	Remote Horn and Lights	リモートでハザードランプやクラクションを作動	✓	✓
	Remote Vehicle Locator	車両の位置を特定可	✓	✓
	Remote Engine Start	遠隔操作でエンジンを始動し、空調を作動	✓	✓
エンタメ	Wi-Fi Hotspot	車両の無線 LAN アクセスポイント化	✓	✓
	SUBARU Concierge	オペレーターによる目的地設定	✓	✓
	Destination to Vehicle	専用アプリから車両に目的地情報を送信	20MY～	✓
入庫促進	Vehicle Health Report	車両詳細分析レポート	✓	✓
	Maintenance Notifications	車両の走行距離を取得し、エンジンオイルや定期点検などの時期を通知	✓	✓
	Service Appointment Scheduler	故障時などの入庫先案内と予約	✓	✓
故障連携診断	Diagnostic Alerts	インストルメントパネルの警告灯が点灯するとともに、メールでお客さまに通知	✓	✓
	Driving Recorder Data Feed	サーバー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自動で収集、送信する	✓	✓
その他	SUBARU STARLINK System Update	無線通信を使って自動で DCM をアップデート	✓	✓

7.2　Destination to Vehicle

専用アプリから車両に目的地情報を送信し、車載ナビの目的地設定を行う機能。車両に乗り込む前に、アプリから目的地を設定しておけば、車両に乗り込んですぐに目的地に向けて出発できる（図60）。

図 60　Destination to Vehicle

7.3　Driving Recorder Data Feed

サーバーから送信される解析用ファイルに基づき、必要なエンジン・トランスミッションデータをDCM（Data Communication Module）にて自動で収集、送信する機能。本機能により、車両不具合の発生状況の確認と、対応方法の検討を遠隔から行うことができる。

詳細は、「テレマティクスドライブレコーダ機能の開発」を参照。

7.4　Remote Engine Start（キーレスアクセス＆プッシュスタート付き車）

専用アプリを使って、遠隔操作で車両のエンジンをかけることができる機能。同時に専用アプリから空調

の設定を行うことで、夏場はクルマに乗り込む前に車内を冷却できる。また冬場は車内を暖かくするだけでなく、デフロスターを作動させることで除氷作業も可能（図61）。

図 61　Remote Engine Start

8.　優れた総合安全性能

8.1　予防安全　EyeSight（Ver.3）

日本向けのみに展開していたツーリングアシスト（北米名称：Advanced Adaptive Cruise Control）を、北米向けにSUBARUとして初展開した。

優れた予防安全機能と運転負荷低減機能を実現し、全車適用とした（図62）。

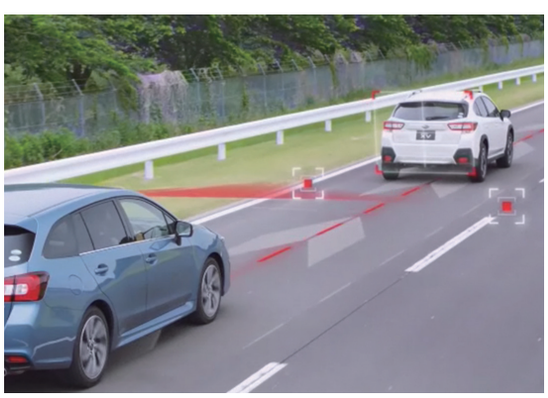


図 62　EyeSight（Ver.3）作動イメージ

8.2　ツーリングアシスト

高速道路における長く単調な巡航や渋滞など、運転中のストレスからの開放を目指し、EyeSightの新機能を装備した。全車速追従機能付クルーズコントロールに車線中央維持・先行車追従操舵制御を組み合わせることでアクセルブレーキだけでなく、ステアリング操作までアシストできるようになり、さまざまなシーンで運転負荷を大幅に軽減した。

システム概要は、自車速度0 mph ～約90 mphで走行しているとき、システムが区画線または先行車を認識し、車両が車線の中央付近を維持、または先行車に追従するようにステアリング操作をアシストする機能である（図63）。

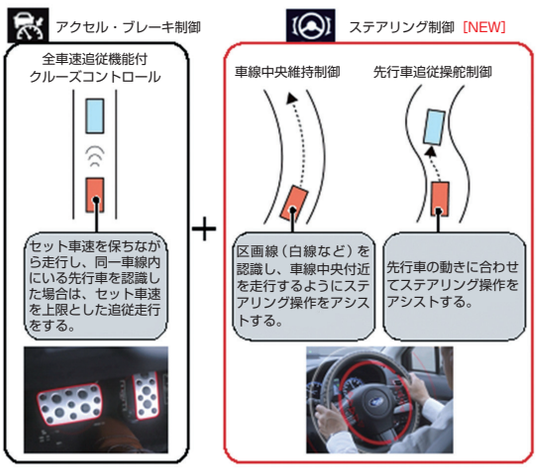


図 63　ツーリングアシスト概要

8.3　車線中央維持・先行車追従操舵制御

全車速域でステアリング操作をアシストするために、車線中央維持制御と先行車追従操舵制御を車速や条件により切り替え、もしくは併用した制御を実施する（図64）。

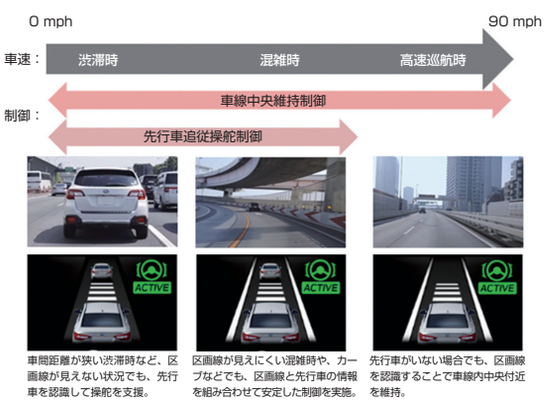


図 64　車線中央維持・先行車追従操舵制御動作イメージ

8.4　アイサイトアシストモニター

日本向け同様に北米にもEyeSightの状態や警報をフロントガラスに表示し、運転者が、周辺の道路環境から視線を離さず警告／表示を認知できるシステムを採用。より早く状況を把握し、危険回避行為が行え、危険度に応じた色、点滅周期表示することで、分かりやすい表示とした（図65）。

図 65　アイサイトアシストモニター発光イメージ

8.5　後退時ブレーキアシスト
（海外名称：Reverse Automatic Braking System）

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

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

警報表示は11.6インチディスプレイにリヤビューカメラの画像とともに、接近警報を表示する。対象物を検知すると、文字による警告に加え、半透明の壁状の距離警報を画面上に表示することで視覚的に対象物の位置を把握しやすくした（図66）。

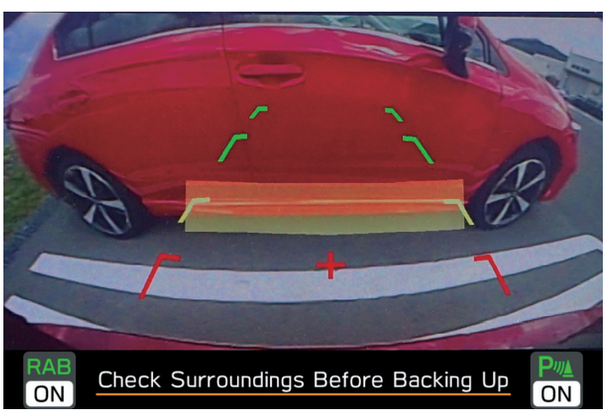


図 66　後退時ブレーキアシスト 表示イメージ

8.5　後側方警戒支援システム
（海外名称：BSD/RCTA）

車体後部に内蔵したレーダーセンサによって、自車の後側方から接近する車両を検知し、ドアミラーのLEDインジケータ（図67）や警告音でドライバーに注意喚起を行う。

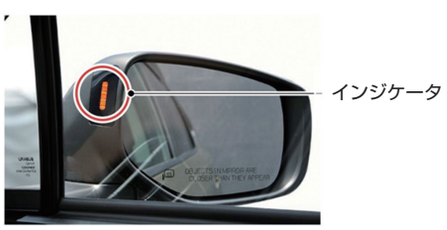


図 67　LED インジケータ 発光イメージ

8.5.1　死角車両検知（BSD）

車両の左右後方の死角となるエリアに存在する車両を検知すると、インジケータの点灯でドライバーに知らせる機能。車両を検知した状態でドライバーがターンランプを操作した場合、車線変更の意思があるとシステムが判断し、インジケータの点滅により、ドライバーに注意を促す（図68）。

図 68　死角車両検知の動作イメージ

8.5.2　車線変更支援（LCA）

後方から近づいてくる隣車線の車両を検知し、車線変更すると衝突の危険性があると判断した場合に、インジケータの点灯でドライバーに知らせる機能。車両を検知した状態でドライバーがターンランプを操作した場合、車線変更の意思があるとシステムが判断し、インジケータの点滅により、ドライバーに注意を促す（図69）。

図 69　車線変更支援の動作イメージ

8.5.3　後退時支援（RCTA）

後退時に左右から近づいてくる車両を検知し、衝突の危険性があると判断した場合に、インジケータの点滅と警報音でドライバーに注意を促す機能である（図70）。

図 70　後退時支援の動作イメージ

8.6　フロントビューモニタ（FVM）

ドライバーの死角を11.6インチディスプレイに表示するフロントビューモニタを設定した。フロント（エンブレム下）に搭載したカメラで、見通しの悪い交差点での接近車両の有無、歩行者、駐車時・発進時の確認をしやすくすることでドライバーの安全走行をサポートする。さらに車両前方の段差、勾配を乗り越えた先など見えない路面状況も確認しやすくすることでより安心してオフロードに乗り入れることも可能となる（図71）。

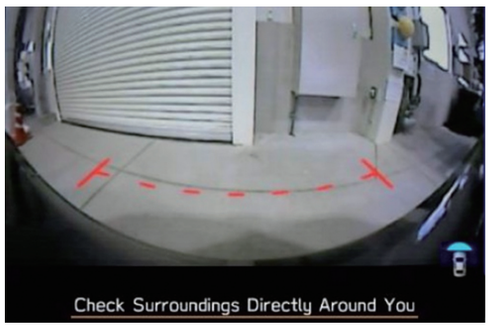


図 71　前方路面状況イメージ

8.7　リヤビューカメラウォッシャー

リヤビューカメラのレンズに付着した汚れに水滴を洗浄することで、オフロード走行や雪道走行時などでの視界の確保を向上させた（図72）。

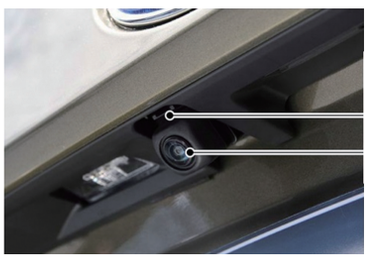


図 72　リヤビューカメラとウォッシャー

9.　パワーユニット

9.1　エンジン

9.1.1　開発の狙い

OUTBACK/LEGACYの価値である「経済的だけでなく、乗っていて気持ちよく、より遠くに快適に行けるパワーユニット」をより磨き上げるべく、既存エンジンを活用しながら環境性能と動力性能を高次元で両立させることを開発の狙いとした。

9.1.2　搭載エンジンの紹介

新型OUTBACK/LEGACYには2.4L直噴ターボエンジンと2.5L直噴NAエンジンの2タイプを設定した。

(1) 2.4L直噴ターボエンジン（FA24）

ASCENTに搭載された2.4L直噴ターボエンジンを新型OUTBACK/LEGACYに展開。ASCENTに対してはアイドリングストップシステムを新たに採用して燃費性能を向上。6気筒エンジンに代わるSUBARUの新たなフラッグシップエンジンとして相応しい動力性能と環境性能をレギュラーガソリンで実現した（図73）。

(2) 2.5L直噴NAエンジン（FB25）

FORESTERに搭載された2.5L直噴NAエンジンを新型OUTBACK/LEGACYに展開。従来FB25から直噴化などの大幅な刷新を図っており、OUTBACK/LEGACYのエントリーモデルとして相応しい燃費性能・加速性能を実現した（図74）。

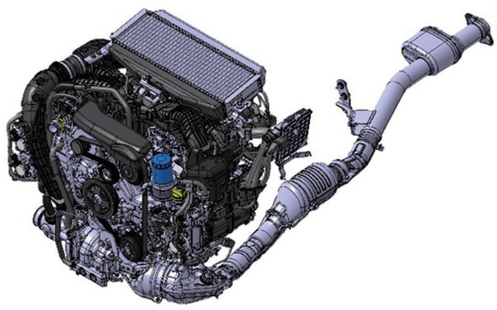


図 73　2.4L 直噴ターボエンジン

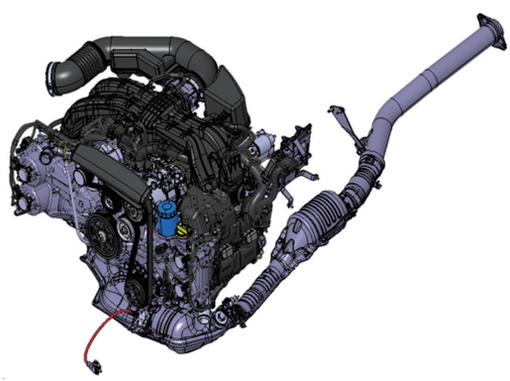


図 74　2.5L 直噴 NA エンジン

9.1.3　エンジン主要諸元

表3と表4にFA24とFB25の主要諸元を示す。

エンジンの基本仕様・諸元はASCENT用FA24・FORESTER用FB25と同諸元である。

表 3　FA24 エンジン諸元一覧

	2.4L DIT	参考（2.0L DIT）
エンジン型式	FA24	FA20
気筒配列	水平対向 4 気筒	水平対向 4 気筒
燃料供給	筒内噴射	筒内噴射
使用燃料	ガソリン 87AKI	ガソリン 91AKI
総排気量［cm^3］	2387	1998
最高出力［HP］	260	250
@rpm	5600	5600
最大トルク［lb-ft］	277	258
@rpm	2000-4800	2000-4800
吸気方式	過給吸気	過給吸気
可変動弁機構	吸気／排気 AVCS	吸気／排気 AVCS
ボア×ストローク［mm］	94.0 × 86.0	86.0 × 86.0
圧縮比	10.6	10.6
ISS 始動機構	有	無

表４　FB25 エンジン諸元一覧

	2.5L DINA（新型）	2.5L NA（現行）
エンジン型式	FB25	FB25
配置	水平対向４気筒	水平対向４気筒
燃料供給	筒内噴射	ポート噴射
使用燃料	ガソリン 87AKI	ガソリン 87AKI
総排気［cm^3］	2498	2498
吸気方式	自然吸気	自然吸気
最高出力［HP］	182	175
@rpm	5800	5800
最大トルク［lb-ft］	176	174
@rpm	4400	4000
可変動弁機構	吸気／排気 AVCS	吸気／排気 AVCS
ボア×ストローク［mm］	94.0 × 90.0	94.0 × 90.0
圧縮比	12.0	10.3
熱マネジメント SYS	有	無
ISS 始動機構	有	無

9.1.4　燃費性能

NAエンジンの直噴化、ダウンサイジングターボの設定、アイドリングストップシステムの採用などにより、クラスTOPレベルの低燃費を実現した。

図75、図76に競合他銘との比較を示す。

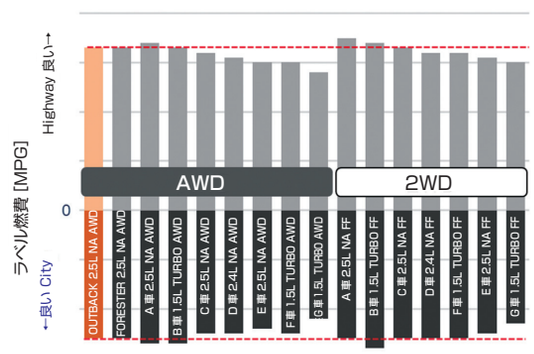


図 75　FB25　車両燃費性能（OUTBACK）

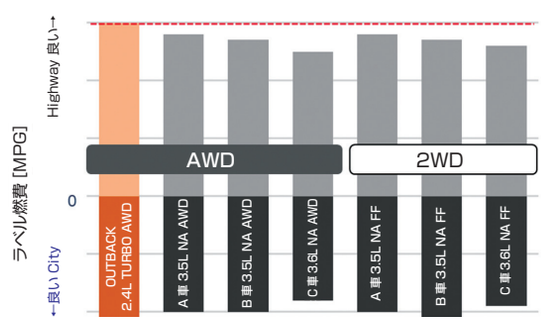


図 76　FA24　車両燃費性能（OUTBACK）

9.1.5　出力性能

図77、78でFA24・FB25のトルクカーブを示す。FA24はFA20に対し、低速トルクを向上、2000～4800 rpmで最大トルクを発揮する特性でストレスの無い発進・加速性能を実現。FB25は同排気量の従来エンジンに対し、大幅なトルク改善により、ドライバビリティの向上を果たした。

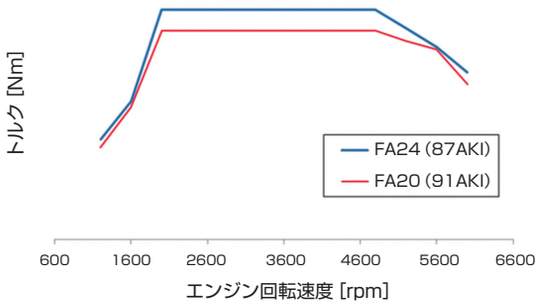


図 77　FA24　エンジン出力性能

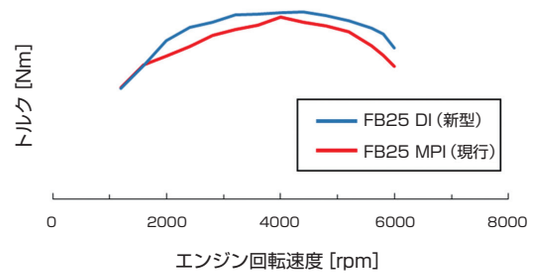


図 78　FB25　エンジン出力性能

9.2　パワートレーン

9.2.1　開発の狙い

新型OUTBACK/LEGACYの動的質感・環境性能向上を目的に２つのCVTを改良し搭載した。

2.5L直噴NAエンジンには、従来に対し80%超の部品を改良した中容量リニアトロニックを搭載。レシオカバレッジの拡大や2ポートベーンポンプの新規採用により動的質感と環境性能、双方の向上を実現した。

2.4L直噴ターボエンジンには、ASCENTで全面改良した高容量リニアトロニックを搭載。新たにアイドリングストップシステムに対応させ環境性能の向上を図った（図79）。

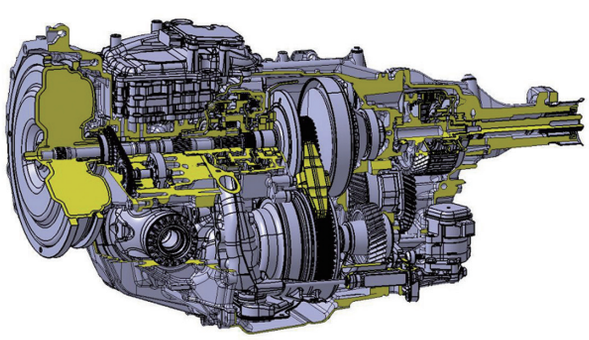


図 79　中容量リニアトロニック

9.2.2　動的、静的質感

プーリーのシャフト径縮小とチェーンの強化により、外径や芯間不変でレシオカバレッジのワイドレンジ化（8.1←7.0）を実現した。これにより発進加速性能の向上と高速巡航時のエンジン低回転化による燃費性能を向上させた。またワイドレンジ化に伴いマニュア

ルモードを8速化(←7速)することで、ドライバビリティの向上を図った(図80)。

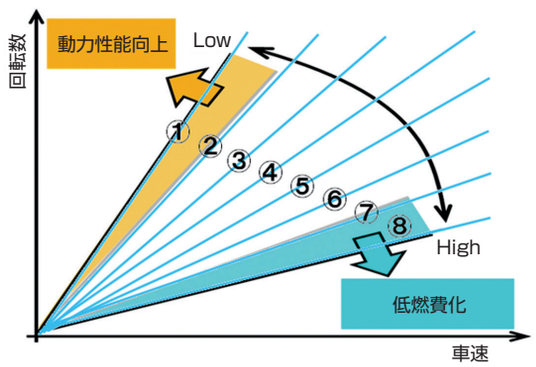


図 80　レシオカバレッジ

ベーン型オイルポンプ新規採用による低回転領域の吐出効率向上に伴い、低速走行時の低回転化を可能にし、静粛性も向上させた。

振動・騒音性能を向上するためプラネタリーギヤの最適設計を織り込んだ。

9.2.3　環境性能

ワイドレンジ化に加え、環境性能を最大限高めるために変速機構、油圧系部品、CVTフルードから各機械要素まで新たに再設計を行った。

セカンダリー圧をライン圧から独立して緻密な制御を実現することで、従来はクランプ力過多な領域があった高速巡航時の油圧を低減し、駆動系のロスを減らした(図81)。

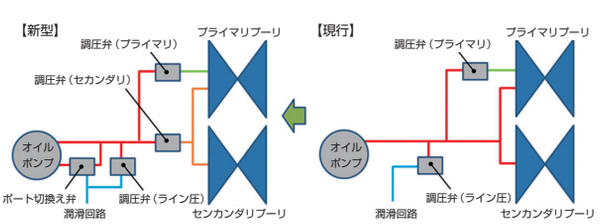


図 81　油圧制御系構成

また走行状態に応じて2 ポート吐出と1 ポート吐出の切り替え制御が可能なオイルポンプの採用により、低負荷時(定速走行時)のオイルポンプロスを低減した(図82)。

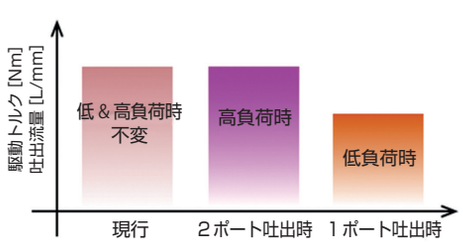


図 82　オイルポンプの吐出流量と駆動トルク

各要素部品の低フリクション化やオイル撹拌抵抗低減による燃費向上策を織り込んだ。

9.3　2.4L直噴ターボエンジン向けリニアトロニック

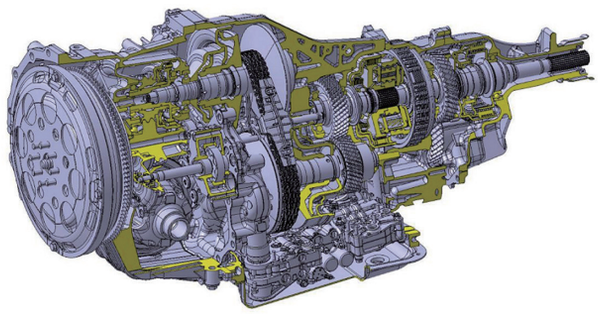


図 83　高容量リニアトロニック

9.3.1　動的、静的質感

従来モデルに対しレシオカバレッジの拡大(6.9←6.4)による加速性能の向上、マニュアルモードの8速化によるドライバビリティの向上、ギヤ比最適化によるトーイング容量3500 lbs化を実現した。

またプーリーチェーンのピッチおよびピンの端面形状の最適化、プーリー支持部への減衰材追加、防音カバー強化により振動と騒音を低減(現行比40%減)し動的質感を向上させた。

9.3.2　環境性能

ASCENTで刷新した油圧制御系や溶接デフの踏襲により、従来モデルに対して駆動系ロスを低減した。

また高容量リニアトロニックとしては初めてアイドリングストップシステムに対応し、赤信号停車時の無駄な燃料噴射抑制を可能にした。電動オイルポンプの基本構造を中容量リニアトロニックと共通にすることで開発効率の向上とコスト低減の最大化を図った。19MYフォレスターと同様に、広大な北米大陸でアイドリングストップシステムの効果を最大限高めるため、作動条件である温度と高度の領域を拡大した(図84)。

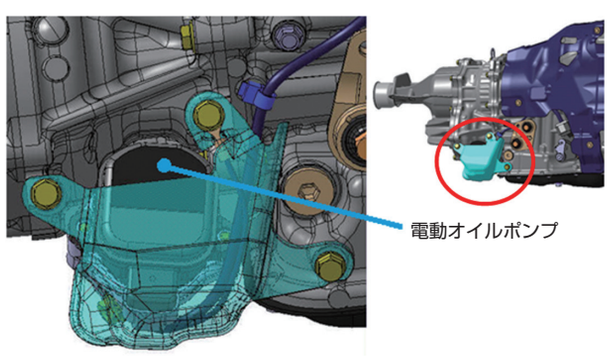


図 84　ASS 電動オイルポンプ SYS

9.4　リヤディファレンシャル(リヤデフ)

9.4.1　2.4L直噴ターボエンジン向けリヤデフ

ASCENT向けに開発したR167リヤデフを適用し、トーイング性能を2700 lbs から3500 lbsへ向上させた(図85)。

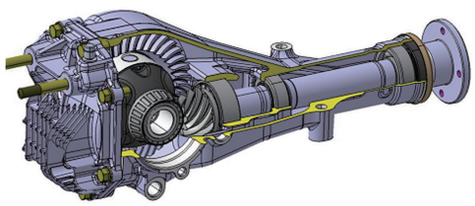


図85　R167 リヤデフ

10.　ボディ構造

10.1　動的質感

新型OUTBACK/LEGACYでは、スバルグローバルプラットフォームを採用し「世界最高水準の安全性能」と「高性能を超えた感性に響く動的質感」を継承した(図86)。

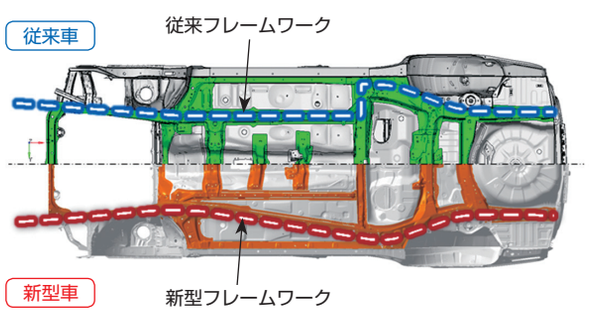


図86　スバルグローバルプラットフォーム

さらに上質で堅牢なボディ・キャビンに進化させるため、ボディ骨格を強固に組み立ててから外板パネルを溶接するフルインナーフレーム構造をSUBARUとして初めて導入、アッパーボディとの結合を強化し高剛性化と軽量化を両立した(図87)。

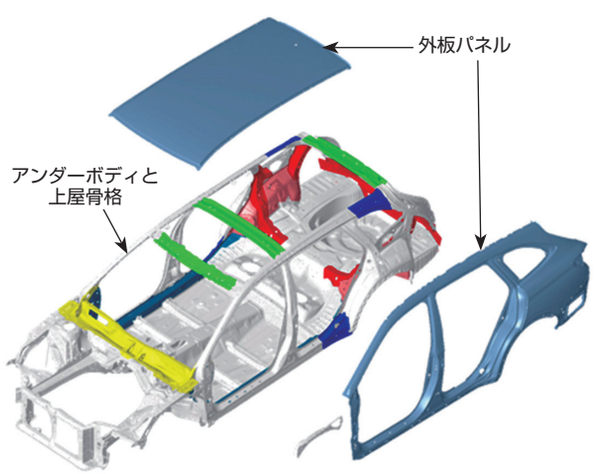


図87　フルインナーフレーム構造

また構造用接着剤の塗布拡大による板金部品同士の接合の強化、樹脂素材リンフォースや2液充填発泡材の適用による骨格断面の補剛といったアイテムの採用により大幅にボディ剛性を引き上げ、ステアリング操作に対する正確なレスポンス、快適な乗り心地、静粛性の高い室内空間を実現した。なお、これら動的質感向上、及びボディ構造詳細については別報にて紹介する。

10.2　衝突安全

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採用、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の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。

前面衝突では、従来車に対してフロントフレームの断面拡大により約10%の抗力アップを図った。同時にフロントフレーム後端部のクロスメンバ断面を強化、トーボード室内側に骨格を追加し反力支持構造を強化して衝突エネルギー吸収効率を向上させた。また、フロントフレームから連続するキャビン床下フレームは、ホットスタンプ材を採用すると同時にリアフレームまで滑らかにレイアウトさせることでキャビンの局部変形を抑制している。さらに、トンネル裾野部への骨格追加、荷重伝達経路であるトルクボックス～サイドシル間の骨格を強化した(図88)。

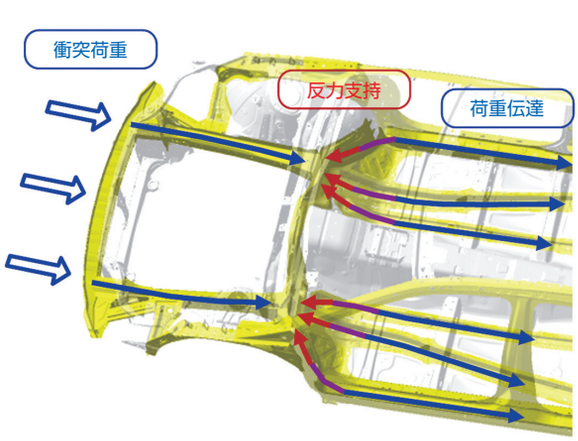


図88　荷重伝達経路（マルチロードパス）

側面衝突では、センターピラー、及びサイドレールにパッチワーク・ホットスタンプ工法を採用。さらにセンターピラーは、衝突時の変形をコントロールするため、焼き入れ時に強度が異なる鋼板をレーザー接合した複合材料を採用した。センターブレースやセンターピラー内部リンフォースに1.2 GPaの冷間超高張力鋼板材を採用した(図89)。

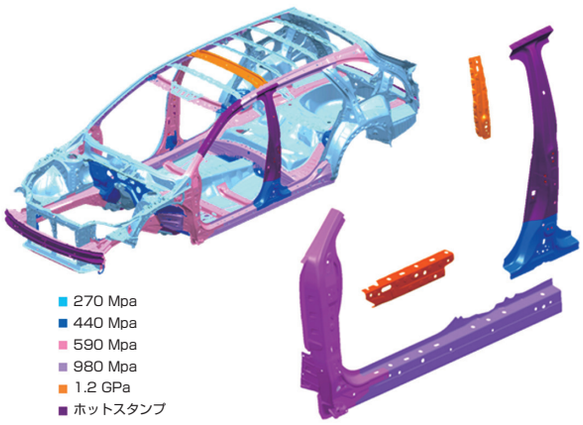


図 89　ホットスタンプ材、冷間 1.2 GPa ハイテン材

10.3　高張力鋼板の適用拡大

ボディ構造の最適化と高張力鋼板の適切な配置により、質量増加を抑えるとともに、前面、側面、後面すべての衝突安全性を向上させた。1.2 GPa級の冷間ハイテン材の採用をはじめ、980 Mpa以上の超ハイテン材使用比率を従来車の7%に対し20%に拡大した(図90)。

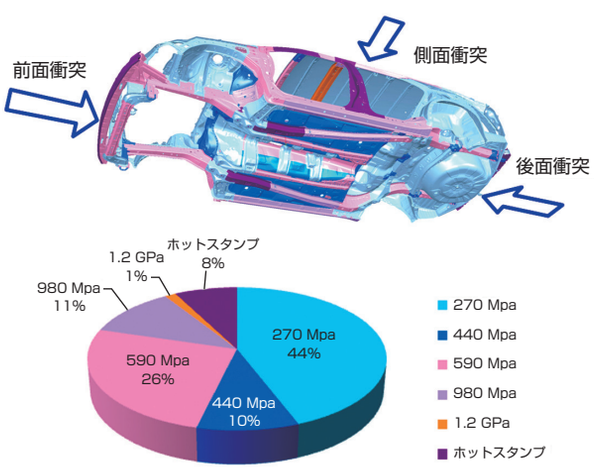


図 90　高張力鋼板適用比率

10.4　空力性能

燃費性能向上のため、床下パーツの空力性能を強化した。エンジン下アンダーカバーは、排気・足回りレイアウトに合わせて形状をスムーズ化し空気抵抗を低減するとともに、バンパー下端部の流れを制御し走行安定性を向上させた。床下アンダーカバーは、被覆面積を拡大しつつ吸音素材を採用することで静粛性を両立させた。また、フロントマッドガードは、前壁にエアガイドを設けエンジン房内の圧力をコントロールし、ホイールハウスからの吹き出しと床下・側面の流れの干渉を低減させスムーズに合流させることにより車体背面負圧を抑制し空力性能を向上させた(図91)。

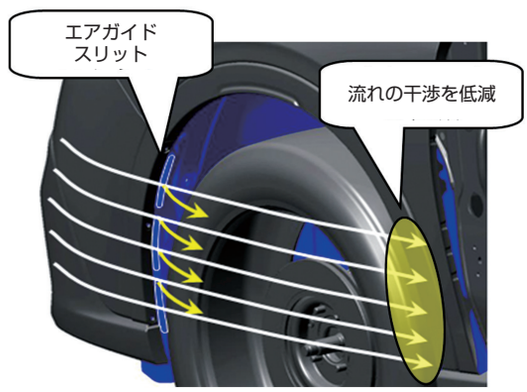


図 91　マッドガード・エアガイド

10.5　外観品質の向上

10.5.1　リヤアーチヘミング(LEGACY)

リヤクォーターアーチ部にヘミング工法を導入した。フランジ先端を筒状に折り返すことで、シャープなアーチラインを表現するとともに、従来の薄板フランジの先端部やシールラインを見えなくすることで、すっきりとした外観を演出した。また、フランジを折り返したことにより得られたスペースを活かしてトレッドを拡幅。コーナリング時の安定性を向上するとともに、タイヤの奥まり感を払拭し、セダンとしての力強さを強調するデザインとした(図92、図93)。

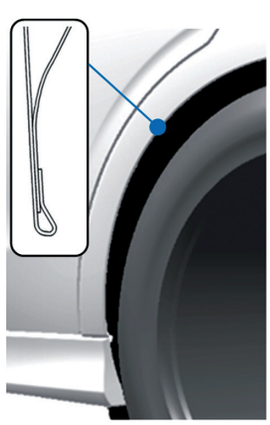


図 92　ヘミングタイプ

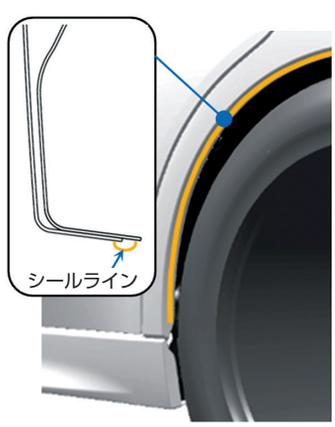


図 93　フランジタイプ

10.5.2　フューエルフラップ

フューエルフラップを樹脂化することで、フラップ開時の外観品質を向上した。また、フラップの室

内オープナーレバーを廃止してプッシュオープンタイプにすると同時に、アクチュエータを用いた電動ロック/アンロックシステムを採用。利便性を向上させるとともに、レバー廃止によりすっきりした運転席足元スペースを実現した。軽量化にも貢献している(図94)。

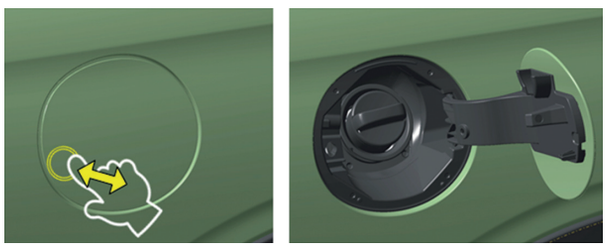


図94　プッシュオープン樹脂フラップ

11.　シャシー

11.1　開発の狙い

SUBARUの共通思想である「安心と愉しさ」について、旗艦車種に相応しいクルマづくりを目指し、お客様の期待を超えるという、挑戦的な開発目標を掲げ、スバルグローバルプラットフォームの進化、各種軽量化技術を織込んだ。ここでは現行車との比較という切り口で、織込んだ技術を紹介する。

11.2　サスペンション

OUTBACKにはLEGACYのキビキビとした走りの良さを、LEGACYにはOUTBACKのどっしりとしたSUVのようなテイストを取り込み、お互いの持ち味を活かすことで、走行性能を向上させた。スバルグローバルプラットフォームの走りの根底を支えるサスペンション技術によって、操縦安定性や静粛性、安定感などを実現し、走りの愉しさを生み出した。

11.2.1　フロントサスペンション

現行車に対して下記の変更を行った。また、軽量化については、バネ下質量低減によるタイヤの路面追従性が高まり、乗り心地向上に寄与している(現行車比LEGACY▲4.9 kg、OUTBACK▲2.8 kg)(表5、図95)。

■荷重軸制御コイル

コイル上部とベアリングの接触面を均一化する事で、ベアリングのフリクション低減を行い、操舵力の線形特性化により操舵感を向上させた。

表5　変更一覧

ねらい	内容	No.
操舵時の正確性と応答性の向上	K型ブレースの追加により、横曲げ剛性を向上し、操舵時のアームからの入力によるクロスメンバーのたわみ等を抑制	(1)
車両ロールのぐらつき感の抑制	OUTBACK　スタビライザー径の拡大(φ21→φ24)により、効きを改善し、ロール方向のぐらつきを抑制	(2)
乗り心地の向上	高剛性サスペンションクロスメンバーの採用により、車両の応答性を高めつつ、タイヤやエンジンからの振動伝達を遮断	(3)
	フロントアームのボールジョイントのフリクションを半減し、路面の細かな突起乗り越し時の振動を低減	(4)
軽量化	LEGACY　中空スタビライザー(φ21(中実))→φ23 t4.5 中空)採用により、バネ定数を維持しながら、約530 g軽量化	(5)
	アルミロアアームによる軽量化	(6)

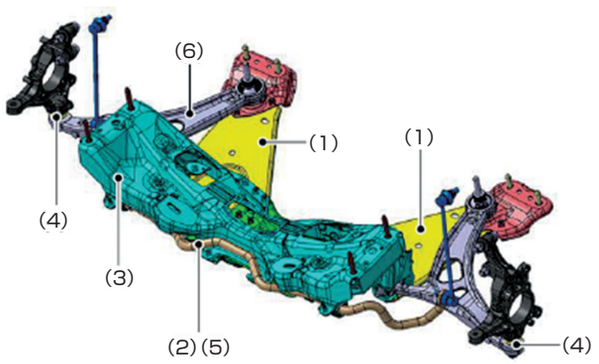


図95　フロントサスペンション

■ダンパー特性

低フリクションロッドガイドの採用などにより、ロッドとピストンの間の圧縮方向の摩擦抵抗を低減し、減衰力のチューニングを実施。特に路面の細かい凹凸がある事を感じさせない、より快適なフィーリングのタンパー特性を実現した(図96)。

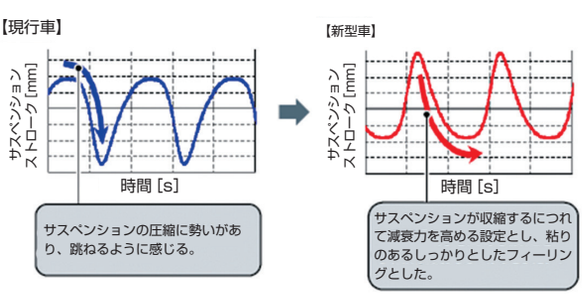


図96　タンパー特性

11.2.2　リヤサスペンション

現行車に対して下記の変更を行った(現行車比LEGACY▲5.9 kg、OUTBACK▲6.4 kg)(表6、図97)。

■非連成サブフレームBush

サブフレームBushの弾性中心を車両のロールセンターに合わせる事で、柔らかいBushで高い剛性を確保でき、振動遮断との両立を図った(図98)。

表 6　変更一覧

ねらい	内容	No.
振動騒音性能と操舵安定性の両立	非連成サブフレームブッシュの採用	(1)
	スタビライザーを車体に直接マウント	(2)
操舵時の正確性と応答性の向上	リヤサブフレームの構造変更により、リヤサスペンションの剛性向上	(3)
操舵応答性の向上	動的ジオメトリー変更（リンク配置、長さ、形状変更）	
軽量化による燃費向上	ハウジング材料を鋳鉄からアルミに変更 ・OUTBACK 約 2.4 kg/ 個（約 4.8 kg/ 台）の軽量化 ・LEGACY 約 2.67 kg/ 個（約 5.34 kg/ 台）の軽量化	(4)
軽量化	・OUTBACK 中空スタビライザー（φ 16（中実）→φ 18 t3.2 中空）採用により、バネ定数を約 1.6 倍にアップしながら、約 460 g 軽量化 ・LEGACY 中空スタビライザー（φ 16（中実）→φ 19 t3.2 中空）採用により、バネ定数を約 1.3 倍にアップしながら、約 570 g 軽量化	(5)
乗り心地の向上	アームリヤのボールジョイントのフリクションを約 20%低減し、路面の細かな突起乗り越し時の振動を低減	(6)

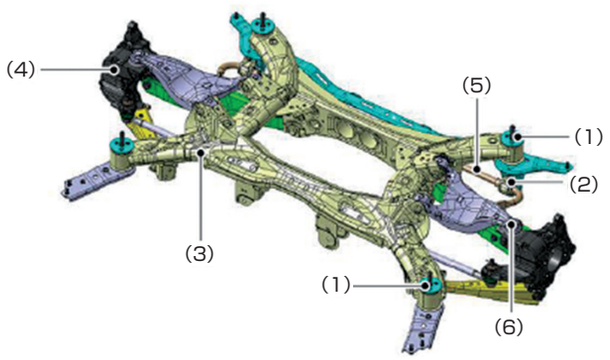


図 97　リヤサスペンション

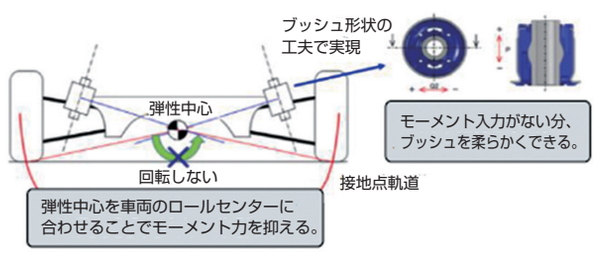


図 98　非連成サブフレーム

■リヤスタビライザー車体締結

タイヤからの入力に対して、リヤスタビライザーが車体に締結されている事で車体の慣性力を活用して車体振動を抑えた(図99)。

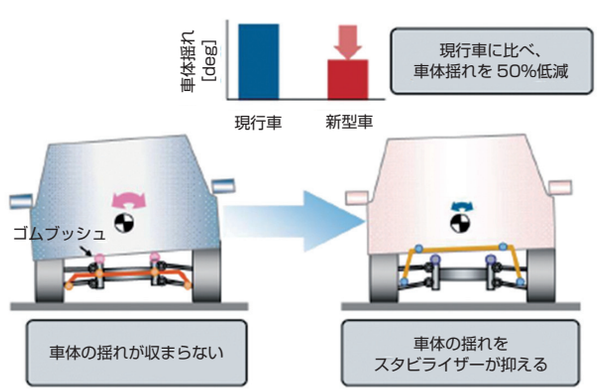


図 99　リヤスタビライザー車体締結

■入力分離式マウント

新型車ではコイル入力分離構造を採用し、振動騒音性能と操縦安定性を両立させた(図100)。

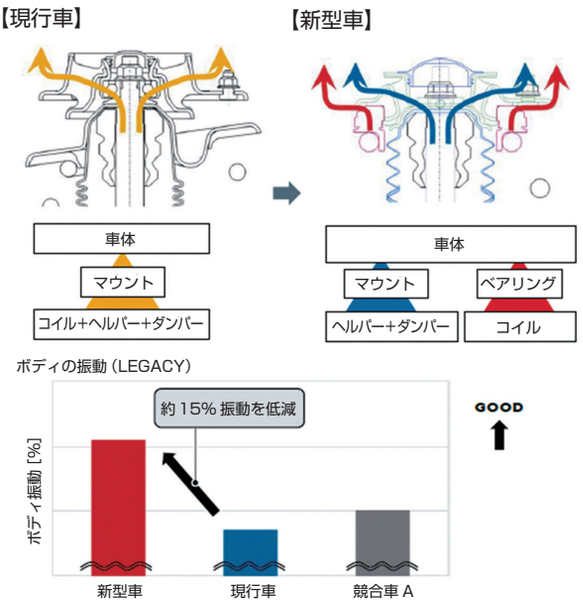


図 100　入力分離式マウント

11.3　ステアリング

11.3.1　電動パワーステアリング

VGR（Variable Gear Ratio）を採用した。ステアリング回転角によって変化するギヤ比によってレスポンスのよいハンドリングを実現すると同時に、低速時の取り回し性と高速走行時の車両安定性を両立した(図101、図102)。

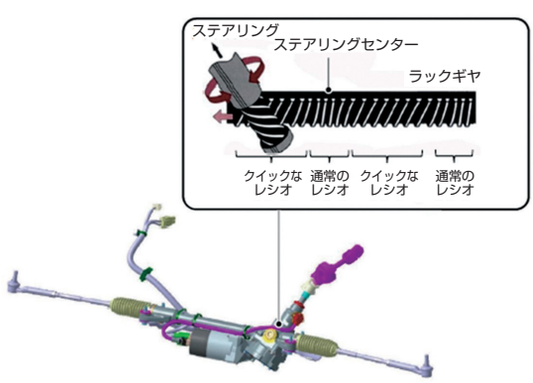


図 101　電動パワーステアリング

11.3.2　ステアリングコラム

現行車に対して、コラプスストロークを拡大し、衝突時の乗員保護性能の向上(1)と、チルトテレスコピックの調整量(2)を約30%増やし、ドライバーの体格によらない自然な運転姿勢を実現した(図102、図103)。

■低速時の取り回し性

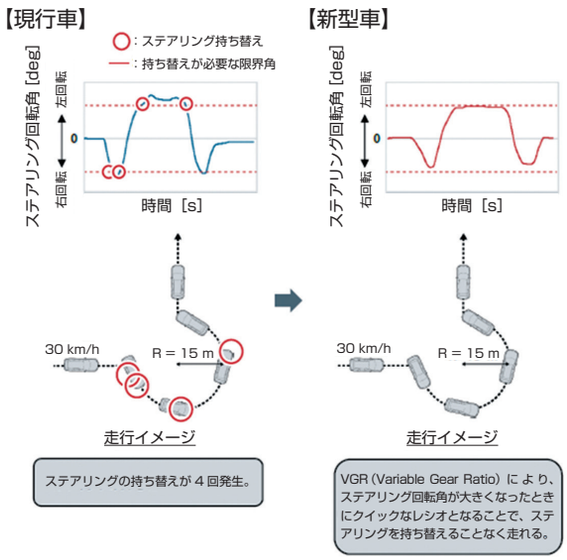


図 102　低速時の取り回し性

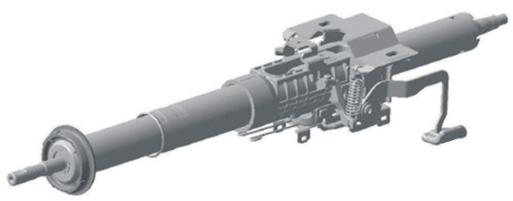


図 103　ステアリングコラム

11.3.3　ステアリングホイール

最上級グレードのTouringには高触感本革とヒータを標準設定した。

11.4　タイヤ&ホイール

11.4.1　タイヤ

タイヤのサイドマーキングを凹化する事で、空力性能を向上させた(表7)。

表 7　適用グレード一覧

仕様		適用グレード					
		2.5i	Premium	Sport	Onyx	Limited	Tourring
OUTBACK	225/65R17（オールシーズン）	2.5i	2.5i-P/2.4R-P		–	–	–
	225/60R18（オールシーズン))	–	–		2.4R-F	2.5i-L/2.4R-L	2.5i-T/2.4R-T
LEGACY	225/55R17（オールシーズン）	2.5i	2.5i-P/2.4R-P	–		–	–
	225/50R18（オールシーズン）	–	–	2.5i-S		2.5i-L/2.4R-L	2.5i-T/2.4R-T

11.4.2　ホイール

新デザインのアルミホイールを採用した。空力性能、高剛性、軽量化に配慮しながら、OUTBACK/LEGACYに相応しい力強いスタイリッシュなデザインとした(表8、図104、表9、図105)。

■18インチホイール

表 8　18 インチホイール適用一覧

仕様		適用グレード					
		2.5i	Premium	Sport	Onyx	Limited	Tourring
OUTBACK	アルミ（ダークメタリック＋切削光輝）	–	–		–	2.5i-L/2.4R-L	2.5i-T/2.4R-T
	アルミ（ダークメタリック）	–	–		2.4R-F	–	–
LEGACY	アルミ（ダークメタリック＋切削光輝）	–	–	–		2.5i-L/2.4R-L	2.5i-T/2.4R-T
	アルミ（ダークメタリック）	–	–	2.5i-S		–	–

OUTBACK	LEGACY
アルミ（ダークメタリック＋切削光輝）、アルミ（ダークメタリック）	アルミ（ダークメタリック＋切削光輝）、アルミ（ダークメタリック）

図 104　18 インチホイール仕様

■17インチホイール

表 9　17 インチホイール適用一覧

仕様		適用グレード					
		2.5i	Premium	Sport	Onyx	Limited	Tourring
OUTBACK	スチール	2.5i	–		–	–	–
	アルミ（ダークメタリック＋切削光輝）	2.5i（US）	2.5i-P/2.4R-P		–	–	–
LEGACY	スチール	2.5i	–	–		–	–
	アルミ（ダークメタリック＋切削光輝）	OP設定（2.5i（US））	2.5i-P/2.4R-P	–		–	–

OUTBACK	LEGACY
アルミ（ダークメタリック＋切削光輝）	アルミ（ダークメタリック＋切削光輝）

図 105　17 インチホイール仕様

11.5　ブレーキ

現行車に対して次の変更を行った(表10)。

加えて、ブレーキペダルレバー比を変更する事でペダルストロークに対する車両減速度特性をリニアにし、ドライバーに安心感を与える設定とした。また、ブレーキペダルはレバー部に中空構造を採用する事で、高剛性と軽量化の両立を図った(図106)。

表 10　ブレーキ

ねらい	内容
踏んだ瞬間に効く、 安心感のあるブレーキ性能	・フロントキャリパーのシリンダー剛性向上により、無効ストローク領域を低減 ・ブースター特性の最適化と高μ材パッドの採用により、効きを向上
常用域から緊急時まで、 不安を感じさせない ブレーキ性能	・負圧低下時の助勢制御の導入により、緊急時の制動性能を確保 ・メカニカル式負圧ポンプ採用により、高地冷態時でも安定した効きを確保

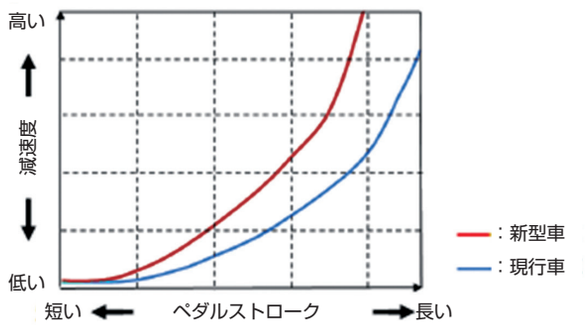


図 106　ペダルストローク

また、EPB と ABS センサーを一体構造とする事で、300 g の軽量化を実現した（図 107）。

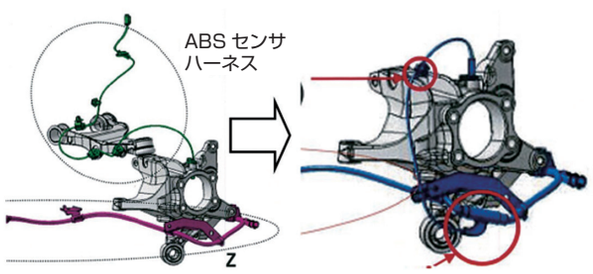


図 107　一体構造

11.6　VDC

全車に標準装備。車両の挙動を常時チェックし ABS（アンチロック制御）、TCS（エンジン制御、ブレーキ LSD 制御）、VDC（横滑り防止のためにエンジンとブレーキを制御）をフレキシブルに制御。介入タイミングの最適化により高い安全性を確保する制御とした。万が一ブレーキブースタが故障した場合や気圧の低い高地でブレーキブースタが十分にアシストできない場合のエマージェンシー機能として、VDC の加圧機能を使ってブレーキングを助勢する制御を追加した。

■AVH（Auto Vehicle Hold）の採用

信号待ち、渋滞、坂道停車時の「ブレーキペダルを踏み続ける」というドライバーの負荷を軽減するため、ブレーキペダルから足を離しても停車保持ができるオートビークルホールドを採用した。制御開始から 10 分、または VDC 異常時の場合は電動パーキングブレーキを作動させることで安全性考慮した設計とした（表 11）。

表 11　AVH（Auto Vehicle Hold）

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

11.7　TPMS（Tire Pressure Monitoring System）

各ホイールに装着された TPMS の送信機を特定し、自動で ID 登録を行うシステムを新たに採用した。現行車はディーラの専用ツールにて、TPMS 送信機の ID 登録が必要だったが、新型車は自動に装着された TPMS 送信機を自動で認識するようにした。これにより、お客様は自身でスノータイヤなどへ交換を行うときに TPMS の設定のためにディーラに行かなくても良いようにし、利便性を向上した（図 108）。

図 108　TPMS

11.8　燃料システム

軽量化を目的に、樹脂製の燃料タンク、ステンレス鋼の燃料タンクバンド、アルミ製耐火カバー、SUBARU 初の樹脂製フィラーパイプを採用することで、現行車比▲6.9 kg の軽量化を実現した（図 109）。

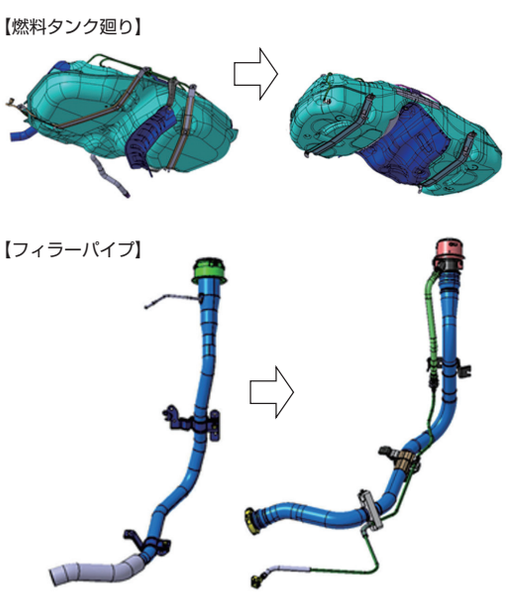


図 109　燃料システム

11.9　吸気システム

振動と騒音の低減と出力向上を実現するために、吸気システムを最適化した。車内音を低減させるために、房外吸気ダクトへ消音構造（スプリッタ）を追加し、ターボ気流音を1～2 dB低減した。また、出力向上のため、エアクリーナとエアフロメータ部の内径を拡大し、吸入時の圧損を約3%低減した（図110）。

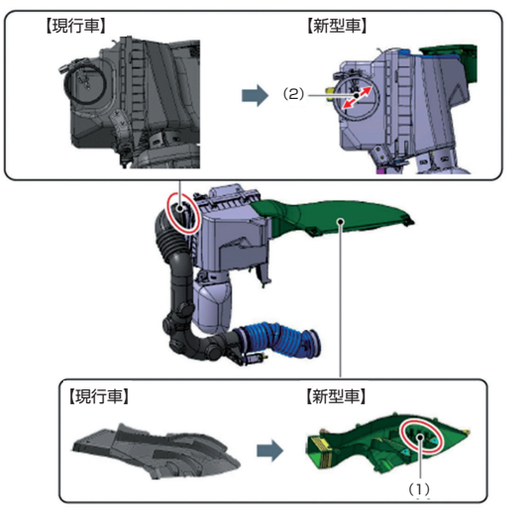


図 110　吸気システム

11.10　排気システム

静粛性を向上させるため、マフラー内部構造を変更した。これにより気流音とこもり音を低減した。マフラーカッタ無し車はテールパイプ端末を後方から見えにくい形状とすることでクリーンなイメージを実現した。また、遮熱カバーは空力性能を向上させた大型カバーの採用に際し、表面をエンボス加工とすることで、板厚の低減（t0.5⇒t0.4）を実現し、質量増を最小限に抑えた（図111）。

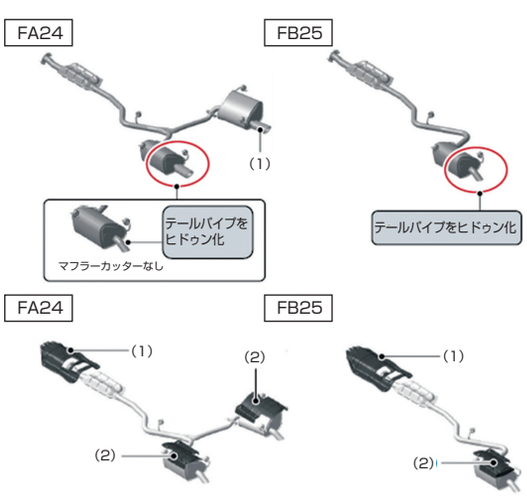


図 111　排気システム

11.11　エンジンマウンティングシステム

現行車のクレードル構造からサスペンションクロスメンバーへマウントする構造に変更し、現行車同等以上の振動・騒音性能を確保しながら軽量化を実現（現行車比▲3.7 kg）させた。また、リヤマウントについては締結箇所を2ヵ所から4か所へ変更することでブラケット共振を抑制し、CVTチェーン音やノイズを低減させた（図112）。

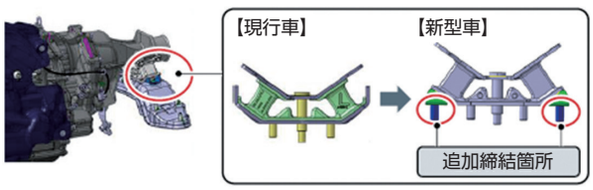


図 112　エンジンマウンティングシステム

12.　まとめ

どこまでも走り続けたくなるような安心感と快適性、荷物を効率的に積める積載性、質感の高い内装、その機能性が感じられるデザインなど、これらはすべてSUBARUがクルマづくりにおいて大切にしてきたことです。

一方で、提供するべき価値の「実現手段」が時代によって変化していくことも、しっかりと認識する必要があり、たとえば安全・安心においては、衝突に強いボディやエアバッグなど、これまでの物理的な装備に加えて、先進的なインフォテインメントシステムを用いたHMI（Human-Machine Interface）によって「情報を正確に分かりやすく伝えること」も、今の時代の安全・安心を実現する手段のひとつだと考え、これからの時代に求められるOUTBACK/LEGACYをつくり込んできました。

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、あらゆる面で進化を遂げた新型OUTBACK/LEGACYが、お客様の生活を豊かにし、新しい人生の扉を開くきっかけとなることを切に願っております。

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、紙面をお借りして厚く御礼申し上げます。

【著　者】

SUBARU OUTBACK/LEGACY
開発プロジェクトチーム

［商品企画本部］	堀　陽一	［電子プラットフォーム設計部］	室伏　徹
	吉崎　裕嗣		中村　昭教
	小野寺　圭	［先進安全設計部］	前田 晋之介
	中島　宏晃	［エンジン開発推進PGM］	塚本　直輝
	森　耕治		岡村　諭
［内装設計部］	橋本　淳	［トランスミッション設計部］	上竹　悟史
	沼澤　浩二	［車体設計部］	青田　裕之
	角田　達彦		松田　浩幸
［外装設計部］	山崎 研太郎	［シャシー設計部］	宇津木 芳明
	杉浦　巧		小暮　崇
	渋澤　朋央	［燃費開発部］	二神　貴弘
［電子商品設計部］	柄澤　英之		松前　和伸
	近藤　敬生		

SUBARU 新型フォレスターがJNCAP予防安全性能アセスメントで最高ランク（ASV＋＋＋）を獲得

2018年11月29日

2018年7月にフルモデルチェンジをして発売した新型フォレスターが、国土交通省と独立行政法人 自動車事故対策機構（NASVA）が実施する、2018年度予防安全性能アセスメントにおいて、最高ランクであるJNCAP「予防安全性能評価ASV＋＋＋（エー・エス・ブイ・トリプルプラス）」を獲得しました。

新型 OUTBACK/LEGACY 用リニアトロニックの開発

Development of Lineartronic for New OUTBACK/LEGACY

岸　本　拓　也[*1]
Takuya KISHIMOTO
小　林　隆　浩[*1]
Takahiro KOBAYASHI
前　川　卓　也[*1]
Takuya MAEKAWA
篠　原　　剛[*1]
Tsuyoshi SHINOHARA
右　近　靖　幸[*2]
Yasuyuki UKON
小　川　雅　人[*2]
Masato OGAWA

抄　録

2019年に北米で発売するOUTBACK/LEGACY向けに中容量縦置きチェーン式CVT「リニアトロニック」を開発した。

『環境性能』の飛躍的向上はもちろんのこと『動的質感』の向上を開発テーマとして、トップクラスの静粛性、優れた動力性能を実現した。

本稿ではOUTBACK/LEGACY向け(2.5L NAエンジン仕様)に開発したCVTの構造ならびに、性能向上の詳細を報告する。

Abstract

SUBARU Lineartronic CVT (Middle capacity) was developed for the OUTBACK/LEGACY, which is released in the North American market in 2019.

Environmental friendliness, driving performance and NVH performance for improving the dynamic quality were focused on.

This paper describes details of the new Lineartronic and the performance improvement.

1.　まえがき

2011年に量産開始し、2016年に改良を行った中容量リニアトロニックに対し、2019年に北米で発売の新型OUTBACK/LEGACY搭載に向けて改良を図り大幅な性能向上を実現した。本稿ではその開発内容について紹介する。

2.　CVT開発の狙い

益々需要の高まる『環境性能』に対し世界トップの性能と『動的質感』向上の狙いに対し、コンパクトでトルク密度が高く、かつプーリー比に関わらず伝達効率が高い特長を持つチェーン式CVTとして高レベルで両立させ、コストにも優れる構成を追求した。

その結果、主変速機構のみでレシオカバレージを確保してシームレスなCVTの特徴を最大限に発揮出来る基本構造とし、飛躍的な環境性能、振騒性能向上を実現した。

＊1 トランスミッション性能開発部
＊2 トランスミッション設計部

本開発では車室内に影響を与えないよう外観寸法や軸配置は従来型CVTを踏襲し約8割の構成部品を新設計した。主要構造を**図1**、主断面を**図2**に示す。

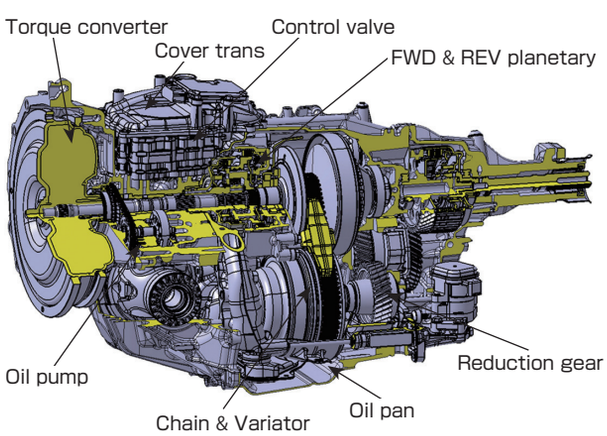


図1　リニアトロニックの主要構造

2.1　環境性能向上

クラストップの環境性能を実現すべく、レシオカバレージ拡大(8.1←7.0)によりオーバードライブギヤ比を広げ高速巡航時のエンジン低回転化、さらに油圧損

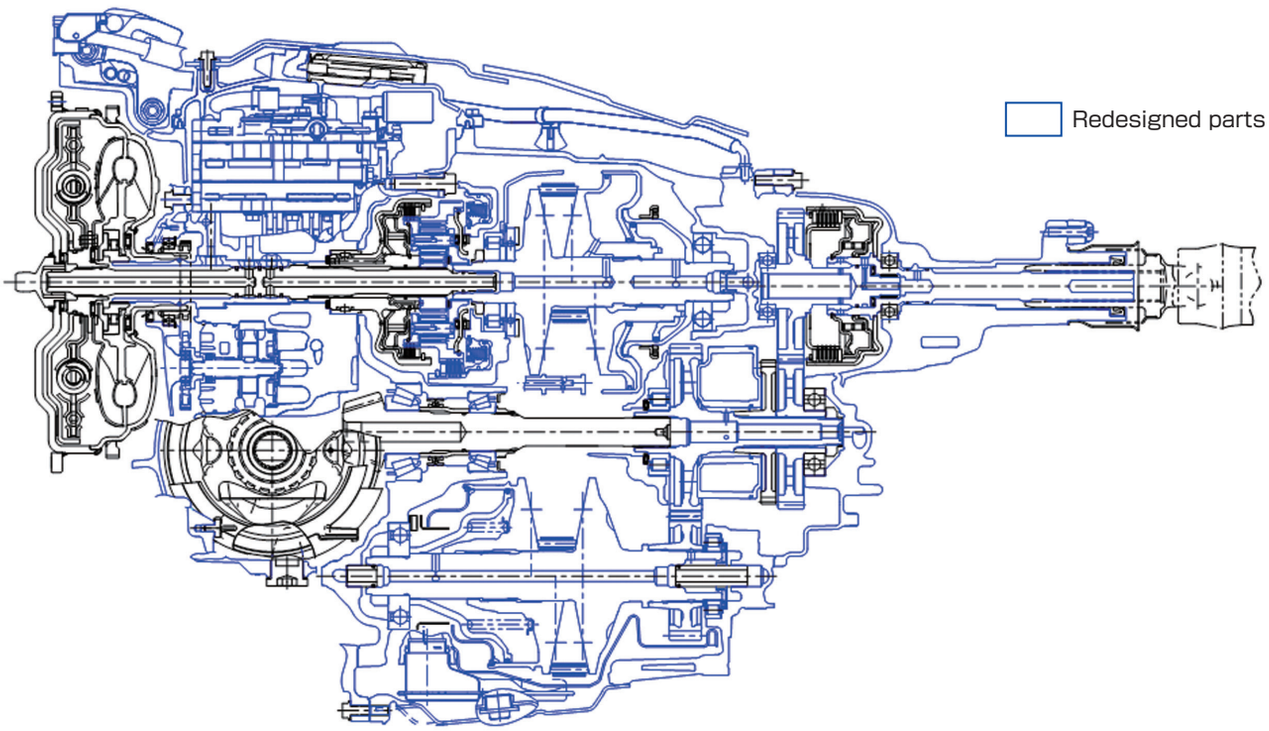


図２　リニアトロニックの主断面図

失と撹拌損失の低減によりCVT損失を従来型比22%低減した(図3、4)。

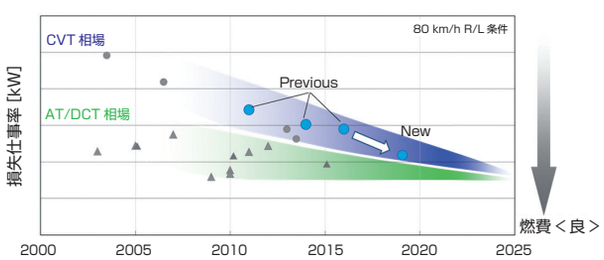


図３　トランスミッション損失仕事率の動向予測

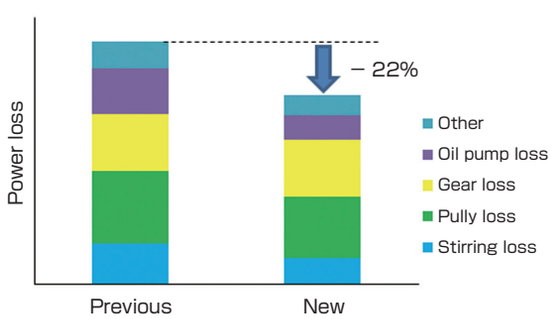


図４　トランスミッション損失仕事率
(80 km/h road load)

2.2　動的質感向上

レシオカバレージ拡大によるローギヤ比の拡大と併せてリダクションギヤ比をローギヤ化し発進加速性能を確保した。またマニュアルモードを8速化(←7速)することでドライバビリティの向上を図った。

振騒面ではベーン型オイルポンプを採用し静粛性を大幅に改善し、またプラネタリギヤ音はギヤ諸元を最適化した。

3.　新型CVTの構造と特徴

新型CVTの主要諸元を表1に示す。

表１　主要諸元

		OUTBACK	LEGACY
Engine max torque		250 Nm	
Gear ratios	Ratio coverage	8.1	
	Pulley ratio	0.358～2.893	
	Reduction ratio	1.405	
	Final ratio	3.900	3.700

3.1　レシオカバレージ拡大

ローギヤ比での発進性確保、オーバードライブギヤ比での燃費向上と緩加速時の駆動力確保から目標レシオカバレージを決定した。目標達成に向けてプライマリとセカンダリのチェーン巻き掛け径を最適化し、プーリ芯間距離不変でレシオカバレージを従来型比16%拡大し、副変速機を持たないCVTのトップランナーとなるレシオカバレージ8.1を達成した。

チェーン巻き掛け小径化によりチェーン負荷が増加

するため、チェーンは従来品に対しロッカーピン形状変更、リンクプレート配列の最適化、さらなるチェーン生産工程の改善により強度を向上した。また小径化を実現するためにプーリ軸径を小径化しており、セカンダリ側への入力トルク増加に対し、軸部へのショットピーニング追加およびプーリシーブ背面形状の最適化により強度と剛性を確保した(図5、6、7)。

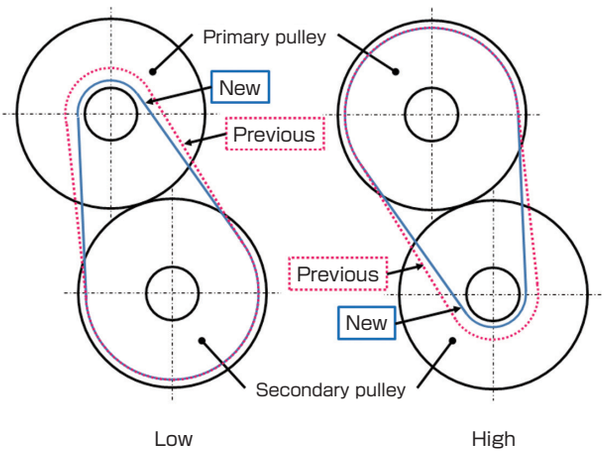


図５　巻き掛け径の新旧比較

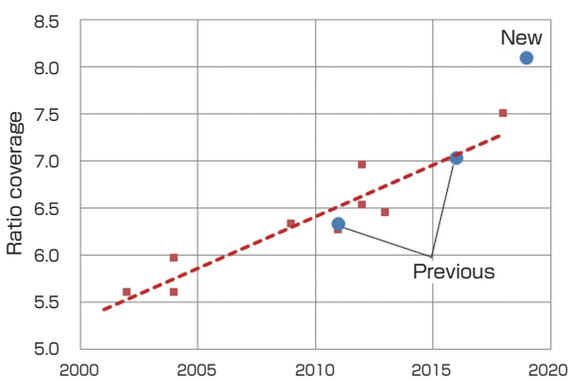


図６　中容量 CVT レシオカバレージ動向（副変速機無し）

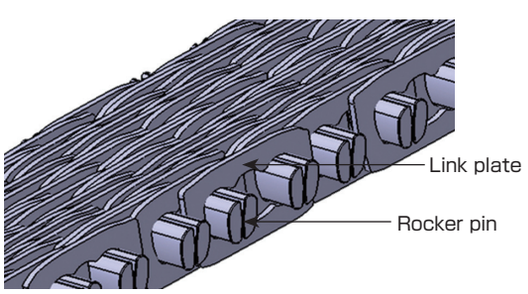


図７　CVT チェーン

3.2　油圧システムの刷新

損失低減のため新型CVTではライン圧とセカンダリ圧の独立制御化と、2ポート切替えオイルポンプを採用し、油圧システムの刷新を図った(図8)。

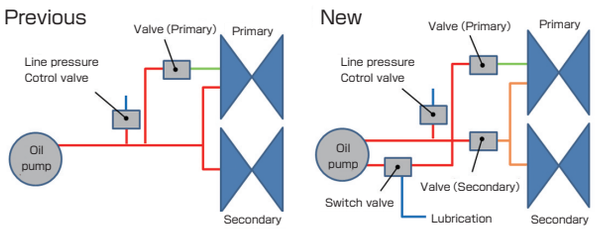


図８　油圧回路概略図

3.2.1　セカンダリ圧の独立制御化

従来型ではライン圧を共用していたセカンダリ圧に対し、新型CVTでは独立して制御できる油圧制御機構を採用し緻密な制御を実現した。これにより従来はバリエータ要件以外で油圧過多になっていた領域に対し、セカンダリ圧の適正化を図り(図9)、80 km/h road load条件ではバリエータクランプによる損失を従来型比14%低減した。

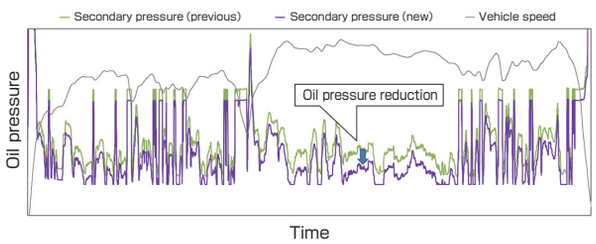


図９　油圧低減効果 (US highway モード)

3.2.2　オイルポンプ吐出ポートの２ポート化

従来型のオイルポンプは、1ポートのみであるため必要流量が少ない低負荷走行条件にて過剰にオイルを供給し、機械損失が発生していた。新型では吐出ポートを2ポート化し走行状態に応じて切替えが可能な構造に変更した。加速時などライン圧から各回路への供給が多い時は2つの吐出ポートからライン圧にオイル供給し、定速走行時などのライン圧から各回路への供給が小さい時は1つのポートを低圧に切り替えることでオイルポンプ負荷を低減した。1ポート化により常用域での駆動トルクを2ポートに対し最大30%低減した(図10)。また80 km/h road load条件で損失を従来型比45%低減した。

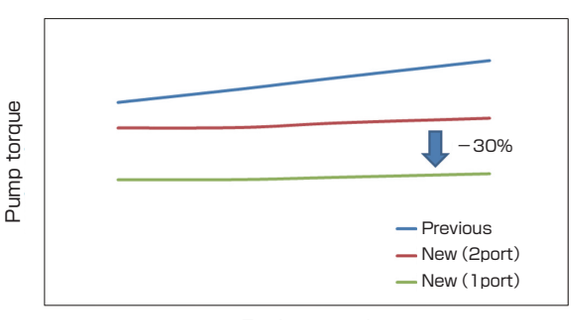


図 10　オイルポンプ駆動トルク低減効果

3.3　機械損失低減

シールリングサイド面のポケット形状を最適化し油圧による押し付け力を軽減しフリクショントルクを低減した。リバースクラッチのフェーシング形状を変更しオイル排出性を向上させドラグトルクを低減した。

テーパローラベアリングの内部諸元最適化によりフリクショントルクを低減した。

またCVTフルードを低油温～高油温の全域で低粘度化し、またプーリ用バッフルプレートの形状変更によりオイル流入を抑制し、オイル撹拌抵抗を低減した（図11 ～ 15）。80 km/h road load条件で撹拌損失を従来型比37%低減した。

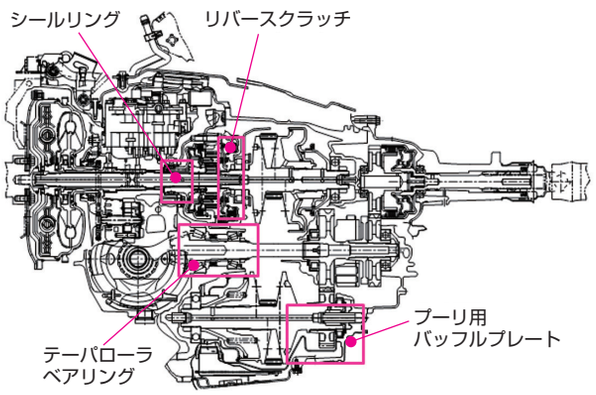


図 11　機械損失低減アイテム

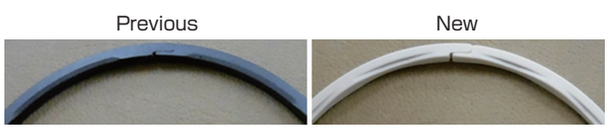


図 12　シールリング　ポケット形状

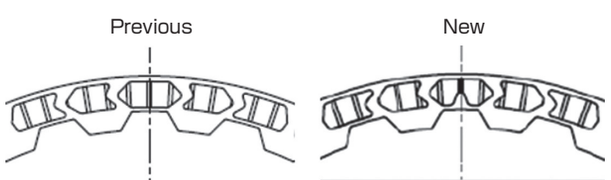


図 13　リバースブレーキフェーシング形状

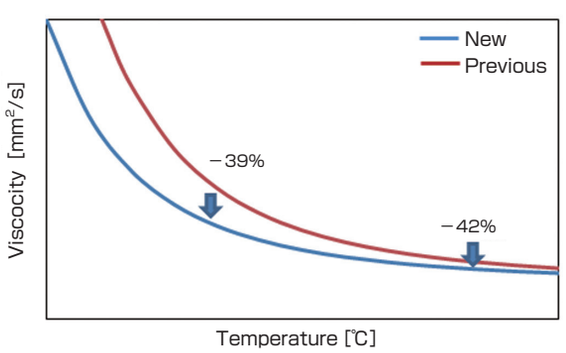


図 14　CVT フルード粘度

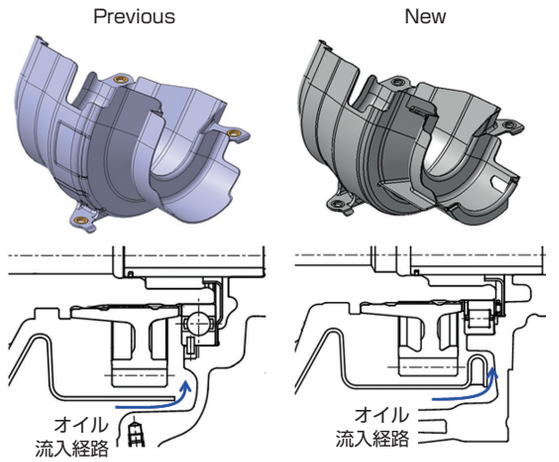


図 15　プーリ用バッフルプレート

3.4　オイルポンプ音低減

従来型の内接ギヤタイプに対してベーンタイプを採用し、吸入ポートの上流に新構造となるオイルガイドを配置した。オイルガイドによる戻し回路のオイル整流効果により吸入負圧の絶対値を低減し、気泡の発生を抑制することでオイルポンプ音を5 dB改善した（図16、17）。

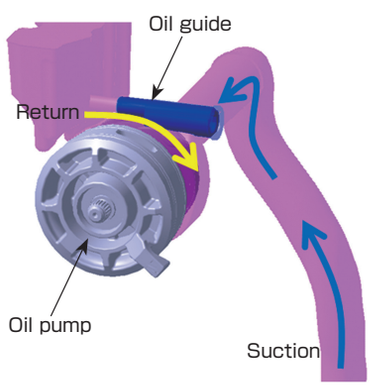


図 16　サクション回路

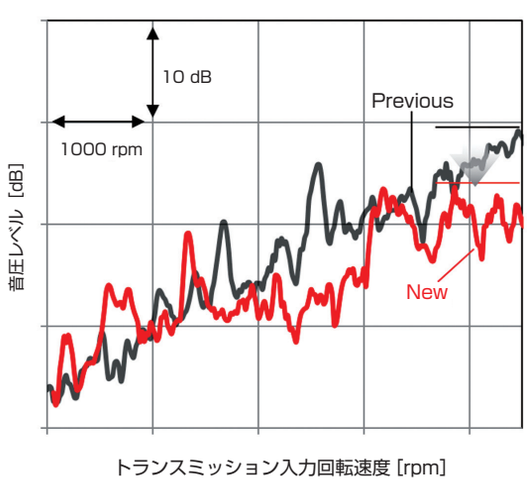


図 17　オイルポンプ音性能

3.5　プラネタリギヤ音低減

プラネタリギヤ音に寄与の高い構造系の変形モードを励起しないようギヤ噛み合いを同位相設計することで、ギヤ噛み合い反力ベクトルを変化させたことにより、従来型に対し放射音レベルを10 dB低減した(図18)。

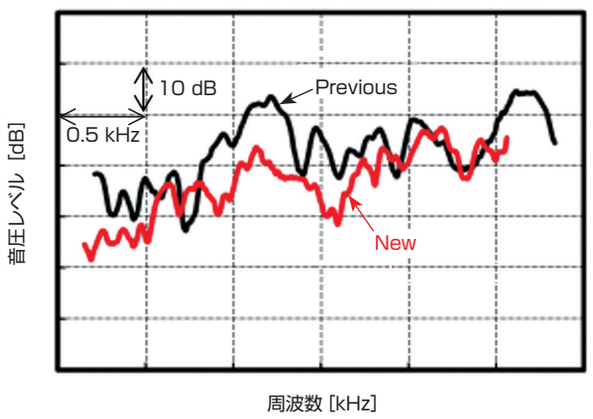


図 18　プラネタリギヤ音性能

3.6　軽量化

従来型に対し、オイルパン板材料を鉄からアルミに、トランスカバーをアルミから樹脂に変更。形状変更と併せてそれぞれ64%と44%の軽量化を実現した。

4.　まとめ

新型中容量リニアトロニックでは、構成要素の80%を新設計し、本稿で述べた副変速機無しCVTでは最大のレシオカバレージ8.1の実現、機械損失の低減によりCVT損失を22%低減し、OUTBACK/LEGACYの環境性能向上に貢献した。また、レシオカバレージ拡大により発進性を向上し、オイルポンプ、プラネタリギヤ等の改善を行い、快適性、静粛性の大幅な向上に貢献した。

今後も環境性能と動的質感向上の開発を継続し、SUBARU車をお客様に選んでいただけるよう、世界中のお客様の期待に応えて行きたい。

参考文献

(1) 木嶋ほか：新型インプレッサ向けリニアトロニックの開発，スバル技報No.44（2017），P48-52
(2) 青木ほか：プラネタリギヤノイズ予測手法の開発，スバル技報No.43（2016），P68-72

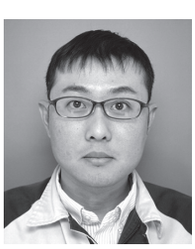
【著　者】

岸本　拓也

小林　隆浩

前川　卓也

篠原　　剛


右近　靖幸

小川　雅人

新型レガシィ／アウトバック 動的質感向上ボディの開発

Development of Body Structure with Advanced Dynamic Performance for New LEGACY/OUTBACK

青田裕之* Hiroyuki AOTA
綾部俊宏* Toshihiro AYABE
松田浩幸* Hiroyuki MATSUDA
戸田貴博* Takahiro TODA
青野健太郎* Kentaro AONO
垰下慶介* Keisuke TAOSHITA

抄　録

新型レガシィ／アウトバックでは、スバルグローバルプラットフォームの採用によりその高いポテンシャルをベースとして、さらなる衝突安全性能の向上を達成すると共に、SUBARU初となる構造・工法の導入によりボディ剛性を引き上げ動的質感を飛躍的に向上させた。

本稿では、新型レガシィ／アウトバックで採用した技術とその概要について紹介する。

Abstract

The all new LEGACY/OUTBACK adopted Subaru Global Platform, which has high crash safety performance. And, we enhanced the dynamic performance dramatically by introducing new technologies for SUBARU.

This report introduces the technologies which were adopted for the new LEGACY/OUTBACK.

1. まえがき

スバルグローバルプラットフォームはスバルのラインナップすべてを想定し「世界最高水準の安全性能」と「高性能を超えた感性に響く動的質感」を目指し開発された。新型レガシィ／アウトバックは、北米地域を想定したフリーウェイでの長距離走行でも疲れを感じさせない直進性、高速走行時でもキャビンの全員が会話を楽しめる静粛性をはじめ、グローバルフラッグシップに相応しい操縦安定性、乗り心地を目指した。

2. 感動レベルの動的質感

スバルとして乗る人すべてに最高の「安心と愉しさ」を提供するため,乗っていて「すべての動作がスムーズで本当に気持ちが良い」「このクルマとずっと走っていたい」と感じていただけることを目指している。

このようにスペックで表現される性能だけでなく、感性に響く質感を「動的質感」として開発している。動的質感の向上において、以下二つを主要テーマとして開発した。

・まっすぐ走れる・思い通りに走れる
・不快な振動騒音がない

3. まっすぐ走れる・思い通りに走れる

走行時、ドライバーはクルマの進行方向の微小なズレを無意識のうちにハンドル操作して修正している。直進時に轍や風などによりクルマの進行方向が反れた際に、最小限のハンドル操作でまっすぐ走ることができれば、潜在的な疲労の低減につながる。またカーブを曲がる際にも、車両が遅れなく旋回し最小限のハンドル操作で思い通りに走ることができれば、気持ち良いフィーリングを味わえる。これにより長時間でも安心してかつ愉しくクルマを運転することができる。

これを実現するためには、微小なハンドル操作でも確実にリヤタイヤに荷重を伝達できるボディ剛性が必要であり、マクロ(フレームレイアウト)からミクロ(パーツ)の視点で、ボディ剛性と「剛性の連続性」の向上を図った。

3.1 ボディ剛性と「剛性の連続性」の向上

スバルグローバルプラットフォームではフレーム

＊ 車体設計部

ワークを刷新、フロントからリヤまで屈曲部のないスムーズなフレームワークとし、また主要な骨格の結合構造もお互いの稜線が連続的につながる板組みに見直し、骨格同士の結合を強化することで大幅なポテンシャルアップを実現している。

新型レガシィ／アウトバックでは、さらにアッパーボディ構造のフレームワーク見直しや骨格結合部の強化により、ボディトータルでの剛性向上を図った。

3.1.1 剛性不連続部位の抽出

車体剛性を向上するうえで剛性弱点部位が存在すると、その部位が局所的に変形してしまい周辺部位の剛性向上効果が目減りする（図1）。

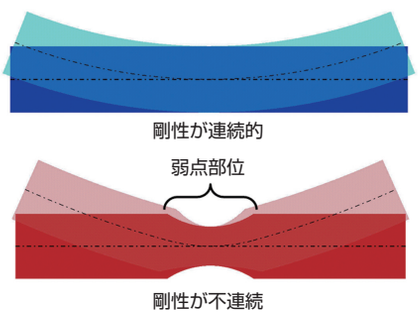


図１　剛性の連続性

車体剛性の連続性を向上させることで、効率的に高剛性ボディを実現することが可能となる。そこで新型車の開発に向け、従来車をベースにボディ固有振動時の変形について着目して剛性不連続部の洗い出しを行った。

ボディの固有振動は、「ねじりモード」、「トンネル開きモード」、「上下曲げモード」などに代表される無数の変形モードの重ね合わせで構成されている。「ねじり変形モード」では、リヤホイールエプロンとアンダーボディの結合部（図2）、リヤゲート開口骨格のコーナー部（図3）に大きな変形が見られた。また「トンネル開き変形モード」ではフロアクロスメンバのトンネル部（図4）で大きな変形が見られた。

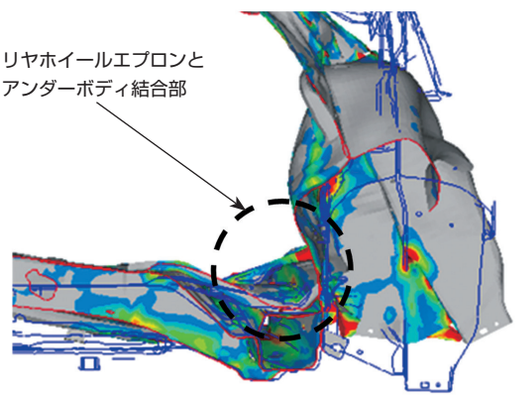


図２　ねじり変形モード（2000 倍で可視化）

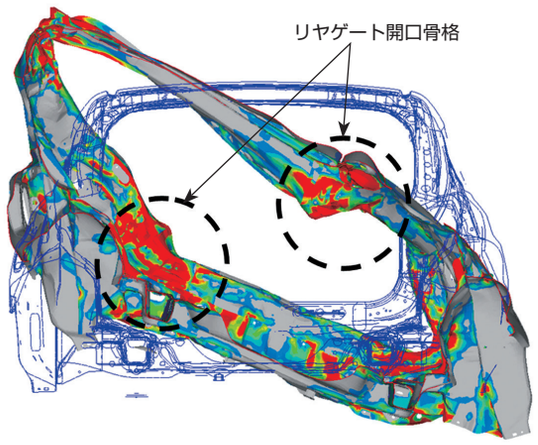


図３　ねじり変形モード（2000 倍で可視化）

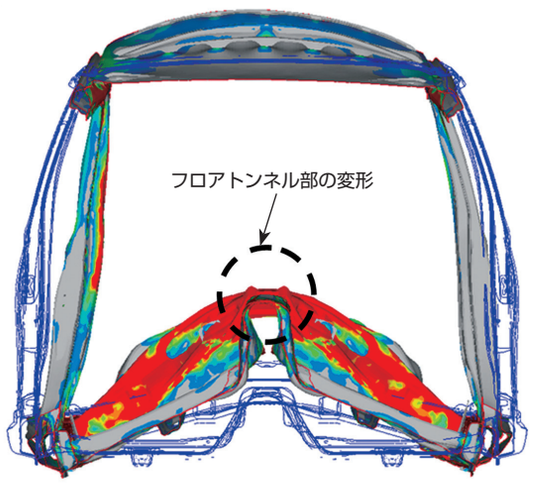


図４　トンネル開き変形モード（2000 倍で可視化）

3.2　骨格の結合強化

3.2.1　結合部構造の改善

このようにアッパーボディ骨格とアンダーボディ骨格の結合部で局所的に変形していることが明確となったため、結合部構造の改善を行った（図5）。

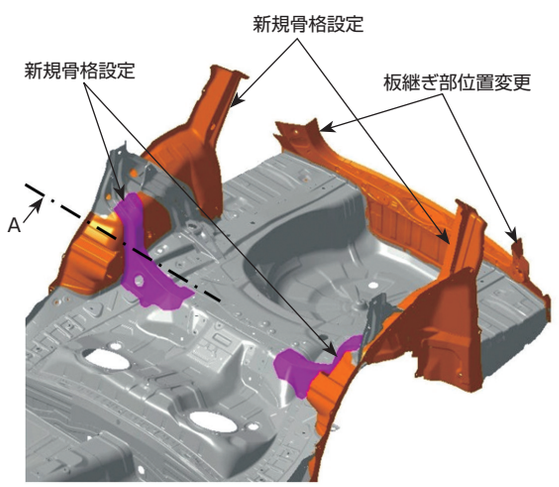


図５　アンダーボディ骨格結合変更部位

リヤホイールエプロンとアンダーボディの結合部では車両幅方向の倒れ変形が支配的である。従来車では閉断面構造の艤装部品を設定し補剛しているが、厚板かつボルト締結であり、質量・荷重伝達としても非効率な構造である。新型車では艤装部品を廃止し、フロアクロスメンバからリヤホイールエプロンを抱え込む閉断面薄板の骨格を設定し、スポット溶接と構造用接着剤にて接合することにより軽量かつ均一的に荷重伝達できる構造とした(図6)。本構造によりリヤホイールエプロン結合部の変形を抑え込み、ねじり剛性を飛躍的に向上させた(図7)。

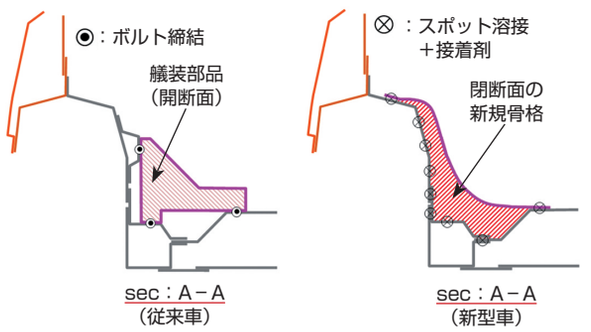


図６　リヤホイールエプロン結合構造

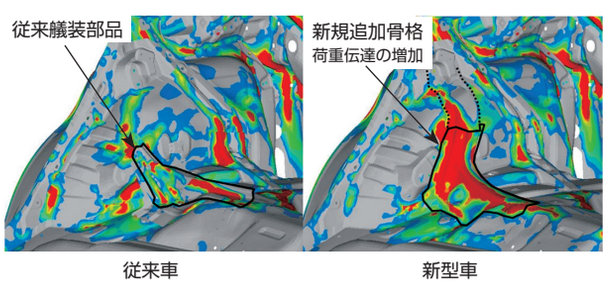


図７　リヤホイールエプロン結合効果

またリヤゲート開口骨格部にて変形が顕著であるコーナー部では、Dピラー骨格とリヤスカートのスポット溶接板継ぎ部が設定されており弱点部となっていた。そこで本板継ぎ部を車両上方へ移動させ、コーナー部よりずらした構造としコーナー部の変形を抑えねじり剛性の向上を図った(図8)。

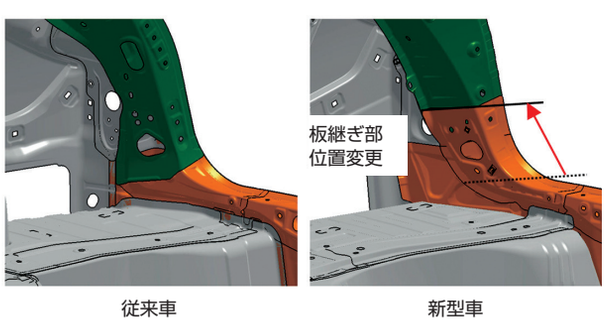


図８　リヤゲート開口骨格板継ぎ部位置変更

リヤホイールエプロン周辺部およびリヤゲート開口骨格それぞれの剛性向上により、それらの相対変位を抑制するため本部位間を繋ぐ新規骨格を設定し、剛性の連続性を維持した(図9)。

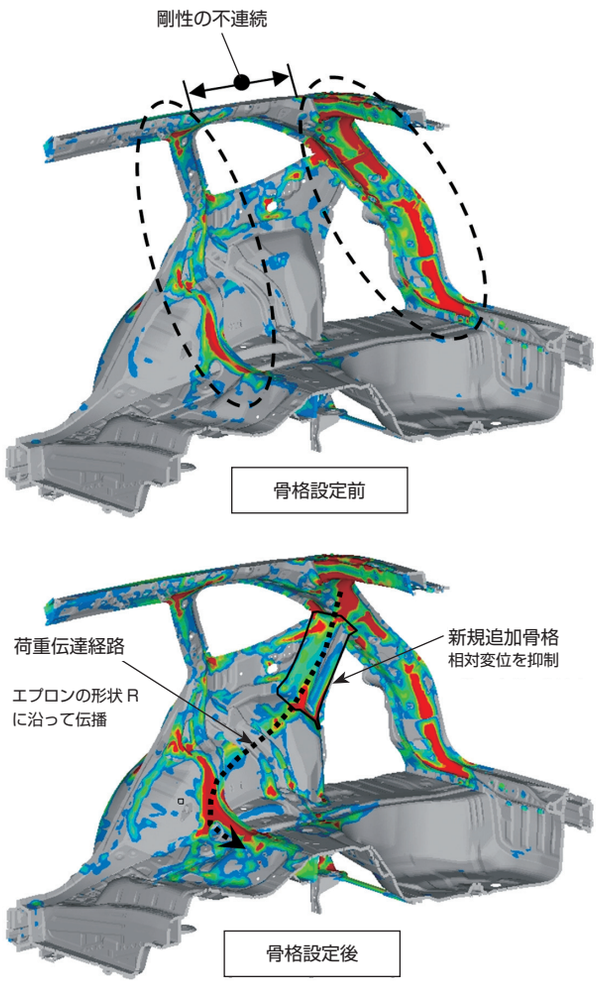


図９　リヤホイールエプロン～リヤゲート開口
骨格間の剛性の連続性

3.2.2　フルインナーフレーム構造(SUBARU初)

前述の構造を実現するためには、従来車に対してボディの集成工順を変更することが必要となる。この課題を解決するため、アンダーボディにアッパーボディのインナー骨格をあらかじめ集成するフルインナーフレーム構造の検討を行った。

従来車より車体剛性の連続性向上を目的として、フロントバルクヘッド周辺部とサイドシルインナーのインナーフレーム化は実施済みである。新型車では前述のリヤホイールエプロン部およびリヤゲート開口骨格の変更を実現するために、インナーフレーム化を行った(図10)。

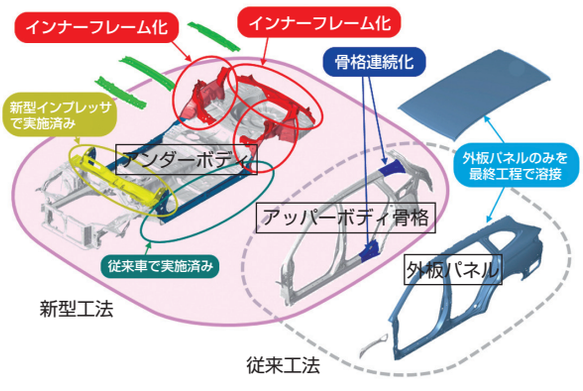


図 10　フルインナーフレーム構造

具体的な集成工順として①リヤホイールエプロンをアッパーボディ骨格より分離しアンダーボディへ先に集成する。②集成したリヤホイールエプロンとアッパーボディ骨格を集成するため、アッパーボディ骨格を外板パネルと分離し外板パネルより先に集成する。③最終工程で外板パネルを集成する。これら一連の集成順序により組み立てられるボディがフルインナーフレーム構造である（図11）。

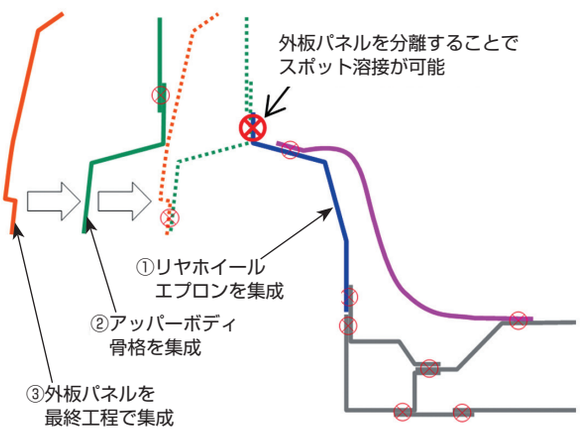


図 11　リヤホイールエプロン部集成順序

アッパーボディ骨格と外板パネルの集成工程を分離することにより、骨格にスポット作業孔など穴を開け強度・剛性をロスすることなく骨格の結合を強化することが可能となった。アッパーボディ骨格においても、サイドレールアウター・サイドシルアウター後方に骨格を延長し結合することで、ボディ全体に渡って剛性の連続性を高めた（図10）。

最終工程での外板パネル集成については、片側スポット溶接と構造用接着剤を併用した。生産技術部門の協力を得ながら、ボディ集成工程の工場レイアウトを大幅に変更しフルインナーフレーム構造を実現することができた。

3.3　部品の結合強化

3.3.1　構造用接着剤

スバルグローバルプラットフォームでは、スポット溶接しているフランジ部に構造用接着剤を採用し、板金部品同士の結合を強化することでボディの歪、たわみを抑制し突起乗り越し時などの不快な振動を低減している。新型車では高粘度タイプの材料を使用することで、塗布長を33mに拡大した（図12）。

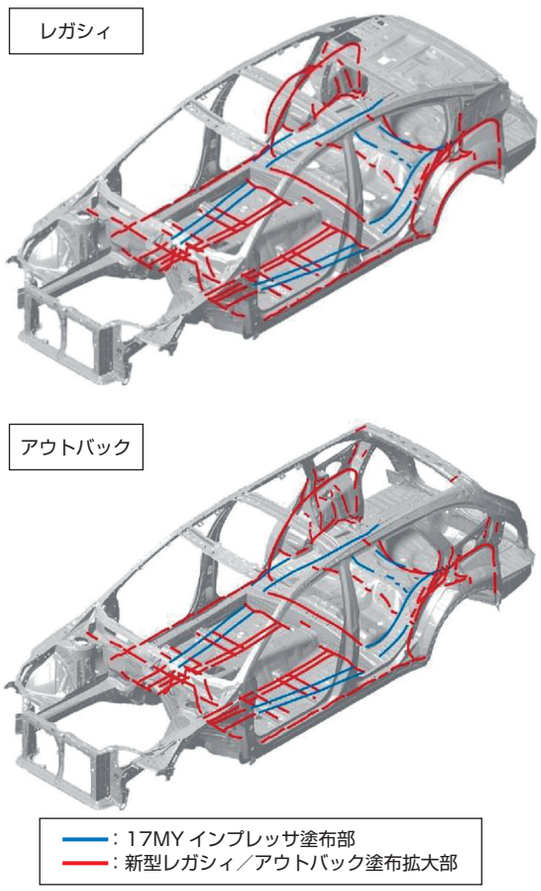


図 12　構造用接着剤塗布拡大

塗布時の垂れ落ち等、製造上の課題により適用が難しかった縦壁面への塗布が可能となり、フロアからアッパーボディへの環状骨格の連続性を高めボディ捩り剛性を向上させた。

また、フロントフレームから連続するキャビン床下フレームとフロアとの接合部への適用も拡大し、フレーム支持構造を強化。重量物であるパワーユニットやタイヤからの反力をフロントフレームで受け止められるようになり、操舵応答性を高めている。足まわりやパワーユニット取り付け点は、周辺部のボディ剛性が増加することにより、ブッシュ・マウントを効果的に活用でき、リヤディファレンシャル／パワーユニットの上下振動の収束性が向上、フロア振動を抑制し乗り心地を向上させた。接着剤自体も微小な振動を減衰することで、動剛性も向上させている。

3.3.2　樹脂リンフォース（アウトバック）

リヤゲート開口部は、荷室開口寸法を拡大しつつ開口部の変形を抑制するためフレームワークを見直し環状構造とした。また骨格内部に樹脂リンフォースを設定し、前述のリヤホイールエプロンから繋いだ新規骨格との結合部、およびリヤスカートコーナー部の断面を拘束することで、質量を増加させることなくリヤゲート開口部の変形を抑制、ボディ全体のねじり剛性を向上させた（図13）。

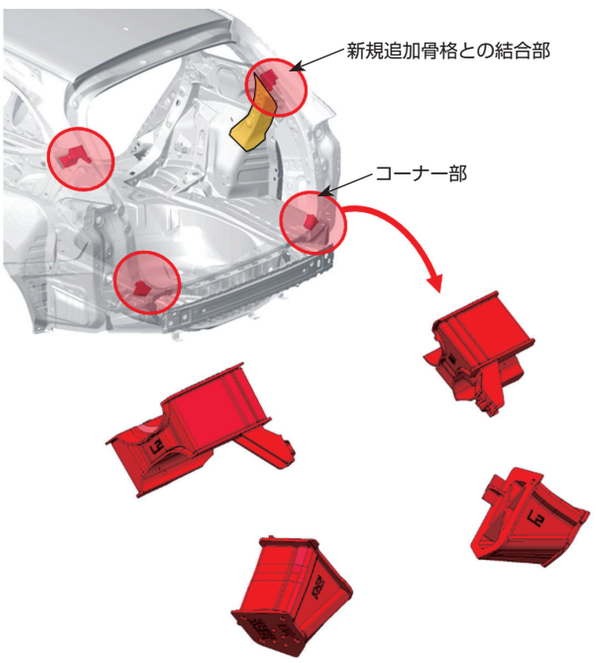


図 13　樹脂リンフォース

3.3.3　２液充填発泡材（SUBARU初）

フロア振動を抑制するために2液充填発泡剤をSUBARU初採用。振動時のフロアクロスメンバ最弱部であるフロアトンネル部の断面内に、硬化型の2液充填発泡剤を注入することで断面を拘束し「トンネル開きモード」に代表されるクロスメンバの曲げ変形を抑制する（図14、図15）。従来車では板金部品を追加し補剛していたが、高剛性でありながら軽量な発泡剤を使用することで質量増加を最小限に抑え「トンネル開きモード」での固有値を効果的に上昇させフロア振動の低減を実現した。

図 14　２液充填発泡材

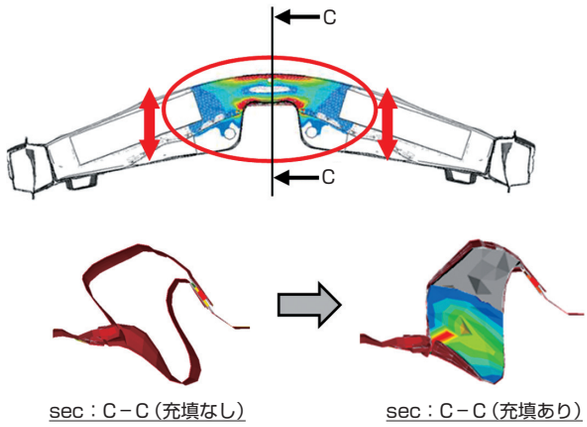


図 15　クロスメンバ断面変形比較

3.4　締結部剛性向上

ドライバーが路面から得る情報は、タイヤ、サスペンション、サスクロスメンバ、ボディ、ステアリングなどが伝達経路として存在する。この中のあるシステムの剛性が低いと、他のシステムの剛性を向上させても全体の剛性向上が見込めない。これは剛性の不連続であり、ドライバーには入力に対する応答が遅延して伝わってしまう。操縦安定性能、および乗り心地性能の向上を目的として各性能の要素分解を実施し分析を行い改善を図っている。一例として、タイヤ、サスペンションアームの入力を受け止めるサスクロスメンバ、およびサブフレームとボディの締結部における取り組みを紹介する（図16）。

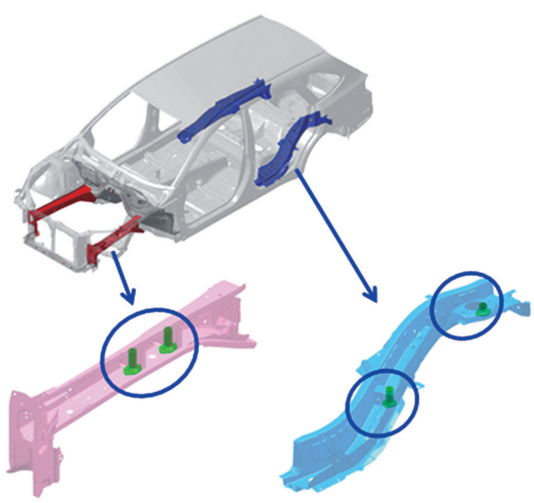


図 16　車体側締結部

従来、剛性解析では締結部のボルト、ナットは詳細なモデル化をしておらず、拘束条件として接触面積のみを実物と一致させている。また締結軸力や締結時のボルト伸びも考慮していない。解析結果と実車フィーリングに乖離があることから、締結部を含めた車両全体の剛性解析を実施した。

従来構造のプロジェクション（突起）溶接ウェルディングナットでは締結時の軸力ではプロジェクションを潰し切ることができず、このプロジェクションにより被締結部との間で面圧分布の不均一が発生する。また、これにより締結部へモーメントが負荷された際に局所的な変形が大きくなり、剛性低下を発生していることが判明した（図17）。

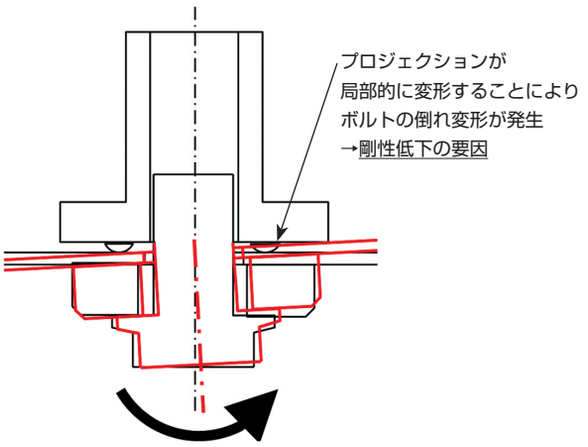


図 17　締結部局所変形

3.4.1　ナット構造の最適化

新型車ではこれらの課題を解決するため、新構造ナットを開発しスポット溶接にて車体フレームと集成する構造を採用した（図18）。

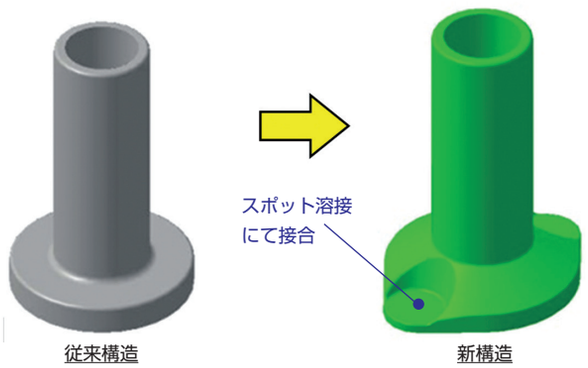


図 18　ナット構造比較

プロジェクションを廃止することにより、ナット座面とフレームが均一に接触するため締結時の面圧分布が均一となる。その結果、モーメント入力に対して局所的な変形が緩和され、テストピースを用いた剛性試験の結果では、締結部において約75%の剛性向上が得られた（図19）。また締結面のうねりも面圧分布の均一化に影響を及ぼすため、車体フレームの締結面精度向上を図った。

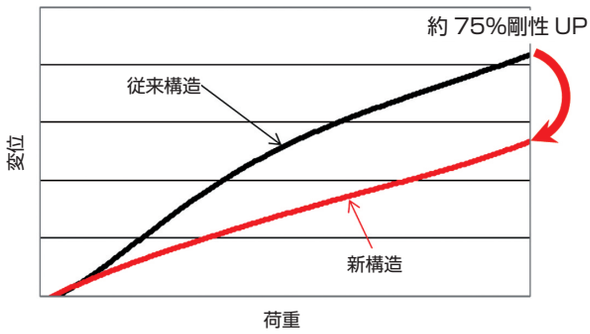


図 19　テストピースによる効果確認

新構造ナットの採用、および車体フレームの締結面精度向上により面圧分布の均一化を実現した。これにより、締結部の局所的な変形を抑えることで剛性の不連続性を改善し車両全体の剛性を向上させた。操縦安定性能ではステアリング操舵に対する車両応答の不感帯が減少し車両と乗員一体感の向上が得られた（図20）。また乗り心地性能では路面突起乗り越し時のパワーユニット動きが低減され、リヤデフなどからの振動収束時間が短縮されることでキャビンの振動が抑制された（図21）。

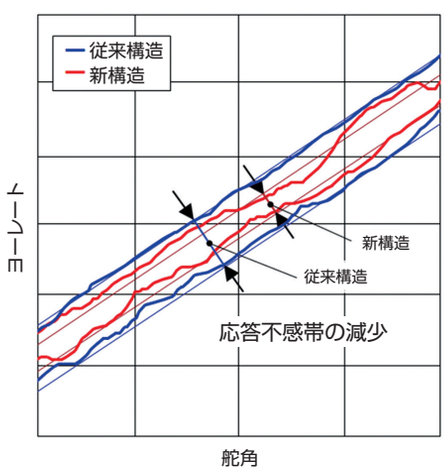


図 20　操縦安定性能の向上

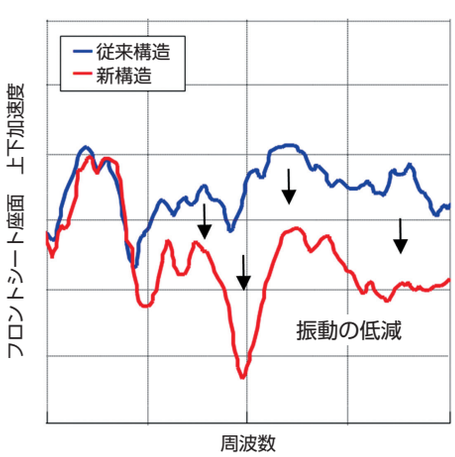


図 21　乗り心地性能の向上

4.　不快な振動騒音がない

4.1　固有値の分散

走行時、路面からの入力に対してボディをはじめとする部品はそれぞれ固有の周波数で振動する。特にボディの固有振動は、「ねじりモード」、「トンネル開きモード」、「上下曲げモード」などに代表される無数の変形モードの重ね合わせで構成されている。ボディの各変形モードとフロアやボディに取り付けられているシート、サスペンション、ステアリングなどが共振する関係性の特定を進めた。ボディ剛性を向上させることでボディの固有振動数を引き上げ、シート、サスペンション、ステアリングとの共振を回避し不快な振動を抑制した(図22)。

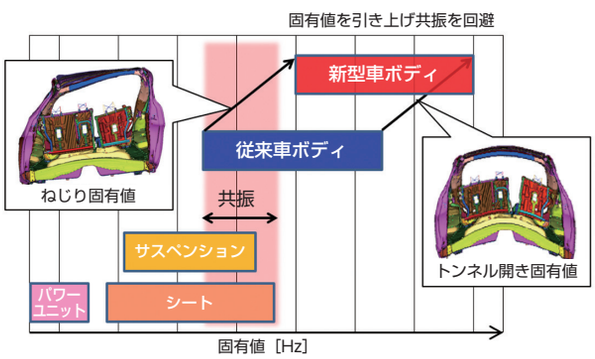


図 22　固有値共振の回避

前述のように、骨格の結合強化、部品の結合強化により剛性の連続性を向上させるため、SUBARU初となる多くの技術アイテムを導入し高剛性ボディを実現した。特に、大きな質量増加を伴わない構造用接着剤の塗布拡大、2液充填発泡剤、樹脂リンフォースの採用により効果的に固有値を引き上げた(図23)。

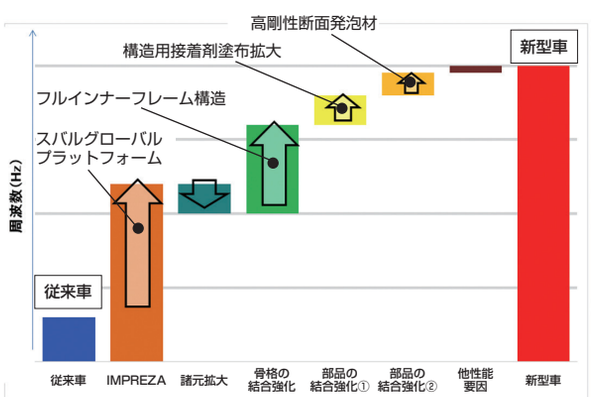


図 23　固有値向上アイテム

4.2　静粛性

4.2.1　エンジンルーム内の吸音・遮音性能向上

エンジンカプセル思想に基づき、SUBARU 初となるストラットタワーインシュレータの追加をはじめ、アンダーカバーインシュレータを拡大、エンジンルーム内の吸音性能を高めた。また、フェンダ内アッパー&ロアカバーの拡大により、音の経路を遮断しキャビン室内の静粛性を向上させた(図24)。

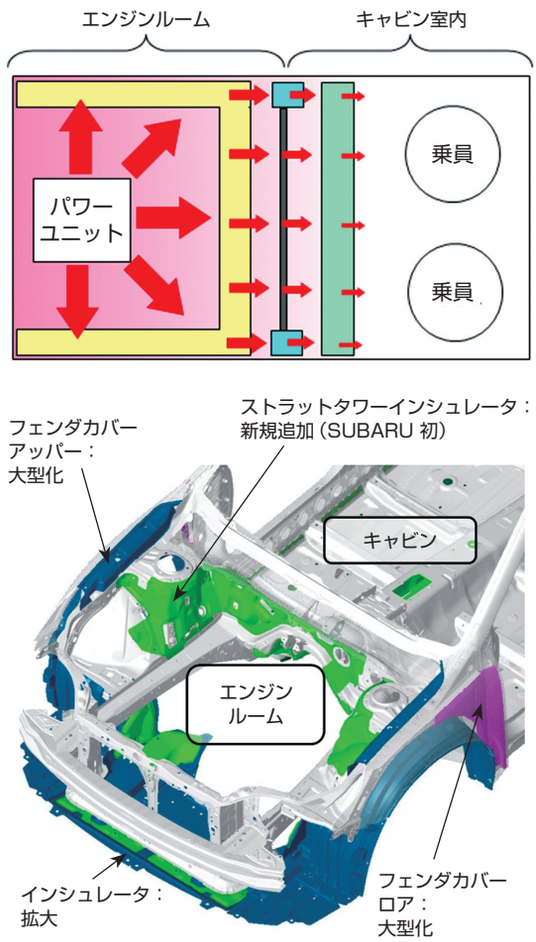


図 24　エンジンカプセル思想

4.2.2　床下吸音材

床下アンダーカバー、リヤマッドガードに吸音素材を採用した(図25)。床下板金部品の被覆部を拡大することで、静粛性と空力性能を向上。道路の継ぎ目や石はね、水はね等によるリヤホイールハウスまわり、ボディ下面で発生する音を吸収する。

4.2.3　断面発泡材

パワーユニット音やロードノイズ等の様々な走行音の音源から乗員耳元への伝達経路を分析し、従来車に対して断面発泡材の配置を見直し最適化を実施した(図26)。各骨格において穴を削減またはシール性を確保すると同時に断面発泡材を設定することで気密性を高め、キャビンに伝達される音を遮断し、走行時の車内音を低減している。

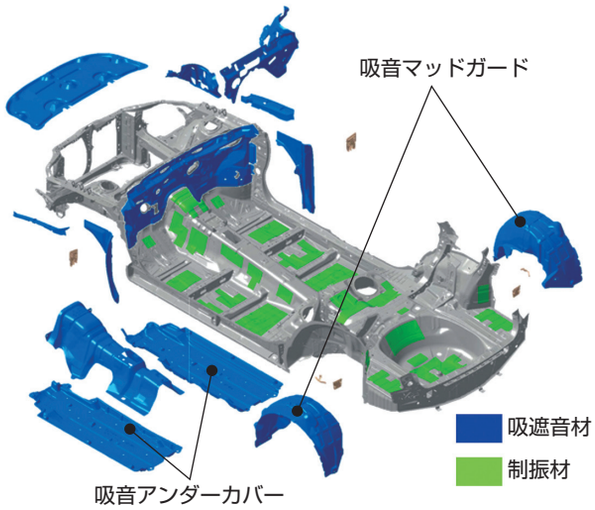


図 25　床下吸音材

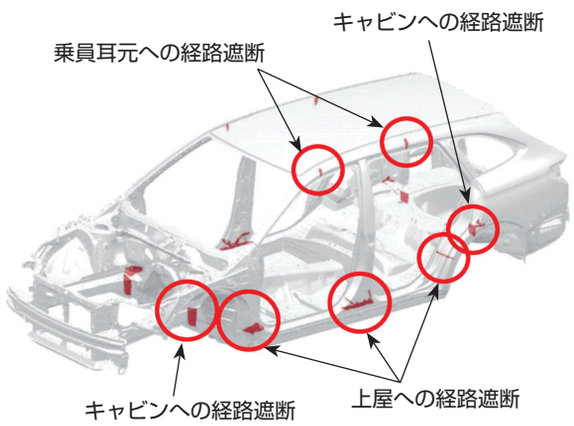


図 26　断面発泡材

5.　まとめ

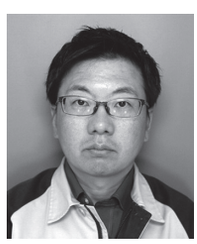
以上のように、新型レガシィ／アウトバックは、スバルグローバルフラットフォームのハイポテンシャルな安全性能を継承し、動的質感をさらなる高みに引き上げるべくフルインナーフレーム工法を導入してアッパーボディ骨格構造を刷新した。また、部品同士の結合状態を強化するなど細部にまでこだわり抜くことで、車両の大きさを感じさせない軽快なハンドリングと上質な静粛性を実現した。ハンドルを握った誰もがいつまでも運転していたいと実感できるクルマを創り上げることが出来たと考える。

最後に、本開発を進めるに当たり、多大なるご協力をいただいた社内外関連部署の方々に深く御礼申し上げます。

参考文献

(1) 中島篤ほか：新型インプレッサ車体構造の開発，スバル技報，No.44, p.28-34 (2017)

【著　者】


青田　裕之

綾部　俊宏

松田　浩幸

戸田　貴博

青野 健太郎

垰下　慶介

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*
Shigeru TANAKA
小　林　昂　平*
Kohei KOBAYASHI
滝　本　　崇*
Takashi TAKIMOTO
戸　谷　祐　之*
Hiroyuki TOYA
瀧　澤　圭　司*
Keiji TAKIZAWA
佐々木　崇　宏*
Takehiro SASAKI

抄　録

SUBARUが目指すデザインは、お客様への価値提供である「安心と愉しさ」を一目で分かる姿に表現することであり、それによりお客様の笑顔に繋げることである。また、お客様の求めるライフスタイルに寄り添い、長い年月を経ても色褪せない普遍的な魅力を感じて頂けるデザインである。

新型レガシィ／アウトバックは、日常からアウトドアまであらゆるシーンにおいても信頼と活動的な気持ちを掻き立てるデザインを追い求めた。

Abstract

Styling design which SUBARU aims for is to represent shapes expressing its driving values to make our customers smile, providing “Enjoyment and Peace of Mind” recognizable at first glance. We also aim to realize a design that will stay present to the lifestyle our customers pursue and that will express universal appeal which will not fade even after many years.

With the design of this new LEGACY/OUTBACK, we pursued to stimulate a sense of trust and active feeling of our customers in every scene from daily to outdoor driving.

1．まえがき

SUBARUの基幹車種であるレガシィは1989年に誕生し、アウトバックは1995年に第2世代レガシィワゴンの派生モデルとして誕生。第5世代では米国に適したボディサイズへ、第6世代にて現代的なプロポーションとすることで進化してきた。

第7世代である本モデルは、レガシィ／アウトバックそれぞれの持つ独自性をさらに強くスタイリングに反映させることを狙いとした。

現行インプレッサから始まるSUBARUデザインフィロソフィー「DYNAMIC × SOLID」に基づくデザインの第3弾であり、商品コンセプトを踏まえてレガシィは「Bold in Movement」、アウトバックは「Active × Tough」というデザインコンセプトに置き換えて表現した。

エクステリアについては、レガシィはシルエットやキャビンでスピード感ある「動き」を表現しながら、ロアボディの厚みや造形で力感ある「逞しさ」を表現し、SUBARUらしいセダンの佇まいを具現化した。

アウトバックも同様に「動き」と「逞しさ」を全身で表現しつつ、アウトバックらしい機能のより進化した表現を加えて、さらなる独自性を具現化した。

インテリアについては、アッパーエリアでは解放感を、ロアエリアでは適度な包まれ感を感じさせる空間づくりを行い、ワンランク上の上質な仕立てと11.6インチモニターエリアを中心に先進感を加え、快適で革新的な空間を具現化した。

図１　初期イメージスケッチ

＊ デザイン部

2.　エクステリアデザイン

2.1　エクステリアデザインの狙い（レガシィ）

「自由な行動を約束してくれる安心感のあるセダン」。この商品コンセプトをエクステリアスタイリングに反映し新型へと進化させるため、デザインコンセプトを「Bold in Movement」とした。

SUBARUデザインフィロソフィ「DYNAMIC×SOLID」を進化させながら個性を出しにくいセダン市場の中でスバルらしく際立つため、走り出す動きの中に強靭さを備えたセダンを創り上げることがデザインの狙いである。

伸びやかなプロポーションとソリッドで逞しい造形で力強いスポーティセダンを追求し、お客様のライフスタイルをより活動的にする新型レガシィの狙いを具現化した（図2、3）。

図２　フロントビュー（最終クレイモデル）

図３　リヤビュー（最終クレイモデル）

2.2　動きと力強さを表現したサイドビュー

セダン市場では、トレンドとしてスリークでスポーティなシルエットが一般的になっている。セダンスタイリングの基本ニーズとなっているスポーティさを表現するため、動的で伸びやかなプロポーションとキャビンシルエットに拘った。その上でレガシィらしさを際立たせる力強い造形とロアボディの厚みを強化し、力強さとスリークなスポーティさの両立を目指した（図4）。

キャビンでは、軽快でスポーティなシルエットを構築。A/Cピラーを傾斜させた伸びやかなルーフラインを造り、後方へ抜ける勢いを表現したウィンドウグラフィックスと合わせて、動的で伸びやかなシルエットを実現した。

図４　レガシィ スタイリング概念図

ロアボディでは、自由な行動に繋がる安心感や力強さを表現。面を広くとり厚みを見せたドアサイド面、立体的で量感を増したフロント周り、ハイデッキでパネルの厚みを強化したリヤ周りにより、ソリッドで逞しい造形を実現した。加えて、タイヤ周りの力強さをより大きく全身で表現。抑揚のあるフェンダー造形やリヤトレッドの拡幅と合わせて「座り」の良さを強化した（図5）。

図５　サイドビュー（最終クレイモデル）

2.3　力強くシャープなフロントデザイン

2.3.1　フロントビューの特徴

フロント周りでは、ヘキサゴングリルから始まる立体的な造形を基本に厚みとワイド感、強さと動きの表現を狙った。

グリルから広がりサイドへとつながる伸びやかな動きを立体的な造形で表現し、厚みのあるフード造形と高い位置にレイアウトしたヘッドランプで強い塊感を表現した。バンパー造形では左右に広がる黒色部モチーフでワイド感を強調し、フォグランプの配置と合わせて重心の低さを強調した（図6）。

2.3.2　ワイドでスポーティなヘキサゴングリル

フロントグリルは、インテーク形状による機能性表現とスポーティさの強調でヘキサゴングリルの進化表現を狙った。グリルの「枠」を無くすことでワイド感を強調し、より大きく、奥行きを感じる様立体的に造形。また、航空機の翼をイメージしたウイングモチーフは、ボディへとつながることでさらなるワイド感、シャープさを表現し、スポーティさを強調した（図7）。

図６　ヘキサゴングリルから始まるフロント

図７　ワイドでスポーティなヘキサゴングリル

2.3.3　シャープな表情のヘッドランプ

ヘッドランプでは、シャープで精悍なフロントの表情とブランド表現の強化が狙いである。薄型かつシャープな造形でSUBARUアイコンであるコの字シグネチャーをさらに印象的にし、遠くから見てもひと目でSUBARUと分かる眼力のあるランプに。異型形状のユニットカバーをはじめコンパクトに纏めたランプレイアウトで高機能かつ存在感あるデザインとした(図8)。

図８　シャープで精悍なヘッドランプ

2.4 「座り」の良いリヤデザイン

2.4.1　リヤビューの特徴

リヤデザインは、ソリッドで厚みのあるプロポーションと「座り」の良さを狙った。ハイデッキと高い位置にレイアウトしたリヤコンビランプで厚くソリッドに、左右に広がるコの字シグネチャーでワイド感を強調させるデザインとした。また、レーザーブレーズ溶接によるシンプルな部品構成とし、パネル面の持つソリッドさを強調。バンパー造形ではフロント同様に黒色部モチーフでワイド感と重心の低さを強調した(図9)。

図９　逞しく「座り」の良いリヤ

2.4.2　キャラクターを強調するリヤバンパー

マフラーまわりを別体カバー構造とし、3種類の意匠を設定することで、グレードによるキャラクターを強化した(図10)。

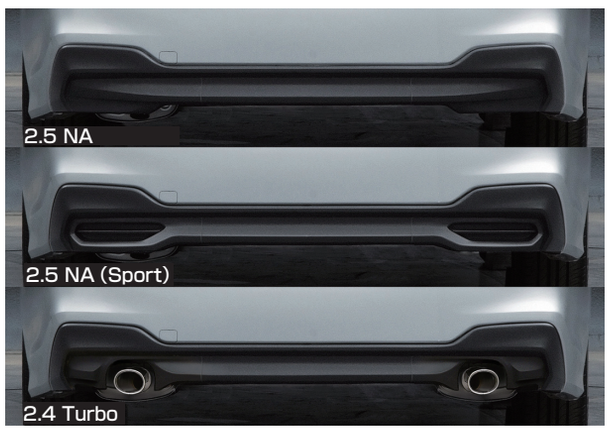


図 10　マフラー周り仕様差

2.4.3　シャープで立体的なリヤコンビランプ

リヤコンビランプは、立体的なコの字シグネチャー表現によるSUBARUアイコンの表現強化を狙った。

コの字シグネチャー部を立体的に表現することで非点灯時でも印象的に、点灯時はリヤフィニッシャー部も連続して発光させることで、夜間でもシグネチャーを強調するデザインとした(図11)。

図 11　立体的なリヤコンビランプ

2.5　ディテール

2.5.1　スマートで上質感のあるミラー

ドアミラーは、モールからの連続形状とすることでウィンドウグラフィックスの強調と、車格に相応しい

質感の高さを狙った。

ミラーステーの光輝加飾をドアモールと一体構造としながら、ステーを細く見せることで要素を整理し、すっきりとした外観を実現(図12)。

図 12　モール一体型のミラー

2.5.2　力強さと質感に拘ったホイールデザイン

18インチホイールは、力強さと躍動感を質感高く表現することを狙いとした。動きのあるダイナミックなモチーフで前進感を出しながら、スポークの長さでホイールをより大きく見せるデザインとした。また、切削部と黒塗装部とのコントラストでスポークの長さを強調するとともに、切削光輝の表現により質感を高めた(図13)。

17インチホイールは、よりソリッドな力強さが狙いである。面を広くとったスポークモチーフでホイールを強く見せるデザインとし、切削面をしっかり見せることによりソリッドさを強調しつつ質感も高めた(図14)。

2.6　エクステリアデザインの狙い(アウトバック)

「知的好奇心を刺激し､新たな発見を促すクロスオーバー」。この商品コンセプトをエクステリアスタイリングに反映し次世代のアウトバックへと進化するために､デザインコンセプトを「Active × Tough」とした。

SUBARUデザインフィロソフィ「DYNAMIC × SOLID」を進化させながら、歴代のアウトバックが備えてきた「アクティブな気持ちにさせる」という性能を全身で表現し、アウトバックの持つ独自性をより際立たせるためである。

新型アウトバックでは、スピード感あるプロポーションとタフさを感じさせる造形、機能の表現を進化させることでアウトバックらしさを深化させ、アウトドアに行きたい気持ちや知的好奇心の刺激に繋がるアウトバックの魅力を強化した(図15、16)。

図 13　18 インチホイール（切削光輝）

図 14　17 インチホイール（切削光輝）

図 15　フロントビュー（最終クレイモデル）

図 16　リヤビュー（最終クレイモデル）

2.7　力強さと躍動感、機能強化を表現したサイドビュー

ひと目見て、タフさとアクティブさを感じ取れるフォルム造りを狙いとした。

そのために、レガシイと同様に力強い造形とロアボディの厚みは強化しつつシルエットで動きの表現を強め、力強さと躍動感の両立を目指した(図17)。

図 17　アウトバック スタイリング概念図

キャビンでは、Aピラーを傾斜させて流れを速めたルーフラインや大きい動きを表現したウィンドウグラフィックスでスピード感あるシルエットを実現。

ロアボディでは、安心して自然の中へ入って行ける頼もしさや力強さを表現。厚みを意識したサイド面造形、立体的でボリュームを増したフロント周りはレガシィとの共有部分でもあり、バランスを取りながら造形を纏めた。

また、リヤ周りではピークを上げてパネルの厚みを表現、タフさを感じつつ躍動的なプロポーションを実現した。

新型アウトバックでは、アーチクラッディングも用いてタイヤ周りの力強さをより強く表現し、抑揚のあるフェンダー造形やリヤトレッドの拡幅と合わせて大地を掴むタイヤ周りの力強さを表現した(図18)。

図 18　サイドビュー（最終クレイモデル）

2.7.1　機能の表現を進化させたクラッディング

アウトドアフィールで活躍するアウトバックらしい機能をより際立たせるために、クラッディング造形の進化を狙った。

マウンテンブーツの進化をヒントに、ボディにフィットした一体感のあるデザインとすることで新しいラギッドさを表現。フォルムに合わせた動きのあるトリムライン、ボディとの「嵌合」を意識した造形処理のデザインで具現化した(図19)。

図 19　機能表現の進化

2.8　厚みのある力強いフロントデザイン

2.8.1　フロントビューの特徴

フロントデザインは、レガシィ同様にヘキサゴングリルから始まる造形を基本に力強さとシャープな表情、アウトバックらしい機能性を強調することを狙いとした。ボディ色部はグリルから広がる立体造形で力強さと伸びやかさ、黒色部はプロテクション機能を強調した。

原着部のボリュームを増やし、モチーフを大きく立体的にすることで機能表現と共に力強さを強化。よりタフでラギッドな仕立てでアウトバックの独自性を進化させた(図20)。

図 20　ヘキサゴングリルを中心としたフロント

2.8.2　存在感を強化したヘキサゴングリル

フロントグリルは、力強く堂々とした存在感の強化を狙いとした。メッキ枠はアクセントとして細く、開口部を大きく見せることで、フロントの中での存在感を強めた。構造体をイメージしたバーモチーフは、ボディへとつながる横方向への存在感を出しながら太く立体的な造形で力強さを表現した(図21)。

図 21　力強く存在感あるヘキサゴングリル

2.9　意匠と機能を両立させたリヤデザイン

2.9.1　リヤビューの特徴

リヤデザインは、厚みを感じさせるプロポーションとAWDらしい安定感あるシルエットを狙いとした。

上下に厚いゲート面と高い位置にレイアウトしたリヤコンビランプでリフトアップされたSUVらしい佇まいを表現。左右に広がるリヤコンビランプモチーフでワイド感を強調した。バンパーは、フロント同様に黒色部エリアを増やして立体的にすることで、力強さと機能表現を強化、よりタフでラギッドなデザインとした(図22)。

図 22　厚みと機能表現を強化したリヤ

2.9.2　空力性能を高めたリヤスポイラー

ルーフスポイラーは、大型化することでキャビンの勢いを強調させるとともに空力性能の強化を狙った。

左右にも大型の翼端板を追加して空力性能を向上させ、外装色部の見せ方でルーフの勢いを強調した。また、ルーフへの積載時等の傷つきに配慮し、プロテクション機能としてスポイラー先端部まで原着部を拡大させた(図23)。

図 23　大型リヤスポイラー

2.9.3　存在感のある立体的なリヤコンビランプ

リヤコンビランプは、レガシィと同様にコの字シグネチャー表現によるSUBARUアイコンの表現強化と、ワイド感の強調が狙い。コの字シグネチャー部を強調するトリムラインと立体的な造形で、遠目からでも識別出来るデザインとした(図24)。

図 24　立体的なリヤコンビランプ

2.10　アウトドアへの期待感を高めるディテール

2.10.1　使い勝手を向上させたルーフレール

ルーフレールは、アウトバックの特徴でもあるクロスバー格納式としながら機能を強化、デザインへも反映させた。前後にロープやベルトを直接結び付けられるアルミバーを追加、クロスバーと組み合わせることで長尺物の安定した積載など、多彩な積載方法が可能となる機能的なデザインとした(図25)。

図 25　機能性を高めたルーフレール

2.10.2　走行性能を高めるアーチクラッディング

アーチクラッディングは、アウトドア機能性を高めるアイテムとして追加採用。一体感のあるデザインを狙いとしながら、タイヤの存在感、車両のリフトアップ感を強調した。

また、アーチ上部のフィン形状は操縦安定性を向上させる機能と共にデザイン上のアクセントとして表現した(図26)。

図 26　アーチクラッディングの操安フィン

2.10.3　力強さと質感に拘ったホイールデザイン

18インチホイールは、車体をしっかりと支える力強さと高い質感を狙いとした。動きを持たせたスポークモチーフを用いながらしっかりと面を感じさせることで力強さを表現した。また、緩やかな断面の切削加工により質感の高さも表現した(**図27**)。

17インチホイールは、よりソリッドな力強さと精緻さが狙いである。シャープなラインのスポークモチーフで精緻さを出しながら、フラットな断面でソリッドさを表現。切削光輝とすることで質感も向上させた(図**28**)。

図 27　18 インチホイール（切削光輝）

図 28　17 インチホイール（切削光輝）

3.　エクステリアモデリング

3.1　エクステリアモデリングの狙い

新型レガシィ／アウトバックのエクステリアデザインの狙いを具現化するため、両車共通した要素である「動き」と「力強さ」に注力して造形した。

3.2　動きを表現したプロポーション

3.2.1　2つの動きを両立させたキャビン造形

レガシィの「Bold in Movement」アウトバックの「Active × Tough」という2つのデザインコンセプトを実現するプロポーション上の課題は、それぞれが理想的なシルエットを描きつつ、前半部位(フロントガラス、Aピラー、フロントドア、フロントドアガラス等)を共有することであった。

初期段階では、アウトバックにとって最適と思われたAピラーのピークはレガシィではCピラー上部に座屈感が生まれトランクエンドまで繋がる流れの表現が不足してしまった。

反対にレガシィで最適と思われたピーク位置はアウトバックのサイドレールが円弧を描き直線的な勢い、リヤゲートまでつながりを狙うシルエット表現が不足してしまう背反課題が有った。

両車種のモデル造形を同時に進め、造形と確認、データーでの検証を何度も往来させながら共用部と専用部を立体で吟味し続けた結果、両立しながらそれぞれにベストとなるラインを見つけ出すことに成功。米国での外光評価で、狙いとするキャビンシルエットをしっかり表現出来ていることを確認した（**図29、30、31**)。

図 29　カリフォルニアでの外光評価

図 30　レガシィのシルエット

図 31　アウトバックのシルエット

3.2.2　動きの表現とスタンス構築

両車共通のポイントとして、「動き」のあるプロポーション構築を狙いとした。

そのために、タイヤを中心に前後に繋がるボリュームとキャビンのバランスを最適化し、「座り」の良いシルエットを心掛けた。特に、運転中のお客様はクルマのリヤ側を見る機会が多い。そのため、両車ともクォータービューからの見え方を吟味。タイヤが車体四隅で踏ん張り、クォータービューでの稜線が一つの塊として見えることを意識した。同時に、キャビンとタイヤ／ロアボディの相関関係を見ながら「動き」のあるプロポーションを構築した。

レガシィでは、リヤ正面視からのキャビンとタイヤの関係最適化のため、Cピラーからトランク周り、リヤバンパーの造形を中心に吟味した。

Cピラーやリヤクォーターからリヤへの廻り込みを何度もトライし、トランクエンドまで流れのある伸びやかさを表現した。

リヤバンパーはコーナー部の位置とラインに拘り、安定感と下端部の軽快さでタイヤの踏ん張りを強調した(図32)。

図32　レガシィのスタンス

アウトバックでは、容積のあるキャビンをリヤゲートまで立体的に繋ぐDピラーとリヤクォーター、それを支えるバンパーのボリュームで力強いスタンスを造形した。

高いピークのリヤフェンダーからバンパーまでを大きく繋いで造形し、大地を掴むタイヤ周りの力強さを表現した(図33)。

図33　アウトバックのスタンス

3.3　逞しさを表現したロアボディーの造形

両車に共通する『逞しさ』を表現するために、大きい塊の力強さを狙った。

ヘキサゴングリルから始まるフロントをサイド、リヤへと連続していく面で構成することで一つの塊として表現した。

その上で、フェンダー周りで『逞しさ』をさらに強調。大きく張り出したタイヤ周りのリフレクションと、ショルダーラインを乗り上げて筋肉が隆起したような力強い造形で、大地を掴むタイヤ周りの力強さをイメージして表現した。

フロント周りでは、ヘキサゴングリルから始まる立体を印象づけるため、フロントフード、バンパー、ヘッドランプを3次元的な面の連続で一体感のある造形とした。

4.　インテリアデザイン

4.1　インテリアデザインの狙い

新型レガシィ／アウトバック共に、お客さまの気持ちや生活に寄添う「快適で革新的なパーソナル空間」を狙いとしている。

インプレッサから始まったSUBARUデザインフィロソフィー「DYNAMIC × SOLID」を鮮度(革新)と快適性も含めた質感向上をテーマにさらに深化させ、旗艦車種に応しいデザインを構築した。

車格感と快適性、解放感と安心感ある造形、時代感覚に沿うデバイスをスタイリングで違和感なく包含することで鮮度や質感を高めた(図34)。

図34　フロントコンパートメントビュー

4.1.1　インテリアスタイリング

SUBARUらしさのひとつでもある「機能とデザインの融合」を基に、先進感ある大型モニターを包含するセンターゾーンを中心にした前後左右の広がり、高いアッパーレベルによる解放感、インパネからドアトリムの連続造形､高いコンソール周りによる「程良い」

包まれ感を表現した。

そして、それぞれのテーマの中に、人間工学的配慮を行いながら機能部品をレイアウトし、空間全体のデザインに一体感を持たせた(図35)。

図 35　インテリア スタイリング概念図

4.1.2　インテリア空間の新たな骨格

新たな骨格によるデザイン進化への挑戦を行った。従来車では、インパネアッパー部の見切り位置が低く、アッパーからミッドにかけてワンボリューム構成であった。

新型車では、見切り位置を高くし解放感を感じる構成とした。そして、ブライトカラーのソフト・ミッドパッド採用による新規性、各断面の立体感やドアトリムへの連続感を強めることで次世代にも通じる新骨格を構築した(図36、37)。

お客様に快適な空間を提供するために、トリムデザインでは、クリーンでシンプルなデザイン表現に注力した。Aピラーからリヤピラーまでの連続性、Bピラーとシートシルエットとの親和性、違和感に繋がる凹凸をできるだけ排除した(図38、39)。

図 36　インパネ周りの造形テーマ構成比較：従来車

図 37　インパネ周りの造形テーマ構成比較：新型車

図 38　アウトバック トリムデザインの狙い

図 39　レガシィ トリムデザインの狙い

4.1.3　SUBARUらしさと鮮度と質感表現

(1) SUBARUらしいドライバーズカー表現と、車格に見合った安心感と広さ感の両立を求め、コックピット周りはドライバーを中心にした人間工学に基づく各種機能のレイアウトとした。それを無理や無駄を感じないデザインで包み込み「安心と愉しさ」を表現した(図40)。

図 40　ドライバーズビュー

(2) センター部は、時代感覚に即した大型インフォメーションディスプレイを導入し、それを破綻のないスタイリングで包含することで鮮度アップと質感向上との両立を図った。

スマートフォンに慣れたお客様の気持ちにフィットする様に、センターディスプレイパネルからセンターベントグリルまでを凹凸の無いフラッシュサーフェー

スで繋ぎ、グロスブラック仕上げを施した。

周囲のシルバー加飾はタッチ操作時のフィンガーレストの役割も果たす。センターディスプレイは大型タッチパネルであっても、運転席と助手席のどちらからでも快適にアクセスでき、ドライバーズファンとパッセンジャーズファンの一翼を担う（図41）。

図41　センターディスプレイパネル

(3) ハイコンソールの構成は、車格表現と乗員にとっての「程良い」包まれ感を演出する。

シフトユニットを従来車より上方にレイアウトすることで、シフトノブ・トップも上がり、ステアリングからのアクセス性やアームレストに肘を置きながらでも自然にシフト操作できる快適性向上にも寄与している。シフト周りのカバーフロント部は、グロスブラックとシルバーのコンビネーションで、センターディスプレイ周りの質感との統一を図った。また、PVC表皮材巻き仕様とし、裏面ラミネート処理とWステッチを施しソフトな触感による快適性と質感向上を両立させた（図42）。

図42　カバーフロント部

(4) インパネからドアトリムへの連続造形は、インプレッサから継承しており空間の広がりと包まれ感を両立させる。新型車ではさらに、インパネミッドパッドとドアトリムとの連続性、サイドベントグリルとドア加飾パネルとの一体感を高めるデザインで深化させた（図43）。

図43　インパネ～ドアトリム連続造形の深化

(5) ドアトリムは、インパネから連続する加飾パネル下部のキャラクタラインを跳ね上げ、スポーティさと解放感を演出。ソフトな表皮を窓肩まで廻すにことより乗員を包み込む空間の豊かさを表現した。リヤドアトリムもフロント側の意図を反復させ、乗員全てにパーソナルな空間を提供する（図44、45）。

図44　フロントドアトリム

図45　リヤドアトリム

4.2　シートデザイン

シートデザインは、お客さまの気持ちや生活に寄添う「快適で革新的なパーソナル空間」を実現するための重要なパートである。インプレッサで確立した考え方「多面体で身体を支える」を深化させ、ロングトリップしたくなる豊かさの表現やシートを通じて車に守られている安心感を、乗り心地性能を損なうことなくデザインに織込んだ(図46)。

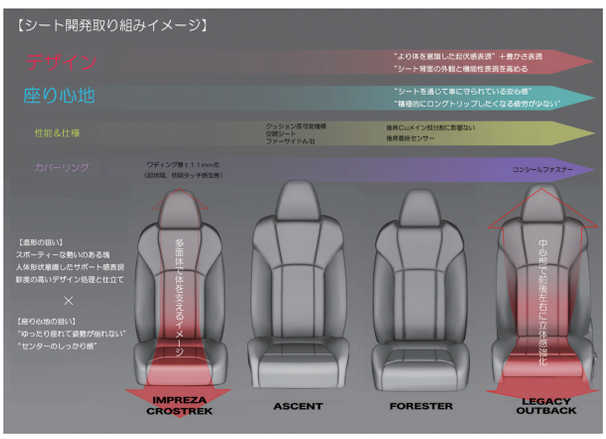


図 46　インプレッサシートデザインからの深化

具体的には、サポート感とゆったり感のある「心地良い包まれ感」と広くスッキリした見映えに機能性を感じるシート背面、Bピラーとの親和性による空間をスッキリ見せる工夫を行った(図47、48、49)。

図 47　シートデザインの狙い

4.3　ユーティリティ

近年のお客様は、車内への持込み品の増加がみられ、スマートフォン・サングラス・鍵・財布・飲み物等、多岐に渡る。お客様の要望に応えるために、内機の隙間をついて空きスペースを見つけ出し、収納スペースを創りだした(図50、51、52)。

図 48　フロントシートデザイン

図 49　リヤシートデザイン

図 50　インパネトレイ

ドリンクホルダーは、グランデサイズ相当のカップまで対応可能。コンソールサイドポケット、スマートフォンを格納可能。

図 51

コンソール・リヤはUSBとシートヒータースイッチを配置。後席ベントダクト無しの仕様では同エリアが収納スペースになる。

図 52

新型アウトバックの荷室は、お客様により多くの荷物をスムースに積んで頂けるようにシンプルでスクエア、フラットなデザインとした(図53、54)。

図 53　アウトバックの荷室デザインコンセプト

4.4　夜間照明

照明計画は、全車系を通じて視認性が高くスッキリとした印象の白色照明へ順次切り替えている。

図 54　荷室ディティールと積載イメージ

エマージェンシーに関する部位は赤色照明、その他を白色照明とし照明色に意味を持たせると共にコントラストを付け、お客様にとっての分かり易さと安全性に配慮した(図55)。

図 55　夜間照明イメージ

4.5　インフォメーションディスプレイデザイン

4.5.1　センターディスプレイデザイン

デジタル社会という時代感覚に即した使い心地と旗艦車種に相応しい上質さの両立に注力した。

お客様が使い慣れているスマートフォンやタブレットのような感覚で操作できるタッチインターフェースを実現。また、iPhoneのように説明書が無くても簡単に操作できるシステムデザインを目指した。

利用頻度や緊急度の高い機能は直感的なフィジカル操作とし、安全への配慮を行った。

縦型の11.6インチ大型ディスプレイは、全画面表示モードと画面を上下に2分割表示する2モードを用意し、情報量や利用シーンに応じて使い分けができるレイアウトとした(図56)。

図 56　センターディスプレイデザイン

4.5.2　メーターデザイン

お客様の所有欲を掻き立てる質感表現と計器としての見易さの両立に拘り、全体的に精緻感のあるデザインとした。

北米市場で利用頻度の高いデジタルスピードを視線移動の少ないメーター上部に常時表示とした。

また、少ない視線移動で指針が認識しやすい常用域の位置を指すように、指針のゼロ位置を水平に置くレイアウト（水平指針）をインプレッサから継承している。

立体大目盛の採用と子目盛、併記目盛にグレー色を追加することで煩雑さの解消とメリハリのある目盛を表現した。文字板面の表面のスピンドル仕上げや黒の艶感にも拘ることで上質さを演出している（図57、58）。

図 57　上級仕様

図 58　ベース仕様

5.　インテリアモデリング

5.1　インテリア造形の狙い

先行開発段階のインテリアスタイリングの特徴はインパネアッパー見切り線からドアに繋がる水平基調の伸びやかなラインと連続感のある造形で解放感を表現しているところである。

また、一際目立つ大型センターパネルを包み込むインパネミッドとコンソールのボリュームの付け方、全体に馴染む陰影表現と車格感のある柔らかい面表情をバランスさせることが重要と考えた（図59）。

図 59　選択案（先行開発段階）

5.1.1　骨格造形

量産開発初期より注視したのは、ドライバー視点で見た使い易い機能レイアウトと操作性である。

その際に課題となったのは、インテリアスタイリングの特徴であるインパネアッパーの見切り高さ。背反するエアバック位置、型抜き度等の製造要件と意匠を纏めるために、評価部門を交えて何度も繰り返し造形を行いながら整合を図った。

造形で注力した部位である大型センターディスプレイパネルを囲うインパネ、コンソールのボリュームの付け方は、インパネの量感をつけ過ぎると重たい印象になってしまうため、クレイ状態で陰影をしっかりと表現し立体感を強調させた。光と影のコントラストにも拘り続けた（図60）。

図 60　量産開発初期

5.1.2　造り込み

量産開発後期では、車格に合った素材感や色味を引き立たせるため、“面の表情”のコントラストを強く

意識して造形を行った。

センターディスプレイパネル、シフトパネル、ドア加飾は、黒艶の材質に相応しい“硬い面表情”を用いて機能性と高品質感を際立たせた。逆にアームレスト他ソフトパッドのエリアには“柔らかい面表情”を用いて“触りたくなる質感”を表現した。

又、造形は意匠性だけではなく収納エリアにも配慮して作業を進めた。

実用性を正確に検証するためにクレイモデルでは収納形状を細部まで作り込み、実際に“使ってみる”ことで実用性を確認し過不足を洗い出した。

コンソールの造形では、適度な包まれ感を表現するためにしっかりとしたボリュームが見えるような造形を意識した。このポイントは高さと幅にあり、幅を広げ過ぎると膝あたり要件がNGとなってしまう。意匠と要件を整合させるために常に“現物で座って確認すること”を徹底しながら作業を進めた(**図61**)。

図61　開発後期

アッパー部のスタイリング意図を表現するために、インパネとドアの嵌合部はシートポジションからの“見え方”に着目して造形を行った。意匠の繋がりを持たせるために目線方向で造形の始点、終点位置を合わせ線の勢いや伸びやかさを統一させることでより解放的な空間を演出した。

水平基調の伸びやかなラインを用いた造形テーマは解放感や車格感を出せる反面、面が引けて見え易い。

又、端末形状も跳ねて見え易いため、平面視に曲率をつけ、面や線のコントロール、端末部のアプローチを多くとり“部品の納まり”を改善し意匠品質を向上させた(**図62**)。

5.2　デザインモデル塗艤装について

デザイン開発の中では、お客様に直結する量産品質を早い段階で見極められる様クレイモデルの創り込みを強化している。モデルへの再現性を高めることで関連部署と目指す目標の共有を図るためである。

クレイモデルに表皮を張り込み主要部品は樹脂化、

図62　嵌合部の見え方と造り込み

グレード別の塗艤装やステッチ等の細部の表現まで徹底することで、インテリア空間全体の質感をリアルに再現した。

このような塗艤装を細部まで“やりきること”で、インテリアスタイリングの狙いやその情緒的価値を検証しながら開発を進めることが出来、新型車の狙いである「快適で革新的なパーソナル空間」の実現を達成することが出来た。

6.　カラーマテリアルフィニッシュ デザイン

6.1　カラーマテリアルフィニッシュの狙い

カラーマテリアルフィニッシュでは「DYNAMIC×SOLID」をカラーデザインで具現化する考え方として、「インパクトと深み」をキーワードとしている。

お客様を一瞬でひきつける魅力「インパクト」は愉しさを、時間の経過と共にじんわりと感じる表情「深み」は安心を、それぞれ表現している。

新型レガシィ／アウトバックも、この考え方に基づいて開発した。

6.2　エクステリアカラー

アウトバックの持っているタフ＆ラギッドな世界観を、専用色「オータムグリーンメタリック」として表現した(**図63**)。そのポイントは以下3つ。

・従来から大切にしてきた「自然と共存」できる色相。
・Tough表現：クラッティングとのコントラストを強調。
・Rugged表現：大粒のメタリックによる存在感。

図63　アウトバック「オータムグリーンメタリック」

その他、様々なニーズに応えられる様、普遍的な魅力を持つベーシックカラー8色をラインナップした。

「クリスタルホワイトパール」
「アイスシルバーメタリック」
「マグネタイトグレーメタリック」
「クリスタルブラックシリカ」
「クリムゾンレッドパール」
「アヴィスブルーパール」
「タングステンメタリック」
「シナモンブラウンパール」

6.3　インテリアカラー／ファブリック

インテリアの狙いである「快適で革新的なパーソナル空間」を実現させることと、レガシィ、アウトバックそれぞれのニーズに応えらる工夫を折込んだ。

・インパネミッドパネルに表皮巻きを新規設定
・ドアトリム表皮分割とユニークなステッチワーク
・グレード毎のキャラクターを強化するトリム設定

基本内装色は、ブラック、ライトグレー、アイボリーの3色の設定で、ライトグレー、アイボリーは新色。

ライトグレーは、汚れにも配慮しながら気持ちよく使える明度と隣り合う黒色のコントラストでスポーティさを表現、アイボリーは、米国で長く愛される色相でDセグメント車格に相応しい豊かさを表現した(図64)。

図 64　基本内装色（レガシィ）

ファブリック表皮材では、アウトバックは、ストロークあるSUVの乗り心地をイメージして厚手のモール糸を採用、しっかりしたブロック柄とした。また、身体を左右からしっかり支えるカバーリングでコーディネートした。

レガシィでは、スポーティな走りをイメージしてシャープなストライプ柄を採用、体幹をしっかり支えられる中央部にメイン材を配置するカバーリングとした(図65)。

図 65　ファブリック表皮材

6.4　魅力を強めるコーディネイト

6.4.1　キャラクターを強化する「SPORT」「ONYX」

それぞれのキャラクターを強化する、レガシィ「SPORT」グレード、アウトバック「ONYX」グレードには、専用のカラーコーディネートで魅力をアピールする。

レガシィ「SPORT」グレードでは、スポーツ表現を強調するために、エクステリアはディティールをブラックアウト、インテリアではシートにファブリック／PVCコンビネーションを採用し、レッドステッチをコーディネートすることでSUBARUのスポーツグレードをアイコン化した(図66)。

アウトバック「ONYX」グレードは、エクステリアではディテールをブラックアウトすることでタフ＆ラギットを強調。インテリアではダークグレーのポリウレタン防水シートとグリーンステッチでアクティブシーンで活躍できる仕立てを採用した(図67)。

図 66　レガシィ「SPORT」グレード

図 67　アウトバック「ONYX」グレード

6.4.2　最上級「TOURING」を極める

最上級の「TOURING」グレードにはひとクラス上の質感と佇まいを備えて付加価値を向上させた。新型車は専用色に加え上質な触感で知られるナッパレザーをSUBARUで初採用。

レガシィには華やかでスポーティなタンを、アウトバックには長く付き合えて落ち着きのあるブラウンを、それぞれ専用色として設定した(図68、69)。

図 68　レガシィ「TOURING」グレード

図 69　アウトバック「TOURING」グレード

【著　者】

田中　　繁

小林　昂平

滝本　　崇

戸谷　祐之

瀧澤　圭司

佐々木　崇宏

コックピット統合システムの開発について

Development of HMI Coordination System

佐 川 一 洋[*1] Kazuhiro SAGAWA
清 水 孝 則[*1] Takanori SHIMIZU
藤 本 清[*2] Kiyoshi FUJIMOTO
安 宅 淳[*3] Atsushi ATAKE

抄 録

スマートフォンやタブレットなど、お客様が手にする電子デバイスが高度化しており、車載機においてもお客様が期待するユーザビリティが急激に高度化している。ディスプレイの大型化や、コックピットを取り巻く全てのコントロール・ディスプレイが連携し、車内環境において最適な表示・操作を行うコックピット統合システムがトレンドになりつつある。さらに、IoTの定着によりスマートフォンと連携した拡張機能の市場ニーズは一層高まっている。これらを実現するべく、SUBARUとしての新しいHMI（Human Machine Interface以下、HMI）、コックピット統合システムを確立し、実用化に至ったため、その内容について紹介する。

Abstract

Smartphones and Tablets which are closely related to our customers'daily lives have been evolving rapidly. Accordingly, customers'expectations for in-vehicle device usability are also rising. In this context, integrated cockpit systems, with large-sized displays, incorporating all controls surrounding the cockpit and operating optimally in the in-vehicle environment are becoming the trend. Furthermore、with the advent of IoT, there is an increased market demand for advanced smartphone-linked functionalities. In order to realize these, SUBARU has developed a new HMI and an integrated cockpit system. The following are detailed introduction of this work.

1. まえがき

近年、車両の高度化、アプリケーションやクラウドサービスの増加により、車載ディスプレイに表示する情報は格段に増えており、ディスプレイサイズもそれに合わせて年々大型化している。一方で大量の情報が繁雑にならないよう、情報の最適化や、複数あるディスプレイ間で表示・音を調停し、ドライビング環境に適した安全性と快適性を満たすHMIが求められる。

新型レガシィは11.6インチ大型ディスプレイの採用により、メータディスプレイとセンターディスプレイの2ディスプレイ構成とした上で、2つのディスプレイをワンチップで統合制御するハイパーバイザーシステムを採用した。さらに、アプリケーション・クラウドサービスを拡充するべく、スマートフォンと連携する機能については先代で実現したCarPlay、Android Autoに次ぐ、SDL（SmartDeviceLink）を新たに搭載した。その開発の狙いについて解説する。

＊1 電子商品設計部
＊2 車両研究実験第五部
＊3 コネクトビジネス部

2. 開発の狙い

まえがきで述べた背景から、新型レガシィでは、以下3点にフォーカスし、コックピットシステムの商品構想を積み重ね、量産化を実現した。その詳細について解説する。

2.1 大型ディスプレイ（11.6インチ）を活かしたワンランク上の使い勝手

スイッチやディスプレイで溢れた飛行機のコックピットは憧れを抱かせるが、訓練を積んだパイロットだけが使いこなせる。車のコックピットも先進機能の追加、従来機能の進化により操作や表示の内容が増

加・複雑化している。しかし、一般のお客様は特別な知識なく使いこなせることを望んでいる。新型レガシィでは安心して使える統合コックピットを狙い、大型ディスプレイをインストルメントパネルの中央に配置した。そして、車両の設定や情報を集約し、安全装備やインフォテイメントの使い勝手を向上させた。

図１　大型ディスプレイ（11.6 インチ）

例えば、エアコンはお客様が頻繁に操作する装備のひとつである。従来のエアコン操作部は機械式でインフォテイメント・システムの下方に隣接しているが、両者の操作感に乖離があった。そこで、新型レガシィではディスプレイの中にインフォテイメントとエアコンをタッチパネルの中に共存させ、タップ操作やドラッグ操作を主体としたシームレスで直感的な操作と表示を実現した。基本設定や作動状態を画面最下部に常時表示する。詳細設定を行う場合画面全体に割込み表示を行う。風量や風向きの設定は2回のみの操作で、最多約5回の操作が必要となる機械式よりも早く完了出来る。またグラフィカルな表示で分かり易さと先進性を両立させている。

図２－１　エアコン操作画面①

図２－２　エアコン操作画面②

上級グレードにはナビゲーション・システムが装備されるが、地図は縦長に表示される。ヘディングアップ表示の場合、より遠くの進行先が表示され、実用性が増している。

スマートフォンのナビゲーションを車載ディスプレイへの表示は当たり前機能となっている。そして、車載システムのオーディオと並用したいという要望がある。この課題を大型ディスプレイで解決した。画面上部にスマートフォン、下部に車載オーディオを表示し、同時に機能させるスプリット方式を実装した。先進性があり、情緒的価値を高める事に一役果たしている。

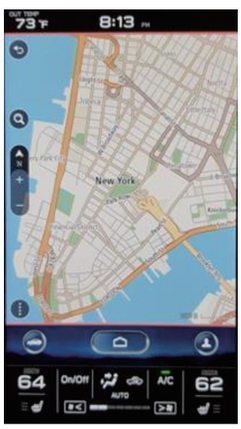


図３－１　ナビゲーションシステム画面

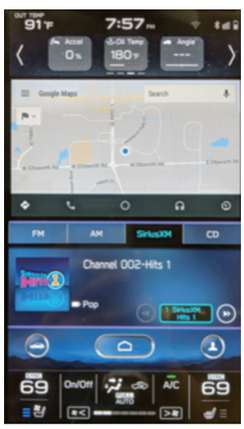


図３－２　スマートフォン車載オーディオのスプリット画面

2.2　SUBARU STARLINKの強化「SDL」の搭載

スマートフォン普及により運転中もスマートフォンを使いたいという要望が強まっている。一方で、運転中の携帯電話操作は安全運転を脅かす恐れがあり、安全性と利便性の両立が求められている。

スマートフォンの画面を車載器画面に映して、音声やステアリングスイッチ、車載器画面の押下を通じて操作することで安全且つ快適な利用環境を提供するスマートフォン連携機能として、SUBARUでは従来から専用クラウドサービスを活用したSUBARU STARLINKを展開してきた。しかし、連携できるアプリ数やサービス改廃への柔軟な追従性に課題があった。スマートーフォンと自動車の普及台数差がアプリ事業者の参入阻害要因となり、専用開発が柔軟性を奪ってしまっていた。AppleやGoogleといったスマートフォンOSメーカー大手によるスマートフォン連携も前モデルから導入したものの、携帯OS依存や全世界での展開国数制約など課題が残っていた。

今回、SmartDeviceLink（SDL）という自動車メーカー、車載器メーカー、アプリ事業者などが参加して標準化を企図したスマートフォン連携のオープンプラットフォームを新たに追加することでアプリコンテンツの充実や一層の多国展開を狙った。

SDLはスマートフォンなどモバイル端末と車載機をつなぐソフトウェアで、車載機に組み込む「SDLコア」とスマートフォンアプリに組み込む「SDLプロキ

シ」で構成される。SDLコアは車載機のOS依存なく、SDLプロキシはiOS向け、AndroidOS向けの両方が提供されており、柔軟なサービス展開が可能である。

また、「SDLコア」に送られた携帯アプリのコンテンツや情報は、車載機のHMIを通じて表示される。その際に、SDLでは通常「テンプレート」という型枠を使うことで、スマートフォン連携以外の車両の操作系と一貫性のあるデザインが構築できる。結果、アプリ毎に操作系が異なるといった複雑さを回避しつつ、自動車OEM毎に意匠レイアウトの自由度が確保されている。一方でナビゲーションアプリなどアプリ側のUI（User Interface以下、UI）をそのまま使う必要のあるアプリ向けに「プロジェクション」も用意されている。

今回、旧来のHTML5アプリで用いていたコンパニオンアプリを活用することで、従来アプリ資産を活かしながら、SDL対応した汎用アプリの使用も可能としている。

2.2.1　アプリリストでHTML5とSDLアプリ混在

ユーザがSDLアプリ、HTML5アプリを意識することなく選択できるように、SDLやHTMLといったアプリを区別せず、車載機画面上に混在で表示、ユーザの選択を容易にした。

図４　アプリリスト画面（車載器側）

2.2.2　コンパニオンアプリでのアプリリスト並べ替え

コンパニオンアプリ側でアプリアイコンの並べ替えも可能にしている。操作はユーザにとって違和感のないドラッグ＆ドロップを採用し、並び替えた順序は車載機にスマートフォンを接続した際に反映される。

・OTA（Over the Air以下、OTA）でテンプレート更新

車載器側のテンプレートをコンパニオンアプリを通じてOTA更新可能とした。SDLアプリの種類に応じて、このテンプレート上でSDLアプリを動作させる（例、音楽アプリ用テンプレート、ナビ用テンプレートなど）。

図５　アプリリスト画面（スマートフォン側）での並べ替えイメージ

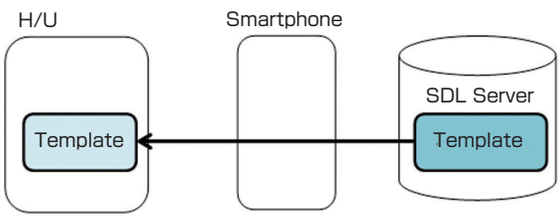


図６　SDL テンプレート向け OTA アーキテクチャ概略

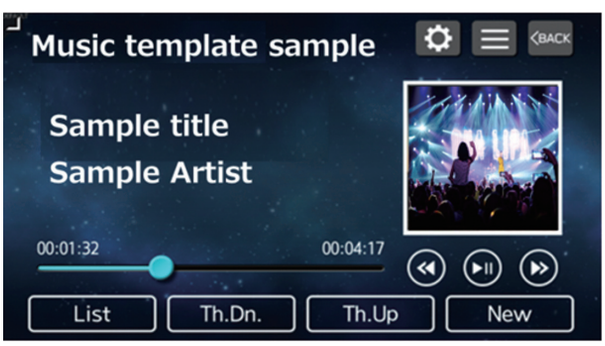
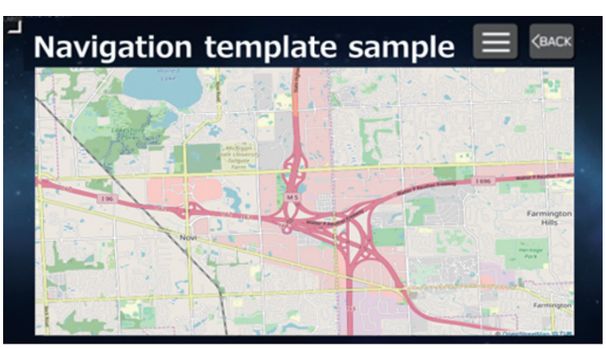


図７−１　音楽アプリ用テンプレート例



※地図画像は OpenStreetMap(https://www.openstreetmap.org) から引用

図７−２　ナビ用テンプレート例

今後の多彩なアプリケーションの出現、表示機能の強化など時代に応じた追随が要求される事が予想されるが、OTAによる更新により、ユーザが敢えて意識または操作することなくスマートフォン接続時にバックグラウンドで新たなテンプレートがダウンロードさ

れ、常に最新のSDLテンプレートが車載域に搭載されている状態を維持できる。

さらに、コンパニオンアプリには地図更新機能やテレマアプリへのリンクなども実装している。

2.3　メータディスプレイとセンターディスプレイのワンチップ制御によるシームレス調停

自動車の安全性や利便性の向上に伴い、車両がドライバーに伝える情報は増加し、車室内には、複数のディスプレイ部品が必要となる。従来のシステムでは個別に制御しており、表示内容や音声をシームレスに連携、協調させるには、システム構成上の性能限界があった。例えば、走行中に危険が生じた際、すぐにドライバがその警報音に気づくようにオーディオのボリュームを減衰させる同調制御や、メータが持つ運転に関わる重要情報とセンターディスプレイが持つエンターテイメント情報を双方に表示した方がお客様にとって快適な場面がある。しかしながら、タイミングの遅延やデータ量の制限など商品質感を維持するには越えられない壁があった。新型レガシィではこれを解消するため、ワンチップでメータディスプレイとセンターディスプレイを統合制御するハイパーバイザーシステムを採用した。

ワンチップ化の必須要件として、安全性に関わるメータ表示には「高い信頼性」のあるリアルタイムOS、スマートフォン連携アプリやクラウドサービスなど多種多様のアプリケーションを表示するセンターディスプレイは「拡張性」のある高機能な汎用OSが求められる。これらの特性の異なるOSを仮想化技術を用いて両立させた。

図８　ハイパーバイザーシステム概略

特に安全設計に重点を置き、万一、汎用OSでトラブルが生じた場合や、サイバー攻撃にあったとしても、運転に関わる重要情報を表示するメータ側のリアルタイムOSには絶対に影響を与えないことを立証することが不可欠である。最先端の車載向けハイパーバイザーシステムの採用により各OSの独立性を保つことで安全性を確保しつつ、単一CPU制御、グラフィックス共有テクノロジーにより一体感のあるHMIを実現した。

また、マルウェアの侵入を防ぐ複数層のファイヤーウォールを最適配置し、セキュアブートによる監視機能を搭載することによりセキュリティ耐性を確保し、世界初の量産化を実現した。

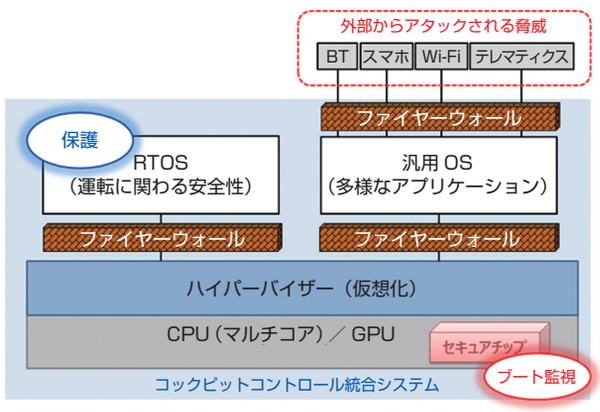


図９　セキュリティ構成概略

このシステムにより実現できた機能の一例を以下で紹介する。

2.3.1　EyeSight警告表示

図 10　EyeSight 警告表示

2.3.2　車両セッティングの統合化

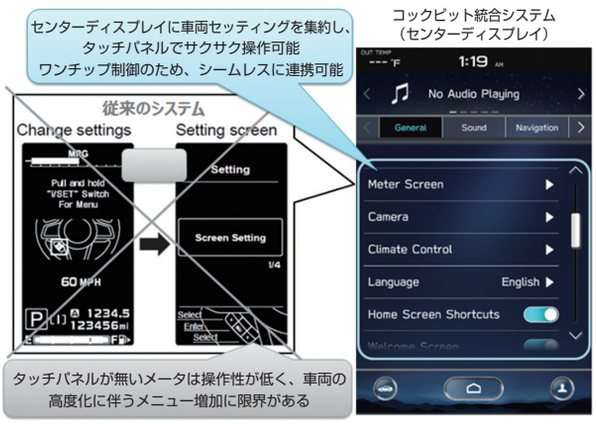


図 11　車両セッティング統合化

2.3.3　アニメーション連動

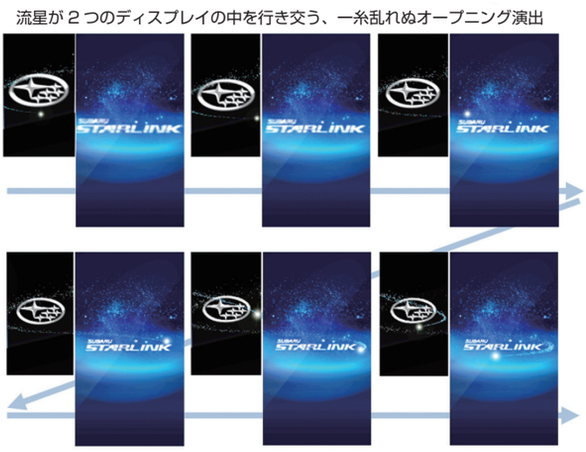


図 12　アニメーション連動

3.　まとめ

今回、実用化したシステムは、IoTが生活の中心になりつつある時代において、最新のスマートフォンアプリ・クラウドサービスを車室内でも利用できる拡張性と、高度化し続ける車両機能とドライバの親和性、普遍的なSUBARUの安全思想の全てを継続して満たしていく上で不可欠となる技術要素を兼ね備えた革新的なコックピットシステムである。

今後もこのシステムをベースに世界のお客様にご満足いただける商品を継続的に改良･提供していきたい。

【著　者】

佐川　一洋

清水　孝則

藤本　清

安宅　淳

「SUBARU BRZ」改良モデルを発表

～リヤアーチフィンを追加し、サスペンションのダンパーチューニングを最適化～

2018年9月11日

「SUBARU BRZ」改良モデルを発表。
「Pure Handling Delight －新しい次元の運転する愉しさ」をコンセプトとした、誰もがクルマを操る愉しさと悦びを感じることのできるスポーツカーです。FRレイアウトと水平対向エンジンを組み合わせた「超低重心パッケージング」により優れたハンドリング性能を実現し、走りの性能や内外装の質感に繰り返し磨きをかけました。

SUBARU XV、FORESTER　e-BOXER 用 ハイブリッドリニアトロニック開発

Development of New Hybrid Lineartronic CVT for SUBARU XV and FORESTER

千田博之[*1]　鈴木雄樹[*2]　前川卓也[*2]　小室正樹[*3]
Hiroyuki CHIDA　Yuki SUZUKI　Takuya MAEKAWA　Masaki KOMURO

抄　録

2018年に発売されたSUBARU XV、FORESTER e-BOXER向けに縦置きチェーン式ハイブリッドリニアトロニックを開発した。14MY SUBARU XV HYBRID搭載のハイブリッドリニアトロニックをベースとし、環境性能の向上、新たな輸出地域固有のシビアコンディションへの対応を図りながら、新世代の車両骨格であるスバルグローバルプラットフォームへの搭載に向けて高電圧ケーブルのレイアウトを変更した。

本稿では、SUBARU XV、FORESTER向けに開発したハイブリッドリニアトロニックの構造並びに性能向上の詳細について報告する。

Abstract

The new SUBARU Hybrid Lineartronic was developed for SUBARU XV and FORESTER e-BOXER which were released in 2018.

In this development, we focused on environmental friendliness and improved reliability of the transmission for usage under severe conditions in new markets. And also, we changed the high voltage cable layout in order to apply Subaru Global Platform.

In this paper, we report details of the new Hybrid Lineartronic structure and performance improvement.

1.　まえがき

新型SUBARU XV、FORESTERの上級グレードの位置づけとして、各国燃費規制に対応したハイブリッド車を開発し、2018年にe-BOXERとして発売した。

SUBARUらしい走りの愉しさと安心感、高い実用性や安全性はそのままに、環境性能との両立を目指して開発に取り組んだ。トランスミッションの基本構造としては、2013年に量産を開始したハイブリッドリニアトロニック[(1)(2)]の1モータシステムを踏襲しつつ、環境性能向上、走破性、加速軽快感向上アイテムを投入して新型SUBARU XV、FORESTER e-BOXERに求められる車両性能を達成した。本稿ではその開発内容について紹介する。

＊1 トランスミッション設計部
＊2 トランスミッション性能開発部
＊3 電動ユニット研究実験部

2.　新型ハイブリッドリニアトロニック開発の狙い及び構造と特徴

新型SUBARU XV、FORESTER e-BOXERへのハイブリッドリニアトロニック搭載に向けて、質量ベースで約4割の部品を改良し、以下の開発に取り組んだ。

・環境性能向上
・新輸出地域固有のシビアコンディション対応
・スバルグローバルプラットフォームへの搭載
・動力性能向上

主要構造を**図1、2**に、主要諸元を**表1**に示す。

2.1　環境性能向上

環境性能の向上にあたって、2016年発売のインプレッサ用リニアトロニック[(3)(4)]で採用したレシオカバレージの拡大によるエンジンの低回転化、フロントハイポイドギヤの溶接固定化（ボルトレス）によるスピンロス低減及び軽量化、リバースブレーキの低フリクション化、トルクコンバータの小型軽量化といったア

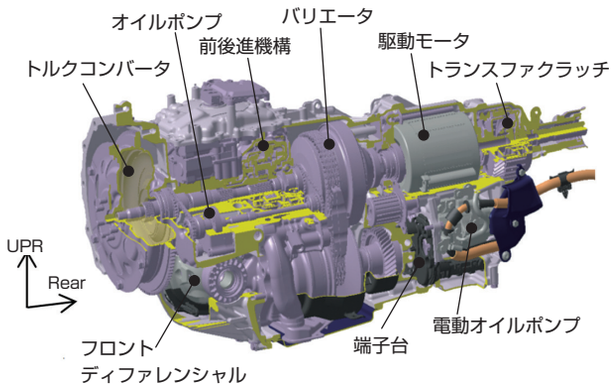


図１　主要構造（カットモデル - 左側面）

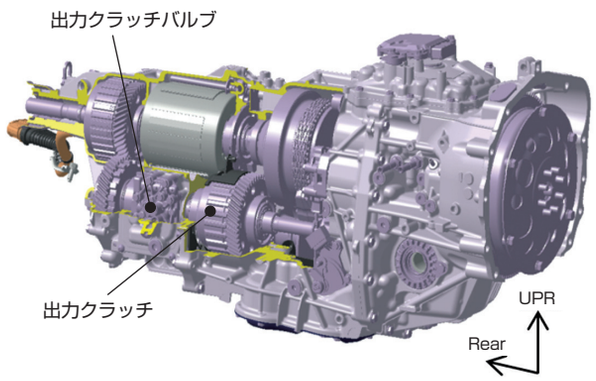


図２　主要構造（カットモデル - 右側面）

表１　主要諸元

モデル	XV HYBRID (2013)	XV HYBRID, FORESTER e-BOXER (2018)
エンジン	2.0L	
レシオカバレージ	6.3	7.0
プーリ比	2.549 ～ 0.406	2.683 ～ 0.382
リダクションギヤ比	1.342	
駆動モータ出力	10 kW	
ファイナルギヤ比	3.700	3.700 (XV HYBRID) 3.900 (FORESTER)
T/M 質量 (Wet)	156 kg	152 kg

イテムを取り込みつつ、本開発では、プーリバッフルとオイルストレーナ形状を最適化し、さらなるスピンロス低減に取り組んだ。これにより、特に撹拌抵抗を従来比12%低減し、CVT 全体の損失仕事率を7%低減した(図3)。

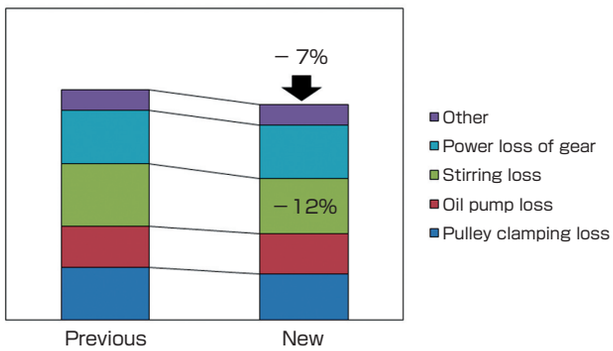


図３　トランスミッション損失仕事率（80 km/h road load）

2.1.1　セカンダリプーリバッフル形状最適化

ハイブリッドリニアトロニックでは、従来型よりフロントデフ、プーリ、出力クラッチの3か所にオイルバッフルを適用し、回転体の撹拌抵抗の低減を図っている。今回の開発では、より油没量の大きいセカンダリプーリバッフルに着目し、その改良に取り組んだ。新型では、①バッフル壁面高さ最適化によるバッフル内オイルの排出性向上(図4 A部)と、②バッフル延長によるリダクションギヤ部のオイル流入抑制(図4 B部)を織り込み、撹拌抵抗低減を実現した。これにより、プーリの撹拌に起因するスピンロスを従来型比2%低減した。

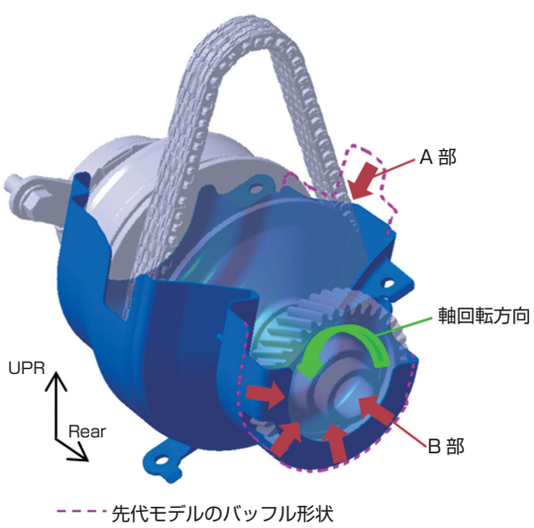


図４　セカンダリプーリバッフル

2.1.2　オイルストレーナ形状チューニング

さらなる撹拌抵抗低減のため、今回の開発ではCVTFの動的なオイル挙動を確認し、油面高さ低減に取り組んだ。トランスミッション内部のオイルは、加減速・旋回などの影響を受けるため、複雑な挙動をする。CVT内の油面高さの決定においては、動的な油面偏り時のCVTF戻り性・CVTF泡立ち性・オイルストレーナ吸入口部のオイル保持性を考慮し、ストレーナ吸入口からエアを吸わないことを要件として適

切な油量＝油面高さを設定している。今回の開発では従来型に対し、①小型化によるトランスミッション後方から前方へのCVTF戻り性能向上と、②吸入口前面の縦壁追加により、加速時の吸引経路の通油抵抗を大きくし(図5)、CVTFの流れを分散する事で、吸入口近傍のオイル保持性を向上させ、ストレーナからのエア吸い耐力を向上させた(図6)。これによりCVTF油面高さを従来比6%低減し、スピンロスを5%低減した。

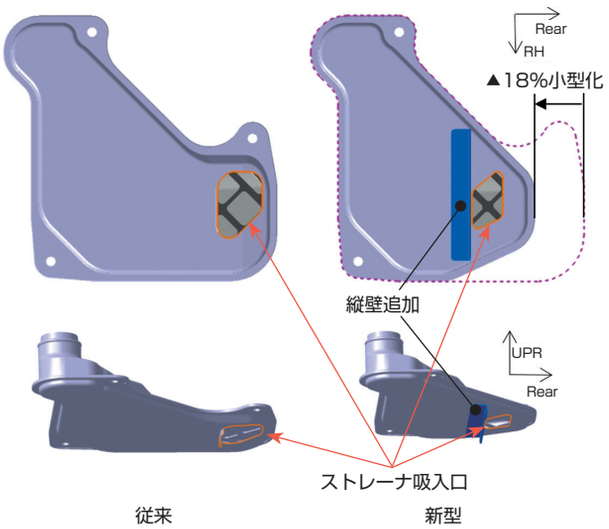


図５　オイルストレーナ

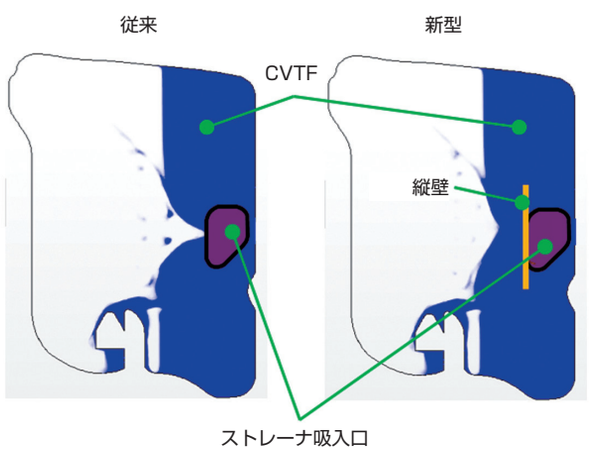


図６　縦壁追加による加速時動的油面の変化

2.2　新輸出地域固有のシビアコンディション対応

新型SUBARU XV HYBRID、FORESTER e-BOXERより新たに展開される中国市場の道路環境・使用環境に対応させるため、信頼性の向上を図った。中国市場の郊外では未舗装路が多く、車両のフルライフにおける路面からの振動入力頻度が増大する。新型ハイブリッドリニアロニックの開発では、この中国市場を想定したシビアリティ条件を設定し、耐久信頼性確保に取り組んだ。

2.2.1　電動オイルポンプハーネス耐久性向上

100 V駆動の電動オイルポンプ用3相ハーネスはトランスミッションから直接、荷室バッテリパック内の電動オイルポンプインバータへ接続される。この配策の都合上、本ハーネスはトランスミッションと車体を受け渡す形となるため、路面からの振動入力による車体とパワーユニットの相対動きを吸収させる揺動部が必要となる。前述の通り、新型SUBARU XV HYBRID、FORESTER e-BOXERでは、輸出地域の拡大に伴って中国市場に初展開され、より厳しいシビアリティ条件での信頼性確保が必要となった。トランスミッションと車体への固定位置及び、揺動部のハーネス余長を適正化しこれに対応した。加えて、スバルが目指す衝突安全性能を実現するため、新たに衝突保護ブラケットも追加。ハーネス揺動部を保護するこのブラケットは、常にハーネスと摺動するため、中国市場を鑑みて、黄砂によるハーネス摩耗を防ぐため、耐摩耗性を有する保護テープも採用した(図7)。

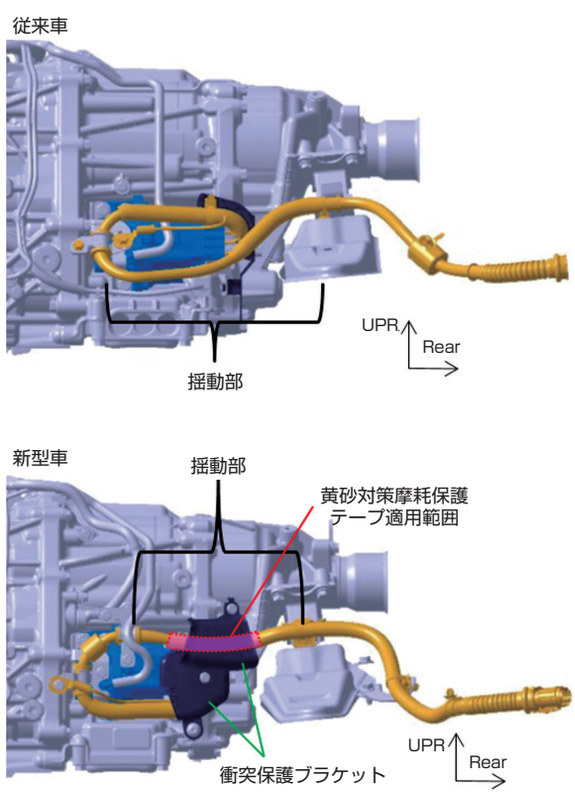


図７　電動オイルポンプハーネス

2.3　スバルグローバルプラットフォームへの搭載

2016年発売のインプレッサより採用された新世代のスバルグローバルプラットフォームへ初搭載となるハイブリッドリニアトロニックにおいて、ドライブモータを格納するモータケース周りのレイアウトを刷新した。プラットフォームの進化に伴い、先代の2013年SUBARU XV HYBRIDに対して、排気管レイ

アウトを車体右側配置から左側配置に変更(図8)したことに対応するため、排気管からの放射熱対策や衝突性能を一から見直しを実施。出力クラッチバルブの搭載位置を変更し、高電圧ケーブルのインレットを左配置から右配置へ変更した(図9)。車室内空間に関わるトランスミッションの外観寸法はそのままに、これを実現した。

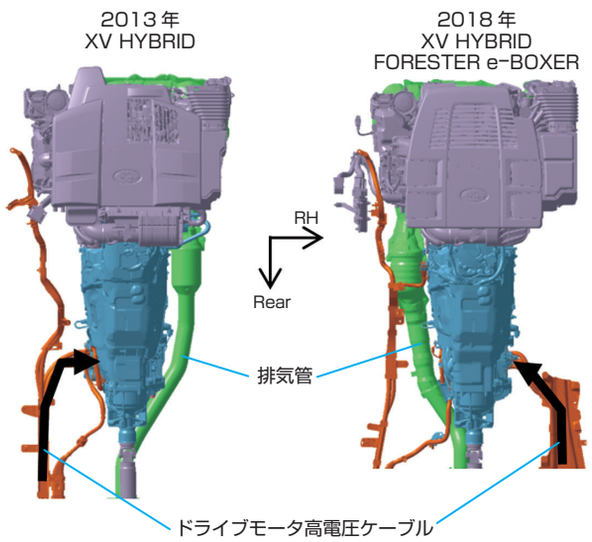


図 8　排気管及びドライブモータ高電圧レイアウト

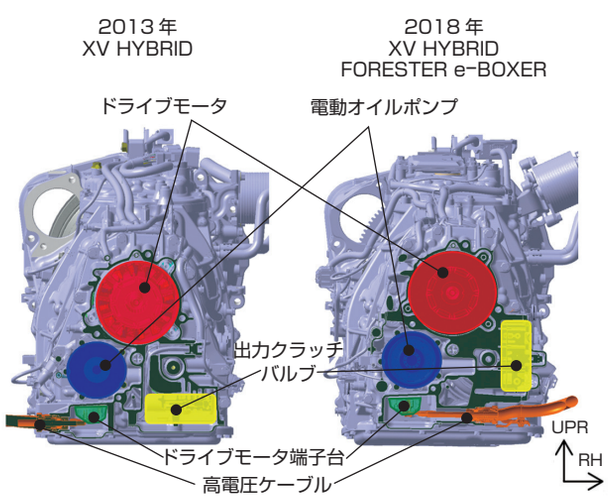


図 9　高電圧ケーブル配策変更

2.4　動力性能向上

新型ハイブリッド車では、2013年発売のSUBARU XV HYBRIDからさらに、モータ搭載の利点を積極的に活用した。悪路走破性を向上するX-MODEと、加速特性を選択できるSI-DRIVEへ10 kWモータを活用し、ガソリン車に対して低速域での走破性と、加速時の軽快感を向上させた。

2.4.1　X-MODE

雪道での発進や荒れた山道の登坂など、タイヤが空転してしまうシーンにおいて、エンジン・トランスミッション・AWD・VDCを統合制御し、4輪駆動力を適切にコントロールすることで、スムーズな脱出を実現するX-MODEに対して、ハイブリッドリニアトロニックではさらなる性能向上を図った。

低回転で最大トルクが立ち上がるモータの利点を活かし、エンジントルクに対してモータトルクを優先配分することで、アクセルワークに対するエンジントルクの遅れ及び、トルクコンバータの流体伝達に起因する駆動遅れを低減。また、トルク応答がエンジンより早いモータに対応するため、モータ駆動トルク変化を予測してプーリのクランプ圧を高める制御を最適化した。

この結果、荒れた路面の段差を乗り越えるまでの時間を2.0Lガソリン車に対して1秒短縮(図10)。また、駆動遅れの低減により、アクセルの踏み過ぎを抑制し、不安定な路面状況でのコントロール性を高めた(図11)。

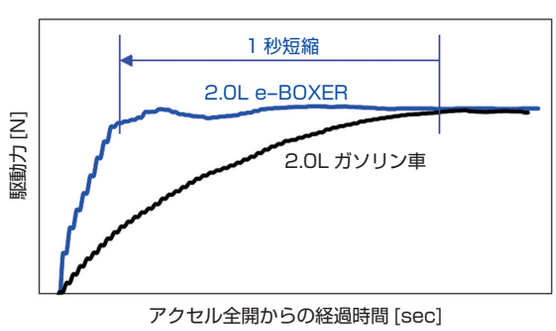


図 10　段差乗り越えの時間短縮

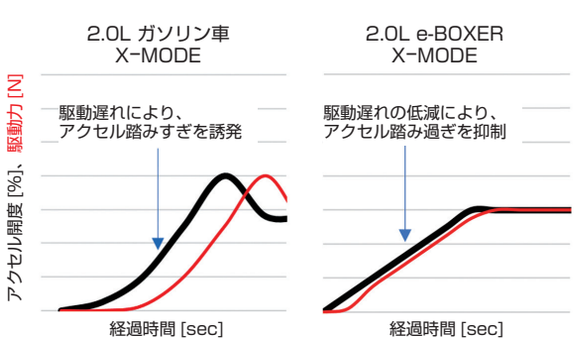


図 11　コントロール性の向上

2.4.2　SI-DRIVE

気分やシーンに合わせて加速特性を使い分けられるSI-DRIVEの性能向上を図った。走りと燃費をバランスした「インテリジェントモード(I)」に対し、走りの愉しさを重視した「スポーツモード(S)」にモータトルクを加えて、キャラクタの違いをガソリン車よりも顕著にした。

高電圧バッテリがニッケル水素電池であった先代XV HYBRIDに対し、リチウムイオン電池を採用することでモータの実用出力を向上させ、これを加速時に使い切る制御とした。加えて、変速比をよりLoギヤ側にシフトすることで余裕駆動力を高めた。さらに、車速比例でエンジン回転数を高める制御を採用し、アクセルペダルとエンジンの直結感を高めた。

この結果、2.5Lガソリン車を凌駕する加速応答性を達成し、e-BOXERならではの愉しさを実現した。

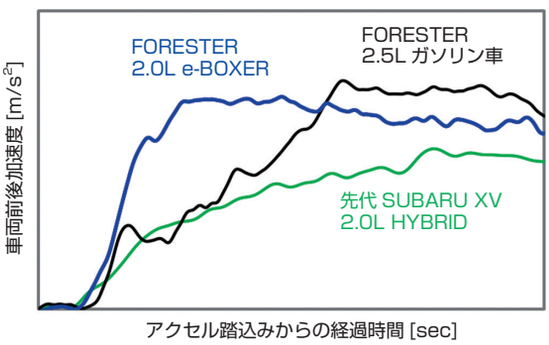


図12　スポーツモード（S）の加速応答性
（40 km/h からのアクセル踏込み）

3.　まとめ

新型ハイブリッドリニアトロニックでは、質量ベースで約4割の構成要素を新設計し、従来比でCVT全体の損失仕事率7%低減と4 kgの軽量化を両立させた。また、同時に新たな輸出地域のシビアコンディションへの対応、スバルグローバルプラットフォーム搭載対応、動力性能向上アイテムを織り込み、新型SUBARU XV HYBRID、FORESTER e-BOXERに求められる車両性能を達成した。

今後もSUBARU車をお客様に選んで頂けるよう、引き続きSUBARUを支える駆動系を進化させていく。

参考文献

(1) 木嶋ほか：ハイブリッドリニアトロニックの開発，スバル技報No.40（2013），p.48-53
(2) 木嶋ほか：ハイブリット・リニアトロニックの開発，2013年自動車技術会シンポジウムテキスト，No.03-13, p.51-55（2013）
(3) 木嶋ほか：新型インプレッサ向けリニアトロニックの開発，スバル技報No.44（2017），p.48-52
(4) 千田　博之：新型中容量チェーン式CVTの開発，2017年自動車技術会秋季大会学術講演会講演予稿集，No.166-271, p.1459-1463

【著　者】

千田　博之

鈴木　雄樹

前川　卓也

小室　正樹

SUBARU「CROSSTREK HYBRID（クロストレック ハイブリッド）」を米国で発表
～SUBARU初のプラグインハイブリッド車～

2018年11月20日

米国において、当社初となるプラグインハイブリッドモデル「CROSSTREK HYBRID（クロストレック ハイブリッド）」を発表。
自動車と航空宇宙事業を柱とするSUBARUでは、『大地と空と自然』を事業フィールドと位置付け、そのフィールドが広がる地球の環境保護を企業活動における重要課題の一つとして掲げています。

CROSSTREK HYBRID 用プラグインハイブリッドトランスミッションの開発

Development of Plug-In Hybrid Transmission for CROSSTREK HYBRID

足　森　崇　志[*1]　Takashi ASHIMORI
迫　田　雄一郎[*1]　Yuichiro SAKODA
纓　田　勝　司[*1]　Katsushi ODA
小　橋　建　斗[*2]　Kento KOBASHI
佐々木　高　晴[*3]　Takaharu SASAKI

抄　録

2018年に北米で発売されたCROSSTREK HYBRID向けにプラグインハイブリッドトランスミッションを開発した。お客様が求められる「環境性能」と「動力性能」、動的質感に直結する「振動・騒音性能」の向上に取り組んだ。

本稿ではCROSSTREK HYBRID向けに開発したプラグインハイブリッドトランスミッションの構造ならびに、性能向上の詳細を報告する。

Abstract

A plug-in hybrid transmission was developed for CROSSTREK HYBRID, which was released in the North American market in 2018. Environmental friendliness, drivability, and NVH performance for dynamic quality were focused on.

This paper describes details of the new plug-in hybrid transmission structure as well as the performance improvement.

1.　まえがき

SUBARU初となる、プラグインハイブリッド用の新規ユニットを開発し、2018年に北米で発売の、CROSSTREK HYBRIDに搭載した。本稿では、そのプラグインハイブリッドトランスミッションの技術内容について紹介する。

2.　開発の狙い

近年、世界的に要求が高まる「環境性能向上」に加え、「動的質感向上」を実現すべく、シンメトリカルAWDを継承したプラグインハイブリッドトランスミッションを新規開発し、クラストップの低燃費と優れた動力性能を両立させた。損失馬力の目標は、CVTの相場線より、検討当時からの時代伸長分を－20%と推定し設定した。HEV AWDの推定損出馬力を算出し、プラグインハイブリッドトランスミッションも同様の低減代の設定とした。損失馬力の目標を図1、目標性能を表1に示す。主要構造を図2、主断面を図3に示す。

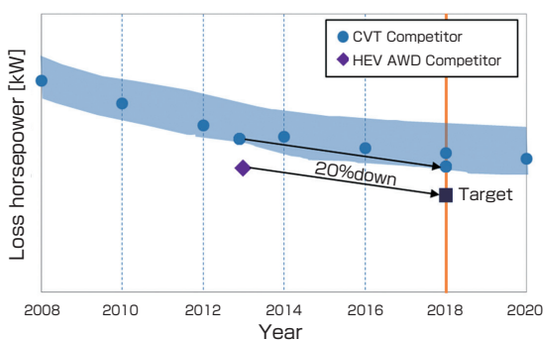


図1　損失馬力の目標

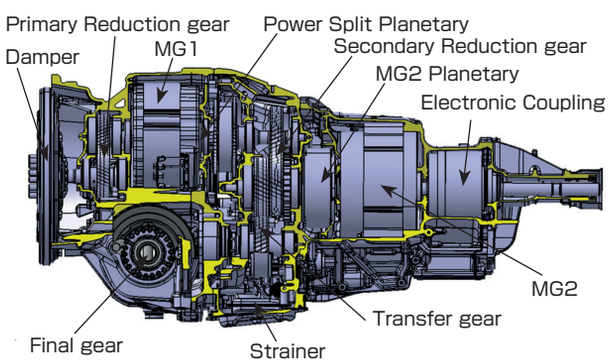


図2　新プラグインハイブリッドトランスミッションの主要構造

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

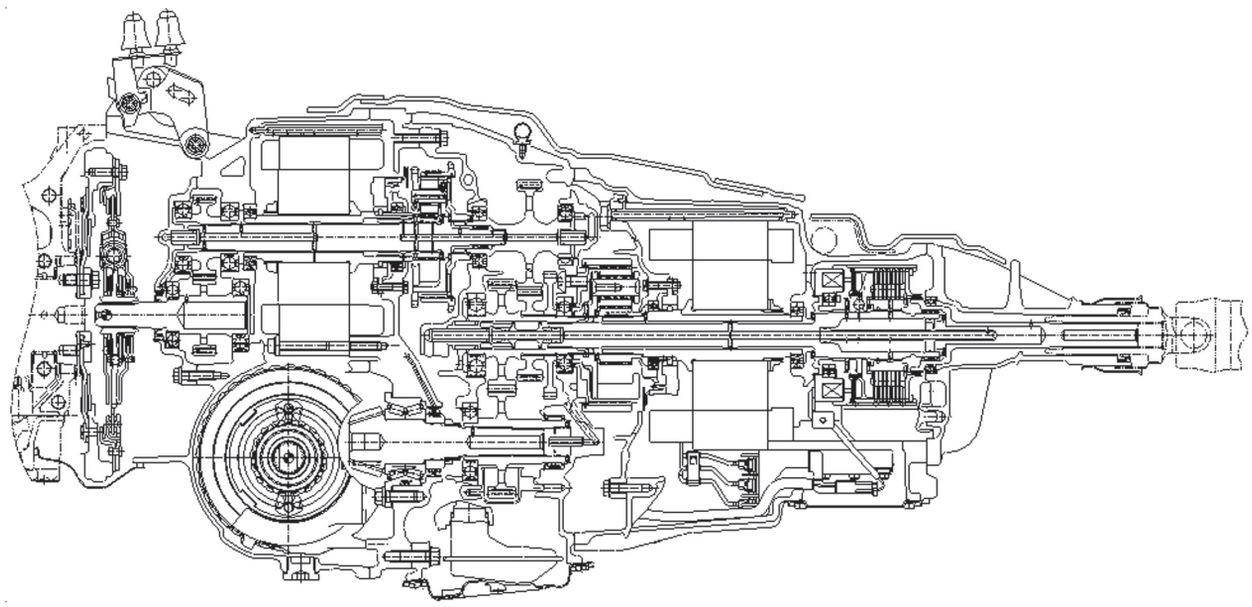


図３　新プラグインハイブリッドトランスミッションの主断面

表１　目標性能

Target performance	Approach	Items
Environmental friendliness	Gear ratio optimization	[4.1] Fuel economy simulation of ratio combinations
	Range extension of EV drive	[4.2] Twin drive oil pump
	Lower spin loss	[4.3] Baffles [4.3] Welded ring gear
	AWD control optimization	[4.4] Torque distribution
Dynamic quality	Gear noise reduction	[5.1] MG2 planetary gear configuration
	Motor noise reduction	[5.3] MG1 layout [5.3] Sound insulations

3.　構造と主要諸元

本ユニットは高電圧バッテリの充電や駆動用電力の供給を行うモータ（MG1）と、エンジンの補助動力源として状況に応じてエンジン出力をアシストするモータ（MG2）を内蔵している。

また、エンジン動力をMG1と出力軸に分割する動力分割機構、MG2動力を出力軸に伝達するモータリダクション機構、減速機構およびデファレンシャル機構で構成されたギヤトレインを採用した。トランスミッションの主要諸元を**表2**に示す。

表２　主要諸元

Engine max torque		183 Nm
Motor max torque		202 Nm
Gear ratios	Power split planetary	Power generation : 0.278
		Drive : 0.722
	MG2 planetary	3.429
	Primary reduction ratio	1.057
	Secondary ratio	0.780
	Transfer ratio	1.000
	Final ratio	3.700

4.　環境性能向上の取り組み

4.1　ギヤ比設定

動力分割プラネタリギヤの前後に配置したリダクションギヤのギヤ比の組合せを最適化することで、燃費性能を向上させた。目標値を達成できる可能性のある55通りの組合せをシミュレーションし、燃費と動力性能を満足しつつ、ギヤ音にも配慮したギヤ比の組合せを採用した。

4.2　EV走行領域拡大対応

エンジンが停止しているEV走行時にも、モータ冷却や潤滑性能を確保できるように、エンジン軸側からの駆動だけでなく、アウトプット軸からも駆動できるようにした。また、リリーフバルブを設定し、オイルポンプ吐出圧が不必要に高くなるのを防ぐことで、オイルポンプ駆動ロスの低減を図った。オイルポンプの断面図を**図4**に示す。

また、トーイング走行などの高出力連続運転時のモータ冷却のため、オイルクーラで冷却されたオイルをモータへ直接導くことで冷却性能を確保した。冷却、潤滑の概念図を図5に示す。

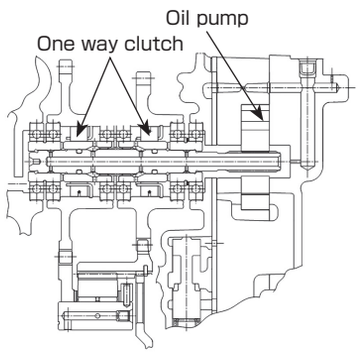


図４　オイルポンプの主断面

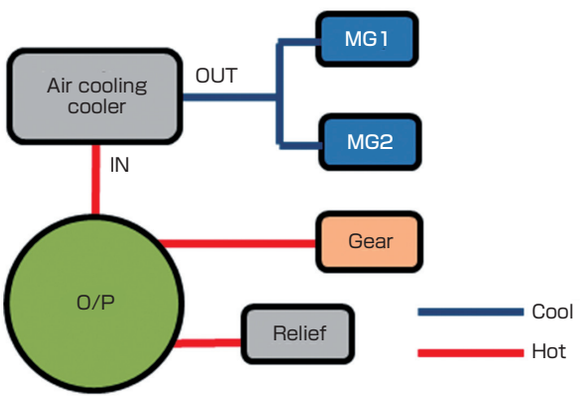


図５　冷却、潤滑概略図

4.3　機械損失低減

オイル撹拌損失低減のため、ファイナルギヤとトランスファギヤにバッフルを採用した。また、トランスミッション内のオイル戻りの改善やストレーナ位置と形状を最適化することにより動的油面レベルを下げ、各部撹拌損失を低減させた。図6にバッフル形状を示す。

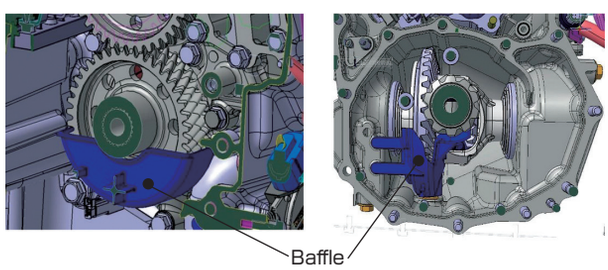


図６　ギヤバッフル

デフケースとハイポイドギヤは溶接方式を採用し、一般的なボルト締結式に対して撹拌損失を30%低減させた(図7)。また、ボルト及びボルト締結のために必要な肉厚部が不要となり、部品点数を削減しつつ、18%の質量低減を実現した。

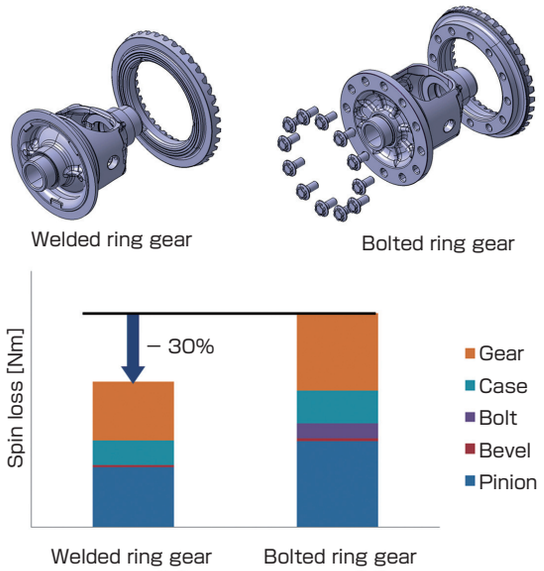


図７　デフケース及びハイポイドギヤ

4.4　AWD制御

トランスミッション後方に内蔵した電磁式トランスファカップリングにより、後輪へのトルク配分を制御する。AWDの制御は、トラクション向上のみならず、減速時の回生エネルギーの最大化を狙い、減速時の後輪トルク配分を摩擦ブレーキによる制動力配分とほぼ同一とし、滑りやすい路面においても制動時の安定性・回頭性を担保した。図8に回生制動中のトランスファ締結力を示す。

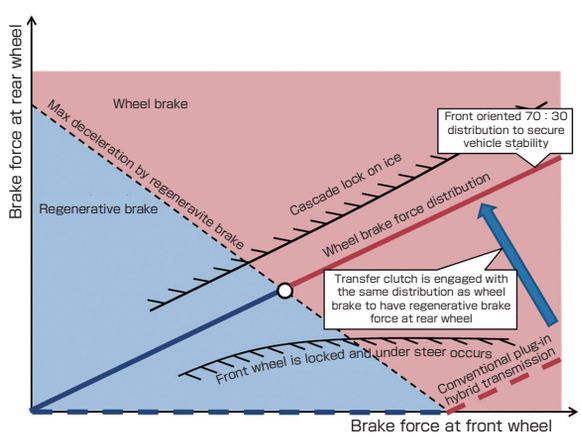


図８　回生制動中のトランスファ締結力

5.　振騒性能向上の取り組み

5.1　ギヤ音に対する構造的配慮

新プラットフォームへ搭載するに当たり、体格を最小化するためにケース5個、カバー3個の複雑なケース構成となった。その背反として生じるヘリカルギヤの芯ずれによるギヤ音への影響を最小限に抑えるために、ドライブ／ドリブンギヤ対が必ず隣接するケース

もしくはカバーの2要素間で両端を支持する構造とした。

モータリダクションプラネタリギヤは、インターナルギヤの固定位置をインターナルギヤの内径側に配置し、ケース外壁までの振動伝達経路を長くとることにより各周波数帯でのギヤ音を改善した。**図9**にモータリダクションの断面図、**図10**に変更前後でのギヤ音の振動値を示す。

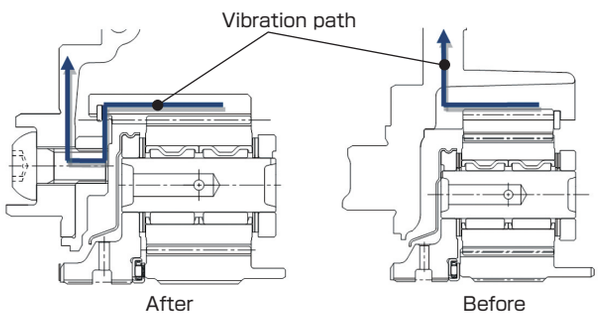


図9　MG2 プラネタリギヤ

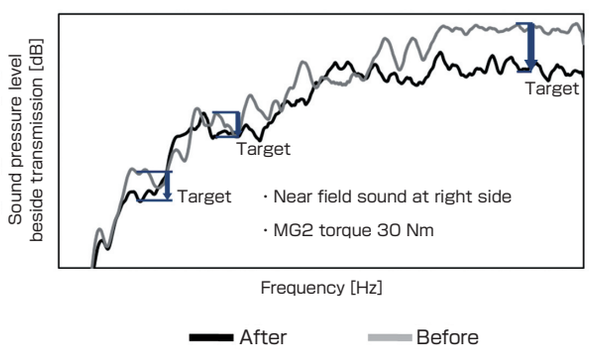


図10　ギヤ音

5.2　ギヤ音に対する工法配慮

トランスファギヤの噛み合い反力がMRプラネタリギヤノイズを悪化させていたため、この改善案として、トランスファギヤ軸とキャリアを嵌合しているスプライン歯面にクラウニングを施した(**図11**)。

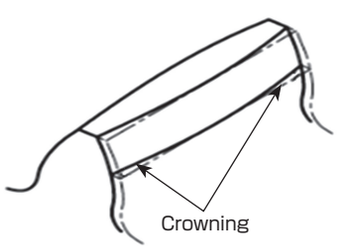


図11　スプライン歯面のクラウニング

これにより、嵌合部の剛性を低下させ、トランスファギヤ噛み合い反力のキャリアへの影響を小さくさせたことで各ピニオンギヤのミスアライメントのばらつきが改善した。クラウニング有無のミスアライメントの比較を**図12**に示す。プラネタリギヤトータルの起振力が低減し、MG2リヤ側ベアリングの振動加速度応答で約3～4 dBの改善を確認した。クラウニング有無の振動加速度応答波形の解析結果を**図13**に示す。改善効果を実機で検証し、1.5 dBのトランスミッション近接音の改善を確認した。結果を**図14**に示す。

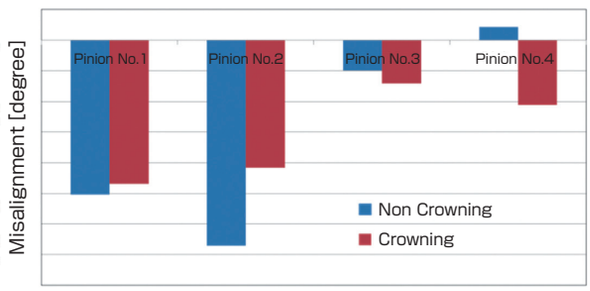


図12　ピニオンギヤメッシュのミスアライメント

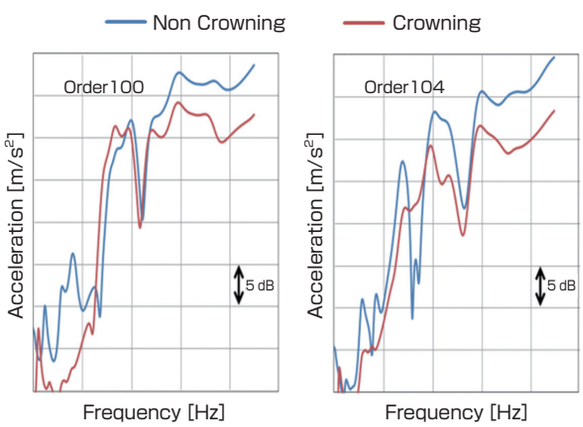


図13　ベアリング振動の加速度

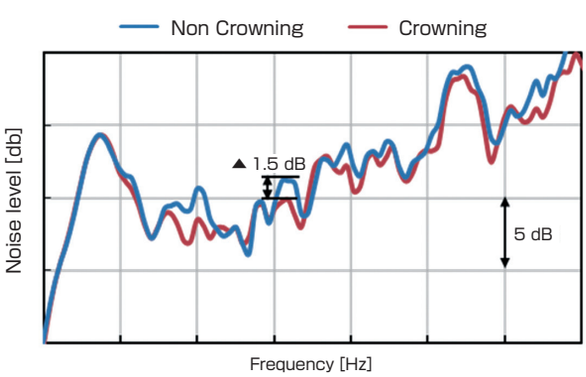


図14　トランスミッション近接音

5.3　モータ音に対する構造的配慮

当初、MG1ステータはCase Aに組み付ける構造としており、起振源であるMG1ステータからの振動が直接Case Aの外側へ伝播しMG1音が課題となっていた。そこで、MG1ステータの組み付け方向を反転し、Case Bに組み付ける構造とすることで直接外側へ振動が伝わらないようにしてMG1音を低減した。**図15**

にMG1の組み付け構造、図16に変更前後でのMG1音(車外音)を示す。

また、遮音、吸音用に防音カバーを採用した。防音カバーとケースが均一に密着するリブを設定し、音の漏れ出しを抑制することで遮音と吸音の効果をより高め、特に高周波領域のモータ音を低減することができた。図17に防音カバー、図18にMG2音(車外音)を示す。

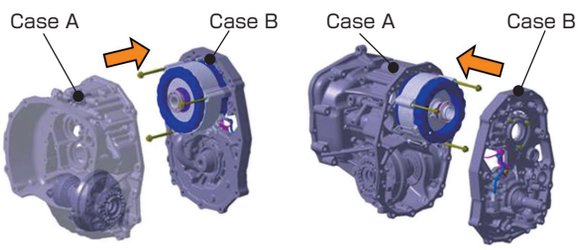


図 15　ジェネレータの配置

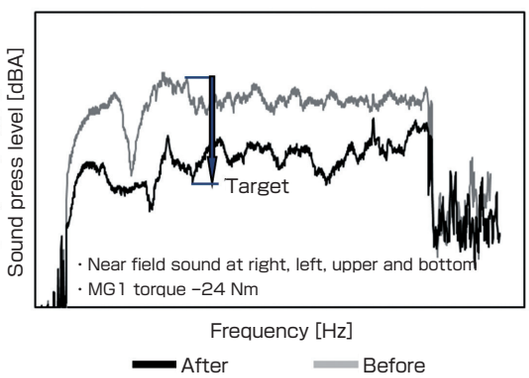


図 16　MG1 キャリア音

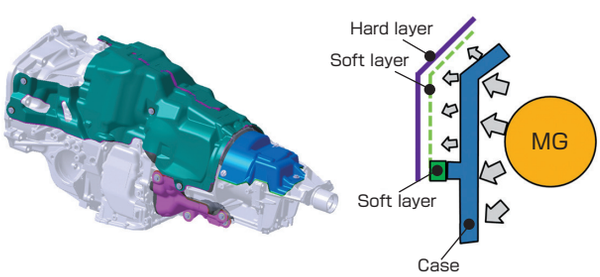


図 17　遮音カバー

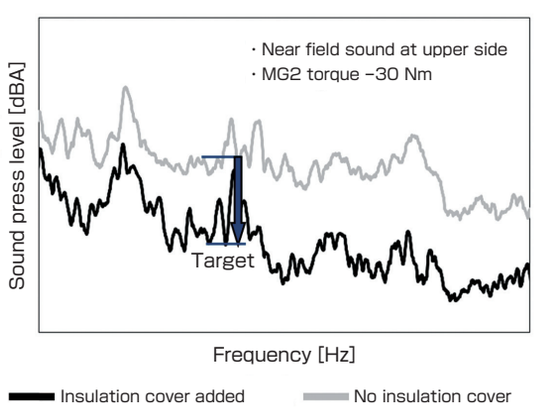


図 18　MG2 音

6.　まとめ

今回、新開発したプラグインハイブリッド用トランスミッションには、本稿で述べたギヤ比設定、EV走行領域拡大対応、機械損失低減、軽量化、AWD制御、そして各種振騒対策を織込み、北米向けのSUV車両の環境性能と動的質感の向上に貢献した。

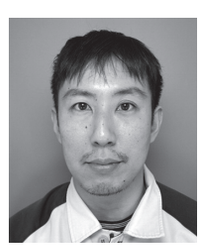
最後に、本開発及び生産化にあたり、多大なるご支援、ご協力を頂いた社内外の多くの関係者の方々へ、心より感謝を申し上げます。

参考文献

(1) 木嶋　俊介ほか：ハイブリッド・リニアトロニックの開発, 2013年自動車技術会シンポジウムテキスト, No.03-13, p.51-55 (2013)

【著　者】

足森　崇志


迫田 雄一郎

纓田　勝司

小橋　建斗

佐々木 高晴

テレマティクスを使用した車両診断機能の開発

Development of Vehicle Diagnostic Function by TELEMATICS

早川 和裕[*1] Kazuhiro HAYAKAWA
松嶌 臣弥[*2] Shinya MATSUSHIMA
花沢 雅史[*4] Masafumi HANAZAWA
水野 重雄[*5] Shigeo MIZUNO
富岡 雄一[*3] Yuichi TOMIOKA

抄 録

現行　北米テレマティクスシステムにおける車両の故障発生の情報収集に加え、開発段階では予期しにくい、実環境による経年劣化等に伴う故障・不具合現象の原因究明に向け、エンジン及びトランスミッションユニットの経年劣化等で変化するデータをテレマティクス経由で収集する機能を採用した。

本機能は、お客様からの情報や、テレマティクス機能経由で入手した故障アラート情報に基づき、お客様にディーラに入庫していただく事なく情報収集する事で品質課題解決に向けたスピードアップを目的とする。

Abstract

In addition to the collection of vehicle failure information through the current telematics systems in North America, for the identification of causes of difficult-to-predict failures and defects in the development phase, we have adopted a function to collect data of engines and transmission units that changes from aged deterioration by actual environments, as such.

This function aims to accelerate the quality issue solution by collecting information without any service-in at dealers based on failure alert information obtained through customers' information or telematics functions.

1. まえがき

車両が不動になるような突然の不具合発生は、お客様に損失を生むばかりか、メーカ・販売店に対する信用・信頼の失墜に直結する。

本来であれば不具合を発生させないのが最優先だが、経年劣化等で予期せぬ故障が誘引される場合もある。開発段階では予期しにくい、実環境による経年劣化等に伴う故障・不具合現象の原因究明には、市場の車両の状態を正確且つリアルタイムで把握することが必要である。

2016MYのフォレスターより車両の故障情報をテレマティクス経由でサーバーに収集し、お客様に故障状況を通知するだけでなく、ディーラー入庫時の対応を迅速にできるように対応してきた。しかし、経年劣化等で予期せぬ故障が誘引される場合、故障情報だけでは、原因特定が難しい。その場合、故障発生時のメカニズム解析に必要な詳細なデータを収集する必要がある。

従来、そのような解析を実施する場合、お客様にディーラーへ車両を入庫していただき、リテーラのテクニシャンによりイベントデータレコーダ用の解析ツールをお客様の車両に搭載し、その後、不具合事象が発生したら、再度、お客様に車両を入庫して頂き、そのデータを回収して解析を行っていた。現状の方法では、1回の解析で原因特定ができず、解析ツールの設定変更が必要な場合もある。また、不具合事象の原因特定まで、何度もお客様　および　ディーラーの貴重な時間を割いていただくだけでなく、スバルに対する信用・信頼を失いかねない。そのため、情報収集・解析をお客様やディーラーに負担を掛ける事なく、スピーディーに対応実施できるようにテレマティクスを活用したシステムを構築した。

＊1 電子プラットフォーム設計部
＊2 海外サービス部
＊3 サービス企画部
＊4 エンジン制御開発部
＊5 カスタマーサービス本部

2.　開発の狙い

2020MY 北米 新型レガシィ・アウトバックで採用・導入を開始するシステムの狙いは下記の通りである。

2.1　お客様／ディーラーの現地調査負担を減らす

図１に示す通り、従来は不具合原因が特定できるまでに、お客様からディーラーへの車両入庫、ディーラー・現地スタッフによる車両設定、車両からのデータ回収を繰り返す必要があった(③④⑥⑦)。また、原因特定調査に際しては現地へスペシャリストを派遣するなどの処置も必要となる。

本機能の導入により③～⑥までのプロセスを、テレマティクスシステムを経由した遠隔操作で解析設定を実行できるようになるため、お客様・ディーラーの負担を低減する事ができる。また、スペシャリストが要望するデータを遠隔操作で入手できるため、スペシャリスト本人の派遣が不要になる。

2.2　必要な車両情報をリアルタイムに入手

従来の解析方法では、お客様の同意のもと、解析ツールをお客様の車両に搭載し、不具合が発生したら、お客様にディーラーへ入庫していただき、データを回収してSBRにて解析を実施していた。本システムでは、お客様の同意のもと、テレマティクス経由で車両に対して解析のための設定ファイル送信　および

測定データの入手を行うため、解析に必要なイベント発生毎に測定データをリアルタイムに入手可能となる。また、解析のための設定ファイル変更もテレマティクス経由で行うため、設定・測定・解析・原因究明のPDCAのルーチンをスピーディーに行う事が可能となる。さらにECU側に設定されている情報であれば、設定ファイルの組み方次第で、市場におけるお客様の運転操作や車両状態などをテレマティクス経由で情報収集ができ、さらなる性能向上に向けた情報の一助として使用も可能である。

3.　システム構成

本機能のシステム構成を次ページの図４に示す。本システムは、設計部門／品質保証部門／販社／サービスプロバイダー／現地スタッフと社内外システム、人が連携する事でシステム運用を行っている。また、お客様への早期フィードバックが行えるように現地スタッフによる調査・解析も行えるようにしてい

4.　収集データの例

本機能を使用する事で従来、お客様からのヒアリングでは確認しきれない、実動作やその頻度を設定ファイルで設定したイベント発生毎にデータ収集して把握する事ができる。下記は、本機能によって情報収集を期待するアクセル操作の違いの例を図２や図３に示す。

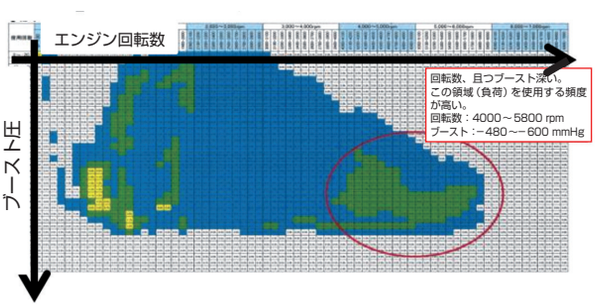


図２　アクセル操作例１

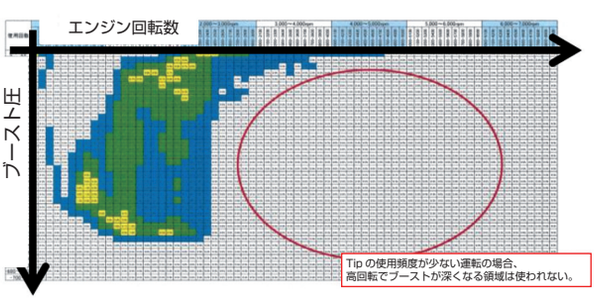


図３　アクセル操作例２

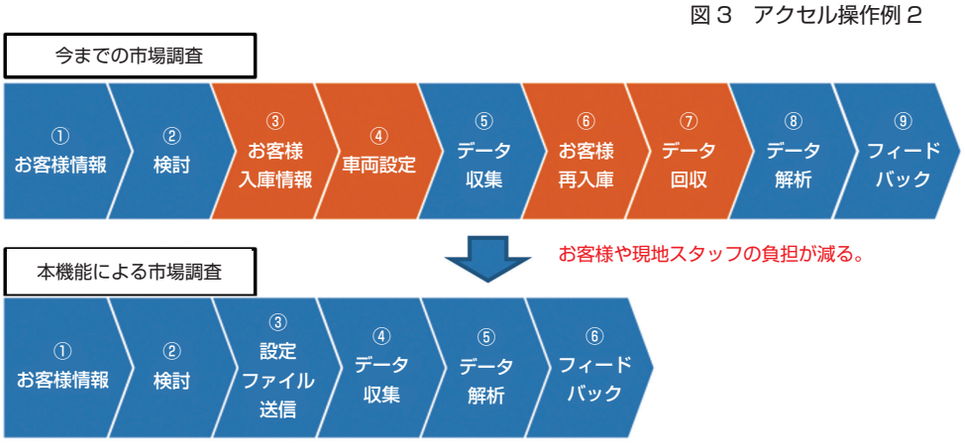


図１　運用プロセスと本機能導入に伴う効果

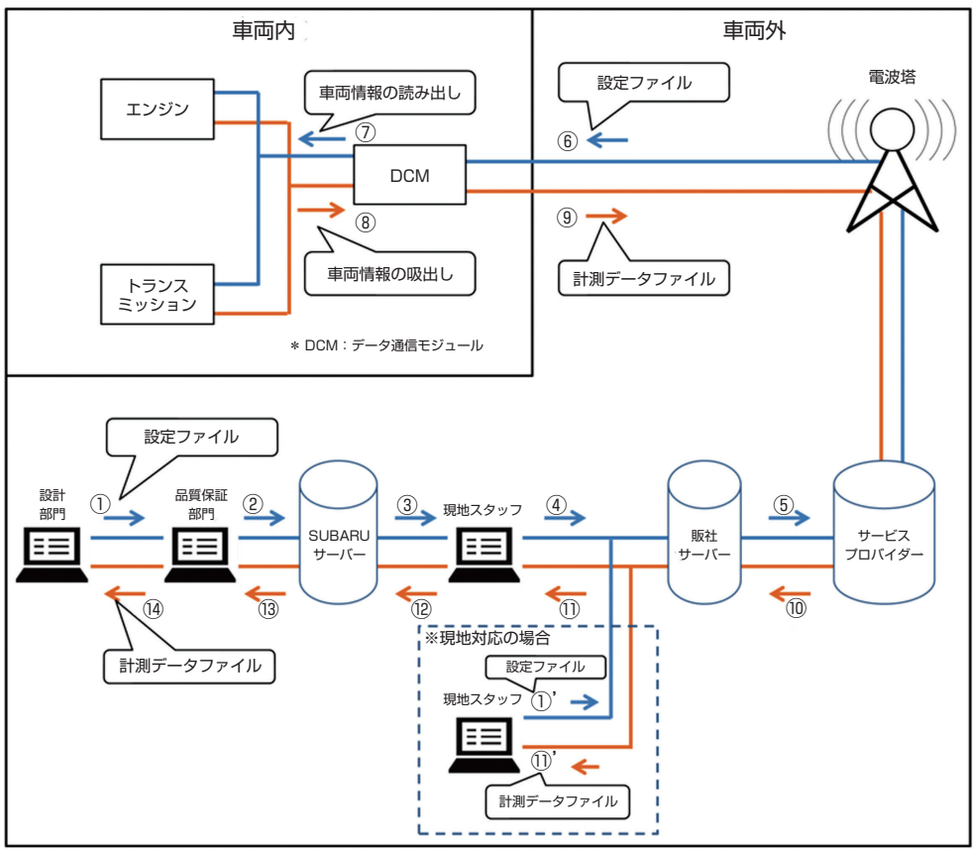
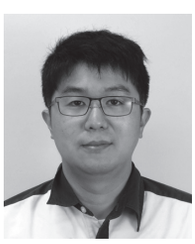


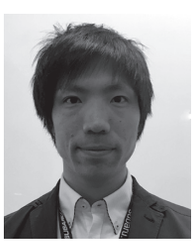
図４　システム構成図

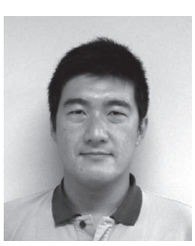
5.　まとめ

新型レガシィ・アウトバックより展開されるテレマティクスによる車両診断機能を紹介した。本機能によりお客様体験をいち早くキャッチアップをおこない、お客様が安心して使える車両開発にフィードバックしていく。但し、本機能は車両内の通信負荷、DCMの制約により調査しきれない情報もあり、各技術制約を改善し、より多くの市場における車両データをリアルタイムに収集・解析する事で品質改善と開発スピードアップを目指していく。

【著　者】


早川　和裕


松嶌　臣弥


花沢　雅史

水野　重雄

富岡　雄一

ハイブリッド車 HMI の開発

Development of HMI for Hybrid Cars

早　川　有　香*　　間仁田　夏　樹*　　中　田　翔　真*
Yuka HAYAKAWA　　Natsuki MANITA　　Shoma NAKATA

抄　録

近年、CASEを代表とする自動車の大変革時代において、車両の電動化が加速している。各社、ハイブリッド車のHMIが確立されつつある。SUBARUではコンビネーションメータ（以下、メータ）やマルチファンクションディスプレイ（以下、MFD）を始めとしたHMIにハイブリッド車専用デザインやコンテンツを採用し、次世代に繋ぐSUBARUのハイブリッド車HMIを確立した。

本稿はメータとMFDのハイブリッド車専用開発について紹介する。

Abstract

In recent years, the electrification of the automobile has been accelerated in the major revolutionary era of automobiles represented by CASE. Many companies have started to establish HMI for hybrid cars. At SUBARU, we have adopted exclusive designs and contents for hybrid car HMI such as Combination Meter (hereinafter called, Meter) and Multi-Function Display (hereinafter called, MFD) and have established SUBARU's own hybrid car HMI, which will connect to the next generation.

This article serves as an introduction to the development of hybrid car Meter and MFD.

1.　まえがき

世界的な環境対応の流れにより、電動車の導入が急激に伸長している。SUBARUの電動化戦略として昨年、国内向けにe-BOXER（ハイブリッドシステム）を搭載した「XV」と「FORESTER」を発売し、本年には、SUBARU初のPlug-In Hybridの「CROSSTREK」を米国市場向けに発表した。

従来車同様、SUBARUの提供価値である「安心と愉しさ」をお客様に提供するため、ハイブリッド車特有の機能をよりわかり易く、そしてドライバーと乗員のコミュニケーションをより安全にお届けするため、メータ、MFD等のHMIをハイブリッド車専用に刷新した。

本稿はe-BOXERとPlug-In Hybridのメータと MFDの開発内容について、機能の紹介も含めて報告する。

2.　開発の狙い

ハイブリッド車の「安心と愉しさ」と「先進性と高機能感」を乗る人すべてに感じて頂くために、以下3つのコンセプトを設定した。

①ブルーを基調とした専用インテリア
②ハイブリッド車をコントロールして愉しく運転できる表示
③新機能を分かりやすく表示・操作

これらのコンセプトを実現するため、SUBARUのHMIにおける各表示機の役割（**図1**）に基づき、ハイブリッド車のHMIを専用開発した。

それぞれの表示機の主な開発内容を**図2**に示す。

専用開発の詳細について、次頁以降で説明する。

＊ 電子商品設計部

図１　各表示機の役割

表示機	ハイブリッド車　専用開発
メータ	・ブルーを基調とした専用デザイン ・パワーメータの追加 ・ドライバーアシストインジケータの追加
MFD	・エネルギーフロー表示の刷新 ・タイマ充電機能の追加 ・専用ウェルカム画面の追加
インフォテインメント	ガソリン車と共通

図２　各表示機の開発内容

3.　メータ開発

3.1　ハイブリッド車専用デザイン

ドライバーが車に乗り込んだとき、まず目に飛び込んでくるのはメータである。メータはその車の特徴を表現する、内装の顔とも言える。ハイブリッド車ならではの先進性と高機能感を際立たせ、特別感を感じてもらうため、メータをハイブリッド車専用に刷新した（図３～５）。

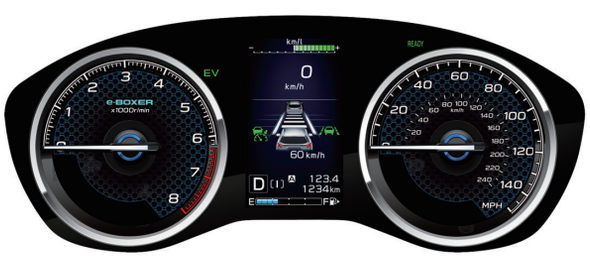


図３　FORESTER e-BOXER 専用メータ

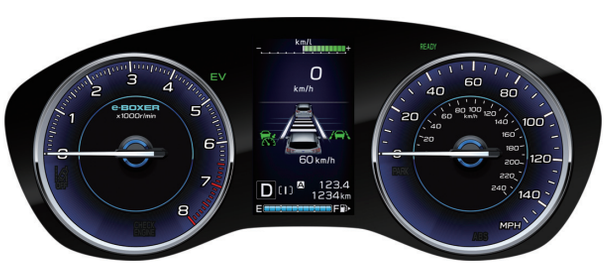


図４　XV e-BOXER 専用メータ

図５　CROSSTREK Plug-In Hybrid 専用メータ

ハイブリッド車とガソリン車の差別化を図るため、ハイブリッド車のテーマカラーである、「ブルー（青色）」を基調とした専用文字板を採用し、特別感の演出を狙った。しかし、この「ブルー」の実現には視認性と商品性の両立が困難だった。色味を明るくしていくと目盛りとのコントラストが弱くなり視認性が悪化し、反対に色味を暗くしていくと従来車から変わったように見えず進化感が出ない。この課題に対して、塗料の配合や印刷工程の見直しを行い、複数のパターンを評価して、視認性と商品性を両立した「ブルー」を調色した（図６）。

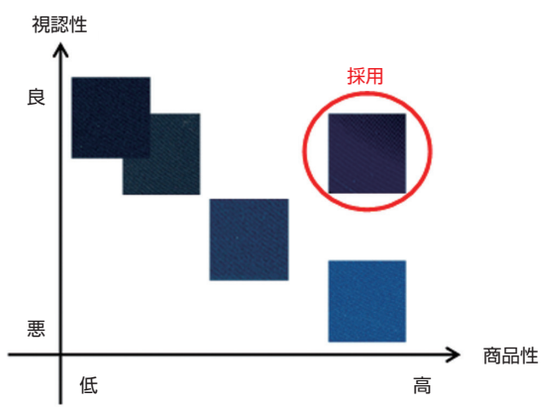


図６　ブルー色の分布図

また、質感効果の高い印刷手法として、FORESTER ではグラデーション＋テクスチャ印刷※1、XV/CROSSTREK ではグラデーション＋スピンドル印刷※2を採用し、奥行き感と精緻感を表現した。これに加えて指針のメッキ化や専用ロゴを織り込むことで、ハイブリッドを感じられるようにした。

※1…凸凹した質感を演出する印刷手法

※2…レコード盤のように細かい円周上の模様を演出する印刷手法

3.2　パワーメータ（Plug-In Hybrid 専用）

車両の出力を示す表示として、従来のガソリン車はタコメータ（エンジン回転計）を用いていたが、Plug-In Hybrid や EV 等の電動車では、走行に使用するパワーやエネルギーの回収状況を示すパワーメータの搭載が主流であり、電動車 HMI の大きな特徴でもある。

「パワー」という感覚的な出力をアナログゲージ化して示すことで、ドライバーはEVによるECO走行からパワフルな加速感まで視覚的に感じることができる。SUBARUはこのパワーメータをPlug-In Hybridの「CROSSTREK」で初採用した(図7)。

図7　パワーメータ

従来タコメータを配置していた左側のゲージをパワーメータに置換え、SUBARUの水平対向エンジンを想い起こさせる水平指針のレイアウトを踏襲することで、SUBARUのオリジナリティを演出した。目盛りのレイアウトはドライバーの視認性を考慮し、走行中の常用領域をメータ上側に設定することで視線の移動量を少ないレイアウトとしている。

その一方、計器として、車両の出力状態を適正且つ分かりやすく示すことが求められるため、車両の走行モード・路面・走り方等の様々な走行パターンを表現できることを確認した。

3.3　ドライバーアシストインジケータ（Plug-In Hybrid専用）

車両機能の拡大と複雑化に伴って、ユーザーにインフォメーションすべき内容が増え続けている。しかし、メータ等の表示機に視線を向ける時間が長くなればなるほど、事故の危険性が高まる。安全な運転のためには情報を読ませず伝えることが理想である。

Plug-In Hybridでは、瞬読性の高い直感的な表示を求め、メータ内に車両の状態をお知らせするドライバーアシストインジケータを追加した(図8)。

図8　ドライバーアシストインジケータ

従来のインジケータランプや液晶画面は表示を認識するまでに「①視線を移動する、②焦点を合わせる、③色・形を読み取る」の3アクションが必要だったのに対して、今回採用したインジケータでは「①視線を移動する、②色を読み取る」の2アクションで認識することができ、瞬読性に優れている。

この照明はメータの上部に配置された6灯のLEDが導光体※3を伝い、全長約20 cmの一本の帯状に見えるようにした(図9)。

※3…光を拡散する半透明の部品

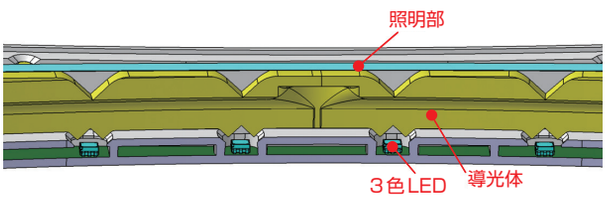


図9　照明構造

LEDには3色LEDを採用し、R(赤)G(緑)B(青)の配分によって様々な色を表現することができる。図10の通り、色と点灯パターンで機能をマルチに表現した。

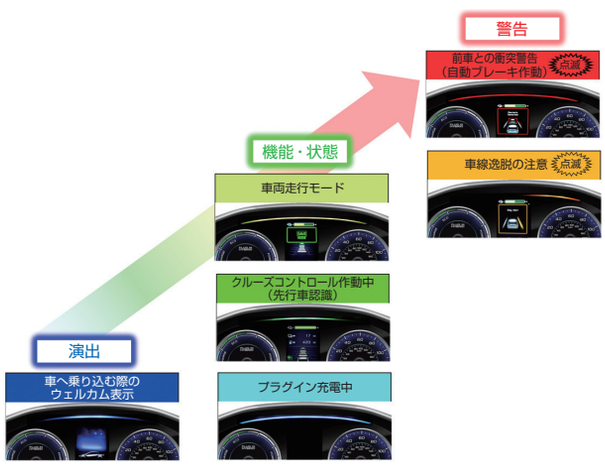


図10　機能一覧

限られたスペースやLEDの数で輝度ムラのない照明を実現するために、シミュレーションによって、導光体を光の拡散率が良い形状にすることで、質感と視認性を両立した照明を実現した(図11)。

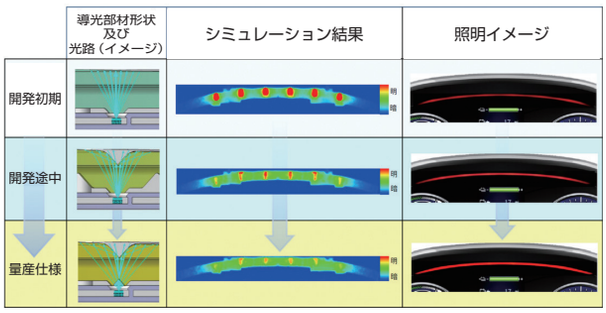


図 11　光の拡散シミュレーション

4.　MFD開発

4.1　エネルギーフロー表示

近年スマートフォンやタブレットの普及と車載ディスプレイの大型化・高画質化のトレンドにより、表示媒体に対する世間の基準や感覚が変わりつつある。車のエネルギーの流れを示す「エネルギーフロー表示」はハイブリッドならではの機能であり、SUBARUでは従来からこの機能をMFDに表示している（図12）。

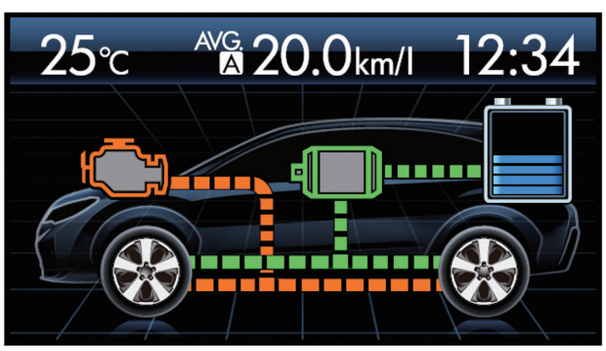


図 12　エネルギーフロー画面（従来）

従来のMFDに対して、液晶サイズと描画性能を向上した新型MFDを採用した。前モデルから乗り換えるユーザーはもちろん、今回初めて乗るユーザーにも進化感と分かりやすさを感じてもらえる表示を目指し、表示構成は従来の思想を踏襲しつつ、リアルなグラフィックと高精彩な色合いを採用し、進化させた（図13）。

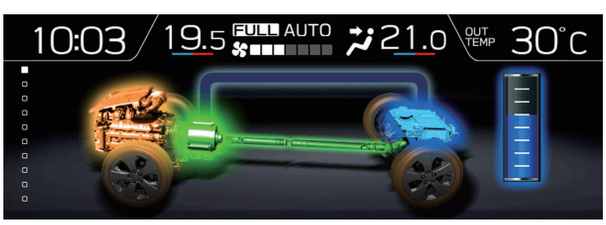


図 13　エネルギーフロー画面（新型）

高精細なグラフィックは描画処理の負荷が高く、表示の切り替えに描画が間に合わない課題がある。この課題に対して描画処理負荷の軽減を工夫し、新型MFDのスペックを最大限に引き出した。この結果、高精細でグラフィカルなアニメーションを実現している。

e-BOXERでは、ハイブリッド車ならではの走りの良さを体感だけでなく、視覚的にも感じてもらうため、モータアシスト量を可視化するゲージ表示を追加した（図14）。

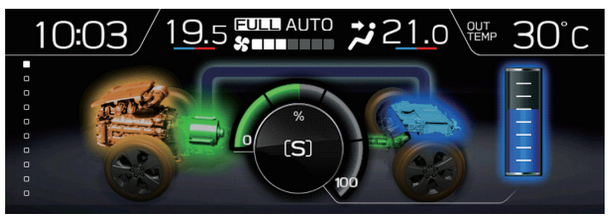


図 14　モータアシスト表示

また、Plug-In Hybridでは、プラグイン充電の状態と充電完了までの時間の専用表示を追加した（図15）。充電機能については次項で説明する。

図 15　プラグイン充電中表示

4.2　タイマ充電画面（Plug-In Hybrid専用）

Plug-In Hybridは専用の充電プラグを用いて、外部電源から高電圧バッテリの充電を可能としている。充電機能はプラグを挿した直後に充電を開始する「今すぐ充電」と、予め設定していた時刻に充電を開始・終了する「タイマ充電」の機能がある。これら設定機能をMFDに集約した（図16）。

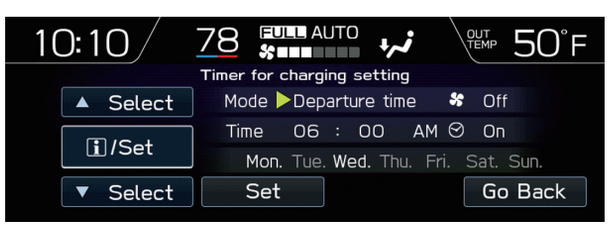


図 16　タイマ充電設定画面

ユーザーに快適なドライブをお届けするため、ライフスタイルに合わせてカスタマイズのしやすい、実用的な機能表示を目指した。これを実現するため、従来機能の構成をベースにMFDの横長ディスプレイの利点を活かした各カスタマイズ画面を用意した。

これらの機能はMFDによる車内からの操作はもちろん、テレマティクスを通じて、スマートフォン等の通信機器による車外からの遠隔操作も可能としている。

システム構成を図17に示す。MFDやスマートフォンから設定した充電情報をCAN通信で車載充電器に送信し、高電圧バッテリの充電を行う。

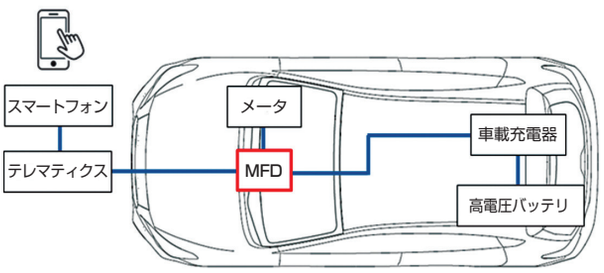


図 17　システム構成

今回の開発で採用した画面の一例を紹介する。

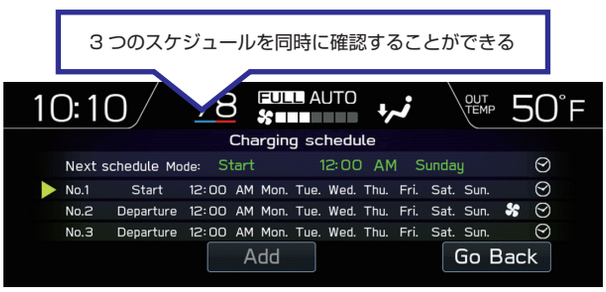


図 18　タイマ充電一覧

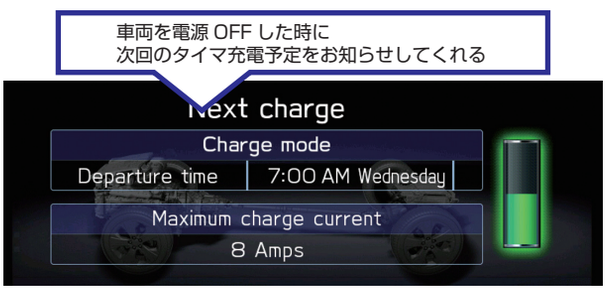


図 19　次回の充電予定画面

4.3　ウェルカム画面(Plug-In Hybrid専用)

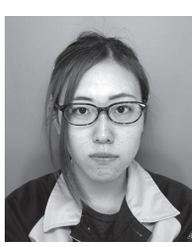
SUBARUでは車に乗り込んだ時のおもてなし演出として、ウェルカム画面を設定している。SUBARUの六連星を想像させる夜空に「Plug-In Hybrid」のロゴがフェードインするアニメーションに仕上げ、特別感を感じられ、日々のドライブに彩りを与えてくれる演出になっている(図20)。

図 20　ウェルカム画面

5.　まとめ

昨今、電動自動車の普及が進み、各社のHMIが確立されている中、国内や米国市場の生の声を取り入れながら、ハイブリッドの先進感と特別感をアピールする代表アイテムとして、開発を成し遂げ、次世代に繋ぐSUBARUのハイブリッド車HMIとして確立できたと考える。本開発を糧に、今後益々普及が加速していくハイブリッド車のHMIを追求し、お客様にご満足いただける商品を提供していきたい。

【著　者】


早川　有香

間仁田 夏樹

中田　翔真

ランキンサイクル排熱発電システムの最適化

Optimization of Rankine Cycle Waste Heat Recovery System

種　岡　秀　之*
Hideyuki TANEOKA

抄　録

エンジン効率向上手法の一つとして、ランキンサイクルシステムを検討した。パリ協定を始めとしたCO_2排出量削減や、コネクテッドカー、自動運転など車内電力需要の高まりなどから、エンジン効率の改善ならびに電力供給の増加が求められている。この2つの課題に対する解として、エンジンから大気に放出されている熱を利用した排熱発電がある。その中でも、比較的大きな発電量を期待できるランキンサイクルに注目し、検討を行った。ランキンサイクルシステムをモデル化し、計算結果の妥当性を実機検証した上で、ランキンサイクル採用にあたって最大の課題である搭載性改善のために、出力密度の代用指標を作成し、発電出力と容積のトレードオフに取り組んだ。その結果、ボイラには出力密度を最適化する容積が存在すること、夏季の高外気温での発電量はコンデンサ冷却能力が大きく影響するが、夏季を基準としたコンデンサ冷却能力の設定は出力密度の悪化を招くことを見出した。その上で、USハイウェイモードについて燃費効果の推定値を算出したので、結果を報告する。

Abstract

As one of engine efficiency improvement methods, we investigated the Rankine cycle system using engine waste heat. Improvement in engine efficiency and increase in electricity supply are required from the viewpoint of reduction of CO_2 emission including the Paris Agreement and increased demand for in-vehicle electric power such as for connected cars and automatic driving. As a solution to these two problems, there are waste heat power generation systems using the heat released from the engine to the atmosphere. Among them, we focused on the Rankine cycle, in which a relatively large amount of power generation can be expected, and examined it. We modeled the Rankine cycle system and verified the validity of the calculation results on an actual machine. As the biggest problem in adopting the Rankine Cycle for passenger cars is the mountability, we made a substitute index of the power density, and worked on the trade-off between the power output and the volume.

1.　まえがき

CO_2削減・燃費規制強化へ向けたエンジン効率改善手法のひとつにエンジンから大気に放出されている熱を利用した排熱発電がある。主な排熱発電技術には熱電素子、ターボコンパウンド、ランキンサイクルなどがあるが、比較的大きな発電量が得られると期待されるランキンサイクルの発電量机上検討、実機による原理検証ならびに搭載性改善のための発電量と容積のトレードオフ解消に取り組み、燃費改善効果を試算した。

＊ 技術研究所

2.　システム構成と計算モデル化

2.1　ランキンサイクル発電装置

現在の自動車用量産ガソリンエンジンの最高効率は約40%と言われており、ガソリンの持つエネルギーの約60%は排気や冷却水を通して大気に放出されている（**図1**）。このエンジン排熱を発電に利用して燃費および車内電力需給を改善する手法のひとつにランキンサイクルがある。

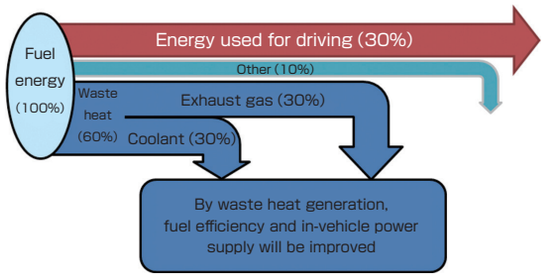


図１　現在のガソリン燃料発熱量の分配

図2にランキンサイクルシステムの概念図を、図3にランキンサイクルにおける作動流体のモリエル線図を示す。ランキンサイクルとは、作動流体をポンプ(①)で昇圧し、ボイラ(蒸発器②)で加熱して高圧蒸気化し、蒸気タービン(膨張機③)の仕事で発電し、タービン通過後の低圧蒸気をコンデンサ(凝縮器④)で液体に戻す循環サイクルである。作動流体の選定によってエンジン冷却水や排気ガスなど多くの熱源を使用できる利点があるが、体格が大きくなりがちな熱交換器が複数必要となり、発電量の費用対効果と並んで搭載性が大きな課題となる。私たちの検討では熱源として比較的発電量が多いと予測し、蓄熱効果も期待できるエンジン冷却水を仮定した。エンジン冷却水を熱源とした場合、排気管にヒートコレクトを装着することで排気熱も利用できるほか、熱源であるエンジン冷却水は極端な高温にならないことからボイラ及びコンデンサに軽量で熱伝導率の高いアルミ材を使用することができる。

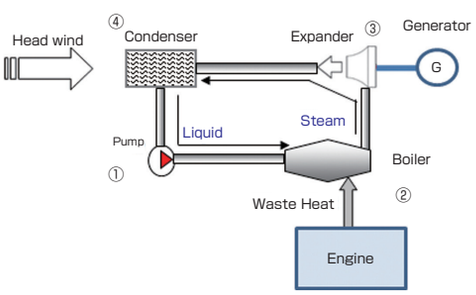


図２　ランキンサイクル概要図

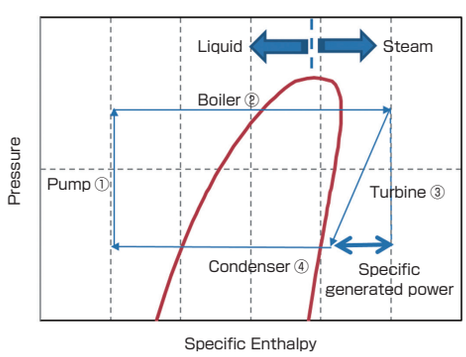


図３　ランキンシステムのモリエル線図

作動流体は、熱源温度や蒸気の温度と圧力に応じて、フロン冷媒、アルコール、水などが使用されている。今回の検討では、沸点が低いためエンジン冷却水でも蒸気化でき、気化潜熱が小さいために効率的に蒸気化できるフロン冷媒HFC134aを作動流体と仮定した。

2.2　ランキンサイクルシステムの計算モデル化

2.2.1　ボイラモデル

ランキンサイクルの性能に大きく影響するボイラは、図4のように熱源流体と作動流体間の熱のやり取りを双方の定圧比熱C_c, C_h[J/kgK]、質量流量M_c, M_h[kg/s]、ボイラ入口温度T_c, T_h [K]、流体の熱伝達率H_c, H_h[W/m^{2}K]、ボイラ材の板厚d[m]と熱伝導率k[W/mK]、伝熱面積[m^2]を使って計算モデル化した(2)。ランキンサイクルのボイラ内では作動流体が沸騰・蒸発するため、作動流体側のみ気化潜熱項を追加した(式(1)～(3))。

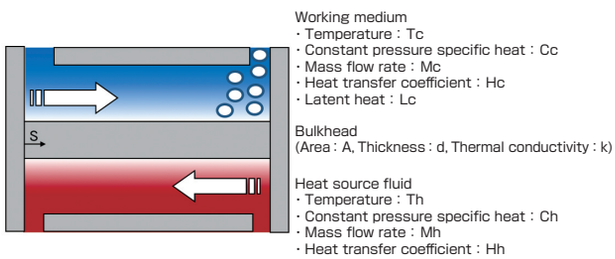


図４　対抗流の熱交換器モデル

$$\text{作動流体}: M_c C_c \mathrm{d}T_c = -\{K(T_h - T_c) + M_c L_c / A\}\mathrm{d}S \quad (1)$$

$$\text{熱源流体}: M_h C_h \mathrm{d}T_h = -K(T_h - T_c)\mathrm{d}S \quad (2)$$

$$\text{熱通過率}: K = 1/(1/H_h + \mathrm{d}/k + 1/H_c) \quad (3)$$

式(1)、(2)を伝熱面積について面積積分した解をボイラモデルとした。なお、計算モデルでは蒸気圧[Pa]と高圧蒸気温度[K](ボイラ出口での作動流体温度)を外部設定パラメータとして、作動流体質量流量[kg/s]を計算している。

2.2.2　蒸気タービンモデル・発電機モデル

タービン仕事率P_{ex}[W]は、高圧蒸気の質量流量M_c[kg/s]、比熱比κ、定圧比熱C_p[J/kgK]、タービン入口での蒸気温度T_1[K]、タービン前後での圧力比r、タービン効率η_{ex}を用いて計算モデル化した(3)。

$$P_{ex} = \eta_{ex} C_p T_1 \{1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\frac{K-1}{K}}\} M_c \quad (4)$$

また、発電機モデルはタービン仕事率に発電効率η_{gen}を掛けて発電量P_{gen}[W]を計算した。

$$P_{gen} = \eta_{gen} \times P_{ex} \quad (5)$$

2.2.3　冷媒ポンプモデル

冷媒ポンプ動力W_{pump}［W］については、作動流体の液体での体積流量V_c［m^3/s］とポンプ前後の圧力差ΔP［Pa］の積から計算される仕事率とポンプ効率η_pを使って計算モデル化した。

$$W_{pump} = \frac{V_C \times \Delta P}{\eta_p} \quad (6)$$

2.2.4　コンデンサモデル

コンデンサでの作動流体の温度変化はコンデンサの冷却能力モデルと作動流体の温度変化モデルを使ってモデル化した。冷却能力モデルは、実測データをもとに冷却係数K_{CON}［W/K］を作動流体の質量流量M_c［kg/s］と、コンデンサを通過する車速風の風速V_{wind}［m/s］の一次式で表した。

$$K_{CON} = a \times M_C + b \times V_{wind} \quad (a,b：係数) \quad (7)$$

コンデンサでの作動流体の温度変化は、
・作動流体はタービン出口圧のもとで凝縮する
・コンデンサの冷却能力は、コンデンサ内で一定と仮定することで、コンデンサのチューブ長を凝縮に使われる部分と、凝縮した液体の冷却に使われる部分に分け、ニュートンの冷却法則(8)からコンデンサ出口での作動流体温度T［K］を計算した。なお、外気温をT_{atm}［K］、作動流体の液体での比熱をC［J/kgK］とした。

$$K_{CON} \times (T - T_{atm}) = C\frac{dT}{dt} \quad (8)$$

コンデンサでの作動流体の圧力損失ΔP［Pa］はタービン出口の蒸気圧に影響するため、圧力損失ΔPを計算している。圧力損失の計算にはダルシー・ワイスバッハの式(9)を使用し、ランキンサイクルではコンデンサ・チューブ内はレイノルズ数Reから乱流と考えられるので、管摩擦係数λはブラジウスの実験式(10)から求めた[5]。ただし、コンデンサ・チューブ長l［m］、作動流体密度ρ［kg/m^3］、作動流体速度v［m/s］、コンデンサ・チューブ内径d［m］を用いた。結果として、図5のように計算値と実測値はよく一致した。

$$\Delta P = \lambda\rho\frac{l \times v^2}{2d} \quad (9)$$

$$\lambda = 0.3164 \times \mathrm{Re}^{-\frac{1}{4}} \quad (10)$$

2.3　計算モデルの妥当性検証

計算モデルの妥当性は、市販のランキンサイクル式地熱発電機（図6、図7）を使用して検証した。この発電機は発電定格3.0［kW］と車両で想定される発電量に比較的近く、作動流体には今回の仮定と同じ

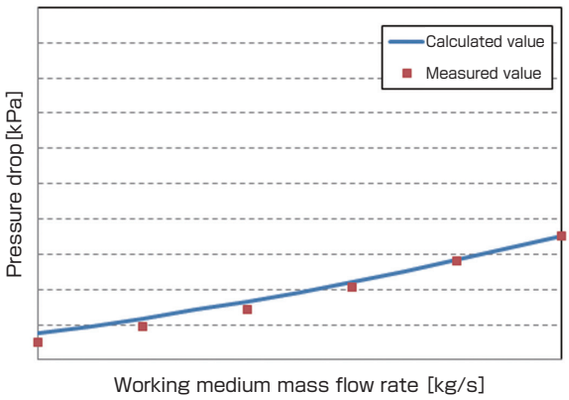


図５　コンデンサでの圧力損失の計算誤差

HFC134aを使用したものである。熱源には熱水を使用し、作動流体の凝縮は水冷により行っている。

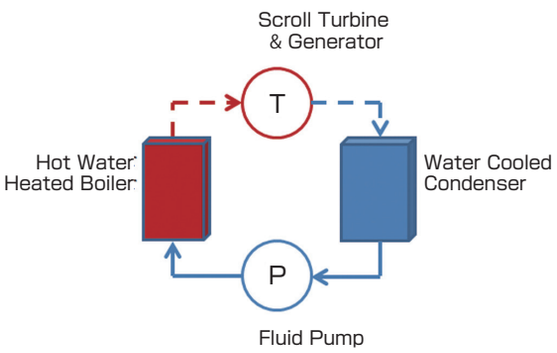


図６　地熱発電機の概要図

熱交換器の伝熱面積や膨張機の膨張比など仕様パラメータを地熱発電機の設計値に合わせた上での検証結果を図8に示す。実測値と計算値は概ね一致したので、このモデルを使用して検討を進めることとした。

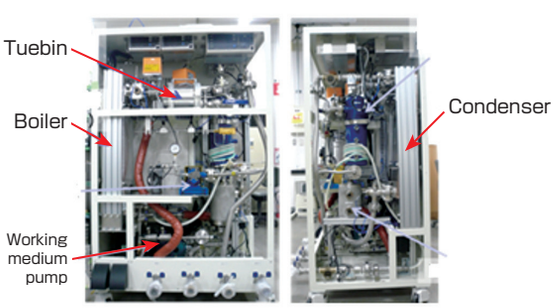


図７　地熱発電機の実験装置

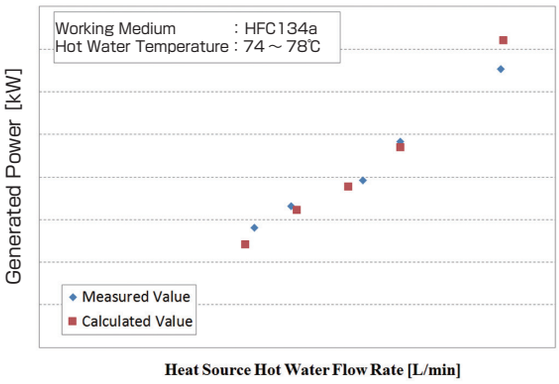


図８　計算モデルの検証結果

3.　ランキンサイクルシステムの最適化

3.1　タービン圧力比の検討

ランキンサイクルシステムからタービンが取り出すことができる仕事量はタービン前後の圧力比に依存するため、圧力比は設計仕様として重要となる。圧力比が小さいとタービンを駆動する仕事率が減るため発電量が減少するが、圧力比を大きく取りすぎると作動流体を高圧まで加熱する必要が生じ、作動流体をボイラに長時間滞留させることになり、ボイラの体格が大きくなったり、作動流体流量が減少したりして発電量が減少する。そこで、エンジン冷却水を想定した温度、流量の熱源を使用し、蒸気圧と蒸気温度を変化させて発電量が最大となる圧力比を検討した。なお、タービン出口での低圧蒸気温度は,夏季に適正な圧力比に設定すると冬季にも発電量を確保できる[(4)]ことを念頭に、真夏での使用を想定して40℃とした。

その結果、図９のように蒸気圧によらず発電量を最大化する圧力比が存在することが分かった。これ以降の検討は、ここで得られた圧力比を使用して進める。

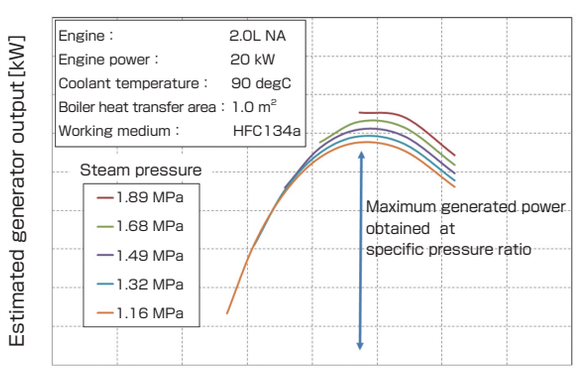


図９　推定発電量の圧力比依存性

3.2　ボイラ伝熱面積の適正化

ボイラとコンデンサの適正面積を計算するに当たり、発電量と体格のバランスを取るために評価指標を導入した。作動流体流量が大きくなるとタービンや熱交換器が大型化することから、同じ発電量であれば作動流体流量は少ない方が好ましい。そこで、式(10)を評価指標 V_D［W/(kg/s)］とした。

$$V_D = \frac{P_{gen}}{M_c} \tag{10}$$

この指標が大きいほど少ない作動流体流量で大きな発電量が得られ、発電出力のシステム体積密度の代用指標として考えた。

その上で、評価指標 V_D のボイラ伝熱面積依存性を試算した(図10)。ボイラの材質は前述した理由からアルミ材を、高圧蒸気温度は図９でタービン仕事が最大となった温度を仮定した。図10からボイラ伝熱面積の増加に伴って評価指標 V_D の増加は漸減し、作動流体流量増加および装置・ボイラ大型化による発電量増加の効果は徐々に薄れた。このため、発電量と車両搭載性の両立に適切な体格があることが分かった。

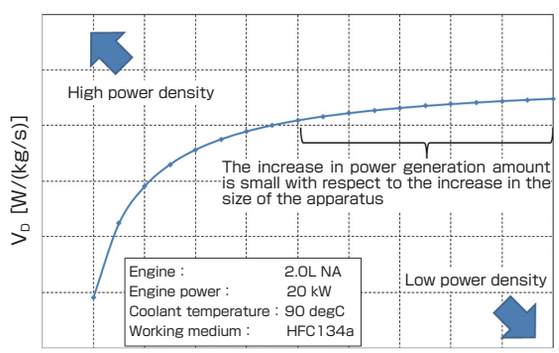


図 10　ボイラ伝熱面積による評価指標 V_D の変化

3.3　コンデンサ冷却性能の適正化

適切なコンデンサ冷却性能の検討に当たっては、夏季条件として外気35℃を仮定してコンデンサ冷却能力に対する評価指標 V_D を試算した(図11)。

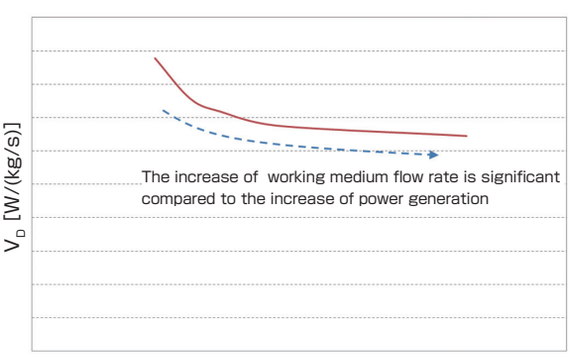


図 11　コンデンサ冷却能力による評価指標 V_D の変化

夏季を想定した高外気温条件下ではコンデンサ冷却能力が発電量のボトルネックとなるため、コンデンサの冷却能力を高めることで発電量を増やすことができる。一方で、夏季を想定した外気温条件に基づいてコンデンサの冷却能力を設定した場合には、作動流体流量が発電量の増加率以上に増えるため、評価指標V_Dは減少する結果となった。発電出力のシステム体積密度低下を抑えつつ、高外気温下での発電量を確保する手法の確立は課題のひとつである。

4.　ランキンサイクルの燃費効果の試算

ランキンサイクルによる燃費効果を米国ハイウェイモードで試算した。車両は2.0L自然吸気エンジンを搭載し、ランキンサイクルにより発電した電力はモーターアシストに使う（表1）ものとして、ガソリン消費削減量から燃費効果を計算した（図12）。熱源であるエンジン冷却水温は85℃を仮定した。

表1　燃費計算に当たって仮定した車両仕様

	Specification
Engine	2.0L Natural Aspiration
Vehicle	HEV Passenger car
Heat source	Engine coolant

試算結果では、最大0.87 kWを発電し、燃費改善効果推定値は5.4%となった。なお、発電量は熱源温度に強く依存するため、エンジン冷却水温を高く保持すること、排気ヒートコレクタや水冷インタークーラにより排熱をエンジン冷却水に集めることでさらなる発電量の増加が期待できる。

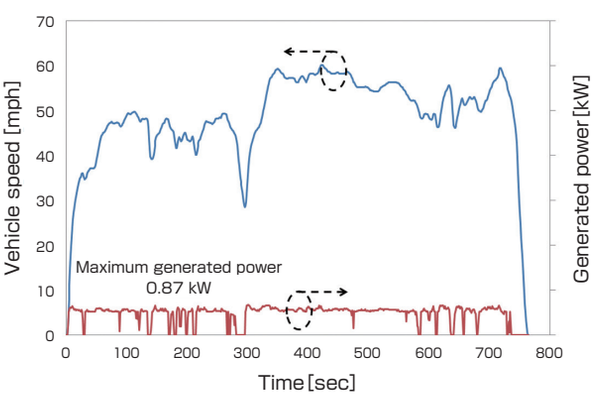


図12　USハイウェイモードでの発電量

5.　まとめ

エンジン冷却水を熱源とするランキンサイクルシステムを検討し、以下の結果を得た。

1. ボイラ、タービンなどランキンサイクルによる発電量を計算する数式モデルを作成し、市販の地熱発電機を利用してモデルの妥当性を検証した。
2. 数値計算により、発電量を最大化するタービン圧力比が存在することを確認した。また、出力密度代用指標を導入し、車両搭載性と燃費の両立に適切なボイラ伝熱面積が存在するという検討結果を得た。
3. コンデンサ計算モデルの活用により、夏季の発電量には冷却性能とシステム体積のトレードオフが強く存在することが分かった。システムを小型化しつつ、夏季発電量を確保することは課題の一つである。
4. 米国ハイウェイモードについて燃費改善効果を試算し、燃費改善効果5.4%の推定値を得た。ランキンサイクルは、加減速が少なく高速走行中心の米国郊外交通環境に適していると考える。
5. 今後は実用化に向けて、乗用車に搭載可能な小型・軽量・高効率なシステムの検討を進める。

参考文献

(1) 佐藤正浩ほか：真空沸騰冷却・廃熱回収ランキンサイクルシステムの開発,自動車技術会学術講演会予稿集(2018), 20185058
(2) 日本機械学会：JSMEテキストシリーズ 伝熱工学, 丸善出版(2014), p.184
(3) 大岩紀生：わかりやすいガスタービン<増補版>, 共立出版(2014), p.21
(4) 小川博史ほか：廃熱回生システム用スクロール膨張機,自動車技術会学術講演会予稿集(2006), 20065219
(5) 日本機械学会：JSMEテキストシリーズ 流体力学, 丸善出版(2005)

【著　者】

種岡　秀之

車載音声対話システムの研究

Research on in-Vehicle Spoken Dialogue Systems

泉 名 克 郎[*1] Katsuo SEMMYO
鹿 野 達 夫[*1] Tatsuo KANO
天 笠 義 則[*1] Yoshinori AMAGASA
馬 場 直 哉[*2] Naoya BABA
宗 平 真[*2] Shin MUNEHIRA
古 田 訓[*3] Satoru FURUTA
小 路 悠 介[*3] Yusuke KOJI
土 屋 政 人[*3] Masato TSUCHIYA

抄 録

クルマでの音声操作は既に車載情報機器で利用が始まっている。しかし、運転支援システムへの適用は進んでいない。車内に発生する騒音(走行音や同乗者の会話、オーディオ音声など)による音声認識率の低下が、音声操作の範囲を限定させる一因である。

そこで、アレイマイクを用いた音声信号処理とドライバーモニタリングシステムのカメラ映像を連携させることで耐騒音性能を向上させたシステムを開発した。そしてこのシステムを用い、クルーズコントロールをはじめとした車両機能を音声で操作できる車両を構築し、実用性などの評価を行った。

本稿では、開発したシステムの概要と音声認識率評価及び実用性評価の結果を報告する。

Abstract

Driver assistance systems are beyond scope of the current voice operation systems because of the low voice recognition accuracy. Some of the causes of this are driving noises, other passengers' voices, car audio, etc.

Therefore, we developed an in-vehicle spoken dialogue system that is strong against the various noises by combining audio signal processing using a microphone array and image processing using a driver monitoring system. Next, we evaluated voice recognition performances under the noises and usability of voice operation for vehicle functions such as a cruise control system.

This paper describes an overview of the system and evaluation results.

1. まえがき

「OK, VIZIV ! 前のクルマについて走って」†

運転支援機能の高度化、インフォテイメントシステムの機能増大などによって、クルマの操作は複雑になってきており、現在の主流であるスイッチ／タッチパネルの操作だけでは安全で簡単な操作の担保が難しくなってきている。

一方、スマートフォン・スマートスピーカの普及で音声認識技術が広く使われるようになってきた。情報検索・音楽鑑賞など日常の様々な用途で音声対話操作が提案され、簡単な操作インターフェースとしての普及が進んでいる。クルマにおいても、1990年代からカーナビゲーションシステムをはじめとして音声対話操作の応用が試みられてきた。しかし現在、一般的と言えるほどの普及に至ってない。これは、クルマ特有の環境が音声の認識を困難にしていることが一因であると考えられる。

本稿では、誰でも簡単に、思い通りにクルマを操れることを大きな目標に掲げ、音声対話によるクルマの操作、例えば冒頭の一言(†)でクルマが走り出す技術の開発と、車両への実装・評価を行った内容を報告する。

なお、本稿に係る実験は当社の「人を対象とする研究倫理ガイドライン」に基づき、当社倫理審査委員会の承認を得て行われている。

2. 開発内容

インフォテイメントシステムは、乗員の誰もが操作できることで利便性が高まる。従来運転者に限定され

＊1 技術研究所
＊2 三菱電機株式会社　自動車機器開発センター
＊3 三菱電機株式会社　情報技術総合研究所

ていた音声対話においても、他の乗員が操作できるよう拡大することが望ましい。一方、走行に関わる操作は運転者のみが行えることが安全上望ましい。このため、「どの席の乗員」が「どのような内容」を話しているかを「正確に認識」する必要がある。また、車内環境では下記に代表される騒音が発生し、音声を「正確に認識」する上で大きな阻害要因となっている。

・ロードノイズなどの走行騒音（拡散性騒音）
・同乗者の会話や窓開け時の騒音（方向性騒音）
・オーディオスピーカからの音楽やガイダンス音声

これらの課題を解決するために、アレイマイク[1]とドライバーモニタリングシステム[2]（Driver Monitoring System：以下、DMS）を連携し、運転者と助手席乗員双方を音声対話の対象としたシステムを構築した。さらに効果を検証するために、走行系操作の代表例としてスイッチ操作手順が多いクルーズコントロールと、一般操作の代表例として利便性向上が期待されるパワーウィンドウを音声対話によって操作できるよう車両操作システムを構築した。

2.1　音声対話システム

システム構成を図１に示す。

6個のマイク素子を搭載したアレイマイクおよびDMSカメラ（図2）を入力センサとし、音声信号処理、音声認識、意図理解、対話管理の部分で乗員の発話を理解し、2.2で示す車両操作システムに対し指示を送り、クルーズコントロール等の車両操作を実施する。

また、システムが理解した内容を乗員に適切に伝えるためスピーカおよびモニタディスプレイにも情報を出力する。

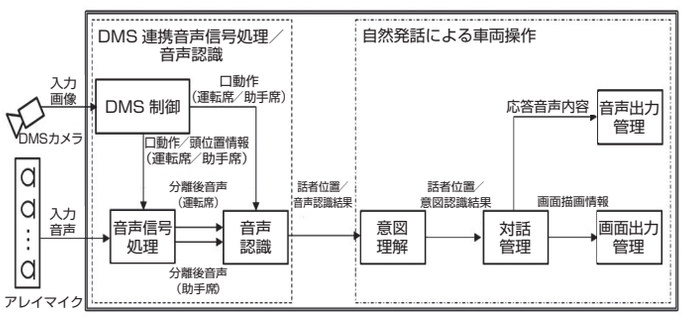


図１　音声対話システム構成図

2.1.1　DMS連携音声信号処理／音声認識

カメラ映像は騒音に影響を受けることはないため、撮像した顔画像情報をマイクで取得した音声情報と連携させることで騒音環境下での音声認識性能の向上が期待できる。

本システムでは広角カメラを搭載したDMSをインパネ上部中央に搭載することで運転席と助手席乗員の

図２　アレイマイク・DMS カメラ搭載位置

両方を撮像できる。DMSは乗員の顔画像から顔特徴量を検出し、さらに口動作と頭位置情報を音声信号処理部と音声認識部に出力する。なお、助手席乗員の情報取得と口動作の検出は本システム用に開発した新しい機能である。

以下に、図３に示す音声信号処理部及び音声認識部の詳細を記す。

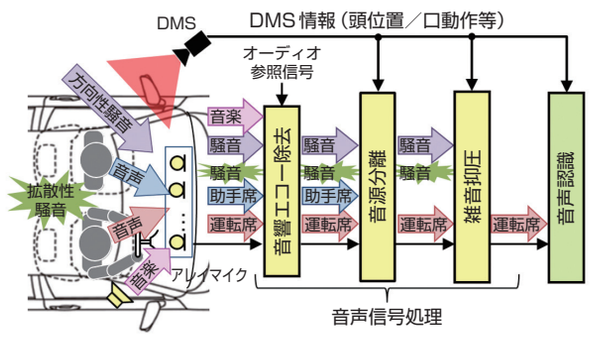


図３　音声信号処理部と音声認識部

(1) 音響エコー除去

音響エコー除去部では、マイク入力音声に混入するスピーカ出力音声を除去する。スピーカ出力音声は車室内を反射してマイクに入力されるため、オーディオ参照信号をそのまま差し引く方法では除去できない。

そこで、オーディオ参照信号から車室内の音響環境を加味した擬似エコー信号を逐次生成し、それをマイク入力信号から差し引くことで、マイクに混入したスピーカ出力音声を除去する。この技術により、車内の音楽や音声対話システムからのガイダンス音の影響を軽減することができる。

(2) 音源分離

音源分離部では、アレイマイクを利用し、運転席と助手席の音声到来方向の違いから両者の発話音声を分離する。すなわち、運転席話者に対しては助手席方向の音声を抑圧し、運転席方向を強調する。助

手席話者に対しても同様に運転席方向の音声を抑圧し、助手席方向を強調する。

音声のみを利用して音源分離を行う従来手法では、方向性騒音を音声認識対象となる音声(以下、目的音声)と誤判別し、方向性騒音を誤って強調してしまう場合があった。

そこで、運転席・助手席の強調方向判定に音声情報に加えてDMSで取得した両者の頭位置を利用することで、方向性騒音と目的音声の誤判別を抑制し、方向性騒音に頑健な音源分離を実現した。

(3) 雑音抑圧

雑音抑圧部では、非発話区間の騒音成分を学習し、入力音声から方向性騒音と拡散性騒音を抑圧する。

音声のみを利用して非発話区間を推定する従来手法では、特に騒音環境下において、非発話区間の推定誤りによって目的音声の成分を含めて騒音成分を学習してしまい、目的音声の一部を抑圧してしまう場合があった。

そこで、非発話区間の推定に音声情報に加えてDMSで取得した口動作情報を利用することで、騒音の成分のみをより精度良く学習し、騒音環境下でも目的音声の劣化が少ない雑音抑圧を実現した。

(4) 音声認識

音声認識部では、音声信号処理後の運転席と助手席のそれぞれの発話音声に対して「発話区間の検出」と「発話内容の認識」を実施する。

音声のみを利用して「発話区間の検出」を行う従来手法では、信号処理後音声における騒音の残留成分により、非発話区間を誤って発話音声と検出する、発話音声を検出できない、発話音声の始端と終端位置を誤る等の発話区間の検出誤りが生じ、発話内容認識の失敗を招く場合があった。

そこで、「発話区間の検出」に音声情報に加えてDMSで取得した口動作情報を利用することで、騒音環境下でも高精度な発話区間検出を実現した。

システムが発話区間を検出した場合は当該区間に対して発話内容を認識し、意図理解部に音声認識結果と話者位置情報(運転席/助手席)を出力する。

2.1.2 自然発話による車両操作

音声認識結果から意図を推定する意図理解技術を導入することで、特定の言葉・言い回しによるコマンド形式ではなく、発話内容を意識しない自然な言葉で乗員が車両を操作可能にした。これにより、想定外の発話を認識できない不便さや、特定の音声コマンドを思い出そうとすることに起因する注意散漫を軽減できる。

また、前述のDMS連携音声信号処理/音声認識により、話者位置情報(運転席/助手席)と音声認識結果を対応付けることが可能なため、例えば、助手席話者が「斜め後ろの窓を少し開けて」と発話した場合は「“運転席の後ろ側の窓”を少し開ける」と解釈することができる。

このようにして発話者を特定し、意図を理解することにより、斜め等の相対位置表現も含めた様々なバリエーションの発話にも柔軟に対応できる。

(1) 意図理解

意図理解部では、音声認識結果に出現した単語と意図の関連度から発話の意図を推定する。意図とはシステムが実行できるアクション単位で定義した識別子である。

上記の関連度は、意図と対応づく発話文例から学習する。発話文例を単語単位に分割して学習させることで、発話文例にない単語の組み合わせでも意図の推定ができる。発話文例は、Webアンケートを実施し、言い回しを広く収集したものを利用した。

後段の対話管理部には当該意図理解結果と音声認識部から受け取った話者位置情報を出力する。なお、関連度が閾値以下であった場合は、意図理解結果を「機能外意図」として出力する。

(2) 対話管理

対話管理部では、意図理解部から入力された話者位置情報と意図理解結果をもとに「対話状態の管理」と「意図理解結果に応じた各種操作」を実施する。

【対話状態の管理】

システムの状態には、音声対話を起動するための『ウェイクアップコマンド受付状態』と『音声コマンド受付状態』の2つがあり、対話管理部において現在の状態を管理する。乗員からウェイクアップコマンドが発話された場合、システムは『ウェイクアップコマンド受付状態』から『音声コマンド受付状態』に遷移し、一連の動作を終えると再び『ウェイクアップコマンド受付状態』に遷移する。なお、ウェイクアップコマンドは任意に設定可能であるが、本システムでは当社のコンセプトモデルの名称を用い、「OK, VIZIV」とした。

また、乗員からの音声コマンドに応じて、クルーズコントロールの設定速度や窓の開閉等の状態を保存する。これにより、「クルーズコントロールの速度を少し上げて」のような相対的な表現を持つ発話に対しても制御を可能とした。

【意図理解結果に応じた各種操作】

音声コマンド受付状態では、車両操作に関する発話を受け付け、意図理解結果と話者位置情報からシステムの応答や車両操作内容を決定する。

システムの応答では、スピーカで再生するガイダンス音声とディスプレイモニタに表示した車両状態にて乗員にフィードバックを行う。また、車両操作の要否を判断し、車両操作が必要な場合は、車両操作コントローラにコマンドを出力する。例えば、助手席側からクルーズコントロールの操作を要求した場合は危険な操作と判断し、車両操作コントローラにはコマンドを出力せずに、エラーガイダンス音声のみを再生する。

2.2　車両操作システム

音声対話システムで解釈した操作内容を車両へ指示・実行するため、車両操作コントローラを製作し、図4のシステムを構成した。車両操作コントローラには各種操作を対象のコントロールユニットへ車両CAN経由で指示する機能と、同じく車両CAN経由で車両の状態を収集し、音声対話システムへ通知する機能を持たせた。

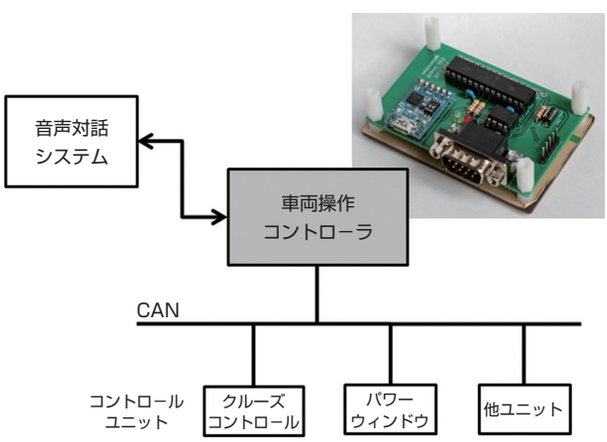


図４　車両操作システム構成

3.　音声認識性能評価

音声対話システムの効果を比較検証するため、シミュレーションによって音声認識率の評価を行った。

3.1　評価条件

方法：当社テストコースで収録した騒音と、静かな環境で収録した発話音を重畳させて評価用音データを生成する。図3の「音声信号処理」を行った後、「音声認識」の結果が発話文と完全一致するかを確認する。

音声認識エンジン：三菱電機㈱製

マイク数：6ch（信号処理なしの場合は1ch）

騒音条件：①アイドリング
②窓を閉めた状態での高速走行
③窓を開けた状態での高速走行
④助手席の同時（妨害）発話あり

音声信号処理が想定する頭の位置：
運転席話者の頭位置に追従

発話音量：各騒音条件で計測した実発話音量に評価用発話音を合わせる

運転席発話者：8名

助手席（妨害）発話者：1名

発話者1人当たりの認識語彙数：63発話

指標：（認識率）=100×（正認識数／発話数）[%]

3.2　評価結果

図5に結果を示す。信号処理を行わない（各条件の左のグラフ）場合、アイドリング程度の騒音（図5①）であればほぼ確実に認識できるが、窓を閉めた状態での高速走行（図5②）では音声認識率が少々低下し、窓を開けた状態での高速走行時（図5③）や助手席の同時発話がある場合（図5④）には認識率が大きく落ち込む。

それに対し、6 chマイクによる音声信号処理を行う（各条件の中央のグラフ）ことで雑音が大きく除去されて③、④の認識率が約70 pt向上した。さらにDMS連携による音声信号処理／発話区間検出を行う（各条件の右のグラフ）ことでDMS連携なしに対し最大7 pt認識率が向上した。

音声信号処理前後の波形を図6、7に示す。横軸は時間、縦軸は振幅を表している。運転席の発話音声以外の騒音部分が抑圧されていることが分かる。聴感上においても、騒音抑圧の効果が確認できた。

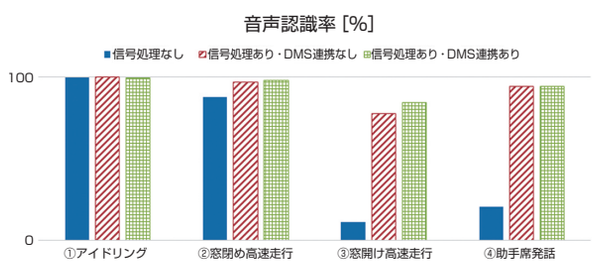


図５　音声認識率

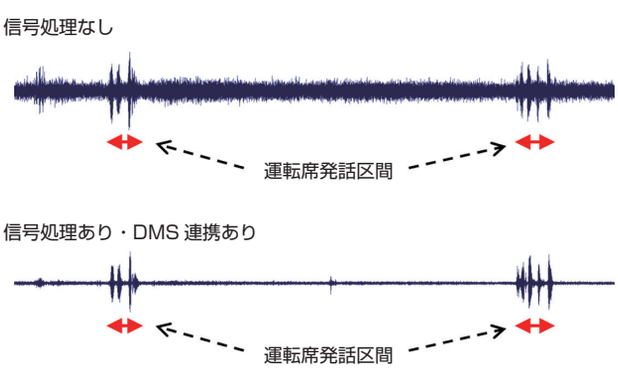


図６　窓開け高速走行時の音声信号処理前後の波形

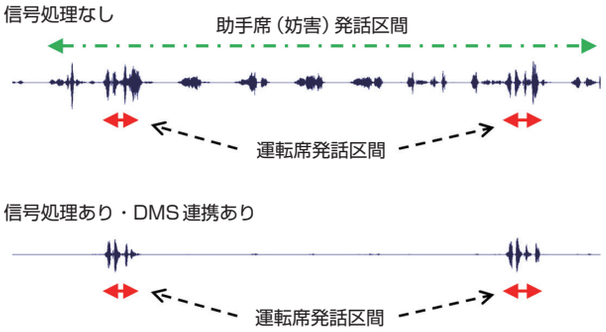


図７　助手席発話ありの場合の音声信号処理前後の波形

4.　試作車両評価

開発システムを試作車両に搭載し、実際に車両機能を音声操作することで実用性などの評価を行った。

4.1　評価条件

方法：実験参加者は実験説明を受けた後、音声操作を行う。その後、アンケートに回答する。

実験参加者：20代～50代の男女30名

4.2　評価結果

図8、図9、図10に結果を示す。

音声認識性能はやや高いと感じる傾向だった(図8)。詳細コメントでは、「スマートスピーカーより認識精度がよい」「固定的な言い方ではなく、自然な言い回しでも認識できた」「運転席と助手席で同時にしゃべっても認識してくれた」「言いよどみがあっても正しく認識した」等があった。

車両の音声操作には利便性を感じる傾向が見られた(図9)。詳細コメントでは、「面倒な複数回のスイッチ操作が不要で、前方からの注意をそらす必要がない」「応答が速いと便利」「運転があまり得意でなく、運転中にボタン操作が必要になったときに戸惑ってしまうが、両手を離さずに済む音声操作なら運転への影響が少ない」等があった。

車両の音声操作に愉しさを感じる傾向も得られた(図10)。音声で自動車が実際に動くと新たな愉しさが生まれる可能性がある。詳細コメントでは「実際にモノが動くと楽しい」「自分の意思が直接伝わっている」「音声で意図を一発で理解してくれた時にうれしい、楽しい」「ゲームのような要素が感じられる」等があった。

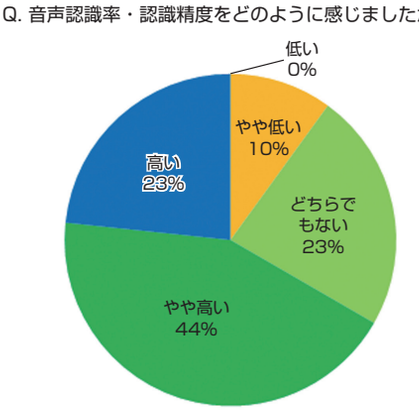


図８　音声認識率の高さ

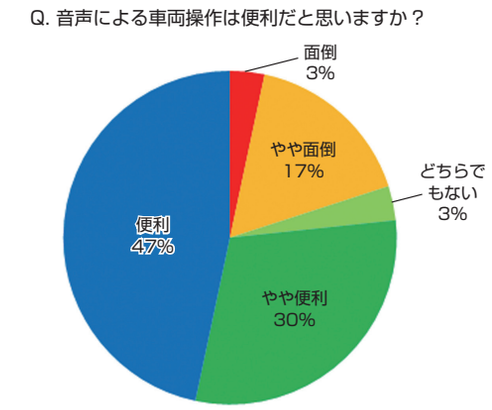


図９　音声操作の利便性

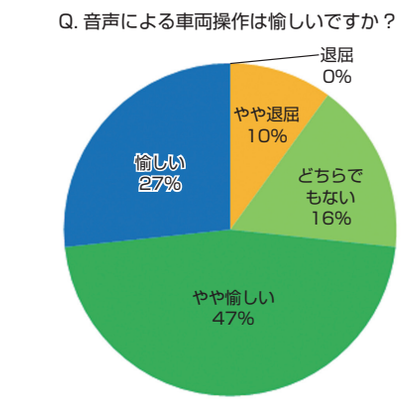


図 10　音声操作の愉しさ

5.　まとめ

「どの席の乗員」が「どのような内容」を話しているかを「正確に認識」する音声対話システムを開発し、クルーズコントロールをはじめとした車両機能を音声操作可能な試作車両を構築した。

開発したシステム・車両を評価し下記結果を得た。

①アレイマイクとDMSの連携により騒音環境下の音声認識率が向上し、本システムが実際の利用シーンで効果的であることが確認できた。

②実際に動く車両を体感することで、利便性を確認できた。また、音声による車両操作に愉しさを感じる可能性も確認できた。

誰でも簡単に、思い通りにクルマを操れる技術の一部を実現できたが、量産化へ向けて誰もが認識率が高いと感じるような確実性をさらに追求していきたい。

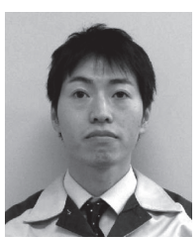
車内で当たり前に使っていただける音声対話システムの実現をめざし、今後も研究開発を継続していく。

参考文献

(1) M. Brandstein and D. Ward eds.： Microphone Arrays：Signal Processing Techniques and Applications, Springer（2001）
(2) 浅井恵二ほか： ドライバーモニタリングシステムの開発, SUBARU技報, Vol. 45, p.159-164（2018）

【著　者】

泉名　克郎

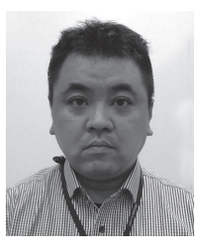

鹿野　達夫

天笠　義則

馬場　直哉

宗平　　真

古田　　訓


小路　悠介

土屋　政人

「インプレッサ」改良モデルを発表
～オートビークルホールド機能により、運転の快適性を向上～

2018年10月11日

「インプレッサ」改良モデルを発表。
お客様に最高の「安心と愉しさ」を提供することを目指し、クラスを超えた「総合安全性能」と「動的質感・静的質感」を実現したモデルです。
今回の改良では、長い信号待ちや一般道での渋滞など、通常はブレーキペダルを踏み続けなければならないようなシーンで、ブレーキペダルから足を離しても自動的に車両の停止を保持する、オートビークルホールド機能を追加。ドライバーの疲労を軽減し、運転の快適性を向上させました。

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

Development of Full Vehicle FE Model for Predicting Low-Frequency Road Noise Performance

阿部啓介* 上野亮* 津久井啓雄* 蟻川裕樹*
Keisuke ABE Ryo UENO Norio TSUKUI Yuki ARIKAWA

抄録

静粛性は、運転時の快適性に直結する重要な商品力の一つである。なかでもロードノイズは、走行時に発生し続ける騒音であり、自動運転時代においては、お客様の快適性にとって、より重要な要素となってくる。

一方、車両開発ではモデルベース開発（MBD）への移行が進み、機能要件に基づいた論理的な検討が求められている。ロードノイズにおいても、車両全体の発音メカニズムを理解した上で、各コンポーネントの機能要件を導きだしていく必要がある。

本稿では250 Hzまでの固体伝播音を対象に、路面凹凸に起因する起振力、転動を考慮したタイヤ、伝達系であるサスペンション・ボディ、放射された音が伝播する車室内音響空間をモデル化したフルビークル解析技術の開発について述べる。

Abstract

Quietness is one of the important values of products that affect driving comfort. Road noise continues to occur when driving, and it will become a more important factor in the era of autonomous driving. Meanwhile, for realizing MBD, logical studies based on functional requirements are required. So it is necessary to understand the sounding mechanism of a full vehicle, and derive the functional requirements of each component.

This paper discusses full vehicle FE modeling techniques for predicting structure-borne noises up to 250 Hz such as input force caused by road surface, rolling tire, suspension, trimmed body, and interior acoustic cavity.

1. まえがき

百年に一度の大変革期と言われる時代においても静粛性はお客様の快適性に繋がる重要な商品価値である。とりわけロードノイズは、走行時に常に発生する騒音であり、自動運転時代にも、お客様へ快適な車室内空間を提供するために重要な要素となってくる。

ロードノイズは、路面凹凸がタイヤを加振し、その振動がサスペンション、ボディに伝達して車室内の音となる固体伝播音と、タイヤ放射音等がボディの隙間やパネルを透過して車内へ伝わってくる空気伝播音に大別される。本稿では250 Hzまでの固体伝播音を対象とする予測技術について報告する。

この周波数帯の現象は、タイヤ、サスペンション、ボディなどが複雑に絡む連成問題により引き起こされる。よって商品開発後半において、大きな構造変更を伴う性能改善は困難となる。そのため車両全体を含めた予測技術を構築し、発音メカニズムを紐解き、開発の初期段階に各コンポーネントの機能要件として落とし込む必要がある。そこで実走時の低周波ロードノイズを予測するフルビークルモデルの技術開発に取り組んだ。

2. 解析技術の概要

ロードノイズをフルビークルで評価し、その発音メカニズムの詳細な分析を行うためには、路面からの入力およびその構造伝達経路を正しく表現したモデルが必要である。そこで**図1**に示す路面、タイヤ、サスペンション、パワートレインならびにトリムドボディから構成するフルビークルモデルを構築した。

タイヤは接地及び転動による影響を考慮したモデル

＊ 車両研究実験第一部

を作成し、接地面の各節点へ路面凹凸を入力として与える。サスペンションおよびトリムドボディについては、加振試験結果と検証を行い、その伝達特性を再現した。この構造モデルと車室内音場を連成させることで車内音を予測する。

一般的に車内音を予測する手法として、機構解析、有限要素法、統計的エネルギー法等が挙げられる。本稿では、振動モードを取り扱う周波数領域での発音メカニズムを分析するため、有限要素法によるモーダル周波数応答解析を用いた。

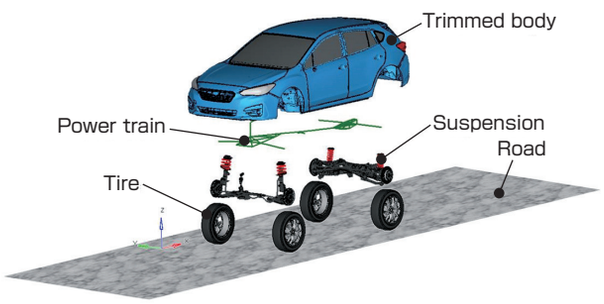


図１　フルビークルモデル概略

3.　タイヤモデルの技術構築

3.1　技術の概要

振動解析においては、一般的にFree-Free（無負荷、静止状態）のタイヤ線形モデルが広く用いられる[(1)]。しかし、走行時のタイヤには、

(1) 車重によって変形する接地面近傍は荷重分布やタイヤゴムの剛性が変化し、振動伝達特性に影響を及ぼす。

(2) 転動によりドップラー効果やジャイロ効果が発生し、音響特性や減衰といった物理的特性が変化する。

といった特性の変化がある[(2)(3)]。これらを考慮するため、非線形解析を用い、輪荷重により接地面が潰されたタイヤ形状の再現、および転動時の物理的特性の考慮を行った。モデル構築のプロセスを図２に示す。

転動時に発生するジャイロ効果、ドップラー効果について、3.2 ～ 3.3項に考え方と結果への影響を記す。

3.2　ジャイロ効果のモデル化と固有値変化

ジャイロ効果は、タイヤのイナーシャ（質量分布）と速度に比例する力として以下のように表現できる。

$$\begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} = j\omega \begin{bmatrix} 0 & \omega_0 I_{zz} & 0 \\ -\omega_0 I_{zz} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{rx} \\ u_{ry} \\ u_{rz} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

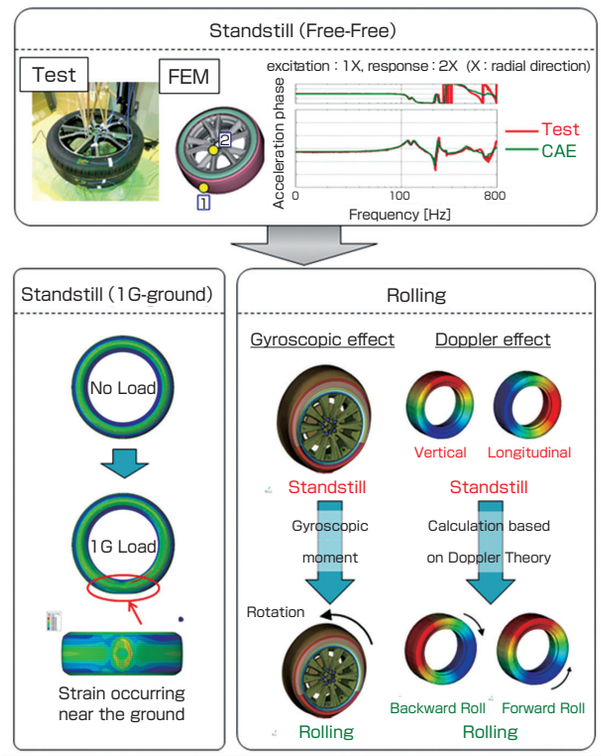


図２　タイヤモデルの構築フロー

（T：ジャイロモーメント、u：変位、ω_0：タイヤ転動速度、I：回転軸周りの慣性モーメント）

(1) 式に基づき、車軸固定、非接地境界で固有値を解析し、車速変動による固有値変化を求めた。一例として径方向モードの変化を図３に、軸方向モードの変化を図４に示す。

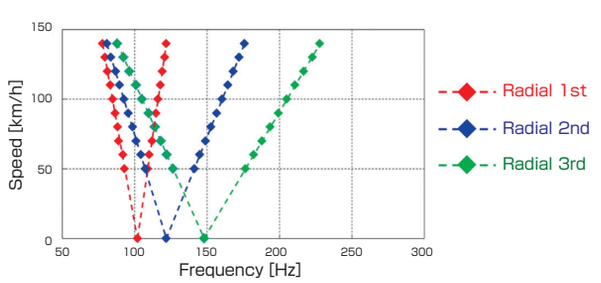


図３　車速変動による径方向モードの固有値変化

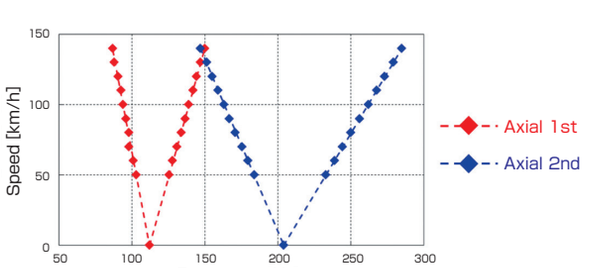


図４　車速変動による軸方向モードの固有値変化

車両の走行により、ピークは順方向と逆方向の2つの移動波に分離する。走行速度が高くなるほど、2つのピークの間隔が大きくなることが分かる。

3.3　ドップラー効果のモデル化と固有値変化

空洞共鳴については、車速の増大に伴いタイヤ内部の空気の見かけの音速が変化する。即ち、ドップラー効果によりタイヤ回転の順方向の音速は大きく、逆方向の音速は小さくなるため、車速依存によるタイヤ空洞共鳴周波数のスプリットが生ずる。ドップラー効果の理論式より特性行列を導き、モデルに反映した。そのタイヤモデルを用い、速度変化に対する空洞共鳴周波数の変化を解析した結果を図5に示す。

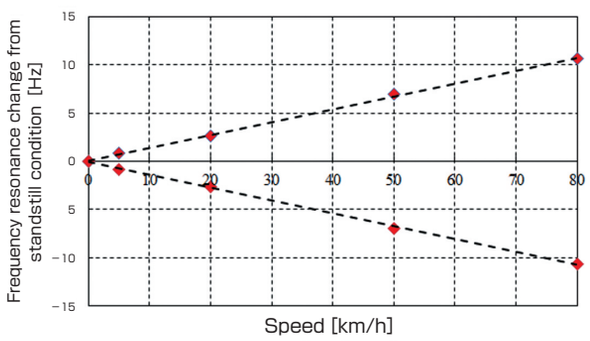


図５　車速変動に対する空洞共鳴周波数の変化

以上の技術より、走行時のロードノイズ予測に必要となるタイヤモデルを構築した。

4.　サスペンションモデルの技術構築

4.1　技術の概要

サスペンションを構成する主要部品について、「実験による現象の把握、現象を再現するモデル化、実験検証」をコンポーネント単位で実施した。図6に示すように、慣性特性のみならず弾性振動が再現される詳細モデルを構築した。なお、サスペンションのダンパ及び、リンク・アーム機構に使用されるボールジョイントは、フリクションによりスティックスリップ挙動を示す。この挙動は、走行する路面により変化する上に、振動伝達特性に大きな影響を及ぼすため、評価路面走行時の挙動を明らかにし解析モデルに反映させることを行った。4.2項に詳説する。

4.2　路面走行時のダンパストローク量、ボールジョイントの回転角加速度の推定

ダンパについては、図7に示すようにダンパロッド先端部、ダンパケース下端部の軸方向並進加速度を計測した。2階積分により得られる相対変位量に閾値を

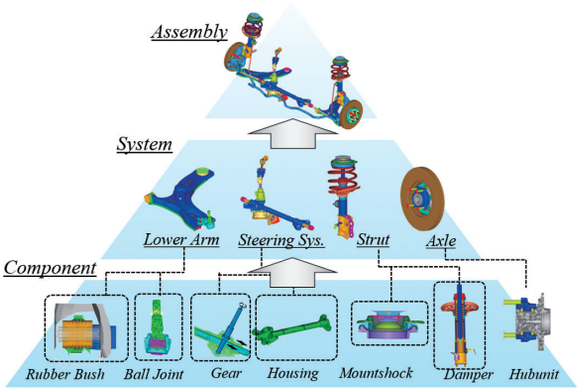


図６　フロントサスペンション解析モデル概略

設定し、スティックスリップ挙動を推定した。図8に示す結果より、今回の検証範囲である50 Hz以上の相対変位量は閾値に収まっていることからスティック条件と見なし、動特性をFEMモデルに反映した。

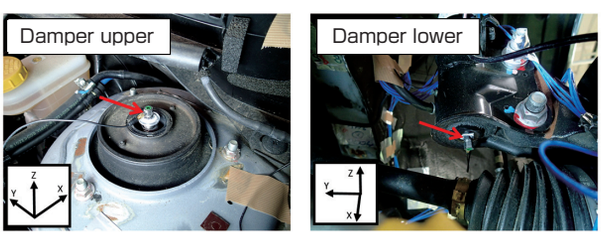


図７　ダンパストローク計測外観

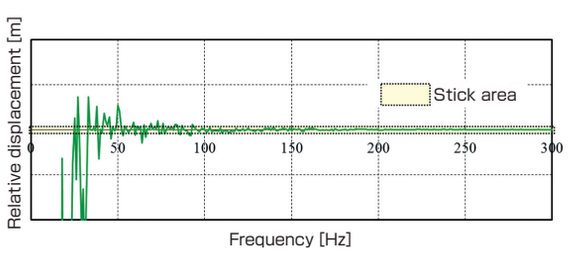


図８　ダンパストローク量（ダンパ先端部〜下端部の相対変位）

ボールジョイントについては、図9に示すようにボールジョイントのアクティブ側、パッシブ側それぞれに対して3角形を構成する3点の並進加速度を計測し、ボール中心の回転角加速度を幾何学的に推定した。

図10に示す結果より、相対角加速度は閾値に収まっていることからスティック条件と見なし、動特性をFEMモデルに反映した。

4.3　サスペンションモデル精度検証

構築したタイヤおよびサスペンションモデルの妥当性を確認するため、実走時フルビークル解析を実施し、実験結果との比較を行った。

社内で規定されるロードノイズ評価路面について、

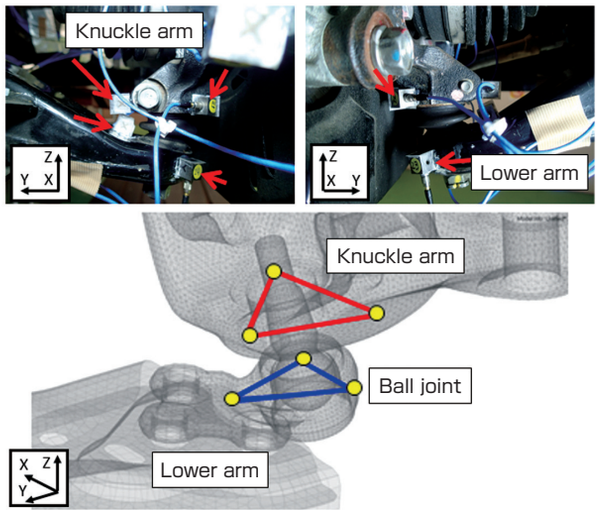


図９　ボールジョイント動特性計測外観

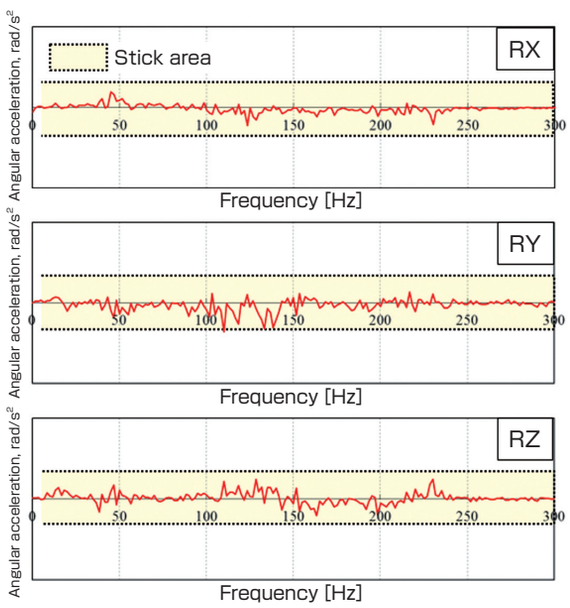


図 10　ボールジョイント角加速度

3次元計測により得た当該路面形状データをフーリエ変換し、その複素スペクトルを取得した。これを、路面通過の時間差を考慮しながらタイヤ接地面の各節点へ強制変位として解析モデルに入力している[4]。

代表として前後ナックルアーム（図11）の車両鉛直方向振動加速度を図12に示す。250 Hzまで精度良く予測できており、タイヤおよびサスペンションのモデル化が妥当であると言える。

5.　トリムドボディモデルの技術構築

5.1　技術の概要

サスペンションの車体側取付部を単位加振したときの耳位置の音圧レベルを音圧感度と定義する。これを指標としてトリムドボディの予測技術を構築した。

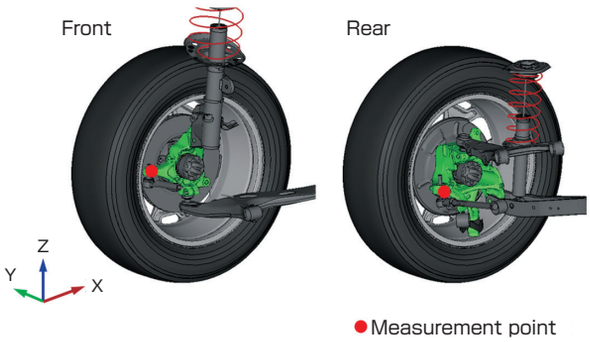


図 11　ナックルアーム計測点

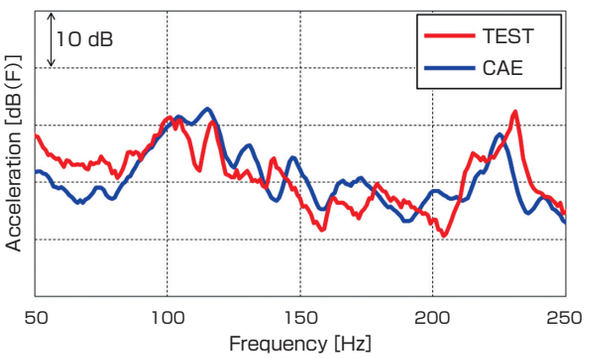


図 12　振動加速度コリレーション結果
（フロントナックルアーム車両鉛直方向）

5.2　構造モデルの技術構築

まず、図13に示すような車体の基本骨格であるホワイトボディ（以下、BiW）の詳細なモデル化が重要となる。具体的には、

・スポットモデルを鋼板の板厚に応じたナゲット径に変更
・フロアパネルなどに貼付している制振材の物性同定
・ガラス接着剤の幅や厚みを忠実に再現

などを行った。BiWモーダル試験結果と比較して、図14のように主要な骨格固有値を捉えられるレベルまで精度向上を積み重ねた。

次に、図13に示すようなドア、リヤゲート、シート、内装トリム部品などを組み合わせた。各艤装部品の質量だけでなく弾性変形もボディの振動特性に影響することから、内部の機構部品も含めた詳細なFEMモデルを作成している。加振試験を行い、ウェザーストリップ、ヒンジ摺動部、ロック噛み込み部、クリップ締結部など各種結合部剛性を同定した。

トリムドボディモデルの検証例として、フロントサスペンションのロアアーム取付部（図15）の加振点応答を図16に示す。250 Hz以下で実験の傾向を捉えている。

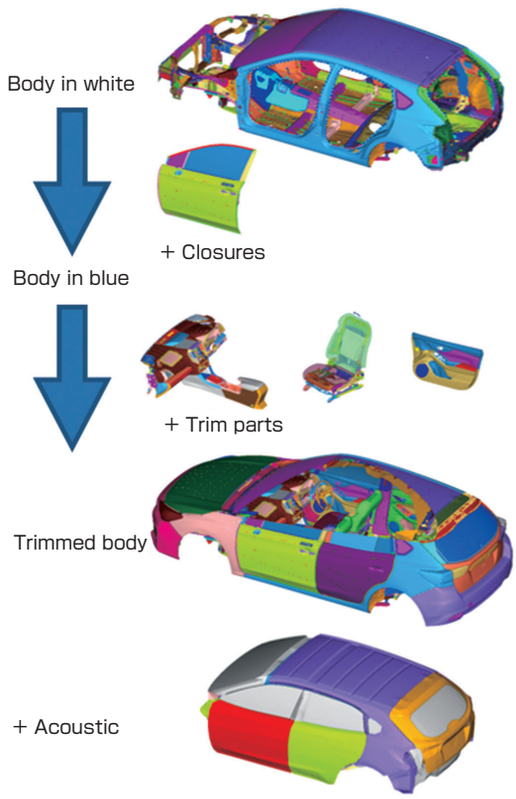


図 13　トリムドボディ解析モデル概略

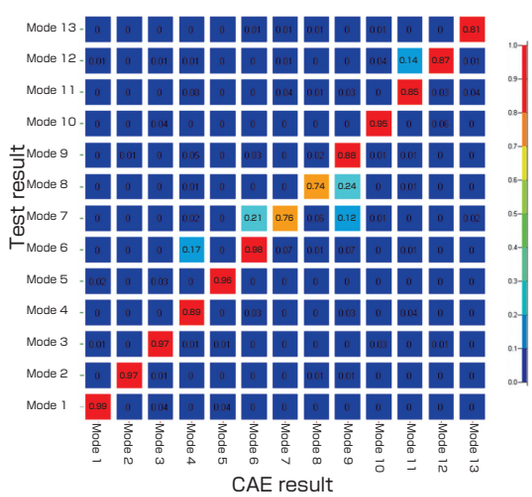


図 14　BiW 固有モード比較（MAC 評価）

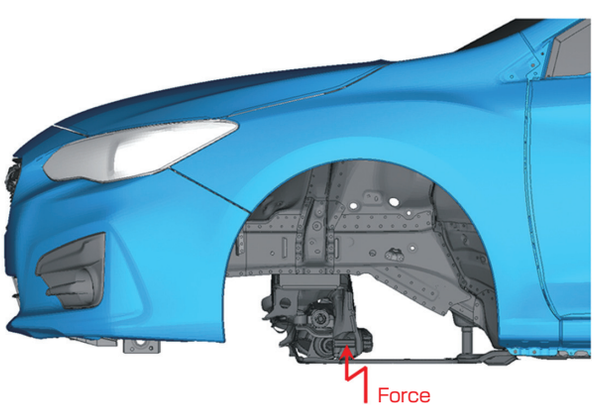


図 15　フロントサスペンションロアアーム加振点

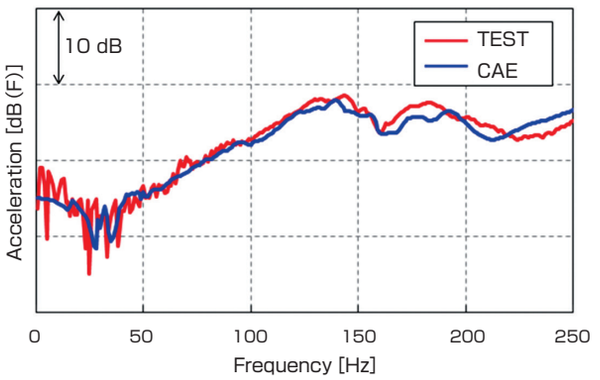


図 16　加振点応答コリレーション結果
（フロントロアアーム取付部）

5.3　車室内音場モデルの技術構築

5.3.1　内装トリムとパネル隙間のモデル化

室内側から見える内装トリム部品表面で構成された空間だけでなく、内装トリム部品で分割された裏側の空間まで詳細に音場を再現した。この部品裏側の閉ざされた空間は、スピーカの穴やトリムとドアパネルとの隙間を介して車室内と繋がっていると考えられる。そこで、前席左側ドアを例として図17に示すように、実験的にこの隙間をアルミテープで埋めた場合の音圧感度を比較し、その影響を検証した。図18のように前席耳位置に無指向性の体積加速度音源を設置し、ドアトリム裏側の音圧レベルを測定した結果を図19に示す。隙間の有り・無しの2ケースで音圧レベルが変わることから、その影響は無視できないため、隙間の詳細なモデル化まで行った。

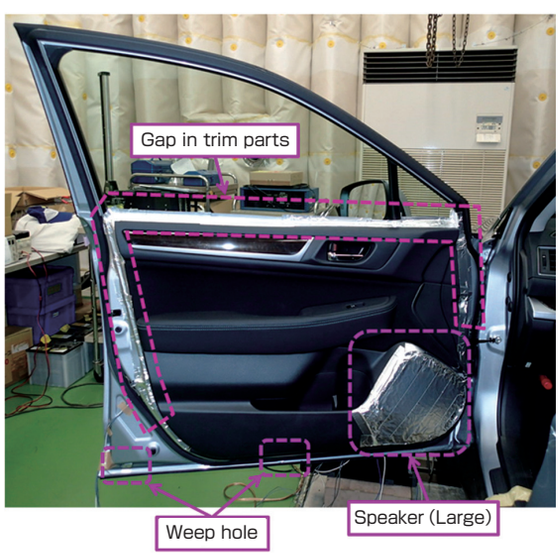


図 17　試験セッティング例（前席左側ドア）

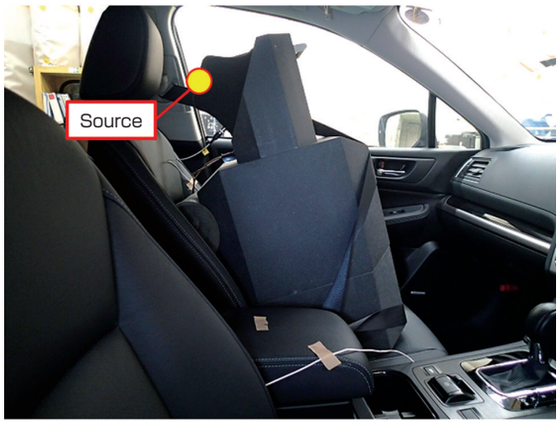


図 18　体積加速度音源の設置外観

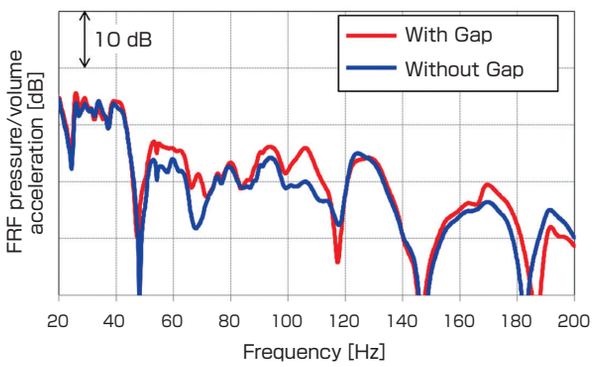


図 19　隙間有無によるドアトリム裏側の音圧レベル変化

5.3.2　吸音特性をもつトリム部品の音響特性を考慮

車室内に面する内装トリム部品のうち、フロアマットやシートクッションなどは多孔質材料であり、その吸音特性が低周波ロードノイズの周波数帯から影響し始める。そこで、内装トリム部品の材料試験片の特性インピーダンスZ、伝搬定数γを実験的に同定し、内装材の形状を再現した音場モデルにその吸音特性を設定した。

5.4　サスペンション取付部加振の音圧感度

トリムドボディモデルの各要素技術を組み合わせて音響-構造連成解析を行い、フロントサスペンションのロアアーム取付部（図15）加振時の耳位置音圧感度の予測精度を図20に示す。250 Hz以下の低周波ロードノイズを予測できるレベルである。

6.　解析精度検証

本技術を適用したフルビークルモデルによるロードノイズ解析について、実験と比較した結果を図21に示す。この結果から実車の音圧レベルを精度良く予測できていることがわかる。

以上より、構築したフルビークルモデルがロードノイズ予測において有用であることを確認した。また4.3項で示したとおり、振動伝達系であるサスペンションの振動応答についても適切に予測できていることから、入力から伝達、発音に至るまでを的確に再現できることを示した。

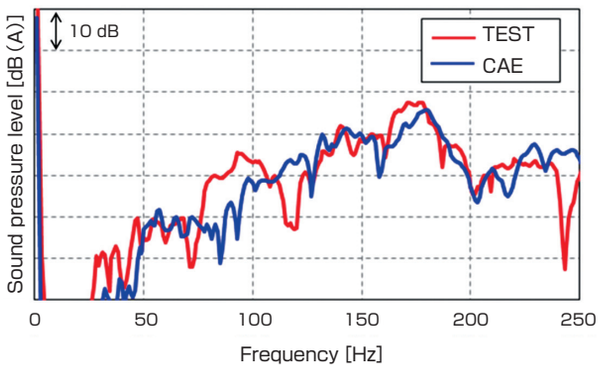


図 20　耳位置音圧感度コリレーション結果
（ロアアーム取付部加振）

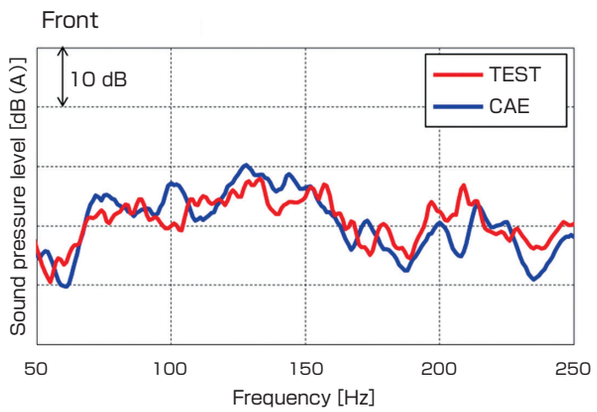


図 21　ロードノイズコリレーション結果

7.　まとめ

250 Hzまでの固体伝播音を対象に、ロードノイズを予測するフルビークル解析技術を構築した。

本技術により、フルビークル視点で各コンポーネントの機能要件を導き出し、論理的な性能開発のプロセスを実現できる。

これを商品開発に適用し、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。

謝 辞

タイヤモデルの構築に際し、株式会社エステック海老澤様、須磨様、園田様に御協力をいただきました。感謝の意を表します。

参考文献

(1) 須磨 他：2011 SIMULIA Customer Conference Japan“Isightを用いたロードノイズ領域におけるタイヤ有限要素モデル構築手法の開発”(2011)
(2) 上阪 他：転動状態におけるタイヤ動特性変動の実験同定法，自動車技術会学術講演会前刷集（2014）
(3) 村田 他：ロードノイズ性能開発のためのタイヤモデル化技術の構築，自動車技術会学術講演会前刷集（2015）
(4) 花輪 他：路面形状スペクトルに基づく走行時のフルビークル振動解析，自動車技術会学術講演会前刷集(2018)

【著　者】

阿部　啓介

上野　　亮

津久井 啓雄

蟻川　裕樹

「SUBARU XV」改良モデルを発表
～ e-BOXER搭載グレード「Advance」を追加～

2018年10月11日

「SUBARU XV」改良モデルを発表。
「Fun Adventure」をコンセプトに、都会的で洗練されたデザインとSUBARUらしいSUVとしての走破性、そして世界トップクラスの安全性能を兼ね備えたクロスオーバーSUVです。
今回の改良では、SUBARU独自の、2.0リッター直噴NA水平対向エンジン＋電動化技術＝「e-BOXER」を搭載したグレード「Advance」を追加。スムーズで軽快な加速感や高い走破性など、SUBARU XVの走りをさらに愉しいものとし、日常の走りにゆとりや安心感も提供します。そして内外装には「Advance」専用の装備として、先進性や特別感のあるブルー内装や、瑞々しく透明感のあるブルーを表現したボディカラー「ラグーンブルー・パール」を新たに採用しました。

SUBARU CROSSTREK HYBRID 衝突時の電気安全性能開発

Development of Electrical Safety Performance at Vehicle Collision for SUBARU CROSSTREK HYBRID

中瀬 哲也[*1] Tetsuya NAKASE
松澤 公雄[*1] Kimio MATSUZAWA
杉田 能典[*1] Yasunori SUGITA
齋藤 仁[*1] Hitoshi SAITO
小林 正明[*1] Masaaki KOBAYASHI
真塩 泰徳[*2] Yasunori MASHIO
古川 啓太[*2] Keita FURUKAWA

抄 録

各国の燃費／排ガス規制に代表される地球環境問題への対応手段の一つとして、Hybrid車（HEV）の開発に取り組んでいる。HEVには駆動用バッテリなどの高電圧部品が搭載されている。衝突事故時、高電圧部品が激しい損傷を受け大きな変形に至るような場合、一般的には感電や発火を引き起こす懸念がある。

SUBARUはリアルワールドにおいても電気安全性を確保するため、独自の衝突評価を導入し高電圧部品を保護する安全思想を設定、レイアウトや車体構造による保護で電気安全目標を達成した。また、さらなる安全性確保のため高電圧遮断機構を採用している。

本稿ではSUBARU CROSSTREK HYBRIDの衝突時における電気安全性能開発について紹介する。

Abstract

Hybrid Electric Vehicle（HEV）is in development for global environment issues, including fuel economy and emission regulations of each country. HEV is equipped with high-voltage components such as a drive battery. In general, there is concern that high-voltage components might cause an electrical shock or fire if they are seriously damaged and extremely deformed in a crash accident.

SUBARU introduced its own crash tests and established a way of thinking to ensure electrical safety in crash accidents in the real world. We achieved the electrical safety with the layout consideration and body structure development for protection. For further safety, we also adopted an auto high-voltage cutoff system.

This paper introduces the development of electrical safety performance in crashes for SUBARU CROSSTRECK HYBRID.

1. はじめに

世界各国で大気汚染や地球温暖化などの環境問題に対する関心が高まっている中、自動車メーカは地球環境への負荷を低減させるべく車両燃費性能の向上やCO_2排出量の削減に向けた性能開発を行なっている。その中でも特に電気エネルギーのみで駆動する電気自動車（EV）や、電気エネルギーとガソリンエンジンを組み合わせたHybrid車（HEV）の開発・商品化が活発となっている。

SUBARUもHEVの商品化を行なっており、2018年にはFORESTERやXVにHybridシステム「e-BOXER」を搭載し燃費、環境性能を向上させている。さらに、北米市場にはSUBARU初となるPlug-In Hybrid車（PHEV）である「CROSSTREK HYBRID」を発売した（**図1**）。

図1　SUBARU CROSSTREK HYBRID

HEVには駆動用バッテリやモータ・インバータなどの高電圧部品が搭載されている。よって衝突時には

＊1 車両研究実験第二部
＊2 SUBARUテクノ（株）

ガソリン車における従来の安全性能開発に加え、感電保護やバッテリ保護などの電気安全に関する性能開発が必要である。

今回はSUBARU CROSSTREK HYBRIDについて、衝突時における電気安全性能開発の取り組みを紹介する。

2. PHEV 高電圧システム概要

PHEVとは、従来のHEVに対し外部からの電源供給により駆動用バッテリに充電する機構を搭載したHEVである。電気エネルギーのみで走行できるEVとHEV両方の機能を併せ持つ車である。本章では、PHEV の高電圧システム構成(**図2**)について説明する。

SUBARU CROSSTREK HYBRIDは荷室フロアに搭載された駆動用バッテリから高電圧ケーブルを介し、パワーコントロールユニット(PCU)へ電力を供給する。PCU内で電力を直流から交流に変換し、三相交流用の高電圧ケーブルを介してモータに供給・駆動させ走行する。

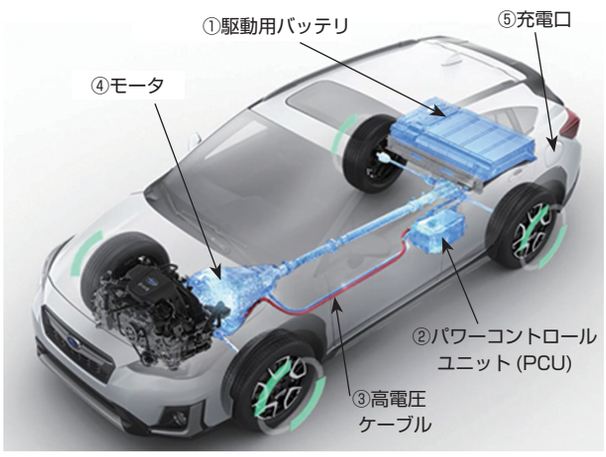


図２　CROSSTREK HYBRID 高電圧システム構成

①駆動用バッテリ

内部にリチウムイオンバッテリモジュールを搭載した電力源。モータ駆動に使用され、外部からの充電が可能。

②パワーコントロールユニット(PCU)

駆動用バッテリから供給される電力を調整し、モータの回転や出力トルクを適切に制御する機構。バッテリの直流電力をモータ駆動用に交流へと変換するインバータ、12Vへ降圧後に一般電装品へ電力を供給するコンバータなどの機能を併せ持つ。

③高電圧ケーブル

駆動用バッテリ、PCU、モータ、充電器などの高電圧部品を繋いでいるケーブル。

④モータ

三相交流電力を利用し駆動力を発生させる。

⑤充電口

外部電源から電力を供給するプラグを差し込み、駆動用バッテリに充電する。

3. 衝突時における各国の電気安全法規

衝突時における電気安全性能は各国で法規として定められており、乗員に対する感電などの危険性を排除する要件を設定している。本章では各国の電気安全法規について説明する。

衝突時の電気安全法規は主に下記4項目での性能要件が設定されている。

(1) 感電保護

高電圧部品の損傷などによっておこる人体への感電を防ぐ

(2) 高電圧バッテリ電解液漏れ防止

人体にとって有害となる電解液の漏洩を防ぐ

(3) 高電圧バッテリ保持

車体への固定が維持され、乗員空間への侵入を防ぐ

(4) 爆発／発火防止

衝突後の爆発／発火を防止する

感電は高電圧導電部に直接触れた場合や、漏電した車体に触れた場合などに起こる。感電保護評価としては以下の方法がある。

- 衝突後の電圧消失や電気エネルギーを電圧値で確認する評価（高電圧消失・低電気エネルギー）
- 高電圧経路への直接的な接触／間接的な接触がないことを確認する方法（接触保護）
- 車体との絶縁が維持されていることを抵抗値で確認する方法（絶縁抵抗）

表１　各国の衝突時における電気安全法規

●：いずれか一つを任意で選択○：必須項目

	衝突時電気安全	感電保護				電解液漏れ	バッテリ保持	発火
		高電圧消失	低電気エネルギー	接触保護	絶縁抵抗			
日本	技術基準別添 111	●	●	●	●	○	○	○
中国	GB/T31498 2015	●	●	●	●	○	○	○
欧州	ECE R100 R94 R95	●	●	●	●	○	○	○
米国	FMVSS No.301 305	●		●	●	○	○	○

4.　衝突時におけるSUBARUの電気安全思想

本章では、衝突時におけるSUBARUの電気安全思想について説明する。一般的に、衝突時におけるHEV特有の事象として高電圧部品の保護が必要となる。SUBARUは法規や情報公開に加えリアルワールドを考慮した開発を行っており、PHEVでの高電圧部品保護でも同様に開発を行った。高電圧部品は衝突時において変形させない位置にレイアウトしているが、独自に設定した評価ケースにおいても車体強化やケースでの保護により安全を担保する思想とした。

5.　各高電圧部品における保護の取り組み

スバルグローバルプラットフォームを用いた安全性の高い車体を基本とし、PHEV化に対応した車体強化や高電圧部品保護に取り組んだ(図3、4)。本章では、SUBARU CROSSTREK HYBRIDの衝突時における電気安全目標と性能達成構造について説明する。

図３　スバルグローバルプラットフォーム

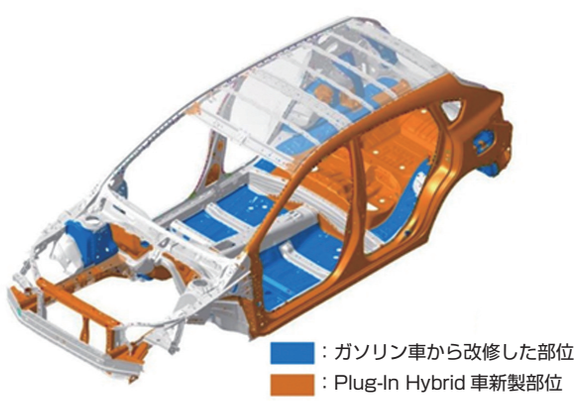


図４　CROSSTREK HYBRID 衝突安全ボディ

5.1　駆動用バッテリの保護

5.1.1　後面衝突評価モード

SUBARU CROSSTREK HYBRIDの駆動用バッテリは荷室フロアに搭載されるため、後面衝突における性能開発でバッテリ保護に取り組んだ。

後面衝突の安全性法規として各国で評価されている評価形態は

・オフセット衝突評価(図5)
・フルラップ衝突評価(図6)

である。この法規は、普通乗用車から追突された場合を想定した衝突形態となっている。

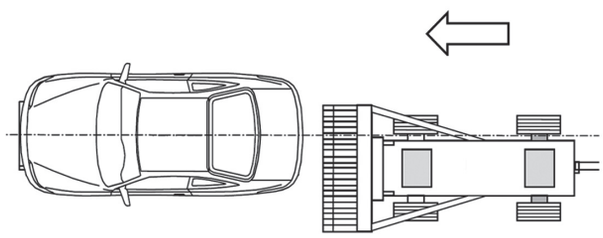


図５　後面オフセット衝突評価

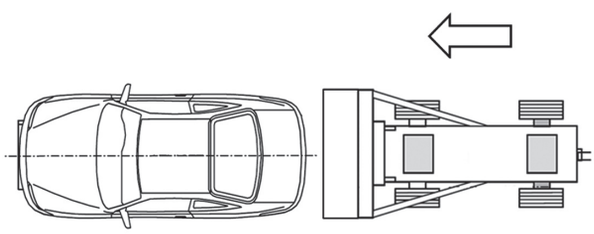


図６　後面フルラップ衝突評価

SUBARUはこれらの評価に加えて、リアルワールド対応として

・オーバーライド後突評価 ※1
・ポール後突評価 ※2

を独自に設定した。

※1 大型SUVやトラックが、被後突車両のリヤフレームに乗り上げる場合を想定した衝突形態(図7、8)。
※2 車両後部が、木や電柱に衝突する場合を想定した形態(図9、10)。

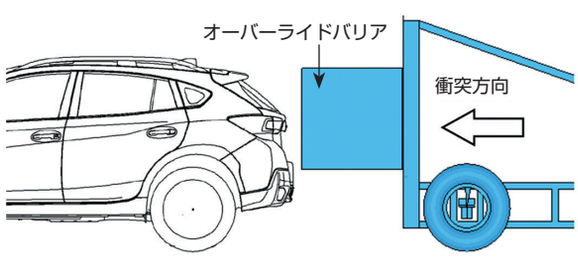


図７　オーバーライド後突評価

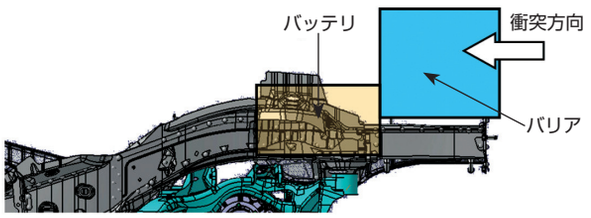


図８　リヤフレーム乗り上げモード

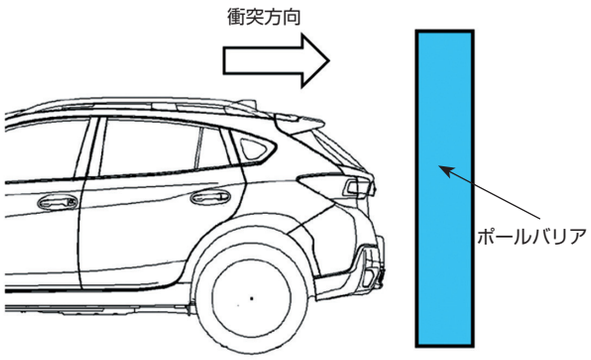


図９　ポール後面衝突評価

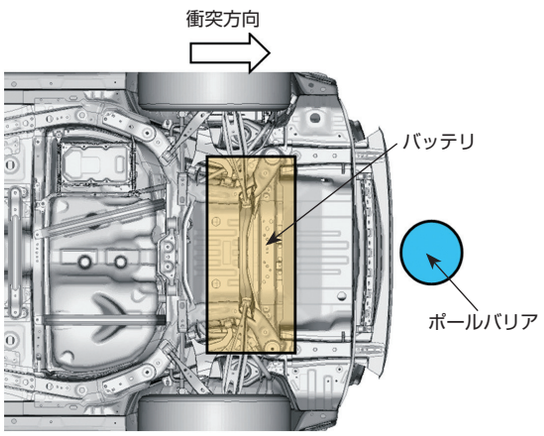


図 10　ポール衝突モード

5.1.2　性能達成手段

人が接触できないように、バッテリはケースで覆う構造をとっている(図11)。後突開発においても、このバッテリケースで内部のモジュールを保護することとした。モジュール生存スペースを確保できるように、ケース内部の変形量を抑えられる強度を設定した。

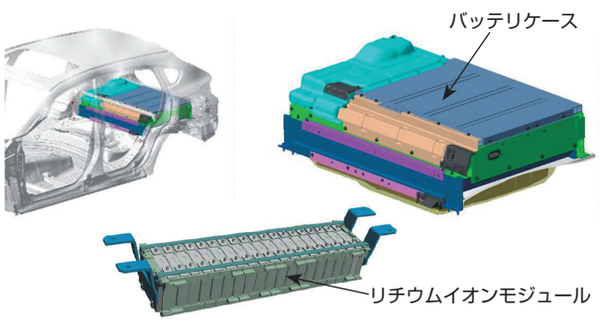


図 11　バッテリケース／リチウムイオンモジュール

オーバーライド衝突においては、左右にオフセットした衝突にも対応するため、前後にサポートバーをロードパス(荷重伝達)として設定した(図12)。これにより衝突荷重を分散する構造とした(図13)。なおこのサポートバーは側面衝突時のバッテリ保護構造を有しており、車体剛性の性能にも寄与させている。

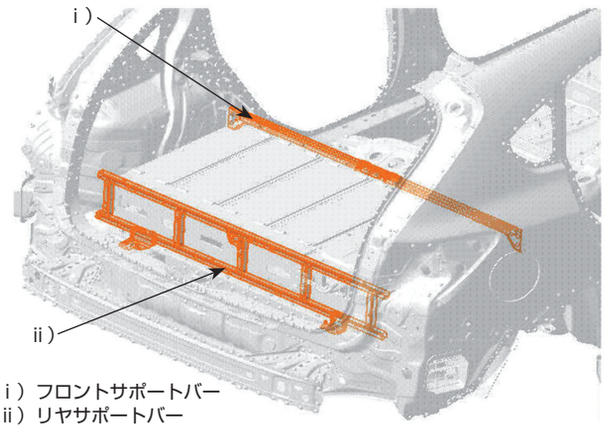


図 12　バッテリサポートバー

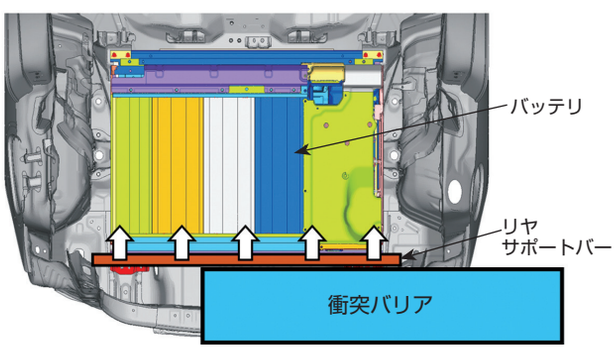


図 13　後突ロードパス

ポール衝突においては、ケース中央部にロードパスとしてフレームを設定することで、ポールが侵入した際でもケースの局所変形を抑える構造とした(図14)。

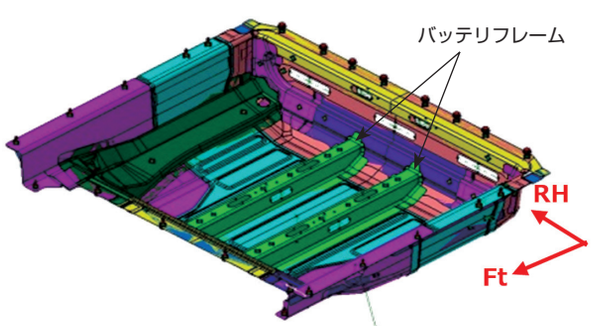


図 14　バッテリフレーム

また、バッテリブラケットを設定しポール衝突等の過大な入力が想定される場合は、バッテリが車体と締結を維持したままケースを車両前方に逃がすことでバッテリへの入力(内部変形)を低減させた(図15)。

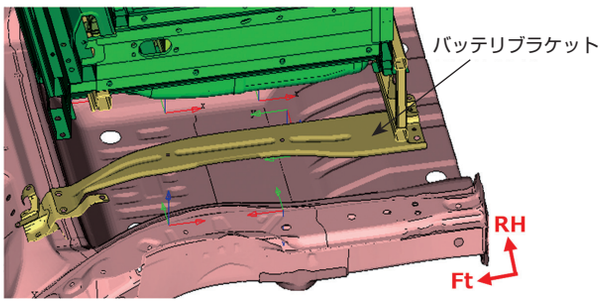


図 15　バッテリブラケット

5.1.3　CAE検証結果

フルスケールの衝突CAE解析においては、車体変形に加えてケース変形や前方移動モードを評価しながら高電圧部品保護の性能見通しを立てた。各部の変形状況を分析する上で、ケースだけではなく内部のリチウムイオンモジュール構造や締結部も詳細にモデル化して評価した(図16)。

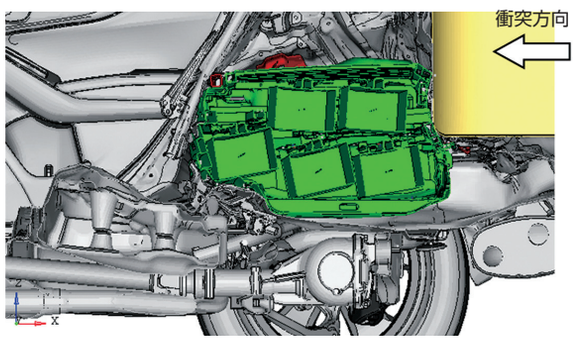


図 16　オーバーライド後突 CAE 解析

5.2　パワーコントロールユニット(PCU)の保護

5.2.1　側面衝突性能達成手段

パワーコントロールユニットはバッテリとモータ間で電気を変換して伝達させる高電圧部品であり、駆動用バッテリ同様に衝突時の電気安全性を考慮し開発を行う必要があると考えた。そこでSUBARUの水平対向エンジンを搭載した房内スペースに制約を与えず、衝突時の影響を受けにくい車体サイドフレーム内側にレイアウトした(図17)。

さらに、ポール側突時のような局所変形でもPCUが保護可能な対策の検討を実施した。PCUに車体からの変形入力荷重を入れないという目標に対して、車体やBRKTに加えてアンダープロテクタの車体締結を工夫することで、車体抗力を向上させた(図18)。

開発では、PCU周辺の部品単品での剛性強度を確認しフルスケールの衝突CAE解析を行った。車体の変形だけでなく、PCUと周辺部品との隙間も考慮して、高い安全性を確保した。

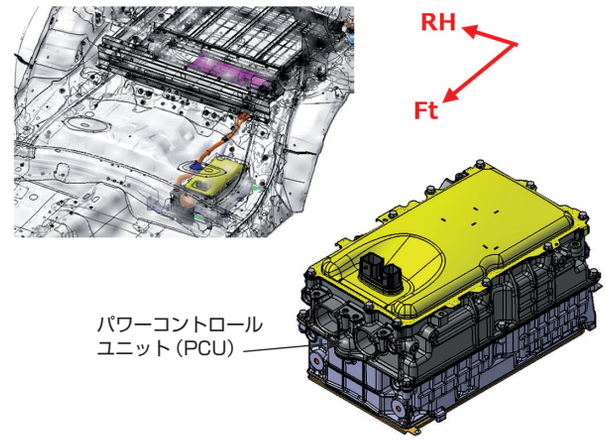


図 17　パワーコントロールユニット

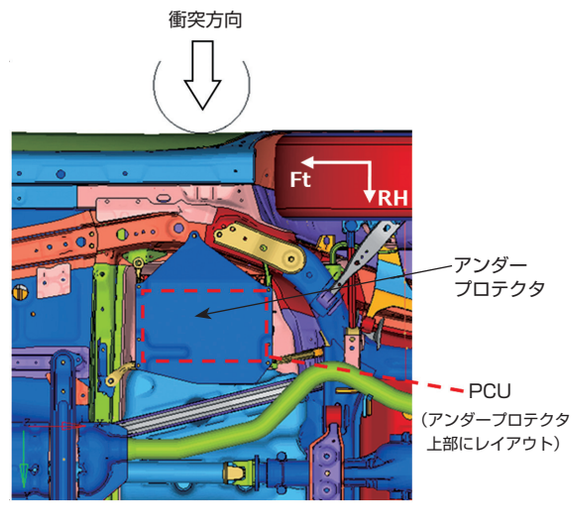


図 18　PCU、アンダープロテクタ

5.3　高電圧ケーブル保護

一般的に高電圧ケーブルに傷や断線等が生じた場合、感電の危険性がある。そこでPCU同様にサイドフレーム内側へレイアウトし、衝突時に車体で保護できる構造とした。さらにケーブル本体にもプロテクタを設定した。

5.4　高電圧部品の耐衝撃性能

高電圧部品については、単品での耐衝撃性能評価を実施した。実車衝突よりも厳しい加速度と印加時間を設定した台上衝撃評価において、機能損傷性評価を実施した(図19)。特にリチウムイオンモジュールについては、SOC(充電率)や温度条件・経年劣化等を考慮して評価した。

5.5　衝突時の高電圧遮断機構

より一層の安全性確保を目的として、衝突時に駆動用バッテリからの電力供給を遮断する機構(高電圧自動遮断装置)を採用した。センサーが衝突を検知する

と、コントロールユニットがバッテリの高電圧を遮断させる。これまで述べてきた物理的な保護に加え、制御面でも保護できるように取り組んだ(図20)。

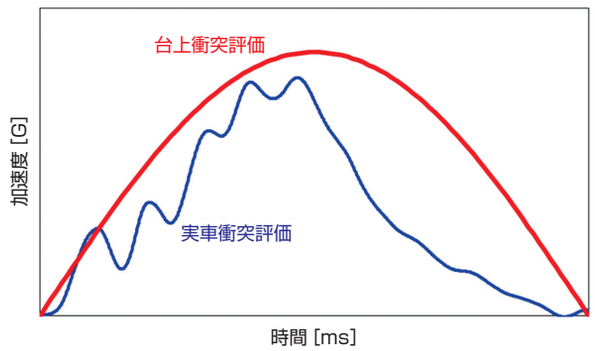


図 19　高電圧部品耐衝撃評価 G-T グラフ

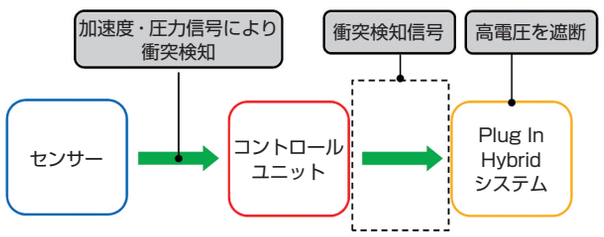


図 20　高電圧遮断機構

5.6　実車検証結果

実車衝突評価を実施した結果、高電圧部品の生存スペースが確保され、電気安全目標を達成した(図21、22、23、24)。

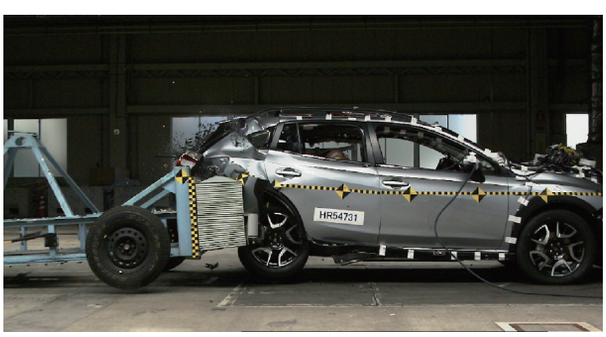


図 21　オフセット後突評価

図 22　オーバーライド後突評価

図 23　ポール後突評価

図 24　ポール側突評価

6.　CROSSTREK HYBRIDの乗員保護性能

SUBARU CROSSTREK HYBRIDは高電圧部品の保護だけではなく、乗員保護(傷害値評価)についてもガソリン車同等の高い安全性能を有している。

7.　まとめ

本稿ではSUBARU初となるPlug-In Hybrid車「CROSSTREK HYBRID」における衝突時の電気安全性能開発の取り組みとして、下記について紹介した。

・SUBARUの電気安全思想
　法規／情報公開／リアルワールドを含めた高電圧部品を保護する思想を構築した。
・高電圧部品保護の達成手段
　車体強化やレイアウト／構造などでの保護による達成手段を確立した。また、自動遮断機構の採用などによる制御面での保護手段を構築した。
・電気安全含めた開発プロセスの構築
　ガソリン車同様、PHEVの高電圧部品においても、要件提示から単品確認を経て実車検証に導くV字開発プロセスを構築した。
・乗員保護性能(傷害値評価)
　ガソリン車同様の安全目標を設定/開発し、高い衝突安全性能を有している。

今後本格化する電動車開発においても、お客様に安

心と愉しさを提供できるようSUBARUとして高い衝突安全性能の開発に邁進していく。

参考文献

(1) 保安基準17条別添111：2014, 電気自動車, 電気式ハイブリッド自動車及び燃料電池自動車の衝突後の高電圧からの乗車人員の保護に関する技術基準
(2) GB/T31498-2015：2015, The Safety Requirement of Electric Vehicle Post Crash
(3) ECE R100：2014, ELECTRIC POWER TRAIN
(4) ECE R94：2016, PROTECTION OF THE OCCUPANTS IN THE EVENT OF A FRONTAL COLLISION
(5) ECE R95：2016, PROTECTION OF THE OCCUPANTS IN THE EVENT OF A LATERAL COLLISION
(6) 49 CFR PART571 FMVSS No.305：2017, ELECTRIC-POWERED VEHICLES ELECTROLYTE SPILLAGE AND ELECTRICAL SHOCK PROTECTION

【著　者】

中瀬　哲也

松澤　公雄

杉田　能典

齋藤　　仁

小林　正明

真塩　泰徳

古川　啓太

SUBARU レヴォーグ特別仕様車「1.6GT EyeSight V-SPORT」を発表
～ 1.6GT EyeSightに上級仕様のアイテムを採用し、先進安全機能を標準装備～

2018年11月27日

レヴォーグ特別仕様車「1.6GT EyeSight V-SPORT」を発表。「1.6GT EyeSight」をベースに、スポーティな足回りと内外装で走りの愉しさを高めた、SUBARU60周年記念特別仕様車です。先進安全機能であるアイサイトセイフティプラスを標準装備しました。

SUBARU60 周年ロゴ

モデルベースによるドライバビリティと環境性能の調和開発

Harmonious Development of Drivability and Environmental Performance by Model Based Development

渡辺　健[*1] Takeshi WATANABE
内川浩一[*5] Koichi UCHIKAWA
瀧本英晴[*2] Hideharu TAKIMOTO
高畑夏紀[*3] Natsuki TAKAHATA
青木寛子[*4] Hiroko AOKI
村中英史[*5] Hidefumi MURANAKA
直井利之[*5] Toshiyuki NAOI
和氣嵩暁[*5] Takaaki WAKI

抄　録

エンジン燃焼変動や、エンジン補機の作動などによるトルク変化を起振力とし、駆動系ねじり振動が励起され、タイヤを介して車体が加振されることで車体前後振動、いわゆるユサユサ振動が発生する。CAEモデルで発生メカニズムを推定、車両全系の実験計画を立案し詳細試験で検証を行った。 その結果、モデルベースでの最適解析を可能とし、車両企画段階でユサユサ振動と環境性能の調和開発が可能となった。

本手法は新世代SUBARUの共通技術基盤として全車種へ適用され、走る愉しさと環境性能の調和に活用される。

Abstract

Torque variations caused by engine combustion fluctuations and the operation of engine accessories excite the driveline torsional vibration, which causes the vehicle longitudinal vibration through tires. It is called “Yusa-Yusa” vibration. The mechanisms were predicted, test procedures were designed and vibration behaviors were measured in detail on CAE models. As a result, harmonious development of drivability and environmental performance was approached by model-based optimization analysis. This method is applied to all SUBARU vehicles for Enjoyment and Peace of Mind.

1. まえがき

車両が走行中に車体前後に振動する現象を本報ではユサユサ振動と呼ぶ[(1)]。一定速もしくは緩加速時に発生する4～6 Hzの振動であり、ドライバの意図しない挙動であることからドライバビリティの課題となっていた。

そこでユサユサ振動解明にCAE技術を活用し、モデルベース[(2)]による現象の詳細予測と改善シナリオを構築、実験計画を立案し、実車検証と対策効果の確認を行った。

エンジンで発生するトルクはトルクコンバータを介しCVTトランスミッションに入力され、AWD機構で前後輪に伝達されて車両運動となる[(3)]。エンジントルクの変動および補機駆動トルク(エアコン・コンプレッサ、オルタネータなど)の変化が起振力になって駆動系ねじり振動を励起した場合、そのねじり振動はタイヤを介して車体前後振動として現れる。

2. 環境性能の向上

環境性能のうち、エンジンの熱効率向上には、高EGR化(Exhaust Gas Recirculation)が有効な手段の一つであるが、サイクル間燃焼変動および気筒間トルク差の増加を招き、トルク安定性(燃焼安定性：IMEP of COV)を維持しつつ高EGR化することは難しい。

そこで低出力域においては、吸気管に設けたバルブで流路を絞りガス流動を制御することで燃焼安定性を確保するTGV(Tumble Generator Valve)[(4)]を用いるが、走行時の要求出力の変化に応じた空気量確保のためTGV開閉切替が必要で、切替時の過渡トルク安定性が新たな課題となる。

このように、ドライバビリティと環境性能は背反と

＊1 CAE部
＊2 燃費開発部
＊3 エンジン性能開発部
＊4 トランスミッション性能開発部
＊5 車両研究実験第一部

なることが多く、その調和は極めて重要である。

3.　モデル構築

ユサユサ振動の発生メカニズムを推定するため、駆動系と車両全系のCAEモデルを作成し当該振動数の振動現象について事前検討を行った。車両諸元を表1に示す。

表１　車両諸元

Vehicle type	C segment SUV
Engine	2.0L-Na, H4, Gasoline
Transmission	CVT with Lock-up Torque Converter
Driveline	All wheel drive
Suspension	All wheel independent raised
Test weight	1770 kg（with 2 passengers）

3.1　駆動系モデル

駆動系はエンジン、トルクコンバータ、トランスミッション、ディファレンシャル、プロペラシャフト、ドライブシャフト、タイヤの動力伝達系を1Dねじりバネマスモデルとしてモデル化した。ユサユサ振動が発生するトルクコンバータロックアップ状態において主なマスは、エンジンおよびトルクコンバータのロックアップダンパ上流とロックアップダンパ下流、トランスミッションおよび車体であり、主なバネはトルクコンバータのロックアップダンパおよびドライブシャフトである。概要を図1に示す。

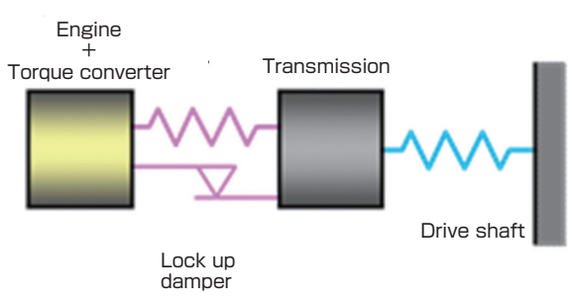


図１　駆動系ねじりモデル

3.2　車両全系モデル

乗り心地解析の車両全系機構解析モデルにパワーユニット、駆動系の詳細モデルを組み込み、車両全系の影響を検討した。図2に示す。

3.3　固有振動数解析

駆動系のねじり固有振動数は、CVTトランスミッションの変速によりバリエータ後流の等価イナーシャと等価ねじり剛性が変化するため、UD（アンダードライブ）からOD（オーバードライブ）で変化する。駆

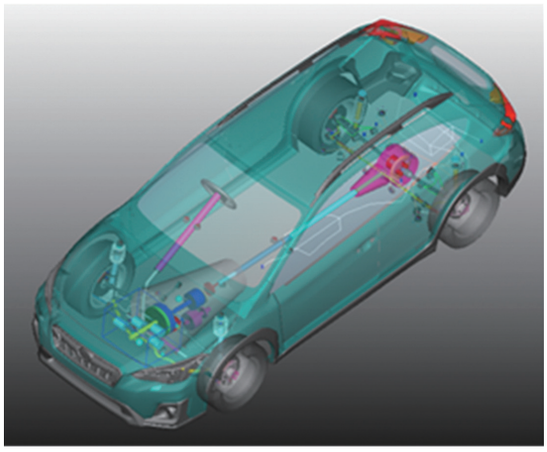


図２　車両機構解析モデル

動系ねじり固有振動数解析の結果、ねじり1次の固有振動数はユサユサ振動の振動数領域に存在する。パワーユニット、サスペンションバネ下、サスペンションバネ上、リヤディファレンシャルの剛体固有振動数はユサユサ振動が発生する周波数領域とは一致せず、離間がはかれていると予測される（図3）。

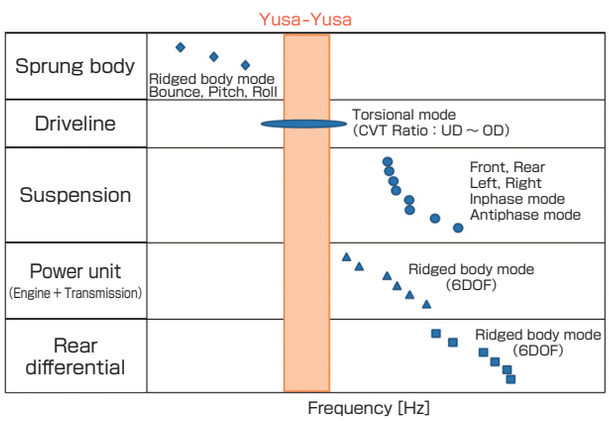


図３　固有振動数解析結果

4.　実車計測

実車走行中のユサユサ振動現象を把握するため、車両全系の詳細計測を行った。計測項目を表2に、計測点を図4に示す。

4.1　エンジン計測

エンジンから発生するトルクとトルク変動挙動を把握するため、全気筒に筒内圧センサを設置し時々刻々の燃焼状態と図示トルクを計測した。ECU（Engine Control Unit）情報も同時記録し、実車走行中のTGVなど各種デバイス作動の時刻歴変化と車体前後振動の関連を調べている。

4.2　駆動系計測

駆動系はエンジンの出力した回転とトルクを変速機

表２　実車試験計測項目

Measurment type	Measurment item		Number of measurment
Torque	Engine indicated torque (4 cylinder pressure)		1
	Torque converter input (Drive plate)		1
	Wheel torque		4
Rotational speed	Engine	Crank shaft out	1
	Driveline	Torque converter out	1
		CVT variator secondary out	1
		Front and rear differential out	4
		Wheel	4
Acceleration (3－Axial)	Power unit	Engine mount (L/R)	2
		Transmission mount	1
	Driveline	Propeller shaft center mount	1
		Rear differential	3
	Suspension	Wheel hub (Upper/lower)	8
		Suspension upper	4
		Sub frame	4
	Sprung body	Suspension upper mount	4
		B pillar lower	2
		Cabin floor (passenger seat side)	1

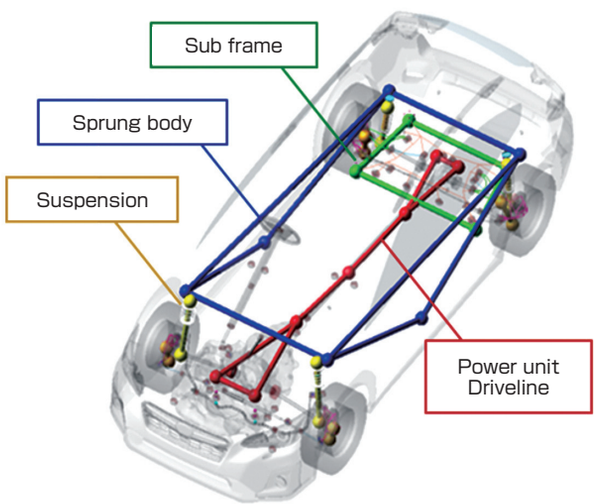


図４　振動計測点

構で最適化し、タイヤまで伝達する役割を担う。駆動系の挙動を把握するために、各軸の回転変動およびトルク・振動・制御情報を取得した。トルク計測のため、入力点であるトルクコンバータのドライブプレートに非接触トルク計を設置、出力点である前後輪ホイールにスリップリング式のトルク計を設置した。回転数と回転変動はCVT制御用センサやトルクメータからの回転パルス出力を高速FV変換して計測、各部振動はピエゾ式の加速度センサを用いて計測した。TCU (Transmission Control Unit) 情報も同時記録し、駆動系の挙動把握に用いている。

4.3　車体計測

パワーユニットおよび路面からの入力に対する振動応答を把握するために、車体、サスペンションバネ下、パワーユニット、リヤディファレンシャルの振動挙動を実測した。ユサユサ振動の車体評価位置はドライバの体感と一致する車体フロア前後振動で代表している。

5.　メカニズム分析とモデル同定

実車走行中のユサユサ振動現象のメカニズムを分析し、モデル同定を行った。

5.1　駆動系分析

車体前後振動が発生した緩加速走行時の事例を図5に示す。運転条件は、直線路にて車速 20 km/h 定常走行からアクセル踏込速度 1.25%/sec で加速したもので、時間軸は加速開始時を0 secとした。エンジンの平均回転数はほぼ一定のまま車速が上昇しており、CVTがOD側に変速している。11.5 ～ 14.5 sec の区間 a) と、19.5 ～ 22.0 secの区間 b) で、乗員が不快に感ずる 4 ～ 6 Hz程度の車体前後振動が発生している。この2つは発生メカニズムが異なり、a) を減衰型ユサユサ振動、b) を増幅型ユサユサ振動と分類した。

a) 減衰形ユサユサ振動

エンジンクランクシャフト軸上のトルク変動がインパルス入力もしくはステップ入力などとなってユサユサ振動を励起する。これは発電に起因するオルタネータトルクの変化、エアコンのON/OFF作動に起因するコンプレッサトルクの変化、エンジンのTGVなど燃費向上デバイス切替に起因するトルク変化や、それらが複合して発生する現象である。加速開始から11.5 secでTGV開度の変化により図示トルクが約1 Hzで変動しており、ドライブプレートのトルク計で観測される駆動系への入力トルク変動となっている。このトルクの変動を起点とし駆動系ねじり振動を励振、駆動系終端であるタイヤのトルク変動が車体を前後加振しユサユサ振動となる。振動波形は時間経過とともに減衰している。前述のように燃焼安定性、過渡トルク安定性と環境性能向上はしばしば背反となるため、ユサユサ振動低減にはトルク変化の低減とトルク変化に対する車両のユサユサ振動感度低減による性能の調和が重要となる。

b) 増幅形ユサユサ振動

車速の上昇に伴いタイヤ回転1次の周波数が上昇、また、CVTがOD側に変速することで駆動系ねじり固有振動数が高周波側に遷移する。加速度の振動レベルコンター図の19.5 secに見られるように、増幅型ユサユサ振動はこのタイヤ回転1次と駆動系ねじり振動が近接するに従い成長する現象である。一般的な多段変速機に対し、CVTは変速比が連続的に変化し、こ

れに伴い駆動系ねじり固有振動数も連続的に変化するため、タイヤ回転1次との近接領域が発生、継続しやすい。このときのエンジン図示トルク変動の基本振動数は 燃焼に起因する9 Hz（1080 rpmエンジン回転0.5次）であり、ユサユサ振動の振動数4 ～ 6 Hzとは一致せず、ドライブプレートトルクにも大きな変動は見られない。タイヤ回転に起因する起振力のうち、RFV（Radial Force Variation）が主要因であり、RFVが大きいと振動レベルは増加、RFVの位相が左右輪で同相となるとき振動レベルが大きくなる現象を把握した。いずれの起振力も小さいが、わずかな変化でもこれを外乱として車体前後振動は励起、成長し増幅型ユサユサ振動となる。起振力のうち、タイヤRFVの低減は、スタッドレスタイヤの装着、リプレイスなどお客様のご使用環境を考えると本質的ではない。また、CVTはエンジンの燃費最良運転点を活用できる一方で、駆動系ねじり固有振動数とタイヤ回転1次の近接によるユサユサ振動感度の上昇で、燃焼安定性、過渡トルク安定性の面から運転点の制約が生じる場合があり、車両企画段階における調和開発が重要である。

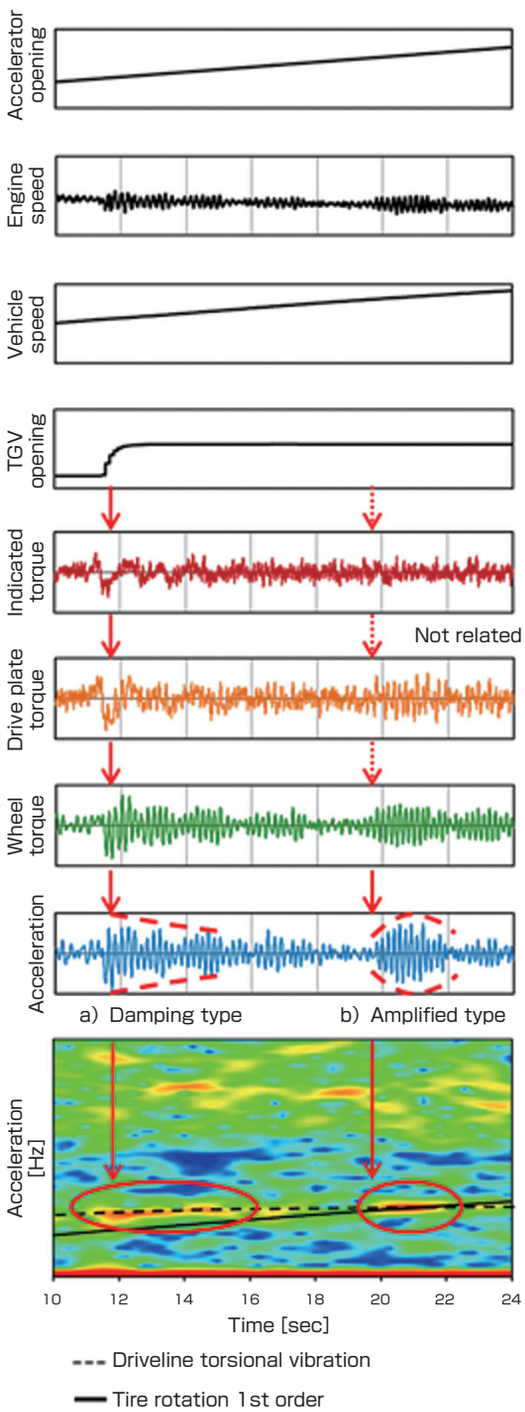


図５　実車ユサユサ振動計測結果

5.2　車体分析

リヤサスペンション機構の特性から、上下ストロークにより車体前後力が発生する。この影響を調べるため、車両全系の機構解析モデルに実車走行で想定されるストローク量を入力し、4輪加振解析を実施した。その結果、実車で発生する車体前後加速度に対するサスペンション機構の寄与は小さく、主要因とはならないと判断した（図6、7）。

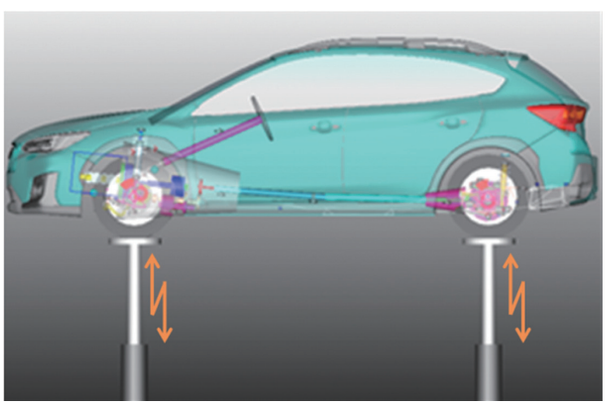


図６　４輪加振解析モデル

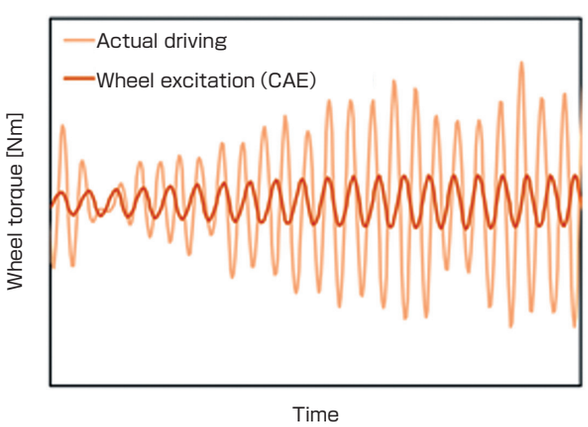


図７　４輪加振解析結果

ユサユサ振動が発生する状況下では、ユサユサ振動による駆動系からのトルク変動の反力を受け、パワー

ユニットおよびリヤディファレンシャルが強制加振され、ピッチング振動を励起する。実車試験の結果、各要素の固有振動数はCAE予測（図3）と一致、ユサユサ振動周波数と離間されており、ユサユサ振動を増幅させるような挙動は見られないことが確認できた。

5.3　モデル同定

以上の考察の結果、ユサユサ振動は、車体影響は十分小さく、駆動系ねじり振動モデルで表現できると考え検証を行った。a）減衰型ユサユサ振動を模擬するため、エンジン1気筒失火によるトルク変動を与え、実車とCAE解析の結果を比較した結果を図8に示す。トルクコンバータを変更した駆動系諸元の場合、振動レベルは両者とも低減し、その変化をよく捉えている。また、b）増幅型ユサユサ振動について、実車実走行時の実測のエンジントルク変動を入力とし、実車とCAE解析を比較した結果を図9に示す。ユサユサ振動の持続、成長がよく捉えられている。これらよりユサユサ振動モデルは図1の駆動系ねじりモデルに集約される。

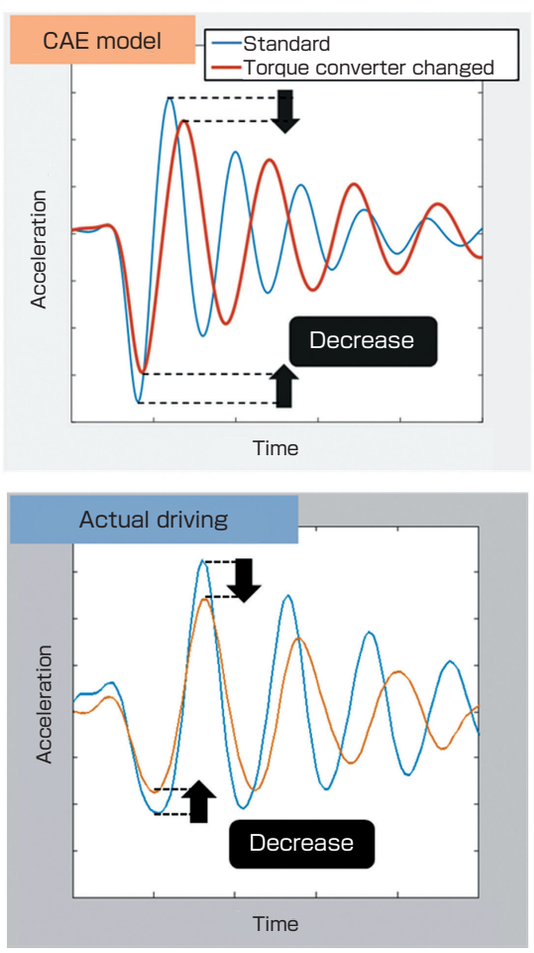


図８　CAE モデル検証（減衰型ユサユサ）

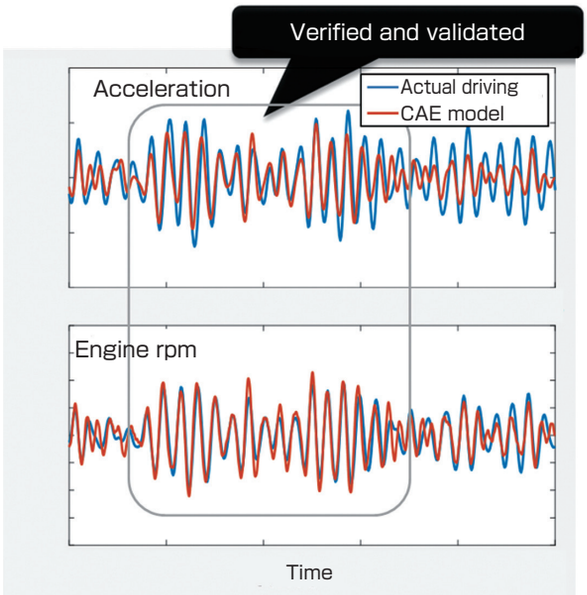


図９　CAE モデル検証（増幅型ユサユサ）

6.　モデルベースによる最適解の探索

本モデルを用いたパラメータスタディにより、諸性能とユサユサ振動の両立解を探索した。一例としてユサユサ振動とこもり音の両立解析結果を図10に示す。こもり音は4気筒エンジンの燃焼によるエンジン回転2次のトルク変動を起振力として駆動系ねじり振動が励起され車体へ伝達することで車内こもり音となる現象である。エンジントルク、回転数など運転点の設定と密接な関係があり環境性能向上に重要な要素のひとつである。また、起振、振動系がユサユサ振動と同じため、設計性能において相反が発生する。そこでトルクコンバータのイナーシャ、ロックアップダンパねじり剛性、ロックアップダンパのヒステリシス、フロントおよびリヤドライブシャフトのねじり剛性をパラメータとしCAE解析を実行した。

ユサユサ振動の大きさとしてインパルス加振入力による加速度P－P値、ユサユサ振動の収まりやすさの指標として加速度の減衰比、こもり音としてエンジン回転2次のトルク変動入力によるプロペラシャフト回転変動を評価指標とする多目的最適解を求めた結果、図11に示すパレート解がえられた。解Aではトルクコンバータイナーシャ UP、ダンパねじり剛性低減、ヒステリシスUPによるダンパ減衰の積極活用が提示されており、解Cでは、駆動系全系のねじり剛性UPによる固有振動数UP、イナーシャ効果の積極活用が提示されている。

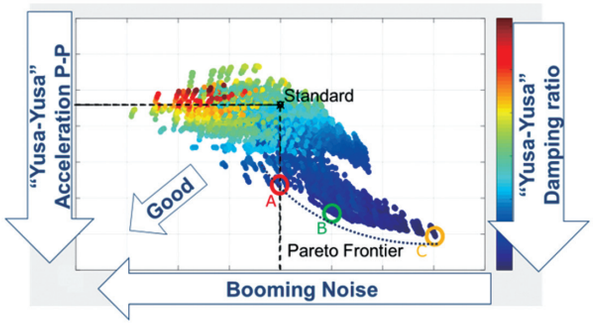


図 10　ユサユサ振動とこもり音の両立解析

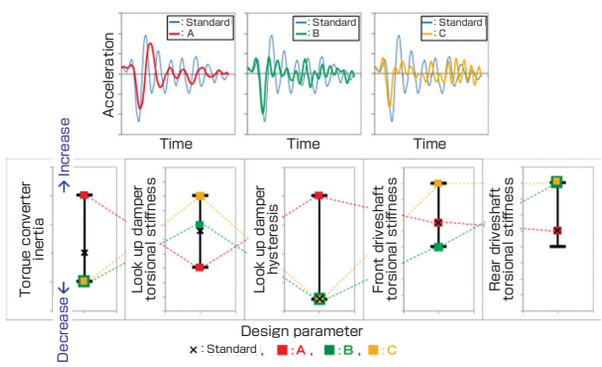


図 11　パレート解分析

7.　おわりに

ユサユサ振動発生のメカニズムをCAEモデルで推定､詳細な実車計測で検証し開発への適用可能とした。モデルベース開発により車両企画段階でドライバビリティと環境性能の調和開発に取り組んでいる。得られた成果は以下である。

(1) 駆動系と車体の振動を詳細分析し、ユサユサ振動にモデルベース開発を適用できた。
(2) 実車筒内圧をCAEモデルに直接入力することで、時々 刻々変化する燃焼状態とユサユサ振動の挙動を把握、分析することができた。
(3) ユサユサ振動の評価指標を決定し、多目的最適化により駆動系振動感度低減と環境性能との調和指針を提示した。

本取り組みをSUBARUの安心と愉しさの実現に活かし、お客様に高品質の車をお届けしてゆく。

8.　謝辞

本取り組みに際し、河辺啓行氏(車両研究実験第一部、現パーカー工業株式会社)、高橋哲郎氏(車両研究実験第一部、現Subaru Research & Development, Inc.)には多大なご協力を頂きました。感謝申し上げます。

参考文献

(1) 河辺、他：加減速時の車両前後振動の低減,「スバル技報」, No.30（2003）, p.89
(2) 湯村, 他：自動車用パワーユニット開発におけるMBD適用事例,「自動車技術会春季大会学術講演会講演予稿集」,（2017）, p.635
(3) SUBARU IMPREZA開発プロジェクトチーム：新型インプレッサ／XVの紹介,「スバル技報」, No.44（2017）, p.1
(4) 石田、他：新型水平対向2.0L直噴NAエンジンにおける燃焼設計,「自動車技術会春季大会学術講演会講演予稿集」,（2017）, p.1881
(5) 川越、他：1D（CAE）モデルによるNVH性能と関連他性能での統合解析,「自動車技術会春季大会学術講演会講演予稿集」,（2018）, p.1

【著　者】

渡辺　　健

内川　浩一

瀧本　英晴

高畑　夏紀

青木　寛子

村中　英史

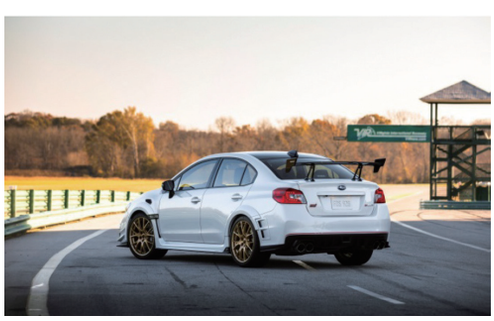
直井　利之

和氣　嵩暁

スバルテクニカインターナショナル(STI)
Sシリーズ初の米国市場向けモデル「S209」を発表

2019年1月15日

SUBARUのモータースポーツ統括会社であるスバルテクニカインターナショナル株式会社(STI)は、米国デトロイトで開催中の2019年北米国際自動車ショーにて、「Sシリーズ」初となる米国市場向けモデル「S209」を発表しました。



新型ハイブリッド用水平対向エンジンの開発

Development of Boxer Engine for New Hybrid System

木 村 翔 平[*1] Shohei KIMURA
浜 崎 敬 介[*2] Keisuke HAMAZAKI
加 藤 真 亮[*1] Masaaki KATO
中 山 智 裕[*1] Tomohiro NAKAYAMA

抄 録

近年の法規対応および社会貢献としてさらなる高効率エンジンの開発が求められている。そこで、(1)単気筒にて各要素開発および検証試験(2)単気筒によって得られた知見を4気筒に投入し検証試験とパートを分けて開発を実施した。単気筒による検証試験にて圧縮比等の各要素の最適化を行い、目標を達成できる仕様を導き出した。さらに検討された仕様を4気筒に投入し、単気筒同等の性能を確保し熱効率向上を実現した。

Abstract

In recent years, from legal requirements or social demands, more efficient engine systems are requested. In this study, each factor to achieve higher thermal efficiency was addressed to optimize the compression ratio and TGV (Tumble Generation Valve) by using single cylinder engines as a first step. Then, obtained knowledge was applied to four-cylinder engines. As a result, the four-cylinder engines achieved the same combustion performance as that of single-cylinder engines.

1. まえがき

パリ協定における我が国の国際約束目標に対し、自動車企業には各国法規の順守に加え、社会的貢献として“well below 2 ℃”の実現へ対応する技術開発が求められている。これらの社会環境の要望に加え魅力ある商品を市場に提供するべく、これまで水平対向エンジンを市場に送り出し熱効率の改善に取り組んでいる[(1)]。また水平対向エンジンはストロークボア比や、排気レイアウトなどの観点で燃費・排ガス性能の向上に対し、独自の技術アプローチが必要になる場合がある。そこで、ガス流動改善を起点とした希釈燃焼限界向上による熱効率最大化に取り組んだ。その中で、必要となる周辺要素技術についての要求性能を明確化すると共に、各種物理現象の設計要件を導き出し、それらの指標について標準化を実施した[(2)]。また近年ではガソリンエンジンにおいても高圧縮比化が進んでおり、燃焼状態をより詳細に掴む必要がある[(3)(4)]。しかしながら現在のエンジンは複雑な制御や機構が投入され、燃焼を取り出すことは容易ではない。そこで、4気筒の燃焼状態を模擬できる単気筒および可視化エンジンを用いることで細かい要素開発を行うことができると考える。

本報では、各種要素に対して、
(1) 単気筒エンジンによる事前検討・検証試験
(2) 4気筒エンジンにおける効果検証
を行い、熱効率向上に向けた開発を実施した。単気筒にて理論熱効率を向上させるための最適圧縮比の検討やEGR流量増加に向けた燃焼耐力の強化開発を行った。さらに4気筒にて発生した課題について再度単気筒にフィードバックし、原因究明および解決方法提案を行った。

2. 開発のねらい

本開発は量産FB20エンジンをベースとしたハイブリッド車向け高熱効率エンジンとして以下を目標として開発を行った。
(1) 高圧縮比化による理論熱効率の向上
(2) 大流量EGRシステムを用いることによる等容度向上および冷却損失の低減

＊1 エンジン性能開発部
＊2 電動ユニット研究実験部

上記に対して各要素を単気筒エンジンによる事前検討および検証試験を行い、得られた知見およびノウハウを4気筒エンジンに投入し、効果検証・性能調査を行った。また4気筒エンジンにて発生した課題に対しても単気筒エンジンへフィードバックし、原因究明等の不具合対応も行った。

3. 供試機関

表1には供試した単気筒エンジンの諸元を示し、表2に単気筒による要素開発結果を投入した4気筒エンジンの諸元を示す。両機ともにFB20をベースとして作成されており、水平対向4バルブ直噴エンジンとなっている。単気筒では高圧縮比化検討のため圧縮比を選択できるようにした。

表1　供試機関諸元（単気筒）

Bore × Stroke [mm]	φ 84 × 90
Compression ratio ε [−]	12, 13, 13.5, 14.6, 16
Valve layout	DOHC 4 Valve
Piston	Wall + Air guide concept
Intake system	Mass production port + TGV
Fuel injection	DI

表2　供試機関諸元（4気筒）

Bore × Stroke [mm]	φ 84 × 90
Compression ratio ε [−]	13.5
Valve layout	DOHC 4 Valve
Piston	Wall + Air guide concept
Intake system	Mass production port + TGV
Fuel injection	DI

4. 単気筒エンジンでの検証結果

4.1 圧縮比と燃費感度

図1に単気筒における圧縮比と図示熱効率の関係を、図2に圧縮比が理論熱効率および等容度に及ぼす影響を示した。図示熱効率は ε =13.5にて最大となっていることがわかる。これは図2に示すように圧縮比上昇による理論熱効率向上と等容度低下による時間損失の増加がトレードオフの関係にあるためと考えられる。等容度低下は圧縮比上昇によってノック限界が低下したことによる点火時期遅角と、燃焼安定性が低下したことによる、EGR率の低下が発生したためと考えられる。上記結果より ε =13.5が燃費の最適値と判断し4気筒での検証は本圧縮比にて行うこととした。

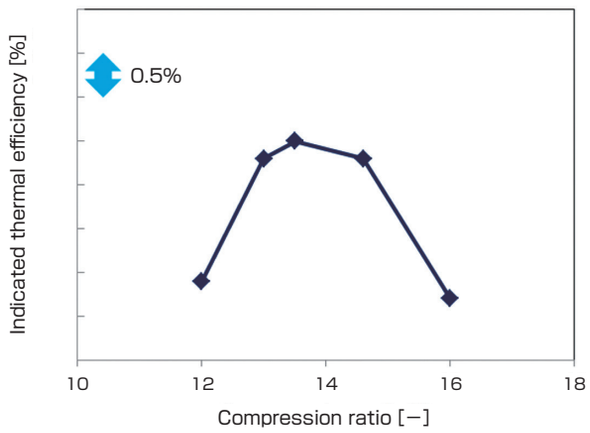


図1　圧縮比と図示熱効率の関係

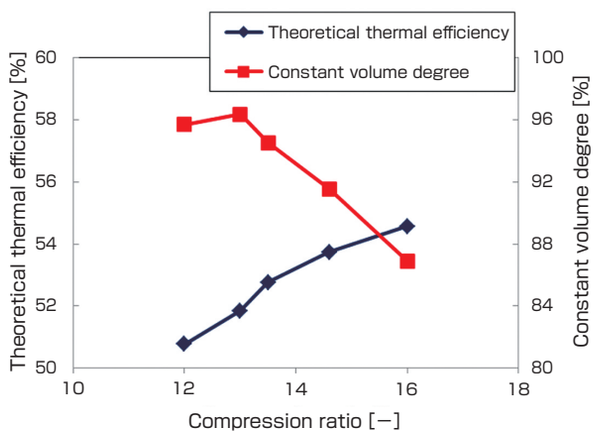


図2　圧縮比が理論熱効率と等容度に及ぼす影響

4.2 大流量EGRシステムによる効果

4.2.1 筒内流動計測による燃焼耐力向上の検討

内燃機関の熱効率向上に対しては、大量EGR燃焼コンセプトを適用しTumble Generation Valve：TGVによるタンブル流強化を用いてエンジン性能の改善を行っている[(2)]。タンブル流による熱効率改善に関する研究は数多く報告されており、近年ではそのフローパターンが希薄・希釈燃焼に与える影響が調査・報告されている。今回は、Laser Doppler Velocimetry：LDVの多点計測により燃焼室を通過するタンブル流の流速分布を計測し、そこからタンブル流の質を評価・改善する手法を開発した。以下に詳細を示す。

今回、可視化エンジンを用いて非定常流場におけるタンブル比と乱れ強さを実測した。それぞれPIV（Particle Image Velocimetry）とLDVを用いた。タンブル比・乱れ強さの向上の手段として、TGVやポート内隔壁の形状変更を検討した。改善前後のPIV・LDV結果をそれぞれ図3・図4に示す。タンブル比および乱れ強さ共に、改善前後で向上が確認できた。

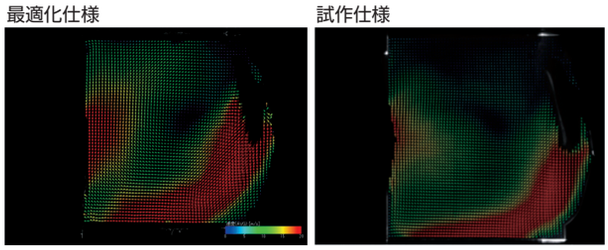


図３　PIV 計測結果

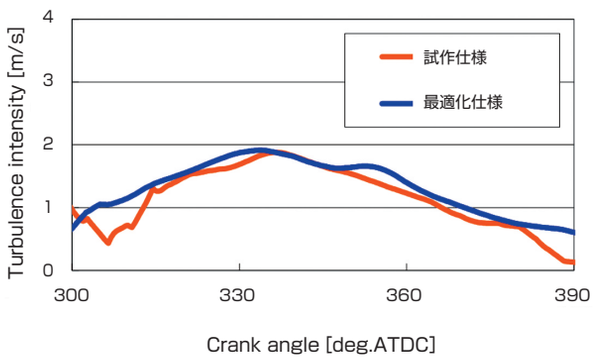


図４　LDV 計測結果

図５に示すように可視化エンジンの燃焼室側方にLDV プローブを設置し、点火プラグギャップ位置に加えフロント、リヤで流速の計測を行う。タンブル流の形成には吸気バルブ閉じ時期、燃焼室形状の影響があるため、それらの影響が十分小さくタンブル流が崩壊する直前の310 deg.ATDC の流速分布を用いて評価を行った。これをLDV 多点計測によるタンブル流の質評価方法とした。複数ケースの試験結果より、燃焼耐力に対し良い特性を示す流速範囲として、筒内の平均流速が3点評価のうち、中心と比較して両サイドの流速が共に10 %以内の範囲に入るものが良いと判断した。図６に示すのは、改良前の初期仕様と現行仕様の中心・両サイドの位置での平均流速の結果である。現行仕様ではガス流速がフロント方向からリヤ方向にかけてそろっているのがわかる。

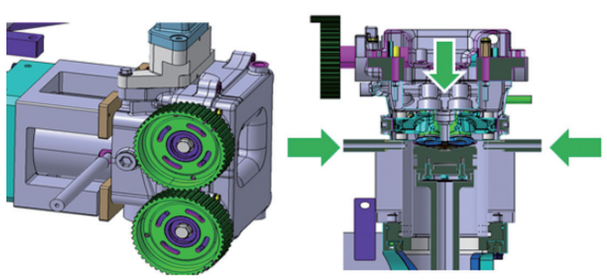


図５　LDV 多点計測装置概略

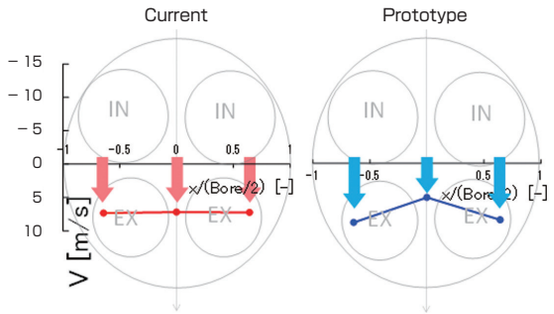


図６　筒内流速分布（LDV 多点計測結果）

4.2.2　高EGR率化による燃費検証

上記にて検証した各種要素（圧縮比、TGV）を用いて、さらなる高効率を目指し、外部EGR 流量の増加（高EGR率化）を行った結果を示す。図７にEGR率とISFC の関係を、図８にEGR率と燃焼安定性の関係をそれぞれ示す。試作仕様を用いた場合に比べて、最適化仕様を用いることによって、同等のEGR率にも関わらずISFC の良化および燃焼安定性の向上がわかる。これは点火時期進角と主燃焼時間短縮による時間損失低減によるものと推測される。またガス流動の強化によって燃焼安定性が向上し、高EGR率（25 %以上）を実現することができた。

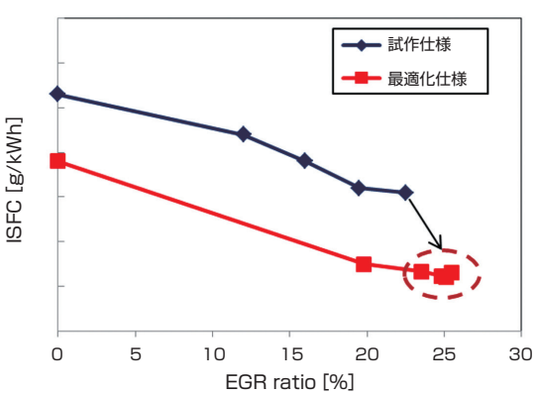


図７　ISFC と EGR 率の関係タ

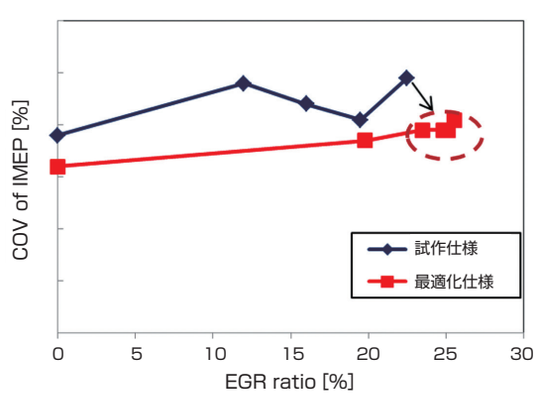


図８　図示平均有効圧変動率と EGR 率の関係

5. 4気筒での検証結果

前章までに述べてきた単気筒での検証結果を用いて4気筒での検証を行った。

図9に4気筒にて検証を行った結果(燃費代表点：Engine speed：2000 rpm、IMEP：800 kPa)を示す。単気筒検証時と同様の制御値においても4 g/kWh程度の差が生じた。

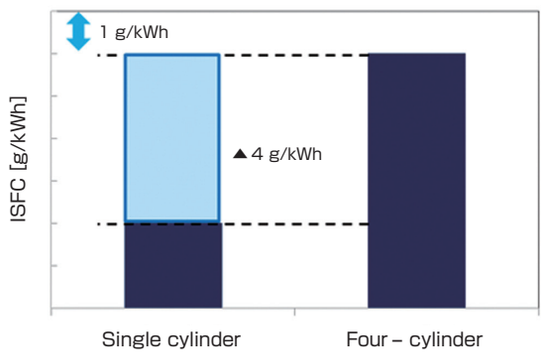


図9　単気筒と4気筒のISFC比較

4気筒にて単気筒のISFCが再現できていない理由として

①EGR率の低下

②EGR気筒分配(気筒間EGR率バラつき)

が挙げられる。しかしながら4気筒でのEGR率計測はガスの導入方法によるミキシングの関係で正確に計測することができない。そこでまず単気筒にて外部EGR率と筒内のCO_2濃度の関係を計測し、4気筒での筒内CO_2濃度を計測することでEGR率を推察することにした。**図10**に単気筒および4気筒における筒内CO_2濃度比較を示す。筒内CO_2濃度は赤外吸収法を利用した点火プラグ一体型ガス濃度センサを用いた。4気筒での点火時期における筒内CO_2濃度は、単気筒のEGR率23 %のときの筒内CO_2濃度と同等であることがわかり、4気筒では単気筒ほどのEGR率(25 %超)が達成できていないと推測された。

さらに**図11**にCAEで解析した燃費代表点における気筒別EGR率ばらつきを示す。試作仕様のインマニおよびEGRレイアウトでは気筒別の分配ばらつきが大きいことがわかる。つまりEGRの高流量化が達成できていない理由は、特定気筒のノック限界および燃焼安定性の低下により全気筒の平均EGR率が低下したためと考えられる。それに加えてノック限界が低下したことにより、等容度が低下、ポンプ損失が増大したと考えられる。

図12に示すような、EGR分配を改良したインマニおよびEGR流路レイアウトを示す。EGRはインマニ内集合部への導入から、各気筒ブランチ部に導入する手法に変更した。さらに流路は圧損を気筒毎に揃えるようレイアウトを見直した。再度のCAE解析により、気筒別のEGR率のばらつきは最大でも5 %程度と試作仕様と比べ大きく改善されたことがわかる。

図13にEGR流量および分配性を改善した燃費代表点での図示燃料消費率を示す。これにより4気筒にて単気筒同等のISFCを達成させることができ、EGR率も25 %超を達成できた。

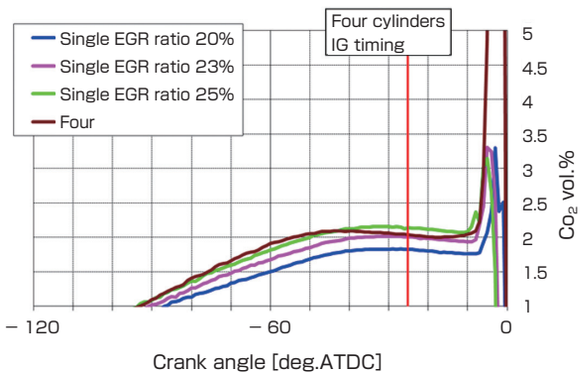


図10　単気筒および4気筒での筒内CO2濃度比較

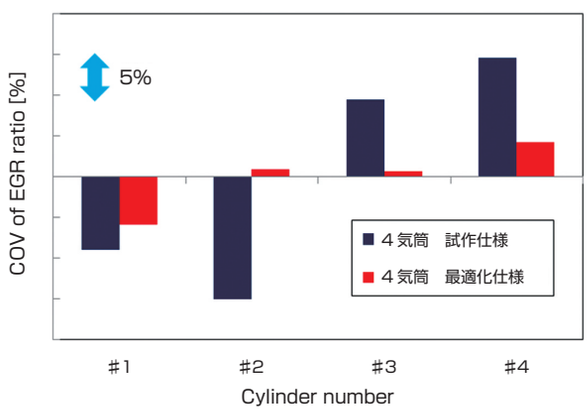


図11　気筒別EGR率ばらつき(CAE解析)

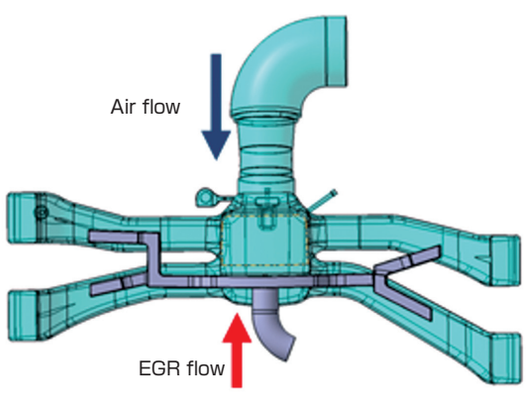


図12　EGR流路レイアウト

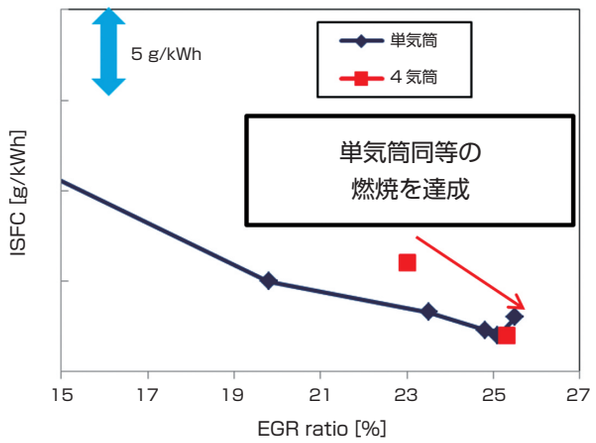


図 13　単気筒と 4 気筒の ISFC 比較

6.　まとめ

本開発を通して以下の知見を得た。

(1) 単気筒エンジンを用いて圧縮比およびTGVやポート内隔壁の要素検証を行い、4気筒エンジンにて最適となりうる仕様を確立することができた。

(2) 4気筒エンジンと単気筒エンジンを使い分けることで、課題の原因究明や解決方法の提案を容易に行うことができ、今後の開発の中でも有用な手法であると考えられる。

(3) 単気筒エンジンにて得られた知見を4気筒エンジンに投入することで単気筒エンジンと同等の燃費性能を実現することができた。

参考文献

(1) 石田礼ほか：新型水平対向2.0L直噴NAエンジンにおける燃焼設計，自動車技術会2017年春季大会 学術講演会 講演予稿集，No.70-17，p.1881-1886（2017）

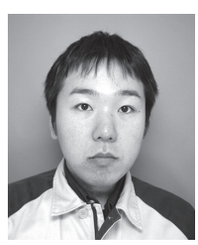
(2) 中山智裕ほか：ガス流動制御を用いたガソリンエンジンの熱効率向上，自動車技術会2018年春季大会　学術講演会　講演予稿集，20185295（2018）

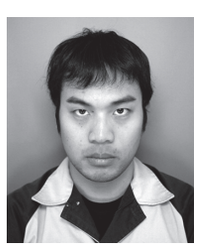
(3) 山川正尚ほか：高圧縮比ガソリンエンジンの燃焼技術の開発，自動車技術会論文集，Vol.43，No.1，p.81-87（2012）

(4) 冨澤和廣ほか：内燃機関の効率追及によりハイブリッド車並みの低燃費を実現した新型ガソリンエンジン，自動車技術，Vol.66（7），p.6-7，（2012）

【著　者】

木村　翔平


浜崎　敬介


加藤　真亮

中山　智裕

歩行者保護エアバッグシステムが第68回自動車技術会賞「技術開発賞」を受賞

2018年5月30日

自動車工学および自動車技術の向上発展を奨励することを目的として、公益社団法人自動車技術会から授与される「自動車技術会賞」の第68回受賞者が5月24日に発表され、SUBARUの技術者5名が、歩行者保護エアバッグシステムの開発に関して「技術開発賞」を受賞しました。

XV－PHEV バッテリー搬送品質保証技術の開発

Development of Battery Transport Quality Assurance Technology

趙　　鵬[*1]　Peng ZHAO
山　本　拓　哉[*2]　Takuya YAMAMOTO
沖　野　振一郎[*1]　Shinichirou OKINO

抄　録

自動車の製造には、人が直接作業を行う工程が数多く存在し、品質保証も人に依存する部分がまだ多い。

当社の最優先課題である品質改革のためには、人の作業をより確実に保証出来るような技術が必要である。そこで、深層学習技術を用いて、作業動画から禁止作業を判定させるポカヨケ装置の開発を行った。

本論文では、今回の取り組みで得られた、実装上でのAI判定精度向上に関する知見と、課題とその対策、今後の展望について報告する。

Abstract

There are many processes requiring people to work directly in manufacturing of automobiles. And, quality assurance also largely depends on persons.

For quality reform, which is our top priority, we need a solution that can guarantee person's work more surely. So, we developed a POKAYOKE method which makes judgment of prohibited actions from operation videos by the deep learning technology.

In this paper, we report on our knowledge about AI judgment accuracy improvement, issues and countermeasures, and future views on this activity.

1.　まえがき

自動車製造の組立工程では、作業者による直接作業を中心に行っており、そこでは作業者の不注意やノウハウ不足等により、不具合に繋がる作業ミスが発生する恐れがある。そこで、当社では自工程保証の思想を基に、作業の標準化、ポカヨケシステムの導入等様々な施策を行っているが、ミスを完全に防止する事は難しく、自工程保証上の課題となっていた。

特に、標準作業を守っているか否かを保証することは難しく、これまでも人の関節座標の動き（第一報）[(1)]、標準作業の順序（第二報）[(2)]の判定に取り組んできた。

今回、製品の状態を常時観察し、製品に関わる異常作業や製品へのダメージを判定する技術について、生産技術管理部と第2生産技術部で検討を行った。

本論文では、独自のAI異常判定アルゴリズムの開発、実装した自社製AIソフトの量産ライン導入について報告する。

＊1 生産技術管理部
＊2 第二生産技術部

2.　技術開発の狙い

2.1　モデル工程の概要

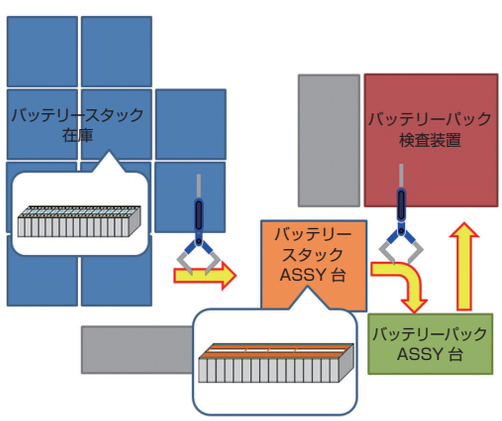


図１　PHEV バッテリーサブアッシー工程

重要度が増す電動化技術に対する品質保証を考える上で、XV－PHEVの製造工程に新設された、図１のバッテリーサブアッシー工程をモデル工程とした。そ

の中のバッテリースタックの取出し搬送作業が本技術開発の対象である。

バッテリースタックとは、リチウムイオン電池の最小単位であるセルを複数枚直列に結合した構造体で、以下バッテリーとする。

2.2　モデル工程の課題と開発の狙い

モデル工程では、バッテリーの取出し搬送を行うがバッテリーは衝撃等により内部損傷すると、発火・爆発を起こす恐れがある。市場でも車載用やスマートフォン用のリチウムイオン電池の爆発事故が報告されている。

そこで、本工程ではバッテリーが損傷する様な或る閾値以上の衝撃（以下過衝撃）を与えない仕組みと、過衝撃を受けたバッテリーを使用しない仕組みが必要となる。

過衝撃を与えない仕組みは、作業訓練や搬送治具のロック機構による落下防止、接触が想定される場所の緩衝材設置といった対策となるが、運搬作業を人が行う以上、発生をゼロにすることはできない。

よって過衝撃を受けた異常のあるバッテリーを使用しない仕組みが重要となる。しかし、こちらも現状は作業者の自己申告に頼っており、気付かなければ申告漏れとなるリスクがある。

そこで、上記の課題を解決するため、下記3点を狙いとして技術開発を行った。

(1) バッテリーに対する過衝撃（異常）をリアルタイムで検知できること
(2) 異常検知時は作業監督者に知らせること
(3) 異常検知前後の状況を記録＆分析できること

3.　既存技術の問題と改善方法

3.1　既存技術の問題

（ｉ）自動搬送（バッテリーサプライヤーで採用）
⇒コスト高（生産台数に対して投資大）
専有面積大
（ii）Gセンサーによる衝撃検知
⇒衝撃入力の結果しか分からない
発生原因との関係を証明できない
（iii）ビデオ録画＆人による確認
⇒リアルタイム確認不可
監督者の確認工数大

3.2　改善方法

人間は「バッテリーを認識」した上で、「そのバッテリーに関する一連の動作で異常なし」を確認し、OK/NGを判定している。その人による判定をAIに置換することで、3.1（iii）の課題となっていたリアルタイム性と確認工数を解決する。具体的には、バッテリー認識AIで「バッテリーを認識」し動線を作成する。そして、動線判定AIで「そのバッテリーに関する一連の動作で異常なし」を確認する。

AIモデルについては、近年数多くの企業や研究機関が判定精度の高い深層学習技術を開発し、オープンソースとして公開している。そこで、計算速度と判定精度のバランスを考慮しながら、物体検出モデルからバッテリー認識AI[3]を（図2）、カテゴリ識別モデルから動線判定AI[4]（図3）を選定した。

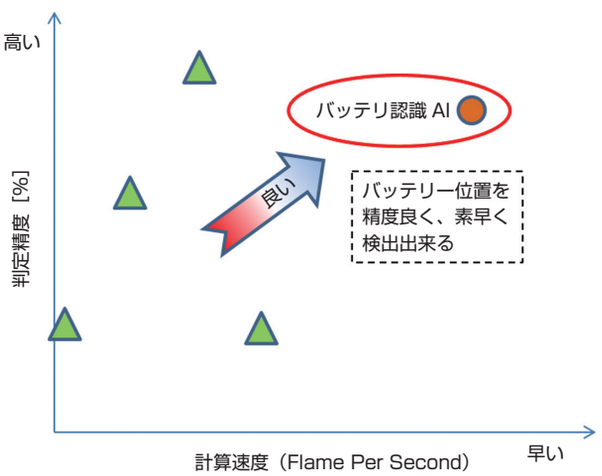


図２　バッテリー認識 AI の性能比較 [4]

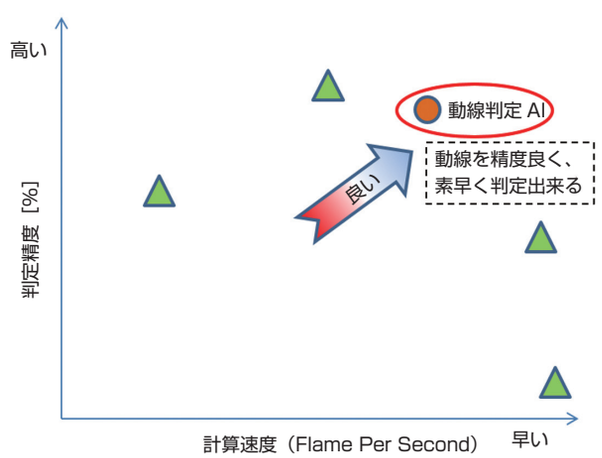


図３　動線判定 AI の性能比較 [5]

4.　バッテリー搬送品質保証技術の開発

4.1　バッテリー搬送品質保証技術

図4のように、バッテリー認識AIは製造工程のバッテリーをリアルタイムで観察し動線を出力する。動線判定AIはバッテリーの動線情報を確認し、正常であればOK、異常（落下、ぶつかる等）であればNGと

判定する。NGの場合は、FFランプで作業者に知らせる。作業者はその対象バッテリーの搬送を中止して、確認エリアに保管する。同時にアンドン表示と作業監督者のPHSに異常を知らせる。作業監督者は対象バッテリー及び作業動画を確認し、適正な処置を行う。

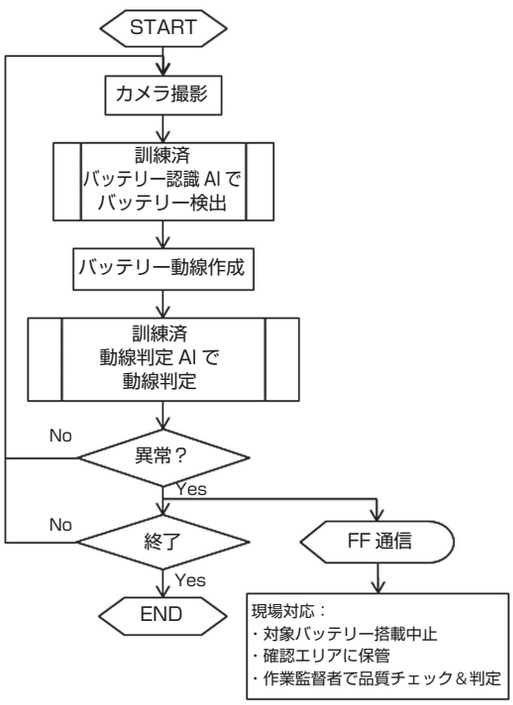


図４　異常検知フロー

4.2　AIの訓練と精度

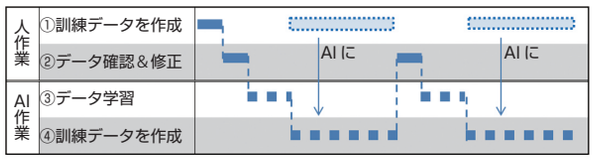
AIが物体を検出するためには、人と同様に物体の特徴を覚える訓練が必要となる。人は、物体を見ることで、その物体の特徴を学習する。AIも、その物体を撮影した写真から、その物体の画像特徴を学習する。

それゆえ、AIの判定精度は、訓練に用いる写真データの質と量に依存している。大量に高品質の訓練データを与えると判定精度が高くなるが、間違ったデータで学習すると、判定精度が大幅に落ちる傾向がある。

4.2.1　バッテリー認識AIの訓練

バッテリー認識 AIでは、バッテリー位置を検出するために、多数の写真上におけるバッテリー位置座標を、学習する必要がある。この訓練データ作成作業を全て人で行うと大変な開発工数（数万枚）が必要となるため、表1の様にAI＋人で訓練データを作成できるようにした。まず、最初に100枚前後の訓練データを人が作成、確認＆修正して、AIに訓練させる。その後はAI自身が新たな訓練データを作成する。人はAIが作成した訓練データを確認＆修正するだけで、精度良く＆大量の訓練データを作成出来る。

表１　訓練データの作成



4.2.2　動線判定AIの訓練

動線判定AIでは、製造現場のバッテリーが過衝撃を受けたかどうか判定をするため、OK/NGで定義済のバッテリー動線データを学習する事が必要となる。

ただ、今回はバッテリー認識AIの精度が異常判定に十分か否かを確認するため、対象とする異常をバッテリー品質に影響するリスクが一番高い「落下」に絞った。そして、AIではなく下記の3条件で動線判定処理を定義し、検証実験を行った。

・床上にバッテリーを検出する
・搬送中に治具上のバッテリーが未検出となる
・バッテリー搬送時間が規定値以上に長い

動線判定AIは、この検証にて十分な精度が確認された後、訓練を行う予定である。

5.　作業異常判定技術の検証実験

バッテリーの搬送作業を漏れなく撮影するため、今回は図5の様に3台のカメラを設置した。

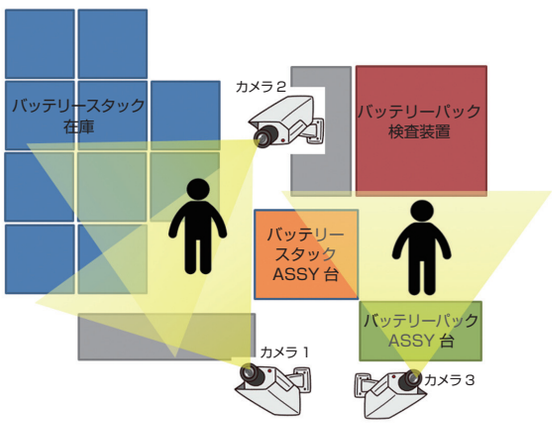


図５　カメラ設置場所イメージ図

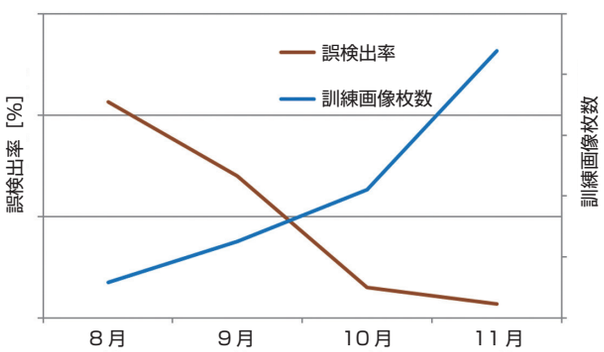


図６　訓練データと誤検出率の相関性

製造現場に設置したこれらのカメラを用いて、検出精度の検証実験を行った。その中では、訓練データの増加に伴って誤検出（OK作業をNGと判定）が改善する様子を確認できた（**図6**）。

11月の結果では、307回のバッテリー搬送作業に対して、正常作業300回のうち292回を正しく判定できた（**表2**）。さらに、バッテリーの落下を模擬した作業7回は全てNGと判定できた。

表2　判定結果

	判定結果	
	OK 判定	NG 判定
正常作業	○ 292	× 8
禁止作業	× 0	○ 7

6. まとめと今後の課題、展望

本論文では、モデル工程にて開発中のバッテリー搬送品質保証技術の開発、及びこの実現のキーとなるAIの活用について述べた。

検証結果から、今回報告したバッテリー搬送品質保証技術は、開発の狙いを満足できる見通しが有ることが分かった。

(1) バッテリーに対する過衝撃（異常）をリアルタイムで検知できること
　→禁止作業を100%検出できた。誤検出率はまだ2.6%残っているが、今後の原因分析及び追加訓練で対応できる見込み。

(2) 異常検知時は作業監督者に知らせること
　→異常検知時はFF・アンドンの表示で作業監督者に知らせる技術を構築できた。

(3) 異常検知前後の状況を記録＆分析できること
　→トライ中発生したイレギュラー作業に対して原因分析と改善に貢献した。

今後は主に次の課題へ取り込む。

課題①：バッテリー認識AIの精度向上。

課題②：落下以外の多様な過衝撃を検出するための、動線判定AIの訓練データ構築。

課題①に対して、正常生産の誤検出データを追加訓練し、バッテリー認識AIの判定精度を改善して行く。

課題②に対して、当社のノウハウとしてOK/NG作業の定義（3次元座標、速度、加速度、信頼度の相関関係）を構築しながら動線判定AIを訓練し、多様な過衝撃検出へ対応していく。

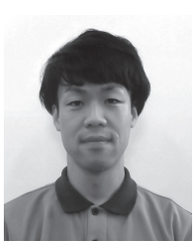
今回開発した技術は量産ラインに導入し、実用上の精度と効果を確認中である。今後は、製造設備、製造工程、製品品質に関するAI活用事例を増やし、製品品質向上を支援していく所存である。

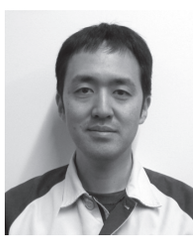
参考文献

(1) 沖野　振一郎, 他：作業品質見える化技術の開発（第1報）(2016)
(2) 趙　鵬, 他：作業品質見える化技術の開発（第2報）(2017)
(3) 中山　英樹：電子情報通信学会音声研究会7月研究会, 2015, 深層畳み込みニューラルネットワークによる画像特徴抽出と転移学習
(4) Wei Liu, et al：“SSD：Single Shot MultiBox Detector”,2016,https：//arxiv.org/abs/1512.02325
(5) Wei Liu, et al：“SSD：Single Shot MultiBox Detector”,2016 .
http：//www.cs.unc.edu/%7Ewliu/papers/ssd_eccv2016_slide.pdf

【著　者】

趙　　鵬


山本　拓哉


沖野 振一郎

航空機電動化コンソーシアムの紹介

Introduction of Electrification Challenge for Aircraft (ECLAIR) Consortium

中　里　展　之[*1]　Nobuyuki NAKAZATO
村　田　　巌[*1]　Iwao MURATA
渡　辺　重　哉[*2]　Shigeya WATANABE
西　沢　　啓[*2]　Akira NISHIZAWA

抄　録

近年、航空機のCO_2排出削減が世界的に重要な環境課題となりつつあり、電動化による環境負荷低減が注目を集めている。一方、2000年代になってからハイブリッド／電気自動車用途として、バッテリ、インバータ、モータなど電動要素の性能が飛躍的に向上した。これらの技術は小型の電動航空機（電動機を動力とする航空機）に適用が可能なレベルとなっており、海外では既に実用化に向けた開発が進んでいる。

このような状況の中、宇宙航空研究開発機構（JAXA）を中心として、CO_2排出などの環境負荷を抜本的に低減する航空機の電動化技術を開発するとともに、我が国の航空産業の飛躍的な拡大に向けて産業界のイニシアチブを醸成することを目的とした「航空機電動化（ECLAIR）コンソーシアム」が発足し、当社もステアリングメンバーとして参画している。本稿では、本コンソーシムの概要と、航空機電動化に向けた将来ビジョン、技術ロードマップについて紹介する。

Abstract

In recent years, reduction of aircraft CO_2 emission is becoming an important environmental issue worldwide, and attention is being paid to reduction of environmental burden by electrification. Meanwhile, since the 2000s, the performance of electric elements such as batteries, inverters and motors has dramatically improved as a hybrid/electric vehicle application. These technologies are at a level that can be applied to small electric aircrafts (aircrafts powered by electric motors), and overseas developments are progressing toward their practical use already.

Under such circumstances, Electrification Challenge for Aircraft (ECLAIR) Consortium was established mainly around JAXA, and SUBARU is participating as a steering member. The objective is to develop electrical technologies for aircraft that radically reduces environmental burden such as CO2 emissions and to foster industry initiatives towards a dramatic expansion of Japan's aviation industry. This paper introduces the outline of this consortium, the future vision for electric aircraft, and the technology roadmap.

1. はじめに

近年、航空機のCO_2排出削減が世界的に重要な環境課題となりつつあり、電動化による環境負荷の低減が注目を集めている。一方、2000年代以降ハイブリッド／電気自動車用途として、バッテリ、インバータ、モータ等電動要素の性能が飛躍的に向上した。これらの技術は小型の電動航空機（電動機を動力とする航空機）に適用が可能なレベルとなっており、国外においては既に電動航空機の実用化に向けた開発が進んでいる。

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（以下、JAXA）は、経済産業省、株式会社IHI、川崎重工業株式会社、株式会社SUBARU、株式会社日立製作所、三菱重工航空エンジン株式会社、三菱電機株式会社との連携のもと、CO_2排出などの環境負荷を抜本的に低減する航空機の電動化技術を開発するとともに、我が国の航空産業の飛躍的な拡大に向けて産業界のイニシアチブを醸成することを目的とした「航空機電動化（ECLAIR）コンソーシアム[(1)]（**図1**）」（以下、本コン

＊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　次世代航空イノベーションハブ

ソーシアム）を発足した（発足後、日本航空機開発協会が加わった）。本コンソーシアムにおいてはJAXA航空技術部門次世代航空イノベーションハブが中核となり、産学官連携のもと、世界に誇る国内の電動要素技術などを航空機技術と糾合するオープンイノベーションの手法によって、抜本的にCO_2排出量の削減が可能な「エミッションフリー航空機」の実現と新規産業の創出に向けた活動を行う。具体的には、航空機電動化に関する将来ビジョン[(2)]を策定・共有し、それに基づき技術開発を行うことにより、我が国として国際競争力のある技術の強化を目指している。

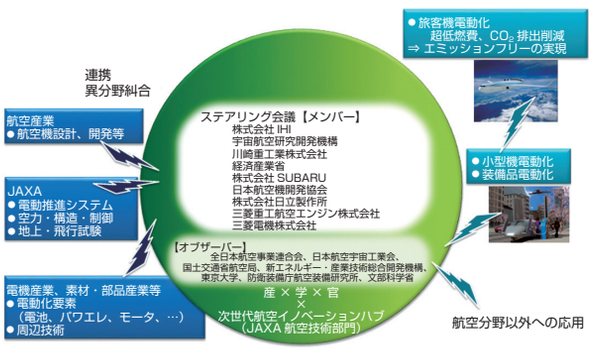


図１　航空機電動化（ECLAIR）コンソーシアムの概要
英文名称：Electrification ChaLlenge for AIRcraft（ECLAIR）Consortium

2.　航空機電動化をめぐる動き

2.1　航空機電動化の必要性、国際動向

旅客需要の増加により、今後20年間で航空輸送量が約2.4倍に増加すると予測されており、技術改善がなければCO_2排出総量もそれに比例して増加してしまう。ICAO（International Civil Aviation Organization）、IATA（International Air Transport Association）の航空機CO_2排出総量削減要求[(3)]（2050年に2005年の半減）は従来技術の延長では達成不可能であり、燃費削減技術の革新が必要と認識されている。上記の目標達成に向け、推進系電動化やバイオ燃料導入等の脱化石燃料化を視野に入れた研究活動が世界各国で開始されている。

2.2　航空機電動化の難しさとチャンス

旅客機のエンジンを電動化（ハイブリッド化）するためには、電動モータやパワーエレクトロニクス（パワエレ）の質量出力密度を現状の2～3倍程度に、電池の質量エネルギ密度を現状の3～5倍程度に向上する等の大幅な技術革新が必要であり、技術的難易度は高い。一方で、国内には電動モータ、パワエレ、バッテリ等、航空機電動化に不可欠な主要技術やそれらの構成要素としての素材技術等に関して強い競争力を有する企業が多数存在する。航空産業への参入障壁は高いが、実用化がされていない分野であり、業界地図はまだ固定していないため、国内企業にも参入チャンスがある。

3.　将来ビジョン

3.1　CO_2排出量削減目標に対する電動化の寄与

ICAOのレポート[(4)]によれば、現在670 Mt程度のCO_2排出量は従来技術の改善が最大限活用されたとしても、輸送需要増により2050年には1780 Mt以上に達すると予測されている。2005年時点のCO_2排出量（360 Mt）に対して2050年にこれを半減するという目標の意味するところは、従来技術の改善のみでは1780 Mtに達するCO_2排出量を、別の技術によって180 Mtまで減らすことであり、難易度は極めて高い。また、ICAOにおいてもATAG（Air Transport Action Group）においても、どの技術がどれだけ寄与するかについて予測や合意がなされているわけではない。そこで本コンソーシアムでは次世代技術としてバイオ燃料、電動化と水素燃料、その他の次世代技術のそれぞれが最大限導入されると仮定して各寄与を見積もった（図2）。その結果、電動化と水素燃料が次世代技術全体の削減寄与のうち約1/2を占めるべきであるとの結論に達した。そのためには、2030年代に燃料消費量を現状比10%削減、2040年代に30%削減する航空機電動化技術を導入することが必要である。重要な点は、バイオ燃料の導入だけでは2050年に半減という国際目標達成に到底足りず、電動化も含めあらゆる次世代技術を最大限導入する必要があるということである。

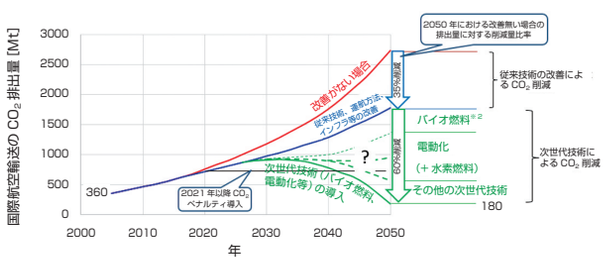


図２　CO_2削減目標（ATAG[(3)]）に対する電動化の寄与の予想

3.2　電動化技術の適用対象候補

電動化技術の適用対象は小型機（ジェネラルアビエーション）、装備品、旅客機すべてであり国内航空機産業としての社会実装対象の候補となる。小型機は航空機のCO_2排出総量への寄与が小さく、現在の輸送量規模では電動化による直接のCO_2削減効果はほとんどないものの、新しい輸送システムとして新産業創出の可能性があり、また旅客機からのモーダルシフトによるCO_2削減の可能性もある（図3）。旅客機は装備品

の電動化といえどもCO_2排出削減への有意な寄与があり、さらにエンジンの電動化は明確な寄与が期待できるため、社会実装の対象として有力である。

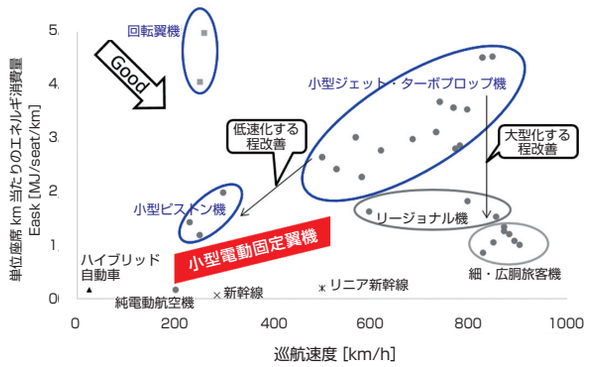


図３　小型電動航空機の想定開発目標

3.3　目指すべき社会実装と航空産業への貢献

電動航空機の出力規模は指数関数的に増加しており、この20年間で約20倍にもなっている。これまではほとんど実験機として開発されてきたが、FAR（Federal Aviation Regulation）Part-23が電動化にも対応できるよう2017年に改訂された[(5)]ことから、現在は実用機開発のフェーズに入りつつあり、さらに将来においてはより大型の電動航空機構想[(6)]も掲げられている。世界の動向に合わせて技術的リスクの低い小型の電動航空機やMEAから社会実装を開始しつつ、CO_2削減への寄与も考慮し、本コンソーシアムでは以下のような社会実装を目指すべきとした（図4）。

1. 2020年代にMEA（More Electric Aircraft、装備品電動化）技術や小型電動航空機を対象に電動化技術の社会実装を開始する。
2. 2030年代に旅客機にまで電動化技術の適用対象を拡大する。
3. 2040年代に電動化技術を核として航空機の燃費を大幅に削減するとともに、航空産業の価値を飛躍的に向上する。

●旅客機の電動化：装備品電動化、エンジン電動化
・燃費削減にとどまらない旅客機の新しい価値を創出する。
・参画企業の裾野を大幅に拡大する。

●小型電動航空機：国内企業の成長と国内市場の安定化
・自動車に次ぐ大規模モビリティ産業として、小型電動航空機開発企業が国内で成長する。
・国内市場も拡大・安定化され、運用のための社会インフラや安全基準も構築される。

4. 2050年代に電動化の理想形に到達し、航空機由来のCO_2排出量削減に対して明確に寄与する。

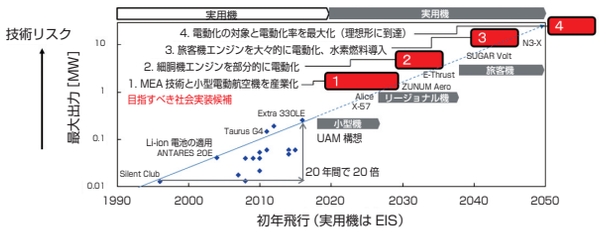


図４　世界の航空機電動化の動向と我が国が目指すべき社会実装

4.　技術ロードマップ

4.1　電動化システム方式

推進系を電動化する場合、選択肢は①純電動方式、②シリーズハイブリッド方式、③パラレルハイブリッド方式の3つがある（図5）。小型機は航続距離が比較的短くて良いことと、小型機に用いられているピストンエンジンや小型のガスタービンエンジンは熱効率が比較的低いので、純電動方式を選択したほうが燃費性能を最大化できる。一方、旅客機に用いられる大型のガスタービンエンジンは、地上の発電所に比べても熱効率が優れているため、純電動方式を選択しても総合的なエネルギ効率を改善することは難しい。さらに、航続距離も決定的に不足する。そのため旅客機の電動化には、ハイブリッド方式が適する。

シリーズハイブリッド方式はバッテリを用いなくても成立するため、バッテリに依存しないシステム方式として実現性が比較的高い。 ただし、発電機や電動モータが追加された分熱効率は低下するので、それを上回る推進効率の向上を図らないと採用する利点がない。そのためには、例えば小型のファンを多数分散させて従来の双発ファンに比べてファンの総面積を増やす等の方策が必要になる。これは機体のコンフィギュレーションを大幅に変更するため、空力・構造設計の方に新たなリスクが生じる。

これに対し、パラレルハイブリッド方式は従来の双発形態にもそのまま採用可能である点で、空力・構造設計は従来技術を踏襲できるが、バッテリにそれなりの性能が要求されるため、バッテリ依存のシステム方式である。各システム方式には長所・短所があり、適用対象と目指す性能に応じて最適なシステム方式を選択することになる。

4.2　要素技術の目標

電動推進システムの主要な構成要素である電動モータ、インバータ、バッテリに関して、適用対象別に目標値を図6に示す。小型機、パーシャルハイブリッド旅客機（部分的に電動化する方式であり、大半の出力は従来通りガスタービンエンジンが担う）、ハイブリッド

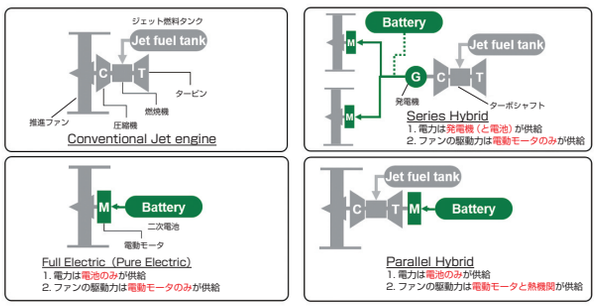


図５　電動推進システム方式の選択肢（注：減速機や電力変換器等、一部の構成要素は省略されている）

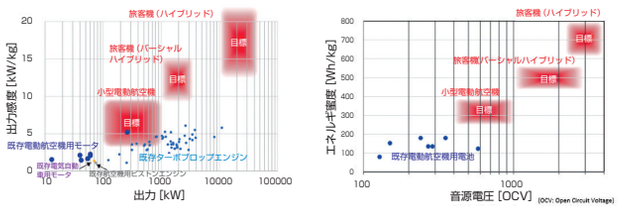


図６　電動推進システム各構成要素の技術目標

旅客機の順で目標値が厳しくなっていく。特に出力密度やエネルギ密度は航空機全体の重量に与えるインパクトが大きいため、最も重要な指標の一つである。

4.3　重要技術課題

航空機の電動化にあたって、重要となる技術課題を表１にまとめる。高度によって大きく異なる課題と高度によらない共通の課題に分けられる。

①高出力密度化は、前項で述べた通り現状技術と旅客機に適用すべき目標水準とのギャップが大きく、特に重要である。

②電池の安全性と高エネルギ密度化の両立についても、旅客機に適用できるエネルギ密度は自動車よりも要求水準が高く、安全性も自動車より要求が厳しい。そもそも安全性とエネルギ密度はトレードオフの関係にあるので、両立はハードルが高い。

③高効率化については、電動化によって設計の自由度が向上するため、空力抵抗の低減などに関わる新しい技術を導入することが考えられる。例えばBLI（Boundary Layer Ingestion）のように、今の航空機には使われていない技術も電動ファンのレイアウト自由度を活用すると可能になる。

④安全性・信頼性保証については、ジェットエンジンなどの内燃機関とモータを併用する「ハイブリッド型」の場合、ジェットエンジン単体で構成する従来の推進系に比べて故障率は上がってしまうという問題点がある。

⑤耐放電・耐放射線については、高電圧機器の低圧環境下における放電をいかに抑制するのか、高宇宙線環境でパワーエレクトロニクスの信頼性をどう確保するか等、航空機ならではの課題がある。

⑥熱＆パワー管理・制御については、非常に高温なジェットエンジンの周囲で電動のデバイスをいかに運用するかといった問題や、排気ガスとして大気に放出するわけにはいかない電動システムの熱をいかに上手に制御するのかといった問題を解決する必要がある。

⑦耐故障は、主にマルチコプタに代表される電動VTOL機を想定した課題である。ヘリコプタのようにオートローテーションが使えない機体がホバリング中にエンジン故障を起こしたときの安全性確保が課題である。

⑧低騒音化も主に電動VTOL（Vertical Take-Off and Landing, 垂直離着陸）機を想定した課題である。低高度かつ市街地における運用が必須となるため、ファン、プロペラの空力騒音を抜本的に改善しなければならない。

表１　航空機電動化に関する重要技術課題

分類	番号	重要技術課題名（概要）	構成要素／システム
A）全高度共通の重要技術課題	①	高出力密度化（重量の成立性確保、最大出力運転時間確保のための耐熱・冷却・放熱性）	電動要素（電動モータ、発電機、パワーエレクトロニクス、電池、遮断器、分配器、送配電線等）
	②	電池の安全性と高エネルギ密度化の両立（熱暴走等の危険封じ込めと電池システム全体としての高エネルギ密度化の両立）	電池（電力ストレージ）
	③	高効率化（BLIや多発化による推進効率の向上、推進系熱効率の向上）	推進系・機体統合システム、ハイブリッドシステム、電動要素
	④	安全性・信頼性保証（電動要素追加による故障率増加等に対するシステムの安全性と信頼性の保証）	電動推進システム、ハイブリッドシステム、電動要素
B）高高度環境特有の重要技術課題	⑤	耐放電・耐放射線（高高度環境における高電圧要素及びシステムの放電及び放射線影響への対処）	パワーエレクトロニクス、電動モータ、発電機、電動要素
	⑥	熱＆パワー管理・制御（低空気密度・ガスタービンエンジン内外高温環境下の熱とパワーマネジメント）	電動要素、電動推進システム、ハイブリッドシステム、
C）低高度運用特有の重要技術課題	⑦	耐故障（推進系故障時の緊急着陸または運航継続に対する耐故障や故障許容設計）	電動推進システム
	⑧	低騒音化（ファン、プロペラの空力騒音低減）	ファン、プロペラ

4.4　技術ロードマップ

本コンソーシアムでは目指すべき社会実装に向けて、技術開発のロードマップを図７のように設定した。2020年代はMEAと小型電動航空機が社会実装の対象候補である。MEAに関しては高高度環境における航空機特有の課題に取り組むことが、その先の旅客機電動化にとって重要な役割を果たす。また、小型電動航空機に関しては、既存の電動パワートレーン技術をベースとして迅速に実用化技術を獲得すべきであり、中でも電動VTOL機については、エンジン故障時の安全性技術、低騒音性のブレークスルー技術を獲得し、非人口密集地用途や非商用用途から運用開始することが、特に国内においては市場形成の近道と考えられる。

2030年代には細胴機以下のサイズの旅客機を対象としてエンジンの電動化を目指している。そのためには、2025年前後くらいに飛行相当環境において高いレベルの技術実証を行う必要があり、すなわち2020年代前半には主要な技術が獲得できていなければならない。これは相当厳しいスケジュールであるが、旅客機に適用されなければCO_2排出量は改善されず、2040

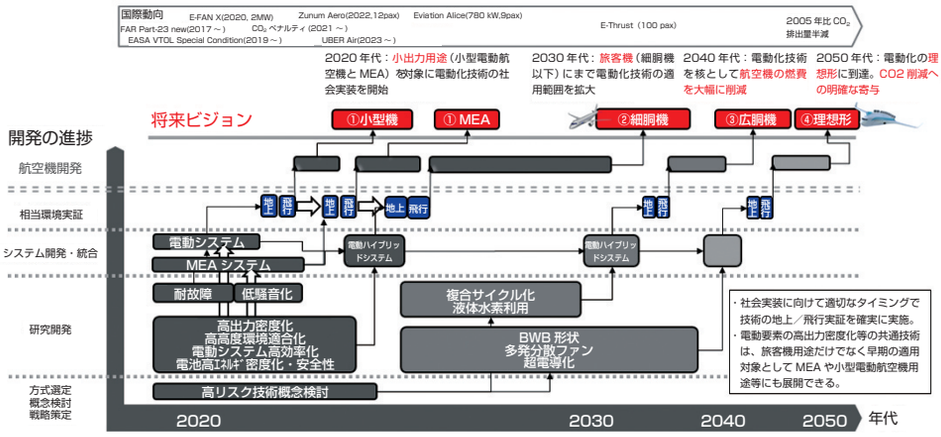


図７　技術ロードマップ

年代に旅客機に大々的に適用されるためには2030年代に最初の一歩を踏み出していることが必須である。おそらく一社のみで乗り越えられる難易度と技術領域ではないため、国内外を広く視野に入れた連携や協業が重要になると考えられ、本コンソーシアムには連携の基盤としての役割が求められる。

5.　まとめ

本コンソーシアムでは、ステアリングメンバーを中心とした議論により、航空機電動化に関する将来ビジョン、技術ロードマップを策定してきた。今後はこれらに基づき、具体的な電動化関連技術の開発を行う技術開発グループを設立し、各種技術の開発を推進していく計画である。

今後の技術開発においては、従来の航空機関連企業だけでなく、電動化で先行する自動車関連企業も巻き込むことで技術開発の速度を上げて、より早い社会実装を目指していく必要がある。また、従前は航空機で培われた先進技術を自動車にスピンオフすることが行われてきたが、今後は自動車で培われた低コスト量産技術を航空機へ適用していくことも重要になってくると考えられる。当社自動車部門が有する電動化関連技術を有効に活用すると共に、企業・大学・研究開発機関・関連省庁と連携し、我が国の航空産業の飛躍的な拡大に向け技術開発を推進していく。

参考文献

(1) 航空機電動化コンソーシアムWEBサイト：
http：//www.aero.jaxa.jp/about/hub/eclair/
(2) 航空機電動化コンソーシアム将来ビジョン：
http：//www.aero.jaxa.jp/about/hub/eclair/pdf/eclair_vision.pdf
(3) Air Transport Action Group：WORKING PAPER DEVELOPED FOR THE 38th ICAO ASSEMBLY Sept/Oct 2013,“Reducing Emissions from Aviation through Carbon-Neutral Growth from 2020”
(4) ICAO：ICAO Environmental Report 2016
(5) FAA：Title 14, Aeronautics and Space, PART 23—AIRWORTHINESS STANDARDS, NORMAL CATEGORY AIRPLANES,
https：//www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=48b5af918f3136379648389f7b575768&mc=true&node=pt14.1.23&rgn=div5#se14.1.23_12000
(6) AIRBUS Group："E-Thrust Electrical distributed propulsion system concept for lower fuel consumption, fewer emissions and less noise",
http：//company.airbus.com/news-media/media˜item=2efe334d-1141-403c-8449-1b7180c8e7fa˜.html#

【著　者】

中里　展之

村田　　巌

渡辺　重哉

西沢　　啓

大型主要構造組立の生産ライン構築

Construction of Production Line for Large Structure Assembly

西　村　和　範*
Kazunori NISHIMURA

抄　録

航空機の構造組立では、大物重量部品や長尺部品で構成される組立作業に対して、要求される組立精度を保証しつつ、安全性と作業性を十分に確立すること、その上で、種々の設備レイアウトや動線を構築することが、効率的に生産を行うための重要な要素である。

当社は長年に渡り中央翼の製造を担当してきた。新しい中央翼の製造に伴い、過去の教訓を活かして、安全性、環境面、効率性を追求し、自動化・省人化によるコスト削減、各工程間の物流最適化を狙い、大型主要構造組立の生産ラインを構築した。本稿では新規生産ラインでの取組み、運用の概要と成果について紹介する。

Abstract

In assembly work using large parts of aircraft, it is important to construct a safe and easy to work facility layout while maintaining the accuracy of assembly. SUBARU has been manufacturing the Center Wing BOX of a large aircraft. We built a new production line for new aircraft which is larger than previous aircraft. This production line was constructed for automation, cost savings through labor saving, and optimization of transport between assembly processes. This document introduces new assembly line, operation outline and examples of its result.

1.　はじめに

当社半田工場は長年に渡り、中央翼(**図1**)の製造、中央翼と主脚格納室との結合作業等を担ってきた。過去20年余りで製造した中央翼は10種類以上、合計2,000機以上である。部品加工、処理・塗装、主要なサブ組立は、栃木県宇都宮工場及びパートナー企業で行い、最終組立を愛知県半田工場にて行う。

中央翼は前後が胴体、左右が主翼との結合部位であり、高精度の組立が要求される。大物重量部品や長尺部品で構成される中央翼に対して、精度を保証しつつ、安全かつ効率的に組立てるため、過去の教訓を活かし、安全性、環境面、効率化を追求し、大型主要構造組立の生産ラインを構築した。

本稿では、半田工場の新規生産ラインでの取組み、運用の概要と成果について紹介する。

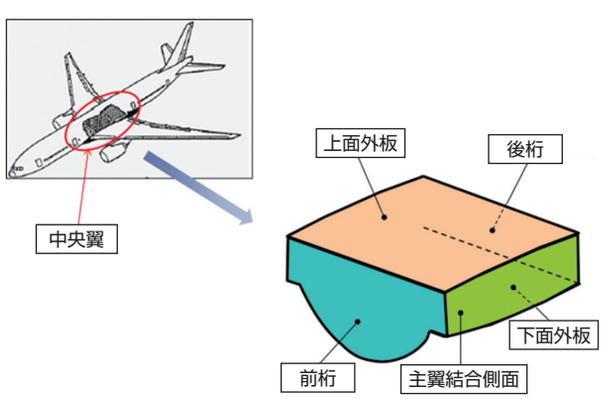


図1　SUBARUの主な製造部位

2.　生産ラインの課題

航空機の大物構造組立は労働集約型の生産が主流であり、組立ライン、物流ライン、部品、治具の保管場所、大物部品受入エリアと出荷エリアが混流及び混在し、それぞれの移動を妨げ、余分な時間が生じていた。

組立品の搬送には天井クレーンや機体搭載型のエア

＊ 航空宇宙カンパニー　生産技術部

キャスターを使用していた。天井クレーンでは機体との間に吊上げ用治具を必要とし、保管場所も要し、工場内レイアウトを圧迫していた。

組立治具においても、大型構造物を載せるため、耐久性がより必要であり、かつ組立品の精度も保証することから、大型化し、柱やフレームが林立し、動線の妨げになっている。

以上より、今までの教訓による作業環境と作業安全と人、機体、部品、治具及び設備の動線を確保し整流化を主眼に置いた組立レイアウト、自動化の導入による省人化といった効率的な生産ラインを構築することが課題である。

3. 新規生産ラインでの取組み

3.1 工場レイアウト

作業負荷平準化による組立ポジションを計画し、戻り工程がないU字ラインによる機体の整流化を図った。また、部品受入と出荷エリアを生産エリア外に配置した。

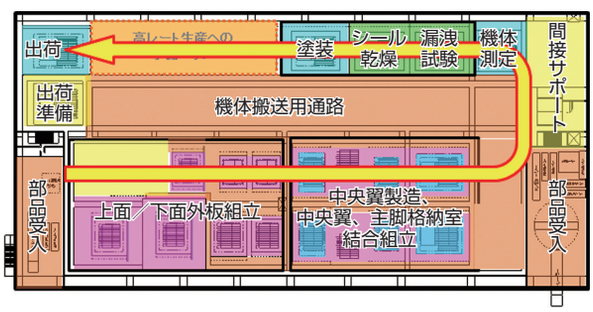


図２　工場レイアウト

組立作業の流れは、図2のように宇都宮工場でサブ組立された上面外板と下面外板の各2枚をそれぞれ1枚に結合する作業から開始される。2枚の外板を仮留めし、自動打鋲機にて穿孔、打鋲作業を行い1枚のパネルを組立てる。次に、結合された上面、下面外板は主翼結合のための部品取付を行い、宇都宮工場でサブ組立された桁等のサブ組立品と結合し、中央翼を組立てる。その後、主脚扉格納庫の結合→漏洩試験→塗装→出荷と流れる。

各ポジションの搬送には組立構造ラインでは天井自動搬送装置、サブ組立品の受入から組立エリアまでの搬送、及び中央翼と主脚格納室の結合以降では地上自動搬送装置を使用し、搬送における安全性の向上と省人化を実施した。

サブ組立品の受入には専用の受入エリアを設け、生産エリアと分離し、風、直射日光、トラックの排気ガスによる組立エリアへの影響を排除した。さらに、受入エリアを工場の南北それぞれに設け、使用するポジションに対しての搬送距離短縮を考慮し、サブ組立品の受入先を配置した。

3.2 部品工具物流ライン

部品は併設するキットセンターに保管される。キットセンターで、使用する作業工程別にキット化し、着工前に各ポジションへ供給する。工具についても同様で、建屋内の工具室から組立ポジションに使用分をキット化し供給する。必要なものを必要な時にラインサイドに供給することにより、作業スペース確保による安全性の向上と、作業者が作業に集中できる環境とした。

また、工場内を作業スペース、人の移動通路、キット化された部品及び工具が通る動線で分離し、動線を整流化した(図3)。

作業スペースは3階構造となっているが、エレベーターを配置し、各階の床面のフラット化により搬送の容易化を図った。

建屋2階の工具室と組立治具の3階床面もフラット化し、工具の供給についても容易化を図った。

部品は組立作業工程別にキット化されており、供給後は姿見で保管する。部品の有無や部品間違いの確認が容易にでき、部品の取付間違いの防止の対策の1つにもなっている。

動線の分離による整流化、床面フラット化により効率的な部品及び工具の供給の実現と、将来の自動搬送の導入を考慮して物流ラインを構築した。

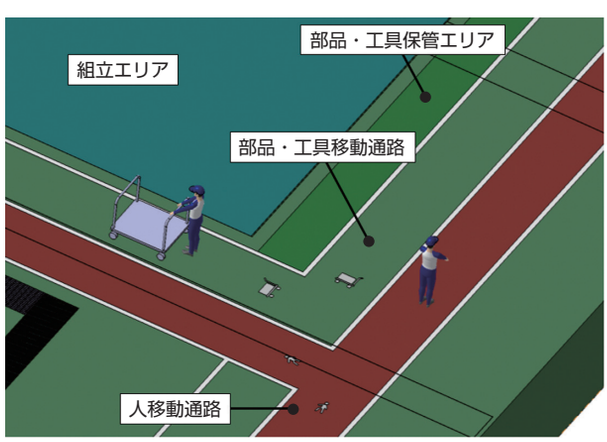


図３　動線の分離

3.3 天井自動搬送装置

図4の構造組立エリアでの組立品の搬送はフルスパンクレーンとハーフスパンクレーンを併設した(図5)。このことにより、同一のポジションで、2基のクレーンを同時に使用することが可能となり、クレーン同士のバッティングの回避ができる。

各クレーンのホイストは可変ピッチとした。1基4個のホイストのピッチを、高速通信機器を使用し、ホイストピッチの同期化が可能となり、吊上げ用治具を介さず搬送することが可能となった。さらに吊上げ用治具の保管スペースも削減された。

各クレーンの自位置の認識、吊上げ重量の認識できる機能を持たせ、位置認識を行うことにより、ルート設定、平面移動の自動化を実施した。吊荷ごとの重量認識では、過荷重での停止、オーバーハング吊荷の衝突防止を可能とした。

天井自動搬送装置の導入により、バッティングによる待機時間の回避、工場内生産スペースの確保、安全性、省人化の効果を得た。

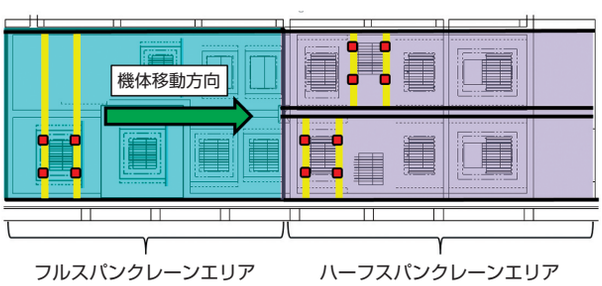
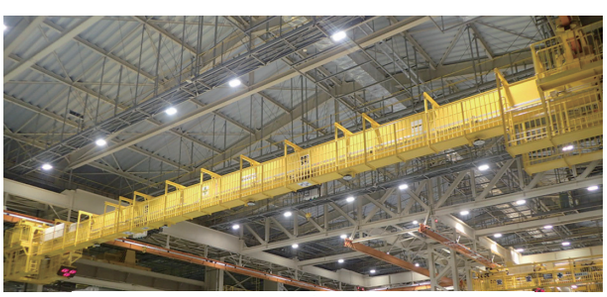


図４　構造組立ラインレイアウト



a）　フルスパンクレーン

b）　ハーフスパンクレーン

図５　天井自動搬送装置

3.4　地上自動搬送装置

サブ組立品の受入エリアから組立エリアまでの搬送、中央翼と主脚格納室の結合以降出荷までの搬送に導入した。前者はルート変更を考慮し、SLAM式を導入、後者はルート変更がほぼないため、床面に磁気棒を埋設し、磁気誘導式を導入した(図6)。

搬送はクレードルと呼ばれる組立品を搭載する治具を介することにより、1つの地上自動搬送装置で複数のクレードルごと組立品を搬送する。

移動ルートは各搬送品ごとに予めプログラミングされており、自動で各ポジションに搬送される。自動化の方針として、フルオートではなく、人、搬送物の安全性を最優先させた人作業との効果的な協働を目指した。具体的にはトラックからの荷下ろしや荷積みでの位置決めには実績から人作業の方が早く､確実であり、マニュアル操作としている。

一方で、レーザー、タッチセンサなどの確認機能を強化し、見張りや工場内シャッターの自動開閉等を連動させ自動化した。搬送は作業者がボタンを押している間のみであるが、軌道、停止位置はプログラム制御である。人と機械の両方の目で周囲状況の変化をモニターし、障害物を検知し安全性の向上を図った。

組立品を搬送後はホームポジションへ戻り、自動給電機により、作動していない時は自動で充電を行う。

地上自動搬送装置の導入により、搬入されたサブ組立品を輸送用治具ごとトラックからクレードルに引込んで組立開始までそのまま保管が可能となり、従来実施していた、搬入後に1度保管用ドーリに載せ替えていた作業を省略することができ、搬送の安全性も向上したことから省人化の効果も得た。

a）　地上自動搬送装置（SLAM 式）とクレードル

b）　地上自動搬送装置（磁気誘導式）とクレードル

図６　地上自動搬送装置

3.5　塗装パルスムービングライン

中央翼には耐食及び燃料漏洩防止を目的としたシーラント塗布や特殊塗装作業を実施する。これらの作業は漏洩試験ブース、シールブース、塗装ブースの3つ

のブースで行う。各ブースの作業負荷を平準化し、タクト時間を合わせ図7のパルスムービングラインを実現した。

シーラント塗布や塗装作業は有機溶剤を使用するため、各ブースの作業に合わせた最適な換気空調機能を設置し作業環境に配慮した。さらに品質面では各ブースはシャッターや壁面の凹凸を最小化することで埃の定着を低減し、塗装作業中の機体への異物の飛散付着を抑制した。

図7　塗装ライン

3.6　組立自動化

3.6.1　自動打鋲機

中央翼のリベットには、締結したリベットに対して膨らみ量のコントロールが求められ、高度な技術が要求される。リベットサイズも大きく、打鋲に必要な荷重が13 t程度まで出力できる自動打鋲機が必要となる。

新たな自動打鋲機(図8)では電気式を導入、また、作業者が目視で行っていた確認作業を、画像処理やセンサを使用して自動判定、異常検知することにより、作業時間の短縮、品質維持を実現した。

具体的には、①電気式リベッタの導入におけるセンサによる孔位置確認及び各軸の移動速度向上によるサイクルタイム短縮、②仮留め鋲を本鋲に替えるタックリプレース機能、③トレーサの適用による部品の縁距離確認作業の廃止、④打鋲後のリベット平滑度測定の機能、⑤自動工具交換システムの導入、⑥ドリル欠損自動検知、⑦過負荷時、自動停止機能を追加した。

これらの施策により、従来は1台の自動打鋲機に対して2名で作業していたが、1名の作業者で作業することができ、省人化を実現した。また、電気式を導入することで、従来の油圧と電気両方を使用するシステムに比べ、保全性も向上した。

3.6.2　自走式自動穿孔装置

上面外板の上に客室の座席を固定するための部品が取付く。本部位は1機当たり約2,700本の穿孔作業があり、狭窄部で作業性が悪い部位であり、作業者への負担が大きい。そこで、本部位に対して自走式自動穿孔装置を開発、適用し自動化を図った。さらに自動検査機能を追加することで、穿孔のみではなく、検査作業の工数削減も図った。

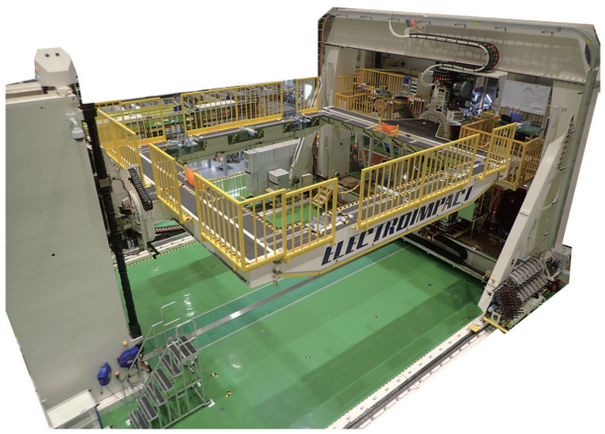


図8　自動打鋲機

上面外板に取付けられる客席レール構造部品上を自動走行する仕様とし、着脱式のため、軽量化を実施した。機体図面に準拠した穿孔板を自動認識し、認識された穿孔板の情報をもとに制御プログラムを無線通信にて情報を取得し、自動穿孔及び検査を行う。サイクルタイムを短縮して作業することが可能となり、省人化が実現できた。

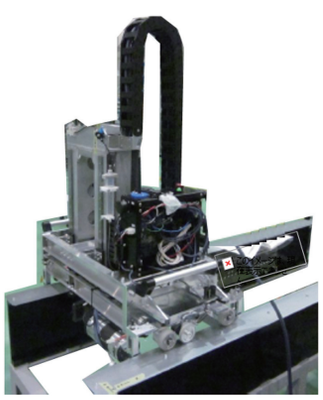


図9　自走式自動穿孔装置

3.7　作業環境

作業エリアは1階床面から8 mまで成層空調を採用し、人の居住空間のみに空調を実施することで省エネルギー化を図った。また、組立の際に使用する有機溶剤やシーラントの臭気対策として各ポジションの組立治具下のピット外周部にダクトを装備し、作業エリアの換気を実施している。

最終組立品の一部に特殊塗装が実施される。塗装にはUVAの累積暴露量の規定があるため、工場内の照明は全てLEDとし、工場窓は、特殊塗装が実施される面には窓無しとし、反対側にある窓には紫外線カットフィルムを適用した。これらの適用は組立品の品質

を守ると同時に、照明においては、電力の省エネルギー、交換頻度減の効果や紫外線カットフィルムにおいては、断熱効果による空調の電力削減、直射日光の眩しさ低減にも効果を有している。

4. まとめと今後の取組み

自動搬送装置の導入、作業エリアと物流ライン分離、作業環境の整備、自動工程の向上にて、安全かつ効率的で作業環境の整った生産ラインを構築することができた。

次のステップとして、高レート生産下での安定生産がある。そのためにはさらなる時間短縮が必要となる。自動穿孔部位の拡大、シールや塗装の自動化が挙げられ、また、組立作業のみでなく、物流において、動線の分離を活かし、各ポジションへの自動搬送やキットの自動化を導入し、さらなる効率化を図る。

出典

第56回飛行機シンポジウム講演集（2018年11月）
©日本航空宇宙学会

【著　者】

西村　和範

SUBARU「国際航空宇宙展2018東京」に出展
～「受け継がれる、ものづくりの情熱」をコンセプトに展示～

2018年11月28日（水）～30日（金）の3日間、東京ビッグサイト（東京都江東区）において開催された、「国際航空宇宙展2018東京」にJA2018を出展しました。

『彩雲』に学ぶ軽量コンパクト設計の極意

Learning from “Saiun”: Secret of Lightweight Compact Design

坂　崎　明　彦*
Akihiko SAKAZAKI

抄　録

『彩雲』は第2次世界大戦中の日本の海軍の艦上偵察機で、中島飛行機で開発された。

1994年に、『彩雲』の開発当時の関係者が集まり、思い出話を語り合った事がある。

その内容は、今日の自動車の、軽量、コンパクト設計にも活かせる、示唆に富んだものだったので、紹介するとともに考察する。

温故知新は重要である。

Abstract

“Saiun” was a Japanese naval carrier-based reconnaissance aircraft during World War II, and was developed by Nakajima Aircraft Company.

In 1994, the people at the time of “Saiun” got together and talked about the memories of that time.

The contents are so thought-provoking that they can be applied to the light weight and compact design of today’s cars, so I will introduce and consider them.

“Visiting old, learn new” is important.

1.　まえがき

今から54年程前に光文社のカッパ・コミクス『鉄腕アトム』が毎月発行され、この巻末の「アトム・クラブ」に切手、コイン、飛行機のプラ模型等の趣味の記事が掲載されていた。プラ模型については実機の解説と組立て上の指南が中心で、木村泰造氏が担当なさっていた。その第19号に取り上げられたのが「田宮」の『彩雲』で、これが報告者の『彩雲』との最初の出会いである（**図1**）。

2.　艦上偵察機『彩雲』とは

2.1　彩雲のプラ模型解説記事

本SUBARU技報の読者諸兄には『彩雲』って何？と仰る方も多いと思われるので、彩雲のプラ模型解説記事の大意抜粋で概略を紹介したい。

図1　「田宮」の『彩雲』解説記事[1]

昔の日本海軍では、偵察機には雲の名前を付けていた。艦上偵察機「彩雲」は、その名の様に朝日、夕日を受けて色とりどりに輝いて流れて行く雲の様な美しい飛行機で、奥ゆかしい軍人さんが付けた名か？ 偵察機には戦闘機や爆撃機の様な華々しさは無いが、舞台裏での大事な仕事があり、日本には陸

＊ 技術管理部

軍の「新司偵」海軍の「彩雲」という、ともにその頃の世界一と言える名機が揃っていた。

「彩雲」は太平洋戦争の始まる少し前、海軍の命令により艦上偵察機として中島飛行機で設計が開始された。乗組員は三人、偵察のためのカメラ、無線機等、沢山の装備品をぎっしり詰め込んだ上にスピードは最大時速650キロ、航続距離は最大4,600キロと言う大変欲張った計画が立てられた。

このため、後述の『彩雲の7つのノウハウ』に示した様な当時としては新機軸の工夫をし「彩雲」はほぼ計画通りの性能を出し、昭和19年中頃から運用開始。テニアン偵察の時、敵戦闘機の大群に追われながら得意のスピードで振り切り、「ワレニオイツクグラマンナシ」と無電して基地に戻ったと言う逸話もある。

田宮模型から出たこの「彩雲」の1/50キットが本物に負けぬ素晴らしいプラ模型なのは嬉しい事。内部にはエンジン、計器盤は勿論、酸素ボンベ、偵察カメラ、無線機迄ギッシリ入る様になっていて、要すればこれ等を良く見せる透明部品迄入ってる。もし外国の友人が日本製の良いプラ模型を欲しいと言って来たら、この「彩雲」を送ってあげたい。素晴らしいキットを作って下さった田宮模型に本当に感謝とある。

報告者は当時小学生で、数か月分の小遣いをためてこれを購入したが、その後のプラ模型史に影響を与えたエポックメイキングなキットで、田宮歴史館で**図2**の写真の組立て状態に再会出来た。

図２　田宮歴史館の『彩雲』[(2)]

当時、中島飛行機の『彩雲』の性能課長で戦後富士重工業に移り、日本最初の後退翼ジェット機T−1の開発を指揮した内藤子生氏の『飛行力学の実際』[(3)]を読み、『彩雲』の欲張った計画への対応を理詰めで進めて行った姿勢に感銘したのが、報告者の富士重工業（現SUBARU）入社の重要な動機の一つになる。

2.2　彩雲の7つのノウハウ

鉄腕アトムと言えば、7つの威力[(4)]であるが、光人社の『彩雲／零水偵』は『彩雲の7つのノウハウ』として以下の通り分類している[(5)]。

1. 形状改善より小型化！
2. 層流翼を活かしきった厚板構造
3. 彩雲のために層流翼の決定版開発
4. 18ノットをプラスしたジェットスラスト
5. 計算しつくされた大直径プロペラ
6. 高揚力装置の集中使用
7. フライングテイル

3.　『彩雲』関係者の証言

中島飛行機＝富士重工業では無いが、1994年に太田近辺在住を中心とする中島飛行機時代の彩雲の関係者が集まった事があり、その時の録音から上記の下線にした部分について、今後の自動車の開発でも参考にしたい教示があったので先ずは紹介する。

初めに御断りしておくが関係者は記憶に基きスピーチしており、数値等はエビデンスに基く刊行物等の記載を優先して頂きたい。

それにしても他の太平洋戦争時代の開発者のインタビューでも良く指摘される話ではあるが、関係者が心血注いで決めた数値や型番を戦後数十年経過しても、鮮明に記憶していられる事に驚かされる。

3.1　『彩雲』の胴体設計者のスピーチ

彩雲の設計と言っても、主に構造の方をやってた。

昭和9年頃、羽布の飛行機もあり金属製の飛行機は珍しかったが、非常に薄いジュラルミンの板に補強材を入れた薄板構造が金属飛行機の基本になっていた。

金属製の飛行機をアメリカから買い色々勉強していたが、乗って旋回すると翼の上面が皺くちゃになる。

これでは話が違う、どうも薄板飛行機では碌なものが出来ないと言う事に最初に気付いた。

ハワイ攻撃した97艦攻の図面も少しは描いて幾らか金属に付いて勉強したが、薄板では駄目で厚板にしないと計算通りの性能が出ないと判って来た。

それで今度はなるべく厚板でやれと言う話になったが、うんと重くなってしまう。

どうしたら軽く出来るか？といって無い頭を一生懸命絞ったが、その頃は見本が無い。

大概、その頃は全部アメリカのコピー。

自分の最初の仕事もアメリカのインチの図面をメートルに直す仕事で、真似をする癖が付き自分で考えると言うのが無かった。

それで本当に困り色々勉強して普通0.5 ～ 0.6 mm

の処、0.8 mm位の厚板の外板を貼ればあまり皺が寄らなくなる事が分ったが途端に重くなる。

どうしたら軽くなるか色々試験片を作ってやってみたりしたが、中々上手く行かない。

もう一つ、薄板をつるつるにするのには鋲を打つが、沈頭鋲ではどうしても波が出て表面がだらだらする。

それも止める必要あるが､電気スポット溶接も駄目。

そうこうしている内に、ジュラルミンがESDと言う材料に出来る様になったがこれが疲労に弱い。

そんな事で、本当に、無い頭一生懸命ひねって、どうにか厚い板でも重くならぬ様に計画出来、それが上手く行き当時としてはつるつるの飛行機が出来た。

もう一つ艤装で困ったのが、エンジンと同じ直径の胴体で少しも出っ張らず、中が小さいのに3人乗って色々な装備をするのが大変難しい事。

今から考えれば何でも無いが、艤装品を取付ける部分を強度メンバと兼ねさせ初めに装備して、それに合わせて骨を付けた。

昔は骨を作ってから装備品を付けたので、それを逆にしたら胴体が軽くなった(図3)。

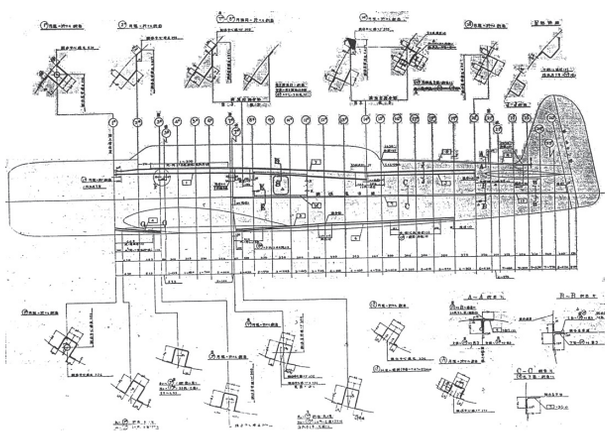


図３　彩雲の胴体の縦通材の図面

翼も同じ事で、インテグラルタンクにしたりとか色々な事をして自画自賛だが上手い機体が出来た。

試作が上手く出来実戦投入、戦局が悪くなったら空襲に行って帰って来るのは彩雲だけだったと言う事を色々な兵隊さんから聞いた。

3.2 『彩雲』の翼設計者のスピーチ

専用の偵察機が必要だと言う事で、要求された性能が記憶では航続距離が3人搭乗で2500シーマイル、4600キロ、発着が航空母艦、離着艦速度制限は非常に酷、総重量は甲板の関係で6500キロ以下。

常識的なエンジンじゃ駄目で、胴体に2つエンジン付けてロングシャフトでプロペラに持って行く検討もしたが目方が重くて駄目だと言う事になり、そのうち2000馬力エンジンが開発されて何とか行けそうだとなったが4600キロ分の燃料の問題が残る。

それで、翼全部燃料タンクにしてみても足りない。

胴体タンクは被弾した時の火災で駄目となり、残りは落下タンク付けようとなり、零戦と同様の大きなのを付けて何とか間に合うと言う事になった。

翼全部燃料タンク、被弾時発火し易い等問題あったが、艦攻(天山)で使った構造を改良して、翼全体、足の付け根とフラップ、補助翼、スラットの部分だけ除いて後は皆燃料タンクで漸く纏まった(図4)。

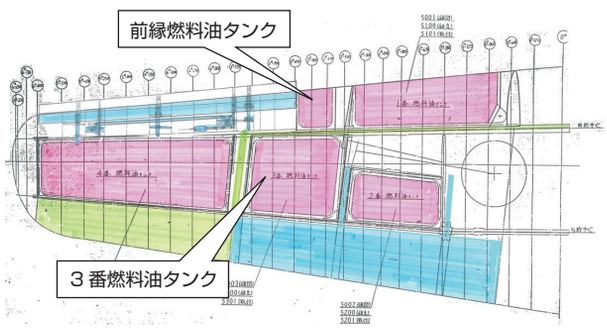


図４　彩雲のインテグラルタンク平面配置

一番の問題は、脚がずっと前に出たものでオレオがちゃんと働いてくれるかと言う事で、取扱注意になったが何でも無かった。

最高速度はその頃の一番早いのがロッキードの双胴の戦闘機で600何キロ、兎に角それより優速の650キロなきゃいけないと言う事になった。

最高速度と最低速度の差がとても大きく、普通ではできず、色々苦労してダブルフラップを付けた。

するとストールすると言う事で、前縁にスラットを付ける事になり、ドイツの戦闘機の真似して同じ自動でやろうとしたら、海軍が危険性あるから駄目と言うので油圧でやる事になった。

補助翼もフラップ兼用案あったが中止になった。

3.3 『彩雲』の別の翼関係者のスピーチ

内藤氏が得意の所で大変先の尖った層流翼でありながら、後ろの具合も良くてストールしもしないと言う、良い翼型を設計した。

ところが、ティップ(wing tip＝翼端)の翼型はK－159、ルート(wing root＝翼付根)はK－151で、それを直線に結んで線図を描くのに、補助翼の間1/3位の所からその先はどうしても全部159でなくちゃいけないと、空力担当者が頑張ってしまった(図5)。

このため、翼本体だけでなく、スラットも補助翼も線図が通らず、微かに捩れて翼担当者を苦しめた。

内藤氏に何であんな事したのと聞いたら「あれは若気の至り。」と言っていたとの事。

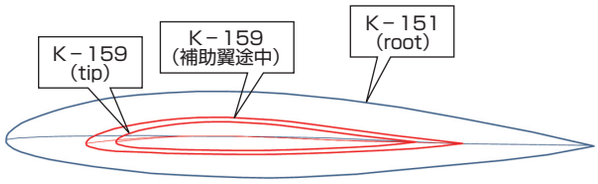


図５　彩雲の翼型のイメージ

3.4 『彩雲』の整備設計者のスピーチ

昭和19年2月と思うが、1号機と3号機が テストで横空からテニアンに飛んで来た。

行って良く見たら見事な機体で、翼端迄のインテグラルタンクと言う説明もあった。

自分は修理する方で、そう言うのが飛んで来た時に、海軍の方では大修理、中修理、小修理、と言うマニュアルが出来ている訳で、それには未だ載って無かったが、インテグラルタンクだけ覚えてる。

スピード時速659キロ、航続距離5000キロだと言う事も聞いた。

戦後米軍が持って行って向こうで試験したら時速700キロ近く出たと言う話を聞いた。

4.　教訓考察

4.1　板厚の適正化

設計初心者は、強度、剛性が不足すると、問題の部位に当てパッチを付けて対策しようとする傾向がある。

今仮に、ベースとなる片持ち梁が、幅b、板厚hの矩形断面を持つと、

断面2次モーメント $I = bh^3/12$

断面係数　　$Z = bh^2/6$　になる。

当てパッチ相当の2枚重ねにすると、1部材当りの荷重が1/2になるのと同じだから、フックの法則により応力は1/2、撓みも1/2にしかならない。

ところが板厚を2倍にすると応力に影響するZは4倍になるから、応力は1/4、撓みに影響するIは8倍になるから、撓みは1/8になる事を理解しなければならない（図6応力イメージが赤）。

『彩雲』の胴体設計者のスピーチは、厚板化により重くなったのをどう解決したかに言及していないが、厚板化により縦通材が減らせた事、リベットが大幅に減らせた事が効いたと言うのが定説になっている。

軽量化には、SUBARUの質量管理に従事した経験から言うと、機体が零戦と幾らも違わない大きさ、天山の2/3の翼面積で、不足分を高揚力装置で解決した事が相当効いていると思われる。

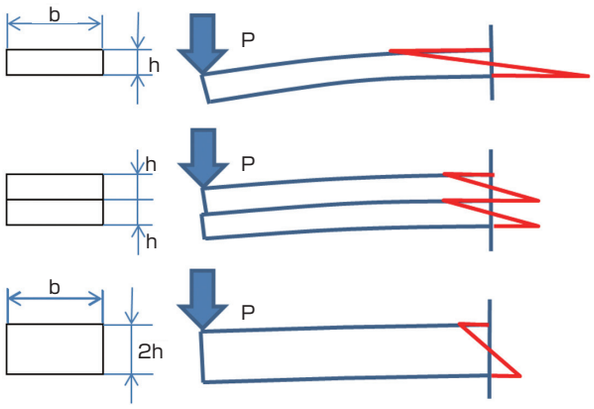


図６　片持ち梁の厚板化による強度、剛性変化

一般論で、寸法が増えるとその2乗で面積が増え、3乗で体積と質量が増えるスクエア・キュービックの関係を車両エンジニアも忘れてはならない。

4.2　力骨設計より機能部品のレイアウトが先

耳の痛い言葉である。

図7に 小型枠イメージでパワーユニット前側クラッシュストロークを合せ、L4横置き（青）、H4縦置き（赤）、L4縦置き（緑）の重ね描きをした図を示すが、フロントフレームが外からこの順に並ぶ。

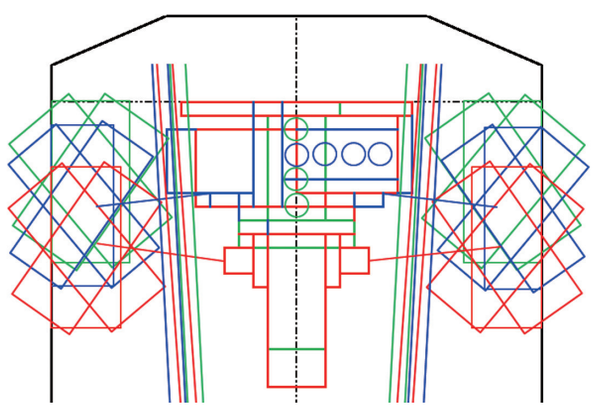


図７　L4 横置き、L4 縦置き、H4 縦置きの重ね描き

一般論で、L4縦置きは幅の広いタイヤを付けても舵角が大きく取れ、L4横置きは横方向がきつくタイヤ幅が狭く成り勝ちで転舵も特に外輪側が大きく制限される傾向にあり、H4は両者の中間になる。

最近ではA、Bセグの車の幅も随分広くなりL4横置きのネガな部分は目立ち難くはなっているが、同じ幅なら幅方向有利さの序列は変わらず、車両諸元の将来を精密予測しベストな骨の位置を探りたい。

何てったって車両前側に水平対向載せてるのは世界中でSUBARUだけなのだから。

4.3　インテグラルタンク的構造の再評価

関係者の証言及び残された資料、艦攻(天山)で使った構造を改良と言うキーワードをヒントに、翼の付根のK－151翼型に無理矢理図8の通りイメージ図を起こしてみた。

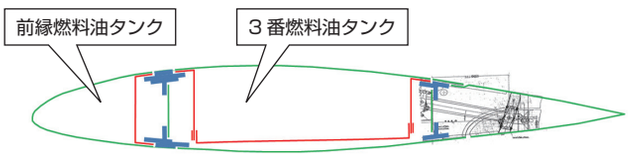


図８　彩雲のインテグラルタンクのイメージ

ところでスバル1000～1300Gのセダンの燃料タンクがインテグラルだったのを御存知だろうか？(図9)

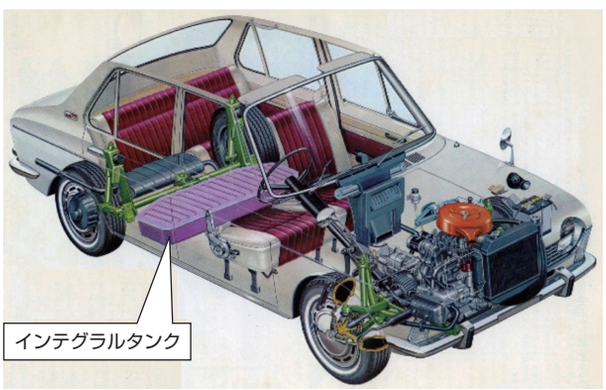


図９　スバル 1000 のインテグラルタンク斜視図

リヤシートの下には車体構造上大きな穴が開いており、そこに黒い燃料タンクが落とし込んであり、そこにタンク上面のフランジで引っ掛かり、多数のボルトでボディに結合されていて､その基本構成は図8の『彩雲』の3番燃料油タンクとそっくりである。

当時は、セダンでは殆ど室内とも言えるトランク内のシートバック後ろに燃料タンクの車も一般的だった時代で、それよりは遥かに安全な位置と構造だったと言える(図10)。

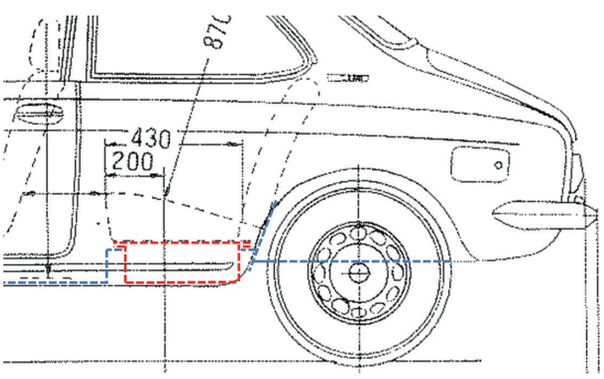


図 10　スバル 1000 のインテグラルタンク側面視図 (6)

今日的に、シートの下とは言え燃タンの一部が車室内側の設計をする事はあり得ないが、同じくエネルギー源であるバッテリは出来れば洪水の水位より上にしたい事もあり、室内に置かれる事も多い。

このバッテリボックスを、車体の強度、剛性メンバとするPAT.出願も見られ、温故知新で、スバル1000の燃タン位置にEV系パワエレ部品搭載するのも一興である。

SUBARUの群馬県太田市の矢島工場のビジタセンタの1階にSUBARUの4WDの原点であるスバル1300G－4WDバンが展示されている(図11)。

図 11　スバル 1300G-4WD バン

バンがインテグラルタンクで大丈夫かと思ってリヤシート下のカーペットを捲って見たら、ちゃんと車体の厚い鉄板がついていてセダン共用のプレス型で作られ、プロペラシャフト部分だけ後工程で凹ませたと思われるタンクがフロアの下側からボディの閉断面に取付けられていた(図12)。

図 12　スバル 1300G－4WD バン

『彩雲』はインテグラルタンクの被弾を心配したが、実際は高速を利して実用上の問題にならなかった模様。これがセダンのインテグラルタンクの状態で、日

本の戦闘機や爆撃機では後にタンクの防弾の必要が出たのが、鉄板1枚分は確実に重くなったバンの境遇にダブって見える。

4.4　初心に戻って翼型の勉強

報告者等は、2017年スバル技報44号にて『空気の見える職人の養成について Part 2』で、

「STIの理論と経験の融合した空力開発が本格化したのは平川社長体制になったここ2年位の事である。未だ未だ伸び代があり、それを実現するための空気の見える職人を養成するには、空力に付随する様々な経験を若い内から思いっきりやらせたい。またSTIの本領であるレース活動においても、PDCAの高速回転により通常の量産開発設計ではあり得ぬスピードで良き経験を積ませたい。」と論じた。

今回、『彩雲』の関係者の翼型に関する証言やその周辺の再確認をした処、報告者は翼理論や航空力学の基礎的勉強無しに即物的に動いていた事を痛感した。

可能であれば航空宇宙カンパニーにも手解き頂き、STIの空力開発もより高いレベルに導きたい。

手始めに彩雲の翼の高揚力装置を逆様にしてSTIの試作車に付けて見るか？

5.　まとめ

航空機で行われている事がそのまま全て自動車に適用出来ると言う事では無いが、『彩雲』の

1. 形状改善より小型化！
2. 層流翼を活かしきった厚板構造
3. 彩雲のために層流翼の決定版開発
6. 高揚力装置の集中使用

等の本質を温故知新、SUBARU開発陣と共有し、より良いSUBARUやSTIを作って行きたい。

参考文献

(1) カッパ・コミクス 鉄腕アトム 第2巻第7号, p.102, 光文社（1965）
(2) タミヤ歴史館(2015-5-14)
(3) 内藤子生：飛行力学の実際, 社団法人 日本航空技術協会(1970)
(4) カッパ・コミクス 鉄腕アトム 第2巻第1号, p.95, 光文社(1965)
(5) 保存版 軍用機メカ・シリーズ3 彩雲／零水偵, p.10 ～ 25, 光人社(1993)
(6) DRIVER'S HAND BOOK SUBARU 1000 Sports, 巻頭の図, 富士重工業(1969)

【著　者】

坂崎　明彦

SUBARU「航空機搭載型小型赤外線センサシステムインテグレーションの研究試作」で、飛行試験機の初飛行に成功

2018年10月17日

当社航空宇宙カンパニーが防衛装備庁より受注している「航空機搭載型小型赤外線センサシステムインテグレーションの研究試作」について、飛行試験機の初飛行に成功しました。

車体番線座標の原点は何処にすべきか？

Where should Origin of Body Lines Coordinates Be?

坂　崎　明　彦*
Akihiko SAKAZAKI

抄　録

車両の設計には番線が使われる。

JIS、或いはその元になるISOの規格が定着するにつれ、X＋が車両後方、Y＋が車両右方、Z＋が車両上方に統一されて来た。

X方向の基準は、前バンパ先端、前軸中心、トーボード等、各社の運用が異なる。

新型車開発の度に0からスタートするメーカでの事情は分からない。

過去の遺産を長く有効活用するスバルの開発スタイルでは、トーボード基準とすれば、一番良かったのではと私は経験上言える。

そうする事がマストではないが、今後は良く考えて設定したいものである。

Abstract

Grid lines are used to design vehicles.

As the JIS standards or the standards of the original ISO have become established, X + has been unified as the rear part of the vehicle, Y + as the right of the vehicle, and Z + as the upper part of the vehicle. The reference for the X direction is different at each company. It could be the front bumper tip, front wheel center, toe board, etc. I do not know the circumstances at manufacturers that start from 0 every time a new model is developed. In SUBARU's development style, which has made effective use of the past legacy for a long time, I can say that it was best if the toe board was the reference. It is not a must requirement to do, but I will consider it from now on.

1.　まえがき

番線と言うのは、馴染の無い方もいるかも知れないが、地球における緯度、経度、高度又は深度みたいなもので、これが無いと、数万点の部品の集合体である自動車を大勢で開発､生産する事は殆ど不可能である。

スバルの群馬県太田市の矢島工場のビジターセンタの2階にスバル360の石膏モデルが展示されている(**図1**)。

良く見ると、石膏の表面に罫書き針で傷をつけた罫書き線が、前後、上下、左右に100 mmピッチで引かれており、**図1**では写真小さく判り辛いので、その一部を赤い線でなぞったが、これを番線と言う。

2.　JISの番線に関する規定

JISの関連規定は以下の通りである。

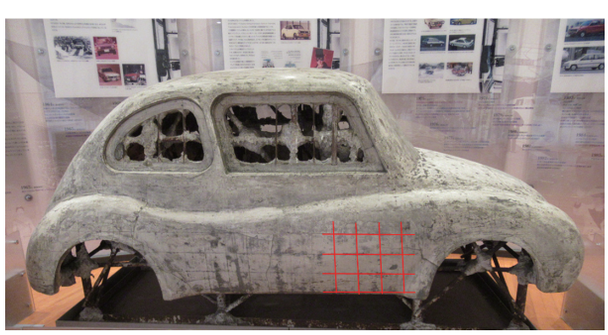


図1　スバル360の石膏モデルの番線

2.1　自動車の3次元座標方式 JIS D 0030－1982

★3次元座標方式の設定　互いに直交する3平面からなる座標方式を、自動車製造業者が最初の設計段階において、次により設定する。

(1) ゼロY平面

同一の車軸にあり、かじ取り車輪又は駆動車輪である左右車輪において、車輪の中心軸と車輪中心面との交点をそれぞれ A、B とする。 線分 AB の中点を通

＊ 技術管理部

り、線分 AB に直交する鉛直面の事(図2参照)。

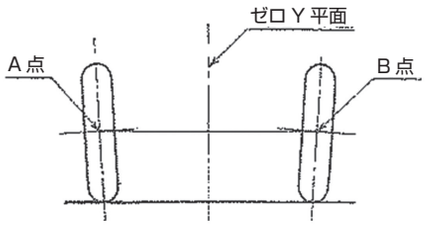


図２　JIS D 0030 ゼロ Y 平面

(2) ゼロ X 平面
　ゼロ Y 平面に直交する鉛直面の事。
(3) ゼロ Z 平面
　ゼロ Y 平面及びX平面に直交する水平面の事。

★3次元座標方式の用い方（図3参照）

3次元座標方式及び基準マークの用い方の基準は、
(1) 自動車の各点は、3 次元座標方式による X、Y 及び Z 座標で決める。
(2) ゼロX平面より前側、ゼロY平面より左側及びゼロZ平面より下側の座標は、負の座標として扱う。
(3) ゼロX平面及びゼロZ平面は、自動車の輪郭の外側に置いてよい。

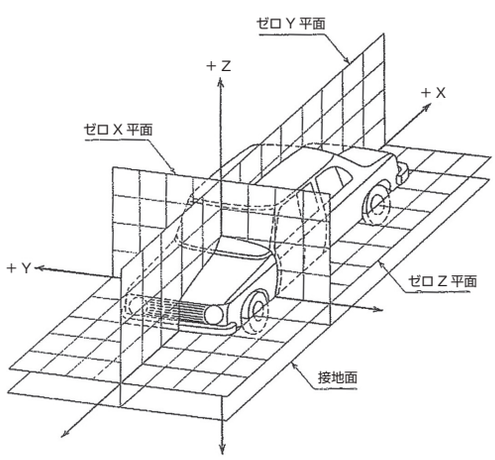


図３　JIS D 0030 ３次元座標方式

例示された図3からは、ゼロX平面がトーボード付近、ゼロZ平面が、ホイールセンタ、サイドシル下端又はフロア付近になっている様に見受けられる。

2.2　製図一製図用語JIS Z 8114－1999

★曲面線図

船体、自動車の車体などの複雑な曲面を線群で表した図面(図4参照)。lines

例示された図4からは、ゼロX平面がバンパ先端の前、ゼロZ平面は地面より1 m近く下の架空点で、サイドシル下端又はフロア付近が10Z（基準から1000 mm）になっている様に見受けられる。

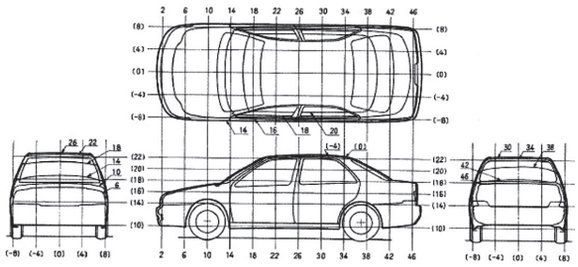


図４　JIS Z 8114 曲面線図

3.　世間の状況

10年、20年前位迄は、国内外問わず、各カーメーカ毎に座標軸すら統一されて無くて、データを授受したら車が横を向いてしまったとか、逆立ちしてしまったと言う様な事がしばしば起こり、その都度座標変換して対応していた。

前述のJIS、或いはその元になるISOの規格が定着するにつれ、X＋が車両後方、Y＋が車両右方、Z＋は車両上方と言う事だけは統一されて来た感があるが、X方向の基準は、前バンパ先端、前軸中心、トーボード等、各社の運用が異なる(図5)。

Z方向基準は、基準車のホイール中心が多数派か?

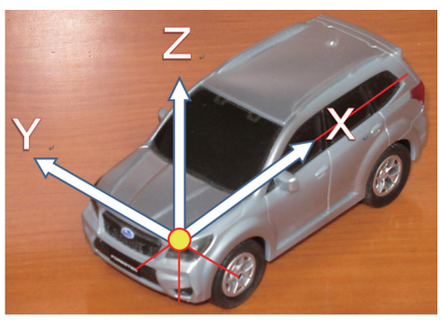


図５　世間の標準的座標基準

4.　SUBARUの番線の状況

4.1　SUBARUの番線に関する社内規定

SUBARUの車両部門の、社内規定では、

X…車体の長さ方向を示し、一般にその原点はトーボード付近(前輪軸中心付近)を示す。原点より前方は負の記号を付けて表し、後方は記号を付けないで表示する。

Y…車体の幅方向を示し、一般にその原点は車体中心を示す。車体の左右を明確にする場合には、進行方向に対して左側は負の記号をつけて表し、右側は記号を付けないで表示する。

Z…車体の高さ方向を示し、一般に原点は床面付近を示す。原点より下方は負の記号を付けて表し、上方は記号を付けないで表示する。

となっている

4.2　SUBARUの社内での運用例

1980 ～ 90年台、SUBARUは未だCADAMの時代であったが、報告者が前述の規定を基に、社内の共通検討座標をルール化し、統一指導した時の絵が残っていたので図6に示す。

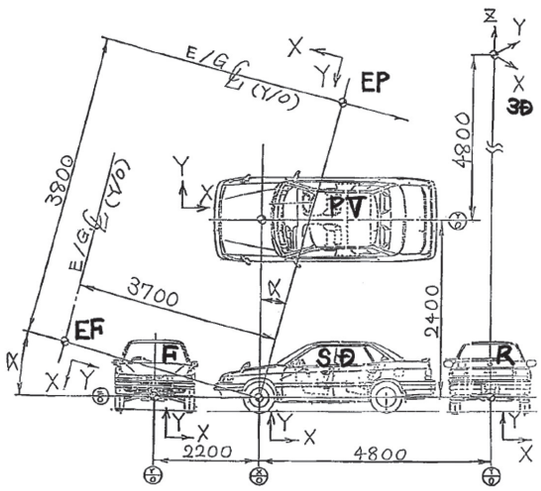


図６　昔の SUBARU の共通検討座標

3Dでは無く2D基準の時代、パワーユニットに取付け傾角がある状態で、これを車両のレイアウト検討図にコンカレントにリンクさせようとした苦肉の策で、このルールで、車両の計画をした時の例を図7に示す。

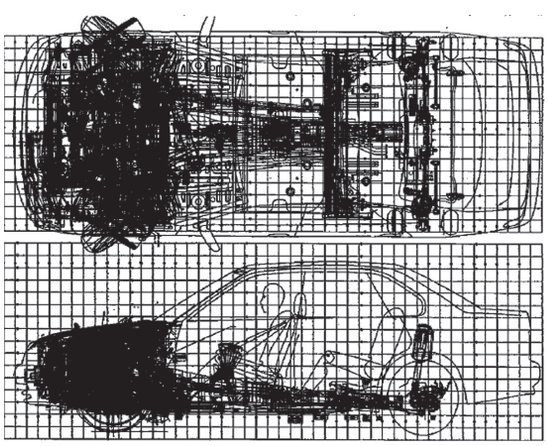


図７　共通座標系での計画運用例

4.3　大昔はSUBARUも社内ルール通りX基準は前輪軸

スバル1000の頃の車体番線の座標原点は、ルール通り、Xが前輪軸中心付近、Zがフロア付近だったと言われている（図8）。

言われていると言うのは、先輩からの伝承だけで、執筆期間中一時的に図面の確認が困難だったためである。

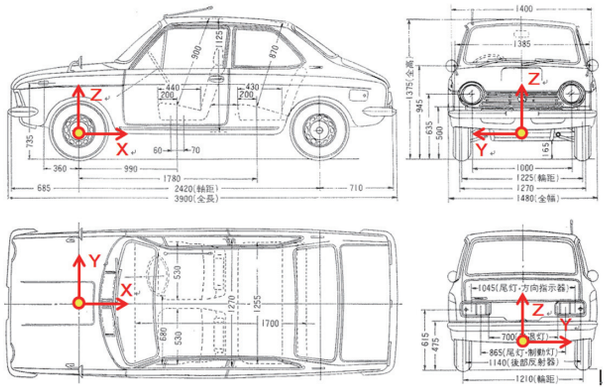


図８　スバル 1000 の番線座標原点推定 [1]

4.4　歴代SUBARUのタイヤ外径の変遷

スバル1000から、最近のSUBARU車迄の、年代毎のタイヤ設計寸法外径の変遷を図9に示す。

SUBARUの量産乗用車は、最初はスバル1000の5.50－13－4PR、或いはスバル1000スポーツの145SR13の小さな設計寸法外径から始まり、最近では大きいものでは30%以上も大径化し、さらにその傾向が続いている。

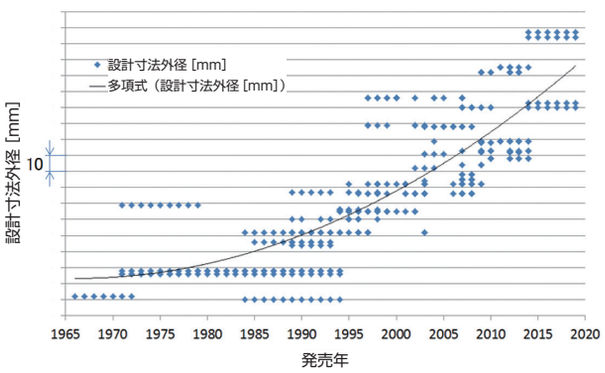


図９　SUBARU のタイヤ設計寸法外径の変遷

新型車開発の度に0からスタートするメーカでの事情は分からないが、過去の開発遺産を長く有効活用するSUBARUの車両開発スタイルでは、スバル1000→レオーネ→レガシィ→最近のSUBARU車群と、過去の車両の諸元値に対し、何が宜しく無いので、何をどう変えて良くしようと言う取組になる。

すると、特に手描きの時代には、過去の計画図を第二原図にして修正、或いは過去の計画図をトレースして、修正と言う取組になる。

4.5　歴代SUBARUのホイールセンタのX、Z座標の変遷

図10の青い円が、スバル1000 ～ 1300Gの時代のタイヤ外径で、一般にX方向の原点はトーボード付近（前輪軸中心付近）と言う事で、原点は前輪軸中心付近を優先し、図中の青矢印付近にあったと推定。

赤い破線は、その時のトーボード（他社ではフロントバルクロアとかファイアーウォール（防火壁）と呼ばれる事のある部品）とフロアを示し、スバル1000のその垂直面のX座標は原点から130 mm後だったと言われている。

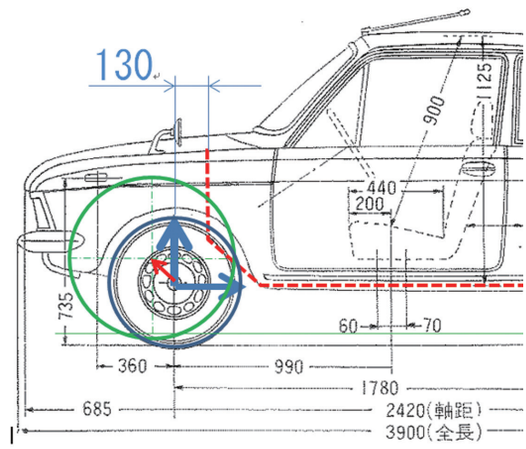


図10　SUBARU車の前軸中心のX、Z座標の変遷[1]

言われていると言うのは、これまた先輩からの伝承で、執筆期間中一時的に図面の確認が困難になっていたためで、申し訳ない。

4.4項で説明した通り、タイヤはフルモデルチェンジする度に大径化し、図10中の緑の円の様に大きくなるし、高車高系の車種を除き、道路事情の改善で地上高は下がる方向、計画図はトーボードの室内側は既存車のコピー修正となるので、前軸中心は同図の中の赤い矢印の方向に移動を続ける事になる。

結果、X方向で、少なくともSGPの初期の現行インプレッサ迄、変化して無かったのはトーボードの位置だけであった。

報告者は、昔、東京モーターショーのコンセプトカーである1995年のα-エクシーガ、1997年のエクシーガⅡの基礎計画に参画したが、この時は、タイヤの位置が数十mm前進するにも関わらずトーボードの位置は計画上変えなかった。

また、フィージビリティスタディで、スバルの車両に、直4横置き、直4縦置き、V6載せたらと、色々な検討をしたが、何時もトーボードは動かさなかった。

X方向の原点はトーボード付近（前軸中心付近）と言う社内規定を、『前軸中心付近』を優先せず、『トーボード』そのものにすべきだったか?

5.　航空機の状況

5.1　第二次大戦中の単発機の前後方向基準

文献[2]でランダムに拾った、第2次世界大戦中の単発機の前後方向基準を、フレームの呼びや寸法の呼び方から、元図面工の目で推定したのが、表1で、エンジンルームと搭乗員の間にある防火壁が、エンジン支持架の取付部にもなっていて、この付近を基準とする場合が圧倒的に多い事が判る。

表1　第2次世界大戦中の単発機の前後方向基準

機体名	発動機	スピナの中の架空点	エンジン房前端同枠	カウリングのエンジン前端付近	エンジンカウル後端	防火壁	フレームNo.	主翼主桁
P47	星型	○						
P51	V12		○			斜め		
Fw190	星型			○				
彗星	V12				○		1	
紫電改	星型					○	1	○
紫電	星型					○	1	○
九四水偵	星型					○	1	
飛燕	V12					○	1	
五式戦	星型					○	1	
彩雲	星型					○	1	
零戦	星型					○	0	
九九軍偵	星型					○	0	
疾風	星型					○	1	
F6F	星型					○	0	○
九九艦爆	星型					○	1	
隼	星型					○	1	
鐘馗	星型					○	1	
九七戦	星型					○	1	
九七艦攻	星型					○	1	
天山	星型					○屈曲前端	0	
九六艦戦	星型					○	1	
零式観測機	星型					○	1	
BF109	V12							○

このフレームNo.は、設計者により1番にしたり、0番（0 mm又は0インチの場合もあり）にしたりしている。

防火壁付近を基準とした代表的な例として、図11に『彩雲』の前後方向基準を赤矢印、防火壁を緑線で示す。

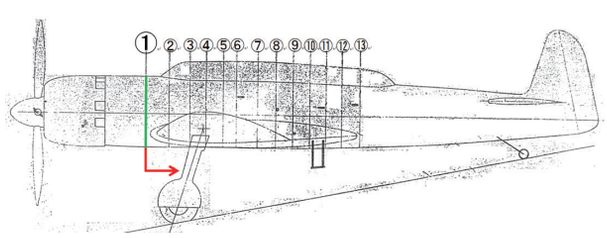


図11　『彩雲』の前後方向基準

図12に『彩雲』の防火壁の外観を参考に示す。

以下、図13～16に防火壁以外を前後方向の基準とした機体の例を参考示すが、前後方向基準を赤矢印、防火壁を緑線で示したのは共通である。

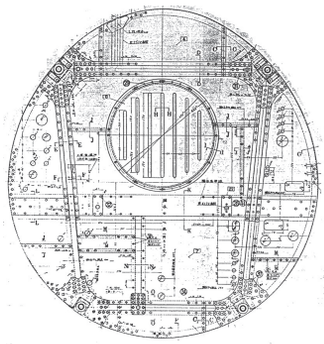


図 12 『彩雲』の防火壁の外観

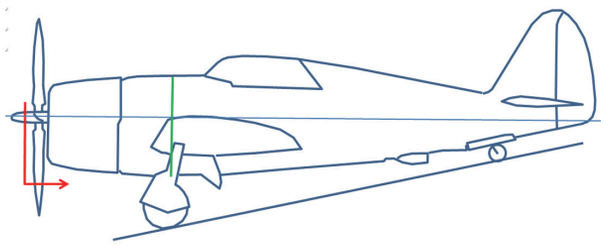


図 13 P－47 スピナの何処かが基準の例

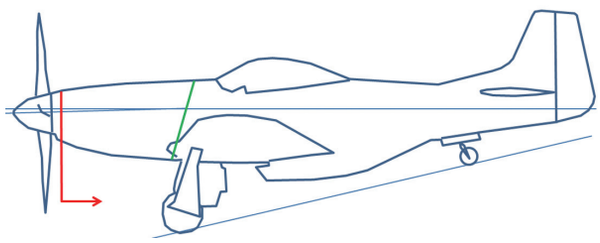


図 14 P－51 防火壁が斜めで基準にし難かった例

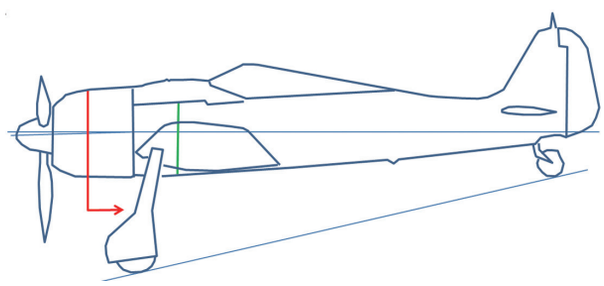


図 15 Fw190 エンジン前シリンダ付近基準の例

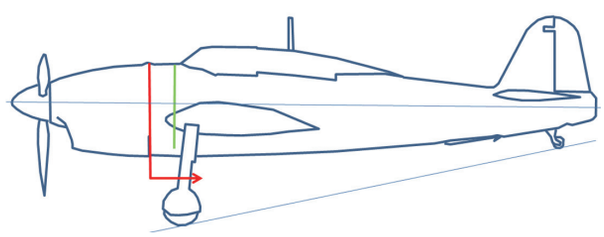


図 16 彗星 防火壁が奥まっている胴体先端基準の例

6. まとめ

6.1 X方向座標の原点

報告者は、40-年近くSUBARUの量産設計、先行開発車両、その他の番線が無くては仕事にならないゾーンの業務に従事して来たが、40年間、或いはその前のスバル1000から、トーボード垂直面を基準にしておけば良かったなぁと、ぼーっと思う。

今回、航空機の基準も概観し、その意を強くした。

バンパ先端を基準にするのは、SUBARUでは年改等でこれが変わる場合あり、得策では無い。

但し、これは手描き～2次元CADの時代に、現役の図面工として活躍しての感覚である。

現在は、3D CADも大幅に進化し、データ量を気にして、確り座標系をセットしてから事を進めないと、組織ぐるみの大スタックになった時代とは違うので、これからの時代を見据えて、確りしたルールを作って報告者の様に40年近くやって来て、どうも自分は道を誤った様だと気付く様な愚はせぬ様にして欲しい。

6.2 Y方向座標の原点

これは車両の中心で異存無いであろう。

但し、JIS D 0030-1982の様に、左右輪の真ん中と言う来て居は、左右輪が左右方向の位置に公差を持つので、ボディの中心として定義すべきであろう。

6.3 Z方向座標の原点

SUBARUにおいては、ホイールセンタでなく、「一般に原点は床面付近を示す。」のままで良いであろう。

SUBARUでは、計画の途中、或いは年改で車高を弄る事があり、ホイールセンタ基準では、その基準点が架空点になってしまう事もあり、ちゃんと測れる場所を基準にすべきである。

参考文献

(1) DRIVER'S HAND BOOK SUBARU 1000 Sports, 巻頭の図, 富士重工業(1969)

(2) 保存版 軍用機メカ・シリーズ1～12, 14,16, 光人社 (1992～1995)

【著　者】

坂崎　明彦

特許紹介

SUBARU Patent Review

技術開発部

最近登録になった特許の中から代表的なものを紹介する。

空気充填装置

【特許番号】特許第6285754号
【発明者】細谷　知希

本発明は、組み立て工場において、様々な仕様のタイヤとホイールの組付体であっても、充填される空気圧のバラツキやビード部がホイールに密着しない不具合の発生を招くことのない、タイヤの空気充填装置を提供するものである。

【発明の背景】

従来の空気充填装置は、タイヤ(T)の周方向にわたってビード部(Ta)の側部(Tb)に、端部が接する円筒状のドーム(102)を備えており、このドームの端部(102a)が、タイヤ側部に接し、さらにドーム内に高圧空気を供給する事で、タイヤ組付体内に高圧空気を供給する。

しかし、タイヤ組付体は、タイヤの硬度や、タイヤ及びホイールの形状、寸法等によって、異なる仕様のものが種々存在し、タイヤのビード部にドームが接するタイミングや、ビード部とドームとの接触が解除されるタイミングが変動する。

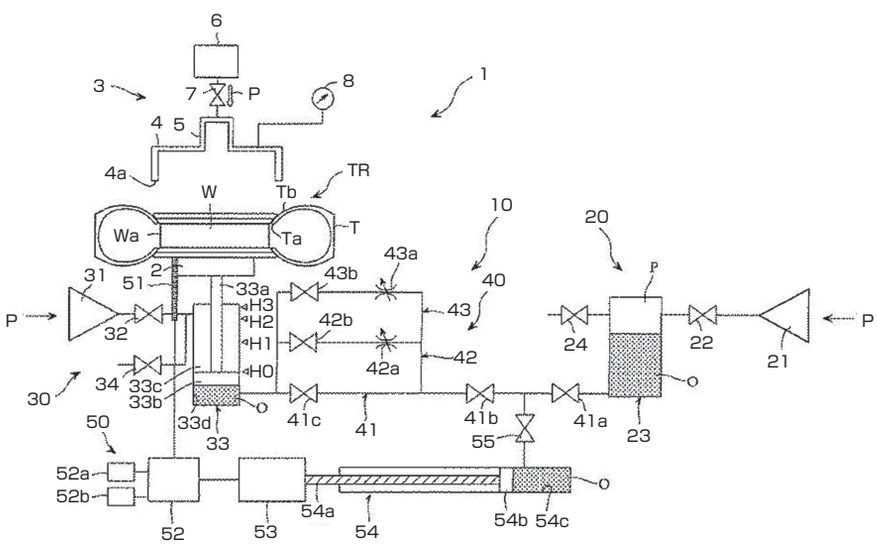
接触タイミングの変動で、充填される空気圧がバラツいたり、ビード部がホイールに密着しない不具合が発生したり等、タイヤの組付品質が低下する。

【発明の概要】

本課題を解決するため、本空気充填装置は、タイヤ組付体のホイール部分を下から支持しタイヤ組付体を昇降させるリフタを持ち、タイヤ組付体の仕様に応じて空気充填開始位置を決定しておいた上で、リフタをドームとビート側方の設置を解除するまでタイヤ組付体の仕様に応じて決定した速度(第1降下速度)で降下させる事を特徴とする。

この構成によって、タイヤ組付体の仕様に合った、ドームとタイヤのビード部の側部との接合が出来、タイヤのビード部がホイールに密着しない組付不良が抑制される。

また、所定の空気圧で充填された状態で、タイヤ組付体の仕様に合った下降速度のため、空気圧にバラツキが生じることもない。



車体前部構造

【特許番号】特許第6339398号
【発明者】石井　聡訓／桑原　光政

本発明は、車体の最前部の構造を工夫し、車両前部への弱い衝突が発生した場合は、最前部の一部が衝突のエネルギーを吸収し、一部分の交換だけで修理が可能であり、また強い衝突がおきても、車両最前部の一部も合わせて、充分な衝突エネルギーを吸収可能な、新しい構造を提案するものである。

【発明の背景】

一般に車両前部には、バンパ内の左右にバンパに沿ってバンパビームという部品が配置されている。このビームは車両前後へ延びる左右のサイドフレームにステーを介して固定される。衝突の際にバンパビームに荷重が入ると、ビーム及び左右のステーが変形して、エネルギーが吸収される。

車体の前部への弱い衝突なら、ビームとステーだけの交換で修理できるが、強い衝突になるとサイドフレームも含めてエネルギー吸収を行う事になる。ここで弱い衝突の時でも、より多くのエネルギーを吸収させたいので、バンパビームは閉断面にする事がある。

しかし、ビームを閉断面にすると、弱い衝突には良くなるが、強い衝突が入ってもビームが潰れ難くなり充分なストローク量が確保できない場合があった。

【発明の概要】

この課題の両立を図るために、本発明では、サイドフレームの前方にて、衝突時に後退するバンパビームの後壁と接触し、その閉断面部分が前後に潰れることを促進させる構造を設けた。また、この構造を、サイドフレームとビーム間を支持するステーに設けられた、車両前側へ突出する突起とする事を特徴とする。

具体的な構造を図によって明示する。**図1**に、バンパビームを固定するステー(43)を示す。ステーは接続パネル(42)にて、サイドフレーム(図示なし)にナット結合により固定される。バンパビーム(図示なし)は、ステーの上壁部(44)と、下壁部(46)にて溶接等により固定される。ステーの壁部(45)には、前方へ突出する突起(47)が作られている。

図2に、本部位の側面から見た断面を示す。大衝突時には、バンパビームが後方へ移動しビーム後部が前記突起と接触する。この接触が契機となり、ビーム閉断面(30、31)が前後方向に潰れ始める。そして、衝突のストロークが増えると、ビームの閉断面が前後方向に潰れ、さらにステー(40)も潰れる事でより大きな衝突エネルギーを吸収することが出来る。

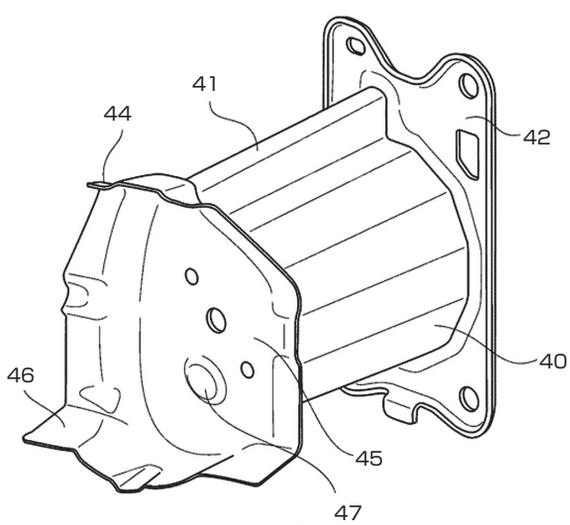


図1

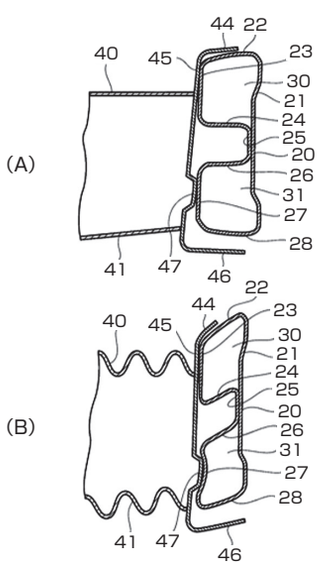


図2

車両の制御装置及び車両の制御方法

【特許番号】特許第6329308号
【発明者】佐藤　豊

本発明は、電動車両の走行安定性を制御する方法において、路面μの変動によるモータ回転数のハンチングを防止するものである。

【発明の背景】

車両の走行安定性制御として、従来技術では、例えば左右の後輪の独立駆動が可能である電動車両において、重心回りのモーメントをヨーレートセンサにて計測し、その値をヨーレートF/B値として駆動制御するものがある。

しかし、ヨーレートセンサ値をヨーレートF/B値として車両を駆動した場合は、路面状態が高μから低μに切り換わると、高μ路を想定した駆動制御ではタイヤがスリップして、低μ路を想定した駆動制御では、高μ路で十分な旋回性能を得ることができなくなる。

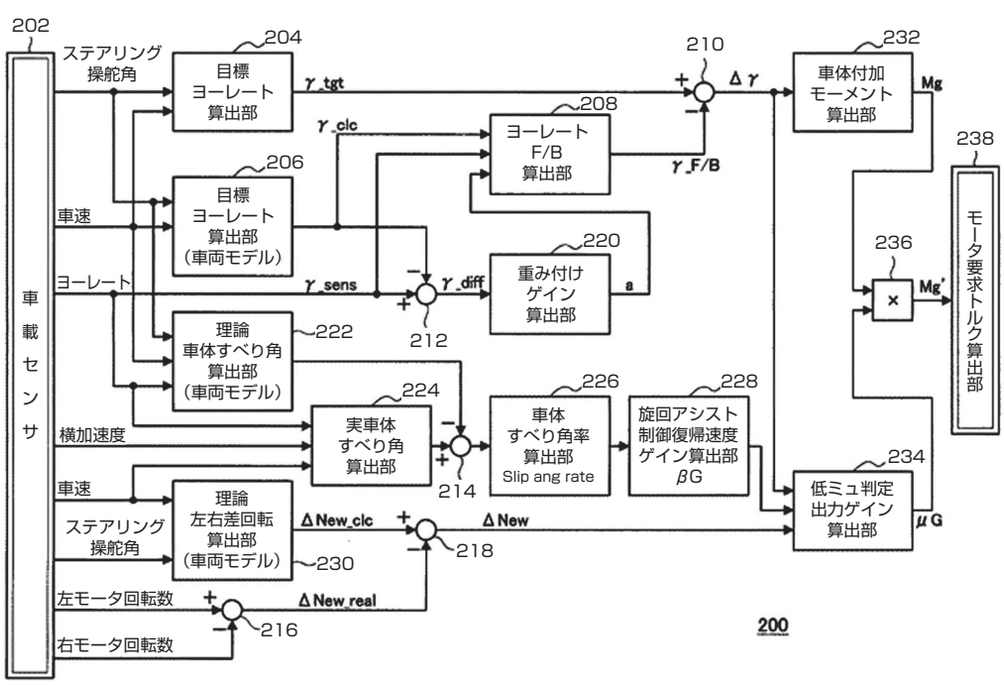
この問題を解決する為、スリップ状態を検知して高μ路と低μ路とで左右輪のモータの駆動制御を切り換え、低μ路を走行中にはモータの出力を低減することが考えられる。しかし、低μ路を走行中のモータの出力低減状態から、高μ路へ復帰する過程で高μ路に対応する制御に戻すと、モータの回転数が急激に上昇し、再度スリップ状態となってしまう。この場合には、スリップ状態を検知してモータの出力を低減するため、再度低μ路に対応する制御が行われてしまい、モータの回転数が増減を繰り返しハンチングが発生するという課題が発生してしまう。さらに、モータ回転数のハンチングを防ぐために、低μ路から高μ路に切り換わる過程で、安全を見込んで高μ路に対応した制御に復帰させるまでの時間をより長くとると、高μ路に対応した旋回アシスト制御への復帰が遅れるため、旋回性能が低下するという課題がある。

【発明の概要】

本発明は、低μ路の制御と高μ路の制御とを切り換える場合に、駆動系に発生するハンチングを確実に抑止するとともに、高μ路に対応した旋回アシスト制御への復帰をより早く行うことが出来る制御を提案するものである。

具体的には、まずスリップ状態を、左右輪の回転数の差と、車両の目標ヨーレートに対するフィードバックヨーレートの差分とに基づいて、判定する。また、ハンドル操舵系とは独立して車体にモーメントを付加する構造を持つ。その上で、車両がスリップ状態にあると判定された場合は、車体付加モーメントが低減されるようにゲインを低減し、スリップ状態から復帰すると判定された場合は、車両のスリップの程度に応じてゲインを増加させることを特徴とする。

本発明により、低μ路の制御と高μ路の制御とを切り換える場合に、駆動系に発生するハンチングを確実に抑止するとともに、高μ路に対応した旋回アシスト制御への復帰をより早く行うことが可能となる。



車両

【特許番号】特許第6294903号
【発明者】大抜　由起夫

本発明は、プラグインハイブリッド車や電気自動車などの、充電ケーブルを有する車両にて、ケーブルの耐久性の向上や劣化の抑制が図れ、さらに充電ガンからバッテリを保護することが可能となるものである。

【発明の背景】

多くのプラグインハイブリッド車や電気自動車は、搭載されたバッテリを充電する際に、充電ケーブルに充電ガンが接続された充電ユニットを用いて、外部電源からバッテリに電力を供給する。

本充電ユニットを車両に搭載する場合、充電ケーブルを小さく束ねて配置すると、曲げ部分が損耗し易くなる。しかし、充電ケーブルを曲げ過ぎないように束ねると嵩張ってしまう。

また、車両が外部と衝突したとき、充電ガンの配置によっては、衝撃で一般的に強度の高い充電ガンがバッテリに衝突してバッテリが損傷してしまうおそれがある。

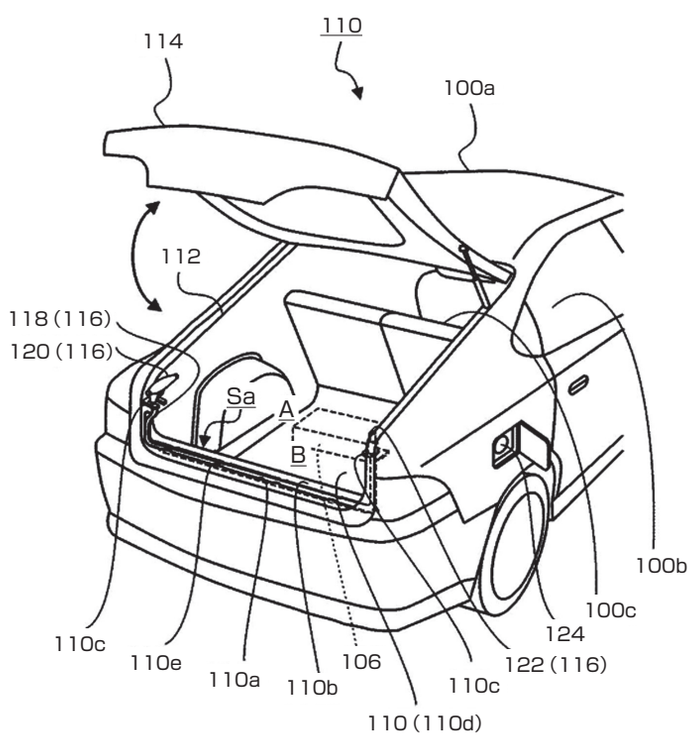
【発明の概要】

本発明は上記課題を克服する為、充電ケーブルの耐久性を向上して品質の劣化を抑制し、充電ガンからバッテリを保護することが可能な、車両を提供することを目的とする。さらにこの事により、充電ケーブルの搭載空間を最小にして、車両内の収容空間を広く確保する事が可能となる。

具体的には、後部座席(100c)の背面側の荷物が収容されるラゲージスペース(110)の内壁面に充電ユニット(116)の充電ケーブル(118)と充電ガン(120)を収容する収容部(ケーブル溝110a、支持部110c、突出部110e、側面110f)を設ける。特に、ラゲージスペース(110)の開口部に沿って延在して設けられたケーブル溝(110a)に充電ケーブル(118)を収容したとき、充電ガン(120)が、外部との衝突時にバッテリに向かって衝撃荷重が伝播する伝播経路外に配置される事を特徴とする。

この事によって、車体への衝突があっても、充電ガンがバッテリを損傷させることを防止し、収容時の充電ケーブル(118)はケーブル溝の形状に制限されるため、損耗の回避と耐久性が向上する。

さらに、充電ケーブルがラゲージスペースを占有せず、荷物の収容空間を広く確保することができる。



車両用表示装置

【特許番号】特許第6298599号
【発明者】若本　直己／丹羽　真

本発明は、特に運転席前の表示装置（インストルメントパネルに表示する速度メーターなど）の位置に、より多くの情報を、表示サイズを小さくすることなく表示することが可能な車両用表示装置を提供するものである。

【発明の背景】

現在、車両に搭載される車両用表示装置としては、車載用ナビゲーション装置など、乗員によるタッチ操作等に応じて、地図情報などの各種情報を表示するものがある。

しかし、この種の車両用表示装置は、車室内のレイアウト上の制約などから、その表示画面のサイズが小さいのが一般的である。

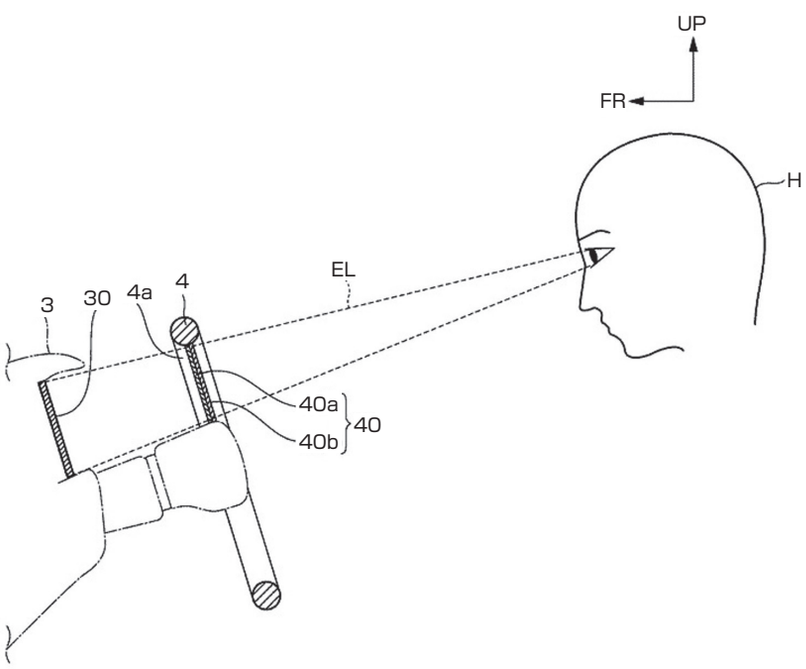
このため、上記のような車両用表示装置に多くの情報を表示しようとすると、各種情報の表示サイズが小さくなり、情報が見辛くなるといった課題があった。

【発明の概要】

本課題を解決するため本案の構成は、乗員の前方に配置される第1の表示手段（例えばインストルメントパネルに表示するメーター）と、その表示手段と離れた所（例えばステアリングホイール内のスペース）に、透明又は半透明な部材によって作られた第2の表示手段を持ち、第1と第2の表示手段は乗員の視線方向で重なる様に配置されているものである。また、第2の表示手段は視線と交差方向に移動できるものである。

この事によって、表示情報が多くなったら、第1、第2の表示手段に分割して表わすことが可能となる。更に、両方の表示手段が、乗員の視線上にあるため、それぞれの情報を重ねて表示でき、乗員の視線移動を抑えられる。

また、第2の表示手段が、ステアリングホイールのような視線方向と交差する方向に移動できる部品に取り付けられても、第2の表示画像をその部品の移動分だけ反対方向に移動させることによって、第2の表示画像があたかも静止している様に見せることが出来るようになる。



隊形設定装置、隊形設定方法及び隊形設定プログラム

【特許番号】特許第6302956号
【発明者】原田　信一／黒柳　知志／友永　行信

本発明は、、長機（リーダー機）と追従する無人機が編隊を組んで飛行する際、その隊形を飛行中に変更する場合に有用な技術である。

【発明の背景】

複数の航空機が編隊を組んで飛行する際、例えば、長機（リーダー機）のパイロットが、追従する僚機である無人機を移動させるなどして、隊形を変更する場合がある。 このような隊形変更は、移動対象機の位置や経路等を数値入力して設定することで実行されるのが一般的である。

しかしながら、数値入力による設定操作では、例えば、自機を操縦中のパイロットが操作する場合などに、パイロットの操作負荷が大きくなってしまう。

【発明の概要】

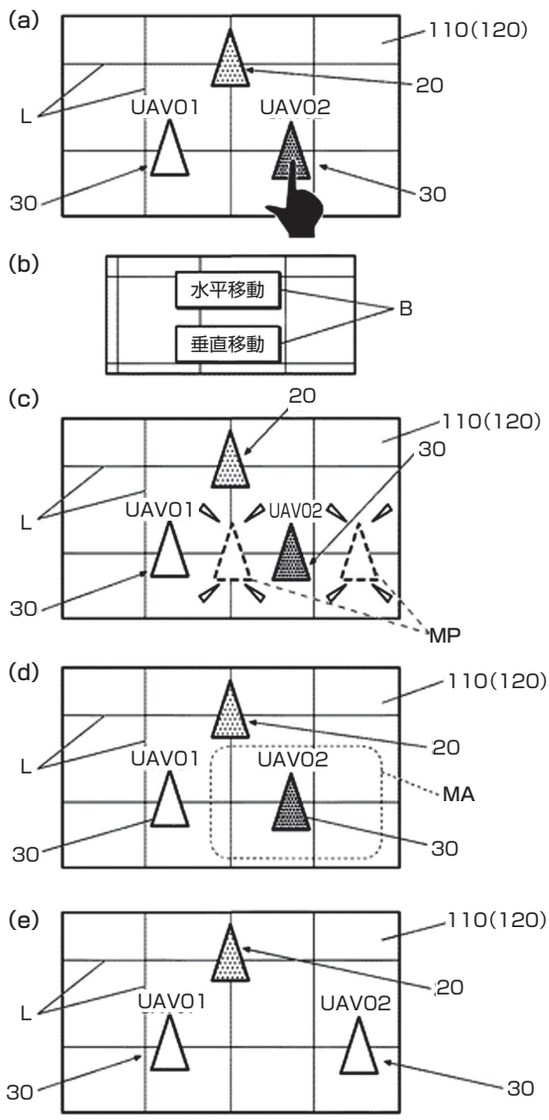
本発明は、簡便な操作で編隊の隊形を変更できるようにすることを目的とする。

本発明は、編隊の隊形を表示するディスプレイを持ち、かつ複数の航空機のうちいずれか一つの航空機を指先でのタッチ操作などにより選択が可能であり、さらにその選択した航空機が他の航空機との距離によって移動可能な範囲を計算した上で、簡便な操作によって移動を行えるものである。

具体的には、編隊の隊形が表示されたディスプレイ（110）の内、飛行位置を変更させたい無人機（30のUAV02）をタッチ操作などにより選択する。さらに、選択された無人機（30）を（b）水平移動と垂直移動のいずれの移動を行うかを選択する。

この操作により、無人機（30）が移動可能な（c）複数の移動可能位置MPまたは（d）移動可能範囲MAがディスプレイ（110）上に表示される。

その上で、ユーザがタッチ操作により移動可能位置を選択する事によって、ディスプレイ（110）上の無人機（30）の位置が、（e）選択された位置に変更されるものである。



変速制御システムおよび変速制御装置

【特許番号】特許第6396956号
【発明者】平尾　公一

本発明は、自動変速機の構造において、変速時のクラッチ解放ショックを抑制し、かつ　その製造コストの増加を抑制することが可能な仕組みを、構築するものである。

【発明の背景】

自動変速機のシフトレンジが変更される際には、クラッチを用いてトルク伝達と中止が行われる。クラッチの解放の際には、フリクションプレートとクラッチプレート間を押圧するピストンにかかる油圧を、所定の圧まで低下する事で実現される。しかし、ピストンにかかる油圧が急峻に離間させられると、クラッチプレート側で振動（クラッチ解放ショック）が発生するおそれがある。

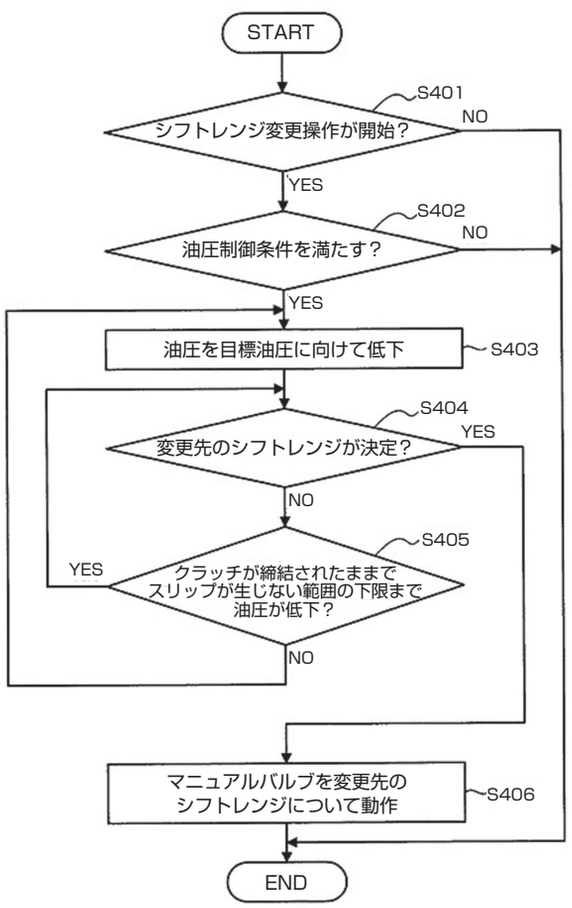
アキュムレータを自動変速機に備える事で、シフトレンジが変更される際には、エンジンのアイドル回転の上昇に応じてアキュムレータを増圧して、油圧が急峻に低下することを抑制する技術が公開されている。しかし、アキュムレータ搭載に伴う、1）製造の複雑さ、2）搭載コストの増加、3）搭載するスペースの確保、などの課題が発生する。

【発明の概要】

本発明は、上記課題を解決するために、1）シフトレンジの変更操作が行われた後、2）作動油を用いてクラッチの締結を制御するシフトアクチュエータを変更先のシフトレンジに向けて、作動油の供給先を切り替えるマニュアルバルブを動作させる前、3）シフト操作検出部によってシフトレンジ信号が検出される前、に、作動油の油圧を目標油圧へ低下させる油圧制御アクチュエータを備える変速制御システムである。

この事によって、変更先のシフトレンジが決定し、マニュアルバルブが作動する前に、クラッチアクチュエータへ供給される油圧を低下、すなわち作動油の供給量を減少させることができる。ここで、マニュアルバルブが作動すると、予め作動油の供給量が減少させられることにより、ドレンオリフィスからドレンされる作動油の量を低減できる。それにより、一気にドレンされる作動油の量が低減され、クラッチ解放時に伝達されているトルクを低減することができる。

さらにこの制御は、クラッチアクチュエータへ油圧を供給する既存の油圧制御アクチュエータの利用で実現でき、追加的な構成は不要となる。



社外発表一覧表（2018.1 ～ 2018.12）

1. 社　外　講　演

※所属は発表時点を示す。

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2018/2	第5回 自動車技術に関するCAEフォーラム in 東京 車両運動性能分野におけるSUBARUのモデルベース開発の紹介	林　　憲孝	CAE部
2018/2	日本大学生産工学部　自動車工学リサーチ・センター 産学連携フォーラム　「自動車技術に関するCAEフォーラム 2018 in 東京」 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2018/2	一般財団法人 光産業技術振興協会　自動車・モビリティフォトニクス研究会 H29年度　自動車・モビリティフォトニクス研究会 第3回公開討論会 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2018/3	公益社団法人　自動車技術会　技術者育成委員会 第2回技術者育成講座 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2018/3	第26回日本人間工学会システム大会： 自動車運転操作時における操舵角データの解析	杉田　琢郎[*1] 菅原　滉平[*1] 土橋　央輝[*1] 河合　隆史[*1] 三家　礼子[*1] 杉山　明子[*2] 鳥居　武史[*2]	＊1 早稲田大学 ＊2 技術研究所
2018/3	国立研究開発法人防災科学技術研究所　気象災害軽減イノベーションセンター 雪氷実験の標準化に関する勉強会： 航空機の着氷防止に関する研究および評価方法紹介	吉田　剛士	航空宇宙カンパニー 研究部
2018/3	2018 電気学会全国大会： 導電率テンソルを用いたFDTD 法による実寸サイズのCFRP パネルの電流分布解析	○上野 航暉[*1] 梅田　晃央[*1] 馬場　吉弘[*1] 長岡　直人[*1] 津端　裕之[*2] 西　孝裕樹[*2]	＊1 同志社大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2018/4	新潟スバル自動車株式会社 新潟スバル自動車（株）2018年度　社員大会 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2018/5	自動車技術会2018年春季大会 直噴ガソリンエンジンにおける微小粒子生成源特定のための分析手法 Analytical Approach for Identifying Sources of Microparticles Generated in a Gasoline Direct-Injection Engine	木谷　泰行*1 戸邊　祥太*1 前田　俊洋*1 鈴木　裕美*1 川島　周平*1 小倉　　明*1 齊木　一浩*2 金丸　　裕*2 斎藤　陽一*2 田畑　邦夫*3 武田　賢二*3 鶴見　和也*3	＊1 エンジン性能開発部 ＊2 エンジン制御開発部 ＊3 株式会社堀場製作所 開発本部
2018/5	自動車技術会2018年春季大会 ガス流動制御を用いたガソリンエンジンの熱効率向上 In-Cylinder Flow Optimization Process for Thermal Efficiency Improvement of Gasoline Engine	中山　智裕 加藤　真亮 武藤　　涼	エンジン性能開発部
2018/5	自動車技術会春季大会 給油性の可視化とCAE予測手法の開発	長谷川　巧	車両研究実験第三部
2018/6	一般社団法人 型技術協会 第32回 型技術者会議2018 タブレット利用による金型メンテナンス業務の履歴管理システム 2018年 型技術協会「奨励賞」の受賞が決定	市川　達也	工機部
2018/6	FMI FORUM 2018 SUBARUのトランスミッション開発における1Dシミュレーション活用事例と今後	黒田　恭亮	トランスミッション性能開発部
2018/6	一般社団法人　科学技術と経済の会 第6回技術経営・イノベーション・シンポジウム “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密 科学技術と経済の会会長賞	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2018/6	dSPACE Japan株式会社 dSPACE Japan User Conference 2018 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2018/6	一般社団法人　科学技術と経済の会 一般社団法人　科学技術と経済の会 矢島工場見学 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密 矢島スペシャル！	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2018/7	SiemensPLM Connection Japan 2018 生産技術におけるCAEの活用事例紹介 塗装炉体ボディ温度予測技術開発について	稲見　顕子	生産技術管理部
2018/7	東北大学　マイクロシステム融合研究開発センター プレミアム技術セミナー 2018　第3回 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2018/7	一般社団法人 倫理研究所 2018 埼玉・茨城・群馬 倫理法人会親子会 in OtaKanayama “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2018/7	9th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics（USA）： Feature Classification of Skilled and Unskilled Persons in Car Driving Operation	杉田　琢郎*1 菅原　滉平*1 土橋　央輝*1 河合　隆史*1 三家　礼子*1 杉山　明子*2 鳥居　武史*2	*1 早稲田大学 *2 技術研究所
2018/7	Siemens PLM Connection Japan 2018 SUBARUにおける「ライトCAE × AI技術」活用の取組み紹介	湯村　洋典	CAE部
2018/7	14th International Symposium on Advanced Vehicle Control Front Suspension Analysis to Shorten the Vehicle Response Time	林　　憲孝	CAE部
2018/7	第34回 経営に貢献するCAEセミナー 車両運動性能分野におけるSUBARUのモデルベース開発の紹介	林　　憲孝	CAE部
2018/7	Macnica Networks DAY 2018（セミナー）： 航空機組立におけるIoT活用事例 振動センシングによる自動穿孔作業の異常検知技術開発	石丸　大祐	航空宇宙カンパニー 生産技術部
2018/7	電気学会論文誌B（電力・エネルギー部門誌）： CFRPパネルの実寸モデルにおける雷電流および端部電界のFDTD解析	○梅田 晃央*1 上野 航暉*1 馬場 吉弘*1 津端 裕之*2 西 孝裕樹*2 佐藤 保宜*2	*1 同志社大学 *2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2018/8	AMS 19th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology（USA）： Results of Initial Feasibility Study on Tactical Support Information for Avoiding Aircraft Lightning Strikes	○吉川 栄一*1 牛尾　知雄*2 西　孝裕樹*3 瀬之口　敦*4 鴨川　　仁*5	*1 宇宙航空研究開発機構 *2 首都大学東京 *3 航空宇宙カンパニー システム設計部 *4 電子航法研究所 *5 東京学芸大学
2018/8	第6回 自動車技術に関するCAEフォーラム in 名古屋 車両運動性能分野におけるSUBARUのモデルベース開発の紹介	林　　憲孝	CAE部
2018/8	International Gear Conference 2018（France） Efficiency Improvement of Hypoid Gear for Automotive Transmission	斎木　康平 飛澤 圭一郎	CAE部 SUBARUテクノ（株）

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2018/8	名古屋大学　未来社会創造機構　モビリティ領域／日本大学生産工学部　自動車工学リサーチ・センター 産学連携フォーラム「自動車技術に関するCAE フォーラム 2018 in 名古屋」 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2018/9	メンター・グラフィックス・ジャパン　株式会社 PCB Systems Forum 2018 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2018/9	ATCx オートモーティブ 車両構造部材へのCFRP適用研究	向中野 侑哉 下山　　浩	技術研究所
2018/9	電気学会　基礎・材料共通部門大会： 航空機雷撃試験のための金属電極周囲ガス条件がスパーク発光特性に及ぼす影響 に関する基礎検討	○鴨田 将一*1 徳益　　昂*1 大塚　信也*1 西　孝裕樹*2	＊1 九州工業大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2018/9	電気学会　基礎・材料共通部門大会： 間接雷試験におけるファスナ付きCFRP 複合材からのスパーク現象の雷撃電流値依存性に関する検討	○徳益　昂*1 鴨田　将一*1 山内　辰浩*1 大塚　信也*1 西　孝裕樹*2	＊1 九州工業大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2018/9	平成30年度（第71回）電気・情報関係学会九州支部連合大会： LEDを用いたスパーク模擬発光観測画像のスペクトル特性評価のための画像処理手法に関する基礎検討	○鴨田 将一*1 徳益　　昂*1 大塚　信也*1 西　孝裕樹*2	＊1 九州工業大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2018/9	平成30年度（第71回）電気・情報関係学会九州支部連合大会： 光ファイバ材料が雷撃試験におけるスパーク発光検出特性に及ぼす影響に関する基礎研究	○徳益　昂*1 鴨田　将一*1 大塚　信也*1 西　孝裕樹*2	＊1 九州工業大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2018/9	SAE AE2 Lightning Committee（U.S.A.）： ARP5416 Ignition Detection Test Method Revision Incandescent Ignition Source Standard Development The Yellow Hue Digital Photo	○西 孝裕樹*1 大塚　信也*2	＊1 航空宇宙カンパニー システム設計部 ＊2 九州工業大学
2018/10	イータス株式会社 車載制御・組み込みシステム開発シンポジウム2018 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2018/10	日本てんかん学会 第52回日本てんかん学会学術集会 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2018/10	自動車技術会2018年秋季大会学術講演会： 排熱発電のフィージビリティスタディ	種岡　秀之	技術研究所
2018/10	The 31st International Electric Vehicles Symposium & Exhibition（EVS 31） & International Electric Vehicle Technology Conference 2018（EVTeC 2018）（日本） Development of the Electromagnetic Design Method for the Automotive EMC Problems	夏目　侑紀 大堀　勇二 犬童　翔太	電動ユニット設計部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2018/10	CarSim/TruckSim/BikeSim User Conference 2018 CarSimを使用した実車搭載型ベンチシステムの構築	海口　大輔	電動ユニット研究実験部
2018/11	DAFULセミナー 2018 DAFULを活用したトランスミッション要素の性能評価活用事例	蓬田　嘉之	CAE部
2018/11	日本機械学会 第29回内燃機関シンポジウム 高圧縮比化、高EGR化によるガソリンエンジンの熱効率向上 Thermal Efficiency Improvement of Gasoline Engine by High Compression Ratio and Increasing EGR Flow	木村　翔平*1 加藤　真亮*1 中山　智裕*1 菅沼　邦彦*1 関　　竜達*2	＊1エンジン性能開発部 ＊2エンジン設計部
2018/11	第6回 Dymola/Modelica/FMIセミナー SUBARUのトランスミッション開発における 1Dシミュレーション活用事例	須山　　稔	トランスミッション性能開発部
2018/11	第56回飛行機シンポジウム： 航空機向け大物チタン機械加工部品専用機の開発	大曲　康輔	航空宇宙カンパニー 生産技術部
2018/11	日本航空宇宙学会　第56回 飛行機シンポジウム： 大型主要構造組立の生産ライン構築	西村　和範	航空宇宙カンパニー 生産技術部
2018/11	日本航空宇宙学会　第56回飛行機シンポジウム： 「環境適合超音速旅客機実用研究会」設置について	○金崎 雅博*1 高谷　亮太*2 牧野　好和*3 大林　　茂*4 佐宗　章弘*5	＊1 首都大学東京 ＊2 航空宇宙カンパニー研究部 ＊3 宇宙航空研究開発機構 ＊4 東北大学 ＊5 名古屋大学
2018/11	日本航空宇宙学会　第56回飛行機シンポジウム： 超音速旅客機インテークの非設計点におけるスピレージ抵抗評価技術に関する研究	○高谷 亮太*1 三友　俊輝*1 上野　篤史*2 牧野　好和*2	＊1 航空宇宙カンパニー研究部 ＊2 宇宙航空研究開発機構
2018/11	日本航空宇宙学会　第56回飛行機シンポジウム： ロータと固定翼との空力干渉風洞試験の事前予測について	○田辺 安忠*1 小曳　　昇*1 菅原　瑛明*2 小林　　航*3 林　　大貴*3 佐藤　良亮*4	＊1 宇宙航空研究開発機構 ＊2 株式会社菱友システムズ ＊3 航空宇宙カンパニー回転翼機設計部 ＊4 航空宇宙カンパニー研究部
2018/11	日本航空宇宙学会　第56回飛行機シンポジウム： CFRP構造の耐雷防爆実証用の新しい試験システム	○西 孝裕樹*1 大塚　信也*2	＊1 航空宇宙カンパニーシステム設計部 ＊2 九州工業大学
2018/12	第3 回WEATHER-Eyeオープンフォーラム： 「被雷事故を防ぐための技術」	河野　　充	航空宇宙カンパニー 研究部
2018/12	第16回　ITSシンポジウム2018 自動運転レベル3における運転権限の安全かつスムースな移譲を促進するHMIの設計	○田中 敦也 春日　伸予	車両研究実験第二部 芝浦工業大学
2018/12	薄鋼板成形技術研究会 2018年度第3回研究会 フェンダー面精度向上の取り組み	澤田　智之	第一生産技術部

（公社）：公益社団法人、（一社）：一般社団法人　（公財）：公益財団法人、（一財）：一般財団法人

2. 寄　稿

発表時期	寄　稿　先 「発表タイトル」	著　　者	所　　属
2018/4	防衛技術ジャーナル2018年4月号： 防衛用無人機システムの動向（Ⅲ）― UASの主要動向 ―	芝尾　裕規	航空宇宙カンパニー システム設計部
2018/5	自動車技術会誌　2018年5月号 匠の技　走りの匠を育てるスバルドライビングアカデミー	柏瀬　　一	技術開発部
2018/7	一般社団法人 型技術協会 型技術 2018年7月号 タブレット利用による金型メンテナンス業務の履歴管理システム	市川　達也	工機部
2018/8	自動車技術会誌　2018年8月号（年鑑号） 自動車と安全	後藤　　司*1 中瀬　哲也*2 山崎　易治*3	＊1 環境安全情報部 ＊2 車両研究実験第二部 ＊3 電子商品設計部
2018/8	自動車技術会誌　2018年8月号（年鑑号） 振動・騒音・乗心地	林　　憲孝*1 佐藤　直人*1 三好　慶和*2 近藤　和幸*3	＊1 CAE部 ＊2トランスミッション 性能開発部 ＊3 車両研究実験第一部
2018/12	自動車技術会誌　2018年12月号 スバル　デザイン戦略の進化	石井　　守 坂口　慶明	デザイン部

編　集　後　記

平成から令和へ元号が変わり、この節目の年に、令和最初のSUBARU技報をお届けします。

編集にあたりまして、各テーマをご執筆いただいた関係各位のご努力、そして制作に関わった関係者の並々ならぬご尽力に心から感謝いたします。

私事ではありますが、この編集を機に、平成元年発行のSUBARU技報第16号～平成30年の第45号までを読み、平成を振り返ってみました。読書は苦手な方ですが、興味を誘う内容が多く、つい読み入って時間が経つのを忘れてしまうくらいでした。SUBARU躍進のために、たくさんの新技術にチャレンジし、それを実現するために努力されてきたことが、ひしひしと伝わり、歴史を振り返ることができるSUBARU技報のすばらしさをあらためて実感しました。

さて、本号ですが、各部門から、たくさんの執筆をいただき、みなさんの御努力が結果として現れる充実した内容となっています。自動車では北米向け新型OUTBACK/LEGACYの進化を紹介、SUBARU初プラグインハイブリッドの新型クロストレック、それから各研究開発では現代から未来に向けての研究論文、航空機では電動化技術の紹介、電動車における生産技術、それからたいへんためになる技術伝承を執筆いただいております。

最後に、お客様の笑顔のために、さらに技術を積み上げ、SUBARU技報が益々充実していけることを願い結びとさせていただきます。　（関谷）

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：小野寺　圭　商品企画本部
大関　透　デザイン部
坂崎　明彦　技術管理部付
塚田　剛久　車体設計部
山崎 研太郎　外装設計部
林　憲孝　CAE部
宇津木 芳明　シャシー設計部
田中　純　内装設計部
齊藤　広隆　電子商品設計部
野村　昌孝　電子プラットフォーム設計部
手塚　俊介　先進安全設計部
沖　修一　材料研究部
小林　正明　車両研究実験第二部
冨士　啓　車両研究実験第三部
関口　弘幸　車両研究実験第四部
高橋　泰　試作部
沈　建栄　生産技術管理部
京徳　信夫　エンジン設計部
関谷　雄一　トランスミッション設計部

委　員：中山　智裕　エンジン性能開発部
山本　光夫　トランスミッション性能開発部
五十嵐 雅敬　電子技術部
大抜 由起夫　電動ユニット設計部
天笠　義則　技術研究所
荻巣　敏充　航空宇宙カンパニー 研究部
長田　保　航空宇宙カンパニー 研究部

事務局：鶴田 三紀夫　技術管理部（群馬）
早川　健　技術管理部（東京）
髙見澤　剛　技術管理部（群馬）
大町　昭司　技術管理部（東京）
藤田 江利子　技術管理部（群馬）
中島　宏和　技術管理部（東京）
小杉　富雄　SUBARUテクノ株式会社
正田　茂　SUBARUテクノ株式会社
永澤　精一　SUBARUテクノ株式会社
丸山　次郎　SUBARUテクノ株式会社
宮澤　則之　SUBARUテクノ株式会社
富岡　淑美　SUBARUテクノ株式会社

SUBARU技報第46号（非売品）

発　　行　2019年6月
発行兼編集人　SUBARU技報編集委員会
発　行　所　株式会社SUBARU技術管理部
群馬県太田市スバル町1-1
電話　0276-26-2411
印　　刷　SUBARUテクノ株式会社
群馬県太田市金山町27-1
電話　0276-26-2626

©2019 SUBARU CORPORATION
禁無断転載

SUBARU