ISSN 0287-5446

いすゞ技報

ISUZU TECHNICAL JOURNAL

135
NOV2023



【特集】
新型エルフ・フォワード

【小特集】
新型ギガ

いすゞ技報　第135号（2023）
目　　次

◇ 巻頭言

- 新型エルフ・フォワードの開発に寄せて …… 平尾　聡 …… 1

◇ 特集　新型エルフ・フォワード

- 新型エルフ・フォワードの開発について …… 佐藤　正伸 ほか …… 3
- 新型エルフ・フォワードの製品概要について …… 増子　智一 ほか …… 6
- 新型エルフ EV の製品概要について …… 甫水　隼 …… 11
- 新型エルフ・フォワードのデザインについて …… 堀澤　信之 ほか …… 14
- 新型エルフのトランスミッション「ISIM」について …… 明石　浩平 ほか …… 22
- 新型エルフ・フォワードのキャブ開発について …… 越智　新太郎 ほか …… 28
- 新型エルフ・フォワードのサスペンション・ステアリング・アクスル・ブレーキについて …… 原田　孝夫 ほか …… 41
- 新型エルフ・フォワードのシャシについて …… 片桐　希 ほか …… 47
- 新型エルフ・フォワードの電子・電装・空調について …… 池谷　光也 ほか …… 56
- 新型エルフの荷台について …… 望月　英正 …… 62
- 新型エルフへの光学解析技術の適用について …… 杉本　康旗 ほか …… 65
- 新型エルフ・フォワードの車両性能実験について …… 三井　幸一郎 ほか …… 71
- 新型エルフ・フォワードの生産技術について …… 金子　司 ほか …… 98
- 新型エルフの車両生産技術について …… 畠田　進佑 ほか …… 106
- 新型 ISIM のアプセッタを活用した中空鍛造工法の確立について …… 宮川　和也 …… 113
- 新型 ISIM 組立時の検査方法について …… 秋山　良平 …… 116
- 新型エルフ EV の電動システム概要について …… 池田　勇太 ほか …… 120
- 新型エルフ・フォワードの先進安全技術について …… 椎貝　竜二 ほか …… 125

◇ 小特集　新型ギガ

- 新型ギガの開発について …… 赤木　三昌 ほか …… 131
- 新型ギガの商品概要について …… 吉田　克暁 ほか …… 135
- 新型ギガの駆動系について …… 錦見　真央 ほか …… 139
- 新型ギガ 6UZ1 エンジン開発について …… 山元　正暁 ほか …… 143
- 新型ギガの先進安全技術について …… 河野　崇 ほか …… 148
- 新型高機能シート開発について …… 井上　彰典 ほか …… 152

◇ 論文・報告

- 商用車テレマティクス「MIMAMORI」全面刷新の紹介 …… 山口　俊光 ほか …… 156
- Optimized Vehicle Representative Input Measurement for Increased Accuracy in Correlation of Exhaust System Displacement Between Vehicle Test and CAE …… Prashant Panneerselvam ほか … 161
- 改良指針検討のための実稼働 TPA によるエンジン騒音寄与分析 …… 山岸　誠弥 ほか …… 168
- 大型商用車用廃熱回収ランキンサイクルに関する研究 …… 相園　斉 ほか …… 175

◇ 解説・講義

- 人とくるまのテクノロジー展 2023 への出展 …… 榊　和彦 …… 182

◇ 特許・実用新案 …… 185

◇ 社外発表（2022年1月～2022年12月） …… 187

◇ いすゞ歴史の一こま（No.33） …… 5, 70, 112, 119, 151, 174, 181

ISUZU Technical Journal No.135 (2023)
– CONTENTS –

◇ Foreword

- For the Development of the New ELF and FORWARD ..... Satoshi Hirao 1

◇ Special Edition for New ELF and FORWARD

- Development of New ELF and FOWARD ..... Masanobu Sato et al. 3
- Outline of New ELF and FORWARD ..... Tomokazu Masuko et al. 6
- Outline of New ELF EV ..... Jun Homizu 11
- Design of the New ELF and FORWARD ..... Nobuyuki Horisawa et al. 14
- Development of Transmission "ISIM" for New ELF ..... Kouhei Akashi et al. 22
- Cab Development for New ELF and FORWARD ..... Shintaro Ochi et al. 28
- Suspension, Steering, Axle, Brake for New ELF and FORWARD ..... Takao Harada et al. 41
- Chassis of New ELF and FORWARD ..... Nozomi Katagiri et al. 47
- Electronics, Electrical Equipment and Air Conditioning of New ELF and FORWARD ..... Mitsuya Iketani et al. 56
- About the Cargo Bed of the New ELF ..... Hidemasa Mochizuki 62
- Application of Optical Analysis Technology to New ELF ..... Kouki Sugimoto et al. 65
- Vehicle Performance Experiments of New ELF and FORWARD ..... Kouichirou Mitsui et al. 71
- Manufacturing Engineering of New ELF and FORWARD ..... Tsukasa Kaneko et al. 98
- About Vehicle Manufacturing Engineering of New ELF ..... Shinsuke Hatakeda et al. 106
- Establishment of Hollow Forging Method Using New ISIM Upsetter ..... Kazuya Miyagawa 113
- Inspection Method of New ISIM ..... Ryohei Akiyama 116
- Overview of the Electric System of New ELF EV ..... Yuuta Ikeda et al. 120
- Advanced Safety Technology for the New ELF and FORWARD ..... Ryuji Shiigai et al. 125

◇ Special Edition for New GIGA

- Outline of New GIGA Development ..... Mitsumasa Akagi et al. 131
- Outline of New GIGA ..... Katsuaki Yoshida et al. 135
- Drivetrain of New GIGA ..... Masao Nishikimi et al. 139
- 6UZ1 Engine Development for New GIGA ..... Masaaki Yamamoto et al. 143
- Advanced Safety Technology for the New GIGA ..... Takashi Kawano et al. 148
- Development of New Multifunction Seat ..... Akinori Inoue et al. 152

◇ Technical Papers and Reports

- Introduction of Full Model Changes of "MIMAMORI" Telematic Services for Commercial Vehicles ..... Toshimitsu Yamaguchi et al. 156
- Optimized Vehicle Representative Input Measurement for Increased Accuracy in Correlation of Exhaust System Displacement Between Vehicle Test and CAE ..... Prashant Panneerselvam et al. 161
- Engine Noise Contribution Analysis by Operational TPA for Improvement Examination ..... Seiya Yamagishi et al. 168
- Study of Waste Heat Recovery Organic Rankine Cycle for Heavy-Duty Commercial Vehicle ..... Hitoshi Aizono et al. 175

◇ Explanation and Lecture

- Automotive Engineering Exposition 2023 Hosted by JSAE ..... Kazuhiko Sakaki 182

◇ Intoroduction of ISUZU Patents 185

◇ Publications and Speeches by ISUZU Engineers(2022) 187

◇ A Frame in ISUZU History(No.33) 5, 70, 112, 119, 151, 174, 181

巻　頭　言

新型エルフ・フォワードの開発に寄せて

開発部門　常務執行役員　平尾　聡
Satoshi Hirao



エルフは1959年、フォワードは1970年に誕生。誕生以来現在の6代目エルフは138ヵ国に、そしてフォワードは5代で115ヵ国にまで展開を広げていき、エルフにおいては累計720万台以上をご愛顧いただいています。

長きにわたり世界中からお客様の小さな声を拾い、「世の中を豊かにする道具」として運ぶに貢献し続け、更に、従前車フルモデルチェンジでは『SEE GLOBAL』をコンセプトに掲げ、世界を見据えたトラックへと進化しました。結果として多くの国でトップシェアの評価いただき、小型トラック・中型トラックのマーケットリーダーの地位を築き上げました。

一方で物流業界を取り巻く環境は大きく変化しています。

地球規模での最重要課題であるカーボンニュートラル（以下、「CN」と略す）化（CO_2に代表される地球温暖化ガスの排出を全体としてゼロにする）に加え、経済活動の血流である物流の整流化と、それらを担うドライバの不足、交通事故の低減など多くの課題を抱えています。

日本国内を例に見ても、CO_2は国内総排出量のうち7.2％が商用車から排出されています。また、日本の物流の約90％をトラックが担う一方、それを支えるドライバの有効求人倍率は全業種の約2倍と高く、直近には物流2024年問題も迫っています。更に積載効率も年々低下の傾向を示すなど、とても深刻な状況となっています。

そして、これらの物流業界を取り巻くさまざまな課題は、今後更に「高度化」「多様化」していくことが容易に想像でき、それらの課題解決への継続的な貢献がいすゞの責任であり、また存在意義だと考えています。

前述のとおり、現在エルフは約138ヵ国、フォワードでは約115ヵ国で多くの車型を展開しています。それぞれの国や地域によりエネルギー事情・法規制・インフラ整備・交通事情も異なります。

また、車両の運行形態や架装物など「運ぶ・働く」車として、その使われ方も千差万別で、経済活動の重要なインフラの一つである商用車では、これらさまざまな使われ方をどれ一つとして犠牲にすることはできません。

今回、エルフは17年振り、フォワードは16年振りのフルモデルチェンジとなりましたが、先に述べたCNをはじめとする物流業界を取り巻くさまざまな課題への対応と、多類・多様な商用車の使われ方をいずれも犠牲にすることなく、持続的に両立可能とするプラットフォームへの刷新が今回の新型車開発の最も重要なコンセプトでした。

詳細の説明は本編の『特集：新型エルフ・フォワード』に譲りますが、世界各国の市場と時代に即し高効率ディーゼル・代替燃料内燃機関・BEV・FCV・ハイブリットなどの動力源や、必要とされるさまざまなコンポーネント・先進装備などを各々選択し、自在に組合せて搭載可能とすることにより、市場の変化に合せてタイムリーに、かつ、必要な商品を提供し続けることが可能となります。

その結果、トラックユーザの誰もがCN化社会への参画者となり、その加速にも貢献できると考えます。

プラットフォームの刷新以外にも最新の社会要請に応えるため、CN・ドライバの労働環境改善・安全技術・コネクテッド技術の4つをテーマに掲げて多くの先進技術も搭載しています。

CN：

当面はまだ物流の主役であろうディーゼルエンジン車でもキャブ骨格から見直した空力性能の改善、新9段AMT（Automated Manual Transmission）の開発などによる大幅な燃費改良を図りました。またBEV（バッテリー式電気自動車：Battery Electric Vehicle）も追加しています。このBEVも今回刷新した新プラットフォームの採用により、用途を制限することなくディーゼル車と同様にさまざまな架装の搭載を可能としています。

ドライバの労働環境改善：

徹底したドライバ目線で開発を行い、キャブの隅々まで見直しました。

誰でも運転しやすく、使いやすい、疲れにくく、安全に運転できる車両としました。標準キャブはドライバの上方・前方・側方クリアランスを大幅に拡大し、ゆとりのあるキャブ空間を目指しました。快適に運転いただくために、アームレストやシートヒーターの採用などドライバの労働環境改善に貢献しています。

安全技術：

事故の抑制から被害軽減まで視野に入れた周辺監視支援システムなどの先進安全装置、並びにドライバをサポートする運転支援機能の拡充を図り、ドライバの疲労軽減にも貢献します。

コネクテッド技術：

物流の効率化と稼働を確実に支えるために、さまざまな情報源とつながることを可能な車両とし、いすゞの情報基盤「GATEX」や他の情報プラットフォームとの連携も図り、さまざまなソリューションを提供できる体制も併せて構築しました。

このように、今回フルモデルチェンジを図った新型エルフ・フォワードは直近から将来に亘り社会課題の解決に貢献可能な、これからの時代にふさわしい「世の中を豊にする道具」に進化したと確信しています。

そして、2023年5月に発表した、新企業理念『地球の運ぶを創造する』の実現に向けて、皆さんと力を合せ、この新型車を更に育てて参る所存です。

最後になりますが、この場をお借りして社内外を問わず本プロジェクトにご協力いただいたすべての方々に心から感謝を申し上げます。

新型エルフ・フォワードの開発について

Development of New ELF and FOWARD

佐藤　正伸*
Masanobu Sato

高松　勇太**
Yuta Takamatsu

押川　智幸*
Tomoyuki Oshikawa

要　旨

いすゞは主力商品である小型トラックエルフを 17 年ぶりに、中型トラックフォワードを 16 年ぶりにそれぞれフルモデルチェンジし、2023 年 3 月に発表した。本稿では、新型エルフ・フォワードの開発の経緯・狙いについて、概要を紹介する。

Abstract

Isuzu introduced its main product New ELF as a full model change after 17 years interval and New FORWARD after 16 years interval. This article introduces the outline of the objectives and development process of the “New ELF and FORWARD”.

1　はじめに

世界の経済発展、及びインターネットの普及に伴い、物流への需要がますます高まっている中、トラックは経済活動と生活のラストワンマイルを支える社会インフラとして非常に重要な役割を担っている。

一方で商用車メーカーは労働力不足を解消する労働環境の改善及び燃料費高騰など、経営上の問題の他に、CN（カーボンニュートラル:Carbon Neutral）、先進安全性などの社会的な要請にも技術で応える必要があり、これがいすゞの「社会的使命」「責務」と認識している（**図 1**）。

いすゞはそのような課題、及び多様な市場の要望に応え、今後タイムリーに最新技術と最新モデルを投入し続けるべく、2020 年代から 2030 年代のナンバーワン商品の開発に向けて、本プロジェクトの企画に取組んだ。

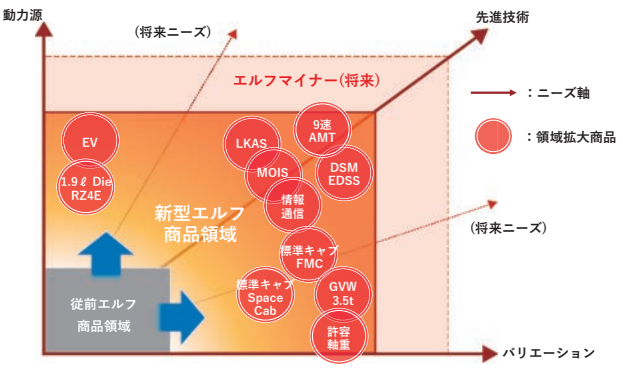


図 1　商品領域の拡大イメージ

2　開発の狙い

急速に変化する社会環境の中で、多様化する市場の要望と最新の技術に対応し続けるためには、今までいすゞが育ててきた CV（商用車:Commercial Vehicle）固有の既存技術を更に進化させるとともに、多様な選択肢が持てるよう技術的なソリューションの幅を拡げる。そして、それらを組合せて展開できるような新たなプラットフォームを構築することが必要だった。本プロジェクトでは、「4 つの視点で技術の確立」とそれらをつなげる「プラットフォームの構築」をコンセプトに開発を行った。

4 つの視点に関しては、次の **2.1 節**～**2.4 節**の目標を掲げ開発を行った（**図 2**）。

2.1 CN

国内のグリーン成長戦略と同様に、世界各国で CN 化に向けた CN 社会を実現する商品を用意することが急務である。お客様の利便性と各国のエネルギー事情・インフラ・規制等を踏まえ、バッテリー EV（電気自動車:Electric Vehicle）・ハイブリッド・代替燃料エンジンといったさまざまな動力源の選択を可能にする。

2.2 安全

「交通事故死傷者ゼロ社会」に向け、将来にわたり安全機能の拡充を進めるとともに、運転支援機能の充実を図り、ドライバの「疲労軽減」にも貢献し、将来の自動運転へもつなげていく。

*小型・中型商品企画・設計部　　** CN 商品企画・設計部

2.3 コネクテッド

コネクテッド技術の向上と、進化する情報基盤を合せ、さまざまなシステムと連携することで、稼動サポート・運行管理・コネクテッドサービス等の「つながるトラックの進化」が、物流の生産性向上、脱 CO_2 化並びに安全への貢献へとつながる。

2.4 ドライバ労働環境

ドライバ不足と労働環境の変化への対応が求められる中、「誰でも運転しやすい」「誰でも使いやすい」ハイホスピタリティな車両を開発する。

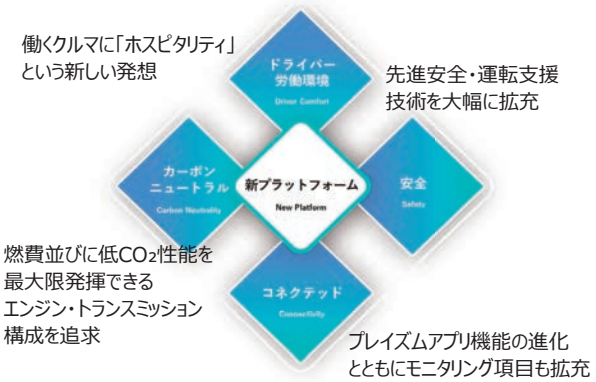


図2　開発コンセプト

3　開発プロセス「I-MACS」

過去から現在まで「世界中のお客様によるトラックの使い方」と、用途及び積荷に合せた架装の形態は、今後も極端に変わるものではないと考える。

そこでいすゞは、更に高度化し多様化する社会ニーズへの対応とお客様の用途を、将来にわたり両立可能とする、新プラットフォームを構築した。

これを可能にしたのが、「将来も見据えたコンポーネントの最適展開」と「組合せ開発」の手法「I-MACS（アイマックス：Isuzu Modular Architecture and Component Standard）」である（**図3**）。この手法に基づいた新プラットフォームに、さまざまな動力源、及び先進技術を搭載することで、エルフ約2,500車型、フォワード約1,500車型のラインナップ展開を可能とし世界中のお客様の多様なニーズに応えた。

本プロジェクトでは、基本プラットフォーム・主要コンポーネント、及びレイアウトそしてバリエーションのルールを体系化し、また各コンポーネントの特性値を定義した。その組合せによる車両性能を予測し、全仕向地仕様をあらかじめ想定した上で、企画段階でレイアウトと性能の作り込みを実施し、組合せ開発のベースを構築、運用を開始した。これにより車型間、及びプラットフォーム間をまたぐ部品共通化を最大限に行うことで、従前プロジェクトでは国内・海外の先進国、新興国各々の仕様を積上げ、レイアウトパターンは増大したが、今回の改良により新興国も含めた一括企画が可能となりレイアウトパターン、及び評価車両製作を大幅に削減した。

今後の商品開発プロジェクトでも、コンポーネントの削減、レイアウト統合と組合せ（部品・車両）効果（開発効率・コスト・生産性等）を継続的に刈取り、効果の分析を実施し、CAPDo（Check Act Plan Do）を回すことで、I-MACSの効果最大化につなげて行く。

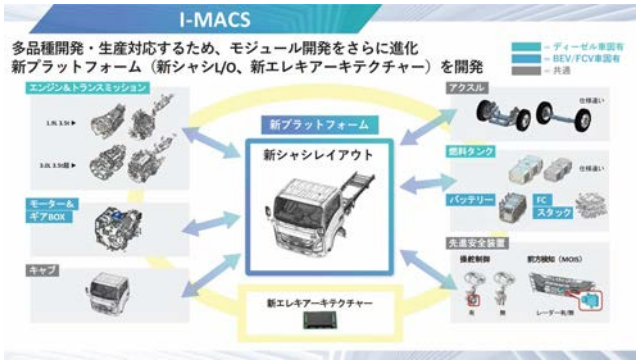


図3　I-MACSに基づいた新プラットフォーム

4　商品概要

開発プロセスに基づいてでき上がった新型エルフ・フォワードの商品概要ついて説明する。

4.1 小型トラック「新型エルフ」

刷新した内外装により、衝突安全性を向上しつつ、斬新でフルモデルチェンジにふさわしいデザインに仕上げた。新9段トランスミッション「ISIM（アイシム：Isuzu Smooth Intelligent TransMission）」の走行性は、AT（Automatic Transmission）同様のスムーズな変速性能を実現し、実燃費を含め従前スムーサー比で大幅な性能向上を果たした。また、快適性・ドライビングポジション・収納性の改良により、疲労軽減と居住環境の改善、更には全車速車間クルーズ（FACC）、レーンキープアシスト（LKA）、及び配光可変型ヘッドランプ（ADB）等の新規装置も自動制御により疲労軽減に大きく寄与し、商品力の大幅な向上を達成した。

4.2 中型トラック「新型フォワード」

キャブ骨格は従前からの流用となるが、エクステリア・インテリアを刷新。ADAS（先進運転支援システム：Advanced Driving Assistant System）フル装備とすることで、より安全かつ運転しやすいトラックに仕上げた。強みの燃費も、空力の改善により更なる優位性

が増し、商品力を高めた。また、ドライビングポジション、及び収納性を改良し、疲労軽減並びに居住環境の改善に寄与しており、市場のニーズに合致した狙いどおりの商品ができた。

4.3 小型 EV トラック「新型エルフ EV」

社会の xEV（電動車:Electric Vehicle）導入期において、いすゞにとって「初」の新型エルフ EV は、xEV と親和性の高い使われ方（都市内の宅配･配送系等）をメインターゲットに設定。基本のプラットフォームをディーゼルエンジン車と共有。EV パワートレーンをセンタードライブ方式として、幅広い車型への展開が可能となり、開発の効率化を行った。新型エルフで得た高い商品性に加え、スムーズな発進加速、高い静粛性といった EV 特有の性能を兼ね備えた商品ができた。

5　おわりに

新型エルフが 2023 年 4 月に量産を迎え、順次エルフ EV、新型フォワードと続き、2024 年以降には海外にも展開していく予定である。

本プロジェクトで開発した新型エルフ・フォワードは、今後のいすゞの「商品開発の基盤」となり、今後は全て新プラットフォームをベースに I-MACS ルールのもと、組合せにより新たな商品を展開していく。

今後とも世界のお客様の利便性を損なうことなく、物流業界を取り巻くさまざまな課題に対応していくために、今回の新型エルフ・フォワードで構築した新プラットフォームにより、「選べる自由」を世界のお客様に提供していく所存である。

最後に、本プロジェクトに関わった、すべての関係者の皆様に感謝を申し上げ結びとしたい。

著　　者


佐藤　正伸


高松　勇太


押川　智幸

◇いすゞ歴史の一こま



初代エルフ（TL 型）　50,000 台ラインオフ　（1963 年ごろ、藤沢工場）

新型エルフ・フォワードの製品概要について

Outline of New ELF and FORWARD

増子　智一*
Tomokazu Masuko

五十嵐　丈人*
Takehito Igarashi

鈴本　勝則*
Katsunori Suzumoto

要　旨

新型エルフ・フォワードは「See Universal」を基本コンセプトとし、ベーシック性能となる安全・経済・環境の全てにおいて商品力向上を目指し開発を行った。

本稿ではその製品概要を紹介する。

Abstract

New ELF and FORWARD base concept of See Universal, development has done with a focus on a safety performance, an economic performance, and an environmental performance. This article introduces the outline of it.

1　まえがき

世界的な温室効果ガス削減への動きとカーボンニュートラルへの関心の高まり、また、国内で高まる安全要望、そしてドライバ不足問題と課題が山積し、また、それらの課題が高度化し複雑に絡み合っている。それらの課題に対し誰でも運転しやすい・使いやすいトラックを開発コンセプトとし、複合的に課題の解決に取組むべく、環境・安全性・経済性の側面からアプローチをして開発を行った。

新型エルフ・フォワードは「運ぶを支える」トラックとして、次の①～④を柱として開発を実施した（**図 1**）。

① ドライバ労働環境
② 安全
③ コネクテッド
④ カーボンニュートラル

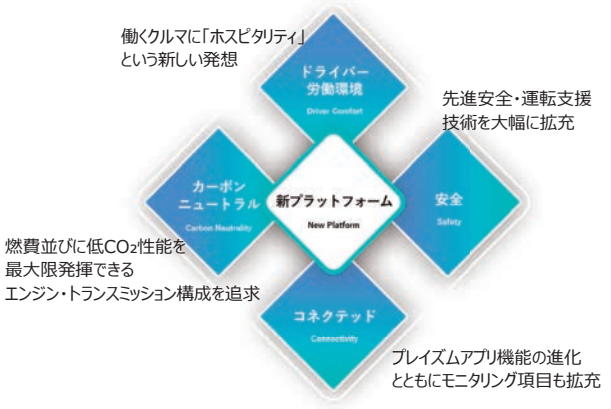


図 1　開発コンセプト

2　開発の狙い（新型エルフ）

トラック業界の抱える高度化し複雑に絡み合った課題に対して総合的な解決を目指す。

特に先進安全は、昨今の市場調査でも益々重要度が増しており、本開発では安全装備の拡充だけでなくキャブのフルモデルチェンジを行い、万が一事故が起きた場合でも、被害を最小限に抑える改良をした。

同時に空気抵抗の大幅改善と、新 9 段 AMT（Automated Manual Transmission）の「ISIM（アイシム：Isuzu Smooth Intelligent TransMission）」を組合せることで更なる省燃費性能を実現。

安全性・経済性・環境に優しいトラック開発を行い「運ぶを支える」車両を目指した。

3　製品展開

3.1　車型・エンジン

- 車型・エンジン展開は従前車を踏襲
- 新型トランスミッション「ISIM」を搭載
- 先進安全装備の拡充（国内小型トラック初搭載含む）
- 4JZ1-TCS／TCH 型ディーゼルエンジン
- 平成 28 年度排出ガス規制
  （PPNLT:Post・Post New Long Term）適合
- 重量車燃費基準（JH15）：全車 +5 % 以上達成
- 重量車燃費基準（JH25）：全車基準達成

3.2　トランスミッション

- MT（Manual Transmission）：型式 MYY（5 段/6 段）搭載
- AMT:「ISIM」新型（9 段）トランスミッション搭載

*小型・中型商品企画・設計部

3.3 先進安全装備

- MOIS（ムービングオフインフォメーションシステム：Moving Off Information System）
  - フロントブラインドスポットモニター
- DSM（ドライバーステータスモニター：Driver Status Monitor）
- EDSS（ドライバー異常時対応システム：Emergency Driving Stop System）
- LKA（レーンキープアシスト：Lane Keeping Assist）
- FACC（全車速車間クルーズ：Full-speed-range Adaptive Cruise Control）
- TPMS（タイヤ空気圧モニタリングシステム：Tire Pressure Monitoring System）

4　商品概要（新型エルフ）

4.1 標準キャブフルモデル

17 年ぶりとなるフルモデルチェンジを実施。

デザイン･安全性能･快適性･省燃費（空気抵抗改善）に拘り開発を行い、これからも世界中で小型トラックをリードするキャブを目指した（**図 2**）。



図 2　標準キャブ外観

4.1.1　デザイン

世界中で長年慣れ親しまれている従前車に対し、「運ぶ」を担うドライバがワクワクと喜びを感じられるデザインを追求し、毎日の仕事道具として、先進性さとタフネスさ、親しみやすさと華やかさを両立。

スムーズで力強い、躍動的なフロントフェイスとLED ランプ、及び各種レーダの先進機能をスタイルに盛込んだキャブデザインとした。

4.1.2　安全性

①　歩行者保護

- フロントパネルのクラッシャブル化
- ウェットワイパ化（外部突起低減）

②　乗員保護（膝前レイアウト（L/O）改善を実施）

- 膝前クリアランス拡大＋ニースプレッダ設定

③　シートベルト最適化

- ベルト L/O を改善して衝突直後の拘束性を向上
- 腰の移動を低減
- 胸の圧迫を緩和

④　キャブ変形量低減

- クラッシュボックスを設定、エネルギー吸収特性を改善

⑤　視認性改善

- A ピラー角度調整及び肉薄化による視認性向上

4.1.3　快適性

- 標準キャブはキャブ骨格を刷新し、居住性を大幅改善
- フロントガラス･タンブルフォームを立てることで、車内空間を拡大
- ヘッドクリアランスを従前車に対して +24 mm として、クラストップの内法高を実現
- A ピラーのレイアウトを見直し、交差点進入時の死角も改善

4.1.4　省燃費（空気抵抗改善）

- 標準キャブはキャブ骨格の刷新に合せ、空力に優れたルーフ形状を実現（**図 3**）
  （空力 Cd 値は 21 型エルフ比で約 -31 % 改善）
  新型トランスミッションと合せ、省燃費に大きく貢献

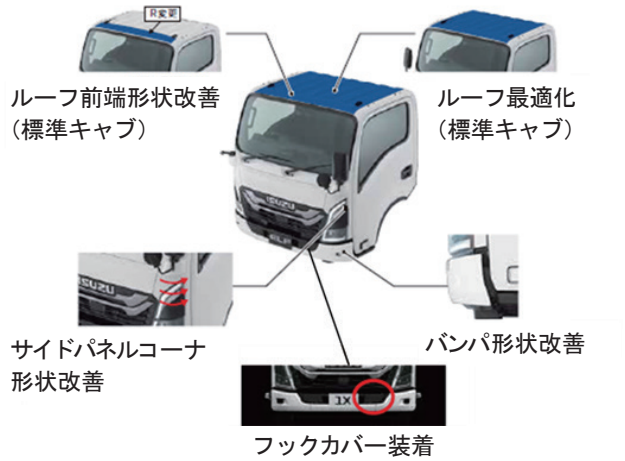


図 3　キャブ変更概要

4.2　先進安全装置

従前車搭載済みのシステムを継続展開し、新たに国内小型トラック初採用となるシステムを搭載（**表 1**）。

従前車に対しセンサを追加搭載し、かつそれらを連携することで先進安全装備の拡充を図った。

表 1　安全装備比較

	21型エルフ	23型エルフ
検知警報	・先行車発進お知らせ ・LDWS ・車間距離警報 ・交差点警報	・MOIS（フロントブラインドスポットモニター） ・DSM(ドライバーステータスモニター)
車両制御		「走る」を制御 ・標識連動型スピードリミッター
	「止まる」を制御 ・プリクラッシュブレーキ誤発信防止	「止まる」を制御 ・EDSS(ドライバ異常時対応システム)
		「曲がる」を制御 ・LKA(レーンキープアシスト)
		「走る」×「止まる」を制御 ・全車速ACC(全車速車間クルーズ)

キャブのフルモデルチェンジで運転しやすく、事故抑制の車両開発と先進安全装置の拡充で、ドライバをサポートし予防安全に貢献する。

4.3 新型トランスミッション

燃費性能向上、及びドライバの疲労軽減に貢献すべく、新型トランスミッション「ISIM」を開発（**図 4**）。

デュアルクラッチ構造の採用により、変速時のトルク抜けを無くし、クロスギヤレシオとの組合せで優れたドライバビリティを発揮。

発進デバイスにはフルードカップリングを採用し、スムーズな発進性能は従前車を踏襲した。

エンジン回転を上げずにスムーズな発進・走行性能、及び走行音の低減等の走行条件と省燃費を両立した、ユーザーに優しいトランスミッションを開発した。

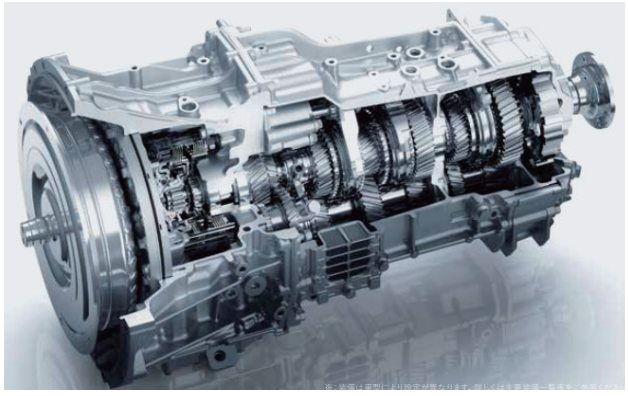


図 4　ISIM 外観

4.4 動力性能･燃費

キャブフルモデルチェンジと新型トランスミッションの搭載で、更なる省燃費を実現。

重量車燃費基準（JH25）を全車達成した（**表 2**）。

表 2　重量車燃費達成状況

JH25					150ps	
燃費カテゴリー	積載量	駆動	T/M		ecostop	
			変速機	段数	有	無
T2	～2t	4x2	MT	5速	+10%	+5%
				6速	+5%	+5%
			ISIM	9速	+15%	+10%
		4x4	MT	5速	+5%	達成
			ISIM	9速	+15%	+10%
T3	～3t	4x2	MT	6速	+10%	+5%
			ISIM	9速	+10%	+5%
		4x4	MT	6速	+5%	達成
			ISIM	9速	+10%	+5%
T4	3t超	4x2	MT	6速	達成	達成
			ISIM	9速	+5%	達成
T5	-	4x2	MT	6速	+5%	+5%
			ISIM	9速	+10%	+10%

5　まとめ（新型エルフ）

新型エルフの開発は、次の時代を担う数多くの高度な先進技術のディーゼルトラックの燃費改良を、小型トラックという限られたスペース内で成立させる難易度の高さがあった。

更には、ドライバ不足･労働環境の改善といった、物流トラック業界の抱える根本的な課題に対しても、車両の骨格･各コンポーネント･装置･部品のレイアウトと構成を見直すことで課題解決の一助となることを目指した。

国内外の市場の声に耳を傾け、良いところは伸ばし、必要な見直しは手を入れ、改善の試行錯誤を繰り返すことで、目標とする性能･品質が達成できた。

6　開発の狙い（新型フォワード）

車両パッケージの考え方として次の①～③を重点管理する項目とした。

① キャブ（エクステリア・インテリア）の刷新：見映え、快適性、及び操作性向上
② 電子プラットフォーム対応：先進装備に備えたエレキアーキテクチャへの見直しと強化
③ シャシ改良：レイアウト・コンポ展開最適化・架装性改善･軽量化･CR（Cost Reduction）

なお、コンポ展開最適化においては日本向け検討時に海外向けレイアウトも踏まえて CAD データによるバーチャル評価を行うなど、実機との「組合せ開発による効率化、仕様展開、及び組合せの容易化」を実現した。



図５　新型フォワード外観

7　商品展開（新型フォワード）

用途に合せて選べるバリエーション、充実した車型･仕様（キャブサイズ・ホイールベース（W/B）展開）はそのままに、お客様のニーズに合せた完成車顧客仕様のラインナップに加え FACC の展開拡大などのオプション展開を加え、フルモデルチェンジにふさわしい商品展開を行った。

商品展開で力を入れた点は ADAS 装備の充実である。

従前車の 14.5 型対応以降、法規対応のみならず、ユーザーの使い勝手に配慮した商品を投入し続け、他社を凌駕する展開ができた。

国内クラス初の装備は TSA（標識認識）、LKA、EPB（電動パーキングブレーキ）、EDSS 等である（**図 6、図 7**）。

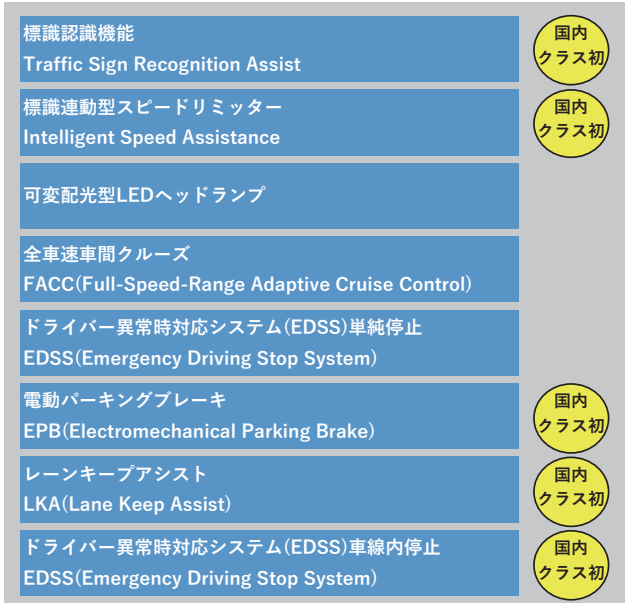


図６　新たに展開を加えた先進安全装備

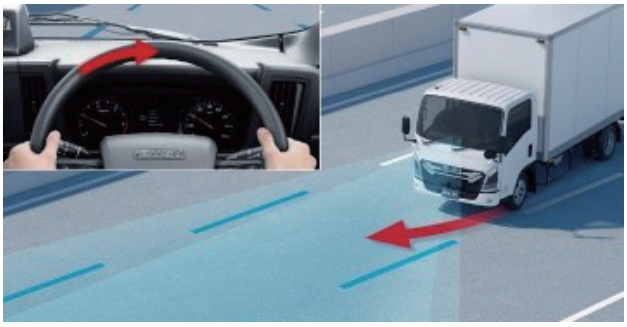


図７　LKA 概念図

8　製品概要（新型フォワード）

開発内容の詳細は各専門部署が別稿で述べるため、ここでは概要紹介にとどめる。

8.1　16 年ぶりのキャブ刷新

デザイン性とともに、卓越した空力性能を有し、2025 年度燃費基準（JH25）達成に大きく寄与している。

主力：T5 カテゴリ（トラック区分 5）、機種 4HK1-TCS（馬力 210PS）･マニュアル車･アイドリングストップ付において +5 % を達成した（**表 3**）。

表３　2025 年度燃費基準（JH25）値　過達度合い

未達　達成　＋５%過達

燃費カテゴリ	JH25基準値[km/L]	ENG		TM		フォワード(標準ルーフ)届出値		フォワード(ハイルーフ)届出値	
		機種	馬力[PS]	TM機種	MT/AMT	ISS付	ISS無	ISS付	ISS無
T4	9.91	4HK1	190	MZZ	MT	2.2%	-1.3%		
					AMT	-1.5%	-5.0%		
T5	8.39				MT	5.4%	3.0%		
					AMT	3.2%	0.7%		
			210	MZW	MT	6.7%	4.2%	8.0%	5.4%
					AMT	5.0%	2.4%	6.2%	3.6%
			240		MT	6.4%	3.8%	7.6%	5.0%
					AMT	4.5%	1.9%	5.7%	3.0%
T7	7.44		210		MT	6.3%	4.2%	7.4%	5.2%
					AMT	5.4%	3.2%	6.5%	4.3%
			240		MT	6.2%	4.2%	7.4%	5.1%
					AMT	5.1%	3.0%	6.2%	3.9%
T8	6.42				MT	4.0%	2.3%	5.0%	3.3%
					AMT	3.1%	1.2%	4.0%	2.2%

8.2　ADAS フル装備

安全に対し新型フォワードは、キャブ・シャシ基本構造改良、及びドライバーサポート機能充実化により事故最小化を追求のもと、開発を行った。

8.3　全 4 種の ADAS パックオプションを展開

法規最低限装備の「BASIC」からフル装備の「PREMIUM」まで、全 4 種を展開。異なる用途にフィットし、全ての人の安心･安全に貢献することを目指す。



図８　全 4 種のパックオプション

8.4 内装モデルチェンジ

ドライビングポジションと収納性を改良し、ADAS 装備との相乗効果で疲労軽減、居住環境の改善に寄与することができた（**図 9**）。



運転席調整範囲の比較

	21型フォワード	新型フォワード
スライド調整量	180mm	220mm
スライドピッチ	15mm	10mm

図 9　運転席調整範囲　従前との比較

8.5 架装性

キャブ内のスイッチスペースはスッキリ感を持たせつつ、従前並みの配置スペースを確保。

また、架装用制御ユニット数増加にも応えるヘッダー DIN スペースを新規採用した（**図 10**）。



図 10　ヘッダー部の DIN スペース

9　まとめ（新型フォワード）

新型フォワードの製品概要について、その特徴を紹介した。高い目標値を掲げ、それを乗り越え、お客様に満足いただける車両を完成できたと考える。

新型フォワードを次のステージのスタートモデルに位置付け、今後も市場の情報に耳を傾け、フォワードの品質向上、及び更に多様化が進む市場のニーズに応えるべく改良に取組む所存である。

10　あとがき

最後に新型エルフ・フォワードの開発に関わっていただいた協力企業の方々、社内関係部署の方々には心から感謝の意を表し、本稿の結びとしたい。

著　　者



増子　智一



五十嵐　丈人



鈴本　勝則

新型エルフ EV の製品概要について

Outline of New ELF EV

甫水　隼*
Jun Homizu

要　旨

世界的なカーボンニュートラルの取組みへ機運の高まりに応えるべく、17 年ぶりに行うエルフのフルモデルチェンジに合せ、走行中の温室効果ガスの排出をゼロにするエルフ EV（電気自動車：Electric Vehicle）の開発を行った。概要を以下に示す。

Abstract

In response to the growing global momentum toward carbon neutrality, we have developed the ELF EV, which achieves zero greenhouse gas emissions while driving, in conjunction with the full model change of the ELF for the first time in 17 years. This article introduces the outline of ELF EV.

1　まえがき

地球温暖化抑制のため、1997 年に採択された京都議定書を起点に、これまでさまざまな CO_2 削減の取組みが取られてきている。更に、2015 年のパリ協定で、今世紀後半に温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と吸収源による除去量との間の均衡を達成することが各国政府で合意された。

これを受け、日本を含むパリ協定に参加した 120 以上の国と地域が、2050 年にカーボンニュートラルを達成することを目標として掲げている。

この先も商用車として物流と人流を支えることに加え、カーボンニュートラルの達成に向け、温室効果ガス削減に寄与する商用 EV を開発・市場投入し、社会的責任に応えていくことを目指し、エルフのフルモデルチェンジのタイミングに合せ、新型エルフ EV の開発を行った（**図 1**）。



図 1　新型エルフ EV 外観

2　開発の狙い

2.1　開発コンセプト

カーボンニュートラルに関する規制が顕在化している国と地域への対応に加え、本格的な市場投入に先立ち実施した、モニタ活動を通して得た知見から、ターゲットを都市内オペレーション中心に車両を使う顧客に定めた。

商用 EV の初期導入段階では、顧客は EV と従前のディーゼルエンジン車の両方を使い、ドライバも両方の車両に乗ることを想定して、ディーゼルエンジン車の扱いに慣れたドライバが新型エルフ EV に乗った際に違和感なく使えることを目指した。

また、EV 関連技術は今後も発展を続けていくことを想定し、選定する技術は将来性を見据え、発展性のある技術を選び搭載を検討した。

個々の開発の狙いを次の **2.2 節**～**2.6 節**で述べる。

2.2　仕向地

エルフの主要市場である国内に加え、バッテリー EV を含む走行中の CO_2 排出量ゼロの車両投入が法規制として求められる、欧州、及びアメリカに商品を展開･投入する。

2.3　車型展開構想

各仕向地で求められる車型を効率良く展開することを目指し、下記 2 項目の開発を行った。

- 車両サイズ及び求められる航続距離の違いに柔軟に対応できるコンパクトな専用バッテリーパック。

* CN 商品企画・設計部

- 車型展開を容易にするため、従前のリアアクスルを活用できる、センタドライブ方式※1。

※1　モータとリアアクスルをプロペラシャフトで接続する駆動方式

図2にバッテリーパック、**図3**にセンタドライブ方式の概要を示す。



長さ	700mm
高さ	424.5mm
幅	401mm
重量	173kg
電池容量	22.3kWh

図2　バッテリーパック概要

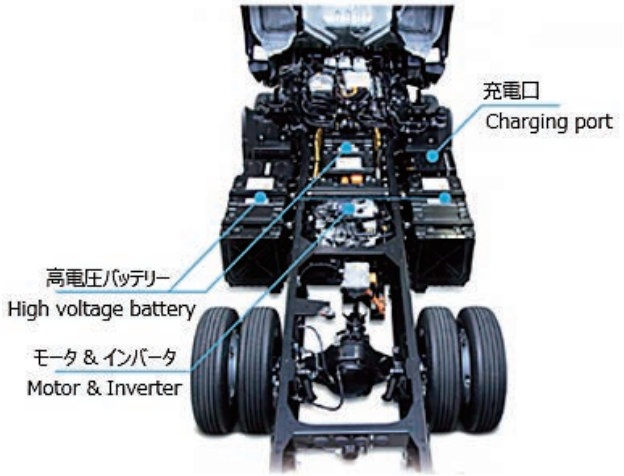


図3　センタドライブ方式

2.4　国内新普通免許対応 GVW3.5 t 車の設定

- 国内におけるドライバ不足等の社会的課題に対応するため、普通免許で運転可能な GVW（車両総重量：Gross Vehicle Weight）3.5 t 車を設定した。

2.5　バッテリーの選定

開発途上にある EV 用のバッテリーはさまざまな材料素材と形状の組合せが混在し、バッテリーメーカも技術開発の途上にあり、その種類は多岐に渡る。

新型エルフ EV の開発では将来性を見据え、バッテリーセルの選定を行った。

- バッテリーセルは、コンパクトなバッテリーパック開発に向いている、エネルギー密度の高い三元系リチウムイオンバッテリーを採用。
- セル形状は規格化が最も進んでいる円筒形を採用。世の中標準のサイズを採用することで、将来に渡りボリューム効果によるコスト低減を狙う。

図4にバッテリーセル仕様を示す。

バッテリーセル仕様	材料：三元系(NMC) 電圧：3.69V 容量：18.2Wh
形状	円筒形2170 直径21mm/長さ70mm 

図4　バッテリーセル仕様

2.6　走行用モータ

- 車型展開を容易にするため、インバータと減速ギアボックスが一体となったコンパクトなモータを採用（**図5**）。
- 商用車の使われ方に合せ、パーキングロック、センタブレーキを装備

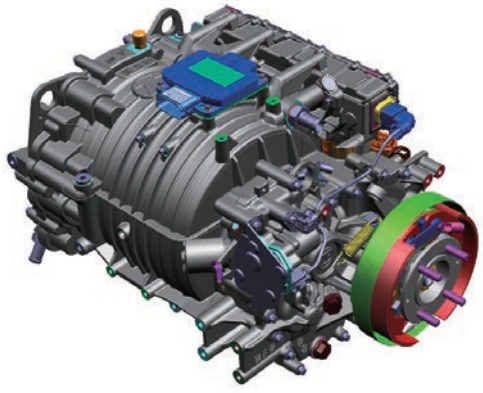


図5　モータ概要

3　商品概要

3.1　車型展開

新型エルフ EV は各国の規制、モニタ活動を通して得られた情報を基に、商用 EV 導入期に必要十分な車型展開を行うこととした。

車型展開の狙いは次の①～⑤のとおりである。

① 仕向地：日本・欧州・アメリカ。

② ベースの車両はディーゼルエンジン搭載車と基本のプラットフォームを共通化、車型展開に拡張性を持たせる。

③ 航続距離要望の違いは搭載するバッテリーパック数で調整。

④ 国内 4 ナンバ枠から、輸出 GVW8.8 t クラスまでの車両を、使用するコンポーネントを極力共通化して展開。

⑤ 国内のラストワンマイル配送をターゲットに、EV ならではのレイアウト自由度を活かし、運転席から荷室へ通り抜け可能な WTV（ウォークスルーバン：Walk Through Van）を設定予定。

図 6 に仕向地と車型展開、**図 7** にバッテリー搭載数展開、**図 8** に WTV 概要をそれぞれ示す。

仕向地	GVW	バッテリー搭載容量				
		40kWh	60kWh	100kWh	140kWh	180kWh
日本	3.5t	○				
	5t	○	○			
	7t		○			
	7.5t			○		
アメリカ	8.8t		○	○	○	○
欧州	3.5～4.25t		○			
	7.5t			○		

図 6　仕向地・車型展開

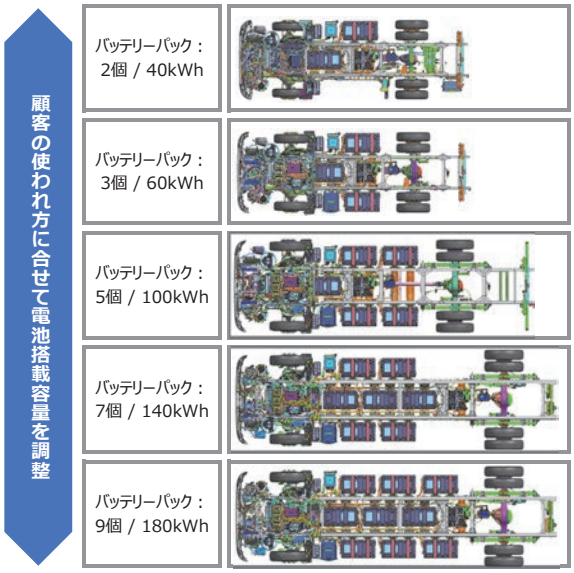


図 7　バッテリーパック搭載数展開

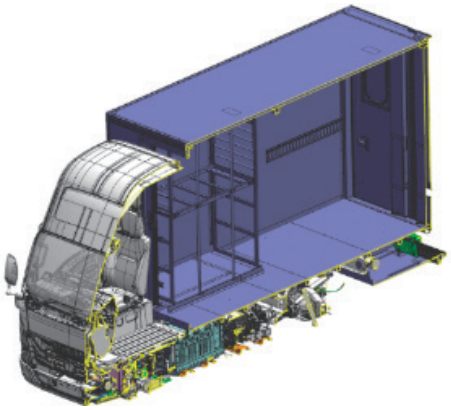


図 8　WTV 概要

3.2　バッテリー温度管理システム

バッテリーの劣化を抑制するには 25 ℃程度に温度を保つ必要があり、夏季には外気温度の方が高くなるケースもあるため、ラジエータに加え、冷媒チラーを併用し温度管理を行う。

また、バッテリーの特性上、極低温時は出力がゼロになってしまうことから、キーオフ時もバッテリー温度を常時モニタし、必要に応じ電気ヒータを使い加温することで、冬季でも稼働を支える機能を搭載した。

図 9 に冷却システム図を示す。

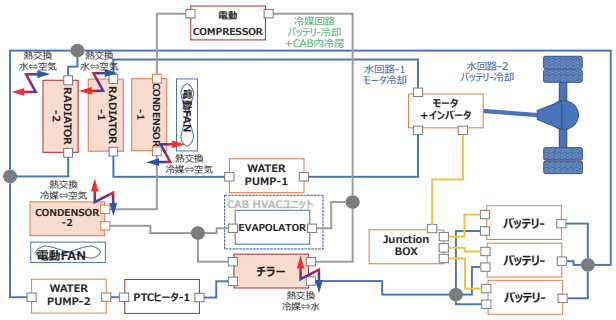


図 9　冷却システム

4　あとがき

今回の新型エルフ EV の開発にあたり、初の量産バッテリー EV を開発する技術的な課題に加え、部品の調達、車両の組立、お客様への販売、アフターセールス等、初めて直面する課題を乗り越える必要があったが、部門を超え全社一丸となり取組み、課題を解決し、商品を市場へ投入することができた。

また、本格的な市場投入に先立ちモニタ活動を実施し、得られた多くの学びとお客様との信頼関係が新型エルフ EV の基盤となっている。

ここで改めてモニタ活動を含め、新型エルフ EV の開発に携わっていただいた方々へ感謝の意を表すとともに、新たにエルフのラインアップに加わるエルフ EV に対し、今後も信頼性・商品性の継続的な改善へのご協力をお願いし、本稿の結びとしたい。

著　　者



甫水　隼

新型エルフ・フォワードのデザインについて

Design of the New ELF and FORWARD

堀澤　信之*　Nobuyuki Horisawa
河原　玲*　Ryou Kawahara
矢島　幹生*　Mikio Yajima
藤井　昌人*　Masato Fujii

要　旨

今回のモデルチェンジで 7 世代目となるエルフ、6 世代目となるフォワードは、世代ごとに求められてきた機能・性能を常に顧客のニーズに合せタイムリーに市場に投入してきた。キャブデザインについても時流の中で変化するスタイルと先進技術を取入れた表現をアウトプットし、小型・中型トラックの代表車型として存在感を示してきた。

新たな運転免許制度の導入及び先進性能の拡充といった安全性への社会動向の高まり、経済性追求とともにカーボンニュートラルの推進といった環境意識の向上など、急速に変化を遂げる物流に対応するため、次世代へ向けたスタイルとして昇華させた新型エルフ、フォワードのデザイン開発について紹介する。

Abstract

With this model change, the ELF, now the seventh generation, and the FORWARD, now the sixth generation, have always brought to market the necessary functions and performance to meet customer needs in a timely manner. Cab design has also made its presence felt as a representative model for small and mid-size trucks by introducing styles and advanced technologies that change with the times. We introduce the design development of the new ELF and the new FORWARD, which have been sublimated as styles for the next generation in order to cope with rapidly changing logistics, such as the introduction of a new driver's license system, the rise of social trends toward safety such as the expansion of advanced performance, and the pursuit of economic efficiency and the enhancement of environmental awareness such as the promotion of carbon neutrality.

1　はじめに

国内の輸送を取巻く問題として、ドライバ不足がある。労働環境及び就労体制など解決すべき課題は山積しているが、主役となるドライバという職業が魅力的で活力ある存在として受止められ、新たな担い手が増えていく環境へと変化しなければ問題は解決しない。一口にドライバの増員といっても、少量多種の輸送が急増する小口配送では多様な働き方の担い手が必要となるため、ドライバ人口の間口を広げ、誰もが担える職種へと変化が求められている。一方、運転の技量、経験が必要な中距離輸送では、引き続きプロフェッショナルな担い手をいかに増やしていくかが課題である。このような求められる担い手の違いにしっかりフィットさせ、「運ぶ」に喜びを感じていただける環境を提供すること、周囲の誰もが乗りたくなるスタイリングを達成させることがドライバ増加への曙光となる。との思いでチーム一丸、キャブデザインに取組んだ。

2　デザインコンセプト

「ドライバにとって喜びを感じる環境をスタイリングで実現したい」との思いを込め、デザインコンセプトは『PLEASURE to CARRY』とした。キャブデザインを進めるうえで『タフで先進的な仕事道具』＋『華やかさを感じるスタイル』という 2 つの目標を掲げた。タフさが求められる道具としての基本造形をベースに、内外装に新設した多くの安全デバイス及び先進機器類を積極的にスタイルの一部として取込むことで、最新の技術トレンドを盛込んだ車両を操作する楽しみを提供する。また、トラックといっても機能一辺倒のスタイルではなく、躍動感と親しみやすさといったイメージをカタチに表現することで、ドライバだけでなく車両を取巻く周囲へも「運ぶ」の魅力を伝えることを目指した。(**図 1**)。

*デザインセンター



図１　デザインコンセプト

3　キャブバリエーションと変更範囲

従前よりエルフには標準キャブ・ハイキャブ・ワイドキャブのバリエーション、フォワードには標準キャブ・ワイドキャブのバリエーションがあり、これらのキャブはモジュールを考慮したデザインとしてきた。ただし、標準キャブは、国内４ナンバの寸法制限にミートさせるという事情から、骨格のモジュールが難しく、キャブの刷新タイミングは他のキャブと切離して計画されてきた。そのため、基本設計から 30 年が経過しており、快適性・安全性など昨今の社会の要請に応えるには不十分な状況となっていた。このような背景から、今回のモデルチェンジで骨格の大幅な刷新を行った。

新型フォワードは、モジュールデザインを踏襲しつつも、エルフに対してドライバ像の違いを明確に打ち出し、プロフェッショナルなイメージを強め、中型車にふさわしい車格感の表現を強化した。

4　エクステリア デザイン

デザインコンセプトである『PLEASURE to CARRY』をエクステリアデザインで表現していくために、『SOLID & EMOTIONAL』を造形のテーマとした。堅牢かつスムースなキャブ骨格の上に躍動感のあるフェイススタイルを作り込み、親しみを感じるデザインを目標とした。

4.1 アイデア展開

検討にあたり、強さ・頼もしさなど、「SOLID」に重点を置いたＸ案（**図２**）と、動き・ダイナミックさの「EMOTIONAL」を重視したＹ案（**図３**）の２タイプをフルサイズモデル化し、屋外環境下での見え方などを吟味して分かりやすい表現にブラッシュアップしていった。完成したモデルで関連部署へプレゼンテーションを行い、躍動感と親しみやすさの表現が市街地を主に走るエルフにマッチしているという評価から Y 案を選定した。

Ｘ案はグリル横にボディカラーのパネルを残す表現がパネリックで堅牢な印象をもたらしており、このアイデアを新型フォワードに活かすことで新型エルフとの区別化への検討材料とした。



図２　Ｘ案



図３　Ｙ案

4.2 骨格とフェイスデザインの玉成

スタイルの方向性を選定したあと、量産のスタイル決定に向けた作り込みを進めた。

新型エルフ標準キャブは、従前車に対して室内空間の拡大を目標としており、A ピラーを直立させ空間の最大化を狙った。しかし、A ピラーを直立させていくことで、軽量化を目的に採用したインスイングタイプのドアが、全開時に A ピラーと干渉するというレイアウト上の背反が起こったため、ドア前端の断面調整と A ピラーの形状、傾きの調整に多くの試行錯誤を費やし、すっきりとしたドアのオープニングラインを持つスクエアな骨格（**図４**）を成立させた。

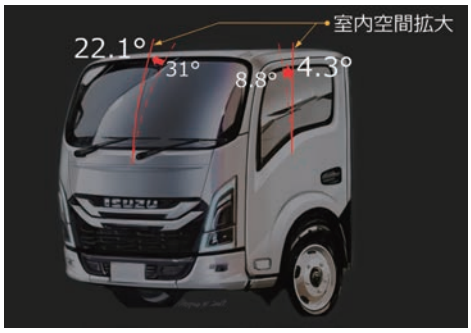


図４　スクエアな骨格

この骨格をベースに、フロントパネルを張り出させて丸さを強調したフォルムを作り、軽快で親しみやすさを感じるデザインを達成した（**図５**）。



図５　エルフ標準キャブ　レンダリング

フロントのデザインは、テーマを「上昇する躍動感」(**図6**)とし、バンパからルーフへ向かって伸びるU字のフローを強調することで動きとダイナミックさを表現。車格感・品質感をアップし、商品性の向上を目指した。

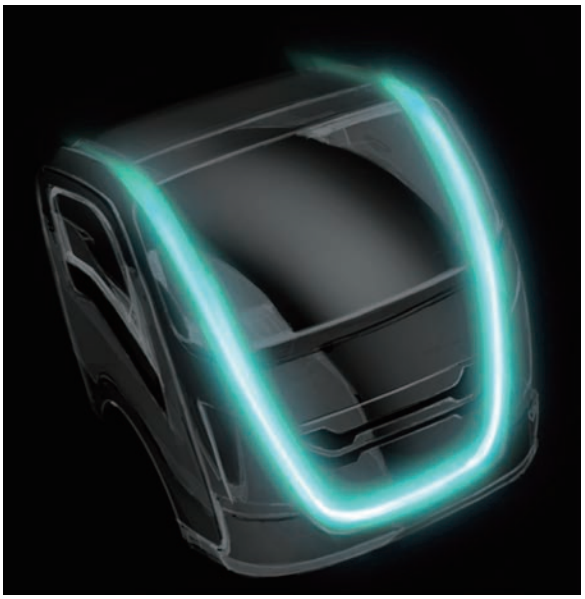


図6　上昇する躍動感

従前車に対し、エンジン冷却用の開口部、カメラ、レーダなどの安全機器の増加により、フェイスデザインにも発想の転換が求められた。

また、ボディカラー部分にユーザーの商号及びデザインを施す商用車固有の要求があるため、フロントパネル上に配置していたいすゞのコーポレートシンボルとユーザーの商号のバッティングが起こることも従前車フェイスの課題であった。そこで今回のデザインでは、上段のフロントパネル部分をユーザーアピールゾーンとし、ISUZUバッジを中心としたブランド表現ゾーンは、黒色の部品で囲ったグリル上部に位置づけた。グリル下段部品も黒色でまとめ、ここに冷却開口、レーダ、カメラなどの機能を集約することで、それぞれのゾーンに明快な機能を持たせた。これをレイヤーゾーニングフェイス(**図7**)と呼び、新型エルフとフォワードに共通する機能的な「顔」の特徴と位置づけた。

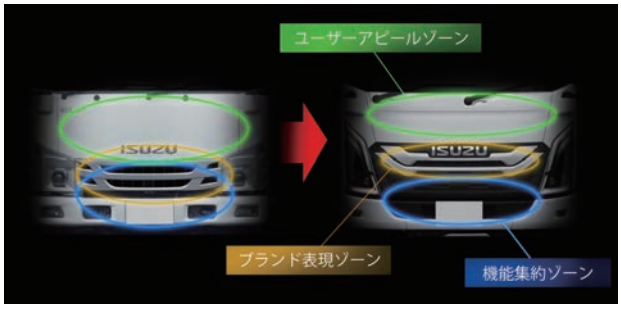


図7　レイヤーゾーニングフェイス

グリルの両側で存在感を発揮するライティングシステムは、従前車と同様に上段をフロントターンランプ、下段をヘッドランプとする構成で新型エルフ、フォワードが共通展開できるモジュール構成とした。ランプユニットの中央にはブラインドスポットセンサを組み込み、安全を確保する「目」の機能を感じさせるデザインとした。また、フェイス全体に縦の流れを強調するために、クリアランスランプを長く連続した、印象的なシグネチャーランプ(**図8**)とし、凛とした表情を持たせた。



図8　シグネチャーランプ

グリルのブランド表現も大きな変更を行った。従前車世代のいすゞのブランド表現は「6ホールコンチネンタルグリル」であったが、次世代のブランド表現である「ワールドクロスフロー」(**図9**)をグリルデザインに採用した。これは、いすゞがこれからも輸送を支えていく決意として「世界を結びつけてつなぎ合せる」というイメージを可視化したブランド表現であり、従前車からの飛躍と新たないすゞのファミリー表現として定めた。



図9　ワールドクロスフロー

新型エルフ標準キャブの量産スタイルが固まったところで、ハイキャブ・ワイドキャブのデザインを並行して進めた。丸みを感じさせ、軽快感のある標準キャブに対して従前車の骨格を活かし、頼りになる強さとスムースで張りのあるシルエットに留意したデザインとした。

4.3 フォワードデザインへの展開

新型エルフのスタイル決定を経て、新型フォワードのデザインに着手。新型フォワードは新型エルフと部品を共有したモジュール構成となっており、中型トラックらしい車格感及びエルフとの区別化をより強めることを意識してデザイン検討を進めた。

骨格では、フロントパネルとコーナーパネルを従前車より張り出し、力強い前進感とアグレッシブさを付与することで、中型トラックらしい頼もしさを感じさせる新世代のキャブ骨格を表現した。

フロントデザインでは、上昇するフローの表現は新型エルフと共通としながら、立体感・フローをより強調することで、ダイナミックさを付加した（**図 10**）。



図 10　フォワード　レンダリング

また、バンパから滑らかにつながるフェンダー形状、ボディカラーと同色化したステップスカートにより、従前車にはないダイナミックな連続感を狙っている（**図 11**）。



図 11　連続感のあるデザイン

5　インテリアデザイン

5.1 基本レイアウト

新型エルフ・フォワードのインテリアの変更点は、安全装備と快適装備の拡充があげられる。装備の新設に伴い増加したユニット類と操作スイッチは、ドライバを中心によく使う機能をゾーニングし、レイアウトと使い勝手を最適化した。新型エルフ標準キャブでは新設したヘッダコンソールに DIN スロットを設けるなど、新キャブの室内スペースを最大限に活用して、多様なユーザー像にリーチする使いやすさを目指した。

操作面ではセンタディスプレイの新規設定、メータ内液晶ディスプレイは大型化するなど、ヒューマン・マシン・インタフェース（以下、「HMI」と略す）の高機能化、ステアリング小径化などが新機軸として盛込まれた。

またモジュールデザインによる開発の効率化もデザインに課せられた使命であった。

これらのレイアウト構想を実現しながら『PLEASURE to CARRY』を表現するスタイルの構築にあたって、『EASY & MOTION』をインテリアのデザインテーマとした。

従前車が水平垂直基調の整然とした雰囲気で「プロの仕事場」を主張していたのに対し、レイアウト面で工夫した使いやすさの改善をスタイリングで可視化することと、斜めの動きがあるキャラクタを使い動的な雰囲気の演出で、軽快で親しみやすい室内空間の具現化を目指した。

5.2 アイデア展開

アイデア選定にあたり、3 タイプを考案し、検討を進めた（**図 12**）。

- ALT.1 クリーンで親しみやすい雰囲気を強調した案
- ALT.2 コックピット感を強め運転の楽しさを表現した案
- ALT.3 テーブルトップ形状と収納トレーを持ち多様な使い方を想定した案

フルサイズモックを使用したさまざまなデザイン検討を経て関連部署へプレゼンテーションを行い、使いやすさの進化がわかりやすく、『EASY & MOTION』の狙いが表現されている ALT.3 を選定した。

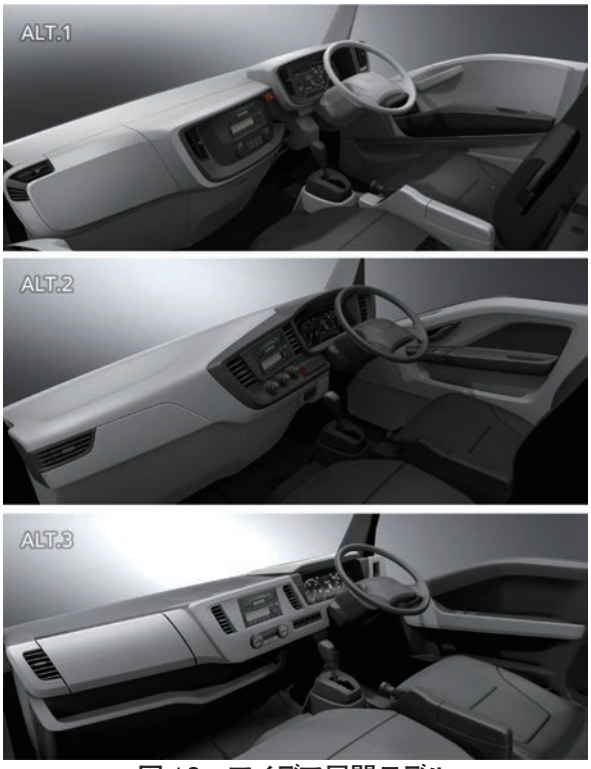


図 12　アイデア展開モデル

5.3 詳細レイアウト検討とスタイル玉成

新型エルフでは、従前車から安全装置類の制御ユニットが増加しており、それらを 4 ナンバ枠の車内寸法でいかにレイアウトするかが設計部署とデザインの共通課題となった。特にインストルメントパネル（以下、「インパネ」と略す）のレイアウト検討は試行錯誤の連続であり、原案の特徴を量産レイアウトに昇華するために苦心した。内部容積の確保のため、インパネ上部のテーブルトップ形状は下方視界の限界まで移動し、併せて DIN ユニットの配置とセンタクラスタ形状を決めた。センタクラスタのラウンド量は従前車からの変化を表現する重要な要素であったため、居住空間を圧迫しない範囲で最大限ドライバ側に操作面を向けるべく、内部レイアウトと意匠表面はミリ単位での調整を繰り返し行った。クラスタ内に装備されるドライバモニタカメラ、センタディスプレイ、スイッチ類などの機器についても各々の機能と使い方が直感的に分かるような配置とした（**図 13**）。



図 13　センタクラスタ

機能のゾーニングを分かりやすく表現するため、斜めに駆け上がるキャラクタが各機能を立体的に区分けするスタイルとすることで、使いやすさと動的な雰囲気を両立し、機能的なスタイルのインパネレイアウトがまとまった（**図 14**）。

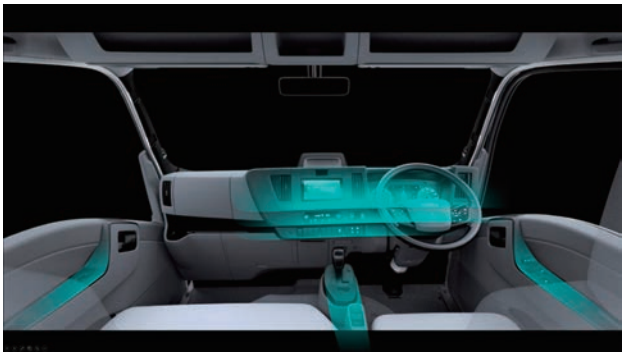


図 14　操作部のレイヤーゾーニング

ドライバホスピタリティ向上の面では、収納の拡充を重視した。改善要望の声が多かったカップホルダはドライバ右手側に折り畳み式のものを配置し、助手席側は小物用トレーと一体化した。従前車では収納場所が考慮されていなかったスマートフォンは、ステレオカメラ背面及びインパネセンタポケットの形状を工夫し、使用状況に合せた収め方ができるようにした。ドアトリムポケット、バックトリムポケット、オプションのヘッダトレーなど新規設定の収納はサイズ、収納物、使われ方を吟味し、それぞれ有効な収納形状になるように設定した（**図 15**）。



図 15　収納レイアウト

量産スタイル決定に向けレイアウトと造形処理の検討を緊密に進めていき、使いやすさと商用車に求められる合理的な構成を両立するべく、一つ一つの課題を解決していった。結果として、狙いである『EASY & MOTION』を表現した機能的で抑揚あるデザインの室内空間が完成した。

5.4 フォワードへのデザイン展開

標準キャブにおけるスタイル決定後（**図 16**）、ワイドキャブ及びフォワードのインテリアデザインを推進した。安全装備の拡充とレイアウトの変更、モジュール化した部品構成などは新型エルフと同じコンセプトを踏襲しているが、センタクラスタは DIN ユニットが 4 基配置できるワイドタイプを採用し、拡張性を確保するとともに存在感のあるスタイルとした。レイアウト上ボリュームが大きな助手席側は、一定断面でボールドな造形とすることでワイドな印象を強調するなど、プロユースが主となる中型車として、車格感を表現することに主眼を置き、区別化を図った（**図 17**）。

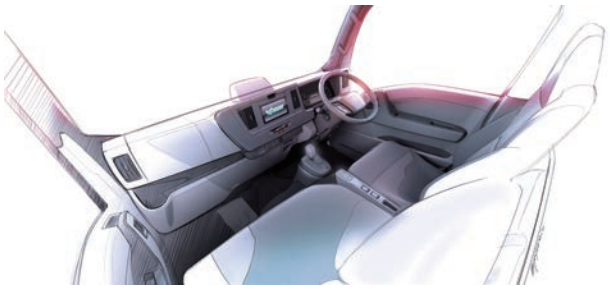


図 16　エルフ量産スタイルスケッチ



図 17　フォワード量産スタイルスケッチ

5.5 メータ、HMI デザイン

新規設定したメータに関しては、速度計と回転計以外の計器ゲージをメータディスプレイ内表示に置き換え、主計器の見やすさを確保した。メータディスプレイ、センタディスプレイ表示画面は、状況に応じてさまざまな情報を的確にドライバに伝えることを目的とし、アニメーションを使用したデザインとすることで高度な機能をわかりやすく伝えるものとした。

またメータ見返し板を含め、使用される文字は新規開発のいすゞ専用デザインフォントとし、可読性を向上するとともにいすゞブランドとして、一貫性を感じさせるものとした。（**図 18**）



図 18　メータパネル

6　CMF デザイン

お客様のニーズに合せたボディカラーラインナップとインテリアカラーコーディネーションを設定し、多くの部品・形状を共有する新型エルフとフォワードの区別化と、洗練された存在感の具現化を CMF（カラー・マテリアル・フィニッシュ：Color Material finish）デザインの狙いとした。

6.1 エクステリアカラー

GVW（車両総重量：Gross Vehicle Weight）3.5 t 車市場参入に伴い専用色のペールブルーと、エルフのカスタムグレード専用色ダークカーキメタリックの新規開発 2 色を加え、多様なお客様のニーズに応えるべく、カラーラインナップの充実を図った。清潔感に加えて親しみやすさを想起させるソリッドカラーのペールブルーは、若い年代、中型免許を持たない層など、ドライバの減少が進む中、幅広い層に受け入れられるカラーを目指した（**図 19**）。快活で力強く存在感のあるダークカーキメタリックは、ハイライトが黄赤味に変化する素材構成とし、新型エルフのトップグレードらしい堅牢さ・上級感を表現した（**図 20**）。



図 19　エクステリアカラー：ペールブルー



図 20　エクステリアカラー：ダークカーキメタリック

6.2 インテリアカラー

新型エルフ・新型フォワードは、従前車の青味のあるチャコールグレイから、商用車の道具らしさを保ちつつも温かみを感じる黄味方向へ調整したニュートラルグレイを基調色とした。新型エルフのスタンダード仕様は、基調色で統一したローコントラストのカラーコーディネーションで、機能的で心地よい落ち着いた仕事場を表現した（**図21**）。新型エルフのカスタム仕様は、基調色にピアノブラック・シルバーカラーの加飾とブラックのシートを組合せたカラーコーディネーションで、現代的な上級感を演出した（**図22**）。新型フォワードは、インパネ上部とフロアコンソール、シートをブラックとし、基調色とのハイコントラストのカラーコーディネーションで、機能的かつ精悍なプロフェッショナルユースの仕事場を表現した（**図23**）。



図21　インテリアカラー：エルフ（スタンダード）



図22　インテリアカラー：エルフ（カスタム）



図23　インテリアカラー：フォワード

6.3 シートマテリアル

商用車のシートマテリアルで最も重要な耐久性能に加えて、質感の向上に取組んだ。新型エルフのスタンダードシートは、スエード調ファブリックをメインとボルスター部に採用し、手触り感を高めた。カスタム仕様のシートは、スエード調ファブリックと合成皮革によるバイマテリアルのコンビネーションに加えて、ヘッドレストにレッドの CUSTOM ロゴの刺繍を施した（**図24**）。新型フォワードのスタンダードシートは、ボルスター部にスエード調ファブリックを採用し、メイン部にはバイアス柄のトリコットを採用した。大型車のギガと共有する新規設定の高機能シートは、メランジ調ファブリックと合成皮革のコンビネーションによる高級感に加え、抗菌・抗ウィルス加工技術「nanospear®」をメイン部のファブリックに付与し、快適性を高めた（**図25**）。



図24　シートマテリアル：エルフ



図25　シートマテリアル：フォワード

＊「nanospear®」は TB カワシマ株式会社の登録商標

おわりに

時代背景から未来を予測し、デザインの方向性をコンセプトとして目標立てスタイルを吟味していく。一連のデザインプロセスではあるが、今回デザインの開発は新規設定の車型も含め、全車型を同時にモジュール開発するというハードルの高さから、初期構想を含め6年以上と長期に及んだ。このため新たな世代のスタイルを創出していくという大きな期待がある一方、試行錯誤しながら作り込んでいく過程の中で、当初の狙いが最終的に時代にフィットするのか不安も錯綜した。しかしその間、ドライバ不足対応への社会の要請は強くなっており、持続可能な輸送形態ということを考えると狙いの重要性は高まっていると実感する。

国内市場向けの発表を終え顧客評価も得た今、デザイン開発時に伴った不安は払拭され、数年後には市場全体に浸透した新型エルフ、フォワードが輸送社会の先端で活躍しているシーンを想像する。そこにはドライバのステイタスが高まり、持つ喜びと使う喜びを感じてもらえる環境が実現し、トラック物流をより活気づける存在が映し出されている。最後に、デザイン開発において多大なるご協力をいただいた関係者の方々に紙面を借りて感謝の意を表し、本稿の結びとしたい。

著　者


堀澤　信之


河原　玲


矢島　幹生


藤井　昌人



図 26　エルフ最終スケッチ インテリア・エクステリア

特集「新型エルフ・フォワード」

新型エルフのトランスミッション「ISIM」について

Development of Transmission“ISIM” for New ELF

明石　浩平*
Kouhei Akashi
江浪　健宏*
Katsuhiro Enami
金子　直弘*
Naohiro Kaneko
民部　俊貴**
Toshitaka Mimbu
秋山　雄介*
Yusuke Akiyama
佐々木　玲香*
Reika Sasaki
田口　修司*
Shuji Taguchi
大西　俊介*
Shunsuke Onishi
松田　準平*
Junpei Matsuda

要　旨

新型エルフ用にスムーサーを刷新した内製 9 速 AMT（Automated Manual Transmission）、ISIM（アイシム：Isuzu Smooth Intelligent TransMission）を開発した。ISIM は独自のギヤトレイン構造によるワイドかつクロスレシオのギヤ比設定と、高効率油圧制御ユニット及び損失低減技術の採用による燃費性能の大幅な向上と同時に、デュアルクラッチの掛け替えによるスムーズな変速性能を実現した。今回はその概要について紹介する。

Abstract

We have developed ISIM, a 9-speed AMT that revitalizes the previous Smoother system for the new ELF. ISIM incorporates a unique gear train structure, enabling wide and cross ratio gear settings. With a highly efficient hydraulic control unit and reduced losses, it achieves significantly improve fuel economy while also delivering smooth shifting performance through its dual-clutch system. We will provide an overview of ISIM.

1　はじめに

脱炭素化が加速する中でも、内燃機関は今後も主要な動力方式の一角を占める見込みであり、その中で CO_2 排出割合が多い商用車の燃費改善は一層強く求められている。いすゞではトラックの環境性能及びイージードライブ性能向上のニーズに対する回答として、自動変速機を進化させてきたが、昨今の省燃費性能とイージードライブ性をより高いレベルで両立させる、9 速 AMT の ISIM（T/M（Transmission）型式 MYR9）を新開発した。

ISIM は従前のスムーサーに比べ、大幅に拡大したレシオ幅とクロスレシオのギヤ比設定による優れた省燃費性能と、発進用フルードカップリング及びデュアルクラッチの掛け替えによるイージードライブ性能を高次元で両立している。今回は ISIM の構造及び制御について紹介する（**図 1**）。

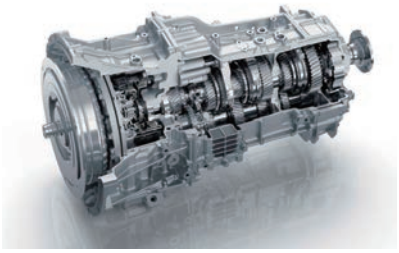


図 1　ISIM カットモデル図

2　開発のねらい

高い環境性能とイージードライブ性のニーズに応えるべく、開発の狙いを次の **2.1 節**～**2.3 節**とした。

2.1 燃費性能向上

2nd 以上のギヤレシオは、**表 1** に示すとおりスムーサー比で 40 ％ワイドレンジ化した 9 段の等比クロスレシオを設定した。**図 2** は加速時の各ギヤ段におけるエンジン回転数を示し、十分な発進加速性能を確保する一方で、高速巡行時にはエンジン回転を低く抑えた走行が可能になっている。同時に市街地で使用頻度の高い、中間ギヤ段でもエンジン回転上昇を抑えた走行を可能としている。また、ロックアップの直結領域を拡大したほか、構造面では高効率の油圧制御ユニット、及び各要素の損失低減技術の採用により、高い省燃費性能を実現した。

表 1　主要諸元

		ISIM (MYR9S)		Smoother (MYY6Z)	
Max.Input Torque		430Nm (2023 NEW ELF)		430Nm	
Center Distance		99㎜		99㎜	
Spread (2nd~)		8.8 (6.7)		8.4 (4.9)	
Gear Ratio (Step)	1st	5.162	–	5.979	–
	2nd	3.941	(1.31)	3.434	(1.74)
	3rd	2.868	(1.37)	2.040	(1.84)
	4th	2.189	(1.31)	1.379	(1.44)
	5th	1.679	(1.30)	1.000	(1.30)
	6th	1.304	(1.29)	0.708	(1.41)
	7th	1.000	(1.30)	–	–
	8th	0.763	(1.31)	–	–
	9th	0.585	(1.31)	–	–
	Rev	4.810	–	5.701	–
Oveall Length		837㎜		854㎜	
Weight (Dry)		140kg		148kg	
Gear shifting device		Power shifting with dual clutch		Sliding sleeve with gear dog	
Launching device		Fluid Coupling		Fluid Coupling	

*駆動商品企画・設計部　　**㈱いすゞ中央研究所

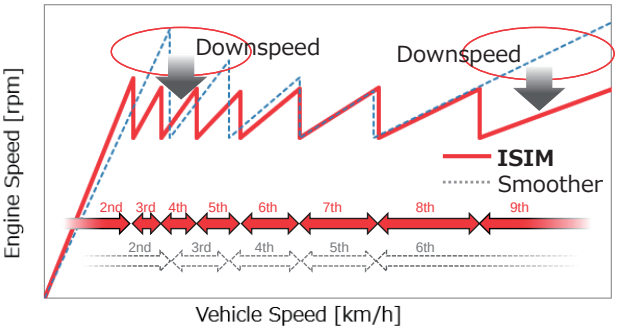


図 2　走行中エンジン回転数の比較

2.2 優れたイージードライブ性能

各ギヤ段への変速は、デュアルクラッチの掛け替えによるクラッチ変速を採用した。多段クロスレシオとの組合せにより加速時、減速時いずれの場合も速やかにドライバが望む駆動力を得られるとともに、**図 3** に示すとおり、スムーサーで発生していた変速時のトルク抜けを解消し、乗用車用 A/T（Automatic Transmission）と同等の違和感のない変速を可能とした。また、スムーサーと同様に発進用のフルードカップリングを採用し、これまで特に好評を得ている良好な発進性能、及び微速制御性能を継承している。

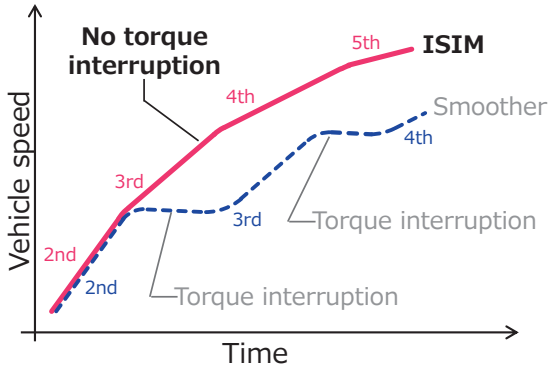


図 3　加速性能の比較

2.3 軽量・コンパクト性

主要構造部品の徹底した全長短縮及び軽量化により商品性・搭載性を確保した。9 速ギヤトレインは、複数のギヤ段で一つのギヤ列を共用する構造によりギヤ列数を削減し、従前の 6 速 T/M と同数のギヤ列数で 9 速を実現している。また、MIMAMORI から得た市場での入力頻度を基に、ギヤ・シャフトのサイズを AMT の入力に特化した専用設計とすることでサイズダウンを図っている。

加えて扁平タイプのフルードカップリングの採用により全長を短縮したほか、軽量な内蔵式油圧ギヤシフトユニット（以下、「GSU」と略す）の採用、ケースの薄肉化等、部品ごとの重量低減を徹底した結果、スムーサーに対して全長を 17 mm 短縮、重量は 8 kg の軽量化を達成している。

3　T/M 構造

ISIM の構造断面図及び主要なハード要素の配置を**図 4** に示す。各ハード要素の構造及び特長を **3.1 節～3.5 節**にて説明する。

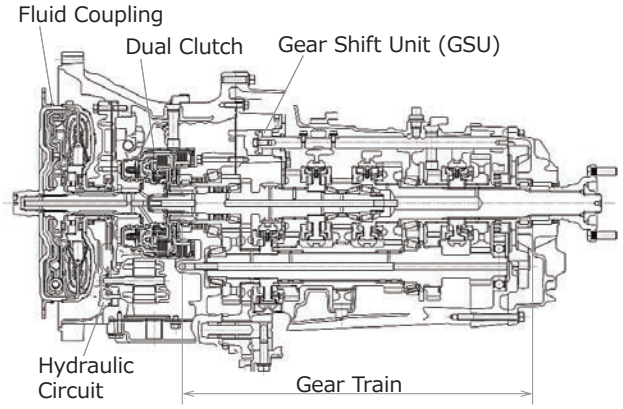


図 4　ISIM（MYR9 型）構造断面図

3.1 発進用フルードカップリング

T/M サイズ小型化のため、流路扁平率を従前比 23 %低減し全長を短縮した（**図 5**）。燃費性能向上のため、ロックアップダンパの低剛性ねじり領域をスムーサーに対し 1.7 倍拡大し、より低回転でのロックアップを可能とした（**図 6**）。

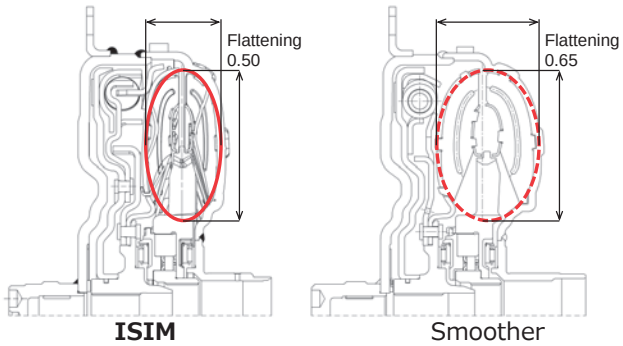


図 5　フルードカップリング断面比較

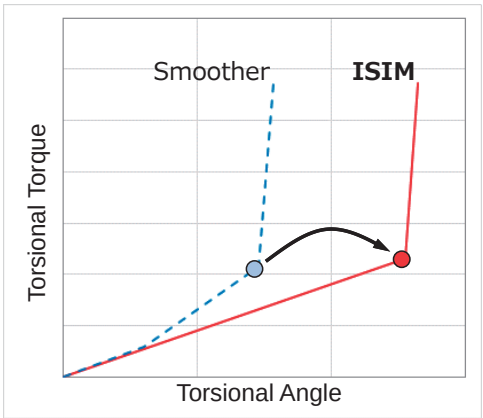


図 6　ロックアップダンパ特性

3.2 油圧制御ユニット

油圧要素の制御ユニットはクラッチハウジング内に前方隔壁を兼ねて構成配置し、クラッチ作動油圧を制御すると同時にGSUへも作動元圧を供給する設計とした。油圧回路図を**図7**に示す。高効率化のため、油圧源として入力軸に対しオフセットさせた小径のロータをチェーンで増速駆動し、高い容積効率が得られるオフセット式トロコイドポンプを採用した（**図8**）。また必要に応じてクーラ及びクラッチへの潤滑流量を2段階に切替える機構を採用し、クラッチドラグトルク増加を抑えたほか、回転しゅう（摺）動部には低フリクションタイプのシールリングを採用し損失を低減した。

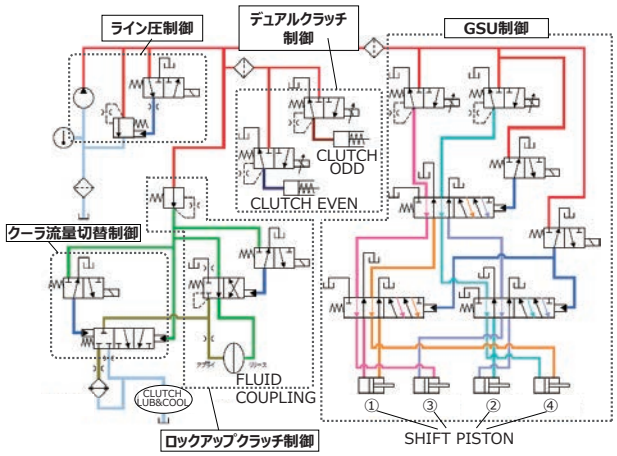


図7　油圧回路図

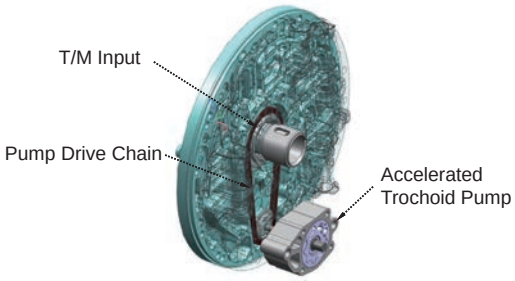


図8　オフセット式オイルポンプ

3.3 クラッチ

入力1系統、出力2系統の湿式多板デュアルクラッチを採用した（**図9**）。2系統のクラッチ出力はT/Mの偶数段及び奇数段の入力軸へ接続され、油圧ピストンにより両入力軸へ伝達するトルクを高精度で制御できる。

必要吸収エネルギーの高い発進機能を**3.1節**で述べたフルードカップリングに集約させたことで、クラッチサイズは変速の吸収エネルギーのみに特化すればよく、小径･低イナーシャのクラッチディスクを前後配置する構造とし、クラッチフェーシング部のドラグトルク低減、及びシンクロサイズダウンを実現した。

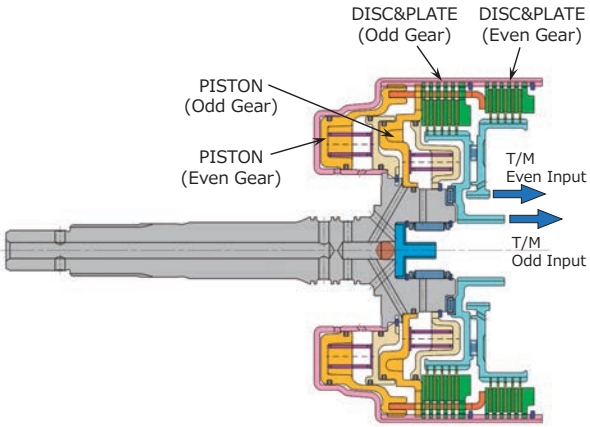


図9　クラッチパック構造

3.4 ギヤトレイン

3.4.1 構造

ISIMギヤトレインのスケルトン構造図を**図10**に示す。減速一段目となるプライマリーリダクションギヤ3対と、減速二段目となるアウトプットギヤ4対の組合せで得られる、合計12のギヤレシオの中から8つのレシオを用いて、直結段の7速と合せオーバードライブ2段の9段ギヤレシオを構成している。加えてPri Lo（Loプライマリ）ギヤ対を、逆のトルクフローで8/9thアウトプットギヤ対として共用し、更にギヤ列数を削減。結果としてスムーサー6速と同じ7つのギヤ列数で前進9段＋後退1段を実現した。

T/M入力部は二重軸構造であり、奇数段及び偶数段の動力伝達経路の入力部となっている。シンクロ機構を備えた4つのスリーブの切替えにより、それぞれの伝達経路上に所定のギヤ段の経路をあらかじめ構成し、変速は**図11**に示すトルクフローのとおり、2つのデュアルクラッチの出力トルクを制御し、一方の伝達経路からもう一方の経路へ徐々にトルクをシフトすることにより、動力伝達の切れ目のない変速を可能とした。

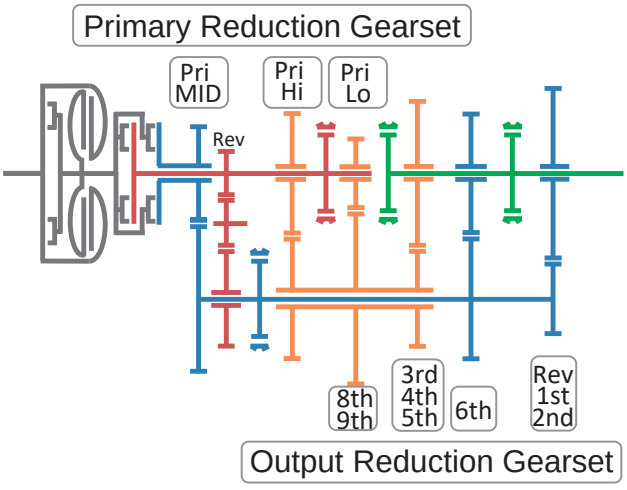


図10　ギヤトレイン スケルトン図

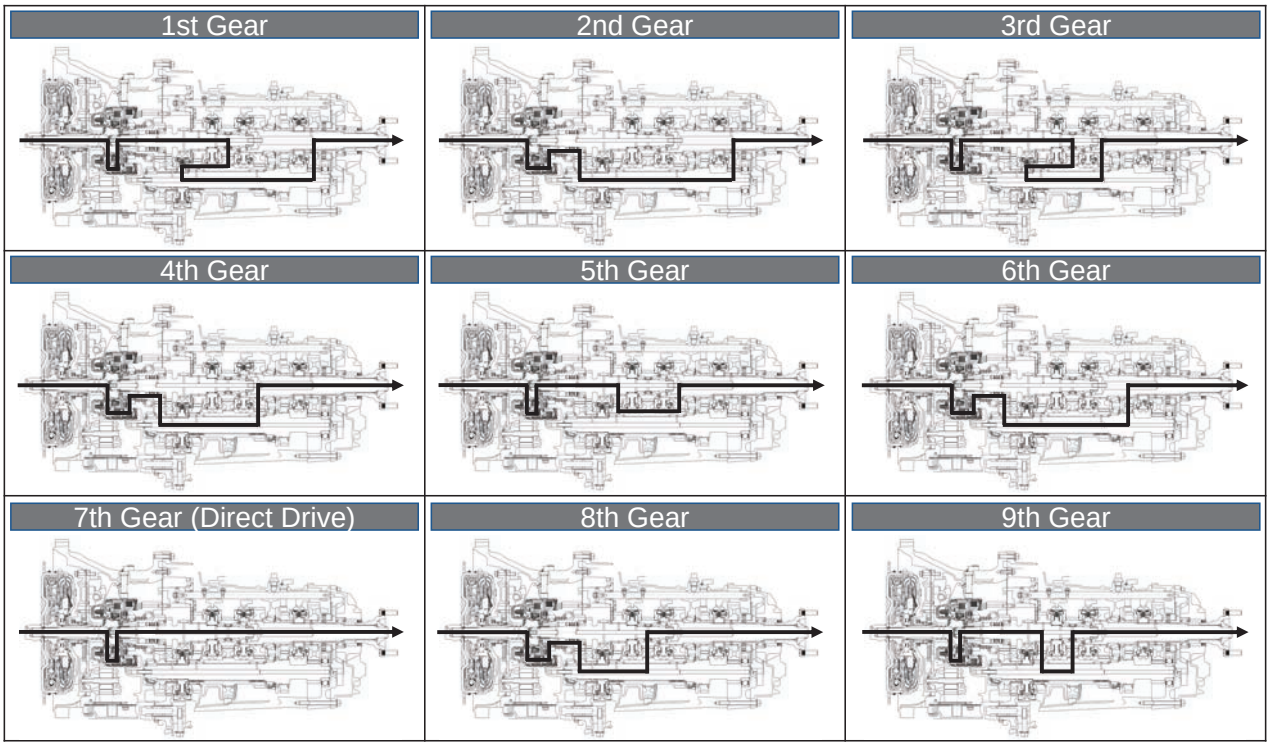


図 11　Torque Flow in Each Gear Position

3.4.2　損失低減技術

ギヤトレイン部の伝達動力の損失低減のため、低フリクションベアリング、カウンタシャフトによる攪拌抵抗を大幅に低減するオイルセパレータを設定した。これにより、高速巡行時のギヤトレイン部の伝達効率をスムーサー比で大きく改善することができた（**図 12**）。

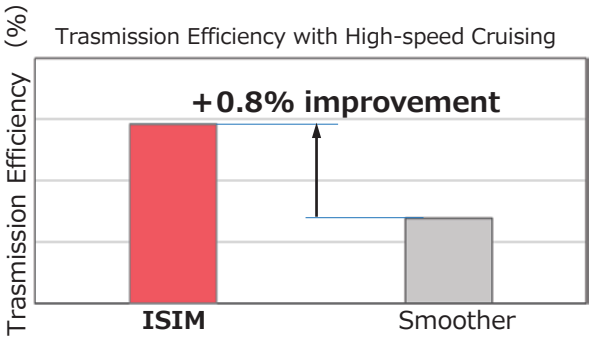


図 12　ギヤトレイン部 単体効率実測値の比較

3.5　GSU

クロスレシオ化に伴う変速間隔の短縮に伴い、T/M ギヤトレイン内のシフトスリーブには迅速な作動が求められる。そのため、GSU 方式は各スリーブを切替えるシフトロッドが各々独立して直動可能な油圧ピストン方式を採用した。スムーサーの GSU では必要だったセレクト動作が不要なため、各ロッドは短時間で作動が可能となっている。また油圧ピストン方式によりユニット本体を小型化し、T/M への内蔵が可能となり、小型軽量化と信頼性向上に貢献している。

図 13 は GSU 本体の概要であり、ギヤトレイン本体のスリーブを切替える 4 本のシフトロッドと一体となった油圧シリンダ部と油圧制御部で構成される。油圧シリンダ部には 4 本のシフトロッドに接続したピストンが内包され、制御部から油圧を受け、各ロッドを直接前後に作動させる。

ロッドの作動油圧は、**3.2 節**で述べた油圧制御ユニットから GSU 油圧制御回路に供給され、所定のロッドを必要な推力で動作させる。油圧制御回路に圧力制御用と方向切替え用のバルブを各々 2 つ設定し、これらの動作を組合せ、最小限のバルブ数で 8 室あるシリンダ室のうち所定のシリンダ室に任意のピストン作動油圧の供給を可能とした。

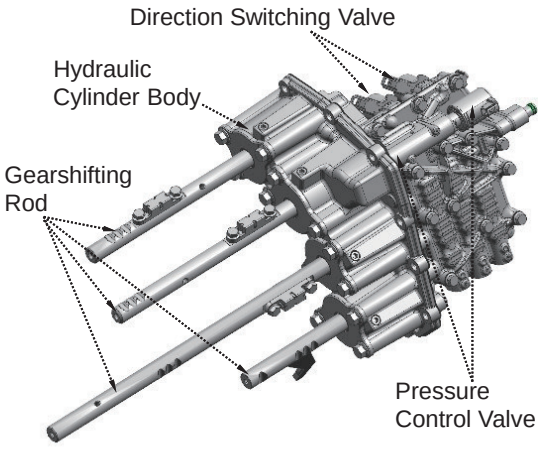


図 13　GSU 概要

4　トランスミッション制御

ISIM の制御系を司るコントロールユニットは、ハードウェア、ソフトウェアとも専用に新開発した。

4.1 節～4.4 節に概要及び特長を紹介する。

4.1　トランスミッションコントロールモジュール

制御は TCM（トランスミッションコントロールモジュール：Transmission Control Module）が行い、ISIM の量産に合せ新規に開発した（**図 14**）。TCM 筐体素材と基板回路構成を見直し、スムーサー用 TCM に対しコストは同等で、約 0.4 kg の軽量化を実現した。

図 15 にシステムの概要を示す。アクセルペダル及びシフトレバーなどのドライバ操作、車速及びギヤ位置などの車両状態、ほかのコントローラから CAN（Controller Area Network）信号を検知し、変速制御・ロックアップクラッチ制御・変速クラッチ制御を自動で行う。また、セントラル ECU（Electric Control Unit）などほかのコントローラと協調し、クルーズコントロール等のドライバ疲労軽減制御、AEBS（衝突被害軽減ブレーキ：Advanced Emergency Braking System）等の先進安全制御にも対応している。



図 14　TCM 外観図

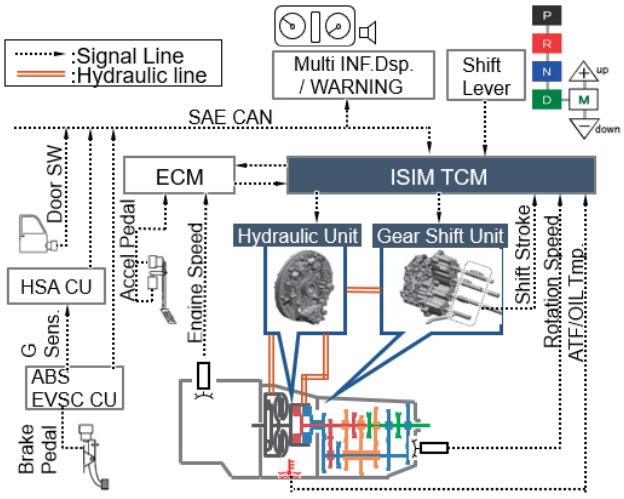


図 15　ISIM システム概要

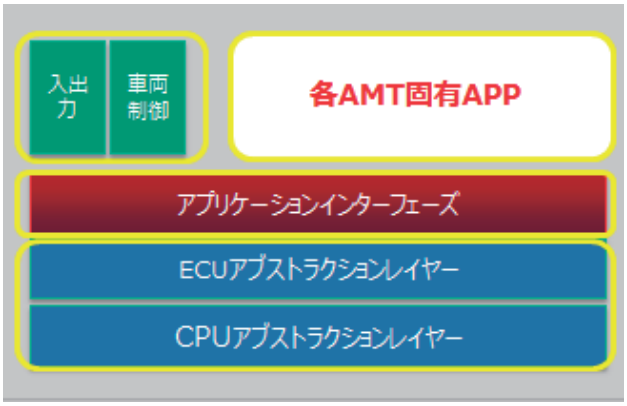


図 16　ソフトウェア構造

4.2　ソフトウェアコンセプト

これまで AMT 制御用 TCM は、各々の AMT システム専用に開発を行ってきた。そのため開発したシステムを別車型に展開する際、車型に合せた TCM 再設計が必要であった。今回 ISIM 用 TCM を新規開発するにあたり、ソフトウェア構造の見直しを行った（**図 16**）。

車両への入出力、CAN 信号送受信を行う BSW（Base SoftWare）部、制御実行する ASW（Application SoftWare）部を分離、ASW を交換することで別車型への展開が容易となった。また、制御モデルからソフトを自動で作成する機能を有しており、短時間でソフトリリースすることで開発期間の短縮に貢献している。

4.3　ギヤ選択制御

ISIM は省燃費とドライバの操作性を両立させるために新規にギヤ段選択制御を開発した。従前のギヤ段選択はあらかじめ設定したシフトマップをベースに行うのが主流である。シフトマップ制御は設定したエンジン回転で変速できるメリットがある一方、車格と道路環境を考慮する必要があり、ドライバの感覚と合わないシチュエーションが発生することがある。

そこで ISIM では、ドライバの感覚と直結する車両加速度に着目した。シフトアップ時は現在の走行抵抗を計算し、変速後あらかじめ設定した期待加速度を満たしたとき変速を実施する。期待加速度を満たしたときシフトアップすることにより、エンジン回転の上昇を抑制し省燃費運転に貢献した。また、期待加速度は MIMAMORI の頻度データから設定しており、より多くのドライバの操作感覚に合うようにした。シフトダウン時は車速から現在の車両減速度を検知し、あらかじめ設定した期待減速度が満たせなくなったときにシフトダウンすることで、車両減速度をサポートする。期待加速度をベースに変速することにより、降坂など道路環境の変化を適切に検知でき、ブレーキ操作回数を最小限にできる。

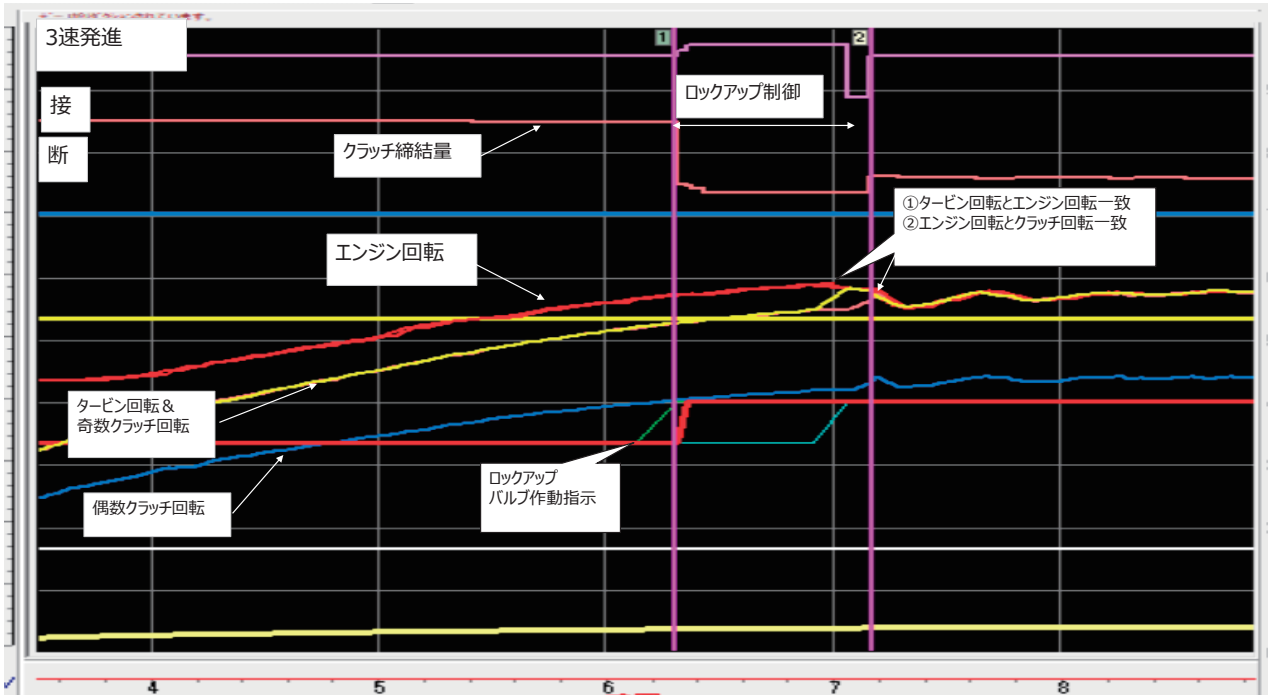


図 17　ロックアップクラッチ制御

4.4　ロックアップクラッチ制御

ISIM は燃費性能向上のために、スムーサーと同様、ロックアップクラッチ制御を実施している。スムーサーでは変速クラッチを接続したまま、ロックアップクラッチをデューティー制御にて接続している。スムーサーのロックアップクラッチバルブは油温等の環境の違いで応答性が異なり、ショック低減、チューニング工数の増大が課題となっていた。ISIM は課題解決に向け制御を一新した。

ISIM はクラッチを新規開発し、その性能を活用した新たな制御方法を導入した。同制御の作動状態を**図 17** に示す。ISIM のクラッチはスリップ制御が可能であり、ロックアップクラッチを接続する前にクラッチ締結量を減少させ、タービン回転とクラッチ回転にスリップを発生させる。クラッチ締結量を減少することでタイヤに伝わるトルクを制限でき、ロックアップクラッチ接続によるショックを軽減した。ロックアップクラッチ接続指示後、エンジン回転とタービン回転の同期を確認し、エンジン回転（タービン回転）とクラッチ回転を再同期させ、減少させていたクラッチ締結量を完接指示する。新規制御の導入により、ロックアップクラッチデューティー制御が不要となり、チューニング工数を 80 % 低減することができた。

5　おわりに

スムーサーを始めとしたいすゞの自動変速機開発の中で、ISIM は初の自動変速専用の完全自社内製 T/M であり、燃費性能・運転性能いずれもスムーサーを更に進化させることができたと自負している。

今後もお客様の低燃費・イージードライブのニーズにお応えできるよう、更なる改良と進化を継続していきたい。最後に本開発に際し多大なるご支援、ご協力をいただいた社内外の方々に心より感謝する。

著　　者


明石　浩平


江浪　健宏


金子　直弘


民部　俊貴


秋山　雄介


佐々木　玲香


田口　修司


大西　俊介


松田　準平

新型エルフ・フォワードのキャブ開発について

Cab Development for New ELF and FORWARD

越智　新太郎*
Shintaro Ochi
齋藤　卓弥*
Takuya Saito
又野　邦彦*
Kunihiko Matano
唐戸　卓巳*
Takumi Karato
中村　祐介*
Yuusuke Nakamura
福澤　克朗*
Katsuaki Fukuzawa
二階堂　大希*
Taiki Nikaido
齊藤　彰子*
Akiko Saitou
水城　崇*
Takashi Mizuki
寺沢　俊貴*
Toshiki Terasawa
後藤　遼*
Ryou Gotou
竹中　信*
Shin Takenaka
村田　一樹*
Kazuki Murata
柴口　翔*
Kakeru Shibaguchi
田中　裕之*
Hiroyuki Tanaka
谷口　仁章*
Yoshiaki Taniguchi
清水　貞明*
Sadaaki Shimizu
宮川　沙耶花*
Sayaka Miyakawa

要　旨

新型エルフは7代目、新型フォワードは6代目のモデルであり、中でもエルフ標準キャブは30年ぶりの全面刷新となる。EC（Electronic Commerce）市場の急速な拡大に伴うドライバの負担増加・多様化などの社会背景の解決に貢献するべく、「誰にでも使いやすいキャブ」を開発した。本稿では、新型エルフ・フォワードのキャブに盛込んだ主要技術について紹介する。

Abstract

New ELF is the 7th model, and New FORWARD is the 6th model in their series. Among them, New ELF standard cabin is fully renewed after 30 years. We've developed new easy-to-use cabin for everyone in order to contribute to solve the social backgrounds such as increasing drivers' workload due to the rapid expansion of e-commerce market, diversification of drivers, etc. This article introduces the main technologies installed into these new cabins.

1　はじめに

「誰にでも使いやすいキャブ」を開発コンセプトに掲げ、クラストップレベルの性能を狙い開発した主な項目について次の章より述べる。

2章：居住性向上（室内空間拡大・静粛性・ドライビングポジション改善・快適性）
3章：利便性向上（収納性・乗降性）
4章：安全性向上（視界・衝突安全性能）
5章：経済性向上（空力性能・軽量化）

なお、特記無き場合は、新型エルフ標準キャブについて述べるものとする。

2　居住性向上

2.1　室内空間拡大

誰にでも使いやすく、過ごしやすい室内空間を提供するために、クラストップの室内空間とするべく開発に取組んだ。室内高は、保安基準における4ナンバー車両の全高最大寸法からルーフ高を決定し、室内側においてもシート薄型化、ルーフ形状に追従してスペース効率を高めることができる成形ヘッドライニングを全車に標準装備した。車両前後方向では、Aピラーの角度を立て車両前方の居住空間を拡大。車両横方向については、タンブルホームを立てて居住空間の拡大を図った。各々の改善ポイントに対してミリ単位での調整にこだわりクラストップの室内空間を実現した（**図1**）。

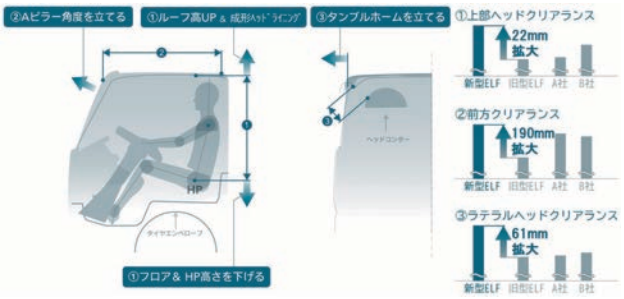


図1　室内空間拡大施策と他社比較

*車両設計第三部

2.2 静粛性向上

室内の快適性を高めてドライバの疲労軽減に貢献するため、あらゆるシチュエーションでクラストップの静粛性を目指して、新型キャブのNV（Noise Vibration）性能を向上させた。

フルモデルチェンジを機にボディ構造を見直し、こもり音と加速時の中周波音を改善した取組みについて紹介する。

新型キャブは、居住性を高めるために、室内空間を小型車枠の寸法制限の最大まで拡大したことで、ルーフパネルとバックパネルは大きく平らな形状となり、こもり音低減のための剛性確保が課題となった。

そこでルーフパネルの剛性向上のために、ボディサイドとルーフヘッダとの接合位置を変更した。更に、雨水の排水性及び空力性能が求める要件を確保し、ビード形状の幅と深さを見直して、板厚を薄くしながら剛性向上も達成した（**図2**）。

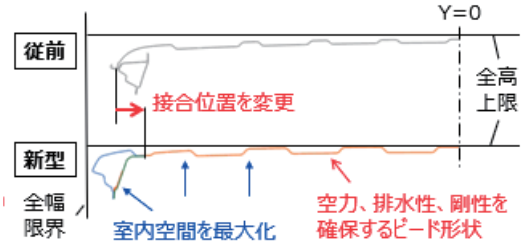


図2　ルーフパネル新型従前比較

バックパネルはレインフォースメント端部にガセットを追加することで、接合部の剛性を向上し振動を抑制する構造とした（**図3**）。

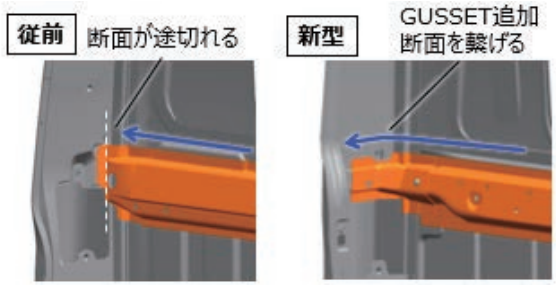


図3　バックレインフォースメント端部補強

加速時の中周波音は、次の**2.2.1項**と**2.2.2項**の対応により改善を図った。

2.2.1　キャブマウント部の剛性向上

シャシからの振動伝達を抑制するために、フロア骨格を見直してキャブマウント取付け部の剛性を向上させた。

フロントマウント取付け部の間をつなぐレインフォースメントを追加し、アンダーフレーム後部の断面を拡大することで、キャブマウント部の剛性を従前比85％向上させた（**図4**）。

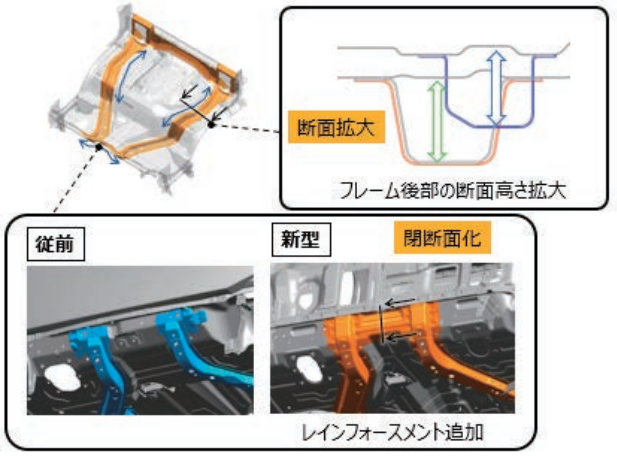


図4　フロア骨格部補強

2.2.2　フロアパネル面剛性向上

軽量化のために、従前では二分割だったフロアパネルを一体化し、板厚を薄くしながら、ビード形状の工夫によりフロア面剛性を従前比39％向上させた。ビード形状は前後左右どちらの方向の折れに対しても、交差して分断する形状（**図5**）とした。

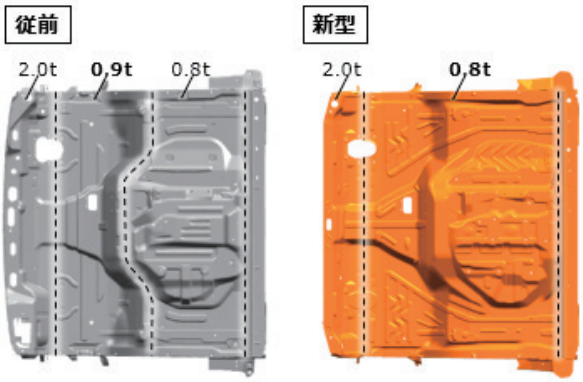


図5　フロアパネル新型従前比較

2.3 ドライビングポジションの改善

ドライビングポジション（以下、「ドラポジ」と略す）は、ドライバの姿勢、ペダル・ステアリング・レバー類の操作性、各種視認性等のさまざまな要素を考慮して構成するが、他社ベンチマークの結果から新型エルフ・フォワードで実施したドラポジ改善項目について紹介する。

2.3.1　アクセル・ブレーキペダル段差の縮小（新型エルフ）

従前型エルフのアクセルペダル（以下、「Aペダル」と称す）とブレーキペダル（以下、「Bペダル」と称す）の段差は他社比で約20 mm大きく、ペダル段差が大きいと踏み替え時の足の移動量が大きくなり、踏み替えのしにくさ及び長時間運転時の疲労蓄積につながるため、A･Bペダルの段差を縮小した。

従前車はヒップポイント（以下、「H/P」と称す）を基準とした場合、Bペダルの前後位置が他社比で約20 mm車両後方にありドライバに近い。そこで新型ではBペダルの前後位置を車両前方に移動するために、ペダル比を調整し、踏力補助機構を必要としない範囲で最大限のBペダルストロークを縮小した。

加えて、Aペダルの吊り下げ化に伴い、Aペダル前後位置を他社同等位置に変更することでA・Bペダル段差を縮小し、同クラストップレベルのペダル踏み替え性を達成した（**図6**）。

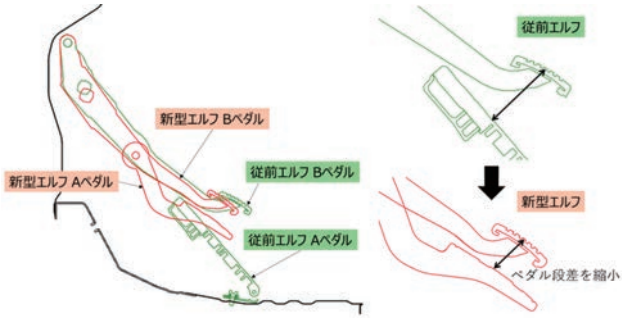


図6　A･Bペダル段差の新型従前比較

2.3.2　A・Bペダル段差改善に伴うクラッチペダル初期位置見直し（新型エルフ）

ドライバはA･Bペダルへの足置き性を基準におおよそのシートポジションを決定する。A・Bペダルの段差改善によりBペダル前後位置を車両前方に移動したことで、クラッチペダル（以下、「Cペダル」と称す）が相対的にドライバに近づき、操作時に窮屈感を生じるため、Cペダル初期位置の見直しも行った。

Cペダル前後位置をBペダルに近づけるため、ペダル比変更によりCペダルストロークの縮小を行った。その際にエンジン仕様の違いによるクラッチの切れ点、エンゲージ点、踏力のバランスを配慮しストローク量を決定した。また、足置き性確保とストローク時のペダルとフロアの隙確保のため、ペダルパッド角度調整も併せて行うことでCペダル操作性を改善した（**図7**）。

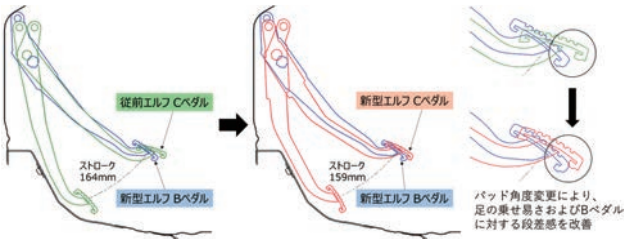


図7　新Bペダルに対する新型従前Cペダル位置比較

2.3.3　ステアリング操舵性向上（新型エルフ･フォワード）

右左折時のステアリング操舵性向上のため、ステアリング全周に手が届くようチルト＆テレスコピック（以下、「チルテレ」と略す）の調整範囲を拡大した。

人体モデルのショルダーポイント及び腕の長さから手が届くエリアを設定し、ステアリング12時位置がエリア内に入るようにした。

結果としてチルテレ調整範囲拡大により、ステアリング全周に手が届くレイアウトが可能となり、ステアリング操舵時の運転姿勢の安定性が向上した（**図8**）。

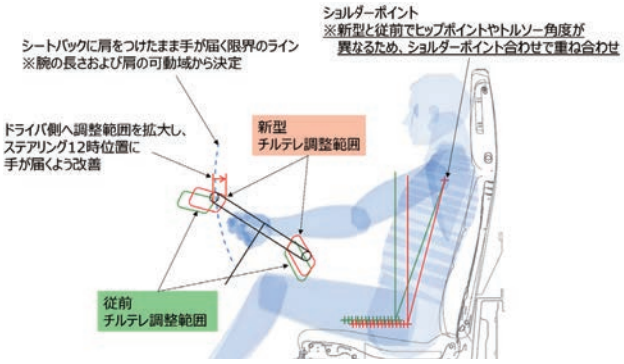


図8　エルフのチルテレ調整範囲の新型従前比較

2.3.4　シート新規開発による小柄ドライバのペダル操作性向上（新型エルフ･フォワード）

小柄ドライバのペダル操作性向上のため、新型エルフ･フォワードともに新規シートを開発した。新型エルフではシートの薄型化によりH/Pを10 mm下げた。新型フォワードでは小柄ドライバのペダルの踏み込みやすさ改善のため、従前比でシート高の下側調整量を12 mm拡大及び前後スライド量の40 mm拡大を実施した。加えて、シートスライドピッチを細分化することで、より幅広くドライバの体型に合せたドラポジ調整を可能とした。

2.4　快適性向上

2.4.1　シート構造改善

新型エルフでは、標準キャブの室内空間を拡大するため運転席構造を見直し、H/Pを10 mmダウンした薄型運転席（以下、「標準シート」と称す）を開発した。シート座面を薄くしH/Pを下げるために、減衰性に優れる低反発ウレタン（MDI処方）を採用した。また座面形状、クッションパネル形状、パッド物性の最適化を行うことで従前車と比べシート性能を向上し疲労軽減に貢献した（**図9**）。更に標準キャブ･ハイキャブ･ワイドキャブともにシートスライドのピッチを従前の15 mm、12 mmから10 mmに狭め、より最適なシートポジションの設定と、ベルト装着性を向上させるシート組込み式インナシートベルトを採用した（**図10**）。

乗降のしやすさを重点に置いた標準シートのほか、標準キャブでは世界初のサスペンションシートをオプション設定し、さまざまな用途に対応した快適な運転環境を提供した（図 11）。

新型フォワードではチルトハイト機構を刷新し、ハイトとチルトが独立調整できる構造とした。また無段階調整に変更し、きめ細かな調整を可能とした。併せて操作レバー構造を見直し、操作性の向上により疲労軽減につなげた。

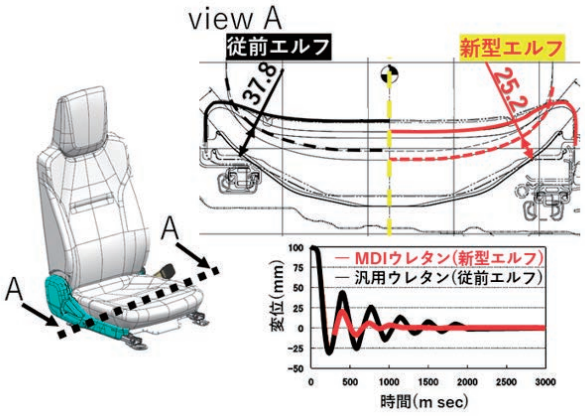


図 9　標準シートの座面厚さ、減衰特性 新型従前比較

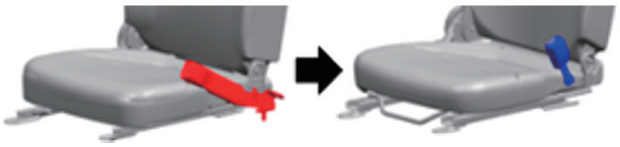


図 10　組込み式インナシートベルトの採用



図 11　エルフ用サスペンションシート外観

2.4.2　シート装備展開

新型エルフでは、運転席へシートヒータやアームレストなどの快適装備を拡充した。アームレストは初採用の装備となり、車室内がコンパクトなエルフでもドライバの運転姿勢をサポートし、かつステアリングとシフト操作が両立できるよう、長さ･幅･高さを最適化した。また、寒冷地で需要の高いシートヒータを標準シートに初採用した。これらの快適装備の採用により、新型エルフの運転席展開は図 12 となり、幅広いドライバのニーズ対応とドライバ疲労軽減に貢献した。新型フォワードでも新型エルフと同様の装備展開をするとともに、標準シートよりも多機能な高機能シートを採用した（図 13）。

	標準	オプション①	オプション②	カスタム
				
アームレスト	−	●	●	●
シートヒータ	−	−	●	●
ランバーサポート	−	−	−	●
シート表皮	トリコットスエード	トリコットスエード	トリコットスエード	トリコットスエード +合成皮革

図 12　エルフ標準シートの装備展開



図 13　フォワードの運転席

2.4.3　ステアリングホイール

ドラポジの変更と併せてハンドル直径を約 30 mm 小径化（Φ 382 mm）した。これにより操舵時に肩がシートから離れづらくなり運転姿勢が安定した。またステアリング操作がしやすくなり、キャブオーバ車の運転経験が浅いドライバにも違和感なく運転できるようにした（図 14）。



図 14　ステアリング操舵時の乗員姿勢

同時にリムの断面形状を見直し、グリップ径を約 1 mm 太くした。これによりステアリングホイールを握りやすくし、ドライバのストレスと疲労軽減を図った（図 15）。

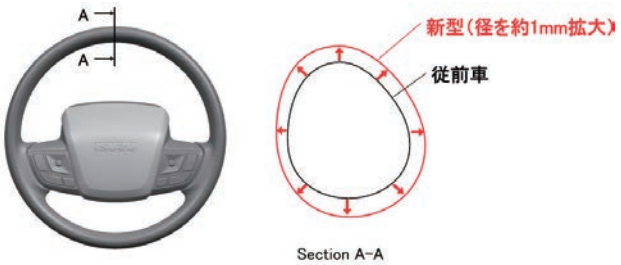
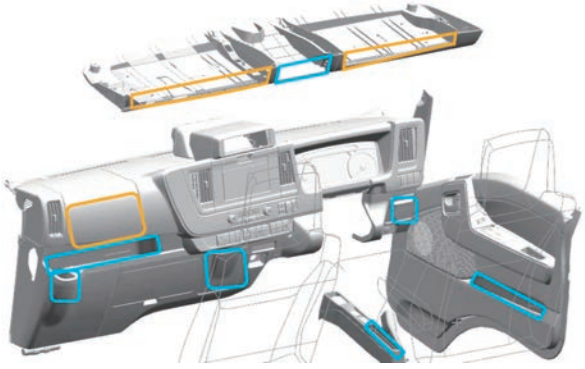


図 15　グリップ断面形状

3　利便性向上

3.1 室内収納性・ユーティリティ向上

内装設計の基本コンセプトである「使いやすく、過ごしやすい室内を提供する」にしたがい、標準設定する室内収納のほか、お客様のニーズへ柔軟に対応できるオプション収納の選択肢も充実させた。ドライバから手が届くインストルメントパネル（以下、「インパネ」と略す）中央部とルーフ中央部へ収納スペースを標準設定したことと、いすゞクラス初となるヘッダトレイをオプション設定し、フルオプションによりクラス最大容量の室内収納を提供した（図 16）。



青枠は標準設定、黄枠はオプション設定

図 16　キャブ内収納配置図

3.2 機能拡張性向上

特殊なコントローラを架装によってインパネに追加するニーズがあり、標準設定している DIN スペースでは足りないケースがある。そこでお客様のニーズに応じて DIN サイズコントローラを後付けによる増設が可能な構造とした（図 17）。

インパネ上面とヘッダトレイにそれぞれ 1 箇所ずつ増設が可能で、最大 4 個の DIN サイズコントローラを搭載可能。また、将来のディスプレイオーディオ画面サイズ拡大に備えたパッケージプロテクトとして、ディスプレイオーディオの収納スペース確保とオーディオベゼルの別体化により、インパネを再設計することなく 9 インチディスプレイの搭載を可能とした（図 18）。

バックトレイは収納物に応じて適切な保持ができるよう上下 2 箇所ずつの通し穴にバンドを通すことで、大きさの異なる収納物の保持を可能とした（図 19）。

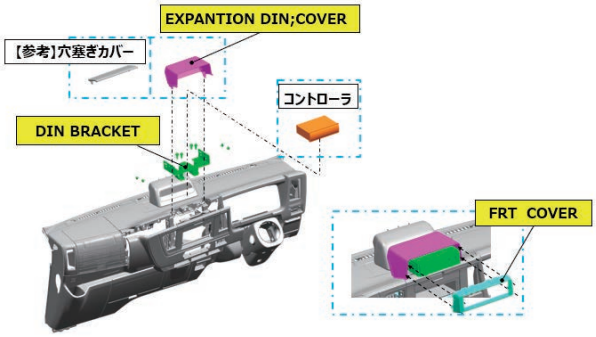


図 17　インパネ DIN スペース拡張

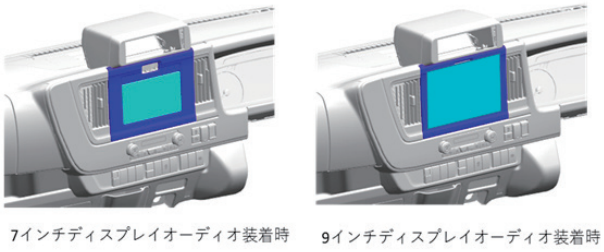


図 18　9 インチ DA パッケージプロテクト

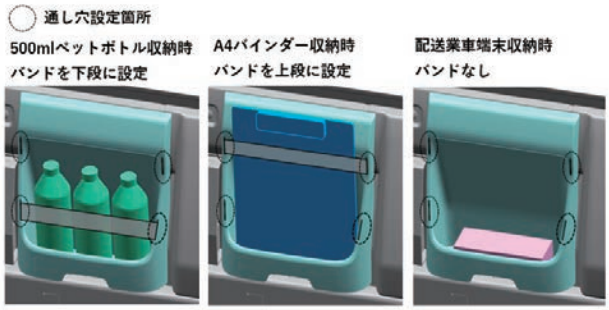


図 19　バックトレイ機能拡張

3.3 乗降性向上

誰にとっても快適で使いやすく、適切な乗車姿勢で乗り込みができて、なおかつ着座位置から車を降りてドアを閉めるまで、一連の乗降性について向上を図った。

ドアアウトサイドハンドルは従前車では、レバー高さから操作アクセスが下方向に限定したレタータイプであったのに対し、新型車は上下２方向からのアクセスを可能とし、使いやすい方向をお客様に選んでいただけるように改善した（**図 20**）。



図 20　上下２方向からアクセス可能なドアハンドル

ドア開口とサイドシルの寸法を拡大したことにより大柄な人でも適切な姿勢で乗り降りできるようにした。更に乗降グリップを拡大し、設定高さを最適化することで、小柄な人から大柄な人まで掴みやすい形態とした（**図 21**）。

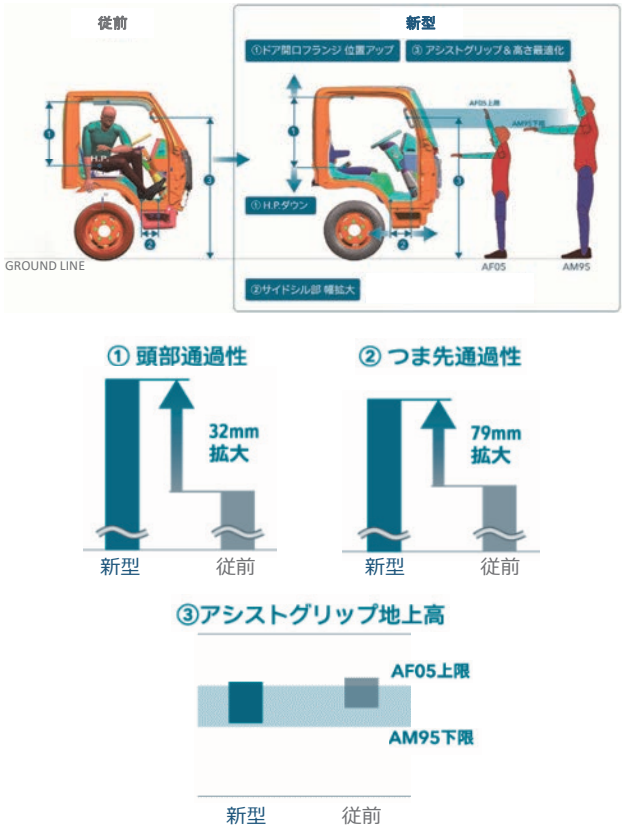


図 21　頭部・つま先通過性とグリップ地上高

乗員が着座したあとに、身を乗り出さずにドアを開閉できる位置にドア全開度を設定した（**図 22**）。

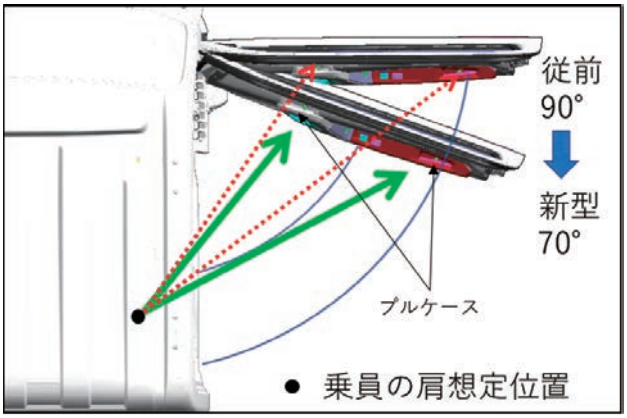


図 22　ドア全開度変更による開閉操作性向上

ドアを閉める操作では、ドアの軽量化及び車室内の気密性向上により、従前車と比較してより大きなドア閉方向エネルギーが必要となった。そこでドア第一チェックのアーム形状に、開く方向の操作力の増加許容範囲内で勾配をつけることで、ドア閉方向にエネルギーが発生する設定とした（**図 23**）。

更にエネルギー損失を減らすために、ドアヒンジ回転部のカシメ力を減らし回転抵抗を下げた（**図 24**）。

チェックアーム形状変更、及びドアヒンジ回転抵抗低減により、お客様がドアを閉める操作エネルギーを従前比で引き下げ、ドア閉め性向上を実現した。

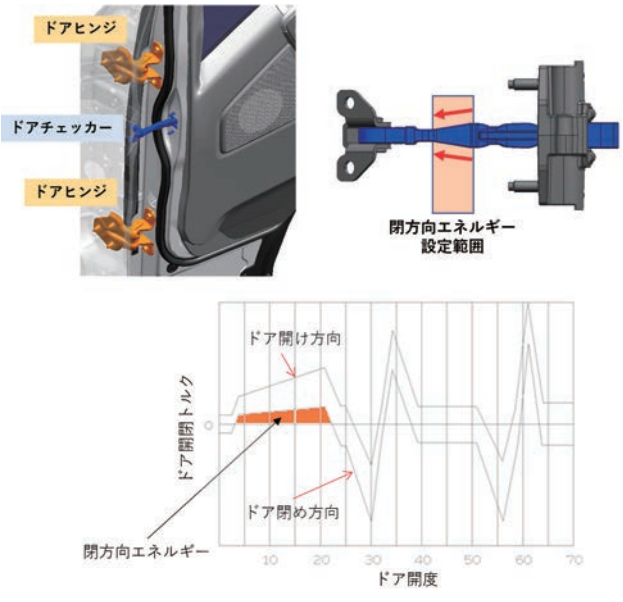


図 23　ドアチェックの閉方向エネルギー

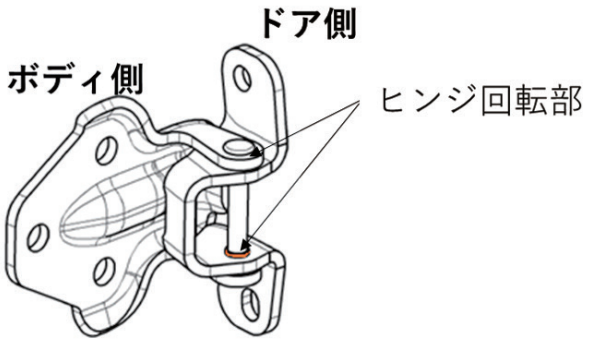


図 24　ドアヒンジの回転抵抗低減

4　安全性向上

4.1　視界向上

商用車の事故発生状況を分析すると右左折時の事故が多くを占めているため、交差点の右左折時の視界向上にも取組んだ。

まず右折時には A ピラー断面と角度、ミラー位置の変更により従前車比で視界向上を達成した（**図 25**）。



図 25　A ピラー及びミラー死角改善

A ピラー断面変更にあたって、必要なキャブ剛性を確保しながら、ドライバの視界方向の断面縮小を行い、従前比ピラー死角の 1° 縮小及び前方視界の 2.2° 拡大を達成した（**図 26**）。

本変更により、両眼視でピラー越しに歩行者が隠れないサイズとなり、右折待ちから横断歩道直前まで歩行者を常に視認できるようにした（**図 27**）。

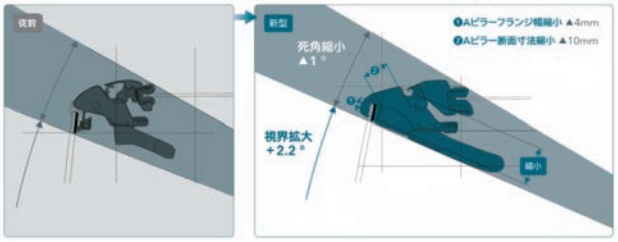


図 26　A ピラー断面の視界最適化

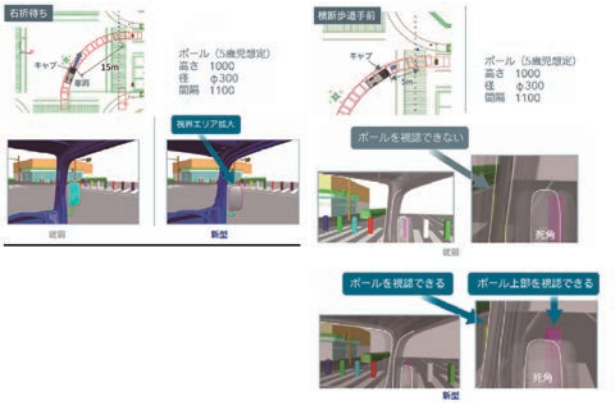


図 27　右折待ち、横断歩道手前での視認性

また、左折時にはウエストライン高さ、インパネと乗降グリップ形状を最適化することで、クラストップの左側方視認性をキープした（**図 28**）。



図 28　左側方視認性

4.2　衝突安全性能向上

4.2.1　衝突安全性能の狙い

衝突安全性能に対する要求は世界的な高まりを見せており、日本政府も交通事故ゼロ、交通事故死傷者数ゼロを目標に掲げている。新型エルフ・フォワードでは、交通事故死傷者数の低減に貢献するため、死傷者数の多くを占める乗員と歩行者の保護性能向上に取組んだ。

キャブオーバトラックはその車両特性上、乗用車のようなクラッシュゾーンが確保できないため、限られた寸法の中で、キャブ室内保護空間とクラッシュゾーンによる歩行者保護のバランスをとることが課題となる。

そこで開発初期では MADYMO を使い、シャシフレーム及び乗員拘束装置に求める特性を検討した（**図 29**）。シャシフレームでは衝突時に荷台の前進によるキャブ

変形を低減するため、クラッシュボックスを設定して、フレーム全体の衝突特性を見直した。乗員拘束装置ではシートベルトのレイアウト及び仕様の最適化を行った。設計検証は主にCAE（Computer Aided Engineering）で行い実機検証削減による開発効率向上を図った。

結果として、商用車トップクラスの衝突安全性能を実現させた。

4.2.2項、4.2.3項では、乗員保護性能と歩行者保護性能について主にキャブに関わる取組みを紹介する。

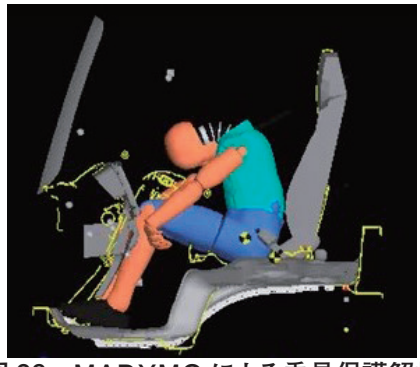


図29　MADYMOによる乗員保護解析

4.2.2　乗員保護性能

市場事故分析から受傷部位として多い頭部、胸部、脚部の保護性能向上に重点的に取組んだ。

ボディではアンダーフレーム断面の改善及びサイドシルの閉断面化により、衝突時のボディ変形を抑制して室内の残存空間を確保した（**図30**）。

ボディの変形を抑制することで、シートベルトによる衝撃吸収ストロークが確保できる。その空間を活用して、シートベルトのロードリミッタ荷重値、及び運転席と助手席のエアバッグの出力と容量を最適化して、頭部と胸部の傷害値を低減した。

また、運転席シートベルトバックルを鉄板仕様からウェビング仕様に変更した。片手装着ができるようにブーツをつけて自立性を確保しつつバックル位置を見直し、衝突時の腹部巻き締まりによる胸部傷害値の悪化を防ぐベルトパスを実現した。



図30　ボディフロア骨格の改善

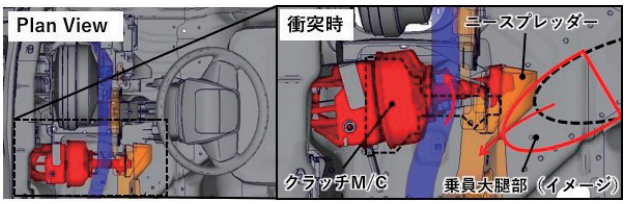


図31　クラッチマスタシリンダと乗員大腿部の衝突時挙動イメージ

下肢傷害低減についても取組んだ。特に運転席側はクラッチマスタシリンダが膝前にあるため、干渉による下肢傷害が課題となる。そこで直撃を防ぐために、衝突時にシリンダが膝から遠ざかるよう傾倒させながらニースプレッダで足の動きをコントロールし、シリンダと膝の直撃による下肢への傷害を低減させた（**図31**）。

衝突後の乗員救出性確保にも取組んだ。ドアウエスト後端部のロックレインフォースを拡大し、閉断面範囲を拡大した。これにより衝突時の変形モードをコントロールし、ドア開扉性を確保した。また衝突後のドア開扉操作力は常用時と比較して増加する。アウトサイドハンドルを従前のレタータイプからセミグリップタイプに変更し、外から救出する際にドアをより強く引くことができる仕様とした。

4.2.3　歩行者保護性能

市場事故を分析すると、商用車による歩行者死亡事故では車両前面に頭部衝突による受傷が最も多く、新型エルフ・フォワードでは車両前面の歩行者の頭部を保護する性能の向上に取組んだ。

ヘッドインパクタ試験の実施にあたり、頭部が車両にどのようにあたるか、MADYMOを使い条件を決めた（**図32**）。また、市場事故分析とアクティブセーフティとの連携を踏まえて衝突速度を決定した。

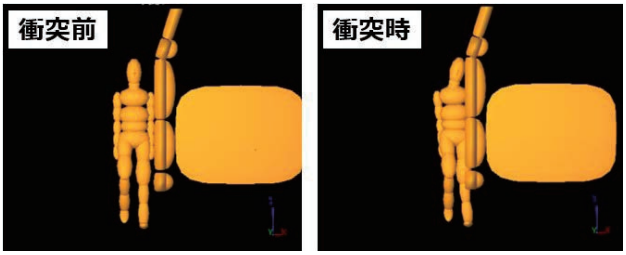


図32　MADYMOによる衝突時の歩行者挙動イメージ

フロントパネルアッパは衝撃低減のため樹脂によるEA構造化の工夫を行った。更に車両全長規制の範囲内で、構造と意匠を工夫することでフロントパネルアッパを膨らませて、ボディ側も懐を深くすることで、クラッシュストロークを確保した（**図33**）。

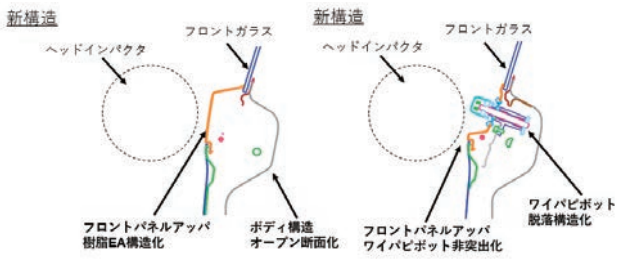


図 33　フロントパネルアッパ断面

ワイパ周りに関しては、ワイパピボット先端がフロントパネルの一般面より車両前方側に突出しない工夫を凝らし、フロントパネルでも衝撃を吸収できるようにした。またワイパピボットは衝撃を緩和できるように脱落構造を採用している。

フロントパネルを固定するブラケットの形状も工夫した。部品の保持機能を確保しながら、衝突時には根元から変形して衝撃を吸収できるように折り曲げ形状とした。

サイドミラーのパワーユニット部分は、ユニットレイアウトとサイドパネルの形状を工夫した。車両全長規制の範囲内で、サイドパネルはできるだけ車両前方に膨らませ、かつユニットを後方に移動させることで衝撃吸収スペースを確保した（**図 34**）。パワーユニットを後方に移動すると、ミラーステイの長さが短くなりミラーヘッドの回転時に反力が上がってしまうが、ミラー格納トルクのバランスを考慮したミラーシステム設計により歩行者の保護性能を確保した。

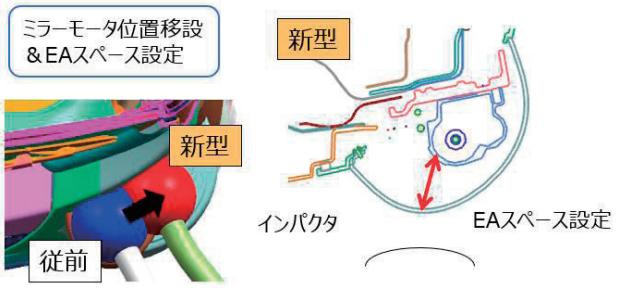


図 34　サイドミラーユニット部　断面

5　経済性向上

5.1　空力性能向上

新型エルフの空力開発では、キャブ骨格における空力性能への寄与度の高い部位を特定するため、モーフィング解析を活用した。

各パラメータの空気抵抗の感度を分析し、ルーフ前端部と A ピラー部の流れの改善を重点的に実施した。キャブの上面及び側面に付着流れを形成することで、空力性能を向上させている。また、床下の空力改善も同時に推進した（**図 35**）。

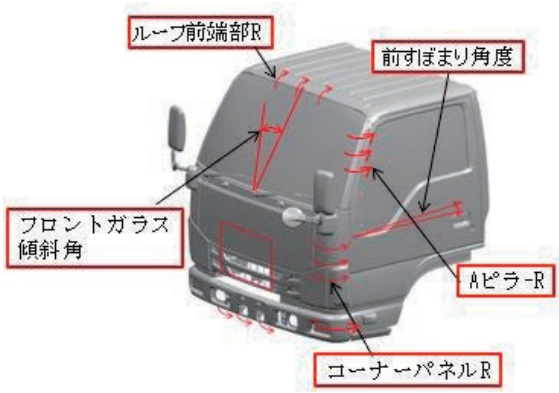


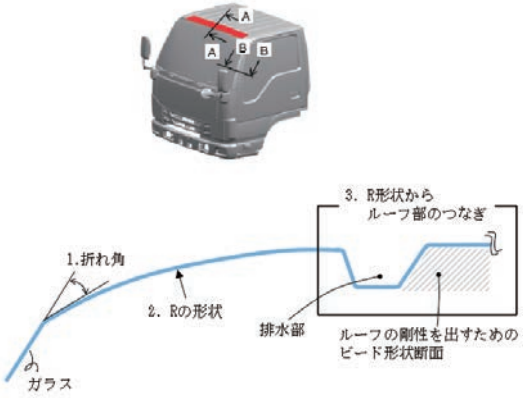
図 35　モーフィング解析イメージ

5.1.1　キャブ空力改善

①　ルーフ前端部形状最適化

キャブ上面の流れについては、ルーフ前端部を 3 つの部位に分けて検証した（**図 36**）。

1. ガラスとルーフの折れ角
2. ルーフ前端の R 形状
3. 2 とルーフ部のつなぎ



SECT A-A

図 36　ルーフ部パラメータ

1、2 の組合せに加えて、3 の部位でルーフの剛性・排水性との両立を図り、排水溝の深さと、ビードの高さを含めた最適形状としている。

新型車では従前車と比較して、キャブに付着する流れとなっていることがわかる（**図 37**）。

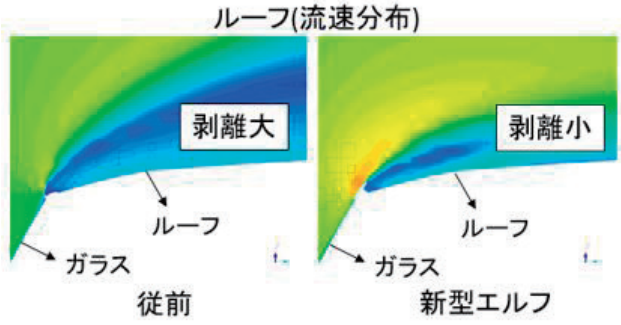
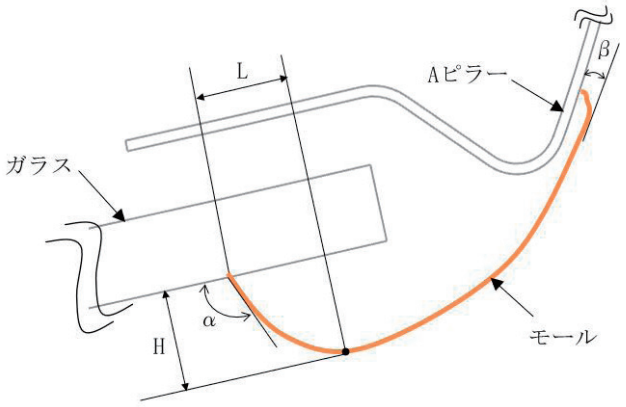


図 37　キャブ上面の流速分布比較

② Aピラーモール部形状最適化

キャブ側面については、ピラー断面のコーナ部形状に加えて、フロントガラスのモールの断面の最適化も実施した。

モールの幅と位置は直接視界に影響を及ぼすため、視界と風流れの両立を目指した。限られたAピラー断面の中で、ガラスからの立ち上がり角α、モールの高さH、頂点の位置L、モールリップと外板パネルのなす角度をβパラメータとし、ケーススタディを実施した（図38）。



SECT B-B

図38　モールパラメータ

Aピラー（流速分布）

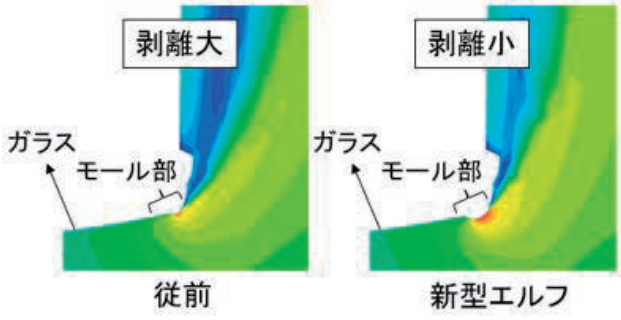


図39　キャブ側面の流速分布比較

モール部で流れを加速させ、領域を増やして空力性能向上につなげるモール断面を実現している（図39）。

5.1.2　床下空力改善

床下に流れた空気は、起伏の大きなシャシ部品（タイヤ、アクスル等）に当たることで、より大きな空気抵抗が発生する。そのため、床下への風流れを抑制するために、バンパのサイド側に流れを誘導するエアダム形状を設けた。更にスパッツを新規設定することにより、バンパ下端からの床下の流れをコントロールしてシャシ部品に当たる量を抑制した（図40、図41）。

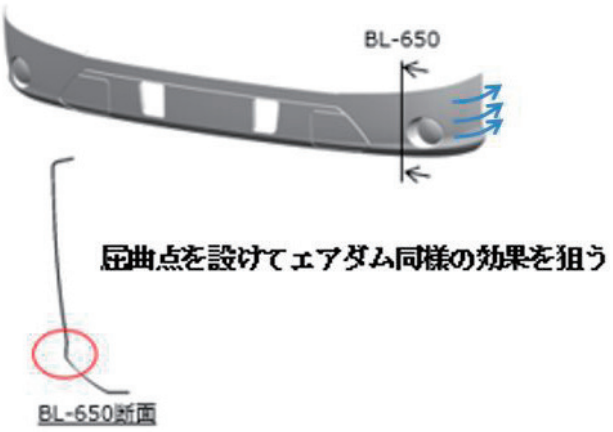


図40　バンパ下端形状最終コンセプト

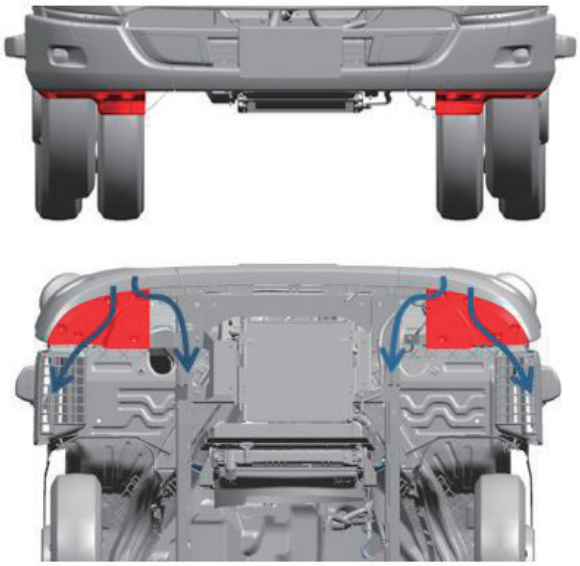


図41　バンパスパッツ（前面・下面）

これらの改善により、現行比で約25 %の空気抵抗値改善を実現した。

5.2　軽量化

5.2.1　トポロジー最適手法の活用によるボディ軽量化

居住性拡大によるボディ寸法の拡大と軽量化を両立させるため、開発初期にトポロジー最適化を活用して、開口部剛性、ねじり剛性を確保しながら軽量化につながるボディの骨格構造、接合位置、及び板厚を導出した。

トポロジー最適化で得た補強部位と剛性に対する各部品の板厚の感度から初期構想を検討し、ボディ構造に反映した。最終的に目標性能を満足したうえで、従前比でボディ重量を約8 %低減した（ボディ寸法拡大分を考慮すると約11 %低減）。

5.2.2　塗布型制振材の採用

新型エルフは、制振性能を確保しつつ軽量化するために、塗布型制振材を採用した。塗布エリアは、フロア振動解析により振動が大きい部位を抽出し必要最小限に設定した（**図 42**）。塗布エリアの最適化によって、制振材重量を従前比約 10 ％削減した。

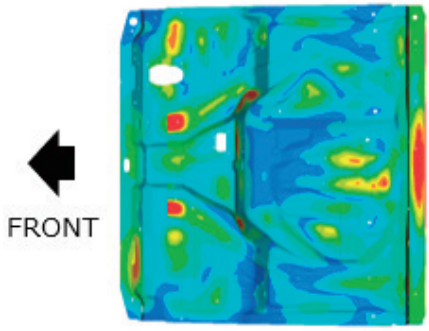


図 42　フロアパネル振動分布

5.2.3　バンパ軽量化

新型エルフは、衝突安全性能の向上を目指し、バンパとシャシフレーム間に鉄製のクラッシュボックスを設定し、空力性能向上を目的にスパッツをバンパ下に新規設定した。また、商品性向上のためにポップアップ式ヘッドランプクリーナ（小型車初採用）及び LED フォグランプ（標準キャブ初採用）の採用等、多くの新規アイテムをバンパ周りに採用した（**図 43**）。

これらの新規アイテムの採用により、積載性に大きな影響を及ぼす前周り軸重が増加してしまったため、従前車に比べてバンパ軽量化の必要性が高まった。

このため、新型エルフでは主要構造部材の樹脂化、多分割構造による構造部材の最適配置、小型 LED フォグランプの採用により、バンパの軽量化を図った。

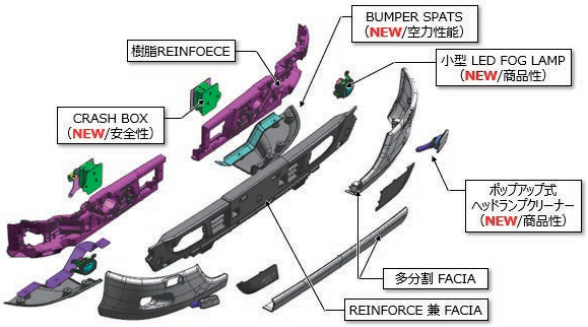


図 43　新型エルフ バンパ部品構成図

①　主要構造部材の樹脂化

従前車のバンパは灯火器の固定と衝突時の荷重保持のため構造部材は鉄製であったが、短繊維ガラス強化 PP（Polypropylene）材の採用により、体積は増加したものの、固有値及び剛性はそのままに軽量化が実現できた（**図 44**）。

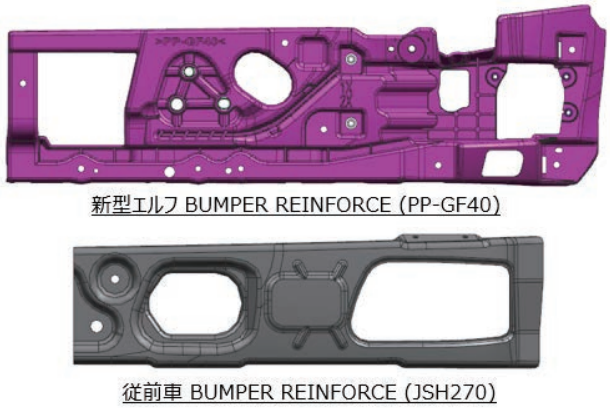


図 44　バンパレインフォース構造比較（従前 vs 新型）

②　多分割構造による構造部材の最適配置

従前車のバンパ意匠部品は一体構成のため、強度が欲しい部位だけの補強が困難であったため、全体的に厚肉な構成であり高重量となっていた。新型エルフでは、多分割構造により、意匠面と強度を担う部位を分けたことで、最適な樹脂板厚の配置が可能となった（**図 45**）。また、この分割構造によって、軽衝突時に部品の部分的な交換が対応可能となり、ライフサイクルコストの低減にも貢献している。

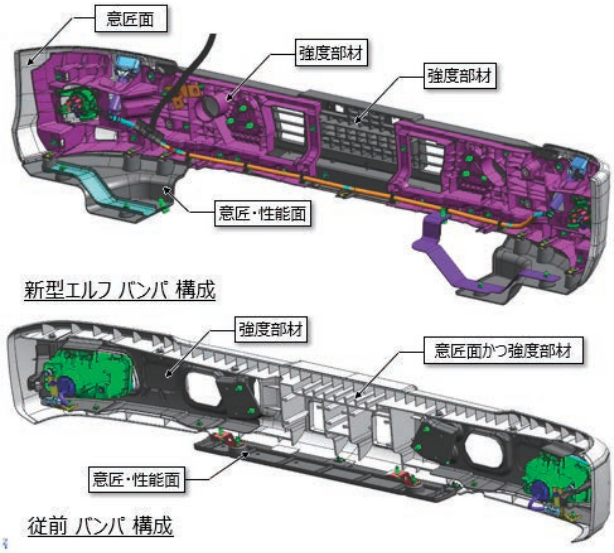


図 45　バンパ構成比較（従前 vs 新型）

③　小型 LED フォグランプの採用（標準キャブ）

従前車ではハロゲンバルブかつガラスレンズの従前フォグランプを採用していたが、LED バルブかつ樹脂レンズのフォグランプ採用により、灯体自体の軽量化及び支持部材への負荷軽減による軽量化を達成した（**図 46**）。

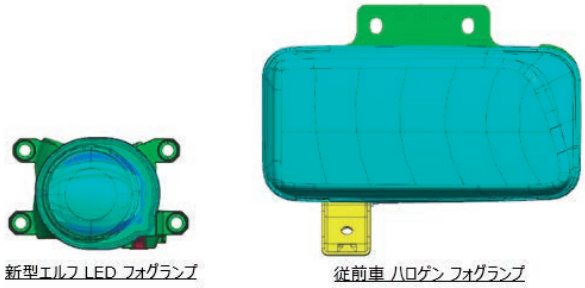


図 46　フォグランプ構造比較（従前 vs 新型）

5.2.3 項で述べたの方策により、衝突安全性と空力性能、商品性を拡充させつつ、従前比 35 % の軽量化を達成した。

5.2.4　ドア部品の軽量化

居住性拡大に伴うドア上下寸法の拡大と、軽量化を両立させるため、商用車初のレールレスワイヤ式レギュレータとドアガラスの薄板化を採用した。

アーム式からレールレスワイヤ式へのレギュレータ方式変更により、従前比 60 % の軽量化を達成した。また、室内空間拡大を目的に従前車よりもタンブルホームを立てており、ドアガラス下げ時のドアトリムポケット容量確保が課題となるが、ワイヤ式の省スペース特性を活かしポケット容量を大幅に拡大した（図 47）。

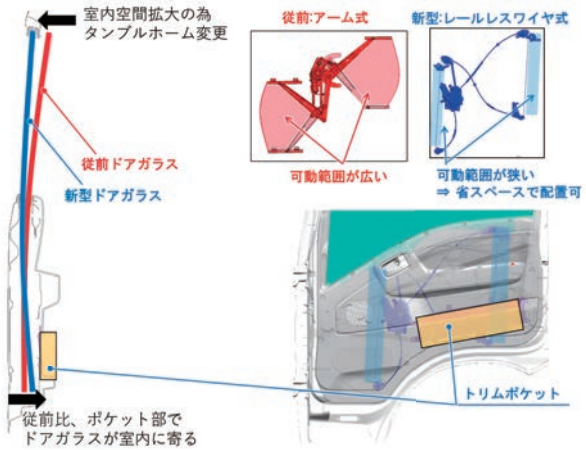


図 47　レギュレータレールレスワイヤ式採用による
ポケット拡大

ドアガラスの薄板化については、静粛性と背反の関係となるが、ボディとドア間の段差適正化による風音低減（図 48）、ドア下の空気排出口を助手席のみに配置し、室内への音の通り道をバルブ二重化とウエストインナシール断面変更で遮蔽すること（図 49）により軽量化と静粛性能を両立した。

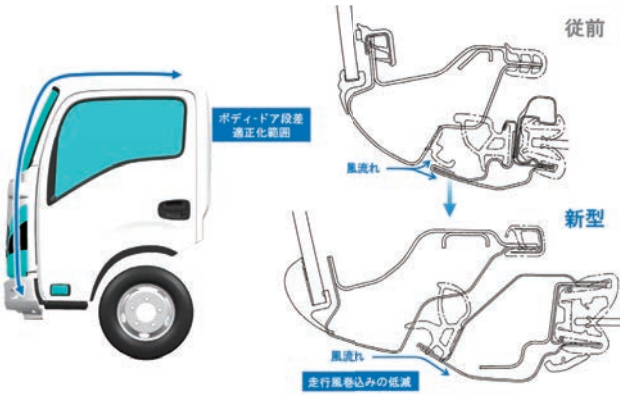


図 48　ボディ - ドア間段差変更による風音低減

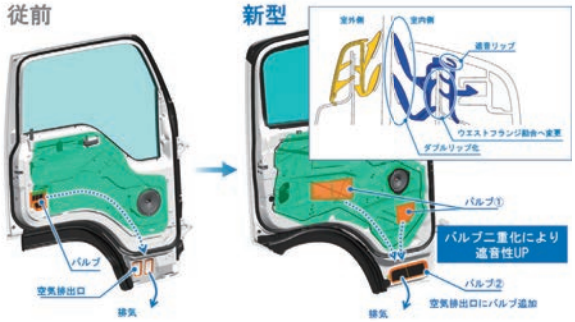


図 49　空気排出口のバルブ二重化とシール断面変更

これら艤装部品の軽量化により、ドア開閉時のドアパネルへの負荷を軽減してドアパネルの構造合理化も実現し、ドア全体で従前比 10 % の軽量化を達成した。

5.2.5　発泡ドアトリム

ドアトリム本体に発泡成形を採用し、ポケット容量拡大やパワーウィンドウスイッチ設置など重量増加要素はあったものの、ドアトリムトータルで従前比 10 % の軽量化を実現した。

発泡剤を添加した材料を射出し、射出後に型をコアバックさせる発泡技術を採用した。射出時の好ましくない表面発泡を抑えるためにカウンタプレッシャ技術を用いスワールマークを抑制した。

5.2.6　ステアリングホイール及びエアバッグ

ステアリングホイールは芯金の材質を Al から Mg に変更するとともに、小径化により重量を軽減した。

運転席エアバッグについては、モジュールケースを鉄製から樹脂製に変更し軽量化を図った。

ステアリングスイッチ採用による重量アップを含めて、ステアリングホイールと運転席エアバッグ合計で新型エルフは従前比約 0.5 kg の軽量化を実現した。

助手席エアバッグについてもクッション容量とインフレータ出力を見直すことで、最適なエアバッグ展開を確保しつつ、従前に対して新型エルフは -0.7 kg、新型フォワードは -1.1 kg の軽量化を実現した。

7　おわりに

“誰にでも使いやすいキャブ”を開発コンセプトに掲げ、同クラストップレベルの各性能を誇るキャブ開発を実現できた。

今後も、お客様からの要望に応えるべく品質向上を図り、更なる改善に取組んでいきたい。

最後に、新型エルフ・フォワードのキャブ開発にあたり、多大なるご協力をいただいた社内外関係者の皆様に対し、心より御礼を申し上げる。

著　者


越智　新太郎


福澤　克朗


後藤　遼


田中　裕之


齋藤　卓弥


二階堂　大希


竹中　信


谷口　仁章


又野　邦彦


齊藤　彰子


村田　一樹


清水　貞明


唐戸　卓巳


水城　崇


柴口　翔


宮川　沙耶花


中村　祐介


寺沢　俊貴

新型エルフ・フォワードのサスペンション・ステアリング・アクスル・ブレーキについて

Suspension, Steering, Axle, Brake for New ELF and FORWARD

原田　孝夫*
Takao Harada
池田　勇人*
Yuuto Ikeda
中田　直宏*
Naohiro Nakada
水谷　拓磨*
Takuma Mizutani
伊藤　淳史*
Atsushi Ito
問井　郁弥*
Fumiya Toi
酒井　良輔*
Ryousuke Sakai
小牧　佳弘*
Yoshihiro Komaki
芦田　拓弥*
Takuya Ashida
牛山　祐太*
Yuuta Ushiyama
広原　律*
Ritsu Hirohara
渋谷　陽平*
Youhei Shibuya
加藤　恭平*
Kyouhei Katou
渡邊　浩*
Hiroshi Watanabe
岩瀬　伸夫*
Nobuo Iwase
飯島　一平*
Ippei Iijima

要　旨

新型エルフ・フォワードでは、基本性能向上及び先進安全技術への対応に合せ、サスペンション・ステアリング・アクスル・ブレーキ・タイヤの機構系装置において、多くの装置開発を行った。

本稿ではその開発概要について紹介する。

Abstract

For the new ELF and FORWARD, many items of Suspension, Axle, Steering, Brake, and Tire were developed with the aim of improving performance and responding to advanced safety technology.

This chapter introduces the outline of the development items.

1　はじめに

今回のフルモデルチェンジにあたり、世界中のお客様から高い評価を得ている、従前車の信頼性をベースに、新型エルフ・フォワードのコンセプトに基づいて、今後の社会で働く商用車に必要となる安全･環境性能とドライバの疲労軽減及び整備の負荷低減など、多くの付加価値向上を達成するべく機構系装置の開発を行った。

2　サスペンション

2.1　フロントインデペンデントサスペンション

新型エルフでは従前型で定評があり、高い信頼性と耐久性を実証したダブルウィッシュボーン式インデペンデントサスペンションを継承し、基本設計の見直しを行い操縦安定性及び乗心地性能の改善を図り、仕様最適化による軽量化も併せて実施した。

また、車型違いの構成部品をモジュール化し設計共通化を行うことで、投資及び生産コスト低減と組立作業の共通化も図った（**図 1**､**図 2**）。更に､FEM（Finite Element Method）解析で耐久信頼性検証を、従前との実機コリレーションを実施することで、実機評価の前に従前車以上の耐久信頼性を確保した。

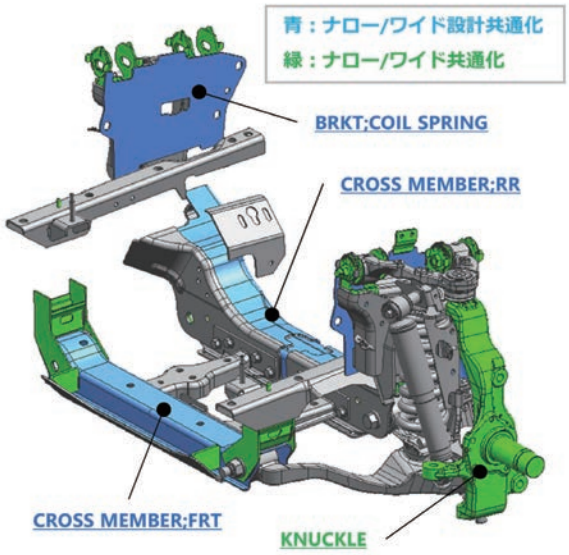


図 1　フロントサスペンション（ナローキャブ）

*車両設計第二部

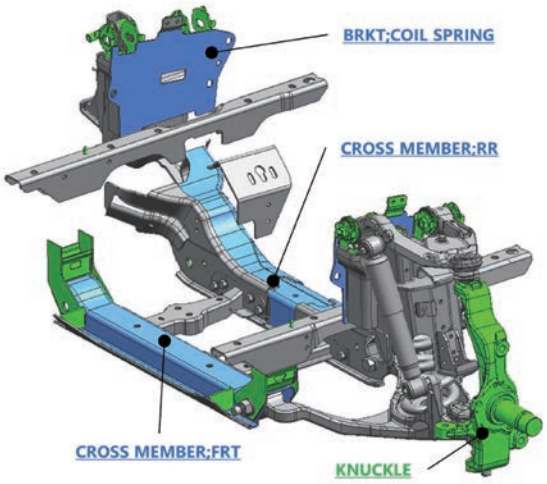


図2　フロントサスペンション（ワイドキャブ）

ナローキャブについて次の①、②の変更により乗心地を向上させた。

① サスペンションリンクの配置を変更し、アクスルステア特性のバンプ後方変位化によりハーシュネスショックを低減（**図3**）

② ショックアブソーバの配置変更により減衰効率を向上（**図4**）

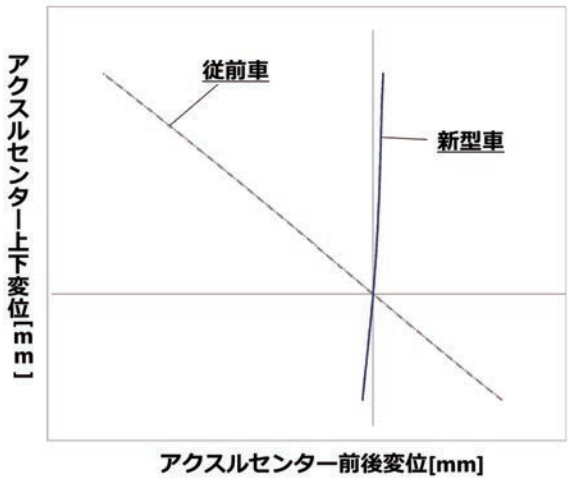


図3　アクスルステア特性

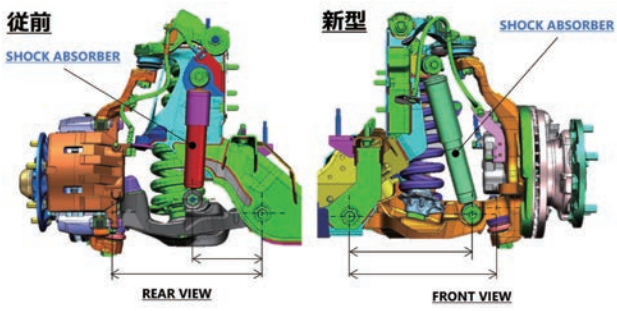


図4　ショックアブソーバ配置図

2.2　リアリーフリジットサスペンション

新型エルフはリーフスプリングのテーパリーフ化の展開を拡大。リーフ枚数及び形状最適化により軽量化を実施した。また、操縦安定性と乗心地向上を狙いショックアブソーバの配置位置を見直し減衰効率を向上させた。

2.3　4バックエアサスペンション

新型フォワードFRR（7～8 t、4X2）、FSR（8～11 t、4X2）のリヤエアサスペンション車でFACC（全車速間クルーズ：Full speed range Adaptive Cruise Control）の選択ができるよう、フルエアブレーキとエアサスペンションベローズの配置位置を見直し最適化を実施した。

3　ステアリング

3.1　操舵アクチュエータ

新型エルフ・フォワードは、車線維持支援システムと車線逸脱抑制の操舵制御技術に対応すべく、ステアリング操舵アクチュエータを開発した（**図5**）。

ステアリング操舵の制御には、操舵を行うアクチュエータとそれをコントロールするECU（Electric Control Unit）が必要である。操舵アクチュエータの搭載位置は、ステアリングコラム付きとパワーステアリングユニット付きで異なるが、小型から中型までさまざまなシャシ・キャブレイアウトに対して、アクチュエータとECU搭載レイアウトを最小限のバリエーションで済むステアリングコラムタイプの操舵アクチュエータを採用し、新型エルフ・フォワードの共通仕様として採用した。



図5　ステアリングコラムタイプ操舵アクチュエータ

3.2　ステアリングダンパ効率化

新型エルフではステアリング振動時の減衰効率アップを狙い、ステアリングダンパの取付け位置をドラッグリンクからタイロッドに変更（**図6**）。

位置変更により減衰力が大幅に低減し、ステアリング振動の抑制機能確保と直進安定性向上を両立した。

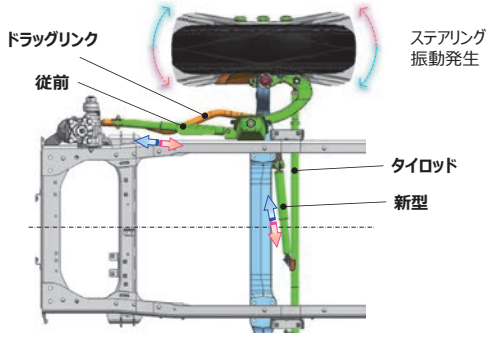


図 6　ステアリングダンパ位置

4　アクスル

4.1 I-BEAM 軽量化

従前（18 型）エルフ開発時に AEBS（衝突被害軽減ブレーキ:Advanced Emergency Braking System）対応のため I-BEAM の剛性アップを実施。鍛造工法をハンマープレス兼スクリュープレスとしたため、重量が大きく増加した。新型エルフでは、スクリュープレス工法による専用形状にすることで駄肉を落とし、車両偏向性を満足させつつ軽量化を実施した（**図 7**）。

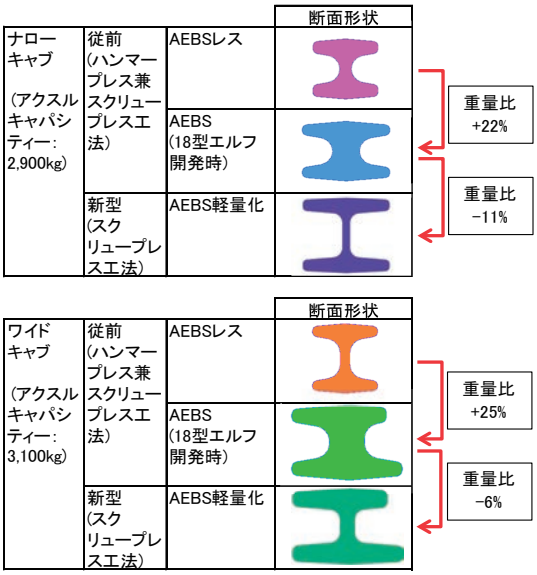


図 7　I-BEAM 断面形状・重量

4.2 FTR フロントアクスル

新型フォワード FTR（14.5 t、4X2）のフロントアクスル（アクスルキャパシティ：5000 kg）※1 を刷新した（**図 8**）。今回の新型フォワードと同タイミングで開発を行っていた 新型ギガの CYJ（8 × 4）のフロントアクスル；F050 と I-MACS※2（アイマックス：Isuzu Modular Architecture and Component Standard）を取り入れハブ・キングピン・ハブベアリング等を共通化し開発工数、新規部品点数を削減した。また、後述するユニットベアリング化も同時に行い商品性アップを図った。

※ 1 フロントアクスル（アクスルキャパシティ：5000 kg）：以下、「F050」と称す

※ 2 I-MACS：いすゞのコンポーネント展開の最適化＆組合せ開発手法

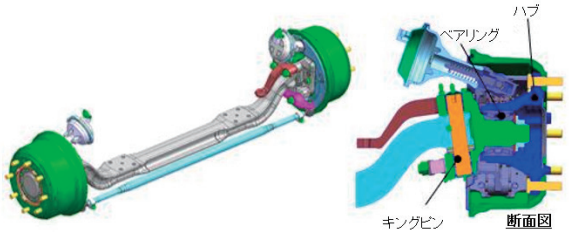


図 8　F050 フロントアクスル

4.3 ハブベアリングのユニット化

従前エルフ・フォワードでは、ハブベアリングの車検時にかかる整備時間は、整備時間全体の約半分を占めている。新型エルフ・フォワードは、整備時間を短縮し、お客様のダウンタイム低減と車検入庫率アップを狙いハブベアリングのユニット化を実施した。

従前のハブベアリングの各輪 2 個の単列テーパーローラーベアリングから一体化した 1 つのユニットベアリングへ変更（**図 9**）。ユニットベアリングは、ベアリングとオイルシールの一体化により、グリースを密封した非分解式となり、従前ベアリングで必要だった分解、洗浄、グリース詰替え作業が不要となり、整備作業時間の約 4 割を削減した。

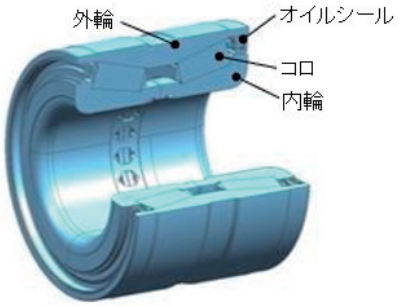


図 9　ユニットベアリング

また、ユニットベアリングの利点として、プレロード調整時のロバスト性の高さがあげられる。従前ベアリングの場合は、スピンドル軸力が増加すると、コロに負荷が掛かりプレロードも増加した。一方で、ユニットベアリングはスピンドル軸力が増加しても、インナーレースの突き当て部（**図 10 赤丸部**）によりコロへの負荷がプレロードにはそれ以上に増加せず、ハブナット締結により発生する軸力に対して、寿命の低下を抑制できる。

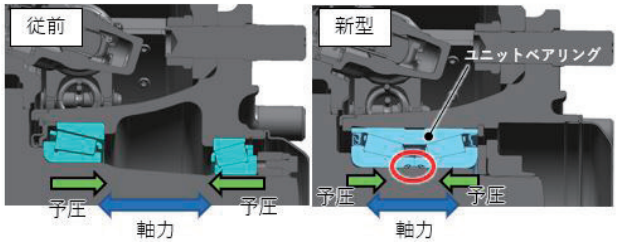


図10　ユニットベアリング　プレロード

オイルシールは主リップ＋補助リップのパックシール。シール材にはフッ素ゴムを使用し、高い耐泥水性、耐熱性を有する。グリースはハブユニット用に開発され高温時にも劣化しにくい耐熱グリースのリチウムコンプレックスを採用した。

5　ブレーキ

5.1　電動パーキングブレーキ

5.1.1　ケーブル式電動パーキングブレーキ

新型エルフでは、電動パーキングブレーキアクチュエータの搭載位置をキャブ内からフレーム上に変更し、パーキングブレーキ操作時の静音化を実現した（**図11**）。また、アクチュエータの小型化により、パーキングケーブルを含め約2.5 kgの軽量化を行った。

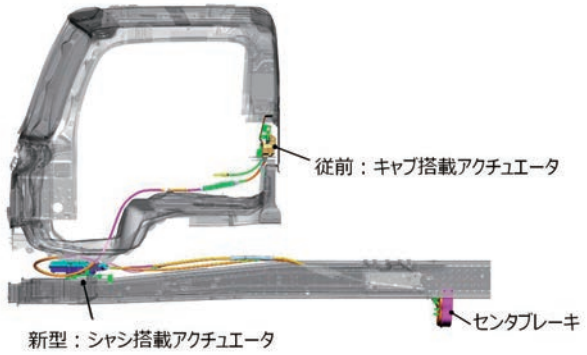


図11　ケーブル式電動パーキングブレーキレイアウト

5.1.2　エア式電動パーキングブレーキ

駐車ブレーキのかけ忘れ及び制動力不足による自走事故の抑制を狙い、フルエアブレーキ車では国内初の電動パーキングブレーキを新規設定した。

キーオフ操作及びドライバの離席を検知し、自動で駐車ブレーキを作動させる。更にEDSS（ドライバ異常時対応システム：Emergency Driving Stop System）と連動することで安全性能の向上を図った。また、アクセルペダルの踏込みに連動する自動解除機能を追加しドライバの負荷軽減を図った。システムの概要と安全性向上の内容について（1）（2）にて紹介する。

（1）システム概要

キャブ内に搭載した電動パーキングブレーキスイッチの操作により、フレームに搭載したECU内蔵型の電動パーキングブレーキモジュールへ信号が送られて、駐車ブレーキの作動･解除を行う（**図12**）。

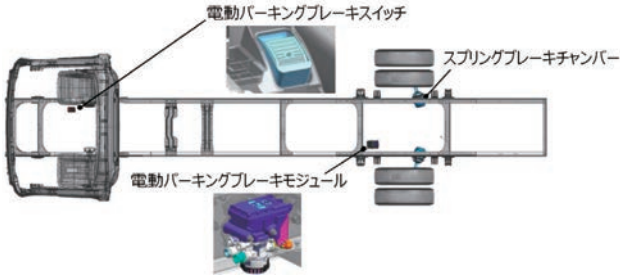


図12　エア式電動パーキングブレーキレイアウト

（2）動的パーキングの車両安定性向上

走行中にフットブレーキの指示系統に異常が生じ、ドライバが駐車ブレーキを作動させて減速及び停止させる際、電動パーキングブレーキモジュールからサービスブレーキを制御するECUへ作動要求（XBR）を送り、車輪ロック時にはABS（Antilock Braking System）を作動してロックを防ぎ、車両の安定性向上を図る（**図13**）。

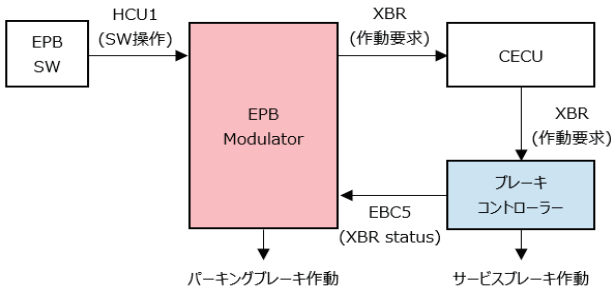


図13　動的パーキングの作動システム

5.2　ブレーキコントロール

GVW（車両総重量：Gross Vehicle Weight）5 t以下の車両では10インチシングルバキュームブースタを新規採用。従前のタンデムブースタと同等のブレーキの効きを確保し、同時に軽量化も実現した。また、タイロッド型バキュームブースタを採用し、剛性感の向上とブレーキ・アクセルペダルとの段差改善によって、コントロールしやすいブレーキフィールを実現した（**図14**）。

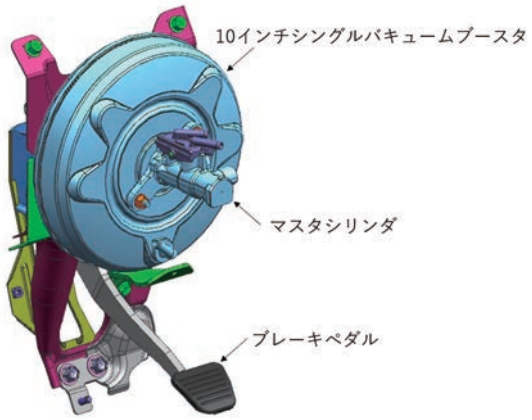


図 14　新型 10 インチシングルバキュームブースタ

5.3 新構造のマルチプロテクションバルブ搭載による軽量化

エアタンク容量最適化のため、2 軸のフルエアブレーキ車では、新構造のマルチプロテクションバルブを搭載した。これによりパーキングブレーキの解除応答性はそのままにホイールパークタンクの廃止が可能となり軽量化を実現した（図 15）。

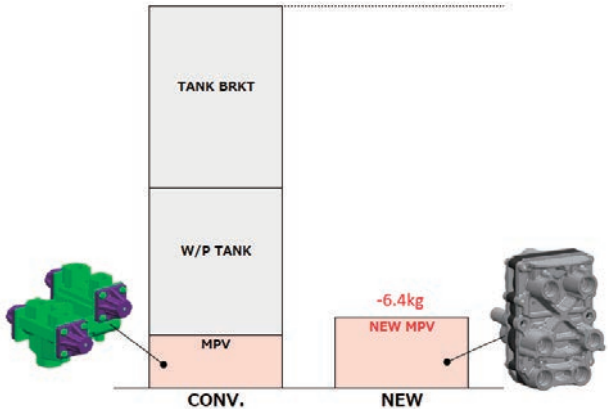


図 15　フルエアブレーキ重量比較

6　タイヤ

6.1 TPMS（タイヤ空気圧監視システム）

6.1.1　設定背景

新型エルフ・フォワードではタイヤ空気圧監視システム（以下、「TPMS」と略す）を導入。

以前より欧州では TPMS の装着が乗用車に対して法規で義務化されていたが、適用範囲が商用車にも拡大された。今後、国内にも TPMS の装着義務が拡大されることも想定し、国内向け新型エルフ・フォワードにも TPMS を搭載した。

6.1.2　オートロケーション機能

ギガにて設定している TPMS は、装着しているセンサ位置を個々に手動で登録する作業が必要であった。タイヤローテーション時などに毎回手動で登録する必要があり、輪数の多い商用車では、作業工数と作業性（重く大きなタイヤ）に課題が必要であった。

そのため、自動でタイヤ位置を判別するオートロケーション機能の追加によりタイヤを外すことなく登録が可能となり、作業工数の削減及び整備性向上を図った。

6.1.3　システム

TPMS のシステムブロックを図 16 に示す。

タイヤ内に組込んだセンサが、RF（Radio Frequency）電波を用い、タイヤ内情報（空気圧・温度）を RPT（Repeater）-RCU（Receiver Control Unit）に伝え、RCU から CAN（Controller Area Network）を経てメータにタイヤ情報を表示する。

（RPT は、ホイールベースが長く、フロントセンサ-RCU の通信が満足できない場合に中継器として設定。）

また、RF・LF（Low Frequency）電波通信を使用し、オートロケーションを実施する。

RF 通信 /LF 通信が可能な車両レイアウトにすることで、オートロケーション機能を実現した。

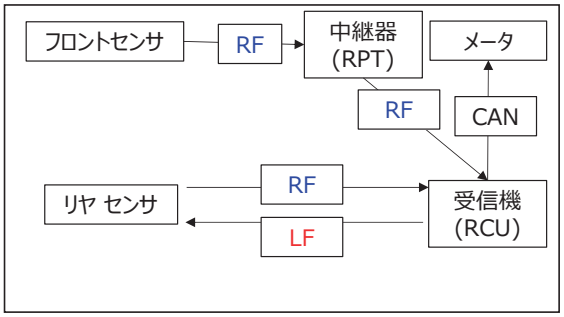


図 16　TPMS システムブロック図

6.2 低転がり抵抗タイヤ（新重量燃費基準対応）

新重量車燃費基準に対応するため、低転がり抵抗タイヤ 4 サイズ・6 銘柄を新規に開発し、コンパウンドの変更により転がり抵抗を最大で 2 割低減させた。

7　おわりに

新型エルフ・フォワードの開発では冒頭で触れたとおり、受け継いできた信頼と高い評価を継承しつつ、大幅に商品性の向上ができたと自負する。このプロジェクトの開発推進は決して平坦な道のりではなかったが、これを完遂したことで得た個々・組織の技術的成長が、今後もいすゞの更なる進化・成長に貢献できると確信している。

最後に、この開発にご協力いただいた関係各位に、
この場を借りて御礼申しあげる。

著　者


原田　孝夫


伊藤　淳史


芦田　拓弥


加藤　恭平


池田　勇人


問井　郁弥


牛山　祐太


渡邊　浩


中田　直宏


酒井　良輔


広原　律


岩瀬　伸夫


水谷　拓磨


小牧　佳弘


渋谷　陽平


飯島　一平

新型エルフ・フォワードのシャシについて

Chassis of New ELF and FORWARD

片桐　希*
Nozomi Katagiri
平田　将之*
Masayuki Hirata
三上　綾斗*
Ayato Mikami
星野　理香**
Rika Hoshino
晴山　貴人*
Takato Hareyama
徳武　将也*
Masaya Tokutake
小高　俊明*
Toshiaki Odaka
浅田　奨平**
Shouhei Asada
中野　大輔*
Daisuke Nakano
藤澤　佳生*
Yoshiki Fujisawa
山梨　大貴*
Daiki Yamanashi
金澤　翔真*
Shouma Kanazawa
石田　滉貴*
Hiroki Ishida
横井　直幸**
Naoyuki Yokoi

要　旨

新型エルフ・エルフEV（電気自動車：Electric Vehicle）・フォワードでは、従前技術を活かしつつ、プロジェクトコンセプトである“See※ Universal”を見据えシャシ開発を行った。加えて、I-MACS（アイマックス：Isuzu Modular Architecture and Component Standard）に則った各装置のバリエーションの統合により初期開発及び将来開発リソース抑制を可能とした。

本稿では、シャシ装置の開発概要について紹介する。

※ See（安全、経済、環境技術：Safety, Economy, Environment）

Abstract

In the New ELF, ELF EV and FORWARD, chassis development was carried out in line with the project concept of “See-Universal” while utilizing previous technologies. In addition, the integration of variations of each device in accordance with I-MACS (Isuzu Modular Architecture and Component Standard) enabled the suppression of initial and future development resources.

This article presents the development outline of chassis parts.

1　はじめに

近年、環境規制･先進安全の強化･電動化など、自動車産業には大きな変革が求められている。

新型車の開発にあたり、“See Technology”をコンセプトとして開発した従前車をベースとして、更なる展開市場の拡大及び自動車業界・物流環境の変革に対応した商品展開を新たなコンセプトである“See Universal”に基づき、シャシ部品の開発を行った。

- フレーム;コンポーネント集約、商品力向上
- 燃料タンク;コンポーネント集約、タンク容量確保
- 尿素水タンク;コンポーネント集約、商品性（給水性）
- 騒音低減カバー;軽量化、開発手法
- けん引フック;商品性（意匠）
- キャブマウント;法規対応、商品性（乗り心地）、コンポーネント集約
- バッテリーキャリア;商品性（点検性）
- 吸気システム;商品性（静粛性）
- 冷却システム;コンポーネント集約、冷却容量確保

また、新規開発車両であるEVでは、モニタ車から得た知見をもとに、水冷式のバッテリー冷却システムを新たに採用し、バッテリー寿命及び、航続距離と冷房性能を両立させる熱マネジメントシステムの開発を行った。

2章～11章に各装置の技術的な内容について紹介する。

2　フレーム

新型エルフとフォワードのフレームは下記のコンセプトに基づき開発を行った。

[開発期間短縮化]I-MACSに則ったコンポーネント集約

[軽量化]• 小型ダンプ専用700幅の剛性向上と軽量化
• 小型車750幅の骨格変更による軽量化

[商品力]小型車衝突安全性･架装性･耐食性の向上

*シャシ設計第二部　　**シャシ設計第一部

2.1 サイドメンバ基本形状集約

従前フレームの開発から16年が経ち、展開国及びパワートレインバリエーションが変化している。新型エルフ・フォワードはI-MACSのコンセプトにある短期・高品質・適切な価格で商品を提供するためにも、展開国及びGVW（車両総重量：Gross Vehicle Weight）をもとにサイドメンバ基本形状のバリエーションを見直し、従前の3種類から新型は2種類へ集約した（**図1**）。

またEV用フレームは、標準仕様とコア部品を共通化して少ないリソースで専用フレームを開発した。

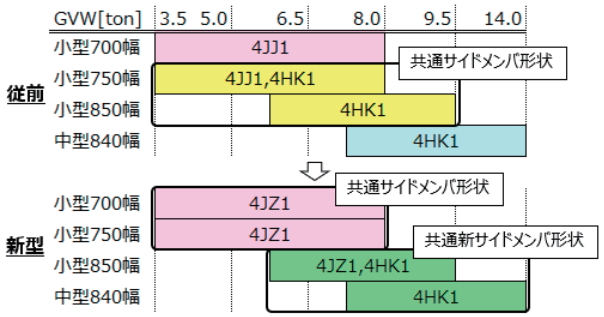


図1　フレーム幅とエンジン展開

2.2 エルフの衝突安全性能向上

正面衝突時は、キャブ前方の潰れだけでなく荷台の前方移動によるキャブ後方の潰れによりキャブ内空間が縮小するため、その対策として荷台移動量の抑制が必要である。抑制には、より早いタイミングでのエネルギー吸収が効果的であり、新型エルフではフレーム前部に国内商用車初となるエネルギー吸収材を設定（**図2**）し、荷台の加速度を低減させた。



図2　フレーム前部

2.3 ダンプフレームの剛性最適化

集約したコンポーネントは維持しつつ、ダンプ特有の使われ方に最適な剛性確保と軽量化を実現した。

従前は実機でしか評価できなかったダンプアップ時の車両挙動をCAE（Computer Aided Engineering）解析に落とし込んだ新しい開発手法を取り入れて、目標値を明確化した。車両後方の剛性がダンプアップ時の車両挙動とフレームのねじれに大きく影響することから、後ろ周りへの閉断面構造採用とサイドメンバ板厚展開内の薄肉仕様を設定することより、剛性と重量の最適化を図った。

2.4 エルフの架装性向上

新型エルフからは3rdクロスメンバを後方に移設してUボルトスペースを確保、またミッションコントロールが異なる場合もクロスメンバ位置を共通とし、配管・配線・架装の仕様共通化を可能とした。

2.5 耐食性向上

経過による耐食性を向上させるため、小型車のサイドメンバはショットブラスト加工による黒皮除去を行い、他の部品は酸洗材を採用し塗膜密着性の向上を行った。これにより従前比約4倍の耐食性を実現した（**図3**）。また、ブラスト加工はエッジを滑らかにする効果があり、塗料の付き回りを向上させ発錆を遅らせる効果もある。

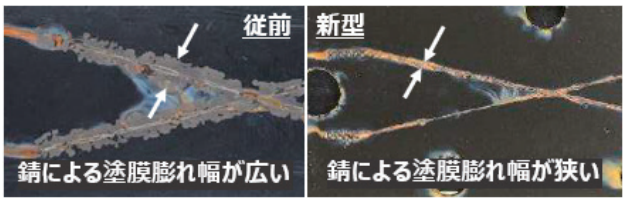


図3　塩水噴霧試験240時間経過時のサイドメンバ（テープで塗膜を剥がした状態）

3　燃料タンク

従前車では排出ガスデバイスの肥大化により、お客様が必要な架装スペースを確保するため、容量を減らした燃料タンクを追加設定することで対応した。

新型エルフ・フォワードでは従前車の課題を

- タンク容量を増やす
- 展開バリエーションの削減

として開発に取組んだ。

3.1 タンク断面最適化

新型エルフ・フォワードは、I-MACSに基づき**図4**で示すタンク断面が囲まれている範囲の中で、最大容量を確保可能なタンク断面を車型ごとに設定した。これにより最小のタンク長にて、従前で減らしたタンクの容量を増やし、かつ展開バリエーションの削減を実現した（**図5**）。

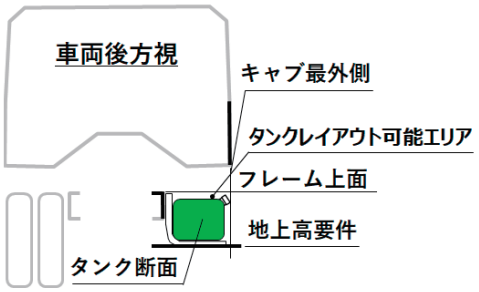


図4　タンク断面決定におけるレイアウト要件

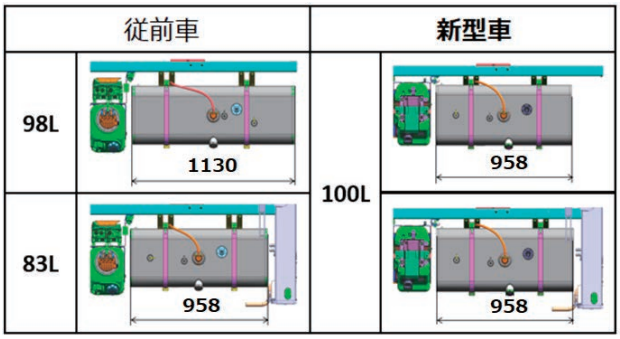


図５　新型エルフにおけるタンク統合例

3.2　燃料タンク構造のコンポーネント統合

新型エルフ・フォワードにて新作した燃料タンクは、全て「巻き型」タイプとした。断面を構成する部材は共通とし、長手方向を構成するボディ長の変更によって容量が異なる複数のタンクを最小限のリソースで設定した。また、新型エルフ・フォワード間のタンクを共通化し、展開バリエーションは国内・輸出向け全てにおいて 13 % 低減した。タンク構成部品の集約による合理化を併せて実現した。

4　尿素水タンク

新型エルフの排出ガス後処理システムの変更に伴い、尿素水タンク一体型のサプライポンプを採用し、タンク本体を新作した（**図 6**）。新作によりタンク容量の拡大及び統一と給水性の改善を図った。

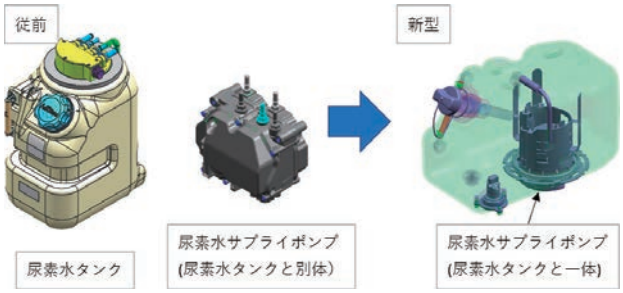


図６　尿素水タンクと尿素水サプライポンプ

4.1　タンク容量の拡大及び統一

従前同等の架装性を確保するため新型の尿素水タンクは従前と同じシャシスペースに収めた。必要なタンク容量については、MIMAMORI データを活用し、車型・架装別に航続距離・尿素水消費量から給水頻度を算出し、同時にベンチマーク結果とも照らし合せた。従前の尿素水タンクはシャシスペースの制約から実効容量約 8 L と約 11 L の 2 種類用意したが、新型は尿素水タンク一体型のサプライポンプによるスペース効率向上を活かすことで、シャシスペースの制約の中で実効容量を約 13 L に拡大、及び統一した。

4.2　給水性の改善

尿素水タンクと給水性に関わる構成部品の概要、及び給水性の改善について**図 7** に示す。

尿素水は、タンク本体に備えた半透明の水位ホースに示した満水ラインを超えずに給水するよう取扱説明書で指示をしている。一方で、ユーザーが満水ラインを意図的に超えて給水をしたり、或いは満水ラインを狙っても満水の認識と実際の給水の停止までにタイムラグがあることがあり、給水口から尿素水がこぼれる可能性があるため改善を行った。

まず、満水ラインを超えて給水すると尿素水がこぼれる可能性があるとユーザーに認識していただくため、満水ラインと給水口すりきりの高低差を減少させるべく、給水口の角度を従前より寝かせた。また、給水ガン・尿素水パックと架装・周辺部品の隙少・干渉によって給水が困難になったり、給水ガンを手放し給水した際に脱落しないよう角度を設定した。

ただし、給水口の角度を寝かせただけの場合は、満水ラインから給水口すりきりまでの容量の余裕代が減少するため、給水口下端とブリーザ下端によってタンク内で尿素水の満水が決まる位置よりやや下に満水ラインを設けた。その後、実際に人間の反応速度を考慮して給水のトライを実施し、満水ラインから給水口すりきりまでの容量の余裕代を決定した。

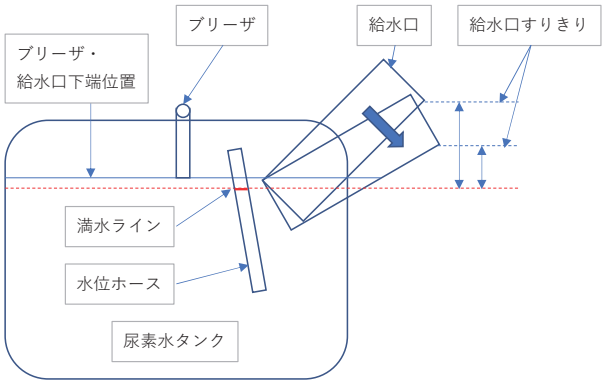


図７　給水性の改善

4.3　まとめ

タンク容量と給水性は尿素水タンクの重要な機能である。尿素水タンク新作の機会を受け、従前のタンク仕様に満足せず、ユーザー目線で要求を明確化したことが機能の向上へと導いた。

5　騒音低減カバー UN R51.03 Phase2 対応（新材料採用、遮蔽効果予測解析の活用）

5.1　概要

新型エルフ・フォワードでは、車外騒音規制（UN R51.03Phase2）への対応を検討した。車外騒音規制

に対応するには、音源となるパワートレイン側の騒音を低減することが重要だが、これに加えてシャシ側で騒音を遮蔽・吸音して車外に出さないための騒音低減カバーを装着することも、車両全体としての騒音規制に必要な対応である。

騒音低減カバーの性能を向上するにあたり、2 つのアプローチがある。騒音低減カバーの材質を見直して性能を向上させる方法と、遮蔽範囲を最適化して性能を向上させる方法である。

5.2 新材料の採用

新型エルフでは吸遮音一体材を成型した軽量な騒音低減カバーをいすゞで初採用した（**図 8**）。吸遮音一体材を採用するメリットとして、従前の遮音材と吸音材を別々に設定するものに比べて製品最大板厚を 1/3 程度に削減したうえで、単位面積あたりで同等の吸音性能の確保が可能である。更に板厚を薄くすることで従前では設定できなかった部位までカバーの遮蔽範囲を拡大し、吸音部を設定することで騒音低減性能の向上を実現した。また、吸遮音一体材では、遮音材と吸音材を別々に設定する必要がないため、締結部品の削減と軽量化につながる。

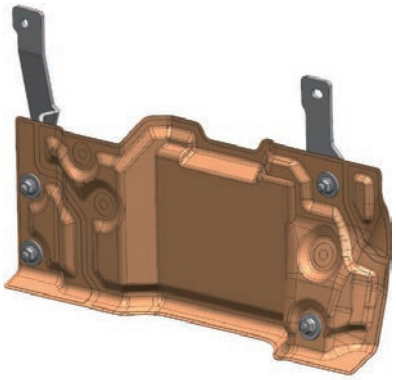


図 8　新材料採用騒音低減カバーイメージ

5.3 遮蔽効果予測解析の活用

新型エルフ・フォワードの騒音低減カバーの遮蔽範囲は、遮蔽効果予測解析を活用して決定した。従前の騒音低減カバー開発プロセスでは、音源であるパワートレインの仕様決定後に、実車での騒音評価で作り込む、後追い開発であった。そのため、周辺装置は騒音低減カバーの仕様決定前に開発が進み、その後のカバーの開発の段階では遮蔽範囲が限定されてしまう。そこで、開発初期の机上検討の段階に遮蔽効果予測解析を活用することで、騒音低減カバーの必要遮蔽範囲の見込みを立て、実車での騒音評価を待たずに騒音低減カバーの開発が可能になった。更に遮蔽効果予測解析では、車両内外の音圧分布が確認でき、遮蔽範囲を最適化することが可能となった。音圧分布よりパワートレインの側面から発する音の影響が大きいことがわかり、フレーム下面側にカバーを拡大設定することで騒音低減効果が得られた（**図 9**）。遮蔽効果予測解析を活用し遮蔽範囲の最適化により、効果的な騒音低減カバーを開発した。

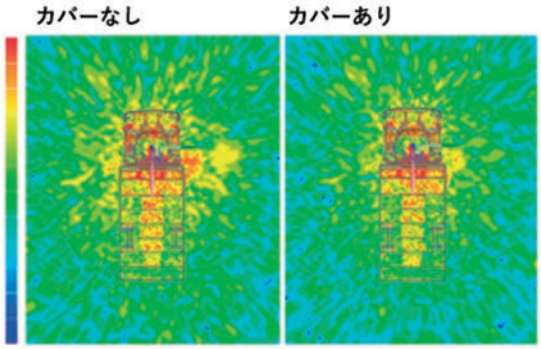


図 9　遮蔽効果予測解析（音圧分布）

これらの新材料採用と遮蔽効果予測解析の活用により効率の良い騒音低減カバーの開発を行い、新型エルフ・フォワードでは、車外騒音規制（UN R51.03 Phase2）対応を実現した。今後の騒音規制強化についても今回の開発手法をもとに更なる性能向上を図る。

6　けん引（ねじ込み式）フック

6.1 新型エルフ

新型エルフでは、衝突安全（フレーム前端部にエネルギー吸収材設定によるクラッシャブルゾーンの確保）とキャブ意匠刷新（限定的な開口部との成立）を目的に脱着可能なねじ込み式フックを採用した（**図 10**）。このけん引フックは、シャシに組付くブラケットとねじ込み式フック本体の 2 部品で構成される（**図 11**）。

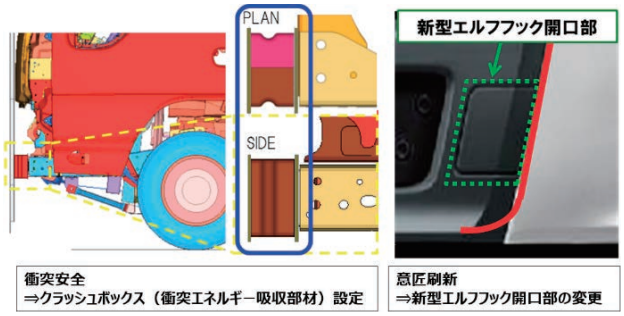


図 10　ねじ込み式フック変更背景

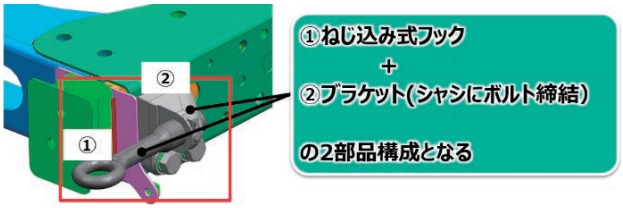


図 11　ねじ込み式フックの構成

ねじ込み式フックの形状は、バンパからの出代（ロープ掛け穴）とキャブ内収納スペース（フック本体を使用しない時の置き場の制約）を加味した設計を行った。また、フックの穴径については、けん引ロープの国内市場性を考慮し、最適化を図った（**図 12**）。



図 12　ねじ込み式フック本体（新型エルフ）

6.2 新型フォワード

新型フォワードでは、MOIS（Moving Off Information System）対応により搭載するレーダーの数が増加し、ナンバープレート位置を変更する必要がある。レーダー位置を考慮し、ナンバープレートの位置を設定した結果、従前のかぎ（鉤）型フックではバンパ開口部への足載せスペース確保が困難となるため、脱着可能なねじ込み式フックを採用し、足載せスペースの確保を行った（**図 13**）。

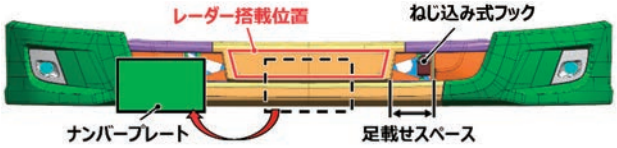


図 13　変更レイアウト

本けん引フックは使用時、ブラケットへフック本体を装着し使用するが未使用時、ブラケットへ砂・雪等の侵入を防ぐため、プラグを装着する構造とした。また、プラグを樹脂素材にすることで、ブラケットねじ部の塗装を保護し、塗装剥がれによる錆を防ぐことができる（**図 14**）。

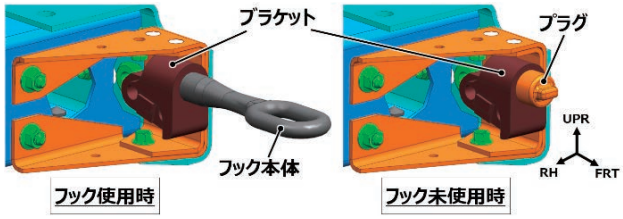


図 14　脱着時構成図

新型フォワードのフック形状は、先端穴径をけん引ロープメーカーの推奨サイズ（U 字シャックル目玉サイズ 22 × 54 ㎜）に合せた。更に強度については輸出車型（GVW11 t 車）を想定した設計を行った（**図 15**）。



図 15　ねじ込み式フック本体（新型フォワード）

7　キャブマウント

今回の新型エルフでは、国内向けに GVW3.5 t 未満の車両をラインナップに追加した。この車両に適用されるシートベルトアンカレッジ法規（以下、「法規」と略す）に対応するため、リヤ側のキャブマウントラバー形状を見直すとともに、ブラケット形状のバリエーションを統合した。

7.1 液体封入式キャブマウントの開発

新型エルフに採用したキャブマウントラバーの種類は、ソリッド式のラバーと制振性に優れた液体封入式のラバーの 2 種類がある。従前では液体封入式ラバーは国内 GVW3.5 t 以上の車両のみの展開であり、前述の法規対応は不要であった。法規の対応には、高荷重時にラバーの変位を抑える必要があるため、ラバーの取付け向きをソリッドラバーと同様の横置き型に変更し、ストッパーを設けた。

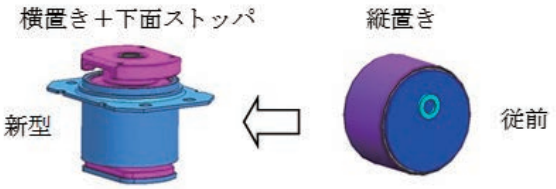
ラバーの取付け向き変更により、改めて制振性能の作り込みを行った。開発では事前に目標となる周波数帯、特性値を車両のモデルを再現した CAE、机上検討等にて明確化することで、繰り返し検討を減らし開発工数の低減を図った。レイアウトの制約上、ラバーの体積を従前形状ほど確保できない状況であったが、減衰性に寄与する液体の流路を見直すことで、走行時の低周波数での減衰性を従前比で 2 倍以上を確保した。かつアイドル振動の周波数帯域では、動ばね定数を従前比で半分程度とし、減衰性、動ばね定数ともに狙いの領域で高次元の両立を実現した（**図 16**）。

7.2 ブラケットのバリエーション統合

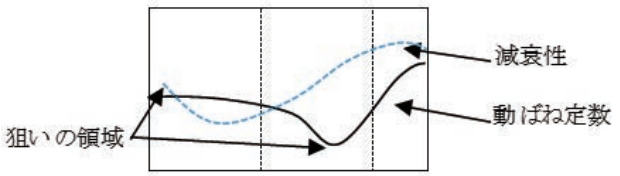
ブラケットは従前エルフにおいて、キャブマウントラバーとフレームのラインナップ、及び法規対応の有無が各々掛け合わさり、バリエーションが増加傾向にあったため、ブラケット形状の最適化を行い、バリエーションの統合を図った。

統合にあたり、前述のようにラバーの取付け向き、及びフレームとの締結位置の統一による統合を行った。法規対応では、前方への高荷重時にブラケットの変形の抑制が求められ、従前では補強材を追加している。新型ではベース部位の材質に高強度材を適用、及び側面に凸形状を採用し、構成品を削減しても法規対応が可能となり、ブラケットの統合を実現した（**図 17**）。

ブラケットの統合で、検討・評価を最小のバリエーションで行うことができ、開発工数の低減を実現した。また、ブラケット数の削減により、側面等に取付けられる他装置部品のバリエーション減と開発工数の低減につなげた。



図a 液体封入式ラバーの形状比較



図b 新型ラバー「周波数-特性」イメージ

図16　液体封入式ラバーの形状・特性

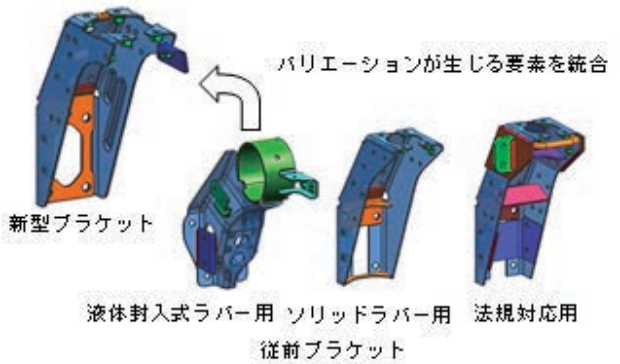


図17　ブラケットの形状比較

8　バッテリーキャリア

始動用鉛バッテリー（以下、「バッテリー」と略す）に対して、日常点検の整備性を向上させるため、新型エルフ・フォワードでは、バッテリーを保持するバッテリーキャリア、バッテリーを固定するバッテリーリテーナ、バッテリー上面に設定するバッテリーカバーを新作し対応した（**図18**）。

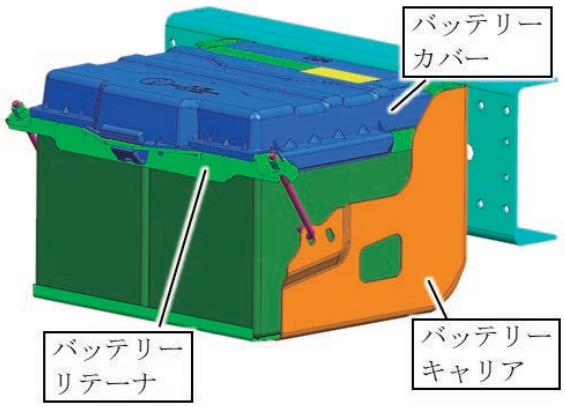


図18　バッテリーキャリア・リテーナ・カバー

8.1　バッテリーの液量確認性向上

日常点検の一環として、バッテリーの液量を確認している。バッテリーの側面には適切な液量を確認するため液面ラインが設けてあり、目視することで液量確認を行う。しかし、従前のバッテリーキャリアはバッテリー側面を覆う構造であるため、液面ラインを目視できない。バッテリー上部の液栓を取外してセル内を覗き込み液量を確認している。そのため作業に時間を要しており、市場から改善要望が高かった。そこで、バッテリーキャリアの側面から液面ラインが目視できる形状へ変更した。これにより、車両外側からバッテリーを目視するのみで液量の確認が可能となり、作業時間の短縮を実現した（**図19**）。

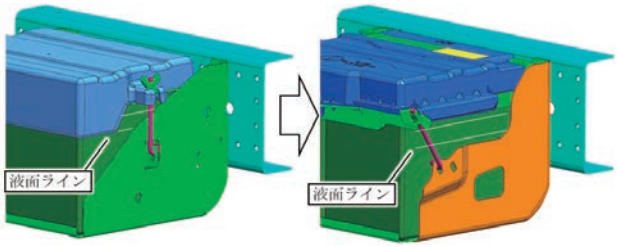


図19　液量確認性の差異

8.2　バッテリーケーブルの結線確認作業性向上

日常点検の一環として、バッテリーの端子とケーブルの結線確認を実施している。バッテリーには着氷、着雪、及び過度な水掛りを防止するためにバッテリーカバーを設定している。そのため、結線確認を行う際はバッテリーカバーの脱着作業が必要となるが、従前のバッテリーカバーは蝶ナットで固定されており作業に時間を要している。そこで、中型・大型で採用済のワンタッチ式固定構造を踏襲した。バッテリーを固定するリテーナをバッテリー上面中央から上面外側に変更。リテーナにカバー固定構造を設定することで、ワンタッチでカバーの脱着を実現した。これにより、バッテリーカバー脱着時間を短縮し、バッテリーケーブルの結線確認作業性を向上させた（**図20**）。

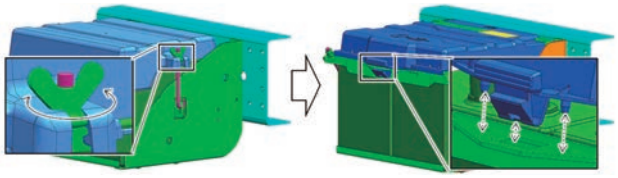


図 20　バッテリーカバー着脱方法の差異

8.3　バッテリーの交換作業性向上

車両整備の一つに、バッテリーの交換作業がある。従前のバッテリーキャリアはバッテリー上面中央にリテーナを設定しており、荷台下に隠れてしまっていた。新型エルフ・フォワードのバッテリーキャリアでは、バッテリーを固定するリテーナをバッテリー上面中央から上面外側に変更。これによりリテーナの脱着を車両外側で実施することが可能になり、バッテリー交換作業性の向上を実現した（**図 21**）。

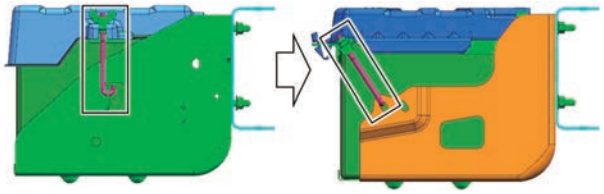


図 21　バッテリー固定構造の差異

9　吸気システム

車室内の快適性について市場からの要求が年々高まっており、新型エルフでも静粛性向上に力を入れている。吸気システムでは、吸気こもり音が関係する。

吸気こもり音改善のため、従来から消音器（レゾネータ）を設定している。従前車ではエアクリーナと吸気ダクトに 1 つずつ設置して静粛性を向上していたが、新型エルフではレイアウト上エアクリーナに設置できず、全体のレゾネータ容量が大幅減という状況となった（消音性能は容量が大きいほど優れる）。そのような中、吸気ダクト付レゾネータのみで従前比こもり音を改善する挑戦的な目標を立て目標容量を設定した。

目標容量の確保には従前車で使っていなかったデッドスペースを活用し、2 つのレゾネータを直列につなげる複合レゾネータを検討した。QCD（Quality･Cost･Delivery）よりキャブマウントブラケットに必要最小限の穴を追加し、内側と外側に配置したレゾネータをパイプでつなぐことで容量を増やした（**図 22**）。それでも目標容量に 18 %足りず、実機確認による必要隙の精査及び組付工順により確保できる容量が変わるため、最も容量を確保できる工程で組めるよう技術部と締結構造等の協議を重ねて形状を決め、目標容量に対して 9 %増を達成することができた。少容量での消音性能の最大化のため、周波数特性解析及び実機確認によりレゾネータへの取出口の最適化も実施した。

その結果、吸気ダクト付レゾネータ容量を 75 %増やし、従前比こもり音改善の目標を達成した（**図 23**）。

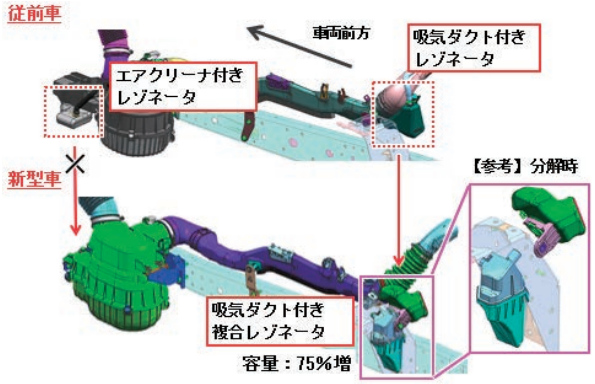


図 22　従前車とのレイアウト比較

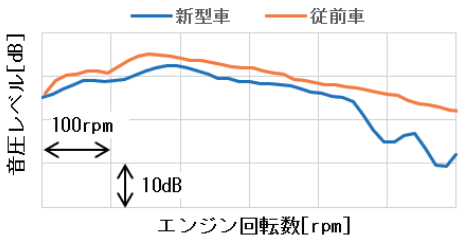


図 23　従前との車内こもり音比較@ドライバー席

10　ディーゼルエンジン冷却系システム

欧州法規ハーモナイズ、新興国排出ガス法規の進展を背景に、国内、輸出展開全体を俯瞰したコンポーネントの集約により、冷却系システムのまとめ開発を実施した。システムの性能向上に加え、車両開発手法「I-MACS」に基づく仕様統合により、環境及び走行条件に影響されない冷却システムを実現した。**10.1 節**～**10.3 節**に詳細を述べる。

10.1　I-MACS による仕様統合化

同一のパッケージングで各エンジン、仕向地に対応するシステムとするため、ラジエータコアサイズを車載可能な最大サイズに統合化した。統合化により開発期間の短縮、並びに同コアの製造ボリュームを最大化することにより部品コストを低減した。各プラットフォームにおいては風量目標を設定し、車両パッケージングとして冷却性能を確保した。

10.2　ラジエータの性能向上

限られたエンジンルーム内で最大限の放熱性能を得るためフィン・チューブを変更し、単体放熱量を約 15 %向上させた（**図 24**）。これにより高温地域での性能を確保し、かつ冷却性能に余裕の出る車型については、エアガイド、及び熱の巻き返しを抑制するシーリングを廃止し、システムコストを低減した。

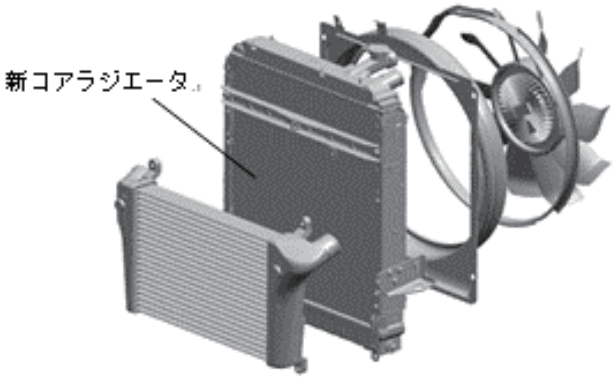


図 24　冷却部品の構成図

10.3　新キャブにおける風流れの改善

新型エルフのキャブデザインの構想段階より空力性能と冷却性能の改善に参画し、バンパ下端部の剥離を低減し、ラジエータグリルの開口位置、及び形状を作り込むことで空力性能と冷却性能を最適化する風流れを実現した（**図 25**）。

10.1 節～10.3 節により、開発コスト、部品コストを抑えた上で今後の環境負荷低減と燃費低減対応を可能とする余裕のある高い冷却性能を確保した。

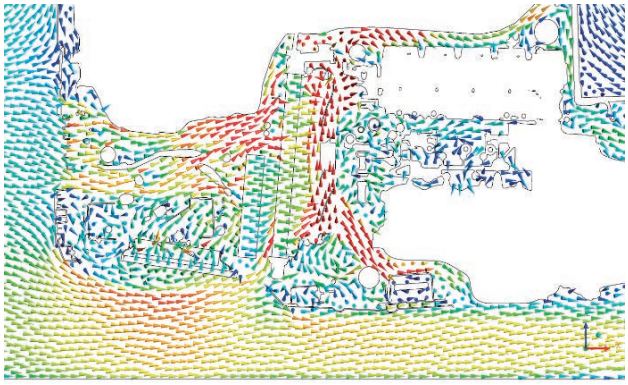


図 25　新キャブの風流れ（解析）

11　高電圧バッテリーの熱マネジメントシステム

11.1　バッテリー熱マネジメントシステムの追加

いすゞでは 2019 年頃から都市部のお客様を対象にエルフ EV のモニタリングを行っている。エルフ EV の高電圧バッテリー（以下、「BAT」と略す）は空冷であった。トラックは積載量を確保するために BAT を必要以上に積めず、車体が大きく重いため少ない BAT で大出力を出す必要がある。ゆえに、BAT 発熱量が大きく空冷では冷却量が不足し、高速走行の車速低下と BAT 劣化が早かった。寒冷地では逆に冷えすぎて性能が低下した。この課題解決のため新型エルフ EV では水冷式の BAT と BAT 熱マネジメントシステムを採用した（**図 26**）。この BAT は人肌程度の温度が理想的であったので、夏場は冷凍サイクルで水を外気温より低い温度まで冷やし、逆に冬場は電熱線で水を温めている。コスト削減のため冷凍サイクルは空調の冷房と共用した。

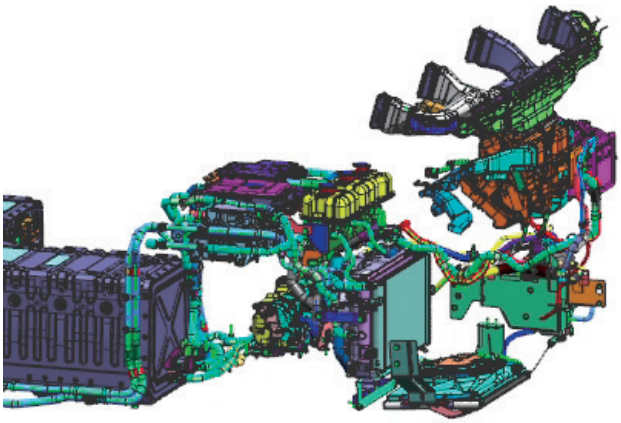


図 26　BAT 熱マネジメントシステムの外観

11.2　システム追加にあたっての課題とその解決

まず、電動コンプレッサと電動ラジエータファンの騒音が課題となった。電動でない場合、エンジン回転数＝車速に応じ回転数が決まっていた両者だが、EV 化により自由に回転数が制御可能となり、低速時の空調性能向上と急速充電時の BAT 冷却のため回転数を上げていた。EV では静粛性が求められており、エンジンがなくなったことで、特に低速時に補器騒音が目立ちやすく、すぐに問題となった。騒音と各性能のバランスを取るために、解析と試験を繰り返しながら制御マップを作成し、車速に応じて適正な回転数に制御することで問題を解決した。他にもコンプレッサでは更にカバーとマウントを工夫するなどしている。

次に **11.1 節**のとおり、BAT 冷却は冷凍サイクルを冷房用と共用してるため、コンプレッサで循環させている冷媒を冷却と冷房で分け合う必要がある。当然循環できる冷媒量には限りがあるため、冷却に冷媒を流しすぎると冷房性能が低下する課題があった。前述の回転数制限もあり、その両立は頭を悩ませた。そこでモニタ車から得たお客様の使われ方を研究した。その結果、EV では電池切れリスクからアクセルを連続してべた踏みする厳しい走り方はせず、配送車だと BAT 温度はゆっくり上昇することがわかった。また BAT は一定温度を超えるまで動力低下しないため、走行開始時は冷房側に全冷媒を流し、キャビンが十分冷えてから徐々に BAT 冷却へと流す冷媒を増やすことで、性能の両立を図ることができた。走行中の BAT 温度が上昇しやすくなってしまったが、そこはキーオフ後に BAT を急冷することで BAT 寿命への影響を最小限に抑えることができた。

11.1 節、11.2 節で述べた内容により、EV の静粛性を残しながら BAT 寿命・航続距離を延長し、かつエンジン車に近い使い方が可能な EV となった。

12　おわりに

新型エルフ・フォワードの開発にあたり、コンポーネントの集約を中心に開発を実施し、開発期間の短縮、部品コストの低減を達成しながらも、商品力を高める性能を実現した。

ご協力を賜った協力企業の皆様並びに、社内関係者に深く御礼申し上げる。今後も変革の中でシャシ性能を進化させるべく研究開発を進める所存である。

著　　者


片桐　希


晴山　貴人


中野　大輔


金澤　翔真


平田　将之


徳武　将也


藤澤　佳生


石田　滉貴


三上　綾斗


小高　俊明


山梨　大貴


横井　直幸


星野　理香


浅田　奨平

新型エルフ・フォワードの電子・電装・空調について

Electronics, Electrical Equipment and Air Conditioning of New ELF and FORWARD

池谷　光也*　Mitsuya Iketani
萩原　裕也*　Yuuya Hagihara
長南　貴寛*　Takahiro Chonan
長谷川　慧*　Akira Hasegawa
戸津　信寛*　Nobuhiro Totsu
石丸　雅一*　Masakazu Ishimaru
松本　勇*　Yu Matsumoto
志賀　吉憲*　Yoshinori Shiga
今野　桂太*　Keita Konno
高橋　健一**　Kenichi Takahashi

要　旨

新型エルフ・フォワードは、多くの新規電子制御装置を搭載した。本稿では、新規電子制御システム、電装品及び空調の改良内容について説明する。

Abstract

New ELF and FORWARD are equipped with many new electronic control units. This article explains new electronic control systems and improvement contents of electrical equipment and air conditioning.

1　まえがき

今回のフルモデルチェンジは、新型エルフが 17 年ぶり、新型フォワードが 16 年ぶりで、お客様の期待度も非常に高い。電子制御システムと電装品、及び空調関連は基本性能向上に加え次世代に通用するトラックのあるべき姿を見据えて開発し、実現させた。

- 将来の機能拡張の容易性、サイバーセキュリティを考慮した次世代電子プラットフォームの構築と電子制御システムの刷新
- ディスプレイオーディオ･操作スイッチ･7 インチメーター等による「ドライバ環境の向上」
- 車両電源システムの変更による「多様な電装品への電源供給安定化」
- 新フルオートエアコンによる「快適性」

を実現し、お客様の期待に十分に応える商品ができたと確信している。本稿では、新規部品と改良内容の概要を説明する。

2　電子プラットフォームの構築

昨今、商用車としても社会的課題であるカーボンニュートラル及び CASE（Connected、Autonomous、Shared & Services、Electric）への対応が求められており、新型エルフ・フォワードではこれらの課題へ対応しつつ新たな価値をお客様へ提供するために多くの機能とシステム追加、更に将来の機能拡張への容易化対応として電子プラットフォームを構築し、搭載する電子制御システムを大幅に刷新した。

従前の電子制御システムでは各システムが複雑に連携（**図 1**）することで新たな機能と価値を生み出しており、そのため一部の機能変更する際でも多くのシステムに影響してしまい、新たな機能及びシステムの追加が容易にできなくなっていた。今回採用した電子プラットフォームでは、これらの課題解決として次の **2.1 節～2.3 節**の対応を行った。

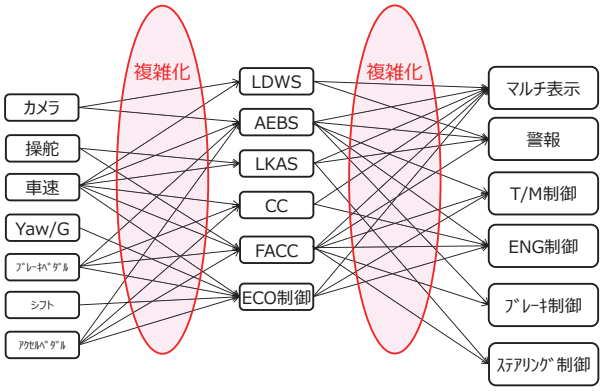


図 1　従前のシステムイメージ

2.1 頭脳（判断部分）と手足（入出力部分）の分離･集約

商用車固有の幅広い車型展開、12 V・24 V 車、ディーゼル、EV（Electric Vehicle）等の種々の動力源及び先進安全を含めたさまざまな車両機能の搭載を容易にするために、セントラル ECU（Electric Control Unit）に「走る・曲がる・止まる」における主な判断部分を、また I/O（Input / Output）コントローラに入出力部分を集約した。

*電装・制御開発部　　**シャシ設計第一部

各 ECU からの要求をセントラル ECU で調停し、アクチュエータとなる ECU へ指示系統を一本化、標準化することで機能追加時はセントラル ECU の調停部分を変更するのみで容易に対応できる構成とした（**図 2**）。

また、12 V・24 V 含めた入出力の仕様違いは I/O コントローラを切替えるだけで対応できる構成にした。

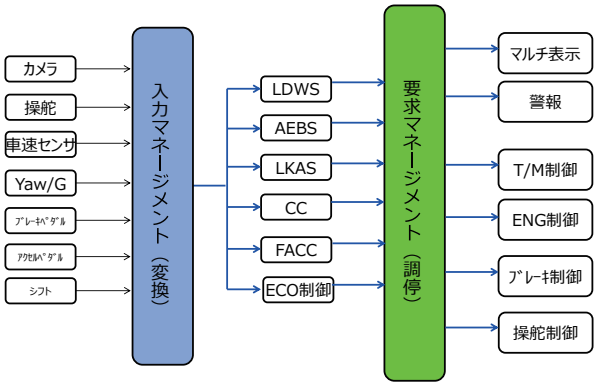


図 2　要求マネージメント（調停）イメージ

2.2　機能別ドメインネットワークの構築

システムを整理して機能を再配置したうえで、機能ごとにドメインネットワークを構築した（**図 3**）。

機能ごとにドメイン化することにより、通信負荷分散、他ドメインで発生した障害の拡散防止をした。

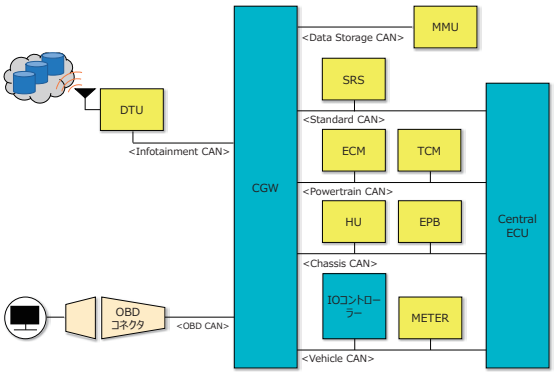


図 3　新型エルフ･フォワードで採用した電子プラットフォーム

2.3　Central Gate Way の採用

各ドメインをつなぐために低遅延の高性能な CGW（Central Gate Way）を採用し、OBD（On-Board Diagnostics）コネクタ及び車外通信からのサイバー攻撃に対して、CGW のセキュリティ機能で車内と車外通信を分離し侵入を防止する。

今回採用した電子プラットフォームの一つである CGW の詳細技術情報については、次の **2.3.1 項**で紹介する。

2.3.1　CGW の技術

スマートフォン及び交通インフラとの連携などによる外部との通信機会が増大することで、サイバーセキュリティリスクが高まり、自動車でもセキュリティ対策が求められている。そのため、サイバー攻撃対策に対応する CGW を開発した。

電子プラットフォームに記載（**図 3**）のとおり、CGW は侵入口と車両内装置のネットワークを物理的に分離し、OBD コネクタ及び外部通信装置からの不正信号侵入、情報漏洩、装置の改ざんを防止するため、次の①～③のセキュリティ機能を担っている（**図 4**）。

① 機器認証

不正なファームウェアの書込みと車両情報の漏洩を防止するため、侵入口となる OBD コネクタ並びに CAN（Controller Area Network）ドメインにつながる外部機器に対して、接続時に正規の機器かどうかを確認して、不正機器のアクセスから車両内装置を守る。

② 信号フィルタリング

車両内への不正なメッセージ侵入を防ぐため、あらかじめ登録のない信号は車両内装置のネットワークに通さない。

③ サイバー攻撃の検知･記録

不正なメッセージが侵入、及び不正な車外機器の接続がないかを監視し、サイバー攻撃を検知した場合、攻撃があったことをユーザーに伝えるとともに、攻撃手口の把握と対策検討のため、攻撃の内容･日時･位置情報を記録する。

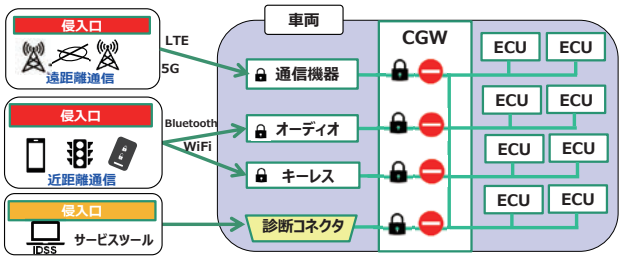


図 4　CGW によるセキュリティイメージ

3　コクピット回り

3.1　Human Machine Interface

ドライバ不足が進み、ドライバが多様化する一方で、トラックは「ADAS（Advanced Driving Assistant System）採用拡大」と「つながるトラック」、CASE への対応により、取扱う情報量は大幅に増加し、今まで以上に「誰でも運転しやすい」、「誰でも分かりやすい」HMI（Human Machine Interface）が不可欠となっている。新型エルフ・フォワードのメータ・オーディオ･ドライバーステータスモニター･スイッチは「誰

でも運転しやすい」、「誰でも分かりやすい」をコンセプトに開発を行った。

3.2 メータ

新型エルフ・フォワードは、増加する表示数に応え、大型液晶画面のMID（Multi Information Display）を新規に開発した。**図5**にMID搭載の外観を示す。



図5　MID搭載のメータ

3.3 MID

MIDは、各種システムに対して分かりやすいGUI（Graphical User Interface）デザインを実現可能なように7インチのフルカラーTFT（Thin Film Transistor）液晶を採用した。各種システムの表示を行うにあたり、「誰でも分かりやすい」表示となるよう、表示する情報を種類別にエリアを分割している。メータのMID画面表示を**図6**に示す。なお、表示する情報は次の①～⑥のとおり。

① シフトインジケータ
② 安全装置表示
③ 水温計
④ メインディスプレイ
⑤ 警告灯･オドメータ･カレンダー
⑥ 燃料計･尿素水量計

主な特徴として、④のメインディスプレイは走行時、情報過多にならぬようGUIを検討。割込み表示は警報時に次のアクションも示し、分かりやすさを考慮した。

停車時は、稼働サポート情報の運行前点検と運行後サポート（燃費･安全レポート･整備チェック）を把握できるようにした。また利便性の向上を目的に、車両設定及びメータ設定のカスタイマイズが可能なメニュー画面を用意し、ステアリングスッイチを使い各種操作を可能にした。HEV（Hybrid Electric Vehicle）･EV車用にはエネルギーフローを分かりやすいアニメーションを使用して表示している。③の水温計、⑥の燃料計・尿素水量計は、従前では指針式を用いていたが、新型はMIDを採用して視認性を向上させた。なお、新型フォワード仕様はエア表示に、エルフEV車ではバッテリー残量計、バッテリー温度計をMID上の同様エリアに表示している。



図6　MID画面表示

ブザー・音声警報に関しては、従前で別体であった音声警報をメータ内部に取込み車両としてコスト低減を実施。機能としても警報・警告時はMID 割込み表示に合せて、音による的確な通知ができるようにした。音は音圧･周波数･吹鳴パターン･音声のバリエーションを各種システム設計、実験と整合し緊迫感のある警報・警告音を独自に作成した。フラッシャリレー音の出力も適正な音量でドライバが認知しやすい音作りを独自に取組んだ。

4　オーディオ

昨今のドライバ不足解消へのアプローチとして、IVI（In-Vehicle Infotainment）による快適性･安全性･業務効率向上について検討した。新型エルフ･フォワードでは、従前のラジオ機能に加えて、MIMAMORIコントローラをアプリケーションとしてディスプレイオーディオ（以下､「DA」と略す）を新規に開発した。

従前の1DINタイプのMIMAMORIコントローラに比べて7インチの静電タッチ式TFTディスプレイを採用した。各種ボタンのサイズ及び表示部の拡大が可能となり、操作性･視認性を格段に向上させた。

また、SDL（Smart Device Link）によるスマートフォンとの連携、UN R158に適合した後方視界の投影及び市場オプションのUGD（高度運行管理端末：Upgrade Device）接続によりMIMAMORIコントローラアプリケーションの機能拡張が可能になった。

本章で述べた多様な機能によりお客様の快適で安全な運行を助ける「誰でも運転しやすい」HMIを実現した（**図7**）。

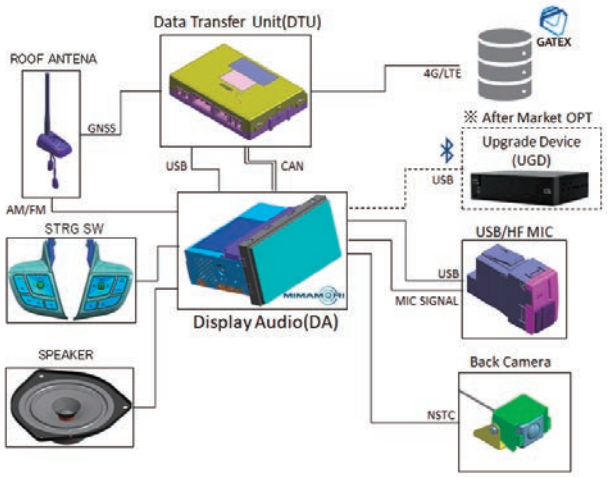


図 7　オーディオシステム

5　ドライバーステータスモニター

新型エルフ・フォワードでは、近赤外カメラを使用し、ドライバの顔の向きと視線、顔の位置及び開眼度をとらえ、わき見または居眠りを検知した場合はドライバに注意喚起する、ドライバーステータスモニター（以下、「DSM」と略す）を開発した。

本システムは主に近赤外カメラの画像から、顔の向きと視線、顔の位置及び開眼度をセンシングするカメラ ECU と、わき見または居眠り等の判定を行う I/O コントローラ（警報判定機能）で構成する。判定結果は CAN 通信を用いメータに送信し、音声警報と警報表示を行う（**図 8**、**図 9**）。

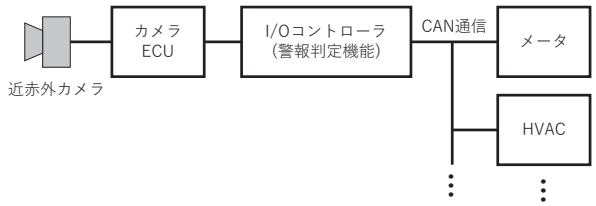


図 8　DSM システム構成



図 9　DSM 検知イメージ

今回の特徴として大型ギガで採用した DSM 機能に加えて、新型エルフ・フォワードでは次の（a）～（c）機能を新たに追加した。

（a）視線によるわき見検知

近赤外カメラ及び画像認識の高性能化により、視線の検知を実現した。また、近赤外カメラをインストルメントパネルセンタにレイアウトすることで、インストルメントパネル付近を注視するような「ながら運転」に対する注意喚起も可能としている。

（b）エアコン連動機能

強い眠気を検知した場合は、音声とメータ表示による警報に加え、HVAC（Heating Ventilation Air Conditioning）と連動し顔に近い吹き出し口から冷風を出してドライバに注意喚起する。また、冷風による注意喚起中はカメラに手をかざすジェスチャーをすることで冷風を停止させることができる。

（c）顔認証機能

顔認証機能により、登録したドライバを認識すると、ドライバが前回降車時に選択していた、DSM 関連の設定値（警報音量と感度設定等）を自動で呼び出すことができる。

6　操作スイッチ

車両とドライバのインターフェースとして重要な役割を持つ操作系のスイッチについては、車両コンセプトの一つである「誰でも使いやすい」を実現するため、従前車で蓄積してきたゾーニングコンセプトをベースに新規スイッチを含めたレイアウトの見直しで、操作性の向上を図った。

6.1　ステアリングスイッチ

メータの 7 インチ MID、走行中に操作頻度の高いオーディオ、ADAS〔ACC（Adaptive Cruise Control）等〕関連機能のスイッチをステアリングスイッチに配置し、ステアリングを握ったまま安全に操作を可能にした（**図 10**）。

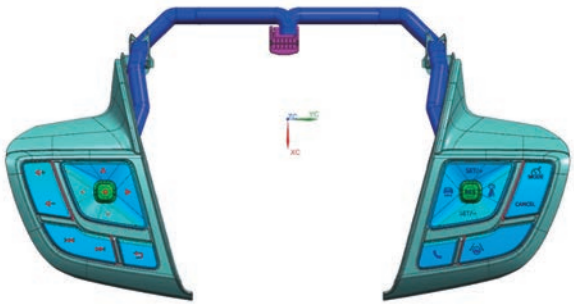


図 10　ステアリングスイッチ

6.2 コンビスイッチ

フロントフォグランプスイッチ、ヘッドランプウォッシャースイッチをコンビスイッチに取込み、操作性向上を図った。また、各スイッチからの出力を操舵角センサに入力し、CAN 通信化することでハーネス削減にも寄与している（**図 11**）。

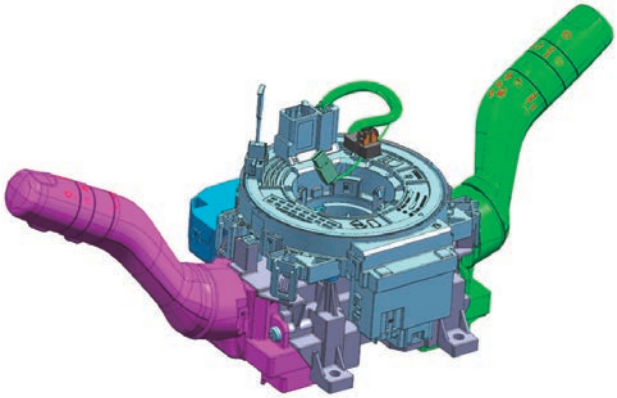


図 11　コンビスイッチ

6.3 インストルメントパネルスイッチ

機能別のゾーニングコンセプトから、既存スイッチのコンビスイッチ、ステアリングスイッチ、及びドアトリムへの移設を含め、全体レイアウトの見直しを行い、利便性を向上した。

7　電源システム

日本ではトラックの車両電源電圧は 24 V であるが、昨今、先進安全装置など 12 V 電装品が増加し、更に瞬時に大電流が必要なブレーキアクチュエータと操舵アクチュエータへ 12 V 電源の供給が必要となった。このため、新型エルフについては 12 V 電源供給能力を強化した。

7.1 車両電源構成

従前車では、装置ごとに降圧 DC-DC コンバータを設定し、24 V から 12 V に変換し供給していたが、12 V を瞬時に大電流で対応するには DC-DC コンバータでは難しい。そこで、今回バッテリーイコライザを新規開発し、2 つの 12 V バッテリーより電源に直接給電する構成とし、この課題を解決した（**図 12**）。

また、2 つのバッテリーにはそれぞれバッテリーセンサを搭載し、バッテリーを監視することでバッテリー保護と燃費改善のための充電制御の両立を実現した。

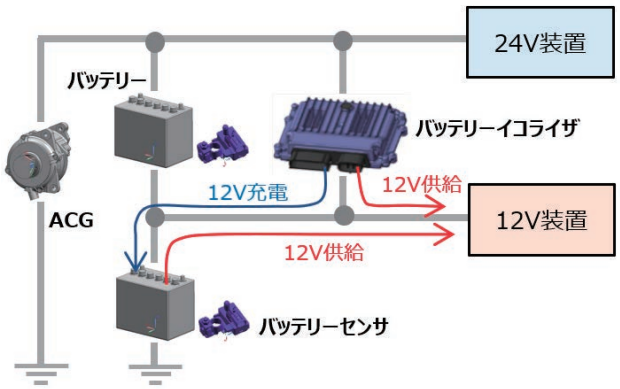


図 12　車両電源構成図

7.2 バッテリーイコライザの機能

バッテリーイコライザのメイン機能は、24 V を 12 V に変換し、下流側バッテリーの補充電及び 12 V 電装品に電力を供給することである。2 つのバッテリー間から 12 V 電源を直接取り出すだけでは、充電状態がアンバランスとなるが、バッテリーイコライザの補充電で、この問題を解決した。

また、アイドリングストップ車におけるエンジン再始動時の電圧補償、バッテリー状態によるアイドリングストップ可否判定などの機能も実装した。

8　エアコンユニット

従前車の冷･暖房性能を維持しつつ、ユニットケースの小型化、及びエアコンフィルタ・ヒータコアの整備性向上を図るためエアコンユニットの新規開発を行った。

8.1 ユニットケースの小型化

室内スペースを創出するため、車両前後方向で従前に対しユニットケースを約 10 %短縮して、インストルメントパネルの物入スペース拡大に貢献した（**図 13**）。

一方で、ユニットケース内の熱交換器のサイズは同等ながらブロワ風量は、従前以上の空調性能へ向上した。

また、標準キャブのフットダクト形状の変更により風流れを改善し、ドライバ足元の快適性の向上を図った。

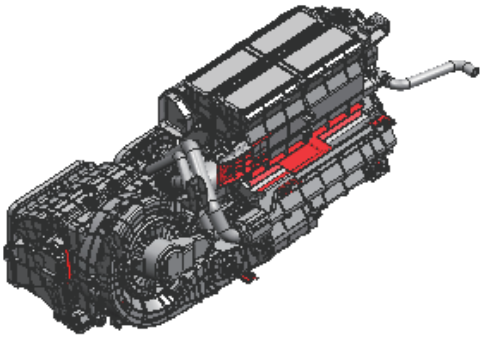


図 13　エアコンユニットケース　全体

8.2 エアコンフィルタの整備性向上

従前車の標準キャブでは、ブロワの内気と外気用のフィルタを別々に設定していたが、内外気兼用とした（**図 14**）。

これにより、従前は内気フィルタの脱着時に合せインストルメントパネルカバー、ウォッシャータンク等の部品を脱着する必要があったが、脱着不要となった。作業時間としては約 80 %短縮し、整備工数が大幅に削減できた。

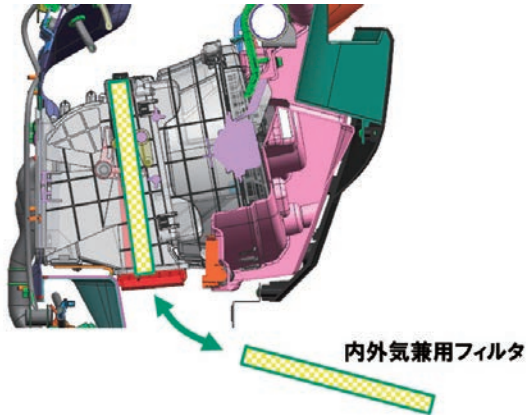


図 14　ブロワ周辺断面

8.3 ヒータコアの整備性向上

従前車では、ヒータコアの脱着時にはエアコンユニットを車両から降ろさないと作業ができずに工数がかかっていたが、ヒータパイプをキャブとシャシで分割（従前は一体）することで、ユニットを車両から降ろすことなく、分割部のクランプを外してヒータコアを横から抜き差しすることで、脱着が可能となり、整備工数の削減ができた（**図 15**）。

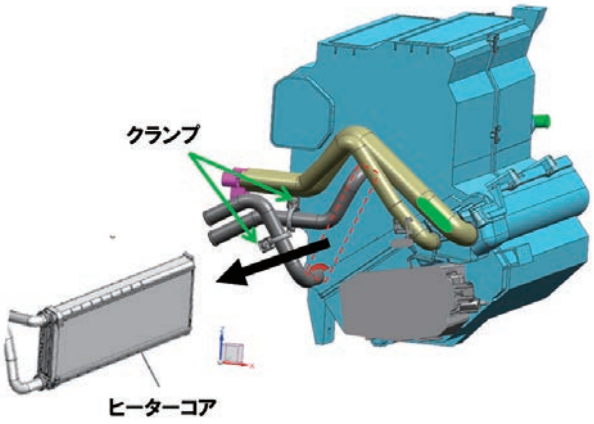


図 15　ヒータコア周辺断面

9　あとがき

以上　新型エルフ・フォワードの電子・電装・空調部品の概要について説明した。フルモデルチェンジでしかできない大幅な改良を図ることにより、次世代トラックにつながる第一歩を踏み出せた。

今後もお客様のニーズに応えるべく、更なる改良を進めていきたい。

最後に、今回の開発に際し多大なる支援と協力いただいた、社内外の関係各位に紙面を借りて感謝の意を申し上げる。

著　者


池谷　光也


萩原　裕也


長南　貴寛


長谷川　慧


戸津　信寛


石丸　雅一


松本　勇


志賀　吉憲


今野　桂太


高橋　健一

新型エルフの荷台について

About the Cargo Bed of the New ELF

望月　英正*
Hidemasa Mochizuki

要　旨

商業車である限り、トラックのシャシには架装物が載っている。よって架装物のないトラックは半完成品であり、架装が施されて初めてトラックとしての価値が発生する。新型エルフの架装物のうち、最も一般的で生産数の多い架装である平ボディについて、変更概要を紹介する。

Abstract

As long as it is a commercial vehicle, the chassis of the truck has a mounting. Therefore, a truck without a mounting is a semi-finished product, and its value as a truck arises only after the mounting is done. This paper introduces the outline of changes to the flat body, which is the most common and produced among the accessories of the New ELF.

1　はじめに

平ボディは積載スペースであると同時に荷役を行う際に、お客様が必ず触れるツールであり、「運ぶ」を支えるトラックにとって重要な役割を果たしている。平ボディというそのシンプルな機能ゆえに、これまでのエルフの歴史の中で構造が熟成され、他社との差別化が難しく、似通ったものになっている。

お客様が使いやすいように改造することも多く、汎用性と使いやすさを考慮した基本形状はそのままに、市場の要望とシャシ変更に伴い差別化を試みた。

2　変更内容

2.1　平ボディの木材変更（竹床材の採用）

2.1.1　経緯

カーゴ系の中で最も一般的で、汎用性の高い架装である平ボディの床材及び内装材には、積荷の保護と軽量で高剛性という特徴を生かした木質系材料を使用している（**図 1**）。これまでエルフの床材は、伐採後の再生が難しい天然木であるアピトンの無垢材単板から始まり、生産数の増加と軽量化及び環境保全などの社会的要求に応え、再生可能な植林木を使った合板一枚構造へと進化してきた。

一方、平ボディは常に天日に曝されるという、木材にとっては過酷な利用環境に加えて、「運ぶ」を支えるための主要な装置であり、床板の経年劣化に対する性能を向上してほしいというお客様の声を度々聞いていた。荷台の床板が早期に劣化しては「運ぶ」を支えるエルフにとって致命的である。お客様に安心して長くご使用いただくためにも、床板の耐経年劣化性能の向上は課題であった。

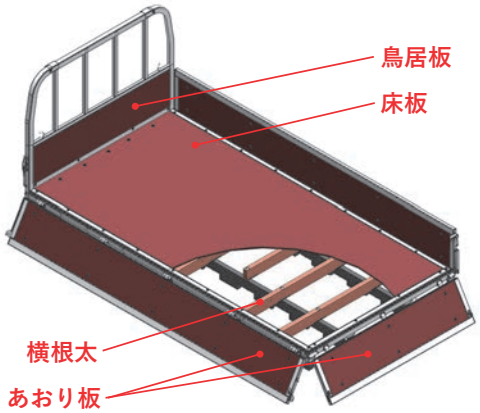


図 1　平ボディの木材使用部位（茶色が木材）

2.1.2　竹床材について

荷台への竹の利用は以前より中国車、日本でも中・大型車では一般的であったが、これまでの竹材は空隙があったり、集成構造のものは横方向の力に弱く、エルフに適した薄板化を行うと割れやすいという欠点があった。そのため軽量なエルフに適した構造として、縦／横／縦と繊維方向を 90 度回転させて積層した 3 層の竹材を採用した（**図 2**）。小型車では先行して E-CARGO のドライバンの床に竹材を使用していたが、屋外環境下で耐久性が要求される平ボディに適した仕様とするため表面処理により耐候性能を向上させた。

*いすゞエンジニアリング㈱

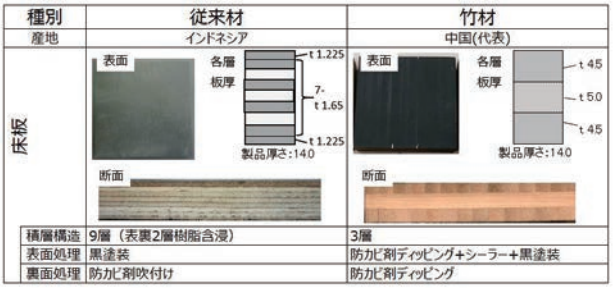


図２　従来材と竹材の構造の違い

2.1.3　竹床材の特徴

- 床材として使えるまでの成長期間が 20～30 年かかる木材に比して、竹は 3～5 年と早い。
- 繊維の縦方向に高い靭性を持ち、適正な材料の使い方により曲げに強くなる（**図 3**）。
- 雨水などの吸水量が木材に比して小さく（**図 4**）、環境による影響を受けにくい（**図 3**）。
- 従来材よりもやや多く酸を含むので、防錆のため竹に接する締結部品はジオメット処理を施した。

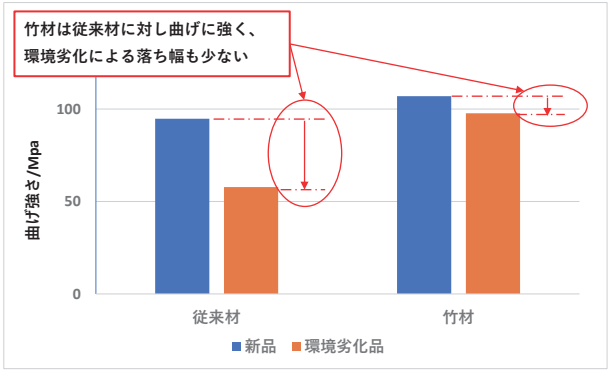


図３　新品と環境劣化品の曲げ強さの比較

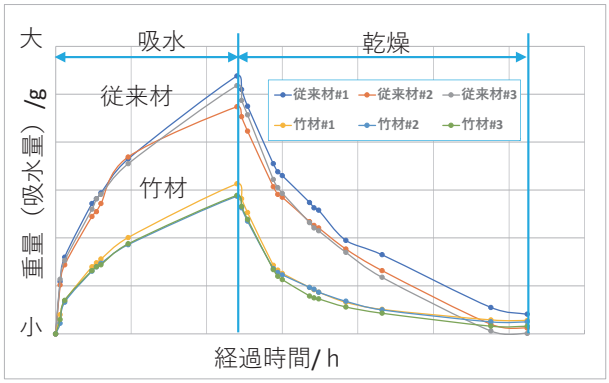


図４　竹材と従来材の吸水量の比較

2.1.4　開発手法について

特段新しい手法ではないが、木質材料といえども材料物性値を取得し、CAE（Computer Aided Engineering）解析にて最適板厚を決定した。

課題となっていた耐劣化性能を確認する耐候性試験については、テストピースでの基礎試験（**図 5**）とともに、実車での評価及び構内連絡車での長期にわたる暴露に加え使い勝手の確認も念入りに行った（**図 6**）。

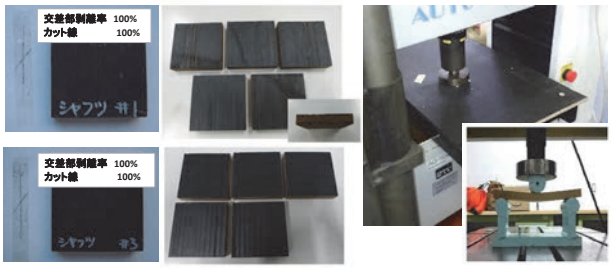


図５　テストピースによる基礎試験



図６　構内連絡車にも採用して確認

2.1.5　竹材化による効果

あおり内板と鳥居板に関しても同構造の竹を採用することで、4 ナンバー小型車登録の標準ボディで約 10 kg／台の軽量化を果たした。このように、竹の合板は軽量で基本的な物性である曲げ強度と耐劣化性は高い性能を有しており、必ずや市場の要求に応えられるものと考えている。

しかし、新たな調達先となるため量産開始後の外観品質の安定性などは注視する必要があり、今後も品質向上に努めていく所存である。

2.2　シャシへの締結方法変更

法規制対応などによるデバイスの追加により、シャシはモデルチェンジの度に複雑さが増して、架装の締結スペースもまた影響を受けている。これは平ボディについても例外ではない。

通常、平ボディをシャシに固定するためには、床下の縦根太とシャシフレームを U ボルトで締結する。U ボルトで締結するには、シャシフレームの下に U ボルトを通す或いは、ナットを締結するスペースが必要に

なる。新型エルフではSCR（選択触媒還元装置：Selective Catalytic Reduction）システムに付随する配管及びトランスミッションの騒音低減カバーを装着したため、そのスペースが確保できなくなった（**図7**）。そこで1本もののUボルトの構造を見直し、寸切りボルトのような2本のIボルトと、それをつなげる部分をプレートとして分割する方式を採用した（**図8**）。これにより、配管及び騒音低減カバーが装着された後でも架装締結の作業を可能とした。

この方法は藤沢工場ではYシャシ出荷する平ボディ以外の架装にも転用できると考えている。

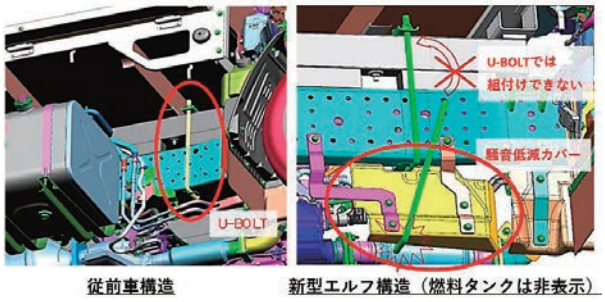


図7　シャシフレーム周辺図

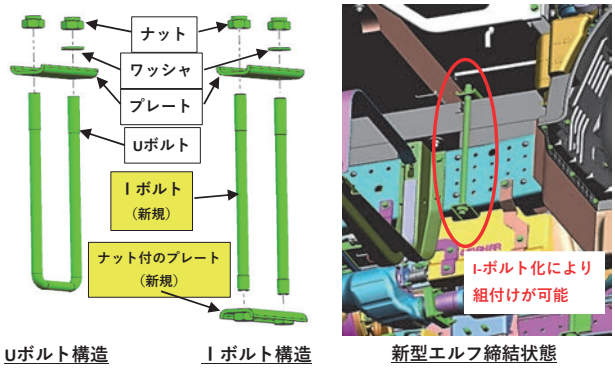


図8　Uボルトと Iボルトの構成部品

2.3 熱害対応

新型エルフでは、シャシの冷却性能を向上したことにより、エンジンとキャブ下を通過した熱気が荷台に到達し、エンジンの後ろに位置する荷台温度が上昇する要因となった。荷台内温度を従前車と同等に保ち、お客様の大切な積荷を保護するため、鳥居と床下周辺にヒートプロテクタを設置した（**図9**）。また、縦・横根太とシャシフレームに挟まれる樹脂製スペーサの熱による変形と劣化を防ぐため、影響を受けやすい荷台前端は耐熱性の高い材料への置換を行った。

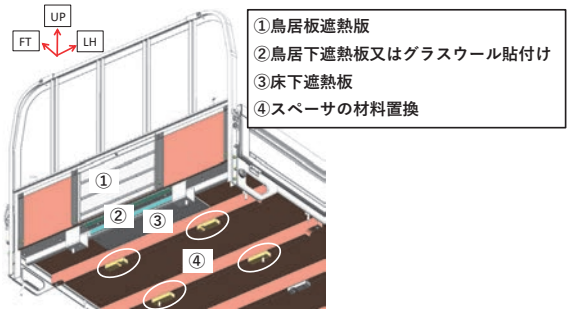


図9　平ボディの熱害対応

2.4 エルフ EV の平ボディについて

エルフEV（電気自動車：Electric Vehicle）の平ボディについては、基本的な構造･材質はディーゼルのものと同一だが、航続距離の要となるEVバッテリーと充電システムの搭載を考慮し、シャシへの締結位置変更及び横根太材と床台枠の切欠き、ロープフックと足掛け部分の形状変更を行った。これにより充電口の蓋開閉スペース並びにバッテリー整備性を確保したうえで、荷役性に多大な影響を与える荷台床面高をディーゼルのフルフラットローと同等に抑えることができた。

3　おわりに

今回竹材の採用にあたっては、ボディメーカーである高田車体株式会社様と候補材も含めた調達業者様、並びに、いすゞ車両品質管理部及び実験部など多大なご協力をいただき、この場をお借りして感謝の意を申し上げる。竹材以外の変更に際しても関係各部署の方々にはお力添えをいただき、感謝の意を表す。

今後も「運ぶ」を支える重要な装置として、お客様の使いやすさ、安心を目指して品質向上を行っていく。

著　者



望月　英正

特集「新型エルフ・フォワード」

新型エルフへの光学解析技術の適用について

Application of Optical Analysis Technology to New ELF

杉本　康旗*
Kouki Sugimoto

松下　博樹*
Hiroki Matsushita

要　旨

車両開発における視界性能は、安全に車両を走行させるうえで重要な性能の一つで、さまざまな環境下で使用される車両において、グレアと呼ばれる現象によってドライバの視界が妨げられることがある。ドライバに影響をもたらすグレアには、高輝度光源（太陽光及びその反射光）を直接目で見ることによって目の機能を生理的に損なうものと、光源がウィンドウ等に映りこみ見づらさ等の心理的に不快感を引き起こすものが存在する。そのような現象に対して光学解析を活用し、開発初期段階で定量的に評価を行った手法を紹介する。加えて光学解析の活用拡大に取組んでいる事例を示す。

Abstract

Visibility performance in vehicle development is one of the most important performances for safe driving of vehicle. For vehicle under various environmental conditions, a phenomenon called glare sometimes obstructs the driver's visibility. Glare affecting drivers ranges from an impairment in eyesight caused by high brightness, such as sunlight, to a psychological discomfort caused by invisibility due to reflection of the light source on the window. We will introduce a method for quantitatively evaluating glare at the initial stage of development using optical analysis. In addition, we will introduce practical examples to expand the use of optical analysis.

1　はじめに

近年、先進技術の発展に伴い車両には、ディスプレイオーディオ（以下、「DA」と略す）、ヘッドアップディスプレイ（以下、「HUD」と略す）、及びモニタといった運転の補助となる便利な機器が増加している。商用車においてもユーザー要望に応えるため先進技術開発に取組んでいる。DA、HUD などの新装置の増加に伴い、内装部品にはさまざまな材料及び光源が使用される。それらの内装部品及び光源が反射によりドライバの視界を妨げることがある。従前では想定していなかった反射と映り込みによってドライバの運転を妨げる反射を生じているためである。

それらの新装置の追加と、新材質採用によるドライバ視界への光の影響を判断するために、試作車を用いて評価を実施しているが、さまざまな環境及び車両仕様を実車で評価することは膨大な工数と費用がかかり、また評価の抜け・漏れが発生する恐れもある。したがってこのような背景から、シミュレーションを用い、さまざまな環境下で定量的に比較検討、及び事前検討を行うことが期待されている。

2　光学解析技術の適用について

いすゞではキャブ内装部品に対し、多種多様な光源からグレアの影響を実車を用いた試験で評価していた。

主に屋外で太陽光を活用し、さまざまなシチュエーションの道路（悪路及び高速周回路など）を走行し、ドライバの目に入る直接光、及び内装部品からの反射光に対して、まぶしい、まぶしくないなどの官能的な評価を行っていた。ベンチ試験でスポットライトを活用し反射を確認することも実施していたが、屋内外のどちらの試験でも、キャブ内でドライバの目に入る全ての光の評価を漏れなく行うことは困難であった。また、実車を使用した評価でドライバのグレアに対する最悪条件を抽出、選定することも難しかった。

新型エルフでは開発初期段階で、光学解析ソフト SPEOS を用いてキャブ内装各部の反射が最悪となる条件（以下、最悪条件とはまぶしい、見えづらいなどによる視認性低下が最も厳しい条件のことを指す）を算出し、ドライバの視界を妨げるようなグレアがないかの確認を行った。その上で従前車と開発車両の優劣を、光の強さを表す物理量である輝度値で比較し、未然に不具合を予防することができた。

* CAE デジタル開発推進部

2.1 キャブ内装光学解析

キャブ内装光学解析とは、ドライバの視点（以下、「アイポイント」と称す）を基準に、キャブ内装にドライバの妨げとなるグレアがないかを確認し、予測するものである。

新型エルフではキャブ内に太陽光、外灯といった光源から光が入射したケースで、フロントガラス、及びウィンドウに映り込みが発生する最悪条件を導き出し、その際の見栄え及び輝度値の予測を実施した（**図1**）。

解析手法としては光源からの光線を追跡し特定の観測点における数値及び像をシミュレートする手法である、レイトレーシング法[(1)]により解析を実施した。



図1　新型エルフにおけるドライバ視点のキャブ内装見栄え解析結果

2.2 キャブ内装のモデル化

キャブ内装のモデル化にあたって、モデルのハンドリングと解析時間はCAD（Computer Aided Design）データ容量に大きく依存するため、不要データ削除などのデータ軽量化が必要であった。モデル化を行う上で、主にドライバアイポイントから視界に入る部品は残し、その他は削除する。インストルメントパネル（以下、「インパネ」と略す）内部のブラケット及び配管などはすべて削除する。しかし、部品を削除すると部品間に隙間が生じるため、外からの光が内装に入り込んでしまう。これを防ぐために部品間の隙間に対し、FACE要素で補完して光の侵入を回避した。このような前処理を行うことで計算速度、及びモデルハンドリングを格段に向上することができた（**図2**）。

内装部品の物性値は各部品の反射率、拡散特性を付与し、ガラス類は透過率を設定することでモデル化を行った。

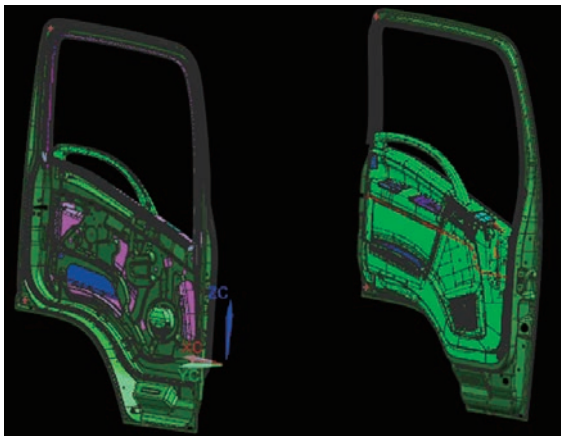


図2　データ軽量化後のドア部（ドライバから見える内装部は残し、ドア内部構造は削除している）

2.3 光源のモデル化

さまざまな環境下で評価を行うため、各種光源を設定した。太陽光、外灯、コンビニの照明などの車外の光源、メータ及びナビゲーション（以下、「ナビ」と略す）、アンビエントライト（車内内装を均一に明るく照らす照明のこと）などの車内光源を設定する。太陽光に関してはあらゆる位置に設定をすることが可能であり、更に世界各国の主要都市における任意の日にち・時間帯時の太陽光の再現（光の強度、角度及び色味など）が可能である。これらの光源を使用することで、実車では難しかった同一環境での比較が可能となった。

また、外灯及び建物の照明の光学特性はANSYS社提供のライブラリ上にある一般的なものを使用した。ナビ及びメータに関しては画像データをCADデータ上に張り付け、画像データを直接発光させることで簡易的な光源としてモデル化を行った（**図3**）。

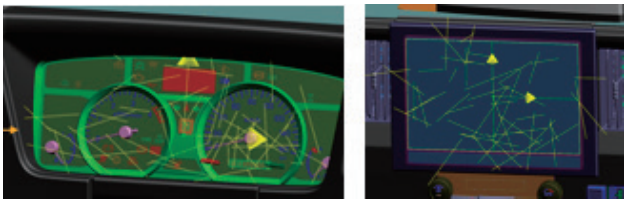


図3　ナビとメータのモデル化

2.4 環境のモデル化

新型エルフの解析では一般的な交差点走行時のシーンを想定し、環境を構築した。車両近傍にある建物・道路・信号機・木などのオブジェクトに関しては車内内装部品と同様に光学特性を付与してモデル化を行った。また、遠方に見える高層ビル群及び空は、環境オブジェクト全体を覆うように半球状にHDRI（High Dynamic Range Images）画像を張り付け、そ

の画像自体を発光させることにより背景を再現している（**図 4**）。



図 4　環境モデル

2.5　最悪条件の算出

実車試験において、あらゆる方向から入反射した光に対して内装部品の反射を測定することは、膨大な工数がかかり効率的な評価は困難である。またグレアが最も厳しい最悪条件での評価の抜け漏れにつながる恐れがある。そこで今回は「逆光線追跡」という手法を活用することで最悪条件の算出を行った。逆光線追跡とは、ドライバの目を光源として目から照射した光が内装部品に反射し、車両を覆うようにドーム状に配置された輝度センサで光を受光し、輝度値を計測するという手法である。輝度センサで高強度の光を受光した位置（光のルート）＝太陽光が内装部品に反射して、まぶしく見える太陽の位置とみることができる（**図 5**）。

これにより、各部品に対し、どこの位置に光源があるときに最もまぶしく感じる反射が起きるのかを明確にすることが可能となる。

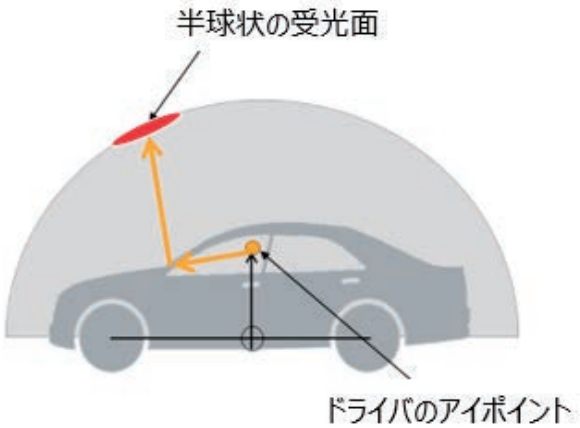


図 5　太陽光の最悪条件の算出イメージ図

2.6　キャブ内装ゴースト評価

SPEOS 上で新型エルフのキャブ内装モデルを作成し、インパネ上部が最もまぶしく反射する条件を予測した。その条件下でドライバ視点から内装各部を見た際の画像による官能的評価を実施した。加えて、従前車の輝度値を算出し比較を行った。その結果、異常な反射はなく、新型エルフは従前車同等と考え、評価 OK と判断した。懸念していたステレオカメラ上部に関しても周辺部品の輝度値と同等であり、ドライバの視界を妨げる反射はないとし OK と判断した（**図 6**）。



図 6　新型エルフ映り込み解析結果（昼間）



図 7　新型エルフ映り込み解析結果（夜間）

また夜間のシミュレーションではさまざまなオブジェクト（ナビ及びメータ、車両近傍に配置した建物の光など）がウィンドウに映り込むゴースト評価を実施した。

メータからの光源がドライバ側のウィンドウに映り込んだり、外灯からの照射に対しインパネ上部がフロントウィンドウへ映り込む等のゴーストを確認した。これらについても、ドライバの視界を妨げるものではないと考え、実験部による評価は OK と判断された（**図 7**）。

2.7 定量的視認性評価

従前の視認性評価では、実車を作成し、実環境で評価を行っていた。実環境での評価では、①最悪条件での評価が難しい、②仕様違いによる同一環境の評価が不可。といった課題があった。SPEOS を用いることで、**2.5 節**で述べたように太陽光の最悪条件を算出することができ、同一環境下で解析が可能となった。更に、ドライバの視認性に影響のある部位の輝度値を算出することができるようになり、定量的なまぶしさの評価も可能となった（**図 8**）。

しかし、まぶしさによる快・不快の判断は光源の輝度、大きさ、位置、外環境の明るさなどのさまざまな要因が影響しているため、物理量（部位ごとの輝度値のしきい（閾）値など）と官能評価点数との結び付けは困難である。輝度値からグレアに対する評価基準を策定することが今後の課題である。



図 8　SPEOS 解析結果（上）と輝度値のコンター図表示結果（下）

2.8 新型エルフ カスタム仕様の反射評価

新型エルフの標準仕様とカスタム仕様の反射評価比較を行った。カスタム仕様は標準仕様と比較して、ピアノブラック及びシルバー素材などの高反射部材が多く使われているため、太陽光等の反射によるグレアの悪化が懸念された。従前であればモックアップまたは実車を用意し評価を実施していたが、今回は SPEOS の解析結果のみで OK/NG の判断を行った。

両仕様に対して、キャブ内装で反射し、ドライバの目に入る光の輝度値を比較したところ、平均輝度値は両仕様で平均値は同等だったものの、最大輝度値は 2 倍ほどカスタム仕様の方が高かった（**表 1**）。

表 1　標準仕様とカスタム仕様のインパネ部の輝度値の結果比較

	標準仕様	カスタム仕様
最大輝度値	36, 386 cd/m²	70, 048 cd/m²
平均輝度値	1, 989 cd/m²	2, 010 cd/m²

前述のとおり、得られた輝度値と官能評価点数の結び付けに課題を残しており、今回は VR（Virtual Reality）画面にて両結果の比較を行い、カスタム仕様の高輝度部の合否判断を行った。その結果、輝度値は 2 倍ほどであるが、輝度部の面積が小さく、グレアへの影響は小さいため、実験部による評価は OK と判断された（**図 9**）。



図 9　標準仕様（上）とカスタム仕様（下）のインパネ部の解析結果
※標準仕様のインパネ部にはシボ加工あり

2.9 SPEOS 解析結果の精度検証

SPEOS の活用拡大を図るために、解析で得られた結果の妥当性を検証する必要があるが、車両モデル系での検証は誤差要因が多く、精度よく一致させることが難しい。そのため、光源と輝度計（または照度計）のみの単純な系（以下、「単純系」と略す）にてまずは検証を実施した（図 10）。

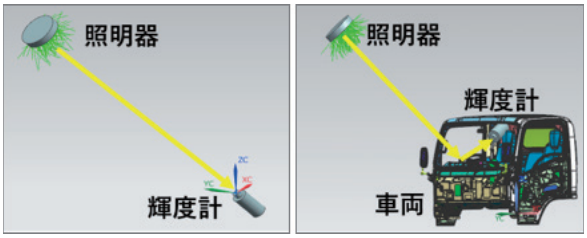


図 10　単純系（左）と車両モデル系（右）

解析結果と実測値を比較したところ、照度値（物体の表面を照らす光の明るさを表す物理量のこと）はおおむね一致したが、輝度値に大きなかい（乖）離が発生していた（表 2）。輝度値が精度よく一致しない要因としては、光源の LED 部のモデル化が上手く機能していないことと、測定時の誤差が生じてしまっていることが考えられる。車両系での合せ込みに向けて、単純系での合せ込みが直近の課題である。

表 2　照度の実測値と解析値の比較

照度結果[lx]		
	光度：2758cd	光度：6860cd
実測値	482	1064
解析値	426	1059

2.10 光学特性の計測

より精度の高い解析を行うためには、実物と同等の光学特性を解析モデルに反映させる必要がある。光学特性計測機器を使って、車体の外装と内装の革シボなどの光学特性（反射、透過、散乱）を実車もしくはサンプルプレートから計測し、得られた特性値を SPEOS モデルに適用することで、実車と同等の評価が可能になり、一度計測した材料は、色情報（スペクトル情報）を変更することで、色違いの材料の評価も可能である（図 11）。



図 11　光学特性測定器（左）、ハンディ測定器（右）

2.11 ドライバの視界領域の定量化

SPEOS では輝度値の算出だけでなく、さまざまな用途の解析をすることができる。次にドライバから見える範囲の可視化を紹介する。

ドライバのアイポイントを光源として、目から見える範囲＝目から出た光が届く範囲と捉え、目から出た光の範囲をマッピングすることで、ドライバの視界領域の定量化を行った（図 12）。

赤枠が評価エリア、赤塗潰しが視界エリアである。視界エリアの面積から、ドライバの視認領域について競合他社との定量的な比較を行うことができるようになった。

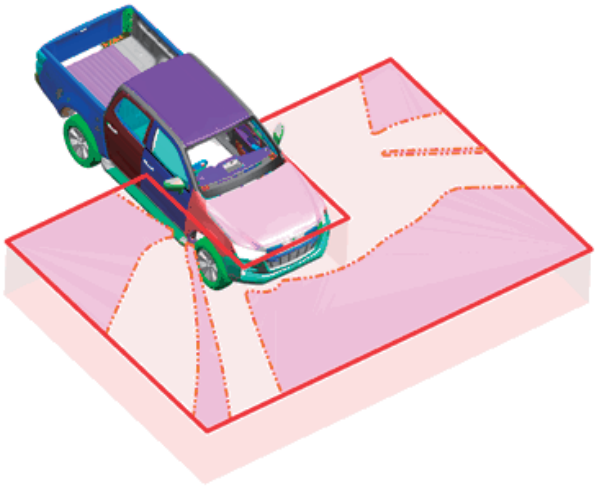


図 12　ドライバの前方視界領域の解析結果

また、同様にミラーによる間接視界についても可視化をした（図 13）。算出したミラー視界エリアに対して、評価部署が実車で行っている視界評価の評価ポイントを SPEOS 結果上に表示させることで、実車評価の代替が可能となった。

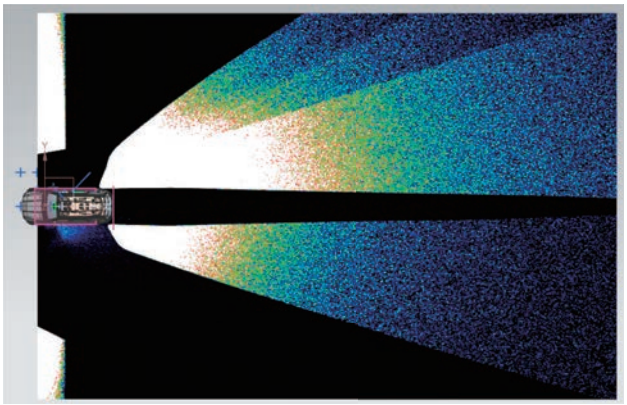


図 13　ミラーを介したドライバの間接視界エリア解析結果（青並びに白などの色付き部が視界エリア）

3　おわりに

本稿では光学解析ツールSPEOSを用いた車両開発への適用事例を紹介した。まぶしさの定量的な評価を可能にしたり、ドライバの視界領域の可視化など、今まで実車試験で実施してきた評価を効率化することが可能となった。今まで適用してきた事例以外にも、LiDAR（Light Detection And Ranging)、カメラへの適用及びヘッドランプ解析などのさまざまな解析を行うことができるため、光学分野の開発活用拡大へつなげていきたい。

参考文献

(1) Eric Veach:ROBUST MONTE CARLO METHODS FOR LIGHT TRANSPORT SIMULATION, Stanford University,(1997)

著　者



杉本　康旗



松下　博樹

◇いすゞ歴史の一こま



初代エルフ（TL型）　運転席　（1965年ごろ）

新型エルフ・フォワードの車両性能実験について

Vehicle Performance Experiments of New ELF and FORWARD

三井　幸一郎*
Kouichirou Mitsui
佐藤　亮*
Ryou Satou
大西　正裕*
Masahiro Oonishi
田川　脩平*
Shuuhei Tagawa
相馬　峻祐*
Shunsuke Souma
新井　匠***
Takumi Arai
松本　一隆***
Kazutaka Matsumoto
菅原　憲嗣*
Kenji Sugawara
清水　俊成*
Toshiaki Shimizu
平田　尊紀*
Takanori Hirata
南　紀***
Shirushi Minami
薄葉　浩志*
Hiroshi Usuba
根本　英男*
Hideo Nemoto
吉田　和樹*
Kazuki Yoshida
渡部　紘**
Kou Watanabe
郁井　恵美子***
Emiko Murai
五嶋　亮祐***
Ryousuke Gotou
村永　健太***
Kenta Muranaga
小出　高大*
Takahiro Koide
小嶋　東悟郎****
Tougorou Kojima
伊東　勝****
Masaru Itou
近野　光生*
Mitsuo Konno
渋谷　健太郎*
Kentarou Shibuya
高嶋　豊士*
Toyoshi Takashima
佐々木　直渡*
Naoto Sasaki
野村　晋司***
Shinji Nomura
宇内　太郎***
Tarou Unai
村上　渉人***
Shouto Murakami
島貫　優里*
Yuuri Shimanuki
北村　達治*
Tatsuji Kitamura
朝倉　裕二**
Yuuji Asakura
阿部　弘之*
Hiroyuki Abe
藤川　文孝*
Fumitaka Fujikawa
高杉　友洋*
Tomohiro Takasugi
関　正寛*
Masahiro Seki
小武　拓矢***
Takuya Odake
池田　博史***
Hiroshi Ikeda
髙山　正巳**
Masami Takayama
関根　浩一*
Kouichi Sekine
濵田　一穂****
Kazuho Hamada
山口　裕介*
Yuusuke Yamaguchi

要　旨

フルモデルチェンジした新型エルフ・フォワードは、急激な技術革新と物流変化へ対応すべく、開発フィロソフィーを「See-Universal」へ進化させた。またコンセプトである「ジャスト・サイジング」「グローバル・フィット」「ハイ・ホスピタリティ」を実現するために高い目標を設定し商品開発を行った。

本稿では、その代表的な車両性能、強度、及び信頼性試験の実施内容と、目標の達成状況について紹介する。

Abstract

In order to correspond to rapid technological innovation and logistics changes, we have evolved our development philosophy into “See-Universal”, and developed the all-New ELF and FORWARD by setting high targets to achieve its concepts, “Just Sizing”, “Global Fit”, and “High Hospitality”.

In this paragraph, we will introduce the contents of representative vehicle performance / strength & reliability tests and the achievement status.

1　まえがき

新型エルフ・フォワードは、世界市場でキャブオーバトラックのカテゴリにおいて高い競争力を堅持し続けるため、フルモデルチェンジによりドライバ労働環境の改善・先進安全装置の追加・次世代情報通信対応・ディーゼル車の燃費改良を実施。また、次世代環境車としてEV（電気自動車：Electric Vehicle）の商品化を実現し、これらと合せてコンポーネント展開の最適化、及び組合せ開発による効率化を図り、多様な市場ニーズに応える商品へ刷新した。

特にキャブ関連の運転のしやすさと安全性と、先進安全装置、新トランスミッション（以下、「T/M」と称す）性能と、EVを含めた各コンポーネントの強度・信頼性評価に重点を置き、ヴァーチャル手法の最大化及び将来展開まで見据えたまとめ評価を実施することで、効率化を図るとともに目標品質を達成することができた。

*車両審査実験第一部　　**㈱いすゞ北海道試験場　　***車両審査実験第二部
****CN商品企画・設計部

次項より、国内向けを例に、各性能と試験概要を記述する。

第 1 部　車両性能その①（エルフ・一部共通）

2　動力・燃費・走行性能

いすゞ初採用の DCT（Dual Clutch Transmission）となる新開発多段自動変速 T/M の ISIM（アイシム：Isuzu Smooth Intelligent TransMission）を搭載することで、シームレスで良好な加速フィールと高い燃費性能の両立を達成した。

前進 6 段の従前型 AMT（Automated Manual Transmission）スムーサー Ex に対し ISIM は前進 9 段と多段化。更に、走行抵抗に応じてギヤ段を選択する制御を組合せることで、市街地、郊外路、高速道、山岳路を問わず、最適な駆動力と高い燃費性能をドライバに提供する変速システムに仕上がった（**図 1**）。

後述 **3 章**の空力改善と合せ、2023 年 4 月より表示が義務化された重量車燃費基準 JH25 に対し、一早く T2～T5 の全カテゴリで基準を達成した（**図 2**）。

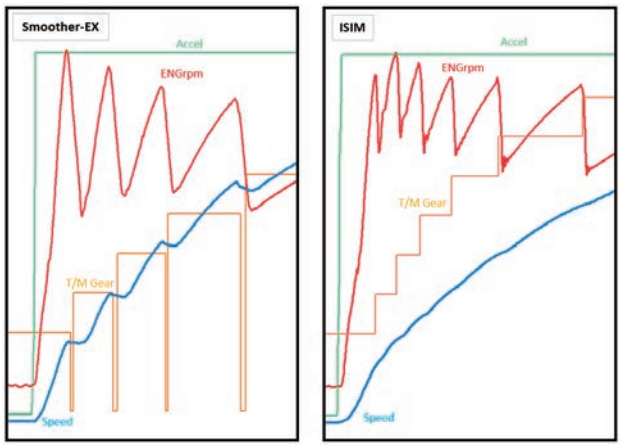


図 1　シームレス変速による良好な動力性能
（従前型 AMT スムーサー Ex との比較）

GVW	積載量	駆動	トランスミッション 変速機	段数	JH25モード燃費値 110kW(150PS) ecostop 有	110kW(150PS) ecostop 無	129kW(175PS) ecostop 有	129kW(175PS) ecostop 無
3.5t超～7t以下	～2t	2WD	MT	5速	+10%	+5%	–	–
			MT	6速	+5%	+5%		
			ISIM	9速	+15%	+10%		
	～3t	2WD	MT	6速	+10%	+5%	+5%	達成
			ISIM	9速	+10%	+5%	+10%	+10%
	3t超	2WD	MT	6速	達成	達成	達成	達成
			ISIM	9速	+5%	達成	+5%	+5%
7.5t超	条件なし	2WD	MT	6速	+5%	+5%	+5%	+5%
			ISIM	9速	+10%	+10%	+5%	+5%

図 2　T2～T5 カテゴリ重量車燃費基準
JH25 達成状況

3　キャブ空力性能

重量車燃費基準 JH25 では、より実態に近い燃費表示とすることを目的に、燃費算出に用いる空気抵抗が重量車燃費基準 JH15 の固定値から実測値に変更になった。これによりキャブ空力性能の向上が実用燃費のみならずカタログ燃費値にも反映されるようになったため、本プロジェクトの新キャブ開発では空力改善を重要項目とし、キャブ骨格形状の見直しを一から行った。

改めてキャブ基本形状のスタディを行うことで、ルーフと A ピラー形状にまだ改善の余地があることが明らかになり、重点的に形状の最適化を行った（**図 3**）。

CFD（数値流体力学：Computational Fluid Dynamic）と風洞試験での評価及び改良を経て重量車燃費基準 JH25 の空気抵抗係数としては従前比大幅な空気抵抗低減を達成し、基準達成に大きく貢献した（**図 4**）。

また、カタログ燃費のみならず実用燃費の向上のため、横風等自然風の影響も考慮し、偏揺角の影響を受けにくい形状を追求。トータルで高い空力性能を実現した。

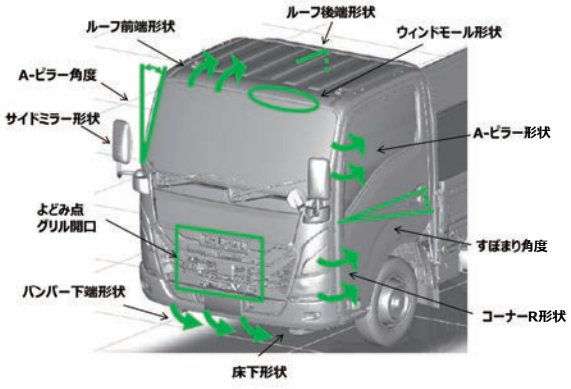


図 3　形状パラメータスタディ

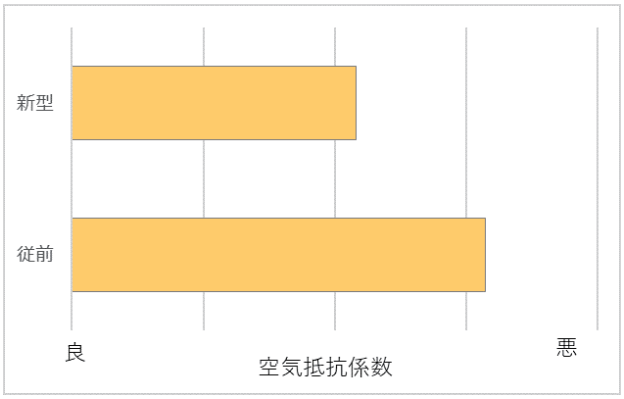


図 4　空気抵抗の改善（上;新型、下;従前）

4　空調性能

フルモデルチェンジに伴いHVAC（Heating, Ventilation and Air Conditioning）システムも一新し、軽量コンパクトなモジュール化と性能アップを両立、オートA/C（Air Conditioning）を標準仕様とし、使い勝手を向上させた。ヒータ性能では従前型に対してドライバの右足への温風の配分を改善、より快適に使っていただける車両に仕上がった（**図5、図6**）。

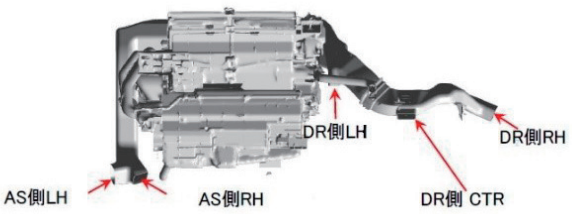


図5　新開発HVACユニットとフットダクト形状

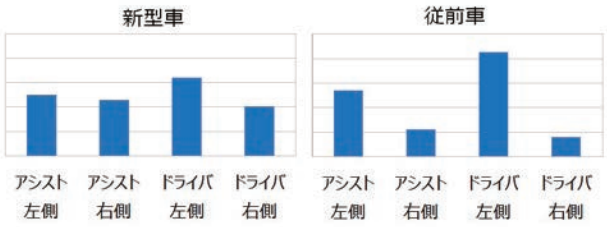


図6　ドライバの足元の温風配分

キャブ刷新に伴い、デフロスタ性能もCAE（Computer Aided Engineering）解析にて、作り込みを行い、試験車での評価工数削減を行った（**図7**）。

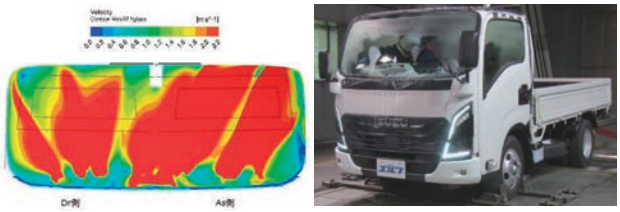


図7　デフロスタ性能解析と実車評価

5　振動騒音性能

5.1　キャブ音響性能向上

新型エルフでは標準キャブの一新に伴い、室内騒音低減による快適性の向上を目指した。従前キャブの弱点である低周波域と高周波域のそれぞれに着目して改善を図った。

低周波については音響感度解析によりキャブパネル構造を作り込み、強度、耐久性、及び空力など他性能との両立を図りながら改善を進めた（**図8**）。

高周波対策はドアシールの改良等による室内へ侵入する音の低減と、**5.2節**に示す風音低減による改善を行った。

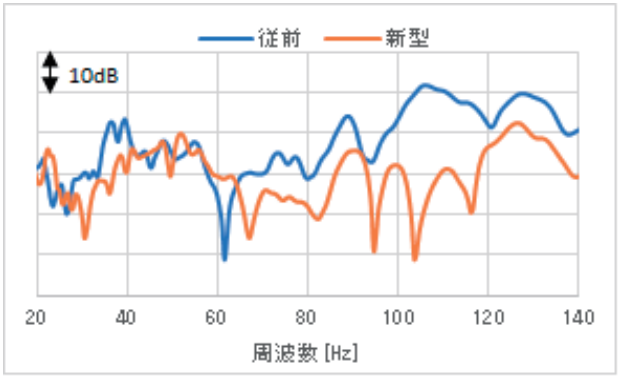


図8　音響感度解析

5.2　風音低減

従前キャブではドア周辺からの風音が目立ち、静粛性を損ねる一要因となっていた。そこで、ドア構造の見直し、アウトレットバルブの配置変更、及びキャブ外側からの漏れ音対策による風音低減を図り、静粛性を向上することができた。

5.3　吸気こもり音改善

吸気系の音響特性に起因するこもり音の抑制のためレゾネータ構造を従前から見直した（**図9**）。

また、レゾネータの配置についても見直し、エンジン周辺部品のレイアウトを成立させつつ、必要なレゾネータ容量を確保し、こもり音を改善することができた（**図10**）。

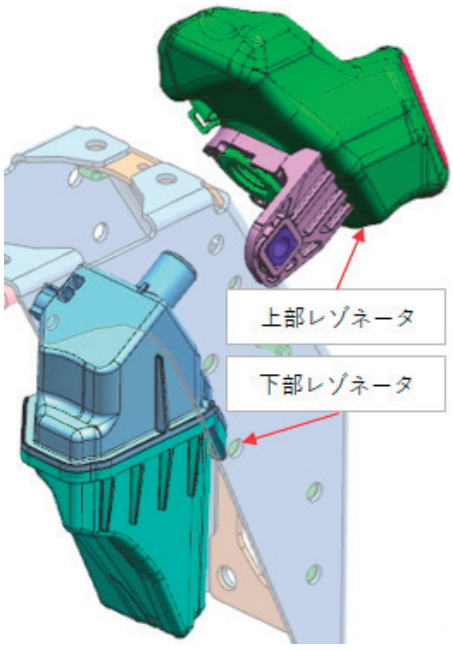


図9　新規レゾネータ

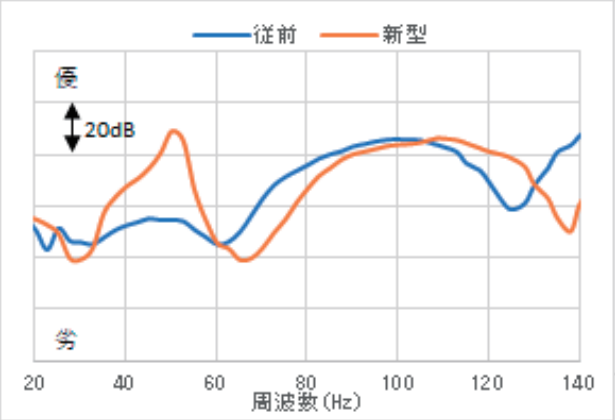


図 10　吸気系挿入損失

5.4　多段自動変速機「ISIM」採用

新型エルフでは自動変速機の多段化（6 速→ 9 速）に伴い、走行時のエンジン回転数が全体的に低下している。回転数低下によるエンジン音低減も静粛性向上に貢献している。

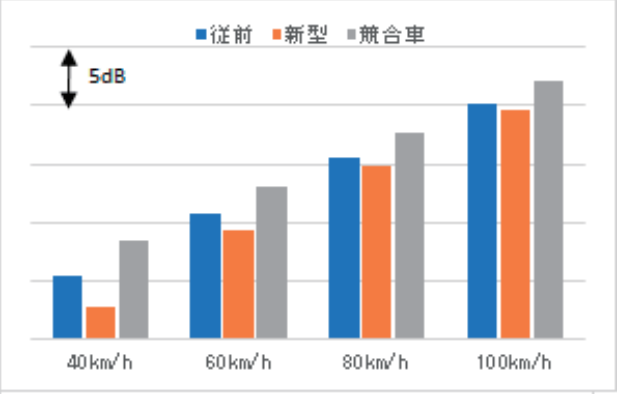


図 11　一定速車内騒音（400～10000 Hz 帯和）

5.5　環境騒音低減

新型エルフ・フォワードは車外騒音規制（UN R51.03）のフェーズ 2 規制（車両総重量※3.5 t 超 12 t 以下のトラックはフェーズ 1 比で 2 dB(A) 強化）への適合に伴い、エンジン・駆動系の改善、遮蔽カバーの追加により騒音低減を図り、従前車に対してより環境負荷の小さな車両となっている。新型エルフは吸遮音一体材を成型した軽量な遮蔽カバーをいすゞとして初採用している。

※車両総重量：Gross Vehicle Weight（以下、「GVW」と略す）

6　操縦安定性・乗心地

新型エルフ・フォワードの開発にあたり、車両性能と関係の深いコンポーネント特性を最適化することで基本性能の更なる改善を図った。

具体的な開発の手法として、まず従前車と最新競合車でベンチマークを行い、性能面の改善点を洗い出し目標値を設定した。続いて性能を表す車両特性値を設定、それらをサスペンションなどのコンポーネント特性と「ひも付け」することで解析、及び机上での作り込みにつなげた。各コンポーネント特性による車両性能への寄与度は Adams 解析を用いて検証し、最適なバランス点を見出した。決定したコンポーネント特性を設計へ具現化し車両を試作、最終的なできばえを試作車で確認した。

6.1　操縦安定性

新型エルフではナロートレッド・フロントコイルスプリング搭載インディペンデントサスペンション車（**図 12**）の運動性能の改善活動を設計・解析・実験部署が協業で進めてきた。

変更点と狙いに関して、新型エルフではキャスター角を増やし直進走行時のオンセンターフィール、ハンドル戻り性能の改善を図った。フロントショックアブソーバのレイアウトを見直し、作動効率を改善することで初期ロール応答性の改善を行った。更にロール感を改善するため、サスペンションのリンク配置を見直し、ロールセンター位置を従前と比べ高くした。制動時の車両姿勢を安定させるため、ピッチングセンター位置を従前と比べ高くした。アライメント変化については、ナックルの共通化でレイアウトに制約がある中でも両立するリンクが配置できた。

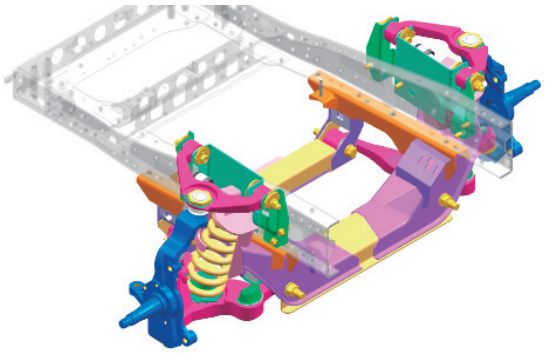


図 12　フロントサスペンション外観

試作車による実車走行確認の結果、直進安定性、ロールフィーリング、制動時のダイブモーションは当初目標を達成した。特に机上検討及び CAE 解析の活用により根幹の特性を試作車完成前に作り込むことができ、試作車の評価で大きな手戻りのない開発を進めることができた（**図 13**）。

新型エルフ・フォワードではフレーム剛性について CAE 解析を実施。厳しい重量、コスト目標、及び剛性を両立させた。さまざまな条件で比較検討を行い、各要求を満足する仕様を決定することができた。

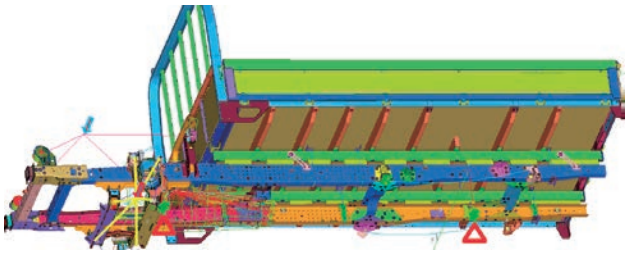


図 13　フレーム剛性解析モデル
（フレーム＋平ボディ）

6.2 乗心地

新型エルフの標準キャブは新規開発となるため、サスペンション改良と合せて、キャブマウント特性も含めた路面走行時の乗心地に関する検討を Adams の実車走行リッジ乗り越しシミュレーション（**図 14**）で行った。着目特性はベンチマークの結果より、ピッチング、ハーシュネスショック、キャブ振動の 3 項目とした。

多くの特性値水準を設定しパラメータスタディを行ったことで改善効果の大きい特性値を定量的に比較・選定することができ、短期間でかつ効率的に狙った仕様まで落とし込むことができた（**図 15**）。検討仕様を試作車に反映して実車走行による官能評価の結果、乗心地は従前車比で改善していることを確認した。

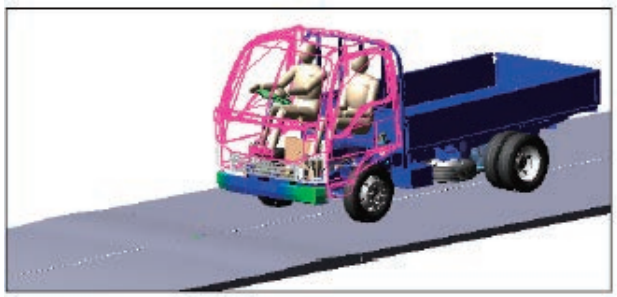


図 14　Adams リッジ乗り越し解析モデル

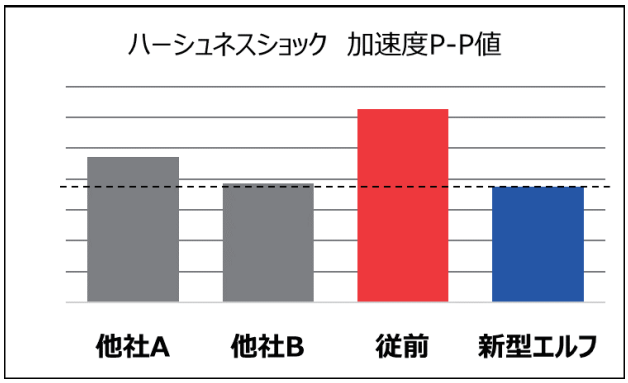


図 15　推奨仕様での性能改善効果確認（解析）

7　ブレーキ性能

7.1 サービスブレーキ

新型エルフはブレーキの操作性の向上を狙い、全車にショートストロークペダルを採用しペダルレイアウトを最適化した。加えて積載量 2 t 以下（GVW5 t 以下）車は軽量化を狙い、エルフでは初となるシングル型ブースタを採用した。

シングル型ブースタはタンデム型比、単体では最大助勢力が劣る。作り込みの段階からペダル比、マスターシリンダサイズ、ブースタ倍力特性を一から見直し、ショートストローク化とブレーキ力の確保という、相反する特性を両立させた（**図 16**、**図 17**）。

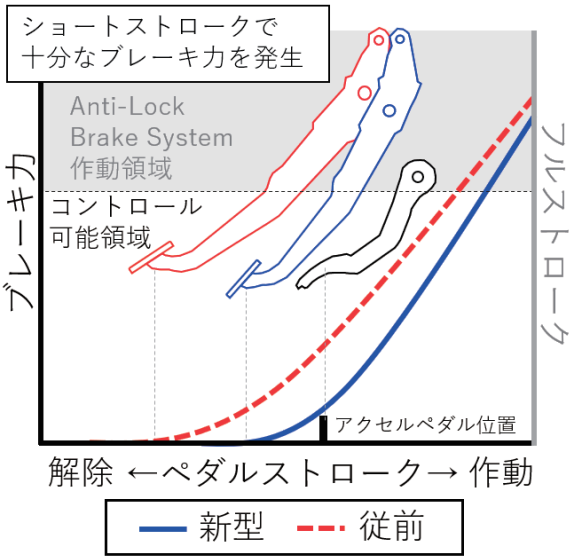


図 16　ペダルストロークとブレーキ力

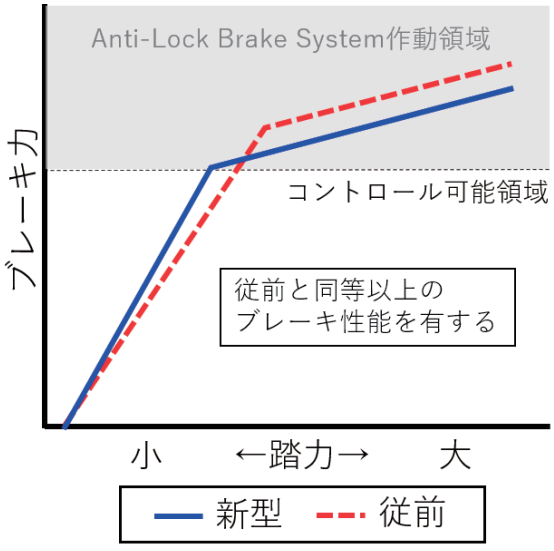


図 17　ペダル踏力とブレーキ力

7.2 電動パーキングブレーキ（EPB）

新型エルフ・フォワードに次世代型のEPB（Electromechanical Parking Brake）を採用した。フォワードでは国内中型車初の採用となる。

ドライバがレバーにより手動で操作していたブレーキケーブル、エアバルブをスイッチで電動化し、操作の簡易化・省力化を実現した。特にケーブル式は操作力の大幅な低減と引き量の均質化により、制動力の安定にも寄与している。

電動化によりドライバの操作と各種制御ユニットを連携させ、自動作動、自動解除を可能とし、イージードライブと安全性の向上を実現した。引き忘れ防止機能（キーオフ連動、ドア開け連動）及びオートホールドなどの長時間作動時には自動でパーキングブレーキを作動させることにより停車保持を確実にし、オートリリース機能では急勾配での坂路発進性を向上。また緊急時など走行中にパーキングブレーキを操作した場合には、サービスブレーキとABS（Anti-Lock Brake System）を連動させることで十分な制動力と車両安定性を確保し、より安全な停車を可能にした。

評価においては各種制御ユニットとの協調性の確認に注力した。ユーザーの使い方を想定し、あらゆる状況を漏れなく確認できるよう机上検討を重ね、実車で動作検証を行った。ドライバ操作以外での自動作動及び解除では、狙い通りかつ違和感なく動作するように作り込みを行った。特にオートリリースなど運転操作に影響する機能は引きずり、ずり下がりなどの異常現象が発生せず、かつドライバの感覚に沿うように作り込んだ。

8 居住性・乗降性・視界視認性

新型エルフで一新した標準キャブは小型枠に収めるため、制約が大きい中で最大限の使いやすさを求めた構想が盛込まれており、ヘッドクリアランスの拡大を始め、ステアリング調整幅の拡大、従前車を超える居住性、乗降性、視界視認性の向上を図った。

ハイキャブ、ワイドキャブでも標準キャブで開発したアイテムを入れ込み、すべてのキャブでドライバ環境の向上を実現している。

8.1 居住性

新型エルフ標準キャブの居住性を改善させるため、フロントウインドウの傾斜角度の見直しをはじめ、骨格からパッケージを見直している。

これらの性能は構想段階から精密に行うため、実際に触れることができるモックアップと、最新の情報を早急に反映できるヴァーチャル評価を組合せて作り込みを行い、さまざまな体格の人がより快適な姿勢で運転できるキャブを作ることができた（**図18**）。

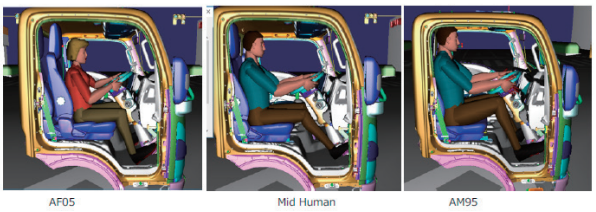


図18　さまざまな体格に対応できるパッケージ

8.2 乗降性

配達などの用途により乗降する回数が多いトラックでは、乗降性は重要な性能の一つである。

乗降に必要なドア開度の見直しから始め、さまざまな体格、車型による車高の違いに応じて力を入れやすいアシストグリップを配置し、更にグリップ寸法も拡大した（**図19**）。

アウトサイドドアハンドルについても厚さを増やすことなく上下両方からアクセスできる形状をモックアップで検討し厚さを増すことなく使い勝手を向上した（**図20**）。



図19　CAE解析とモックアップでの乗降性評価



図20　アウトサイドドアハンドルの形状検討

8.3 視界視認性

交差点などでの安全確認を容易にするため、運転席側のミラーの位置を従前より下げた。また標準キャブではAピラーの幅を狭め、Aピラーまわりの死角を減らしている（**図21**）。

また、インテリアパネルやイルミネーション類がガラスに映り込む事象を改善するためにVR（Virtual Reality）、光学解析を用いて期間短縮を図った（**図22**）。



図 21　運転席側ミラー位置検討





図 22　反射評価のための光学解析結果

第 2 部　車両性能その②（エルフ・一部共通）

9　電装品の性能

新型エルフ・フォワードの電装品機能では安全性と快適性を重視し、あらゆる条件下においても信頼性を損なわない製品作りを目指してきた。ここでは電装品の開発で特に力を入れた評価について紹介する。

9.1　電装品単品信頼性刷新

新規電装装置を採用する際は装置設計の企画段階で目標品質をサプライヤに提示している。その要求事項は車載時に発生するストレス（振動・衝撃・水・温度・塵埃・電気ノイズ）への耐性を主とし、車両のバリエーション違い（レイアウト・ハーネス・キャブ形状・ホイールベース）によって想定する使用環境・ワーストケース条件を電装部品の単品信頼性要求に落とし込む。

今回、新型エルフ・フォワードの開発ではサプライヤに要求する電装装置単品信頼性の内容を刷新した。

9.2　電装装置の新単品信頼性要求の刷新に向けた課題

1）単品信頼性試験要求項目の一元化

新型エルフ・フォワードの開発以前に、電装部品の単品信頼性要求がサプライヤと装置ごとに条件を管理しており、モデル変更のたびに整理が必要であった。各電装装置の担当者は、最適な信頼性試験条件を複数存在する管理表から選出しなければならず、無駄なリソースが発生していたため、今回の新型エルフ・フォワードから単品信頼性試験要求の項目を一元化した。

2）増えすぎた電子制御の信頼性を向上

実車での電波法規（UN R10）に対応するため、今回 EMC（Electro-Magnetic Compatibility）試験関連の項目を精査し、電装品単体の耐電波障害性能を最適な条件に見直した。必要な試験項目は他社のベンチマークを行い、関連する設計担当部署との協議から最適な試験項目と条件を提案した。

9.3　実車評価試験の効果

刷新した電装品単品信頼性を満足した新型エルフ・フォワードの実車評価試験では下記の効果を実証した。EMC 試験項目として、新たに伝導ノイズ試験を追加し、ラジオノイズ試験を実施している。車両状態でしか確認できない試験であるため、このラジオノイズ性能を電装品単品信頼性で抑制できないかを検討。結果、ラジオノイズが発生する 30 MHz 以下の周波数帯がハーネス長に依存することに着目。電装品につながるハーネスに印加される電圧・電流値のノイズを抑制することで、ラジオ受信に影響する放射ノイズの抑制に効果が期待できることから伝導ノイズ試験を追加した。思惑通り新型エルフ・フォワードのラジオ受信性能は向上した。

また、車両の保安基準適合の確認として電波照射試験（**図 23**）は法規要件となっており、電装品単品信頼性の EMC 試験項目、クライテリアの適正化によって、問題は発生せず円滑な開発につながった。



図 23　実験風景

今回は、電波障害試験のみならず、環境試験の条件についても見直し、開発評価では電気アビューズ試験において電装品のハード故障、及び誤作動は発生せず、市場においても不具合発生件数抑制に貢献できる。

9.1節、**9.2節**のように電装品単品信頼性の見直しによって車両の品質向上に貢献できた。

9.4 オートクルーズの評価

国内向けエルフに初となるオートクルーズの採用が決まり、従前の大型車と制御仕様が異なることが今回の開発評価における着目点であった。従前のフォワードではオートクルーズはECM（Engine Control Module）単体で制御していたのに対し、新型エルフ・フォワードではCECU（統合コントローラ：Central Electronic Control Unit）での制御へ移管した。移管に伴い、大幅に変更となった制御ロジックを検証するためにシミュレーションの一種であるMILS（Model In the Loop Simulation）を活用し、机上で検討を行った（**図24**）。

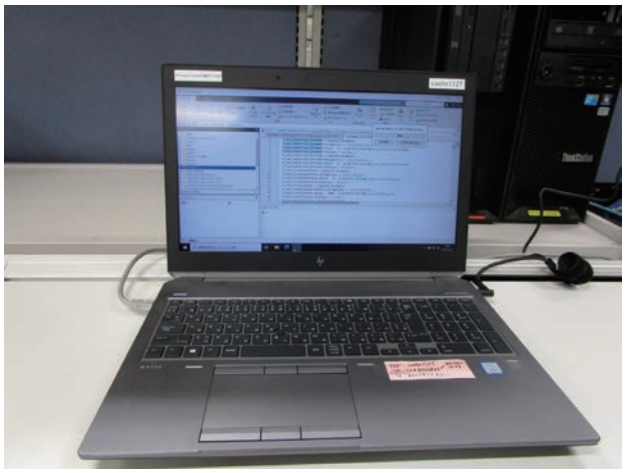


図24　MILS解析環境

MILSは、HILS（Hardwar In the Loop Simulation）（**図25**）とは異なり大きな筐体を必要とせず、MATLABのソフトウェアをPCへインストールすれば良く、実験環境としては手軽なツールである。

MILSの活用により、実車評価前の段階で不足していた制御ロジックに改良を加えたこと、及び走行性能を決定する適合値（キャリブレーション）の目途をつけることで短期間での実車評価へとつなげた。



図25　HILS解析環境

実車評価の段階では、CECUと関連するエンジン、T/M、メータなどを制御するコントローラとの協調性に着目し、実車の挙動に問題が発生した際にはRCP（Rapid Control Prototyping）ツールを活用しながら評価を行うことで、ソフト変更にかかるリードタイムを削減した。

テストコースでの作り込みを終えた後、実路での評価を行い、一般ユーザーが使用する環境での性能を確認した。さまざまなツールを活用することによりオートクルーズにおけるイージードライブ性能を確保した。

9.5 タイヤ空気圧監視システムの評価

TPMS（タイヤ空気圧監視システム：Tire Pressure Monitoring System）は路上故障の多くを占めるタイヤトラブルを未然に防ぐ効果が期待されるが、従前のギガではタイヤ装着位置の登録に専用ツールが必要なこともあり、オプション装着率が低いという課題がある。

新型エルフではTPMS装着率向上のため、タイヤ装着位置の登録を自動で行うオートロケーション機能付きのTPMSを採用したが、オートロケーション機能の実現にはタイヤ内のセンサとシャシに設置する受信機との受信性能を十分に確保することが重要となる。

必要最小限の受信機で十分な受信性能を得るため、さまざまな受信機レイアウトで検証を重ねて最適な受信機レイアウトになるよう評価を行い商品化につなげた（**図26**）。

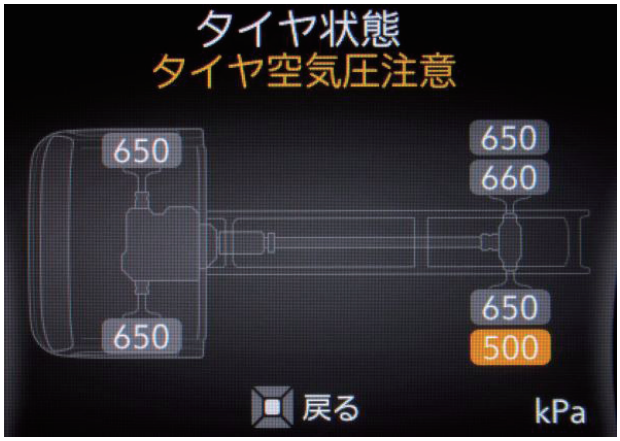


図 26　TPMS のメータ表示

9.6　アイドリングストップシステムの評価

ISS（アイドリングストップシステム：Idling Stop & start System）機能はエンジン・T/M・エアコン・バッテリーなど関連する多くのコントローラと協調することで正しく作動する機能である。

新型エルフ・フォワードではエレキアーキテクチャが刷新されたことから各コントローラとの協調性の検証が重要となり、開発初期の設計段階から実車での最終検証を通して市場の用途をさまざまな角度から調査して、ユーザーの操作性を向上させた ISS の評価を行った。

また、燃費向上のためには車両停車から ISS が作動するまでの時間は短いことが望ましいが、確実に車両が停車した状態で ISS を作動させる必要があり、これらを両立させるようチューニングを実施し、作り込みを行った。

10　先進運転支援システム

新型エルフ・フォワードでは多種多様な ADAS（先進運転支援システム：Advanced Driver Assistance Systems）機能を新たに搭載し、ドライバの疲労軽減と安全性の向上を図った。**10.1 節**から各 ADAS 機能の評価概要を述べる。

10.1　ステレオカメラ

新型エルフ・フォワードでは新世代のステレオカメラを採用し、水平画角が従前比約 3 倍、素子数が約 2 倍となった。水平画角の広角化により、右左折先の歩行者等の検知が可能となり、また高解像化されたことで右左折時の PCB（プリクラッシュブレーキ：Pre-Crash Brake）、標識認識機能の搭載が可能となった。

カメラハードの性能向上と認識ロジックの一新により、従前車では想定していないシーンでの誤識別が懸念された。認識ロジックの特性把握のため、テストコースにおける理想環境下での検証に加え（**図 27**）、実路環境でも昼・夜・市街地・高速道路などさまざまな環境下でのデータコレクションを約 2000 時間実施した。このデータから誤検知シーンを抽出、対策することで認識ロジックのロバスト性を強化し、従前比、誤識別率 75 % 減を実現した（**図 28**）。



図 27　テストコースでの認識性能評価



図 28　実路評価（市街地）

10.2　PCB 直進時

新型エルフでは普通免許で運転可能な GVW3.5 t 未満の車型を新規設定し、3.5 t 以上の車型と同様に ADAS 機能を搭載している。

GVW3.5 t 未満に対しては、乗用車向けの法規である UN R152 が適応される。商用車向けの法規である UN R131 と比較して、横断歩行者への衝突回避性能が求められるなど、より多くの評価基準が設けられている。国内では現状適用外であるが、新型エルフは先取りで対応した。これにより、普段商用車に慣れていない普通免許ドライバが安心して運転できる車を実現した。

10.3 PCB 右左折時

広角化した新型ステレオカメラの採用に伴い、交差点右左折時の PCB を新たに搭載し、衝突被害軽減性能の更なる向上を図った（図 29）。



図 29　右左折時 PCB の作動イメージ

エルフは主にラストワンマイルの物流を担い、道幅が狭く、人通りの多い場所を走行することが多い。交差点右左折時に PCB を有効に作動させるためには、直進時以上にセンシティブな制御が要求される。一方、でこのような制御は路側の静止歩行者と立ち止まり歩行者等に対して、不必要な制御作動リスクが高いことが懸念され、一層ロバスト性の高いシステム構築が求められた（図 30）。この課題に対応するため、新型エルフの開発はテストコースにて実路環境で想定されるさまざまなロバストシーンを再現した。加えて、不必要な制御作動がないよう制御パラメータを最適化し、ロバスト性の向上を図った。また、実路環境下におけるテストでは、人通りの多い繁華街を中心に検証を進め、不必要な制御作動がなく、一定の市場性が確保されていることを確認した。

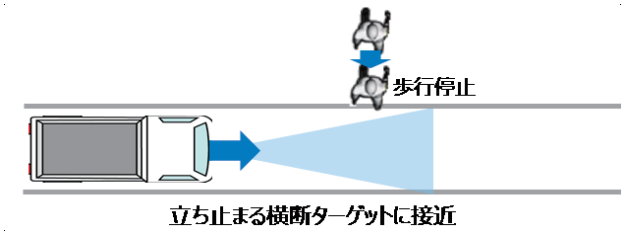


図 30　ロバスト確認シナリオ

商用車の ADAS は積荷への配慮が求められ、システムによる強ブレーキではなく、ドライバ自身の緩ブレーキによる回避を促す必要がある。右左折時の PCB 制御も直進時の PCB 制御と同様に、強ブレーキ前にドライバが十分反応できるだけの警報時間を設けることでこれを実現した。

10.4 全車速車間クルーズ

FACC（全車速間クルーズ：Full-speed-range Adaptive Cruise Control）は前走車に対しドライバが設定した車間を維持するように、加減速と停止発進を自動で制御する機能である。既にギガ及びフォワードに搭載しているが、今回新型エルフでも国内小型商用車として初めて搭載した。

新型エルフでは安全が保たれる領域でドライバフィーリングに合う車間・時間設定の作り込みを目標とした。いすゞが提供する運行管理サービス MIMAMORI から得たビッグデータを活用し、小型車ドライバの車間・時間データを分析した。中高速域ではドライバごとに車間・時間がばらつく傾向にある一方、低速域においては一定時間に収束していく傾向が見られた（図 31）。この特性を FACC の車間時間設定に反映し、ドライバフィーリングに合う制御を実現した。

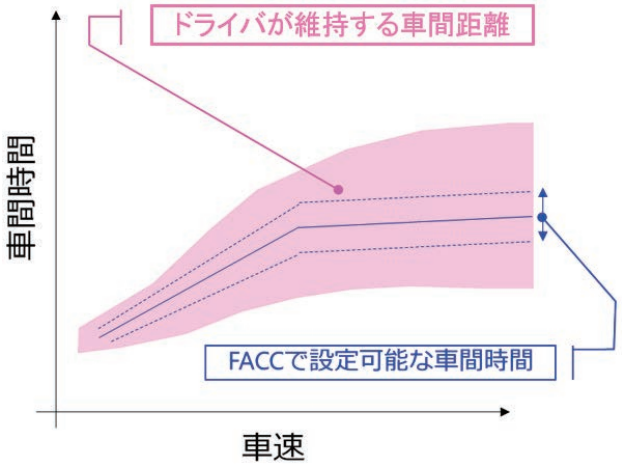


図 31　小型車ドライバの車間時間分布

10.5 誤発進抑制機能

新型エルフでは制御の見直しにより、登坂での誤発進抑制機能の作動が可能になった。従前はエンジントルクをクリープトルクまで抑えて加速を抑制しており、登坂での作動に制限があった。新型エルフでは前方の障害物との距離とラップ率に応じてエンジントルクを可変に制御する方式を採用している。これにより、登坂時でも適切な加速抑制が可能となり、より多くのシーンで有効に使用できるようになった。

10.6 フロントブラインドスポットモニター

新型エルフ・フォワードでは、国内商用車初となる 77 GHz 帯ミリ波レーダを用いたフロントブラインドスポットモニターを採用した。これにより車両前方至近の死角エリアに歩行者や自転車が存在する場合、ドライバに通知･警告をすることが可能となった（図 32）。

評価を進める中で、先行車に追従停車した際にシステムが不必要に制御作動する課題を検出した。制御対象を歩行者・自転車に限定することができれば対策は容易であったが、レーダはカメラと異なり、直接その物体の種別情報を得ることが難しい。そこで、各物体における距離ごとのレーダ反射断面積の基礎特性データを取得し、その結果を元に先行物体の種別を推定する方法を採用することで、不必要な制御作動の頻度低下を図った。

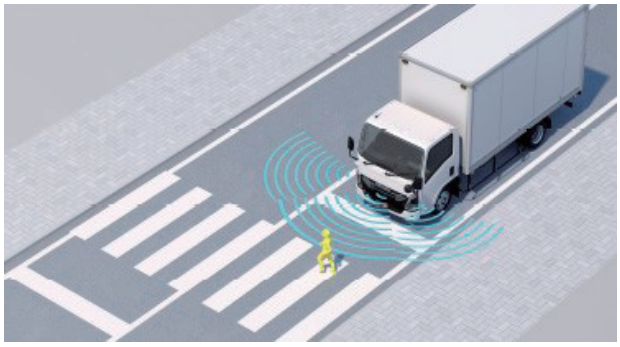


図 32　フロントブラインドスポットモニター

10.7　レーンキープアシスト

新型エルフの LKA（レーンキープアシスト：Lane Keeping Assist）はステレオカメラによって白線を認識し、自車両の向きと位置に応じて車両が車線中央を維持するようにステアリング操作を支援する機能である。また、白線が存在しない環境であっても、車速 60 km/h 以下の条件では前走車を認識して、同様にステアリング操作の支援も行う。

同様に新型エルフにはステアリングを制御する機能として車線逸脱抑止機能があるが、これらは特定のシーンに対してのみ介入する安全を主眼にした機能である。それに対し、LKA はドライバが機能を ON にすれば制御許可に必要な走行条件が失われない限り、常に制御する日常の運転支援に軸足をおいた機能である。この特徴から LKA の商品性においては制御感が重要であると考え、次の 3 項目を主眼に開発を行った。

① 運転支援機能としての恩恵（制御下での車両安定性）とドライバの運転意志尊重（制御下での車両操縦性）のバランス
② 挙動変化に応じたリニアな制御感
③ 関連法規（UN R79 Annex8）への適合

①に関して、LKA は運転支援機能であり、LKA 作動中は運転するモチベーションを持ったドライバがハンドルを保舵している。この前提のもとドライバ・車両・LKA の関係（**図 33**）を考えた時、車両が車線中央付近で安定することがドライバにとって LKA から受ける最大の恩恵である。それに加えて、LKA による操舵制御をドライバはハンドルに伝わる反力として、直接感じている。適切な制御による反力はドライバに安心感を与えるもので、これも疲労の軽減につながる重要な恩恵である。一方で、環境に応じた走行ラインを選択したいドライバの意志も存在する。特に新型エルフ・フォワードには車幅が 2 m を超える車型も多く、車幅の広い車型では、隣接する車線を走行する他の車両と路上の障害物に対して、横方向の間隔を確保したいドライバ心理が働く（**図 34**、**図 35**）。このような場面では、LKA 制御下であっても適度な操舵力で車線の片側に寄って走行できるように、ドライバの運転意志を反映しやすいことが重要である。LKA の恩恵とドライバの運転意志尊重は背反になりやすいが、新型エルフ・フォワードでは両者に偏りがないことを重要と考えてバランスを重視した性能目標とした（**図 36**）。

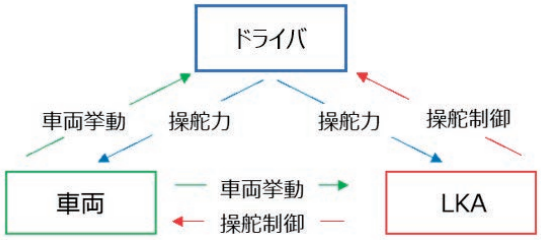


図 33　ドライバ・車両・LKA の関係

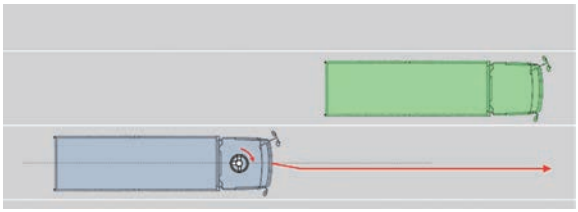


図 34　隣接車線の大型車両を追い越すケース

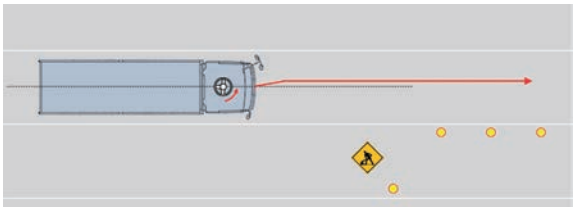


図 35　車線規制区間を走行するケース

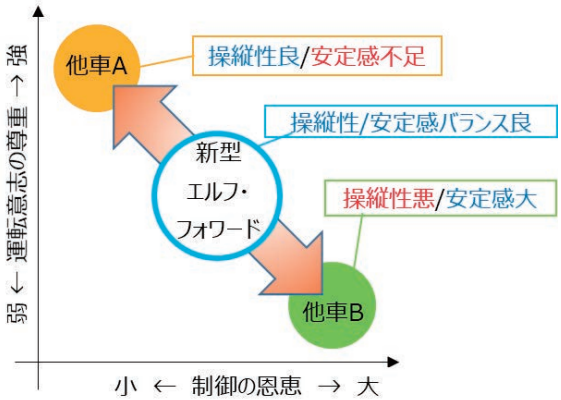


図 36　新型エルフ・フォワードの性能の位置付け

ドライバが制御に違和感を覚えないように開発の主眼の①を前提としつつ、挙動変化に応じたリニアな制御を目指した。また、新型エルフ・フォワードはトラックならではの特徴として、ホイールベース、車両トレッド、及び積載量のバリエーションが豊富である。どのバリエーションに対しても適切な制御ができる設計を行い、評価を通じて作り込んだ。最終段階で①、②両方の適合性を確認するために公道で実環境試験を行った。③に関しては法規要件を満足することを確認した。

10.8　標識認識機能・標識連動型スピードリミッター

新型エルフでは、新たに標識認識機能を採用した。ギガで採用した速度制限標識等に加えて新たに高さ制限標識にも対応し、より商用車ドライバに有用な情報を提示できるようになった。

また、新型フォワードはGVW8ｔ未満と8ｔ以上が混在するクラスのため、新東名高速120 km/h区間のようにGVWに応じた制限速度標識が同時に提示される道路での対応が必要となった（**図37**）。クラスが混在する車両が各々遵守すべき法定速度と検知した標識情報を比較し、適切な制限速度情報を選択してHMI（Human Machine Interface）へ提示する仕組みを設けることで、商用車特有の用途に合せてシステムを作り込んだ。

また、この標識認識機能と可変スピードリミッターの技術を組合せることで標識連動型スピードリミッターも実現している。

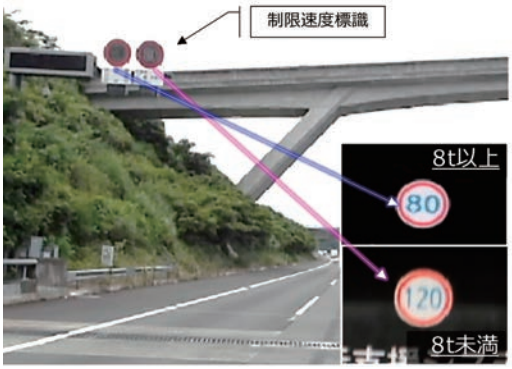


図37　同時に設置されるGVWごとの制限速度

10.9　可変配光型LEDヘッドランプ

可変配光型LEDヘッドランプは夜間ハイビームで走行中に対向車と前走車への光源に応じてハイビームの一部または全部を遮光する機能である。開発の際、対向車のドライバに幻惑を与えないことを目標とした。対向車のドライバがハイビームに対して眩しさを感じる距離を検証し、結果から得た距離より遠方で光源を検知し、遮光制御するシステムを作り込んだ。

また、実路環境下では高速道路、郊外路、繁華街などさまざまな夜間の光源環境を走行することで、意図せずに先行車の光源をロストし、不要にハイビームを照射しないよう、ロバスト性の高いシステムを構築した。

10.10　ドライバーステータスモニター

既にギガが搭載している機能で、新型エルフ・フォワードではDSM（ドライバーステータスモニター：Driver Status Monitor）のカメラ解像度、及び顔検知性能の向上を図った。機械学習を駆使した認識技術により、昨今の新型コロナ感染症禍でのマスク着用にも対応した。また、新たにドライバの視線検知を追加し、より高精度なドライバ状態監視を可能とした。

しかし、カメラセンサであるがゆえの弱点も有しており、日射がDSMカメラにかかる場合や、マスクを着用したドライバに日射が当たるような場合は、ドライバの顔検知ができなくなるケースがある（**図38**）。



図38　DSMカメラ映像に日射が差し込む様子

この課題に対し、屋外の光環境下で評価を重点的に実施し、日射がドライバ顔検知性能に及ぼす影響を把握したうえで、誤検知に至らないように警報パラメータを作り込んだ。

10.11　ふらつき警報

ふらつき警報とは、車両運動によりドライバの集中力、覚醒度の低下を判定し警報するシステムである。

従前仕様ではドライバのステアリング操作とカメラから得られる白線までの横移動量から判定しきい（閾）値を定めていたが、車型とドライバの組合せにより警報頻度にばらつきがあることが課題であった。

この課題に対して、ある時点と一定時間前の位置関係の比から増減率を計算し、正規化した指標を用いる方法へ判定を見直した。これにより車型とドライバの組合せで生じる差を吸収し、警報頻度のばらつきを抑制した。

10.12　HMI

新型エルフ･フォワードでは新たに多くの ADAS 機能を搭載したが、これに伴いドライバへ提示する情報も大幅に増加した。機能ごとに情報提供の優先順位と報知方法を従前のエルフ･フォワードから見直し、ドライバに対して必要な情報は提示しながら、情報過多とならない HMI を作り込んだ。評価では ADAS-HILS を活用することで、HMI 調停の組合せを網羅的に確認し品質の向上を図った（**図 39**）。



図 39　ADAS-HILS での HMI 検証の様子

第 3 部　強度･耐久性（エルフ･一部共通）

11　衝突安全性能

新型エルフ･フォワードは交通事故による死亡･重傷者の更なる低減に向けて、業界トップの衝突安全性能を目指した。

11.1　衝突安全性能開発

従前車では実機評価の上で仕様を決定していたが、新型エルフ･フォワードではヴァーチャル評価のみで仕様を決定する新たなプロセスを推進し、実車衝突試験（**図 40**）は開発の最終確認という位置づけで行った。

また、キャブ、フレーム、及び燃料タンクといったコンポーネントの互換性を開発初期段階から検討し、それらの組合せにより、多岐にわたる仕様の開発を効率良く行った。

これらの取組みにより、これまでよりも詳細な仕様検討が可能になり、開発期間を短縮しながら衝突安全性能を向上できた。

11.2　ヴァーチャル開発事例

11.2.1　歩行者保護性能

歩行者保護性能向上の新たな取組みとして、キャブ前面をグリッド状のエリアに分け、それぞれのエリアに対して頭部インパクタを衝突させ、頭部傷害を評価した。必要な単品特性試験を実施しながら CAE 解析を主に開発を行い、精度よく作り込むことで、歩行者保護性能を向上させた。

11.2.2　実車衝突性能

実車衝突性能は、乗員傷害値、衝突後の乗員救出性、火災防止などの観点から開発を行っている。従前はコンポーネント別に実機試験を行い、性能を作り込んだ上で実車衝突試験を実施して仕様を決定していたが、新型エルフ･フォワードでは CAE 解析を活用して車両モデルでの乗員傷害値予測を含んだ作り込みを行い仕様を決定し、開発期間を大幅に短縮した。新型エルフではシャシフレーム前端に衝突時の衝撃を吸収するクラッシュボックス構造を採用、インストルメントパネル内部構造の最適化と乗員拘束装置の最適化を行い、脚部傷害値を大幅に低減した。



図 40　実車衝突試験

11.3　組合せ開発事例

11.3.1　コンポーネント開発

新型エルフ･フォワードでは初期構想段階から国･地域ごとのニーズに応じて、幅広く車型を展開することを見据えて評価基準を設定し、各コンポーネントの共通化を図った。例えばキャブの場合、シートベルトアンカレッジ強度試験、キャブ強度試験（**図 41**）、及び側面衝突試験（**図 42**）など、国・車両重量などによって異なるさまざまな法規要件等に対し、仕様を分けずに対応できるよう、CAE 解析にてキャブごとに骨格構造を最適化し仕様を決定したうえで、実車試験で各要件に対する最終確認を行った。



図 41　キャブ強度試験



図 42　側面衝突試験

11.3.2　レイアウト評価

車両火災防止の観点から、衝突時の燃料系保全性を確保することが重要である。そのためには燃料タンク、及びパイプといった燃料系部品と、その周辺にある装置との位置関係を衝突時の変形を考慮して決定する必要がある。新型エルフ・フォワードでは車両モデルのCAE解析により衝突時の燃料タンク挙動をCAD（Computer Aided Design）上で再現できるツールを作成した。これを用いて燃料タンクとその周辺装置のレイアウトを効率的に検討することで、レイアウトが異なる多様な車型の燃料系保全性を向上させた。

12　強度耐久信頼性能

12.1　キャブ

新型エルフ・フォワードでは実機キャブでの強度耐久信頼性試験を実施せず、量産出図可否をCAE解析、及び机上検討にて推進した。

また、実機でのベンチ試験は量産相当の部品を用いて作成したキャブを使用し、量産品質で最終確認を行った。

12.1.1　ボディ強度耐久性

新型エルフ・フォワードはフルモデルチェンジに伴い、キャブのボディを刷新した。ボディの開発にあたり、従前車で基準以上の耐久試験を実施し、耐久性の限界を確認し、その結果を解析条件にフィードバックした。これにより耐久基準に対して、最適化したボディ開発を行うことが可能となった。



図 43　4軸振動試験風景

12.1.2　内装・外装部品の高温・低温環境試験

新型エルフ・フォワードはフルモデルチェンジに伴い、内装と外装樹脂部品を刷新した。フルモデルチェンジとしては初めて高温環境負荷後の変形と低温下の衝撃による部品破損有無の確認を解析で行い、試作部品作製前にヴァーチャルで形状の検討を行った。

これにより試作部品作製前に変形量、破損有無の見通しを立てることができ（**図 44**）、実車で、最終確認を行った（**図 45**）。

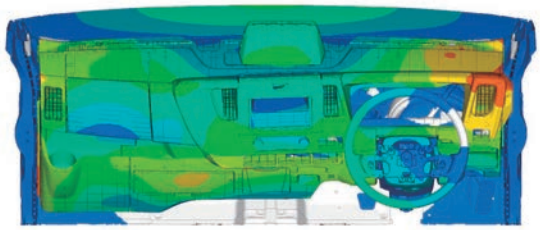


図 44　高温環境負荷 解析コンター図



図 45　高温環境負荷試験風景

12.1.3　水密性

キャブのフルモデルチェンジに伴い、水密性の評価を推進。水密性が特に重視される天井、前周りなどは机上検討（**図 46**）により、構造的に水漏れしないキャブの作り込みを実施。量産仕様で机上検討の妥当性を世界降雨量の何倍ものストレスがかかるシャワーテストと（**図 47**）、高圧洗車機テスト等の厳しい実機試験で検証し、グローバルに対応できる高い水密性を有したキャブを開発した。

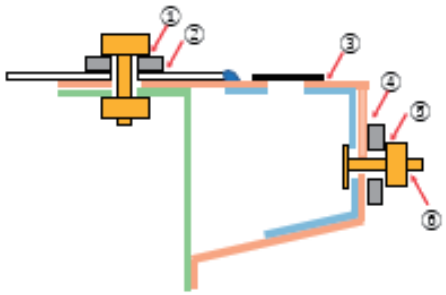


図 46　水密性机上検討（フロントピラー部）



図 47　シャワーテスト風景

12.2　シャシ

新型エルフ・フォワードのシャシは従前車同等以上の耐久信頼性能を目標として開発した。

12.2.1　フロントサスペンション開発

新型エルフは大物装置から小物部品に至るまで、設計検討段階から構造解析を駆使し、耐久信頼性の作り込みを行った。機構モデルの解析（ADAMS/Isuzu）によるストレスの把握を行い、その入力値を用いた構造解析を実施することで、実機レス評価を実現し、試作段階の評価期間を大幅に短縮した（**図 48**）。

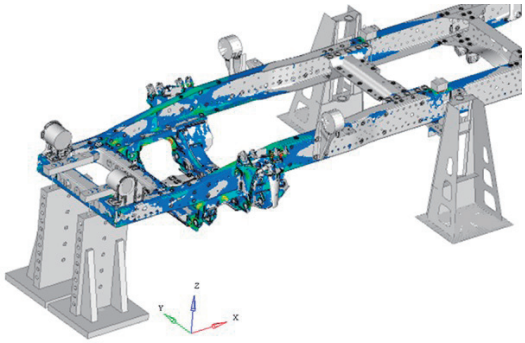


図 48　フロントサスペンション構造解析

フロントサスペンションシステム量産仕様の実機評価として、車輪から入力する疲労試験を実施し、目標走行距離相当の耐久性を満足する結果を得た（**図 49**）。これらの評価実施によって、高い耐久信頼性を有することを確認した。



図 49　フロントサスペンション ベンチ疲労試験

12.2.2　リヤサスペンション開発

新型エルフのフルフラットローダンプ車型は、フレーム断面形状を従前車から変更している。新規フレームのリヤ サスペンション バンプラバー取付け部強度評価のため、過去に蓄積した実車入力データからバンプラバー入力を推定し、構造解析にてフレーム応力を推定。バンプラバー入力によるフレーム変形が生じないことを解析上で確認できた（**図 50**）。

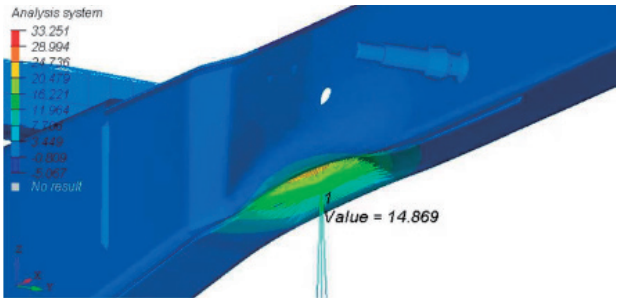


図 50　リヤバンプラバー取付け部の構造解析

12.2.3　ハブユニットベアリング開発

新型エルフ・フォワードはメンテナンス性向上のためハブベアリングをユニットベアリングとした。

それに伴い、ハブナットにプリベリングナット（緩み止めナット）を新規採用した。

新規プリベリングナットの締め付け試験を実施し、緩みが無くかつユニットベアリングが正常に機能する締め付けトルク値を作り込んだ（**図 51**）。

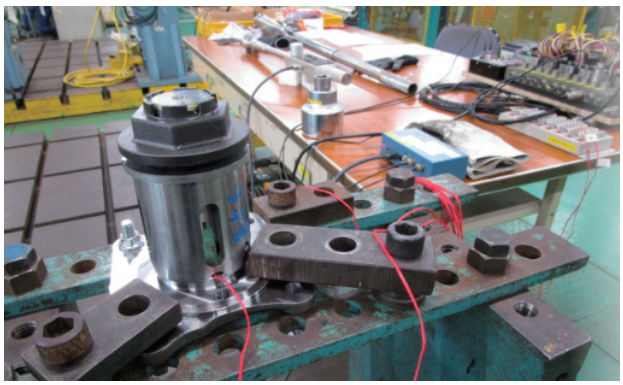


図 51　ハブナット締付け試験

12.2.4　ノイズカバー開発

新型エルフの新規ノイズカバーは、防音機能を改良した新材料を採用している。新材料は板厚により物性値が変化するため、テストピースを用いた基礎試験で物性値を取得した。取得した物性値を複雑な形状の構造解析モデルに反映し、解析による形状の作り込み、強度評価を効率的に推進した。また、実機台上試験にて新規カバーの強度ポテンシャル確認を行い、解析結果の確からしさも評価した（**図 52**）。

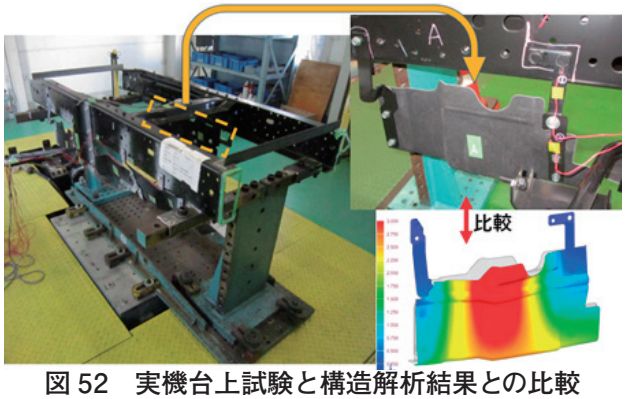


図 52　実機台上試験と構造解析結果との比較

12.3　ISIM 開発

新 AMT として 9 速 DCT の採用にあたり、設計･実験で機構ごとの DFMEA（故障モード影響解析：Design Failure Mode and Effects Analysis）を実施し、評価項目･試験条件･基準を検討。先行試作による作り込み、多くの台上試験・実車試験を行うことで、市場の要求に応える耐久信頼性を得た。

12.3.1　潤滑･耐焼付き性

ISIM はワイドレンジでオーバードライブのギヤ比が小さく、最高段での最高回転運転時 出力軸回転数が従前 T/M より高くなる。このため低速段用シンクロ部の相対回転が大きくなり、焼付きとシンクロリングネジ部の偏摩耗等が問題になる。そこでオイルポンプによりシャフト内から各部へ流れるオイル量を測定。油流れ解析と合せ、油穴の工夫等により最適な潤滑性能を確保した。

12.3.2　ギヤ･ベアリング耐久性

ISIM の耐久性評価にあたり、従前 6 段 AMT 車で実路パターン走行の入力測定を実施。入力頻度データを車速と駆動力で 9 段に分配。T/M のトラック市場が求める目標寿命に対し、ギヤ面圧疲労・ギヤ曲げ疲労・ベアリング疲労それぞれをカバーするよう、各ギヤ段の耐久基準を設定。実機による耐久試験で破損・剥離等が無いことを確認し、各ギヤ・ベアリングの十分な耐久性を確保した。

12.3.3　シンクロ耐久性

DCT の変速は従前の T/M と異なり、クラッチのつなぎ変えで行われ、待機している側のプレシフトでシンクロが作動する。そこで走行状態でプレシフトのシンクロ部相対回転数が最大となる条件で耐久試験を実施し、シフト回数とシンクロ摩耗量の推移を確認。シンクロ作動時のシンクロリング温度測定結果と合せ、耐久性の裏付けをとることができた。

12.3.4　油圧回路評価

ISIM は DCT という名前の通り、偶数ギヤ段と奇数ギヤ段それぞれに対応するクラッチを 2 つ有している。この 2 つのクラッチのほかにギヤシフトの操作、ロックアップ･クーラバイパスの ON･OFF などの動作は油圧駆動で行う。ISIM の油圧回路に求められる役割は、いかなる状況であっても T/M が常に安定的に動作できるよう、適切なタイミングで適切な圧力を各部に供給すること、そして車両寿命まで十分性能を発揮できる強度耐久性の 2 つである。今回 DCT 方式の T/M をいすゞで初めて開発するにあたり、試験項目をゼロから洗い出して評価を実施した。

ISIM 油圧回路の台上試験の内、主に性能評価実施のために「T/M シミュレータ」を導入した。従前の評価設備と比較し次の 3 つが可能となった点に特徴がある。

① 低慣性モータの採用により、エンジン回転相当の応答の再現
② 試験機と CAN（Controller Area Network）通信ができるようになり TCM（Transmission Control Module）を接続した実車環境に近い状態での評価
③ 極低温から高温まで幅広い温度環境の再現

これらにより、同じく AMT のスムーサー評価では実車評価でのチューニングが必須であったが、事前に台上試験で作り込むことができ、評価工数削減に寄与できたと考える。また安定的な温度環境が整ったことで、従前に比べ基礎特性に対して理解が深まり、精度高い評価結果を得ることができた。

油圧回路の耐久性に対しては、ポテンシャル把握として寿命到達まで耐久試験を継続することを基本とし、最終的にどのような破損モードに至るのかを明らかにすることを念頭に置いた。

12.3.5　T/M ケース強度評価

ISIM はオーバードライブギヤ比が小さくなったため、プロペラシャフト（以下、「P/Shaft」と略す）の回転数が従前比 21 % 増となり、T/M ケースへの P/Shaft 加振力増加、T/M ケースへの大幅なストレス増加が見込まれた。そこで回転数を除いた加振力増加成分の低減（P/Shaft アンバランス、重量、T/M アウトプットガタ）を行い、ストレス低減を図り、CAE 解析と実機応力のコリレーションを取り、CAE 解析上で最適ケース形状を作り込み、ストレングスの向上を QCD（Quality、Cost、Delivery）最適化で達成。これらストレス - ストレングスの両面の対応を行い、ケースの強度耐久性を確保することができた（**図 53**）。

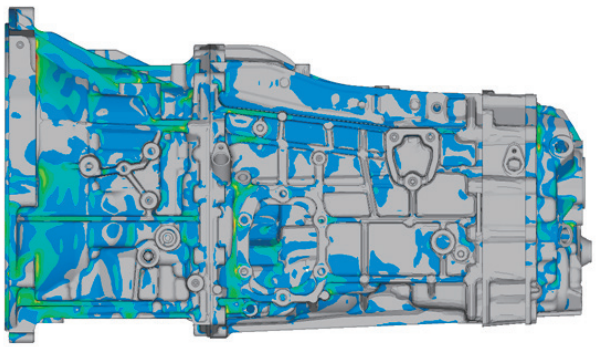


図 53　ケース応力解析

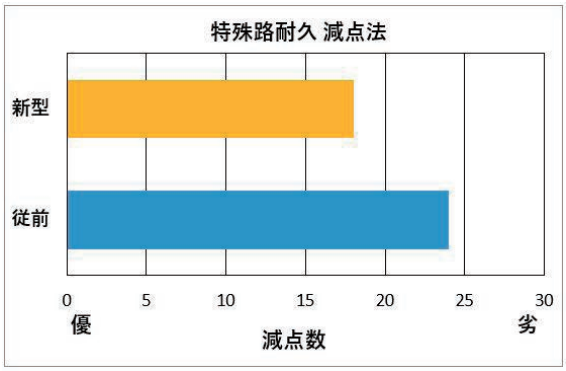


図 55　特殊路耐久減点法（上:新型、下:従前）

12.3.6　9 速 DCT 標準試験法見直し

ギヤ段が 6 段から 9 段に増えるため、標準試験法を見直した。見直しにあたり従前 6 段 AMT 車の MIMAMORI データ分析を行い、変速回数を導出。得られた市場の変速回数を 6 段試験方法の変速回数から比率を出し、新たに定める 9 段も 6 段と同等以上の変速比率となるように変速走行パターンを見直した。

12.4　実車耐久試験

エルフのフルモデルチェンジに伴い、市場サービス情報とお客様から回収した膨大な車両データの調査・分析結果をもとに各種の耐久信頼性評価条件へ落とし込み、各種コンポーネントを組合せた車両状態で、お客様に満足していただける耐久信頼性の作り込みを実施した。

12.4.1　悪路系耐久試験

新規設計の標準キャブを中心に、シャシ部品全般の振動耐久性を確保するため、市場の使われ方を反映した悪路系の実車耐久試験を行った（**図 54**）。ベルジアン路（振動入力）と長波形路（ねじり入力）を主体とした、路面入力を中心に旋回・制動・発進などの操作入力等を加えた試験を実施し、特殊路耐久減点法で従前車と比較した結果、優れた耐久性を有していることを確認した（**図 55**）。



図 54　ベルジアン路走行の様子

12.4.2　実路走行試験

開発段階の各評価フェーズにおいて、実路環境下で新規設計となる ISIM、及び ADAS を中心とした車両全体の信頼性確認を行った。実路での走行はお客様の実使用環境をベースとした走行ルートを用いて評価を実施。配送系の使われ方を中心に市街地・高速・山岳路を長期間にわたり走行し、さまざまなシチュエーションで評価した。これによりお客様の使用領域でも車両としての信頼性を有していることを確認した。

12.5　防錆性能

新型エルフ・フォワードは実験プロセス刷新に伴い、机上での作り込みを重点的に行った。

従来は試験車両での作り込みが主体的だったことに対し、CAE 解析によるストレス確認を先行し、そのストレスに耐えうる仕様になっていることを実車で確認する評価・改良を進めてきた。

机上で作り込んだ仕様を反映した車両を用いて最終確認の位置づけでコロージョン試験、水掛かり初期信頼性試験を行い、目標を満足する仕様であることを確認した（**図 56**、**図 57**）。

その他、昨今の市場ではお客様へ車両が渡る前段階での発錆指摘が問題視された。指摘事例をもとに初期錆ワーキングで規格を検討し、新型エルフで展開される EV 車型を含めて初期錆目標を満足することを確認した。



図 56　コロージョン試験



図 57　水掛かり初期信頼性試験

13. 環境適合性能

13.1　寒地性能

新型エルフ・フォワードの寒地性能は CAE 解析によるストレス確認を行い、耐えうる仕様になるよう評価･改良を進めてきた。CAE 解析及び机上で作り込んだ仕様を反映した実車を用いて最終確認の位置づけで各性能試験を行い、狙いどおりの仕様であることを確認した（**図 58**）。

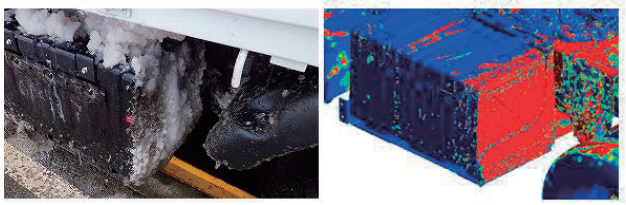


図 58　実車着雪試験結果と CAE 解析結果比較

13.2　その他環境適合性

新型エルフでは吸気系の仕様を変更することになった。昨今のゲリラ豪雨及び大型台風などの異常気象を考慮し、冠水路走行時、雨天走行時の吸気水浸入性能を重点的に CAE 解析、及び机上で作り込んだ。最終仕様で実車試験を行い、狙いどおりの性能が確保できていることを確認した（**図 59**）。



図 59　吸気水浸入試験

第 4 部　車両性能（フォワード）

14　動力性能･燃費性能

空力改善により、4 気筒搭載クラスの T5 以上のカテゴリで全車型ともに重量車燃費基準 JH25 を達成。主力である T5 カテゴリ ISS 付き MT（Manual Transmission）車に関しては全車 5 % 以上過達した。AMT 車には惰行制御する走行モード（スマートグライド）を追加し燃費向上を追求、カーボンニュートラルへ向けて貢献できる次世代の中型トラックに仕上がった（**表 1**）。

表 1　T5～T8 カテゴリ 4HK1 搭載車の
重量車燃費基準 JH25 達成状況

GVW	エンジン		トランスミッション		フォワード	
	機種	馬力[PS]	TM機種	MT/AMT	ISS付	ISS無
7.5t超 ~8.0t以下	4HK1	190	MZZ	MT	5.4%	3.0%
				AMT	3.2%	0.7%
		210	MZW	MT	6.7%	4.2%
				AMT	5.0%	2.4%
		240		MT	6.4%	3.8%
				AMT	4.5%	1.9%
10t超 ~12t以下		210		MT	6.3%	4.2%
				AMT	5.4%	3.2%
		240		MT	6.2%	4.2%
				AMT	5.1%	3.0%
12t超 ~14t以下				MT	4.0%	2.3%
				AMT	3.1%	1.2%

：達成　：+5%過達

15　新型キャブ空力性能

重量車燃費基準 JH25 では、より実態に近い燃費表示を目的に、燃費算出に用いる空気抵抗が従前の固定値から実測値へ変更になった。これによりキャブ空力性能の向上が、実用燃費のみならずカタログ燃費値にも反映されるようになった。新型フォワードでは新重量車燃費基準対応のため、空力の改善が重要開発項目となった。

空力の改善を行うにあたり、改めて従前車の空力 CFD 解析と実車風洞評価（**図 60**）を行い、風流れの可視化及び部位ごとの抵抗分解による分析を行った。そこから空力的に更に向上できるポイントを徹底的に追求、理想的な流れを実現するキャブ形状の検討を進めた。

その結果、ルーフ流れ及び床下流れにまだ空力改善の余地があることがわかり、ルーフ形状の最適化解析及びバンパ下端形状のパラメータスタディを重点的に実施した。改良したキャブ形状に関しては、開発フェーズごとにスケール模型を用いた風洞評価（**図 61**）を行い改善効果の検証と解析のコリレーション確認を行っている。

これによりキャブの骨格形状は従前を踏襲しつつ、従前型に比べ大幅に空力改善を達成した（図 62）。

また、カタログ燃費のみならず実用燃費の向上のため、横風等自然風の影響も考慮し、偏揺角の影響を受けにくい形状を追求。トータルとして高い空力性能を実現した。



図 60　実車風洞評価（従前車）



図 61　スケールモデル風洞評価

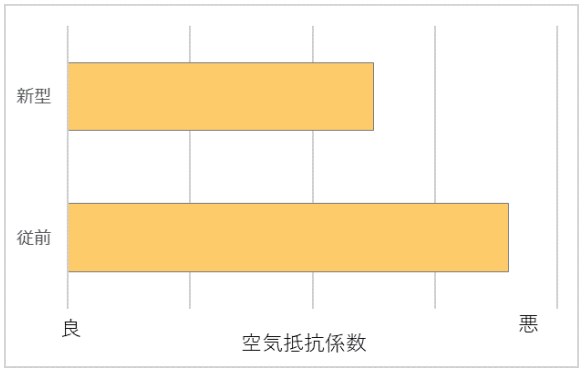


図 62　空気抵抗の改善　（下；従前型、上；新型）

16　居住性・乗降性能

新型フォワードの居住性、乗降性に関して行った主な実験を紹介する。

16.1　運転席前後調整の拡大

運転姿勢が大柄な体格にも合うよう、運転席前後調整を従前型比後方へ延長した。

この効果を確認するため、試作車を使いさまざまな体格の被験者 64 名が好みの運転姿勢に合せた状態で、運転席の上下前後調整位置を記録してその位置の分布をまとめた。

従前型では好みの運転姿勢に調整できなかった人が、新型フォワードは調整できた被験者が 32 名も増えた。運転席前後調整を従前型比後方へ延長した効果を認識し、市販車へフィードバックした（図 63、図 64）。



図 63　試験風景

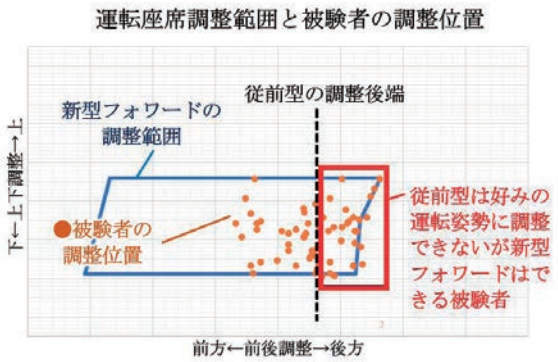


図 64　運転席上下前後位置調整の分布

16.2　助手席足元居住性、乗降性改善

新型フォワード開発初期は助手席に着座時インストルメントパネル（以下、「インパネ」と略す）下端が見え、足元が狭く感じたが、新型フォワード量産ではインパネを途中で車両前方に折ることで、下端が見えず狭く感じることがなくなった。これに加えて乗降性と運転席への乗り移り性も改善した（図 65）。

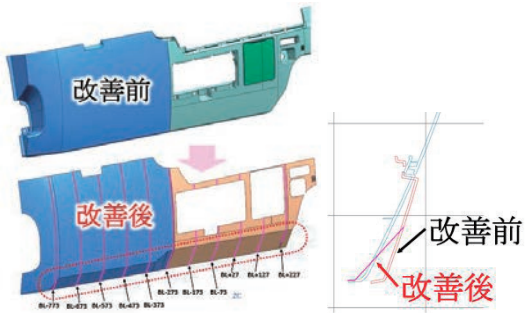


図 65　助手席足元の居住性、乗降性改善

17　電装品の性能

新型フォワードの電装機能は新型エルフで採用済みのランプ及びスイッチ類との共通化により、統一感と使いやすいを追求。また新型エルフに設定のない電装装備の追加により、更なる利便性向上を追求した。

ここでは新規に設定した、オートライト、オートワイパーの評価に着目した内容について紹介する。

17.1　オートライト機能

オートライト機能はインパネ上部にある照度センサを用いて外光の照度を検知し、ランプの点灯・消灯判定を行っている。外光の照度を検知する読み取り値の差が大きなトンネルの入口、逆に太陽光がある場所で点灯するといった誤作動が発生するケースもある。このような問題が発生しないように、実車で実環境の基礎データを計測し照度の妥当性を検討した。

これらの基礎データをもとにチューニングを行い、図 66 に示すように実環境での照度値とチューニング後の照度値に乖離がなくドライバの安全を考慮し、少し早めに点灯するタイミングに設定を見直し、作り込みを行った。

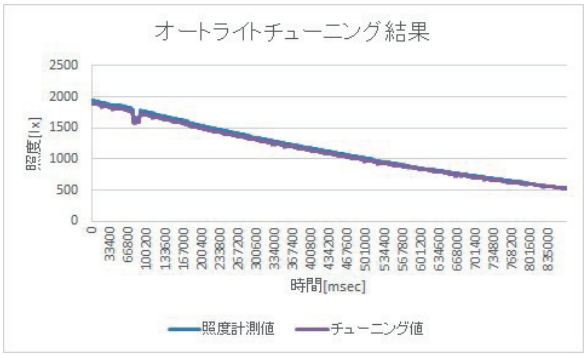


図 66　オートライトチューニング結果

17.2　オートワイパー機能

オートワイパー機能は、フロントガラスの下部にあるレインセンサが検知しワイパーを作動する。レインセンサとフロントガラスの間に隙間が発生すると、オートワイパー機能が誤作動、不作動をおこす可能性があるため設置方法を検討した上でワイパー作動時間、停止までの回数等の妥当性を検証した。

その結果、新型ギガのオートワイパー機能にも劣らない性能を搭載した。試験状況を図 67 に示す。



図 67　試験状況

18　先進安全性能

18.1　ショートレンジレーダー

従前ギガ以降、各車型で 77 GHz 帯 SRR（ショートレンジレーダー：Short Range Radar）を搭載しているが、今回新型フォワードでは UN R151（BSIS：Blind Spot Information System）/UN R159（MOIS：Moving Off Information System）に対応すべく SRR 搭載個数とレイアウトの見直しを行った。

車両後側方エリアに対する検知エリアが拡大し、従前車と比べて車両後側方から接近する自転車、及び車両をより遠方から検知可能となった。

しかしその反面、レーダーから送信された電波が自車に搭載している補機並びに架装物に対して反射するエリアが増し、乱反射によるゴースト発生、ターゲット位置精度低下のリスクが高まった。この課題を解決するため、自車からの不要な反射を抑制する電波拡散体を設置した（図 68）。

電波拡散体による電波反射抑制効果を最大限に生かすため、設置角度及び配置によるセンシング性能への影響を実車実験により検証した。

この結果から最適な設置レイアウトを検討し、自車反射の影響を低減するロバスト性の高いレイアウトを実現した。

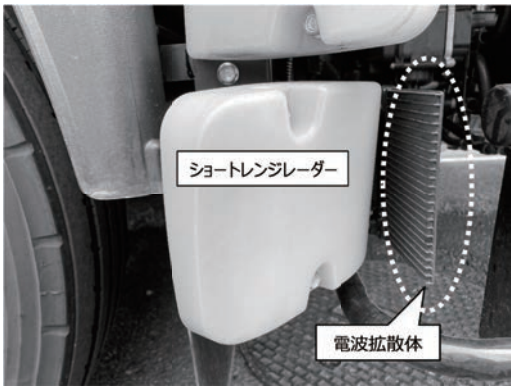


図 68　SRR への電波拡散体

18.2 左巻き込み警報

車両後側方死角エリアにおいて、左側方の SRR により歩行者、及び自転車を検知し、ドライバに通知・警報するシステムであり、UN R151（BSIS）へも対応した。

SRR 搭載個数の増加に伴い、検知範囲も従前ギガ及びフォワードに対して拡大したが、一方で警報の対象にはならない車両、路側物の検出頻度も高まり、不要作動頻発のリスクが高まった。対策として、SRR から得た電波反射の点群情報をもとに検知対象の物体のサイズを推定するロジックを採用した。これにより、検知対象物が歩行者･自転車であるか判別可能となり、不要な作動の抑制を可能にした。

18.3 ブラインドスポットモニター

BSM（ブラインドスポットモニター：Blind Spot Monitor）は、左右側方の SRR がドライバの死角となる位置に車両を検知した際に通知・警報するシステムである。

従前ギガは側方に設けられた作動エリアに進入してきた車両に対して作動する方式であったが、新型フォワードではこれに加えてエリアへの進入予測時間を算出し作動する方式を採用している（**図 69**）。

新方式の追加により新東名高速道路のように他車両が 120 km/h で走行しているような、相対速度が高くなる道路環境においても、より時間に余裕をもった報知･警報が可能となった。

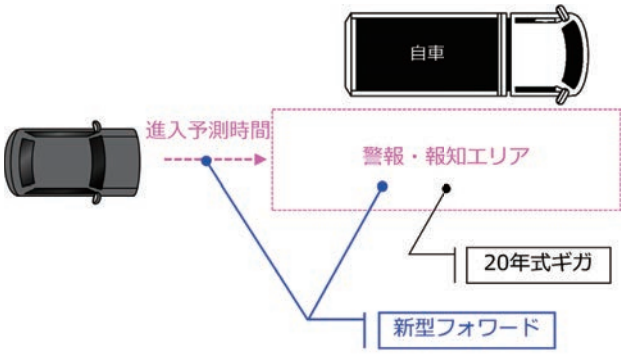


図 69　BSM 作動方式の比較

18.4 ドライバ異常時対応システム

既にギガに搭載している EDSS（ドライバ異常時対応システム:Emergency Driving Stop System）車線内停止は、今回新型フォワードへも展開した。大型車の EDSS と中型車で作り込まれた LKA を組合せて実現した。

評価は EDSS と LKA の協調制御部分の検証を中心に実施した。検出した不具合の対策効果の確認を ADAS-HILS で活用することにより、評価効率の向上を図った。

19 衝突安全性能

19.1 衝突安全性能開発

新型フォワードの衝突安全性開発は、評価構想段階で主な評価基準、及び試験条件等を新型エルフと統一化することで新型エルフの評価で得た知見を活用して、効率良く開発を推進した。

19.2 正面衝突時の運転席乗員保護性能

新型フォワードの運転席標準シートは、乗員の保護性能向上と乗心地改善を両立するために、フォワード初となるシートベルトバックルアンカのシート固定（従前は内外ともキャブフロア固定）を採用した。

構想段階で「マルチボディ解析プログラム MADYMO」を用い、シートベルトのレイアウト及びロードリミッタ等の特性を検討したうえでスレッド試験（実車模擬台上試験）（**図 70**）を実施した。キャブオーバ構造は、正面衝突時に、車体前面の限られたスペースでエネルギー吸収を行う必要があり、キャブの減速度波形が衝突の初期に高くなるため、スレッド試験で再現が難しい。そのため、キャブへの入力と SRS（Supplemental Restraint System）の作動タイミング等が、実車の衝突（**図 71**）と速度変化が同等になるように合せ込み試験を実施し、早期に車両モデルを用いた CAE 衝突解析に反映する仕様を決定した。

決定した仕様を反映した CAE 衝突解析で、車体（キャブ、フレームなど）を含めたシートベルト、シート、及びエアバッグなどの乗員拘束システム全体としての性能の作り込みを実施した結果、従前に対して、実車衝突の試験車台数削減と開発期間短縮等を達成し、かつ高い衝突安全性能を得た。



図 70　スレッド試験

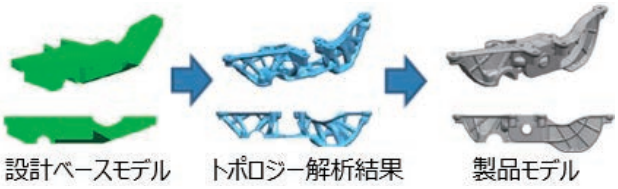


図 71　実車正面衝突試験

20　新型フォワードのリヤエアサスペンションビーム開発

新型フォワードはフルエアブレーキを採用。それに伴いリヤサスペンション周辺のレイアウトを変更し、エアサスペンションビーム形状も変更する必要が生じた。

新規形状検討にあたり、トポロジー解析を駆使して形状最適化を行い、軽量･高剛性なエアサスペンションビーム形状を作り込んだ（**図 72**）。



※株式会社 IJTT 開発資料より引用

図 72　トポロジー解析を駆使した形状決定過程

第 5 部　車両性能（エルフ EV）

21　電費・冷房･ヒータ性能

21.1　電費性能

バッテリーEV はバッテリーを載せた分だけ航続距離が長くなる。背反性能として重量増による積載量の低下、価格の上昇などデメリットがある。

エルフ EV は小型トラックの幅広い車両総重量のバリエーションに対応するため、バッテリーパック数を 3 タイプ展開し、それぞれの用途に応じた航続距離を設定（**表 2**）。また、**21.2 節～21.2.3項**の冷却・冷房性能、及びヒータ性能の最適化により、補機類のバッテリー電力消費を低減し、季節による電費性能影響も最小限とした。

表 2　TRIAS 99-012-01 一充電走行距離及び交流電力量消費率試験（定速走行）の結果

	NJR	NLR	NPR
最大積載量	2.0t	2.0t	3.0t
航続距離	123km	184km	260km

21.2　冷却･冷房性能

21.2.1　バッテリー冷却仕様

エルフ EV はいすゞの本格量産型バッテリーEV としては初めての車両であり、小型トラック市場に求められる多様なバリエーションに対応できる最適な冷却仕様を目指し、CFD 解析と並行してプロトタイプ車を作成して検討と作り込みを行った。

経済性が重要視される商用車として、高価なバッテリーの長寿命化を目的にチラーによるバッテリー冷却、及びキャブ冷房を 1 系統の冷凍サイクルで担うシステムを採用。冷却性能とキャブ冷暖房性能を含めた車両トータルのサーマルマネージメントの観点で検討を進めた。

キャブ冷房と冷却を担う各放熱器はディーゼル車とは役割も特性も大きく異なるため、エルフ EV に最適なレイアウトを検討。コンデンサを水平置き、バッテリーラジエータとモータラジエータを重ねて縦置きにすることでモータ冷却、バッテリー冷却、キャブ冷房の性能バランスを成立させた（**図 73**）。

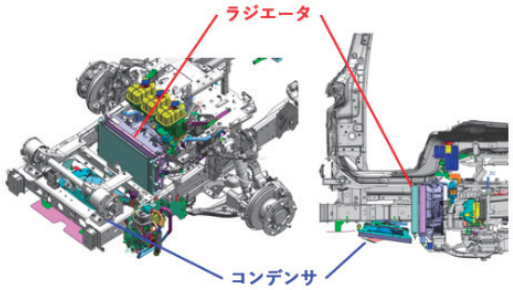


図 73　放熱器レイアウト検討

21.2.2　バッテリー冷却及び冷房性能

21.2.1 項のとおり、エルフ EV はいすゞとして初のキャブ冷房とチラー冷却を 1 系統の冷凍サイクルで担うシステムを採用している。キャブ冷房とバッテリー冷却が同時に必要となった場合の能力配分の課題に対しては、バッテリー温度に応じてバッテリー冷却能力を増す制御を採用することで、夏場でも満足いただける冷房能力を提供しつつ、バッテリーの温度を劣化が進行しにくい温度に維持できるようにした。

バッテリーの長寿命化により、高い経済性を提供できる車両に仕上げることができた。

21.2.3　ヒータ性能

エルフ EV は主に宅配、コンビニ配送など低車速域の配送で短距離運行を繰り返す使い方のお客様をメインターゲットとしつつ、寒冷地を含めた全国展開を可能なスペックとなるよう開発を行った。結果、ディーゼル比、圧倒的な暖機速度をもつ性能を確保した（**図 74**）。

また、いすゞとしての初のヒートポンプ機能を搭載。キャブ下に水平置きしたコンデンサを通して大気から熱エネルギーを吸収し、暖房エネルギーに活用することを可能にした。気温度 10 ℃での暖房関連の電力消費は HVH（High Voltage Heater）のみを使っている際の約半分となり、高いエネルギー効率を実現している（**図 75**）。

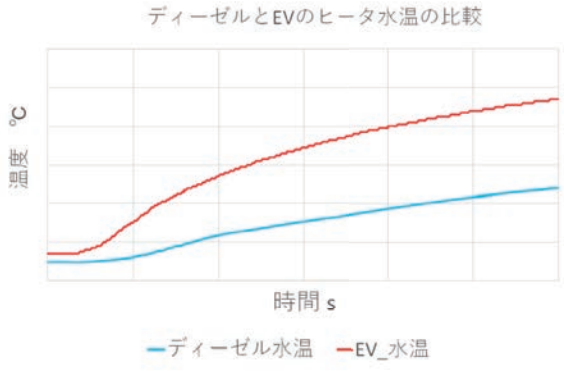


図 74　ディーゼルと EV の暖房時水温比較波形

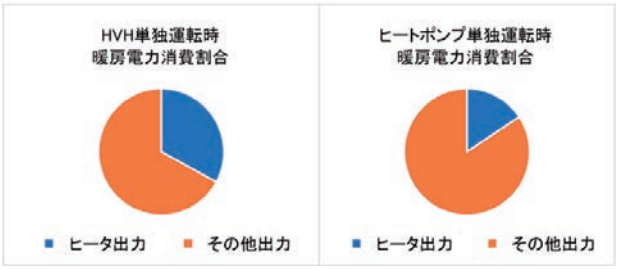


図 75　暖房時電力消費割合

22　振動騒音性能

22.1　電動ドライブによる室内騒音の低減

内燃機関を持たない電動車の振動騒音性能が優れていることは既に一般的である。いすゞ初の量産型バッテリーEV である新型エルフ EV では ZF 社製電動ドライブ「CeTrax lite」の採用により、静粛性が向上した新型エルフ（ディーゼル車）と比較してもパワートレーン音、及び振動こもり音が静かな電動車らしい静粛性を得ることができた（**図 76**）。

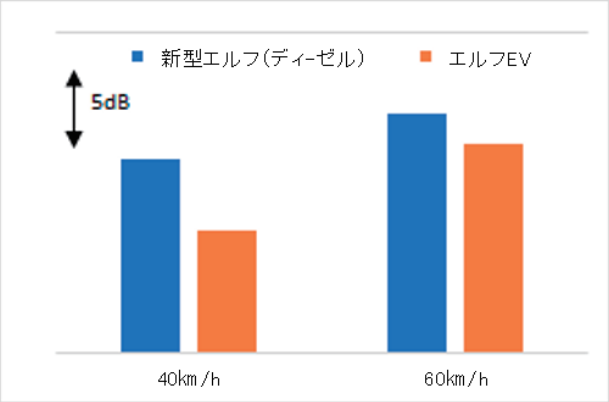


図 76　一定速走行時室内騒音

22.2　冷却装置の騒音

電動化により静粛性が増す一方で、エンジン車ではマスキングされて気にならなかった補機類の騒音が目立ってくる。また、ラジエータファンと電動エアコンコンプレッサ（EAC）は室内空調だけでなく、バッテリー冷却も担う重要な装置であると同時に騒音源でもあり、電動車の静粛性に与える影響は大きい。エルフ EV では冷却性能と静粛性を両立させるため、車速に応じて作動回転数を細かく設定することで、作動時でもエンジン搭載の新型エルフに対し優位性を確保することができた（**図 77**）。

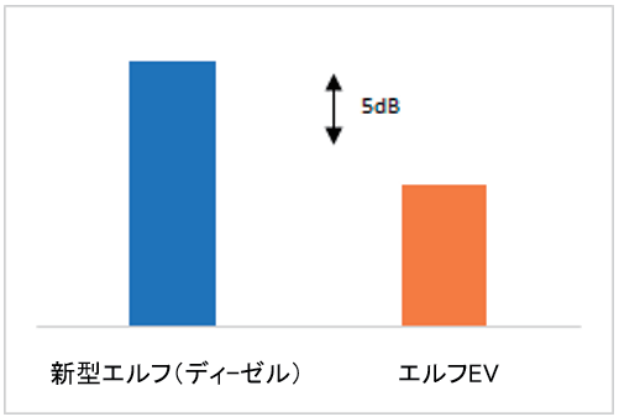


図 77　停車時車外騒音（コンプレッサ作動時）

22.3　電動パワーステアリングポンプの音

電動パワーステアリングポンプから発する音は、音圧レベルとしては低いものの、その周波数特性から室内でも聞こえやすく、ステアリング操舵時に異音として感じることがある。そこで、ポンプの制御回転数を最適化（**図 78**）することで操舵性能と作動音の両立を図った。

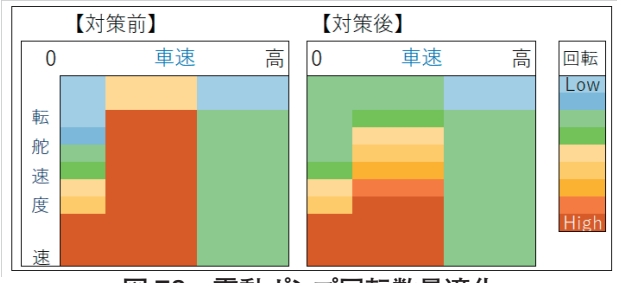


図 78　電動ポンプ回転数最適化

22.4　低速走行時の車外音

エルフ EV は航続距離並びに充電時間の観点から、比較的短距離、かつ低速の走行が多い宅配車及びゴミ収集車といった用途が当面は主になると想定。

これらの用途では周囲の人との距離が近い市街地、住宅密集地での走行が多くなる。電動車の静粛性のメリットを活かすため、**22.2 節**で述べた冷却装置騒音への対処は車外騒音も考慮したうえで制御を決定した。

電動機のみで走行可能な車両に装着義務がある車両接近通報装置については、比較的短距離でかつ低速の走行が多い商用車の用途として安全上の機能を重視した音量設定としている（**図 79**）。

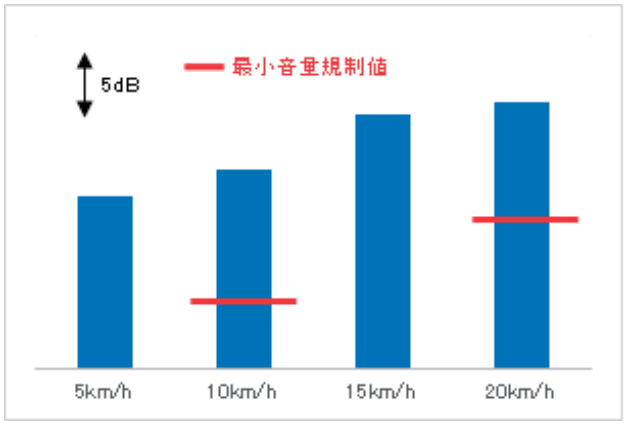


図 79　車両接近通報音レベル

23　電動車の電装品性能

エルフ EV の電装品性能はお客様の快適性を追求しつつ、高電圧化に対する安全性を両立させるように評価・検証を進めてきた。本項ではお客様の使い勝手を考慮した急速充電性能の評価と、高電圧の安全性確保に腐心した単品信頼性試験について紹介する。

23.1　急速充電試験

エルフ EV は国内に幅広く設置されている CHAdeMO 規格の急速充電方式を採用し、安全・快適に充電を行うことを目的に評価してきた。

急速充電中もお客様が快適に車内で過ごせるように急速充電とエアコン等の電装部品との協調制御に問題がないことを確認するとともに充電器との相性も確認した。

また、充電中に車両が動き出して危険な状況にならないようになど、安全性に関してもあらゆる状況を想定して性能を確認した（図 80）。

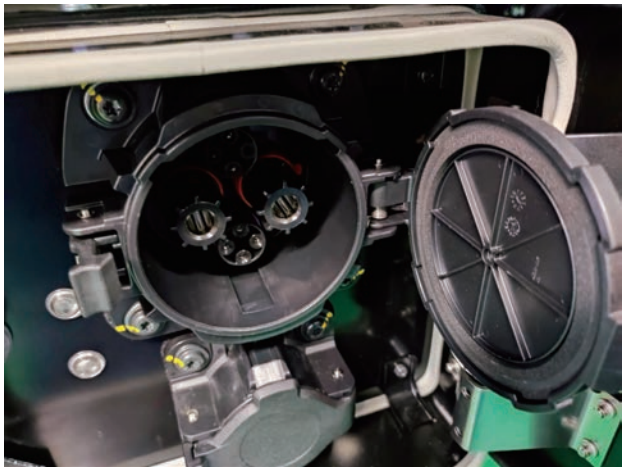


図 80　CHAdeMO 充電口

23.2　電動車に搭載する電子電装部品の単品信頼性

いすゞで初の量産車となるエルフ EV にはディーゼル車には存在しない電装部品を数多く装備している。

これらの電装部品には高電圧がかかっており、潜在的に感電の危険性がある。

そこでエルフ EV では日本の高温多湿な気候を想定し、高温高湿度環境での繰返し作動耐久試験を実施した。更にエルフ EV の用途を想定したシチュエーションに応じて電装部品に加わるストレスを測定・推定しながら、EV に必要十分な耐久力を確保できる試験条件を提案して評価を進めた（図 81）。



図 81　EV コンポー一覧

23.3　電動車の認可取得試験

エルフ EV ではディーゼル車にはない電動車用の認証試験があり、それに対応した試験方法を改めて検討した。

一充電走行認証試験では 1 回の充電で走行できる距離と充電時の電力量から、電費を出す試験条件があり、必ずしも試験車が充電場所に到着できるとは限らないため、走行終了場所から充電場所までは試験結果に影響の出ないよう、車両をけん引する方法を考える必要があった。そのため試験場所、試験方法、運転のスキルを有したドライバの選択などを検討することで、無事に認可取得することができた。

モータ出力認証試験では、モータ単体での最高出力・定格出力を測定する必要があり、計測項目の洗い出しから出力性能に影響の出ないよう、高電圧ケーブルの安全な取り回し方法・計測方法の検討を行い、試験用のモータ組立て調整をした。認証試験の準備では事前の確認を重ね、モータの操作方法・計測方法を確立させてから認証受験を実施し、無事に認可取得することができた（図 82）。



図 82　モータ出力認証試験設備

24　衝突安全性能

いすゞ初となる量産バッテリーEV の衝突安全性能開発にあたり、バッテリーEV 特有の評価項目についてガイドラインを設定し、新たな評価フローで開発に取組んだ。

衝突時の漏電と感電から乗員と救助者を保護する感電保護性能の開発として、コンポーネントごとに CAD レイアウトの確認とフルビークルモデル CAE 解析で作り込みを行ったうえで、実車衝突試験を実施した（**図 83**）。CAE 解析では、高電圧系統の保護を目的に装置ごとのガイドラインを設定し、保全性評価を実施した。実車衝突試験では CAE 解析で作り込んだ保全性の確認と車両全体の感電保護性能を評価した。結果として衝突時の感電保護性能を確保することができ、バッテリーEV の衝突安全性能についての知見を得た。本項では各評価の具体的な内容について紹介する。

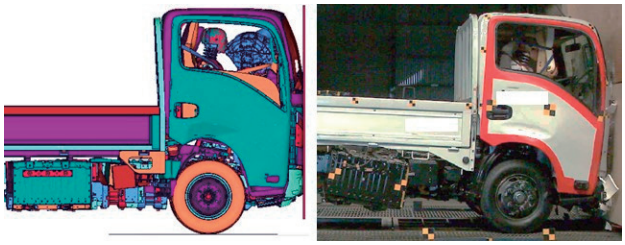


図 83　CAE 解析と実車衝突試験

24.1　高電圧ケーブルの保全性

衝突時に高電圧ケーブル及びコネクタが損傷した場合、漏電・火災の原因となるため保全性の確保が重要になる。そこで、高電圧ケーブルと周辺部品の挟まれ感、及びコネクタと周辺部品の干渉による災害を防ぐために、高電圧ケーブル保全性評価を行った。CAD レイアウトから挟まれ、また干渉を起こす懸念のある部位を特定し、CAE 解析で周辺部品の変形量を確認した。

その結果を用いて高電圧ケーブルとコネクタが損傷しないようにクリアランスを確保する作り込みを行った（**図 84**）。

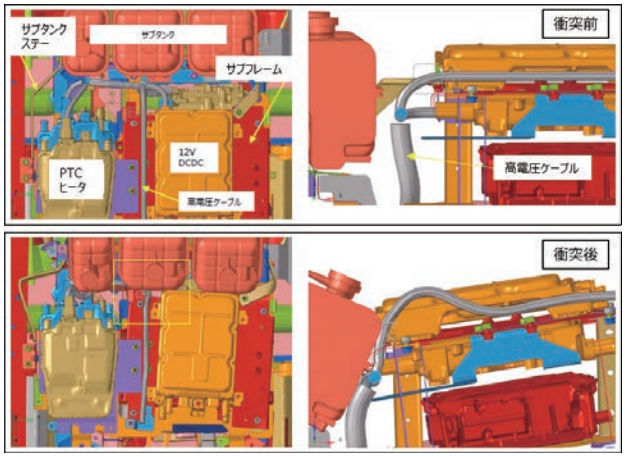


図 84　高電圧ケーブル保全性 CAE 解析結果

24.2　高電圧部品の保全性

高電圧部品の破損による漏電、及び電解液漏れの防止と、高電圧バッテリーなどの重量物の落下による第三者への危害防止を目的に高電圧部品の保全性を評価した。キャブ下部のサブフレームに配置された高電圧部品、シャシフレームに固定された高電圧バッテリー、及びモータは車型により配置場所と固定方法が異なるため衝突時の挙動も異なる。そのため CAE 解析ではそれぞれの高電圧部品について移動量と周辺部品との干渉を確認した。更に高電圧バッテリーの固定部に関しては、ボルト破断の有無などを確認し保全性を確保した（**図 85**）。

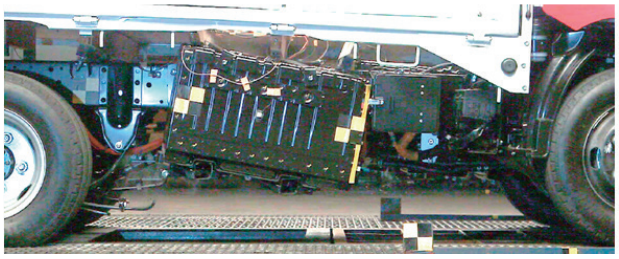


図 85　高電圧バッテリー保全性 実車確認結果

24.3　カットオフケーブルの保全性

カットオフケーブルは衝突時に高電圧を遮断するための信号を VCU（Vehicle Control Unit）に伝達する役割があり、保全性評価を実施した。衝突を検知してから高電圧遮断のトリガーが入るまでの間に、ケーブルの挟まれとエッジ干渉による断線が生じないように、ケーブルがレイアウトされている周辺部品の変形量を確認した。

24.4 感電保護性能

衝突時における乗員と救助者の感電保護性能については実車正面衝突試験を実施し評価を行った。人体を感電から保護することを目的に、物理的保護、絶縁抵抗の確保を同時に満たすものとした。物理的保護は高電圧部品・高電圧ケーブルが損傷し、活電部（通常の作動時に通電することを意図した導電部）が露出したとしても人体が直接接触しないように保護することである。

絶縁抵抗の確保は活電部とフレームなどの基準電位部との間の絶縁抵抗を確保することであり、高電圧回路の正極・負極ともに活電部が基準電位部に接触していない状態である。

24.4 節の物理的保護と絶縁抵抗の確保を同時に満たすことで、衝突時の感電保護性能を満たすことができた。

25 強度・耐久信頼性能（シャシ）

新型エルフ EV は従前のディーゼル車とは異なる使われ方を想定し、EV トラックとして想定される車両総走行距離及びセグメント（路面比率、各路面の平均車速、積載量など）の情報から、目標とすべき車両の強度耐久性評価条件・基準を新たに設定した。

その新条件を用い試作品での台上コンポーネント振動耐久試験により、EV 固有部品の基本構造について耐久性を確認した。更にフレーム幅・高電圧バッテリーの搭載個数のバリエーション違いについては CAE 解析を活用し、評価実施することで車型違いも含め品質の作り込みを行った（**図 86**）。

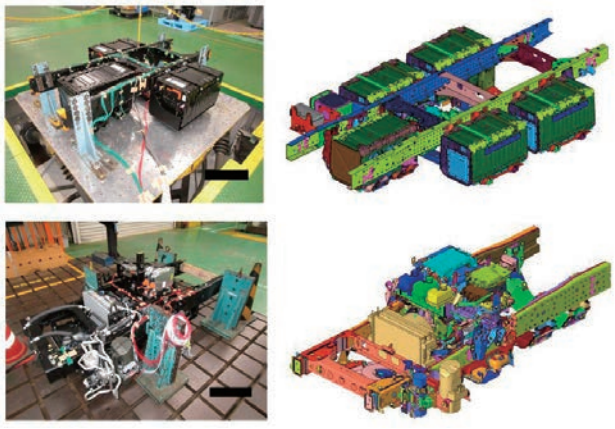


図 86　強度・耐久信頼性能（シャシ）

26 あとがき

新型エルフ・フォワードは短期間で EV を含めたまとめ開発を行った。これまで以上にヴァーチャル評価を積極的に活用し作り込み、また、量産品質の確認に重点を置いた実車評価を行い、短期間でより質の高い車両開発を達成し、お客様に満足いただける新型エルフ・フォワードが誕生したと確信している。

今後も市場のニーズに応え、お客様に使いやすい、納得をいただける商品作りに努める。

著　者


三井　幸一郎


薄葉　浩志


近野　光生


阿部　弘之


佐藤　亮


根本　英男


渋谷　健太郎


藤川　文孝


大西　正裕


吉田　和樹

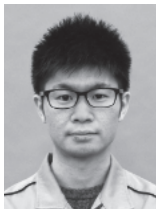

高嶋　豊士


高杉　友洋


田川　脩平


渡部　紘


佐々木　直渡


関　正寛


相馬　峻祐


邨井　恵美子


野村　晋司


小武　拓矢


新井　匠


五嶋　亮祐


宇内　太郎


池田　博史


松本　一隆


村永　健太


村上　渉人


髙山　正巳


菅原　憲嗣


小出　高大


島貫　優里


関根　浩一


清水　俊成


小嶋　東悟郎


北村　達治


濵田　一穂


平田　尊紀


伊東　勝


朝倉　裕二


山口　裕介

南　紀

新型エルフ・フォワードの生産技術について

Manufacturing Engineering of New ELF and FORWARD

金子　司*　Tsukasa Kaneko
田中　亮太**　Ryota Tanaka
横井　智哉*　Tomoya Yokoi
江頭　崚*　Ryo Egashira

要　旨

物流問題の解決に向けたトラックへの要求は多様化しており、中でも車体の高剛性・軽量化は新車開発における重要課題の一つである。一方、生産ラインでは商品のモジュール化に合せ、ライン統廃合を行いコスト競争力強化に取組んできた。新型エルフ･フォワードでは、車体の高剛性・軽量化の課題を解決するとともに、コスト低減（生産競争力強化）につながる生産工法と製品構造を提案した。本稿では、この生産技術の取組みを紹介する。

Abstract

The needs of trucks required to solve logistics problems are diversifying. High rigidity and weight reduction of the body are one of the important issues in the development of new vehicles.

On the other hand, production lines with the modularization of products have been integrated and discontinued, and efforts have been made to strengthen cost competitiveness. For the New ELF and FORWARD, we solved the problem of high rigidity and weight reduction of the body and proposed production methods and product structure that lead to cost reduction (strengthening production competitiveness). In this section, we introduce manufacturing engineering efforts.

1　まえがき

新型エルフ・フォワードは、軽量で信頼性に優れたボディをコンセプトに商品開発を進めてきた。ボディは、骨格構造の最適化･パネル薄肉化･パネル分割点数削減･制振材削減などにより、軽量化を推進した。開発初期段階から積極的なフロントローディングを行い、樹脂工程では「電動成形機を使用したCV（商用車：Commercial Vehicle）初の発泡成形」を実現するなど、ボディ軽量化へ貢献している。また、プレス･車体･塗装工程においても、設備投資コストを抑えた生産工法によりコスト低減に貢献することで、競争力の高い生産ラインを実現した。

2　プレス

2.1　セット取りにおけるコスト低減

キャブ（**図1**）の6面体を構成するプレス部品は、1枚の鋼板をプレス機・金型を用いたプレス加工にて成形する（**図2**）。一般的に、1つの部品を成形するには、形状出しの絞り、不要部分の切離し（以下、「トリム」と称す）、穴あけ、面出し等の3～4つの工程を組み合せて加工する。

プレス部品のコストは、その大半が鋼板の材料費である。鋼材から取得できる製品の重量比（以下、「歩留まり」と称す）の向上がコスト低減につながるため、歩留まりの向上が常に求められる。本章では、新型エルフでの歩留まり向上活動として、同一金型での複数部品セット取りの事例を報告する。



図1　キャブ

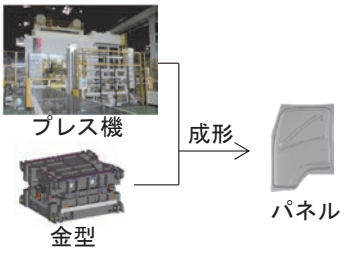


図2　プレス成型の要素

2.2　歩留まり向上の背景

プレス成形の歩留まりは、絞り工程の外周形状に依存する。従前から、CAE（Computer Aided Engineering）を活用して、金型製作前に歩留まり向上を実施していたが、絞り工程の外周位置調整だけでは抜本的な向上が難しく、新型エルフではトリム部の端材に着目し、特に大きな端材部を有するボディサイドアウタでの活動に取組んだ（**図3**）。

*車体技術部　　**いすゞモータースインディア

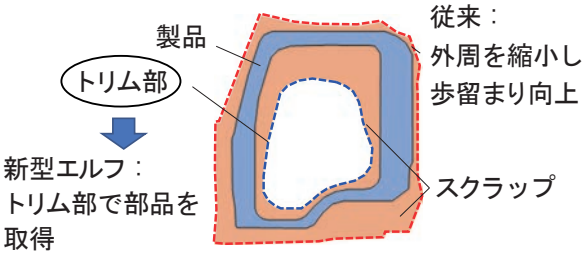


図３　歩留まり向上の着眼点

端材の活用には、主に次の２つ方法がある。

1）回収後に別部品の成形用材料に転用する方法

2）歩留まりと併せて生産工数削減に寄与する端材部に、別部品をセットして同時成形する、２部品セット取り方法

なお、新型エルフでは２部品セット取り方法の採用を検討した。

2.3　ボディサイドアウタセット取りの課題

従前からセット取りを行っているドアアウタ（**図４**）に対し、ボディサイドアウタは深い製品形状となっており、成形が厳しい（**図５**）。

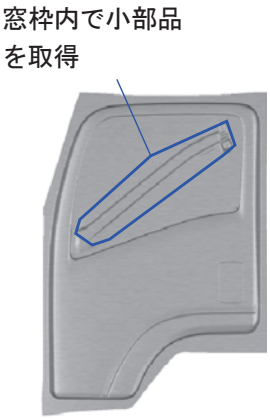


図４　従前車ドアアウタセット取り

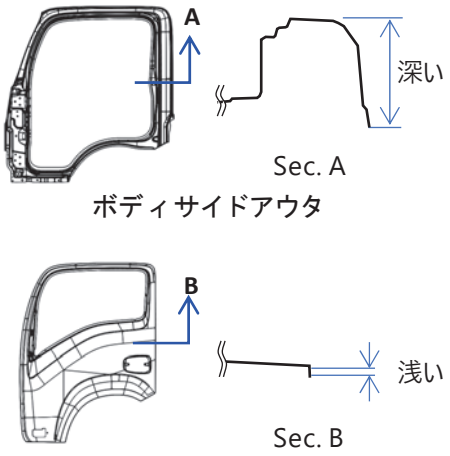


図５　ドアアウタとボディサイドアウタの形状差

プレスの１工程目で発生する割れは、成形途中に材料を流入して抑制できる。従前車のボディサイドアウタでは、ドア枠部をあらかじめ打ち抜いておき、内側の材料を流入させることで成形性を確保していた（**図６**）。

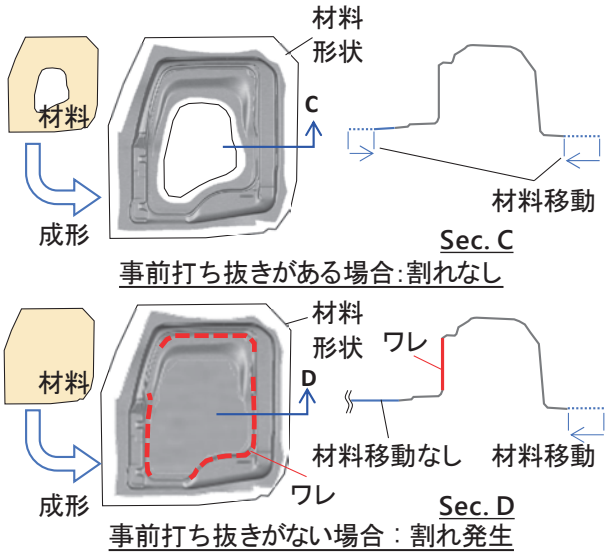


図６　事前打ち抜きの有無による違い

2.4　成形性と歩留まりを両立させる工法

工法を成立させるために大きく３つの検討を行った。１つ目はセット取り部品の選定、２つ目は成形成立性の検討、そして３つ目は金型構造の成立性検討である（**図７**）。次の項でこの３つの取組みについて記載する。

2.4.1　セット取り部品の選定

１つ目のセット取り部品の選定については、ボディサイドアウタのドア枠部に収まり、かつ歩留まりを最大化できること、またボディサイドアウタの成形性に影響を与えにくい、流入の少ない薄い製品形状であることを選定基準とした。開発初期の部品形状検討時から設計にフィードバックを行い、部品選定と歩留まりの最大化を図り、最終的にロッカーインナを対象とした。

2.4.2　成形性成立の検討

２つ目は成形成立性についてである。セット取りでは両部品をつなげた状態で最終工程まで搬送する必要がある。両部品間の位置関係を一定に保ち、型間搬送の際の位置ずれによる金型へのセット不良を防ぐためである。この制約を満たし、かつ成形性を確保するために、次の２点に取組んだ。

１点目はボディサイドアウタの難成形箇所の成形性確保である。ボディサイドアウタのコーナー部は成形時に割れやすい形状をしており、材料を流入することで成形性を確保している。コーナーの材料をあらかじめ打ち抜いておき、セット取りによる成形性への影響を最小限にすることを対策とした。

2 点目はセット取り部品との接続方法である。成形時、ボディサイドアウタ内部の材料端は全周流入するが、これにより両部品の接続部が引き延ばされ破断してしまう。対策を多々検討した中で次の 2 点が特に効果があった。1 つ目は材料の流入が少ない箇所を接続させ、接続部の伸びる量を最小限にとどめたことである。2 つ目は接続部の材料を斜めに橋渡しし、橋を長くすることである。橋渡し箇所内部の長さあたりの伸び量が下がり、割れには至らないようにすることができた。

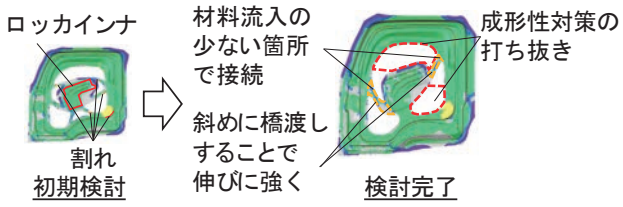


図 7　成形性検討の結果

2.4.3　金型構造成立性の検討

3 点目の金型構造の成立性については、後工程でボディサイドアウタ壁面にあるドアストライカー取付け穴の加工方法が課題となった。通常は穴あけ工程にてドア枠部にカム機構を配置して加工を行うが、当初の配置ではロッカーインナとカム機構が干渉してしまった。そのため、前述の成形性を満たし、かつ後工程の加工成立性、型構造成立性確認し、改めて絞り工程でのロッカーインナの配置を微調整した（図 8）。

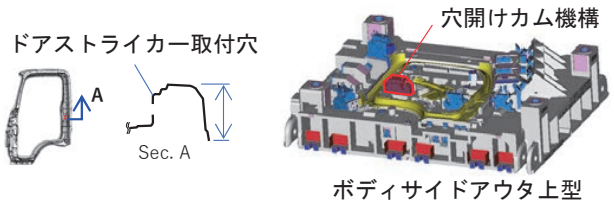


図 8　ドアストライカー穴加工用カム機構の配置

最後に、検討結果の確からしさの確認として、CAE を用いた検証を行ったうえで、金型製作に着手した。

2.5　量産型の製作と成形

実型ビルドアップ後の試作プレスでは、事前の CAE 通りに成形不具合の潰し込みはできた。しかしながら、ボディサイドアウタとロッカーインナの材料つなぎ部の付近において微小な材料段差跡による外観不具合（ショックライン）が発生し、製品面まで流入した（図 9）。

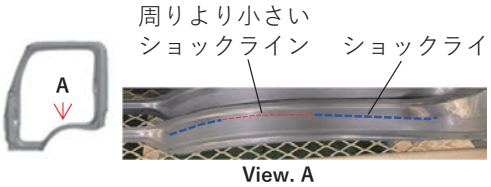


図 9　不均一なショックライン

型ビルドアップ後のため、抜本的なショックライン対策はとれず、流入量を調整することでショックラインを製品外にとどめる対応とした（図 10）。

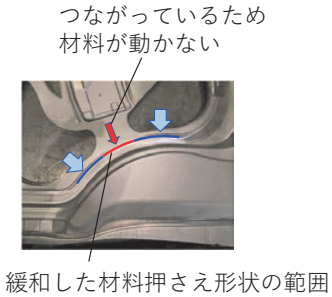


図 10　材料移動量の調整

2.6　まとめ

ボディサイドアウタでの 2 部品セット取りを、詳細な成立性検討により採用することができた。ボディサイドアウタの歩留まりも従前車の 33 %から新型車では 44 %まで向上させた。今後の車型でも工法検討による事前の歩留まり向上は積極的に進めていく。

3　樹脂

3.1　発泡成形導入の取組み

新型エルフ･フォワードにおいては、意匠性向上と軽量化のため内外装を刷新した（図 11）。内製樹脂工程では保有する大型射出成形機を最大限活用し、大型化した部品への対応、複数部品の同時成形による高効率生産を実施した。本章では、燃費積載量向上に寄与する車体軽量化のため、エルフ内装ドアトリム 部品にいすゞ初となる発泡成形部品の内製生産を実施した取組みを紹介する。



図 11　エルフ　樹脂内外装部品採用部位

3.2　射出発泡成形の原理

発泡成形とは、射出成形において微細な気泡構造を持った成形品を得る工法である。図 12 に通常の成形品（発泡成形品と比較してソリッド品と呼ばれる）と発泡成形品の断面図を示す。

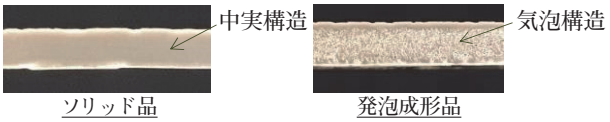


図 12　各成形方法による断面の差異

初期板厚が薄い状態で樹脂を流し込み、充填完了した時点で図 13 に示す型開き動作（以下、「コアバック動作」と称す）を行う。コアバック動作の際に、あらかじめ混錬されていた発泡成分が圧力開放されることにより、製品内に発泡層が形成され、型開き方向に板厚が増加する。

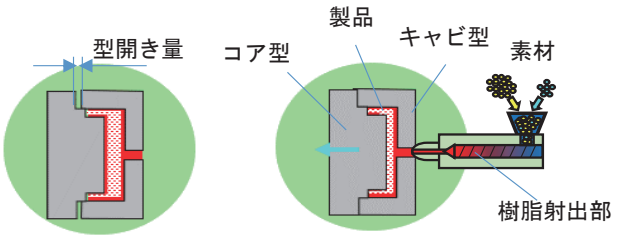


図 13　コアバック動作

発泡成形の特徴は、軽量化と剛性確保の両立である。発泡前の板厚は、ソリッド品と比較して薄く、投入する樹脂量を減少させることで軽量化を実現している。断面の剛性は、図 14 に示すように発泡により密度が小さくなる分を補うため板厚を厚くすることで確保している。

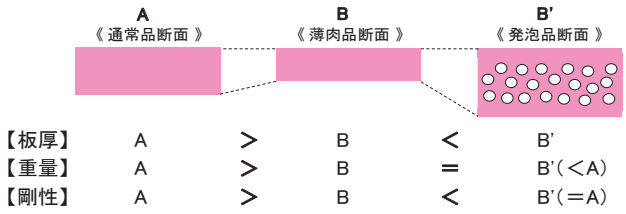


図 14　軽量化と剛性確保の関係

3.3 本工法採用に対する準備

今回のモデルチェンジでの採用を目指し、関連部署、協力メーカーとともに発泡成形の技術開発を進めた。机上検討のみならず発泡試験型での検討を通して、製品形状、射出成形機仕様、金型構造の課題の明確化とその対策をあらかじめ決定した。

製品形状に関しては、量産に資する発泡倍率の決定が必要であった。試験型を用いて発泡倍率を変化させた実験を行い、発泡層が維持される適正な倍率を決定し製品へ反映した（図 15）。また、成形試験を通じて、発泡成形では意匠面の凸 R 部に形状ボケが発生することもわかり、金型製作時に製品形状を見込む対策を織り込むこととした。

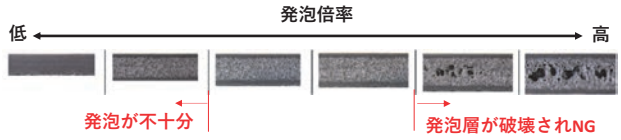


図 15　発泡倍率の比較結果

コアバック動作を高速・高精度に制御するためには、従来から保有する油圧制御の設備では不十分であったため、2017 年に発泡成形の内製化を見越して電動サーボ制御を有する 3000 Ton 射出成型機を新設した。試験型での成形試験の際に、発泡材がコアバック前に自然発泡してスワルマーク（図 16）が発生することもわかった。対策として型内圧力増加減制御装置の導入及び金型には型内圧力密封構造を合せて導入した。更に、スピーカー部など製品設計上発泡させない部分への対処として、部分的にコアバックを抑制するフロート構造を金型に追加した。これらにより、発泡成形導入の事前準備を完了させた。

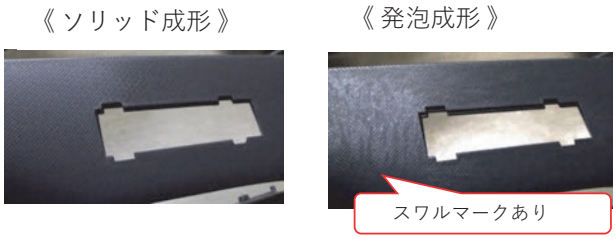


図 16　外観不良：スワルマーク

3.4 量産準備の結果

事前の対策織り込みにより、発泡倍率、スワルマークなどはあらかじめ潰しこむことができた。しかしながら一部製品端末部では、初期の板厚が薄いことによる冷却促進で固化が進み、発泡が不十分なため製品合せで不具合が発生したが、金型を部分的に削ることで不具合部の板厚を増やし、発泡前に固化が完了しないようにした（図 17）。今回得た知見は、次期モデル開発に向けて活用していく。



図 17　発泡不良による製品合せ不具合と対策

3.5 まとめ

事前に実施した技術開発を元に、社内初の発泡成形工法で部品量産体制を構築することができた。量産準備では想定外の不具合が発生するも、関係者の協力により問題を解決、更に新たな知見も蓄積することができた。最後に、本プロジェクトに携わった方々へ深くお礼を申しあげる。

4　車体

4.1 競争力強化に向けたフレキシブルライン構築の取組み

従来の車体工場は、車格ごとの専用生産ラインを展開しており、フルモデルチェンジの度に、新規エリアに新規ラインを展開していた。このような生産ラインは生産台数が落ち込んだときに、稼働率が下がってしまう。この課題を克服し、生産効率が高い生産ラインを実現すべく、新型エルフフルモデルチェンジを契機に、車格（車長・車幅・車高）の異なる車を生産可能なフレキシブルな統合生産ラインの構築に着手した。本章では、新型エルフを生産するメインボディアセンブリ（以下、「M/B ASM」と略す）（**図 18**）ラインに採用した生産工法の取組みについて紹介する。

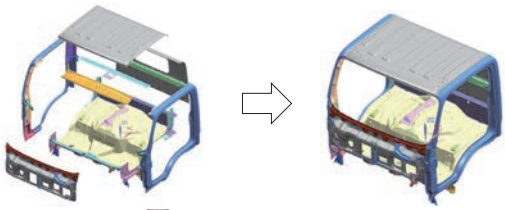


図 18　M/B ASM

4.2 従前の生産方式

従前車の M/B ASM ラインでは、モジュール設計（同一ラインで生産するために規制位置の互換性を持たせた設計）されたモデルの生産を行うことを前提としており、治具の入替えを行う必要がなかったため、セッタ方式（スライド方式）を採用している（**図 19**）。また、キャブの搬送には、高速搬送工法のシャトル搬送を採用している（**図 20**）。作業工数差がある多品種の混流生産を行うトラックメーカーにおいて、セッタ方式の仮組治具とシャトル搬送にはデメリットがあった。



図 19　セッタ方式



図 20　シャトル搬送

1）セッタ方式

車格専用であるセッタ方式の治具は、モジュール設計されていないモデルを投入できない。また、仮組治具をスライドさせる工法であり、治具内にスライド機構が必要なため構造が複雑化し、ロボットガンがアプローチできない溶接打点が発生する。その対策として、マルチガン（治具に溶接ガンを埋め込む）を採用している。この工法では、生産ライン内で人による溶接チップの研磨作業を定期的に行う必要があり、生産性と安全性が低かった。

2）シャトル搬送

シャトル搬送は高速搬送工法として知られているが、作業工数差がある多品種の混流生産ラインでは、サイクルタイムは作業工数の高い車に依存する。そのため、作業工数の低い車では、設備の稼働率が低くなり、生産効率が悪かった。

つまり、高稼働率でフレキシブルな生産ラインの構築には、セッタ方式の仮組治具とシャトル搬送からの脱却が必要である。

4.3 生産方式の刷新

新型エルフの生産ラインは、生産台数に合せた小規模な新規生産ラインとし、イニシャルコストの抑制を行った。しかし、この生産ラインは、生産効率が高い統合生産ラインへの転換を見据え、車格の異なる車を追加し、生産ラインを拡張していくことを想定している。そこで、次の 2 つの生産工法を採用した。

1）ロボットハンド方式

ロボットによる治具付替え方式を採用し、車格（車長・車幅・車高）の異なる車の生産へ備えた。また、治具を簡素なロボットハンド（**図 21**）にしたことで、溶接打点にロボットガンがアプローチ可能になり、マルチガンを必要としない安全性が高い生産ラインを実現している。しかし、高稼働率な生産ラインの実現には課題があった。それは、治具付替え方式が抱える生産性阻害要因の克服である。従前車生産ラインでは、ロボットによるハンド付替え方式の採用実績が多くある。しかし、この工法は制御通信用コネクタのかん（嵌）合と切離しを繰り返すため、嵌合部の経年劣化による接触・導通不良による通信エラーが発生し、設備が停止してしまう。通信用部品を物理的に接触させるコネクタ嵌合方式特有の不良であり、多品種生産を想定した統合ライン化には、この課題克服が必要不可欠であった。この対策として、無線通信を採用した。採用にあたり、無線通信の課題となる電波干渉対策、遮蔽物対策などに対し入念なトライを実施した。無線通信の採用は、生産ラインの稼働率を向上させるだけでなく、通信用信号線の配策を減らせることで、配線コスト削減とメンテナンス性の向上にも貢献している。

2）AGV 搬送

組付け作業工数差に依存せず、車格とプラットフォームが異なる車の追加と生産台数増加時の設備投資の抑制が図れるキャブ搬送工法として AGV（無人搬送車：Automated Guided Vehicle）を採用した（**図 22**）。AGV は、停止位置の追加だけで、工程追加と生産ラインの拡張ができ、大規模な設備改造をすることなく生産台数の増加に対応できる。

しかし、AGV を活用した高稼働率な生産ラインの実現には課題があった。従前車では、AGV による通路搬送の採用実績は多いが、段差、カーブでの脱線、及び無線通信不良による AGV 同士の衝突などの設備停止リスクがあり、溶接自動工程での採用実績はなかった。新型エルフ生産ラインではいすゞとして初めて、溶接自動工程内の搬送工法として AGV を採用した。採用にあたり、走行路面の補修、最適なカーブの検証、及び生産ラインとの無線通信検証など、入念な準備と確認を実施した。更に、AGV 停止リスクに対し、スムーズな異常処置を実現するレイアウトを展開することで、高い稼働率を実現した。



図 21　ロボットハンド



図 22　AGV 搬送

これら工法を採用することで、従前車のデメリットの克服を行い、拡張性を備えた稼働率の高い生産ラインを構築した。統合ライン化を進める車体工場において、無線通信を活用した生産工法は配線配策コストの抑制・メンテンナンス性向上・稼働率向上に貢献可能であり、さまざまな生産ラインでの展開が見込まれ、今後車体生産工法のスタンダードになっていくと考えられる。

4.4　フレキシブルな統合生産ライン展開に向けて

今後は、このラインを統合生産ラインにしていくために高速ライン化していく。その課題として、ロボットによる治具入替えの時間検証、AGV 停止位置の追加によるサイクルタイムアップの検証などがある。さまざまな検証をこのラインを使って実施し、フレキシブルな統合生産ラインを構築していく。

4.5　まとめ

新型エルフ生産ラインは、将来のフレキシブルな生産ライン構築に向け、拡張性を備えた生産ラインを実現した。新ラインの立ち上げに協力いただいた関係部署、並びに協力企業の皆様に感謝の意を表する。

5　塗装

5.1　塗布型制振材導入の取組み

トラックの車室内には、走行時に発生する騒音と振動を抑制する目的として、「メルシート」と呼ばれるアスファルトを基材とする粘弾性樹脂シートを貼付けている（**図 23**）。新型エルフでは、このメルシートを板状から液状の材料に変更することで塗布性を持たせた「塗布型制振材」を採用した。

本章では、塗布型制振材の導入に対する取組みについて紹介する。

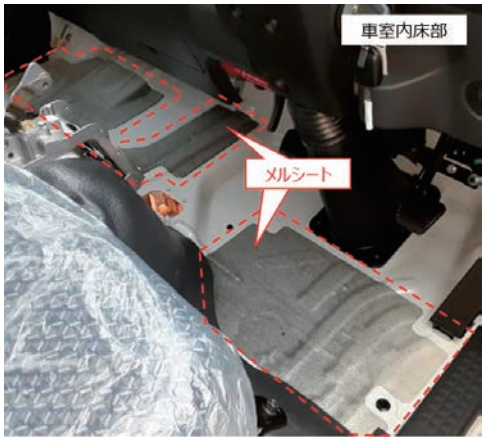


図 23　メルシート貼り付け状況

5.2　塗布型制振材導入の背景

従前のメルシートは、板状に成形された部品を車室の床部に置き、塗装工程内のオーブンで焼きつけることでパネルに融着させる。しかしながら、メルシートは基材にアスファルトが用いられているため自重が大きく、車室内への搭載作業が重筋作業となっている。また、ほかの自動車メーカーにおいても、近年のエルゴノミクスの観点等からメルシートを廃止し、塗布型制振材への移行が進んでいる。そのためメルシートは将来的なコスト上昇、ひいては供給のリスクがある。

一方の塗布型制振材は、車室内にアクリル樹脂を基材とする液状の材料を塗布するものである。一般的にはロボット等の自動機で塗布し、塗装工程内のオーブンで焼きつけて硬化させる（**図 24**）。トラックのような多品種少量生産において、仕様ごとに自在に塗布できる塗布型制振材は単一の塗料の在庫を持てばよく、従来のメルシートに対して各仕様の部品在庫を持たなくよいというメリットがある。



図 24　メルシート貼付作業（左），塗布型制振材（右）

5.3 塗布型制振材導入の取組み

塗布型制振材の導入はいすゞ初の取組みとなるため、設備と材料に関する過去の知見が無く、生産部門のみならず開発部門においても手探りの状態でプロジェクトがスタートした。

今回の新型エルフでは、車室内の骨格と部品構成を従前車から踏襲した車型が複数存在する。従前のメルシートの厚みが 1.5 mm であるのに対し、塗布型制振材を採用している他社メーカーでの膜厚は、乾燥後において 5 mm 程度と厚い。また塗布型制振材は塗布エリアを隙間なく埋める必要があるが、材料同士が重なることで更に厚みが増す箇所が生じる。従前のメルシートより厚みが増すことで、塗装の後工程で取付ける部品の干渉、過剰な膜厚によるコストへの影響が懸念されたため、膜厚の均一性を保つことが今回の取組みにおける技術的な難所であると捉えた。

5.3.1　メーカー選定

まず、いすゞの評価指標に対して材料メーカー 3 社の比較を行った（**表 1**）。基本的な性能については 3 社の材料いずれも満たしていたが、特に薄膜形状の再現性を重要視したメーカー選定を実施した。

表 1　メーカー比較

評価内容		A社	B社	C社
性能	表面状態	○ 良好	○ 良好	○ 良好
	タレ性	○ 1㎜以内	○ 0㎜	○ 1.5㎜
	乾燥性	△ 30分で固着あり	○ 30分固着なし	○ 30分固着なし
塗布性	飛散性	○ なし	○ なし	○ なし
	膜厚	△ **最大-最少0.8㎜**	○ **最大-最少0.4㎜**	△ **最大-最少0.7㎜**
	焼付	○ 異常なし	○ 異常なし	○ 異常なし
	パターン幅	△ 最大-最少13㎜	○ 最大-最少7㎜	○ 最大-最少3㎜
	幅変動	△ 吹き始めメクレ	○ 55～68	× 塗布不可
		× 塗布不可	○ 116～127	× 塗布不可
	温度変動	○ 問題なし	○ 問題なし	○ 問題なし
		○ 問題なし	○ 問題なし	○ 問題なし
	塗り重ね	△ 重なり膜厚3.7㎜	△ 重なり膜厚3.7㎜	○ 重なり膜厚2.6㎜
	ガン汚れ	○ なし	○ なし	○ なし
評価		×	△	×

5.3.2　塗布条件設定

導入に向け、設備メーカーのラボにて平板に材料を塗布することで各パラメータの最適化を目指した。重要となる膜厚の目標値を、他社メーカーの膜厚よりも薄い乾燥時 3 mm（乾燥前 2 mm）に設定し、膜厚への影響度が大きいと考えられる「ノズルの形状」及び「塗布ロボットの移動速度（以下、「線速」と称す）」について繰り返し試験した。

• ノズル形状の影響評価

ロボットの線速を変化させた際に膜厚に及ぼす影響を、形状が異なる 4 つのノズルを用いて評価した。一般的に、線速を速めた場合は単位時間当たりの塗布量が減ることで薄膜になる傾向であるが、ノズルの形状による限界値が存在することが分かった。限りなく薄膜に抑えることができ、かつ線速による膜厚の振れ幅が小さい No.3 または 4 のノズルを採択するに至った（**図 25**）。

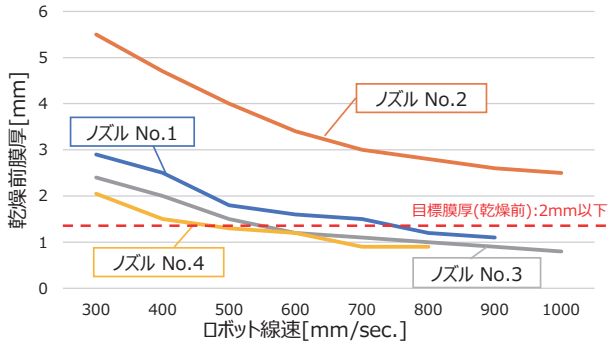


図 25　各ノズルの評価試験

• ロボット線速の影響評価

ロボットの線速を上げることで薄膜になる反面、塗布幅が変化してしまう影響が懸念された。線速のほかにも「被塗物とガンの距離」と「材料の吐出量」などの複数の条件を繰り返し評価することで、塗布幅への影響を限りなく小さくし、かつ薄膜化が可能な条件を導き出すことに成功した。**図 26** は、線速の 500 mm/sec.～700 mm/sec. においても塗布幅を狙いの 90 mm に保ちつつ、膜厚を 3 mm 程度に抑えることが可能な条件である。

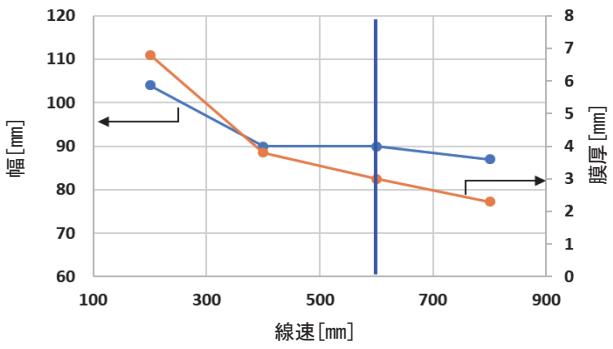
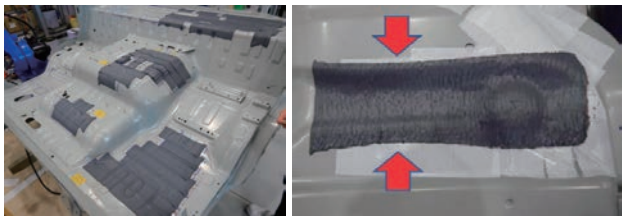


図 26　幅と膜厚に及ぼすロボット線速の影響

5.3.3　実ワークの再現性検証

塗布型制振材と同様の高粘度流体を塗布する既設のシーリングロボットでは線速 500 mm/sec. を基本速度としていたが、後工程で取付ける部品との干渉が懸念されるので、部位によっては、より速い線速で塗布する必要がある。そこで、今回の塗布型制振材での線速は最大 700 mm/sec. を目標とし、その成立性を検討した。

ラボでの平板への塗布では検証できないパネルビード部とアール部などの塗布状況を評価するため、実車のフロアを用いて条件を作り込んでいった（**図 27**）。



実車フロアパネル　　パネルビード部

図 27　実機トライ状況

塗布ロボットはドア開口部から室内にアクセスして塗布するため、ロボットの自由度に制限がある。一般的に、膜厚を安定させるため加速域、減速域（塗布位置のその前後動作を考慮する必要がある）を設ける手法が用いられるが、前述の通りロボットの自由度には制限がある。そこでシミュレーションでの評価と実機での検証を繰返し行い、ロボットの設置位置と走行軸長さ、更にガン角度を最適化することで自由度を上げることに成功した。その結果、700 mm/sec. という速い線速が必要な部位においても安定して狙いの膜厚を塗布することが可能となった。

5.4　まとめ

今回、いすゞ初の取組みであったため、関係部署とプロジェクトの始まりから膝を突き合せて進めることを意識した。また、ラボトライより生産性標準を作成した。これに則り仮図を作成したことで、大規模な図面修正はなく、スムーズに立ち上げることができた。

最後に、立ち上げにあたりご協力いただいた関係部署の方々へ感謝の意を表する。

6　あとがき

ここまで生産技術の取組み概要を紹介した。新型エルフ・フォワード開発において、いすゞとしては初めて車体工程用の試作に使う金型・組立治具を作らない試作設備レスに取組んだ。各生産工程が業務を工夫するだけでなく、開発・生産部門が一丸となり、さまざまな問題に対し確実かつ早期に対処してきたことで、新型車を予定通り市場へ供給できたことにつながっている。

最後に、新型エルフ・フォワードの開発・生産準備・立ち上げ・そしてこの執筆にご協力いただいた関係者の皆様には心から感謝の意を表し、本稿の結びとする。

著　　者



金子　司



田中　亮太



横井　智哉



江頭　崚

新型エルフの車両生産技術について

About Vehicle Manufacturing Engineering of New ELF

畠田　進佑*　菊田　了介*　高市　壮太*　植木　裕介*　牧嶋　翔士*
Shinsuke Hatakeda　Ryousuke Kikuta　Souta Takaichi　Yuusuke Ueki　Shouji Makishima

要　旨

17 年ぶりにフルモデルチェンジした新型エルフは「先進安全・情報通信技術の機能充実」と「お客様目線での更なる使い勝手向上」に加え「コンポーネントの統合開発」を、新たにコンセプトへ追加したトラックである。

車両生産技術は年々拡大して行く先進機能に対し、限りある量産ラインスペースの中で、いかに生産性の高い設備を投入していくか、また、フルモデルチェンジを機に、従前車で対応しきれなかった商品及び生産性の課題対応について組立ラインの取組みを開発部門との協業を交えて紹介する。

Abstract

New ELF has launched as full-model changed for the first time in 17 years with new concept

such as “Enhanced Safety and Information & Communication System”, “Improved Usability” and “Integrated development of Components”.

To develop this model we’ve engaged in that work with two specific theme. Firstly, we had to think over the specification of equipment to deal with advanced technology. Especially we needed to install those equipment to limited area in production line with considering productivity. Secondary, we focused to solve long-standing problem about merchantability and productivity lying in current model. Here we’d like to report how we has achieved those purpose through collaborative work with the development division.

1　まえがき

制御技術は従前の検査ラインでは車載コントローラ部品を検査するため、機能拡大に対応した新たな設備の準備が課題であった。開発の初期段階から積極的にフロントローディングを行い、研究試作評価による不具合のつぶしこみと、無線技術の採用によりフレキシブルな工程展開を可能とし従来からの工程内に車を収めることができた。

艤装技術は、従前からの商品性向上が課題であったドアの開度 88° から 70° への実現に取組む。CAD（Computer Aided Design）データのシミュレーションを実施し、ドア取付け工程の自動化と工具のアプローチ性をヴァーチャル上で評価を行い、生産性を上げる設備導入の実現ができたことで、検討時間を大幅に短縮できた過程について述べる。

後半の組立技術は長年の課題である、モデルチェンジごとにメインラインの組立工数を増やさない活動に取組んだ。「生産要件を開発の初期段階で提示」することでコンポーネント統合開発に組入れ、標準化させる活動のスタートができた。開発部門との更なる協業により、「競争力の高い生産ライン」を実現するための取組みを紹介する。

2　新エレキアーキテクチャへの対応（制御技術）

2.1 制御技術

新型エルフは急速に進化する制御システムに対応するため、エレキアーキテクチャを一新した。先進安全・情報通信技術に関する多くの機能追加により、車両検査設備の EOL（End of Line）で書込・検査を行う車載 ECU（Electronic Control Unit）の数が倍増した（**図 1**）。このため、生産車両の通信と制御の仕組みが複雑化し生産ラインでトラブルが増加、車載 ECU に対する EOL 書込・検査の工数増加が発生、工程の成立性に懸念があった。

本章ではフロントローディング活動が生産トラブルを抑制し、無線技術を利用した拡張性のある EOL 書込・検査設備の構築により工程を成立させた例を紹介する。

*車両技術部

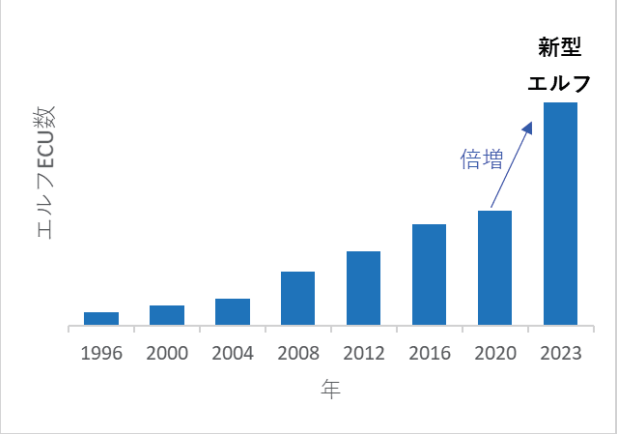


図１　EOL 書込･検査を行う ECU 数の推移（エルフ）

2.2　フロントローディング活動

車載の制御システムが高度化・複雑化し、量産仕様を工場にて試作した車両においてトラブルが増加。計画どおりに評価できないことが課題であった。

これまでの EOL 書込・検査設備の準備では、開発・設計仕様の決定後に設備の準備を開始し、量産仕様を工場で試作するまでに車載 ECU と EOL 書込・検査生産設備の適合性確認を行っていた。このため、工場で試作する直前に生産性に影響をきたす修正要望が、ECU に度々発生し円滑なライン流しができず、車載 ECU の修正要望を出すことも、開発日程を考慮した対策の検討も困難であった。解決策として、新型エルフでは開発段階から生産性に影響を及ぼす要望項目を製品仕様書に盛込み、量産仕様決定前の工場にて行われる試作で車載 ECU と量産設備の評価を完了した。

次に全ての ECU へ工場出荷を保証するうえで、必要な実施項目を開発・設計部署、組立・制御生産技術部署、品質管理部署と、全ての ECU に対し生産性・品質に関する生産側の要望を織込み、議論を重ね合意を取り、工場出荷時の品質保証方法を決定した。

車載 ECU 単品または各 ECU をハーネスで接続し車両回路を模擬したエレキベンチ、開発試作車を保証方法に合せて用意し、量産仕様決定前に工場で行われる試作までに二回評価した。一度目は生産性・品質に関わる課題を洗い出し、二度目で対策品を評価し、生産ラインでのトラブルを抑制した。また、評価に使用する機材は、量産用の EOL 書込・検査のハードウェアとソフトウェアを使用して、車載 ECU と設備の適合性についても同時に評価を行った。本活動により、ほぼ全ての車載 ECU を量産仕様決定前の工場で行われる試作までに評価を完了。生産ラインでの設備によるトラブルを抑制することで、生産ラインでの生産性評価の円滑な実施ができた。

2.3　EOL 書込･検査設備準備の取組み

2.3.1　車両ライン EOL 書込･検査設備について

いすゞでは車載 ECU に車両仕様データを書き込むことで車型のバリエーションを維持しつつ、工場取入れ品番の抑制を図っている。いすゞの車検ラインではこのデータの書き込みと検査をするラインである。検査するに当たり、車載 ECU の自己診断機能と各種診断サービスを利用して、システム故障、工程の結線不良、誤組付けを検出し工場出荷品質を確保している。近年では車載 ECU・センシングデバイスの増加を受け EOL 書込・検査項目が年々増加していて、新型エルフは車載 ECU が従前車に比べ倍増しており、車検ラインの工程成立が課題となった。

2.3.2　現状把握

車検ラインの通信検査各工程の EOL 書込・検査設備の通信時間を試算したグラフを**図 2** で示す。各工程のサイクルタイムに対して 3 つの工程（EOL、下回り、ヘッドライト）で EOL 書込･検査時間が超過しており、EOL 工程では約 2 倍超過していることが分かる。設備能力を増強するには、ハードワイヤで接続した従来の設備（**図 3**）では、OBD（On-Board Diagnostics）通信の通信ケーブル敷設エリア、及び車両接続時の作業性と工数に問題があり、工程制約の緩和が課題であった。

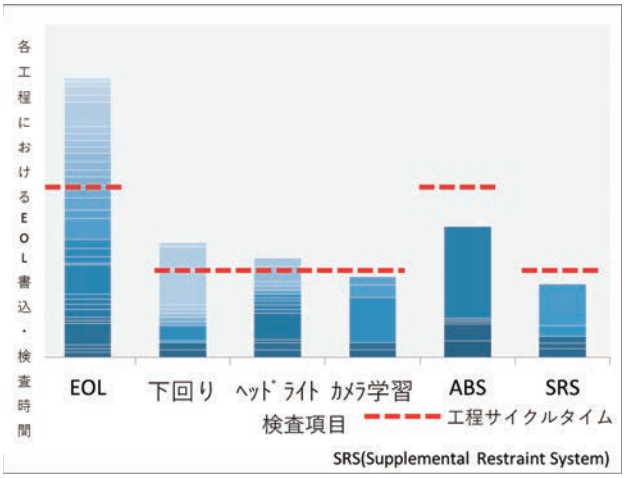


図２　各工程の EOL 書込･検査（試算）

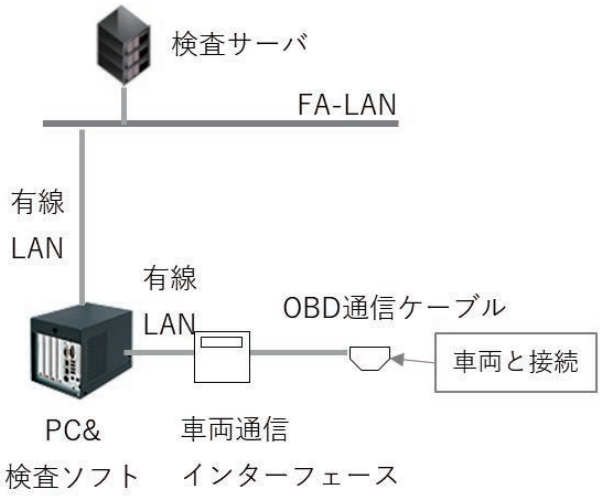


図3　従来のEOL書込･検査設備

2.3.3　無線を利用したEOL書込･検査設備の展開

工程制約を緩和するため、設備の更新と合せて無線を利用したEOL書込・検査設備を開発した（**図4**）。従前は検査サーバ、PC、車両通信インタフェース、及びOBD通信ケーブルをそれぞれハードワイヤで接続していたため、導入工程と検査作業に制約があった。無線化したEOL書込･検査設備であれば、タブレットの無線LANとBluetooth機能により、検査サーバ・車両通信インタフェースをワイヤレス接続して工程制約緩和の課題を解決した。加えてフレキシブルな工程展開が可能となった。

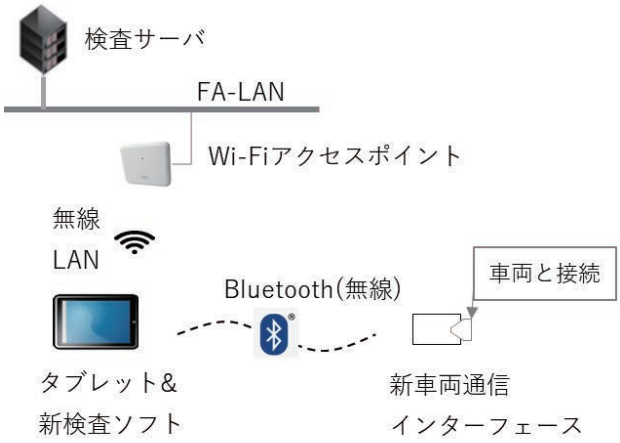


図4　無線を利用したEOL書込･検査設備

車両通信インタフェースはいすゞの車両仕様に適合する必要があり、ワイヤレス化のために合せて開発を行った。ハードウェア・ソフトウェアを一新しワイヤレス機能追加に加え、従前品のサイズに対して1/3に小型化することで作業性の課題も解決した。

2.4　対策効果

無線を利用したEOL書込･検査設備をFM（Final Mainline）、アライメント、パネル脱着の3工程へ展開し設備能力増強を図った。工場で生産した試作車両に対し、有線時のEOL書込・検査時間を計測した結果を**図5**に示す。有線時のEOL、下回り、ヘッドライト、及びカメラ学習の超過工数を追加工程へ分散し解消した。また、官能検査作業に自動通信検査を導入、作業工数を抑制した。これらの対策により、車載ECUの倍増に対して車検ラインの工程を適正な範囲に収めることができた。

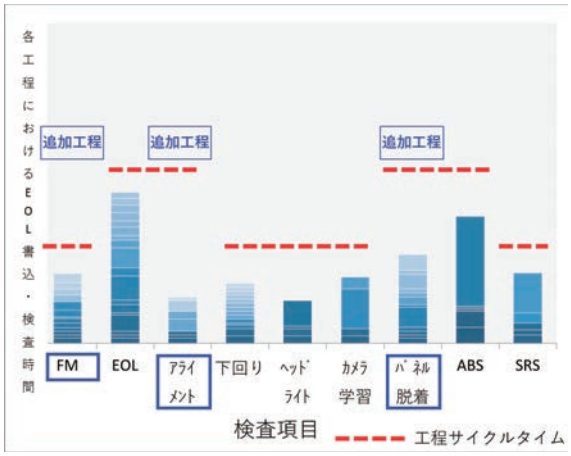


図5　各工程のEOL書込･検査（対策後）

また、**図5**にはフロントローディング活動による工数低減活動の効果も含まれており、例を紹介する。車載ECU仕様と検査工程の都合上、センサの結線保証検査に1分以上かかることが開発段階で判明した。開発部門と改善案を協議し、車載ECUの自己診断機能でセンサ結線の確認を保証する機能の追加により、検査時間を10秒以下に抑えた。

2.5　今後の活動

今後、更なるエレキアーキテクチャの進化を支えるために、より効果的なフロントローディング活動、フレキシブルなEOL書込･検査設備の改善に努める。

3　キャブ艤装組立における自動化工程 設備対応（艤装技術）

3.1　概要

新型エルフの標準キャブは骨格からの全面刷新により、空力改善、先進技術搭載と居住性の大幅拡大を実現した。特に、誰でも運転しやすいキャブを提供すべく、ドア開度の変更とステアリングの小径化、及び大型ディスプレイを設定するなど、あらゆる性能・商品力を向上した。

一方で、我々生産部門が誇る、小型艤装ラインの特徴である作業者に優しい、キャブの平易な作業姿勢での昇降、モジュール単位の搭載（キャブ内乗り込み作業の最小化）、インストルメントパネル・ガラス・ドアの自動組立（重筋作業排除）の利点を継承しつつ、試作の前段階からフロントローディングで製品と設備を作り上げていった。

本章では、主に設計条件と生産要件の整合により、締め付けツールの変更によって実現に至ったドア取付け工程ついて報告する。

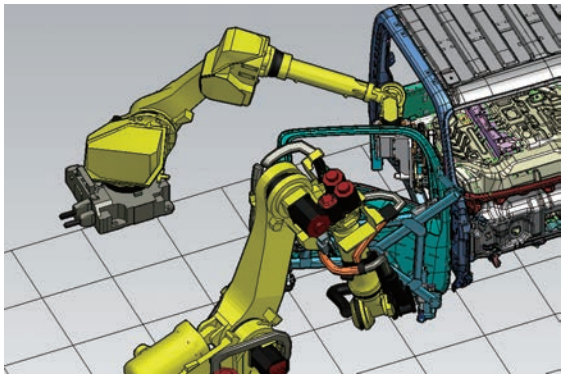


図 6　ドア取付工程

3.2 ドア開閉角度変更へのフロントローディング

新型エルフの標準キャブはドアの閉めやすさ向上のため、開閉角度を従前車 88° から 70° に変更した。艤装ラインのドア自動取付け工程では、ドアを全開状態の位置に合せ、ドアの内側からナットランナでボルト締結を行うが（**図 6**）、開閉角度の減少によりボディとドアの開口幅が狭くなり、自動機でボルトを締め付けする際に工具アプローチクリアランスが取れなくなった。従前キャブと新型キャブの締め付けアプローチ時の最小開口幅比較を**図 7** に示す。

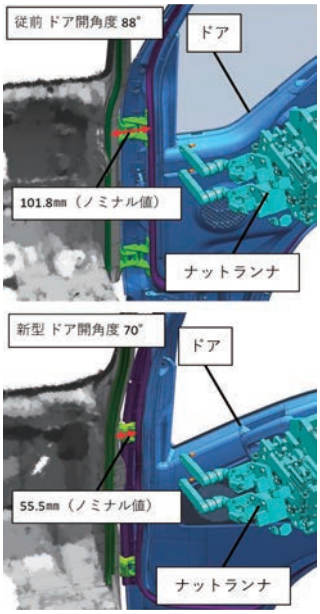


図 7　ドア開口幅比較 上下断面（従前と新型）

本課題に対し、開発部門と生産部門で議論を重ね、工具アプローチクリアランスに関わるボディパネル・ドアパネル・ドアシール・ボルトの長さ、更にはサプライヤの工程能力・歩留まり・実現性に至るまで考慮し、ノミナル寸法と公差を決定。工具アプローチ時の目標クリアランスを確保した。一方、生産側では今回のために小型化したナットランナの形状を要件として提示し、自動機の設計を進めた。

3.3 設備要件の明確化

前節の小型化ナットランナ新作では、形状外寸に加え、相反する条件となる耐久性、トルク精度、及びフローティング機構（締め付け時のボルトと穴の軸ズレを修正する構造）等も考慮する必要があり、それぞれの定量的な要求値を設定し、設計と製作を行った（**表 1**）。

表 1　設備要件 要求機能

項目	要求機能
締め付け可能トルク	従前同等
締め付けトルク精度	従前同等
ナットランナ厚さ ※ソケット部込み	従前比▲36%
ナットランナ幅	従前同等
耐久性能	従前同等
ボルト保持機能	マグネット付きソケット

3.4 CAD データでのシミュレーション

ナットランナ製作前に締め付けの一連の動作を CAD 上でシミュレーションした（**図 8**）。更に実機だと部品単品の寸法公差、建付け状態、及びロボットのアプローチ軌跡など、工具アプローチクリアランスがばらつく要素は多岐にわたり、条件を変更しながら繰り返しの動作確認が難しく、CAD 上で目標クリアランスを確保するために外形形状の改善をした。

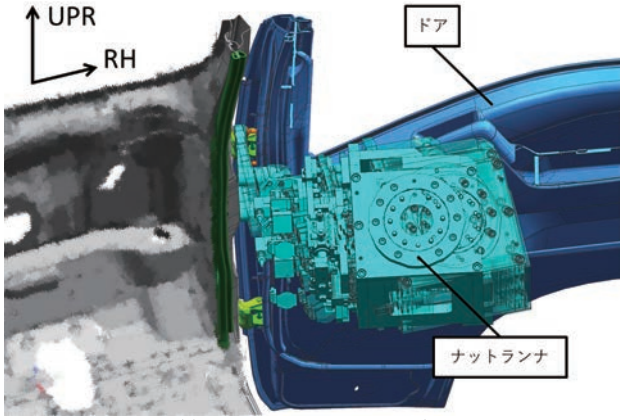


図 8　ドア取付けのナットランナシミュレーション

3.5 実機検証

設備導入時は、まずロボットティーチングでアプローチ軌跡を作成した。その際、事前にCAD上にて確認したクリアランスの狭いポイントに対して、ナットランナと周辺クリアランスをシミュレーションとおりに再現して、締め付け動作時の干渉のリスクを抑えた。

また、製品と設備のバラつき状態を疑似的に再現（いじわるチェック）して、ワースト状態でもシミュレーションどおりに干渉しないことを確認した。

3.6 今後の活動

フルモデルチェンジを機にドア開度70°への変更を含む性能・商品力向上を実現し、小型艤装ラインの長所を生かした生産を新型エルフ標準キャブでの継続も叶った。

今後のモデルチェンジでも新たな課題に、今回作り込みと整理した生産要件を、開発初期段階から提示し議論して素早く確実に整合し、開発部門と生産部門の協業で仕事と製品の質を高め、お客様が満足する車を作り続けて行く。

4　コンポーネント統合を見据えた生産情報の構築（組立技術）

4.1 本テーマ活動経緯

従前より、エルフ生産ラインの課題は「モデルチェンジ」のたびに、生産ラインの作業工数が増加することであった。モデルチェンジの作り込みの中で、車型ごとに工数最適化を進めているが、車型バリエーションの増加に対する作業工数の抑え込みに苦戦してきた。これらの課題を解決するため、生産部門は「モデルチェンジで生産ラインの工数を増やさない仕組みづくり」のテーマで活動を開始した。

4.2 現状把握

4.2.1 目指すべきラインの姿

生産部門が目指す生産ラインの姿は、多品種少量生産の条件下でも、一定の要員数で生産が可能なラインである。まず、メインライン（以下、aと称す）と、サブライン（以下、bと称す）で工数増加による影響が異なる。aは1工程の作業を時間内で完結させるため、作業遅れはライン停止につながり工数増加の影響が大きい。bは1日の稼働時間内で決められた作業を完結させるため、部品装着工数と車型ごとの工数差があってもaへ供給する部品の仕掛り数で吸収できる。したがって、bは仕掛り数で工数差を吸収できる特性を用いて、事前に部品を組付けてaの装着工数を削減する役割を持たせることが多い。生産ラインの要員数増加は、aの作業工数増加による影響が大きいため、「モデルチェンジで生産ラインの工数を増やさない仕組みづくり」はaをターゲットに活動することとした。

aは一定の要員で運営するべく、車型ごとの工数差と部品装着工数ミニマム化を前提に、工程・工法の作り込みを実施。

aの要員数算出の一般式をⅰ）に示す。

ⅰ）aの要員数＝（車型作業工数x生産台数）÷総生産台数 ÷ サイクルタイム（C/T）

生産ラインでは車型ごとで作業工数が異なるため、車型ごと生産台数の変動で要員数が変動する。例えば、**表2**で示す生産条件で、aの要員数を算出する例をⅱ、ⅲで示す。

ⅱ）生産台数Aのとき

要員数＝（160×50＋80×50）÷100÷2＝60（人）

ⅲ）生産台数Bのとき

要員数＝（160×80＋80×20）÷100÷2＝72（人）

計算結果より、車型ごとの工数差と生産台数比率によって要員数が変動するため、車型ごとの工数差と部品装着工数を減らすことが重要である。

表2　例　生産条件

車型	作業工数 [分/人]	C/T [分]	生産台数A [台/日]	生産台数B [台/日]
車型①	160	2	50	80
車型②	80	2	50	20

4.2.2 生産要件の整理

aから改善するにあたり、「なぜ、aで工数が増えるのか」その要因を出し、工数が増えない条件を導き要件として整理した（**表3**）。

整理した要件は大分類で示すとおり**表3**の環境で変化する要素としない要素cとdに分類し、影響する要件によってc-1、d-1、d-2の3つに細分化。工場、車型・車種、及び工程工法を「環境」とし、c環境で変化しない不変の要素はc-1のハンドスペースと工具クリアランスで「一般要件」とする。

一方、d環境で変化する要素はd-1を「工程要件」、d-2を「部品要件」とした。d-1は工程工法、設備、車両レイアウト等の違いで要件が変わる項目、d-2は部品形状、締め付けトルク値／本数等で要件が変わる項目である。c-1、d-1、d-2の生産要件を守った開発ができれば、従前車に対して、工数が増えないため、「工数を増やさない仕組み」のベースの考えとなる。

表３　生産要件の整理

大分類		細分化		例
c	環境で 変化しない要素	c-1	一般要件	ハンドスペース 工具クリアランス
d	環境で 変化する要素	d-1	工程要件	工順、工法 車両レイアウト
		d-2	部品要件	部品形状 締め付け本数/トルク

4.2.3　業務フローの見直し提案

「開発情報から生産評価を出す」一連の流れを「フェーズ」とすると、従前の業務フローは、大きくフェーズ１～３までのステップがある。**4.2.2 項**の生産要件を各フェーズに当てはめると、生産要件を開発へ提案しているフェーズと提案した割合を**表４**に示す。フェーズ１の要件提案率 24 % に対して、フェーズ 2-1 と 2-2 の要件提案率 76 % と多いため、従前の業務フローは、後半で生産要件を提案している。また、フェーズ 2-1 で提案した要件はフェーズ 2-2 で対策反映されるため、机上評価に比べ実機評価で確認することが多い。そして、対策が不十分な場合にフェーズ 2-2 で構造変更を要求するが、机上評価のフェーズに比べて設計の自由度が低下するため、作業工数を抑制する構造提案の妨げになる。そこで開発初期段階で生産要件を提示できる新たな業務フロー案を**表５**で示す。生産要件をフェーズ０で提案し、開発初期段階で開発が生産要件を守った作り込みができれば、メインラインで工数が増えない車両レイアウト、部品構造、及び設計手戻りの未然防止へとつながり、開発部門と生産部門ともにメリットのある提案となる。したがって、**表５**のフローを実施することが「工数を増やさない仕組み作り」の解決策になる。しかし、一方的に生産要件を開発部門へ提示しても、開発自由度が阻害される恐れがあるため、本活動を開発部門側の「コンポーネント統合」と生産要件を統合して活動へ発展することにした。

表４　現状の業務フロー

フェーズ	開発 業務フロー	生産 業務フロー	生産要件 提案率
0	車両/部品構想	—	0%
1	車両情報展開	変化点評価	24%
2-1	机上評価	変化点評価	52%
2-2	実機評価（試作）	変化点評価	24%
3	実機評価（生産ライン）	変化点評価	0%

表５　新たな業務フローの提案

フェーズ	開発 業務フロー	生産 業務フロー	生産要件 提案率
0	コンポーネント統合	生産要件	100%
1	車両情報展開	変化点評価	0%
2-1	机上評価	変化点評価	0%
2-2	実機評価（試作）	変化点評価	0%
3	実機評価（生産ライン）	変化点評価	0%

4.3　効果

過去のモデルチェンジで生産部門が指摘した不具合件数 70 件をサンプルに、**表５**で示すフローを実施した時の効果を検証した。指摘不具合 70 件を**表３**に示す３つの要件に分類し、それらがフェーズ０時点で開発部門へ要件提案できるかを確認した。**図９**で示すとおり、45 件が事前に要件化し開発部門へ提案できる内容であり、フェーズ１以降の不具合指摘件数の削減効果が見込まれる。これは開発部門、生産部門の双方にメリットが見込めるため、**表５**で示すフローは有効だと考える。

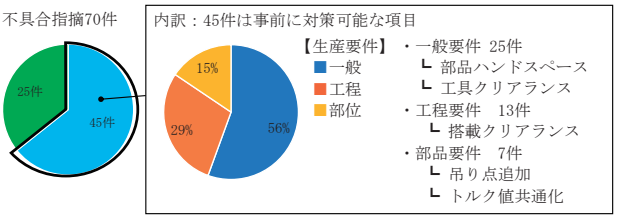


図９　事前に対策可能な項目

4.4　今後の活動

本章では「モデルチェンジで生産ラインの工数を増やさない仕組みづくり」として、生産要件を開発初期段階で提示、生産要件を先取りした開発を実施することで、モデルチェンジで工数を増やさない仕組みの構築について述べた。現在、開発部門の「コンポーネント統合」の情報と生産情報を統合すべく、開発部門と生産部門のお互いの情報展開、及び共有化を推進している。そして、統合した情報を使いやすいツールとして構築するために、今後の課題はベースツールを構築し、お互いの業務フローに合せた見やすく探しやすいフォーマットの構築、精度向上、及びその維持管理のため、更なる業務連携を進めていく。

5　あとがき

今後は自動運転モビリティ化等、車社会は大きく変化し、そこに対応させる機能技術は更に複雑になって行く。そんな大きな変革期に、お客様の数多くの要求に確実に応える「選ばれる会社」「選ばれる工場」になるためには開発・生産部門がしっかりと融合して行くことが、最良の施策である。

融合により工数増、複雑な設備対応等、さまざまな問題を早期解決し、対処を可能とし、今後生みだす新型車の計画的な供給へとつながる。

「コンポーネント統合」で今後いすゞの車作りを大きく変えたい。

最後に、新型エルフ・フォワードの開発・生産準備・立ち上げ・そしてこの執筆に協力いただいた関係者に心から感謝の意を表し、本稿の結びとする。

著　者


畠田　進佑


菊田　了介


高市　壮太


植木　裕介


牧嶋　翔士

◇いすゞ歴史の一こま



TX30型トラック（3t）後輪Wタイヤ（1952年ごろ）

新型ISIMのアプセッタを活用した中空鍛造工法の確立について

Establishment of Hollow Forging Method Using New ISIM Upsetter

宮川　和也*
Kazuya Miyagawa

要　旨

いすゞは、新型9速AMT(Automated Manual Transmission)多段変速機である「ISIM（アイシム：Isuzu Smooth Intelligent TransMission)」を開発した。トランスミッション部品の内製化を積極的に推進し、中空部品であるギヤカウンタフローティング(以下、「本部品」と称す)の鍛造化により、外製コスト比-57 %の低減を達成した。アプセッタを用いた新工法で中空鍛造を行い、量産化することができた。本稿では、アプセッタ工法の工程設計及び工法開発について紹介をする。

Abstract

Isuzu has developed a new nine-speed Automated Manual Transmission "ISIM (Isuzu Smooth Intelligent TransMission)" multistage transmission. We have actively promoted the in-house production of transmission components and achieved a -57% reduction in the external production cost by forging hollow gear counter floats. The hollow forging was carried out by a new method using an upsetter, and it was possible to mass-produce it. This paper introduces the process design and method development of the upsetter method.

1　はじめに

本部品は、**図1**のように中空形状及び凹凸形状であることから、中空化しない従前工法を採用すると、材料歩留まり・加工取り代アップ・コストアップが予測された。そこで既存設備と既存技術の流用と、コストダウンを可能にする工程設計が必要となる。中空化に必要な深孔成形技術は保有していたが、カウンタシャフトのようなシャフト中央部に凸形状を成形する鍛造工法と組合せた工法は確立されていない。今回はコストメリットもあるアプセッタ工法を確立したことで、粗材内製化を獲得することができた。

2　工程比較・対象粗材・鍛造工程概要

2.1　工程比較

鍛造工法は大きく分けて4種類の工法があり、各工法を比較して最適な工法の検討を行った。各工法別の比較表を**表1**に示す。アプセッタ工法は、工法上2方向から成形が可能である。また、軸方向に圧縮する成形法でもあり、端面あるいは中間部に膨らみのある形状と貫通孔の成形に適した工程であることから、加工取り代の削減に有効なアプセッタ工法を採用した。

表1　工法別比較

工法	コスト	肉盗み	孔成形	取り代	粗重	選定
アプセッタ	○	○	○	○	○	○
摩擦圧接	×	×	○	×	×	−
縦打ち	○	×	○	×	×	−
横打ち	○	○	×	×	×	−

○：優　×：劣

工法別の粗材形状について**図1**に示す。工法により、粗材形状が異なりハッチング部はアプセッタ形状以外、増肉となり、加工取り代が多く歩留まりが悪いことがわかる。

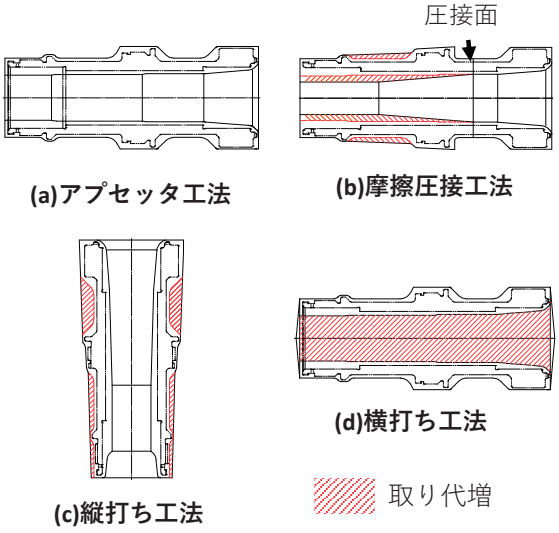
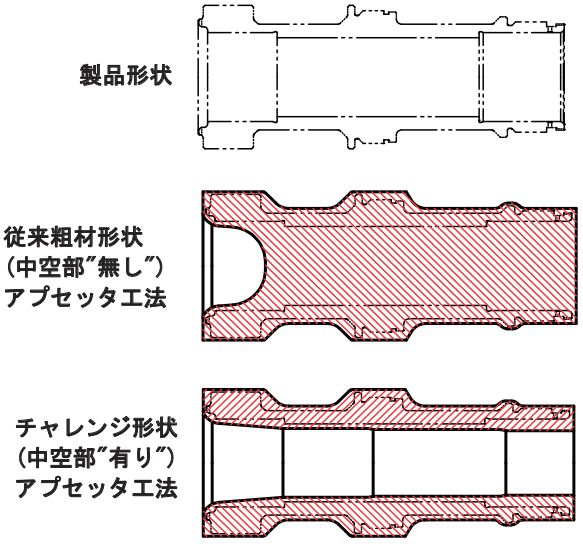


図1　工法別粗材形状

*要素技術部

2.2 対象粗材

図 2 に対象粗材であるアプセッタ工法を用いた粗材形状を示す。製品形状に対して、アプセッタ工法を従来どおり加工取り代をつけると先端部の一部のみ肉盗みを行う鍛造形状となる。本部品では、中空形状のアプセッタ工法にて製品立上げを行った。



粗材重量:5.18kg、材質:SCM420H
全長:L209.5mm、内径:Min φ35.6mm

図 2　ギヤカウンタフローティング鍛造粗材形状

2.3 鍛造工程概要

型打ち工程・各工程形状について図 3、金型配置について図 4 へ示す。アプセッタ工法は、搬送は全て作業者による手搬送で行う。工程数が全 6 工程ありダイホルダに金型を 6 工程分セットすることで、1 ストロークに対して 1 工程成形される。切断された材料をインダクションヒータで約 1180 ℃まで加熱を行う。型打ち工程について次の①～⑥に示す。

① セギリ（長手方向に体積配分のために溝をつける）
② セギリ（更に 90° 回転して再度セギリを実施）
③ 第 1 据込（据込を行うことで Vol. 配分を実施）
④ 第 2 据込（内径部の第 1 中空成形）
⑤ 第 3 据込（内径部の第 2 中空成形）
⑥ 深孔抜き（ワークと不要なバリを切離す）

各工程の長手寸法調整は、0.5 mm ごとのシム調整が可能であり、金型と材料の体積をほぼ同等の値でないと余分な材料が端面または金型分割面に不要なばりとして発生するため、鍛造後のばり除去による工数増となることから鍛造条件管理が必須となる。

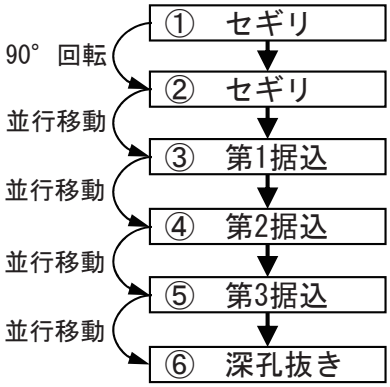


図 3　型打ち工程

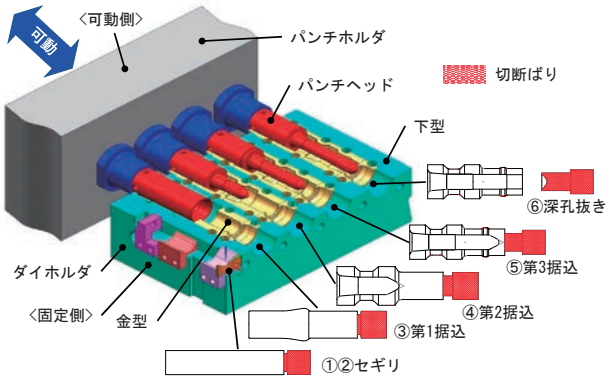


図 4　金型配置・工程別形状

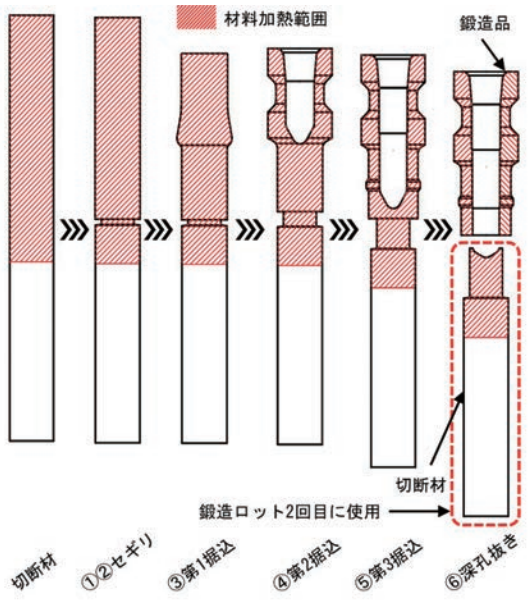
3　工法開発

3.1 材料歩留まり向上による長尺化

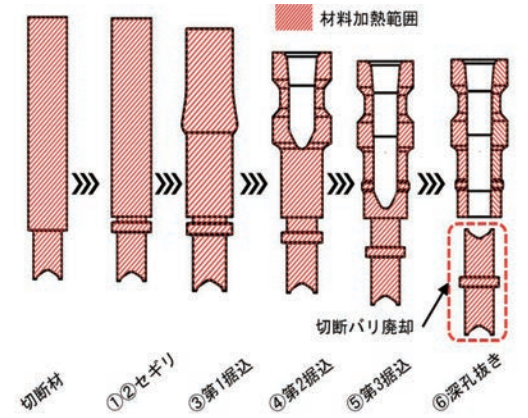
材料歩留まり向上によるコストダウンを目的とし、従前より材料長さを延長し 1 本の材料から 2 個の鍛造品を造る工法をトライした。材料長さ別の歩留まり比較を表 2 に示す。短尺材を長尺材にすることで約 16 %歩留まりが向上する。長尺材を採用した鍛造工程を図 5 に示す。長尺材は、1 回目の鍛造ロット（7.5” アプセッタライン）で深孔抜きにより、切断工程を必要とせずに鍛造品と切断材を切離す［図 5（a)］。2 回目の鍛造ロット（4.5” アプセッタライン）で切離した切断材を再び加熱・成形、深孔抜きにより不要なばりを廃却する工法を開発した［図 5（b)］。ただし、本工法は作業性がネックとなることからバックアップ工法とした。

表 2　材料長さ別の歩留まり比較

	短尺材(4.5UP)	長尺材(7.5UP)
鋼材長さ	340mm	552mm
粗材重量	5.18kg	5.18kg
切断重量	7.10kg/ヶ	12.25kg/2ヶ
歩留まり	73.0%	84.6%



(a) 鍛造ロット1回目（7.5”アプセッタ）



(b) 鍛造ロット2回目（4.5”アプセッタ）

図５　長尺材を採用したバックアップ鍛造工法

3.2 深孔抜きによる鍛造時のフレ抑制

本部品では、**図6**のように試作型での鍛造トライ時に、金型とパンチヘッドの芯ズレが発生し内径部の偏芯量が大きくなった。従来工法のダイホルダ［**図７ (a)**］ではレイアウト上、偏芯抑制金型を全工程に配置できないため、新規にダイホルダを設計し工法開発を行った。偏芯抑制金型を配置したダイホルダを［**図７ (b)**］に示す。

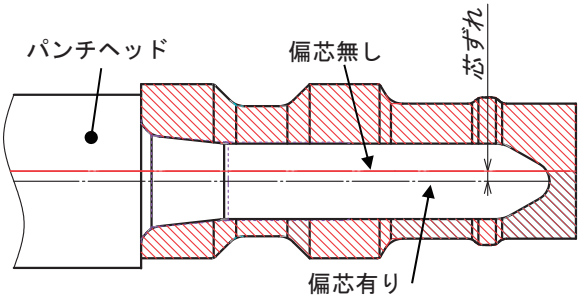


図６　中抜き成形時による芯ずれ

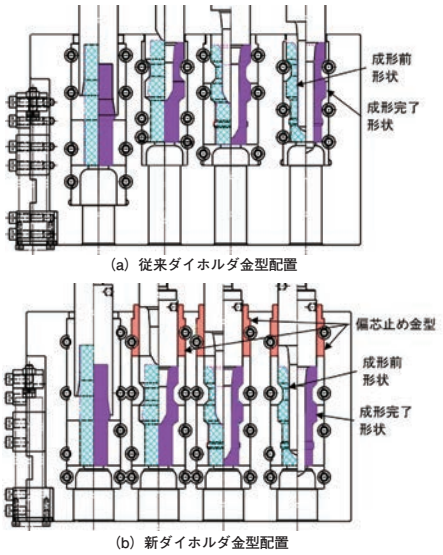


図７　金型配置

深孔抜き偏芯止めによる偏芯量への影響について**図８**に示す。第２据込工程～深孔抜き工程に偏芯抑制金型を配置することで、内径部の偏芯量がMax.3.03に対してMax.0.48に良化した。

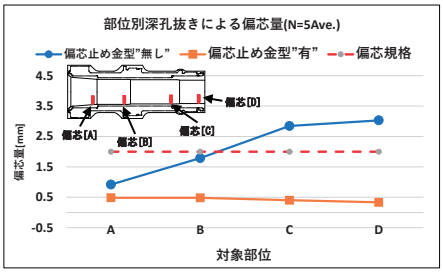


図８　深孔抜き偏芯止めによる偏芯量への影響

4　おわりに

アプセッタを活用した中空鍛造工法を活用して量産化することができた。今後、電動化による軽量化が予想されることから鍛造粗材において中空成形技術等の工法開発を行い、新技術の習得並びに競争力強化に努めていきたい。最後に、本工法での量産立上げ準備に関して鍛造課、検査課、購買部門（鍛造技術 OB）、その他関係者各位に対し、誌面を借りて深く感謝の意を表する。

著　　者



宮川　和也

新型 ISIM 組立時の検査方法について

Inspection Method of New ISIM

秋山　良平*
Ryohei Akiyama

要　旨

新型エルフに採用されたAMT（Automated Manual Transmission）のISIM（アイシム：ISUZU Smooth Intelligent TransMission）は従前機の6段から9段変速へと多段化、更にデュアルクラッチを採用した。これらの新機構により、組立、品質保証に新たな対応が必要となる。

ISIMの量産化にあたり、組立て時の検査について新たな方法の導入と取組みを紹介する。

Abstract

The ISIM used in the New ELF has increased the number of speed gears from 6 to 9, and a dual clutch has been adopted. Due to the adoption of the new mechanism, a new method for quality assurance is also required. This paper reports on the introduction and efforts of new methods for inspection methods during assembly.

1　はじめに

環境性能向上と低騒音化による運転疲労軽減を目的に、新型エルフではトランスミッション（以下、「T/M」と称す）を刷新し、9速デュアルクラッチトランスミッション（以下、「DCT」と略す）を採用した。いすゞ初の機構により部品点数は従前機の約1.5倍へ増加、内部構造もより複雑化した。このためT/M完成状態の動作試験時にT/M内部の不具合が判明すると、原因調査、不具合修正の作業も従前機に比べ複雑となる。完成後に発覚する内部の不具合を防止することは重要であり、新型ISIMではサブ工程後に検査工程を設け、T/M内部の機能部位ごとに品質を保証する組立ラインを構築している。

本稿では、新型ISIMの量産時における、サブ工程後の検査工程について新たな方法を導入し、検査工程で得られたデータをもとにオートマチックトランスミッションフルード（以下、「ATF」と略す）の量を統計手法を用いて保証する取組みを紹介する。

2　ISIMの組立工程と品質保証

ISIMの組立ては機能部位をユニットに分け組立てる。**図1**にISIMの組立ラインの構成を示す。

① クラッチハウジング（以下、「HSG」と略す）サブ工程:HSGにベアリング等を圧入する。
② ギアシフトユニット（以下、「GSU」と略す）サブ工程:GSUを組立てる。
③ オイルポンプサブ工程：クラッチ及びGSUの作動圧力発生用のオイルポンプユニットを組立てる。
④ ギヤサブ工程:変速用ギアユニットを組立てる。
⑤ DCTサブ工程：1～4にて組立てたユニットをHSGへ組付け、変速、クラッチ動作に必要な油圧回路の組立てを完成させる。
⑥ ギヤ部を覆うケースを被せ、外装部品を組付ける。

GSUサブ及びオイルポンプサブ工程については組立て後にユニット単体での動作が可能であり、組立て後の性能をテスト装置にて確認し、DCTサブの工程に持込む。DCTサブで組付けられた各ユニットを総合的に動作確認のためテストを行う。ファイナルテストでは出荷前の最終試験を行う。

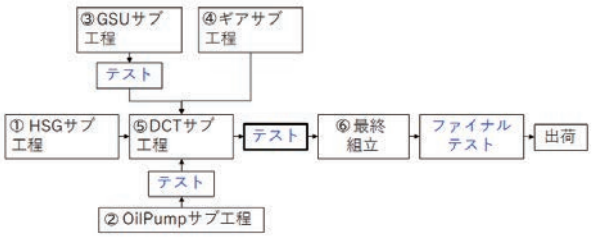


図1　ISIMの組立工程概略図

* PT技術部

3　DCT サブ工程のテスト方法

DCT テスト以外の検査工程については従前機に対し、ISIM で多少の変更があるものの、従前と同様の方法でテストが可能であった。一方で ISIM 特有の工程である DCT サブ工程後のテストでは次の①～③の課題があった。

課題① テスト時のワークの姿勢は車両搭載状態を模擬すること。
課題② 工程の都合上、ギヤ部が露出した状態でテストすること。
課題③ 車両状態と同様のクラッチ動作、GSU の制御をすること。

これらの、課題を解決するために、次の解決策１～3を反映した設備を導入した。その概略図を**図２**に示す。

解決策①:直立状態（**図２（1）**）で投入したワークを 90 度回転（**図２（3）**）させる機構を設備に設けた。
解決策②:ギヤ部が露出した状態であるため、ギヤ部を治具にて保持し、テスト中の分解を防止する（**図２（2）**）。
解決策③:テスト時に必要なクラッチ、及び GSU の油路切替用ソレノイドバルブは市販のプログラマブルロジックコントローラ（以下、「PLC」と略す）で制御を行う。

また、クラッチ及び GSU のテストにはワークへ油圧を与える必要があるため、テスト前には**図２（4）**より ATF をワークに給油し、**図２（5）**のモータで油圧発生に必要なオイルポンプを駆動、油圧を発生させる。

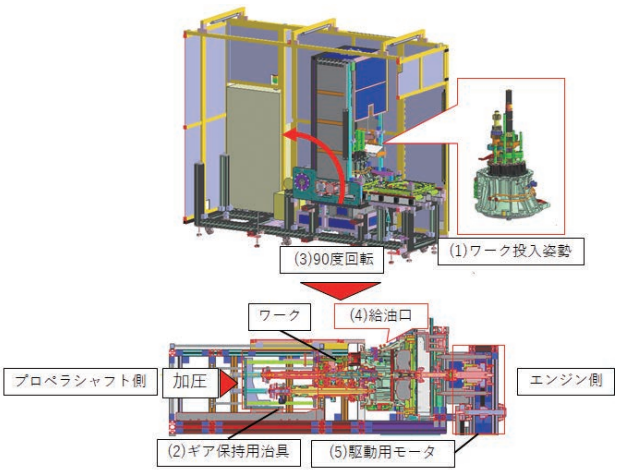


図２　テスト装置概略図

4　テスト内容

テストはオイルポンプを駆動させ、発生した油圧によりワークの機械部位の動作確認を行うことが目的である。主なテスト内容は次の①～③のとおりである。

① 組立時に形成した油路に、適切な作動油圧が発生し、目標の圧力に調圧されていること。
② 発生した油圧により奇数段クラッチ、偶数段クラッチ及びロックアップクラッチからの駆動力の伝達を確認すること。
③ GSU が変速時に適切なストロークで動作していることを確認すること。

これらのテスト内容について良否判定を行うために、回転センサ、油圧センサからの数値パラメータを取得し、**表１**に示す良否を判定する。

表１　検査項目

	検査項目	検査内容
①	ATF圧力[MPa]	オイルポンプ吐出圧のOK/NGの判定
②	トルク[N・m]	回転抵抗増大によるNG検出
③	タービン回転数[rpm]	ロックアップクラッチ作動時の駆動伝達の確認
④	奇数段回転数[rpm]	奇数段クラッチ作動時の駆動伝達の確認
⑤	偶数段回転数[rpm]	偶数段クラッチ作動時の駆動伝達の確認

5　ATF 給油量に関する課題

DCT サブ工程で組付けられる、GSU、オイルポンプ、及びフルードカップリングは、ユニット単体のテスト時に ATF を用い、テスト後ユニットから排出する。しかし、排出を手作業で行うことから各ユニットには少量の ATF が残留し、その量の管理が困難であったため、組立後に給油する ATF と残留した ATF を合計した量のばらつきが課題であった。

現状、ATF 量を検査員が油面測定しており、設備側による直接の検出ができていない。そのため、テスト時に得た数値データと ATF 量の相関関係を調査し、ATF 量の検出ができないか検討を行った。

6　ATF 量と検査データの関係

ワーク内部の ATF 量と検査結果の相関を確認するため、ワークへの給油量を 0.5 L ごとに変化させ、0.0 L、0.5 L、1.0 L…と各給油量において試験を行い**表１**に示す 5 種の検査項目について、検査開始時点から 30 秒間に 100 m sec のサンプリング周期で各検査項目のデータを取得した。

7　調査結果

調査で得た 30 秒間で 300 点のデータについて、算術平均を行い、**図 3～図 6** に示す。その結果駆動部品の回転には、クラッチによる駆動の伝達が無い状態においても、ATF 量の増加に伴い、粘性による回転数の増加傾向がみられた。**図 3** の検出トルクでは、ある量まで給油すると、モータ負荷の変化が一定となり、その後は変化が見られない。**図 4** のタービン回転数も同様に、ある量まで給油した後は変化が見られなくなる。一方で、**図 5** の奇数段回転数は ATF 給油量の増加に伴い、回転数の上昇がみられ、**図 6** 偶数段回転数については給油量増加に伴う回転数は二次曲線の傾向がみられた。これらのことから、内部の ATF 量の違いにより伝達できる回転数とモータが受ける負荷が異なることと、ATF の粘性により伝達できる回転数が異なるのがわかった。

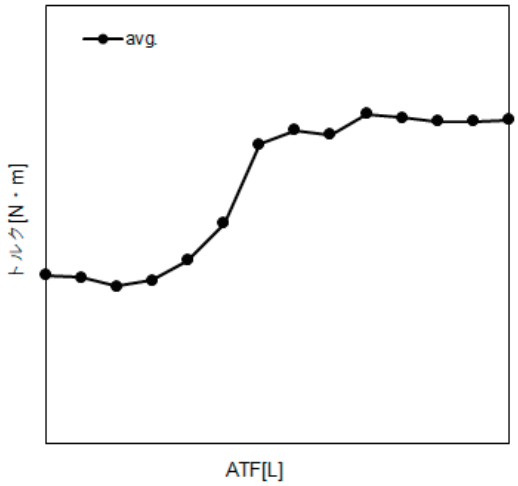


図 3　ATF 量と回転トルクの関係

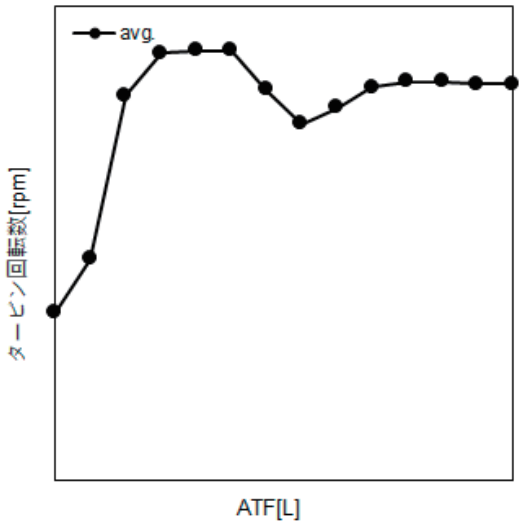


図 4　ATF 量とタービン回転数の関係

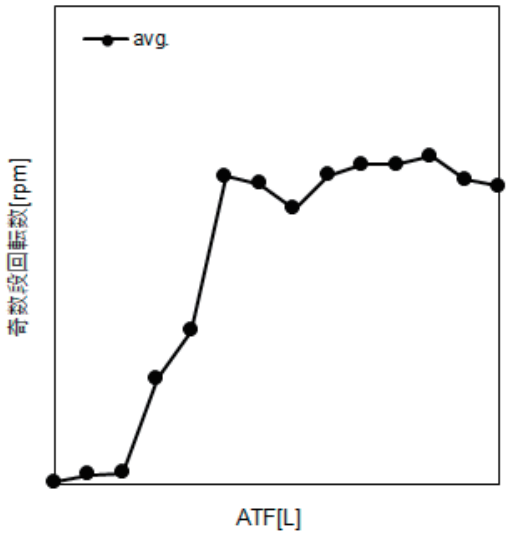


図 5　ATF 量と奇数段回転数の関係

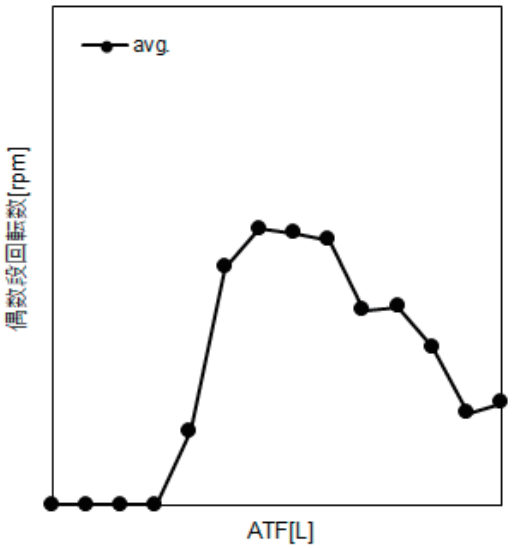


図 6　ATF 量と偶数回転数の関係

8　重回帰分析によるモデル式の導出

調査で得た数値データを元に、給油した ATF 量と各検査結果との関係について、多変量重回帰分析を行い、**モデル式（1）**を得た。説明変数として**表 2** に示す 5 つの検査結果から、目的変数として ATF 給油量を設定した。その結果、重相関係数は 0.986 となり高い相関が得ることができたため、今回のモデル式は統計的に妥当と判断できる。

表 2　重回帰分析結果とモデル式（1）

	目的変数名	重相関係数	寄与率R^2	R*^2	R**^2	
	油量	0.986	0.971	0.964	0.957	
		残差自由度	残差標準偏差			
		19	0.375			
vNo	説明変数名	分散比	P値（上側）	偏回帰係数	標準偏回帰	トレランス
0	定数項	4.9568	0.038	-1.069		
2	サーボ負荷	5.3263	0.032	0.049	0.235	0.145
3	ライン圧	16.5589	0.001	2.219	0.535	0.087
4	ﾀｰﾋﾞﾝ回転数	1.6845	0.210	0.002	0.070	0.524
5	奇数段回転数	32.8685	0.000	0.009	0.630	0.125
6	偶数段回転数	54.1302	0.000	-0.009	-0.517	0.305

		定数項	サーボ負荷	ライン圧	ﾀｰﾋﾞﾝ回転数	奇数段回転数	偶数段回転数
回帰式	Y=	-1.069	+0.049 X2	+2.219 X3	+0.002 X4	+0.009 X5	-0.009 X6

（1）

9　おわりに

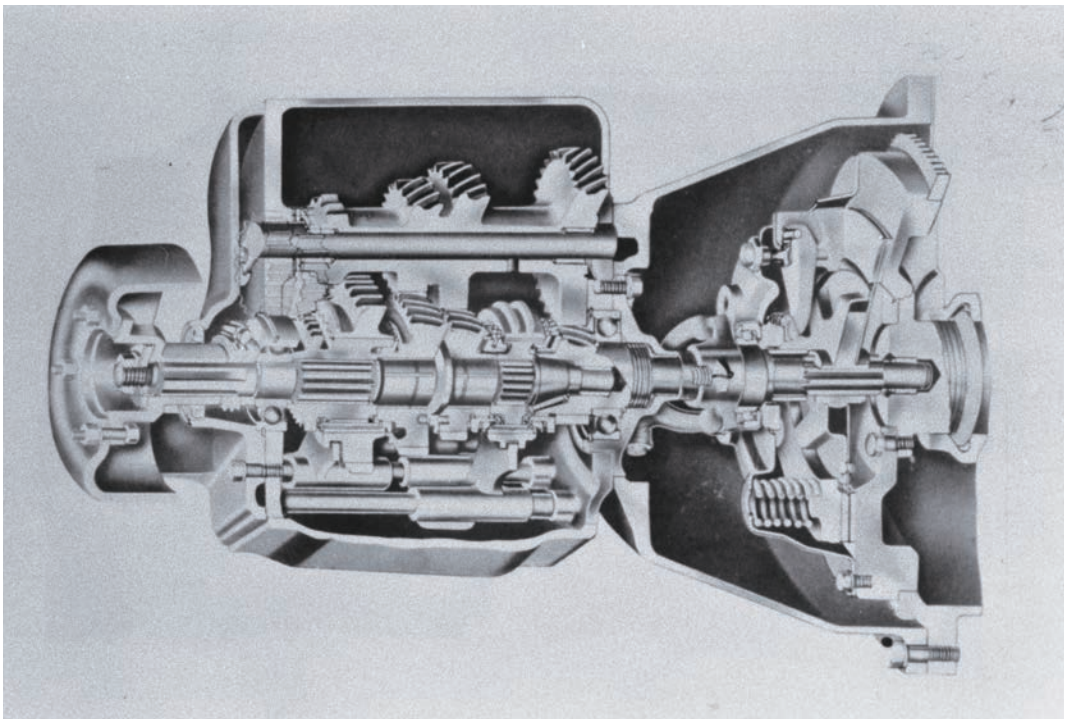
ISIM の量産に伴い、新たな検査方法を導入し、量産工法を立ち上げ時に課題となった ATF 量のばらつきと、その検出についての取組みを紹介した。今後は設備内で ATF 量増減の検出を可能とするため、重回帰分析によるモデル式の妥当性について十分に検証を行い、検査プログラムへ実装を行う。現状、ATF 量は出荷前に検査員によりレベルゲージで油面を測定し、保証をしている。今後は、より早期に ATF 量の保証が可能となるよう、前述したテスト工程内で給油量管理手法が確立できるよう検討を進めていく。

著　者



秋山　良平

◇いすゞ歴史の一こま



初代エルフ エルフィン用　トランスミッション断面（1961 年ごろ）

新型エルフ EV の電動システム概要について

Overview of the Electric System of New ELF EV

池田　勇太*
Yuuta Ikeda

宮川　仁*
Hitoshi Miyagawa

要　旨

17 年ぶりにフルモデルチェンジした新型エルフ。新たにエルフ EV（電気自動車：Electric Vehicle）をラインナップに加え、いすゞ史上初めての量産車として販売を開始したエポックメイキングな車両である。その代表的な特徴と主要部品であるバッテリー並びにモータ等に関する概要を本稿で示す。

Abstract

The New ELF has undergone a full model change for the first time in 17 years. It is an epoch-making vehicle that has added the ELF EV to its lineup and started selling it as a mass-produced vehicle for the first time in Isuzu's history. This article provides an overview of its typical features and main components such as batteries and motors.

1　はじめに

EV は、地球温暖化の抑制を目指す国際的な取決め、特にパリ協定、カーボンニュートラル化への期待に応える重要な役割を占めている。これは、二酸化炭素（CO_2）排出削減が重要視されており、自動車産業はその実現に向けた努力を強いられている。2015 年に採択したパリ協定は、気候変動問題に関する国際的な枠組みで、世界の平均気温上昇を 2 ℃未満に抑えることを目指した。更に、カーボンニュートラルの概念は、温室効果ガスの排出を実質的にゼロにすることにあり、これらの目標の達成には、EV の普及が重要な手段となる。

現在、日本政府は環境に配慮した持続可能な社会の実現を目指し、自動車産業に対して EV の普及を奨励している。普及の推進には、政府がさまざまな経済・税制上の措置と補助金制度を設けただけでなく、地方自治体も独自に取組み、充電インフラの整備と EV の導入支援を進めている。

自動車メーカーも、EV の普及に向け積極的に取組み、EV 専用モデルの開発に注力し、航続距離の延長、充電時間の短縮など、性能及び利便性の向上に努めている。更に、従前の内燃機関に比べ CO_2 を直接排出しない EV の普及を推進することで、環境負荷を軽減し、持続可能なビジネスモデルの確立にも取組んでいる。また、一部の自動車メーカーは、環境に配慮した取組みを公約として掲げ、 社会的な責任を果たす姿勢を示している。

しかしながら、依然として課題が残っているのも事実である。EV の低価格化、充電インフラの整備、航続距離、及び充電時間の不安、更には電力の供給源に再生可能エネルギーの比率向上などが挙げられる。これらの課題解決には、産学官民が連携し、持続可能な社会の実現に向けた取組みを進めていくことが重要である。

本稿では、17 年ぶりに行ったエルフのフルモデルチェンジに合せ、走行中の温室効果ガスをゼロにするエルフ EV の電動システム構成とバッテリー、モータ等の特徴について焦点を当てて解説する。

2　電動システム構成概要

図 1 に電動システムの構成概略図を示す。シャシ及びキャブは ICE（内燃機関：Internal Combustion Engine）車両と共有している。ICE のスペースには、J/B（ジャンクションボックス：Junction Box）、DCDC12（12 V 変圧機：DC-DC Converter 12 V）、DCDC24（24 V 変圧機 DC-DC Converter 24 V）、OBC（車載充電器：On Board Charger）等の高電圧機器を配置し、フレーム中央並びにフレーム両サイドにバッテリーを配置した。バッテリーは W/B（車軸間距離：Wheel Base）と GVW（車両総重量：Gross Vehicle Weight）の違いにより搭載個数を変えている。モータは車両後方に配置し、プロペラシャフトを介し既存のデファレンシャルギヤに接続している。

電力は HV（高電圧：High Voltage）でバッテリーから J/B に集約し、J/B からインバータ及び電動補機等の HV 機器に分配する構成である。J/B は商用車の特徴である多くの車型展開に対応するため、搭載バッテリーの個数、DCDC24、電動架装及び電動 PTO（パ

* xEV システム開発第一部

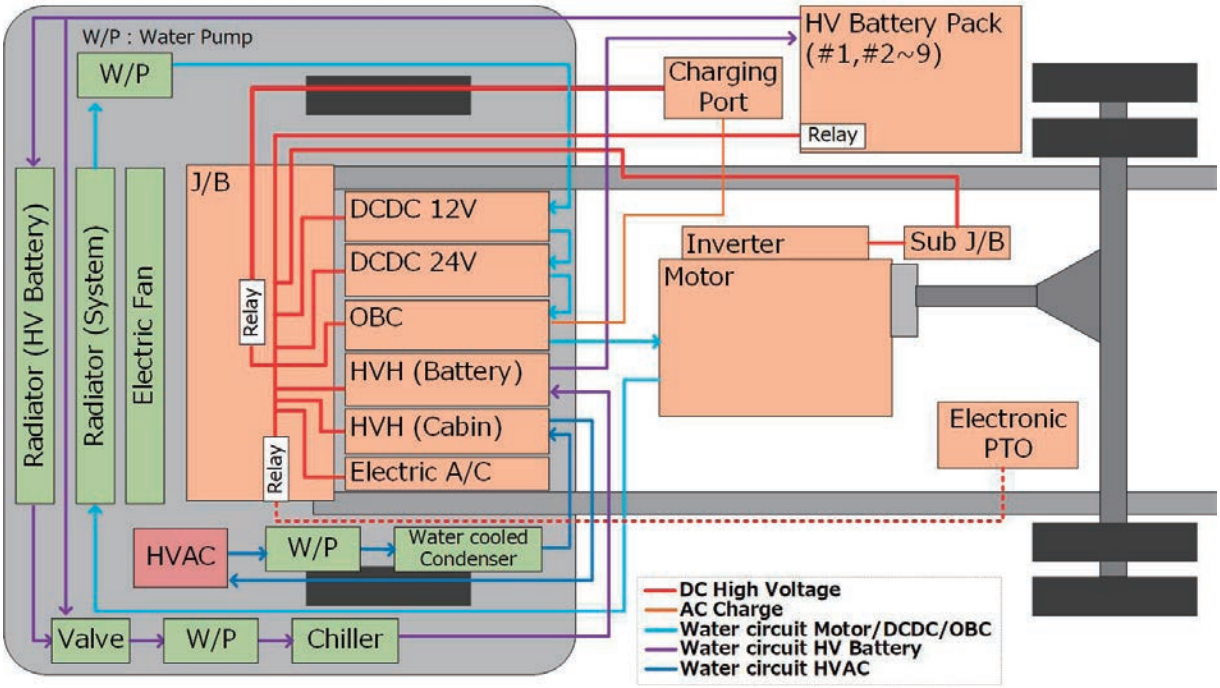


図 1　電動システムの構成概略図

ワーテイクオフ：Power Take Off)、OBC の搭載要否に応じて HV 機器の接続数を変更できるフレキシブルな設計となっている。なお HV の電圧は 350 V システムを採用し、制御電源電圧は 12 V となる。また、24 V 仕様は架装への電力供給及び一部車型に搭載している電動冷却ファン付きを除いて存在しない。

従来の ICE で担っていた制御電源供給、冷房、暖房については、代替として、それぞれ DCDC12、電動 A/C（エアーコンプレッサ：Air Compressor)、HVH（高電圧ヒータ：High Voltage Heater）の HV 機器を搭載した。HVH は 2 つ存在し、1 つはキャブの暖房用で、もう 1 つは、バッテリー加温用となり、キャブの暖房は電費向上を目的に HVH とヒートポンプ方式を併用している。OBC はバッテリーを充電用の機器で、充電口とつながっている。充電口はドライバのアクセス性を考慮して、車両右側に設置した。

新型エルフ EV の冷却水回路は 3 経路存在し、主にモータの冷却回路・キャブ暖房用回路・バッテリー冷暖用回路である。特にバッテリー冷暖用回路はバッテリーの特性（高温環境下では劣化しやすく、低温環境下では出力が制限される）からバッテリー温度が高温時に冷却、低温時に暖機として使用する。冷却と暖機の、切替え時に必要となるバルブを設置し、バッテリーの温度を最適に管理する。バッテリーの冷却は通常冷却水で行うが、高負荷走行等でバッテリーの温度が高温になる場合は、キャブ冷房用の冷媒を併用し冷却能力を高める回路としている。

3　バッテリーシステム

表 1 にバッテリーパックの仕様を示す。新型エルフ EV のバッテリーセルは LGES 社製で円筒型の三元系正極材（以下、「NMC」と称す）を採用。搭載バッテリーパックは、W/B 違いにより変化するスペースを最大限生かすため、小型バッテリーパックを開発し、W/B に応じて搭載バッテリーパック数を可変とする、マルチパックシステムを同時に開発した。小型バッテリーパックは W/B 違いによる対応は効果的ではあるが、反面、ブラケット類の取付けにより無駄なスペースが増加し、電池搭載容量が悪くなりやすい。その点は、バッテリーパックの体積効率を向上させることにより、他社同等の搭載容量を達成した。

BMS（バッテリーマネジメントシステム：Battery Management System）の構成は、バッテリーパック内部のパック内 BMS（以下、「P_BMS」と略す）と、それらの状態を管理・制御するマスター BMS（以下、「M_BMS」と略す）がある。P_BMS は搭載バッテリーパックと同じ数があるが、M_BMS は車両につき 1 ユニットで J/B 内に設置した。この M_BMS と P_BMS の構成により、いずれのバッテリーパックに異常が発生しても、そのバッテリーパックのみを切離すことにより、残りの正常なバッテリーパックで走行を維持することを可能にした。これは商用車として稼動を担保するために考えた車両制御システムの一つである。また、M_BMS が並列に接続している複数のバッテリーパックを制御して、充電量のバランスを保っているのもマルチパックシステムの特徴である。

表1　バッテリーパック仕様

項目	値
	
バッテリーパック	
型式	RCC22
方式	リチウムイオンバッテリー
セル種別	円筒型/NMC
セル電圧	3.69V
セル容量	4.93Ah
パック定格電圧	354.2V
パック定格容量	22.25kWh
パック重量	173kg
筐体寸法	700(L)×401(W)×425.5(H)mm
冷却方式	水冷

表2　モータ仕様

項目		値
		
機電一体化システム		
型式		HP11
方式		誘導モータ
出力	最大	150kW
	定格	85kW
トルク	最大	370Nm
	定格	200Nm
最高回転数		13,000rpm *モータ回転数
ギヤ比		3.951
定格電圧		350V
冷却方式		水冷+油冷 *油冷は内部完結

4　モータシステム

表2にモータの仕様を示す。新型エルフEVのモータシステムは、ZF社製で誘導モータにインバータと減速ギヤボックスが一体となった機電一体化構造になっており、これを車両の中央に置くセンタドライブ方式を採用した。利点は、デファレンシャルギヤをICE車両と共通化でき、ギヤ比の変更で動力性能を調整できることにあるが、モータをフレーム中央に配置しなければならず、バッテリーの搭載スペースに制限を受ける。これらを考慮したうえで、幅広い車型・GVWのバリエーション展開に対応した動力性能の確保、並びにバッテリーを含めた多種多様な組合せに対応できる、この方式を採用した。なお、W/B違いによるモータ搭載位置の差はプロペラシャフトの長さ違いを設定することで調整している。また、商用車の使われ方を考慮し、パーキングロック機能がついているのも特徴である。

図2にモータの最大出力・トルク特性を示す。なお、車両の最大出力は、電費と使い勝手の良さを両立するために、車型・GVWごとに仕様を分け、3.5t未満は90kW、3.5t～5.0tは110kW、7.0t以上は150kWで、同車格のICEと同等以上としている。

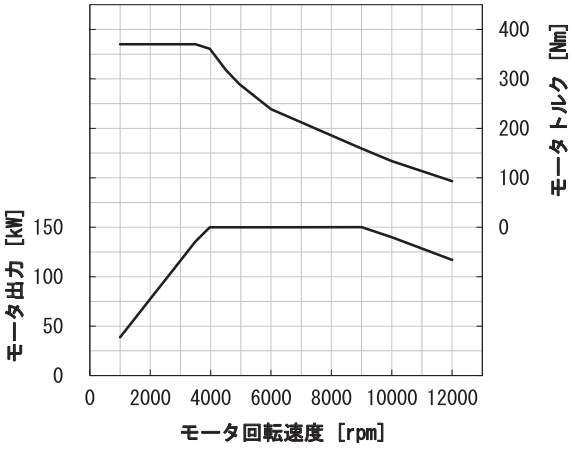


図2　モータ最大出力・トルク特性

5　充電システム

EVの充電は車両単体で完結できず、電源網等のインフラの整備が重要になる。インフラに関しては、IEC(国際電気標準会議:International Electrotechnical Commission)が中心となり世界的な規格標準化活動を推進している。現在、EVの充電方式はコンダクティブ、ワイヤレス、交換式の3つに大別されており、新型エルフEVは最も市場で普及している充電方法であるコンダクティブ方式を採用した。コンダクティブ充電はIEC61851-1の規格標準にしたがいMODE2～4に対応している(事実上市場普及してないMODE1は除いた)。MODE2、3はAC充電、MODE4はDC充

電であり、**表 3** にエルフ EV の各仕向地に応じた充電方式並びに充電スペックをまとめた。

表 3　仕向地ごとのエルフ EV 充電方式及び充電電力

		DOM	US	EU
AC 充電	充電方式	IEC61851-1		
		Type1 		Type2 
	充電電力	6kW	19kW	6kW
DC 充電	充電方式	IEC61851-23		
		CHAdeMO 	CCS1 	CCS2 
	充電電力	50kW	80kW	80kW

AC 充電は OBC を介し、交流を直流に相変換して充電する。**表 4** に OBC の仕様を示す。LG MAGNA 社製で定格出力 6.6 kW であるとともに、並列接続（最大 3 個）が可能な構成にした。このため、インフラ制約が少ない US（米国）仕向けに関しては 3 並列で搭載し約 19 kW=（6.6*3）の出力を確保している。

DC 充電は、DOM（国内）、US、EU（欧州）それぞれの、国及び地域において普及している規格が異なり、仕向地に応じて最適な充電方式を採用した。DOM は IEC61851-23 System A（互換：CHAdeMO）に準拠し、US 及び EU に関しては、System C に対応し、それぞれ CCS1、CCS2 としている。なお、DOM の CHAdeMO に関しては EVPOSSA（電動車両用電源供給システム協議会：Electric Vehicle Power Supply System Assaciation）により発行された充放電システムガイドライン V2L にしたがうことで外部給電にも対応した。

表 4　OBC 仕様

項目		値
出力		6.6kW
	電圧/電流	240～450Vdc / ≦25Adc
変換効率		≧92%
入力	電圧/電流	85～265Vac / 6～32Aac
	周波数	50～60Hz
筐体寸法		350(L)×220(W)×90(H)mm

6　制御システム

図 3 に新型エルフ EV の通信アーキテクチャを示す。通信アーキテクチャは、バッテリー、モータ等の HV 機器を制御する EV システム側とドライバ要求及び車両状態等を制御する車両側に大別され、EV システム側の制御は VCU（車両コントロールユニット：Vehicle Control Unit）がメイン ECU（電子コントロールユニット：Electric Control Unit）として働き、その下位に各ユニットを配置する構成となる。VCU の主な役割は下位ユニットの状態監視と CGW（セントラルゲートウェイ：Central Gateway）からの車両指示に基づいて、下位ユニットへの制御指示である。制御指示を行ううえで VCU における重要な制御は電力マネージメント・駆動トルク制御などである。

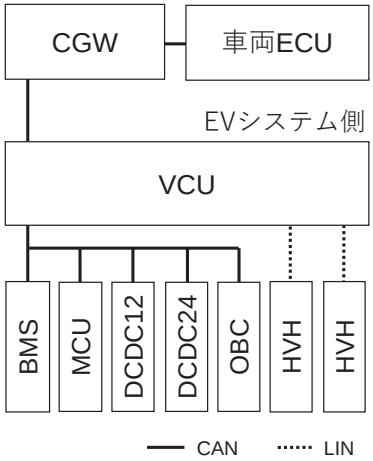


図 3　通信アーキテクチャ

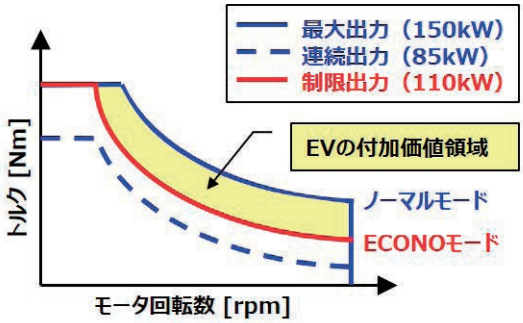
電力マネージメントは、バッテリーの充放電可能電力を超過しないように下位ユニットの電力使用量を調整する機能である。これは充放電可能電力を超過するとバッテリーが著しく劣化するだけでなく、過電圧及び過放電などの重大な不具合につながる恐れがあり、VCU によって電力の使用状態把握及び出力指示を制御している。

駆動トルク制御は、主としてアクセル開度を検知し、電力マネージメント、及びモータの状態から VCU にてトルク指示値を算出し、モータへトルク指示を行う。

モータのトルクは力行（推進）と回生（制動）に分けられ、力行はモータに電気を通電しトルクを発生させ車両を推進させる。新型エルフ EV では、発進加速時にモータ出力を抑え、電費を向上させる ECONO モードを設定した。**図 4** に ECONO モードの概要を示す。ECONO モード使用時は最大出力を 110 kW 相当まで制限（※）しており、更にモータトルクの立ち上がりを抑えることによって、無積載時などの加速を緩やかにし、使い勝手の向上と消費電力の低減を図っ

ている。なお、アクセルペダルにディテントスイッチ機構を備え、ECONO モード作動中でもアクセルペダルを強く踏み込むと、追い越し加速時などの駆動力が必要な場面において、出力制限を解除することができる。この領域は短時間であるが ICE 以上の最大出力で加速することを可能とし、EV の付加価値領域と言える。

※ 3.5 t 未満 90 kW 仕様、及び 3.5 t～5.0 t 110 kW 仕様は ECONO モードで最大出力の制限無し



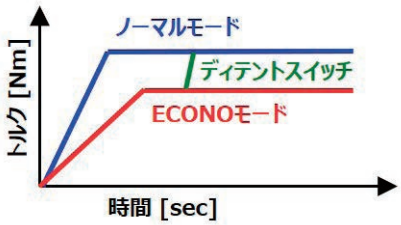


図 4　ECONO モード概要

一方、回生はモータが持つ発電機能を使うことで、バッテリー充電に併せ制動力が発生し、車両が減速する。回生によりバッテリーが充電され、電費改善で有効な手段の一つである。なお、各自動車メーカーで回生力の強さと操作方法が違う。新型エルフ EV の場合、回生量調整の選択は 2 つあり、1 つはコンビネーションスイッチ（**図 5**）、もう 1 つはメータ設定である（**表 5**）。前者は、新型エルフ EV はドライバが ICE 車と相互乗り換えすることを想定し、操作性で差をつけないことをコンセプトにしているため、回生量の調整を、ICE 車両のエキゾーストブレーキの操作と同様とした。後者は、新型エルフ EV の使用用途が宅配、コンビニ配送、高所作業、じんかい（塵芥）等あらゆるユースケースを想定しているため、回生力の強弱に関するニーズも多様であり、メータ設定での回生量調整を可能にしている。なお回生量の大きさは制動力、及び充電量と同義である。

選択 1 は弱、中、強の 3 段階、選択 2 は LEVEL0～LEVEL3 の 4 段階で設定可能であり、それぞれの組合せで計 12 段階の回生量の調整が可能な回生制御システムである。また、回生ブレーキスイッチの「弱」では、エンジンブレーキ相当の回生トルク、「強」ではエキゾーストブレーキ以上の回生トルクが作動し、ベース回生ブレーキ設定の「LEVEL0」では、アクセル OFF 時にコースティング走行を行うことを想定した回生量の設定を可能としている。これは、ICE 車両では実現できなかった車両減速度の多様な調整を可能にした。

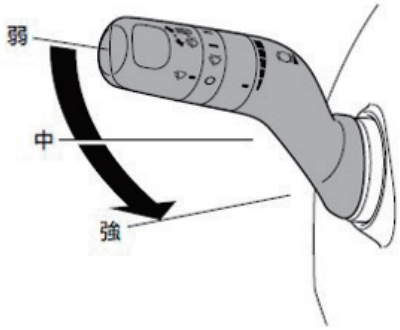


図 5　選択 1:回生ブレーキスイッチ

表 5　選択 2:ベース回生ブレーキ設定

メータ設定	回生ブレーキ強さ
LEVEL 0	最弱
LEVEL 1	弱
LEVEL 2	中
LEVEL 3	強

7　おわりに

いすゞとして初めての量産 EV となる新型エルフ EV の開発にあたり、乗用車にない商用車特有の使われ方から数多くの技術的な課題を解決する必要があった。2019 年から走行開始したモニタ車の先行開発、そしてお客様のモニタ走行データから得られた知見をフィードバックすることにより高性能で信頼性が高い新型エルフ EV を開発することができた。

この場を借りて、モニタ車開発を始め、開発に携わっていただいた方々へ感謝の意を表す。

著　者



池田　勇太



宮川　仁

特集「新型エルフ・フォワード」

新型エルフ・フォワードの先進安全技術について

Advanced Safety Technology for the New ELF and FORWARD

椎貝　竜二*
Ryuji Shiigai
常見　大貴*
Hiroki Tsunemi
井上　洸貴*
Kouki Inoue
東條　智一*
Tomokazu Toujou
今村　優志*
Masashi Imamura
大下　ワサンタ*
Wasantha Oshita
林　賢志*
Satoshi Hayashi
竹田　愛*
Ai Takeda
田中　優介*
Yusuke Tanaka
岩木　壮史*
Masashi Iwaki
青木　智治*
Tomoharu Aoki
中俣　圭介*
Keisuke Nakamata
齋藤　援*
Tasuku Saito
中西　哲*
Akira Nakanishi
矢野　裕士*
Hiroshi Yano

要　旨

新型エルフ・フォワードの先進安全技術は、市場のニーズ及び更なる交通事故低減を目指し、予防安全・衝突被害軽減と運転支援機能それぞれについて、従前モデルに更なる先進安全性能を追加し、性能向上を図った。

これらの機能概要と開発について紹介する。

Abstract

The advanced safety technology of the New ELF and FORWARD aimed at market needs and further reduction of traffic accidents.

Regarding preventive safety, collision damage reduction and driving support functions, each of them is improved in performance compared with the previous model, and more functions are installed.

The outline and development of these functions are introduced.

1　はじめに

自動ブレーキを始めとした先進安全技術は、交通事故低減に大きく寄与している。数多くの機能が開発され、最新機能の標準装着が今や当然のものとなっている。将来の自動運転へ移行まで、今後も多くの新機能、性能向上といった技術の進化が加速するであろう。

先進安全技術は乗用車が先行しているが、商用車メーカーであるいすゞは、トラック特有の視点から難易度の高い技術的な問題を解決し、開発を行ってきた。

今回、新型エルフ・フォワードの先進安全技術について、従前よりも性能を向上させた機能と追加した新機能について紹介したい。

2　前方監視支援

2.1　ステレオカメラ

新型エルフの先進安全装置は、18 型エルフより搭載を開始し、直接立体視の優位性からステレオカメラをセンシングデバイスとしたシステム構成とし、PCB（プリクラッシュブレーキ：Pre-Crash Brake）及び LDWS（車線逸脱警報：Lane Departure Warning System）などの先進安全機能を実現してきた。新型エルフでは、センシングデバイスとしての優位性をそのままに、搭載するステレオカメラの刷新を行った。カメラ画角の拡大による認識性能の向上と先進安全機能を拡充して機能改善を図った。**図 1** に従前のエルフに対する新型エルフの新規機能・改良機能を示す。**図 1** の黄色部分が新規機能、緑部分が改良機能である。

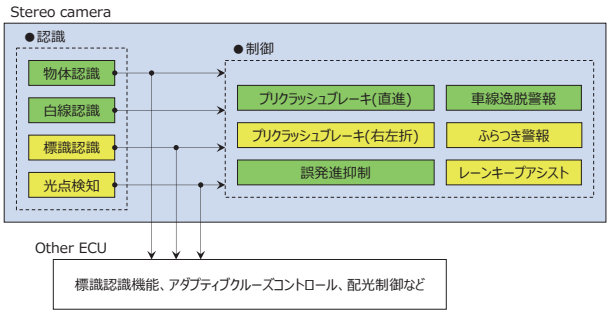


図 1　新規機能･改良機能一覧

2.2　PCB（右左折時）

PCB は、従前エルフから採用しているが、これまでのシステムでは直進時の前方車両と横断歩行者を対象とした機能にとどまっていた。新型エルフではシステムの性能の向上を図り、右左折時の横断歩行者に対応した PCB（**図 2**）の開発を行った。

* AS システム開発部

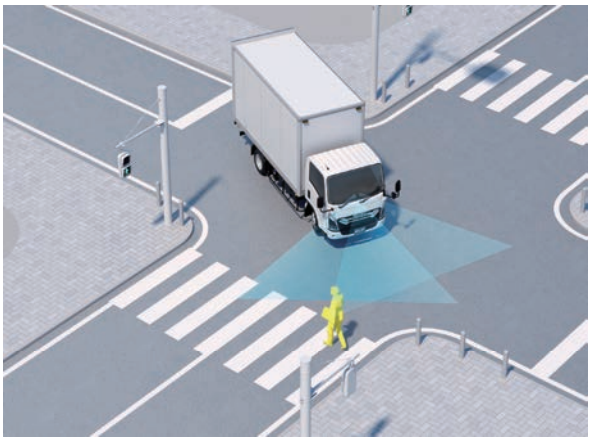


図 2　右左折時 PCB の作動イメージ

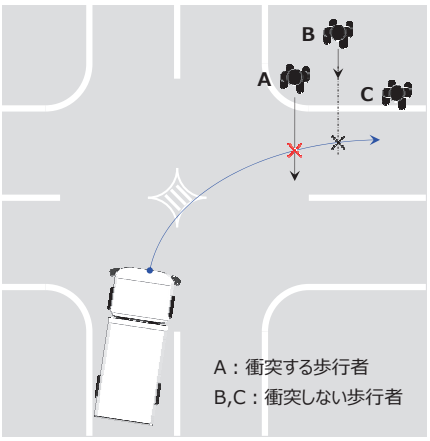


図 4　衝突判定のイメージ

2.2.1　交差点の横断歩行者検知

2.1 節のとおり新型エルフではステレオカメラの刷新の中でカメラ画角の拡大をしている。交差点旋回中において、より早く歩行者検知を開始できるようになり（**図 3**）、右左折時の PCB を実現した。

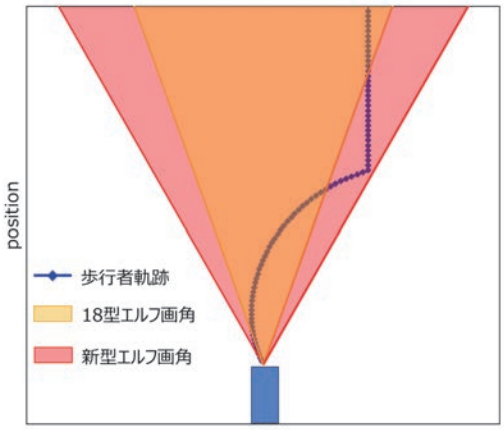


図 3　交差点旋回時の歩行者検知タイミング

2.2.2　制御シーケンス

右左折時の PCB は、（1）歩行者の運動状態の検知→（2）車両の旋回挙動推定→（3）歩行者運動と旋回挙動から衝突可能性を判断→（4）警報・制動制御実行というシーケンスを用いている。

このシーケンスの中で歩行者の運動状態は将来的に変動し得る不確定要素であり、旋回軌跡もまた運転者により一意に決まらない不確定要素である。そのため、単純に歩行者運動挙動の検知と車両の旋回挙動の推定のみで制御を実行すると、**図 4** に示すとおり、衝突する歩行者 A のみでなく立ち止まりなどの挙動変化により、結果的に衝突しない歩行者 B・C でも衝突判定をしてしまう可能性がある。そのため各制御シーケンスの中で、それぞれ確信度を判断しながら制御判断を実施することで、ロバスト性能を確保する仕様とした。

2.3　ブレーキユニット

新型エルフでは、自動ブレーキ性能の向上を目指してブレーキ性能を司る HU（Hydraulic Unit）の変更を行った。従前 HU に対しモータとポンプを変えたことにより、昇圧特性が大きく向上した。

従前は 2 つのピストンポンプによる加圧を行う HU であったが、新型からは 6 つのピストンポンプを搭載する HU（**図 5**）を採用した。

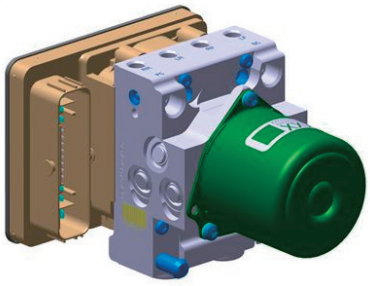


図 5　新型 HU 外観

これにより、送り出すブレーキ液の容量を増加することができる。また、ポンプを駆動するモータも大型化しており、従前よりも時間あたりの出力液圧を大幅に向上させることができた。

車両の諸元によって異なるが、従前に対しおよそ 50～60 % 程度の時間で同じ制動力を発生する能力がある。（**図 6**）

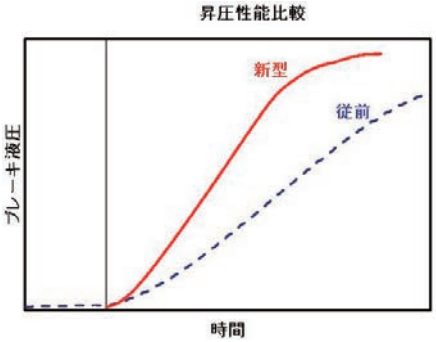


図 6　新旧 HU 昇圧性能比較

昇圧性能の向上により、従前より短時間で目標減速度を得ることができるため、新型エルフは 2.1 節のカメラ変更と併せて、横方向からの歩行者飛び出し、及び割り込み等での突発的な自動ブレーキが必要な場面においての制動レスポンスが向上し、衝突回避能力が上がり、安全性能により大きな貢献ができるようになった。

3　周辺監視支援

3.1　ブラインドスポットモニター

従前モデルは左右斜め前方の監視のみであったが、新型エルフ・フォワードで、新たに追加された機能を次の 3.1.1 項～3.1.4 項で紹介する。

3.1.1　新型エルフのブラインドスポットモニター

小型トラックは低速域で歩行者、及び自転車との事故が多い。また、路地裏から本線に進入する場合に見通しが悪く、出会い頭での事故も発生している。歩行者、及び自転車との事故、出会い頭での事故を低減するため、ドライバへの視覚支援として周辺監視システムが有効である。

従前の交差点警報用レーダ（左右ターンランプ内）に加えて発進時の事故を低減するため、フロントグリル内にフロントブラインドスポットモニター専用のレーダに自車直前死角の監視機能を追加し、最大で車両に 3 個搭載のレイアウトとした（図 7）。図 8 の青色部分が新型エルフにて追加レーダで拡張した範囲を示す。

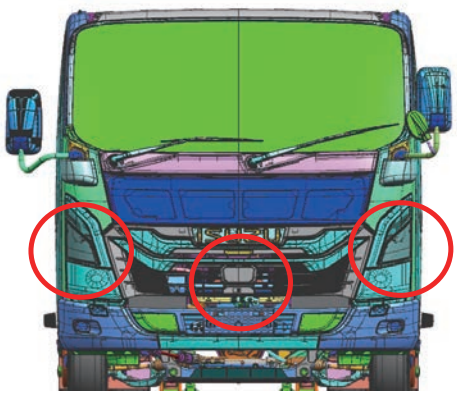


図 7　レーダ搭載位置

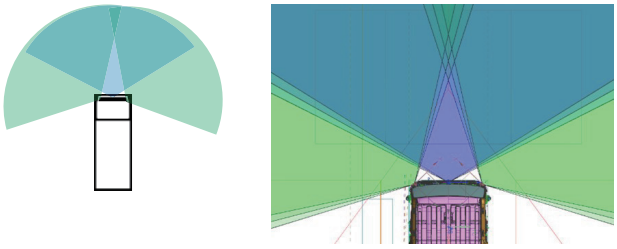


図 8　レーダの監視範囲

3.1.2　新型エルフの前方中央レーダ追加

前方中央レーダ追加により、「フロントブラインドスポットモニター」の機能を 18 型エルフに対し、新たに追加採用した。

18 型モデルでは、自車直前の死角を検知する装置がなく、発進時に自車の横から進入してくる対象との事故が想定できない。

機能追加により前方中央レーダが停車時に、自車直前の死角を横断する歩行者、及び自転車への警報を実現する。(作動概要は図 9 を参照)

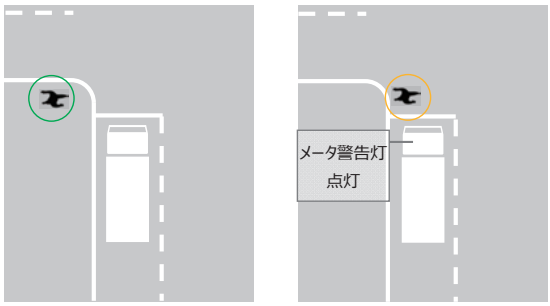


図 9　作動概要図

3.1.3　新型フォワードのブラインドスポットモニター

新型エルフで開発したフロントブラインドスポットモニターの機能に加え、大型トラックと同様の左右後側方の監視機能を追加するため、新たにキャブと架装スペースとの間に左右 2 個ずつレーダを配置（図 10）。最大で車両に 7 個搭載のレイアウトとした。特に、危険なキャブ真横のスペースでも警報対象が検知できるようにレーダを追加している（図 11）。

また、より自車遠方の警報対象検知を実現させるため、レイアウトと搭載角度を見直した。それにより、自車リヤボディとの電波干渉範囲が拡大し、多重反射による誤作動が懸念されるため、アブソーバを設定し、多種多様な架装に対応できるようにした。

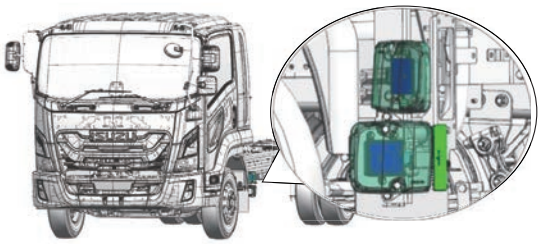


図 10　後側方検知用レーダ

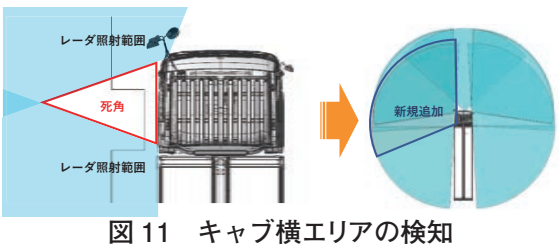


図 11　キャブ横エリアの検知

3.1.4　新型フォワードの追加機能

中型トラックである新型フォワードは、小型トラックよりも車体が大きく死角も増えるため、後側方レーダを追加し左折巻き込み警報を搭載した。

新型エルフと同様の前方中央のレーダによる「フロントブラインドスポットモニター」に加え、後側方のレーダの追加採用によって、「左折巻き込み警報」と「車線変更警報」の新機能を搭載した。

この機能は、保安基準第43条の9「側方衝突警報装置」への適合を果たし、中長距離輸送へも使用され、高速道路の走行頻度も多いことから、車線変更時の警報機能を追加した。

車体の大きさに合せ、周辺監視装置を増やすことにより死角検知の領域を広げて、ドライバの安全運転支援を拡充している。

4　操舵支援

4.1 レーンキープアシスト（LKA）

昨今の運送物流業界におけるドライバ不足問題は、更に深刻度を増しており、誰でも運転しやすく、そして安全に運航できる装置の充実が車両へ求められている。

この要求に対し新型エルフでは、従前の油圧式パワーステアリングに加え電動パワーステアリングを新設し、通常走行時のハンドル操作が軽く、ハンドルを切ったあとのハンドル戻りをスムーズに制御する操舵アシスト機能を設定した。また、LKA（レーンキープアシスト：Lane Keep Assist）として、長時間運転による疲労軽減を図る車線維持支援システム、車線逸脱を回避して事故防止に貢献する車線逸脱抑制機能を国内小型商用車として初めて導入した。

4.1.1　操舵アシスト機能

トラックのドライバは長時間の運転・納期・安全に荷物を届ける使命などのストレスから、疲労が蓄積しやすい。新型エルフでは油圧式パワーステアリングではできないハンドルの細かな制御を電動パワーステアリングの新設により可能とした。力を入れずにハンドル操作できる基本アシスト制御のほか、路面状況の影響を受けることなくスムーズにハンドルが戻る制御といった操舵アシスト機能を新規追加し、ハンドル挙動を安定化させ操舵負担を大きく軽減させた。

4.1.2　車線維持支援システム

新型エルフの車線維持支援システムは、右側ステアリングのスイッチに設定されているLKAスイッチを短押し、システムONにした状態で全車速車間クルーズを使用すると、白線認識状態などの条件が揃い次第、ステアリング制御が開始される。（**図12**）

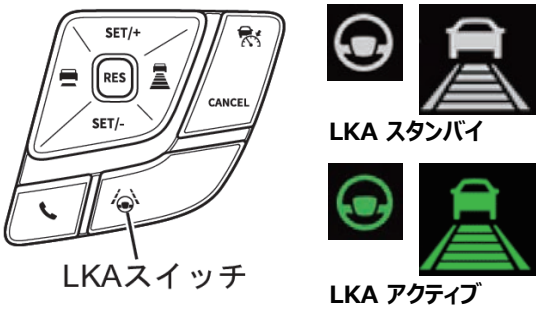


図12　車線維持支援システム表示

ステレオカメラが認識する白線情報をもとに車線の中央を走行するようにセンタートレース制御を行う。しかし非線形となる油圧式パワーステアリングの入出力トルク特性が大きく影響するため、センタートレースの走行状況でも蛇行感が目立ち、狙いとする直進性が得られなかった。そこで直進性を向上させるためにマイナーループとなるフィードバック制御を要所に追加し、応答性向上を図る対策を行った。また、フリクション補正を追加することで更に応答性が安定し、蛇行の少ない直進安定性を得ることができた。これらの対応により、車型違い、空車、及び積車による影響も最小限に抑えた、ロバスト性のある制御を設計することができた。

渋滞等で車間が狭く車線認識ができない場合は、先行車の軌跡に基づきステアリング制御を行う先行車追従操舵アシスト機能を追加した。小型トラックは中・大型トラックよりも車幅サイズが小さく、追従による車線逸脱と逸脱に伴う接触事故などの懸念は少ないが、中・大型トラックの考え方を水平展開し、車線が認識できた時点で直ちに車線維持支援機能に切替えをして、先行車追従操舵アシストを止める優先づけを行った。

なお、車線維持支援システムは手放し運転を許容するシステムではないため、手放しを感知するとマルチディスプレイの表示と警報音でドライバへ通知し、更に手放し運転が一定時間続いた場合は車線維持支援システムを解除する機能をつけた。

4.1.3　車線逸脱抑制機能

車線逸脱抑制機能は、高速走行時にドライバが意図せず車線を逸脱する挙動を取った場合に、マルチディスプレイの表示、警報音とともに自車線内へ車両を戻す、ステアリングを制御するシステムである（**図13**）。本システムはエンジン始動時にスタートし、機能をOFFにするまたは再度ONにする場合はLKAスイッチを長押しすることでOFFとONの切り替えが可能。

大きな車ほど道路白線と自車左右端のクリアランスが狭く、白線に近づく度に制御を行ってしまうと不要

作動としてドライバが不快に感じるシステムとなってしまう。そこで、車線の端に寄って走行している場合は制御の頻度が増えないようにクリアランスを考慮した制御を仕立てた。

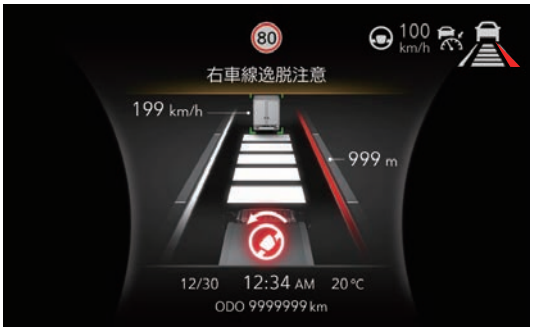


図 13　車線逸脱抑制機能 制御表示

5　運転支援

5.1　全車速車間クルーズ

5.1.1　システムの概要

車間距離を維持しながら全車速域で自動的に加減速、停止と発進を可能にした全車速車間クルーズシステム（**図 14**）は、先行してギガ・フォワードに展開しており、ドライバの運転疲労軽減と安全運行、省燃費に貢献している。今回、新型エルフ・フォワードでは、従前機能から更なる追加と改良を行った内容を紹介する。



図 14　全車速車間クルーズシステム

5.1.2　機能・特徴

(a)　設定可能な車速範囲の拡大

最低設定車速を従前の 40 km/h から 30 km/h へ下げ、利用可能範囲を拡大した。

(b)　環境への貢献、利便性向上

停車保持中にエコストップ機能と協調制御により更なる燃費向上と排出ガス低減を図った。また、従前のエコストップに対しセンシングデバイスで先行車の動きを検知し、早めの自動エンジン始動を加えることで、ドライバが素早く発進できるよう機能改良を行った。

(c)　安全性向上

停車保持中にドライバが誤操作または雨天等でシステムに思わぬ機能停止が発生しても、ドライバ及び周囲環境の安全を考慮し、自動的に電動パーキングブレーキを作動させる機能を追加した。

(d)　ステアリングスイッチ及びメータ表示

運転を支援するクルーズシステム、及び標識に連動した、車速制限機能等を簡単に操作できるステアリングに配置し、“MODE”スイッチへ機能を集約し、ワンタッチでドライバの好みを選択可能とした。また、メータで選択機能及び制御状態を瞬時に確認できるように専用エリアを設けた（**図 15**）。

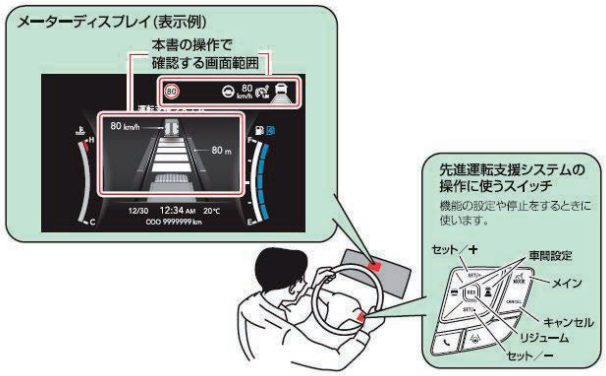


図 15　運転支援制御機能操作及びメータ画面表示

5.2　ドライバー異常時対応システム（EDSS）

スイッチまたは DSM（ドライバーステータスモニター：Driver Status Monitor）によるドライバの異常を検知してシステムを作動させ、徐々に速度を落として、車両停車させる機能（**図 16**）をギガで既に展開しているが、新型エルフ・フォワードにも展開し、同時に操舵支援制御機能と協調して車線内での停車を実現した。操舵支援制御機能をドライバが OFF していても EDSS（ドライバー異常時対応システム：Emergency Driving Stop System）が作動した場合、自動的に ON にすることで、更なる安全向上を図った。



図 16　ドライバー異常時対応システム

6　セントラル ECU

6.1　セントラル ECU 開発の背景

新型エルフ・フォワードの開発は、将来的な全自動運転の実現を考慮して、開発の高効率化を推進することを一つの目的とした。目的達成のため、車両の機能配置及び通信アーキテクチャを見直し、「走る、曲がる、

止まる」に必要な「判断」を新規 ECU（Electric Control Unit）であるセントラル ECU（**図 17**）に集約し、各種機能との協調を実現した。また、先進安全機能及び運転支援機能を配置し、アクチェータとなり他の ECU への指示系統を一本化したことで、将来的な自動運転に向けた基盤づくりを行った。次の（a）～（d）にセントラル ECU が持つ主なマネジメント機能の代表例を示す。

（a）トルクマネジメント
（b）操舵マネジメント
（c）主ブレーキマネジメント
（d）補助ブレーキマネジメント

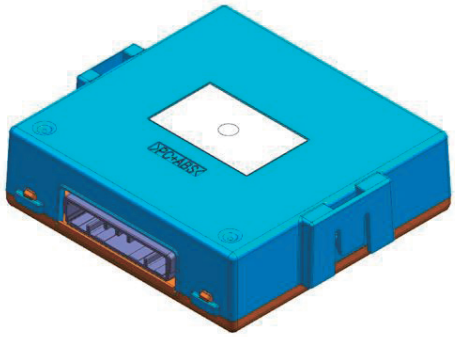


図 17　セントラル ECU 外観

6.2　セントラル ECU の大きなメリット

センシングシステム、動力源（エンジン、モータなど）、及びブレーキシステム等、多岐に渡るバリエーションの展開が短期期間で開発可能となり、多様な車両仕様と制御機能の組合せの中から、仕向地とお客様のニーズに合せて、「選べる自由」を実現した。そのために、新規機能のみならず、既存機能に対しても車型間で流用できるよう再考し機能の統合化等を図った。既存機能の再考過程において時代の移り変わりを若手社員に共有できたことが、今後の開発に役立つ良い経験になった。

6.3　セントラル ECU の開発手法

セントラル ECU の開発では、モデルベース開発の手法を全面的に採用した。従前の机上検証環境の高精度化に加え、プラントモデル（ECU 間の電気的な信号によって動作すると同時に、システムの物理的な仕組みに従って動作するモデル）の拡充により、品質の向上と同時にさまざまな車両バリエーションに対応可能となった。また、検証の自動化により、検証期間の短縮とより幅広い検証パターンの実行を可能にした。机上の検証を実車に反映した際、思うように動作しないトラブルにも見舞われたが、一つひとつの経験が今後の完全バーチャル化開発の実現に向けた課題であり、成果でもある。

7　おわりに

新型エルフ・フォワードに採用した先進安全機能は、従前モデルより性能が格段に向上した。今まで以上に交通事故低減、及びドライバの運転負荷軽減に貢献できると確信している。開発に携わった社内、社外の多くの方々の協力に感謝の意を表す。

先進安全技術は、「安心･安全」に直結する機能であり、お客様、及び交通弱者の安心・安全を守り、交通事故ゼロを目指して更なる開発を継続して行く所存である。

著　者


椎貝　竜二


常見　大貴


井上　洸貴


東條　智一


今村　優志


大下　ワサンタ


林　賢志


竹田　愛


田中　優介


岩木　壮史


青木　智治


中俣　圭介


齋藤　援


中西　哲


矢野　裕士

新型ギガの開発について

Outline of New GIGA Development

赤木　三昌*　Mitsumasa Akagi
境　高*　Takashi Sakai

要　旨

新型ギガは運送業界を取り巻く社会情勢の変化に対応し、ユーザーが直面している課題の解決を目指した。

変化を続ける社会インフラを見据えて、あるべき大型トラックの姿を、ライフサイクルコスト・ドライバー第一・輸送効率の向上の 3 つのコンセプトを柱として開発した。

Abstract

New GIGA aimed to deal with social changes of transportation industry and solve problems faced by customers.

To aim development ideal heavy-duty truck to deal with changing society, we set three concepts; Reduction life cycle cost, Driver fast and Improvement of transportation efficiency.

1　はじめに

トラックは、人々の生活を支える社会インフラとして、国内物流の中心を担うとともに、CO_2 削減に対する強い社会の要求と CASE（Connected, Autonomous, Shared & Services, Electric）を始めとした、新たな技術への対応が求められている。

一方、トラックドライバ不足は年々深刻化しており、令和 2 年時点のトラックドライバの有効求人倍率（**図 1**）は 2.26 倍となっている。これは職業全体の 1.08 倍の 2 倍以上となっている。2024 年より開始されるドライバ残業規制は、人材不足に一層の悪化をもたらすものと懸念されている。また、ウクライナ戦争を発端としたエネルギー供給量の減少と OPEC（石油輸出国機構：Organization of the Petroleum Exporting Countries）による原油減産などの状況から、燃料価格が高騰し続けており、運送業界は、大変厳しい状況にある（**図 2**）。これらの課題解決に貢献するため、時代が求める大型トラックの機能を追求した新型ギガの開発の概要について述べる。

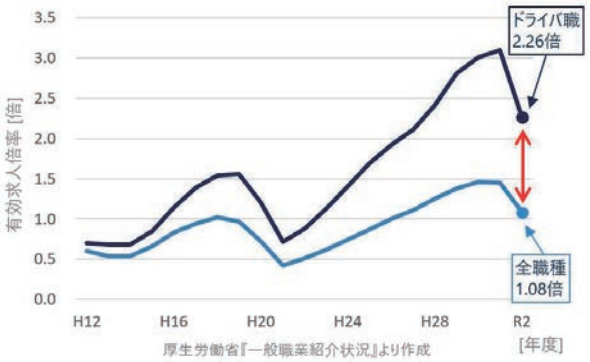


図 1　トラックドライバの有効求人倍率



図 2　軽油価格の推移

2　開発コンセプト

新型ギガ（**図 3**）は、従前ギガのファイブスター（1. 燃料コスト抑制、2. 運転環境向上、3. 安全運行、4. 輸送効率化、5. 車両安定稼動）の基本思想を継承しながら、社会情勢に合せ、特に次の①～③の項目に注力した開発を行った。

*大型商品企画・設計部

① ライフサイクルコスト
② ドライバー第一
③ 輸送効率の向上



図3　新型ギガ　外観

2.1 ライフサイクルコスト

CO_2削減に向けた社会の要求の高まり、そして高騰し続ける燃料価格は経営を圧迫しており、ライフサイクルコストにおける燃料費とエンジンオイル、及びフィルタ類を代表とした定期的に交換が必要な油脂・メンテナンス部品代の低減要求は極めて強い。これらの要求への応えを両立・実現するため、燃費改善とメンテナンスコスト削減に注力した開発を行った。

2.1.1 燃費の改善

2025年より施行される、新たな重量車燃費基準（以下、「JH25」と称す）に先行適合することで、二酸化炭素排出量の低減と、運送事業者の燃料コスト低減を狙った。

新型ギガでは、一部車型を除き販売台数の9割超でJH25を達成。更に、販売台数の6割を占めるカーゴ系主力車型（T11カテゴリ、6UZ-TCS、MJX12搭載車）についてはより高い目標を定め、JH25基準値に対し+5％の過達を目指した。

JH25は、2015年度重量車燃費基準（以下、「JH15」と称す）に対し、約13.4％の基準強化となっている。また、JH25の燃費計算は、JH15のエンジン燃費、駆動系組合せ（トランスミッション、タイヤサイズ、ファイナルギヤレシオ）だけでなく、キャブの空気抵抗、タイヤの転がり抵抗、AMT（Automated Manual Transmission）のシフトマップが計算要素として追加があり、より実走行状態に近い状況での燃費改善を求められ、車両全体での改善が必要であった。JH25達成を目指した燃費の改善は、主に次の①～④の項目を中心に開発を行った。

① エンジン燃費・後処理装置の改善
② AMTの改善
③ ミドルルーフの展開と空力性能改善
④ 新省燃費タイヤの開発

2.1.2 メンテナンスコストの低減

燃料コストと同様に運送事業者にとっては、使用過程におけるメンテナンスコストの比率が大きい。新型6UZ1エンジンについては、このコスト低減も併せて追及した。6UZ1エンジンは約20年に渡って市場展開をしており、市場から得たデータを基にエンジンオイルの劣化状況を観察し続けてきた。新型ギガは、この情報を基にエンジンオイルフィルタ個数削減とエンジンオイル交換インターバルの見直しを行った。単にインターバルを伸ばすのではなく、車両の走行状況、エンジン負荷を監視することでオイルの劣化を予測し、最適なタイミングで交換提案を可能とした。また、厳しい使われ方の車両に対しては、定期交換より短い期間での交換を提案することで、エンジン故障の未然防止にもつなげた。

いすゞ独自のコネクテッドサービスであるPREISMと連携することで、更なる安定稼動とランニングコストの低減に貢献できた。

2.2 ドライバー第一

大型トラックは車両購入の意思決定者とドライバが異なることが多く、乗用車に比べるとドライバの快適性に対する改善が遅れていた。しかし、昨今のドライバの残業規制をはじめとした労働環境改善の動きと、ドライバ不足の影響から、ドライバの意思が車両購入の決定に大きく影響し始めた。そのため、ドライバが長時間を過ごすキャブ内の快適性と利便性の向上、ドライバの運転疲労が軽減できるイージードライブ性と安全装置の拡充を図った。

2.2.1 快適性の向上

従前ギガにおいて、ハイルーフ及びISRI製高機能シートの展開等、運転環境の向上を続けてきたが、新型ギガにおいては、更に発展させ、ドライバの快適性向上を目指した。特に業務時間の大半を過ごすドライバシートの快適性は、ドライバの満足度に与える影響が大きい。従前ギガより、ISRI製高機能シートを展開し高い評価を得ている。新型ギガでは、これを更に進化させた新高機能シートの開発を行い、快適性の向上を目指した。ISRI製シートは体格の大きいドライバに適しており、新高機能シートは、より日本人の体格に合せやすい調整幅の向上を行っている。多様な体格に合せて調整ができるシートスライド、シート座面の高さ調整代、シートクッションの固さ等を最適化した。従前ギガの使用実態から、実際の乗降操作に求められる機能の調査を行い、サスペンションロック機能のシートベルト脱着との連携機能、シートヒータ及びベンチレータの性能などを向上。機能とともに豪華さを求める顧客向けとして新規に本革調シートの展開を新たに追加した（**図4**）。



図 4　新高機能シート

2.2.2　利便性の向上

乗用車では大型ディスプレイでの車内装置の操作集約と、スマートキーを用いた乗降利便性の改善が普及している。ドライバの快適性向上による定着率の向上に貢献するため、乗用車に見劣りしない利便性が必要であると考え、新規装置を追加した。

新型ギガでは新たにタッチパネル式 7 インチセンターディスプレイ及びキーレスライドを標準装備として設定。

7 インチセンターディスプレイは、これまでのオーディオ、バックカメラ用モニタ、MIMAMORI 機能を統合し、タッチパネル式ディスプレイで表示・操作を実現し、視認性と操作性が大きく向上している。

キーレスライドは、国内大型トラック初の標準仕様として装備した。既に乗用車では標準仕様として広く展開されており、初めて大型トラックに触れるドライバでも、乗用車感覚で扱えることを目指した。

2.2.3　イージードライブの向上

日本市場では大型トラックのトランスミッションは、長らくの間マニュアル式が主流であった。優れた運転技能を持つプロドライバには、これまでの AMT 制御ではイメージするシフトフィーリングと合わず、嫌厭されている部分があった。特にダンプ、及びミキサー等の不整地で使用する車両は、不整地での走破性、スタック時の脱出操作性などの要求から AMT の要望は少ない。しかしながら昨今の人材不足から、トラックの運転経験がない新人ドライバの増加を想定し、乗用車と同様の操作感を目指し、かつ不整地で使用する車型への展開可能な AMT の改良をした。

AMT のクラッチアクチュエータ構造をリンク式から同軸駆動式に変更し、精密なクラッチ操作の実現と、シフトタイミングの最適化を行い、燃費と走行性能を両立させた。精密なクラッチ操作の実現により、これまでの AMT では実現できない、微速操作性がクリープ制御により向上しており、従前ギガで微速時制御のために設定していたクラッチペダルを廃止することができた。またクラッチの素早い断接も可能となり、スタック時の揺動操作を実現するロッキングフリー制御を追加した。

2.2.4　安全装備の拡充

トラックドライバにとって安全な運行は最も重要な責務であり、負担・疲労も大きい。直接視界が限られ、その大きさから車線維持に注力を要する大型トラックでは、運転操作と危険認知のサポートが、ドライバの疲労軽減に大きく寄与することができる。交通事故による死者数は減少傾向にあるが、政府の掲げる 2030 年時点で、2020 年比 1200 人削減には、更なる安全技術の普及･加速を求められている。

これまで、「ぶつからない車の追求」のみならず、ドライバの注意力のサポート、巡行時の運転操作アシスト機能の向上にこだわり「疲れない車の追求」も行ってきた。従前ギガ以来、他社に先んじた安全装置の展開を進め、新型ギガでは次の①～④の機能の進化、及び展開拡大をしている。

① レーンキープアシストの機能･展開拡大
② 全車速クルーズの機能･展開拡大
③ EDSS（ドライバー異常時対応システム:Emergency Driving Stop System）車線停止機能の追加
④ 標識認識機能と標識連動型スピードリミッター

従前ギガでは、カーゴ系主力車型を中心に安全装備の展開を行っていたが、新型ギガでは、特装車への AMT 展開拡大と合せ、ほぼ全ての車型でこれらの先進装備を選択可能となった。

2.3　輸送効率の向上

トラックドライバ不足と、それに拍車をかけるトラックドライバの残業規制を控え、トラック輸送の効率化は社会全体の喫緊の課題である。輸送効率向上のためには、ドライバ一人当たりで運ぶ積載量を増加する必要があり、いすゞは少しでも車両総重量に占めるシャシの比率の軽減を進めるとともに、多様化する輸送形態に対して、最適なベースシャシを設定する必要がある。また、エンジンも小排気量・軽量な主力エンジンである 6UZ1 搭載車は、大積載量を実現し高い市場評価を得てきたが、更なる軽量化を追求し顧客の期待に応える。

2.3.1　シャシの軽量化

いすゞの大型トラック販売はおよそ 6 割がカーゴ系主力車型である CYJ（8 × 4）､CYL（6 × 4）となっており、販売形態は、完成車（G カーゴ）がその過半数を占めている。これらの主力車種について、運送業者が期待する積載量を実現するため、シャシ及び架装物の軽量化実現は、輸送効率化に直結する。

新型ギガでは、シャシの軽量化及び、架装物の軽量化を行い、Gカーゴ完成車において200 kg超の最大積載量の増加を実現した。新型ギガは、燃費・快適性の改善のために新規開発した部品も、性能実現と併せて、徹底的な軽量化を追求した。パワートレインも、燃費改善と併せて6UZ1エンジンの徹底的な軽量化、AMTのクラッチアクチュエータの小型化、新型後処理装置による軽量化を行った。

また補器についても、エアタンク圧最適化によるエアタンク削減、各部のブラケット、コネクタ類の材料置換と形状最適化による軽量化を追求した。

2.3.2　高効率輸送最適車型の追加

輸送効率化は輸送インフラの整備と併せ、官民が一体となりさまざまな取組みが行われており、車両への要求も多様化している。

2019年から本格導入の始まった25 mダブル連結トラックを始めに、今後も高効率輸送に必要な新しい車の形が求められ、更にエンドユーザーを含む運送関係者と積載物、及びインフラに合せたさまざまな要求が生まれている。

従前ギガでは、25 mダブル連結トラックの専用シャシを初めて投入し、市場の高い評価を得ている。新型ギガにおいても、次の①、②の新たな車型を展開することで、市場の要求に応える。

① スワップボディ対応レイアウトシャシの追加
② フルエアサスペンションショートキャブ車の追加

3　おわりに

物流は経済の血液とも呼ばれ、決して止まることがあってはならない。社会情勢、ドライバ不足など、大型トラックへの要求は変化し続けている。こうした社会課題解決の一助となるべく、新型ギガの開発を行った。今後も変わり続ける社会要望に応えて行くために、新型車両の開発に邁進する所存である。

最後に、今回新型ギガを開発に際し、多大なる支援並びに、協力いただいた社内外の方々に心より感謝申し上げる。

著　者



赤木　三昌



境　高

新型ギガの商品概要について

Outline of New GIGA

吉田　克暁*　　加藤　衛和*
Katsuaki Yoshida　　Morikazu Kato

要　旨

新型ギガはライフサイクルコスト、ドライバ第一、輸送効率の向上をコンセプトとして開発した。

次世代の大型トラックに求められる機能と性能を追求した新型ギガの商品概要について述べる。

Abstract

New GIGA was developed that focused to performance of “Life cycle cost” “Driver first” “Transportation efficiency” required as a heavy-duty truck.

This chapter describes the outline of New GIGA in pursuit of function / performance required for heavy-duty trucks of next generation.

1　はじめに

現在、物流を取り巻く課題は、トラックドライバの不足、燃料価格の高騰、物流の 2024 年問題など多岐にわたり、その解決は急務である。また、カーボンニュートラルなど地球環境保護の動きも加速している。それらの課題解決に向けて開発した新型ギガ（**図 1**）の商品概要を紹介する。



図 1　新型ギガ　外観

2　ライフサイクルコストについて

ライフサイクルコストの低減に向け、低燃費、メンテナンスコストの低減にこだわり開発した。

2.1 6UZ1 エンジンの改良

6UZ1 エンジン（**図 2**）の改良を行い、2025 年度重量車燃費基準（JH25）を主要車型（単車、6UZ1-TCS（279 kW）、MJX12P、エコストップ付）で +5 % 達成をはじめ、一部を除き基準を達成し、低燃費を実現した。同時にオイル交換インターバルの延長、パーシャルオイルフィルタの廃止など、メンテナンスコストを低減した。

6UZ1 エンジンの主な変更点は次の 4 項目である。

- 圧縮比（17.0 ⇒ 18.0）
- ピストンリングのフリクション低減（4 本⇒ 3 本化）
- インジェクタ
- ターボ

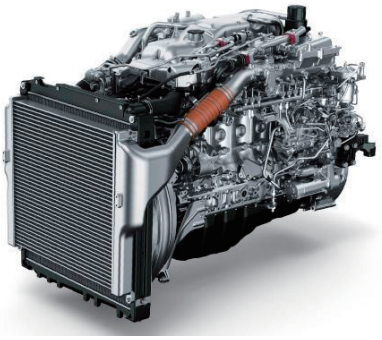


図 2　6UZ1 エンジン　外観

2.2 6UZ1-TCC（265 kw）エンジンの新規開発

低馬力クラスにおける 2025 年度重量車燃費基準達成を狙い、6UZ1-TCC（265 kw）エンジンを新規開発した。エンジンの軽量化に加え、従前に比べ余裕のある出力トルクを実現し、燃費、重量、動力性能をバランス良く仕上げた。

2.3 新省燃費オールシーズンタイヤの新規開発

カーゴ系主力車型 CYL（6 × 2）・CYJ（8 × 4）に対し、省燃費オールシーズンタイヤを開発し、燃費向上を実現した。

*大型商品企画・設計部

3　ドライバ第一について

運転環境の向上はドライバの満足感、快適性向上のみならず、運転負荷低減、疲労軽減などによるゆとりが安全性向上に大きく寄与する。新型ギガでは運転環境の向上とともに、安全装備の拡充を行いドライバ第一を追求した。

3.1 キャブ内装色の一新

大型トラックドライバが多くの時間を過ごすキャブを、機能性と安らぎのある上質な空間へと誘うために、エスプレッソ色基調の内装へ一新した（**図3**）。



図3　キャブ内装

3.2 新高機能シートの新規開発

新高機能シートを新規開発し、更なる快適性向上と疲労軽減を実現した（**図4**）。新機能の追加とともに、座面の硬さを最適化、ドライビングポジションの調整範囲を拡大、操作スイッチの操作性改善などの機能追加と性能向上を実現した。

主な機能追加と性能向上は次の5項目である。

- 電子式サスペンションロックの追加

悪路走行時、後退時などシートのサスペンションの動きが煩わしい時に、スイッチ操作によるサスペンションロックを可能とした。また、シートベルトを外すと自動でサスペンションロックする機能を更に備え、容易な乗降を実現した。

- ベンチレーション、シートヒーターの性能向上
- シートのサスペンション硬さ調整範囲の拡大
- 専用シートカバーの用品追加
- 本革調シート、抗ウイルス抗菌加工の追加



図4　新高機能シート

3.3 キーレスライドの新規設定

キーレスライドを新規設定し（全車標準）、キー操作なしでのドアの施錠・解錠、エンジン始動・停止を容易に行えるようにした。

3.4 センターディスプレイの新規開発

大型7インチセンターディスプレイ（**図5**）を新規開発した（全車標準）。AM/FMラジオ、音楽再生、バックカメラの表示、ハンズフリー通話、MIMAMORI（物流の課題解決に向け2022年に全面刷新した、いすゞの商用車テレマティックシステム）などを大画面タッチパネルで直感的に操作でき、操作性、視認性が大幅に向上した。



図5　センターディスプレイ

3.5 スムーサーGxの改良

スムーサーGx12段（以下、「MJX12」と称す）（**図6**）、9段（以下、「MEB9」と称す）のクラッチシステムのCPCA（同心空圧クラッチアクチュエータ：Concentric Pneumatic Clutch Actuator）クラッチシステム化（**図7**）を実施し、より繊細なクラッチ制御を実現した。2ペダル化（クラッチペダルの廃止）したうえで、クリープ機能を追加し、プラットホーム（荷の積み下ろし場）への後退進入時、段差乗り上げ時などでブレーキペダルのみでの微速走行操作を可能にした。更にロッキングフリーモード（クラッチの断接を早め、泥ねい（濘）地からの脱出性を向上させる機能）（**図8**）を追加して、特装系車型へAMT（Automated Manual Transmission）を新たに展開した。これらの改良より、ドライバの疲労軽減、安全性向上、及びエコドライブを容易にすることができた。

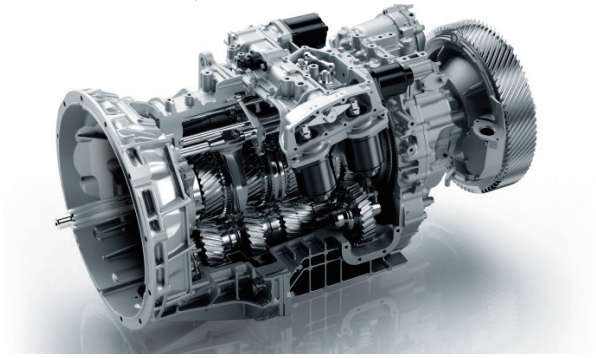


図6　スムーサーGx　外観

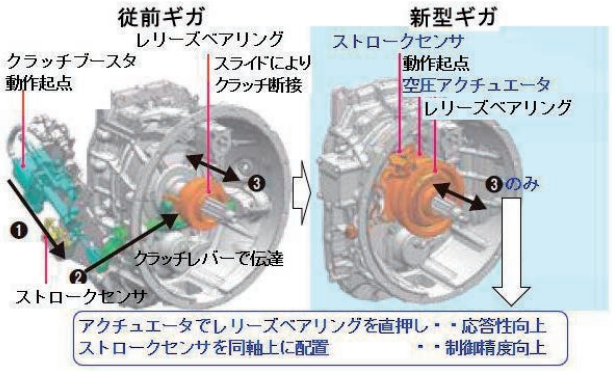


図 7　CPCA

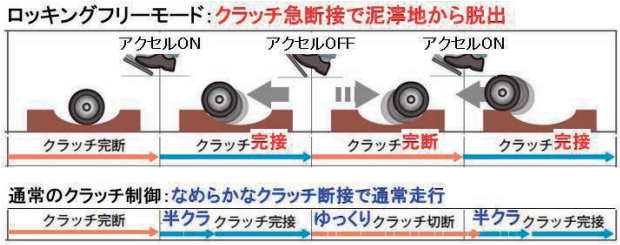


図 8　ロッキングフリーモード

3.6　ミドルルーフの新規開発

従前ギガで採用した全高 3.8 m 級のハイルーフは快適性、収納性に優れるが、その形状などからハイルーフを選択できないドライバが存在した。このドライバにも快適空間を提供するため、それ以前のハイルーフをミドルルーフ（図 9）として設定した。同時にルーフパネル形状を見直し、空気抵抗を低減させ、燃費向上を狙った。

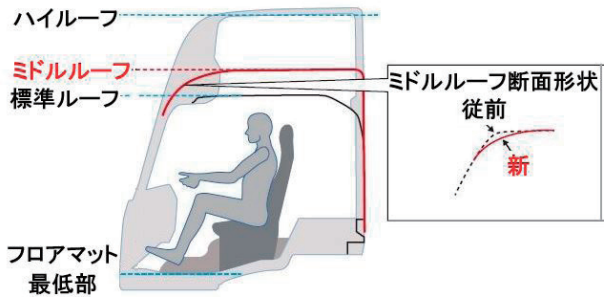


図 9　ミドルルーフ

3.7　全車速車間クルーズの展開拡大

特装系車型に全車速車間クルーズを展開し、特装車ユーザーの疲労軽減を図った。

3.8　レーンキープアシストの性能向上及び展開拡大

レーンキープアシストの作動条件を従前の 60 km/h 以上から 0 km/h に拡大した（自動車専用道路で全車速車間クルーズ使用時）。更にカメラとミリ波レーダを用いた前走車追従制御（図 10）を追加し、白線認識が難しい渋滞路での車線維持支援を可能とし、渋滞時の運転疲労軽減を図った。

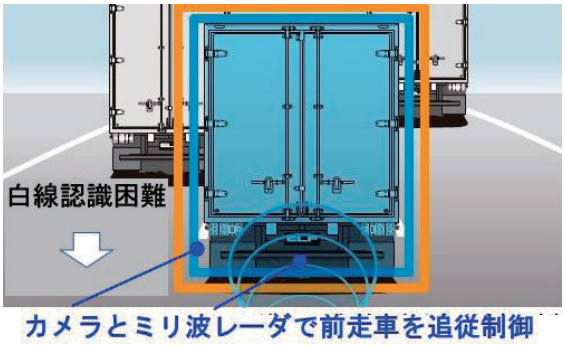


図 10　前走車追従制御

3.9　EDSS に車線内停止機能の新規開発

EDSS（ドライバに急病などの異常が発生した際に車両を緊急停止させる機能：Emergency Driving Stop System）にレーンキープアシスト機能を組合せ、直線とカーブで車線内を維持したまま停止する、車線内停止機能（図 11）を新規開発した。また、緊急停止後のドアロック自動解除機能を追加し、車両停止後、より迅速なドライバ救護を可能とした。



図 11　EDSS 車線内停止機能

3.10　標識認識機能の新規開発

カメラで交通標識を認識（図 12）し、メータ内に表示する標識認識機能を新規開発した（全車標準）。ドライバが意図しない速度超過、逆走などの抑制を図った。



※各種表示条件有り

図 12　標識認識可能な交通標識

3.11　標識連動型スピードリミッターの新規開発

標識認識機能で認識した最高速度を制限速度としてスピードリミッターの制御を行う、標識連動型スピードリミッターを新規開発した。速度超過による事故抑制を図った（図 13）。



図 13　標識連動型スピードリミッター

3.12　LED 中間サイドターンランプの新規開発

中間サイドターンランプを LED 化し（全車標準）、車両の被視認性が向上した。巻き込み事故などの未然防止を図った。

4　輸送効率化について

輸送効率化のため、シャシの軽量化、高効率輸送最適車型を追加した。

4.1　カーゴ完成車（G カーゴ）の最大積載量増加

シャシの軽量化に加えボディの軽量化によりカーゴ完成車（G カーゴ）（**図 14**）において 200 kg～300 kg の最大積載量増加を実現した。

シャシの主な軽量化は次の 5 項目である。

- 6UZ1 エンジン、後処理装置の軽量化
- スムーサー Gx の軽量化
- 新省燃費オールシーズンタイヤの新規開発
- エア圧アップによるエアタンク削減
- 配管コネクタの樹脂化、ブラケットのアルミ化等



図 14　G カーゴ　外観

4.2　高効率輸送最適車型の新規開発

- ショートキャブフルエアサスペンション車の開発
  フロントサスペンションの構造を見直し、大容積、高品質輸送を実現するショートキャブフルエアサスペンション車を CYL（6 × 2）・CYJ（8 × 4）の 25 t 車に設定した。
- スワップボディ専用シャシの新規開発
  荷役作業と運行の分離による労働時間短縮・生産性向上に寄与するスワップボディ（**図 15**）専用シャシを新規設定した。CYJ（8 × 4）の 25 t 車をベースに専用の機器レイアウトとし、架装時のシャシ改造を大幅に低減するシャシを設定した（**図 16**）。

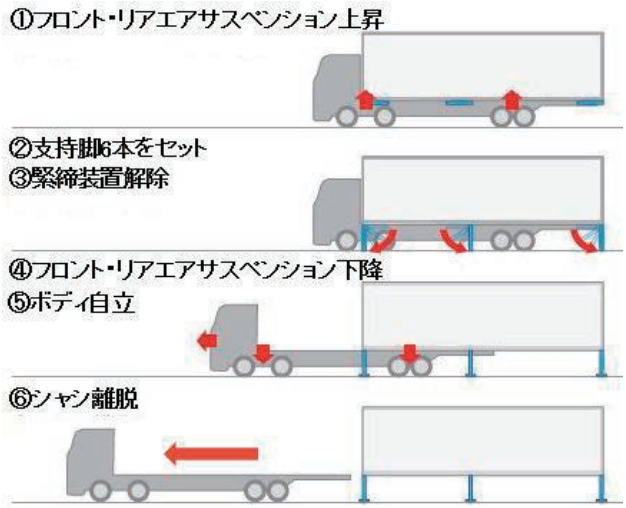


図 15　スワップボディ

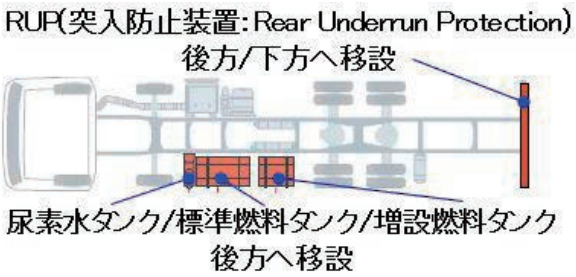


図 16　スワップボディ専用シャシ

5　おわりに

今回の新型ギガでは、物流を取巻く課題及び地球環境問題に対応する多くの機能を盛込み開発した。しかし、まだやるべきことは多く、よりスピードを上げ改良を継続しなければならない。

最後に、今回新型ギガの開発に際し、多大なるご支援、ご協力いただいた、社内外の方々に心より感謝申し上げる。

著　　者



吉田　克暁



加藤　衛和

新型ギガの駆動系について

Drivetrain of New GIGA

錦見　真央*
Masao Nishikimi
聖川　陽一*
Youichi Hijirikawa
山田　孝平*
Kouhei Yamada
笹川　健太*
Kenta Sasagawa
浦田　貴啓*
Takaaki Urata
田中　英一*
Eiichi Tanaka
神田　好崇*
Yoshitaka Kanda
吉田　一輝*
Kazuki Yoshida

要　旨

運転の簡素化と快適性向上、安全装置の充実などをテーマにドライバを第一に考えた新型ギガの開発を行った。駆動系装置として、運転の簡素化、及び快適な運転の更なる向上を目指したクラッチシステムの開発について、その開発項目の概要を紹介する。

Abstract

The New GIGA was developed for drivers with the theme of simplifying driving, improving comfort, and enhancing safety devices. As a drivetrain, we have developed a clutch system aiming at simplification of driving and further improvement of comfortable driving.

1　はじめに

新型ギガに搭載したスムーサーGxは、燃費と変速スピードを向上させた従前のスムーサーGxをベースに、クラッチアクチュエータ、及びトランスミッションコントロールモジュール（以下、「TCM」と略す）等の新たなクラッチシステムを開発。車両コンセプトでもあるドライバの快適性向上を第一に運転の簡素化を実現した。本稿では新駆動系システムについて概要を紹介する。

2　新クラッチシステム

2.1 開発の狙い

従前スムーサーGxのクラッチコントロール機構では、クラッチ断接の動作起点であるクラッチブースターとクラッチレリーズベアリングの間を複数の部品でつないでいる（**図1**）。

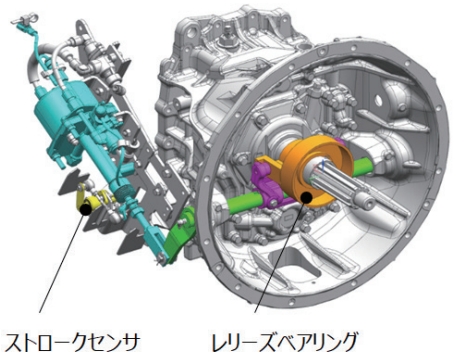


図1　従前スムーサーGx

そのためブースター作動に対するクラッチ作動の応答性確保には、多くの部品に最適化が必要であった。また、クラッチの係合量は主にレリーズベアリングのストローク量で決定されるものであるが、ストローク量を検知するセンサがブースターに取付けられているため、プラットホームづけなどの微速領域ではクラッチペダルを操作する場面があった。加えて、機構を構成する部品が多く、CPCA（Concentric Pneumatic Clutch Actuator）の採用により信頼性の向上及びコストの低減を狙った。

2.2 クラッチアクチュエータ

CPCAは従前のクラッチブースターの機能とレリーズベアリングが一体になった装置である（**図2**）。断接動作の起点と終点が同じ装置内にあり、応答性の向上が可能である。またCPCAにストロークセンサを内蔵しているためクラッチの係合量をより精度高く検出できる。

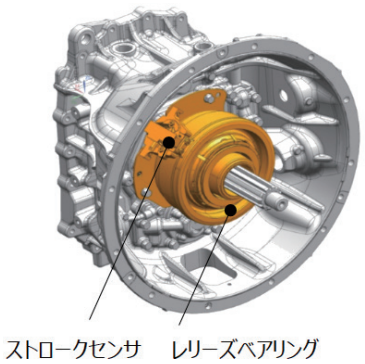


図2　新型スムーサーGx（CPCA）

*駆動商品企画・設計部

これにより微速領域でもクラッチペダルの操作が不要となりいすゞ大型車用 AMT（Automated Manual Transmission）として初めて 2 ペダル化を実現した。また、従前スムーサー Gx では機構を構成する各部品の接続摺動部に定期的な給脂が必要であったが、機能の一体化によりこれを廃止するなど、信頼性とコスト、及び重量面での改善にもつながった。

クラッチの位置検出の精度向上により、クラッチ交換時期を推定できるようにした。従前の機構ではクラッチディスクが一定の摩耗量に達すると、マルチインフォメーションディスプレイにクラッチ調整のメッセージが表示される。その都度、クラッチブースターを調整し、調整量が限度に達するとクラッチディスクを交換していた。CPCA ではこの調整作業が不要になるため、整備工数の削減ができた。更にレリーズベアリング位置を常時計測することでクラッチディスクの摩耗量を計算し、交換の時期を推定できるシステムを構築。これによりお客様へ前もってクラッチディスクの交換時期を通知することが可能となり、稼働保証の点からもお客様の利益につなげることができる。

2.3 クラッチディスク及びカバー

CPCA 採用に伴いクラッチディスクとカバーも新設計とした。プル式の従前クラッチカバーをプッシュ式に変更した。クラッチディスクはダンパのチューニングを行い、従前車ではエンジン及びトランスミッションの違いで 3 機種あったものを 1 機種に統合した（**図 3**）。

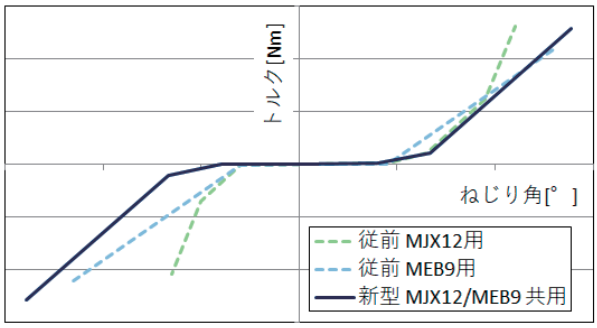
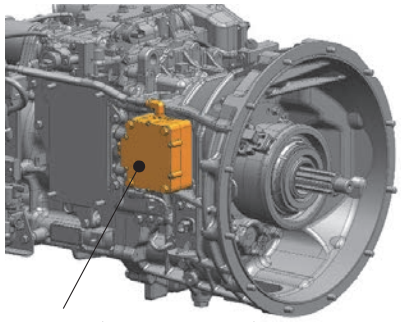


図 3　クラッチダンパ特性比較

2.4 CPCA 制御用マグネチックバルブ

CPCA の採用に伴いクラッチコントロール機構の変更を行った。従前のスムーサー Gx は、流量比例弁と非常用 ON/OFF 電磁弁、ダブルチェックバルブといった、複数のバルブで構成されいていた。CPCA 制御用マグネチックバルブはこれらの機能を 1 部品に集約した装置である（**図 4**）。バルブを集約することで信頼性も向上し、作業工数、並びにコストも削減できた。



CPCA制御用マグネチックバルブ

図 4　CPCA 制御用マグネチックバルブ

また、車両側に配置していたバルブ類をトランスミッションのサイドに移設することで、振動耐久試験の条件をパワートレインの基準に合せるなど、従前に比べて耐久性も向上している。

マグネチックバルブの機能は、CPCA を動作させるために必要なエアの流量をバルブの ON/OFF で調整し、クラッチの断接を行うものである。クラッチを「接」から「断」にする際は、バルブの 1 と 2 が給気バルブとなり、バルブ内のコイルが ON となったときエアを CPCA に供給する。クラッチを「断」から「接」にする際は、バルブの 3 と 4 が排気バルブとなり CPCA からのエアをトランスミッション内に排気する（**図 5**）。

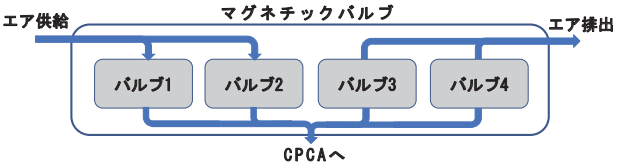


図 5　エア吸排気の流れ

目標耐久寿命検討の際には、MIMAMORI で収集した市場のデータを分析し、車両一生涯の給気・排気バルブの作動回数を算出して試験条件を定めた。また、耐摩耗性向上のためバルブケースに無電解ニッケルメッキ処理を、給気・排気の各 2 つのバルブの作動回数では平均化する制御を採用し、耐久性確保を図っている。フェールセーフの考えのもと、1 つのバルブが欠陥したとしても安全に機能することができるよう、給気バルブ、排気バルブ各 2 つ、計 4 つのバルブを採用している。

3　トランスミッション直載 TCM の開発

3.1 TCM ハードウェア

新型ギガと AMT の新規開発にあたり、それを制御する TCM を新規に開発した。その際、いすゞのエレキアーキテクチャの将来構想に合せ、いすゞ初となるユニット直載型 ECU（Electronic Control Unit）とした。

TCMの搭載位置と形状は、CPCA化にあたりクラッチブースターの跡地に収める設計とした。ブラケットを介してトランスミッションに取付け、トランスミッション側の変更規模を最小にしながら、ブラケットの固定点、トランスミッションのメンテナンスホール等のレイアウトの制約を考慮し、機能安全対応によって複雑化する回路設計に耐えられる、十分なTCMの基板面積を得ることができた（**図6、図7**）。

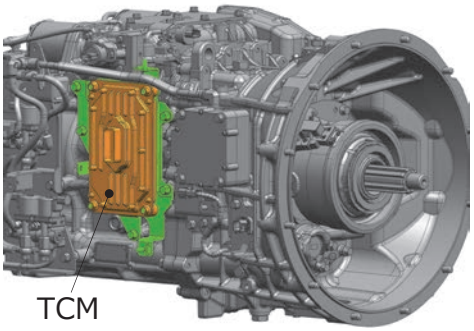


図6　TCMレイアウト

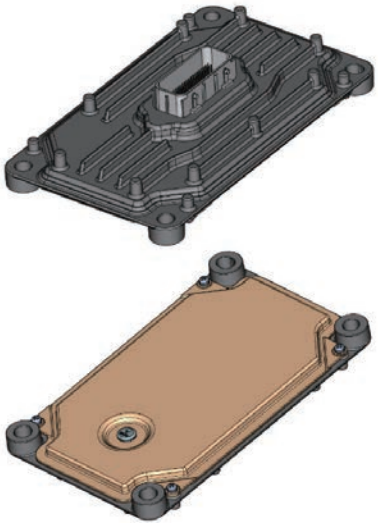


図7　TCM外観図

TCM単体の信頼性は、トランスミッションに直載することで従前よりも厳しい環境条件に耐えられるよう開発を行った。特に水、熱、振動に関する不具合が過去に散見したことから、開発初期にベンチマーキング等で最新のユニット直載型ECUの動向を調査し、MIMAMORIデータから市場の使われ方を分析することで、最適な仕様を決定した。その結果、高圧洗車・冠水路走行による浸水、トランスミッション・排気管からの被熱、悪路走行による振動・大型トランスミッションの変速時の衝撃など、従前のシャシ置きECUより厳しい条件をクリアすることが可能となり、トランスミッション直載TCMとして十分な性能を有していることを確認した。

3.2 TCMソフトウェア

TCMに搭載するソフトウェアについては従前の信頼性の高い仕様を残しながら、新しいシステムに対応できるようにソフトウェア及び開発環境を一新した。ソフトウェアのリファクタリングを行い、機能を容易に追加できるようにすることで、仕様変更と新しいシステムへの対応を加速させた。また、仕様のモデル化によるMBD（Model Based Development）の推進を行い、MILS（Model In the Loop Simulation）の活用による不具合の早期検出、自動コード生成に対応した。これにより、高品質・高機能なソフトウェアを短期間でリリースすることができ、商品性の向上と評価期間の短縮に貢献した。

3.2.1　発進制御

新型ギガではクラッチ制御を一新し、ロバスト性の高い制御を取入れた。

従前の制御は、アクセル開度に応じた目標クラッチ位置を追従するようにクラッチをコントロールするのみであったが、新しい制御ではアクセル開度に応じて目標伝達トルクを定め、目標伝達トルクに実伝達トルクが追従するようにクラッチをコントロールする。この時のクラッチ目標位置に対し、クラッチの温度・摩耗・μ変化による補正をすることでクラッチシステムの個々のばらつき、劣化状況など、さまざまな条件でも常に安定した発進が可能となった。

3.2.2　クリープ

従前車での微速走行には、クラッチペダルの操作が必要だが、新型ギガでは停車状態にてブレーキペダルから足を離すだけで、徐々にクラッチがつながり微速走行が可能となった。渋滞時の発進、及びプラットホームづけに対し、車速コントロールはアクセルペダルを踏むことなく、ブレーキペダルを軽く踏むことで調整できる。ペダル操作の簡素化並びに発進時のギクシャク感もなくドライバへの負担を軽減した。

3.2.3　ロッキングフリーモード

新型ギガではスムーサーGxの搭載が、初のダンプ車展開となり、泥ねい（濘）地の脱出が容易となるロッキングフリーモードを導入した。ロッキングフリーモード中はアクセルペダルを踏むとクラッチが急接し、アクセルペダルを離すとクラッチを急断する（**図8**）。

車両の揺り戻しタイミングでアクセルON/OFFを繰返すことで前後に揺さぶり、泥濘地からの脱出が可能となる。

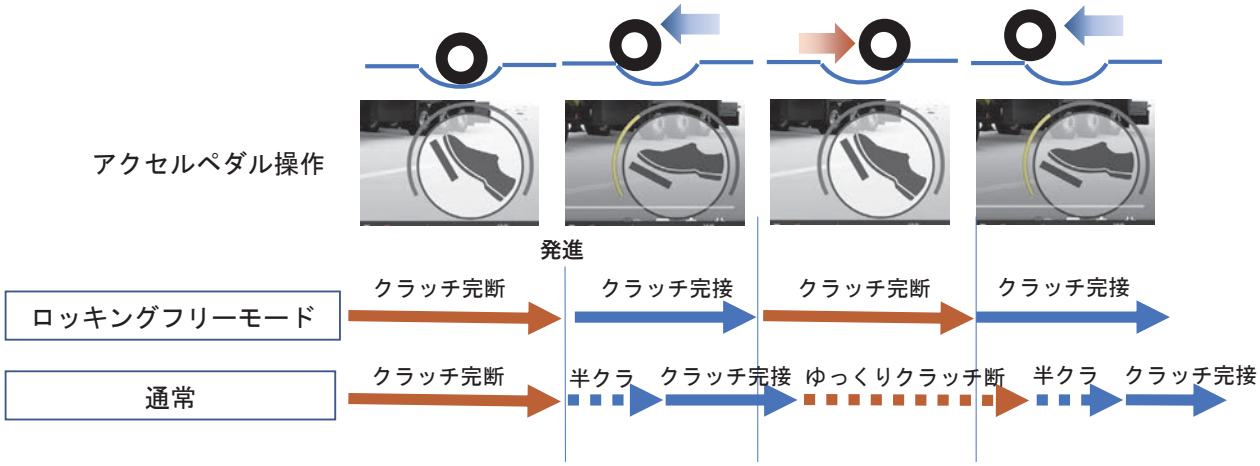


図8　ロッキングフリーモード

4　おわりに

今回新型ギガの駆動系装置では、ドライバが快適に運転できるクラッチシステムを開発することができたと自負している。今後も改善に努め、より信頼性･利便性を高めていく所存である。

最後に、本開発に当たって多大なるご協力をいただいた協力メーカー各社をはじめ、社内関係部署各位に心より御礼申し上げる。

著　者


錦見　真央


聖川　陽一


山田　孝平


笹川　健太


浦田　貴啓


田中　英一


神田　好崇


吉田　一輝

新型ギガ 6UZ1 エンジン開発について

6UZ1 Engine Development for New GIGA

山元　正暁*　Masaaki Yamamoto
嶋田　恭一**　Kyoichi Shimada
落合　史朗***　Shirou Ochiai
稲森　崇彰***　Takaaki Inamori
水上　直***　Nao Mizukami
山中　清志郎****　Kyoshirou Yamanaka
石井　光****　Hikaru Ishii
中村　忠視****　Tadashi Nakamura

要　旨

いすゞは、2023 年 2 月より新型 6UZ1-TC 型エンジンを搭載した新型ギガの販売を開始した。本エンジンは、近年益々地球温暖化の原因である CO_2 排出量削減への意識が高まるなか、従前エンジンに対して大幅な燃費改良を行い、2025 年度重量車燃費基準を達成したディーゼルエンジンである。

Abstract

Isuzu Motors Ltd. launched the GIGA equipped with the New 6UZ1-TC engine in February 2023. In recent years, as awareness of reducing CO_2 emissions, which is the cause of global warming, has been increasing, this diesel engine has achieved the fuel efficiency standards 2025 for heavy vehicles by significantly improving fuel efficiency compared to conventional engine.

1　はじめに

新型ギガ搭載 6UZ1-TC 型エンジン（以下、「新型エンジン」と略す）は、市場で好評を得ている従前ギガ搭載 6UZ1-TC 型の直列 6 気筒ターボ付エンジンをベースに、平成 28 年度排出ガス規制（ポストポスト新長期排出ガス規制：以下、「PPNLT 規制」と略す）に適合しつつ、燃費改良及び軽量化を行い、2025 年度重量車燃費基準に対応したエンジンである。

本稿では新型ギガに搭載した新型エンジン及び後処理装置の概要を紹介する。

2　開発の狙い

新型エンジン開発の狙いは次の①、②のとおりである。

①更なる燃費改良による 2025 年度重量車燃費基準を達成
- 主要車型 +5 %達成
- 一部車型を除く

②軽量化による積載量向上
- エンジン + 後処理重量：約 40 kg 低減

3　エンジン概要

表 1 に新型エンジン主要諸元、**図 1** に性能曲線図、**表 2** に 6UZ1-TCS の JH15 燃費値、**表 3** に 6UZ1-TCS/TCC の JH25 燃費値、**図 2** に新型エンジンの外観写真を示す。

PPNLT 規制の適合と JH25 重量車燃費基準の達成を両立させるため、ターボチャージャ、インジェクタを改良することで燃焼最適化、圧縮比アップによる熱効率向上を図り、フリクション低減としてピストンの変更及び油圧適正化を行った。

表 1　6UZ1-TC 型 エンジン主要諸元

	6UZ1-TCC	6UZ1-TCS	6UZ1-TCH
総排気量 (L)	9.839		
内径×行程 (mm)	120×145		
圧縮比	18.2		
最高出力 (kW/rpm)	265/1800	279/1800	294/1800
最大トルク (N･m/rpm)	1567 /900-1600	1814 /1000-1200	
燃料噴射システム	コモンレール式		
過給システム	電子制御式無段階 可変容量型ターボ		
排出ガス 後処理装置	DPD + 尿素SCRシステム 排気管噴射システム		

* PT 商品企画・設計第一部　** PT 商品企画・設計第二部　***エンジン装置設計部
****PT 実験第一部　**** PT 実験第二部

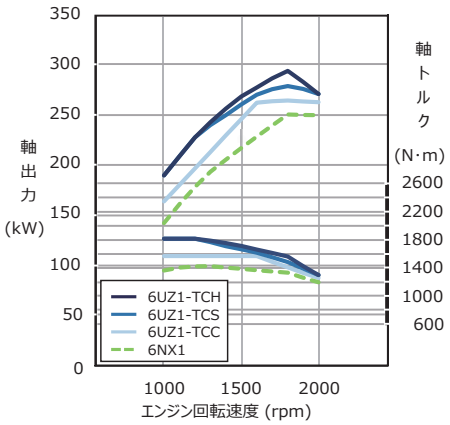


図 1　エンジン性能曲線図

表 2　6UZ1-TCS の JH15 燃費値
（表中青太字は燃費基準 +5% 達成車型）

ｴﾝｼﾞﾝ出力	燃費ｶﾃｺﾞﾘ	変速機仕様	ｱｲﾄﾞﾘﾝｸﾞｽﾄｯﾌﾟ装着有無	JH15 燃費値 (km/L) 基準値	新型	(参考) 従前型
6UZ1-TCS	T10 GVW20t 以下	AMT 12段	無	4.15	**4.42**	4.30
			有		**4.57**	**4.40**
		MT 7段	無		**4.44**	4.30
			有		**4.57**	**4.45**
	T11 GVW20t 超	AMT 12段	無	4.04	**4.30**	4.15
			有		**4.41**	**4.25**
		MT 7段	無		**4.27**	4.15
			有		**4.36**	**4.25**

表 3　6UZ1-TCS/TCC の JH25 燃費値
（表中青太字は燃費基準 +5% 達成車型）

エンジン出力	車型	変速機仕様	ｱｲﾄﾞﾘﾝｸﾞｽﾄｯﾌﾟ装着有無	JH25 燃費値 (km/L) 基準値	新型
6UZ1-TCS	T10 GVW20t 以下	AMT 12段	無	4.88	**5.13**
			有		**5.26**
		MT 7段	無		5.03
			有		**5.13**
	T11 GVW20t 超	AMT 12段	無	4.42	4.57
			有		**4.65**
		MT 7段	無		4.46
			有		4.52
6UZ1-TCC	T10 GVW20t 以下	MT 7段	無	4.88	4.77
			有		4.87
		MT 9段	無		5.02
			有		**5.13**
		AMT 9段	無		4.96
			有		5.08
	T11 GVW20t 超	MT 7段	無	4.42	4.41
			有		4.48
		MT 9段	無		4.44
			有		4.50
		AMT 9段	無		4.40
			有		4.47

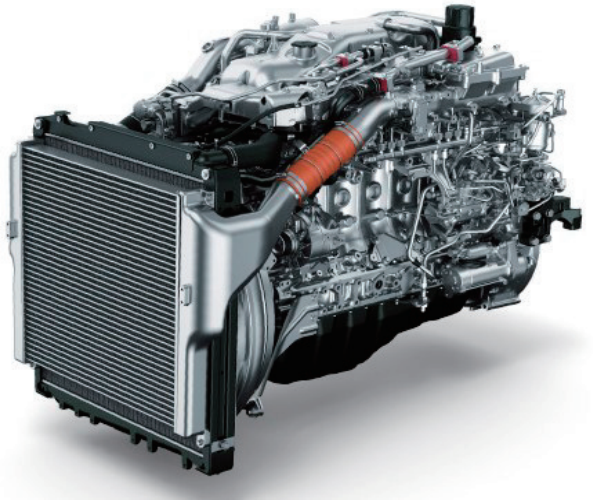


図 2　エンジン外観図

新型エンジンでは、従前の 6NX1 型エンジン（250 kW/1422 N·m）に替わる低出力仕様の 6UZ1-TCC（265 kW/1567 N·m）を新設定し、MT9 段トランスミッションと組合せることで機種統合を行い、従前に対し出力・トルクともに向上させた仕様となっている。

DPD（排出ガス浄化装置：Diesel Particulate Defuser）+尿素 SCR（選択的触媒還元：Selective Catalytic Reduction）システムについては、低燃費化を実現するため低排気温度領域の NOx 浄化率を向上させた SCR 触媒を開発した。

エンジン・後処理ともに形状・材質を最適化することで軽量化を図っている。

4　技術概要

2025 年度重量車燃費基準へ対応するための技術として、ピストンの改良、シリンダヘッドの排気ポート有効面積の拡大、高効率ターボチャージャの採用、初期噴射率を高めたインジェクタの採用、及び後処理触媒の改良を行った。これらのハード変更に加え、電子制御ソフトの改良、DPD 再生制御変更による再生時間の短縮、エンジンアウトの NOx 排出量と燃費性能の最適化を行うことで、2025 年度重量車燃費基準に対し主要車型は基準 +5 % を達成し、その他の車型も一部を除き基準を達成した。

新型エンジンでは燃料消費率マップの低燃費領域を大幅に拡大しており、お客様のさまざまな使われ方においても燃費改善効果が得られやすい燃費特性になっている。**図 3** に低燃費領域の比較イメージ図を示す。

軽量化に関してはエンジンのレイアウト及び後処理本体構造の見直しにより、エンジン本体と後処理で従前比約 40 kg の重量低減を実現した。

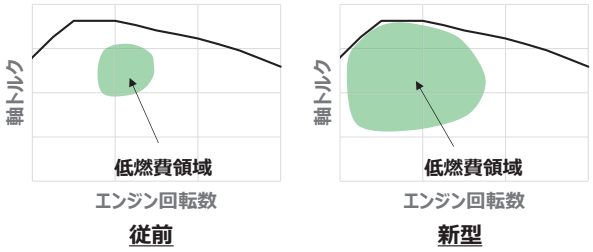


図 3　6UZ1-TCS 低燃費領域比較イメージ図

4.1　エンジン本体

4.1.1　ピストン

燃焼効率改善を目的として、最適な圧縮比及び燃焼室形状を検討した結果、圧縮比は従前の 17.0 から 18.2 に変更した。ピストンリングは従前の 4 本から 3 本の構成とし、かつ従前よりも高い位置に設定することで、リングの摺動抵抗低減と燃焼室無駄容積の低減を図った。リング本数減に伴うガスシール性の悪化は、トップリングの合口隙間を小さくすることで対応し、従前同等のシール性を確保した。また、3 本リング化に伴いピストンのコンプレッションハイト縮小とコンロッド長さの延長を行い、連かん（桿）比を上げた。これによりピストンスカート摺動部のフリクション低減を図るとともに、ピストンの軽量化を実現した。ピストンピンは摺動部外周に DLC（Diamond Like Carbon）コートを付加することでフリクション低減と耐スカッフ性に対するロバスト向上を行った。

図 4 に従前と新型のピストン形状を示す。

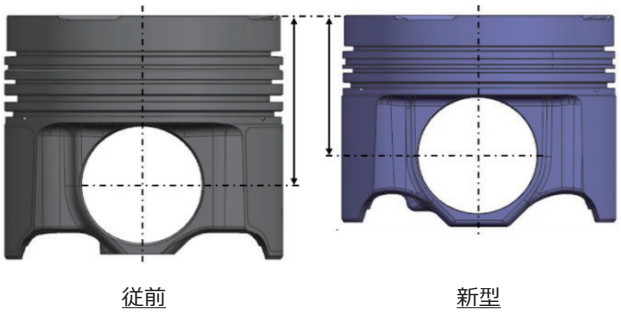


図 4　ピストン形状

4.1.2　ターボチャージャ

燃費低減を目的として、高効率 VG（可変容量型：Variable Geometry）ターボチャージャを採用した。**図 3** のようにエンジン低燃費領域を拡大するためコンプレッサ翼、タービン翼と VG ベーンの仕様を改良し、ターボ効率の改善を図った。VG ベーンについては従前の 3D ベーン形状を見直し、新型では流線形としガスがスムーズに流れるように最適化を行った。

図 5 にターボ VG ベーン形状とガス流れの比較イメージ図を示す。

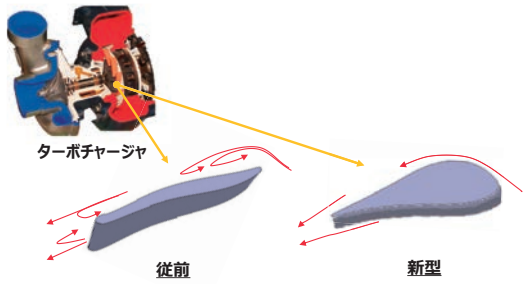


図 5　ターボ VG ベーン形状とガス流れの比較イメージ図

4.1.3　インジェクタ

従前に対し等容度の向上を狙い、噴射率の高く（矩）形化が可能なインジェクタを採用した。これにより従前と同一負荷条件で噴射時のレール圧低減が可能となり、ポンプの駆動トルクを低減することで燃費向上が可能となった。

図 6 にインジェクタ噴射率波形イメージ図を示す。

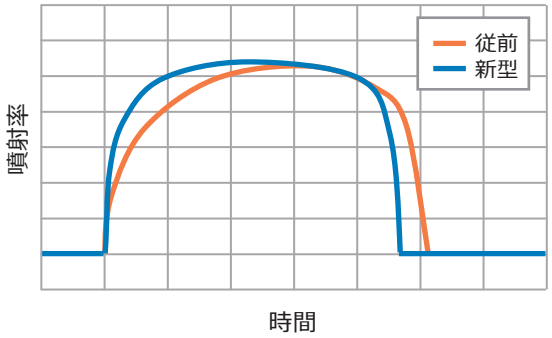


図 6　インジェクタ噴射率波形イメージ図

4.1.4　サプライポンプ、排気管噴射システム

サプライポンプは従前に対し、プランジャ部にシール構造を採用し、燃料へのオイル混入によるオイル消費量とオイルへの燃料混入（ダイリューション）の低減を図った。サプライポンプの改良により、エンジン全体のオイル消費は従前比約 10 % 低減している。

図 7 にサプライポンププランジャシール概略断面図を示す。

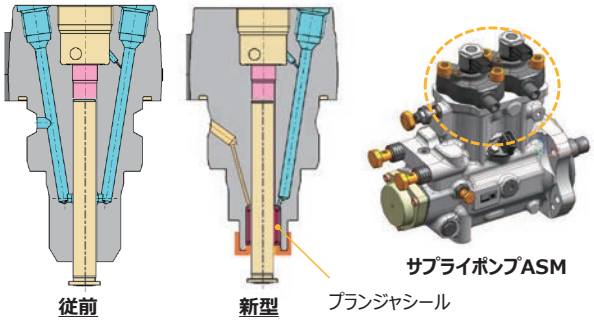


図 7　サプライポンプ プランジャシール 概略断面図

また、サプライポンプにあるフィードポンプのアウタロータとインナロータの隙間公差低減を行い、低回転域のフィード圧の改良を行った。従前の DPD 再生用の排気管噴射システムは、専用の排気管噴射用ポンプにより排気管インジェクタへ燃料を圧送していたが、この改良により、低回転域での排気管インジェクタの噴射バラつきを抑え、サプライポンプにあるフィードポンプに燃料圧送機能を統合可能にした。その結果、排気管噴射用ポンプの廃止及び周辺パイプ類の簡素化による部品点数の削減と軽量化を実現した。

図 8 に排気管噴射システムの燃料系統図を示す。

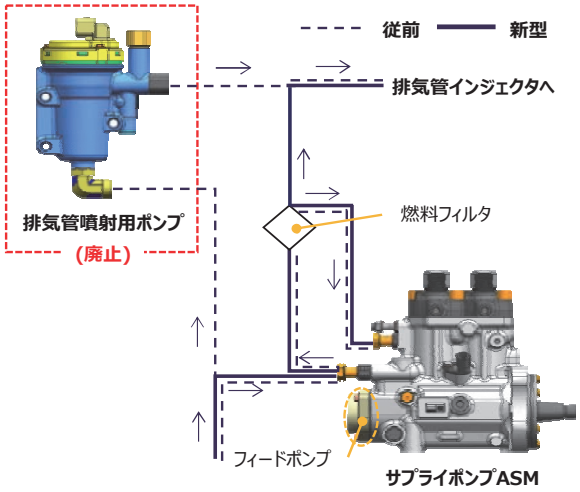


図 8　排気管噴射システムの燃料系統図

4.1.5　EGR レイアウト

新型エンジン開発では、EGR（排気再循環：Exhaust Gas Recirculation）経路の見直しも行った。EGR バルブの搭載角を従前に対して 90° 変更し、その前後に配置している鋳鉄製 EGR ダクトの長さを短縮した。また、EGR ダクトに設置しているヒートプロテクタも形状の見直し及び廃止を行った。これによりエギゾーストマニホールドから EGR クーラ入口までの経路が簡素な構造となり、エンジン全体の軽量化に貢献した。

図 9 に EGR 経路概略図を示す。

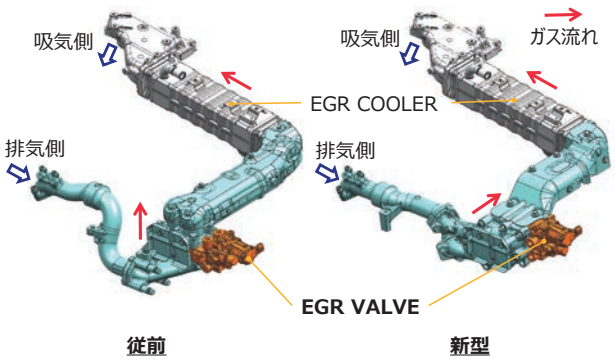


図 9　EGR 経路概略図

4.1.6　オイル劣化推定ロジック

新型ギガでは、車両の使われ方と走行距離に応じてオイル交換時期をお知らせする機能を搭載した。これは、車両の使われ方をモニタリングすることでオイルの劣化状況を推定し、交換時期に達するとメータのマルチインフォメーションディスプレイに交換時期を表示する機能である。従前では、オイル交換距離を一律 4.5 万 km で設定していたが、新型ギガではオイル劣化状況に応じて、適切なタイミングでオイル交換を促すことができるようになった。このロジックの採用により、使われ方によっては最大 10 万 km まで交換が不要となり、オイル交換の頻度とメンテナンスコスト低減の利点がある。

図 10 にオイル劣化推定ロジック概略図を示す。

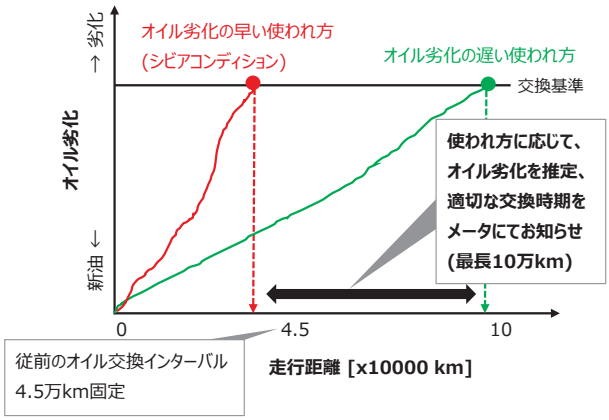


図 10　オイル劣化推定ロジック概略図

4.2　後処理装置

4.2.1　キャニング ＆ 構造

新型ギガでは U 字型形状の後処理装置（以下、「U 字型」と称す）を採用した。**図 11** に後処理装置の概略図を示す。

U 字型は尿素を蒸発・攪拌させるミキサーパイプの機能をミキサーチャンバー内に取込むことにより、従前の箱型形状の後処理装置（以下、「箱型」と称す）に対して尿素ミキシングに関わる部品を大幅に削減した最新型の後処理装置である。この改良により、ミキサーの性能は従前同等以上を確保しつつ、省スペース化及び軽量化を達成した。

また、U 字型は箱型に対して圧力損失が高くなる傾向にあるというデメリットがあるが、搭載姿勢及びガス流れの最適化により、従前と同等の圧力損失に抑えた。

軽量化については、開発初期段階から車両搭載に関わるブラケットも含めて最適なレイアウトを検討した。

また、市場の実情を考慮し、新たな基準の設定と強度評価にも取組み、ヒートプロテクタを始めとする構成部品に必要な強度を確保しながら板厚を低減した。

その結果、後処理システム全体として約 20 kg の軽量化を実現した。

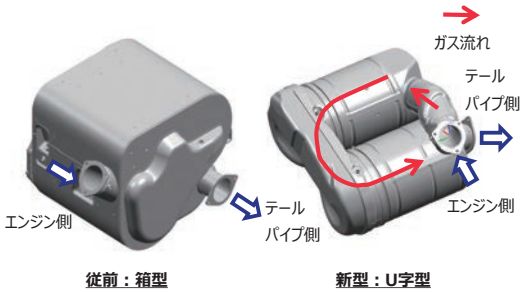


図 11　後処理装置の概略図

4.2.2　後処理 SCR 触媒の改良

図 12 に新型ギガ及び従前の後処理 SCR 触媒 NOx 浄化率温度特性イメージ図を示す。

従前の SCR 触媒では、エンジン本体の燃費改善に伴う排出ガス温度の低下が起きた場合に、NOx 浄化率が大きく低下するという課題があった。そのため新型ギガでは SCR 触媒の材料組成変更により低温時の NOx 浄化率を改善し、燃費改善と両立を図った。

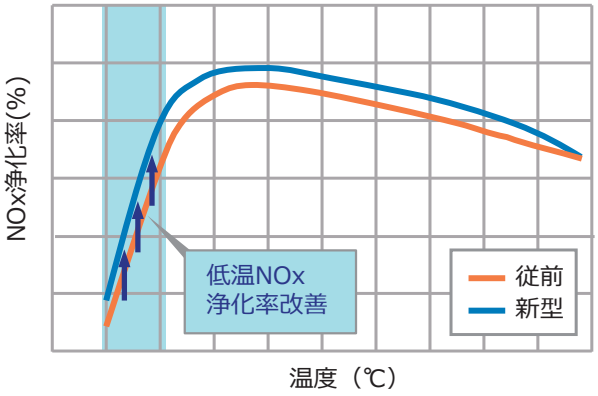


図 12　後処理 SCR 触媒
NOx 浄化率温度特性イメージ図

4.2.3　DPD 再生制御

後処理装置の変更に伴い新型ギガでは、DPD 再生制御を一新した。DPD 再生中の温度制御には、新たにモデルベース制御を取入れ、温度制御性の向上と再生時間の短縮を両立した。加えて、スートモデル制御の採用により、DPD へのすす（煤）の堆積過程と再生中の燃焼過程をモデル化し、高精度で煤堆積量を予測することで、煤堆積量に応じた DPD 再生温度と再生時間の可変制御が可能となった。

上記新制御の導入によって DPD 再生時間、再生時の燃料消費量ともに、重量車燃費モードで約 6 割の低減を実現した。

図 13 に重量車燃費モードの再生時間と燃料消費量を示す。

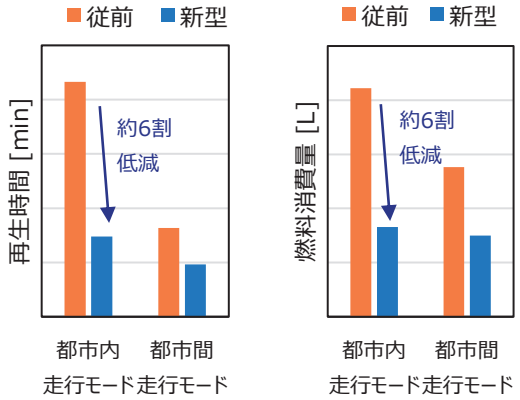


図 13　重量車燃費モードの再生時間と燃料消費量

5　おわりに

新型ギガ搭載エンジンとして 6UZ1-TC 型に軽量化及び燃費改良を行い、2025 年度重量車燃費基準に対応したエンジンを市場に投入することができた。

今後、更に強化されていく国内外の排出ガス規制、及び市場の低燃費要求に応えるため、6UZ1-TC 型エンジンの改良に尽力していく。

最後に新型ギガ搭載エンジンの開発にあたり、ご協力いただいた協力企業及び社内関係者各位に紙面をお借りして心から感謝の意を表す。

著　　者


山元　正暁


嶋田　恭一


落合　史朗


稲森　崇彰


水上　直


山中　清志郎


石井　光


中村　忠視

新型ギガの先進安全技術について

Advanced Safety Technology for the New GIGA

河野　崇*　Takashi Kawano
矢野　裕士*　Hiroshi Yano
橋詰　良平*　Ryouhei Hashizume
青木　智治*　Tomoharu Aoki
中俣　圭介*　Keisuke Nakamata

要　旨

新型ギガ（22 型ギガ）では、従前車（20 型ギガ）で刷新した先進安全装置を踏襲しつつ、市場のニーズと技術動向に合せ、新機能を追加した。

本稿では、新たに機能を追加した先進運転支援システムの開発概要を紹介する。

Abstract

The Isuzu 22MY GIGA is equipped with new functions with market needs and technological trends while following the sensor device of the 20MY GIGA.

Overview of new advanced driver assistance system is explained.

1　はじめに

最新技術導入ステージのスタートモデルとして、先進安全装置を刷新した 20 型ギガの商品化から早 2 年以上が経過した。

この分野に対する技術の進歩は早く、新たな機能を搭載した車両が各社から発表されている状況にある。また、カスタマーが車両購入時に重視する項目は、安全性並びにドライバへの疲労軽減が相変わらず高い。

そこで、世の中の新たな技術動向を取込み、市場の強いニーズに応えるべく、22 型ギガでは新たに安全機能として

- 交通標識認識機能
- 自動速度制御装置
- 車線維持支援
- 先行車追従操舵アシスト機能
- 車線内停止型 EDSS

を開発したので、その紹介を行う。

2　カメラ制御の新機能

交通標識認識機能は、ドライバの標識の見逃しを回避する目的で、22 型ギガより搭載された。この機能は、走行中にフロントカメラで認識した交通標識情報をメータ内部のディスプレイに表示することにより、走行道路の制限速度及びその他の標識情報をドライバがいつでも確認できることを可能にした。また、制限速度に関しては、制限速度超過時に注意喚起を行うとともに、速度制限機能に速度標識の速度に合せる機能を反映した。

2.1　TSR

（交通標識認識機能：Traffic Sign Recognition）

この機能は、自車が走行中にフロントカメラで認識した交通標識をメータ内部のディスプレイに表示する。**図 1** の標識が、認識可能な交通標識となる。

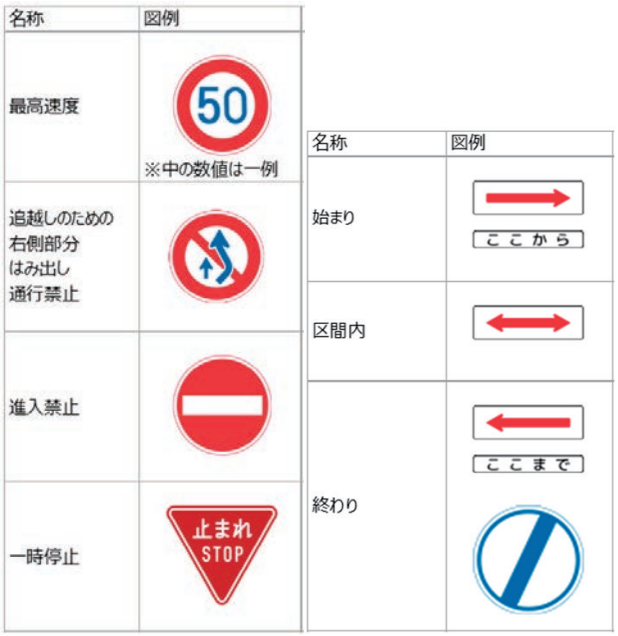


図 1　認識可能標識

* AS システム開発部

制限速度標識は、最も重要な標識情報のため、メータ内に専用エリアを設けて表示を行う。右側部分はみだし通行禁止･進入禁止･一時停止標識は、同じエリアへの表示とし、優先順位に基づき表示を切替える（図 2）。



↑速度標識専用エリア

↑速度標識専用エリア (優先順位により以下の表示も可能)



図 2　速度標識メータ表示

表示タイミングは、制限速度標識及び右側部分はみだし通行禁止の場合、標識通過時を目標とし、カメラにて標識認識から画角が外れるまでの間に認識の精度を判定し、表示可否を決定する。また、進入禁止標識は、標識通過の 17 m 前、止まれ標識は標識通過の 42 m 前を目標としている。これは、標識の表示後にドライバがその標識通過するまでにアクションをとれるように考慮している。

制限速度標識には大型等･大型等を除くの補助標識付きで、二種類の速度標識が同時に表示されている場合があり、かつ最低速度標識も合せ、合計 3 つの速度標識が設置されている場合がある。このような場合でも、大型トラック向けの制限速度表示を実施できるように、認識速度の内、二番目に大きな数値を制限速度として表示することにした。

2.2 ISA
（自動速度制御装置:Intelligent Speed Assist）

20 型ギガにはドライバが手動で制限速度を変更可能な可変スピードリミッター機能を有しているが、その拡張機能として制限速度標識を認識した際にスピードリミッター設定速度が制限速度を超過している場合は、ドライバに制限速度セット車速の変更を促す機能を追加対応した（図 3）。



図 3　制限速度変更承認表示

これにより、制限速度をより一段と厳守することができ、安全運転に寄与することが可能となる。

3　操舵制御の新機能

20 型ギガでは、LKA（レーンキープアシスト：Lane Keep Assist）を一部の車型で採用し、ドライバの長時間運転による疲労軽減に貢献するシステムの商品化を実現した。22 型ギガでは、オートクルーズ･全車速ミリ波車間クルーズ作動中を条件とし、LKA 機能の採用車型の展開を拡大した。合せて、更なる疲労軽減及びイージードライブを可能とするため、全車速ミリ波車間クルーズ付き車両において、作動車速を全車速域（～90 km/h）へ拡大、更に渋滞等で車線が認識できない場合には先行車軌跡を追従するよう、ステアリングを制御する先行車追従操舵アシスト機能を追加した。

安全機能面では、これまで単純停止制御だった EDSS（ドライバ異常時対応システム：Emergency Driving Stop System）を LKA と連動させ、車両を自車線から逸脱させない車線内停止制御へと機能を拡充。EDSS 作動時における対向車、隣接車線走行車及び路側の障害物への衝突を最小限に回避するシステムを新規追加した。

3.1 車線維持支援

20 型ギガで導入した LKA は、ドライバの操舵サポート機能として高速域（60 km/h～90 km/h）に限定し、道路曲率及び走行位置に基づいてドライバがハンドルを切る方向に補助的にトルクを付与するシステムであった。今回の 22 型ギガでは、全車速域（～90 km/h）での制御へ拡大するにあたり、この補助的制御から車線中央を自らトレースするセンタートレース制御へレベルアップさせる必要がある。そこでセンタートレース制御を実現するために一部制御の修正を行った。

センタートレース性を向上させるため、今までのフィードフォワード制御としてマップ変換を用いた制御のほかに、フィードバック制御を追加することで対応した。このフィードバック制御は、実際の車両挙動をリアルタイムで把握し、状況に応じた制御を行うため、車両の細かな姿勢の修正と環境起因による外乱に対する修正が可能となる。この制御を追加したことで、車両の蛇行感を抑え、直進性が大幅に向上し、安定したセンタートレース走行が可能となった。

その一方で、センタートレース性の向上により、車両が車線中央で走行する制御が強くなり、キープレフト走行など車線の端に寄った走行が困難となってしまう。そこで、ドライバが車線の端を走行したい場合は、一時的に演算される目標舵角をオフセットさせ、車線の端を走行できるよう走行位置補正機能を追加した。これにより、制御によって車線中央走行を強制されずに、ある程度ドライバの意志で走行位置を決めて走行できることを可能にした（**図 4**）。

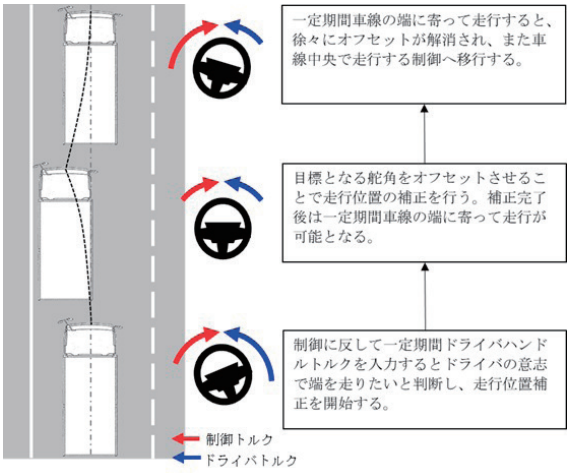


図 4　走行位置補正機能

3.2　先行車追従操舵アシスト機能

渋滞等での低速走行時、前走車との車間が狭いことにより十分な車線認識ができない場合がある（**図 5**）。このような時でも制御を実現するため、先行車の軌跡に基づきステアリング制御を行う、先行車追従操舵アシスト機能を新規追加した。



図 5　渋滞時の車線認識

このシステムは白線情報の代わりに先行車位置情報を用いて目標舵角を求め、追従するようにステアリング制御を行う機能である。車幅の大きな大型トラックでは、常に先行車へ追従する制御をしてしまうと、先行車が少し自車線からはみ出した場合でも自車のはみ出し量が大きくなり、最悪のケースとして隣接車への接触を招いてしまう。そこで車線を認識できた場合は、直ちに車線維持支援機能に移行し、先行車追従操舵アシストを止めるよう優先づけを行った。また、先行車追従操舵アシスト機能制御中であることをドライバへ通知するため、車線維持支援機能表示とは別に、先行車マークを緑色に点灯させる新たな表示をメータに設けることとした（**図 6**）。

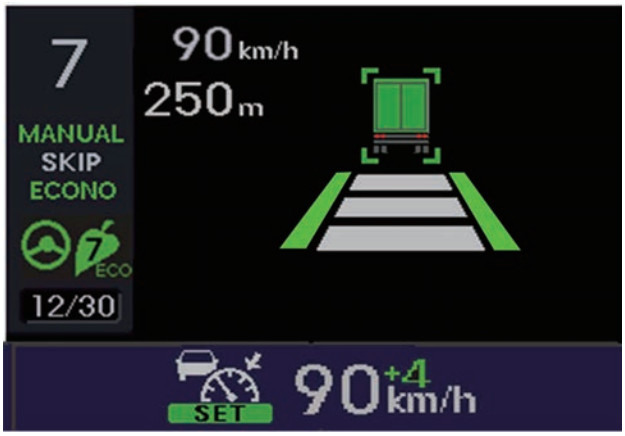


図 6　先行車追従操舵アシスト機能メータ表示

3.3　車線内停止型 EDSS

車線が認識できている場合は、EDSS 作動時に LKA を連動させ、自車が走行停止するまでに走行車線から逸脱することを、可能な限り防ぐ車線内停止型 EDSS に機能を拡大した。この開発にあたり、LKA の制御条件をそのまま使用してしまうと作動条件が成立しづらく、車線内に停止させる頻度が下がってしまう。そこで、クルーズ制御中及びウィンカー動作といった LKA の使い勝手に関わる作動条件は可能な限り緩和し、EDSS 作動時は車線内停止となるように条件の作り分けを行った。

4　おわりに

交通死亡事故ゼロを目指し、日々新たな開発に邁進することが、先進安全システムの開発に携わる我々の使命である。

今回開発した機能が商品化されることで、安全運転に関する意識の向上、及びドライバの疲労軽減につながり、少しでも交通死亡事故ゼロに近づける車両を世に送り出すことができたと考えている。

最後に、22 型ギガの先進運転支援システムの開発に携わった協力企業の皆様、いすゞ社内の関係部署の皆様の多大なるご尽力に深く感謝の意を表し、本稿の結びとする。

著　　者


河野　崇

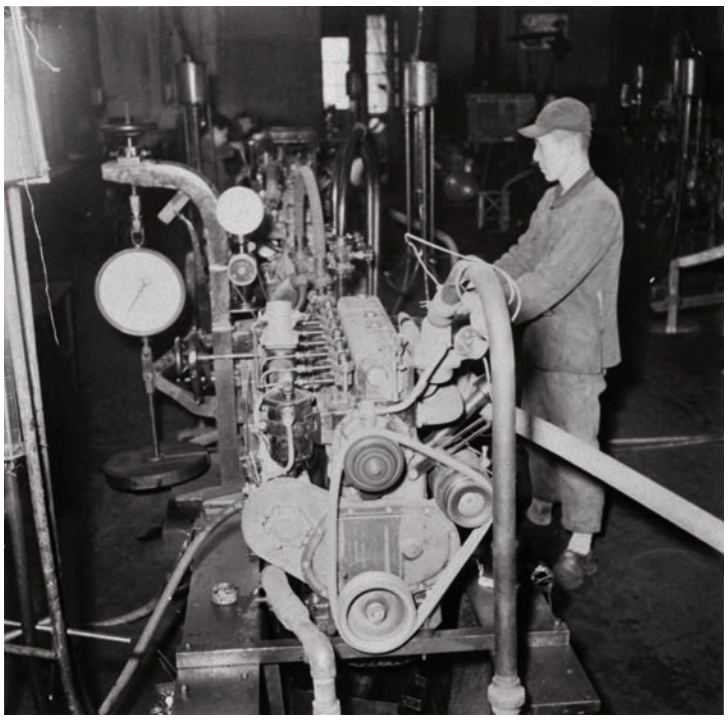

矢野　裕士


橋詰　良平


青木　智治


中俣　圭介

◇いすゞ歴史の一こま



鶴見エンジンテスト（1953 年ごろ）

新型高機能シート開発について

Development of New Multifunction Seat

井上　彰典*　　佐野　力**
Akinori Inoue　　Chikara Sano

要　旨

いすゞ初の純正新型高機能シートは「ドライバの運転環境向上」に主眼を置き開発した。

大型トラックシートに求められる機能・性能を追求した新型高機能シートの開発概要について述べる。

Abstract

ISUZU's first original new multifunction seat was developed with the main focus on "improvement of the driving environment."

This chapter describes the outlined of new ISUZU multifunction seat in pursuit of function / performance required for seats of heavy-duty trucks.

1　はじめに

新型高機能シートは、いすゞの VISION である「安心×斬新」を体現すべく、いすゞらしい耐久信頼性・経済性を継承し、きめ細かなサービス性と品質により安心を提供するのはもちろん、従前のシートに対して座り心地・快適性・疲労軽減・付加機能を向上させることで斬新さを提供すべく開発した。加えて、近年のドライバ不足を鑑みて、老若男女問わずかっこよく乗りたいと感じてもらえる外観に仕上げるとともに、誰もが操作しやすいユニバーサルデザインを各操作部に盛込んだ。また、シート構造を一から見直し、ドライビングポジションの拡大も図った。新型高機能シートの外観を示す（**図 1**）。



図 1　新型高機能シート外観

2　開発の狙いと内容

従前のシートに対し、新型高機能シートは、

① デザインについて
② 座り心地の向上
③ 機能性・操作性の向上
④ 快適性向上・ドライビングポジションの改善

の 4 つのポイントに重点を置き、より魅力あるシートにすべく開発を行った。

2.1 デザインについて

デザイン開発にあたり、意匠の目標を「新型エルフ・フォワードのシートとの親和性」「大型車にふさわしい風格・堂々とした佇まい」と定めた。

この新型高機能シートは当初より、新型フォワードへの展開を検討しており、意匠面では新型ギガ・新型フォワードそれぞれのインテリアにマッチすることが求められた。新型エルフ・フォワードのインテリアデザインは、「動き・軽快さ」の表現として上広がりのテーマを随所に用いている。そのテーマを高機能シートでも活かすことで、新型フォワードへ採用した時に意匠の親和性を確保しつつ、シートベルトの開口部をレイアウトする肩回りが大きく張り出すことを特徴とすることで、大型トラックの高機能シートらしい「風格・堂々とした佇まい」を表現した（**図 2**）。

*車両設計第三部　　**デザインセンター



図２　シートラインナップスケッチ

開発初期より、クレイモデルに実際の表皮を貼込み、マテリアルのリアルな見栄え、スティッチ、ソーイングラインなど、量産品質を意識した形状の作り込みを行った。

同時に新型ギガ・新型フォワードのインテリアデザインとの意匠の相性を確認するためにデータ上での評価を繰返し行い、それぞれのインテリアに最適な形状を早期に決定することができた（**図３**）。



図３　クレイモデル・CG レンダリング

表皮は、お客様の趣向に合せて選択できるように、オール合成皮革仕様とファブリックと、合成皮革のバイマテリアル仕様の２種類を設定した。

オール合成皮革仕様は、パーフォレーションとキルティング加工をメイン部に施し、高級感を高めた。

バイマテリアル仕様は、抗菌・抗ウィルス加工技術「nanospea®」をメイン部のファブリックに付与し、快適性を高めた（**図４**）。※「nanospea®」は TB カワシマ株式会社登録商標



図４　表皮仕様

2.2　座り心地の向上

サスペンション（以下、「サス」と略す）機能付きシートは、車体からの振動をしっかりと吸収しドライバが上質で快適な乗り心地を感じるために、シートの上下ストロークがどの位置にあっても、同等のエアスプリングのバネ力、及びダンパの減衰力を確保していることが重要となる。新型高機能シートではそれを実現するため、エアスプリング及びダンパそれぞれの配置・取付け構造を一から見直した机上検討に加えて、走行試験からフィードバックのサイクルを繰返して調整を行うことで、スムーズなサスの動きを実現し乗り心地性能を向上させた（**図５**）。更に小柄から大柄までさまざまなドライバに最適な座り心地を提供するため、ダンパ減衰調整量のレンジをソフト側に 25 % 拡大した。

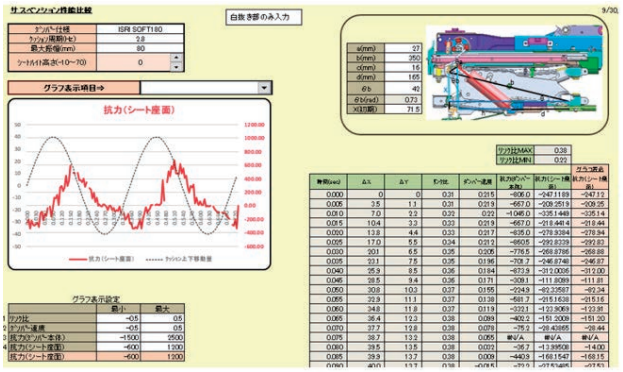


図５　サス性能分析シート

座面・背面では日本人に合せた最適な形状にすることでフィット感を向上させ、更に座面厚を 20 mm 拡大し低反発ウレタン（ALL － MDI 系）の採用により、座り心地と衝撃吸収性を向上させた。加えて背面の形状を工夫し骨盤付近を適度に支持することで、踏ん張ることなく腹斜筋・大腿筋への負荷を低減し疲労軽減も図った（**図６**）。

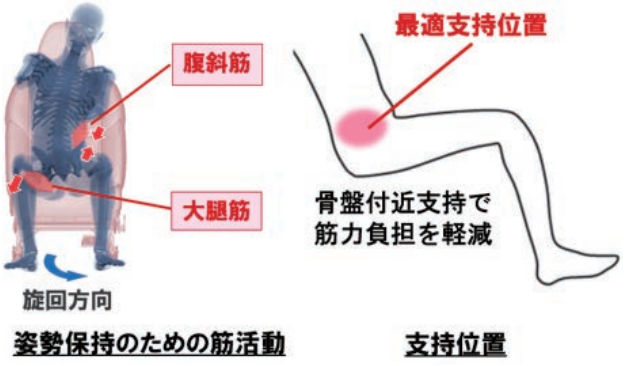


図６　骨盤支持による筋負担低減

2.3 機能性･操作性の向上

スイッチ操作により走行中等に任意のタイミングでシート固定を可能にした世界初の電動式サスロックを開発した。電動式サスロックにより、走行中の路面状況に応じた使い分け、及びドライバの好みに反するシート上下動を解消した（**図 7**）。また従前は降車時にシートが上がり、降りづらいために強制排気の機能を使っていたが、この機能は降車時に毎回ボタンを操作しシートが下降するのを待つ必要があった。今回の電動サスロックは、シートベルトの着脱によりサスがロックし、ドライバが余計な動作無しに容易に降車できるように配慮した（**図 8**）。

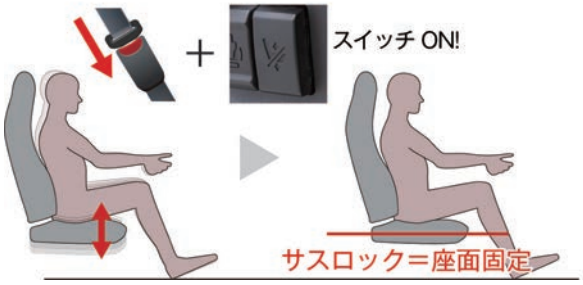


図 7　運転中のサスロック



図 8　降車時のサスロック

スイッチ類は頻繁に操作する順番に、姿勢の変化がなく操作できる位置に配置した（**図 9**）。またデザインは一体感とユニバーサルデザインを考慮するとともに、操作系による形状の差別化を加え、その操作方法を全て非共通にすることにより、感覚で操作ができるよう配慮した（**図 10**）。レバー類は 1 点 1 点それぞれに合せたインバース形状とディンプル・セレーションを設定。操作力軽減、及び操作性･品質感を向上させた（**図 11**）。

また操作時の音に関してもこだわり、金属音の低減を図った。



図 9　スイッチ配置



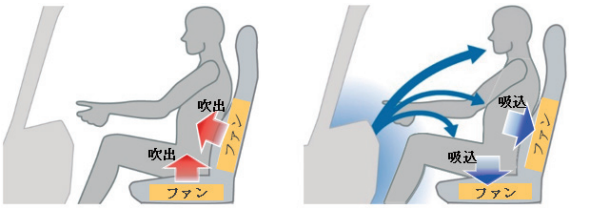
図 10　レバー･スイッチ操作イメージ



図 11　リクライニングレバー操作部

2.4 快適性向上･ドライビングポジションの改善

従前より採用しているシートベンチレーションシステムでは、内蔵のファンによりシート表面から風が吹き出すタイプから、風を吸い込むタイプに変更した。これにより夏期など乗車直後に、シートに溜まった熱風をドライバに吹きつけることを防止し、シート表面の熱を吸い込むことで乗車直後から冷涼感を感じられる効果を得た。また HVAC（Heating Ventilation and Air-Conditioning）からの冷風も体に沿って吸い込むことで高い効果が得られる。加えて吸い込みによる蒸れ感改善も期待できる（**図 12**）。パッド表面に 3D ネットを配置し、通気度の高い表皮の選択によって従前に対し 2 倍以上の送風量を達成した。



(a) 従前　　(b) 新型

図 12　送風タイプ

ヒータに関しては従前の温熱感効果に加えて、長時間の着座で発生しやすいむくみの低減に着目し、温度を利用した身体の血液循環を促進させるため、次の①～③の切り口で開発を進めた。①心臓から遠い末端部分を温める　②膝裏～大腿前部の動脈と静脈を温めることで血管を拡張させる　③臓器付近を温めることで疲労物質を除去する。これらを活用するため座面と背面をそれぞれ 4 つのエリアに分けて最適な部位を最適な温度に設定したことで、速暖性能は従前同等を維持しながらも、長時間の利用時に快適で、かつ疲労・むくみ・肩こり・眠気が低減できるヒータを開発した（図 13）。



図 13　エリア別の温度分布

昨今のドライバ不足から、大型車に不慣れな方々が、老若男女を問わず運転する機会が増えている。さまざまな方が快適に運転できるよう、構造を一から見直しレイアウトを限界まで突き詰めた。従前比スライドレンジを後方へ 30 mm 拡大、ハイトコントロールレンジを下方へ 10 mm 拡大。これにより従前よりも幅広い体格の違いに最適なドライビングポジションを提供することを可能とした（図 14）。



図 14　調整域拡大

また、9 種 20WAY の調整機能を設定した（図 15）。これにより、今後更に拡大するドライバの多様化による体格の違い及びサポート感と強弱の好みにも対応できるようにした。



図 15　各種調整機能

3　おわりに

今回ドライバの運転環境向上に主眼を置き、サスペンションのレイアウト等の基本設計からシートサプライヤ殿と協業し、細部にわたって繰返し議論をしながら開発を行った。

今後市場からの更なる要望に対しても耳を傾け改良に努めたい。

最後に、新型高機能シートの開発にあたり、多大なご協力をいただいた社内外関係者の皆様に心より御礼申し上げる。

著　者



井上　彰典



佐野　力

論文・報告

商用車テレマティクス「MIMAMORI」全面刷新の紹介

Introduction of Full Model Changes of “MIMAMORI” Telematic Services for Commercial Vehicles

山口　俊光*　西　眞之*　末貞　貴弘*　川頭　智**　松川　晃大**
Toshimitsu Yamaguchi　Masayuki Nishi　Takahiro Suesada　Satoshi Kawagashira　Kodai Matsukawa

要　旨

2004年に「みまもりくんオンラインサービス」としてサービスを開始した日本の商用車としては初となる本格的なテレマティックサービスは、その後も市場の要望に応え機能の向上などの進化を経て来た。2022年10月に、更に幅広いサービスを可能とする「MIMAMORI」の全面刷新を行った。その全容を紹介する。

Abstract

Launched in 2004 as the Mimamori-kun Online Service, the first full-fledged telematics service for commercial vehicles in Japan, the service has continued to evolve to meet market demands and improve functions. In October 2022, we completely revamped MIMAMORI to enable a wider range of services. The whole story is introduced.

1　はじめに

日本ではトラック輸送が、国内産業及び国民生活など、ライフラインを支える必要不可欠な存在である。ラストワンマイルまで荷物をお届けするために、トラック輸送が重要な役割を担っており、すでに宅配などの輸送における付帯サービスは高いサービスレベルに達しており、その品質は高い評価を得ている。

その一方、2024年施行の「働き方改革関連法」の対応、ドライバ不足問題、CO_2削減、運送の効率化、安全運航の高度化など、運送事業者と荷主が直面する厳しい環境の中で、いすゞはお客様と向き合い、求められるサービスの更なる向上に日々努力している。

こうしたお客様の課題解決に向けて、いすゞは将来を見据え、高度な拡張性を秘めた次世代情報プラットフォーム「GATEX」を構築した。

「GATEX」は荷主・運送事業者・物流倉庫、社会インフラなど、さまざまな情報ネットワークとつながることを想定しており、幅広いサービスの可能性を秘めている。

今回刷新した「MIMAMORI」ではこのプラットフォームを活用しつつ、操作画面の見やすさと使い勝手の向上を実現した。

2　商用車情報基盤「GATEX」

2.1　概要

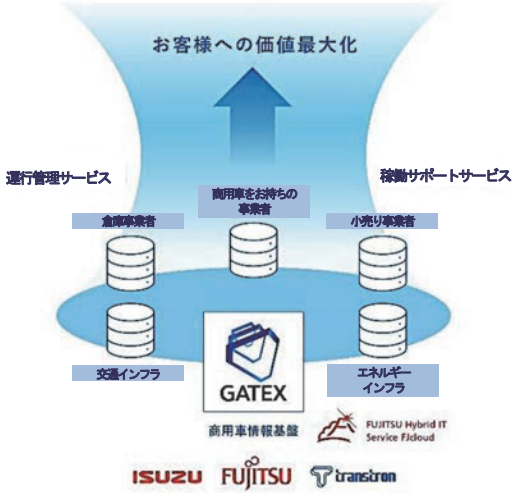


図1　「GATEX」の概念図

「GATEX」は、いすゞ、株式会社トランストロン様（以下、「TTI」と略す）、富士通株式会社様（以下、「富士通」と略す）の3社が、2021年2月より構築を進めてきた商用車情報基盤であり、いすゞとTTIがお客様から情報をお預かりする約50万台の商用車向けにサービスを提供する、商用モビリティ分野において最大規模の情報基盤である。

「GATEX」は、いすゞの「MIMAMORI」、「PREISM」の提供に加え、荷主・運送事業者・倉庫事業者等の基幹

*コネクテッドシステム開発部　　**システム企画部

システムをはじめとしたデータと連携し、物流業界が抱えるさまざまな課題の解決に寄与する仕組みを提供する。また、業界を超えた情報基盤とデータ連携による新しいソリューションの創出、及び電動商用車の普及を見据えたEMS(Energy Management System)の構築、多種多様なデータベースとしての活用により、お客様へ提供する価値の最大化と、カーボンニュートラル社会の実現に貢献する（**図1**）。

2.2「GATEX」のシステム構成

「GATEX」は、富士通が提供するFUJITSU Hybrid IT Service FJcloud(以下、「富士通クラウド」と称す）上で構築した（**図2**）。内部は運行管理と稼働サポートの2領域で、各領域はアプリケーション、データ基盤、車載機データ受信の3層で構成する。各領域、レイヤを相互連携することで、同一基盤上で運行管理サービス「MIMAMORI」と稼働サポートサービス「PREISM」の2種のサービスを提供可能とした。

運送業者の基幹システム等、外部との連携は、インターネット上での標準的なAPI（Application Programming Interface）技術の活用により実現可能である。

アプリケーション開発では、従前型の構造型データベースと分散型の大容量データベースの併用による多様なデータ対応と、データ送受信のためのメッセージキューイング技術等、多数のOSS（Open Source Software）を組合せて、高機能かつ柔軟性を確保している。OSSは、富士通の基準に準拠した不具合調査、ぜい（脆）弱性診断により、常にセキュリティが担保されている状態で利用ができる。

以上のシステム構成により、「GATEX」は、いすゞの「MIMAMORI」、「PREISM」、TTIの「ITP-WebService」との相互連携、統一運用を実現した。今後は、商用モビリティ分野において最大規模の情報基盤として、高品質のサービス提供、外部連携を行い、お客様の価値を最大化していく。

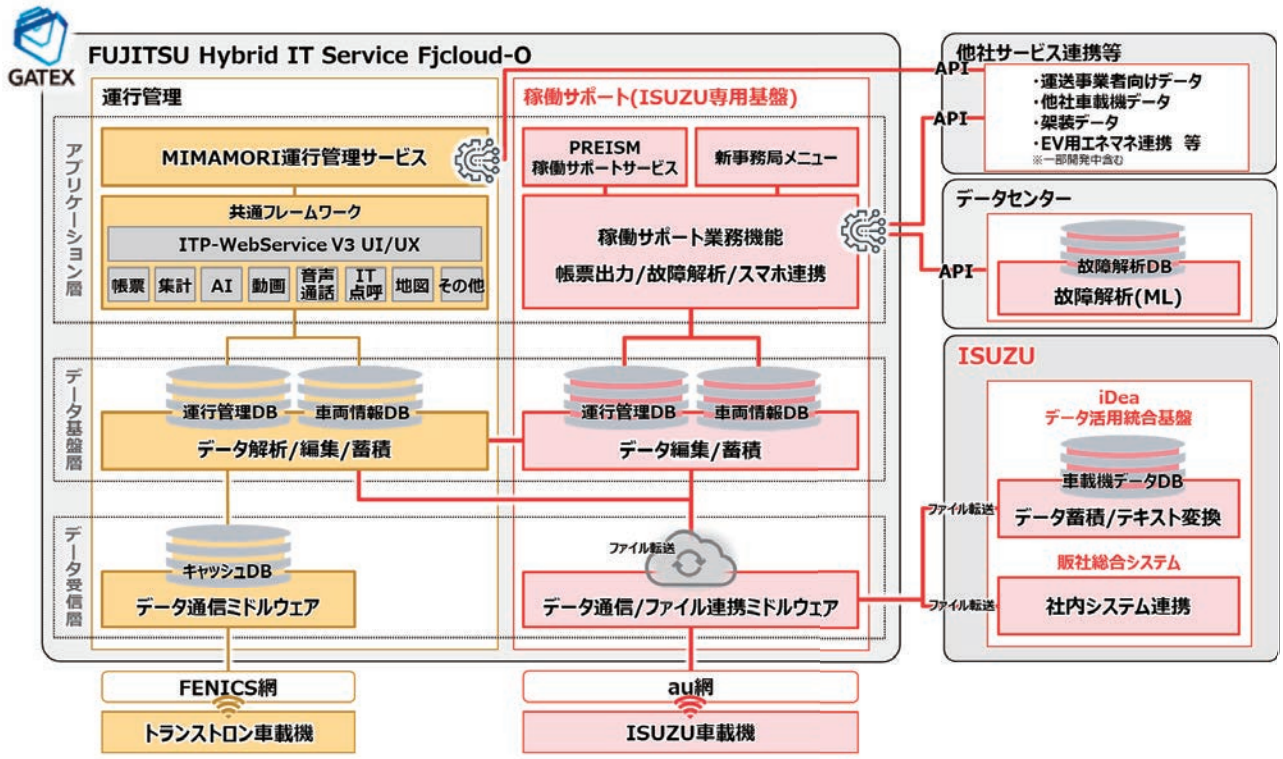


図2 「GATEX」のシステム構成

3 「MIMAMORI」主な新機能／サービス

3.1 商用車ナビ（ナビゲーション）

商用車専用のナビゲーション（以下、「商用車ナビ」と称す）機能を搭載し、例えば大型車の車格を考慮して通れる道だけをナビゲーションする。新規の取引先、道に不慣れなドライバでも安心して運転に集中できる。

運行指示書のデータを車載の商用車ナビへ自動的に連携することで、目的地へスムーズに案内し、走行距離短縮並びにCO_2排出量の削減に貢献する。また、事務所から目的地をメッセージ送信するだけで商用車ナビへ自動反映でき、ドライバの操作がなくとも目的地まで簡単に案内することができる（**図3**）。



図3 「商用車ナビ」運用イメージ

3.2 動画ドラレコ（ドライブレコーダ）

最大6台のカメラを装着可能で、運行管理者はWeb上でそれぞれ車載カメラの映像が確認可能。Web画面にて瞬時に動画再生を行うこともでき（図4）、また、路面状況の確認と庫内監視にも活用できる。



図4 「動画ドラレコ」画面例

3.3 運転日報のカスタマイズ

運転日報のレイアウトを最大約10万通りにカスタマイズが可能。お客様の細かなニーズに合せ帳票（図5）を作成できる。

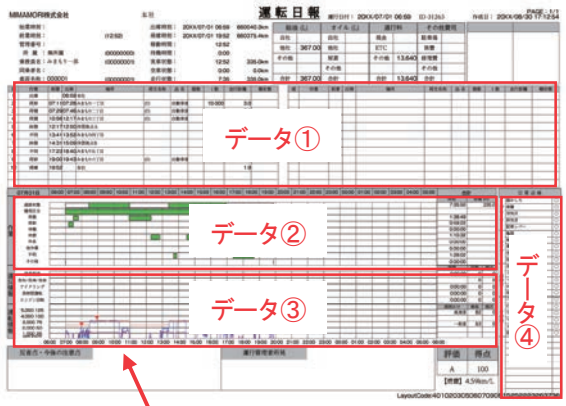


図5 「運転日報」レイアウト例

3.4 労務管理帳票の自動化

労務管理帳票の管理・集計を自動化（図6）。運行データを自動的に反映するので、労務管理業務を効率化しお客様負担を軽減。

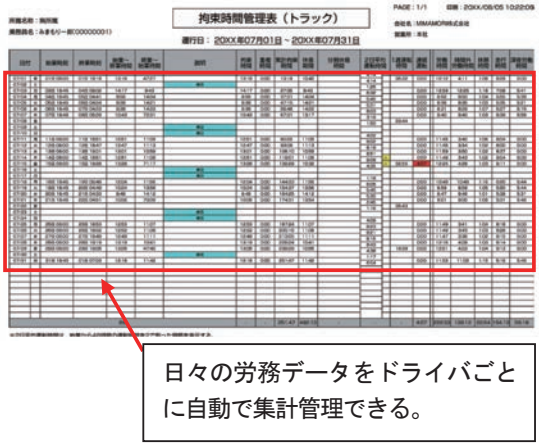


図6 「拘束時間管理表」例

3.5 標準機能の拡充

「インターネットデジタコ」、「温度お知らせサービス」、「点呼機能・アルコールチェッカー連携」、「自動日報印刷」機能を標準で搭載して利用可能となっている。

このうち「インターネットデジタコ」機能では、デジタルタコグラフのデータをオンラインでGATEX上に自動でアップロードし、運行管理者はWeb画面上で直接運行単位ごとにデータ解析までの全てを実施可能にした。

3.6 動態管理と連携した情報取得

車両の位置情報をもとに、従前の降雨情報（図7）に加え、津波情報、気象警報・注意報（図8）、土砂災害危険度マップ、台風・地震情報等が確認可能。

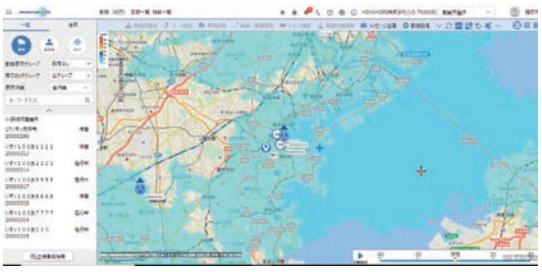


図7 雨雲データマップ



図8 気象警報・注意報

3.7 新たなユーザーインターフェイスの採用

新型ギガに標準搭載したタッチパネル式センターディスプレイで直感的な操作が可能（図 9）。

従前の MIMAMORI コントローラ（図 10）の機能をセンターディスプレイにアプリとして搭載した。



図 9　新採用のセンターディスプレイ



図 10　17 型 MIMAMORI コントローラ

ディスプレイ付きの汎用型車載機（図 11）を搭載することで、センターディスプレイのない車両でもサービス可能。



図 11　汎用版 22 型 MIMAMORI 車載機

4　車載システム

4.1 車載システム構成概要

刷新された「MIMAMORI」の車両側の操作性の向上、画一性、見やすさ改善などのため、新規に装置を開発し、構成を見直した。従来の「MOPS」サーバー構成と「GATEX」プラットフォーム構成の比較を図 15 に示す。

4.2 データトランスファユニット（DTU）

センターディスプレイとサービスを連携させるため、新たにデータ通信機を開発した。

従前の MIMAMORI コントローラに接続していた外部機器を、MIMAMORI コントローラがなくとも、これまでどおりの接続を可能とした。

また、時代に沿ったサイバーセキュリティ対応のため、セキュリティ性能を向上させた。

4.3 MIMAMORI コントローラアプリ

MIMAMORI コントローラとして搭載していた機能を、HTML5（Hyper Text Markup Language 5）を用いてアプリケーション化し、センターディスプレイ上で動作できるアプリケーションとして搭載した（図 12、図 13、図 14）。これにより専用コントローラのハードウェア搭載が不要となった。また、将来の機能拡張に合せて新たなアプリケーションの更新・追加ができる OTA（Over the Air）機能を搭載した。



図 12　運行中メニュー画面



図 13　ECO ドライブ画面



図 14　連続運転表示画面

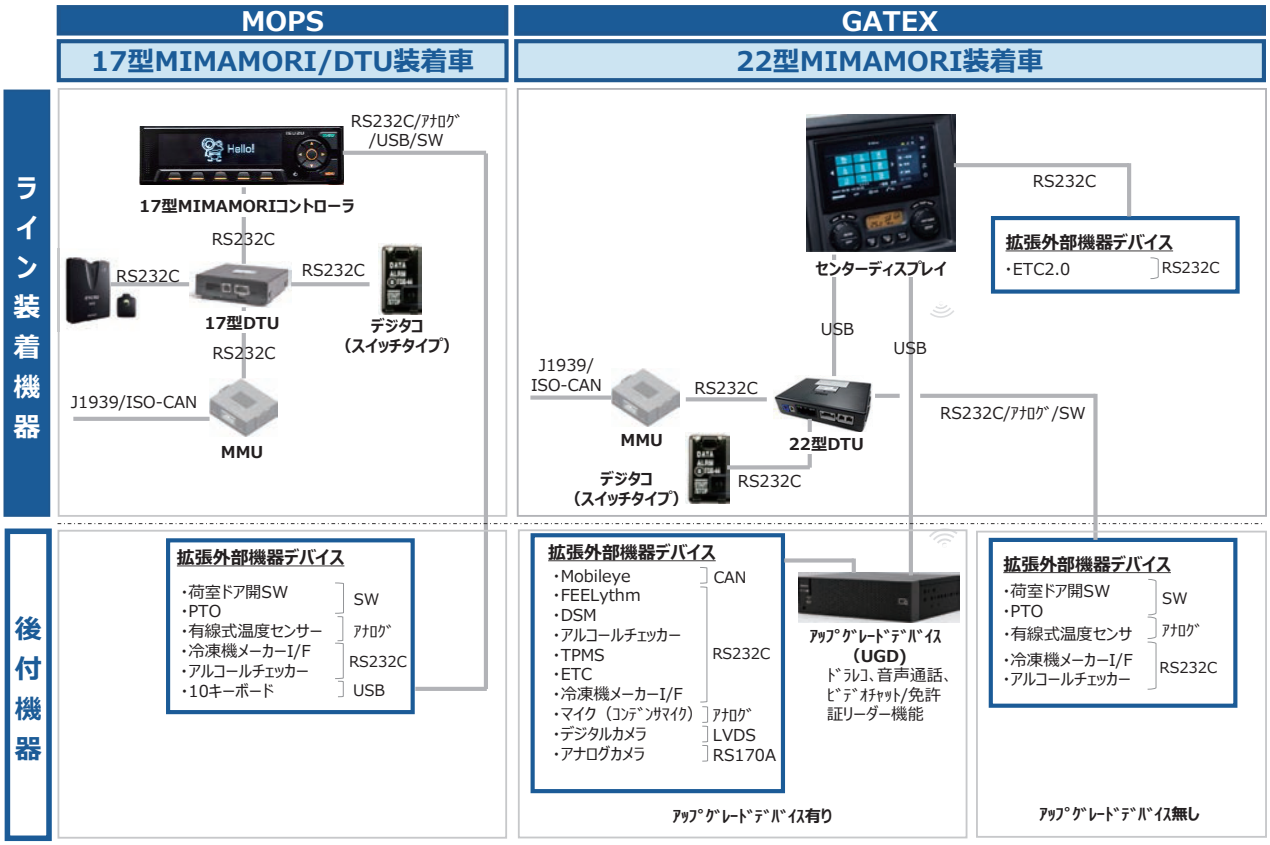


図 15 「MOPS」「GATEX」の車載システム構成比較

5 おわりに

今回刷新したいすゞの「MIMAMORI」サービスと稼働サポートシステムである「PREISM」は国内のお客様から高い評価を得ている。ここで培った技術、及びサービスは国外のお客様に対しても貢献できると確信しており、今後、お客様のニーズをくみ取りながら広く展開して行きたいと考えている。はじめに述べたように、カーボンニュートラルをはじめとした課題に対しても、より一層のサービス向上を図り、お客様の信頼に応え、ご期待に沿えるように更に努力していく所存である。

著　者


山口　俊光


西　眞之


末貞　貴弘


川頭　智


松川　晃大

論文・報告

Optimized Vehicle Representative Input Measurement for Increased Accuracy in Correlation of Exhaust System Displacement Between Vehicle Test and CAE

Prashant Panneerselvam* Tharun Chillakuru*

Masayori Otake* Gerald Bergsieker*

Abstract

The durability of a product is influenced by three key factors: the applied load, the structural configuration, and the material properties. In the case of automotive products, their durability performance relies not only on the design of the structure but also on the dynamic characteristics of the road load, including profiles and frequency spectrum, as well as the fatigue properties of the materials used. Vehicle loads are dynamic in nature, posing a significant technical challenge in optimizing the durability design of automotive products, particularly in establishing a representative set of road loads. The load quantification methods need to accurately capture the rough road durability data, which often consists of substantial amounts of information, while ensuring both accuracy and efficiency in the analysis. This paper introduces a correlation method developed by Isuzu Technical Center of America (ITCA) to address challenges in the load correlation between test and CAE(Computer Aided Engineering). The developed optimized standard test procedure draws inspiration from the vehicle validation and testing procedure (ITE-000274E) for durability. However, the standard procedure (ITE) has limitations for correlation because it measures loads in the Z-direction and only on the driver side. To overcome these limitations, ITCA has proposed an improved method. The proposed method considers durability inputs on both the driver and passenger sides in the X, Y, and Z directions, and utilizes them to predict the system response loads. By incorporating load data from multiple directions and locations, the proposed method aims to provide a more comprehensive representation of real-world scenarios. The results of the study demonstrate that the optimized load application yields better correlation between the test and CAE response.

1 Introduction

In the pursuit of accurately assessing the structural durability of automotive products, defining representative inputs that faithfully simulate real-world conditions and loads becomes a critical aspect. The durability performance of vehicles in the automotive industry depends not only on their structural design but also on the dynamic characteristics of road loads, such as profiles, frequency spectrum, and material fatigue properties. To achieve a comprehensive understanding of the structural durability of automotive systems, it is crucial to integrate advanced data acquisition systems and real-time monitoring techniques. These tools enable the capture and analysis of crucial performance metrics, facilitating a more accurate assessment of the system's durability. Despite efforts to replicate operating conditions, variations in load profiles, boundary conditions, and other factors can influence the accuracy of establishing a direct correlation between test conditions and actual usage scenarios. Furthermore, advancements in computational analysis methods, such as CAE, have revolutionized the automotive industry by enabling virtual simulations and predictions. However, the accuracy and reliability of CAE predictions heavily rely on the correlation between the input loads applied and the corresponding responses obtained through simulations. This study aims to address the need for overcoming limitations in standard durability testing (ITE) and CAE validation through the utilization of an optimized methodology. By enhancing the accuracy and reliability of durability predictions, this approach contributes to the improved design and performance of engineering systems under real-world conditions. The primary focus of this study is to highlight the input load limitations of the vehicle data measured per standard method (ITE) and its correlation with CAE simulation. The existing vehicle validation and

* Isuzu Technical Center of America, Inc.

testing procedure (ITE-000274E)[2] for durability provides valuable insights but presents limitations in correlation due to its exclusive measurement of loads in the Z-direction and solely on the driver side. To address this issue, we have developed a novel approach that integrates durability inputs from both the driver and passenger sides, incorporating load measurements in the X, Y, and Z directions. By considering load data from multiple directions and locations, our objective is to provide a more comprehensive representation of real-world scenarios, thereby improving the correlation between the test and CAE response. Throughout this paper, we will explore the limitations of the standard durability testing methodology, assess the accuracy of the CAE simulation methodology utilizing the MTRAN (Modal Transient Response Analysis) setup, and compare the PSD(Power Spectral Density)s of muffler response obtained through the standard and optimized methods. We will emphasize the significance of selecting and calibrating appropriate input and response locations in the durability testing process. By utilizing our proposed optimized methodology, engineers can overcome the limitations of the standard durability testing procedure and enhance the correlation accuracy between load inputs and CAE response. This improved correlation allows for more reliable durability predictions, ultimately leading to superior design and performance of engineering systems under real-world operating conditions.

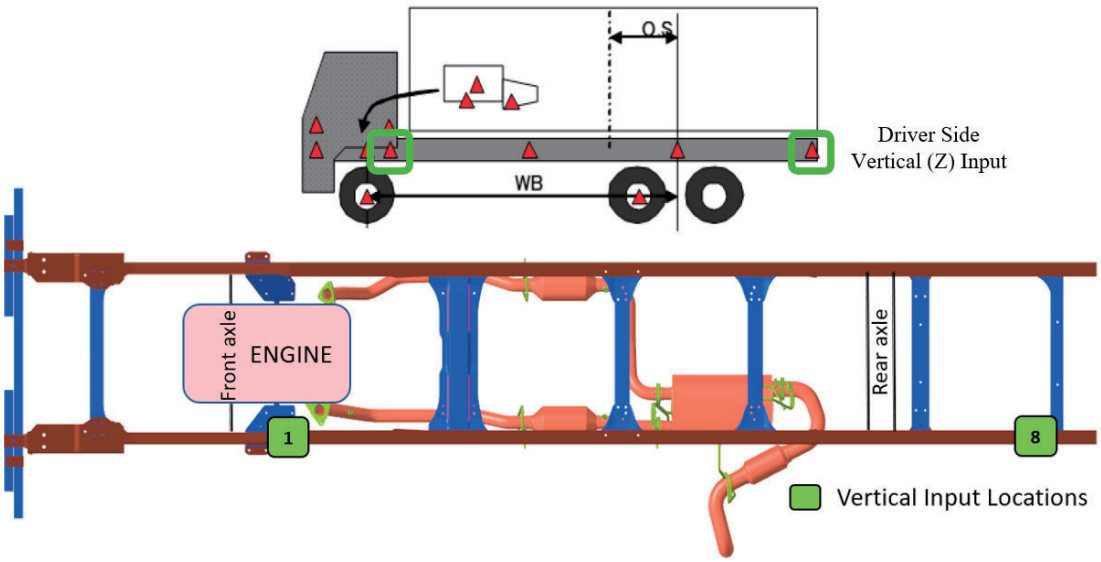


Figure 1. Schematic Illustration of Input Locations on 21MY ELF Frame FEM (Finite Element Method): Standard Test Procedure[2]

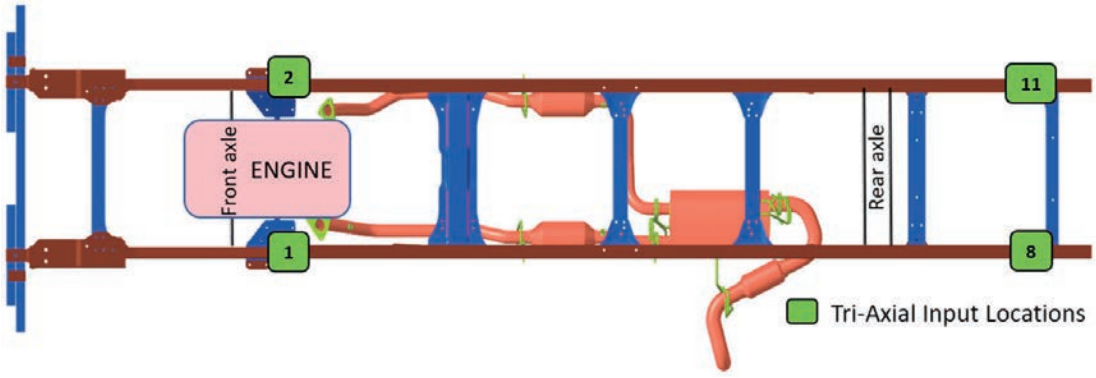


Figure 2. Schematic Illustration of Input Locations on 21MY ELF Frame FEM: Optimized Test Procedure

2 Standard Test Procedure

The standard test procedure for computing durability loads on the frame, utilizing multiple vertical 'Z' accelerometers, is depicted in **Figure 1**. However, this method has yielded insufficient response on both the vertical input and response locations. The inadequate data in the 'X' and 'Y' directions could potentially be attributed to the inherent characteristics of the system or component being excited. Specifically, the standard procedure mandated the excitation of the system exclusively in the vertical 'Z' direction on the driver's side. This configuration, employed in both the physical testing and CAE simulations, has resulted in unmatched correlation. The discordance in correlation has compelled engineers to adopt an overly conservative approach in designing the system or component, thereby potentially inducing unnecessary stress within the system. Furthermore, the limitations of the standard test methodology have resulted in increased efforts and costs when evaluating the reliability of the system. By addressing these shortcomings and introducing a comprehensive approach integrating multi-axial accelerometers and excitation techniques (both driver and passenger side), our objective is to optimize the accuracy and efficiency of the durability testing process, leading to improved design decisions and cost-effective solution.

3 Optimized Test Procedure

The optimized standard test procedure for assessing durability loads on the frame incorporates a state-of-the-art approach. By strategically placing three-dimensional accelerometers at various input and response hard points, as depicted in **Figure 2**, the limitations of the standard test procedure have been significantly overcome. This advanced setup facilitates precise measurement and analysis of loads in the X, Y, and Z directions on both the driver and passenger sides of the vehicle frame. The meticulous arrangement of thirteen response locations and four load input locations ensures comprehensive insights into load contributions throughout the system. Rigorous validation efforts encompassing physical testing and CAE simulations have successfully confirmed the expected outcomes of the new configuration. By conducting meticulous data analysis, comprehensive results have been obtained, demonstrating the effectiveness and accuracy of this refined approach in assessing durability loads. These findings are presented in **Result and Discussion**, enabling a thorough understanding of the system's performance and reliability under diverse input drive load conditions.

4 Methodology and FEM Setup

The CAE analysis uses the global vehicle coordinates where longitudinal is 'X', lateral is 'Y' and vertical is 'Z' as shown in **Figure 3**[1].

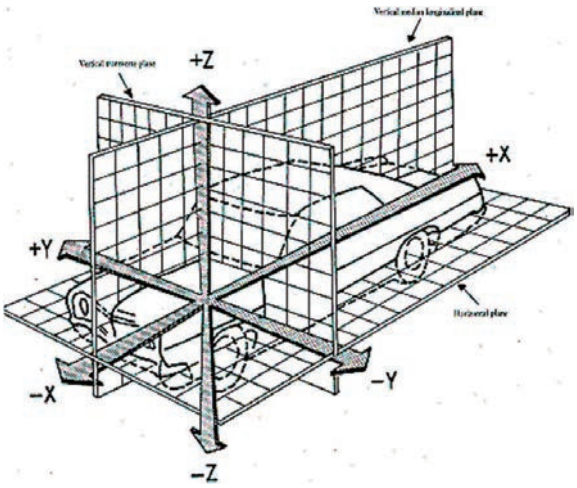


Figure 3. Three-Dimensional Reference Grid[1]

This section presents a comprehensive methodology that outlines both the standard and optimized test and simulation methods. The workflow for the study is schematically depicted in **Figure 4**.

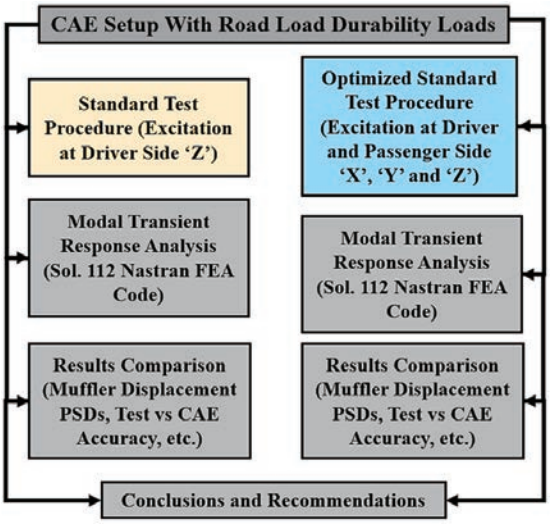
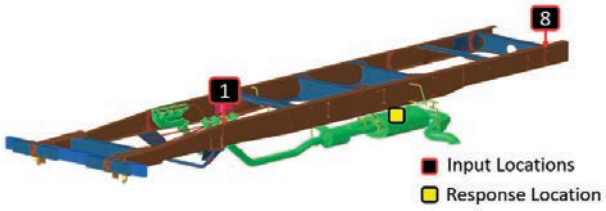


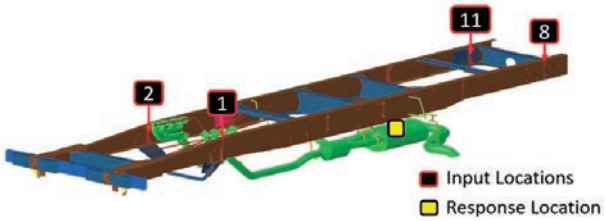
Figure 4. Workflow Framework

In the optimized ITCA procedure, the system is excited at four input locations along the 'X', 'Y', and 'Z' directions on both the driver and passenger sides of the vehicle. In contrast, the standard procedure only involves exciting the system along the driver-side 'Z' direction, which lacks accuracy in capturing the system response, particularly in the case of the muffler. To ensure a robust correlation between the test and CAE results, the MTRAN setup has been updated to align with the latest optimized test procedure. The MTRAN setup plays a crucial role in the CAE evaluation of structural durability. It enables easy parameter modification of the model, eliminating the need for repeated physical testing to evaluate minor or moderate changes in the system. As a result, the MTRAN setup provides valuable data for assessing the structural response to system or subsystem level design modifications. To evaluate the accuracy of the results, a five-peak average analysis is performed. An accuracy bar chart and table are utilized, comparing the predicted CAE results with the actual physical test measurements. The bar chart serves as a quantitative assessment tool, providing insights into the reliability and validity of the durability simulations when compared to the test. By comparing these approaches in terms of accuracy and practicality, the study aims to identify the advantages, limitations, and trade-offs associated with each method. This detailed investigation of the comparison of testing methods, MTRAN setup, the obtained results, and accuracy comparisons significantly enhances our understanding of structural durability testing. Furthermore, it offers valuable insights for future research and development in the field. The FE(Finite Element) models used in this study were prepared using HyperMesh Pre-Processor for Optistruct. All models were meshed with 2D Quad elements except for the exhaust manifold, which was meshed in 3D tetra elements. The quad elements are computationally efficient and offer the right amount of stiffness during element distortion. In addition, these elements provide realistic results when compared with the test data. The materials used for modeling are assumed to be isotropic, and all connections in the exhaust system are modeled with 1D elements for ease of simulation. In addition, the test and CAE comparisons were made at a relative location on the muffler. The MTRAN FE model for driver side vertical inputs is schematically shown in **Figure 5**. Likewise, the MTRAN FE model for driver and passenger side tri-axial input is demonstrated in **Figure 6**. The modal transient analysis was performed per Nastran Sol(Solution). 112 finite element code, where the frame structure was excited using test displacement data at frame locations highlighted in **Figure 5** and **Figure 6**, and the resultant muffler response was extracted in the time domain.



Note: Road Load Data applied to the highlighted input drive locations of the FE frame model with exhaust system

Figure 5. MTRAN FEM Setup with Driver Side Vertical Inputs



Note: Road Load Data applied to the highlighted input drive locations of the FE frame model with exhaust system

Figure 6. MTRAN FEM Setup with Driver and Passenger Side Tri-Axial Inputs

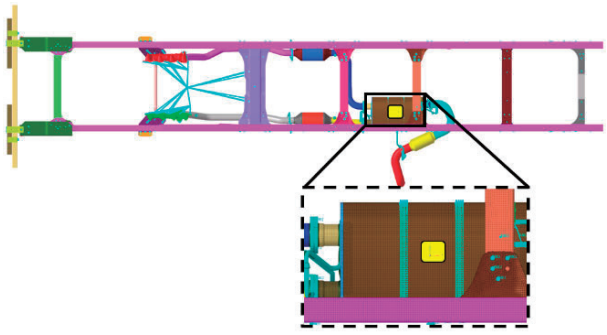


Figure 7. Accelerometer Location on the Exhaust Muffler FEM

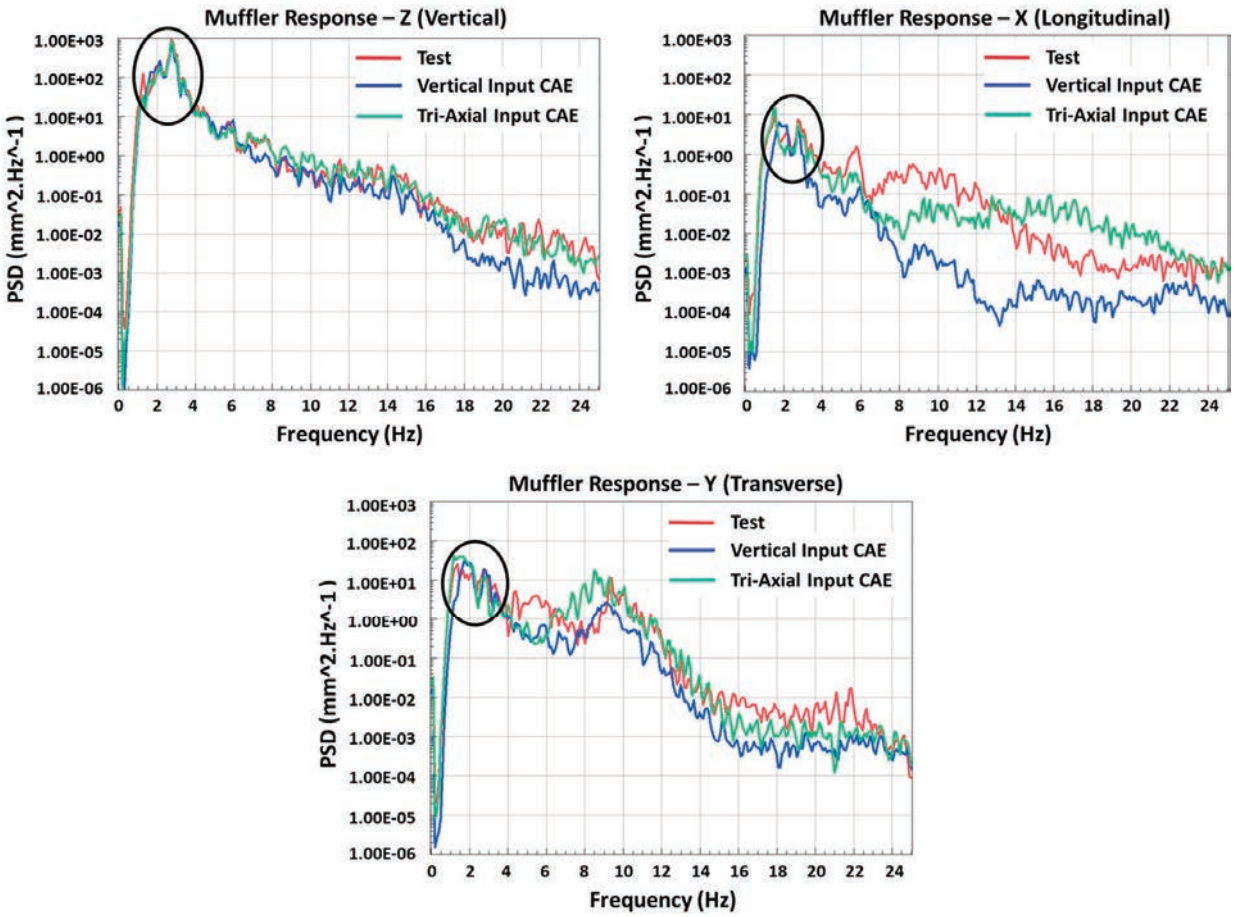
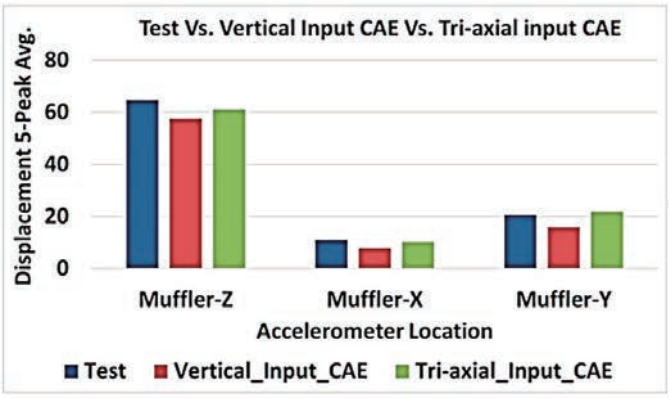


Figure 8. Muffler Vertical 'Z' Response PSD (top left); Muffler Longitudinal 'X' Response PSD (top right); Muffler Transverse 'Y' Response PSD (bottom center)



Location	Channel Info.		Test Vs. CAE 5-Peak Avg. Error	
			Vertical Input CAE	Tri-Axial Input CAE
Muffler	A-40	Z	11%	5%
	A-41	X	29%	9%
	A-42	Y	23%	6%

Figure 9. Comparison of Muffler Displacement Accuracy from 5-Peak Average Analysis Study

5 Results and Discussion

This section presents a comprehensive comparison and analysis of the muffler displacement results obtained from CAE simulations using both vertical input and tri-axial input, in comparison with the physical test results. The primary objective is to assess the impact of the standard procedure (vertical input) and the optimized standard procedure (tri-axial input) on the system's response. Figure 7 provides a clear visual representation of the accelerometer's placement on the exhaust muffler with the attached frame. To establish correlation, a detailed analysis was conducted by comparing the data acquired from the physical durability test with the CAE simulations, utilizing the methodologies described earlier. The response at the exhaust muffler location was extracted by exciting the entire system, including

the frame setup, at the specified input locations illustrated in Figure 5 and Figure 6. Initially, both the test and CAE data were extrapolated in the time domain and subsequently transformed into frequency spectra for a more simplified comprehension. This transformation was achieved using the FFT (Fast Fourier Transform) technique, thereby enabling frequency spectrum analysis or PSD analysis. The frequency range of 1-24 Hz was selected for analysis due to its susceptibility to resonance occurrences at lower frequencies, which can result in significant amplification of the system's response and potential structural vibrations. To align the data with this frequency range, the original sampling rate of 512 Hz was resampled to 50 Hz using the FFT process. Power spectral densities were then calculated for each muffler direction (X, Y, and Z axes) within the 1-24 Hz range. This analysis allowed for a detailed understanding of the system's response, particularly in relation to resonance effects. Critical regions within the frequency domain, relevant to durability loads, were identified and highlighted in the analysis. Figure 8 presents the power spectral densities of the test data, vertical input CAE, and tri-axial input CAE in the global Longitudinal (X), Transverse (Y), and Vertical (Z) directions. The results are presented on a logarithmic scale for easy interpretation. These findings provide valuable insights into the system's behavior and help guide the design and optimization process.

An apparent deviation from the test data was observed in the longitudinal and transverse directions, providing valuable insights into the direct influence of the optimized standard test procedure compared to the standard test procedure. Moreover, as the frequency increased, wider deviations became apparent. The most significant differences were observed in the longitudinal and transverse directions, while the deviations in the vertical direction were less pronounced. This behavior of wider response can be attributed to the input load patterns discussed earlier, which result in a reduced response output. In contrast, the tri-axial input model, designed to replicate an actual vehicle event where loads are transferred through the frame on both driver and passenger sides, drives the system differently compared to the vertical input model employed in the standard test procedure, where the system receives input solely on the driver side frame. Regarding the muffler's vertical 'Z' direction, both the standard and optimized test procedures exhibited minor deviations in the PSD. These deviations are primarily due to limitations in the hanger isolator modeling of the exhaust system. However, despite these limitations, the observed deviations are preferred over a broader response as they result in an underestimation of the overall system's response. This conservative design approach is crucial for mitigating the risk of unwanted elevated stresses, which could potentially lead to disastrous events such as structural failures. By avoiding over-design and accurately estimating the system's response, engineers can ensure the safety, reliability, and cost-effectiveness of the design without compromising its performance. Furthermore, a statistical analysis was conducted to determine the accuracy of the results. An accuracy bar chart, derived from a five-peak average analysis, was plotted to estimate the error percentage between the test and CAE simulation data for the muffler response. Figure 9 effectively visualizes these comparisons. The results clearly indicate that the tri-axial input method yielded more accurate results, exhibiting an overall error percentage of less than 10 %. In contrast, the vertical input method showed an error percentage of less than 34 % when compared to the test results in the X, Y, and Z global directions. To summarize, the findings of this study provide a comprehensive understanding of system-level input methods, enabling engineers to estimate responses at various locations.

6 Conclusions

In conclusion, the optimized durability analysis method, incorporating tri-axial input and considering inputs from both driver and passenger sides in X, Y, and Z directions, demonstrated significant improvements in correlation with physical test data compared to the standard procedure. By analyzing the PSDs within the selected frequency range, resonance-prone regions were identified, providing valuable insights into the system's behavior. The wider deviations observed in the longitudinal and transverse directions emphasized the influence of the optimized standard test procedure and highlighted

the importance of considering load patterns from multiple directions for accurate predictions of the system's response. Furthermore, the minor deviations observed in the muffler's response in the vertical 'Z' direction were primarily a result of limitations in the FE modeling of isolator. These small deviations are deemed acceptable within the conservative design approach, particularly when compared to the larger deviations observed in other aspects. Statistical analysis further confirmed the superior accuracy of the tri-axial input method, highlighting its effectiveness in correlation analysis. These findings emphasize the importance of appropriate system load input locations and methodologies to accurately estimate the system's response. It also underscores the significance of avoiding excessive over-design to ensure the safety, reliability, and cost-effectiveness of automotive products. By addressing these factors, potential risks can be mitigated, leading to improved overall performance and durability of automotive systems.

• Future Scope

With the introduction of the validated CAE method, the approach can be used to evaluate the durability performance of chassis mounted parts in a real-world loading scenario. The input loads can be carried over to other programs in the same vehicle weight class, eliminating the need of RLDA(Road Load Data Acquisition) measurements for each program reducing the overall cost for development.

あとがき

ITCA おいて、CAE によるコンポーネント部品の強度耐久性評価の改善、及び精度向上に取組んできました。今回の報告は、その成果の一つである排気系部品に関する実車相当入力の CAE での再現及び精度向上の事例の紹介です。

ITCA はいすゞ自動車の皆さんとともにこれらの取組みを進めており、その一端を本技報で報告させていただきましたが、今後も更なる改善、そして進化の努力を皆さんとともに進めていきます。

最後になりますが、「いすゞの中で役に立つ ITCA でありたい」と社員一同が一丸となって取組んでいる様子が本報告で少しでも伝われば幸いです。

(Specialist　大竹　正頼)

References

(1) Bureau of Indian Standards, "Field of Vision of Motor Vehicle Drivers for M1 and L7-M Category," Report No. TED 06 (14013) W. Transport Engineering Division Council.
(2) Tamaki. (2023). "Measurement of Representative Vehicle Input", Vehicle Validation and Experiment Department Standard Procedure. Internal Report No. ITE-000274E. Isuzu Motors Limited.
(3) Altair Engineering, Optistruct-User Guide, Version-2021.1.
(4) Altair Engineering, Optistruct-Reference Guide, Version-2021.1.

著　者


Prashant Panneerselvam


Tharun Chillakuru


大竹　正頼


Gerald Bergsieker

論文・報告

改良指針検討のための実稼働 TPA による エンジン騒音寄与分析

Engine Noise Contribution Analysis by Operational TPA for Improvement Examination

山岸　誠弥*　Seiya Yamagishi
小澤　恒*　Hisashi Ozawa
山下　健一*　Kenichi Yamashita

要　旨

実稼働データを用いた寄与分析手法である実稼働伝達経路解析をディーゼルエンジンに適用し、主要騒音の寄与分析を実施した。また参照信号の筒内圧に対する相関を利用して、燃焼成分と機械成分に分離する手法を開発し、実稼働中の機械騒音の分析精度を向上させた。更に、騒音寄与が大きい機械騒音の低減検討により手法の有効性を示した。

Abstract

Operational Transfer Path Analysis (OTPA) was successfully applied to noise source contribution analysis especially for diesel engine mechanical noise. The referential signal was divided into the mechanical and combustion component, and this technique yielded detailed separation of mechanical noise.

1　はじめに

商用車用ディーゼルエンジンでは、経済性・耐久信頼性の追求と排出ガス規制への対応、そして CO_2 排出量の削減等が求められる。これら諸性能には騒音性能と背反するものも多く、諸性能向上に伴い、エンジン各部からの騒音寄与が増加し、対策すべき騒音源の特定と改良指針の検討をより困難にしている。

エンジン騒音寄与の推定方法として、運転条件別に計測した筒内圧及びエンジン騒音を用いた回帰分析により、筒内圧に相関のあるエンジン騒音を燃焼騒音とそれ以外の機械騒音に分離する方法が提案されている[(1)(2)]。また、機械騒音を更に分離する手法として、騒音の加振源となる要素ごとの稼働を停止または低騒音化する部品へ置換え、変更前後の騒音レベルの差から加振源別の寄与率を推定する方法が提案されている[(3)]。この手法では、負荷条件のまま停止可能な要素が限られるため実稼働状態での騒音寄与の把握が困難であることが課題となる。

車両では、複数の騒音源からの寄与を分離する方法として TPA（伝達経路解析：Transfer Path Analysis）を用いた車室内音圧低減、及び音質改善への適用が報告されている[(4)]。本手法は、あらかじめ加振試験等で計測した参照点から応答点までの伝達関数に、計測した加振力を掛け合せることで応答点に対する寄与が把握可能である。しかしながら、エンジンの騒音寄与分析へ適用した場合、エンジン内部の騒音源を加振して伝達関数を計測することになり適用が難しい。また、実稼働状態では部品間の油膜及び隙間などの非線形特性の影響で伝達関数が変化するため、分析精度が低下する懸念がある。

そこで、エンジン開発に求められる試験工数の低減と分析精度を両立しつつ、機械騒音の詳細分離による改良指針の検討を可能にするため、実稼働データを用いた寄与分析手法である実稼働 TPA をエンジンに適用し、エンジンの主要音源の騒音寄与分析を実施した。特に、クランク軸受振動に対して燃焼成分と機械成分に寄与分離する手法を開発することで、実稼働中の機械騒音の分析精度を向上させた。更に、分析結果に基づき機械騒音を低減することで提案手法の有効性を検証した。本稿では、開発したエンジン騒音寄与分析手法と検証結果について報告する。

2　エンジン騒音源と伝達経路

ディーゼルエンジンの騒音は、**図 1** に示すように多数の騒音源で生じた振動がエンジンブロック等を伝播し、エンジン表面から放射されることで発生する。これらの騒音は加振力の発生要因によって燃焼加振力に起因する燃焼騒音、可動部品の慣性力と部品間の衝突によって生じる機械騒音、ガスの流れよって生じる気流騒音に大別できる。

*㈱いすゞ中央研究所

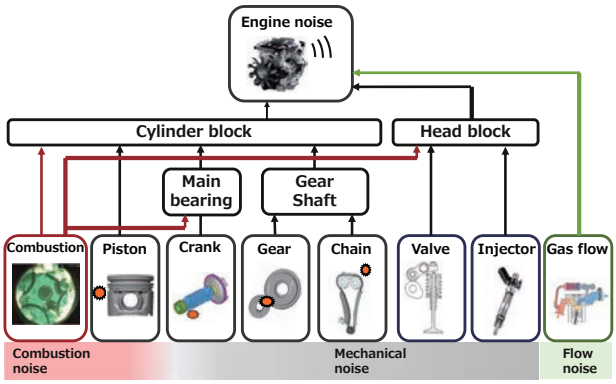


図 1　エンジン主要騒音源と伝達経路

表 1 に示す諸元の直列 4 気筒ディーゼルエンジンに対して、騒音寄与率の統計分析手法である FEV-CSL 法（FEV Combustion Sound Level method）を適用し、加速走行騒音試験で最大音圧発生条件に近い 2000 rpm 全負荷の騒音寄与率を分析した結果から、気流騒音を除いた燃焼騒音と機械騒音の比率を図 2 に示す[(5)(6)]。このエンジンは高出力化、燃費向上、耐久信頼性を向上させたことに伴って往復運動質量が増加しており、同時に燃焼騒音の低減対策も実施した。そのため、全負荷運転にもかかわらず機械騒音（Mechanical Noise）の寄与率が大きく、燃焼騒音に大別される直接燃焼音（Direct Combustion Noise：シリンダブロックとシリンダヘッドを直接的に励振して発生する騒音）及び間接燃焼音（Indirect Combustion Noise：メインベアリングを介して、筒内圧力がシリンダブロックを間接的に励振して発生する騒音）の合計と同程度であり、本エンジンでは騒音低減のためには燃焼騒音に加えて機械騒音の低減も重要である。

機械騒音はエンジン内で駆動する部品全てが騒音源となる可能性があり、主要な騒音源だけでも図 1 に示したように、ピストンスラップ、クランクインパクト、ギヤ、チェーン、バルブ着座、インジェクタと多岐に渡る。個別の対策検討であれば、機構解析ソフトを用いて部品間で生じる衝突エネルギー及び加振力を算出し、FEM（Finite Element Method）モデル等で作成した構造モデルへの入力として放射音を計算することで改善検討が可能である[(7)]。一方で、開発プロセスにおける効率的な騒音低減のためには、騒音源ごとの寄与率を把握し寄与が大きい部位に対策を講じるべきである。しかしながら、CAE（Computer Aided Engineering）を用いた解析では、実稼働状態におけるエンジン騒音寄与を把握することは容易でない。そこで、実稼働状態で計測したデータを用いた統計手法である実稼働 TPA をディーゼルエンジンに適用し、機械騒音の寄与分析を実施した。

表 1　供試エンジンの主要諸元

Engine type	Water-cooled 4 cycle DI diesel engine
Number of cylinders	In-line 4 cylinder
Total displacement	2999 cc
Bore X Stroke	95.4 mm X 104.9 mm
Maximum torque	430 Nm / 1450 - 2860 rpm
Air-charging system	Intercooled turbocharged
Timing train	All gear

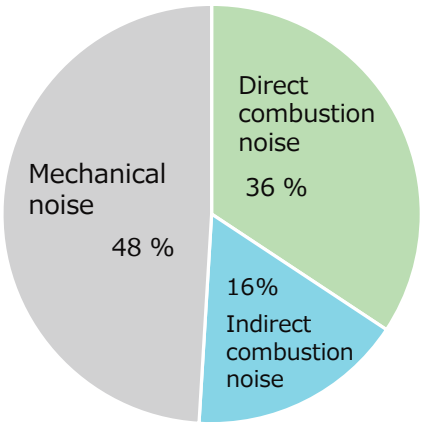


図 2　CSL 法による騒音寄与分析結果

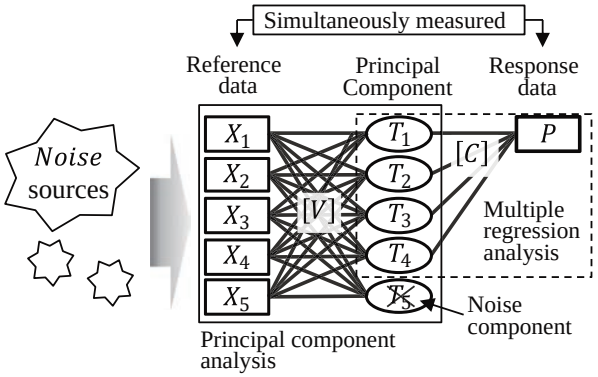
3　実稼働 TPA のエンジン適用

3.1　実稼働 TPA の適用

実稼働 TPA では、実稼働状態で同時計測した参照信号と応答信号を用いた主成分回帰法により参照点から応答点までの伝達率を同定し、参照信号と同定した伝達率から応答信号を再合成することで各参照信号の寄与を分析する[(8)(9)]。図 3 は実稼働 TPA の分析手順の概要及び計算式である。まず、同時計測した全信号に周波数分析を行い、それぞれの周波数における参照信号行列 X 及び応答信号行列 P を得る。参照信号行列 X に対して特異値分解を行い互いに無相関化された成分の中から、寄与が高い成分のみを抽出して主成分行列 T を求める。次に、主成分行列 T と応答信号行列 P で重回帰分析を行い、係数行列 C を求める。参照信号行列 X を主成分行列 T に変換するユニタリ行列 V と、主成分行列 T を応答信号行列 P に変換する係数行列 C を掛け合せ、参照信号行列 X と応答信号行列 P の間の伝達率 H を算出する。周波数ごとに算出した参照信号と伝達率を用いて応答信号を再合成することで、周波数ごとの寄与分析が可能となる。

エンジン内部で発生した加振力による振動はエンジン全体に伝播するため、各騒音源の近くに参照点を設定しても参照信号間の相関が比較的高く、多重共線性

のため通常の重回帰分析手法の適用による騒音寄与分析は困難である。そこで主成分回帰法では、主成分分析によって無相関化された主成分を用い、伝達率の精度を向上させた。更に、主成分の大きさを表す行列 S の対角項の値が小さいものをノイズ成分として除外し、精度を向上させた。



$$[P] = [X]\,[H] \quad (1)$$

$$[X] = [U][S][V]^* \quad (2)$$

$$[T] = [X][V] = [U][S] \quad (3)$$

$$[P] = [T][C] \quad (4)$$

$$[C] = ([T]^*[T])^{-1}[T]^*[P] \quad (5)$$

$$[P] = [X][V][C] \quad (6)$$

$$[H] = [V][C]$$
$$[V]([T]^*[T])^{-1}[T]^*[P]$$
$$[V][S] \quad [U] \; [P] \quad (7)$$

図 3　実稼働 TPA の分析手順と計算式

3.2 試験方法

ディーゼルエンジンの機械騒音の寄与分析のため、**図 4** に示す筒内圧、エンジン各点の振動、エンジン周囲のマイクロホン音圧を同時計測した。筒内圧は燃焼加振に対する参照信号であり、計測に用いた圧力センサ（現シチズンファインデバイス社製 CAS-20N1）はグロープラグアダプタを用いて全気筒に設置した。

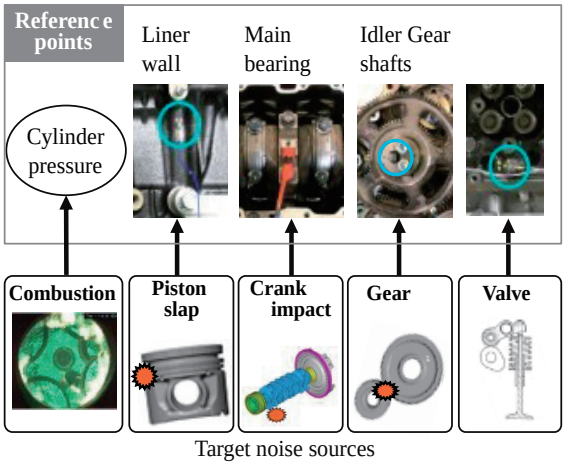


図 4　騒音源と参照信号の計測位置

振動の計測は 3 軸または 1 軸の加速度センサにより行い、**図 1** で示した振動の伝達経路を考慮し、騒音源にできるだけ近い位置に設定した。まず、ピストンスラップに対して、ピストンスラップ発生位置付近のシリンダブロック壁面に加速度センサを設置して計測した。クランク軸のジャーナル部が軸受に衝突して生じるクランクインパクトに対しては、クランク軸受キャップに 3 軸の加速度センサを設置して計測した。本試験で用いたエンジンは、タイミングトレインが全てギヤであり、噛合うギヤ間で生じる周速度差により、ギヤ対がバックラッシュ間を相対運動することにより歯面同士が衝突して発生するギヤラトルの騒音寄与が大きいことを事前調査で確認している。また、歯面で生じたギヤラトル振動は、4 箇所のギヤ軸からシリンダブロックへと伝播してエンジン表面から放射されたものと考え、ギヤ軸に 3 軸の加速度センサを設置した。吸排気バルブのシート着座によって発生する振動は、シリンダヘッド上面に加速度センサを設置して計測した。

応答信号であるエンジン騒音は、エンジン表面から 1 m の距離に設置した 4 箇所のマイクロホンで音圧を計測した。騒音寄与分析では、それぞれを応答信号として解析を行ったあと、平均したものを評価結果とした。

実稼働 TPA には、主成分回帰法を採用した市販ソフトウェア（Müller BBM 社製 PAK System）を用いた。また、主成分の大きさによるノイズ成分の除去、参照信号のうち単位の異なる信号の正規化及び伝達率の同定と騒音寄与の算出も、本ソフトウェアの機能を利用して実施した。

伝達率の同定に用いるデータは、個々の参照信号と応答信号との相関関係を抽出するため、参照信号をできる限り変化させることが望ましいと考え、**表 2** に示す 7 条件で取得したデータを用いて伝達率を同定した。

表 2　伝達率同定用の計測点

Engine speed	Running condition
600rpm	Idling
1000rpm	Motoring / Full load
2000rpm	Motoring / Full load
3000rpm	Motoring / Full load

4　騒音寄与分析結果

主成分回帰法で得た伝達率と 2000 rpm 全負荷の参照信号を用いて、マイクロホン音圧を再合成して実測結果を比較した。**図 5** に示すように、低周波側では合成音（Synthesis）と実測結果（Measured）の差は非常に小さく、高周波ほど差が広がる傾向が見られた。

実稼働 TPA では、参照信号と相関が小さい成分は主成分回帰法でノイズ成分として除去されるため、参照信号に含まれていない気流騒音及び補機類からの騒音などがノイズ成分として除去され、差が生じたものと考えられる。騒音寄与率は**図 6** に示すように、28 % を筒内圧、40 % をクランク軸受、30 % をギヤ軸振動が占めており、シリンダヘッド及びライナ壁面振動の騒音寄与は小さかった。**図 2** に示す CSL 法による燃焼騒音と機械騒音の比率を比較すると、筒内圧の騒音寄与が 28 % であるのに対し、CSL 法の直接燃焼音は 36 % である。また、筒内圧以外の騒音寄与率の合計が 72 % であり、CSL 法の機械騒音の寄与率 48 % とも対応しない。この原因は、筒内圧加振による振動がピストン、コンロッドを伝播しクランク軸受振動となる燃焼成分と、クランク軸と軸受間の衝突によって生じるクランクインパクトによる機械成分の両方がクランク軸受振動に含まれており、それらの分離ができていないためと考えた。そこで、クランク軸受振動を筒内圧と相関がある燃焼成分とそれ以外の機械成分に分離することで、より詳細な機械騒音の寄与分析を実施した。

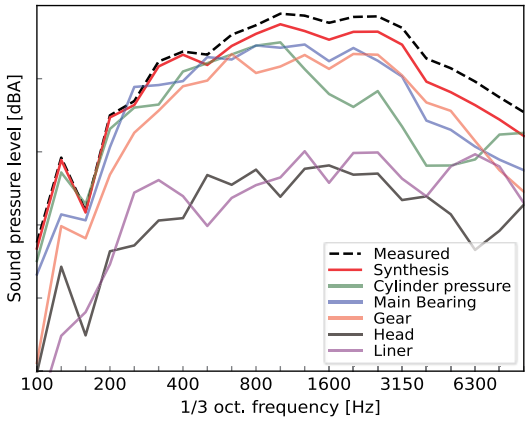


図 5　騒音寄与分析結果（2000 rpm 全負荷）

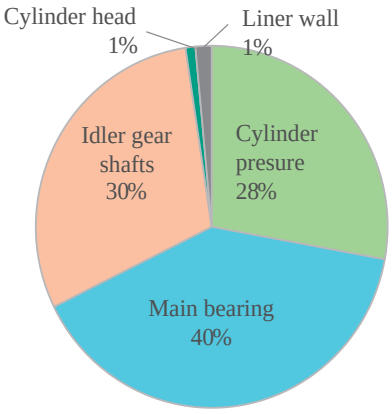


図 6　実稼働 TPA による騒音寄与率の分析結果（2000 rpm 全負荷）

5　燃焼成分と機械成分の分離

5.1　クランク軸受け振動の分離

クランクインパクトは、筒内圧及び往復慣性力がピストン、コンロッドを介してクランク軸に作用することにより、クランク軸が主軸受のオイルクリアランス内で運動し、ジャーナル部が軸受に衝突することで生じる。**図 7** は機械騒音の寄与が比較的大きい 3000 rpm モータリング運転における、クランク軸受の荷重と上下振動の比較結果である。燃焼圧力と往復慣性力の合力とクランク軸受上下振動（1000 Hz 以上）の時刻歴波形を比較すると、合力の符号が反転するタイミングで振動が発生する様子が見られる。筒内圧と往復慣性力は互いに相殺する方向に作用し、運転条件を変更すると合力の符号が反転するタイミングが変化するため、振動の発生タイミングと大きさも変化する。更に、クランク軸と主軸受の弾性変形、油膜特性も関与する。一方で、筒内圧とは直接の相関が見られないことから、クランク軸受振動から筒内圧と相関のある成分を分離できれば、残さ（渣）成分をクランクインパクトによる振動として分離可能と考えた。

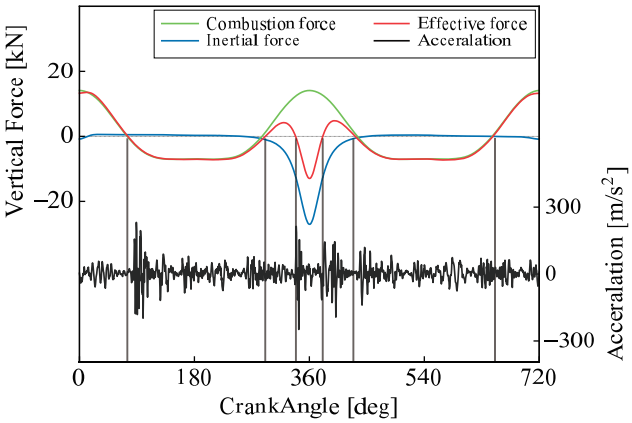


図 7　クランク軸受振動の発生タイミング（3000 rpm モータリング）

そこで、筒内圧を参照信号、クランク軸受振動（**図 6** の Mainbearing40 % 成分）を応答信号として実稼働 TPA を適用することで、軸受振動を燃焼成分と機械成分に分離した。まず、伝達率同定に用いた計測データのうち、4 気筒分の筒内圧を参照信号、各クランク軸受振動を応答信号として新たに伝達率を同定した。次に、筒内圧信号に伝達率と同じゲイン、位相を持つフィルタを適用し、クランク軸受振動のうち筒内圧に相関がある成分の時刻歴波形を算出した。更に、元のクランク軸受振動から燃焼成分の時刻歴波形を引き、機械成分を算出した。

図 8 は 3000 rpm モータリング運転時のランク軸受振動を圧力変動成分（ref：cp）と機械成分（diff）に分離した結果である。この運転条件では、圧力変動成分に比べて機械成分が大きく、**図 7** で示すクランクインパクトによる振動は、機械成分に多く含まれた。したがって、クランクインパクトによる振動は筒内圧と直接の相関が小さく、機械成分に分離されたと言える。**図 9** は回転数 3000 rpm のまま全負荷運転とした場合のクランク振動の分析結果である。燃焼に相関がある成分の振幅が増加し、燃焼タイミングである 360 deg 付近で大きいことから燃焼成分が分離されている。また、全負荷運転であっても機械成分が含まれることが示された。

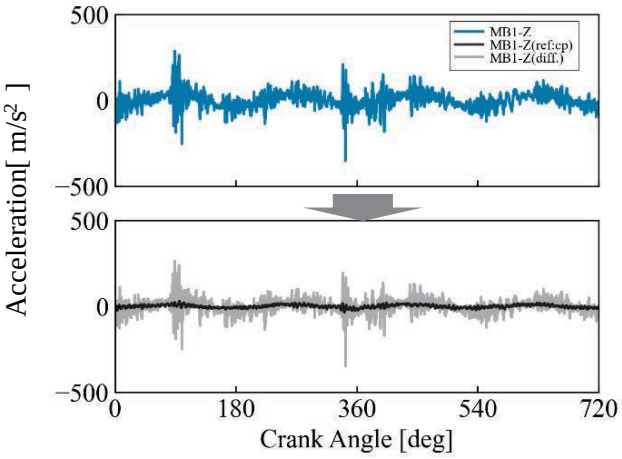


図 8　クランク軸受振動の分離結果
（3000 rpm モータリング）

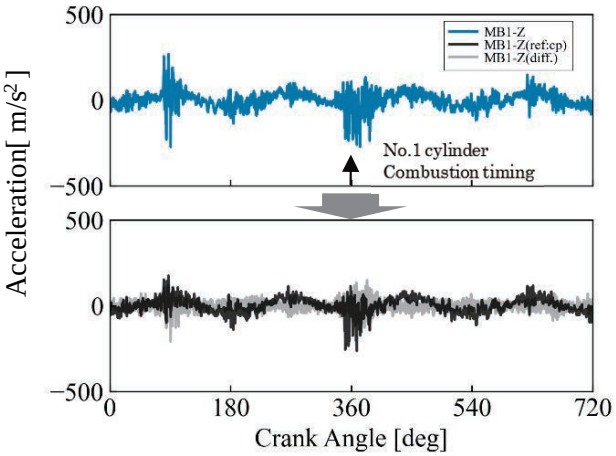


図 9　クランク軸受振動の分離結果
（3000 rpm 全負荷）

5.2　騒音成分の分析結果

クランク軸受振動を燃焼成分と機械成分に分離した状態で、改めて 2000 rpm 全負荷運転での騒音寄与を分析した。**図 10** はエンジン騒音成分の 1/3 オクターブバンドスペクトルである。合成音及びギヤ軸振動、シリンダヘッド、ライナ壁面の騒音成分は、**図 5** の結果とおおむね同様であるが、筒内圧及びクランク軸受のスペクトルは変化した。315 Hz 以下で幾つかの騒音成分のレベルが合成音を超えたのは、クランクインパクトによる励振力と直接・間接の筒内圧による励振力により発生する騒音の干渉によるものと考えられる。また、高周波数では伝達経路の位相差が増大するため、騒音成分の合計が合成音とほぼ等しくなった。

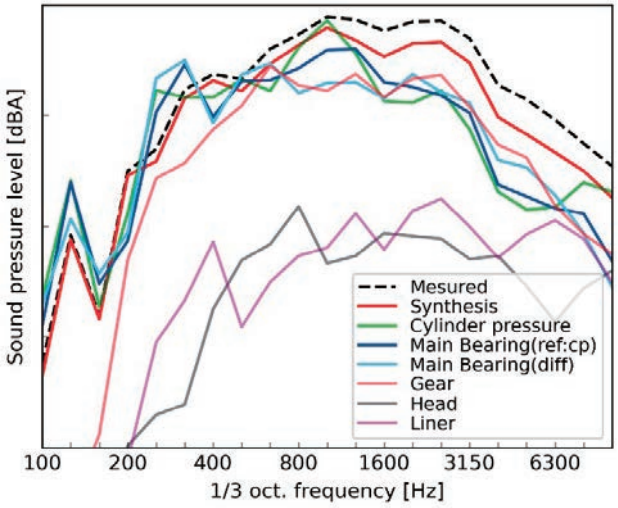


図 10　開発手法によるエンジン騒音寄与分析結果
（2000 rpm 全負荷，1/3 オクターブバンド）

エンジン騒音成分の寄与率は、**図 11** のように筒内圧及びクランク軸受の燃焼成分の合計が 54 % で、クランク軸受の機械成分及びギヤ軸、シリンダヘッド、ライナ壁面の振動からなる機械騒音の合計は 46 % となった。**図 2** で示した CSL 法による分析結果では、燃焼騒音に大別される成分の合計が 52 % で、機械騒音は 48 % であり、分析結果から結果は妥当であると言える。

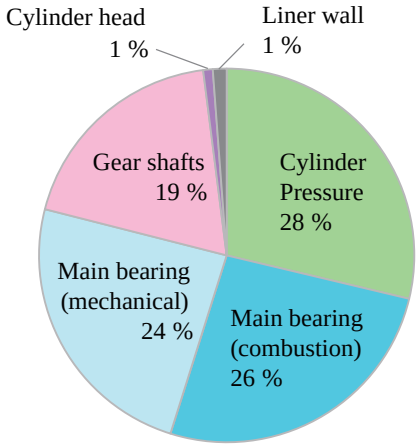


図 11　開発手法によるエンジン騒音寄与率分析結果
（2000 rpm 全負荷）

5.3 騒音寄与率の検証

図 11 で示したエンジン騒音寄与率のうち、機械騒音で寄与の大きいクランク軸受とギヤ軸振動の騒音寄与率の妥当性を検証するため、それぞれ往復運動部品の軽量化とギヤラトルに対する対策を行い、騒音寄与率の変化を調査した。

往復運動部品の軽量化では、ピストン等の部品の質量を合計 270 g 軽量化した。更に、圧縮比を同等とするため 5.5 mm 長くしたコンロッドを製作した。軽量化後の実稼働データを用いて伝達率の同定と騒音寄与分析を行ったところ、**図 12** に示すようにクランク軸受振動の機械成分が 2.6 dB 低減し、合成音は 0.5 dB 低減した。実測したエンジン騒音は 0.5 dB の低減し、合成音の変化量と一致した。

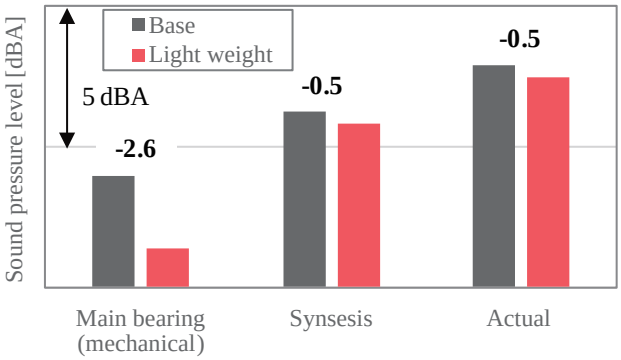


図 12　往復完成質量低減による検証結果

ギヤ軸振動の騒音寄与率の検証では、ギヤトレインに設置しているシザーズギヤのばね張力を増加することで、ギヤラトルによるギヤ軸振動及びエンジン騒音を低減させた状態で、騒音寄与率を分析した。**図 13** に示すように、ギヤ軸振動の騒音寄与は 0.9 dB 低減し、合成音は 0.3 dB 低減した。実測したエンジン騒音は 0.2 dB の低減であり、合成音の変化量とおおむね一致した。

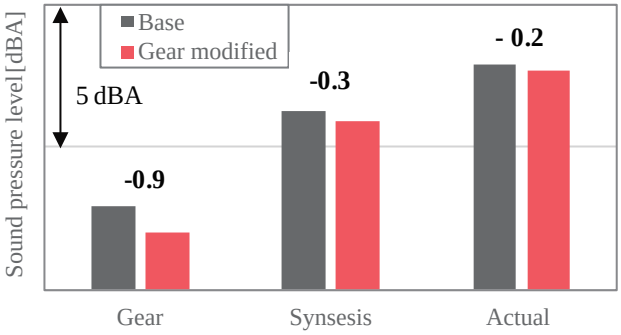


図 13　ギヤラトル対策による検証結果

これらの検証結果では、往復運動部品の軽量化及びシザーズギヤのばね張力を増加させた際の対策効果がそれぞれ狙いの騒音低減として現れた。更に、合成音の変化量が実測したエンジン騒音の変化と同程度であることから、騒音寄与率の分析精度は高く、本手法による騒音対策部位検討の有効性が示された。

6　おわりに

商用車用高効率ディーゼルエンジンに実稼働 TPA を適用し、エンジン騒音の主要騒音源付近の振動及び筒内圧を参照信号とした伝達率の同定とエンジン騒音の再合成により、主要騒音源の騒音寄与率が分析可能であることを示した。更に、クランク軸受振動をクランクインパクト起因の機械成分と筒内圧起因の燃焼成分に分離したあとに実稼働 TPA を適用することで機械騒音の詳細分離を行い、改良指針の検討を可能にしたことが本稿の新規性である。これにより、実稼働 TPA を適用したディーゼルエンジンでは、クランク軸受振動の機械成分とギヤ軸振動の騒音寄与が機械騒音の中で大きいことが明確になった。また、検証結果から騒音寄与率の妥当性と本手法を用いた改良指針検討の有効性が示された。

本文献は自動車技術会論文集 Vol.53、No.6 に掲載された論文を加筆修正の上、報告するものである。

参考文献

(1) 平野出穂ほか：重回帰分析を用いたエンジン放射音の寄与推定，自動車技術会論文集，Vol.31, No.1（2000），p.29-34
(2) 久保稔，米澤徹：多次元スペクトル解析による騒音源分離手法，自動車技術会論文集，40 号（1989），p.152～158
(3) 大久保稔ほか：エンジン騒音の予測，騒音制御，Vol. 25, No.5（2001），p.262-266
(4) Werner Biermayer ほ か：Sound Engineering based on Source Contributions and Transfer Path Results，2007 年度自動車技術会春季大会前刷集
(5) 山岸誠弥，小澤恒：企画段階に適用するディーゼルエンジン放射音予測 1D-CAE ツールの開発，いすゞ技報，No.132（2020），p.72-78
(6) 小澤恒，山岸誠弥：高熱効率ディーゼルエンジンの機械騒音の解析技術，自動車技術会論文集，Vol.53，No.5（2022），p.661-668

(7) 萩原一郎：機械騒音の予測方法，騒音制御，Vol.25，No.5（2001），p.255-261
(8) 能村幸介，吉田準史：実稼働伝達経路解析の理論と適用例，日本音響学会誌 Vol.674，No.4（2011），p.163-168
(9) 吉田 準史ほか：実稼働データを用いた伝達経路解析手法における精度向上案の基礎検討，日本機械学会論文集，Vol.77，No.777（2011），p.1720-1728

著　者


山岸　誠弥


小澤　恒


山下　健一

◇いすゞ歴史の一こま



初代エルフ　広告カット（1961年ごろ）

論文・報告

大型商用車用廃熱回収ランキンサイクルに関する研究

Study of Waste Heat Recovery Organic Rankine Cycle for Heavy-Duty Commercial Vehicle

相園　斉*
Hitoshi Aizono
福永　晋*
Susumu Fukunaga
松浮　朋冬*
Tomofuyu Matsuuki
浅野　雅樹*
Masaki Asano
阿部　誠*
Makoto Abe
加藤　晃太*
Kota Kato
吉永　寛史*
Hirofumi Yoshinaga

要　旨

将来的な燃費改善アイテムとして、排気熱を回収し動力に変換する廃熱回生ランキンサイクルシステムを実機に搭載し検討した。

排気熱回収･動力回生のレトロフィットシステム搭載による燃費改善効果を確かめることができた。

本稿では、検討の過程と結果、及びシステム上の課題などについて述べる。

Abstract

The waste heat recovery Rankine cycle system, which recovers exhaust heat and converts it into power, was installed in an actual machine and examined as an item to improve fuel consumption in the future. The fuel consumption improvement effect by mounting a retrofit system of exhaust heat recovery and power regeneration was confirmed. This report describes the process of the examination and the results and problems of the system.

1　はじめに

自動車業界は 100 年に一度の大変革期の中、環境保善と脱炭素化の観点から自動車は CN（カーボンニュートラル：Carbon Neutral）車両の普及拡大が加速している。CN 車両の社会実装、普及拡大は社会インフラと使用エネルギーの普及状況により変動するが、**図 1** に示すように 2030 年以降も引き続き内燃機関の更なる高効率化による CO_2 排出削減が重要である。

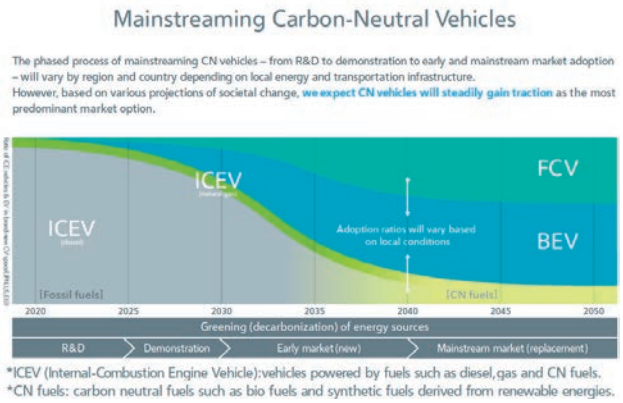


図 1　CN 車両普及イメージ

自動車用内燃機関の熱効率は、近年大幅な進歩を遂げているが、それでも投入エネルギーの半分以上は、廃熱として捨てている。この廃熱を回生し、更なる熱効率向上を目指した大型商用車の研究が数多く報告されているが、いずれも大型 HEV（Hybrid Electric Vehicle）と電力回生 WHR（廃熱回収：Waste Heat Recovery）装置との組合せであり、我々がコンセプトとしている研究報告ではなかった [(1)〜(5)]。

大型商用車では荷台スペース、及び積載量が減少する追加装置の導入は、顧客のニーズを満たさないことから、バッテリー並びにモータなどの追加装置が少なく軽量かつ、レトロフィットなシステムをコンセプトに、動力回生 WHR 装置を開発し車両に搭載（以下、「車載式 WHR システム」と称す）した。

これまでにも、大型エンジンの排出ガスをランキンサイクルシステムにより回収するシステムモデルの構築及び定常運転時の出力予測結果を報告した [(6)]。ここで構築したシステムモデルを用いて、高速走行時の燃費改善目標値を 3〜4 %とした。更に前報ではランキンサイクルを含む熱電回生システムモデルを構築し、モード走行時の出力･効果予測結果について報告している [(7)]。

本稿では、車両燃費向上を目的に、追加装置の少ないレトロフィットな車載式 WHR システムについて、システムの設計・搭載検討及び台上試験によるシステム制御構築から、シャシダイナモによる車両燃費評価を行った。その内容を述べる。

*㈱いすゞ中央研究所

2　ランキンサイクルとは

エンジン廃熱を熱源として利用し、作動流体（水等）を暖め蒸気を作り、蒸気のエネルギーにより膨張機（タービン等）を駆動するシステムである。ランキンサイクルシステムを車両に適用した場合の概要図を**図 2** に示す。

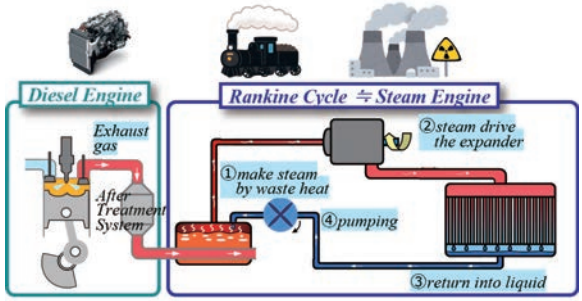


図 2　システム構成

自動車用内燃機は、投入した燃料のエネルギーに対し、約 60 %は熱として大気に捨てている。この廃熱エネルギーを再利用する技術の一つとしてランキンサイクルが有望であると考えた。内燃機関車両のエネルギーフローを**図 3** に示す。

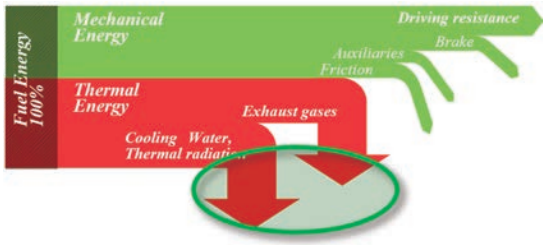


図 3　内燃機関のエネルギーフロー

3　試験装置及び試験条件

供試した車両の諸元を**表 1** に示し、システムの概略図を**図 4** に示す。ベースとした車両は、国内ポストポスト新長期排出ガス規制に適合した GVW（車両総重量：Gross Vehicle Weight）20 t 超カーゴ系の長距離大型トラックであり、排気量 9.839 L、DPD（排出ガス浄化装置：Diesel Particulate Defuser）と尿素 SCR（選択的触媒還元：Selective Catalytic Reduction）を箱型キャニングした ATS（後処理装置：After Treatment System）を備えている。

表 1　車両緒元

Vehicle model		CYL77C-VX-D
Engine	Model	6UZ1-TCS (9.839cc)
	Regulation level	P-PNLT
	ATS	DPD+SCR Canning
Transmission model		MJX12P

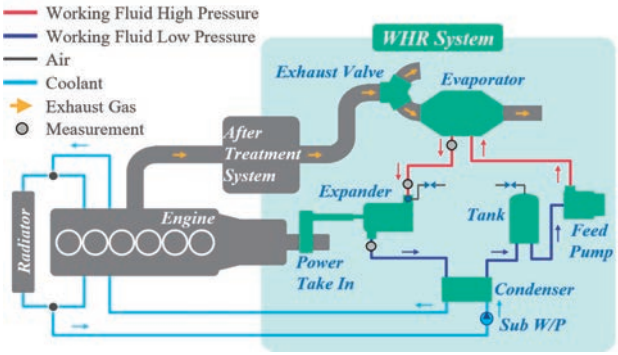


図 4　システム概略図

本研究で用いた WHR システムは、ATS の後に備えた排気切替えバルブによって、エバポレータ（蒸発器）に流れる排出ガスを切替えるシステムとなっている。WHR システムは、エキスパンダ（膨張機）・エバポレータ・水冷コンデンサ（凝縮器）・リザーバタンク・フィードポンプで構成される。動力伝達機構は、PTI（プロペラシャフト中挟み式パワーテイクイン：Power Take In）によってプロペラシャフトに回生した。WHR システムは、吸収熱量を最大にする車載構成とレイアウト設計、回生エネルギーを省燃費につなげるための統合制御・エンジン冷却システムを含むサーマルシステム最適化に注力し、オリジナルシステムの開発を目指した。

エキスパンダは 6 シリンダ斜板型アキシャルピストン方式で、内部に作動流体の流れを切替える EBV（エキスパンダバイパスバルブ：Expander Bypass Valve）を備えている。エキスパンダにはエンジンの排気熱回収量に合せ、スリット形状の変更によるリーク量低減と開弁時間の変更、吸気ポート薄型化による上死点容積低減及び材質変更による強度アップ、補助排気バルブ径と低熱膨張材料の最適化を行った。エバポレータはコルゲートフィンとチューブのカウンタフロー構造となっており、圧力損失低減と変換効率向上の両立を狙った。水冷コンデンサはプレート積層型のカウンタフロー構造となっており、エンジンの冷却水をサブウォータポンプにより循環させる。動力伝達機構は FWC（ワンウェイクラッチ付き機能：Free Wheel Clutch）を備え、プロペラシャフト回転とエキスパンダ軸をクラッチでつなぎ回転を同期させ始動。エンジン制御の適合についてはポストポスト新長期規制適合時の値から変更せず、WHR システム専用のオリジナル制御を構築した。台上試験では、WHR システムの各コンポーネントは車両搭載を想定した高低差で配置した。車両試験はシャシダイナモで GVW25 t、環境温度 25 ℃に設定し高速走行モードと高速定地条件で評価した。モード走行試験前には車速 80 km/h で WHR システムを十分に暖気・稼働させたあと、車両停車、WHR システム停止状態から評価を開始した。燃料流量については、

車載型の容積式燃料流量計を用いて燃料配管に接続し測定した。車両のエキスパンダトルクは、台上試験で軸トルクメータにより、計測したエキスパンダの軸トルクを使い作動流体圧力とエキスパンダ回転数から算出した。供試燃料は、国内 JIS2 号規格の軽油を用いた。

4　システム選定

4.1　熱源の選定

回収する熱源はエンジン冷却水、EGR（排出ガス再循環：Exhaust Gas Recirculation）ガス等あるが、今回は排出ガスへの影響を考慮し ATS の後ろから回収した。多くの熱エネルギーを取込むには排気管からの大気放熱を抑制する必要があり、排気管の保温対策として断熱材を巻いて対応した。

回収する熱源の検討を**図 5** に示す。

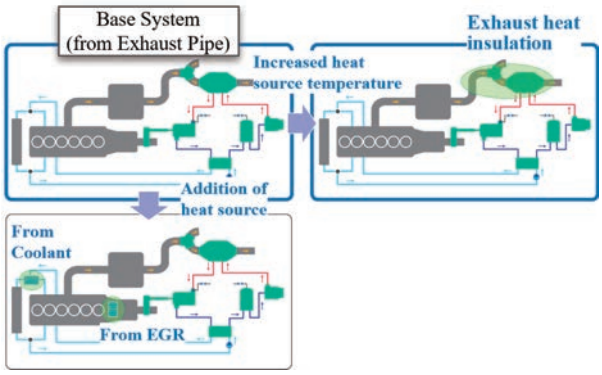


図 5　回収位置の選定

4.2　作動流体の選定

作動流体の臨界温度と分解温度を考慮してエキスパンダ軸出力の計算を行うと、アルコール系冷媒はフロン系冷媒より優位性があると予測した。水のみでは冬季凍結の懸念があるため、今回はエタノールを選択した。

作動流体違いによる優位性を検討した例を**図 6** に示す。

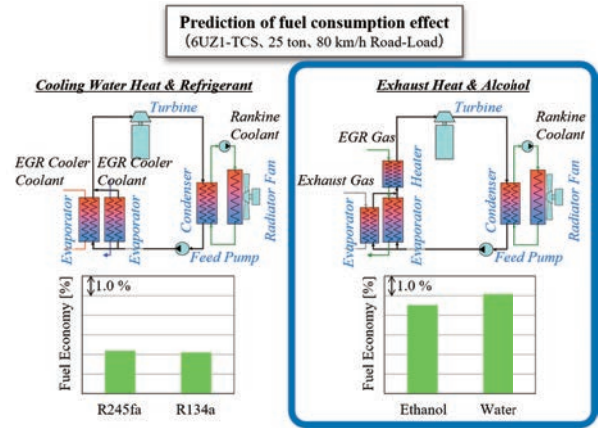


図 6　作動流体の選定

4.3　回生方式の選定

回収したエネルギーの使い方は動力、電力、及び蓄圧などが考えられる。動力回生方式は回収したエネルギーは同じタイミングで使う必要があるため、電気または圧力に貯めて使える方式に優位性がある。ただしエネルギーを貯める装置とエネルギーを使う用途、及びシステムが必要となり重量、コスト面では不利となる。既存の車両へ組み込みやすく、動力への変換効率が高く、また制御の取扱いやすさから動力回生方式を採用した。

回生方式の検討を**図 7** に示す。

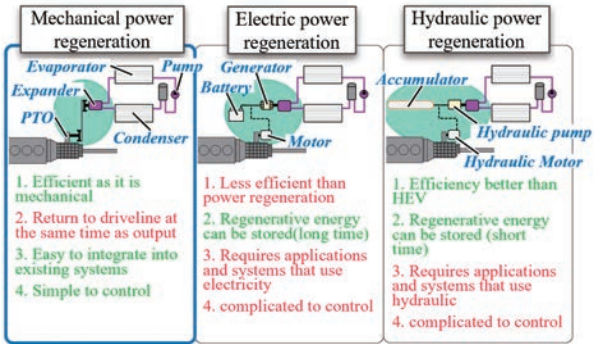


図 7　エネルギー回生方式の選定

回生する場所は排気管とエバポレータ近接化による性能面とコスト面、ギヤノイズに優位性があるプロペラ中挟み方式を採用した。

動力伝達機構の検討結果を**表 2** に示す。

表 2　動力伝達機構の検討結果

○：Better than existing parts and other methods
△：Inferior to existing components or other methods

Power input	Q			C	D	W	S	Technical challenges
	Performance	Mountability	Noise	Cost	Difficulty	Weight	Safety	
Flywheel PTO	△ Long piping path	○	○	△	○	△	○	Over spec for WHR
T/M side PTO	△ Long piping path	○	○	△	○	△	△ AMT control	Over spec for WHR
T/M built-in rear cover PTI	○ Proximity	△ ground clearance	△ Large backlash	○ PTO equivalent	△ Development	○ PTO equivalent	○	Reliability and durability not verified
Propeller shaft middle insert type PTI	○ Proximity	○ Replaceable center bearing	○ Small backlash	○ PTO equivalent	△ Development	○ PTO equivalent	○	Reliability and durability not verified

4.4　システムのユニット化

WHR システムは損失低減と合理化を狙いユニット化を行った。コンポーネントの集約とユニット化により搭載性を向上させた。エバポレータの ATS への近接化及びコンポーネント間の距離を短縮することにより保温性能向上を狙った。市場導入を想定したツールパスの配慮による整備性の確保を行った。

システムのユニット化検討結果を**表 3** に示す。

設計・試作した車載式 WHR システムを組立て、車両へ搭載し実機による評価を行った。

ユニット化した車載式 WHR システムと PTI の搭載状況を**図 8** に示す。

表 3　システムユニット化検討

Task	Concern	Pattern-1	Pattern-2	Pattern-3
Exhaust pipe outlet direction	Main Pass	△ Requires shape change of diffuser		
	Bypass	no difference		
Maintenance	T/M unloading	no difference		
	Access to components	no difference		
Performance	Joint pipe length	no difference		
	Evaporator heat dissipation	○ fit in the housing	○ fit in the housing	△ Corrplex shape
	Back pressure	△ worsening trend	△ worsening trend	○ good
	Refrigerant pipe length	no difference		
	Refrigerant charging	△ Bad direction of evaporator	△ Bad direction of evaporator	○
	electrical Cooling	△ ventilation worse	△ ventilation worse	○ good ventilation
	Condensed water measures	△	△	○
Production	Mountability	○ No protrusion	○ No protrusion	△ Evaporator protrusion
Weight	Bracket weight	△ heavy	△ heavy	○ better than P-1/2

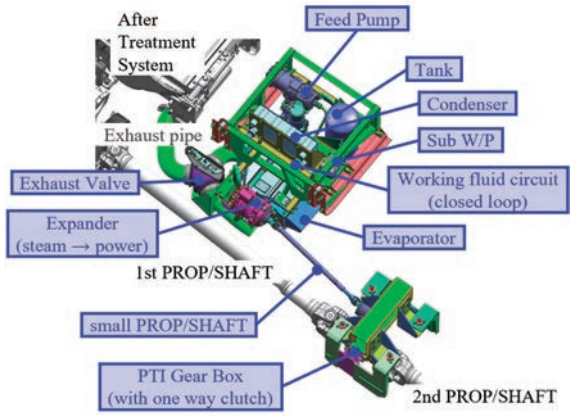


図 8　WHR システムユニット設計

5　車載式 WHR システム制御

5.1　車載システム制御

車両との協調制御を行うため**表 4** に示す車速・ブレーキ干渉に対応した。**図 9** に始動とフェールセーフ機能の制御フローを示す。

車両停止時の正常なエンジン始動から、排気温度のしきい（閾）値を超えると装置の暖気を開始する。加速または惰行状態で作動流体が過熱状態になるとEBV を切替え、動力回生によるアシストを開始する。エキスパンダは EBV の切替えのみで始動可能なセルフスタート機能を備えていないため、クラッチを接続しエキスパンダの回転数を確認したのち EBV を切替えるようにした。また、ドライバの減速要求時にはEBV で流路を切替え、回生アシストを停止するようにした。ドライバの減速要求がなくなると EBV を再度切替え、素早いアシスト回復を可能とした。作動流体リーク発生時には、システム異常判定シーケンスとしてフェールセーフ機能を構築した。リーク発生時にコンポーネントエラーを検知した時は強制停止する。作動流体の温度・圧力が高い場合は強制冷却し、収束しない場合は強制停止へ移行する機能を設けた。

表 4　車載システム制御

Engine status		Stopping			Running														
vehicle status		Parking										temporary stop	slowdown with brakes		normal running		Coasting		
Vehicle	key	OFF	ON																
	ignition	OFF	ON																
	OBD	-	w/ fail	w/o fail	w/ fail	w/o fail													
	Parking brake	-	close										open						
	accelerator	-	OFF														ON		OFF
	clutch	-	engage																
	gear position	-	N										> 1st						N
	Vehicle speed	-	0										> 1km/h						
	Foot brake	-	-	-	-	-	-	-	-			ON					OFF		
	Auxiliary brake	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OFF	ON	ON	OFF	ON		OFF		
	cooling fan	-	-	-	-	engage		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Exhaust temperature	-	-	-	-	-	-	-	> 150 ℃										
	Coolant temperature	-	-	-	-	-	> 100 ℃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Oil temperature	-	-	-	-	-	-	> 120 ℃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Super heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	> 10 ℃								
WHR	WHR mode	Off	System Off	Thermal Off					Expander Standby						Expander Assist				
	WHR Run SW	-	OFF	ON					ON						ON				
	Exhaust Bypass SW	-	ON	ON					OFF						OFF				
	Expander Bypass SW	-	ON	ON					ON						OFF				

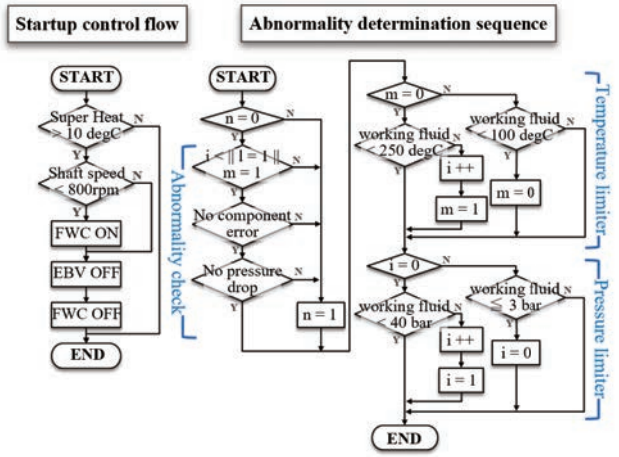


図 9　始動制御とフェールセーフ機能

5.2　WHR システム制御

WHR システムの始動時と回生時の安定動作を狙い、作動流体の温度と圧力による過熱度制御を構築した。作動流体は同じ温度であっても圧力によって状態が変化するため、蒸気化の判断は過熱度により状態把握が必要である。始動時はエキスパンダ出口の過熱度を目標に、閾値を超えると始動条件に移行するようにした。回生時は排気エネルギーの変動によるストール回避と冷却システムへの負担を減らすことを狙い、エキスパンダ入口の過熱度を目標に制御した。

過熱度制御のブロック図を**図 10** に示す。

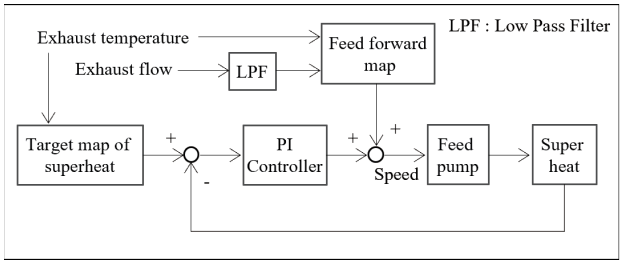


図 10　過熱度制御のブロック図

排気温度、排気流量に応じたフィードポンプの回転数を実験により取得し、フィードフォワードマップを作成した。排気温度と流量の急激な変化に対応するため、入力する排気流量にローパスフィルタをかけフィードポンプ回転数の急しゅん（峻）な動作を抑えた。排気温度に応じた目標過熱度マップを決定した。目標過熱度と実過熱度の偏差を PI（Proportion Integral）制御でフィードバックした。台上試験で過熱度制御を実装し、各所過熱度の状況を見ながら車載制御を構築した。

5.3　実走行による制御確認

高速周回路で実装した車載システムの制御動作を確認した。WHR によるアシスト状態の 88 km/h 一定車速条件の直線路にて、目標車速から 5 km/h 減速して、再加速時のアシスト停止・再始動の作動状況を**図 11** に示す。

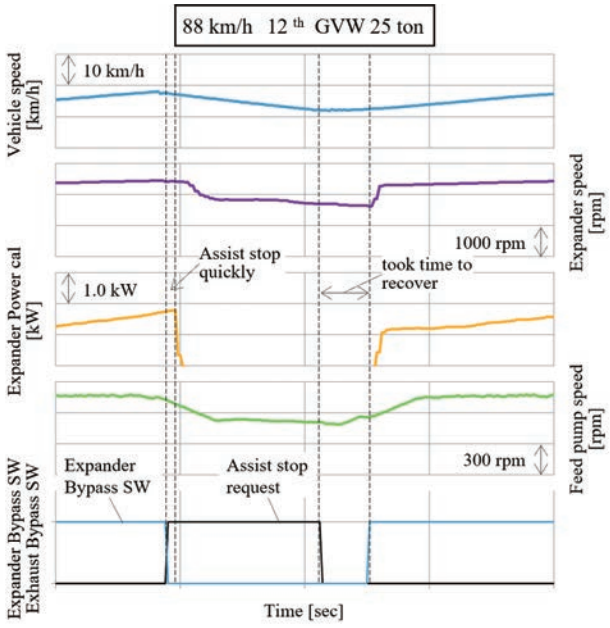


図 11　ブレーキ干渉制御

ドライバからの減速要求時には EBV を切替えることでエキスパンダ軸出力がなくなり、アシストが素早く停止している。その際、エキスパンダ回転数は停止していないが FWC の機能により、空回りしているだけでアシストは行っていない。再加速時には FWC を使った回転同期はさせずに EBV の切替えのみでアシスト復帰を行った。車両条件と WHR システム状態によっては FWC を使用した再始動を考慮する必要がある。

6　試験結果及び考察

6.1　保温効果

保温対策状況について**図 12** に示す。車両のターボチャージャ出口から ATS 入口及び、ATS 出口からエバポレータ入口の排気管とエバポレータ本体には断熱材を備え、保温対策を行った。排気管への対策はフィン作用で放熱量が高いフランジ部を覆うことによる効果を狙った。エバポレータ本体への対策は熱交換器の放熱を防ぎ、作動流体への熱交換性能向上を狙った。保温効果を**図 13** に示す。施策前と比べるとエバポレータへ流れる排気温度は +33 ℃、エキスパンダ出力は +0.9 kW の向上を確認できた。

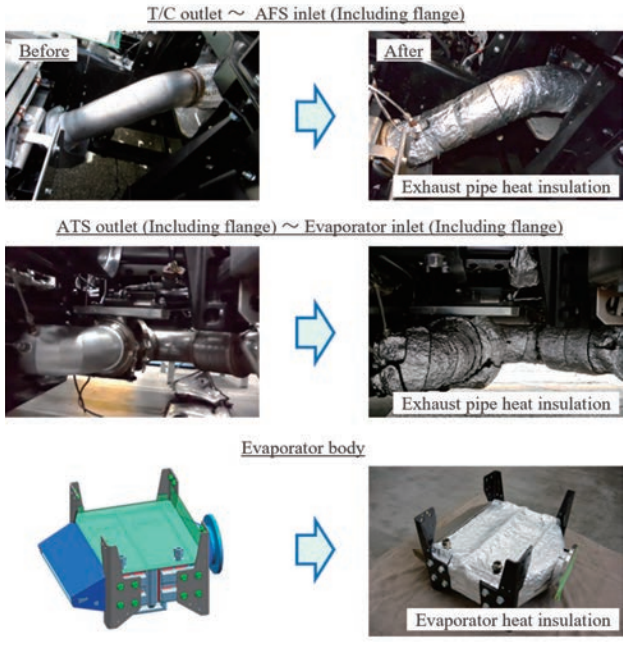


図 12　断熱対策

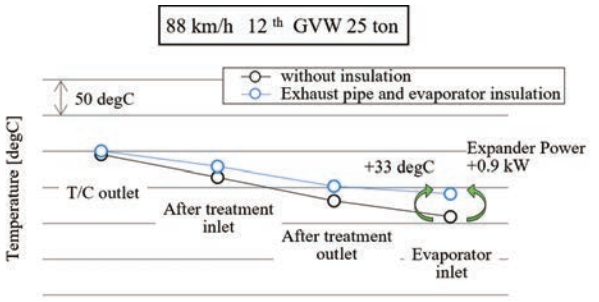


図 13　断熱効果

6.2 車両走行試験の結果

図 14 に高速定地と高速モードの車両試験の結果を示す。図にはベースとなる車両の結果も示した。

車載式 WHR システムによる燃費効果としては、高速定地で 1.7 %、高速モードで 1.6 % の燃費削減効果を確認した。この結果から目標とのかい（乖）離について考察した。

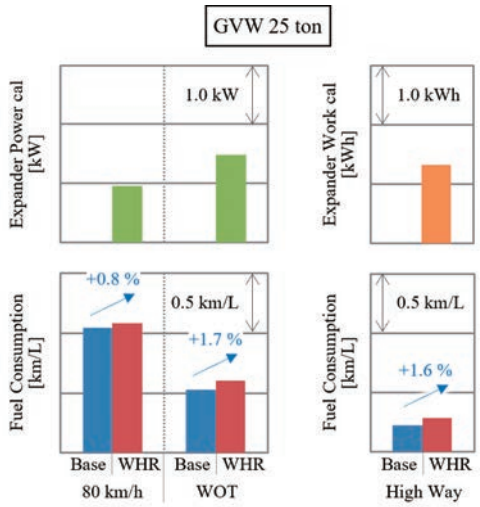


図 14　車両試験結果

要因は入熱条件・圧力ストール・回生開始時期の大きく 3 つ考えられる。

高速走行条件化での走行風による排気温度低下及び WHR システムのアシストで走行負荷低減による排熱低減など、モデルシミュレーションでは考慮していない入熱条件に乖離が出たためと考える。

動力回生ではトルク干渉を防ぐために、制動時はエキスパンダをバイパスモードにして回生アシストを停止する必要がある。**図 15** に示すように高速モードでは制動時のブレーキバイパス時を含めると WHR システム稼働率は 91.5 % となり、内 7.8 % が回生アシストを停止している状態である。

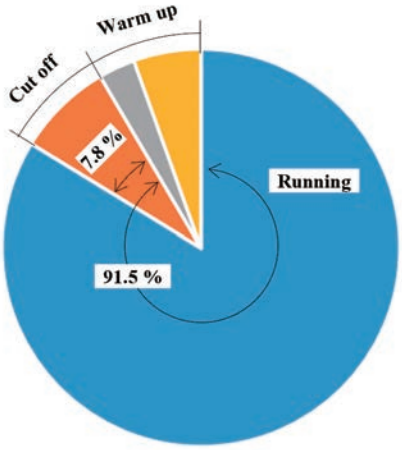


図 15　高速走行モードでの WHR システム稼働率

ブレーキバイパスの制御時はフィードポンプの流量を調整するため、作動流体圧力がストールしてしまい、圧力復帰までにタイムラグが生じており、**図 16** に示すようにブレーキバイパス制御からの復帰時に回生出力の低下が起きている。

車両走行開始から WHR システムの回生が始まるまで 2.0 分程度かかっている。システムウォームアップ制御の実装も行っているが更なる改善が必要である。

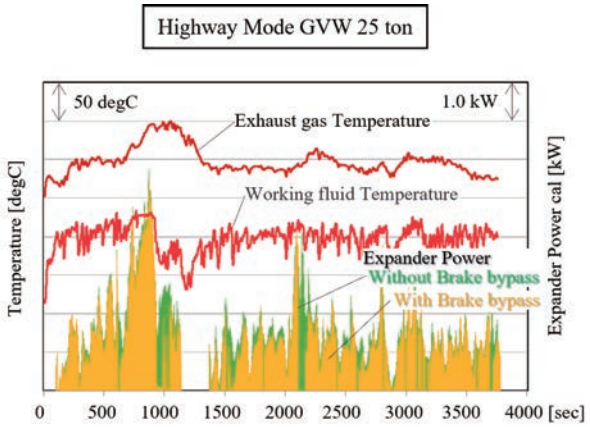


図 16　ブレーキバイパス制御における回生量低下

7　おわりに

車載式 WHR システムの出力・効果検証を行った結果、(1) から (4) の知見が得られた。

(1) 動力回生機構を検討する際、性能・搭載性・ギヤノイズに有効なプロペラ中挟み方式を採用し車両へ搭載した。

(2) 台上試験にて車両走行試験に必要なフェールセーフ機能を導入し、システム異常時のシステム停止シーケンスを導入した。

(3) 作動流体を温度から過熱度でコントロールすることで WHR 始動時と回生時の安定動作が可能な過熱度制御を構築した。

(4) シャシダイナモにて車両走行評価を実施した。車載廃熱回生ランキンサイクルシステムによる燃費効果としては高速定地で 1.7 %、高速モードで 1.6 % の燃費削減効果を確認した。

本稿は 2023 年自動車技術会春季大会学術講演会講演予稿集に掲載された論文を加筆修正の上報告するものである。

参考文献

(1) 古川　卓俊，トラックエンジン用廃熱回収技術，JSAE ENGINE REVIEW，SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol.6,No.1（2016）,p.6
(2) 増田 敦 , ほか 6 名：大型トラック用ハイブリッドシステムの実車評価，自動車技術会学術講演会予稿集（2015）, 20156063
(3) Takatoshi Furukawa，ほか 3 名：A Study of the Rankine Cycle Generating System for Heavy Duty HV Trucks, SAE Technical Paper(2014),2014-01-0678, doi:10.4271/2014-01-0678.
(4) 町田　耕一，ほか 9 名，大型トラック用 HV システムの研究，自動車技術会学術講演会予稿集（2013）,20135797
(5) 古川　卓俊，他 4 名：大型 HV トラック廃熱回生用ランキンサイクル発電装置の研究，自動車技術会学術講演会予稿集（2013）,20135234
(6) 加藤　晃太，松浮　朋冬：ランキンシステム出力予測シミュレーションの開発，自動車技術会関東支部学術研究講演会（2019）,p.3
(7) 津田　研一郎，松浮　朋冬：大型商用車走行時の熱電回生の車両シミュレーション，自動車技術会関東支部学術研究講演会（2022）,p.3

著　　者


相園　斉


福永　晋


松浮　朋冬


浅野　雅樹


阿部　誠


加藤　晃太


吉永　寛史

◇いすゞ歴史の一こま



TX63 型トラック（1955 年ごろ、沼津市三津浜海岸）

解説・講義

人とくるまのテクノロジー展 2023 への出展

Automotive Engineering Exposition 2023 Hosted by JSAE

榊　和彦*
Kazuhiko Sakaki

要　旨

公益社団法人自動車技術会が主催する自動車技術展「人とくるまのテクノロジー展 2023」(以下、「人テク展 2023」と略す）を横浜会場と名古屋会場で開催、更に 2021 年より導入を開始したオンライン展示との同時開催となりました。

本稿では、主にいすゞの展示内容について紹介します。

Abstract

"Automotive Engineering Exposition 2023" hosted by the Society of Automotive Engineers of Japan, Inc. was held in Yokohama and Nagoya. Furthermore, the exhibition was held at the same time as the online exhibition which was introduced in 2021.

This article introduces the situation of the exhibitions.

1　はじめに

人テク展 2023 は、日本をはじめ多くの国・地域が 2050 年のカーボンニュートラルの実現に立ち向かい、更に持続可能な社会を実現するために、「共創」と「循環」をキーワードに、その延長上にある「英知を集結しよう！カーボンニュートラル、その先の循環型社会へ」をスローガンに掲げています [(1)]。

いすゞは、このスローガンをもとに最新の車両に関する技術開発についての取組みを紹介します。

2　人テク展 2023 の開催概要

人とくるまのテクノロジー展はエンジニアをメインターゲットとした日本最大規模の自動車技術展です。いすゞは製品技術のアピールと、他社の技術動向調査並びに技術者と、意見を深め合う場として活用しています。

《2023 年度の開催期間》

パシフィコ横浜：5 月 24 日（水）～26 日（金）
Aichi Sky Expo：7 月 5 日（水）～7 日（金）
オンライン：5 月 17 日（水）～6 月 7 日（水）
6 月 28 日（水）～7 月 19 日（水）

人テク展 2023 は、自動車メーカーのほか、自動車関連企業、メディア関係並びに学生など、多くのお客様が来場され大いに賑わいをみせました。

なお、来場者数は次の①、②のとおりで、前年を大きく上回りました [(1)]。

① 人テク展 2023 横浜
会場来場者数：63,810 名
② 人テク展 2023 名古屋
会場来場者数：25,497 名

3　いすゞ出展について

3.1 いすゞ出展概要

いすゞブースでは新製品並びに、従前から展示している環境・先進安全・コネクテッドに関する最新の技術を中心に、次の①～⑤を紹介しました。

① 新製品 1：17 年ぶりにフルモデルチェンジした新型エルフの実車を展示。
② 新製品 2：新型エルフへ搭載している新 9 段 AMT（Automated Manual Transmission）の、ISIM（アイシム：Isuzu Smooth Intelligent TransMission）の実機を展示。
③ 環境技術：バイオフューエル・FCV（燃料電池自動車：Fuel Cell Vehicle）・BEV（バッテリー式電気自動車：Battery Electric Vehicle）と、EV（電気自動車：Electric Vehicle）の導入検討・導入課題の解決・効果の定量化・更なる脱炭素化提案を PDCA（Plan、Do、Check、Action）でサポートするトータルソリューションプログラムである、EVision を紹介。

*開発技術企画部

④ 先進安全技術：フルモデルチェンジした新型エルフに搭載した安全装備の一部を紹介。
⑤ コネクテッド技術：車両の運行状況をリアルタイムに収集、データ解析し、高度な運行管理を行う MIMAMORI、及び安定稼働実現のため故障を未然に防ぐ、また万一故障しても遠隔で故障原因がわかる、PREISM 稼働サポートについて、デモ機を用いて紹介。

会場展示（**図 1**、**図 2**）での内容と紹介方法は**表 1** のとおり。オンラインではパネル文書と動画情報を展開しました。なお、名古屋会場限定の新技術搭載車両展示ブースでは、新型ギガ（**図 3**）の実車展示をしました。

表 1　会場展示内容

紹介内容	紹介方法
新型エルフ	実車、パネル、動画
ISIM	実機、パネル、動画
バイオフューエル	パネル
FCV	パネル、動画
BEV	パネル、動画
先進安全	パネル、動画
コネクテッド	パネル、動画、デモ機
新型ギガ （名古屋会場のみ）	実車、パネル、動画



図 1　いすゞブース（全体）



図 2　いすゞブース（パネル・動画）



図 3　新技術搭載車両展示ブース

3.2 いすゞブースの状況

いすゞブースには、多くのお客様が来場され、活況を呈しました（**図 4**）。



図 4　いすゞブースの様子

新型エルフへ搭載した ISIM はカットモデル展示のため、内部構造に関する質問が数多くあり、他社ブースではカットモデルの展示が少なかったことから、興味をもたれたお客様が非常に多くご来場いただきました（**図 5**）。

他にも自社開発及び生産・新型エルフ以外の展開についての問合せが多く寄せられました。

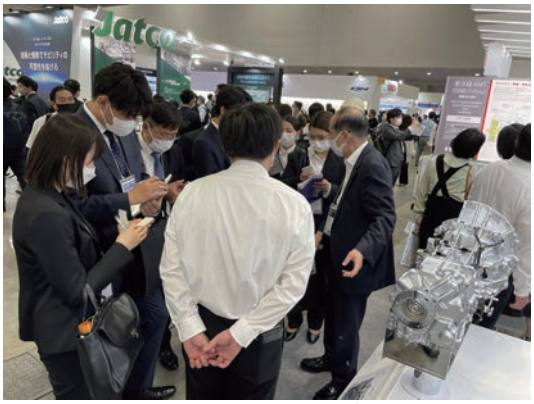


図 5　ISIM カットモデル展示

次にカーボンニュートラルに対する取組みが話題となる昨今、環境対応技術への関心から、バイオフューエル・FCV・BEV に関する質問を、お客様から多くいただきました。

特にバイオフューエルも他社展示が少なく、DeuSEL（デューゼル）の既存の軽油インフラをそのまま活用して、カーボンニュートラルを実現できる可能性と汎用性に興味を持っていただきました。また、バイオガス実証では、廃棄物をメタンガスに変えて、それを燃料として車両を走らせて廃棄物回収を行う循環の仕組みについても、お客様が大変関心を示されました。

コネクテッドのMIMAMORIでは実機を使ったデモンストレーションを行い、車載するセンターディスプレイとWebの運行管理画面を確認しながら説明を行ったことで、より深く理解をいただき、使い勝手の良さに好評を得ました。

3.3 新技術搭載車両展示ブースについて

2023年より名古屋での展示会は新会場となり、新技術搭載車両の展示が追加され、いすゞが展示した新型ギガは、運転席横に階段を設置し、実際にお客様が運転席に座り、大きさなどを体感いただきました（**図6**）。

お客様からは、キャブ内の広さ･乗り心地の良さ･収納量の多さ・乗用車とは異なり視界が高く見通しが良いなど、初めての大型トラックへの乗車に喜びのコメントを数多くいただきました。

また、女性の試乗希望者も多く、普段の歩行者視点とは異なり、今回乗車して視野確認したことで、遠方は非常に見やすい反面、真下はミラーを駆使する必要があるなど、子どもがトラック周辺に近づき過ぎないように見守る必要性の気づきのコメントをいただき、いすゞ側にも貴重なご意見をいただきました。



図6　最後までお客様の途切れることがないほど、盛況した様子

4　おわりに

人テク展2023は、新型コロナウイルス感染の収束や、名古屋は新会場での開催ということもあり、昨年よりも横浜会場・名古屋会場ともに来場登録者数も増え、いすゞブースへも多くのお客様に足を運んでいただくことができました。

ご来場いただいたお客様に深く御礼申し上げます。

今後もお客様の興味・関心を持っていただける商品と技術の紹介に努めてまいります。

最後に人テク展2023の出展にご協力いただいた協力企業並びに、参画いただいた社内関係部署の皆様にこの場を借りて、感謝の意を表します。

参考文献

(1) 自動車技術展 - 人とくるまのテクノロジー展2023, 公益社団法人自動車技術会 ,2023年7月7日更新 , https//aee.expo-info.jsae.or.jp/ja/

著　者



榊　和彦

特　許　紹　介

Introdution of ISUZU Patents

キャブバックカバー

特許番号:第 7107154 号（2022/7/19 登録）
出願番号:特願 2018-195916（2018/10/17 出願）

＜課題＞

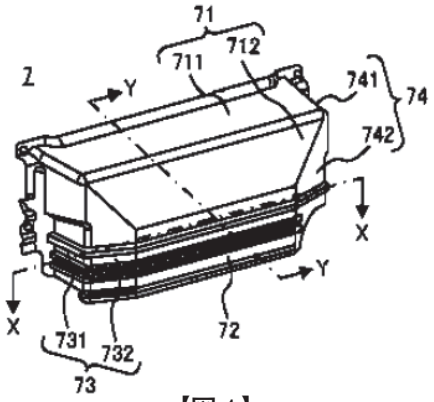
キャブオーバ型車両のキャブバックカバーにおいて、キャブの下方に設けられたエンジンの周囲を走行により前方から後方に流れた空気が加熱され、キャブバックカバーの内側に流入して籠り、キャブを構成する部品に対して熱害が生じる恐れがある。

＜発明＞

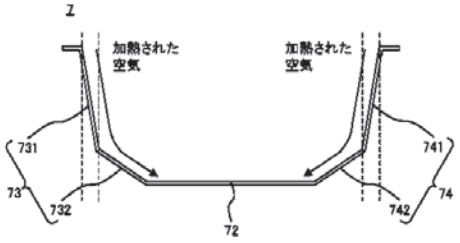
キャブの後方に設けられたキャブバックカバー（**図 1**）の、左右側面部のうちの少なくとも一つは、前方から後方に向かうにつれて車幅方向内側に向かって延伸している前方領域（741）と、前記前方領域の後端に接続されており、前方から後方に向かうにつれて、更に大きい角度で車幅方向における内側に向かって延伸している後方領域（742）を有することを特徴とするキャブバックカバー。

＜効果＞

キャブ構成部品の熱害を抑制する。



【図 1】



【図 2】

ブラケット、燃料供給ポンプの組付構造および燃料供給ポンプの組付方法

特許番号:第 7010056 号（2022/01/17 登録）
出願番号:特願 2018-31006（2018/2/23 出願）

＜課題＞

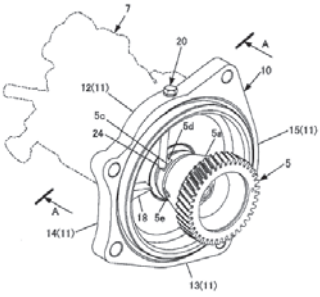
ドライブギヤの回転位相位置が合っていない状態で、燃料供給ポンプがエンジン本体に組付けられた場合、燃料噴射システムに異常をきたす恐れがある。

＜発明＞

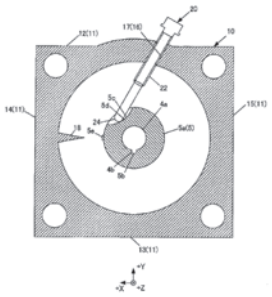
燃料供給ポンプをエンジンに組付けるためのブラケット（**図 1**、10）を、供給ポンプのギヤをあらかじめ定められた回転位相位置に固定させるギヤに係止する係止部材（**図 1**、20）を保持し、かつ、係止部材により回転位相位置を調整する係止部材を保持する保持部（**図 2**、16）を有するブラケット。

＜効果＞

ギヤをあらかじめ定められた回転位相位置に固定することができ、燃料噴射システムが異常をきたさない。



【図 1】



【図 2】

車両制御装置

特許番号:第 6953780 号（2021/10/4 登録）
出願番号:特願 2017-95964（2017/5/12 出願）

＜課題＞

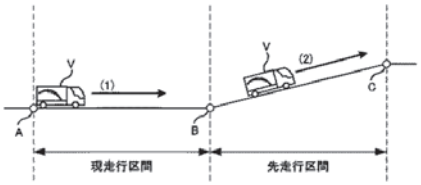
車両が現ギヤ段で走行中に、先走行区間における車両の先ギヤ段よりも高段の目標ギヤ段へのシフトアップを抑制する車両制御装置において、当該目標ギヤ段での走行の燃費効率が良好であったとしても、シフトアップが抑制され、高燃費走行ができない。

＜発明＞

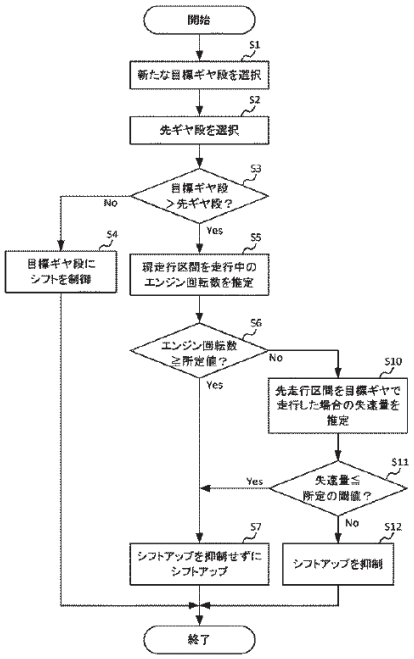
現走行区間において、より高燃費走行が可能な目標ギヤ段について、シフトアップを抑制している状態で現走行区間を走行中にエンジン回転数が所定値以上になると推定すると、シフトアップを抑制せずに目標ギヤ段にシフトアップするようにシフトを制御し、目標ギヤ段において先走行区間（**図 1**）を走行した場合の車両の失速量が所定のしきい値以下であると判定した場合に、シフトアップを抑制せずに目標ギヤ段にシフトアップするようにシフトを制御する（**図 2**）。

＜効果＞

目標ギヤ段で先走行区間へ侵入したときの車両の失速量が小さい場合にシフトアップを許容することで、先走行区間へ侵入したときの失速によるドライバーの違和感を低減しつつ、現走行区間において燃料効率のいいギヤ段で高燃費走行が可能となる。



【図 1】



【図 2】

アンダーランプロテクタ

特許番号:第 7061282 号（2022/04/20 登録）
出願番号:特願 2018-46050（2018/3/13 出願）

＜課題＞

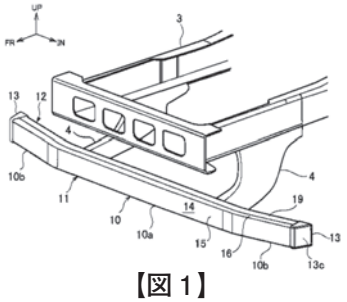
アンダーランプロテクタの重量の増加を抑制しつつ長さを確保する。

＜発明＞

車体前部側の第 1 部材（11）と、車体後部側の第 2 部材（12）とから構成される中空のプロテクタ本体（10）、及びプロテクタ本体の端部に設けられたキャップ（13）を有するアンダーランプロテクタであって、当該キャップの外端面（13c）は、前方から車幅方向外側の後方に延び、前後方向に対して傾斜している。（**図 1**）

＜効果＞

傾斜形状のキャップを設けることにより、第 2 部材の延長による重量増加を抑制しつつ、アンダーランプロテクタ全体の長さを確保することができる。



【図 1】

社外発表（2022年1月 ～ 2022年12月）

◇講　演

発表者所属は、発表年月時点である

発表日	発表先	表題	発表者	所属
1/18	（公社）自動車技術会 No.16-21シンポジウム AI時代の計測・CFD技術の新展開	高速度赤外線カメラを用いたエンジン筒内熱損失低減に関する研究	宮下　和也	㈱いすゞ中央研究所
1/21	（公社）自動車技術会 No.17-21シンポジウム ディーゼルエンジンの現在・未来	軽油へのOME混合が燃料性状とディーゼル機関性能に及ぼす影響	森田　真一	㈱いすゞ中央研究所
1/28	（公社）自動車技術会 No.18-21シンポジウム デジタルトランスフォーメーション時代のCAE	圧縮曲げで荷重維持性能の良い矩形断面構造および座屈抑制面の検討	堀井　舜	㈱いすゞ中央研究所
3/3 ～ 3/4	薄鋼板成形技術研究会 薄鋼板成形技術研究会2021年度 第4回研究会	プレス金型への動解析適用の取組み第一報	木村　淳	要素技術部
3/10	（公社）自動車技術会 関東支部 2021年度 学術研究講演会	大型商用車走行時の熱電回生の車両シミュレーション	津田　研一郎 松浮　朋冬	㈱いすゞ中央研究所 〃
5/25 ～ 5/27	（公社）自動車技術会 2022春季大会	改良指針検討のための実稼働TPAによるエンジン騒音寄与分析	山岸　誠弥 小澤　恒 山下　健一	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃
5/25	Mathworks Japan MATLAB EXPO 2022 JAPAN	自動運転トラックのためのデータ駆動型制御による横運動制御器自動生成	鈴木　元哉	㈱いすゞ中央研究所
6/3	（公社）日本冷凍空調学会 カーボンニュートラルに向けた先進熱交換技術に関する調査研究	公共交通機関におけるエアロゾルフィルター実装	達　晃一 篠原　直秀 金　勲 鍵　直樹 坂口　淳 飯田　明由 山内　康 安原　幸生 坪倉　誠 内藤　航	車両審査実験第二部 産業総合技術研究所 国立保健医療科学院 東京工業大学 新潟県立大学 豊橋技術科学大学 CAEデジタル開発推進部 国土交通省 神戸大学，理化学研究所 産業総合技術研究所
6/14 ～ 6/16	（一社）日本環境化学会 第30回 環境化学討論会	アルデヒドキャッチャー剤の実装評価に関する研究	達　晃一 徳村　雅弘 臼井　信介 宮崎　高則 坪井　裕基 長尾　祥大	車両審査実験第二部 静岡県立大学 ㈱カネカテクノリサーチ 東ソー㈱ 〃 エスペック㈱
		大型バスにおける換気の実態と感染対策に関わる研究 その1換気量とエアロゾルフィルタの性能評価	達　晃一 橋本　秀直 木津　拓磨 菅　勝博	車両審査実験第二部 バス商品企画・設計部 車両審査実験第二部 〃
6/23 ～ 6/24	（一社）品質工学会 第30回 品質工学研究発表大会	エンジン外回り部品の開発工程改善 ー応力ロバストアイテムの開発ー	高倉　裕太朗 箱本　健次郎 城　一樹 衛藤　洋仁	PT実験第二部 CAEデジタル開発推進部 PT実験第二部 車両審査実験第二部
		技術開発に対する品質工学	衛藤　洋仁 安藤　力	車両審査実験第二部 富士フイルムビジネスイノベーション㈱

発表日	発表先	表題	発表者	所属
7/11 ～ 7/15	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 2022 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)	Suppresion of external pain stimuli as neurofeedback for improved pain inhibition in the brain	松岡　弘洋 上田　一貴 小泉　光司 古田　千花 中尾　政之 二塚　健	㈱いすゞ中央研究所 東京大学 〃 〃 〃 京セラ㈱
8/30 ～ 9/2	International Federation of Automatic Control (IFAC) The 10th IFAC Symposium on Robust Control Design	Direct Data-Driven Design for Sparse Feedback Controller based on VRFT and LASSO Regression	矢作　修一 鈴木　元哉	㈱いすゞ中央研究所 〃
9/5 ～ 9/9	（一社）日本ロボット学会 第40回 日本ロボット学会学術講演会（RSJ2022）	SLAMと高精度地図を併用した高精度な自己位置推定手法	吉野　恭司	㈱いすゞ中央研究所
9/6 ～ 9/9	（公社）計測自動制御学会 SICE2022 SICE ANNUAL CONFERENCE	Extended Intelligent PI control for vehicle yaw-rate control	鈴木　元哉 矢作　修一	㈱いすゞ中央研究所 〃
9/14 ～ 9/16	（公社）大気環境学会 第63回 大気環境学会年会 室内環境分科会	車室内のTVOCの現状と活用について	達　晃一	車両審査実験第二部
9/21 ～ 9/23	（一社）日本鉄鋼協会 2022秋季大会（第184回） 材料の組織と特性部会 シンポジウム	窒化化合物層の結晶構造が合金鋼のねじり疲労強度におよぼす影響～切り欠き材～	山田　明徳 衛藤　洋仁	車両審査実験第二部 〃
9/27 ～ 9/30	（公社）日本鋳造工学会 日本鋳造工学会 第180回全国講演大会	アルミニウム合金鋳物の熱疲労に関する研究と実用化	茂泉　健	IM推進部
		アルミニウム合金の重力鋳造方案における湯口径及びフィルターの効果	池谷　拓哉 上野　正巳 茂泉　健	IM推進部 〃 〃
10/12 ～ 10/14	（公社）自動車技術会 2022秋季大会	DPF強制再生時のPM燃え残り予測モデルの構築（第1報）	中村　圭介 酒井　順司 小澤　恒 石川　直也	㈱いすゞ中央研究所 CAEデジタル開発推部 ㈱いすゞ中央研究所 〃
		リーンNOxトラップのモデルベース開発に関する研究（第3報） ーリッチ雰囲気下におけるラムダセンサのモデリングー	藤井　謙治 大堀　鉄平 小澤　恒 板垣　裕 猪股　浩典 長岡　大治 石川　直也	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 エンジン装置設計部 PT実験第一部 ㈱いすゞ中央研究所
		リーンNOxトラップのモデルベース開発に関する研究（第2報） ーLNTの酸素及びNOxの吸蔵・脱離特性のモデリングー	大堀　鉄平 小澤　恒 板垣　裕 猪股　浩典 石川　直也	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 エンジン装置設計部 ㈱いすゞ中央研究所
10/16 ～ 10/20	The World Foundry Organization 74th World Foundry Congress	Effect of Cu addition on thermal fatigue cracking in Al-Si alloys	茂泉　健 芹澤　愛 平井　佑弥 Yunsoo Lim	IM推進部 芝浦工業大学 〃 〃
11/2	（一社）日本粉体工業技術協会 2022年度 第1回クリーン化分科会 モビリティ空間のクリーン化・快適化	公共交通機関におけるウイルス感染対策	達　晃一	車両審査実験第二部
11/15	（一社）日本塑性加工学会　板材成形分科会 第85回 SMFセミナー＜ハイブリッド開催＞	トリム切粉等による成形品表面不具合の対策事例	皆木　潤	車体技術部

発表日	発表先	表題	発表者	所属
11/21 ～ 11/24	（一社）日本機械学会 第33回 内燃機関シンポジウム －持続可能社会における内燃機関－	CN時代に向けたいすゞの取り組みと次世代商用車用ディーゼルエンジンの開発	小林　優介	エンジン装置設計部
11/27 ～ 12/1	ICROS (Institute of Control, Robotics and Systems) The 22nd International Conference on Control, Automation, and Systems	Data-driven design of Model error compensator and Fictious reference signals for vehicle velocity control	鈴木　元哉 矢作　修一	㈱いすゞ中央研究所 〃
12/1 ～ 12/2	（一社）室内環境学会 2022年室内環境学会学術大会	検診車の換気実態測定	達　晃一 篠原　直秀 鍵　直樹 金　勲 坂口　淳 村越　悟 内藤　航	車両審査実験第二部 産業総合技術研究所 東京工業大学 国立保健医療科学院 新潟県立大学 いすゞ病院 産業技術総合研究所

（公社）：公益社団法人
（一社）：一般社団法人
（株）：株式会社

◇投 稿

発表者所属は、発表年月時点である

発表月	発表先(掲載誌)	表題	発表者	所属
2022/01	(公社) 自動車技術会 自動車技術会論文集 2022年, 53巻, 1号	アンモニアスリップ触媒における水熱劣化影響のモデル化 ー貴金属触媒層の酸化活性および選択性に関する水熱劣化影響のモデル化ー	岡　耕平 本谷　綾子 柴田　慶子 小澤　恒 石川　直也	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 〃
		リーンNOxトラップのモデルベース開発に関する研究 (第1報) ーLNTの再生における酸化還元反応の系統的なモデルリング法の開発ー	大堀　鉄平 猪股　浩典 板垣　裕 小澤　恒 石川　直也	㈱いすゞ中央研究所 エンジン装置設計部 ㈱いすゞ中央研究所 〃 〃
2022/03	(公社) 自動車技術会 自動車技術会論文集 2022年, 53巻, 2号	電気ヒータによる大型商用車の排気ガス昇温に関する検討	髙塚　智博 橋本　宗昌 小松　明 榎　和広 石川　直也	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 〃
		大型商用車用ディーゼルエンジンの吸気閉弁時期の機関性能への影響	髙塚　智博 橋本　宗昌 小松　明 榎　和広 石川　直也	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 〃
2022/03	(一財) 素形材センター 素形材 2022年, 63巻, 3号	アルミニウム合金鋳物の残留応力とその対策	茂泉　健	IM推進部
2022/04	日本工業出版㈱ クリーンエネルギー 31巻, 4号	大型LNGトラックの開発について いすゞ天然ガス自動車の取り組みと「ギガLNG車」の発表発売	後藤　康二 高下　佳祐 馬淵　圭正	NGV企画・設計部 法規・認証部 いすゞエンジニアリング㈱
2022/05	(一社) 特殊鋼倶楽部 特殊鋼 71巻, 3号	窒化の適用例ー2.トラック部品 (クランクシャフト)	山田　明徳 政家　弘樹 衛藤　洋仁	車両審査実験第二部 〃 〃
2022/05	(公社) 自動車技術会 自動車技術会論文集 2022年, 53巻, 3号	圧縮曲げを受ける薄板矩形断面の各面の座屈抑制に対する荷重維持性能への寄与	堀井　舜 宮前　惇	㈱いすゞ中央研究所 〃
2022/05	(公社) 自動車技術会 自動車技術会論文集 2022年, 53巻, 3号	高熱効率ディーゼルエンジンの機械騒音の解析技術	小澤　恒 山岸　誠弥	㈱いすゞ中央研究所 〃
2022/06	(一社) 室内環境学会 室内環境 25巻, 1号	公共交通機関における車室内空気質と今後の展望 ー企業実務者らからみた環境過敏症ー	達　晃一 篠原　直秀 金　勲	車両審査実験第二部 産業総合技術研究所 国立保健医療科学院
2022/06	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) IEEE Control Systems Letters Vol.6	Direct Data-Driven Tuning of Look-Up Tables for Feedback Control Systems	矢作　修一 梶原　逸郎	㈱いすゞ中央研究所 北海道大学
2022/07	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) IEEE Access Vol.10	Non-Iterative Data-Driven Tuning of Model-Free Control Based on an Ultra-Local Model	矢作　修一 梶原　逸郎	㈱いすゞ中央研究所 北海道大学
2022/08	㈱技術情報協会 月刊車載テクノロジー 9巻, 11号	車室内空気質 (Vehicle Cabin Air Quality) の最近の動向と快適化技術	達　晃一	車両審査実験第二部
2022/08	(公社) 自動車技術会 自動車技術 Vol.76, No.8	年鑑　ディーゼルエンジン	柿原　知明 佐野　貴司	FCV開発・新エネルギー活用推進部 〃
		年鑑　代替燃料エンジン (DMEエンジン)	徳丸　武志	㈱いすゞ中央研究所

発表月	発表先(掲載誌)	表題	発表者	所属
2022/11	(公社) 自動車技術会 自動車技術会論文集 2022年, 53巻, 6号	改良指針検討のための実稼働TPAによるエンジン騒音寄与分析	山岸　誠弥 小澤　恒 山下　健一	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃

(公社)：公益社団法人
(一社)：一般社団法人
(一財)：一般財団法人
(株)：株式会社

編　集　委　員

（2023年9月30日現在）

〈編集委員長〉

宮永　俊作　（開発技術企画部）

〈編集委員〉

谷山　由和　（産業エンジン開発部）
山之内　大介　（CAE デジタル開発推進部）
椎貝　竜二　（AS システム開発部）
平田　順　（デザインセンター）
松浦　文生　（駆動商品企画・設計部）
児玉　裕　（xGV 企画・設計部）
和田　潤一　（PT 商品企画・設計第三部）
湯本　淳　（車両設計第二部）
木村　桂三　（PT 商品企画・設計第二部）
渡橋　弘敏　（PT 実験第一部）
辻　誠　（PT 実験第二部）
国守　亮太　（バス商品企画・設計部）
甲斐　崇　（グローバル CV 商品企画・設計部）
白土　清　（PT 商品企画・設計第一部）
星野　理香　（シャシ設計第一部）
芹澤　尚宜　（シャシ設計第二部）
森　瑞樹　（車両設計第三部）
江部　淳　（エンジン装置設計部）
早坂　淳　（大型商品企画・設計部）
竹村　正樹　（電装・制御開発部）
宮田　湧希　（小型・中型商品企画・設計部）
冨松　浩一　（LCV 商品企画・設計部）
高野　二郎　（車両審査実験第一部）
松本　一隆　（車両審査実験第二部）
坂尾　和也　（PT 電子制御開発部）
南　健司　（車両技術部）
松本　晃輔　（CN 商品企画・設計部）
佐野　雅幸　（IP マネジメント部）
瀬戸　雄史　（(株) いすゞ中央研究所）
鈴木　章一郎　（いすゞエンジニアリング（株））

〈事務局〉

青林　龍多　（開発技術企画部）
榊　和彦　（開発技術企画部）
蛭川　正敏　（開発技術企画部）
吉川　好美　（開発技術企画部）

編　集　後　記

今年は本号でも特集を組んだとおり、エルフ・フォワードのフルモデルチェンジを行い、いすゞにとって特別な取組みとなりました。開発車両では、紙面以外にも発表されたばかりの新型エルフを持込み、「人とくるまのテクノロジー展2023」で新技術についてお客様へ直接ご紹介をしました。

新型コロナウイルス感染症は令和5年5月8日より「5類感染症」に移行し、以前の落ち着きを取り戻しつつありますが、新型エルフ・フォワードの開発期間は、新型コロナウイルス感染症の真っ只中にあり、今までの開発のやり方を大きく変える必要がありました。コミュケーションは対面式がウェブに変わり、自宅または自席から会議へ参加となりました。また、作業現場では三密を避けるために作業時間のシフト、少人数制にシフトの組替え、更に画面上でのシミュレーション試験に置換えるなどを行い、お客様にお届けできる期日を遅らせることなく、品質を保った商品開発を進めてまいりました。

通常の開発課題とは異なる諸問題を乗り越え、新型エルフは17年ぶり、新型フォワードは16年ぶりのフルモデルチェンジを無事に行い発売し、今年のいすゞ技報で「大特集」を掲載するに至りました。

今回のフルモデルチェンジに携わった方々は、特に思い入れが深く、各項で多くの取組み内容を執筆しました。

また、本号では「小特集」を併せて組み、2024年の物流問題に対してドライバ不足を補うため、大・中・小型トラック全てに先進安全技術の開発、及びドライバ環境の改善に取組んでおります。

末筆ながら、執筆者を始め本号の製作にご協力いただいた方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

（榊　和彦：いすゞ技報編集事務局）

表紙について

今回の表紙は、今号の特集でもある「新型エルフ」です。

17年ぶりとなった今回のフルモデルチェンジでは、社会やビジネスを取り巻く環境の高度化・複雑化に対応すべく、より多様なお客様のニーズにお応えできる商品となるよう開発いたしました。

世界の138以上の国と地域で累計720万台以上販売されてきた小型トラックの代名詞として、これからも世界の運ぶを進化させ続けます。

（花原　晴光：デザインセンター）

いすゞ技報　第135号

2023年11月1日　発行

編集兼発行人　宮永俊作

発行　いすゞ自動車株式会社
〒220-8720
神奈川県横浜市西区高島一丁目2番5号　横濱ゲートタワー

発行所　いすゞ自動車株式会社 開発技術企画部
〒252-0881
神奈川県藤沢市土棚8番地
電話0466(45)2601

印刷所　株式会社　ホクシン
〒211-0021
神奈川県川崎市中原区木月住吉町22-3
電話044(433)3251(代表)

©2023　いすゞ自動車株式会社（禁無断転載）

ISUZU

TOYO INK
non VOC
FSC
www.fsc.org
ミックス
紙 | 責任ある森林管理を支えています
FSC® C013161

いすゞ自動車株式会社