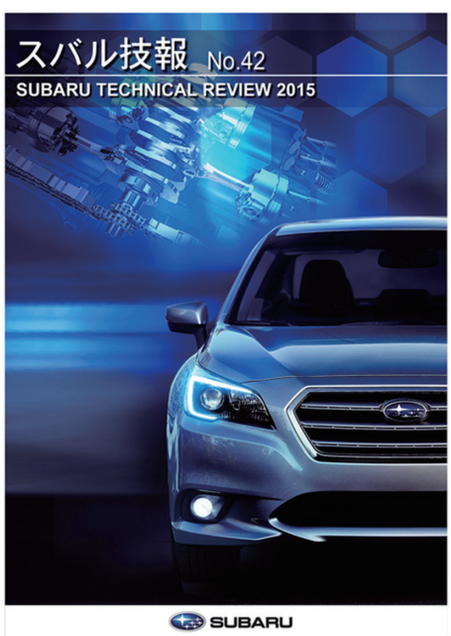
スバル技報 No.42

SUBARU TECHNICAL REVIEW 2015

SUBARU

LEGACY



表紙デザイン

“安心と愉しさ”を表現するデザインフィロソフィー＝「ダイナミック×ソリッド」をコンセプトにデザインしたLEGACYを用いて構成しました。
水平対向エンジンの記号性をモチーフとしたフロントの構成と特徴的なランプのシルエットを印象的にまとめました。

デザイン部　小林寛之

SUBARU TECHNICAL REVIEW

2015 No.42

巻頭言

2020年を前に

常務執行役員　前田　聡

当社は今年、水平対向エンジン生産累計1,500万台を達成しました。1966年スバル1000発売から足掛けおよそ半世紀での達成となります。平均すると30万台／年ということになりますが、今はその３倍近い販売を続け、急成長を遂げています。一方、アイサイト装着車の販売は、この30万台を7年で達成しています。いずれの技術も先人の知恵と努力があり、その後の絶え間ない研究開発や生産化努力が大きな実を結び、今日の好業績に繋がっています。

最も分かり易い例として、この２つの事例を取り上げましたが、特にここ数年の商品開発は、そのどれもがお客様から高い評価をいただいており、拡販に結びついています。これらは、我々開発部門全員の成果であり、改めて関係各位に感謝を申し上げます。

一方で･･･2020年を前に、どこの部署も苦しく厳しい開発が続いているのではないでしょうか。2020年は東京オリンピック・パラリンピックの年です。この一大イベントに合わせ、交通インフラも進み、自動運転に関する新たな商品が出てくるものと思われます。更に、自動運転技術に関してはGoogleといった所謂ＩＴ企業の参画もあり､新しい発想での技術開発が厳しさを増してきています。これに対し、アイサイト技術をコアにしながら、当社としての戦略的導入が必要であり、その商品価値実現に向け厳しい戦いが続いています。

パワーユニット開発に関して言えば、各国燃費規制強化に毎年対応を強いられ、国内ではこの４月から施行された税制優遇対応に苦しい戦いが続いています。また、GHG規制、中国第四段階規制、欧州CO2対応に加え、LBT、WLTP、RDE・・と開発負荷とハードルも上がる一方です。更に、これからの環境時代、電動車開発の規模拡大は避けて通れず、戦略的なスバルらしい電動車の開発が求められています。

更に更に、例えば、コネクティビティの進化やサイバーセキュリティ対応など、新たな開発項目も目白押しです。会社が急成長していることも重なり、多くの開発現場で成長の歪が生じているのではないでしょうか。

今､2020年を前にして､これらの難題に技術本部の総力を持って立ち向っていかなければなりません。そのために、人も増やし、今まで以上に先行開発に予算を張りつけ、有効な外部委託も実施し、効率的な開発に繋がる設備も導入する･･･そういった多くの施策を打っていく必要があります。が、我々一人ひとりがスキルを磨き、新たな取り組みにチャレンジしていく覚悟が何より大事だと思います。

目の前に立ち塞がる課題に日々取組みながら、先を見た技術進化のスピードに対応するために自身のスキルＵＰにチャレンジをする。自分自身の成長のみならず、部下と共に成長することを常に考え、技術本部全体の底上げを図っていく必要があります。この難題に組織として、また一人ひとりが、どう向き合っていくべきか私自身よくよく考えていきたいと思いますし、皆さん自身にも考えていただきたいと思います。「凧が一番高く上がるのは、風に向かっている時である。風に流されている時ではない」そう言ったのはチャーチル。一人ひとりが変化をし、前に進むことを恐れない、そんな技術者集団でありたいものです。

目　　次

✦巻頭言

2020年を前に ――――――――――――――――前田　聡

✦小特集「スバル新型レガシィアウトバック/B4」

1. 新型レガシィ／アウトバックの紹介 ――――SUBARU LEGACY 開発プロジェクトチーム … 1

2. 新型レガシィ車体構造の開発 ――――――――塚田　剛久・五十嵐　正典・柳生　幸徳 …… 24

3. 新型レガシィの内装開発 ――――――――――鈴木　智明・田上　太郎・沼澤　浩二 …… 30

✦小特集「スバルのデザイン」

4. スバルデザイン戦略 ――――――――――――石井　　守 …… 35

5. デジタルを活用したグローバルデザイン開発の手法研究
河内　　敦・坂口　慶明 …… 40

6. 新型レガシィのデザイン開発 ――――――――板野　龍仁・小林　寛之・高木　曽太・
渕野　優子・相賀　博志 …… 45

7. 新型IMPREZA SPORT HYBRIDデザインの開発
中村　真一 …… 50

8. 新型 多人数クロスオーバー　クロスオーバー７デザインの開発
小澤　修司…… 54

✦論文・解説

9. スバル リアビークルディテクション(SRVD：BSD/RCTA)の開発
高橋　　理・松本　　隆・矢嶋　浩司・
佐藤　秀樹・鈴木　一文・酒井 健一郎・
高橋　大樹…… 58

10. レガシィ／アウトバック(米国市場)　エアバッグシステム　ドア内圧力センシング開発
大西　恵太 …… 64

11. シートクッションエアバッグの開発 ――――山下　　透 …… 68

12. 新開発Euro6規制対応水平対向ディーゼルエンジンの紹介
廣瀬　健次・京徳　信夫・佐伯　波都二・
加藤　　洋・堀川　健夫・下村　晋介・
森口　　優 …… 72

13. CFDによるエンジンルーム冷却性能予測 ——宮本　秀治・古瀬　健二 …… 79

14. 円筒形状・複合材料エネルギー吸収部材の開発と研究Ⅱ
加藤　　航・池田　　聡・長澤　　勇・
沼内　秀基・塩崎　竜二 …… 85

15. 車両のヨー応答時間短縮に寄与するフロントサスペンションの要因解明
藤田　裕幹・内川　浩一・直井　利之・
桑原　　悟・塚崎　裕一郎・日向　俊行 …… 89

16. 操縦安定性分野における質感向上のための計測技術事例
日向　俊行・塚崎　裕一郎・齊藤　正容 …… 94

17. 第２世代インフォテイメントシステム 及び SUBARU STARLINK® の開発
丹羽　　真・酒井　健一郎・吉山 雄司
中村　恭崇 …… 98

18. ボディ系電子装備アクチュエータの物理モデル開発(オートクロージャ機構への適用)
古賀　祐一郎・星野　欽哉・三田　宇洋 …… 105

19. 制御系モデルベース開発のボディ電装系への適応研究
星野　欽哉・古賀　祐一郎・西田　尚司・
門田　一志 …… 110

20. 電磁ノイズ対策のための電磁波設計手法の検討　－ 初報：電動車の高電圧部品への適用－
夏目　侑紀・大堀　勇二・網倉　亜衣 …… 116

21. 単気筒エンジンの改良による開発プロセスの課題対応
山口　　暁・中山　智裕・加藤　真亮
木本　健太・原井　惇行・金子　　誠 …… 122

22. 塗装品質向上のためのシミュレーション技術　－２次タレ予測ソフトの開発(第２報)－
沖野　振一郎 …… 128

23. 航空機構造技術動向 ——伊佐野　康夫・齋藤　義弘・宮原　啓・
荒川　陽司・小高　雄二・芦澤　一眞 …… 133

24. 航空機の耐雷対策 ——西　孝裕樹 …… 140

25. 超撥水塗料を用いた防除氷技術の紹介 ——田中　太朗 …… 149

26. マグネシウム合金に関する開発動向 ――――― 生出　理子 …… 154

27. 複合材部品における塗装前表面活性化技術 ―― 松尾　晋哉・小野　遼平・中畑　達雄・
斎藤　　学・柴崎　　修 …… 159

28. 自動トルク掛けツールの開発 ――――――― 斎藤　　学・高橋　秀治・中畑　達雄・
渡邉　政雄・西野　利男 …… 164

29. 除雪機用エンジンの紹介 ――――――― 松本　和明 …… 169

30. 道草のすゝめ ――――――――――― 坂崎　明彦・渋谷　　真 …… 175

31. Euro Car Body 2014出展報告　新型WRX STIの車体技術
小野江　孝裕・白　　昌鎬・植島　和樹・
河合　功介 …… 182

32. 足回り作図検討のすゝめ ――――――― 坂崎　明彦・川合　　真 …… 189

33. スバル技術本部におけるメカトロ技術教育の紹介
星野　欽哉・矢内　幸夫 …… 196

34. 特許紹介 ――――――――――― 技術開発部 …… 201

✦社外発表一覧(2014.1 ～ 2014.12 講演・寄稿) …… 206

CONTENTS

Foreword

Facing the year 2020 ——— Satoshi MAEDA

Special Issure : SUBARU New LEGACY OUTBACK/B4

1. Introduction of SUBARU New LEGACY/OUTBACK
SUBARU LEGACY Project Team ····· 1

2. Development of Body Structure of New Generation LEGACY
Takehisa TSUKADA, Masanori IGARASHI,
YukinoriYAGYU ····· 24

3. Interior Development of New LEGACY ——— Tomoaki SUZUKI, Taro TANOUE,
Koji NUMAZAWA ····· 30

Special Issure : SUBARU Design

4. Strategy of SUBARU Design ——— Mamoru ISHII ····· 35

5. Study of Global Design Development Method — Atsushi KOCHI, Yoshiaki SAKAGUCHI ····· 40

6. Styling Design Development of New LEGACY — Tatsuhito ITANO, Hiroyuki KOBAYASHI,
Sota TAKAGI, Yuko FUCHINO,
Hiroshi AIGA ····· 45

7. Styling Design Development of IMPREZA SPORT HYBRID
Shinichi NAKAMURA ····· 50

8. Styling Design Development of CROSSOVER 7
Shuji OZAWA ····· 54

Techinical Paper & Explanations

9. Development of SUBARU REAR VEHICLE DETECTION (SRVD : BSD/RCTA)
Osamu TAKAHASHI, Takashi MATSUMOTO,
Koji YAJIMA, Hideki SATOU,
Kazufumi SUZUKI, Kenichirou SAKAI,
Daiki TAKAHASHI ····· 58

10. Development of Airbag System with Pressure Sensors Installed in Doors for LEGACY/OUTBACK (for North America)
Keita ONISHI ····· 64

11. Development of Seat Cushion Airbag——————Toru YAMASHITA …… 68

12. Introduction of New Horizontally-Opposed Diesel Engine for Euro6 Emission Regulation
Kenji HIROSE, Nobuo KYOTOKU,
Hatoji SAEKI, Hiroshi KATO,
Takeo HORIKAWA, Shinsuke SHIMOMURA,
Yuu MORIGUCHI …… 72

13. Prediction of Cooling Performance of Engine Compartment by using CFD
Shuji MIYAMOTO, Kenji FURUSE …… 79

14. Development and Study of The Round Shaped Composite Energy Absorber
Wataru KATO, Satoshi IKEDA,
Isamu NAGASAWA, Hideki NUMAUCHI,
Ryuji SHIOZAKI …… 85

15. Front Suspension Analysis to Shorten Vehicle Yaw Response Time
Hiromi FUJITA, Koichi UCHIKAWA,
Toshiyuki NAOI, Satoru KUWAHARA,
Yuichiro TSUKASAKI, Toshiyuki HYUUGA … 89

16. Introduction of Measurement Technologies for Improving Feering Quality of Handling Performance
Toshiyuki HYUGA, Yuichiro TSUKASAKI,
Masahiro SAITOU …… 94

17. Development of 2nd Generation Infotainment System and SUBARU STARLINK®
Makoto NIWA, Kenichiro SAKAI,
Yuji YOSHIYAMA, Yasutaka NAKAMURA … 98

18. Development of Physical Model for Body Control Actuator
(Application to Auto Closure System)
Yuichiro KOGA, Kinya HOSHINO,
Hiroumi MITA …… 105

19. Study of Application of Model Based Development to Body Electronics
Kinya HOSHINO, Yuuichirou KOGA,
Takashi NISHIDA, Hitoshi MONDEN…… 110

20. Electromagnetic Wave Design Method for Protection against Noise
– Application to High-Voltage Components in Electric Vehicles –
Yuki NATSUME, Yuji OHORI ,
Ai AMIKURA ····· 116

21. Solutions to Issues on Engine Development Processes
Based on Improvement of Single-Cylinder Engines
Satoru YAMAGUCHI, Tomohiro NAKAYAMA,
Masaaki KATO, Kenta KIMOTO,
Atsuyuki HARAI, Makoto KANEKO ····· 122

22. Simulation Technology for Improving Paint Quality
-Development of Prediction Software for Secondary Sags (Second Report)-
Shinichirou OKINO ····· 128

23. Technology Trend of Airplane Structure ———Yasuo ISANO, Yoshihiro SAITO,
Akira MIYAHARA, Youji ARAKAWA,
Yuji ODAKA, Kazuma ASHIZAWA ····· 133

24. Lightning Protection for Aircraft————————Takayuki NISHI ····· 140

25. Anti-icing Technology with Super Hydrophobic Coating
Taro TANAKA ····· 149

26. Recent Development Progress on Magnesium Alloy —Ayako OIDE ····· 154

27. Technology of Composite Parts Surface Preparation for Paint Application via Abrasive Blasting
Shinya MATSUO, Ryouhei ONO,
Tatsuo NAKATA, Manabu SAITO,
Osamu SHIBASAKI ····· 159

28. Development of Automatic Torque Wrench——Manabu SAITO, Hideharu TAKAHASHI,
Tatsuo NAKAHATA, Masao WATANABE,
Toshio NISHINO ····· 164

29. Introduction of Engine for Snow Thrower ——Kazuaki MATSUMOTO ····· 169

30. Recommendation of Michikusa (Important Things Even if They Seems Vices)
Akihiko SAKAZAKI, Makoto SHIBUYA ····· 175

31. 2014 Euro Car Body Exhibition Report about New WRX STI
Takahiro ONOE, Chanho BEKU,
Kazuki UEJIMA, Kosuke KAWAI ····· 182

32. Recommendation of Suspention Study by Drafting
Akihiko SAKAZAKI, Makoto KAWAI ····· 189

33. Introduction of Mechatronics Training in SUBARU ENGINEERING DIVISION
Kinya HOSHINO, Yukio YANAI ····· 196

34. SUBARU Patent Review ——————— Advanced Engineering Department ····· 201

✦List of Issued Reports ····· 206

新型レガシィ／アウトバックの紹介

Introduction of SUBARU New LEGACY/OUTBACK

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

抄　録

レガシィ／アウトバックは、初代誕生以来乗る人の生活を豊かにするパートナーとしてのクルマのあるべき姿を真摯に見つめ、お客様の豊かなライフスタイルを実現する上で欠くことのできない存在となることを目指し開発し続けてきた。その結果、世界中のお客様から信頼を寄せていただけるブランドに成長できたと考える。

今回のモデルチェンジでは、そうした信頼関係をさらに強固なものとするために、走行性能や安全性能、環境性能などの機能価値の進化に加えて、デザインや仕上げの良さなどお客様の心に響く情緒価値をこれまでにないレベルまで高めたので紹介する。

Abstract

Although LEGACY/OUTBACK has kept evolving on each model change opportunity since its debut, unchanged is our baseline policy on vehicle development. We believe this unchanged policy has allowed LEGACY/OUTBACK to win customer confidence and grow to be a global model.

On this full model change, our project team aimed to enhance its emotional values up to an unprecedented level in addition to refine its functionalities such as drivability, crash safety and fuel economy, in order to gain more confidence from customers.

1.　まえがき

1989年の初代レガシィ誕生から25 年、この間モデルチェンジごとにその姿は変化を続けてきた。しかしながら、根幹に流れるクルマづくりの姿勢はなんら変わるものではない。クルマが乗る人の生活を豊かにするパートナーとしていかにあるべきか？その事を、マーケットの流行にとらわれることなく真摯に見つめ、豊かなライフスタイルを実現する上で欠くことのできない存在となること。それこそが、歴代レガシィ／アウトバックに共通する普遍的価値である。四半世紀にわたり一貫して大切にしてきたこの想いがあるからこそ、レガシィ／アウトバックは世界中のお客様から信頼を寄せていただけるブランドへと成長できた。

そうした信頼関係をさらに強固なものとするために今回のフルモデルチェンジでは、走りや安全、環境性能などの機能価値にとどまらず、特にデザインや質感といった情緒価値においてもその本質を磨き、夢やライフスタイルをより豊かに想像できるように進化させることで、市場を超えて受け入れられる普遍的な魅力をもったクルマに仕上げた(Figs. 1, 2)。

Fig. 1　OUTBACK

Fig. 2　LEGACY

2.　開発の狙い

2.1　アウトバック

2.1.1　コンセプト

アウトバックは誕生以来、乗用車の快適性、SUVの走破性、ステーション・ワゴンの積載性を併せ持つという、SUBARU 独自のクロスオーバーな価値の提案により、世界中の人々から愛され続けてきた(Fig. 3)。

新型アウトバックの開発にあたり、私たちはそうした価値のさらなる拡大を目的として、コンセプト・ワードを「**Capability mastered（どこでも行ける、何でもできるという性能を極める）**」に設定。機能性を徹底的に磨き上げるのと同時に、デザイン面でもアクティブなライフスタイルのパートナーにふさわしい力強さと高い質感を追求した。

Fig. 3　1st　OUTBACK

ワゴンとしての機能性の高さ、AWDとしての安全性と運動能力、そしてSUV並の走破性など、生まれながらにしてOUTBACKが持つアドバンテージを継承しつつ、新型モデルでは「どこでも行ける、何でも出来る」性能を極めた(Fig. 4)。

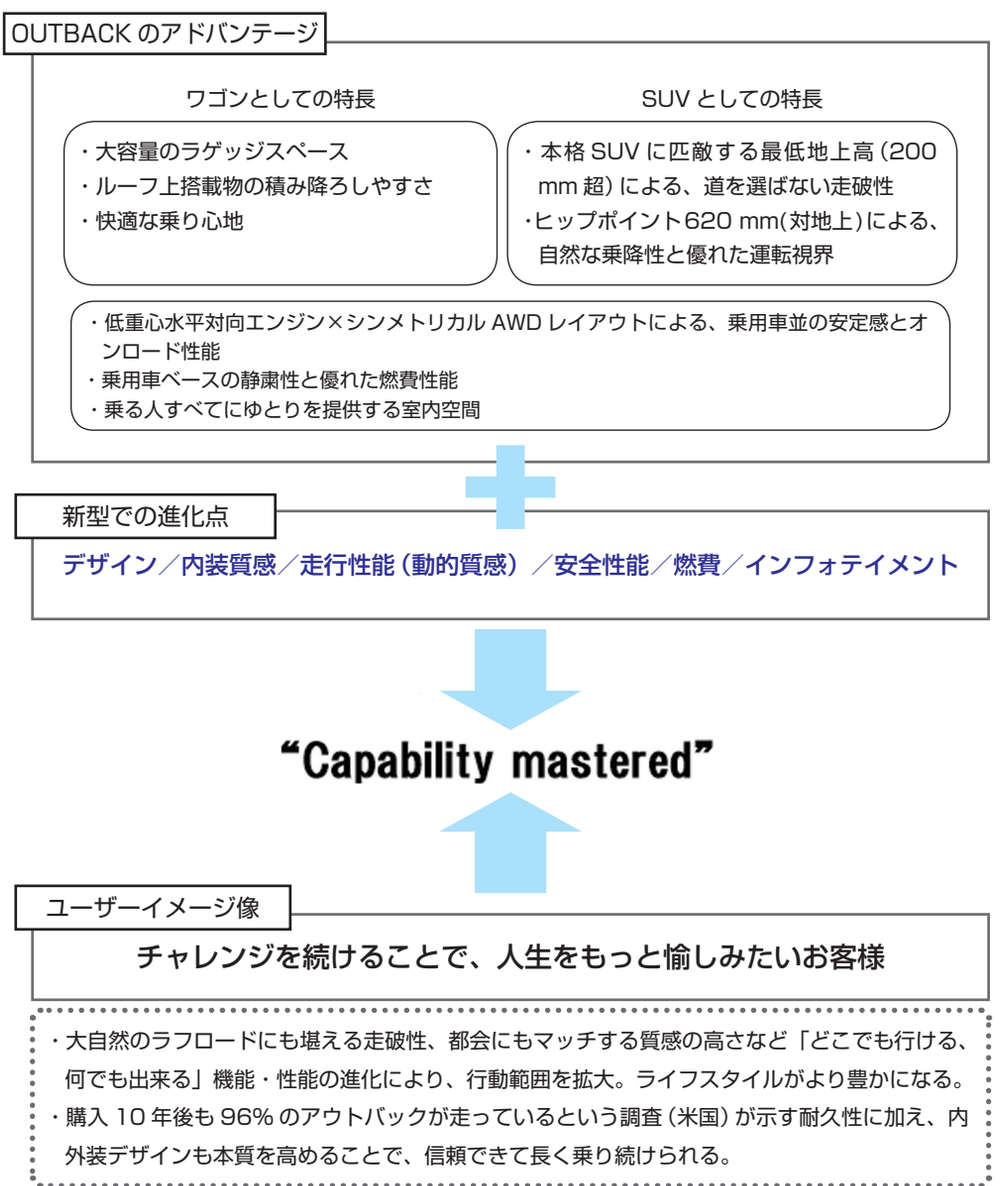


Fig. 4　OUTBACK concept

2.1.2　コンセプトを実現するベネフィット

(1) 実用性能

自由な移動と自在な使い勝手を突き詰めたオールラウンド性能を目指した。

■ 積載性、居住性等に優れたパッケージングと装備類

乗用ワゴン派生SUVのパイオニアとして高い評価を受けるアウトバック。ステーション・ワゴンの積載性、乗用車の質感、SUV の走破性など、そのすべての性能を高めるパッケージング(Fig. 5)とともに、パワーリアゲート(Fig. 6)、サイドシルステップ(Fig. 7)等実用的な装備もさらに充実させ、優れた走りと使い勝手の良さを提供した。

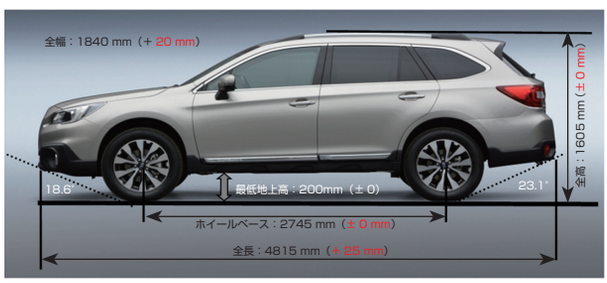


Fig. 5　OUTBACK packaging

パワーリヤゲート

手掛け部は使いやすいようグリップ化し、耐荷重 3kg のハンガーとしても活用できる。

※写真は北米仕様

Fig. 6　Power rear gate

サイドシル上面に足を置けるステップ

※写真は北米仕様

Fig. 7　Side sill step

■ 居住スペースと乗員間距離のさらなる拡大

ボディサイズ感は維持しつつ、居住スペースと乗員間距離のさらなる拡大を実現した。クロスオーバーならではの堂々としたフォルムを表現しながらも、あらゆるシーンで使いやすいようボディサイズ感は現行車を維持。各部材の形状や構造をリファインし、座席間距離や乗員まわりのスペースにゆとりをもたせた広く開放的な車内空間を実現。安全性や扱いやすさも高めている(Fig. 8)。

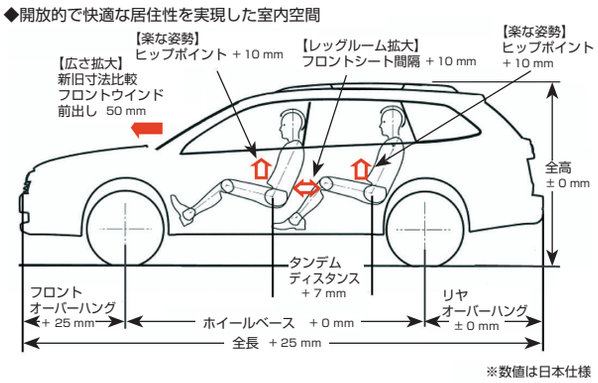


Fig. 8　Room area

■ S-AWDのアドバンテージを更に拡大するX-MODE

スイッチひとつで、運転技量に関係なく悪路、滑りやすい路面、急な下り坂を安心して走行できるX-MODEを新採用(Fig. 9)。本格SUV にも匹敵する走破性を発揮する。

Fig. 9　X-MODE

(2) セーフティ

世界トップレベルの評価を受ける総合安全性能を実現。

■ 優れた危険回避性を実現する Active Safety

S-AWDの優れた性能を基本にシャシー性能やVDCを進化させることで、優れた危険回避性能を実現。クロスオーバーカテゴリー車であっても日常領域でも味わえる安定感のある走りの愉しさと共に、安心感を高めている。

■ 衝突回避性能を高めたアイサイト(ver.3)採用

ステレオカメラ性能の進化により、衝突回避性能を高めたアイサイト(ver.3)(日本、北米、欧州、豪州)を搭載。

■ アセスメントで最高評価を続ける Passive Safety

最高評価を獲得し続けるアウトバックの衝突安全性能をさらに進化。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を抑えるとともに、前面、側面、後方すべての衝突安全性を向上させた。各国の最新情報公開においても最高評価を得ている(Table 1)。

Table 1　List of rating

国		レイティング
米国	IIHS （米国道路安全保険協会）	2015 TOP SAFETY *PICK*＋*
	NHTSA （米運輸省道路安全局）	5-Star Safety Ratings
日本		JNCAP
欧州		EURO NCAP
豪州		ANCAP Rated★★★★★

＊アイサイト付車

(3) デザイン・質感

お客様の期待に応える「アウトバックらしさ」を追求した。

■ 独自プロポーションをより鮮明にした力強いデザイン

乗用車の走行性能や上質さを備えたキャビンは、ボディの厚みを増して力強さや安心感を演出しつつAピラーを前に出すことで開放的な空間を確保。加えて、ショルダーの嵩上げやタイヤの大径化、などにより足腰のしっかり感をもたせることで、アウトバック独自のプロポーションをより鮮明にした。

■ 表情豊かなボディ造形とプロテクションパーツとのコントラストによる個性的なエクステリア

クロスオーバーらしい筋肉質で抑揚のあるボディ造形に、機能性やタフ＆ラギッドさを感じさせるプロテクションパーツを盛り込んだ個性的なエクステリア。新世代スバルのデザインモチーフや車格にふさわしい上質感をもたせることで、スバルのフラッグシップクロスオーバーとしての存在感を強化した(Fig. 10)。

Fig. 10　OUTBACK

■ 細部までこだわり抜いたインテリア

寸法以上に広がりを感じるワイドなダッシュボードは、前傾した適度なボリュームにより開放感と守られ感を両立。特にコックピットはスポーティかつ先進感あるデザインにより、新鮮なドライビングの歓びを提供する。さらに、人が触れる部位や細かな仕立て、ユーティリティや操作性にもこだわることで上質感と機能性を心地よく共存させた(Fig. 11)。

Fig. 11　Interior

■ 先進的なインフォテイメント

中央に配置したワイドでフラットなディスプレイを新採用。慣れ親しんだスマートフォンやタブレットのように、ナビやオーディオを直感的に操作が可能。従来のMFDに比べ画面サイズも大きくして、走行情報や燃費情報など関連ある情報を集約し運転時にも見やすくしている(Fig. 12)。

Fig. 12　Infotainment

(4) パフォーマンス

乗用車感覚にさらに磨きをかけた質感の高い走りを実現

■ 走破性高く安定感のあるハンドリング性能と心地よさ

S-AWDの基本性能をベースにボディ剛性やシャシー性能などの向上を図ることで、定評あるアウトバックの走りがさらに進化。安定した直進性と、正確かつ自然な反応をしてくれるハンドリング性能に加え、ロールや路面からの突き上げ、不快なロードノイズなども徹底的に抑制し、すべての人が快適なフラットかつ上質な乗り心地を提供する。

■ リニアかつゆとりある動力性能を発揮するBOXERエンジン＋新制御を加えたCVT

ゆとりあるパワーと扱いやすさを高めたBOXERエンジンと組み合わされるCVT［リニアトロニック］には、車速の伸びと回転の伸びをリンクさせる変速とステップ変速を行う新制御を採用。走り始めから高速域まで滑らかでストレスのない加速と、リニアで気持ちの良い走りの一体感をさらに高めている。

(5) 環境

カテゴリートップを目指した環境性能の実現

■ 中型SUV クラスでトップレベルの燃費性能を実現

アウトバックは2WD、AWDを合わせた同クラストップレベルの燃費性能を実現。Small-SUVにも劣らないレベルにするなど、燃費を理由に中型SUVを棄却していたお客様にも満足いただける環境性能を達成させた。

■ 環境性能を徹底追求

回転系のフリクションの徹底的な低減、ボディ各部の軽量化と空力性能の追求などにより、走りの愉しさをスポイルすることなく環境性能を向上。さらに燃費にも貢献する新機構アクティブグリルシャッターを採用した(Fig. 13)。

Fig. 13　Changed items for fuel efficiency

2.2　レガシィ

2.2.1　コンセプト

お客様が「スバルのセダン」に期待する価値は何か。私たちは新型レガシィの開発にあたり、それを、スポーティな走りの愉しさを生むすべての要素を、高い次元で融合させることだと考えた。

レガシィのスポーティさとは、いかなるシチュエーションでもストレスの少ない気持ち良さであり、ドライバーが自らのイメージ通りに操ることのできる爽快感である。これはレガシィが誕生以来、一貫して提供してきた価値ともいえる(Figs. 14. 15)。

そしていま、こうしたスポーティな走りの愉しさを余すことなく体感してもらうために、私たちはそのパフォーマンスの質をより高めた理想的なセダンの姿を追求。新型レガシィのコンセプト・ワードを、「An Optimal blend of design and engineering（デザインと技術の最も望ましい融合）」に設定した(Fig. 16)。

スポーティさの基本である走りの良さをはじめ、安全性や乗員すべてが快適な室内空間など、「スバルのセダン」として欠かせない基本性能を磨き込んだ上で、それらをデザインによっても表現した。

Fig. 14　1st LEGACY

Fig. 15　1st LEGACY

2.2.2　コンセプトを実現する4 つのベネフィット

デザイン・質感、パフォーマンス、セーフティ、環境がお客様への提供価値である。セダンならではの内容として、(1) デザイン・質感 (2) 環境について紹介する。

(1) デザイン・質感

たくましさと俊敏さを備えた上質スポーツセダンを実現

■ 美しいバランス、スバルの価値表現を実現した力強いデザイン

視界の良さ、居住空間の広さ、世界最高水準の安全性を、極めて高効率なパッケージングで実現(Fig. 17)。安心感を伴う彫刻的なボディ、AWDならではの強い足腰を印象付ける大径ホイールと相まって、スバルのフラッグシップセダンにふさわしいスポーティかつ高品位なスタイリングを実現した。

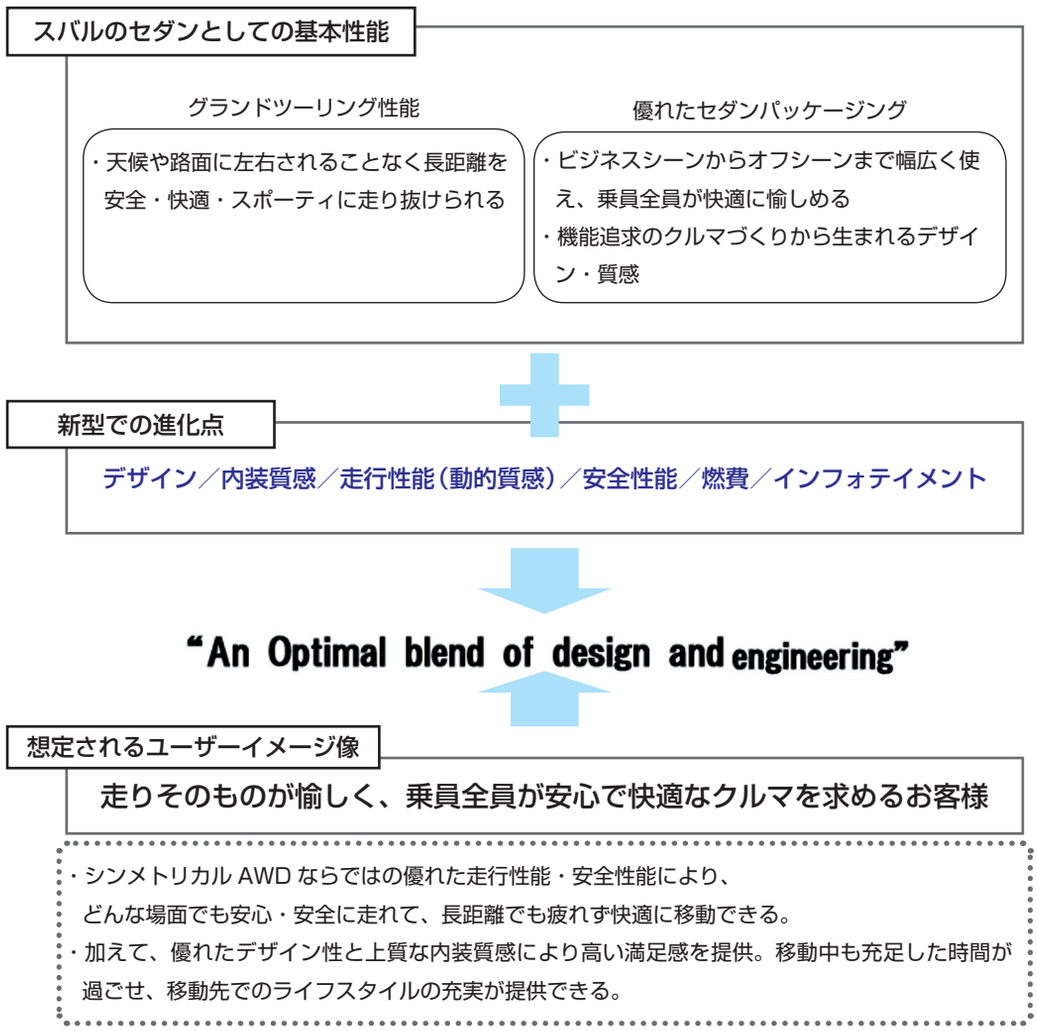


Fig. 16　LEGACY concept

Fig. 17　LEGACY packaging

Fig. 18　LEGACY front view

Fig. 19　LEGACY rear view

■ S-AWDによる卓越した走りと安心で快適な移動空間をダイナミックかつ表情豊か表現したエクステリア
ダイナミックで躍動的なボディサイドのキャラクターラインをはじめ、張りがあり表情豊かなボディ面などスポーティセダンならではのたくましさと俊敏さを融合したエクステリア。AWD の卓越した走りと、それを安心かつ快適に愉しめる空間の豊かさをアピールするとともに、スバルのフラッグシップセダンとしての車格感を高めている（Figs. 18, 19）。

(2) 環境

スポーティな走りと環境性能の両立を実現。

■ AWDでありながら2WD上位レベルの燃費性能を実現

レガシィは AWDでありながら、同クラスの2WDと比べてもトップレベルの燃費性能を実現。ランニングコスト低減により、これまで燃費の悪さを理由にAWDを棄却していたお客様にも満足いただけるレベルを実現した。

■ 環境性能を徹底追求

回転系のフリクションの徹底的な低減、ボディ各部の軽量化と空力性能の追求などにより、走りの愉しさをスポイルすることなく環境性能を向上した。さらに、燃費にも貢献する新機構アクティブグリルシャッターを採用した(Fig. 20)。

Fig. 20 Changed items for fuel efficiency

3. 主要諸元・車種構成

3.1 主要諸元

代表として国内仕様を紹介する(Table 2)。

3.2 車種構成

従来のワゴンを廃止し、アウトバック、セダンの2車型に絞って展開した。ワゴンを廃止し、アウトバックに絞る事で、これからの時代にレガシィワゴンに期待される守備範囲の広さ、何でも出来る・どこでも行ける性能をより極めることができた。

4. デザイン

デザインについては、別報[(1)]にて解説しているため、本報では、割愛する。

5. 外装

5.1 開発のねらい

スバル独自の外観表現と機能性、美しいデザインをホークアイヘッドランプやノーズコーン構造など高質感なパーツで実現すること。また、利便性の高いパワーリアゲートやルーフレールを、合理的で高機能な手段により具現化し、実用性と質感向上を図る。

窓周りの視界向上による安全性向上や、新たなデバイス追加や意匠工夫による環境性能向上も実現する。

5.2 ヘッドランプ

配光を最適化したプロジェクタ式LED LOWビームを採用(国内・欧州向け他)し、太陽光に近く見易く白く明るい光によって夜間の視認性を向上させ、認識範囲の広いアイサイト(ver.3)にも対応する照射性能を持たせた。また従来のHID光源に比べ、点灯して直ぐに最大出力を発揮出来るため、トンネル進入時など周囲が急に暗くなった場合でも即時に安全視界を確保することが可能である。

コの字型のインナーレンズ内側に、別体のライトガイドを配し、スバル独自のホークアイ外観をLEDポジションランプで表現した。

周囲の照度に合せて自動的に点消灯するオートライト機能やヘッドランプウォッシャ機能(国内・欧州向け他)を設定した(Fig. 21)。

Fig. 21 Head lamp

5.3 リヤコンビランプ

ヘッドランプと共通したコの字のホークアイ造形表現を、LED光源のテール＆ストップランプで表現した。LEDを反射面で拡散させて光り方を制御し、高次元の質感で表現した。

また、光源をLED化することで、デザイン性を向上すると共に、旧型に対して高さ方向を薄型化し、シャープな造形表現を実現している(Fisg. 22, 23)。

セダンに於いて、リヤコンビランプに内蔵したリヤフォグランプにもLED光源を採用。消灯時の白色外観と、旧型比で約20 mmの薄型化を実現した。

走行時に急ブレーキと判断すると、ハザードランプを自動で高速点灯し、後続車へ急接近や衝突の危険性があることを警告するシステムを国内向けに採用した。

Table 2　New LEGACY specifications (for Japan)

	LEGACY B4		LEGACY OUTBACK	
車名・型式	スバル・DBA-BN9		スバル・DBA-BS9	
車種	LEGACY B4	LEGACY B4 Limited	LEGACY OUTBACK	LEGACY OUTBACK Limited
	2.5ℓ DOHC		2.5ℓ DOHC	
	AWD		AWD	
	リニアトロニック		リニアトロニック	
■寸法・重量・定員				
全長×全幅×全高（mm）	4795 × 1840 × 1500		4815 × 1840 × 1605	
室内長×室内幅×室内高（mm）注 1	2030 × 1545 × 1220		2030 × 1545 × 1240	
ホイールベース（mm）	2750		2745	
トレッド［前 / 後］（mm）	1580/1595		1575/1590	
最低地上高（mm）	150		200	
車両重量（kg）　注 2	1530		1570	1580
乗車定員（名）	5		5	
車両総重量（kg）　注 2	1805		1845	1855
■性能				
最小回転半径（m）	5.6		5.5	
燃料消費率（km/ℓ）(社内測定値) 注 3	14.8		14.6	
主要燃費向上対策	アイドリングストップ装置／自動無段変速機／可変バルブタイミング／電動パワーステアリング／アクティブグリルシャッター		アイドリングストップ装置／自動無段変速機／可変バルブタイミング／電動パワーステアリング／アクティブグリルシャッター	
■ステアリング・サスペンション・ブレーキ				
ステアリング歯車形式	ラック＆ピニオン式		ラック＆ピニオン式	
ステアリングギヤ比	14.5		14.0	
サスペンション［前輪／後輪］	ストラット式独立懸架／ダブルウィッシュボーン式独立懸架		ストラット式独立懸架／ダブルウィッシュボーン式独立懸架	
主ブレーキ形式	2 系統油圧式 (倍力装置付)		2 系統油圧式 (倍力装置付)	
ブレーキ［前／輪］	ベンチレーテッドディスク／ベンチレーテッドディスク		ベンチレーテッドディスク／ベンチレーテッドディスク	
駐車ブレーキ形式	電気式後 2 輪制動		電気式後 2 輪制動	
■エンジン				
型式・種類	FB25		FB25	
	水平対向 4 気筒		水平対向 4 気筒	
	2.5ℓ DOHC 16 バルブ AVCS		2.5ℓ DOHC 16 バルブ AVCS	
内径×行程（mm）	94.0 × 90.0		94.0 × 90.0	
総排気量（cc）	2498		2498	
圧縮比	10.3		10.3	
最高出力［ネット］[kW (PS) /rpm]	129（175）/5800		129（175）/5800	
最大トルク［ネット］[N·m (kgf·m) /rpm]	235（24.0）/4000		235（24.0）/4000	
燃料供給装置	EGI（電子制御燃料噴射装置：マルチポイント・インジェクション）		EGI（電子制御燃料噴射装置：マルチポイント・インジェクション）	
燃料タンク容量（ℓ）	60		60	
燃料種類	無鉛レギュラーガソリン		無鉛レギュラーガソリン	
■トランスミッション				
変速機形式	リニアトロニック（マニュアルモード付）前進無段 後退 1 速		リニアトロニック（マニュアルモード付）前進無段 後退 1 速	
変速比（第 1 速〜第 6 速）	3.581 ～ 0.570［マニュアルモード時　1 速 3.581/2 速 2.262/3 速 1.658/4 速 1.208/5 速 0.885/6 速 0.618］＊		3.581 ～ 0.570［マニュアルモード時　1 速 3.581/2 速 2.262/3 速 1.658/4 速 1.208/5 速 0.885/6 速 0.618］＊	
変速比（後退）	3.667		3.667	
減速比	3.900		4.111	

■以下のメーカー装着オプションを装着した場合、次のように諸元値が変わります。
（注 1）室内高：サンルーフ装着車は－35 mm。
（注 2）車両重量／車両総重量：【B4】ナビゲーション装着車は＋20 kg。サンルーフ装着車は＋10 kg。/【OBK】ナビゲーション装着車は＋20 kg。サンルーフ装着車は＋20 kg。ナビゲーション & サンルーフ装着車は＋30 kg。パワーリヤゲート装着車（LEGACY OUTBACK）は＋10 kg。
（注 3）燃料消費率（B4）：オプション装着により車両重量が 1540 kg 以上となった場合は 14.6 km/ℓ。
＊：マニュアルモード時の各変速ポジションにおける代表的な変速比です。

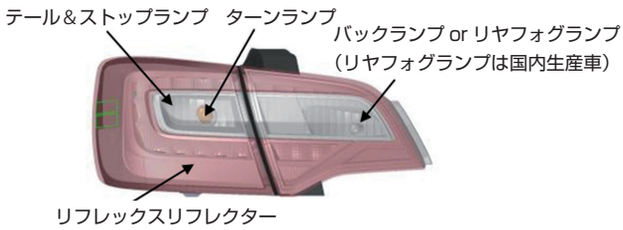


Fig. 22　Rear combination lamps for LEGACY

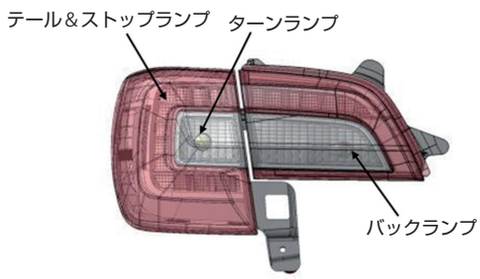


Fig. 23　Rear combination lamps for OUTBACK

5.4　フードグリル

中国展開するTurbo仕様は、外観デザインを重視し、インタークーラー冷却のためのダクト構造をフード内部へ取り込み、フード造形と冷却性能を両立させた(Fig. 24)。

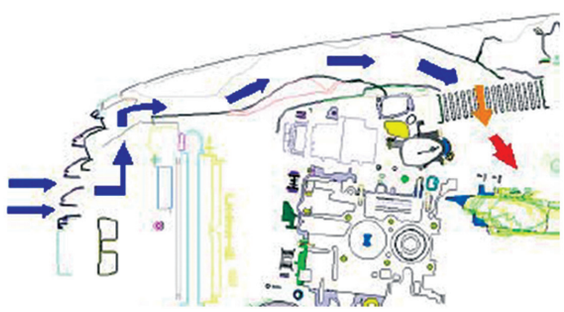


Fig. 24　Inner duct for turbo model

5.5　ノーズコーン構造

フロントグリルを大型化し力強い造形表現を実現するため、フロントノーズとバンパーを一体化したノーズコーン構造を採用。フード前端位置の後退が可能になり、軽衝突時の車体保護性能、脚部歩行者保護性能との両立も実現した(Fig. 25)。

Fig. 25　Front bumper

5.6　パワーリヤゲート

荷室の使い勝手向上のため、荷物などで手が塞がっている場合でも、ボタンやキー操作でワンタッチで開閉出来るパワーリヤゲートを採用。低騒音でコンパクトに設計したモータをリヤクォータートリム内に格納し、室内への張り出しを最小化。ステーレイアウトの最適化も行うことで、開口部や荷室スペースを損なう事無く後方視界も確保している。天井の低い駐車場やルーフに長尺物を積載した時にも便利な停止位置メモリー機能も設定している(Fig. 26)。

Fig. 26　Power rear gate

5.7　ルーフレール

北米・豪州向け他に、クロスバー標準装備のルーフレールを標準装着。使わないときはバーをレール上に格納することができ、機能性と外観を両立した。ロープフックも標準装備している(北米のみ)(Figs. 27, 28)。

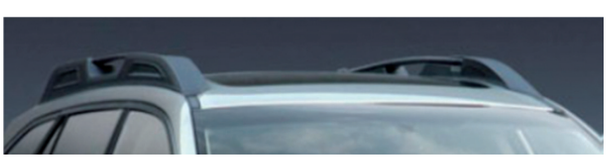


Fig. 27　Roof rail with crossbar

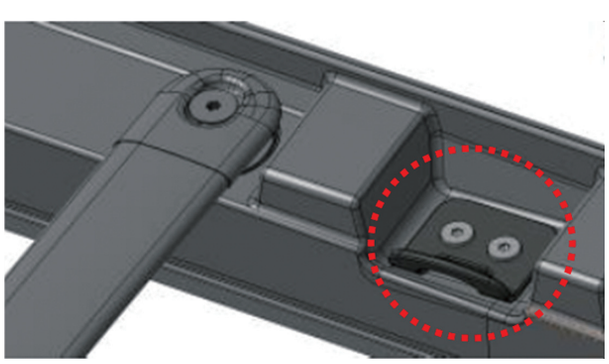


Fig. 28　Rope hook

5.8 リヤビューミラー

ドアミラーをフロントドアパネルへ取付け、ガラスエリアを拡大することで、ドアミラー付近の死角を低減した。また、車体とドアミラーを離す事で風切音を低減。ミラー形状は空力特性を向上させ、十分な視認性を確保可能な形状とした(Fig. 29)。

Fig. 29 Rear view mirror

5.9 アクティブグリルシャッター

走行中にシャッターを閉じることにより、走行抵抗を減らすと共に、エンジン冷態時の暖気促進により、フリクションを低減することで、燃費性能向上を実現(2.5L車)(Fig. 30)。

Fig. 30 Active grille air shutter

5.10 リヤスポイラー

アウトバック全車に大型リヤスポイラーを採用。ルーフパネル形状と合わせて最適形状とし、空力性能向上を実現。また、スポイラー後端部は無塗装の黒色で統一し、アウトドアギヤ感を演出すると共に、ルーフキャリアへの積載物搭載時に物が当っても傷が目立ちにくい設定としている(Fig. 31)。

Fig. 31 Rear spoiler

6. 内装

6.1 開発のねらい

広さと安心感を両立させた、ロングドライブでも居心地の良い質感の高い室内空間を実現させた。

具体的には、

○快適性(ストレスフリー、コンフォート)

・・・内装質感、広さ感

○安心・安全

・・・情報公開トップ評価、アイサイト進化

○利便性

・・・日常の使い勝手、アウトドアユースでの機能価値

の3つの観点で取り組んできた。

内装質感、インフォテイメント機能の進化、安心・安全については別報[2]にて解説しているため、本報では割愛する。

6.2 インパネ&コンソール

広がりのある横基調デザインのインパネ周りは、デザイン性やきめ細かな仕立てにもこだわり、すぐれた操作性を実現しつつ、上質感を表現した。

また、スイッチや警告灯は機能別に配置。乗員の視線移動や操作を最小限にするため、各表示系の配置と棲み分けを実施(Fig. 32)。

①メータ周り

運転に直結した情報を表示。2眼メータ+液晶表示に情報を集約。

②CTRディスプレイ

エンタメ系の表示・操作。全員で共有できる表示を集約。

③ヒータコントロール

冷暖房に直結する表示･操作。空調やシートヒータ、外気温表示などを集約。

④運転席スイッチ

各機能をON/OFFするスイッチを集約。

⑤セレクトレバー前方

携帯電話(スマホ)との接続、充電、収納が可能なポケットを設定。

⑥セレクトレバー後方

走行に直結した操作。EPB、ヒルホールド、X-MODEを集約。

コンソール収納レイアウトでは、スマホ等の使用状況を想定し、セレクトカバー前方に電源やUSBを集約。防盗性や質感向上としてリッドを追加。コンソールボックスはその他の収納を想定し、容量を確保した。

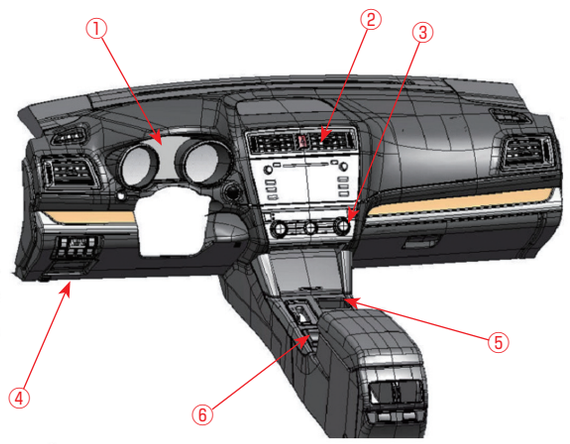


Fig. 32　Instrument panel and console

6.3　コンビネーションメータ

走りの期待感を高め、視認性にも優れたメータパネルと先進性を感じるイルミネーション等のおもてなし演出も充実させた。

■眼筒型メータのスポーティなメータとしカラー液晶を全車標準装備した。アイサイト装着車は専用5インチ大型液晶を採用。アイサイト運転状況含め情報を集約した(Fig. 33)。

Fig. 33　5-inch LCD display meter
(for models with EyeSight)

■リング照明機能を上級グレードに採用し、左右ダイアル内にリング照明演出を追加。

標準は青照明とするが運転状況に連動し、カラーチェンジを可能とし、ドライバーが一瞬で運転状況を把握できるようにした(北米仕様除く)(Figs. 34, 35)。

Fig. 34　Ring illumination (for EyeSight warning)

Fig. 35　Ring illumination (for CVT shift manual mode)

■ウエルカム演出

ドライバーがクルマに乗り込み、ドアを閉めると、メーターのマルチインフォメーションディスプレイに車種ロゴを表示。ストリングスサウンドとともにドライバーを迎え入れる演出を実施した。

6.4　シート

乗る人すべてが快適なツーリングを愉しめる十分な居住空間を確保した。

前席、後席とも着座位置を見直し(Fig. 36)、特に後席は、足元スペースの拡大を図った事で、従来型車を30 mm以上上回るスペースを確保。快適な居住性を提供できるようになった(Fig. 37)。

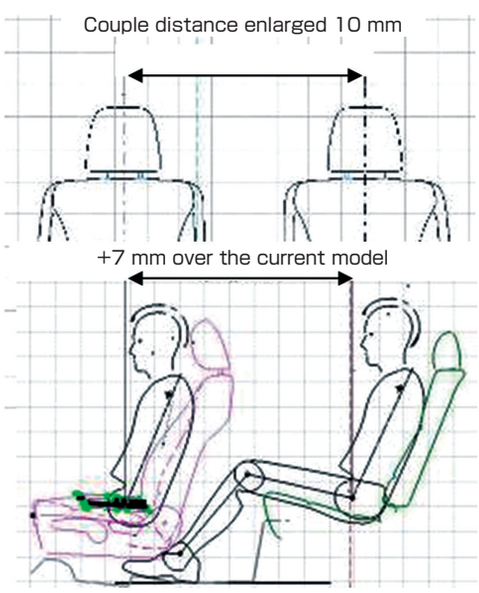


Fig. 36　Seat space

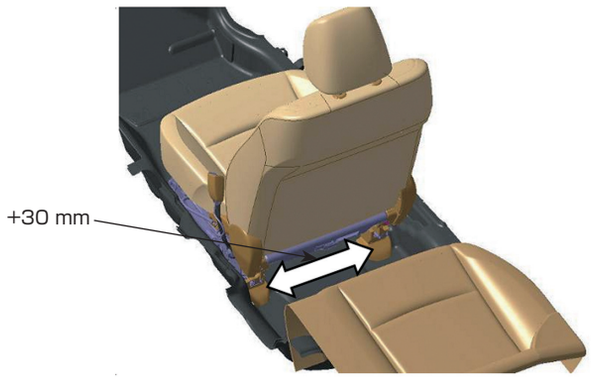


Fig. 37　30 mm more room than the previous model

6.5　空調

快適性向上のため、オートエアコンは、左右席の温度をそれぞれ調整できる､デュアルタイプを採用した。さらに、スイッチ一つで容易に急速冷房の設定に出来る機能「Max A/Cスイッチ」を追加した。

また、フロントシートヒーターは、スイッチをヒーターコントロール部に移動させ、さらに3段階のポジションとすることで、操作性の向上ときめ細やかな温度調整を可能とした(Fig. 38)。

Fig. 38　Air-conditioner panel

また、後席の快適性向上のため、左右個別にHi-Lo2段階切り替え調整可能としたリヤシートヒーターを新たに採用した(Fig. 39)。

Fig. 39　Rear seat heater switch

6.6　サウンドシズテム

4スピーカーシステムと6スピーカーシステムを設定。それぞれに音質チューニングを施し、質感の高い音響性能を実現した。また、ハイクオリティなサウンドを徹底追及した「Harman/Kardonシステム」を採用しレガシィ／アウトバックの走りの質感・パフォーマンスにマッチした上質な音場空間を実現させた。

6.7　後側方レーダシステム

アイサイトで築き上げたスバルの予防安全思想を更に拡張させるべく、全周囲予防安全を目指すNext Stepとして後側方レーダシステムを採用(北米仕様のみ)。後方車両に対する注意喚起・警報を行うことで、お客様の「安心且つ楽しいドライブ」をサポートする。詳細は、別報[5]で紹介する。

6.8　トリム

室内空間の拡大と共に、形状・材質・シボの開発による実用性・触感向上・質感向上を図った。

また、サイドシルのステップ形状追加(Fig. 40)によるルーフへのアクセス性向上や、リヤゲートトリムにグリップを追加し使い勝手を向上。リヤゲートを開けた状態で色々なものがかけられるハンガーとして使えるようにした(耐荷重約3 kg)(Fig. 41)。

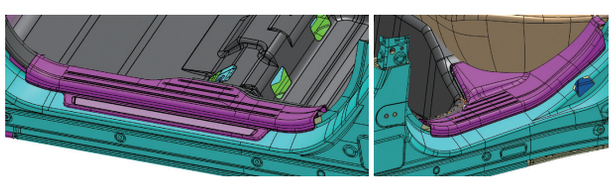


Fig. 40　Side sill trim

Fig. 41　Rear gate

サンバイザーは、ロッドのスライド機構を採用(北米のみ)。サンバイザー本体をスライドさせることでBピラー前方縦方向の遮光範囲を拡大(Fig. 42)。また、バニティーミラー裏のエクステンダーを廃止し本体の

薄型化を行った(Fig. 43)。

さらに､従来型アイサイト付き車のサンバイザーは、標準サイズのものよりも横幅が短いので前方インナーミラー付近の遮光量が少なかった。新型では、アイサイト付き車にも標準サイズのサンバイザーを適用し遮光性を向上させた(Fig. 44)。

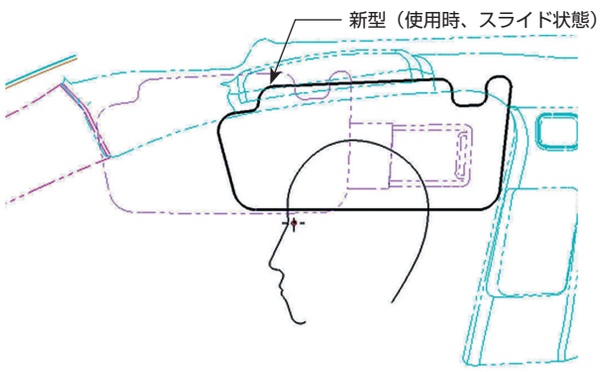


Fig. 42　When using sun visor (side visor) (for North America only)

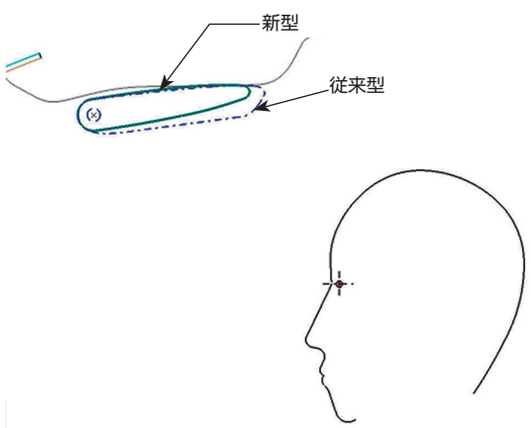


Fig. 43　When retracted

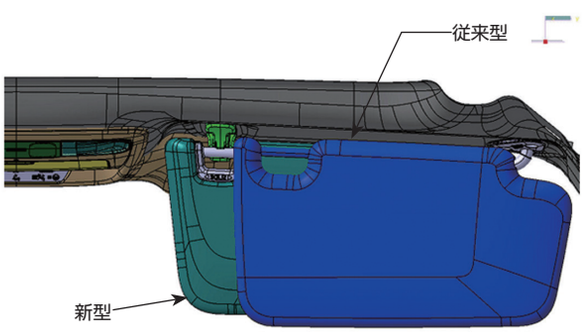


Fig. 44　Sun visor (for models with EyeSight)

6.9　荷室

室容量の拡大と使い勝手感向上、利便性・積載性の向上を行った。また、セダンは、北米仕様で採用しているトランクスルー構造を全仕向け展開することで使い勝手を向上した(Fig. 45)。

Fig. 45　Trunk-through structure

6.10　アイサイト

優れた予防安全機能と運転負荷低減機能を実現したアイサイト(ver.3) を採用した。アイサイト(ver.3) はカメラを小型化し、カメラをガラスに近づけ、カメラカバーの出っ張り感･じゃま感をおさえた形状とした。更に、標準サイズのサンバイザーと、サングラスホルダーを装着し利便性を向上した(Fig. 46)。

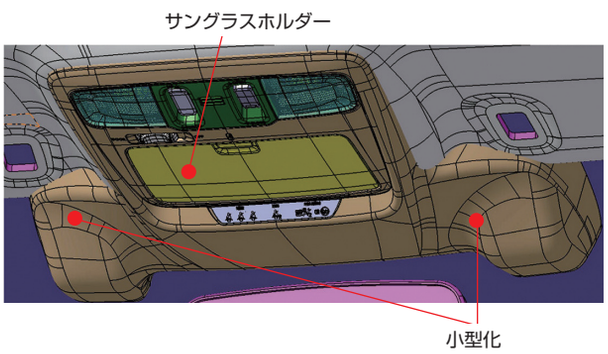


Fig. 46　EyeSight camera cover

7.　パワーユニット

7.1　エンジン

7.1.1　開発の狙い

新型レガシィ／アウトバックに搭載するパワーユニットは、環境性能の向上と各市場のニーズに応えるエンジンラインナップとした。Table 3に搭載エンジンの諸元と展開仕向け一覧を示す。

7.1.2　エンジンの紹介

(1) 2.5L NAエンジン

2.5L NAエンジンは新型レガシィ／アウトバックにおいて全仕向けに展開される設定であり、世界中のお客様に満足いただける性能を目指して開発を行った。従来のFB25エンジンをベースに、実用域での扱いやすさを重視したトルク設定とした。また更なる高出力化と各国の環境性能向上要望に応え、かつ法規制対応

をするために、吸排気系変更や圧縮比アップ、クールドEGR強化を実施した。その結果、エンジン構成部品の80%を再設計している。そしてエンジン振騒低減に取り組み、軽量化や部品点数の削減も行い、エンジン品質向上を実施した。エンジンの詳細な変更箇所をTable 4にて示す。

Table 3　Engine lineup

E/G 型式	FB25	EZ36	FA20	EE20
配　置	水平対向	水平対向	水平対向	水平対向
燃料供給方法	ポート噴射	ポート噴射	筒内噴射	筒内噴射
使用燃料	ガソリン 90RON	ガソリン 95RON	ガソリン 95RON	軽油
気筒数	4 気筒	6 気筒	4 気筒	4 気筒
総排気量	2,498 cm^3	3,630 cm^3	1,998 cm^3	1,998 cm^3
吸気方式	自然吸気	自然吸気	過給吸気	過給吸気
弁機構	DOHC 4 バルブ	DOHC 4 バルブ	DOHC 4 バルブ	DOHC 4 バルブ
駆動方式	タイミングチェーン	タイミングチェーン	タイミングチェーン	タイミングチェーン
動弁系デバイス機構	吸気 AVCS	吸気 / 排気 AVCS	吸気 / 排気 AVCS	−
ボア×ストローク	94 × 90 mm	92 × 91 mm	86 × 86 mm	86 × 86 mm
圧縮比	10.3 : 1	10.5 : 1	10.6 : 1	15.2 : 1
国　内	○			
北　米	○	○		
欧　州	○			○
中　国	○		○	
豪　州	○	○		○
ロシア	○	○		
一　般	○	○		

Table 4　Change items of engine

No.	変更内容	出力向上	燃費改善	振騒改善	軽量化	法規対応	その他
1	シリンダーヘッド新設	○	○		○		
2	ピストン新設	○	○	○			
3	インマニ変更	○	○		○		
4	EPF　新設	○		○	○	○	
5	シリンダーブロック新設		○		○		
6	サーモスタット新設		○				
7	オイルクーラー新設		○				
8	EGR クーラー新設		○				
9	新充電制御（バッテリーセンサ採用）		○				
10	オルタネータ新設　プーリー径縮小			○			
11	排気カムスプロケット新設			○			
12	吸気ブーツ変更			○			
13	クランクプーリー新設				○		
14	FMVSS124（アクセルコントロール）					○	
15	ECU 次世代化（14CY 化）						○
16	イグニッションコイル新設						○
17	クランク角センサプレート新設						○

Fig. 47に2.5Lエンジン全体像、Fig. 48に設計変更部品の展開図を示す（色付き部品が変更部位）。また各主要部品の変更内容を以下に記す。

■ シリンダヘッド

吸気ポートを高タンブル化した新規形状とし、燃費および出力を向上。また同時に吸気バルブ径アップとバルブピッチ拡大（Fig. 49）により、吸気流路面積を拡大している。

■ インテークマニホールド

従来2.5L NAエンジンのインテークマニホールド基本構造は踏襲しつつ、さらなる体積効率向上と吸気タンブル流強化を狙い、TGV（タンブルジェネレーションバルブ）のバルブ位置と吸気ポート形状をよりタンブル志向に変更した。これにより、高回転領域の体積効率と低回転領域の燃焼効率を両立させ、出力および燃費性能向上を実現させた。TGVの偏流させる通路の位置を従来機種より、燃焼室側に変えることで、タンブル指向性を高めている（Fig. 50）。

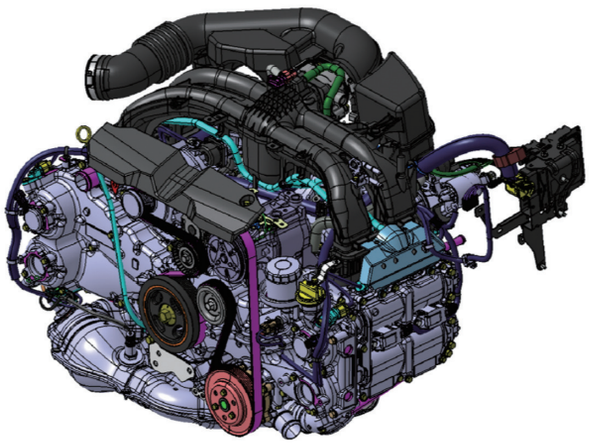


Fig. 47　New FB25（2.5L NA）

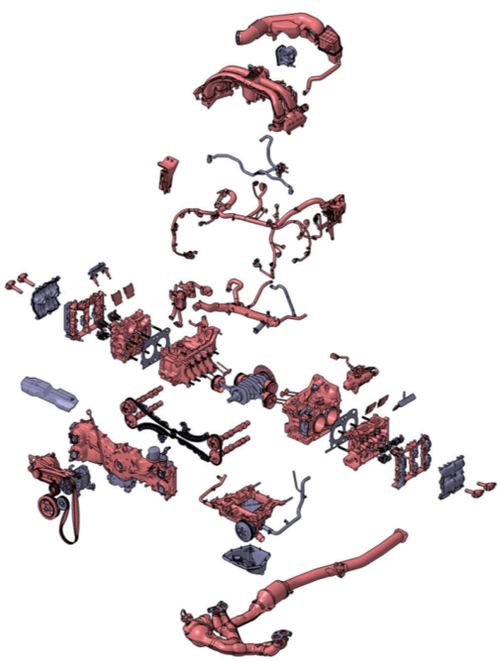


Fig. 48　New FB25 parts

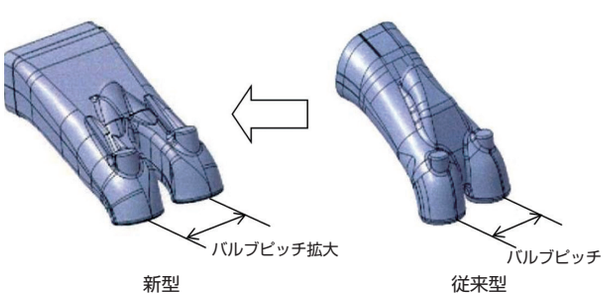


Fig. 49　View of intake port

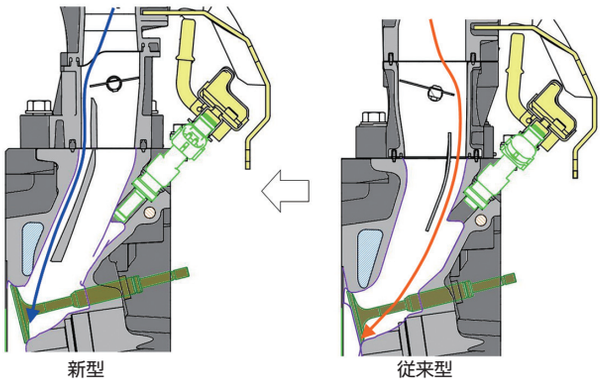


Fig. 50　View of TGC

またアルミ製TGVを樹脂製に置き換えることで、一体軽量化を実施している(Fig. 51)。

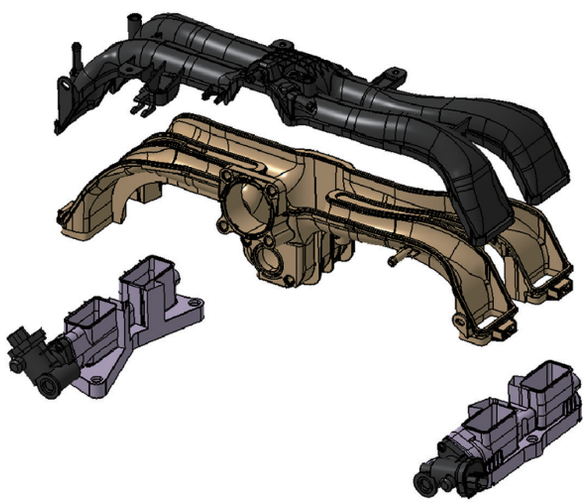


Fig. 51　View of intake manifold

■カムスプロケット

エンジン振騒低減のため、タイミングチェーンの噛合い音を低減している。Fig. 52のようにスプロケット形状の変更し、共振点のチューニングを行った。

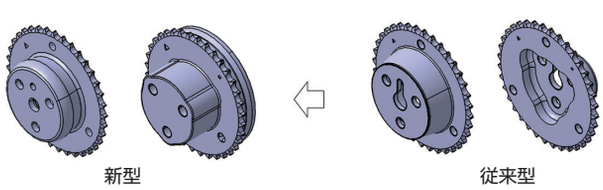


Fig. 52　View of cam sprocket

■吸気ブーツ

吸気及び排気系の一新に合わせて、レゾネータ及びサイドブランチ形状を変更し,吸気音を低減させた。表面処理の変更で、外観の上質さを向上させた。

Fig. 53　Intake boots

■排気管

マニホールド集合形態の変更により、表面積を縮小し、軽量化及び触媒昇温性能の向上を実現。更にマニホールド配管径をアップさせることで圧力損失を低減し出力を向上させている。Fig. 54にて形状変更の概要と、昇温特性の差を計算した結果を示す。

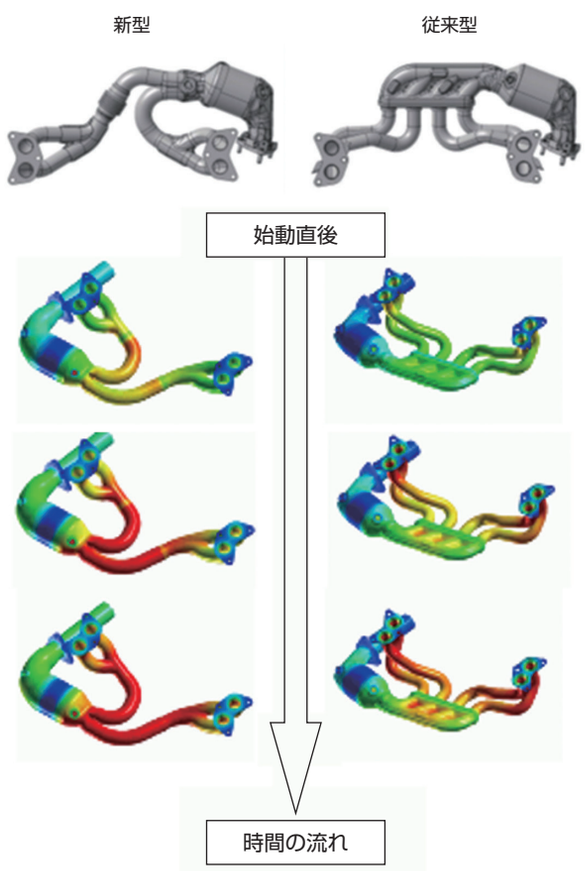


Fig. 54　Manifold and rising temperature over time

■EGRシステム

EGRガスを冷却する専用回路を設定し、別体式の高効率EGRクーラーを採用し、EGRガス導入率を上げ、燃焼効率を向上させることで、燃費性能の向上を実現している(Fig. 55)。

■オルタネーター

オルタネーターの固定方法を変更し剛性を向上させ

ることで、補機ベルトシステム全体の共振レベルを低下させた。加えてプーリー径を変更することで、補機ベルトのビート音を低下させ、静粛性の向上を図った（Fig. 56）。

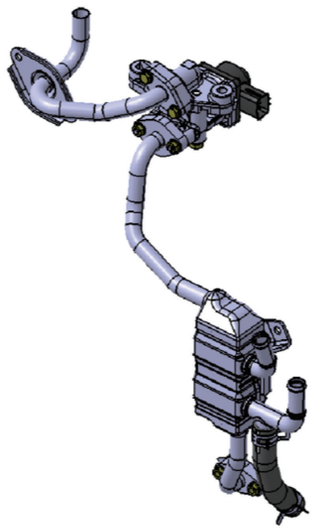


Fig. 55　New EGR system

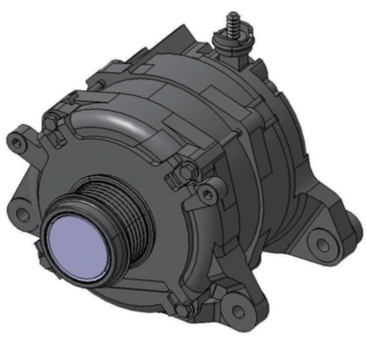


Fig. 56　Alternator

■新充電制御システム

アイドリング時や一定速走行時には発電電圧を下げ減速時には発電電圧を上げる制御により、エンジン負荷を低減することで、燃費性能向上を図っている。

スバルの従来モデルで採用していた電流センサーを、新たに“バッテリーの状態を検知できるセンサー”に変更することで、より緻密な発電や電力配分を行える様にした

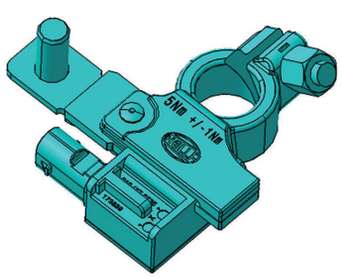


Fig. 57　Battery sensor

(2) 3.6L NAエンジン

大排気量NAが好まれる米国を中心に、より上級エンジンの位置付けとして3.6L NAエンジンを設定した。従来機種に対して、CVTに対応した変更を施し、燃費性能向上も実施している。スバルが長年その性能・DNAを磨き上げたEZ型エンジンをベースに、環境性能を維持したままCVTに対応し、燃費性能を向上させた。

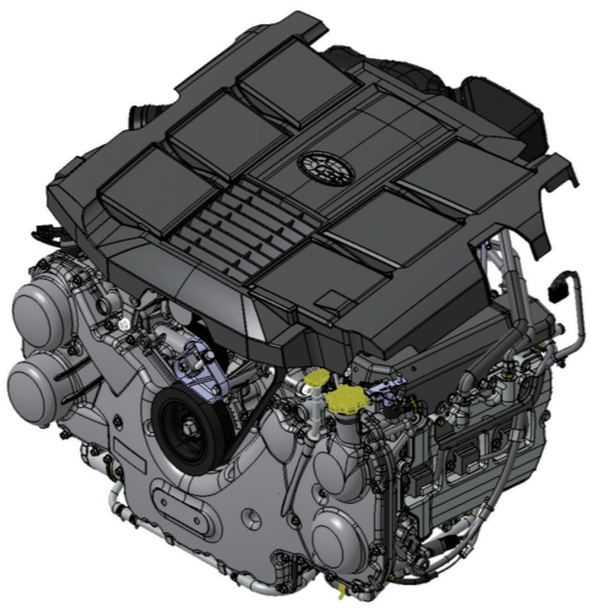


Fig. 58　EZ36　engine view

(3) 2.0L直噴ターボエンジン

中国市場での上級エンジンとして、他車系でも採用している2.0L直噴エンジンを採用した。

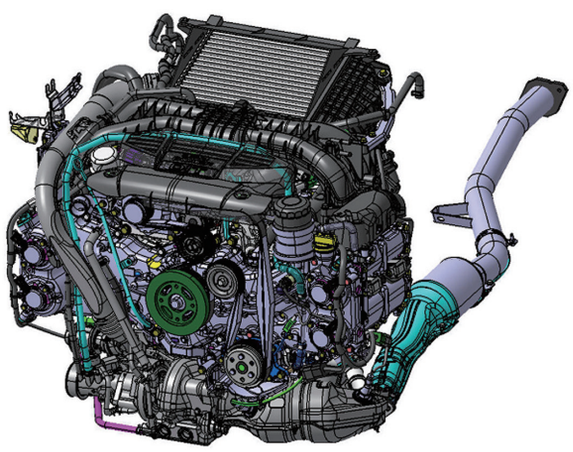


Fig. 59　FA20　engine view

(4) 2.0Lディーゼルエンジン

今回のフルモデルチェンジに合わせて欧州Euro6基準対応したエンジンを新開発した。詳細は別報[3]にて紹介する。

7.2　トランスミッション

7.2.1　開発の狙い

フリクション低減による低燃費化とトランスミッションから発生する振動・騒音を抑え、走行時の静粛性を高めた。さらに変速制御も変更し、リニアトロニックの特徴である変速ショックのない滑らかな加速はそのままに、加速時にドライバーの気持ちとエンジン音、加速の一体感が味わえる軽快で気持ちの良い走りを実現した。

7.2.2　トランスミッションの紹介

(1) リニアトロニック

2.5Lエンジンに適用するリニアトロニックは、暖機促進によるフリクション低減を狙ったCVTウォーマの採用に加え、トルクコンバータのダンパ低剛性化による使用可能なエンジン回転を低回転化、オイルスペーサーやフロントバッフルを新採用するとともにプーリーバッフルを拡大し(Fig. 60)、オイルによる撹拌抵抗を低減させることで、燃費向上を図った。

また、走行中にトランスミッションから発生する振動・騒音を抑えて、質感を高めるために、ケース剛性向上、プーリーのローラーベアリング化、防音カバー形状変更に加え、トランスミッションマウント部へのダイナミックダンパーを追加(Fig. 61)し、チェーン音を低減した。更にオイルポンプロータの歯形を新設計し、オイルポンプ音を低減した。

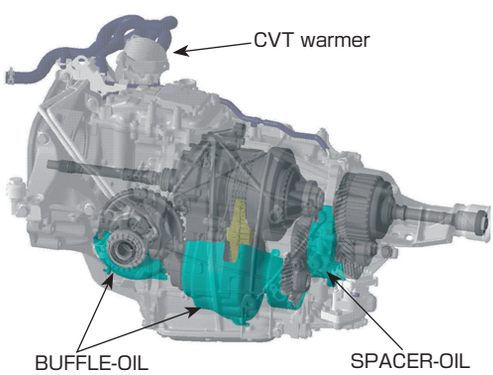


Fig. 60　Parts to reduce transmission spinning loss

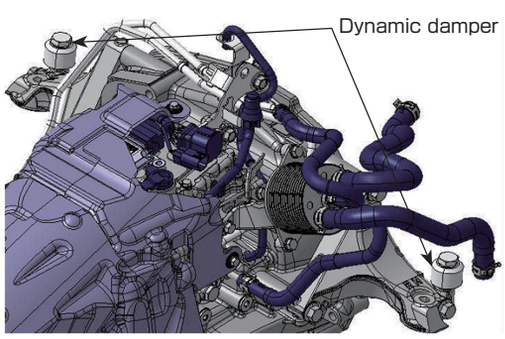


Fig. 61　Dynamic damper

(2) 高容量タイプ リニアトロニック

これまでの2.0L DITエンジン、ディーゼルエンジンへの適用に加えて、新型レガシィ／アウトバックでは、新たに3.6Lエンジンを5速ATから高容量タイプのリニアトロニックへ変更し、燃費及び動力性能の向上に寄与した。高容量タイプにおいても防音カバー吸音性向上によるCVTチェーン音低減とオイルポンプロータの新歯形化によるポンプ音低減により、走行中の振動・騒音を改善させた。

また、新型車への適用にあたり、後退時の登坂や段差乗越え性能を改善するため、前後進プラネタリをダブルピニオン構造に新設計し、リバースギヤ比をローギヤ化する変更を行った(Fig. 62)。

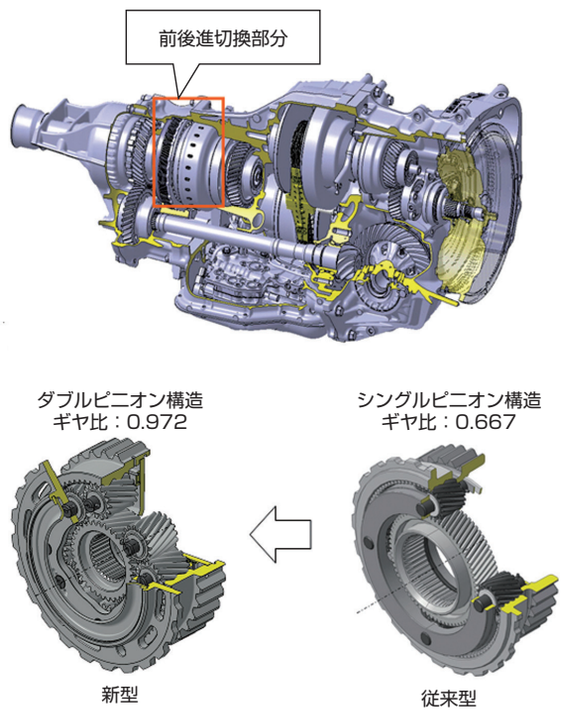


Fig. 62　Structure of forward & reverse planetary

(3) リニアトロニック　オートステップ変速

加速時にドライバーの気持ちとエンジン音、加速の一体感を実現するため、Dレンジ走行中、アクセル低開度時は無段変速、アクセル高開度時はステップ変速に切り替えるオートステップ変速制御を採用した(Fig. 63)。これにより、高速道路への合流等で鋭い加速を行なう際、アクセル操作に対しエンジン回転数が速度より先行して上がってしまうCVT 特有の現象を解消。ドライバーの意志に反したエンジン音の高まりも抑えることで、加速時の車内音を低減させるとともに、車速とエンジン音のリニアリティを向上させた(Fig. 64)。

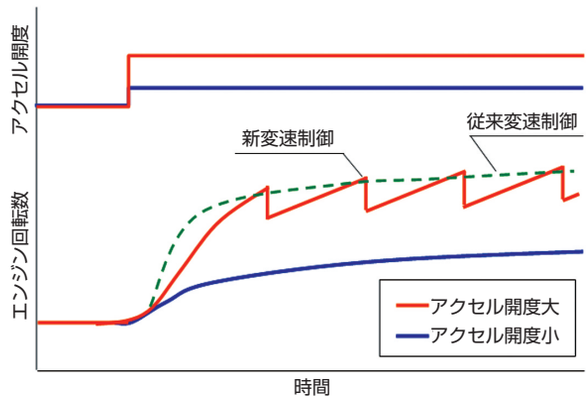


Fig. 63　Auto step shift control

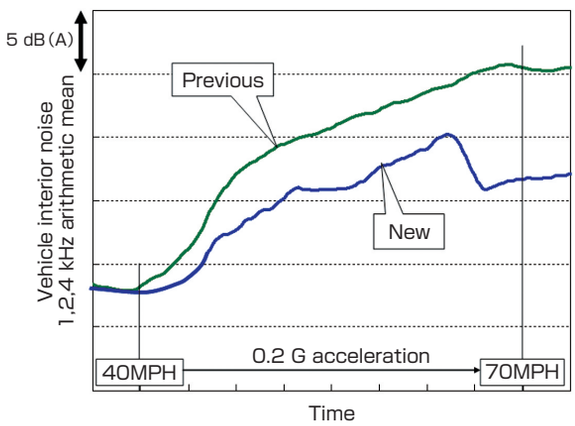


Fig. 64　Vehicle interior noise during acceleration

(4) 6速マニュアルトランスミッション

2.5Lエンジン及びディーゼルエンジンに適用する6速マニュアルトランスミッションは、タイヤ大径化等の新型車仕様にて、燃費、ドラバビリティ、実用性を確保するべく、ギヤ比変更を行った。

8.　シャシー

8.1　開発のねらい

1ランク上の上質な走り（ロールを抑えた質感の高い走り）と、さらにクラスを超えた高い運動性能を実現するため、サスペンションの剛性アップ、ハブベアリング径の拡大、ステアリングアシストの最適化などを行った。サスペンションは、操縦安定性と乗り心地を高次元で両立させるため、新設計のフロントストラットや、リヤショックアブソーバーを採用。ステアリングには、正確かつ、自然な操舵感を狙った軽量・小型・高性能なコントロールユニットを内蔵した電動パワーステアリングを採用すると共に、ブレーキでは、信頼でき、思い通りに、確実に制動力を発揮し、応答性、コントロール性、剛性感を両立させたシステムを構築した。

8.2　サスペンション

上質な走りを実現するため、フラッター、低周波振動、およびフロア振動の低減、さらに直進性、静粛性の向上を図った。また、クラスを超えた高い運動性能の指標として、ヨー・横G応答性、ロール感、危険回避性能の向上を狙った。

8.2.1　フロントサスペンション

従来車同様にマクファーソンストラット式サスペンション（Fig. 65）を採用しつつ、主な改善点として以下を実施した。

■ ステアリング振動の低減

路面からの必要なインフォメーションは伝え、不快なタイヤからの振動伝達を抑えるため、マスオフセット低減、ステアリングナックルアームの半径拡大、アームフロントブッシュの液封化を行なった。

また、フロントストラットマウントがボディと接触する面の板厚をアップし、振動伝達を抑制することで、ロードノイズの低減を図った。

■ しなやかさと安定感のある乗り味の実現

フロントスタビライザーリンクのレイアウトをアーム付け→ストラット直付けとすることで、スタビライザーによるロール剛性の向上を図った。さらにフロントストラットマウントのバネ特性を変更し、ダンパーの減衰効率を向上させ、ゴツゴツとした突き上げを抑えたしなやかな乗心地と、不快な揺れのない安定感ある乗り味を両立した。

同時にスタビライザー径を小径に抑えることで大幅な軽量化も実現した。

■ 高い車両応答性能の追求

トレッドおよびキャンバー剛性向上のため、アームフロントの横方向、及びフロントストラットの剛性をアップすると共に、フロントブッシュ特性を最適化し、操舵に対する車両応答の遅れを極限まで小さくすることを追求した。

■ 高い質感の実現

アームフロントブッシュには、より減衰性能に優れた液封タイプを採用することで、あらゆるシチュエーションにおいて、振動を抑制したより上質なステアリング質感を実現した。

同時に、リヤブッシュの軸方向レイアウトを上下→前後に変更することで、液封タイプとしながらもブッシュ外径を極力抑え、しかもブラケットにはコンパクトかつ軽量なアルミ押出し材を採用した。

さらにリヤブッシュのきめ細かな特性見極めにより、路面入力に対してはしなやかに、ドライバー操作に対してはよりリニアな車両特性を実現した。

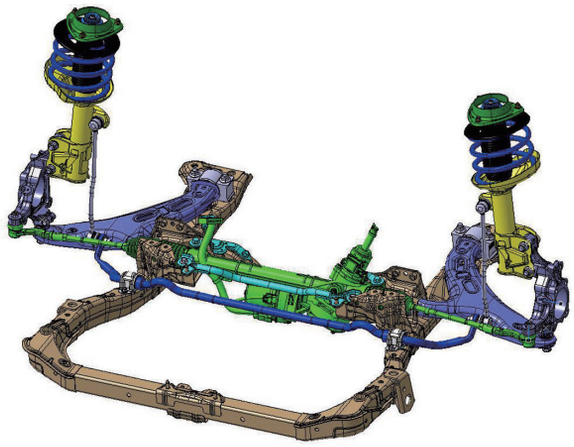


Fig. 65　Front suspension

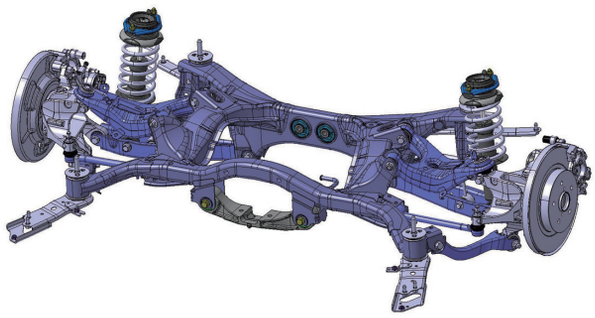


Fig. 66　Rear suspension

8.2.2　リヤサスペンション

新型インプレッサ、フォレスターと同様、低床タイプのダブルウィッシュボーン式サスペンション(Fig. 66)を採用し、主な改善点として以下を実施した。

■安定感のある上質な乗心地の実現

サポートサブフレームリヤを左右方向に延長し、車体固定点を追加することで、車体ねじり剛性を大幅に向上すると共に、フロアやシートの振動を低減し、上質な乗心地を実現した。

また、ラテラルリンクリヤのショックアブソーバー取付け位置を外出しすることでダンパー効率を向上すると共に、リヤスタビライザーの両端位置を外出しし、スタビリンクの配置を適正化した。さらに、リヤショックマウントのバネ特性を最適化することで、ダンパーフリクションを低減しつつ、効率的にダンパー減衰力を作用させることで、路面入力をしなやかにいなし、安定感のある乗り味を実現した。

■クラスダントツの危険回避性能の実現

イニシャルキャンバをネガティブ設定とし、加えてセダンでは、イニシャルトーインを増やしてホイールアライメントを適正化した。タイヤの横力を素早く発生させることで、急操舵にもしっかりと応答する運動性能を実現している。

また、サブフレームブッシュのハード化により、サブフレームの上下方向･前後方向の連成振動を抑制し、操舵に対する車両応答性が向上すると共に、キャビンの揺さぶられを低減し、危険回避性能とフラットな乗心地の両立を図った。

8.2.3　スタブレックスライド

フロントとリヤのショックアブソーバーに新設計のバルブを採用し、さらにフロントショックアブソーバーではシリンダ径を拡大することで、ピストン速度低速域での減衰力応答性向上と、ピストン速度高速域での減衰力抑制が可能になり、車体のぐらつきが少ない操縦安定性と、上質な乗心地を、さらに高いレベルで両立した(Fig. 67)。

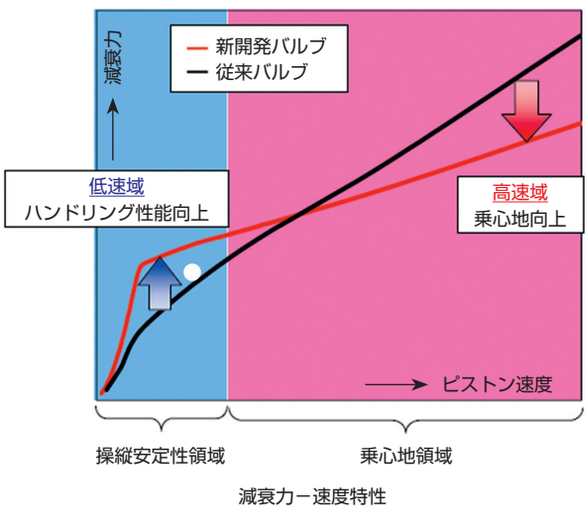


Fig. 67　Damping force - Piston speed

8.3　パワーステアリング

8.3.1　電動パワーステアリング

全車にコントロールユニット内蔵の電動パワーステアリングを設定し、従来型北米向けの油圧パワーステアリング適用車に対して、約2%の燃費向上を図った。また、きめ細かなモーター制御により、正確かつ自然な操舵フィーリングを実現した。

さらに1ランク上の性能、質感向上のため、モーター出力をアップすると共に、タイロッドエンドの剛性を最適化し、回頭性を向上することで、カーブ走行中の修正舵を減らし、ドライバーの疲労低減を図った。

加えてユニバーサルジョイントの中立位相合わせ構造を設定し、操舵時の舵力左右差の発生を抑え、スムーズな操舵フィーリングを実現した。また、CANダイアグ、DTCタイムスタンプを採用し故障診断性能を向上している。

さらに、アウトバックのステアリングギヤ比をクイック化(16：1⇒14：1)し、常用域での回頭性向上を図った(Fig. 68)。

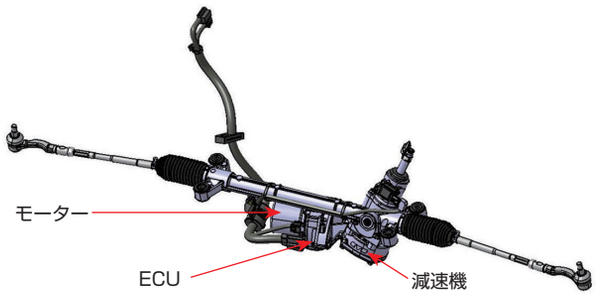


Fig. 68　Power steering with ECU

8.3.2　ステアリングホイール

ステアイングホイールは、芯金を高剛性化し、しっかり感の向上を図った(Fig. 69)。

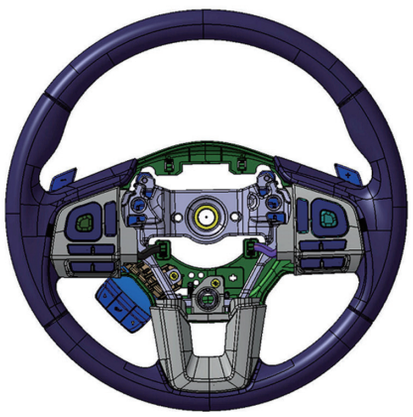


Fig. 69　Steering wheel

8.3.3　ステアリングコラム

ステアリングコラムへのアルミニウム材使用を継承し、軽量化を図りつつ、さらなる高剛性化を行い、上質なステアリングフィーリングを確保した。

8.3.4　インフレータ

運転席エアバッグのインフレーターをラバーでフローティングする構造とすることによりダイナミックダンパーの機能を付加させた。これにより、従来のステアリングダンパーに対して大きな質量をダンパーとして使用できるため、振動低減の効果が向上すると共に、より広い周波数領域での振動低減が可能となった。

8.4　タイヤ&ホイール

8.4.1　タイヤ

タイヤサイズを大型化し、車両の大型化に見合うサイズ設定とした(Table 5)。また、乗り心地、振動騒音を悪化させることなく、転がり抵抗を大幅に低減させた新規開発のタイヤを採用した。

Table 5　Tire size

車種	サイズ
LEGACY	255/55R17
	225/50R18
OUTBACK	225/65R17
	225/60R18

8.4.2　ホイール

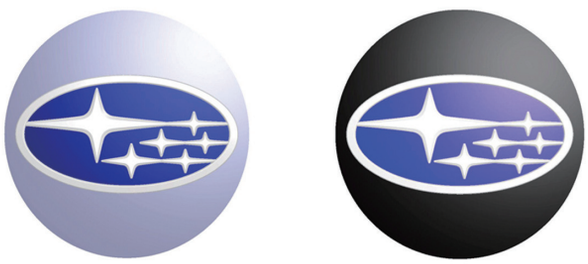
5種類のホイール及びホイールキャップを新製した。ハブベアリングのサイズアップにともない、全車P.C.D.114.3 mmを採用し、剛性向上を図り、操縦安定性・乗り心地の向上を実現した。また、空力性能も考慮したデザインとし、燃費の向上にも寄与した。また、センターキャップデザインも刷新し外観向上をはかった(Figs. 70、71、72、73、74)

Fig. 70　17-inch alloy wheel for LEGACY

Fig. 71　18-inch alloy wheel for LEGACY

Fig. 72　17-inch alloy wheel for OUTBACK

Fig. 73　18-inch alloy wheel for OUTBACK



シルバー色仕様
（樹脂多色刷り）

黒色仕様
（アクリル）

Fig. 74　Center cap

8.5　ブレーキ

ドライバーの思い通りに、確実に制動力を発揮する信頼性の高いブレーキシステムとした。さらに優れた応答性とコントロールのしやすさ、高い剛性感をも実現すると共に、ブレーキ引き摺り抵抗の低減により、燃費向上に寄与した。

8.5.1　タイロッド式タンデムブレーキブースタ

従来からのペダルの踏み込みに応じたリニアな利き味を活かしながら、剛性感の向上を図った。より応答性を高めて、咄嗟のブレーキ操作時でも高いブレーキ性能を発揮する、安心感のある安全なブレーキを実現した。

ペダル踏み込み時にブースターへ大気を供給する流路抵抗を低減することで、ペダル踏み込み時の応答性を格段に向上させている（Fig. 75）。

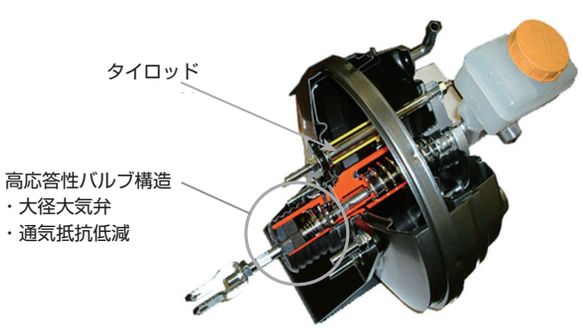


Fig. 75　Brake booster

8.5.1　フロントブレーキ

従来型同様に、16、17インチの2種類のベンチレーテッドディスクブレーキを用意した。

■17インチブレーキ

パッドクリップへのフッ素コーティング追加によりブレーキ引摺りを低減させ、燃費を向上した。ロータ厚さは30 mmで、従来車に対して不変とした。

■16インチブレーキ

ロータ厚さを24 mm→26 mmにアップし、さらにパッド面積の拡大により、熱容量をアップし、信頼性を高めた。また、17インチ同様にパッドクリップへのフッ素コーティングを追加してブレーキ引摺りを低減させ、燃費を向上した。

8.5.2　リヤブレーキ

全車17インチベンチレーテッドディスクブレーキとし、電動パーキングブレーキをキャリパーに内蔵した。この構造は、モーター駆動でブレーキパッドがローターを挟みこみ、パーキングブレーキ保持力を確保するものとした。

電動パーキングブレーキをキャリパーに内蔵することで、静粛性と応答性の向上も図った（Fig. 76）。

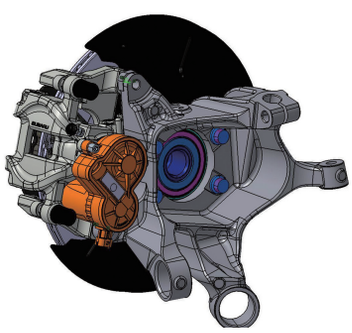


Fig. 76　Electric parking brake built-in caliper

8.6　VDC

車両の挙動を常時チェックしABS（アンチロック制御）、TCS（エンジン制御、ブレーキLSD制御）、VDC（横滑り防止のためにエンジンとブレーキを制御）をフレキシブルに制御すると共に、介入タイミングの最適化により高い安定性を確保する制御とした。さらに、H/Uには次世代品を採用して小型化を実現した。

今回新たに、危険回避のシチュエーションで効果を発揮する制御ロジックを織り込み、世界トップレベルの危険回避性能を実現すると共に、アクティブ・トルク・ベクタリングを新規導入し、左右輪へのトルク配分を個別制御することで、旋回時のコーストレース性を高めた（Fig. 77）。

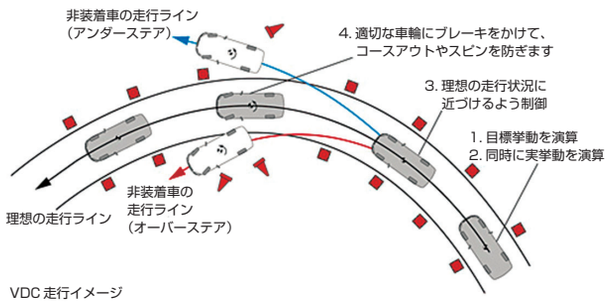


Fig. 77　Active torque vectoring

8.7　エンジンマウント

振動騒音、乗り心地、操縦安定性の向上を狙い、エンジンマウントを刷新した。さらにバネ特性のセッティングを最適化し、北米路面走行時のフロア振動、及びエンジン始動時のフロア振動を低減すると共に、直進安定性と操舵応答性の向上を図った。

8.8　トランスミッションクロスメンバー

CVT車のフロア振動低減を狙い、トランスミッションクロスメンバーに補強版を追加し、閉断面化した。

8.9　アクスル

8.9.1　プロペラシャフト

全車コラプス機構付きプロペラシャフトを採用し、衝突時のエンジン後退を阻害せずに車体Gを低減することで、衝突安全性能の向上を図った。また、レイアウトを最適化することで駆動系に起因する振動・騒音を低減し、静粛性・快適性を向上させた。

8.9.2　ハブ

ハブベアリングのサイズアップ、およびP.C.D.114.3 mmを採用し剛性向上を図った。また、インナー側シールを改良し、ベアリング内部への泥水の浸入を防止し、信頼性を向上しつつ、回転抵抗の増加による燃費への影響を最小限に抑えた。

9.　車体

9.1　開発の狙い

超ハイテン材の採用および構造の変更により、車体の高強度化と高剛性の両立を実現。衝突安全性能を向上しつつ、実用域における操縦安定性、乗り心地、不快な振動の低減を達成させている。

9.1.1　ボディシェル

ホットプレスと呼ばれる超ハイテン材（1470 MPa）を採用し、質量増を抑制しつつ高強度化を図った。キャビン周りを取り囲む骨格部材には、ハイテン材を主として配置。全方位からの衝突に対応する安全なボディを実現し、各国情報公開制度においても高い評価を得ている（Figs. 78, 79）。

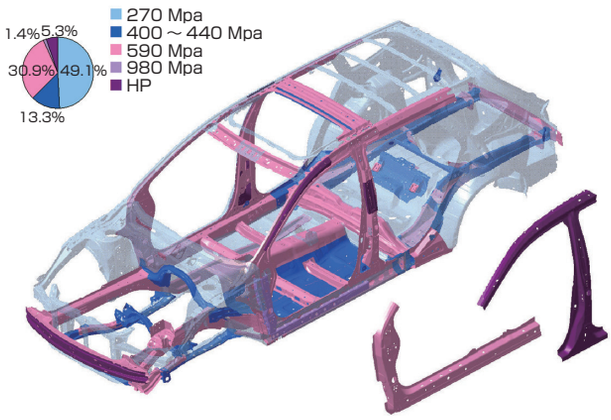


Fig. 78　Material distribution of OUTBACK US model

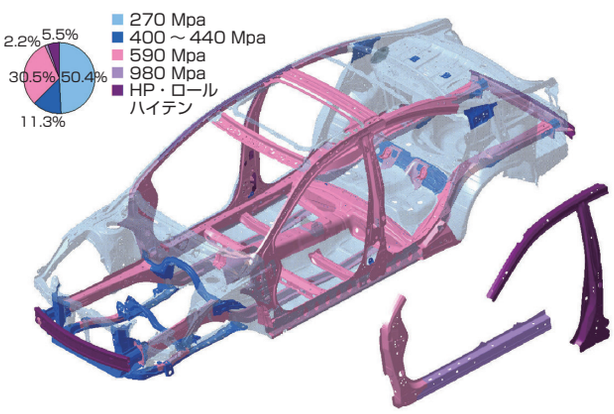


Fig. 79　Material distribution of SEDAN EU model

サスペンション等、足回り部品の取り付け部剛性向上と合わせ、車体開口部まわりの部品配置、板組構造、板厚アップ等を行い、ねじれ剛性を向上。これにより、乗り心地の向上、不快な振動の低減など、質感の向上に大きく貢献している（Fig. 80）。

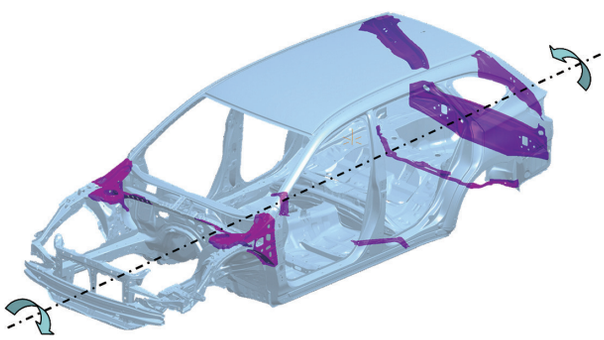


Fig. 80　Enhancement of torsional rigidity

新型レガシィ／アウトバックに相応しい高い居住性のために振騒性能を高めている。エンジンや、タイヤ

の放射音を抑えるため、板金部品の板厚アップをはじめ、制振シートの面積拡大、吸音材の高性能化を図っている。更に、車外からの音の侵入を抑制するため、車体全体のシール性の向上にも取り組んだ(Fig. 81)。

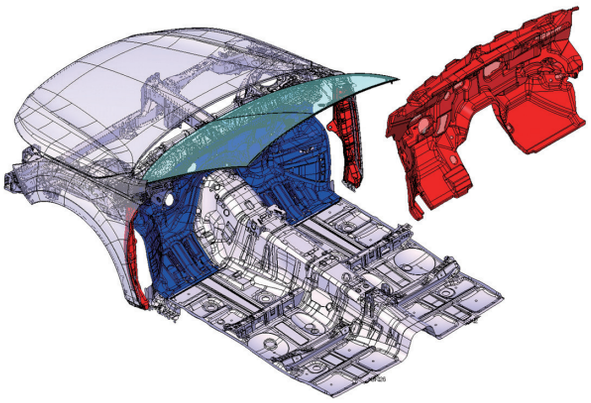


Fig. 81　Enhancement of noise blockage

なお、車体構造の詳細については、別報[4]にて解説しているため、そちらを参照されたい。

10.　まとめ

今回のフルモデルチェンジは、お客様の期待に正面から向き合い、スバルのクルマづくりの姿勢を継承・進化させることで、その期待に応えた自信作です。レガシィ／アウトバックを愛してくださるお客様はもちろん、これまで接していただけなかった方々にも、その真の価値をご理解いただき、新世代のスバルに乗る歓びを実感していただきたいと思います。最後に、関係各位のご尽力に対し、プロジェクトメンバー一同深く感謝し、紙面を借りて厚くお礼申し上げます。

参考文献

(1) 板野ほか：新型レガシィのデザイン開発，スバル技報，42号
(2) 鈴木ほか：新型レガシィの内装開発，スバル技報，42号
(3) 廣瀬ほか：新開発Euro6規制対応水平対向ディーゼルエンジンの紹介，スバル技報，42号
(4) 塚田ほか：新型レガシィ車体構造の開発，スバル技報，42号
(5) 高橋ほか：スバルリアビークルディテクション（SRVD：BSD/RCTA）の開発，スバル技報，42号

【著　者】

SUBARU LEGACY開発プロジェクトチーム

［スバル技術本部］	内田　雅之
［スバル商品企画本部］	堀　陽一
	毛塚 紹一郎
	舟串　卓也
	木暮 眞一郎
［外装設計部］	清水　義之
［内装設計部］	菊地　勝美
［車体設計部］	塚田　剛久
［エンジン設計部］	堀　智宣
［トランスミッション設計部］	亀屋　七緒
［シャシー設計部］	鈴木　厚志
［車両研究実験総括部］	伊東　和栄

新型レガシィ車体構造の開発

Development of Body Structure of New Generation LEGACY

塚　田　剛　久*　　五十嵐　正　典*　　柳　生　幸　徳*
Takehisa TSUKADA　　Masanori IGARASHI　　Yukinori YAGYU

抄　録

新型レガシィ開発に当たり車体構造を刷新した。開発コンセプトに見合う車体特性として、剛性を徹底的に造り込み、動的な性能・質感を高めている。従来比で約1.7倍ものねじり剛性を達成し、乗り心地の向上や不快な振動の低減に貢献している。本稿ではこれらの剛性改善の取り組みに加え、衝突、振騒、空力改善について詳述する。

Abstract

The New LEGACY body structure has been drastically changed in the sixth development project. To attain the body characteristics which match with the concept of this project, we have achieved better dynamic performance and feeling by thoroughly building up the body stiffness. As a result, torsional rigidity is now 1.7 times higher than the previous one; this contributed to the enhancement of ride comfort, and the reduction in noise and vibration. In this paper, we will describe the approach for this stiffness improvement as well as its consequent achievements in the collision safety performance and aerodynamics in detail.

1.　まえがき

新型レガシィ開発にあたり、車体構造はプラットフォームの基本骨格を除き多くの部分を刷新している。従来より定評のある衝突安全は堅持しつつ、第6世代のレガシィに求められる高い動的質感を実現するため、構成部品の配置、材質、形状の設定にあたっては、剛性向上の観点から徹底した検討を行った。結果として従来比で約1.7倍ものねじり剛性を付与し、しっかりとした車体骨格を実現している。車としての操縦安定性、乗り心地、振動騒音、耐久性の向上に貢献している。

衝突安全性能においても、各国情報公開に合わせた性能向上を図っており、トップレベルの性能を堅持している。

2.　開発の狙い

乗り心地や操縦安定性などの高い動的な質感を達成するために、その基礎となる車体構造には高い剛性が求められる。車を構成するサスペンションなどの機能部品を効率よく作動させるには、部品を取り付ける局所的な剛性だけではなく、車全体の大きな変形も捉える必要があり、骨格のねじり剛性、曲げ剛性の向上を目指した。こうした剛性の向上は車内音の低減、ボディメカニカルノイズの抑制、床面の振動低減にも効果があり、快適な居住性を得ている。

衝突安全性能においては各国情報公開におけるトップレベル堅持を目標とし、衝突時における乗員の居住スペース確保を優先しつつ骨格を固める事を狙いとした。歩行者保護対応においては、歩行者への加害性低減のため衝突時に車体前部構造がエネルギー吸収し易い構造を採用している。

3.　骨格構造

3.1　シャシー取付部構造

ロアアームやストラット等のシャシー部品が取付けられる車体やクレードルフレームを補剛して、シャシーからの入力に対する取付部変形を抑え、ステアリ

＊ 車体設計部

ング操作時の車両応答を早めている。かつ、取付部剛性を上げることで振動の伝達を抑制し、乗員に伝わる不快な音や、振動を低減させた(Figs. 1, 2)。

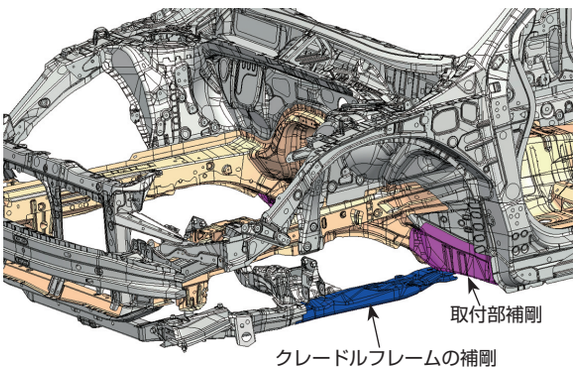


Fig. 1　Chassis mounting portion #1

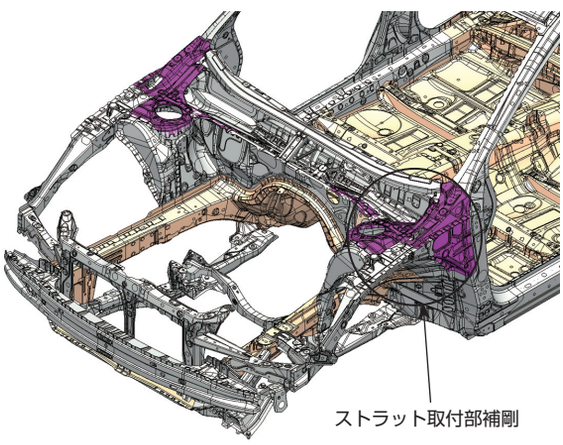


Fig. 2　Chassis mounting portion #2

3.2　車体後部構造

3.2.1　アウトバックモデル

サスペンションからの入力に対するボディ変形として、リアゲート開口部の変形が特徴的であり、開口部まわりの構造を見直した。リアゲート、Dピラー、リアレールが交差する部位には、内部にセパレーターを追加する事でリアゲート開口部の骨格を環状に配置した。またリアスカートの板厚増加と形状の最適化を行い、せん断剛性を上げて開口部のマッチボックス変形を抑制した(Fig. 3)。

3.2.2　セダンモデル

アウトバック同様にリアスカート板厚増、形状最適化によりねじり剛性を向上させている(Fig. 4)。

3.3　床下艤装部品

効果的に車体変形を抑えるためには、相対変形の多い部位の2点間を可能な限り直線的に結合することが有効である。床下(Fig. 5)に示す部位に補剛部品を設定し、ねじり、曲げ変形を抑制している。これらは軽量かつ高剛性なボディに貢献している。

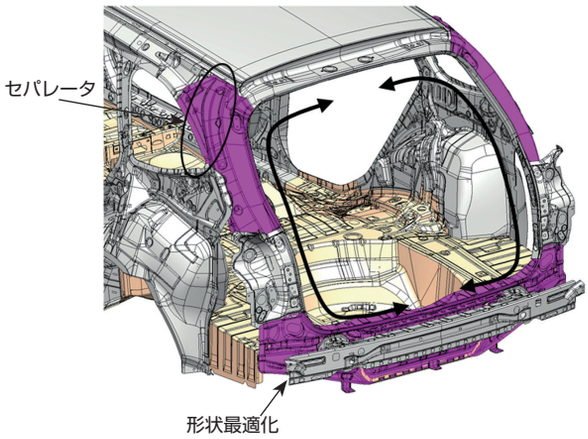


Fig. 3　Rear view of OUTBACK model

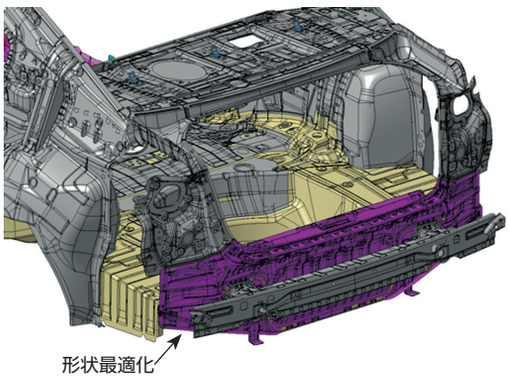


Fig. 4　Rear view of SEDAN model

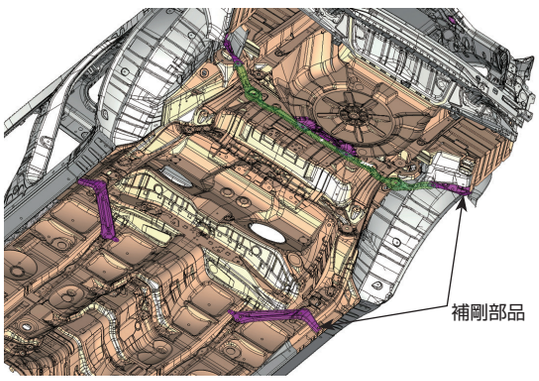


Fig. 5　Under floor stiffener

3.4　衝突安全性能

乗員保護の観点から客室まわりを取り囲むように高強度材を配置し、全方位からの安全に配慮している。キャビンの主要骨格であるサイドレールに加え、弊社として初めてセンターピラー部にホットスタンプ材を採用した。

バンパービームには、ホットスタンプ材や1300 MPa級ロール成形材を採用し、省スペースで高い断面強度を実現した。これにより軽衝突や歩行者保護のクラッシュゾーンを確保しつつ、大衝突性能との両立を図っ

ている（Fig. 6）。

また、Aピラー下部とフロアメンバーとの結合板組みを見直し、衝突時の入力に対して結合強度を高めている（Fig. 7）。

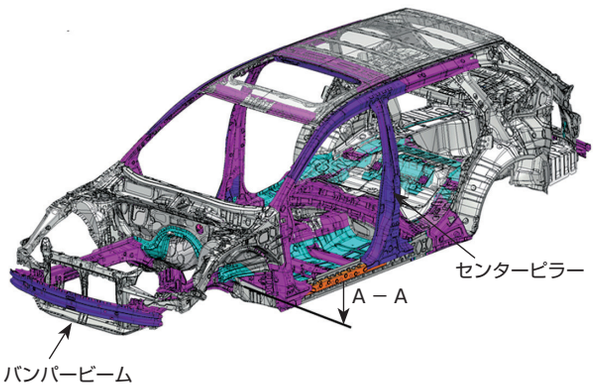


Fig. 6　Body structure

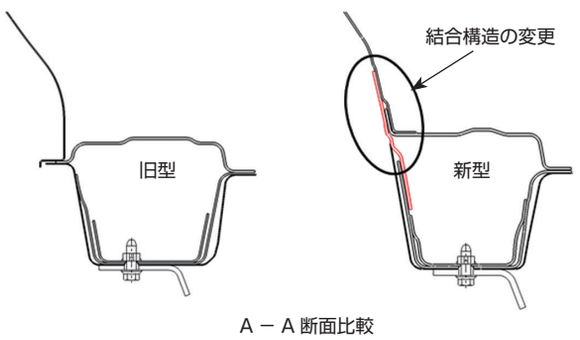


Fig. 7　Comparison of section A－A

センターピラー、サイドレールはホットスタンプパッチワーク[1]工法の超高強度材へ材料置換し、質量増加を抑えつつ現行車以上の性能を達成させた（Fig. 8）。

北米サンルーフ仕様では、サンルーフユニットの上下にブレースを配置し、衝突荷重を分散して受け持つことでサンルーフ開口部の変形を抑止している。サンルーフユニット下側のブレースにはホットスタンプパッチワーク工法[1]を採用し、室内空間を確保しつつ高強度化を実現した（Fig. 9）。

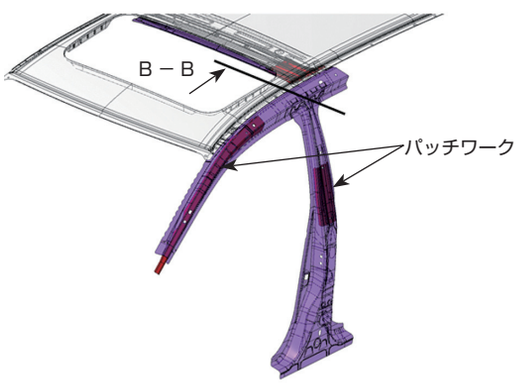


Fig. 8　Detail of pillar structure

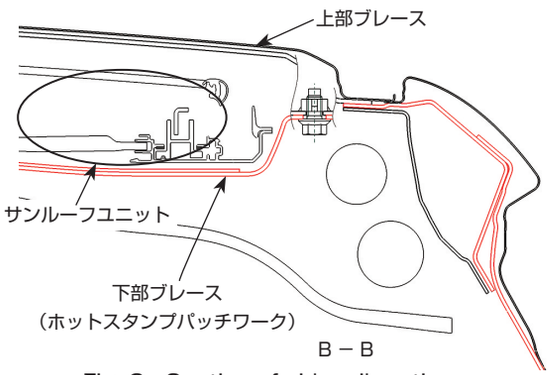


Fig. 9　Section of side rail portion

3.5　歩行者保護への対応

歩行者の頭部保護の観点から、フード内部の構成部品や車体取付部品には、クラッシャブル構造を採用し、変形の過程で効率良く衝突エネルギーを吸収し頭部への加害性を低減している。インナーダクト（過給機付きモデルのみ）もスリット形状などの付加により衝突時の変形を促進し、衝撃を和らげる構造を採用している（Fig. 10）。

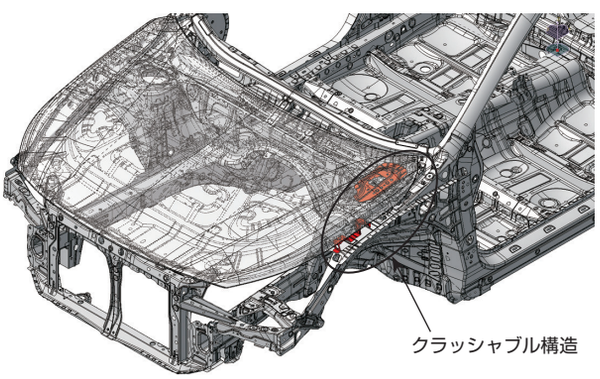


Fig. 10　Hood structure

ラジエータパネルのサイド部においては、最上部に位置するアッパーフレームを廃止し、衝突ストロークを旧型車よりも多く確保し、衝突初期の抗力を小さく抑える事で加害性を低減させている（Fig. 11）。

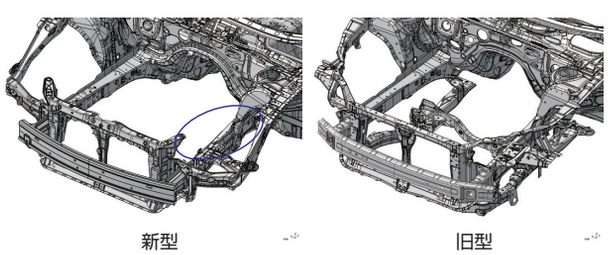


Fig. 11　Comparison of frone end structure

4. 防遮音構造

上質感を実現するために車内の静粛性は重要な要素であり、新型レガシィには高い性能が求められた。既存の防遮音材の強化は勿論、旧型レガシィに対して、車体を構成する板金部品であるトーボードパネルやリアホイールエプロンの板厚を増加した。防遮音シートのアンダーフロア貼付け範囲の拡大やルーフ裏面への追加などエンジン透過音やロードノイズの車内への侵入を小さく抑えて性能を向上させた(Fig. 12)。特に新型レガシィの開発においては次の2点の取組みを加えた。

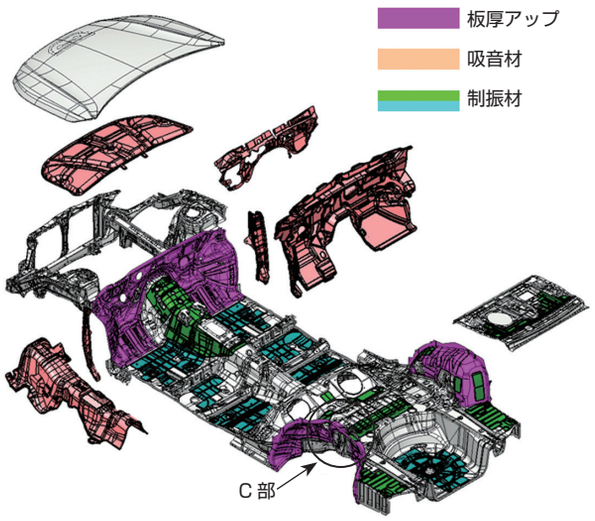


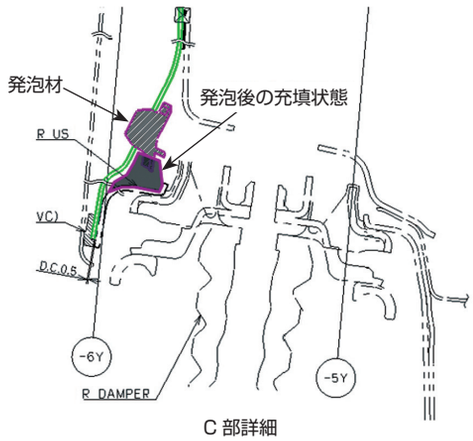
Fig. 12 Enhancement of comfort performance

4.1 気密性の向上

車内外に通じる小さな隙間の存在も音の侵入に繋がり、静粛性を低下させる。新型レガシィでは、板金部品同士の隙間を徹底的に小さく設計し、フレームなど骨格部品の下面にある穴類を削減し通気面積の低減を図った。さらに、空気の流れを遮断するため、フレーム内へ発泡材を設定して気密性を向上した。結果、旧型レガシィに対して50%以上の気密性向上を果たした(Fig. 13)。

4.2 ボディメカニカルノイズの撲滅

車は走行中に僅かな弾性変形を繰り返している。車体を構成する板金部品同士の隙間に、溶接スパッタなどが入り込み、相対的な動きから擦れ音が発生する事がある。特に動きの多い骨格部を中心に必要な隙間を設定し、製造上のばらつきを考慮しても隙間が確保できるよう配慮した。また開発車両での解体確認を行って、実部品が設計通りに出来ているか品質チェックを繰り返した。その点検部位は約150か所にも及んだ。



C 部詳細

Fig. 13 Detail of C portion

5. 環境性能の向上

5.1 空力性能

燃費向上の重要な要素の1つである空力性能を向上させるために、車両床下の空力部品の設計に配慮した。全グレード統一でフルアンダーカバーを採用し、各々のカバーの延長や拡大、凹凸形状のスムーズ化を行い、床下を流れる空気の整流化を行った。特にキャビン下のアンダーカバーと燃料タンク下のカバーは生産性と両立させるために分割構造にしつつ、スムーズな空気の流れになる構造にした。また、車体の剛性向上のために設定されているステーを完全に覆うことで段差を無くしてフラッシュサーフェース化を図った。タイヤ前に設定したフラップも旧型に対して面積を拡大、タイヤに当たる空気の量を低減させた(Figs. 14, 15)。

セダンのトランクは、スタイリッシュな外観デザインと空力の両立を図りダックテール形状を採用した(Fig. 16)。

5.2 インナーダクト構造

過給機付きのモデルにはインタークーラー冷却のためのインナーダクトを装備した。フロントグリルから吸気するためフード上の開口が不要で、スタイリッシュな外観と冷却性能を両立させている(Fig. 17)。

5.3 軽量化

材料置換による軽量化を図り質量の増加を抑えている。超高強度材をピラーやサイドレールなどの骨格へ採用したのを始め、バンパービームへも採用を拡大した。フロントフードにはアルミを使用し、旧型に対して大幅な軽量化を実現した。バンパービームやフードといった部品の軽量化は単に車としての質量低減だけで無く、ヨー慣性モーメントの低減につながり、車の応答性向上にも寄与している(Fig. 18)。

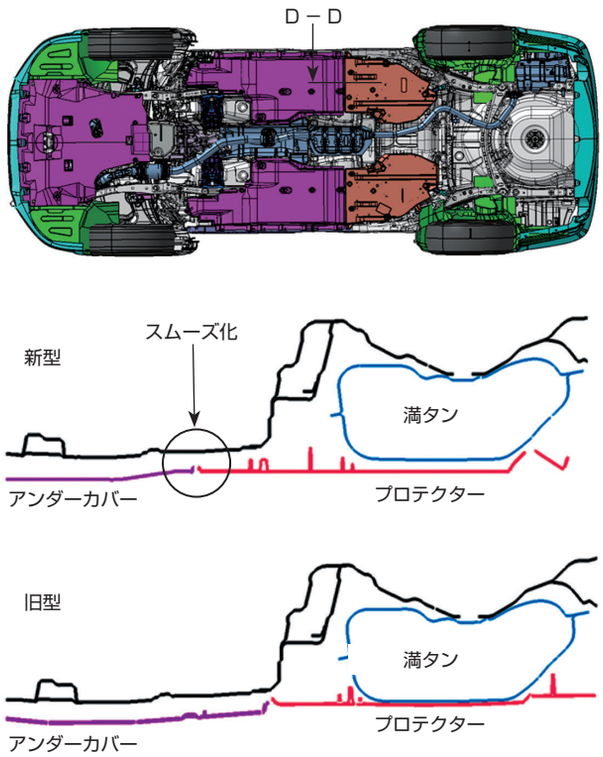


Fig. 14　Floor undercover

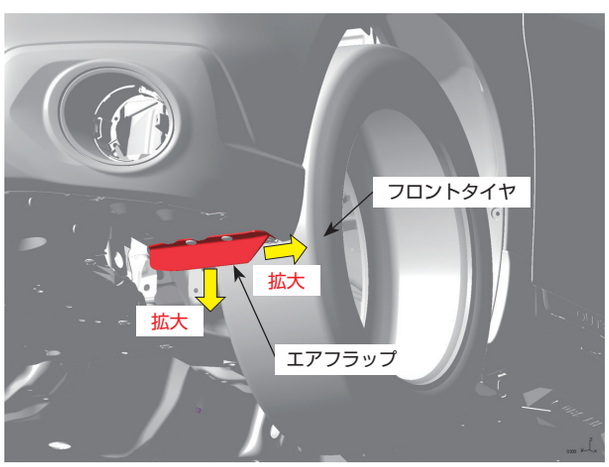


Fig. 15　Air flap

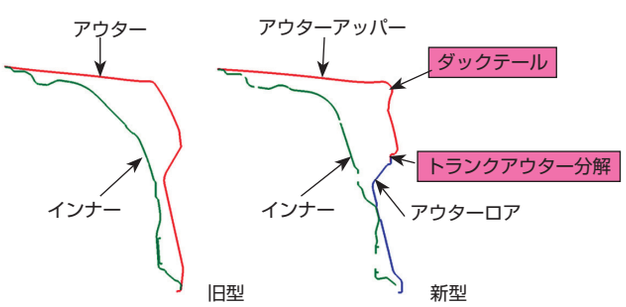
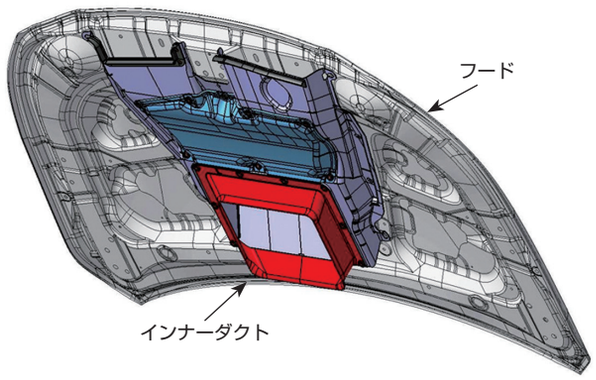


Fig. 16　Comparison of trunk panel section

Dピラー上部の骨格断面内には、高剛性発泡材を適用（日本生産のみ）。閉断面内での部品結合と同時に断面拘束ができ、骨格パネルの板厚低減を図っている（Fig. 19）。



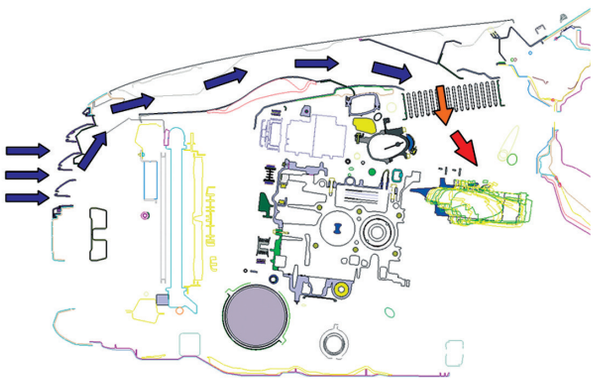


Fig. 17　Inner duct portion

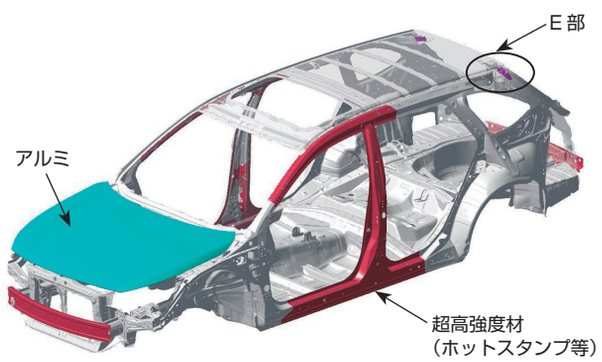


Fig. 18　Distribution of PHS（UHSS）and aluminum

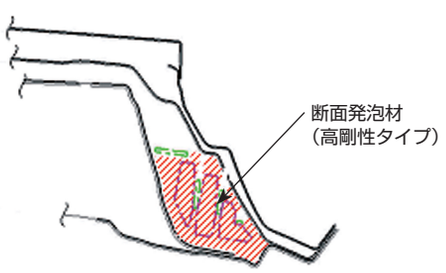


Fig. 19　Detail of E portion

6.　まとめ

以上のように新型レガシィの車体構造は、旧型レガシィが持っていた高い安全性能を堅持しつつ、高い動的質感を実現するために大幅な剛性改善を図ってい

る。その効果は街中の交差点を曲がる時、一般道での車線変更、高速道路での走行などで感じ取れ、静かな車内、意のままに操れ疲れにくいといった価値を体感できると確信している。

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

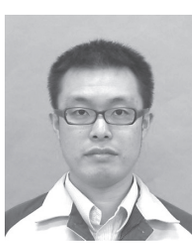
参考文献

(1) 松崎ほか：衝突安全と軽量化を両立するホットスタンプパッチワーク技術の実用化，スバル技報，No.41, p.109-113（2014）

【著　者】

塚田　剛久

五十嵐 正典



柳生　幸徳

成長期（昭和60年代）のスバル紹介

レガシィ ツーリングワゴン GT（1989年～1993年）

全長×全幅×全高：4600×1690×1500 mm
ホイールベース：2580 mm
エンジン：水平対向4気筒 DOHC ターボ 1994 cc
最高出力：200 ps/6000 rpm
最大トルク：26.5 kg−m/3600 rpm

世界に通用する国際戦略車として、全てを一新して開発された。エンジンをDOHC化し、ターボMT車では当時2リッター最強の220 psを得ると共に、高剛性車体とシャシ、最適レイアウトされた4WDシステムを採用するなど、基本に忠実な設計がなされた。また、このときから現在につながるプロジェクトチームによる開発体制が採用され、各部署の代表者を通じて開発者の思いをクルマ作りに強く反映できるようになった。

新型レガシィの内装開発

Interior Development of New LEGACY

鈴　木　智　明*　　田　上　太　郎*　　沼　澤　浩　二*
Tomoaki SUZUKI　　Taro TANOUE　　Koji NUMAZAWA

抄　録

新型レガシィの内装開発では、室内の快適性向上を目標に掲げ、「見る」「触る」「聴く」といった感覚に訴えかける質感を磨き上げることを目標に取り組んだ。

その感性に響く進化の内容について特徴の紹介と構造を説明する。

Abstract

In the interior development of the New LEGACY, aiming for enhanced interior comfort, we refined the quality feel that appeals to customer's "visual," "tactile," and "auditory" senses.This paper introduces how the features and structures of the New LEGACY have evolved to more resonate with customers.

1.　まえがき

スバルの車造りは安全な走りや、どこでも走れる走破性の面で訴求した商品を作りお客様に認められてきたが、近年の必要要素として、室内空間の快適性も重要視されてきている。そのため、安全に意のままに操れ、且つ居心地の良い車室内空間が現在の自動車において重要となってきている。

そこでスバルのフラッグシップモデルであるレガシィが、こうした時代変化を組み込んだ上で、お客様にとって魅力的な商品力を持った車を提供するために取り組んだ内装開発について紹介する。

2.　開発の狙い

スバルのフラッグシップモデルであるレガシィB4/アウトバックが、モデルチェンジで新時代のユーザーに満足していただくためには今までスバルの得意としてきた安全性や走行性といった機能的価値向上に留まらず、ユーザーの感性に響く情緒的価値を磨き上げることが使命であった。

新型レガシィB4/アウトバックの内装開発では、「見る」「触る」「聴く」といった感覚に訴えかける質感を磨き上げることを目標に取り組んだ。

＊ 内装設計部

3.　開発のキーワード

3.1　「見て」感じる質感

整った精度の高い部品建付けはもちろんのこと、上質なインテリアの実現に向けて、新型レガシィでは、「開放感のある室内空間」、「見て感じる上質感」を実現させることで、お客様に満足していただける質感を表現した(Fig. 1)。

Fig. 1　Interior of SUBARU LEGACY

3.1.1　開放感のある室内空間

■インパネ周り

ボデー幅の拡大に伴い、前席の左右着座間隔(カップルディスタンス)を＋10 mm増加し、その間には幅広いセンターコンソールを配置。

インストルメントパネル内部の空調ダクトやステアリングビームの配置を最適化し、パネルの高さを15 mm低く、またなめらかに繋がる形状にすることで、広がり感の演出を実現した(Fig. 2)。

また、インストルメントパネルだけでなくドアトリムのレイアウトを最適化することで、インストルメントパネルを横方向にも片側50 mm拡幅し、横への広がりを強調したワイド感のある形状を実現した(Fig. 3)。

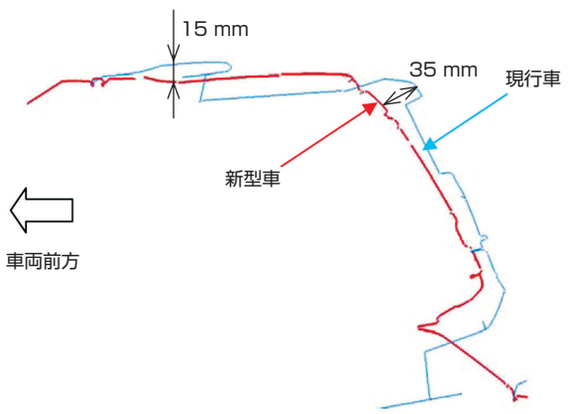


Fig. 2　Section of instrument panel center (Y direction)

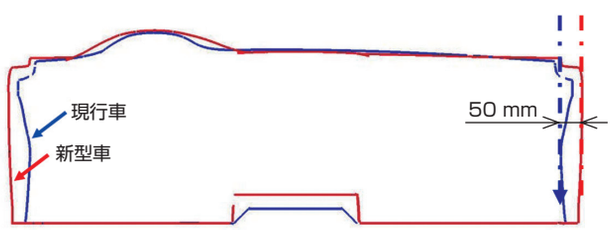


Fig. 3　Front view of instrument panel

■ドア周り

分割構造やボデーパネルとのレイアウトを徹底的に切り詰め、車両衝突時の乗員への衝撃を吸収できる安全性能を向上させながら、室内の居住空間を大幅に拡大した(Fig. 4)。

肩まわり　前席42 mm、後席30 mm拡大
肘まわり　前席43 mm、後席38 mm拡大
腰まわり　前席35 mm、後席67 mm拡大
（数値は現行車比、左右合計値）

■前方視界

フロントウインドウの＋50 mm前方出しに合わせて、Aピラートリムの前出しを行い、乗員前方の開放的な空間と死角が少ないワイドな視界を確保した。

■シート周り

後席乗員においてはフロントシートとリヤシートの間隔(タンデムディスタンス)を7 mm拡大、またバックレストの肩部の縮小や上部の薄型化により、視線の阻害を低減、足元スペース(フロントシート下)も＋30 mm拡大している(Fig. 5)。

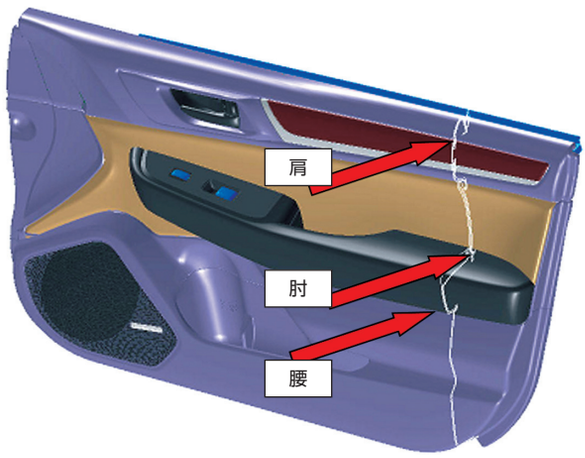


Fig. 4　Extended space

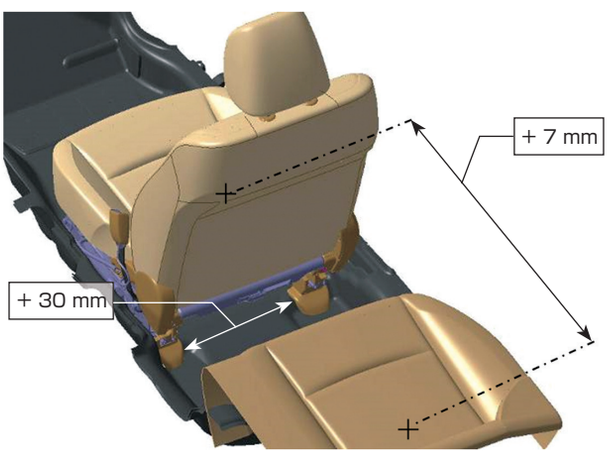


Fig. 5　Extended foot space and tandem distance

3.1.2　見て感じる上質感

内装部品として、見た目の上質感を向上させるために、一格上の加飾や部品素材の向上、間接照明による居心地良さの演出に取り組んだ。

■コンビネーション加飾

2つの色・柄を組み合わせる装飾技法として、インストルメントパネルとドアトリムへコンビネーション加飾を配置した(Fig. 6)。

・標準グレードは上質なツヤとダークな木目を表現した木目調パネルとシルバー塗装のコンビネーション
・Limitedグレードは漆黒感の中に先進的な柄を入れたピアノブラック調パネルとのコンビネーション

特にドアトリムにおいては、木目とシルバーのパーツを一体で製作し、室内の幅方向の居住空間を犠牲にせずに対応した。

Fig. 6　Ornament panel

■シート

土手部に帯状の飾り縫製を配置し、上質な仕立ての良さをグレード問わず表現した。

Limitedグレードは革シートを標準装備し、新規格のよりしっとりした風合いの革を採用し、更なる上質さを表現した(Fig. 7)。

Fig. 7　Seat shape

■Aピラートリム

ルーフトリムと同じトリコット表皮を設定。頭上まわりと統一された明るい色とソフトな素材で連続された統一感を演出し、高級感を高めた。

トリコット表皮の設定は明るい色での開放感を持ちながら、プラスチックとは異なりツヤを抑えたことでの質感向上のみならず、光の反射防止による運転時の安全性も向上させている。

■間接照明

フロントドアトリムのプルハンドル内にはブルーのLEDが点灯する。(Limitedグレードのみ)

夜間照明点灯時には他のイルミネーションの照度調整と連動し、ドアの開閉時にはルームランプと連動した点灯も行い、高級感と視認性を高めている(Figs. 8, 9)。

3.2　「触れて」感じる質感

見た目だけでなく、触感についても上質感に繋がる手法を分析し、お客様が車の中に入り、座った時に内装に触れ、使用時の質感についても各部位で欧州車にも引けをとらない触感を狙いとした。

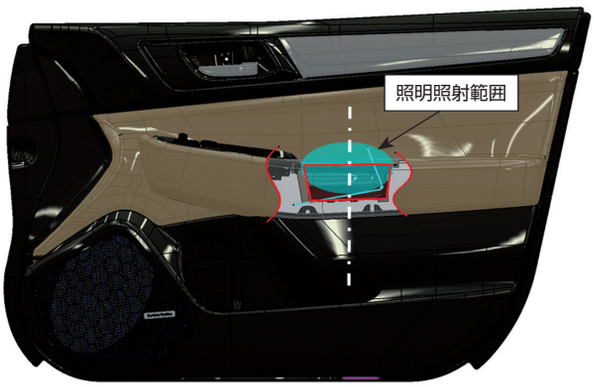


Fig. 8　Lighting position

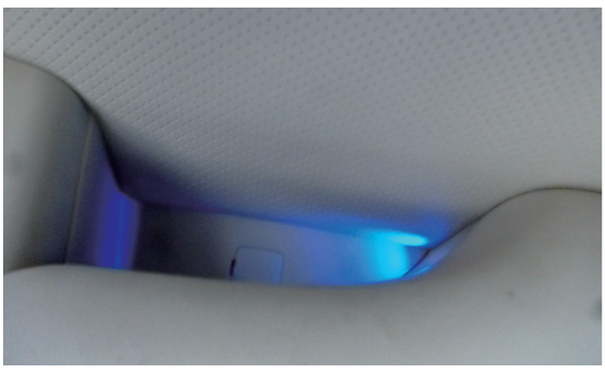


Fig. 9　Lighting in pull cup handle

3.2.1　上質感のあるタッチの追求

■インテリア上面部

インストルメントパネルとドアトリムのアッパー部は、ソフト感を感じられるスラッシュ成型のPADおよび、クッション層付きの表皮巻きにて高品質な触感が得られる製法を採用した。

■アームレスト

センターコンソールとドアトリムのアームレストについては新開発の高触感の表皮を採用した。

内部をクッション量の増加と最適な固さへのチューニングを繰り返し、使用時に底付き感のない、快適で奥深い触感を実現した(Figs. 10, 11)。

■シート

シートは全席とも乗車時・運転時に最適な体圧分布となるようにウレタンクッションの形状と硬度を設定した。また、長距離ドライブでも快適さを感じれるようランバー機能稼働時に腰部支持を維持しつつ局所荷重を分散化したシートを実現した(Fig. 12)。

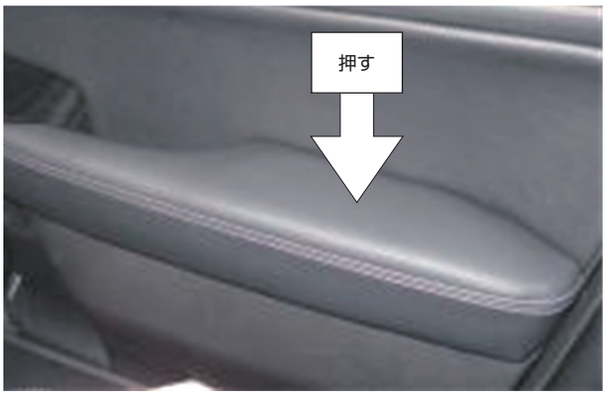


Fig. 10　Measurement of press amount

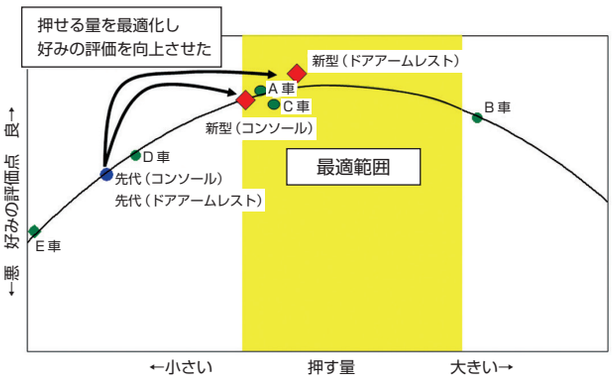


Fig. 11　Touch feel evaluation

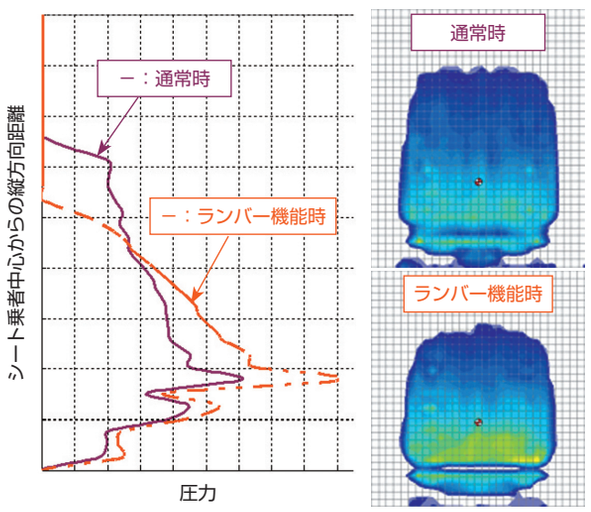


Fig. 12　Body pressure distribution

3.2.2　使い勝手が良い上質な形状

■ドアトリム

プルハンドル部は滑りにくい材質を使用し、握りやすい形状で、さわり心地の良いシボを採用し、ドアの開閉時においても上質感を向上させた(Fig. 13)。

3.3　静かな(聴いて感じる)室内空間

すべての人が快適で、上質な乗り心地を体感できる異音･雑音のないトップクラスの静粛性を狙いとした。

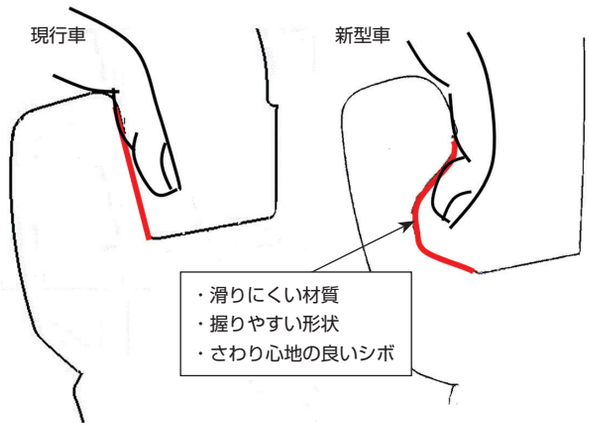


Fig. 13　Section of pull handle

3.3.1　吸音・遮音性能の向上による静粛性向上

ボデーと内装間の各箇所には部位毎に最適なサイズと周波数特性をもった吸音材や遮音材を配置した。

また、ルーフトリムやフロアマットなど、内装材自体が従来よりもさらに吸音可能な高機能な素材を使用し、より効果的に静かで快適な内装を実現している。

その効果として、耳障りなロードノイズや駆動音の伝達を減少し、オーバーオールで先代比1 dBの走行時の音圧レベル低下を実現している。特に高周波領域では音圧レベルを大幅に低減しており、車内での快適な会話やオーディオ再生をより楽しむことが可能である(Fig. 14)。

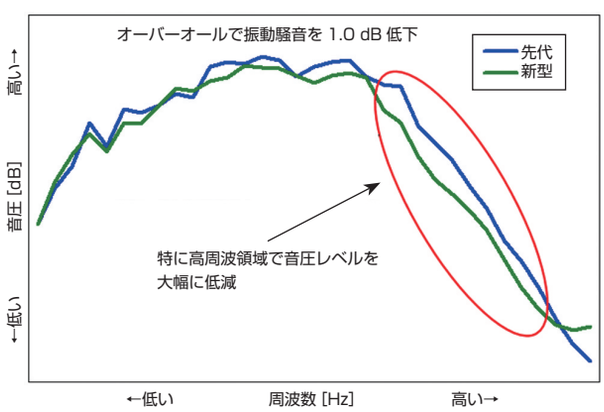


Fig. 14　Sound pressure level in frequency domain at 100 km/h traveling

3.3.2　徹底的な細部の造り込みによる不快となる雑音を殲滅

すべての席でドライブを快適で安心して楽しむことができるよう、パーツの不快なビビり音やキシミ音が発生しないよう、見えない部位での固定構造・固定ピッチの見直しや、緩衝材の設定を実施。設計段階、試作段階、販売直前まで、絶え間ない走行評価により徹底的に雑音を排除する活動を行った。

4. あとがき

海外も含めた新型レガシィの発売開始から1年経ち、内装質感について先代以上の好評をいただいている。

今回紹介した内容はほんの一例であるが、我々が取り組んだ内装開発が世間の期待を上回ったことにより認めていただいた評価であることを実感している。

この開発で得られた多くの知見は今後のスバル車に広く活かすことで、更なる魅力ある内装の実現を目指して取り組んでいきたい。

最後に、モデルチェンジに際し、内装質感向上のために製造・試験評価対応にご協力いただいた、関係部署の方々に厚く御礼を申し上げます。

【著　者】

鈴木　智明

田上　太郎

沼澤　浩二

成長期（昭和60年代）のスバル紹介

ヴィヴィオRX−R（1992年〜1998年）

全長×全幅×全高：3295×1395×1375 mm
ホイールベース：2310 mm
エンジン：直列4気筒 DOHC スーパーチャージャー 658 cc
最高出力：64 ps/7200 rpm
最大トルク：9.0 kg−m/4000 rpm

レックスの後継車として開発された、「新時代のドライバーズ・ミニセダン」。直列4気筒のSOHC NAおよびスーパーチャージャー付きエンジンとDOHCスーパーチャージャー付の3種類のエンジンが、レックス比大幅に剛性を高めた車体と組み合わされた。1995年にはレトロ調デザインを施したビストロを追加発売、これが若者の支持を受けて大ヒットした。

スバルデザイン戦略

Strategy of SUBARU Design

石　井　　守*
Mamoru ISHII

抄　録

スバルが将来のお客様に提供する価値『安心と愉しさ』と『新たなスバルらしさ』を“一目見て認識できるカタチ”にすることがデザインの役割りである。

その実現に向けてスバルのクルマ造りの本質を紐解き導き出したデザイン戦略『Dynamic × Solid：躍動感と塊感の融合』を、現在、部員全員が志を一つにして全てのデザイン創造に織り込んでいる。

この思想から生み出されたスバルデザインを継続的に提案し続けることで『際立とう2020』でコミットした『大きくはないが強い特徴を持ち質の高い企業』（お客様からの信頼NO.1、高いブランド力）に成るための『ブランドを磨く』取り組みの一翼を担うことが出来ると確信している。

Abstract

The role of the SUBARU Design is to make the SUBARU's value propositions “Enjoyment and Peace of Mind” and “New Subaru Distinctiveness” into a shape that is immediately identifiable.

To achieve this, the Design Department has interpreted the essence of SUBARU's car manufacturing and has created the design strategy “Dynamic × Solid.” Now, all like-minded members of the Design Department are trying to incorporate this into their design development to propose SUBARU designs. Through our continuous efforts,

I believe we can play a role in activities for enhancing our brand power to be a “modest-sized and high-quality company with strong characteristics (No.1 reliability and great brand strength)” committed in “Prominence 2020.”

1．まえがき

現在のスバルの躍進は、過去から脈々と受け継がれてきた真面目なクルマ造りが花開いた結果である。

一言で表現すると『不易流行』のクルマ造りである。

『不易：クルマの本質を追求し続けたこと』そして『流行：時代に合わせ新たな価値を加えてきたこと』が、スバルのクルマ造り全ての土台（基本）となっていると考える。

デザイン戦略『Dynamic × Solid：躍動感と塊感の融合』（Fig. 1）もスバルのクルマ造りの本質を因数分解して紐解き、それを一目で見える『カタチ』に落とし込むことで構築した結果である。大切なのは『意味あるカタチ』を熟考して創造することであり、本質をとらえたスバルのクルマ造りを完遂するために『3つの意味（理由）』をデザインする全ての部位に熟考して持たせることを定めた。

Fig. 1　Design strategy

3つの意味（理由）とは、

①機能の意味 ⇒ お客様が求める機能価値を考える。

＊ デザイン部

（デザインに影響する視界・居住性・荷役性等の機能性）
②カタチの意味 ⇒ 人の心の琴線を刺激する美しく心地よいカタチを分かり易く表現する。
③スバルの意味 ⇒ お客様がイメージするスバルらしさをデザインに表現する。

この3つの意味あるデザインを考える基として、デザイン戦略のキーワードである『Dynamic × Solid：躍動感と塊感の融合』を構築した。このキーワードの思想は突然発生した訳ではなく、先輩達が築き上げたスバルデザイン哲学と時代（将来像）を鑑み言語化したものである。

先輩達が構築したスバル360からスバル1000、レオーネ、レガシィと続く車種のデザイン哲学は『人間中心』『骨太』『確からしさ』『塊感』等の『意味あるカタチ』である。今まではお客様に提供する価値『安心と愉しさ』の『安心』を表現する考えに重きが置かれていた。この『安心＝Solidデザイン』を土台（基本）に、将来のお客様が求めている『愉しさ＝Dynamicデザイン』をキーワードに加え、デザイン戦略を『Dynamic × Solid：躍動感と塊感の融合』と定め『ブランドを磨く』活動をスタートさせた。

2. ブランド戦略

ブランドはメーカーが自ら発言するものではなくお客様に感じて評価して頂くものである。お客様がブランドを感じ評価する要素は、直接的な接点である『商品、サービス、広告宣伝』だけではなく、現在の情報化の中に於いては『企業の考えや将来に対しての取り組み』に至るまで幅広くなっており、メーカーの発信する全てのメッセージがブランド戦略に直結している。

従って、このメッセージに戦略を持たせその中に一貫性と強い意志を込め、時代の流れに合わせ日々進化させることでブランド構築が成功する。

現在､我々は『ブランドを磨く』取り組みを完成させ、全てにおいて一本筋が通ったメッセージを出し、お客様に『スバルブランド』を感じて評価頂けるように活動を推進している。

個々の商品に特別な価値を持たせることは勿論重要なのだが･･･ブランドに成るためにはそれだけでは不十分であり、ライフスタイル商品に成った自動車にとってさらに重要なのは、商品ラインナップ全てに一貫性のある特別な価値を持たせることである。お客様が『メーカー』を信頼してくだされば、ライフスタイルが変化しても継続的にお客様と商品をつなぐことが可能となる。

現在、世界中のメーカーが生き残りを賭け、ブランドを築き、維持し、更に他社との差別化を図るなど自社の存続に取り組んでいる。各メーカーがブランド戦略を必死になって構築しているのはこうした背景からであり、スバルもブランド化が急務である。

3. デザイン戦略の必要性

ブランド構築になぜデザイン戦略が必要なのか?
その理由として現在、自動車の性能、品質、技術革新等が飽和状態にあり、メーカーの技術者がしのぎを削り開発する商品も（我々作り手側が大きな違いであると感じていても）大多数のお客様から見れば違いを感じないのも現実となってきている。企業がお客様へ提供する価値を一目見ただけで理解できるデザインを構築したいと考えるのは当然の摂理であり、ブランド構築の一端を担う役割りとしてデザイン戦略が重要になってきた理由でもある。

現在、全世界のメーカーが自社の個性を際立たせるためのデザイン構築に力を入れている。お客様との接点で目に見えるところ全てがデザインの活動の場である。こうした中、デザイン活動の領域は製品デザインに留まらず、企業経営上もその必要性が認められ、例えばCIデザイン、店舗デザイン、各モーターショーでのメッセージ演出まで幅広くデザイン戦略を取り込むメーカーが増えてきている。

4. スバルデザイン戦略の構築

スバルの前身は航空機メーカー中島飛行機である。技術の最先端として優秀なエンジニアが世界トップクラスの飛行機をデザイン生産していた。どのような環境下でも安全に航行できることが航空機に課せられた使命、そして少しのリスクも許されない研ぎ澄まされた最先端の技術力とそれを包み込む秀逸なパッケージデザインが必要であった。その後国民車構想で創造されたスバル360やスバル1000にも、航空機で培った究極の安全性能や動力性能、軽量化技術、パッケージデザイン等の『志』が継続して活かされ独創的な先進技術でお客様のための設計デザインを進めて来た。その真摯な安心、安全思想は、時を超えてもスバルのクルマ造りに活きており、この『志』をデザイン表現出来ないかと考えた。

航空機技術から今に繋がるスバルのDNAとして備えているシンメトリカルなバランスデザインと人間を守るイメージの塊感表現、そして将来のお客様が愉しいと感じるスバルの走りの運動性能の表現をダイナミックな躍動感として融合しエクステリア＆インテ

リアに施す。この『志』を『Dynamic × Solid：躍動感と塊感の融合』として構築した。これをスバルの商品全てに織り込み、一目で認知できる魅力的なデザインを創造することが『デザイン戦略』である。

5. スバルデザイン戦略の具体的取り組み

≪エクステリアデザイン戦略≫

デザイン戦略の方向性を別視点から考えるために過去から現在までのスバル車の造形の歴史を分析し紐解いた。

スバル車のスタイリング変遷分析(Fig. 2)から導き出された傾向は、過去から築き上げたデザイン哲学と同じ様に造形感にも『安心＝ソリッドな塊感と機能性』は練り込まれているが『愉しさ＝ダイナミックな躍動感』については十分に表現しきれていないことであった。

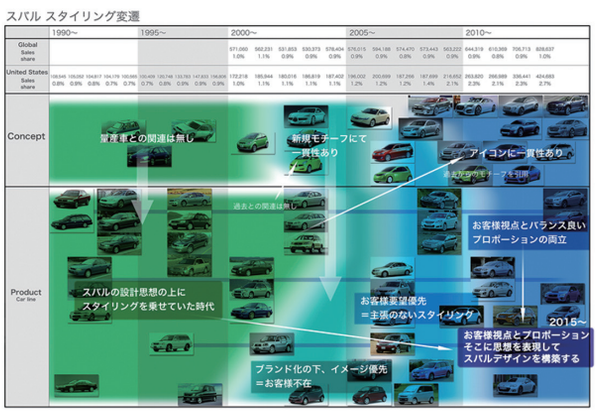


Fig. 2　Analysis of styling transition of SUBARU cars

この考察から、過去のデザイン構築に不足している『愉しさ＝ダイナミックな躍動感』について“カタチやスタンスから感じる要素”を抽出した。

『動き出す瞬間の最も力が溜まっている構え』
『逞しい骨格を感じる塊』
『動的で剛性感ある表情』
『反力を感じる大きな軌跡』

これらを『新しいスバルらしさ』としてデザイン表現に織り込むこととした(Fig. 3)。

さらにこの導き出された要素の持っている意味と思想を、具体的な“カタチ”を連想できる表現に言語化した。

『Dynamic』としての大胆な動的表現

・プロポーション(骨格)に『方向性を持った長いスパンのカーブ』『後ろ寄りに溜まりを持たせたスタンス』
・ボディやアーチ周りの面表現に『骨格に沿って肉付けされたボリューム』『塊の融合による面表情』

Fig. 3　Conceptual picture of extracting essence of SUBARU’s distinctive shape and stance

『Solid』としての機能の凝縮された塊感表現

・プロポーション(骨格)に『緊張感を持たせたカーブ』『地面へ向かう方向性』
・ボディやアーチ周りの面表現に『塊を削り研ぎだして生まれる面とエッジ』『張りと厚みのある塊』

この二つの『Dynamic躍動感』と『Solid塊感』表現を各車系に合った最適バランス配分で、機能とカタチとスバルの意味を考えて織り込んでいる。

デザイン戦略はもう一つの手法として、お客様の認知を高めるための記号性表現を構築することが常套手段である。各メーカーはフロントデザインに、そのメーカーと分かる独自の顔を作り出しラインナップに展開している。

『スバルらしい記号性』を持たせたフロントデザインモチーフは、世界で唯一無二フロントに搭載された水平対向エンジンを表現し、お客様に認知して頂くことを考えた(Fig. 4)。

Fig. 4　Symbolic characteristic of the front face

・フロント周りのプロポーションは『低重心感とワイド感』の表現と、フロントグリルの六角形(安心表現)から始まるダイナミックな立体的デザインで構成する。
・フロントグリルはヘキサゴンを採用。自然界で一番安定している六角形(水晶・雪の結晶・蜂の巣)をモチーフに『安心と愉しさ』の『安心』を現す。スバルの社章である六連星の星の数とも合わせ2重の意味を持たせている。
・ヘッドランプは『眼力』を際立たせる『ホークアイ：鷹の眼』デザインを採用。『コの字』のDRL（車種によってはポジションランプ）はBOXERエンジンのピストンの水平な動きとスパークが脈動している様を表現している。

2013年4月からスタートしたデザイン戦略は、最初は、レガシィ、VIZIV-2コンセプト、VIZIV-GT（グランツーリスモ6）のエクステリアデザインに『Dynamic × Solid：躍動感と塊感の融合』と記号性と思想を織り込み発表してきた(Figs. 5, 6, 7)。

Fig. 5　LEGACY B4

Fig. 6　VIZIV-GT

Fig. 7　VIZIV-2 concept

スバルのデザインは『デザイン戦略』を決めても、スバルラインナップ全てのデザインを同じカタチの反復にする考えは持っていない。

『Dynamic』と『Solid』の配分(バランス)を各車種毎の個性(キャラクター)によって変えることで、同じ造形表現を使っても特徴を際立たせ構築をして行くつもりである(Fig. 8)。

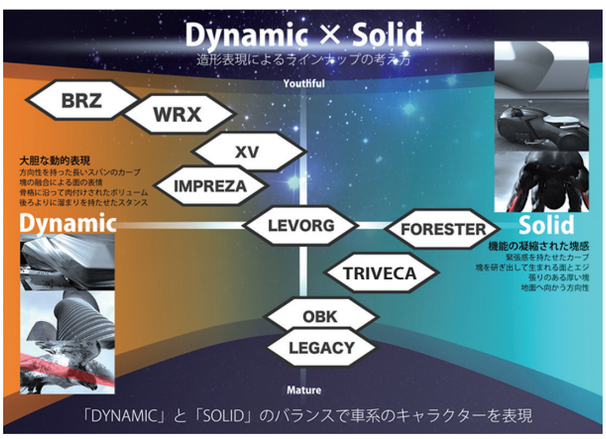


Fig. 8　Conceptual picture of the balance of “Dynamic” and “Solid”

≪インテリアデザイン戦略≫

インテリアのデザイン戦略は『Dynamic × Solid』を大胆で精緻に表現することである(Fig. 9)。

Fig. 9　Extraction of essence of SUBARU’s distinctive interior

プロポーションは包まれ感と広さ感を光と影のコントラストを使った大胆な立体的面構成で実現する。

インテリアで最も重要な質感表現は精緻に細部まで配慮を巡らせた『クラフトマンシップ』を発揮し、表面の革絞の質感にまでスバルらしさに拘り、ドライバーの防眩の機能性とμ(ミクロン)単位で深さや艶までコントロールしていく。

お客様が一目でわかるスバルのインテリア戦略として、車種統一で使う部品に『Dynamic × Solid』の思想を織り込んだ独自デザインを採用。さらに共用化戦略でコストも下げながら一格質の高い内装デザインを目指す。

≪カラーデザイン戦略≫

カラーはお客様が一番先に目にするデザインである。立体造形の彫りの深さを強調する外装色を採用。カラーデザインに於いても『Dynamic × Solid：躍動感と塊感の融合』を織り込んでデザインを推進する。具体的に外装色は塗料自体のコントラスト表現（フリップフロップ等）でダイナミックな立体感と塊感を実現。濁り・白濁の無いボディ色は部品色・樹脂部品とのコントラストも引き出すことができる。

夜空の星の輝きを再現できる光輝材としてシリカ（ガラス）を採用しスバル独自の塗装面表情を構築する。

6. あとがき

『ブランド』は、お客様や市場から評価して頂けて初めて本物となる。スバルが真の信頼されるブランドに成るために、クルマ造りの本質をお客様に分かり易く見える化する『デザイン戦略』の使命は大きい。

『デザイン戦略』の取り組みは始まったばかりであるが、『Dynamic × Solid』デザインの第一弾として2014年のジュネーブショーに出展した『VIZIV-2コンセプト』が、『2014 ～ 15年の日本カーデザイン大賞コンセプトカー部門』を受賞することが出来た。さらに『レガシィB4とアウトバック』が『2014 ～ 15年の日本カーデザイン大賞モデリング部門』のダブル受賞を達成し社外から評価頂けた。

今後もスバルデザインは、量産車（FMC、BMC）コンセプトカー等、全てのデザイン表現に、デザイン戦略『Dynamic × Solid：躍動感と塊感の融合』を継続して織り込み、デザインの役割である『ブランドを磨く』取り組みに邁進してゆく所存である。

【著　者】

石井　　守

デジタルを活用したグローバルデザイン開発の手法研究

Study of Global Design Development Method

河　内　　敦*　　坂　口　慶　明*
Atsushi KOCHI　　Yoshiaki SAKAGUCHI

抄　録

これはグローバル視点からデザインを評価する手法についての研究である。コンピューターシュミレーションは各市場で求められているパッケージデザインと、現地におけるそのデザインの見え方を正確を把握するのに使用される。標準市場モデルの構築およびコンピューターグラフィックスにより、デザイン評価と各市場におけるデザインの見え方を予測し、初期段階でデザインに反映させることができる。本手法によって、地域に関わらず、グローバルな視点からのバランスの良いデザインが開発可能である。

Abstract

This article describes our researches on how to evaluate designs from the global perspective. Computer simulation is used to accurately grasp the package designs that are in demand at each market and how the design is viewed locally. By forming a standard-market model and using computer graphics, design is evaluated and how it is viewed at each market can be predicted and reflected on the design from the initial stage. Consequently, well-balanced design can be developed from the global perspective, regardless of where the development site is.

1. まえがき

海外市場の販売比率が高い自動車メーカでは、世界市場を強く意識した車両開発が必須であり、デザイン開発においても同じことが言える。

デザイン開発においては、明確な規定や数値は存在せず、最終的には、デザイナの感性や感覚を基準にして良否の判断が下されるため、客観的で正確な判断基準が求められる。

しかしながら、主に屋外で使用される自動車は、置かれる地域の環境によって印象が大きく変化し、国内でデザイン開発を行う場合、各市場でのデザインの見え方を客観的に予測することは困難である。更に、特定の市場だけでデザインを追求する場合は、現地で直接判断することが理想的だが、複数の市場で販売される車両の場合、一つの市場のみを優先させることはできない。

グローバルの視点で客観的な判断を下すためには、各々の市場の環境下での見え方を同時に把握することが重要である。 そこで、コンピュータによるシミュレーションを活用し、複数の環境下におけるデザインの見え方をできる限り正確に、且つ効率よく把握するための手法を研究開発した。

2. 実験方法

2.1 概要

各市場においての自動車デザインの客観的な良否判断に必要な要素は大きく分けて二つある。①相対的な判断基準である、一般ユーザによる心理的なデザイン評価。この要素は、流行や社会情勢、環境意識の変化などが影響し、流動的である。②絶対的な判断基準である、環境光の違いに伴う陰影や色の見え方。こちらの要素は、季節など周期的な変化はあるものの一定である。

ここでは、それぞれの要素を客観的に把握するための、コンピュータによるシミュレーションを活用した実験的なアプローチの手法を述べる。

＊ デザイン部

2.2　相対的な判断基準に関する手法

まず、一般ユーザによる心理的なデザイン評価を、3D－CADを活用して把握する手法について述べる。

デザイン開発では、各市場の環境に起因する人々の意識を把握することが極めて重要である。ユーザの意識は市場によって大きく異なり、時代によっても変化し続けているが、自動車のデザインにも市場特有の価値観として反映される。

これらのユーザの意識や価値観は、デザイン要素の中でも、特に自動車の骨格であるパッケージデザインを決定する際の判断基準として有効である。デザインに対するユーザの評価は、細部のデザイン要素になるほど個人の嗜好性や短期的な感情が強く反映される傾向がある。デザインの中で最も大きな要素であるパッケージデザインにおいては実用性に対する評価が主体的で、その市場における自動車の使われ方が顕著に表れるため、デザイン開発の判断基準として確実性がある。

従来からデザインの開発では、各市場特有の価値観を開発車へ反映させることを狙い、競合比較対象車として現地の車種を選定。デザインの良否判断の基準としてきた。しかしながら、国内の価値観をもって海外の車種のデザインを観察しても、現地で評価されている真の魅力は想像するしかない。更に、実在する車種を基準にする都合上、判断する人間の「好み」という主観が入る可能性が否定できない。

そこで、判断の客観性や公平性を高めるため、仮想ライバルとも言える比較対象モデルの構築を試みた。具体的には､市場特有のユーザの価値観を象徴する｢市場標準モデル」の構築である。

我々の立てた仮説は、以下の通りである。①市場におけるユーザは、日常生活の中で目にする機会の多いデザインを最も標準的なデザインとして意識する。②標準的なデザインには親しみと安心感を覚えるが、退屈でもある。③標準的なデザインから大きく逸脱したデザインは、新鮮である反面、奇異に見える。④キャズム理論に基づくと、標準から大きく逸脱したデザインは、余程優れた実用性を伴わなければ淘汰される。⑤それらの傾向は、市場や年代によって変化する。

以上のことから、比較対象の標準モデルは、市場に存在する全車種の単純な平均形状ではなく、自動車デザインがユーザに与える影響力の中心的形状である必要がある(Fig. 1)。

標準モデルを具現化するにあたっては、「各車種が与えるデザインの影響力」を数値で把握して係数として使う必要がある。その指標は複数が考えられるが、各車種の販売台数の数値がもっとも手に入れ易く有効な指標になると考えた。販売台数の差は、専らユーザの嗜好の差である。目にする機会の多さは慎重派であるアーリーマジョリティに対して安心感を提供し、支持を集める原動力になるため、影響力と同義であると言える。 更に、販売台数は年毎に編纂されており、ユーザの嗜好の推移も算出できると考えられる。

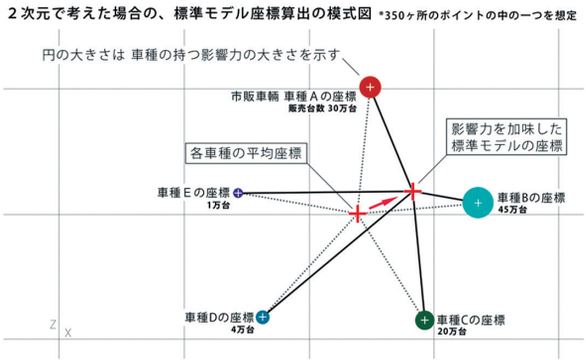


Fig. 1　Difference between market average and influence center (e.g. X and Z coordinates)

2.3　各市場における年次標準モデルの算出

三次元の標準モデルを算出するため、まず、車両の正確な三次元測定データが必要である。必要な測定データは、ターゲットの市場における販売台数上位の車種であり、販売台数が極端に少ない車種は、市場への影響力も小さいと考えられるため、除外できる。その市場における総販売台数の上位70%までを「販売台数上位」と仮定し、それ以下に属する車種は測定対象から除外した。

測定した三次元データは、一車種毎に車体表面の350ケ所程度のポイントの座標を求める。この際、ポイントの選定は、Fig. 2のように自動車のデザインの印象を決定付ける代表的な部分に分散させる。例えば、Aピラーやボンネットフードの先端、中心断面等である。

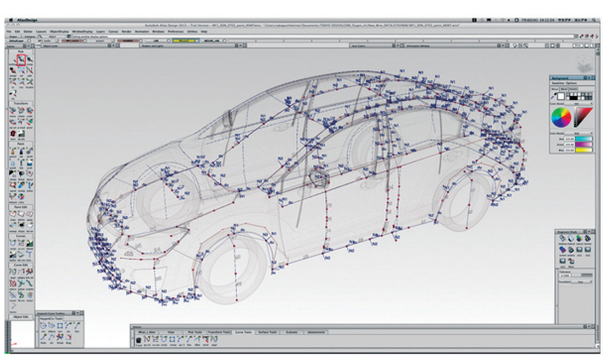


Fig. 2　Measuring point cluster of design key points

各車種の350ケ所の座標の、それぞれの平均座標を求める際に、販売台数を元にした係数を掛ける。算出された座標の集合体が､その市場の標準モデルである。

算出された座標群は、コンピュータの仮想空間内に

おいては、そのまま標準モデルとしてデザインの判断材料に使用できる。ただし、デザインの比較対象モデルという性質上、現実の空間で立体物として比較検討する必要がある場合も多く、その際には算出された座標群を基に、Fig. 3のようにデジタルモデリングソフトで面を張り立体化している。

その際、より客観性と公平性を期するために、開発車と統一したモチーフを利用し、市場標準モデルの座標にモディファイ。1/1造形物として立体化し、主に全体のプロポーションやパッケージングデザインの判断材料として活用している。

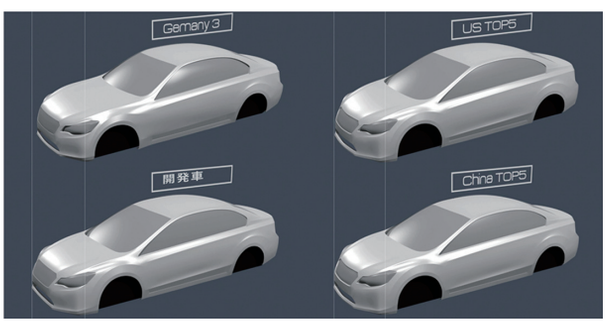


Fig. 3　Difference in standard model at each market

2.4　今後の発展

この手法の利点は、客観的なデザイン判断基準となる正確な市場標準モデルを立体で算出できるだけでなく、継続的に行うことにより、その市場における車種毎のパッケージデザインの差や時系列での変遷が、目に見える形で算出されることにある。例えば、Fig. 4では、ある市場のあるカテゴリーにおける標準モデルの、全長、全高、全幅、ホイールベースの数値を抜粋してグラフにした。この時系列の嗜好推移グラフによると、この市場のこのカテゴリーでは年次が下るにつれ、広い全幅と長いホイールベースによって室内の広さを確保したデザインが好まれる傾向にあることが分かる。さらに、全長と全高は拡大を望まれていないことも表されている。過去のデータを年次ごとに算出することで、未来の傾向がほぼ正確に予測できる。

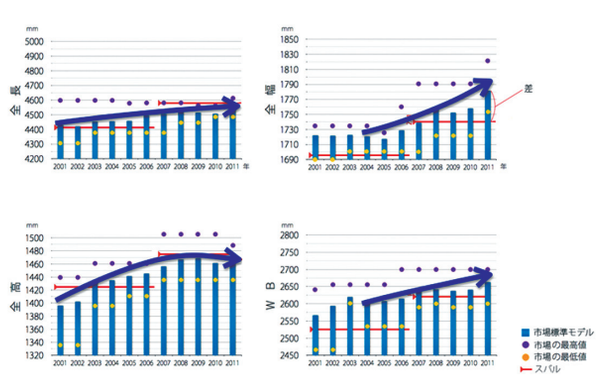


Fig. 4　Changing market standard model in chronological order

Fig. 5では、この手法を量産車の開発に活用した例を挙げた。比較すると分かるように、現行車では米国市場標準モデルに対し、キャビンを大きめにデザインした。スバル車に求められる快適性や視界の良さ、積載性をデザインで具現化し、市場の標準に対するアドバンテージを実現するためである。

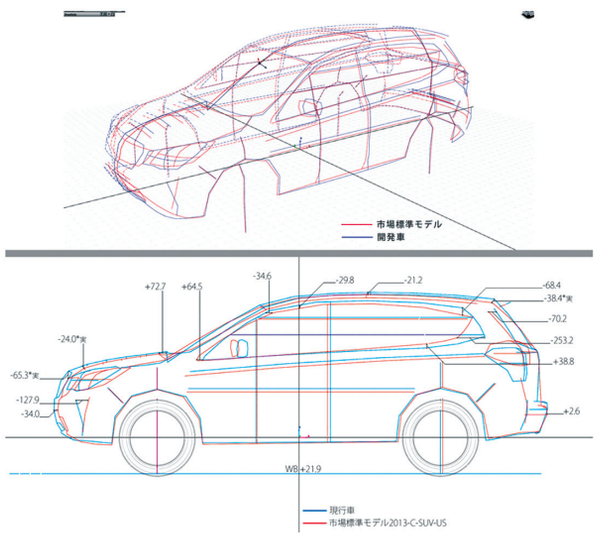


Fig. 5　Comparison between market standard model and design strategy of SUBARU

2.5　絶対的な基準に関する手法

ここでは、冒頭で述べた環境光の違いに伴う陰影や色の見え方の違いを、3D－CADとビジュアライゼーションソフトを活用して把握する手法について述べる。

自動車デザインの基本は、造形の陰影によって表現される立体感であり、立体の組み合わせによって全体的なスタイリングを構築している。このデザイン要素を成立させているのは光であり、反射・拡散・吸収・屈折の具合を知覚することで、ヒトはデザインを認知し、質感や情感を感じる。

光を発する光源は様々であるが、自動車は主に屋外で使用されるため、太陽光が主な光源と言える。特に外装では、太陽からの直接光を平行光線として受ける。この光線によって立体の陰影は表現され、デザインがユーザに認知される。グローバル視点のデザイン開発では、この太陽光線に起因する各市場の環境の違いに十分注意する必要がある。

具体的には、同時刻における太陽光線の入射角の地域差であり、各市場の位置する緯度の違いに要因がある。例えば、東京は北緯36度付近に位置するが、ロサンゼルスは北緯34度付近、フランクフルトは北緯50度付近に位地する。低緯度の地域では太陽の入射角は大きくなり、立体の陰影が強く表現されるのに対

し、高緯度の地域では入射角は小さくなり、車体側面の立体造形には陰影がつきにくくなる。

太陽から照射される光の角度が違えば、立体物の陰影の表現も大きく変わり、結果的に車両全体のデザインの見え方が変化し、当初デザイナが計画した見え方からかけ離れる可能性が高くなる。

空気中に含まれる湿度や塵の量の違いによっても、見え方の変化は生じる。湿潤な場合、白色光が水蒸気によって拡散されて空が白っぽくなり、車体に映り込む色にメリハリが無くなる。さらに拡散光の割合が高まることで、立体の陰の部分にまで光が回り込み、陰影のコントラストは下がる傾向にある。

これらの現象による、各市場におけるデザインの見え方の変化は、従来のデザイン開発手法では予測困難である。デザイン開発の現場では1/1の寸法でモデルを作製し、立体感等は太陽光の下で直接確認しながら良否を判断する。その場合、開発している地域以外での見え方を確認するためには、現地で同じモデルを作り、直接確認する以外に方法がなかった。この方法は確実ではあるが､季節や天候に左右されることが多く、また、費用と時間の都合でデザイン確認の頻度を確保できない。

2.6　各市場の環境下での見え方のシミュレーション

デジタルモデリングの台頭を背景とし、従来の手法の弱点を補完するため、既存のデジタルツールを活用した立体確認用シミュレーション手法を考案した。

シミュレーションの手法は既存の3D－CADソフトの機能を利用し、実際の開発業務での利便性を確保した。 主な内容は、各々の市場の位置する緯度を基にした太陽光の入射角度の算出、ディレクショナルライトの角度設定とレイヤー毎の管理である。ここでは、春分秋分の南中時刻の入射角を参考にした。

Fig. 6では、現行車のデジタルモデルに対して、様々な市場における太陽光線の角度を反映させた。低緯度の地域では、陰影のメリハリが強く表現されて立体感が強調される代わりに､光を受ける面積が少なくなり、ボディの厚みが損なわれて華奢に見える。逆に高緯度の地域では､陰影のメリハリがなく立体感に乏しいが、側面全体に光が当たるため、ボディがしっかり豊かに見えることが視覚的に分かる。

このシミュレーション手法の活用により、デザインのごく初期段階から、各市場での陰影の見え方を正確に反映した開発が可能になる。この手法の利点は、デザイン開発で主力として使用しているモデリングソフトをそのまま活用しているため、デジタルモデリングとデザインの確認を同時に進められる点にあり、高精度で短期間のデザイン開発を実現する。

2.7　ビジュアライズソフトを活用したシミュレーション

もう一つのシミュレーション手法は、ビジュアライズソフトを活用する。ビジュアライズソフトは、デジタルモデルの視覚的な環境再現に特化しており、より高度なシミュレーションを実現する。

最初に各市場において高精度な球体写真を撮影してソフトウェアに取り込み、仮想の環境を構築するが、この際、同時期の同時刻、晴天の環境下で各々の市場の撮影をすることが望ましい。構築した仮想環境の中に、デジタルモデリングにて作成した三次元の立体モデルのデータを置き、環境を反映させてシミュレートする。

この手法では、事前の準備と専用の機材が必要であるが、湿度や建築物等インフラの影響など、詳細なデザイン検証が可能である。

例えば、Fig. 7では東京とロサンゼルスの環境を再

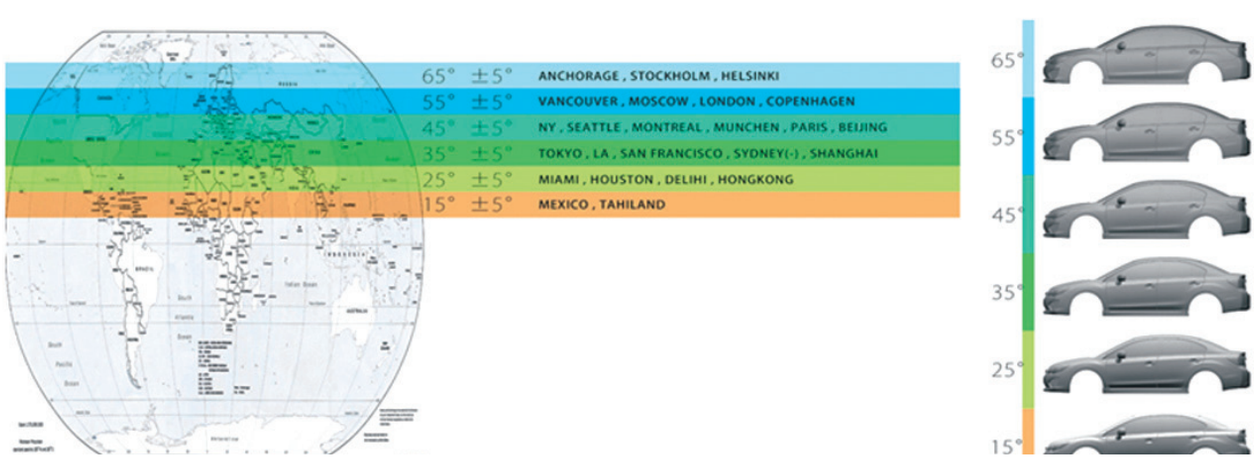


Fig. 6　Shading variation at different latitudes

現し、同じ立体モデルに反映させた。立体の陰影に注目すると、東京の陰影に対して、ロサンゼルスでの陰影の強さが際立っており、デザイナの意図するキャラクターラインや面の変化が明瞭に表現されている。結果的に、ロサンゼルスの立体造形からは、豊かな立体感による硬質で力強い印象を受ける。ロサンゼルスは東京よりも約2度低緯度で地中海性気候であるが、乾燥した気候が白色光の散乱を抑え、太陽の平行光線が純粋に反映されることが要因だと考えられる。また、建築物との距離が近い日本では、建築物による光の反射・拡散や煩雑な映り込みの多さも、デザインの印象に与える影響として無視できない。このケースで東京でもロサンゼルスと同じようなデザインの印象を再現するためには、低コントラストや映り込みに負けない、下向き面を持つ明確なキャラクターラインや、凹面等の採用の検討が必要だと判断できる。

この手法では、緯度による光線入射角だけでは見えない市場の環境の違いも再現することが可能であり、双方をバランス良く駆使することが、高精度で効率的なグローバルデザインの開発につながると考える。

Fig. 7　How a design looks different by reproducing environment

4.　まとめ

デジタルツールを活用したデザイン・シミュレーションは、即応性、正確性、汎用性の観点から、グローバルな視点を要するデザイン開発に極めて有効であると結論付けられる。

特に市場標準モデルを算出する手法においては、ターゲット市場における「人々の人気の中心にあるパッケージ」を客観的・直感的に把握でき、開発車のデザインの正確な判断が実現可能である。ただし、メーカの個性を捨てて人気の中心を採ることが目的ではないことに注意する必要がある。奇異に見られない範囲でメーカの思想や哲学を表現し、グローバル市場の中でのメーカや開発車の立ち位置を決める、戦略的なデザイン開発に効果を発揮する。

一つの車種を複数の市場で販売する場合、従来の手法では、開発現場の環境下に適したデザインに偏る傾向があった。近年は海外市場でのシェアが増加傾向にあり、グローバルな視点でバランスの取れたデザインを開発する必要がある。シミュレーションを活用することの重要性は、ますます高まり、デジタルツールを活用したデザイン開発は、グローバル時代の標準になると考えている。

参考文献

(1) ジェフリー・ムーア：キャズム(1991)

【著　者】

河内　　敦

坂口　慶明

新型レガシィのデザイン開発

Styling Design Development of New LEGACY

板　野　龍　仁*
Tatsuhito ITANO
小　林　寛　之*
Hiroyuki KOBAYASHI
高　木　曽　太*
Sota TAKAGI
渕　野　優　子*
Yuko FUCHINO
相　賀　博　志*
Hiroshi AIGA

抄　録

スバルが目指すスタイリングデザインとは、我々が提供する価値「安心と愉しさ」を一目見て分かる形に具現化する事であり、それがお客様の気持ちや生活シーンに役立つ存在となることである。新型レガシィ／アウトバックにおいてもお客様に信頼感を感じていただけるスタイリングを追い求めた。

Abstract

Design for SUBARU that we are aiming for is about making our value “Enjoyment and Peace of Mind” into an immediately identifiable shape. Moreover, it is about creating a product that touches our customers’ heart and is beneficial to our customers’ daily lives. The new LEGACY/OUTBACK has also pursued styling that conveys a sense of reliability to customers.

1.　まえがき

当社ラインナップのフラッグシップモデルであるレガシィは誕生から26年を迎える。

4ドアセダンとワゴンボディからなる商品展開は各時代の価値観やお客様のニーズを汲み取りながらその姿こそ変えてきたが根底に流れるその製品思想は変わることなく進化を続け、日本と米国を中心にユーザーであるお客様に育てていただいたブランドであると捉えている(Figs. 1,2)。

2.　デザイン開発の狙い

新型レガシィの開発スタートにあたって企画部門は各市場やお客様のご自宅を訪ね、実際の使用シーンに触れることで次期車に望まれる姿のヒントを探し求めた。その結果判ったのは、先代のレガシィでグローバルな市場ニーズや時代性を取り込み室内拡大を主とするパッケージング改革へ大きく舵を切ったが、その方向性に対する評価は高く、むしろその商品性を受け継ぎながらセダンとアウトバックそれぞれにより魅力的なスタイリングと上質さを求める声が強いということだった。それにより「デザインと質感」への抜本的な取り組みが次期車開発の軸となった。

Fig. 1　LEGACY

Fig. 2　OUTBACK

3.　“安心と愉しさ”を伝えるデザイン

いまスバルデザインは将来のお客様にスバルが提供する価値“安心と愉しさ”の具現化に取り組んでいる。それは過去から連綿と培ってきた独自の開発思想や機

＊ デザイン部

能的価値を美しく心地よい形で包み込むことを基本としているが、スバルの製品が備える性能や他のブランドとの違いといった本質的な価値を、たとえ車に詳しくない方がひと目見ただけでも「なんとなくしっかりしているな」「旅に行くならこのクルマだな」と情緒的な魅力として感じ取っていただけるようにする事であり、スバルのデザイン思想「ダイナミック×ソリッド（躍動感と塊感の融合）」という表現を通じてよりピュアに、より一貫した思いでスタイリングをデザインすることであった。

その実現のために新型レガシィで最初に着手したのは最適なプロポーションの構築であり、各種寸法、タイヤサイズなどのパッケージングやシルエット等の基本骨格からの見直すことであった。それはスバルの価値をまず立ち姿や走る姿で感じ取っていただくために表層的なアプローチではなく根本的な対応が必要であったからである。

4. セダンのエクステリアデザインの狙い

グローバルに捉えるとレガシィが属するセダン市場は活況である。このセダンという車型ではその歴史からビジネスユースを目的としたフォーマルさが求められる一方、近年ではよりパーソナルなクーペスタイルを打ち出すトレンドも台頭してきている。我々はまずシリーズの基本であるセダンボディにおいてスバルらしさを表現するためにスタイリングコンセプトを「たくましさと俊敏」とした（Fig. 3）。

Fig. 3 LEGACY design sketch

具体的には厚みと安定感を備えたロワーボディにスバルの美点である視界が良くて快適さを備えた滑らかなキャビンを組み合わせたプロポーションを基本に、動物の筋肉を思わせるフェンダーパネルと大径化したタイヤによる足回りの強さをスタイリング上のハイライトにした。これは全車AWDという世界的にも稀な特長を外観へ視覚的に滲ませることでスバルらしい個性を表現したいと考えた。

フロント部はボディとの一体感を高めるためノーズコーン構造を採用。ヘキサゴングリルとホークアイランプにより遠くからでもスバルと分かる新世代のファミリーフェースとし、そのバランスを高めたことで精悍さと信頼感あふれる表情を実現した。

リヤ部ではフロント同様にスバルのファミリーモチーフを持たせるべくLEDコンビランプにもホークアイシェイプを採用し精悍な表情を前後で統一した。そして外観でも特にこだわったのはボディの質感向上である。永くお使いいただくことを想定して表情豊かな面質を造りこみ、実用上に配慮したサイズながらも躍動感と安定感をあ併せ持つスポーティで力強いスタイリングを実現した（Fig. 4）。

Fig. 4 LEGACY

5. アウトバックのエクステリアデザインの狙い

アウトバックはSUVと乗用車の良さを併せ持ったワゴン派生のクロスオーバー車である。

これまで同様のコンセプトを狙ったフォロワーが現れたが、卓越した走破性や実用性と独創的な商品コンセプトが高いレベルで両立したアウトバックは他の追随を許さず独自の商品ポジションを確立している。

我々はスタイリングコンセプトを“アウトバックを極める”とし基本のプロポーションから再構築した。乗用ワゴンをベースとした上質な室内と豊かな荷室を持つ基本ボディが、SUV同等以上のロードクリアランスに嵩上げされることで、高くなった乗車位置によるコマンドビューと乗り降りのしやすさで日常使いの実用性と安心感を高めている。またルーフが高すぎず自転車やカヌーなどアウトドアレジャーの道具を気軽に積みやすいという利点も兼ね備えている。日本ではそこまでのヘビーユーザは少なくなったが米国や豪州では通勤の前後に公園でサイクリングをしたり、毎週のようにカヌーやキャンプを楽しむ方が多く、そんなライフスタイルにマッチするアウトバックという製品は他には代えられないパートナーなのである（Fig. 5）。

また新型では大幅な空力改善と視界性能の向上、ひとまわり大径化したタイヤによりその独自のプロポーションはさらに際立ち、たくましさとアクティブさというアウトバックの本質を増幅させることが出来た。

スタイリング上のポイントはコントラストの表現であった。セダンをベースとした滑らかで上質なメタルボディを基本にしながらもアクティブな使用シーンで保護が必要な部分にタフで機能的なプロテクションパネルを纏わせ、都市と自然、日常と非日常、上質とタフ、といったアウトバックというクルマが持つ2面性をコントラスト豊かに表現した。これにより車格に相応しい上質感や上級クロスオーバとしての存在感を高めると共に、大自然の中でも信頼のおける本物の機能感を両立することが出来た(Fig. 6)。

Fig. 5　OUTBACK design sketch

Fig. 6　OUTBACK

6. インテリアデザインの狙い

インテリアにおいてもスバルが提供する“安心と愉しさ”を感じていただける表現を目指した。コンセプトを「コンフォートアンドスポーティ」とし毎日の生活はもちろん、週末には足を延ばして余暇を愉しむ豊かなカーライフを支えるインテリアを目指し空間性からディティールにまでこだわり抜いた(Fig. 7)。

Fig. 7　Interior design sketch

基本となる居住性ではより大きなSUVやミニバンから乗り換え検討されるお客様にも満足していただける様に、各座席の肩や肘、足元などの寸法を十分に確保しつつ、造形的にもより広く感じていただける配慮を織り込んだ。ダッシュボードでは広さを強調するために左右一杯に広がる横基調としボリュームがありながらも前方へ傾斜した断面形状によって開放感と安心感をバランスさせ、高速度域のロングドライブでも心地の良い空間を実現した。また、ハンドルを握る運転者や長時間過ごす乗員への配慮としてストレスフリーな使い勝手を目指した(Fig. 8)。

Fig. 8　Dash board

ドライバに向けられた2つのシリンダには大きく見やすい文字盤と鮮やかなカラーディスプレイにより最適な情報表示をすることで常に運転へ集中できる安心感を提供。またインパネセンターに設置されたワイドディスプレイでは慣れ親しんだスマートフォンと同様の直感的なタッチ操作を可能としたり、大きなダイヤルを配置した空調コントロールパネルでも無意識に操作できるような判りやすい操作性を実現している(Figs. 9, 10)。

Fig. 9　Meter

Fig. 10　Center panel

また上質感という点では、見た目だけでなくむしろ触感の向上にまで配慮を織り込んだ。ドアを閉める度に手をかけるドアトリムのハンドルでは指掛かり部の厚みや断面にまでこだわり、このクルマの空間に守られる心強さを乗り込む度に感じていただけることを目指し、アームレストのクッションでは厚みを従来の3倍として長距離移動時の快適さイメージして頂けるように改良を施した。

7. インテリアのカラーデザインの狙い

インテリアのテーマである「コンフォート＆スポーティー」を実現するため、インテリアカラーはハイコントラストを意識した配色で広々と上質な空間とスポーティーさを意識してコーディネイトした。

基本の内装色は2種。精悍な上質感を備えたブラック内装とダイナミックな華やかさを備えたアイボリー内装である。ブラック内装では横基調を際立てる様にシルバー表現を加えることで、引き締まったスポーティーさと広さ感を表現し、アイボリー内装では明るいアイボリーのエリアをインパネからドアへと水平に配置し、従来の柔らかな印象ではなく、よりダイナミックに広がるイメージと伸びやかなスポーティーさを表現した。このアイボリーは新型レガシィのために開発した新色で以前のそれより彩度を上げ、より華やかで活き活きとした印象に仕上げている（Fig. 11）。

Fig. 11　Ivory interior

また、アクティブな用途で使われるスバルユーザーのニーズに対応し、ドア下端部を黒にすることで、気兼ねなく使っても汚れが気にならない配色とした。

また、細部の質感向上として色柄×シルバーのコンビネーション加飾パネルを採用し、空間性を強調しつつ映り込みの表情が豊かで存在感のある質感表現を実現した。更に乗員両脇のアームレストには底付き感のないクッション厚を採用。上質な毛穴シボPVC表皮を使う事により初期タッチの良さにこだわり、毎日の上質さとロングドライブを愉しむ大人に満足していただけるような仕立てとした（Fig. 12）。

Fig. 12　Ornament panel

8. エクステリアのカラーデザインの狙い

エクステリアカラーでは、シンプルでありながら豊かな表情を持つエクステリアデザインにマッチし、スバルが目指す「ダイナミック×ソリッド」を感じていただける世界観をカラーで表現した。

レガシィセダンでは「たくましさと俊敏」、アウトバックでは「アウトバックを極める」というそれぞれのスタイリングコンセプトを反映しながらスバルのフラッグシップに相応しい車格感を意識し、色そのものというより質感を重視した全9色の外装ボディ色を用意した。そのうちの3色（タングステン・メタリック、プラチナムグレー・メタリック、ラピスブルー・パール）は新型レガシィ／アウトバックのために開発した新色である。

タングステン・メタリックは、アウトバックの世界感を最も表現するカラーとして、次世代のブロンズ系の都会的で洗練されたアースカラーとして用意した。プラチナムグレー・メタリックは、根強い無彩色系の需要を意識しつつ、この車の車格感を重視した滑らかで上質な色表現にこだわった。ラピスブルー・パールは、スバルのコーポレートカラーであるブルーの領域において、フラッグシップに相応しい華やかさと、力強さを表現したカラーとした。

(1) 新規色

①CRYSTAL WHITE PEARL

・クリスタルの輝きをイメージし、白さを増した次世代のホワイトパール

②PLATINUM GRAY METALLIC

【OUTBACK専用色】

・たくましく洗練させた、車格感を感じるブルーイッシュグレー

③ TUNGSTEN METALLIC
【OUTBACK訴求色】
・次世代ブロンズ系として都会的で洗練された質感

④ LAPIS BLUE PEARL
・コーポレート.ブルーを想起させるスポーティで華やかなブルー

(2) 継続色
①ICE SILVER METALLIC
【B4訴求色】
・氷をイメージしたブルーイッシュでシャープなシルバー

②DARK GRAY METALLIC
・シャープな金属質感を持たせた、凄みのあるダークグレー

③CRYSTAL BLACK SILICA
・スタイリッシュな“輝き”のあるフォーマルブラック

④VENETIAN RED PEARL
・パワフルでスポーティ、明るく情熱的なウォーム系レッド

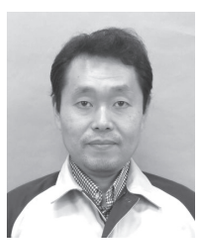
⑤DEEP SEA BLUE PEARL
・リッチな深みを追求した、フォーマルなダークブルー

9. おわりに

この新型レガシィ／アウトバックのデザイン開発で目指したものは“安心と愉しさ”という価値の提供である。そしてお客様の生活に何年も寄り添う存在としてあらゆる場面、あらゆる瞬間で信頼を抱いていただけるパートナーでありたいと考えている。そういった意味でスバルのデザインは表層的で一過性のアプローチに留まらず、我々の一貫した開発思想や卓越した技術で提供できる価値を情緒的な価値に昇華させてお客様にお届けしていきたいと考えている。

【著　者】

板野　龍仁


小林　寛之

高木　曽太

渕野　優子

相賀　博志

新型 IMPREZA SPORT HYBRID デザインの開発

Styling Design Development of IMPREZA SPORT HYBRID

中　村　真　一*
Shinichi NAKAMURA

抄　録

IMPREZAは1992年の登場以来、軽快でスポーティな走り、コンパクトなボディサイズ、使い勝手の良さなどからお客様から高い評価を得てきた。

2011年に投入された現行型は、お客様のニーズに合致した総合性能が高く評価され、世界中のお客様に支持されている。

今回開発した新型IMPREZA SPORT HYBRIDは、Funto Driveを感じる走行性能とスタイリングをさらに進化させ、商品コンセプト『SPORTY & Fun to Drive な HYBRID』を具現化したモデルである。そのデザインを紹介する。

Abstract

Since its launch in 1992, IMPREZA has been highly evaluated by our customers because of its brisk and sporty driving performance, compact body size and usability. The current model was released in 2011, and since then, it has been highly appreciated for its total performance that matches customers' needs, and has been supported globally.

The newly developed IMPREZA SPORT HYBRID is a model embodying its product concept "SPORTY and Fun to Drive HYBRID" and further evolving IMPREZA's fun-to-drive performance and styling. The design details are introduced in this article.

1.　まえがき

環境対応車に対する減税、流動的なガソリン価格、環境意識の高まりを反映し、各社から経済性の高い低燃費車が市場を席巻しつつあり、今や経済性だけではない付加価値を持った多彩な環境対応車が市場に展開されている。こうした動向の中で、SUBARUがお客様に提供する価値「安心と愉しさ」を具現化した商品が、新型IMPREZA SPORT HYBRIDである。「運転する愉しさと燃費向上」を高次元で融合した機能を「スポーティで上質な内外装デザイン」で魅力を高め、幅の広い多くのお客様に気持ちよく使って頂けるクルマを目指しデザイン開発した。

2.　デザインの狙い

デザインテーマは「SPORTY & ADVANCED」

1) Fun to Driveをイメージした SPORTY な
　エクステリア
2) SUBARUの環境技術を感じさせる先進感表現
3) シリーズ最上級グレードに相応しい上質感表現

これら3項目の実現を目指した(Figs. 1, 2)。

Fig. 1　New IMPREZA SPORT HYBRID exterior

Fig. 2　New IMPREZA SPORT HYBRID interior

＊ デザイン部

3. エクステリアデザイン

1) Fun to Driveをイメージした SPORTY な
エクステリア

運転する愉しさ =Fun to Drive を全身で感じ取れる SPORTY で先進感なエクステリアデザインを目指し、新たな付加価値をデザインで創出した。

①ワイドで低重心感のあるスポーティなフェイス (Fig. 3)
②面や線に抑揚があるスポーティなサイドシル
スポイラー (Fig. 4)
③スポーティな外観と空力性能を両立したリヤ
スポイラー (Fig. 5)
④生還な印象のクリアブラックでコーディネート
された部品群 (Fig. 6)

Fig. 3 Front view

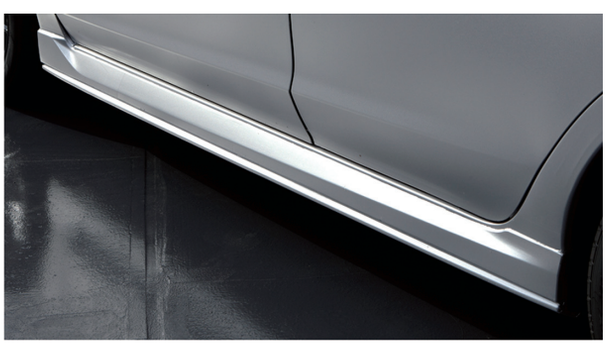


Fig. 4 Side sill spoiler

Fig. 5 Rear spoiler

Fig. 6 Exterior parts

2) SUBARU の環境技術を感じさせる先進感表現

・クリーンな印象のクリアブルーのレンズが仕込まれたランプ類 (Fig. 7)

Fig. 7 Exterior lamps

3）シリーズ最上級グレードに相応しい上質感表現
・フロント、サイド、リヤの下部一周を締める、高品質な金属色のモールデザイン（用品）（Fig. 8）

Fig. 8　Under spoiler（Option）

4.　インテリアデザイン

1）SUBARUの環境技術を感じさせる先進感表現
・クリーンな印象のブルーのポイントカラーを随所に配置し、内装全体の先進感を演出

①ライトグレーのウルトラスェードとブルーのステッチで丁寧に仕立てられたシート＆トリム（Fig. 9）
②先進感を感じるメータのディテールとディスプレイのグラフィックデザイン（Fig. 10）

Fig. 9　Seat and trim

Fig. 10　Meter & display

2）シリーズ最上級グレードに相応しい上質感表現
・触感の優れたウルトラスェードとクリアブラックを基調に、幅の広い多くのお客様にご納得頂ける質感を目指した。

①インパネの加飾パネルはブルーの繊維が透けて見える様な、先進感と高品質感を両立（Fig. 11）

②触感の優れたウルトラスェードとクラフトマンシップ溢れるステッチによる上質な仕立て（Fig. 12）

③クリアブラック部品のコーディネート（Fig. 13）

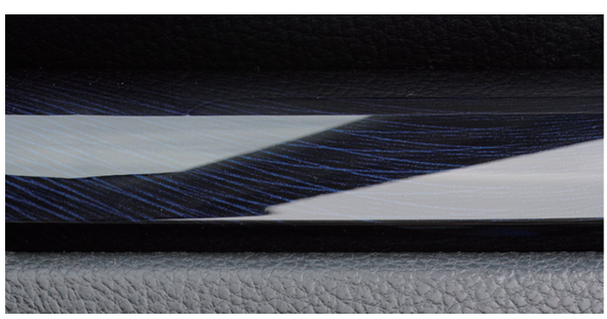


Fig. 11　Detail of instrument panel

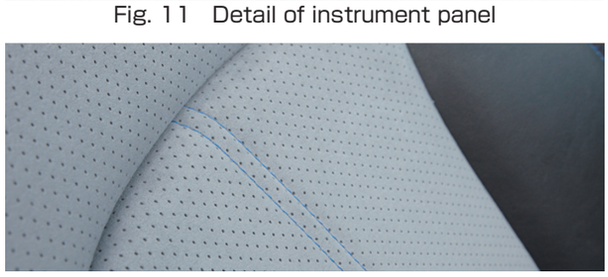


Fig. 12　Material of Seat

Fig. 13　Interior materials

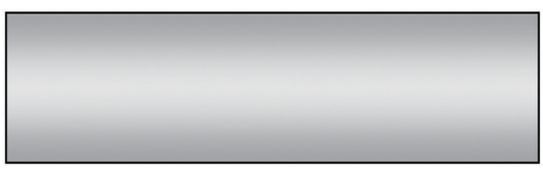
5. カラーデザイン

・デザインテーマ「SPORTY & ADVANCED」を表現したテーマカラーであるQUARTZ BLUE PEARLを含む厳選した6色をカラーラインナップに揃えた(Fig. 14)。

1) Fun to Driveをイメージしたスポーティなカラー
2) SUBARUの環境技術を感じさせるカラー
3) シリーズ最上級グレードに相応しいカラー

QUARTZ BLUE PEARL

CRYSTAL WHITE PEARL



ICE SILVER METALLIC

VENETIAN RED PEARL

CRYSTAL BLACK SILICA

DARK BLUE PEARL

Fig. 14　Six color lineups

6. あとがき

新型IMPREZA SPORT HYBRIDは、お客様視点での議論を繰り返し行いデザイン開発を行った。それゆえ、短期開発にも拘らず、自信をもってお客様にご満足頂けるデザインになったと自負している。

【著　者】

中村　真一

新型 多人数クロスオーバー クロスオーバー 7 デザインの開発

Styling Design Development of CROSSOVER 7

小　澤　修　司*
Shuji OZAWA

抄　録

クロスオーバー 7は多人数車の持つ実用性とSUVライクなテイストを融合した新しいカテゴリー車である。

SUV市場の熟成が進む日本市場はSUV + α の付加価値を求める多様な市場へと変化しつつあり、多くのニーズに適合できる 新カテゴリー商品の開発を行った。

乗用系ミニバンとして十分かつ快適な室内空間と高い走破性を持つエクシーガにSUVの印象をデザインすることで 新しいアクティブライフを望むユーザーに応えられる商品を実現した。

Abstract

CROSSOVER 7 is a car in a new category with the utility of multi-passenger cars and SUV-like tastes combined. In Japan, the SUV market has been maturing and changing to a market where customers ask for various additional values to the existing SUVs. To meet these demands, we developed this model.

By designing SUV impressions into EXIGA, which has sufficient and comfortable interior space as a passenger-type minivan as well as high run-through performance, a product that satisfies the needs of users who enjoy new active lifestyles was realized.

1.　まえがき

スバルが大切にしている お客様への「安心と愉しさ」の提供、我々デザインではその思いをエクシーガをベースにSUVらしさを加えた「クロスオーバー 7」で表現した。多人数が乗るファミリーから一人でのドライブにも対応できるデザイン、アウトドアから都市まで使えるデザイン。そんな守備範囲の広いポテンシャルは「なんでもできる　どこにでもいける」そんなワクワクさを抱かせる新しいクロスオーバー車であり、「安心と愉しさ」を追求するスバルだからこそ実現した新カテゴリー車である(Fig. 1)。

2.　エクステリアデザイン

どこへでも走破できるタフな印象と使うシチュエーションを限定しないファッション性をかねそろえた新ジャンル クロスオーバーとするため好評を得てい

Fig. 1　CROSSOVER 7

* デザイン部

るSUBARU XVのSUV表現のデザイン要素をダイナミックに織り込みつつ、時代の進化に合わせた存在感を加えることでインパクトと魅力あるスタイルを実現した。

2.1　フロントデザイン

フロントバンパーはたくましく 走破性の良いSUV表現とすべく 大型クラッディングモチーフ(黒樹脂表現)を実施した。また時代に合った鮮度表現として バンパーの面質やコーナー形状をシャープな陰影の変化を付けソリッドな印象を織り込んだ。

さらに新鮮さのあるカジュアルで新しい幾何学シボをクラッディング部に採用した(Fig. 2)。

Fig. 2　Front view

フロントグリルではスバルフェイスの存在感と時代の進化に合わせるため グリルを大型化し外周のグラフィックをヘキサゴン形状へと変化させた(Fig. 2)。またSUVのたくましさを表現するため外周のメッキ部は立体的で堂々とした印象とした。さらに鮮度を感じる表現としてグリル内の横バー上面の一部をそぎ取ったソリッド感ある形状とした(Fig. 3)。

Fig. 3　Grill

ランプ類では「コの字」に光るアクセサリーランプをバンパーコーナーに配置し、スバル車共通の安定感あるスポーティなスタンス表現とLED面発光による新規性を表現した(Figs. 2, 4)。

Fig. 4　Accessory lamp

2.2　サイドデザイン

SUV表現とするためボディ下端全てを飛び石からしっかり守る力強い造形のガーニッシュを採用した。タイヤが踏ん張り、ボディがリフトアップされたシルエットとするため黒色のドアガーニッシュは幅広な形状とした。また新規性と存在感表現としてガーニッシュグラフィックは動きのあるファッション性の高い見栄えとした。同時に新鮮さのある幾何学シボをクラッディング部に採用した。

ルーフレールにおいては、まずボディの塊感あるシルエット表現を意識し前後長のあるものとした。 また、都市とアウトドア両方での使い勝手の良さ(守備範囲の広さ)をイメージさせるため都市型イメージのローマウントタイプでありながらレールの下側に黒部品を加えレールがフローティングしているスポーティーな表現とした。

また、ウインド下端にメッキモールを設定し同時に、ルーフレール、ドアハンドル、ドアクラッディング部のレターマークなど、シルバー色にコーディネイトすることで時代に合った鮮度を織り込んだ(Fig. 5)。

Fig. 5　Side view

2.3　リアデザイン

リアバンパーもSUV表現とすべく大型クラッディングモチーフ(黒樹脂表現)を実施した。リフトアップ感あるSUVプロポーションを表現するためクラッデングをリアゲート開口ギリギリまで大型化した。ゲートには左右のリアコンビを繋ぐ太く大きなメッキガーニッシュを配置し車体のワイド感、力強さを表現した。リアスポイラーにおいてはリア正面から見たボディの塊感あるシルエットとスタンスを良く見せるため、左右に大きな翼端板を設けたダイナミックな形状とし、力強い特徴を表現した(Figs. 5, 6)。

Fig. 6　Rear view

2.4　アルミホイール

SUVらしく大きく伸びやかで外広がりの力強い造形とし4輪のしっかり感を表現。またスポーティ表現として黒色＋切削タイプとした(Fig. 7)。

Fig. 7　Aluminum wheel

2.5　レターマーク

上質表現としてレターマークの“7”文字にc面処置とローレットを追加しキラキラと光る特徴を付けた。サイドガーニッシュ内にもレターマークを設定し黒いドアガーニッシュ部品を際立たせる効果を狙った(Fig. 8)。

Fig. 8　Letter mark

3.　インテリアデザイン

新ジャンル クロスオーバーにふさわしい、SUVのタフでワクワクする愉しさと、新規性、特別感のある時代性を表現した。特に「色」による変化、インパクトを重視した(Fig. 9)。

Fig. 9　Interior

3.1　カラーコーディネイト

SUVのアクティブな印象と新カテゴリーにふさわしい存在感を表現するため、スバルのスポーツカーで採用し お客様から好評を得ている「タン色」を大胆に使うことでエネルギーが満ち溢れてくるようなアクティブさを表現した。

またグロスブラックや金属調色を採用し時代に合わせた上質感と引き締まったスポーティ感を表現。

加えてSUVのタフ感さをさらに強く表現するためステッチ色を効果的に配置した(Fig. 9)。

3. 2　助手席加飾パネル

SUVらしい、タフ感と守られ感を表現するため「タン色」表皮のパッドを採用した、パッドにはブルーグリーンのステッチとシルバー色の額縁をあしらい ひと手間かけて作り込んだ仕立ての良さも同時に表現した(Fig. 10)。

Fig. 10　Passenger seat ornament panel

3.3　シート

タン色と黒のハイコントラストな表皮の組み合わせとし、特別感のある上質でスポーティな印象を表現した。

さらにステッチ色をブルーグリーンとするコーディネイトで見応えのある外観とした(Fig. 11)。

Fig. 11　Seat design

3.4　ATシフトブーツ／シフトパネル

スポーティで高性能な印象を醸し出すブーツタイプを採用した。ブーツにはブルーグリーンのステッチをあしらいつつ、ブーツ周りに金属調色＋艶黒パネルの組み合わせとすることでスポーティで上質な魅力を加えた(Fig. 12)。

Fig. 12　AT shift boot and shift panel

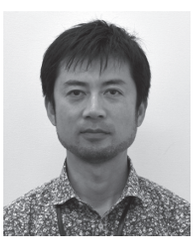
6.　まとめ

我々スバルは時代に先駆けた数々のクロスオーバーを提案しお客様に好評をいただいてきた。「ワゴン×4WD」、「乗用×SUV」、「ワゴン×スポーツ」など。

それは自分達が手掛ける車の魅力をもっと大きくし、お客様によろこんで欲しいという気持ちから生まれたものである。今回の「クロスオーバー 7」はまさにその一つである。

もともと存在した「エクシーガ」は高い基本性能を有しながらもジャンルとして時代の流行から離れつつあり魅力を伝えきれない状態であった、しかし今回お客様から支持されるSUVのカテゴリーに変化させることで、今までエクシーガの良さを伝えられなかったお客様に本来の魅力と新たに加わえた新カテゴリーの魅力を掛け合わせて味わっていただくことができ、今までにないワクワクした愉しさを提供できるスバルらしい商品にすることができたと考える。

【著　者】



小澤　修司

スバルリアビークルディテクション（SRVD：BSD/RCTA）の開発

Development of SUBARU REAR VEHICLE DETECTION（SRVD：BSD/RCTA）

高橋　理[*2] Osamu TAKAHASHI
松本　隆[*4] Takashi MATSUMOTO
矢嶋浩司[*4] Koji YAJIMA
佐藤秀樹[*3] Hideki SATOU
鈴木一文[*1] Kazufumi SUZUKI
酒井健一郎[*1] Kenichirou SAKAI
高橋大樹[*5] Daiki TAKAHASHI

抄　録

スバルは走行時及び後退時において、後側方からの接近車両を検知し、運転手に注意喚起を促す運転支援システム「スバルリヤビークルディテクション（SRVD：米国市場BSD/RCTA）」を開発した。本システムは死角車両検知（BSD）、車線変更支援（LCA）、後退時支援（RCTA）の3機能から構成される。各機能は リヤバンパー内に搭載された左右の24 GHz帯レーダによって実現され、アウターミラー鏡面上に設置されたインジケータとブザー吹鳴によって警報を行う。

本システムにより、車線変更時の隣車線後方車両、及び後退時に後方を横切る車両等に起因するヒヤリハット低減や事故発生抑制に貢献すると共に、前方支援システムであるEyeSightとの相乗効果により、スバルがコンセプトとして掲げている「SUBARU ALL-AROUND SAFETY」の実現を加速させていく。

Abstract

SUBARU has developed a driver assist system “SUBARU Rear Vehicle Detection (SRVD or BSD/RCTA for the North American market). This system has three features: “Blind Sport Detection (BSD)”, “Lane Change Assist (LCA)” and “Rear Cross Traffic Alert (RCTA)”. Each feature is activated by the 24 GHz radar mounted on both sides of the rear bumper.

The system is expected to reduce or prevent accidents caused by collision with a vehicle approaching from behind or passing behind you. In combination with the EyeSight, which monitors the road ahead and recognizes potential danger, this system helps achieve the “SUBARU ALL-AROUND SAFETY”.

1. まえがき

スバルは「誰でも、いつでも、安心、快適に、運転を愉しんで欲しい」という想いでクルマづくりに取り組んでおり、これを実現する重要なテーマの一つが安全性の追求である。その基本コンセプトが「SUBARU ALL-AROUND SAFETY」であり、あらゆる環境下での安全確保に取り組んでいる。

その取り組みの代表例として前方予防安全システムのEyeSightが挙げられ、自車前方の障害物に対する衝突防止を目指した「プリクラッシュセーフティー」を既に製品化し、グローバルに商品展開を推進している。

我々はEyeSightでカバーしていなかった後側方領域に注目し、検知距離と範囲両面で優位性を持つレーダの検知技術を活用した「スバルリヤビークルディテクション（SRVD：BSD/RCTA）」を開発した。

2. 開発の狙い

SRVDは、後側方領域における障害物の有無を検知し、車線変更時や後退時に衝突の危険性がある場合、ドライバに対して警報を行い、注意喚起を行う自立型の運転支援システムである。このシステムは、ドライバーの運転負担を軽減し、不注意動作をバックアップすることを目的としており、後側方領域の事故防止に非常に効果的と考える。（Fig. 1）

＊1 電子商品設計部
＊2 先進安全設計部
＊3 車両研究実験第2部
＊4 車両研究実験第4部
＊5 外装設計部

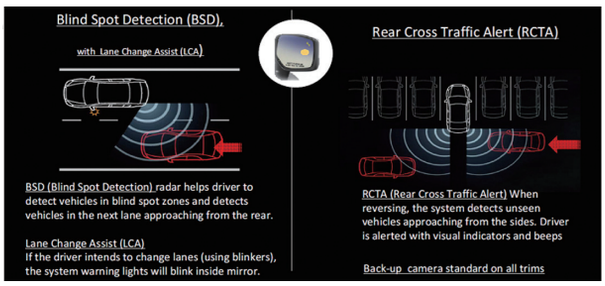


Fig. 1　SRVD function outline

2011年の北米市場での事故種別における発生割合をFig. 2[1]に示す。車線変更時の事故割合が4.2%、後退時の事故割合が2.1%と決して低くない数値であることがうかがえる。

この理由としては北米の道路環境も大きく起因していることが考えられる。都市部のハイウェイでは3車線以上であることが少なくなく、自車周辺には多数の車両が存在するケースが頻繁に存在する。その時にドライバーは前方だけでなく側方、後方含めて全周囲に気を配る必要が有るため、注意力が散漫になる傾向に有ると考えられる。Fig. 3[1]は2011年の北米市場での車線数における事故発生率であるが、2車線以上での事故発生率が極めて多く、車線数が事故発生に起因していることが数値で示されていることがうかがえる。

また後退時の事故においては、米運輸省の道路交通安全局（NHTSA）は2014年3月31日に、2018年5月から新車に後方確認カメラの搭載を義務付ける規制（FMVSS111）を発表したことも有り、後進時の死傷事故を減らす活動が活発化している。日常ユースを考慮しても、北米市場においては駐車時に頭から駐車スペースに入れ、後退で出庫する割合が圧倒的に多い。後退出庫時に隣の駐車スペースに車両が存在した場合、ドライバーの視野を妨害して後退時の安全確認が出来難い状況に陥ることで、不安感を生み出し注意力を散漫にさせてしまうものと考える。

Vehicle Maneuver	Crash Severity: Fatal Number	Fatal Percent	Injury Number	Injury Percent	Property Damage Only Number	Property Damage Only Percent	Total Number	Total Percent
Going Straight	23,539	62.3	1,242,000	55.1	3,011,000	49.9	4,276,000	51.4
Turning Left	2,364	6.3	276,000	12.2	556,000	9.2	834,000	10.0
Stopped in Traffic Lane	454	1.2	226,000	10.0	770,000	12.8	996,000	12.0
Turning Right	339	0.9	73,000	3.2	264,000	4.4	337,000	4.0
Slowed in Traffic Lane	311	0.8	121,000	5.4	359,000	5.9	481,000	5.8
Merging/Changing Lanes	665	1.8	59,000	2.6	290,000	4.8	350,000	4.2
Negotiating Curve	8,218	21.7	134,000	6.0	278,000	4.6	420,000	5.0
Backing Up	117	0.3	15,000	0.7	156,000	2.6	171,000	2.1
Passing Other Vehicle	740	2.0	19,000	0.8	70,000	1.2	89,000	1.1
Starting in Traffic Lane	228	0.6	55,000	2.4	150,000	2.5	205,000	2.5
Leaving Parking Space	20	0.1	6,000	0.3	34,000	0.6	40,000	0.5
Making U-Turn	152	0.4	13,000	0.6	37,000	0.6	50,000	0.6
Entering Parking Space	10	*	2,000	0.1	18,000	0.3	20,000	0.2
Disabled in Traffic Lane	33	0.1	2,000	0.1	5,000	0.1	6,000	0.1
Other Maneuver	345	0.9	13,000	0.6	37,000	0.6	50,000	0.6
Total	**37,813	100.0	2,253,000	100.0	6,035,000	100.0	8,326,000	100.0

*Less than 0.05 percent.
**Includes 278 vehicles involved in fatal crashes with unknown vehicle maneuver.

Fig. 2　2011 North America accident type and percentage

Number of Lanes	Trafficway Flow: Not Divided	Divided	One-Way	Entrance/Exit Ramps	Unknown	Total
Fatal Crashes						
One Lane	10	80	109	399	1	599
Two Lanes	24,091	7,246	169	139	7	31,652
Three Lanes	534	2,928	141	23	1	3,627
Four Lanes	3,748	2,488	41	6	2	6,285
More Than Four	417	892	18	2	2	1,331
Unknown	41	84	6	7	172	310
Total*	28,841	13,718	484	576	185	43,945
Injury Crashes						
One Lane	3,000	18,000	12,000	24,000	8,000	64,000
Two Lanes	762,000	379,000	34,000	12,000	68,000	1,254,000
Three Lanes	55,000	220,000	21,000	4,000	13,000	313,000
Four Lanes	299,000	91,000	9,000	2,000	16,000	416,000
More Than Four	48,000	54,000	3,000	**	6,000	112,000
Unknown	117,000	41,000	9,000	9,000	368,000	544,000
Total*	1,285,000	803,000	87,000	50,000	479,000	2,756,000

Fig. 3　2011 North America the number of lanes and accident frequency

2.2　日本市場の事故発生状況

日本市場においても、北米市場同様の課題が顕在化していることは下記データによって明確化されている。

Fig. 4[2]は財団法人交通事故総合分析センターがまとめた平成25年車両相互事故の類別発生件数であるが、進路変更時や後退時の事故件数について北米市場と同様の傾向が見受けられる。またFig. 5[3]は平成22年に発生した事故における人的要因別の歩行者死者数の割合である。後退時においては安全不確認が79%を占めており、ドライバーの後退時における安全確認の重要性を痛感するデータとなっている。このように国内市場においても、前方のみならず後側方の領域における予防安全システムのニーズが確実に高まっていることがうかがえる。

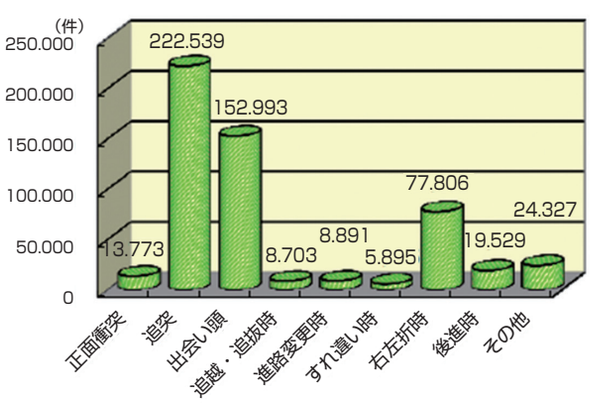


Fig. 4　2013 Japan accident type and percentage

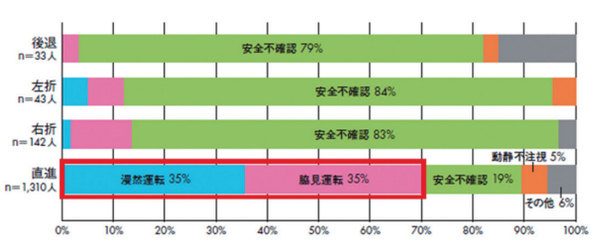


Fig. 5　2010 accident caused by human error and fatalities

このように、車線変更時や後退時におけるドライバーの視界補助となるシステムを、レーダによる認識技術を活用して開発したのがSRVDである。SRVDはCピラーやDピラーによって生じる死角やドアミラー自体が持つ死角(Fig. 6)に存在する隣車線の車両、高速で接近してくる隣車線の車両を検知し、ドライバーに警報する機能を持つ。更に後退時においては、自車後方を横切ってくる車両を検知してドライバーに警報する機能も備えている。

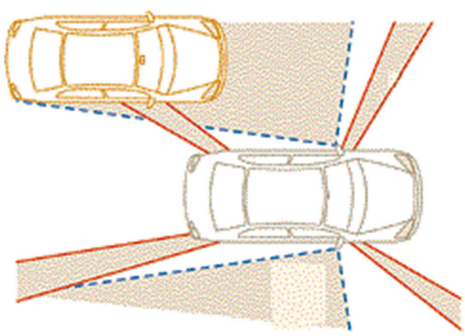


Fig. 6　Vehicle blind spot (hatched area)

3.　システムの考え方

本項では、SRVDのシステム構成、SRVDが持つ各機能の詳細、ドライバーにとって重要なHMI等についての考え方を示す。

3.1　システム構成

SRVDのシステム構成をFig. 7に示す。リヤバンパー内には車両検知と制御演算を行うECU一体型レーダが左右に各1ヶずつ搭載されている(Figs. 7, 8)。SRVDはBSD、LCA、RCTAの3機能を有しているが、全ての機能はこの2つのレーダによって実現している。車両左側のレーダがマスターの位置付けで有り、マスターレーダには機能のON-OFFが選択できるスイッチと、車両CANが接続されている。この車両CANから車速等の車両情報を受信し、警報制御に用いている。また左側のマスターレーダと右側のスレーブレーダは車両CANとは別のローカルCANで接続されており、互いの認識情報等を独自で相互通信を行っている。

3.1.1　24 GHz帯レーダ

SRVDに使用しているのは、周波数帯が24 GHzのレーダ（Fig. 9）である。24 GHzレーダは、現在ACC(Adaptive Cruise Control)等で使用されている76 GHzレーダに比べ,比較的安価なレーダとして知られている上に、リヤバンパーフェース等の樹脂面を透過する際の影響を受け難いのが特徴である。これらの特徴は“左右に各1ヶずつレーダを必要とし”、

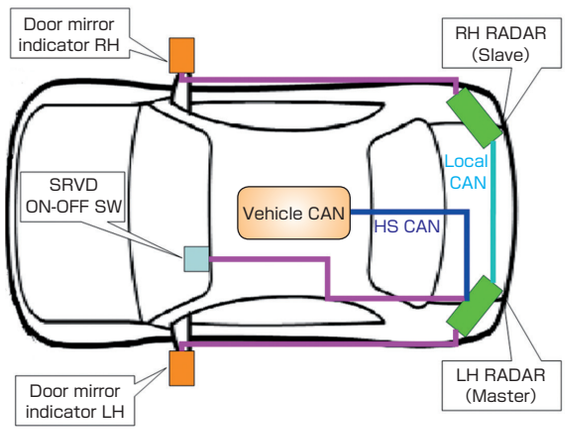


Fig. 7　SRVD sytem configuration

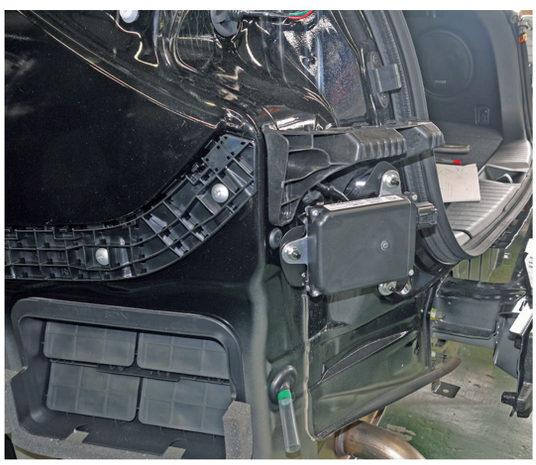


Fig. 8　SRVD on-board radar example

Fig. 9　SRVD 24 GHz radar

“且つリヤバンパーフェース内に搭載する必要が有る”という本機能に求められる要件とマッチする。

本レーダはISM(Industrial Science Medical) Band方式を採用しており、比較的大きなレーダ出力が可能であることから、自車の直近のみならず、自車から離れた車両においても検知可能である。

検知対象物としては、SAE J2802の規定に準じて、125 cc以上の車両(モーターバイク含む)としている。

3.2　機能詳細

SRVDは3つの機能を有しており、車両の状況に応じて機能を使い分けている。各機能の詳細について説明する。

3.2.1　死角検知(BSD：Blind Spot Detection)

死角検知機能(BSD：Blind Spot Detection)とは、CピラーやBピラーによって生じるドライバーからの死角や、ドアミラーの死角などによってドライバーが確認しにくい車両をレーダによって検知し、存在を知らせる機能である。

本機能はISOにてLCDAS(Lane Change Decision Aid Systems)として標準化活動が行われており、国際規格案ISO/DIS17387における検知範囲区分Type Ⅰに該当する機能である。Type Ⅰの検知範囲(Fig. 10)は、車両後方3 mまでの後側方をAdjacent Zoneと定義し、この範囲を警報領域とする機能をBlind Spot Warningと規定している。

基本的にはAdjacent Zoneに警報対象車両が存在している場合に警報を行うシステムであるが、SRVDはISO/DIS17387 Type Ⅰに定められている車両後方3 mまでのゾーンを更に拡大しており、警報タイミングを早めることでドライバーへ速やかに車両の存在を知らせることができるようにしている。また本機能は車速10 km/hから作動し、隣車線の車両のみを警報対象とするような警報ゾーンの設定としている。

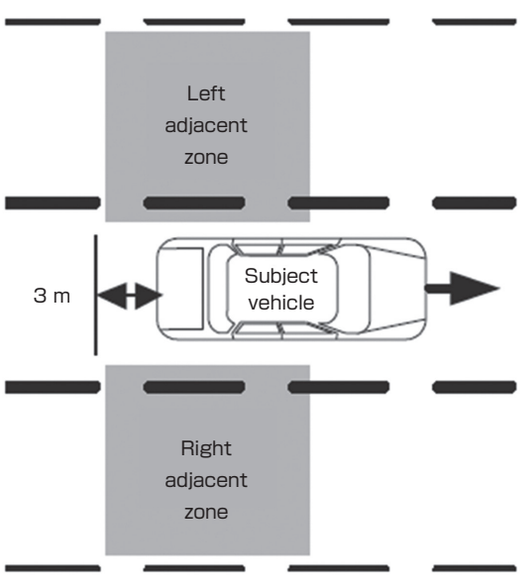


Fig. 10　ISO/DIS17387 Type Ⅰ

3.2.2　車線変更支援
(LCA：Lane Change Assist)

車線変更支援(LCA：Lane Change Assist)とは、ドライバーが車線変更しようとした時、隣車線を走行する車両に対して衝突の危険が有ると判断した場合にドライバーへ警報を行う機能である。

本機能は国際規格案ISO/DIS17387[4] Type Ⅱに該当する。ISOでは、車両後方30 mまでの後側方をRear Zoneと定義し(Fig. 11)、この範囲を警報領域とする機能をClosing Vehicle Warningと規定している。

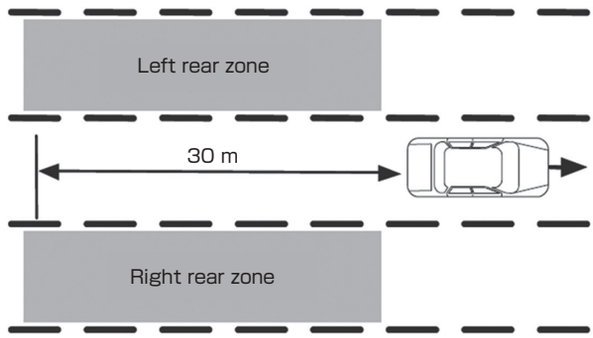


Fig. 11　ISO/DIS17387 Type Ⅱ

LCAでは、隣車線にいる車両との相対速度と距離から衝突予測時間(Time to Collision)をレーダ内で演算し、衝突予測時間が設定値以内になった場合にドライバーに警報する機能としている。SRVDで使用している24 GHzレーダの検知距離は約70 mであるため、ISOに規定するRear Zoneを大きくカバーしており、衝突危険性のある車両を素早く検知し、ドライバーへ速やかに警報するようにしている。本機能も車速10 km/hから作動し、隣車線の車両のみを警報対象とするような警報ゾーンを設定しており、カーブ時においても同じ車線にいる後続車や隣隣車線にいる車両等に対して警報しないよう、警報ゾーンを補正する処理を織り込んでいる。

3.2.3　後退時支援
(RCTA：Rear Cross Traffic Alert)

後退時支援(RCTA：Rear Cross Traffic Alert)は、後退時にドライバーが視認できない後側方領域において、自車後方を横切ろうと接近してくる車両を検知し、ドライバーに警報を行うシステムである(Fig. 12)。

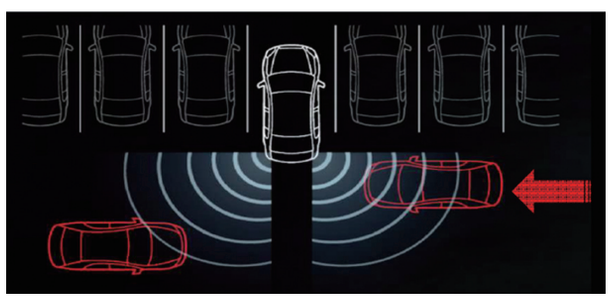


Fig. 12　RCTA operation image

RCTAもLCAと同様、自車後方を横切ろうとする車両との相対速度と距離から衝突予測時間（Time to Collision）をレーダ内で演算し、衝突予測時間が設定値以内になった場合にドライバーに警報する機能としている。但し、自車後方から遠く離れているような衝突の危険性が無い車両に対しては、警報を実施しない処理を織り込んでいる。

3.3　HMI（ヒューマンマシンインタフェース）

ドライバーの運転を支援するシステムにおいて、HMIは非常に重要な役割を持つ。SRVDの警報インジケータは左右のドアミラー鏡面内に設置する仕様とした（Fig. 7）。ドアミラー鏡面内に設置することにより、ドライバーが車線変更時に行う『インナーミラー確認⇒ドアミラー確認⇒目視』という視線移動に逆らうことなく自然に警報インジケータの確認が可能である。

インジケータのシンボルについては、ISO2572で承認されたK17A（Fig. 13）を採用しており、誰もがシンボルを見ることで機能を視覚的に理解できるように配慮している（本シンボルはSRVD ON-OFFスイッチにも採用）。

Fig. 13　SRVD warning indicator

BSD、LCAについてはドアミラー鏡面内警報インジケータを用い、車両の存在を知らせる1次警報ではインジケータ点灯、その状態でドライバーが車線変更の意思を示した場合には2次警報としてインジケータ点滅によるより強い注意喚起を行っている。

一方RCTAについては、後退時ということも有り、ドライバーの視線はインナーミラー、ドアミラーのみならず、リアビューカメラのディスプレイや真後ろ、側方等、様々な位置に向いてしまう。従ってRCTAについては警報インジケータに加えて警報音による注意喚起が非常に効果的である。RCTA作動時にドアミラー鏡面内警報インジケータを点滅させると共にメータから警報音を吹鳴させ、音が鳴ったら即座にブレーキを踏んで停止させる緊急性をドライバーに伝えるため、緊急性の高い音色（2.2 kHz）と断続周期音（60ms ON, 60ms OFF×3回）に設定している。更に後退時にリアビューカメラの撮像画面を見ているドライバーにも配慮し、高級ナビ付車においては、リアビューカメラ表示画面に警報インジケータを表示させる仕様としている（Fig. 14）。

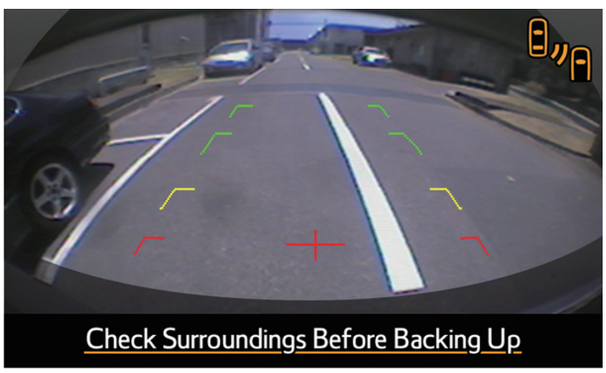


Fig. 14　Rear view camera display screen

4.　まとめ

今回開発したSRVDは、EyeSightでカバーできていなかった後側方領域を、レーダを用いて運転支援を実現することで、全周囲予防安全「ALL AROUND SAFETY」実現の大きな一歩を踏み出せたと考える。これからも「EyeSightによる前方支援＋SRVDによる後方支援」のコンセプトを更なる性能向上と技術革新によって磨き上げ、お客様へ安心・安全をお届けしていきたいと考える。最後に本開発においては、コンティネンタル・オートモーティブ株式会社様の多大なるご協力を頂きましたことを記し感謝の意を表すと共に、改めてここに深く御礼を申し上げます。

参考文献

(1) NHTSA DOT HS 811 754, Traffic Safety Facts 2011
(2) 三井住友海上 ウェブページ, 交通安全のとびら http：//www.ms-ins.com/pdf/rm_car/jiko_data.pdf
(3) イタルダ・インフォメーション, No.94, 2012 April
(4) ISO/DIS 17387, Intelligent Transportation Systems - Lane Change Decision Aid Systems -

【著　者】

高橋　　理

松本　　隆

矢嶋　浩司

佐藤　秀樹

鈴木　一文

酒井 健一郎

高橋　大樹

成長期（昭和60年代）のスバル紹介

インプレッサ WRX（1992年～2000年）

全長×全幅×全高：4340×1690×1405 mm
ホイールベース：2520 mm
エンジン：水平対向4気筒 DOHC ターボ 1994 cc
最高出力：240 ps/6000 rpm
最大トルク：31.0 kg−m/5000 rpm

レガシィとヴィヴィオの間を埋める「中間車」として、小型化したレガシィのプラットフォームに、4ドアセダンとスポーツワゴンの2種類の車体を組み合わせて開発された。1.5、1.6、1.8リッターのNAと2.0リッター・ターボの水平対向エンジンを搭載したモデルがあり、2.0リッターターボエンジン搭載のスポーツモデルであるWRXは、モータースポーツの世界でも活躍し、これをベースとした車両が1995～7年の世界ラリーチャンピオンシップで3連覇を果たした。

レガシィ／アウトバック（米国市場）エアバッグシステム　ドア内圧力センシング開発

Development of Airbag System with Pressure Sensors Installed in Doors for LEGACY/OUTBACK (for North America)

大　西　恵　太*
Keita ONISHI

抄　録

6代目 北米レガシィ／アウトバックに初採用となるドア内圧力センサを用いたエアバッグシステムの開発を行った。

衝突安全性能向上のため、ドア内センサを従来の加速度検知式から圧力検知式へと変更した。センシング方式の変更に伴い、新たに要件を整理し、より安全なエアバッグシステムを構築した。

本稿では圧力センサを用いたエアバッグシステムの性能開発について述べる。

Abstract

A new airbag system with pressure sensors installed in doors was adopted in the sixth LEGACY/OUTBACK for North America for the first time.

To improve the passenger protection performance in traffic accidents, the type of sensors provided in doors was changed from a traditional acceleration sensing type to a pressure sensing type. Along with this modification in sensing methods, the requirements for airbags were newly arranged, and a safer airbag system was designed.

This paper introduces the performance development of the airbag system which uses pressure sensors.

1.　はじめに

自動車に求められる衝突安全性能は年々高まっており、当社も「安心と愉しさ」の「安心」の実現のため、長年に渡り研究、開発を行っている。

衝突形態の中で、側面衝突は前面衝突と比べ乗員と車両とのスペースが少なく、衝突時に早期に乗員保護装置を作動させる必要がある[(1)]。

今回開発したエアバッグシステムは、ドア内に圧力検知式のセンサを新規採用した。圧力センサを用いることで側面衝突時の反応時間を早めることができ衝突の早期判定を可能とし、同時に乗員保護装置の作動を早められることで衝突安全性能の向上を可能とした。

2.　エアバッグシステム概要

6代目 北米レガシィ／アウトバックのエアバッグシステム概要図をFig. 1に示す。システムは、複数のセンサと1つのコントロールユニットから構成され、各センサからの情報を元にコントロールユニットで衝突を判定する。北米仕向け車両には、ドア内にセンサが設置されており、従来は加速度センサが用いられていたが、6代目レガシィ／アウトバックでは圧力センサを初採用した。

システム概要図

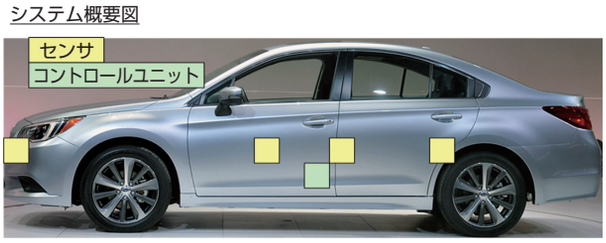


Fig. 1　Airbag system

3.　エアバッグシステム開発

本章は、圧力センサを用いたエアバッグシステムの開発について述べる。

3.1　加速度検知方式／圧力検知方式

加速度センサの検出原理、センサ構成図をFig. 2に示す。

＊ 電子商品設計部

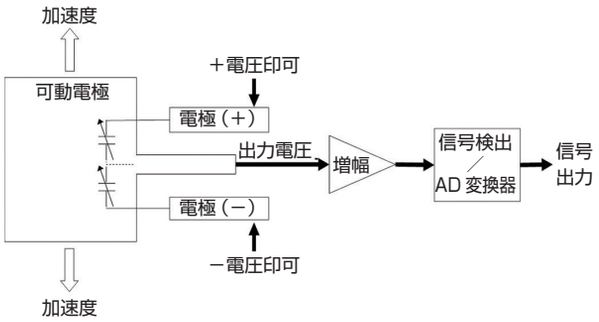


Fig. 2　Method of acceleration sensing

加速度センサは、櫛歯状の可動部と検出部から成り、可動部が動くことで生じる静電容量の変化を検出部で検出し加速度の大きさを計測する。加速度の検出には可動部の動きが重要であるが、衝突時の入力はセンサの設置位置に左右され、加えて、衝突直後ではセンサまで十分な衝撃が入力されず、加速度を検出出来るまでに遅れが生じることが課題である。

次に圧力センサの検出原理、センサ構成図をFig. 3に示す。

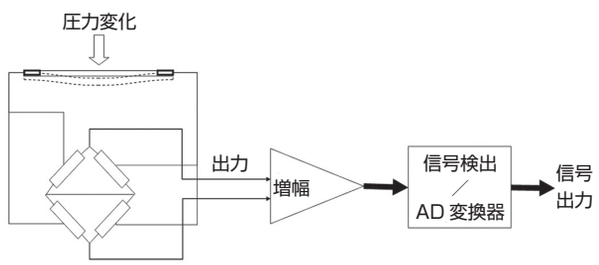


Fig. 3　Method of pressure sensing

圧力センサは、シリコン膜と検出部から成り、圧力の変化によりシリコン膜が押され、歪センサの抵抗値変化を検出部で検出し圧力の大きさを計測する。圧力は、ドア内の場所に依らず一定であり、加速度センサのようにセンサ搭載位置で検出性能は影響されない。また、圧力変化は、ドア変形開始と同時に生じることから、衝突の初期段階から入力を得ることが出来る。

上述した理由から圧力センサを用いることで、従来の加速度センサの課題を解決出来ると想定される。

3.2　圧力センサデータ計測

圧力センサ搭載に当たり、ドア気密性変化時のセンサ入力の変化を検証するため、ドア気密性を下限から上限まで変化させた状態での側面衝突時の圧力変化を計測した。計測結果をFig. 4に示す。気密性上限は赤線、中間は青線、下限は黒線である。

計測結果より、気密性下限の場合は、圧力変化のピーク値の低下幅が大きくなることがわかった。ドア内には作業用の開口部があり、衝突時にドア内の圧力が開口部から逃げることで圧力変化のピーク値が低下するためである。

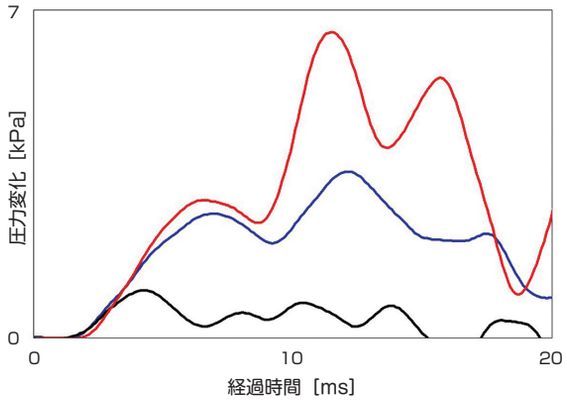


Fig. 4　Change in pressure and airtightness

3.3　プレートドア

ドア内にある作業用の開口部を塞ぎ衝突時の圧力逃げを防ぐため、ドア内への樹脂プレート設置の検討を行った。計測データより圧力変化とドア気密性変化の相関を整理した。グラフをFig. 5に示す。

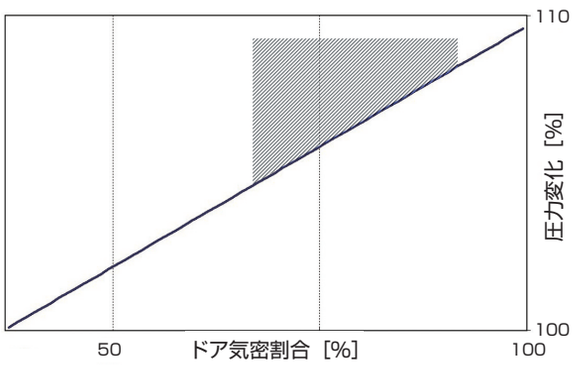


Fig. 5　Correlation between pressure and airtightness

衝突判定するためにシステムが必要とする圧力変化の数値とプレートドアにより改善されるドア気密性の数値から斜線で表す理想領域を導いた。プレートドア設置により理想値を実現するため、プレート形状の要件を設定し設計を行った。設定したプレートの形状をFig. 6に、ドア搭載レイアウトをFig. 7に示す。

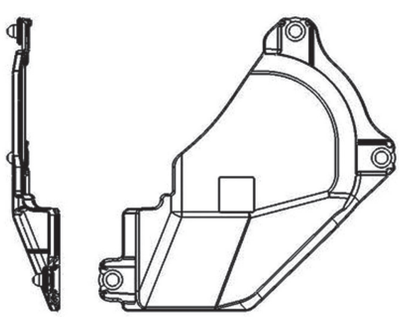


Fig. 6　Shape of plate door

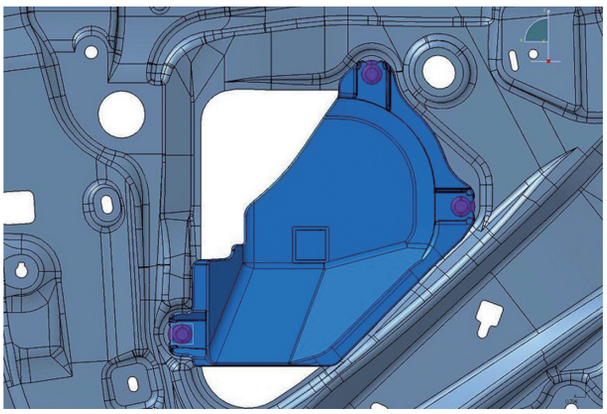


Fig. 7　Plate door installation

3.4　プレートドア効果検証

プレートドア有無での圧力変化を同条件下の側面衝突試験を実施し比較、効果検証を行った。試験時の圧力変化グラフをFig. 8に示す。

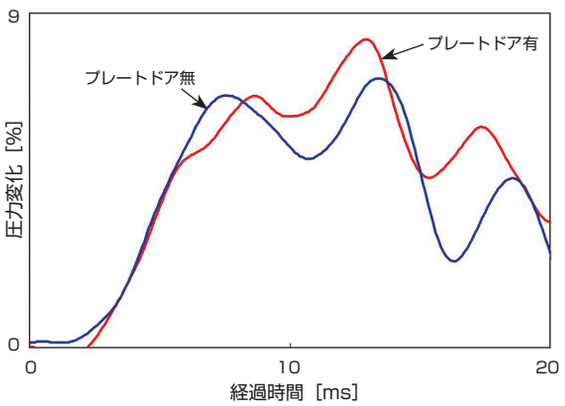


Fig. 8　Verification of plate door

圧力変化が発生し始める時間に差は見られなかったが、圧力変化のピーク値に差が見られた。計測結果から圧力変化のピーク値は約13%改善されており、プレートドアが有効であることが確認された。

4.　システム評価

4.1　評価試験詳細

今回開発したエアバッグシステムを斜めポール側突試験で評価した。試験では、直径254mmのポールを運転席側フロントドアへ斜めに衝突させる(Fig. 9)。ポール側突は、局所的な衝突で車体変形が大きく、ポールの車体進入量も多く乗員保護装置の早期作動が重要な試験形態である。一方、衝突速度が低くセンサ入力を得にくい試験形態でもある。また、フロントドアへの衝突であり、衝突判定にはドアセンサが主な役割を担う。

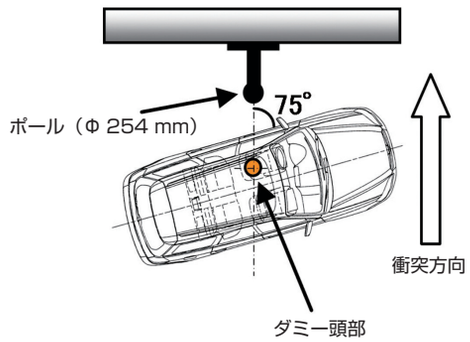


Fig. 9　Oblique pole side collision test

4.2　衝突安全性能検証

衝突試験における従来の加速度センサと圧力センサそれぞれの評価結果を示す。

加速度センサの波形をFig. 10に示す。衝突開始を時刻0とすると、時刻0より約6 ms遅れでセンサ入力が立ち上がり、約20 msでピーク値に達する。ピーク発生とほぼ同時刻に衝突判定をするが、要求に対し4 msの遅れが生じる。初期応答、入力ピーク発生時間が遅れることは3.1項で述べた通り加速度センサの課題だが、これらの改善が衝突の早期判定へ繋がると推測される。

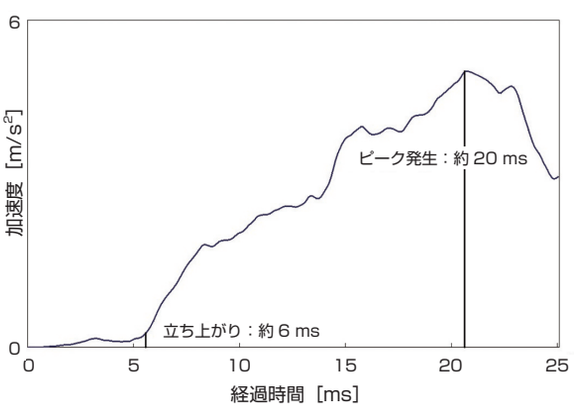


Fig. 10　Acceleration response in crash test

次に圧力センサの波形をFig. 11に示す。波形立ち上がり、ピーク発生時間を加速度センサと比較すると、波形立ち上がりは約2 ms、ピーク発生時間は約7 ms早く、衝突判定も約12 msと8 ms早く判定する結果を得た。圧力センサを用いたことで従来の加速度センサの課題であった初期応答時間の遅れ、センサ入力時間の遅れを解決し、衝突判定時間が早期化されたことを確認できた。

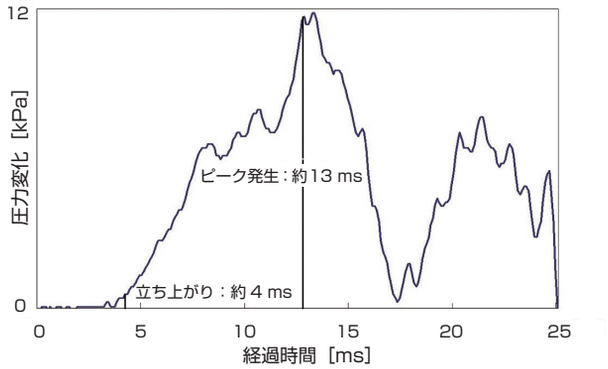


Fig. 11　Pressure response in crash test

5.　おわりに

圧力センサの採用により、当初目標の衝突判定時間の早期化を達成した。同時に乗員保護装置の作動を早められ、衝突安全性能の向上を達成できた。

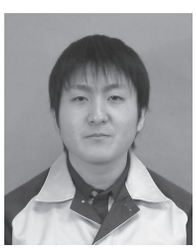
衝突安全性能は将来に渡り市場からの高い要求があることが予想される。センサ技術も進歩を続けており、都度最適なセンサの検討、開発が必要になることが想定される。この開発での知見、技術は今後の開発に活かされると考える。

最後に、協力頂いた富士重工業、部品メーカの関係部署の方々にこの場をお借りし深く感謝いたします。

参考文献

(1) 水野幸治：自動車の衝突安全，名古屋大学出版会，(2012)

【著　者】



大西　恵太

成長期（昭和60年代）のスバル紹介

レガシィ ツーリングワゴン GT（1993年～1998年）

全長×全幅×全高：4670×1695×1490 mm
ホイールベース：2630 mm
エンジン：水平対向４気筒 DOHC
　　ツーステージ・ツイン・ターボ 1994 cc
最高出力：250 ps/6500 rpm
最大トルク：31.5 kg−m/5000 rpm

初代レガシィを継承しつつ、走り、スタイリング、安全、機能、品質など全てにわたって熟成・発展させ、グランドツーリングカーとしての総合性能を大きく向上した。ターボエンジンは低速レスポンスを改善するために２ステージ・ツインターボを採用している。これら継承・熟成のコンセプトは５ナンバーサイズの車体の採用と合わせ、バブル崩壊後の日本市場において良識ある判断と絶賛され、レガシィブランドを確固たるものにした。

シートクッションエアバッグの開発

Development of Seat Cushion Airbag

山　下　　透*
Toru YAMASHITA

抄　録

北米市場向け新型レガシィ／アウトバックに、スバル初採用のシートクッションエアバッグを搭載し、前面衝突時の乗員保護性能レベルアップを図った。

本稿では、北米衝突安全性能においてトップクラスの成績獲得に寄与することができたシートクッションエアバッグの開発概要、部品構成、効果について説明する。

Abstract

A new seat cushion airbag was developed for the new LEGACY/OUTBACK for North America to improve occupant protection performance in frontal collisions.

This paper describes the development outline, parts structure, and effects of this seat cushion airbag which contributed to the achievement of the highest rating in a North America's crash safety assessment.

1. まえがき

近年、衝突安全性に対する期待はより一層高まっており、自動車安全性評価も年々強化されている。当社では自動車安全性評価で衝突安全性能トップクラス獲得を目標の1つとして車両開発をしている。

当社は、「SUBARU ALL－AROUND SAFETY」をコンセプトに、あらゆる環境下での安全性追求に取り組んでおり、その取り組みは、「ACTIVE SAFETY」、「PRECRASH SAFETY」、そして「PASSIVE SAFETY」（衝突安全）の3本柱からなる。衝突安全とは、万が一の衝突事故時に被害を最小限に抑える技術のことであり、スバル360の時代から衝突安全性に対し積極的に取り組んでおり、現在においても変わらず、自動車メーカーの責務として衝突安全性能向上に努めている。

2. 開発の狙い

新型レガシィ／アウトバックは衝突安全性能トップクラス獲得を目標の1つに掲げて開発された。その中でも特に、米国道路交通安全局（NHTSA）が実施する自動車安全性評価（NCAP）において衝突安全性能 最高評価5★獲得を目指した。

そのために、既存の乗員保護デバイスのレベルアップに取り組むとともに、新たにデバイスを追加することにより乗員傷害値のさらなる改善を狙った。今回レガシィ／アウトバック北米市場向け車に新しく追加したデバイスが、シートクッションエアバッグである。

3. シートクッションエアバッグについて

3.1 シートクッションエアバッグの概要

シートクッションエアバッグは前面衝突時に作動するエアバッグであり、Fig. 1のように運転席と助手席のシート座面内部に配置されている。前面衝突時にエアバッグが大腿部直下で膨らんでシート前側の座面を持ち上げ、乗員の前方移動量や沈み込みを抑制する等の効果がある。

3.2 レイアウト

シートクッションエアバッグの部品構成をFig. 2に示す。ガスを発生させるインフレータ、インフレータをシートに固定するためのリテーナ、ガスにより膨張するバッグ、シートの板金部品からバッグを保護する

＊ 電子商品設計部

ためのフェルト材で構成される。

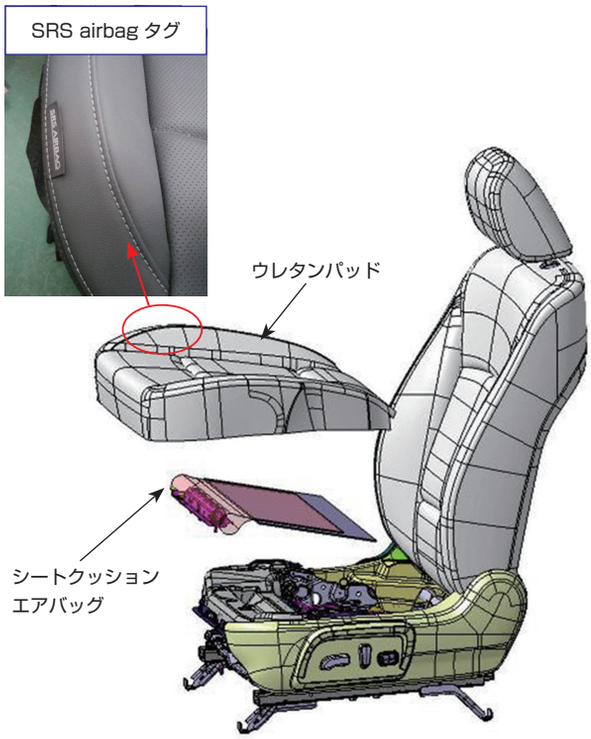


Fig. 1 Structure of front seat

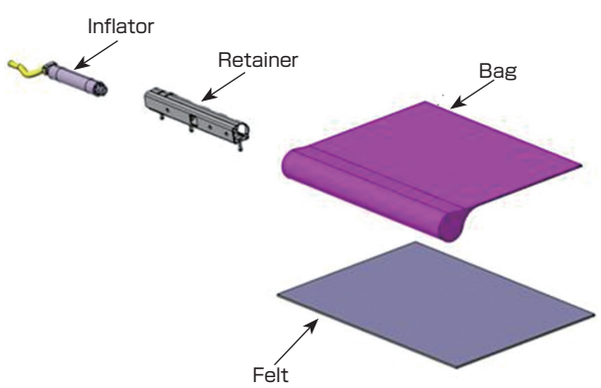


Fig. 2 Structure of seat cushion airbag

シートクッションエアバッグはフロントシート座面のフレームに取付けられており、エアバッグの直上にウレタンパッドが配置される(Fig. 1)。他のエアバッグモジュールは通常折り畳まれた状態で車両に搭載されるが、このシートクッションエアバッグは折り畳まず拡げた状態で搭載される。これが他のエアバッグモジュールとの大きな違いである。Fig. 3にシートクッションエアバッグが膨張した様子を示す。

シートクッションエアバッグのように乗員の前方移動量を抑制するエアバッグとしてニーエアバッグが挙げられる。

助手席側のニーエアバッグは通常グローブボックス下端に配置することになるが、乗員の足元空間を確保しようとすると、結果的にグローブボックス容量の減少に繋がってしまう。グローブボックス容量はユーティリティ上重要な指標の1つであり、その点ではシートクッションエアバッグが有利である。

また、金属ケース等を有するニーエアバッグに対し、シートクッションエアバッグは一般的に1/3程度の質量で済み、車両としての軽量化にも寄与できる[1]。

昨今の自動車開発においては、車両の動力性能や燃費改善の観点から、軽量化への取組みも非常に重要である。シートクッションエアバッグの採用によって乗員保護性能向上を狙いつつ、車両としての軽量化にも配慮した。

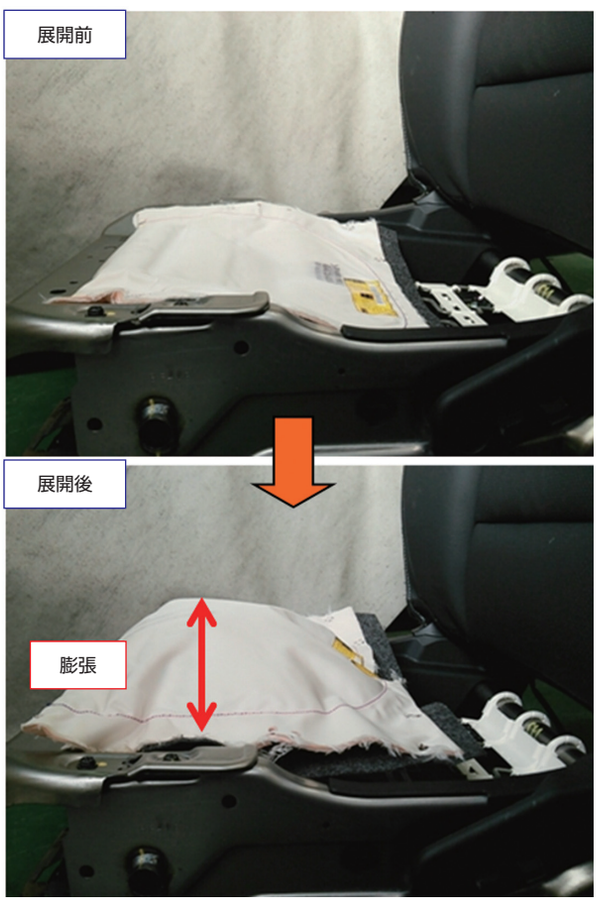


Fig. 3 Seat cushion airbag

3.3 シートクッションエアバッグによる効果

前面衝突時、シートクッションエアバッグにより、大きく2つの効果が期待できる。1つ目は、乗員の前方移動量と沈み込みを抑制する効果(Fig. 4①)、2つ目は、大腿部前方が持ち上がることで、身体全体に後ろ方向の回転力が生じ、車両前方向に発生する胸部加速度を低減する効果である(Fig. 4②)。

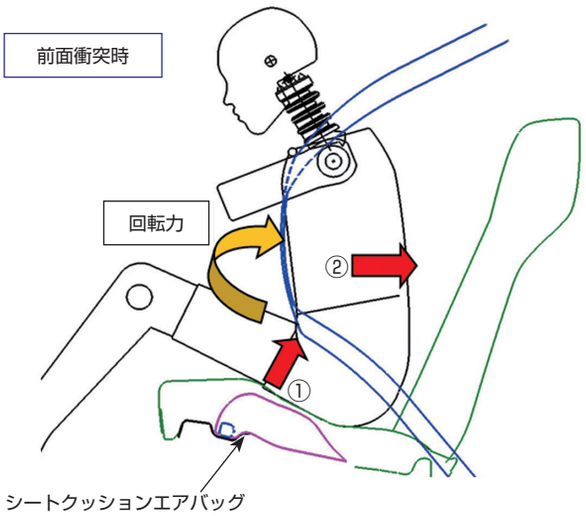


Fig. 4　Image of airbag deployment

前面衝突時には、乗員は一般的にシートに沈み込む挙動になりやすく、シートベルトが腰部から外れ腹部に食い込み、腹部傷害値が悪化する。北米自動車事故データベースの分析結果によると、助手席乗員の腹部傷害の60%はシートベルトによる受傷であるというデータが出ている[(2)]。

Fig. 4①、②の効果によって、シートベルトが狙い通りに腰を拘束でき、胸部・腹部傷害値の低減につながる。SRS エアバッグシステム（SRS：Supplemental Restraint System ＝補助拘束装置）という名の通り、シートベルトの拘束力を高めることが出来るわけである。

Fig. 5にスレッド試験時の助手席乗員胸部傷害値の変化を示す。またFig. 6にシートクッションエアバッグ有り／無しでの助手席乗員スレッド試験時の画像を示す。シートクッションエアバッグの膨張により、胸部傷害値の改善効果を確認することができた。

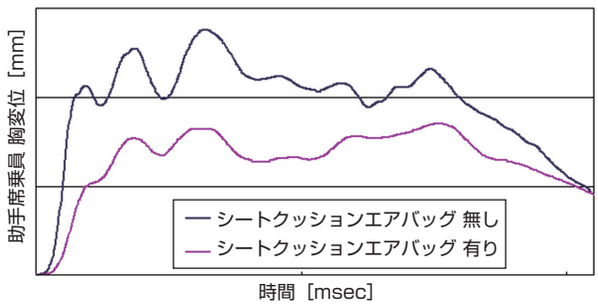


Fig. 5　Dummy chest displacement
(for passenger seat occupant)

3.4　品質に対する取組み

今回、開発の早い段階からFTA・FMEAにより課題の洗い出しを実施し、対策と評価を行った。特に既存エアバッグとの変化点に注意し、関連部署と協力しながらゼロベースから構築した。その中から主に4つについて説明する。

1つ目として、エアバッグを新規に追加する上での最大の課題となる、周辺部品とのレイアウトについてである。シートフレーム付近は金属部品が多いため、エアバッグの破れの原因にならないように多大な配慮が必要であった。また助手席については、シートクッションエアバッグの直下に乗員検知システム（Fig. 7）があることから、お互いの性能確保に多くの時間を費やし、目標達成を目指した。

2つ目について、第3.2項にて述べた通りシートクッションエアバッグは他のエアバッグと異なり、折り畳まず拡げた状態でシート内部に搭載される。シート組

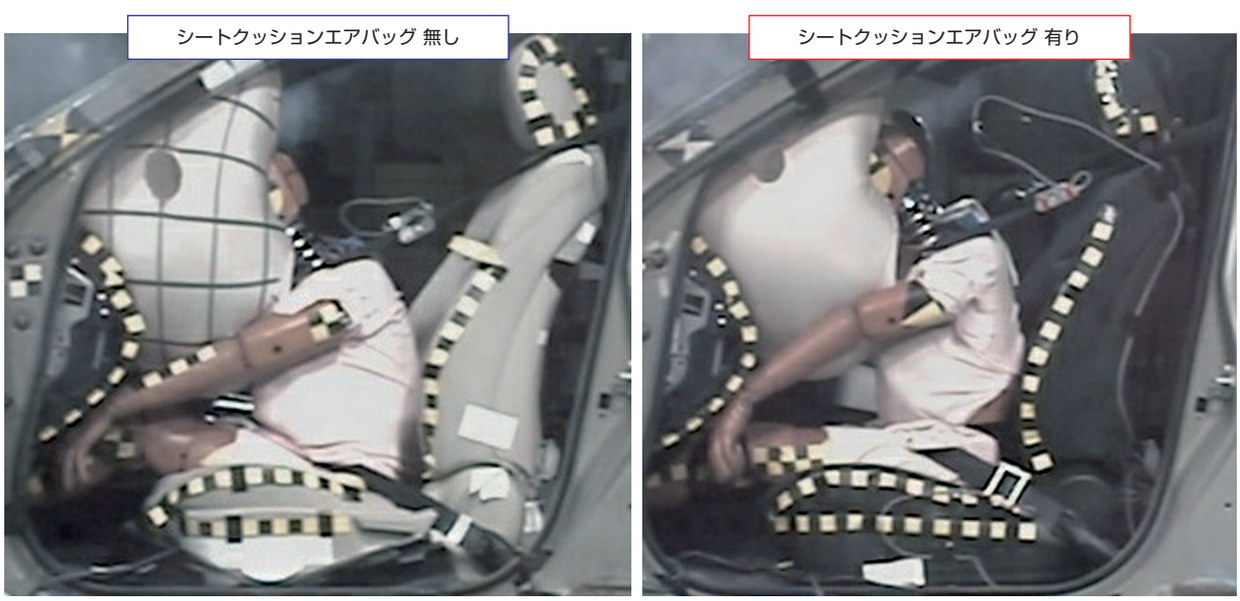


Fig. 6　Frontal sled test (for passenger seat occupant)

立て工程においては、シートクッションエアバッグを取り付けたのち、上からクッションパッドを載せるが、このときシートクッションエアバッグの端部が捲れないように搭載する必要がある。Fig. 7のように、2次元コードを設置し、捲れに対して工程管理を施した。

3つ目について、シートクッションエアバッグは乗員の体重が常にエアバッグに負荷されるという点で、他のエアバッグよりも過酷な環境に置かれている。実用上の環境条件を考慮して、意地悪的に耐久評価条件を新設定し、エアバッグの損傷等が発生しないよう重点的に品質確保に取り組んだ。

4つ目として、シートベルトを着用した小さな子供が着座している場合も考慮し、エアバッグ展開評価を行い加害性が少ないことを確認している。

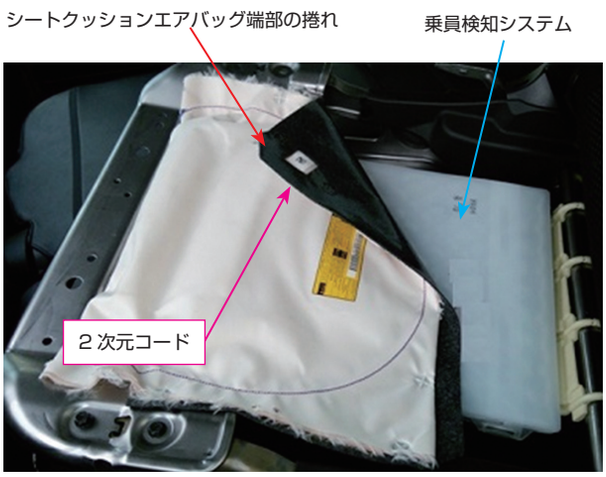


Fig. 7　Inner structure of passenger seat

4.　あとがき

北米市場の新型レガシィ／アウトバックにスバル初採用であるシートクッションエアバッグを搭載し、前面衝突時の乗員傷害値の低減に寄与した。結果として北米NCAPで5★を獲得することができた。

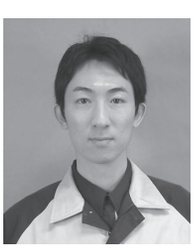
多大なご協力を頂いたエアバッグサプライヤ、シートサプライヤ、関係部署の方々に深く感謝する。

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

参考文献

(1) 水野　喜夫:新製品紹介「360° フルカバーエアバッグ」豊田合成技報 2009 Vol.51
(2) 井田　等, 一杉　正仁：一般報告「助手席乗員の前突時腹部傷害についての検討」豊田合成技報 2011 Vol.53

【著　者】



山　下　　透

新開発 Euro6 規制対応 水平対向ディーゼルエンジンの紹介

Introduction of New Horizontally-Opposed Diesel Engine for Euro6 Emission regulation

廣瀬 健次[*1] Kenji HIROSE
京徳 信夫[*1] Nobuo KYOTOKU
佐伯 波都二[*2] Hatoji SAEKI
加藤 洋[*2] Hiroshi KATO
堀川 健夫[*2] Takeo HORIKAWA
下村 晋介[*3] Shinsuke SHIMOMURA
森口 優[*4] Yuu MORIGUCHI

抄 録

当社は2008年3月より、欧州市場向けに 水平対向2.0L4気筒ディーゼルエンジン搭載車の販売を開始している。その後、搭載車種の拡大展開を経て、環境性能の進化を遂げてきた。2015年、欧州市場に向け、エンジン構造から刷新した新型水平対向ディーゼルエンジンを発表した。本稿においては新型水平対向ディーゼルエンジンの開発の狙いと導入技術について紹介する。

Abstract

SUBARU has sold a 4-cylinder 2.0L horizontally-opposed diesel engine since March 2008 for the European market. In 2015, also for Europe, we launched a new horizontally-opposed diesel engine with new technologies employed for improved fuel consumption. This article introduces the development target of this engine and its new technologies.

1. まえがき

環境性能への取組みが注目される中、CO_2排出量がガソリン車に対して少ないディーゼル車の販売比率は欧州では50%程度まで達する。当社も2008年より水平対向ディーゼルエンジン（以降、ボクサーディーゼル）を搭載したレガシィの販売を開始している(1)。その後、フォレスター、インプレッサへ採用を拡大し、2009年にはEuro5排出ガス規制に対応した(2)。更なる燃費改善・低速トルクの改善開発を経て環境性能の進化を遂げてきた(3)(4)。

2015年にはより厳しい欧州排出ガス規制Euro6bに対応させ、欧州市場に向けた新型ボクサーディーゼルを発表した。

＊1 エンジン設計部
＊2 パワーユニット評価実験部
＊3 パワーユニット研究実験第2部
＊4 パワーユニット研究実験第3部

2. エンジン開発コンセプト

2.1 エンジン諸元

新型ボクサーディーゼルは現行型から排出ガス性能、振動・騒音性能、燃費性能、車輌動力性能の改善を目的に開発を行った。新型ボクサーディーゼルの外観をFig. 1に示し、主要な採用アイテムをTable 1に示す。

排出ガス低減のアプローチとしてはNO_X排出量低減を狙った燃焼温度低減のため、低圧縮比及び、低圧EGRシステム（以下、LP-EGRシステム）を採用した。

圧縮比は従来モデルの16.0から15.2まで下げ、筒内の目標燃焼温度を実現するための必要EGR量を確保出来るよう、LP-EGRシステムを新規に採用している。また、EGRガスを多量に導入しても目標とする燃焼に必要なO_2量を確保するために過給圧の最適化を図った。

これらの採用により、後処理システムについては酸化触媒とDPFにて欧州の排出ガス規制Euro6bに対応し、高価なNO_X後処置システムを不要とした。

Fig. 1　EE20 SUBARU boxer diesel engine

Table 1　Engine specifications

	新型	従来型
型式・種類	EE20 水平対向４気筒ターボ	EE20 水平対向４気筒ターボ
排出ガス規制	Euro6b	Euro5
燃料消費率 (CO_2 g/km) (IW：1700 kg)	145	155
内径×行程 (mm)	86.0 × 86.0	86.0 × 86.0
総排気量 (cc)	1998.2	1998.2
圧縮比	15.2	16.0
最高出力 (kW/rpm) 最大トルク (N・m/rpm)	110/3600 350/1600-2800	110/3600 350/1600-2400
バルブシステム	DOHC 16valve チェーンドライブ	DOHC 16valve チェーン・リダクションギヤドライブ
燃料供給装置	第４世代 コモンレール	第３世代 コモンレール
最大燃圧 (MPa)	200	180
グロー	セラミックグロー （コントローラ有）	セラミックグロー （コントローラ無し）
EGR システム	LP-EGR HP-EGR	HP-EGR

出力性能は従来型ボクサーディーゼルの最高出力を確保しつつ、低速トルクの改善、最大トルク発生回転数のレンジを拡大することで、より伸びのある、実用域での走行性能を改善した(Fig. 2)。

2.2　仕様概要

2.2.1　ピストン変更

ピストン冠部の容積を拡大(Fig. 3)し、圧縮比を16.0から15.2へ下げることで、燃焼温度を下げて、NO_X削減を実現した。

また、冠面形状変更による軽量化及びピストンスカートのコーティング変更による摺動抵抗低減により燃費性能向上を図った。

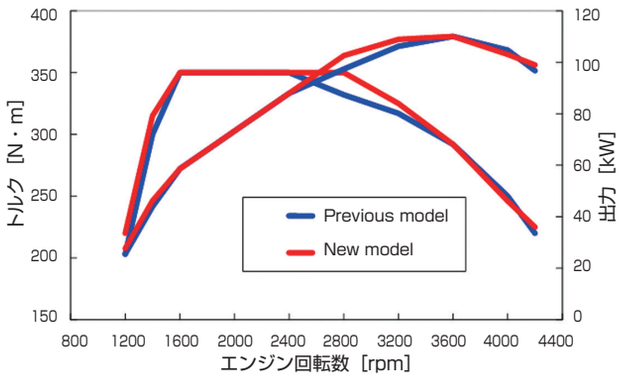


Fig. 2　Engine torque curve

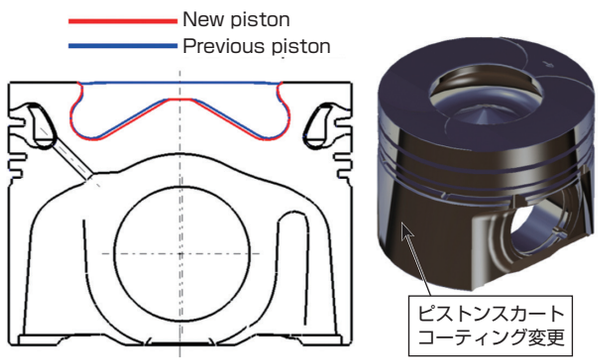


Fig. 3　EE20 Boxer diesel piston

2.2.2　燃料システム

新世代(第4世代)燃料システムの採用(Fig. 4)により、噴射圧を従来機種の180 MPaから200 MPaへ、より高く設定できるようになった。さらに燃料噴霧の微粒化を実施することで、ディーゼル燃焼をより緻密にコントロールできるようになり、排出ガス抑制、燃費の向上に寄与した。

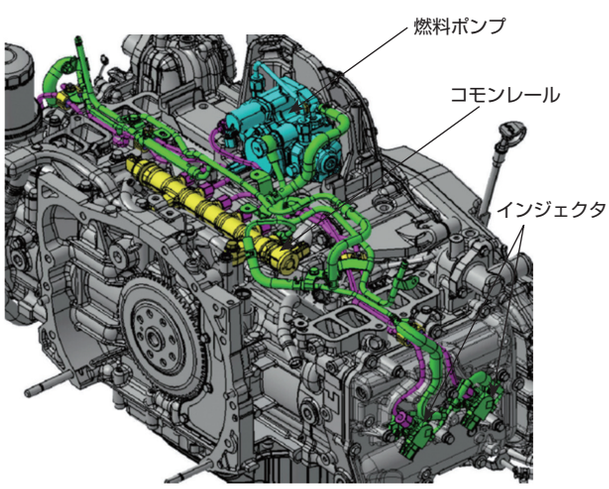


Fig. 4　Fuel system

2.2.3　インジェクタ変更

新世代インジェクタを採用し、燃料の高圧力化に対応させた。噴霧の応答性向上に伴い、精緻な噴射コン

トロールが可能となった。従来に対し燃料リーク量が減少することで燃料ポンプ負荷が低減し、燃費改善を達成した。

2.2.4 EGRシステム

(1) LP-EGRシステム

従来のEGR回路に加えて、LP-EGR用回路を追加した(Fig. 5)。従来型よりもEGR率を高めることができ、燃焼温度を下げることで、NO_Xの低減を可能にした。

LP-EGR用としてEGRバルブ、EGRクーラ、排気圧力調整用のバルブを新設した(Fig. 6)。これにより運転条件に応じて、目標EGR率へ制御することを可能とした。

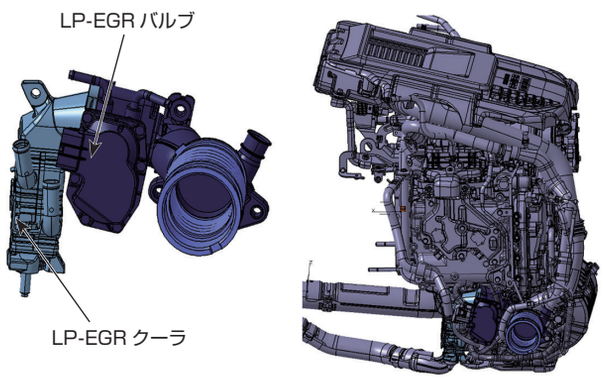


Fig. 5 Low-pressure EGR system

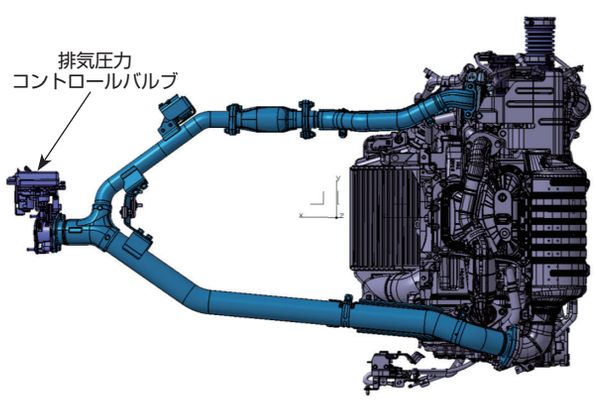


Fig. 6 Exhaust control valve

(2) HP-EGRシステム

従来機種と同じくシリンダーヘッドのポート部からEGRガスを取り出しインテークマニホールドへと戻す高圧(High-Pressure)EGRシステム(Fig. 7)についてはLP-EGR採用に合わせて最適化した。

LP-EGRとHP-EGRを併用することで運転条件、吸入空気量に応じたEGR量を制御している。

2.2.5 ターボチャージャ変更

ターボチャージャはエンジン右前下部に配置し、触媒前の排気系ボリュームを減らすことで排気ガス浄化性能改善と低重心化を図った。

可変ノズル機構を最適化し、低負荷運転条件、EGR作動条件の様々な運転条件に応じて最適制御する事により、広範囲の運転領域で高効率の過給を実現した。

また、排気効率を上げてポンピングロスを下げたことで、燃費改善と現行以上の出力特性を確保した。

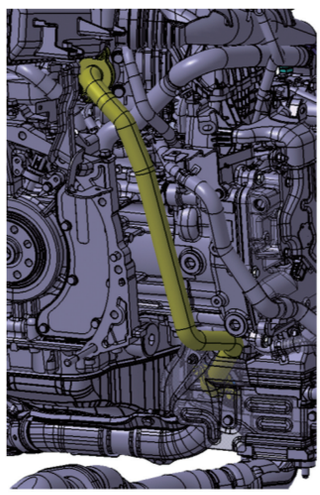


Fig. 7 High-pressure EGR system

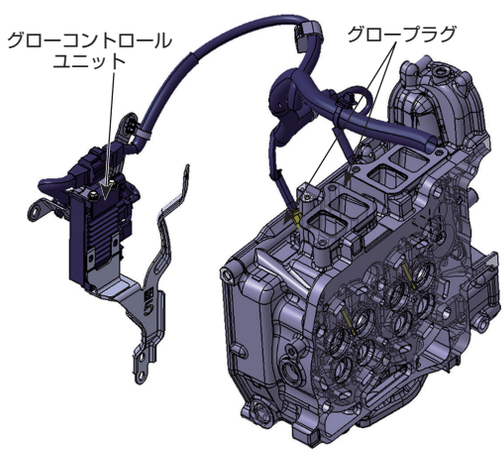


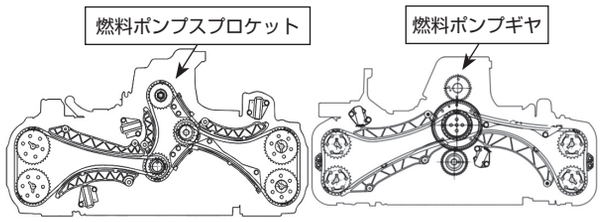
Fig. 8 Glow plugs control system

2.2.6 グローシステム変更

グロープラグを急速昇温対応仕様へ変更し、専用のコントロールユニットを新設し(Fig. 8)、温度制御性の向上も図った。これにより、始動時の予熱温度向上と、アフターグローの長時間化を実施した。始動性向上、および排ガスレベルの向上を実現し冷環境におけるエンジン始動性・燃焼安定性を確保した。

2.2.7 タイミングチェーンレイアウト変更

軽量化のため、燃料ポンプの駆動方式を従来のリダクションギヤ方式から、新たにタイミングチェーン駆動方式を採用した(Fig. 9)。



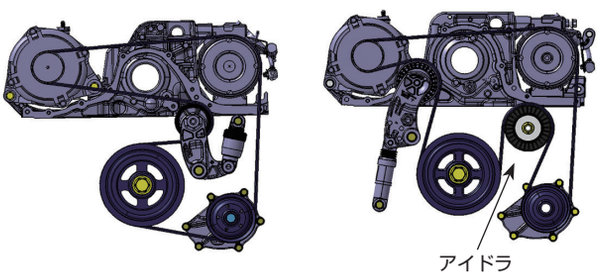
a) New model　　b) Previous model

Fig. 9　Timing chain drive system

噛合い音低減と低フリクションチェーンの採用によるフリクション低減を行い、燃費性能を向上させた。

2.2.8　補機ベルトレイアウト変更

補機ベルトシステムに使用されるアイドラを減らし、ベルトフリクション低減を図り、燃費性能を向上させた(Fig. 10)。



a) New model　　b) Previous model

Fig. 10　Accessory belt drive system

2.2.9　振動・騒音性能向上

ポリウレタン製の吸音材をエンジン上の最適位置に配することで、静粛性向上を行った。エンジンブロック上のレイアウト変更に伴い形状の最適化を図り、インテークマニホールド下、チェーンカバー前に吸音材を追加設定し、吸音性能を向上させた(Fig. 11)。

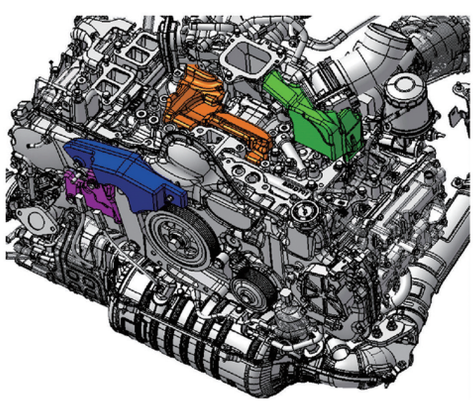


Fig. 11　Insulating material

また、エンジンコレクタカバー形状の変更に伴い、コレクタカバー裏の吸音材の材質変更と容量を増加させ、吸音性能を向上させた(Fig. 12)。

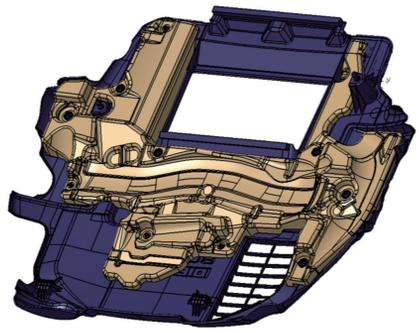


Fig. 12　Insulating material of the engine cover

3.　排ガス・燃費

3.1　排気エミッションと燃費改善

排気エミッション改善に向け、低圧縮比化とLP-EGRシステムを活用した高EGR化により、燃焼温度を低下させた。

加えて、高効率ターボチャージャによる高過給により、A/Fの最適化を図ることで相反するNO_Xと煤を低減した。燃費は等容度の向上を狙い、燃料噴射回数及び噴射時期、噴射量を最適化することで熱発生ピークを従来モデルより上死点に近づけ、熱効率を改善させることで排気エミッションと燃費を向上させた(Figs. 13, 14)。

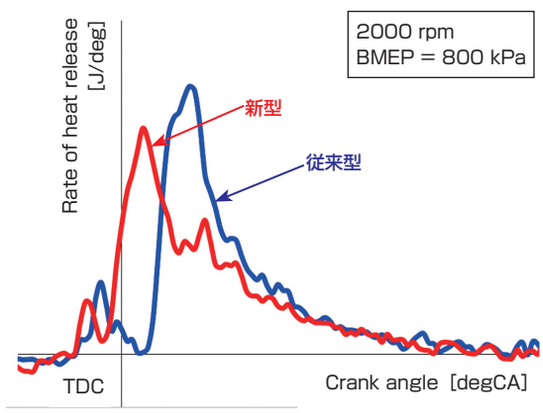


Fig. 13　Rate of heat release

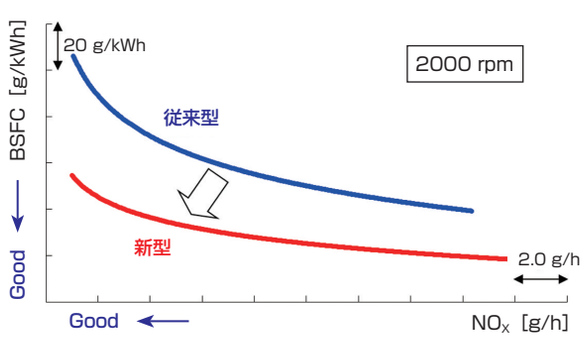


Fig. 14　NO_X and fuel efficiency

3.2　暖機途上の排気エミッション改善

低圧縮比化に伴う自己着火性悪化によるCO、HCの悪化を改善するため、新型では従来型に対して以下Table 2の項目の改良を実施した。

Table 2　List of emission improved items

項　目	燃焼改善	排気温度上昇
高効率ターボチャージャ	○	−
新世代インジェクタ	○	−
HP-EGR クーラレス	○	−
アフター噴射設定最適化	○	○
スロットルバルブ開度設定最適化	−	○
EGR バルブ開度設定最適化	−	○

上記の改良により、ベースエミッションの改善 及び、排気温度を上昇(Fig. 15)することで、Euro6b規制を満足するNO_x排出と、従来型同等のCO、HC排出の両立を実現した(Fig. 16)。

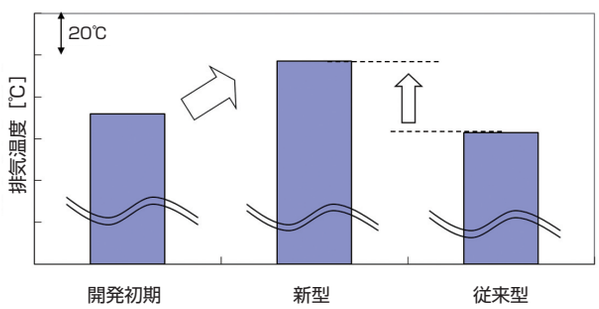


Fig. 15　Exhaust temperature
(Urban Driving Cycle ave.)

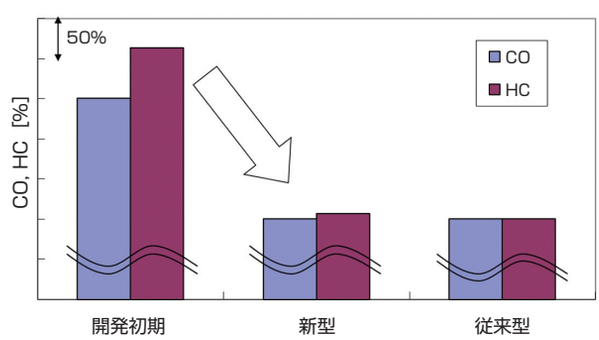


Fig. 16　CO and HC emission (Urban driving cycle)

3.3　排気エミッションと燃焼音の両立

排気エミッションを改善していく中で、低圧縮比化に伴う自己着火性の改善が大きな課題であった。自己着火性を向上させるためには、メイン噴射の火種となるプレ噴射を強める必要があるが、プレ噴射での燃焼圧が急激に立ち上がることで、燃焼音への跳ね返りがでてきてしまう。

課題となる自己着火性の確保と燃焼音の低減を高レベルで両立する手段として、燃料システムの最新化及び、新世代インジェクタを用いて、以前より緻密な噴射パラメータが設定できるようになり、プレ噴射の燃焼圧を抑えながらメインの燃焼に繋げることが可能になった(Fig. 17)。

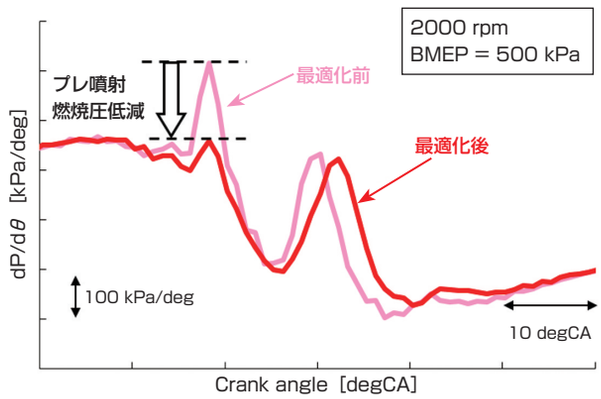


Fig. 17　Rate of pressure rise per crank angle

3.4　低温始動性・アイドル安定性改善

新世代インジェクタ採用による多段噴射コントロールの緻密化と、グロー PWM制御によるグロー温度最適化により、低圧縮比化に伴う自己着火性悪化を改善し、従来型同等の始動性とアイドル安定性を確保した。更に始動時間は、プリグロー急速昇温制御により大幅な短縮を図っている(Figs. 18, 19)。

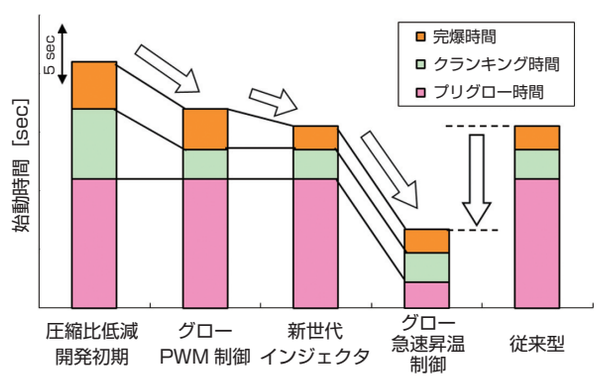


Fig. 18　Engine start time (Coolant temperature: − 25℃)

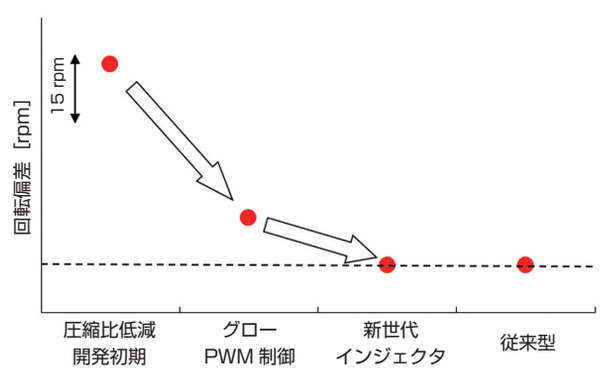


Fig. 19　Fluctuation of engine idle speed
(Coolant temperature: − 25℃)

4.　出力性能・動力性能

ターボチャージャ効率向上及び、可変ノズル機構の改良に伴い、低回転の低速トルクの向上に加えて、過渡過給圧応答性が改善した(Fig. 20)。

その結果、従来型に対して、加速性能が向上した(Fig. 21)。

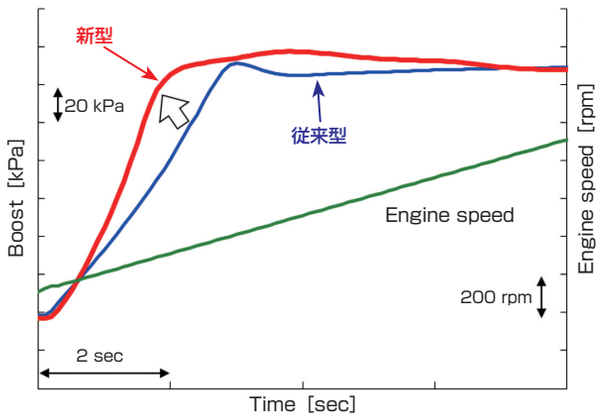


Fig. 20　Response of boost pressure

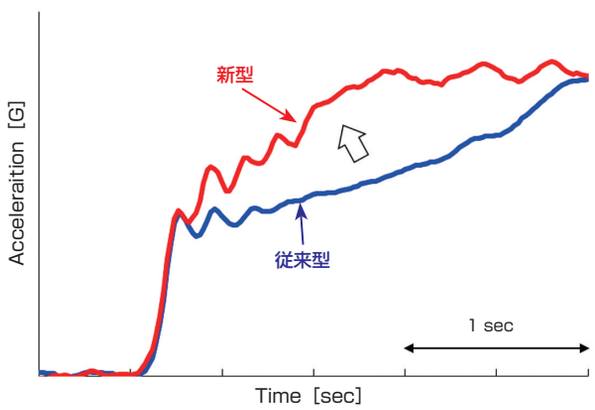


Fig. 21　Acceleration performance (3rd, full load)

5.　フリクション

エンジンフリクション改善には、摩擦損失の低減のため、軽量化および摺動部の荷重・面積・摩擦係数の低減が必要である。

新型ボクサーディーゼルでは、前述したピストン軽量化、ピストンスカートの低フリクションコーティング、補機ベルトアイドラの削減、燃料ポンプ駆動のタイミングチェーン化(←リダクションギヤ)、低フリクションチェーンの採用を行った。これにより発生するフリクションを低減し、従来型に対し約5%改善を実現した(Fig. 22)。

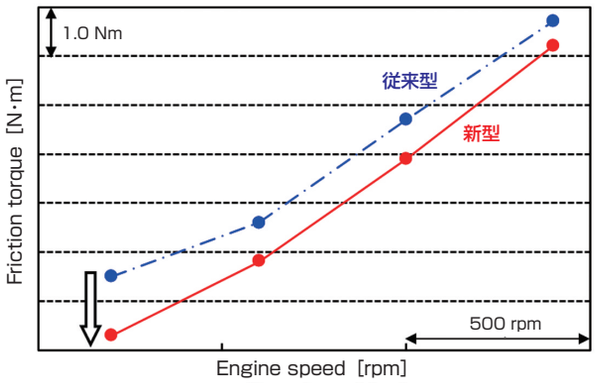


Fig. 22　Friction torque

6.　振動・騒音

6.1　チェーン音

燃料ポンプの駆動方式を従来型のリダクションギヤ方式からタイミングチェーンを採用することで、リダクションギヤの噛み合い音ではなく、燃料ポンプ駆動チェーンの噛み合い音が発生する。

チェーンレイアウトの最適化の他、チェーンガイドの取り付け剛性向上による振動伝達の低減と放射部位(チェーンカバーやロッカーカバー)の放射感度最適化による放射音低減を行い(Figs. 23, 24)、従来型のギヤ音と同等以下の静粛性に抑えた(Fig. 25)。

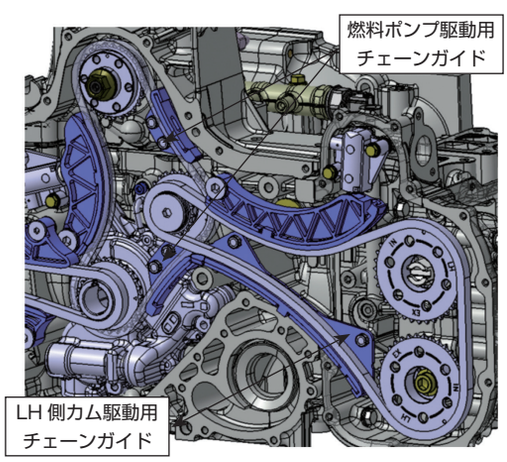
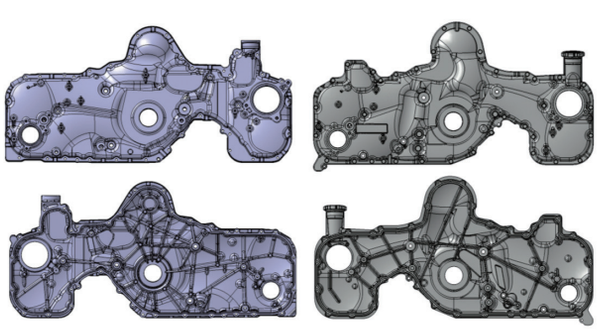


Fig. 23　Timing chain guide



a) New model　　b) Previous model

Fig. 24　Timing chain cover

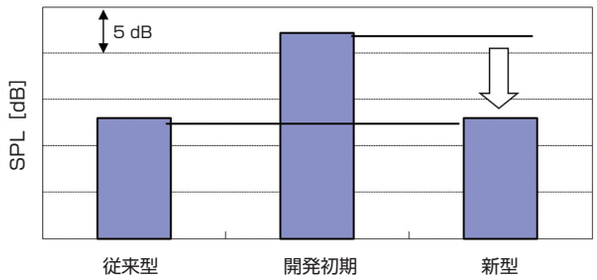


Fig. 25 Meshing noise level of timing chain drive system

6.2 燃焼音

新型ボクサーディーゼルを搭載する車両の振動・騒音性能を向上するため、従来型に対してエンジンと車両の両面から振動・騒音性能向上を行っている。

ディーゼルエンジンの振動・騒音性能向上のためには燃焼音を低減する必要があり、排気エミッションと燃焼音の両立燃焼制御による起振力低減とポリウレタン製の吸音材による燃焼音低減を行った。

吸音材は燃焼音を効果的に吸音できる最適位置を特定することで配置を決めた。吸音材の材質は低減させたい燃焼音の周波数を狙った吸音特性を選定した。また、エンジンカバーへの吸音材追加と材質変更により、吸音性能を向上させた(Fig. 26)。

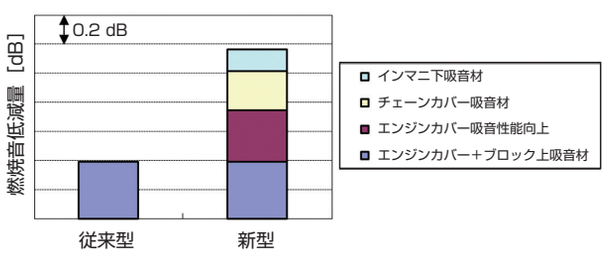


Fig. 26 Combustion noise absorption performance

7. まとめ

新開発ボクサーディーゼルは燃焼温度低減の狙いのもと、低圧縮比化、新EGRシステムにより理想的な燃焼を追及することで、Euro6b排出ガス規制に対応した。

同時に燃費性能、動力性能、振動・騒音性能を高めること世界で唯一のボクサーディーゼルの価値を向上させた。

最後に、本エンジン開発に多大な協力を頂いた社内外の関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

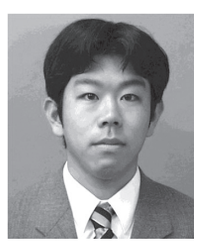
参考文献

(1) Kenji Harima : Subaru Boxer Diesel First Four-Cylinder Horizontally-Opposed Diesel Engine, MTZ 09 2008 Volume 69 p.38-45（2008）
(2) 木島　誉, 柿沼　明良ほか：スバルボクサーディーゼルEuro5排ガス規制対応, スバル技報, No.37
(3) 廣瀬 健次ほか：水平対向ディーゼルエンジンの排出ガス規制対応と燃費技術開発について, 2011年自動車技術会関東支部学術講演
(4) 勝又 暁ほか：水平対向ディーゼルエンジンの燃費向上開発, スバル技報, No.38

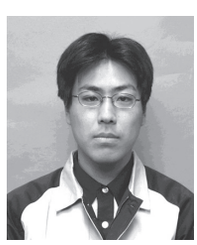
【著　者】

廣瀬　健次

京徳　信夫


佐伯 波都二

加藤　　洋


堀川　健夫

下村　晋介

森口　　優

CFDによるエンジンルーム冷却性能予測

Prediction of Cooling Performance of Engine Compartment by using CFD

宮　本　秀　治*　　古　瀬　健　二*
Shuji MIYAMOTO　　Kenji FURUSE

抄　録

昨今の乗用車の開発では、高負荷の運転への対応から、冷却性能の強化が求められている。しかし、空力性能等の他性能との背反から、冷却風量の増加による対応は困難である。

したがって、実機が存在しない開発初期段階から、限られた風量で冷却性能を満足する方策を検討することが必要であり、CFD（Computational Fluid Dynamics）による机上検討の重要性が増している。しかし、CFDを冷却性能開発の検討ツールとして活用するには、CFDが現象を十分に再現している必要がある。

そのため、熱交換器周辺の構造変更を行った際に生じる冷却性能の変化を、CFDで正しく予測できるか検証を行った。検証の結果、解析結果は実機で生じた性能の変化を捉え、定量的にも実験結果と良い一致を見せた。

Abstract

In the development of recent cars, enhanced cooling performance is required to cope with high-load driving. However, it is difficult to increase cooling air volume because of trade-off with other performances such as aerodynamic performance.

Therefore, study is needed in early development stages without actual equipment, in order to realize required cooling performance with limited air volume. Against this backdrop, the importance of desk study by computational fluid dynamics (CFD) analysis is increasing. To take advantage of CFD as a tool for desk study, the result should represent actual phenomena.

Therefore, we verified whether a change in cooling performance brought by a change in the structure around a heat exchanger can be adequately predicted by CFD.We found that CFD analysis results can capture actual changes in cooling performance, with good quantitative agreement.

1. まえがき

昨今の乗用車の開発においては、冷却性能に対する要求が年々厳しいものになってきている。商品性向上の観点から、長距離にわたって登り勾配が続く道をストレスなく走行できる登坂性能や、大容量の牽引能力など、高負荷な運転への対応が求められている。このような高負荷運転への対応は、パワーユニットの発熱量の増加に直結する。

発熱量の増加に応じた冷却性能を確保するには、エンジンルーム内になるべく多くの冷却風を導き、ラジエータからの放熱を促進することが望ましいが、エンジンルームを通過する冷却風の流量を増加させると、車両全体での空気抵抗が増大し、燃費が低下するという悪影響がある。

したがって、限られた冷却風量で効率的に冷却を行う方策を検討する必要がある。そのためには、開発初期のエンジンルーム内の部品の基本的なレイアウトを決定する段階において、冷却性能上の配慮を織り込むことが重要である。しかし、開発の初期段階では実機が存在しない場合が普通で、実験的な手法によるエンジンルーム内のレイアウト検討や性能評価には限界がある。このような背景から、実機が存在しなくても性能の評価や対策の検討が可能なCFDが、開発初期段階において冷却性能を作り込む上での有力なツールとなる。しかし、CFDを開発初期段階の机上検討ツールとして活用するには、実機現象の再現性が確保できていることが前提となる。

＊ 車両研究実験第3部

このような観点から、冷却解析の再現性の検証を行ったので検証結果と解析手法を紹介する。

2. 冷却試験

今回の冷却解析の再現性検証で比較の対象とした冷却性能の評価試験について以下に述べる。

2.1 試験設備

冷却試験は、Fig. 1に示した高温環境試験室と呼ばれる施設で行った。高温環境試験室では、図中に示すように、ファンによって想定した走行状態に応じた速度の風を発生させることが出来る。また、湿度制御装置、温度制御装置、日射装置を備えており、実際に車が使用される地域、季節、天候等の様々な外部環境を再現した状態で性能の評価を行うことが出来る。さらに、実際の走行時にパワーユニットにかかる負荷を試験室内で再現するために、シャシダイナモメータと呼ばれる、路面の代わりをするローラーを持つ装置が設置されている。試験車両は、タイヤをシャシダイナモメータのローラーの上に乗せパワーユニットの駆動力によりタイヤを介してローラーを回転させる。ローラーを回転させるために要する抗力は任意に調節できるため、登坂や牽引に要する力や、空気抵抗といった実走行時に生じる負荷をパワーユニットに与えることが出来る。

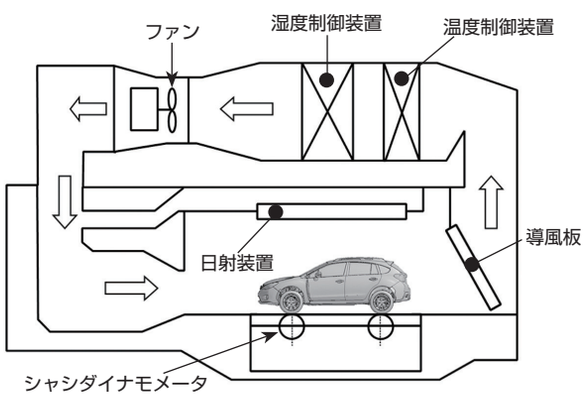


Fig. 1　Thermal wind tunnel

2.2 試験車両

試験に供試した車両は、スバル インプレッサ XVである。Table 1に供試車両のスペックを示す。

Table 1　Test vehicle specifications

エンジン	DOHC
排気量	2L
トランスミッション	CVT

2.3 試験ケース

冷却解析の検証の対象とした試験は、Table 2に示す6つのケースである。各試験ケースは、後述するBRACKET CENTER LOWER（表中BCL）という部品と、可変グリル（表中AGS）という2つの部品の有無及び、ファンの作動状態（ON/OFF）が異なる。なお、いずれのケースにおいても車速は65 km/h、外気温は25℃、エアコンはOFFとした。

Table 2　Test cases

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
BCL	有	有	無	無	無	無
AGS	無	無	有	有	無	無
fan	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF

冷却性能の指標をラジエータの放熱量とし、この値を算出するために、ラジエータの入口と出口における冷却水の温度差と冷却水の流量を計測した。

次に、前記の2部品BRACKET CENTER LOWERと可変グリルについて説明する。

■BRACKET CENTER LOWER（BCL）

フロントグリルやバンパ開口部といった冷却風の取入れ口から、ラジエータ・コンデンサの間には、複数の部品により、冷却風を導くダクト状の流路が形成されている。BRACKET CENTER LOWER（Fig. 2）は、このダクト状の流路の下面を構成する部品であり、フロントバンパフェイスの直後、フロントバンパ開口部下端の高さに位置する。

■可変グリル（AGS：Active Grille Shutter）

可変グリル（Fig. 3）もBRACKET CENTER LOWERと同様、ダクト状の流路を構成する部品であるが、可動式のルーバーを持っており、運転状態に応じてルーバーを開閉し、エンジンルームを通過する冷却風の量を調整する機能を持つ。冒頭に述べたように、エンジンルームを通過する冷却風の流量が増すにつれて、車両全体での空気抵抗が増加する。可変グリルは、エンジンルーム内の熱的な環境に余裕があり、多くの冷却風を要さない場合にルーバーを閉じてエンジンルームを通過する空気の量を絞り、これにより空気抵抗を低減し、燃費を向上させるデバイスである。

3. 数値シミュレーション

3.1 数値計算手法

熱流体解析ソフトFLUENTを用いて定常計算を行った。乱流モデルにはRealizable k-ε を用いた。併せてエネルギー方程式の計算を行うと同時に、熱交換器モデルを用いることで、冷却風と冷却水の間の熱の授受を計算した。

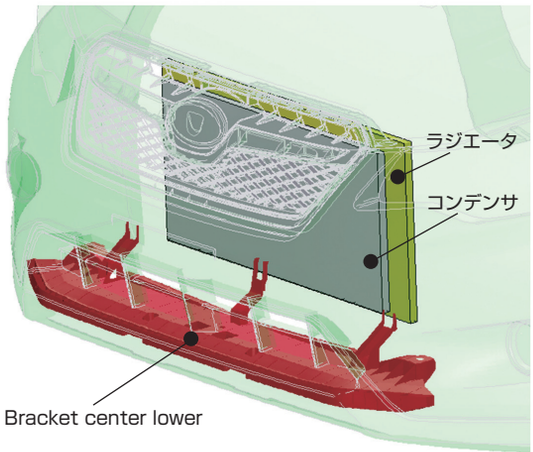


Fig. 2　Brcket center lower

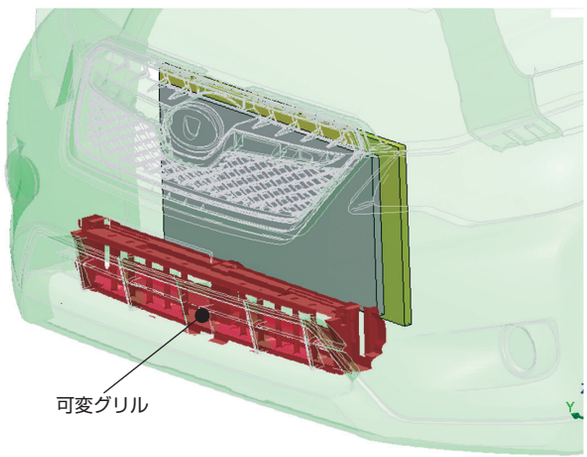


Fig. 3　Active grille shutter

3.2　計算モデル

今回の解析に用いた計算モデルを Fig. 4 に示す。この解析モデルでは、Fig. 5 に示すように、エンジンルーム内のパワーユニットや各種補機類の形状を再現してある。計算格子は主に非構造四面体要素を用いた。メッシュの大きさは約 2 mm ～ 30 mm で、セル数は約 1300 万である。

Fig. 4　Computational model

3.3　モデル化の手法

今回行った冷却解析に特有なモデル化手法として、熱交換器のモデル化とファンのモデル化について以下に述べる。

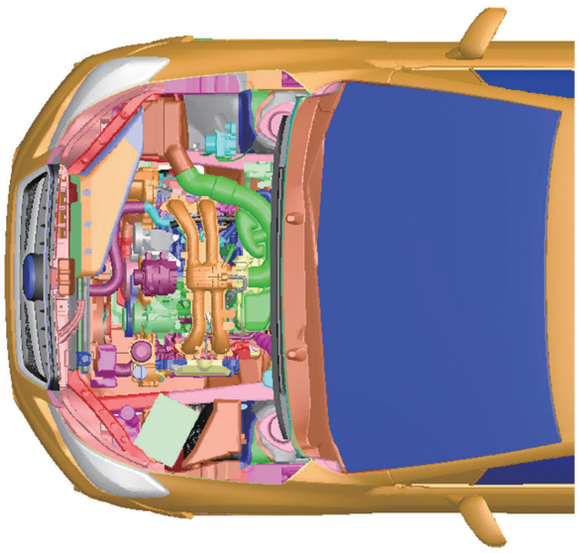


Fig. 5　Parts in engine compartment

3.3.1　熱交換器のモデル化

ラジエータ・コンデンサといった熱交換器では、冷却風と冷却水の間の熱交換により放熱を行う。熱交換器の放熱特性は、冷却風と冷却水に特定の温度差を与えた熱交換器単品のベンチ試験から、Fig. 6 に例示したような放熱特性線図で製品スペックとして示される。図中の 6 本の線は、冷却水の流量(Qw) の違いに対応しており、それぞれの冷却水流量について、冷却風の風速と放熱量の関係が示されている。

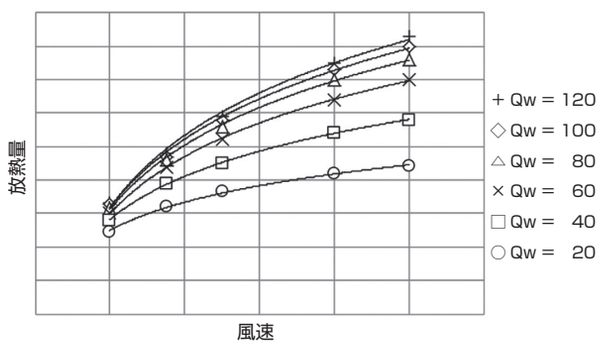


Fig. 6　Example of heat rejection curve

熱交換器のメッシュは、幅方向・高さ方向にわたってメッシュサイズが均一なプリズム要素を用いた。この熱交換器のメッシュに対し、FLUENT の熱交換器モデルを定義し上記のような特性線図で表される放熱特性を設定した。

また、冷却水の流量と熱交換器入口での温度は、実

験で得た値を境界条件として与えた。

FLUENTは、上記の放熱特性線図のデータと、流れ場の計算で得られた冷却風の熱容量流量と、冷却水の熱容量流量から伝熱単位数(Ntu)を算出する。これらの値から、式(1)に基づいて温度効率εを求め、冷却風と冷却水の間で交換される熱量が計算される[1]。

$$\varepsilon = 1 - \exp\left[-\frac{1}{C_r} N_{tu}^{0.22} \left(1 - e^{-C_r N_{tu}^{0.78}} \right) \right] \quad (1)$$

ここでC_rは冷却風と冷却水の熱容量流量の比である。

また、冷却風は熱交換器を通過する際に、その風速に応じた圧力損失を生じる。計算モデルでは、熱交換器単体のベンチ試験で得られた冷却風の風速と圧力損失の関係を基に、熱交換器の圧力損失特性を設定した。具体的には、冷却風の風速U、空気の動粘性係数ν、熱交換器の水力直径D_hから式(2)で定義される、熱交換器のレイノルズ数Re_{hx}の関数として圧力損失が変化するモデル化を行った[1]。

$$\mathrm{Re}_{hx} = \frac{UD_h}{\nu} \quad (2)$$

3.3.2　ファンのモデル化

ファンについては、ファンが作動しているケースと、停止しているケースで異なるモデル化を行った。

ファンが作動しているケースでは、Fig. 7に示した円盤状のファン境界としてモデル化した。

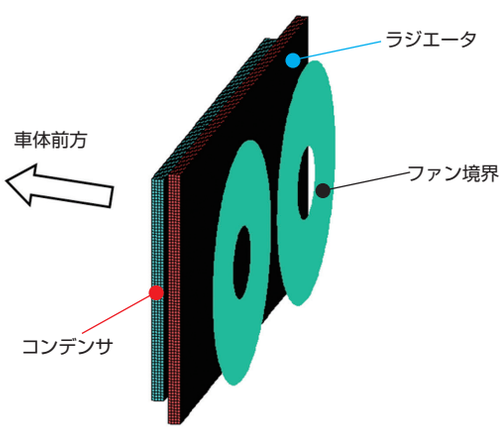


Fig. 7　Radiator, condenser and fan

ファンが作動している場合、ファンを通過する流れはファンの作用により圧力を増すが、その増加量はファンを通過する流れの速度によって変化する。この風速と圧力増加の関係を実験的に取得した線図を基に、圧力増加を通過風速の関数として多項式近似し、その近似式をファン境界に設定した。

また、ファンを通過する冷却風はファンの回転により旋回流を生じる。この旋回流も実験的に計測した値に基づいて設定を行った。ファンの半径方向の数点で、旋回流の半径方向速度・接線方向速度を取得し、ファン境界にプロファイルとして与えた。

ファンの回転による圧力上昇や旋回流の発生を解析で再現する手法としては、ファンのブレード形状をメッシュで再現し、そのブレードの周辺の円筒形状の領域を回転するファンに固定した座標系で記述した運動方程式を用いて計算する、MRF法と呼ばれる手法もある。しかし、熱交換器とシュラウドで囲まれた狭い空間を対象とする場合には、現象の再現性に課題があることから、今回はファン境界によるモデル化を行った。

ファンが作動していないケースを解析するモデルでは、ファンブレードの形状をメッシュで再現し、固定した壁面として計算した。

4.　解析結果

4.1　解析結果の検証

上記の手法により、Table 2に示した6ケースの実験に対応する解析を行った。以下に、解析結果と実験結果を比較し検証を行う。

実験で計測したラジエータ冷却水の入口－出口間の温度差と冷却水の流量・比熱からラジエータ実機の放熱量を算出し、解析結果と比較したものをFig. 8に示す。

ラジエータ放熱量は、BRACKET CENTER LOWER及び可変グリルの有無という部品構成の違いと、ファンの作動状況の違いにより変動を生じている。解析結果は実験で生じた放熱量の変動の傾向を捉えており、定量的にも実験結果と良い一致を見せた。この結果から、冷却解析が机上検討のツールとして要求される再現性を確保していることが示された。

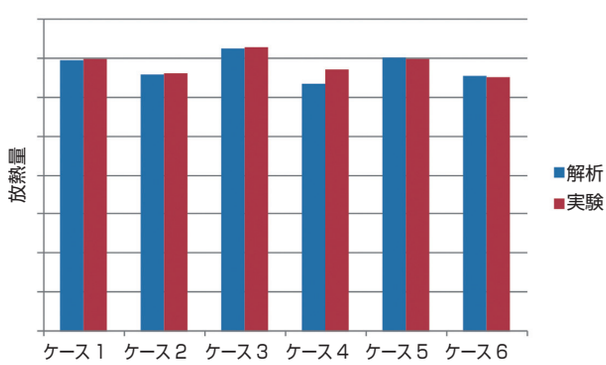


Fig. 8　Comparison of radiator heat rejection

4.2　流れ場の分析

前述の6ケースにおいて、放熱量の変動が生じた理由を探るために流れ場の分析を行う。Fig. 9 ～ Fig. 14にエンジンルームの断面における速度コンターと速度ベクトルを重ねて表示したものを示す。断面は、右側の冷却ファンの回転中心位置で取ったものである。速度コンターは赤が流速の速い部位を、青が流速の遅い部位を示す。

Fig. 9およびFig. 10は、BRACKET CENTER LOWERがあるケース1およびケース2の流れ場で、バンパ開口部から流入してきた冷却風が、上方に向かって吸い上げられている様子が観察される。

Fig. 11およびFig. 12は、BRACKT CENTER LOWERを可変グリルに置き換えたケース3およびケース4の流れ場である。この時可変グリルのルーバーは開状態であり、ルーバーの角度は水平に近い。このため、ルーバーが冷却風の流れを水平方向に規制するガイドして作用し、ケース1，2で見られた冷却風の上方への吸い上げが抑制されている。一方、グリルから流入した冷却風の流れが下側に曲げられる作用が現れた。

Fig. 13およびFig. 14はBRACKT CENTER LOWERも可変ダクトも無いケース5およびケース6の流れ場である。冷却風の流路の底面を構成する部品がなくなったため、ラジエータ・コンデンサを通過せず、下側に漏出する流れを生じていることが顕著に見て取れる。

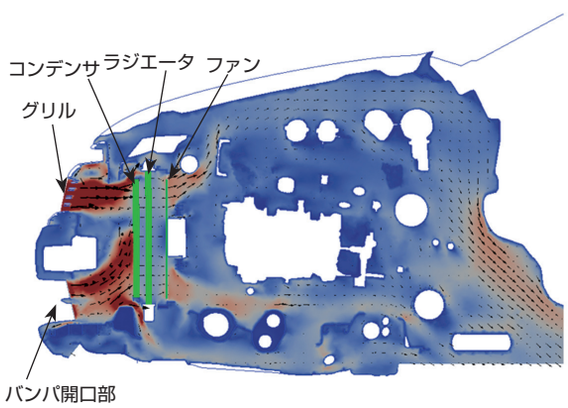


Fig. 9　Airflow inside engine compartment (Case 1)

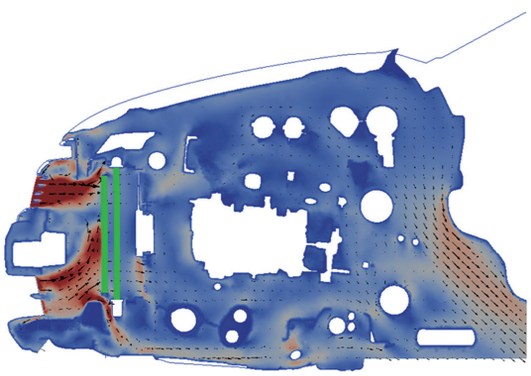


Fig. 10　Airflow inside engine compartment (Case 2)

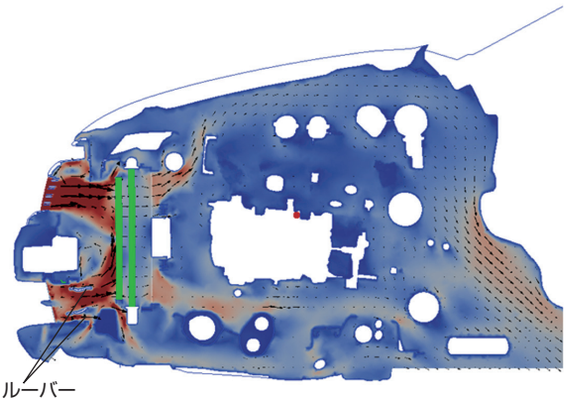


Fig. 11　Airflow inside engine compartment (Case 3)

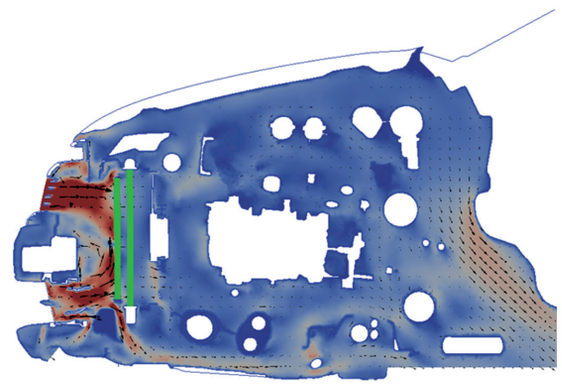


Fig. 12　Airflow inside engine compartment (Case 4)

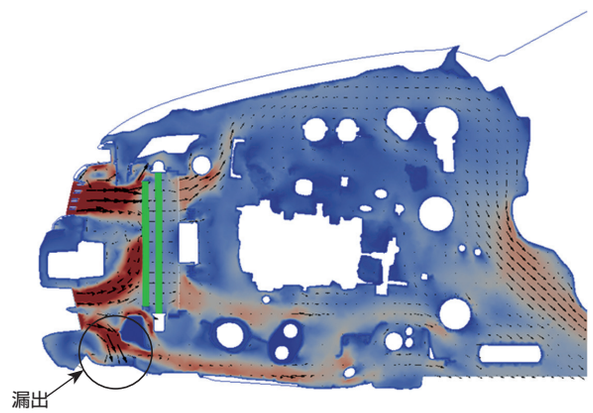


Fig. 13　Airflow inside engine compartment (Case 5)

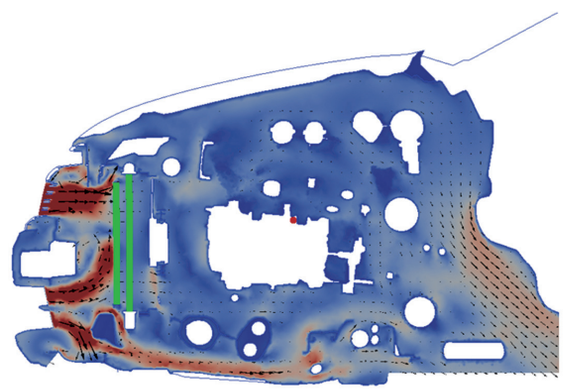


Fig. 14　Airflow inside engine compartment (Case 6)

Fig. 15に、Table 2に示した6ケースの計算結果について、グリル開口部とバンパ開口部(Fig. 16)からエンジンルームに流入してきた空気の質量流量を示す。棒グラフの赤い部分がグリル開口部から流入してきた空気の質量流量で、青い部分がバンパ開口部から流入してきた空気の質量流量である。

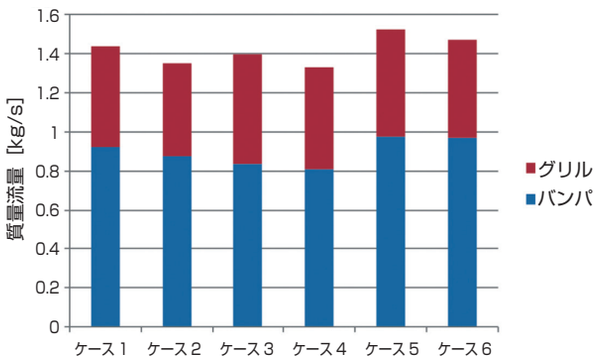


Fig. 15　Mass flow rate through grille and bumper opening

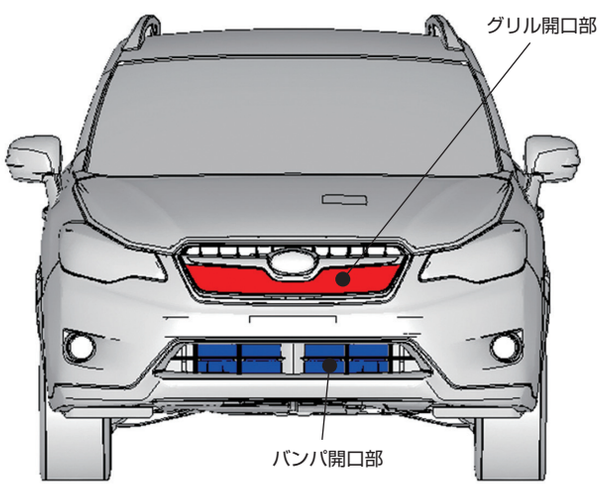


Fig. 16　Grille and bumper opening

ファンが作動しているケース1、3、5では、ファンが作動していないケース2、4、6に対して空気の流入量が増加していることが見て取れる。

可変グリルのあるケース3、4では、先に述べたようにルーバーが流れを水平方向に規制する作用により、BRACKT CENTER LOWERのあるケース1、2に比べ、バンパ開口部からの流量が減少しているが、それを補うようにグリル開口部からの流入量が増加している。この結果、バンパ開口部とグリル開口部の合計の流入量ではほぼケース1、2と同程度となり、Fig. 8の放熱量も同等のレベルを確保している。

可変グリルもBRACKT CENTER LOWERもないケース5、6では、バンパ開口部の流量が増加し、バンパ開口部・グリル開口部の合計流量もケース1～4に対して増加しているが、放熱量はケース1～4と同程度である。

これは、バンパ開口部から流入してきた流れが、ラジエータを通過せず下側に漏出したためであり、ダクト状の流路を形成することで漏出が抑えられ、少ない空気流量で効果的な冷却が行われることを示している。

以上のように、エンジンルーム内の流れ場や流量といった、実験では取得が困難な情報を得られるという利点を活用することで、CFDは単なる性能予測ツールにとどまらず、実験で得られた数値の背後にある現象に対する理解を深め、より本質的な性能開発の方策を見出すための手段ともなる。

5.　まとめ

エンジンルーム内の冷却解析を行い、実機試験の結果と比較することで、再現性の検証を行った。

熱交換器における冷却風と冷却水の間の熱の授受および冷却風の圧力損失特性と、ファンの作用による圧力上昇及び旋回流を再現したモデル化を行った。この結果、部品構成やファンの作動状態の違いに伴う冷却性能の変動を捉えることができ、定量的にも実験結果と良い一致が得られた。

これにより、CFDが開発初期段階での机上検討ツールとして、活用に耐える再現性を確保していることが示された。

参考文献

(1) ANSYS Inc., ANSYS FLUENT Theory Guide (2012)

【著　者】

宮本　秀治

古瀬　健二

円筒形状・複合材料エネルギー吸収部材の開発と研究Ⅱ

Development and Study of The Round Shaped Composite Energy Absorber

加　藤　　航[*1]
Wataru KATO

池　田　　聡[*3]
Satoshi IKEDA

長　澤　　勇[*2]
Isamu NAGASAWA

沼　内　秀　基[*2]
Hideki NUMAUCHI

塩　崎　竜　二[*1]
Ryuji SHIOZAKI

抄　録

これまでに我々は複合材料の持つ「軽量かつ高エネルギー吸収」という特性に着目し、クラッシュボックスが、静的条件下で十分なエネルギー吸収量を発現することを見出した。今回は、新たに落錘試験による動的圧潰特性を計測し、積層数増加により、静的試験と同等のエネルギー吸収量を確保できることが分かった。また、CAEによる予測技術の確立にも取り組み、動的条件での発現荷重の再現性向上を図ったので併せて報告する。

Abstract

We have spotlighted the “lightness and high energy absorption property” of composite materials and found that the crush box made of these materials absorbs a sufficient energy under static condition. Yet, this time, we conducted a dynamic test and ensured the absorbed energy equivalent to that of static test by increasing the number of laminates. Moreover, we tried to improve the accuracy of dynamic simulation by CAE. Overall, this paper reports these results.

1.　まえがき

複合材料は軽量かつ軸圧壊時に高エネルギー吸収を有するという特性を有している。この特性を利用し、車体構造に応用することで、車両の軽量化、衝突安全性能の向上が期待できる。

前報[(1)]で我々は、クラッシュボックス(Fig. 1)を適用モデルケースとして選定し、静的圧壊時のFS特性の発現とそれに伴う材料パラメータの設計、CAEの再現結果について報告し、複合材料は優れたエネルギー吸収特性を示すことを見出した。

以上の成果を踏まえ、本報告ではより実車衝突に近い、動的な状態での特性把握を試みた結果を報告する。また、前報[(1)]のCAE検証結果をベースに、今回測定した動的FS特性の再現をCAEにより試みたので、こちらも併せて報告する。

＊1 スバル技術研究所
＊2 車両研究実験第2部
＊3 CAE部

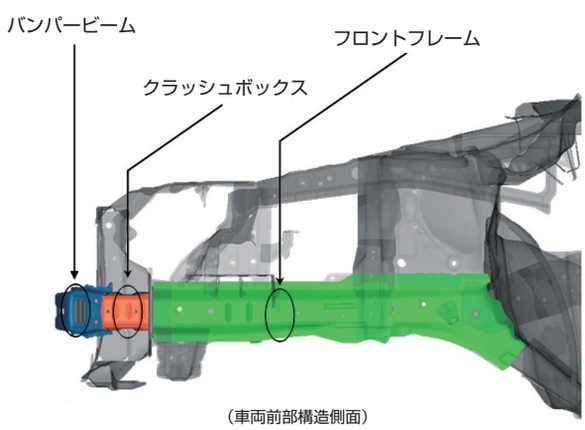


Fig. 1　クラッシュボックス

2.　試験条件の検討

2.1　クラッシュボックスに用いた材料

本検討では、熱硬化性樹脂と炭素繊維からなる組物を用いた複合材料を選択した。本材料は組紐(Braiding fiber)と縦紐(Middle-end-fiber)によって構成される複合材料である(Fig. 2)。

特徴として、組紐のなす角度θ_Bを可変に設計することができる点が挙げられる。つまり、材料の物性の

コントロールが可能になり、組角度を発現荷重の設計パラメータとできる。本試験では、組角度が30°、60°の物を試作し、その組角度に対する動的条件下での荷重応答性を検討・検証する事とした。

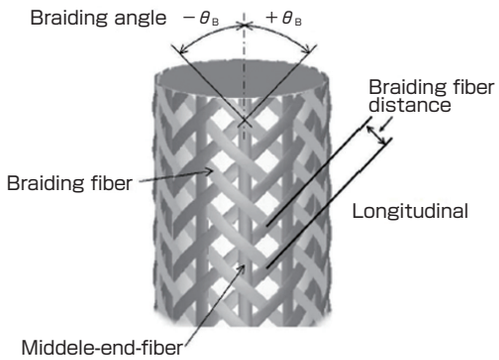


Fig. 2　Braided composite [2]

2.2　試験体水準

形状は円筒形状とし、先端部には逐次圧壊を誘発するためのテーパを設けた。

Table 1に試作したクラッシュボックスのパラメータを示す。過去の試験結果（静的）から、組角度と積層数仕様（板厚）を、代用特性であるFS特性をコントロールするパラメータとした。本報告では、静的試験時において同等の安定荷重を発現する試験体を動的試験用として選択し（No.1および2）、組角度を変化させた場合の静動比を検証した。また、さらに発現荷重の増加を狙い、No.1と同じ60°組角度で積層数を増加させた試験体（No.3）の検証も実施した。

Table 1　Test piece parameters

試験体 No.	組角度	積層数（板厚）
No.1	60°	少
No.2	30°	多
No.3	60°	中

2.3　試験条件

動的条件下での圧壊時の発現荷重の検証は、落錘試験により実施した。落錘試験は、落錘重量と落下高さを変化させ、任意のエネルギー量と速度を試験条件とすることができ、単品代用特性の検証に適した試験方法である。試験条件は、落錘重量を固定し、落下高さを変化させ落錘速度をパラメータとした。試験体を圧潰させるための十分なエネルギー量を確保するため、落錘速度は25 − 55 km/hの範囲とした。

3.　動的圧壊

3.1　25 km/h での動的試験結果

No.1試験体（60°組角度）の落錘試験結果をFig. 3に示す。連続的な細かい圧潰現象が発現し、荷重はあるストローク以降でほぼ一定の荷重を示した。これは静的試験と同様の結果であった。一方静的条件と比較し、大きく以下の2点が異なっていた。

①安定破壊領域（荷重が安定し破壊が進行する領域）における荷重が低下

②圧壊初期のスパイクピーク（A部）が発現しない

①に関しては、一般的に複合材料に含まれる炭素繊維の速度依存性がほぼ無いと言われている。他方で樹脂に関してはひずみ速度依存性が存在するため、今回の結果は樹脂の影響によるものと考えられる。

②に関しては、試験環境差によるもの（動的条件では落錘に傾きがあり、衝突時試験体に片当たりするため、スパイクピークが消失した）と考えられる。

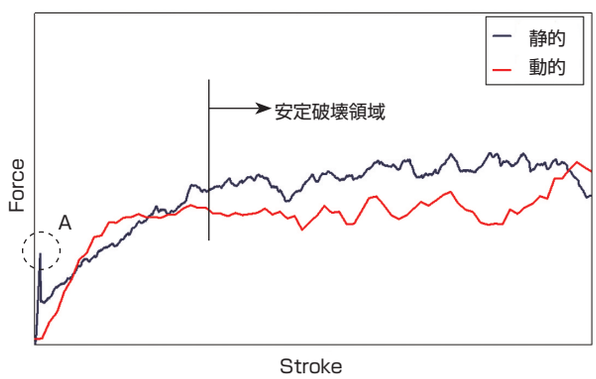


Fig. 3　Test result of No.1

試験後の試験体画像をFig. 4に示す。左側が動的試験後、右側が静的試験後の試験体である。両者には、円筒の内側、外側に向かって繊維が開いていく破断様式に大きな差は見当たらない。しかし、詳細を比較すると、静的試験後の方がより繊維が細かく破断している。安定荷重が発現する領域での荷重発現要因の一つとして、繊維の破壊荷重が挙げられており[3]、繊維の破断形態の違いが荷重差の要因と推測される。

この破断形態の差については、材料の破壊靭性の差が一つの要因として考えられる。靭性には複合材中の樹脂の影響が大きいと知られているが、その検証は今後の検討課題である。

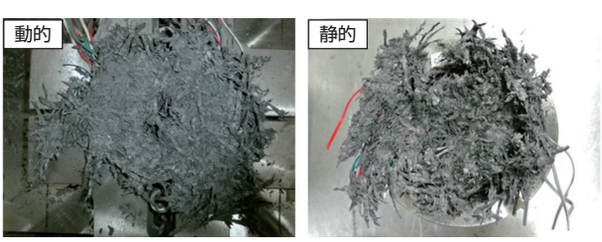


Fig. 4　Crushed test piece

No.2試験体(30°組角度)の落錘試験結果をFig. 5に示す。No.1と同様に静的条件に比べ荷重が低下する傾向が見られた。組角度によらず、動的条件では荷重が減少する傾向があることがわかった。

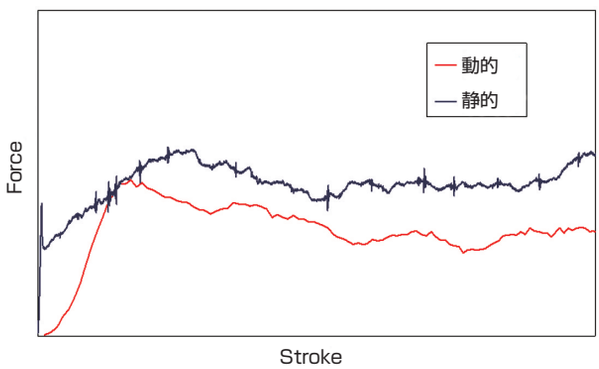


Fig. 5 Test result of No.2

動的条件における荷重低下の対策として、No.1の試験体と同じ組角度60°で、積層数を増やしたNo.3試験体の試験結果をFig. 6に示す。積層構成のチューニングにより発現荷重が増加し、静的特性とほぼ同等の荷重をもたせることができた。

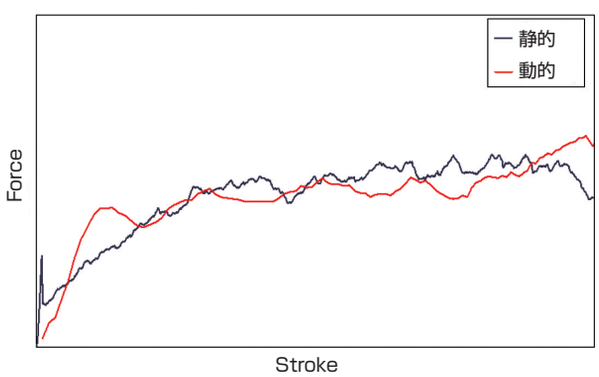


Fig. 6 Test result of No.3

3.2 動的条件での速度依存性

3.1項の試験結果から、今回の材料系では、動的条件下では、静的条件下に対して20～30%程度荷重が低下することがわかった。速度増加に伴い荷重が大きく低下すると、実車適用に向かない材料といえる。そこで、No.1試験体を用いて、25－55 km/hの間での速度依存性を検証した。

Fig. 7に安定破壊領域(荷重が安定し破壊が進行する領域)の平均荷重と落錘速度の関係を示す。今回の試験速度域では安定荷重にはほぼ差がなく、実車に適用可能な材料であることがわかった。

今回の速度域における速度依存性試験により、実車適用に必要なデータが取得できることがわかった。

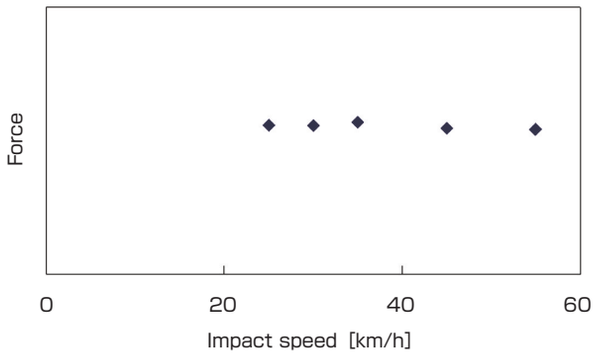


Fig. 7 Comparison of dynamic speed dependency

3.3 CAEによる実機再現

3.3.1 CAEモデル検討

本検討では前報[1]のモデルを元に、動的試験におけるFS特性の再現を目標とした。計算コスト・計算安定性の観点より、複合材料の積層は単層シェルで表現した。テーパは、各部位の板厚を変化させ表現した。落錘は剛体壁とし、初速度を与えて実試験系を模擬した。実際の試験に生じた1～3°程度の落錘の傾きも解析条件に入れ込んだ(Fig. 8)。

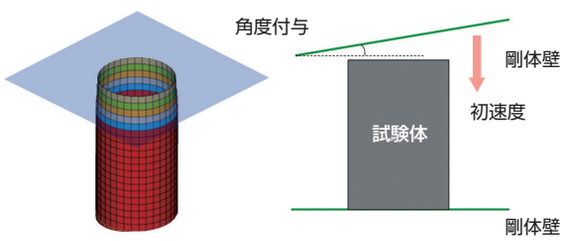


Fig. 8 CAE model

物性値は、円筒形状の試験片に対する静的な材料試験により測定した。また最大強度以降の発現強度はチューニングパラメータとした(Fig. 9)。

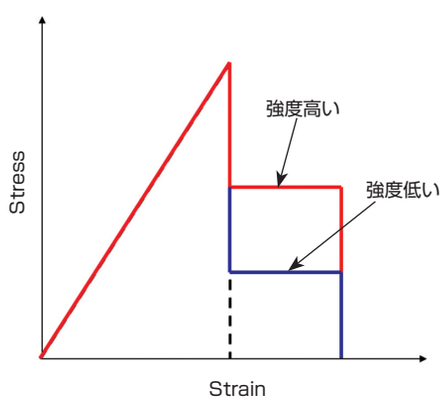


Fig. 9 Expression of exceeded maximum strength

3.3.2　CAE解析結果

No.1（組角度30°）の場合についての解析結果をFig. 10に示す。初期の荷重立ち上がり領域で、スパイクピークの発現が抑えられ、かつ、テーパ部分でのメッシュの切れもないことがわかった。

一方で、安定破壊領域の平均荷重が高めである。これについては材料のひずみ速度依存性を考慮していないことが一つの要因として考えられる。材料試験データの取得方法含めて、今後検討していく。

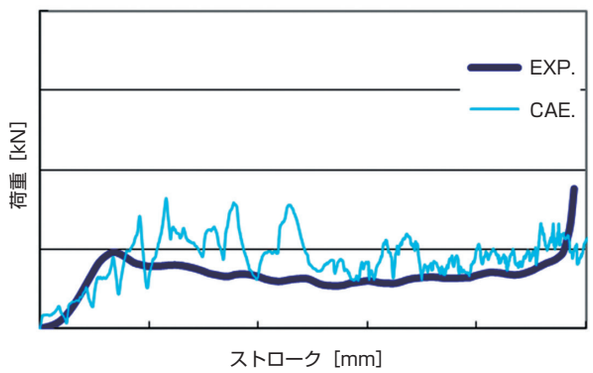


Fig. 10　Analysis result（after improvement）

4.　まとめ

クラッシュボックスをモデルとした、複合材料のエネルギー吸収特性において、今回、より実車衝突に近い動的圧壊特性の把握、及び、CAEによる実機の再現について検証した。その結果、今回の材料系では、
①動的条件下では静的条件下に比べ荷重が減少する。実車への適用には動的条件下の特性を元に設計することが必要である。
②CAE解析検討では単層シェルモデルにより、スパイク荷重を低減させつつ初期の抗力特性は実験結果に合わせ込むことができた。安定荷重の部分についてはさらなる検討を続けていく予定である。

また、今回の試験体はスチール比で80%程度の軽量化となる。実車搭載を考慮すると、単純な円筒形状から、形状変更等を実施していく必要はあるが、軽量化効果の高さを実証することができた。

最後に、富士重工業は航空機メーカとして、古くから複合材料を扱ってきた歴史がある。自動車分野においても複合材料を採用することで、「安心と愉しさ」に繋げていきたい。

5.　謝辞

本研究の遂行に当たり多大なご助言、ご協力を頂いた、日本大学理工学部青木義男教授に謝意を示します。

参考文献

(1) 池田，加藤，長沢，向中野，塩崎：複合材料を用いたエネルギー吸収部材の研究，スバル技報，No.41（2014），p.114-119
(2) Y.Kakita et *al.*：FABRICATION ANDFLEXURAL PROPERTIES OF BRAIDED CFRP RECTANGULAR TUBE, 13th JAPAN INTERNATIONAL SAMPE SYMPOSIUM AND EXHIBITION
(3) 中谷，三石，濱田：FRP円筒のエネルギ吸収特性―エネルギ吸収メカニズムの概念―，自動車研究，第20巻（1998），p.38-43

【著　者】

加藤　　航

池田　　聡

長澤　　勇

沼内　秀基

塩崎　竜二

車両のヨー応答時間短縮に寄与するフロントサスペンションの要因解明

Front Suspension Analysis to Shorten Vehicle Yaw Response Time

藤田 裕幹[*1] Hiromi FUJITA
内川 浩一[*1] Koichi UCHIKAWA
直井 利之[*2] Toshiyuki NAOI
桑原 悟[*2] Satoru KUWAHARA
塚崎 裕一郎[*2*3] Yuichiro TSUKASAKI
日向 俊行[*3] Toshiyuki HYUUGA

抄 録

本稿では、フロントサスペンションに着目して、ヨー応答時間短縮に寄与する要因解明について述べる。実走行状態を模擬するため、フラットベルト試験機にフロントサスペンションを取り付けて、片輪のサスペンション動きと力を詳細に計測した。フリクションを含むサスペンションの力の釣り合いがヨー応答時間と関係していることを明らかにした。これをシミュレーションに反映し、ヨー応答時間に寄与するサスペンションや車両諸元の机上検討が可能となった。

Abstract

We have clarified a front suspension factor which shortens vehicle yaw response time. Front suspension assemblies were set on a flat belt tire testing rig to simulate real driving conditions. As a result, a main factor to shorten yaw rate response time was found to be suspension force equilibrium including friction. We can now design suspension or vehicle specifications which shorten vehicle yaw response time by CAE analysis.

1. まえがき

「安心と愉しさ」をお客様に提供するために、スムーススさや気持ちよさといった数値で表しにくい感性領域の性能が重要となる。その一つとして、障害物を安全に回避することや、操舵に対し気持よく動いてくれるための性能がある。これらの数値化しにくい性能を評価するために、我々はFig. 1に示すようなハンドルを切ってからヨー角速度が発生するまでの時間を代用特性として評価している。これをヨー応答時間と呼ぶ。

ヨー応答時間を短縮するためには、まずハンドルを切った時に遅れなくタイヤを転舵させることが重要である。しかし、操舵をしてからタイヤが転舵するまでのサスペンションの挙動、さらに内外輪で発生したタイヤ力がいかにボディに伝搬されるかが不明である。今までは過去の知見と実走行試験によって性能開発を行っており、開発の後戻りが多く、時間を要した。短期間に性能目標を達成するためには、現象を解明して机上検討に落としこむ必要がある。

本稿では、操舵開始から実舵角がつくまでのフロントサスペンションで生じる現象を解明し、ヨー応答時間短縮に必要な要素を明らかにする。

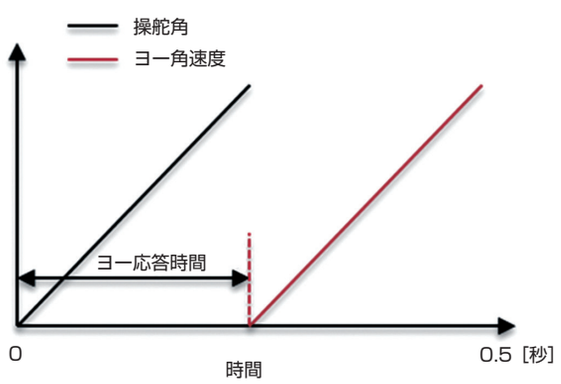


Fig. 1 Definition of yaw response time

2. 片輪サスペンションの台上試験

2.1 試験機器

実舵角がつくまでの現象を解明するには、サスペンションの挙動や力を捉えるセンサを設置し、高い計測

＊1 CAE部
＊2 車両研究実験第1部
＊3 技術開発部

精度とサンプリング周波数で計測する必要がある。

実走行試験では、路面外乱による計測精度の不足や、走行するがゆえに大がかりな計測装置を取り付けられない課題があった。また、ターンテーブルを用いた台上試験では、タイヤ横力が発生しないため、実現象と異なるという課題があった。

これらの課題を解決するために、Fig. 2に示すとおり、フラットベルト試験機に片輪のサスペンションを組み合わせた台上試験装置を構築した。この装置では転動状態でのタイヤ6分力を再現でき、外乱の影響がなく、内外輪各々の現象を見ることができる。

この試験装置を用いて、サスペンション諸元を変更した際のサスペンション構成部品の3次元変位、サスペンション反力を計測した。

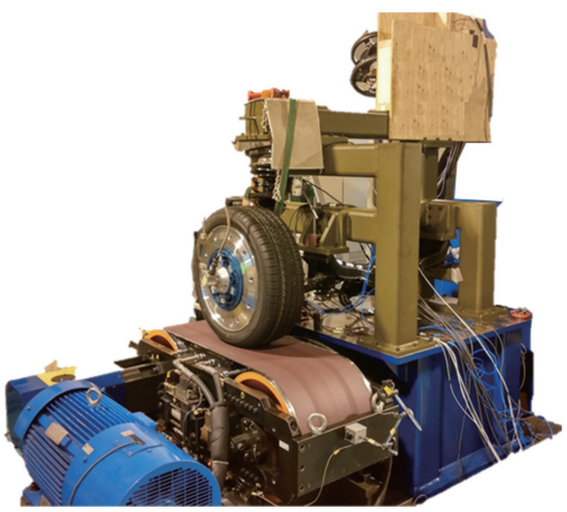


Fig. 2　Suspension test bench

2.2　試験仕様

実走行試験において、フロントの輪重とブッシュ硬さにより実舵角の発生タイミングが変わったことから、サスペンションの内力変化がヨー応答時間に関係していると考えた。ブッシュの硬さによりサスペンションの内力が変化することはシミュレーションで確認できた。そこで、台上試験では、接地荷重とサスペンションブッシュの硬さ（Table 1, Fig. 3）をパラメータとした。

Table 1　Test specifications

	ブッシュ硬さ		接地荷重
	フロント	リヤ	
仕様０	基準	基準	基準
仕様１			小
仕様２	硬	柔	基準
仕様３	柔	硬	基準

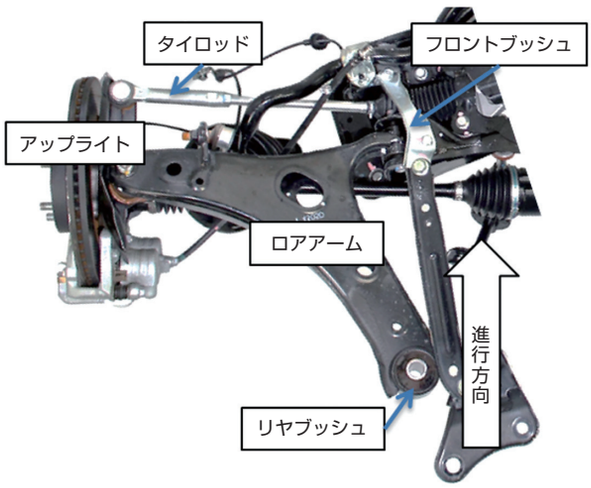


Fig. 3　Suspension setup (bottom view, right wheel)

3.　試験結果

3.1　サスペンション反力測定結果

操舵入力はステアリングマシンを用いて同一のランプ操舵とした。 Fig. 4に仕様0の内輪側と外輪側（右輪試験のため、右切りを内輪側、左切りを外輪側としている）におけるサスペンションブッシュ反力とタイロッド反力の時刻歴の変化を示す。内輪反力の立ち上がりが外輪よりも遅くなっている。他の仕様でも同様の傾向を示しているため、内輪側の遅れに着目する。

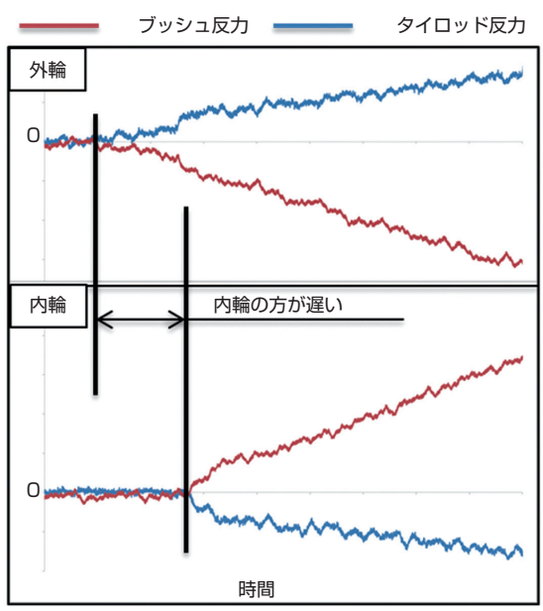


Fig. 4　Time history of each reaction force

3.2　接地荷重違いの結果

Fig. 5に接地荷重違いでのタイロッド反力の時刻歴変化を示す。接地荷重の小さい仕様1の方が、内輪の反力の立ち上がりが早くなっている。

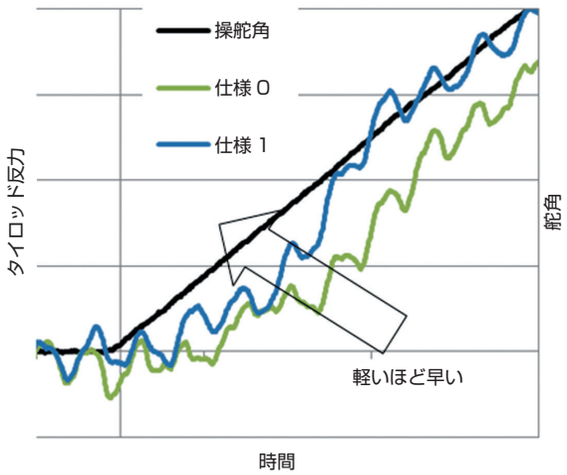


Fig. 5　Variation of tie rod reaction force with ground load differences (on inner wheel side)

3.3　ブッシュ違いの結果

Fig. 6にブッシュ違いでの内輪実舵角の時刻歴変化を示す。仕様0は他の2仕様に対して実舵角の立ち上がりが遅くなっている。また、ロアアームに対しアップライトが回転し始めるタイミングはそれぞれ異なっている。

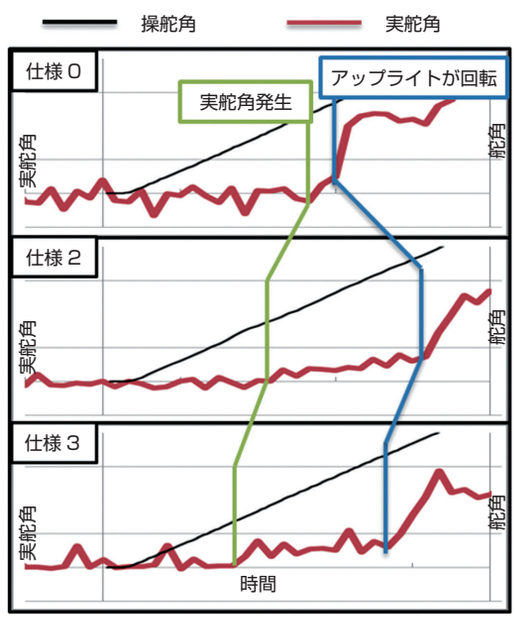


Fig. 6　Variation of actual steering angle with bush specification differences (on inner wheel side)

Fig. 7にロアアーム平面上のアップライトの瞬間的な回転中心の移動軌跡を示す。仕様0ではこの回転中心が操舵入力に伴い後方に移動する。仕様2では、操舵すると回転中心が車両の内側に移動する。一方、仕様3では回転中心の位置が後方から前方へ移動する。ロアアームに対してアップライトが回転するとき、回転中心はロアアームボールジョイント上に移動する。

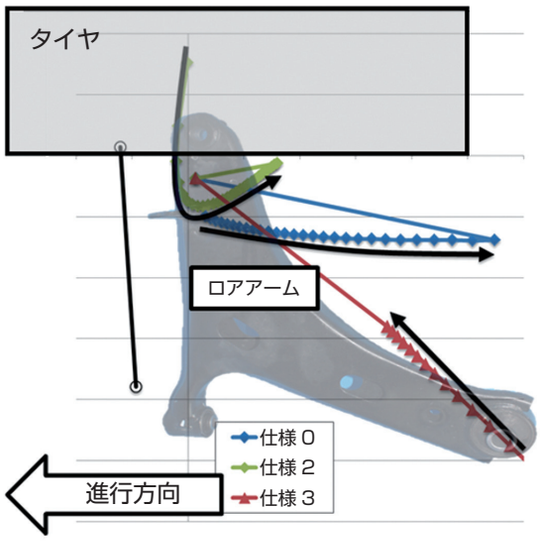


Fig. 7　Moving locus of rotation center (top view, right wheel)

4.　ヨー応答時間の現象解明

4.1　内外輪の動き出しの違い

3.1のような結果になるのは、内外輪を結合するステアリング系が剛体でないためである[(1)]。外輪が先に動いても、内輪が動き出さないと車の動きを妨げることになる。したがって、ヨー応答時間を短縮するためには内輪側での実舵角の動き出しが重要だと考えられる。

4.2　ロアアームブッシュ内力の釣り合い変化

アップライトをロアアームに対して回転させるためには、操舵力がロアアームボールジョイントのフリクションを上回る必要がある。Fig. 8に前後ブッシュの変位によって決まるアップライト回転中心の軌跡を示す。

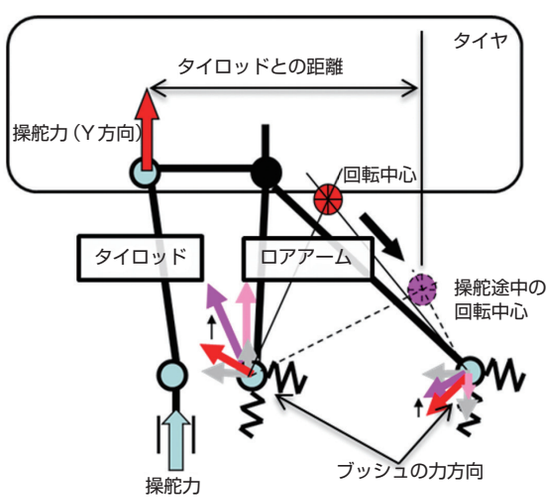


Fig. 8　Rotation center with bush displacement

ロアアームボールジョイントのフリクションによって、アップライトがロアアームと一体となって回転する。この時のロアアームの回転中心の位置は前後ロアアームブッシュの硬さによって定まる。仕様2、3の実舵角発生が仕様0より早くなったのは、前後のロアアームブッシュの硬さを変えたことにより、ロアアームごとアップライトが回転することで実舵角が発生したからである。

また、ロアアームに対してアップライトが回転し始めるタイミングにはタイロッドから回転中心までの距離が関係している。この距離が離れているほど動き出しが早くなっている。仕様2、3でのアップライトの動き出しが仕様0より遅くなったのは、回転中心の位置が仕様0よりもタイロッドに近づいたためである。Fig. 7よりタイロッドと回転中心の距離は仕様0、仕様3、仕様2の順に大きくなっており、Fig. 6に示すアップライト動き出し順も仕様0、仕様3、仕様2の順である。

以上よりヨー応答時間において、フリクションを含むサスペンションの力の釣り合いが重要な要素になっていることを解明できた。

5.　シミュレーション

本稿で明らかになった要素を加味したモデルを作成して片輪台上試験とフルビークルのシミュレーションを行った。シミュレーションにはMSC社のADAMS[(2)]を用いた。

Fig. 9に台上試験と同じ片輪サスペンションのシミュレーション結果の例を示す。操舵を行ったときに内輪よりも外輪が早く動いており、このモデルを使うことで内外輪の遅れの差を再現できている。

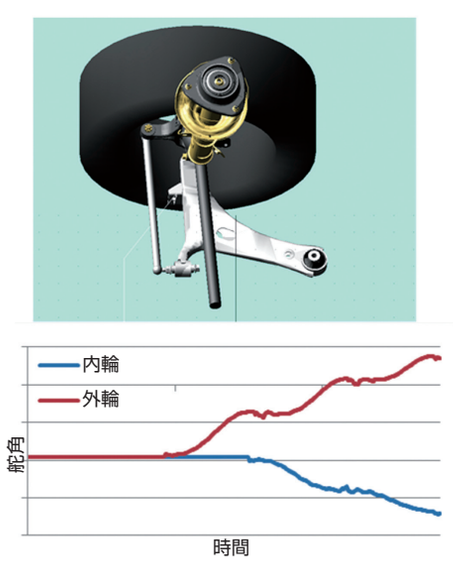


Fig. 9　Simulation (bench test)

Fig. 10にフルビークルモデルで前軸重を変化させてシミュレーションした結果を示す。従来のモデルでは、前軸重を変化させてもヨー角速度の立ち上がりは変化しなかったが、今回の知見を加味したモデルを使うことでヨー角速度の遅れを再現できるようになった。

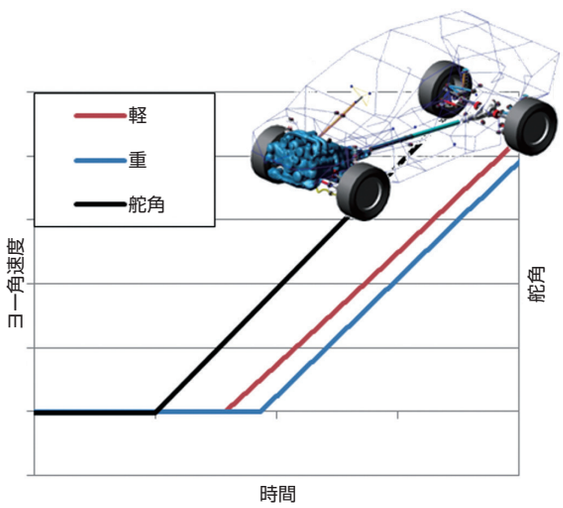


Fig. 10　Simulation (full vehicle)

6.　まとめ

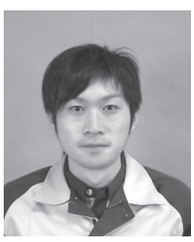
フラットベルト試験機を使ったサスペンション試験により、ヨー応答時間短縮に寄与している要素は、ブッシュ、フリクション、さらには接地荷重であることが分かった。これらの要素をシミュレーションに加えることで、ヨー応答時間を事前検討する事が可能になった。

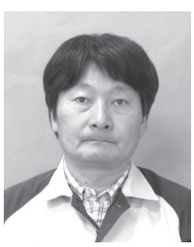
今後もお客様に「安心と愉しさ」を提供していくために、スバルの走りの性能向上に日々精進していきたい。

参考文献

(1) Thomas D. Gillespie：Fundamentals of Vehicle Dynamics, SAE, p.292 (1992)
(2) MSC Software プロダクト ADAMS
http://www.mscsoftware.com/ja/product/adams
(2015-04-24)

【著　者】


藤田　裕幹


内川　浩一

直井　利之

桑原　　悟

塚崎 裕一郎

日向　俊行

成長期（昭和60年代）のスバル紹介

Outback（1995年）

全長×全幅×全高：4720×1715×1580 mm
ホイールベース：2630 mm
エンジン：水平対向4気筒 DOHC 2457 cc
最高出力：155hp/5600 rpm
最大トルク：21.4 kg−m/2800 rpm

国内でワゴンがヒットしたレガシィだが、アメリカではいまひとつ真価を発揮できないでいた。そこでマーケティングをやり直し、AWDの特徴がより発揮できるよう、レガシィをベースに車高を上げ、大径タイヤを装着したOutbackを投入した。エンジンは新たに2.5リッターを開発して搭載。乗用車の快適性とSUV走破性の両方を備えた“Best of Both”のクルマとして、アメリカにおけるクロスオーバー・マーケットの魁となった。

操縦安定性分野における質感向上のための計測技術事例

Introduction of Measurement Technologies for Improving Feeling Quality of Handling Performance

日　向　俊　行[*1]　Toshiyuki HYUGA
塚　崎　裕一郎[*1*2]　Yuichiro TSUKASAKI
齊　藤　正　容[*1]　Masahiro SAITOU

抄　録

お客様が普段乗って感じられている操縦安定性の更なる向上のため、定常域や限界域における性能数値を追うだけでなく、過渡域における操縦安定性の評価指標を定め、改善に取り組んでいる。例えば、ステアリングホイールを緩やかに切り始めた直後の車両挙動の発生タイミングやその発生量、またステアリングホイールを通して感じ取る舵力といった部分にフォーカスして評価、改善を図ってきた。このような過渡域における現象の定量化は、従来の計測技術だけでは困難であったため、最新計測技術の導入や、新規センサの考案によって、計測・定量化を可能にした。

Abstract

For further progress of the handring performance which customers feel in their everyday drives, attempts have been made by developing means of assessing vehicle motion characteristics. However, since those characteristics are difficult to measure only by the traditional methods, the latest measurement technologies and new sensors became necessary. This paper explains these most recent technologies and sensors which have new structures.

1.　はじめに

我々は、お客様が普段乗って良いと感じられる運動性能を実現するためには、定常域や限界域における運動性能構築だけでなく、過渡域における運動性能の構築が不可欠と考えている。そこで、まずはお客様が日常的に体験する走行パターンを基に評価条件を定めるところからスタートした。その結果、例えば緩やかにステアリングを操舵した際の過渡的な車両応答といった、過渡現象を精度よく捉えることが必要との見解に至った。このような過渡域における操縦安定性能の向上により、お客様の感性に訴えられる質感が獲得できると考えている。

過渡現象を精度よく捉えるには、分解能が高く、高いサンプリング周波数でのデータ計測が可能な計測技術がまず不可欠である。さらに、過渡現象のメカニズム解明や最適設計をする上では、車体やシャシー部品に入力される力についても精度よく捉えることが必要である。

本稿では、こうした過渡域における操縦安定性能を定量化するための計測事例の一端を紹介する。

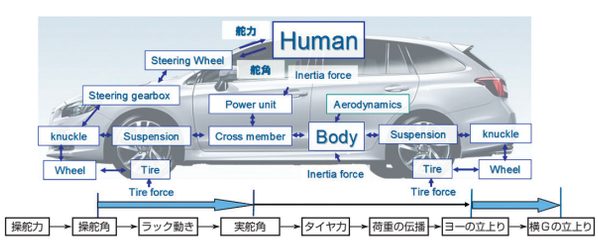


Fig. 1　Force transference from steering input to vehicle response

2.　各計測技術適用例

始めに、ドライバーによるステアリング操舵入力を起点として、車両が応答するまでの各部の伝達(Fig. 1)を明らかにするため、サスペンションブッシュへの入力や、車体各部の歪計測を行った。その結果、過渡的な車両応答性の向上のためには、特に①ステアリング操舵入力から前輪実舵角がつくまでの時間と、②ヨー

＊1 技術開発部
＊2 車両研究実験第1部

が発生し、横加速度が発生するまでの時間を正しく把握することが重要であるとわかった。以下実際の計測事例について示す。

2.1　円筒型分力センサ

まず、走行時の車体、サスペンション部品に入力される荷重の大きさ、向きを明らかにするための1つの手段について概略を記す。

サスペンションブッシュへの入力荷重の計測手段として歪ゲージ貼付による方法も挙げられるが、並進力の出力にモーメント成分の干渉が生じてしまうなどの課題があり、その対策として自社考案した円筒型分力センサを搭載した[1](Fig. 2)。以下フロントサスペンションロアアームブッシュへの適用事例を示す。

なお円筒型分力センサの原理、開発の詳細については「円筒形分力ロードセルの開発」スバル技報No.41(2014)を参照されたい。

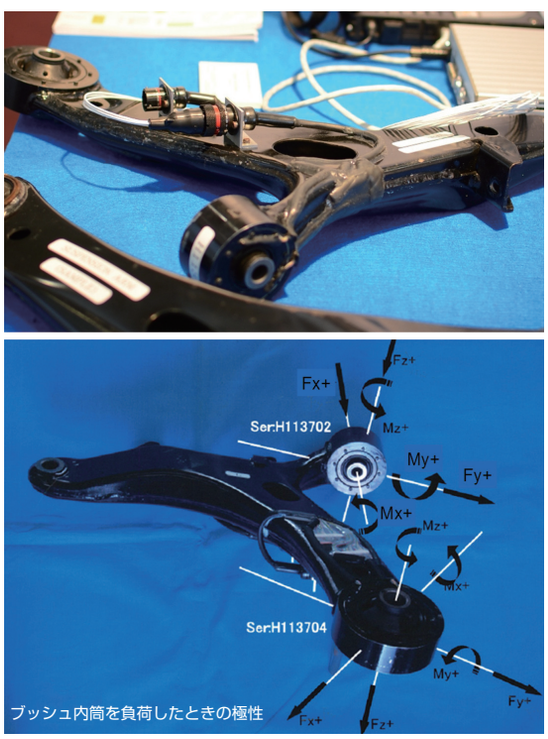


Fig. 2　Cylinder type component force sensor installed in front lower arm bushings

計測結果をFig. 3に示す。操舵入力後、フロントブッシュに搭載した円筒型分力センサのMy、及びリヤブッシュに搭載した円筒型分力センサのMyとMx(各円筒型分力センサの座標軸はFig. 2参照)が振動していることが分かる。これはピッチング運動に伴う振動と考えられるが、円筒型分力センサによって並進力だけでなくモーメント成分も計測できることで正しい現象把握が可能となった。その結果として入力方向や大きさを考慮した車体、シャシーの剛性設計が実現できる。

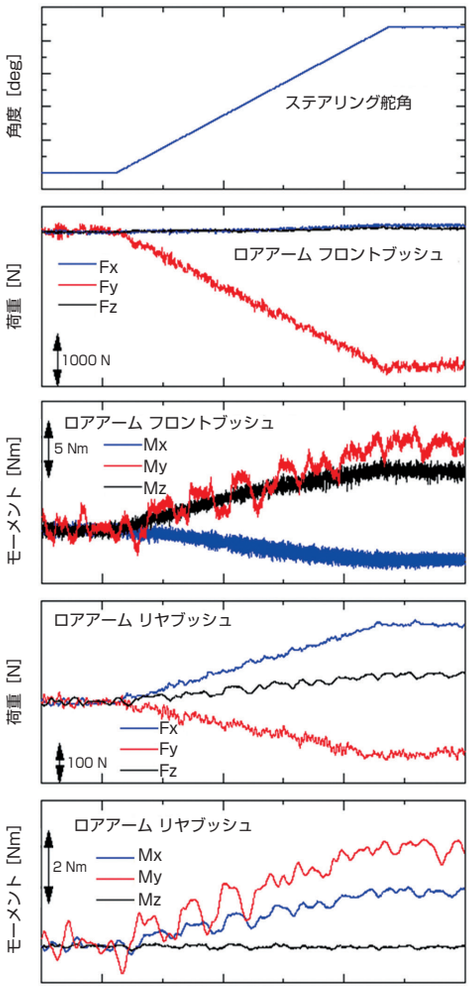


Fig. 3　Outputs of component force sensor installed in front lower arm bushings

2.2　光学式非接触動的アライメント計測装置

次に、実走行時のホイール6自由度(x、y、z並進運動及び各軸周りの回転運動)動きを動的に計測するシステム(Fig. 4)の適用事例を紹介する。車両応答性向上のためには、ステアリング操舵入力から前輪実舵角がつくまでの時間が重要な性能指標の一つであり、この性能指標計測に本計測システムを適用している。

Fig. 4　Installation of optical 3D dynamic alignment measurement system

Fig. 5（a）、（b）は、操舵入力時における車両違いでの前輪実舵角変化を示したものである。（a）、（b）を比較すると、実舵角の立ち上がりまでの時間、立ち上がりの滑らかさに差異が見られる。従来の接触式動的アライメント計測装置では計測分解能上実舵角の立ち上がりまでの時間や立ち上がりの滑らかさの評価が難しかったが、本計測システムによって可能となった。

ヨー角速度や横加速度などといった車両応答の差異だけでなく、実舵角の立ち上がりの差異を定量的に押えられることで、対策すべき箇所の絞込みがより円滑に進められる。

実際、実舵角の立ち上がりを精度良く計測し、車両応答性の違いを示せたことで、フロントサスペンションロアアームのボールジョイントのフリクション要求特性の変更等による車両応答性の改善が進んだ。

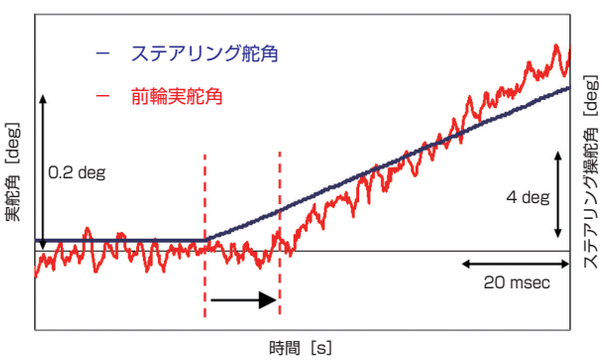


Fig. 5（a）　Transitional front toe change of vehicle A

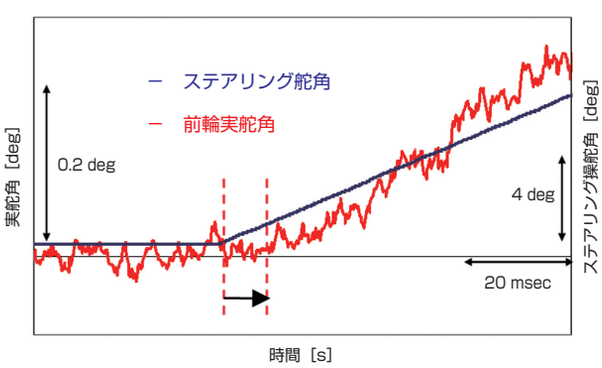


Fig. 5（b）　Transitional front toe change of vehicle B

2.3　光学式３次元変形測定装置

次に、ヨーレートが発生してから横加速度が発生するまでに要する時間の改善事例を紹介する。ここでは、光学式3次元変形測定装置を使った計測内容を示す。本計測装置は、Fig. 6に示すように、ステレオカメラによって3次元変位や歪を計測するシステムである。

Fig. 6　Optical 3D deformation measurement system

2.3.1　ボルト締結部近傍の被締結材に生じる歪計測への適用例

サスペンション部品の締結ボルト・ナットの形状変更や、締め直し（二度締め）、締結トルク増加などによって、経験的に操縦安定性が良くなる等の知見はあったが、メカニズムの解明が十分とは言えなかったため定量評価を試みた。

具体的には、実車での操縦安定性フィーリング評価で差異のあった、リヤサスペンションラテラルリンクとダンパの締結ボルト（Fig. 7）のフランジ形状変更による改善効果を見える化する1つの手段として、ボルト違いでの締結部近傍の歪計測を行った。

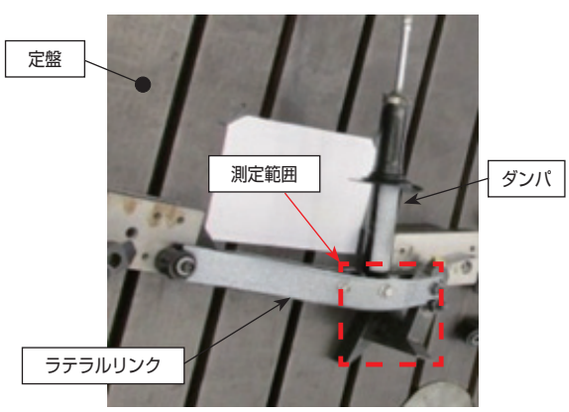


Fig. 7　Strain measurement area

Fig. 8には従来形状ボルト（上）と新規形状ボルト（下）によって締結した際に、ラテラルリンクの締結部近傍に生じた歪分布の結果を示す。 本計測結果から、ボルトの形状違いによって被締結材に生じる歪分布に差が見られることが分かった。締結ボルト・ナットのフランジ径と、締結されているダンパロアのブッシュ内筒径の寸法から考えて、Fig. 8下に示したボルトの方がより効率的に軸力を被締結体の拘束に使えていると考えられる。

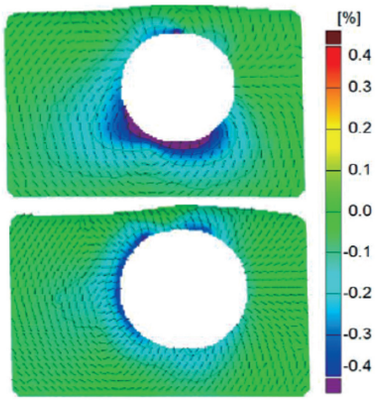


Fig. 8　Strain distribution around fixing bolt

2.3.2　後輪過渡グリップ性能指標への適用例

前段階として、ステアリング操舵入力に対する車体やシャシー部品への入力荷重を計測し[(2)]、ステアリング操舵直後に入力される後輪サスペンションへの荷重方向を明らかにした。その結果をもとに、台上での入力条件を定め、過渡的な旋回外輪側の後輪トー角変化を光学式3次元変形測定装置を用いて計測した[(3)]。

後輪サスペンションの特性により、微小時間ではあるが一旦トーアウト方向へ変化する。その際(a)トーアウト量、及び(b)トーインへ変化するまでの時間（トーインタイミング）が大きいと、その分過渡的な後輪タイヤ等価コーナリングパワーが減少し、タイヤグリップが損なわれている状態にあると言える。そのため、後輪過渡グリップ性能指標として、上述の(a)及び(b)をいかに小さくするかについて改善を図った。

測定結果をFig. 9に示す。後輪過渡グリップ性能指標の改善を狙ってジオメトリ変更した仕様にて狙い通り改善が図られていることが確かめられた。

20～30 msecの短い時間における、0.01 deg程度の微小な角度変化を精度良く計測することによって、過渡後輪グリップ性能の改善が大きく進んだ。実際、Fig. 9に示したジオメトリ改善仕様については、実車官能評価においても操舵初期から後輪のグリップ感の向上の結果を得ている。

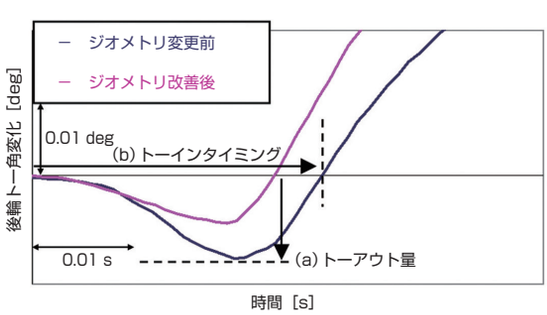


Fig. 9　Results of transitional rear toe change

3.　まとめ

操縦安定性に関する質感向上のために構築した評価指標に適用している計測技術の一例を紹介した。

車体、シャシー部品への荷重入力をまず明らかにし、さらにステアリング操舵入力に対する過渡的な前輪実舵角変化を計測した結果を示した。さらに後輪サスペンションにおいては締結ボルト違いによる被締結材に生じる歪の大きさと歪分布の違い及び、過渡グリップ性能指標に適用している計測手法を紹介した。

今後とも計測技術の進歩を遅れなくキャッチするのはもちろんのこと、計測技術の自社開発による構築も引き続き行っていき、スバルの目指す安心と愉しさの更なる向上に繋げていく。

参考文献

(1) 下山ほか：円筒形分力ロードセルの開発，スバル技報，No.41, p.151-156（2014）
(2) H. Kyogoku *et al.*：How subjective evaluation by drivers is affected by car body stiffening – proposal of a hypothetical mechanism, 5th International Munich Chassis Symposium 2014
(3) 中村大助：レクサスLSのシャシーと運動性能，TOYOTA Technical Review，Vol.55 No.1, Nov.2006

【著　者】

日向　俊行

塚崎 裕一郎

齊藤　正容

第２世代インフォテイメントシステム 及び SUBARU STARLINK® の開発

Development of 2nd Generation Infotainment System and SUBARU STARLINK®

丹 羽 真*1 Makoto NIWA
酒 井 健一郎*2 Kenichiro SAKAI
吉 山 雄 司*2 Yuji YOSHIYAMA
中 村 恭 崇*3 Yasutaka NAKAMURA

抄 録

クルマに搭載されるオーディオ・ナビシステムは、単なる車載エンターテイメント装置から、車内・外の様々な情報を安全に提供する“インフォテイメント”システムへと進化し続けている。

これまでのスマートフォン連携機能を発展させ、車内外の情報を安全に簡単に楽しむことのできる本格的な車載インフォテイメントシステムを新開発した。

また、静的質感や使い勝手にも徹底的に拘った。スマートフォンのような綺麗なインターフェイスを実現するために、スバル初となる曲面静電タッチパネル＋フィルムインモールドによる表面意匠パネルを採用した。

本稿では新型レガシィから投入したこのシステムの思想や狙い、新構造について述べる。

Abstract

In-vehicle audio/navigation system continues its evolution. It was once a mere entertainment device, but now it becomes an infotainment system which provides various in/around-vehicle information safely.

SUBARU has developed a new infotainment system which extends the current smartphone connectivity features. This system also focused on the quality of its texture and usability. We adopted a brand-new face panel that consists of a curved capacitive touch panel and an in-mold film technology which realizes smartphone-like refined interface.

This report describes our design philosophy, aims of this development and the new structures of this system.

1. はじめに

クルマに搭載されるオーディオ・ナビシステムは、時代と共にその機能が変化している。これまでのカーナビゲーションとカーオーディオの役割に加え、①電子化が進む車両制御システムとの連携、②道路などのインフラ、情報センターといった車外情報との連携、③スマートフォンなどのユーザー持ち込みデバイスとの連携 が進み、車内・外の様々な情報を安全に提供するインフォテイメントシステムとして進化し続けている。

特に③に関して、スマートフォンの普及拡大への対応が商品力上必須となっている。スマートフォンの良さは「誰もが簡単に情報に触れることができる」「双方向コミュニケーションが簡単にできる」「シンプルな形と高い外観質感」をもっていることにある。この良さに慣れ親しんだユーザーが、運転中においても、クルマの中で安全かつ快適に楽しめるシステムが「第2世代インフォテイメントシステム スバルスターリンク」である。

2. 開発のねらい

スバルは2012年に第1世代インフォテイメントシステム（Gen1）として、HARMAN社が運営する「Aha® Radio」を搭載したコンパクトナビゲーションシステムを北米市場中心に導入した。「Aha® Radio」は、インターネットラジオ、ポッドキャスト、オーディオブック、SNS（Social Network Service）、LBS（Location based Service：検索先の位置情報をナビと連携）など

＊1 車両研究実験第2部
＊2 電子商品設計部
＊3 電子プラットフォーム設計部

のWebコンテンツを、一貫した操作で安全に提供するクラウド情報サービスである。携帯電話を通信媒介としてこれら多彩なクラウドコンテンツに触れることができ価格も低く抑えたシステムである。

第2世代インフォテイメントシステム(Gen2)では、第1世代の機能はそのままに更に発展させ、「ワールド展開とする」、「人気コンテンツをそろえる」、「お客様との双方向コミュニケーションを可能とする」を基本コンセプトとして「使い勝手」と「外観質感」に徹底的に拘った。

世の中の進化に合わせて機能が充実することは当然の流れであるが、昨今のメディアや調査会社による評価分析において、車載インフォテイメントシステムの使い難さに関する指摘が少なくない。使いたい機能が手に取るように解るシンプルな機能配置、ステアリングリモコンとの連携、スマホライクかつ十分なボタンサイズを確保したGUI(Graphical User Interface)、会話調の連語で操ることのできる音声認識などを、サーバー～車載器～車載入力デバイス(マイク・ステアリングリモコン)で一環して実現した。

また、外観では2DINなどの定型形状に代わり、曲面に適用させた静電タッチパネルやインモールド成形を活用したフルフラットパネルにより、段差・つなぎ目の少ない質感の高い表面パネルを実現した。

3. Gen2インフォテイメントシステムの構成

Gen1とGen2とSUBARU STARLINK® の関係をFig. 1に示す。

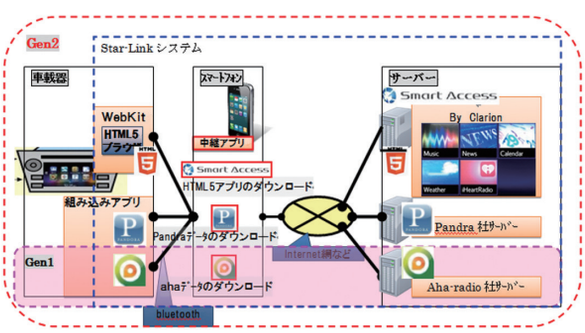


Fig. 1　High-level architecture

Gen1：

・2012年に導入したスバル初のスマートフォン連携インフォテイメントシステム

・各車種の上級グレード(米国中心)に限定展開

Gen2：

・新開発したインフォテイメントシステム
新サーバーシステム(Smart Access®)とHTML5内蔵車載器により、継続的な機能追加ができるシステム

・グレードと仕向地の拡大展開

SUBARU STARLINK®：

・スマートフォンなどの通信媒体機器を用いて様々な情報をお客様に提供、楽しんで頂くシステムの総称

4. システム構成と詳細

4.1 サーバーシステム

Gen1システムでは、あらかじめ画面構成を決めておき、必要な画像とテキストをサーバーからダウンロードする。どのコンテンツも画面構成は同じで、ボタン配置、大きさは初期設定のまま変えられない。コンテンツは様々に追加されるが、見た目の変化に乏しい(Fig. 2)。

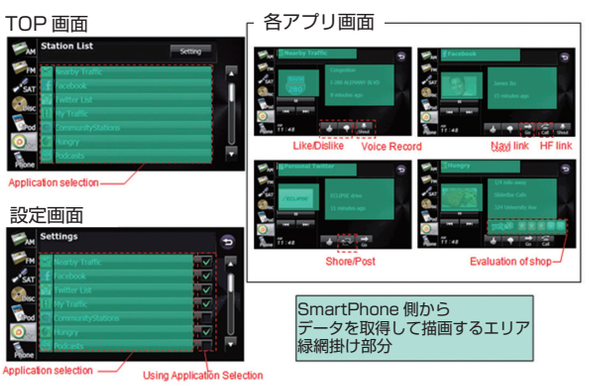
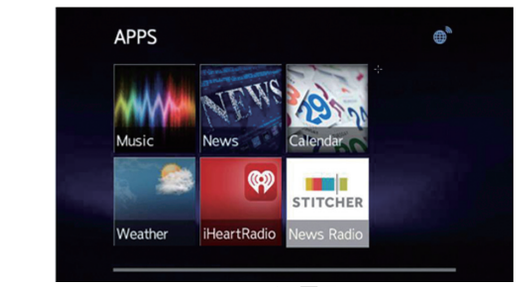


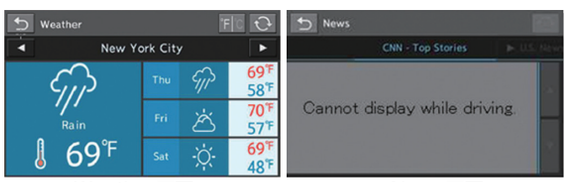
Fig. 2　GEN1 Aha® radio screen

Gen2はHTML5ブラウザを内蔵し、コンテンツに応じて、ボタンの位置や大きさ、表示位置などの情報を自在に変えることができる(Fig. 3)。HTML5ブラウザは、プラグインを必要とせずブラウザ自体で動画や音声、グラフの描画などが可能である。

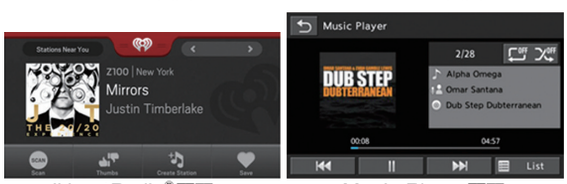


メイン画面

STITCHER画面（北米で人気の音楽情報配信コンテンツ）



Weather画面　News画面



iHeartRadio® 画面　Music Player画面

Fig. 3　Gen2 HTML5 contents

Gen2では、追加要望の高かった人気のアプリケーションである「PANDORA®」と「iHeartRadio®」を追加した。

PANDORA®は組み込み型アプリ、iHeartRadio®はHTML5にて対応した。

またGEN2出荷後に、人気のインターネットラジオアプリである「STITCHER」を追加サポートした。

4.2　スマートフォン用アプリケーション

Smart Access®に対応したスマートフォン用のアプリケーションソフトも専用開発した（Fig. 4）。「PANDORA®」、「Aha® Radio」とともに、車載器側でユーザーがアプリケーション選択することにより、スマートフォンを操作すること無くつながる仕組みとしてユーザー利便性を上げている。

5.　インフォテイメントシステム

5.1　外観

車載器は、機能と外観差でHigh、Mid、Baseの3グレードを設定した（Fig. 5）。

High/Midグレードでは、静電式タッチパネル＋フィルムインモールド成形のフェイスパネルとし、クリアで奥行き感のある質感と、スマートフォンのような操作性を持った操作パネルを実現した。

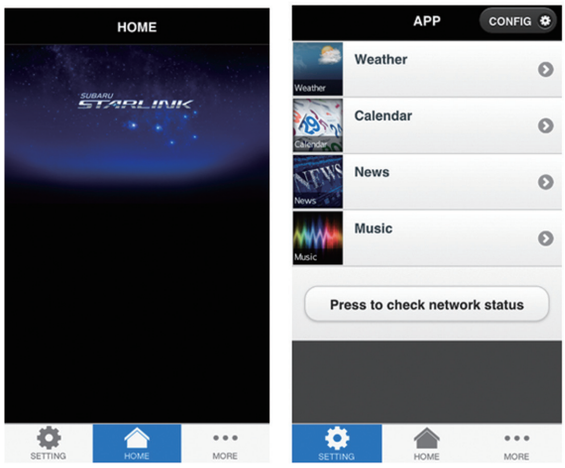


Fig. 4　SUBARU STARLINK® smartphone app

Baseグレードでは、シンプルなメカ式スイッチと感圧式タッチパネルで直観的な操作を実現した。

Fig. 5　Appearance of headunit（High,Mid / Base）

5.2　ユーザーインターフェース

(1) 画面構成

スマートフォンの使いやすさに倣い、Home画面の新設、大きなアイコン、各ボタンのグループ化など、解り易い画面デザインとした。

(2) フリック、ピンチ、ダブルタップ操作（High/Midグレード）

スマートフォンやタブレットのようなマルチタッチ操作をナビ画面操作やリスト操作に適用した。

(3) ステアリングスイッチ(リモコン)

ステアリングスイッチの「リストショートカットボタン」を押すことで、現在聞いているオーディオリストへジャンプし、十字キー操作により、ハンドルから手を放さずとも楽曲選択を可能にした(Fig. 6)。

ステアリングスイッチ

＜例＞地図を見ながら iPod® で音楽を聴いているとき
①リストショートカットボタンを押す

iPod® リスト画面に遷移
②十字キーで選曲する
・左右ボタンで「Artists」「Song」等を選択
・上下ボタンで曲を選択
・中央ボタンで曲を決定

水色塗り潰し：十字キー位置
（リストショートカットモード時のみ出現）

白色ライン：十字キー操作対象範囲
（リストショートカットモード時のみ出現）

緑色ライン：現在選択位置

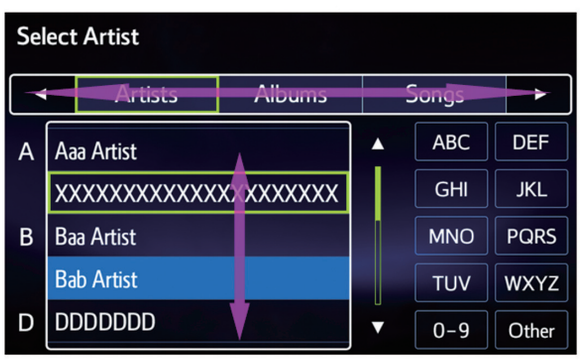


Fig. 6　Browsing songs/phonebook list feature

(4) 音声操作(連文＆カジュアルスピーチ)

これまでの音声認識はコマンド型音声認識であり、あらかじめ決められた単語機能を認識する。

Gen2で採用した音声認識は、連文「One shot」型音声認識(High、Mid、Baseグレード)とカジュアルスピーチ型音声認識(High、Midグレード)により、文脈を理解し会話するように操作できる。

1) 連文型音声認識

① ナビゲーション(目的地住所検索)：

House Number ～ State Name までの住所全体を一度に入力できる。

＜例＞“3995 Research Park Drive Ann Arbor Michigan ！”

② 電話(Hands/Free)：

＜例＞　“Call Tom Jones at Home ！”
→　あらかじめ登録しておいたTom Jones さんの自宅へ電話がかかる。

2) カジュアルスピーチ型音声認識(High/Midグレード)

①オーディオ操作：ユーザーがiPod®の曲を選択後、同じアーティストの別アルバムを選択する場合、アーティスト名を指定しなくてもアルバムを特定できる。

＜例＞
ユーザー：
Play the song “Mountain Music”
車載器ガイダンス：
Playing the song “Mountain Music”
ユーザー：
What else do I have by this band?
車載器ガイダンス：
Showing albums by the artist Alabama. Say the name of the album you want to browse, or say 'play the album', and then the album's name:
車載器ガイダンス：
Number 1. Greatest Hits II
Number 2. The Closer You Get
ユーザー：
Play “The Closer You Get”
車載器ガイダンス：
Playing the album “The Closer You Get” by the artist Alabama.

④エアコン操作：温度を直接指定して変更できる。

＜例＞
ユーザー：
Change the temperature to 28℃ .
「温度を28℃に変更してください。」

(4) メータと表示連携　(High/Midグレード)

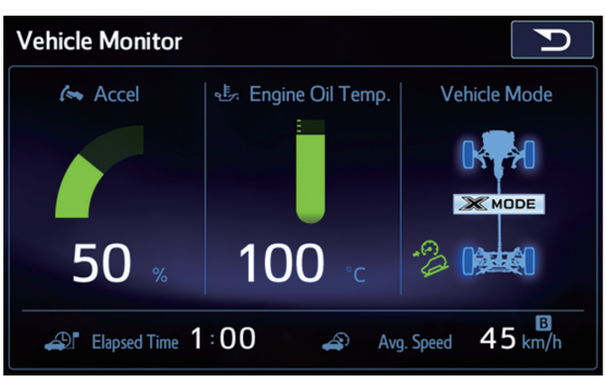
ナビゲーションと電話の情報を、メーター中央部の液晶に表示することで、運転中に道路から目を離す時間の低減を図った(Fig. 7)。

Fig. 7　Sub-display in cluster

(5) 車両状態表示　(High/Midグレード)

大型のモニターサイズを生かし、関連ある車両情報を集約表示し、クルマの状態を把握できるよう配慮した(Fig. 8)。

①マルチメータ走行系情報＋走行情報画面



画面上側：マルチメーター走行系情報
- アクセル開度
- 油温(NAエンジン)ブースト圧(中国向けターボ車)
- Xモード/VDC（アイコン)走行に応じたタイヤ色変更

画面下側：走行情報
- 運転経過時間/平均車速

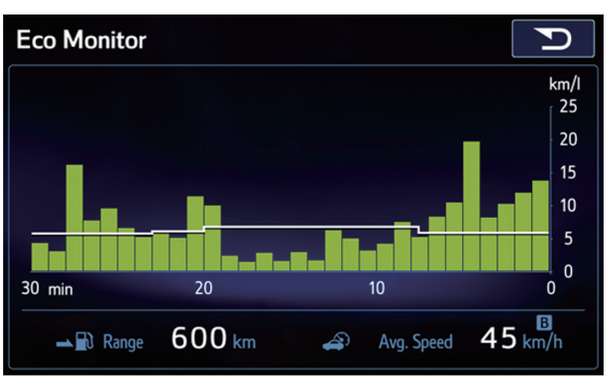
②マルチメーター燃費系情報＋走行情報画面

画面上側：マルチメーター燃費系情報
- 平均燃費A・B/航続可能距離/瞬間燃費/ODO燃費/区間燃費(国内、一般向け)
- 航続可能距離/ODO燃費/区間燃費/瞬間燃費(国内、一般向け以外)

(設定画面で上記より3つを選択、表示)

画面下側：燃費履歴
- 運転経過時間／平均車速

③燃費履歴＋マルチメータ燃費系情報画面



画面上側：燃費履歴
- 単位時間当たりの燃費(棒グラフ)/平均燃費A・B（白線グラフ）

画面下側：マルチメーター燃費系情報
- 平均燃費A・B/航続可能距離/瞬間燃費(国内、一般向け)
- 航続可能距離/平均車速 or 瞬間燃費(国内、一般向け以外)

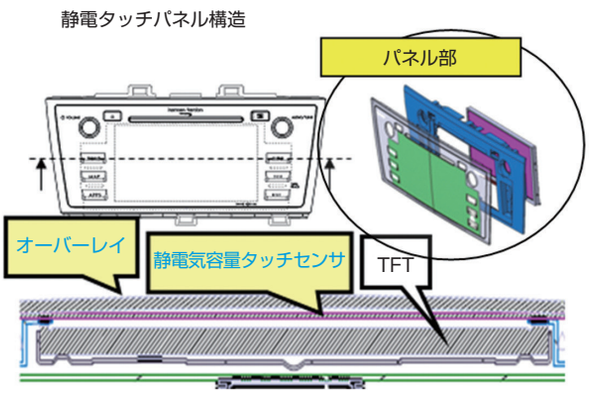
Fig. 8　Vehicle infomation display

6.　外観意匠(質感の向上)

大型異形パネルと静電容量式タッチパネルをHigh/Midグレードに採用した。

画面と表面意匠パネルとの段差、操作ボタンとの段差をなくした美しいフロントパネルとするため、意匠曲面に初めて静電式タッチパネルを搭載した。ボタンのようなスイッチを廃し、フルフラット意匠とすることで見た目の質感と機能性の両立を実現した(Fig. 9)。

（High/Mid グレード）



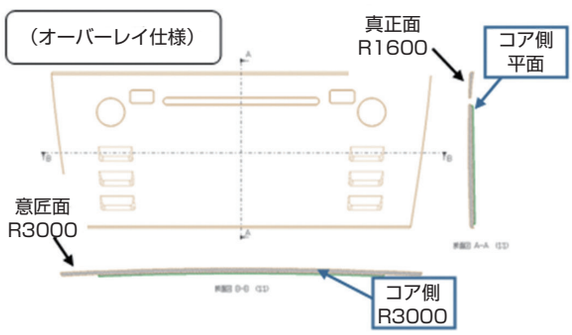


Fig. 9　Basic structure of capacitive touch panel

7.　その他の機能

7.1　外部入力

High/Mid グレード車にはUSB ジャックを２個設定し、接続機器を充電させながら、音楽を聴く事を可能とした（Fig. 10）。

7.2　音響システム

Harman/Kardon® システム <High オプション>（Fig. 11）Harman/Kardon® GreenEdge™ 技術をスバル車として初搭載した。ハーマン社の最新技術である“GreenEdge™”に対応したパワーアンプ及びスピーカーを採用し、Tracking Power Supply 制御との組合

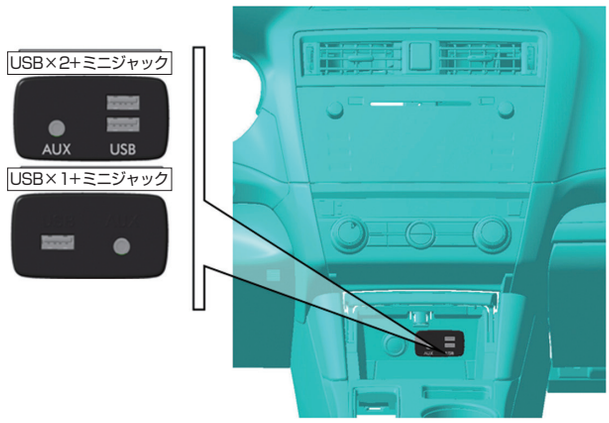


Fig. 10　USB/AUX port

わせにより、高効率、発熱低減、消費電流低減を実現している。ドアスピーカー・サブウーファーのサイズをアップし低音のパワー感を強化し、インパネセンタースピーカーを追加し音像定位を向上させた。

ボリューム制御をヘッドユニットからアンプに移すことにより、高音域のサーノイズを低減した。また、ヘッドユニットの音声出力をLine out化することにより、高音域のノイズを低減した。

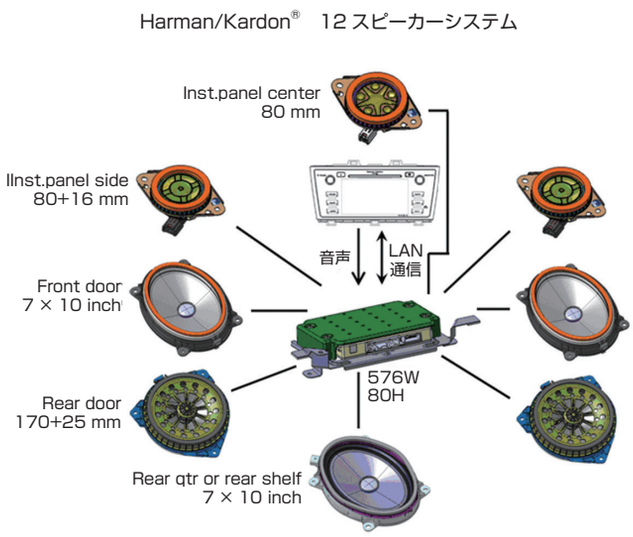


Fig. 11　Harman/Kardon® GreenEdge™system

8.　まとめ

インターネットアクセス機能を強化したGen2システムは、発売約1年が経過しましたが、米国のConsumer Reports誌をはじめ、多くのお客様から、「使いやすいシステム」と高い好評を得ている。

試作品完成後に実際のユーザーが使う場面を想定し、走り込みを繰り返し、一つ一つネガを潰して完成させた。その成果である機能と使い勝手の両立が多くの方々に認められ、大変喜ばしい限りである。

今後は、コンテンツを自在に描画できる利点を活用し、お客様メリットを打ち出していきたい。
①定期的なコンテンツの追加
②PUSH型の情報配信
それぞれのお客様に有用な情報をスバルから配信
③スバルとお客様が双方向で情報交換（車両整備の調整など）するコミュニケーションツールとしての活用
しかし、技術の進化、お客様の要求は絶えず変化するものである。このシステムを継続的に発展、磨きを掛け、カーライフを楽しくするインフォテイメントシステムとして、そして、お客様-スバルの大事なコミュニケーションツールとして、絶え間なく発展させていきたい。

9. 謝辞

最後に、この開発では、技術部門のみならず、営業部門、サービス部門、北米販売部門など多くの方々からの情報提供およびサポートを頂き、開発においても多大なる協力を頂きました。
富士通テン株式会社、クラリオン株式会社、Harmanインターナショナル、および、富士重工業社内関係者の皆様に深く感謝の意を表したい。

参考文献

(1) 小西英祐ほか：海外市場向けコンパクトナビゲーションシステム, スバル技報, No39（2012）

【著　者】

丹羽　　真

酒井 健一郎

吉山　雄司

中村　恭崇

ボディ系電子装備アクチュエータの物理モデル開発（オートクロージャ機構への適用）

Development of Physical Model for Body Control Actuator (Application to Auto Closure System)

古賀 祐一郎[*1] Yuichiro KOGA
星野 欽哉[*1] Kinya HOSHINO
三田 宇洋[*2] Hiroumi MITA

抄 録

ボディ系電子制御へのモデルベース開発（Model Based Design：以下MBDとする）適用を目的として、アクチュエータ物理モデルの開発をおこなった。

MBDは、開発の効率化を目的として、パワーユニット制御や車両運動制御に適用されており、数式ベースのモデルを規範とするエンジニアリングが行われている。一方で、ボディ電子制御領域においては、モデルがパワーユニットや車両運動制御ほど一般化されておらず、また、制御対象が3次元の空間上で動作し、数式によるモデリングが困難であったため、MBDの適用が進んでいなかった。

今回、数式を意識せずモデリングを可能とする物理モデリングと呼ばれる手法を用いて、オートクロージャのモデリングを行った。これにより、モータ駆動のアクチュエータ類に対する、簡便なモデル構築法の見通しを得た。

Abstract

SUBARU developed a physical model for body control actuators in order to apply Model Based Design (MBD) to the body control domain.

MBD has been applied to the domains of power unit control and vehicle motion control with modeling accomplished through mathematical models. However, it has not been prevalent in the body control domain because modeling of controlled objects performed by using mathematical models is difficult. Moreover, the application of those models in the body control domain has not been common compared to that in the power unit and vehicle motion control domains.

Therefore, we developed a modeling method by making use of a Physical modeling which does not require mathematical models, and modeled an auto closure actuator with this method. As a result, we were able to get a prospect of a simple modeling method for motor-driven actuators.

1. まえがき

近年、お客様の利便性向上を目的として、車両のあらゆる装備が電動化されている。

これら装備の電動化は今後も加速度的に増加すると推測され、それに対応していくため短期間で高品質な電子制御開発を行うことが求められる。これらの課題に対応するため、モデルベース開発（MBD）の導入を検討し、制御対象のモデリングに対し物理モデリング技術の適用研究をおこなった。

＊1 電子プラットフォーム設計部
＊2 マスワークス合同会社

2. モデルベース開発概要

はじめにMBDの概要とボディ系電子制御領域における制御開発の現状を説明する。

2.1 モデルベース開発とは

電子制御システムの開発においては、ソフトウエアの開発（設計、実装、検証）が大きな比重を占める。ソフトウエア開発工程は一般的に、要求分析、設計、コーディング、テスト、運用、保守からなり、これらを設計・解析と、テスト・検証工程に分け、それぞれを対応させたV字プロセスと呼ばれるプロセスがよく知られている（Fig. 1）。ソフトウエアの品質、つまり電子制御システムの品質はこのV字プロセスに則った開発により担保される。

しかし、近年の電子制御システムの高度化、複雑化は目覚ましく、このV字プロセスを定められた開発期間内に完遂することが困難となっている。これらの課題を解決する手段としてモデルベース開発が注目されている。

MBDは、制御対象、制御器を数式やプログラムによりモデリングし(Fig. 2)、このモデルを活用し計算機上のシミュレーションによる検証を行うことで、実機が存在しない開発の初期段階からシステムの品質を向上させることが出来る。また、V字の各段階でこのシミュレーションを行い、小さなV字の工程を繰り返すことで、各段階での成果物の品質を上げ、開発終盤での手戻りを防止し、開発効率の向上を達成する。

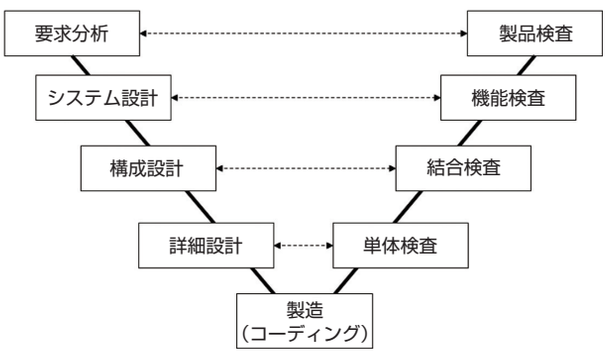


Fig. 1　V process

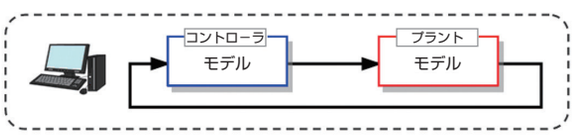


Fig. 2　Concept of Model Based Design

2.2　ボディ系電子制御システム開発

ボディ系電子制御システム開発では、サプライヤ標準のシステム・機構部品を採用し、制御ロジックに車両メーカとしての独自性を持たせ、車両の付加価値を高めているものが多い。現状の制御開発では、自然言語及びそれを補完する状態遷移図・表によるサプライヤへの仕様指示を行い、制御器完成後に、実制御対象を用いた確認を行うことが一般的である。制御器完成後の確認となるため、仕様不具合があった際の手戻りが大きくなる課題がある。

このような開発においては、制御対象を理解し、制御ロジックの十分な検証を行うことによる、実車評価前の制御システムの精度向上がより重要になる。MBDの適用は、精度向上の手段として有効である。

ボディ系電子制御システム開発にMBDを適用するにあたり、制御器のモデリングには、状態遷移図・表をベースとするStateflowを活用することで、従来の自然言語と状態遷移図・表による仕様指示からの移行が容易となる。一方で、制御対象のモデリングは、比較的単純な機構上で、垂直面と水平面に配置された部品が相互に連携して3次元的な動作をするものがあり、数式によるモデリングが困難であるといった課題があった。

そこで、制御対象のモデリングに物理モデリングという手法を用いた。次章では今回おこなった物理モデリングプロセスについて述べる。

3.　物理モデリングプロセス

3.1　モデリング対象と目的

物理モデリングの対象は、パワーリヤゲートの構成部品の一つであるオートクロージャである(Fig. 3)。本部品は、リヤゲートのラッチを自動で引き込み・開放する部品であり、DCモータやギア、並進バネ、回転バネ、ハードストップ等により構成される。また、ラッチ状態やギア位置を観測するためのスイッチが搭載されている。

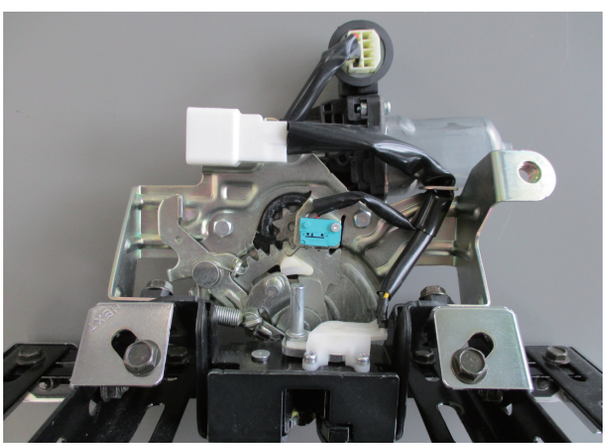


Fig. 3　Auto closure

今回のMBD適用の目的は、開発の上流工程において、「モータ作動に伴う、スイッチ信号の変化に応じた制御ロジックを検討」することである。たとえば、正常な入力信号の変化パターンで正しく動作する、予期しない入力信号の変化パターンで異常動作をしないことなどを確認する。今回の制御対象であるオートクロージャでは、モータ作動に伴うスイッチ信号の変化パターンが実機と同等となるようモデリングを行う。また、機構の振る舞いとスイッチ信号の変化についてより理解を深めるため、シミュレーション時に3Dモデル等で視覚的に認識しやすいモデルを作成する。

存在する実機の詳細仕様を十分に把握できない状態で、簡便にモデリングするため、下記の条件でモデリングを進めた。

1) 実機及び、実機から計測可能なデータのみ使用
2) 一般なモデリングツールを活用

3.2　モデリングプロセス

今回の物理モデリングプロセスの概略を下記に示す(Fig. 4)。このプロセスを経ることにより、数式化困難な制御対象について、数式を意識することなく、実機に近い諸元のモデリングが可能となる。

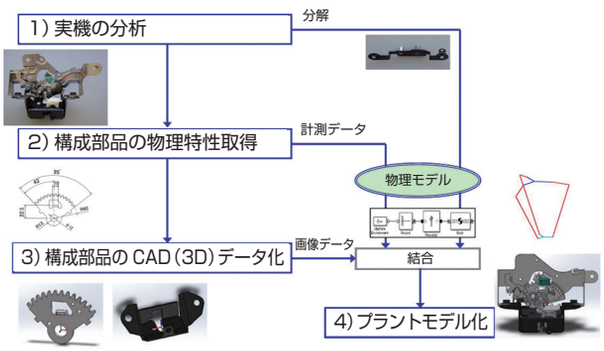


Fig. 4　Modeling process

3.2.1　実機の分解

まず、実機を各構成部品単位まで分解する。バネを介した接続、ギアのかみ合いなど各部品の物理的な関係性や構造を取得する。ここで取得したデータは、モデリング時にブロック間の接続を決定する要素となる。

3.2.2　構成部品の物理特性取得

次に、分解した各構成部品の形状、質量、材質といった物理特性を取得し、2Dデータ化(図面化)する。この物理特性により、各部品の慣性モーメント等の特性が決定され、モデルの振る舞いをより実機に近づけることを可能とする。

3.2.3　構成部品のCAD（3D）データ化

シミュレーションを視覚的に理解できるようにするため、構成部品のCAD(3D)データ化を行う。

3.2.4　プラントモデル化

今回のモデリング対象であるオートクロージャは、大きく1) モータ部、2) 機構部に分類され、それらを各々モデリングし、3) 結合することでモデルと成す(Fig. 5)。

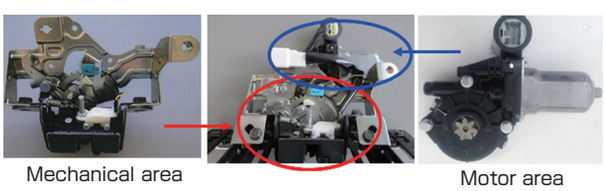


Fig. 5　Plant structure

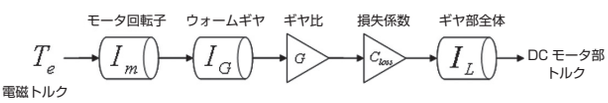
1) モータ部のモデリング

モータ部は、DCモータ及びウォームギヤにより構成される。通常、モータのモデリングには各種諸元の情報が必要だが、モデリング条件の通り、現物のみの情報を基にモデルを構成するため、モータの各要素を実測し、パラメータとした。

モータ部の電気的な振る舞いは、一般的には式(1)にて表現され、機械的にはFig. 6の関係性がある。これらのモデリングには、Simscapeを用いた(Fig. 7)。

$$\left.\begin{aligned} V &= Ri + L\frac{di}{dt} + K_e\theta \\ T_e &= K_t i \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

V：電圧, R：抵抗
L：自己インダクタンス
K_e：逆起定数，K_t：トルク定数
T_e：電磁トルク



I_m：モータの慣性モーメント
I_G：ウォームギヤの慣性モーメント
G：ギヤ比
C_{loss}：損失係数
I_L：ギヤ部全体の慣性モーメント

Fig. 6　Torque transmission flow

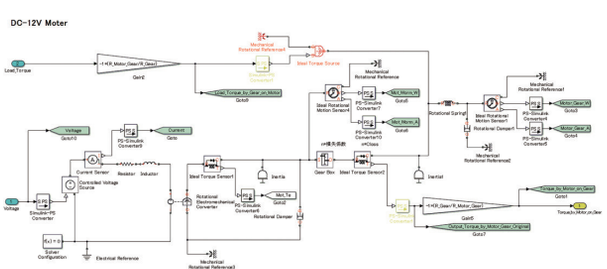


Fig. 7　Motor model by Simscape

2) 機構部のモデリング

機構部は、構成部品が複雑に組み上げられており、かつ垂直面と水平面に配置された部品が相互に連動するような3次元的な動きを取るため、直接的な数式化が困難である。そこで、物理的な位置関係、物理的な接続関係等をそのままコンポーネントとしてモデリングする手法を採用した。機構部のモデリングには、3次元マルチボディシステムのモデリングを可能とするSimMechanicsを使用し、当該部分のモデリングを行った(Fig. 8)。

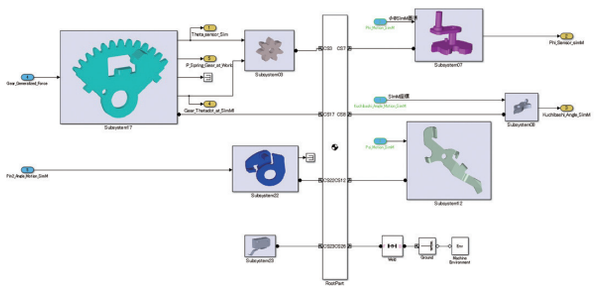


Fig. 8　Machinery model using SimMechanics

3) 結合

1) 及び2) のモデリングを経て、それらを組み合わせることで、オートクロージャのモデルを作成した(Fig. 9)。本モデルは、クロージャの状態を検出するスイッチ等もモデリングしており、Fig. 10に示す通り3Dモデルにより機構部の振る舞いとスイッチ信号を観測することが出来る。シミュレーション時には3Dモデルによる空間的な振る舞いとスイッチ信号の電気的な振る舞いをモニタすることが出来るため、制御対象を視覚的に理解することが可能である。

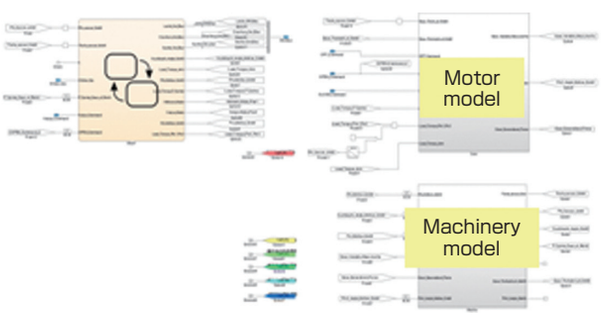


Fig. 9　Auto closure model using Physical modeing tool

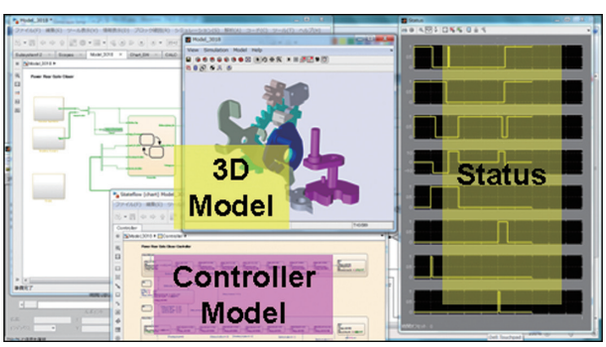


Fig. 10　Simulation result of model

3.5 モデル検証

開発したオートクロージャのプラントモデルを実機との比較により検証した。特に今回のモデリングの目的である機構部とスイッチ信号の振る舞いについて比較する。物理モデリングにより作成したクロージャモデルを、StateFlowで実装した簡易的なコントローラモデルにて作動させた(Fig. 11)。

比較結果をFig. 12に示す。オートクロージャは、ラッチ状態を検出するスイッチや、ギア位置を検出するスイッチを計3つ備えており、これらが機構部の作動と共に切り替わる。各スイッチの切り替わりタイミングに関し、実機と同様の結果が得られ、機構部とスイッチ信号について、実機と同様の振る舞いが再現できている。つまり今回の目的であるモータ作動に伴う、スイッチ信号の変化に応じた制御ロジックの動作確認を可能とするモデルであると言える。

一方で、スイッチの切り替わり幅や、モータの作動によるスイッチの変化時間等については実機との乖離がみられる。これらについて、さらなる検証を進めていく。

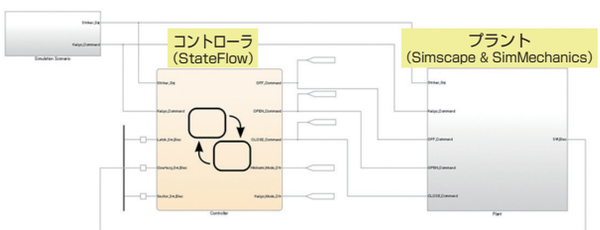


Fig. 11　Simulation model

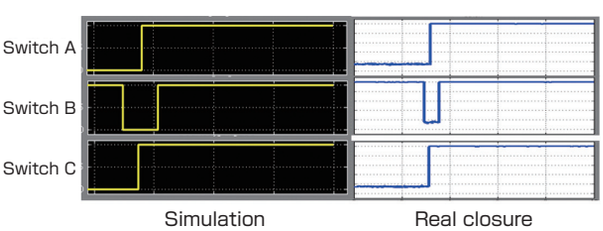


Fig. 12-A　Comparison of model and actual auto closure（operational pattern A）

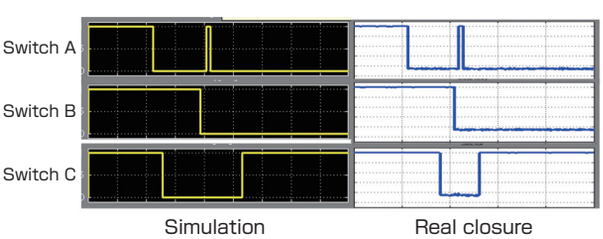


Fig. 12-B　Comparison of model and actual auto closure（operational pattern B）

4.　まとめ

数式を意識しないモデリング手法「物理モデリング」により、オートクロージャのプラントモデリングを実施した。このモデリングプロセスにより、開発上流の設計検討段階での、モータ作動に伴うスイッチ信号の変化に応じた制御動作の確認といった制御器検証が可能となり、実車完成時の制御品質向上が期待できる。

本プロセスにて作成したモデルは、3Dのモデルと

しても、視覚的にとらえることが出来るため、制御設計者の制御対象への理解を促し、機構の動きを確認しながらの制御器設計を行うことが出来る。さらに、実際の制御器が完成した際、開発上流にて作成したプラントモデルを活用し、実機では危険を伴うような条件や、実機では実施困難な膨大かつ網羅的な検証パターンを実際の制御器により検証することも可能となる。

本プロセスを活用することで、プラントモデルを容易に作成することが出来る。今回の取り組みでは、物理特性の取得や、3Dデータ作成などを実施したが、将来的にはサプライヤより情報を提供頂くことで、より効率的に短期間でプラントモデルを開発することが期待できる。

今後、物理モデリングの活用を進め、ボディ系電子制御システム開発の効率化及び品質の向上に取り組む。

MATLAB、Simulink、Stateflow、Simscape、SimMechanicsの各製品名は、MathWorks社の登録商標です。

参考文献

(1) 三田 宇洋：MATLAB/Simulinkによるモデルベースデザイン入門, オーム社(2013)
(2) dSAPCE Japan監修：モデルベース開発, 日経BP社(2013)
(3) MathWorks GK http：//jp.mathworks.com/ (2015-3-9)

【著　者】

古賀 祐一郎

星野　欽哉

三田　宇洋

制御系モデルベース開発のボディ電装系への適応研究

Study of Application of Model Based Development to Body Electronics

星野欽哉[*1] 古賀祐一郎[*1] 西田尚司[*1] 門田一志[*2]
Kinya HOSHINO Yuichiro KOGA Takashi NISHIDA Hitoshi MONDEN

抄録

本研究では、モデルベース開発のボディ電装系への適応を検証した。モデルベース開発は、ボディ電装系には、長年の間、不向きとされてきた。

そこで、コントローラモデル開発に、状態遷移図・表を活用し、プラントモデル開発に、物理モデリングツールを採用する事で、ボディ電装系開発にも有効である事を実証した。

その結果、すでに適応済みのパワートレイン系と同様か、それ以上の効果が期待できる。

本報告では、モデルベース開発のプロセスの概要と実証試験の事例を報告する。

Abstract

We reviewed the application of Model Based Development (MBD) to body electrical systems in this research. It was long thought that MBD was not suitable for body electrical systems.

We were able to demonstrate the validity of using state transition diagrams/tables for the development of controller models, and of applying physical modeling tools to the development of plant models for body electrical system development.

As a result, we can anticipate the same or greater level of effectiveness of MBD for body electrical system development when compared to powertrain system development, which has already adopted MBD.

In this report, we will provide an overview of the MBD process and describe verification test cases.

1. まえがき

パワートレイン系は、クローズドループのフィードバック制御系を主体とするのに対して、ボディ電装系は､オープンループのシーケンス制御を主体としている。

ボディ電装系では、制御対象の現物が比較的容易に利用可能であり、また、制御対象の数学的モデルを構築する事の困難さから､モデルベース開発の導入には、消極的であった。

その一方で、『パワー～』､『オート～』等が名称に付き、大型の機構部品を作動させる電動装備が増加している。

これらのボディ電装系のアクチュエータの中には、比較的簡単な構造の割に、垂直面と水平面に配置された部品が、相互に連携して作動するような3次元的な動きをするものがあり、システム設計時の検証作業を難しくしている。

今回、プラントモデリングには、数学的記述を必要としない物理モデリングツールを採用し、コントローラモデリングには、ボディ電装系の表記法として、広く活用されている、状態遷移図・表をベースとするStateflowを採用する事で､ボディ電装系のモデルベース開発プロセスの構築を検討した。

同時に、システム設計段階での振舞いモデルと、ECU開発段階での実装モデルを分離する事により、モデルデータをコンカレントに使用できない環境でも、検証用のテストパターンを共用する事で、モデルベース開発の適応効果が期待できる。さらに、制御規模がコンパクトな事から、最新の検証技術・検証ツールを活用する事も可能と思われる。

以上の理由から、ボディ電装系での適応検証を実施

＊1 電子プラットフォーム設計部
＊2富士テクノサービス株式会社

した。

2.　モデルベース技術の紹介

モデルベース開発で必要になる技術の概要と、今回の実証試験について比較しながら解説する。

2.1　開発プロセス（V字モデル）

システム開発手法としてのVモデルをモデルベース開発に、適応したものが、V字モデルである（Fig. 1）。

自動車メーカとサプライヤーとの業務分担や、設計・実験領域の明確化、開発技術ツールの活用ポイント、開発ループや、手戻りループの表現等々さまざまなケースで利用される図である。

今回の実証試験の特徴は、設計領域におけるシミュレーションをリアルタイム領域まで、拡張する事、つまり、実機・実車評価の一部フロントローディングである。

特徴として、コントローラモデルは、制御モデルのアルゴリズム部分をStateflowで記述している。

プラントモデリングには、HILS機能を利用しなければ、3D－CAD機能と連携したダイナミックモデリング解析ツールや、回路シミュレータの利用が可能であるが、今回は、Simulinkでのブロック線図記述と、上記の詳細度の高い解析ツールとの中間的な記述形式をとる、Simulinkの拡張機能である物理モデリングツールを用いている。

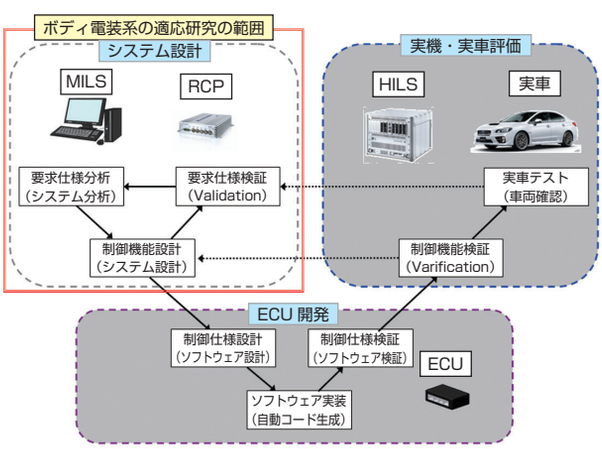


Fig. 1　V Process in Model Based Development

2.2　コントローラモデルとプラントモデル

モデルベース開発では、2つのモデルを使用する。

【コントローラモデル：制御器】

コントローラモデルとは、制御アルゴリズムを構築する部分で、モデルベース開発の中核部分である。

ボディ電装系では、シーケンス制御系が多用される事から、制御アルゴリズム部分の記述には、状態遷移図・表が適する。シミュレーションのソルバは、離散系でのECUへの実装を考慮して、固定ステップの離散ソルバを用いる。

【プラントモデル：制御対象】

プラントモデリングとは、制御対象となるアクチュエータ・センサのモデリングである。

数学的記述法を用いるSimulink（Fig. 2）と、構成部品要素を組み合わせて、接続する物理モデリングツール（Fig. 3）の両方を検討した。

【Simulinkによるモデリング】

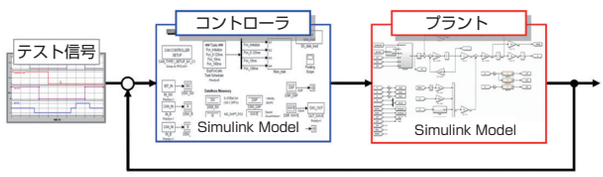


Fig. 2　Modeling by Simulink

【Stateflow/SimMechanicsによるモデリング】

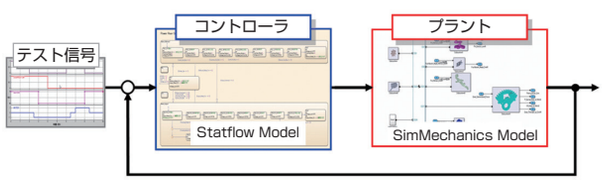


Fig. 3　Modeling by Stateflow and SimMechanic

2.3　適応技術

モデルベース開発の技術として、以下を実証試験した。

【MILS：Model In the Loop Simulation】

制御モデルと制御対象のプラントモデルを記述し、シミュレーションにて検証する技術（Fig. 4）。

通常は、コントローラとプラントの2つのモデルをSimulinkで記述するが、今回のボディ電装系への適応研究では、コントローラ側は、Stateflowで記述し、プラント側には、物理モデリングツールを採用した。

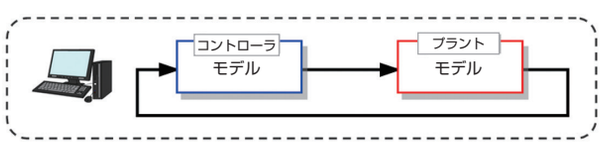


Fig. 4　MILS: Model In the Loop Simulation

【RCP：Rapid Control Prototyping】

制御モデルを高機能な汎用試作コントローラに、直接的なプログラミングなしで実装し実機を制御する技

術（Fig. 5）。

従来から、制御ロジック開発の記述には、広くSimulinkが、使用されていたが、今回の適応研究には、ロジック部分の大半をStateflowで記述し、入出力部分のみをSimulinkで記述している。

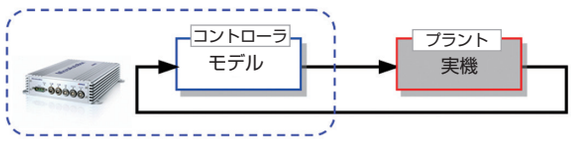


Fig. 5　RCP: Rapid Control Prototyping

【HILS：Hardware In the Loop Simulation】

制御対象をリアルタイムシミュレータに実装し、実機コントローラから制御する技術（Fig. 6）。

今回は、デスクトップHILSと言われる小型のリアルタイムコントローラを用いた。

物理モデリングツールで、記述したプラントモデルを、Simulink化した後に実装している。

HILSでは、コントローラ側より速い実時間でのリアルタイム処理が必要になる。

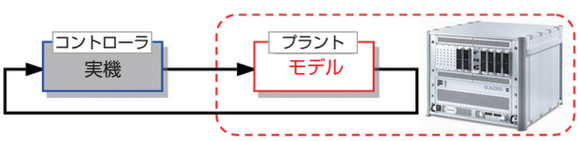


Fig. 6　HILS: Hardware In the Loop Simulation

2.4　DCモータのモデリング

モータの動特性をモデリングする手法として、今回は、微分方程式での記述と、物理モデリングツールを採用した。

【SimulinkでのDCモータモデル】（微分方程式ベース）

DCモータは、電気系と機械系から構成され、Simulinkでモデリングするには、微分方程式の表現が必要である。

電気系の微分方程式

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a = v_i - k_e \omega_m$$

機械系の微分方程式

$$J_m \frac{d\omega_m}{dt} + b\,\omega_m = k_t i_a$$

上式から、入出力に注目し積分器を配置しながらSimulinkモデルを作成する（Fig. 7）。

今回は、デスクトップHILSへの実装に活用した。

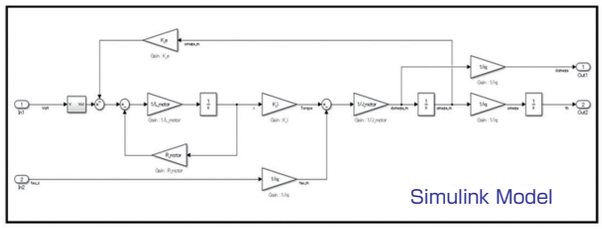


Fig. 7　DC motor modeling by Simulink

【SimscapeでのDCモータモデル】（コンポーネントベース）

電気系、機械系の対象物の特性パラメータ（電気回路では、R·L·C）を、物理モデリングに代入する事で、対象物の動特性がシミュレーションできる。

微分方程式を立てる必要はなく、部品要素を接続して、回路図を作成した後に、特性パラメータを入力すればよい（Fig. 8）。

今回は、MILSシミュレーションに活用した。

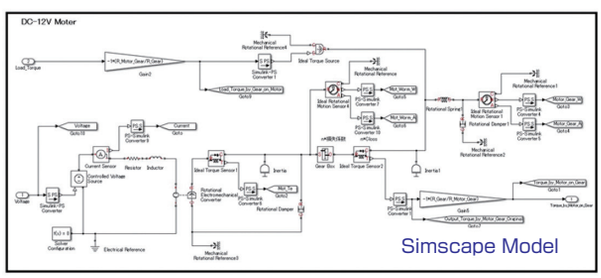


Fig. 8　DC motor modeling by Simscape

3.　実証試験の事例紹介

今回の追試実証試験では、現行車のコントローラ仕様とアクチュエータを用いて、コントローラの制御性とシステムの動特性を検証した（Fig. 9）。

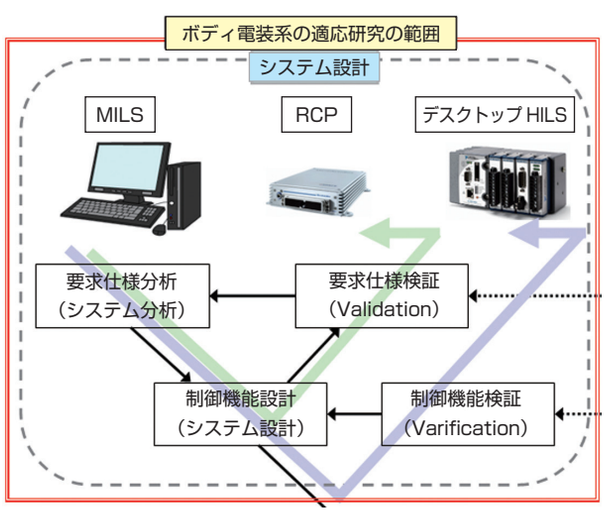


Fig. 9　V Process in system design

3.1　ボディ電装系への適応検証のねらい

1) Stateflowの状態遷移図でコントローラを設計した場合の、MILSシミュレーションでの制御性の実証。
2) 物理モデリングツールを用いて、プラントモデルを構築した場合での、MILSシミュレーションの実証。
3) 状態遷移図ベースのコントローラ設計と物理モデリングツールを用いてのRCP、HILS実装での制御性の実証。

3.2　物理モデリングツールによるプラントモデリング

アクチュエータを分解し、物理特性を測定して3Dデータ化してプラントモデルを作成した。プラントモデルのモデリングでは、CAD等の3Dデータからのインポートも可能であるが、ハイエンドCADの場合は、データ変換が必要な場合もある(Fig. 10)。

制御対象をモデル化する事で、制御に必要な部品特性が把握でき、仕様検討段階から制御開発に踏み込める。また、開発途中での仕様変更には、机上検討に加えてシミュレーションで確認する事で、実機完成前の段階からの検証が可能となり、品質、コスト、開発スピードの向上が期待できる。

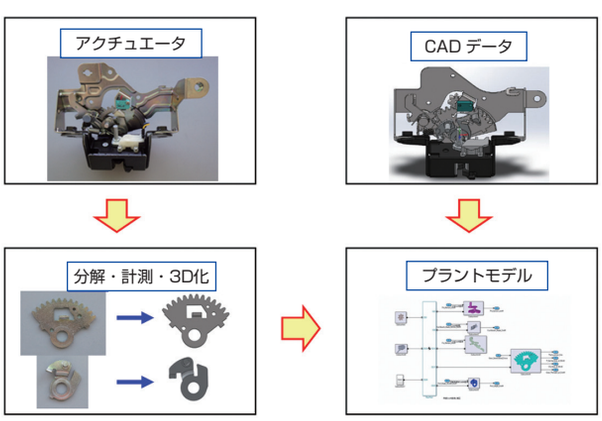


Fig. 10　Plant modeling by Physical modeling tool

3.3　状態遷移図・表によるコントローラモデリング

今回のコントローラのモデリングには、状態遷移図をベースに、Stateflowでモデリングしている(Fig. 11)。

状態遷移図・状態遷移表の活用により、制御ロジックのヌケモレがチェックできる。

【状態遷移図】(要求分析段階)
- ・状態の流れを表現
- ・概要を見やすく表現
- ・概要を直観的に把握できる

【状態遷移表】(設計段階で活用)
- ・イベントと状態の組み合わせで表現
- ・制御の前提条件、異常時を含めて表現
- ・ヌケモレを発見することができる

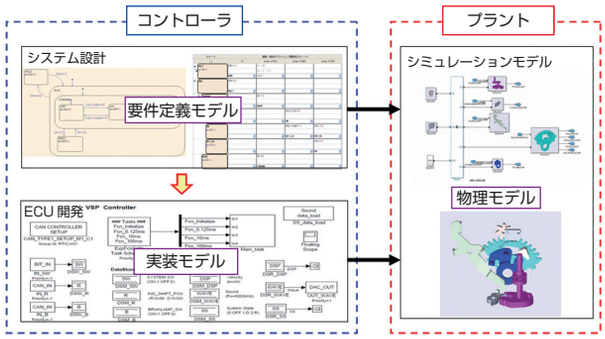


Fig. 11　Controller modeling by STD and STT

3.4　コントローラの妥当性検証(Validation)テスト

シミュレーションにて、センサ・アクチュエータを含むシステム動作の妥当性の検証を実施した。

机上での検討に比較して、全体の概要がつかみやすく、今後のボディ電装系の規模拡大にも対応できる。

タイミング的にクリティカルなケースに対しては、プロトタイプECUに実装する事で、検証テストが実施できる。

Simulinkでなく、Stateflowでモデリングしても、プロトタイプ実装の制御が可能である事が確認できた(Fig. 12)。

テストパターンを用いてシミュレーションする事により、システムの動特性を把握し、機械的な動きと電気信号の変化に対応した、制御ロジックの妥当性を検証できる。

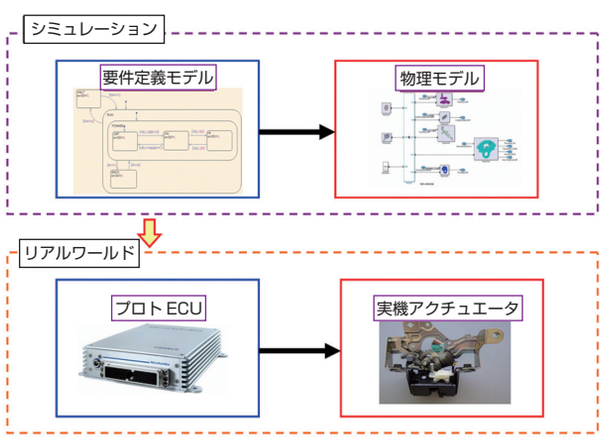


Fig. 12　Validation test of a controller

3.5　コントローラの検証(Verification)テスト

手動・半自動で作成したテストパターンを連続実行する事で、網羅性検証の自動テスト実行が、シミュレーションと実機で確認可能な事が実証できた(Fig. 13)。

実車では、なかなか実施できない繰り返しテストや、微妙なタイミングでの再現テストへの適応が期待できる。

デスクトップHILSへの実装は、物理モデリングツー

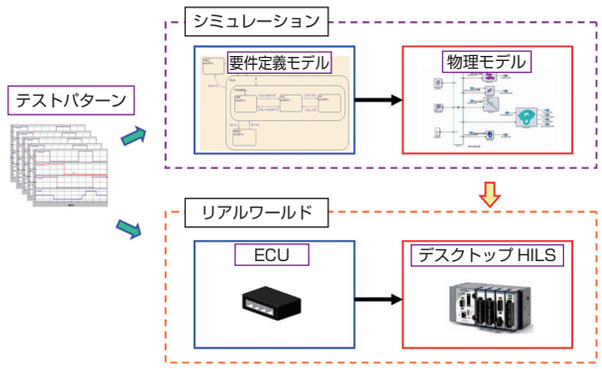


Fig. 13　Verification test of a controller

ルの制約等とソルバ等の問題から、所望のコード生成が難しく、今回はSimulinkモデルで実装している。

また、ボディ電装系のシステムに関しては、プラントの入出力のみに着目し、内部をブラックボックスとして扱い、信号を疑似的に生成する電子ベンチとして活用する見通しも得られた。

実車評価試験前に、開発品の納入ソフトウェアのロジック検証に活用できる。

3.6　コンカレント不可時は検証テストパターンを共用

モデルベース開発プロセスにおいて、モデルをコンカレントに使用できない場合には、以下の方法が活用できる。

具体的には、システム設計段階での振舞いモデルと、ECU開発段階での実装モデルを分離し、検証テストパターンを共用する事で対応する（Fig. 14）。

MBSE（後述）でも、要求と仕様の分離が重要であり、システム設計段階で具体化すれば、検証テストパターンは明確化される。

現時点では、設計者が手動または半自動で、検証テストパターンを生成する必要があるが、検証技術の進歩から鑑みれば、ボディ電装系では検証テストパターンの自動生成も今後可能になると思われる。

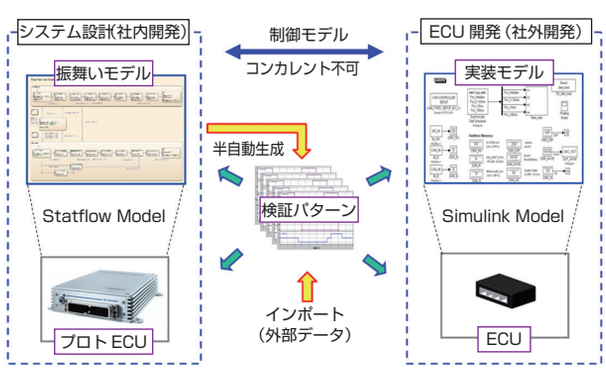


Fig. 14　Sharing test harness in verification test

4.　要件定義機能の充実の必要性

状態遷移設計、プラントモデリングとも、ボディ電装系で、適応可能な事が実証できたが、最後に設計最上流領域における要件定義機能の充実が必要になる（Fig. 15）。

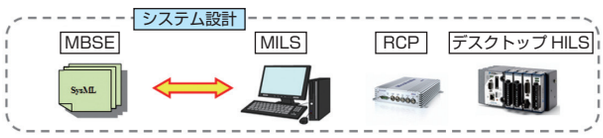


Fig. 15　System diagram by MBSE and MB

前述の様な、モデルがコンカレント出来ない状況では、必要性が高い技術である。

制御アルゴリズムの記述には、MBSE（Model Based Systems Engineering）のモデリング言語として、UML、SysMLに準拠した図・表が活用されている（Fig. 16）。

今後は、MBSEの適応を拡大し、各システム毎に、微妙に異なる表記法を統一し、要求分析の網羅性や、要求のトレーサビリティを確保した上で、システム全体の整合性を考慮する事で､状態遷移設計に適応する。特に、プラントモデリングへの適応を意識した上での促進が重要となる。

結果、MBSEとMBDの連携により、本来の効果が倍増する。

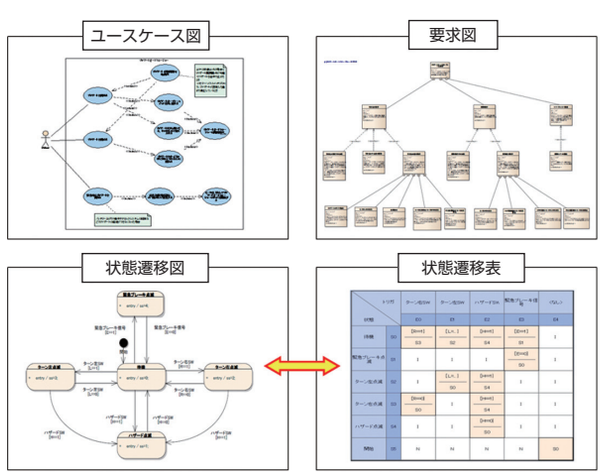


Fig. 16　Example of SysML diagram

5.　まとめ

ボディ電装系の量産システムの制御アルゴリズムと、現行品の実機アクチュエータで、実証試験を実施した。

検証結果より、コントローラモデルに、状態遷移図を使用し、プラントモデルに、物理モデリングツール

を活用した場合、モデルベース開発を構成する主要技術が、ほぼ活用可能である。

振舞いモデルと実装モデルを分離しても、検証テストパターンの共用によりモデルベース開発が適応できる。

今後は、量産開発に向けた、具体的な制御システムの先行開発段階から活用していく。

6. 最後に

ボディ電装系は、制御技術としてはすでに確立済みの既存技術との考え方から、新規の基礎技術の適応は困難とされる場合がしばしば見受けられた。

しかしながら、最新の検証理論に基づく、テストパターンの自動生成機能による網羅性検証の自動実行技術や、AUTOSAR（AUTomotive Open System ARchitecture）対応、ハイエンドCADと連携した物理モデリング機能による協調シミュレーション、FMI（Functional Mockup Interface）技術への対応等には、ボディ電装系は、制御基礎技術の先行実践適用アイテムとして最適と考えられる。

一方で、ボディ電装系は、コア技術とは成り難い要素も多い。そこで、本適用研究は、次世代開発ツールを活用したコア技術開発の推進を目的とした、開発環境整備、運用ノウハウ集積のための先行実施とも位置づけられた。

今までは、適用困難と考えられていたシーケンス制御の領域のシミュレーションを適用したエンジニアリングも、半導体技術の進歩と共にソフトウェアで実現可能になりつつある。

同時に、近来とは次元の違う開発環境に突入しつつある量産開発においては、ツールをいかに現場に適応するかが重要となる。

また、新規基礎技術の適応初期には、特定の設計者に一時的に負荷が集中する事になりがちであるが、これを回避する手段が運用時のキーポイントになる。

同時に、新規基礎技術は、初心者にはハードルが高い一面もあり、教育の占める割合も重要である。

先行実施適用したシステムの成功体験が、他のシステム開発を牽引する事もあり、スバル技報No.42の以下の記事をぜひ一読を願いたい。

・ボディ系電子装備アクチュエータの物理モデル開発
・スバル技術本部におけるメカトロ技術教育のご紹介

謝辞

本論文の執筆にあたり、開発装置の画像の提供等、ご協力を頂いた、MathWorks GK、dSPACE Japan（株）、日本ナショナルインスツルメンツ（株）（順不同）および、他の関係者の皆様に感謝致します。

MATLAB、Simulink、Stateflow、Simscape、SimMechanicsは、MathWorks社の登録商標です。

参考文献

(1) 栗原 優：AUTOSARを活用したECU開発，スバル技報，No.36（2009），213-218
(2) Object Management Group http：//www.omgsysml.org/
(3) dSPACE Japan監修，モデルベース開発，日経BP社（2013）
(4) 久保 孝行：組込みエンジニアのための状態遷移設計手法，TechShare（2012）
(5) 三田 宇洋：MATLAB/Simulinkによるモデルベースデザイン入門，オーム社（2013）
(6) MathWorks GK http：//jp.mathworks.com/（2015-3-9）
(7) dSPACE Japan（株）https：//www.dspace.com/（2015-3-9）
(8) 日本ナショナルインスツルメンツ（株）http：//japan.ni.com/（2015-3-9）

【著　者】

星野　欽哉

古賀 祐一郎

西田　尚司

門田　一志

電磁ノイズ対策のための電磁波設計手法の検討 ー 初報：電動車の高電圧部品への適用 ー

Electromagnetic Wave Design Method for Protection against Noise - Application to High-Voltage Components in Electric Vehicles -

夏 目 侑 紀* 大 堀 勇 二* 網 倉 亜 衣*
Yuki NATSUME Yuji OHORI Ai AMIKURA

抄 録

電動車両は、インバータなどの高電圧部品から発生する電磁ノイズの低減が課題となっている。従来の電磁ノイズ対策は、トライアンドエラーの繰り返しとなっており、対策に多くの時間と費用が必要となっていた。そこで、我々は、電磁界解析やノイズ測定を活用することで、対策時間と費用を低減する電磁波設計手法の確立を目指している。

本論文では、電磁波設計手法が今後の開発へ適用可能であるかを検証した。そのために、XV Hybridで採用されている電磁ノイズ対策へ本手法を適用し、最適な対策構造を導出した。

結果として、本手法は、従来の手法と同様に最適なノイズ対策構造を導出できることを確認した。以上から、電磁波設計手法は今後の開発に適用可能であると考える。

Abstract

Protection against noise which is generated by high-voltage components has become more and more important for electric vehicles. We have aimed to establish an electromagnetic wave design method for protection against noise, which requires minimal time and cost.

In this report, we verified the possibility of application of electromagnetic wave design method to future developments. We applied this method to the development of XV Hybrid and derived an optimal noise protection structure.

In conclusion, the electromagnetic wave design method was found to be applicable to future developments.

1. まえがき

現在、地球温暖化や資源枯渇などの環境問題を背景に、ハイブリット車に代表される電動車両へのニーズが高まっている。このような電動車両は、インバータに代表される高電圧部品が多数搭載されていることから、従来の内燃機関を動力とした車両に比べて電磁ノイズの発生箇所が増大することが知られている[(1)]。電磁ノイズは、車載ラジオの音質などに影響を与えるため、これを十分に考慮して開発することが求められる。

従来の車両開発において電磁ノイズ問題は、試作車両を用いたトライアンドエラーの繰り返しにより対策が行われていた。しかし、電磁ノイズの発生箇所が多い電動車両にこの手法を適用すると、トライアンドエラーの繰り返しを行う箇所が増えるため、設計や評価に多くの時間と費用が必要となる。

我々は、このような問題に対処するため、ノイズ測定や電磁界解析を活用した電磁波設計手法の開発を行っている。本論文では、電磁ノイズの原理について説明した後、電磁波設計手法の検討内容を述べ、今後の開発への適用可能性を報告する。

2. 電磁ノイズ

2.1 原理

電磁ノイズとは、電気回路から放射される電磁波であり、 設計段階で想定していないものを指す。これは、他の電子機器へと干渉する可能性を持ち、例えばラジオに干渉すると音声に乱れを生じさせる。車両の開発においても、車載ラジオへの電磁ノイズ干渉の抑

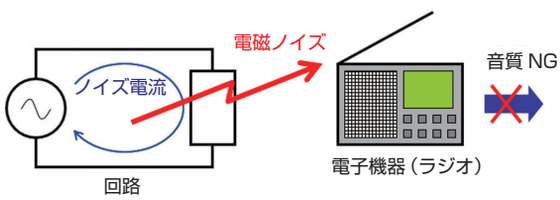
＊ HEV設計部

制は重要項目の一つとなっている。

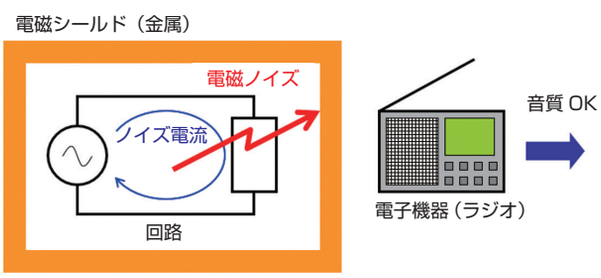
Fig. 1 (a) にその原理を示す。ここに示すように、電磁ノイズは回路にノイズ電流が流れることで発生する。この電流が大きいほど電磁ノイズは大きくなり、他の電子機器へ干渉する可能性は高くなる。

このような問題の対策方法の一つに、電磁シールド（以下、シールドと呼ぶ）がある。シールドは、金属板などで構成され、ノイズ発生源となる回路を覆うように配置される。Fig. 1 (b) にシールドの概要図を示す。金属は電磁波を減衰させる効果を持つため、電磁ノイズは外部へ放射されにくくなる。これにより、他の電子機器への干渉を抑制することができる。

電動車両は高電圧部品から大電流が発生するため、放射される電磁ノイズが従来よりも大きい。そのため、多重にシールドするなどの複雑な構造が必要となり、設計の工夫が求められる。



(a) Without shield structure



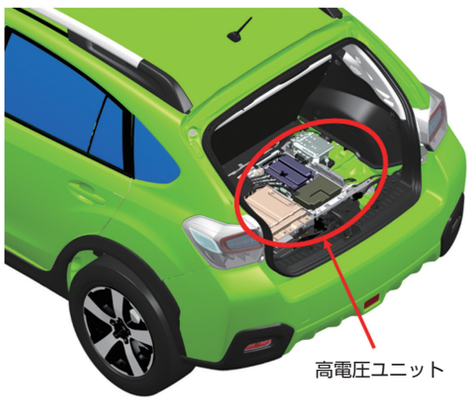
(b) With shield structure

Fig. 1　Mechanism of electromagnetic noise

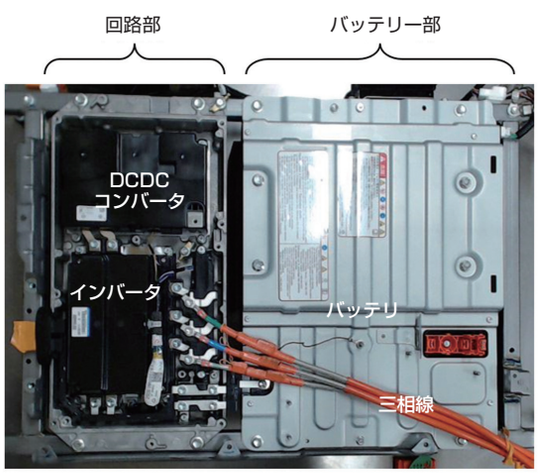
2.2　XV Hybrid における電磁ノイズ対策

XV Hybrid では、Fig. 2 (a) に示すように荷室下部に高電圧部品を集積している。（以下ではこれを高電圧ユニットと呼ぶ。）高電圧ユニットは、Fig. 2 (b) に示すようにバッテリー部と回路部に分けられ、後者にはインバータやDCDCコンバータなどのノイズ発生源となる高電圧部品が搭載されている。

これらの部品への電磁ノイズ対策として、Fig. 3 に示すようなシールドが採用されている。これは、主に3つの部品から構成されている。まず、インバータのみを覆うインバータシールドがあり、その上に回路部を覆う回路シールドがある。更に、最上面に、高電圧ユニット全体を覆うユニットシールドが配置されている。XV Hybrid における電磁ノイズ対策は、このような多重シールド構造によって実現されている。



(a)Position of high-voltage unit



(b) High − voltage unit

Fig. 2　Structure of high-voltage circuit unit

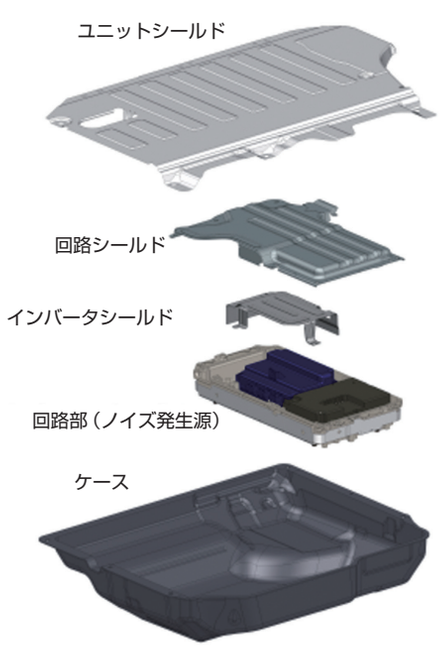
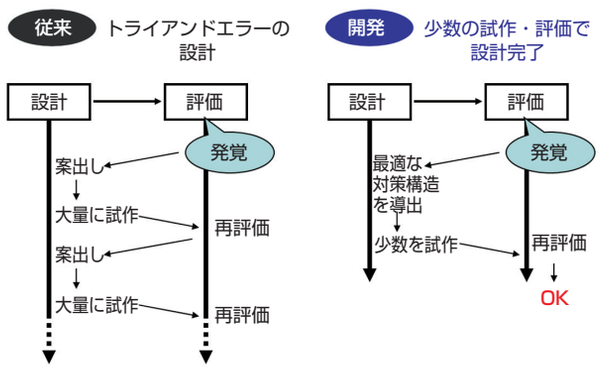


Fig. 3　Components for protection against electromagnetic noise

3.　電磁波設計手法

電動車の開発は設計と評価の工程に分かれており、設計が完了した後に評価が行われる。評価内容は顧客要求や法規・規格から導出されており、電磁ノイズ関連ではラジオ音質の確認などが挙げられる。評価を通じて発覚した問題は、設計にて再検討が行われる。

Fig. 4 (a) に、従来から行われている検討プロセスを示す。電磁ノイズが発覚した後、設計では考えうる原因を全て想定してシールド構造を検討する。その後、これら全てを検討するために大量の試作品を制作して評価を行う。このプロセスを何度もトライアンドエラーで繰り返すことで、最適な対策部品を導出する。



(a) Traditional method　(b) Development method

Fig. 4　Comparison of design approach for protection against electromagnetic noise

この方法は設計・評価を何度も繰り返すため、多くの工数が必要となる。また、試作を何度も繰り返すため開発コストも増大してしまう。

そこで、我々はFig. 4 (b) に示すような電磁波設計手法を提案している。これは、最適構造の導出を設計で行うことで試作・評価回数を減らし、工数や開発コストを低減することを目指している。

その手順をFig. 5に示す。まず、ノイズ測定を活用してノイズ源の特定を行い、メカニズムを想定する。これを元に対策構造を検討し、電磁界解析のための解析モデルを作成する。最後に、対策構造同士の比較解析を行い、効果が最も強い部品を最適構造として導出する。

このように、従来できていなかったノイズ源の特定と、対策部品の比較を設計段階で可能とすることで開発を効率化することが本手法のポイントである。

以下では、本手法の各手順をXV Hybridの電磁ノイズ事例に適用して検証を行う。なお、比較解析で使用する構造にはXV Hybridで搭載されているノイズ対策部品を使用するものとし、対策構造検討は省略する。

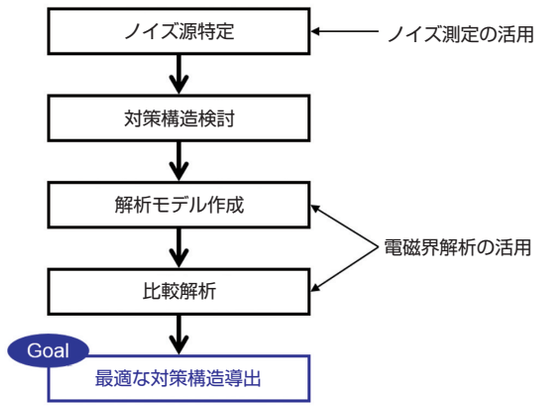


Fig. 5　Flow of electromagnetic wave design method

4.　ノイズ源特定

4.1　測定方法

一般にノイズ測定は、部品や車体が放射する電磁ノイズを遠方から測定する遠方界測定という方法がとられる。この方法は、電磁ノイズ関連の規格を満たすかの判断には使用できるが、ノイズ源そのものを特定することは難しい。これは、それぞれの部品が放射する電磁ノイズ同士が、遠方では重なり合って測定されるためである。

そこで、近傍界測定と呼ばれるノイズ測定手法を採用した。この手法は、電磁ノイズの干渉が少ない部品近傍にて評価を行うものである。これにより部品ごとの電磁ノイズ強度を取得できるようになり、ノイズ源の特定が可能となる。

今回は近傍界測定を用いて、高電圧ユニットの電磁ノイズ分布を取得した。Fig. 6に測定系の構成を示す。この測定系は、測定部、測位部、及び制御用PCから構成される。

測定部は、高電圧ユニット上部に配置された電磁界プローブが電磁ノイズを検出し、スペクトラムアナライザによってその強度を取得する。

測位部は、位置認識ユニットとコントローラで位置を認識し、情報を制御用PCへ送信する。

測定部と測位部から得られたデータを制御PCで処理することで、高電圧ユニットの電磁ノイズ分布が取得される。

なお、測定対象である高電圧ユニットは三相モータテストベンチに接続している。これにより、高電圧ユニット動作時の電磁ノイズを確認することが可能となる。

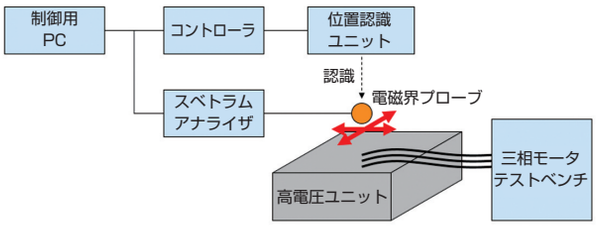


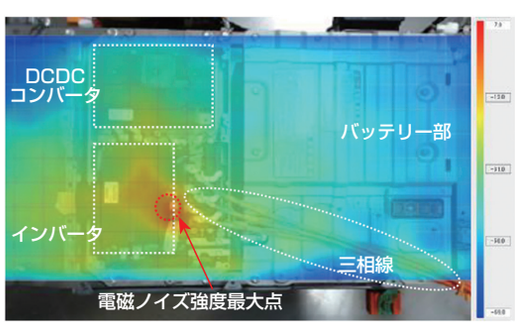
Fig. 6　Measurement system

4.2　測定結果

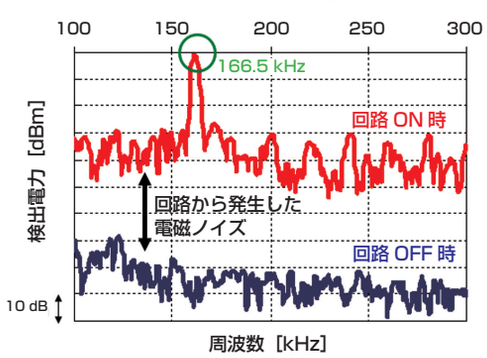
高電圧ユニット近傍の電磁ノイズ分布の測定結果をFig. 7 (a) に示す。ここから、インバータ近傍に電磁ノイズ強度が最大となる点があることが分かる。また、インバータの出力ラインである三相線にそって電磁ノイズが検出されている様子も確認できる。

電磁ノイズ強度最大点における周波数成分をFig. 7 (b) に示す。ここでは、高電圧ユニットの回路ON時と回路OFF時の測定結果を示す。回路OFF時は、高電圧ユニットが動作しないため、測定結果は外部からの電磁ノイズだと考えられる。一方で、回路ON時は、高電圧ユニットが三相モータテストベンチを駆動するため、高電圧ユニットと外来の電磁ノイズが重畳した測定結果と考えられる。したがって、回路ON時とOFF時の値の差分が、高電圧ユニットから放射される電磁ノイズだと判断できる。

以上の結果から、インバータ近傍で電磁ノイズが発生しており、特に166.5 kHzの放射が強いことが判明した。



(a)Distribution of electromagnetic wave



(b) Electricity versus frequency

Fig. 7　Measurement result

5.　電磁界解析の解析モデル作成

5.1　解析モデル

電磁波設計手法では、電磁界解析の解析モデルを簡略化して扱う。これは、インバータなどの回路を正確に再現すると解析時間が長くなり、多くの解析を行う必要がある比較解析が困難になるためである。

Fig. 8に解析モデルを示す。ポイントとなるのは、ノイズ源であったインバータをダイポールアンテナと呼ばれるアンテナに置き換えている点である。ダイポールアンテナは、2本の配線から構成されるシンプルな構造である[(2)]。複雑な内部構造を持つインバータやDCDCコンバータをこれに置き換えることで、解析時間の短縮が可能となる。

このアンテナは、前章の測定結果の電磁ノイズ強度最大点に配置し、100 kHz帯を解析周波数とした。なお、電磁界解析ソフトは、自動車分野での実績も考慮してANSYS HFSSを使用している。

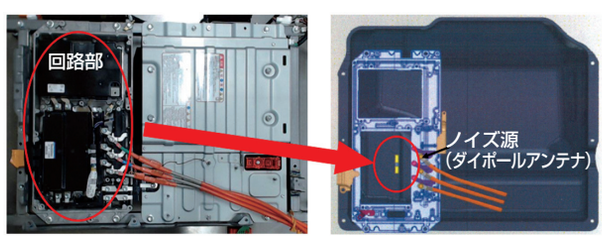


Fig. 8　Structure of simulation model

5. 2　解析結果

解析結果をFig. 9に示す。これは、Fig. 8に示した高電圧ユニットの上に、電磁界分布を重ねたものとなっている。なお、この図は、4章のノイズ測定と電磁界分布の取得条件を揃えてあるため、Fig. 7 (a) と比較可能である。

Fig. 9より、インバータから均一に強い電磁ノイズが発生している。また、電磁ノイズは、バッテリー部では小さいが、三相線に沿った形で分布していることが確認できる。

これをFig. 7 (a) と比較すると、インバータと三相線にて電磁ノイズ強度が大きい点が一致する。ただし、電磁界解析の結果はインバータ全体に均一な電磁ノイズが発生しており、実測と一致しない。

今回は、実測と一部で不一致な点があるものの、このモデルを用いて検討を進めた。本手法における解析の目的は、対策構造の効果を比較することであり、絶対値を合わせこむことではない。したがって、電磁ノイズ強度が強い位置が最低限あっていればよく、むしろ解析時間を短縮できることのメリットの方が大きい

と判断したためである。

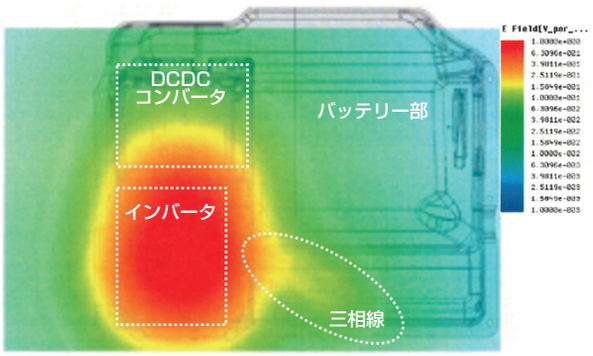


Fig. 9　Simulation result

6.　対策構造の比較解析

電磁波設計手法では、前章で検討した解析モデルを使用し、対策構造ごとの比較解析を行う。ここでは、検討した多数の構造の中から代表的なものを選び、解析結果としてTable 1に示した。なお、解析結果の妥当性を検証するため、ノイズ測定による実測結果も記載している。

各構造は、シールドの付加方法が異なっている。(a) はシールド無しの構造である。(b) は、Fig. 3で示したインバータシールドと回路シールドを(a) に付加したものである。(c) は、Fig. 3で示した全てのシールドを搭載したものである。これは、従来の手法で導出した最適構造であり、現行のXV Hybridに搭載されている。

各解析結果から、以下のことが確認できる。

・(a) シールド無し：インバータ近傍の電磁ノイズが強い
・(b) 一部シールド：回路部のノイズは抑制できているが、三相線側のノイズが(a) と比べて強い
・(c) 全てのシールド：全体のノイズが低減できている

以上の結果から、(c) の電磁ノイズ対策効果が最大であることが分かった。また、(b) のようにシールドを一部除去すると、対策効果は減少する。これらは従来の設計手法で得られた結果とも一致している。

また、解析結果の上記傾向は、実測結果とも一致する。たとえば、(b) は、回路部内での分布にやや差異があるものの、最も電磁ノイズが強い場所が三相線であるという点は一致している。ここから、解析の妥当性も示すことができたと考える。

以上より、本手法は、従来の手法と同等の結果を導出可能であり、今後の開発に適用可能であると結論づけることができる。

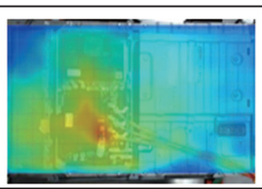
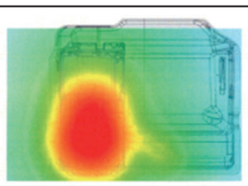
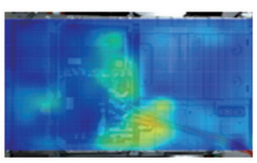
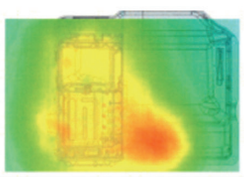
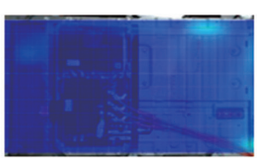
7.　おわりに

7.1　まとめ

本報告では、電磁波設計手法の概要について説明した後、XV Hybridの高電圧ユニットへ本手法を適用し、今後の開発への適用可能性を検討した。

まず、ノイズ測定を活用して高電圧ユニットを測定し、電磁ノイズの発生源がインバータであることを特定した。それを元に電磁界解析の解析モデルを作成し、

Table 1　Comparison between measurement and simulation

対策方法	実測	解析
(a) シールド無し		
(b) 一部シールド付加		
(c) 全てのシールド付加		

実測との比較から、解析モデルの妥当性を示した。最後に、複数の電磁ノイズ対策構造についてその効果を比較し､最も効果の大きい構造を導出した。その結果、本手法は、従来手法と同様の最適構造を導出可能であることを確認した。

以上の取組みから、電磁波設計手法は、今後の開発に適用可能であることを示すことができたと考える。

7.2　今後の取組み

今後は、より多くの電磁ノイズ課題に対応できるように、電磁波設計手法の検討を更に進めていく。電磁ノイズの発生は、本報告で示した回路部品のほかに、ボディに沿って配線されたハーネスも要因として考えられる。このような場合、回路だけではなくボディとハーネスを解析モデルとして解析を行う必要がある。

現在、開発を進めている解析モデルをFig. 10に示す。この解析モデルは、本報告のものよりも規模が大きくなるため、簡略化の手法がポイントとなる。そのため、解析精度に影響を与える因子の抽出など、解析技術の基礎的な検討を現在行っている。

一方で、本報告で示した通り、現時点でも回路部品から放射される電磁ノイズへの適用は十分可能である。そこで、本手法を他の電動車両の開発に適用し、電磁ノイズ対策の時間短縮・コスト低減に貢献することを目指して取組みを行っていく。

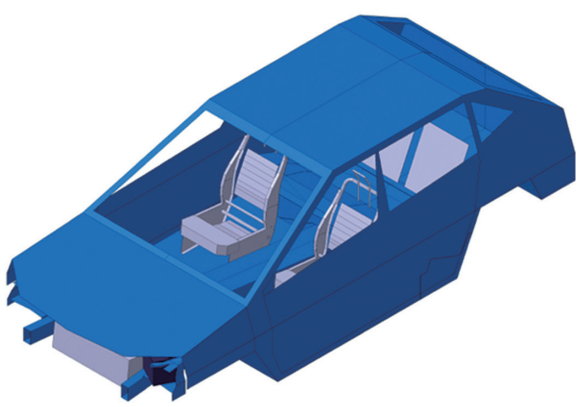


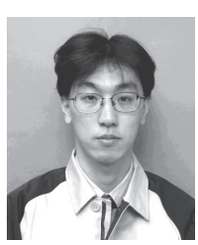
Fig. 10　Body simulation model

参考文献

(1) 自動車技術会：自動車技術ハンドブック第10 分冊 設計(EV・ハイブリッド編), p.272, 自動車技術会(2011)
(2) 後藤尚久ほか：電波工学, p.55, 昭晃堂(1992)

【著　者】

夏目　侑紀


大堀　勇二

網倉　亜衣

単気筒エンジンの改良による開発プロセスの課題対応

Solutions to Issues on Engine Development Processes Based on Improvement of Single-Cylinder Engines

山口　暁* Satoru YAMAGUCHI
中山智裕* Tomohiro NAKAYAMA
加藤真亮* Masaaki KATO
木本健太* Kenta KIMOTO
原井惇行* Atsuyuki HARAI
金子　誠* Makoto KANEKO

抄　録

製作コストが低く仕様変更が容易な事から、単気筒エンジンが開発の初期段階で活用されている[(1)(2)(3)]。しかし、その試験結果に基づいて製作された多気筒エンジンの特性が、単気筒エンジンのそれと一致しないことがあり、エンジン開発プロセス上の課題となっている。

本研究では、両者の特性が異なる要因を一つ一つ特定し、吸排気チャンバ―容量や排気管長さ等の工夫によってこの問題を解決し、エンジン開発のプロセス改善に役立てた。

Abstract

Single-cylinder engines are used in the early stages of engine development because of their lower manufacturing cost and ease of specification optimization[(1)(2)(3)]. The characteristics of multi-cylinder engines may, however, differ from those of single-cylinder engines even though their structure is based on that of single-cylinder types. This can cause issues in the development process.

In this study, we have identified each factor in characteristic differences between multi- and single-cylinder engines and solved these issues by adjusting the size of the intake and exhaust chambers, the length of the exhaust pipe, etc. in order to help improve the engine development processes.

1. まえがき

エンジン開発においてやり直し発生を防止する目的で、V字プロセス開発という手法が一般的になりつつある[(4)]。この手法では、開発工程を機能確認のための工程に分解し、各工程で設定した目標値をクリアしない限り次の工程に進ませないことで、問題発生すなわちやり直しが発生することを防止する。同時に、可能な限りこれら機能確認をCAEに置き換えて、開発期間とコストを削減する。

しかしながら、現状ではある頻度でやり直しが発生してしまうのが実状である。原因として、各工程で設定する目標値を、燃費・排ガス・出力等のエンジンの最終性能に確実に紐づけることが難しい、などが考えられる。また、ガソリン直噴の触媒暖機時の点火リタードにおける燃焼安定性やモード燃費域のEGR限界、全開時のノック特性をCAEで予測することは現状難しい。

そこで、多気筒エンジンを試作する前に機能を確認する手段として単気筒エンジン活用に利点があると考える。単気筒エンジンは、開発の初期だけでなく環境変化で開発期間中に目標引き上げが必要になった時や、市場不具合発生時の対応にも活用できる可能性があるため、本稿では変化に強く開発プロセスに活かせる単気筒エンジンを提案するべく、実施した対応について紹介する。

2. 方針

単気筒エンジンをエンジン開発に有効活用するため、可能な限りの対応を行い、多気筒エンジンの特性に近づけることを本研究の目的とした。また、すべての対応後、最終的には、単気筒で評価できる項目を明確化させたい。

はじめに、単気筒エンジンを多気筒エンジン開発に活用するにあたり、問題となった事象を挙げそれぞれ

＊ 技術本部PGM

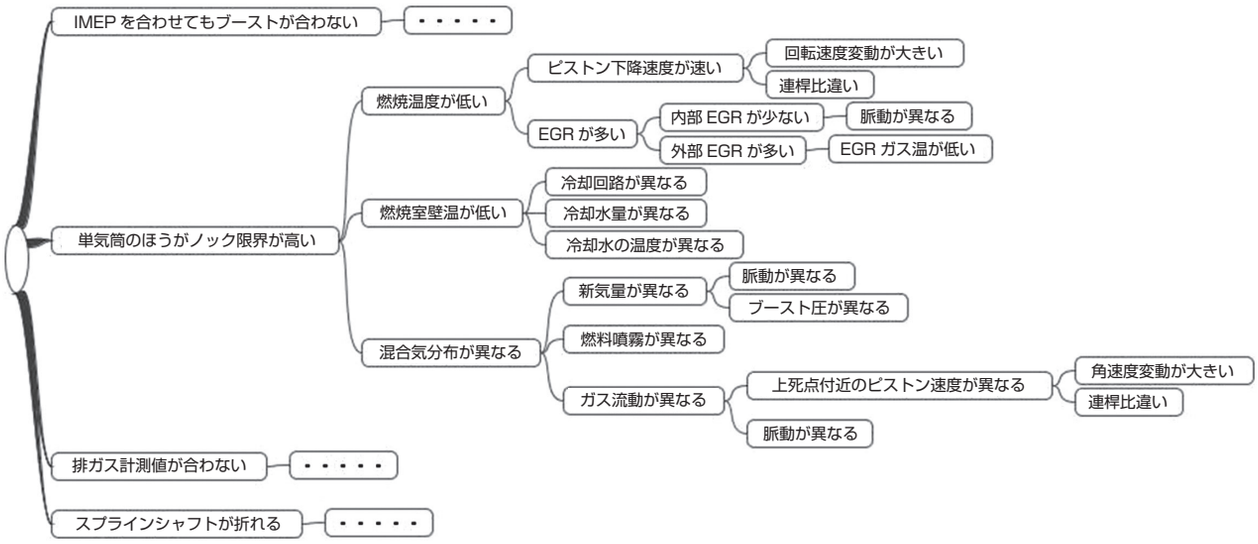


Fig. 1　Example of factor analysis

に対し要因分析を行った。Fig. 1に要因分析の一例を示す。

そこから、着火前の筒内状態が同じであれば、燃焼は同様となるとの考えの基に、内部EGR、ガス流動、燃焼室壁温、ピストン運動に着目し、主要因に絞った。それに対し、多気筒と相関のある単気筒エンジンを構築するために必要な対応策を考えた。Table 1に特性違い主要因と対応策を示す。次項以下でそれぞれの対応について詳細を記載する。

Table 1　Main different factors in characteristic and solutions

Main different factor	Solution
Cooling	Adjust wall temperature
Internal EGR	Set up exhaust chamber
Intake pressure drop	Set up intake chamber
Intake pulsation	Set up damper
Engine speed fluctuation	Low inertia dynamo meter
Exhaust temperature	Insulated exhaust

3.　対応

本研究で用いた単気筒エンジンはボア×ストローク、コンロッド長、吸気ポート、燃焼室・ピストン形状を含め四気筒エンジンと同じ仕様である。Table 2に供試機関の仕様を示す。

3.1　冷却違い

単気筒エンジンと四気筒エンジンでは、ノック感度に違いがあり、燃焼室壁温を実測すると差異があることがわかった。Fig. 2に壁温計測点を示す。この燃焼室壁温違いがノック感度違いの要因の一つと考え、対応として、ヘッドとライナを分離冷却し、それぞれの冷却水流量を調整した。Fig. 3にエンジン回転速度2000 rpm、IMEP800 kPaでの冷却水調整前後の燃焼室壁温比較を示す。対応前の壁面温度について、ヘッド側の計測点(a、b)では単気筒の方が高く、ライナ吸気側の計測点(f、g、h)では単気筒の方が低い傾向がある。これが、対応後では四気筒壁温分布に近づけることができた。Fig. 4に対応前後の単気筒エンジンと四気筒エンジンのトレースノック点の差を示す。縦軸は、四気筒の点火時期を基点0 deg.CAとした場合の単気筒エンジンの進角値を示す。値がプラスの場合、単気筒エンジンが進角していることを示す。対応前は単気筒エンジンが6 deg.CA進角であったが、対応後は3 deg.CA進角まで抑える事が出来た。

Table 2　Test engine specifications

	Single cylinder engine	4 cylinder engine
Bore × Stroke [mm]	ϕ 84 × 90	←
Conn-rod length [mm]	129.3	←
ε	12.0	←
Fuel injection	DI	←
Intake system	Special	Equivalent of product
Exhaust system	Special	Equivalent of product

3.2　内部EGR違い

単気筒エンジンでは、吸排気管内での脈動が四気筒エンジンのものとは異なり、Fig. 1に示すように内部EGR、筒内ガス流動違いに影響を及ぼすと考える。

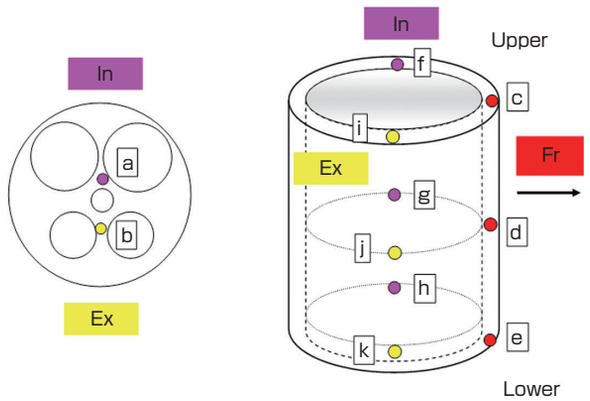


Fig. 2　Wall temperature measurement points

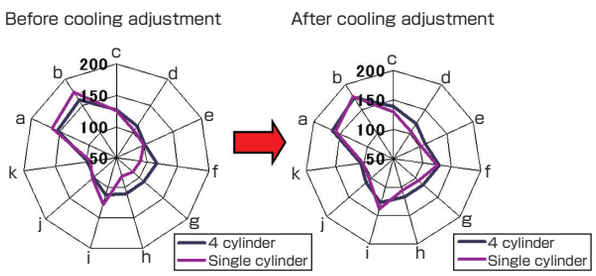


Fig. 3　Wall temperature

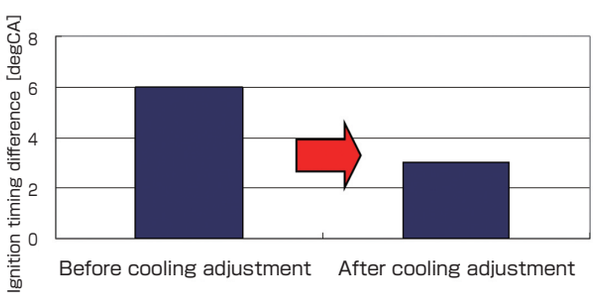


Fig. 4　Trace knock comparison

しかし、排気管内温度違いや、他気筒からのブローダウン影響のため、単気筒エンジンの吸排気脈動を四気筒エンジンと完全に一致させることは出来ない。そこで、燃焼への主影響要素である内部EGRと吸気行程中の脈動に着目し、吸排気システム構築によって四気筒エンジンにより近づける可能性について検討した。Fig. 5に吸排気システム概略図を示す。

単気筒で評価を予定している部分負荷条件において、排気チャンバ容積、チャンバまでの排気管長を変更し、内部EGRが四気筒と合う条件をGT-Powerにて検討した。Fig. 6に回転速度1200 rpm、IMEP680 kPaにおけるGT-Powerでの内部EGR検討結果一例を示す。図中の横軸はチャンバ容積、縦軸は内部EGR率を表し、赤横線が四気筒の内部EGR率を示す。

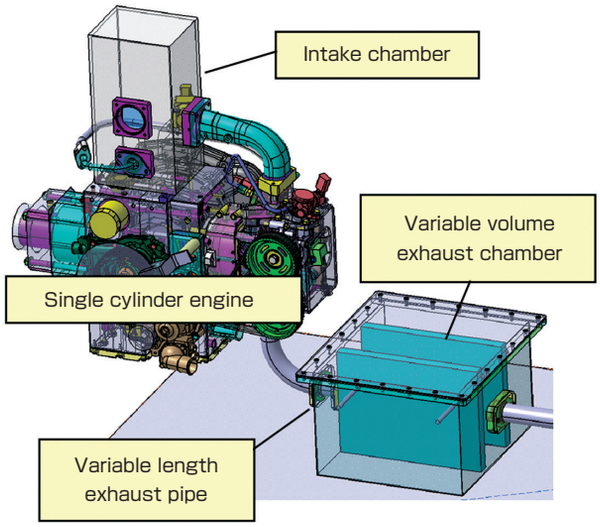


Fig. 5　Intake & exhaust systems

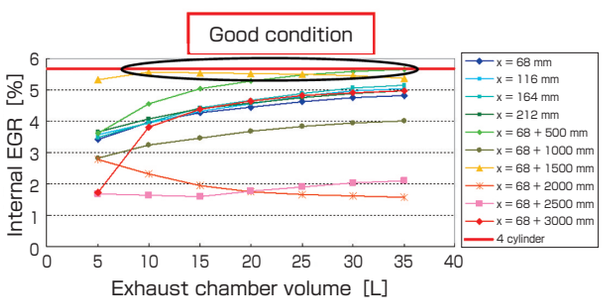


Fig. 6　Example of calculated internal EGR by GT-POWER

Fig. 6に示す検討結果を基に、四気筒の内部EGR率に近づく排気チャンバ容積、排気管長を選定し、実機での確認評価を行った。実機での評価は吸排気圧力、筒内圧力の計測値を用いたTPA（Three Pressure Analysis）解析により内部EGR率を計算した.その結果をFig. 7に示す。運転条件は回転速度1200 rpm、IMEP680 kPaである。選定した排気チャンバ容積、排気管長を設定すれば単気筒において、四気筒の内部EGR率の差を半分以下にできることを確認した。

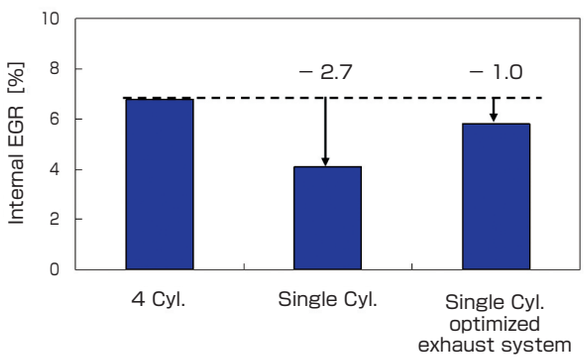


Fig. 7　Internal EGR

その結果、Fig. 8に示すようにISFCを四気筒の値にほぼ一致させることが出来た。内部EGR率の調整が四気筒の燃費率を再現するための方策として有効であることが確認できた。

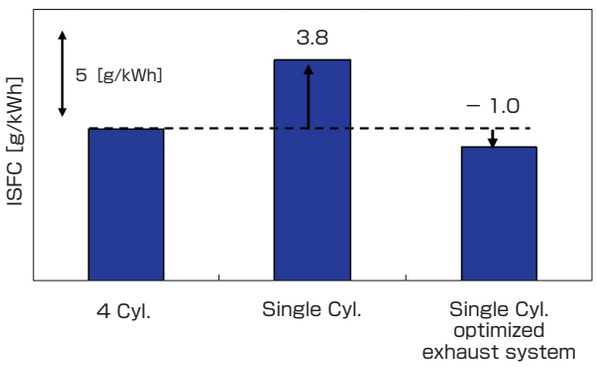


Fig. 8　ISFC

3.3　部分負荷時の圧力降下および脈動対応

3.1項と3.2項で示した取り組みによりノックと燃費について四気筒と単気筒が近づいたが、その差はまだ残っている。本項では部分負荷時の吸気脈動も燃費に影響する一因と考え、可能な限りこれを四気筒に近づけることを試みた。

単気筒エンジンは四気筒エンジンと異なり、4行程で1回しか吸気しないため、吸気行程で圧力降下が生じる。そこで対応として、四気筒エンジン比で容量の大きな吸気チャンバを設置し、その効果を検証した。

Fig. 9にエンジン回転速度1200 rpm、IMEP680 kPaにおける四気筒エンジンとチャンバ無しの単気筒エンジン、10Lの吸気チャンバを設置した単気筒エンジンの吸気管内圧力を示す。四気筒エンジンでは吸気管内の圧力降下は殆ど見られない。それに対し単気筒エンジンでは、吸気バルブが開くと吸気ポート内圧力が降下し、吸気BDCから排気行程にかけて圧力が回復する。単気筒エンジンに対し10Lの吸気チャンバを設置すると吸気行程中の圧力降下が小さくなる事が分かる。

Fig. 10に各エンジンの吸気行程中の吸気ポート内の圧力降下量を示す。圧力降下量はIVOにおける吸気管内圧力と吸気行程中の最小吸気管内圧力との差とした。単気筒エンジンでは10Lの吸気チャンバを設置する事で、圧力降下を6割程度低減できた。

次に、この圧力降下抑制が筒内流動に与える影響を調べるため、点火栓挿入型LDVにより単気筒のモータリング条件で、点火プラグ位置におけるエンジンシリンダ内流速を計測した。流速は平均ピストン速度で無次元化している。 Fig. 11にエンジン回転速度1200 rpm、吸気管内圧力 −13.3 kPa（−100 mmHg）における、容量10Lの吸気チャンバの有り無しの無次元平均流速

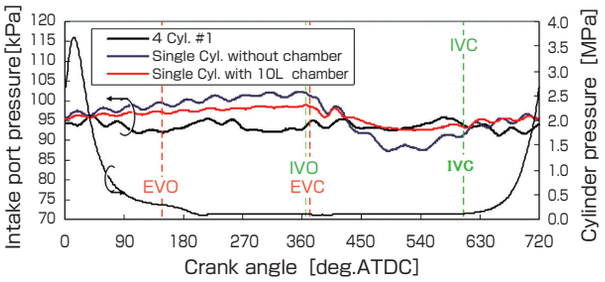


Fig. 9　Intake port pressure at partial load

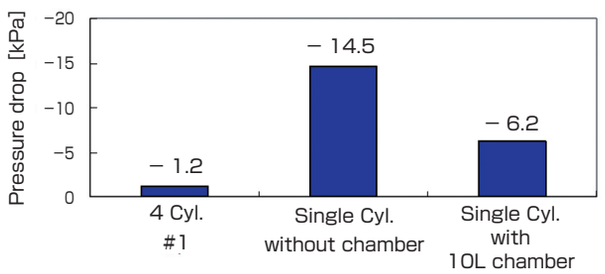


Fig. 10　Pressure drop during the intake stroke

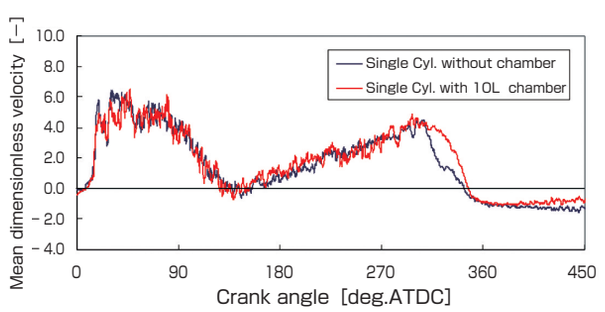


Fig. 11　Flow characteristics

分布を示す。吸気行程前半は平均流速に大きな差は見られないが、300 deg. ATDCからTDCにかけて違いがあり、チャンバを設置する事で流速が大きくなっている事が分かる。これは圧力降下の低減に伴い吸気の流動が強くなった事で、四気筒に近い流動となっていると推測する。今後、四気筒でのLDV試験を実施し、チャンバの設置により単気筒エンジンの筒内流動が四気筒エンジンの筒内流動に近づいている事を検証し、燃費に関しても同様に検証する予定である。

3.4　全負荷時の脈動対応

全負荷時の脈動もノックに影響する一因と考え、可能な限りこれを四気筒に近づけることを試みた。

単気筒では、排気からの吹き戻しが吸気脈動に大きく影響を及ぼすと考える。Fig. 12に前項と同様に吸気チャンバを設置した場合の全負荷時の吸気脈動を示す。吸気チャンバのみでは、高周波の脈動を抑えることができない。そこでスロットル直上にダンパの役割を持たせたエアクリーナーエレメントを設置した結果、高周波成分を抑えることができ、脈動の振幅を四気筒相当に減少させることができた(Fig. 13)。

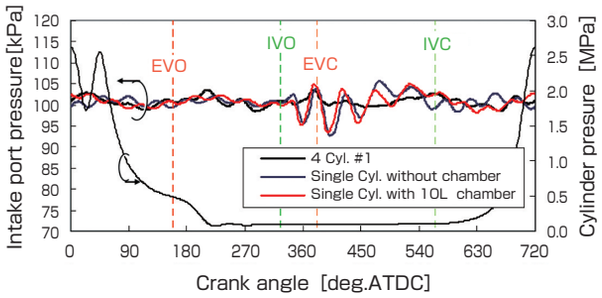


Fig. 12　Intake port pressure at full load

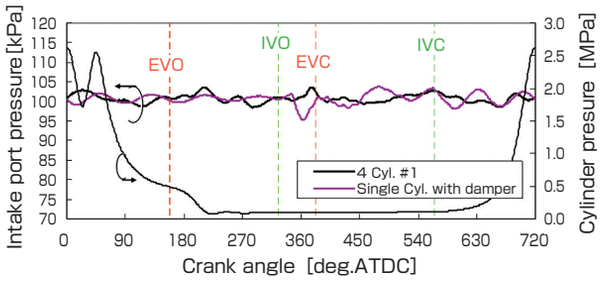


Fig. 13　Intake port pressure at full load with damper

この対策にともない、オーバーラップ時の脈動が対策前と異なるため、排気チャンバ容積と排気管長さを再調整し、内部EGR率を四気筒相当に合わせる必要がある。

4.　残課題

4.1　回転速度違い

クランク2回転のうち、単気筒では1回の爆発しかない。四気筒であれば4回の爆発が順に起き、また他気筒のピストン運動と重なることで回転速度変動が抑えられる。そのため、単気筒と多気筒では回転速度変化に違いがある。特に圧縮上死点以降、ピストン下降速度が単気筒の方が速く、ノック耐力に有利な方向に働くと考える。Fig. 14に単気筒と四気筒との回転速度変動比較を示す。図中の0 deg.ATDCがオーバーラップトップである。3.1項のトレースノック点差の残りは、3.4項の脈動および、この変動の違いによると考える。

対応として、大容量フライホイールの設置、もしくは低慣性動力計を用いて回転速度変動を四気筒並みに一定に保つことを検討している。

4.2　排気温度違い

排気管内の温度について、単気筒の方が低くなる傾向がある。Fig. 15に単気筒エンジンと四気筒エンジンの排気温度とTHC濃度の違いを示す。ポート直下およびポート下流の温度の違いが、後燃え状態に影響を与え、その影響を受けるTHCに違いが生じている。排気管の断熱化が有効であると考える.

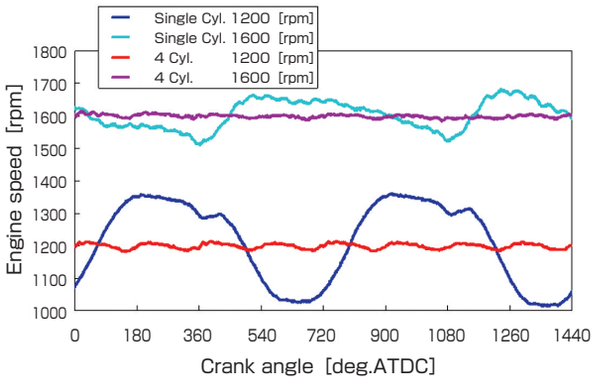


Fig. 14　Engine speed fluctuation

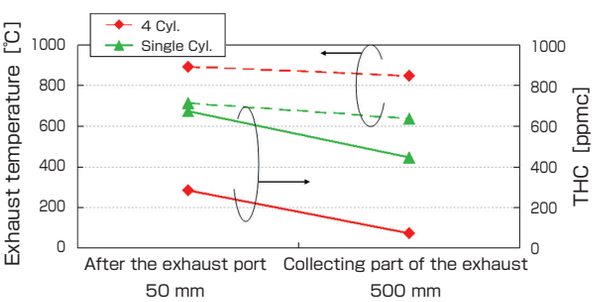


Fig. 15　Characteristics of the exhaust gas

5.　まとめ

エンジン開発プロセス改善に役立つ単気筒エンジンを提案するべく行った対応について、結果を以下に示す。

①各部位の温度調節によって燃焼室壁温を四気筒に合わせた結果、トレースノック点火時期の四気筒との差が半減した。

②排気チャンバ容積、排気管長を設定した結果、内部EGR率が四気筒に近づき、ISFCを四気筒にほぼ合わせることができた。

③部分負荷において，吸気チャンバの導入により、吸気行程中の圧力降下を抑えることができた。

④全負荷において、スロットル上流にダンパの役割を持つエアクリーナー設置により、吸気脈動の振幅を抑えることができた。

6.　あとがき

本稿において、エンジン開発プロセス改善に役立つ単気筒エンジンを紹介できた。紹介した事例を活かし、現在，開発機種への貢献を図っているところである。しかし、すべての課題をクリアできているわけではないので、引き続き課題対応に努めると共に、さらなるエンジン開発プロセス改善を検討していきたい。

参考文献

(1) 秋本ほか8名，新世代水平対向ガソリンエンジンの開発（第2報）－燃焼設計と燃費性能改善について－，自動車技術会学術講演会前刷集（秋季），No.110-10,20105781（2009）
(2) 二神ほか5名，水平対向直噴ターボガソリンエンジンの開発 第2報－燃焼設計と出力・燃費・排出ガス性能改善について－スバル技報，第39号（2012）
(3) 佐々木ほか7名，新開発1.6L水平対向直噴ターボエンジンの開発・紹介，スバル技報，第41号（2014）
(4) 藤川智士，マツダの目指すモデルベース開発，マツダ技報，第31号（2013）

【著　者】

山口　　暁

中山　智裕

加藤　真亮

木本　健太

原井　惇行

金子　　誠

成長期（昭和60年代）のスバル紹介

フォレスター S/tb（1997年～2002年）

全長×全幅×全高：4450×1735×1580 mm
ホイールベース：2525 mm
エンジン：水平対向4気筒 DOHC ターボ 1994 cc
最高出力：250 ps/6250 rpm
最大トルク：31.2 kg−m/4000 rpm

レガシィ、インプレッサに次ぐスバル小型系第3の柱として、インプレッサのプラットフォームをベースにOutback同様、車高を上げ、大径タイヤを装着した上に、よりSUVらしいスタイリングを組み合わせた新コンセプトのクルマである。発売時は2.0リッター ターボエンジンのみの展開とし、走りのSUVというイメージを訴えた。

塗装品質向上のためのシミュレーション技術 －２次タレ予測ソフトの開発（第２報）－

Simulation Technology for Improving Paint Quality - Development of Prediction Software for Secondary Sags (Second Report) -

沖　野　振一郎*
Shinichirou OKINO

抄　録

電着塗装の炉体内で発生する2次タレは、車体の隙間部等に蓄えられた電着塗料・脱脂液等が、塗膜焼付用の炉体内で流出することで発生する。2次タレが生じた塗装面は凹凸が激しく、下地不良となるので様々な工程対策が試みられているが上手くいっていない。そこで、デザイン段階で2次タレを防止するため、第1報ではタレのルートを簡易に予測する方法について述べた。本報では、タレの発生源を簡易に予測する方法と、それらを用いた予測ソフトの精度について述べる。

Abstract

This paper describes a computer simulation technology for secondary sags on automobile body. ED liquid attached on body will run when it enters an oven after the ED coating process. The reason is that the surface tension and gravitation are evenly balanced before the oven, but the tension will decrease while heated. In the first report, a simple method to predict where the ED liquid would run was described. In this report, another simple method to predict where the ED liquid will start running and the accuracy of the prediction are introduced.

1. まえがき

自動車の塗装は、電着・中塗り・上塗り（含クリア）の多層から成っており、順番に塗装と焼付を繰り返して生成される。そのうち、下地となる電着塗装の品質は、後工程の塗装品質に影響する。また、今後のトレンドである3WET塗装（中塗り～クリアまでを乾燥させずに塗る）においては、さらに下地品質が重要となる。

その電着塗装における欠陥の一つに、2次タレがある。電着塗装で生ずる欠陥修正のうち、最大の工数を要している他、修正失敗による2次修正を生じる事もある。

2次タレに対しては､これまで生産工程において様々な対策が評価・実施されてきたが、完全にゼロにはできていない。また、2次タレは構造に起因することから、過去の生産車からのフィードバックによって構造改善が行われているが、新規構造に対しては技術者の経験と勘に頼るところが大きく､見逃しも懸念される。

そこで、電着塗装の2次タレに対して、デジタル検討での構造改善を可能にし、見逃しや担当者による品質バラツキを無くすため、3DCADデータの状態で2次タレ発生を予測する技術を開発し、第1報で開発したソフトの課題を解決したので本報にて紹介する。

2. 2次タレとは

2.1 2次タレ発生工程の概要

2次タレの発生工程である、電着塗装～焼付工程について述べる。電着塗装は浸漬塗装であり、車体を電着槽に約3分間沈めておいて、電気の力で塗膜を析出させる。その後、水洗工程で余分な塗料を洗浄し、焼付工程にて炉体の中で塗膜を硬化させる。炉体内の温度は140℃以上になる（Figs.1,2）。

＊ 生産技術管理部

Fig. 1　ED pool

Fig. 2　ED oven

2.2　２次タレの発生メカニズム

２次タレは焼付工程の炉体内にて発生する塗料タレによる欠陥のことである。炉体内で塗料がタレる原因は、車体構造にある。車体を構成する鋼板は、接合の為に複数枚が重ねられている場所が多数存在する。その板合わせ部の隙間には、電着塗料が表面張力によって入り込む。一度入り込んだ電着塗料は、車体が電着槽から出ても表面張力によって留まり続ける（Fig. 3）。

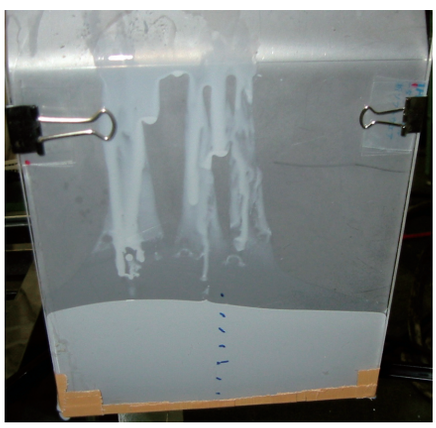


Fig. 3　ED liquid between plates
(steel & acrylic plates)

ところが、炉体内で温度が上昇すると、表面張力の減少や沸騰により出てきてしまう。それが外観面に流れると、正規の塗膜の上で電着塗料が蒸発した後に固形分が残り、タレ状の欠陥として2次タレになる（Fig. 4）。

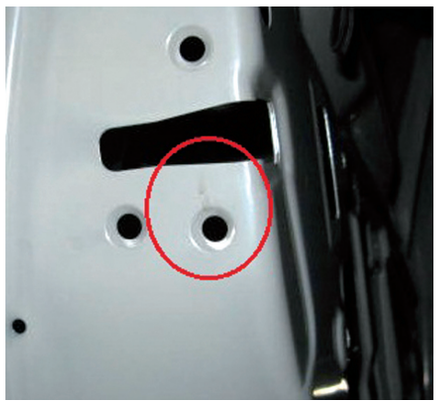


Fig. 4　Secondary sag on door panel

3.　既存の２次タレ対策手法

3.1　プレヒート

２次タレ対策として、80℃程度でゆっくり加熱するプレヒート工程を炉体前に設置することが知られている。これには、2つの効果がある。一つは、塗膜面が低温であれば塗料タレが2次タレになり難い事を利用して、なるべく塗膜面温度が低い状態で隙間の塗料を減らし（表面張力を温度上昇により低下させ流れさせる）、2次タレを改善する効果。もう一つは、隙間の電着液の蒸発を促し、液量を減らすと共に粘度を増加させ、沸騰により落下する電着塗料の量を減少させる効果である。しかし、プレヒートの効果は処理時間に比例することから、工程長の制限を受ける。

3.2　洗浄の強化

塗装炉体の前には、余分な電着塗料を洗い流すための洗浄槽、スプレー洗浄工程がある。これらの洗浄能力を向上させる事で、隙間に残留する電着塗料の固形分を少なくし、タレを改善するのが洗浄強化の狙いである。

そこで、電着塗料をどの程度まで薄めれば、高温の塗膜上にタレても跡を作らないか、テストピースを用いて簡易実験を行った（Fig. 5）。その結果、元の電着塗料の1/1000程度まで固形分を減少させる必要がある事が分かった。これを車体に存在する全ての部位で実現するには、非常に大がかりな洗浄設備が必要になる。

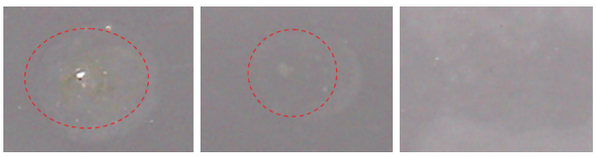


Fig. 5　Test result

3.3　構造改善、治具

2次タレに対する構造改善は、過去の生産車からのフィードバックや、技術者の経験・勘によって実施されてきた。具体的には、実車のタレ発生状況を見て、開発車に対してタレの原因となる板合わせ部の形状を変更する、あるいはタレの途中に液の方向を変化させる形状を追加するなどである。しかし、実物が存在しない3DCAD段階で、多数存在する板合わせ部から、どのように電着塗料が落ちて、最終的に外観面に到達するか否かを人間が確実にチェックするのは難しく、試作後に判明した2次タレについては構造改善を織り込めない事もある。

また、タレ液を受ける治具を設置することが可能な場合には、電着塗装時に治具を車体に装着し、2次タレの発生を防止することもある(Fig. 6)。

Fig. 6　Cover jig

4.　2次タレ予測ソフト

4.1　開発の狙い

まだ設計変更が容易な状態で、3DCADデータから電着塗料の残留部位となる板合わせ部と、そこからのタレ落ち挙動について予測できれば、事前対策により設備投資や試作後の設計変更を減らすことができる。また、これまで担当者の勘と経験で確認していたものを解析ソフトで行うことで、うっかり漏れやミスを無くすこともできる。

4.2　オリジナル予測ソフトの必要性

2次タレは、市販の汎用流体解析ソフトを用いて再現することが可能である。しかし汎用流体解析ソフトを用いると、計算時間が長い、解析用のモデル(以降メッシュ)作成や解析条件の設定に多くの工数と専門知識が必要になるといった問題がある。トライとして車体の一部(約100平方センチ)をメッシュ化し、電着塗料の移動を計算させたところ、一般的なワークステーションで2週間の計算時間を要した。

また、電着塗料が残留する板合わせ部は、3DCADデータでは接触しているが、実車では数十～数百μmの隙間があり、汎用解析ソフトでは物理的に忠実に計算するが故に、メッシュに実車の隙間を再現してやる必要がある。

結局、汎用解析ソフトを用いた場合は、計算時間、メッシュ作成と解析条件設定の工数、複雑さが問題となり、短い開発期間の中での実用化に至っていない。

そこでそれらを解決し、開発初期の3DCADデータの状態で素早く構造改善を実施できるようにするため、早い・簡単・軽いをコンセプトとして当社オリジナルのスバルらしい2次タレ予測ソフトを開発した。

4.3　第1報での予測ソフトの課題

第1報[1]では、被塗装物に付着した塗料のタレ方を予測することが可能になった(Fig. 7)。しかし、2次タレの主な発生源である板合わせ部に関する計算は織り込まれておらず、タレ液の発生源は解析者が設定する必要があった。そのため、発生源を自動で特定し、板合わせ部内での表面張力を織込んだ液の動きを計算するという課題が残っていた。

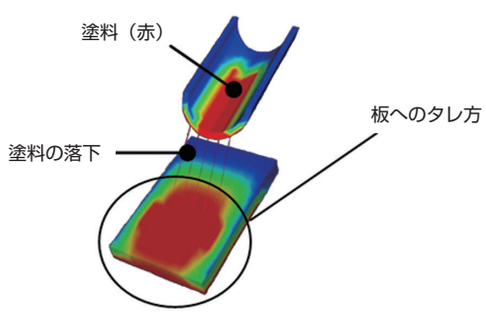


Fig. 7　Sag simulation by first version program

4.4　板合わせ部の計算

板合わせ部に留まるタレ液の体積は式(1)で表現できる。

タレ液の体積 $V = 2T\cos\theta/\rho g$　　(1)

T：表面張力
θ：接触角
ρ：液の密度
g：重力加速度
d：板同士の隙間幅

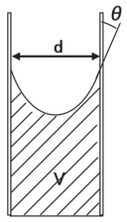


Fig. 8　Liquid in gap

ここで、板同士の隙間幅dによらず、隙間に溜まるタレ液の体積は一定である。ただし、タレ液はdがある一定値より大きくなると隙間に留まることができなくなる(Fig. 8)。

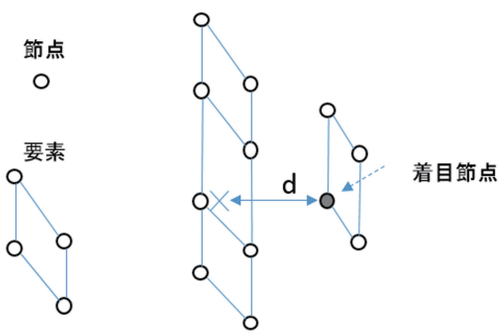


Fig. 9　Definition of d in our simulation

解析モデルにおいて、物体は節点とそれを接続して構成される要素で表現される。今回のシミュレーションでは、着目した各節点について、法線方向にある要素との距離を板同士の隙間幅dとした(Fig. 9)。タレ液の移動先の計算アルゴリズムは、dが閾値より小さい場合、第１報の予測ソフトのアルゴリズムに表面張力の影響を織込んだものにした。具体的には、着目節点から流出するタレ液の流出先を、dが大の場合は、直接接続がある節点だけを候補としているのに対し、dが小の場合には、メッシュ法線方向にある要素およびその下流の節点群も候補に加えている(Fig. 10)。また、タレの発生源となる部位もdに基いて予測している。

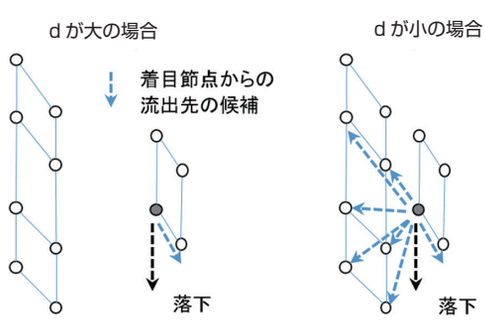
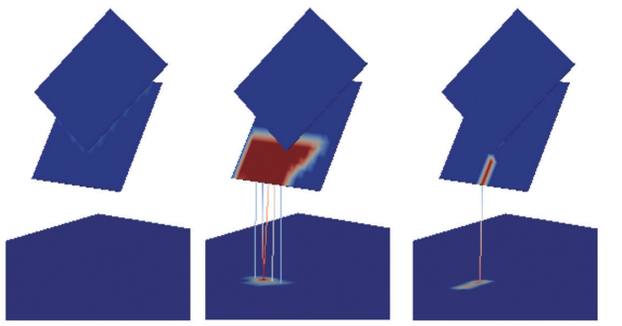


Fig. 10　Switch algorithm in accordance with d

5.　効果の確認

5.1　簡易モデルの計算事例

簡易モデルにおいて、前回の予測ソフトでは対応できなかった板合わせ部の隙間下端からタレ液が落ちる現象を再現する事ができた(Fig. 11)。



Model　　first simulation　　Improved simulation

Fig. 11　Sag simulation

5.2　実車での精度確認

実車での2次タレ発生実績と解析の結果(Fig. 12, Table 1)より検出率と誤検出率を求めた。

・検出率　82%
[実車×]かつ[解析×]の数 ÷[実車×]の数 × 100
・誤検出率　18%
[解析×]かつ[実車○]の数 ÷[解析×]の数 × 100

なお、それぞれの部位に対する平均の解析時間は30分、メッシュの作成時間は2時間である。

Fig. 12　Comparison between actual result and calculation

Table 1 Comparative table of actual result and calculation

No.	車種：部位	実車評価	解析評価	精度
1	インプレッサ：部位1	×要対策	× NG	○
2	フォレスター：部位1	×要対策	× NG	○
3	フォレスター：部位2	×要対策	× NG	○
4	インプレッサ：部位3	×要対策	× NG	○
5	フォレスター：部位3	×要対策	× NG	○
6	インプレッサ：部位4	×要対策	× NG	○
7	フォレスター：部位4	×要対策	× NG	○
8	フォレスター：部位6	×要対策	× NG	○
9	フォレスター：部位7	×要対策	○ OK	×未検出
10	フォレスター：部位8	×要対策	○ OK	×未検出
11	フォレスター：部位9	×要対策	× NG	○
12	インプレッサ：部位2	○対策不要	× NG	×誤検出
13	インプレッサ：部位5	○対策不要	× NG	×誤検出
14	フォレスター：部位5	○対策不要	○ OK	○

6. まとめ

平均計算時間30分、メッシュ作成工数2時間で、開発時の構造検討に使用できるオリジナルの2次タレ予測ソフトを開発した。次期開発車より、本ソフトを用いた3DCADデータ段階での構造改善検討を実施していく。

7. 今後の展開

今回未検出となった部位2か所は、3DCADデータに無い溶接ビード、隙間ではなく被塗物全体から少しずつ電着塗料が集まる現象などが原因ではないかと推測している。また、誤検出となった原因は実車と解析上の想定隙間サイズと実隙間サイズのズレ、生産ラインの洗浄力、落下する電着塗料の途中凝固といった原因が考えられる。今後これらを確認し、ソフトの改善を行っていきたい。

参考文献

(1) 沈建栄：2次タレ予測ソフトの開発（第1報），生産技術技報，Vol.8, p.49-52（2009）

【著　者】

沖野　振一郎

航空機構造技術動向

Technology Trend of Airplane Structure

伊佐野　康　夫*　Yasuo ISANO
齋　藤　義　弘*　Yoshihiro SAITO
宮　原　　啓*　Akira MIYAHARA
荒　川　陽　司*　Youji ARAKAWA
小　高　雄　二*　Yuji ODAKA
芦　澤　一　眞*　Kazuma ASHIZAWA

抄　録

航空機の代表性能である燃費は、エンジン性能、空力抵抗、そして機体重量に左右される。全備重量の約30%を占める機体構造は、運用条件に応じた強度、耐久性、剛性などの耐空性要求を満たし且つ軽量であることが求められる。その軽量化要求を満たすため、近年では、軽量材料として期待されていた複合材料の適用が拡大され、ボーイング787などでは機体の50%に複合材料が適用され始めてきており、今後も更なる軽量化、高強度、高剛性化を目指した技術開発が継続されていくと予測される。本稿では、航空機構造に関する材料・設計・製造技術の近年の動向を紹介する。

Abstract

Fuel consumption of an airplane is affected by the engine performance, aerodynamic drag and structural weight. For structures constituting about 30% of the gross weight of an airplane, there is a great demand for weight reduction while meeting airworthiness requirements in terms of strength, durability and stiffness. Recently, in order to meet these lightweight demands, lightweight materials and manufacturing technologies have been widely used, and the Boeing 787 uses CFRP material about 50% in the structural weight. Further new technology development for weight reduction will continue in the future. This report introduces a trend of materials and manufacturing technologies for weight reduction of airplane structures.

1.　まえがき

航空機の構造設計に携わる者にとって、最も重要な課題は、いかに構造の軽量化を図るかということである。工業製品において、重量が重いということは、取扱いや輸送に不便であり、特に自動車や航空機のような輸送機器は、重量の増加と共に燃費等の性能が低下する。また、燃料消費量増に伴う炭酸ガス排出量増加等、環境負荷にも悪影響が懸念されることとなる。

特に航空機の場合、その影響は大きく、機体規模が大きくなる程、全備重量は外形寸度の2乗に比例する（翼面積に比例）が、構造重量は外形寸度の3乗に比例して増加する。したがって技術の進歩がないまま機体規模を大きくすると、やがてはペイロードがゼロとなってしまうという事態になり兼ねない。ここに軽量化技術の進歩の重要性が見いだされる。

航空機の軽量化は、エンジンの改良と空気力学上の進歩によるところも多いが、特に航空機全備重量の中に占める 割合が30%にもなる構造の技術進歩に大きく左右されてきた。

本稿では、航空機の構造軽量化に寄与している軽量材料技術及び軽量製造技術について、近年の動向を紹介する。

2.　軽量材料技術

航空機の発展には、材料特性の向上が大きく寄与している。特に、素材の比強度、比剛性の向上は、航空機構造の軽量化に大きく貢献し、運用コストの低減に繋がるため、これまで多くの研究開発がなされてきた。

現在の航空機構造用材料の大半は金属材料と複

＊航空宇宙カンパニー　航空機設計部

合材料である。金属材料に関しては、ほとんどがアルミニウム合金で占められ、複合材料に関しては、高強度の炭素繊維複合材料（CFRP）が主流である。尚、複合材料との結合部には、電食等の問題からチタン材料が使用されることが多い。

本章では、金属材料及び複合材料を中心に、近年の航空機材料の開発動向について紹介する。

2.1　金属材料

従来よりも高強度かつ軽量な次世代金属材料に関する様々な研究が進められている。ここでは航空機への適用拡大が期待されている、アルミリチウム合金、マグネシウム合金について近年の動向を紹介する。

・アルミリチウム合金

アルミリチウム合金は、アルミニウムにリチウムを添加した合金（比重2.5）であり、従来のアルミニウム合金（比重2.8）に対して、およそ10%軽量であり、同程度以上の引張強さが得られる魅力的な材料である（Fig. 1）。そのため古くから研究がなされており、いくつかの軍用機に適用されてきたが、破壊靭性が低いという問題から適用が拡大しなかった。その後さまざまな開発、改良が図られ、第三世代アルミリチウム合金はエアバス機（A380、A350）の主翼部品等に適用されるまでに至っており、使用量の増加も見込まれる。しかし、材料費が従来のアルミニウム合金と比較して2～4倍である点が課題となっている。

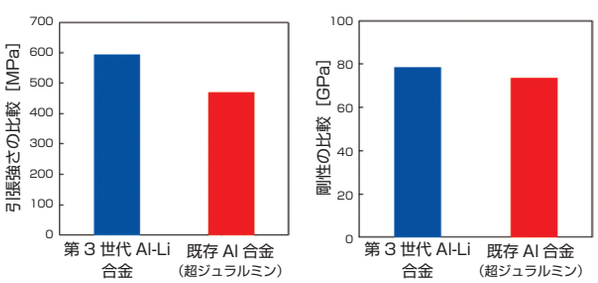


Fig. 1　Tensile strength and rigidity comparison[1]

・マグネシウム合金

マグネシウムは、比重1.8と実用金属において最も軽量（アルミニウム合金の約2/3）であり、リサイクル性に優れ、さらに海水中に0.15%含まれており資源的にも十分であるため活用が望まれてきた。しかし、発火温度が550～700℃であることや、耐腐食性に乏しいといったデメリットもあり、長時間使用される民間機への適用は、舵面、ギアケース、ホイールといった二次構造に限られている。近年では、純マグネシウムの沸点（1091℃）まで発火せず（Fig. 2）、高強度アルミニウム合金に匹敵する機械的強さ（Figs. 3, 4）を持つといった、全く新しい特徴を持つマグネシウム合金が熊本大学で開発された。これは、これまでのマグネシウム合金の常識を変える画期的な成果として、国際的な注目を浴びている。さらにFAA（Federal Aviation Administration）の燃焼試験にも合格したことから材料認定の期待は高まっており、適用に向けての開発、評価が行われている。

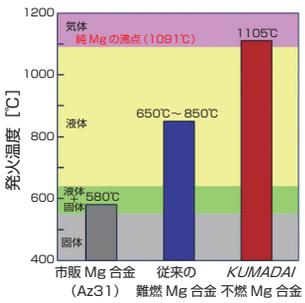


Fig. 2　Ignition temperature comparison[2]

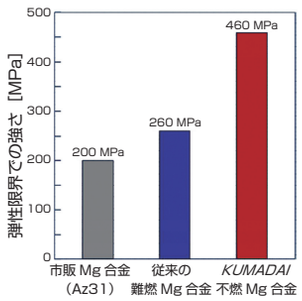


Fig. 3　Mechanical strength comparison[2]

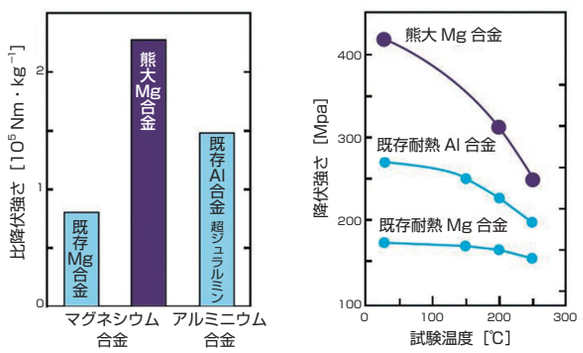


Fig. 4　Mechanical strength and strength in high temperature comparison[3]

2.2　複合材料

複合材料とは、炭素繊維やガラス繊維等からなる強化材料と、強化材料を一体化して支持する樹脂等から成るマトリクスで構成される。複合材料は、高強度、高剛性及び軽量という特徴から、様々な分野で適用が進んでおり、特に航空機分野では最新鋭機のボーイング787において、使用材料の50%に複合材料が用いられている。

（1）繊維

航空機構造へ適用されている複合材料の繊維には、強い引張強度と疲労強度を特徴とする炭素繊維や、強度的には炭素繊維に劣るが安価なガラス繊維等が用いられている。炭素繊維は高強度のPAN系繊維と高剛性のPITCH（ピッチ）系繊維に分類されるが、航空機構造ではより軽量化が見込めるPAN系炭素繊維が主流となっている（Fig. 5）。

炭素繊維は、更なる高強度化が研究されており、東レ（株）からは従来材から1割以上強度及び剛性を向上させたPAN系炭素繊維T1100Gが発表されている。また、三菱レイヨン（株）は、強度を高めた炭素繊維

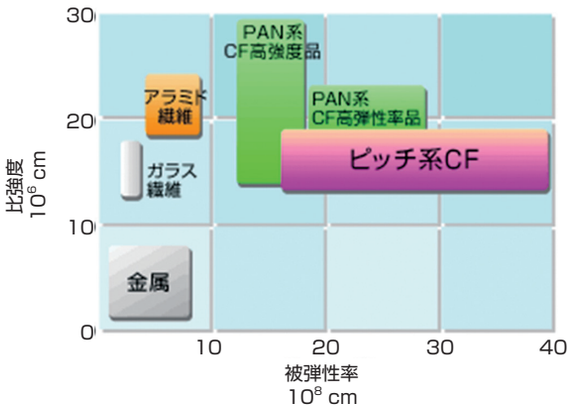
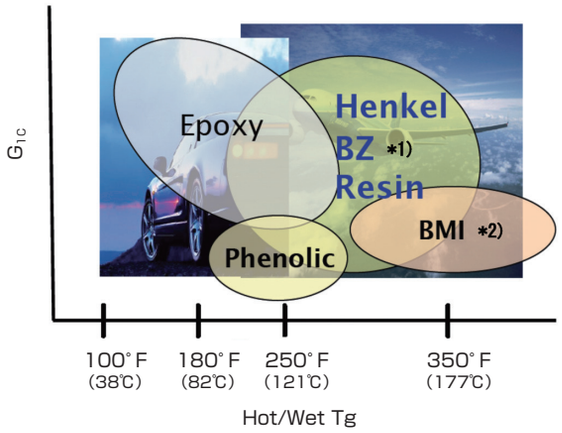


Fig. 5 Specific strength and elastic modulus of main materials[4]



＊1）BZ：Benzoxazine（ベンゾオキサジン）
＊2）BMI：Bismaleimide（ビスマレイミド）

Fig. 6 Resin heat resistance characteristics[5]

をエアバスの新型機320neoのエンジン部品用に供給することを発表しており、今後も炭素繊維の強度向上を目指した繊維メーカー各社の開発競争は続いていくものと予想される。

(2) 樹脂

複合材料の一つの構成要素であるマトリクスとして、航空機では樹脂が多く用いられている。樹脂には、加熱による化学反応により硬化する熱硬化性樹脂と、加熱によって軟化する熱可塑性樹脂がある。航空機構造における複合材料としては、強度特性に優れる熱硬化性エポキシ樹脂が主流となっているが、最近では耐熱性、靭性に優れる熱可塑性樹脂の適用も始まっている。

・高靭性エポキシ樹脂

複合材料は基本的に積層構造となっており、外部からの衝撃に対して積層間での亀裂が広がり易いため、金属材料に比べると耐衝撃性が劣る。そのため、耐衝撃性の向上は、複合材料の主要な技術課題の一つとなっている。高靭性エポキシ樹脂は、樹脂の分子構造の改良や、熱可塑性ポリマー又はゴム等を添加することで、複合材料の高靭性化を図っており、耐衝撃性が要求される部位に適用されている。

・耐熱樹脂

複合材料の耐熱温度は樹脂の耐熱性で決まるため、樹脂の耐熱性を向上させることで、チタン合金等を適用していた高温部分（例えばエンジン周りの部材）に、複合材料を適用できるようになり、軽量化に寄与することができる。

熱可塑性樹脂では、PEEK（ポリエーテルエーテルケトン）が250℃以上の耐熱性を有するが、コストの問題で適用例は少ない。熱硬化性樹脂では、BMI（ビスマレイミド）及びBZ（ベンゾキサジン）等の耐熱性に優れた樹脂が、航空機のエンジン部品用等として検討され始めている（Fig. 6）。

(3) 3次元織物

複合材料は、一方向材や織物材のプリプレグを積層して所定の厚さにする構造となっているため、繊維が配向する面内方向の強度は高いが、面外方向の強度は比較的低いという弱点がある。そのため3次元的な荷重が負荷される荷重集中部（金具）では、複合材料の適用では十分な強度を得ることは難しかった。

3次元織物は、面外方向へも繊維を配向させることで複合材料の層間強度を強化することができる技術であり、今まで金属材料しか適用できなかった荷重集中部（金具）が複合材料で代替可能となり、軽量化に

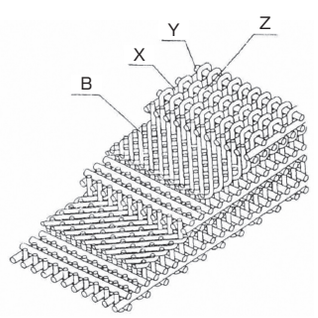


Fig. 7 3D fabric structure (Multiaxial fabric)[6]

Fig. 8 Parts example using 3D fabric[7]

大きく寄与できる。3次元織物の構成例をFig. 7に、3次元織物の適用例をFig. 8に示す。

3.　軽量製造技術

航空機構造では航空機特有の複雑な空力形状を形成し、各種機能要求を満たした部品形状が求められる。この部品形状を低コスト、短時間で製造するため、多種多様な製造技術の開発が進んでおり、材料のニアネットシェイプ（歩留り向上）と加工コスト低減の模索を続けている。

ここでは金属材料、複合材料それぞれの製造技術について最近の動向を展望する。

3.1　金属製造技術

金属製造技術は、現在主流であるNC加工機による機械加工をはじめ、板金、鋳造等の製造技術を必要に応じて採用しているが、最近では新技術の採用により、従来の組立部品が一体成形部品として製造可能となりつつある。ここではその例を紹介する。

(1) 接合技術

・FSW（摩擦撹拌接合、Friction Stir Welding）

FSWは接合ツールを回転させて発生する摩擦熱で被接合材料を軟化、攪拌することで接合部材を溶融せずに接合する技術である（Fig. 9）。従来の溶接技術に比べ、ひずみや変形が少なく、ファスナ削減が可能となることから、航空宇宙分野では構造軽量化と組立工数削減を目的として適用が進められている。

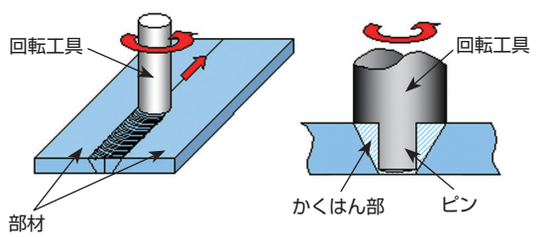


Fig. 9　FSW principle [8]

ボーイングではデルターⅣロケットやスペースシャトル用にこの技術を適用した実績を持つ。国内では当社の無人標的機への適用が初の実機適用である（Figs. 10, 11）。またFSWと同様に摩擦熱を利用した接合方法として、FSSW（摩擦撹拌点接合、Friction Stir Spot Welding）（Fig. 12）やLFW（線形摩擦接合、Linear Friction Welding）（Fig. 13）も注目されている。

・EBW（Electron Beam Welding）

EBWとは電子ビームによる溶接技術である（Fig. 14）。

集束した電子ビームにより通常の溶接と比較し狭い幅で深く接合することが可能であるため、製品の歪、ねじれを最小限に抑えることができる。

適用部位として、F-22胴体構造（Ti-6Al-4V）が挙げられ、当社でもアルミ合金での機体適用実績がある。

Fig. 10　FSW application parts[8]

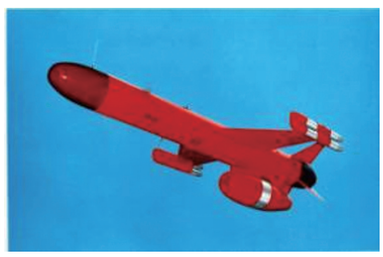


Fig. 11　Unmanned target airplane[8]

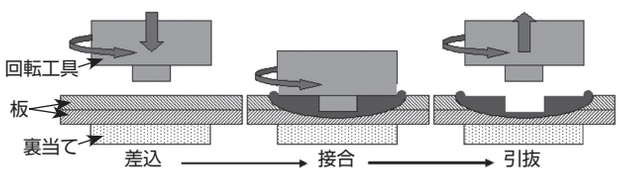


Fig. 12　FSSW principle [9]

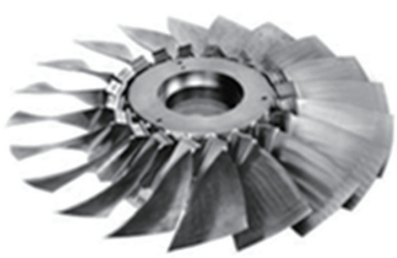


Fig. 13　Prototype example using LFW [10]

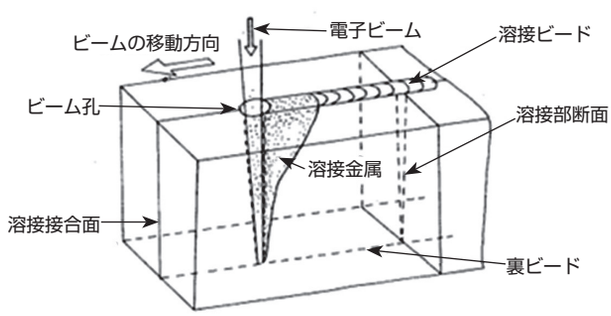


Fig. 14　EBW principle [11]

(2) 成形技術

・SPF-DB（Super Plastic Forming-Diffusion Bonding）

SPF-DBとはSPF（超塑性成形）とDB（拡散接合）技術の組み合わせにより、複雑形状が成形可能な技術である。

SPFは金属が高温環境下で数百％に伸びる現象を用いた成形であり、DBは、被接合材を加圧、加熱環

境下で突合せることで原子を拡散させ接合する方法である。

SPF-DB適用により、構造部品の一体化が可能となり、部品点数削減による軽量・低コスト化が期待できる。適用事例としては、航空機の機体とエンジンファンブレード等が挙げられる。軍用機ではF-15E戦闘機の後胴構造、ユーロファイターのカナード構造等がある(Fig. 15)。

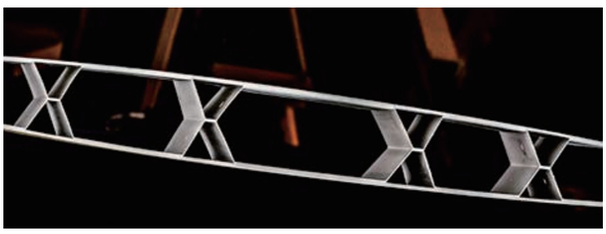


Fig. 15 Eurofighter canard structure [12]

・3D プリンタ

航空宇宙分野でも3Dプリンタの適用研究が加速しており、これまでの加工技術では不可能であった複雑形状の製造を可能とすることで、更なる軽量化の追求が進められている。また､3Dプリンタでの製造により、これまでの厚板からの削り出しに対し、原材料使用量を非常に低く抑えられるため、低コスト化の期待も高い。3Dプリンタによって製造された部品の一例として、航空機エンジンカバー用のドアヒンジへの適用検討例がある(Fig. 16)。

Fig. 16 Door hinge application example [13]

今後の課題は、材料強度および加工速度の向上、大型化であるが、適用が拡大することで、航空機の構造様式を変える可能性がある製造技術である。

3Dプリンタの派生技術としてEBF3(Electron Beam Freeform Fabrication)の技術開発がNASAを中心に進められている。EBF3は線状の金属材料を電子ビームで溶融し、溶融物を堆積させながら積層造形する方法である(Figs. 17, 18)。一般的な3Dプリンタと比較し、形状の自由度は少なくなるものの、安定した材料強度を発現できることから、高強度が必要な部品製造への適用が期待される。

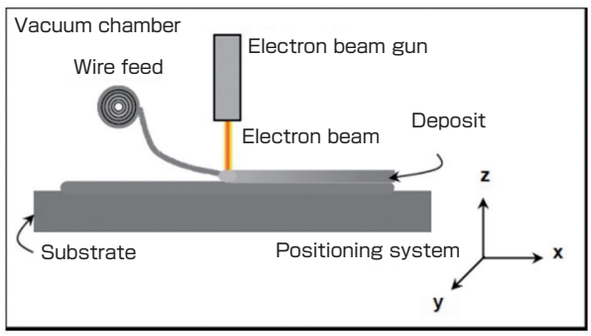


Fig. 17 EBF3 outline [14]

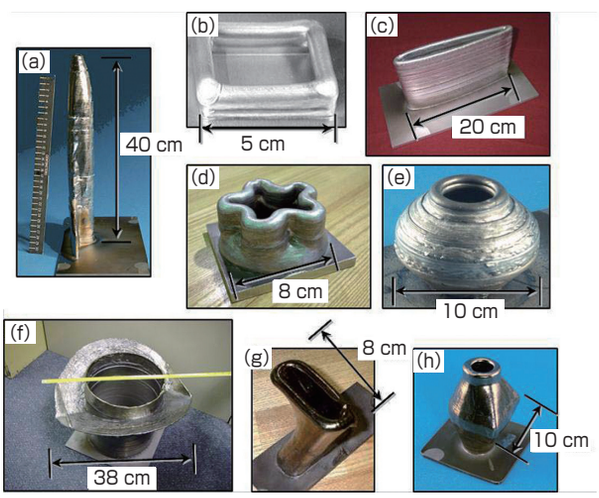


Fig. 18 EBF3 prototype example [14]

3.2 複合材製造技術

航空機構造への複合材料の適用方法は、金属部品をそのまま複合材部品に置き換える部品単位の代替から、一体成形した大型・複雑形状の複合材構造を適用する方向へとシフトしつつある。そうすることで、部品点数を減らし製造コストを低減するとともに、重量的に不利なファスナ結合構造を減らし軽量化を図っている。本項では、軽量化に寄与する複合材料の製造技術(成形技術、接合技術)について、近年の動向をまとめる。

(1) 成形技術

・FW(Filament Winding)/FP(Fiber Placement)技術

FWやFPは、樹脂含浸済み繊維(プリプレグ)を、自動で治具に巻き付けもしくは積層する技術であり、複合材構造の大型一体成形を可能とする。

ビジネスジェット(Premier1)の胴体構造では、FPによるハニカムパネルの一体成形構造が適用されている(Fig. 19)。その他、A350XWBのテールコーン、F-35のインテークダクトのように断面形状が変化しかつ大曲率を有する複雑な形状部品においても、これらの技術による一体成形構造が適用されており、低コスト化及び軽量化に貢献している(Fig. 20)。

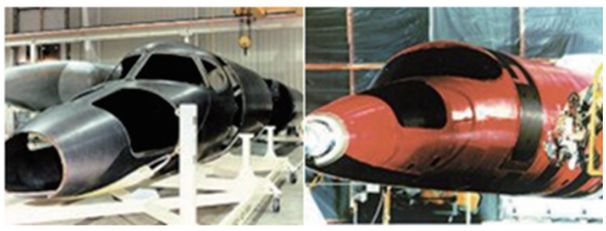


Fig. 19　Premier1 fuselage structure [15]

Fig. 20　Intake duct [16]

・RTM/VaRTM技術

大型複合材構造を製造する技術として、RTM（Resin Transfer Molding）技術の一つであるVaRTM（Vacuum assisted Resin Transfer Molding）技術がある。VaRTMは、繊維のドライプリフォーム等を成形治具に設置し、プラスチックフィルム等に封入し真空吸引した後に樹脂を注入し含浸・硬化させる成形技術である（Fig. 21）。オートクレーブが不要となるため、設備の大きさの制約を受けずに、大型複合材構造を製造できる利点がある。

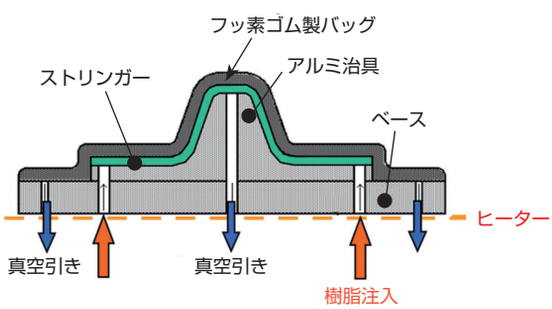


Fig. 21　VaRTM molding technology outline

(2) 接合技術

・接着継手

複合材部品同士又は複合材部品と金属部品の接合は、主にファスナ結合か接着結合で行われる。ファスナ結合は、穿孔による部材の強度低下や、面圧強度を考慮する必要があるため、重量的に重くなる傾向にある。接着結合は、ファスナ結合と比べると工程が複雑になるが、接着継手部の構造様式を最適化することで、理想的な荷重の受け渡しが可能となるため、軽量化に寄与する技術である。

・πジョイント構造

複合材料の新しい接合技術として、ジョイントとなる部材を介した接合方法が提案されており、低コスト化及び軽量化のために大型複合材構造等に適用が検討され始めている。米国の無人攻撃機X-45の構造試作では、πジョイントによる複雑・大型形状の複合材構造が製造された実績がある（Fig. 22）。πジョイントは、板状の複合材同士の突合せ部をダブルラップ形状で接着することで、平面同士を貼り合わせた従来の複合材同士の接着よりも大荷重を伝達することが可能とされている。

欧州でも同様の研究が進んでおり、平板で製作したスティフナをButtジョイント（熱可塑性フィラー）でウェブ面に接着する等の安価な組立を可能とする一体成形技術等が検討されている。

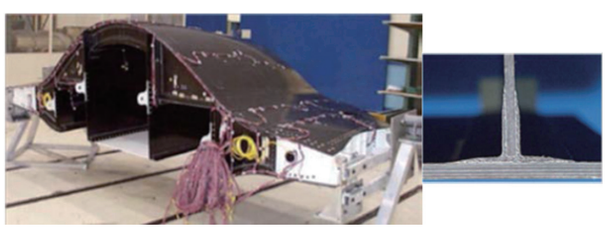


Fig. 22　π joint outline [17]

4. まとめ

今回は構造に特化した技術紹介をしてきたが、航空機の軽量化の取組みは構造に限らず油圧・電気・電子の分野でも積極的に進められていることを付け加えて報告の締めとさせて頂く。

参考文献

(1) Alcoa Technical Fact, Alloy 2099-T83and2099-T8E67
(2) 熊本大学　プレスリリース 2012/4/19
http：//www.kumamoto-u.ac.jp/daigakujouhou/kouhou/pressrelease/2012_file/release120419.pdf
(3) 熊本県地域結集研究開発プログラム
http：//www.fuji-lm.co.jp/work-img/work-3-1.pdf
(4) http：//www.noe.jx-group.co.jp/company/rd/intro/kagaku/e71_cordinka
(5) Henkel Benzoxazine 99110 Infusion Resin；Henkel カタログ
(6) 特開平5－106139　豊田自動織機他

(7) http：//www.compositesworld.com/articles/composite-spoilers-brake-airbus-for-landing他
(8) https：//www.fhi.co.jp/news/04_07_09/04_08_31.htm
(9) http：//www.jlwa.or.jp/faq/pdf/37.pdf
(10) M. E. Nunn： 'Aero engine improvements through linear friction welding'
(11) http：//www.taiyo-kikai.co.jp/eb-tech/seihin1.htm
(12) http：//www.eurofighter.com/the-aircraft
(13) http：//www.lortek.es/files/fab-aditiva/ik4-lortek-tno.pdf
(14) Karen M. Taminger / Robert A. Hafley, “Electron Beam Freeform Fabrication for Cost Effective Near-Net ShapeManufacturing”
(15) 平成22年度テキスタイル・プリフォーム高度化による炭素繊維強化複合材料の機械工業分野への適用拡大に関する調査報告書；2011；素形材センター
(16) http：//www.nasampe.org/Other/TechTidbitMarApr08.pdf
(17) Composites Affordability Initiative：Transitioning Advanced Aerospace Technologies through Cost and Risk Reduction；AMMTIAC Volume 1 Number3

【著　者】

伊佐野 康夫

齋藤　義弘

宮原　　啓

荒川　陽司

小高　雄二

芦澤　一眞

航空機の耐雷対策

Lightning Protection for Aircraft

西　　孝裕樹*
Takayuki NISHI

抄　録

航空機の耐雷対策は、構造やシステム設計において重要な項目の1つであり、航空宇宙カンパニーでも、設計方法、試験方法および解析方法を開発し続けている。特に近年の航空機は、機体の軽量化のために炭素繊維複合材の使用が増えてきており、金属機体と比べて新しい耐雷対策が必要となっている。このため、耐雷対策は航空機の開発期間および開発費用に大きな影響を与えている。炭素繊維複合材の使用は、航空機のみでなく、今後は輸送機器全般に拡大していき、航空機の開発と同様な耐雷対策の課題に直面すると考える。

本稿は、航空機の耐雷対策の歴史と、最新の設計および試験方法について紹介し、耐雷対策の資とするものである。

Abstract

Lightening protection has been addressed as an important issue in aircraft design. Lightening strike not only causes damage to its structures and systems, but also ignites the fuel tank in the worst case. Therefore, lightening protection has to be carefully designed for flight safety. Especially, recent aircrafts have increased the use of carbon composite materials, which requires a new lightening protection design when compared to metal. In the future, carbon composite will be used more in various transportation vehicles, and they will face the same problem as for aircrafts. This paper introduces the history of aircraft lightening protection designs and the recent validation methods.

1.　まえがき

航空機への落雷は一般に稀なイメージがあり、航空機へ落雷すると大変なことが起きるのではないかと思われる方も多い。実際は航空機への落雷は多く、今日の航空機には耐雷対策が施されているので、安全な飛行を継続できる。

被雷しても安全な飛行を可能にする航空機の耐雷対策は、高い信頼性を満足させる必要があり、その実証に多くの試験や設計時間を要している。また、近年の航空機は軽量化のため、機体構造に炭素繊維複合材（CFRP：Carbon Fiber Reinforced Plastic）の使用が増えてきている。CFRPは金属と異なる電気特性であるため、従来の金属構造の耐雷対策と異なる設計が必要となり、試験や設計に要する時間がますます増え、航空機の開発コストを押し上げる要因となっている。このように、航空機を開発する上で耐雷設計は避けては通れない課題となっているが、CFRPの多用は航空機のみでなく、今後、輸送機器全般に拡大していくものと予測され、航空機と同様な耐雷対策の課題が発生してくると考えられる。

2.　落雷被害の現状

通常の運航では、空域の気象を監視して雷雲を極力避けている。しかし、離着陸する空域の近傍に雷雲があると、雷雲の近くを飛行することになり、雷が落ちてしまうことがある。このため、航空機の落雷被害の約80%は離着陸時に発生している。

落雷被害と云っても、落雷で航空機が何機も墜落している訳ではない。ジェット機が出現して航空機での旅行が一般的になった時代において、旅客機が落雷で

* 航空宇宙カンパニー　システム設計部

墜落したのは1回だけである。これは現在の落雷対策が確立する以前の1964年、つまり50年前に発生したパンアメリカン航空214便Boeing707型機の事故であり、この事故以降は落雷で1回も定期運航機は墜落していない。なぜなら、50年前のこの事故を契機に航空機の落雷対策が研究・開発され、再発が防止されてきたからである。

現在は落雷しても飛行の安全性は保たれている。だからといって落雷による被害が無くなった訳ではない。落雷で機体が損傷したり、部品が壊れるような、飛行を継続できるが修理や整備が必要となる被害は残念ながら今日も発生している。

国土交通省へ報告された、日本の定期運航機での落雷被害件数をまとめる（Fig. 1）。

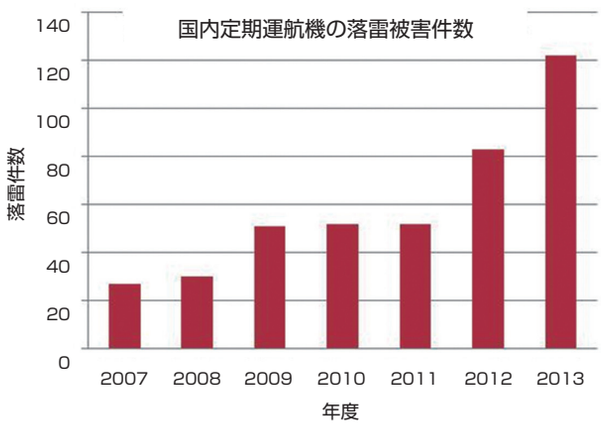


Fig. 1　Number of lightning damages

落雷で機体に何らかの被害を受けた報告は年々増加しており、2013年では年間約120件が報告されている。これら落雷被害の内訳として、航空機の被害箇所をFig. 2に示す。被害の多くは胴体であり全体の約1/3を占めている。落雷すると壊れ易い動翼、機器およびレドーム等も8～14%の割合で発生しており、これらの部位は落雷で交換する可能性が高く、運航会社の経済的な負担を押し上げていると考えられる。

今後の落雷対策は、安全性の確保は当たり前として、雷が落ちても傷つきにくい壊れにくい飛行機が望まれていくと考えられる。

3.　耐雷対策の道のり

現在の落雷対策が確立される上で、教訓となった2つの重要な事故がある。1つは前述の1964年に落雷で墜落したパンアメリカン航空214便の事故である。もう1つは1996年に発生したトランスワールド航空800便の事故である。

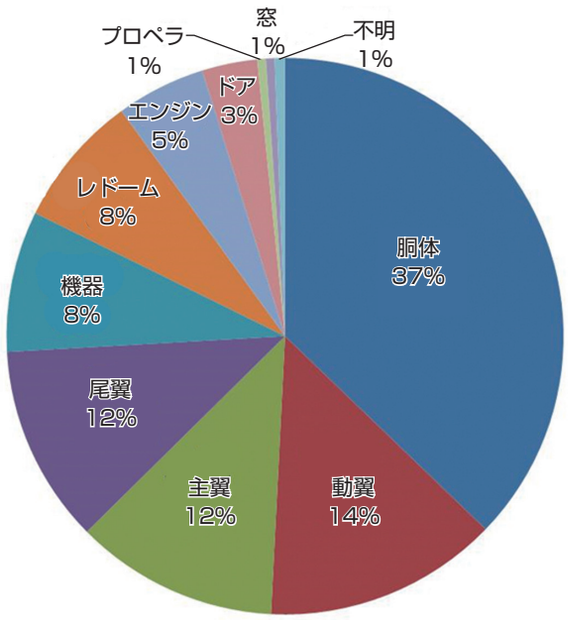


Fig. 2　Damaged sections by lightning

落雷対策の道のりについて、これら2つの事故を軸に話を進める。

3.1　パンアメリカン航空214便

1964年12月8日、フィラデルフィア国際空港へ着陸するため高度5,000 ftで空中待機していたパンアメリカン航空214便(Boeing707-121（N709PA）)の左主翼端に落雷、機体は爆発炎上してメリーランド州エルクトンに墜落した。この事故で乗員乗客81名が犠牲となり、落雷による被害として最大のものとなった(Fig. 3)。

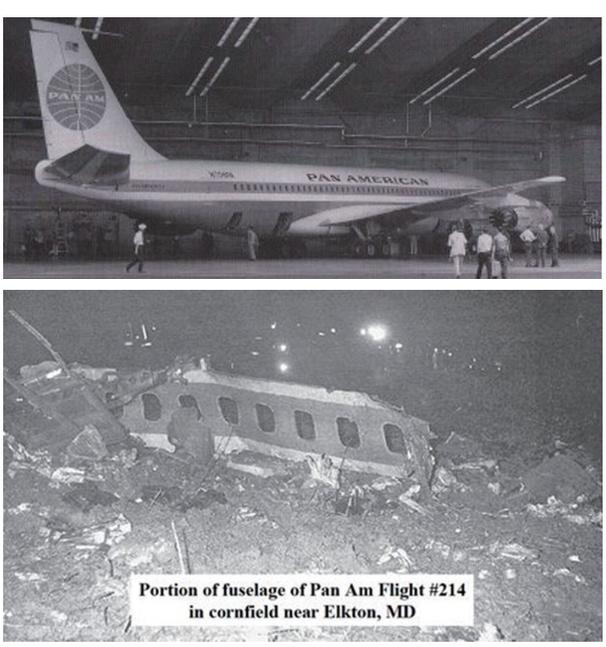


Fig. 3　Pan American Airways Flight #214 crash accident[(1)]

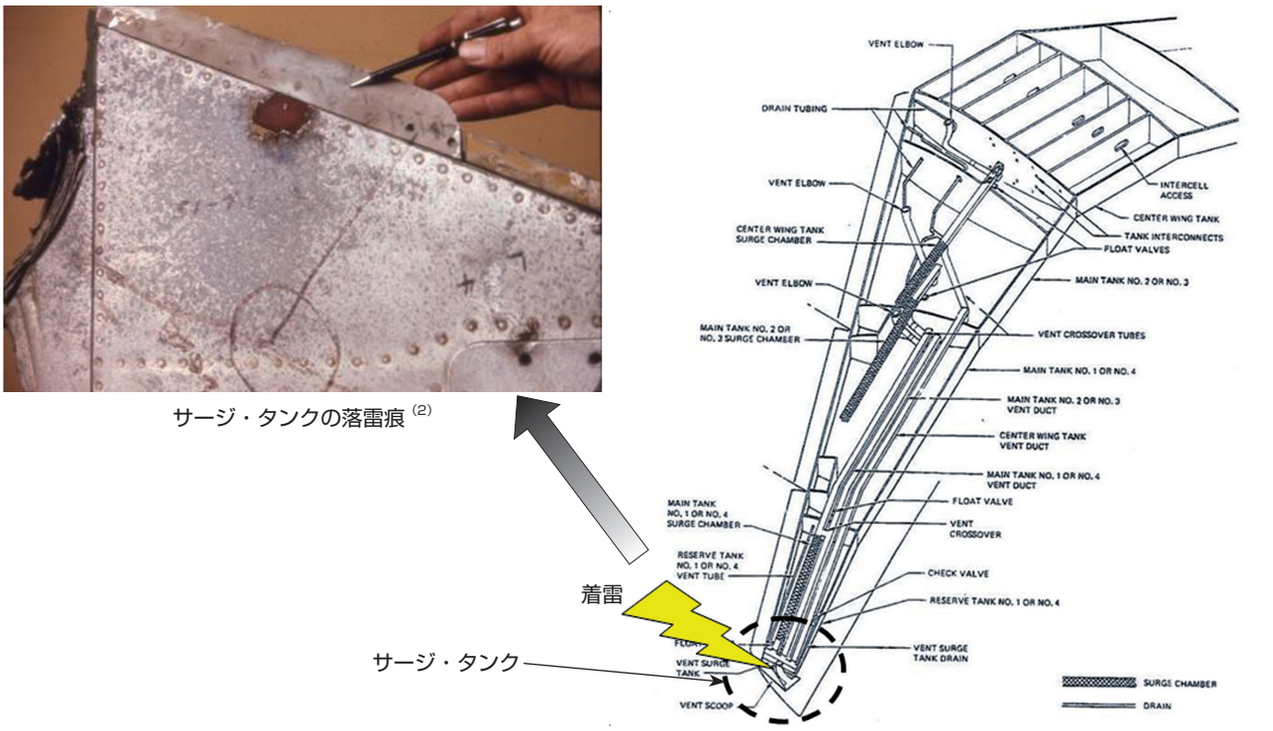


Fig. 4　Lightning-struck location and lightning mark of Pan American Airways Flight #214 (3)

この事故は米国の航空界に大きな衝撃を与え、米国民間航空委員会（CAB：Civil Aeronautics Board）による詳細な事故調査が実施された。調査の結果、墜落原因は雷撃のエネルギーにより左翼端のサージ・タンク（燃料タンクから溢れる燃料を一時的に蓄えるタンク）が破損して、燃料蒸気に着火、隣の燃料タンクへ燃え広がったことが判明した。パンアメリカン航空214便の着雷箇所と落雷で発生したサージ・タンクの破損部をFig. 4に示す。

落雷による燃料蒸気への着火防止対策として、CABと米国連邦航空局（FAA：Federal Aviation Administration）は、先ず機体から電荷を逃がす放電索（Static discharger、Fig. 5）の装備の義務化を勧告した。

また、FAAは落雷による燃料爆発の防止を設計段階で義務付けるため、次の2規定（§25.954、§25.581）を制定し、法律による耐雷性の要求も強化した。

§25.954 “Fuel System Lightning Protection”

事故から約3年後の1967年8月に制定された耐雷防爆規定。これは直撃雷で燃料タンク内の燃料蒸気へ引火しないことと、コロナ放電やストリーマーで燃料ベント孔から引火しないことを規定。

§25.581 “Lightning Protection”

防爆規定に引き続き1970年4月に制定された機体本体の耐雷規定。内容は機体構造の金属部はボンディングを強化して航空機の電気抵抗を減らし、落雷で危険な状態にならないことを要求、また、非金属部は落雷の影響を最小とする設計として落雷で危険な状態にならないよう、落雷電流を逃がす対策を施すことを規定。

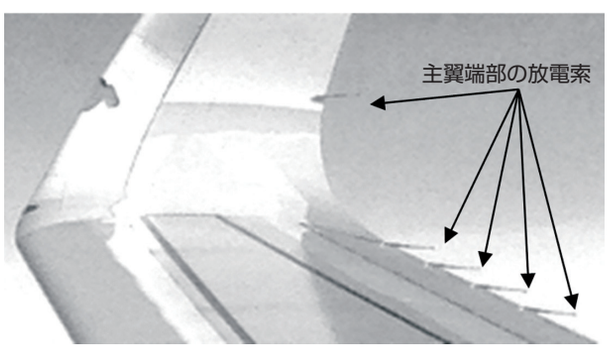


Fig. 5　Example of discharger

以上の対策は、事故後速やかに航空機の安全性を確保するための暫定的な耐雷対策および規定の強化であり、本質的な雷対策ではない。放電索は航空機から雷電流を逃げ易くはするが、雷の直撃部の被害を無くすものではない。また、規定において、いくら安全にすることを要求しても、落雷が機体へどのような影響を引き起こして安全を阻害するのかは判っていない。つまり、航空機への落雷の影響、そもそも雷とはどんな性質なのか等の雷の本質は謎のままであった。

そこでCABは落雷のメカニズムを調査するため、FAA、NASA（National Aeronauticsand Space Administration）、

米国気象局、米空軍および米海軍等から構成される技術委員会を設置した。ここからは米国の凄いところであるが、技術委員会は航空機への落雷データを集めるため、実際に有人機を雷雲の近くへ飛ばして雷を受けさせ、生のデータを集めたのである。

技術委員会の一員であるNASAは、1964年から実機を用いて被雷試験を開始した。

Table 1　Aircraft lightning test in NASA

実験機	試験期間	被雷回数
F－100F	1964～1966年間試験	49回
	(12,000～50,000 ft、フロリダ、夏)	
F－106B	1980～1986年間試験	714回
	(5,000～40,000 ft、フロリダ、夏)	
CV－580	1984～1985年間試験	52回
	(2,000～18,000 ft、フロリダ、夏)	

Fig. 6　F-106B lightning data collecting test aircraft

Fig. 7　Moment when F-106B was struck by lightning[4]

Table 1に航空機被雷試験の内訳を示すが、実験機には高高度を飛行できる戦闘機から大型の旅客機まで用いており、これらの実験機へ電束密度センサ、磁束密度センサおよび電流計を搭載して雷雲へ向かって飛行した。まずは1960年代にF-100F戦闘機を用いて高層での落雷を確認・分析後、1980年からは航空機が通常飛行する5,000～40,000 ftのデータをF-106B戦闘機を用いて本格的に取得した。参考として、この試験時の写真をNASAのWeb[4]より転載する(Figs. 6, 7)。

ここまでNASAは小型の戦闘機で被雷データを主に収集したが、大型の航空機での影響は依然不明であった。そこで大型機での被雷箇所等のデータを取得するため、1984年からはCV-580旅客機にて、降下進入フェーズに相当する比較的低高度での試験も実施している。なお、これらのデータは全てフロリダ州で計測しており、航空機の被雷データは米国フロリダの雷が基準となった。

1984年8月、米国標準化委員会(SAE：Society of Automotive Engineers)は上述のNASAの被雷データベースに運航会社の被雷データや航空機製造会社の所有データを加味し、航空機の被雷ゾーンと、雷の電流／電圧波形を標準にまとめた。このSAEの標準を基に1985年4月、FAAは耐雷防爆設計基準AC 20-53A “Protection of Aircraft Fuel Systems Against Fuel Vapor Ignition Due to Lightning”を設定し、これにより§25.954および§25.581の規定を満足させるための基準が整った。

AC 20-53Aの機体着雷ゾーンと雷波形をFig. 8に示す。

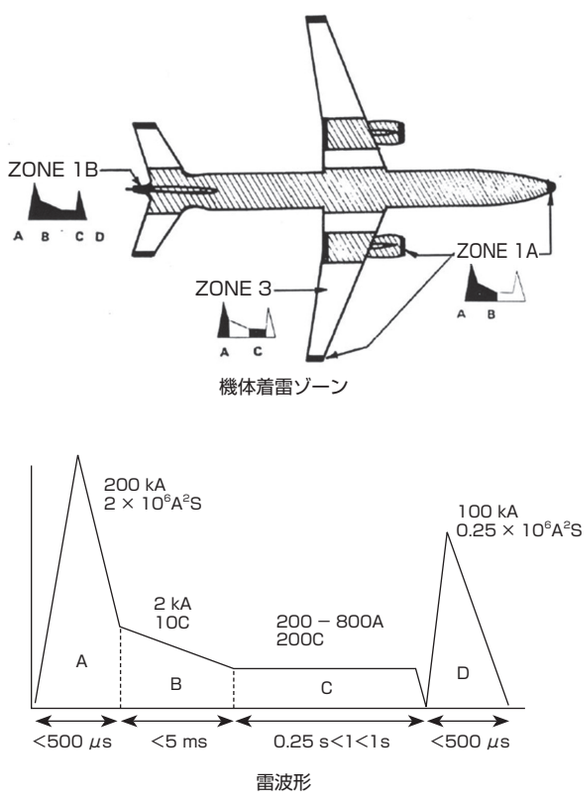


Fig. 8　AC 20-53A lightning zone and waveform [5]

AC 20-53Aでは、翼端を雷電流200 kAの直撃雷が被雷するゾーン1Aと設定したため、これ以降の航空機開発においては初期のBoeing707のように翼端にサージ・タンクを設けることがなくなり、航空機の耐雷性は向上したのであった。

3.2　トランスワールド航空800便

1996年7月17日、ニューヨーク州JFK国際空港を離陸して13,000 ftへ上昇中のトランスワールド航空800便（Boeing747-131（N93119））が突然空中で爆発炎上し、ロング・アイランド沖合に墜落した。

事故機は空中爆発して海上に四散し、海中に没したため、事故調査は難航した。ただ、この墜落はロング・アイランドの近くで起きたため目撃者が多く、事故調査の難航を尻目に、目撃者の証言からテロ爆破説やミサイル撃墜説、さては隕石衝突説まで数々の推測が巷にあふれ、テレビや新聞等の報道で衆目を集めた。

米国運輸安全委員会（NTSB：National Transportation Safety Board）は墜落原因を特定するため、四散した事故機の残骸を約1年かけて海底から約95%拾い集め、機体を組み上げ直した。在りし日の同機と、組み上げられた事故機をFig. 9に示す。

Fig. 9　TWA800 crash accident [6]

4年にわたる事故調査の結果、2000年8月にNTSBは中央燃料タンクから爆発したと断定する報告書を発表した。爆発の有力要因として燃料計測系統等の電線でショートが発生、その電気エネルギーで燃料蒸気に点火したと解析し、NTSB はFAAへ対して、機体設計に関する以下の勧告を出した。

・いかなる場合でも燃料タンク中の構成部品が電気的に結合されていることを保証する設計
・燃料蒸気に点火する電気エネルギーの発生や伝搬をしない配線システム設計

NTSBの勧告を受け、FAAは電気エネルギーによる燃料タンク爆発を防止することを義務付けるため、§25.981（燃料防爆設計）と§25.1701 ～ 1731（配線の電気エネルギー）の2種類の規定を新たに制定した。

§25.981 “Fuel Tank Ignition Prevention.”

2001年5月7日制定。以下の状況の故障時においても、燃料および燃料蒸気の引火に繋がる点火源が、燃料タンクおよびそのシステムで発生しないことを実証することが要求された。

・各機器のシングル故障
・各機器の潜在的な故障状況の組み合わせに因る「稀（発生確率：10^{-5}）」でない各系統のシングル故障
・「極めて稀（発生確率：10^{-9}）」でない全ての故障の組み合わせ

この規定は1系統故障に対応するだけでなく、「極めて稀」な発生確率未満の複合故障にも対応した実証が要求される、厳しいものである。

例えば、燃料は酸素が無ければ爆発しないので、燃料タンク内へ不活性ガスを注入し、空気を排出しても、不活性ガス注入はシステム的に1系統なので、1系統のみに頼った設計は認められない。不活性ガス注入の他に点火源の削減も合わせて設計して実証しなければならないのである。これら点火源が発生しないことを実証するために、新規開発機は、特に耐雷設計において、膨大な試験が要求されることとなった。

しかし、運航会社や航空機製造会社には過去の被雷データがあり、機体の耐雷性に関する知見を有している。§25.981ではこれらの知見を用いずに実証を求めており、経験を活かせない。

そこでFAAは過去の耐雷性に関する知見を活かせるよう2008年に§25.981を見直し、飛行時における燃料点火の確率データを反映できるように改定した。

§25.1701 ～ 1731 EWIS
（Electrical Wiring Interconnection Systems）

2007年11月8日制定。これは燃料タンクおよびその周辺において、配線を介して雷や短絡で電気エネルギーが伝搬し、点火源とならないことを規定している。内容としては、電気エネルギーが伝搬しないよう燃料系構成品や燃料配管と十分な間隔を開けた配線の設計および艤装であるが、§25.981と同様に構成品のシン

グル故障でも、危険な状況を引き起こさないことが要求されている。

配線艤装の規定準拠の一例をFig. 10に示す。配線を取り付けるクランプが1個(シングル故障)外れても、配線が垂れ下がった先に他の電気エネルギーの伝搬になる配線や配管が無いよう設計しなければならない。

今日の設計では、配線の垂れ下がりを解析して、配線の艤装設計を実施している。

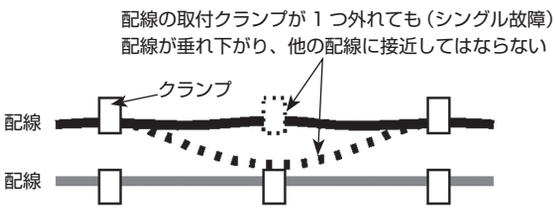


Fig. 10　Concept of §25.1707 “System Separation: EWIS”

このように耐雷防爆規定が制定されたが、これら規定に準拠して耐雷設計を実証するためには、具体的な試験方法の標準化が必要である。SAEはこれに応えるべく、各種耐雷試験方法をまとめた標準ARP 5416を2005年3月に発行し、開発からの実証までの一連の試験方法を示した。またARP 5416の発行とともに、航空機の被雷ゾーンおよび雷波形の標準も見直した。以下に耐雷防爆機体設計に係るSAE標準を示す。

・SAE ARP 5412A：雷の電流／電圧波形標準
・SAE ARP 5414A：航空機の被雷ゾーン標準
・SAE ARP 5416　：耐雷試験標準

トランスワールド航空800便の事故以降に見直された航空機の被雷ゾーンの標準であるARP 5414Aの一例をFig. 11に、ゾーンの概要をTable 2に参考として示す。主翼先端後辺や尾部は雷が留まる箇所(ゾーン1B)となり、最も厳しい耐雷要求である。

以上のように、パンアメリカン航空214便およびトランスワールド航空800便の事故の悲劇を繰り返さないため、多くの時間、費用そして人をかけて今日の耐雷防爆対策が築き上げられて来た。耐雷防爆の規定制定や標準化は、事故の再発の防止、より高い安全性を確保するための弛まぬ努力の成果である。

4.　現在の耐雷設計の流れ

現在の耐雷設計は、基本的にはFAAの規定§25.981を保証するため、耐雷防爆試験の標準ARP 5416に従い、機体全体での被雷からファスナ等の部品レベルのスパークまで順次確認して進められる。

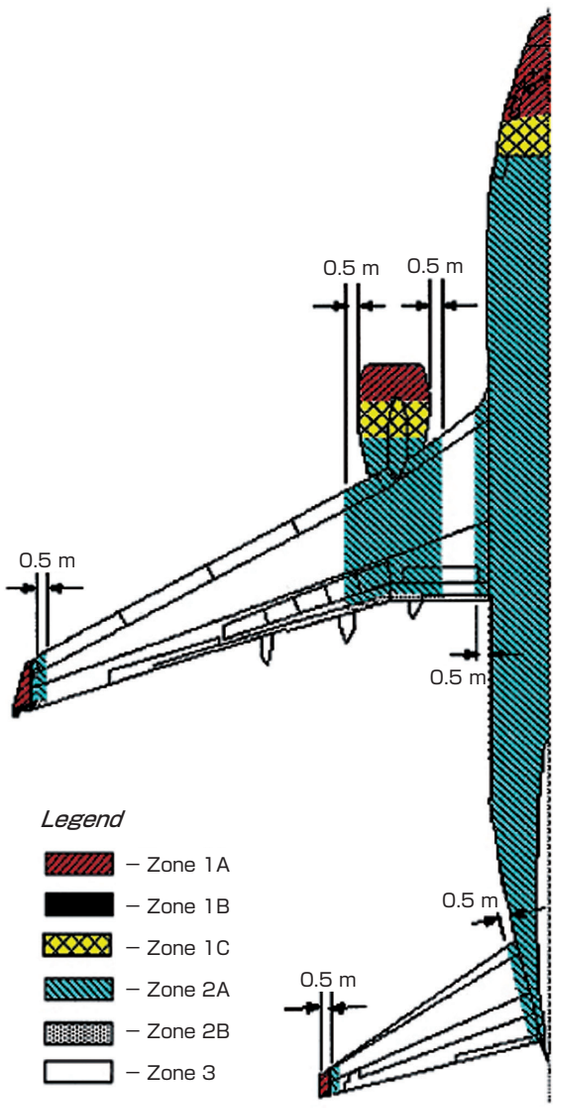


Fig. 11　Standard example of ARP 5414A aircraft lightning-struck zone [7]

Table 2　Outline of SAE ARP 5412A

ゾーン	概　要	最大電流値
1A	着雷する箇所	200 kA
1B	着雷して留まる箇所	200 kA
1C	着雷箇所の周辺	150 kA
2A	機体表面で着雷点が移動する箇所	100 kA
2B	機体表面で着雷点が移動してから留まる箇所	100 kA
3	Zone 1 及び 2 以外の箇所	40 kA

耐雷設計の流れをFig. 12に示す。まずは機体のどこに被雷するか確認する。Fig. 11のようにARP 5414Aには被雷ゾーンを示してあるが、全ての航空機がFig. 11のように被雷する訳ではなく、機体の形状に依存して被雷箇所は変わる。被雷ゾーンを確認するため、機体の小型スケール・モデル供試体を用意し、

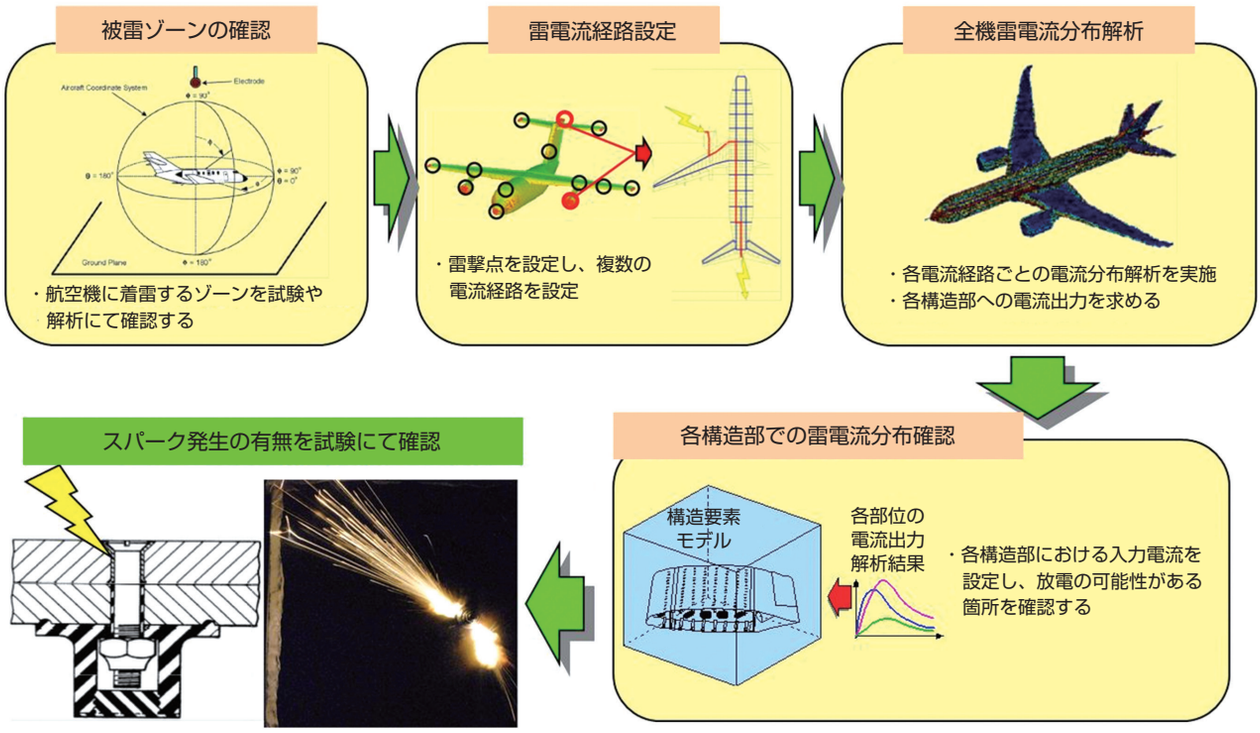


Fig. 12　Outline of lightning protection design flow

高電圧発生装置にて模擬の雷を落として確認する。この際、小型スケール・モデルの姿勢を徐々に変えて、姿勢の違いによる被雷も確認する。

小型スケール・モデルによる被雷ゾーン確認試験の様子をFig. 13に示す。

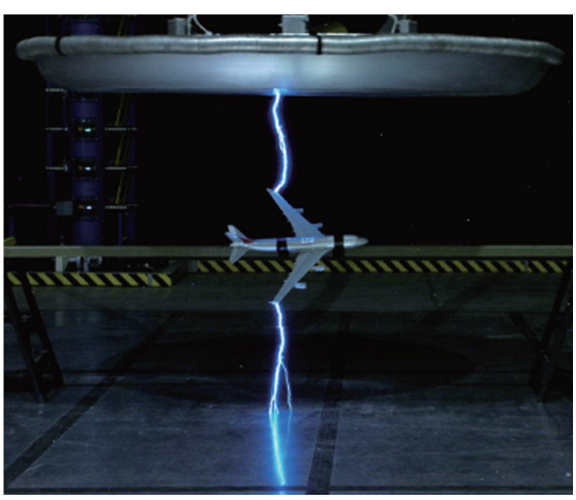


Fig. 13　Confirmation test of lightning-struck zone [8]

被雷ゾーンを確認したならば、次にその被雷ゾーンを結ぶ雷電流経路を設定する。航空機に着雷する箇所が幾通りもあるが、同様に雷が航空機から出ていく箇所も幾通りもある。例えば、機首に着雷して尾翼から出たり、右主翼端に着雷して左主翼端から出ていく等のいくつもの着雷点と出力点の組み合わせで複数の雷電流経路が生じる。雷電流経路ごとに途中にある機体構造に流れる電流量が異なるため、複数の雷電流経路を設定し、設定ごとに機体構造上の雷電流の分布を確認する。

機体構造上の雷電流の分布を確認するには、機体全体の雷電流分布を解析する。現在の解析では、数学モデルを用いたシミュレーション解析が主流であり、機体に流れる電流を電磁界の伝搬で計算する。翼端に着雷した設定での雷電流分布のシミュレーション解析例をFig. 14に示す。

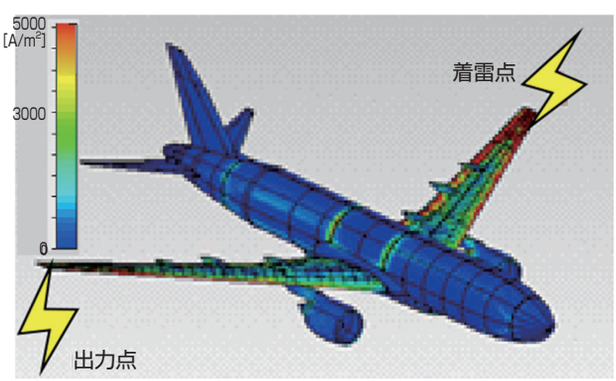
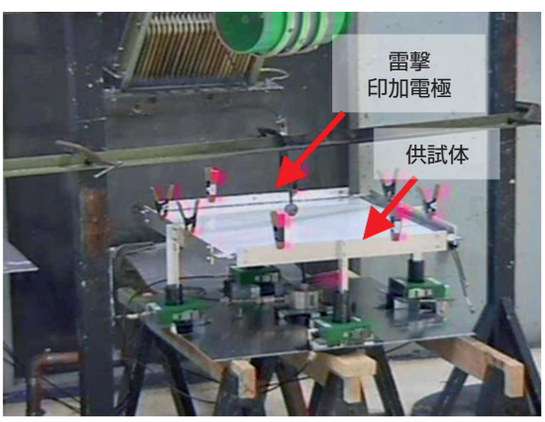


Fig. 14　Simulation of lightning current distribution [9]

機体全体の雷電流分布を解析により求め、主翼や胴体中央等の機体の各構造部に流れる雷電流量が判明したならば、構造部ごとに試験や解析にて、燃料に点火するスパークを引き起こす電流が集中する箇所を確認する。

スパーク発生が疑わしい箇所は、同じ構造組立を再現した供試体を製作し、試験にて雷電流を印加して実

際にスパーク発生の有無を確認し、防爆性を実証する。スパーク確認試験の概観をFig. 15に示す。これは直撃雷のセッティングであり、燃料タンクの部分供試体の表面に模擬の雷を落とし、裏面、つまり燃料タンク内側でスパークが発生するか確認する。直撃雷の他にも、機体の別の箇所に着雷した電流が流れてくるケースもあり、この場合は模擬の雷を落とさずに、供試体へ直接電流を流してスパークの有無を確認する。スパーク確認試験で、供試体から発生したスパークを観測した例をFig. 16に示す。このようなスパークを観測したならば耐雷防爆の設計が間違っていることになり、設計をやり直し、再度試験にて確認することになる。



(a) セッティング

(b) 雷撃の瞬間

Fig. 15　Spark confirmation test (direct lightning strike) [9]

5.　まとめ

50年前のパンアメリカン航空214便墜落事故以来、耐雷防爆設計は立ち止まることなく進歩し続け、航空機の安全性に寄与してきた。

近年は、電気特性が複雑な複合材材料を機体構造に使用する航空機が増え、ますます耐雷防爆設計が重要な課題となっている。今後も耐雷防爆設計の開発を進め、航空機の安全性を確保し続けることが必要である。

Fig. 16　スパーク確認試験で発生したスパークの一例 [9]

謝辞

本誌作成にあたり、写真および事故記録を提供して頂いた、Lightning Technologies、an NTS Company社のJ. Anderson Plumer氏に感謝いたします。

参考文献

(1) Daniel Cheney, Fuel Tank Safety Enhancements of Large Transport Airplanes, 57th Annual International Air Safety Seminar, Nov. (2004)
(2) 写真提供：J. Anderson Plumer
(3) FAA Web, Lessons Learned From Transport Airplane Accidents, Pan American World Airways Flight 214 Boeing 707-121, N709PA, lessonslearned.faa.gov
(4) NASA Web, NASA Lightning Research on ABC News 20/20, www.nasa.gov/topics/aeronautics/features/fisher-2020_prt.htm
(5) N. Rasch：User's Manual for AC-20-53A Protection of Airplane Fuel Systems Against Fuel Vapor Ignition Due to Lightning, DOT/FAA/CT-83/3. Oct. (1984)
(6) FAA Web, Lessons Learned From Transport Airplane Accidents, TWA Flight 800, Boeing 747-100, N93119, lessonslearned.faa.gov
(7) SAE International：Aircraft Lightning Environment and Related Test Waveforms、ARP 5412A, Feb. (2005)
(8) J. Anderson Plumer：Laboratory Test Results and Natural Lightning Strike Effects：How Well do They Compare", 2012 ICLP, Vienna, Austria, Sep. (2012)
(9) 西 孝裕樹： 航空機への雷撃, 第26回 航空安全シンポジウム, Mar. (2014)

(10) 西 孝裕樹： 航空機における耐雷対策の歩み, 航空技術, No.716, p.24-31, Nov. (2014)

【著　者】

西　孝裕樹

成長期（昭和60年代）のスバル紹介

レガシィ ツーリングワゴン 250T－B（1998年～2003年）

全長×全幅×全高：4680×1695×1485 mm
ホイールベース：2650 mm
エンジン：水平対向4気筒 DOHC 2457 cc
最高出力：167 ps/6000 rpm
最大トルク：24.0 kg−m/5000 rpm

三代目においても、コンセプトはレガシィをよりレガシィらしくすることに焦点が定められ、5ナンバーサイズの車体を踏襲。ワゴンの機能と走りの性能を一層高めるためリヤサスペンションをマルチリンクに変更すると共に、安全性強化のため、4輪の駆動力・制動力をコントロールして横滑りを防止するVDCや衝突安全車体を採用した。‘98～’99 RJCカーオブザイヤーを受賞。

超撥水塗料を用いた防除氷技術の紹介

Anti-icing Technology with Super Hydrophobic Coating

田　中　太　朗*
Taro TANAKA

抄　録

航空機の事故を引き起こす原因の一つとして、機体への着氷がある。機体への着氷を防ぐことを目的とした防除氷装置としてエンジン抽気や除氷液を用いたシステムが存在するが、エンジン出力を利用するため、燃費や安全性、環境負荷の点で課題を抱えている。

これらの課題解決のために、航空宇宙カンパニーでは、超撥水性塗料を活用して、機体表面に着氷を防ぐ機能を持たせる技術開発を行っている。また、現在、経済産業省が主導する航空機装備品の開発プロジェクトに参画し、研究テーマ「革新的防除氷技術」の下で防除氷塗料の開発を進めている。

本稿では、超撥水性を有する防除氷塗料の紹介及びその塗料を用いた防除氷システムの性能評価結果について概要を説明する。

Abstract

Ice accretion on aircraft surfaces such as wing skin is one of the causes of accidents. Although there are conventional aircraft ice protection systems which use some means such as pneumatic bleed air or deicing fluid, those systems have required further improvement in terms of fuel consumption, safety and environmental effect.

To address this, the FHI Aerospace Company has been developing an anti-icing coating technology that prevents ice formation on aircraft surfaces. Moreover, our company has been participating in a METI (Ministry of Economy, Trade and Industry)-led project, which is aiming to develop new aircraft components to advance the development of coating.

This paper introduces the FHI anti-icing coating technology and presents the summary of icing wind tunnel test.

1．まえがき

大気中に存在する水滴が凍結せずに氷点以下に冷却されたものを過冷却水滴と呼ぶ。それが物体に衝突した際、衝撃を引き金に瞬時に凍結し衝突物に氷結する現象を着氷と呼ぶ。着氷は雪山の樹氷など寒冷地の高木や鉄塔等で実際に見ることができるが、航空機は上空の低温環境下を飛行するため、寒冷地に限らず着氷が発生する可能性がある。航空機の翼上では、着氷が始まると急速に氷が成長し揚力の大幅な低下を招き、結果として飛行性能の極端な低下に繋がる。更に着氷の状況によっては事故に至ってしまう場合もある。Fig. 1 に示すように、着氷に起因した事故を含む航空機事故は格段に減ってきてはいるが依然として無くなっていないのが現状である[(1)]。

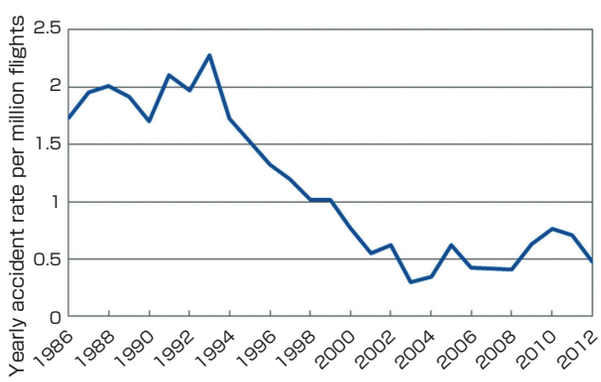


Fig. 1　Yearly accident rate per million flights

このリスク低減のために、一般的に旅客機クラスの機体ではジェットエンジンで圧縮された加熱空気

＊ 航空宇宙カンパニー　研究部

の一部を用いて外表面を加熱するブリードエア式防除氷装置等の安全対策が施されている。

しかし、こういった防除氷装置はエンジン出力の一部を利用しているため、航空機の燃費に影響を及ぼしている。民間旅客機の分野では、航空機の燃料費は輸送事業費の20%以上を占めるとされており、燃料費の削減は航空会社にとって重要な課題となっている。更に、航空会社では航空機燃料の価格変動に伴う経営リスクを低減させるために、航空機の低燃費化技術に高いニーズがある。又、地球温暖化問題に係る取組みの重要性が高まっている状況において、航空機から排出される二酸化炭素による環境負荷も問題視されており、環境負荷の観点からも航空機の低燃費化は強く求められている[(2)]。

このような背景をもとに、我々は氷が付着しにくい表面を実現できれば、付加的なエネルギーが無くとも航空機の着氷の課題を軽減できることに着目し、表面エネルギーが極めて小さいポリテトラフルオロエチレン（以下、PTFE）を配合し、超撥水効果並びに着氷低減効果のある防除氷塗料（AIS）を開発した[(3)]。

更に、平成24年度からは経済産業省の助成を受けた研究開発プロジェクト（JEDI ACE）にて開発塗料の耐久性の向上に取り組んでいる。本プロジェクトでは新規防除氷塗料の開発だけでなく、防除氷塗料の評価装置の開発及び電熱式防除氷装置と防除氷塗料を組合せた先進的な防除氷システムの開発を行っている。

2.　防除氷塗料の開発

前述のプロジェクトにおいてAISの技術をもとに耐久性の高い防除氷塗料を開発した。本開発塗料の特徴はAISと同等の超撥水性を維持しつつ、耐久性を向上させた点である。

一般的に超撥水性を示す塗料は凹凸構造により高い撥水性を示す。Fig. 2に示すように、開発塗料はベース塗料の中に表面エネルギーの低いPTFE粒子を配置し、かつ微細な凹凸構造を構築することで高い撥水性を発現している。

撥水性を評価する指標として、接触角及び転落角を用いた。接触角とは塗膜上の水滴と塗膜がなす角度（Fig. 3(a)参照）を指し、接触角が90°以上で撥水と呼び、150°以上で超撥水、逆に90°以下で親水と呼ばれている。一方で転落角とは塗膜上の水滴が試験片を傾けて移動を開始する角度（Fig. 3(b)参照）を指し、低いほど撥水性に優れているといえる。ここで、航空機で一般的に使用されているポリウレタン塗料と開発塗料の接触角及び転落角をTable 1に示す。又、それぞれの塗膜上に水滴を滴下した際の水滴の様子をFig. 4に示す。これらより航空機の一般的な塗料と比べ、開発塗料が撥水性に非常に優れていることが分かる。

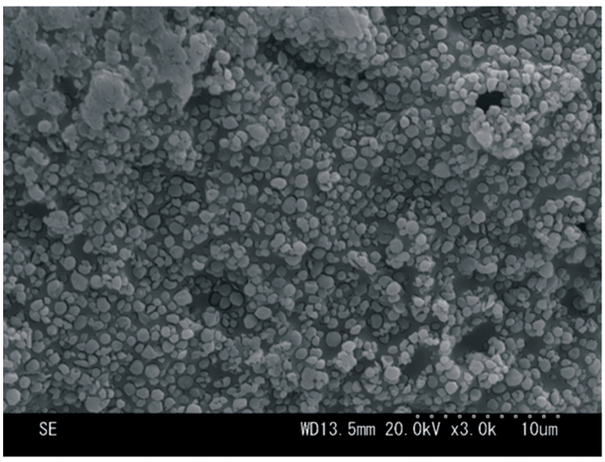
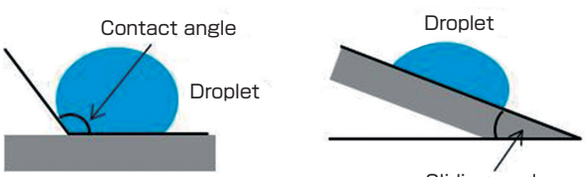


Fig. 2　SEM (Scanning Electron Microscope) image of developed coating

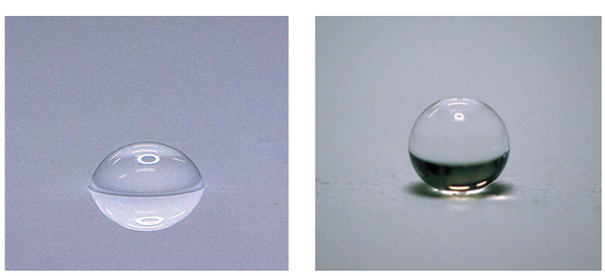


(a) Contact angle　(b) Sliding angle

Fig. 3　Evaluation indices for hydrophobicity

Table 1　Comparison of Hydrophobicity

Coating	Contact angle	Sliding angle
Polyurethane	80°	≥45°
Developed coating	≥150°	≤5°

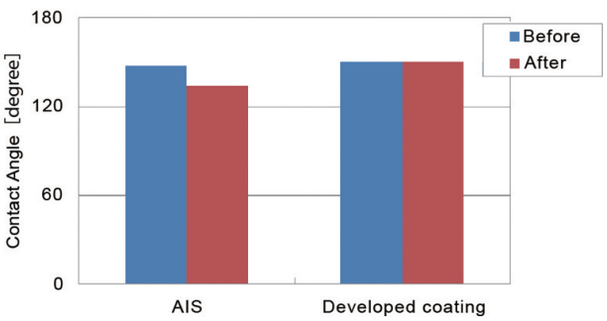


(a) Polyurethane surface　(b) Developed coating surface

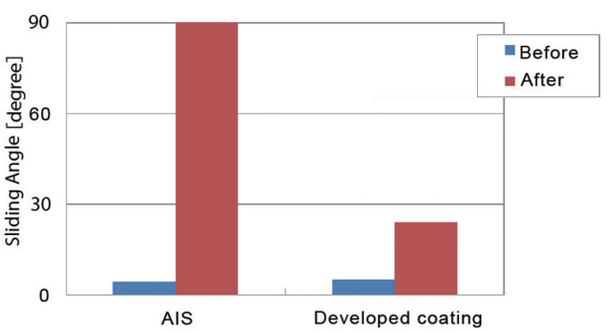
Fig. 4　Water droplet

一方で撥水性を示す塗料は耐久性（耐摩耗性や雨滴衝突による耐エロージョン性）の低さが課題とされている。そこで開発塗料はPTFE粒子との密着性に優れるフッ素樹脂をベース塗料とすることで、塗膜の耐久性向上を図った。

開発塗料の耐久性向上を検証するために、航空機の外表面への雨滴衝突を再現することができるレインエロージョン試験機により、AISと開発塗料の撥水性の劣化を比較した。試験条件は衝突速度120 m/s、雨量25 mm/hとした。試験前後における塗膜の撥水性能の劣化をFig. 5に示す。AISは接触角・転落角共に性能の劣化があるが、開発塗料は転落角が多少劣化しているものの、接触角は全く劣化は無く、AISと比較して耐久性の向上が確認され、航空機適用の目途を得ることができた。



(a) contact angle



(b) sliding angle

Fig. 5 Hydrophobicity before and after rain erosion test

3. 防除氷システムの評価

前述した防除氷塗料の航空機適用に向け、飛行環境を模擬した着氷風洞試験を実施した。ビジネスジェット機の主翼を想定とした翼型供試体には前縁部に電熱ヒータを組込ませ、それらの供試体表面にポリウレタン又は開発塗料を塗装し防除氷性能を比較した。ここでFig. 6に着氷風洞試験の概要、Fig. 7に着氷風洞試験のセットアップ状態を示す。

3.1 試験条件

試験条件は連邦航空局(FAA)が定める着氷環境[4]に基づき、試験パラメータをTable 2に示す値とした。試験は試験パラメータを一定とし、電熱ヒータの設定温度を変化させ、供試体上の着氷状態の観察及びその際に消費した電力量を計測した。

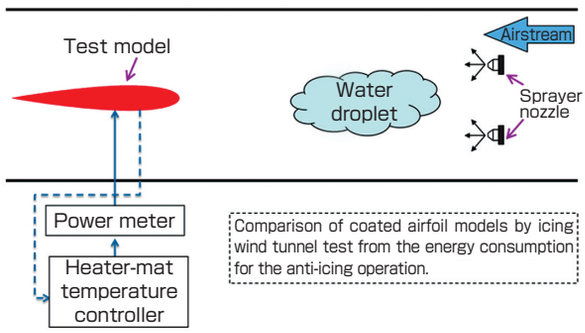


Fig. 6 Icing wind tunnel test image

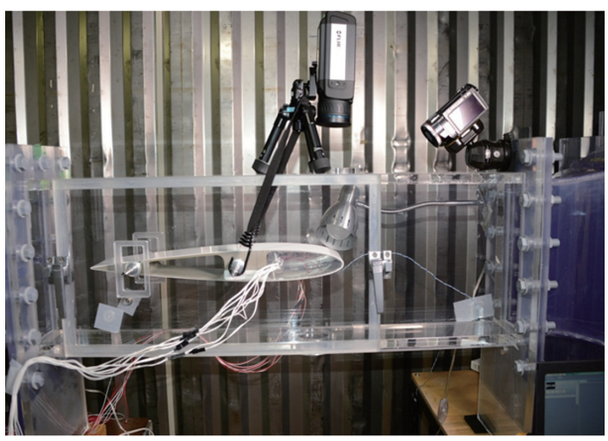


Fig. 7 Test setup

Table 2 Test conditions

Parameter	Value
Temperature	−15℃
Airspeed	95 m/s
LWC (Liquid Water Content)	0.3 g/m^3
MVD (Mean Volume Diameter)	18 μm

3.2 供試体

本試験で使用した、前縁部に電熱ヒータが組み込まれた翼型供試体をFig. 8に示す。2体の供試体を用意し、それぞれにポリウレタン塗料と開発塗料を塗布した。

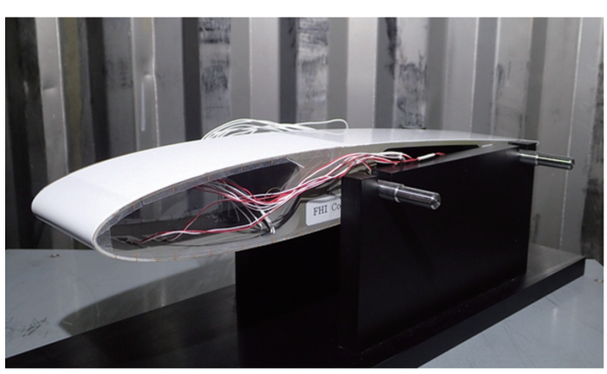
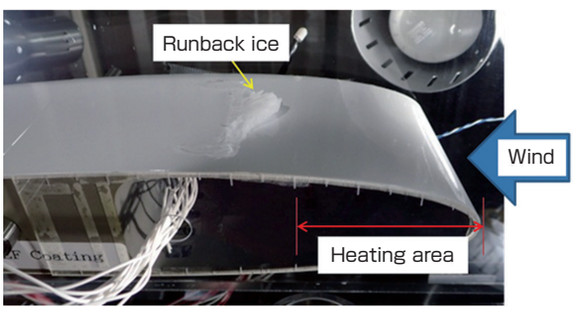


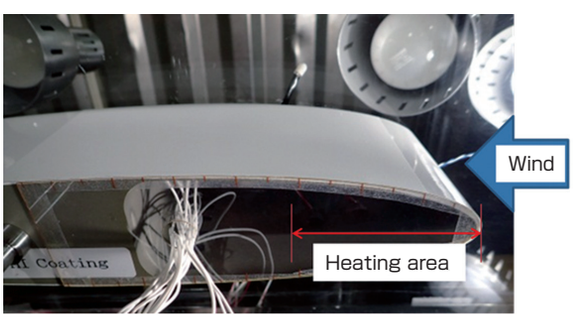
Fig. 8 Wing mock-up

前縁部をブリードエアや電熱ヒータで加熱する場合、そこで溶けた氷が翼後縁に流され、加熱されていない領域で再凍結するリスクがある。一般的に再凍結のリスクを低減するために、加熱領域の拡大や高出力な加熱装置が必要になる。しかしながら、開発塗料を併用して得られる超撥水表面により水滴の付着力を低減することで再凍結を防ぎ、加熱領域の削減や出力の低減につなげることができると考えられる。

以上の検討結果を実証するため、ポリウレタン塗料よりも加熱領域やヒータ出力を減らした状態の開発塗料を塗装した供試体を用いて、ポリウレタン塗料を塗装した供試体と電力使用量の比較評価を行った。

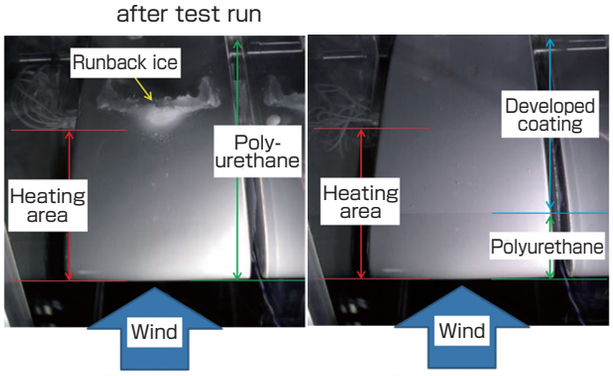


(a) Polyurethane



(b) Developed coating

Fig. 9 Side view of ice accretion on upper surface after test run



(a) Polyurethane (b) Developed coating

Fig. 10 Top view of ice accretion on upper surface after test run

3.3 試験結果

着氷風洞試験後のそれぞれの塗膜上の着氷状態を側面から観察したものをFig. 9、上面から観察したものをFig. 10に示す。ポリウレタン塗料を塗装した供試体では再凍結した氷(Runback Ice)の成長が確認されたが、開発塗料では再凍結は認められなかった。

又、それぞれの供試体の電力消費量を比較評価した結果をFig. 11に示す。ポリウレタン塗料に比べ開発塗料を塗装した供試体では7割程度消費電力を低減できることが確認できた。これは開発塗料の高い防氷性により着氷の発生を抑えられたことによると考えられる。

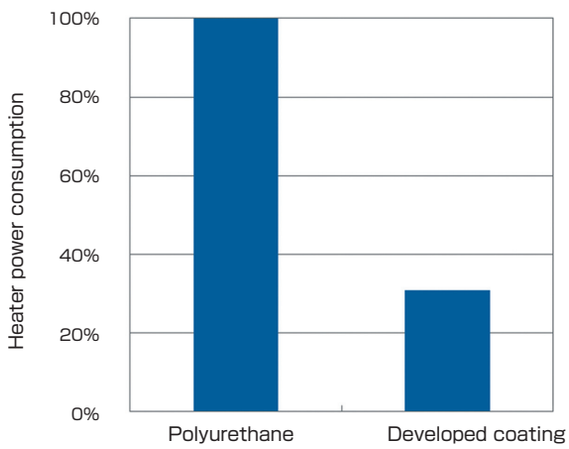


Fig. 11 Comparoson of Power consumption

4. まとめ

開発塗料の航空機適用に向け、飛行環境を模擬した着氷風洞試験を実施し､以下を確認することができた。

・開発した防除氷塗料によって着氷及び翼後縁部での氷の成長を抑制することができた。

・開発塗料を翼型供試体に用いることにより、ヒータの消費電力を低減することができた。

今後は航空機適用に向け更に開発を進めていくだけでなく、塗料という適合容易性を活かし着氷や水の付着が問題となっている他産業への展開も検討していく計画である。

謝辞

本研究開発は平成24年度から経済産業省より受託している「航空機用先進システム基盤技術開発(革新的防除氷技術)」の一環として実施したものである。経済産業省及び技術委員の方々のご指導・ご協力に心より感謝の意を表します。

また、着氷風洞試験の実施に際し、神奈川工科大学の木村教授及び宇宙航空研究開発機構の守田氏には多大なご尽力を頂きました。この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

(1) JADC：平成25年版航空機関連データ(2015)
(2) 国土交通省：航空分野の低炭素化(CO_2排出削減)について, https://www.mlit.go.jp/common/001027544.pdf (2015-3-25)
(3) 富士重工業株式会社：混合塗料及びその製造方法, 特許第3848334号 (2006)
(4) FAA：FAR 14 CFR Parts 25 appendix C

【著　者】

田中　太朗

成長期(昭和60年代)のスバル紹介

プレオ RS（1998年～2009年）

全長×全幅×全高：3395×1475×1575 mm
ホイールベース：2315 mm
エンジン：直列4気筒 DOHC
　　スーパーチャージャー 658 cc
最高出力：64 ps/6400 rpm
最大トルク：10.5 kg−m/3200 rpm

衝突安全基準の強化に伴い、軽自動車の規格が拡大されたことに対応して開発された。新コンパクトワゴンとしてヴィヴィオに対し車高を200 mm高くしユーティリティを高めている。エンジンは4気筒660 cc、SOHCのNA、マイルドチャージ、インタークーラー付スーパーチャージャーとDOHCスーパーチャージャー付の4種類が用意された。'98～'99 RJC軽自動車カーオブザイヤーを受賞。レガシィとのダブル受賞となった。

マグネシウム合金に関する開発動向

Recent Development Progress on Magnesium Alloy

生　出　理　子*
Ayako OIDE

抄　録

マグネシウム合金は実用金属中最も低密度な合金であることから、輸送機器の軽量化のための材料として期待されているが、強度、耐食性、耐火性などの課題がある。この課題解決のために国内外で多くの基礎研究および研究成果を基にした輸送機器へのマグネシウム合金適用プロジェクトが行われている。航空宇宙カンパニーにおいても経済産業省の委託事業である「次世代構造部材創製・加工技術開発プロジェクト」に参画し、マグネシウム合金およびマグネシウムリチウム合金に関する開発を行っている。

本稿では、マグネシウム合金の国内外の最新開発動向、および航空宇宙カンパニーが取り組んでいる研究について紹介する。

Abstract

Magnesium alloy is expected to make transport equipment lighter because it is the lightest metal. But it has some issues to be solved in terms of strength, corrosion resistance and flammability. Many basic researches have addressed these issues, and there are some projects to apply magnesium to automobiles and airplanes. We at the Aerospace Company joined the "Advanced Materials & Process Development for Next-Generation Aircraft Structures" founded by the Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan, and have developed magnesium alloys and magnesium-lithium alloys.

This report introduces the recent development progress on magnesium alloy in Japan and overseas, and our efforts at the Aerospace Company.

1．まえがき

航空機はその機体を支える揚力を生み出すために燃料を消費することから、低燃費のためには軽量であることが強く求められる。マグネシウム合金は、実用金属中最も低密度であるため、航空機などの輸送機器の軽量化材料として期待されている。しかし、強度、耐食性、耐火性に課題があることから、輸送機器への適用は主に非強度部材に留まっている。

この課題解決のために、国内外で多くの基礎研究が行われている。近年国内においてアルミニウム合金並みの強度と耐食性を持つマグネシウム合金が開発され、各業界から注目を集めている。また、基礎研究の成果を基に、自動車や航空機の軽量化を目指しマグネシウム合金の適用を検討するプロジェクトが各国で行われている。日本においても、航空機構造部材へのマグネシウム合金の適用を目指したプロジェクトが行われており、航空宇宙カンパニーも本プロジェクトに参画している。

本稿では、マグネシウム合金の国内外の最新開発動向、および航空宇宙カンパニーが取り組んでいる研究について紹介する。

＊ 航空宇宙カンパニー研究部

2．マグネシウム合金の特性

一般的なマグネシウム合金の物性を、他金属合金と比較したものをFig. 1に示す。

マグネシウムは、主に以下のような特徴がある[(1)]。

①実用金属中最も低密度である

マグネシウムは、密度が鉄の1/4、アルミニウムの2/3と実用金属中最も軽量であり、強度、剛性は鉄やアルミニウムに比べて低いが、比強度（単位重量当たりの強度）や比剛性（単位重量当たりの剛性）は鉄やアルミニウムと同等である。

②資源が豊富な金属である

マグネシウムは、地表付近に存在する元素の割合が実用金属の中では、アルミニウム、鉄に次いで多い。また、海水中の金属元素としてもナトリウムに次いで多く含有されており、資源が豊富で枯渇の心配がない元素である。

③振動吸収性に優れている

マグネシウムは減衰性能が高く振動吸収性に優れていることから、スピーカーの振動板などに適用されている。

④切削性に優れている

マグネシウムの所要切削動力指数は、鉄の約1/6、アルミニウムの約1/2と切削抵抗が小さいため、高速度で切削加工が行える。

⑤リサイクル性に優れる

マグネシウムはリサイクルが可能な材料で、再生に要するエネルギーは新塊製造時の4%と小さい。

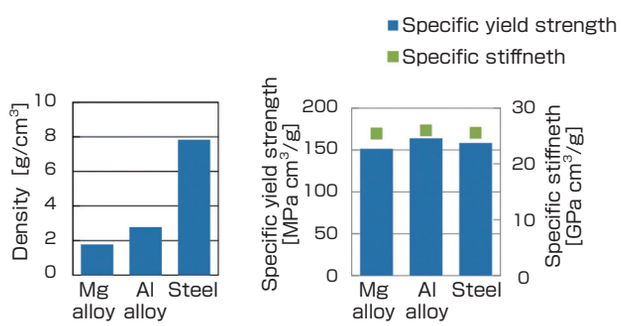


Fig. 1 Properties of Magnesium alloy and other alloys

以上のように、マグネシウム合金は軽量であるのみならず、資源が豊富であり、またリサイクル性にも優れた環境に優しい材料である。このような特徴を持つマグネシウム合金は、輸送機器の軽量化材料に適した材料であり、特に軽量化が強く求められる航空機においてはその期待は大きい。

また、マグネシウム合金には、リチウムを添加し更なる軽量化を実現したマグネシウムリチウム合金がある。マグネシウムリチウム合金の密度(約1.4 g/cm^3)は、軽量材として適用が進んでいる炭素繊維複合材料より軽量であり、また、比曲げ剛性(単位重量当たりの曲げ剛性)が高く、複合材料を上回る軽量化を発揮できる可能性を有している。

マグネシウムリチウム合金はNASAを中心に開発された材料で、大幅な軽量化が可能な材料として注目されたが、強度・耐食性が従来のマグネシウム合金より劣ることから適用には至らなかった。しかし近年、強度が6000系アルミニウム合金と同程度、耐食性が既存のマグネシウム合金と同等の特性を持つマグネシウムリチウム合金が開発され、パソコンの筐体として実用化されている。今後、更なる強度・耐食性の向上により、自動車や航空機の構造材料としての適用が期待できる。

3. マグネシウム合金の開発動向

マグネシウム合金の自動車への適用は、主に欧州において行われているが、Porsche社やFerrari社などの高級車やラリーカーのホイールなどに使用が限定されていた。

航空機では、1950年代頃、マグネシウム合金を主要構造部材に適用した機体が製造されており、例えばConvair社のB36の胴体やLockheed社のF－80Cの構造に適用されていた[(2)]。しかし、強度や耐食性に問題があるとみられ、徐々に適用されなくなり、現在はヘリコプターのエンジンケースなどに使われるのみで、構造材としては適用されていない。また、発火温度が低いという理由から、米国連邦航空局(FAA)により民間航空機機内でのマグネシウム合金の使用が禁止されてきた。

マグネシウム合金の強度、耐食性、耐火性の課題に対し、国内外で多数の研究が行われている。各課題に対する主な研究開発内容をTable 1に示す。このうち難燃性マグネシウム合金の開発により、前述のFAAによる航空機機内での使用禁止項目に対して耐火基準が設定され、認定試験をクリアした材料に限定し機内での使用が認められることとなった。

Table 1 Major research and development of Magnesium alloy

課　題	開発者	研究成果
強　度	Magnesium Elektron (英国)	希土類元素の添加により、降伏強度が既存アルミニウム合金と同等レベル(310 MPa)のマグネシウム合金Elektron675を開発
	電気通信大学(日本)	プレス加工により、希土類元素の添加なしで650 MPaの強度を達成
耐食性	Magnesium Elektron (英国)	耐食性がアルミニウム合金鋳物と同等のElektron21を開発
耐火性	独立行政法人 産業技術総合研究所	カルシウム添加による発火温度の向上を見出す カルシウム1～2%添加した合金において、発火温度がマグネシウム合金の融点(650℃)を上回る(700～760℃)ことを報告
	生産技術研究院(韓国)	酸化カルシウムを添加し、発火温度を向上させたEcoマグネシウムを開発

Table 1以外に、熊本大学から、上記3つの課題を全て解決した*KUMADAI*マグネシウム合金が報告されている。

*KUMADAI*マグネシウム合金は、平成15年度から平成19年度に行われた経済産業省管轄の「次世代航空機用構造部材創製・加工技術開発プロジェクト」にて開発された材料で、マグネシウム合金に、亜鉛と希土類元素を複合添加することで、長周期積層構造という新たな原子配列構造を形成し、それに塑性加工を加えることによって、航空機の構造部材に適用されている7000系アルミニウム合金と同等以上の強度・耐食性を達成した材料である。*KUMADAI*マグネシウム合金の比強度および腐食特性を既存マグネシウム合金およびアルミニウム合金と比較したものをFig. 2に示す。

*KUMADAI*マグネシウム合金は、耐火性についても前述のFAAの耐火基準をクリアしており[3]、航空機構造材料として適用し機体の軽量化に貢献するポテンシャルを有している。

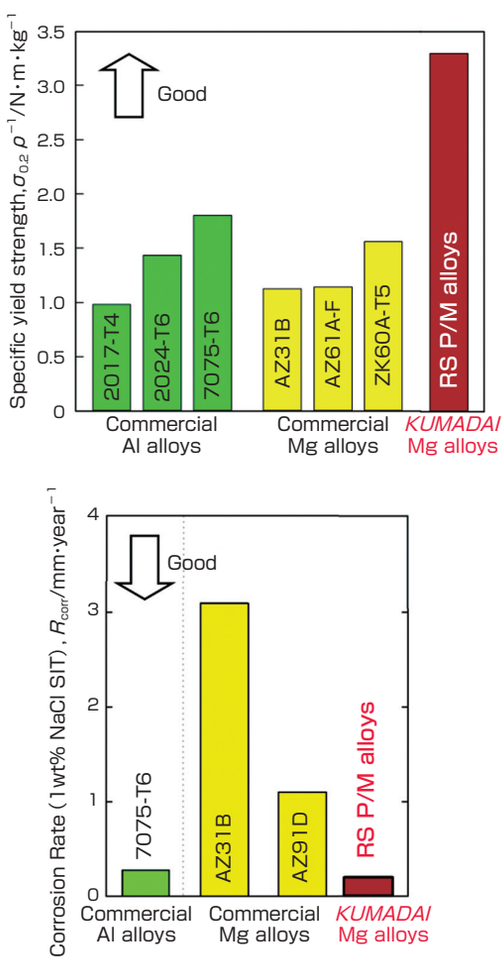


Fig. 2　Properties of *KUMADAI* Mg alloys and commercial Al and Mg alloys

4.　マグネシウム合金の適用研究動向

改良されたマグネシウム合金の開発に伴い、マグネシウム合金の航空機や自動車への適用を検討したプロジェクトが各国で行われている。例えば、欧州において、航空機胴体の35%軽量化を目指した「AeroMAG」プロジェクトや、2020年に自動車へのMg合金の使用量を約100 kgとすることを目標にした「マグネシウム製駆動系鋳造部材プロジェクト」(米国)が挙げられる。また、韓国においても、韓国の材料メーカーPOSCO社を中心とした「World Premier Material Project」において、自動車のためのマグネシウム合金の開発として、合金の開発や圧延材の開発が2010年から行われている。POSCO社は2012年から2014年までRenault Samsung社とのマグネシウム合金圧延に関する研究を行っており、Renault Samsung社のSM7において、後部座席とトランクの隔壁にマグネシウム合金板が適用されることになった。自動車へのマグネシウム合金板の適用は世界初とみられており、これにより既存の鋼部品と比較して61%の重量減少を達成しているとされている[4]。航空機分野においても、Magnesium Elektron社が開発したElektron 43を座席のフレームに適用を検討している例が報告されている[5]。

国内のマグネシウム合金の適用開発としては、現在2つの国家プロジェクトが行われている。1つは、「革新的新構造材料等研究開発」(委託元：独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構　研究期間：平成25年度～)である。自動車を中心とした輸送機器の根本的な軽量化に向けた技術開発や構造材料の高強度化等に関わる技術開発が行われているが、その中の主要な構造材料としてマグネシウム合金が研究対象となっている。

もう一つは、航空機構造部材へのマグネシウム合金の適用を目指した開発として行われている、「次世代構造部材創製・加工技術開発プロジェクト」(委託元：財団法人　素形材センター　研究期間：平成25年度から27年度)がある。航空宇宙カンパニーにおいても、三菱重工業株式会社、熊本大学、独立行政法人　宇宙航空研究開発機構とともにこのプロジェクトに参画し、開発を進めている。

5.　航空宇宙カンパニーの取り組み

航空宇宙カンパニーで参画している「次世代構造部材創製・加工技術開発プロジェクト」では、熊本大学が開発した*KUMADAI*マグネシウム合金と、マグネシウムリチウム合金を対象とし、その実用化に向けた

研究を行っている。

*KUMADAI*マグネシウム合金は、3項で述べたプロジェクトにおいて、優れた材料特性を持つことが確認された。しかしその製造方法は複雑で、また押出速度がアルミニウム合金と比べて遅いことから、素材製造コストが高くなる懸念があった。そこで、本プロジェクトでは、量産化に向けた低コストな素材製造プロセスの開発を行っている。また、マグネシウム合金の特徴を活かした軽量低コストな金属構造実現のために摩擦撹拌接合(FSW)のプロセス開発を行っている。FSWはリベット接合よりも軽量化が可能であり、また製造コストでもメリットがあるとされており[(6)]、マグネシウム合金と組み合わせることで軽量で低コストな構造を達成できると考える。

平成25年度は前プロジェクトに比べて高い押出速度での製造が可能であること、および上記マグネシウム合金のFSWが可能であることを確認した。

マグネシウムリチウム合金については、密度がマグネシウム合金より軽量であり、前述したように耐食性が向上した材料が開発されているが、アルミニウム合金と比較すると耐食性、耐火性は低く、また、強度はアルミニウム合金の70%程度と低いため、更なる特性の向上が必要である。

そこで本プロジェクトでは、マグネシウムリチウム合金の航空機構造材料への適用に向けた合金開発と、表面処理やFSWなどのプロセス開発を行っている。平成26年度は、強度、耐食性、耐火性の向上のために合金改良を行った。改良したマグネシウムリチウム合金の降伏強度および腐食特性を、既存のマグネシウムリチウム合金およびアルミニウム合金と比較したものをFig. 3に示す。アルミニウムの添加により強度向上を図り、また不純物量の制御により耐食性の向上を図ることで、アルミニウム合金に迫る強度と耐食性が得られることを確認した。また、耐火性については、カルシウムを添加することで発火温度が750℃に向上した。これは、従来のマグネシウムリチウム合金の融点(590℃)を大きく上回り、Table 1に示した耐火性を高めたマグネシウム合金と同等の値が得られている。

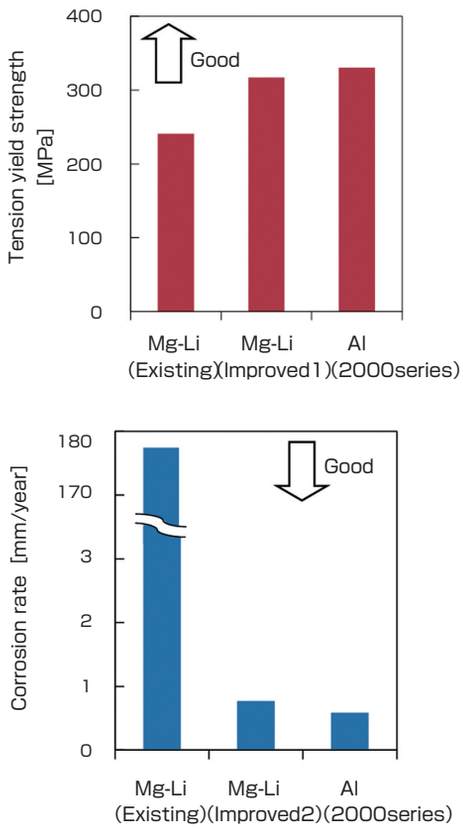


Fig. 3 Properties of Mg-Li alloys and Al alloys

6. まとめ

マグネシウム合金の開発と自動車や航空機への適用研究の動向、及び航空宇宙カンパニーにおいて参画している、航空機構造部材へのマグネシウム合金適用を目指したプロジェクトについて紹介した。プロジェクトにおいては、*KUMADAI*マグネシウム合金の素材製造プロセス開発とマグネシウムリチウム合金の合金開発を行い、製造プロセスの低コスト化の目途とアルミニウム合金に迫る特性のマグネリチウム合金について確認し、航空機構造材料への適用に向けて飛躍的な成果を得ることができた。

謝辞

本研究は、経済産業省「次世代構造部材創製・加工技術開発プロジェクト」の1テーマである「次世代複合材および軽金属構造部材創製・加工技術開発」の一環として、(一財)素形材センターとの契約に基づき実施したものである。関係各位に心より感謝の意を表します。

参考文献

(1) 日本マグネシウム協会：マグネシウムの基礎知識：特性, http://magnesium.or.jp/property/ (2015-3-25)
(2) I.Ostrovsky：Present State and Future of Magnesium Application in Aerospace Industry、International Conference “New Challenges in Aeronautics” ASTEC'07, (2007)
(3) 熊本大学：*KUMADAI*マグネシウム合金がFAA

で策定中の燃焼試験に合格！～航空機への応用に大きな弾み～，熊本大学プレスリリース，平成25年4月18日発表
(4) AutoDiary Korean automobile news：RENAULT SAMSUNG SM7 MAGNESIUM PLATE APPLIED, http://en.autodiary.kr/renault-samsung-sm7-magnesium-plate-applied (2015-3-25)
(5) Magnesium Elektron：News, ELEKTRON 43 ALLOY TO BE USED IN ABIATION PASSENGER SEATING FOR FIRST TIME, http://www.magnesium-elektron.com/elektron-43-alloy-be-used-aviation-passenger-seating-first-time (2015-3-25)
(6) 武久浩之：航空機用アルミニウム合金のFSW技術，軽金属，Vol.56 (3)，pp.178-183 (2006)

【著　者】

生出　理子

成長期（昭和60年代）のスバル紹介

サンバー ディアス（1999年～2012年）

全長×全幅×全高：3395×1475×1905 mm
ホイールベース：1885 mm
エンジン：直列4気筒 SOHC　スーパーチャージャー 658 cc
最高出力：58 ps/6000 rpm
最大トルク：7.5 kg−m/4000 rpm

軽自動車の規格改定に対応した6代目となるサンバーである。伝統のシャシフレームとフルキャブボディを生かした構造の採用で、高い衝突安全性とクラストップレベルのカーゴスペースを両立した。リヤエンジン方式、RRと4WDの駆動方式を継承。エンジンは4気筒660 ccのNAとスーパーチャージャー付が用意された。

複合材部品における塗装前表面活性化技術

Technology of Composite Parts Surface Preparation for Paint Application via Abrasive Blasting

松尾晋哉[*1] Shinya MATSUO
小野遼平[*1] Ryouhei ONO
中畑達雄[*2] Tatsuo NAKAHATA
斎藤学[*2] Manabu SAITO
柴崎修[*3] Osamu SHIBASAKI

抄　録

近年の航空機においては、軽量化における複合材料の適用範囲が拡大されており、一体構造による部品の大型化が進んでいる。航空機分野における複合材部品の塗装前処理において、人力で空圧工具を用いた研磨紙により表面を活性化している。

作業者はサンディングブースの中で、防塵服、保護メガネを着用し、空圧工具を用い、繊維を損傷しないよう慎重に作業を行う技量が必要である。この作業は、労働負担軽減、粉塵による作業環境改善が課題となっている。一方、検査では、標準限度見本を用い判別を実施しており、検査の効率化が求められている。

本稿では、大型複合材部品の塗装前処理において、ホワイトアルミナの研削材を使用したブラスト技術を用い、省人力と自動化を達成した設備の開発概要を述べるとともに、本設備の実機適用効率化及び品質の安定が図れた成果を紹介する。

Abstract

In recent aircrafts, the application of composite parts is expanding for the purpose of weight trimming, and the increase in the use of integral structure is enlarging the parts size. For painting preprocessing in the aircraft field, workers use pneumatic tools and sandpaper to activate the surface of composite parts.

These workers wear protection clothes and glasses in sanding booths. They are also required to work carefully and be skilled enough to avoid damaging the fibers. Against this backdrop, reduction in labor burdens and improvement in dusty work environment are also needed. Enhancement of inspection efficiency is another requirement since standard limit samples are still used for making judgment in inspection.

This paper explains the development summary of the facilities for painting preprocessing of large composite parts which achieved human power-saving and automation by the blast technology adopting white alumina abrasive materials. This paper also introduces successful results of the efficiency improvement enabled by an actual machine application and the quality stabilization.

1．まえがき

通常、複合材部品の塗装前活性化処理は、人が空圧工具(Fig. 1)を用い、研磨紙で表面研磨し、塗装の密着性を確保している。近年の航空機の複合材部品において、大型化と一体成形化が進んでおり、集塵

Fig. 1　Air tool for surface preparation

＊1 航空宇宙カンパニー　生産技術部
＊2 航空宇宙カンパニー　製造部
＊3 航空宇宙カンパニー　研究部

設備(Fig. 2)も大型化し、作業者は、防塵マスク、保護メガネ、防塵服を着用し、活性化作業を行っている(Fig. 3)。

Fig. 2　General dust collection facility

Fig. 3　Abrasive work environment

複合材部品の表面は、非常に薄い樹脂層で形成されており、製造方法と表面の材料の種類によって厚みが微妙に変化している。塗装前活性化の完了判断基準は、樹脂層内で表面の光沢がなくなる状態であり、樹脂層がなくなり、複合材料の繊維まで研磨してはならない。従い、作業者は、目視確認しつつ繊維まで研磨しない状態で、光沢がなくなる所まで慎重に研磨を実施している。また、研磨作業完了後、検査員が全面目視検査を行っており、判断基準として標準限度見本を用い、判定を行っている(Fig. 4)。

従い、大型化する複合材部品において研磨作業を人力で行うことは、作業者の労働負担、粉塵作業による環境改善と作業品質の安定化が課題となっている。

一方、当社では、複合材部品の接着前処理として、ブラスト処理が適用されている事例があり、研磨作業の代替えとして、適用することで、自動化、省人力化、作業品質の安定化、作業者の労働負担も軽減できると判断した。

2.　開発概要

想定している大型複合材部品を視野に入れ、表面活性化技術及び設備を開発した。

以下に、その取り組み方法と結果を紹介する。

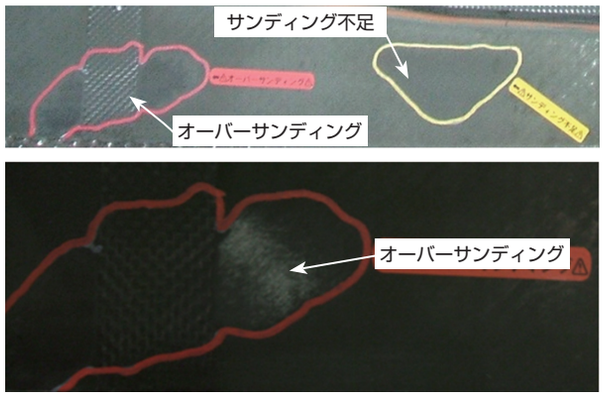


Fig. 4　Sample of surface preparation standard

2.1　表面活性化技術

2.1.1　活性化条件の抽出

接着前処理で適用実績のあるサクション式のノズル(Fig. 5)を選定し、異なる複合材表面の樹脂層を活性化するため、想定される表面状態の試験片を製作した。

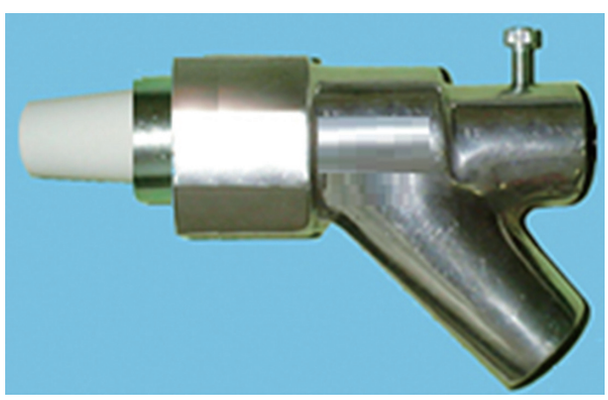


Fig. 5　Suction type nozzle

また、研削材は、当社で実績のある粒度のホワイトアルミナを用い、エアーの圧力、研削材の量、ノズル径､試験片までの距離及び移動速度をパラメータとし、試験を行い、活性化条件を抽出した。その後、実機で適用している塗料で塗装を行い、密着性を確認し良好であった(Fig. 6)。

2.1.2　実用化における研削材の粒度設定

複合材部品の表面の接着前処理で実績のある粒度を使用し、活性化条件の抽出ができたが、広範囲を活性化するため、大量の研削材を使用することになる。これでは、研削材の費用が研磨紙よりも高くなってしまう。 従い、研削材のリサイクル化について取り組んだ。

実績のある粒度よりも若干粗い粒度と細かい粒度を数種類選定し、活性化試験を実施した。

その結果、粒度を変えて同条件で噴射しても活性化は良好であった。ただし、細かい粒度の場合、噴射が

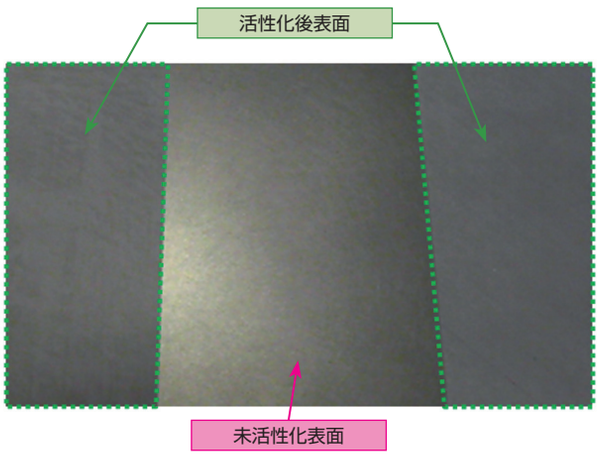


Fig. 6　Test coupon

安定しない現象が発生した。これらの結果を踏まえ、リサイクルできる粒度の範囲を設定した。

2.1.3　活性化条件の定量化

金属表面を改質および圧縮応力を与える手法にショットピーニングというブラスト加工がある。これら加工が確実に行われているかどうか現物を測定することはできないため、金属の試験片(Fig. 7)にピーニングを行い、その反り量を測定器(Fig. 8)で測定し、加工効果を確認している。この方法を複合材部品の塗装前活性化を確認する手法となるかデータ取得を行い、効果の確認が得られた。

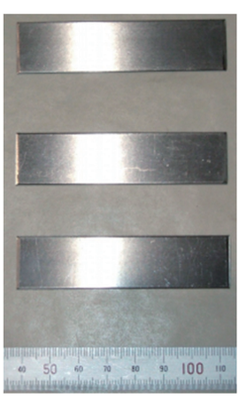


Fig. 7　Almen strip

Fig. 8　Almen gage

2.2　設備

2.2.1　噴射機構

ホワイトアルミナをエアーで噴射する設備のため、機構部に粉塵が堆積すると故障するリスクがある。

従い、本設備の機構部、駆動部に使用する部品について、入手しやすい市販品を優先して採用する設計とし、仮に故障しても、すぐに交換、復帰できる構造とした。そこで、既存類似設備の機構について把握した。

一般的な自動ブラスト設備の研削材噴射機構は固定式及び振り子式(Fig. 9)の揺動機構を採用している。

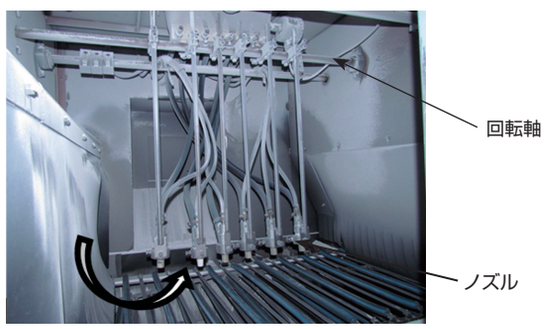


Fig. 9　Pendulum rocking typ

研削材の噴射機構を検討するに当たり、広範囲を処理しなければならないため、固定式を採用すると、1本のノズルでは処理面積が少ないため、ノズル径を拡大しなければならないが、エアー供給量が増加し、コンプレッサが大型化してしまう。一方、振り子式は、広範囲を処理できるが、ノズルが円弧運動のため、製品との距離が異なるため、均一な処理面が得られない。また、想定する大型部品の場合、回転軸を垂直にする可能性があり、回転軸とノズルの距離も長くなるため、たわみが発生するとともに機材が大きくなる。

そこで、ノズルと製品の距離の均一性の確保と安定した揺動機構として、ボールねじによるノズル移動機構を考案し基礎試験を行った(Fig. 10)。

ボールねじを用いて、ノズルを左右に移動する機構であるが、折り返し部分でタイムラグが発生し、試験片の送り速度との兼ね合いで未処理部が発生した。そこで、振り子式とボールねじ式を融合させたクランク式揺動機構を開発した(Fig. 11)。

回転軸にクランクを用い揺動する機構であり、折り返し時タイムラグがなく良好であるが、振動が発生してしまう。そこで、カウンターバランスを取り付けることで、振動が打ち消され、安定した揺動動作が実現でき、表面活性化の品質についても、良好な結果であった。

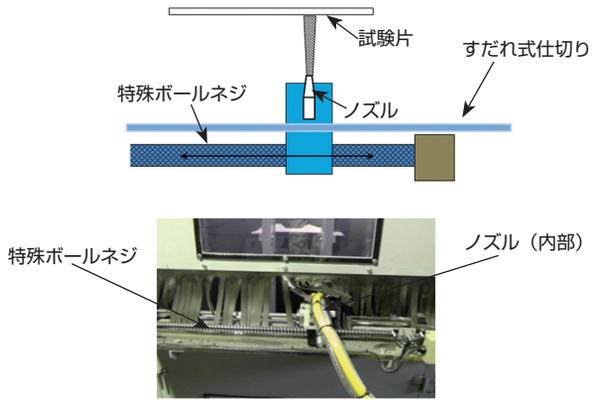
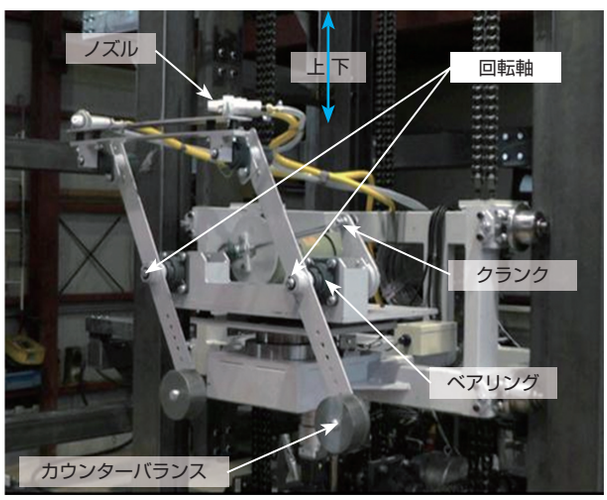


Fig. 10　Ball screw type



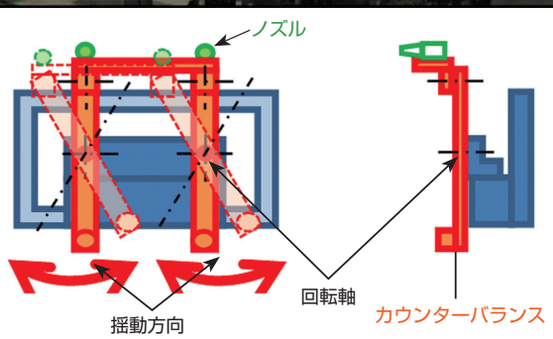


Fig. 11　Crank rocking type

2.2.2　設備本体(Fig. 12)

想定する製品に適用するための設備設置面積に制限があるため、製品を固定し、揺動機構部をゴンドラ式左右走行装置に乗せる仕様とし、揺動機構部とゴンドラ式左右走行装置は、蛇腹等で隔離するとともに、噴射エリアは間仕切りをし、集塵機能を持たせ、下に落ちる研削材は、床面に集塵ダクトを設置した。

安定したブラスト噴射を行うためには、研削材タンクとブラストノズルをつなぐホースの距離を短くする必要がある。そして、タンクには残量をモニタリングし、予備の研削材タンクを持ち、定位置で研削材を自動供給するシステムとした。

2.2.3　研磨材のリサイクル化

2.1.2で得られた結果より、設備の集塵部分にサイクロン分離器を取り付け、比重で分別を行った後、さらに振動ふるいを用いることで新品と同様の粒度分布の研削材を選別できる結果を得た。また、リサイクル研削材の分析を実施し、異物、不純物の混入もみられなかった。

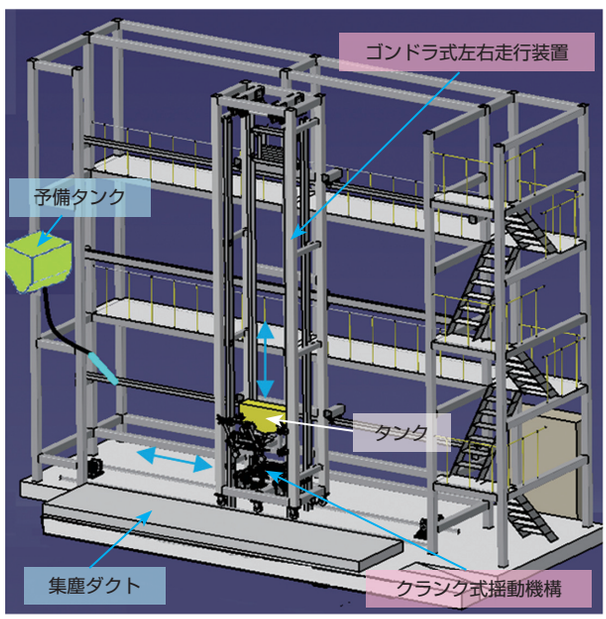


Fig. 12　Facility concept

3.　製品への適用

これまで述べた開発概要を盛り込み実用化した自動表面活性化設備導入(Fig. 13)を行った。その成果を挙げる。

Fig. 13　Blast processing facility

3.1　作業品質の安定化

製品を処理する前にアルメンストリップ取付治具(Fig. 14)を用い、ブラスト噴射し、アルメンゲージで測定することで処理条件の保証ができるようになり、処理品質の安定化に繋がると同時に設備の維持確認が出来るようになった。

Fig. 14　Almen strip installation tool

3.2　労働負担の軽減

活性化処理が自動化されたことにより、作業者への負担が大幅に軽減され、サイクルタイムが安定することで、計画的に作業が遂行できる。

3.3　研削材のリサイクル化

実際、リサイクル運用し1部品あたりの廃棄率は、最大10%程度であった。従い、消耗品費の低減、資源の有効活用、産業廃棄物の削減に繋がった。

4.　まとめ

複合材部品の塗装前活性化において、研削材にホワイトアルミナを使用しブラスト処理ができるようになり、かつアルメンストリップを用い定量的に測定することで、品質の安定化につながる技術を開発することができた。

5.　謝辞

ブラスト処理を用いた塗装前活性化技術の開発及び設備導入に於いて、様々な要望と技術的課題に対し、多大なるご協力をいただいたブラスト工業株式会社殿に我々開発者一同ここに感謝の意を表します。

参考文献

(1) ブラスト工業株式会社, 富士重工業株式会社：ブラスト処理装置及びブラスト処理方法, 特開2013-215826 (2013)
(2) ブラスト工業株式会社, 富士重工業株式会社：ブラスト処理装置及びブラスト処理方法, 特開2014-155977 (2014)

【著　者】

松尾　晋哉

小野　遼平

中畑　達雄

斎藤　　学

柴崎　　修

自動トルク掛けツールの開発

Development of Automatic Torque Wrench

斎藤　学[*1] Manabu SAITO
高橋秀治[*2] Hideharu TAKAHASHI
中畑達雄[*3] Tatsuo NAKAHATA
渡邉政雄[*3] Masao WATANABE
西野利男[*3] Toshio NISHINO

抄　録

他業種に比べ航空機用ファスナーのトルク掛けは、より厳しい締め付け精度を要求される場合が多く、市販ツールによるトルク掛けの自動化は困難であった。そのため、要求精度に合致する自動トルク掛けツールの開発を行った。

開発した自動トルク掛けツールは、トルク値をリアルタイムに計測しながら締め込みを行うことができ、従来のやり方に比べ作業性が大幅に向上する。

本稿では、航空機組立における「トルク掛けの自動化」に焦点を絞り、そのツール開発経過について詳しく報告する。

Abstract

Applying torque to airplanes often requires high accuracy, and automation of torque application was difficult. Hence, we developed a tool which provides required accuracy. The developed automatic torque wrench can measure torque while tightening up fasteners, which substantially improves workability compared to the previous method.

In this paper, we report the technology development progress on the automatic torque wrench for airplane assembly.

1.　はじめに

近年の航空機は、省燃費化や大型化が進んでいる。これまで主要材料として適用されてきたAL合金をはじめとする金属材料に加え、機体の軽量化に大きく寄与するCFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics）の適用率が増加の一途をたどっており、その適用範囲は一次構造部材にまで及んでいる。そのため、ワークの切削、穿孔、トリム等の加工に関する研究や改善は様々なところで行われており日々進化しているが、「ファスニング」なかでも「トルク掛けの自動化」に関する研究や改善は乏しい。

また他業種に比べ、航空機用ファスナーのトルク掛けは、より厳しい締め付け精度を要求される場合が多い。

本稿では、航空機組立における「トルク掛けの自動化」に焦点を絞り、そのツール開発経過について詳しく報告する。

＊1 航空宇宙カンパニー生産技術部兼製造部
＊2 航空宇宙カンパニー資材部兼製造部
＊3 航空宇宙カンパニー製造部

2.　トルク掛けにおける技術的課題

2.1　締め込み精度

先に示した通り、航空機用ファスナーのトルク掛けは、その特性上厳しい締め付け精度を要求される場合が多い。例えば、設計上の規定（ノミナル）トルク値に対し、実際のファスナーに掛けるトルク値の精度は、±3%程度の要求が行われる場合がある。また本要求精度割合は、トルク値の大小にかかわらず、一定である場合がほとんどである（Table 1）。自動トルク掛けツールが本要求精度を満足することが必須条件となる。

2.2　リトルク要求

Fig. 1に示す通り、航空機翼構造の部材間には燃料漏洩防止などの目的からシール材が適用されることが多い。部材間にシール材が適用された箇所のファスニングは、部材同士の密着性、気密性、ファスナーの緩

み防止等の観点から、「リトルク」を要求される場合がほとんどである。「リトルク」とは、一度規定トルクが掛けられたファスナーに対し、もう一度同じトルクを掛ける（同じトルク値で締める）ことを言う。言い換えれば、同じトルク値による確認締めである。

自動トルク掛けツールでリトルクを行うことは、難しい課題である。理由は、一度規定トルクが掛けられたファスナーにもう一度同じトルクを掛けようとすると、いわゆるトルクの「掛け上がり」が発生し、オーバートルクとなってしまうためである。（詳細は、5.3項参照）

以上より、航空機構造の自動トルク掛けツールには、

・締め込み精度要求を満足すること

・「リトルク」が可能であること

上記2点を満足することが必須条件となる。

Table 1　Example of torque tolerance

トルク値（ノミナル値）	最小トルク値（− 3%）	最大トルク値（+ 3%）
1,000	970	1,030
2,000	1,940	2,060
3,000	2,910	3,090
4,000	3,880	4,120
5,000	4,850	5,150
6,000	5,820	6,180
7,000	6,790	7,210
8,000	7,760	8,240
9,000	8,730	9,270
10,000	9,700	10,300

単位：in-lbs

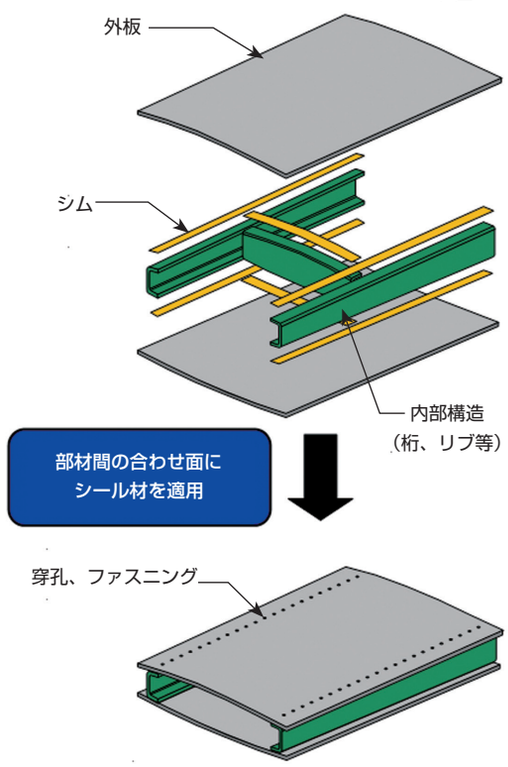


Fig. 1　Image of the wing structure

3.　従来の作業方法

従来のトルク掛け作業は、Fig. 2に示すような、シグナル式（クリッカータイプ）のトルクレンチを用いる方法が一般的である。事前にアナログ目盛にて設定したトルク値に締め込みトルクが達すると、トルクレンチ先端部において「カチッ」というクリック音が発生することにより、規定トルク値が掛けられたことを作業者が把握できるようになっている。

先にも述べた通り近年の航空機は、大型化が進んでおり、適用されているファスナーの径もより太くなってきている。中には、10,000 in-lbs（1,130 Nm）を超える要求もあり、Fig. 3に示す通り、トルクレンチ自体のアームの長さが3 mを超えるものも出てきている。そのため、このようなトルクレンチで締め込み作業を行おうとすると、

・レンチのヘッド部を抑える人：1名

・レンチを回す（トルク掛けを行う）人：2名

の最低3名が必要となる。また。トルクレンチ自体の重量も重くなり、安全上の問題も懸念される。

Fig. 2　Example of signal type torque wrench

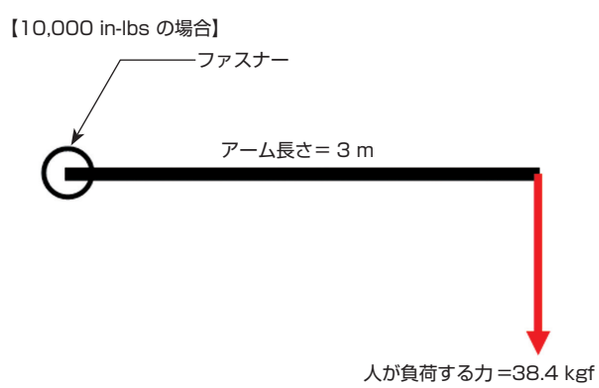


Fig. 3　Arm length of signal type torque wrench (in case of 10,000 [in-lbs])

4.　解決策の模索

上記課題を解決するため、まず、自動トルク掛けツールの動力方式の検討を行った。検討結果をTable 2に示す。

Table 2　Examination of power method

方式	エアー	電気	油圧
締め込み精度	×	○	○
締め込み速度	○	○	×
重量	○	△	△
価格	○	△	△

エアー方式は、ツール自体の軽量化が図れ、安価である一方、トルク値の制御がメカニカルなものとなり、精度が悪化する。それに対し、電気及び油圧方式は、電気を用いたフィードバック制御、すなわちファスナーに掛かるトルクを計測しながら締め込みを行えることから、締め込み精度は問題無い。但し、油圧においては、締め込み速度に問題があることから、総合的に判断して、電気方式を採用することとした。

5.　開発品

5.1　開発品の概要

開発品の概要を、Fig. 4に示す。トルクレンチ本体と、コントロールBOXからなり、本体の先端部にはトランスデューサが設けられている。このトランスデューサで実際にファスナーに掛かったトルクを計測し、無線通信によりコントロールBOXにデータを送り、本体に組み込まれたモータへの電流をコントロールすることにより、あらかじめ設定されたトルク値の±2 % 以内でファスナーを締めこむことができる。動力源は、AC100V（通常の一般家庭用コンセントと同じ）とした。

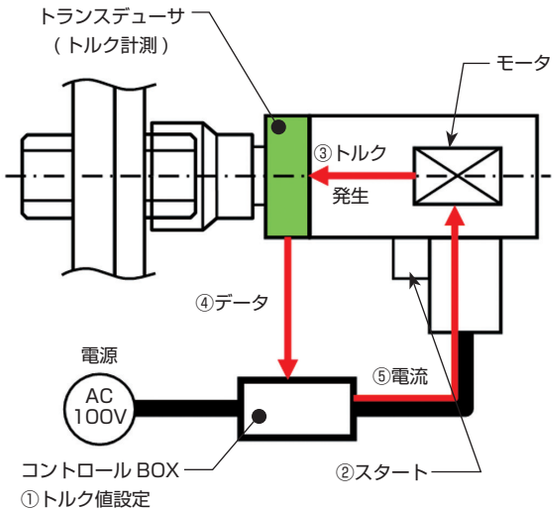
尚、Fig. 4には図示していなが、開発品のような動力式レンチでボルトまたはナットを締め付けるとき、締め込みとは逆方向のトルクすなわち反トルクが発生する。そのためツールには、この反力を受けるための反力受けが必要であり、隣接したボルトや部材に反力受けを当てて反力を取る必要がある。

5.2　通常の締め込み

上記5.1項の開発品にて試験片の締め込みを行ったところ、通常の状態すなわちファスナーにトルクが全く掛かっていない状態、いわゆる呼び込み状態からの締め込みは可能であった。この場合の目標トルクへのフィードバック制御は、Fig. 5に示す通りであり、要求値内（公差内）のトルク掛けが確実に行われる。

5.3　リトルク時のオーバートルク

呼び込み状態からの締め込みに続き、リトルク、すなわち一度規定トルクが掛けられたファスナーに同じ



①事前にトルク値を設定
②スタートボタン押下
③モータが回転し、トルク発生
④実際にファスナーに掛かっているトルクをトランスデューサにて計測し、計測したトルクデータをコントロール BOX に送信
⑤モータ電流を制御
⑥以下、③～⑥のフィードバック制御を繰り返し、設定値に達すると自動停止

Fig. 4　Summary of developed tool

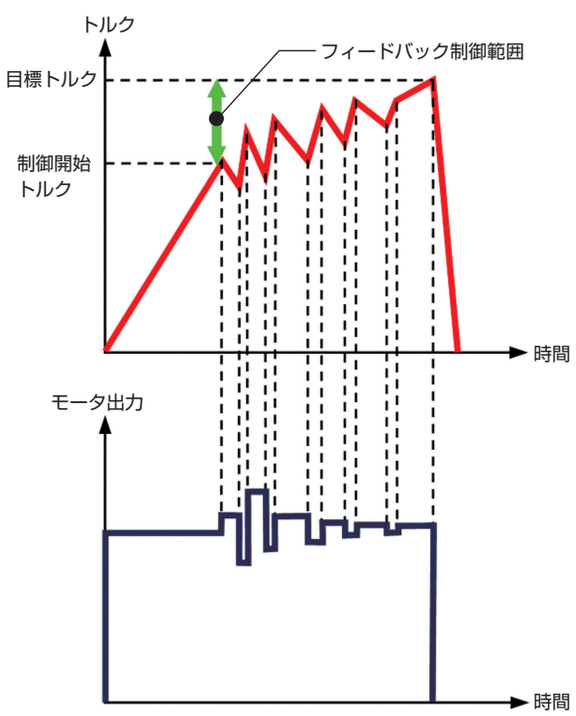


Fig. 5　Torque control method in normal mode

トルクを掛けようとしたところ、掛け上がりによるオーバートルクが発生してしまうという問題が発生した（Fig. 6）。

これは、一度規定トルクが掛かったファスナーをもう一度同じトルクで締めようとしたとき、フィード

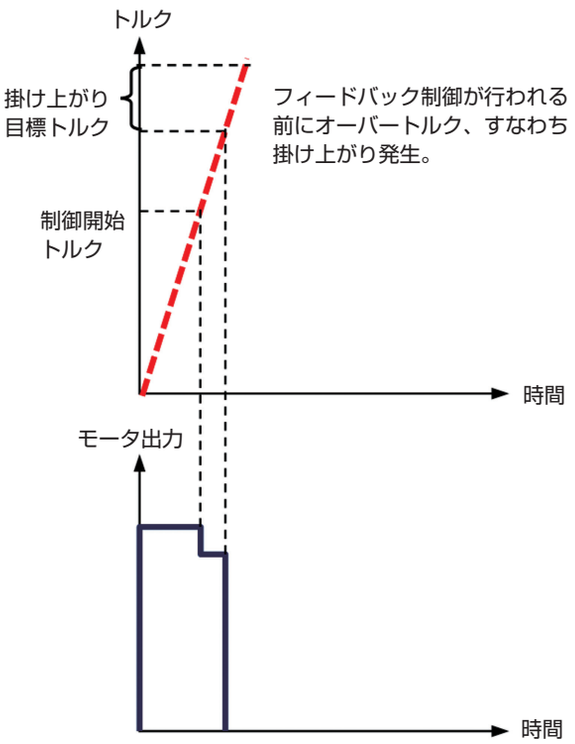


Fig. 6　Overtorque of retorque mode

バック制御が間に合わず、瞬間的にファスナーにトルクが掛かってしまう。すなわち、掛け上がりが発生してしまうことが原因であることが判明した。そのため、以下に示す、リトルクモードの開発を行うこととした。

5.4　リトルクモードの開発

リトルクモードとは、その名の通りリトルク専用の締め込みモードで、5.3項Fig. 6に示すトルクの掛け上がりを防ぎ、リトルクにおいても正しいトルクを負荷するモードである。具体的な方策は下記の2点である。

(1) 制御開始トルクを0（ゼロ）に近づけた

通常モードに対し、制御開始トルクを0に近づけたことにより、フィードバック制御を行える範囲(時間)を長くとることにより、掛け上がりを防止。

(2) モータ初期出力を抑えた

通常モードに対し、モータ初期出力を下げることにより、ファスナーに掛かるトルクの急激な上昇を抑えることにより、掛け上がりを防止。

リトルクモードの締め込み状態をFig. 7に示す。これによると、制御開始トルクのレベルを低く設定してあるため、低いレベル(早期段階)でフィードバック制御が開始されると共に、モータ出力を落としたことにより、トルクのかかり方(グラフの傾き)が緩やかとなり、リトルク時の掛け上がりを防止することができる。本リトルクモードの開発により、呼び込み状態

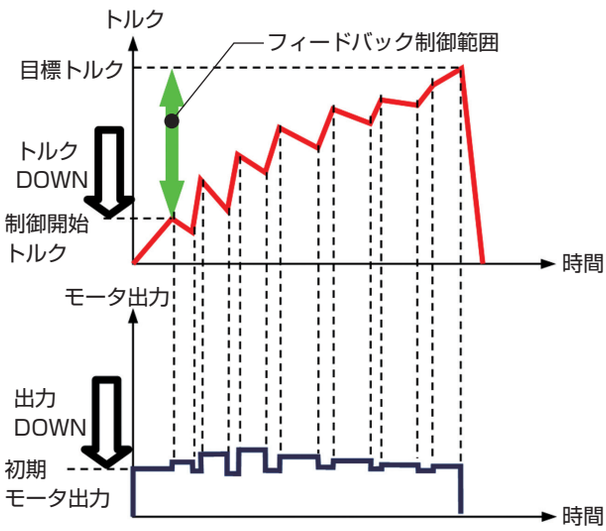


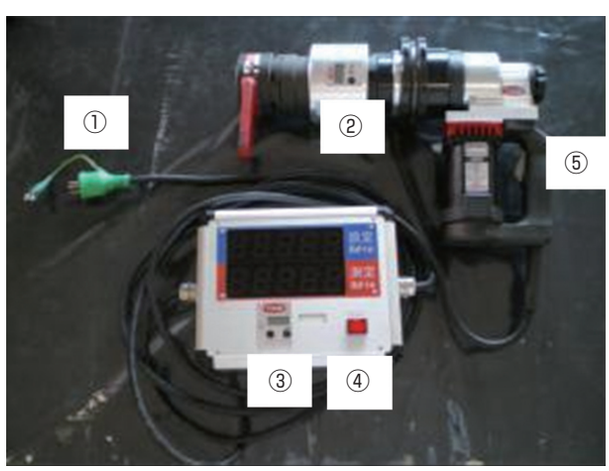
Fig. 7　Torque control method in retorque mode

からの締め込みは通常モード、リトルクを行う場合はリトルクモードと本体の設定スイッチを切り替えることにより、容易にトルク掛けを行うことが可能となった。尚、リトルクモードで通常の呼び込み状態からの締め込みを行っても問題は無い。通常モードによる締め込みより余分に時間がかかるだけである。

5.5　開発品の操作手順

複雑な操作を要せず、「誰でもできる化」をコンセプトとし、機器の操作の簡略化を実施した。実際の操作手順は、Fig. 8の通りである。

トルク制御用のPCや、大掛かりなトルク発生源は必要無く、作業職場まで容易に持ち運びが可能である。



【操作手順】
① 100 V コンセント(電源)につなげる
②本体の電源 ON
③トルク値設定
④モード決定(通常 or リトルク)
⑤スタート

Fig. 8　Operating procedure

5.6　開発品の仕様

開発品の仕様をTable 3に示す。

Table 3　Specifications of developed tool

電圧(単相)[V]	100
周波数[Hz]	50−60
最大電流[A]	14.5
最大消費電力[W]	1,400
トルク制御範囲[in-lbs]	3,100 ～ 18,580
トルク最小表示[in-lbs]	10
トルク制御精度[%]	±2
無負荷回転数[rpm]	最大16
締め付け方向	左右両方向
本体重量[kg]	10.9
連続使用回数[回]	約20,000
使用温度範囲[℃]	0 ～ 40
締め込みモード	通常／リトルク
トルク表示	設定／実測

6.　注意事項

本自動トルク掛けツールの実機使用にあたり、下記3点の注意事項を守る必要がある。

(1) 機体図面、SPEC

機体図面やSPEC等の設計要求で、今回の開発品のような自動トルク掛けツールの使用が認められている必要がある。機種によっては、認められていない場合があるため、注意が必要である。

(2) 反力受け

5.1項に記載した通り、今回の開発品のような動力式レンチでボルトまたはナットを締め付けるとき、隣接したボルトや部材に反力受けを当てて反力を取る必要がある。そのため、反力受ける側の強度計算(設計検討)が必要となる。

(3) ツールクリアランス

オープンスペースでのトルク掛けは問題無いが、狭隘部への適用においては、ツールクリアランスを検討する必要がある。すなわち、トルク掛けツール本体が機体と干渉してしまうような箇所に適用することはできない。

7.　まとめと今後の課題

今回の開発で、航空機のファスニングに対応、且つ安全に作業可能な、自動トルク掛けツールの開発を行うことができた。

ツールクリアランスが十分な一般部への適用は問題無いが、狭隘部への対応に課題が残る。そのため、狭隘部専用マシン又は、オフセットアダプター等の開発が必要である。また、更なる作業性改善のため、軽量化が必要であると判断する。

参考文献

(1) 社団法人日本航空宇宙学会：第52回飛行機シンポジウム講演集, 自動トルク掛けツールの開発
(2) TONE株式会社ホームページ
http：//www.tonetool.co.jp/

【著　者】

斎藤　　学

高橋　秀治

中畑　達雄

渡邉　政雄

西野　利男

除雪機用エンジンの紹介

Introduction of Engine for Snow Thrower

松　本　和　明*
Kazuaki MATSUMOTO

抄　録

SXシリーズエンジンは、EXシリーズ汎用エンジンをベースに除雪機専用に開発したものである。2009年にSX17、SX21、SX30の3モデルを販売開始し、2014年、より大型のSX40を開発、生産化した。

本稿ではSXシリーズの事例を交え、除雪機用エンジンとはどのようなものか、一般の汎用エンジンとは何が違うのかについて紹介する。

Abstract

The "SX series" engines were developed for snow throwers based on our general-purpose "EX series" engines. In 2009, we released three models: SX17, SX21, and SX30. In 2014, we developed a larger model "SX40" and started its manufacturing.

This article introduces snow thrower engines including some examples of SX series, and what are the differences between these snow thrower engines and general-purpose engines.

1.　まえがき

2014年2月に関東・甲信越を襲った記録的な大雪は記憶に新しく、慣れない除雪作業や交通機関の乱れに翻弄された読者も多いであろう。世界的に見ても、2013年12月～2014年1月の北米大寒波等、近年の異常気象とも言える降雪、積雪は人々の生活に大きく影響を及ぼし、その中で除雪機(Fig. 1)は、その利便性から大きな市場を築いている。

SXシリーズは、我々の主力汎用エンジンであるEXシリーズをベースに、その高出力、高耐久、環境対応性能を活かし使い勝手の良い新しい除雪機用動力源として、北米や欧州市場向けとして開発、商品化した。そして2014年、SX40をシリーズラインナップに加え、小型除雪機市場のほぼ全ての出力帯をカバーすることで、お客様のニーズに応えやすいエンジンシリーズを確立した。

Fig. 1　Snow thrower operating view

2.　除雪機とは

「除雪機用エンジン」をより理解頂くために、それが搭載される「除雪機そのもの」について概要を説明する。

2.1　除雪機の構造

広い意味では、ブルドーザのように雪を押しのける機械も除雪機の一種であるが、本稿では回転するオーガにより雪を掻き取り、インペラで投げ飛ばす機械

＊ 産業機器カンパニー　技術部

「ロータリーオーガ式除雪機(Figs. 2, 3)」について説明する。

この方式の除雪機は、エンジンが以下の3系統の動力源となっている。

・除雪機本体の前進、後退駆動
・雪を寄せ集めるオーガの駆動
・雪を投げ飛ばすインペラの駆動

除雪作業は、前進してオーガハウジング内に雪を導入し、オーガの回転によりハウジング中央に寄せ集められた雪をインペラの回転により加速させ、シュータにより設定した一方向に雪を放出する事により行う。

除雪機後方には、前後進の操作、オーガ及びインペラの回転数調整(主にエンジン回転数調整による)、シュータの方向・角度の調整等を行う操作機構が設けられており、作業者は除雪機の後方を歩行しながら操作する。

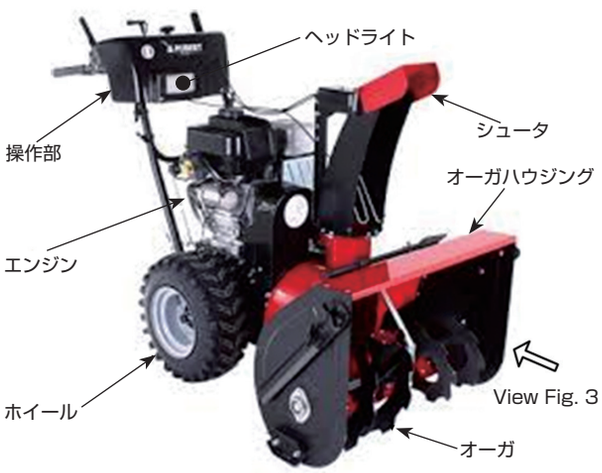


Fig. 2　Snow thrower

Fig. 3　Auger housing inside view

2.2　様々な除雪機

公道や空港等の大規模な除雪を行うものから、歩道、玄関先を除雪するような小型除雪機までを大きく分類し紹介する(Fig. 4)。

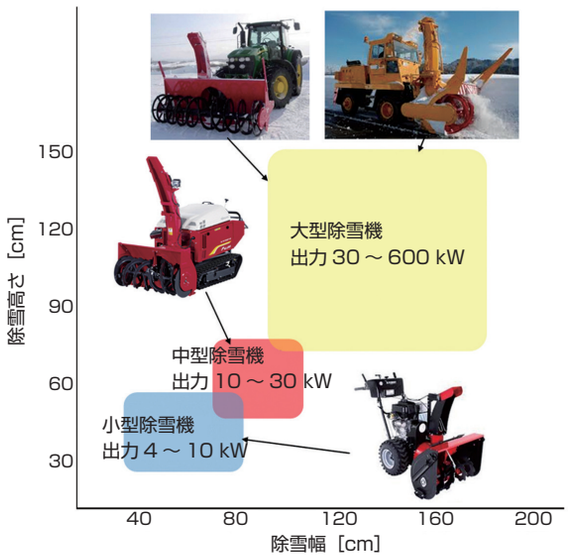


Fig. 4　Various sizes of snow throwers

2.2.1　大型除雪機(除雪車)

空港、幹線道路、生活道路等を大規模に除雪する除雪機。出力36 kW ～ 600 kW、除雪幅100 ～ 260 cm程度、除雪高さ80 ～ 170 cm程度のものが一般的である。乗用型で自動車のように走行出来るため、舗装路や圧雪路面上での作業に適している。

2.2.2　中型除雪機

駐車場、工場、スキー場、山岳地域等の除雪を行う。出力10 ～ 32 kW、除雪幅90 ～ 120 cm程度、除雪高さ50 ～ 70 cm程度のものが一般的である。クローラによる駆動で走行は低速である。操作は除雪機後方を歩行して行う。除雪機の外装によりエンジンがカバーされているものが多い。

2.2.3　小型除雪機

一般家庭、駐車場等、比較的小さな範囲の除雪に適する。出力4 ～ 10 kW、除雪幅40 ～ 90 cm程度、除雪高さ50 cm以下程度のものが一般的である。ホイール(タイヤ)駆動とクローラ駆動のものとがある。除雪機の外装によりエンジンがカバーされるものと、されないものとがある。

最も小型の除雪機では、走行機能を持たない手押し式や、エンジン駆動ではなく電動式のもの等、一般家庭での手軽な除雪作業を目的とした機種もある。

2.3　海外と日本の除雪機市場

2.3.1　世界市場規模

Table 1は近年の世界の地域別除雪機販売台数を示す。年間120万台程度の販売台数があり、内95%以上が北米・欧州市場であり、残りが日本及びその他の市場である。

Table 1　Global snow thrower sales

ブロック	2011－2012年 冬季	2012－2013年 冬季	2013－2014年 冬季
北　米	580,000	518,000	530,000
欧　州	732,000	606,400	581,300
日　本	25,200	35,000	49,500
その他	13,650	11,850	11,300
合計（世界市場）	1,350,850	1,171,250	1,172,100

出典「2014 世界市場規模マーケットデータ」（日本マーケティングクリエーション）

2.3.2　北米市場の特徴

北米では安価でシンプルな小型除雪機が好まれ、家庭用として大量に流通する。そのため、ホイール（タイヤ）駆動で、オープン型の（エンジンが露出した状態で使われる）機種が主流である。これは主に下記の要因によるものと考える。

・地形：平坦な広い土地が多い。
・気候：乾いた軽い雪が降る。
・ユーザ：一般家庭。
・除雪シーン：一晩降った新雪を翌日に除雪する。

2.3.3　日本市場の特徴

日本国内では、クローラ駆動で、エンジンは除雪機の外装にカバーされた状態で搭載される機種が多い。また、オーガの角度や高さや角度を微調整するような多機能型の機種が多い。これは主に下記の要因によるものと考える。

・地形：傾斜地、山岳地が多い。
・気候：湿った重い雪が降る。一晩の積雪量が多い。
・ユーザ：農家、公共団体、事業者等が多い。
・除雪シーン：新雪のうちに除雪するとは限らず、深い雪や固い雪にも対応しながら除雪する。

エンジンがカバーされた機種が多いのは、北米に比べ住宅が密集しており近隣への騒音を配慮する必要があるためと考える。

3.　SXシリーズの開発

3.1　背景

開発当時の2007年頃は、我々の主力汎用エンジンEXシリーズが、販売開始から数年を経過して市場に浸透し、多くのお客様から信頼を頂ける様になっていた。同時に、除雪機を製造する大手機器メーカーや販売するホームセンター等から、EXシリーズをベースとした除雪機エンジンを求める声が高まっていた。SXシリーズ開発はこれを受けての市場参入であり、特に北米・欧州の小型除雪機をターゲットとし、オープン型の除雪機に搭載出来るものとした。

3.2　開発コンセプト

SXシリーズの開発コンセプトは以下の3項目である。

①除雪作業の環境に耐え、扱い易いこと。
②他社同クラスエンジンと同等の外観寸法、取付け寸法とし、搭載互換性を確保。
③チェーン駆動OHCやペントルーフ型燃焼室を持つEXシリーズの基本構造を流用し、信頼性や出力を確保。

3.3　シリーズラインナップ

SXシリーズはSX17（169 cc）、SX21（211 cc）、SX30（287 cc）と、今年度生産化したSX40（404 cc）の計4型式からなる。SXシリーズの主要諸元、外観をTable 2に示す。4.2 ～ 8.8 kWの出力帯を持つことで、小型除雪機市場の要望に応えることが出来る。

Table 2　SX series specifications

エンジンモデル	SX17	SX21	SX30	SX40
種類	4サイクル単気筒ガソリンエンジン			
動弁形式	チェーンドライブ OHC			
冷却方式	強制空冷式			
潤滑方式	飛沫式			
排気量［ml］	169	211	287	404
ボア×ストローク［mm］	67 × 48	67 × 60	75 × 65	89 × 65
最大出力［kW/min^{-1}］	4.2/4000	5.1/4000	7.0/4000	8.8/3600
寸法（L × W × H）［mm］	329 × 426 × 359	337 × 438 × 359	399 × 484 × 453	421 × 504 × 471
質量［kg］	18.5	19.0	28.0	36.7
外観				

4.　エンジンの特徴

除雪機用エンジンの要件は、大きくは下記の5点である。

①極低温での始動性が良いこと
②雪を吸い込まない、溜まらないこと
③可動部品が凍りつかないこと
④吸入空気が保温されること
⑤厚手の手袋をして操作出来ること

これらの対応策（一般汎用エンジンとの違い）を、SX40を例に以下に紹介する。

4.1　低温の始動性確保

4.1.1　キャブレタ

良好な始動性を確保するには、気温が低いほど、またエンジンが冷えている時ほど空気に対する燃料の割合を大きく（以下：濃く）する必要がある。

－20℃を下回る様な除雪機の使用環境においては、汎用エンジンで一般的なチョークのみでは始動性の確保が不十分のため、チョークに加えプライマを装備した。

チョークとは、始動時のみ空気吸入口を絞り、混合気を濃くする装置である。プライマとは、キャブレタ内の燃料室を加圧する手動のポンプであり、始動動作前に予め燃料を吸気管に放出しておく事でより濃い混合気を得る事が出来る。構造をFig. 5に示す。SXシリーズではチョークとプライマを併用して始動を行う。

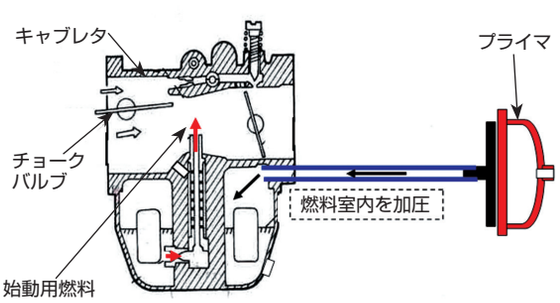


Fig. 5　Primer

4.1.2　始動装置

全モデル、スタータモータとリコイルスタータを標準装備とした。小型の汎用エンジンでは、手動でロープを引いて始動させるリコイルスタータのみの装備が一般的であるが、低温では、オイルが硬くなる等により始動作業に労力を要するため、スタータモータは有効となる。

また汎用エンジンのスタータモータは12Vの直流モータで、バッテリを使用するが、海外の小型除雪機市場では商用電源に接続し始動させる手法が一般的であり、SXシリーズもこれを採用した（Fig. 6）。商用電源であれば電力も安定しており、いざ使いたい時にバッテリが放電していて使えないといった事がなく好まれる。

商用電源は地域により周波数（50/60 Hz）や電圧（100－127 V/220－240 V）が異なるため、モータも電源仕様別に設定した。

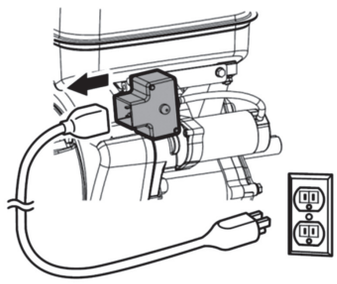


Fig. 6　Starter motor

4.2　雪の浸入、吸込み防止

除雪作業は降雪下や吹雪の中でも行う。また除雪機を屋外に放置し雪に埋もれた状態からでも、問題無く始動し運転出来る事も重要である。オープン型の除雪機へ搭載する場合エンジン側でこれらの処置を行う必要がある。その方策を以下に紹介する。

4.2.1　雪の侵入防止

エンジン外部には調速（ガバナ）機構等を雪から保護する部品を設けた。その一覧をTable 3に、装着状態をFig. 7に示す。ガバナ機構とは、エンジンへの負荷が変動してもエンジン回転数を一定に保つもので、一般汎用と同じく除雪機用途でも必要となる。その構成部品のレバー、ロッド、スプリング、等の部品のリンクはエンジン外側にあり、ここに雪が積もったり付着した水が凍結すると、エンジンの回転数制御が出来なくなる等の不調を起こす。ガバナ機構が常にスムースに動く様保護部品を配置した。さらにキャブレタ上方には、その「屋根」となる部品（バッフル5）を設け、水が滴下してスロットルレバーに付着するのを防止した（Fig. 8）。

リコイルスタータのケースでは、開口部は下向きのみとしロープリールへの雪の侵入を防止した。汎用と比較したリコイルスタータの写真はFig. 10参照。

Table 3　Special parts of SX40

部品	機能
フロントカバー	キャブレタ周辺を覆う
ガバナカバー	ガバナレバーをを覆う
バッフル３	タンク、マフラ間、エンジン後方を覆う
バッフル４	キャブレタ横を覆う
マフラカバー	汎用に対し冷却用開口部廃止し保温
リコイルスタータ	汎用に対し冷却用開口部縮小し保温
バッフル５	スロットルレバーへの水滴付着防止

※吸入空気保温、雪浸入防止関係部品のみ抜粋

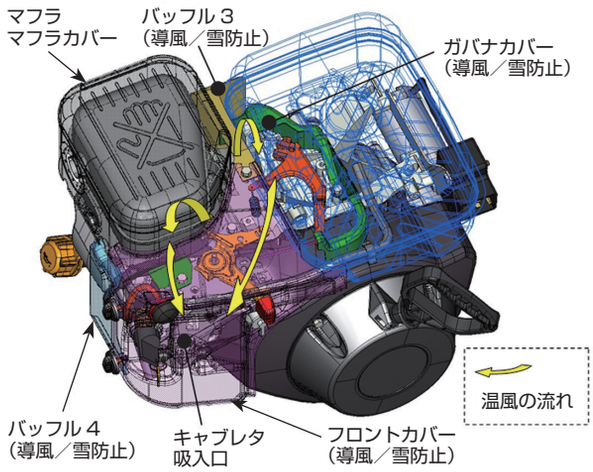


Fig. 7　Protection from snow and warm air flow

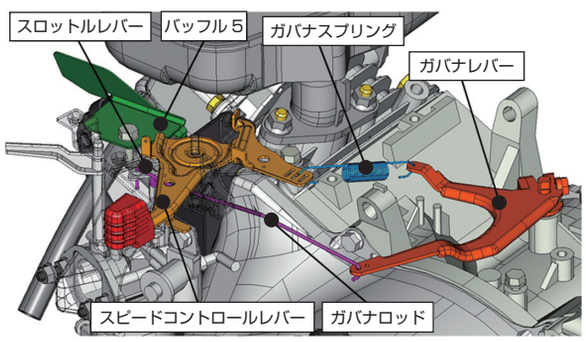


Fig. 8　Governor linkage (SX40)

4.2.2　エンジン吸気への雪侵入、詰まり防止

汎用エンジンでは、ウレタンフォームや濾紙フィルタをエアクリーナとして用いるが、SXシリーズでは金網を採用した(Fig. 9)。フィルタの目を粗くする事により、水が付着したり氷結する事によるフィルタ詰まりを防止する。

除雪作業は塵や埃の少ない環境で行う事が多いため、粗いフィルタの採用が可能となる。

Fig. 9　Intake air filter

4.3　吸入空気の保温

エンジンの吸入空気温度が低い場合、キャブレタ内で、燃料の気化熱により空気中の水分が凍り、通路内に付着する現象が起きる。これをアイシングと言い、悪化すると吸入空気通路や燃料通路が閉塞する等でエンジン不調を起こす。

アイシングを防止するには吸入空気温度を上げる事が有効で、4.2で述べた雪の浸入防止部品はその機能も果たしており、エンジン冷却の排風やマフラ周辺の温かい空気をキャブレタ付近まで導く様配置した(Fig. 8)。リコイルスタータに設ける冷却風取入口は、開口面積を小さくし冷却能力を下げる事での保温を行った。

4.5　操作部品

除雪作業中に触れる操作部品は、厚手の手袋着用時の扱い易さや視認性に配慮し大型のものを採用した。その例を汎用エンジンとの比較写真で紹介する(Fig. 10)。

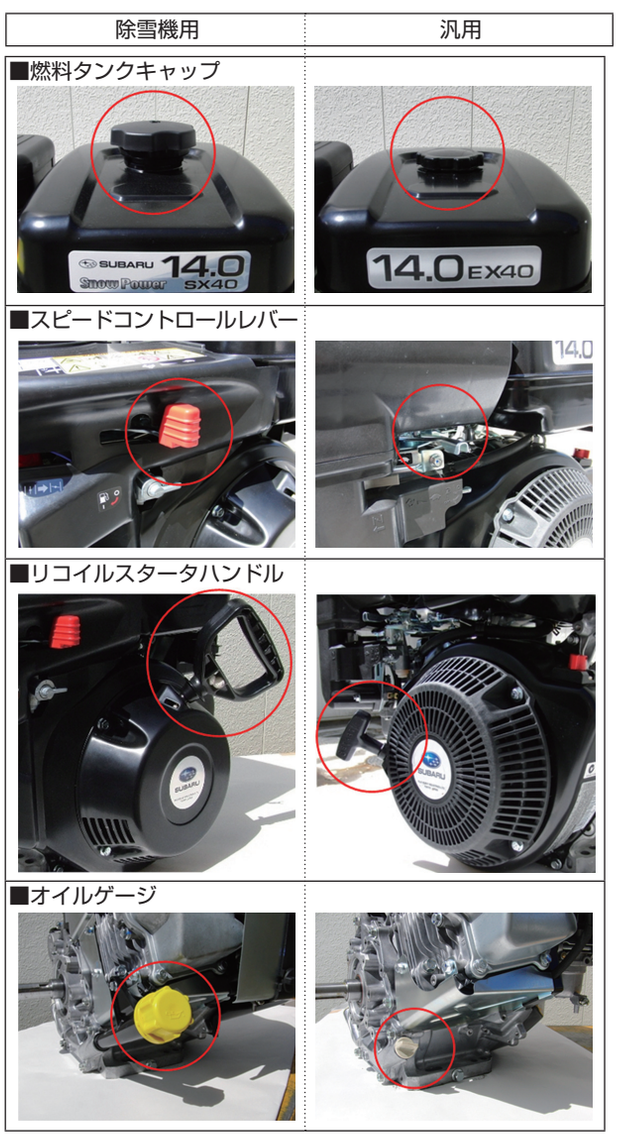


Fig. 10　Operation interface parts (SX40)

5. まとめ

SXシリーズは、汎用EXシリーズの高出力、高耐久、環境性能を活かしつつ除雪作業環境での扱い易さを確立した、小型除雪機専用エンジンである。

シリーズにSX40を加え、北米・欧州の小型除雪機市場向けとしてラインナップの拡充を行った。

6. あとがき

今回のラインナップ拡充で小型除雪機用としての全出力帯をカバーするので、お客様である大手の除雪機メーカーからの引き合いに応えることが出来るようになった。産業機器カンパニーのコア技術は「搭載マッチング技術」である。お客様と共に考える中で更にマッチング技術向上を図り、より良い除雪機を市場に提供していきたい。

最後に、SXシリーズの開発、生産化に関わって頂いた、お取引先様並びに関係者の皆様に、深く感謝申し上げます。

【著　者】

松本　和明

成長期（昭和60年代）のスバル紹介

インプレッサ WRX NB（2000年～2007年）

全長×全幅×全高：4405×1730×1435 mm
ホイールベース：2525 mm
エンジン：水平対向4気筒 DOHC　ターボ 1994 cc
最高出力：250 ps/6000 rpm
最大トルク：34.0 kg−m/3500 rpm

セダンとスポーツワゴンの車型を踏襲。セダンは走りのポテンシャルを高めるため、車幅を1730 mmに拡大した。セダンには2.0リッターNAとターボ、スポーツワゴンには1.5リッターと2.0リッターのNA、2.0リッターターボエンジンを搭載している。WRXをベースにしたモータースポーツ活動も継続して行われ、2003年にはペター・ソルベルグがドライバーズ・チャンピオンを獲得するなど、走りのスバルの知名度を世界に定着させた。

道草のすゝめ

Recommendation of Michikusa (Important Things Even if They Seems Vices)

坂 崎 明 彦*1　　渋 谷　　真*2
Akihiko SAKAZAKI　　Makoto SHIBUYA

抄　録

スバルのパーソナリティがパーソナリティ足り得たのは、各人の仕事やそれまでの経験での道草が大いに効いていたと推察される。

放っておくと、スバルの開発陣もパーソナリティを失ってしまい勝ちになる昨今、スバルの新たな時代に即した、新たなパーソナリティを、道草の出来る環境を整えて、創生したいものである

Abstract

What makes the personality of development members at SUBARU a personality? I think Michikusa (important things even if they seem vices) in each member's work and his experiences have been particularly helpful to the personality building.

Nowadays, if left alone, SUBARU development team members seem to lose their personalities. We want to create a new personality which suits to the new SUBARU eras, by creating an environment where we can Michikusa (loiter on our ways).

1. まえがき

昔、中島飛行機では技師達が技師会を結成していて、社長と雖も、技師会がうんと言わねば会社を動かせなかったと聞く。富士重工業＝中島飛行機では無いが、スバル技術本部群馬にも技師会と言う集まりがある。2011年3月、執筆者の一人の渋谷は、定年退職時の技師会宴会でのスピーチで、以下の内容を素朴に、しかし確りと語った。

『最近の若い自動車技術者達は可哀そうである。最少工数、最短距離、最大効率でアウトプットや結論を出す事を求められ、道草が許されない。

自分達の入社した1970年代は、会社に入ってからも沢山の道草をして来たし、させて貰える余裕もあった。その道草での経験が開発における様々なハードルを乗り越える応用力に繋がっていた気がするし、それ以前に小学校や中学校の通学路でも、寄り道や道草をしながら野原を駆け回って暗くなるまでいっぱい遊べた。それらが応用力の土台になって、社会人としてスバルの開発に携わる様になっても役に立っている気がする。

今の若い人達は、会社に入ってからも道草を経験させて貰って無いので、応用が利かず、大した問題でも無いのに乗り越えられない状態になっているのではあるまいか。今の子供達は入社以前の小学校や中学校でも、寄り道せずに真っ直ぐ学校に行けと言われ、道草どころでない。子供には、本来は道草をさせるべきだし、若い人達を鍛えるにも、会社の中でも道草の出来る環境を作るべきではないか』。

酔いの回ったもう一人の執筆者の坂崎は感激し、重役もい並ぶ席で壇上に上がり、司会のマイクを取って、『これは非常に重要な話だと思う。スバル技報の読者には、こう言う話が大好きな方達が多いと認識しており、是非スバル技報共同執筆しましょう』と話した。それから早3年が経過してしまったが、今回はその道草についての論文である。

2. 道草人生、渋谷の場合

渋谷は、ダートトライアルで全日本戦も制し続けた事のあるドライバーで、計測器もプアな時代、「**低 μ**

＊1 技術管理部
＊2 STI商品開発部

路で速く走れる車は、どんなところでも安心して走れる」との信念の下、様々な代用特性を試行錯誤しながら掴み、スバルの開発に貢献して来た。

2.1　渋谷の入社前

幼き頃は、山や川、草むらや野原で思いっきり遊んだ。高校時代は同級生に解体屋の友人がいて、そちらに通い詰めていたら、この車やるからと当時10～20万円はしたであろうスバル360を1万円で売って貰い、学校の実習室や私道のあぜ道を運転して遊んだ。映画『イージーライダー』のバイクが気に入り、どうしてもそういうのに乗りたく、アルバイトで貯めた金で60 ccのバイクをチョッパに改造して乗り回していた。改造には溶接屋の友人がいて、その協力を得た。

今日的には許される話では無いのだろうが、当時は暴走族も暴れて無い地域では、かなり大らかに見守って貰えた様である。

2.2　FF→4WD→FR→4WD

入社して、最初はラリーやダートトライアル、氷結湖等、低μ路を走るFFで育ち、腕を磨いている。その後、OHV最後のレオーネ前後直結4WDに乗り換え、4WDの足回りや駆動力の配分はどうあるべきかを思案する様になる。

そんな矢先、後輩の坂崎が自分のレオーネ4WDのリヤデフを左右直結にしているのと、後述のツインエンジンレオーネでモータスポーツに参加しているのを見て、休日にテストコースに出て来てステアリング特性を坂崎の同期のテストドライバと測定してみた。未だまともな計測器も無い時代、Rの規定された円の上を舵角一定で加速していき、一周に要するストップウォッチの時間から、Gを算出してプロットした(Fig. 1)。

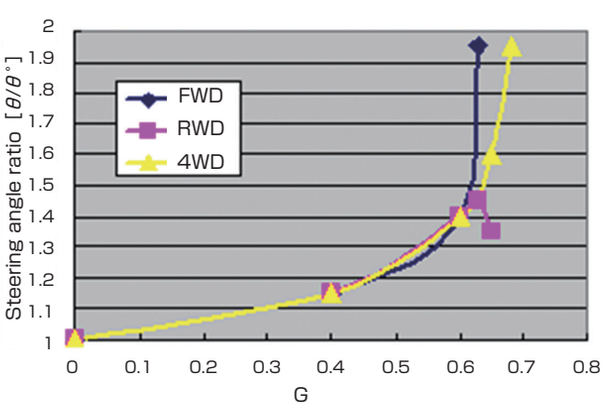


Fig. 1　Steering characteristics of twin-engine LEONE

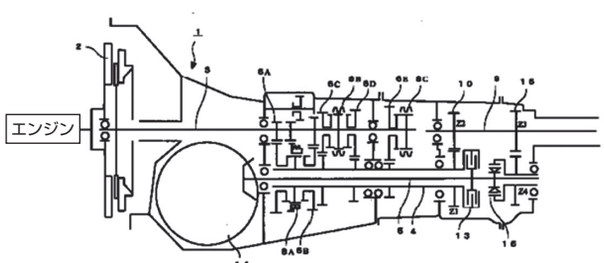
当時の自動車の技術水準として、DOJやCVJのブーツが、車の一生もつのは珍しい状態であった。たまたま自家用4WDのフロントドライブシャフトのブーツが切れたので、修理迄の間FRで過ごして見た。

FRにすると、ステアリングフィールが良くなる事、4WDでは車の一生問題無いリヤサスのブッシュが、ガタガタになってしまう事、ウレタンを詰め込んだらデフの振動騒音が大変になる事、FRではFFが難無く通過出来る低μの上り坂でスタックする事がある事を身を以て体験出来た。これ等は、後のスバル初のFR車の開発陣に対するアドバイスに大いに役立つ事になる。

ダートトライアルの全日本戦では、NAクラスでの参加で運転の腕と、サスとボディのチューニング能力を更に磨き、勝って当たり前、車載でヘッドを容易に開けられぬ水平対向で、実は排気量が違うのではと言う要らぬ疑いまで掛けられる強さであった。

その後フル改造のクラスにステップアップしたら、最初は苦戦。ある時、回頭性が異常に良いが、タイムの出ないセッティングに遭遇し、調べて見たら前後のデフのギア比を合わせ間違っていた。

回頭性の良い所は残し、トラクションの不十分な部分は補い、ワンウェイクラッチとビスカスカップリングを組み合わせて、こんな感じの作れないかと、東京事業所の仲間に相談したら、出来そうですねと、直ぐに図面引いて、ミッションを作って供給してくれ、全日本戦での大きなアドバンテージになった。このミッションの経験は、暫く後に開発されるSVX等のVTDの開発に大いに役立ち、その後の特許出願[12](Fig. 2)につながった。



【解決手段】カウンタ軸４の動力は、トランスファギヤ列 10 を介して、後輪に動力を伝達するリヤドライブ軸９に伝達される。また、カウンタ軸４の動力は、ビスカスカップリング 13 を介して、前輪に動力を伝達するフロントドライブ軸５に伝達される。ワンウェイクラッチ 15 は、リヤドライブ軸９とフロントドライブ軸５との回転状態に応じて、バイパスギヤ列 16 を介して、リヤドライブ軸９からフロントドライブ軸５への動力伝達を行う。ここで、トランスファギヤ列 10 のギヤ比とバイパスギヤ列 16 の乗算値は、1.0 よりも大きく設定されている。

Fig. 2　Transmission skeleton of AWD

2.3　影山夙氏の渋谷への影響

渋谷と後述の坂崎の道草経験共通項として、『走れ4輪駆動』の著作で有名な影山夙氏(故人)と過ごした日々の存在は特筆に値する。

渋谷の入社時の車両実験の課長が影山氏で、入社したてで右も左も判らぬ頃、休日もお構い無しに付いて

来いと言われ、行った先の4WDのイベントで当時は珍しかったメハリやランドローバー等に試乗する機会を得た事は、4WDの世界に対する視野を広げるのに、大いに役立った。

求められて話したコメントや、自分で撮った写真がそのまま雑誌の記事になって驚いた事もあった。

2.4　スバルのドライバは道草しながら長距離移動？

スバルの技術者は、伝統的に公共機関を使わず、自分達の車で移動する事が多かったが、他社さんは違うらしい。

スバルは道草しながら目的地に行くのに、他社さんは効率や疲労低減重視で、道草を禁じられてる様にも感じる。念のためここで言う道草は道中油売ってると言う事では無く、車両の評価をしながら移動すると言う意味である。

200 kmちょっと離れた某A社の皆さんの、葛生のスバル研究実験センターまでの移動は、公共機関に限られ、新幹線で東京経由小山で一泊、両毛号で乗り継いで葛生まで、葛生からタクシー。某A社のテストコースまで車で行ったら驚かれたので、「FHIは、この程度の移動のコースは、絶好のフィーリングチャンスと捉えて車でいきます！」。某A社の方は「へぇ～～～なるほど」。

900 kmちょっと離れた某B社の皆さんと技術交流会をやった事があるが、車で行ったらビックリされ、「大変でしょう！？？」。「長距離走行を評価する絶好のチャンスですよ！！」。「そ、そ、そ、そうですか。。。。」。こんな会話も、某B社が、通常はコンパクトカーは市街地優先なのに、長距離ドライブ性能を重視した車を出して来た事に影響与えてるのかも知れない。

2.5　渋谷の人生の木

Fig. 3に、渋谷の人生の木のイメージを描いた。

渋谷の場合は、操安性、ドライバビリィティを中心に、杉の木の様にこの道一筋、真っ直ぐ大きな木になり、未だ成長を止めず、大きくなろうとしてる様に見える。背の高い木を支えるには、しっかりした根っ子が必要で、それも多方面に張り出しているのが望ましい。

3.　道草人生、坂崎の場合

坂崎は、1987年、一級技能士全国大会、通称技能グランプリの手描き製図で金メダルを取った事もある図面工で、かっこ良い車、機能的に美しい部品は性能が良いとの信念の下、実車、或いは実車の部品について設計の勘所を試行錯誤しながら掴み、スバルの開発に貢献して来た。

最近ではスバル技報の執筆が楽しみで、インターネット等の反響を見ると、毎回スバル技報を読んで思うのが「S崎A彦って何者？」。毎回色んな研究をしてる。どういう立場の人物か気になる。自動車関連技術と全く関係が無さそうな物との組み合わせが、一体どういう風に思いつくのか気になる。精力的に論文を書いているが、「日常業務は大丈夫？」と言うような感じで、皆様、的を得ている。

執筆したスバル技報の論文の題名を並べると以下の通り。

2007 新人類の早期戦力化教育方法
2008 サイレント人類の戦力化教育方法
2009 HEV開発による人材育成
2010 ツインエンジンレオーネの顛末
　　スバル車のタイヤと馬力荷重の選定方法

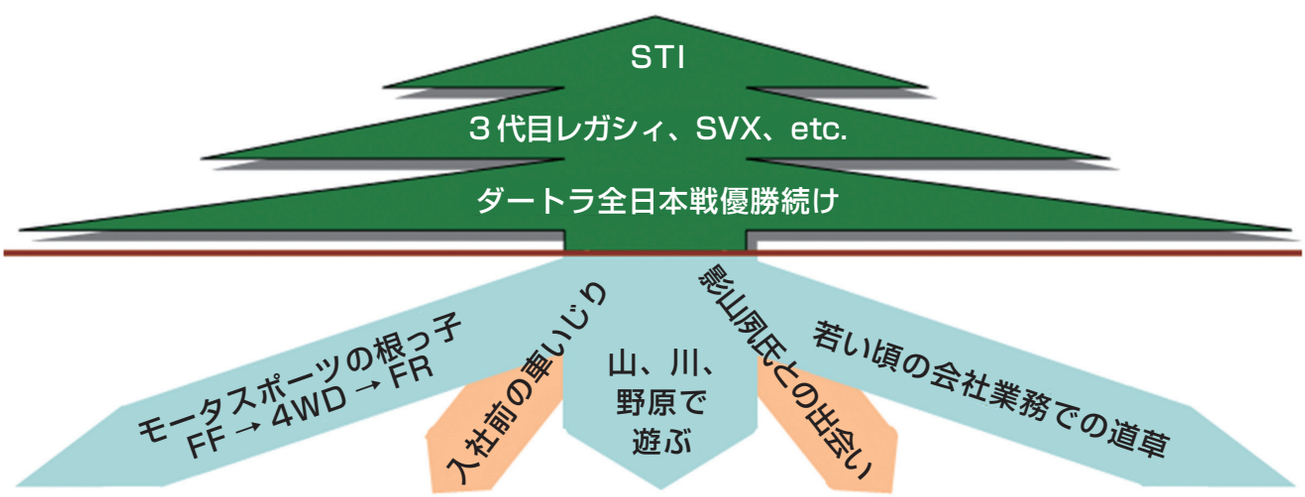


Fig. 3　Tree of Shibuya’s life

2011 スバルサンバー 50年の技術変遷
　　スバルは何故水平対向を載せ続けるのか？
2012 自動車工学の応用による天変地異の予測
2013 スバルと12弦ギターとブリュートナーと
　　スバルの重要なDNA『ロバスト性』について
2014 スバルと刺身と煮魚と
　　スバルの質量管理の現在過去未来

これ等の執筆は当に、自身の技術屋道草人生の経験そのもの、或いはそこから掴み取った大事な事を選び出して厳選し、後輩や当業者に伝え、発展させて貰いたいと言う活動に他ならない。

3.1　影山夙氏の坂崎への影響

渋谷より少し年下で遅れて入社した坂崎もシャシ設計課長になっていた影山氏の休日の4WDイベント視察のかばん持ち兼移動の車の運転手としてこき使われた。

東北の山奥の、冬の閉鎖寸前の雪に埋もれた道を、ジープやらランクルやらで3重連でラッセルする様など見られた事は後の設計活動に得難い経験となっている。「ツインエンジンレオーネの顛末」[1]にて報告した、車両を上尾の沖自動車に作って頂く事になったのにも、影山氏の力添えは大きい。

A社クーペがラリーに本格参戦。「スバルは何をしてる？」、「乗用4WDの老舗が何で新参の出現に何も反応しない？」。怒りに燃え、坂崎はたった一人でA社軍団 に4WDの技術勝負に挑もうと決意。

高斎正氏の「レオーネが荒野を駆ける時」[2]に技術者阪崎啓介なる人物が登場したのも影山氏の繋がりである。

氏の執筆前、ツインエンジンはどう言うものか、執筆参考資料として纏めよと影山氏に言われ、坂崎は考察した。この機会を与えられて、初めて真面目に考え、ブレーキの制動力配分の逆が駆動力配分で、当時進化の頂点と思われていたセンタデフが、実はブレーキでは最も原始的に近い、制御バルブ無しの前後制動力配分固定ブレーキに相当する事、理想前後制動力配分に近い状態は前後直結4WDで得られる事、加速に於いても前後直結4WDが理想駆動力分配曲線に近い最大駆動力を発揮出来る事に気付いた。

報告を受けた影山夙氏は、坂崎に制動力のグラフと駆動力のグラフを繋げる様に命じ、当時の重役と相談して林景三のペンネームで、センターデフより前後直結の方が優れていると言うキャンペーンを張って、センターデフに出遅れたスバルの正当性を主張する事になる。

坂崎を泳がせて、得られたものを影山氏が自分の手柄にしてしまっていると言う批判もあったが、坂崎は影山氏にさせて貰った道草がその後の技術屋人生に役立った方が大きかったと考えている。

3.2　坂崎の人生の木

Fig. 4に、坂崎の人生の木のイメージを描いた。坂崎の場合は、広葉樹の様に、燃料系、足回り系、ボディの衝突安全系、電動モータ油圧パワステ、ハイブリッド等の強電系を中心とする設計、製図教育、スバル技報執筆等多方面に渡り活動中でこちらも成長は未だ止まって無い。

背は低いが大きな木を支えるにも、しっかりした根っ子が必要なのは言うまでも無い。根っ子の無い方向があると言う事は、倒れ易い方向があると言う事で、幼少の頃からの良い事も、悪い事も、全ての経験を根っ子の部分として大事にして行く必要がある。

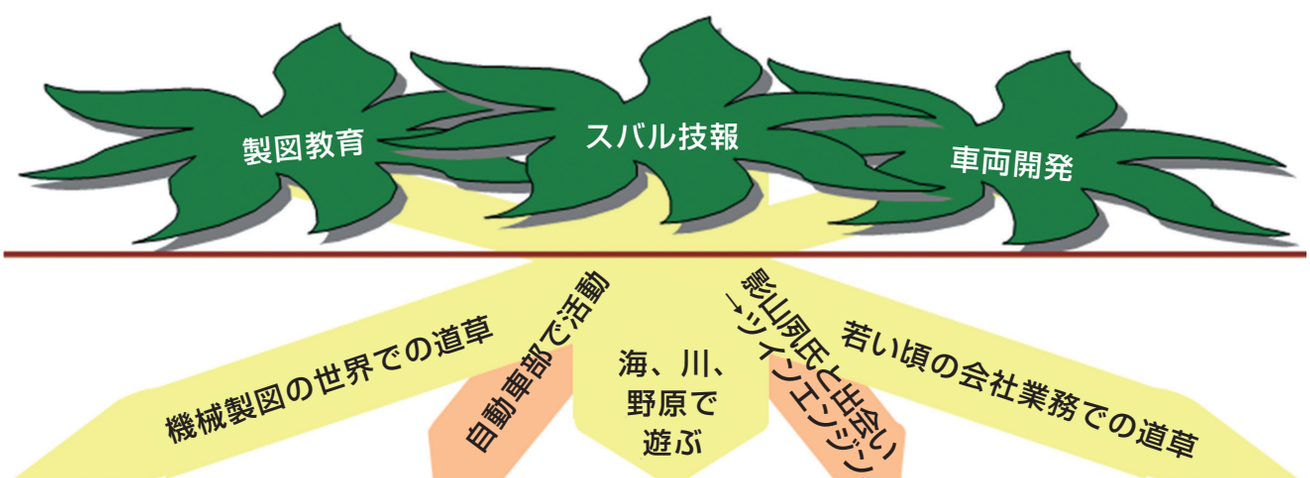


Fig. 4　Tree of Sakazaki’s life

4. 道草の本来の意味

元々、馬が途中で草を食べる事だった様だが、それが転じて、目的以外の事をして、或いは関わって時間を浪費する事となったらしい。

因みに、著者二人がイメージする道草に相当する英語も現代ではなかなか見つからない様だ。

dawdle、loiter on the way ⇒ 道中当ても無くぶらつく。ダラダラする。ぐずぐずする。無駄な時間を費やす。

waste time on the road ⇒ 道中の浪費時間

坂崎の曾祖母が幼少の頃ヘボン式ローマ字のヘボン氏の近所に住んでいた縁で氏に可愛がられ、氏から頂いた1867年のヘボン式ローマ字の活版印刷初版本の和英辞書には、

ミチクサ、演路、MICHI-GUSA ⇒ Sporting or playing by the way.

～ wo suru ⇒ to play or trifle while in the way

とあり、江戸時代末期では、浪費、悪い事と言うニュアンスは極めて弱かった事が推察される(Fig. 5)。

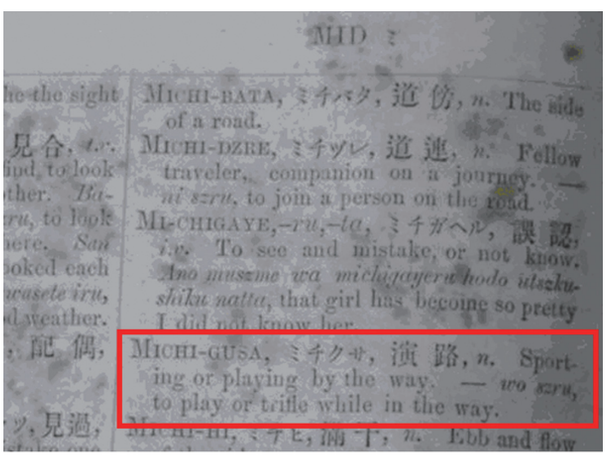

MICHI-BATA, ミチバタ, 道傍, n. The side of a road.
MICHI-DZRE, ミチヅレ, 道連, n. Fellow traveler, companion on a journey. — ni suru, to join a person on the road.
MI-CHIGAYE,-ru,-ta, ミチガヘル, 誤認, v. To see and mistake, or not know. Ano musume wa michigayeta hodo utsuku-shiku natta, that girl has become so pretty I did not know her.
MICHI-GUSA, ミチクサ, 演路, n. Sporting or playing by the way. — wo suru, to play or trifle while in the way.
MICHI-HI, ミチヒ, 潮干, n. Ebb and flow

Fig. 5 Dictionary of James Curtis Hepburn[3]

5. 道草に関する最近の研究

ここまで論を進めて、環境心理学、環境行動論を専門とする水月昭道氏が道くさについて研究しており、フィールドワークによってデータをとり、それを研究成果としてまとめ上げ2006年に刊行[4]し報告している事を知った。

目的以外の事をして、或いは関わって時間を浪費する事と言う道草に対する現代の大人の概念は間違っている。道草にはさまざまな意味があり、道草は子供の精神の成長や社会性の獲得に役に立っているとの事。

2007年の4月、横浜の開港記念会館ホールで、子ども環境学会横浜大会の特別シンポジウム「道草のできるまちづくり―車社会から子どもを守る」[5]が開かれたとの事。

日本では高度成長期を中心に、大人の都合で、自動車優先の、子供たちが遊ぶこともできない様な街ばかりが増えてしまったが、子供たちの健全な成長を考えれば、子供も安心して道草ができる街づくりがなされている方が望ましいと考えられるようになって来た様だ。

6. 道草のすゝめ

6.1 レーシングカー設計者 レン・テリー氏 曰く[6]

色々な仕事で色々な技術に触れるチャンスがあれば大いに結構で、設計者になってからその経験は非常に役に立つ。

航空機、鉄筋コンクリート、パイプ溶接から人工心臓、人工肺まで様々な機器類の設計に携わった経験が、全て後になって生きたと信じている。中でも航空機とロケットの構造に関する知識は、全て車に応用出来る訳では無いが、非常に貴重である。

6.2 ヨット設計者 横山晃氏 曰く[7]

ヨットを設計する能力を持つには、大自然と人間を知り、流体力学、構造力学、材料力学、運動力学、造形美術等を学び、各種資材や施工法の知識を身に着ける事である。

それらは、一般造船工学、航空工学、建築等と共通な部分が非常に多いので、それらに広く関心を持つのは極めて有益だし、類似の職業や学業につくのも極めて有効である。それらの類似の職業や学業にある人が、ヨット設計を趣味とするのは、その人にとっても、極めて有益な筈だ。

ヨット志望でもヨット・オンリーではなく、自動車業界の人でも自動車オンリーでない、と言う事が、かえってマンネリ化を破って、新鮮な視覚を持つので、意外なメリットを期待出来る。

6.3 機械部品材の力学 大場次郎氏 序文に曰く[8]

材料力学に関し、非常に多数の著名な本が出版されているが、この本の内容は、その体系化と解説の方法が異なる。

斯かる理解に都合の良い解釈と説明を成し得るのは、著者が学者でなく、一度は商業高校に学び、途中転向して機械技術者となり、然も熱機関、タービンに熱を上げたりして、これと言う専門が無いためである。馬鹿は馬鹿なりに使い物になると言う名言がある。斯かる意味においてこの本が秀才の書かれた本の中に存在する所以でもある。

7. まとめ

一実験代表の渋谷、一設計代表の坂崎、を例示して論じたが、スバル開発陣には、こういう個性と経験の持ち主は、渋谷、坂崎だけでなく他にも沢山いた。渋谷と坂崎はスバル開発陣のONLY 2では無い。

7.1　道草の効能、その1 技術者の人間力の形成

大成した方、成功した方や、良き人生を立派に生きている方を大木に例えさせて頂く。

ああ、立派だなぁ、すごいなぁと周りに見えるのは、幹から上の地上部分だけだが、本当は見えない地下のところが一番がんばっている。

道草により、地下の根っ子の成長が、地上の幹や枝や葉っぱの成長より先で無くては危険である。そうしないと、嵐や大雪で倒れてしまったり、栄養が十分取れずにひ弱で折れてしまったりするから(Fig. 6)。

Fig. 6　The roots are working hardest of all [9]

人間の赤ちゃんには土踏まずが無いが、道草したり、野原で歩いたり、元気に走ったり、転んだりして、いっぱい遊んでる内に、自然に土踏まずが出来て来る。土踏まずの次に足が発達し、続いて背骨や背筋、腹筋が発達し、それに伴い精神や人格がしっかり形成されて行く。

「教育」の「教」はこうして形成された精神や人格がある事を前提として、主として地上部分に対し行われるもので、「育」は地下の部分をしっかり成長させる行為である。「教」より「育」を優先させ、かつその後の人生の嵐や大雪にも耐えられるしっかりした「三つ子の魂」と「体」を育む事が重要。

最近では、この根っこの「育」の部分が不十分だった大人が、会社に入って来る場合もあるので、そういう方々に対する保育ならぬ補育を施す事も重要になって来た。幹が出来てからも根っこの成長は続くので、社員をより豊かに成長させる事の出来る、道草による大人の補育についても試行錯誤しなければならないのかも[10]。

7.2　道草の効能、その2 パーソナリティの形成

戦前『組織のライバル航空機メーカ』⇔『パーソナリティの中島』と言える部分は地域的にあった様で、スバルもちょっと前まではパーソナリティ指向が強かった[11]。メディアの方からも、スバル車に乗るとチューナーの顔が思い浮かぶと言われる事もあると言う。

スバルのパーソナリティがパーソナリティ足り得たのは、各人の仕事やそれまでの経験での道草が大いに効いていたと推察される。放っておくと、スバルの開発陣もパーソナリテイを失ってしまい勝ちになる昨今、スバルの新たな時代に即した、新たなパーソナリティを、道草の出来る環境を整えて、創生したいものである。

若い自動車技術者は、業務に専念するだけでなく、道草に励み、自らの子供の世代や、より若い後輩に対しても、安全を確保した上で、可能な限り寄り道や道草が出来る様配慮すべきである。

ところで最近、自技会のイベントが面白い。自動車技術会『第3回新車技術セミナー』atマツダR&Dセンター横浜(2015年3月10日開催)にて、自技会技術担当理事 人見光夫氏 は閉会の挨拶に仰った。

『会の目的は、団体や会社の枠を超えて議論し次の新しい発展に繋げると言う事である。質疑の場を拝見させて頂いた。質問の内容を見ると皆さんがどんな問題で苦労なさっているのかが良く判る。(参集者笑)企業秘密とかで皆本当の事をなかなか言わないが、そんなもの言ってしまえば良い。(参集者笑)何処かが話し出せば皆そうなる。(参集者爆笑)次は他社が新車出したらそこでやりたく、立候補募集。』

各メーカの技術者や学会の皆様が、それぞれ人生でも技術分野でも道草しながら成長し、時には自動車技術会黎明期の様に一緒に道草する場を設ける事も、切磋琢磨でお互いのレベルを高める事に繋がるのではあるまいか？

参考文献

(1) 坂崎明彦：ツインエンジンレオーネの顛末，スバ

ル技報No.37, 2010
(2) 高斎正：レオーネが荒野を駆ける時, トクマ・ノベルズ, 1984
(3) J.C.Hepburn：JAPANESE AND ENGLISH DICTIONARY, CHANGHAI (1867)
(4) 水月昭道：子どもの道くさ(居住福祉ブックレット), 東信堂, 2006
(5) 子どもが道草できるまちづくり 通学路の交通問題を考える, http://www.gakugei-pub.jp/mokuroku/book/5334/ato.htm (2015.4.12閲覧)
(6) レン・テリー, アラン・ベーカー：レーシングカーその設計の秘訣, 二玄社, p.13 (1975)
(7) 横山晃：ヨットの設計 上, 舵社, P.9 ～ 10 (1980)
(8) 大場次郎：機械部品材の力学, 第1巻, p.1 ～ 2 (1970)
(9) イラスト工房：しめうさ堂
(10) 三樹会NEWS第4号, http：//sanjyukai.net/wp/wp-content/uploads/hpb-media/kouhou4.pdf (2015.4.12閲覧)
(11) 中島飛行機株式会社その軌跡, http：//www.ne.jp/asahi/airplane/museum/nakajima/nakajima3.html (2015.4.12閲覧)
(12) 宇敷昌幸：四輪駆動車の動力伝達装置, 特開2002-2320 (2000.06.28出願)

【著　者】

坂崎　明彦

渋谷　　真

成長期(昭和60年代)のスバル紹介

フォレスター XT (2002年～2007年)

全長×全幅×全高：4450×1735×1585 mm
ホイールベース：2525 mm
エンジン：水平対向4気筒 DOHC ターボ 1994 cc
最高出力：220 ps/5500 rpm
最大トルク：31.5 kg−m/3500 rpm

初代のコンセプトを引き継ぎながら、更に衝突安全性、走り、質感、使いやすさの向上など熟成を進めたモデル。エンジンは当初から2.0リッターのNAとターボの2種類を用意し、ターボエンジンは低回転重視で使いやすさを向上している。

Euro Car Body 2014 出展報告 新型 WRX STI の車体技術

2014 Euro Car Body Exhibition Report about New WRX STI

小野江　孝　裕[*1]　白　　昌　鎬[*2]　植　島　和　樹[*2]　河　合　功　介[*3]
Takahiro ONOE　Chanho BEKU　Kazuki UEJIMA　Kosuke KAWAI

抄　録

2014　10/21 ～ 23に開催されたEuro Car Bodyにスバルとして初めて車両出展＆プレゼンを行った。今回は新型WRX STIを出展し、業界トップクラスの軽量化、スポーツカー並みの低重心を実現した他、IIHSの衝突試験で2014のTOP SAFTY PICKを獲得した車体に採用した設計技術、材料技術、生産技術についてプレゼンを行った。

Abstract

We made a presentation on the New WRX STI and exhibited this model at the Euro Car Body 2014 from October 21 to 23. This was the first time for SUBARU to participate in this event. We introduced the body engineering, materials and manufacturing technology for the top-class weight reduction in the industry, and low center of gravity comparable to that of sports cars. With these engineering efforts, the New WRX STI has won the 2014 IIHS Top Safety Pick award in the crash test.

1.　まえがき

毎年10月にドイツBad Nauheimにて自動車車体に関する国際カンファレンスのEuro Car Bodyが開催される。スバルとしては2013年からEuro Car Bodyを開催するAutomotive Circle Internationalのボードメンバーに加わり、昨年10/21 ～ 23のカンファレンスで初めて車両出展＆プレゼンを行った。

今回は、スバルの歴史や開発スピリッツにも触れ、スポーツカー並みの操縦安定性や世界トップクラスの衝突安全性を実現した新型WRI STI（以下、新型WRXと記す。）の車体技術について紹介した。以下にプレゼンにて紹介した軽量化、低重心化、高強度及び高剛性化技術について報告する。

2.　車体設計技術

2.1　ボディ設計コンセプト

安心と愉しさをキーワードに日常では優雅なセダンとして、時には限界に挑戦するスポーツカーとして、どんな場面でも意のまま操れるクルマを実現するために以下のコンセプトで設計を行った。

●諸元・パッケージの最適化
●軽量・低重心設計
●高剛性・高強度設計

Fig. 1に車両諸元と軽量設計の考え方を示す。ホイールベースを前モデルに対して25 mm延長する一方、フロントとリアのオーバーハングを短縮することにより全長をキープしながら、室内空間を拡大した。また、重心から高い部分は軽量化を優先、プラットホーム部分は剛性向上を優先した設計として軽量・低重心・高剛性のボディを実現した。

2.2　軽量設計

2.2.1　材料構成

車体骨格の45%に590 MPa以上のハイテンを採用することで高強度化と軽量化の両立を図っている。また、フロントフードにアルミを採用することで軽量化と併せて低重心化・重量配分の適正化を図った（Fig. 2）。

＊1 生産技術管理部
＊2 技術開発部
＊3 材料研究部

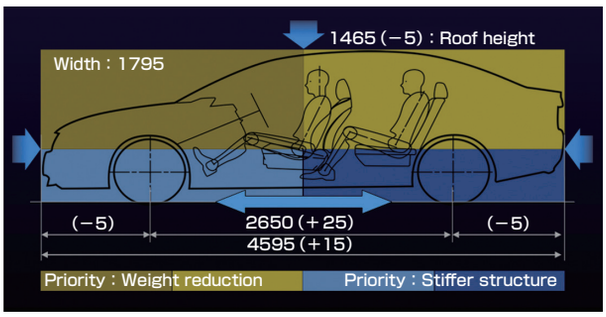


Fig. 1　Vehicle specifications and lightweight index design concept

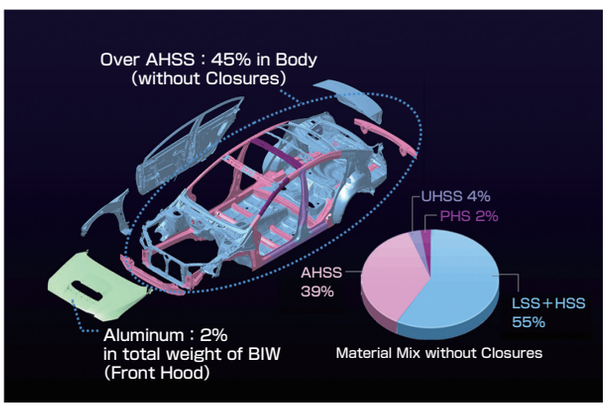


Fig. 2　WRX material constitution

2.2.2　質量マネージメント

室内空間の拡大、剛性・衝突安全性向上のため車体骨格に17.7 kgの重量を掛けつつ、フード、フェンダなどのパネル部品で23.1 kgの軽量化を実現し、前モデルに対して5.4 kg軽量化した(Fig. 3)。

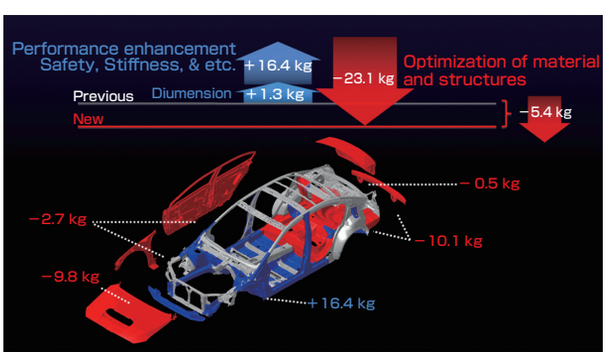


Fig. 3　New WRX mass management

また、前モデルに対してねじり剛性を46.2%向上させたことにより、軽量化指数(LWI)も33%向上し、軽量＆高剛性を実現した(Fig. 4)。

2.2.3　軽量化設計事例

以下に新型WRXに採用した軽量化設計の具体例を示す。

Fig. 5はアルミを採用したフロントフードの事例である。アルミ採用により9.8 kgの軽量化を実現した他、従来分割していたインナパネルを一体成形している。

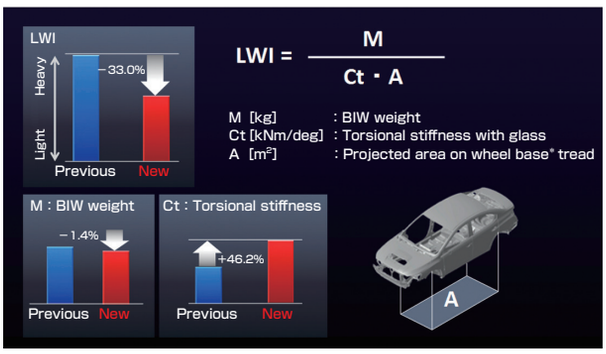


Fig. 4　Changes in weight, stiffness and lightweight index compared to previous model

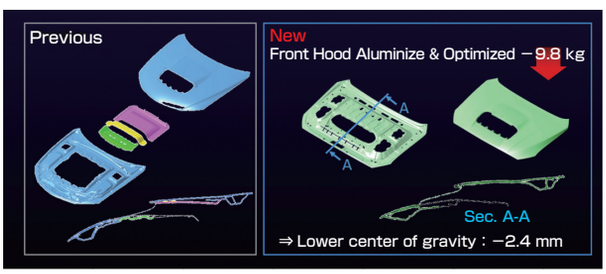


Fig. 5　Example of front hood lightweight design

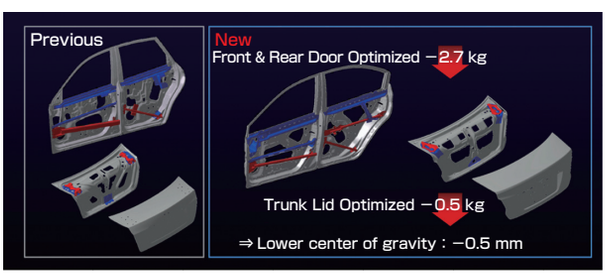


Fig. 6　Example of door and trunk lightweight design

Fig. 6は構造最適化したドアとトランクの事例である。インパクトビーム追加によるドアインナパネルの軽量化、トランクアウタパネル薄肉設計でそれぞれ2.7 kg、0.5 kgの軽量化を実現している。

2.3　低重心設計

スポーツカー並みの低重心を実現するため、上述のフロントフード、ドア、トランクなどの軽量化と併せて、フロアを下げて室内空間を拡大しつつ低重心化、フロントピラー断面を縮小して視界を良くしつつ軽量化と低重心化を実現している(Figs. 7, 8)。

2.4　高剛性設計

俊敏性に影響するフロント横曲げ剛性を向上するため、フロントバルクとフロントピラーの接合部、フロントピラーとサイドシルの接合部を強化した。結果、前モデルに対して26.2%向上した(Fig. 9)。

また、乗り心地向上を目的としてリアフロア廻りの骨格の連続性を強化して、ねじり剛性を46.2%向上した(Fig. 10)。

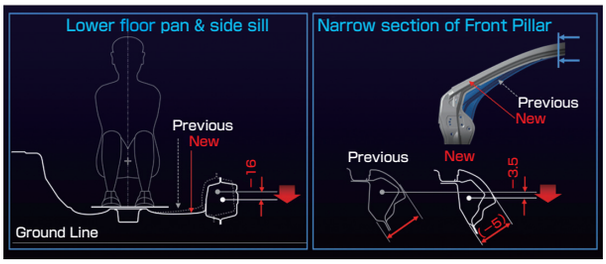


Fig. 7　Example of low center of gravity design (floor and front pillar)

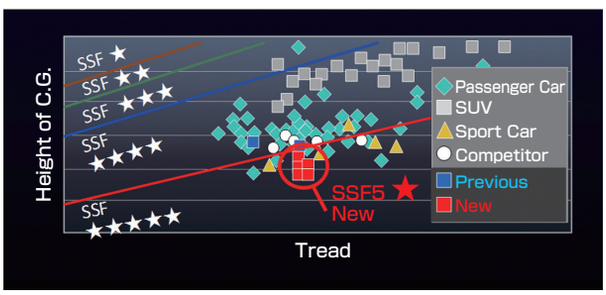


Fig. 8　New WRX center of gravity height with respect to overall height

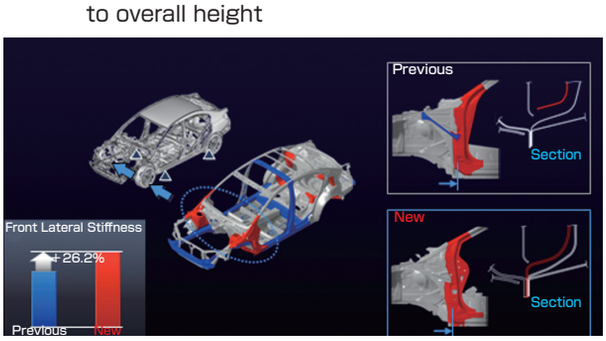


Fig. 9　Example of lateral bending stiffness improved design

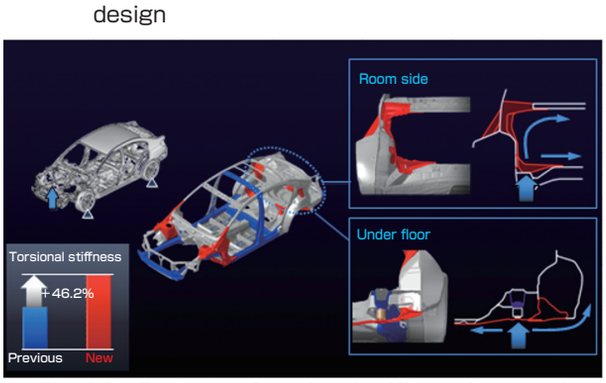


Fig. 10　Example of torsional stiffness improved design

以上の高剛性設計により、操舵応答性、突起乗り越し時の減衰性を高めてスポーツカー並みの俊敏性、高い乗り心地や安定性を実現した(Figs. 11, 12)。

2.5　安全設計

2.5.1　0次安全

スバルでは、諸元、パッケージの段階で、運転姿勢・視界に関わる部分から安全性能を考慮した設計を行っている。新型WRXにおいては、フロントピラーの断面を縮小して死角を低減させることで安全性能を高めている(Fig. 13)。

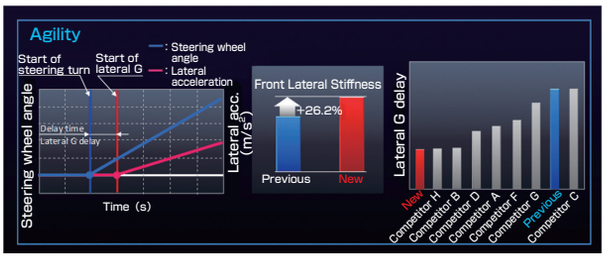


Fig. 11　Effect of steering response improvement by enhancing stiffness

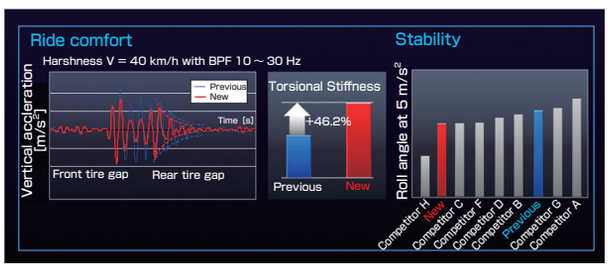


Fig. 12　Effect of attenuation performance improvement by enhancing stiffness

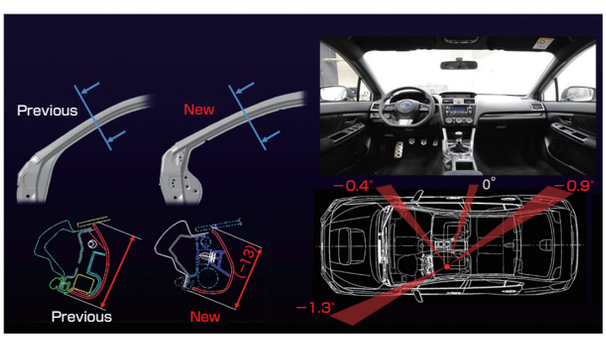


Fig. 13　Example of visibility improved design

2.5.2　アクティブセーフティ設計

スバルでは、車両の運動性能を高めて咄嗟の危険を回避できるアクティブセーフティの考えで車両設計を行っている。新型WRXでは、2.3章で述べたようにフロント横曲げ剛性を高めることによって運動性能を高めており、この結果、Fig. 14に示すようにトップクラスの危険回避性能を実現している。

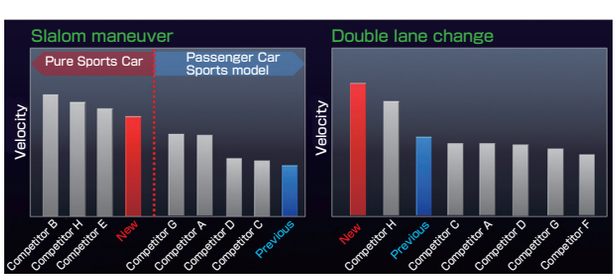


Fig. 14　Test result of slalom/double lane change

2.5.3　パッシブセイフティ設計

スバルはトップクラスの衝突安全性を有する車両を開発しており、新型WRXも多くの安全設計を取り入れている。

(1) 歩行者保護

Fig. 15、Fig. 16は歩行者保護の性能向上を図るための設計事例である。頭部保護においてはFig. 15に示すようにフードの変形モードをコントロールする部品を設定、脚部保護においてはFig. 16に示すように脚部に掛かる荷重を分散＆吸収するために3つの部品を設定し、材質も含めて最適化している。

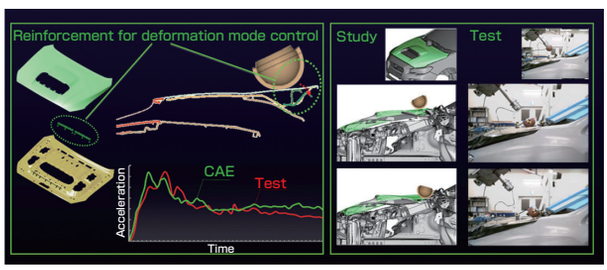


Fig. 15　Example of design for head protection

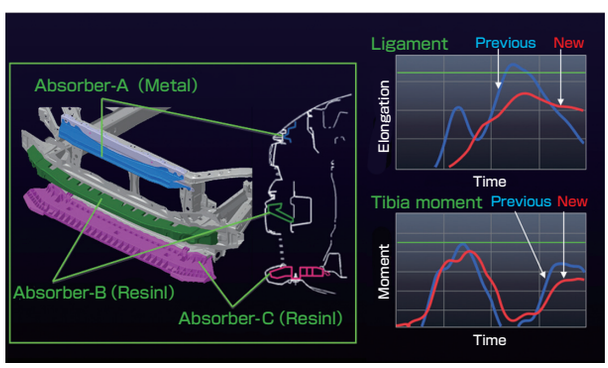


Fig. 16　Example of design for leg protection

(2) 正面衝突

Fig. 17は正面衝突性能を確保するロードパスと設計の考え方を示したものである。衝突時の加速度を抑制しながらエネルギー吸収を高めるために、エンジンとトランスミッションを下方に落してフロントフレームの変形モードをコントロールしている。

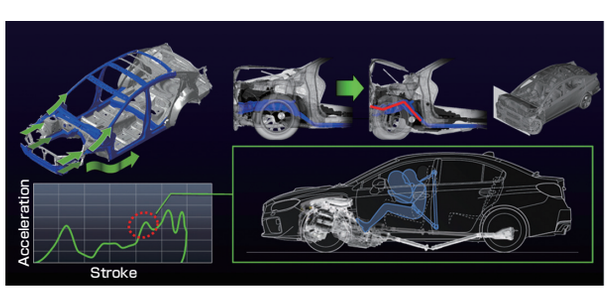


Fig. 17　Frontal collision load path and energy absorption design

(3) スモールオーバーラップ

Fig. 18、Fig. 19はIIHSのスモールオーバーラップに対応する設計事例である。衝突時の入力をフロントフレームからフロントピラーやサイトシルに効率的に伝達するためのロードパスを設定し、エネルギー吸収

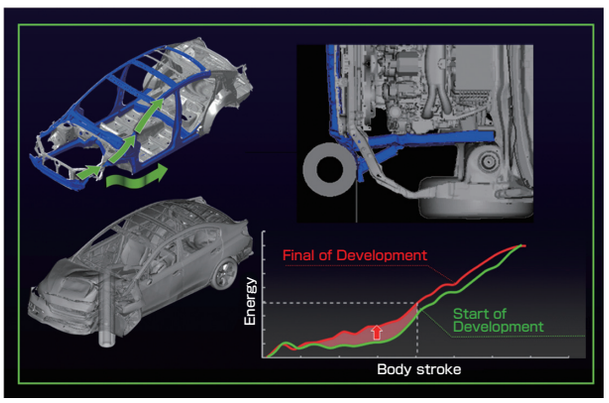


Fig. 18　Effect of load path and energy absorption improvement for small overlap

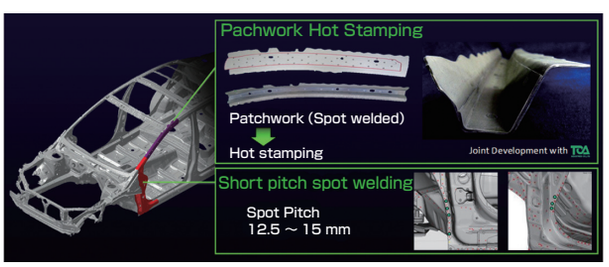


Fig. 19　Example of design for small overlap

を高めた。また、キャビン側の強化にはパッチワークホットスタンプ、ショートピッチスポット溶接を採用することで、衝突時の変形を最小限に抑えている。

(4) 側面衝突

Fig. 20は側面衝突に対応する設計事例である。新型WRXはセンターピラーを繋ぐ環状のフレームにホットプレスを採用した他、前モデルに対してドアビームを追加し、IIHSの側面衝突試験においてGOODの評価を獲得している。

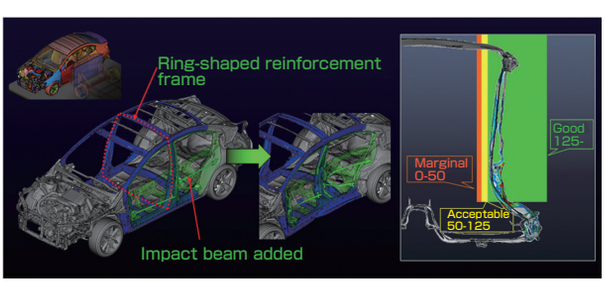


Fig. 20　Example of design for side collision and IIHS test result

(5) 衝突安全性能まとめ

Fig. 21はIIHSの全ての衝突試験結果である。新型WRXは全項目においてGOODの評価を獲得し、世界トップの衝突安全性能を実現したことを証明している。

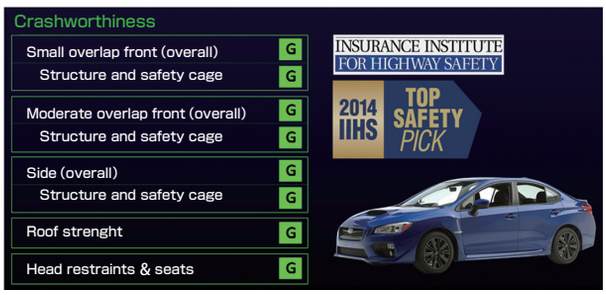


Fig. 21　IIHS collision test result

3.　生産技術

上述の軽量・低重心・高強度＆高剛性設計を実現した生産技術について以降に述べる。

3.1　プレス技術

3.1.1　アルミ製フロントフードの成形技術

軽量化を目的としてフードにアルミニウム材を採用した。一般的には外板には6000系合金を用いられる。これは、5000系合金はプレス加工で不均一な変形によりSSマーク（＝セレーション）と呼ばれる肌荒れ模様（Fig. 22）が発生し易く、外観不良の原因となるためである。一方、5000系合金は6000系合金に比べて成形性、耐食性に優れ、化成処理コストが安価な点に着眼し、スバルでは外板、内板の両方に採用している。

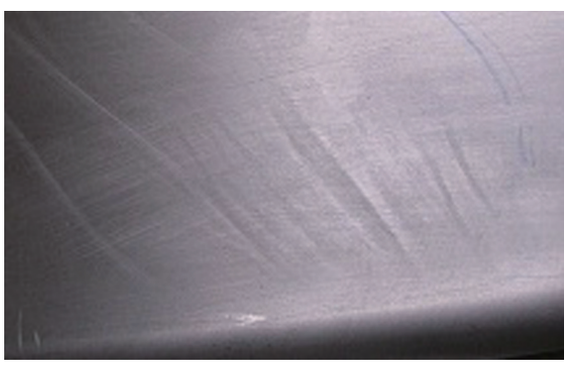


Fig. 22　Example of SS mark appearance

スバルでは、SSマークを発生させないための知見を初代インプレッサから蓄積して来たが、新型WRXでは過去の知見を整理し、成形解析でSSマークの発生予測・防止を可能とし得る技術を導入した。具体的には、Fig. 23に示すような独自のFLD（Forming Limit Diagram）を作成して成形解析で発生予測と防止検討が可能となった。

3.1.2　スプリングバック抑制およびシワ防止技術

(1) フロアパネルの事例

Fig. 24に示すように新型WRXは、NVH性能向上と低重心化を目的としてフロントフロアパネルの深絞り化と板厚アップを行っている。

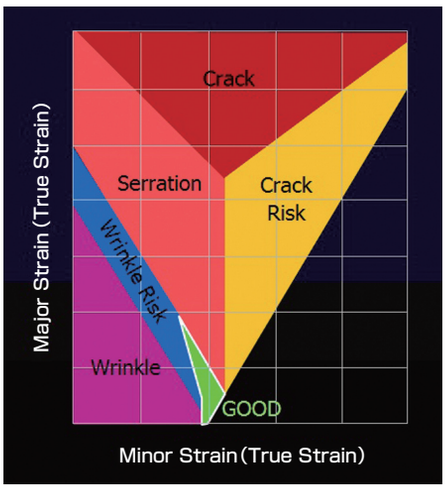


Fig. 23　FLD indicating the SS mark appearance area

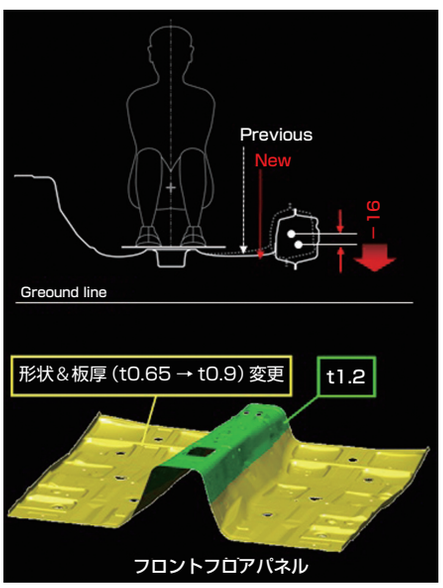


Fig. 24　Changes in front floor compared to previous model

フロントフロアパネルはテーラードブランク材の深絞り部品であり、難成形で且つ高い成形加工力を必要とする部品であった。このため、板厚を増加させると、スプリングバック、シワの発生やプレス機の加工力不足が懸念された。そこで、プレス型構造にクッションパッドFig. 25を採用して材料の流入をコントロールすることでスプリングバック・ワレ・シワを抑制しつつ、板厚変更部の形状最適化を併せて実施し、従来設備での加工を実現した。

(2) センタピラーの事例

側面衝突性能の確保を目的としてセンターピラーに980 MPa級ハイテンを採用している。高強度ハイテンを使う場合、スプリングバックによる部品精度悪化が課題となる。このため、スプリングバック量を予測して金型製作を行う手法（＝見込み）が用いられている。スバルでは更なる精度向上を目的としてスプリン

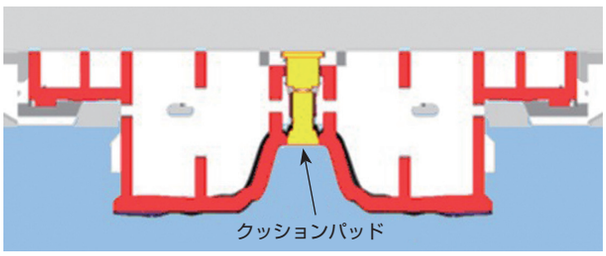


Fig. 25　Cushion pad mold construction

グバックの原因となる残留応力を低減する手法を採用している。

具体的には、引張残留応力が高い部位にエンボス形状の予成形を行い、後工程でエンボス形状を潰すことで引張残留応力をキャンセルし、スプリングバックを抑制するものである。Fig. 26、Fig. 27 に予成形部位と効果を示す。従来手法に比べてスプリングバック量を約70%低減している。

3.1.3　パッチワーク＆ホットプレス技術

IIHS スモールオーバーラップ対応及び前側方の視認性向上を目的とし、フロントピラー強化と断面縮小を両立する手法としてパッチワーク＆ホットプレス工法を採用した。従来工法ではホットプレス後に増打工程があり、溶接熱影響による強度低下が懸念されていたが、今回はプレス前に増打打点も含めてスポット溶接を完結させる事で強度低下防止と工程削減を同時に行った(Fig. 28)。

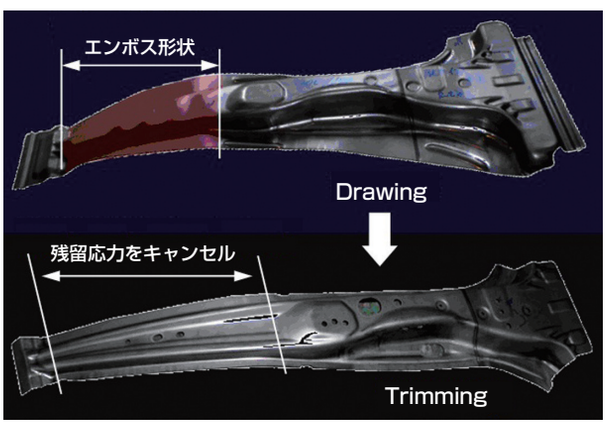


Fig. 26　Pre-molding portion for remnant stress removal

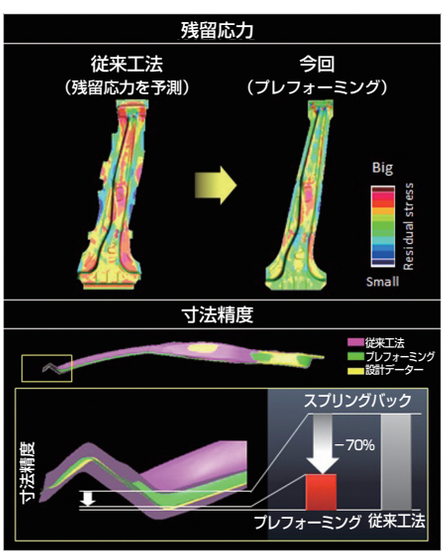


Fig. 27　Effect of remnant stress and springback amount reduction by pre-molding

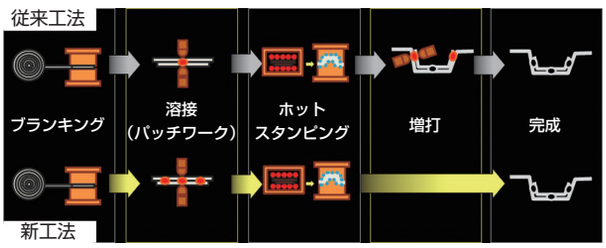


Fig. 28　Patchwork & hot stamping

結果、Fig. 29 に示すようにホットプレス後にスポット増打ちを実施する場合と比較して HAZ（熱影響部）軟化を防止できた。また、工程省略によってコスト抑制（▲従来比30%）も実現した。

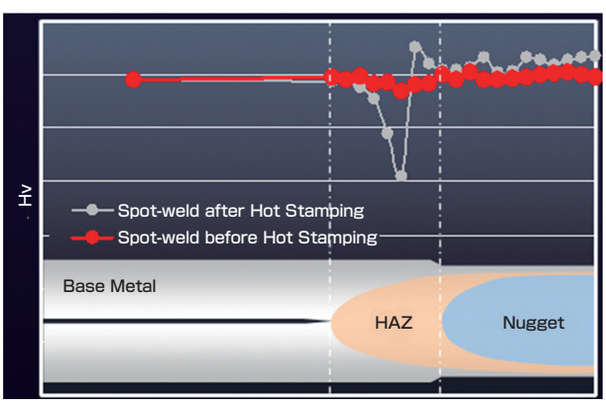


Fig. 29　Effect of HAZ softening prevention

3.2　溶接技術

3.2.1　片側スポット溶接技術

車体剛性向上のためフロントピラー付け根部に片側スポット溶接を採用した(Fig. 30)。

本部位は、片側から溶接する事が必要な断面構造となっており、従来はアーク溶接を適用してきた。今回、生産性向上を目的として、片側スポット溶接技術を開発・導入した。片側スポット溶接は、溶接品質の安定確保が難しく、表チリやナゲット径不足、部品の溶断などの不良が発生し易い。そこで、電流密度を高めてナゲットを生成し易くする特殊電極と複数回通電によって過熱を防止する溶接条件を採用している(Fig. 31)。

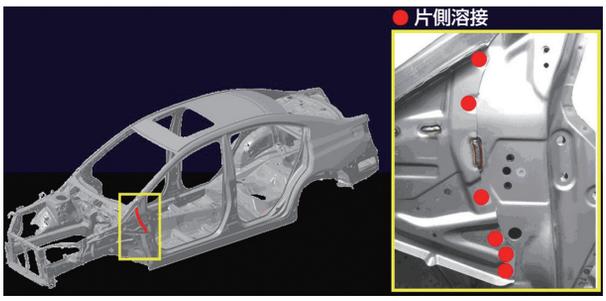


Fig. 30　Single-side spot welded portion

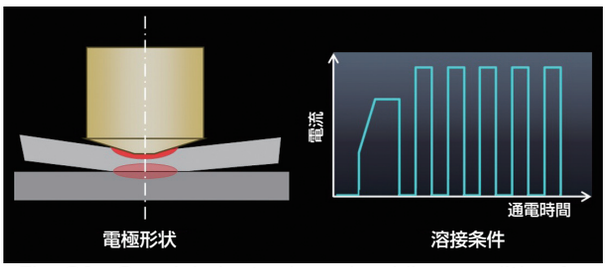


Fig. 31　Special electrode and welding condition for single-side spot welding

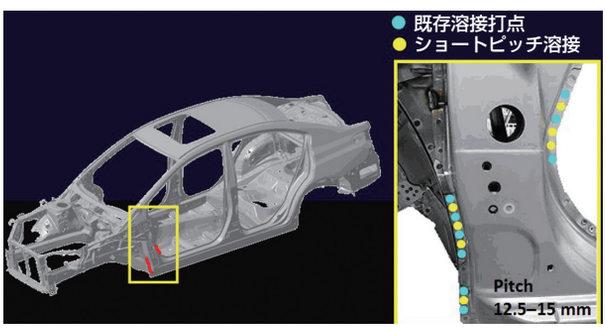


Fig. 32　Short-pitch spot welded portion

3.2.2　ショートピッチスポット溶接技術

IIHSのスモールオーバーラップ対応を目的として、フロントピラー下部の接合強度を向上するためにショートピッチスポット溶接技術を開発・導入した(Fig. 32)。

スポット溶接の打点間隔を狭くすると、近接する既存打点への分流が発生してナゲットが生成し難くなる。このため、ショートピッチスポット溶接では、既存打点への分流をモニタリングし、ナゲット生成に必要な発熱量を確保できるように電流値を補正する制御を行っている。結果、打点ピッチ12.5 mmでも安定して溶接品質を確保できている(Fig. 33)。

4.　あとがき

2014のEuro Car Bodyでは当社を含めて12社が車両出展＆プレゼンを行った。BMWのi8をはじめ、ベンツCクラス、GMコルベット、Audi TTなど7車種がクロージャーを除く車体にアルミや樹脂(CFRP)を採用しており、従来軽量化を目的としたマルチマテリアル化が加速している印象を受けた。当社としても

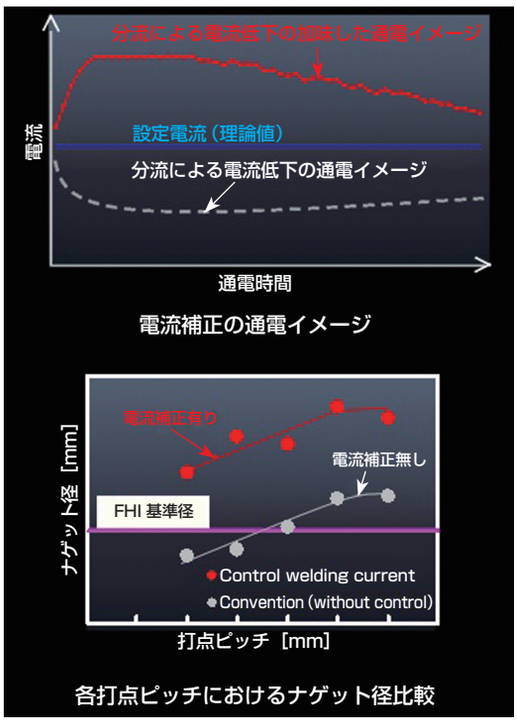


Fig. 33　Conceptual description of current correction and comparison of nugget diameters

“安心”“愉しさ”を極めるための車体技術の開発を加速して行く。

謝辞

新型WRXで採用したホットプレス技術の開発及び2014 Euro Car Bodyのプレゼン資料作成にご協力頂きました東亜工業殿に感謝致します。

【著　者】

小野江 孝裕

白　　昌鎬

植島　和樹

河合　功介

足回り作図検討のすゝめ

Recommendation of Suspention Study by Drafting

坂　崎　明　彦*1　　川　合　　真*2
Akihiko SAKAZAKI　　Makoto KAWAI

抄　録

サスペンションはシンプルであるべきである。
シンプルなのが一番良い。
Wウィッシュボーン サスペンションはシンプルなのに、ジオメトリの制御性が良い。
この報告書は、昔ながらの作図による同サスペンションの検討方法を紹介している。
温故知新が重要。
大局観を失わない、次世代のサスペンションを託せる人材の育成が重要。

Abstract

Suspension must be simple. Simple is the best. Double wishbone suspension is simple and controllable in the general suspension geometry. This report shows the old style suspension planning method by drafting. Trying to find a guide for tomorrow by learning lessons from the past is important. It is also important to develop talented persons who can build future suspensions without losing a broader perspective.

1.　まえがき

報告者の一人の坂崎が入社した1970年代には未だスバルの開発にCADは本格導入されてなく、足回りの先輩設計者がビームコンパスを振回して、ロールセンタを求めたり、バンプ－リバウンドに伴うトーチェンジを求めたりして、サスペンションの設計をしていた。
当時高価だった樹脂フィルムは使わせて貰えず、エアコンも無しの状況下、汗で伸縮するトレーシングペーパでの作図ではジオメトリの検討精度も低かった。
そして登場したのがコンピュータでの各ピボットポイントのXYZ計算と、計算結果のグラフ出力である。
これで、ジオメトリ精度は大いに上がったが、これ以降は作図より先に各ピボットをXYZの世界で決めて実際に作図したら成立せずやり直しとか、大変化に対しては大局観が働かないとかで、開発がスムーズに進まない事態が散発した。
その後CADが導入され、これにより坂崎が先人の作図による大局観と、デジタルによる精度の高さを融合する事にスバルとしては最初にトライし、初代レガシィ→SVX の検討では同僚がこの手法を消化してそれなりに成功する等、ある程度の成果が得られた。
その後この手法は途絶えていたが、もう一人の執筆者の川合の自己啓発勉強への指南、或いはSTIの若手への教育等で、今迄トライアンドエラーで何とかしてた部分の体系付も出来、ルネサンスの手応えを感じたので、昭和時代の技術、技能の現代への伝承の一助として、スバル技報に記す。

2.　サスペンション進化の軌跡

坂崎は入社前に、千葉大学にて総合講座『自動車』を受講した。これは本田技研工業のCVCCの開発で有名な八木静夫先生を中心とする錚々たるメンバーが自動車やその構成要素の現状と将来について機械工学の学生相手に1年間講義して下さると言う夢の様な体験であった。
サスペンションについて講義して下さったのは、4WSや歩行者保護の開発で有名な、佐野彰一先生で、その教えで非常に印象に残っている考え方がある。

＊1技術管理部
＊2 シャシ設計部

曰く、

『サスペンションの進化は概略以下①～④の通り。

①最初は車にサスペンションは無く、路面不正でタイヤが浮上してしまう場合があるので、常に4輪を接地させようと言う変位の時代。

②変位を抑えても悪路を走ると運転者の目が振動して視界が悪くて運転出来ないので変位の速度を抑えようと言う変位の1階微分の制御の時代。

③速度を抑えても揺さぶられ乗り心地が悪いと言う事で今度は加速度を抑えようと言う変位の2階微分の制御の時代。

④高速での突起乗り越し等、加速度の変化、加加速度を抑えようと言う変位の3階微分の時代。

今後4階微分まで制御すべきか否かは未だ判らない。』

2.1　サスペンション無しの時代

箱に4つの車輪を付けただけの状態、或いは室内用の子供の玩具の車では、路面の不整により、1輪、或いは2輪の浮上が頻繁に起こり、自動車としては真面に走れないので、サスペンションが必要になる(Fig. 1)。

サスペンションの進化の歴史として、現代の車でもサスペンションの必要ストローク確保は優先度の高い課題であり間違っても少な過ぎるストロークで何とかするのが技術力等と考えてはいけない。

Fig. 1　Without suspension

2.2　リジッド、リーフのみの時代(一階微分時代)

路面変位に車輪を追従させるために最初に普及したのは、リーフスプリングによるリジッドサスペンションである。

これは、ドライバの視点が定まらぬ程の速さで酷く揺れたので、Fig. 2の様に、リーフスプリングを重ね、板間のフリクションで振動を抑える事が行われた。

大型重量トラックでは、今日でも重ね板バネだけのサスペンションが生産されており、信頼性、耐久性、堅牢性は中々のものである。

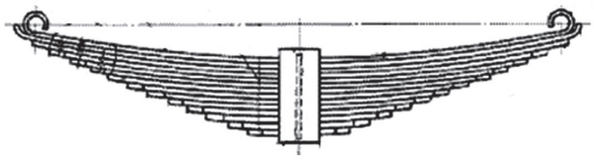


Fig. 2　Laminated leaf-spring suspension

2.3　リジッドに油圧ダンパーの時代(二階微分の時代)

重ね板バネリジッドサスペンションは、そのフリクションにより、微小振動ではスティックしてストロークしない。

このため乗用車では板の枚数を少なくする、或いはリーフをコイルに代え、減衰は油圧のダンパーに頼ってバネ上の振動を抑制する事が広く行われる様になった(Fig. 3)。

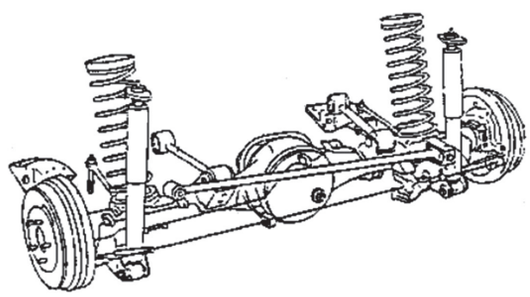


Fig. 3　Rigid coil & damper rear suspension[1]

2.4　適正な独立懸架の時代(三階微分の時代)

ラジアルタイヤの普及と交通の高速化により、当時の首都高の路面の継ぎ目等で、我慢出来ないショックがクローズアップされた。

前後コンプライアンスを十分確保する、或いはホイールセンタの側面視でのストローク方向をバンプで少し後傾させれば対策出来る事が判って来たが、そうするとリジッド、或いはセミトレでは状況によってはアクスルステア発生、逆Aアームを使用したストラットでは、セミトレやリジッド以上のトー変化発生の弊害あり、十分な継ぎ目乗り越し性能を確保出来ない事態に直面した。

対応策のエポックメイキングなものとして、本田技研工業株式会社の、車輌の後輪懸架装置、実公昭58-30725、1977年出願Fig. 4を揚げたい。

これを改良したものが、初代プレリュードに採用され、当時、パワーに対して十分シャシが速い、加速度が小さい訳では無いが、加速度の角が取れた様な心地良い乗り心地が話題になった。

前述の佐野氏の、加速度の変化、加加速度、つまり変位の3階微分の時代を意識した足回りであったと言えよう。

その後、同社はこれだけでは不十分で自動車のストラット式サスペンション 特公昭62-35939、特公昭63-11163、いずれも1983年出願で、力のキングピンの重要性を教えてくれている。

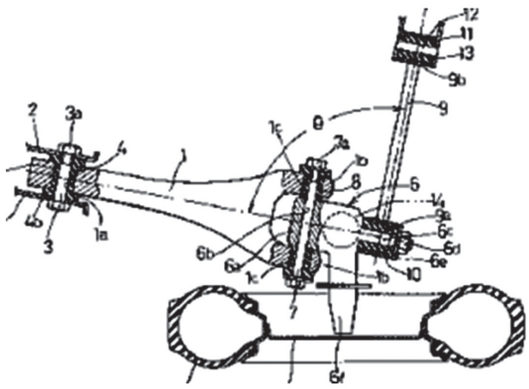


Fig. 4　Small tow change at large compliance

3.　先人の作図検討の状況

サスペンションの進化の歴史を見ると、ばね定数やダンパのセッティング以前に、サスペンションを上下前後にどれだけストロークさせるか、ストローク時にキャンバやトーをどう制御するかが第一に重要である。

今回はWウィッシュボーンの場合を、車両前、或いは後から見たジオメトリについてのみ論じる。

3.1　レン・テリー氏の作図（Fig. 5）

氏のインチ単位の計画図をmmに直したのが下図。プラスチックフィルムに1：1で作図していた模様。

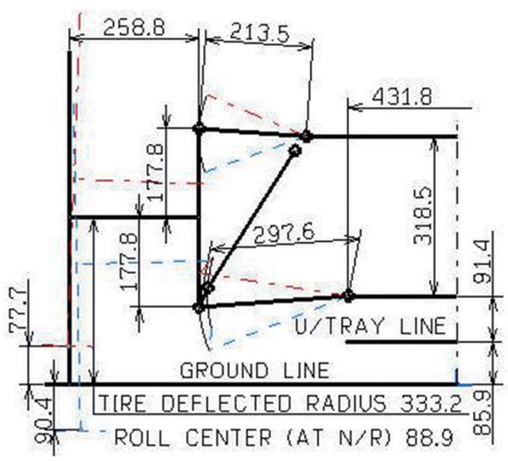


Fig. 5　Suspension plan drawing of Len Terry[2]

3.2　マツダの作図（Fig. 6）

『サスペンションの動きを、「三角形を構成する3つのボールジョイントが、3つの球の表面を滑るようにして移動している状態」として捉えるのが、「球面体理論」の基本なのである。』とある。

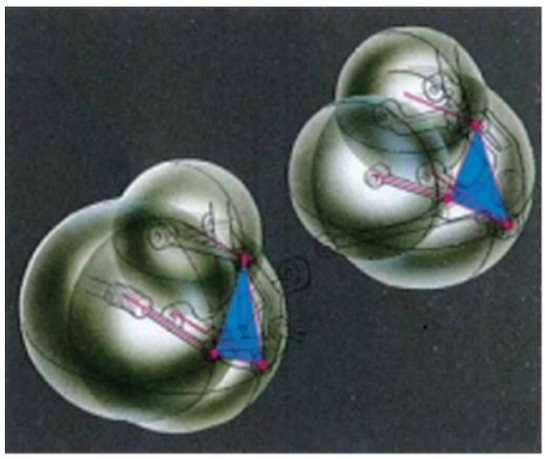


Fig. 6　Mazda spherical surface body theory[3]

3.3　パリ～ダカ・パジェロの作図

『コーナリング性能より悪路の直進性を重視。第一条件としてトレッドの変化を可能な限り小さく抑える。そのためにアーム長をたっぷり確保。バンプでネガティブ、リバウンドでもネガティブになる様なキャンバ特性。アッパーアームに対してロアアームを長く』していたとの事[4]。

4.　今回報告する手法で先ず心がける事

初心者や腕の悪い者に2点を通る直線を作図させるとFig. 7の様に中々2点を合わせられない場合が多い。

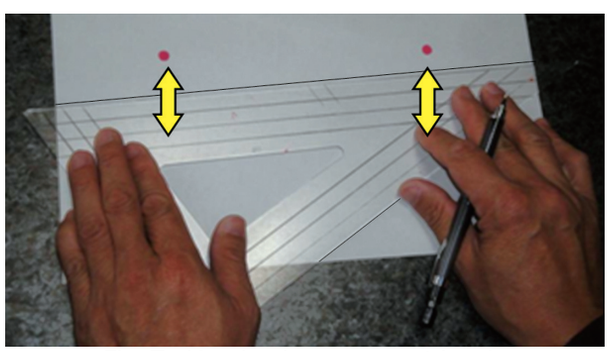


Fig. 7　How beginners use a triangle

腕の良い職人はFig. 8の様にペン先を固定して、一動作で三角定規を位置決めし作図する。

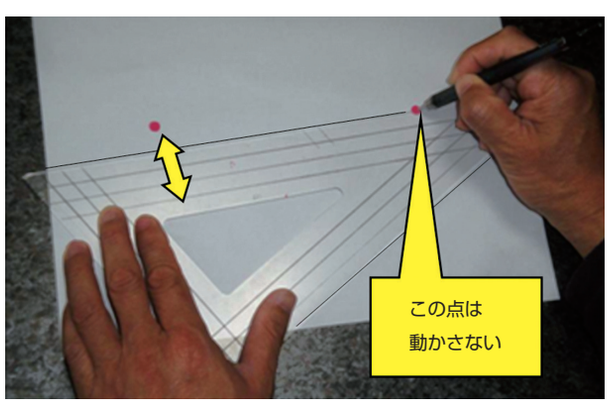


Fig. 8　How experts use a triangle

図面工的運転をする坂崎は、リヤロールセンタが変わらず、そこを中心に運動する車が運転し易く、ヨー方向も後車軸上のロールセンタを中心に旋回が開始するのが良い。そうするためには、後車軸上のロールセンタ中心は可能な限り動かない様に配慮する。

ロール、ピッチは角度では意識せず、前輪の荷重変化に比例した車高変化が起こり、ドライバに必要なインフォメーションを与えられる様努力する。

4.1　リヤ・ロールセンタ高の決定

リジッドのリヤサスペンションではロールセンタが何処にあるのか判然としないものが多いが、比較的はっきりしたものとして、Fig. 9があり、後車軸上のロールセンタは、ウィッシュボーンアームのデフ側ピボットとなる。これは限界横Gが低い大型トラックでは今でも使用されている形式だが、スポーツカーとしては好ましく無い。

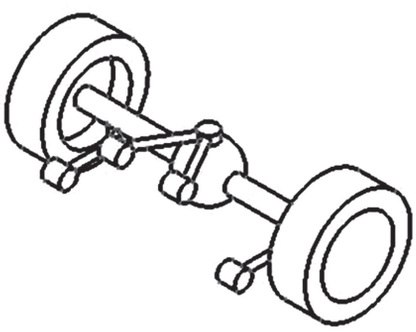


Fig. 9　High roll center rigid rear suspension

レン・テリー氏は、Fig. 10の様にテリヤー・マーク2で、ウィッシュボーンの位置を上下逆転した状態にし、ロールセンタを適正な位置に下げ成功を収めたが、たちまち他車の盗むところになったと言う[(5)]。

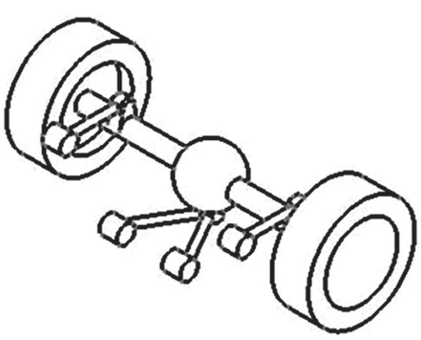


Fig. 10　Low roll center rigid rear suspension[(5)]

ロールセンタ高の解釈は、解析者が様々なアプローチをしているが、蹴り出しによる瞬間的アンダーステア化と腰砕け防止効果による説明が判り易い(Fig. 11)。

リヤのロールセンタ高は、バンプに伴う蹴り出し効果が、緩やかでもフルストローク迄続くべき、ロールセンタはその範囲で可能な限り低くしてジャッキアップを防止すべきとの条件に基づき決定する。

フルストローク状態では、蹴り出しが0、即ち接地点が0Y平面に平行に動く所まで許容するが、それより内側に入って行く腰砕けは許容出来ない(Fig. 12)。

Fig. 11　Roll center height rear rejecting effect

Fig. 12　Roll center height rear wimpy effect

5.　報告者等の作図の実際

先ずは検討のベースとなる車両のリヤサスペンションジオメトリは、Fig. 13の様になっていたとする。

Fig. 13からタイヤ回りを切り出し、前輪に於けるキングピン回りのホイールセンタ(W/C)モーメントアーム半径とスクラブ半径(JASOのキングピンオフセット)の経験的適値を作図し、両者を直線で結んで出来たキングピンの傾斜角が経験的適値に合っているか確認する(Fig. 14)。

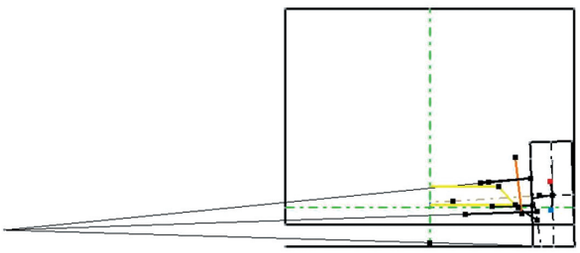


Fig. 13　Base car rear suspension geometry

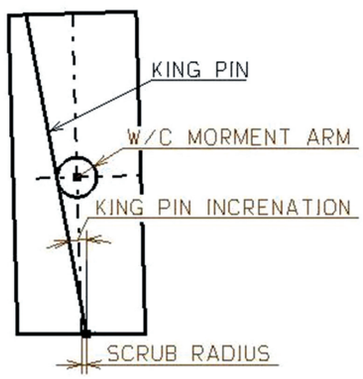


Fig. 14　Decision of kingpin

後輪の転舵はないからキングピンは考慮無用に見えるが、力学の原理原則は前輪も後輪も同じで、ドライブシャフト反力はホイールセンタ、フルブレーキ力はタイヤ接地中心に掛るから無視出来ない。

続いて、リム径、リム耳の必要肉厚、アームとリムの必要隙間、アームの厚みを考慮し、水平からブッシュやボールジョイントの限界角度まで揺動したアームの中心線がキングビンと交わる点を求め、アッパとロアのB/J（ボールジョイント）中心、キングピン軸上にCVJ中心を求める（Fig. 15）。

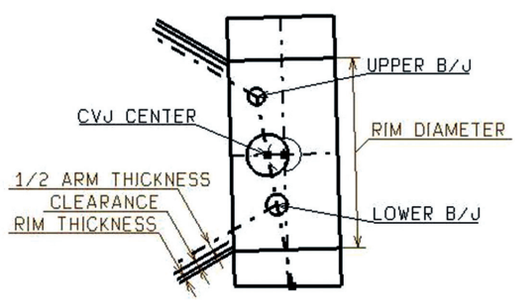


Fig. 15　Decision of UPR & LW arm outer pivot

Fig. 10のリジッドサスペンションの動きをイメージし、MAXバンプ時のタイヤ接地中心高さのOY平面にロールセンタをセットし、左右逆相の接地中心の移動範囲を作図し、スカッフ変化が経験的許容値以内にあるかを確認する（Fig. 16）。

Fig. 16で求めたMAXバンプとMAXリバウンドの接地中心に、空車時のタイヤを平行移動で貼付ける。

短く成りがちなアッパアームの回転半径をボールジョイントやブッシュの許容角度と、サスペンションのトータル・ストロークから決め、空車時とMAXリバウンド時のアッパアーム外側ピボットから、この半径の円弧を描き、交点を求めると、これがアッパアームのインナピボットになる。更にこの交点から同じ半径の円弧を描き、これにMAXバンプの時のアッパアーム外側ピボットが接する様、MAXバンプのタイヤとハウジングを回転させれば、タイヤのバンプ、リバウンド時のセットは終わりである（Fig. 17）。

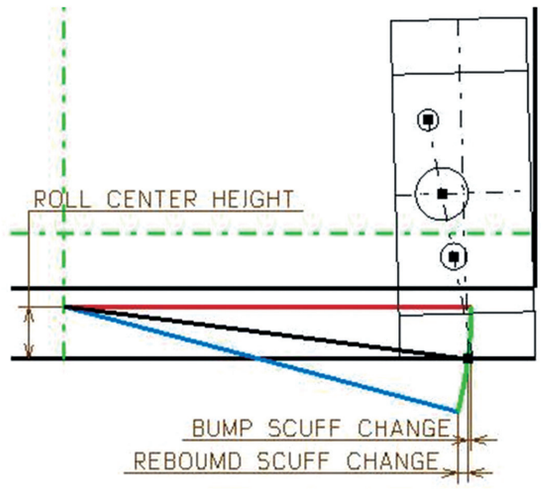


Fig. 16　Decision of rear suspension scuff change

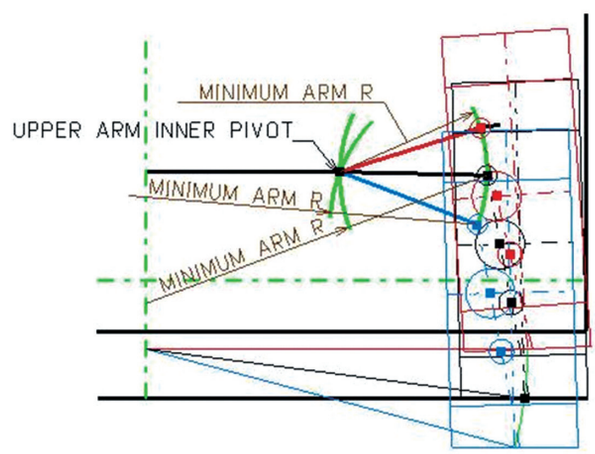


Fig. 17　Decision of rear suspension upper arm inner

同様に、空車時、MAXバンプ時およびMAXリバウンド時のロアアームアウタピボットを円弧で結べば、その中心がロアアームのインナピボットになる。

MAXバンプ、リバウンドのCVJ中心を円弧で結び、その中心を求めれば、これが略スライド0のDOJ中心になり、通常はDOJスライドが許容値に収まるように内側と上下に移動して実際のDOJ中心を決める（Fig. 18）。

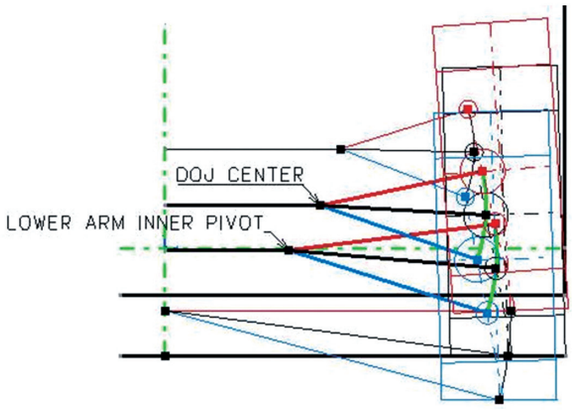


Fig. 18　Decision of rear suspension lower arm inner & DOJ center

後軸のロールセンタ高に対する前軸のそれは、色々な論文に示されており､若干前下がりが良いとされる。

欧州の操安性と振動で評判の良い車両がC.W.状態で、長年殆ど0 mmの前軸ロールセンタ高を採用していたが、最近になって少し上げて来た。

前軸ロールセンタが地面上に近ければ、転舵初期の車両のヨーがきびきびする傾向がある。

前輪はロールに伴う蹴り出しが無く、逆にバンプに伴いタイヤ接中心が少し車体内側に入って来ても腰砕け感は出ないが、ロール助長ジオメトリではロールが大きくなり、スタビを異常に太くする必要が生じる場合もある。

こうなると、自前ではリジッドサスペンションの量産をした事の無いスバルの4輪独立サスペンションの動きが、独立では無くなってしまい、好ましくない。

経験上、車両の荷重状態により、水平地面上の静的状態で、前軸ロールセンタが地面より下になると碌な事にならないので、MPW状態で前軸ロールセンタが地面より上にある事が一つの指標になろう(Fig. 19)。

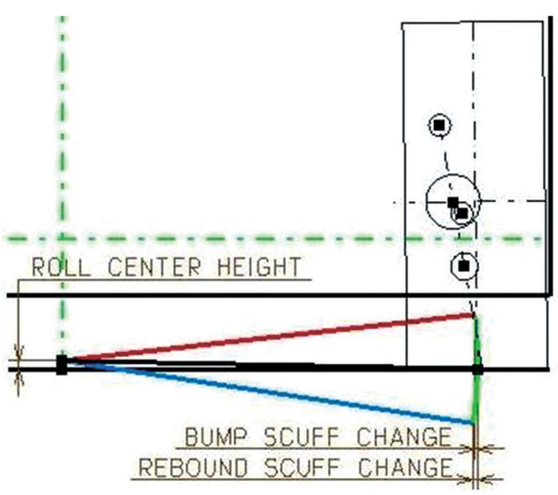


Fig. 19　Decision of front suspension scuff change

アッパアームの作図は、後輪と同様であるが、水平対向エンジンでは、横置きL型エンジンよりは楽なものの、V型縦置きや、L型縦置きよりはアーム長に対する制約が大きく、ジョイント角がパンクしない範囲でアーム長の短い設計になる(Fig. 20)。

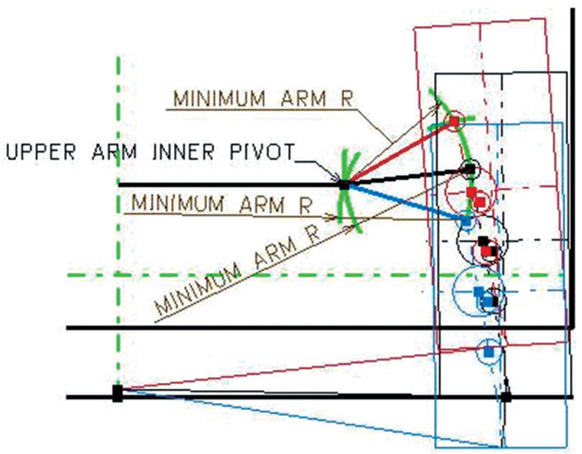


Fig. 20　Decision of front suspension upper arm inner

同様に、ロアアームのアウタピボットの空車、MAXバンプ、MAXリバウンドを円弧で結び、その中心を求めれば、これがロアアームのインナピボットになる。

3状態のCVJ中心を円弧で結び、その中心を求めれば、これが略スライド0のDOJ中心になり、通常はDOJスライドが許容値に収まるように内側と上下に移動して、実際のDOJ中心を決める。

3状態のタイロッドエンドを円弧で結び、その中心を求めれば、これが略トーチェンジ0のラックエンドになり、ステアリングギアボックスのラック中心は、ナックルアームが前の場合は僅かに上に、同後の場合は僅かに下にして、バンプトーアウト傾向を持たせる(Fig. 21)。

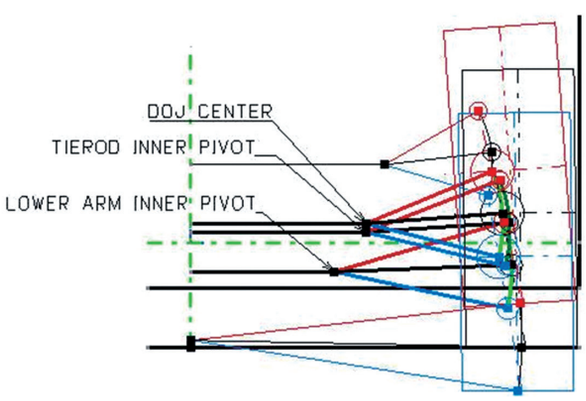


Fig. 21　Decision of front suspension lower arm inner, tierod inner & DOJ center

6. 今後の作図検討の発展

3項に示した先人3例を含む多数の検討事例を見ると、何れもリンクのピボット位置や、アーム長さ、アーム角度を振って、結果が適値に入っているか否かを検証し、入っていなければパラメータを振って、収束計算機的に適値を見出す傾向が強いように見える。

今回紹介した手法は、第一にスカッフ変化、次いで各ストローク状態に於けるキャンバを定義し、追加で最小限の条件を一つ付け加えて、残りのジオメトリを完成させてしまう事に特徴があろうか？

このゾーンは各メーカ、コンストラクタに名人がいるのであろうが、派手に諸元の変わった車、例えばウィッシュボーンからストラット、その逆、側面視でのストラットのキングピンに対するオフセット、ステアリングギアのラテラルテイクオフからセンタテイクオフ等を作る場合、富士重工ではXYZ振り回すベテランが試行錯誤1週間､大局観無く任された新人が1ヶ月、或いは過拘束で検討始めて しまうと何時までも解が出ないのに、この手法では数分から長くて数時間で最終結論に到達してしまい、出来た車両も調子良く走ってしまう事を何回か経験している。

今回はアッパアーム長さを一つの拘束条件として選んだが、ドライブシャフトのスライドがネックなら、シャフトをDOJ中心とするリンクに見立てれば良いし、車体フレームとの隙間がネックならそれを拘束条件とすれば良いので、応用が利くのも魅力である。

老人の知恵と、若者の好奇心、独創性を融合して、新たなサスペンション作図検討の境地に入って見たくなった。

参考文献

(1) 日産自動車株式会社 サスペンシヨン装置 特開昭61-94805
(2) レン・テリー , アラン・ベーカー：レーシングカーその設計の秘訣p.106 二玄社(1975)
(3) マツダ RX7 カタログ(1991?)
(4) 岡崎五郎, パリ～ダカ パジェロ開発記 p.139～140 グランプリ出版(1995)
(5) レン・テリー , アラン・ベーカー：レーシングカーその設計の秘訣p.33～34 二玄社(1975)

【著　者】

坂崎　明彦

川合　　真

スバル技術本部におけるメカトロ技術教育の紹介

Introduction of Mechatronics Training in SUBARU ENGINEERING DIVISION

星　野　欽　哉[*1]　　矢　内　幸　夫[*2]
Kinya HOSHINO　　Yukio YANAI

抄　録

近年、車両に搭載する電子制御安全技術は、高機能で複雑化してきている。更なるシステム拡大のためには、電子制御システム開発技術者の育成方法として、集合教育のうち、メカトロ技術教育の内製化が再度必要となってきた。本報告では、過去から現在までの技術教育と技術習得方法の変遷について紹介する。また、近年立ち上げたメカトロ《基礎編》《中級編》《上級編》の各講座についての内容を紹介する。

Abstract

Electronically controlled in-vehicle safety systems have become more complex and sophisticated recently.To expand the systems further, we need to provide internal mechatronics training to develop electronic system development engineers. This report introduces historical change in our technical education and various mechatronics training courses (from basic to advanced levels) we have provided recent years.

1. まえがき

当社では、過去に人事部が主催する技術者向けの集合教育としての「メカトロ技術教育」があったが、ある時期からは、社外教育の受講と各部署でのOJTによる対応で近来まで推移してきた。現在、車両に搭載される電子制御システムは、アイサイトを始めとして格段の進歩を遂げ、高機能化、複雑化しており電子制御システム開発の難易度が増している。同時に制御系システムの開発環境も、モデルベース開発とシミュレーション技術を中心に格段の進化を遂げている。以上の状況と今後の更なる電子制御システムの拡大展開に対応するために、集合教育としての「メカトロ技術教育」を再開させた。

現在の「メカトロ技術教育」は、スバル技術本部の主催とし2012年度のメカトロ≪基礎編≫を皮切りに、2013年度にはメカトロ≪初級編≫≪中級編≫、2014年度にメカトロ≪上級編≫を開講し、基本骨格部分を急速に整備してきた。ここに、各講座の概要を紹介する。

＊1 電子プラットフォーム設計部
＊2 技術管理部

2. メカトロ技術教育の変遷と位置付け

2.1 メカトロ技術教育の変遷

【初期】車両搭載システムの電子制御化に対応すべく、人事部主催による当社グループの技術者向け教育として実施された。当時は、マイコン開発環境（エミュレータ、オシロスコープ、ロジックアナライザー等）が高価だった事からも、企業内技術教育としては画期的なものであった。

【中期】この時期のメカトロ教育は、アウトソーシングを基本とした社外教育セミナーの受講が中心となり、各部署独自教育と、OJTにより実施された。

【現在】前述の様に、急拡大する電子制御システム開発に対応する人材育成の必要性から、メカトロ教育がスバル技術本部での技術教育として実施されている。

2.2 スバル技術本部でのメカトロ技術教育の目的

スバル技術本部におけるメカトロ技術教育は、企業内技術教育として『ETSS－組込みスキル標準』（後述）

におけるスキルレベル、キャリヤレベル、教育レベルを参考に、当社においても電子制御システムを開発する上で各部署共通で必要となるメカトロ知識、C言語、MBD（Model Based Development：モデルベース開発）ツール、MBDプロセスの習得を目的としている。

なお、それ以上のスキル基準やキャリア基準に関しては、スバル技術本部における他の教育体系、および各部署独自の教育、OJT等で実施されている。

■　ETSS－組込みスキル標準の概要

ETSS（Embedded Technology Skill Standards）とは、組込みソフトウェアの開発スキルを測定する指標で経済産業省の独立行政法人 情報処理推進機構によって定められている[(2)]。

組込みスキル基準とは、組込みソフトウェア開発に必要なスキルを明確化・体系化したものであり、組込みソフトウェア開発者の人材育成、活用に有用な「ものさし」（共通基準）として、以下に示す三つの基準を提供している。

【スキル基準】

- ●レベル4 最上級　新たな技術を開発できる
- ●レベル3 上級　作業を分析し改善・改良できる
- ●レベル2 中級　自律的に作業を遂行できる
- ●レベル1 初級　支援のもとに作業を遂行できる

【キャリア基準】

- ●レベル7　市場をリードする
- ●レベル6　市場で認められる
- ●レベル5　社内をリードできる
- ●レベル4　経験を知識化し、業務の改善や後進育の面で応用できる
- ●レベル3　独力ですべてできる
- ●レベル2　一定程度の難易度であれば独力でできる
- ●レベル1　指導の下でできる

【教育基準】

スキル基準の各レベルに対応する知識やスキルの習得を目指す。

3.　メカトロ技術教育の内容

3.1　メカトロ《基礎編》

メカトロニクスを構成する各要素（センサー、アクチュエータ、マイコン）の概要を理解すると同時に、制御系開発には、制御理論が必要な事を学ぶ。メカトロ視線での業務遂行の重要性と、自動車業界を取り巻く外部環境との関係を含め、制御系モデルベース開発プロセスの概要までを理解する（Figs. 1, 2）。

基礎講座であるが、テキスト[(3)]は充実しており、受講後にも資料として活用できる。

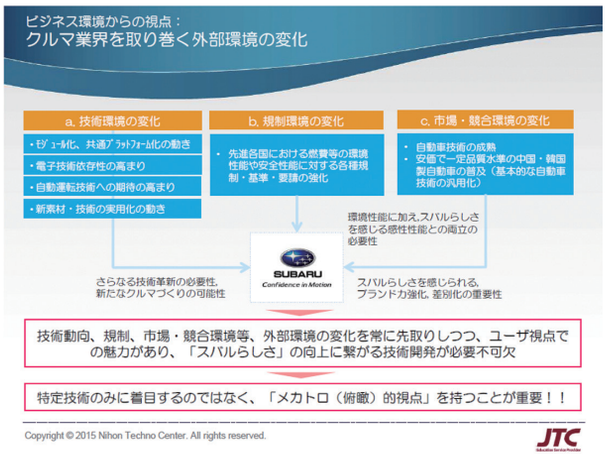


Fig. 1　Beginners training course text p.1.22 [(3)]

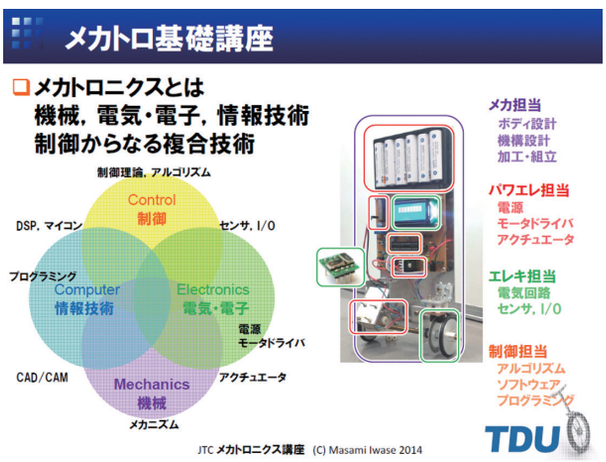


Fig. 2　Beginners training course text p.2.22 [(3)]

3.2　メカトロ《初級編》

自動車メーカにおける制御系開発の設計・実験担当者として必要になるマイコンの基礎知識から、C言語、制御システムへの組み込み実装までを学ぶ。

【マイコン入門】（講義＋実習）

マイコン初学者を対象に、マイコンの構成要素（CPU、メモリ、周辺機能）と基本動作、アセンブリ言語によるプログラムの基本構造（順次、選択、繰り返し）とサブルーチン、周辺機能（ポート、タイマ）の特徴と制御方法、割り込みの特徴と動作原理及び開発手順などの組み込みシステムの基礎知識を習得する（Figs. 3, 4）。

【組み込みC言語～文法編～】（講義＋実習）

C言語初学者を対象に、C言語の基本文法を習得する。変数、定数、演算子、制御文、配列などの基本文法から関数、構造体、ポインタ、記憶域クラスといったところまで、机上演習と統合開発環境を用いたプログラミング演習で習得する（Figs. 5, 6）。

【組み込みC言語～実装編～】（講義＋実習）

組み込み開発従事者を対象として、特定のマイコンに依存しない、組み込み機器を対象にしたC言語によ

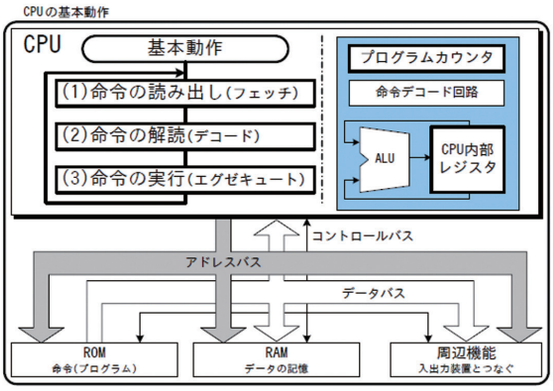


Fig. 3　Microcomputer computer course p.2.8 [4]

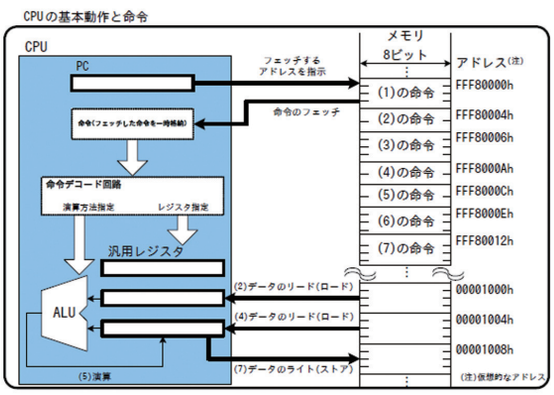


Fig. 4　Microcomputer computer course p.4.26 [4]

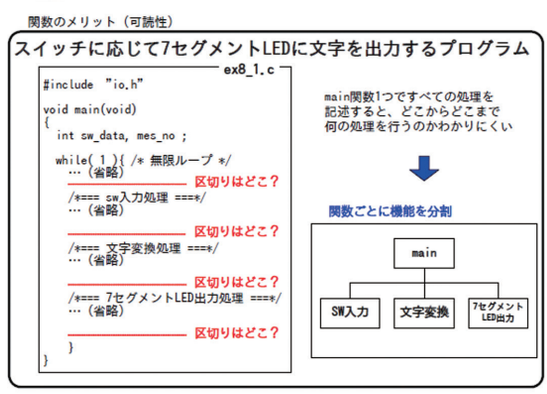


Fig. 5　C programming course text p.8.2 [5]

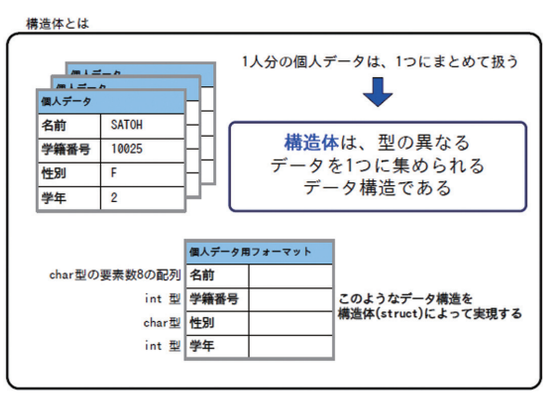


Fig. 6　C programming course text p.9.3 [5]

るマイコンの入出力制御方法とC言語でのプログラムの実装方法を習得する。

特に、組み込み時に注意すべきポイントの理解を目的に、トレーニングボードとエミュレータを使った実習により、実装技術までを習得する（Figs. 7, 8）。

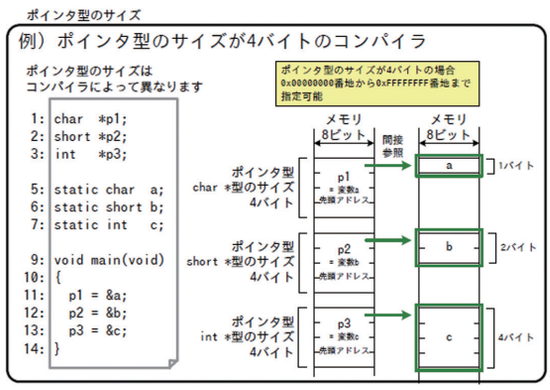


Fig. 7　Embedded C programming course text p.1.7 [6]

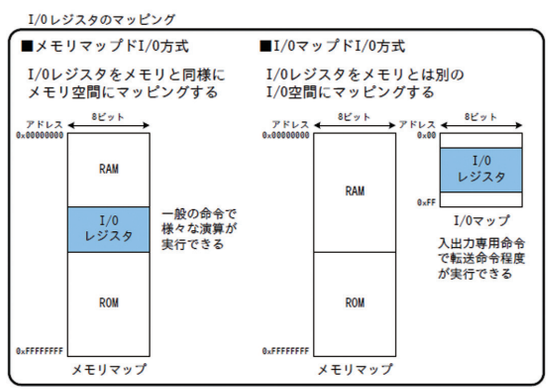


Fig. 8　Embedded C programming course text p.4.2 [6]

3.3　メカトロ《中級編》

モデルベース開発における、デファクトスタンダードである、MATLAB/Simulink/Stateflowについて、開発ツールの使用方法を中心に学ぶ。

【自動車分野向け MATLAB 基礎】（講義＋実習）

MATLABの初学者とSimulinkでの制御系開発者を対象に、テキスト言語としての、MATLABテクニカルコンピューティング環境を習得する。

テキストおよび演習には、すべて、自動車分野向けの例題・演習問題を用いており、これにより、基本的なプログラミングテクニックが自動車分野の事例で習得できる（Figs. 9, 10）。

【自動車分野向け Simulink 基礎】（講義＋実習）

Simulinkでの制御系開発者を対象に、自動車分野向けの例題を用いて、Simulinkでシステムモデリング、アルゴリズムモデリング、および設計検証を行う方法を修得する（Figs. 11, 12）。

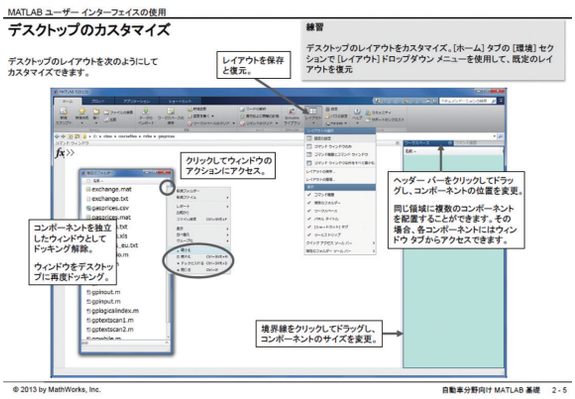


Fig. 9 Training courses in MATLAB p.2.5 [7]

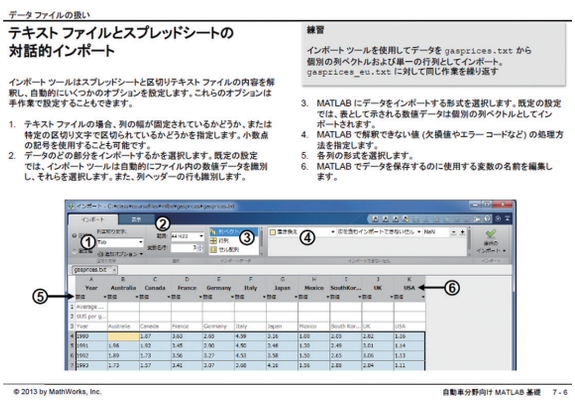


Fig. 10 Training courses in MATLAB p.7.6 [7]

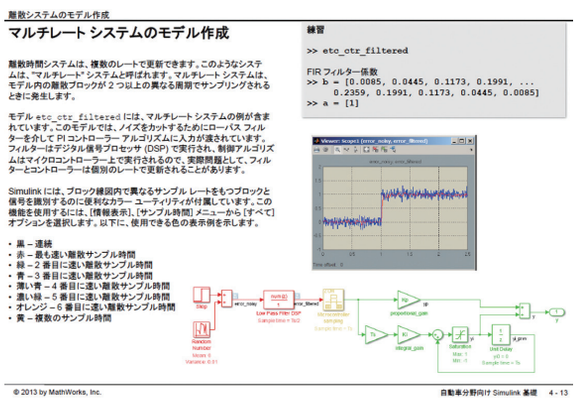


Fig. 11 Training courses in simulink p.4.13 [8]

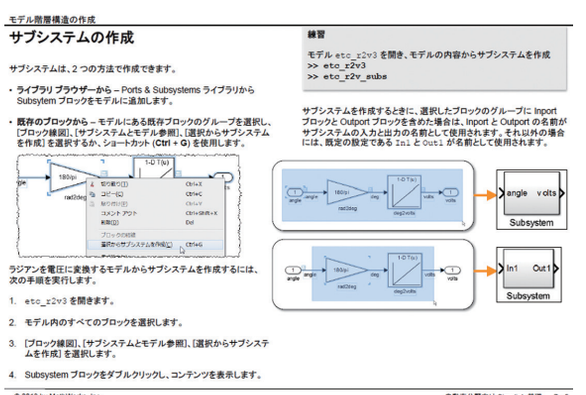


Fig. 12 Training courses in simulink p.7.5 [8]

【自動車分野向け Stateflow 基礎】(講義+実習)

Stateflow を用いた判定フローやステートマシン図の作成方法の習得を目的とした制御系開発者向けの解説。フローチャート、ステートマシン図及び真理値表の Simulink モデルの中で活用を、自動車分野向けの例題・演習問題を通じて習得する(Figs. 13, 14)。

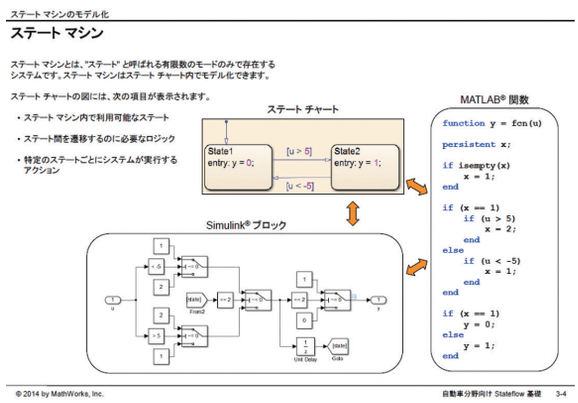


Fig. 13 Training courses in stateflow p.3.4 [9]

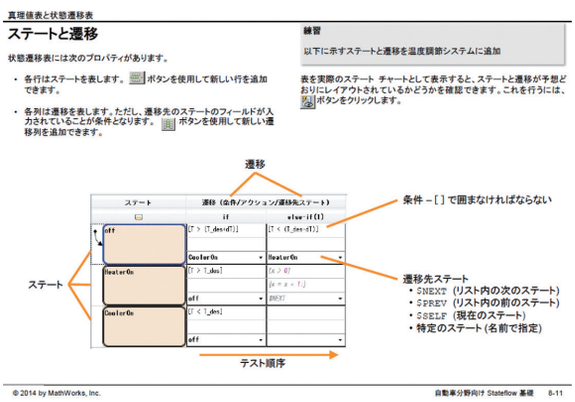


Fig. 14 Training courses in stateflow p.8.11 [9]

3.4 メカトロ《上級編》

【モデルベース開発プロセス】(実習+自由課題)

MATLAB/Simulink を利用した モデルベース開発の適用技術を制御システム設計の実習を通して体系的に習得する。LEGO NXT を使用した制御アプリケーションを題材に、モデルベース開発プロセスとして、制御装置に実装される Simulink コントローラモデルの開発、実装、検証工程に必要な開発プロセスを習得する。グループ単位で、独自に設定した制御系に対し、要件定義、制御系設計、実装まで、モデルベース開発プロセスに取組み、最後に結果発表会を実施する(Figs. 15, 16)。

4. 各部署での独自の制御系教育

各部署での独自教育の一例として、電子プラットフォーム設計部で実施している制御系教育項目の一部分を以下に示す。

Fig. 15　MBD processes training courses p.3.35 (10)

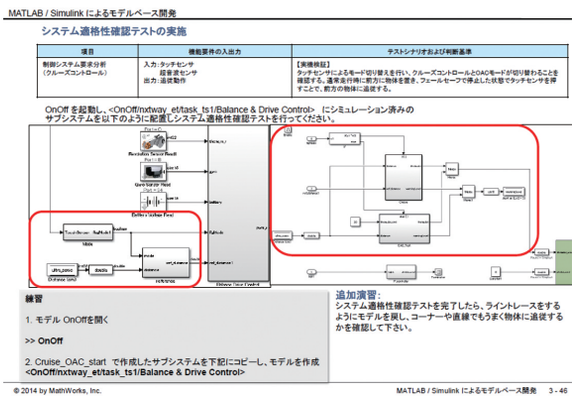


Fig. 16　MBD processes training courses p.3.46 (10)

【制御系設計の基礎と実践】（設計者向け）

1）開発環境（MATLAB/Simulink）と実習装置の機能
2）DCモータの実習で必要になる制御理論の基礎
3）DCモータの速度制御系（一次遅れシステム）の設計
4）DCモータの位置制御系（二次遅れシステム）の設計

【状態遷移設計】（設計者向け）

1）状態遷移について（意味論）
2）Stateflowの意味論と操作（状態遷移図）
3）状態遷移図応用編（状態遷移表）

5.　まとめ

近年立ち上げた教育はまだ基本の部分だけではあるが、集合教育の成果は徐々に出てきている。

今後も必要となる多くの教育についても、社会情勢、社内需要を踏まえた中で、社内教育体系の要として織り込みながら整備・拡充していく。

謝辞

メカトロ技術教育体系の構築にあたり、ご協力を頂いた、（株）日本テクノセンター、ルネサスエレクトロニクス（株）、MathWorks GK（順不同）他の関係者の皆様に感謝致します。

MATLAB、Simulink,、Stateflowは、MathWorks社の登録商標です。

参考文献

(1) 坂崎明彦：HEV開発による人材育成，スバル技報 No.36 (2009)，p.225
(2) 独立行政法人 情報処理推進機構：組込みスキル標準，http：//www.ipa.go.jp/sec/softwareengineering/std/etss.html（2015-2-23）
(3) ㈱日本テクノセンター：メカトロニクス基礎講座テキスト
(4) ルネサスエレクトロニクス㈱：ルネサス半導体セミナーマイコン入門コーステキスト
(5) ルネサスエレクトロニクス㈱：ルネサス半導体セミナー組み込みC言語入門～文法編～コーステキスト
(6) ルネサスエレクトロニクス㈱：ルネサス半導体セミナー組み込みC言語入門～実装編～コーステキスト
(7) MathWorks GK，自動車分野向けMATLAB基礎トレーニングテキスト
(8) MathWorks GK，自動車分野向けSimulink基礎トレーニングテキスト
(9) MathWorks GK，自動車分野向けStateflow基礎トレーニングテキスト
(10) MathWorks GK、MATLAB/Simulinkによるモデルベース開発基礎トレーニングテキスト

【著　者】

星野　欽哉

矢内　幸夫

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。

切削工具

【出願】特許第5444265号
【発明者】中畑　達雄

【発明の背景】

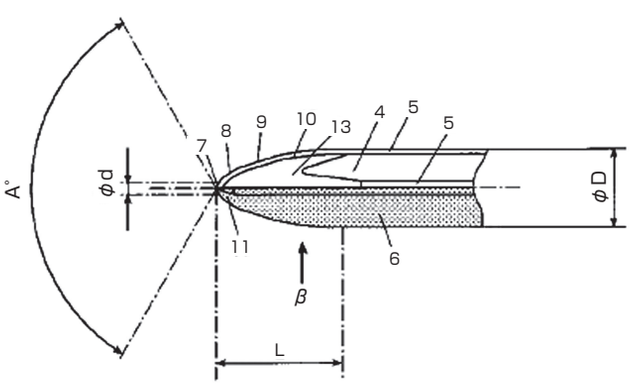
炭素繊維強化樹脂複合材は軽量、高強度かつ耐熱性に優れており、自動車、航空、船舶等、多岐にわたる産業分野の素材として使用されている。炭素繊維強化樹脂複合体は、炭素繊維を縦横に重ね合わせたもの（プリプレグ等）をエポキシ樹脂等で固着させたものである（例えば、CFRP、KFRP、AFRP等）。この複合材を車体のボディ等の構造部材として使用するため、孔を開ける等、切削加工にて成形する場合、複合材の構造上、層間剥離や繊維のほつれ、バリの発生等が発生しやすい。そのため、加工後の仕上がりを綺麗にするため、切削工具として二枚切刃で構成されたダブルアングルドリルが良く使用されている。

しかし、ダブルアングルドリルでは加工回数を重ねるとドリルが摩耗し、切削性能が低下してしまう。ドリルの先端にダイヤモンドを被覆する方法も取られているが、それでも被覆した切刃先端の摩耗が進行し、切刃先端のRが大きくなり切削性能が低下するため、改善が求められている。

【発明の概要】

本発明の切削工具は、切刃の最大頸部から軸方向前方に滑らかに連続して複数の切刃が連続して形成され、各切刃部のすくい面にダイヤモンド等の耐摩耗性の高い材料を被覆したもので、各切刃の逃げ面の軸方向後方にマージンを滑らかに連続して形成したものである。この切削工具で被削材を切削すると、切刃先端の縁部が摩耗により脱落するとともに逃げ面とマージンの母材も摩耗し、切刃の最大径部が工具の軸方向へ後退して後方に連続形成された新たな切刃が出てくるため、切削切刃の形状は変わらず保持される。

これにより、加工回数を重ねても工具の切削性能は低下せず、常に仕上がり良く被削材を加工することができる（セルフ・リグラインド機能）。



切削工具の一例であるドリルの先端部の拡大図

車両用制御装置

【出願】特許第5457495号
【発明者】西田　裕之、井上　浩一

【発明の背景】

自動車の機械的動力として、エンジン効率の良い回転数と負荷領域での運転が容易となる連続可変変速機（CVT）が普及しており、車両の運転状態に応じて自動的に変速比が決定される自動モードと複数の変速比から運転者の操作に応じて特定の一つを適宜選択し変速機の回転速度を好みに変えて運転するマニュアルモードとを切り替え可能な制御装置を搭載した変速機も存在する。

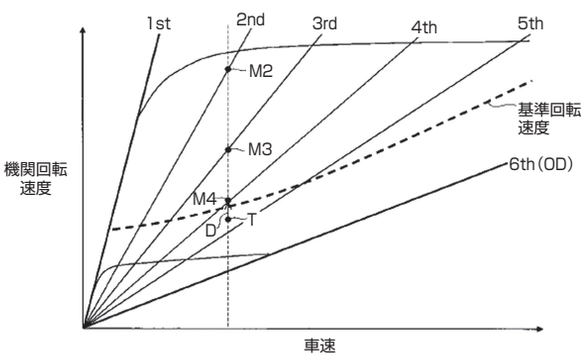
近年では、自動モードでも運転者が加減速操作を意図的に行えるように、ステアリングホイールに設置された変速比の上下可変スイッチが存在し、操作後、運転状況から自動的に自動モードに切り替わる「テンポラリマニュアルモード」が考案されている。特に登坂や急カーブ等の路上での運転でダウンシフトする時に有効だが、自動モードとマニュアル操作の切り替えが頻繁に起こるため、より運転手の加減速操作の意図に反映した変速比の制御が求められている。

【発明の概要】

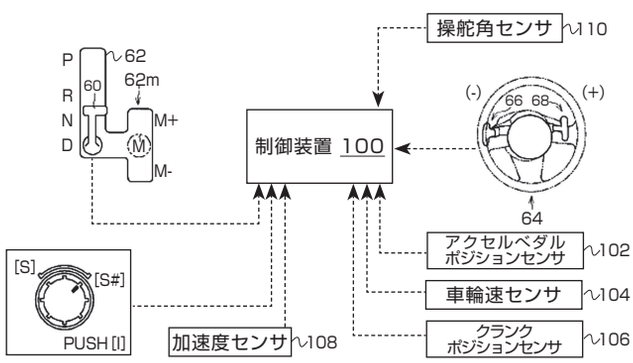
本発明の車両用制御装置は、連続可変変速機において自動モードとマニュアルモードを切り替え可能で、かつテンポラリマニュアルモードの制御も搭載しており、ダウンシフト操作により自動モードから一時この制御状態に切り替える際、変速機の機関回転速度が車速に応じて設定される閾値の基準回転数以上になる変速比のうち最も増速側のものを選択する制御をもつ装置である。

制御装置は車速が高くなるにしたがって基準回転速度が高くなるように設定しており、これにより車速が高くなるにしたがってダウンシフト後の機関回転速度を高くすることができ、変速機の機関出力軸の回転負荷によるエンジンブレーキを車速に見合ったものにしている。ここで本発明の変速比の選択制御により、ダウンシフト操作で切り替える変速比の下げすぎで機関回転速度が高くなりすぎることを防ぎ、運転手に減速での違和感を与えないようにする。

この車両用制御装置により、運転手が意図したとおりの加減速等運転を可能とする。



車両用制御装置が実行するテンポラリマニュアルモードにおいて設定変速比を選択してダウンシフトを行う場合の説明図



車両用制御装置を含む車両のシステム構成の模式図

車外環境認識装置および車外環境認識方法

【出願】特許第5499011号
【発明者】斉藤　徹

【発明の背景】

近年、車載されたカメラやレーダー等の検知装置により自車両前方の車両や対象物を特定し、対象物との衝突を回避したり（衝突回避制御）、先行車両との車間距離を安全な距離に保つように制御する（クルーズコントロール）装置が車両に搭載されている。これらの制御を円滑に行うためには先行車両を追跡して位置情報を更新し、先行車両の挙動を随時的確に推測することが重要である。その一つとして、先行車両のブレーキランプ点灯有無を検知して先行車両の減速状態を推測する処理を装置に組み込む技術が開発されているが、天候などの車外環境下によってはランプ点灯による輝度や明度の差異を検知できず、先行車両の挙動が認識できない場合がある。

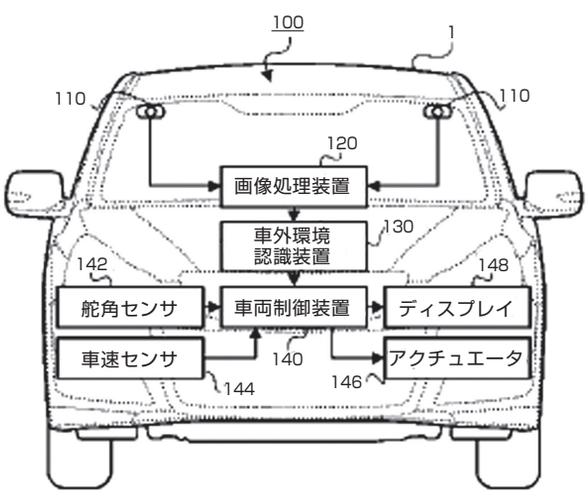
そのため、ブレーキランプ等の発光源の点灯有無を高精度に判断可能な車外環境認識装置及びその方法の確立が求められる。

【発明の概要】

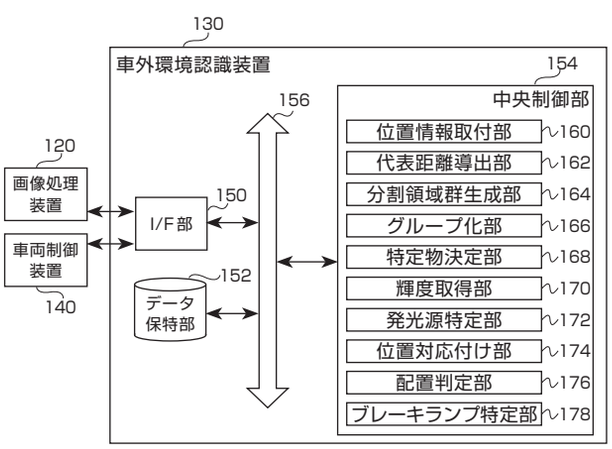
本発明の車外環境認識装置は、撮影装置により、車外環境の明るさに応じた露光時間や絞りを示す第1露光態様で撮像した第1画像と、ブレーキランプ等の特定の発光源の自発光を判別可能で露光時間が第1露光態様と異なる第2露光態様で撮像した第2画像を順次交互に取得し、第1画像を距離画像、第2画像を輝度画像として用いて、先行車両の車両領域と発光源の位置付けから発光源の特定と点灯の有無を検知し、先行車両の挙動を認識する。

第2画像は撮像の露光態様により、第1画像と比べて発光源の発光輝度を明確に検知することができる。この検知情報と第1画像から得られる距離及び位置情報を合わせて、認識装置内の中央制御部の発光源特定部により、輝度範囲や高さ範囲等の閾値情報と照合することで、発光源を特定し、点灯有無の判定をでき、車両の挙動の認識が可能となる。

本発明の車外環境認識装置及び認識方法を組み込むことにより、先行車両の挙動を高精度に認識することができ、衝突回避制御やクルーズコントロールを円滑に行うことができる。



環境認識システムの接続関係を示すブロック図



車外環境認識装置の概略的な機能を示すブロック図

エアバッグ装置

【出願】特許第5513044号
【発明者】石田　武

【発明の背景】

運転席、助手席の乗員保護のため、インストルメントパネル内にエアバッグ袋体を折り畳み状態で収納し、衝突時に袋体を乗員側に展開して乗員の頭部や胸部を保護する乗員保護装置が自動車に内装されている。特に、乗員の頭部がウィンドシールドガラスやパネルと干渉して損傷することを防ぐため、ウィンドシールドガラスの内面を沿って展開する第1エアバッグとインストルメントパネルの上面に沿って展開する第2エアバッグを連結した袋体で構成したエアバッグ装置が考案されている。

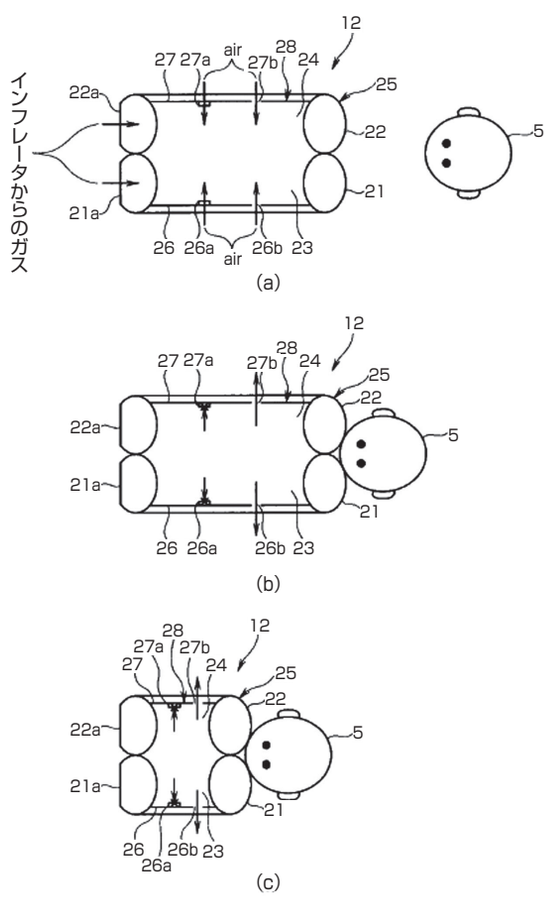
しかし、上記のエアバッグ装置では袋体の容量が大きいため、インフレータの大型化や吐出ガス容量の増加、格納場所の限定、重量の増加、高コスト化の課題がある。また、二つのエアバッグ袋体が互いに離間する反力で乗員頭部を拘束するため、乗員の頭部を適切な圧力で衝突初期の段階から拘束保護できない場合があり、改善の余地がある。

【発明の概要】

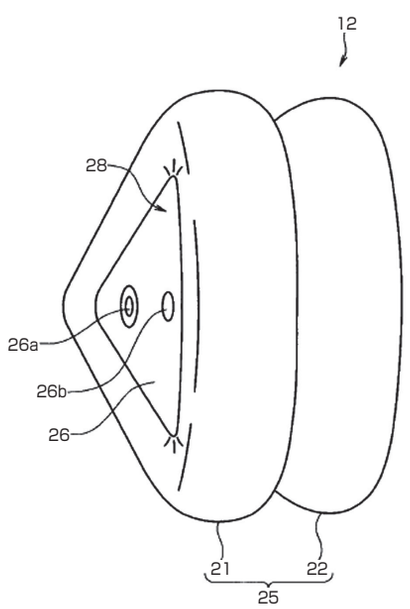
本発明のエアバッグ装置は、車両の衝突による衝撃から乗員を保護するものであり、フロントシート部に設置され、両側面にインフレータのガスにより膨張するリング状の枠体である第1エアバッグ21、22及び第1エアバッグの枠体内部に連結された、側面に逆止弁26a、27aと吸排気弁26b、27bを配設した第2エアバッグ26、27を含む袋体で構成している。

衝突時、エアバッグ装置は、始め、両側面のリング状の枠体である第1エアバッグが膨張展開すると、内部の第2エアバッグが広がりはじめ、内圧低下により逆止弁と吸排気孔から外部の大気が袋体に吸入され完全に展開する。そのため、第2エアバッグの展開にはインフレータによるガス墳入が必要ない。

衝突の衝撃により、乗員が傾倒してエアバッグに接触した時、乗員の衝突の大きさに応じて第2エアバッグの内圧を制御するように吸排気孔から袋体内部の空気を排出するため、適切な圧力で乗員を保護する。これにより、エアバッグ装置の低コスト化と適切な乗員保護の両立を可能としている。



エアバッグに対する乗員の接触の様子の説明図



膨張したエアバッグの斜視図

車両用整流装置

【出願】特許第5608489号
【発明者】長谷川　巧、北山　真司

【発明の背景】

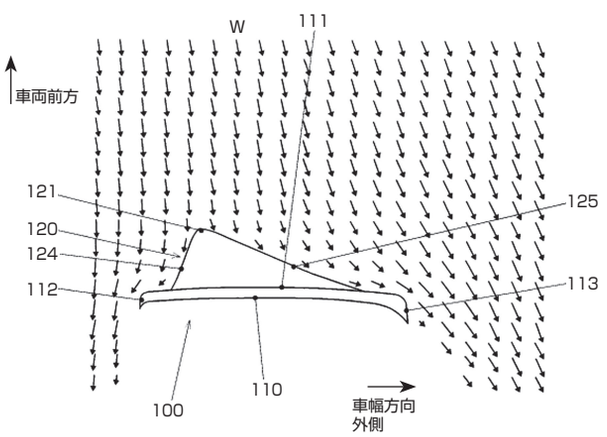
車両の燃費消費率や最高速度、加速度性能等の走行性能向上のため、走行風の気流が車輪やその周辺部品に当たり抗力が生じないように、ホイールハウス前方に気流の方向を変えるフラップ部を持つ車両用整流装置が設けられている。中でも、気流の方向を効率的に変えることができるため、前面部が気流の流れに対して垂直な平面状にしたフラップを形成したものが使われているが、フラップ前面に対して気流が垂直に当たるため、フラップ自体の抗力が上がり、走行性能を向上させにくい。そのため、整流装置であるタイヤデフレクタを車両前方側が凸となる馬蹄形状の平面形にして気流を整流装置の外側へ流す構造が考案されているが、流した気流の流れ方向がその周辺気流の方向とほぼ平行のため、後方の車輪や部品への気流の当たりを防ぎにくく、結果、抗力が上がってしまうため、改善が必要である。

【発明の概要】

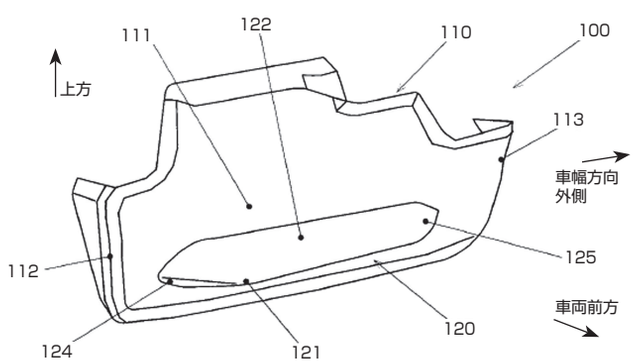
本発明の車両用整流装置は、ホイールハウスの前方において車体から下方へ突出させて配置するもので、フラップ部とフラップ部の前面部が周囲を取り囲んで配置された、突端部側が窄まって形成された突起部を持った構成である。

この突起部により、フラップ正面に当たる気流をフラップ自体の抗力を上昇させることなく前面部から外側へ流し、後方に設置されている車輪や部品を避けるように気流の流れを変化させることができる。また、流した気流の流速を高めることができるため、整流装置の周囲の走行風の主流の流れの干渉を防止し、後方の部品を避ける気流を良好に形成できる。

これにより、車両全体の抗力を低下させることができ、走行性能を向上させることができる。



車幅方向から見た状態の車両用整流装置における気流の速さ及び方向を示す図



車両用整流装置の外観斜視図

社外発表一覧表（2014.1 ～ 2014.12）

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
2014.02	自動車技術会シンポジウム 新開発エンジン 「BRZ用2L水平対向自然吸気エンジンの開発」	京徳　信夫	エンジン設計部
2014.02	平成25年度 中部歯車懇話会シンポジウム 「自動車用ハイポイドギヤの高効率化」	深町　俊介	CAE部
2014.02	富士通 LS-DYNAセミナー 2014 「スバルの衝突安全性能開発におけるLS-DYNAの活用事例」	深町　和弘	CAE部
2014.03	第26回 航空安全シンポジウム 「航空機への雷撃」	西　孝裕樹	航空宇宙カンパニー システム設計部
2014.03	平成26年電気学会全国大会 「CFRPを用いた航空機模擬燃料タンクの帯電電荷の緩和」	○後藤 隼紀[*1] 熊田 亜紀子[*1] 日髙　邦彦[*1] 津端　裕之[*2] 藤澤　浩[*2] 西　孝裕樹[*2]	＊1東京大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2014.03	平成26年電気学会全国大会 「ファスナ付CFRP供試体への雷撃試験におけるスパーク発光の分光測定」	○松下 敬一郎[*1] 淵崎　貴之[*1] 佐竹　昭泰[*1] 大塚　信也[*1] 西　孝裕樹[*2] 藤田　博康[*2] 藤澤　浩[*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
2014.03	平成26年電気学会全国大会 「ファスナ付きCFRP供試体の間接雷および直撃雷試験におけるスパークエネルギーの非接触評価」	○淵崎 貴之[*1] 松下 敬一郎[*1] 大塚　信也[*1] 西　孝裕樹[*2] 津端　裕之[*2]	＊1 九州工業大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2014.03	中央大学第9回感性ロボティクスワークショップ 「“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	スバル技術研究所
2014.03	自動車開発を支える最新の流体技術（自技会シンポジウム） 「EV/HEVも含めた車内騒音予測技術と低減技術の開発 ～車内空力音伝達メカニズムの検討～」	榎本　秀喜 山崎　徹	CAE部 神奈川大学
2014.03	自動車技術会 関東支部 2013年度 学術研究講演会 “Development of New LiteCAE on BPMS”	湯村　洋典	CAE部
2014.04	自動車技術会中部支部 第1回技術講習会 『Fun to Driveを実感できるハイブリッド車を目指して』	大堀　勇二	HEV設計部
2014.05	自動車技術会 2014春季大会 学術講演 「グローバルデザイン開発の手法研究」 ☆優秀講演発表賞 受賞	河内　敦 坂口　慶明	デザイン部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2014.05	自動車技術会 春季学術講演会 「HEV用パワーユニット開発におけるCAE技術の活用事例」	斎木　康平*1 斎藤　　誠*1 花本　　茂*1 辻村　彬人*2 金子　　隆*1 愛田　美実*3	＊1 CAE部 ＊2環境対応PGM ＊3富士テクノサービス（株）
2014.05	AABC Asia 2014（Advanced Automotive Battery Conference） “Energy Storage Requirements and Solutions for Subaru's Hybrid Vehicles”	稲越　賢司 猿川　知生	HEV設計部 HEV研究実験部
2014.05	映像情報メディア学会メディア工学研究会 「運転者状態の検知・共有による交通事故低減技術開発」	内海　　章*1 多田　昌祐*1 山本　直樹*1 紀ノ定 保礼*1 松尾　典義*2 鳥居　武史*3 志堂寺 和則*4 今村　興平*4	＊1 国際電気通信基礎技術研究所 ＊2 車両研究実験第2部 ＊3 スバル技術研究所 ＊4 九州大学
2014.05	（公社）自動車技術会 2014年春季大会フォーラム 車体の最新技術 「新型レヴォーグの車体技術」	小野江 孝裕 白　　昌鎬	生産技術管理部 車体設計部
2014.07	日本科学技術連盟 第44回 信頼性・保全性シンポジウム 「“ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密」	樋渡　　穣	スバル技術研究所
2014.07	防衛省技術幹部教育 「“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	スバル技術研究所
2014.07	第26回経営に貢献するCAEセミナー 「産業機器用エンジン開発におけるCAEの活用」	杉浦　規郎	産業機器カンパニー 技術部
2014.07	（一社）日本能率協会 2014工作機械関連技術者会議 「 スバル シンメトリカルパワートレイン の 加工事例と課題対応」	日下　高至	生産技術研究部
2014.08	群馬工業高等専門学校 2014群嶺テクノ懇話会総会講演会 「スバルの生産技術開発事例紹介（パワートレイン加工編）」	日下　高至	生産技術研究部
2014.08	NI WEEK2014 Automotive Summit（U.S.） “Advancing Subaru Hybrid Vehicle Testing Through Hardwarein-the-Loop Simulation” ☆Engineering Grand Challenges Award	森田　知洋	HEV設計部
2014.09	平成26年度 第67回 電気・情報関係学会九州支部連合大会 「航空機雷撃試験を考慮した大気およびAr混合ガス中スパーク現象の発光特性の基礎検討」	○淵崎 貴之*1 松下 敬一郎*1 大塚　信也*1 藤澤　　浩*2 藤田　博康*2 西　孝裕樹*2	＊1 九州工業大学 ＊2 航空宇宙カンパニーシステム設計部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2014.09	SAE AE-2 Lightning Committee（U.S.A.） “Estimation method of Spark generation and its energy by detecting the spark light emission intensity waveform with an optical technique”	○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
2014.09	溶接学会2014年秋季全国大会 「自動車部材溶接部の耐食性と疲労強度向上技術の開発 －第1報－ －疲労強度向上技術の研究－」	○片岡 時彦*1 池田　倫正*1 中澤　嗣夫*2 上田　聡*2	＊1 JFEスチール（株） ＊2材料研究部
2014.09	企業研究会 第19期 開発塾 「“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	スバル技術研究所
2014.10	静岡理工科大学公開講座 「“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	スバル技術研究所
2014.10	第23回 GKN パワートレインフォーラム 「新型WRX用CVTの変速制御」	西田　祐之	P/U研究実験第3部
2014.10	日本トライボロジー学会 第三種研究会 第16回 変速機のトライボロジー研究会 「ハイブリッド・リニアトロニックの開発」	木嶋　俊介	トランスミッション設計部
2014.10	LS-DYNA & JSTAMPフォーラム 2014 「複合材料を用いたエネルギー吸収部材の研究」	池田　聡	スバル技術研究所
2014.10	ICTイノベーションフォーラム2014 「認知状態共有による 交通事故低減技術の研究開発」	内海　章*1 多田　昌祐*1 山本　直樹*1 松尾　典義*2 鳥居　武史*3 志堂寺 和則*4	＊1 国際電気通信 基礎技術研究所 ＊2 車両研究実験第2部 ＊3 スバル技術研究所 ＊4 九州大学
2014.10	（公社）自動車技術会秋季学術講演会 「運転者状態の車外呈示による歩行者の危険行動の抑止可能性」	紀ノ定 保礼*1 内海　章*1 松尾　典義*2 鳥居　武史*3 志堂寺 和則*4	＊1 国際電気通信 基礎技術研究所 ＊2 車両研究実験第2部 ＊3 スバル技術研究所 ＊4 九州大学
2014.10	Euro Car Body 2014（Germany） “The 2015 WRX STI”	植島　和樹 白　昌鎬 小野江 孝裕 河合　功介	技術開発部 車体設計部 第一生産技術部 材料研究部
2014.10	陸用内燃機関協会主催 第14回技術フォーラム2014 「産業機器用エンジン開発におけるCAEの活用」	杉浦　規郎	産業機器カンパニー 技術部
2014.10	（公社）日本プラントメンテナンス協会 優秀改善事例全国大会2014 「新ダミーフライホイール導入への取組み」 ☆東京地区 優秀改善賞	佐久間 真一	工機部
2014.10	MSC Nastran Technology Solution Day 2014 「BPMを利用した次世代ライトCAEの紹介 ～事例：XV HYBRID開発における音響解析 （MSC NASTRAN）～」	湯村　洋典	CAE部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2014.10	第38回 レーザ協会セミナー 「航空機業界におけるレーザ応用技術」	足立　隆史	航空宇宙カンパニー 研究部
2014.10	第58回 日本学術会議材料工学連合講演会 「LPSO型マグネシウム合金の航空機への適用研究」	○生出 理子[*1] 足立　隆史[*1] 磯江　暁[*2]	＊1 航空宇宙カンパニー 研究部 ＊2（一財）素形材センター
2014.10	第52回飛行機シンポジウム 「超音速旅客機の機体／推進系統合設計のための空力特性評価技術について」	佐藤　一成	航空宇宙カンパニー 研究部
2014.10	第52回飛行機シンポジウム 「CFRP用高能率穿孔ドリル（Rドリル）の開発」	渡邉　政雄	航空宇宙カンパニー 製造部
2014.10	第52回飛行機シンポジウム 「自動トルク掛けツールの開発」	斎藤　学	航空宇宙カンパニー 製造部
2014.10	第52回飛行機シンポジウム 「発火性混合ガス試験法におけるファスナ付CFRP供試体スパーク現象の光学計測」	○松下 敬一郎[*1] 淵崎　貴之[*1] 大塚　信也[*1] 藤澤　浩[*2] 藤田　博康[*2] 津端　裕之[*2] 西　孝裕樹[*2]	＊1 九州工業大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2014.10	第52回飛行機シンポジウム 「雷撃試験におけるファスナ付CFRP供試体のスパーク現象の分光測定による基礎検討」	○淵崎 貴之[*1] 松下 敬一郎[*1] 佐竹　昭泰[*1] 大塚　信也[*1] 藤澤　浩[*2] 藤田　博康[*2] 津端　裕之[*2] 西　孝裕樹[*2]	＊1 九州工業大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2014.10	第52回飛行機シンポジウム 「複合材構造の繊維層による雷電流分布の影響」	○西 孝裕樹 津端　裕之 藤田　博康	航空宇宙カンパニー システム設計部
2014.11	AVL ASTユーザーカンファレンス2014 「ボクサーエンジン主運動部品へのEXCITEの開発適用」	白木 啓一郎	CAE部
2014.11	ヤマハ発動機 技術展 「1.6L 水平対向直噴ターボエンジンの開発」	松尾　崇邦	エンジン設計部
2014.11	日本航空宇宙学会 関西支部 研究分科会 「無人航空機システム（UAS）の概要とその技術開発」	山根　章弘	航空宇宙カンパニー 研究部
2014.11	Digimat Technology & Solution Day 2014　名古屋 「複合材料を用いたエネルギー吸収部材の研究」	池田　聡	スバル技術研究所
2014.11	Digimat Technology & Solution Day 2014 東京 「複合材料を用いたエネルギー吸収部材の研究」	池田　聡	スバル技術研究所
2014.11	NTTデータ（株）ソフトウェアテストフォーラム2014 「“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	スバル技術研究所
2014.11	航空協力会 秋の例会 「“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	スバル技術研究所

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2014.11	立命館大学 企業の技術ビジョンを知る　2014 「“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	スバル技術研究所
2014.11	NTTドコモ（株）　DOCOMO R&D OpenHouse 「“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	スバル技術研究所
2014.12	日本機械学会関東支部 2014年度 関東学生会 学生交流ツアー 「“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	スバル技術研究所
2014.12	JSAE SYMPOSIUM 「車体構造形成における軽量化最前線」	河合　功介	材料研究部
2014.12	2014年度 放電学会 年次大会 「CFRP 製模擬燃料タンクにおける帯電液体の電荷挙動」	○福山 佳佑[*1] 日高　邦彦[*1] 熊田 亜紀子[*1] 津端　裕之[*2] 藤澤　　浩[*2] 西　孝裕樹[*2]	＊1 東京大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部

2. 寄　稿

発表時期	寄　稿　先 「発表タイトル」	著　　者	所　　属
2014.01	静電気学会誌 Vol. 38, No. 1 「CFRP製模擬燃料タンクにおける帯電液体の電荷挙動」	熊田 亜紀子[*1] 後藤　隼紀[*1] 中俣　浩樹[*1] 日高　邦彦[*1] 津端　裕之[*2] 川島　　愛[*2] 西　孝裕樹[*2]	＊1 東京大学 ＊2 航空宇宙カンパニー システム設計部
2014.05	Analytical Chemistry “CO_2 and O_2 Evolution at High Voltage Cathode Materials of Li-Ion Batteries: A Differential Electrochemical Mass Spectrometry Study”	Hongsen Wang[*1] Eric Rus[*1] 桜庭　孝仁[*2] 菊池　　淳[*2] 木谷　泰行[*2] Héctor D.Abruña[*1]	＊1 Cornell University ＊2 スバル技術研究所
2014.06	レーザー研究 第42巻 第6号 「航空機部品へのレーザーピーニング適用検討」	足立　隆史	航空宇宙カンパニー 研究部
2014.10	第52回飛行機シンポジウム 「CFRP用高能率穿孔ドリル（Rドリル）の開発」	渡邉　政雄 中畑　達雄 斎藤　　学 土屋　順司 西野　利男 高橋　秀治	航空宇宙カンパニー 製造部／生産技術部
2014.10	第52回飛行機シンポジウム 「自動トルク掛けツールの開発」	斎藤　　学 高橋　秀治 中畑　達雄 渡邉　政雄 西野　利男	航空宇宙カンパニー 製造部

発表時期	寄　稿　先 「発表タイトル」	著　　者	所　　属
2014.11	自動車技術 Vol.68 「高能率CFRP穿孔技術の開発」	斎藤　　学	航空宇宙カンパニー 製造部
2014.11	航空技術2014 11月 「航空機における耐雷対策の歩み」	西　孝裕樹	航空宇宙カンパニー システム設計部

（公社）：公益社団法人、（一社）：一般社団法人　（公財）：公益財団法人、（一財）：一般財団法人

編 集 後 記

当社は昨年度、新中期経営ビジョン「際立とう2020」を発表しました。2020年のありたい姿として「大きくはないが強い特徴を持ち質の高い企業」を掲げ、お客様へ「安心と愉しさ」を提供し続けることを目指しています。昨年リリースした新型レガシィ アウトバック／B4は、まさにこの「安心と愉しさ」を具現化した商品です。本誌でも小特集として新型レガシィに投入した技術やデザイン・質感へのこだわりを紹介していますので是非ご一読ください。

また、同じく自動車部門からは「安全」・「環境」・「安心と愉しさを実現するための解析技術、生産技術、要素開発技術」、航空宇宙部門からは「材料・設計・製造技術」、産業機器部門からは「除雪機用新型エンジン」の技術を紹介しています。総合輸送機器メーカとしての技術の広さ・深さをご理解いただければと思います。もちろん、多くの読者が楽しみにしているであろう坂崎氏の記事もあります。これらの記事を通じて、富士重工業の商品・技術に対する強いこだわりと想いを感じ取って頂ければ幸いです。

最後に、本号の発刊にあたり、執筆にご協力いただきました皆様、編集にご尽力いただきました関係者の皆様に深く御礼を申し上げるとともに、本誌が若手の技術者魂を燃え上がらせる起爆剤となることを願って結びとさせていただきます。

（小林祐）

スバル技報編集委員会構成表

委員長：永沢　浩　技術開発部
委　員：毛塚　紹一郎　スバル商品企画本部
大関　透　デザイン部
永沢　浩　技術開発部（委員長兼務）
坂崎　明彦　技術管理部
綾部　俊宏　車体設計部
山村　英人　外装設計部
蟻川　裕樹　CAE部
宇津木 芳明　シャシー設計部
橋本　淳　内装設計部
山崎　易治　電子商品設計部
小林　祐司　電子プラットフォーム設計部
桜井　信也　材料研究部
秋山　徹　車両研究実験第1部
調所　弘和　車両研究実験第2部
冨士　啓　車両研究実験第3部
渡部　直樹　車両研究実験第4部
大矢　勇人　試作部
島野　正興　SC生産技術部
國枝　専　エンジン設計部
委　員：高橋　裕　トランスミッション設計部
金子　誠　技術本部 PGM
小林　春樹　設計品質管理部（東京）
木谷　泰行　パワーユニット研究実験第2部
山本　光夫　パワーユニット研究実験第3部
飯島　真　電子技術部（東京）
大抜 由起夫　HEV設計部
村田　巖　航空宇宙カンパニー 研究部
矢澤　哲男　産業機器カンパニー 技術部
事務局：福島　儀隆　技術管理部（群馬）
黒田　宏彦　技術管理部（東京）
矢内　幸夫　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）
中山　和夫　富士テクノサービス株式会社
永澤　精一　富士テクノサービス株式会社
石松 喜代司　富士テクノサービス株式会社
富岡　淑美　富士テクノサービス株式会社

スバル技報第42号（非売品）

発　　行　平成27年6月
発行兼編集人　スバル技報編集委員会
発 行 所　富士重工業株式会社技術管理部
群馬県太田市スバル町1-1
電話　0276-26-2411
印　　刷　富士テクノサービス株式会社
群馬県太田市金山町27-1
電話　0276-26-2626

©2015 Fuji Heavy Industries Ltd.
禁無断転載

SUBARU