2020 No.47

SUBARU技報

SUBARU TECHNICAL REVIEW

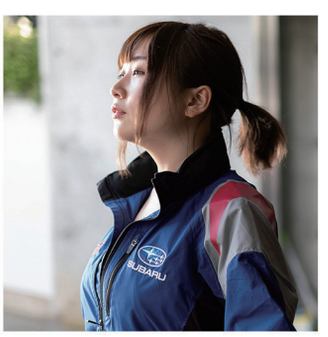
New 1.8-Liter Boxer Turbo Engine **All-New LEVORG**
EyeSight
BOLDER

SUBARU

LEVORG

表紙デザイン

「技術者の手」が主役のデザインです。
タイヤを取り付ける手、バンパーを描く手「多くの人々と技術が
関わって製品が造られていく。」というメッセージを込めました。
手に取り囲まれている新型LEVORGはSUBARUの技術の結集です。
技術者の拘りを本誌にてご確認ください。



デザイン部　諸星 花織

SUBARU TECHNICAL REVIEW

2020 No.47

巻頭言

クルマと技術とSUBARUらしさを

執行役員　奥　野　竜　也

今年もSUBARU技報を発刊できる事となりました。この巻頭言を書いている4月下旬は新型ウイルスの感染蔓延で大変な状況が続いていますが、今現在も尚、お客様、お取引先様など、多くの方々が厳しい状況に向き合っているのではないでしょうか。皆様の生活が早く元に戻ることを切に願っています。

そのような厳しい中ですが、昨年、SUBARUは四年連続で世界販売100万台超を達成しました。
特に米国は、2008年のリーマンショックを境に少しずつ伸長し、それまで年約20万台で推移してきた販売台数が、昨年初めて70万台に到達しました。これほどまでに成長できたのは、SUBARUを好意的に見て頂けるお客様が多くいらっしゃることに他なりません。
SUBARUっぽい、SUBARUでなければ、SUBARUらしい‥など、お客様の言葉には叱咤激励と愛情を感じます。我々にとって大変ありがたいことです。

「SUBARUらしさ」の本質は技術です。クルマは微分積分に代表される近似で成立している古典力学の分野から、アイサイトの核であるCMOSセンサー内の光電効果のように量子力学が絡むものまで、様々な学問の集合体です。それがクルマの開発を難しくも楽しいものにしています。
SUBARUでは開発に携わる者すべてが、「SUBARUの売りは何か？」を考えながら仕事をします。
そして常にお客様視点で技術を磨き、存在価値を見出して来ました。
これらの開発風土が「SUBARUらしさ」を生み出す源泉であると私は確信しています。

今、クルマ開発の周辺は騒がしく、商品としてのクルマは新たなステージに差し掛かっています。
これから先、SUBARUは何を成すべきか、EVや自動運転、コネクトなど開発の中心がハードからソフトへとシフトする中、どこでSUBARUらしさを見出すか、一層のお客様に寄り添った思考が必要です。
いつの時代も技術革新は市場を一変させるトリガーとなりうる可能性を秘めています。
音楽鑑賞やオーディオ関連の楽しさは、技術革新で主役が変わり、市場が激変してしまいました。
「産業の米」と言われた半導体も激しい競争を繰り返し、液晶分野も皆様の知るところです。

一方、クルマはどうでしょう。「移動できる自分だけの空間」という価値は不変かもしれません。
多くの方がこどもの頃、裏山などで秘密基地を作った経験があると思います。自分だけの内緒の基地。
そこで遊んだ時のあの特別な感覚、クルマも似た感覚ではないでしょうか。
ドアを開け、乗り込んで感じる特別な空間、包まれ感、静寂･･･あの時の秘密基地を手に入れた実感。
それを操ってどこへでも行ける、大人の自由、愉しさ。
それこそがクルマ本来の価値であり、喜びではないでしょうか。
クルマは家の次に高い買い物です。高価であるが故にお客様の期待を裏切ることは出来ません。
強い覚悟を持って環境、安全に向き合いながらクルマ本来の愉しさを追求し、SUBARUらしい文武両道を実現させて行きたいと思います。

最後に、ここまでSUBARUを育ててくれたお客様、ご協力頂いたお取引先様には大変感謝申し上げます。
また、いつも応援して下さるOB諸先輩方など、ご指導頂いている全ての方々に御礼申し上げます。
厳しい社会環境が続いておりますが、多くの皆様の生活が早く元に戻ることを願ってやみません。
そして、一刻も早く皆様に新型レヴォーグをお届けできるよう最後まで努力して参ります。

目　次

✦巻頭言

「クルマと技術とSUBARUらしさを」――――奥野　竜也

✦小特集「新型レヴォーグ」

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

2. 新型レヴォーグカーゴルーム開発 ――――大家　敏宏・横山 啓一郎・森田　正通 …… 36

3. 新型レヴォーグ　スポーティーシートの開発 ―井戸　教雄・中村　俊平・浅野　恵一・
間々田 俊紀・吉高　滋・松尾　典義 …… 41

4. 新型レヴォーグ　コンセプトデザインを実現するボディ開発の取り組み
赤石　真一・松本　幸裕・北　誠・
工藤　健児・巽　俊文・海老澤 朋也・
齊藤　裕司・坪井　渉…… 47

5. 新型LEVORGのデザイン ――――安藤　貴洋・斎藤　實・中村　真一…… 53

✦論文・解説

6. SUBARU BOLDERデザイン ――――石井　守 …… 58

7. PHEVモータリダクションプラネタリギヤノイズ低減
小橋　建斗・佐々木 高晴・迫田 雄一郎 …… 62

8. 電動車駆動用モータ制御によるモータシステム効率向上の取り組み
中平 真一郎・下條　和真・佐藤　真人
今村　友厚・池邊　佑太 …… 69

9. Pd粒子の環境制御型電子顕微鏡による劣化挙動解析
福富　駿祐・稲葉　菜海・永井　亮・
丹　功・吉田　秀人・竹田　精治 …… 74

10. 希薄燃焼ガソリンエンジンにおける排出ガス低減開発
中野　勉・北　大樹・徳永　真人・
品川 手児奈・山田　翔・丹　功・
佐々木 康吉・福富　駿祐・田辺　大樹 …… 81

11. コネクテッドサービス開発におけるMBSE/MBD適用事例紹介
古賀 祐一郎・宮川　治誉・青木　勇人・
饗庭　大人・安宅　雄 …… 87

12. 新型水平対向1.8 L直噴ターボエンジンの開発
辻村　彬人・長島　仁宏・加藤　淳平・
柿沼　王基・前川　浩輝・脇本　一成・
中野　　勉・加藤　直樹 …… 93

13. ハブ廻り六分力センシングと機械学習によるリアルタイムタイヤμ推定技術
吉澤　　慧・岡田　朋之・大野　　翼・
下山　　浩 …… 104

14. 新世代アイサイト・先進運転支援システムの開発
加藤　哲也・阿部　聡之・久家　祥平・
財前　元希・小池　大輝 …… 108

15. 新世代アイサイト ステレオカメラの開発 ――木戸 辰之輔・片平　　聡・齋藤　達司・
井邉　敏之・石井　雅也・髙橋　一輝・
野津 健太朗・長谷川　聡 …… 113

16. 新世代アイサイト衝突回避機能の開発 ――――加藤　真士・松原　正悟・菅野　愛都・
香園　和也・荻野　　修・熊谷　　光・
園木　太郎 …… 117

17. 新世代アイサイト向け 高度運転支援機能の開発
金井　聡吾・青山　裕紀・五十嵐 慶之・
倉上　優輝・田口　徳昭・竹原　裕生・
茂木　啓輔・谷田貝 拓朗・由川　　輝・
吉村　礁太 …… 122

18. 新世代アイサイト HMIの開発 ――――――――野本　和男・佐藤　秀樹・酒井 健一郎 …… 132

19. 保舵判定センサ付きステアリング・ホイールの開発
久保　良介・長瀬　貴之 …… 142

20. 前側方レーダ(前側方プリクラッシュブレーキ)の開発
中川　　亮・萩原　広之・中島　　敬・
香園　和也・清水　一亨 …… 145

21. HMIコックピット統合システム：フル液晶メータ開発について
清水　孝則・佐川　一洋・柿丸　良佑・
佐藤　秀樹 …… 149

22. 実車計測用トルクセンサの精度向上及び車両燃費評価への活用
新谷　綾・山本　健文・二神　貴弘・
三昌　洋一・櫻井　勇毅 …… 153

23. 燃費開発における燃費性能の悪化原因分析 ――荒井　秀之・菅沼　邦彦・若本　進児・
山口　暁・中山　智裕・保坂　浩 …… 160

24. 動的質感を向上させるサスペンションの開発プロセス
林　憲孝・矢吹　直人・仲武　聖仁・
峯　隆馬・小林　吾一 …… 165

25. リングマッシュ接合への取り組み ――――西牟田 昌吾・鈴木　基文・遠藤 加寿雄 …… 170

26. AI外観検査技術の開発 ――――沖野 振一郎 …… 174

27. 色相不良車流出防止システムの開発 ――鶴井　裕輔・内田　克也 …… 178

28. 無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の研究開発の紹介
笹本　貴宏・芝尾　裕規・佐藤　維大・
平木 健太郎・山根　章弘 …… 185

29. ハイブリッドコキュアによる高生産レート航空機構造の一体成形技術開発
田尻　啓祐・矢野　克彦・内山　重和・
香村　和明・脇田　真吾・高橋　光寛・
青木　一行 …… 192

30. 新規企画車両の最小車両質量に関する考察 ――坂崎　明彦 …… 198

31. RRサンバーの基本諸元の再評価 ――――坂崎　明彦 …… 203

32. EJ20型ターボエンジン 30年の歴史 ――――関　竜達・吉田　直樹・岩崎　直彦・
土岐　文二・古田　貴幸・嶋村　誠 …… 209

✦特許紹介

33. 車両の走行制御システム ――――秋山　哲・松野　浩二・江副　志郎・
長瀬　貴之・白石　英一・小山　哉・
溝口　雅人・鷹左右　康・堀口　陽宣 …… 227

34. 要因分析装置および要因分析方法 ――――鳥居　武史 …… 229

35. 車両用画像表示装置 ――――――――――山崎 研太郎・鈴木　男・木下　真・
山住　暢 …… 230

36. 車両の視線誘導装置――――――――――長澤　勇・浅井　恵二 …… 231

37. ハイブリッド車両の駆動装置 ――――――沖　尚悟 …… 232

38. オイルポンプの吐出切替装置 ――――――石井　優作 …… 233

39. 飛行経路作成装置、飛行経路作成方法及び飛行経路作成プログラム
熊本　貴弘 …… 234

40. 歩行者保護装置 ――――――――――深津　佑樹・土崎　彰洋 …… 235

41. 車両の表示システム及び車両の表示システムの制御方法
佐藤 能英瑠・鳥居　武史・澄川　瑠一 …… 236

✦社外発表一覧(2019.1 ～ 2019.12 講演・寄稿) …… 237

CONTENTS

Foreword

Vehicle, Technology, and
What Makes SUBARU different ——OKUNO Tatsuya

Special Issue : New LEVORG

1. Introduction of New SUBARU LEVORG ———SUBARU LEVORG Project Team …… 1

2. Cargo Room Development of New LEVORG —OOYA Toshihiro, YOKOYAMA Keiichiro, MORITA Masamichi …… 36

3. Development of New LEVORG Sporty Seat——IDO Norio, NAKAMURA Shunpei, ASANO Keiichi, MAMADA Toshinori, YOSHITAKA Shigeru, MATSUO Noriyoshi …… 41

4. Development of Body Structure to Realize Design Concept for New LEVORG
AKAISHI Shinichi, MATSUMOTO Yukihiro, KITA Makoto, KUDO Kenji , TATSUMI Toshifumi, EBISAWA Tomoya, SAITO Yuji, TSUBOI Wataru …… 47

5. Design for All-New LEVORG ————————ANDOH Takahiro, SAITOU Minoru, NAKAMURA Shinichi …… 53

Technical Paper & Explanation

6. SUBARU BOLDER DESIGN ————————ISHII Mamoru …… 58

7. Improvement of Motor Reduction Planetary Gear Noise in Plug-In Hybrid Electrical Vehicle
KOBASHI Kento, SASAKI Takaharu, SAKODA Yuichiro …… 62

8. Efforts to Improve Motor System Efficiency by Controlling Motors for Driving Electric Vehicles
NAKAHIRA Shinichiro, SHIMOJO Kazuma, SATO Masato, IMAMURA Tomoatsu, IKEBE Yuta …… 69

9. Deterioration Behavior Analysis of Pd by Environmental Transmission Electron Microscopy
FUKUTOMI Shunsuke, INABA Nami, NAGAI Ryo, TAN Isao, YOSHIDA Hideto, TAKEDA Seiji ····· 74

10. Development of Emission Reduction System for Lean Burn Gasoline Engine
NAKANO Tsutomu, KITA Daiki, TOKUNAGA Masato, SHINAGAWA Tekona, YAMADA Sho, TAN Isao, SASAKI Yasuyoshi, FUKUTOMI Shunsuke, TANABE Hiroki ····· 81

11. Development of Connected Service using MBSE/MBD
KOGA Yuichiro, MIYAKAWA Haruyo, AOKI Yuto, AIBA Hiroto, ATAKA Yu ····· 87

12. Newly Developed Horizontally Opposed 1.8 L Turbo Gasoline Engine
TSUJIMURA Yoshito, NAGASHIMA Kimihiro, KATO Junpei, KAKINUMA Takanori, MAEKAWA Hiroki, WAKIMOTO Kazunari, NAKANO Tsutomu KATO Naoki ····· 93

13. Sensing Six-Force Components on Hub and μ Estimation between Tire and Road using Machine Learning in Real Time
YOSHIZAWA Satoshi, OKADA Tomoyuki, ONO Tsubasa, SHIMOYAMA Hiroshi ····· 104

14. Development of Advanced Driver Assistance System with Newborn EyeSight
KATOU Tetsuya, ABE Akiyuki, KUGE Shouhei, ZAIZEN Motoki, KOIKE Daiki ····· 108

15. Development of New Generation EyeSight Stereo Camera
KIDO Shinnosuke, KATAHIRA Satoshi, SAITO Satoshi, INBE Toshiyuki, ISHII Masaya, TAKAHASHI Kazuki, NOZU Kentaro, HASEGAWA Satoshi ····· 113

16. Development of Pre-Collision Braking System for "New EyeSight"
KATOU Shinji, MATSUBARA Shogo,
KANNO Aito, KOZONO Kazuya,
OGINO Shuu, KUMAGAI Hikaru,
SONOKI Tarou ····· 117

17. Development of Highly Advanced Driver Assist Functions for New Generation EyeSight
KANAI Sogo, AOYAMA Yuki,
IGARASHI Yoshiyuki, KURAKAMI Yuki,
TAGUCHI Noriaki, TAKEHARA Yuki,
MOTEGI Keisuke, YATAGAI Takuro,
YOSHIKAWA Hikaru, YOSHIMURA Shota ····· 122

18. Development of Human Machine Interface for New Generation EyeSight
NOMOTO Kazuo, SATO Hideki,
SAKAI Kenichiro ····· 132

19. Development of Steering Wheel with Touch Sensor that Detects Hands On/Off
KUBO Ryosuke, NAGASE Takayuki ····· 142

20. Development of Front Corner Radar (Front Cross Traffic Brake)
NAKAGAWA Ryo, HAGIWARA Hiroyuki,
NAKAJIMA Satoshi, KOZONO Kazuya,
SHIMIZU Kazuaki ····· 145

21. Cockpit HMI System: Development of Full Liquid Crystal Graphic Meter
SHIMIZU Takanori, SAGAWA Kazuhiro,
KAKIMARU Ryousuke, SATO Hideki ····· 149

22. Improvement of Accuracy of Torque Sensor for Actual Vehicle Measurement
and Utilization for Fuel Efficiency Evaluation
SHINTANI Aya, YAMAMOTO Takefumi,
FUTAGAMI Takahiro, SANSHO Yoichi,
SAKURAI Yuuki ····· 153

23. Analysis of Causes of Fuel Consumption Deterioration
in Fuel Efficiency Development
ARAI Hideyuki, SUGANUMA Kunihiko,
WAKAMOTO Shinji, YAMAGUCHI Satoru,
NAKAYAMA Tomohiro, HOSAKA Hiroshi ····· 160

24. Suspension Development Process to Improve the Dynamic Quality
HAYASHI Noritaka, YABUKI Naoto,
NAKATAKE Masato, MINE Ryuma,
KOBAYASHI Goichi ····· 165

25. Approach to Ring Mash Joining ——————NISHIMUTA Shougo, SUZUKI Motofumi,
ENDOU Kazuo ····· 170

26. Development of The AI Visual Inspection Technology
OKINO Shinichirou ····· 174

27. Full-Automation Checking System for Color Harmony
TSURUI Yusuke, UCHIDA Katsuya ····· 178

28. Introduction of R&D of Autonomous Dynamic Rerouting Technology for UAVs
SASAMOTO Takahiro, SHIBAO Yasunori,
SATO Tsunahiro, HIRAKI Kentarou,
YAMANE Akihiro ····· 185

29. Development of Integrated Molding Technology
for Aircraft Structure using Hybrid Co-cure
TAJIRI Keisuke, YANO Katsuhiko,
UCHIYAMA Shigekazu, KOMURA Kazuaki,
WAKITA Shingo, TAKAHASHI Mitsuhiro,
AOKI Kazuyuki ····· 192

30. Consideration on Minimum Vehicle Mass of Newly Planned Vehicles
SAKAZAKI Akihiko ····· 198

31. Re-evaluation of Basic Specifications of RR Sambar
SAKAZAKI Akihiko ····· 203

32. EJ20 Turbocharged Engine 30 Years' History —SEKI Ryutatsu, YOSHIDA Naoki,
IWASAKI Naohiko, TOKI Bunji,
FURUTA Takayuki, SHIMAMURA Makoto ··· 209

✦SUBARU Patent Review

33. Vehicle Driving Control System ——— AKIYAMA Satoru, MATSUNO Koji, EZOE Shiro, NAGASE Takayuki, SHIRAISHI Eiichi, OYAMA Hajime, MIZOGUCHI Masato, TAKASOU Yasushi, HORIGUCHI Harunobu ····· 227

34. Cause Analysis Device And Cause Analysis Method
TORII Takeshi ····· 229

35. Image Display Device ——— YAMASAKI Kentaro, KINOSHITA Makoto, YAMAZUMI Toru, SUZUKI Dan ····· 230

36. Vehicle Sightline Guidance Apparatus ——— NAGASAWA Isamu, ASAI Keiji ····· 231

37. Transaxle of Hybrid Vehicle ——— OKI Shogo ····· 232

38. Discharge Rate Switching Device for Oil Pump
ISHII Yusaku ····· 233

39. Flight Path Creation Device, Flight Path Creation Method, and Flight Path Creation Program
KUMAMOTO Takahiro ····· 234

40. Pedestrian Protection System ——— FUKATSU Yuki, TSUCHIZAKI Akihiro ····· 235

41. Vehicle Display System and Method of Controlling Vehicle Display System
SATO Noeru, TORII Takeshi, SUMIKAWA Ryuichi ····· 236

✦List of Published Reports ····· 237

新型 LEVORG の紹介

Introduction of New SUBARU LEVORG

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

抄　録

新型LEVORGは、初代LEVORGでも発展させてきたSUBARU車の基本的な価値を継承・進化させるべく、SUBARU最新技術のすべてを注ぎ込む日本のお客様向け基幹モデルであり、お客様の期待をはるかに上回る新しい価値を持った『新世代のSUBARU』を感じていただける『超・革新ワゴン』である。お客様のパートナーとして、最先端の安全・運転支援機能、運転すること自体を愉しむことができるスポーティかつ上質な走りのパフォーマンス、洗練されたデザインとベストなワゴンパッケージを兼ね備え、SUBARUが追求してきたクルマの本質価値である「安心と愉しさ」をより高次元で実現した。

Abstract

The new LEVORG is a core model intended for customers in Japan, equipped with the whole latest technologies inherited and evolved from the basic values of SUBARU vehicles. It has become a “super innovative wagon” in which our customers can experience the feeling of “a new generation SUBARU”, a new value far exceeding their expectations. Having the refined design and the best wagon packaging as a partner in your driving, this model delivers its sporty and high-quality driving performance supported by advanced safety technologies including driver-assist systems.

1.　まえがき

2014年、初代LEVORGは『革新スポーツツアラー』として誕生した。多くのお客様に育てていただき、今では国内SUBARUスポーツの中心車種、さらにはフラッグシップとしての役割が期待されるクルマへと成長してきた。新型LEVORGはその系譜を受け継ぎ、「新しい時代に、アクティブに新たな一歩を踏み出そうとされるお客様のパートナー」となるクルマを目指し、SUBARUに脈々と流れる「より遠くまで、より早く、より快適に、より安全に」という『グランドツーリング思想』をしっかりと継承したうえで、今のSUBARUにできる技術を結集し、初代LEVORGが目指した『革新』をさらに高いレベルへと引き上げた『超・革新』を実現した。この『超・革新』で『お客様の心の導火線に火をつける』ことを狙って開発してきた。

2.　開発の狙い

2.1　コンセプト 『超・革新』

ライフスタイルの充実のために、新しいものへのチャレンジを厭わない自己実現意欲が高いお客様をメインターゲットとして、走る悦びと確かな機能性を持ったワゴンとしての存在感を際立たせることをめざして開発した。

2.2　お客様に提供する価値

『超・革新』を実現するポイントは以下3つの提供価値である(**表1**)。この3つの提供価値で『お客様の心の導火線に火が点く』クルマに仕上げている。

表１　３つの提供価値

提供価値	性能・機能
先進安全	『ぶつからない』性能の大幅向上と、何かあった時の『つながる安心』の進化
	先進運転支援システムによるストレスフリーなドライビング
スポーティ	スポーツ走行と乗り心地や静かさなどの快適性を両立させた『走り』の進化
	止まっているときでも今にも走りだしそうな躍動感のあるエクステリアデザイン（図１）
ワゴン	従来同等の荷室広さと容量をアップさせたサブトランクによる積載性の向上
	先進感あるデジタルコックピット（インテリアデザイン）の実現（図２）

2.3　パッケージ

新型LEVORGは、日本市場にベストサイズとして導入された初代LEVORGのパッケージングを継承している（以下（ ）寸法は初代LEVORG比の数値）。

全長は4,755 mm（＋65 mm）とし、後席の居住性の改善と彫りの深いフェイスデザインを実現、全高はSUVとの大きな有意差である立体駐車場にも入庫できる初代サイズをキープした。また、全幅は、他銘の動向も踏まえ、かつIMPREZAとの差別化のための抑揚があって立体感と力強さが際立つ側面造形を実現させるとともに、内外装の緻密な設計によって、運転席～助手席着座間隔は従来比＋20 mmながらも全幅は＋15 mmの1,795 mmに抑えた（図３）。また、幅狭路地での実用性に配慮し、ドアミラーtoドアミラーでは初代LEVORGと同じ2,020 mmをキープして市街地や住宅地でも使いやすいサイズとしている。また、ホイールベースは2,670 mm（＋20 mm）だが、荷室長をキープしつつ広い後席空間（前後着座間隔を＋25 mm）を確保、かつリヤシートクッション長を＋18 mmとして後席居住性を向上した（図４）。

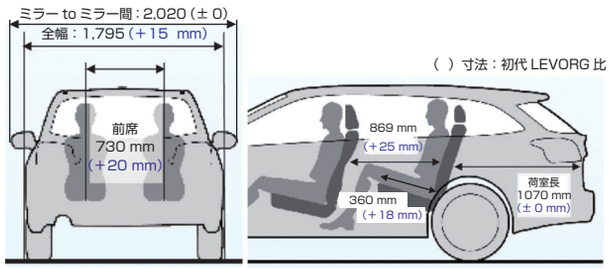


図４　居住スペースと荷室

また、直接視界の良さにもこだわり、Aピラーの根元や振り返り時のCピラーの死角及び後方視界の不可視長の最小化によって見晴らしが良く、車両感がつかみ易いパッケージとして快適なツーリングを愉しめるようにしている。

2.4　グレード構成と仕様装備

新型アイサイト及び歩行者保護エアバックなどの最新安全装備は全車標準装備とし、SUBARUの総合安全である「0次安全」「走行安全」「予防安全」「衝突安全」を強化した。その上で「つながる安全」であるSUBARU国内初となるコネクティッドサービス『SUBARU STARLINK』を追加した。これにより、事故時の緊急通報や故障時にロードアシスタントに簡単につながることができるようになり、SUBARUの総合安全はさらに強化された（図５）。

図１　エクステリア

図２　インテリア

図３　パッケージ

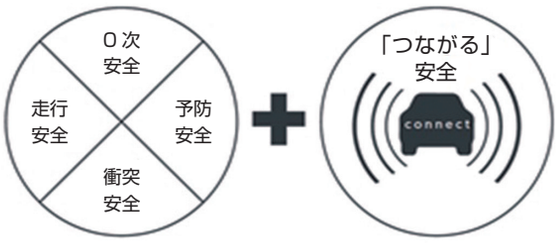


図５　SUBARU の総合安全をさらに進化

また高度運転支援システムを搭載した新グレード『EX（アイサイトエックス）』を新設し、ナビ付き大型11.6インチセンターディスプレイや、3モードの表示切り替えが可能な12.3インチフル液晶メーターなどを標準装備とした。さらに、STI社との共同開発グレード『STI Sport』を発売開始時点からラインナップした。この新型LEVORGのSTI Sportグレードには、SUBARU初となる新開発のドライブモードセレクトを採用し、競合車を超える自在性とパーソナライズ性を実現した。さらに内外装を一格上のたたずまいとし、最新装備を標準装備とすることで、所有する歓びを最大限に刺激するクルマへと仕上げている（図6）。なお装備面でも競合車と十分競争力のある設定とした（表2）。

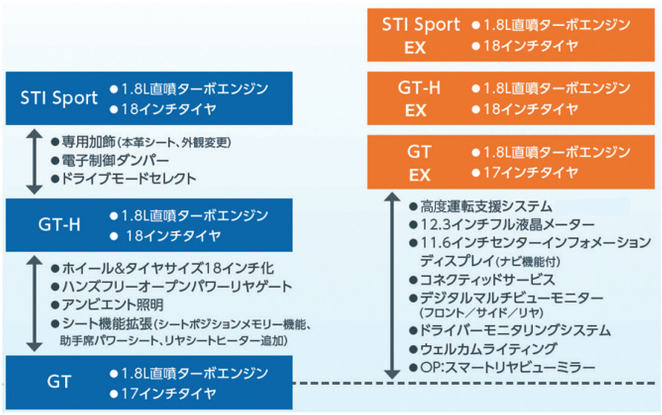


図６　グレード構成

表２　主要装備一覧

主要装備	装備詳細	グレード展開					
		GT	GT EX	GT－H	GT－H EX	STI Sport	STI Sport EX
タイヤサイズ	215/50R17	○					
	225/45R18			○		○	
アルミホイール		17インチ		18インチ		18インチ（STI Sport用）	
SI－DRIVE		○		○			
ドライブモードセレクト						○	
Full－LEDヘッドランプ（アレイ式アダプティブドライビングビーム）		○		○		○	
ハンズフリーオープンパワーリヤゲート（リヤゲートロックスイッチ付）				○		○	
2ピニオン電動パワーステアリング		○		○		○	
ステアリングホイール	本革／ステッチ色	標準革／シルバーステッチ		高触感革／ブルーステッチ		高触感革／レッドステッチ	
インパネミッドトリム		シルバーステッチ		ブルーステッチ		レッドステッチ	
インパネ加飾パネル		ダークシルバー		ダークシルバー		ダークキャストメタリック	
インパネアンビエント照明				○		○	
フルオートエアコン（左右独立温度調整機能、後席ベンチレーション付）		○		○		○	
メーター	12.3インチフル液晶メーター		○		○		○
	4.5インチマルチインフォメーションディスプレイ付ノーマルメーター	○		○		○	
オーディオレス仕様［7インチセンターインフォメーションディスプレイ］		○		○		○	
11.6インチセンターインフォメーションディスプレイ&インフォテインメントシステム		OP※1	○	OP※1	○	OP※1	○
後席USB電源（2ヶ）		○		○		○	
シート		GT用ファブリック（シルバーステッチ）		GT－H用ファブリック（ブルーステッチ） OP 本革（ブルーステッチ）		本革 ボルドー／ブラック（レッドステッチ）	
シートヒーター	運転席＋助手席（3段階温度調整機能付）	○		○		○	
	後席左右			○		○	
ワンタッチフォールディング機能付4：2：4分割可倒式リヤシート		○		○		○	
メッキ加飾付フロントグリル		ダークメタリック塗装		ダークメタリック塗装		ダークグレーシリカ塗装 STIマーク付き	
フロントバンパー（メッキ加飾付き）						○	
マフラーカッター（デュアル）		楕円型		楕円型		大型 STIロゴ入り	
コネクティッドサービス［SUBARU STARLINK］		OP※1	○	OP※1	○	OP※1	○
アイサイト コアテクノロジー		○		○		○	
アイサイトXテクノロジー（高度運転支援システム）			○		○		○
ドライバーモニタリングシステム		OP※1	○	OP※1	○	OP※1	○
スマートリヤビューミラー			OP		OP		OP
デュアルSRSエアバッグ		○		○		○	
SRSサイドエアバッグ＋SRSカーテンエアバッグ		○		○		○	
運転席SRSニーエアバッグ		○		○		○	
助手席SRSシートクッションエアバッグ		○		○		○	
歩行者保護エアバッグ		○		○		○	

※1セットOP

3. 主要諸元

新型LEVORGの主な諸元は以下の通り。

表３　主要諸元表

車名・型式	スバル・4BA－VN5					
車種	GT	GT EX	GT－H	GT－H EX	STI Sport	STI Sport EX
	1.8 L DOHC 直噴ターボDIT					
	AWD（常時全輪駆動）					
	リニアトロニック					
■ 寸法・重量・定員						
全長×全幅[mm]	4755×1795					
全高[mm] ※ルーフ高	1480					
全高[mm] ※ルーフアンテナを含む数値	1500					
室内長×室内幅×室内高[mm]	1900×1515×1205[注1]					
ホイールベース[mm]	2670					
トレッド(前／後)[mm]	1550/1540		1550/1545			
最低地上高[mm]	145[注1]					
車両重量[kg]	1550		1570		1580	
乗車定員[名]	5					
車両総重量[kg]	1825		1845		1855	
■ 性能						
最小回転半径[m]	5.5					
燃料消費率[km/L](国土交通省審査値)◆JC08モード	16.6		16.5		16.5	
燃料消費率[km/L](国土交通省審査値)◆WLTCモード	13.7		13.6		13.6	
■ ステアリング・サスペンション・ブレーキ						
ステアリング歯車形式	ラック&ピニオン式					
ステアリングギヤ比	13.5：1					
サスペンション(前輪／後輪)	ストラット式独立懸架／ダブルウィッシュボーン式独立懸架					
主ブレーキ形式	2系統油圧式(倍力装置付)					
ブレーキ(前／後)	ベンチレーテッドディスク／ベンチレーテッドディスク					
駐車ブレーキ形式(後2輪制動)	電気式					
■ エンジン						
型式・種類	CB18					
	水平対向4気筒					
	1.8 L DOHC 16バルブデュアルAVCS 直噴ターボDIT					
内径×行程[mm]	80.6×88.0					
総排気量[cc]	1795					
圧縮比	10.4					
最高出力(ネット)[kW (PS) /rpm]	130 (177) /5200－5600					
最大トルク(ネット)[N·m (kgf·m) /rpm]	300 (30.6) /1600－3600					
燃料供給装置	筒内直接燃料噴射装置					
燃料タンク容量[L]	63					
燃料種類	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					
変速比(第1速～第8速)	4.065～0.502 [マニュアルモード時 1速4.065/2速2.600/3速1.827/ 4速1.377/5速1.061/6速0.836/7速0.667/8速0.559][注2]					
変速比(後退)	4.378					
減速比	3.900					

注1：社内測定値
注2：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。
◆燃料消費率は定められた試験条件のもとでの数値です。したがって、実際の走行時には、気象、道路における交通の混雑の状態、運転方法に応じて燃料消費率が異なってきます。
◆WLTCモードは、市街地、郊外、高速道路の各走行モードを平均的な使用時間配分で構成した国際的な走行モードです。
◆燃料消費率はインテリジェントモード時の数値です。　■エンジンの出力表示には、ネット値とグロス値があります。「グロス」はエンジン単体で測定したものであり、「ネット」とはエンジンを車両に搭載した状態とほぼ同条件で測定したものです。同じエンジンで測定した場合、「ネット」は「グロス」よりも15%程低い値(自工会調べ)となっています。
■DIT＝Direct Injection Turbo　■リニアトロニック＝フル電子制御自動無段変速

4. デザイン

デザインについては、別章にて紹介する。

5. 車体構造

5.1 動的質感

新型LEVORGでは、意のままに操る歓び、不快な振動が少なく静粛性の高い快適性、長時間のドライブでも疲れることのない安心感、といった初代LEVORGを凌駕する高い動的質感を目指して開発を行った。

5.1.1 車体骨格

(1) スバルグローバルプラットフォーム

2016年に発表され、17MY IMPREZAより採用しているスバルグローバルプラットフォームを、ハイパフォーマンスワゴンに最適化した。フレームワークは相似形とし、車両重量増加に対応するための骨格耐力強化とリヤフロア後方をワゴン用に専用設計している(図7)。

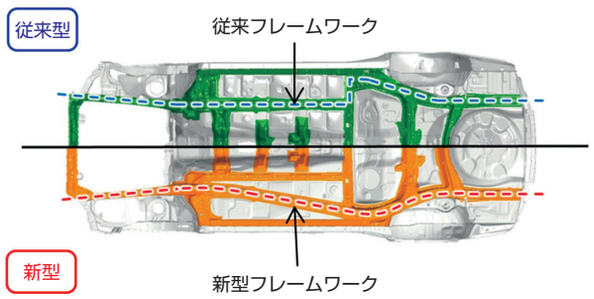


図7 スバルグローバルプラットフォーム

(2) フルインナーフレーム構造

フルインナーフレーム構造を日本向けとしてSUBARU初採用した。製造において、従来はアッパーボディとアンダーボディを別々に組み立ててから接合していたのに対し、フルインナーフレーム工法では、ボディ全体の骨格を強固に組み立ててから、最終工程で外板パネルのみを接合する。アンダーボディにアッパーボディとの結合を強化する骨格を移設するとともに、アッパーボディの骨格を外板パネルから分離することで連続性を強化した。これにより、さらなる高剛性と軽量化を実現した(図8)。

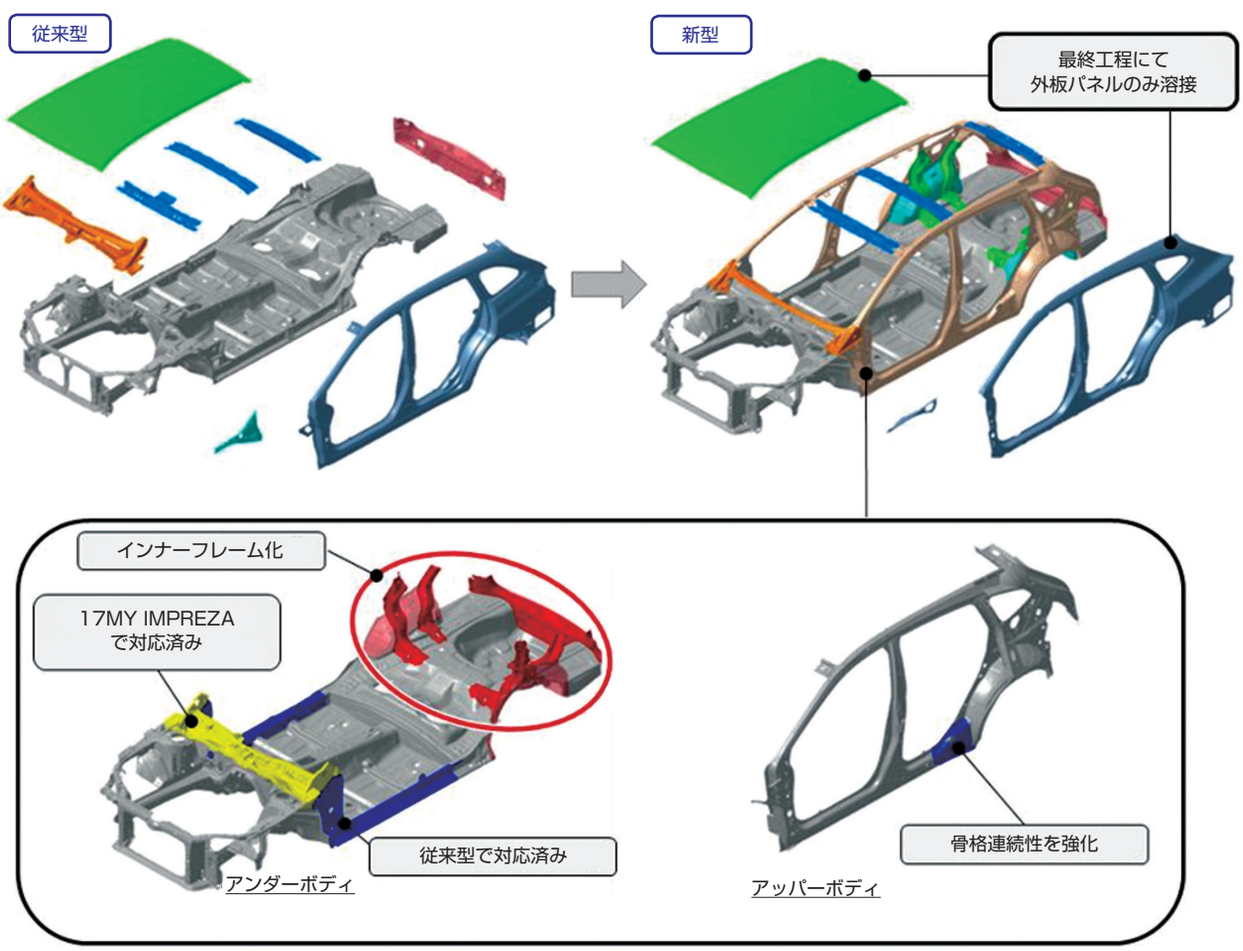


図8 フルインナーフレーム

5.1.2　構造用接着剤

スバルグローバルプラットフォームでは、車体剛性、振動騒音性能の向上のために構造用接着剤を採用しているが、新型LEVORGでは従来の接着剤に対して日本向けとしてSUBARU初となる高粘度タイプの材料を使用し、かつ、17MY IMPREZAに対し、クロスメンバー部、アッパーボディ骨格接合部など適応範囲を拡大した（17MY IMPREZA：7 m、新型LEVORG：27 m）。

拡大範囲について図9に詳細を示す。ボディの各板金部品同士の接合部に使用することでスポット溶接間を連続的に接合でき、微小な変形を抑えてボディ全体の剛性を向上させた。また、フロントフレーム後端とフロアとの結合も強化することで、重量物であるパワーユニットを保持するフロントフレームをフロアで支えることができ、ステアリング操舵時の応答性が向上した。足まわり／パワーユニット取り付け点では周辺部の剛性が増加することにより、ブッシュ・マウントを効果的に活用でき、リヤデファレンシャル／パワーユニットの上下振動の収束性が向上することで、フロア振動を抑制して乗り心地を向上できた。接着剤自体も微小な振動を減衰することができ、動剛性向上にも寄与している。

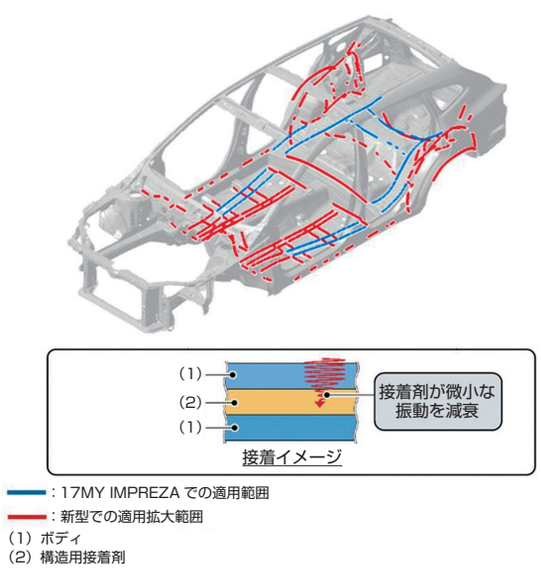


図 9　構造用接着剤塗布拡大

5.1.3　振動

(1) 固有値の分散

スポーティと上質を併せ持つストレスフリーな走りを提供すべく、不快な振動を抑制し静粛性と乗り心地を向上させるため、ボディ剛性を高めてボディの固有値振動数を引き上げることで、ステアリング、シート、サスペンションなどの部品とボディとの共振を回避し、不快な振動を低減させ、2クラス上の動的質感を実現した（図10）。さらに、スバルグローバルプラットフォーム（アンダーボディ）をハイパフォーマンスワゴンにふさわしいボディ・キャビンに進化させるため、フルインナーフレーム化によるアッパーボディ構造との結合強化、板金部品同士の接合強化、骨格断面の補剛アイテムの採用、骨格剛性の不連続部位を排除しボディのポテンシャルアップなど質量増加を抑制しながら剛性向上を図った（図11）。

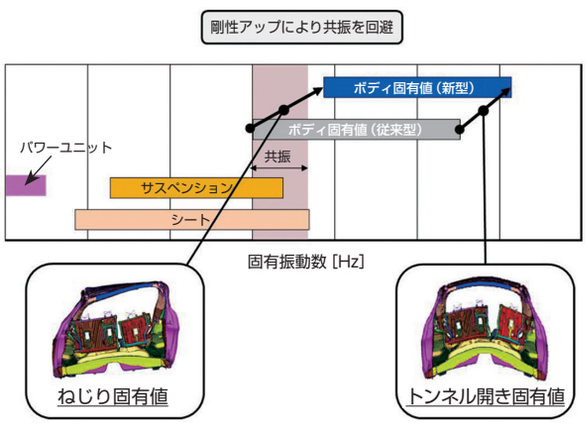


図 10　固有値共振の回避

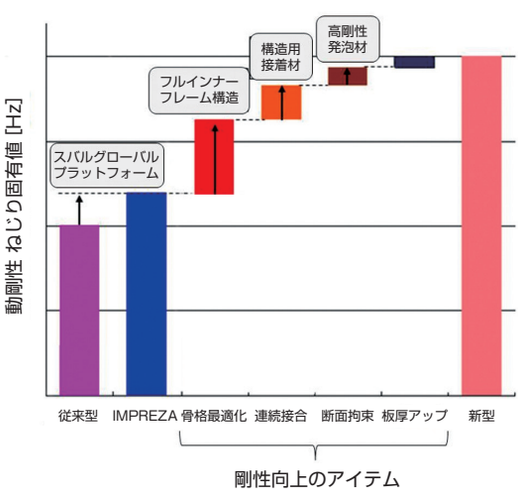


図 11　固有値向上アイテム

(2) シート取り付け構造

リヤシート軸受け部にウェルド・パイプワッシャー構造を採用することで、リヤシートの振動を抑制し、上質な乗り心地を実現している（図12）。

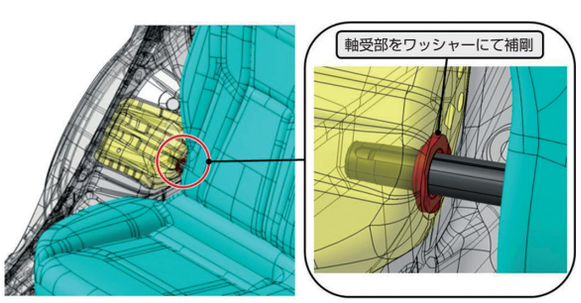


図 12　ウェルド・パイプワッシャー構造

(3) 床下制振材

スバルグローバルプラットフォーム骨格に対し、パネル振動解析を用いて制振材の板厚と配置の最適化を実施した。必要な厚さの制振材を効果的な箇所へ適用することで、ロードノイズの低減と軽量化を実現している(図13)。

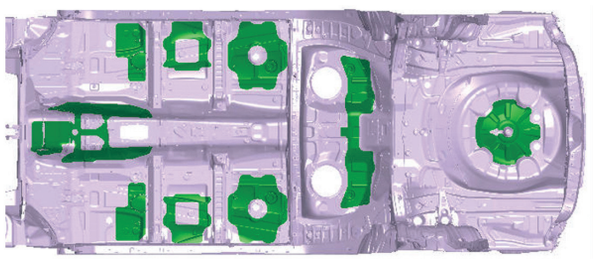


図 13　床下制振材

5.1.4　静粛性

(1) 吸音・遮音

音源であるパワーユニットからキャビンへ伝わる空気伝播音に対して、音の経路の遮断を効率的に行えるように吸遮音材を再設計した。インシュレータを拡大してエンジンルーム内の吸音性能を向上しかつフェンダー内アッパー＆ロアカバーを追加拡大して、音の経路を遮断しキャビン室内の静粛性を向上している(図14)。

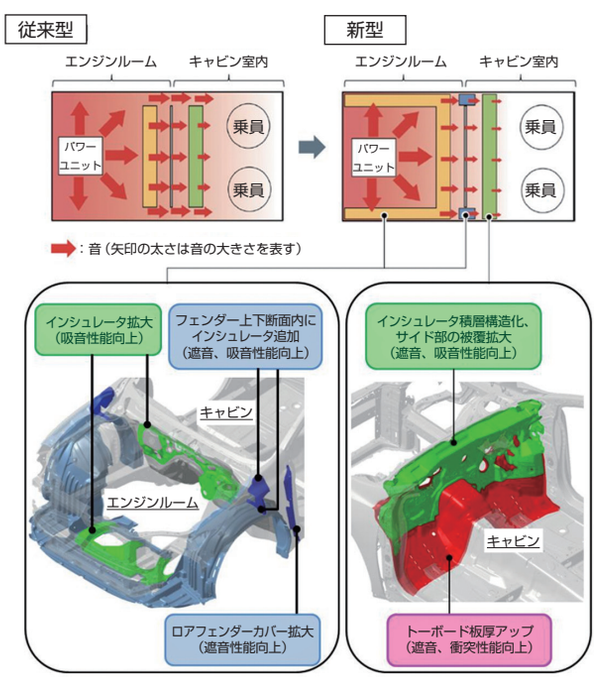


図 14　吸音・遮音性能の向上

(2) 断面発泡材

骨格内を通ってキャビンに侵入してくる走行音を防ぐため、ボディ骨格部に断面発泡材を設定した。音の伝達経路を分析し、従来型に対して発泡材の配置を最適化している(図15)

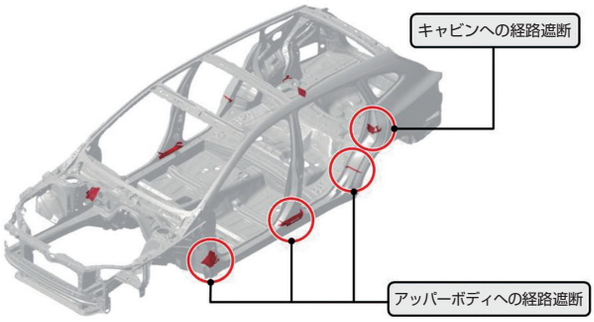
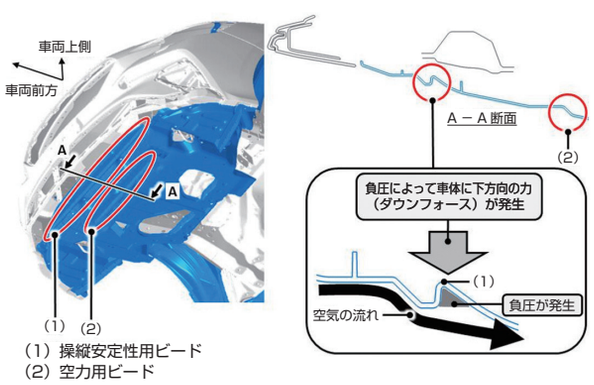


図 15　断面発泡材

5.2　空力性能の向上

(1) エンジンアンダーカバー

エンジンアンダーカバーに、日本向けとしてSUBARU初となる操縦安定性ビードを設定し、ダウンフォースを発生させることで、直進性と接地感を向上させている。また、SUBARU初となる空力用ビードも設定することで、下面の空気の流れを整え、空力性能を向上させている(図16)。



(1) 操縦安定性用ビード
(2) 空力用ビード

図 16　エンジンアンダーカバーの空力向上

また、エンジンアンダーカバーに空力性能を向上させるテクスチャをSUBARU初採用し、空気抵抗を低減させている(図17)。

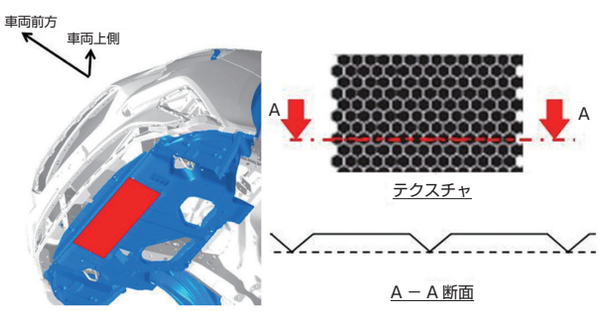


図 17　アンダーカバーのテクスチャイメージ

(2) マッドガードフロントエアスリット

マッドガード前壁に日本向けとしてSUBARU初となるエアスリットを設定した。エンジン房内圧を下げて床下流れと側面流れとの干渉を抑えることにより、背面圧力を低減させて空気抵抗を低減している(図18)。

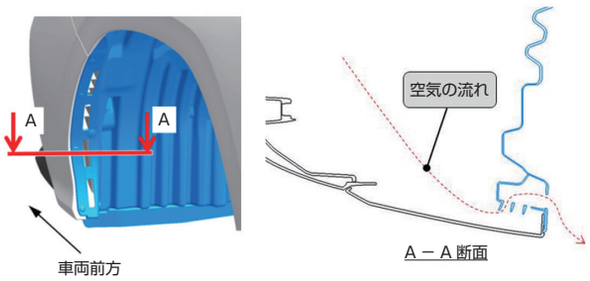


図 18　マッドガードフロントのエアスリット構造

(3) フェンダーアッパーカバー

フード／フェンダー分割部に、日本向けとしてはSUBARU初となるシール構造を採用した。エンジン房内から漏れる分割部の空気をシールし、ボディ表面の空気流れの乱れを抑制させることで空力性能を向上させている（図19）。

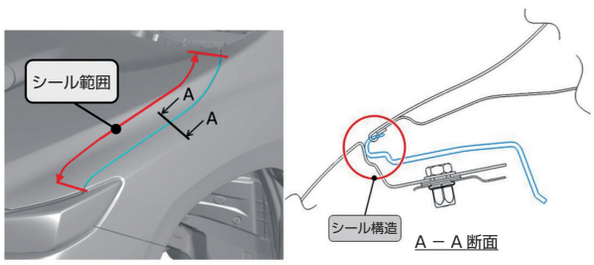


図 19　フード／フェンダー分割部シール構造

6.　シャシー

新世代SUBARUを代表するスポーツモデルとして、新型LEVORGがこだわったのは「意のままに動く気持ちよさ」。クルマがまるで自分の手足の延長であるかのように、緻密でスムーズに動くことにより、走りの愉しさを向上させて安心感のあるストレスフリーな走行を実現している。日常のシーンはもちろん、旅行などのロングドライブ、曲がりくねったワインディング、さらには悪天候下でさえクルマを意のままに操れる気持ちよさで、走りの愉しさと安心を感じていただけるように開発した。

6.1　サスペンション

新型LEVORG にスバルグローバルプラットフォームを採用するにあたり、ハイパフォーマンスワゴンにふさわしい走りを実現するため、足まわりの諸元を再構築した。サスペンションが素直にその役割を果たせるレイアウトとし、実用サスペンションストロークを、初代LEVORG比でフロント約25%、リヤ約10%※1増加させることで、乗り心地を向上した。

※1：STI Sport は約5%増加

これにより、スポーティと上質を併せ持つストレスフリーな走りを提供するための操縦安定性、乗り心地、静粛性のすべてを高い次元で両立させた。その安心感のある操舵性能や乗り心地により、長距離を走っても疲れない快適な走りを実現している。

6.1.1　フロントサスペンション

(1) 高剛性クロスメンバー

車両の応答性を高めつつ、タイヤやエンジンからの振動伝達を遮断するため、高剛性サスペンションクロスメンバーを採用した。さらにK型ブレースの追加により横曲げ剛性を向上して操舵時のロアアームからの入力によるクロスメンバーのたわみを抑制している（図20(1)）。

(2) 軽量高剛性アルミ製ロアアーム

全車にアルミ製ロアアームを採用した。高剛性化と軽量化を両立している（図20(2)）。

(3) ストラット取り付けスタビライザー

スタビライザーの取り付けをロアアームからストラットへ変更することで効率を上げてロール剛性を向上した（図20(3)）。

(4) 入力分離式ストラットマウント

ヘルパーとダンパーの入力のみマウント本体ゴムを介して車体に伝達し、コイルの入力は直接車体に伝達する入力分離構造を採用した。振動騒音性能と操縦安定性を両立している（図20(4)）。

(5) 荷重軸制御コイル

コイル上部とストラットマウントとの接触形状を最適化することでコイルの反力方向を安定させ、ダンパーのフリクションを低減することで乗り心地を向上した（図20(5)）。

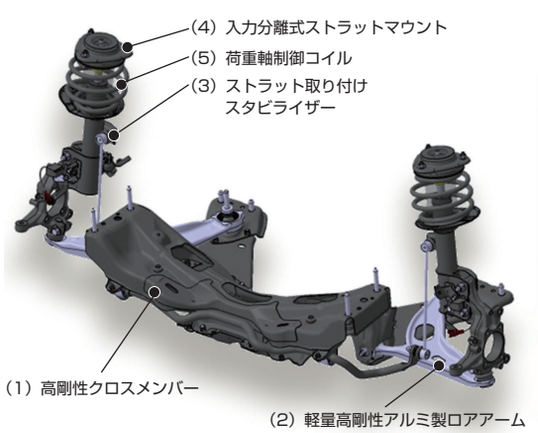


図 20　フロントサスペンション

(6) マスオフセットの低減

正確で応答性が高く、すっきりとしたステアフィールを実現するため、従来比でマスオフセットを大幅に低減した（図21）。

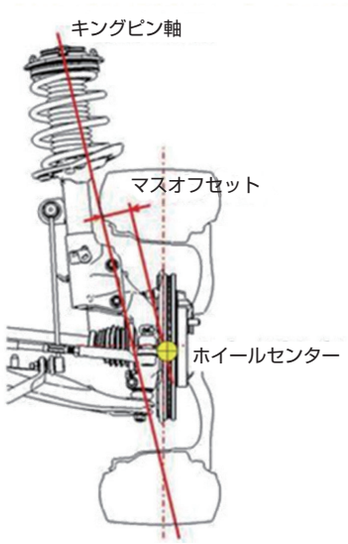


図 21　マスオフセット

ロアアームとハウジングをつなぐボールジョイントの締結構造を変更してジョイント中心を車両外側へ移動させ、操舵時の回転中心軸とホイール中心を近づけたことによって、より小さなアシスト力で転舵でき、かつ、路面からの外乱で舵が乱されにくくした(図22)。

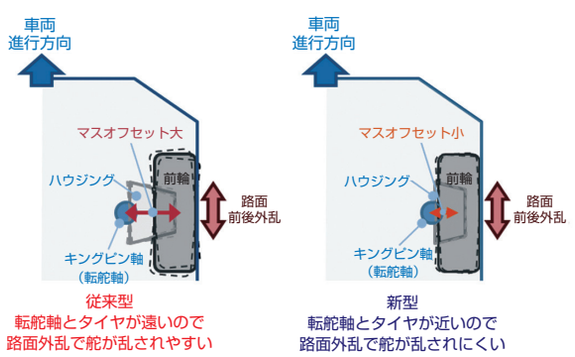


図 22　マスオフセット低減効果イメージ

6.1.2　リヤサスペンション

(1) 高剛性サブフレーム＆非連成ブッシュ

高剛性のサブフレームと非連成ブッシュの採用により、車両の応答性を高めつつ、タイヤ等からの振動伝達を低減した(図23(1))。

(2) 車体取り付けリヤスタビライザー

スタビライザーの取り付けをサブフレームから車体に変更したことで、車体の揺れを低減した(図23(2))。

(3) 入力分離式リヤダンパーマウント

コイルからの入力とダンパーからの入力経路を分離してダンパーからの振動伝達をより効率良く低減することで、振動騒音性能を向上した。さらにSTI Sportグレードは、ダンパー伝達部のブッシュをゴムからウレタンに、ハウジング部を鉄から軽量高剛性のアルミへ変更して振動騒音性能と乗り心地を一層高めつつ、軽量化も果たしている(図23(3))。

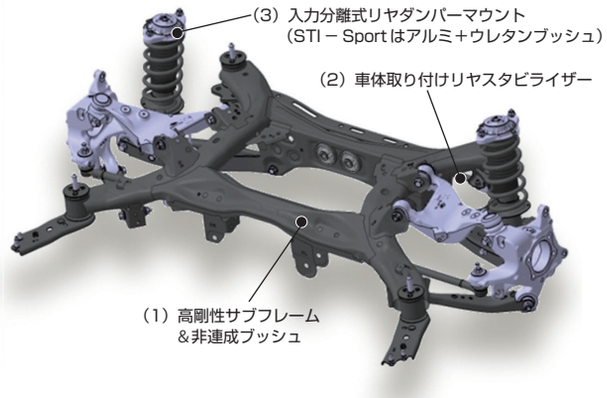


図 23　リヤサスペンション

6.1.3　電子制御ダンパーシステム

STI Sportグレードには、電子制御ダンパーシステムをSUBARU初採用した。システムが路面や車両の走行状況に応じてリアルタイムにダンパーの減衰力を最適制御することで操縦安定性や乗り心地を飛躍的に向上させ、ロングドライブでの快適な走りと、スポーツ走行時の意のままに操る愉しさを高い次元で両立している。

(1) システム概要

フロントシート下、及び左右フロントダンパーに設置された加速度センサーからの情報と、車速、エンジントルク等の車両信号からの情報を複合的に組み合わせて路面や車両の状況を推定、その瞬間における最適な減衰力をコントロールユニットが演算してリアルタイムに4輪のダンパー減衰力を制御する(図24、25)。これにより、路面の凹凸や段差をいなしつつ、車体の大きなロールやピッチングを抑え、揺れが少なくフラットな乗り心地とロール感の少ないスポーティな操縦安定性を実現している(図26)。

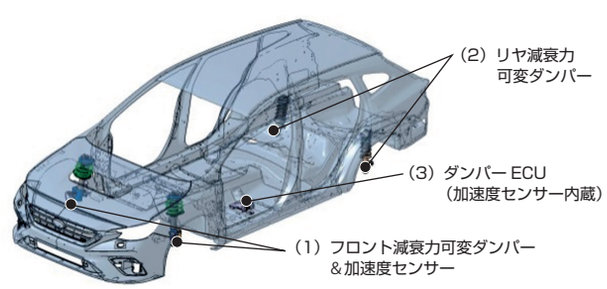


図 24　電子制御ダンパーシステム構成

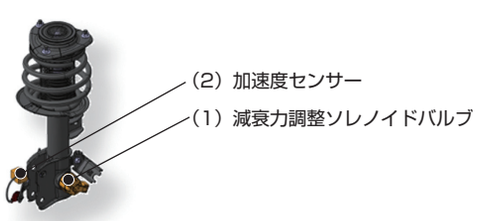


図 25　電子制御ダンパー フロントストラット部詳細

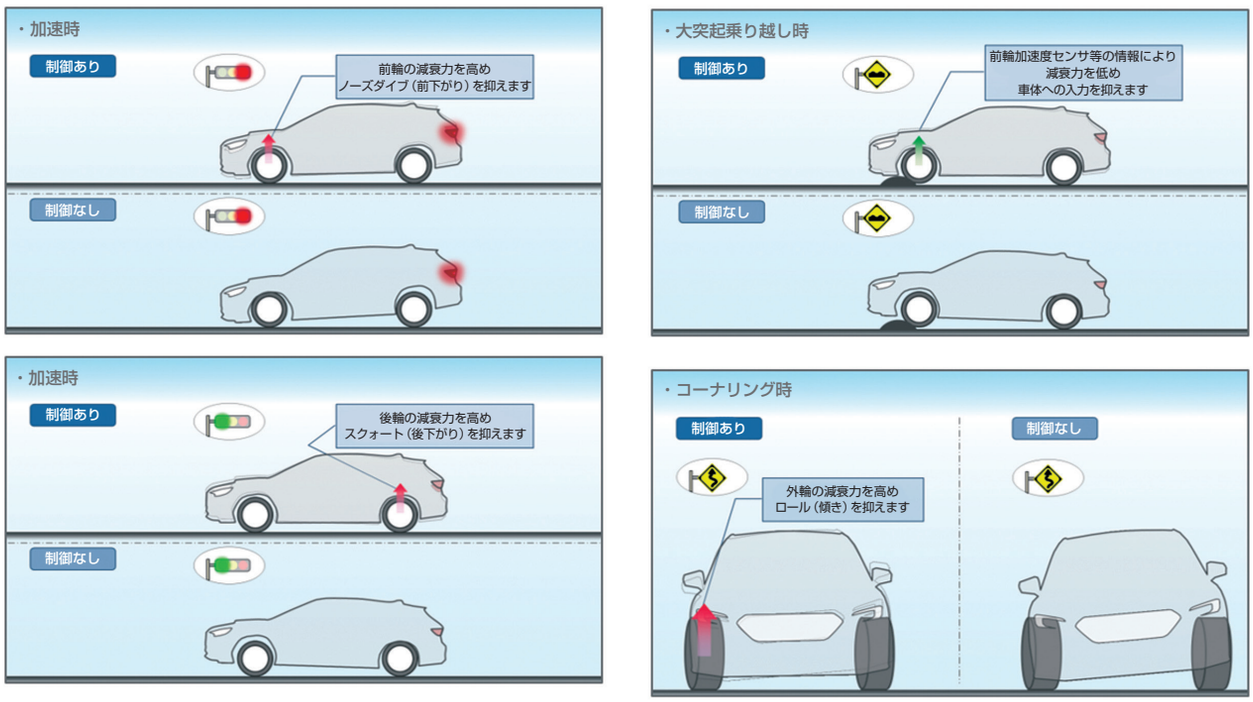


図 26　電子制御ダンパー動作例イメージ

(2) 減衰力のドライブモードセレクト連携

減衰力設定の異なるComfort/Normal/Sportの3つのモードを設定した(図27)。ドライブモードセレクトを操作することで、お客様の好みに合わせて減衰力特性を選択可能とし、乗員や路面状況等に合わせて多様な好みに対応できるようにしている。

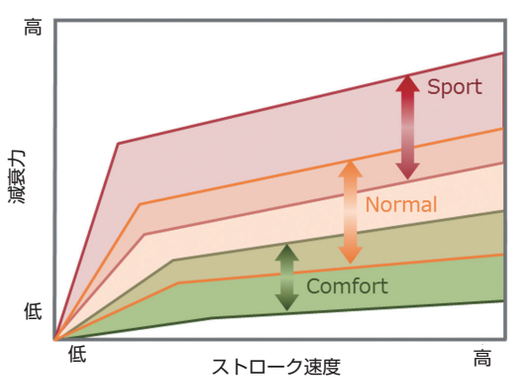


図 27　減衰力可変イメージ

6.2　ステアリング

6.2.1　電動パワーステアリング

(1) 2ピニオン電動パワーステアリング

スポーティと上質を併せ持ったストレスフリーの走りを実現する2ピニオン電動パワーステアリングを全車にSUBARU初採用した。ハンドル軸延長上に設定されていたアシストモータを切り離し別のアシストピニオン軸に設定したことで、ハンドル軸のフリクションを低減した(図28)。なめらかでリニアな操舵力とすることで、ダイレクトで遅れのない、自然なフィーリングを実現している(図29)。

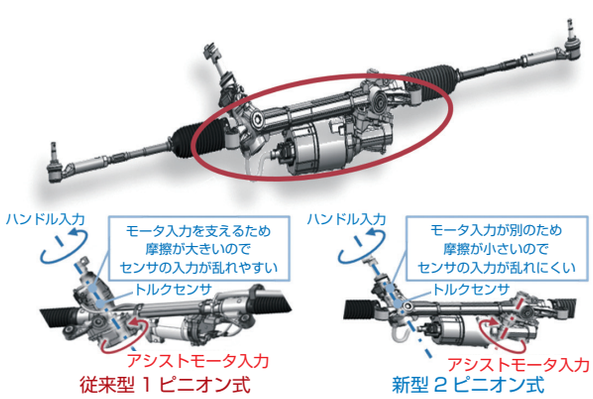


図 28　2ピニオン電動パワーステアリング

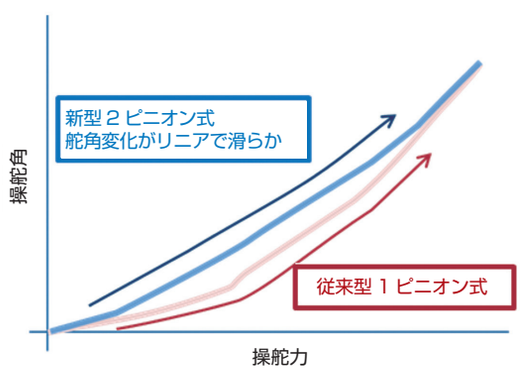


図 29　2ピニオン式の操舵力イメージ

(2) 操舵力のドライブモードセレクト連携

STI Sportグレードには、ドライブモードセレクトと連携する操舵力可変機能を搭載した。Comfort/Normal/Sportの3つのモードを設定し、ドライブモードセレクトを操作することで、お客様の意志(好み)に合わせた操舵力特性の選択を可能にしている(図30)。

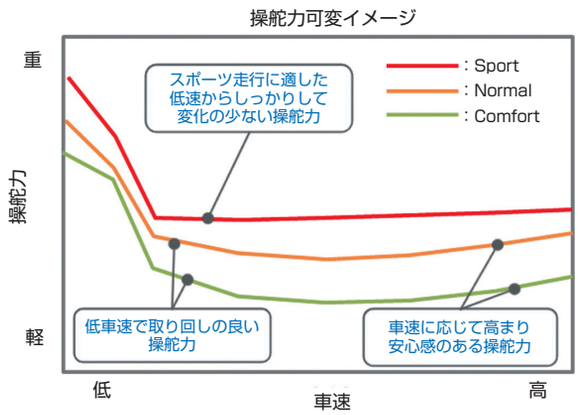


図 30　操舵力可変イメージ

6.3　タイヤ&ホイール

6.3.1　タイヤ

GTグレードには215/50R17、GT-H、STI Sportグレードには225/45R18サイズを展開した。

6.3.2　ホイール

走りへの期待を高め、滑らかで力強い動きを感じさせるデザインのホイールを採用した(図31)。

6.4　ブレーキ

6.4.1　電動ブレーキブースター

電動ブレーキブースターをSUBARU初採用した。従来のVDCユニットによる昇圧よりも優れた昇圧特性により、プリクラッシュブレーキや全車速追従機能付きクルーズコントロール制御時の応答性を向上して、より衝突回避性能を高めている。

また、負圧ブレーキブースターと同様のリアクションディスクを用いたペダル反力構造を採用することで、自然なブレーキフィーリングを実現した。短めのストロークとしながらも、踏力勾配を高くすることでコントロール性と剛性感を確保。踏んだ瞬間から効く安心感と、短いストロークで剛性感のある、よりスポーティなブレーキフィーリングを実現している。

6.4.2　フロントブレーキ

17インチのベンチレーテッドブレーキを全車に採用した。キャリパーのシリンダーボディ剛性を向上し、シリンダーサイズを小径化して液量ロスを減らすことで、無効ストローク領域を低減している。また、ディスクローター摺動面厚さを変更し、効きとばね下重量の軽量化の最適化を図った。ブレーキパッドは、摩擦係数を高めるとともに銅含有量を低減して環境へも配慮している。

6.4.3　リヤブレーキ

従来型同様に、電動パーキングブレーキ(EPB)を内蔵した17インチベンチレーテッドブレーキを全車に採用した。また、ディスクキャリパーのスライドピンブッシュを低摩擦材へ変更、さらにパッド摺動部にグリス塗布を追加し、ブレーキ引き摺り抵抗を削減して燃費性能も向上している。

6.5　パワーユニットマウントシステム

6.5.1　エンジンマウント

上・下方向で人間が感じる感覚に着目し、液体封入式フロントエンジンマウントの減衰特性をチューニングした。ロングツーリングでも乗員がより不快に感

17インチアルミホイール
ブラック+切削光輝

18インチアルミホイール
ブラック+切削光輝

18インチアルミホイール
ブラック+切削光輝

図 31　ホイール仕様

じにくく、疲れにくい乗り心地を実現している。

また、ブラケットを従来型の樹脂製からアルミ製に変更し剛性を向上し、エンジン振動との共振を抑制して車体に伝わる振動騒音を低減した(図32)。これにより、すっきりとした心地よい加速車内音を実現している。

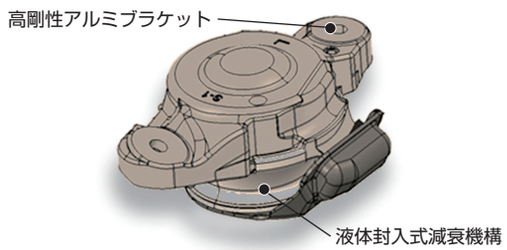


図 32　エンジンマウント

6.6　エキゾーストシステム

6.6.1　エキゾーストパイプ&マフラー

(1) マフラー

内部構造の最適化を行い、消音効果を高めるパイプ長さとすることで、通気抵抗を上げることなく、こもり音を低減した(図33)。

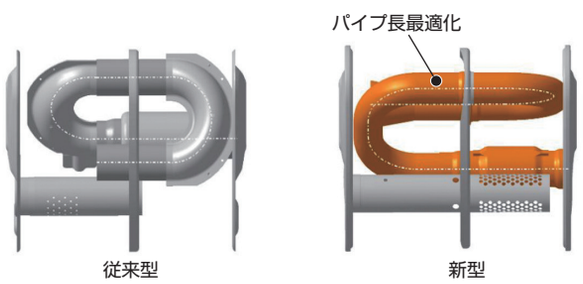


図 33　マフラー内部構造

(2) マフラーカッター

STI Sport グレードには専用の大型マフラーカッターを設定した。テールエンドのラインを強調し、よりスポーティな外観としている(図34)。

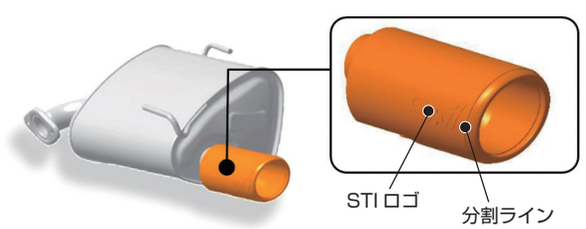


図 34　STI Sport 専用マフラーカッター

6.7　フューエルタンク

軽量化のため、燃料タンクを板金製から樹脂製に変更した。また、従来型からタンク容量を拡大(60 L → 63 L)し、航続距離を伸ばした。これにより、さらにロングドライブを愉しめるようにしている。

7.　外装

視界を含めた、SUBARU ならではの安全性の進化に加え、アクティブライフを実現する新機能・利便性を実現した。さらに、パフォーマンスを表現した先進的なスタイリングと機能を融合させ、SUBARU のエクステリアを革新した。

7.1　フロントバンパー

(1) 新テクスチャの採用

バンパー下部に、立体的でワイド感のある大型のロアカバー及びライセンスブラケットを採用することで、立体的なバンパー造形を実現した。また、バンパーとバンパーカバーのブラックアウト部には、小型のダイヤ柄モチーフを用いた新テクスチャを採用することで、スポーティイメージを向上した(図35)。

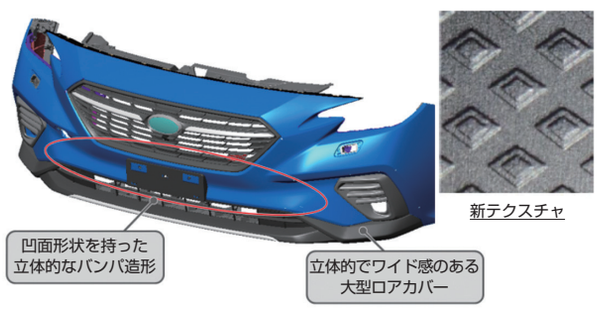


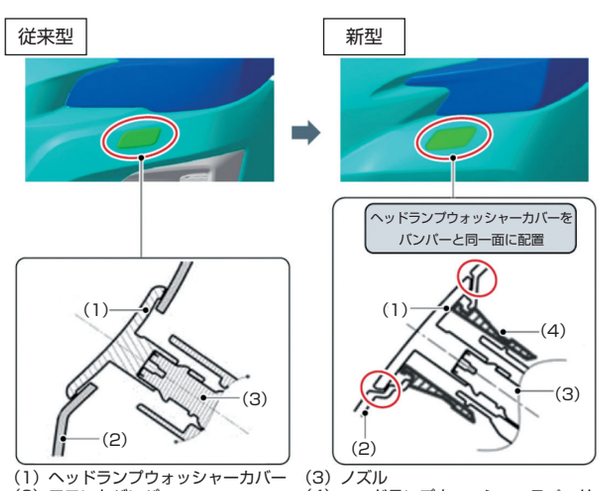
図 35　フロントバンパー

(2) アーチフランジ

バンパーのアーチフランジ塗装面をマッドガードで隠す構造を採用し、一定にブラックアウト化することで、すっきりとした見栄えを実現した。

(3) ヘッドランプウォッシャーカバー

カバーをバンパーと同一面に配置することで、すっきりとした外観を実現した(図36)。



(1) ヘッドランプウォッシャーカバー　(3) ノズル
(2) フロントバンパー　(4) ヘッドランプウォッシャースペーサー

図 36　ヘッドランプウォッシャーカバー

(4) 前側方レーダーの取り付け構造

前側方レーダーはバンパーに内蔵する構造として、性能の確保と意匠性を両立した(図37)。

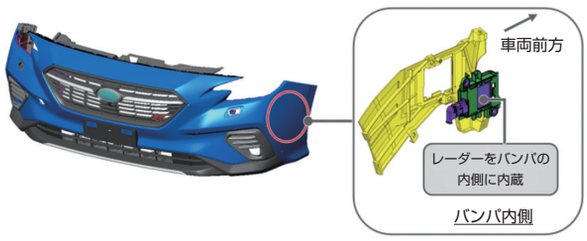
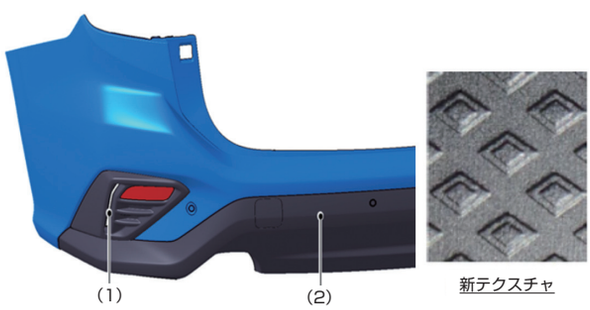


図 37　前側方レーダー取り付け構造

7.2　リヤバンパー

空力改善により操縦安定性を高めることができるエアアウトレットをSUBARU初採用し、バンパーのブラックアウト部を拡大することで、機能と意匠を両立したリヤまわりとした。またバンパーのブラックアウト部には小型のダイヤ柄モチーフを用いた新テクスチャを採用することで、スポーティイメージを向上した(図38)。エアアウトレットの効果イメージを図39に示す。



(1) エアアウトレット
(2) ブラックアウト部 (新テクスチャ採用)

図 38　リヤバンパーの新テクスチャ

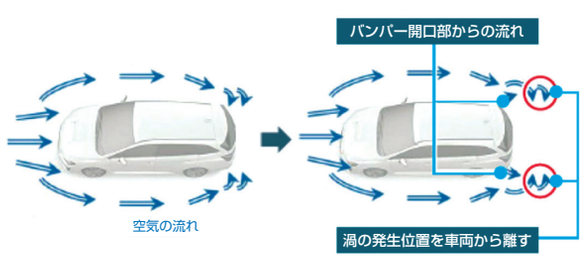
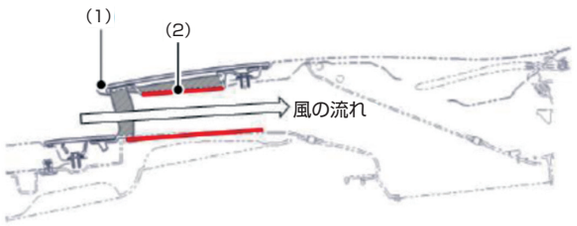


図 39　エアアウトレットの効果イメージ

7.3　フードグリル

フードグリルはアウター＋インナーの二重構造を採用することで吸入経路をフラットにした(図40)。

これにより、空気の乱流をなくして風の流れをスムーズにすることで、インタークーラーの冷却性能を向上している。

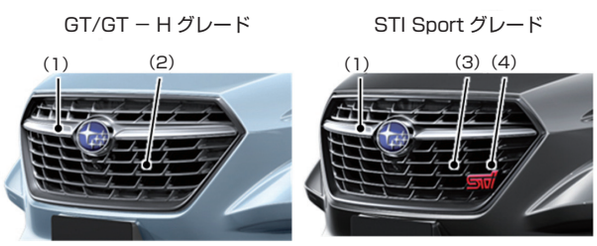


(1) アウター
(2) インナー

図 40　フードグリル構造

7.4　フロントグリル

グレード展開に合わせてフロントグリルのカラーを変更することで、グレード間の差別化を強化した。STI Sportグレードには、STIマークを採用した(図41)。



(1) 6価クロムメッキモール
(2) ダークメタリック塗装
(3) ダークグレーシリカ塗装
(4) STIマーク

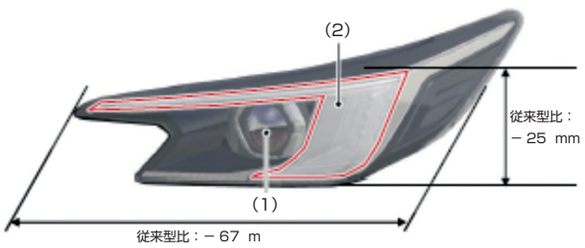
図 41　フロントグリル

7.5　ヘッドランプ

全車フルLEDヘッドランプを採用し、消費電力を低減して燃費向上に貢献した。また、SUBARU 共通モチーフ(Cシェイプ)の上辺側には、微細カット加工を施した導光ライトガイドを採用した。この微細カット加工により、均一感のある点灯を実現しシグネチャー表現を強化している。このCシェイプランプは、導光ライトガイド(白色3灯／橙色2灯)と直射(白色6灯／橙色6灯)のLED ユニットを使用して、Cシェイプ全体の輝度を向上させ、ターンランプとしての使用を可能にした。ターンランプ機能とポジションランプ機能をCシェイプ部に集約することで、点灯時に先進性を感じさせる意匠を実現するとともに、ヘッドランプの小型化を実現した(図42)。なお、ターンランプ作動時は、白色発光を停止し、橙色点滅のみとすることで、ターンランプの視認性を確保した(図43)。

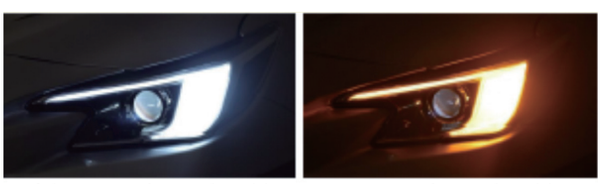
さらに、夜間の優れた視認性を確保するため、アレイ式アダプティブドライビングビーム(ADB)を採用した。これにより、12分割の高精細な遮光が可能となり、従来のロータリー式に対し照射範囲を拡大した(図44)。また従来のステアリング連動ヘッドランプ(SRH)も設定し、コーナーや交差点で、ステアリン

グ操作に合わせてヘッドランプ光軸を左右に動かすことで、車両進行方向を照射し、夜間の視認性を確保している。



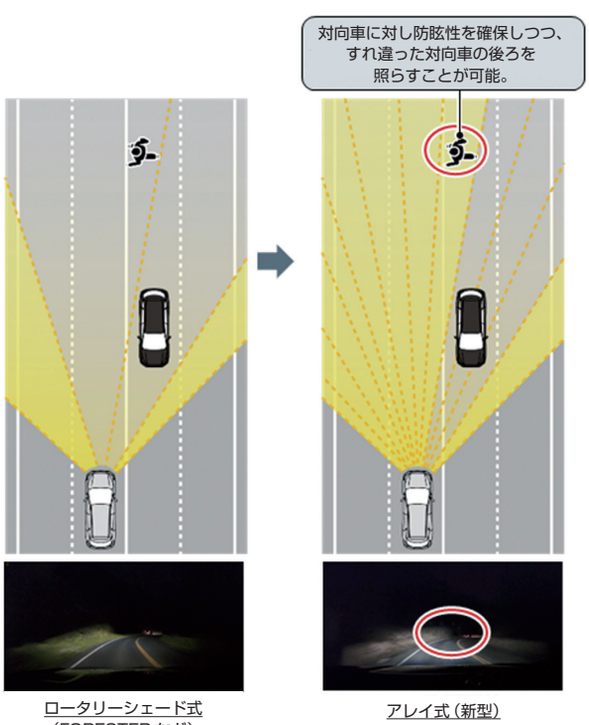
(1) アレイ式アダプティブドライビングビーム（ADB）
(2) ターンランプ／ポジションランプ

図 42　ヘッドランプ小型化



ポジションランプ+ロービーム点灯　ターンランプ+ロービーム点灯

図 43　ポジションランプ＆ターンランプ点灯イメージ



ロータリーシェード式
（FORESTER など）　アレイ式（新型）

図 44　アレイ式アダプティブドライビングビームの機能イメージ

7.6　フロントウインドゥ

地上デジタルテレビ用の4chガラスプリントアンテナを採用した。またガラス端末処理とてヒドゥンモールを採用しすっきり感を向上した（図45）。

また遮音中間膜を使用した遮音ガラスを採用し、室内への透過音を抑制、静粛性を確保した。あわせてIRカット機能付きガラスを採用し、太陽光によるジリジリ感を軽減、室内の快適性を確保している。

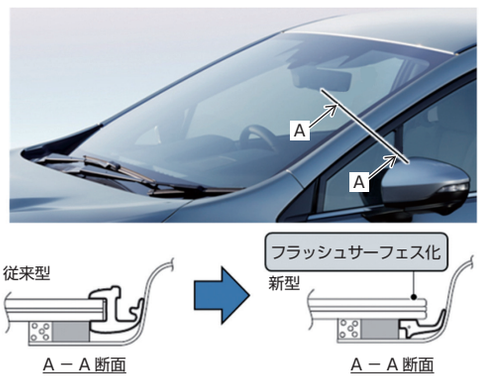
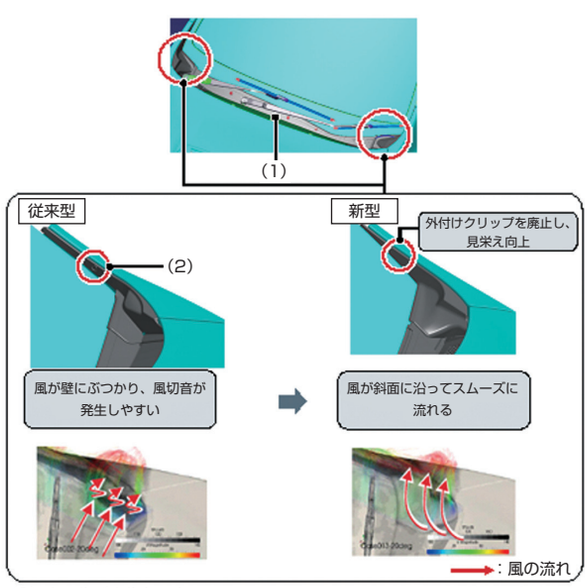


図 45　フロントガラスのヒドゥンモール構造

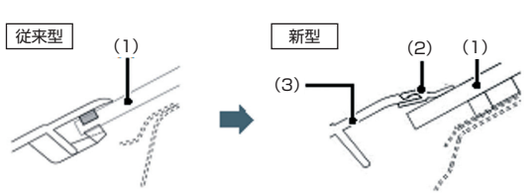
7.7　カウルパネル

カウルパネルのサイド部を別体パネル構造にし、Aピラー付け根付近の風の流れをスムーズにすることで風切り音を低減する構造とした（図46）。また、外付けクリップを廃止することで見栄えを向上させるとともに、フロントガラスとの分割部にリップ構造を採用することで、ガラスに隙間なく追従させて質感を向上した（図47）。



(1) カウルパネルセンター
(2) 外付けクリップ

図 46　カウルパネル端部構造の空気の流れ



(1) フロントガラス
(2) リップ
(3) カウルパネルセンター

図 47　フロントガラスとの分割部リップ構造

7.8　ルーフモール

ルーフモールの幅を縮小するとともに、断面の工夫により視覚的に細く見える形状とすることでスマートな外観を実現した(図48)。

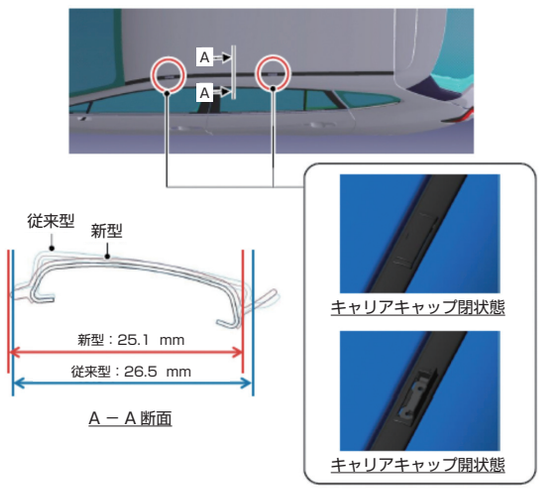


図 48　ルーフモール

7.9　ワイパー＆ウォッシャー

フロントワイパーブレードにフラットブレードを採用した。ブレードの高さ寸法を低くすることで、ワイパー作動時の視界遮りと風切音を低減させるとともに、室内から見たときのワイパーの突出部を低減しスマートな外観を実現している(図49)。

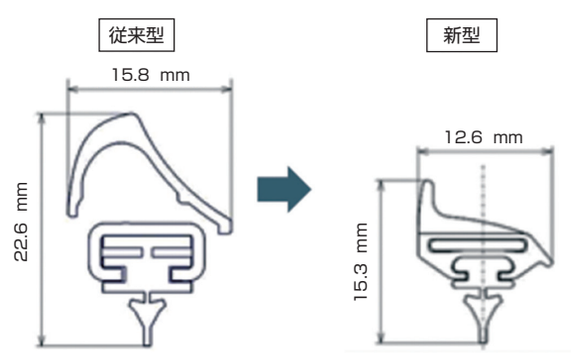


図 49　フラットブレード

また、新型アイサイトの認識範囲拡大に伴い、フロントウォッシャーノズルを3箇所化(図50)するとともに、高圧ウォッシャーポンプを採用してウォッシャー液の流量を増加させ、アイサイト画角エリアにしっかり着水させることで洗浄性能を確保した。

なお、高圧ウォッシャーポンプはフロントウォッシャーとリアウォッシャーの噴射を1つのポンプで行うことができる一体型ポンプを採用し、ポンプの数を1つ減らすことで軽量化を実現させている(図51)。

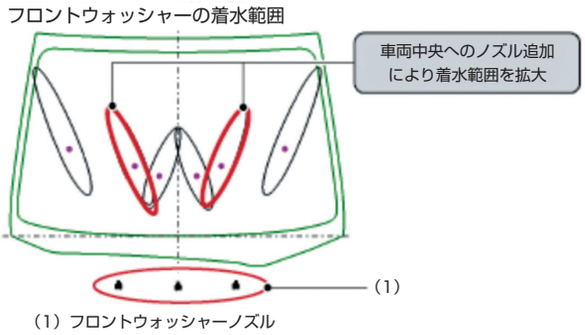


図 50　ウォッシャー液の着水範囲

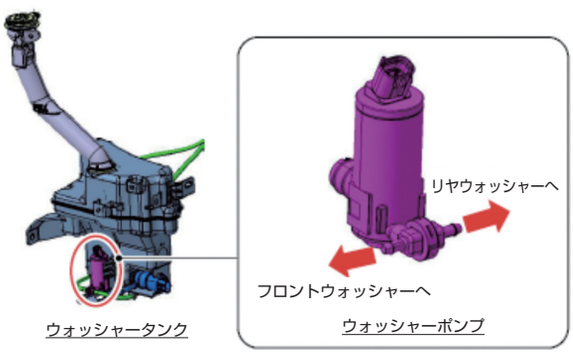


図 51　一体型ポンプ

7.10　ドアミラー

ドアミラーは形状や位置を最適化するため全面変更した。これにより三角窓からの視界確保、風切音低減、空力向上、雨滴付着防止を実現している(図52)。

また、キー連動格納とリバース連動チルトダウン機能を追加した。あわせて、車両を前方から見たときにターンランプ全体が発光する導光タイプのLEDターンランプを採用し、周囲からの視認性も向上した(図53)。

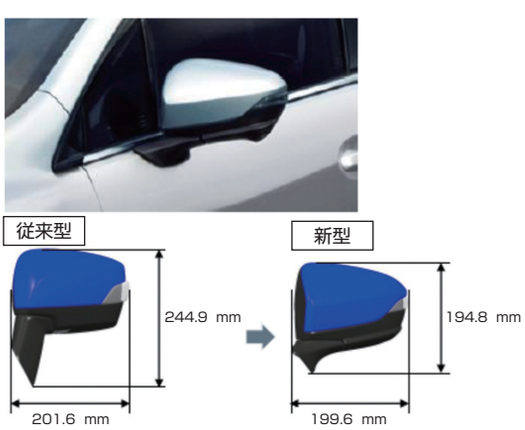


図 52　新形状ドアミラー

図 53　導光タイプの LED ターンランプイメージ

7.11　サイドドア

ドアチェッカーの内部構造を、従来のラバー式から、コイルスプリング式に変更することで、閉まり性能を向上した（図54）。

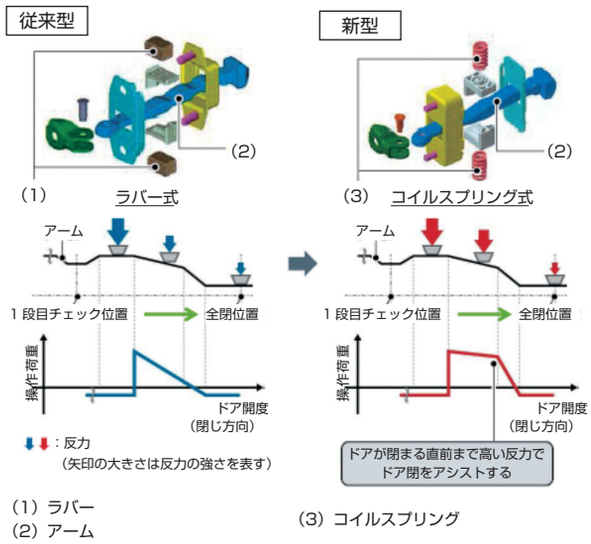


図 54　ドアチェッカー構造

また、ドア開時には3段階でドアを保持する設定とし、乗降時の利便性を向上した（図55）。

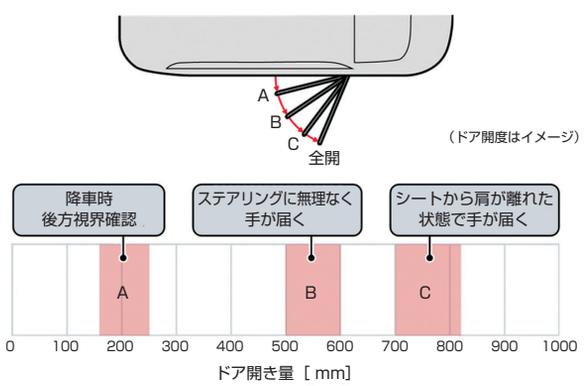


図 55　ドア開時の利便性向上

7.12　パワーウインドゥ

オート作動時に速度制御の機能を追加し、閉め切り／開け切り時の昇降スピードを低速にすることで、上質感のあるパワーウインドゥシステムを全席に採用した。あわせて、エンジンスイッチをOFFにした後、一定時間ウインドゥを操作することができるオフディレイ機能を設定した。

7.13　リヤドアレギュレーター

リヤドアのパワーウインドゥシステムでは、レギュレーターをシングルアーム式からシングルレール式に変更し、軽量化と上質感を実現した（図56）。

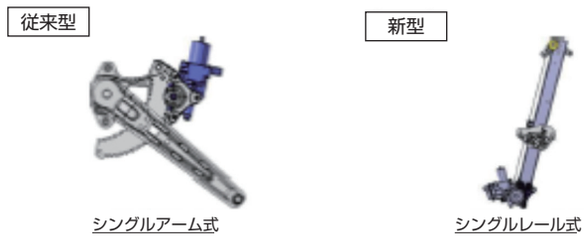


図 56　リヤドアレギュレーター

7.14　ドアウェザーストリップ

ドアに取り付けられたウェザーストリップの端末部シールを発泡剤から成形リップに変更し、遮音性能と見栄えを向上した（図57）。

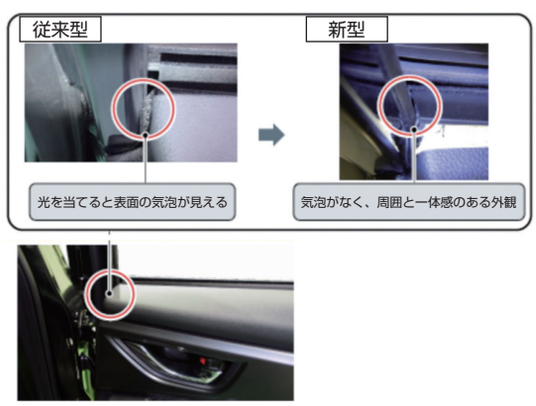


図 57　ドアウェザーストリップ

7.15　フロントドアガラス

スーパー UV カット機能付きガラスを採用し、室内の快適性を確保した。また、はっ水加工ガラスを採用し、水滴による視認性悪化を抑制した。

7.16　ピラーカバー

A ピラーカバーは、フラッシュサーフェス化して空気の流れの乱れを抑えて空力性能を向上するとともに風切音の低減を実現した（図58）。

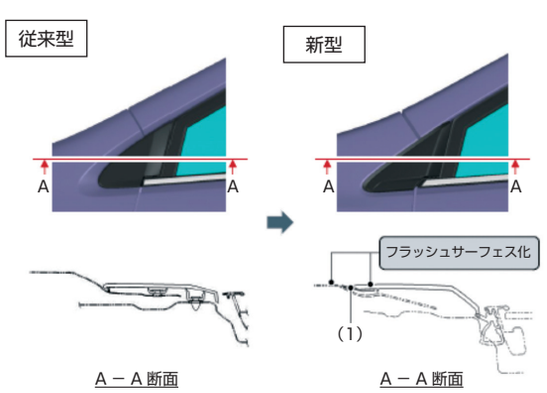


図 58　A ピラーカバー構造

Bピラーカバーはテープから樹脂カバー（ハイグロスブラック）構造へ変更した。型を鏡面仕上げとすることで、ガラス面のような光沢ある外観を原着の樹脂部品で実現している。また、ガラスランを隠すとともに、面の曲率をガラスと合わせることでガラスと樹脂カバーそれぞれに映り込む景色のゆがみを軽減し、外観の見栄えを向上した（図59）。

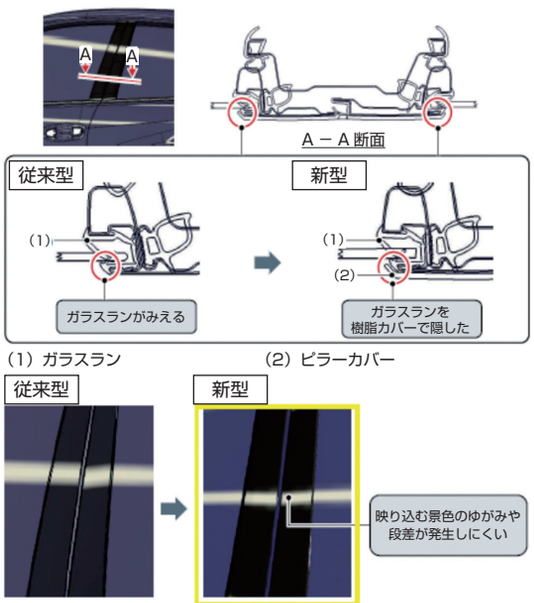


図 59　Bピラーカバー構造

7.17　パワーリヤゲート

ステー一体型タイプを採用し、室内に駆動ユニットがない機構とすることで、荷室スペースを確保した（図60）。

図 60　すっきりとしたリヤゲート開口の様子

また、リヤゲートの六連星オーナメント部のセンサーに肘など体を近づけることでリヤゲートを開けることができる、ハンズフリーオープンパワーリヤゲートを国内SUBARU車として初採用し、両手がふさがっていても簡単にリヤゲートを開けることができるシステムとした（図61）。

図 61　ハンズフリーオープンパワーリヤゲート

またリヤゲートを閉めるときには、リヤゲートクローズスイッチを押すか、直接手で操作することによって、お客さまによるゲート開閉の意図をセンサーが読み取り、自動でのゲート開閉動作に切り替える機能を採用した。さらに、リヤゲートクローズスイッチと並べて配置したリヤゲートロックスイッチを押すことで、リヤゲートの自動閉作動と車両施錠を一括で行う機能を追加した（図62）。

図 62　リヤゲートスイッチ

7.18　リヤゲートガーニッシュ

リヤゲートガーニッシュはハイグロスブラック塗装のモールディングとし、リヤフィニッシャーランプと連続した一体感のある意匠を実現した。さらにアッパープロテクターをインナーリップ化し、すっきりとした見栄えを実現した（図63）。

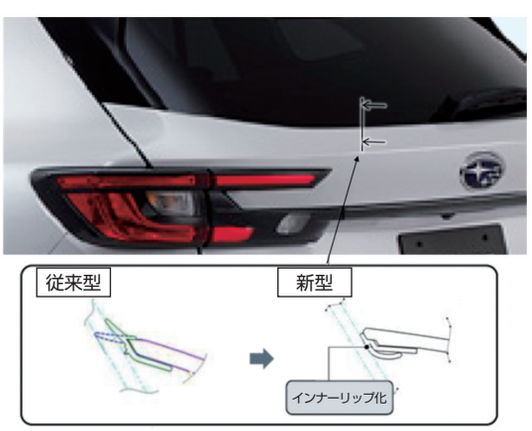
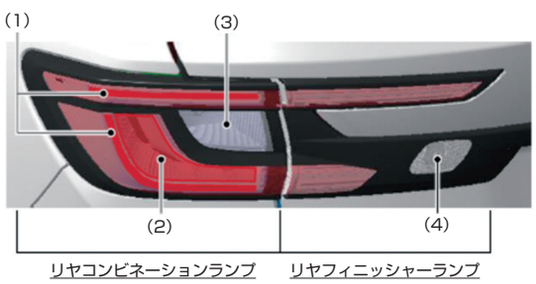


図 63　リヤゲートガーニッシュの構造

また、ゲート開閉時の操作性を向上させるため、ハンドル部の角度を前後方向に傾け、指が掛かりやすい形状とした。

7.19　リヤコンビランプ

3色成型（赤、クリア、黒）のアウターレンズを採用し、シャープな外観とリヤゲートガーニッシュとの一体感を表現した。また、バックアップランプとリヤフォグランプはLED化し、さらに非点灯時のレンズ色をバックアップランプ／リヤフォグランプで左右対称とすることで、安定感のある外観を表現した（図64）。あわせてテール／ストップランプにはSUBARU共通モチーフ（Cシェイプ）にライトガイドを採用することでシャープな点灯を実現した。このライトガイドは微細カット加工を採用し、均一で質感の高い点灯を実現した（図65）。



(1) テール＆ストップランプ（LED）
(2) ストップランプ（LED）
(3) ターンランプ（バルブ）
(4) 運転席側：リヤフォグランプ（LED）
　助手席側：バックランプ（LED）

図 64　リヤコンビランプ

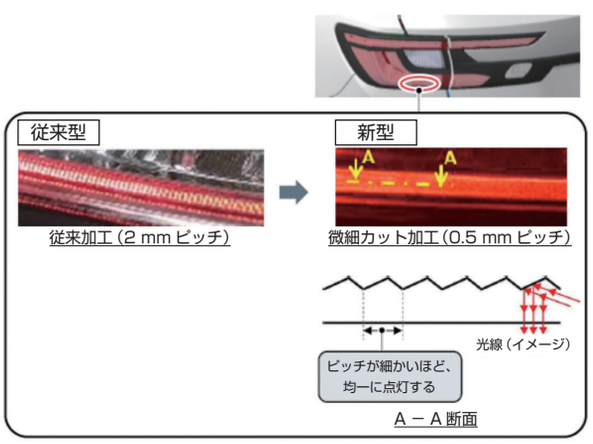
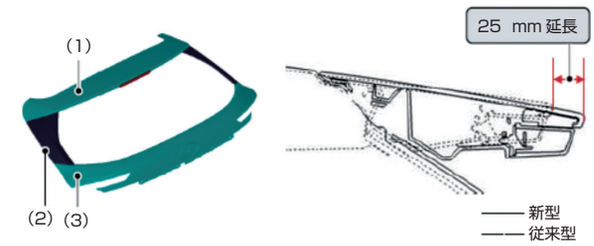


図 65　リヤコンビランプの構造

7.20　ルーフスポイラー

ルーフスポイラーの延長と大型の翼端板追加により、空力性能を向上した。翼端板は、リヤゲートガーニッシュと連続性を持たせた形状とすることで、意匠性を向上した（図66）。



(1) ルーフスポイラー
(2) 翼端板
(3) リヤゲートガーニッシュ

図 66　ルーフスポイラー

7.21　サイドシルスポイラー

ボディとの分割ラインをまっすぐ通すことで、すっきりとした外観を実現した。また影となる面を追加し立体感のある造形とすることで見栄えを向上した（図67）。

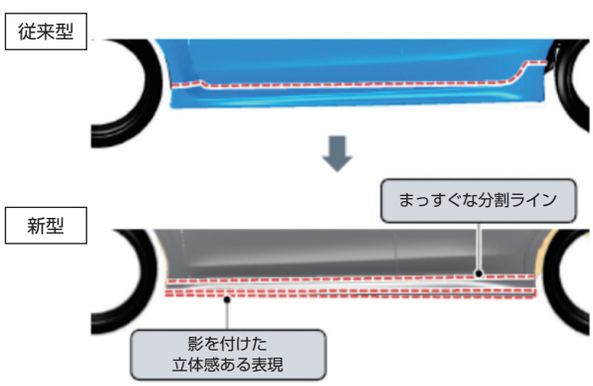


図 67　サイドスポイラー構造

同時に、乗降性に配慮しながらも下面幅を確保することで、空力性能を向上した。さらに、断面に曲率を持たせることで、剛性を高め石はね音の低減を実現している（図68）。

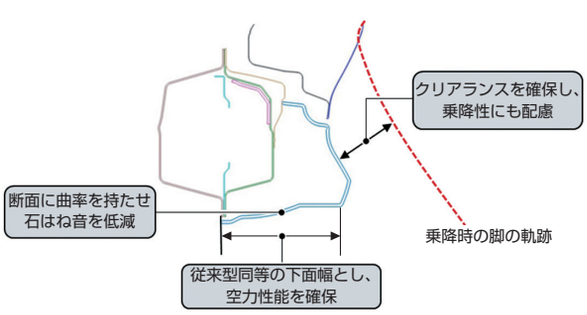


図 68　サイドスポイラー断面の工夫

8.　内装

新型LEVORGの先進性を象徴するセンターパネルを中心に、「安定」「安心」「愉しさ」の3つのキーワードの融合を開発テーマとし、ドアを開けたその瞬間

に感じることが出来る“スポーティで快適なインテリア”を目指した。包まれ感と触れるところの細部にまで拘った心地の良い形状や素材感を付与し、先進的なコックピットシステムが革新のパフォーマンスワゴンとしての価値をさらに向上させている。またグレード展開にあわせて素材や色使いを変化させている(図69、70、71)。なお、センターディスプレイとメーターは別章にて紹介する。

図 69　GT EX グレード

図 70　GT－H EX グレード

図 71　STI Sport EX グレード

8.1　インパネ

SUBARUインテリアの3軸を起点としたスポーティな空間を表現した。詳細は別章にて紹介する。

新型LEVORGでは大型センターパネルを中心に機能を集約した先進感、高級車に匹敵するクラス感を表現したデザインとした。またインパネを多層構造とし、MID加飾には表皮巻きとステッチを施し、ソフトな触感と職人が手巻きで仕上げた外観が高級感を演出している(図72)。

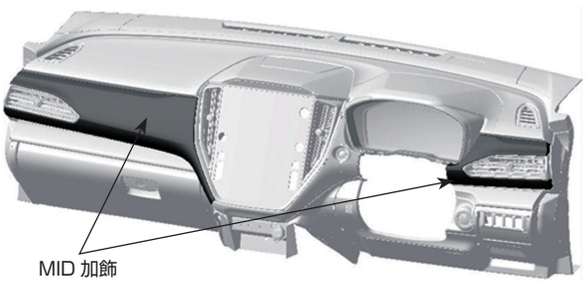


図 72　MID 加飾

8.1.1　ベンチレーショングリル

ベンチレーショングリルはインパネにあわせた新意匠を採用し、さらに操作ノブと風向フィンに加飾を施すことにより先進感を演出した。シャッターや風量・風向の調整はダイヤル一体型操作ノブを採用し、ワンアクションですべての操作を可能にして使い勝手を向上した(図73)。また、操作ノブはソフトな触感(ゴム質材)とすることで質感を向上している。

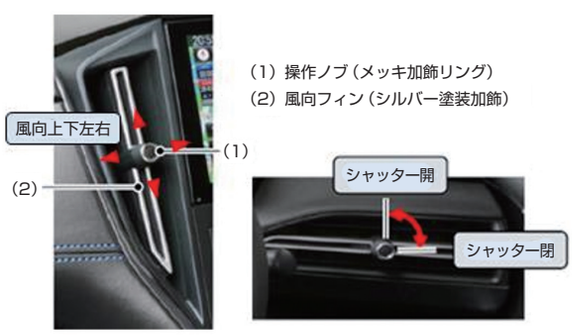


図 73　ベンチレーショングリル

8.1.2　軽量化

新型LEVORGのインパネでは、質感向上だけはなくSUBARU初となる軽量化技術を採用している。空調ダクトでは、従来のソリッド樹脂構造から発泡樹脂構造とし、約35%の質量低減を実現した(図74)。また、インパネパッドでは、ウレタン注入量を最適化することでソフトな触感をキープしたまま、ウレタン層の薄肉化(t7→t5)を実現している(図75)。

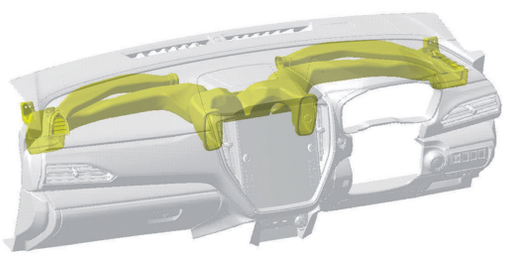


図 74　空調ダクト

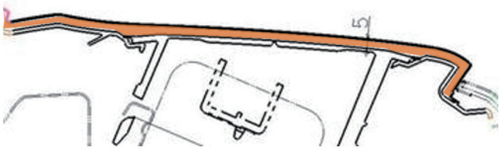


図 75　インパネパッドの断面イメージ

8.2　新世代SUBARUデジタルコックピット

8.2.1　開発の狙い

新世代SUBARUデジタルコックピットシステムは、北米向けOUTBACK/LEGACYから搭載し、新型LEVORGに国内初として搭載した。運転に必要な情報はコンビネーションメーターとアイサイトアシストモニターに、エンターテイメント機能や各種設定操作などは大型の縦型センターインフォメーションディスプレイにそれぞれ集約し、シンプルで分かり易い構成とした。『EX』グレードには、SUBARU初となるフル液晶メーターを採用するなど先進感と扱い易さを両立させたコックピットシステムである。

8.2.2　コンビネーションメーター

グレードに合わせ、標準仕様のコンビネーションメーター〔4.2インチマルチインフォメーションディスプレイ付〕と12.3インチフル液晶メーターの2種類を設定した。標準仕様のコンビネーションメーター（図76）は、シンプルかつ質感も合わせ持つ、白基調のルミネセントメーター（アナログ指針）である。メーター中央には4.2インチマルチインフォメーションディスプレイを配し、速度表示や、アイサイト関連の表示、各種インフォメーション、注意喚起や警告表示等、運転に必要なさまざまな情報を表示する。

図 76　コンビネーションメーター
（4.2 インチマルチインフォメーションディスプレイ）

『EX』グレードに搭載する12.3インチフル液晶メーター（図77）では、運転に必要な情報や、アイサイト関連の車両情報を、より大きくグラフィカルに表示する。また、運転シーンやドライバーの好みに合わせ、“ノーマル”“地図”“アイサイト”の3つのモードを選択することも可能とした。モード切り替えは、ステアリングインフォメーションスイッチ（図78）の操作で実行できる。

図 77　12.3 インチフル液晶メーターの 3 モード表示

図 78　インフォメーションスイッチ（中央）

なおフル液晶メーターの詳細については、別章で解説しているため、本章では割愛する。

8.2.3　センターインフォメーションディスプレイ

オーディオレス仕様グレードを除くインストルメントパネルには、11.6インチ縦型のセンターインフォメーションディスプレイを設定した（図79）。国内仕様としては、新型LEVORGが初となる。

ナビゲーション、ラジオ、メディア、テレビ、電話は勿論のこと、Apple CarPlay※1、Google Android Auto※2アプリとの連携、カーインフォメーション、エアコン操作、各種設定等の機能を有する。HMI（ヒューマンマシンインターフェイス）仕様としては、タッチパネルと音声による操作が可能であり、それはお客様が普段使用するスマートフォンと同様である。先進性と扱い易さを兼ね備えた最新のインフォテイメントシステムである。

なおディーラーオプションのETCやDVDデッキと接続することで、連携機能をさらに充実できる設定としている。

※1 Apple CarPlayは、米国およびその他の国で登録されたApple Inc.の商標です。
※2 AndroidおよびAndroid Autoは、米国およびその他の国で登録されたGoogle Inc.の商標です。

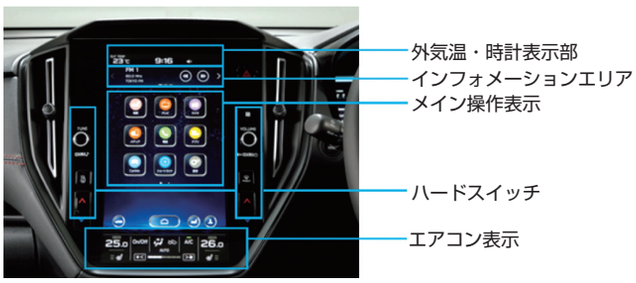


図 79　11.6 インチ縦型センターインフォメーション
ディスプレイ

オーディオレス仕様グレードには、7インチセンターインフォメーションディスプレイを設定した(図80)。

エアコン操作と各種車両設定機能を集約した感圧式タッチパネル仕様であり、画面を直接タッチ操作することができる。

図 80　7インチセンターインフォメーションディスプレイ
(オーディオレス仕様)

8.2.4　アイサイトアシストモニター

アイサイトアシストモニターは、アイサイト関連の注意・警告をフロントガラスに投影することで、ドライバーが周囲の道路環境への視線を動かさずに認知することができる表示システムである。

新型LEVORGでは、このアイサイトアシストモニターもアイサイトと共に進化し、『EX』グレードには9灯型のアイサイトアシストモニターを搭載した(図81)。従来の7灯型のLEDの左右に青色LEDを追加することで、渋滞時ハンズオフアシストの制御状態を表示することができるようにした。あわせてその他の注意･警告も点灯するようにしてドライバーの認知･サポート性をさらに高めた(図82)。

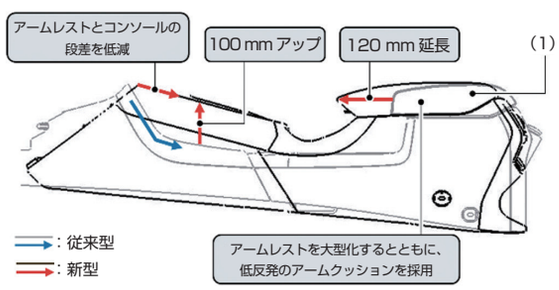
図 81　アイサイトアシストモニター

情報	アイサイトおよび先進運転支援システム	アイサイトアシストモニター点灯パターン
付加情報	・先行車認識	
安全	・渋滞時ハンズオフアシスト制御中	
注意	・車線逸脱、ふらつき ・運転引き継ぎ ・前側方警戒アシスト ・カーブ前、料金所減速	
警告	・プリクラッシュブレーキ ・運転引き継ぎ警報 ・前側方プリクラッシュブレーキアシスト ・エマージェンシーレーンキープ作動 ・ドライバー異常時対応システム作動中	

図 82　点灯パターン例

8.3　センターコンソール

コンソール上面を上げてアームレストとの段差を軽減し、センター廻りの力強さとふくよかさを表現した(図83)。

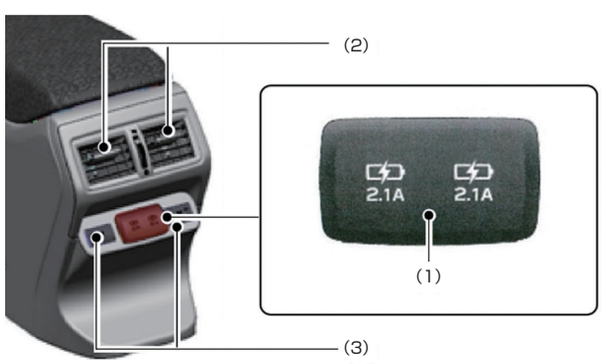


(1) アームレスト

図 83　センターコンソール新旧比較

8.3.1　コンソール機能の拡充

LEVORG初となる後席ベンチレーションを採用した。またその近接部に後席シートヒータースイッチを配置、かつ初代LEVORGでも採用している後席用USB電源も装備し、後席乗員の快適性と利便性を向上させている(図84)。



(1) 充電用 USB ポート
(2) 後席用空調グリル
(3) 後席シートヒータースイッチ

図 84　コンソール機能の拡充

8.3.2　カップホルダー

フロント席用のカップホルダーは並列化し、運転席・助手席どちらからでも使いやすいレイアウトとすることで使い勝手を向上した（図85）。

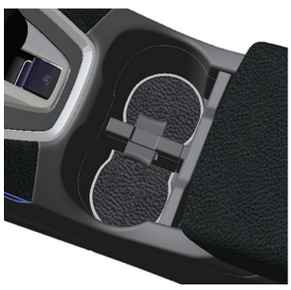


図85　フロント席用カップホルダー

8.3.3　コンソール加飾

一部グレードを除き、コンソールセンターサイドは表皮巻き＆ステッチを配置し、膝当たり部分のクッション性向上と質感向上を図った（図86）。また、クッションは発泡倍率の変更と厚みを初代LEVORGの2 mmから5 mmにアップし底付き感を向上した（図87）。

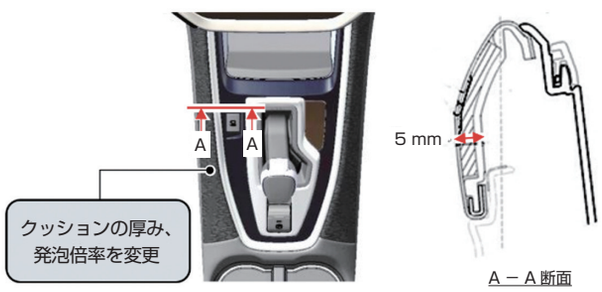


図86　コンソール加飾及び断面図

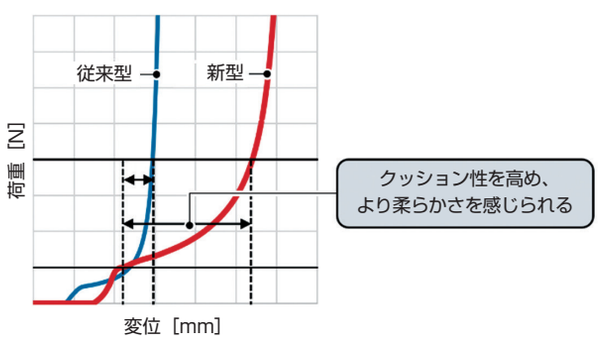


図87　コンソール加飾 クッション性能比較

8.3.4　シフト

(1) シフトレバー

滑らかな操作性をねらい、シフト操作力発生部に軟質樹脂を採用し、シフトレバー操作時の質感を向上した。

(2) シフトグリップ

グリップボタンの構造変更、かつ部品精度を向上して機構部のガタを軽減し、操作時の質感を向上した。

8.3.5　ステアリングホイール＆コラム

(1) ステアリングホイール

取り回しがしやすく、クイックな操舵感を実現した小径のDシェイプを踏襲しつつ、リング内周に手を添える面を設定し、余計な力を加えずに自然に操作できる断面形状とした。

(2) ステアリングコラム

さまざまなお客さまの運転姿勢や体格に幅広く対応するため、チルト・テレスコピックの調整量を初代LEVORGから約30%拡大した。

8.4　シート

表皮の分割数を増やし立体的な造形とすることで、質感向上を実現した（図88）。

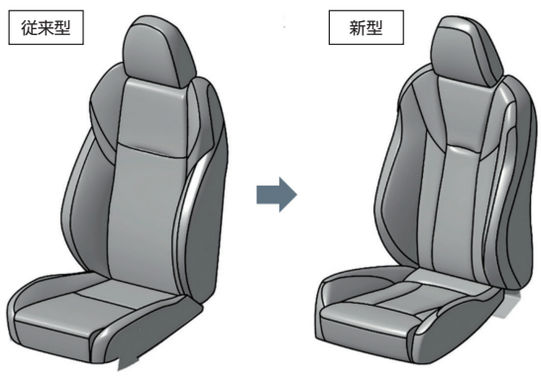


図88　新型と従来型 LEVORG のフロントシート比較

8.4.1　フロントシート

全グレードにスポーティーシートを採用した。シート形状は、見た目から伝わるスポーティさをさらに高めながら、体格の許容性や乗降性に配慮した形状とした。また、サポート性を上げたことにより、スポーツ走行時でもシートを通して車に「守られている安心感」を提供している。詳細は別章にて紹介する。

8.4.2　リヤシート

(1) 座り心地向上

初代LEVORGに対し、クッション長を18 mm延長し大腿部のサポート性を向上した（図89）。

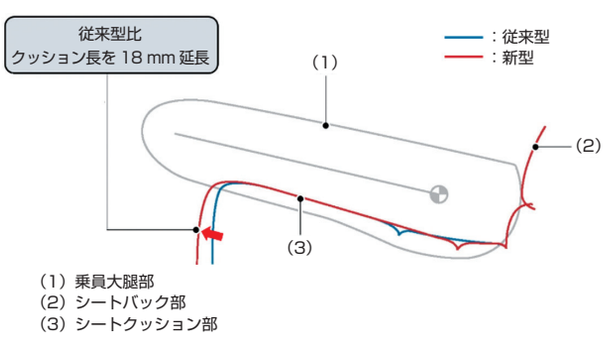


図89　リヤシートクッション比較

(2) 快適性の向上

乗員の体圧に合わせ、シートヒーター熱線のレイアウトを最適化し、より効果的に温めることが出来るシートヒーターとした。また好みや気温に合せて、2段階の温度調整を可能としている(図90)。

: ヒーターエリア

図 90　リヤシートのヒーターエリア

(3) 利便性の向上

初代LEVORGと同様に4：2：4分割可倒式リヤシートを採用し、お客様の利便性を確保した(図91)。

(4) 安全性の向上

後席の簡易着座センサーを中央席にも対応して3座席すべてに設置(初代LEVORGはサイド席のみ)し、後席乗員の有無を検知してシートベルト未装着を警告する構造とした(図92)。また、後席リマインダーも設定した。

8.5　トリム

インテリアの上質感や実用性を高めるため、初代LEVORGに対し、多くのアイテムを刷新した。

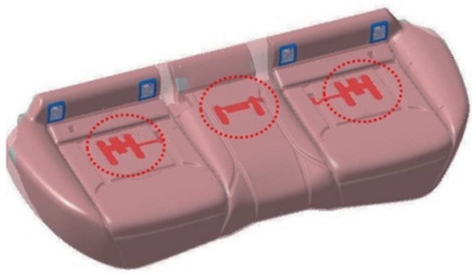


図 92　簡易着座センサーレイアウト

8.5.1　荷室トリム

使い勝手のよい荷室を実現するため、車体とトリムの関係を限界まで追い込み空間を拡大した。特にサブトランクを最大限に拡大し、大きな荷物を床下に収納出来る様にした(図93)。詳細については別章にて紹介する。

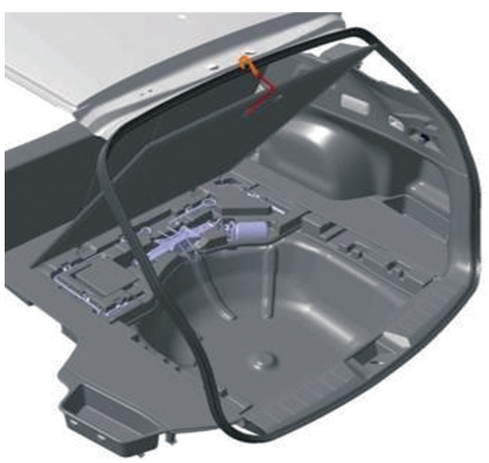


図 93　サブトランク

8.5.2　ドアトリム

一部グレードを除きドアトリムMID表皮部分にステッチを配置し質感を向上した(図94)。

図 91　4：2：4 分割可倒式リヤシート

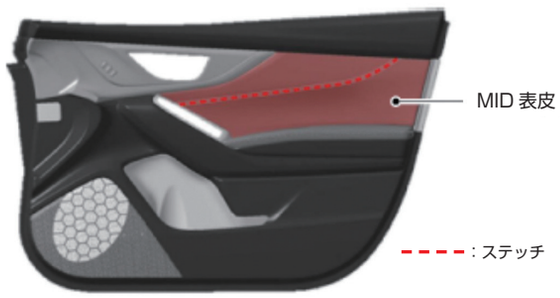


図 94　ドアトリム

また、アームレストのクッション範囲を拡大すると共に、クッション厚みを初代LEVORGの3 mmから20 mmに増やすことで快適性を向上した(図95)。

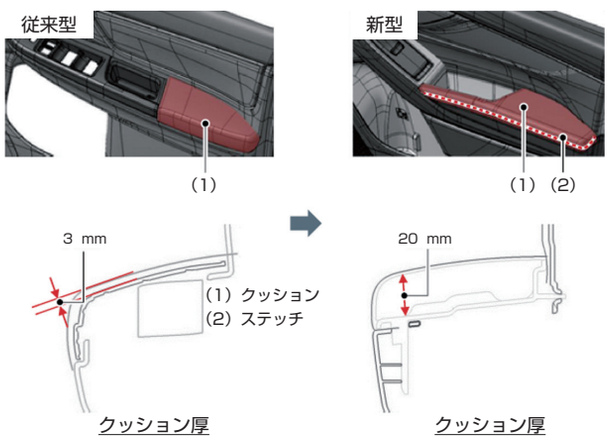


図 95　ドアトリムアームレスト比較

8.5.3　アシストレール

新型LEVORGではグリップの握り感についても向上を図っている。試作品を作製して社内でモニター調査を重ね、評価をまわしていくことで、握った瞬間に手指腹にフィットする形状とした(図96)。

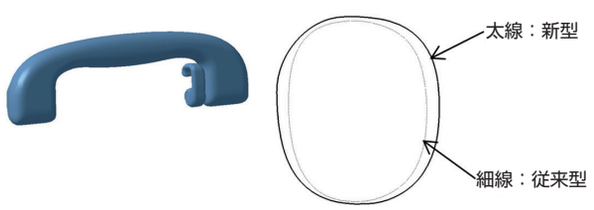


図 96　アシストレール グリップ断面

8.5.4　アイサイトカバー

初代LEVORGは前席マップランプと一体型であったが、新型アイサイトカメラのフロントガラス取付化に伴い、新型では分離構造を採用して小型化し圧迫感を解消した。また､初代LEVORGでは塗装有りであったが、金型冷却構造の工夫と成形時の温度管理により塗装レスでも質感の確保が可能となった。

8.6　室内照明

LEVORG初となるインパネアンビエント照明の採用に伴い、室内照明のマネージメントを行い、質感の高い室内空間を演出した。

8.6.1　おもてなし照明

インパネ意匠の流れに沿ったライン照明としてインパネアンビエント照明を設定した(図97)。この照明はカスタマイズ機能でON/OFF設定を可能とした。

また、お客様が乗降するシチュエーションから、室内照明の点消灯状態の検討を行い、おもてなし及び上質感を演出する点消灯パターンとした。具体的には、スマートキーを持ったお客様が車両に近づいた際、インパネアンビエント、ドアトリムプルハンドル照明、前後席マップランプが光るように設定、お客様が自車にもてなされる様な演出としている。

図 97　インパネアンビエント照明

8.6.2　機能照明

機能照明である以下3点アイテムについて、初採用または刷新を行った。

(1) ドアトリムプルハンドル照明

プルハンドル部分にLEVORG初採用となる照明を設定し夜間での利便性向上を図っている。またアンビエント照明をセット装備とすることで高級感の演出を行っている(図98)。

図 98　プルハンドル照明

(2) コンソール　カップホルダ照明

LEVORG初となるカップホルダー照明を設定した。底面形状に沿ったリング型の照明形状としている。

プルハンドル同様、アンビエント照明とセット装備とした(図99)。

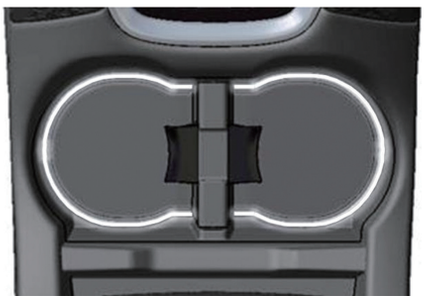


図 99　カップホルダー照明

(3) 後席マップランプ

初代LEVORGの後席マップランプ機能は踏襲しつつ、光源をLED化することで視認性を向上し、また先進感も与えている。あわせてランプ本体の出っ張りをなくすことで天井面の質感向上にも寄与した(図100)。

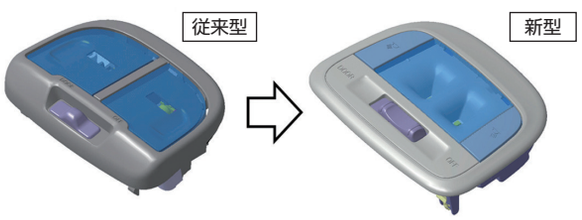


図 100　後席マップランプ

8.7　空調

エアコン作動時の振動や騒音の低減を実現して快適性の向上することを目的に開発を行った。またエアコンの作動状況を最適化し、実用燃費の向上にも寄与している。

8.7.1　マグネットクラッチ付可変容量式コンプレッサ

新型LEVORGは、エアコンの状況に応じて最適な冷媒吐出量に出来る可変容量式コンプレッサ(初代LEVORGは、固定容量式コンプレッサ)を採用した(図101)。常に100%の能力で作動する固定式に対し、可変式では車内が暑いときは100%、車内温度が十分下がれば50%で作動するといった段階的な作動が可能。段階的に仕事量を上昇させることで、走行中のエアコン作動による振動・騒音の低減を実現させている(図102)。

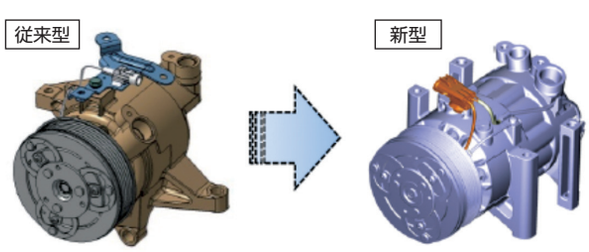


図 101　コンプレッサ

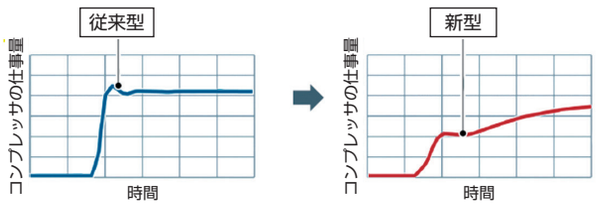


図 102　コンプレッサ仕事量の概略図

8.7.2　温湿度センサー

快適性と燃費向上のため、湿度センサー機能を付与している。従来の温度情報だけでなく、湿度情報も空調制御に活用することで、より環境に適した空調を提供すると共に、適切な空調作動による空調性能の向上と省動力化を実現した。また、STI Sportグレードのドライブモードセレクトではエアコン制御にマイルドモードを設定しており、より好みに応じた快適制御の選択を可能にしている。

8.7.3　大型フットダクト

足元を均一な温度にするためにフットダクトを大型化し、足元全体に風を当てることを可能にした。これにより、足元まわりの暖房力を高め、快適性を向上した(図103)。

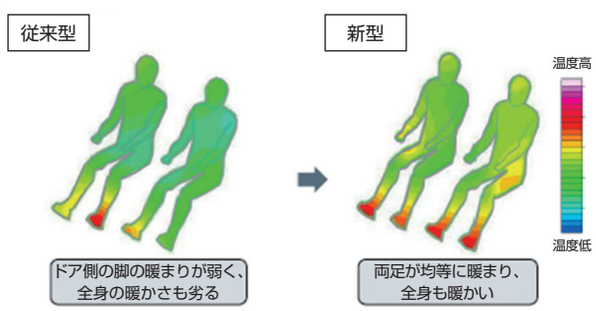


図 103　暖房性能比較

8.7.4　空調モード

STI Sportグレードには、ドライブモードセレクトにリンクした空調設定とした。通常の空調設定であるノーマルモードのほかに、湿度センサーを使用し内気循環を優先し車内の乾燥を極力低減させたマイルドモードを設定し、お客様が好みに合わせた空調制御を選択できるようにした。選択方法はドライブモードセレクトと連動した切り替えか、Individualモードではお客様の好みで選択可能としている。

9.　エンジン

9.1　エンジン

新開発の1.8L水平対向直噴ターボエンジンについては、別章にて紹介する。

9.2　冷却システム

高い燃費性能と動力性能を兼ね備えた新型エンジンに対応するため、冷却性能の強化を行った。

(1) ラジエータサイズの拡大

ラジエータのコア投影面積を初代LEVORG比で6.5%の拡大を行っている（図104）。

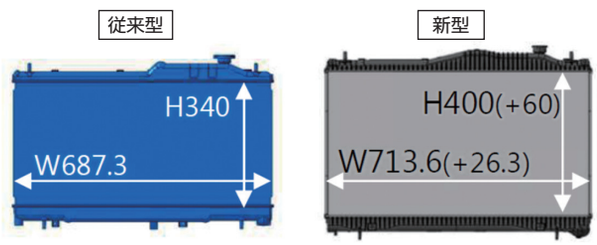


図 104　ラジエータ比較

(2) ラジエータコア

ラジエータコアの単位面積当たりの放熱効率を従来型比で約9%向上した。

(3) ラジエータファン大径化

ファンの有効外径を初代LEVORG比で12.9%拡大した（図105）。

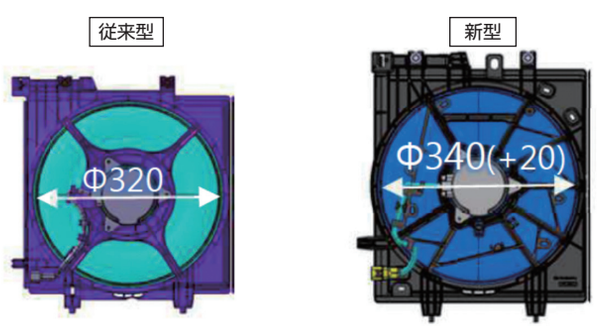


図 105　ラジエータファン比較

(4) エアガイド導風性能強化

ラジエータに効率的に導風するエアガイドは、材質、形状から見直し導風性能を強化・最適化した（図106）。バンパーの必要開口面積を16%低減可能とすることで、意匠性の自由度向上に貢献している。

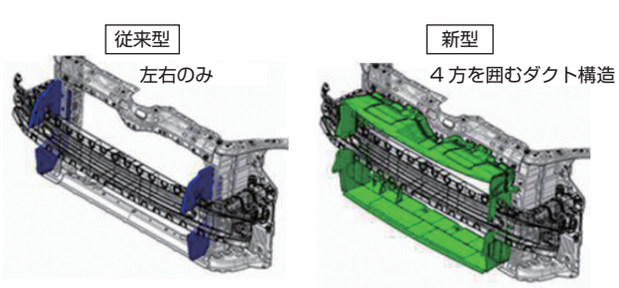


図 106　エアガイド構造

10.　トランスミッション

新型LEVORGのコンセプトに従い、初代LEVORGに対して大きく進化させたリニアトロニックを開発した。

2019年夏に北米に発表したレガシィ・アウトバックに搭載したリニアトロニックをベースに、最大トルク300Nmの新開発1.8L直噴ターボエンジンに対応するため改良を実施した。構成要素の80%を新設計し、副変速機無しのCVTでは最大となるレシオカバレージ8.1の実現と、機械損失の低減によりCVTトータルで損失を22%低減し、新型車両の環境性能向上に大きく貢献した。また、レシオカバレージ拡大による発進性向上に加え、オイルポンプ、プラネタリギヤ等の仕様変更により静粛性の大幅な向上に貢献している。環境性能と動的質感の向上の開発を継続し、お客様に選んでいただけるよう、世界中のお客様の期待に応えていくべく開発した。（図107）。

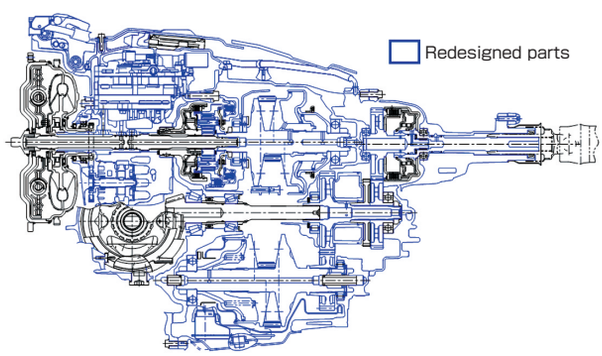


図 107　主断面

10.1　開発の狙い

高い次元で求められる『環境性能』と『動的質感』向上に対し、コンパクトでトルク密度が高く、かつ、プーリ比に関わらず伝達効率が高い特長を持つチェーン式CVTを継承した。主変速機構を刷新してレシオカバレージを確保することにより、シームレスなCVTの特徴を最大限に発揮できる構造としながらも、軸配置や外観寸法は従来型を踏襲し、車室内に影響を与えないように配慮した。

10.2　環境性能の向上

クラストップの環境性能を実現するため、レシオカバレージ拡大（8.1←6.3）し、オーバードライブギヤ比を広げ高速巡航時のエンジン低回転化、さらに、油圧損失と撹拌損失の低減によりCVTトータルで損失を従来型比22%低減した（図108、109）。

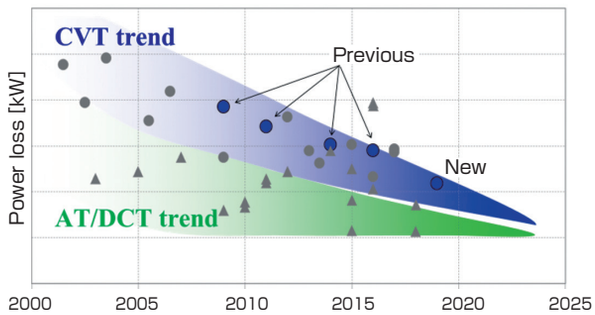


図 108　トランスミッション損失馬力予測
(80 km/h road load)

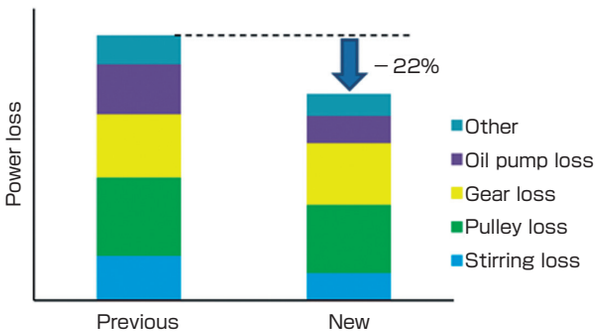


図 109　トランスミッション損失馬力比較
(80 km/h road load)

10.3　動的質感の向上

レシオカバレージ拡大によるローギヤ比の拡大と併せて、リダクションギヤ比をローギヤ化し発進加速性能を向上した。また、マニュアルモードを8速化(←6速)することでドライバビリティの向上を図った。

振動騒音面については、ベーン型オイルポンプを採用しオイルポンプ音を低減した。また、プラネタリギヤ音はギヤ諸元を最適化することで静粛性を大幅に向上した。表4に主要諸元を示す。

表 4　諸元

		Previous	New
Maximum input torque		250 Nm	300 Nm
Gear ratio	Ratio coverage	6.3	8.1
	Pulley ratio	2.549 ~ 0.406	2.893 ~ 0.358
	Reduction ratio	1.405	1.405
	Final ratio	3.900	3.900

10.3.1　レシオカバレージの拡大

ローギヤ比での発進性確保、オーバードライブギヤ比での燃費向上と緩加速時の駆動力確保から目標レシオカバレージを決定した。目標達成に向けてプライマリとセカンダリのチェーン巻き掛け径を最適化し、プーリ芯間距離不変でレシオカバレージを従来型比16%拡大し、副変速機を持たないCVTのトップランナーとなるレシオカバレージ8.1を達成した(図110)。

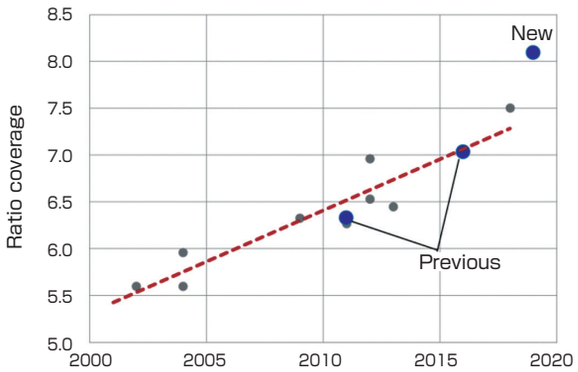


図 110　レシオカバレージ予測 (中容量 CVT)

チェーン巻き掛け小径化によりチェーン負荷が増加するため、チェーンは従来型に対しロッカーピン形状変更、リンクプレート配列の最適化、さらなるチェーン生産工程の改善により強度を向上した。また巻き掛け小径化を実現するためにプーリ軸径を小径化しており、セカンダリ側への入力トルク増加に対し、軸部へのショットピーニング追加およびプーリシーブ背面形状の最適化により強度と剛性を確保した(図111、112)。

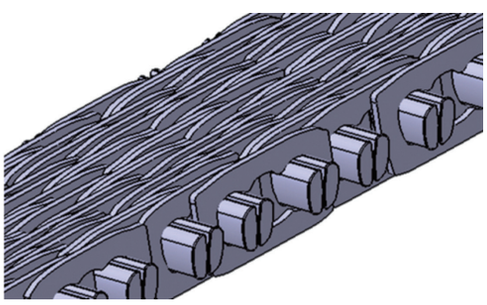


図 111　CVT チェーン

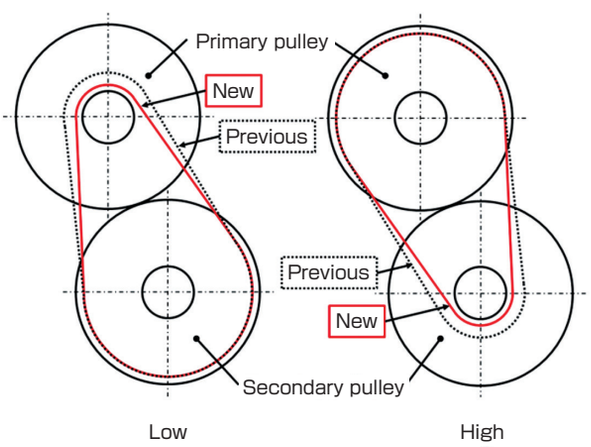


図 112　巻き掛け径比較

10.4　油圧システムの刷新

損失低減のため新型CVTではライン圧とセカンダリ圧の独立制御化と、2ポート切替えオイルポンプを採用し、油圧システムの刷新を図った(図113)。

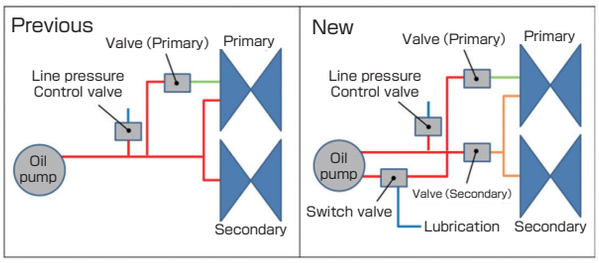


図 113　油圧システム

10.4.1　セカンダリ圧独立制御

従来型ではライン圧とセカンダリ圧を共用していたが、新型CVTでは独立して制御できる油圧制御機構を採用し緻密な制御を実現した。これにより、バリエータ要件以外で油圧過多になっていた領域でセカンダリ圧の適正化を図ることができ、80km/h road load条件ではバリエータクランプによる損失を従来型比14%低減した（図114）。

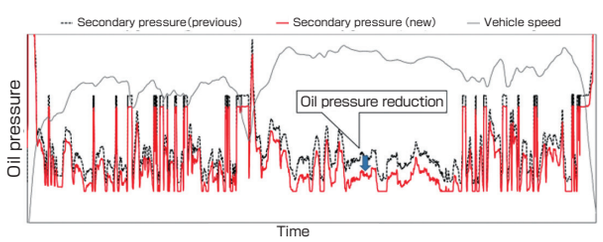


図 114　油圧低減 (US highway mode)

10.4.2　2ポートオイルポンプ

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

10.5　メカニカルロスの低減

テーパローラベアリングの内部諸元最適化によりフリクショントルクを低減した（図115）。

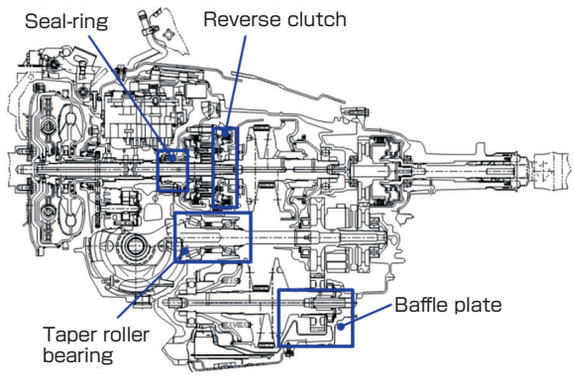


図 115　メカニカルロス低減アイテム

シールリングサイド面のポケット形状を最適化し、動圧効果による油膜形成でフリクショントルクを低減した（図116）。リバースクラッチのフェーシング形状を変更しオイル排出性を向上させドラグトルクを低減した（図117）。また、CVTフルードを低油温～高油温の全域で低粘度化（図118）、プーリ用バッフルプレートの形状変更によりオイル流入を抑制し（図119）、オイル撹拌抵抗を低減した。これらの結果、80 km/h road load条件で撹拌損失を従来型比37%低減した。

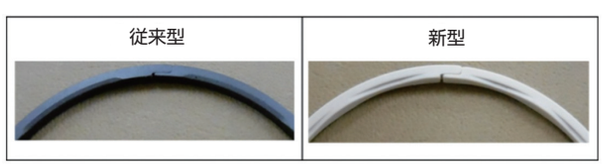


図 116　シールリング ポケット形状

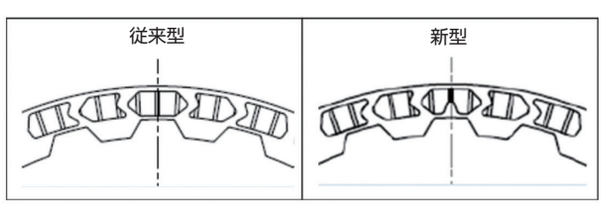


図 117　リバースクラッチ フェーシング形状

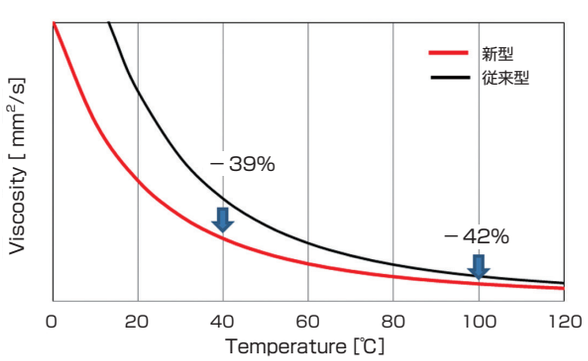


図 118　CVT フルード粘度

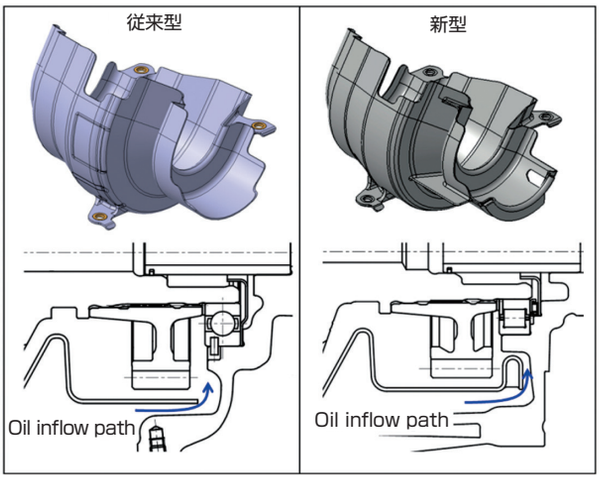


図 119　プーリ用バッフルプレート

10.6　オイルポンプ音の低減

ポンプの構造を従来の内接ギヤ型からベーン型に変更し、吸入ポートの上流に新構造となるオイルガイドを配置した(図120)。オイルガイドによる戻し回路のオイル整流効果により吸入負圧の絶対値を低減し、気泡の発生を抑制することでオイルポンプ音を5 dB改善した(図121)。

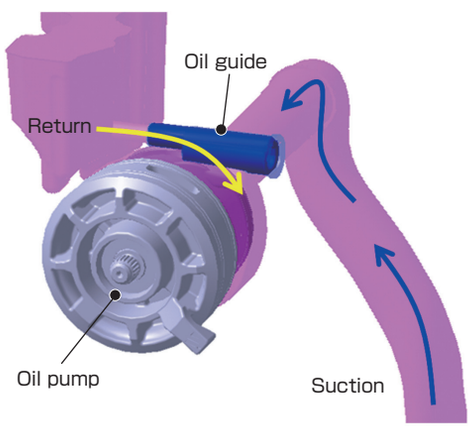


図 120　オイルポンプ 吸入回路

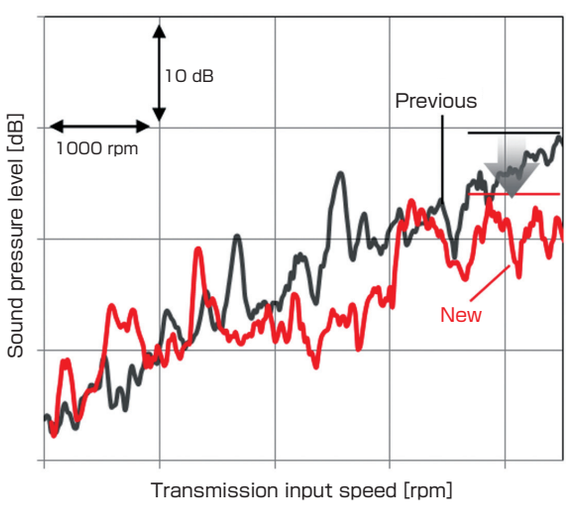


図 121　オイルポンプ音 比較

10.7　プラネタリギヤ音の低減

プラネタリギヤ音に寄与の高い構造系の変形モードを励起しないようギヤ噛み合いを同位相設計することで、ギヤ噛み合い反力ベクトルを変化させて、従来型に対し放射音レベルを10 dB低減した(図122)。

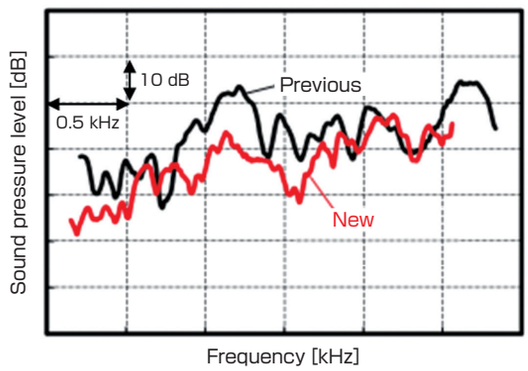


図 122　プラネタリギヤ音 比較

10.8　軽量化

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

11.　SUBARU STARLINK

事故時の緊急通報や、故障時にロードアシスタントに連絡できるコネクティッドサービスを国内SUBARUとして初導入しお客様に「つながる安心」を提供開始した。SUBARUのコネクティッドサービス＝SUBARU STARLINKは5つの有料サービスと2つの無料サービスを展開する(図123)。サービス名は以下の通り。

■もしもの時につながる機能
・先進事故自動通報(ヘルプネット)
・SUBARU SOSコール
・SUBARU iコール(安心ほっとライン)
・故障診断アラート
・セキュリティアラート
■大切なお知らせを見落とさない機能
・リコールお知らせ機能
・ソフトウェア更新

なお、新車購入の場合、車両の初度登録日から5年間は「SUBARUつながる安心パッケージ」を無料でご利用いただけるシステムとした。

11.1　もしもの時につながる機能

(1) 先進事故自動通報(ヘルプネット)

緊急通報システム「ヘルプネット」と緊急自動通報システム「D-Call Net®」の2つのシステムからな

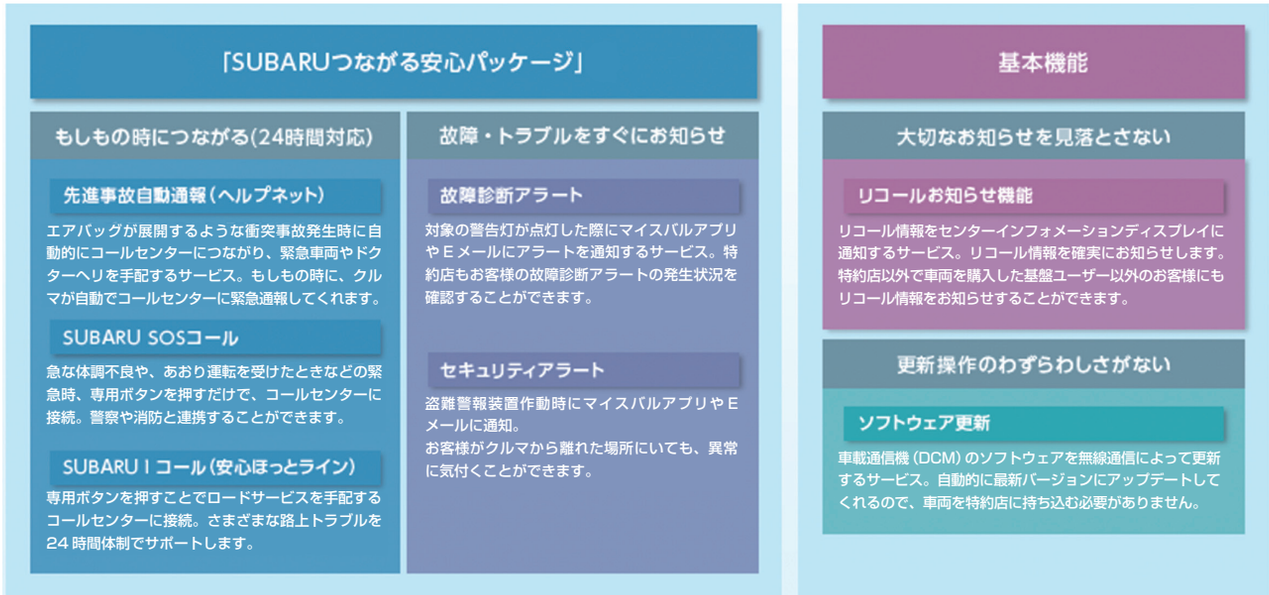


図 123　SUBARU STARLINK サービス一覧

る（図124）。エアバッグが展開するような大きな交通事故が発生した時、緊急通報システム「ヘルプネット」が作動し、車両が自動的にコールセンターへ通報。オペレーターとドライバーや同乗者が直接会話して事故状況を確認、オペレーターが最寄りの警察・消防等関連機関に緊急車両などの出動を要請する。

同時に、緊急自動通報システム「D-Call Net®」に通報、衝突直前の速度・衝突時の速度変化等のデータを元に乗員のケガの状況を推定（障害予測）しドクターヘリやドクターカーの早期出動判断につなげる。

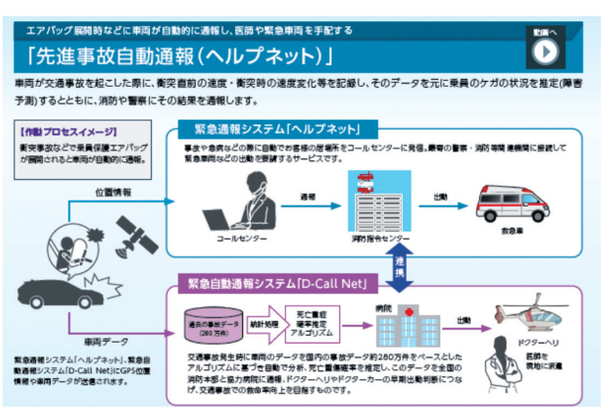


図 124　『ヘルプネット』システムイメージ

(2) SUBARU SOS コール

急な体調不良で運転が困難になった時などの緊急時に『SOS ボタン』を押すとコールセンターへ接続するシステムである。オペレーターとドライバーが直接通話して状況を確認し、オペレーターが必要に応じて緊急車両を手配する（図125、126）。

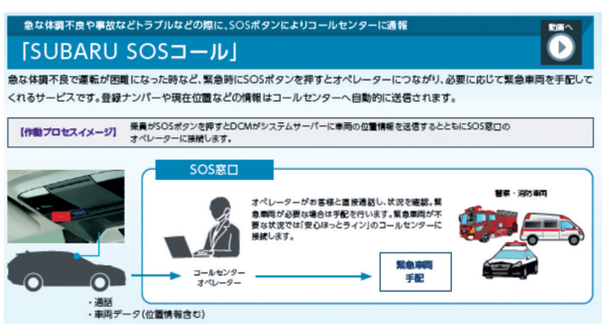


図 125　『SUBARU SOS コール』システムイメージ

図 126　SOS ボタン

(3) SUBARU iコール（安心ほっとライン）

急な車両故障の際など、『i ボタン』を押すと「SUBARU 安心ほっとライン」のコールセンターに接続するシステムである。オペレーターとドライバーが直接通話して状況を確認しあい最適な対応を行う（図127、128）。

(4) 故障診断アラート

警告灯などが点灯したとき、マイスバルアプリやEメールでアラートを通知すると同時に、特約店も管理画面でお客様の車両の警告灯などの点灯状況を確認できるシステムである。正確に故障情報の連携ができ診断時の問診をスムーズにできるようにした（図129）。

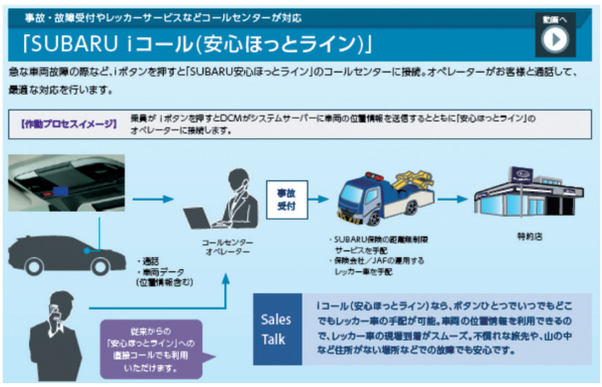


図 127 『SUBARU i コール』システムイメージ

図 128 iボタン

図 129 『故障診断アラート』システムイメージ

(5) セキュリティアラート

盗難警報装置作動時にマイスバルアプリやEメールにアラートを通知するサービスである(図130)。

図 130 『セキュリティアラート』システムイメージ

11.2 大切なお知らせを見落とさない機能

(1) リコールお知らせ機能

車両のリコール情報をセンターインフォメーションディスプレイに通知して、SUBARU販売店への入庫を案内するシステムである。例えば、転居によりダイレクトメールが届かないお客様や、うっかり見落とされているお客様に対し、重要なリコール情報を確実に知らせることができるようになる(図131)。

図 131 『リコールお知らせ機能』システムイメージ

12. STI Sportとドライブモードセレクト

初代LEVORGでは、STI社の持つスポーツカーのノウハウを投入しながら、ライン生産のメリットを活かしお客様におすすめしやすい価格帯で提供することを可能にした「カタログモデルの最上級グレード」である『STI Sport』を追加設定した。STI技術者とのコラボレーションによりLEVORGが持つポテンシャルを最大限に引出し、洗練されたスポーティさと、走り始めからすぐに分かる上質な乗り味を丹念に作り込んだ『STIチューン』モデルであった。この「スポーティな走りと動的質感」と「内外装の質感」の双方を高めた『STI Sport』はお客様にも好評をいただいている。

新型LEVORGでは、この「STI Sport」をさらに進化させるべく、かつ最初からカタログモデルとしてラインナップするためSTI社と同時に開発を進めてきた。その代表するアイテムが、SUBARU初のドライブモードセレクトであり、『スイッチひとつでスポーツカーから高級車まで走りのキャラクターを変更できる』ことを目的に開発した。

12.1 ドライブモードセレクトの効能と狙い

『スイッチひとつでスポーツカーから高級車まで走りのキャラクターを変更できる』の文字通り、お客様の好みに応じてスイッチ操作一つでLEVORGの各性

能を自由に切り替えることで、お客様の気持ちや個性に寄り添い自在に変化させることを可能にしている。具体的には、従来のSIドライブに加え、ステアリングやダンパー、AWDやエアコンの制御を、それぞれ組み合わせを変えて4つの特徴あるプリセットモードを設定した(**表5**)。また、各プリセットモードの組み合わせ詳細を**表6**に示す。各システムの制御の違いについては、それぞれのシステム説明の項を参照いただきたい。

さらに、それぞれの制御をお客様のお好みで自由に組み合わせられるIndividualモードも設定している。

表５　各モードの特徴

プリセットモード	特徴
Comfort	高級車のような乗り心地や乾燥を防ぐエアコン制御など、快適性を重視したモード。
Normal	走りと乗り心地を最適にバランスさせた標準モード。
Sport	スポーティながら乗り心地も重視したモード。
Sport＋	スポーツカー並みのドライビングが可能な、スポーツ走行を重視したモード。
Individual	お客様のお好みに応じて、各システムを自由に設定できるモード。

表６　プリセットモードの組み合わせ内容

モード	COMFORT	NORMAL	SPORT	SPORT＋
SI-DRIVE	i	i	S	S #
パワーステアリング	Comfort	Normal	Normal	Sport
ダンパー	Comfort	Normal	Normal	Sport
AWD	Normal	Normal	Normal	Sport
アイサイト(ACC)	Comfort	Standard	Dynamic	Dynamic
エアコン	Mild	Normal	Normal	Normal

12.2　ドライブモードセレクトの操作

ドライブモードの切り替えはステアリングのドライブモードセレクト切り替えスイッチで操作可能(**図132**)。センターディスプレイでも切り替えることが可能である。

図 132　ドライブモード切り替えスイッチ

4つのプリセットモードは右側の「MODE」スイッチでNormal⇒Sport⇒Sport＋⇒Individual⇒Comfort⇒Normal⇒・・・と順番に切りえることができる。また、左側の「★」スイッチを押すとIndividualモードに一操作で切り替えが可能。なお、Individualの組み合わせ設定はドライバーモニタリングシステムとリンクしており、ドライバーの顔とともにそのお客様が最後に操作したIndividualモードの設定状態を記録する設定となっている。したがって、お客様が再度クルマに乗り込み、ドライバーモニタリングシステムがドライバーの顔を認識すると、前回の組み合わせ状態が自動で復帰され、「★」スイッチひとつで自分好みのセッティングとなる(**図133**)。このIndividualモードの設定は5名分の登録が可能である。

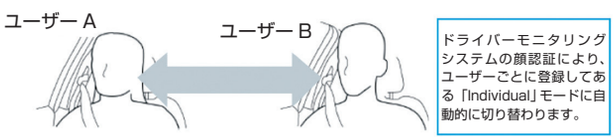


図 133　ドライバーモニタリングシステムとの連携

13.　安全性能への取り組み

13.1　衝突安全

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

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

13.1.1　前面衝突

前面衝突では、従来型に対してフロントフレームの断面拡大により約20%の抗力アップを図った。同時にフロントフレーム後端部のクロスメンバー断面を強化、トーボード室内側に骨格を追加し反力支持構造を強化して衝突エネルギー吸収効率を向上した。また、フロントフレームから連続するキャビン床下フレームは、ホットスタンプ材を採用すると同時にリヤフレームまで滑らかにレイアウトさせることでキャビンの局部変形を抑制している。さらに、トンネル裾野部への骨格追加、荷重伝達経路であるトルクボックス～サイドシル間の骨格を強化した。

13.1.2　側面衝突

側面衝突では、センターピラーにパッチワーク・ホットスタンプ工法を採用。さらにセンターピラーは、衝突時の変形をコントロールするため、焼き入れ時に強度が異なる鋼板をレーザー接合した複合材料を採用した。サイドレールに1.2 GPaの冷間超高張力鋼板材を採用した(図134)。結果、車両として初代LEVORGの1.5倍の衝突エネルギーまで対応することができている。

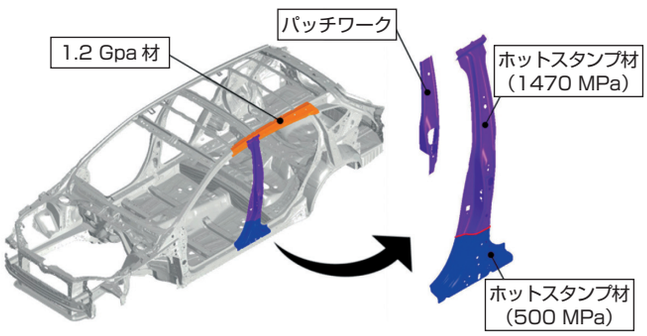


図 134　ホットスタンプ・冷間超高張力鋼板材

13.1.3　高張力鋼板の適用拡大

ボディ構造の最適化と高張力鋼板の適切な配置により、質量増加を抑えるとともに、前面、側面、後面すべての衝突安全性を向上した。高張力鋼板は従来型の50%に対して57%まで採用を拡大している。また、980 MPa以上の超高張力鋼板は従来型の4%に対し9%まで拡大している(図135)。

また、前述のとおり、1.2 GPa級の冷間高張力鋼板材及びホットスタンプ材をLEVORGとして初採用。トップレベルの衝突性能と軽量化を両立した。

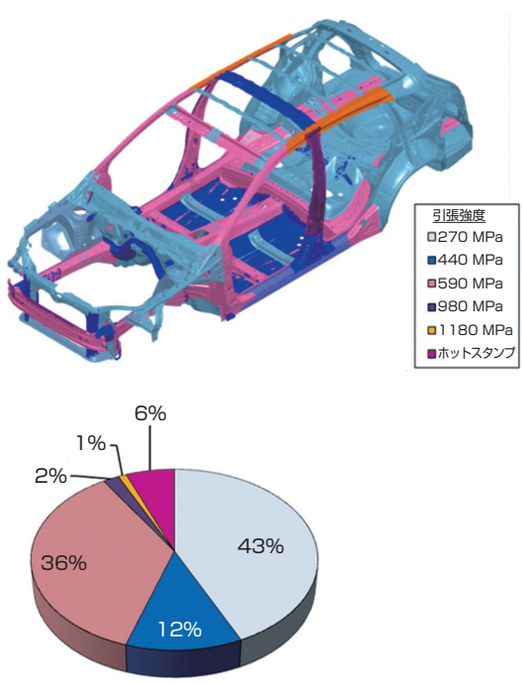


図 135　高張力鋼板適用部位

13.1.4　歩行者保護

新型LEVORGでは、大きく張り出した力強いフェンダーにより、愉しさや安定性を大胆に表現したデザインとなっている。この張り出し量拡大により、歩行者保護の頭部評価試験として、フェンダーの車体取り付け点部での評価が必要となった。フェンダー形状と車体取付け構造の最適化により、ストロークを確保できるように変形モードをコントロールし(図136)、頭部傷害値の低減を行いデザインとの両立を実現した。

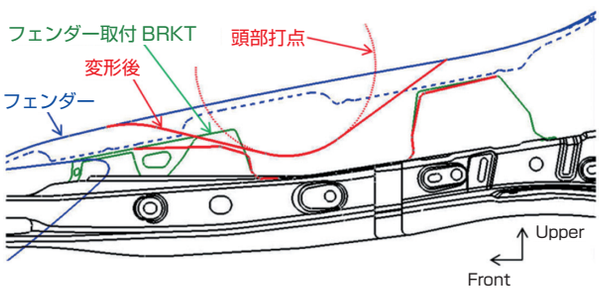


図 136　フェンダー部変形モード

13.1.5　エアバッグ

国内向けとして新世代のエアバッグシステムを搭載した。従来の、デュアルSRSエアバッグ、運転席SRSニーエアバッグ、SRSサイドエアバッグ、SRSカーテンエアバッグに加え、IMPREZA、FORESTERに搭載してきた歩行者保護エアバッグ(図137)ももちろんのこと、SUBARU国内初の助手席SRSシートクッションエアバッグと、合計9つのエアバッグを標準装備した。

また、これらエアバッグのコントロールユニットは、乗員検知と歩行者保護センシングの機能をひとつに統合して、全てのエアバッグを最適に展開するシステムとした。

図 137　歩行者保護エアバッグ

なお、このSUBARU国内初の助手席SRSシートクッションエアバッグはエアバッグが展開することで乗員の沈み込みを抑制し、シートベルトの効果をより最適化している。また、エアバッグによって下肢が持ち上

がることで前方への移動量を抑制し、下肢への傷害を低減できるシステムである（図138）。

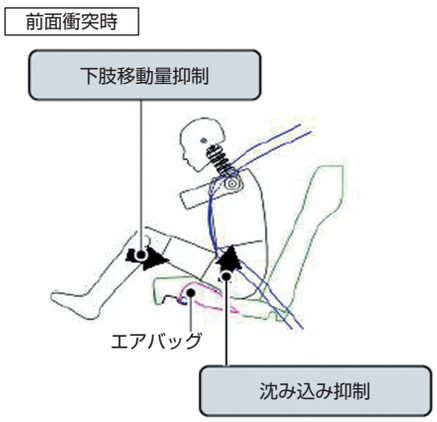


図 138　助手席 SRS シートクッションエアバッグ

また、運転席用SRSエアバッグは、展開性能は十分に確保しながら、よりスポーティにデザインされたステアリングホイールに合わせ、従来のSUBARU車の中で最もコンパクトなサイズに新設計した（図139）。

図 139　運転席 SRS エアバッグ

13.2　カメラシステム

キャビンの優れた視界を実現させる工夫は初代LEVORG同等を維持した。Aピラー下には三角窓を設定するとともにドアミラーの死角を低減。さらに斜め後方の振り返り死角を減らすため、Cピラーの断面幅を狭くしている（図140）。

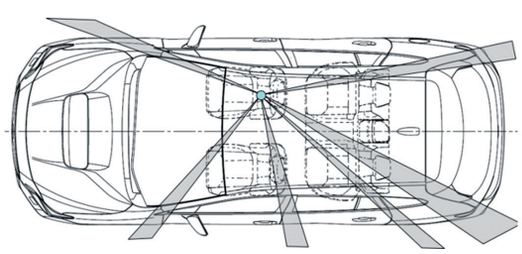


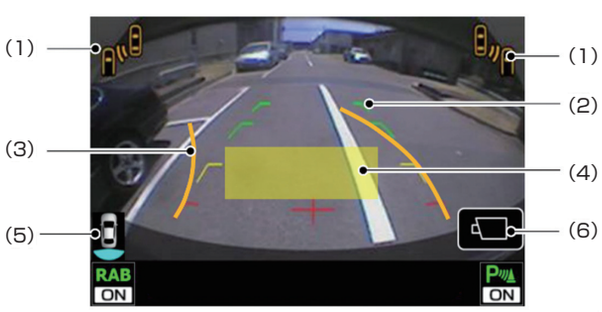
図 140　死角のイメージ

しかしながらも死角は存在するので、これを補完するシステムとして、従来から採用している周辺監視カメラシステム、スマートミラーシステムの画角、解像度をそれぞれ改善して視認性を向上した。

13.2.1　マルチビューモニタシステム

フロント、リヤ、助手席側サイドミラーに搭載する周辺監視カメラを高解像度化してセンターディスプレイに表示され、より鮮明な映像で周辺環境を視認できるようにした。フロント／サイドの映像はドライバーのスイッチ操作にて切り替え可能である。

またリヤソナー、前側方レーダー及び後側方レーダーとも連携して、センターディスプレイに車両や障害物の接近情報を表示する。図141は後退時のリヤビューカメラの表示である。リヤソナーが検知した障害物の情報と、距離警告を表示している。距離が近づくと表示の色が変わり、かつ警報音を発することで、ドライバーに距離感をわかりやすく伝えている。またディスプレイの左上及び右上には、後側方レーダーで検知した左右方向からの接近車両情報を表示する。駐車場から後退発進するとき、視認しにくい車両の接近を伝えられるため、安全に出庫できるようにした。



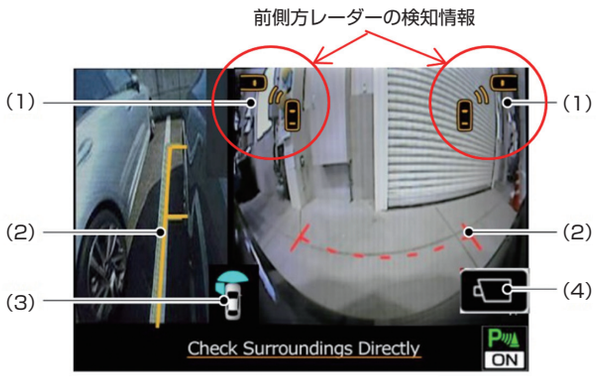
(1) インジケーター（接近車両を検知）　(4) リヤソナー距離警告表示
(2) 固定ガイド線　(5) 方向指示アイコン
(3) 舵角連動線　(6) カメラ切り替えスイッチ

図 141　リヤビューカメラ表示イメージ

また図142はフロントカメラの表示で、後退時のリヤビューカメラの表示と同様、ディスプレイの左上及び右上に、前側方レーダーで検知した左右方向からの接近車両情報を表示する。見通しの悪い交差点を通過するときなどの状況下で、ドライバーに車両の接近を伝える。

13.2.2　スマートリヤビューカメラ&ミラー

従来のスマートリヤビューカメラに比べ、画素数4倍以上のメガピクセルカメラを採用し画質を向上した。また画質だけでなく上下左右の画角も広げ、視認可能エリアを拡大した。ミラーのディスプレイエリアも広がっており、後方の視認性が大幅に改善した（図143）。



(1) インジケーター（接近車両を検知）
(2) 固定ガイド線
(3) 方向指示アイコン
(4) カメラ切り替えスイッチ

図 142　フロントビューカメラ表示イメージ

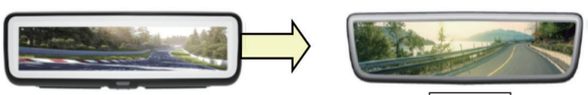


図 143　拡大したディスプレイエリア

13.3　アイサイトシステム

新型アイサイトシステムについては、別章にて紹介する。

14.　まとめ

プロトタイプを出展した東京モーターショーやオートサロンでは、「かっこいい」「早く欲しい」など、たくさんの反響をいただきました。我々プロジェクトチームは、そういった声が成功への自信が確信に変わるとともに、確実な品質でお届けしなければ、という責任を改めて強く思い、開発を進めてきました。

プロジェクトチームのメンバー全員が、「お客様をよく知る」「クルマをよく知る」「熱いハートを持つ」の3つが大切であると認識しており、この新型LEVORGは、お客様がWEBやCMでご覧になったり、店頭で触れたり乗っていただいたいた際に「購入したい！」と、“お客様の心の導火線に火が点く”クルマに仕上がっていると自負しております。

一人でも多くのお客様に「新型LEVORG」というクルマに詰まった思いが伝わると信じて、また、その思いを感じていただいたうえで『所有する悦び』を味わって頂きたいと願っています。

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

【著　者】

SUBARU LEVORG開発プロジェクトチーム

[商品企画本部]	五島　賢
	夘埜　敏雄
	下中　一彦
	篠塚　順三
	浜田　恵理
	遠藤　雄太
[車体設計部]	松本　幸裕
	工藤　健児
[外装設計部]	山下　大輔
	沼田　圭史
[シャシー設計部]	佐藤　司
	片海　哲哉
[内装設計部]	大家　敏宏
	横山 啓一郎
[電子商品設計部]	酒井 健一郎
[電子プラットフォーム設計部]	全　大鎬
[先進安全設計部]	関　淳也
[パワートレイン開発推進PGM]	安並　正浩
	松尾　崇邦
[車両研究実験総括部]	峯岸　貴弘
	久保田 博之
	後藤　一邦
	稲尾　信也
	熱田　匡昭
	大石　広士

新型レヴォーグカーゴルーム開発

Cargo Room Development of New LEVORG

大 家 敏 宏*　横 山 啓一郎*　森 田 正 通*
OOYA Toshihiro　YOKOYAMA Keiichiro　MORITA Masamichi

抄 録

“より遠くまで、より早く、より快適に、より安全に”という思想のもと、新型レヴォーグの【ワゴン価値】を追求して開発した荷室について、その機能や構造の特徴について紹介する。

Abstract

Focusing on the concept of “Driving further, faster, more comfortable and safer”, the cargo room of the new LEVORG was developed with “values as a wagon” pursued. In this paper, characteristics of the functions and structures are introduced.

1. まえがき

2014年に誕生したレヴォーグは、ワゴンであり、また、SUBARUの走りと先進安全のフラッグシップでもあるため、あらゆるジャンルと競合してきた。新型レヴォーグは先代のグランドツーリング思想の継承のもと、3つの価値、【先進安全】、【スポーティ】、【ワゴン価値】を訴求軸として開発した。

現在市場は荷役性に優れたSUVが乱立する。その中でお客様の心の導火線に火をつけるためには、ワゴンでもSUVに引けを取らない荷役性を実現する必要があると考えた。ここではその【ワゴン価値】における、超・革新させた荷室について、開発内容を紹介する。

2. 開発の狙い

国内市場において、ワゴンはアウトドアを楽しんだり、家族で遊びに出かけることを期待された車であり、荷物を多く積めることが求められる。開発にあたっては、荷室容量という分かりやすい数値目標だけではなく、お客様の体験行動に徹底的に寄り添い、レイアウトや構造、形状など、細部にわたり造りこんだ。特に以下3点に注力して開発を行った。

①日常での使い勝手向上
②キャンプやレジャーでの使い勝手向上
③ドライブ中の空間を快適にするための静粛性向上

3. 開発内容

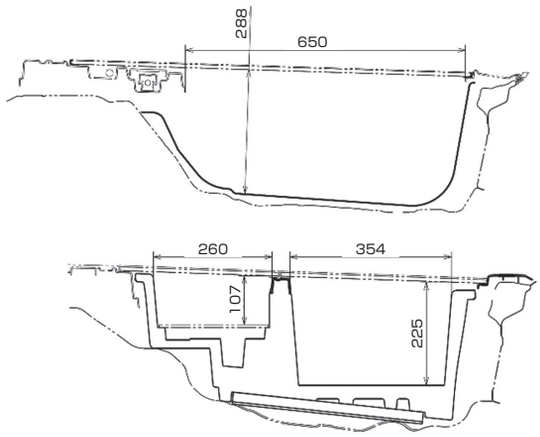
3.1 実用性

3.1.1 大型床下収納

従来車に対して、サブトランクの製造工法、車載工具配置の工夫により、買い物かご2つ分の床下容量を実現。製造工法を従来の発泡PP工法に対して、プレス成形工法へ変更を行い、製品を薄く造ることが可能となり、スペースを増やすことが出来た(図1、2)。

図 1　買い物かご搭載状態

＊ 内装設計部



上：新型、下：従来車

図２　床下収納 従来車とのサイズ比較

3.1.2　床下フック

床下収納部にフックを設定、袋に入った荷物などを引掛ける事を可能とし、中身が転がっていかないように配慮した。

また、床下に設定することにより、日光の直射を避けられるため、荷物が熱くなりにくくなる。さらに、お客様の好みに応じて利用いただける様、フックを随所に設定している。例えば、サードパーティーで売られているストラップ付き収納ボックスを搭載するなどのカスタマイズも可能である（図3、4）。

図３　床下フック使用状態

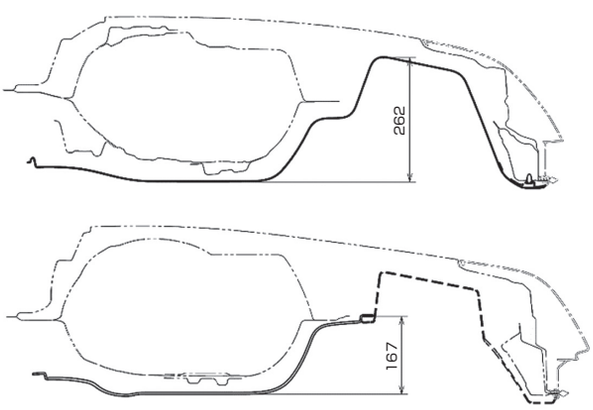
図４　ストラップ付き収納 BOX

3.1.3　傷つき性向上

従来車で用いていた材料では、170 mm程度の深さの形状展開が限界であった。理由は、PET繊維に対して、ガラス繊維を補強材として用いていたため、高展開に材料が耐えれなかった。新型で用いた基材は、PPとPET繊維を混ぜ合わせて造った基材であるため、ガラス繊維無で剛性確保が可能となり、従来材に対して1.5倍の形状展開をすることが出来た。

それにより、カーペットを後方まで通すことが可能となり、荷物による傷つき耐性を向上することが出来た。また、基材原料もリサイクル材を使用することで、環境にも配慮している（図５～８）。

図５　荷室開口



上：新型、下：従来車

図６　エプロントリム展開比較

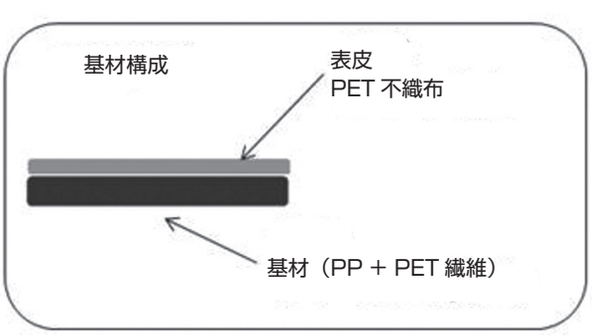


図７　基材構成

図 8　基材に使用している素材

3.2　収容性

3.2.1　大容量の荷室空間

従来車に対して、長さや幅寸法を拡大することで荷室容量を拡大。また、床下収納を拡大することでキャンプ道具家族4人分積んでも後方視界を十分確保することが出来る。さらに、床下収納にはスノーボードブーツを立てたまま収納したり、ダッフルバックを2つ詰めた上にスーツケースを4個積み込めるなど、高い収納力を実現できた（図9 ～ 13）。

図 9　キャンプ道具搭載状態

図 10　キャンプ道具 4 人分

図 11　スーツケース 4 個

図 12　ダッフルバック搭載状態

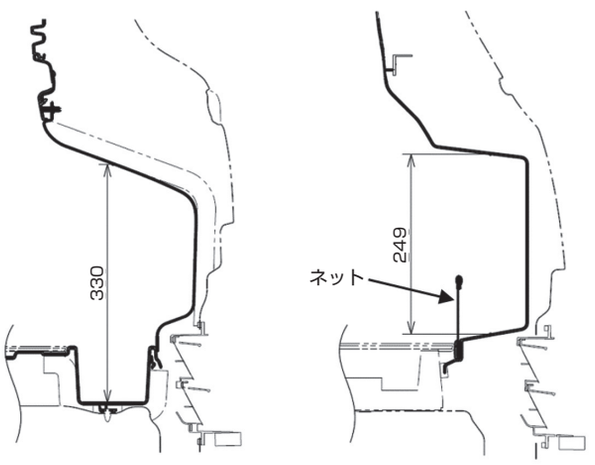
図 13　スノーボードブーツ搭載状態

3.2.2　サイドポケット

小物積載のためにサイドポケットにネット仕切りを設定していた従来車に対し、バスタブ構造のサイドポケットを採用。小物置きとしてはもちろん、休憩中の飲み物置きとしても気兼ねなく使え、またネットが無くなったことで幅方向が広がりゴルフバックなどの長物を横置きで搭載し易くすることが出来た（図14 ～ 16）。

図 14　ゴルフバック搭載状態

図 15　サイドポケット使用例



左：新型、右：従来車

図 16　サイドポケット 従来車とのサイズ比較

3.3　振騒

走行時、快適なドライブを楽しむため、タイヤから発生するロードノイズの抑制を図った。従来車に対して、エプロントリムへ2重壁構造を採用した。それにより、透過損失の性能を向上し、壁の間に出来た空間に対しては吸音材を挟むことで、共鳴透過を防ぎ、性能を向上することが出来た(図17、図18)。

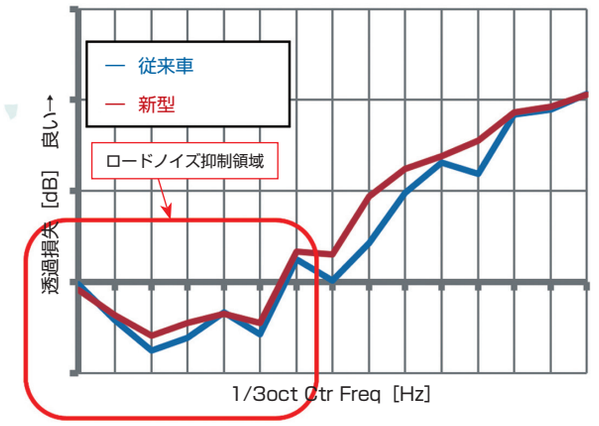
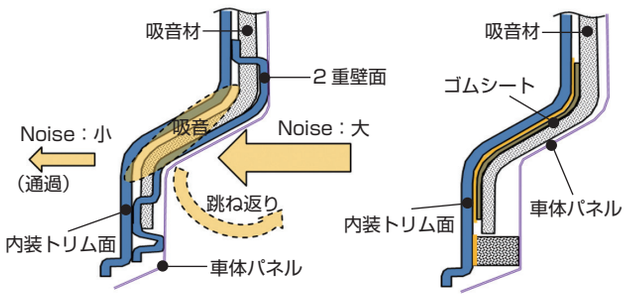


図 17　従来車との透過損失性能比較



左：新型、右：従来車

図 18　従来車との構造比較

4.　あとがき

今回、我々エンジニア自身がお客様の様々な体験行動を想定し使いやすさを考え抜き、検証を重ねることで、ワゴン価値として革新的な商品を開発できたと考えている。お客様に喜んでいただけることを願いたい。

また、本開発を通じて得たノウハウを今後の開発に活かし、さらなる魅力ある商品提案に取り組んでいきたい。

最後に多大なるご協力をいただいた内装部品サプライヤ、関係部署の方々に深く感謝申し上げます。

【著　者】

大家　敏宏

横山 啓一郎

森田　正通

SUBARU 新型「レガシィ」・「アウトバック」の米国生産を開始

2019年7月30日

SUBARUの米国生産拠点であるSubaru of Indiana Automotive, Inc.は、米国現地2019年7月29日、新型「レガシィ」(セダン)・新型「アウトバック」(クロスオーバー SUV)の生産を開始し、同日、工場敷地内にてラインオフ式を実施しました。

新型レガシィ

新型アウトバック

（画像はいずれも米国仕様）

新型レヴォーグ　スポーティーシートの開発

Development of New LEVORG Sporty Seat

井戸教雄[*1] IDO Norio
中村俊平[*1] NAKAMURA Shunpei
浅野恵一[*1] ASANO Keiichi
間々田俊紀[*2] MAMADA Toshinori
吉高滋[*1] YOSHITAKA Shigeru
松尾典義[*1] MATSUO Noriyoshi

抄　録

新型レヴォーグに搭載されたスポーティーシートは、2つの視点に着目し開発した。着座時における快適性と、車両のコンセプトであるスポーティーな走りにも対応できるサポート性である。着座時の快適性向上のため、医学的見地に基づきドライバー最適運転姿勢モデルを構築し、その姿勢で着座できるようシートメイン部の構造を見直した。サポート性の向上のため、主としてサイド部表面形状、ウレタンパッド硬度、ばね特性を見直した。その結果、快適性とサポート性を高次元で両立するスポーティーシートを実現した。

Abstract

The new sporty seat installed in the new LEVORG was developed with a focus on two perspectives. Those were seat comfort and seat support for the vehicle concept of sporty driving. For improving the comfort, a driver optimal posture model was constructed based on a medical approach. And in order to make the driving posture the same as the model, structures of the seat main part were changed. For improving the support, mainly the side bolster shape, the urethane-pad hardness, and the spring characteristics were modified. As the result, the sporty seat balanced between comfort and support was developed.

1. まえがき

SUBARUのクルマづくりでは、SUBARUに乗るすべてのお客様にとって安全・快適で、使いやすいクルマを造るという考え方を重視している。運転席ではステアリング、シフトレバー、ペダル類などの主な運転機器の配置や形状が、ドライバーにとって操作しやすいものになっているかどうかや、安全で快適な運転視界が得られているかなどについて、人間工学に基づいた検証を行い、目標値を設定し、車内の空間を設計している。クルマのカタチやインターフェースといった基本部分のデザイン、設計を工夫して、疲れにくく、運転に集中できるクルマ造りをする取り組みを、SUBARUでは「0次安全」と定義している[(1)(2)]。

スバルグローバルプラットフォーム(SGP)を始め、さまざまな革新的進化をとげている新型レヴォーグにもこの「0次安全」の思想を織り込んだ。特に新型レヴォーグに搭載したスポーティーシート(新型シート)は、車両コンセプトであるスポーティな走りにも対応させるため、快適性とサポート性を高次元で両立させた。

2. シート座り心地開発の狙い

SUBARUのシート開発では、座り心地の性能、使い勝手、品質などの面において、お客様に提供できる「機能価値(Functional Value)」と、お客様の情動に訴えかける「情緒価値(Emotional Value)」の両立を目指している。これらのうち、機能価値は、長時間乗車時の快適性(Comfort)と、走行中シートに守られているサポート性(Support)の2軸で、情緒価値は、機能的なデザインの1軸で定義している。これら3軸を高い次元で融合することで、運転中の安心感(Peace of Mind)・運転への自信(Driving Confidence)やロングトリップに出掛けたくなる移動する愉しみ(Enjoyment)といった「体験価値(Experience Value)」も向上すると考えている(**図1**)[(3)]。

技術面でのシート座り心地開発では、特に快適性とサポート性の2軸から構成する機能価値の向上を目指している。

＊1 車両研究実験第二部
＊2 内装設計部

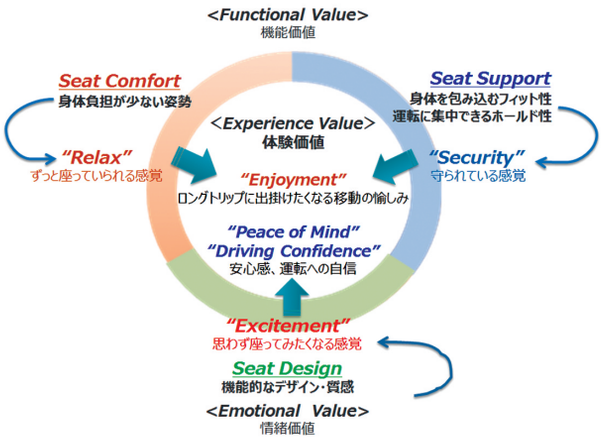
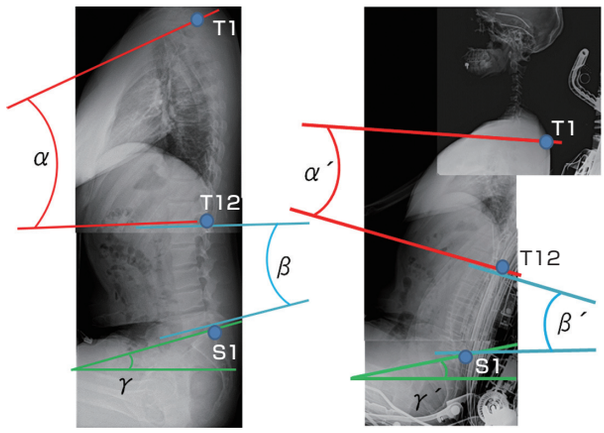


図１　シート開発の基本的な考え方



（a）立位（平板丸椅子）　（b）最適運転姿勢

図２　レントゲン撮影結果

新型シートの開発では、さらなる快適性向上のため、身体負担の少ないドライバーの運転姿勢をモデル化し、実際の乗員がその姿勢を長時間保持できるようSGP対応のシート構造をもとに、形状、ウレタンパッド硬度、ばね特性を最適化した。サポート性についても、感覚的に捉えていたフィット感と、コーナリングなど身体が左右に振られる場面でも姿勢保持できるホールド感を数値化し、シートの最適化をはかった。

3.　シート座り心地性能

3.1　運転姿勢モデル構築による快適性の向上

機能価値である快適性（Comfort）は、最適な運転姿勢に直結する。運転姿勢の研究開発では、身体負担の減少とその姿勢保持性の維持のため、主として骨盤の支持手法についての言及が多く報告されている[(4)(5)(6)]。

現行シートの開発では、着座姿勢時であっても立位姿勢時と同様に骨盤を立たせ、脊柱をS字となることを主眼としていた。医学的見地に基づき身体負担が少なく、快適と感じる運転姿勢（最適運転姿勢）を再確認するため、立位に近づけて座った姿勢と最適運転姿勢の骨格角度をレントゲン撮影により比較した。

図２はAM50相当の標準体型パネラー（標準パネラー）を、背もたれのない平板な丸椅子に立位に近づけて着座したレントゲン撮影写真（a）と、シート着座状態で医学的見地に基づき身体負担の少ないドライビングポジションを取った際のレントゲン撮影写真（b）である。

なお、本調査の標準パネラーは当社でシート座り心地開発に従事する専門パネラーであり、本人の同意のもと、医師および診療放射線技師の立ち合いのうえで、撮影を実施した。

図２中に示すα、β、γは、それぞれ胸椎（Thoracic vertebrae）、腰椎（Lumbar vertebrae）、仙椎（Sacrum）の角度として示され、これらの角度は、身体負担と関連する。αで示す胸椎（Thoracic vertebrae）の角度は、第１胸椎（T1）の椎体上端に平行な線と第12胸椎（T12）の椎体下端に平行な線で構成される。βで示す腰椎（Lumbar vertebrae）の角度は、第１腰椎（L1）の椎体上端に平行な線と第５腰椎（L5）の椎体下端に平行な線からなる。γで示す仙椎（Sacrum）の角度は、第１仙椎（S1）の上端に平行な線と水平線からなる。**図２**に示したレントゲン撮影結果から、立位に近づけて座った姿勢と最適運転姿勢では、仙椎の角度はほぼ同等（$\gamma \fallingdotseq \gamma'$）に対し、胸椎と腰椎の角度は異なること（$\alpha \neq \alpha'$、$\beta \neq \beta'$）が判明した。最適な運転姿勢とは、骨盤を適切な角度で保持し、腰椎を伸ばし、胸椎はステアリングを操作するために角度に余裕を持たせること（自由度があること）と判った。

レントゲン撮影で得られた知見と、解剖学的な人体構造[(7)(8)(9)]に基づく触診可能な人体の特徴点を用い最適運転姿勢をモデル化した。シート着座状態で触診可能な特徴点は、胸骨上端（胸骨柄）、胸骨下端（剣状突起）、第１胸椎（T1）、上前腸骨棘（腸骨の最前方に位置する突起部）、大転子の５点であり、シートに接する第12胸椎（T12）、第１仙椎（S1）、坐骨は、胸郭と骨盤を剛体とみなし、背もたれのない平板な椅子に着座した状態であらかじめ計測した各点から幾何学的に推定した。得られた最適運転姿勢モデルを**図３**に示す。

また身体負荷に関連する骨格角度として、第１胸椎（T1）と第12胸椎（T12）を結ぶ線と垂直線から成る角度を胸郭角θ1、第12胸椎（T12）と第１仙椎（S1）を結ぶ線と垂直線から成る角度を腰椎角θ2、上前腸骨棘と第１仙椎（S1）を結ぶ線と水平線から成る角度を骨盤傾斜角θ3と定義した。

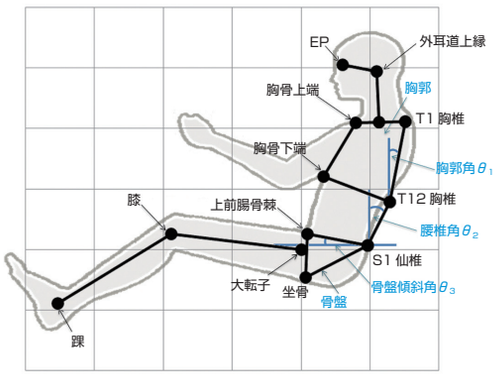


図３　最適運転姿勢モデル

3.2 支持力の最適化によるサポート性の向上

もう1つの機能価値であるサポート性は、身体を包み込み守られていると感じるフィット性と、コーナリングで横Gが加わり身体が左右に振られる場面でも姿勢が保持できるホールド性から構成される。これまで、フィット性は、評価者の主観による“フィット感”とあらかじめ定めておいた数か所のシート断面におけるシートと身体の間に生ずる圧力の分布（体圧分布）に基づいて開発していた。新型シートでは、最適運転姿勢モデルにより人体の骨格位置を基準とし、シートバックレストに適切に圧力を分布させ、上体のフィット性の向上を目指し、特に胸郭の支持面積の増加率を現行比で20%以上にすることを目標にした。さらに新型レヴォーグの車両コンセプトであるスポーティーな走りに対応するため、ホールド性の向上を目指し、0.8G相当の横G時でもメイン部の支持面積の減少率を通常比で10%以内とすることを目標とし、開発した。

4.　シート構造

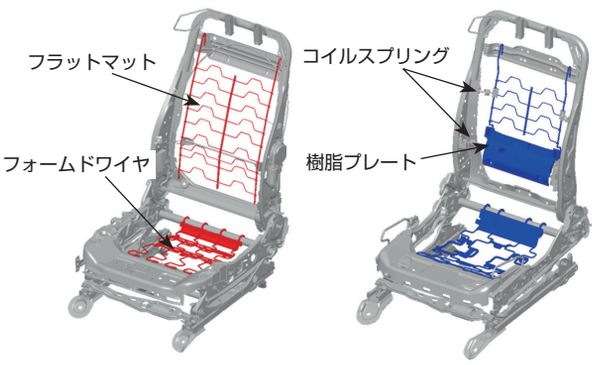
4.1　最適運転姿勢を実現するシート構造

モデル化した最適運転姿勢で着座できるよう、SGP対応のシート構造を基に、下記のように設定した。

シートクッション部において骨盤を最適な角度γ’に近づけ、骨盤の前ずれを防止するため、これまで直線的であったクッションたわみ特性を、大腿部・臀部形状に合わせて曲線的になるように、ウレタンパッド硬度、フォームドワイヤの形状とばね特性を設定した。この結果、骨盤の前ずれだけでなく骨盤と腰部の左右方向への体の傾きも低減した。さらに、小柄体型から大柄体型までの乗員が、最適運転姿勢をとれるようにシートクッション座面角を調整できるチルト機構を採用した。

シートバックレスト部は、胸郭部・腰部周りをそれぞれ適切な力と範囲で支持し最適な姿勢を実現するため、人体の骨格位置を考慮し、シートバックレストの形状とウレタンパッド硬度、及び支持構造を変更した。支持構造は、腰部支持を維持するため腰部支持用フラットマットの一部の樹脂プレート化、シートバックレスト各部位で適切な支持力を得るため独立したコイルスプリングを採用し、シートフレームに懸架した。

これらの変更点を図４に示す。図４中a)は現行構造、b)は上記を織り込んだ最適運転姿勢を実現するシート構造を示している。



a）現行構造　　b）新型構造

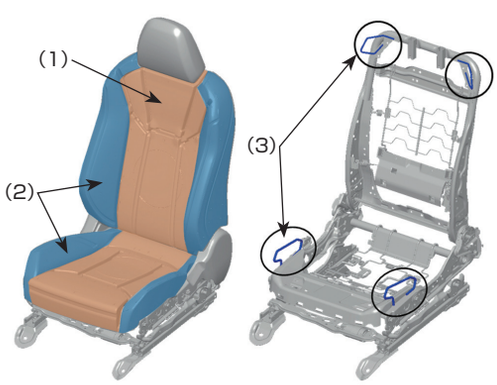
図４　現行シートと新型シートの構造差

4.2　サポート性向上策の織り込み

ステアリングやシフトの運転操作を阻害することなく、フィット性とホールド性を向上させるため、サイドサポートの形状、硬さ、及び構造を最適化した。図５に示した具体的な対策は下記の通りである。

フィット性向上のため、シートバックレスト、シートクッション共に体表面に沿うメイン部の表面形状を見直した。特に上背部の肩甲骨まわりを適度に支えることで、ステアリングやシフトの運転操作を阻害しない形状にした（図５中a)(1)部）。

ホールド性の向上のため、シートバックレストとシートクッションのサイドサポート部は、乗降性に配慮しつつ角度を立たせ、より面で身体を支える形状にした（図５中a)(2)部）。シートバックレストとシートクッションのサイドサポート部にサポートワイヤを追加し、パッド硬度を適正化した（図５中b)(3)部）。



a）シート表面　　b）追加部材

図５　新型シートのサポート性向上策

5　シート評価

5.1　最適運転姿勢との合致性

最適化した構造を織り込んだシートを用いて、標準パネラー着座時の触診点から骨盤と脊柱の位置を計測し、最適運転姿勢モデルの骨格位置と比較した(図6)。新型シートの着座姿勢は、現行シートの着座姿勢と比較すると、最適運転姿勢モデルとほぼ一致していることが視察でき、最適な姿勢で着座できていることを確認した。

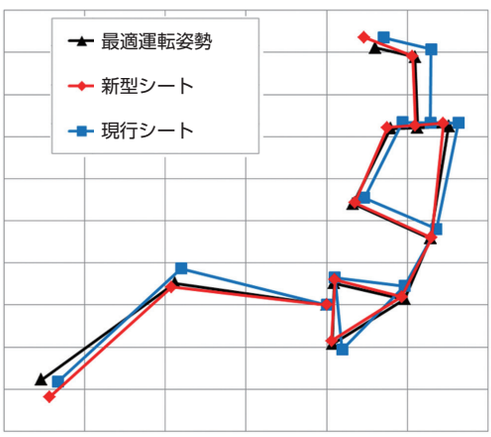


図６　最適運転姿勢モデルと標準パネラー着座時の姿勢差

長時間走行時に発生する骨盤の前ずれを防止し、姿勢を保持するため着座時のクッションたわみ形状を確認した。確認には、標準パネラーの臀部から大腿部に小型の6軸加速度センサーを設置し、そのデータを図7に示すとおり着座画像に重ね合わせた。図7から新型シートでは、臀部全体を覆うようたわんでいることが判明した。さらに骨盤の前方部から大腿部に曲線的にたわむ形状となっていることも確認できた。

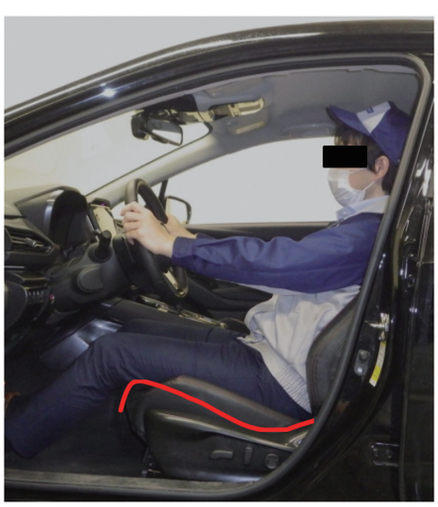


図７　クッションたわみの状況

5.2　サポート性の検証

フィット性を確認するため、標準パネラーがシートに着座した際のシートバックレストにおける胸郭、腰部、骨盤部の体圧分布を計測した。その計測結果を図8に示す。現行シートと比較すると新型シートでは、圧力分布が広がっていることが視認できる。この体圧分布データから、胸部に着目し支持面積を現行シートと比較した(図9)。新型シートでは、現行シートに対して、胸郭の支持面積が29%増加し、当初目標である20%以上を達成していることを確認した。さらに、図9より腰部の支持面積が11%増加、骨盤の支持面積も100%増加しており、フィット性が向上していることも確認できた。

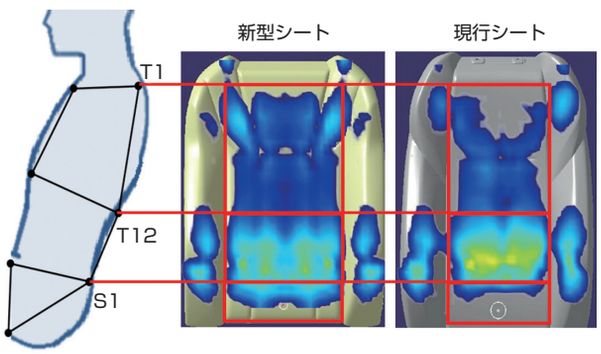


図８　通常着座時の体圧分布
（左図は着座姿勢の各骨格位置を示す）

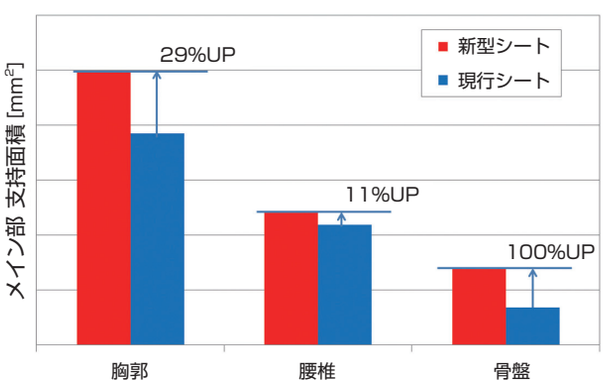


図９　通常着座時のメイン部支持面積変化率

サポート性については、走行時に0.8 G相当の横Gが加わった状況での体圧分布を計測した(図10)。現行シートではサイドサポート部の肩部に局所的な支持圧が発生しており、姿勢を肩部で局所的に保持しているのに対し、新型シートではサイドサポート部への支持圧が腰部から肩部までの広い範囲で均一に面分布していることが視認できる。さらに、図8に示した通常着座時の体圧分布データのシートメイン部の支持面積を100%として、0.8 G相当の横Gが加わった際のシー

トメイン部支持面積の減少率を算出した(図11)。現行シートの支持面積は21%減少に対し、新型シートは7%減少となり、当初目標である10%以内を達成していることを確認した。

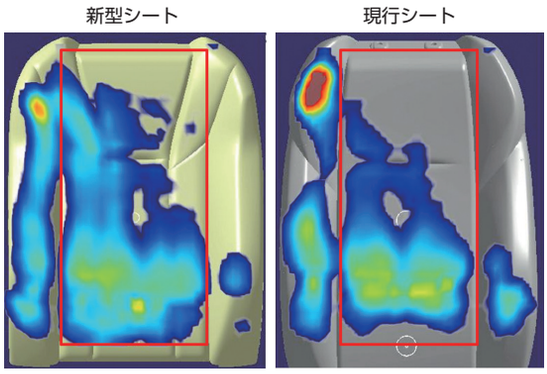


図 10　横 G 負荷時の体圧分布
(0.8 G 相当)

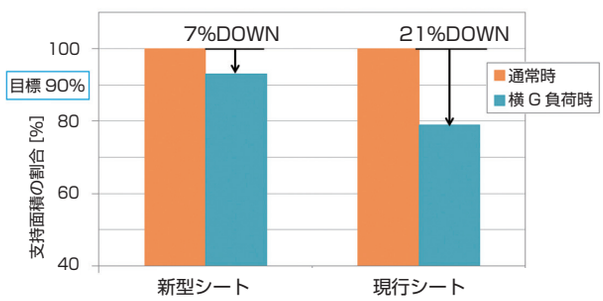


図 11　横 G 負荷時のメイン部体圧分布変化

6.　最終評価

最終評価として社内テストコースにて、専門パネラーによる確認を実施した。結果を図12に示す。現行シートと比較して、狙いとした、姿勢保持感、ホールド感、フィット感の評点が向上していることを感覚的にも確認できた。

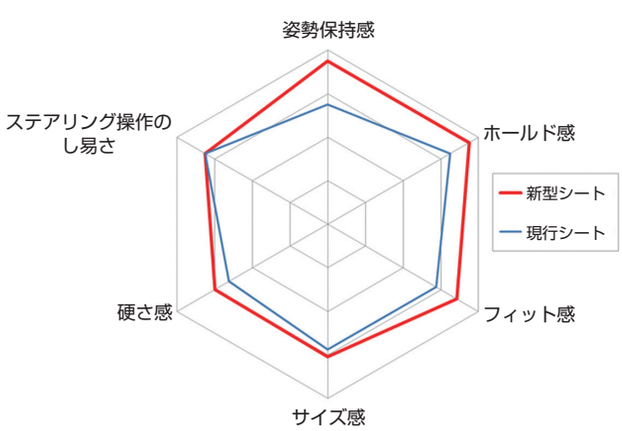


図 12　最終評価結果

図12に示された結果に加え、サーキット、ワインディングなどの評価においても社内の多くの方々から、新型シートは快適でホールド性も高く、車と一体感を感じながら安心して運転ができるとの評価を頂いた。改めて快適性とサポート性を高次元で両立するスポーティーシートを実現できていることを確認した。

7.　まとめ

新型レヴォーグでは、SUBARUの「0次安全」の思想に基づき、機能価値を向上した新型シートを開発した。この新型シートは、車両コンセプトであるスポーティな走りにも対応できる、快適性とサポート性を高次元で両立するスポーティーシートである。

この新型シートの座り心地を通して得られる、運転中の安心感(Peace of Mind)・運転への自信(Driving Confidence)やロングトリップに出掛けたくなる移動する愉しみ(Enjoyment)の「体験価値(Experience Value)」の向上にも大きく貢献すると考える。

今後のシート開発において、最適姿勢モデルの進化を推進することで、さらなる快適性向上に加え、ホールド性もモデルから推定できるシステム構築を目指す。

8.　謝辞

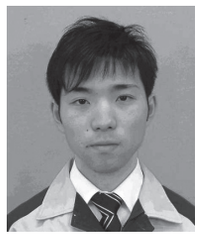
本開発に多大な御協力を頂いた関係部署の皆様、サプライヤーの皆様に感謝いたします。特に姿勢計測と運転姿勢モデル構築にあたり、ご助言いただきました群馬大学大学院医学部保健学研究科の坂本雅昭教授、レントゲン撮影にご協力いただきました、ぐんまスポーツ整形外科の山本敦史院長、診療放射線技師の瀬戸雅博氏、理学療法士の武井健児氏には、深く感謝いたします。

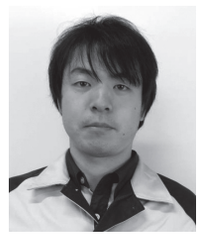
参考文献

(1) SUBARUのクルマづくり：テクノロジー：SAFETY 0次安全,
https：//www.subaru.jp/brand/technology/technology/safety_primary.html
(2) 開発ストーリー：0次安全：運転視界設計 篇,
https：//www.subaru.jp/brand/technology/story/safety0.html
(3) 安藤 昌也:UXデザインの教科書, 2016 (丸善出版)
(4) 石渡 茂樹, 吉澤 公理, 平尾 章成, 江上 真弘：体幹部支持を考慮した疲労低減シートの開発，自動車技術会論文集, Vol. 44, No.2 (2013), p.647-652

(5) 大島 正敏：自動車用シートに於けるエルゴノミクスとコンフォート, バイオメカニズム学会誌, Vol.33、No.3 (2009), p.159-165
(6) 塚根 芳将, 富家 進, 元吉 奈緒子, 吉村 匡史：新型MAZDA3のビークルダイナミクス技術, マツダ技報, No.36 (2019), p.90-95
(7) Donald A. Neumann,(嶋田智明 監訳), 筋骨格系のキネシオロジー, 2012 (医歯薬出版)
(8) I.A. Kapandji,(荻島秀男 監訳), 関節の生理学Ⅲ 体感・脊柱, 2001 (医歯薬出版)
(9) F.H.マティーニ,(井上貴央 監訳), カラー人体解剖学 構造と機能, 2003 (西村書店)

【著　者】


井戸　教雄


中村　俊平

浅野　恵一

間々田 俊紀

吉高　　滋

松尾　典義

SURARU「インプレッサ」大幅改良モデル 専用サイトで事前情報を公開

2019年8月27日

2019年秋発売の「インプレッサ」大幅改良モデルに関する事前情報を専用サイトで公開。今回の大幅改良では、エクステリアデザインを刷新すると共に、走りの質感も向上。さらにアイサイト・ツーリングアシストを全グレードに標準装備しました。

インプレッサ SPORT 2.0i-S EyeSight

インプレッサ G4 2.0i-S EyeSight

（画像はいずれもプロトタイプ）

新型レヴォーグ
コンセプトデザインを実現するボディ開発の取り組み
Development of Body Structure to Realize Design Concept for New LEVORG

赤石 真一[*1] AKAISHI Shinichi
松本 幸裕[*1] MATSUMOTO Yukihiro
北 誠[*1] KITA Makoto
工藤 健児[*1] KUDO Kenji
巽 俊文[*1] TATSUMI Toshifumi
海老澤 朋也[*1] EBISAWA Tomoya
齊藤 裕司[*1] SAITO Yuji
坪井 渉[*2] TSUBOI Wataru

抄 録

新型レヴォーグでは、スバルグローバルプラットフォームの採用による高いポテンシャルをベースに、SUBARU初となる構造・工法の導入により、スポーティなデザインと高い動的質感(1)・衝突安全、そしてワゴン車としての実用性の両立を実現させた。

本稿では、新型レヴォーグで採用した技術と、その概要について紹介する。

Abstract

The all new LEVORG was adopted SUBARU Global Platform which has a high dynamic feel and crash safety performance. And we balanced the sporty exterior design and utility as a wagon by SUBARU's new structure.

This report introduces the technologies which were adopted for new LEVORG.

1. まえがき

新型レヴォーグでは、『超・革新』のスポーツツアラーを具現化するため、パフォーマンスの高さを感じられるスポーティで大胆なエクステリアデザインとワゴンとしての価値である快適性や荷室の積載性を実現している。

本稿では、コンセプトデザインを実現するために、新型レヴォーグでのボディとして新たに採用した技術と概要について紹介する。

2. デザイン自由度へのアプローチ

目標性能を最小限のスペースで実現し、車の商品力向上に繋がる室内空間やデザイン自由度に充てるスペースを生み出す事はボディ開発における重要な要素である。新型レヴォーグでは、スバルグローバルプラットフォームをベースに新たな工法・技術を採用し、ボディ全体の骨格構造を見直すことでスペースを生み出し、デザイン自由度を高めた。

＊1 車体設計部
＊2 外装設計部

2.1 フロント周り

2.1.1 フロントエンドのデザイン自由度向上

フロントエンド周りは、車の“顔”であり、限られた諸元の中で、デザインスペースを如何に確保できるかが重要なポイントである。新型レヴォーグではラジエータパネルの構造を見直し、性能上必要な空間を効率化する事で、デザインスペースを生み出し、デザイン自由度の向上を図った。

バンパーからエンジンまでの部品は、図1のように構成されており、現行車ではビームとラジエータ(コンデンサー)の間にステー(フードラッチ)が存在している。そのため、低速衝突時にラジエータ(コンデンサー)の破損を回避するためには、予めそれらのストロークスペースを確保しておく必要があった。

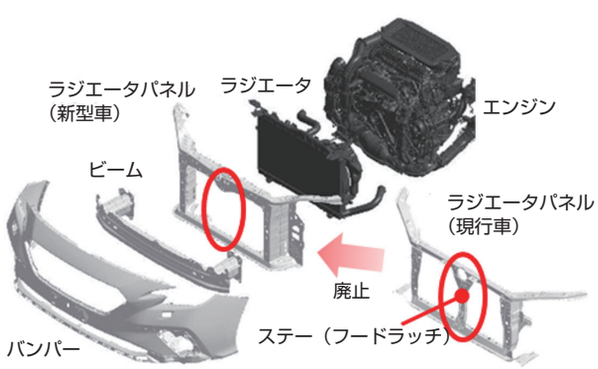


図1 ラジエータパネル周り構造

新型レヴォーグではラジエータパネルのステー（フードラッチ）を廃止しストロークスペースを生み出し、デザイン自由度を向上させる検討を行った（図2）。

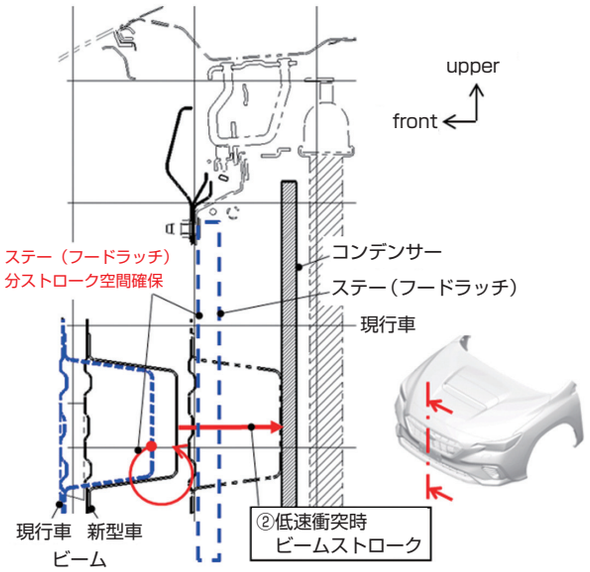


図２　ラジエータパネル廻り構造

従来構造からフードラッチ部の支持を無くすことにより、フードラッチ部付近の剛性は約1/20に悪化する。そのため、単純にステー（フードラッチ）を廃止するだけでは、衝突やフードシステムの性能（強閉、開閉耐久、振れ等）を確保できない。

新型レヴォーグでは、ラジエータパネルの閉断面構造化、フードラッチ噛合い中心のラジエータパネルアッパー図心近接化で、フードラッチへの入力をパネル全体で受ける構造とした（図3、4）。これらにより、ステー（フードラッチ）を廃止しても、現行車を上回る剛性を確保するとともに、フロントエンドのデザイン自由度を向上させた。

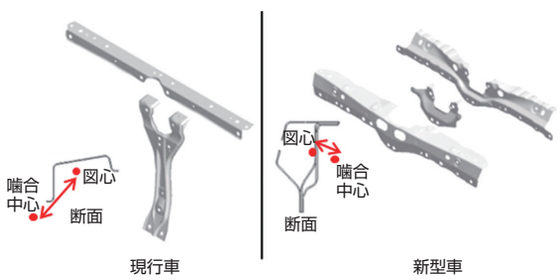


図３　ラジエータパネル構造変化詳細

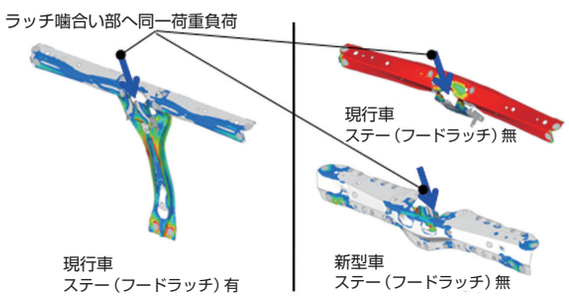


図４　フードストライカー周辺部の応力状況

2.1.2　フードの意匠性向上

新型レヴォーグでは、ヘキサゴングリルから始まる塊感のある立体表現や、今にも走りだしそうな前傾軸のデザインを取り入れ、高い走りのパフォーマンスを感じられるデザインとしている。フードとしては、①フードグリル開口高さを抑える事、②シャープなキャラクターラインを織り込むことで前述に対して貢献している（図5）。

図５　フード外観

一方でこれらの意匠対応には、①フードグリルの拡幅によるフードパネル穴拡大、②シャープなキャラクターラインを前後方向に通すこと（曲げ起点化）による剛性低下の懸念があった。

そこで、フード前端リンフォースを、キャラクターラインを跨ぐように設定、インナーの前後方向骨格位置をキャラクターラインに合わせて設定、アウターとインナー間の接着剤を効果的に配置。現行車に対してフード剛性を約2倍向上させ、フード振動の抑制や実用剛性の向上と意匠性を両立した（図6、7）。

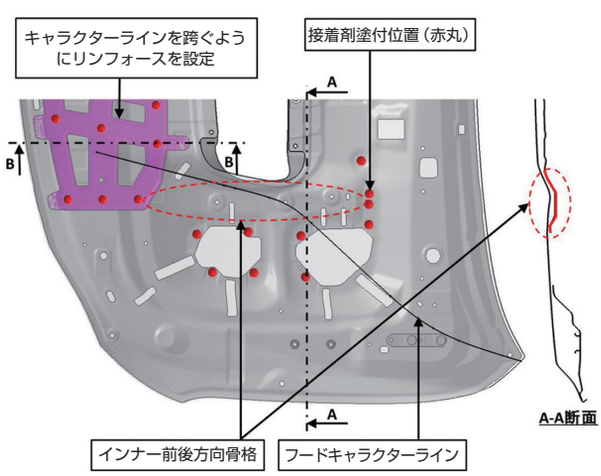


図６　フード構造

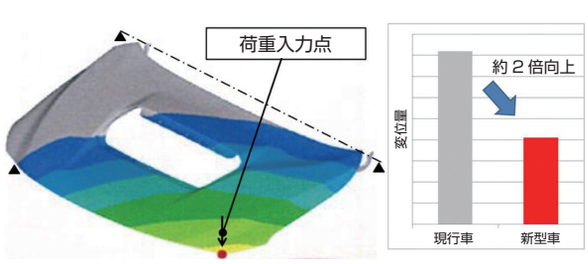


図７　フード剛性（捩じり剛性）

またフードには成形性と意匠の両立を目的として、アルミ6000系の材料を採用。現行の5000系に対して耐力が上がるため、歩行者保護性能に対しては厳しくなるが、インナーの縦壁にスリットを効果的に配置することで、衝突時のフード変形を促進させた。また、フード前端はフードラッチ機構により抗力が高くなるが、リンフォースとインナーのスポット溶接点を最大限車両後方に配置。さらにリンフォースの足の長さを確保することで変形促進させる等により、トップレベルの歩行者保護性能を実現した(図8)。

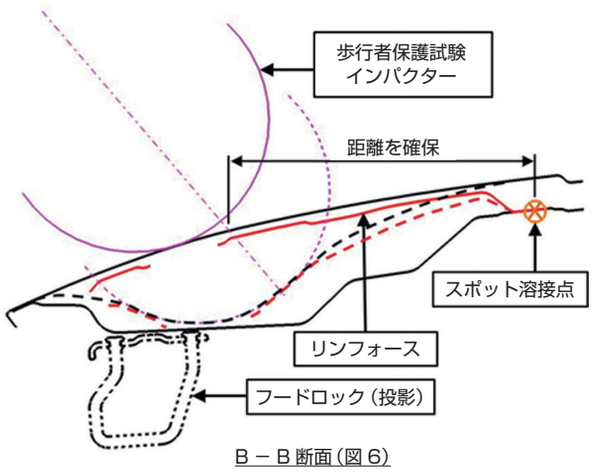


図８　リンフォースの歩行者保護対応構造

2.2　サイド周り

2.2.1　サイドレールのデザインスペース向上

新型レヴォーグでは、スポーティなツアラー表現をさらに際立たせるため、ドア上部にキャラクターラインを入れ、キャビンを小さく見せる手法を採用している。車体骨格断面の縮小は車体の弱体化をもたらすが、サイドレールアウターに、同部位としてはSUBARU初となる1180 MPa冷間超高張力鋼板材を採用することで、現行車と同等の室内空間を確保しつつ、デザインスペースを新たに10%創出(図9)した。

新型レヴォーグでは、クラストップレベルの安全性能を目指すため、側面衝突時のキャビン変形を抑え、乗員の生存空間を確保するために、センターピラー周辺部材の強化が必須となる。

新型レヴォーグでは前述のサイドレールアウターへの冷間超高張力鋼板材に加え、センターピラーへのホットスタンプ工法の採用等(図10)により、側面衝突時のサイドレール曲げ耐力を従来構造に対し30%向上させつつ、15%の軽量化を実現した。

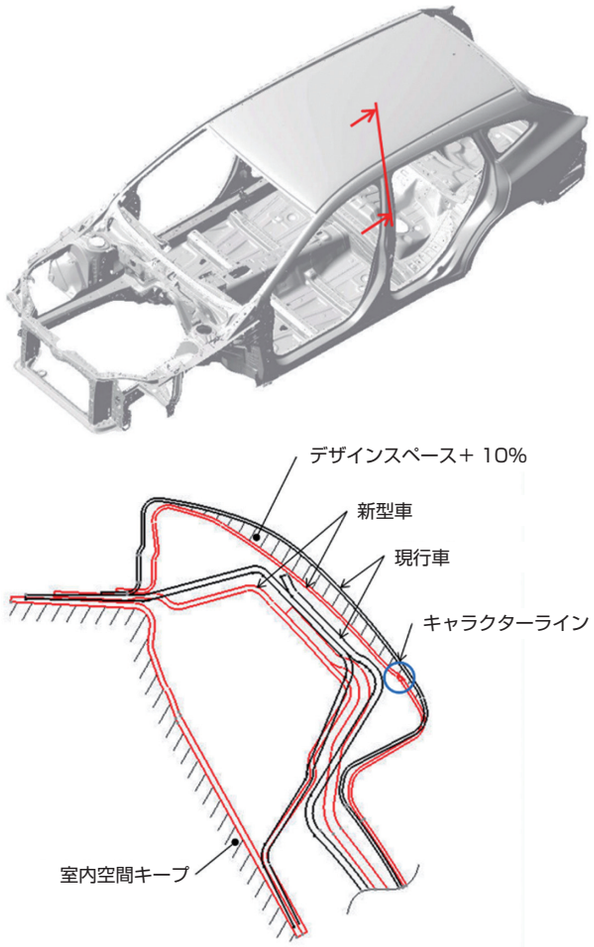


図９　サイドレール断面

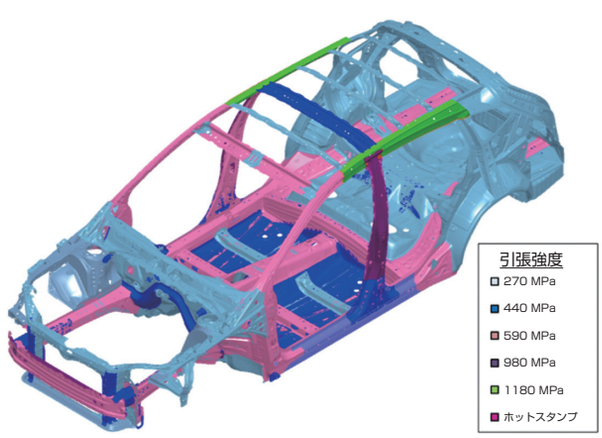


図 10　高張力鋼板採用部位

2.2.2　フェンダーの拡幅

フェンダー部はヘキサゴングリルからキャビンを通りリヤに抜けるソリッドな塊に対して、内側から押し出されたように張り出したダイナミックさを表現している。特にリヤフェンダー部は、現行車に対し約20 mm拡幅(図11)している。拡幅に伴いパネルの成形深さが増し成形難易度が高まるが、後席幅の拡大や乗降性等との両立を図りながら、リヤドアのボディフランジを車両外側にレイアウトし、局所的な成形深さを抑制することで実現した。

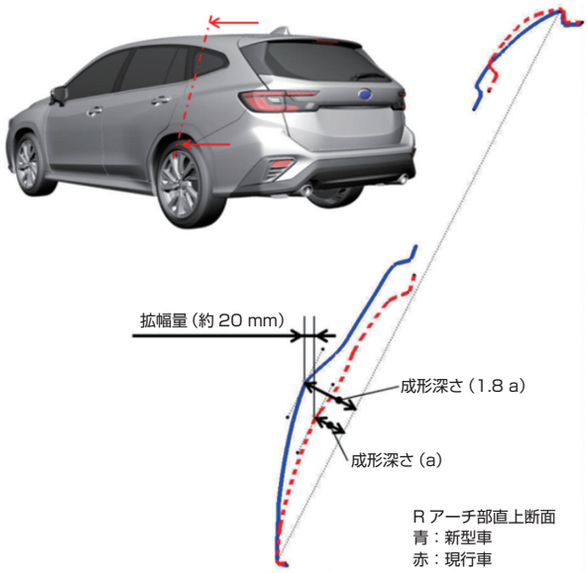


図 11　リヤフェンダー部張り出し

2.2.3　ホイールアーチのヘキサゴン形状化

新型レヴォーグで採用するヘキサゴン形状のホイールアーチは、SUBARUの象徴である「六連星」を表現すると共に、今にも走りだしそうな前傾軸なデザインとすることでダイナミックな走りを表現している（図12）。

このヘキサゴン形状化をリヤアーチで実現するにあたり、①アーチフランジの成形時に生じる角部での板余り、②インナーパネルとの集成時に生じる意匠面のひずみ等の懸念があったが、当該部への構造用接着剤の使用範囲を倍増させ、インナー／アウターパネルのスポット溶接に要していたフランジ長を抑制することで、ヘキサゴン形状を実現した（図13）。

図 12　新型車側面視

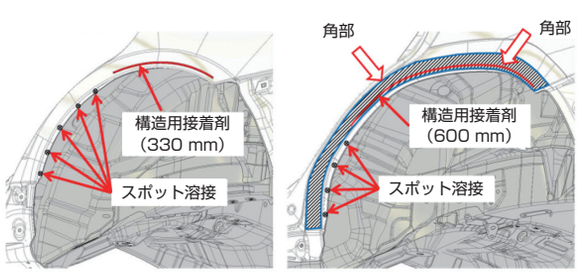


図 13　ヘキサゴン形状ホイールアーチの実現

3.　高い『お客様価値』を支える車体構造

新型レヴォーグでは、パフォーマンスの高さを感じられるスポーティで大胆なエクステリアデザインだけではなく、スバルグローバルプラットフォームをベースにボディ全体の骨格構造を見直すことで、ワゴンとしての価値である快適性や荷室の積載性を実現した。

3.1　フルインナーフレーム構造

新型レヴォーグは、フルインナーフレーム構造[(1)]を採用した。インナーパネルを先に溶接する事で骨格結合部の強化を図る構造である（図14）。新型レヴォーグは、フルインナーフレーム構造化に際し、新たな骨格を追加（図15、16）。リヤサスペンションの締結点からDピラーへと繋げることで、アンダーボディとアッパーボディの結合効率を向上させ、スバルグローバルプラットフォームのポテンシャルを引き出した。

新型レヴォーグはこれらの対応により、現行車に対しボディ剛性を約20%高めつつ、リヤ周りで約5 kgの軽量化を実現した。

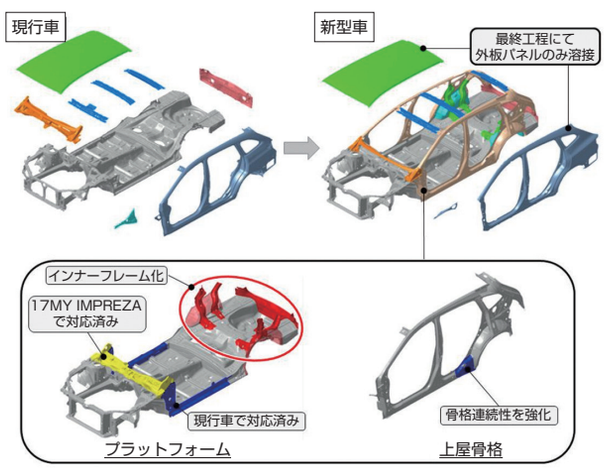


図 14　フルインナーフレーム構造

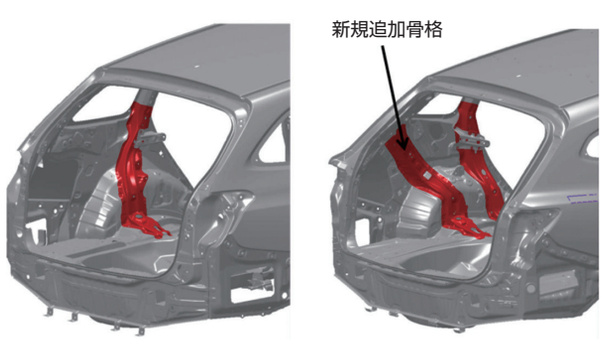


図 15　新骨格の追加

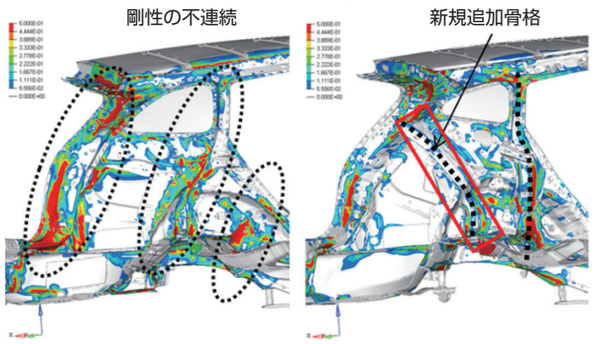


図 16　1 節ねじり時の歪み分布

3.2　リヤゲート開口部構造

新型レヴォーグでは、パワーリヤゲート化によりボディ骨格の制約が厳しくなるなかで、Dピラーからリヤレールにかけての稜線を一定に通すこと、パネルの結合部をコーナー部から遠ざけ、局部変形を抑制することで荷重伝達効率UPを図り、断面形状を約20%小型化し約6%の軽量化を実現した(図17、18)。

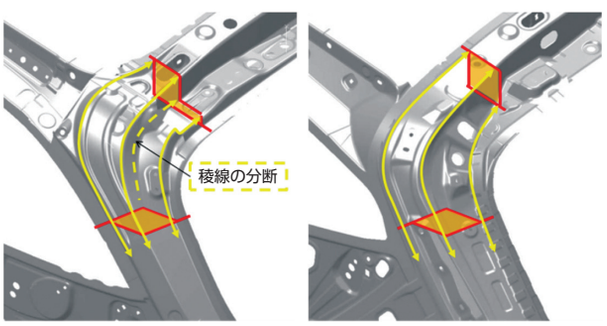


図 17　断面形状の連続化

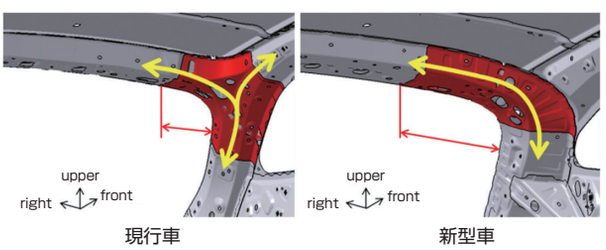


図 18　リヤレール結合部の変更

3.3　リヤゲート開口幅拡大

リヤゲート開口幅は造形の絞り込みやパワーリヤゲート化に伴うリヤゲートステー径の拡大により、従来の骨格構造の踏襲では、荷室開口幅が縮小し、実用性が悪化する懸念があった。

新型レヴォーグでは、前述の骨格構造の見直しにより、リヤゲート開口幅を現行車比＋30 mmとなる1055 mmを実現(図19)。現行車以上の高い積載性を実現した。

図 19　リヤゲート開口幅

4.　まとめ

以上のように新型レヴォーグは、スバルグローバルプラットフォームの高いポテンシャルを継承し、フルインナーフレーム構造の導入などにより動的質感[(1)]・安全性能を引き上げながら、各所の構造工夫を織り込む事でスポーティなデザイン、ワゴンとしての高い実用性を両立する事が出来たと考える。

走行性能に相応しい高いパフォーマンスを感じていただけるエクステリアデザインと快適性・積載性など高い実用性も兼ね備える事で、お客様の期待を超える「超・革新」のスポーツツアラーに出来たと確信している。

最後に、本開発を進めるに当たり、多大なるご協力をいただいた社内外関連部署の方々に対して、紙面を借りて深くお礼を申し上げます。

参考文献

(1) 青田裕之ほか：新型レガシィ／アウトバック動的質感向上ボディの開発，スバル技報，No.46，P65-72(2019)

【著　者】

赤石　真一

松本　幸裕

北　　誠

工藤　健児

巽　　俊文

海老澤 朋也

齊藤　裕司

坪井　　渉

SUBARU「レガシィ アウトバック／ B4」一部改良モデルを発表
～スポーティな装備でお買い得な価格とした「B-SPORT」を追加～

2019年9月3日

「レガシィ アウトバック／ B4」一部改良モデルを発表。
「B-SPORT」グレードを新たに追加、スポーティさを表現した専用内外装を採用しました。アウトバックに採用するX-MODEは２つのモード選択を可能とし、悪路走破性を高めました。

レガシィ アウトバック B-SPORT

レガシィ B4 B-SPORT

新型 LEVORG のデザイン

Design for All-New LEVORG

安　藤　貴　洋*　　斎　藤　　實*　　中　村　真　一*
ANDOH Takahiro　　SAITOU Minoru　　NAKAMURA Shinichi

抄　録

SUBARUデザインは、お客様に提供する価値＝『安心と愉しさ』を“一目見て認識できるカタチ”にするためのデザインフィロソフィー『DYNAMIC × SOLID』でSUBARUブランドを磨く取組みの一翼を担ってきた。新型LEVORGからはこのフィロソフィーを更に進化させ、SUBARU車それぞれの個性を大胆『BOLDER』に表現し、将来のお客様へ商品価値を強くアピールしていく。

Abstract

In the design of SUBARU, we have been playing a part in “refining our brand”. We have established our design philosophy of “DYNAMIC × SOLID” to realize a design with which “Enjoyment & Peace of mind” can be recognized at a glance.

From the new LEVORG onward, we further evolve our design philosophy and express characteristics of each model in a “BOLDER” manner.

1.　まえがき

LEVORGは2014年に「革新スポーツツアラー」として、レガシィのツーリング思想を引き継ぐべく登場した。佇まい・造形・質感、そのすべてからスポーツマインドを昂らせるスタイリングと、SUBARUが長年培ってきたワゴンユーティリティーを高次元で両立し、販売市場での評価も高い。

2.　安心と愉しさを伝えるデザイン

2013年以降、お客様にSUBARUが提供する価値“安心と愉しさ”をデザインで伝えるために『DYNAMIC × SOLID（躍動感×塊感）』を用いた表現を実践してきた。その商品群が一巡したことで、将来に向けてさらなる戦略が必要となった。その戦略とは、これまでの『DYNAMIC × SOLID』を基礎に、個々のクルマの個性や魅力をより大胆『BOLDER』に表現するというものである。

本稿では、それを実現するため、これまでの既成概念にとらわれない発想・挑戦を通じて具現化した新型LEVORGのデザインについて紹介する。

＊ デザイン部

3.　新型LEVORGデザイン開発の狙い

新型LEVORGの商品コンセプトをデザインで表現するための目標『走りの期待が高まるパフォーマンス表現と先進的なスタイルPERFORMANCE × ADVANCED』を策定、内外装のデザインの方向を定めた（図1）。

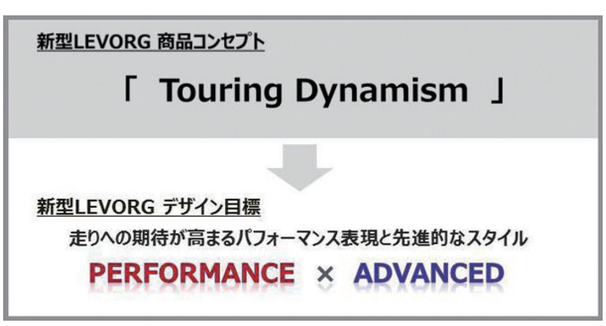


図 1　Design concept

4.　エクステリアデザイン

4.1　既成概念の打破

新型LEVORGのエクステリアデザインは、デザインコンセプトを最大限表現するために、新しい取組みに挑戦した。

(1) 個性を大胆に際立たせる

新型LEVORGの個性や魅力を大胆『BOLDER』に表現した。具体的には、お客様が乗るキャビンをヘキサゴングリルからはじまる塊感のある造形で安心感を創出。

そして、新型LEVORGならではの力強い走りを象徴するPERFORMANCE表現として、内側から力強く張り出したフェンダー造形。さらに、お客様がこのクルマを見た時に走りへの期待を高めるスポーティーな前傾軸の表現である(図2)。

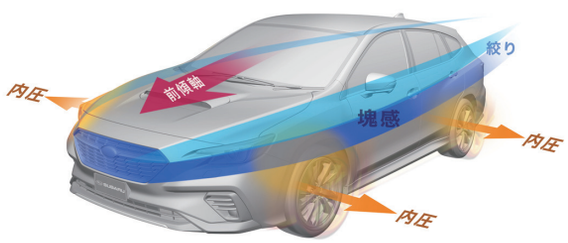


図2　BOLDER Design for Exterior

(2) 表現度合いの目標はコンセプトカー

SUBARUのデザインはこれまでコンセプトカーと量産車のデザインとでそれぞれ役割を持たせて提案してきた。コンセプトカーには将来の夢や有るべき姿を存分にお伝えする役目があり、現実社会でお使い頂く量産車とは一線を画していたためである。この概念を新型LEVORGでは打破し、2017年に将来のSUBARUのグランドツーリングカーの姿を示したVIZIV Tourer Conceptのデザインをそのまま新型LEVORGで実現することを目標とした(図3)。

図3　2017 VIZIV Tourer Concept

4.2　大胆＆彫りの深い造形

(1) 乗員を守る塊感のあるキャビンデザイン

ヘキサゴングリルからはじまり、キャビンを包み、リヤに向かって絞り込む塊感のある造形は、SUBARUがお客様に提供する価値である「安心」を可視化したデザイン(図4)。

図4　CABIN Design

(2) 内から外へ力がみなぎるフェンダー表現

コンセプトに掲げた「PERFORMANCE」を表現するため、硬質でソリッド感のあるボディーの内側から外側へ隆起した大胆なフェンダー造形を採用(図5)。

図5　FENDER Design

(3) 走りへの期待と先進的なスタイルの両立

お客様が新型LEVORGを見て感じる“走りへの期待”に応えるために、ダイナミックな前傾姿勢をスタイリングの軸とした。

ホイールアーチの形状もタイヤの円弧を反復した一般的な形状ではなく、前傾姿勢を感じる動きのあるデザインを採用。その一方、LEGACYから継承したリヤへの伸びやかなルーフのシルエットは、ラゲッジルームの実用性とスポーティーさを両立した先進感のあるスタイルを探究した(図6)。

図6　LEANING FORWARD Design

4.3　ディテールデザイン

(1)　ヘッドランプデザイン

ランプの機能を集約したコンパクトなデザインでCシェイプのデザインを明快に表現。点灯時も均一な面発光で、昼夜問わず精悍で先進感のある新型LEVORG のフロントまわりのデザインに貢献(**図7**)。

図 7　HEADLAMP

(2) リヤコンビランプデザイン

後方から見た時に、リヤフェンダーが寸法以上に張り出して見える様、シャープでキレのあるランプ部を左右に繋げたデザインを採用。さらにリヤゲートガラスの幅よりもワイドにすることで、新型LEVORGのリヤまわりを堂々とした安定感のある佇まいにした(**図8**)。

図 8　REAR COMBINATION LAMP

(3) ホイールデザイン

中央から放射状に伸びるスポークでホイールの直径がより大きく見えるデザイン処理と、スポークの線質に変化を与え、今にも走り出しそうな動きのあるデザインで、新型LEVORGのホイールにふさわしい力強さと躍動感を両立したデザインを実現(**図9**)。

ベーシックグレード　　中級グレード　　上級グレード

図 9　ALUMINUM WHEELS

5.　インテリアデザイン

5.1　SUBARUのインテリアデザインの再確認

新型LEVORGのコクピット＝前席まわりのデザインを開発するにあたり、SUBARUが過去から現在にかけて継承してきたデザイン構成を再度確認。SUBARU車の前席まわりのデザインで守るべき要素、今後さらに際立たせるべき部位を整理した(**図10**)。

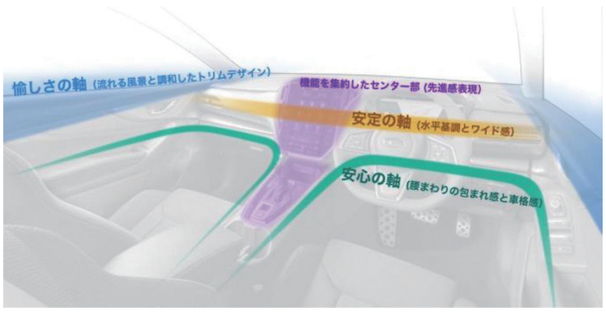


図 10　BOLDER Design for Interior

5.2　新型LEVORGのコクピットデザインの構成要素

(1) 安定の軸

インストルメントパネルの立体の中心の軸を水平方向に通し、視覚的な安定感とワイド感を表現。

(2) 安心の軸

腰まわりを包まり感のある造形で構成し、車両との一体感を高め､安心して運転に集中できる空間構成と、新型LEVORGが持つスポーティーな内装を演出。

(3) 愉しさの軸

走行時に見える風景の流れと、インストルメントパネルからドアトリムへの流れが調和するように造形。移動時に感じる愉しさ＝わくわく感をデザインで演出。

(4) 新商品としての先進感表現

機能をセンター部に集約したことによる操作性の向上と、前席まわりの先進感を高め、人とクルマが一体となる心地良い空間を実現した(**図11**)。

図 11　Interior

5.3 機能的な表示部

車両情報を表示するエリアをメーターとセンターパネルに集約し、より自然に確認できるレイアウトとした。また表示部に用いるグラフィックスも瞬間的に情報を読み取ることができる様、視覚的な妨げとなる無駄な要素を徹底的に整理した(図12)。

図 12 DISPLAY Design

5.4 インテリアの作り込み

(1) 握り心地にこだわったステアリング

開発ドライバーと何度も握り心地を確認しながら作り込んだグリップの断面形状(図13)。

図 13 STEERING WHEEL Design

(2) 自宅からサーキットまでマルチに使えるシート

体圧を均等に支え、乗り降りのしやすさとホールド感を両立したシートデザイン(図14)。

図 14 SEAT Design

6. カラー＆マテリアルデザイン

6.1 SUBARUのカラー＆マテリアルの方向性

SUBARUのカラー＆マテリアルは、提供価値である「安心と愉しさ」の表現するためのキーワードを「インパクトと深み」に設定。この指針のもと新型LEVORGの個性に合ったコーディネートを探求した(図15)。

図 15 COLOR & MATERIAL THEME

6.2 エクステリアカラー＆マテリアル

ベーシックカラー(無彩色)4色、キャラクターカラー(有彩色)4色の全8色をラインナップ(図16)。

図 16 EXTERIOR COLOR

新型LEVORGのデザインに合わせ、シボ柄のサイズを緻密にしたバンパーの幾何学シボ(図17)。

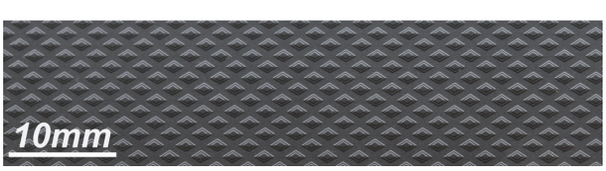


図 17 EXTERIOR GRAIN

6.3 新型LEVORGの2つの内装コーディネーション

新型LEVORGの内装は、ブラックとボルドーを用いた2つのコーディネーションを設定。ブラックの内装は、明度差による深みを持たせクールで普遍的なスポーティーさを狙った仕立て。ボルドーを用いた内装は、レッドステッチと組み合せ一段とスポーティーかつ上質な内装に仕立てた(図18)。

図 18　INTERIOR COLOR

6.4　シート表皮材マテリアル

(1) ベーシックグレード

ロングライフでも飽きのこないトリコットと、精悍な印象のシルバーステッチによるシンプルな仕立て。

(2) 中級グレード

立体的な織りが特徴のファブリックとブルーステッチをもちいた車格感のあるスポーティーな仕立て。

(3) 上級グレード

新型LEVORGの上質でスポーティーな世界観を存分に愉しめる普遍的な価値である本革をもちい、2種類のカラーコーディネートを設定。それぞれの仕立てに合うカラーステッチを施し、豊かな質感で幅広いお客様のニーズに応える仕立て(**図19**)。

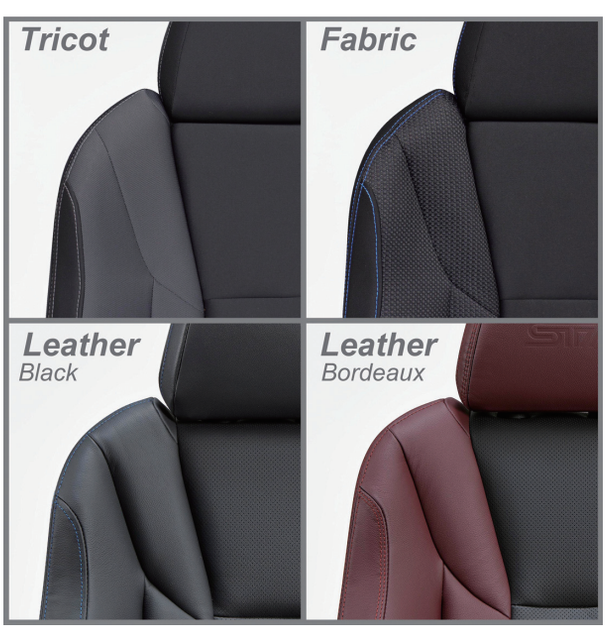


図 19　SEAT MATERIAL

7．おわりに

現在SUBARUは「安心と愉しさ」のデザインでSUBARUブランドを磨き、お客様を笑顔にすることに取り組んでいる。そしてこれから先の将来、お客様との信頼関係さらに高められる様、それぞれのラインナップの個性を大胆に際立たせたデザインで、多くのお客様に選んで頂き、お客様のライフシーンの中で信頼できるパートナーとしての関係を築く。

この新型LEVORGのデザインは、この新たな取り組みを実践する最初の量産車である。見る人の心を動かし、お客様の生活の中でワクワクする体験を生み出し、より良い人生を送って頂くための一助となることに期待する。

SUBARUデザインは過去からの継承、そして将来のお客様へ、SUBARUの一貫した開発思想や卓越した技術を情緒的な価値に昇華させてお届けしていく。

【著　者】

安藤　貴洋

斎藤　實

中村　真一

SUBARU BOLDER デザイン

SUBARU BOLDER DESIGN

石　井　　守*
ISHII Mamoru

抄　録

2018年7月中期経営ビジョン『STEP』が策定された。デザインの将来ビジョンは『DYNAMIC × SOLID』をより大胆な表現で進化させる『BOLDER』デザインを提唱し、現在、デザイン創造活動を推進している。

『デザイン戦略とその進化』については、SUBARU技報(42号、44号)で過去2回に渡り掲載させて頂いた。将来のお客様に『安心と愉しさ』の価値を提供するため、2013年から推進しているデザイン戦略『DYNAMIC × SOLID』で提案した表現手法を織り込み、一目でSUBARUと分かる一貫性を持ったデザインを創出。 コンセプトカーにて発表後、現行インプレッサから量産車デザインに織り込み、お客様に届けている。

本文では、次世代を見据えてさらに進化するSUBARUデザイン戦略と、『BOLDER』デザインの具現化に向けた取り組みを紹介する。

Abstract

The mid-term management vision “STEP” was established in July, 2018. Future vision of our design is to realize a “BOLDER” design that is further boldly expressing “DYNAMIC × SOLID”.

The topic of “Evolution of SUBARU Design Strategy” has already been published twice in the past SUBARU TECHNICAL REVIEW (Nos.42, 44). We have incorporated our design strategy “DYNAMIC × SOLID” promoted since 2013 into the BOLDER designs and created consistent designs that can be recognized as SUBARU at first sight.

After the introduction of the BOLDER designs with a concept car, we have integrated the designs into mass production designs from the current IMPREZA.

This report introduces you further evolving design strategy at SUBARU and our initiatives to embody the “BOLDER” design.

1. まえがき

SUBARUでは、お客様の笑顔をつくる会社として『安心と愉しさ』の“価値”を創造し、商品としてお客様に提供。そして、満足して使って下さったお客様から共感を頂き、お客様の心の中でディファレントな存在(強固なブランド)になるべく活動している。

デザイン部は、環境の激変が予測される次世代においても将来のお客様の笑顔を創るため『DYNAMIC × SOLID』を継続的に進化させ、お客様の求める情緒的価値の向上を目指している。将来に向けた、その方向性こそが『BOLDER』デザインである。

＊ デザイン部

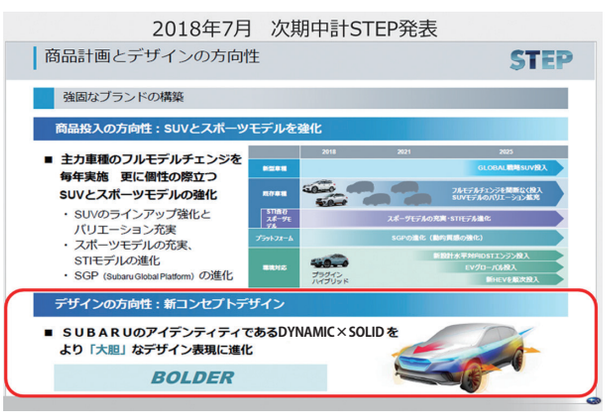


図１　中期経営ビジョン STEP　デザインの頁

『DYNAMIC × SOLID』で表現するSUBARUのデザイン戦略は、一目でSUBARUと分かるデザインを具現

化すること。この取り組みは成果をあげ達成出来た。

さらなる環境の激変後、お客様の求める価値の変化が予測される次世代において、それぞれの車種に特化した将来のお客様の笑顔を創るためには、この『DYNAMIC × SOLID』表現手法に加え、強いデザイン表現が求められていることを認識した。

2018年7月に策定された『STEP』の中で立案した、大胆なデザイン表現を図るための『BOLDER』というキーワードは、個車のそれぞれの魅力を大胆にデザイン表現して、一目見た将来のお客様がその“SUBARU車を使って愉しみたい！”という『活動的な気持ちを駆り立てる』影響力の高いデザインを構築することを目的としている。既にSUBARUの個性的なラインナップを実現させるための『BOLDER』デザイン表現の活動は始まっている。

世の中に初めてコンセプトカー第一弾として発表した『BOLDER』デザインは、2019年3月ジュネーブショー『SUBARU VIZIV ADRENARINE CONCEPT』である。次世代量産車第一弾としては『SUBARU LEVORG PROTOTYPE』を2019年10月東京モーターショーにて発表した。

2. 『BOLDER』デザイン

ここからは、進化させた『SUBARU新デザイン戦略』と、『BOLDER』デザインの真意について、詳しく説明して行く。

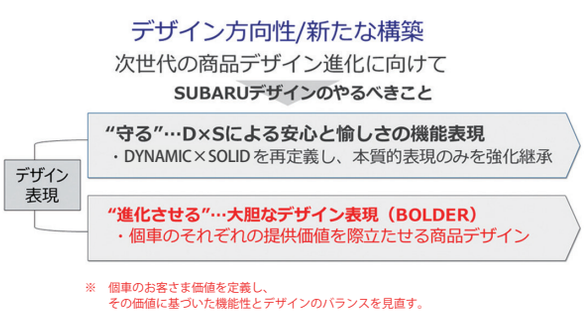


図２　BOLDER デザインの考え

『BOLDER』デザインで目指すべき大胆な表現をどう進化すべきかを考えるにあたり“今まで『DYNAMIC × SOLID』で構築してきた方向性”を振り返った。そして“新たに進化させて変えるべき方向性”を導き出すことにした。

振り返りの結果、これからも守るべき表現要素は、『DYNAMIC × SOLID』で培ってきたSUBARUの『安心と愉しさ』の機能表現であることを確信した。この内容は後述の『DYNAMIC × SOLIDの再定義』で記述させて頂く。

“大胆に進化させ、変えるべき”表現要素が『BOLDER』デザインで実現させる『個車それぞれの提供価値を際立たせる商品デザイン』である。それを導き出すために“個車のお客様価値”の定義が必要と考え、行動を起こした。

3. SUBARUの将来のお客様属性定義

現在、SUBARU車を愛し、使って下さっているお客様は、ライフアクティブ層である。彼らは知的好奇心が旺盛で、本質的な価値を心得ており、積極的に人生の豊かさを追求するマインドの持ち主である。

お客様の生活シーンに心地よくフィットし、新しいライフスタイルに繋がる一歩先の「これが欲しかった！」と言って頂ける価値（潜在的ニーズ）をお客様に提案・提供してゆくことが、『SUBARUデザイン』の目的である。

『BOLDER』デザインの表現手法を研究するために、先ず行なったことは、SUBARUの将来のお客様であるライフスタイルの属性の整理と分析であった。我々のメイン市場である北米を中心にSUBARUのお客様の属性の調査分析ため、SRDデザイン（デザイン北米サテライトスタジオ）を活用した。結果、とても分かり易く特徴的な考察を導き出せた。それが『FIELD』『JOURNEY』『SPORTS』3つの価値属性である。

この3つの属性を基本に置き、『BOLDER』デザインを構築するための個車それぞれの提供価値の定義を考え、それらを表現することにチャレンジした。

図３　デザイン部で導き出した３つのお客様属性

『FIELD』の属性のお客様価値は、日常を離れ、自然の中でアクティビティ（活動）に挑戦する気持ちを駆り立てたい人達＝『アチーバー』。

『JOURNEY』の属性のお客様価値は、日常生活では味わえない、新しい発見の探求を望む人達＝『シーカー』。

『SPORTS』の属性のお客様価値は、単なる移動手段では無く、意のままにコントロールする愉しみを味わいたい人達＝『ドライバー』。

この3つの価値属性を定義することで、SUBARUラインナップのクルマそれぞれに最適なデザイン表現を実現させることが出来ると考えた。そして、それらにSUBARUのラインナップを重ねると次のイメージ図の様に表現できた。

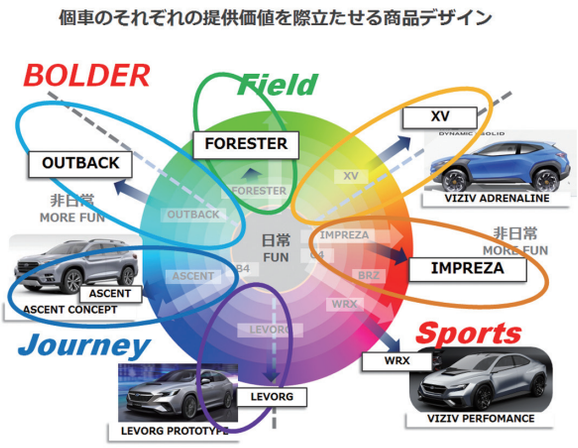


図４　３つの属性にラインナップを置いたイメージ

SUBARUラインナップ各車を、お客様が求める価値属性に照らし合わせて配置すると、重なり合った属性が個車の魅力を際立たせている要因であることも分かった。2つの価値を共存させていることがSUBARU車の特別な魅力になっている。

さらに『BOLDER』デザインは、日常使いが中心で表現された現状のデザインから、将来のお客様の気持ちを駆り立てる様に、非日常感を強め、個車それぞれの特性や個性を際立たせるデザイン構築や先行開発を実行している。

この表に照らし合わせデザイン開発を施した『SUBARU VIZIV ADRENARINE CONCEPT』は、『SPORTS』“意のままに操ることが愉しい価値”と、『FIELD』価値の両方を併せ持ち、その表現を大胆にデザインコンセプトカーとして実現させた。

『SUBARU LEVORG PROTOTYPE』は、“革新スポーツツアラー”として『SPORTS』と『JOURNEY』の2つの価値表現を持つデザインコンセプトカーに仕上げ、量産車に繋げていった。

（本誌別章の『新型LEVORGのデザイン』参照）

4.　『DYNAMIC×SOLID』デザイン再定義

『BOLDER』デザインは、個車の特徴や個性を際立たせる表現手法であるが、一目でSUBARUと分かるデザイン表現『DYNAMIC×SOLID』の強化もともなって継続進化させなければならないと考えた。

『BOLDER』デザインを“より際立たせるため”の基本をつかさどり、一目見てSUBARUと分かる“本質”を表現するための“骨格”だけを“フィロソフィ”として再定義した。

図５　DYNAMIC × SOLID 再定義

1. FUN（愉しい）
2. ACTIVE（活動的）
3. PRACTICAL（実用的）
4. LONGLASTING（長持ちする）
5. SAFE（安心）
6. RELIABLE（信頼できる）

『安心と愉しさ』を大前提として導き出した、この6つのお客様へ提供する“SUBARU車の価値”を一目で表現するのが、再定義した『DYNAMIC×SOLID』の真意になる。考えた末に、『BOLDER』を際立たせることが出来、そのデザインの基礎となるべき3つの本質的な表現だけを残すことにした。ラインナップすべてのSUBARU車を一目見たお客様に感じて頂ける、本質をとらえた骨格表現である。

“軸（芯）”の通った骨格デザイン
“塊感”あるボディデザイン
“特徴的な大きく張り出したフェンダー”デザイン

この『DYNAMIC×SOLID』の表現をCOREとして、個車の魅力を大胆に表現した『BOLDER』デザインを加え、将来のSUBARUデザインが完成する。

5. 『SUBARU新デザイン戦略』

『FIELD』『JOURNEY』『SPORTS』の属性については、立体感を強めダイナミックな表現を目指す。

図６　BOLDER デザイン

定義したSUBARUのお客様の価値から、そのお客様が求める、そしてワクワクしてSUBARU車を使って愉しく活動的な気持ちを駆り立てるデザイン創造を行う。

個車の際立つデザインを創造するに当たっては、その土台となる『車種のコンセプト』が重要になる。なぜならば、特化したデザインを実現させるためには、与件との背反が発生するからである。その相反する価値を一つにまとめ上げ実現させることができ、判断のベースとなるのが『コンセプト』だからである。

我々 SUBARUは、新たな価値を生み出すために、二律背反の選択をするだけでなく、相反する価値を一つにすることで、激変の時代の先を行かねばならない。デザインは、その新たな価値をいち早く『見える化』するために想像力を働かせ将来のお客様の笑顔を創る。

さらに、フロントフェイスについて『BOLDER』デザインの考えを3つの価値表現で行った。

図７　フロントデザインの再定義

お客様に浸透できた基本的なフロントフェイスの要素（ヘキサゴングリルとコの字のヘッドランプ）は、一貫性を保ちながら『BOLDER』デザイン表現のために定義したそれぞれの属性で、大きくバランスを変え、それぞれのお客様が個車を見て、すぐにそれぞれの魅力を理解できるフロントフェイスの表現を実現させる。

6. あとがき

図８　デザインフィロソフィ『DYNAMIC × SOLID』の進化

デザイン部は、環境の激変が予測される次世代において、中期経営ビジョン『STEP』でコミットしている“将来のお客様の笑顔”をつくるため『DYNAMIC × SOLID』を継続的に強力に進化させ、お客様の求める情緒的価値を高次元で実現するデザイン戦略活動を推進する。

将来に向けたその方向性こそが『BOLDER』デザインであり、明るい未来に向けて全力でやりきる所存である。

【著　者】

石井　　守

PHEV モータリダクションプラネタリギヤノイズ低減

Improvement of Motor Reduction Planetary Gear Noise in Plug-In Hybrid Electrical Vehicle

小 橋 建 斗[*1] KOBASHI Kento
佐々木 高 晴[*2] SASAKI Takaharu
迫 田 雄一郎[*3] SAKODA Yuichiro

抄 録

プラネタリギヤはコンパクトな機構でトルクを増幅させることができる。しかし、プラネタリギヤは通常の平行歯車対に比べて部品点数が多く、構造も複雑である。 そのため、発生するギヤノイズも複雑な事象を持ち、また様々な要因からノイズが増幅される。本稿では、CAE解析によってこのプラネタリギヤノイズの発生メカニズムを明らかにし、改善案の検討及びギヤノイズを低減させた取り組みについて紹介する。

Abstract

Planetary gears give torque amplification with compact systems. However, planetary gears have many parts and complex structures compared with normal gears. Therefore, they generate complicated gear noise and increase the gear noise level by various factors. This paper introduces how we reduced the gear noise level by clarifying the planetary gear noise generation mechanism and verified the improvement by actual transmission tests.

1. まえがき

高い環境性能と動的質感を実現するプラグインハイブリッドトランスミッションを新たに開発した。高い動的質感のためにはNVH性能(騒音・振動・ハーシュネス)の向上が必要であり、NVH性能を悪化させる要素の一つにギヤノイズが有る。本トランスミッションのモータ用減速機として採用しているプラネタリギヤの機構はサンギヤ(外歯)とインターナルギヤ(内歯)の間にピニオンギヤを配置した構成で、常に複数の歯車が噛み合っており、通常の平行歯車対と比較すると構造が複雑である。複数の噛み合いがあるため、通常の平行歯車対に用いる、1つの噛み合いを考慮した伝達誤差解析ではプラネタリギヤの起振力を予測することは難しい。また、プラネタリギヤに起因するギヤノイズは噛み合い次数だけでなく、その側帯波でも発生するなど複雑な事象も存在する。従来のようなプラネタリギヤ単体レベルでの解析では上記のような複雑な事象を捉えることができなかった。本稿ではプラネタリギヤ単体モデルに加え、新たにプラネタリギヤの周辺構造も考慮したギヤトレインモデルの振動解析を行い、比較・分析することでプラネタリギヤノイズ発生メカニズムを解明し、改善案の検討及びギヤノイズを低減させた取り組みについて紹介する。

＊1 CAE部
＊2 電動駆動性能開発部
＊3 電動駆動設計部

2. 基本諸元と構造

2.1 プラグインハイブリッドトランスミッションの構造

図1にプラグインハイブリッドトランスミッションの主要構造を示す。プラグインハイブリッドトランスミッションは高電圧の充電や駆動用電力の供給を行うモータ(MG1)と、エンジンの補助動力源として状況に応じてエンジン出力をアシストするモータ(MG2)を内蔵している。

また、動力をMG1と出力軸に分割するパワースプリット機構、MG2動力を出力軸に伝達するモータリダクション機構、減速機構およびデファレンシャル機構で構成されたギヤトレインを採用した。

2.2　走行モード別でのトルク伝達経路

エンジン始動はMG1にて行っている。EV走行時はMG2を動力とし、モータリダクションプラネタリギヤ（以後MRプラネタリギヤと記載）を介してアクスル軸へ出力し走行する。その際、エンジンまで直結構造となっている本トランスミッションでは、パワースプリットプラネタリギヤの回転数を制御する事でエンジン回転数を0にしている。HEV走行時はエンジンからの動力をパワースプリットプラネタリギヤにて機械パスと電気パスに分配し、機械パス側のトルクとMRプラネタリギヤで増幅したMG2トルクを合算して走行する。

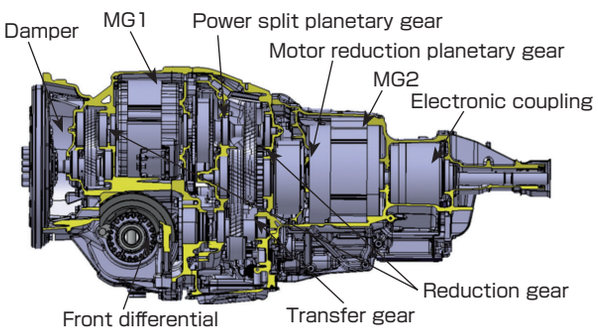


図１　プラグインハイブリッドトランスミッション主要構造

3.　MRプラネタリギヤの構造と狙い

3.1　MRプラネタリギヤの構造

MRプラネタリギヤ周辺の主断面を**図２**に示す。色つき部分がMRプラネタリギヤ主要構造である。MRプラネタリギヤはシングルピニオンの2K-H型とし、ピニオンギヤ数は4つである。インターナルギヤを固定とし、サンギヤはMG2モータ軸、キャリアはトランスファギヤ軸と繋がっており、MG2モータ出力を減速し、トルクを増幅させてトランスファ軸に出力する機構となっている。

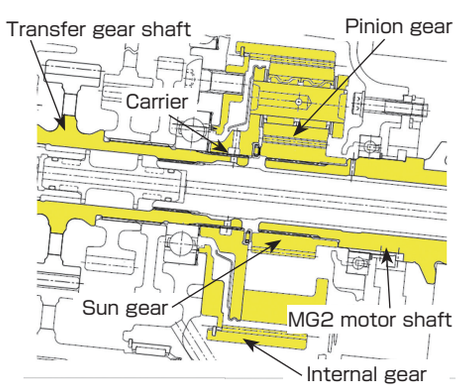


図２　MR プラネタリギヤの主断面

3.2　MRプラネタリギヤ諸元

MRプラネタリギヤ諸元を**表１**に示す。ギヤ諸元はピニオンギヤの噛み合い位相差を考慮し、位相がCounter Phased（以降CPと記載）となる諸元設定とした。各位相差設計による起振力の優位性を**表２**に示す。また、CPでのピニオンギヤ配置図を**図３**に、起振力の概念図を**図４**に示す。

表１　MR プラネタリギヤ諸元

	Sun	Pinion	Internal
Number of teeth	42	30	102
Module [mm]	1.2		
Pressure angle [deg]	17.5		
Helix angle [deg]	14.7		

表２　各位相差設計による優位差

	Rotational Axial	Transverse tilting
IP (In phased)	×	◎
SP (Sequentially phased)	◎	×
CP (Counter phased)	○	○

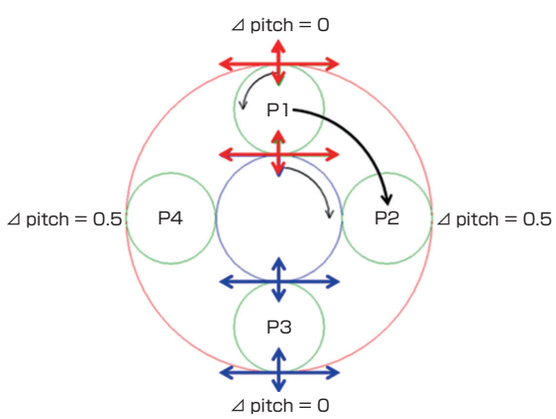


図３　ピニオンギヤ配置図

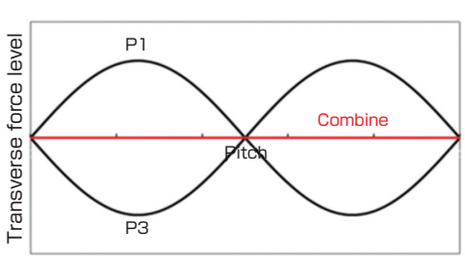


図４　CP における起振力概念図

CPにすることで回転方向および軸方向の起振力は隣り合うピニオンギヤ同士で、半径方向および倒れ方向の起振力は対向するピニオンギヤ同士で相殺できるため、プラネタリギヤトータルの起振力を最小化できる。

3.3　歯形と仕上げ工法

仕上げ工法毎の加工ばらつきを考慮した起振力解析を行い、最適な歯形・仕上げ工法を検討した。**表３**に検討した工法の組み合わせパターンと、**図５**に一例と

して①・②の工法での加工ばらつきを考慮した解析結果の起振力発生頻度マップを示す。また、各工法の組み合わせでの起振力ばらつき最悪値を比較したグラフを図6に示す。

本検討の結果、目標値を満足できる④の工法の組み合わせを選択した。

表３　仕上げ工法の組み合わせパターン

	Sun	Pinion	Internal
①	Shaving	Shaving	Shaping
②	Shaving	Grinding	Shaping
③	Shaving	Shaving	Skiving
④	Shaving	Grinding	Skiving

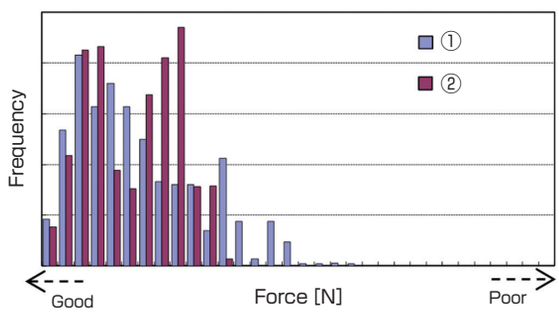


図５　起振力発生頻度マップ

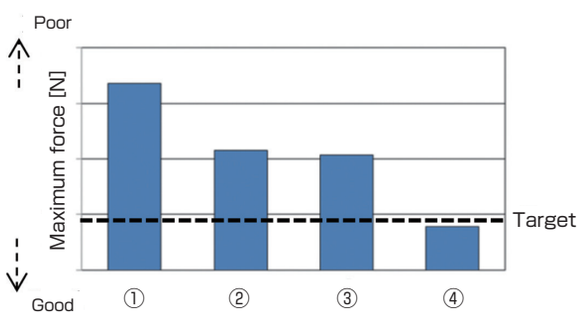


図６　各工法における起振力最悪値

4.　構造系を考慮した振動解析

3章にて検討した諸元を用いて、プラネタリギヤの周辺構造も考慮したギヤノイズ生成メカニズムを分析した。

4.1　解析モデル

解析モデルはMRプラネタリギヤ単体モデルとギヤトレインモデルを用意し比較した。単体モデルの概略を図7に、ギヤトレインモデルの概略を図8に示す。また、解析条件を表4に示す。単体モデルはプラネタリギヤセットとそれに付随するシャフト、ベアリングで構成されている。ギヤトレインモデルは単体モデルに加え、リダクションギヤ、トランスファギヤが加わっている。トランスミッションケースは未考慮とし、各支持ベアリングの外輪はグラウンド固定としている。

応答点は、車体とトランスミッションマウント部に最も近いMG2モータ軸のリヤ側のベアリングの振動加速度応答を確認した。また、加振力はギヤ噛み合いによる伝達誤差を入力としている。

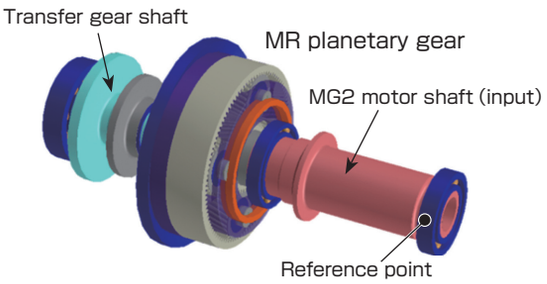


図７　MR プラネタリギヤ単体モデル

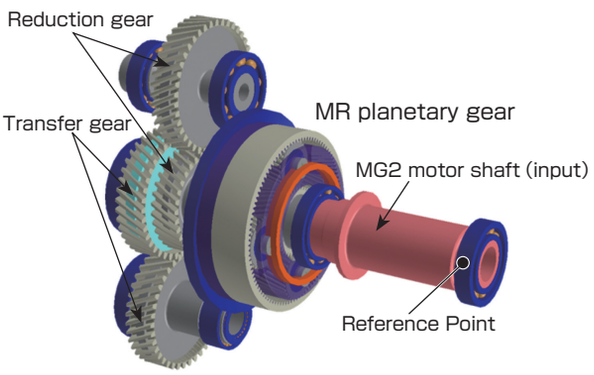


図８　MR プラネタリギヤトレインモデル

表４　解析条件

Torque	−40 Nm
Frequency	0～3400 Hz
Time	1 Turn of carrier rotation

4.2　解析結果

図9に単体モデル、図10にギヤトレインモデルの振動加速度についてキャリア回転における次数分析結果を示す。

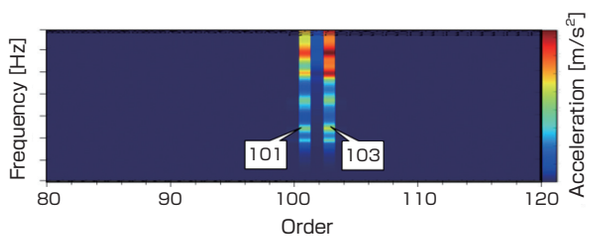


図９　単体モデル次数分析結果

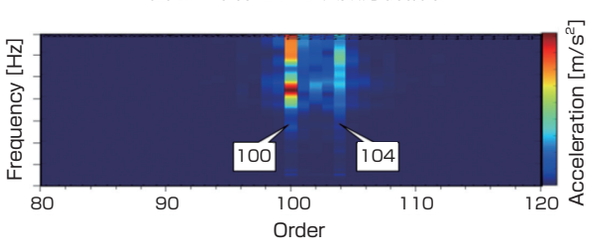


図 10　ギヤトレインモデル次数分析結果

解析の結果、単体モデルではインターナル歯数102の±1次で、ギヤトレインモデルではインターナル歯数102の±2次で高い振動加速度応答が発生する。次に、単体モデルとギヤトレインモデルの低次数・高次数それぞれを比較した振動加速度応答波形を図11に示す。ギヤトレインモデルは単体モデルに対し、振動加速度応答が悪化していることが分かる。

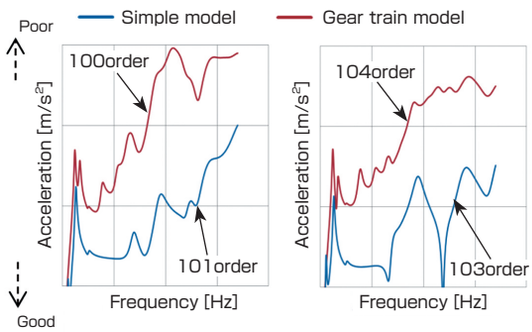


図 11　応答点における振動加速度

4.3　次数移動と振動加速度応答悪化の要因分析

単体モデルとギヤトレインモデルでの大きな違いとして、トランスファギヤの噛み合い反力の有無がある。この反力が加わることによってトランスファギヤ軸と繋がっているキャリアに倒れが生じる。これによりギヤトレインモデルではMRプラネタリギヤのミスアライメントが変化し、各噛み合いにおける起振力(伝達誤差)がキャリア1回転中に変化する。この影響でキャリア回転1次変動が発生し、これが噛み合い次数に影響することで単体モデルでは101・103次で発生していたものが、ギヤトレインモデルでは100・104次になったと推測される。図12に単体モデル、図13にギヤトレインモデルのピニオンギヤ噛み合いにおける伝達誤差を示す。

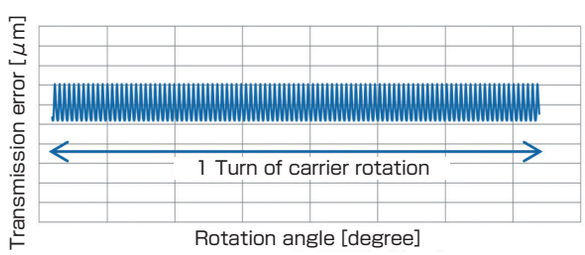


図 12　単体モデルにおける伝達誤差

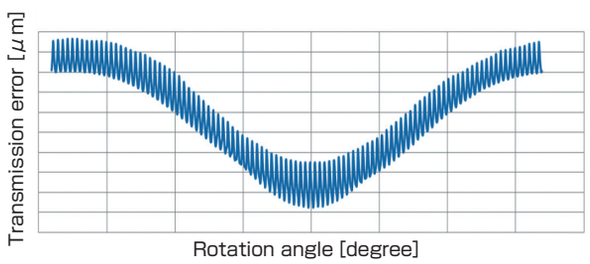


図 13　ギヤトレインモデルにおける伝達誤差

また、発生次数の変化は以下の式により計算できる。

$$sinZ\omega t \times sinN\omega t$$
$$= -\frac{1}{2}\{cos(Z+N)\,\omega t - cos(Z-N)\,\omega t\} \quad \cdots (1)$$

ここで、

Z：次数、N：変調次数、ω：回転角速度、t：時間

4.3節における事象を式(1)に当てはめると、単体モデルでの発生次数101、103に対し、ギヤトレインモデルではキャリア1回転中に回転1次変調成分が加わるため、

$$(sin101\omega t + sin103\omega t)\,sin\omega t$$
$$= -\frac{1}{2}(cos102\omega t - cos100\omega t) - \frac{1}{2}(cos104\omega t - cos102\omega t)$$
$$= \frac{1}{2}(cos100\omega t - cos104\omega t) \quad \cdots (2)$$

と、式(2)のように100次・104次になることを示すことができる。

また、ミスアライメントが変化することで、各ピニオンギヤの歯当りも変化していることがわかった。図14に単体モデルの、図15にギヤトレインモデルの歯当り解析結果を示す。図16に各ピニオンギヤにおけるミスアライメントの値を示す。単体モデルでは4つとも同一の歯当りとミスアライメント量になっているのに対し、ギヤトレインモデルでは4つの歯当りとミスアライメント量にばらつきが生じている。

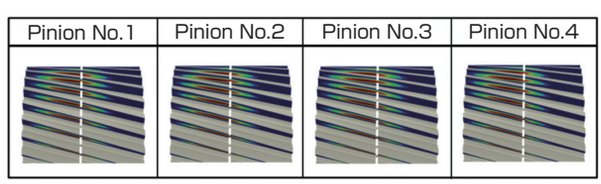


図 14　単体モデルにおける歯当り解析結果

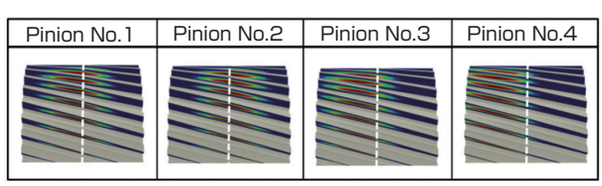


図 15　ギヤトレインモデルにおける歯当り解析結果

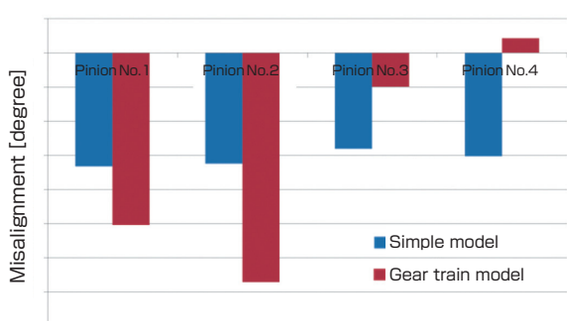


図 16　各ピニオンギヤにおけるミスアライメント

これにより4つのピニオンギヤ間での起振力にばらつきが生じてしまい、位相差設計による起振力を打ち消し合う関係性が崩れてしまう。結果、プラネタリギヤトータルの起振力が悪化し、振動加速度応答が悪化したと推測される。図17に起振力悪化の概念図を示す。

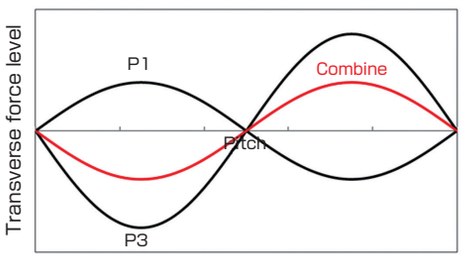


図 17　ミスアライメントを伴った起振力概念図

5.　実機による検証

実機にて4章における事象を検証するため、MRプラネタリギヤ単体および、トランスミッションで振動計測を行った。

5.1　検証方法

MRプラネタリギヤ単体振動はギヤ固定治具を用いて単体試験機にて計測した。また、トランスミッションについてはモータリングベンチに搭載して振動計測を実施した。単体試験機の概略を図18に、モータリングベンチの概略を図19に示す。

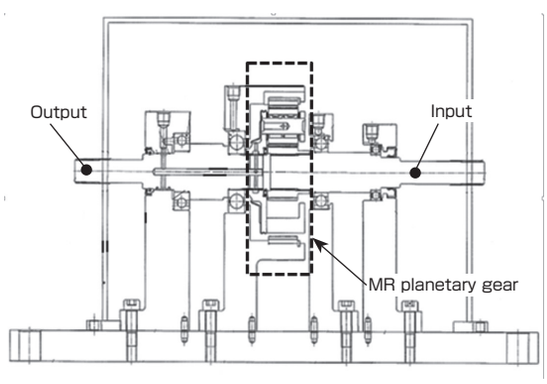


図 18　MR プラネタリギヤ単体試験機概要

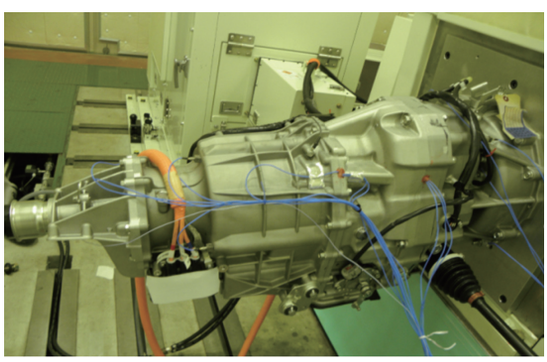


図 19　トランスミッション試験機概要

5.2　計測方法

MRプラネタリギヤノイズの次数移動及び、アッセンブリ化での振動加速度の悪化を検証するため、振動加速度ピックアップをインターナルギヤ外周に設置し、MRプラネタリギヤの近傍振動を計測した。計測条件を表5に示す。

表 5　計測条件

Torque (MG2)	−40 Nm
Speed (Carrier)	1400 → 200 rpm
Change rate of speed	Δ20 rpm/sec

5.3　計測結果

実測した振動の次数分析結果を図20・21に、周波数応答波形を図22に示す。MRプラネタリギヤ単体では101、103次の振動が目立つのに対し、トランスミッションでは100、104次の振動が目立つ。解析同様、実機でも次数移動が発生することを確認した。また、周波数応答波形よりMRプラネタリギヤ単体に対し、アッセンブリされたトランスミッションでは振動が悪化することが確認でき、実機でも4章における事象と同傾向であることが分かった。

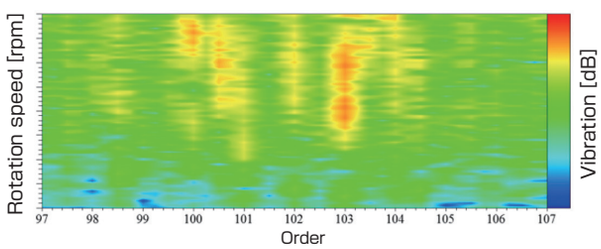


図 20　MR プラネタリギヤ単体振動次数分析結果

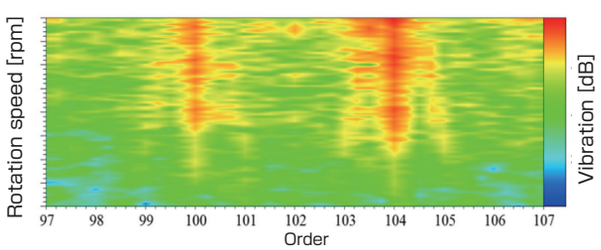


図 21　トランスミッション振動次数分析結果

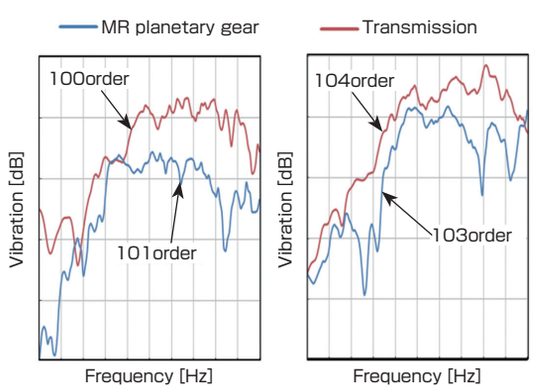


図 22　周波数応答波形

6. 改善検討

5章の結果より解析の妥当性が確認できた。次に、ギヤノイズ低減のための改善検討を行った。

6.1 改善アイテム検討

4.3節より、トランスファギヤの噛み合い反力がプラネタリギヤノイズを悪化させている要因だと推測した。この改善案として、トランスファギヤ軸とキャリアを勘合しているスプライン歯面にクラウニングを施した(図23)。

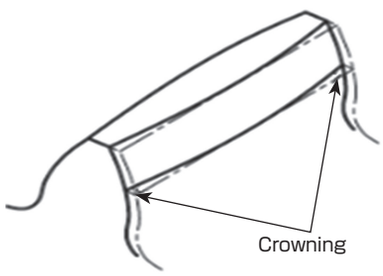


図 23　クラウニング

これにより、勘合部の剛性を低下させ、トランスファギヤ噛み合い反力のキャリアへの影響を小さくさせた。これにより各ピニオンギヤのミスアライメントのばらつきが改善した。クラウニング有無のミスアライメントの比較を図24に示す。結果、プラネタリギヤトータルの起振力が改善し、MG2リヤ側ベアリングの振動加速度応答で約3～4 dBの改善が確認できた。クラウニング有無の振動加速度応答波形を図25に示す。

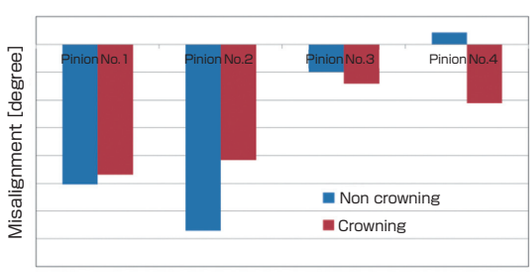


図 24　各ピニオンギヤにおけるミスアライメント

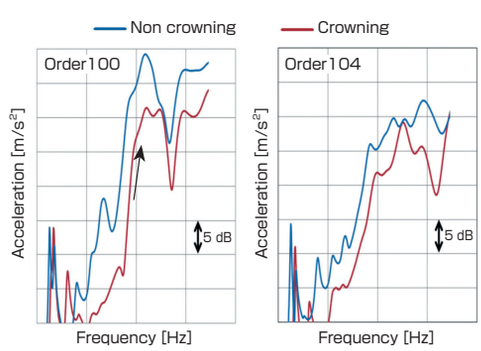


図 25　応答点における振動加速度

6.2 実機検証結果

6.1節の改善効果について実機で検証した結果、1.5 dBのトランスミッション近接音の改善が確認できた。結果を図26に示す。

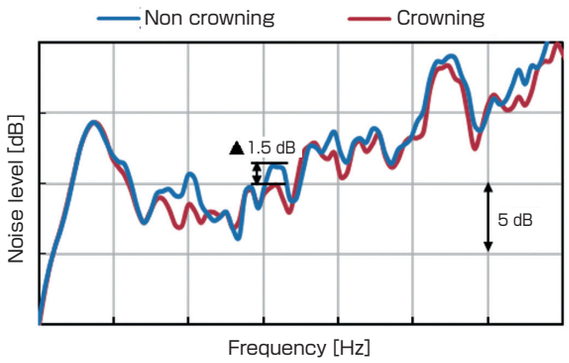


図 26　トランスミッション近接音の周波数応答波形

7. まとめ

単体･ギヤトレインモデルを用いて振動解析を行い、プラネタリギヤノイズの次数移動・悪化のメカニズム分析を行った。得られた結果は以下のとおりである。

1. 単体モデルに対し、ギヤトレインモデルではトランスファギヤ噛み合い反力の影響により、MRプラネタリギヤの歯当りが変化する。結果、ギヤノイズ発生次数が移動するとともに、起振力が悪化する。
2. このメカニズムに基づき、プラネタリギヤノイズの改善案として、トランスファギヤ軸とキャリア勘合部のスプライン歯面にクラウニングを施し、CAE・実機ともに改善することが確認できた。
3. ギヤ諸元・歯形・工法の最適化に加え、上記2.による改善により、高いNVH性能を持つプラグインハイブリッドトランスミッションを開発した。
4. プラネタリギヤノイズは上記1.のように、周辺構造の影響も大きく受ける。そのため、プラネタリギヤノイズの予測には周辺構造も考慮したモデルで解析するのが有効である。

参考文献

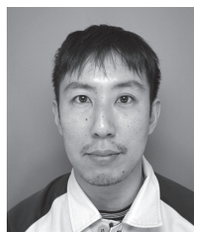
(1) 森川邦彦，熊谷幸司，西原隆太：遊星歯車装置のサイドバンド現象解析，日本機械学会論文集，Vol. 80, No. 815, p1-16（2014）
(2) 熊谷幸司，森川邦彦，永原幹雄，小森雅晴：遊星歯車機構の伝達誤差に及ぼすミスアライメントの時間変化の影響，日本機械学会論文集、Vol. 80, No. 814, p1-12（2014）
(3) 青木寛子，三好慶和，小川雅人，三石人生，新谷啓

行：プラネタリギヤノイズ予測手法の開発，自動車技術会学術講演会予稿集（2016），20166192

【著　者】

小橋　建斗

佐々木 高晴


迫田 雄一郎

「SUBARU XV」改良モデルを発表
～新感覚の走りの愉しさを実現した「e-BOXER」搭載グレードを拡大～

2019年10月10日

「SUBARU XV」改良モデルを発表。
「2.0e-L EyeSight」「2.0e-S EyeSight」を追加し、「e-BOXER」搭載グレードの選択肢を拡大しています。また、アイサイト・ツーリングアシストの全車標準装備に加え、X-MODEは２つのモード選択を可能とし、悪路走破性を高めました。

SUBARU XV「2.0e-L EyeSight」

電動車駆動用モータ制御による モータシステム効率向上の取り組み

Efforts to Improve Motor System Efficiency by Controlling Motors for Driving Electric Vehicles

中　平　真一郎[*1]
NAKAHIRA Shinichiro

下　條　和　真[*1]
SHIMOJO Kazuma

佐　藤　真　人[*2]
SATO Masato

今　村　友　厚[*2]
IMAMURA Tomoatsu

池　邊　佑　太[*2]
IKEBE Yuta

抄　録

今回、モータシステムの効率を向上させるために、「電流進角」と「キャリア周波数」に着目し、それらを効率目線で最適化する検討を実施した。

まず、モータシステムの損失要素を分解し、電流進角及びキャリア周波数を変更した場合の背反事象と改善効果の傾向を明らかにした。

検討結果を踏まえ、従来制御に対して電流進角を進角(弱め磁束)側へシフトさせ、キャリア周波数も下げることで、損失を約3%低減できることをベンチ評価で確認した。

最後に、製品への背反影響を考慮して実施内容を絞り込み、システム全体として約0.5%の損失低減に貢献できることを確認した。

本稿では、電動車の損失の内訳からモータシステムの構成及び損失、システム目線での最適化事例について紹介する。

Abstract

This time, in order to improve the efficiency of the motor system, we focused on “current advance angle” and “carrier frequency” and conducted a study to optimize them from the viewpoint of efficiency. First, the loss factor of the motor system was disassembled. Then, we clarified the antinomy and the improvement effect when the current advance angle and the carrier frequency were changed. As a result of the examination, it was confirmed by bench evaluation that the loss can be reduced by about 3% by shifting the current advance angle to the advance angle (flux weakening) side and lowering the carrier frequency as compared with the conventional control. Finally, considering the adverse effect on the product, we narrowed down the implementation contents and confirmed that it can contribute to loss reduction of about 0.5% as a whole system. In this paper, we introduce the configuration and loss of the motor system from the breakdown of the loss of the electric vehicle, and the optimization case from the system viewpoint.

1. まえがき

年々厳しくなる環境規制に対応するため、電動車両には高い環境性能が求められている。環境性能を向上する手段はシステム構成に応じて様々であるが、車両の駆動および電力回生を司るモータシステムの高効率化は中でも重要な技術に位置づけられる。

電動車は、モータ、インバータ、バッテリの基幹デバイスが搭載され、これらのデバイスを制御することで、モータ駆動を実現している。すなわち、モータの出力特性や効率特性は、制御で変化する。

デバイスはそれぞれ目標性能があり、目標を達成するために、機械設計や制御を行い、評価を実施している。そのため、モータシステム全体として必ずしも最適に設計できているとはいえない状態であった。

今回は、モータシステム全体での効率に着目し、モータシステム損失の明確化と、システム効率改善及び背反確認を実施し、システム全体目線でモータシステム制御の最適化を図る。

＊1 電動駆動設計部
＊2 電動駆動性能開発部

2. SUBARU電動車の損失とモータシステム効率最適化の狙い

まず、電動車の損失の現状やモータシステム構成について説明する。

2.1 SUBARU電動車の損失の現状

図1に電動車の損失の現状を示す。

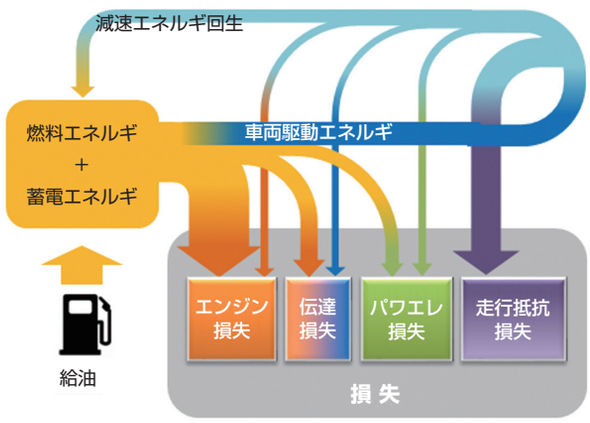


図１　電動車の損失の現状

電動車の損失の分類は、主にエンジン損失、伝達損失、パワエレ損失、走行抵抗損失の4つに分類される。各損失について説明する。

エンジン損失は、主に排気損失や冷却損失等の燃焼時に発生する図示損失とピストン動作時に発生する摩擦損失である。

伝達損失は、主に駆動系の内部でギア等が回転する時にオイルが撹拌することで発生するスピンロスやギア同士の噛み合い損失である。

パワエレ損失は、主にバッテリの内部抵抗による損失やインバータ内部のスイッチング損失、モータの損失、昇降圧コンバータ損失である。

走行抵抗損失は、主にボディ形状で決まる空気抵抗やタイヤの転がり抵抗である。

なお、減速時には走行エネルギを電力エネルギに変換する回生動作があるため、回生仕事としてエネルギが蓄積される。図2に電動車の各損失割合を示す。

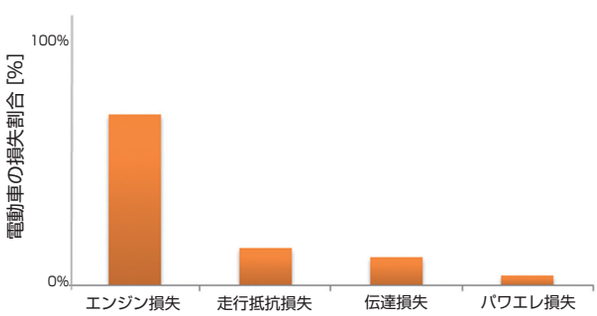


図２　電動車の各損失割合

図2の通り、損失が大きい順にエンジン損失、走行抵抗損失、伝達損失、パワエレ損失となる。したがって、パワエレ損失は電動車の損失で最も低い。すなわちパワエレは、高効率なデバイスといえる。

2.2 モータシステムの構成

モータシステムの各構成について説明する。図3にモータシステム構成の概要を示す。

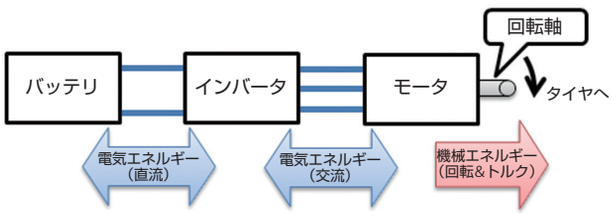


図３　モータシステム構成の概要

モータシステムは、インバータ、モータで構成され、それぞれケーブルで接続される。モータを回転させるには、交流電流が必要である。バッテリは直流であるため、電力変換装置であるインバータを介して、直流から交流に電力変換を実施している。電力変換には、スイッチング制御を利用している。

図4にスイッチング制御の概要を示す。

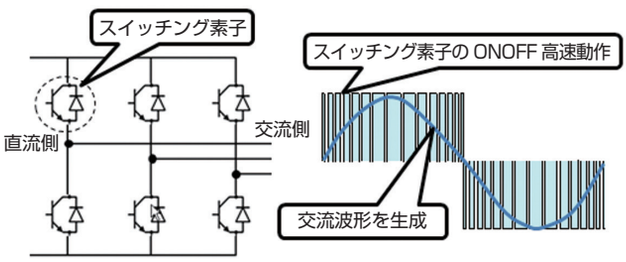


図４　スイッチング制御の概要

インバータ内部には、6つのスイッチング素子があり、バッテリからの直流をONまたはOFFして、高速にスイッチングすることで交流を生成する。これをPWM制御という。

図5にモータの構成概要を示す。

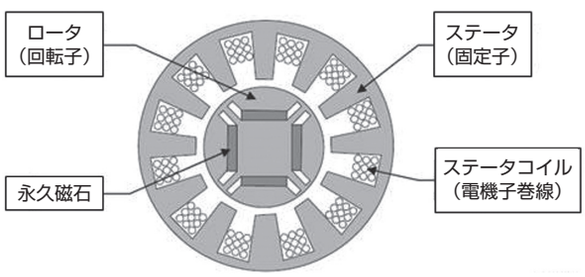


図５　モータの構成概要

モータは、埋込磁石構造の同期モータである。一般的には、IPMSM（Interior Permanent Magnet Synchronous Motor）という。IPMSMは、ステータ（固定子）とロータ（回転子）により構成される。ステータは、U相、V相、W相の3つの巻線で構成される。ロータは、電磁鋼板内に永久磁石が内蔵され、マグネットトルクとリラクタンストルクの2つのトルクを発生させる。

次にモータシステムの損失について説明する。

2.3　モータシステムの損失について

図6に、モータシステムの損失の分類を示す。

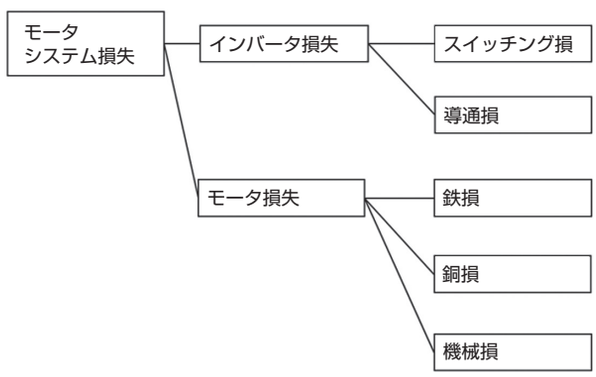


図6　モータシステムの損失の分類

モータシステムの損失はインバータ損失とモータ損失に大別され、スイッチング損と導通損、鉄損と銅損と機械損にそれぞれ分類される。各損失について説明する。

2.3.1　インバータ損失について

(1) スイッチング損

図7にスイッチング素子のON時間とOFF時間を示す。スイッチング時は完全に切り替わるまでに時間を要する。そのため、ON時間及びOFF時間は、電力損失が発生する。これをスイッチング損という。

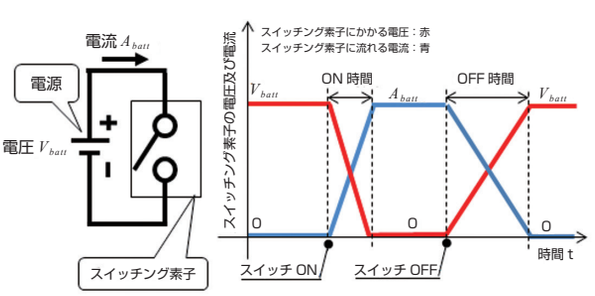


図7　スイッチング素子の ON 時間と OFF 時間

(2) 導通損

スイッチング素子には、オン抵抗が存在する。そのため、導通時はオン抵抗による損失が常に発生する。

2.3.2　モータ損失について

(1) 鉄損

鉄損（W_i）は、モータのコア（鉄心）に発生する損失であり、下記式(1)で示される。

$$W_i = \frac{V^2}{R_c} \qquad (1)$$

Vは電圧、R_cは、鉄損抵抗を示す。鉄損抵抗は、電源周波数で変化する。

(2) 銅損

銅損（W_c）は、モータコイルの巻線抵抗と流れた電流により発生するジュール熱であり、下記式(2)で示される。

$$W_c = R_a \cdot I_a^2 \qquad (2)$$

R_aはモータの巻線抵抗、I_aは、モータに流れる電流を示す。

(3) 機械損

機械損は、ベアリングの摩擦、回転部品の風損からなるもので、モータ回転数により変化する。

2.4　システム効率最適化について

モータシステムは高効率なデバイスであるが、各デバイスの損失を最適化することで、さらなる効率改善が見込めると考えられる。そこで今回は、モータ制御の変更で改善可能な電流進角及びキャリア周波数の最適化に着目し、システム損失の現状把握とシステム全体での最適化を図るための手段を検討し、改善を試みた。

3.　モータシステム効率改善

3.1　電流進角最適化

3.1.1　最適化手法の検討

これまでのモータ制御は、モータに流れる電流に対し発生トルクが最大となる進角値で電流制御を実施していた。一般的には、MTPA（Maximum Torque Per Ampere）と呼ばれる。

図8に電流位相に対する損失変化の概要を示す。

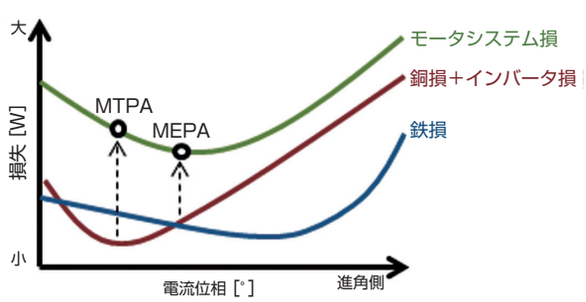


図8　電流位相に対する損失変化の概要

図8は、電流位相－モータシステム損失特性を示したものである。MTPAは、銅損＋インバータ損は最小となるが、鉄損は考慮されていない。そこで今回は、銅損＋インバータ損、鉄損を含めたモータシステム損失を改善する電流制御を実施した。以降これをMEPA（Maximum Efficiency Per Ampere）と呼ぶこととする。なお、図8は、モータ出力トルク一定時の特性である。また、IPMSMの場合、MEPA時の電流進角は、MTPAに対し進角側（弱め磁束）となる。

3.1.2　改善効果

図9にMTPA（ベース）に対するMEPAの損失低減効果を示す。モータに流れる電流で変化するが、MEPAによる損失改善代は最大で約0.2%となった。

3.2　キャリア周波数最適化

3.2.1　最適化手法の検討

従来のモータ制御では、一定のキャリア周波数で制御していたが、周波数を下げることでスイッチング損失低減が見込める。ただし、周波数を下げることで、電流波形が乱れ、制御性が悪化し、モータやインバータからの騒音発生が顕著になる懸念がある。そこで、どのくらいまでキャリア周波数を下げることが可能であるか、改善効果及び背反影響を確認した。

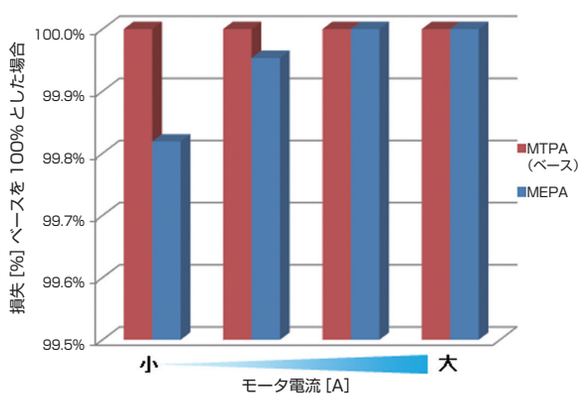


図9　MTPA（ベース）に対するMEPAの損失低減効果

3.2.2　改善効果

図10に各キャリア周波数を変更させたときの損失低減効果を示す。

図10は、モータ出力トルク一定時におけるキャリア周波数-損失特性を示したものである。キャリア周波数は、ベースを10 kHz（10000 Hz）とし、ベース＞キャリアA＞キャリアBの順に低下させて損失を計測した。キャリア周波数を下げていくと損失が低減可能なことが確認できた。各回転数で損失は変化するが、キャリア周波数低減による損失改善代は約1～3%となった。

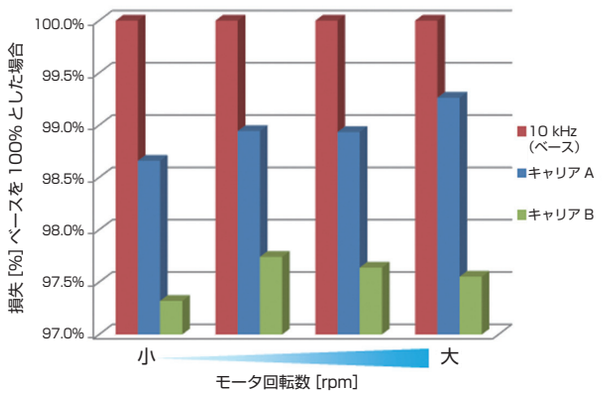


図10　キャリア周波数変更時の損失低減効果

3.2.3　背反影響

キャリア周波数変更の背反の一つに騒音の悪化がある。背反の説明の前に、ヒトの音の感度について説明する。図11に等ラウドネスレベル曲線を示す。

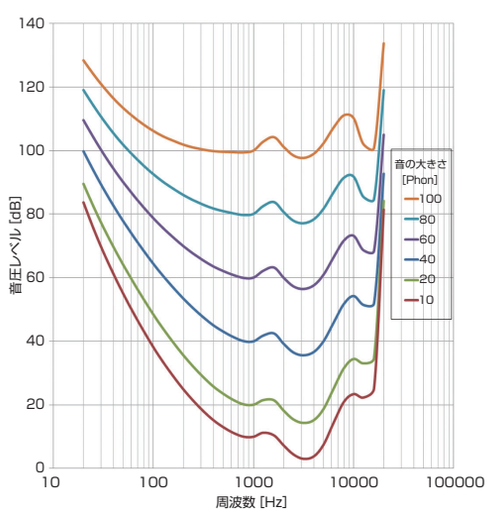


図11　等ラウドネスレベル曲線（20～20000 Hzのみ）

等ラウドネスレベル曲線とは、様々な周波数の音が感覚的に同じ大きさ（ラウドネス）に聞こえる音圧レベル（等ラウドネスレベル）を結んで作られる周波数特性である。

音の大きさ10 phonを例にとると、20 Hzで約80 dBと、100 Hzで約35 dBでは、人間にとって同じ大きさの音に聞こえるということである。つまり、図11に示す音圧レベルが小さい程、ヒトは音に対する感度が高い。その周波数帯域は、約2000～4000 Hz帯にあり、赤ちゃんの泣き声や、携帯電話のアラーム音に相当する。

キャリア周波数は、使用するインバータ（スイッチング素子）の仕様により様々あるが、一般的に数1000～数10000 Hzであり、ヒトの感度が高い周波数帯域に設定すると騒音として認識しやすくなる。また、インバータ騒音の原因となるスイッチングによる電流脈

動は、一般的にスイッチング周波数が低い程、大きくなる傾向にある。これらによる聴感悪化の懸念を検証するため、キャリア周波数を変化させた時の騒音の変化を実車走行にて測定した。図12にキャリア周波数変更時の騒音計測結果を示す。

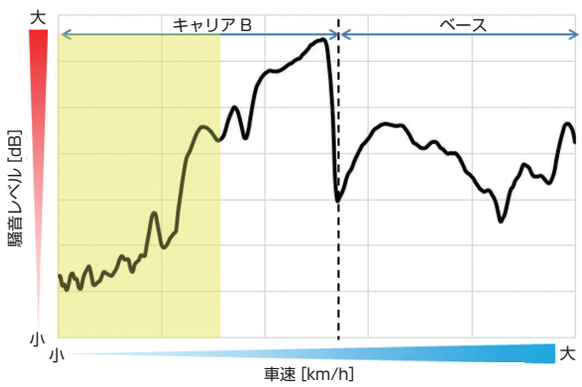


図12　キャリア周波数変化時の騒音計測結果

図12は、車速に応じて、キャリア周波数をベース、キャリアBに変化させた時の騒音計測結果を示したものである。キャリア周波数を下げたキャリアBで騒音レベル増大が見られ、聴感上も認識しやすくなり明らかな悪化を感じられた。図11に示す通り、10000 Hz以下では、ヒトの感度の高い周波数領域であるため、聴感が悪化したと推察する。この背反結果を考慮し、図12の黄色塗で示す聴感が悪化しない動作領域でのみキャリア周波数を低くする制御とした。

3.3　システム全体での改善効果

MEPAによる電流進角変更と、キャリア周波数低減を実施し、約3%の損失低減を得た。振騒の背反を考慮した結果、約0.5%損失改善を得た。

この結果から、モータシステム10 kWで50 W程度の損失低減、100 kWでは500 Wの損失低減効果が見込めるといえる。したがって、モータの出力容量が大きい程、システム最適化の効果は大きくなるといえる。

4.　おわりに

モータシステムの最適化を検討した結果、MEPAによる電流進角変更と、キャリア周波数低減を実施することで、システム全体損失は約3%改善し、振騒性能の背反を考慮すると約0.5%改善することを確認した。

一つのデバイスの損失だけに着目すれば、さらなる改善は可能だが、数多くのデバイスを搭載する車両開発では様々な相互影響や背反を考慮する必要がある。

それらの関係性を全て考慮した車両開発は決して容易ではないが、当社が積極的に取り組んでいかなければシステム最適化はできないといえる。

技術的な目新しさはないが、自動車という一つの製品を作り上げるには、各部品同士の長所や短所を見極め、優れた動作(制御)を追求し目的のモノにすることが技術者にとって必要である。

本取り組みを通じて、モノづくりの大切な心構えを学ぶことができた。自動車業界の大変革がある中で、本取り組みの成果を活かし、製品性能などの目的に関して本質を明らかにしながら今後もシステム最適化を積極的に推進していく。

謝辞

本取り組みにおいて、ご協力頂いた電動駆動設計部、電動駆動性能開発部の皆様に深謝する。

参考文献

(1) 武田洋次ほか：埋込磁石同期モータの設計と制御　オーム社(2001)

【著　者】

中平 真一郎

下條　和真

佐藤　真人

今村　友厚

池邊　佑太

Pd粒子の環境制御型電子顕微鏡による劣化挙動解析

Deterioration Behavior Analysis of Pd by Environmental Transmission Electron Microscopy

福富駿祐[*1] FUKUTOMI Shunsuke
稲葉菜海[*1] INABA Nami
永井亮[*1] NAGAI Ryo
丹功[*1] TAN Isao
吉田秀人[*2] YOSHIDA Hideto
竹田精治[*2、3] TAKEDA Seiji

抄　録

世界的な環境意識の高まりから排ガス浄化触媒の耐久性能向上が望まれている。今回我々は触媒劣化の主要因であるPdの粒成長のメカニズムを明らかにするため、環境制御型透過電子顕微鏡(ETEM)を用い、実使用環境を模擬した高温、且つ酸化／還元雰囲気におけるPd粒子の挙動を観察した。その結果、酸化雰囲気下のPd粒子は還元雰囲気下より低温の800℃から移動を開始し粒成長することを確認した。この移動・粒成長はPd⇒PdOを介していることから、Pdの酸化を阻害することがPdの粒成長抑制に有効であることを見出した。

Abstract

Even more improvement of automotive catalysts durability is expected nowadays due to increased global environmental awareness. To investigate the sintering process of Pd particle which is a main factor for deterioration of Three-way catalysts (TWC), we examined behaviors of Pd particles by simulating a real use environment with high temperature and in oxidizing/reduction atmosphere conditions. For this investigation, an aberration-corrected environmental transmission electron microscopy (ETEM) was used. As a result, we found out that Pd particles in oxidizing condition start sintering from 800℃ which is lower temperature than being under reduction atmosphere. As this sintering in oxidizing generates PdO, we came to the conclusion that preventing oxidation of Pd is the effective way of inhibiting sintering process of Pd.

1. まえがき

近年、実路走行での排出ガス規制が導入されるなど、自動車の環境性能向上が全世界的に望まれている。ガソリンエンジンを搭載する車両において排出ガスを低減するため、排気ガス浄化触媒の性能向上が重要な役割を果たす。一方触媒の活性点として用いられているPt、Pd、Rhといった賦存量の少ない貴金属については、省資源の観点から使用量の低減が望まれている。少ない貴金属触媒で長期に亘り高い排気ガス浄化性能を維持するためには、使用過程における性能低下を抑制することが必要である。

この性能低下を抑制するため、触媒を通過する排気ガス組成や曝される温度による触媒性能への影響に関しては多くの研究がなされている。その性能低下は主に活性種である貴金属粒子の粒成長による表面積の低下に依ることが一般に知られている[(1)～(6)]。しかしながら三元触媒において燃料カットのようなリーン雰囲気に曝された場合、ストイキオやリッチ雰囲気下に比較し性能低下が著しいが、そのメカニズムは明らかになっていない(**図1**)[(1)]。

Ptの凝集については粒子同士の衝突やPtO_2の分解・再分散といったメカニズムが提唱されているが[(7)(8)]、Pd、Rhについては研究例が少ない。

貴金属粒成長の解析には速度論的手法や分光学的手法などの多くの手法が用いられる[(2)、(9)]。中でも透過型電子顕微鏡は原子レベルで直接観察することができるため有効であるが、一般的に高真空の環境が必要であるため、実使用環境下の観察は困難であった。今回我々は、Pd粒子の凝集過程を収差補正・環境制御型

＊1 エンジン性能開発部
＊2 大阪大学　産業科学研究所
＊3 大阪大学　ナノサイエンスデザイン教育研究センター

透過電子顕微鏡(ETEM)[10]～[12]を用いることで、実使用環境を想定した各種雰囲気下で連続的に観察し、性能低下の抑制技術を検討した。

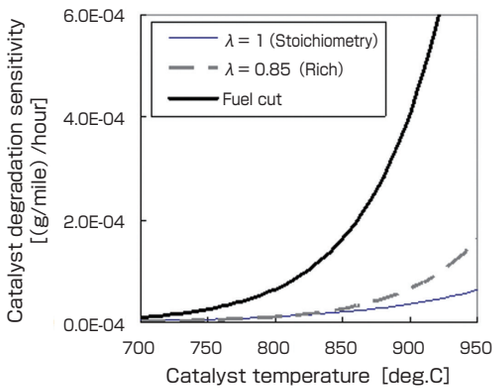


図 1　触媒劣化感度[1]

2. 実験

2.1　Pd粒子径の触媒活性に対する影響

2.1.1　触媒サンプル収集

Pd粒子径の触媒活性に関する影響を調査するために、実際に米国市場における多数の車両から20台分の触媒を収集した。触媒の収集にあたっては、全米としての代表性を表現するため、気候区分、気温、標高、人口密度、燃料性状の観点から地域を選定した。

2.1.2　触媒活性試験

触媒の浄化性能は、エンジン台上運転での定常流れにおいてライトオフ性能を計測した。エンジンは2.5L水平対向エンジンを用い、λを0.997、SVを87,580 h^{-1}とし、20 degC/minの昇温速度で計測した。浄化性能の指標は排気ガスの浄化率が50%に達したときの触媒入口温度(T50)を用いた。

2.1.3　STEM観察

Pd粒子径は走査型透過電子顕微鏡を用い、触媒1つにつき100個の粒子を観察、計測し、平均値を算出した。サンプルは米国市場より回収した触媒を掻き取り採集した。STEM観察にはFEI社製TITAN80-300を用い、加速電圧を200 kVとした。貴金属の同定のためEDX分析を行い、検出器にはr-TEM/SuperUTWを用いた。

2.2　ETEMによるPd粒子の挙動解析

2.2.1　触媒調製

ETEM調査する触媒は実使用環境下でのPdの挙動を観察するために、実用触媒に用いられる硝酸パラジウム水溶液をイオン交換水で希釈したのち、市販のランタン含有アルミナ(γ-Al_2O_3)に含浸担持した。この含水粉末を大気中で120 degC、5時間乾燥後、大気中で700 degC、5時間焼成を行ない、14.8 wt%Pd担持アルミナ粉末を調製した。調製した触媒をPd/Al_2O_3と表記する。

2.2.2　ETEM観察

ETEMはFEI社製 Titan ETEM G2を使用し、加速電圧は300 kVとし、環境条件は実使用時を想定し代表的な雰囲気に設定した。**表1**に詳細な環境条件を示す。触媒試料の加熱にはFEI Nano Ex-i/v heating holderを用いた。

表 1　ETEMの観察条件

Condition	Gas composition	Pressure [Pa]	Temperature [degC]
Reducing	CO	500	800～1000
Reducing	H_2	100	800～900
Reducing	Vacuum	1.2×10^{-5}	800～1000
Oxidizing	O_2	100, 500	800～1000

2.3　Pd粒子の挙動に対する母材の影響

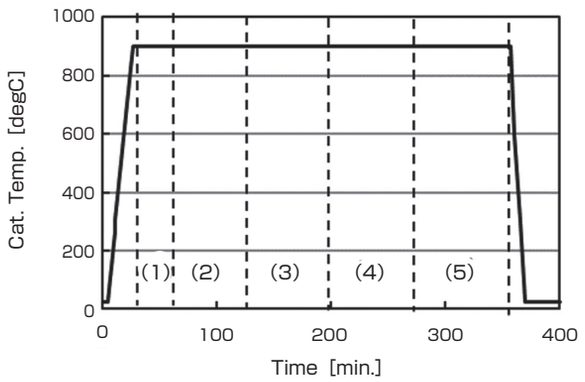
2.3.1　触媒調製

実使用環境下におけるPd粒子の挙動に対する母材の影響を調査するために、2種類のMatrix(母材)A、Bを用いて触媒調製を行った。硝酸パラジウム水溶液をイオン交換水で希釈したのち、Matrix A、Bに含浸担持した。この含水粉末を大気中で120 degC、5時間乾燥後、大気中で700 degC、5時間焼成を行い、Pd担持触媒を調整した。調製した触媒をそれぞれPd/Matrix-A、Pd/Matrix-Bとする。

2.3.2　in-situ XRD解析

Pd結晶子径を定量的に評価するため、in-situ XRDを用いて、Pd/Matrix-AとPd/Matrix-Bの酸化－還元雰囲気下の結晶子径を測定した。酸化雰囲気の代表としてはO_2 10% Heバランス雰囲気とし、還元雰囲気はCO 10% Heバランス雰囲気とした 温度は実使用温度より、900 degCとした。**図2**にin-situ XRDでの酸化-還元雰囲気下のプロファイルを示す。触媒はHe雰囲気下、40 degC/minで900 degCまで昇温させ、その後、実使用同等の温度である900 degCで保持し、O_2 10% Heバランスで10 min前処理を行った。その後、還元雰囲気と酸化雰囲気を2回ずつ切り替えた。X線回折測定はQuick scanとStep scanの2種類を行った。Quick scanは雰囲気切り替え直後から52秒間隔で行い、瞬時のPd結晶子径を測定するためにスキャン範囲32-60 degでスキャンスピードを100 deg/minとした。Quick scanの回折パターンからPd結晶子径

をScherrerの式を用いて算出した。Step scanは各雰囲気を切り替えてから500秒後にスキャン範囲5-80 degを10 deg/minの速度で行い、Pdの結晶状態を調査した。



(1) O_2 10%雰囲気下における前処理
(2) 還元雰囲気1回目(CO 10% He バランス)
(3) 酸化雰囲気1回目(O_2 10% Heバランス)
(4) 還元雰囲気2回目(CO 10% He バランス)
(5) 酸化雰囲気2回目(O_2 10% Heバランス)

図2　in-situ XRDの温度プロファイル

2.3.3　触媒活性試験

Pd/Matrix-AおよびPd/Matrix-Bの触媒活性はガスを混合して作り出した模擬排気ガスを用いてライトオフ性能を計測した。

評価触媒は**表2**に示すガス組成をそれぞれ酸化雰囲気、還元雰囲気としてこれを30 min.とに切り替えながら1200 degCにて24時間耐久を行った。

表2　評価触媒の耐久時のガス組成

Condition	O_2	H_2	H_2O	N_2
Oxidizing	10%	−	10%	Balance
Reducing	−	10%	10%	Balance

耐久後のサンプル2.0 gをペレット状に成型し、**表3**に示す組成のガスを20 L/minで流通させ、昇温させながら浄化率を計測した。この際、昇温速度は30 degC/minとした。浄化性能の指標はC_3H_8の浄化率が50%となる温度(T50)で比較した。

3.　結 果

3.1　Pd粒子径とライトオフ性能

全米から回収した触媒のライトオフ性能と平均Pd粒子径の関係を**図3**に示す。ライトオフ性能はPd粒子径に対して高い相関関係を示し、粒子径が小さいほど高い浄化性能を示すことが分かった。前述の通り、触媒性能低下は主に貴金属の凝集によるものであることが知られているが、特にPdの平均粒子径に依存することが分かった。以下ではPd平均粒子径を触媒性能の代表指標として取り扱う。

表3　触媒活性試験のガス組成

Gas composition	Concentration
C_3H_8	3000 ppm
CO	1.71%
NO	1000 ppm
O_2	1.27%
CO_2	13.90%
H_2O	10.00%
N_2	Balance

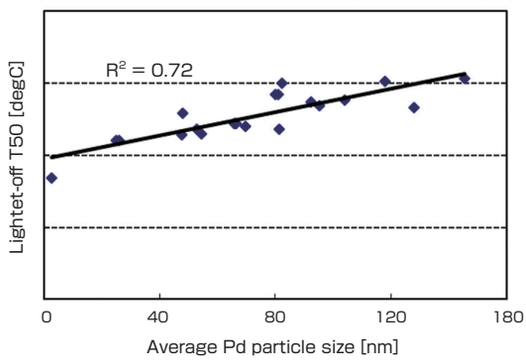


図3　Pdの平均粒径と触媒性能の関係

3.2　ETEMによるPd粒子の状態観察

実使用環境に近い還元雰囲気の代表として、CO 500 Pa、900 degC雰囲気下における300秒間のPd粒子の挙動を調査した。その結果を**図4**に示す。Pd粒子は還元雰囲気下では900 degC以上でAl_2O_3上を移動した。この挙動はH_2流通下および真空下でも同様であったため、以下においては真空下を還元雰囲気の代表雰囲気として扱うこととする。

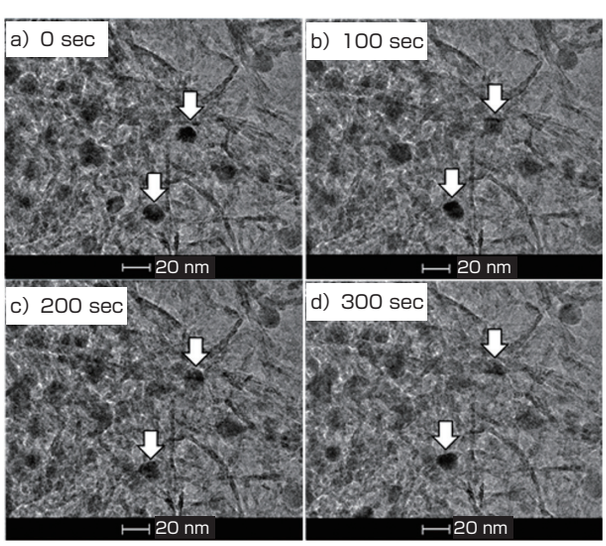


図4　CO 500 Pa下、900 degCにおけるETEM観察像
経過時間は図中に記載

実使用環境に近い酸化雰囲気の代表条件として、O_2 500 Pa、800 degCにおける600秒間のPd粒子の挙動を**図5**に示す。酸化雰囲気下では、800 degC以上にて縮小する粒子(破線矢印)と成長する粒子(実線矢印)が同時に確認された。

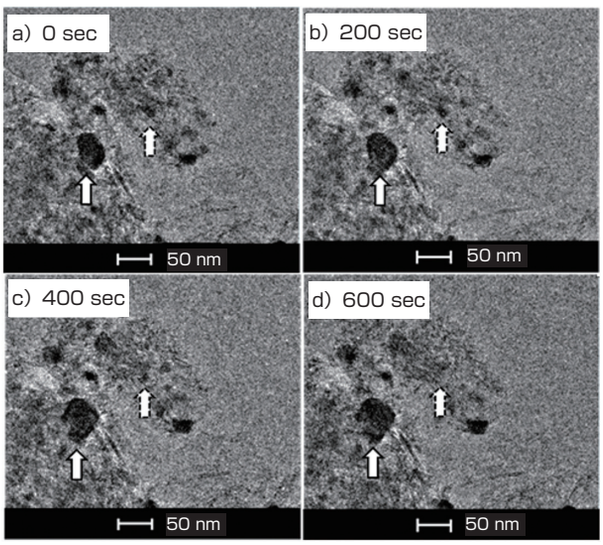


図5　O_2 500 Pa 下、800 degC における ETEM 観察像
経過時間は図中に記載

さらに詳細にPd粒子の挙動を調査するため、高倍率にてPd粒子を観察した。還元雰囲気として真空中にてPd粒子の挙動を加速させるため、温度を1000 degCとした観察結果を**図6**に示す。Pd粒子p1がAl_2O_3上を移動し、Pd粒子p2に衝突し合体する様子を観察した。

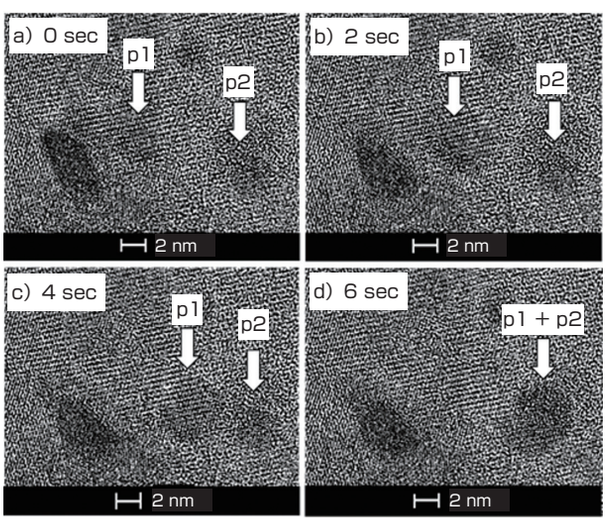


図6　真空下、1000 degC における ETEM 観察像
経過時間は図中に記載

O_2 500Pa酸化雰囲気下においても900 degCに昇温し挙動を加速させ、粒子を観察した。その結果、**図7**に示す様にPd粒子p3が酸化雰囲気下で縮小する様子を観察した。また、x部分のフーリエ変換像にはPdOの110回折スポットが表れている。

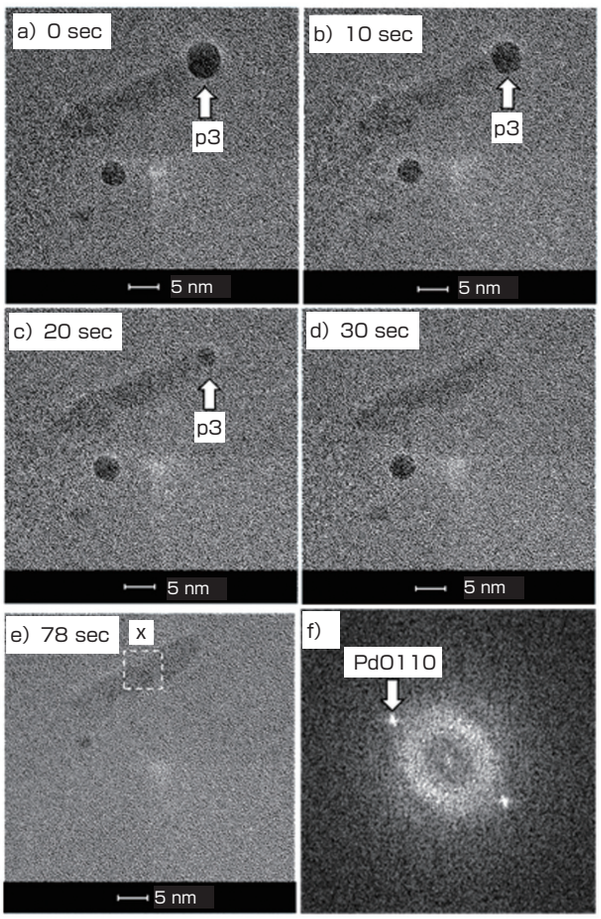


図7　O_2 500 Pa 下、900 degC における ETEM 観察像
経過時間は図中に記載

3.3　in-situ XRDによるPd粒子の構造解析

Pd/Matrix-AのStep scan測定で得られた2θ =40 deg付近の回折パターンを**図8**に示す。Pd/Matrix-Aでは還元雰囲気下で40 deg付近にPd(111)に帰属されるピークが存在したが、酸化雰囲気に切り替えるとピークが減少した。また、酸化雰囲気、還元雰囲気共にPdOに帰属されるピークは確認されなかった。Pd/Matrix-BのStep Scanで得られた2θ = 40 degの回折パターンを**図9**に示す。Pd/Matrix-Bでは酸化雰囲気下でもPd(111)面に帰属されるピークが減少しなかった。また、PdOに帰属されるピークはPd/Matrix-Aと同様Pd/Matrix-Bでも確認されなかった。以上より、Pd/Matrix-Aは酸化雰囲気でPdは酸化されPdOとなっているが、微小な酸化物であるため、PdOのピークが検出されないものと考える。一方Pd/Matrix-Bでは酸化雰囲気でもPdがメタル状態を維持していると考える。

Pd/Matrix-AとPd/Matrix-BのQuick scan測定で得られた回折パターンから得られたPd(111)面のピークを用いてPdの結晶子径を算出した。O_2 10%ガスを導入したときのPd結晶子径を基準としたPd結晶子径の変化幅を**図10**に示す。Pd/Matrix-AのPd結晶子

径は316秒後には基準から4.5 nm成長していた。Pd/Matrix-Bは316秒後に0.6 nmしか成長しておらず、Pd/Matr-ix-Aに比べて結晶子径の成長が抑制されていた。

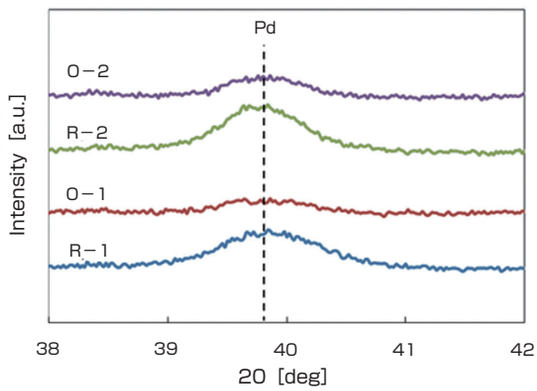


図８　Pd/Matrix-A の XRD プロファイル R-1）１回目の還元雰囲気、O-1）１回目の酸化雰囲気、R-2）２回目の還元雰囲気、O-2）２回目の酸化雰囲気

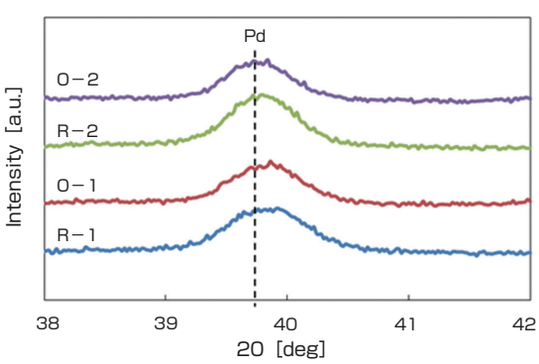


図９　Pd/Matrix-B の XRD プロファイル R-1）１回目の還元雰囲気、O-1）１回目の酸化雰囲気、R-2）２回目の還元雰囲気、O-2）２回目の酸化雰囲気

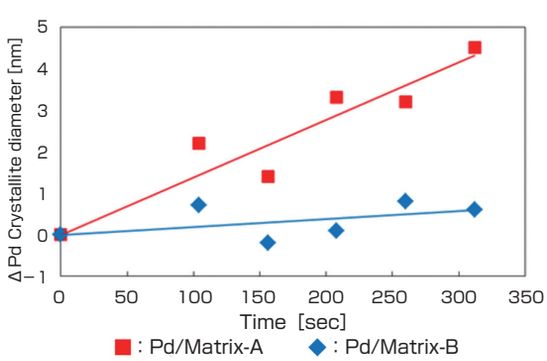


図 10　酸化雰囲気における Pd 結晶子径の成長

3.4　触媒活性の比較

Pd/Matrix-AとPd/Matrix-BのT50を図11に示す。

1200 degC 12時間耐久後において、Pd/Matrix-Bは Pd/Matrix-Aに比べて4.9%高い性能を示した。これはMatrix-B上のPdの粒成長が抑制されたためであると考える。

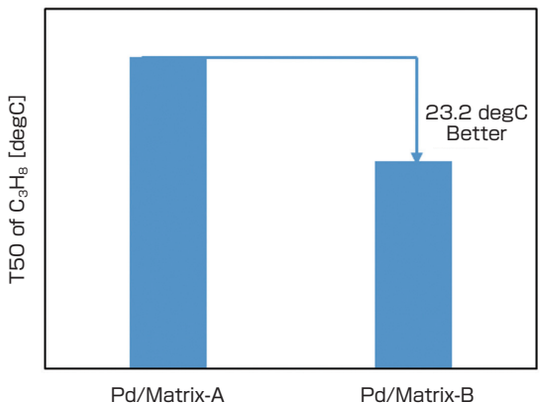


図 11　Pd/Matrix-A と Pd/Matrix-B の触媒活性の比較

4.　考 察

4.1　Pdの粒成長メカニズム

ETEM観察結果から推定したPdの粒成長メカニズムを図12に示す。還元雰囲気におけるPdの粒成長は母材上をPd粒子が金属状態のまま移動、合体を繰り返すことによるものと考える。一方、酸化雰囲気においては①Pd粒子の表面がPdOに酸化され、②粒子から離脱、③1nm以下の極微粒子となり母材上を移動し、④より大きなPd粒子に捕捉されることで粒成長するものと考える。これらの挙動は、Pt系触媒で提唱されているものと同じメカニズムである[(7)(8)]。

また、酸化雰囲気におけるPd粒子の凝集挙動は800 degCから確認されており、還元雰囲気下の粒子移動開始温度の900 degCに比べ100 degC低温であった。従って酸化雰囲気の方が還元雰囲気よりPdの粒成長が促進することを示唆している。

図1に示すストイキオやリッチの雰囲気下に比べ、燃料カットのような酸化雰囲気における触媒の性能低下が著しいのは、Pd粒子がPdOに酸化されることによって移動、捕捉を繰り返し、Pdの粒成長が促進されたと考える。

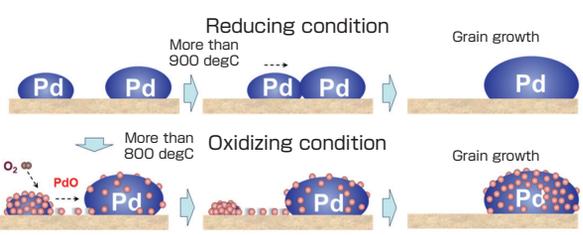


図 12　還元および酸化雰囲気における予測される粒成長メカニズム

4.2　Pd粒子成長に対する母材の影響

Pd/Matrix-BはPd/Matrix-Aに比べ耐久後の触媒活性が高かった。この要因として前述のメカニズムから推定すると、Matrix-B上のPdは酸化雰囲気において

も酸化物となりづらく、Pdの粒成長を抑制できているためと考えられる。以上より、触媒の浄化性能を維持する設計指針の一つとして酸化雰囲気下でPdの酸化抑制が有効であるものと考える。

5. まとめ

排ガス浄化触媒のPdの粒成長メカニズムを実使用環境に近い雰囲気で直接観察を行った。また、Pdの粒成長に対する母材の影響を調査し、以下の知見を得た。

1) Pdの粒成長は還元雰囲気下に比較し酸化雰囲気下ではより低温から起こる。

2) 還元雰囲気下の粒成長は、Pd粒子の移動、合体による。

3) 酸化雰囲気ではPd粒子表面がPdOとなり粒子から離脱、1 nm以下の極微粒子となり母材上を移動し、より大きなPd粒子に捕捉されることにより粒成長が進行する。

4) 酸化雰囲気下でもPdが酸化されにくい母材を用いることで、Pdの粒成長を抑制し性能を維持することができる。

6. 謝 辞

本研究を進めるに当たり、触媒調製および活性評価にあたり、東京濾器株式会社殿にご協力を頂いた。また、in-situ XRD解析は株式会社住化分析センター殿にご協力を頂いた。この紙面を借りて厚くお礼申し上げる。

参考文献

(1) 中野 勉, 木下 雅晃, 永井 亮, 福富駿祐：市場を忠実に再現する三元触媒の評価法に関する研究, 自動車技術会 2016年 春季大会予稿集, 431

(2) Shin'ichi Matsunaga, Koji Yokota, Shi-aki Hyodo, Tadashi Suzuki, Hideo Sobukawa：Thermal Deterioration Mechanism of Pt/Rh Three-way Catalysts, SAE Technical Paper, (1998), 982705, DOI：10. 4271/982706

(3) Annna Fathali, Mats Laurell Fredrik B. Ekstrom, Bengt Andersson and Louise Olsson：A Comparison of Fuel-Cut during Retardation and Fuel-Cut during Acceleration, SAE Technical Paper, (2014), 2014-01-1503, DOI：10. 4271/2014-01-1504.

(4) Fredrik Wallin,Annnika Kristoffersson and Mats Laurell：Thermal and Chemical Deactivation of Three-Way Catalysts, SAE Technical Paper, (2015), 2015-01-1000, DOI：10. 4271/2015-10-1000

(5) R. J. Brisley, O'Sullivan and A. J. J. Wilkins：The Effect of High Temperature Ageing on Platinum-Rhodium and Palladium-Rhodium Three Way Catalysts, SAE Technical Paper, (1991), 910175, DOI：10. 4271/910175

(6) Jean-Pierre Cuif,Steve Deutsch, Mike Marczi,Hung-Wen Jen, George W. Graham, Woosang Chun and Robert W. McCabe：High Temperature Stability of Ceria-Zirconia Supported Pd Model Catalysts, SAE Technical Paper, (1998), 980668, DOI：10. 4271/980668

(7) 長井 康貴, 堂前 一彦, 新庄 博文, 平林 武史, 高木信之, 南 充, 松本 伸一：自動車排気用触媒におけるCeO2系担体上でのPtシンタリング抑制, 豊田中央研究所R&Dレビュー, (2006), Vol41, p32-39

(8) Paul WYNBLATT and N. A. GJOSTEIN：Particle Growth in Model Supported Metal Catalysts：1. Theory, Acta Metallurgica, (1976), 24, 1165-1174

(9) Dairene Uy and Ann E. O'Neill：Raman Studies of Automotive Catalyst Deactivation, SAE Technical Paper, (2006), 2006-01-0409, DOI：10. 4271/2006-01-0409.

(10) Seiji Takeda, Yasufumi Kuwauchi, and Hideto Yoshida：Environmental transmission electron microscopy for catalyst materials using a spherical aberration corrector, Ultramicroscopy, (2015), 151, 178-190,

(11) Hideto Yoshida, Yasufumi Kuwauchi, Joerg R. Jinschek, Keju Sun, Shingo Tanaka, Masanori Kohyama, Satoshi Shimada,Masatake Haruta, and Seiji Takeda, Visualizing Gas Molecules Interacting with Supported Nanoparticulate Catalysts at Reaction Conditions,Science, (2012), 335, 317-319.

(12) Naoto Kamiuchi, Keju Sun,Ryotaro Aso,Masakazu Tane, Takehiro Tamaoka, Hideto Yoshida, Seiji Takeda, Self-activated surface dynamics in gold catalysts under reaction environments, Nat. Commun., (2018), 9, 2060.

【著　者】

福富　駿祐

稲葉　菜海

永井　　亮

丹　　功

吉田　秀人

竹田　精治

新型「レヴォーグ」プロトタイプを世界初公開
～新世代アイサイトや新開発水平対向エンジンを搭載～

2019年10月23日

第46回東京モーターショー2019において、新型「レヴォーグ」プロトタイプを世界初公開しました。SUBARUの持てる最先端の技術を結集し、自動運転化が進むモビリティ社会において、「誰もが自分の意志で、運転をどこまでも愉しめる未来」を実現したパフォーマンスワゴンです。

新型レヴォーグ プロトタイプ

希薄燃焼ガソリンエンジンにおける排出ガス低減開発

Development of Emission Reduction System for Lean Burn Gasoline Engine

中野　勉[*1] NAKANO Tsutomu
北大樹[*1] KITA Daiki
徳永真人[*1] TOKUNAGA Masato
品川手児奈[*1] SHINAGAWA Tekona
山田翔[*1] YAMADA Sho
丹功[*2] TAN Isao
佐々木康吉[*2] SASAKI Yasuyoshi
福富駿祐[*2] FUKUTOMI Shunsuke
田辺大樹[*3] TANABE Hiroki

抄　録

地球環境保護の観点からガソリンエンジンの熱効率向上の有効な手段として希薄燃焼が数多く研究され、いくつかのエンジンが量産化されてきた。しかし希薄燃焼は三元触媒によるNOxの浄化が期待できないため、近年ではクリーンな排出ガスの実現が市場投入の最大の課題となっていた。

今回我々は第4世代CB型水平対向1.8L直噴ターボエンジンの燃費向上の主要手段として希薄燃焼を採用すると共にエンジン排出ガスの低減及び緻密な後処理制御により、熱効率の向上と排出ガス低減を両立させた。

本報告では排出ガス低減後処理システムにおける制御技術を紹介する。

Abstract

Lean combustion has been extensively studied as an effective means for improving the thermal efficiency of gasoline engines for the purpose of protecting the global environment. However, since lean burn cannot purify NOx by a three-way catalyst, realization of clean exhaust gas has become the biggest issue in the market in recent years.

As a main means of improving fuel efficiency, we have adopted lean combustion in the 4th generation CB type horizontally opposed 1.8L direct injection turbo engine, and have achieved both improvement of thermal efficiency and reduction of exhaust gas by controlling the exhaust gas aftertreatment system.

1. まえがき

第4世代CB型水平対向1.8L直噴ターボエンジンでは、燃費性能向上の主要手段としてリーンバーン（希薄燃焼）方式を採用している。リーンバーンでは空燃比A/F（Air Fuel Ratio）が理論空燃比から大きくなるほどエンジンから排出される排気ガス成分であるNOx（窒素酸化物）は減少する特性をもつ（図1）。

しかしA/Fが30に近いスーパーリーンバーン（超希薄燃焼）領域を使用しない限り、後処理システムを使用せずにNOx排出を排出ガス規制に対応することは困難である。またストイキオ燃焼エンジンで採用される三元触媒はリーンバーン運転においてNOx浄化が期待できないため、NOx浄化専用の後処理システムを追加する必要がある。今回このNOx後処理手段としてLNT（Lean NOx Trap）触媒とそれを制御するためのセンサで構成する排出ガス後処理システムを採用した。

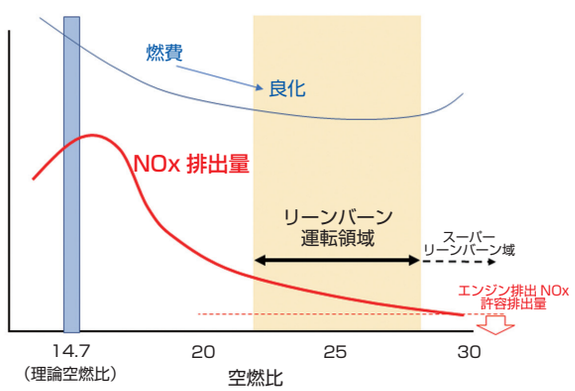


図1　空燃比とNOx排出量の関係

LNT触媒を使用した後処理システムはリーンバーンエンジンに組み合わされるNOx後処理として既存の技術である。しかしこのLNT触媒後処理システム

＊1 パワートレインシステム性能開発部
＊2 エンジン性能開発部
＊3 電子技術部

は、その処理メカニズム上、NOx浄化性能の向上に伴う燃費悪化やシステムコスト悪化などの背反課題を伴うため、年々高まる環境対応のシステムとして課題が大きいことが知られている。

今回、第4世代CB型水平対向1.8L直噴ターボエンジンのリーンバーン化においてLNT触媒後処理システムを採用するにあたり、これらの課題を解決するためにECU（Engine Control Unit）制御にてLNT触媒性能を最大限に引き出し、低排出ガスと低燃費を両立させるための開発に取り組んだ。

2.　排出ガス後処理システムの概要と課題

2.1　後処理システム構成

排出ガス後処理システムはA/Fセンサ、三元触媒、O_2センサ、フロントNOxセンサ、フロントLNT触媒、排気温度センサ、リヤLNT触媒、リヤNOx触媒の順に配置している（図2）。三元触媒はリーンバーン運転をせずストイキオ運転をする際のエンジン排出ガス成分（CO、HC、NOx）の浄化に必要なために搭載している。

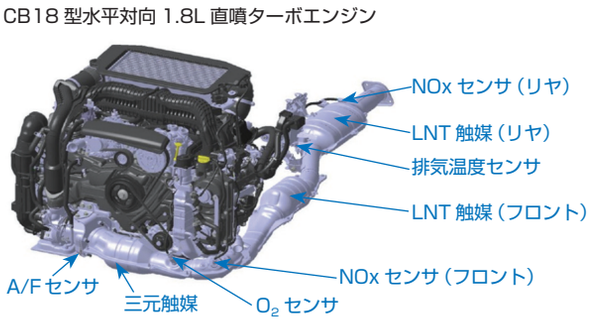


図２　後処理システムハード構成

2.2　LNT触媒のNOx浄化メカニズム

電子顕微鏡を用いてLNT触媒をミクロに観察した場合のNOx吸蔵材と貴金属の1粒子が母材に担持されている状態のイメージ図を図3に示す。

LNT触媒はハニカムコンバーターにコートされる母材とNOx吸蔵材、貴金属で構成される。A/Fがリーン雰囲気下ではLNT触媒の吸蔵材にNOxが吸蔵される。吸蔵されたNOxは、A/Fリッチ雰囲気でCO、HCなどの還元剤をLNT触媒へ流入させることで脱離し、貴金属を介してN_2、CO_2、H_2O等に還元される[(1)]。

2.3　エンジン運転環境下でのNOx浄化

LNT触媒はリーンバーン運転中にNOxを吸蔵するが、運転を継続すると吸蔵可能なキャパシティを超え、吸蔵できずにNOxがLNT触媒を通過してしまう。このため定期的に還元剤をLNT触媒に投入することで、吸蔵したNOxの脱離・還元をおこなう必要がある。この還元剤はエンジンのリーンバーン運転状態を一時的に停止し、燃料噴射量増量によるA/Fリッチをスパイク的に制御し、排気ガス中のCOやHCを増加させることでLNT触媒へ流入させる。リーンバーン運転状態がエンジン回転数、エンジン負荷ともに定常状態におけるエンジン直後の空気過剰率λに対するLNT触媒前後の　NOx排出挙動を図4に示す。

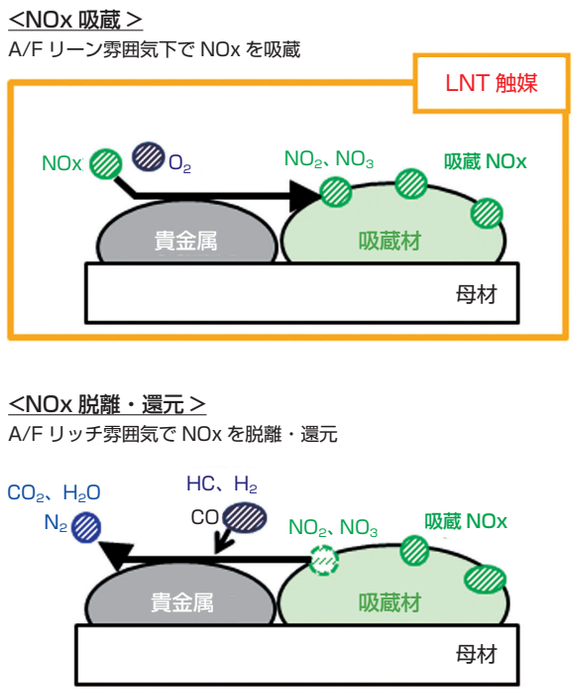


図３　LNT触媒のNOx吸蔵と還元メカニズム

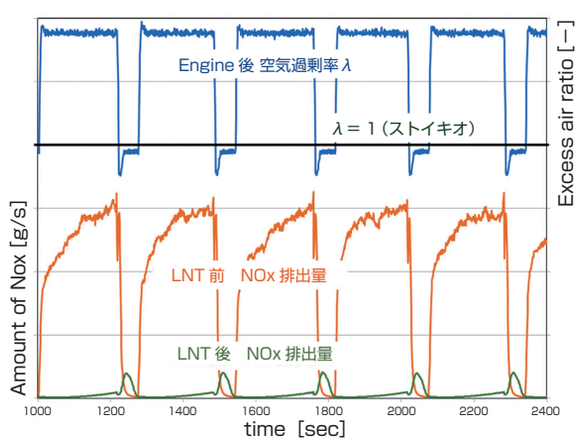


図４　λに対するLNT前後のNOx排出挙動

2.4　LNT触媒システムにおけるNOx浄化課題

LNT触媒による後処理システムは前述のとおりリーンバーン運転が常時継続可能ではなく、一時的に燃料噴射量を増量させA/Fのリッチスパイクを与えNOxを浄化させる必要がある。このA/Fのリッチスパイクを与えることでNOxを還元浄化させるとともに、LNT触媒内に吸蔵されたNOxがパージされるた

め、継続してNOx吸蔵をすることが可能となる。このようにA/Fを変化させる制御をNOxパージ制御と呼ぶ(図5)。しかし1回当たりのNOxパージ制御で多くの還元剤量が要求される、または頻繁にNOxパージ制御が要求されるようでは燃料消費が多くなり燃費が悪化する。

エンジンのリーンバーン化により得られる燃料消費率の向上効果を発揮させるためには、後処理システムとして組み合わせるLNT触媒でのNOx浄化による燃料消費量を抑制することが大きな課題となる。

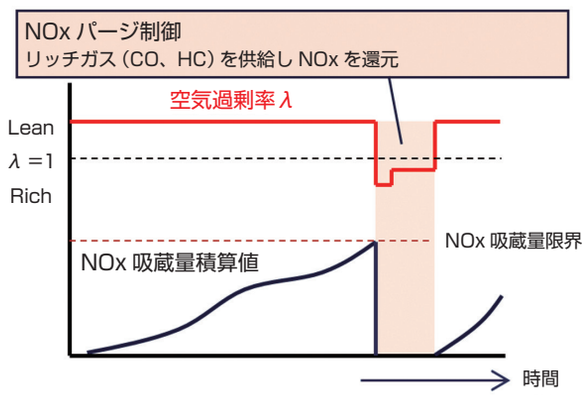


図5　LNT触媒のNOx吸蔵とNOxパージ制御

2.5　LNT触媒の特性

LNT触媒のNOx吸蔵性能、還元性能はそのLNT触媒の吸蔵材・貴金属をはじめとする触媒ハードの性能に依存する。またそのLNT触媒の吸蔵・還元性能の特性はエンジンから排出される排気ガスのNOx濃度、ガス流量、温度、A/F、LNT触媒層内温度など様々な状態において変化する(図6)。

LNT触媒の貴金属や吸蔵材を増量することなどにより吸蔵・還元性能を向上させることは可能であるがコストアップに直結する。そのため、上述したLNT触媒の性能特性を細かく把握した上で各センサによりLNT触媒が晒されている状態を管理し、LNT触媒性能を最大限に発揮させるようにNOxパージを制御することが必要とされる。

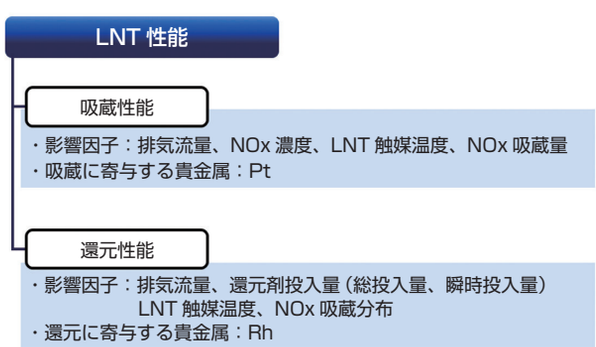


図6　NOx吸蔵性能と還元性能の影響因子

3.　NOxパージ制御開発

3.1　NOxパージ制御開発概要

LNT触媒でのNOx浄化のために還元剤を与える場合、エンジンの燃焼A/F制御によりNOxの還元に必要な還元剤を効率良く与える必要がある。

NOxパージ制御1回当たりのエンジン排出ガスの空気過剰率λに対するLNT触媒浄化後のCO、HC、NOx排出量の関係を図7に示す。NOxパージ制御時のλをストイキオに対してリッチ化し還元剤投入量が多くなるとLNT触媒後方でのNOx排出量は低下するが、同時に還元剤がLNT触媒を通過しCOやHCの排出量が増加する。一方でλをリーン化しLNT触媒へ与える還元剤量を低減させると、吸蔵されたNOxが脱離・還元のプロセスの中で還元しきれずにLNT触媒後方へ排出される。また還元剤が不足し過ぎるとLNT触媒内にNOxが残存し、次回のリーンバーン運転時のNOx吸蔵キャパシティが低下する。このようにNOxパージ制御で与える還元剤の量は適切に制御することが要求された。NOxパージ制御開発の代表的な項目を表1に示す。

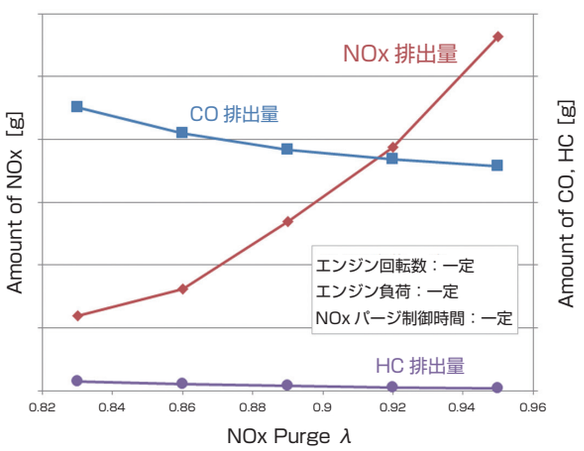


図7　NOxパージ1回あたりのλと排出ガスの関係

表1　NOxパージ制御概要

制御項目	制御の狙い
リッチスパイク段階制御	還元剤が三元触媒のOSC反応で消費される時間を早期化する
還元剤量推定制御	NOxを十分に還元しうる必要還元剤量を予め見積もる
NOx吸蔵分布対応制御	LNT内に吸蔵されているNOxの分布を予測し、時間変化するNOx脱離量に適切な還元剤量を与える
還元剤吹き抜け検出制御	リアNOxセンサでLNT後方のλリッチを検出し、NOxパージ制御を完了させる

3.2.1　リッチスパイク段階制御

LNT触媒の前方に三元触媒を配置する後処理システムにおいては、NOxパージ制御で還元剤をLNT触媒に与える際、リーンバーン運転時に三元触媒のOSC(Oxygen Storage Capacity)材に蓄えられた酸

素によってHC、COの酸化反応が起こる。このためOSC材に蓄えられた酸素が放出し切るまでLNT触媒には還元剤が届かず、NOxパージ制御1回あたりの時間が増大する。これによりリーンバーン運転時間が短くなり燃費悪化の問題が生じていた。

NOxパージ制御を可能な限り早く完了させ、リーンバーン運転に早期に復帰させるためには、λのリッチ度を大きくし高濃度のHC、COを与えることで短時間のうちに三元触媒から酸素を放出させる必要がある。しかし三元触媒からの酸素放出が終わりLNT触媒へCO、HCが流入し始めると、LNT触媒でのNOx還元にはλリッチ量が過剰となり、NOx還元に使用されずにLNT触媒を通過するCO、HCが発生する。これは排出ガス性能の悪化とともに、無駄な燃料消費量を発生させていることとなる。

この問題を解決するために採用した段階的リッチスパイク制御の概要を図8に示す。1段目としてλの大きなリッチを与え、短時間で三元触媒のOSC材から酸素を放出させる。酸素放出が完了したことを三元触媒後に配置したO_2センサで検出し、2段目としてLNT触媒のNOx還元に必要なλへ切り替える制御としている。また、1段目、2段目それぞれに必要なλのリッチ度合は排気ガス流量、三元触媒温度、LNT触媒温度等によって変化するため、使用環境下におけるリッチ度合の特性データの取得と検証を行うことで、最適値へ可変させる制御とした。

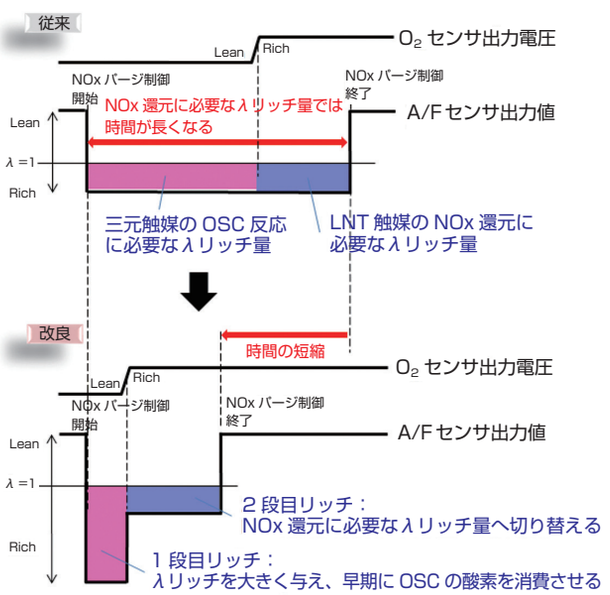


図８　リッチスパイク段階制御のλ挙動

3.2.2　還元剤量推定制御

LNT触媒内でNOx還元が終了すると、LNT触媒下流にCO、HCが通過し始める。NOxパージ制御を終了させるタイミングはLNT触媒下流のλがストイキオよりもリッチとしてセンサで検出されたことによって判定することができる。しかし実際にはLNT触媒後でのλリッチの検出時よりも前にNOx還元は終了しており、過剰な還元剤量によるHC、CO排出と燃料消費を悪化させていた。

そこで今回採用した還元剤量推定制御の概要を図9に示す。還元剤量推定はNOxパージ制御開始時にLNT触媒の状態からNOx還元に必要な還元剤量を推定し、その還元剤量を投入するようにλリッチを制御するフィードフォワード制御としている。LNT触媒が置かれた状態（LNT触媒内温度、排気ガス流量、NOx吸蔵量、LNT触媒劣化度）に対する特性データの取得と検証試験により、NOxパージ制御実行時に最適な還元剤量を算出している。

本制御は必要な還元剤量を事前に推定するフィードフォワード制御であり、あらゆる使用環境を想定した取得データをもとに算出しているが、想定外の環境により推定にずれが生じた場合でもLNT触媒後方のλリッチ検出によりNOxパージ制御を終了することで、還元剤量が過剰となることを回避可能とした。

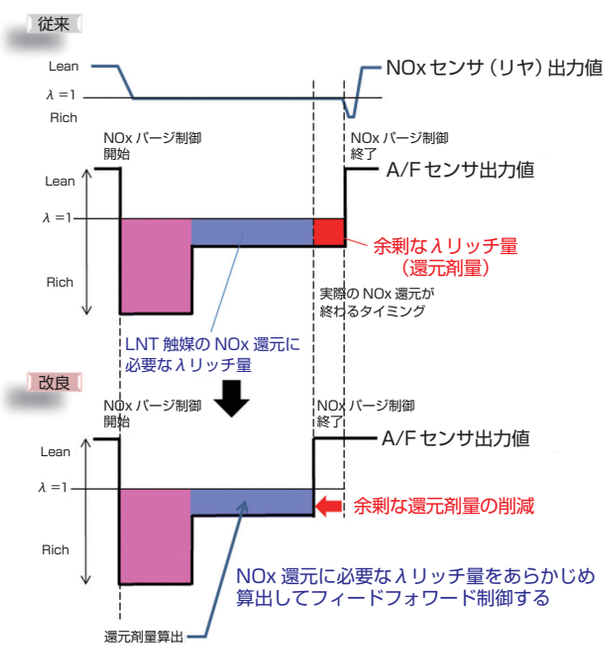


図９　還元剤量推定制御のλ挙動

3.2.3　NOx吸蔵分布対応制御

NOx吸蔵分布対応制御はリーンバーンエンジン化における燃費性能を車両として最大限に発揮させるため、NOxパージ制御における燃料消費量をさらに低減しつつLNT触媒におけるNOx還元能力を引き出すことを狙いとして織り込んだ。

図10に示すとおりLNT触媒に吸蔵されるNOxは、LNT触媒の上流から下流にかけて密度の異なる分布が発生する。このため一定濃度の還元剤を流入させて

も、LNT触媒内に吸蔵されたNOx密度によって時間とともにNOx脱離量が変化するため、還元剤量に過不足が生じる。最小限の還元剤量で効率良くNOx還元を行うためには、LNT触媒内にNOxが吸蔵される際の密度分布に対して常に適切な量を与える必要があった。

これまで与える還元剤の概念は

$$\int(NOx脱離量 + OSC消費量) = \int 還元剤量 \qquad (1)$$

としていたのに対し

$$NOx脱離量(t) + OSC消費量(t) = \quad 還元剤量(t) \qquad (2)$$

のように時間tの概念を加えることが必要と考えた。

このため、図11に示すとおりNOxパージ制御の1段目から2段目へのλ変化に徐変を加え、LNT触媒内に与える還元剤の濃度を時間変化させる制御を採用した。λの徐変速度はLNT触媒のNOx吸蔵量やガス流量などによって要求される特性が変化する。使用環境下におけるNOx吸蔵分布の特性データの取得と検証を行うことで、最適値へ可変させる制御とした。

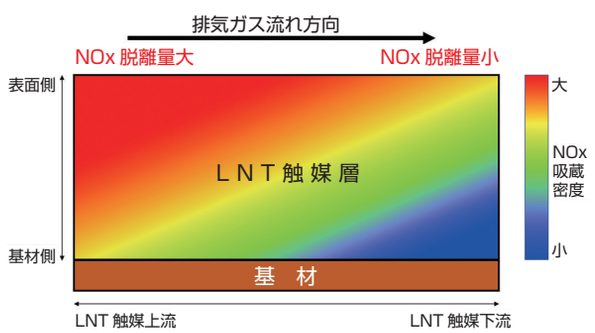


図 10　LNT 触媒内の NOx 吸蔵密度分布

3.3　NOxパージ制御開発の効果

国内JC08燃費計測モード(Cold、Hot)全体における燃料消費量に対するNOxパージ制御燃料消費量の割合を図12に示す。開発初期に対し制御開発の完了後では、モード全体の燃料消費量に対しNOxパージ制御燃料消費割合を2.4%低減した。

今回紹介したNOxパージ制御は開発した制御の一部であるが、これらの理論に基づく制御構築とLNT触媒にも改良を加えながら詳細データの実験的な取得と検証試験を実施したことによって、国内2018年基準排出ガス規制を達成させる排出ガス性能を維持しながら、リーンバーンエンジン化の燃費効果を最大限に引き出すNOxパージ制御を実現した。

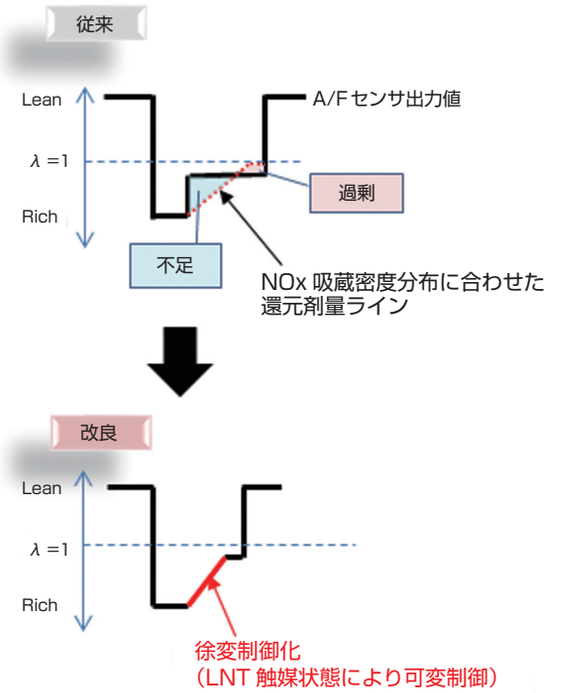


図 11　NOx 吸蔵分布対応 NOx パージ制御挙動

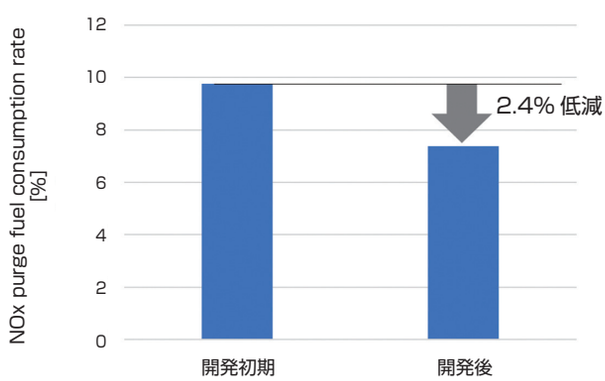


図 12　JC08 燃費モード(Cold、Hot)における
NOx パージ制御燃料消費量割合の低減効果

4.　まとめ

今回リーンバーンエンジン化におけるNOx浄化技術として採用したLNT触媒による後処理システムでは、クリーンな排出ガスを実現させることに加えて、その排出ガス処理に必要となる燃料消費量を極限まで抑制することが要求された。LNT触媒のメカニズムと基礎特性を緻密に調査し、商品としてのあらゆる使用環境においても対応できるECU制御ロジック開発と制御適合を行うことで、車両として様々な背反性能を両立させながら目標性能を達成した。

今後も地球環境保護の観点からさらなる低排出ガスと低燃費の実現に向け、エンジンと組み合わせる後処理システムのコストの抑制手法を研究し、お客様に安価で高品質な商品をお届けしていく。

参考文献

(1) 田中俊明ら：NOx吸蔵還元型三元触媒システムの開発,自動車技術会論文集 Vol.26, No.4, October 1995

【著　者】

中野　　勉

北　　大樹

徳永　真人

品川 手児奈

山田　　翔

丹　　功

佐々木 康吉

福富　駿祐

田辺　大樹

スバルテクニカインターナショナル(STI)「S209」仕様について

2019年10月11日

SUBARUのモータースポーツ統括会社であるスバルテクニカインターナショナル株式会社は、「Sシリーズ」初となる米国市場向けモデル「S209」の確定仕様を発表しました。

コネクテッドサービス開発における MBSE/MBD 適用事例紹介

Development of Connected Service using MBSE/MBD

古賀 祐一郎[*1] KOGA Yuichiro
宮川 治誉[*1] MIYAKAWA Haruyo
青木 勇人[*1] AOKI Yuto
饗庭 大人[*2] AIBA Hiroto
安宅 雄[*3] ATAKA Yu

抄 録

コネクテッドサービスの開発においてMBSE/MBD技術を適用し、制御品質向上／開発の効率化を図った。

コネクテッドサービスは、車両内に存在する既存制御ECUが持つ機能を利用する構成を取るため、複数のECU制御を連携させたシステムを開発する必要がある。

この課題に対し、システム全体の可視化・明確化を図るMBSE手法を適用することで、サービスを構成するシステム要素の機能構造を定義し、開発項目を明確化する取り組みを行った。加えて、MBSEにより明確化した開発要素をMBD手法によりシミュレーションモデルとして作成し、実車両評価前に仮想環境での機能確認を行える環境を構築した。これらの取り組みにより、品質の早期確認、開発の手戻り防止を達成した。

Abstract

We challenged to improve quality and development efficiency of connected service using MBSE/MBD. Vehicle service is becoming more intelligent and convenience, and these services is composed distributed ECU systems. It is difficult to developing these systems because of high complexity of relation between the distributed ECUs

MBSE method can describe the overview of distributed ECU systems, and it can define the role of each ECU. MBD method can provide test bench using the simulation model.

In this paper, we describe the approach of connected service development using these scheme.

1. まえがき

近年における高度な車両サービスは、複数のECU制御連携により実現されている。そのため、この開発に当たっては複数部品、複数部署を跨いだ開発を実施する必要があり、開発行為の難易度を高めている。複雑化する開発に対応するための開発手法論としてModel Based Systems Engineering（以下、MBSEと称す。）が注目されており、SUBARUの電装部品開発においても適用方法を検討してきた[(1)]。加えて、仮想環境における挙動確認の手法として、Model Based Development（以下、MBDと称す。）を適用[(2)]し、品質を早期に検証する取り組みも進めている。

本稿では、これらの活動の成果を用いて、機能進化の加速が予測され、かつ車両内の制御連携により価値創出を行うコネクテッドサービスの開発を実施した事例について報告する。複雑かつ広範囲にわたる制御連携の全体像をMBSE手法により整理し、その整理した全体像を元に連携作動を検証するための仮想環境をMBD手法により構築した。

2. 取り組みの全体像

始めに、取り組みの範囲および全体フローを述べる。

2.1 取り組みの範囲

コネクテッドサービスは、これまでの車両内制御（以下、InCar領域と称す。）に対し、通信インフラ等を介

＊1 電子プラットフォーム設計部
＊2 株式会社オージス総研
＊3 株式会社テクノプロ

して車両外部（以下、OutCar領域と称す。）からアクセスし、車両内／車両付近にユーザがいなくとも、車両状態を監視したり、車両機能を利用したりすることを可能とするサービスである。このコネクテッドサービスにおけるInCar領域においては、既存の制御ECU群が持つ車両機能を、OutCar領域から外部インフラとの窓口となるECU：Data Communication Module（以下、DCMと称す）を介して利用するという構成を取る。そのため、開発範囲が複数部品におよび、かつシステム複雑さが増すという特徴がある。この特徴を踏まえて、高品質／高効率に開発を行うためには、InCar領域の全体像を把握しながら開発を進めることが、コネクテッドサービス開発における課題となる。そのため、今回は、このInCar領域の連携するシステム全体を取り組みの対象範囲とした（図1）。

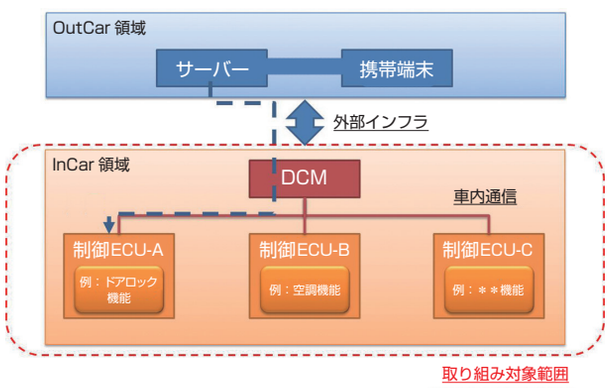


図1　取り組み範囲

2.2　取り組みの全体フロー

全体フローを図2に示す。フローは大きく3つの工程に分かれている。

① MBSE工程
② MBD工程
③ 運用工程

①MBSE工程は、InCar領域における制御連携構造を可視化することを目的として実行し、MBSE手法を適用する。この工程では、コネクテッドサービス実行時のフローや、フロー実行にあたっての各ECUの役割・振る舞いの定義、各ECU間のインタフェースの明確化を行う。この工程では、システムモデリング言語SysML[3]により各種ダイアグラムを作成し、上記情報を記述する。

②MBD工程は、MBSE工程にて明確化した制御連携の情報を元に、各ECUの振る舞いをMBD手法によりシミュレーションモデルとして構築する。制御ECUの振る舞いはモデリングツールMATLAB/Simulink[4]により定義、制御ECU間の通信は通信シミュレーションツールCANoe[5]により定義した上、これらを統合し連携動作の検証環境を構築した。

③運用工程は、MBD工程構築した環境を用いて、連携動作を検証し、要求や設計意図との一致性確認を行う。

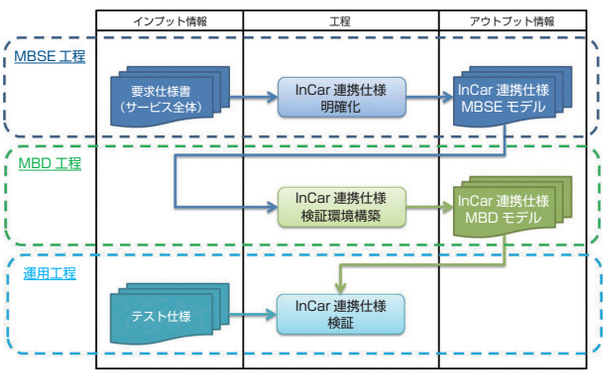


図2　取り組みの全体フロー

3.　MBSE工程

3.1　MBSE工程の狙い

MBSE工程では、以下の観点からSysMLモデルを構築し、全体像を明確化する。

① サービスの全体フローの振る舞い
② InCar領域の詳細振る舞い
③ 全体フロー実行時の各ECUの機能分担
④ 各ECU間の連携インタフェース

3.2　MBSE工程のプロセス

MBSE工程のプロセスを図3に示す。本工程のインプット情報は、コネクテッドサービスに関する要求が記述された文書である。この文書は、InCar領域／OutCar領域全体を範囲として、お客様に提供するサービスに必要な要件が記述されている物である。この情報を元に、MBSE手法論を用いて、3.1節①～④の観点で順次詳細化し、各ECUの仕様を明確化する。

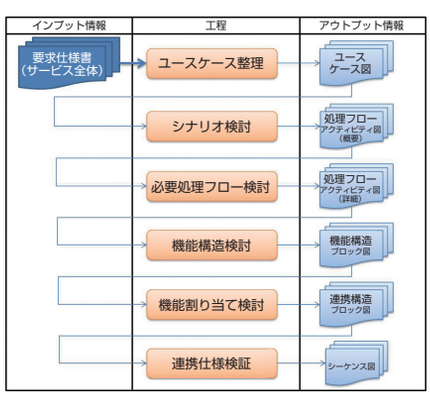


図3　MBSE工程のプロセス

3.3　MBSE工程の成果物

MBSE工程成果物事例を下記に示す。

図4は、コネクテッドサービス全体フローを表現するアクティビティ図である。サービスの開始から、終了までの一連の処理の流れを表現しており、SysMLのアクティビティ図記法の一つであるパーティションの記述により、サービス全体におけるInCar領域を定義している。

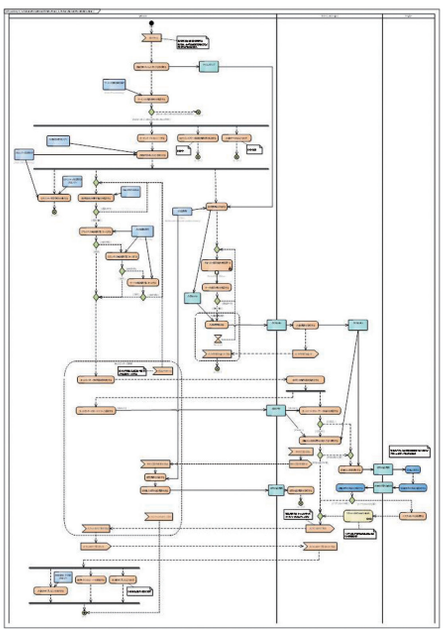


図４　全体の制御フローを表現するアクティビティ図

3.1節③を実現するための成果物が図5である。本図では、ブロック定義図を用いて、一つのサービスを実現するために必要な機能の要素群と、それをどの制御ECUが担うかの構造を表現している。本図に登場する機能は、図4に示したアクティビティ図のアクション要素から導出し、各制御ECUに割り当てている(図5、図6)。

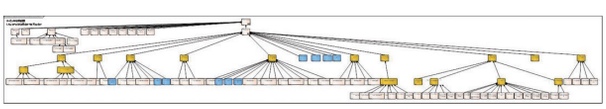


図５　ECU 役割／機能構造を表すブロック定義図

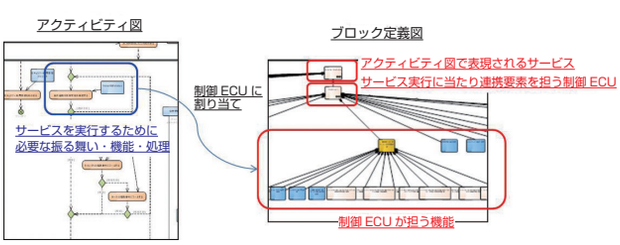


図６　アクティビティ図とブロック定義図の関係性

アクティビティ図での情報授受の検討内容および、ブロック定義図での制御ECU間の機能構造から、各制御ECUのインタフェース仕様を詳細化し、内部ブロック図を規定する(図7、図8)。

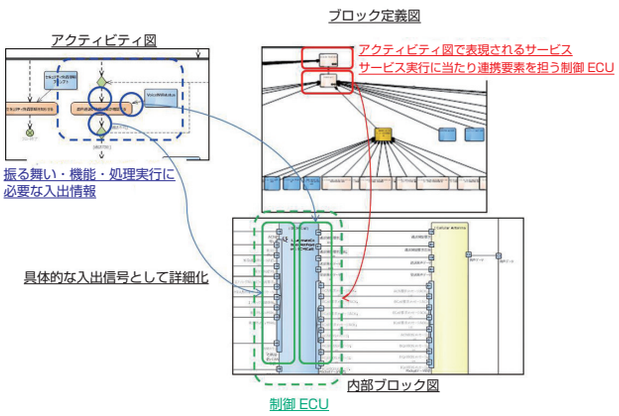


図７　制御 ECU インタフェース仕様の詳細化

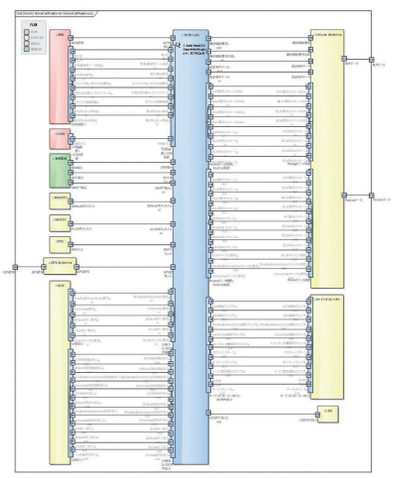


図８　各 ECU 間の I/F を表現する内部ブロック図

この検討結果を用いて、図9のシーケンス図により、具体的な制御ECU連携と信号送受の振る舞いを定義する。

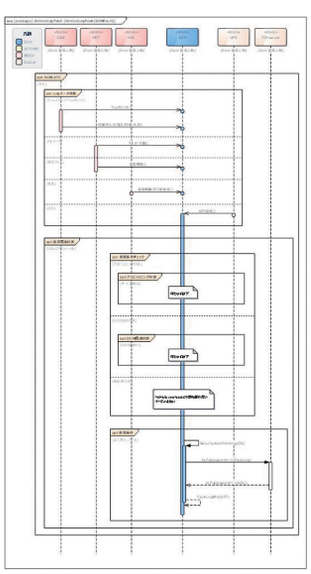


図９　各 ECU 間連携と信号送受のシーケンス図

以上が、MBSE工程となり、この工程の成果物により、コネクテッドサービスにおけるInCar領域の全体像について、構造や振る舞いの観点での可視化を達成した。さらに、制御ECU間の信号授受レベルでの詳細化により、コネクテッドサービスを構成する制御ECUの仕様定義も達成した。

4.　MBD工程

4.1　MBD工程の狙い

MBD工程の狙いは、MBSE工程で定義したInCar領域の全体像や各制御ECUの振る舞いについて、仮想空間でのシミュレーションを実現し、実車搭載前の機能確認・検証を可能とすることである。

4.2　本取組におけるMBD化の範囲

本取組におけるMBD化範囲を**図10**に示す。本取組においては、実機のDCM挙動を確認・検証を行うことを目的として、DCMと連携するInCar領域の制御ECU群の振る舞いをMBD技術により仮想化し、シミュレーション環境として構築することを目指した。

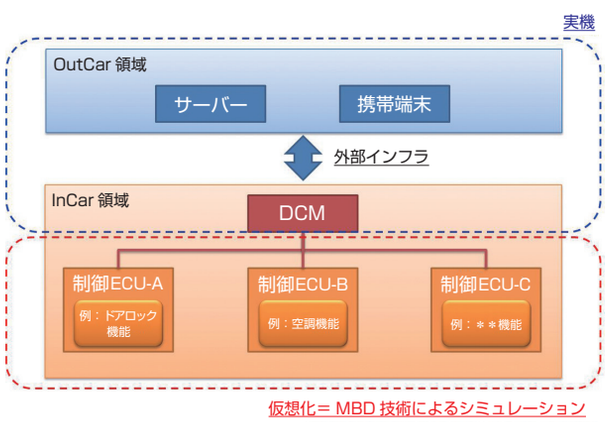


図10　MBD化範囲

4.3　MBD工程成果物

4.2節で定義したMBD化範囲について、**図11**の考え方の基、シミュレーション環境を構築する。制御ECUの振る舞いは、MATLAB/Simulinkを用いて、コントローラモデルとして作成する。これらの制御ECUに対する操作（例えば、スイッチを操作するなど。）を入力するため、通信シミュレーションツールであるCANoeにて操作パネルを用意する。制御ECU間の通信信号については、CAN信号の定義ファイルであるデータベースを構築した。これらをCANoe環境上に実装することで、制御ECUの振る舞い、制御ECU間の通信の振る舞いを仮想化したシミュレーション環境が構成される。

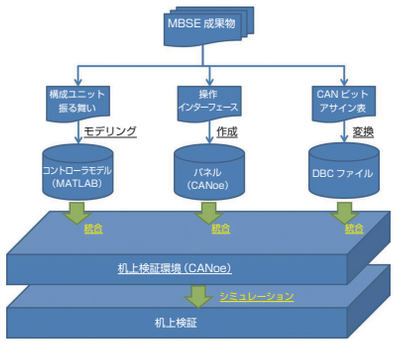


図11　MBDによるシミュレーション環境の構成

本シミュレーション環境における制御ECU群は、**図12**の構成を取る。振る舞いを規定した階層は、全述の通りMATLAB/Simulinkにより構成され、CAN通信の振る舞いを規定する階層はCANoeの通信シミュレーション機能を利用する。制御ECUへの入力は、CANoe上の操作パネルからの操作および、CAN信号として入力される。

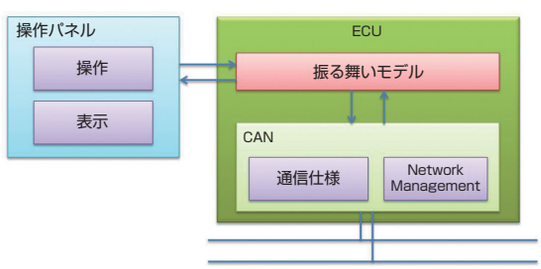


図12　仮想化された制御ECUの構成

図13に振る舞いモデルの例、**図14**に操作パネルの例、**図15**にCAN信号モニタ画面の例を示す。

これらにより、制御ECU群の振る舞いや、CAN信号送受の振る舞いについて、挙動確認・検証を可能とするシミュレーション環境を構築した。

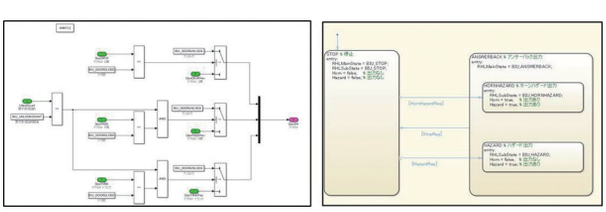


図13　MATLAB/Simulinkによる振る舞いモデル

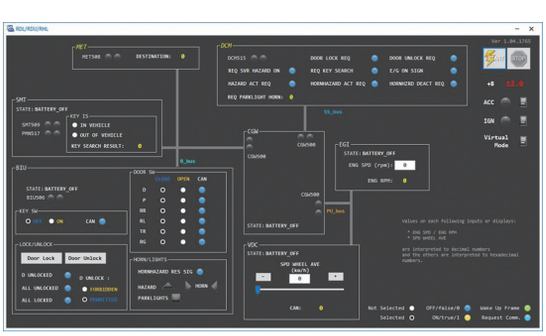


図14　シミュレーション環境上の操作パネル（CANoe画面例）

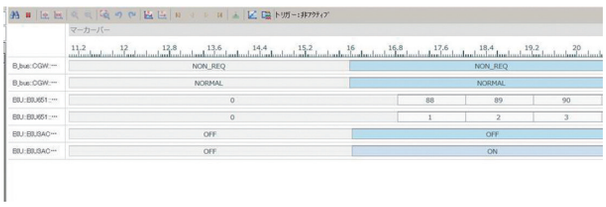


図 15　シミュレーション環境 CAN 信号モニタ画面
（CANoe 画面例）

5.　運用工程

4章で構築したシミュレーション環境を用いて、実ECU（＝DCM）の車両搭載前の挙動確認・検証を実施した。

5.1　実運用環境の概要

実運用環境の概要を図16に示す。本環境を用いて、実車での振る舞いと同等のコネクテッドサービス機能の再現を可能とした。作業者は、携帯端末アプリもしくは、シミュレーション環境の操作パネルを通して、実機環境への操作を行い、所望の機能実現が出来ているかを確認・検証を行う。

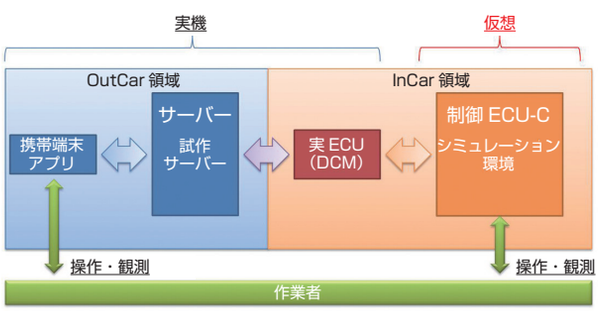


図 16　実運用環境

5.2　実運用結果

本環境により、実車試験相当の機能確認を実施した。テスト項目は、実車試験で用いている内容を流用し、ほぼ同数のテスト項目を実施した。これにより、本環境を用いて、実車相当の試験を実施可能であることを確認した。加えてシミュレーション環境での評価を行うことの有効性として、下記の観点を確認することが出来た。

・前提条件規定の自由度

実車と異なり、試験の前提条件を自由度高く設定でき、複雑な条件での試験実行が可能である。（例えば、実車では発生させにくい故障条件の設定など。）これにより、実車では発見困難な不具合が検出出来ている。

・高い再現性

シミュレーション環境は、基本的には車両外部からの外乱の影響を受けず、同じ操作を高い再現度にて実行することが可能である。また、同時取得しているログデータを再生することでも、試験の再現を可能とし、事象の確認・分析が容易性を高めることで、品質向上に寄与できる。

6.　まとめ

コネクテッドサービス開発を題材として、MBSE手法、MBD手法を開発に適用した。MBSE手法により、InCar領域における制御ECU連携の全体像の可視化、各制御ECUの担う役割を明確化した。これらの成果を用いて、MBD手法により制御ECU連携挙動を仮想化し、実車を用いず、コネクテッドサービスの機能確認・検証を可能とする環境を構築した。

これにより、車両組み付け前の制御ECUに対して品質確認を行うことを達成し、開発手戻りの防止を行うことが出来た。車両開発の品質向上に寄与したといえる。

7.　今後の改善に向けて

①コネクテッドサービス開発における環境活用

本環境においては、DCMサーバ間が、無線通信をしている。国内での試験実施に当たっては、他国で用いられる無線通信電波を発することは法規上認められない。それゆえ、海外仕向けのコネクテッドサービスの機能確認・検証を国内の開発環境で行う際には、電波を外部に発さないシールドルームといった試験設備が必要である。そのため、本シミュレーション環境を運用する場合には、実車試験を行う場合と同等の試験環境が必要となる課題が生じており、開発者が簡易にシミュレーション環境を利用できない。今後に向けては、試験実施の容易性を高めるため、OutCar領域の仮想化および、有線でのDCM接続を可能とする試験環境を構築し（図17）、利用頻度を高め、車両開発品質の向上に寄与したい。

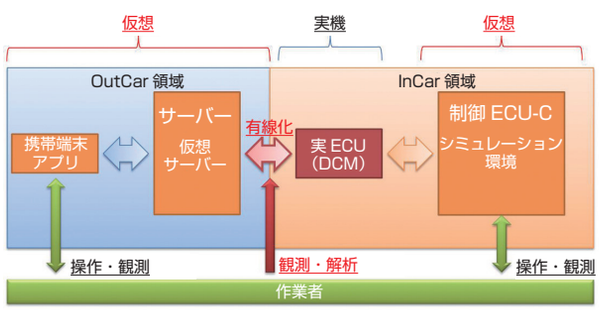


図 17　環境の改善構成案

②MBSE/MBD手法の拡大

これまで取り組んできたMBSE/MBD手法に関し、本事例を通して、実開発における有用性／有効性を確認することが出来た。今後に向けて、手法適用の事例を拡大するとともに、各種成果物のトレーサビリティ確保や、MBD工程の結果をMBSE工程に反映し開発改善を短いサイクルで実行するなど、MBSE/MBD工程のシームレスな運用の確立を図る。

謝辞

本論文の執筆に当たり、技術支援、査読等にご協力を頂いた、(株)オージス総研、(株)テクノプロの関係者の皆様に感謝したします。

なお、本稿中での製品名は、各社の登録商標です。

参考文献

(1) 古賀祐一郎ほか： ボディ系電子制御システム領域におけるモデルベースドシステムエンジニアリング適用に関する一考察, スバル技報, No.44（2017）, p.147-154
(2) 星野欽哉ほか： 制御系モデルベース開発のボディ電装系への適応研究, スバル技報, No.42（2015）, p.110-115
(3) 鈴木 茂：実践SysMLその場で使えるシステムモデリング, 秀和システム(2013)
(4) MathWorks GK, https：//jp.mathworks.com/（2020-3-30）
(5) Vector Japan（株）, https：//www.vector.com/jp/ja/company/contacts/vector-japan/（2020-3-30）

【著　者】

古賀 祐一郎

宮川　治誉

青木　勇人

饗庭　大人

安宅　　雄

新型水平対向 1.8 L 直噴ターボエンジンの開発

Newly Developed Horizontally Opposed 1.8 L Turbo Gasoline Engine

辻　村　彬　人[*1]
TSUJIMURA Yoshito

長　島　仁　宏[*2]
NAGASHIMA Kimihiro

加　藤　淳　平[*2]
KATO Junpei

柿　沼　王　基[*1]
KAKINUMA Takanori

前　川　浩　輝[*3]
MAEKAWA Hiroki

脇　本　一　成[*3]
WAKIMOTO Kazunari

中　野　　勉[*3]
NAKANO Tsutomu

加　藤　直　樹[*4]
KATO Naoki

抄　録

環境性能向上の社会的ニーズが増し、電動化技術採用が進む中、内燃機関にも性能向上がまだまだ求められる。「超・革新ワゴン」新型LEVORGに相応しい、SUBARUが追求する「安心と愉しさ」に加えて「環境性能」を高次元で両立するエンジンを実現するため、第4世代となる新型水平対向1.8 L直噴ターボエンジンを新開発した。低回転から高トルクを発生する日常での使いやすさとSUBARUのターボエンジンらしい加速性能を実現しつつ、リーン燃焼の採用によりクラストップレベルの低燃費性能を達成した。本稿では本エンジンのコンセプトと採用した新技術について報告する。

Abstract

While the improvement of environmental performance with electrified technology is required, the continuous improvement of internal combustion engines is still required. We have newly developed the 4th generation horizontally-opposed 1.8 L direct injection turbo engine that is compatible with "environmental performance" at a high level in addition to "Enjoyment & Peace of Mind" suitable for the new LEVORG. The engine achieves class-leading efficiency by adopting lean combustion while realizing the ease of daily use that generates high torque from low engine speed and the acceleration performance.

1.　まえがき

水平対向エンジンの低重心・コンパクトというメリットを活かしながら、第3世代FA/FB型では環境性能の向上を果たし、初代LEVORGに搭載した1.6 Lダウンサイジングターボエンジン（FB16）はお客様からご好評を頂いた。

新型LEVORGに搭載するエンジンは全方位進化を目指し排気量、ボア・ストロークなどすべてにおいて完全刷新した。理論空燃比よりも少ない燃料で燃焼を行うリーン燃焼技術を軸としながら、これまで培ってきた技術を結集し正味熱効率40%を実現し、2020年度燃費基準16.5 km/Lを達成した。また、1.8 Lへ排気量UPすることで低回転から300 Nmを発生するさらに扱いやすいトルク性能とした。また、水平対向エンジンの特徴である短い全長寸法を第3世代FA/FB型に対し44 mm短縮することで、さらなるコンパクト化を実現し、車両走行性能・衝突安全性能に貢献した。

＊1 エンジン性能開発部
＊2 エンジン設計部
＊3 パワートレインシステム性能開発部
＊4 パワートレイン開発推進PGM

2.　開発の狙い

本エンジンはコンベンショナル専用エンジンとして、過給技術によるトップクラスの加速性能、リーン燃焼技術によるトップクラスの最大熱効率を高次元で両立させることを目標とした（図1）。

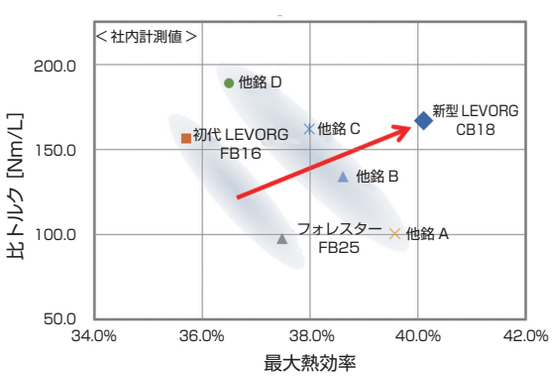


図 1　比トルクと熱効率の目標

3.　エンジン仕様と主要諸元

第4世代水平対向エンジン『CB18型』では、レギュラーガソリンでありながら200 cc排気量UPと過給技術により、1600 rpmから最大300 Nmのトルクを発生し、新型LEVORGに相応しい『ゆとりある走り』を実現した。さらに熱効率改善を目的としストロークボア比を大きくとるためにエンジン骨格から見直した。しかし、これまでの延長線の技術では熱効率目標を達成することは困難であったため、リーン燃焼技術を採用した。

リーン燃焼は熱効率の改善が見込めるが、希薄混合気環境下での燃焼にあたり克服すべき「着火性の悪化」、「燃焼速度の低下」と「排出ガス（NOx）処理技術」に対応する技術を導入した。なお、排出ガス処理技術については、別章にて解説しているため、本章では割愛する。

表1にエンジン諸元、図2にエンジン外観を示す。

表1　エンジン諸元

	初代 LEVORG	新型 LEVORG
エンジン型式	FB16	CB18
ボア×ストローク［mm］	78.8 × 82.0	80.6 × 88.0
総排気量［cm^3］	1599	1795
ボアピッチ［mm］	113	98.6
圧縮比	11.0	10.4
最大出力［kW（PS）/rpm］	125（170）/4800-5600	130（177）/5200-5600
最大トルク［Nm（kgfm）/rpm］	250（25.5）/1800-4800	300（30.6）/1600-3600
吸気方式	ターボ	ターボ
ガソリン	無鉛レギュラー	無鉛レギュラー
排出ガス規制対応（試験モード）	H17 年基準 75% 低減（JC08）	H30 年基準 25% 低減（WLTC）

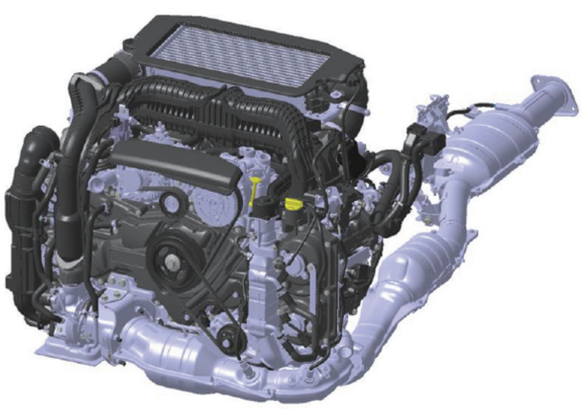


図2　エンジン外観

4.　燃焼技術

4.1 ストローク／ボア比（S/B比）の向上

新開発エンジン（CB18）はS/B比を高めることで、燃焼ポテンシャル改善を図った。水平対向エンジン（H4）は車体搭載制約から、ストローク量の拡大がシリンダブロック、クランクシャフト、動弁系などの信頼性と背反するため、ロングストローク化が難しい。CB18はロングストロークと各部品の信頼性の両立を図り、直列エンジン（L4）同等のS/B比1.09を実現した（図3）。

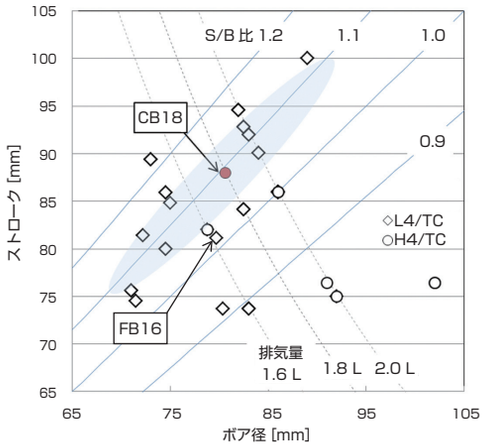


図3　過給（TC）エンジンのボアーストローク

4.2　リーン燃焼

リーン燃焼による熱効率改善メカニズムと技術課題、その対応を以下に説明する。

4.2.1　リーン燃焼による熱効率改善

ガソリンエンジンが分類されるオットーサイクルの理論熱効率η_{otto}は、式(1)で表現され、比熱比κと圧縮比εにより構成されている。また、式(1)により得られる理論熱効率を図4に示す。これより、理論熱効率の改善には圧縮比εと比熱比κを向上することが有効であることがわかる。

$$\eta_{otto} = 1 - \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{\kappa - 1} \quad (1)$$

κ：比熱比　ε：圧縮比

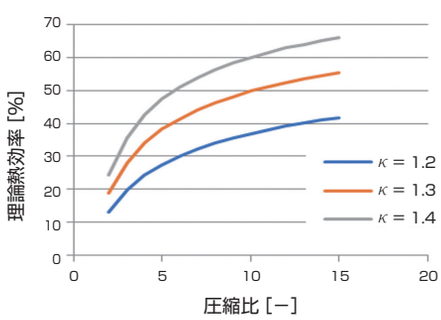


図4　理論熱効率と圧縮比・比熱比の関係

比熱比向上は、同じ燃料に対して空気量を増やすリーン燃焼によって実現できる。理由は、混合気中のN_2やO_2といった2原子分子割合が大きくなり、比熱比κが大きくなるためである。さらに、リーン化することで燃焼ガス温度が低くなり、比熱比が大きくなるためである（図5）[(1)]。

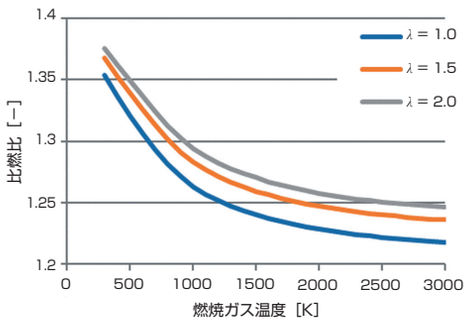


図５　比熱比と空気過剰率λ・ガス温度の関係

理論熱効率以外の損失低減としては、リーン化により燃焼ガス温度が低減し、燃焼室壁温との差分が小さくなるため、冷却損失が低減する。また、リーン燃焼では、ストイキオ燃焼に比べて同一トルクで空気量が多く、スロットル開度が大きいので、ポンプ損失が低減する[(1)]。

4.2.2　リーン燃焼成立のための技術課題

上述のような熱効率改善のメリットはあるものの、リーン燃焼エンジンを搭載する場合、三元触媒では希薄域で排出されるNOxを低減することはできない。そのために、できるだけ混合気を希薄化し、NOx排出量を低いレベルとしたうえで、燃焼変動による運転性の悪化を生じないようにする必要がある。図６に空気過剰率λに対するNOx濃度、図示平均有効圧変動率（COV_IMEP）の実測結果一例を示す。

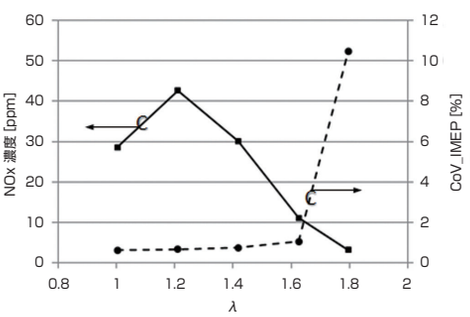


図６　リーン燃焼における NOx と図示平均有効圧変動率

混合気がリーンになるに従い、火炎伝播速度が遅くなり、燃焼が終わる前にピストン下降によるガス膨張のために温度が下がり消炎する現象が生じる。また、この現象を避けるために点火時期を早めると、圧縮により十分温度が上昇する前に点火することになり失火が発生する。これがリーン限界であり、限界を超えた場合には、未燃HCが大量に排出され燃料消費率が悪化し、サイクル間の燃焼変動により、トルク変動が増大する[(2)]。この対策として、『着火性の向上』と混合気乱れによる『燃焼速度の向上』が効果的である。漆原ら[(3)]はスパークプラグによる点火を圧縮自着火の制御技術として活用するSPCCIを採用した。また、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）革新的燃焼技術において、Iida[(4)]は、ロングストロークエンジンに、強流動ポート、強力点火装置を組み合わせ、超希薄燃焼を実現した。

4.2.3　リーン燃焼の実現手段

CB18では、着火性を向上させるため、着火アシスト燃焼を採用した。また､燃焼速度を向上させるため、混合気乱れ強さを強化した。以下に説明する。

≪着火性の向上≫

リーン燃焼状態で安定した着火を実現するため、燃料噴霧位置を燃焼室中央かつスパークプラグ横に配置するセンターインジェクション方式に変更した（図7）。インジェクタは8噴孔を採用し、コンパクトな混合気を形成した。これにより燃焼室全体はリーンとしつつ、燃焼室中央に配置したインジェクタから点火時期直前に微量の燃料を噴射することにより、スパークプラグ周りに濃い混合気を形成し、着火安定性を確保した。図８に（a）燃焼室内の燃料噴霧撮影画像、（b）混合気分布の計算結果を示す。

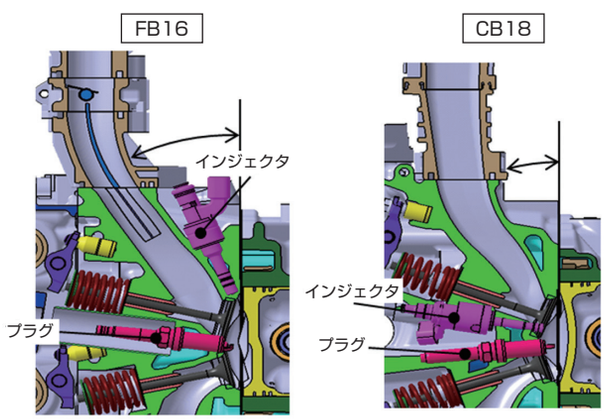
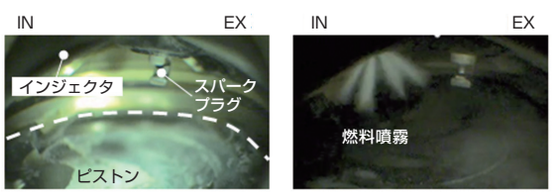
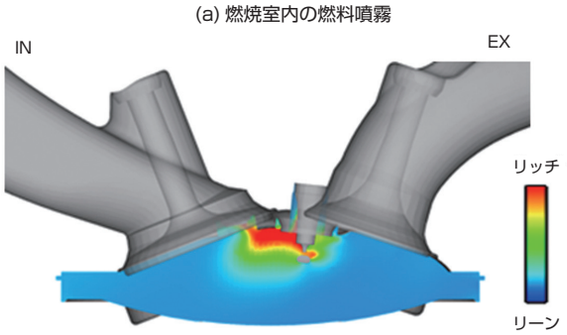


図７　燃料噴霧位置変更



(a) 燃焼室内の燃料噴霧



(b) 混合気分布

図８　着火アシスト燃焼の噴霧と混合気分布

この着火アシスト燃焼方式により、均質リーン燃焼よりもリーン条件下においてλ変化に対してロバストな着火安定性を確保しつつ、NOxを目標値以下に抑えることができた（図9）。

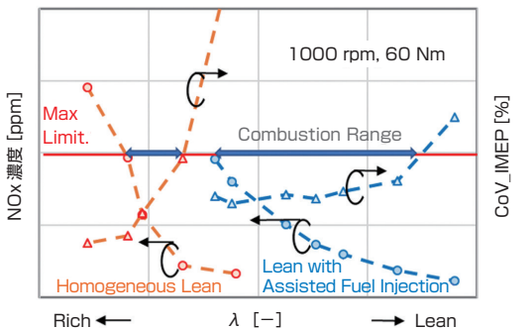


図９　リーン運転領域の拡大

スパークプラグ周辺の空気流れを最適かつ安定させるため、スパークプラグ接地電極の向き規制を実施した（図10）。

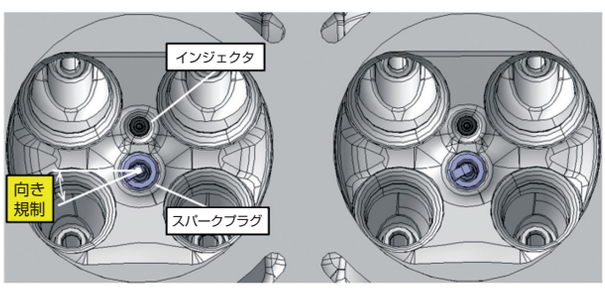


図 10　スパークプラグ向き規制

≪混合気乱れ強化による燃焼速度の向上≫

図11にFB16とCB18の吸気ポートとピストンの形状、図12に筒内ガス流速分布の計算結果を示す。吸気ポートは、FB16に比べて、吸気角度を寝かせることで、ペントルーフ形状に沿った吸気流れを実現した。これにより、反対側に流れ込む逆タンブル流を抑制した。ピストンは、冠面の表面凸凹をなくすことで、ピストン方向へのタンブル主流を滑らかに反転させ、圧縮上死点近傍までタンブル流を保持する狙いとした。

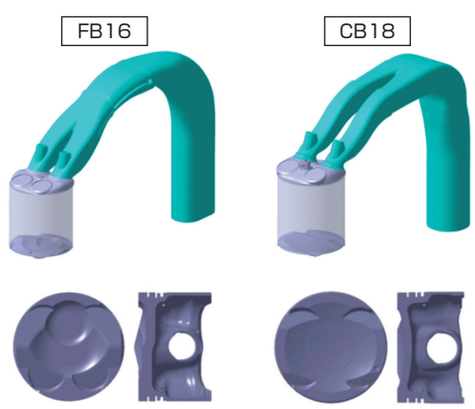


図 11　高タンブルポート、ピストン冠面

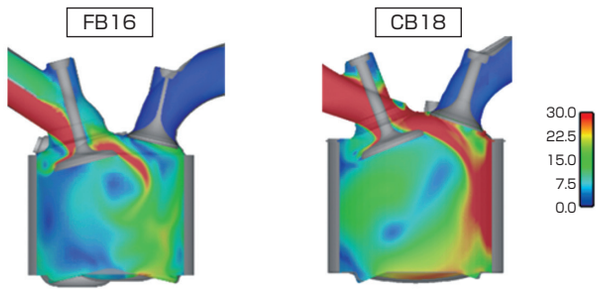
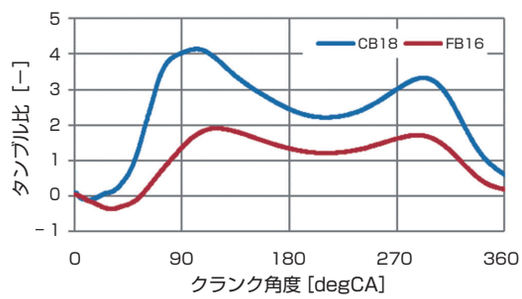
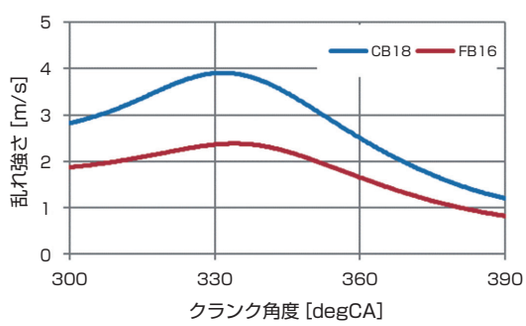


図 12　筒内ガス流速分布

図13にタンブル比、乱れ強さの計算結果を示す。吸気ポート、ピストンの改善により、FB16に採用していたタンブルジェネレーションバルブ（TGV）に依らずとも、FB16に対し吸気行程中における最大タンブル比は約2倍、圧縮上死点におけるエンジン筒内の混合気乱れ強さを52%大きくすることができた。



（a）タンブル比



（b）乱れ強さ

図 13　タンブル比、乱れ強さ

4.3　ガス流動改善による高負荷域のノッキング抑制

図14に筒内ガス流動の流線を示す。プロトタイプエンジンの流動は排気側端部で合流し、中心部に向かう流れが形成されていることがわかった。この流れにより局所的に火炎伝播の遅れが生じ、エンドガスの自着火につながっていると推測した。そこで、ポート、ピストン形状の検討により、筒内ガス流動が排気側端部で合流しないように改善した。次に3次元燃焼CAEでノッキング予測を行い、この筒内ガス流動の改善により、ノッキング振幅同等で50%燃焼時期が3度進角すると予測した（図15）。実測により50%燃焼時期は4.5

度進角し、図示トルクが9 Nm向上することを確認した(図16)。

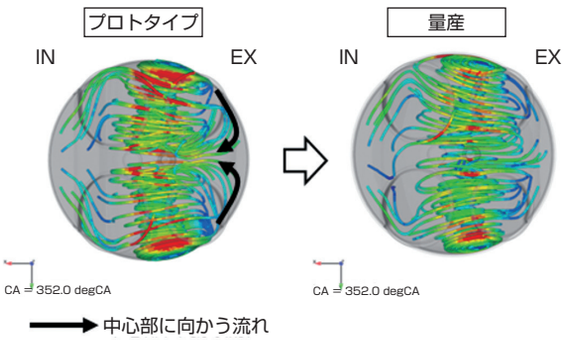


図 14　筒内ガス流動の流線

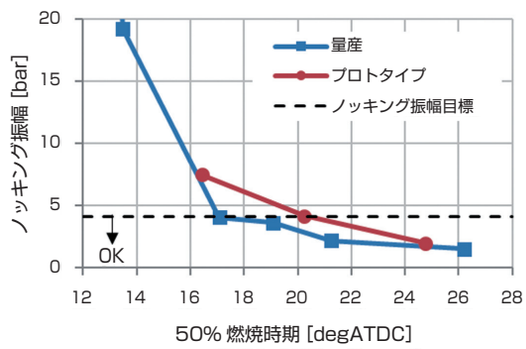


図 15　50% 燃焼時期とノッキング振幅の計算結果

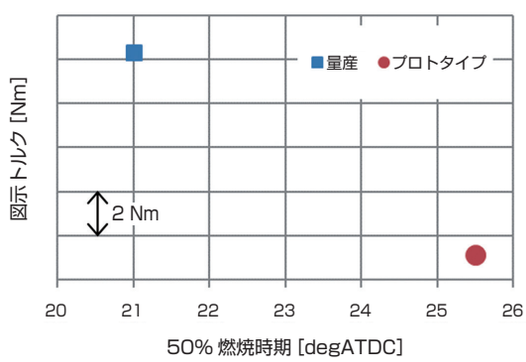


図 16　50% 燃焼時期と図示トルクの実測結果

5.　フリクション低減

一般的に、燃焼改善によりエンジンの摺動抵抗が大きくなるため、同時にフリクション低減が必要となる。フリクション低減のため、以下に述べる新規技術を採用した。

5.1　オフセットシリンダ

クランクシャフト軸の中心からシリンダをオフセットするオフセットシリンダを、水平対向エンジンとして世界初採用した。単気筒評価により、最適オフセット量を8 mmに設定し、オフセットなしと比較してフリクションを最大で4%低減した(図17)。

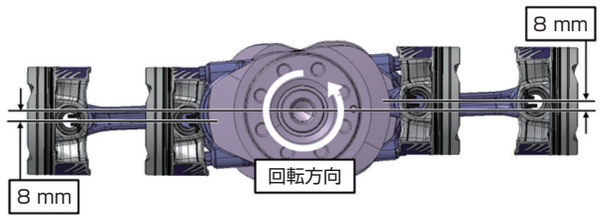


図 17　オフセットシリンダ (車両前方視)

5.2　ピストン軽量化、パターンコーティング

オフセットシリンダ採用によりピストンに負荷される燃焼荷重が低減する。ピストン＆ピンの1気筒あたりの質量をFB16比で56 g低減し、大幅な軽量化を実現した(図18)。

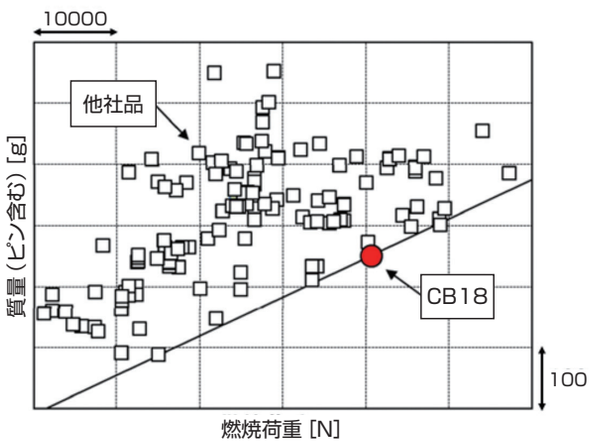


図 18　ピストン質量

また、ピストンスカート部にはスラスト側と反スラスト側で異なるパターンの樹脂コーティングをSUBARU初採用した。低面圧部は、パターン化により余剰なオイルの引き摺り抵抗を抑制するとともに、圧縮行程で潤滑油を高面圧部に収集し、膨張行程で油膜厚さを最適調整する(スラスト側)。反スラスト側のパターンはスラスト側と逆の作用が働く。軽量化と併せてピストンとシリンダの摺動抵抗を低減し、従来構造と比較してフリクションを最大で6%低減した(図19)。

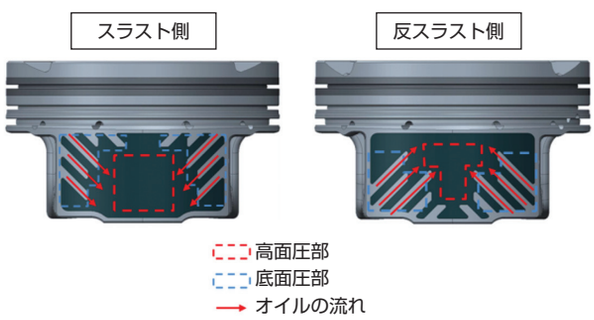


図 19　ピストンパターンコート

ピストンリングは、オイルリングをハイバレル化し、フリクションと信頼性を両立させる張力に最適化した。オイル消費量はFB16に対して25%改善した。

5.3　クランクシャフト給油構造

FB16のクランクシャフトはピン、ジャーナル部の貫通穴と、ジャーナル－ピン間を繋ぐ斜め穴で形成される油回路でコンロッドベアリングに給油している。CB18は、ピン部の給油穴数を削減してベアリング部の受圧面積を拡大するために、1本の油回路でジャーナルからピンに給油する構造をSUBARU初採用した（図20）。また、加工を簡素化したことで、ピン部の中空加工が可能となり、1スパンあたり40 gの軽量化を実施した。これらの技術によりクランクジャーナルベアリング、コンロッドベアリングの摺動抵抗を低減した。

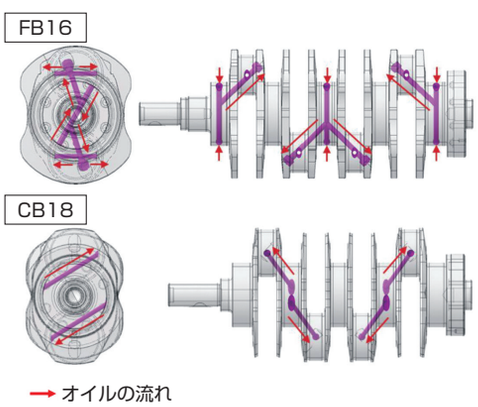


図 20　クランクシャフトの給油構造

5.4　コンロッド軽量化

コンロッド大端部は斜め割形状から水平割り形状に変更し、高強度材料を採用した。コンロッドは爆発力を回転力に変換する機能から、エンジン内で最も大きく揺動する部品であり、厳しい環境下で使用され、破損時には重大な車両影響を及ぼす。信頼性を優先しつつ、コンロッドベアリング部の摺動抵抗を低減のため、FB16比で1気筒あたり9 gの軽量化した。

5.5　潤滑システム

チェーン駆動のトロコイド式連続可変容量オイルポンプと低粘度オイル0W－16をSUBARU初採用した。温度と油圧をパラメータとして、運転条件に合わせて最適油圧に制御する。制御油圧値は寸法精度、センサ精度、制御性を考慮して、各デバイスの信頼性を確保した。併せて、オイルポンプからメインギャラリ間の潤滑回路を短縮し、低圧損化することで、余剰油圧を削減した。これにより油圧立ち上がり時間をFB16比41%に短縮し、従来構造と比較して最大で20%のフリクション低減効果と高い信頼性を両立した（図21）。

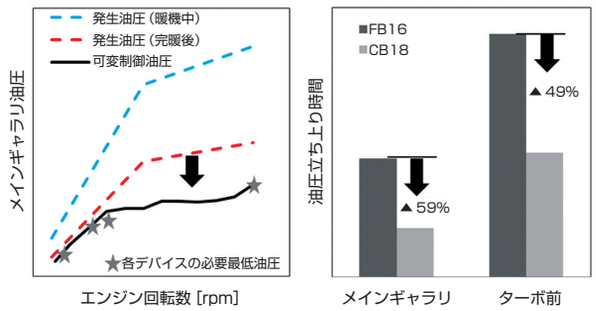


図 21　オイルポンプ制御イメージ（左）、
油圧立ち上り時間（右）

また、CB18は過給器をエンジン下方に搭載するため、過給器軸受の潤滑油をオイルパン内に戻すスカベンジポンプを必要とする。従来は別体のポンプと油回路を追加していたが、オイルポンプとスカベンジポンプの機能を統合し、潤滑構造を簡素化した（図22）。同時にオイルパン容積を縮小して、交換油量を4.0 L に抑制することで、市場で流通しているオイル缶1 個でオイル交換を可能とした。加えて、ピストンオイルジェットを追加し、ピストン冷却、点火進角することで比トルク向上に貢献した。

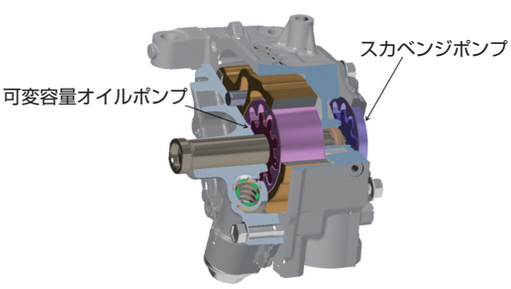


図 22　スカベンジ機能一体型オイルポンプ

5.6　補機ベルトシステム

フリクション低減のため、FB16では1本掛けに対し2 本掛けの補機ベルトシステムを採用した（図23）。各プーリの必要駆動力に対し、補機ベルトを各々に設定することで、最適な張力、巻き角とし、アイドラプーリを廃止するとともに、ベルト屈曲率を減らすことで、フリクションをFB16 比で約24%低減させた。

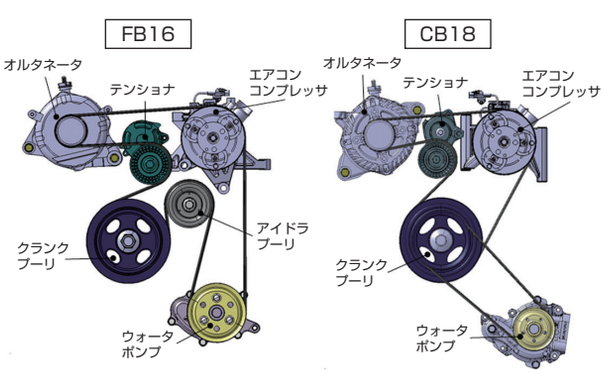


図 23　補機ベルトシステム

6. 熱マネジメントシステム

燃費向上のため、早期暖機やEGR活用は有効な手段であり、一方で高負荷運転時には出力、信頼性向上のための冷却強化が必要である。熱マネジメントは各性能に影響する重要因子であり、以下の技術を新規開発した。

6.1 耐ノッキング性向上

ノッキングを抑制するため、燃焼室周辺の冷却系の改善を行った。シリンダヘッド内の排気ポート全体を覆うIEM(Integrated Exhaust Manifold)ウォータジャケットを採用し、燃焼室に噴き返す排気ガス温度を低減させた(図24)。FB16で採用した並列冷却を踏襲し、気筒ごとの冷却ばらつきも抑制している。

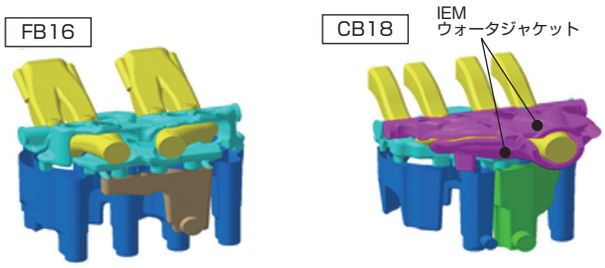


図24 ウォータジャケット

ウォータジャケットスペーサを採用し、高負荷運転時に高温となるシリンダブロック上死点側及び排気側のライナの表面流速を向上させ、積極的に冷却する仕様とし、ノッキング耐力を向上させた(図25)。

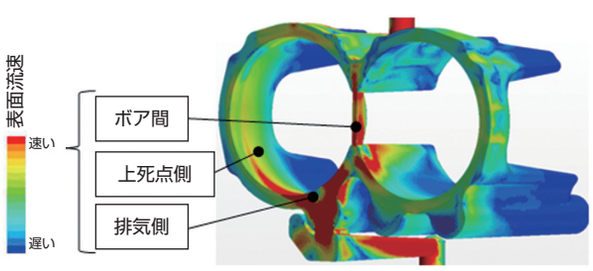


図25 ライナ周りの冷却水流速分布

6.2 冷却制御

冷却制御は、現行FORESTER FB25と同様のサーモコントロールバルブを冷却システムの集合部に配置することで、従来のサーモスタット制御よりも必要な時に必要な部分へ流す意図的な熱マネジメント(水温制御)を可能とした。CB18は、これに加えて新たにブロック流路バルブを採用し、シリンダブロックとシリンダヘッドの流量分配制御を可能にした(図26)。

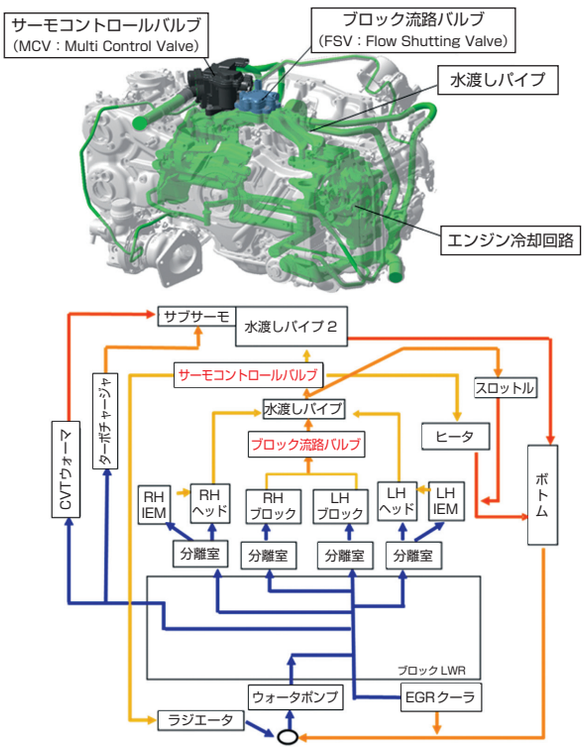


図26 冷却システム

MBT領域(Minimum advance for Best Torque)では、水温を上げ早期リーン開始、冷却損失とフリクション低減をし、ノッキング領域では水温を下げ強制冷却し出力向上を実現している(図27)。

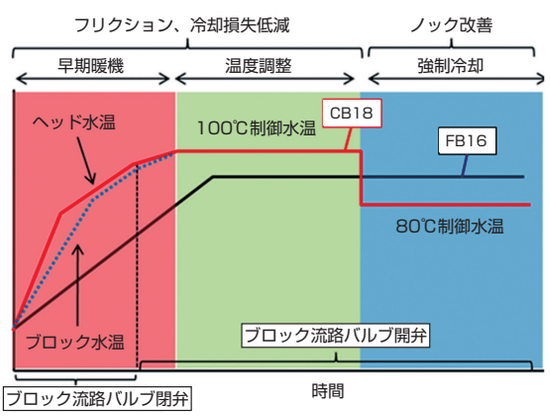


図27 冷却水温コントロール概要

7. EGRシステム

燃費の向上を両立させるため、過給リーンバーン燃焼+高EGR制御を採用した。FB16に対し広域で高いEGR率を成立させるため、過給域でのEGR導入圧確保とEGR導入量のバラつきを抑制する推定制御を新規採用している。EGR温度・圧力センサ(EGR部、インテークマニホールド部)を用いて管内脈動を考慮し高精度なEGR制御をする事で、安定した燃焼を実現している(図28、図29)。

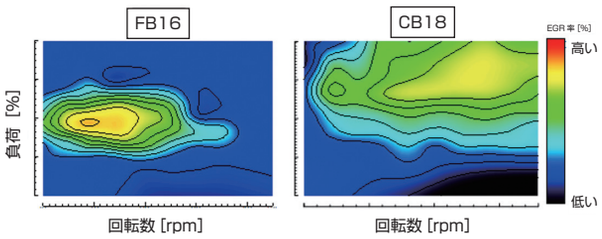


図 28　FB16 vs CB18 EGR 率

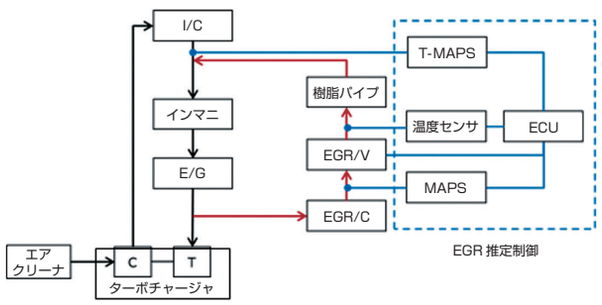


図 29　EGR システム図

8.　排気システム

8.1　三元触媒／ NOx吸蔵還元触媒

三元触媒は、排出ガス中の有害なCO、HC、NOxを化学反応によって無害なN_2、CO_2、H_2Oに浄化するが、理論空燃比付近以外では著しく浄化能力が低下する。

今回、燃費向上のために導入したリーン燃焼では、理論空燃比よりも希薄な空燃比で燃焼させることから、排出されるNOxを三元触媒で浄化しきれないため、NOx 吸蔵還元触媒を採用した（図30）。

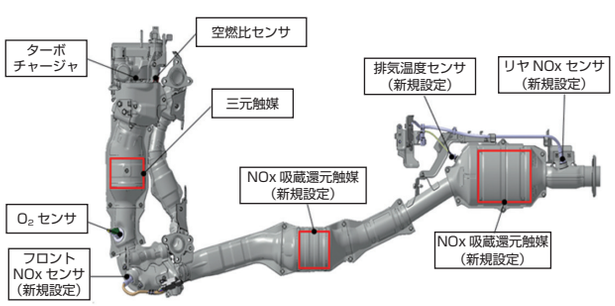


図 30　排気システム

リーン燃焼時に排出されるNOxをNOx吸蔵還元触媒内で、貴金属を経由して吸蔵物質に一旦吸蔵する。その後、極短時間のリッチ燃焼によりCO、HCを発生させることで吸蔵物質からNOxを脱離させ、貴金属によりN_2に還元し、浄化する。この制御を排気管の要所に設置した温度センサ・NOxセンサを用いて緻密に行うことで、幅広い運転領域でのリーン燃焼が可能となり、燃費性能と環境性能の両立をしている。

8.2　IEM（Integrated Exhaust Manifold）

排出ガスの浄化力を高めるため、触媒昇温時間短縮を狙いIEMを採用した（図31）。FB16では気筒毎に排出ガスを取り出していたが、バンク毎に排出ガスをまとめることで、排出ガスの温度低下を防ぎ、触媒の暖機を早めた。

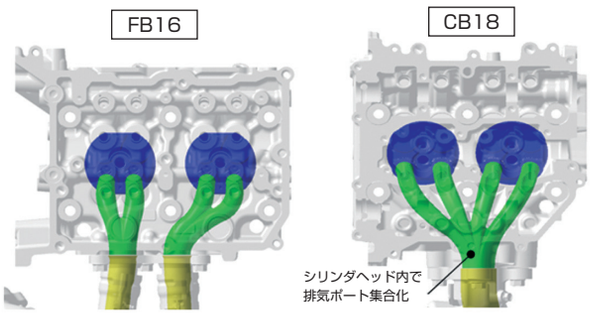


図 31　IEM

9.　電力マネジメント

環境性能向上を目的として、内燃機関への電動デバイスの採用が増えている。一方で、発電を内燃機関の仕事に頼るため、過剰な電力使用は性能を低下させる。消費電力を抑制するための電力マネジメントの取り組みの一部を以下に示す。

9.1　燃料供給制御システム

消費電力抑制のため、必要な燃料流量に応じて低圧燃料ポンプを制御する燃料デマンドシステムを新規採用した（図32）。運転状況に応じ最小仕事となる目標燃圧を設定し、燃料ラインに設定した燃圧センサと推定燃温のフィードバック制御を行っている。燃料ポンプの吐出流量を必要最低限に制御しエンジン損失エネルギを約52%削減させ燃費向上に寄与し、ガソリンベーパの発生抑制もしている。

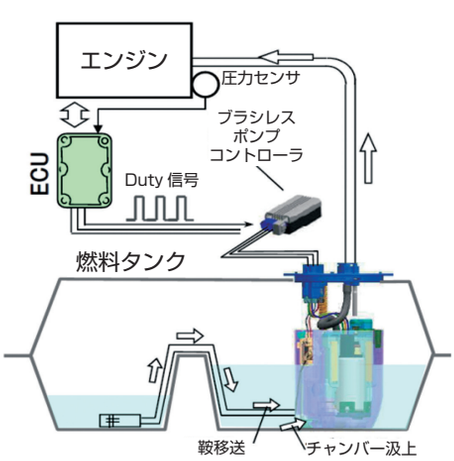


図 32　燃料供給制御システム

10. 軽量化

エンジン軽量化はドラビリ改善や燃費向上に貢献する。『体積低減』、『密度低減』の2つの切り口にて、エンジン質量で14.6 kgの軽量化をして、過給エンジンでありながらNA並とした。以下に取り組み内容の一部を示す。

10.1 全長短縮による軽量化

水平対向エンジンの体積低減としては全長短縮が最も効果的である。全長を決定するクランクシャフトにて、高周波焼入れとディープロール加工を併用し、ボアピッチを14.4 mm、バンクオフセットを3.9 mm縮小した。エンジン全長をFB16比で44 mm短縮し、約5 kgの軽量化を実現した(図33)。

また、全長短縮は前面衝突時のクラッシュストローク確保にも寄与し、より安全な車づくりに貢献した。

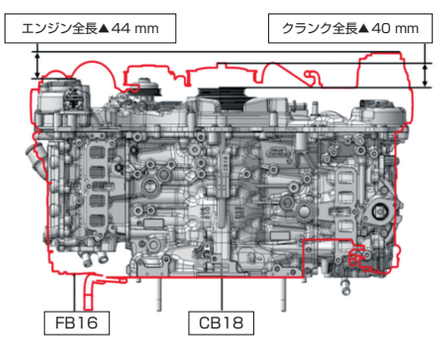


図 33 全長短縮

10.2 材料置換による軽量化

大物のアルミ鋳造品のチェーンカバー、ロッカーカバーを樹脂へ置換することで密度低減し、合計で約1.5 kgの軽量化を実現した(図34)。また、樹脂化により形状自由度が向上し、機能の追加、改善を図った。

チェーンカバーの樹脂化にて、オイルレベルゲージ、オイルフィラーキャップの脱着トルクを低減し、日常点検の作業性を改善した。オイルミストセパレータを追加し、過給時の吸気系へのオイルミスト侵入量を低減し、信頼性向上した。ロッカーカバーの樹脂化にて、動弁系にアジャスタ機能を追加し整備性を向上した。

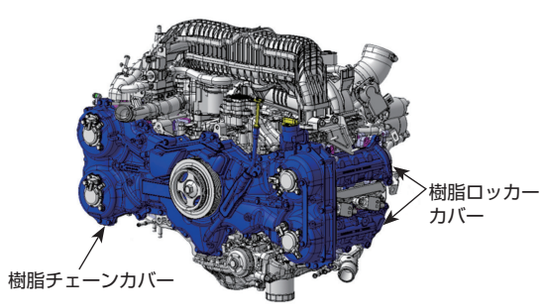


図 34 材料置換

11. NV

CB18は水平対向エンジン初となるオフセットシリンダを採用するため、右バンクのシリンダ位置が車両上下方向に高くなる。歩行者保護面を確保しつつ空間利用効率を向上させるために、FA/FB型に対しバンクオフセットを逆転させて右バンクを車両後方に移動した。初期段階でこれらがエンジン振動に及ぼす影響を検討のうえ開発を進めた。

バンクオフセットを逆転させると、CA180 deg位相がずれるもクランクシャフトのピンジャーナルに入力される慣性力の大きさは不変である。結果、慣性力によるクランクシャフトの弓なり変形(図35)、及び、これに起因する後端気筒爆発タイミングの軸受け隙間内横切りといった特徴的な挙動(図36)は、FA/FB同様に発生する。アルミダイカスト製ブロックの#1ジャーナル、#5ジャーナルに鉄系材料のピースを鋳込み、暖機時軸受け隙間拡大量を抑制することで、横切り挙動による起振力低減を図った。

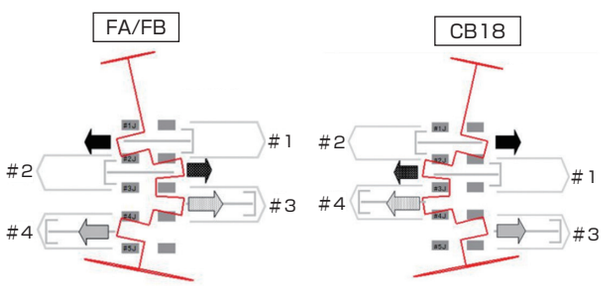


図 35 バンクオフセット及びクランク弓なり変形

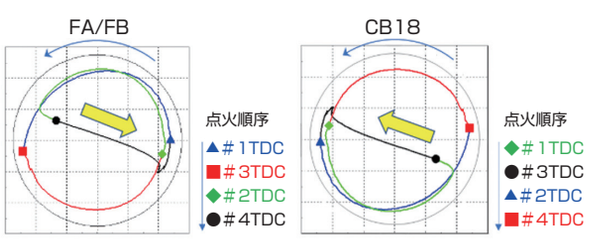


図 36 後端気筒爆発時のクランク挙動 (#5J)

オフセットシリンダを追加すると、桿部傾き変化に伴いピストンサイドフォースが変化し、爆発によるシリンダライナ入力を低減することができる。一方、圧縮行程、排気行程では荷重増加の傾向が見られた。原因である慣性力を低減させるため、運動部品軽量化に取組んだ。なお、燃焼室位置が上下方向にずれるため、爆発によるヘッドへの入力により、クランク回転方向と逆向きのモーメントが新たに発生する(図37)。

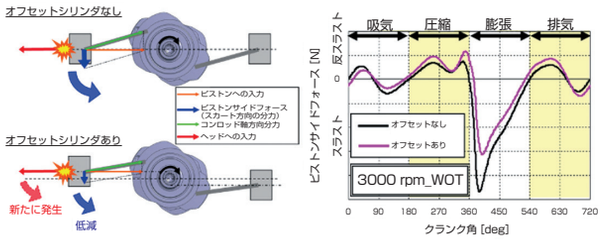


図 37　オフセットシリンダと起振力影響

エンジン構造体としては、加速時の車内伝達音が発生し易い中周波領域に、曲げ、ねじりの振動モードが存在することを確認した。左右のヘッドをマス、ブロックをバネとしたモードで、FA/FBと同様の振動モードである。ブロック下面開口部の変形を伴い曲げやねじりが発生しており、振動抑制には同部位への補剛が効果的である。FA/FBエンジンでは、オイルパンアッパの開口部全体に、筋交い状のXリブを配置する補剛を行ってきたが、CB18では新採用となった可変容量オイルポンプをオイルパンアッパに懸架し、補剛部材として活用する合理化設計を行った（図38）。

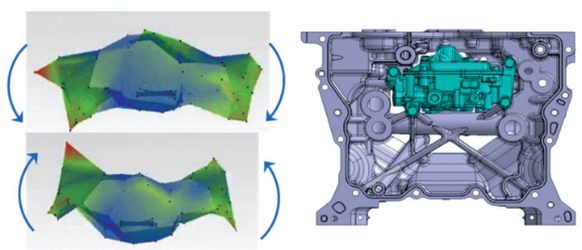


図 38　エンジン曲げモードとオイルパンアッパ補剛

これら起振力、振動伝達感度の低減対策に加え、運動部品クリアランス設定の適正化、振動影響も鑑みた燃焼波形設定を行うことで、FB16に対し出力を高めつつも振動増加を抑えた（図39）。

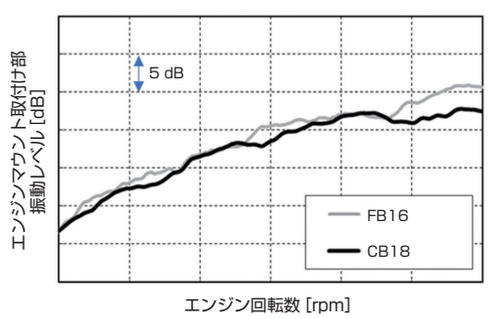


図 39　中周波領域のエンジン振動レベル

12.　性能

12.1　燃費

図40にエンジン単体燃費特性、図41にλマップを示す。最大正味熱効率40%を達成した。FB16の単体燃費特性と比較して見ると、CB18は最大効率点の値が優れているだけでなく、効率の良い範囲が広くなっている。

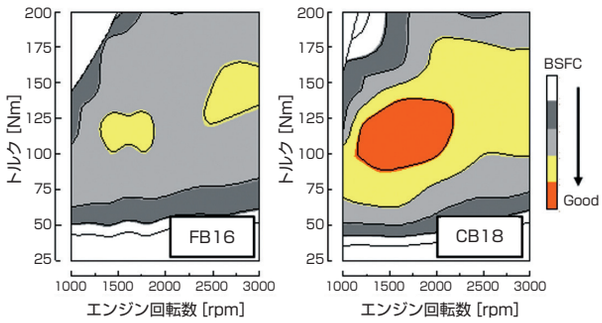


図 40　BSFC 比較

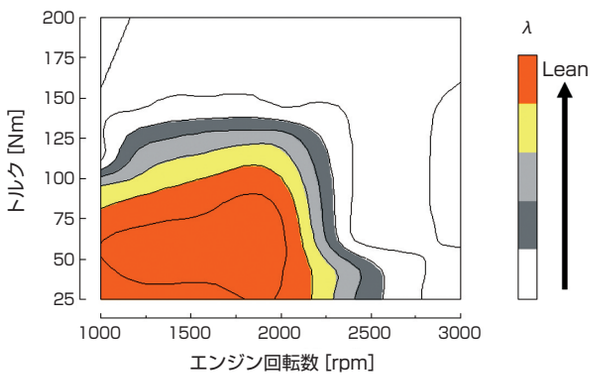


図 41　λマップ

図42に、実用走行において使用頻度の高い1200 rpmの熱勘定を示す。リーン燃焼では比熱比向上によりサイクル損失が低減している。また、スロットル開度が大きくなることでポンプ損失が低減している。これら損失の低減により、リーン燃焼はストイキオ燃焼に対して燃費改善を実現していることがわかる。

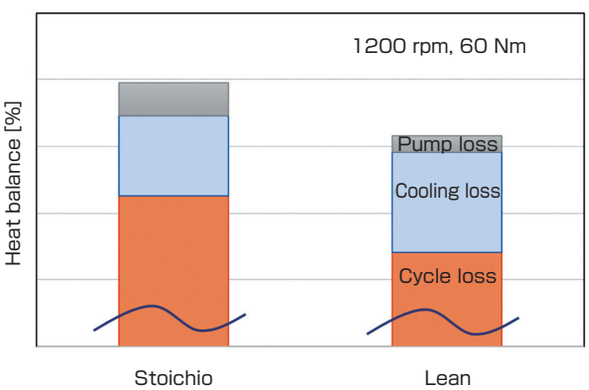


図 42　熱勘定比較（ストイキオ vs リーン）

12.2　出力

図43にトルク、出力を示す。低回転から高トルクを発生する日常での使いやすさを実現するために設定した300 Nm、177 PSを達成した。

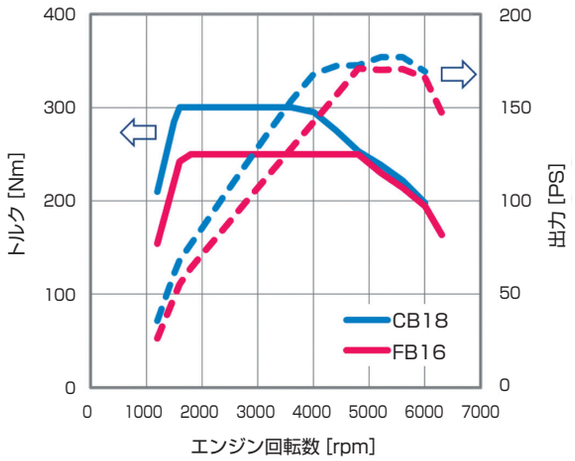


図 43　エンジン性能

13.　まとめ

第 4 世代「CB18 型」新設計水平対応エンジンはリーン燃焼技術を始めとして、各章で述べてきた SUBARU が持つ最新技術を結集し、正味熱効率 40% と最大トルク 300 Nm を両立する次世代コンベンショナル専用ガソリンエンジンとなった。また全長の短い特徴を持つ水平対向エンジンをさらに 44 mm 短縮・コンパクト化、軽量化も達成し、車両走行性能と衝突安全性能の向上にも貢献した。

本エンジンを搭載した新型 LEVORG は、お客様にあらゆる場面で『笑顔』をお届けできると信じている。

最後に、本エンジンの開発にあたって、社内外におけるご指導・ご支援・ご協力頂いた関係各位の方々に深く感謝致します。

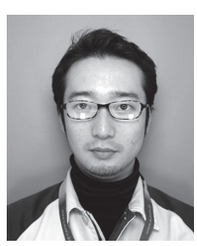
参考文献

(1) 村中 重夫, 新訂自動車用ガソリンエンジン, 養賢堂(2011)
(2) 井口 哲, リーンバーンによる効率向上の現状と課題, 自動車技術 Vol.45 No.8 (1991)
(3) 漆原ら, SKYACTIV-X を実現する燃焼技術, マツダ技報(2019)
(4) Norimasa Iida, Research and Development of Super-Lean Burn for High Efficiency SI Engine-Challenge for Innovative Combustion Technologies to Achieve 50% Thermal Efficiency- , COMODIA (2017), Plenary Lecture

【著　者】

辻村　彬人

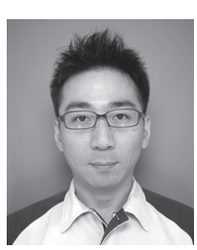
長島　仁宏


加藤　淳平

柿沼　王基

前川　浩輝

脇本　一成


中野　　勉

加藤　直樹

ハブ廻り六分力センシングと機械学習による リアルタイムタイヤμ推定技術

Sensing Six-Force Components on Hub and μ Estimation between Tire and Road using Machine Learning in Real Time

吉澤　慧*　YOSHIZAWA Satoshi
岡田朋之*　OKADA Tomoyuki
大野　翼*　ONO Tsubasa
下山　浩*　SHIMOYAMA Hiroshi

抄　録

車両の運動状態を詳細に把握するため、車両運動における外力であるタイヤ－路面間の拘束力を把握し、車両運動の状態を予測する技術を開発している。

タイヤ－路面間の拘束力について、発生している拘束力の瞬時値とその拘束力の限界値推定(＝タイヤ－路面間の摩擦推定)をハブ廻り六分力センサを用いて実施している。

本稿では、その摩擦推定の中でセンサのデータ処理方法について報告する。データ処理の中に機械学習を取り入れることで、事前に学習させておいたノイズを取り除くことができた。

Abstract

For estimating vehicle dynamics, we need to grasp forces between tire and road. Therefore, tire μ estimator using sensor of six- force components on hub is being developed. This sensor can measure external force such as tire force. However, the bandwidth of this sensor is big, so output signals have much information. It is necessary to choose signals by filtering.

This paper describes the signal filtering using machine learning in detail.

1.　まえがき

車両運動制御の高度化によるフィードバック制御の実現には、車両の運動状態を詳細に把握する必要がある。車両運動における外力は①重力及び運動慣性力、②風等の空力によるものの2つであり、車両の状態変化は、これら2つの外力による③タイヤ－路面間の拘束力(以下、タイヤ力)の変化として現れる。これらの力を把握することで車両運動の現在の状態把握や将来の状態予測にも活用できる。

そのため、昔から多数の技術者がタイヤ－路面間の摩擦推定に挑戦しているが、高精度且つ信頼性のあるシステムは、現在までに開発されていない。

そこで、技術研究所では、タイヤ－路面間の力について把握するために、ハブ廻り六分力センサによるタイヤ－路面間の摩擦推定を実施しており、その中のハブ廻り六分力センサのデータ処理方法について報告する。

2.　システム全体

タイヤ－路面間の摩擦推定システムの全体を説明する。システムの入力としては、ハブ廻り六分力センサ、車両速度センサ、加速度(前後、横方向)を使用し、発生しているタイヤ－路面間の拘束力及び最大タイヤ力を出力することを目標としている(**図1**)。

出力値である拘束力の瞬時値とその拘束力の最大値の差分により、各輪のタイヤの余裕代が把握でき、その後の車両運動に関する制御に使用できるようにしている。

本推定器はタイヤ状態を詳細に把握する必要があり、舵角や各輪の速度や加速度によって、同次元オブザーバにて、スリップ角を推定している(**図2**)。

＊ 技術研究所

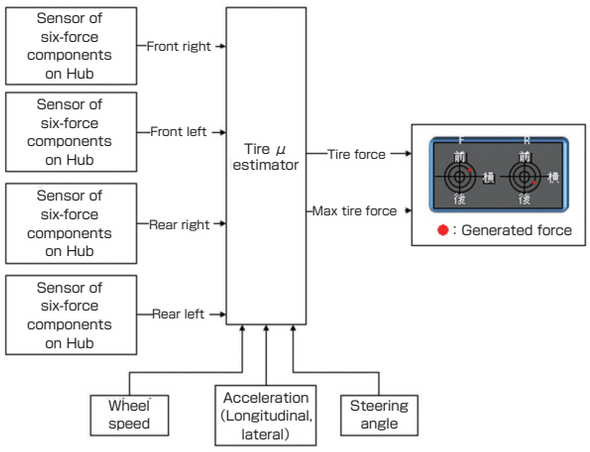


図１　システム全体図

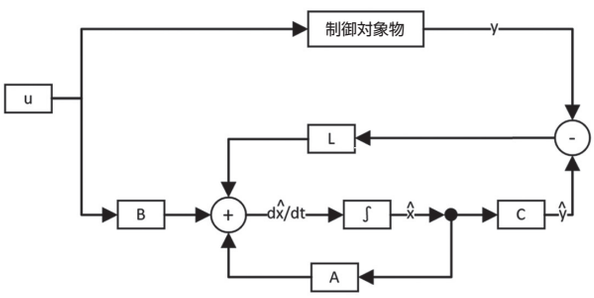


図２　同次元オブザーバ

3.　ハブ廻り六分力センサ

3.1　構造

本推定器に使用しているハブ廻り六分力センサの構造を図3に示す。スバル技報No.41に掲載している「円筒形分力ロードセルの開発」で説明されているロードセルを使用して、ハブを構成している。ロードセルは、センサベースを介してアップライトに締結することから、ロードセル自体は回転しないため、ホイールが回転したとしても荷重の出力座標は固定されており、座標変換する必要がなく、データ処理も簡便にすることができる。

一方で、センサがアップライトに固定されていることから、サスペンションの動きに合わせてアップライトが動くことで、車体の座標に対して、センサの計測座標が動くため、車体のすべり角からサスペンションのストロークやコンプライアンスを考慮して、タイヤ自体のすべり角を求める必要がある。

また、このセンサ内蔵のハブの大きさは、量産と同等のスペースに収まっており、アップライトに組付けをして(図4)、ホイールを装着してもトレッド位置に変化は無く、ジオメトリの変化も無い。

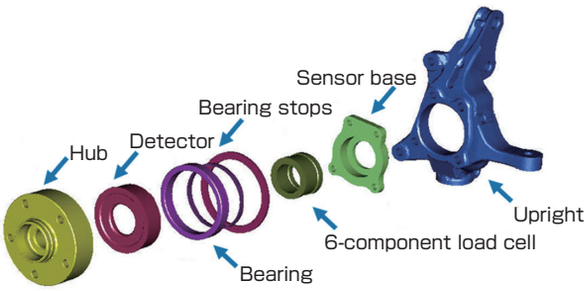


図３　ハブ廻り六分力センサ（分解図）

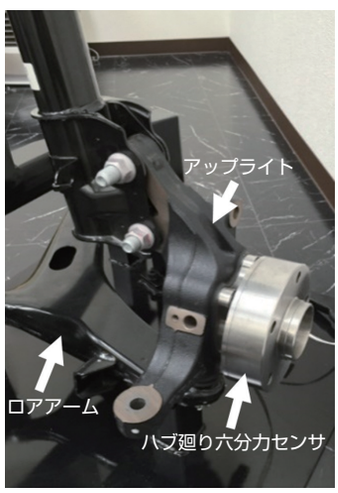


図４　ハブ廻り六分力センサ（サスペンション取付時）

3.2　センサ出力信号

このセンサは、ひずみゲージを使用しており、広いダイナミックレンジに対応している。そのため、ハブへの負荷荷重の情報が多く得られて、様々な現象を把握できる反面、必要な信号を選別し、システムに入力する前処理は必須である。

特に六分力では、計測する荷重方向が多いため、荷重方向それぞれについて、フィルタを設定する必要があり、その処理を検討するだけでも多くの工数が必要となってしまい、開発工数を圧迫してしまう問題がある。

そこで、機械学習を用いることで、過去の計測データからフィルタの設計をしたので、その手法を報告する。

4.　フィルタ設計要件

4.1 入力信号の整理

フィルタを設計するに当たり、対象の信号を定義する必要がある。図5、図6に直線走行MT車変速時の車両進行方向の力Fxを示す。クラッチが繋がっていないときにはFx成分はほぼ0まで低下していることが確認できる。また、信号波形は大きく分けて2種類に分けることができる。1つ目は車両運動の変化、す

なわち加減速や空力外乱などの非周期的な成分である。2つ目は図6から見られるように、ホイールの回転に伴う負荷変動であり、ホイールやタイヤの不均一性などに起因する周期成分である。

上記2つの成分は発生原理を異としているため、リアルタイムに車両情報を取得するためには、できるだけ遅延なく非周期信号と周期信号の分離をする必要がある。

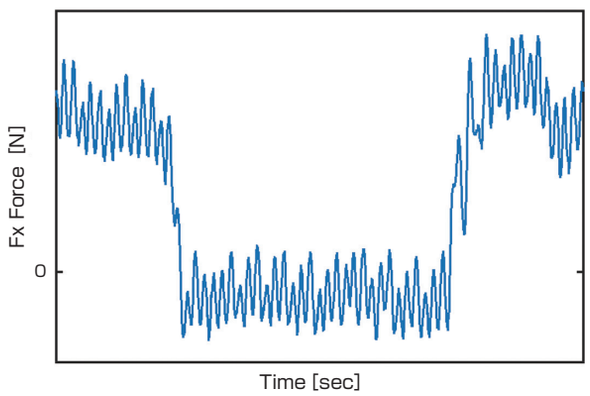


図５　直線走行 100 km/h 時 Fx 負荷加重

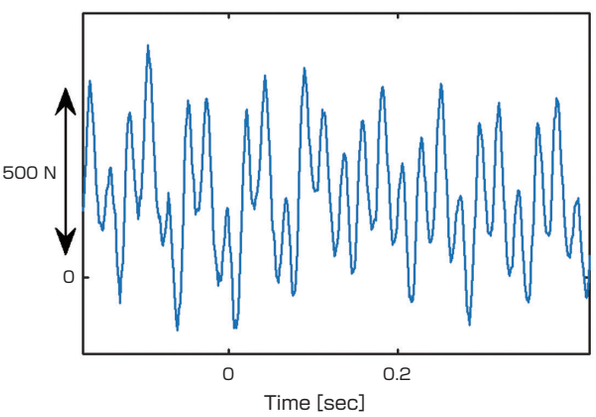


図６　部分拡大図

4.2　フィルタ要件

フィルタを利用して信号分離を行う場合、許容遅延時間に対して周期信号の周期が大幅に長いため、周期成分を分離するためには急峻な周波数特性をもつローパスフィルタもしくはゼロ位相フィルタが必要になる。しかし、前者では目的遮断周波数およびゲインでは許容できない遅延が発生する。また、後者ではオンラインでは使用できないという欠点がある。このためリアルタイムでの利用は原理的に難しい。

周期信号成分は車輪回転速度依存性およびホイールの固体差があり、これらの関係を記述することができれば信号成分の分離は可能となる。しかし、1車両を考えた場合、4輪×6分力×回転速度分の関係を考える必要があるため、膨大なパターンが必要となってしまう。

5.　機械学習を利用したフィルタ設計

5.1　概略

前記の問題を解決するために機械学習を利用したフィルタを考案した。計測時点からN個前までのデータを入力することで周期信号をリアルタイムに分離するフィルタモデル作成を目的として機械学習を行った。

入力元データを計測値f(t)，ゼロ位相フィルタをかけたデータを正解データg(t)とする。教師あり機械学習を用いて、正解データをg(t)、入力データをf(t-n)、(n=0…N)として機械学習を行いモデルを作成した(図7)。

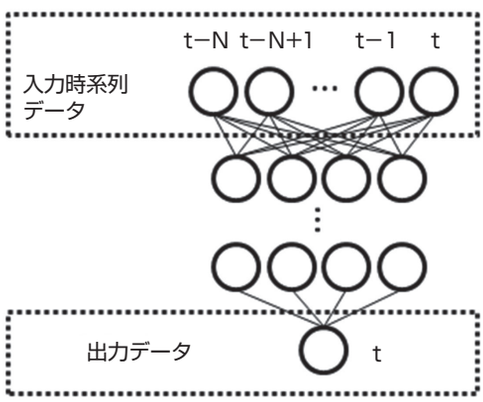


図７　フィルタモデル概念図

5.2　利点と欠点

サンプリング数に等しいだけの学習データを用意することができるため、機械学習を使用する際にネックとなりやすい大量のデータ収集は容易に行える。また、学習フローを一度作成することで各成分について使いまわすことができるので工数の削減が可能である

しかし、モデルの計算にリソースが必要なため計算による遅延が問題となる。モデル規模の最適化、入力引数の最適化、推論用のアクセレレータを利用することで解決が可能である。

5.3　結果

学習に使用したデータと学習モデルを使用して、推論を行った結果を図8に示す。

同車両にて行った別の走行データと学習モデルを使用して推論を行った結果を図9に示す。

学習に利用したデータからだけでなく、学習に利用していない計測データからでも遅延を抑えて周期信号を分離することが出来た。

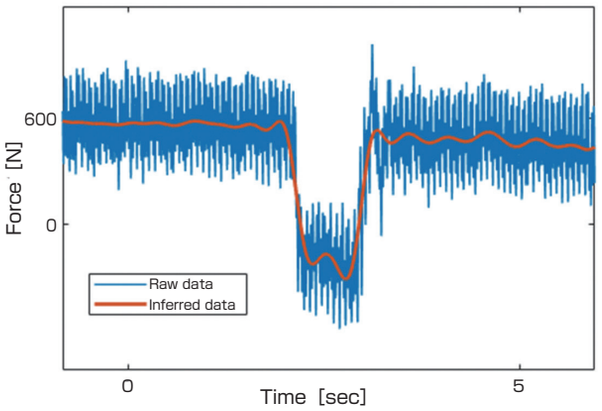


図８　計測データと推論データの比較

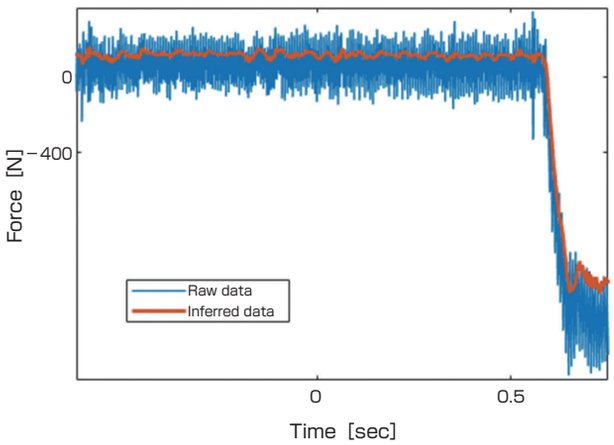


図９　モデル作成時とは異なるデータを入力した場合の
入力データと推論データ

6.　まとめ

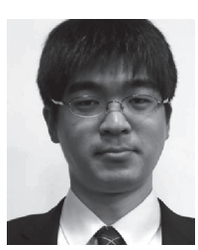
機械学習を利用したフィルタモデルを利用することにより、遅延を抑えつつリアルタイムに信号の分離を行うことで、より短い時間間隔にて精度よく車両挙動およびタイヤ状態の把握が可能となった。本信号処理は、μ推定器開発だけでなく、タイヤ自体の状態把握にも活用していく。

参考文献

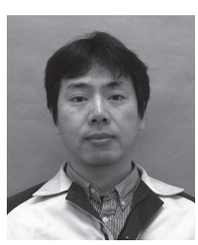
(1) 下山ほか：円筒形分力ロードセルの開発，SUBARU技報，No.41 (2014)，p.151-156

【著　者】

吉澤　　慧


岡田　朋之

大野　　翼


下山　　浩

新世代アイサイト・先進運転支援システムの開発

Development of Advanced Driver Assistance System with Newborn EyeSight

加藤哲也* KATOU Tetsuya
阿部聡之* ABE Akiyuki
久家祥平* KUGE Shouhei
財前元希* ZAIZEN Motoki
小池大輝* KOIKE Daiki

抄　録

ステレオカメラを中心とする先進運転支援システム『アイサイト』は、SUBARU独自の「統合安全思想」のうち、リアルワールドを重視した先進技術で安全運転を支援する予防安全思想を長きにわたって牽引してきた。そして、2020年、2014年にアイサイトの第3世代を発売してから6年ぶりに全面一新し、第4世代となる新型アイサイトを市場投入する。

本稿では、この新世代アイサイトの概要を論じた。具体的には、初代アイサイトからの開発変遷を振り返りつつ、新世代アイサイトの改良ポイントを明確化しながら、先進運転支援システムの構成と機能の概要をまとめた。

Abstract

SUBARU refers to Advanced Driver Assistance System（ADAS）centered on stereo camera as an EyeSight. This EyeSight has played a key role in supporting of an active safety field of SUBARU. 3rd generation EyeSight which went on sale in 2014 is reborn as 4th generation EyeSight in 2020. Therefore, this paper focuses clearly on this newly developed EyeSight after 6 years of separation. In this paper, overview of this new generation EyeSight has given. This contents helps the readers of SUBARU Technical Review understand by summarizing the composition and functional overview of ADAS.

1. はじめに

SUBARUは、2018年に策定した新中期経営ビジョンの中で『2030年死亡交通事故ゼロ』、いわゆるSUBARU車乗車中の死亡事故およびSUBARU車との衝突による歩行車・自転車などの死亡事故をゼロにするという安全技術目標を掲げている。この目標を実効あるものにするためには、これまで着実に進めてきたSUBARU独自の「統合安全」思想、すなわち①0次安全：視界の良さやパッケージなどそもそも事故を起こしにくいクルマを目指す思想、②走行安全：動的性能や危険回避性能など“走りを極めれば安全になる”という思想、③予防安全：リアルワールドを重視した先進技術で安全運転を支援する思想、④衝突安全：乗員保護やコンパチビリティなど万一のための、万全の備えという思想をこれまで以上に強化するだけでなく、これら各相互の連携を強めていく必要がある。このうちの③の予防安全の領域については、後述するように、約30年も前から ADAと名付けたステレオカメラを開発、2008年よりEyeSight（以下、アイサイトと表記）として性能進化とコスト低減の両立を進め、これを中心とした先進運転支援システムを先進安全技術の中核として結実させ、当該領域の牽引に貢献してきた。このような背景の中、交通事故の未然回避を目指した予防安全性能のさらなる向上を図るべく、今回、2014年に誕生したアイサイトの第3世代（以下、アイサイトVer.3と表記）を飛躍的に進化させ、第4世代となる新世代アイサイトを開発した。

本稿は、この新世代アイサイトを取り上げ、初代アイサイトの誕生からの開発変遷を簡単に振り返ったうえで、新世代アイサイトの改良ポイントとシステム構成、新世代アイサイトを中心とする先進運転支援システムに搭載される機能についてまとめたものである。

＊ 先進安全設計部

2. EyeSightの誕生から新世代誕生まで

1989年に開発の始まったステレオカメラは、1999年にADA（Active Driving Assist）として商品化された。このADAでは、アイサイトの原点ともいえる、フロントウィンドウ内側に設置された2基のCCDカメラから得られる車両前方の認識情報をもとに、車線逸脱警報、車間距離警報、車間距離制御クルーズコントロール、カーブ警報／シフトダウン制御といった機能を実現した。

2008年には、歩行者や自転車も認識できるステレオカメラを開発し、先行車への追突の回避を支援するプリクラッシュブレーキをはじめ、AT車両における発進時のペダル操作ミスによる急発進を抑制するAT誤発進抑制制御や全車速追従機能付きクルーズコントロールなどを併せ持つ先進運転支援システムを実現。これを初代 アイサイトとして市場投入した。

2010年には、「ぶつからないクルマ？」というキャッチフレーズが広く世間に浸透するに至ったアイサイトVer.2を開発し、自車と先行車の速度差が30 km/h以下のときの衝突回避を可能にしたプリクラッシュブレーキを実現した。

2014年には、それまでの白黒画像認識からカラー画像認識へ変更し、カメラの視野角と視野距離を大幅に拡大させたアイサイトVer.3を開発した。その結果、プリクラッシュブレーキや全車速追従機能付きクルーズコントロールなど既存機能の性能を飛躍的に向上させただけでなく、ステアリングホイール（以下、ステアリングと表記）を介入制御し、車線逸脱を防止するアクティブレーンキープと名付けた新機能も搭載した[(1)]。

さらに、2017年には、アイサイトVer.3をベースに、制御ソフトウェアの改良を重ね、先進運転支援システムに磨きをかけた。高速道路上にて、全ての車速域でアクセルペダル、ブレーキペダル、ステアリングの各操作を自動でアシストするアイサイト・ツーリング・アシストの商品化に至った。

そして、2020年、アイサイトVer.3誕生から6年ぶりに第4世代となる新世代アイサイトが誕生した。

3. 新世代アイサイトを中心とする先進運転支援システムの概要

新世代アイサイトは、アイサイトVer.3に比べ、ステレオを構成する二つのカメラの視野角をさらに大幅に広角化させると共に、高速処理演算可能な画像認識マイコンを採用することにより、画像認識ソフトウェアの性能向上を図り、併せて、制御ソフトウェアのパフォーマンスも飛躍的に高めた。その結果、プリクラッシュブレーキ性能をさらに進化させ、衝突回避をサポートする領域を拡大させるとともに、新機能の追加も行った。その結果、より幅広い状況での運転支援を実現できるようになった。

図1に新世代アイサイトの基本構成を示す。左右二つのカメラには、「CMOSセンサー」を採用し、「画像処理部」にて、先行車や道路の白線などの物体や状況を3D画像処理で識別している。そして、これらの情報に加え、車両の他のセンサー情報をCAN経由で「制御処理部」に取り込み、先進運転支援システムに係る各アプリケーションプログラムを実行させ、各関係制御部品への制御を指示する。

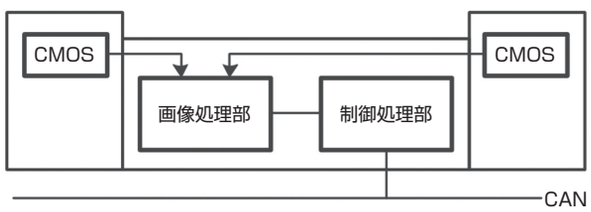


図1　アイサイトの基本構成

3.1　ステレオカメラの概要

ステレオカメラは、ルームミラー後方のフロントガラス上部に取り付けられ、2台のカメラを使って、人間の目と同じ原理で先行車の距離を検出できるようにしたものである。人間の目には、両眼視機能と呼ばれる働きがあり、左右各々の目の網膜に映った二つの映像を脳がうまく融合して一つの見やすい映像を生み出すと同時に、立体感や遠近感、距離に関する感覚を生み出している。ステレオカメラによる距離計測の精度は、**図2**に示すように、カメラの解像度と基線長、対象物までの距離の二乗に依存しており、カメラの解像度が高いほど、基準長が長いほど計測精度が上がる特長を有している[(2)]。新世代アイサイトでは、まさにこれを極限まで追求している。なお、新世代アイサイトからは、カメラをフロントガラスに取り付ける方式へと変更し、併せて、フロントガラス曇りによるカメラの作動率低下防止のためのヒーターパッチも新たに装着している。

3.2　先進運転支援システムの構成

図3に新世代アイサイトを中心とした先進運転支援システムの構成を示す。「ステレオカメラ」の大幅な広角化にくわえ、左右の「前側方レーダ」と既存の左右の「後側方レーダ」を組み合わせ、認識性能を向上させている。また、後述するアクティブレーンチェンジアシストやカーブ前／料金所前速度制御などの新機能を実現するために、「3D高精度地図ユニット」を採用した。さらに、渋滞時ハンズオフアシストにおける

車線中央維持機能の高いアシスト性能を支えるために、ドライバーがステアリングを保舵しているか否かを検出するための「ステアリングタッチセンサ」を採用したり、ドライバーのわき見や居眠りといった状態を検出するために既に商品化されてきた「ドライバーモニタリングシステム」との連携を強化したりした。この他には、「電動ブレーキブースター」を新たに採用した。ブレーキブースターを電動化することによって、ブレーキの応答性を高め、急な飛び出しに対しても被害軽減の向上を狙っている。

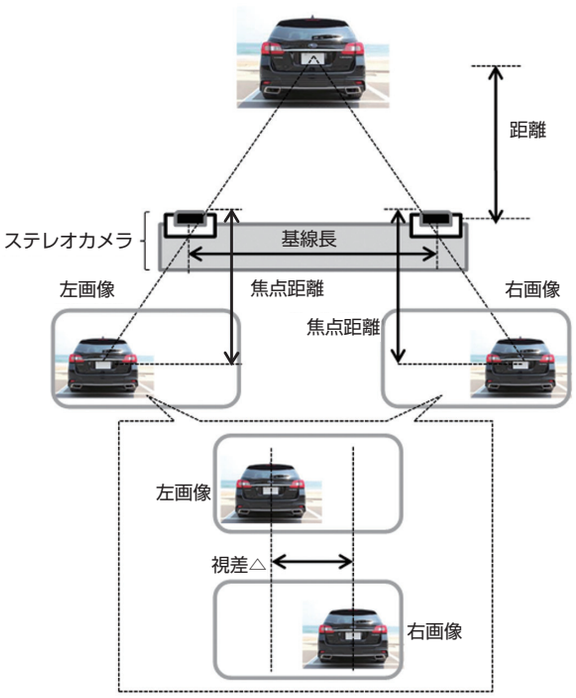


図２　ステレオカメラの仕組み

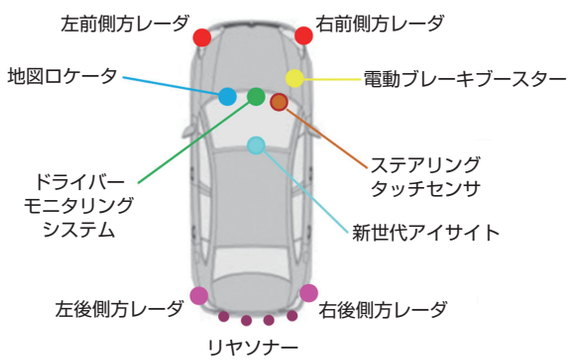


図３　システム構成

図４に「3D 高精度地図ユニット」の仕組み概要を示す。本ユニットは、高精度な地図データに基づき、高精度な自車位置を推定すると共に、自車前方の道路形状／地物情報などを生成し、これらの情報を新世代アイサイトへ送信するセンサーユニットである。現在のカーナビゲーションに広く用いられている地図データは、その誤差が一般に数ｍから十数ｍに及んでいたり、車線毎の道路線形などの情報も有していなかったりするなど先進運転支援システムの各機能の活用に不向きであった。これに対し、3D 高精度地図ユニットは、GPS や準天頂衛星から放射される信号を使って自車位置を高精度に検出すると共に、車線単位の詳細な三次元の道路情報を持つ高精度な地図から先進運転支援システム向けのデータを生成し、新世代アイサイトへ出力する。

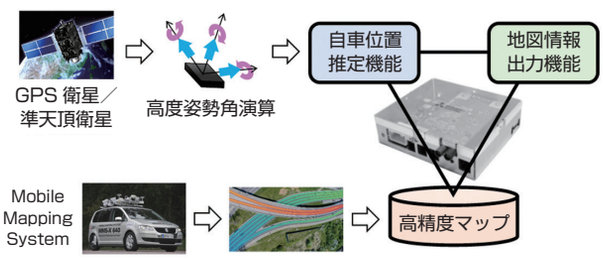


図４　3D 高精度地図ユニットの仕組み概要

3.3　先進運転支援システムの実装機能

表１に、新世代アイサイトを中心とする先進運転支援システムに搭載される機能の一例を示す。新世代アイサイトでは、ステレオカメラの認識性能を飛躍的に進化させたことにくわえ、前掲図３の関連部品との連携システムを構築したことにより、主に次のような新機能の追加や既存機能の拡張、強化を実現した。

①自動車専用道路を走行中、カーブを安全な速度で通過するための「カーブ前速度制御」
②自動車専用道路を走行中、料金所を安全な速度で通過するための「料金所前速度制御」
③自動車専用道路での車線変更をアシストする「アクティブレーンチェンジアシスト」
④自動車専用道路を走行中、一定時間であれば、ステアリングから手を放すことができる程のアシスト性能を高めた車線中央維持制御、いわゆる「渋滞時ハンズオフアシスト」
⑤ステアリングからの手放しに対する注意、警告が続いてもドライバーがステアリングを保持しない状況が続いた場合、徐々に減速して車両を停止する「ドライバー異常時対応システム」
⑥全車速追従機能付クルーズコントロール作動中に、ドライバーの操作なしで再発進できる「渋滞時発進アシスト」
⑦減速だけでは前方障害物との衝突を回避できない場合に操舵回避での衝突回避を目指した「緊急時プリクラッシュステアリング」
⑧交差車両との衝突回避を目指した「前側方プリクラッシュアシスト」

⑨白線のない道路での車両逸脱を道路端を認識して実現する「車線逸脱抑制機能」

また、速度標識を認識し、その情報に基づき、システム側で車両走行速度のリミッタ値として設定したり、ドライバー側で手動設定したりできる「スピードアシスタンスシステム」といった機能の他に、交通信号灯色が赤から青に変わり、ドライバーがこれに気づかず、停止したままのときに、これをドライバーへ通知する「青信号お知らせ」機能も実装している。

なお、これらの機能は、新世代アイサイト全共通機能というわけでなく、車種やグレード、仕向地違いで実装内容が異なることになる。

表１　新世代アイサイト実装機能一覧

分類	機能名称	機能概要
新機能	カーブ前速度制御	自動車専用道路上のカーブにおいて、カーブの曲率に合わせた適切な速度に制御する。
	料金所前速度制御	自動車専用道路上の料金所手前にて、適切なタイミングかつ速度に制御する。
	アクティブレーンチェンジアシスト	ドライバーが方向指示レバーを操作したときに、車線変更をアシストする。
	渋滞時ハンズオフアシスト	自動車専用道路上での渋滞時において、ステアリングをアシストする制御の高度化を図り、一定時間のハンズオフ制御を実現する。
	ドライバー異常時対応システム	ドライバーへ注意喚起、警報しているにも係わらず、ドライバーがステアリングを握らない状況が続いた場合、徐々に車両を減速、停止。併せて、ハザードやホーン鳴動で周囲への通知する。
	渋滞時発進アシスト	自動車専用道路での渋滞時、先行車の停止、発進にスイッチ操作なしで追従する。
	緊急時プリクラッシュステアリング	操舵回避することにより、衝突回避を支援する。
	前側方プリクラッシュブレーキ	交差点出会い頭の衝突回避を支援する。
既存機能の進化	プリクラッシュブレーキ	作業領域を拡大し、交差点での衝突回避を支援する。
	車線逸脱抑制機能	より滑らかで自然なアシストを実現する。
	車線中央維持制御	
	先行車追従操舵制御	
	全車速追従機能付クルーズコントロール	より自然で安心できる制御を実現する。
	エマージェンシーレーンキープアシスト	より危険なシーンにおける車線逸脱抑制を支援する。

4.　本号のアイサイト分野記事について

本号では、アイサイト関係の報告が本編を除き、全6編から構成されている。

本稿に続く第1編の「**新世代アイサイトステレオカメラの開発**」の中では、全面一新したステレオカメラ、特に、広角化した視野角、進化した3D画像処理エンジンや画像認識アルゴリズムについてを紹介する。

第2編は、「**新世代アイサイト衝突回避機能の開発**」の紹介である。新世代アイサイトでは、視野角の広角化による広い範囲のセンシングか可能となっている。この利点を活かし、交差点を左右する際の対向車をはじめ、横断歩行者や自転車との衝突事故軽減を狙った「前側方プリクラッシュブレーキ」を開発した。ここでは、この機能を詳述している。

第3編は、「**新世代アイサイト向け 高度運転支援機能の開発**」である。第2編に続き、本編でも新世代生アイサイトを中心とした先進運転支援システムの新機能を概説している。特に、3D高精度地図ユニットの道路形状情報を使って、より信頼性の高まったレーンキープ機能、ドライバーのウィンカー操作をトリガーに車線変更を支援するアクティブレーンチェンジアシスト機能、料金所前速度制御やカーブ前速度制度、渋滞時発進アシストを概説している。

第4編は、「**新世代アイサイトHMI開発**」である。新世代アイサイトを中心とした先進運転支援システムを支えるHMIデバイスも進化した。本編では、どんな画像表示や警報鳴動でドライバーへの情報伝達を実現しているかを概説している。

第5編は、「**保舵判定センサー付きステアリング・ホイールの開発**」である。SUBARU初部品として開発したステアリング・タッチセンサがどんな仕組みでドライバーがステアリングを保舵しているか否かを検知しているか、また、これを先進運転支援システムの中でどう使おうとしているのかを概説している。

第6編は、「**前側方レーダの開発**」である。車両前側方エリアの死角をセンシングするために、フロントバンパー内の左右に77 GHz帯のレーダを採用した。本編では、この基本的なスペックの他、システム構成やレイアウト、センシング機能を詳述している。

5.　おわりに

以上のように、本稿では、第4世代に生まれ変わった新世代アイサイトとこれを中心に実現する先進運転支援システムの構成と機能の概略を述べた。特に、ステレオカメラ開発の始まった1989年から新世代アイサイトまでの改良ポイントを整理しつつ、進化の歩みを示し、新世代アイサイトと関連部品を含めた連携システムで実現した新機能や既存機能の拡張、強化した内容を明確にした結果、アイサイトが30年にわたる開発経験に裏打ちされたSUBARU渾身の先進安全

技術であることを提示することができた。また、本稿が新世代アイサイトのご理解を深めていただく一助になっただけでなく、次頁以降のアイサイト特集記事を読み進めていくうえでの一助になれば幸甚である。

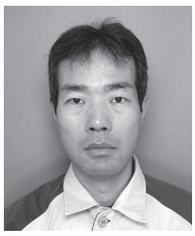
一方で、ドライバーの運転行動は、「認知」、「判断」、「操作」の一連のプロセスの繰り返しと言われている。その中でも運転行動プロセスのスタート地点である「認知」の果たす役割は極めて重要である。そういった意味においては、人間の目と同じように状況を認識し、その状況を踏まえたアクセルペダル、ブレーキペダル、ステアリングの各操作を支援するアイサイトの果たす使命は大変大きいと考える。したがって、今後もアイサイトの能力がドライバーの認知、判断、操作の各能力に迫るように、あるいは、これらを超えられるように開発を進め、SUBARU安全技術目標『2030年死亡交通事故ゼロ』の達成に貢献していきたいと考えている。

末筆ながら、本稿執筆に際し、ご協力いただいた社内外の新世代アイサイト開発関係者各位に感謝の意を表す次第である。

参考文献

(1) 碓井茂夫他：運転支援システムアイサイトの事故低減への取組み，日本AEM学会誌，Vol.25, No.4（2017），pp.383-389
(2) クライソントロンナムチャイ：トコトンやさしい自動運転の本，日刊工業新聞社，2018

【著　者】


加藤　哲也

阿部　聡之

久家　祥平

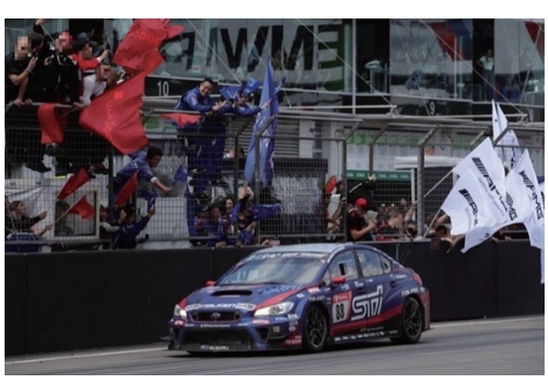
財前　元希

小池　大輝

SUBARU WRX STI がニュルブルクリンク24時間レースで2年連続、6度目のクラス優勝

2019年6月24日

SUBARUのモータースポーツ統括会社であるスバルテクニカインターナショナル株式会社は、第47回ニュルブルクリンク24時間レース（2019年6月20日～23日）に「SUBARU WRX STI NBR CHALLENGE 2019」で出場し、SP3Tクラスで優勝を果たしました。


SUBARU WRX STI NBR CHALLENGE 2019

新世代アイサイト　ステレオカメラの開発

Development of New Generation EyeSight Stereo Camera

木　戸　辰之輔[*1]　KIDO Shinnosuke
片　平　　聡[*1]　KATAHIRA Satoshi
齋　藤　達　司[*1]　SAITO Satoshi
井　邉　敏　之[*1]　INBE Toshiyuki
石　井　雅　也[*1]　ISHII Masaya
高　橋　一　輝[*1]　TAKAHASHI Kazuki
野　津　健太朗[*1]　NOZU Kentaro
長谷川　　聡[*2]　HASEGAWA Satoshi

抄　録

SUBARUは、運転支援システム「新世代アイサイト」にて、「EyeSight（ver.3）」からステレオカメラを全面刷新した。全面刷新したステレオカメラでは、視野角の拡大、３D画像処理エンジンを中心とした半導体部品の進化や、画像認識アルゴリズムの進化により、衝突回避性能を向上させた。また、過去にSUBARUが開発してきたステレオカメラシステムで不変であった、ステレオカメラの車両への取り付け位置を変更した。これに伴いレンズフード形状を変更し、防曇システムを追加した。本カメラにより、SUBARUが目指す、2030年の死亡交通事故ゼロに向け、さらなる安全性の向上に寄与した。

Abstract

The SUBARU's driving assist system "New Generation EyeSight" has completely renewed the stereo camera of "EyeSight (ver.3)". This new stereo camera improves collision avoidance performance by expanding the viewing angle, evolving the semiconductor components such as the 3D image processing engine, and evolving the image recognition algorithms. In addition, the position of the stereo camera attachment to the vehicle was changed. The shape of the lens hood was changed and an anti-fogging system was added for this change. This camera has contributed to further improvements in safety in order to achieve SUBARU's goal of zero fatal traffic accidents by 2030.

1．まえがき

近年、運転支援システムの実用化が進んでいる。運転支援システムには、アダプティブクルーズコントロール（ACC）、前方衝突回避、車線中央維持、AT誤発進防止機能など、様々な機能が搭載されている。昨今では自動車アセスメントにて予防安全性能の評価が行われ、評価結果が公表される事などから、世間の関心が一層高まっている。これらの技術には、レーダやカメラなどのセンサが不可欠であるため、運転支援システムの競争激化に伴ってステレオカメラや各種レーダの開発が盛んになっている。

この流れに先駆け、SUBARUは、1999年に世界で初めてステレオカメラによる運転支援システムを発売した。このシステムでは、ステレオカメラで先行車と白線を検知することによって、ACCと車線逸脱警報（LDW）を実現している。2003年にはミリ波レーダとステレオカメラを統合したシステムを発売している。この統合システムは、運転支援機能をより充実させるためのものであった。

しかし、ステレオカメラとレーダを組み合わせたシステムはコストが高い。この問題を解決するため、ステレオカメラ単独でのプリクラッシュブレーキや全車速ACCなどを実現したシステム「EyeSight」を、2008年に発売した。 2010年には、プリクラッシュブレーキでの完全停止を実現した「EyeSight（ver.2）」を発売している。

ステレオカメラは、レーダと比較して物体の形状、大きさ、位置を正確に検出できる。その結果、歩行者やその他の物体に対する衝突を正確に判定することができる。このため、SUBARUのステレオカメラによる運転支援システムは、レーダによるシステムと比較して、アセスメントのシナリオ以外を含めた、リアル

＊1 先進安全設計部
＊2 外装設計部

ワールドでのプリクラッシュブレーキの性能が高い。

SUBARUは、従来システムに対し視野角の80%拡大、3D画像処理エンジンの刷新、車両への取り付け位置変更などを行った全く新しいステレオカメラを開発し、この新しいステレオカメラを中心とした運転支援システム「新世代アイサイト」を量産化する。

このシステムでは、ハードウェアの変更と、新しいアルゴリズムの開発などにより、EyeSight（ver.3）で実現してきたACC、プリクラッシュブレーキ、車線中央維持など各機能の性能を向上し、2030年でのSUBARU車が関わる死亡交通事故ゼロに向け、さらなる安全性の向上と運転負荷の軽減を実現した。

本稿では、運転支援システム「新世代アイサイト」のステレオカメラについて述べる。

2.　ステレオカメラ　ハードウェア

新世代アイサイトに搭載した、新規開発のステレオカメラは第5世代品となる。第5世代ステレオカメラの外観を図1に示す。

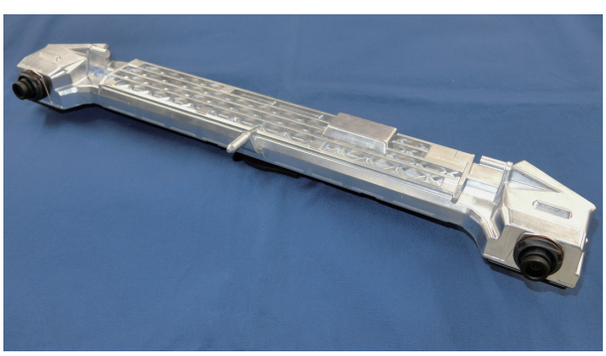


図1　第5世代ステレオカメラ　外観

本章では、従来のステレオカメラからの代表的な変化点の概要、ハードウェア構成について、説明する。

2.1　代表的な変化点の概要

第5世代ステレオカメラのハードウェアの代表的な変化点は大きく分けて4点である。

一つ目は、視野角拡大のためのレンズ広角化とCMOSイメージセンサの高画素化である。ステレオカメラが、より多くの事故シチュエーションに対応するために、EyeSight（ver.3）システム搭載の第4世代ステレオカメラに対して80%広角化したレンズを実装した。一方、デジタルイメージセンサを使ったステレオカメラにおいて、レンズを広角化すると望遠性能が低下する。望遠性能の低下に対応するため、CMOSセンサを高画素化し、望遠性能を第4世代ステレオカメラと同等の性能を保ったまま広角化した。

二つ目は、3D画像処理エンジンの高画素化対応、演算速度の向上とこれに伴う画像認識、制御各マイコンの処理速度向上である。広角化に伴ってCMOSを高画素化した事や、多機能化、高度化に対応するため、従来システムに対して性能向上させた。

三つ目は、カメラ筐体のフロントガラス取り付け構造化である。これについては4.にて詳細を記す。

四つ目は、機能安全対応である。各半導体部品では機能安全対応を実施しており、特に画像認識マイコンへの対応としては、安全機構を主処理としたマイコンを追加している。

2.2　ハードウェア構成

第5世代ステレオカメラのハードウェアブロック図を図2に示す。第4世代ステレオカメラからの変化点は、機能安全対応マイコンの追加である。

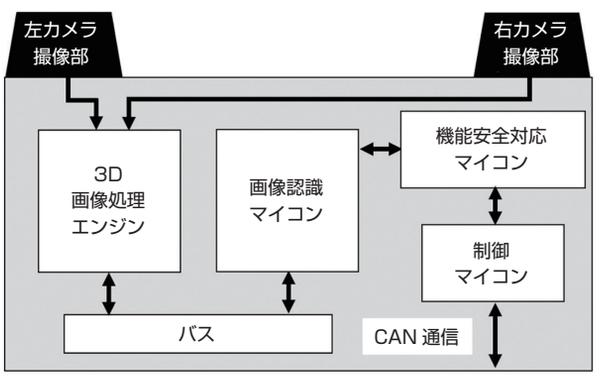


図2　ステレオカメラ　ハードウェアブロック図

3.　ステレオカメラ　ソフトウェア

本章では、第5世代ステレオカメラに実装したソフトウェアの、従来ステレオカメラからの変化点の概要を示す。

3.1　代表的な変化点の概要

代表的な変化点は大きく分けて3つある。

一つ目は、画像認識アルゴリズムの進化である。対向の車両や歩行者、横断自転車と言ったプリクラッシュブレーキに必要な対象物体の拡大、高度運転支援に対応するための遠方の車両認識性能の向上、拡大した画角に対応するための自動キャリブレーション機能の高度化を行い、新世代アイサイトシステム各機能の実現に寄与した。

二つ目は、マルチコアに対応した処理の分散化である。ハードウェア搭載の画像認識マイコン、制御マイコンが双方マルチコア化したことに伴い、双方に対しマルチコア対応OSの導入及びタスクを分散処理化した事である。ハードウェアリソースを効率的に活用す

る事で、従来からの画像処理及び車両制御処理の高度化と、新世代アイサイトシステムで実現する各機能に必要な追加処理の実装を行うことが出来た。

三つ目は､機能安全対応ソフトウェアの導入である。高度化が進み様々な振る舞いをするアイサイトシステムの中で、画像認識マイコン、制御マイコンの双方において各マイコンの出力の監視を実施し、各要素において故障が発生した際にも、意図しない振る舞いを最小化する事を狙いとしている。

4.　車両への取付と防曇システム

第5世代ステレオカメラは、フロントガラスへ取り付ける構造とした。これは、初代からのステレオカメラで歴代採用してきたフロントレールへの取り付けからの変更である。

4.1　フロントガラス取り付け構造

アイサイトは、ステレオ測距のみで遠方検知を行うため両カメラ間の距離を大きくとる必要がある。結果、部品が大きくなることから乗員の視認性やワイパでの払拭性能との両立を行うことが常に課題となる。第5世代ステレオカメラでは、カメラ視野角を周辺部品に干渉しないよう配置し、ワイパ払拭エリアに収めるためフロントガラスへ直接取り付ける構造とした。

第5世代ステレオカメラでは、カメラ視野角をレンズフードにて覆い、レンズの保護やフロントガラスへの映り込み防止を行った。同時にドライバー視界への影響を最少にするためレンズフードが最少サイズとなるよう、ステレオカメラの取り付け位置やレンズフード形状を設計した。レンズフード形状、ドライバー視界とワイパ払拭エリアの関係性を図3に示す。

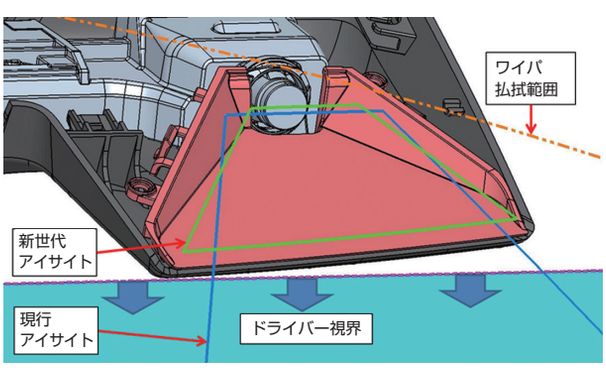


図３　カメラレンズ周りの構造

この変更に伴い、フロントガラスのカメラ画角領域に対しデフォッガのみで曇りを解消する事が困難となったため、第5世代ステレオカメラでは防曇システムを導入し、窓曇りによるカメラの視界不良を防いでいる。防曇システムについては4.3で説明する。

4.2　フロントガラス貼り付け用ブラケット

ステレオカメラは、フロントガラスに接着した樹脂製ブラケットに固定する。カメラサイズに合わせてブラケットが大型となるため、熱伸縮により発生する応力の緩和と曲率を持つガラスへの追従性が課題となる。

この課題に対応するため、樹脂ブラケットを大きく3分割にし、S字形状の連結部材で繋げることで、横、曲率方向へ柔軟性を持たせる構造とした(図4)。

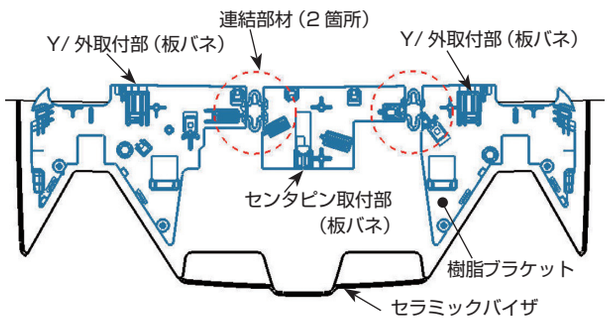


図４　樹脂製ブラケット

ステレオカメラに設けられたピンは3点の板バネにより、車室内側に設けた樹脂の受け部に押し付けることで安定して確実に固定することができる構造とした。また、工具を使用せず、ワンタッチで着脱可能な取付け方式を採用した(図5)。

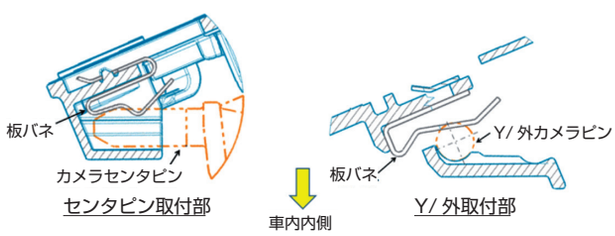


図５　ステレオカメラ勘合構造

4.3　防曇システム

アイサイトの耐環境性を高め、お客様が使用できる時間をより長く確保するため、ステレオカメラ前方のフロントガラス内側を防曇／除曇するシステムを新規に搭載した。

図6のように、ヒータパッチをレンズフード下面に貼付し、レンズフード越しにフロントガラスを加熱することで、防曇／除曇機能を実現する。

防曇システムの制御はステレオカメラで行っており、車外気温やエアコン情報等を基にフロントガラスの曇り易さを推定し、ヒータパッチのON/OFFを判断している。加えて、現在の制御情報やヒータパッ

チの温度等を監視することで、防曇システムの故障検知を随時行っている。

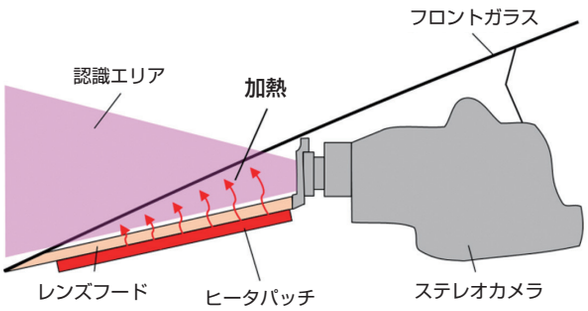


図６　ヒータパッチの加熱イメージ

5.　まとめ

新世代アイサイトでは、ステレオカメラの全面刷新を行い、広角化を中心とした基本性能の向上を行った。従来からの機能の性能向上と新機能追加のキャパシティを拡大し、SUBARUが目指す2030年でのSUBARU車が関わる死亡交通事故ゼロに向け、さらなる安全性の向上と運転負荷の軽減に寄与した。

6.　謝辞

最後に、本製品の開発に多大なるご協力を頂きました、関係者の皆様に、心より御礼申し上げます。

【著　者】

木戸 辰之輔

片平　　聡

齋藤　達司

井邉　敏之

石井　雅也

髙橋　一輝

野津 健太朗

長谷川　聡

新世代アイサイト衝突回避機能の開発

Development of Pre-Collision Braking System for “New EyeSight”

加藤真士[*1] KATOU Shinji
松原正悟[*1] MATSUBARA Shogo
菅野愛都[*1] KANNO Aito
香園和也[*1] KOZONO Kazuya
荻野修[*1] OGINO Shuu
熊谷光[*2] KUMAGAI Hikaru
園木太郎[*2] SONOKI Tarou

抄　録

2030年死亡交通事故ゼロの実現に向け、アイサイトの衝突被害軽減ブレーキの改良を行い、レヴォーグに初搭載した。本システムではアイサイトver.3に比べてステレオカメラを広角化するとともに、新たに前側方レーダを追加し、重傷事故の防止に取り組んだ。具体的には交差点で右左折する際の対向車や横断する歩行者、自車の側方から横断してくる車両や自転車に対して、衝突回避や被害軽減を実現している。本稿ではその進化した衝突被害軽減ブレーキに関するセンシング技術と機能について述べる。

Abstract

SUBARU has improved Pre-Collision Braking System for the “New EyeSight” towards “zero fatal road accidents” in 2030. This system is mounted on the SUBARU new LEVORG. We have worked on the prevention of serious injury accidents with the stereo camera with the view angle expanded from the “EyeSight (ver.3)” and additionally installed front corner radar sensors. The system enables to avoid collisions, or reduce impact damages on pedestrians or oncoming cars when making left or right turns, or cars and bicycles crossing from the sides. This paper describes the sensor technology and functions of the advanced “New EyeSight”.

1. まえがき

近年、衝突被害軽減ブレーキ(以下、プリクラッシュブレーキ)システムは多くの新型車に装備され、前方車両や横断歩行者に対して、衝突の可能性が高い場合にブレーキを作動させることにより被害軽減や衝突回避することが可能になる。システムによる事故低減率の効果が認知されるようになり、国内では2018年度から国交省による衝突被害軽減ブレーキ認定制度が始まった。さらにプリクラッシュブレーキの法規化に向けた検討が開始されており、今後もシステムの普及と性能向上の技術進歩が注目されている。

SUBARUは、「アイサイトver.3」で特に事故が多い前方車両や横断歩行者に対する被害軽減ブレーキを量産化し事故低減に貢献してきた。そして、「死亡交通事故ゼロの実現」に向けて従来システムでカバーできていない出会い頭や交差点事故の事故形態に対応するため、「新世代アイサイト」では、ステレオカメラの視野角を2倍弱拡大し、さらに前側方レーダの追加、ブレーキシステムの応答性向上を図ったことにより、交差点で右左折する際の対向車や横断する歩行者、自車の側方から横断してくる車両や自転車に対して、ブレーキを作動させることで衝突回避や被害軽減を実現する機能を開発した。

本稿では、「新世代アイサイト」のプリクラッシュブレーキの開発の狙いと機能・メカニズムについて述べる。

2. プリクラッシュブレーキの開発アプローチ

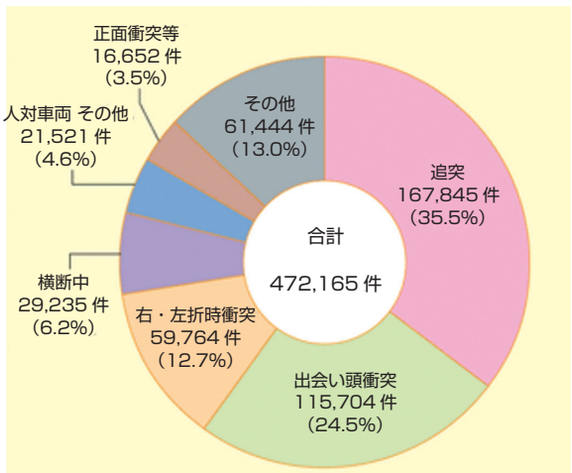
アイサイトのプリクラッシュブレーキ機能は、実際の事故に対して事故低減効果の高いものをより早く市場に出していくことを重視して開発をしている。

図1に示す国内市場の事故統計から事故件数をみると、追突事故の件数が最も多く、続いて出会い頭での事故が24.5%、右左折時の事故が12.7%となっており、これらの事故に対応できるシステムを開発することが

＊1 先進安全設計部
＊2 車両研究実験第四部

重要である。さらに、交通弱者である歩行者や自転車との死亡事故は、横断中が最も多く「新世代アイサイト」では、以下の事故形態に対応するシステムを開発した。

・追突車両、歩行者、自転車
・横断する歩行者、静止歩行者
・横断する自転車（新機能）
・対車両の出会い頭（新機能）
・交差点での右左折時（新機能）



注　1. 警察庁資料による。
2.「人対車両その他」とは、人対車両の事故のうち「横断中」以外の、対面通行、背面通行、路上横臥等をいう。
3.「正面衝突等」とは正面衝突、路外逸脱及び工作物衝突をいう。
4.（　）内は構成率である。

図１　事故統計

次章では、「新世代アイサイト」のプリクラッシュブレーキのシステム構成について述べる。

3.　プリクラッシュブレーキのシステム構成

「新世代アイサイト」のプリクラッシュブレーキは、新たな事故形態に対応するため、検知できる領域を増やす必要があった。そこで視野角を2倍弱拡大したステレオカメラと77 GHzのミリ波レーダ（以下、前側方レーダ）を使ったシステム構成を採用した（図2）。

ステレオカメラは、車両や歩行者、自転車等の立体物に対して、距離や大きさ等3次元の環境認識が可能であり、自車の前を横断してくる歩行者・自転車を精度よく検知できる。前側方レーダでは、ステレオカメラの視野角外から横断してくる車両を遠い位置から検知する。これによって、出会い頭での事故や横断中の事故のあらゆるシチュエーションに対応することが可能になった。

2つのセンサで検知した対象物の情報をもとにステレオカメラ内の制御ECUで衝突判断を行い、メータへの表示と警報、ブレーキ制御を組み合わせることでドライバへの注意喚起と衝突の被害軽減または回避を行う。関連するユニットの構成図を示す（図3）。

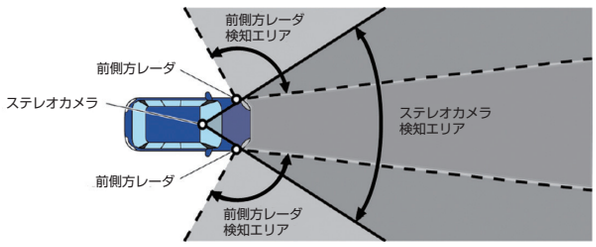
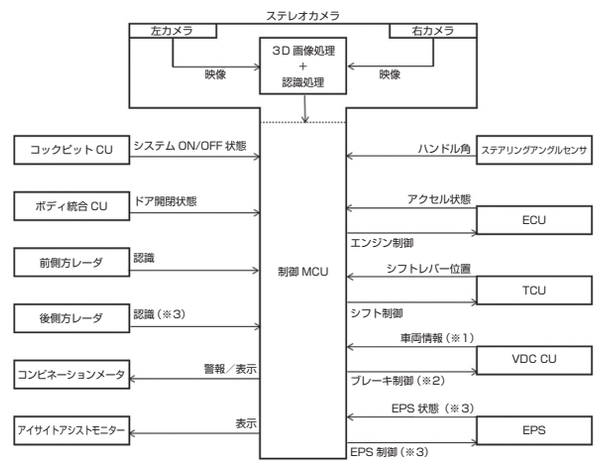


図２　新世代アイサイト検知エリア



※1：ブレーキ操作状態、ステアリング舵角認識、ヨーレート認識、前後 G 認識、車速、前後進判定、VDC 作動状態、EPB 状態
※2：ブレーキ制御、ブレーキランプ点灯、EPB 制御
※3：プリクラッシュステアリングアシストのみ

図３　システム構成図

次章では、新規に追加した衝突回避機能について述べる。

4.　進化したプリクラッシュブレーキの機能

4.1　高速道路走行時の前方停止車両

高速道路の死亡事故は、相対速度が高い追突が多くの割合を占めている。これらの事故に対応すべく、追突時のプリクラッシュブレーキの性能向上を実現した。「新世代アイサイト」では、物体認識アルゴリズムの強化、地図ロケータユニットから高速道路本線走行中の情報を取得することで、制御対象物かどうかの判断と信頼性を向上させた。しかし、プリクラッシュブレーキの介入タイミングが早くなるとドライバの通常運転に対して、早期作動の懸念が発生する。そこで、高速道路では渋滞最後尾の車両に対して、最適なプリクラッシュブレーキタイミングとなるように適合し、ドライバへの通常操作に影響ないことを確認した（図4）。その結果、大きい減速度を早く出せるようになり（図5）、高速道路本線上の衝突回避可能な速度域を引き上げ、重傷事故の低減を実現した。

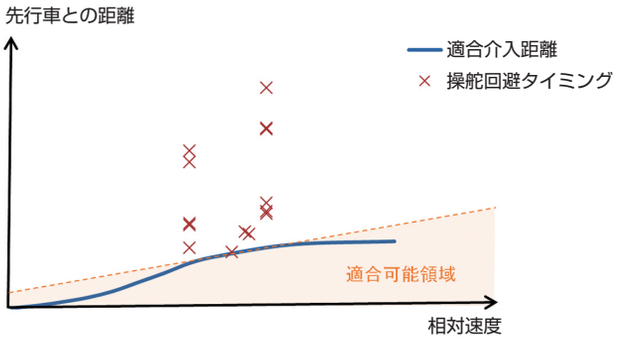


図４　介入距離と操舵回避タイミングの比較

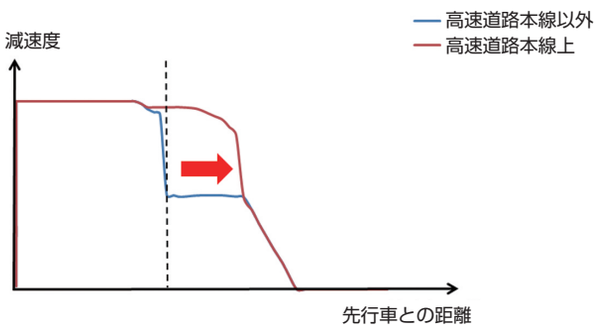


図５　先行車距離と減速度の比較

4.2　出会い頭での横断車両

SUBARU初採用となる前側方レーダは、横断してくる車両を遠い位置から検知できるようになり、単眼カメラ含め前方センサでは検知が厳しい出会い頭事故に対応した前側方プリクラッシュブレーキを実現した。作動速度域は図６の日本市場の出会い頭事故からブレーキは自車速度約1～20 km/h、警報は約1～60 km/hとし、対象の速度は約5～60 km/hとした。

警報やブレーキの制御判断はステレオカメラ内のECUで実施するシステム構成にすることで、従来のプリクラッシュブレーキと連携を可能した。同ECU内での処理とすることで、ブレーキの制御指示などのノウハウを前側方プリクラッシュブレーキ開発に活かした。

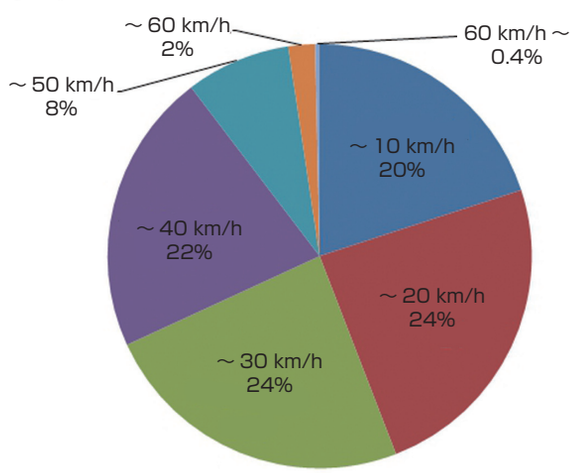


図６　出会い頭事故統計（速度別）

続いて、警報について述べる。出会い頭事故は追突事故と異なり、対象物がドライバの視界に入らないケースもあり、警報のタイミングが非常に重要である。そこで、対象が自車横方向に高い速度で移動しているため、自車の減速量が少なくても対象が自車の目の前を通り抜けることで衝突回避できる特性に着目した。対象が自車の目の前を通り抜けることで衝突回避できるタイミングを狙って適合し、ドライバにとって最適なタイミングでの警報を実現した。また、出会い頭事故では、ドライバが左右どちらから危険が迫っているか、瞬時に判断する必要がある。そのため、メータ表示に、対象物体の接近方向を通知する、専用の警報表示を追加した(図7)。

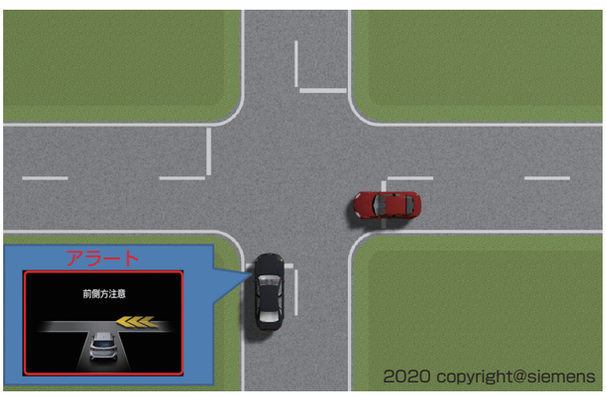


図７　前側方プリクラッシュブレーキ作動例（警報）

4.3　交差点での対向車や右左折時の横断歩行者

出会い頭に次いで、主に交差点内で自車が右左折している際の対向車や対向歩行者との衝突事故が多い。

これら事故に対応するために、自車旋回時のプリクラッシュブレーキを実現した。自車旋回中の衝突判定には、自車と対象物の進行路の推定精度が重要である。「新世代アイサイト」では、自車の旋回軌跡の算出方法を改良し、自車および画像上の対象物の進行路の推定精度を向上させた。また、制御対象となる対向車および歩行者の認識性能に加え、ステレオカメラの強みである3次元距離情報を活用した車両コーナー位置検出により、進行路推定のロバスト性を向上させた。そして、これら認識情報を基に衝突位置を推定し、実路走行をベースとした衝突判断により本機能を実現した。

図8、図9に、右左折時の対向車および歩行者の識別、衝突位置の推定結果例を示す。

図８　右直時の対向車と衝突予想位置

図９　右折時の横断歩行者と衝突予想位置

4.4　横断自転車

国内における自転車の死亡重症事故の約半数は横断中の事故である。これらの事故を救うために従来のシステム「アイサイトver.3」に対して視野角を拡大し、特徴量を機械学習することで横断速度の高い自転車に対しても認識が可能となった(図10)。また従来のブレーキシステムに比べ、減速応答性能が高い電動ブレーキブースターを搭載することでプリクラッシュブレーキ時の制動距離を短縮し、衝突回避性能と不要作動性能の両立を実現した。

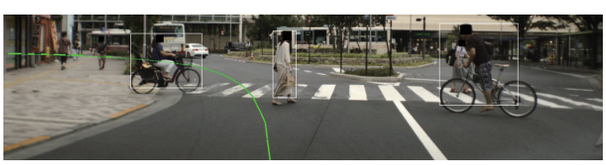


図 10　自転車認識の例

4.5　ブレーキ制御

新型レヴォーグでは、プリクラッシュブレーキの減速応答性能が高い電動ブレーキブースターを採用した。これにより最大減速度を発生させるために必要なブレーキ圧まで昇圧する時間が短くなり、ステレオカメラ内で衝突判断して減速指示を出した後、すぐに最大減速度を出せるようになった。プリクラッシュブレーキによる制動距離が短くなったことにより、特に対象物との距離が短く急減速が必要な場合や、飛び出し歩行者、高速域でプリクラッシュブレーキが作動したときの速度低減効果を高めた(図11)。

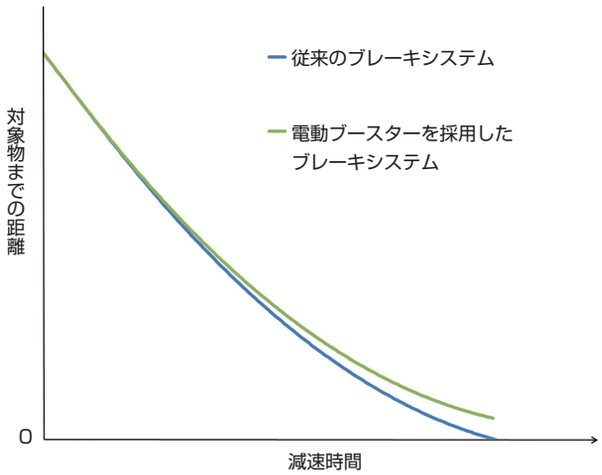


図 11　対象物までの距離の比較

5.　まとめ

「新世代アイサイト」のプリクラッシュブレーキは、ステレオカメラの視野角拡大と前側方レーダを追加したシステムを採用したことにより、多くの事故形態に対応し、衝突回避性能の向上を実現した。SUBARUが目指す「死亡交通事故ゼロの実現」に向けてさらに一歩近づき、安全性の向上をお客様に提供できると考えている。

6.　謝辞

最後に、本製品の開発に多大なるご協力をいただきました関係者の皆様に、心より御礼申し上げます。

参考文献

(1) 内閣府　交通安全白書
https：//www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/index-t.html
平成29年中の道路交通事故の状況より
(2) 公益財団法人 交通事故総合分析センター
https：//www.itarda.or.jp/
交通事故集計ツールより
(3) PreScan：(2020 copyright@siemens)

【著　者】

加藤　真士

松原　正悟

菅野　愛都

香園　和也

荻野　　修

熊谷　　光

園木　太郎

SUBARU「新型レヴォーグ プロトタイプ STI Sport」を初公開
～ SUBARU初となる電子制御ダンパーやドライブモードセレクトを採用～

2020年1月10日

東京オートサロン2020において、「新型レヴォーグ プロトタイプ STI Sport」を初公開。
新型レヴォーグの進化した走行性能にさらなる磨きをかけた、革新し続けていく「SUBARUの走りの未来」を切り拓く1台です。

新型レヴォーグ プロトタイプ STI Sport

新世代アイサイト向け 高度運転支援機能の開発

Development of Highly Advanced Driver Assist Functions for New Generation EyeSight

金 井 聡 吾[*2] KANAI Sogo
青 山 裕 紀[*1] AOYAMA Yuki
五十嵐 慶 之[*1] IGARASHI Yoshiyuki
倉 上 優 輝[*2] KURAKAMI Yuki
田 口 徳 昭[*2] TAGUCHI Noriaki
竹 原 裕 生[*2] TAKEHARA Yuki
茂 木 啓 輔[*2] MOTEGI Keisuke
谷田貝 拓 朗[*2] YATAGAI Takuro
由 川 輝[*2] YOSHIKAWA Hikaru
吉 村 礁 太[*2] YOSHIMURA Shota

抄 録

新世代アイサイトでは、通常機能に加えて高精度地図ロケータや前側方・後側方レーダなどの情報を用いることで、高度運転支援機能の開発を行った。ステレオカメラだけでは見えない車両周辺の道路環境を把握することにより、作動範囲を拡張し利便性の高い以下の機能を実現した。

・渋滞時ハンズオフアシスト
・アクティブレーンチェンジアシスト
・カーブ前速度制御
・料金所前速度制御
・渋滞時発進アシスト
・ドライバ異常時対応システム

本稿では、上記の高度運転支援機能に関する詳細について述べる。

Abstract

In the new generation EyeSight, we have developed highly advanced driver assist functions by using information provided by systems such as high-precision map locator and front and rear corner radars. By understanding the road environment around the vehicle, which cannot be seen only by the stereo camera, we have expanded the operating range and realized the following highly convenient functions.

・Trafic jam hands off assist
・Active lane change assist
・Adaptive curve speed control
・Adaptive Toll Gate speed control
・Trafic jam start assist
・Emergency driving stop system

In this paper, the details of the advanced driving support function are described.

1. まえがき

新世代アイサイトでは、ステレオカメラの視認角・視認距離の拡大、画像処理性能の向上と制御演算ECUの処理能力向上を行ったことに加えて、前側方・後側方を監視する4つのレーダを使用して、実車周辺に存在する車両の検知性能を向上した。また、高精度地図ロケータと連携した自車走行位置の推定精度の向上と、先方の道路状況の取得、ドライバモニタリングシステム等の車載センサと協調することで、基本のアイサイトの機能に新たな高度運転支援機能を追加することで、世界トップレベルの安全性と利便性を備えた運転支援機能を実現した。

2. システム構成

高度運転支援機能を実現するために、新世代アイサイトの基本構成に加えて、レーダ、高精度地図ロケータ等のそれぞれのセンサ情報から「走る・曲がる・止まる」を演算し、各アクチュエータへ指示を行う構成になっている(**図1**)。高度運転支援機能は、以下の運転支援機能を実現している。

・渋滞時ハンズオフアシスト
・アクティブレーンチェンジアシスト
・カーブ前減速機能
・料金所前減速機能
・渋滞時発進アシスト
・ドライバ異常時対応システム

本稿では、これら機能の詳細について述べる。

＊1 車両研究実験第4部
＊2 先進安全設計部

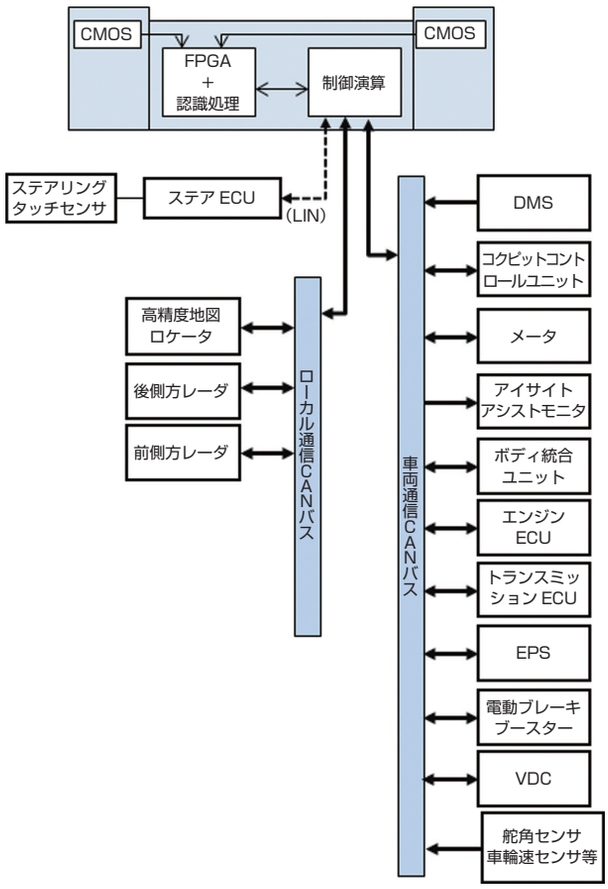


図 1　新世代アイサイト＋高度運転支援システム構成

3.　渋滞時ハンズオフアシスト

自動車専用道路の渋滞環境において、車線中央維持･先行車追従操舵制御機能（以下、LKS機能）が作動、かつシステムによって安全と判断された状況下で、ドライバがハンドルから手放すことを許容する機能。従来のLKS機能では、一定時間ハンドル操作を行わないと、警告表示や警報音の吹鳴により注意喚起を行った後、LKS機能が非作動状態になっていたが、システムの冗長化や周辺監視性能の向上によって手放しでの走行を可能とした。

3.1　開発の狙い

本機能は、渋滞時におけるドライバの運転負荷を軽減することを目的に、より安全に安心して使用できるシステムを目指して開発を進めてきた。

3.2　動作仕様

3.2.1　作動条件

安全に走行できる状況であること（ドライバ・車両・環境）をシステムが判断することで、自動で本機能の作動が開始される（表1）。

表 1　渋滞時ハンズオフアシスト作動条件 例

No.	条件
1	LKS 機能が作動中（アイコンが 表示時）
2	先進運転支援システムが ON（アイコンが 表示時）
3	ドライバの ハンドル操作 を検知
4	ドライバの 前方監視 を検知
5	車速が 50 km/h 以下 かつ 0 km/h 超
6	作動可能な道路の走行を検知

3.2.2　制御内容

本機能が作動開始すると、通知音が吹鳴し、メータ上のACC、LKS、高度運転支援（以下、ADAS）関連のアイコン表示が青色に変化する（図2）。

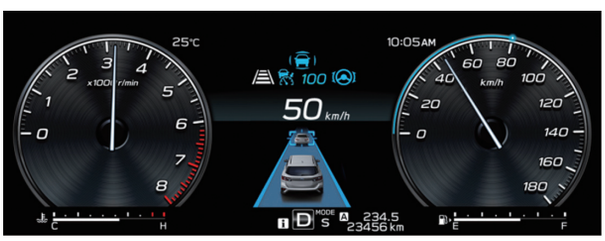


図 2　渋滞時ハンズオフアシスト メータ表示

地図ロケータの搭載によって、走行車線前方の道路形状や環境、それらまでの距離が検知できる。それらの情報を用いて、本機能が継続できない環境への接近が検知された場合には、事前にハンドル操作の実施を促す。この事前の報知により、安全でかつ余裕を持ってドライバが運転操作を引き継ぐことが可能となる（図3、4）。

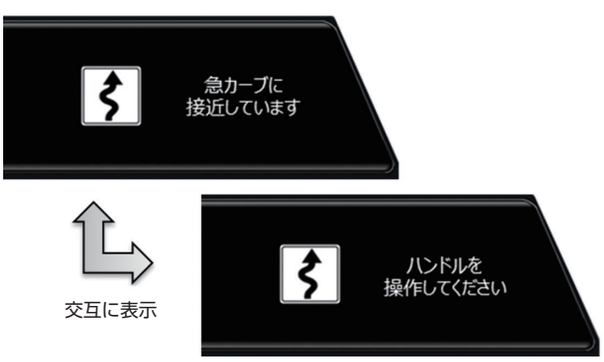


図 3　急カーブ接近 1 次お知らせ表示

図 4　急カーブ接近 2 次お知らせ表示

また、本機能作動中に、安全の確保のためにドライバに対してハンドル操作を要求する条件と表示内容を以下に示す（表2）。

表２　事前のハンドル操作要求 表示条件 例

No.	条件	表示内容
1	ドライバの 脇見 を検知	『 前方注意 』
2	ドライバの 閉眼 を検知	『 居眠り警告 』
3	ドライバの 居眠り を検知	
4	急カーブへ 接近したこと検知 （急カーブ接近 1 次お知らせ）	『 急カーブに 接近しています 』（白） 『 ハンドルを 操作してください 』（白）
5	急カーブへ より接近したことを検知 （急カーブ接近 2 次お知らせ）	『 急カーブ接近 ハンドルを操作 』（黄）

3.2.3　センサ冗長化による安全担保

従来のLKS機能では、ステレオカメラで認識した情報のみを基に、ハンドル制御をしていた。本機能では、高精度地図ロケータの搭載により、ステレオカメラの失陥や周辺環境の誤検知時に、地図ロケータの情報を用いてハンドル制御を継続しながら、ドライバが保舵するまでの時間を確保し、より安全な運転操作の引継を可能とした。

また、ステレオカメラと地図ロケータの双方の情報を利用できる場合に本機能が作動でき、一方のセンサの検知精度が低下した場合や、周辺環境を誤検知した場合に、もう一方のセンサ情報を用いてハンドル制御を継続する（表3）。

表３　センサの検知状況 と 制御内容

項目	要因例	対応
ステレオカメラ 検知精度低下	・悪環境 （大雨、雪、車線のかすれ）	地図ロケータ情報をもとに ハンドル制御を継続
地図ロケータ 検知精度低下	・GPS 受信感度低下 （トンネル、周囲のビル群）	ステレオカメラ情報をもとに ハンドル制御を継続
ステレオカメラ 誤検知	・悪環境 （大雨、雪、車線のかすれ） ・IC 出口の分岐を誤検出	地図ロケータ情報をもとに ハンドル制御を継続
地図ロケータ 誤検知	・地図情報が古い （車線の引き直し） ・急カーブ等での ジャイロセンサのズレ	ステレオカメラ情報をもとに ハンドル制御を継続

図5にステレオカメラ誤検知の代表例を示す。渋滞などで車間距離が狭くなり、車線が先行車の陰に隠れると、ステレオカメラでは車線の検知が難しい場合がある。万が一ステレオカメラが走行車線ではない車線（図5の出口側）の経路を検知してしまった場合、先行車の位置情報などから地図ロケータで検知している走行経路が正であると判定し、地図ロケータ情報を用いてLKS制御継続しハンドル操作要求を行う。

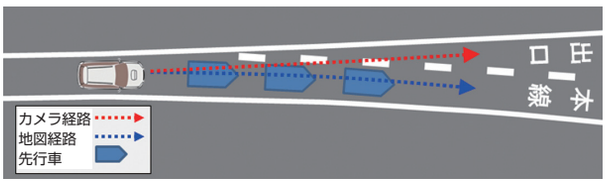


図５　ステレオカメラ誤検知の例 _IC 出口分岐

図6に地図ロケータ誤検知の代表例を示す。地図情報が古く、地図ロケータが白線引き直し前の走行経路を出力してしまった場合、先行車の位置情報などからステレオカメラの走行経路が正であると判定し、ステレオカメラ情報を用いてLKS制御を継続し、ハンドル操作要求を行う。

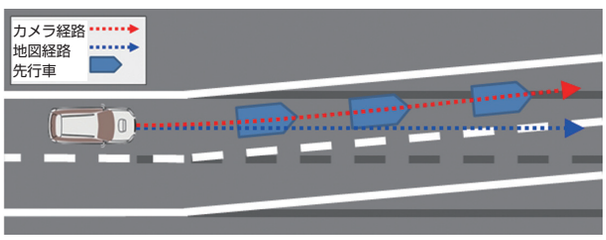


図６　地図ロケータ誤検知の例 _ 白線の引き直し

3.2.4　解除条件

ドライバによるACC/LKS/ADASのキャンセル操作の他に、ドライバ状態・道路環境・周辺監視性能等の低下によって、手放しを許容できなくなった場合などに、本機能が解除される（表4）。

表４　渋滞時ハンズオフアシスト 解除条件 例

No.	条件
1	ドライバが 脇見 を継続
2	ドライバが 閉眼 を継続
3	ドライバが 居眠り を継続
4	ドライバを 検知不可
5	ACC 機能のキャンセル
6	LKS 機能のキャンセル
7	先進運転支援 を OFF
8	急カーブ 目前に到達

本機能の解除時、ドライバのハンドル操作を検知していない場合は、“ドライバ異常時対応システム”を作動する（詳細は8章に記載）。

4.　アクティブレーンチェンジアシスト

本機能は、片側2車線以上の自動車専用道路を約70～120 km/hでLKS機能が作動しているとき、運転者が方向指示器を操作することで、方向指示灯が点灯している方向に車線変更を行うようにハンドル操作をアシストする。従来のLKS機能のみでは、方向指示灯を

作動させると機能がキャンセルされていたが、本機能により操舵支援としての領域を拡大した(図7、図8)。

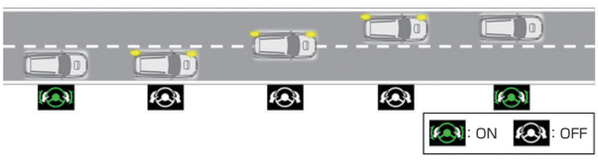


図７　従来の操舵支援機能の作動状態

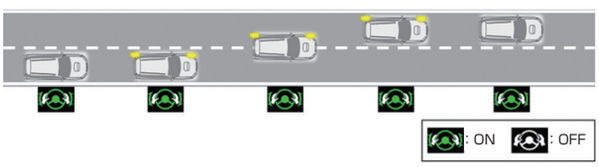


図８　高度運転支援の操舵支援機能の作動状態

4.1　開発の狙い

アクティブレーンチェンジアシスト機能では、周辺監視の負荷を軽減することで運転者が安全に愉しく運転し、シームレスなハンドル操作のアシストにより同乗者が快適に過ごせる様に、「後部座席も含めて快適な」運転支援をコンセプトとし、開発を進めてきた。

4.2　周辺車両検出・周辺環境検知

本機能を実現するにあたって、新世代アイサイトと4つのコーナーレーダを採用した(図9)。車両の4隅にレーダを搭載することで、ステレオカメラでは検出することのできなかった自車両周囲の車両検出を実現した。自車線後方と隣車線を走行している車両の位置・速度差を考慮し、実施許可を判定することで運転者の周辺監視をアシストする。また工事などでパイロン等が置かれていることをステレオカメラが認識した場合は、レーンチェンジの抑制を行っている。

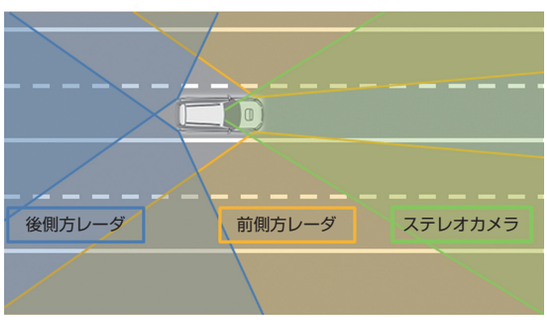


図９　周辺車両検出を行う各種センサ

4.3　車線検出

ステレオカメラの視認角の拡大と画像処理性能の向上により、従来の本車線を認識する機能に加え、隣車線を認識する機能を新規に追加した(図10)。

隣車線を認識することで、レーンチェンジの目標となる車線の有無と車線形状をリアルタイムで検知し、走行環境に合わせたレーンチェンジを可能とした。

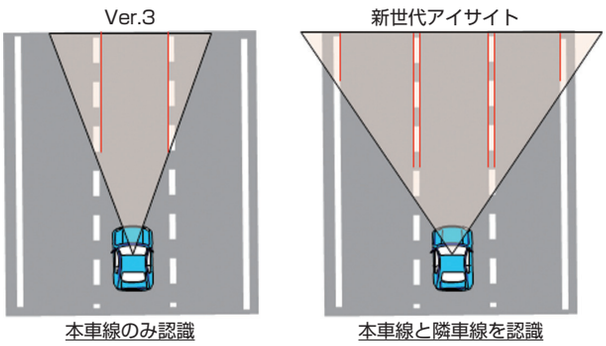


図 10　視認角の拡大による認識範囲の拡張

隣車線は並走車に隠される頻度が高く、また夜間はヘッドライトの照射距離が狭いため、安定して認識することが困難になる。これらの課題に対し、撮像画像の明るさ最適化や道路形状の推定／補間を駆使し、あらゆる環境で隣車線を安定して認識できる技術を実現した。

また、白線の実線／破線を判別する機能も新規に追加した。レーンチェンジの際に実線をまたいでしまう危険挙動を抑制することで、安心して使えるレーンチェンジを実現した。

4.4　経路生成

本機能を実現するために、隣車線へ車両を移動させる経路を生成する必要がある。

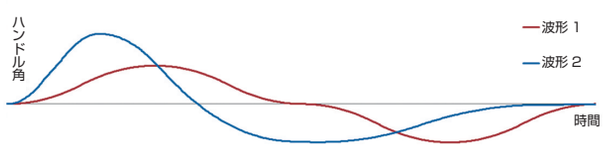


図 11　車線変更時のハンドル角例

単純な計算で車線変更を実施する場合、図11の波形1の様な操舵の仕方が一例として挙げられるが、この場合「左右対称な操舵による機械的な印象」、「車線変更中の横方向の加速度の不連続性による違和感」といった課題が挙げられる。そこで、これらの課題を解決し自然な動きを再現するために、テストドライバの車線変更時のデータを解析したところ、図11の波形2の様に、隣車線に向けたハンドルの切出し角の最大値が、隣車線に収束するための切戻し角よりも大きく、また、切出しの時間は切戻している時間よりも短いことが分かった。解析結果を基に、切出しと切戻しを2つの計算式を用いることで時間の比率を分け、ジャーク(躍度)の次元から考慮することで横方向の加速度の不連続性を抑えることで、自然なフィーリングの操舵を実現した。

4.5　ACCとの協調

4.5.1　ACC協調開発の狙い

周辺の交通の流れに乗って安心して巡航するためには、前後車両との相対速度を小さく走行する事がポイントである。巡航速度が異なる車線へ車線変更したい場面は多々ある。その場合でも安心して車線変更するために、目標車線の前後車両との相対速度を早期に小さくしながら車線変更する制御を構築した。

4.5.2　動作仕様

巡航速度が異なる車線への車線変更におけるACC協調制御の代表シーンは以下の2通り。

一つ目は「自車より遅い前側方車両の後ろに車線変更」。従来の対象車両と同一車線内の後方位置についた時に減速を開始する仕様から、対象車線との区画線を踏み超える前から減速を開始する仕様に変更した。減速開始タイミングを早める事で、従来機能比で小さな減速での車線変更を可能とした(図12、図13)。

また、車線変更に強い減速を要すると判断した場合は車線変更をせずに通過し、車線変更制御をキャンセルさせる安全制御を構築した(図12)。

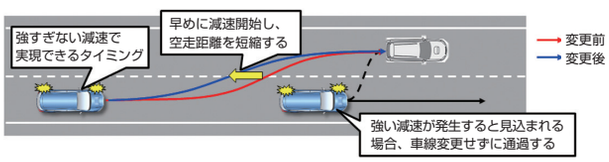


図 12　車線変更時の早期減速

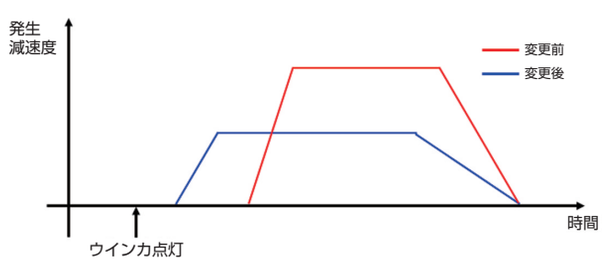


図 13　車線変更時の早期減速対応効果

二つ目は「ACC設定車速よりも遅い先行車両の後ろから追い越し車線方向(日本国内であれば右側)に車線変更」。この場面において、ACC機能にはウインカ点灯後に車線変更中からACC設定車速へ加速する制御が従来から存在している。従来製品は車線変更支援機能がないため、車線変更に時間を要するドライバも考慮して制御加速は低く設定している。一方、アクティブレーンチェンジアシスト機能においては横移動がシステムで制御できるため、ACC制御加速の最適化を実施し、車線変更前の十分な加速を実現した(図14、図15)。

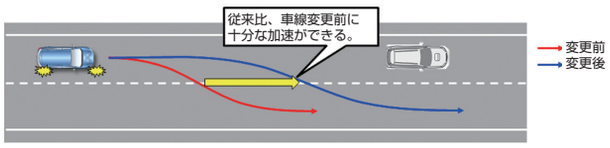


図 14　車線変更時の早期加速

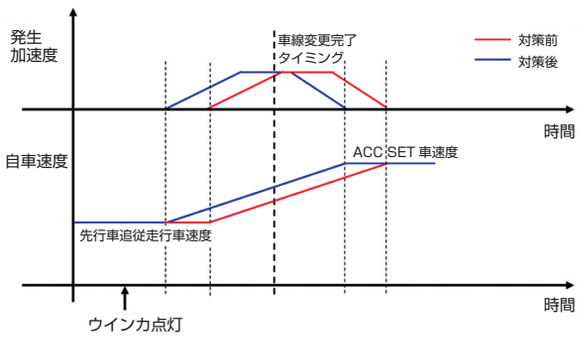


図 15　車線変更時の早期加速対応効果

5.　カーブ前速度制御

本機能は、高速道路においてACCを使用中、自車前方のカーブ半径情報をロケータから取得する事で、カーブ到達前から減速または加速抑制の制御を実施する。

5.1　開発の狙い

従来、アイサイトのACCではカーブ到達時にヨーレートセンサが旋回を検知してから加速抑制を実施していたため、単独走行中であればドライバーが操作を引き継がなければ高い車速のままカーブへ突入してしまう。本機能の開発目的はドライバが減速操作する事なく、カーブに適した車速へ制御する事で、ドライバが安心してACCを使用出来るシーンの拡大である。

5.2　動作仕様

5.2.1　作動条件

本機能はACCの機能の拡張であるため、ACCがSET状態である時に作動する。ACCには数種の加速度制御処理が存在するが、カーブ前速度制御はその中の1つに組み込まれ、計算した制御量はその他の加速度制御と調停される。例えば、カーブで先行車に追従している場合、速度が十分に低い先行車であれば追従制御が選択されるが、速度が高い先行車のときはカーブ前速度制御が選択される。

図16はカーブ前速度制御の処理を示すが、カーブ前速度制御機能を有効にしている状態でも環境条件により、制御しない事がある。ロケータの特性上、電波状況によって走行レーンを特定出来ない場面があるため、IC、JCT等での誤ブレーキ防止を重要とした。

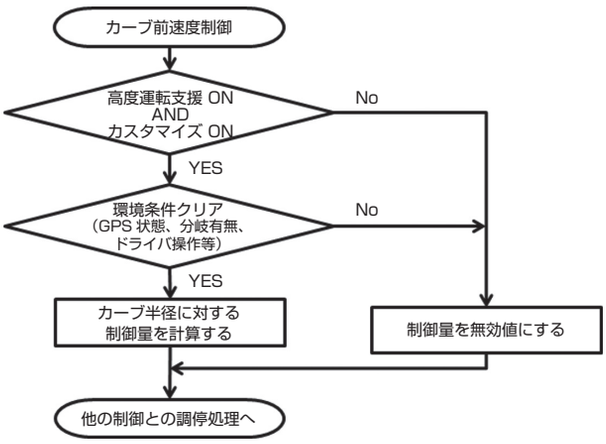


図 16　カーブ前速度制御フロー

5.2.2　カーブに対する制御量計算

この機能を実装するにあたり、カーブに対する目標車速を決める必要がある。この値は本機能のフィーリングを最も特徴づけるパラメータである。

図17に示すように、カーブ半径に対する速度が高すぎると安心感が不足する反面、速度が低すぎるともたついて周囲の流れに乗る事が出来なくなる。これらを両立出来る値を机上検討と車両評価にて適合した。

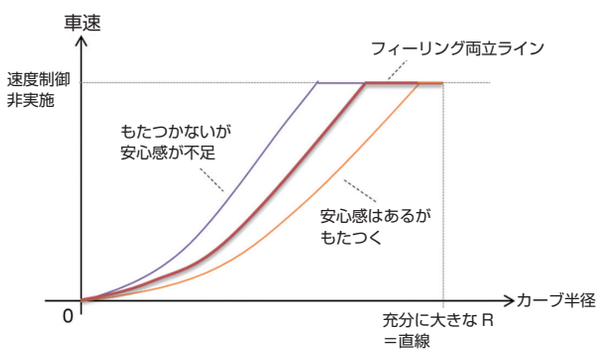


図 17　目標車速適合のイメージ

カーブ到達時にこの目標車速に達する制御を行うために、自車前方のカーブ情報を取得する。例えば、図18のようなシーンにおいては図19のような情報を取得する。

本機能ではカーブに応じた車速にするための制御量は加速度（減速度）である。近いカーブ程緊急性が高くなるために制御量が大きくなる一方で、カーブ半径が小さい程目標車速が低くなるためやはり制御量が大きくなる。よって、図18のような連続カーブのシーンでは手前にある緩いカーブ①よりも、遠方の急なカーブ②に対しての制御量が上回る事がある。

これらを踏まえた上で様々な形状のカーブにて試験を行い、加減速の適合を施してあらゆるカーブでの自然なフィーリングを実現した。

図 18　カーブ走行例

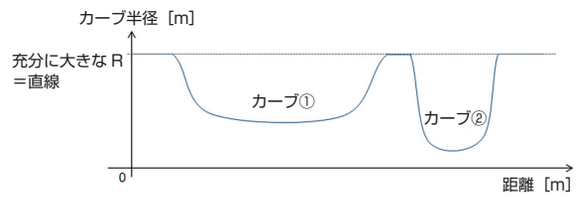


図 19　カーブ情報（半径）の取得例

6.　料金所前速度制御

本機能は、高速道路の料金所通過前にACCを使用している際、自車前方の料金所ブースまでの距離情報をロケータから取得する事で、料金所ブースの到達前から減速・加速抑制を実施する事で料金所を安全に通過するサポートを行う。

6.1　開発の狙い

料金所シーンにおいて、従来までのACCは先行車がいなければ設定車速による制御を実施するため、ドライバーが操作を引き継がなければ料金所を通過する事は出来なかった。理由としては誤認識防止の観点で料金所の停止バーを制御対象として認識していない事や、そもそも料金所が視界に入る前から制御を開始する必要があるためである。

本機能は安心してACCを使用出来るシーンの拡大を目的としている（ETC使用時のみ通過までサポート）。

6.2　動作仕様

6.2.1　作動条件

本機能はACCの機能の拡張であるため、ACCがSET状態である時に作動する。カーブ前速度制御同様、複数のACC加速度制御処理の中の1つに組み込まれ、計算した制御量はその他の加速度制御と調停される。

図20に料金所前速度制御の概要を示す。ロケータからの情報を用いる制御であるため、基本的な条件はカーブ前速度制御と共通である。

6.2.2　料金所に対する制御量計算

この機能の制御量を決めるにあたり、特別に注意すべき点は2点ある。

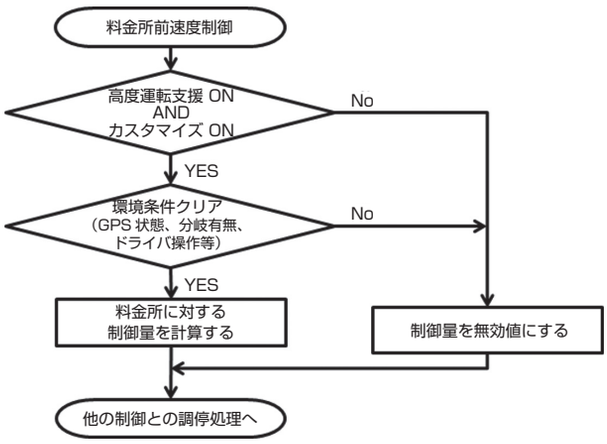


図 20　料金所前速度制御フロー

1つ目は料金所の停止バーを認識出来ない点である。ロケータを用いてもバーの開閉状態は判定出来ないため、この点については従来同様である。よって、通常時はバーが確実に開くタイミングで料金所内を通過出来る事はもちろん、万一のトラブルでバーが開かなかった場合もドライバが十分にブレーキを踏む余裕がある事を考慮して、速度や加減速の大きさ・タイミングを決めなければならない。

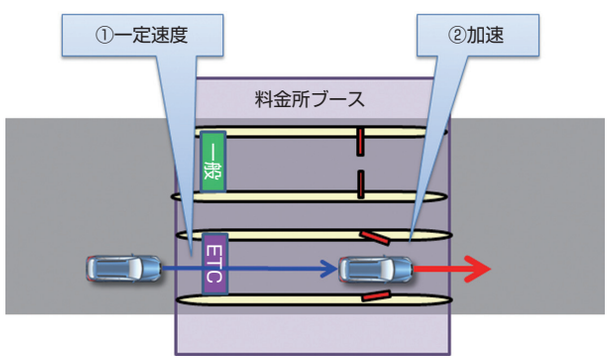


図 21　料金所ブース内の挙動

2つ目は、あまりにも早く速度を落としてしまうと煩わしさを生じる点である。この事はドライバ本人の不快感に留まらず、料金所ブース手前の合流地点において、目的のブースへ進入するためのレーン変更をする際に周辺車両の妨げになってしまう。

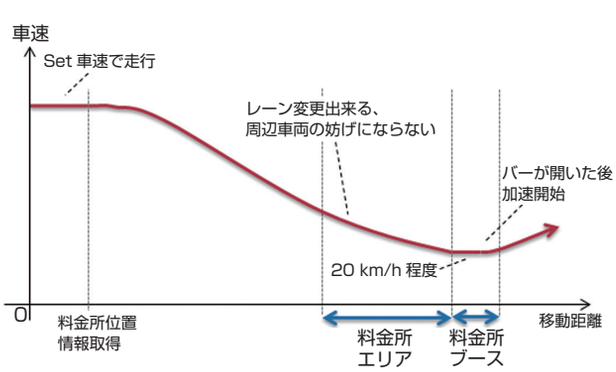


図 22　料金所距離に応じた速度

前述の2点を踏まえて、ロケータから取得する料金所位置情報を用いた制御システムを構築し、速度・加速度を適合した。図22は料金所前速度制御による自車の速度遷移のイメージである。

また、本機能はカーブ前速度制御の動作後に有効となるシーンが多い。これら2つの機能の繋がりについても様々なICのデータを検証し、あらゆる場所で滑らかな挙動となるように作り上げた（図23）。

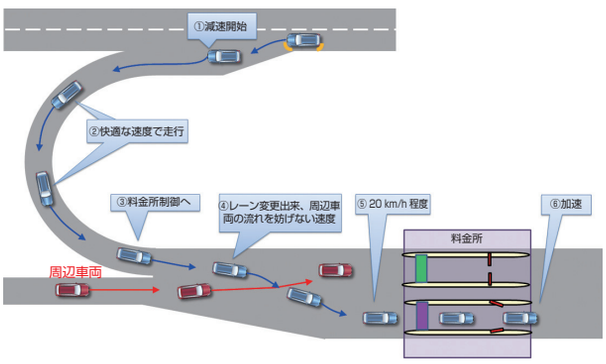


図 23　IC 出口のカーブ・料金所制御　動作例

7.　渋滞時発進アシスト

渋滞時発進アシストは、渋滞などで先行車に続いて停車し、再度先行車が動き出した時に、周囲・ドライバの状況の条件が満足していれば追従発進する機能である。

7.1　開発の狙い

本機能は、頻繁にストップ＆ゴーを繰り返す環境において、自動で発進制御へ移行出来る時間を拡大する事で操作回数を低減することが出来る。渋滞時ハンズオフアシストと組み合わせて、運転者の負担を劇的に軽減することを目標に開発を進めた。

すでに自動発進機能を実現しているメーカも存在しているが周辺監視をするデバイスを多数搭載して実現しているが、新型レヴォーグでは自動発進向けのデバイスを追加することなく、装備されているデバイスを組み合わせることで安全を担保し、他銘同等の機能を実現している。

7.2　動作仕様

渋滞などで先行車に続いて停車し、再度先行車が動き出した時にドライバ操作なしに自動で発進を行う。従来機能である全車速追従機能付クルーズコントロールでは停車後約3s経過すると発進にはドライバ操作を要したが、ADAS機能が動作中は最長10分間の自動発進状態に移行する（図24）。約10分停車時間が継続した場合はADAS機能ならびに全車速追従機能付

クルーズコントロールがキャンセルされEPBが作動する。

渋滞時発進アシスト待機中に周辺環境に異変(車両の割り込みなど)が起こった場合は渋滞時発進アシスト待機状態を解除し、停止保持状態に移行する。この場合、同一の停車時は渋滞時発進アシスト待機状態とならず、従来同様(約3s間)の待機状態となる(図25)。

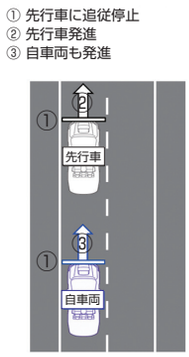


図 24　自動発進制御

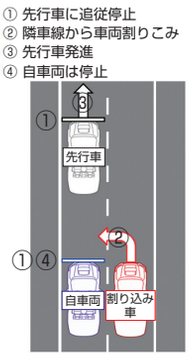


図 25　周辺監視

また本機能はドライバが前方監視を行っていることを前提としているため、ドライバモニタリングシステムによりドライバのよそ見、わき見を検知した場合は渋滞時発進アシスト待機状態を解除し、停止保持状態に移行する。この場合はドライバがわき見、よそ見を止め、前方監視に復帰すれば渋滞時発進アシスト待機状態に再度移行する(図26)。

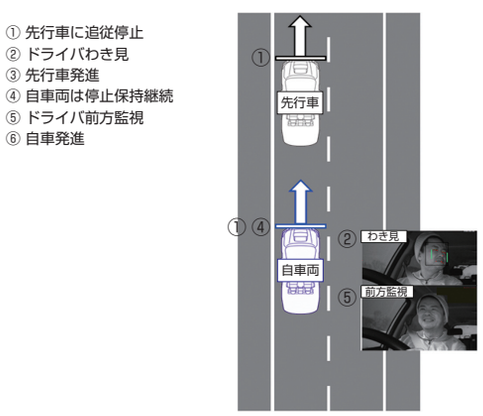


図 26　ドライバ監視

7.3　周辺監視

自動発進を実現している他メーカでは周辺監視デバイスにソナーを用いている。新型レヴォーグではステレオカメラ・前側方レーダ・3D高精度地図ユニットを組み合わせることで他メーカ同等の安全性を実現した。ステレオカメラによる周辺監視に加え、車両の前側方に搭載されるミリ波レーダを使用することで、ステレオカメラでも検出することのできない画角外の車両に対し早期検出を実現、また3D高精度地図ユニットを使用し、自動車専用道路に限定することで対象とする物体を車両やバイクに絞って検出し、周辺監視の安全性を実現した。

7.4　ドライバ監視

また、現行フォレスターから搭載されているドライバモニタリングシステム(DMS)デバイスを使用し、ステレオカメラ／前側方レーダ／3D高精度地図ユニットによる周辺監視にドライバによる周辺監視を加えることで10分間の渋滞時発進アシスト機能を実現した。

ドライバがよそ見／わき見をしている間は停止保持に移行し渋滞時発進アシストを許可しない。ドライバがよそ見／わき見を止め、前方監視をしていると判断した場合に渋滞時発進アシストを動作させることでより安全安心に使用できる機能を実現させた。

8.　ドライバ異常時対応システム

LKS機能を使用中に、体調の急変等により、ドライバが安全運転を継続できなくなった場合に、緊急措置としてドライバに代わってシステムが車両を停止させる機能である。

8.1　開発の狙い

本機能が作動した状況(走行環境・システム状態)における可能な限りの車両制御を行い、乗員・周辺車両の安全を確保すること。また、日本国内への導入に際して、国土交通省が策定している“運転者異常時対応システム(減速停止型)”技術指針[(1)]に適合するように設計を行った。

8.2　動作仕様

8.2.1　作動条件

従来、LKS機能を使用中にハンドルから手を放すと、数十秒後に制御が非作動状態になっていた。本機能はそのようなドライバがハンドルから手を放した状態を継続した場合に作動が開始される。また、渋滞時ハンズオフアシスト作動時に、何らかの要因で手放しを許容できなくなった場合に作動が開始される(表5)。

8.2.2　制御内容

本機能は、4つの状態で構成しており、ドライバの無操作時間とシステム状態に応じた制御(減速・アクセル操作無効化・周囲への報知等)を実施する(図27、図28、図29)。

表５　ドライバ異常時対応システム作動条件 例

条件１	条件２	条件３	No.
車線中央維持 先行車操舵制御 作動中	ドライバが ハンドルから 一定時間 手を放す	−	1
渋滞時ハンズオフ アシスト 作動中	ドライバが ハンドルから 手を放す	ドライバの脇見や居眠りを検知	2
		急カーブ・料金所等への接近を検知	3
		車速が 60 km/h を超える	4
		自車位置の検知精度低下	5
		システムの故障・一時停止を検知	6

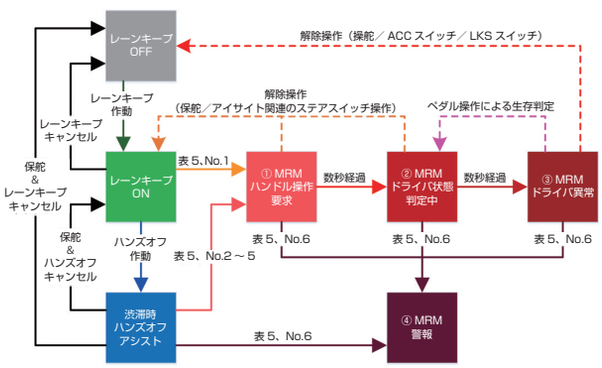


図 27　ドライバ異常時対応システム 状態遷移図

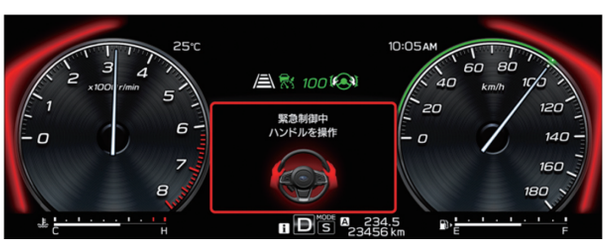


図 28　緊急制御作動中のメータ表示

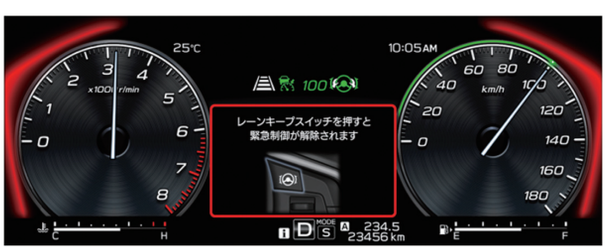


図 29　解除方法表示中のメータ表示

また、ドライバの意識が異常な中で、より安全に自動で減速／停車する機能にするために、見通しの悪いカーブでは停車しない等の配慮を行っている。

8.2.3　解除操作

本機能の解除方法を以下のように設定した（表6）。

また、③ドライバ異常状態時は、誤って解除してしまうことがないように、ドライバが意図しないと操作できないものに限定した。

表６　ドライバ異常時対応システムの解除操作 例

No.	状態	解除操作
①	ハンドル 操作要求	・ステアリングホイールを握る ・ステアリングホイールを操舵 ・ステアリングスイッチを操作
②	ドライバ状態 判定中	
④	警報	
③	ドライバ異常 状態	・ステアリングホイールを操舵 ・一部のステアリングスイッチを操作

9.　まとめ

今回開発した高度運転支援機能では、高精度地図ロケータによる道路情報冗長化や先方の道路状況の把握、前側方・後側方レーダを用いた周辺車両情報を取得することで、従来ステレオカメラだけでは、見えなかった情報を用いることによって、より支援範囲が広く、利便性の高い機能を実現することができ、お客様の負荷軽減による安全性の向上が図ることができた。

これからも、運転支援機能の性能向上と技術開発を行うことで、いつ、どこでも、使いやすい安心・安全な運転支援機能をお客様に提供していきたい。

参考文献

(1) 国土交通省：別紙8.運転者異常時対応システム（減速停止型）の技術指針，自動車技術指針について，自技第83号，2016-6

【著　者】

金井　聡吾

青山　裕紀

五十嵐 慶之

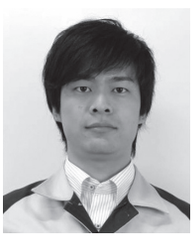
倉上　優輝

田口　徳昭

竹原　裕生

茂木　啓輔

谷田貝 拓朗


由川　　輝

吉村　礁太

WRX STI 特別仕様車「EJ20 Final Edition」プロトタイプを公開
～ EJ20 型水平対向エンジン搭載車の集大成となる特別装備を採用したモデル～

2019年10月23日

第46回東京モーターショー 2019において、WRX STI 特別仕様車「EJ20 Final Edition」プロトタイプを公開しました。今年度内に生産終了を予定しているEJ20型水平対向エンジンを搭載し、特別な装備を採用したモデルとしました。

WRX STI 特別仕様車「EJ20 Final Edition」プロトタイプ

EJ20 型水平対向エンジン

新世代アイサイトHMIの開発

Development of Human Machine Interface for New Generation EyeSight

野本和男[*1] NOMOTO Kazuo
佐藤秀樹[*2] SATO Hideki
酒井健一郎[*3] SAKAI Kenichiro

抄録

新世代アイサイトの装着されたレヴォーグでは、6年ぶりに一新されたステレオカメラを中心とする先進運転支援システムを構築し、様々な状況下でのドライバーの運転操作の支援を実現している。したがって、当然ながら、これらのシステムからドライバーへの情報伝達手段、いわゆるヒューマン・マシーン・インターフェース（以下、HMIと表記）の果たす役割は、極めて重要と考えられる。本稿では、新世代アイサイトを中心とした先進運転支援システムのHMI、特に、新型レヴォーグから新たに追加された各機能のHMIを中心に紹介する。

Abstract

The new LEVORG, equipped with the new generation EyeSight, sets up Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) centered on the stereo camera refurbished for the first time in six years. This ADAS assists the driver under various conditions. Therefore, the Human Machine Interface (HMI), which conveys information from these systems to the driver, is very important. This paper explains the HMI used for the new generation EyeSight, in particular, the new functions added to the new LEVORG.

1. まえがき

新世代アイサイトでは、ステレオカメラを中心とする先進運転支援システムを構築し、プリクラッシュブレーキ性能を進化させ、衝突回避をサポートする領域を拡大させたり、新機能を追加し、より幅広いシーンにおける運転支援を拡大している。しかしながら、実際、先進運転支援システムとはいえ、主役は、あくまでもこのシステムの装着されたクルマを運転する「ドライバー」自身なのである。したがって、クルマを運転するときには、ドライバーが常にシステムの作動状態を理解しておかなければならず、そういう意味において、ドライバーとシステム間の情報伝達手段、いわゆるHMIの果たす役割は極めて重要なものとなる。

本稿では、新世代アイサイトで実現する先進運転支援システムのうち、特に、前世代アイサイトから新たに追加された各機能のHMIを紹介しながら、それぞれの働きについての解説をくわえる。

＊1 先進安全設計部
＊2 車両研究実験第五部
＊3 電子商品設計部

2. アイサイトのHMIコンセプト

先進運転支援システムにおけるドライバーとシステム間の情報伝達の手法、いわゆるHMIが重要な役割を担っていることは既に述べたとおりである。HMIは、従来から自動車メーカーの創意工夫領域であるべきとされてきた一方で、ドライバーからすると様々な自動車メーカーのクルマを運転することも想定されるべきであり、HMIの効果をより発揮するためにも、HMIについて一定の決まりがあるべきといった議論が自動車メーカーを中心とするコンソーシアム体の中で長く続けられてきている[(1)]。そして、この議論の中では、

①ドライバーがシステムの作動状態や支援内容を確認し易くしておくこと
②ドライバーにとってわかりやすく、使い易く、安心して使えるようにしておくこと

③ドライバーが支援レベル（情報提供、注意喚起、警報および介入制御）を理解できるようにしておくこと
④ドライバーがシステムに過度な依存や不信を招かないようにしておくこと
といった配慮すべき事項がまとめられてきている。こうした活動の成果を踏襲しつつ、これまでのアイサイト開発の中で培ったHMI技術のノウハウを基に、新世代アイサイトのHMIコンセプトとして、“システムの作動状態に加え、注意や安全確認、あるいは、ブレーキペダルやハンドルの各操作などのドライバーの必要となる動作をドライバーへわかりやすく伝える”と置いた。

3. アイサイトのHMIデバイス構成

図1は、アイサイトを支えるHMIデバイスの構成を示したものである。これらのデバイスは、大きく、「メータ」と「アイサイトアシストモニタ」と呼ばれるLED点灯補助表示装置と、「センターインフォメーションディスプレイ」から成る『クルマがドライバーに情報を伝えるデバイス』、『ドライバーがクルマに情報を伝えるデバイス』のステアリング・スイッチ、ステアリング・タッチセンサとドライバー・モニタリングシステムから成る『クルマがドライバーの状態を監視するデバイス』、の3つに分類することができる。なお、各デバイスの主な働きは次のとおりである。

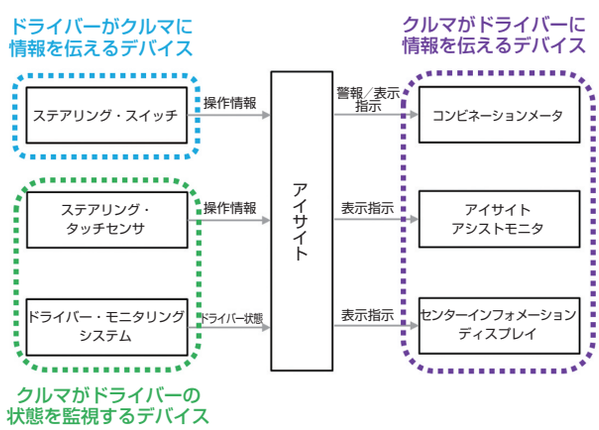


図１　アイサイトの HMI デバイス構成

3.1　クルマがドライバーに情報を伝えるデバイス

クルマがドライバーに情報を伝えるデバイスの代表格としては、メータである。このメータは、コンビネーションメータと呼ばれ、図2に示すように、計器や表示灯、警告灯など運転に必要な情報をひとつのパネルに集約したものである。なお、この図の上段は、自動車専用道路上に特化した先進運転支援システム付き車両向けのメータ（以下、高度運転支援機能付きタイプと表記）であり、12.3インチのフル液晶ディスプレイを採用している。一方、同下段は、4.2インチのディスプレイを持った、高度運転支援機能無しの標準車両向けメータ（以下、標準車タイプと表記）である。

高度運転支援機能付きタイプ

標準車タイプ

図２　コンビネーションメータ

実際、両タイプのメータには、図3に示すように、それぞれ「アイサイト表示エリア」、「警告表示エリア」、「通知表示エリア」の3つの表示エリアを有している。アイサイト表示エリアのうち、警告アイコンのような、特に、ドライバーに注意喚起、警報、あるいは、システム作動状態などを通知するエリアが警告表示エリアとなっている。例えば、先行車への追突回避を支援するプリクラッシュブレーキの場合は、まず、システムが追突の危険性があると判断すると「車間距離警報」を警報と共に、警告表示エリアに警告アイコンを表示する。次に、ドライバーがブレーキをかける、ハンドルをきるなどの回避操作がみられなければ、警報と共に、弱いブレーキ制御を作動させる。この際も警告表示エリアに警告を表示する。さらに、それでも回避操作がなければ、回避、被害軽減のために、警報音鳴動と図4のメータ全体を使った警告表示と共に強いブレーキを作動する。

図３　コンビネーションメータの画面構成

図４　メータ全体を使った警告表示

図5は、アイサイトアシストモニタの外観とその点灯イメージである。本モニタは、メータを補完する形でシステムの作動状態や警告などをLEDの点灯色で表現し、これらをフロントガラスへ投影し、ドライバーへ通知するものである。図6は、高度運転支援機能付き車タイプと標準車タイプのLED配置を示したものである。標準車タイプは、緑色LED1灯、黄色LED2灯、赤色LED4灯の計7つのLEDを備え、高度運転支援機能付きタイプは、標準車タイプの7灯に青色LED2灯を加えた9つのLEDを備えている。

図５　アイサイトアシストモニタの外観

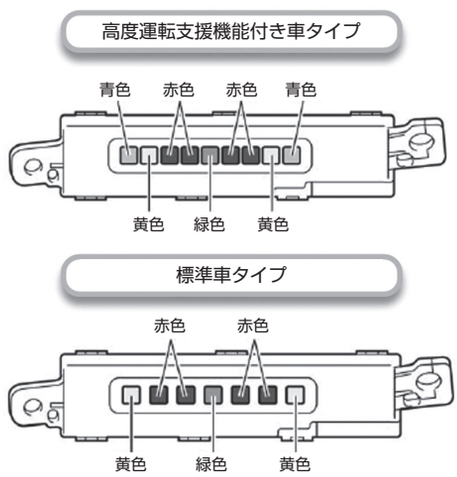


図６　アイサイトアシストモニタのLED配置

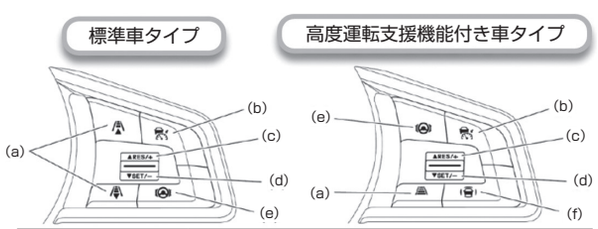
図7は、ナビゲーションシステム装着車における、“センターインフォメーションディスプレイ”の表示例である。

図７　センターインフォメーションディスプレイの警告表示

プリクラッシュブレーキ作動時やドライバーへのハンズオン要請時のような危険度の高い警告を表示する場合は、例えば、ドライバーが本ディスプレイ操作に目を向けているなどの状態においてもいち早く警告表示しようとするものである。

3.2　ドライバーがクルマに情報を伝えるデバイス

“ステアリング・スイッチ”は、図8の左に示す標準車タイプと、同図・右に示す高度運転支援機能付き車タイプの2タイプがある。両タイプ共通するスイッチとしては、全車速追従機能付クルーズコントロールの機能そのものをON/OFFするための「クルーズスイッチ」、同機能のセットやセット車速の切り替えのための「RES/＋スイッチ」と「SET/－スイッチ」、先行車追従時の車間距離を4段階から選択設定するための「車間設定スイッチ」、アクティブレーンキープの機能をON/OFFする「レーンキープスイッチ」である。また、高度運転支援機能付き車タイプにおいては、自動車専用道路向けの先進運転支援システムに係る機能、すなわち高度運転支援機能をON/OFFする「先進運転スイッチ」を有している。



名称	機能
(a) 車間設定スイッチ	全車速追従機能付クルーズコントロール（ACC）設定中に、車間距離の設定を 4 段階に切り替え
(b) クルーズスイッチ	クルーズコントロール®の ON/OFF
(c) RES/ ＋スイッチ	クルーズコントロール®をセットする(クルーズコントロールを解除後、解除前のセット車速に再度セットする) セット車速を上げる (クルーズコントロールがセット中のとき)
(d) SET/ －スイッチ	クルーズコントロール®をセットするセット車速を下げる (クルーズコントロール®がセット中のとき)
(e) レーンキープスイッチ	車線中央維持／先行車追従操舵の ON/OFF
(f) 先進運転スイッチ	先進運転支援の ON/OFF

※：全車速追従機能付クルーズコントロール（ACC）および定速クルーズコントロール（CC）

図８　ステアリング・スイッチ

また、図9は、高度運転支援機能付き車タイプにおいて、高度運転支援機能をONするまでの基本操作フローを示したものである。この中で、図10に示すフローのように、「先進運転スイッチ」を押下することで、全車速追従機能付クルーズコントロールやレーンキープスイッチが同時に機能ONできるようにするなど高度運転支援機能を使用するまでのスイッチ操作手数を極力減らしている。なお、“センターインフォメーションディスプレイ”については、警告を表示するだけではなく、各機能のON/OFFなどのカスタマイズ設定も可能である。

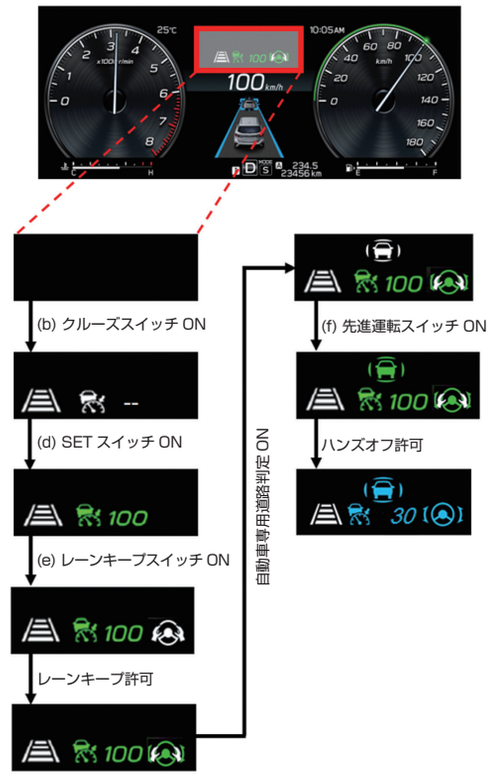


図９　高度運転支援機能を ON するまでの基本操作

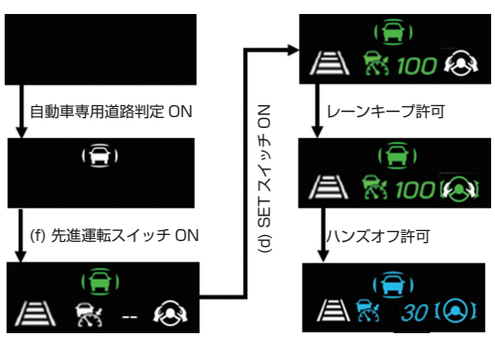


図 10　高度運転支援機能を ON にするまでの最短操作

3.3　クルマがドライバーの状態を監視するデバイス

図11の“ステアリング・タッチセンサ”は、ドライバーのハンドル保舵／非保舵状態、すなわち、ドライバーのハンズオン／ハンズオフ状態を検知するものである。

図 11　ステアリング・タッチセンサ

一方、図12は、ドライバーのよそ見や居眠りを検知する“ドライバー・モニタリングシステム”である。なお、この図は、既に商品化されている車種のドライバー・モニタリングシステムの取り付けレイアウトを示

したものである。これらのデバイスを通じ、システムがドライバーのハンズオフ状態を許容していないにもかかわらず、ドライバーがハンズオフしてしまったり、ドライバーがしっかり前方に目を向けていなければならないにもかかわらず、よそ見や居眠りをしてしまったりといったドライバーの異常状態を検出している。

図 12　ドライバー・モニタリングシステムの外観

4.　アイサイト新機能のHMI概要

新世代アイサイトでは、新たに**表1**に示す機能が付加される。本章では、これら機能の概要と、HMI概要について述べる。なお、これらの機能は、高度運転支援機能付き車と標準車で実装内容が異なっている。

表 1　新世代アイサイト新機能の HMI デバイス対応表

アイサイト新機能	機能概要	対応 HMI デバイス						
		コンビネーションメータ	EyeSightアシストモニタ	センターインフォメーションディスプレイ（警告）	センターインフォメーションディスプレイ（カスタマイズ）	ステアリングスイッチ	ステアリングタッチセンサ	ドライバモニタリングシステム
緊急時プリクラシュステアリング	操舵回避による衝突回避を支援	○	○	○	○		○	
前側方プリクラシュブレーキ	交差点出会い頭の衝突回避を支援	○	○	○	○			
前側方警戒アシスト	交差点出会い頭の衝突回避を支援	○	○	○	○			
カーブ前速度制御 ※	自動車専用道路上のカーブにおいて、カーブの曲率に合わせた適切な速度に制御	○	○		○			
料金所前速度制御 ※	自動車専用道路上の料金所手前にて、適切なタイミングかつ速度に制御	○	○		○			
渋滞時発進アシスト ※	自動車専用道路での渋滞時、先行車の停止、発進にスイッチ操作なしで追従	○						○
アクティブレーンチェンジアシスト ※	ドライバーが方向指示レバーを操作したときに車線変更をアシスト	○	○				○	
渋滞時ハンズオフアシスト ※	自動車専用道路上での渋滞時において、ステアリングアシスト制御を高度化し、一定時間のハンズオフ制御を実現	○	○				○	○
ドライバー異常時対応システム ※	ドライバーへの注意喚起に関わらず、ドライバーがステアリングを握らない状態が続いた場合、徐々に車両を減速、停止。併せて、ハザードやホーン鳴動で周囲への通知	○	○	○		○	○	○
青信号お知らせ	信号が赤から青に切り替わっても自車が発進しないときに通知	○			○			

※高度運転支援機能付き車のみ

4.1　緊急時プリクラッシュステアリング

緊急時プリクラッシュステアリングとは、プリクラッシュブレーキ作動中に、ブレーキ制御のみでは衝突を回避できないとシステムが判断した場合にステアリングを制御し、操舵による衝突回避を支援するものである。なお、ドライバーがステアリングを保舵せず、ハンズオフ状態であることをステアリング・タッチセンサで検出した場合は、本制御を作動させないようにしてある。本制御作動中は、「ピピピ…」という連続的な警告音と共に、**図13**に示すように、コンビネーションメータの警告画面表示エリアにプリクラッシュブレーキと同じ前方注意を促す警告画面を表示する。また、併せて、アイサイトアシストモニタを赤色点滅させる。さらに、既に上述したように、センターインフォメーションディスプレイの上部にも前方注意を促す警告画面を表示する。

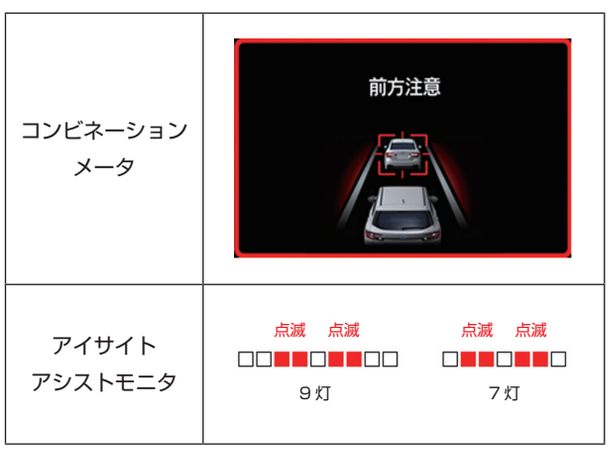


図 13　緊急時プリクラッシュステアリング作動中の警告

4.2　前側方プリクラッシュブレーキ

前側方プリクラッシュブレーキは、**図14**のように、交差点への進入時などに、左右からの接近車両を前側方レーダで監視し、衝突する可能性が高いとシステムが判断した場合、「ピピピ…」という連続的な警告音とともに、**図15**に示すように、コンビネーションメータの警告画面表示エリアに左前側方の注意を促す警告画面を表示し、アイサイトアシストモニタを赤色点滅させる。警告後もドライバーが回避操作を行わなかった場合は、**図16**に示すように、コンビネーションメータの警告画面を前方注意を促す画面に切り替えると共に、センターインフォメーションディスプレイの上部に警告を表示し、ブレーキ制御により衝突回避を支援する。

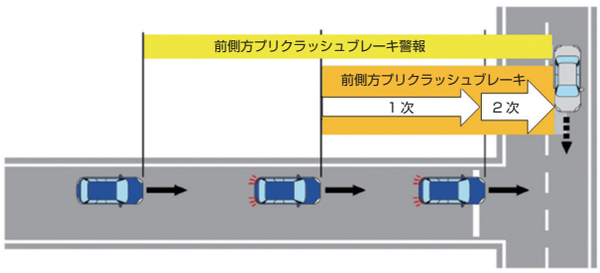


図 14　前側方プリクラッシュブレーキ作動シーン

コンビネーション メータ	
アイサイト アシストモニタ	点滅　点灯　　点滅　点灯 □□■■□■■□□　□■■□■■□ 9灯　7灯

図 15　前側方プリクラッシュブレーキ警報中の警告

コンビネーション メータ	
アイサイト アシストモニタ	点滅　点滅　　点滅　点滅 □□■■□■■□□　□■■□■■□ 9灯　7灯

図 16　前側方プリクラッシュブレーキ作動中の警告

4.3　前側方警戒アシスト

図17は、前側方警戒アシストの作動シーンである。本アシストは、見通しの悪い無信号の交差点などにおいて、一時停止後に発進する際、左右からの接近車両を前側方レーダで検知した場合、ドライバーを注意喚起し、警戒を促す機能である。本アシストが作動する場合は、「ピピピ…」という警告音を鳴動させ、コンビネーションメータの警告画面表示エリアに前方の注意を促す図18の警告画面を表示すると共に、アイサイトアシストモニタを黄色点滅させる。

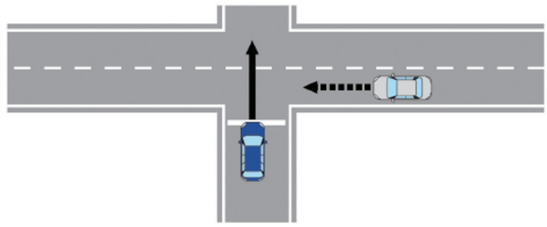


図 17　前側方警戒アシスト作動シーン

コンビネーション メータ	
アイサイト アシストモニタ	点灯　点滅　点灯　点滅 □■□□□□□■□　■□□□□□■ 9灯　7灯

図 18　前側方警戒アシスト作動中の警告（右接近の場合）

4.4　カーブ前速度制御

カーブ前速度制御とは、自動車専用道路において、カーブを安全な速度で通過できるように、カーブの曲率に合わせて適切な速度に制御するものである。本制御作動中は、コンビネーションメータのアイサイト表示エリアに図19のカーブを意味するアイコンを表示する。なお、このとき、実際のカーブの曲率に合わせる形でアイサイト表示エリアのレーン表示も湾曲させている。また、本制御中にドライバーのブレーキ操作が必要となった場合は、「ピピピ…」という連続的な警告音を鳴動し、コンビネーションメータに図20の減速を促す警告画面と共に、アイサイトアシストモニタを赤色点滅させる。

図 19　カーブ前速度制御作動中のアイコン表示

コンビネーション メータ	
アイサイト アシストモニタ	点滅　点滅 □□■■□■■□□ 9灯のみ

図 20　ブレーキ操作が必要になったときの警告

4.5　料金所前速度制御

本制御機能は、自動車専用道路において、料金所を安全な速度で通過できるように、料金所手前で適切な速度に制御するものである。本制御作動中は、コンビネーションメータのアイサイト表示エリアに図21の料金所を意味するアイコンを表示する。また、制御中、ドライバーのブレーキ操作が必要となった場合は、「ピピピ…」という連続的な警告音を鳴動させ、コンビネーションメータに図22に示した減速を促す警告画面を表示すると共に、アイサイトアシストモニタを赤色点滅させる。

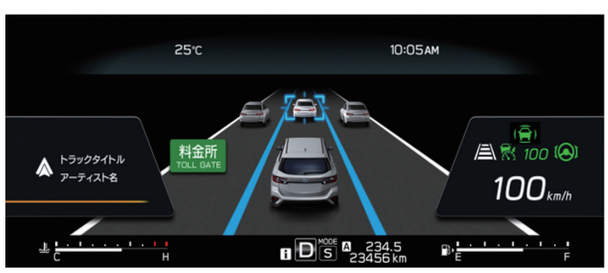


図 21　料金所前速度制御作動中のアイコン表示

コンビネーション メータ	
アイサイト アシストモニタ	点滅　点滅 □□■■□■■□□ 9灯のみ

図 22　ブレーキ操作が必要になったときの警告

4.6　渋滞時発進アシスト

本アシスト機能は、図23のような自動車専用道路における渋滞走行中、先行車の停止・発進にスイッチ／アクセル操作なしで追従するものである。通常、停止・発進タイミングには、図24の上部のように、何も表示しないようになってる。しかし、居眠りなどドライバーの異常状態をドライバー・モニタリングシステムで検知した場合は、本アシストをキャンセルする。その際は、コンビネーションメータの通知画面表示エリアに、再発進にはアクセル／リジューム操作が必要となることを示す図24下部の通知画面を表示すると共に、「ピピーン」という通知音を鳴動させる。

図 23　渋滞中の自動車専用道路

図 24　渋滞時発進アシストがキャンセルされたときの通知

4.7　アクティブレーンチェンジアシスト

本アシスト機能は、自動車専用道路において、ドライバーが方向指示レバーを操作したときに車線変更をアシストするものである。本アシスト作動可能な自動車専用道路を走行している場合は、図25の左の吹き出し図に示すように、アイサイト表示エリアに車線変更アシスト可能な方向のレーンを表示する。このとき、前側方／後側方レーダで周辺車両を車線変更先レーンで検知した場合は、図26の当該車両検知方向のレーダイメージを表示し、アシストが作動不可能なことを通知する。また、車線変更アシスト作動中は、図25の中央の吹き出し図のように、コンビネーションメー

タのアイサイト表示エリアの車線を実線から破線に切り替え、背景をアニメーションさせて車線変更中であることを表示する。さらに、車線変更後、図25の右の吹き出しの図に示すように、隣接車線の表示を非表示とし、車線変更が完了したことを通知する。

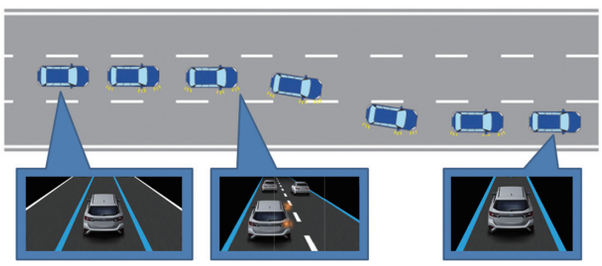


図 25　アクティブレーンチェンジアシスト作動イメージ

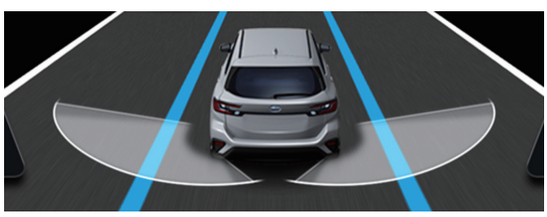


図 26　レーダ表示（アシスト不可能状態）

車線変更中に併走する車両などを検知した場合、あるいは、ドライバーがオーバライド／ターンシグナルランプ消灯をおこなった場合は、「ピピーン」という通知音と共に、図27に示すように、コンビネーションメータの通知画面表示エリアにアシストがキャンセルされたことを知らせる通知画面を表示しながら、車線変更をキャンセルする。

図 27　アシストキャンセル時の通知画面

4.8　渋滞時ハンズオフアシスト

渋滞時ハンズオフアシストとは、自動車専用道路上での渋滞時、ステアリングアシスト制御を高度化し、一定時間のハンズオフ状態におけるステアリング制御を実現したものである。本アシスト作動中は、図28に示すように、コンビネーションメータのアイサイト表示エリアのアイコン類や自車走行レーンを青色に切り替えると共に、アイサイトアシストモニタを青色点灯させる。

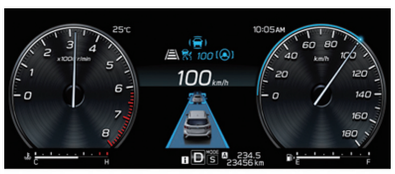
コンビネーションメータ	
アイサイトアシストモニタ	点灯　点灯　点灯 ■□□□■□□□■ 9 灯のみ

図 28　渋滞時ハンズオフアシスト作動中の表示

また、本アシストの有効と無効の切り替えをドライバーに理解してもらうために、通知音を鳴動する。さらに、一定時間ハンズオフが続いたり、ドライバー・モニタリングシステムでドライバーのよそ見や居眠りを継続検知した場合は、連続的な警告音と共に、図29に示すように、コンビネーションメータの警告画面表示エリアにハンドル操作を促す警告画面を表示する。併せて、アイサイトアシストモニタの赤色点滅と共に、センターインフォメーションディスプレイの上部にもハンドル操作を促す警告画面を表示する。

コンビネーションメータ	
アイサイトアシストモニタ	点滅　点滅 □□■■□■■□□ 9 灯のみ

図 29　ハンドル操作を要求する警告

なお、渋滞時ハンズオフアシスト作動中と非作動中ならびに非作動中におけるレーンキープアシスト機能作動中と非作動中それぞれの状態を図30の意匠にてドライバーへ通知するようにしている。

図 30　ドライバー異常時対応システムの警告

4.9　ドライバー異常時対応システム

本システムは、ドライバーへの注意喚起に関わらず、ステアリング・タッチセンサでドライバーがステアリングを握らない状態、すなわちハンズオフ状態を長時間検知したり、ドライバー・モニタリングシステムでドライバーの閉眼状態、すなわちアイズオフ状態を長時間検知した場合、徐々に車両を減速、停止させるものであり、いわゆるドライバー異常時のリスク低減を図るシステムである。減速、停止の際、ハザードやホーン鳴動で周辺車両への通知をおこなうようにしている。また、本制御作動中は、連続的な警告音と共に、図31に示すとおり、コンビネーションメータの警告画面表示エリアにハンドル操作を促す警告画面を段階的に表示し、アイサイトアシストモニタも赤色点滅させる。

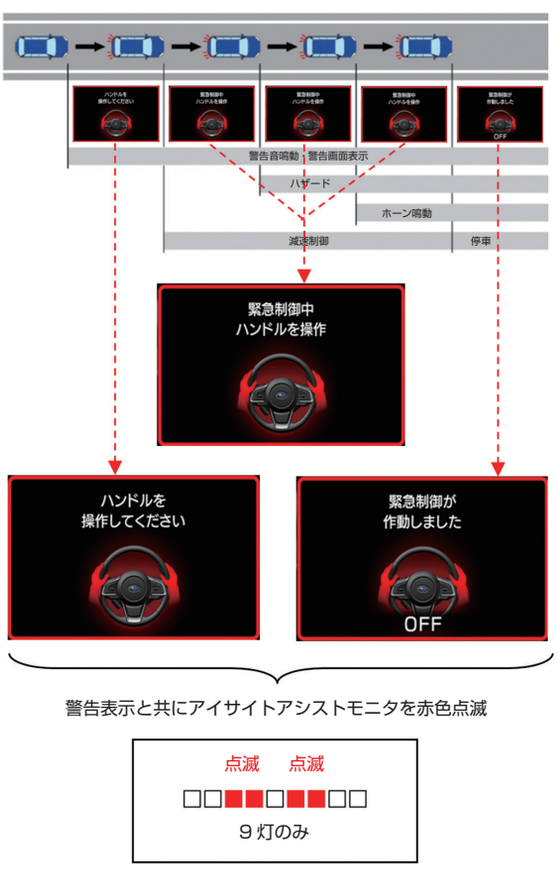


図 31　ドライバー異常時対応システムの警告

4.10　青信号お知らせ

本お知らせ機能は、信号交差点において、信号待ち車列の先頭で停止中、前方信号機の灯色が赤から青へ切り替わってもドライバーがそれに気づいておらず、発進遅れを起こしている場合、音声鳴動と図32のお知らせ画面にて、ドライバーへの発進遅れを通知する。

図 32　青信号切り替わりお知らせ作動時の警告画面

5.　あとがき

以上のように、本稿は、新世代アイサイトを中心とした先進運転支援システムのHMI、特に、新世代アイサイトから新たに追加された機能を取り上げ、それぞれドライバーに対し、どのように情報伝達がなされているかを解説したものである。6年ぶりに一新した新世代アイサイトでは、プリクラッシュブレーキ性能をさらに進化させ、衝突回避をサポートする領域を拡大させたり、新機能を追加して、より幅広い状況での運転支援を実現するに至ったのである。その一方で、この6年の間に、フル液晶メータやHUD（Head Up Display）、音声認識やジェスチャー認識などHMIを支えるデバイスや技術も飛躍的に進歩してきたのも事実である。

このような中、新世代アイサイトは、“ドライバーへわかり易く伝える”というぶれないHMIコンセプトを置き、先進運転支援システムの主役があくまでもドライバーであり、運転という特殊な状況下にあるドライバーにシステムあるいは各機能を理解、納得してもらえ、かつまた、その効果を最大限に引き出すために、シンプルで簡単なHMIのつくりに徹底的に拘ったのである。そして、本稿を通じ、SUBARUのアイサイトHMIに対し、強い拘りのあることをご理解いただければ幸甚である。

最後に、本開発に携わった社内外の開発各位に感謝の意を記す次第である。

参考文献

(1) 国土交通省自動車局先進安全自動車推進検討会：先進安全自動車（ASV）推進計画報告書
—第5期ASV推進計画における活動成果について—, 2016

【著　者】

野本　和男

佐藤　秀樹

酒井 健一郎

SUBARU レヴォーグ 特別仕様車「2.0GT EyeSight V-SPORT」を発表
～ 2.0L ハイパフォーマンス “DIT” エンジンを搭載、
アイサイトセイフティプラス（運転支援）を標準装備～

2019年11月7日

レヴォーグ特別仕様車「2.0GT EyeSight V-SPORT」
（ディーラーオプション装着車）

レヴォーグ特別仕様車「2.0GT EyeSight V-SPORT」を発表。「2.0GT-S EyeSight」グレードをベースにアイテムを厳選し、アイサイトセイフティプラス（運転支援）を標準装備したモデルです。

保舵判定センサ付きステアリング・ホイールの開発

Development of Steering Wheel with Touch Sensor that Detects Hands On/Off

久保良介[*1]　長瀬貴之[*2]
KUBO Ryosuke　NAGASE Takayuki

抄　録

新型レヴォーグは、6年ぶりに一新した新世代アイサイトを搭載する。この新世代アイサイトでは、ステレオカメラを中心とする先進運転支援システムを構築し、自動車専用道路での渋滞時に高度化させたステアリングアシストの下、一定時間のドライバのステアリング・ホイール（以下、ステアリングと表記）、非保舵（以下、ハンズオフと表記）状態での先行車追従操舵制御を可能とする「渋滞時ハンズオフアシスト」機能を実現している。そして、この実現を支える部品として、今回、SUBARU初となる「保舵判定センサ付きステアリング・ホイール（以下、ステアリングタッチ・センサと表記）」を開発した。本稿は、このタッチセンサの紹介である。

Abstract

This paper summaries the development of the steering wheel with touch sensor adopted to the new LEVORG. The new LEVORG is equipped with the new generation EyeSight, which makes up the stereo-camera-centered Advanced Driving Assistance System (ADAS) and adds new functions. Also, the new LEVORG adopts the Traffic Jam Driving Assist, which keeps grips on the center of the lane with the driver's hands off the wheel for a given length of time. Therefore, the steering wheel with touch sensor was developed in order for the new function to be realized. In this paper, this touch sensor is briefly described.

1. まえがき

新型レヴォーグ初採用となる新世代アイサイトでは、「渋滞時ハンズオフアシスト」機能を実現している。この機能は、自動車専用道路を走行中、一定時間であれば、ドライバがステアリングをハンズオフできる程のアシスト性能を高めた車線中央維持制御である。今回、ドライバがステアリングを保舵（以下、ハンズオンと表記）しているか否かを検出できるようにするために、ステアリング・タッチセンサ（以下、タッチセンサと表記）を開発した。本稿では、まず、なぜタッチセンサ開発が必要となったのかの背景を整理する。次に、どのようにドライバのハンズオン、ハンズオフ状態を判定しているのか、その仕組みをハードウェアとソフトウェアの両面から解説する。最後に、ドライバのユースケースを想定して取り組んだフリート走行試験について紹介する。

2. タッチセンサの開発背景

2017年、SUBARUは、アイサイトをベースに、高速道路上、全ての車速域でアクセルペダル、ブレーキペダル、ステアリングの各操作を自律でアシストする「アイサイト・ツーリングアシスト」を商品化した。そして、今回の新型レヴォーグでは新世代アイサイトを中心とする先進運転支援システムの機能拡張や性能向上と共に、車両そもそものパフォーマンスも飛躍的に向上した。これらの性能の底上げもあり、より滑らかで自然な「渋滞時ハンズオフアシスト」を実現できることになった。言い換えると、ドライバのハンズオフ状態の持続が可能となったのである。これまで一般に、ドライバのハンズオン、ハンズオフの判定には、ステアリング操作トルクを電動パワーステアリングの

＊1 先進安全設計部
＊2 シャシー設計部

トルクセンサで検出してきた。しかし、高度化したステアリングアシストの下では、トルクセンサでハンズオン、ハンズオフ状態を高い精度で判定することが難しくなった。これは、渋滞時ハンズオフ作動中、ドライバのハンズオンを必要とする場面においてもドライバのハンズオン、ハンズオフ状態を正しく判定できず、ドライバへのハンズオン要請を適切なタイミングにできない恐れが出てきたことである。そこで、今回、ステアリングに、ドライバがステアリングを握った、握っていないを静電容量の変化から判定する「タッチセンサ」を開発、実装した。

3. タッチセンサのデバイス構成

本タッチセンサは、絶縁された導体間における電荷蓄積量、すなわち静電容量の変化によって、ドライバのハンズオンかハンズオフかを判断している。そのために、本センサは、図1に示すように、静電容量の変化を検出する「センサ部」および静電容量からハンズオン、ハンズオフ状態を判定する「タッチセンサECU」から構成される。「センサ部」は、センサの役割を担うセンサマットを「革」と「ウレタングリップ部」の間に設定した。「タッチセンサECU」については、芯金のスポーク部に取り付けられている。

静電容量によるハンズオン、ハンズオフ判定の基本原理を、図2で説明する。検知用電極、すなわち静電容量を検出できるセンサに指などの人体の一部を近づけると、センサが人体を介してGNDに接続されることになり、その結果、ステアリングと手との間に静電容量が発生することになる。そして、その容量の変化を読み取ることにより、ドライバのハンズオン、ハンズオフを判定することができる。なお、静電容量値は一般に、式(1)で算出できる。

$$C = \varepsilon \frac{S}{d} \quad \cdots \quad 式(1)$$

ここに、

C：静電容量

ε：誘電率

S：電極と指との対向面積

d：指と電極との距離

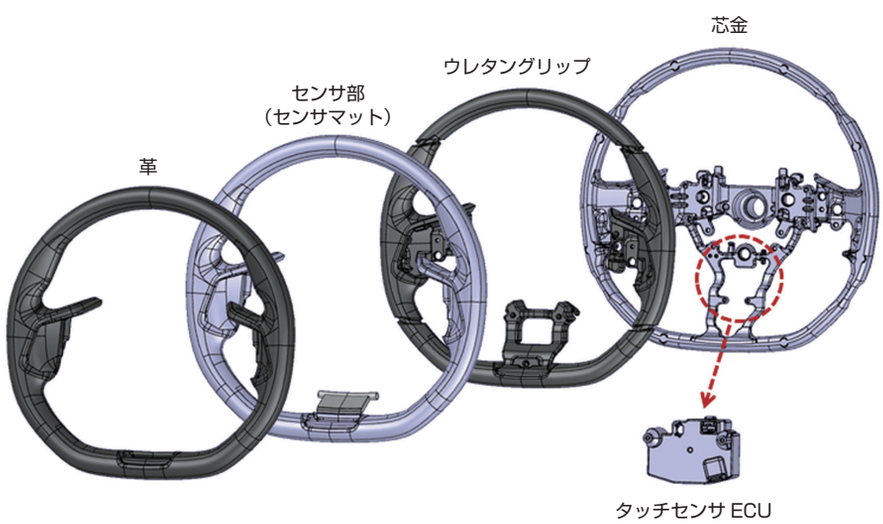


図1　ステアリングタッチセンサ構成図

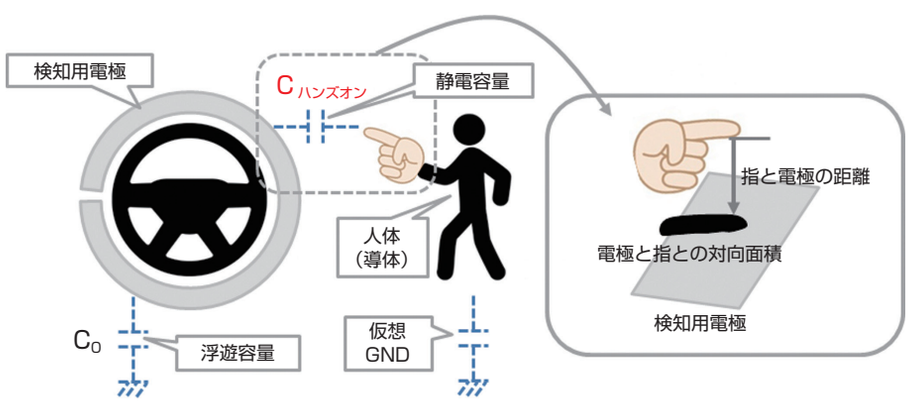


図2　ステアリングタッチセンサ保舵判定の基本原理

4. 保舵非保舵判定の考え方

本センサがドライバのハンズオン、ハンズオフ状態を静電容量値で判定していることは既に述べたとおりである。実際の判定は、予め想定した基準値と入力値である静電容量値の単純な比較で行われる。ただし、入力値である静電容量値にノイズが含まれると正しい判定ができない恐れがあるため、基準値は、次のような考え方を踏まえた判定演算ロジックを用いて、都度、可変させるようにした。

①入力値である静電容量値の変動に対し、基準値の追従性を高くすると、指先等の小さな変化を検知できなくなるため、ノイズなどの外乱による影響を排除しつつ、指先が触れたことによる変化を検出できるような追従性を持たせる。

②周囲環境の温湿度の変動に伴い、形成される静電容量値も変動する。基準値の追従性を低くすると、温湿度の変動に基準値が追従できず、ハンズオフ状態であるにも関わらず、誤ってハンズオン状態と判定してしまう恐れがある。このため、温湿度の変動に対しては十分に追従できるような追従性を持たせる。

③基準値の追従性が低い場合、タッチセンサをハンズオンした状態のまま、ACC電源をONし、すぐに手を離して再度ハンズオンしたときに、静電容量値の変動を検出し、ハンズオン状態と判定するまでの時間を長く要してしまうことが起きうる。このような場合においても、良好な応答性を得られるような追従性とする。

5. 市場環境を見据えたフリート走行試験

本センサ開発においては、静電容量を使ったセンサが温度の影響を受け易いことを前提としたハンズオン、ハンズオフ判定演算ロジックを考案した。そして、次の3つのフリート走行試験で得た膨大な計測データからチューニングを進め、ハンズオン、ハンズオフの判定精度を高めた。

①実験車へのログ収集環境の構築

タッチセンサを除いた各種の評価試験で使われている実験車にタッチセンサの容量値などのログデータを取得できる装置を取り付けておき、後日、回収したデータの解析を通じて、通常時のユースケースで誤動作や異常値計測などが起きていないことを確認した。

②低温＆高温地域における意地悪試験

北海道の極寒地域と豪州の砂漠地帯における低温（－20℃）と高温(50℃）環境下、ユースケースを想定した耐久試験を実施し、同じく誤動作や異常値計測などが起きていないことを確認した。

③保舵耐久治具での負荷耐久試験

成人男性の平均握力相当の負荷を連続でタッチセンサに加え続けられる装置を開発した。この装置にて、センサの網目が革表面に浮き出てくるなどの外観劣化の観察とログデータを取得し、誤動作や異常な容量値計測などが起きていないこと、特に、長期間の負荷に耐え切れずハンズオン、ハンズオフ判定機能が失陥しないことも確認した。

6. あとがき

以上、本稿では、SUBARUに初採用された保舵判定センサ付きステアリング・ホイールについての概要を述べた。 新型レヴォーグで採用されたステアリング・ホイールは、これまで以上に、デザインや形状、材質を追及し、手に馴染み易くさせ、質感や操作性を高めてきたものである。その一方で、タッチセンサは、これらステアリングの“絶対的な売り”を損なわないという制約の下、ドライバのハンズオン、ハンズオフ状態を検知するという新しいセンサ技術の開発を進めてきた。こうした制約を克服するための様々な課題解決を通じて市場導入に漕ぎ着けた本ステアリングは、SUBARUの自信作であるといえよう。

最後に、本開発にあたり、社内外関係各位の多大なるご支援ご協力を賜りました。ここに感謝の意を表す次第である。

【著　者】

久保　良介

長瀬　貴之

前側方レーダ（前側方プリクラッシュブレーキ）の開発

Development of Front Corner Radar (Front Cross Traffic Brake)

中　川　　亮[*1]
NAKAGAWA Ryo

萩　原　広　之[*1]
HAGIWARA Hiroyuki

中　島　　敬[*1]
NAKAJIMA Satoshi

香　園　和　也[*1]
KOZONO Kazuya

清　水　一　亨[*2]
SHIMIZU Kazuaki

抄　録

SUBARUは前側方からの接近車両を検知し衝突の可能性がある場合において、運転手に注意喚起を促し、その後、ブレーキを作動させることで、衝突回避もしくは被害軽減を行う運転支援システム「前側方プリクラッシュブレーキ」を開発した。本機能は、フロントバンパー内に搭載された左右のレーダによって実現されている。また、前側方レーダは高度運転支援システム機能である「アクティブレーンチェンジアシスト」「渋滞時発進アシスト」の周辺監視センサーの一つとして、使用されている。

本稿は前側方プリクラッシュブレーキに焦点を当てている。EyeSightの前方の事故回避に加え、交差点事故軽減にも貢献し、「死亡交通事故ゼロ」の実現を加速させていく。

Abstract

SUBARU has developed “Front Cross Traffic Brake”. This system prevents or reduces collision damage by applying the automatic brake when a potential collision with approaching cross traffic vehicle is detected. This function is realized by radars installed in front bumper corners. The front corner radars contribute to the “Lane change assist” and “Traffic jam drive start assist”.

This report focuses on “Front Cross Traffic Brake”. This function is expected to reduce or prevent accidents in intersections. This is one of the functions for achieving “Zero fatal accidents” with EyeSight.

1.　まえがき

SUBARUは「安心して安全にクルマを操る愉しさそして人の命を守る」という思いでクルマづくりに取り組んでおり、実現にむけ安全性の追求をしている。運転支援システムEyeSightをはじめ、後側方警戒支援システム、後退時ブレーキアシストを展開しており、事故低減に貢献している。

我々は、EyeSightに用いられるステレオカメラがカバーできていない前側方領域に着目し、前側方レーダを用いた「前側方プリクラッシュブレーキ」を開発した。ステレオカメラの検知範囲外である前側方領域をカバーすることで、さらなる安心と安全をお客様へ提供することが狙いである。本論文では、開発の狙いとシステムの考え方について述べる。

＊1 先進安全設計部
＊2 車両研究実験第4部

2.　開発の狙い

前側方プリクラッシュブレーキは前側方領域から横断してくる車両を検知し、衝突の危険性がある場合、ドライバへ警報による注意喚起を行う。それでもドライバ操作が行われない場合、緊急ブレーキを作動させ、衝突を回避する運転支援システムである（図1）。

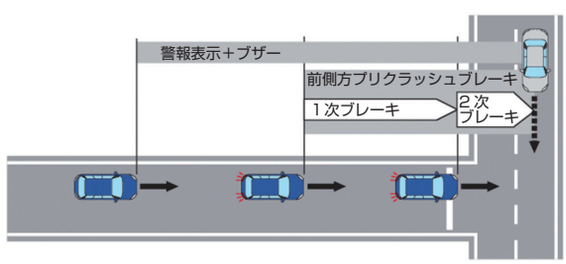


図1　前側方プリクラッシュブレーキ概要[(1)]

2.1　日本市場の事故発生状況

2018年の日本市場での事故統計データによると、車両相互の死亡事故では、出会い頭衝突が最も多く（表1参照[2]）、車両相互事故の34%を占めている。また図2は死亡事故に重傷事故件数を加えた事故データであるが、出会い頭事故は発生件数が多く、重大事故になるケースが多いことが読み取れる。

表 1　死亡事故統計

車両相互内訳	
追突	14%
出会い頭衝突	34%
正面衝突	24%
右折時衝突	13%
左折時衝突	3%
追越・追抜	3%
その他	8%

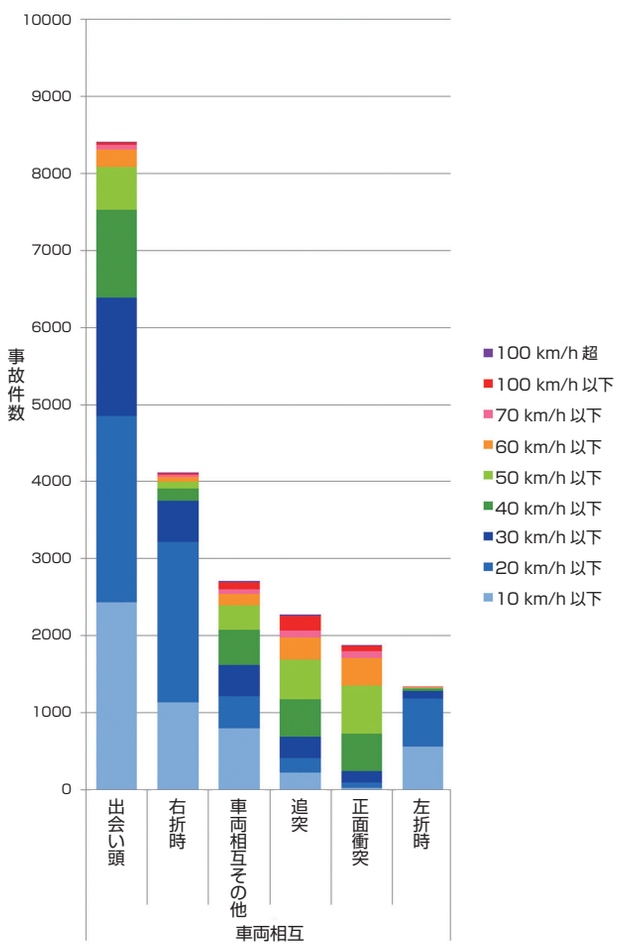


図 2　死亡＋重傷事故統計（速度別）

この出会い頭の事故を回避、被害軽減する目的で開発したのが「前側方プリクラッシュブレーキ」である。前側方プリクラッシュブレーキは見通しの悪い交差点や、コリジョンコース現象にて発生する事故に対して、横断車両を検知して、ドライバに警報する機能を持つ。また警報後にドライバ操作が無い場合は、ブレーキ介入し、衝突回避もしくは被害軽減する機能も有する。次章では本システムについて詳細を述べる。

3.　システム構成

前側方プリクラッシュブレーキのシステム構成を図3に示す。車両検知と制御演算を行うECU一体型レーダがフロントバンパー内の左右に各1カ所ずつ搭載されている（図4）。前側方レーダの役割は横断物体の検出である。ステレオカメラから送信される車速やヨーレート等のデータと、前側方レーダから照射される電波の反射を基に横断物体を検出する。その検出データから衝突リスクが高い物体情報をステレオカメラへ送信することで各機能を実現している。

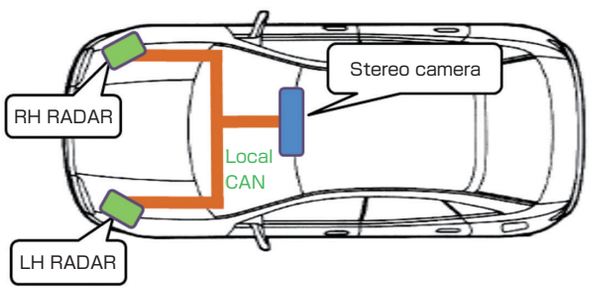


図 3　システム構成

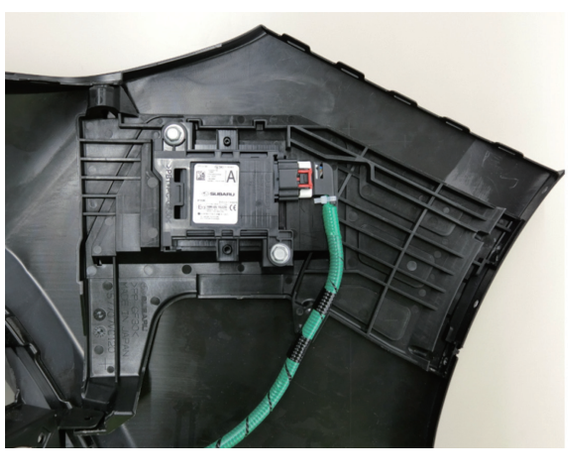


図 4　前側方レーダ搭載状況

3.1　77 GHz帯レーダ

前側方プリクラッシュブレーキには、77 GHz帯のレーダを採用した（図5）。車載用レーダのメインストリームは77 GHz帯と24 GHz帯であるが、77 GHz帯のレーダは24 GHz帯のレーダに比べ高分解能であり、精度よく物体を検知ができるためである。またアンテナを小型設計にできるため、ハードウェアをコンパクトにでき、フロントバンパー内へレイアウトしやすい利点も有る。反面、24 GHz帯と比較しバンパーの意匠・造形や塗装の影響を受けやすい。そこでレーダ搭載に当たり、意匠・造形及び塗装の影響を検証した。

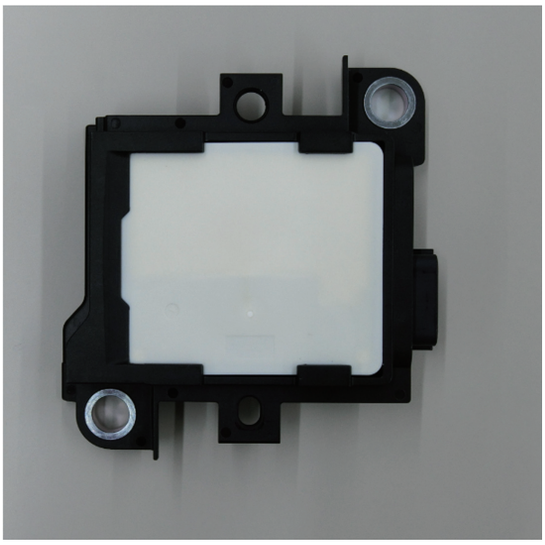


図５　77 GHz 帯レーダ

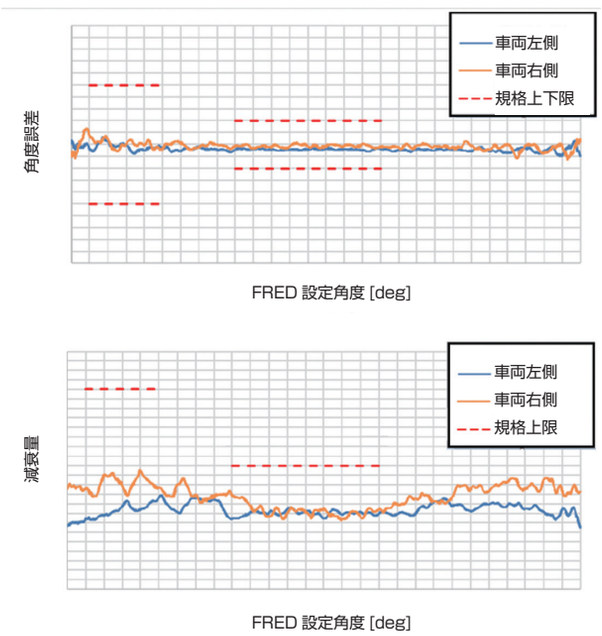


図６　造形＋塗装組み合わせ検証結果

図６は新型レヴォーグのバンパー造形＋塗装と前側方レーダの角度誤差及び減衰度の関係を示している。いずれもクライテリア（規格上限）を満足しており、レーダの認識性能に影響が無いことを確認している。

3.2　認識技術

前側方プリクラッシュブレーキの認識技術について、述べる。認識技術の一つとしてカルマンフィルタを用いた予測技術があり、前方レーダなどは前後方向一軸（X 軸）の動きを追従し制御対象物を認識している。一方、前側方プリクラッシュブレーキは横断車両の動きを追従する必要があり、特にターゲット車両が右左折するときには、前後方向（X 軸）だけでなく左右方向（Y 軸）の二軸追従性が重要になる、そこで、前後左右の二軸の動きに対応できるようにカルマンフィルタのチューニングを織り込んでいる（図７参照）。

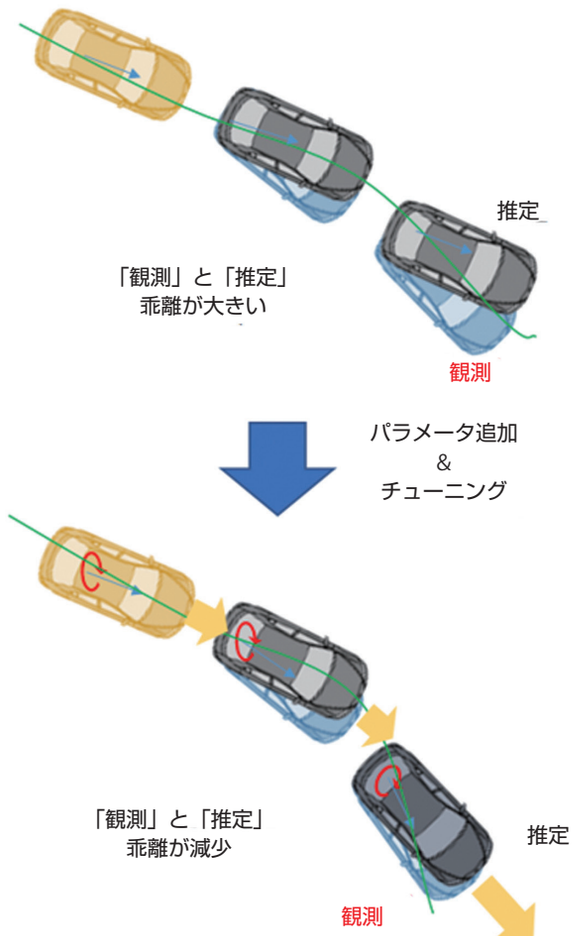


図７　横断車両検知追従イメージ

このようにカルマンフィルタの予測技術を強化することで、実際の車両の挙動を高精度で検出でき、より高度な判断、極め細やかな制御が行えるようになった。

3.3　制御技術

前側方プリクラッシュブレーキの制御技術について述べる。制御技術の一つとして、従来のプリクラッシュブレーキ制御[3][4]と異なる部分は、衝突の予測技術にある。出会い頭衝突事故は、追突事故と比べ、車両前後方向（X 軸）だけではなく、左右方向（Y 軸）の考慮が必要となる。また、自車と出会い頭車両の双方が高速で移動することで、衝突可能性がその時々で急激に変化するため、衝突予測が立て難い。そこで様々な出会い頭事故のシチュエーションを分析して事故の特性（X 軸と Y 軸）を明確化し、それを基に衝突可能性判断ロジックを新規に構築することで、制御実施判断の精度を向上させた。認識技術の精度向上との相乗効果により、警報は自車速約 60 km/h まで、ブレーキ制御は約 20 km/h までの作動を実現した。表２に他銘との

性能比較表を示す。他銘同等機能と比較しても作動領域が大幅に拡大しており、ダントツの性能を実現できている。

表２　他銘との性能比較表

	A社	B社	C社	次期レヴォーグ
警報 有／無	有	有	有	有
作動車速（警報）	30 km/h以下	15 km/h以下	10 km/h未満	60 km/h以下
ブレーキ制御 有／無	有	無	無	有
作動車速（ブレーキ制御）	10 km/h未満	–	–	20 km/h以下

その一方で、危険がない場面での機能作動（誤作動・早期作動・過剰作動）は抑制しなければならない（図8）。我々はリアルワールドでお客様が遭遇するシーンを分析し、車両が直前で曲がるケースや急カーブにおける対向車等に前側方プリクラッシュブレーキが作動しない様に、制御ロジックをチューニングしている。これを可能にしたのは、前述のカルマンフィルタのチューニングであり、対象物体が加減速や旋回した場合においても精度良く検出できることが性能に大きく寄与している。

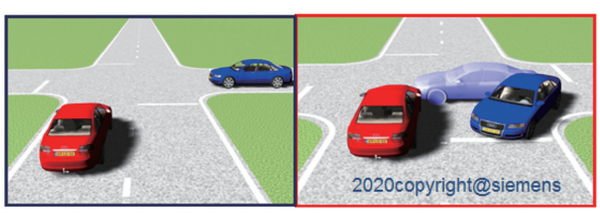


図８　衝突回避の見極めが必要なシーンの一例 (5)

4.　まとめ

今回開発した、前側方プリクラッシュブレーキを実現したことで、従来のシステムで検知エリア外であった前側方エリアをカバーすることができ、全方位センシングを実現した。SUBARUは2030年死亡交通事故ゼロを掲げており、一歩前進することができたと考える。これからも性能向上しつつ、他センサーの連携を強化し、より安全・安心な車をお客様へ届けたいと考える。最後に本開発において、ヴィオニア・ジャパン株式会社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) 新型レヴォーグ新車解説書
(2) 公益財団法人 交通事故総合分析センター
https：//www.itarda.or.jp/
交通事故集計ツールより
(3) 木戸ほか：運転支援システム「EyeSight（Ver3）」の開発，スバル技報，No41，P82 ～ P88
(4) 野村ほか：新型XVのEyeSightの開発，スバル技報，No44，P97 ～ P100
(5) PreScan：（2020 copyright@siemens）

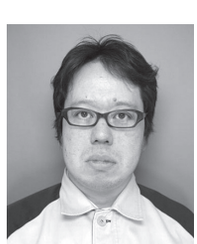
【著　者】

中川　　亮

萩原　広之

中島　　敬

香園　和也


清水　一亨

HMI コックピット統合システム：フル液晶メータ開発について

Cockpit HMI System：Development of Full Liquid Crystal Graphic Meter

清水孝則[*1] SHIMIZU Takanori
佐川一洋[*1] SAGAWA Kazuhiro
柿丸良佑[*1] KAKIMARU Ryousuke
佐藤秀樹[*2] SATO Hideki

抄　録

近年、お客様が手にするスマートフォンなどの電子デバイスや車両機能の高度化が進み、車載ディスプレイに表示する情報が格段に増えている。さらに運転支援技術の進化によって、運転負荷低減が可能となり、お客様が車を使って移動する間の過ごし方が変わりつつある。そのため、お客様に提供すべき情報も変わっていく。

私たちはお客様に安全で快適なドライビング環境を提供するために情報を最適化し複数ディスプレイをワンチップで統合制御するコックピットシステムを実用化してきた。今回はフル液晶メータを採用し、高度運転支援機能にも対応したHMIを構築しコックピットとして進化させ、実用化に至ったため、その内容について紹介する。

Abstract

Sophistication of devices like smartphones and vehicle functions have been advanced, and the amount of information shown on in-vehicle displays is dramatically increasing. Also, with the evolution of driving support technologies, driving load can be reduced. The ways customers spend time in vehicles are gradually changing. Thus, information that should be provided to them is also going to change.

To provide safe and comfortable driving environment to our customers, we have commercialized a cockpit system that optimizes information and integrally controls multiple displays with one chip. This time, we have adopted a full liquid crystal meter and evolved the cockpit system by establishing an HMI to correspond to ADAS functions.

1. まえがき

運転支援技術の進化によりドライバーにとって運転に必要となる情報が変わる。従来はドライバーがハンドルを握り運転操作するのに必要な車両状態（速度計など）を中心とした表示であった。しかし、高度運転支援機能の介入によりドライバーの運転操作が減少すると、従来通りの車両状態表示のみではシステムの動作状況が分からず不安になる。ドライバーが安心して高度運転支援機能を使用するためには、車両が認識している周辺環境やシステムの動作状態を判りやすく表示し、ドライバーと車両で意思疎通の図れるHMIが必要になる。運転支援技術の介入レベルに応じて異なるHMIの両立、さらにコックピット統合システムならではの表示として、周辺地理を把握することに適した地図モードを加え、HMI仕様を構築した。その開発の狙いについて解説する。

2. 開発の狙い

時代進化で増大した情報を整理し、ドライバーの運転環境に適した情報を提供するために以下の3つのモードを設定した。ドライバーが運転するときの「ノーマルモード」、高度運転支援（アイサイト）を中心とした「アイサイトモード」、走行ルートや地図情報を充実させた「地図モード」を設定した（**図1**）。各モードは、走行環境や好みに応じてドライバーが選択可能であり、フル液晶メータとコックピット統合システムと連携させることで量産化が実現した。その詳細について解説する。

＊1 電子商品設計部
＊2 車両研究実験第五部

図１　３種のメータ表示モード

2.1　日常運転に使うノーマルモード

運転に必要不可欠な速度計は、デジタル表示で判読性を向上させ、かつ運転中の視線移動量を最小限にすべく、メータ中心の上部に配置した。フル液晶メータでもその思想は変わらず、図２に示すノーマルモードを設定した。

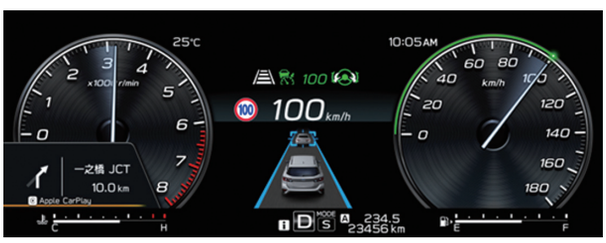


図２　ノーマルモード

従来から親和性ある2眼タイプのアナログメータを基調としており、燃費情報、オーディオ情報、簡易ナビ情報は左下に設置し、ステアリングに設置した画面切替用スイッチを操作することでドライバーが状況に合わせて画面を選べる構造としている。また、グレードによる意匠差別化も配慮したGUI構造としている（図３）。

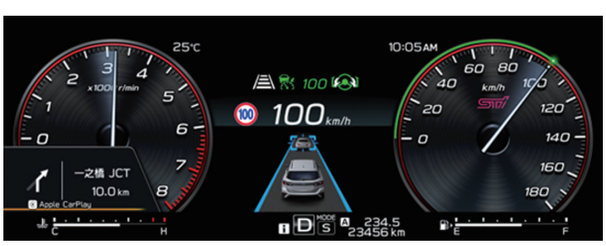


図３　ノーマルモード（STI-SPORT グレード）

2.2　高度運転支援を中心としたアイサイトモード

高度運転支援（アイサイト）には、自動車線変更やハンズオフレーンキープなど、運転負荷軽減に貢献する機能が備わる。従来型のアイコンが点灯／消灯する状態表示方法や故障灯が突然表示されるようなHMIでは、正しく制御が働いているか不安になる。このようなドライバーの不安を解消するためには、走行中に車が認識している周辺環境変化を適切に表示することが重要である。3種のモード全てで車の認識状態を表示しているが、高度運転支援機能が使用可能な自動車専用道路においては状態表示の判りやすさを追求したアイサイトモードを設定した（図４）。

図４　アイサイトモード

速度計や高度運転支援機能の設定状態、クルーズコントロールの設定状態は右側に集約し、進行方向先のカーブ状況や周辺車の検知状況を中心部に大きく表示させることで周辺環境変化を判りやすく示す表示とした。

2.3　見知らぬ所に行くときに便利な地図モード

お客様が遠くに外出するときは普段とは違う不慣れな道を通り目的地に向かう。目的地に辿りつく過程では一般道や高速道、様々な分岐が存在し、ドライバーが迷わず目的地に到達するためにはナビが欠かせない。また、複雑な道路環境になると分岐路が分かりづらく、センターに表示されるナビを見る頻度は増える。しかし、前方から目を離すことへの不安から経路を間違えてしまうこともあり、安全運転の観点では前方から目を離す時間と視線を移動させる距離は極力短縮することが望ましい。このような不安を払拭し安全性や利便性を高めるため、図５に示す地図モードを設定した。

図５　地図モード

他モードと同様、燃費情報やオーディオ情報、経路案内情報を左側に設定し、3種のモード表示において統一性を出している。ドライバーの見たい情報がモード毎で散らばらないようグルーピングに配慮した。

地図上に表示する情報は目的地到達に必要な情報（現在道路名称、高速略図、目的地ルート、看板、推奨走行ルート）に絞ることで安全性を高めた。また、細街路、一般道、高速道といった異なる道路種別に対応した縮尺へ自動で切り替わる機能を追加し利便性を

向上させた。さらに、目的地設定中は、ナビの案内ポイントに連動し、オートズーム／アウト機能も追加している。

2.4　フル液晶メータならではの表示

高精細なフル液晶を採用することでメータの表現力や表示の自由度が格段に増加する。この潜在能力を余すことなく、見やすさを追求したGUIを構築した。以下に具定例を紹介する。

2.4.1　見やすく効果的な表現

ドライバーが運転中に車両状態や周辺環境を素早く認識するためには、変化を認識しやすいGUIが重要である。3種のモード表示を切り替えるときやメータの針を動かすときなど、単純に画面を切り替えただけでは表示要素の変化が認識しにくく、見づらい。フル液晶ならではのアニメーションや表示のグルーピングを効果的に使用することで分かりやすさを向上させた。

3種の「ノーマルモード」、「アイサイトモード」、「地図モード」でメインとする表示を変えており、同一機能の表示でもモード毎でレイアウトが異なる。画面を切り替えるときに瞬間的な画面の遷移や表示要素の移動を行うと、ドライバーが混乱し、運転に必要な情報が読み取れない。デジタルスピードメータやクルーズコントロールの設定状態をグルーピングし、常に表示しながら画面切り替えを実施することで、見やすさに配慮した(図6)。

図６　画面切り替わり時の動作

上記以外にも詳細な部分に対する見やすさに配慮したものとして、図7に示すようにクルーズコントロールのSET車速と実車速を近くに表示して瞬読性を高める配慮を行った。また、指針の動作軌跡を表現し、動きを見せることで指針位置を瞬間的に把握しやすく、分かりやすい質感のあるGUIとした。他にも車線移動の動きとウィンカー作動状態(図8)、前方のカーブ表現(図9)を実走行環境に合わせて表現することで、ドライバーが瞬間的に分かりやすく車の認識状態を把握できるように配慮した。

図７　SET 車速表示

図８　車線変更表示

図９　カーブ認識状態

2.4.2　全画面警告表示

ハンズオフレーンキープからハンズオンレーンキープに切り替わるときなど、ドライバーへ瞬時に車両状態を伝え、運転の引継ぎを要求する場面がある。異変に対する気づきを瞬時に与え、即座に危険な状態を回避してもらうため、大きな画面を最大限活用した警告表示画面を設定した(図10)。

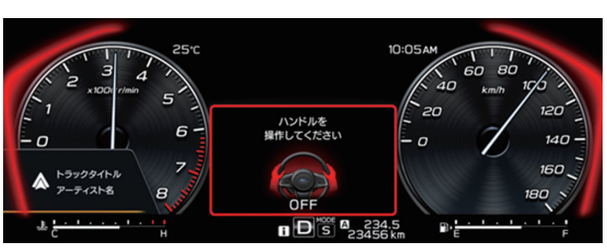


図 10　全画面警告表示

危険度に応じて警告色を使い分け、危険度が高い場合は画面全体を使った警報を行い、ドライバーが瞬時に危険を察知し回避行動が取れるように安全性を向上させた。

2.5　コックピット統合システム

運転支援機能が進化するとドライバーが必要とする情報が変わるのは上述の通りである。走行環境や周辺状況に応じたドライバーへのインフォメーションは重要度が増加している。分かりやすくドライバーに通知していくHMIを実現するには、音や表示を連携させたスムースな協調制御が必要になる。警報音を鳴らすときにオーディオ音量を即座に落とすといった全体的

な音のコントロールや上述の地図モードのように運転に必要なナビ情報をメータに表示し、周辺施設や駐車場などのアイコンはセンターディスプレイに表示するといった棲み分けのコントロールである。これら音・表示をコントロールし連携させるためには、音を切り替えるタイミングを遅延なく適切に行うことや、地図情報などの膨大なデータを複数ディスプレイに表示する協調制御が必要になる。これらを実現すべく、ワンチップでHMIを統合制御するハイパーバイザーシステム（図11）を使用した。地図情報など大きなデータの一元管理を行い、フル液晶メータやセンターディスプレイの複数ディスプレイの表示制御、オーディオシステムと連携した音の制御を行い、HMIとして完成させた。

図 11　ハイパーバイザーシステム概略図

3.　まとめ

今回、実用化したシステムは自動運転時代に車室内で必要となる情報をコントロールし、SUBARUの安全思想の維持、発展、及び最新のスマホアプリやクラウドサービスにも拡張性を備えた今後の基盤となるコックピットシステムである。

今後も世界中のお客様に安心と愉しさを提供し、ご満足いただける商品として発展させていきたい。

【著　者】

清水　孝則

佐川　一洋

柿丸　良佑

佐藤　秀樹

SUBARU フォレスター特別仕様車「X-Edition」を発表
～上質さとタフさを兼ね備えた2.5L エンジン搭載モデル～

2019年11月26日

フォレスター特別仕様車「X-Edition」を発表。2.5Lエンジン搭載車のフォレスター「Premium」をベースに、タフに使える装備や外観の力強さをさらに際立たせるアイテムを採用しました。

フォレスター「X-Edition」（メーカーオプション装着車）

実車計測用トルクセンサの精度向上及び車両燃費評価への活用

Improvement of Accuracy of Torque Sensor for Actual Vehicle Measurement and Utilization for Fuel Efficiency Evaluation

新谷　綾[*1] SHINTANI Aya
山本健文[*1] YAMAMOTO Takefumi
二神貴弘[*1] FUTAGAMI Takahiro
三昌洋一[*2] SANSHO Yoichi
櫻井勇毅[*2] SAKURAI Yuuki

抄　録

近年の地球温暖化対策では、燃費の改善が重要であり、諸性能と高次元でバランスさせる必要がある。

燃費開発の手戻りを少なくするためV字プロセスに従った机上検討での検証を進めるも、現状は実車上での検証精度が悪く手戻りの原因が分解できない。

本研究では、実車上での要素性能を精度良く計測／評価することで解決を目指す。

パワートレインの要素を分解するため、エンジンの軸出力を計測する高精度なドライブプレートトルクメータを開発する。

これにより実車上でエネルギー分解が可能となった。

Abstract

Improvement of fuel efficiency is an important countermeasure for global warming in recent years, and it is necessary to balance various performances at a high level.

In order to reduce the rework of fuel consumption development, we have carried out a desk-based examination according to the V-shaped process and proceed with verification. But currently the verification accuracy on the actual vehicles is poor and the cause of rework cannot be resolved.

In this research, we aim to solve by accurately measuring/evaluating the element performance on actual vehicle. We will develop a highly accurate drive plate torque meter that measures the shaft output of engine to disassemble the elements of powertrain. This will enable energy decomposition on the actual vehicles.

1. まえがき

近年の地球温暖化対策のため、燃費の改善が重要であり、またドライバビリティや振動騒音など燃費以外の性能とのバランス取りが課題である。初期設計段階で各目標値を机上検討にて定め、実車にて検証を進めている。

開発手法としては、V字プロセス（**図1**）がよく知られており、モデルベース開発のプロセス構成としてよく使われる[(1)(2)]。燃費評価においては最終段階である車両全体での実機検証の際に、目標燃費値を達成しているかを確認する。しかしエンジンやトランスミッションなどの各要素の段階で個々の単体性能目標はクリアしていても、組み合わせて車両になると目標燃費値を達成しないことがよく起こる。単体性能評価への手戻りとなり、効率の良い開発になっていない。一因として、実車上で各要素が単体性能評価通りの性能が、検証できていないことが挙げられる。具体的には、エンジン出力トルク兼トランスミッション入力トルクの実車上での計測精度が不足しており、要因分解が不十分になるケースがある。要因分解とは、各要素の出力トルク（**図2**）と回転数から伝達効率を算出することである。

本研究では複数ある計測手法の中からドライブプレートトルクメータの計測精度を向上させ、実車上でのエネルギー分解が正確に行えるように検討を行った。

＊1 パワートレインシステム性能開発部
＊2 (株)エー・アンド・デイ

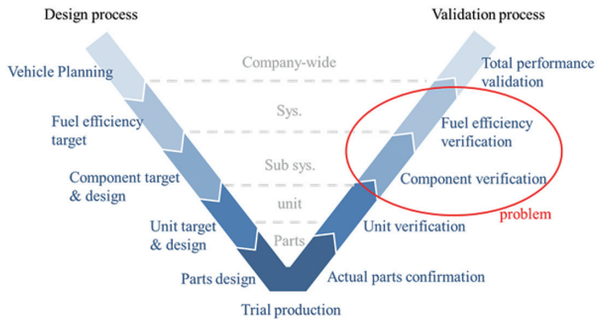


図１　理想的な開発プロセス

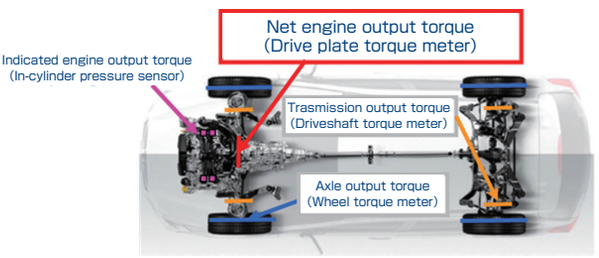


図２　各種トルク計による実車計測

2.　ドライブプレートトルクメータの精度向上開発

2.1　ドライブプレートトルクメータの精度目標値

エネルギー分解に必要なドライブプレートトルクメータの精度目標は0.1［%F.S.］＝±1.0［Nm］(図3)、

エンジンダイナモメータ用の0.1［%F.S.］を評価できる(＝0.03［%F.S.］)据え置き型軸トルクメータと比較することで検証する。従来のドライブプレートトルクメータの精度は約0.5［%F.S.］であり、従来比5倍の精度目標である。

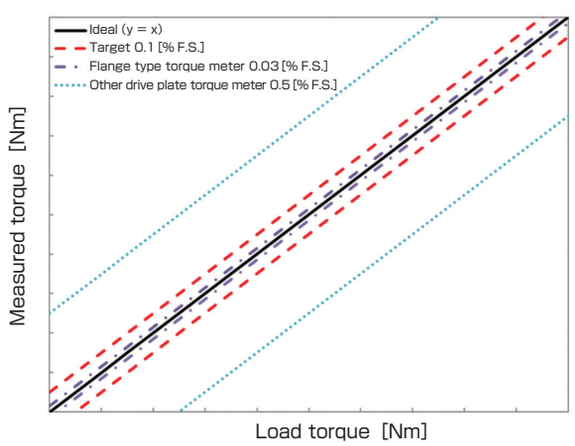


図３　ドライブプレートトルクメータの目標精度

2.2　ドライブプレートトルクメータの誤差要因

実車上で計測したい伝達トルク(＝回転モーメント)の誤差要因として、検出部に受ける外力が発生する実車上での挙動を検討し、以下の4項目に注目した。

①スラスト力
（トルクコンバータのバルーニングによる）
②曲げモーメント
（クランクシャフトの曲げ運動による）
③回転による遠心力
④温度

上記4項目は、ダイナモメータでの台上試験(図4)と、プレート単体試験の計測結果から、補正が可能であり、目標精度を達成する見通しが持てた※。

※形状による影響を除き、使用領域はモード燃費の使用領域に限る。

以降では4項目の誤差要因についてそれぞれの対策を示す。

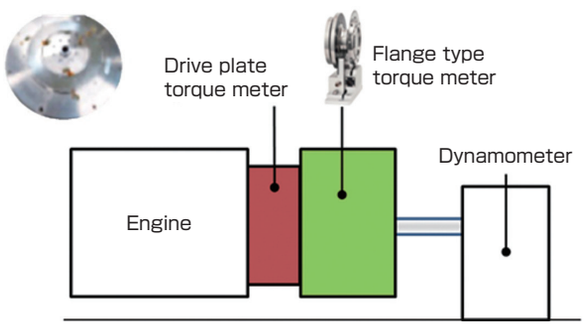


図４　動的評価のための機器構成

2.3　各精度悪化要因への対策

2.3.1　スラスト力／クランク曲げモーメントへの対策

この対策における最善の手段はトルクセンサの素の性能を良くすることである。従来のドライブプレートトルクメータは、トルクを検出するために4枚の歪ゲージを使用しブリッジ回路を構成していた。新型ドライブプレートトルクメータでは、トルクセンサに作用する様々な力により生じる歪を全て検出するために、従来1枚の歪ゲージを貼る箇所にドライブプレートトルクメータ専用の4素子の歪ゲージを貼り付け、ブリッジ回路を構成し、歪検出部の分担力を検出する分担力方式を採用した[3]。まず、静止状態で外部から既知の6分力Pを加え、その時の歪データを測定し、これらの相関係数を求める事により得られる行列Aを算出する。行列Aに歪ゲージから得られる歪データを乗算することで他の分力による影響を排除したトルク値へと変換する。この分担力方式を採用することで、クロストークを抑えることができ、精度悪化の主要因と考える4項目のうち、トルコンバルーニング(スラスト力)とクランク曲げモーメントの影響を最小限にすることが可能になる。ドライブプレートトルクメータにスラスト力のみを負荷した場合のトルク特性(クロストーク)を図5に示す。同様に、クランク曲げモーメントのみを負荷した場合のトルク特性(クロス

トーク）を図6に示す。分担力方式を採用することで、スラスト力、クランク曲げモーメントの影響を0.1［%F.S.］以下に抑えることができた。

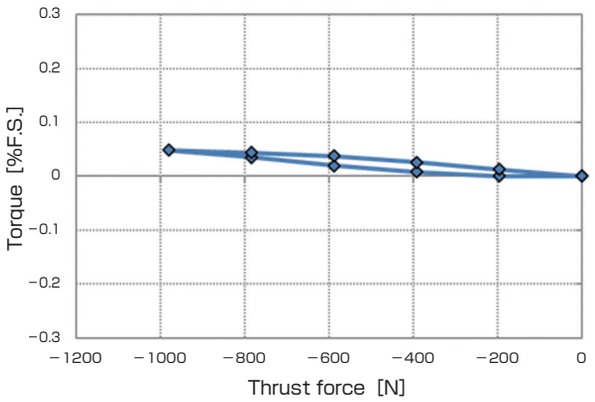


図５　スラスト力に対するトルク特性

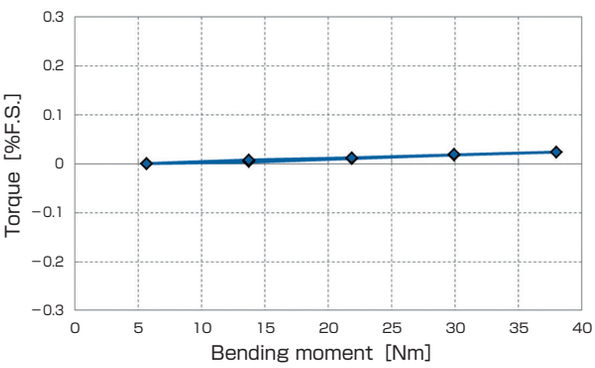


図６　曲げモーメントに対するトルク特性

2.3.2　回転影響への対策

ドライブプレートトルクメータは回転による遠心力の影響を受けて変形し、無負荷時にトルク値の零点が移動する。遠心力による影響のため、回転数とトルク値の零点移動量との間に2次の関係があり、外部から回転信号を取り入れ、式(1)、式(2) を用いて2次の回転補正を行うことで遠心力の影響を抑えることができる。無負荷でドライブプレートトルクメータを回転させた場合の回転補正によるトルク差を図7に示す。回転補正を行うことで、遠心力の影響を抑えることができた。

$$T_A = T - (A \cdot N^2) \quad (1)$$

$$A = Tc / Nc^2 \quad (2)$$

T_A：回転補正後トルク値　［Nm］
T：補正なしトルク値　［Nm］
A：回転補正係数
N：回転数　［rpm］
Tc：補正係数算出時のトルク値　［Nm］
Nc：補正係数算出時の回転数　［rpm］

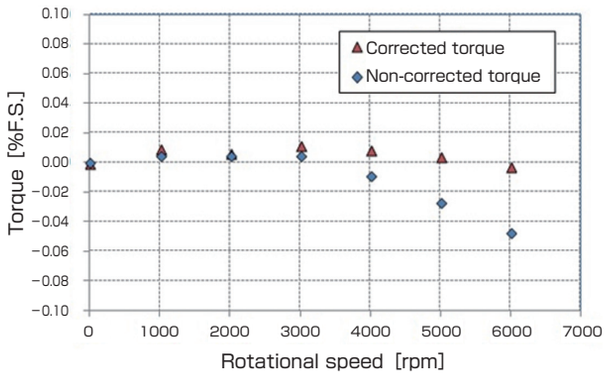


図７　回転数に対するトルク特性

2.3.3　温度影響の分析

精度悪化の主要因と考える4項目の中で最も大きな影響を与えているのは温度であった。ドライブプレートトルクメータは、エンジンとトランスミッションの間に配置されるため、温度変化が激しく、従来のドライブプレートトルクメータでは熱平衡状態になるまでの温度過渡時（暖機時）のトルク値が、基準となる軸トルクメータのトルク値と乖離していた。従来のドライブプレートトルクメータは、1点の温度センサによりトルク値を補正していたため、プレート本体の温度分布が時々刻々変化する温度過渡時にはトルク値を補正しきれなかった。

そこでまず、プレート本体の温度分布を調べるために、温度センサを歪ゲージの内周側と外周側にそれぞれ3か所ずつ配置し、外周側から加熱した場合と内周側から加熱した場合の比較を行った。歪ゲージと温度センサの位置関係を図8に示す。温度とトルクの零点移動の関係を見てみると外周側から加熱した場合と内周側から加熱した場合では熱の流れが反転するため、トルクの零点移動の方向が反転し、温度影響によるトルクの零点移動量も異なる結果となった。このことからプレート本体の温度分布がトルクの零点移動に影響を与えているということが明らかになった。

また、外周側から加熱した場合と内周側から加熱した場合、どちらもプレート本体の内外温度差とトルクの零点移動量に比例関係があることがわかった。

2.3.4　実機上での温度分布影響への対策と結果

次に、実機上においてドライブプレートトルクメータで径方向内外周部の温度差が発生しているかを調査した。調査の結果、冷間スタートの際、プレート本体の内周部と外周部とで温度差が生じ、暖機過程で内周側温度が外周側温度に比べて高くなったことから、クランクシャフト側からの入熱の影響が大きいことが判明した。また、暖機後も一定の温度差を保ちながら温度が推移していることを確認した。実機においても温

度差が発生していることが明らかになったので、新型ドライブプレートトルクメータでは、プレート本体の温度分布に対応するため、温度センサを図8の位置に配置した。内周側3か所、外周側3か所の温度はほぼ同じであることが確認できたので、内周側温度3か所と外周側温度3か所をそれぞれ平均し、2chの温度データとして出力している。

ドライブプレートトルクメータは、実機での調査からもわかるように、クランクシャフト側からの入熱の影響が大きいため、低温から測定開始した場合、プレート本体の内周側が外周側より先に暖められる。歪ゲージから見て内周側温度が外周側温度より高いため、内周側変形量と外周側変形量に差が生じ、この変形量の違いにより、歪検出部に歪が発生する。この歪が温度過渡時（暖機時）の精度悪化の主要因になっていると考える。そこで実験結果から得られた、同一センサにおいて、内外の温度差とトルクの零点移動量との間に比例関係があることに着目し、この温度差を用いてトルクを負荷しなくても発生する温度過渡時の歪を補正する手法を着想した。

プレート本体の内外温度差とトルクの零点移動量に比例関係があるため、温度過渡時データの温度差とトルクの零点移動量から補正係数を算出し、下記の式(3)を用いてトルクを負荷しなくても発生する温度過渡時のトルクを補正する。

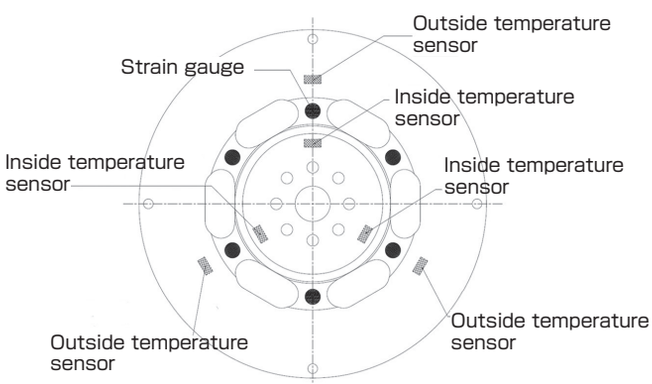


図８　ドライブプレートのひずみゲージと温度センサの位置関係

$$T_B = T - B\,(Tmp_{in}\text{-}Tmp_{out}) \qquad (3)$$

T_B：温度差補正後トルク値　［Nm］
T：補正なしトルク値　［Nm］
B：補正係数
Tmp_{in}：内側温度　［℃］
Tmp_{out}：外側温度　［℃］

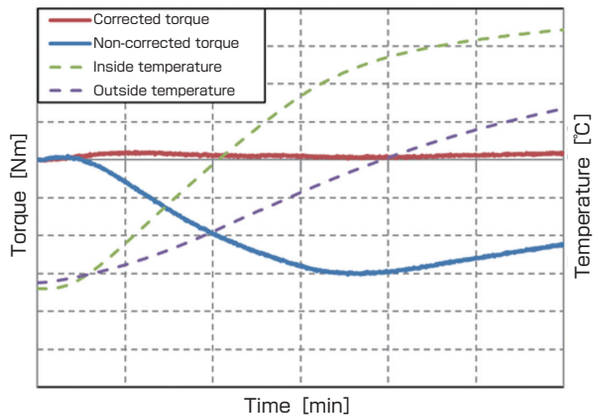


図９　温度の過渡変化に対するトルク特性

無負荷であるにもかかわらずトルクが出力されることからも温度の影響が精度悪化の最も大きな要因と考える。これに対し、内外の温度差とトルクの零点移動量から補正係数を算出し、式(3)を用いて補正をすることで温度過渡時に発生する見かけトルクを抑えられていることがわかる（図9）。

以上のことから、ドライブプレートトルクメータを開発することで従来のドライブプレートトルクメータの精度悪化の主要因であると考えるトルコンバルーニング（スラスト力）、クランク曲げモーメント、回転、温度の影響を抑え、トルク測定精度を向上させることができた。次章に新型ドライブプレートトルクメータの実機での結果を示す。

3.　エンジン台上での検証

3.1　エンジン台上試験の試験系構成

前章でドライブプレートトルクメータ単体での精度検証を行ったので、次の段階として、エンジンベンチ上での精度を検証した。トランスミッション由来の誤差因子であるスラスト力について、単体試験では誤差に大きく影響しなかったため、エンジンからのクランク曲げ、温度、回転の複合影響を受ける状態で試験を行った。エンジン、新型ドライブプレートトルクメータ、トルク値の基準となる軸トルクメータを直列に配置し（図4）、軸トルクメータと新型ドライブプレートトルクメータとの差分を検証した。

3.2　試験結果

図10に、エンジン定常運転を行った際の軸トルクメータの計測値に対する新型ドライブプレートトルクメータの計測値及び誤差範囲を示す。目標の0.1［%F.S.］に対し僅かに及ばなかったが、暖機後の定常運転では、0.15[%F.S.]程度の誤差であると確認できた。図11に、エンジントルクを変動させた際の新型ドライブプレー

トトルクメータと軸トルクメータのトルク計測値と軸トルクメータを基準とした誤差を示す。過渡分を含む全体を通して、0.15［%F.S.］程度に抑えられている。また、暖機前後での温度によるゼロ点ドリフトも0.15［%F.S.］以内であった。

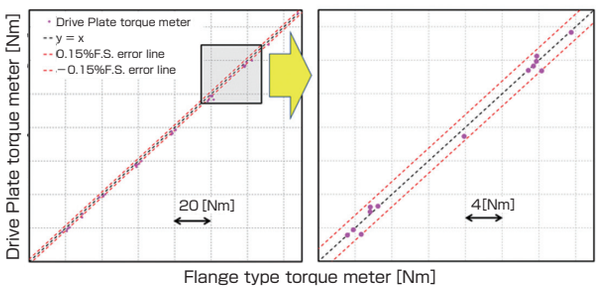


図 10　参考値との比較

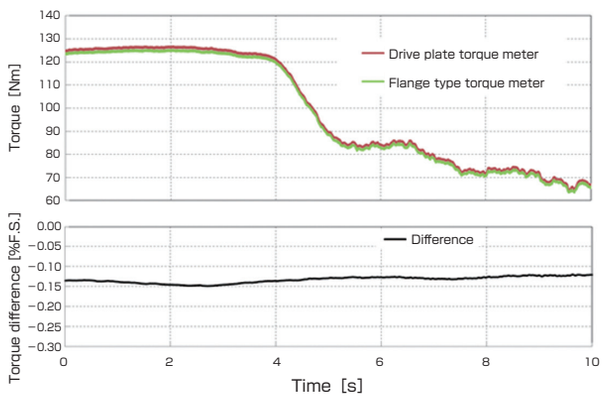


図 11　トルク計測の応答性

4.　実車への搭載試験

4.1　供試車両

新型ドライブプレートトルクメータを実際に車両へ搭載し、シャシダイナモ上でJC08モード試験を実施した。本車両には、ドライブプレート仕事に対する駆動系の損失を実測するため、各ドライブシャフトにドライブシャフトトルクメータを装着し、ドライブシャフト仕事を計測した(**表1**)。

表 1　供試車両の諸元

Vehicle type	SUV
Engine type	Direct Injection w/Auto Start-Stop
Transmission	CVT
Drive Plate	Drive plate torque sensor w/ Temperature sensor
Drive shaft	Drive shaft w/torque meter

4.2　試験結果

JC08 Coldモードの計測データを**図12**に示す。モードスタート後、暖気が進むにつれドライブプレート内周と外周に温度差が生じ、モード終了時に約10℃の温度差となった。この温度差を用いたトルク補正の有効性を確認するため、トランスミッションがニュートラル状態、且つエンジン回転数も0［rpm］となり、ドライブプレート上のトルクが約0［Nm］と見なせるアイドリングストップ中のドライブプレートトルクを抜出し確認したところ、モード中の変動値は0.1［%F.S.］以下となり、補正が実車上でも有効に機能していることが確認できた。

図13にJC08モード走行における、駆動系伝達効率の実測及びシミュレーションとの比較を示す。伝達効率［%］は式(4)～(6)を用い、アクセルONで走行中の区間(**図14**)における、ドライブシャフトトルクメータで計測したトルクから計算した積算仕事に対する、ドライブプレートトルクメータで計測したトルクから計算した積算仕事の割合とした。Coldモードにおいては、スタート時のトランスミッション油温が低く、スピンロスが増大することで、伝達効率はHotモードよりも悪化する。しかし従来品はColdモードにおけるトランスミッションの伝達効率が、Hotモードを上回る計測結果となっており、暖気途上のトルク計測誤差が走行中にも影響を及ぼしている可能性が考えられる。新型ドライブプレートトルクメータでは、Coldモードにおける伝達効率がHotモードより小さくなっており、シミュレーションに近い値を示した。停車中に加えて、過渡状態においてもトルク補正が有効に機能していると考えられる。

伝達効率［%］

$$= P_{ds\ total} / P_{dt\ total} \times 100 \qquad (4)$$

$P_{dt\ total}$：アクセルONで走行中のP_{dt}積算値

$$P_{dt} = T_{dt} \times n_{Eng} \times 2\pi / 60 / 1000 \qquad (5)$$

P_{dt}：ドライブプレート仕事［kW］

T_{dt}：補正後ドライブプレートトルク［Nm］

n_{Eng}：エンジン回転数［rpm］

$P_{ds\ total}$：アクセルONで走行中のP_{ds}積算値

$$P_{ds} = T_{ds} \times n_{ds} \times 2\pi / 60 / 1000 \qquad (6)$$

P_{ds}：ドライブシャフト仕事　［kW］

T_{ds}：ドライブシャフトトルク［Nm］

n_{ds}：ドライブシャフト回転数［rpm］

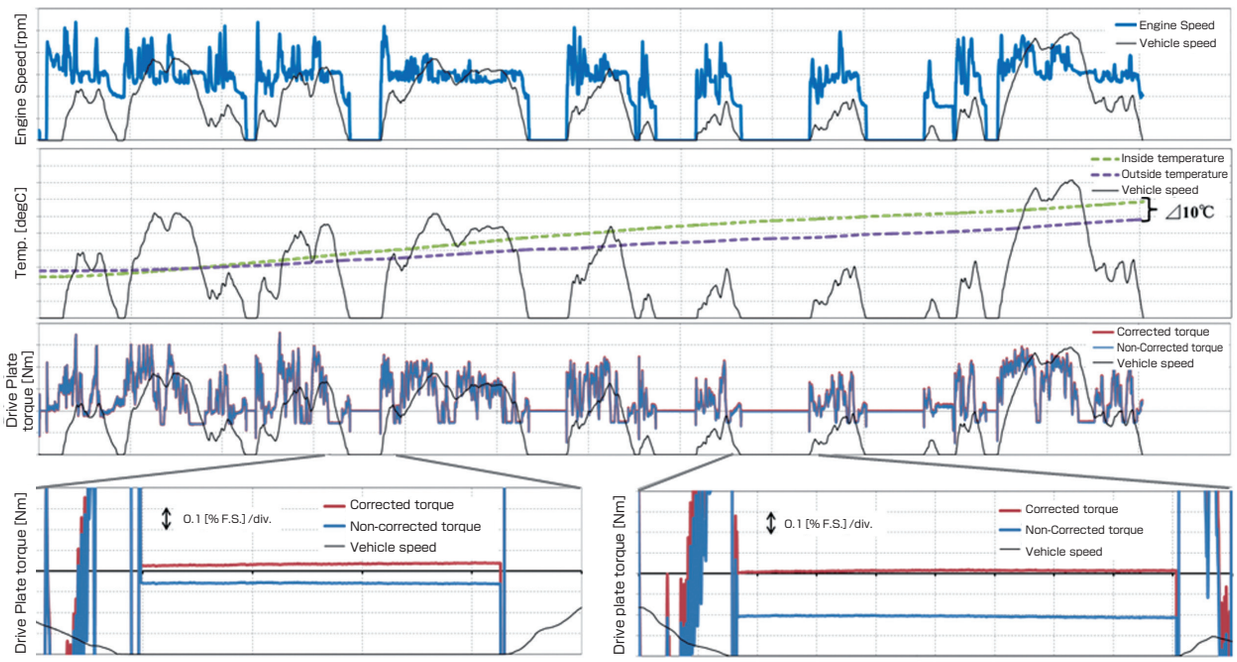


図 12　JC08cold のモード走行データ

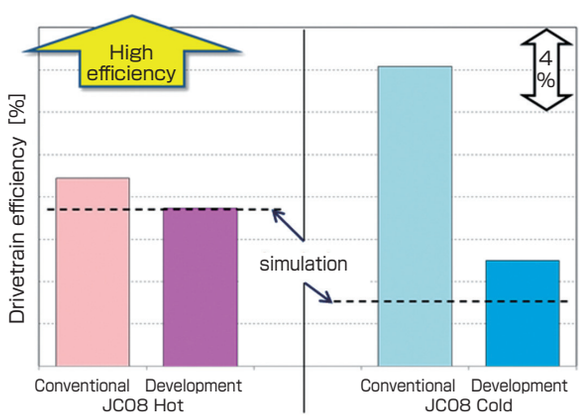


図 13　JC08 モード走行試験でのパワートレイン効率

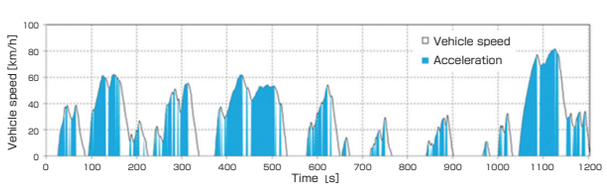


図 14　JC08 モード走行時の加速領域

5.　まとめ

本研究の成果として、ドライブプレートトルクメータの単体試験において目標精度0.1［%F.S.］を達成できた。 他の外力による影響を極力少ない状態で、計測したい伝達トルクを計測できるようにし、温度センサによって大きな誤差要因であった過渡温度変化による誤差をリアルタイムで補正できるようにし、誤差を低減することができた。

その他の成果としては以下4点の通り。

(1) ドライブプレートトルクメータの精度にはプレート本体の温度分布が大きく影響している。
(2) ドライブプレートトルクメータの内外温度差補正が精度向上に有効である。
(3) エンジンの台上試験において、定常／過渡含め0.15［%F.S.］の精度を確保できた。
(4) 実車上で計測した高精度なエンジン正味出力を使用することで、理論値により近い伝達効率の算出と実車上でのエネルギー分解ができるようになった。

目標精度は達成できたので、今後は信号処理の自動化等、使いやすさを含めた実際の開発への適応を目指す。本研究では、社内外の多くの方にご協力いただいたため、改めてお礼申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

(1) 横田貴之, 中川正, 岡本圭, 大三川稔：1D ヒータシミュレーションモデルの開発, 自動車技術会学術講演会予稿集, No.20166372（2016）
(2) 水谷健介, 森田篤士, 只熊憲治, 飯田貴昭：ドライバーモデルとPT-VRSを連携活用したモード燃費性能開発プロセス,自動車技術会学術講演会予稿集, No.20195113（2019）
(3) 市毛達男, 渡辺学,水川尚信, 立川弘一：モデルベース高速応答高精度軸トルク計の開発自動車技術会学術講演会公演予稿集 No.127-08,p5-p8（2008）

【著　者】

新谷　　綾

山本　健文

二神　貴弘

三昌　洋一

櫻井　勇毅

SUBARUの2020年モデルがIIHS 安全性評価で９つの賞を獲得

2020年2月20日

SUBARUが米国で販売している2020年モデルが、米国IIHS（道路安全保険協会）によって行われた2020年安全性評価において、最高評価である４つの「トップセイフティピックプラス（TSP＋）」と５つの「トップセイフティピック（TSP）」の、計９つの賞を獲得しました。

2020 年モデル アウトバック（米国仕様）

2020 トップセイフティピックプラス ロゴ

燃費開発における燃費性能の悪化原因分析

Analysis of Causes of Fuel Consumption Deterioration in Fuel Efficiency Development

荒　井　秀　之[*1]　ARAI Hideyuki
菅　沼　邦　彦[*2]　SUGANUMA Kunihiko
若　本　進　児[*2]　WAKAMOTO Shinji
山　口　　暁[*2]　YAMAGUCHI Satoru
中　山　智　裕[*2]　NAKAYAMA Tomohiro
保　坂　　浩[*3]　HOSAKA Hiroshi

抄　録

燃費開発において、前の開発イベントで達成した目標燃費が、次の開発イベントに移行すると開発者の意図に反して未達になる、という開発が散見され、その都度、原因究明や目標達成の挽回活動のために開発のやり直しが発生していた。

その状況を打開すべく、本活動では『意図しない燃費悪化』が起きる原因を探るべくCAE解析や実機評価を行い、燃費性能が変わるのは部品の寸法バラツキによるものとそれ以外のものが存在することがわかった。

一部推定を入れながら、燃費悪化が発生するメカニズムを明らかにし、活動で得られた知見を紹介する。

Abstract

In fuel economy development, there are occasional developments in which the target fuel economy achieved in the previous development phase becomes unachievable at the next phase against the developer's intentions. These developments had to be redone to achieve the target performance. In order to overcome the situation, in this activity, CAE analysis and actual engine evaluation are conducted to find out the cause of "unintended fuel consumption deterioration". As a result, it is understood that the fuel consumption performance changes due to dimensional variation of parts and other things. We will introduce the findings including some estimates obtained from the activities to clarify the mechanism of the fuel consumption deterioration.

1.　はじめに

【本活動の目的】

燃費開発において、前の開発イベントで達成した目標燃費が、次の開発イベントに移行すると開発者の意図に反して未達になる、という開発が散見され、その都度、原因究明や目標達成の挽回活動のために開発のやり直しが発生していた(図1)。

その状況を打開すべく、本活動では『意図しない燃費悪化』が起きる原因を明らかにし、燃費悪化を抑制するために、管理するべき部品・部位やエンジンの状態などを明確化する。

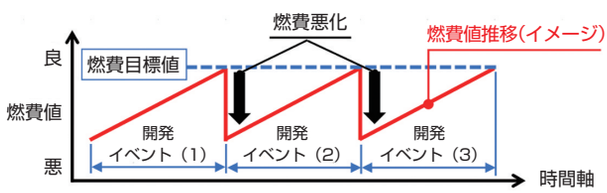


図１　燃費開発状況（イメージ図）

【本活動の範囲】

この活動は開発中のエンジンで、イベント前後に意図しない燃費性能変化が起きたことが発端となったことから、手掛ける活動の主テーマはエンジンとした。

2.　燃費性能影響

【調査・分析方法】

開発者の『意図しない燃費悪化』が起きる原因を特定するために下記2つの方法を取った。

・寸法公差範囲の寸法バラツキによる燃費性能影響

＊1 技術管理部
＊2 エンジン性能開発部
＊3 パワートレインシステム性能開発部

・寸法バラツキ以外の原因による燃費性能影響

以下に2つの方法で得られた結果を説明する。

2.1　寸法公差範囲の寸法バラツキによる燃費性能影響

エンジンの燃焼特性変化をコントロールすることができれば、燃費性能をコントロールすることができると考え、その中で寄与度が高いと考えられる『ガス流動』を代用指標とした(図2)。なお､この活動では『ガス流動』は、みだれ強さ及びタンブル比と定義した。

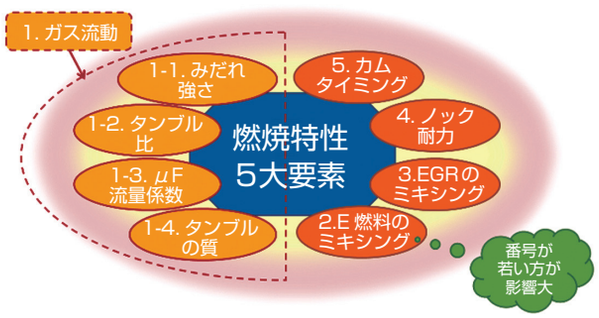


図２　燃焼特性を構成する要素

開発イベント前後で図面不変であっても燃費性能が変わることがあったことから、燃費性能に変化を及ぼした原因として、『図面寸法の公差範囲』で実際の部品寸法がバラついていたと推定した。

そこでCAE解析を用い、図面公差範囲内で部品寸法がバラついた際に、ガス流動が大きく変化する部品及び部位について、4つの部品・部位を特定した。

①TGV※クリアランス

②インテークマニホールド(インマニ)取付け位置

③ポート内隔壁位置ズレ

④インジェクタ噴霧向き

※TGV=Tumble Generation Valve

2.1.1　調査分析

CAE解析で特定した4部品・部位について、実際に図面中央値品、及び寸法公差上下限品を実エンジンに取り付け、燃費性能への影響代を確認した。

なお、各部品・部位の呼称を以下と表記する。

・寸法公差バラツキがガス流動【強まる】側＝上限＝上

・寸法公差図面中央品＝中央＝中

・寸法公差バラツキがガス流動【弱まる】側＝下限＝下

評価時の4部品・部位の仕様表記方法は

左から右に向かって、

①TGVクリアランス、②インマニ組付け、③ポート内隔壁位置ズレ、④インジェクタ噴霧向き、とする。

例)『中中中下』＝①②③は図面中央品、④インジェクタ噴霧向きのみガス流動下限品(各部品の仕様については図3を参照)。

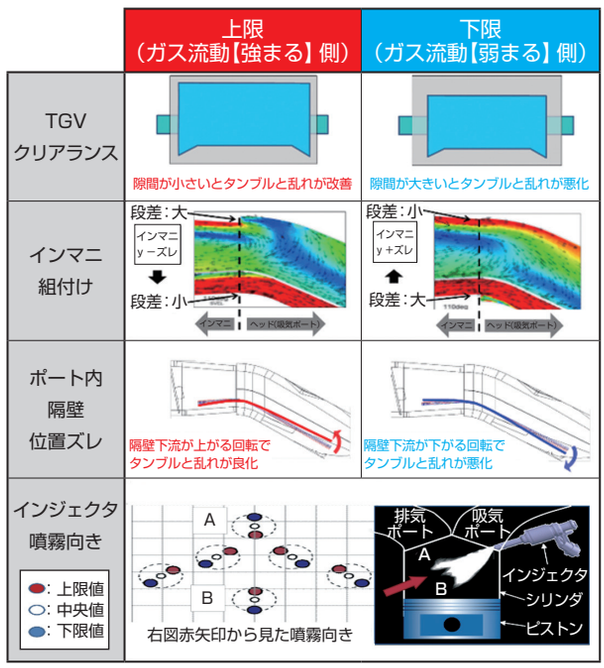


図３　部品寸法公差上下限とガス流動との関係図

実機評価から得られた知見は以下に記述する。

2.1.2　結果

[知見1] ガス流動影響

・寸法バラツキが、ガス流動が強まる側の部品影響

→燃費性能が良化or変化なし

・寸法バラツキが、ガス流動が弱まる側の部品影響

→燃費性能が悪化

上記の結果により相対的な燃費性能の上下関係と、具体的な燃費性能影響量を確認した(図4参照)。

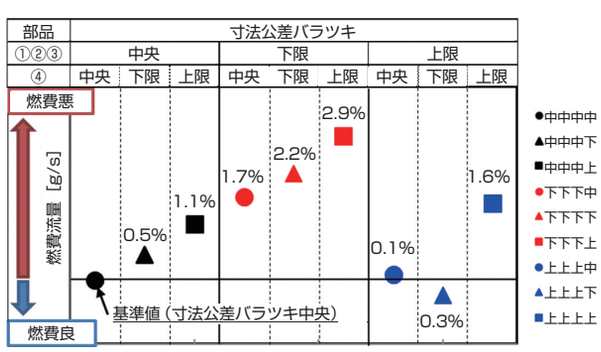


図４　部品バラツキと燃費影響 (実エンジン評価結果)

[知見2] 混合気分布影響

・寸法バラツキが、ガス流動が強まる側の部品影響

(燃料噴霧向きが中心寄り)

→燃費性能が悪化

・寸法バラツキが、ガス流動が弱まる側の部品影響

（燃料噴霧向きが外側寄り）
→燃費性能が良化or悪化

この結果はガス流動を中心とした考え方では、燃費性能影響が逆の結果となったため、CAE解析結果をもとにメカニズムを考察した。

ガス流動が強まるインジェクタ噴霧向き『上限』は、燃焼室内にA/Fが低い混合気（過リッチ混合気）が多く存在。そのため、燃焼室内の混合器分布が不均一にとなり、燃焼を悪くさせてしまったと推測。

ガス流動が弱まるインジェクタ噴霧向き『下限』は、燃焼室内の混合気分布がより均一になったが、結果的にガス流動が弱まった分で燃費性能が悪化する条件が存在したと推測（図5参照）。

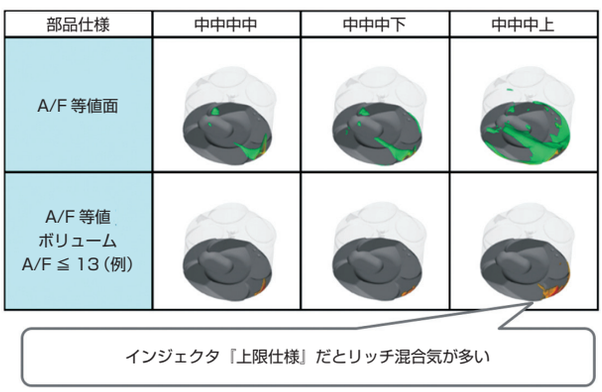


図5　筒内の混合気分布解析結果（@ 300 deg.ATDC）

［知見3］点火タイミング影響

燃費性能が異なる同型式エンジンの燃費性能を詳細に比較し、燃費性能差が発生する原因を探った。

同型式のコンベンショナル車用エンジンで、相対的に『燃費性能が良いエンジン』と『燃費性能が悪いエンジン』の燃焼波形を比較すると、『燃費性能が良いエンジン』に対し、『燃費性能が悪いエンジン』は点火時期が遅れているように見えたため、制御で1deg.CA分進角させると燃焼波形が、『燃費性能が良いエンジン』と同等になった（図6参照）。

燃焼期間についても『燃費性能が良いエンジン』に近くなったことを確認した（図7参照）。

燃費性能比較時は同じ制御を用いたことから、点火時期を決める部品が部品寸法公差範囲でバラついて、1 deg.CA分ずれていたと推測。

2.2　寸法バラツキ以外の原因による燃費性能影響

今回の活動では、部品の寸法バラツキによる燃費影響以外に、実エンジン評価中に発生した問題事象から得られた知見を以下に述べる。

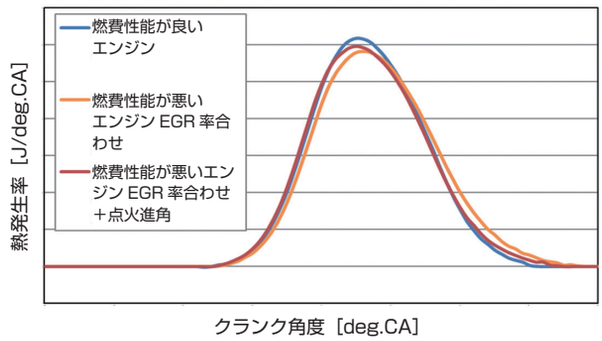


図6　別個体エンジンの性能差と制御影響（1）

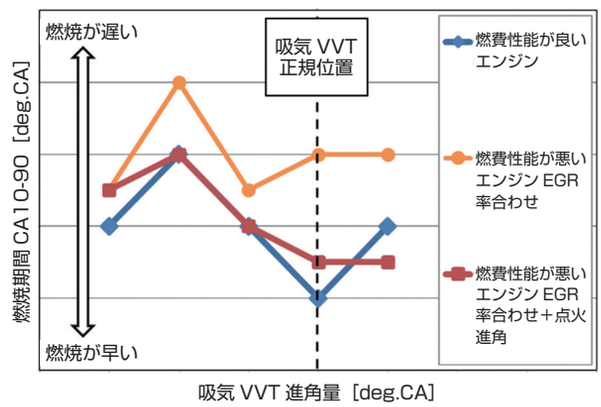


図7　別個体エンジンの性能差と制御影響（2）

2.2.1　結果

［知見4］燃焼室内の汚れ（カーボン）の影響

考察1：運転時間が長かった『燃費性能が良いエンジン』（運転時間100 h超）を、分解洗浄及び再組みしたのち、燃費性能を評価すると再組み前よりも燃費性能が悪化した。

熱勘定を分析すると、再組み前後での燃費性能悪化は冷却損失の悪化が主原因と読み取れた（図8（1）、（2）参照）。

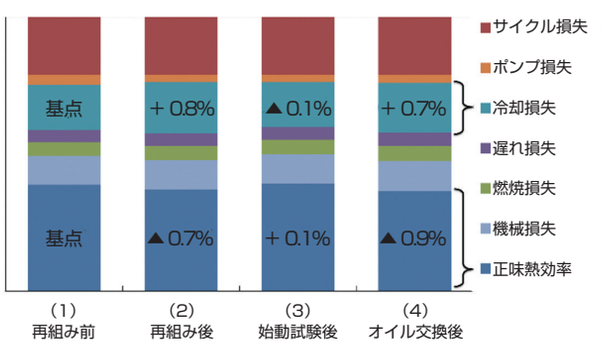


図8　熱勘定分析（エンジン再組前後）

考察2：［知見1］［知見2］を得た評価エンジンで、新品組立て後、100h余り評価をした際の燃費性能と、その後にカーボンクリーナで燃焼室内のカーボンを除去し、再評価した燃費性能を比較すると、カーボン除去後の方が、燃費性能が悪く、等容度が低下していた（図9参照）。

上記考察から、燃焼室内のカーボン有無により、
1) カーボンの断熱効果(←冷却損失の変化より)
2) 圧縮比の変化(←等容度の変化より)
の2つが燃費性能に影響したものと推測。

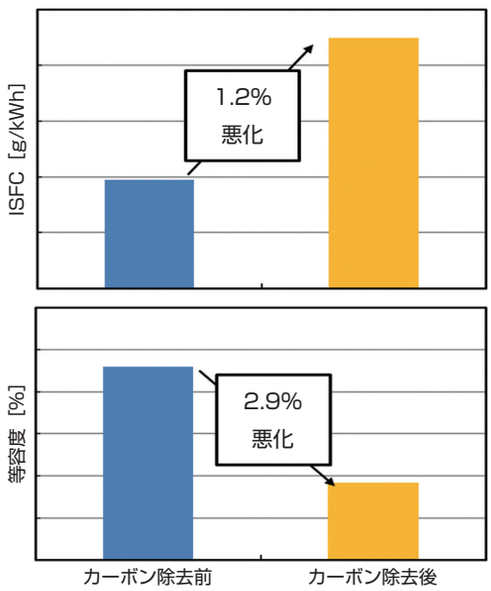


図９　別個体エンジンの性能差と制御影響 (3)

[知見5] EGR率の差

[知見3] で評価した『燃費性能が良いエンジン』と、新品状態に近い『燃費性能が悪いエンジン』の外部EGR率を比較すると、同一制御では『燃費性能が悪いエンジン』の方が、外部EGR率が高く、燃焼が不安定な状態だったため、EGRステップ数を減じ、『燃費性能が良いエンジン』と同じ外部EGR率に合わせると燃焼が安定した。

上記と合わせ、[知見3] 点火タイミングを調整することで『燃費性能が良いエンジン』と同等の燃焼時間となった(図7、10参照)。

運転時間の違いなどから、EGR通路内がデポ等の付着物で通路面積に差があり、EGRガスの流れ(=ガス量)の違いが発生。『燃費性能が良いエンジン』と合っていたEGRバルブステップ数では『燃費性能が悪いエンジン』にとってEGRガスが過多となり、燃費性能を悪くさせていたと考えられる。

[知見6] エンジンオイルのガソリン希釈

『燃費性能が良いエンジン』を再組み後、燃焼室内のカーボン付着を促進させるために、始動試験を繰り返した後に評価すると、燃費性能が向上した。

燃焼室内のカーボン有無により燃費向上したものと考えたが、その後エンジンオイルを交換し、再評価をすると、エンジン燃費性能が始動試験を繰り返す前の性能に戻ってしまった。

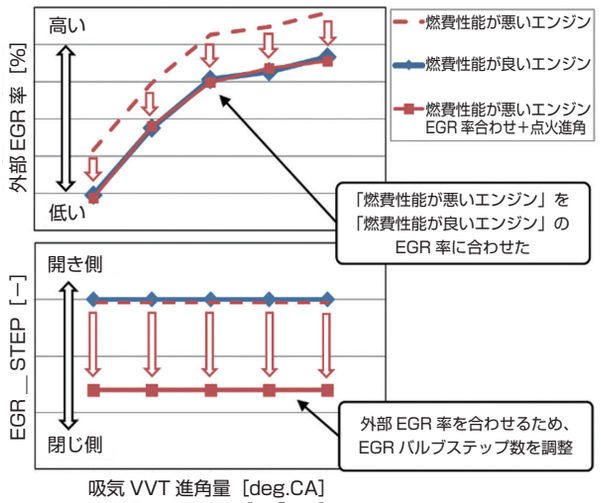


図 10　別個体エンジンの性能差と制御影響 (4)

変化点はエンジンオイルのみのため、始動試験の繰り返しによりエンジンオイルへのガソリン希釈が進み、油中に溶けたガソリンが運転中に燃焼室に戻り、見かけ上燃費性能が良くなったのではないかと推測(図8(2)、(3)、(4)参照)。

3.　まとめ

得られた結果から、開発イベント前後で相対的に以下の変化がある場合は燃費性能が悪化する。

[1] 寸法公差範囲の寸法バラツキによる燃費性能影響

[知見1] ガス流動影響
・ガス流動を弱まる側に寸法がバラついた場合。

[知見2] 混合気分布影響
・寸法バラツキが、ガス流動が強まる側(燃料噴霧向きが中心寄り=過リッチ混合気が増える側)に寸法がバラついた場合。

[知見3] 点火タイミング影響
・点火タイミングが、燃費性能が悪くなる側にバラついた(遅れた)場合。

[2] 寸法バラツキ以外の原因による燃費性能影響

[知見4] 燃焼室内の汚れ(カーボン)の有無
・燃焼室のカーボン付着量が減った場合。

例) 前の開発イベントのエンジンは長期の評価で、燃焼室にカーボン等の汚れが付着。次の開発イベントで新しいエンジンが組まれると、燃焼室はカーボン付着がない状態となるため、結果的にイベント前後でカーボン付着が減ったことになる。

［知見5］EGR率の差
・部品の状態違い（部品個体バラツキ、経時による変化含む）で、狙いのEGR率に対し過多にEGRガスが流れる場合。

［知見6］エンジンオイルのガソリン希釈
・エンジンオイル内にガソリンの含有が少ない場合。

なお、今回の知見を得た際の評価エンジンは以下の3機種を用いた。
・［知見1］［知見2］［知見4（考察2）］
図面寸法中央／公差上下限品評価用エンジン
・［知見3］
『燃費性能が良いエンジン』（運転時間100h超）
『燃費性能が悪いエンジン』（新品状態に近い）
・［知見4（考察1）］［知見5］［知見6］
『燃費性能が良いエンジン』
※全て同型式のコンベンショナル車用エンジン

4. 所見

本活動を始める際、開発イベント前後で発生する、燃費悪化の原因は部品の寸法バラツキによるものと考えていた。開発イベント前後で部品の型割などが変わったりする場合があるからだ。

しかしながら、開発イベント前後で燃費が悪化した例が多かったことを考えると、［知見4］［知見5］［知見6］のような長い運転時間で発生する、燃焼室やEGR通路、エンジンオイルの汚れが、開発者の『意図しない燃費の悪化』を発生させてしまう主原因となる可能性があり、目標を達成した際の評価エンジンの状態（汚れ具合など）を押さえておくことが、『意図しない燃費の悪化』を抑制する対策の1つと考える。

今回の活動では、
・メカニズム（CAE解析）推定→燃費性能の実機評価
・燃費性能実機評価結果→CAE解析によるメカニズム推定
を行ったが、一部推論が残っている。まとめに記述した内容の決定的証拠を押さえるためには以下の確認項目が残っている。今後機会があれば確認を進めたい。
1）非定常流計測による燃焼室内のガス流動の確認
2）定常流計測による吸気ポート流動特性の確認
3）ICOS※による燃焼室内の混合気分布の確認
4）カーボン除去による圧縮比変化を見るための筒内波形の確認
5）カーボン除去による冷却損失の変化を見るための熱勘定の確認
6）点火タイミング関連部品を組み直し、点火タイミングがずれることを確認

※ICOS=Internal Combustion Optical Sensor

この活動で得られた知見はすでに開発に取り込まれているものもあり、開発者の『意図しない燃費の悪化』が今後減少していくこと期待したい。

5. 最後に

本活動にご賛同いただき、評価部品の選別、CAE解析、評価用エンジンの準備、評価、分析まで行ってくださいました、関係部署皆々様に厚く御礼を申し上げて、本文の締めくくりとしたい。

【著　者】

荒井　秀之

菅沼　邦彦

若本　進児

山口　　暁

中山　智裕

保坂　　浩

動的質感を向上させるサスペンションの開発プロセス

Suspension Development Process to Improve the Dynamic Quality

林　憲孝[*1] HAYASHI Noritaka
矢吹直人[*1] YABUKI Naoto
仲武聖仁[*2] NAKATAKE Masato
峯　隆馬[*3] MINE Ryuma
小林吾一[*3] KOBAYASHI Goichi

抄　録

ドライバの官能評価は非常に微細な挙動に基づくことが多く、実走している車両で要因分析をするのは困難を極める。そこで我々は、運動性能に寄与の大きいサスペンションの開発において、実走同等の評価を過渡領域も含めて台上試験機で再現することを試みた。これによって、高い再現性を確保しながら、微細なサスペンション挙動の変化を捉えることに成功し、サスペンションの設計要件やそれに付随するCAE技術の拡充が図れた。

Abstract

Because subjective evaluation depends on a small behavior, it is very difficult to analyze its effect by running vehicle. Therefore, regarding suspension development that has a big impact to vehicle dynamics, we tried to reproduce the evaluation of the actual running evaluation with a suspension bench machine including the transient response region. As a result, we succeeded in capturing small changes in suspension behavior while ensuring high reproducibility. Also the design requirements and the accompanying CAE technology were expanded.

1. まえがき

近年の車両開発は、コンピュータシミュレーションを駆使して机上で見通しを立て、実機を試作し、性能を玉成させる流れが主流となっている。シミュレーション技術の黎明期から継続的な取り組みが行われてきた衝突性能、振動性能の分野ではその効果は著しく、走行台車の削減に大きく貢献してきた。他方、本稿で取り上げる運動性能の分野、特に「安心と愉しさ」をお客様に提供するために重要となるスムースさや気持ちよさといった性能は、シミュレーションや部品の単品試験ではその差異が明確に現れない場合が多く、実車による走行評価を中心に開発が行われている。しかしながら、性能に寄与する評価部品は多岐に渡る。試験車数や試験工数、計測の技術的難易度の高さから、実車による評価試験が技術開発のボトルネックとなってしまっている。

官能評価の定量化が困難な理由は、評価すべき物理量が非常に小さいことにある。一例としてオンセンタハンドリングと一般的に称される操舵応答性の評価は、ハンドル角で1～2°の領域が議論の対象となる。ステアリングギヤ比を1：10と仮定すると、タイヤの実舵角は0.1～0.2°であり、それを発生させるシャシ要素の変化量も同等であろう。実走している車両でこのような小さい挙動を計測することは難しく、ましてや仕様違いのさらに微小な差を検出することはほぼ不可能である。

そこで筆者らはこれらの課題を解決するために、運動性能の主構成要素となるサスペンションについて、台上試験機にて実走行試験状態を模擬してメカニズム解明をする取り組みを行った。本稿では、台上試験機の特徴と、サスペンション開発での活用事例を紹介する。

2. 開発プロセスにおける台上試験機の狙い

図1に示した車両開発のV字プロセスの中に、台上試験機の位置づけを記す。車両による評価は右バンクの上段に位置するため、課題が顕在化するタイミング

＊1 車両研究実験第一部
＊2 シャシー設計部
＊3 技術開発部

が遅い。従って、サスペンションアセンブリのレベルで開発を行い、V字を小さくして、早く技術開発をすることが、台上試験機のプロセス上の狙いである。台上試験機でなすべきことをまとめると、以下3点となる。

(1) メカニズムを解明する
　実車同等の入力、反力を再現した台上試験機により、効果・課題の確認、メカニズム解明の速度を速める。
(2) サスペンションの設計要件を定める
　官能評価に影響を与えるサスペンションの設計要件を明らかにする。V字左バンクにおける検討指標および机上検討技術を充実させ、図面の質を向上させる。
(3) 車両実走前に課題を抽出する
　車両試験の段階で課題が顕在化すると非常に大きな手戻りが発生するため、V字右バンクにおけるサスペンションアセンブリの段階で課題を洗い出し、手戻りを最小化する。ここでわかったことは随時(2)の要件に反映する。

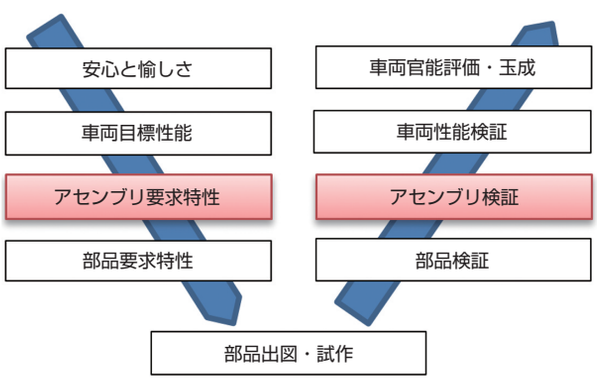


図１　台上試験機を用いたＶ字プロセス

3.　台上試験機の構成

実走行試験と台上試験の得失を整理しながら、台上試験機に求められる要件を明らかにする。

3.1　台上試験機に求められる要件

サスペンションのメカニズムを明らかにするために最も大事なことは、実走同等の過渡的な力のつり合いを分析することである。そして計測に際しては、サスペンションの挙動だけでなく、ブッシュ反力、タイヤ挙動とその発生力を1 msのレベルで捉える必要がある。

実走行試験は、当然ながら課題となる現象は生じるが、実車故にサスペンション廻りの計測空間が限られており、大型の試験装置による詳細計測は困難である。また、路面からのノイズの混入により計測精度の確保も難しい。ノイズの低減だけを目的とすれば、K&C（Kinematics and Compliance）による計測は一つの答えとなりうるが、タイヤが回転していないため、タイヤで発生する力が実走行とは異なる。これらを踏まえ、我々は実走行のタイヤ反力が模擬できるフラットベルト上にサスペンションアセンブリを配置する台上試験装置の開発に取り組んだ[(1)(2)]（図2）。

	実車	K&C	サス試験機
実走	○	×	△
タイヤ反力	○	×	○
サス微小挙動	×	○	○
外乱ノイズ	×	○	○

図２　メカニズム解明における各試験条件の得失

3.2　操舵応答分析用台上試験装置

本装置の狙いはハンドル角入力に対するサスペンションへの要求を定めることにある。フラットベルト上にステアリングからタイヤまでの一連のアセンブリを配置した（図3）。本装置のばね上は地面座標で固定され、フラットベルトが上下に稼働することでサスペンションの姿勢を決定する。従って、ロールやピッチといった3次元挙動は再現ができないが、この装置で明確にすべきことは操舵初期の過渡応答と定め、ロールによる姿勢や荷重移動の変化は考察から省けると想定した。ばね上を固定したことで、アクチュエータや摺動部を極力減らすことができる。これにより装置の剛性確保が容易になり、計測精度の向上に直結する。

図３（1）　操舵応答分析用台上試験機の計測対象

図３（2）　操舵応答分析用台上試験機

操舵はステアリングマシンにより自動入力され、フラットベルト上で回転するタイヤが反力を発生することで、車両操舵初期にサスペンションに加わる過渡的な力を再現する。この時、ステアリングの操舵反力・操舵角度、タイヤの6分力およびタイヤ姿勢はもとより、サスペンションブッシュにおける力の伝達を専用のロードセルで計測できる。さらに、サスペンション各要素の詳細な変位情報も光学式変位計等を活用して計測することが可能である[(3)(4)]。

3.3　目的に応じた台上試験機の構築

3.2では操舵初期応答を分析する試験装置を紹介したが、このほかにも明らかにしたいメカニズムに応じた試験機を構築している。

3.3.1　簡易操舵反力試験機

図4は、操舵応答の左右差の低減を目的に、簡易的に操舵反力を分析するための装置である。タイヤからの反力発生機構はフラットベルトを使用せず、ばね反力で模擬する。操舵応答分析用台上試験装置は回転部分破損時の安全性を考慮して人による操舵を禁止しているが、本装置は静的な状態での試験であるが故に、評価者が直接ハンドルを操作して反力を体感できる利点もある。

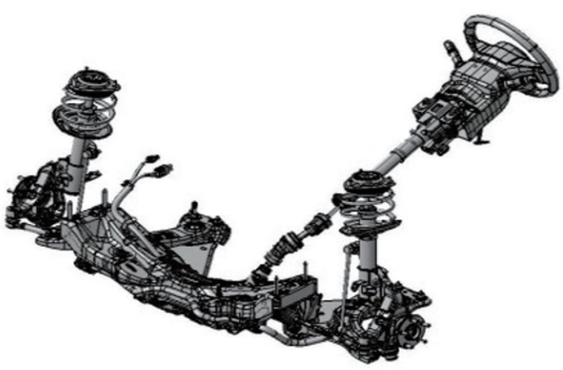


図４(1)　操舵力分析用台上試験機の計測対象

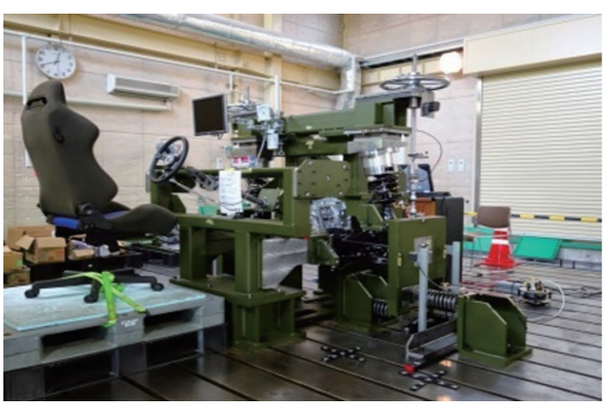


図４(2)　操舵力分析用台上試験機

3.3.2　スチュワート式試験機

図5は、路面入力に対するサスペンションのトー角変化の評価指標を構築するための装置である。ばね上は地面に固定された状態で、タイヤ下部に設置されたヘキサポットが3軸並進に左右独立で稼働する。また、シャシアセンブリ状態でのK&C試験も可能である。

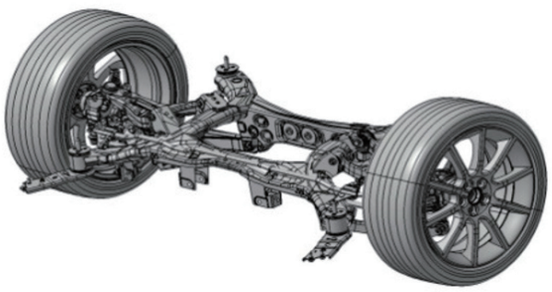


図５(1)　スチュワート式台上試験機の計測対象

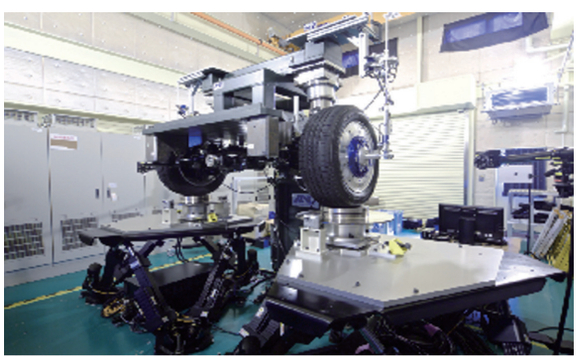


図５(2)　スチュワート式台上試験機

以上代表的な3つの装置を紹介したが、他にも複数の装置を構築した。1つの汎用的な装置を作るのではなく、解明したい個々の現象に応じた装置とすることで、メカニズム解明に必要な計測精度を確保することができる。

4.　技術開発事例

台上試験装置による具体的なサスペンション開発の事例を紹介する。

4.1　操舵感のメカニズム解明

サスペンションのロアアームの設定をわずかに変更した際に、操舵感が変化したメカニズムを台上試験機で現象解明した(図6)。実車で舵角-舵の関係を調査すると、センタ付近の特性がごくわずかに変化したのみである。

台上試験機での分析の結果、転舵に伴うキングピン軸変化のキャスタ成分が変化しており、これがホイール面のキャンバ倒れに揺らぎを生じさせていた。キャンバ倒れは絶対量で0.6°程度、仕様差による角度の変化代は0.01 ～ 0.05°の違いであるが、明確に捉えることができている。

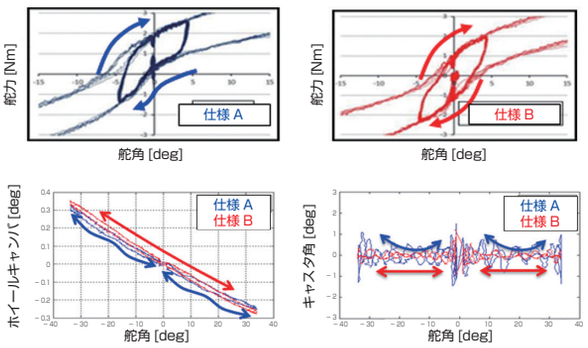


図６　操舵反力とサスペンション挙動の関係性解明

4.2　サスペンション取付け精度

動的質感は非常に微細な挙動に依存するため、サスペンションの取付け精度が重要になる。また、ハンドルからの入力だけでなく、操舵支援のようにEPS（電動パワーステアリング）モータから車両挙動を制御する場合においても、違和感のないシステムを実現するために重要な要素となる。

3.3.1で紹介した簡易操舵反力装置を用いて、サスペンションのピボット点精度や、様々なシャシ要素がタイロッド軸力の左右差に与える影響を分析した（図7）。結果、定量的に寄与度を明確にすることができ、動的質感の観点からサスペンションの精度を定めることができている。精度と性能の感度の高低を明確にすることで、高い動的質感をより効率的に実現することもできるようになる。さらに、現在はこれらの検証をADASの制御性に発展させ、狙いの操舵支援性能を引き出すためのサスペンション要求精度を机上計算で見通すことが可能になった。

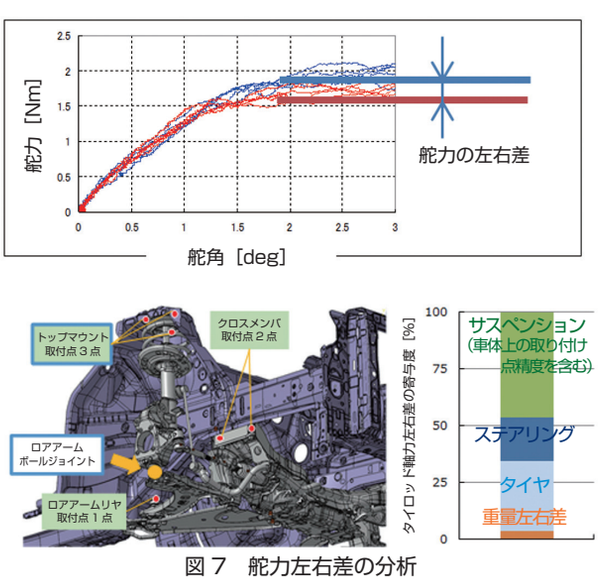


図７　舵力左右差の分析

4.3　CAE技術の開発

台上試験により可能となった微小な検証を、CAE技術に落とし込むことで、さらなる開発のフロントローディングと詳細なメカニズム解析が可能になる。図８は、転舵時のロアアームの挙動を台上試験とCAE解析で比較した事例である。解析にはMSC.ADAMSにより台上試験装置を模擬した解析環境を構築し、サスペンションモデルはブッシュやボールジョイントの非線形性を考慮している。台上試験装置により0.01°の角度精度で実験検証が可能となったことで、左右転舵時にロアアームが異なる振る舞いをすることが検証できた。

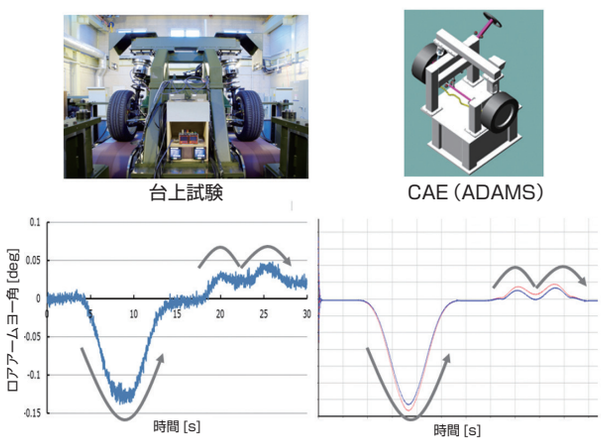


図８　ロアアームの挙動解析

4.4　車種開発における台上試験装置の活用

台上試験機はメカニズムの解明だけでなく、車両搭載前のサスペンションアセンブリの確認にも活用している。単品部品の検証の後に、サスペンションアセンブリの状態で台上試験装置で検証を行う。一例としてスチュワート試験機によるK&Cでは、従来の車両によるK&Cでは困難であった車体影響が分離でき、サスペンション本来の特性が検証できる。性能が確保されたサスペンションを試作車に搭載することで、実車で行うべき車両評価や適合に注力でき、仮に課題が発生したとしても、要因分析のスピードを高めることができる。

5.　まとめ

動的質感を向上させるためのサスペンションメカニズムを台上試験機により解明した。従来の走行試験中心の開発から、台上試験機によるコンポーネント開発へと開発の仕方を前倒したことで、開発の高度化とスピードアップの両立を可能とした。より効率的な開発の実現には、設計要件の拡充やCAE技術の向上が不可欠であるが、その起点になるのは現象を正しく捉え

る実験技術にある。引き続き計測技術の開発に取り組み、SUBARUの目指す安心と愉しさのさらなる向上に繋げていく。

最後に、台上試験機の開発を行うに当たり、株式会社エー・アンド・デイの皆様には多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

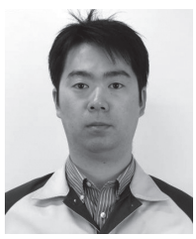
(1) 藤田ほか：車両のヨー応答時間短縮に寄与するフロントサスペンションの要因解明, SUBARU技報, No.41（2014）
(2) N. Hayashi： Front Suspension Analysis to Shorten the Vehicle Response Time, AVEC18（2018）
(3) 峯ほか：台上試験装置を用いたサスペンション過渡応答の計測, SUBARU技報 Vol.43（2016）
(4) 木戸ほか：2輪フラットベルト式台上試験装置によるサスペンション過渡応答の計測, 2016年秋季大会学術講演会講演予稿集, 20166229（2016）

【著　者】

林　　憲孝

矢吹　直人

仲武　聖仁


峯　　隆馬

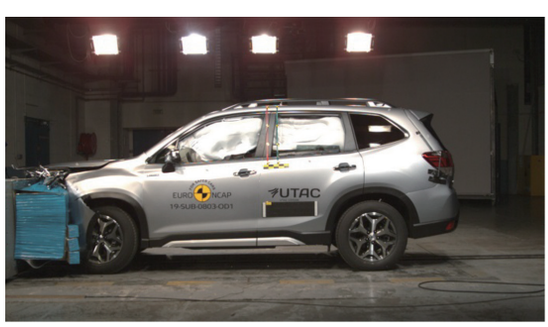
小林　吾一

SUBARU フォレスターがユーロ NCAP の2019年安全性能テストで最高評価「ファイブスター」を獲得

2019年12月6日

フォレスター（欧州仕様車）が、「ユーロ NCAP」（欧州の安全性能評価プログラム）における2019年安全性能テストで、最高評価である「ファイブスター」を獲得しました。

ユーロ NCAP 2019 年安全性能テスト ファイブスター


フォレスター（欧州仕様車）ユーロ NCAP 衝突試験

リングマッシュ接合への取り組み

Approach to Ring Mash Joining

西牟田　昌　吾*　　鈴　木　基　文*　　遠　藤　加寿雄*
NISHIMUTA Shougo　　SUZUKI Motofumi　　ENDOU Kazuo

抄　録

品質格上げと原価低減を狙った接合工法の変更にチャレンジした。今回CVT（AWD）のギヤCP※トランスファドリブン（以下ギヤCP）の生産において、ギヤとハブの接合を従来工法の電子ビーム溶接（以下EBW）から新工法であるリングマッシュ接合（以下RM）へ変更を進めており、以下に取り組みを紹介する。

※CP＝カップリング

Abstract

We tried to change a joining method aiming at quality upgrade and cost reduction. This time, in the production of CVT（AWD）gear CP※ transfer driven, the joining method of gear and hub was changed from the conventional electron beam welding（EBW）to ring mash joining（RM）. The following introduces our efforts.

※CP：Coupling

1.　まえがき

CVT（AWD）の構成部品であるギヤCP（図1）は、ギヤとハブをEBW工法によって接合したものである。従来工法であるEBWではブローホール（図2）と呼ばれる溶接不良を発生させてしまうことが慢性的な課題である。ブローホールを撲滅する品質格上げ及び原価低減につながる工法変更としてRMの生産導入を進めており、以下に取り組みと内容を報告する。

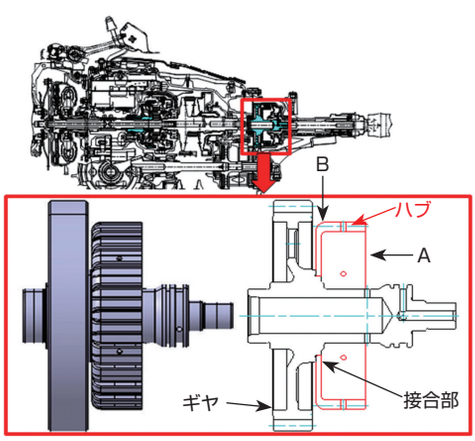
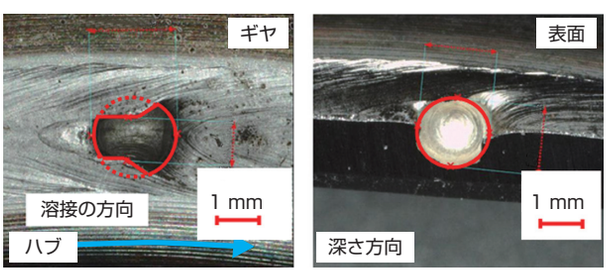


図1　ギヤCPトランスファドリブン



上面写真（図1A）　　側面写真（図1B）

図2　ブローホール写真

2.　RM導入の取り組み

2.1　RM工法選定の経緯

従来のEBWは加工室を真空状態にし、陰極部のフィラメントに電気を流し加熱して電子ビームを放出し、互いの金属を溶かして溶接する工法である。その際、金属内に溶け込んでいるガスが気泡となって現れ、溶けた金属内に残ってしまうものがブローホールとなる。ブローホールは、生産数の0.1%～0.3%の割合で発生し、EBWの工法上不良ゼロは難しい。そのため、不良ゼロを実現できる工法の調査を進めてきた。接合工法としてレーザ溶接（以下LBW）、RM、摩擦圧接が挙げられた。この中で、摩擦圧接は素材向けの工

＊ パワーユニット生産技術部

法であるため除外し、LBWとRMの特質について表1にまとめた。LBWとRMを比較すると今回のワークサイズに対してはRMの方がブローホール、台当りコスト面での効果が大きい机上検討結果が得られた。

表１　工法比較

	EBW	LBW	RM	(摩擦圧接)
ブローホール	×	○	◎	◎
コスト	○	○	◎	◎
ワークサイズ	大～小	大～小	中～小	－
採用可否	－	○	◎	× 素材向けの工法

また、EBWは溶接開始点から終点まで、ワークを回転させながら溶接するため、ワークの傾き、芯ズレ、いびつな変形が発生する弱点がある。一方、RMは嵌合部全周を同時に接合するので、傾き、芯ズレの抑制、および均一な変形が期待できる(図3)。以上のことからRM導入に向け、取り組みを進めた。

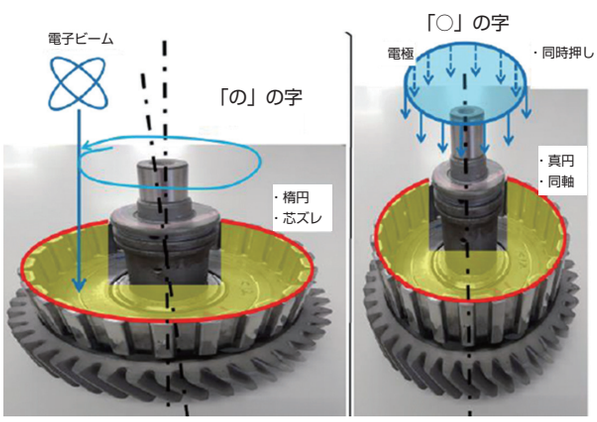


図３　EBW、RM時の変形

2.2　ワークの最適形状決め(アンダーカット防止)

RMは抵抗溶接の一つで、互いの部品を電極で挟み(図4)、加圧した状態で電気を流すと、ワーク接触部にジュール熱が発生し、接合部が軟化することで、塑性流動が発生する。その時、互いの部品の塑性流動が起きた面が、原子レベルで近接し、固相接合する工法である。但し一般的にRMは接合後にアンダーカットが必ず発生し、接合幅が短くなるという課題がある(図5)。強度上必要な接合幅を確保するため、一般的には素材の板厚をUPし、接合後に切削することで対策する。ギヤCPではアンダーカットが発生する部位や部品形状そのものが残っていることがわかったため(図6)、当社では部品形状にアンダーカットを防止する形状(出っ張り)を付けることで、解決をした(特許出願済み)(図7)。これにより板厚UP、切削追加を回避した。

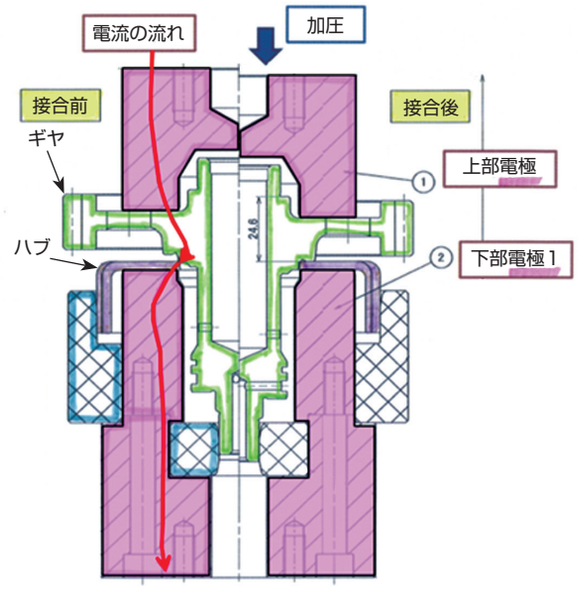


図４　RM工法

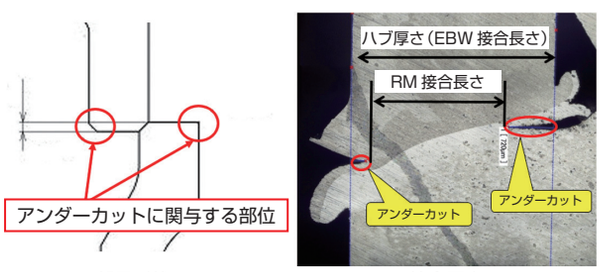


図５　アンダーカット

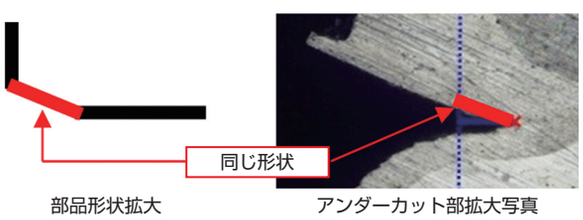


図６　部品形状とアンダーカット形状の比較

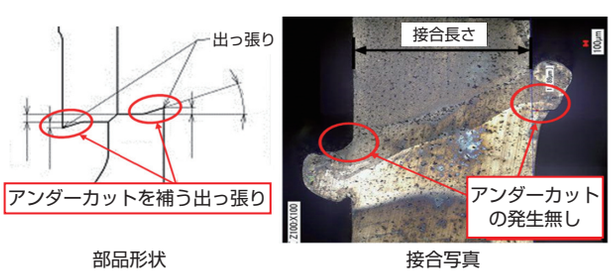


図７　アンダーカット防止形状

2.3　接合条件決め

RM工法上、①加圧力と②電流を流す際に発生するジュール熱が接合に影響を及ぼす。そのため、RMの接合条件を決める上で、①加圧力と②ジュール熱をコントロールするための設定条件を決める必要がある。

①加圧力については、エアシリンダで加圧するため、エア圧を任意に変えることで加圧力の設定が可能となる。②ジュール熱については式1のように、電流値、抵抗値、通電時間が関係する。

$Q = RI^2t$　　…　式1

Q：ジュール熱(J)　R：抵抗値(Ω)

I：電流値(A)　t：通電時間(s)

まず通電時間は、設備のコンデンサ容量により決まるため一定値となる。抵抗値は、ワーク形状、材質に依存するためある程度一定値となる。電流値は実測が可能なため、電流値を変化させることで、ジュール熱の設定が可能となる。

これらを踏まえ、RMの接合における良品条件を策定するため、①エア圧、②電流値をパラメータとして、以下3つの内容について、最適条件の見極めトライを繰り返し行った。

(1) スパッタが発生しない
(2) 端まで押し込める
(3) 疲労強度を満たす

} OK条件を設定する判断基準

上記トライにより、得られた接合条件表を図8に示す。

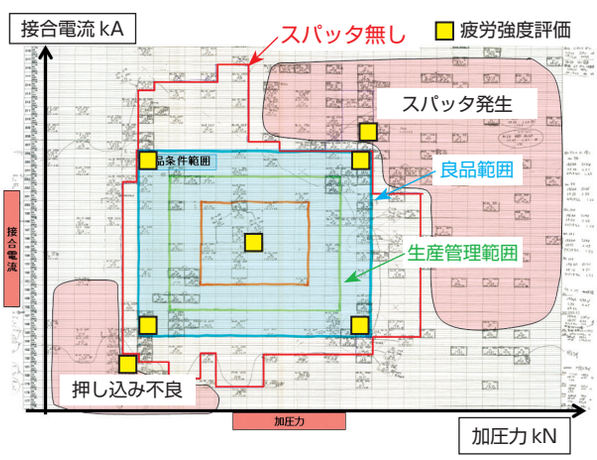


図 8　接合条件表

電流値と加圧力が大きいとスパッタが発生し、反対に電流値と加圧力が小さいと、接合端まで押し込めないもの(未到達)が発生した(図9)。図8赤枠内は全て良品であるが、その中でも青枠内を良品範囲とし、接合条件の狙いは良品範囲の中央とし、緑枠内を生産での管理範囲とした。すなわち、生産での管理ポイントを絞ることで絶対に不良を流さない仕組みづくりを狙った。

また、疲労強度は接合条件の中央品、上下限品、NG条件品で行い、全てにおいて評価条件をクリアした(黄色部)。

生産では、見極めた良品条件範囲内で自工程保障できるよう、接合条件の実測とモニタ監視を行い、その場で品質判定できるようにした。さらに接合条件をワークに刻印し、記録することで全数品質保証を実現した。

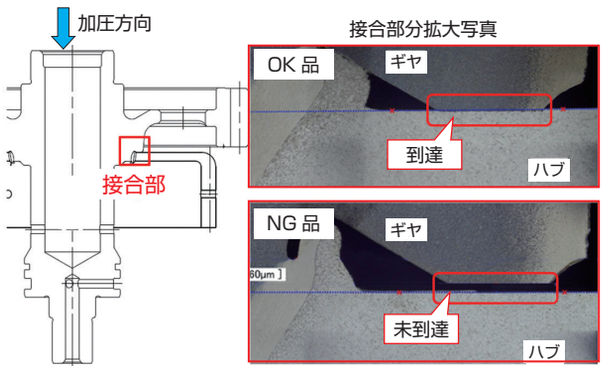


図 9　接合 OK 品、NG 品

2.4　規格外品によるイジワルトライ

RM生産導入に向けては工程FMEAを行い、品質的に問題が無いか、あらゆるイレギュラーを想定し、イジワルトライを実施した。実施した項目を表2に示す。

表 2　イジワルトライ内容（規格外品）

内容（形状・角度・粗さ等）
ギヤ外径　ハブ嵌合代
ギヤ嵌合面角度
電極接地面　ギヤ凹凸
嵌合面　ギヤ・ハブ凹凸
ハブ　端面振れ
ギヤ　炭素量違い
接合面　洗浄液付着
接合面　防錆剤付着
接合面への切粉噛み込み
ハブのアンダーカット形状
嵌合面の部分絶縁
電極端面部の削り込み
嵌合面にセロハンテープで絶縁部作成
電極端面部の削り込み

トライ条件は量産バラツキ以上を想定し、互いの単品形状が公差外のもの、間に切粉が挟まったもの、接合表面に洗浄液や防錆剤を塗布したものでも接合品質を満足した。

3.　品質効果

3.1　ブローホールゼロ

RMは互いの金属を溶かさないため、金属内への溶融ガスによるブローホールは原理的に発生しない。また、接合時に表面の不純物を外へ押し出すため、接合面の汚れによるブローホールも発生しない。実際に

EBW品とRM品を切断し、すきま及びブローホール分布をヒストグラムにまとめた(図10)。EBWは直径0.1 ～ 1.3 mmのブローホールが確認できたのに対し、RMは0.03 mm以下のすきま(酸化膜の残骸)のみでありブローホールはゼロであった。

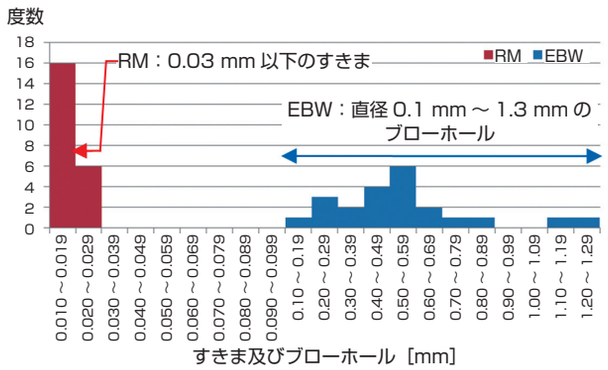


図 10　すきま分布ヒストグラム

3.2　接合変形抑制

EBW品とRM品の接合変形について比較した。計測箇所を図11、結果を表3に示す。事前検討の通りEBWに対して品質向上結果を確認できた。

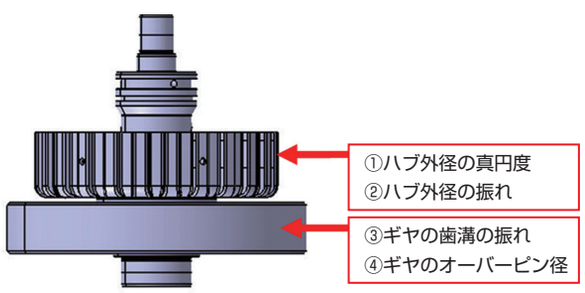


図 11　計測箇所

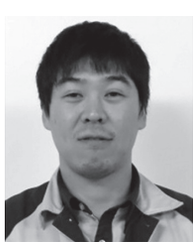
表 3　接合変形まとめ

計測項目		低減率
場所	項目	
①	ハブ外径 真円度 (最大値)	▲ 44%
②	ハブ外径 フレ (最大値)	▲ 40%
③	ギヤ歯溝のフレ 変化量 (バラツキ)	▲ 80%
④	ギヤ OP 径 変化量 (バラツキ)	▲ 53%

4.　あとがき

RM生産寄与に向けてのトライを進め、社内外の多くの方にご協力を頂き生産導入の目途をたてることができた。関係された皆様に対し深く感謝の意を表し、心より御礼を申し上げます。

【著　者】


西牟田 昌吾

鈴木　基文

遠藤 加寿雄

AI 外観検査技術の開発

Development of The AI Visual Inspection Technology

沖　野　振一郎*
OKINO Shinichirou

抄　録

目視検査には、作業者への負担および集中力低下による検査精度のバラツキという課題があるが、近年AI（特に深層学習）が人以上の画像認識能力を持ち始めた。そこで、深層学習による目視検査の自動化技術の開発に取り組んだ。本論文では、開発を通じて得たノウハウ、他社技術との比較、今後の課題と展望について述べる。

Abstract

Human visual inspection has an issue of accuracy variation due to burden on workers. In recent years, AI (especially deep learning) has begun to have more image recognition ability than humans. Therefore, we worked on the development of automated visual inspection technology using deep learning. This paper describes the know-how gained through development, comparison with other technologies, and future issues and prospects.

1.　まえがき

品質保証の取り組みには未然防止と流出防止（検査）がある。真に目指す姿は未然防止による不良ゼロであるが、発生してしまった不良の流出を防止するのみならず、そこで得られる品質情報を未然防止の仕組み作りに活かすためにも検査の役割は重要である。

検査方法には、人による官能検査（目視、触感、聴感など）と機械による自動検査がある。客観的・定量的に評価することが難しいものは官能検査に頼らざるを得ないが、作業者のスキル・体調・疲労度・精神状態などによって検査精度が狂い易く、不良流出の原因となっている。また、作業時間の関係から検査で得られる品質情報が保存されない事も多い。

一方、近年のAIによる画像認識は人と同等以上の認識能力を有するようになっている。そこで、あらゆる目視検査を自動化できる汎用の画像検査AI及びそれを用いた検査システムの開発に取り組んだ。

モデル工程にはエンジン部品であるカムシャフトの検査ラインを選定した。カムシャフトは目視により研磨面などを検査しているが、1 mm以下の微少な巣を含めた多様な欠陥を、決められた作業時間の中で漏れなく検査する必要があるため、作業者の精神的・身体的負担は非常に大きい。さらに、欠陥の流出はエンジンの異音や故障に繋がることから、精度の高い自動検査の実現が望まれている。

2.　従来技術

2.1　二値化による欠陥の検出

目視検査を自動化する際には、検査対象をカメラで撮影した画像（検査画像）に対し、欠陥を黒、正常部を白（あるいはその逆）とする二値化の画像処理を行う方法が取られてきた。カムの画像を例として、従来処理を図1に示す。

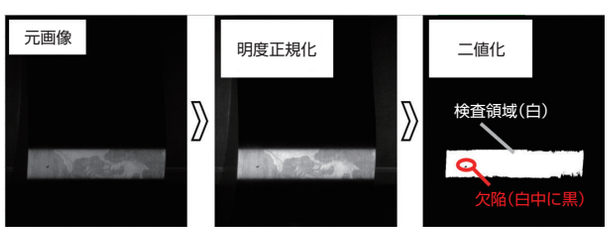


図1　従来の画像処理による欠陥検出例

＊ 生産技術管理部

2.2　従来技術の課題

従来技術でしばしば問題になるのが、模様・ゴミ・洗浄液の水滴残り・形状バラツキなど、非定型のノイズである。これらの影響により、正常品(OK)を誤って異常(NG)として検出する場合(過検出)が多い。このようなものと、欠陥とをコンピュータ上で判別するためには、そのための数式を人が作成し、プログラムとして追加する必要がある。しかし、人と同等以上の判別精度を実現する数式を人が作成することは非常に難しく、多くの外観検査は人に頼ったままである。カムの画像を例として、ノイズである水跡、水滴を図1と同様の画像処理を行った結果、過検出となったものを図2に示す。

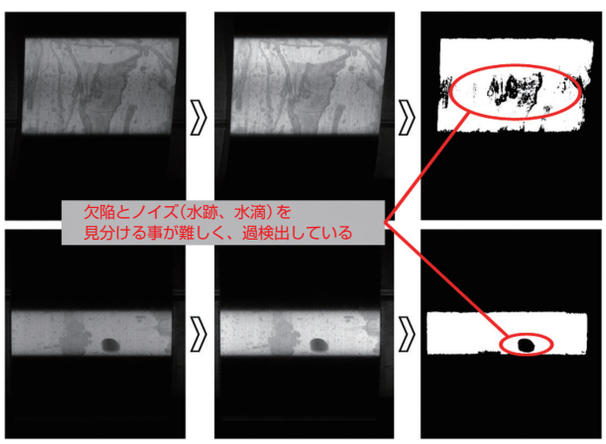


図2　従来の画像処理によるノイズ検出例

3.　開発技術

3.1　カムシャフトの検査内容と目標

今回技術開発の対象とするカムシャフトの検査項目は、カムシャフトの回転軸側面から撮影できる全10部位を対象とした。それぞれの項目と対象欠陥、および検出システムの性能目標を表1に示す。

表1　検査項目、欠陥、目標精度と処理速度

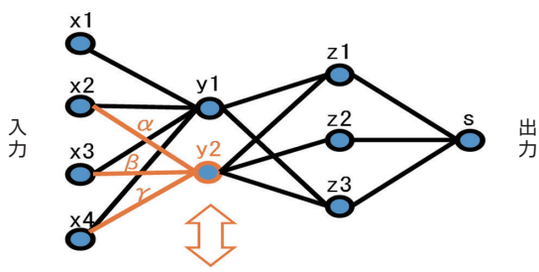
検査項目（部位数／本）	対象欠陥	精度	処理速度
フロントジャーナル（1）	切粉、目残り、キズ	見逃し 0% 過検出 3% 以下	40 枚／秒 以上
カム（4）	巣、目残り、キズ		
ジャーナル（3）	切粉、キズ		
ポンプカム（0～1）	巣、目残り、キズ		
フランジ～1カム間（1）	切粉		

3.2　深層学習(ディープラーニング)の採用

従来技術で課題となる数式の作成について、AIの一手法である深層学習を採用した。画像認識の分野では、深層学習によって、コンピュータが人間以上の能力を実現する事例が増えている。深層学習では開発する数式の基礎構造をネットワークで階層的に表現(図3)し、一般的に3層以上の構造を持つ。学習とは、数式の各項における係数(図3中のα、β、γ、y2biasなど)を目的に応じて最適化することである。なお、ネットワーク構造(数式の基礎構造)は人が最初に設計する必要がある[(1)]。

深層学習を用いれば、検査対象のOK/NG画像を学習させるだけで、検査画像から欠陥だけを正確に検出する数式を簡単に作成することが可能となる。以後、深層学習により作成した数式をAIモデルと呼ぶ。

今回、検査ソフトウェアの作成にはプログラム言語Python及び深層学習フレームワークChainerを用いた。



y2 = f（α*x2 + β*x3 + γ*x4 + y2bias）
※y2biasはノードが持つバイアス値

図3　ネットワーク構造と数式の対応例

3.3　撮影手法・機器

欠陥撮影の基本となる照明方式は、既存設備のものを踏襲して正反射とした。ただし、AIモデルを用いて欠陥を検出する場合、些細な差異で見逃す可能性がわずかながら残ってしまう。そのため、1つの欠陥がかならず複数枚の検査画像に映るよう、なおかつラインの生産速度に間に合うよう、カメラのフレームレート及びワークの回転数を設定し、そこに適合するようカメラ・レンズ・照明を設定した。その結果、判定にはSVGA相当の画像サイズに対して毎秒40枚以上の処理速度が必要となった。

3.4　欠陥検出戦略

深層学習を応用した欠陥検出にについて、表2に示す3パターンの戦略を評価した。評価には、既存ラインで撮影したカム部の画像を用いた。その結果、欠陥位置・サイズの特定が容易で、判定精度も高かったセグメンテーション応用タイプを採用した(表3)。

OKのみから学習できる画像生成応用タイプの方が、未知の欠陥に対応しやすいと考えられるが、過検出しやすく、大量の学習画像が必要となるため今回は採用しなかった。100万枚以上のOK画像を確保した後、再度評価検討を進めたい。

表２　深層学習を用いた欠陥検出戦略の概要

戦略	AI モデルの役割	欠陥検出方法	学習データ
セグメンテーション応用	欠陥部を白、正常部を黒で表現した二値画像（NGMap 画像）の出力	出力の NGMap をそのまま使用	OK/NG 画像とそれに対応する正解 NGMap 画像
画像生成応用	入力画像から欠陥を除去した OK 画像の出力	入力と AI モデル出力との差分を NGMap とする	OK 画像のみ
画像認識応用	画像に対し、OK/NG の判定ラベルを出力	出力の判定ラベルをそのまま使用	OK/NG 画像とそれに対応する正解ラベル

表３　欠陥検出戦略の比較

戦略	欠陥位置・サイズの特定	精度検証結果	評価
セグメンテーション応用	NGMap 画像から容易に算出可能	見逃し：0% 過検出：9%	採用（○）
画像生成応用	NGMap から容易に算出可能	見逃し：0% 過検出：39%	見送り
画像認識応用	算出には複数の工夫が必要で計算量大	未検証	見送り

3.5　ネットワーク構造の開発

深層学習で用いるネットワーク構造は、論文等で様々なものが公開されており流用可能である。しかし、論文のネットワークは主に精度比較コンテストに最適化されており、処理画像サイズや計算量の点でそのまま実用化するのは難しかった。

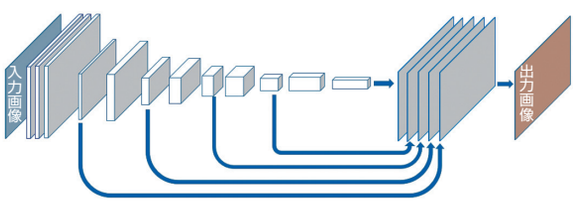


図４　ネットワーク構造概略図（FCN）

そこで、セグメンテーション向けとして有名な基本ネットワーク構造であるFCNをベースとして、小さな欠陥への対応力が向上するスキップアーキテクチャの適用拡大や、計算量低減を期待できるSENetなどを組み合わせつつ、エッジPC上で毎秒40枚以上の処理が可能な軽量ネットワーク構造（図4）を開発した[(2)(3)]。

3.6　NG画像増幅手法の検討

OK/NG両方の画像を学習させる方式では、学習させていないタイプの欠陥を見逃す可能性がある。そこで、検査品質確保のためにはできるだけ多様な欠陥を学習させることが必要となる。

しかし、実ラインでは欠陥発生率が低く、短期間で多様な欠陥画像を撮影するのは困難である。そこで、手持ちの欠陥画像にスケール変換や歪、明度変更などを与えた上で、欠陥部分だけ別の画像に貼り付けることでNG画像を自動作成した。さらに、手持ちのものとは全く別の欠陥に対応すべく、幾何図形とランダムな背景画像を組み合わせて疑似的に欠陥画像を作成し、OK画像に自動貼り付けを行った。

ただ、自動作成された画像の中にはOKと見分けがつかないなど学習に相応しくないものがどうしても発生してしまい、精度を著しく悪化させることが判った。そこで、そのような画像は学習前に目視でチェックして除外している。

4.　性能確認

4.1　市販AI画像検査ソフトとの比較

市販AI画像検査ソフトと精度比較（カムの巣の検出限定）した結果を表4に示す。巣の検出に関して、市販品と同等の精度を有している事が確認できた。

また、巣＆目残りといった複数種の欠陥をひとつのAIモデルに学習させると、市販品では過検出が増加して実用性を失ってしまったが、内製AIでは問題無かった。ひとつのAIモデルで複数種類のNGデータを学習できることは、NGデータ増幅と非常に相性が良く、見逃しを防止する上でメリットと考えられる。

ただし、今回の比較では判定部の性能を評価するために学習データをわざと少なくしており、NGデータの増幅は行っていない。

表４　内製 AI と市販品の精度比較

AI 検査	検出対象	学習データ	見逃し	過検出
内製	カムの巣	242 枚 （巣、目残りを学習）	33%	11%
市販品		242 枚＋ 50 枚 （巣のみ学習）	33%	8%
		242 枚＋ 50 枚 （巣、目残りを学習）	過検出 39%（18 本中 7 本） までで集計中止	

＊ +50 枚は市販検査ソフトで過検出した画像を再学習したため

4.2　インライン撮影画像による精度評価

次期開発車用ラインに検査システムを設置し、試作カムシャフト570本の検査画像約10万枚をインラインで撮影して精度評価を行った。なお、学習用画像には評価とは別の画像を準備し、前述のNGデータ増幅手法も使用した。その結果、殆どの部位で目標精度を上回る性能を確認できた。ただし、ジャーナル部の圧痕キズと水滴が非常に類似しており過検出が多くなることが判った（図5、表5）。判定精度向上にはより多くの圧痕キズと水滴の画像を学習させる必要がある。その他の部位では、水滴や水跡、加工跡と欠陥を上手く見分けている。

表５　精度評価結果

検査項目	NG 本数	見逃し	過検出
フロントジャーナル	6 本	0%	1%
カム	13 本	0%	2%
ジャーナル	6 本	0%	4%
ポンプカム	1 本	0%	0%
フランジ～ 1 カム間	0 本	0%	0%
検査項目全体での評価	25 本	0%	6%

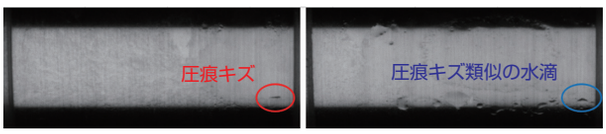


図５　圧痕キズ及び水滴画像

5.　今後の課題

次期開発車ラインでの量産開始に向けて、試作カムを用いた精度確認を行いながら、インライン検査システムとしての完成度向上とAI学習用画像の積み増しを行っていく。また、学習用画像の質確保と管理はAIを使う場合の重要管理ポイントであり、運用上の仕組みとしてフォローしておく必要がある。さらに、今回開発した技術では精度の良いAIモデルを得るために学習と評価を何度も行っている。検査システムを工場にて汎用的に適用展開するためには、より工数負担の少ない学習プロセスの構築も必要であり、検討を進めていく。

6.　まとめ

AI特性を考慮した撮影条件と良質な学習画像を揃えることができれば、深層学習を利用することで十分な判定精度を持った汎用外観検査システムを構築できることを確認できた。学習画像の積み増しによる精度確保、およびより良い学習プロセスを明確化して社内展開し、品質保証体制の強化を進めていく。

また、ブラックボックスと言われる深層学習を用いたAIについて、多くの知見を得ることができた。今後AIは検査以外にも様々な場面で使われるようになると考えられる。その際にも技術の適切な選択・活用ができるよう、社内への知見の展開活動も進めていきたい。

参考文献

(1) 斎藤 康毅：ゼロから作るDeep Learning－Pythonで学ぶディープラーニングの理論と実装，オライリージャパン，2016, 320p., 4873117585
(2) Jonathan Long, 他：Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation, arXiv：1411.4038v2, 2015, https：//arxiv.org/pdf/1411.4038.pdf
(3) Jie Hu, 他：Squeeze-and-Excitation Networks, arXiv：1709.01507v3, 2018, https：//arxiv.org/pdf/1709.01507v3.pdf
(4) Christian Szegedy, 他：Going Deeper with Convolutions, Going deeper with convolutions, arXiv：1409.4842v1, 2014, https：//arxiv.org/pdf/1409.4842.pdf

【著　者】

沖野 振一郎

「SUBARU BELL 412EPX」警察庁から世界初受注を獲得

2019年6月18日

SUBARUとベル・ヘリコプター・テキストロン社は、フランスのル・ブルジェ空港にて開催中のパリ国際航空ショーにおいて、日本の警察庁からSUBARU BELL 412EPXを１機受注したことを発表しました。

SUBARU BELL 412EPX（警察庁仕様・イメージ）

色相不良車流出防止システムの開発

Full-Automation Checking System for Color Harmony

鶴　井　裕　輔*　　内　田　克　也*
TSURUI Yusuke　　UCHIDA Katsuya

抄　録

塗装工場では度々、色の不具合が発生している。この色の不具合である色相不良は、異なる塗料の混入や塗料の劣化など様々な原因により発生する。色相の確認は塗装工場内にあるチェック工程にて作業者の目視判断により行われているが、色相不良をここで発見できずにトリム工場へ送られ、部品がついて初めて発見されるケースが発生してしまっている。目視判断である官能評価は個人差などでその判断基準に差が出やすく、全ての色不具合を発見しきることは困難である。

本稿では、従来の官能評価ではなく定量評価による方法を用いて色相不良車を発見し、塗装工場外流出を防ぐシステムについて報告する。

Abstract

Mismatched color problems often occur in paint shops. There are various causes of mismatched color problems such as mixing of different paints and deterioration of paints. Colors are checked by the operator's visual evaluation in check areas in paint shops. However, there are cases in which mismatched color problems cannot be found in paint shops but found in trim shops after parts are assembled. The sensory visual evaluation tends to cause a difference in judgment among individuals, and it is difficult to find all color defects.

In this report, we describe the “full-automation checking system for color harmony” that uses quantitative evaluation rather than the conventional sensory evaluation.

1.　まえがき

色相不良は明らかに異常なものから、専門知識を持った者でないと評価が難しいものまで、度合いにバラつきがある。普段はチェック工程作業者による目視判断が行われているが、ここで色相不良車を発見できず完成車までいってしまうと解体・再生産となり、多くの費用と工数が発生する。色相不良の不具合は1回の発生で何十台にも影響を及ぼすこともあり、この1回の発生だけでもその損害は莫大となる。近年の発生状況をみると(**図1**)、毎年のように発生しており、早急な対策が求められている。生産工場サイドとしては、源流対策として色混り、塗料劣化、塗装機器不具合などを未然に防ぐことをその都度実施してきたものの、発生原因が千差万別であり完全に防ぐことができていない。今回、流出防止策として、生産車全てを自動で測色するシステムを構築した。その一連の取り組みについて紹介する。

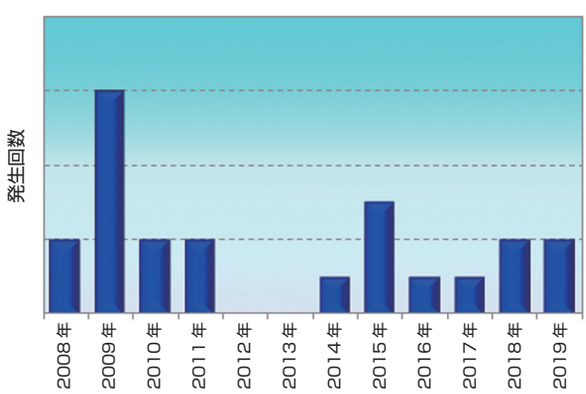


図1　色相不良車塗装工場外流出発生状況

2.　色相判定システムの検討

2.1　色の数値化

色を人へ正確に伝えることは難しい。例えば、リンゴの色を表現しようとする時、人によって「赤」「鮮や

＊ ペイント生産技術部

かな赤」「紅色」など、その表現は十人十色である。誰もがもっと簡単に、もっと正確に色を伝え合うために、色彩の歴史の中では、様々な人々が独自の方法で複雑な計算式を使いながら、色を定量化して表すことに注力してきた。1976年には国際照明委員会(Commission Internationale de'l Eclairage、CIE)がL＊a＊b＊表色系を制定し、日本でもJIS Z 8729において採用され、現在産業界で広く用いられている[(1)]。本報告でもこのL＊a＊b＊表色系を使用している。

L＊a＊b＊表色系では、明るさを示す明度をL＊、色相と彩度を示す色度をa＊・b＊で表す。a＊・b＊は色の方向を示しており、＋a＊は赤方向、－aは緑方向、そして＋b＊は黄色方向、－b＊は青方向を示している。また、数値が大きくなるに従って色鮮やかになり、中心になるに従ってくすんだ色となる(図2)。

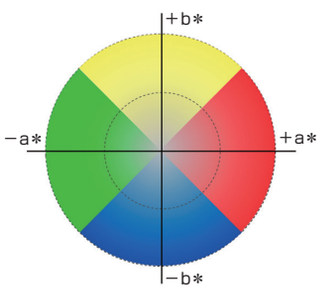


図２　L＊a＊b＊表色系色度図（色相と彩度）

2.2　色彩計の検討

色を数値化する道具として、色彩計と呼ばれる測定機器が存在する。この色彩計には三刺激値直読型や分光測色型、接触式や非接触式などその種類は多岐にわたる(表1)。その中で本システムに使用するにあたって最も良い色彩計はどれであるのか検討を行った。

表１　色彩計一覧

	コニカミノルタ	A社	B社	C社	D社
名称	CM-M6	色彩計a	色彩計b	色彩計c	色彩計d
使用用途	メタリック・パール・ソリッド塗装色	自動車内装材	メタリック・パール・ソリッド塗装色	印刷物	自動車塗装印刷物化粧品
測定原理	ダブルパス光学系分光測色方法	拡散照明分光測色方法	リング照明分光測色方法	非接触系分光測色方法	非接触系カメラ方式
測定角	1方向照明6方向受光	拡散照明1方向受光	3方向照明1方向受光	1方向照明1方向受光	–

一般に、塗装焼き付け後のボディ表面への接触は傷付き等の不具合を発生させる懸念があり避けたい。このため、非接触式色彩計を色管理に取り入れているメーカーもある。しかし、非接触式は測定面の形状で値が変わることから接触式と比べ、得られる値である「色彩値」のバラつきが大きく、塗色を正確に判断することが難しい。図3、4にそれぞれの色彩計にて、同じ塗色の自動車ボディを数十台にわたり様々な箇所をランダムに測定した結果を示す。

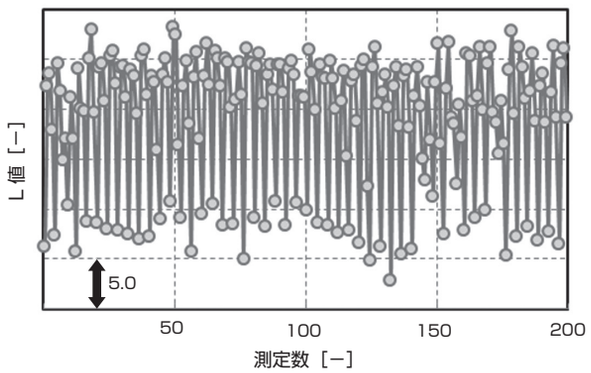


図３　非接触式測定結果

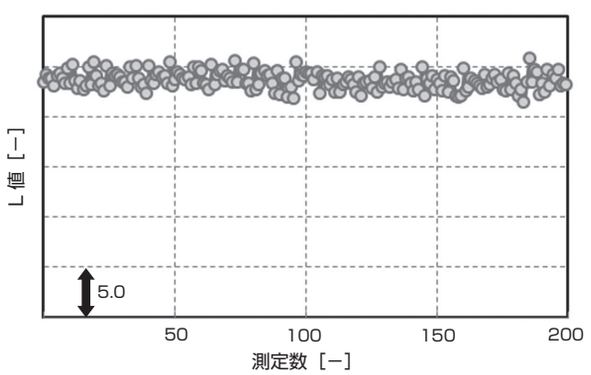


図４　接触式測定結果

また、人の目は様々な方向から色を捉えるため、色測定を行う機器も多方向から測定できる機器が望ましい。これまでも色評価の現場において、基準とする色板との数値はあっているが、見る方向によって色味が異なるということがおきている。

以上から今回、接触式色彩計であり、多角度測定タイプ(6方向から色を評価することが可能)である、分光測色計CM－M6(コニカミノルタ社製)(図5)を採用した。

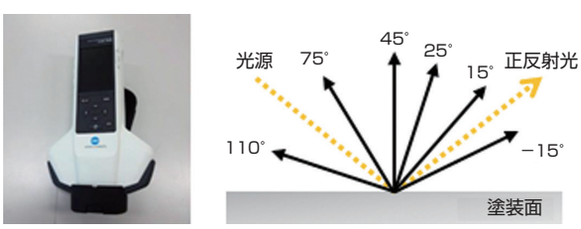


図５　色彩計CM－M6とその光学系

2.3　色彩値公差の検討

現在、自動車塗料はメタリック・パール色が主流と

なっている。このメタリック・パール色は塗膜層内に金属光輝材や干渉性光輝材を含み、キラキラと輝く多くの微小な反射が認められる。この反射により、見る角度・方向によって色が変化するという大変重要な意匠上の特徴を有しているが(図6)、色彩の客観的な評価指標が確立されていない[2]。

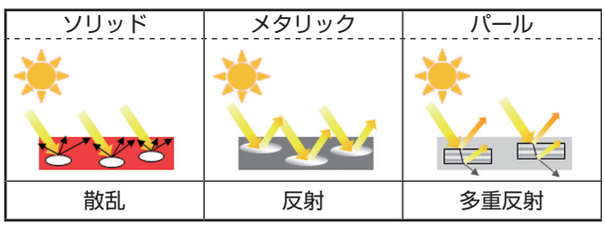


図６　メタリック・パール色発色メカニズム

色の閾値規格としてCIELAB色差式が広く使用され、一般にこの値が1.2以上であると目視上違和感があるとされている((2.1)式、表2)。

基準色 (L^*_1, a^*_1, b^*_1)、比較色 (L^*_2, a^*_2, b^*_2)

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \qquad (2.1)$$

$$\Delta L^* = L^*_2 - L^*_1$$
$$\Delta a^* = a^*_2 - a^*_1$$
$$\Delta b^* = b^*_2 - b^*_1$$

表２　色の許容差[3]

色差Δ Eab* 名称	備 考
～0.2 測色不能領域	測色計の不確かさに含まれる
0.3 識別色差	色差が識別できる限界
0.6 1 級（厳格色差）	各種の誤差要因を考えた場合の実用的な許容差の限界
1.2 2 級（実用色差 a）	並べて判定した場合にほとんどの人が容易に色差が認めることができる
2.5 3 級（実用色差 b）	試料を離間して配置した場合に、2 級に相当する
5.0 4 級	継時比較した場合にほぼ同一と認めることができる

しかしながら、CIELAB色差式は算出した値が人間の目で判断した時の色の類似度評価と一致しない場合がある。例えば、ある二つの色を人間の目で比較した時に二色の色差の有無が認識されない場合、色差式による測定結果は、0または0に近い数値が望ましい。ところが、CIELAB色差式では目視でほぼ同色と判断したにも関わらず、ある程度の色差値を得ることがある。このようにCIELAB色差式は求めた数値が、必ずしも人間の視感評価と一致するとは限らない傾向にある[4]。これまでも目視とCIELAB色差式のような換算式との整合性を高めようと、様々な研究が行われ、CIEdE00、DIN6175、AUDI2000のような換算式が登場した((2.2)式、(2.3)式、(2.4)式[5])。

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L \cdot S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C \cdot S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H \cdot S_H}\right)^2 + \left(RT\left(\frac{\Delta C'}{K_C \cdot S_C}\right)\left(\frac{\Delta H'}{K_H \cdot S_H}\right)\right)} \qquad (2.2)$$

$$\Delta E_\gamma = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{g_L \cdot S_{L\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a^*}{g_a \cdot S_{a\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b^*}{g_b \cdot S_{b\gamma}}\right)^2} \qquad (2.3)$$

$$\Delta E_{AUDI2000,\gamma_i} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*_{\gamma_i}}{k_L \cdot S_{L,\gamma_i}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{ab,\gamma_i}}{k_C \cdot S_{C,\gamma_i}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{ab,\gamma_i}}{k_H \cdot S_{H,\gamma_i}}\right)^2} \qquad (2.4)$$

上記の理由からこれら従来の色基準ではなく、独自の基準である色彩値公差が必要であると考えた。

今回、実際に目視評価で問題ないとされた塗装ボディの測定を行い、そのバラつき値から公差を統計的に算出する方法を取った。2ヶ月間に亘り、約1万台を対象にした色彩値測定を行い、全50万データから公差の算出を行った。

その結果、多くの塗色で図7のように、ある一定のバラつきで色彩値が推移しており、このバラつきは測定値Ave.± α σの範囲であることが確認できた。同一の塗料で同一の条件で塗装されたことから、このバラつきは塗色そのものが持つ固有のバラつきであることが分かる。

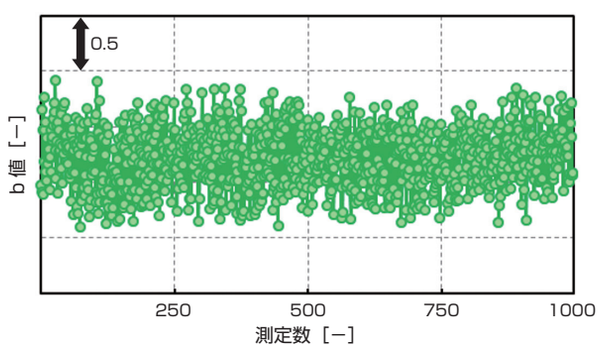


図７　実車測定結果（一部抜粋）

また、調査の中で図8のような変化も見られた。これはロット変更時におけるバラつきである。塗料は製造時の差などにより発生してしまうバラつきが存在し、その影響が色彩値となって表れ、母平均が中心からずれたものが図8である。このバラつきは± β σの範囲であることが確認できた。

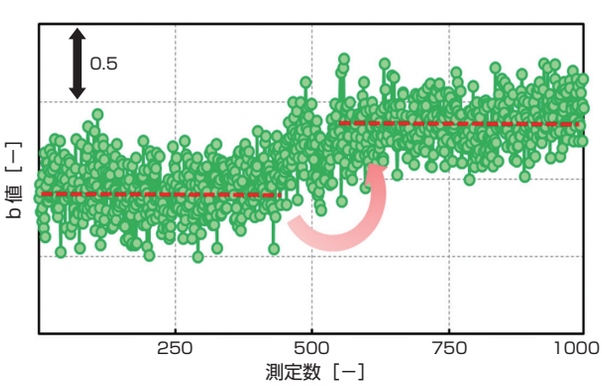


図８　実車測定結果 ロット変更時（一部抜粋）

今回の調査では目視上問題ない塗装ボディを選定し、色彩値の測定を行った。しかし、図7、図8に示したようにこの目視上問題ないとされる塗装ボディでも、その色彩値にはバラつきが存在する。これは色相に関係なく、全ての塗色について共通していることである。つまりこのバラつきの範囲内であれば、狙いとする色となっていることが分かり、範囲外であれば通常と異なり何らかの色異常が起きていることが分かる。よって、図7の塗色自体のバラつきと図8のロット間バラつきを考慮した合算値を目視上許容できる範囲とし公差とした。

以上から、本システムの色彩値公差を(2.5)式のように定めた。

$$色彩値公差 = Ave. \pm (\alpha + \beta)\sigma \qquad (2.5)$$

Ave.：測定平均値

この公差の確からしさを確認するために、自動車塗料として一般的なシルバーメタリック色の月毎のCpkについて確認を行った(L値45°)。結果は図9のように常にCpk＝1.33以上となることから、実現可能な公差範囲であることを確認できている。

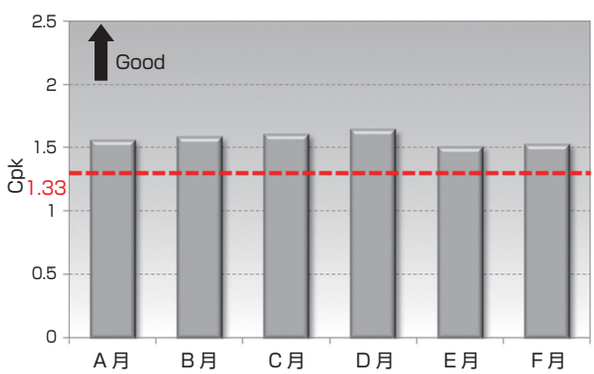


図９　シルバーメタリック色 Cpk 値

2.4　設定公差の有用性

2.3において定めた公差で色相不良を捉えることができるのか確認を行った。その確認には、自動車塗色として一般的なホワイトマイカを用いた。通常塗装されたホワイトマイカと、マイカ層が塗布されない色相不良時の測定データを図10に示す。

無作為に何台か選んだ通常塗装ボディと色相不良ボディの比較を行うと、その異常を確実に捉えることが確認できた。

これまで本章で述べてきたように、接触式多角度色彩計は非常に細かいデータ分析をすることが可能である(図11)。この詳細なデータを取得できることが、塗色の僅かな変化を察知し、色相不良の早急な発見へと繋がる。

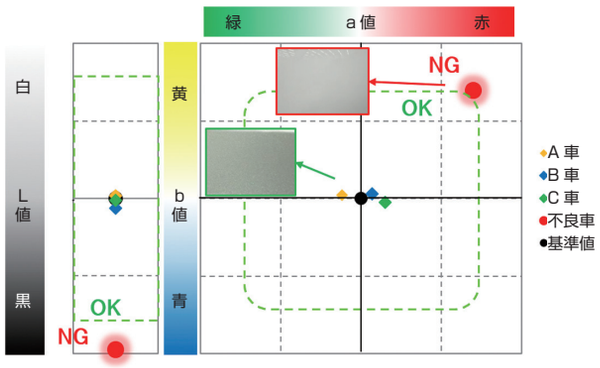


図 10　ホワイトマイカ色 マイカ無し色彩値データ

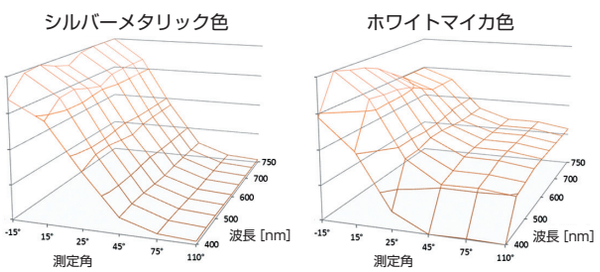


図 11　測定角度と分光反射率曲線

3.　ロボットによる自動測定化

本システムは接触式色彩計を用いたロボットによる自動測定化を目指した(図12)。接触式色彩計の測定では、測定面と色彩計接触面が隙間なくしっかり接触していなければならない。このため、ボディの僅かな精度誤差や生産用台車への搭載差でも、測定面と色彩計接触部の間に隙間を生じてしまい、そのまま測定しようすると位置ズレをおこし、ボディ面を傷つけたり、へこませたりする恐れがある。作業者による手動測定であったなら感覚的に行えるこの面合わせが、ロボット自動化への大きなハードルとなった。

本章ではこのような課題を解決しロボット化に成功した経緯を紹介する。

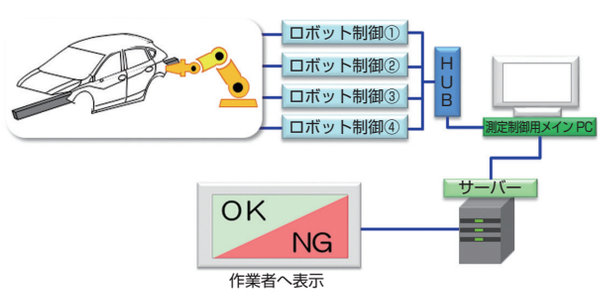


図 12　自動測定化イメージ

3.1　測定箇所

塗装は水平面、垂直面、左右面を複数のロボットで分担して仕上げている。測定箇所を右フード、左フー

ド、右フェンダー、左フェンダー、右リアクォーター、左リアクォーター、右リアゲート、左リアゲートの計8箇所とすることで、どのアウター面塗装ロボットに不具合が発生しても色相不良を検出できるようにした（図13）。

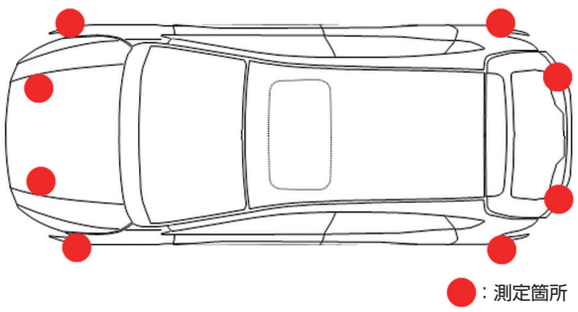


図 13　測定箇所

3.2　測定面接触方法

一般にロボットで対象物に触れる際、接触部にゴムを用いて傷付きを防止したり、バネを用いて衝撃を吸収する機構を設けたり、また専用のブラケットを利用したりなど様々な方法がとられている。今回我々も様々な視点から最も良い方法について検討を行った。

3.2.1　バネを用いた機構

色彩計にバネを取り付けることで接触時の衝撃を吸収する機構を考えた。バネは測定器の上下と側面に多数取り付けることで様々な方向からの力を吸収できるようにした。色彩計接触面と測定面が平行状態から、垂直方向に接触させた際は、その衝撃を吸収し測定面を傷つけることなく測定可能であった。しかし、測定面の形状や色彩計の傾きによって、測定面に対し接触面が擦れながらフィットしていくため、測定面を傷つけてしまうという事象が発生した（図14）。

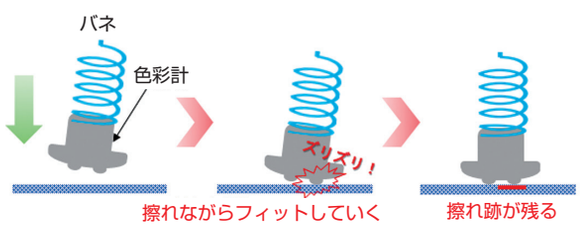


図 14　測定面接触方法①

3.2.2　ブラケットを用いた機構

色彩計が上下左右自由に回転できるようなブラケットを考えた。これにより測定面に触れた際、その形状に合わせ色彩計が自由に動き、接触時の衝撃を逃がしながら色彩計接触部と測定面を合わせることができる。こちらの機構も色彩計接触面と測定面が平行状態から、垂直方向に接触させた際は、測定面を傷つけることなくしっかりと追従し測定可能であった。しかし、垂直面測定時などある条件下では、測定面を色彩計接触面の「面」で捉えることができずに「点」で捉えてしまい、測定面との間に隙間ができてしまうという事象が発生した（図15）。

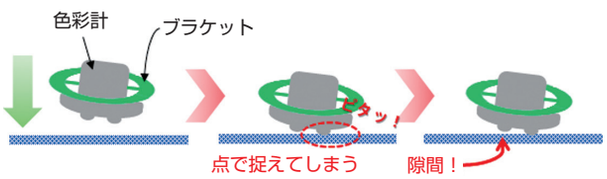


図 15　測定面接触方法②

3.2.3　その他の機構

その他に前述した接触部をゴムのような柔らかい材料にすることや緩衝材を追加することで接触時の衝撃を吸収するという方法を考えた。しかし、測定の際に接触面が変化してしまうため、焦点距離を一定に保てず正確な測定結果を得られなかったり、また不用意な隙間を生んでしまうことでエッジロスエラー※1が発生してしまう。

図16に緩衝材（ウレタンフォーム）を接触部に使用した際の測定と通常測定時のデータ値差を示す。この結果は同一測定面を緩衝材の有無でそれぞれ測定し、初期値と比較したデータである。測定面接触時の焦点距離が変化することで色彩値データも変化してしまうことが確認できた。

※1 測定の開口部の外側に光が逃げてしまい正しい測定ができないエラーのこと。

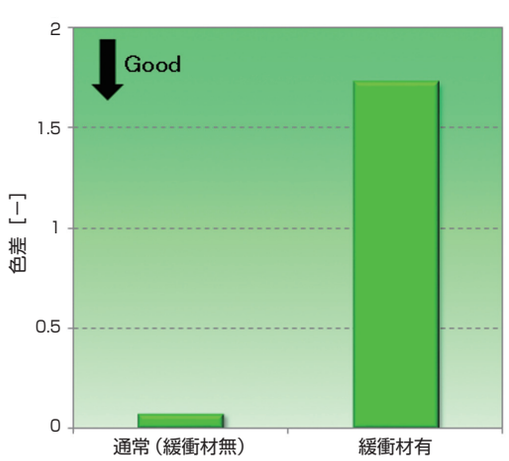


図 16　緩衝材有無による色彩値差の関係

上記のような結果を受け、人の手で測定するようにロボットで測定できないかということを考えた。従来、採用した色彩計は手動による測定を想定された機器である。つまり、人による測定作業をロボット上で再現

することができれば、測定面を傷つけることなく正確に測定することが可能である。今回我々は様々な検討を重ねることで、人の手で作業するような測定面へのアプローチ方法を確立することができた。これにより、接触式色彩計を用いたロボットによる自動測定化を可能とした。

3.2.4　ライン導入

ラインへの適用にあたり、ロボット4機の導入を行った。1機で2箇所を測定し、計8箇所の測定を実施する。測定の際にクランプでボディ台車を固定し、ビジョンシステムによる位置補正をかけることで、より素早く正確な測定と測定の際の揺れ軽減を図った。これにより、ボディ1台分となる1工程という小スペースで、ライン速度最大ピッチにおいても8箇所測定することを可能とした。

測定場所は塗装面をチェックする工程(CM工程)の前に構え、全号車測定できる体制をとった。CM工程前にIDリーダーを構え、工程内にモニターを設置することで、CM作業者が入ってきたボディの色情報を確認することができるシステムを組んだ(図17)。また、ここで測定された結果はサーバに保存され、約3年間分の過去データを確認することが可能である。

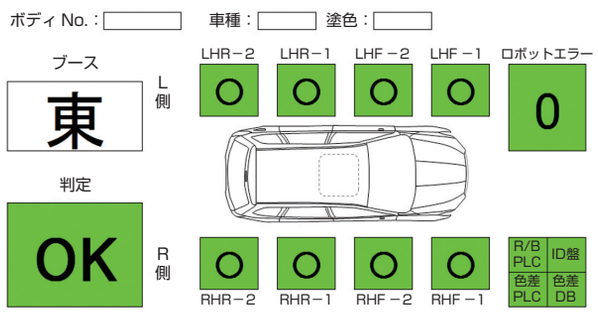


図 17　CM 工程モニター

4.　まとめ・今後の展開

これまで色相は目視による評価で、そこには「あいまいさ」があった。今回、目視の判断基準を数値に置き換えることで、基準を明確化することができた。この官能評価から定量評価へのステップアップは、色検査における自工程保証の強化だけではなく、色品質保証度の向上も行えたと言える。

本システムが全塗装工場へ導入されることで、全号車の数値管理ができるようになる。これにより、データベース化ができ、トレーサビリティの担保が行えるようになる。将来的にはIoT化により、バンパー工場や部品工場と連携をとることで、より色相の近いものどうしを合わせることができるようになる。これはマッチング不良ゼロの実現や、自動車外装全体としての完成度をもう一段向上させることへ繋がっていく。

さらにここで得られたビックデータを活用し、より精度の高い色評価技術を得ることが、より良い色を塗装する技術へ繋がる。意匠性の高い塗色の開発が急がれる一方、その塗色が狙いとする色となっているのか評価する技術も求められている。所謂、高意匠性塗料のような見る方向によって複雑に色が変化する塗色を目視で判断することは困難であり、正確に捉えるためには、高い色管理技術が必要となる。

今後は、ここで得られたビックデータを解析していくことで、色彩値がなぜバラついてしまうのか、バラつかないための「良品条件」とは何かについて模索していき、「良品条件と色彩値」の相関関係を形式知化していきたい。この発見こそが、「より良い色を塗装する技術」である「究極の色コントロール」を実現させる鍵となる。

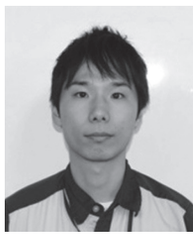
5.　謝辞

本システム開発にあたって、多大なるご協力を頂きました(株)大気社、(株)コンテック、コニカミノルタ(株)のご関係者各位に御礼申し上げます。また、データ取得、設備導入に際し多大なるご協力を頂きました第2製造部の皆様に心から感謝申し上げます。

参考文献

(1) コニカミノルタ(株)：色を読む話, P.14－16
(2) 大住雅之：変角分光イメージングを用いたメタリック・パール色のミクロ光輝感測定方法, 日本色彩学会視覚情報基礎研究会第27回研究発表会論文集(2016), P.13
(3) 都外川八恵：これだけ覚えれば合格！カラーコーディネーター2級, P.158,182－183
(4) 鶴岡倭、他：CIEDE2000による修正色差式を用いたカラー画像の領域分割, 日本大学生産工学部第45回学術講演会講演概要(2012), P.291－292
(5) Manuel Melgosa, et al：Measuring color differences in automotive samples with lightness flop：A test of the AUDI2000
(6) 若井宏平：自動車塗装におけるパール・メタリック塗膜の色彩計測技術, 増刊号塗装技術, VOL.10 (2016), P.51－56
(7) 太田登：色彩工学第2版, P.27, P131－133
(8) 篠田博之, 他：色彩工学入門, P.84,122－124

【著　者】



鶴井　裕輔

内田　克也

SUBARUフォレスターがユーロ NCAP の2019年ベスト・イン・クラス賞を受賞

2020年1月9日

このたび、フォレスター（欧州仕様車）が、「ユーロ NCAP」（欧州の安全性能評価プログラム）2019年安全性能テストの評価を受けた全車のうち、各部門で最高得点を獲得したモデルに与えられる「ベスト・イン・クラス賞」をスモールオフロード/MPV 部門において受賞しました

ユーロ NCAP 2019 年ベスト・イン・クラス賞 ロゴ

フォレスター（欧州仕様車）

無人航空機の自律的ダイナミック・リルーティング技術の研究開発の紹介

Introduction of R&D of Autonomous Dynamic Rerouting Technology for UAVs

笹本貴宏[*1] SASAMOTO Takahiro
芝尾裕規[*1] SHIBAO Yasunori
佐藤維大[*2] SATO Tsunahiro
平木健太郎[*3] HIRAKI Kentarou
山根章弘[*4] YAMANE Akihiro

抄　録

近年、ドローンと呼ばれる小型無人航空機の普及をはじめとして、世界的に無人航空機の利活用が活発に行われるようになった。我が国においては、小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会にて「空の産業革命に向けたロードマップ」が取りまとめられ、現在、2022年からのレベル4（有人地帯での目視外飛行）実現に向けての取り組みが行われている。

この背景のもと、航空宇宙カンパニーでは2017年度から2019年度にかけて、シングルロータ型無人航空機のレベル4実現を目指して、自律的な衝突回避機能や危険回避のための経路変更機能から構成される自律的ダイナミック・リルーティングシステムの研究開発を行った。本稿ではシステムの概要、及び飛行実証試験について紹介する。

この成果は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務及び助成事業の結果得られたものである。

Abstract

Utilization of unmanned aerial vehicles (UAVs) has become brisk worldwide, such as the spread of small UAVs, i.e. “Drone” in recent years. In Japan, Public-Private Council for UAS Promotion and Regulation established “Roadmap for the Aerial Industrial Revolution” and the efforts are underway to begin the Level 4 operation (beyond visual line of sight and over populated areas) from 2022.

SUBARU Aerospace Company has conducted R&D project for the system called “Autonomous Dynamic Rerouting System” which consists of autonomous collision avoidance and flight path rerouting function for single rotary UAV to aim for Level 4 operation from 2017 through 2019. This article shows an introduction for an overview of the system and flight test.

This paper is based on results obtained from projects commissioned and subsidized by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO).

1. まえがき

近年、ドローンと呼ばれる小型無人航空機の普及をはじめとして、世界的に無人航空機の利活用が活発に行われるようになった。我が国においては、小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会（第6回2017年5月19日開催）にて「空の産業革命に向けたロードマップ」が取りまとめられ、現在、2022年からのレベル4（有人地帯での目視外飛行）実現に向けての取り組みが行われている[(1)]。

目視外飛行の実現に当たっては、離島間物流（長距離洋上飛行）のように、地上と無人航空機間の通信インフラが十分に整備されておらず、地上からの支援が受けられない状況下においても、無人航空機が自律的に他の航空機や危険を回避する技術の開発が必要不可欠である。

この背景のもと、当社では、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が実施する「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト（通称DRESSプロジェクト）[(2)]」の枠組みにおいて、日本無線株式会社、日本アビオニクス株式会社、三菱電機株式会社、株式会社自律制御システム研究所と協力し、2017年度から2019年度に

＊1 航空宇宙カンパニー　自律システム設計部
＊2 同　研究部
＊3 同　システム設計部
＊4 同　航空機第二部

かけて、衝突回避機能や危険回避のための経路変更機能から構成される自律的ダイナミック・リルーティングシステムの開発を行い、福島ロボットテストフィールド及び愛知県三河湾洋上にて飛行実証試験を行った。

2.　システム概要

本システムは離島間物流での将来的な目視外飛行の実現を目指し、データリンクの通信制限時や途絶時にも、無人航空機に自律性を持たせることで緊急事態へ対応できるようにすることを目的としている。無人航空機が遭遇する緊急事態として、他航空機の接近、自機の故障や燃料／バッテリの不足、飛行中に発生した悪天候を想定している。運用イメージを図1に示す。

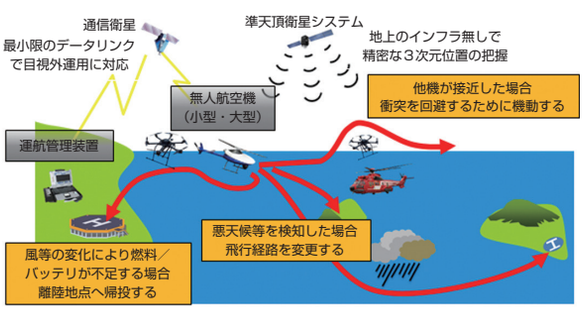


図1　運用イメージ

2.1　システムが有する機能の紹介

2.1.1　機能概要

図1の運用を実現するよう本システムに以下の機能を付与した。

(1) 衝突回避機能

脅威機をレーダ・光波センサ(カメラ)で検知し自律的に衝突を回避する機能。2.2項にて詳述。

(2) 燃料警告発生時経路変更機能

燃料警告発生時に離陸地点、着陸地点のうち短時間で到達できる地点へ自律的に飛行する機能。

(3) 故障時経路変更機能

故障発生時に事前に設定された複数の緊急着陸点から最も近いものを選択し、自律的に飛行する機能。

(4) 悪天候回避機能

気象情報により悪天候を避ける経路を生成し、飛行する機能。

また、経路変更の際には準天頂衛星対応受信機の位置情報を用いることで地上基準局の支援を受けずに精密に変更後の経路を飛行する。

2.1.2　衝突回避機能

主要機能である衝突回避機能について述べる。現在、無人航空機と有人航空機は、原則として高度150 mを境界とする空域の分離によって空中衝突しないよう運用されている。一方、日本国内ではドクターヘリの運航や災害対応時等、一時的に150 m以下の高度を有人ヘリコプタが飛行する可能性があり、また、無人機と有人機のニアミスも発生している[(3)]。無人機の目視外運航を実現する上では無人航空機-有人航空機間の非協調衝突回避技術の開発が必要である。この背景から、本システムに主要機能として組み込んだ。

本機能は電波センサ(レーダ)、光波センサ(カメラ)からの情報を元に有人ヘリコプタとの衝突を自律的に回避する。加えて対ドローンの衝突回避機能も有している。性能としては相対200 km/hで飛行する有人ヘリコプタに対する衝突回避が可能なよう設計･検証し、後述する相対100 km/hでの飛行実証を行った。

2.1.3　ドローン運行管理システムとの接続

本システムは地上との通信が可能な状況では地上設備と連携することを前提としている。そのため、DRESSプロジェクト内で開発されたドローン運行管理システム(UTM：Unmanned Air System Traffic Management)[(2)]に対して、地上に設置した運行管理装置(当社開発)及びインターネットを介して相互に接続する機能を有している。具体的には以下の情報の送受信を行う。

(1) 飛行計画の申請・承認
(2) 飛行中の位置情報の共有
(3) 経路変更時の警報の通知

なお、運行管理装置には自律制御システム研究所(ACSL)の小型無人航空機(マルチコプタータイプ)も接続することができる。

2.2　システム構成

本システムは機上システム及び地上システムから構成される。

2.2.1　機上システム

無人航空機に以下の4つの機器を搭載する。

(1) 自律管理装置

開発：当社
サイズ：長さ約12 cm、幅約9 cm、500 g
役割・特徴：中型の無人航空機に搭載可能な小型・軽量の装置。電波センサ、光波センサからの探知･識別情報に基づき衝突の危険性を自動的に判断し、上昇・降下・旋回などの回避行動を選択し無人航空機へ指令する。

(2) 電波センサ(レーダ)
開発：日本無線株式会社
サイズ：高さ約20 cm、約5 kg
役割・特徴：中型の無人航空機に搭載可能な小型・軽量のレーダ。全方位に対し、主に遠方(約5 km)の物体の探知を行う。

(3) 光波センサ(カメラ)
開発：日本アビオニクス株式会社
サイズ：高さ約27 cm、約5 kg
役割・特徴：中型の無人航空機に搭載可能な小型・軽量・高解像度のカメラ。AIを応用した画像認識技術を搭載したカメラ一体型の画像処理装置により、主に近傍(約500 m)の物体の探知・識別を行う。

(4) 準天頂衛星対応受信機
開発：三菱電機株式会社
サイズ：本体　高さ約3 cm、幅約9 cm、約280 g
アンテナ　高さ約3 cm、幅約6 cm、約150 g
役割・特徴：小型の無人航空機に搭載可能なサイズに小型化・軽量化された準天頂衛星対応受信機。センチメータ級の精密な位置情報を取得する。
各機器の外観を図2に示す。

図２　各機器の外観

本研究開発では上記の機器をヤマハ発動機製無人航空機Fazer R G2(最大全備重量110 kg、全長3.7 m)に搭載し飛行実証を行った。経路変更の際には、自律管理装置の指令に従ってFazer R G2が飛行する。システムブロック図及び搭載状態を図3、4に示す。

本機上システムは将来的には他の無人航空機に対しても後付けで搭載可能とすることを想定しており、小改修(例えばソフトウェア内の一部のパラメータの変更等)で、Fazer R G2以外の機体へも対応できるよう設計されている。

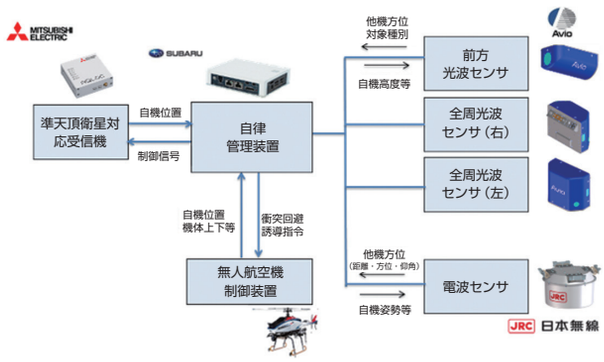


図３　システムブロック図

図４　システム搭載状態

2.2.2　地上システム

地上に設置する装置として運行管理装置を開発した。無人航空機の地上管制装置との通信及びドローン運行管理システムへの接続を行う(図5)。

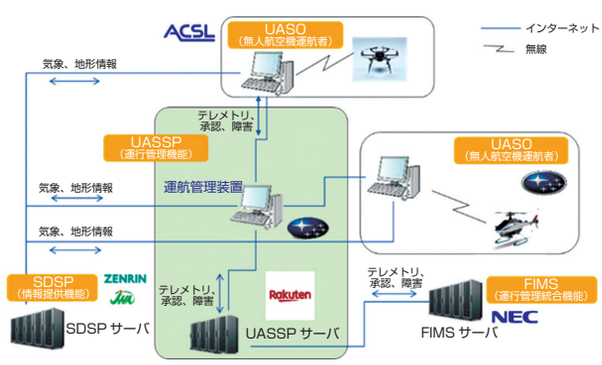


図５　ドローン運行管理システムとの接続

3.　衝突回避機能の開発

主要機能である衝突回避機能の開発について紹介する。本プロジェクトではまず衝突回避に関する基礎データを各種無人航空機及び有人ヘリコプタを用いて取得し、取得データに基づき回避アルゴリズムを設計した。

3.1　基礎データ取得飛行試験

有人機同士の基準を参考に試験ケースを設定し（図6）、福島ロボットテストフィールドにて2017年12月11日から22日にかけて無人航空機及び有人ヘリコプタを用いた基礎データ取得飛行試験を実施した（図7）。

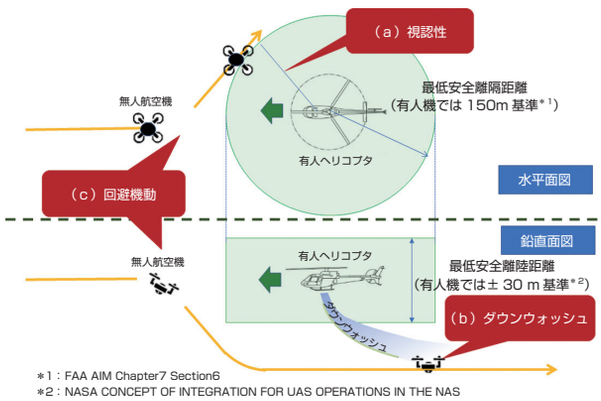


図６　試験ケース設定

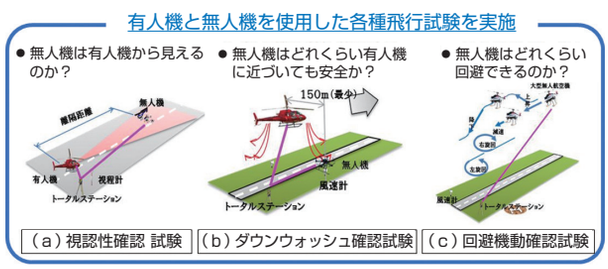


図７　基礎データ取得飛行試験

本試験の結果以下の知見が得られた。

(1) 200 mを超える距離では条件によっては有人ヘリコプタから無人航空機を視認するのは困難であるため、無人航空機側が回避する必要がある。

(2) 無人航空機はダウンウォッシュの影響を考慮すると有人ヘリコプタの下方50 m（有人ヘリホバー時）ないし30 m（有人ヘリ前進飛行時）を飛行可能である。

(3) 小型無人航空機（マルチコプタ）は水平面の機動よりも垂直面の機動の方が短時間で機動を完了できる一方で、中型無人航空機（無人ヘリコプタ）は、ホバーからの上昇・降下以外は水平方向・高度方向いずれも比較的短い時間で機動を完了できる。

これらの知見を元に衝突回避ロジックを設計した。有人航空機と正対状態で遭遇した場合の無人航空機の衝突回避経路を図8に示す。

3.2　設計・検証

衝突回避ロジックを自律管理装置に実装し、センサシミュレータを連接した飛行シミュレータ（100 kgクラスの中型の回転翼無人航空機相当）を用いて設計検証を行った（図9）。

加えて、将来的に物流や農薬散布などの様々な分野で活用が見込まれる300 kgクラスの大型回転翼無人機の運動を模した飛行シミュレータ及び試験治具を作成し、それらを用いた検証も併せて行った。当社の事業領域である大型回転翼無人航空機に搭載した場合にも対有人機の衝突回避が可能であることを確認した。

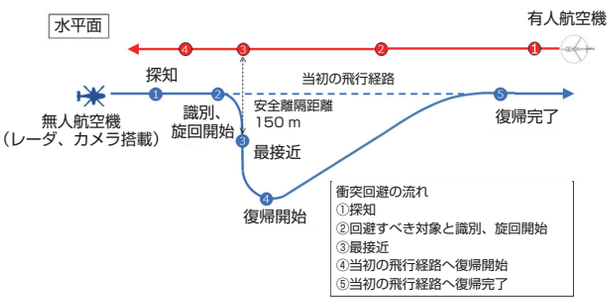


図８　対有人航空機衝突回避経路（旋回回避）

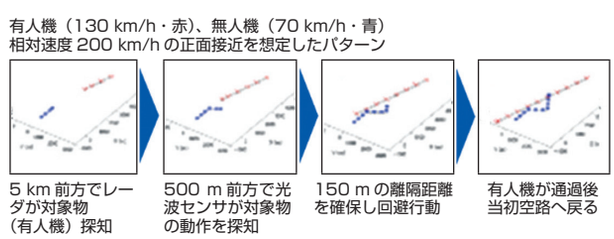


図９　飛行シミュレーション例

3.3　事前確認飛行試験

センサの探知データの取得及び衝突回避機能の検証を目的として、探知データの取得試験及び対無人航空機の衝突回避飛行試験を福島ロボットテストフィールドで実施した。取得したデータを元に衝突回避ロジックに改良を加え、自律管理装置が搭載センサの探知データを元に無人航空機に対し衝突回避指令を出力し経路を変更できることを飛行状態で確認した。

4.　飛行実証試験

4.1　衝突回避飛行実証試験

2019年7月21日から26日にかけて、福島県南相馬市の福島ロボットテストフィールド東側の海岸において、福島県、（公財）福島イノベーション・コースト構想推進機構の協力の下、対有人ヘリコプタ衝突回避の飛行実証試験を行った。本実証試験では、無人航空機に搭載した電波センサ及び光波センサにより、相対速度100 km/hで接近してくる有人ヘリコプタを飛行中に探知し、探知データによる自律的な衝突回避に成功した。飛行経路及び回避の状況を図10に示す。正

対した状態から接近し、無人航空機が右旋回で自律的に回避を行った。

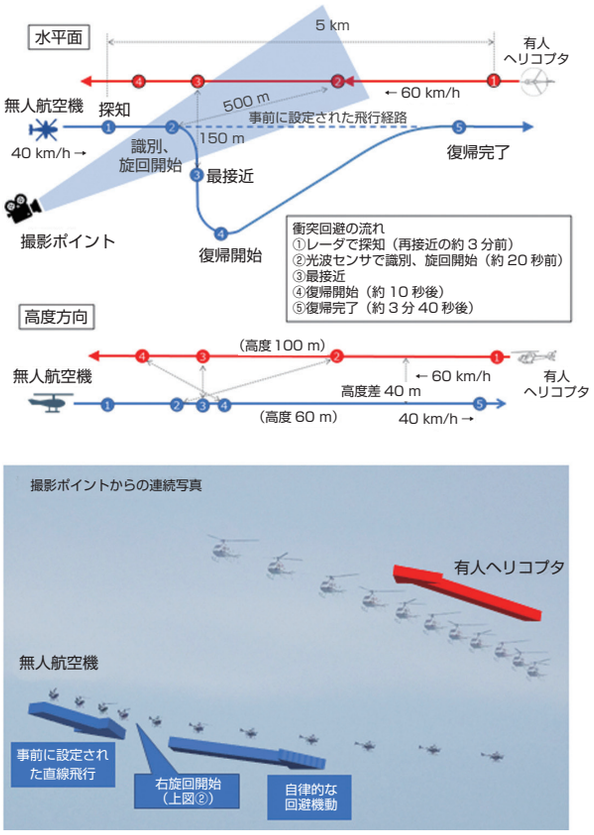


図 10　飛行経路（上図）及び回避の状況（下図）

回避対象の有人ヘリコプタとしてユーロコプター社製 AS350（最大離陸重量 2,250 kg）を用いた。日本国内では全備重量 2,000 kg ～ 3,000 kg の機体が主に運用されており、このクラスで最も普及している AS350（図 11）を選定した。

図 11　AS350

電波センサ及び光波センサの有人機探知データ例を図 12、13 に示す。

4.2　相互接続試験

2019 年 10 月 21 日から 26 日、及び 2019 年 11 月 6 日から 9 日にかけて、福島ロボットテストフィールドにおいて、ドローン運航管理システムの相互接続試験（実

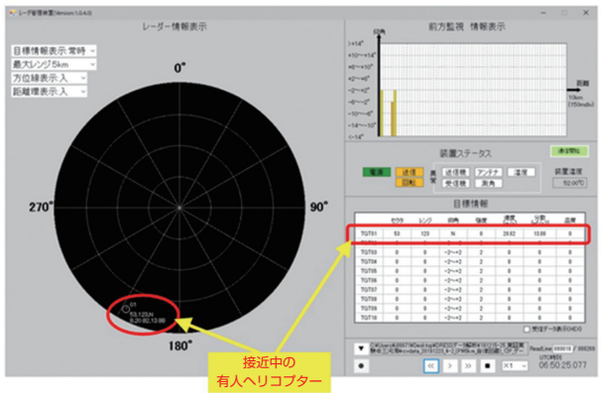


図 12　電波センサ（レーダ）有人機探知データ例

図 13　光波センサ（前方カメラ）有人機探知データ例

施代表：日本電気株式会社）に参加し、他の無人航空機が複数機、同一空域を飛行する状態での飛行実証を実施した（図 14）。結果、自律的ダイナミック・リルーティング技術を実装した中型無人航空機がドローン運行管理システムと相互に接続した状態で飛行できることを実証した。

なお、本実証試験は、一般のドローン事業者も含めた 29 社、46 機が参画し、2020 年代のドローンが社会実装された将来において想定される 1 時間 1 平方 km に 100 フライト以上という高密度でドローンが飛行する大規模なものであった[4]。

図 14　相互接続試験の様子
出典：ニュースリリースより抜粋[4]

4.3　実環境での飛行実証試験

2019 年 12 月 16 日から 24 日にかけて、愛知県三河湾（豊川市御津町、田原市白浜及びこれらを結ぶ海上）において、愛知県の協力の下、離島での無人航空機の

運用を想定した実環境での飛行実証試験を行った（図15）。具体的には自律的ダイナミック・リルーティングシステムが持つ機能（2.1.1項）に対応させる形で下記の4つの試験項目を実施した。

(1) 燃料警告模擬飛行試験
(2) 故障模擬飛行試験
(3) 悪天候回避模擬飛行試験（及び長距離飛行）
(4) 対有人機衝突回避試験（相対100 km/h）

燃料警告、故障、悪天候については安全のため模擬情報を自律的ダイナミック・リルーティングシステムに送信することで各機能を作動させた。例として故障模擬飛行試験の飛行経路を図16に示す。事前にプログラムされた経路を飛行中に故障模擬信号を受信し、緊急着陸点を選択し自律的に飛行することを確認した。また、悪天候回避模擬飛行試験に際しては、離島間物流を模して豊川市御津1区から田原市田原4区へ湾を横断する12 kmの長距離飛行も併せて行った（図17）。いずれの飛行試験も成功し、実環境において自律的ダイナミック・リルーティングシステムが正常に作動することを確認した。

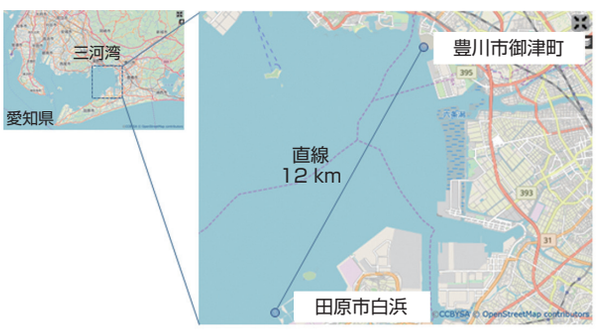


図15　試験実施場所

図16　故障模擬飛行試験経路

図17　離島物流を模して三河湾を飛行する無人航空機

5.　まとめ

計画していた開発及び飛行実証をすべて完遂した。今回開発したシステムは技術実証用のプロトタイプであり、実用化に当たっては小型化やシステムの耐久性の検証等の課題はあるものの、無人航空機の運用が想定される実環境において、有人ヘリコプタ等の実機を用いた大規模な実証を通して実用化の目途をつけた点で大きな成果であると考える。また、技術的な観点以外にも、各業界の主導的企業と協業する機会を得ることができた点や、短期間で開発・検証を繰り返すという、例を見ない無人航空機システムの開発を成功させた点など、貴重な経験を積むことができた。今後これらの技術、経験を元に、無人航空機のさらなる利活用の推進及び安全な社会実装に貢献していく。

謝辞

本実証試験において多大なる御指導・ご協力を頂いた、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）ロボット・AI部、福島県商工労働部ロボット産業推進室、（公財）福島イノベーション・コースト構想推進機構、愛知県経済産業局産業部産業振興課次世代産業室に深く感謝する。

参考文献

(1) 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会：空の産業革命に向けたロードマップ2019～小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備～（2019-6-21）https：//www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/2019kaiteiroadmap.pptx
(2) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト（2019-6-7）http：//www.nedo.go.jp/activities/ZZJP2_100080.html

(3) 国土交通省航空局：航空機と無人航空機、無人航空機同士の衝突回避策等について(2016-11-8) http：//www.mlit.go.jp/common/001153086.pdf
(4) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：ニュースリリース「一般のドローン事業者も参画したドローン運航管理システムの相互接続試験に成功－29事業者が飛行試験を実施－」(2019-10-30) https：//nedo-dress.jp/news/1691.html

【著　者】

笹本　貴宏

芝尾　裕規

佐藤　維大

平木 健太郎

山根　章弘

世界初、相対速度100 km/hでの無人航空機の衝突回避試験を実施
～搭載した各種センサーで有人ヘリコプターを探知し自律的に衝突を回避～

2019年7月25日

NEDO、(株)SUBARU、日本無線(株)、日本アビオニクス(株)、三菱電機(株)、(株)自律制御システム研究所は、7月24日から25日に、広域飛行空域(福島県南相馬市)で、相対速度100 km/hでの中型の無人航空機の自律的な衝突回避試験を世界で初めて実施しました。

図　衝突回避飛行試験のイメージ

ハイブリッドコキュアによる高生産レート航空機構造の一体成形技術開発

Development of Integrated Molding Technology for Aircraft Structure using Hybrid Co-cure

田尻 啓祐[*1] TAJIRI Keisuke
矢野 克彦[*1] YANO Katsuhiko
内山 重和[*1] UCHIYAMA Shigekazu
香村 和明[*2] KOMURA Kazuaki
脇田 真吾[*2] WAKITA Shingo
高橋 光寛[*2] TAKAHASHI Mitsuhiro
青木 一行[*2] AOKI Kazuyuki

抄 録

国際的な旅客需要の高まりのなかで、複合材製航空機製造には高生産レート、低製造コストが求められている。複合材は自動車や産業機器はもとより、軽量化が至上命題とされている空のモビリティにも適用が想定されていることから、航空機構造のみならず、幅広い分野への適用が期待される。

航空機の複合材構造製造においては、必須とされてきたA/C[※1]がボトルネックとなっている。本研究ではOoA[※2]プリプレグ[※3]とVaRTM[※4]を組み合わせたハイブリッドコキュア[※5]に着目し、A/Cが不要な大物一体成形プロセスを開発した。本稿では、水平尾翼への適用を想定し、開発した上記技術について紹介する。

※1：Autoclave、加熱・加圧炉
※2：Out Of Autoclave、脱オートクレーブ
※3：プリプレグ、繊維に樹脂を含浸させた中間基材
※4：Vacuum assisted Resin Transfer Molding、真空樹脂含浸成形法
※5：コキュア、複数部品を一度かつ一体で硬化する成形法

Abstract

Due to increasing international passenger demand, composite aircraft manufacturing requires high production rates and low manufacturing costs. Since composite materials are being applied not only to automobiles and industrial equipment but also to Urban Air Mobility, they are expected to be applied to a wide range of fields. The bottleneck is A/C, which has been indispensable for manufacturing composite structures for aircraft. We focused on hybrid co-cure combining OoA prepreg and VaRTM, and developed a large-size integrated molding process that does not require A/C. In this report, the molding technology developed for horizontal stabilizer structure is described.

1. まえがき

近年、世界経済の成長により旅客需要の増加が期待されている。今後20年間の旅客機需要予測を**図1**に示す。旅客機需要は全体では35,000機に上り、半数以上となる20,000機を占めるのは高レート生産を行っている細胴機と予測される。また強度・重量で優れる炭素繊維複合材（CFRP）の旅客機への適用は拡大しており、広胴機であるBoeing 787、Airbus A350においては全構造重量の約50%に達している。

CFRPは、金属に比べ高比強度、疲労強度及び耐腐食性に優れるという特徴がある。CFRPの適用は、軽量化による燃費向上や航続距離拡大等の運行コストの低減、検査間隔拡大や腐食除去作業削減等の整備コストの低減につながる。CFRP適用拡大を阻んでいるのは、製造コスト及び設備コストが高いことである。このため、質量増無く、低コスト化できる技術開発によって広胴機へのさらなる適用拡大のみならず、細胴機への適用拡大が図れる。

以上の背景のもと、本研究では従来複合材構造に対して「製造コスト半減」を「同等質量」にて実現することを目標とし、技術開発を実施した。設定した研究目標の概要を**図2**に示す。

＊1 航空宇宙カンパニー　技術開発センター
　固定翼機設計部
＊2 同　研究部

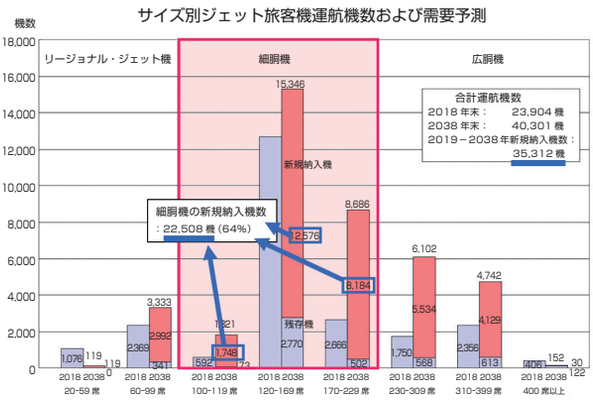


図１　ジェット旅客機運航機数および需要予測 [1]

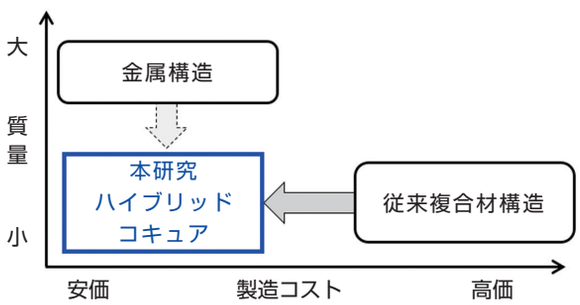


図２　コスト・質量の考え方

2.　研究開発概要

前項に挙げた研究目標を達成するため、従来手法を分析し、問題点として以下3点を抽出した。

①I型ストリンガをはじめとする部品点数の多さ

②高レート製造に要する複数A/Cの設備投資の高さ

③部品点数及び硬化プロセスに起因する、組立用ファスナ(ボルト・ナット等)の多さ

上記問題に対する近年の技術開発動向としては自動積層装置の性能向上[2]、硬化時間の短縮[3][4]等が挙げられるが、これらは設備コストが高いため低コスト製造には不向きであると考える。

この解決のために、翼構造において、以下の手法を取り入れた。

①複数のI形ストリンガをコルゲートストリンガに集約し、部品点数を削減

②脱A/C技術(OoAプリプレグ、VaRTM)の活用

③一体成形促進による組立工程削減

以上により、低コスト化を推進しつつ高生産レートに対応したプロセスとできると考えられる。従来手法と新手法の製造工程比較を図3に示す。

技術開発においては、材料および成形プロセスの設定、ターゲットとする翼構造の構造設計、各構造の供試体成形を行い、最後にプロセス検証のための強度試験および重量・コストメリット検討を実施した。

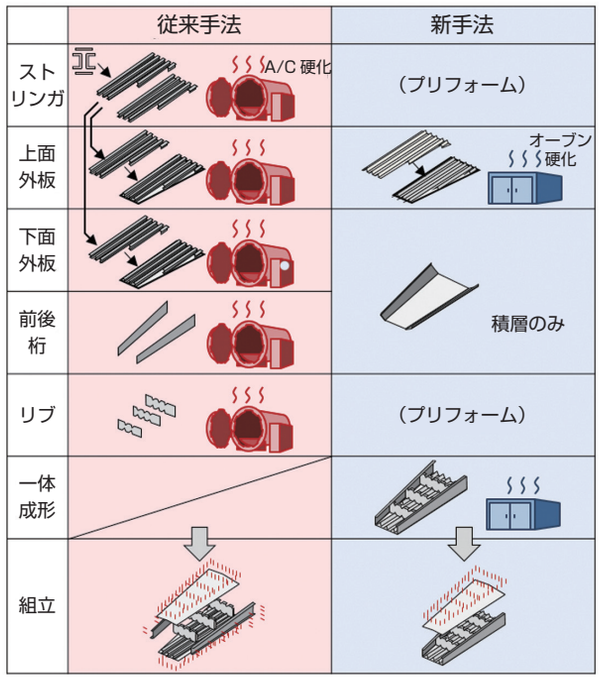


図３　翼構造製造コンセプト

3.　材料および成形プロセス設定

本研究における成形法の根幹となる、OoAプリプレグとVaRTMを組み合わせたハイブリッドコキュア成形法について概要を図4に示す。

プリプレグ上にVaRTMのドライファイバーを配置することで、プリプレグ上でVaRTMの含浸を行い、プリプレグ部分とVaRTM部分を同時に硬化(コキュア)する成形方法である。VaRTMはオートクレーブ等を用いず、真空バッグ内で含浸・硬化を行うため、同時成形するプリプレグ材料も真空バッグのみで成形・硬化することが可能なOoAプリプレグ材料であることが必要となる。本研究にて選定したプリプレグ、プリフォーム、およびVaRTM樹脂それぞれについて、上記要求を満足できることを確認している。

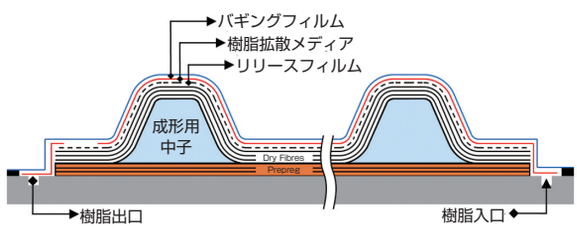


図４　ハイブリッドコキュア成形 概要図 [5]

4.　構造設計

前項までに設定したコンセプトとその成形プロセスの妥当性を評価するため、翼構造の概念設計および供試体設計を実施した。本研究では、コンセプトを反映した水平尾翼の概念設計を行い、その尾翼より一般部2ベイを抽出した供試体の詳細設計を行っている。概念設計の概要を図5に、詳細設計の概要を図6に示す。ボックス構造は、一体成形技術を積極的に活用することで上面外板と下部ボックス構造の2部品による構成とし、桁およびリブフランジにて締結する構造様式とした。

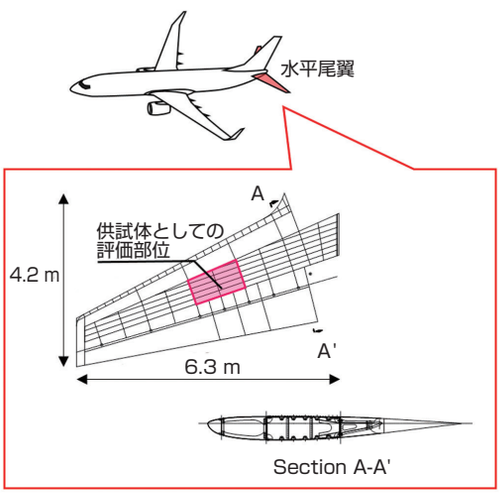


図5　水平尾翼概念設計

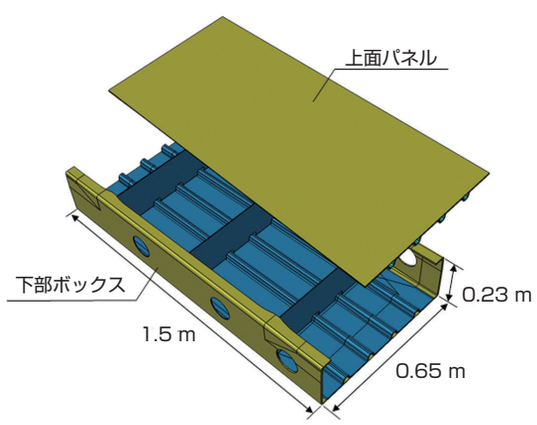


図6　ボックス供試体詳細設計

5.　供試体成形

5.1　上面パネル

上面パネルは、スキンにOoAプリプレグを、ストリンガにVaRTMを用いたハイブリッドコキュア一体成形である。ストリンガにはコルゲート（波型）形状を採用し、位置決めと樹脂含浸が一度で済むようにしている。プリフォームへの樹脂含浸に関し、副資材構成の決定および含浸時間の予測のため、ESI社製ソフトウェア“PAM-RTM”を用いた樹脂含浸解析を実施した。解析条件には当該材料の透過係数（Permeability）を計測・反映しており、解析結果が実際の含浸挙動と一致していることを確認した。確認に際し、治具内の樹脂含浸状況は観察できないため、本研究では樹脂含浸モニタリング装置を開発し、樹脂含浸状況をリアルタイムで確認可能とした[5]。樹脂含浸解析の概要図を図7に示す。樹脂が可使時間内に含浸完了し、未含浸エリアが生成されないことを確認した。

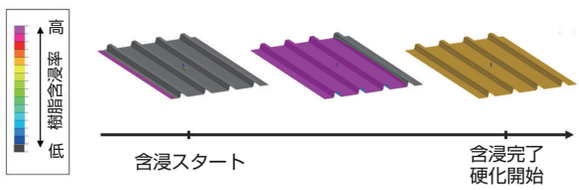


図7　上面パネル樹脂含浸解析

また、上面パネルを平板治具上で成形する場合、複合材及び治具の熱膨張や硬化収縮の影響でコード方向に反る懸念がある。このため、CONVERGENT製ソフトウェア“COMPRO”を用いた成形シミュレーションにより反り量を解析した上で、成形治具は反りによる変形を考慮した形状とした。なお、解析に用いる各種物性値は、すべてを実験により計測すると膨大なコストが発生することから、本研究では分子動力学を用いたマルチスケール解析[6]（ミクロ及びマクロ解析を連成した解析手法）により推定した値を活用している。結果を図8に、反り現象との比較を図9に示す。解析結果が実現象と概ね一致することを確認した。

以上の設定したプロセスを用いて、上面パネルの成形を実施した。成形した供試体を図10に示す。

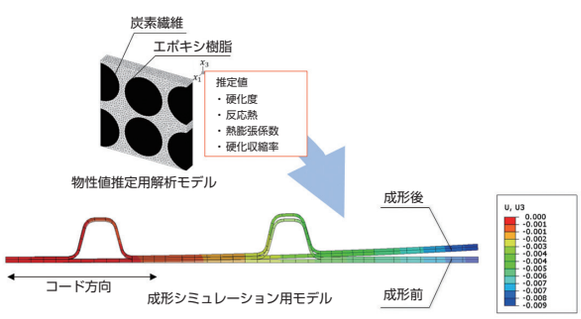


図8　複合材成形シミュレーション

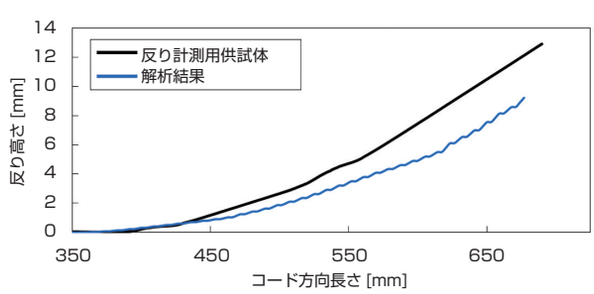


図9　反り現象とシミュレーション結果の比較

図 10　上面パネル供試体

5.2　下部ボックス

下部ボックスは、上面パネルにおける外板部を延長し、そのまま桁／桁フランジとしたOoA外板／桁部と、リブをストリンガ上に配置し、樹脂含浸成形するVaRTMストリンガ／リブ部からなる。概要図を図11に示す。OoA外板・桁部とVaRTMストリンガ・リブ部は上面パネルと同様、ハイブリッドコキュアによる一体成形である。それぞれのプロセスについて説明する。

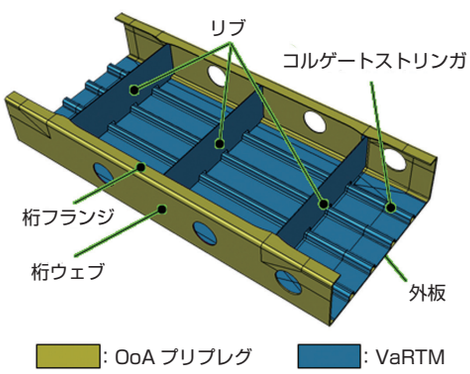


図 11　下部ボックス　構造および成形法

5.2.1　外板・桁一体成形プロセス

本研究では外板と桁を同一面内で積層、折り曲げて成形するプロセスを想定している。原理について図12に示す。外板・桁一体成型における課題は、積層体折り曲げ時のR部に生じやすい「しわ」である。同様の成形法としてHDF（Hot Drape Forming）があるが、プリプレグの層間を滑らせながら曲げる手法はタック性の強弱による影響を受け易く、また、本研究のボックス構造のように広範囲にわたって滑らせることは困難であることから、R部の成形プロセスの開発が必要である。

本研究では治具自身にたるませる機構を付与し、積層時に周長差をコントロールすることが可能な「たるみ積層成形法」の開発を行った。治具のR成形部を薄くしており、治具に対して僅かな面内方向の荷重を与えるだけでたるみを生成することができる。

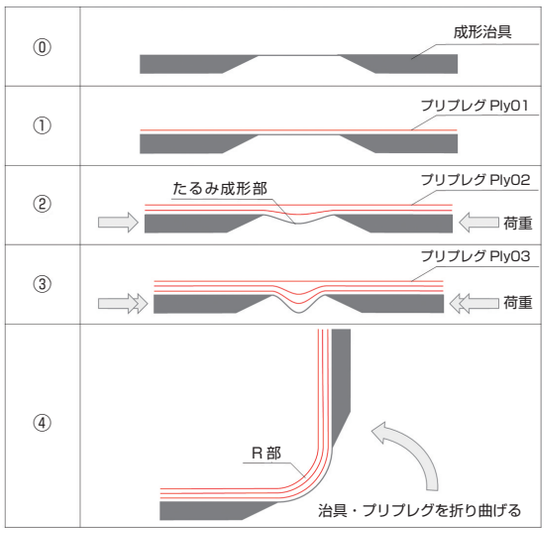


図 12　外板・桁一体成形コンセプト

5.2.2　ストリンガ・リブ成形プロセス

下部ボックス構造成形において、樹脂含浸が必要な部位は前述の通りストリンガとリブである。この2部品の樹脂含浸を一度に完了でき、かつ簡単な副資材構成となる最適条件を得るため、PAM-RTMによる解析および成形試験を実施した。含浸解析は、副資材構成の諸条件を変数としてパラメトリックに行い、最適な含浸プロセスを設定した。樹脂含浸解析状況および結果を図13、図14に示す。上面外板では樹脂を翼構造コード方向に対して端部から端部へ流していたが、下部ボックス構造ではベイ中央部から樹脂を注入し、リブ上部およびストリンガの各端部に向けて拡散する方式とした。以上のプロセスにより成形した下部ボックス供試体について、含浸状況を図15に、供試体を図16に示す。VaRTM-OoAプリプレグ間の界面に関する内部品質は良好であった。

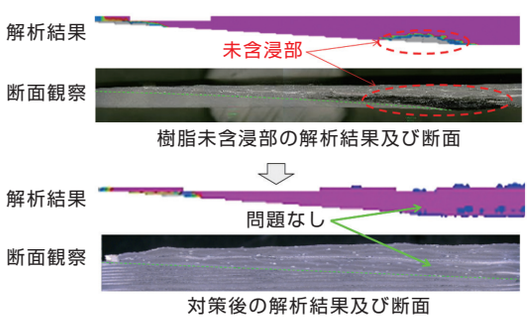


図 13　プライドロップオフ部　解析状況

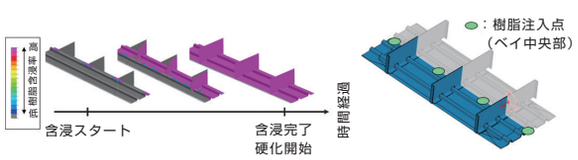


図 14　下部ボックス　最適含浸プロセス

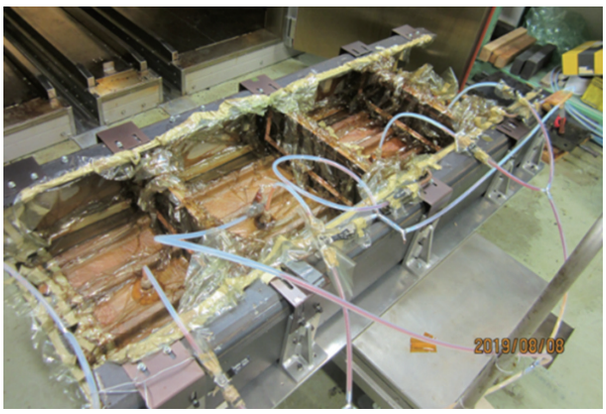


図 15　下部ボックス（成形直後）

図 16　下部ボックス（脱型＆トリミング後）

6.　強度試験

本コンセプトの成形プロセスについて妥当性を確認するため、ボックス供試体を用いた静強度試験による評価を実施した。前項までに成形した各部材を組み立てたボックス構造に対し荷重を付与するため、鉄製の負荷治具・負荷金具を翼端側に設置している。強度試験のイメージ図を図17に、ボックス供試体を図18に、強度試験状況を図19に示す。強度試験は、強度標定となる下部ボックス供試体下面パネルに圧縮が付与されるよう、下曲げ方向に荷重を負荷した。試験の結果、荷重-歪線図はほぼ線形の相関を得られており、予想通りの結果が得られた。

一方で、歪については予想に対して僅かに高い結果となった。検証のため、クーポン試験片を別途成形した下部ボックスから切り出し、圧縮試験を行ったところ、事前の要素試験から得られた値に比べ僅かに低下していることが判った。この原因は、積層作業の長時間化、複雑な積層および成形を脱オートクレーブにて行うことによる、内部品質の低下にあると考えられる。試作である都合上ハンドレイアップとしている積層工程の短縮や副資材構成の簡素化など、成形プロセスを見直すことにより解決できると考える。

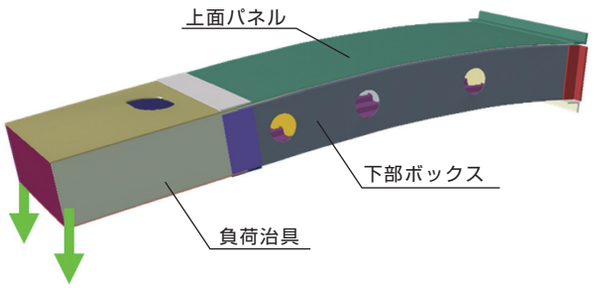


図 17　強度試験イメージ図

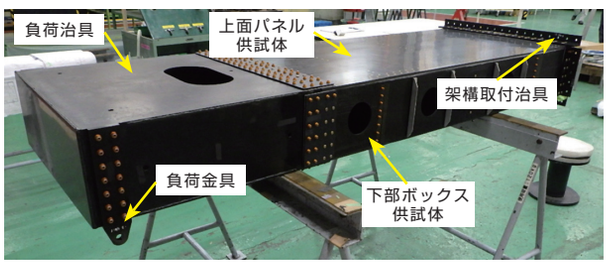


図 18　強度試験用ボックス供試体

図 19　強度試験概要図

7.　質量・コストメリット検討

これまでに実施してきた各種試験および検討結果を用いて、重量・コスト検討を行った。検討は、細胴機クラスの水平尾翼を月産60機で生産した場合を想定している。

製造コストに関する従来複合材構造と本研究の比較を図20(1)に示す。従来複合材構造より半減する結果を得ており、主な要因としてはストリンガ及び大物部品の一体化による成形コスト、組立コストの削減である。

構造重量に関する従来複合材構造と本研究の比較を図20(2)に示す。従来複合材構造とほぼ同等という結果を得ており、これは従来複合材に対してOoA材料の強度・剛性が若干劣ることによる質量増と、ファスナ本数およびパッドアップ部の削減による軽量化が

同等なためである。

A/C、オーブン等の設備コストに関する比較結果を図20(3)に示す。生産設備コストは30%以上削減できるという結果を得た。削減効果の大部分を占めるのは、A/Cのオーブンへの置き換えと、ドライプリフォームの活用によるプリプレグATL(Automatic Tape Layup、自動積層)装置の削減である。

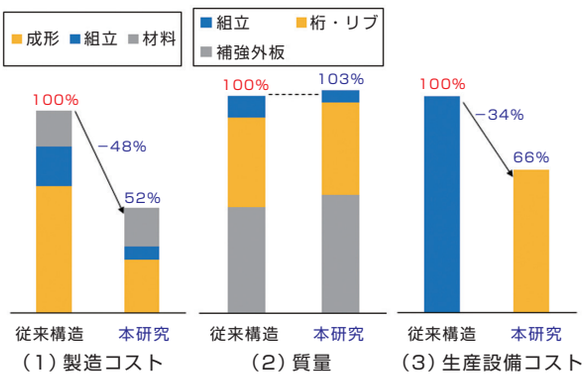


図20　質量・コストメリット比較

8.　まとめ

本研究では、A/Cを不要とする大物一体成形プロセスを確立し、強度試験や質量・コストメリット検討にわたる一連の研究開発を行い、従来複合材構造に対して「製造コスト半減」を「同等質量」で実現できることを確認した。

9.　謝辞

本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものである。関係各位に謝意を表する。

参考文献

(1) (一財) 日本航空機開発協会：民間航空機に関する市場予測2019-2038, 2019
(2) mTorres, Dry Fibre in automated composites lamination, Sampe Europe 2018, 2018
(3) P. Hilmer et. Al.：Assessment of hybrid heating for curing of CFRP structures、7th EASN International Conference on Innovation in European Aeronautics Research
(4) 三菱レイヨンプレスリリース，“速硬化高靭性プリプレグ《Tough-QURE》(タフキュア)の開発・販売について”, 2010年5月14日,帝人プレスリリース，“高速硬化プリプレグの開発について”, 2014年11月4日
(5) NEDO, 次世代構造部材創製・加工技術開発　次世代複合材及び軽金属構造部材創製・加工技術開発(第二期) 2016～2019年度成果報告書, 2019
(6) NEDO, 次世代構造部材創製・加工技術開発　航空機用構造設計シミュレーション技術開発 低コスト機体開発を実現するための数値シミュレーション技術開発 2015～2019年度成果報告書, 2019

【著　者】

田尻　啓祐

矢野　克彦

内山　重和

香村　和明

脇田　真吾

高橋　光寛

青木　一行

新規企画車両の最小車両質量に関する考察

Consideration on Minimum Vehicle Mass of Newly Planned Vehicles

坂　崎　明　彦*
SAKAZAKI Akihiko

抄　録

車両の最小質量が、排気量、乗車人員、荷物の積載量と、どの様に相関するかについてスクータから10人乗り4輪乗用車までのゾーンで考察し、新規企画車両の企画提案時の質量の、良好な近似的設定方法の一つを提示する。

質量企画者は車両質量が階段的に増える事に留意しなければならない。

質量のパラメータに対する階段的変化や、水平対向エンジンを使用し続ける事の質量的メリット、デメリットを近似的とは言え、ある程度定量的に把握する事が出来た。

Abstract

A correlation of the vehicle minimum weight with its engine displacement, passenger capacity and cargo capacity was examined in the zone ranging from scooters to 10-seater 4-wheel passenger vehicles, and one of the good approximate mass setting methods in planning new vehicles is presented.

Mass planning engineers must be aware that vehicle mass increases in stages.

Step-by-step changes to mass parameters were grasped. Advantages and disadvantages in mass with continuous use of horizontally opposed engines were also approximately but quantitatively understood.

1.　まえがき

航空機設計の最も重要な機能の一つが質量管理であると、多くの航空機設計者は確信している。

通常、新設計の基本質量推定について技術部は、質量グループのみに依存しており、これらの推定に基づいて契約上の責任を負う。全備質量を過小推定しても、過大推定しても危険である。質量推定が過大である場合は、他社と競争する事が出来ない。また過小である場合は、厳しい財務上のペナルティが課せられ製造の注文を取る事が出来ない[(1)]。

これは新規企画車両の最小車両質量についても、全く同じ事である。

車両の最小質量が、排気量、乗車人員、荷物の積載量と、どの様に相関するかについてスクータから10人乗り4輪乗用車までのゾーンで考察し、新規企画車両の企画提案時の質量の、良好な近似的設定方法の一つを提示する。

2.　スクータの質量

スバル360の車両重量は2人乗りのラビット・スクータ2台分と言う考えから質量計画開始したと聞く。

そこでまずは、現在のスクータがどの様な質量分布をしているか、あるメーカのインターネット掲載仕様情報からの車両重量情報に乗員一人当たり規定重量を載せたMLVW（Maximum Loaded Vehicle Weight）的な乗車状態質量を排気量毎にプロットしたのが**図1**である。

参考に、質量用語の日本とFMVSS地域の差を**図2**に示すが、日本の車両重量、車両総重量はスペアホイール、搭載ツールキット、ジャッキを含まない事と乗員質量が異なる。今回はFMVSS地域のCW（Curb Weight）とMLVWを用いて以下検討する。

＊ 技術管理部

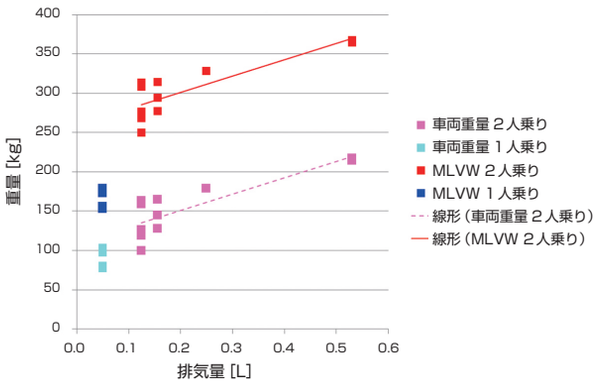


図１　スクータの車両重量と MLVW 的なもの

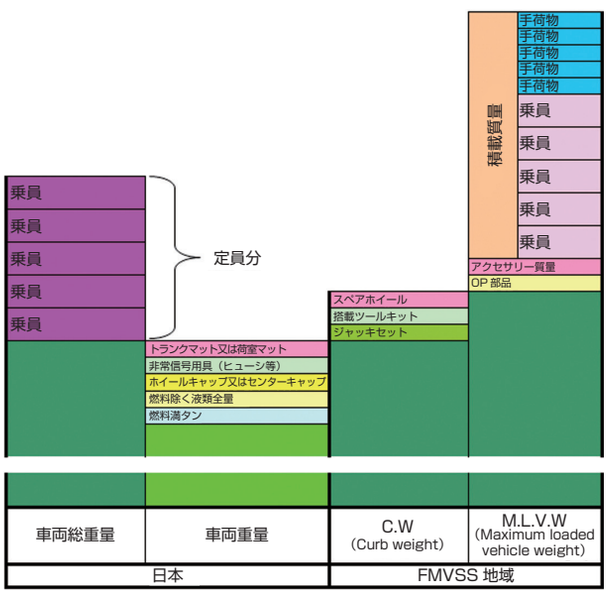


図２　質量用語の日本と FMVSS 地域の差

3.　排気量、乗員数毎の車両企画最小質量

3.1　検討前提条件

パラメータが発散すると、何を検討しているのか判らなくなってしまうので、以下の前提条件で進める。

・豪州ADR車両カテゴリMC（オフロード車）対応

⇒AWDで、①アプローチ角28˚以上、②ランプブレークオーバ角14˚以上、③デパーチャ角20˚以上、④最低地上高200 mm以上、⑤アクスルクリアランス175 mm以上の4/5項目以上満足

・SSF（Static Stability Factor）は★★★★以上

⇒1/2トレッドは重心高の118%以上

・JC08モード航続距離1000 km以上

3.2　座席配置

様々な座席配置が考えられるが検討の混乱を避けるため、今回は**図３**の10種類に限定した。

前席はSUBARUの御家の事情でトランスミッションのトンネルの影響で3席が困難なため2席迄とした。

タイヤ部を除き居室の幅は基本的に2種類、ホイールベースは6種類となった。

図３　検討限定した座席配置

次の論文、『RRサンバーの基本諸元の再評価』で用いたエクセルによる基本寸法図の構築手法は、本論文でも車体の主要寸法の把握の役に立ち、小変更でサンバーの様なキャブオーバタイプから、本論文のステーションワゴンタイプにも簡単に追従した（**図４～６**）。

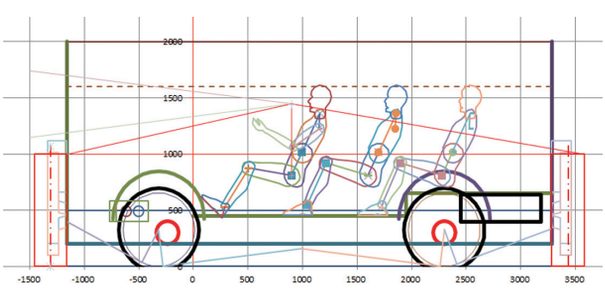


図４　６又は７人乗り側面図

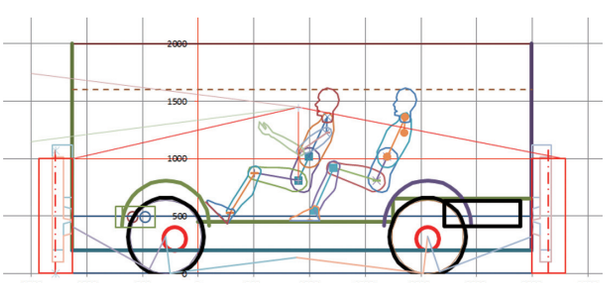


図５　５人乗り側面図

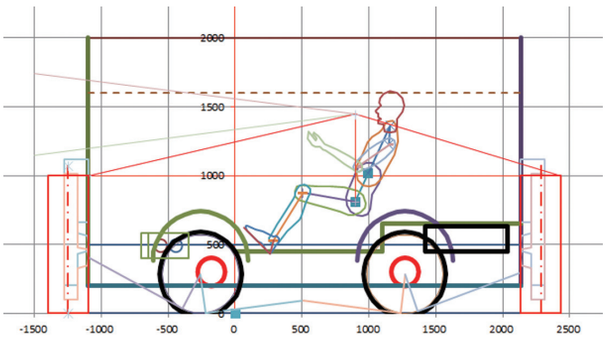


図６　１人又は２人乗り側面図

図６を見れば一見して判る通り、此処まで来ると急制動での転倒にも気を付けなければならなくなる。

同時にSSF★★★★を確保するためには、トレッドを確保しなければならず、一人乗りの場合でも全幅を二人乗り並に確保しなければならなくなる。

特に排気量小さい場合に重心高が高くなる傾向であり、注意を要しスクータより大幅に重くなる要因である。

3.3　装着タイヤ

報告者は、スバル技報2010 No.37 P.98 ～ 103 スバル車のタイヤと馬力荷重の選定方法 で、タイヤ負荷率70%以下は名車の条件?と論じた[(2)]。

開発遂行途中で車が段々重くなってしまう事へのマージン含め、これを60%以下で計画する。タイヤはJATMA2019の乗用車用ラジアルタイヤで最小タイヤを除き扁平率は65に限定する。タイヤ空気圧はJATMAが180 ～ 240乃至250 kPaを掲載している事から、(180 + 240) /2で210 kPaから検討開始した。

3.4　搭載エンジン排気量

・エンジンは水平単気筒、水平対向2、4、6気筒

⇒単気筒最大排気量はスクータの例に倣い250 cc、多気筒での1気筒の最大排気量は4気筒2.5Lに対応するとして625 ccとした（図7）。

6気筒	総排気量					2550⇔3750
	1気筒排気量					425⇔625
4気筒	総排気量				1300⇔2500	
	1気筒排気量				325⇔625	
2気筒	総排気量			300⇔1250		
	1気筒排気量			150⇔625		
1気筒	排気量	50⇔250				

図７　検討排気量

大分昔、EJエンジンの開発に指導力を発揮した元上司に水平対向エンジンの最大のメリットを問うたら、2次の起振力の少なさや低重心ではなく、意外にも一つのラインで4気筒1500 ccから6気筒3750 cc迄生産出来る事との回答を得た。

L4エンジンで排気量のバリエーションを作ろうとして、同じブロックで小さなピストンにするととても売物にはならぬ状態になるので、異なるエンジンを車両の企画と結び付けてマトリクスとして成立させないと経営が成り立たない。しかし水平対向の場合はそれが許容レベルで成立し、世に出せるとの事。

3.5　搭載エンジン形状

常用燃焼圧力16 Mpa、最大燃焼圧力20 Mpaで、ボア：ストロークはスクエア、シリンダライナの肉厚をたが張応力から計算、クランクピン径を剪断応力から計算する等してエクセルの散布図にて1気筒のクランク軸方向から見た形状を図8の通り自動生成したが、ここでは625 ccと50 ccの例を示す。

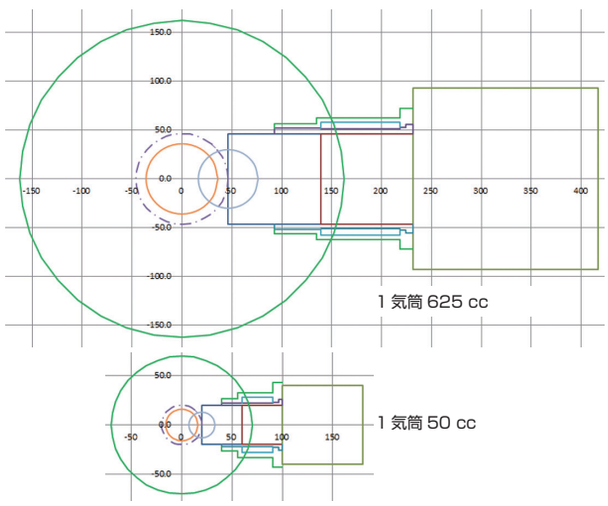


図８　単気筒の形状自動生成

続いて、水平対向4気筒の形状をエクセルの散布図で自動生成してみたのが図9である。

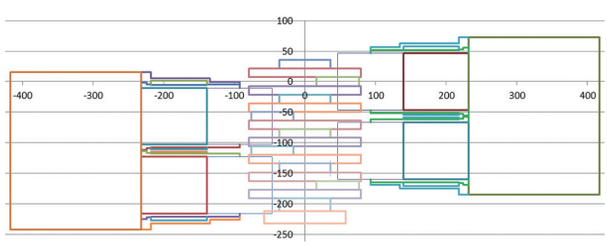


図９　水平対向４気筒の形状自動生成

前述の元上司が､水平対向エンジンの2番目のメリットとして挙げたのが、世界最強の量産アルミクランクケースで、EJエンジンは小排気量に対してはオーバクウォリティの傾向もあるので将来は4気筒3ベアリング等も考慮すべきとの事であったが、今回は検討がややこしくなるので4気筒は5ベアリングに限定した。

3.6　搭載エンジン質量

3.4項の条件で、3.5項の手法に従いで決めた形態の各部を直方体や円柱で近似して排気量毎の質量を求めた結果を図10に示す。

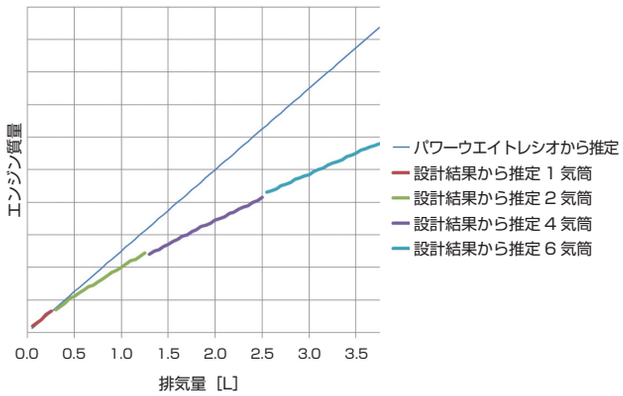


図 10　ボアストローク スクエア時エンジン最小質量

報告者は気筒数増加の度に階段状に質量が増加するものと思い込んでいたが、同じ排気量で気筒数を増やすとピストン反力が小さく、ピン径も細くなり、ストロークも減るので質量殆ど変化無しとの結果になった。

実際の生産においては、排気量50 cc毎にボア、ストローク比を変えない等あり得ないので、4気筒以上でボア芯間とストロークを一定にした場合の検討結果を図11に示す。

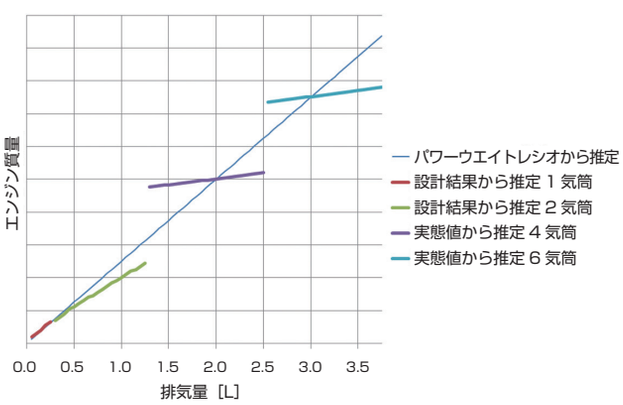


図 11　現実的なエンジン質量

EJエンジンでは実際に4気筒2.5Lまでの生産ラインで1.5Lまで作った訳だが、図11でパワーウエイトレシオから推定したラインよりは重めになるから、質量企画上のハンディを背負う。2気筒からの排気量の連続性から4気筒1.3Lもプロットしてあるが、1.5Lが実用下限であろう。

3.7　搭載エンジン排気量範囲の決定

排気量が少な過ぎればパワーウエイトレシオが大きくなり過ぎ、高速道路の合流地点等で加速力が不十分になるから、サンバーにフル積載時相当のパワーウエイトレシオ以上をネグレクトする。

排気量を50 cc増やしてもパワーウエイトレシオが例えば2%以上向上しなくなったら、それ以上の排気量UPは無駄と考えてネグレクトする(図12)。

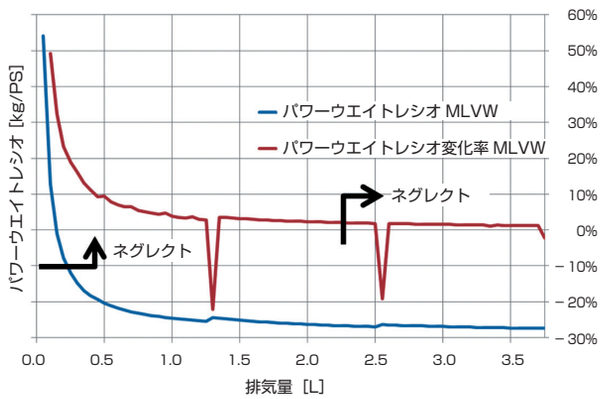


図 12　一人乗り車両の排気量毎のパワーウエイトレシオ

3.8　各システムの一般質量

報告者等は質量管理業務に従事し、スバル技報2014 No.41 P.208 ～ 214スバルの質量管理の現在過去未来を執筆したが[3]、その頃SUBARUの開発車とライバル車のシステム毎の質量絶対値、CW (Curb Weight)に対する比率を徹底的に彼我比較していた。例えばエンジンマウントは水平対向の2次の起振力の少なさから特にAWDでは断トツに軽く出来たのでそのままで良し。逆に割付が少な過ぎるシステムでは他のシステムへの軽量化割付を強化して質量を回す事で御客様の満足評価が増える経験をした。この事から、本報告でもA2Mac1等のベンチマーク結果と、SUBARU車の質量を概観し、独断と偏見で仮に質量設定したもので計算した。

3.9　車両質量或いはバネ上質量で決まる質量

例えば燃料タンクであるが、燃料0での車両の試験重量仮値で燃費計算を行い、1000 km走行必要燃料を試算、この燃料を再び車両の試験重量に加えると言う収束計算を行う必要がある。

同様にサスペンション、ステアリング、駆動系等も同様の収束計算を要し、エクセルの自動計算では無限ループのエラーに陥る場合があり、手動で収束させる。

3.10　車両企画最小質量集計結果

以上集計し図13の階段状グラフを得た。

質量企画者は車輌質量が階段的に増える事に留意しなければならない。大きな階段はエンジンの気筒数の変化で、細かい階段はサス、ブレーキ、アクスルハウ

ジングの仕様UPに起因する。

乗員毎のグラフの間隔の差は、乗員質量と、乗員居住スペースの増大によるボディ曲げモーメントの増大に対処するためなのが主因である。

SUBARUの特殊事情として、気筒数が2→4→6にUPするに従い、フロントオーバハングが増大し質量UPする事にも留意しなければならない。

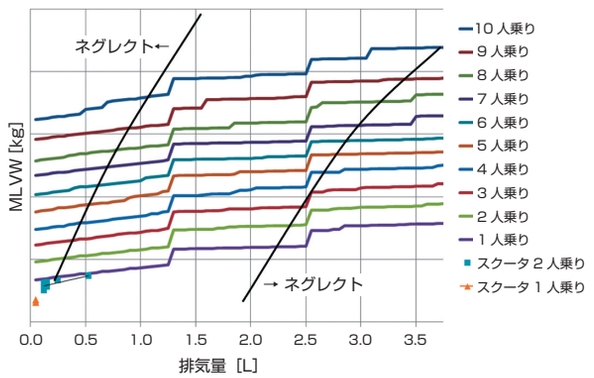


図13　排気量、乗員数毎の車両企画最小質量

4.　最小企画質量のシステム割付例

これまで検討して来た人数毎、排気量毎のマクロ的結果を、一例として5人乗り車に限定し、排気量の増加に伴い、システム毎の質量分布がどの様に変化するかを切出したものを図14に示す。

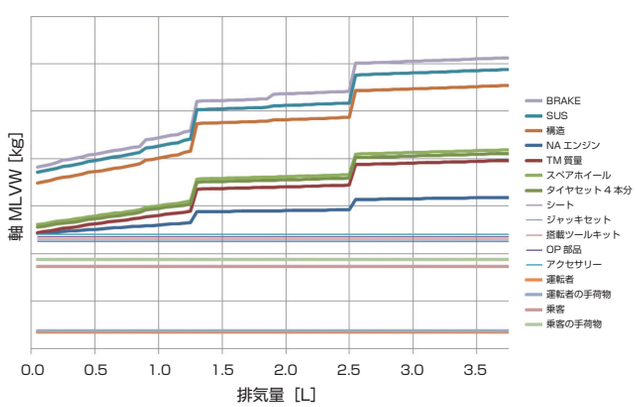


図14　5人乗り車両のシステム毎質量割付例

質量管理者や車両企画者は、目の前の開発車両の質量目標達成に邁進する事は勿論大事であるが、質量が線形では無く、図13、図14に示した質量構成の全体像を常に念頭に置いて活動する事が重要である。

5.　まとめ

報告者は、足回りの設計、車両全体の先行開発、質量管理等に従事していた頃は、おぼろげながらに感じていた質量のパラメータに対する階段的変化や、水平対向エンジンを使用し続ける事の質量的メリット、デメリットを近似的とは言え、ある程度定量的に把握する事が出来た。

今後は、出来る事なら今回エンジンの質量推定で一部チャレンジした材料力学、機械力学的観点での質量推定を、車両全体にも適用出来たら面白いと考えている。

参考文献

(1) マイクル･C･Y･ニウ：航空機構造設計－機体設計のための実 用書－（2000）, P.615
(2) 坂崎明彦 スバル技報2010 No.37 P.98 ～ 103 スバル車のタイヤと馬力荷重の選定方法
(3) 坂崎明彦, 占部清和 スバル技報2014 No.41 P.208 ～ 214 スバルの質量管理の現在過去未来

【著　者】

坂崎　明彦

RR サンバーの基本諸元の再評価

Re-evaluation of Basic Specifications of RR Sambar

坂　崎　明　彦*
SAKAZAKI Akihiko

抄　録

RRサンバーは業界の中で独自性を維持しつつ、事業性はともかく基本諸元的には最後までそれなりの競争力を保ったまま、愛され、惜しまれつつ生産を終えた。

報告者はその基本諸元の本質を、基本寸法図の再構築と、10年11万km以上の走行で再評価してみたので報告する。

基本諸元的には、RRサンバーは制約条件の中では、略完成形になった事は、基本寸法図の再構築と、その実用性評価結果から確かだと言って良い。

SUBARUの後輩諸兄はそのエッセンスを今後のSUBARUの車作りの参考にして欲しい。

Abstract

The production of RR Sambar has finished. Apart from its profitability, this model maintained the originality and competitiveness of the basic specifications to the end in the automotive industry.

The author of this article has re-evaluated the essence of the basic specifications by restructuring the basic dimensional drawings and driving the vehicle over 110,000 km for 10 years.

It can be said from this examination that RR Sambar became a simplified completed form under limiting conditions.

Engineers at SUBARU should use the essence as reference for future vehicle designing.

1．まえがき

SUBARU製サンバーは1961年から2012年まで、モデルチェンジを繰り返しつつも、①リヤエンド床下にエンジンを横置きに搭載したRRベースのレイアウト、②4輪独立懸架、③キャブオーバタイプを採用し続けて来た。

さらに1973年からの3代目から2012年迄は④建築でも用いられる角パイプをシャシフレームに採用。

これら4大特徴により、SUBARU製サンバーは業界の中で独自性を維持しつつ、基本諸元的には最後まで競争力を保ったまま、愛され、惜しまれつつ生産を終えた。

報告者は、SUBARU製RRサンバーの最終型、それも原点回帰で2WD仕様を購入し11万km以上の実用に供した。それを元にその本質はどう言う事だったか再評価してみた。SUBARU製サンバーは、FMC、或いはMCの度に、微修正を続けて、1999年からのSUBARU生産最終形6代目に至り制約条件の中では、略完成形になったと言って良い。当面、SUBARUが軽のサンバーを復活する可能性は無いであろうが、その最終形態が諸元的にどの様なものであったのかを客観的に振り返る事は、今後のSUBARU車の開発にも活かすべき示唆に富んでいる様に思えるので考察する。

2．基本寸法図とは

大勢で自動車を開発するのはオーケストラの様なもので、各人が勝手な音を出したら騒音にしかならず、これを素晴らしい音楽にするには、指揮者と総譜（スコア）が不可欠で、自動車の開発における基本寸法図と言うのはこの総譜に相当する。

報告者はワイズバッシュ画伯の『画家とモデル』（**図1**）のリトグラフに接し、ドラフターに向かう設計者の自分と、対象となる開発車両のイメージと重なり衝動買いした。

＊ 技術管理部

図１　画家とモデル

車両計画上大事な基本寸法図を描くと言う事は、キャンバスに向かい、精密な下絵を描く作業に近い。

時代は変わり、ドラフターはCADに代わったが、今回、本技報を執筆するに当り、ドラフターでもなくCADでもない、エクセルの散布図による基本寸法図の作成手法を用いた。

3.　RRサンバーの基本寸法図の再構築

では報告者も一ユーザの気持ちになって読者皆様とRRサンバーの基本寸法図を再構築して見よう。

3.1　載せる人間の決定

RRサンバーのレイアウト検討には伝統的にJM50が使われて来た。

誰にでも手に入る人型定規として、STAEDTLER社の1：10のものがあり、少し前迄は日本国内では身長168 cmのJM50に近いものが売られていたが、今では身長175 cmの、AM50に近いものしか売られていない。

RRサンバーにAM50が乗らない訳ではないので、これを載せる事にし、この定規をグラフ用紙上に鉛筆でなぞる（図2）。

SAEの規格と得られた形状の間には、若干の相違がみられたが、今回はそれを補正せずに用いたので、読者皆様も根気よくやれば同じ作業の再現が出来る。

次にグラフ用紙から形状のXZ座標を読み取り、続いてこれ等を例えば腹の部分はHP回りの極座標に置き換え、さらに指定角回転した後、再びXZ座標に戻し、これを指定距離平行移動出来る様にエクセルを組む。

胸の部分は、同様の作業を腹と胸の間のヒンジ周りの極座標で行い腹の部分の該ヒンジのXZ座標に繋ぐ。

これを繰り返せば人型全体をリンクさせて動かす事が可能になる。

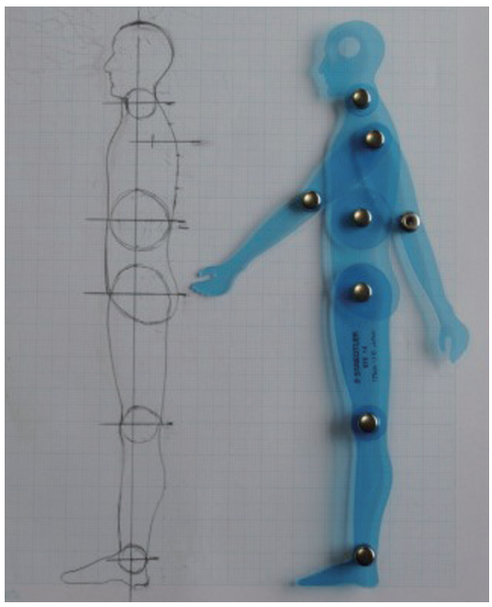


図２　人型定規の形状の把握

3.2　載せる人間の高さ関係の要件決定

第一のフロア高さは、太ももを略水平程度にした高さが働く車として使い易く450 mmとする。

同様に、そのままの姿勢でちょっと横にずれ少し下げたHP高さに対し、必要クッション厚みを取り、第二のフロア高さ650 mmを得る。

これは後述の振子衝撃試験での、LDTの荷台を模した20”振子をギリギリかわす高さにもなる。

人間には歩行のDNAが刷り込まれているとの説があり。該HP高さにすれば、アイポイントも直立歩行高さとなる。取りこんだ人型と第一、第二のフロアをエクセルの散布図で表記すると図3の通りになる。

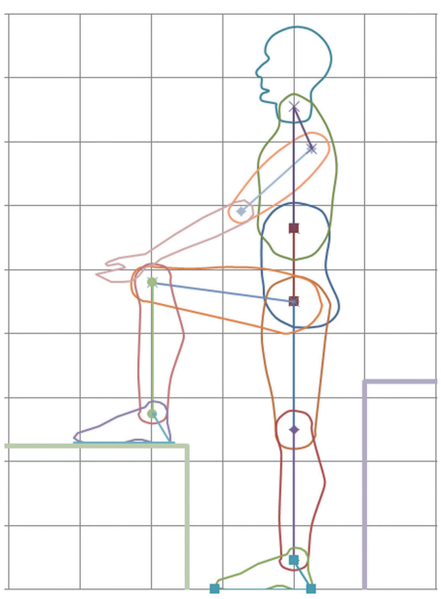


図３　人間の高さ関係寸法

3.3　その他高さ関係寸法の確定

軽自動車の全高は2000 mm以下である。

洪水を想定した水壕の深さは第一のフロア高さ450 mm或いはそれより少し深いのが一般的であろう。

3歳児を直接又は間接目視しようとしたら、高さ1 m、直径300 mmの円筒を考慮すべきである。

都内の天井低目の駐車場を考慮すれば、1550 mm或いは1600 mmが一つの高さの目安になる。

3.2項及び3.3項の高さ関係をエクセルの散布図で表記すると**図4**の通りとなる。

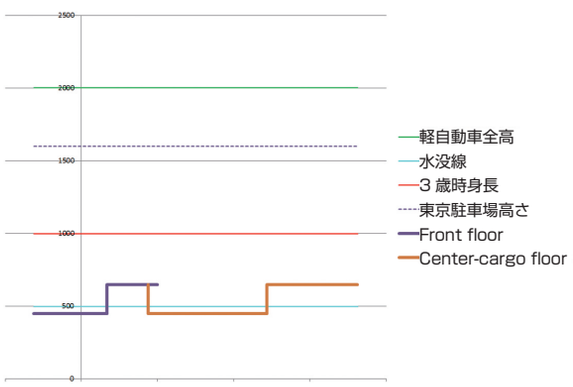


図４　考慮すべき床上高さ寸法

3.4　載せる人間の前後位置のラフ決定

軽自動車の全長は3400 mmだが、前後衝突ストロークは最近の法規対応では少なくとも600 mmとか650 mm或いはそれ以上欲しい処である。しかし前後方向制約の極端に厳しい軽貨物自動車においては仮に500 mmとし、不足分は金をデバイスに掛ける方針で行くとすると、3400 − 500 × 2 = 2400 mmが載せる人間の前後距離となる。

サンバーのシリーズには、ドミンゴと言う3列シート車があったので、人間1人分の前後スペースは2400 ÷ 3 = 800 mmとなり、単に3列に人間を載せて見たのが**図5**になる。

前席の足は、500 mm前突ストローク時に生存空間だけは確保し、通常は其処から少し前に投げ出すとした。

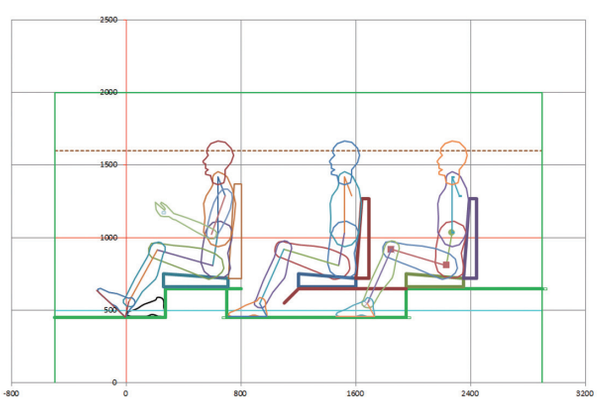


図５　３列シート配置した状態

3.5　タイヤの選定、ホイールアーチ設定

3.2項の第二のフロア高さに対し、一般に小型～普通車は100 mm前後のバンプストロークを確保したい処である。しかし全幅が狭くて全高の高い軽貨物でその様な事をすると転倒の危険があるので少し少な目にし、タイヤ成長寸法外径／２＋静荷重半径 で求まる値でJATMAの中から報告者の趣味で接地面前後長比が1に近いタイヤを探すと、145/80R12を得る。

タイヤ成長寸法からの必要隙間を、バンプストローク分平行移動し、タイヤ前後位置は乗降性を阻害しない位置にすると**図6**の通りのホイールアーチとなる。

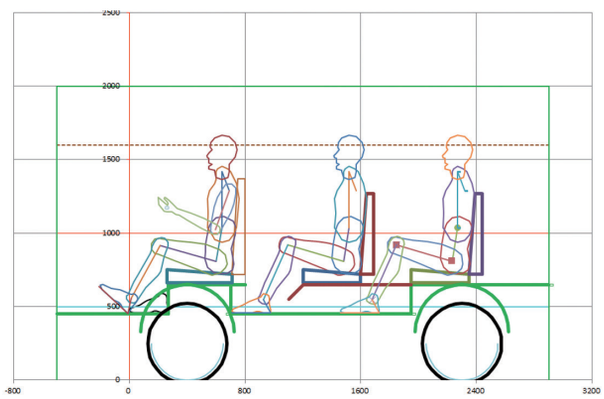


図６　ホイールアーチ形状

3.6　豪州ADR車両カテゴリMC（オフロード車）

AWDで、①アプローチ角28˚以上、②ランプブレークオーバ角14˚以上、③デパーチャ角20˚以上、④最低地上高200 mm以上、⑤アクスルクリアランス175 mm以上の4/5項目以上満足すればADRではMCになる。

オーストラリアの国立公園で床下が走破性の良い状況になっていないと燃料タンクやオイルパンの破損により液類を漏らして自然破壊､床下が走破性良い状況、かつAWDでないとスタックして道路を壊し自然破壊と言う事で、MC以外は入山禁止の場合がある。

これを働く車の指標として検討したのが**図7**で、アプローチは諦め、他の4/5要件でMCに合致させる。

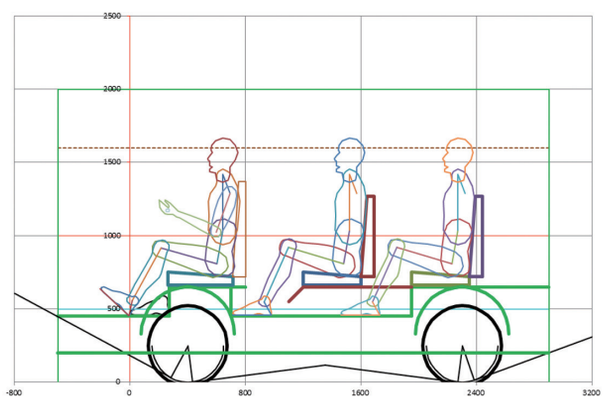


図７　MC カテゴリ

3.7　前後直接視界の確保

可能なら、3歳児を模擬した高さ1 m、直径300 mmの円筒の上面が、前側では全面、後側では少なくとも一部が直接目視出来るよう考慮すべきである。

また、前上方7度、前下方5度の視界は確保しなければならないが、余裕持ってクリアしている。

本来は、シートバックアングルの補正と、アイリプスを入れなければならないが、今回は考え方の説明の都合上、HP直上635 mmの点から側面視の視界線を記入してみたのが、**図8**である。

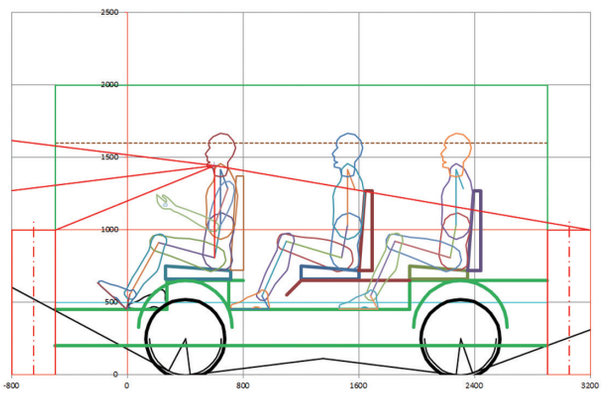


図８　前後直接視界

3.8　OY車体外観の決定

フロントウインドシールドは、運席乗員の伸ばした手が掠る程度に上端を設定、空気抵抗上は寝かせたいが、横風安定性上は前輪の前の側面投影面積を減らしたく、バランスを見てフード長さを決定。

都内の天井低目の駐車場を考慮した全高1550 mm或いは1600 mmは、これまで積み重ねて来た条件からAM50では実現性無く諦める。JM50限定でより小径のタイヤなら、昔は用意されていたロールーフ仕様も可能。

ルーフの前端は空気抵抗低減と、前述の前輪前側面投影面積減小のため、丸く落とし、テールゲート開口後端を少しでも前にする努力をして**図9**を得る。

振子衝撃試験用の振子も前後に記入しておこう。

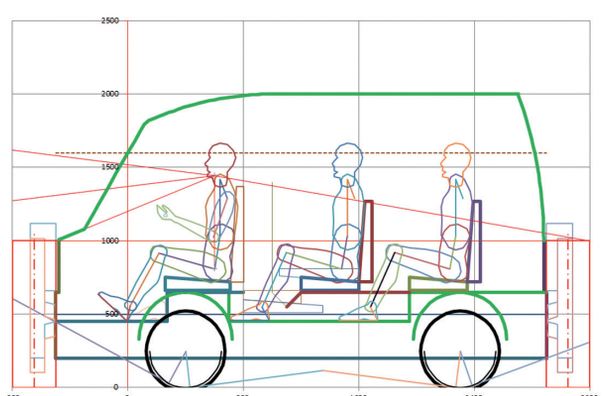


図９　OY車体外観の決定

3.9　パワープラントの搭載

必要な大きさのデフを搭載するが、ADR MCの最低地上高200 mm以上対応上、デフ中心がホイール中心よりかなり上になる事を覚悟しなければならない。

それなりの大きさが必要なエンジン搭載場所を探すと、フロントシート下は前後長さが余りに短く、AWDの場合はデフがあるため上下高さも少な過ぎる。RRしか選択肢が無いので、此処に排気量と強度要件から形状と搭載位置を自動生成する様にしたのが**図10**で、昔ドミンゴで採用してた様に1.2 L3気筒も収まる。

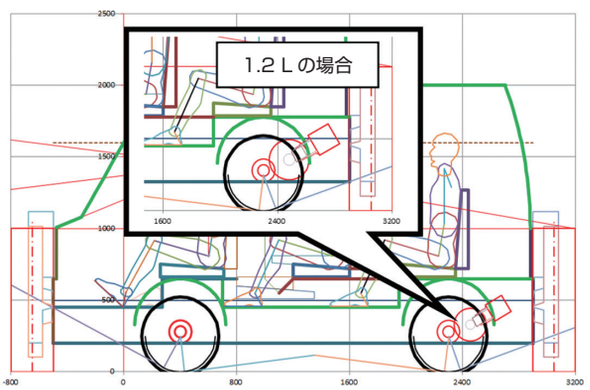


図 10　パワープラントの搭載

3.10　補機等の搭載

ラジエータは車体の前端に搭載する事が多いが、少ない前突ストローク有効利用上ここには何も置けない。

フロントシートの下、デフの前上方に辛うじてスペースがありここに搭載する事にし、車速利用率向のため、前席足元には幅の広めのトンネルを設け風を当てる。

黒いスペアタイヤは、昔の小さなタイヤではフロントシート下の例もあったが、採用したタイヤはここには収まらず、最低地上高面に置いて見ると、その上に構造用のフレームも通せる。

水色の燃料タンクはセンタフロア下フレーム、ペラシャフト間に魚雷の様に前後に長く最小限の容量を確保。シートを畳めば**図11**の通り、黄色い畳も楽々搭載。

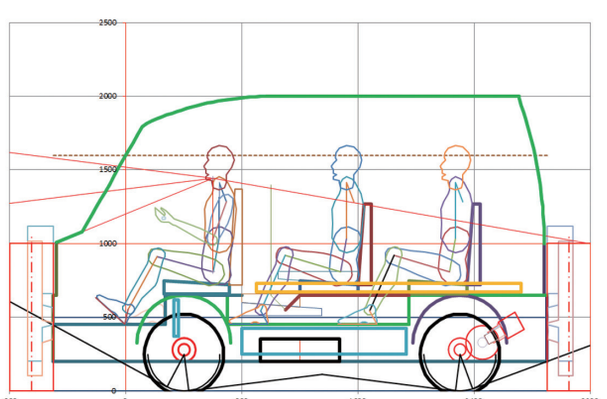


図 11　補機等の搭載

4. RRサンバーを実用に供して

本論文の読者皆様は、報告者が皆様とエクセルで作業した結果が、**図12**の実際のSUBARU製RRサンバーの最終型と極めて近い事に気付かれよう。サンバーの優位性は、顧客に寄り添い、細かくニーズを汲み取りカスタマイズ化し、評価基準(車両目標)や基本寸法図へ落とし込んでいたことにあると考える。殆どの部分が実用のための指標から決まった諸元で出来ているから寸法的な不満は報告者の実用で殆ど無い。

強いて言えば、作図ではさらりと流してしまった2ndシートの乗員の足先部分が狭い事と、ロールーフ仕様との共用で決まったスライドドア開口部が低く、時々うっかり頭をぶつける事位である。

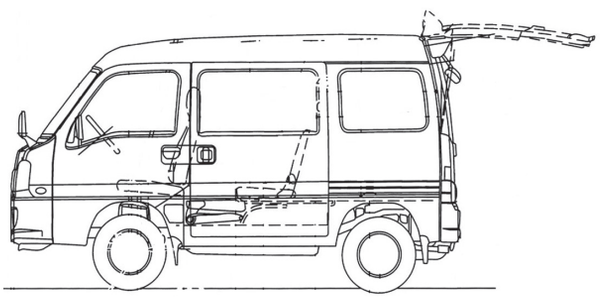


図12　実際のSUBARU製RRサンバーの最終型

一見して、ホイールベースはかなり短い。報告者の生活で、この有難味を一番感じるのは、田んぼの畦道での方向変換で、幅員が2 mあればホイールベース1885 mmのサンバーは切り返し何回かでUターン可能。

次に、このホイールベースの恩恵は意外にもピッチングの少なさである。報告者は水の入った金魚の水槽を定期的に数km運ぶ必要に迫られていたが、小型車、普通車でも、相当気を付けないと水がバシャバシャ金魚が飛び出しそうになる路面で苦労した。

ホイールベースの短いサンバーではさぞ大変と思いきや少なくとも通常の路面不整でのピッチングは、フライホイールをその中心軸付近で回そうとしても回らないのと同じで却って少なく、水槽の中の金魚が平和に佇んでいた。積荷を傷め難い車だと言う事である。

3列目に人が2人乗る仕様のエクシーガでは庭で使う石材や石等を沢山積んでも何とか走れるが、一般の2列シート車ではサスがヘルパに当り大変な場合が多い。

ところがサンバーでは平気どころか、300 kg程度積んだ状態が乗心地その他でバランスが取れ、一番快適に走れる様に作られていると思える。

報告者は既に10年以上、11万km以上乗っているが、大修理も無く特に劣化不具合も感じないから、後10年位、追加で10～20万km位は使い続けたいと思っている。

5. RRサンバーは何故生産中止となったか？

5.1 4気筒化のハンディ

OEM供給して頂いてる車両含む同カテゴリ他車と4気筒サンバーを乗り比べ感じるのが低速トルクの差である。同一排気量でボア小径化すればS/V比が向上するが、多気筒化したらスクエアキュービックの関係でS/V比が悪化し低速トルクや燃費が悪化するのは当然。

報告者は、2011スバル技報38号『スバルサンバー50年の技術変遷』にて以下述べている。

> 『1991 新スバルサンバーの紹介』について
>
> 1990年1月、軽の規格が、長さ3.2→3.3 m、排気量550→660 cc に拡大(幅1.4 m、高さ2 mは変わらず) された事に対応したフルモデルチェンジである。
>
> 軽のエンジンは、660 cc化と同時に2気筒から3気筒ではなく4気筒化され、当時生産されていた初代ドミンゴが1200 ccで3気筒と言う捻れが生じた。
>
> 4気筒化は振動周波数で有利だがコストが3気筒に対し4/3倍になる部分もあり振動対策費用が制限された。
>
> 4気筒は高回転迄回した時の出力では有利な場合あるが軽の出力自主規制とスモールボアで封じられた。
>
> また同一エンジンラインで軽は3気筒、Bセグは4気筒生産と言う戦略も取れなくなり、先ずは自前Aセグからの撤退、続いて軽の自前生産の段階的終了に繋がる遠因となったとも言える。

5.2 国内市場の変化への追従不足

SUBARU製サンバーが生産中止となったのには国内市場の変化に会社として追従しきれなかったこともあるかも知れない。

- 大口ユーザの減少：農業就業人口の減少、専売仕様の中止
  - ⇒ 類似商品との価格競争に持ち込まれた。
- 物流だけでは軽の市場規模が縮小。
- 業販比率の低さ：軽は量で稼ぐ。
  - ⇒ 価格競争、量の確保、会社のコア技術を生かす軽以外の乗用車の開発や生産に経営資源を集中して、サンバーをOEM化したことは一つの合理的判断。

6. まとめ

基本諸元的には、RRサンバーは制約条件の中では、略完成形になった事は、基本寸法図の再構築とその実用性評価結果から確かだと言って良い。SUBARUの後輩諸兄は、そのエッセンスを今後のSUBARUの車作りの参考にして欲しい。

参考文献

(1) 坂崎明彦： スバルサンバー 50年の技術変遷, スバル技報, No.38 (2011), p.18

【著　者】

坂崎　明彦

SUBARU ボーイング787型機中央翼の生産累計機数1,000機を達成

2020年1月8日

2020年1月2日、米国ボーイング社向けにボーイング787型機 1,000号機の中央翼ワークパッケージ※1を出荷しました。

※1：中央翼と主脚格納部を組立結合した出荷形態

完成記念式典

EJ20型ターボエンジン30年の歴史

EJ20 Turbocharged Engine 30 Years' History

関　竜達*1 SEKI Ryutatsu
吉田直樹*1 YOSHIDA Naoki
岩崎直彦*1 IWASAKI Naohiko
土岐文二*2 TOKI Bunji
古田貴幸*3 FURUTA Takayuki
嶋村誠*4 SHIMAMURA Makoto

抄　録

1989年に初代レガシィに搭載されたEJ型エンジンは、SOHCの1800 cc、2200 cc、DOHCの2000 ccから始まり、排気量バリエーションを増やしながら進化し続けた。中でもEJ20型ターボエンジンは、1996年にMASTER－4エンジンとして2000 ccで世界初280 PSを達成し、2代目レガシィ（BD5、BG5型Bタイプ）、インプレッサWRX-STiバージョンⅢ（GC8、GF8型Dタイプ）に搭載された。本技報では、MASTER－4エンジン以降の開発をメインに約30年もの間生産されたEJ20型ターボエンジンについて解説する。

Abstract

EJ engine was initially installed on the first generation Legacy in 1989 starting with 1800 cc and 2200 cc SOHC, and 2000 cc DOHC, then evolved with increasing its displacement variations. Above all, EJ20 turbocharged engine achieved 280 PS with 2000 cc for the first time in the world as MASTER-4 engine in 1996 and was installed on the 2nd generation Legacy (BD5, BG5 series B type) and Impreza WRX STI version III (GC8, GF8 series D type). This report explains the development mainly after the MASTER-4 of EJ20 produced for about 30 years.

1. まえがき

SUBARUは、1958年に販売された軽自動車スバル360のアップグレード車として、1966年5月に小型車であるスバル1000を販売する。搭載されるエンジンは、スバル360と同様に広い室内が得られるFF車として当時は一般的な水平対向エンジンが選択された。スバル1000に搭載されたEA52型（水平対向4気筒 OHVボア×ストローク（B×S）：φ72×60 mm総排気量977 cc 55 PS）、EA53型（圧縮比9.0→10.0アップ67 PS）エンジンは、ボア、ストローク、ボアピッチの拡大を繰り返し、1984年にレオーネに搭載されたEA82型ではB×S：φ92×67 mm総排気量1781 ccとなり、さらにはSOHC化し、ターボチャージャが搭載された。

EA型エンジンに続く後継エンジンとしてのEJ型エンジンは1984年より開発が始まり、初代レガシィに搭載され1989年に販売される。車体の搭載条件からストロークアップを抑え、国内は1800 ccと2000 cc、対米など輸出を想定した2200 ccへはボア径の拡大で対応した。出力向上のために全機種4バルブ化、スタンダード仕様の動弁系はSOHC（EJ18型：1800 cc、EJ22型：2200 cc）、高出力仕様にはDOHC（EJ20型：2000 cc）を設定、クランクベアリングはEA型の3ベアリングから5ベアリングとし出力向上に対応した。EJ20型はNAエンジンと水冷インタークーラ付きターボエンジン（水平対向4気筒DOHC B×S：φ92×75 mm総排気量1994 cc 220 PS（162 kW））が展開された。特にターボエンジンはレガシィセダン（BC5型）のフラッグシップモデル「RS」に搭載され、10万km世界速度記録（平均速度220.358 km/h）を樹立。インプレッサWRX-STIとともにEJ20型エンジンは、操る愉しさを感じさせるだけでなく、数多くのモータースポーツの場においても活躍し、歴史に残るエンジンとなっていく。

注）本稿のエンジン出力の単位については、時代背景を鑑み、文中は工業単位PS（SI単位kW）とし、グラフ標記はSI単位（kW）に統一する。

＊1 エンジン設計部
＊2 STIパワーユニット技術部
＊3 技術開発部
＊4 商品企画本部

図１　BC5 型レガシィ RS（10 万 km 世界速度記録車）

2.　EJ20型 2.0L 280 PS開発

EJ20型ターボエンジンは初代レガシィのセダンRS（BC5型 1989年1月、220 PS（162 kW））に続き、ツーリングワゴンGT（BF5型 1989年9月、200 PS（147 kW））に搭載された。ツーリングワゴンへの搭載と同時にATが展開され、エンジンは実用域での扱いやすさや静粛性の向上を図るため、ピストン、カムシャフト、バルブスプリング、ターボチャージャなどを専用化した。このツーリングワゴンGTは当時のレジャーブームと相まって販売が好調であり、EJ20型ターボエンジンの地位を確立した。

さらにこのエンジンはシリンダヘッド、ターボチャージャの仕様変更、空冷式インタークーラが採用され240 PS化、初代インプレッサWRX（GC8型 1992年）に搭載され、WRC（世界ラリー選手権）参戦のベース車両として引き継がれた。

2代目レガシィ（セダンBD5型 ワゴンBG5型 1993年）においては「ハイパワーワゴン」の地位を確実なものにするべく、過給システムの進化に取り組み、「2ステージ・ツインターボ」を採用、出力を250 PS（184 kW）へ引き上げた。大排気量NA並みの低速トルクと伸びのある加速性能を得るため、プライマリーターボをセカンダリターボより小さくした。

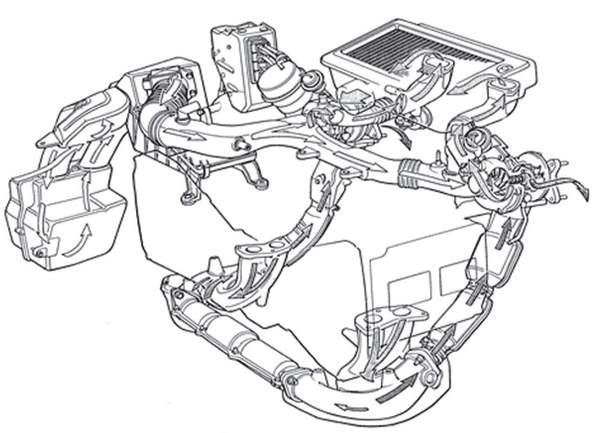


図２　２ステージ・ツインターボシステム

1996年のビッグマイナーチェンジでレガシィ（BD5、BG5型Bタイプ）、インプレッサ（GC8、GF8型Dタイプ）に搭載されるEJ20型エンジンは量産2000 ccエンジンとして世界で初めて280 PSを達成した。レガシィの高出力化に際しては、BMW M3（L6-2990 cc、NA、286 PS（210 kW））、スカイラインGTR（L6-2568 cc、ツインターボ、280 PS（206 kW））をベンチマークとし、明確に体感できる性能向上を実現するため「280馬力に拘り、エンジンが280馬力を出して他がどうすべきかを考える」車両開発を行った。その結果、レガシィに搭載されるEJ20型エンジンは、280 PS（206 kW）：MT、260 PS（191 kW）：ATの2仕様で構成され、高出力と実用性の差別化を明確にし、ツーリングワゴンとしては驚異的な1万台／月の販売実績を残した。

図３　BG5 型レガシィツーリングワゴン GT-B

2.1　エンジン概要

2ステージ・ツインターボシステムのレガシィ用と、シングルターボシステムのインプレッサ用EJ20型ターボエンジンの280馬力開発は並行して行われた。各々の過給システムは異なるものの、出力向上のアプローチは、吸入空気量増、吸入空気温度低下、ガス交換能力向上であり、吸排気効率の向上コンセプトや、高出力化に対応した吸気系、EMS部品（エアフロメータ、スロットルバルブ、インジェクタなど）、主機部品（シリンダブロック、シリンダヘッド等）の共用化を図った。

2.2　吸気能力向上

吸気能力向上のため、バルブリフト量の増加、高過給圧化を行うが、背反となるのは低速トルクの低下とノック限界の低下であった。低速トルクの低下に対しては低速域のフリクション低減、ノック限界の低下に対しては、吸気系圧損、ターボチャージャのコンプレッサ効率、シリンダヘッド冷却などの改善で対応した。

2.2.1　動弁機構

ダイレクトプッシュ式バルブリフタをハイドロリックアジャスタタイプからソリッドタイプ（アウタシム）に変更、外径を φ30→33とし、軽量化とカムプロ

フィール変更(高リフト化)に対応した。バルブはインテークを中空化、エキゾーストはNa封入化し、軽量化とノック改善を図った。これらによりバルブスプリング荷重が下がり、2000 rpmでの動弁系フリクションは約40%低減した。

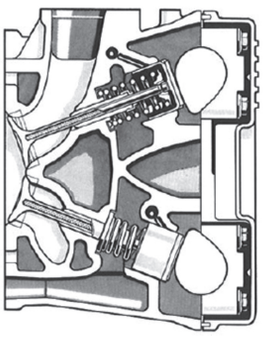


図４　ダイレクトプッシュ式バルブ(DOHC)

2.2.2　シリンダヘッド

点火プラグ周りの冷却を改善すべく、燃焼室肉厚の低減とウォータジャケット内への整流リブ追加を行った。可視化により主流を燃焼室壁に沿わせ、淀みをなくすことで流速は2.7倍となり燃焼室壁温は29℃低下、全負荷時の点火時期は2 ～ 3° 進角出来た。

2.2.3　ピストン

スカートの短縮、ピンオフセット縮小、モリブデンコーティングを採用しフリクション低減を図った。背反となるピストン打音に対してはスカート剛性のチューニングで対応した。この結果、高回転側(5000 rpm)で約2%のフリクション低減となった。

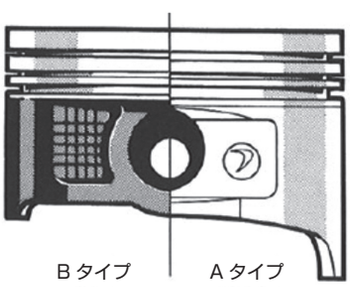


図５　BD、BG 型低フリクションピストン

2.2.4　吸気系

ターボチャージャのコンプレッサ効率改善のため、コンプレッサ上流側の吸気系通気抵抗を低減した。上流側の通気抵抗を下げることでコンプレッサの圧力比を低下させ、吸気温度を下げることで出力性能が向上する。レゾネータの通気抵抗減とエアフロメータ、吸気ダクト、スロットルの内径拡大を行った。また、インテークマニホールドのブランチ径も拡大した。

2.2.5　ターボチャージャ

高出力化とシングル→ツインターボ切り替え時のつながり改善のために、以下を行った。コンプレッサ効率を改善した新開発の大風量コンプレッサホイールを採用し、高過給化と吸気温度上昇抑制を両立した。最高出力点でコンプレッサ効率は約4%向上しコンプレッサ出口温度は7℃低下、前述の吸気系改善と合わせ、13℃の吸気温度低下を得た。タービン側はタービンロータ径を縮小し、軸受けにボールベアリングを採用することでレスポンスを改善した。コンプレッサ効率を上げたことで、シングルターボ領域のセカンダリターボへの排気ガス供給余裕ができ、これらが相まって予回転領域の拡大が可能となり、シングル→ツインターボ切り替え時のつながりが改善した。小径ロータ化による出力背反はノズル径(A/R)を拡大し対応した。

2.2.6　インジェクタ

高流量へ対応したワイドレンジ化を行った。

2.3　排気能力向上

レガシィにおいては高出力化と同時に静粛性も求められるため、電子制御式の可変マフラを採用した。このマフラは分岐したインレットパイプを持ち、その一方に制御バルブがある。制御バルブはエンジンコントロールユニットで制御されるモーターアクチュエータにより開閉駆動される。通気抵抗は高背圧モードで6.5%、低背圧モードで63%低減され、体積効率で2 ～ 3%向上した。前述の吸気能力向上策と合わせ、12%の体積効率向上が得られた。

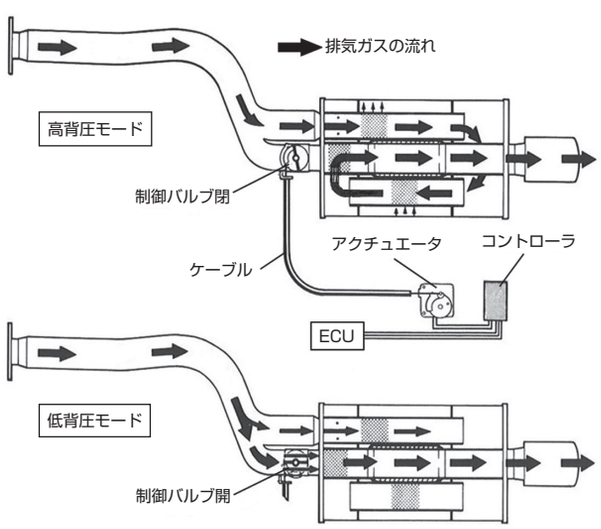


図６　電子制御可変マフラ

2.4　主機の高出力化対応

高出力であっても日常使いができることが量産車としては不可欠であり、以下の対応を図った。

2.4.1　シリンダヘッドガスケット

高燃焼圧への対応として3層メタルガスケットを採用し、ガスシール性能を確保した。

2.4.2　クランクプーリ

デュアルマスダンパプーリを採用することでクランクシャフトの応力を低減し、高出力化対応した。

2.4.3　バルブ及びバルブシート

バルブフェースへのステライト盛、バルブシートの材質変更を行い、バルブリフタのソリッド化においても､バルブクリアランスをメンテナンスフリーとした。

2.5　パフォーマンス

2000 cc、280馬力という前例のない出力開発の中で得られた技術は、この後に続く高出力エンジンにも継承された。

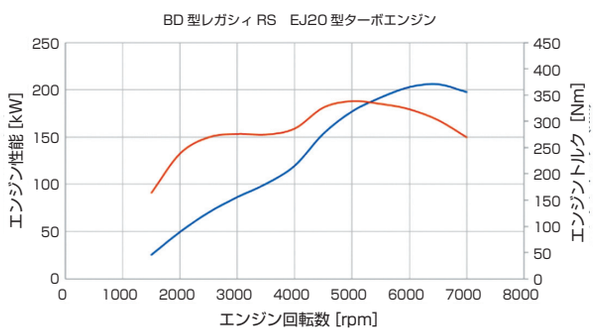


図 7　BD5、BG5 型 EJ20R エンジン性能線図

表 1　EJ20 型エンジン 280 PS までの系譜

西暦	車両型式	EJ20G	EJ20H	EJ20R	EJ20K
1989	BC5	220 PS			
1992	GC8	240 PS			
1993	BD5/BG5		250 PS		
1994	GC8	260 PS			
1996	BD5/BG5		260 PS	280 PS	
1996	GC8/GF8	260 PS			280 PS

2ステージ・ツインターボシステムを採用したEJ20H,Rはいわゆるダウンサイズターボの先駆けとなり、3代目レガシィ（BE、BH型）まで採用された。4代目レガシィ（BL、BP型）からは、吸排気デュアルAVCS（可変バルブタイミング）＋等長等爆エキゾーストマニホールド＋ツインスクロール式ターボ（タービンホイールはチタンアルミ製）を採用し、280 PS（206 kW）/6400 rpm、35 kgfm（343 Nm）/2400 rpm を発生させ、それまでの2ステージ・ツインターボ以上のパフォーマンスを発揮した。

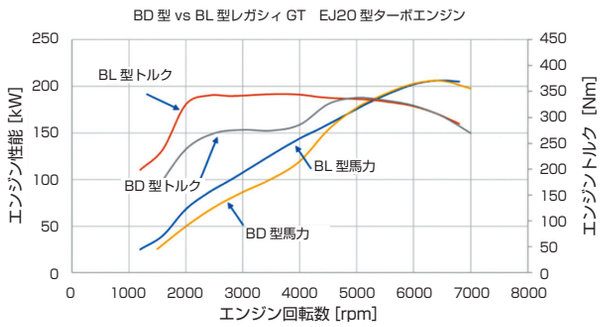


図 8　BD5 型と BL5 型 エンジン性能比較

3.　EJ20型ターボ 戦闘力アップ開発

初代インプレッサWRX STi-Ver.（GC8型）が培ってきたハイパフォーマンスカーとして系譜を引き継ぐため、さらなるパフォーマンス向上を図るべく2000年10月に2代目インプレッサWRX-STi（GDB型）を発表した。

図 9　GDB 型インプレッサ WRX STi（A タイプ）

図 10　GDB 型 A タイプ EJ20 型ターボエンジン

ボクサー PHASE-Ⅱエンジンをベースとし、セミクローズドデッキシリンダブロックや新設計ピストン・コンロッド、吸気AVCS、大容量ターボ、大型インタークーラにより、280 PS（206 kW）/6400 rpm 38 kgfm（373 Nm）/4000 rpm、平成12年排ガス規制対応、燃費性能の向上を図った。

しかし、同時期に市場導入されたライバル車両に対し、大きく運動性能が劣り、エンジンスペックでは表現できないパフォーマンスが不足していた。そこで

2001年2月、インプレッサWRX-STiの戦闘力強化PT（Special Project Team = S-PT）が開発部隊に発足した。

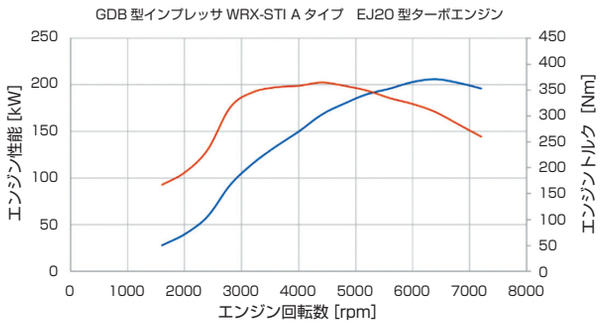


図 11　GDB 型 A タイプ EJ20 型ターボエンジン性能線図

3.1　目標性能

エンジンの目標性能の代用指標としては「筑波サーキット」のラップタイムを用いた。使用エンジン回転数、負荷、ギヤ位置や、アクセルの応答性などを数値化し、徹底的にポテンシャルアップを図る。また、インプレッサは、モータースポーツのベース車両として扱われることも多い。そこで、日本国内で実施される市販車両をベースとして行われていた「スーパー耐久」も視野に入れたエンジンポテンシャルを検討した。これらを踏まえ、エンジントルク45 kgfmに耐えうるベース設計、レース車両として43 kgfm/330 PS、量産車両として42 kgfm/295 PSを目標値とした。開発に当たっては、WRC参戦車両に搭載されていたEJ20型エンジン：54 kgfm/3500 rpmを基に「レース用エンジンを量産化する」を意気込みの開発を行うこととなった。戦闘力強化エンジンの搭載車両は、GDB型マイナーチェンジ（Cタイプ2002年11月販売）であり、約1年半の開発期間であった。

3.2　エンジン概要

エンジン開発は、大きく「性能向上アイテム」と性能向上に伴う「耐久性向上アイテム」の2種を並行して行う。エンジン性能は、内燃（爆発）の圧力をピストンが受けることによるクランクを回転させる力を増加させること（トルク向上）と、仕事量として単位時間内により多くのピストン運動をさせる（馬力向上）がある。当時は、日本国内で販売される国産車は、最高馬力の自主規制（上限280馬力）があるため、トルク向上を中心とした開発が行われてきた。しかし、モータースポーツユースでは、仕事量の向上（馬力向上）が勝敗のキーになる。これらを踏まえ、以下のアイテムについて検討を行った。

3.2.1　性能向上アイテム

・吸気効率向上
　カムプロフィール
　インテークマニホールド
　吸気ダクト
　ターボチャージャ
　インタークーラ
・排気効率向上
　エキゾーストマニホールド
　排気管＋触媒

3.2.2　強度・耐久性向上アイテム

・構造系
　シリンダブロック
・主運動系
　ピストン
　コンロッド
　クランクシャフト
・その他
　シリンダヘッド
　ヘッドガスケット
　コンロッドメタル
　オイルパン
　オイルクーラ

3.3　エンジン主機

3.3.1　シリンダブロック

WRX-STiエンジンは、Aタイプより燃焼筒内圧による発生応力とシリンダボアの動き量を低減できるアルミダイキャスト製セミクローズドデッキシリンダブロックを採用している。さらにCタイプでは、ヘッドガスケット形状を変更しシール性能を向上させた。強度・剛性関連では、クランクジャーナルの断面積を増やし、クランクシャフトを支えるジャーナル周りの強度、剛性を向上させた。また冷却水通路形状を見直すことで圧力損失を低減し、冷却性能を向上させた。

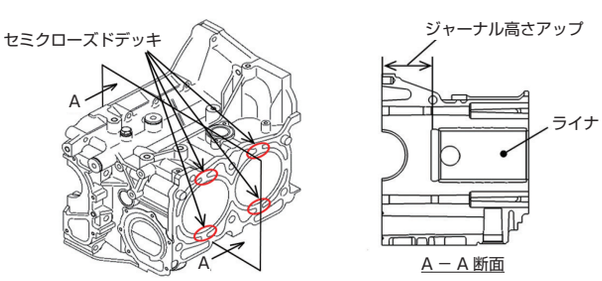
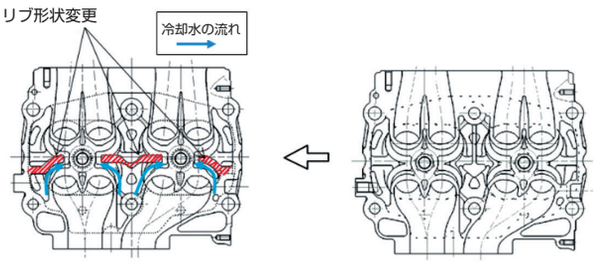


図 12　セミクローズドデッキシリンダブロック

3.3.2　シリンダヘッド

燃焼室温度を下げ、ノック限界を向上させるため、燃焼室周辺のウォータジャケット形状を変更した。合わせて、点火進角による出力性能向上を図った。



（左：C タイプ、右：A タイプ）

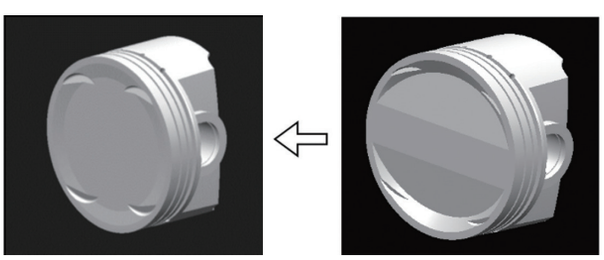
図 13　GDB 型シリンダヘッド形状変更

3.3.3　ヘッドガスケット

燃焼筒内圧増加に対応するシール性を確保するため、シム、コーティング厚さを変更した。シリンダブロック、シリンダヘッドの剛性向上と合わせ、シール性能を向上させた。

3.3.4　ピストン

燃焼室冠面中央部を凸形状から凹形状に変更することで筒内ガス流動を促進させ、燃焼効率を向上させた。また強度向上のため鍛造ピストンから高強度アルミ素材を使った鋳造ピストンへ変更した。コンロッド小端部形状のテーパ化と合わせ、ピンボス形状をテーパ化することでピストン冠面強度を向上させつつ、ピンボス摩耗を低減させた。

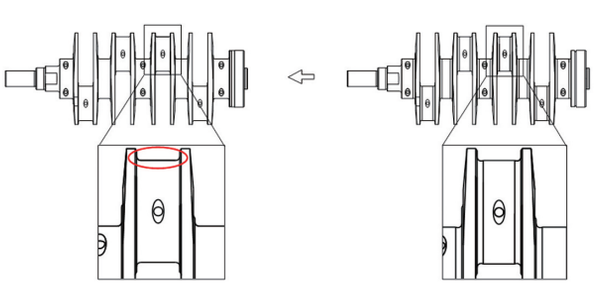


（左：C タイプ、右：A タイプ）

図 14　GDB 型ピストン形状変更

3.3.5　クランクシャフト

ジャーナル、ピンの強度を確保するため、塩浴軟窒化処理クランクシャフトを採用した。ピンリセス形状を変更することでコンロッドメタル摺動面幅を拡大し、摺動面圧を低減した。

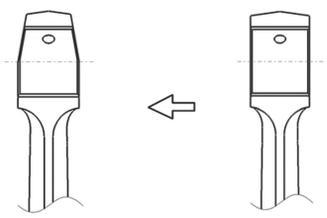


（左：C タイプ、右：A タイプ）

図 15　GDB 型クランクシャフト形状変更

3.3.6　コンロッド

ステム強度向上のため、材料の管理精度を厳しくし、高硬度のもののみを使用することとした。ピストンピン摩耗を低減するため、小端部をテーパ形状とし、ピンブッシュの材質変更を行った。また、キャップ形状を小型化し、2500 cc ターボエンジンのＢ×Ｓφ 99.5 × 79 mm にも採用可能な形状へ変更した。



（左：C タイプ、右：A タイプ）

図 16　GDB 型コンロッド形状変更

3.3.7　コンロッドメタル

増大した出力に対し、十分な軸受け強度を確保するためCu合金製メタルを採用した。またクランクシャフトピン形状変更と合わせ摺動面幅を拡大し、摺動面圧を低減させた。

3.3.8　AVCS、カムシャフト

Ａタイプより採用している吸気AVCSに、Ｂタイプ Spec-C（GDB型Ｂタイプより設定、モータースポーツユースを想定した軽量化車両）で開発した高開角、高リフトカムを採用した。等長等爆エキゾーストマニホールドによる排気脈動効果およびAVCSによるバルブ開閉タイミング調整を用いて、筒内残留ガスの掃気を促進させた。体積効率を向上させることで、中低速トルクをさらに増幅させた。またカムシャフトには耐摩耗性能向上のためリン酸マンガン被膜処理を行った。

3.3.9　バルブリフタ、バルブスプリング

ダイレクトブッシュ式のバルブリフタを薄肉軽量化＋選択組付けによるシムレス式とし、レブリミット 8000 rpm まで安定した回転を可能とした。

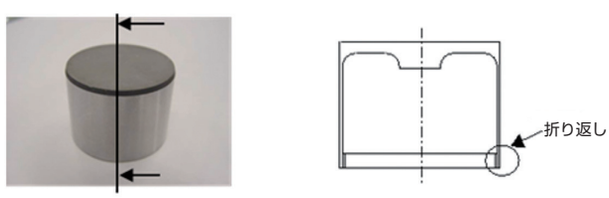


図 17　シムレス軽量化リフタ

3.3.10　オイルパン、ストレーナ

等長等爆排気システムに対応するため、エンジン前方を大幅に凹化した深底オイルパンを採用した。旋回

走行時に発生する強烈なGの中でも安定したエンジンオイル圧送を可能とするため、オイルパン形状、バッフルプレート形状そしてストレーナ形状を見直した。

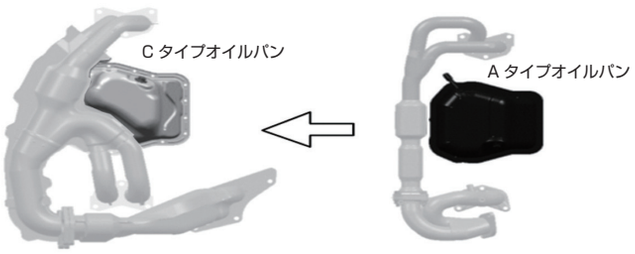


図 18　GDB 型排気変更に伴うオイルパン形状変更

（左：C タイプ、右：A タイプ）

図 19　GDB 型オイルストレーナ　口元形状変更

3.3.11　オイルクーラ

高負荷運転時のエンジンオイル温度上昇を抑えるため、水冷式オイルクーラを採用した。またモータースポーツユースを想定しているSpec-Cには、空冷式エンジンオイルクーラを採用した。

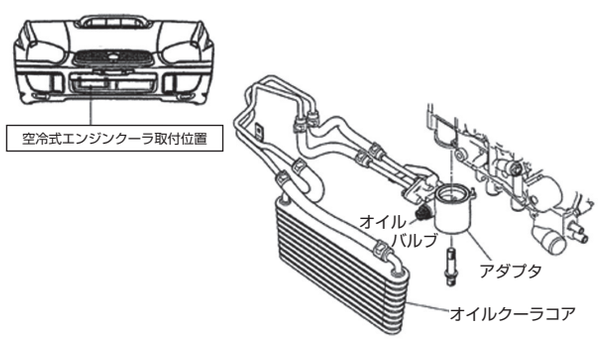


図 20　空冷式オイルクーラ（Spec-C に設定）

3.4　エンジン補機

3.4.1　インテークマニホールド

GDB 型 WRX-STi　A/B タイプのエンジンは、WRXと共有するインテークマニホールドを使用していた。WRX用エンジンは「平成12年基準排ガス25%低減レベル」を達成するため、インテークマニホールド内にTGV（Tumble Generation Valve）を搭載していたが、WRX-STi用エンジンは、TGVのバルブレスマニホールドによる3ピース構成のインテークマニホールドを採用していた。Cタイプでは吸気システムの低圧損化と最高出力発生回転数に合わせたディメンジョンの最適化を図るべく、1ピース構造のインテークマニホールドを新設した。GDB型Aタイプがポート径φ47×管長340 mm　コレクタ室容量700 ccに対し、Cタイプはφ52～φ45テーパ型×管長310 mm　コレクタ室容量1000 ccとして主に過給前の慣性過給を狙った構造とした。

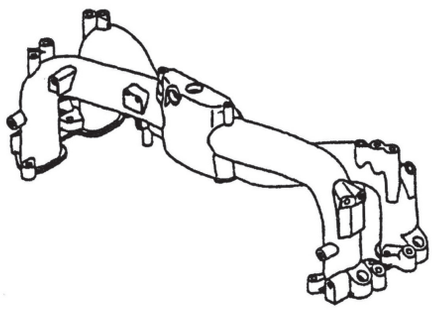


図 21　GDB 型 C タイプ以降のインテークマニホールド

3.4.2　等長等爆エキゾーストマニホールド

WRCに参戦しているWRカーカテゴリーでは、EJ20型エンジン＋等長等爆エキゾーストマニホールドが採用されていた。しかし、量産化には構造が複雑であり、大量生産・ライン艤装だけでなく、十分な耐久性を得ることが難しい構造であった。 そこで、シャーシ部品（クロスメンバーフレームとクロスメンバーフレームに搭載されるステアリングギアボックス）の変更を行うことなく、ライン艤装可能な等長等爆エキゾーストマニホールドを開発した。コンセプトは、並行開発をしていた4代目レガシィ（BL、BP型）を踏襲した。ヘッドポート直後の管径はBL、BP型：φ35に対し、φ42.7とした。また、4-2集合部より、ターボチャージャへ接続する部位（立ち上げ部）は、シリンダヘッドとクロスメンバーフレームの隙間を通すため、ハイドロフォーミング加工を採用した。

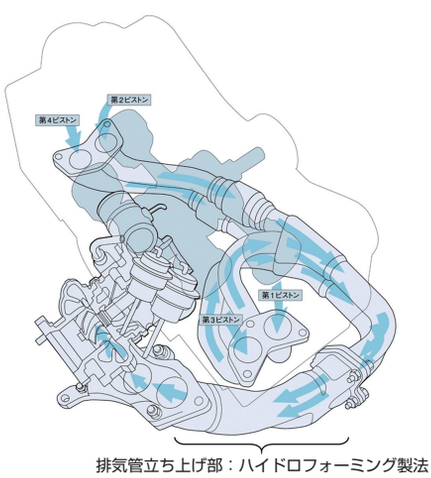


図 22　等長等爆 排気管レイアウト

図 23　WRX-STi 用（左）、レガシィ GT 用（右）

3.4.3　ツインスクロールターボチャージャ

GC8型ではIHI製RHF5ターボチャージャ、GDB型シリーズからはコンプレッサが大型化されたRHF55ターボチャージャが搭載された。S-PTでは、より大型化したRHF6シリーズの搭載検討も行ったが、ロードカーとしてのパフォーマンスが最も効果的に発揮できるRHF55ターボを継続採用することとした。また、等長等爆エキゾーストマニホールドの採用と合わせ、タービンハウジングに、低速域の過給効果を向上させることができるツインスクロール式を採用した。ツインスクロール式タービンハウジングには、スクロール部の耐久性向上のため、オーステナイト系ステンレス鋳鋼を採用した。ウェイストゲート部の耐久性向上のため、ウェイストゲートバルブはオーバル式とし、出口形状は真円を2つ設定する形状とした。軸受け部は、WRX-STiにフルフロートメタルベアリングを、WRX-STi Spec-Cには、ボールベアリング式(RHF5HB)を採用した。コンプレッサハウジングには、コンプレッサインペラとハウジングの隙間を限りなく密接化することが可能となるアブレーダブルシール(カセット式)を継続採用した。

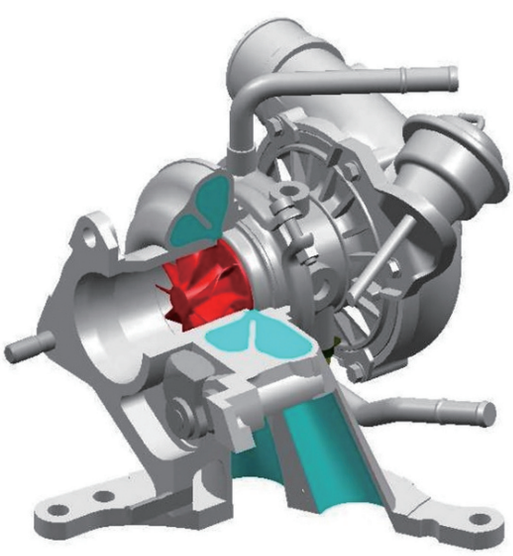


図 24　IHI 製 RHF55 ツインスクロールターボ

3.4.4　インタークーラ

実際に使用しているインタークーラのチューブ部分をサーモグラフにより可視化し、冷却性能を向上させる構造へ変更した。また、インタークーラに接続するダクトについても、圧力損失低減及び過給気の分配改善のため、4分割構造(シリコンダクト2個、アルミダクト2個)を2分割(シリコンダクト1個、アルミダクト1個)とした(インタークーラ+ダクトの変更はEタイプより織り込み)。

図 25　インタークーラタンク形状変更（凹まし）

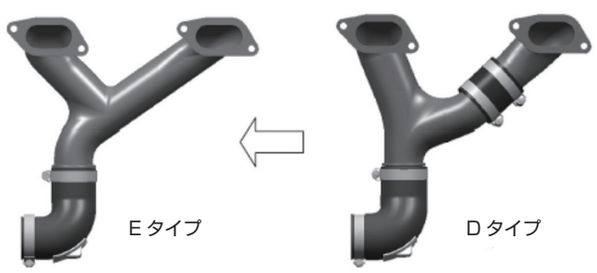


図 26　GDB 型インタークーラダクト形状変更

3.4.5　コンプレッサ前ダクト拡大

鋳造アルミ製インテークマニホールドの駄肉部(型の抜き用テーパにより基本肉厚以上の駄肉がつく)を除去加工し、ダクト径の拡大を図った。

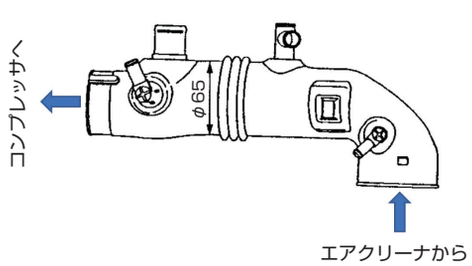
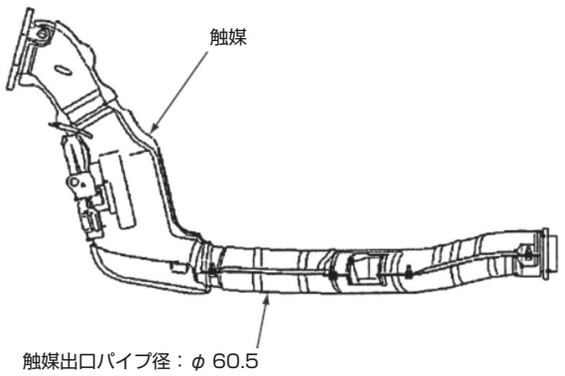


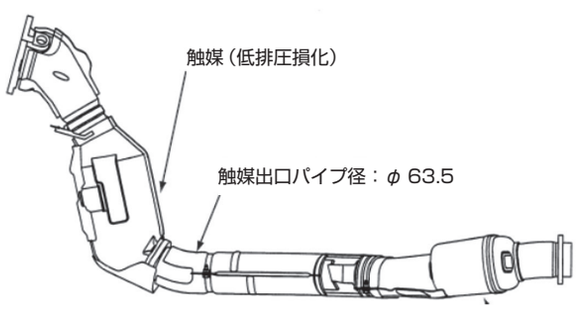
図 27　コンプレッサ前ダクト形状変更

3.4.6　低圧損エキゾーストパイプ

ターボチャージャのウェイストゲートバルブから排出されるガス流がタービンハウジング出口部よりスムーズに排出できるように、タービンハウジング

との勘合部を漏斗形状とした。また、Eタイプからは、触媒より下流のパイプをφ60.5→φ63.5へ拡大し、圧損低減を図った。





上：C/D タイプ、下：E/F タイプ

図 28　GDB 型エキゾーストパイプ＋触媒 排気圧損低減

3.4.7　触媒

触媒は、Aタイプで採用された4ミル600セル（ミルは1/1000インチ、セルは1平方インチ当たりの穴の数、モノリスを構成する壁厚をミル数で、ハニカム状の穴の数をセル数で表現）に対し、壁厚を3ミル化することで9.6%の圧力損失改善を図るとともに、触媒活性化前の冷態時に積極的にHC（ハイドロカーボン）を吸着する構造を採用し、平成12年排ガス規制に対応する排ガス浄化性能を確保した。

3.4.8　燃料ポンプ

出力向上と合わせて燃料流量を確保するために、燃料ポンプは国内を流通するポンプの定格値の上限品をBタイプSpec-Cに採用、Cタイプからは、ポンプモータのコイル巻き線を変更し流量向上を図った。

3.5　エンジンパフォーマンス

2001年に発足したS-PTは、GDB型Bタイプ Spec-C、Cタイプ（等長等爆エキマニツインスクロールターボエンジン 2002年）の車両開発を行った。いずれの車両も国内では、筑波サーキット、ツインリンクもてぎサーキット、ドイツNBR（ニュルブルクリンク）などを用い相対評価を行い、エンジンパフォーマンスだけでなく、車体・シャーシの向上を図った。

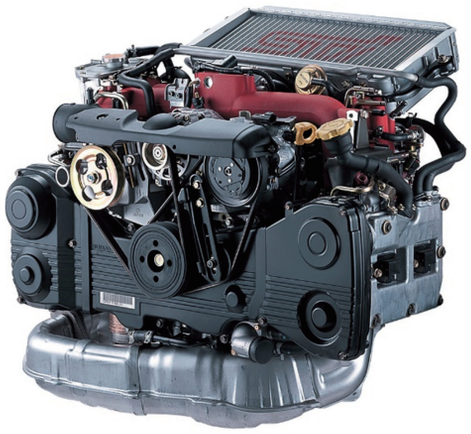


図 29　GDB 型 C タイプ以降　EJ20 型ターボエンジン

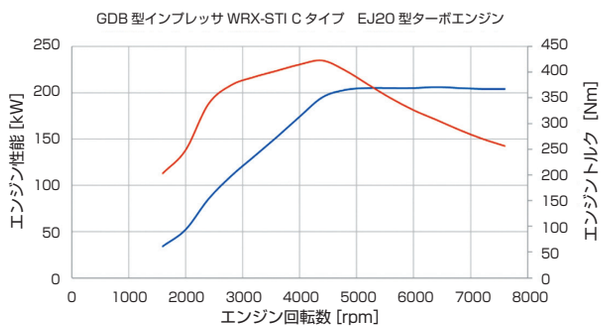


図 30　GDB 型 C タイプ EJ20 型ターボエンジン性能線図

3.5.1　NBR（ニュルブルクリンク）による評価

SUBARUではGC8型時代からドイツNBRを使った開発も行っていた。2002年9月にGDB型Cタイププロトタイプで8分6秒59を記録した。GC8型Eタイプ（STi Ver.Ⅲ）8分10秒75に対し、約4秒の短縮ではあるが、NBRを走行することでタイム以上に大きな成果を得ることができた。これ以来、これまでの「S-PT」に代わり、2002年11月より「Revolution-PT（R-PT）」を発足し、NBRのラップタイム「8分を切る」車両開発プロジェクトが始まった。R-PTではEJ20型エンジンだけでなく車両運動性能の向上を図り、Cタイプにて2003年10月に8分03秒22、2004年4月にEタイプにて7分59秒41を達成。2002年の記録に対し、約7秒短縮させた。R-PTで得られた知見は、SUBARU車の運動性能向上先行開発プログラムとしてレガシィ・フォレスターなどに広めていくことになった。

3.5.2　STIコンプリートカー S203・S204

SUBARUのモータースポーツ統括会社であるSTI社によって、2006年にS203（GDB型インプレッサ WRX-STi Eタイプベース）が開発された。ベースエンジンに対し、バランスドクランクシャフト・コンロッド・ピストン、専用大型ボールベアリングターボチャージャ、専用触媒、専用マフラ、専用シリコン

図 31　インプレッサ WRX-STi Spec-C（E タイプ）

製ターボ前ダクトを設定し、320 PS（235 kW）/6400 pm、43 kgfm（422 Nm）/4400 rpm まで性能向上を図った。S-PT で当初掲げた目標性能がSシリーズにて具現化された。

図 32　S203（2006 年）

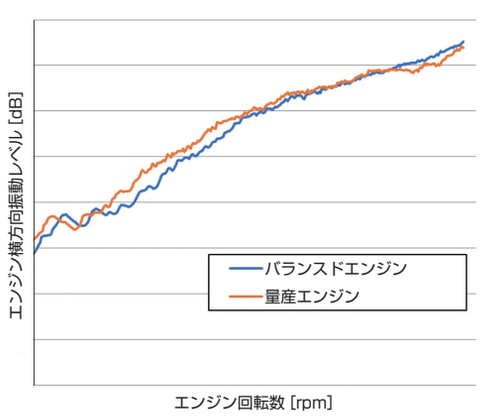


図 33　バランスドエンジンの（1 次）回転振動レベル比較

4.　EJ20型ターボ エンジンの進化

2007年にパフォーマンスとクオリティの両面において、SUBARUの走りのトップエンドモデルと呼ぶに相応しい車として、インプレッサWRX-STiは、GDB型から、GRB型へ生まれ変わる。

GDB型に対し低速域のトルク強化を図ることで「どの回転域からでも思い通りに加速できる性能」をテーマにさらなる性能向上を果たした。同時に環境性能にも配慮し、平成20年排ガス規制U-LEVに適合した。その結果、300 PSを超える308 PS（227 kW）/6400 rpm、43 kgfm（422 Nm）/4400 rpm（エンジン回転数2000 rpm後半で最大トルクの9割以上）でのパフォーマンスを発揮した。

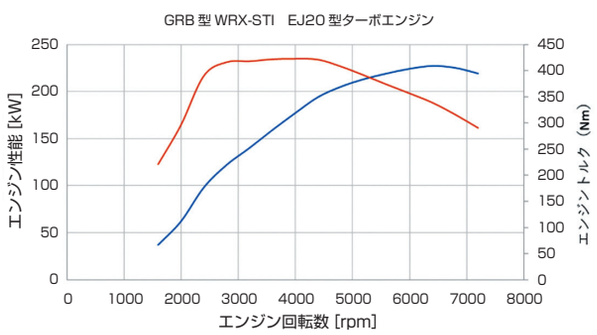


図 34　GRB 型　EJ20 型ターボエンジン性能線図

4.1　目標性能

GRB型インプレッサWRX-STiのエンジン開発に当たり、これまで以上のパフォーマンス向上を図ることが必須であった。ベースエンジンは、これまでの開発で十分な実績を積んできたEJ20型ターボとし、先行してレガシィ用EJ20型ターボエンジンに搭載されていた、吸排気デュアルAVCS、電制スロットルなどのほかに、インタークーラの大型化を行った。特筆すべきは、大幅な諸元を変更する事なくエンジン部品の基本性能の向上によって得られた308 PS（227 kW）であったことである。

4.2　エンジン概要

GRB型インプレッサWRX-STiのエンジンは、出力性能の向上だけでなく、レガシィやフォレスターに投入された環境性能向上アイテムを織り込み、燃費や排ガス性能との融合を図った。

4.2.1　性能向上アイテム

・カムシャフト変更
・シリンダヘッド燃焼室形状変更
・シリンダヘッド吸気／排気ポート形状変更
・シリンダヘッドウォータジャケット変更

・吸排気デュアル AVCS
・バルブスプリング変更
・インテークマニホールド変更
・電制スロットル
・ターボコンプレッサハウジング変更
・インタークーラ大型化
・触媒変更

4.2.2　強度／耐久性向上アイテム

・シリンダブロック強化
・コンロッド強化

4.2.3　環境性能向上アイテム

・TGV 追加
・2次エアシステム追加

4.3　エンジン主機

時代背景に合わせた高出力化・環境対応を目的に全ての主機部品について再検討を実施した。

4.3.1　シリンダブロック

シリンダブロックのライナ部は変形量低減(真円度向上)を目的に、ライナ外周部をアルミとの密着性を向上させる形状に変更した。WRC のレギュレーションでは、参戦する車両に搭載するエンジンのシリンダブロックは、量産と同一品を使用する必要がある。WRC 参戦を視野に入れていた BC 型レガシィ、GC8 型インプレッサに搭載されていた EJ20 エンジンは、クローズドデッキ式を採用し、高出力化(高筒内圧)によるシリンダヘッドガスケットのシール性能を確保していた。GDB 型シリーズからの EJ20 シリンダブロックは、生産性向上のためセミクローズドデッキ式を採用したが、GRB 型シリーズではクローズドデッキ式と同等以上のデッキ面剛性を得るため、ブロック外周のフープ部の径を拡大(肉厚 11.5←9 mm)した。

2008 年末に WRC ワークス活動は終了となったが、この知見は後の量産車を始め、様々なモータースポーツ活動に受け継がれる事となる。

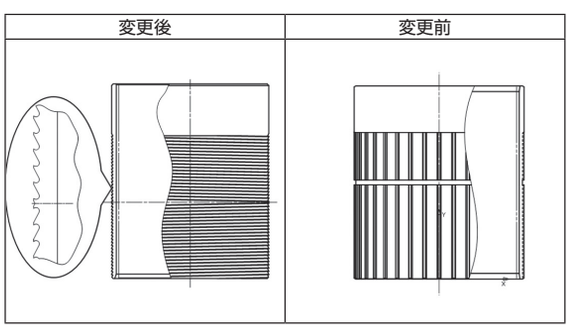


図 35　新旧ライナ比較

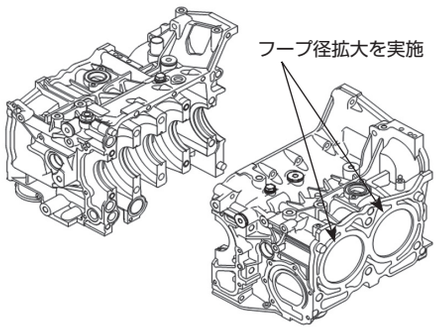


図 36　シリンダブロック図

4.3.2　シリンダヘッド

吸気ポートはストレート化による燃焼改善を実施。出力向上を図った。また排気ポートも掃気能力向上を狙い形状変更した。

左：GRB 型（新）　右：GDB 型（旧）

図 37　吸気ポート比較

左：GRB 型（新）　右：GDB 型（旧）

図 38　　排気ポート比較

燃焼室は点火プラグ周りの形状変更を行い、点火プラグの突き出し量を最適化。またウォータジャケットは排気ポートと点火プラグ周りの冷却強化によりプレイグニッション性能向上を図った。

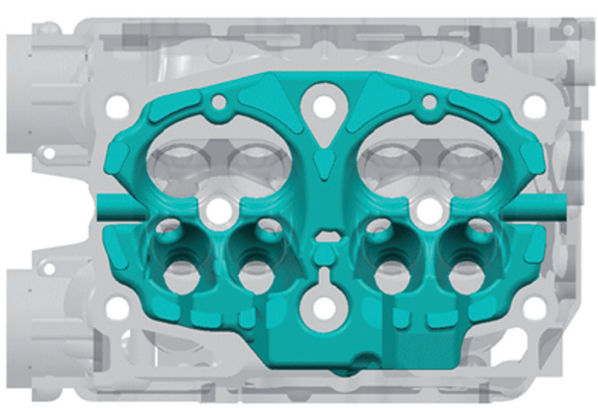


図 39　ウォータジャケット

シリンダヘッドについても、シリンダブロック同様に WRC のレギュレーションにより素材共用が必須と

なるため、デッキ面近傍のウォータジャケット部にブリッジ形状を追加してヘッドガスケットシール信頼性を向上させた。またヘッドボルトボス部に補剛リブを追加して燃焼室変形改善やカムジャーナル部の同軸度向上を行った。

4.3.3　シリンダヘッドガスケット

ガスシール性能及び信頼性向上のため、これまでも3層メタルガスケットを採用してきているが、冷却通路変更に伴い新設した。

4.3.4　ピストン

WRCにおける量産車ベースカテゴリーのグループNや、国内の量産車ベースのモータースポーツカテゴリーとなるスーパー耐久にて異常燃焼（以下ノッキング）によるピストン破壊が発生していた。そのため、レース毎のオーバーホールが必要となりエントラントの負担が大きい状況であった。また攻めたセッティングが出来ず、出力面で競合他社に後れを取っていた。そこで2NDランドの強化を目的に形状を変更し、静的評価にて40%の耐力向上を確認した。

	新	旧
TOPランド幅	5.0 mm	6.0 mm
TOPリング溝底径	φ84.0 mm	φ84.2 mm
TOPリング溝底R	R0.5 mm	R0.4 mm

図40　破損したピストンと形状変更点

4.3.5　コンロッド

ピストン同様にモータースポーツからの要望で、ノッキング耐力の向上を図った。主にロッド部の断面厚さを16←14 mmに変更し、座屈強度を13%程度向上させた。

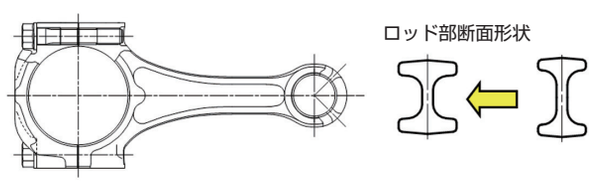


図41　コンロッド

4.3.6　クランクシャフト

クランクシャフトに使用するメタルにおいて、Pbフリー化環境対応が必要となった。そこでクランクシャフトとメタルをセットで再検討し、従来から採用している塩浴軟窒化処理をしたクランクシャフトを最適設計した。

4.3.7　コンロッドメタル

SUBARUでは、高出力機に銅合金コンロッドメタルを採用している。このタイミングでPbフリー化環境対応を実施した。

4.3.8　吸排気デュアルAVCS

BL、BP型レガシィEJ20型エンジンに搭載している吸排気デュアルAVCSを採用。より理想的なバルブタイミングを実現する事であらゆる運転状況下において優れたエンジン効率を達成。主に一般走行中使用頻度の高い2000 rpm ～ 4000 rpm付近のトルクを向上。1格上の排気量を思わせる力強い加速を実現しつつ、高回転域においても伸びのあるフィーリングを達成。併せて排気ガス規制対応、燃費改善に貢献した。

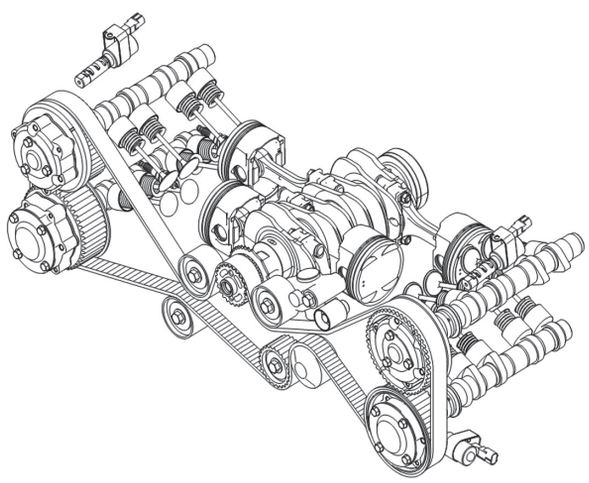


図42　吸排気デュアルAVCS

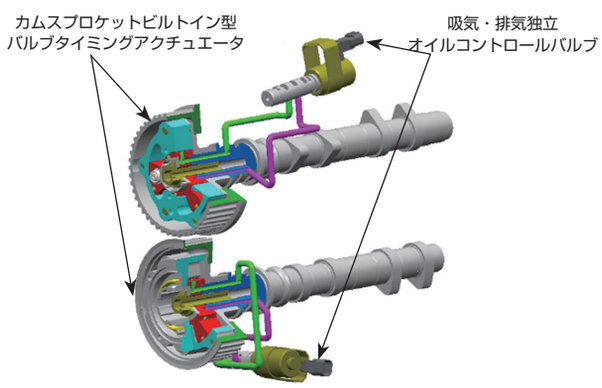


図43　吸排気デュアルAVCS（詳細図）

4.3.9　カムシャフト

INT側カムプロフィールとカムタイミングを変更。吸気能力向上を狙い高リフト化、および開角を拡大させた。EXH側カムプロフィール及びカムタイミングは早開きを実施して触媒の早期活性化を図り環境対応した。カムシャフトの素材は鋳鉄材から焼結材へ変更。高強度化及び中空形状による軽量化を図った。

4.3.10　オイルポンプ

吸排気デュアルAVCS採用のため、オイルポンプの吐出容量を増やす必要があった。そこで従来からのオイルポンプと同サイズでありながら、ロータ歯型最適化によるフリクション低減を実施。吐出容量UP・フリクション改善・従来レイアウト内に収まる大きさを両立させた。

4.4　エンジン補機

すでにGDB型インプレッサWRX-STi EJ20型エンジンへの織り込んだアイテムをフルモデルチェンジの機会に再検討した。

4.4.1　インテークマニホールド変更

インテークマニホールドは、GDB型Cタイプで販売を行っていた北米仕向けWRX-STiに搭載されていたEJ25エンジン用を流用し、電制スロットル及びTGVのアイテム追加に対応した。

4.4.2　電制スロットルバルブ

ドライバビリティ向上、排ガス浄化性能向上、燃費向上のため電子制御スロットルバルブを採用した。ボア径は、GDB型搭載のEJ20型と同じφ60とした。

4.4.3　TGV (Tumble Generation Valve)

吸入空気と燃料のミキシングを強化し、燃焼室内のガス流動を促進するTGVシステムを採用し、排ガス浄化性能及び燃費性能の向上を図った。

4.4.4　ターボチャージャの変更

ターボチャージャは､引き続きIHI製RHF55を採用。電制スロットルを採用に合わせインタークーラ搭載位置がエンジン後方にセットバックしたことからコンプレッサハウジングを新設。コンプレッサ入口径を拡大しディフィーザ効果による吸気促進を図った。

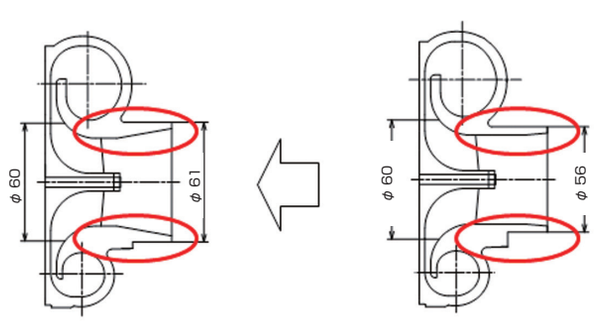
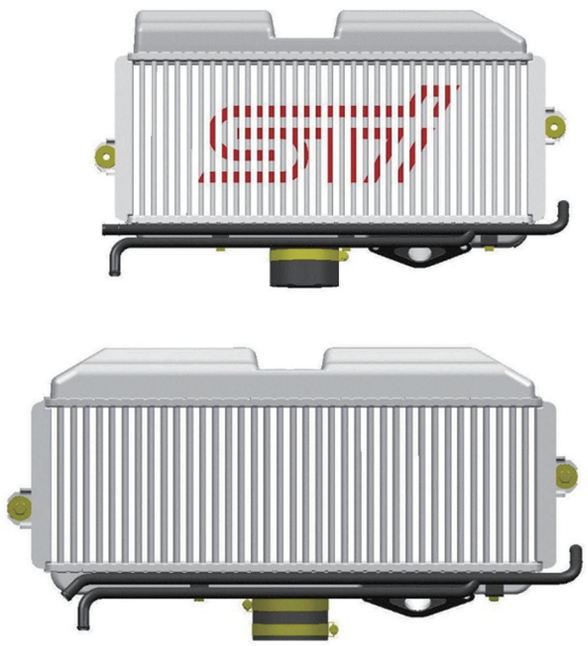


図 44　コンプレッサ　形状変更

4.4.5　大容量インタークーラの採用

ターボチャージャで過給された吸入空気を冷却するインタークーラは、GDB型EJ20型へ搭載されていたものに対して大型化を図り、より冷却性を高めた。



上：GDB 型用（旧）　下：GRB 型用（新）

図 45　インタークーラ大型化

4.4.6　ターボ前ダクト変更

ラインでの組付け性確保のため一部に蛇腹を設定していたコンプレッサ前のダクトは、ターボチャージャの搭載要件を見直すことで廃止し、コンプレッサ前での空気流れの剥離改善を行った。

図 46　コンプレッサ前ダクト低圧損化

4.4.7　メタル触媒＋セラミック触媒の採用

排ガス浄化性能と排気圧損低減のため、熱容量の小さく圧力損失の低いメタル触媒(30 μ 400セル)を採用した。2次エアシステムによりメタル触媒の早期活性化が図られるだけでなく、後方のセラミック触媒(3ミル400セル)の昇温が促進、活性化することで、平成20年排ガス規制U-LEVの浄化性能が得られた。

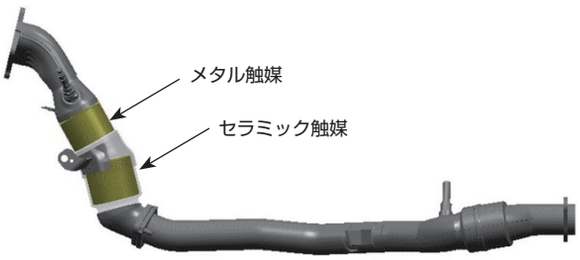


図 47　メタル触媒＋セラミック触媒

4.4.8　等長等爆エキゾーストマニホールド変更

排気AVCSのオイルコントロールバルブとの干渉回避のため、エキゾーストパイプの分割部を変更するとともに、ターボチャージャへのガス導入レイアウトを見直し性能向上を図った。

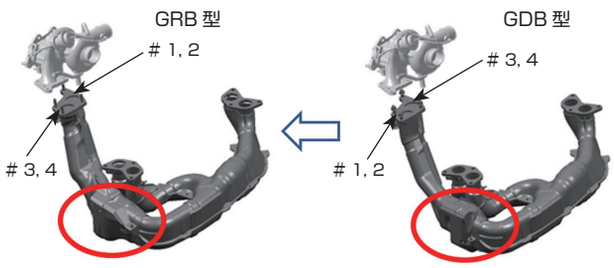


図 48　等長等爆エキゾーストマニホールド変更

4.4.9　2次エアシステムの採用

低温始動直後のエンジン暖機中の余剰燃料を2次エアポンプにより強制的に排気ポートに送り込んだ空気（酸素）と排気熱で燃焼させ、その燃焼熱により触媒を早期活性化し、排ガス浄化性能を向上させた。

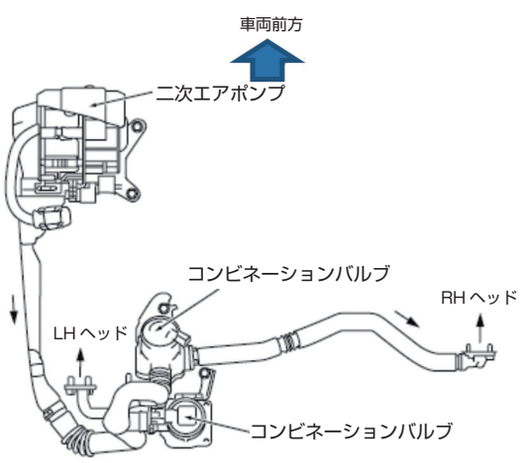


図 49　2次エアシステムの採用

4.5　エンジンパフォーマンス

GRB型インプレッサWRX-STiは、2007年10月に5ドアハッチバックで販売されたのち、同一エンジンを搭載したセダンGVB型が2010年7月に販売される。また、このタイミングより、車名の「インプレッサ」をなくし、「WRX-STi」として、2014年8月にはVAB型にスイッチする。エンジンは車両変更によるインタークーラなどのごく一部を変更したが、308 PS（227 kW）/6400 rpm、43 kgfm（422 Nm）/4400 rpmのパフォーマンスは継承した。

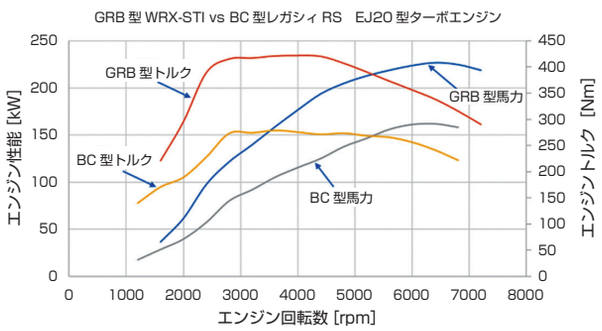


図 50　EJ20 型エンジン性能の比較

4.5.1　STIコンプリートカー：S206、S207、S208

2011年11月にSTI社からGVB型をベースとしたコンプリートカー S206が販売された。導入されたアイテムは、GDB型S203、S204と同様に、バランスドクランクシャフト・コンロッド・ピストン、専用大型ボールベアリングターボチャージャ、専用マフラ、専用シリコン製ターボ前ダクトによって、エンジン出力は、同一の320 PS（235 kW）/6400 pmであるが、トルクは44 kgfm（431 Nm）/3200 ～ 4400 rpmに向上した。また、2015年12月にVAB型をベースとしたS207を発売。S206と同一エンジンでありながら、マフラの低背圧化によって、エンジン出力を328 PS（241 kW）/7200 pm、トルクは44 kgfm（431 Nm）/3200 ～ 4800 rpmに、2017年12月には、S207をベースとしたS208は、インタークーラの導風レイアウトの改善によって、329 PS（242 kW）/7200 rpmまで向上させた。

5.　モータースポーツ

1987年当時SUBARUはモータースポーツにおいてプライベータ支援しか行っておらず、他の国内メーカーのようなマーケティングに直結した規模の大きなモータースポーツを運営できなかった。そこで、技術開発および、技術の活性化を推進する専門会社として、1988年 にSTI（SUBARU Tecnica International）を設立。そして、STIの最初の仕事として、その当時SUBARUの持てる技術を集結して作った車を世界にアピールするべく、1989年1月2日 世界戦略車である初代レガシィでFIA（国際自動車連盟）が公認する10万キロ世界速度記録に挑んだ。

その後、次なる目標として、SUBARUユーザーに対して量産車の良さをアピールするカテゴリーとして、当時Gr.A車両で4WDターボ車両が上位を占めていたWRCに白羽の矢を立てた。

5.1　WRCへのチャレンジ 1990-2008

WRCは、FIAが主催するラリー競技でありF1と並ぶ世界選手権。交通が遮断された一般道(SS)を市販車ベースのマシンで走り、タイムを競う競技であり、ヨーロッパを中心としてアフリカ・中南米・アジア・オセアニアなどの地域で開催されるモータースポーツである。SUBARUは、1990年にレーシングコンストラクタであるプロドライブ社と提携し、WRCに挑戦を開始。その後、1990年の参戦から2008年のワークス活動終了まで3度のマニファクチャラーズタイトルと、2度のドライバーズタイトルを獲得し、この間19年に渡りEJ20型エンジンはSUBARUのWRC参戦を支える重要なパワーユニットとなった。

図 51　WRC に参戦するインプレッサ

WRCエンジンは、EJ20量産シリンダブロック、シリンダヘッドを使用し、ピストン、コンロッド、クランクシャフト、排気系、ターボチャージャ等を既定の改造範囲内で変更し、超高トルク型エンジンへと改良したエンジンである。ここから一部の導入技術について紹介する。

5.1.1　燃料主導型制御

1999年にレスポンス及びドライブフィーリング向上のために、電動スロットル化と共に燃料主導型制御と呼ぶエンジン制御を導入した。この制御は、アクセルペダルの踏み込み量から最初に燃料噴射量を決め、吸気モデルから目標空燃比を達成するための吸気流量、電動スロットルの開度を決定し制御するシステムである。これは、従来のD及びLジェトロニックシステムに対し、アクセルレスポンス性能の高さと下記にあるアンチラグシステム(ロケットシステム)との親和性がよく、1999年のWRC車両に初めて導入されて以降、2008年末のワークス活動終了まで、EJ20のWRC専用制御システムとして改良が重ねられた。

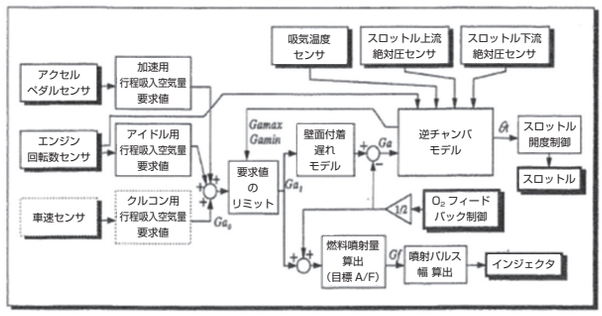


図 52　WRC 用 EJ20 型エンジン制御システム図

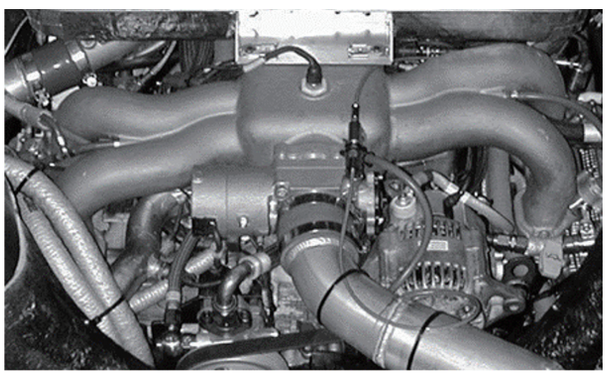


図 53　WRC 用 EJ20 型ターボエンジン

5.1.2　水噴射システム

2005年からWRCに導入されたシステム。WRCの技術競争の激化とともに、燃焼の高効率化を目指し水噴射システムの開発を進めた。2004年までは、高負荷時のノッキング抑制のため、インマニ内に1本の水スプレーを設けて内部に噴射するシステムを導入していた。2005年からは、燃焼のさらなる高効率化を目指し各ポートに水噴射用インジェクタを設け、運転条件に応じて燃料噴射量と水噴射量と点火時期を統合させた制御を導入した。しかし、このシーケンシャル水噴射システムは、2006年にWRCで使用禁止となったため1年だけの投入技術となった。

5.1.3　アンチラグシステム(ロケットシステム)

アンチラグシステムは、2003年にWRCに初めて導入された。EJ20型エンジンは、WRCに参戦する他社直列エンジンに対して排気管長が長く低速域のトルクを出すのが構造上難しいエンジンであったため、2006年に排気系に燃焼室を持たせた新しいアンチラグシステムを開発し導入した。このシステムは、水平対向エンジンのレイアウト上のデメリットをメリットに変える画期的なシステムとなり、2008年末のワークス活動終了までWRC専用システムとして使用された。

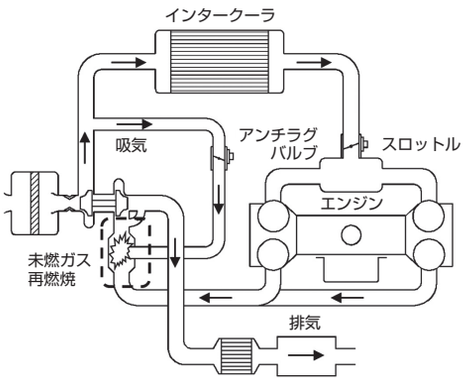


図 54　アンチラグシステムの構成図

図 55　アンチラグ燃焼室 断面図

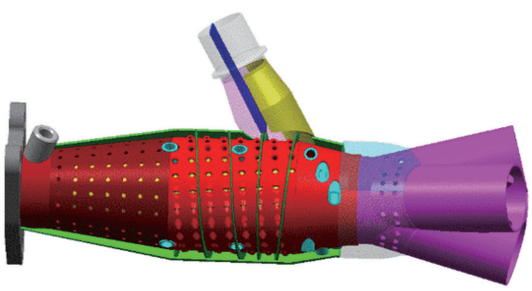


図 56　アンチラグ燃焼器

5.2　NBR24時間レースへのチャレンジ 2008～

NBR24時間レースは、ドイツのニュルブルクリンクの一周25.378 kmのコースを舞台に、24時間でどれだけ長い距離を走れるかを競うレースである。SUBARUは、NBRとのつながりが強く、初代インプレッサ発売直後の1992年以来、世界中のあらゆる道の厳しい要素を凝縮していると言われているNBRで量産車両の開発テストを続けてきた。モータースポーツでの本格的なNBRチャレンジは、2008年のNBR24時間レースから出場し12年間の参戦で6度のクラス優勝と高い完走率を果たしている。

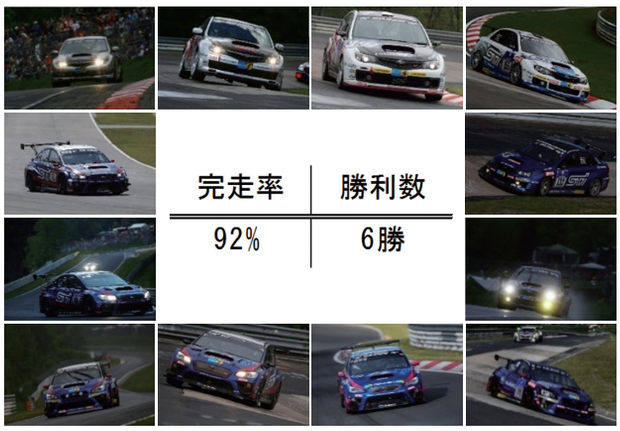


図 57　NBR24 時間レースにおける SUBARU の戦歴

5.2.1　NBRエンジンについて

NBRのコースは、世界最長のコースとバックストレート、高低差300 mと普通のサーキットとは違った過酷さがあり、「エンジン出力向上」、「24時間に耐える耐久性」、「レース燃費向上」と3つの要素のバランスを取る必要がある。NBR用エンジンは、量産WRX STIやSTI特別仕様車 Sシリーズ及び tsシリーズのEJ20をベースにピストン、コンロッド、インテークマニホールド、ターボチャージャ、排気系等を変更し、量産エンジンの良さを生かしつつ耐久及び性能向上に必要な最小限の改良を施して参戦を続けている。

図 58　NBR24時間レース用 EJ20型ターボエンジン

5.3　SUPER GT300へのエンジン供給 1997～

SUPER GTシリーズ（以下SGT）は、国内最大規模の観客動員数を誇るモータースポーツシリーズであり、クラス毎にドライバータイトルとチームタイトルをかけ国内外のサーキット全8戦で争われる。SUBARUは1997年以降、SGT300クラスに一貫してEJ20型エンジンを供給し続けている。

表2　SUPER GT 参戦チーム 車両

シリーズ	参戦チーム	参戦車両
1997～2008	CUSCO RACING	インプレッサ
2009～2011	R&D SPORT	LEGACY B4
2012～	R&D SPORT	SUBARU BRZ

図 59　SGT参戦車両

5.3.1　SGT用エンジンの進化

1996年からWRCエンジンをベースにSGT300用エンジンの開発を行い、97年からCUSCOインプレッサに供給を開始した。開発当初は、WRCエンジンと変わらない仕様であったが、サーキットとラリーとの性能要件の違いが大きく、改良が進むにつれて低回転高トルク型エンジンから高回転高出力型エンジンへ進化した。

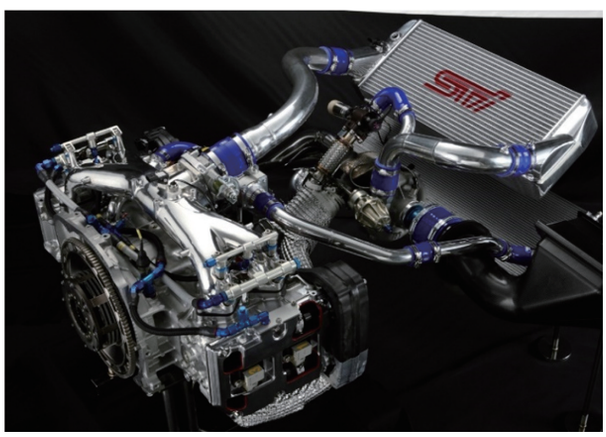


図 60　SGT 用 EJ20 型エンジン

5.3.2　高流量ターボチャージャ

SGT300クラスは、EJ20を供給し始めた1997年から現在までルール変更が重ねられ、参加車両の高出力化が進められてきた。参戦当初は、360馬力相当の出力であったが、2010年以降のFIA-GT3車両の参入に合わせて、性能の拮抗を狙いとして毎年約10馬力性能向上が進められ、近年では500馬力相当の出力に近づいてきている。このEJ20の高出力化に向けては、IHI社と共同でWRC用に開発したターボチャージャをベースにSGT用コンプレッサブレード及びタービンブレード、ハウジング等の開発を続け、SGT専用ターボとして供給を続けている。

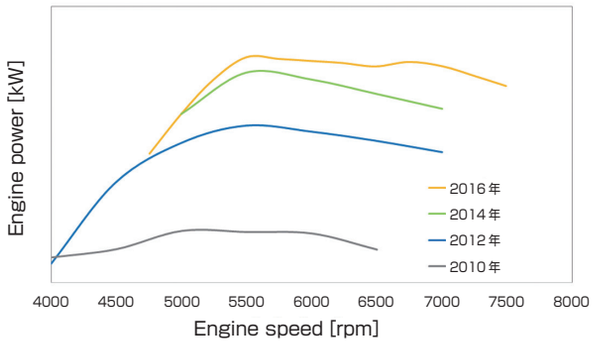


図 61　ターボチャージャ大型化の変遷

図 62　コンプレッサハウジングの変遷

5.3.3　ドライサンプシステム

SGT300は、車両重量、エンジン出力、排気量、空力特性の違う車両が、BOP（バランスオブパフォーマンス）という独自の性能調整により各車両の競争力のバランスを保っている。現在SGT300に参戦するBRZは、水平対向エンジンの優位性であるエンジン全高を限界まで下げることができるドライサンプシステムを導入し、エンジンクランク中心を地上面から約250 mmの高さに搭載すると共にヘッド上面高さを約350 mmにすることで低重心を図り車両トータルの競争力を高めている。

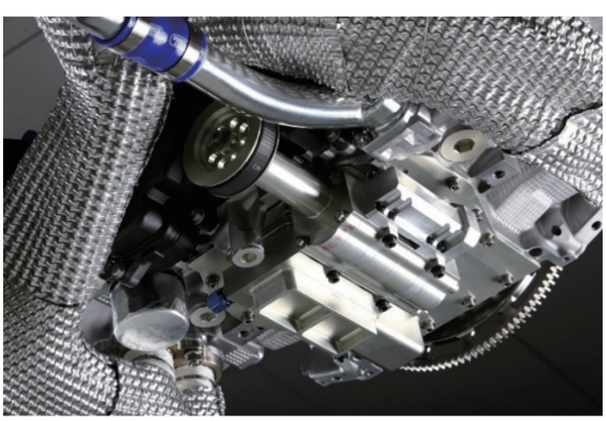


図 63　ドライサンプシステム スカベンジポンプ

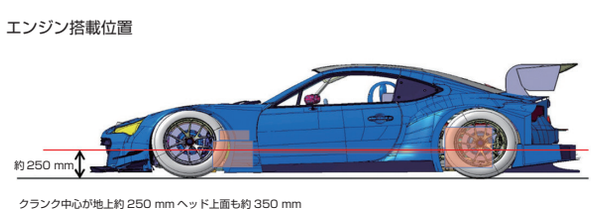


図 64　SGT 車両 クランク軸中心位置

6. あとがき

1989年の初代レガシィから2019年のWRX STI EJ20 Final Editionまで約30年にわたり延べ何百人もの開発エンジニアによってEJ20型エンジンは育てられてきた。CADやCAE、デジタルツールがない時代に設定された、まさに「奇跡」と言えるベースディメンジョンであったかもしれないが、EJ20型エンジンに携わったすべてのエンジニアの熱い想いが成し遂げた偉業である。多くのSUBARUファンに支えられ、モータースポーツの世界での感動を残してきたEJ20型エンジンは、時代とともに量産モデルとしては去り行くことになったが、このエンジンが成し遂げた偉業はSUBARUにとって大きな財産となったと共に、永遠に残り続ける。

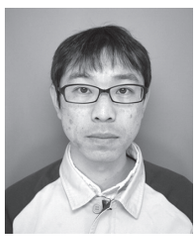
人が地球上でこれから何百年、何千年も今と変わらぬ安定した生活を営むためには、地球環境の保全に努め、あらゆるものと共存していかなくてはならない。自動車産業も大きな改革が求められていく時代となった。その中においても、SUBARUは究極の「安心と愉しさ」を追求し、全世界の人々に豊かな人生をお届けするべく、これからも挑戦し続けていく。

参考文献

(1) 自技会シンポジウムテキストNo.9703
「レガシィ用2.0 L 280 PSターボエンジンの開発
行木 稔, 東宮 真左人, 中山 淳一」
(2) スバル技報第24号1997年版
「電気式制御マフラの開発　稲森 潤」

【著　者】

関　竜達


吉田　直樹

岩崎　直彦

土岐　文二

古田　貴幸

嶋村　誠

「SUBARU 技術ミーティング」を開催

2020年1月20日

2020年1月20日、報道関係者等を対象に「SUBARU 技術ミーティング」を開催しました。

SUBARUは、独自の水平対向エンジンをはじめ、AWD（全輪駆動）、優れた走行性能や安全性能、高度運転支援システム「アイサイト」や環境対応技術など、これまでにSUBARUが生み出してきた多様なコア技術をさらに進化させることで、新しい時代においても、「SUBARUらしさ」を際立たせ、お客様に「安心と愉しさ」を提供し続けます。
今回のイベントでは、その具体的な技術開発の取り組み状況を示しました。

社長の中村知美は、「100年に一度と言われる変革の時代においても、SUBARUが長年培ってきたクルマづくりに対する姿勢は変わりません。私たちは、その『SUBARUらしさ』をさらに磨き、お客様にとってSUBARUが“Different”な存在となることを目指します。同時に、地球環境保護をはじめとする社会的責任を果たすため、SUBARUは個性と技術革新によって、脱炭素社会の実現に貢献していきます」と語りました。
自動車と航空宇宙事業を柱とするSUBARUは、『大地と空と自然』を事業フィールドと位置付け、そのフィールドが広がる地球の環境保護こそが、社会とSUBARUの未来への持続性を可能とする最重要テーマとして考え、すべての企業活動において取り組んでいます。

特許紹介

SUBARU Patent Review

最近登録になった特許の中から代表的なものを紹介する。

車両の走行制御システム

【特許番号】特許第6535482号
【発明者】秋山　　哲／松野　浩二／江副　志郎／
長瀬　貴之／白石　英一／小山　　哉／
溝口　雅人／鷹左右　康／堀口　陽宣

本発明は、自動運転や運転支援装置等において、ドライバー（運転者）が操作介入する際（オーバーライド）、システムの状態を、自動運転の状態から、ドライバーが操作する手動運転の状態へ、滑らかにかつ適切に切り替えることが出来る車両の走行制御システムを実現するものである。

【発明の背景】

一般に、自動運転中においてドライバーの操作が介入する場合は、ドライバーの意思により自動運転に抗して操作する場合であり、その目的は大きく2つある。1つは、自動運転を継続しながらも僅かに運転経路を変えることを目的とする操作であり、側道の停止車両との間隔を開けて走行する場合などである（**図1**）。その際は、ドライバー操作介入後に速やかに自動運転に戻ることが必要となる。2つ目は、自動運転を完全に解除してドライバー操作（手動運転）に切替える時であり、不意の割り込み車両を緊急に回避する場合などである。また、自動運転の制御とドライバーの操作は互いに干渉し合う関係となるため、制御状態の切り変えは、滑らかにかつ違和感無く、上述の2つの目的に適う制御システムの実現が課題と考えていた。

【発明の概要】

この課題を解決するために、ドライバー操作介入時の走行制御システムの運転モードを次の2段階に設ける制御を発明した。自動運転とドライバー操作（手動運転）との協調制御を行う第1の運転モードと自動運転を休止して手動運転を許容する第2の運転モードを設け、そのいずれのモードに移行するかを判定するオーバーライド判定部、運転モードを切り換える運転モード切換部を備え、自動運転中の複数の操舵状態量（操作力、操作速度、操作加速度、操作量、等）とその判定閾値とを比較し、自動運転の状態から第1、又は第2の運転モードへと切り換える（**図2**）。また、オーバーライドの判定閾値を車速変化や旋回状態（直進走行か旋回走行）などの走行環境条件に応じて可変させることや、第1の運転モードにおける自動運転の制御ゲインを手動運転が優先される設定にする、あるいは、制御ゲインを複数段階に設定する等により、運転モードの切り替えを滑らかにかつ適切に違和感なく行うことが実現できる。

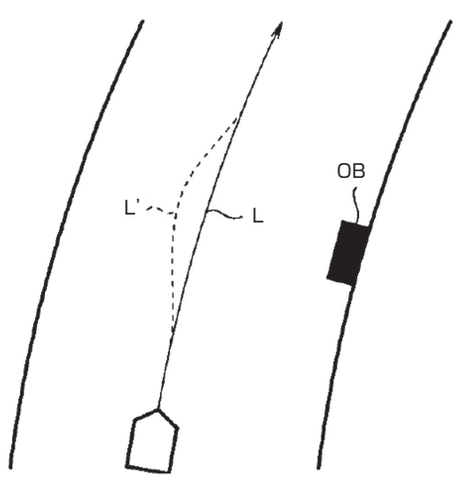


図1

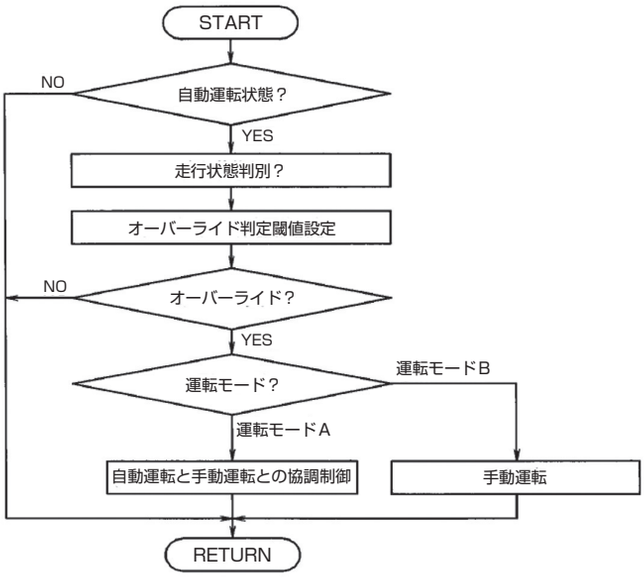


図2

【発 明 者】

秋山　　哲

松野　浩二

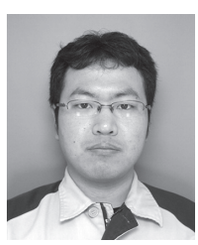
江副　志郎

長瀬　貴之

白石　英一

小山　　哉

溝口　雅人


鷹左右　康

堀口　陽宣

要因分析装置および要因分析方法

【特許番号】特許第6545940号
【発明者】鳥居　武史

本発明は、車両の事故発生要因について、環境要因かドライバ要因であるかを高精度に推定することで、ドライバへの警告等を適切に行う要因分析装置および要因分析方法を提供するものである。

【発明の背景】

安全な車両走行を行うためにドライバを支援するためのシステムが提案されている。例えば、同じような運転傾向のある他のドライバが過去に起こした事故情報に基づき、ドライバに危険箇所を通知するシステムや、過去の事故発生時の走行条件が現在の走行条件に一致する状況において、過去に発生した事故情報をドライバに通知するシステム等がある。これらのシステムでは、生体特徴に基づくドライバ属性や事故発生位置の状況によって事故情報を提供することや、車外の環境やドライバ状態を加味して事故原因を解析することが行われている。

しかし、事故原因が車外の環境に起因するものかドライバに起因するものかを特定することはなされていない。

【発明の概要】

この課題を解決するために、本発明では、車両から送信された車両情報と、過去に発生した事故・ヒヤリハットについて蓄積された車両情報とを比較して、共通点を特定する。特定した共通点に基づいて、当該車両に発生した事故・ヒヤリハットの要因が環境要因であるか、ドライバ要因であるか否かを推定し、推定結果に基づいて当該車両の事故・ヒヤリハットの主要因を決定する。

図１に発生要因を推定する処理を示すフローチャート、図２にシステムの概略構成を示す。

当該車両から送信された車両情報と、当該車両で発生した事故・ヒヤリハットの発生位置と同一位置で発生した過去の車両情報との共通点を特定することも考えられる。また、環境要因の推定では、当該車両の車両情報および過去の車両情報について、予め設定された事故・ヒヤリハットの環境要因により発生したか否かを判定してもよい。当該車両の車両情報および過去の車両情報がともに満たした共通の項目がない場合、急な環境要因に基づくものと判定することも考えられる。なお、環境要因をドライバ要因より優先して主要因として決定することも考えられる。

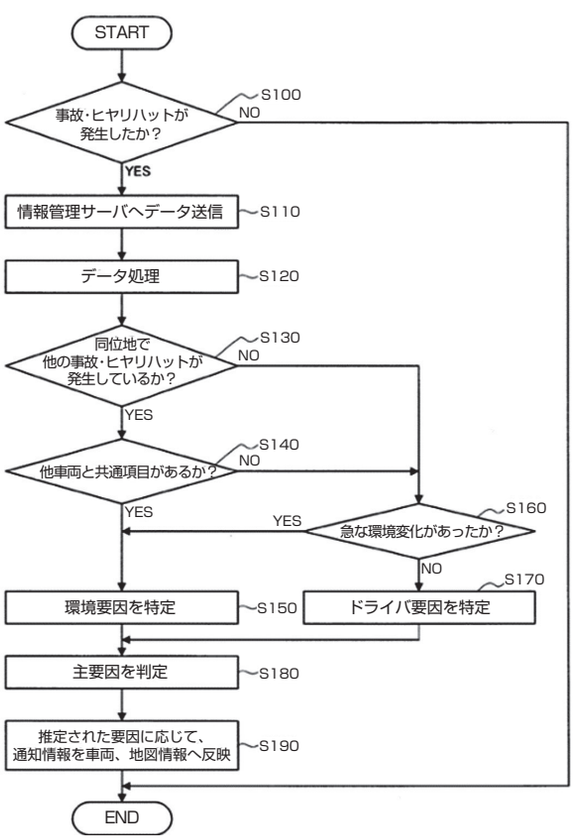


図１

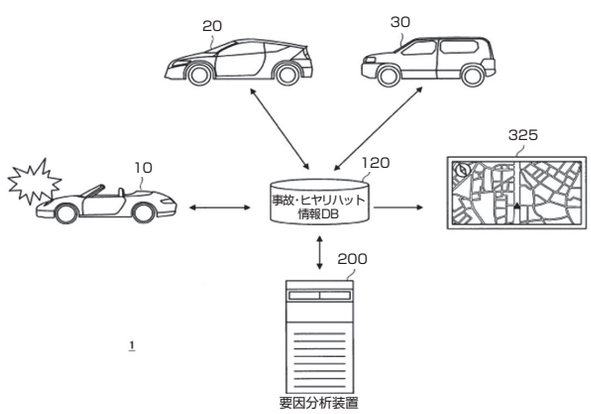
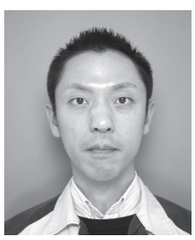


図２

【発 明 者】



鳥居　武史

車両用画像表示装置

【特許番号】特許第6465318号
【発明者】山崎 研太郎／鈴木　　男／木下　　真／
山住　　暢

本発明は、車両から歩行者等に対し情報提供するために路面に画像表示を行う際に、同様の機能を持つ車両が同時に画像を表示することで、対象となる歩行者に誤った認識を抱かせることなく適切に情報提供可能な画像表示装置を実現するものである。

【発明の背景】

ヘッドランプ配光制御技術の進化に伴い、路面上に図形等を描画する装置が検討されている。

歩行者等に向けて情報を報知することで、横断歩道等の安全な通行を実現することが可能となる。

しかしながら、他車両にも同様な機能が搭載されている場合、他車両から異なる情報が表示されてしまう可能性がある。それにより、情報提供対象者に誤った認識を抱かせてしまい、事故を誘発する懸念がある。

情報提供対象者が安全に通行することができるように、情報の優先度を判断し、選択的に表示できるようにすることが必要である。

【発明の概要】

この課題を解決するために、本発明では、画像を路面に表示する照射部に加えて、他車両の表示画像と周辺の報知対象者を検出する検出部と、自車両と他車両の画像の優先度を評価する評価部と、評価結果に基づいて路面への表示様態を決定する決定部を備えたことを特徴とする。

具体的な実施形態を以下に示す。

図1(a)は横断歩道の無い交差点において、自車両が先行する他車両を追い抜こうとしている。交差点付近で歩行者を検知したが、横断歩道が無いことと、自車両速度と歩行者との位置関係から横断は危険と判断し、「横断禁止」を表示する準備をしていた。しかし、先行する他車両が「横断可能」を表示していることを検知した。

図1(b)では他車両の表示より優先度を高くするために「横断禁止」表示を通常より強調した表示様態で表示し、歩行者に注意を喚起することで車道への侵入を防止している。

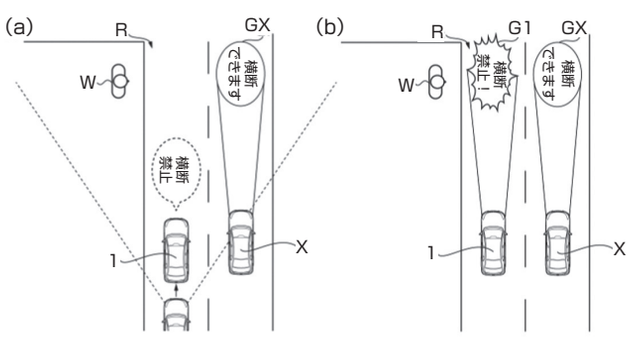


図1

【発 明 者】

山崎 研太郎

鈴木　　男

木下　　真

山住　　暢

車両の視線誘導装置

【特許番号】特許第6518497号
【発明者】長澤　勇／浅井　恵二

自分の意のままにクルマを操縦できた時、クルマの気持ちよさを再認識することができる。運転を支援する装置が次々に開発されている中で、安全のために運転行動の規制を促すと共に、クルマと運転手が一体感を得られる制御の充実について検討を深めた。

【発明の背景】

クルマの運転は、走行環境に対して瞬時に認知、判断し操作が求められる。中でも進行方向を判断する作業は注意力を要し、経験の浅い運転者は短時間の運転でも疲れを感じる場合がある。

一例として、進行方向判断に有効な視覚情報の運転者に対する提示角度と車両ふらつきの関係を示す(図1※1)。

この結果より、情報の提供位置を制御することで、微操舵などの低減で疲労軽減が期待できる。

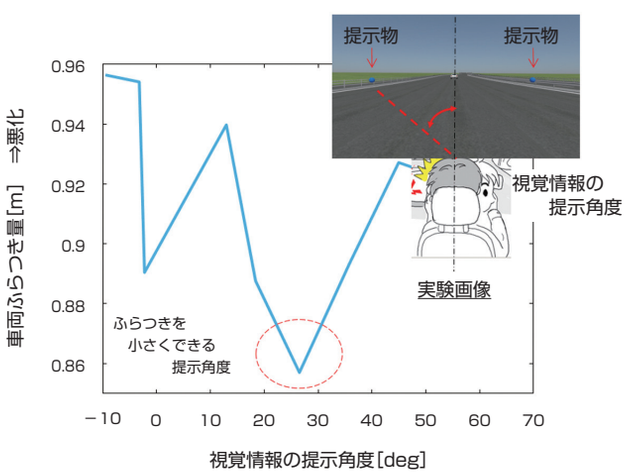


図1　提示角度と車両位置の関係　実験結果

※1 Akira Utsumi ATR Intelligent Robotics and Communication Labs. :
Effect of On-Road Virtual Visual References on Vehicle Control Stability of Wide/Narrow FOV Drivers
AutomotiveUI'19 Adjunct, September 21-25, 2019, Utrecht, Netherlands

【発明の概要】

フロントガラスなどへの表示部材と風景情報を取得する部分、及び予想進路表示を有す。これにより運転手は、表示された走行基準マークを車両の予想進路と重ねて見る事が可能になる。運転手の視線は、走行基準マークによる強調表示された予想進路に誘導され、クルマの安定走行を促すことができる。

また、乗員が視線を動かした後でも、速やかに所望の予想進路の方向へ視線を戻す事ができ、予想進路を探す必要がないことから、視野全体に注意を払うことが可能となる。

上記の目線安定の効果で、運転手の予想進路ズレから解放され疲労軽減の一助となる。

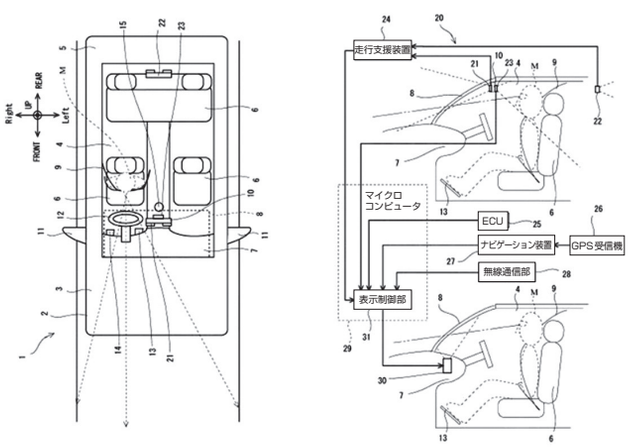


図2　システム概要図

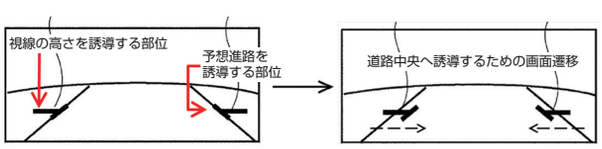


図3　走行基準マーク機能と画面遷移　代表例

【発 明 者】

長澤　　勇

浅井　恵二

ハイブリッド車両の駆動装置

【特許番号】特許第6530618号
【発明者】沖　　尚悟

本発明は、2モータ式プラグインハイブリッドシステムに、リバース(R)レンジでエンジン軸を停止させる機構を追加し、発電用モータMG1(120)の駆動力を車輪(160,170)に伝え、リバース駆動力を向上させる駆動装置の提案である(**図1**)。

【発明の背景】

同システムではエンジン、車輪、MG1が動力分割機構(140)を介して直結しているため、MG1の駆動力を車輪に伝達するにはエンジン軸の固定が必要。一方、エンジン軸を固定するとエンジン～MG1間で発電できなくなる。そのため、エンジン軸の停止／可動を任意に選択したい。さらには、エンジン軸の停止手段として、油圧クラッチ等を採用すると、コントロールバルブ含め構造が複雑かつ大型となる。

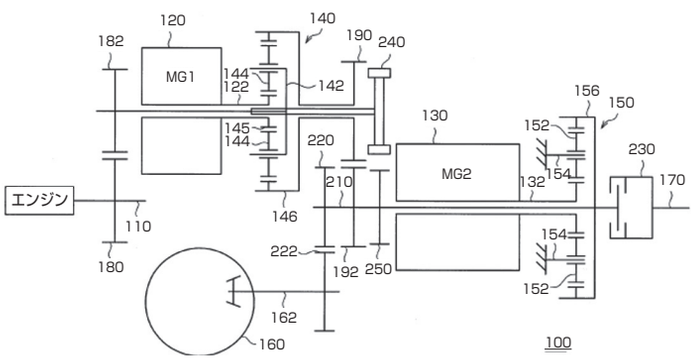


図1　スケルトン

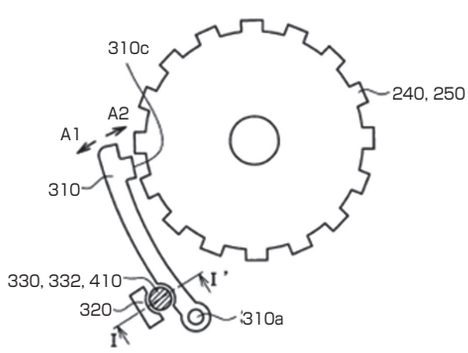


図2　パーキング機構

【発明の概要】

本発明では、前述の課題解決のため、ベースユニットの構造を活かし、**図2**のパーキング機構のロッド(410)上に、Rレンジで作動するロック機構を追加。

Pレンジではパーキングギヤ(250)を固定し車輪(160,170)を固定。一方、Rレンジではエンジンロックギヤ(240)を固定しエンジン軸を固定(**図3**)。

また、パーキング機構の作動装置としてシフトバイワイヤ機構を採用し、**表1**の制御シーケンスを実装することで、任意にエンジン軸の固定／可動を実現。

以上により、電源枯渇時の発電対応の機能は保ちつつ、リバース駆動力向上を実現する。

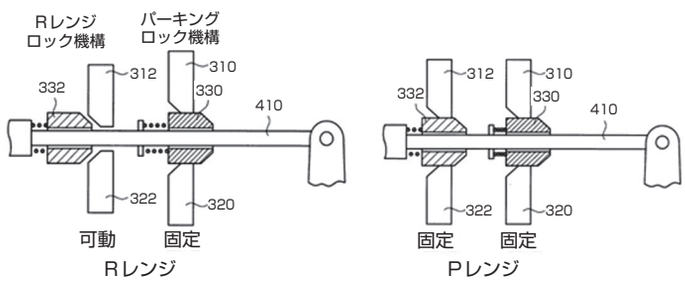
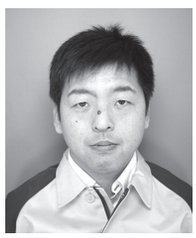


図3　各レンジ動作

表1　制御シーケンス

レンジ シフトレバー上	バッテリ 残量	レンジ トランスミッション内	発電
P	有り	P	不可
	無し	N	可
R	有り	R	不可
	無し	N	可
N	有り	N	可
	無し		可
D	有り	D	可
	無し		可

【発 明 者】



沖　　尚悟

オイルポンプの吐出切替装置

【特許番号】特許第6491007号
【発明者】石井　優作

本発明は、車両用の自動変速機の作動に用いる切替装置(2つの吐出口を備えた可変容量オイルポンプにおいて吐出されるオイルの吐出先を切り替える装置)の構造を工夫することで、部分吐出状態の運転領域を拡大して、オイルポンプの負荷を低減し、燃費性能の向上を提案するものである。

【発明の背景】

一般的な自動変速機は、オイルポンプから吐出される高圧の作動油を調圧して使用することで変速等を行っている。車両燃費向上の観点から、オイルポンプの負荷軽減が求められており、これらを実現するために、自動変速機に2つの吐出口を備えたオイルポンプを配置し、運転条件に応じて、全吐出状態、部分吐出状態を使い分けることでオイルポンプの負荷軽減をはかっている。

従来機種は吐出状態の切り替えを電子制御によって弁の切り替えを行っているが、切り替えの動作点は製造ばらつきをはじめとしたワーストケースを考慮してマージンを持った設定としているため、部分吐出状態の使用領域は限定され、オイルポンプの負荷低減効果を十分に得ることができていないおそれがある。

【発明の概要】

この課題を解決するために、本発明では、オイルポンプ(10)の第2吐出口(107A)から吐出されたオイルの吐出先を高圧油路(70A)、吸入油路(80B)へ切り替える切替弁(1)を、実際の高圧油路圧(実ライン圧)と、そのライン圧の調圧に用いる制御圧(91)(制御圧)の押圧差によって作動させる構造としている(**図1**)。

実ライン圧が十分に高い場合は、第2吐出口から吐出されたオイルは吸入油路へ切り替えられ、部分吐出運転状態で運転される。また、高負荷等の自動変速機の消費流量が多い状況下において、実ライン圧が目標圧に対し低くなった場合、第2吐出口から吐出されたオイルは高圧油路へ切り替えられ、全吐出運転状態で運転される。これらの作用により、制御によるマージンをもった切り替えを必要とせず、部分吐出状態の使用領域の拡大がはかれ、オイルポンプの負荷低減効果を得られる。

また、上記の構造に加え、スイッチ弁(50)制御による運転状態の固定が可能な構造とすることで、高い応答性が求められるスポーツ走行にも対応でき、燃費性能との両立を実現する。

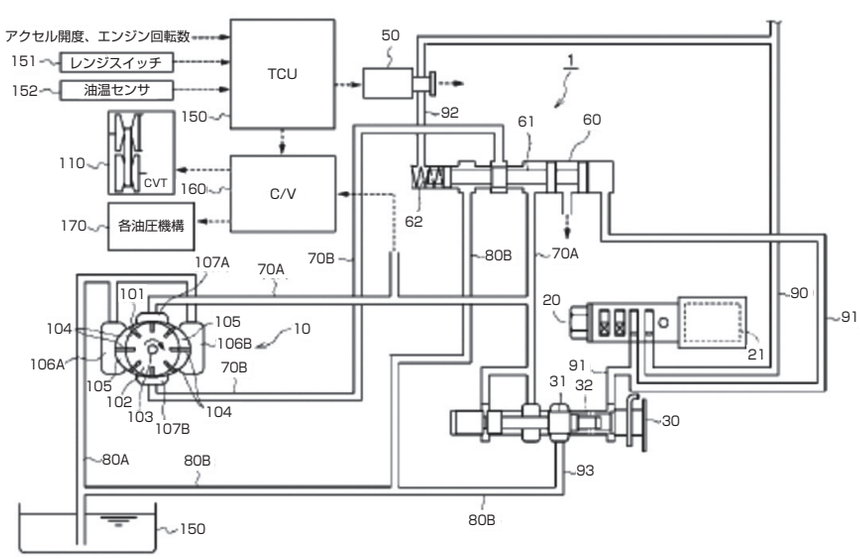


図1

【発 明 者】

石井　優作

飛行経路作成装置、飛行経路作成方法及び飛行経路作成プログラム

【特許番号】特許第6463185号
【発明者】熊本　貴弘

本発明は、航空機の飛行経路を作成する方法を工夫して、簡便で適切な経路を作成できる装置、方法およびプログラムを提供するものである。

【発明の背景】

一般に航空機の飛行経路は、機体の性能、法令・規則、運航の都合等を考慮して作成する。よく使われる方法に、ウェイポイント（WP）と呼ばれる経由地点の三次元座標を配置・列挙するものがある。しかし、WPを適切に配置・列挙するには検証に手間とコストが必要で、特に無人航空機は有人機で確立された経路が流用できないため、この問題の解決が望まれていた。

例えば、航空機の上昇経路は、残りの燃料重量やその高度で発揮できるエンジン性能等によって勾配の限界が決まるため、次のWPが近すぎると所望の高度に到達できなくなる恐れがある。このため、従来は性能計算を行う等して飛行の可否を検証していた。

また、法令等により飛行が不可能な領域、燃費の都合等で飛行を制限したい領域がある。WPで飛行経路を作成する場合、経路の途中でそれらの領域に入っていないかを逐一検証する必要があった（図1）。

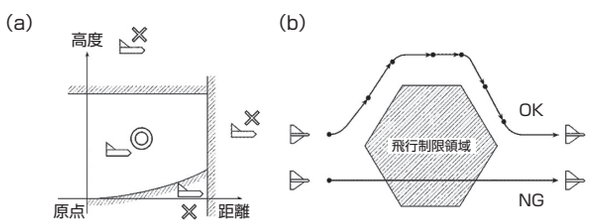


図1　飛行不可能／制限領域のイメージ

【発明の概要】

この課題を解決するため、本発明では航空機の性能を考慮した経路パーツを使用する方法を提案する。

経路パーツは、航空機の性能に応じて二つのWPの間に必要な距離や、旋回に必要な半径等を予め定義したものである。ユーザーが経路の種類を選択し（図2のB）、経路パーツの入口の高度や速度、旋回後の出口方位等を設定すると、必要距離等、性能で決まる値が自動的に設定され（図2のL2）、画面に出口の位置が表示される（図2のP）。ユーザーは各パーツの出口と次のパーツの入口の位置・高度・方位が途切れず連続するように並べるだけで飛行経路を簡便に作成できる。

また、経路作成装置には飛行不可能な領域や制限したい領域を設定できる。飛行経路はWPのような飛び飛びの「点」ではなく経路パーツという連続した「線」で定義されるため、上記領域に進入する不適切な経路を容易に判別できるようになる。

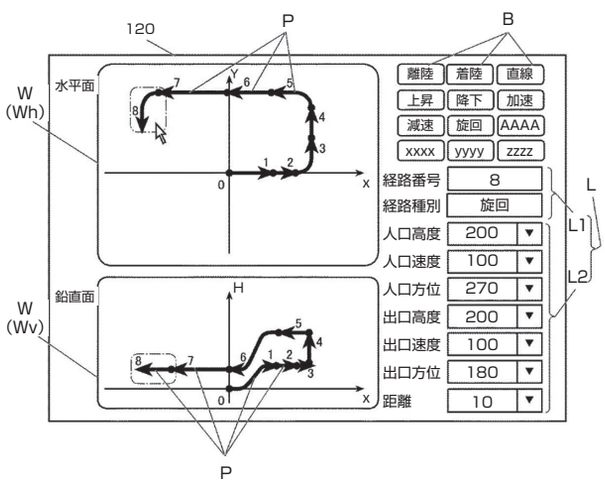


図2　本発明による飛行経路作成のイメージ

【発 明 者】

熊本　貴弘

歩行者保護装置

【特許番号】特許第6577297号
【発明者】深津　佑樹／土崎　彰洋

本発明は、歩行者保護装置（歩行者保護エアバッグ等）の車両停車中（IGN　OFF状態。駐車状態など乗員不在時）における歩行者保護センサ周辺部材の故障を簡易的かつ、暗電流※を抑えて実現するための検知手段を提案するものである

【発明の背景】

歩行者と車両とが交通事故を起こすと、二次衝突が発生することが知られている。この二次衝突とは、所定の速度以上で走行している車両が歩行者に衝突すると、この歩行者が車両バンパに衝突した後、フロントフード上に倒れこみ、フロントガラス等に衝突することである。

二次衝突から歩行者を保護するため、フロントフード上にエアバッグを膨張展開させる歩行者保護装置が存在する。しかしながら、車両に衝撃が作用すると、この衝撃により歩行者衝突を検知する検出装置（歩行者保護センサ及びその周辺部材）が破壊する場合が有る。このような場合、検出装置の交換が必要になるが、特に車両停車中に検出装置が故障したことを運転手が知ることが出来ない問題がある。

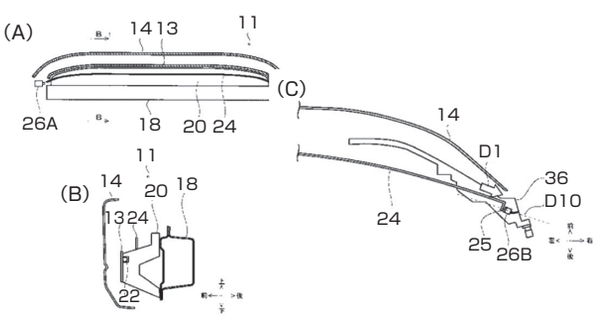


図1

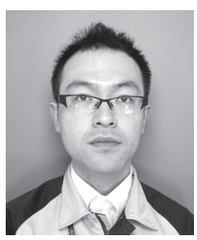
【発明の概要】

この課題を解決するために、バンパ支持部材18（フロントビーム等）と、その前面に配置されたフォーム材20と、フォーム材20の前面に配置された検出チューブ22（歩行者保護センサ）と、車幅方向に沿って配置された変形板材24とを主要に備えてる検出装置において、変形板材24の両端部付近にスイッチ26A、26Bを配置する（図1）。車両停車時に前方から衝撃が作用すると、その衝撃により変形した変形板材24がスイッチ26A、26Bを押圧することで、衝突が検出される。

スイッチ26A、26BはエアバッグECUに接続され、車両停止中（IGN OFF状態。駐車状態など）においても、縦列駐車などで他車両がフロントバンパーに衝突した場合のセンサ周辺構造の破損を検出する事が出来る。また、単純な物理スイッチで監視を行うため、暗電流を最小限に抑える事が可能となり、車両バッテリーあがりなどの懸念に対しても、有効である。

※暗電流：IGN OFF状態に流れる微小電流

【発 明 者】



深津　佑樹

土崎　彰洋

車両の表示システム及び車両の表示システムの制御方法

【特許番号】特許第6470335号
【発明者】佐藤 能英瑠／鳥居　武史／澄川　瑠一

本発明は、歩行者に対してドライバの死角に入っていることを知らせると同時に、ドライバに対して死角に入っている歩行者の方向や位置を知らせる車両の表示システム及び車両の表示システムの制御方法を提案するものである。

【発明の背景】

歩行者は、車両のドライバが自身の位置を把握していると思い込んでいる場合がある。このような場合、歩行者は車両が停止することを前提として、車両に接近して通行しようとする場合がある。しかしながら、歩行者がドライバの死角に入っている場合は、ドライバが歩行者の位置を把握することができないため、歩行者と車両の距離が近くなり、接触してしまう可能性がある。

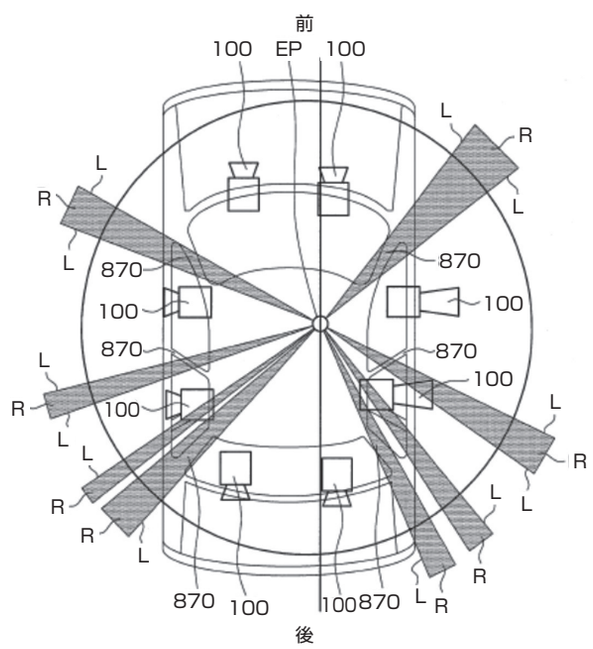


図1

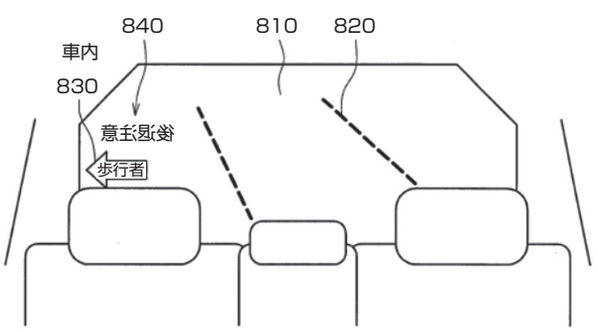


図2

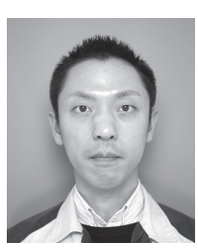
【発明の概要】

本発明は、歩行者がドライバの死角に入っているかを判定し、歩行者が死角に入っている場合は車外向け及び車内向けに注意喚起を促す表示を行なうものである。

具体的には、ドライバセンサからドライバの目の位置を検出し、予め取得しておいた車両データから死角の領域Rを推定する（**図1**）。車外センサ（100）から車両周辺の歩行者の位置を取得し、死角の領域Rに入っているかを判定する。歩行者が死角の領域Rに入っている場合、車外向けに注意喚起を促す表示（840）と車内向けに注意喚起を促す表示（830）を行なう（**図2**）。車外向けの表示（840）は車両が後退しようとしていることを示し、車内向けの表示（830）は死角に入っている歩行者が存在することや歩行者の方向を矢印で示す。表示（820）は車両の後退方向を示すバックガイドである。表示には、車内外から視認可能な実像を映し出す表示装置を用いる。これにより、歩行者は後退する車両の動きに対してより注意を払うことが可能である。また、ドライバは矢印の方向に対してより注意を払うことができ、死角に入っている歩行者を考慮した後退が可能である。

【発 明 者】

佐藤 能英瑠


鳥居　武史

澄川　瑠一

社外発表一覧表（2019.1 ～ 2019.12）

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
2019/1	公益社団法人自動車技術会　CFD技術部門委員会 第5回CFD技術部門委員会「インフォマティクスが拓く新たなCFD技術の可能性」 SUBARUにおける「ライトCAE × AI技術」活用の取組み紹介	湯村　洋典	技術開発部
2019/1	リードエグジビジョンジャパン（株） オートモーティブ ワールド 2019 第9回 クルマの軽量化 技術展 マルチマテリアル動向と今度求められる技術	河合　功介	材料研究部
2019/1	自動車技術会　電気動力技術部門委員会 電動車両技術の最新動向 ― JSAE が考える電気車両技術の近未来 ― 「新型フォレスター e-BOXER HV システムについて」	田中　基之*1 小室　正樹*2	*1 電動ユニット設計部 *2 電動ユニット研究実験部
2019/1	新潟スバル自動車株式会社 新潟スバル販売協力店会　定例総会 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2019/2	日本大学生産工学部　自動車工学リサーチセンター主催 自動車技術に関するCAEフォーラム2019in東京 CAEによる走行時のフルビークル振動予測技術開発について	花輪　和人	CAE部
2019/2	自動車技術会　ガソリン機関部門委員会／ディーゼル機関部門委員会 「新開発エンジン」シンポジウム 新型ハイブリッド用水平対向エンジンの開発	中山　智裕	エンジン性能開発部
2019/2	一般社団法人　日本損害保険協会　北関東支部 & 一般社団法人　群馬県損害保険代理業協会 サポートカ―安全運転フォーラム スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2019/2	リード エグジビション ジャパン株式会社 第30回 設計・製造ソリューション展 専門セミナー： SUBARUにおける車両運動性能モデルベース開発 ～ CAEと試験を組み合わせた実機レスに向けた取組み～	林　　憲孝	車両研究実験第一部
2019/2	リードジャパン主催　3Dバーチャルリアリティ展 （@お台場ビックサイト） 『SUBARUのデザイン戦略と3Dデジタル活用』	石井　　守	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
2019/3	第27回日本人間工学会システム大会： ドライビングシミュレータを用いた運転技術の特徴分類	小原　早織*1 北原　理紗*1 河合　隆史*1 三家　礼子*1 杉山　明子*2 鳥居　武史*2	*1 早稲田大学 *2 技術研究所
2019/3	VDI Wissensforum GmbH 3rd International Conference CVT in automotive Applications（Germany） Methodology for pulley surface abrasion prediction of chain type CVT	蓬田　嘉之*1 石井　優作*2 青木　寛子*2 大川原 翔吾*3	*1 CAE部 *2 トランスミッション性能開発部 *3 トランスミッション設計部
2019/4	日本能率協会主催　デジタルものつくり展 （@幕張メッセ） 『SUBARUのデザイン戦略と3Dデジタル活用』	石井　　守	デザイン部
2019/5	自動車技術会 2019年春季大会 ドライバビリティと燃費・NVHの並立検討のための車体前後振動予測技術の開発	和氣　嵩暁*1 加藤　　望*2 渡辺　　健*3 内川　浩一*1 瀧本　英晴*4 高畑　夏紀*2 青木　寛子*3 篠原　　剛*3 村中　英史*1 直井　利之*1	*1 車両研究実験第一部 *2 エンジン性能開発部 *3 電動駆動性能開発部 *4 パワートレインシステム性能開発部
2019/5	ベルト伝動技術懇話会 2019年度ベルト伝動技術懇話会 講演会 SUBARUにおけるチェーン式CVTの動的挙動把握と性能開発について	青木　寛子*1 蓬田　嘉之*2	*1トランスミッション性能開発部 *2 CAE部
2019/5	2019自動車技術会春季大会 Development for Planetary Gear Noise Improvement of Plug-In Hybrid Transmission	小橋　建斗*1 佐々木 高晴*2 迫田 雄一郎*3	*1 CAE部 *2トランスミッション性能開発部 *3 トランスミッション設計部
2019/5	2019Romaxユーザーカンファレンス SUBARUのギヤ解析におけるRomax適用事例紹介	小橋　建斗	CAE部
2019/5	2019自動車技術会春季大会 Development of mechanism analysis of In-cylinder flow with Machine Learning	横島　靖典*1 Ajinkya Bhave*1 Viswa Adithya Balakrishnan*1 湯村　洋典*2 若本　進児*3 金子　　隆*4 浅野　貴文*4	*1 シーメンス株式会社 *2 技術開発部 *3 エンジン性能開発部 *4 CAE部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2019/6	PolyWorks Conference Japan　2019 プレス・ボディ生産技術における三次元測定の活用事例	工藤　裕二	ボディ生産技術部
2019/6	日本経営工学会　人間・組織研究部門 日本経営工学会　人間・組織＆サービス研究部門 顧客価値を高めるクルマ創りと求められる人材について	岩瀬　　勉	技術研究所
2019/6	ロボティクス・メカトロニクス講演会2019： 強化学習を用いた無人航空機の監視行動に関する研究	板橋　直亮[*1] 椛山　智貴[*1] 河野　　充[*1] 勝本　健史[*1] 菊池　航矢[*2] 星野　智史[*2]	＊1 航空宇宙カンパニー 研究部 ＊2 宇都宮大学
2019/7	WEATHER-Eye コンソーシアム 第2回技術交流会 被雷危険性検知	西　孝裕樹	航空宇宙カンパニー システム設計部
2019/8	株式会社e-Gle主催　未来の自動車社会を見つける会 （@かわさき新産業総合センター） 『SUBARUのユニークなデザイン開発』	石井　　守	デザイン部
2019/8	スバルリビングサービス株式会社 工場見学案内委託業務に対する勉強会 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2019/8	SAE International Powertrains, Fuels & Lubricants Studies on Characteristics of Nanoparticles Generated in a Gasoline Direct-Injection Engine	木谷　泰行[*1] 戸邊　祥太[*1] 小倉　　明[*1] 田畑　邦夫[*2] 高橋　基延[*2] 武田　賢二[*2] 鶴見　和也[*2]	＊1 エンジン性能開発部 ＊2 株式会社堀場製作所 開発本部
2019/9	自動車技術会　生産加工部門委員会 第71回 技術交流会『艤装・組立』 深層学習を用いた異常作業検出の取組み XV-PHEVバッテリー搬送品質保証技術	趙　　鵬[*1] 源間　英紀[*2]	＊1 生産技術管理部 ＊2 車両生産技術部
2019/9	株式会社コベルコ科研 基調講演 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2019/9	DRIVE SMART Virginia 7th Annual（2019）Distracted Driving Summit（USA）： Subaru's Driver Monitoring System（DriverFocusTM）	中村　亮太	電子商品設計部
2019/9	リードエグジビジョンジャパン（株） オートモーティブ ワールド 2019 第2回　名古屋　クルマの軽量化　技術展 マルチマテリアル動向と今度求められる技術	河合　功介	材料研究部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2019/10	公益社団法人自動車技術会 自動車技術会2019年秋季大会 学術講演会講演予稿集： ランダムフォレストを用いた時系列主観データからのヒヤリハット要因抽出	後藤　育郎 高尾　英行 太田　　結	技術研究所
2019/10	自動車技術会 学術講演会 2019年 秋季大会 環境制御型透過電子顕微鏡による雰囲気変動下における Pd粒子の劣化挙動解析	福富　駿祐*1 丹　　功*1 永井　　亮*1 小倉　　明*1 吉田　秀人*2 竹田　精治*2	＊1 エンジン性能開発部 ＊2 大阪大学 産業科学研究所
2019/10	第70回塑性加工連合会 中空ギアの液封鍛造におけるパルスモーションが荷重と歯先充満に及ぼす影響 — パルス液封鍛造法の開発第2報 —	志賀　　良 古川　康之	PU生産技術部
2019/10	公益社団法人 日本自動車技術会 自動車技術会2019年秋季大会 学術講演会： 赤外線サーモグラフィを用いた車体接着部の非破壊検査における鋼板の表面処理・板厚の影響	伊藤　薫平*1 三井 雄二郎*1 飯塚　　隆*1 河合　功介*1 山下藤 拓途*2 深谷　直毅*2 塩澤　大輝*2 阪上　隆英*2	＊1 SBR 材料研究部 ＊2 神戸大学
2019/10	VirtualMotion Inc. 2019 DAFUL Technologh Conference（Korea） Method for performance prediction of chain type CVT by using DAFUL	蓬田　嘉之*1 石井　優作*2 青木　寛子*2 大川原 翔吾*3	＊1 CAE部 ＊2トランスミッション性能開発部 ＊3トランスミッション設計部
2019/10	自動車技術会　秋季大会　学術講演会： 構造用接着剤におけるCAE 破断予測手法に関する研究	自動車技術会接着剤破断予測ワーキンググループ：岩本光宏他11名	CAE部
2019/10	株式会社日本ヴイアイグレイド 2019 VI-grade Japan Users Conference： 台上試験・シミュレーション・シミュレータを活用した実機レス運動性能開発に向けた取り組み	林　　憲孝	車両研究実験第一部
2019/10	公益社団法人自動車技術会 自動車技術会2019年秋季大会　学術講演会： FEM による車外音および高周波車内音予測技術の開発	峯﨑　崇弘 吉川　公利 金﨑　功祐	車両研究実験第一部
2019/10	株式会社コベルコ科研 2019 コベルコ科研 セミナー＆展示会 “ぶつからないクルマ？” スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2019/10	（一社）航空宇宙学会 第57回 飛行機シンポジウム 機体防氷技術について	吉田　剛士	航空宇宙カンパニー研究部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2019/10	日本航空宇宙学会 第57回飛行機シンポジウム 航空機組立における自動穿孔機のドリル異常検知技術の開発	前田　和寿 佐伯　潤也 齊藤　俊介	航空宇宙カンパニー 生産技術部
2019/10	日本航空宇宙学会、日本航空技術学会 第57回飛行機シンポジウム： ロータと固定翼の空力干渉に関する風洞試験	小林　　航*1 林　　大貴*1 佐藤　良亮*2 田辺　安忠*3 小曳　　昇*3 菅原　暎明*4	＊1 航空宇宙カンパニー 回転翼機設計 ＊2 航空宇宙カンパニー 研究部 ＊3 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 航空技術部門 ＊4 株式会社 菱友システムズ
2019/10	日本航空宇宙学会、日本航空技術学会 第57回飛行機シンポジウム： ロータと固定翼の空力干渉に関する風洞試験結果の修正とCFD予測結果との比較	小林　　航*1 林　　大貴*1 佐藤　良亮*2 田辺　安忠*3 小曳　　昇*3 菅原　暎明*4	＊1 航空宇宙カンパニー 回転翼機設計 ＊2 航空宇宙カンパニー 研究部 ＊3 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 航空技術部門 ＊4 株式会社 菱友システムズ
2019/10	Dassault Systèmes SIMULIAシミュレーション・フェスタ 2019 航空機の耐雷対策設計と解析技術	西　孝裕樹	航空宇宙カンパニー システム設計部
2019/10	リードジャパン主催　関西モノつくりワールド展 （@大阪メッセ） 『SUBARUのデザイン戦略と3Dデジタル活用』	石井　　守	デザイン部
2019/11	株式会社SUBARU スバル感謝祭特別企画　プレミアム技術セミナー “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	統合制御統括PGM
2019/11	2019年度 第3回 薄鋼板成形技術研究会 プレス機差低減に向けた取り組み	津久井 祐徳	プレス生産技術部
2019/12	公益社団法人自動車技術会 シンポジウム：No.13-19「ヒューマンファクターの側面から考える 運転自動化技術の未来と課題解決への糸口を探る」 “ぶつからないクルマ？”スバルが生んだアイサイトの秘密	樋渡　　穣	統合制御統括PGM
2019/12	公益社団法人自動車技術会 第9回　CVT・ハイブリッド部門委員会 チェーン式CVTのプーリ表面摩耗予測技術について	蓬田　嘉之*1 石井　優作*2 青木　寛子*2 大川原 翔吾*3	＊1 CAE部 ＊2トランスミッション性能開発部 ＊3トランスミッション設計部

発表時期	会　議　名 「発表タイトル」	講　演　者 （○は代表者）	所　　属
2019/12	自動車技術会　ガソリン機関部門委員会 電動化パワートレインに求められるエンジン技術 「e-BOXER　HVシステムについて」	田中　基之*1 竹内　大和*2	*1 電動ユニット設計部 *2 エンジン制御開発部
2019/12	真鶴会主催　日本カーデザインOB会　（@日野自動車） 『SUBARUのデザイン戦略』	石井　　守	デザイン部
2019/12	WEATHER-Eye コンソーシアム 第4回WEATHER-Eyeオープンフォーラム 被雷危険性検知	西　孝裕樹*1 道本 光一郎*2	*1 航空宇宙カンパニー システム設計部 *2 音羽電機工業(株)

（公社）：公益社団法人、（一社）：一般社団法人　（公財）：公益財団法人、（一財）：一般財団法人

2. 寄　稿

発表時期	寄　稿　先 「発表タイトル」	著　　者	所　　属
2019/2	自動車技術会誌　2019年2月号 技術の窓　バーチャルな時代のモノづくりについて思うこと	江里口　磨	第二技術本部
2019/4	自動車技術 Vol.73, No.4, 2019 自動車用動力伝達技術組合（TRAMI）における機械摩擦・熱研究会機械伝達分科会の取組み	○丸山 圭一*1 白井　智也*2	*1 トランスミッション 設計部 *2（株）本田技術研究所
2019/8	（公社）日本航空技術協会 航空技術 No.778 超撥水塗料の開発	吉田　剛士	航空宇宙カンパニー 研究部
2019/9	自動車技術会 「自動車技術」Vol.73, No.9 2019（2019年9月1日発行） 新型ハイブリッド用水平対向エンジンの開発	中山　智裕	エンジン性能開発部
2019/12	（公社）自動車技術会 会誌『自動車技術』2019年12月号： 標準化活動レポート『要素部会活動の紹介』	大野　　康*1 谷本　　潔*2 上原　尚文*3	*1 技術管理部 *2 ダイハツ工業(株) *3 日産自動車(株)

編 集 後 記

今年度は、史上類を見ないコロナウイルスの感染拡大から始まりました。多くの企業が在宅勤務や自宅待機など感染拡大を防止するための業務形態をとっている中、本号の編集も例外ではなく多くの編集者・執筆者がテレワークでの対応となりました。いまだに出口が見えず医療崩壊の危機が迫る中、連日コロナウイルスと戦っている医療従事者の皆様には感謝の意を表したいと思います。本号が発行される頃には、終息の兆しが表れていることを祈るばかりです。

第47号について、自動車部門からは今年度新しく生まれ変わる新型LEVORGを紹介し、安全性能、環境性能、デザインなど幅広い分野の記事を集めました。また航空宇宙カンパニーからも、技術開発の成果を分かりやすくまとめた記事をお送りします。その他にもデザイン、生産技術、技術伝承といったSUBARUの多岐にわたる技術開発の内容をお伝えすることで、読者の方により深くSUBARUを知っていただければ幸甚です。

最後に本号の発刊にあたり、業務多忙な中、ご協力いただきました執筆者の皆様と、編集にご尽力いただいた関係各位に御礼申し上げると共に、これからもSUBARUの技術力をお伝えするべく日々邁進していきます。（中山）

SUBARU技報編集委員会構成表

委員長：佐瀬　秀幸　技術開発部
委　員：嶋村　　誠　商品企画本部
中島　宏晃　商品企画本部
大関　　透　デザイン部
角田　　隆　技術開発部
塚田　剛久　車体設計部
山崎 研太郎　外装設計部
宇津木 芳明　シャシー設計部
大家　敏宏　内装設計部
齊藤　広隆　電子商品設計部
野本　大志　電子プラットフォーム設計部
保科　雅俊　先進安全設計部
沖　　修一　材料研究部
林　　憲孝　車両研究実験第一部
小林　正明　車両研究実験第二部
岩上　祥夫　車両研究実験第三部
阿部　幸一　車両研究実験第四部
冨士　　啓　車両研究実験第五部
高橋　　泰　試作部
沈　　建栄　生産技術管理部
沼宮内 恒郎　エンジン設計部
大抜 由起夫　電動駆動設計部
山本　光夫　電動駆動性能開発部
松田　一彦　電動駆動性能開発部
委　員：中山　智裕　エンジン性能開発部
五十嵐 雅敬　電子技術部
長谷川　直　CAE部
藤川　次郎　パワートレイン開発推進PGM
佐伯 波都二　パワートレインシステム性能開発部
荒井　秀之　技術管理部
天笠　義則　技術研究所
荻巣　敏充　航空宇宙カンパニー 研究部
長田　　保　航空宇宙カンパニー 研究部
事務局：鶴田 三紀夫　技術管理部(群馬)
関谷　雄一　技術管理部(東京)
細井 久美子　技術管理部(群馬)
髙見澤　剛　技術管理部(群馬)
木島　　誉　技術管理部(東京)
塩谷　桂大　技術管理部(群馬)
生田 美枝子　技術管理部(群馬)
平瀬　和代　技術管理部(群馬)
中島　宏和　技術管理部(東京)
小杉　富雄　SUBARUテクノ株式会社
正田　　茂　SUBARUテクノ株式会社
丸山　次郎　SUBARUテクノ株式会社
宮澤　則之　SUBARUテクノ株式会社
富岡　淑美　SUBARUテクノ株式会社

SUBARU技報第47号(非売品)

発　　行　2020年10月
発行兼編集人　SUBARU技報編集委員会
発 行 所　株式会社SUBARU技術管理部
群馬県太田市スバル町1-1
電話　0276-26-2411
印　　刷　SUBARUテクノ株式会社
群馬県太田市金山町27-1
電話　0276-26-2626

©2020 SUBARU CORPORATION
禁無断転載

SUBARU