ISSN 0287-5446

いすゞ技報

ISUZU TECHNICAL JOURNAL

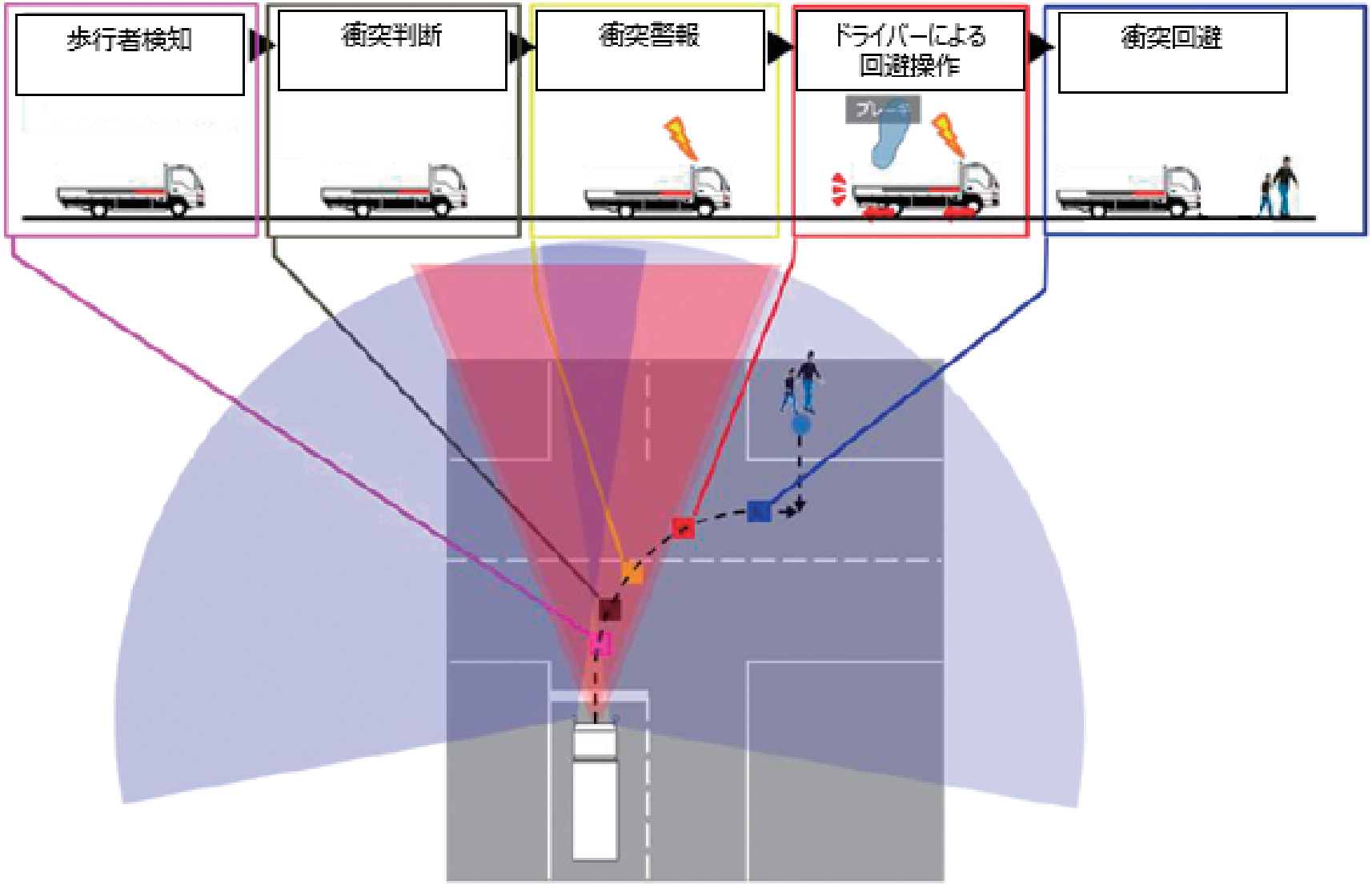
133
NOV 2021

【特集】

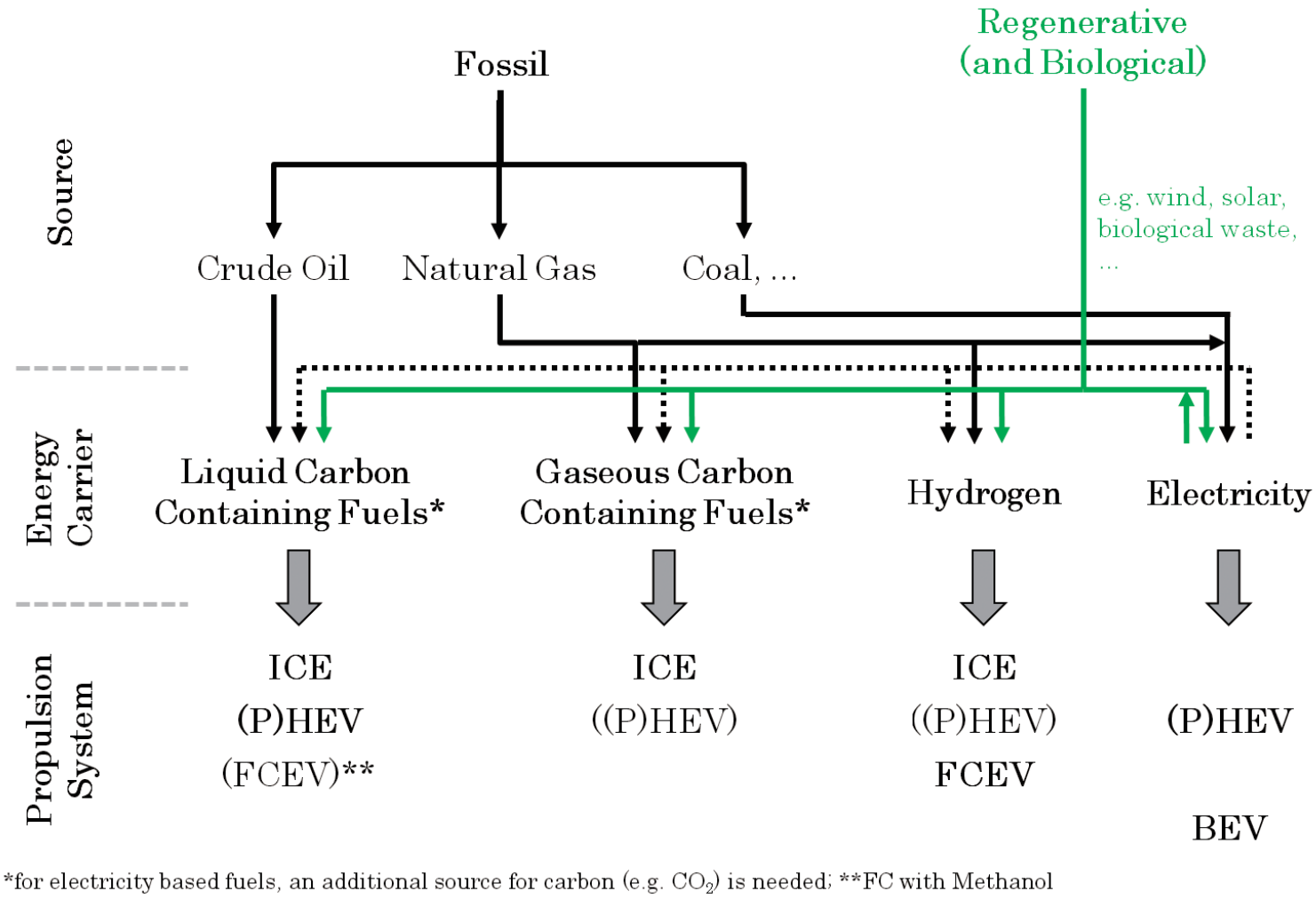
新型 MU-X

MU-X外観写真

（特集［新型MU-X］新型MU-Xの開発について，p.3-5）

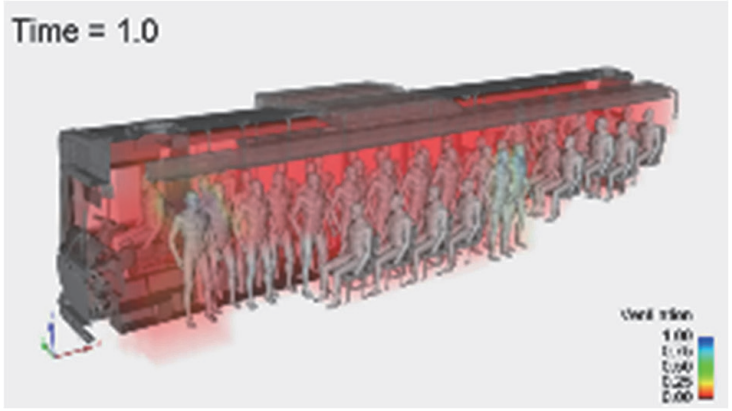


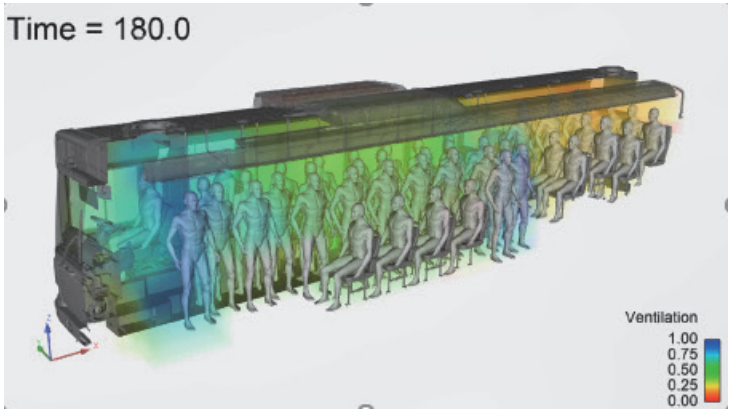
交差点警報の作動内容
（国内向け新型エルフの車両開発について, p.84-86）

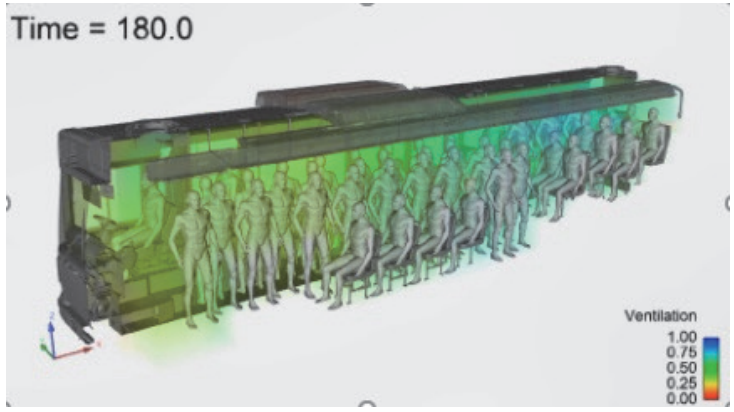


*for electricity based fuels, an additional source for carbon (e.g. CO_2) is needed; **FC with Methanol

Overview about different propulsion systems and their energy sources. (Fuel Transformation in Europe towards CO_2/GHG Neutrality by 2050, p.99-107)







(1)

(2)

(1) 0 km/h, door open, with Ventilation
(2) 20km/h, door close, 50mm open windows with Ventilation

換気効果のシミュレーション結果
(公共交通機関におけるエアロゾル挙動とウイルスの対策手法検討, p.125-133)

いすゞ技報　第133号 (2021)
目　　次

◇　巻頭言

「運ぶ・働く」を支えるカーボンニュートラルへ …… 大平　隆 …… 1

◇　特集　新型 MU-X

- 新型 MU-X の開発について …… 斎藤　千史 ほか …… 3
- 新型 MU-X の製品概要について …… 斎藤　千史 ほか …… 6
- 新型 MU-X のデザインについて …… 笹島　拓 ほか …… 9
- 新型 MU-X の車体設計について …… 金光　伸彦 ほか …… 16
- 新型 MU-X のシャシ技術について …… 渡邉　哲也 ほか …… 28
- 新型 MU-X の電子・電装・空調について …… 山川　九司 ほか …… 34
- 新型 MU-X の車両性能試験について（その 1） …… 後藤　昌彦 ほか …… 39
- 新型 MU-X の車両性能試験について（その 2） …… 後藤　昌彦 ほか …… 44
- 新型 MU-X の車両性能試験について（その 3） …… 後藤　昌彦 ほか …… 49
- 新型 MU-X の生産技術について …… 永井　宏明 ほか …… 54

◇　論文・報告

- 21 型ギガの RUPD について …… 芹澤　尚宜 …… 59
- 企画段階における RDE 開発環境の構築とその活用 …… 大久保　泰宏 ほか …… 64
- 鋼板プレス部品成形時に発生するかじりの予測検証 …… 石黒　尚志 …… 71
- Development and Validation of a Drive Cycle Generation Tool for Electric Vehicle Applications …… Santhosh Pasupathi ほか …… 76
- 国内向け新型エルフの車両開発について …… 高橋　学士 ほか …… 84
- フレーム付き車両の実稼働シャシ振動に対するタイヤの影響調査 …… 丸山　隆太 ほか …… 87
- 位置情報システム導入事例 …… 小笠原　亜紀 …… 93
- Fuel Transformation in Europe towards CO_2/GHG Neutrality by 2050 …… Markus Münz ほか …… 99
- クランクシャフト材質判別装置の導入・立上げ …… 福　和寿 …… 108
- 大型トラックドライバの運転行動特性を考慮した前方不注視状態の推定方法 …… 岩男　眞由美 ほか …… 112
- 大型トラック用ファイナルギヤのDUPLEX 歯面研削工法の量産へ向けて …… 鶴岡　文夫 ほか …… 119

◇　解説・講義

- 公共交通機関におけるエアロゾル挙動とウイルスの対策手法検討 …… 達　晃一 ほか …… 125
- 人とくるまのテクノロジー展 2021 への出展 …… 飯田　陽平 …… 134

◇　社外発表（2020年1月～2020年12月） …… 137

◇　いすゞ歴史の一こま（No.31） …… 70, 98, 124

ISUZU Technical Journal No.133 (2021)

– CONTENTS –

◇ **Foreword** ..... Takashi Odaira 1

◇ **Special Edition for New MU-X**

- Development of New MU-X ..... Chifumi Saito et al. 3
- Outline of New MU-X ..... Chifumi Saito et al. 6
- The Styling for New MU-X ..... Taku Sasajima et al. 9
- Body Design for New MU-X ..... Nobuhiko Kanemitsu et al. ... 16
- Chassis Technology for the New MU-X ..... Tetsuya Watanabe et al. 28
- Electronics Equipment, Electrical Equipment and HVAC for New MU-X ..... Kyuji Yamakawa et al. 34
- Vehicle Performance Test of New MU-X (Part.1) ..... Masahiko Gotou et al. 39
- Vehicle Performance Test of New MU-X (Part.2) ..... Masahiko Gotou et al. 44
- Vehicle Performance Test of New MU-X (Part.3) ..... Masahiko Gotou et al. 49
- Manufacturing Engineering of New MU-X ..... Hiroaki Nagai et al. 54

◇ **Technical Papers and Reports**

- The RUPD of ISUZU '21-Model GIGA ..... Takayoshi Serizawa 59
- Construction and Utilization of RDE Development Tool Using for Planning Stage ..... Yasuhiro Okubo et al. 64
- Predictive Verification of Galling that Occurs when Pressing Steel Sheets ..... Naoshi Ishiguro 71
- Development and Validation of a Drive Cycle Generation Tool for Electric Vehicle Applications ..... Santhosh Pasupathi et al. 76
- Development of New ELF for Domestic ..... Satoshi Takahashi et al. 84
- Effect of Tires on Operational Chassis Vibration of the Vehicle with Chassis Frame ..... Ryuuta Maruyama et al. 87
- Introduce of Location Information System ..... Aki Ogasawara 93
- Fuel Transformation in Europe towards CO_2/GHG Neutrality by 2050 ..... Markus Münz et al. 99
- Introduction and Start-up of Crank Shaft Material Judgment Device ..... Kazuhisa Fuku 108
- Distraction Estimation Method based on Driving Behavior Characteristics of Heavy-duty Truck Drivers ..... Mayumi Iwao et al. 112
- Mass Production Technology for DUPLEX Tooth Grinding Method of Final Gear for Heavy duty Truck ..... Fumio Tsuruoka et al. 119

◇ **Explanation and Lecture**

- Study of Aerosol Movement and Countermeasures in Public Transportation ..... Koichi Tatsu et al. 125
- Automotive Engineering Exposition 2021 Hosted by JSAE ..... Youhei Iida 134

◇ **Publications and Speeches by ISUZU Engineers (2020)** 137

◇ **A Frame in ISUZU History (No.31)** 70, 98, 124

巻　頭　言

「運ぶ・働く」を支えるカーボンニュートラルへ

開発部門 統括　大平　隆
Takashi Odaira

自動車が生まれて 100 余年。その歴史の中で商用車は、使命、用途の広さから、多くの車型が作れるように工夫されています。車の構造も様々であり、車台の長さ、幅、高さ、結果として重さなど、1 台ずつ異なります。これに架装が組み合わされ、同じ運転席を持つシリーズでも数千車型にもなります。お客様の使い方、使う場所がそれだけ異なっているからです。荷物を運ぶ用途、工事現場でクレーンを使って働く用途。皆さんが世の中の色々なシーンで見かける馴染み深い風景の一部です。人の営みが続く限り、例えコロナウィルスで移動の自由が減った状況ですら、「運ぶ・働く」が人々の生活を支え続けています。

一方、今世紀人類最大のチャレンジとして近年益々明確になった課題がカーボンニュートラル、CO_2 に代表される温室効果ガスの排出量ゼロ化です。「温暖化＝地球全体の課題」ですから、世界のどこでも、どのような社会でも、等しく取り組まねばなりません。2050 年実質ニュートラルに向けわずか 30 年弱、まさに待ったなしです。

私たち商用車メーカーは、社会が必要とする「運ぶ・働く」を支え続けながら、同時にカーボンニュートラルを達成することを考えねばなりません。エネルギー消費を極力抑え石器時代に戻るというのも極論であり正しい解決策とは思えません。どちらかが破綻しても地球と人類の共存は成しえないのです。

では、世界 100 数十カ国に暮らす私たちのお客様のサービス、工業、農業、漁業など多様な働き方、それらを支える社会インフラに見合うカーボンニュートラル達成技術は何が良いのでしょうか。

真っ先に頭に浮かぶのはバッテリーで動く電気自動車 EV ではないでしょうか。しかし､使われる場所、人々の暮らしの多様性を考えると、果たして電源コンセントで充電する電動車のみが答えなのか考えてみたいと思います。

商用車のお客様は、電化の進んでいない国や地域でも仕事し生活しています。充電したくても停電が起きる場合もあるでしょう。皆が自家発電設備を持つことはできないでしょうし、そもそもどうやってカーボンニュートラルに発電するのかという問題に直面します。それならば他地域で造られたカーボンニュートラルな液体燃料の供給を受ける方が現実的かも知れません。液体燃料は貯めておけるし、バケツリレーができる上に、既存インフラも利用できます。既存という意味ではカーボンニュートラルなガスも使えるかもしれません。

発電の手段として再生可能エネルギーがありますが、日本をはじめ、再生可能エネルギーに恵まれない国もあります。このように、電気も含めてカーボンニュートラルなエネルギーの調達方法には、その地域の立地条件や歴史から来る今のインフラ整備状況も深く関わり、土地柄に合った工夫が肝要です。

カーボンニュートラルは地球全体の問題だからこそ。極地から赤道直下、雪原から砂漠や熱帯雨林、大都市からアウトバック、世界中に進出し適応した人類の多様性に則した、様々な形でのカーボンニュートラルを目指すことが必要です。解決策も様々です。一社、一国での解決は無理であり、社会全体で手を携えて工夫し実現していくことが不可欠です。

さて、今回の特集に、いすゞのピックアップ・パッセンジャー・ビークル（以下“PPV”と略す）の新型MU-Xが紹介されています。ベースとなるピックアップと併せいすゞではライト･コマーシャル･ビークル（以下“LCV”と略す）と呼んでおり、商用車としては軽量級ですが世界でも大きな市場を持つカテゴリーであり、荷台に様々な架装が施され、お客様の使い方も多岐に亘ります。軽量ゆえ走破性能も高いことから、世界の様々な道を様々な使命を背負って「運ぶ」を支えています。

PPVは、ピックアップのマルチパーパス性の上に、乗用車の快適性を載せた欲張りな車両です。都会での仕事に、生活に、通勤に日常の買い物に、週末を過ごす山間部での用途に。道なき道をとまでは言いませんが、道の無い牧草地を駆け回るとか、そういうお客様もいらっしゃいます。悪路走破性、フレーム付きの堅牢性、ピックアップ由来で耐久性が高く、また、船を引かれるお客様のために、高いけん引能力も備えています。更には様々な先進安全技術も投入しました。

そしてMU-Xは、既に高いシェアを誇るタイ市場では、2年連続でタイのカーオブザイヤーベストPPV、2020年プロダクトイノベーション賞を獲得。その他アセアン、オーストラリア、世界60か国を駆け回わっており、高い評価を得ています。2019年にフルモデルチェンジしたピックアップトラックD-MAXをベースにした新型は、従来の堅牢性に加え、更なる快適性と軽量化を両立。“Robust and Exclusive”をテーマとし、その使用環境での最適解を目指した商品性を備えています。本書で新型MU-Xのでき栄えをご確認いただければと思います。

これらLCVにも、カーボンニュートラルは等しく必要です。非常に用途の幅が広いことは他の商用車同様ですが、世界のお客様の生活に寄り添うことで最適解を探してまいります。今後のLCVシリーズの開発にもご期待ください。

最後に、カーボンニュートラルというゴールを達成して、これからも地球と全ての生物と人類が共存していくこと。自動車社会の100年に一度と言われるCASE（Connected/Autonomous/Sheared/Electric）技術革新とは、このような大きな社会課題解決のために知恵を結集して取り組むことの象徴と思います。

世界の人々のために優れたカーボンニュートラルエネルギーをどうやって獲得し、「運ぶ・働く」を支え続けるのか。

私たちは技術に溺れず、使う全ての方の仕事や生活に思いを馳せて。解決策をマルチパスで考え、選び、それぞれのシーンで課題が達成できる技術サービスそしてソフトを作り込んでいく。命題は使いやすいカーボンニュートラルエネルギーをどう安く手に入れ、生活に普及させていくかということでしょう。今後も皆様とこの命題について考え、努力していきたいと思っています。

新型 MU-X の開発について

Development of New MU-X

斎藤　千史*　　牧　英明**
Chifumi Saito　　Hideaki Maki

要　旨

いすゞ自動車は、MU-X を 7 年ぶりにフルモデルチェンジし、2020 年 11 月タイから順次販売を開始した。

本稿では、フルモデルチェンジに際して、どのような考えで車両の企画、目標設定を行ったかを中心に記載する。また、開発の進め方についても紹介する。

Abstract

Isuzu launched the new MU-X, full model changed for the first time in seven years, and started selling on Nov. 2020 in Thailand prior to other markets.

This article introduces how we changed and improved new MU-X, and also how we execute the development.

1　はじめに

いすゞのフレーム付き SUV（Sport Utility Vehicle）は、ピックアップトラックの車体構造とコンポーネントをベースに開発しおり、耐久性に優れたお求めやすい商品としてお客様に喜ばれている。

特にメイン市場であるタイでは、ピックアップ派生の SUV を PPV（Pick-up Passenger Vehicle）とカテゴリーされており、優遇税制の対象にもなっている。その効果もあり SUV ラージセグメントにおける PPV の販売比率は年々増え続けている。

その中でも MU-X は、2019 年度から 2 年連続で「タイ カーオブザイヤーベスト PPV を受賞、更に 2020 年度 PPV プロダクトイノベーション賞を受賞するなど、高い評価を得ている。

また、いすゞのピックアップトラック D-MAX とともに、高い悪路走破性、耐久性、牽引性能を持ち合わせた SUV として、アセアン地域、オーストラリアなど、世界 60 ヵ国以上で多くのお客様に支持される商品として進化を遂げてきた。

今回のフルモデルチェンジはいすゞの PPV としては 3 代目、MU-X としては 2 代目となる。初代 MU-X の成功を受け、世界各国のお客様及び販売店から大きな期待を持たれていることを認識し、またいすゞ LCV のフラッグシップとしてふさわしい車にすべく、高い志を持って開発を行った（**図 1**）。

2　開発について

2.1 市場調査

フルモデルチェンジの企画を始めるに当たり、市場での使われ方、お客様及び販売会社の要望を把握するため各地で市場調査を行った。MU-X の強みとして、室内広さ、燃費、スタイル、バリューフォーマネーが支持されていること、いすゞの車として耐久信頼性への期待が強いことが分かった。一方、NV（騒音・振動：Noise & Vibration）性能を含めた快適性、内装の質感、装備品の充実、は改善すべき項目として認識した。

これらの活動を通してフルモデルチェンジに際し踏襲すべきことと改善すべきことが明確になり、開発を進めていく上での指標とすべく、次に述べる開発コンセプトを設定した。

図 1　MU-X 外観写真

* Isuzu Motors Co., (Thailand) Ltd.　　** LCV 商品企画設計部

2.2 コンセプト

新型 MU-X の開発コンセプトは、“Robust and Exclusive” とした（**図 2**）。“Robust” は D-MAX と共通のコンセプトで、耐久信頼性、省燃費性、走破性、環境性、安全性などいすゞ車ならではの強みを意味する。一方、“Exclusive” は MU-X 独自のコンセプトで、居住空間の広さ、スタイルの良さ、所有していることの満足感など SUV としての魅力を意味する。つまり D-MAX の性能をベースに、そこに SUV としての魅力を加えていくことを意味する。

どんな道でも大人数で安全快適に移動でき、所有する喜びを感じられる車をお客様に提供することを目指した。お買い得感のある従前車が高く評価されているので、商品のポジショニングは変えずに踏襲した。

図 2　ベースコンセプト

2.3 D-MAX との共通性

車両前半分の基本構造とパワートレインを D-MAX と共通とする基本的な考え方は従前車から踏襲した。より多くの部品を D-MAX と共通化することで開発効率は上がり、コストも下がることから、開発初期に共通化範囲を決定し、前提条件とした上で開発を進めた。

特に車両前半分の基本骨格で D-MAX と MU-X で要求品質が違う場合、一年先を行く D-MAX の開発に MU-X の要件を先に織り込むことで共通化を維持できるようにした。

一方お客様の視点では内外装ともに D-MAX と違ったスタイルに見えることは重要であり、共通化とのバランス取りには細心の注意を払った。特に内装スタイルでは、インパネ、ドアトリム、フロアコンソールの基本構造は D-MAX と共通にしながら、目に触れやすい部分は違った形状にすることとした。そのために部品の分割ラインは D-MAXの開発時にMU-Xのことも考えた上で決定した。

2.4 パッケージレイアウトとスタイル

先代の MU-X は主要諸元を従前から大幅に見直し SUV らしいスタイルとすることで高い評価を得た。車両の大きさに関してはちょうど良いとの声が多かったため、基本サイズは踏襲することとした。

運転席より前の基本レイアウトは D-MAX と共通だが、それ以後のレイアウトは、後述する様々な課題を解決するためにゼロベースで見直した。

スタイルは常に購入動機の上位に位置することから、良いスタイルを実現することは重要課題の一つとした。スタイルと居住性の両立、空力性能の向上がレイアウトを見直す上での一つの課題だった。

空力性能の向上とスタイルの観点からはルーフ後端は下げたかった。一方居住性、特に 3 列目シートの居住性に関しては大きなセールスポイントとなっているため従前車比向上させたかった。必要なサスペンションストロークを確保した上で、各部の無駄なスペースを 1 ㎜単位で排除した結果、リアフロアの位置を下げ、3rd 席乗員の搭載位置を 20 ㎜下げることができた。またルーフ後端の断面形状を工夫することで、頭部後方にリクライニングを可能とするスペースを確保した。これらの結果、従来から定評のあった 3 列目の乗員スペースは更に向上し、成人男性でも十分くつろげるようになった。

ボディ剛性向上、安全性能の確保の要求からボディ主要骨格の断面拡大を行った。各部の必要断面を開発初期に検討しパッケージレイアウトの中に織り込むことで、スタイル作業のやり直しが削減できた。

また、燃料タンクの大型化、EURO6 の排出ガスに対応するため尿素タンクのスペース確保もレイアウトの課題であった。周辺部品の無駄なスペースを排除することで、最低地上高を犠牲にすることなく、目標容量を確保した。

2.5 開発重点項目と目標性能の設定

車両の基本構造はモデルライフを通じて各性能の競争力を確保できるポテンシャルを持つことを目指した。強度耐久性、安全性能の確保と車体剛性の向上を達成しながら軽量化を同時に実施した。

各目標性能の設定時には過去からのベンチマークデータを時系列に並べ、販売開始以降も競合力のある性能となるよう、高い目標を設定した。

課題は様々あったが、市場から特に要求の強かった、NV の低減と内装の質感向上の 2 点を開発の重点課題として設定した。

NV の低減については、お客様の要求レベルが高いため、D-MAX より高い目標を設定した。開発初期段階からいすゞ中央研究所の協力のもと NV プロト車を製作、解析・検証を繰り返した。まずは基本骨格をしっかり作りこみポテンシャルを確保した。そのうえで D-MAX より高い目標を達成する手段として、より効率の高い吸音材及び遮音材を採用した。コストと重量をかければ目標達成は簡単な場合でも、費用対効果の最適解を追求し地道な試験を繰り返した。結果、従前よりはるかにノイズを低減することができたが、それによりエンジンの燃焼音など、今まで気にならなかった細かいノイズが気になるようになった。こうした問題解決にも、一つひとつ潰し込んでいく地道な作業が求められた。

内装の質感向上ではデザイン、設計、商品企画のほか、材料開発、原価企画、営業もメンバーに加え、内装質感向上ワーキングを立ち上げ課題を推進した。ベンチマークから始め、部品の合わせ構造及びシボの工夫などコストの掛からない項目をまず採用した。加飾等の費用の掛かる質感向上アイテムにはそれぞれにコストを貼り付けた上で質感をモデルで評価し、費用対効果が最大となるように仕様を決定した。

操縦安定性と乗り心地に関しては、快適な移動空間として乗り心地を確保した上で、操縦安定性の向上、特にコーナリング時のロール感の向上を目指した。D-MAX で新作したフロントサスは、ロールセンタの位置が上がりロール剛性が大幅に向上した。前後のバランスをとることを含め車両全体の操縦安定性向上のため、リヤサスペンションのリンク配置、スタビライザのレイアウトも見直すこととした。乗り心地に関してはサスペンションのみならず、シートのクッションも合わせて解析及びチューニングを行った。

安全性能は D-MAX と同様、各国の NCAP で 5 星を取ることを目指した。パッシブセーフティは D-MAX の開発時に、より重い MU-X の条件を織り込むことで、MU-X の開発効率を向上させた。アクティブセーフティも同様、D-MAX 開発時に合わせて作り込むことにより全体の効率を向上させた。

燃費の向上はもちろん重要課題である。パワートレインは基本的に D-MAX と共通のため、MU-X の開発としては、空力性能の向上と軽量化が課題であった。

空力性能は CAE を中心に、風洞試験も併用しスタイルの初期段階から作りこんだ。空力向上のため当初のスタイルから特に車体後部大きく変更となったが、早期から評価を実施することで十分に対策がスタイルに反映できた。

軽量化はまずは無駄の徹底的な排除を行いそのうえで、高張力鋼板の採用拡大、リフトゲートの樹脂化を採用した。

また、豪州ではトーイングの需要が高く、トーイングキャパシティーが購入動機となっているので、D-MAX と同等、コイルサスの SUV としてはクラス最大となる、3.5 t の GTW（最大けん引重量：Gross Trailer Weight）の目標を設定した。

2.6 新装備

ベースとなった D-MAX では多くの新装備を採用した。それらは基本的に MU-X にも採用した。その上で、MU-X ユニークの装備を考えた。ディーラー及びお客様の声を聞き、競合車のベンチマークを行うと多くの新装備の候補がリストアップされた。これらを全て採用すると車両価格が高くなりすぎてしまうので、お客様の使い勝手が本当に良くなること、バリューフォーマネーに優れることを基準に販売部門と議論を重ねながら候補を絞り込んだ。

結果、パワーリフトゲート、電動パーキングブレーキ、オフロード性能の向上を目的とした ESC（Electronic Stability Control）制御にラフテレインモードの追加、及び 20 インチタイヤ＆ホイールの採用を決定した。

2.7 開発体制

D-MAX 同様、日本いすゞテクニカルセンターオブアジア（以下 “ITA” 略す）との共同作業で開発した。基本構想の作成は日本を中心に行ったが、ITA の主要メンバーが日本に駐在し構想の作成に参画した。その結果 ITA のメンバーが各装置の意図を深く理解でき、モチベーションも上がり、そのあとの開発がスムーズに進展できた。

D-MAX との共通部品が多いことから、一年先を行く D-MAX 開発チームとのコミュニケーションをよくすることにも努めた。

プレプロトの段階ではいすゞ中央研究所の協力を得たこと、また生産部門及びサプライヤーの参画も早期から開始したことで効率の良い開発につながった。

3 おわりに

課題はいろいろあり量産間際まで品質確保に追われたが、全ての目標を達成して予定通り無事量産に至った。

新型 MU-X を運転してみると進化の度合いは歴然で、狙い通りの車に仕上がった。

2020 年 11 月にタイで発売を開始すると、翌 12 月には過去最高の販売台数を達成した。お客様、ディーラー、ユーザー、評論家からもポジティブなコメントが多く寄せられている。

日本・タイ両国のさまざまな部署の協力があってのことであり、総力を挙げてここまでの車を作り上げられたことに大きな感謝と達成感を感じている。この場を借りて新型 MU-X の開発に関わった全ての人に厚くお礼を申し上げたい。

お客様の要望、法規動向は今後も常に変化していくので、常に先を見据え変化に素早く対応することが求められる。引き続き商品の改良に取り組んでいくので、関連の皆さまに今後の協力をお願いし、本稿の結びとしたい。

著　者

斎藤　千史

牧　英明

新型 MU-X の製品概要について

Outline of New MU-X

斎藤　千史*　Chifumi Saito
平田　朗**　Akira Hirata
小平　和宏***　Kazuhiro Kodaira
松岡　一幸***　Kazuyuki Matsuoka

要　旨

MU-X は世界 60 カ国以上で販売され、お客様から高い評価を得ている。今回のフルモデルチェンジに当たり、お客様の更なる期待に応えるべく、いすゞ自動車の総力を結集して新規開発に取り組んだ。

本稿では、新型 MU-X の車両全体概要として、開発の狙い、車型展開、製品概要、レイアウト、及び各種性能に関して紹介する。

Abstract

MU-X is receiving good ratings from many customers in more than 60 countries. In order to achieve further customer's expectations, we have put every possible engineering effort into the new MU-X development.

This article introduces, aim of the development, product line-up, vehicle outline including package layout and each performance.

1　はじめに

MU-X の使われ方及びお客様の要望事項は地域または国によって大きく異なる。アセアン地域では冠水の頻度が高く洪水に強いパッセンジャーカーとして使われ多人数乗車の要求が高い。豪州を中心としたレジャーユースでは、トーイング・オフロード走破性が重要。富裕層の購入も多く、質感・スタイル・快適性・便利性への要求は高い。

こうした様々な要求に高い次元で応えるべく、新型 D-MAX とともに全てを一新するフルモデルチェンジを実施した。

2　開発の狙い

新型 MU-X（**図 1**）の開発に当たり目指したことは、1 年先行する新型 D-MAX の開発の成果を最大限活用しながらモデルライフを通じて通用するポテンシャルを持った基本骨格を開発することと、効率よい開発で魅力ある商品の創造である。

"Robust and Exclusive" が新型 MU-X の開発コンセプトであるが、"Robust"、"Exclusive" それぞれに関して、次の項目を狙いとした。

Robust:いすゞ車ならではの強み

① 基本骨格は強度耐久性、安全性能確保と剛性アップしながら軽量化も合わせて実施
② 燃費性能の向上、CO_2 排出量の削減
③ 各国 NCAP（New Car Assessment Program）で 5 星を獲得できる安全性能

"Exclusive:SUV" としての魅力の創造

① 快適な移動空間の実現するために、室内広さ、乗り心地、静粛性の向上
② スタイルの良さ、高級感の演出、D-MAX との差別化
③ 快適装備及び便利装備の充実

図 1　New MU-X

3　車型展開

市場要求に対応しつつ、開発効率も重視し、コンポーネント種類削減を実施しした（**表 1**）。

パワートレインは新型 D-MAX と同様、燃費で定評のある 1.9L RZ4E と、従前の 3.0L 4JJ1 からパワーアップした 4JJ3 の 2 種類とした。MT の需要が少ないため、最廉価の RZ4E 4x2 以外は AT のみの設定とした。

グレード展開は 2 種類とした。特に上級グレードでは、お客様の目に触れる部位の質感向上を図った。ただし、グレード感の差別化は、加飾 / 装備品の違いで対応し、基本構造は一種類のみとした。

* Isuzu Motors Co., (Thailand) Ltd.　** Isuzu Technical Center of Asia Co., Ltd.
***LCV 商品企画設計部

表１　車型展開

		駆動	4x2		4x4	
Engine	Output	Emmision	M/T	A/T	M/T	A/T
1.9L RZ4E	110KW/ 350Nm	E0-E5	●	●	-	●
3.0L 4JJ3	140KW/ 450Nm	E2-E5	-	●	-	●

4　製品概要

4.1 パッケージ・諸元

車両基本寸法は、市場評価の高い従前車と同等としながら、安全性、空力、居住性、乗降性の改善を目指し、基本レイアウトの見直しを行った（表２、図２）。

① 全高を従前車比 10 mm 下げることで空力性能を向上させながら、乗員配置を下方に下げることでヘッドクリアランスを確保し、３列目シートにおいてはリクライニング機能を追加し居住性、快適性を向上

② 運転席と助手席の間隔を広げることで、室内の広さ感、高級感を向上

③ センタピラーを前方に移動かつ、足元部パネル形状を見直すことにより 2nd シートの乗降性を向上

表２　主要諸元（タイ向け４×４　AT 4JJ3 車型）

全幅　(mm)		1,870
全高　(mm)		1,875
ホイールベース　(mm)		2,855
トレッド（前／後）　(mm)		1,570
最小回転半径　(m)		5.7
タイヤ		265/50R20
エンジン 4JJ3	排気量　(cc)	2,999
	出力　(kW/rpm)	140 / 3,600
	トルク　(Nm/rpm)	450 / 1,600-2,600
トランスミッション		6AT
空車重量　(kg)		2,155
CO_2排出量　(g)		194

4.2 プラットフォーム

プラットフォーム前側は新型 D-MAX と共通で、従前車比フロントサスペンション一新、フロントブレーキサイズ拡大、フレーム断面の拡大を実施。更に次の改良を加え、操縦安定性及び乗り心地性能の向上と軽量化の両立を図った。

① ５リンクリアサスペンションは、主にラテラルリンクの位置を見直すことでロールセンタを上げるとともに、スタビライザの有効幅を広げて効率を上げることで、ロール剛性が大幅に向上。また新型 D-MAX で開発したフロントサスペンションと合わせ操縦安定性、乗り心地の改善を実現。

② リアブレーキには、モータオンキャリパ式電動パーキングブレーキ付のディスクブレーキを全車標準設定とした。高い制動安定性を確保しつつ、電動パーキングブレーキのオート機能による利便性の向上を実現。

③ クロスメンバの配置を最適化し、ねじり剛性の向上とともに軽量化を実現。リアエンドクロスメンバをバンパビームとして活用することで、軽衝突時における車体後部の修理費低減を図った。

④ 燃料タンクは、容量を 65L から 80L に拡大し、航続距離の延長を図った。

4.3 各種性能

4.3.1　振動騒音性能

企画段階より「いすゞ中央研究所」と協業し、バーチャルプロトモデル構築への取組みを実施。CAE を駆使した振動騒音性能向上を行った。大幅に NV 性能を改善した D-MAX（2019 年フルモデルチェンジ）をベースに、ボディ剛性アップ、ダッシュインシュレーション、フロアカーペット、トリム裏などの防音材の高機能化、車体骨格剛性向上（リア周り）、エンジンの低騒音化、ボディーマウントの大型化、リフトゲートシール改良などにより、クラストップレベルの静粛性を達成した。

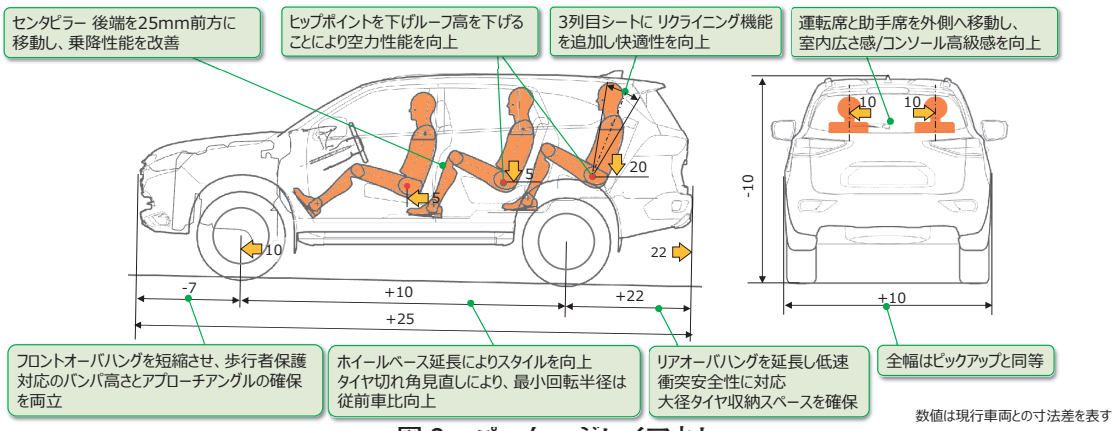


図２　パッケージレイアウト

4.3.2　操縦安定性･乗り心地性能

ボディ剛性及び、フレーム剛性の向上により、操縦安定性の大幅向上を実現した。

足回りに関しては、D-MAX同様、フロントサスペンションを従前モデルに対し大幅改良を実施。また、リアサスペンションはフロントサスペンションに合わせた最適化を図ることで操縦安定性及び、乗り心地の大幅改善を達成した（**図3**）。

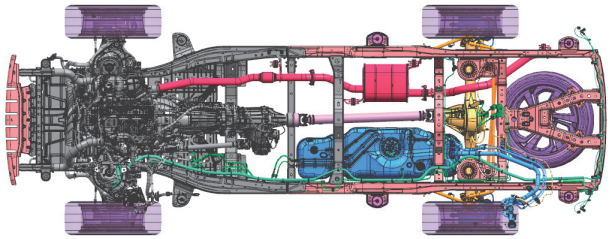


図3　プラットフォーム

4.3.3　オフロード性能

今回、スタビリティーコントロールに新たに「ラフテレインモード」を採用した。滑りやすい路面でのトラクション制御の最適化を行い、悪路走破性については、従前モデルに対しデフロック採用と合わせて、大きく性能を高めた。

4.3.4　空力性能

CAEによる性能造り込みに加え、いすゞLCV（Light commercial vehicle）としては初めて1/1空力用フルスケールモデルを作製し、風洞にてスタイルデザイナー、専門実験、車両企画メンバーが、モデルを削りながら造り込みを実施、CAE（Computer Aided Engineering）とのコリレーションを取りながら、効率良く開発を行い、従前モデルに対し、Cd（空気抵抗係数）3％改善を図った。

4.3.5　安全性能 - アクティブセーフティー/ADAS-

新型「MU-X」は、いすゞ先進運転支援システムADAS（先進運転支援システム：Advanced Driver Assistance System）を搭載、リアルワールドでの障害物検知にすぐれたステレオカメラにより、昼夜を問わず安定した運転支援を実現した。

「パッシブセーフティ / 衝突安全他」

新たな衝突評価への対応を効率的に実施するため、構想段階よりMBD（モデルベース開発：Model Based Development）に取り組んだ。また、マルチボディ解析プログラム「MADYMO」を用いて構成･特性最適化検討を行い、シャシフレーム等へ強度特性を割り付け、同様に乗員保護装置のレイアウトと装置特性へも反映した。

ニーエアバッグ及び、ファーサイドエアバッグを新規設定し、安全性の更なる向上を図った。

4.3.6　けん引性能

リアサスペンションの見直しにあわせて、GTW（最大けん引重量：Gross Trailer Weight）は従前車の3.0 tから、D-MAXと同等、ピックアップ・パッセンジャー・ビークルとしてはクラストップの3.5 tへ向上させた。

4.3.7　重量

安全性能及び、NV（振動騒音：Noise, Vibration）性能の装備品追加により車両重量は増加するが、燃費向上のため、重量増加を抑制すべく、軽量化を最重要課題として取り組んだ。

構造解析による徹底的な無駄の排除、超高張力鋼板の採用範囲の拡大、樹脂リフトゲート採用等の材料置換で、MU-Xユニークの部位のみで50 Kg以上に及ぶ軽量化を実現した。

5　おわりに

新型MU-Xの開発を終えた今､まずは開発に関わったすべての関係者に感謝したい。今後、お客様にどのよう評価されるか楽しみである。従前車からの進歩は高く評価されると確信するが、時間とともに新たな要望及び法規要件が出てくることは明白である。今回の開発で学んだ多くのことは次の改良に生かしていくとともに、新たな要求に対応すべく今後も良い車作りを続けていく所存である。

著　者

斎藤　千史

平田　朗

小平　和宏

松岡　一幸

新型 MU-X のデザインについて

The Styling for New MU-X

笹島　拓*
Taku Sasajima

西川　知伸*
Tomonobu Nishikawa

長谷川　芳美*
Yoshimi Hasegawa

藤井　昌人*
Masato Fujii

要　旨

新型 MU-X は、いすゞのピックアップトラック「D-MAX」の派生車として三世代目の商品となる。MU-X のデザインを時代に合わせ更に進化させるべく、いすゞデザインセンターでは D-MAX の派生車ならではの価値を表現するデザインに挑戦した。ここでは、新型 MU-X のデザイン開発プロセスとスタイリング特徴を、デザイナーの想いとともに紹介する。

Abstract

The new MU-X is the third generation of Isuzu D-MAX derivative vehicle. In this project, in order to evolve the design of the previous MU-X to meet the needs of the times. Isuzu Design Center focused on developing a design that expresses the unique value of the derivative vehicle. We introduce the design development process and the styling features along with the designer's thought.

1　はじめに

デザインセンターでは近年の市場環境の変化に対し次の 2 つのポイントに留意しながらコンセプト構築からスタイル決定までのデザイン開発に取り組んだ。

1 つ目は、乗用車派生からピックアップトラック派生まで様々なタイプの SUV が市場に投入され競争が激化していることから、市場で埋没しない強い主張が必要と考え、悪路走破性と耐久性で多様なライフスタイルに応えられる強みをデザインで強調することとした。

2 つ目は、MU-X の主な市場であるアセアンを中心とした国々だけでなくその他の新興国においても自動車市場が成熟してきており、高い商品性を求められる時代へと変化してきていることから、デザインではエクステリア、インテリアのスタイルに加え、クラスを越えた車格感を提供すべく質感の大幅な向上に力を注ぎ、市場の要望に応えることとした。

2　スタイルコンセプト

ピックアップトラックの派生車の特徴である堅牢さを活かし「家族を乗せたくなる、友人に自慢したくなる＝誇り」と、「どこまでも走り続けたくなる＝高揚感」を提供できるデザインとすべくコンセプト構築を行った。(**図 1**) プロジェクト初期には主要マーケットであるタイ、オーストラリアの市場調査を実施した。ディーラー及びユーザーへのインタビュを通じ、堅牢さに加え、スポーティさや車格感のあるデザインへの要望が予想以上に高いことが分かった。調査結果を踏まえエクステリアにおいては力強い佇まいと躍動感を併せ持つ“Emotional & Solid”をスタイルコンセプトとし、インテリアにおいては 3 列 7 人乗りの実用性を確保しながらしっかりとした造りと上質な空間の両立を目指す“Solid & Elegant”をスタイルコンセプトと定めた。(**図 2**)

図 1　コンセプトキーワード

図 2　スタイリングコンセプト

*デザインセンター

3　エクステリアデザイン

3.1　スタイリング方向性決定

初期ステージでは、コンセプトである “Emotional & Solid” を基に、屈強なボディを表現する “Powerful”、上質さと流麗さを感じる “Elegant”、堂々とした佇まい “Noble”、躍動感を表現する “Sporty” の 4 つのスタイルキーワードを導き出し、キーグラフィックスを元にアイディアスケッチを重ねた（**図 3**）。

スタイルの方向性を定めていくうえで最も重視したのは 3 列 7 人乗りのパッケージとエモーショナルな車両プロポーションを両立させることであった。プロポーションの検討では、フォルムに加え車体構造に大きく関係するウィンドウグラフィックスの要素を大幅に変更するなど、様々なアイデアを試みた。

フロントフェイス、リアエンドのデザインに関しては市場調査から D-MAX との区別化を強く要望されたことを受け、より上級感のあるイメージを持たせることを意識してアイデアを展開した。多くのスケッチの中から動きのある太い C ピラーでタフネスさを強調した A 案（**図 4** 左）と、スポーティで伸びやかなキャビンを表現した B 案（**図 4** 中央）をデザインの方向性の候補とし、車内空間の快適性、上級感、代り映えという観点からワンモーショングラフィックスを持つ B 案をコンセプト案として選択した。フルサイズモデルへの移行の前に 3/8 スケールモデルを作製し、車両全体のスタイルテーマの確認を行った。（**図 5**）

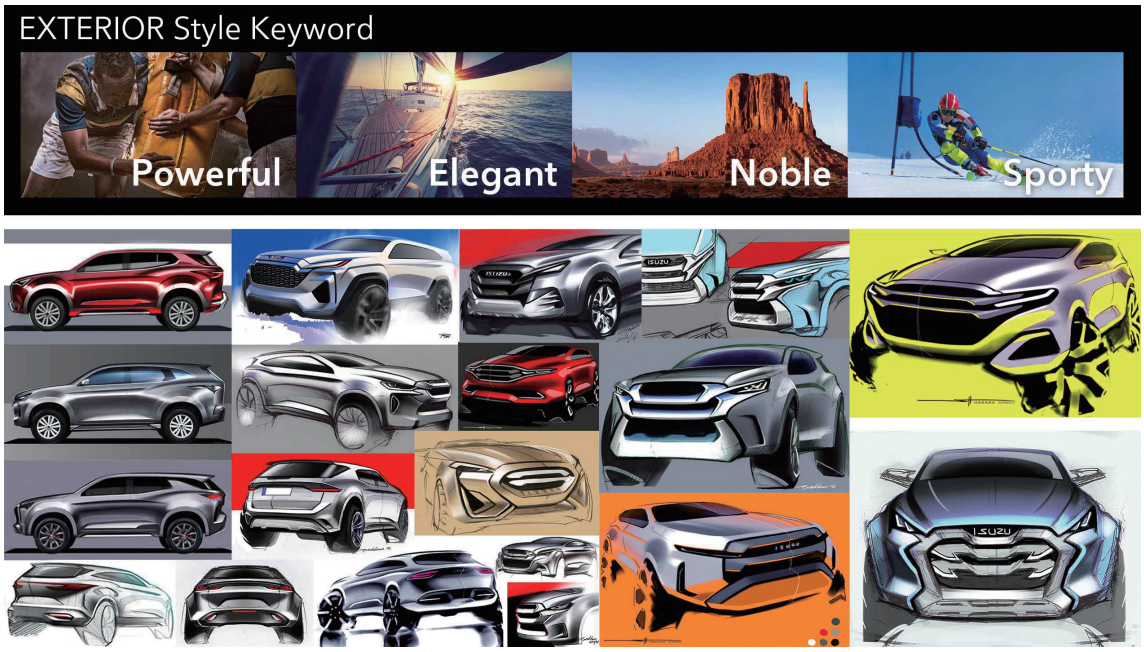


図 3　スタイルキーワード及び初期検討スケッチ

図 4　スタイリング方向性　A 案／B 案

図 5　3/8 スケールモデル

3.2 フルサイズスタイル検討

フルサイズモデル検討の初期ステージでは、プロポーションの確認と調整を行った。3 列目の乗員パッケージを守りながら、ルーフ後端の高さとリアウインドウの前傾バランスを整えることでキャビンを薄く見せ、相対的にボディの厚みを強調した。フロント及びリアデザインでは、フェンダーの張り出しに加えフォグランプ、バックアップランプ周辺の検討を行い、全体のプロポーションと佇まいを造り込んだモデルとした。(**図 6**) 社内外へのプレゼンテーションを行った結果、スタイルの方向性は合意されたが、マーケットからは更なる上級感の向上とリアエンドには先進感を加えることが要望された。

3.3 スタイル決定

最終デザイン決定にむけ、上級感向上のためフロントグリル部に複数の素材と色を組み合わせた緻密なディテール表現を追加し、同時にいすゞの新アイデンティティである「ワールドクロスフロー」グリル（後述）を反映した。またボディサイドは強靭さを強調するため、陰影を強めるセクションに調整した。リアデザインにおいては、テールライトの位置及び外形の修正に加え、シグネチャ表現をヘッドライトと関連付けたデザインとすることで、上級感と先進感を大幅に向上させた。最終フルサイズモデル（**図 7**）による社内外関係者へのプレゼンテーション、承認を経てスタイル決定した。

3.4 エクステリアデザインの特徴

新型 MU-X のスタイリングで最もこだわったのは、プロポーションである。4 輪がしっかり地についたスタンスを持つ分厚いボディと伸びやかな薄いキャビンを組み合わせることにより、3 列 7 人乗りのパッケージを持ちながら、力強くスポーティなプロポーションを実現させた（**図 8**）。

フロントデザインでは、グリルを垂直に切り立たせ、前方へ押し出すことでノーズの長さを強調し、伸びやかで上級感のある佇まいとした（**図 9**）。

また、グリル部にはクロノグラフを連想させる緻密な造形を狙い、いすゞの新ブランドアイデンティティ表現である「ワールドクロスフロー」グリルを加えることでロードプレゼンスを高めた（**図 10**）。

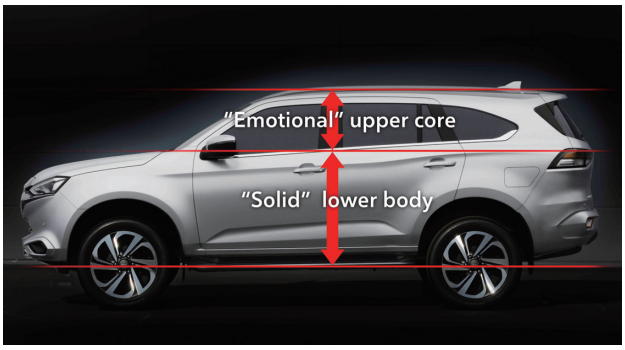


図 8　プロポーションの特徴

図 6　初期フルサイズモデル

図 7　最終フルサイズモデル

図 9　フロントデザインの特徴

図 10　「ワールドクロスフロー」グリル

リアデザインでは、フロントデザインと呼応した中央が突き出したリフトゲートデザインによってボディ全体の塊感を強調したうえで、ボディから張り出したショルダー造形と「ハの字」に構えたバンパ造形によりリアタイヤへのトラクションを感じる、SUV らしい力強さを表現した（**図 11**）。

ヘッドライト及びテールライトに関しては、鋭く力強い表情を出すために薄く、シャープな外形とし、シグネチャ表現ではどこまでも走破していくようなイメージにするため、「勢いよく放たれた矢」をモチーフにし、ヘッドライトには「アローシグネチャー」テールライトには、矢羽根をモチーフにした「ウイングレットシグネチャー」を施した（**図 12**）。

ホイールについては、18 インチ、20 インチともに「動き」を特徴にしたデザインとした。18 インチはタービンブレードをモチーフにした造形でスムースな走りを表現した。20 インチではアイスアックスをモチーフに大地をしっかり捉えるようなアグレッシブなデザインとし、クルマの躍動感を強調した（**図 13**）。

図 11　リアデザインの特徴

図 12　ヘッドライト及びテールライトデザイン

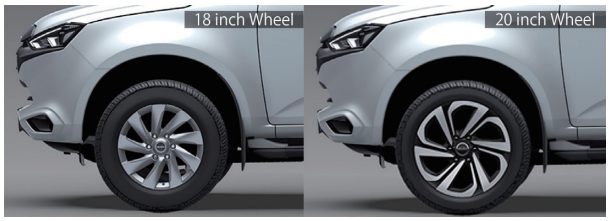


図 13　18 インチ及び 20 インチホイールデザイン

4　インテリアデザイン

4.1　スタイリング方向性検討

インテリアスタイルコンセプトである、“Solid & Elegant” をベースにスタイルの方向性を明確にするため、“Rich” “Impressive” “Fine” の 3 つのイメージをキービジュアルにまとめた。（**図 14**）“Rich” は厚みとしっかり感を表現し、“Impressive” は印象に残る大胆なしつらえ、“Fine” は、細部の造形と質感への拘りを意味している。これらのキーワードを元にしたスケッチワークを展開し、明快なスタイルテーマとメインキャラクタを模索した（**図 15**）。

図 14　スタイルキーワード

多くのスケッチの中からドライバゾーンをまとめることで印象的な空間とした X 案、室内全体のワイド感を強調することで豊かさを感じさせる Y 案（**図 16**）を選定し、検討の結果、左右に水平に伸びるキャラクタラインに車格を感じ、明確な立体構成を持つことから Y 案をインパネの方向性とした。フルサイズモデル検討に移行後、初期ステージでは、上級感のポイントになる左右に伸びるキャラクタと最大 9 インチのディスプレを収めるセンタクラスタのバランスを調整し車格感を表現できる立体構成を追求した（**図 17**）。

図 15　初期検討スケッチ

図 16　コンセプト X,Y 案

図 17　初期フルサイズモデル

4.2 スタイル検討～最終仕様

様々な立体構成を試行錯誤した結果、センタクラスタ部の大きな造形を左右に広がる大らかなアッパーパッドで覆う構成によりインパネ周りの立体感とコンソール及びドアトリムへの連続性を表現することとした。各部の検討では、色だけでなく素材を割り当てながら造形を進めた。具体的には、インパネの造形の中心となるセンタクラスタ部からコンソールにかけては、ピアノブラックの広い面とクロムメッキの緻密な加飾を組み合わせることで、堂々とした存在とし車格感を表した。また、アッパーパッドの造形と連動させた大胆な加飾には、印象の強いカッパー色を配置しパッドの厚みと伸びやかさを強調した。シート、トリムインサートなどのソフトマテリアルにはアイボリー色を用いることで、空間全体を明るく上質な雰囲気とすることを狙った。立体構成と色及び素材の考え方を反映したモデル（**図 18**）で社内外の関係者にプレゼンテーションを行った。車格感、上級感の考え方は承認されたが、質感表現の向上が課題となった。

最終スタイル決定に向けては、質感向上に取り組んだ。合わせに関しては、部品のキャラクタライン及び面に動きや強弱をつけ、端末を目立たせなくする工夫を施した。カラーコーディネーションにおいては、インパネとドアトリムの加飾を際立たせるため、シートなどのソフトマテリアルは主張を抑えたブラウン色とした。また、コンソール周りのソフトマテリアルをブラックにすることで、インパネからコンソールまでの連続感を強調し、加飾の緻密さを際立たせた。最終提案モデル（**図 19**）による社内外のプレゼンテーションと承認を経てスタイル決定した。

図 18　中期フルサイズモデル

図 19　最終フルサイズモデル

4.3 質感への拘り

インテリアデザインの中で最も拘った点が内装の質感である。開発初期段階から、質感向上を目的とする社内横断のワーキングチームを立ち上げ、企画、設計だけでなく、材料開発、営業、など様々な部署の協力で質感向上のポイントを検討した。車のインテリアはお客様が着座した状態では、見たり触れたりする範囲は限られることに着目し効果的に質感の高さを訴求していくこととし、内装を大きく 3 つのエリアに分け、ワーキングチームで抽出した質感向上のポイントをデザインに反映して行った（**図 20**）。

「身を委ねるところ」では、限られた寸法の中で視覚、触覚で豊かさを感じてもらうため立体の厚みに影響する断面、キャラクタラインなど造形による工夫を行った。室内の各所にあるアームレストは、それぞれ素材が異なるが素材ごとに最適な上面の丸みと角 R で構成することで、使いやすさと視覚的な豊かさを考慮した。

「触れるところ」に対しては、素材の柔らかさ、硬さだけでなく、温度感を考慮しながら素材を適切に配置した。敏感な感覚を持つ指先が触れるスイッチ先端、ドアハンドル等には、メッキを施し、金属らしい触感、冷感でしっかりとした質感をお客様に伝えることとした。「視線に入るところ」では、触れることは少ないが常に視界に入ることが多いエリアに着目し、異なる複数の素材を緻密に組み合わせた造形を配置することで上級な質感を伝えることを狙った。センタクラスタの周辺及び、メータには複数の素材を感じる造形を積極的に割り当てた（**図 20**）。

また室内全体においてはアンビエントライトを効果的に配置し、前後のドアトリムの断面とコンソール上面を照らすことで視覚的な立体感を演出し質感効果を向上させた（**図 21**）。

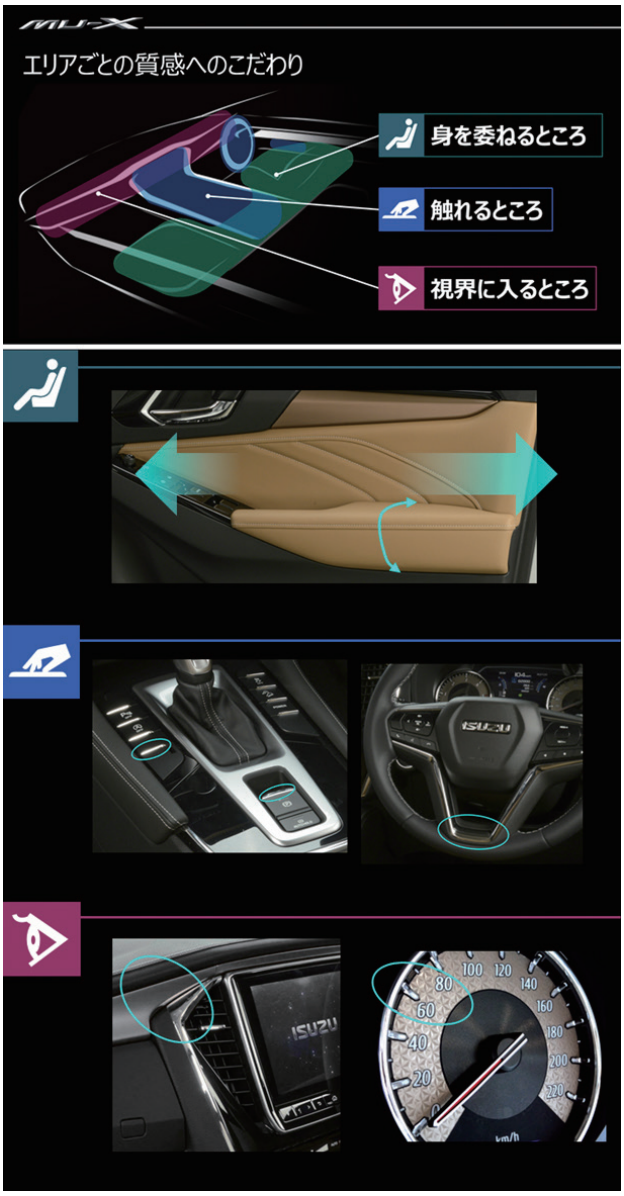


図 20　エリアごとの質感への拘り

図 21　アンビエントライト

5　カラー・マテリアル・フィニッシュ（CMF）

CMF デザインにおいて、多くの部品・形状を共有するピックアップトラック「D-MAX」との区別化を確実に行い、力強さと快適さを併せ持つ洗練された存在感の具現化を狙いとした。

5.1 エクステリアカラー

多用なお客様のニーズに応えるべく、D-MAX と共用する「ブラック・シルバー・グレー・ブルー・ソリッドのホワイト」に新規開発の「ホワイトパール・ブラウン」は、エクステリアデザインが持つ「上級感・力強さ・先進感」の訴求を目指した。ボリュームゾーンのホワイトは、材料の進化に伴い、緻密な輝きのハイライトと白さを強めたシェードで構成し、エレガントで洗練されたホワイトパールへと 9 年ぶりに刷新した。一方のキャラクターカラーであるブラウンは、オレンジのハイライトと滑らかで深みのあるシェードで構成し、快活で成熟した存在感を表現した（**図 22**）。

図 22　エクステリアカラーラインナップ

5.2 インテリアカラー

普遍性を求める市場向けのオールブラック仕様（**図 23**）に加えて、流行を求める市場向けのブラックの基調色にブラウンを配した仕様（**図 24**）のインテリアカラーコーディネーションを設定した。ブラックの基調色にブラウンを配した仕様は、マクロトレンドにおいて定番色化したダークブラウンの差異化ニーズにより生まれたライトブラウンを採用した。このライトブラウンは、D-MAX のダークブラウンに対して彩度を強くするとともに明度を上げることで、趣味性の強いクラッシックな高級感と力強さを表現した。

図 23　インテリアカラー：オール ブラック

図 24　インテリアカラー：ブラック＋ブラウン

5.3 シートマテリアル

市場の趣向に合わせて 2 種類のレザーシートを設定した。合成皮革シートは、昇温抑制機能を有する高機能ポリウレタンレザーをメイン部に採用し快適性を高めた。本革シートは、パーフォレーションとキルティングをメイン部に施し高級感を高めた。ファブリックシートは、ヒートエンボスによる大らかな曲線を施したメイン材と手触り感を高めたボルスター材のコンビネーションにより優雅さを表現した。また D-MAX 同様バイオマス由来繊維（「プランペット ®」）をメイン材に採用し、サスティナブルデザインに取り組んでいる（**図 25**）。

＊「プランペット ®」は帝人株式会社の登録商標

図 25　シートマテリアル

6　おわりに

MU-X のデザインには全体のプロポーションから細部の質感に至るまで携わったメンバーの強い拘りが凝縮されている。その「拘り」がお客様に伝わり、「誇り」と「高揚感」を提供できたと自負している。今後は市場からの評価をしっかりと受け止め MU-X の更なる進化に努めていきたい。最後に、デザインの開発に関わっていただいた方々にはスタイルを具現化するために多くの助言と協力をいただいた。ここに深く感謝の意を表して本稿を結ぶこととする。

著　　者

笹島　拓

西川　知伸

長谷川　芳美

藤井　昌人

新型 MU-X の車体設計について

Body Design for New MU-X

金光　伸彦* Nobuhiko Kanemitsu
岡田　博樹* Hiroki Okada
榊　和彦* Kazuhiko Sakaki
小島　佳孝* Yoshitaka Kojima
長江　寛之* Hiroyuki Nagae
佐藤　祐輔* Yuusuke Satou
遠藤　徹* Tooru Endou
西原　康太* Kouta Nishihara
Tarawit Pongsiripreeda **
Nuttawat Suwanrusk **
小松　豊和** Toyokazu Komatsu
Pranungchoke Chumnandee **
Suvichan Attawuttinun **
Jiradat Prasertsri **
Sakul Patratheemakul **

要　旨

新型 MU-X の車体開発では、3 代目 D-MAX をベースにピックアップトラックの耐久性・信頼性と、PPV に求められる快適性・高級感を高いレベルで融合させることでお客様の所有満足度を高めることを目指した。

本稿では、各車体装置における開発概要について紹介する。

Abstract

About new MU-X, based on 3rd generation new D-MAX, we aimed to enhance customer satisfaction with ownership by combining durability and reliability of Pickup trucks with the comfort and luxury of PPV at a high level.

This article introduces the development outline of each body design.

1　はじめに

ピックアップトラックの派生車である PPV（ピックアップトラックベースの乗用車タイプの車：Pick-up Passenger Vehicle）市場は、近年、お客様のニーズがより乗用車志向に傾いており、外観・内観（**図 1**）の部分では初代 MU-X 以上に快適性、高級感といったところに力を入れ、開発を行った。性能面では、快適性向上につながる振動・騒音（以下“NV”と称す）の低減、燃費向上につながる軽量化と走行時の空気抵抗の低減、年々要求が高まっている衝突安全性能の向上を図った。

図 1　新型 MU-X 外観・内観

2　開発の狙い

D-MAX で開発した共用部分と、PPV として固有の開発を行った部分を高いレベルで融合させることで、従前車からの大幅な性能向上を達成した。

2.1 節～2.4 節に概要を示し、詳細については各装置の章にて紹介する。

2.1　ボディ骨格

D-MAX で開発したプラットフォームを活用し、B ピラーより後方のボディの専用設計を行った。クラストップレベルの室内空間・居住性を更に向上させながら、快適性向上のために、骨格構造の刷新、結合剛性の向上、断面の最適化により大幅なボディ剛性の向上を図り、NV を大幅に低減させた。また乗心地の向上にも寄与した。そしていすゞとして初となる樹脂製テールゲートを採用、ボディへのハイテン材の使用拡大とともに軽量化を図り、燃費向上に貢献した。

2.2　外装設計

車の顔の部分にあたる前回りについて、D-MAX の骨格を流用しながらも、D-MAX との見映えを最大限変えることで、乗用車志向のお客様にも選んでいただける外観品質を目指し開発を行った。同時に衝突安全の歩行者保護性能の向上、空気抵抗の低減による燃費への貢献についても改善を図った。

*車両設計第三部　　** Isuzu Technical Center of Asia Co., Ltd.

2.3 内装設計・室内空間

新型 MU-X で特に力を入れた室内空間の快適性、質感を先代より大幅に向上させること、お客様の使われ方及び市場の声を分析し乗員空間の利便性向上、荷室レイアウトの見直しによる使い勝手の向上を目指した。また外観品質と同じようにコックピットの顔であるインストルメントパネルにおいて、骨格及びベース部分は D-MAX を流用しながらもお客様が見て・触れる部位は違いを出しかつ高級感を出すべく、ソフト素材の使用範囲拡大、室内空間を演出する間接照明などを採用した。

2.4 衝突安全性能の向上

衝突安全性能は交通事故死傷者削減の基本である。NCAP（New Car Assessment Program）においては、先進安全評価の導入が進む一方、衝突安全評価に対しても要求が高まり続けている。新型 MU-X では世界各地域の NCAP トップレベルを目指して開発に取り組んだ。

衝突安全の基本となる車体・フレームは骨格を共有する D-MAX と並行して開発を行った。

前面衝突評価に新たに加わった MPDB 試験（**図 2**）対応では、いすゞ初となるニーエアバッグを運転席に搭載するなど乗員保護性能の向上を図った。

側面衝突評価に新たに加わったファーサイド乗員保護への対応では車体・フレームの衝撃吸収構造見直しとともにいすゞ初となるファーサイドエアバッグ（**図 3**）を搭載。これらにより隣席乗員との乗員同士の衝突による傷害を防ぐなど、新たな衝突形態を含め乗員保護性能の向上を図った。

歩行者保護に新たに加わった新脚部インパクター試験に対応するため、バンパビームの配置とエネルギー吸収構造を見直し歩行者保護性能の向上を図った。

結果として ANCAP（豪州）、ASEAN-NCAP（アセアン）にて最高評価となる 5★を獲得することができた。

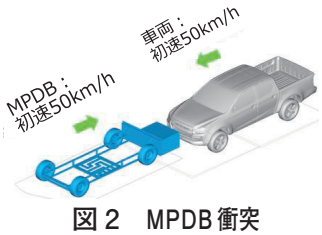


図 2　MPDB 衝突

図 3　ファーサイドエアバッグ

3　ボディ設計

新型 MU-X のボディ開発においては、D-MAX ボディの耐久強度、衝突安全性等の基本性能の強みを生かして、MU-X に求められる「クラストップレベルの NV 性能、クラストップの乗心地」を実現させるために骨格構造の刷新を行い、ボディ剛性の大幅向上を果たした。

衝突安全性能については、B ピラーより前の基本骨格を共有する D-MAX ボディを元に（**図 4**）、車両重量、サイズが異なる MU-X ボディで同等の性能を達成すべく対応を行った。

代表的な対応については**3.1 節～3.3 節**で紹介する。

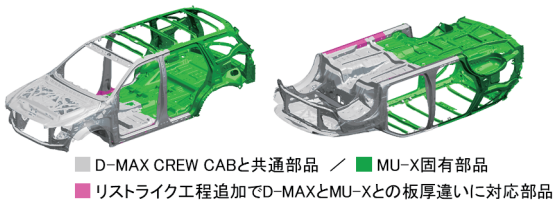


図 4　D-MAX ボディとの共通性

3.1 ボディ構造の刷新

開発初期（デザインコンセプト決定前）段階において、ボディの基本骨格を決定するための基本性能として、グローバル動剛性の 1 次ねじりモード（Global Torsion Mode）の目標値を設定した。従前車を元に板厚最適化解析、感度解析、ビームモデルによる最適なロードパスの検証及び必要な断面（断面 2 次モーメントの値）の検証、結合剛性の最適化解析を行い（**図 5**）、目標値を満足する骨格構造を決定した（**図 6**）。

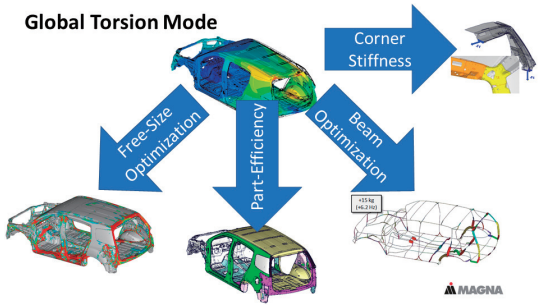


図 5　最適化解析によるボディ構造の検証

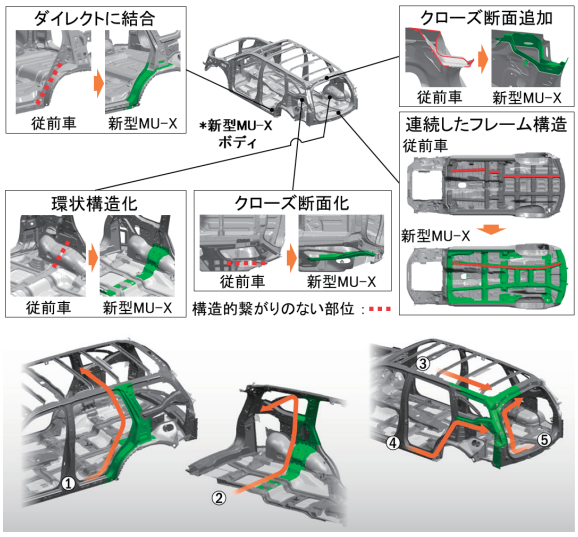


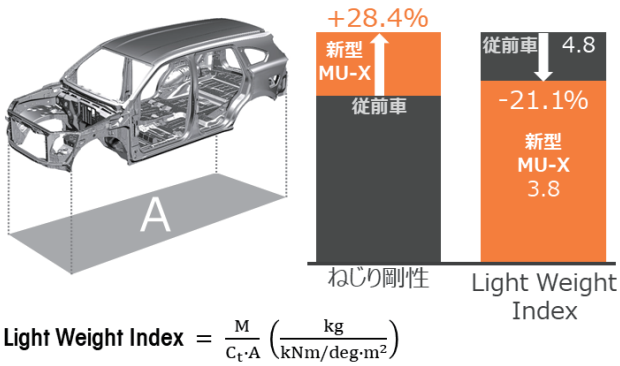
図 6　新型 MU-X のボディ構造

新型 MU-X のボディ構造は（図 6）、従前車に対し次の①～⑤を実施した。

① ロッカと C ピラーをクローズ断面でダイレクトに結合
② C ピラーの環状構造化
③ ボディサイドのレインフォースを A ピラーから D ピラーへかけて連続的に結合
④ ロッカから C ピラー、D ピラーへクローズ断面を連続的に結合
⑤ D ピラーのクローズ断面での環状構造化

これらのような骨格構造の結合剛性の向上と断面の最適化によりグローバル動剛性の 1 次ねじりモードを 12 %、曲げモードを 10 %向上させ目標値を満足した。その結果、従前車に対してボディの静的ねじり剛性は 28 %、LWI（Light Weight Index）[1] は 21 %と大幅に向上した（図 7）。

また早期に骨格構造と必要な断面を特定した結果、開発過程における大規模なデザイン変更、室内大物部品のレイアウト変更、ルーフ後端を下げるパッケージ変更に対して基本性能を損なうことなく適切な対応を行うことができた。



$$\text{Light Weight Index} = \frac{M}{C_t \cdot A}\left(\frac{kg}{kNm/deg \cdot m^2}\right)$$

図 7　ボディ剛性

注 [1] LWI（Light Weight Index）：
ボディ剛性のウエイト効率を表す指数

3.1.1　ローカル動剛性の向上 - 固体伝播音の低減

固体伝播音を起因とする車内音の低減のために、2、3、4 番キャブマウント部位のローカル動剛性の向上を行った。2 番キャブマウント部位は共通である D-MAX で対応済であり、新型 MU-X 固有部位である 3､4 番キャブマウント部位の対応について紹介する。

従前車に対して、3 番キャブマウント部位は剛性向上とマウントからの入力を効率良く、ボディサイドの骨格構造へ伝えるためにロッカインナヘガセットを追加した。4 番キャブマウント部位は剛性向上と D ピラー下端をクローズ断面化した。またマウント部位のあるリアエンドシルとフロアレールとの結合部位へバルクヘッドを追加、そしてフロアレールは Y 字形状とすることでマウント部位へできるかぎり近づけた。これらによりマウントからの入力を効率よくフロアの骨格構造へ伝えることができた（図 8）。

この結果、骨格構造の刷新と相まって、ローカル動剛性は従前車比､3 番キャブマウント部位で 60 %､4 番キャブマウント部位では 90 %の向上となり目標値を過達した。

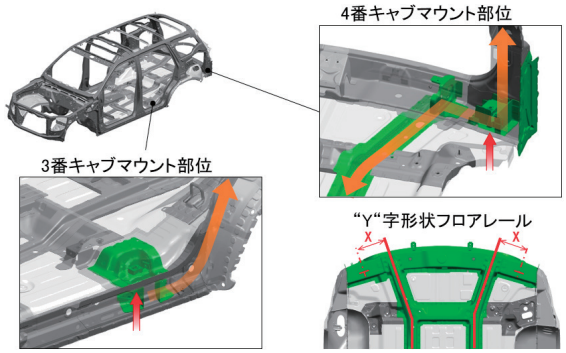


図 8　ローカル動剛性の向上

3.1.2　空気伝播音の低減

固体伝播音の低減とともに空気伝播音の低減のため各ピラー内、キャントレール内に発泡剤を設定。フロアのシーリング、アンダーコート塗布範囲も拡大し室内へのノイズの侵入を大幅に抑制した（図 9）。

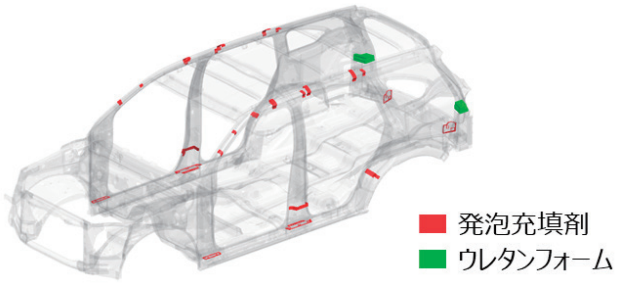


図 9　発泡充填剤採用部位

3.2　衝突安全性能

衝突安全性能においては、従前車に対しロードパスの改善と最適化を目指し、CAE の活用によりフロアレインフォースの最適配置とフロアレインフォース、ボディサイドレインフォースのサブアセンブリ化により部材結合の強化を行い、ボディの骨格強度を向上させた。大変形部位には，断面の拡大、980 MPa 級ハイテン材の採用、及び 590 MPa 級ハイテン材の採用範囲拡大により、車体変形を抑制し、乗員の生存空間確保と軽量化を図った（図 10）。

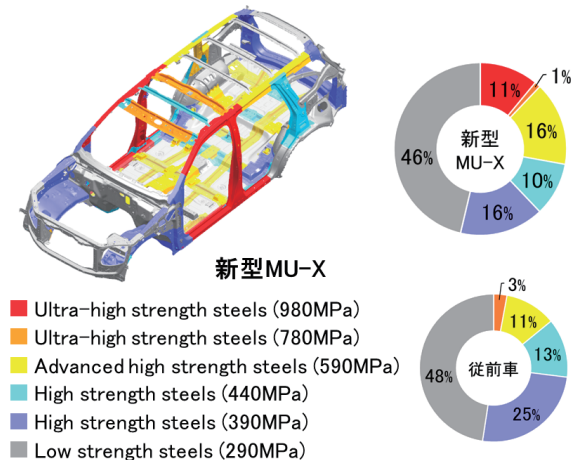


図 10　ハイテン材の使用比率

3.2.1　ポール測突

斜めポール側突では UHSS 材（Ultra-high strength steels）の採用によりドアリング周りの変形を抑制した。また結合構造の変更によりボディに伝わるロードパスの強化とエネルギー吸収を向上させた。更に、クラッシュボックスを追加することで、シャシフレームのサイドメンバへロードパスを形成し、荷重を分散させ、生存空間確保と軽量化を図った（図 11）。

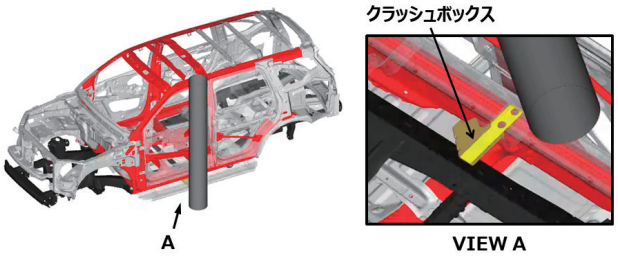


図 11　斜めポール側突

3.2.2　ルーフ強度

UHSS 材使用のフロントピラー／センタピラーレインフォースへキャントレールレインフォースをサブアセンブリ化し部材結合の強化を行い、B ピラーの環状構造だけでなく C ピラーの環状構造へもつなげることでマルチロードパス化を行い、SWR（Strength to weight rate）4.4 を達成した（図 12）。

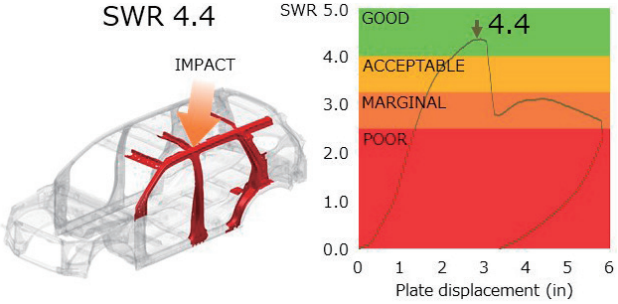


図 12　ルーフ強度

3.2.3　シートベルトアンカレッジ強度

フロア構造の変更により（図 6）、前後につながるメインフレームをオフセットなくなだらかに 4 番マウントにつながる構造にすることで、2nd シートベルトアンカレッジ強度評価時のフロア変形を従前車に対して上下方向で 50 %低減した。

3.3　フューエルフィラリセス

従前車は板金製のフューエルフィラリセス（以下「リセス」と略す）であったが、尿素仕様の追加によるリセス形状の拡大に伴う、重量アップ、リッドサイズ拡大によるスタイリングへの影響、リッドのロック機構の電動化、これらを検討した結果、新型 MU-X では、樹脂製リセスを採用した（ヒンジ部位までの樹脂化はいすゞ初）（図 13）。

樹脂化により、尿素仕様追加の板金製のリセスの場合と比較して、53 %の軽量化及びサイズを 10 %縮小した。従前車に対してはサイズ拡大にもかかわらず 12 %の軽量化となった。

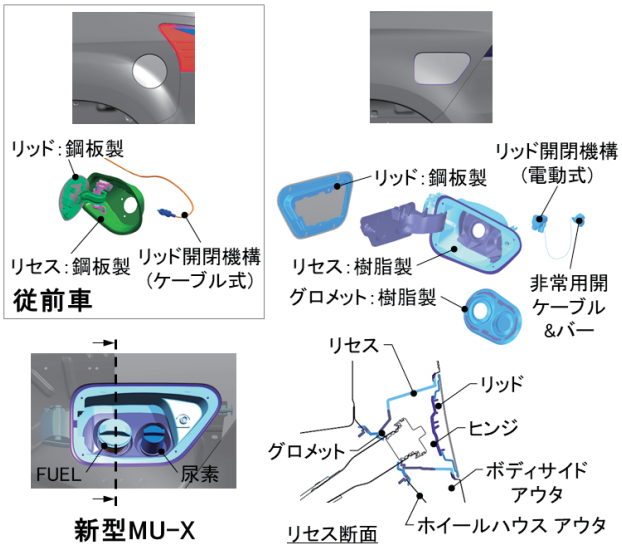


図 13　フューエルフィラリセスの部品構成

4　内装設計

新型 MU-X の内装設計は快適性、使い勝手の向上、及びお客様に所有する喜びを感じて頂ける上質な室内空間を作り出すことに主眼を置いて開発を行った。初期構想段階において、商品企画・デザイン・営業のメンバーと内装質感向上をテーマに約半年に及ぶワーキング活動で議論を重ね、内装質感を構成する要素の分析を行い、従前車から改良を加えるべき領域を決定した。その中から幾つかの項目と合わせて、内装設計で取り組んだ事例を紹介する。

4.1 品質感向上

質感向上を図る上で、お客様が室内に入りシートに身を委ねコックピットを見渡した時に、エリアごとに重視すべき項目が異なると考えた。そのエリアを次の3つのゾーンに分け優先的に改良を加えたが、ここでは視覚的に効果がある項目について紹介する。

① 常に視線に入るエリア:本物感表現（視覚的）
② 操作頻度が高いエリア:本物感表現（視覚的）
③ 身を委ねるエリア:居心地の良さの演出

4.1.1 ソフト素材の範囲拡大

インストルメントパネルの上面は、常に乗員の視線に入りかつ触れる機会が多い場所である。そのため視覚的に‘本物感’を表現すべく、ソフト素材の使用範囲の拡大を図り（**図 14**）、更に表皮張り合わせを表現するため、溝部にスティッチ（縫製の糸）形状を反映させた（**図 15**）。これにより、D-MAX とインストルメントパネルの基本骨格は共用しながら見た目の違いを出し、且つ従前車比で大幅な質感向上を図ることができた。

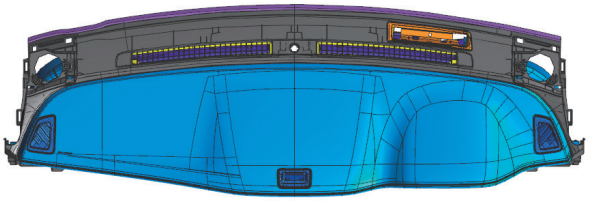


図 14 インストルメントパネルソフト素材（青色部分）

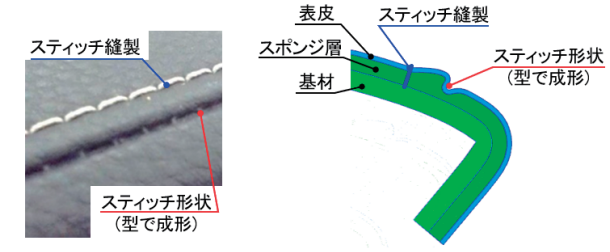


図 15 インストルメントパネルスティッチ

4.1.2 高輝度加飾

インストルメントパネルの上部に配置されるエアコンのサイドベントグリルは機能部品として操作頻度が高くお客様の目に触れる機会が多い。そこでグリル周りの造形部には高輝度加飾を採用することが効果的と考え、採用するにあたり工法はホットスタンプ工法に決定した。そうすることで、メタル素材感の表現に加えて、加飾部とそれに隣り合う部材を分けることなく、一つの部品の一部分のみに高輝度加飾を施すことで部品分割を増やすことなく品質感向上を図った（**図 16**）。

図 16 高輝度加飾

4.1.3 アンビエントライト（加飾照明）

新型 MU-X では従前車で設定していたドアトリムのアンビエントライトに加え、オーバヘッドコンソールにもアンビエントライトを設定した（**図 17**）。

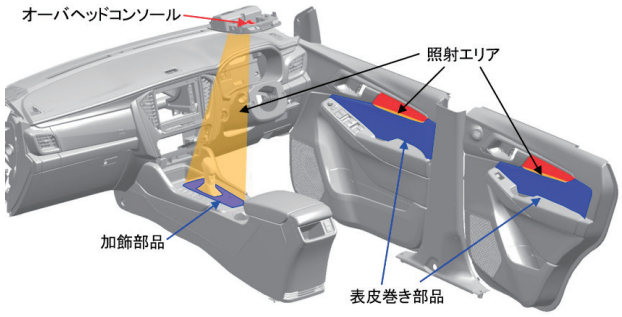


図 17 アンビエントライト

アンビエントライトの配置場所及び照射したい範囲、そして色味を最終決定する過程において何度も試作品の製作から夜間の実車確認を経て最終仕様を決定した。特に色味については、人により好みが分かれることから、光源の色味見本から選定し実際の見え方は実車で複数パターンの確認を行い、関係者の最終合意を得て仕様決定した。

結果、オーバヘッドコンソールのアンビエントライトはフロアコンソールのシフトノブ回りの加飾部品を狙い、ドアトリムにおいては表皮巻きの表皮素材を照射することで、夜間でも加飾及び表皮の素材感を感じてもらえることを狙い、より上質な室内空間の演出を図った。

4.2 使い勝手向上 - フラットなラゲッジルーム -

新型 MU-X では室内空間の快適性、使い勝手向上に力を入れて開発を行ったが、荷室の使い勝手も PPV にとって重要な要素である。2 列目シート及び 3 列目シートを倒した時にリアリフトゲート開口部からフラットな面になるよう構造検討を行った。

シートを倒した時のフラット面を達成するため、荷室部分にはラゲッジボードを新設した。同時に、3 列目シートのフロアパネルへの締結位置を下げ、更にダイブイン機構のジオメトリ見直しなどによって、従前車に

あった 3 列目シート後方の段差の廃止、及び 2 列目シートとの角度変化の低減を行うことで、スムーズなフラットラインを構成することができた。これによって、長尺物の収納性向上等、荷室の使い勝手を向上させた（図 18）。

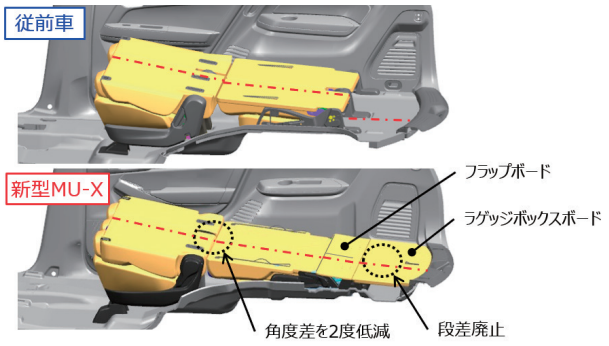


図 18　ラゲッジルーム概要

また新設したラゲッジボードは開閉が可能で、取り外すことも可能とした。それによりラゲッジボード下を、小物類などの収納スペースとして活用でき、利便性を高めることができた（図 19）。

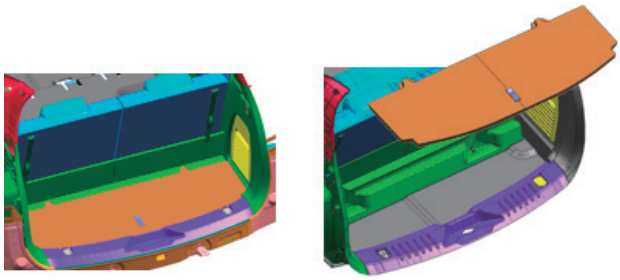


図 19　収納スペース

4.3 静粛性向上

新型 MU-X では NV 性能を向上させるべく、内装部品においても各部品でベース車の D-MAX で作りこんだ性能を更に向上させるべく開発を行い、車両全体における室内透過音の低減に貢献した。以下に事例を紹介する。

4.3.1 ダッシュインシュレータインナ

エンジン音のダッシュパネルからの室内透過音を PPV にふさわしいレベルに低減すべく、D-MAX で作りこんだ仕様に対して、吸音層の間に遮音材を追加した 3 層構造を採用し、ダッシュパネルからの室内透過音に対しての遮音性を向上させた（図 20）。

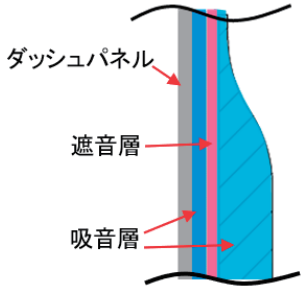


図 20　ダッシュインシュレータインナ断面

4.3.2 フロアカーペット

新型 MU-X ではカーペット表皮層とインシュレータ層の同時成形カーペットを採用し、フロアパネルの形状に追従させるとともに、中間層には遮音材を追加することでフロアパネルからの室内透過音に対しての吸遮音性を向上させた（図 21）。

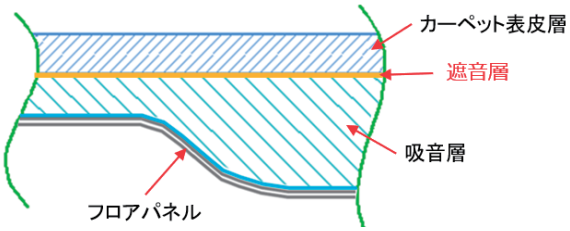


図 21　フロアカーペット断面

5　シート設計

新型 MU-X のシート開発において、フロントシートは D-MAX で新規開発し、市場で好評をいただいているバケットシートの骨格を流用し、あらたに縫製パターンの変更、キルティングの追加、助手席へのパワーシート採用等を行った。これにより、D-MAX との差別化及び従前車比で品質感と座り心地を大幅に向上させている。

2nd シート及び 3rd シートについては、従前車のシートアレンジを踏襲しつつ、品質感、居住性、使い勝手向上を目標として開発した（図 22）。ここでは、シートに関して取り組んだ代表的な事例を紹介する。

図 22　新型 MU-X シート概要

5.1 品質感向上

2nd シートセンタアームレストのカップホルダは、従前車ではセンタアームレスト上面に固定式のカップホルダを採用していたが、新型 MU-X ではスライド式を採用することで、アームレスト上面のソフトエリア拡大による品質感向上と収納容量を両立させた（**図 23**）。また、カップホルダ状態⇔トレー状態の切り替え機能を持たせた。

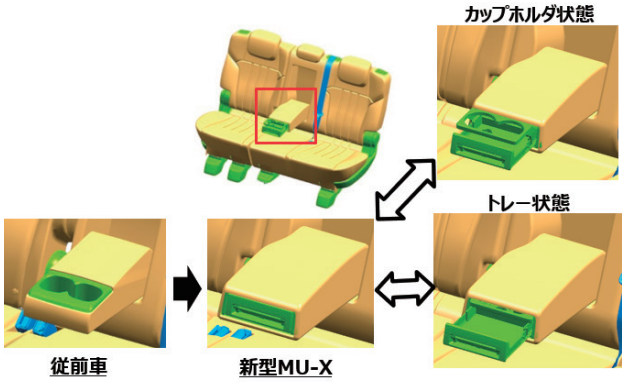


図 23　2nd シートスライド式カップホルダ

5.2 居住性向上

5.2.1 3rd シート足入れスペース

新型 MU-X では 2nd シート RH 側のフロアロック位置を従前車に対して 50 mm 前方へ移動するとともに、シート下面の樹脂カバーの断面最適化することで、3rd シート乗員の足入れスペースを拡大し居住性を向上させた（**図 24**）。

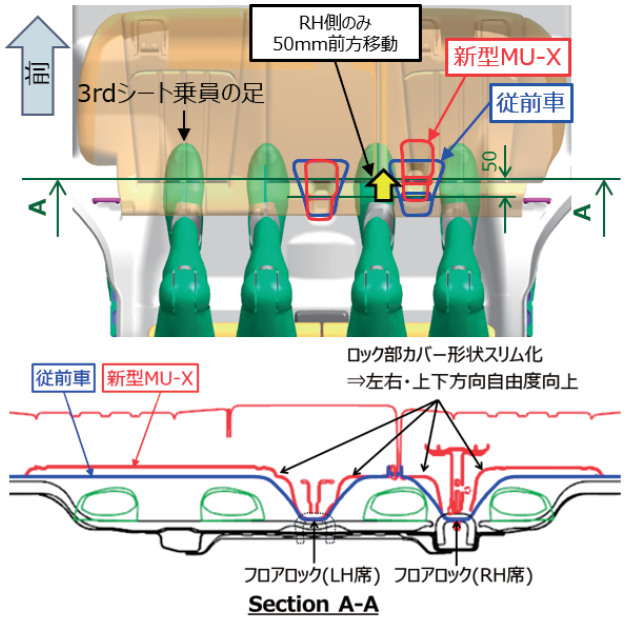


図 24　3rd シート足入れスペース

5.2.2 3rd シート居住性向上

新型 MU-X では、3rd シートにもリクライニング調整機構を採用することで、従前車で定評のあった居住性を更に向上させ、お客様の好みの位置でゆったりと座っていただけるようにした。

また、従前車では 3rd シートの中央部にセンタコンソールを設定していたが、新型 MU-X ではその機能をクォータートリムに移設することでクッション幅を拡大し、広々とした居住空間を作り出した（**図 25**）。

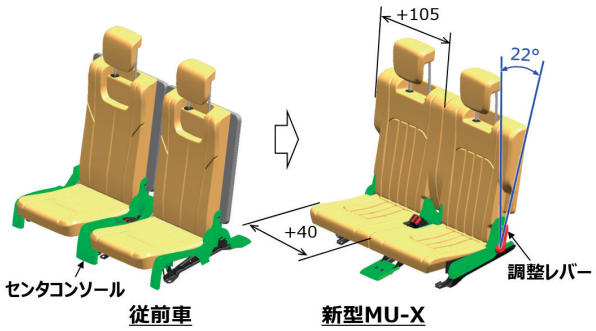


図 25　3rd シート居住性向上

6 安全装備

6.1 シートベルト

二列目外側席では、D-RING を乗員に極力近い肩口付近に配置（**図 26**）、更にプリテンショナを搭載することで乗員の初期拘束性能を高めた。万が一の衝突時の乗員への負荷を軽減するためロードリミッタも採用し安全性能向上を図った。

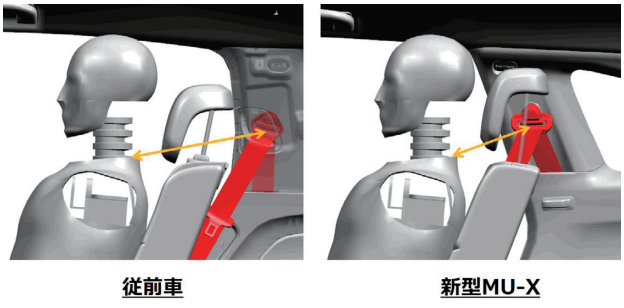


図 26　二列目外側席シートベルトレイアウト

シートベルト着用率向上のため、二列目、三列目ともにシートベルトリマインダも新規に採用。また、使い勝手向上のため、二列目席のバックルをシートに埋め込む構造とし、片手でのシートベルト装着を可能とするとともに、バックルによる尻当たりの不快感も軽減した（**図 27**）。

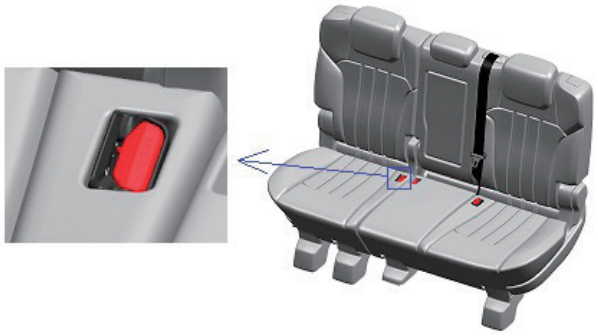


図 27　二列目席バックルレイアウト

6.2　ステアリングホイール

D-MAX で採用した握りやすく操作性に優れたステアリングホイールをもとに、いすゞ初のパドルシフトスイッチを搭載した（**図 28**）。幾度となく調整を繰り返した結果、ステアリングホイール操舵時に指が干渉せず、シフト操作時に指先が自然に掛かる位置と形状を導き出した。

これによりステアリングホイールから手を放すことなく自然にシフトチェンジ操作が行えるようになった。

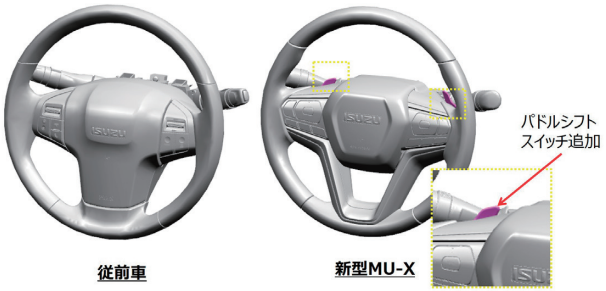


図 28　パドルシフトスイッチ

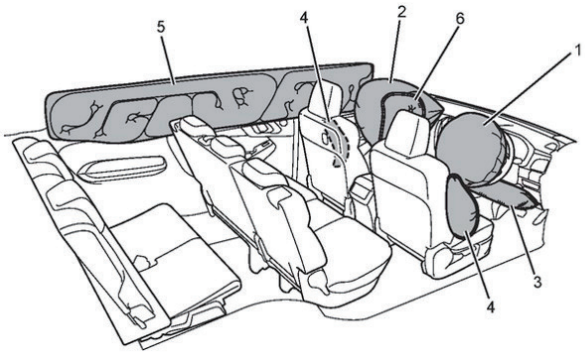
6.3　エアバッグ

安全性能の更なる向上を図るため、いすゞ初となる 8 エアバッグを採用した（**図 29**）。新たに採用したのは FSAB（Far Side Airbag）と KAB（Knee Airbag）の二つ。

FSAB は従来の SAB（Side Airbag）による側面衝突保護に加えて、乗員が車両内側に移動した際に隣席の乗員等と衝突して傷害を負う事故での保護を想定した物である。ドライバシートに格納されており側面衝突時、車両中央、乗員の間に展開することで乗員同士の衝突を緩和する。頭部から胸部を保護するために SAB に比べて大型となる。これを安定して展開させるのに苦労したが、バッグの形状と折り畳み方を工夫し実現することができた。FSAB は新しい技術であり他社先行採用例も非常に少なくクラス初の採用である。

KAB はインパネ下部に格納されており前面衝突時、運転席乗員の足元で展開する。シートベルトと合わせて乗員の下半身を早期に拘束することで傷害を軽減する物である。膝とインパネの狭い隙間に展開するためインパネに沿って展開するように工夫した。

これら安全装備によりトップレベルの乗員保護性能実現し NCAP 5 ★獲得に貢献した。



1. Driver Airbag
2. Passenger Airbag
3. Knee Airbag
4. Side Airbag（2 個）
5. Roof Rail Airbag（2 個）
6. Far Side Airbag

図 29　8 Airbags

7　外装設計　サイドドア

新型 MU-X では後席乗降性向上を図るため、従前車に対して **7.1 節～7.3 節**の改善を行った。

7.1　リアピラー（リアドア）形状の改善

ユーザーがリアドアを開閉する際、ドアパネルコーナー部がユーザーの顔へ近づくことによる危険感、及び圧迫感を低減させるため、ドアパネルのコーナー部を車両前方へ移動（アウトサイドハンドル直上付近）、クリアランスを確保して後席への乗降性を向上させた（**図 30**）。

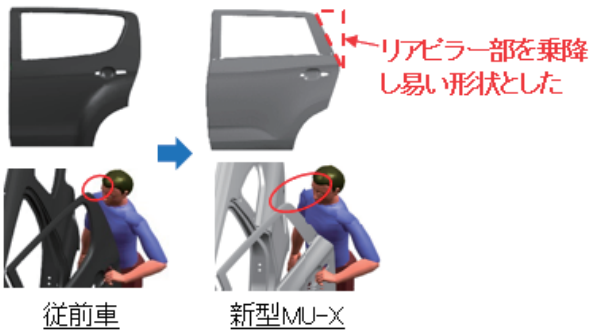


図 30　リアドアピラー形状

7.2 外付けドアスイッチの廃止

ドアの開閉状態を検出するドアスイッチは、従前車ではドアのボディ開口側面へレイアウトしていた。新型 MU-X ではドアスイッチ内蔵タイプのドアロックを採用し、ボディ開口側面へ設定していたドアスイッチを廃止した（**図 31**）。外付けドアスイッチ廃止により、乗降時にスイッチ突起部へ、衣服及び、荷物が引っ掛かる煩わしさを無くすことができた。更にスイッチ取付け面がなくなることで、ドアを開けた際のボディ開口側面の見映えを改善できた。

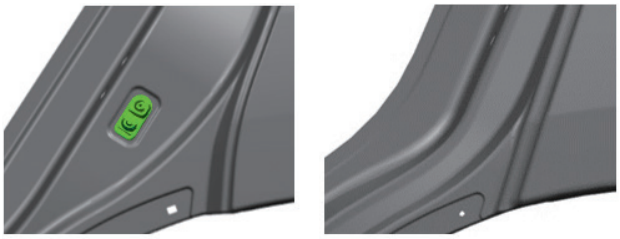


図 31　ボディ開口側面の見映え改善

7.3 リアドアホイールアーチシール構造の改善

リアドアホイールアーチ部はドア端末が直接リアホイールハウスと繋がっている構造上、本部位からの泥・埃の侵入を防ぐため、開口部にはホイールアーチシールを設定している。新型 MU-X では従前車に対してボディ開口側面部に、泥・埃が付きにくいシール構造とした。それにより狭い路地などドアを大きく開けられない状況で、ボディと身体を密着させて乗降しても乗員の衣服を汚しづらくすることができた（**図 32**）。

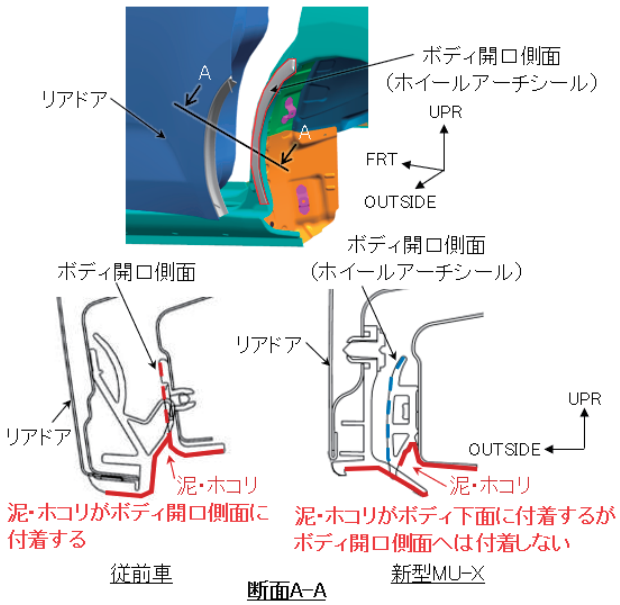


図 32　リアドアホイールアーチシール形状

8　外装設計 - リフトゲート -

8.1 樹脂製リフトゲートの採用

従前車まで板金製パネルで製作していたが、軽量化を目的として、新型 MU-X では樹脂製リフトゲートパネルを初採用した。成形しやすさが向上したことによりデザイン自由度も増え、後述するリアコンビランプ部では、奥行のある見映えを実現した。

剛性確保のため、リフトゲートヒンジをルーフレール後端に配置し、左右のヒンジ間ピッチを大きく取ることで、手動閉時のリフトゲートの捩じれに対して有利となるレイアウトとした（**図 33**）。またインナパネルには補強リブを設定することにより、内部のレインフォース部品を小型化した（**図 34**）。

結果、艤装部品も含めた総重量では、従前リフトゲートに対して 7.8 kg の軽量化を達成した。

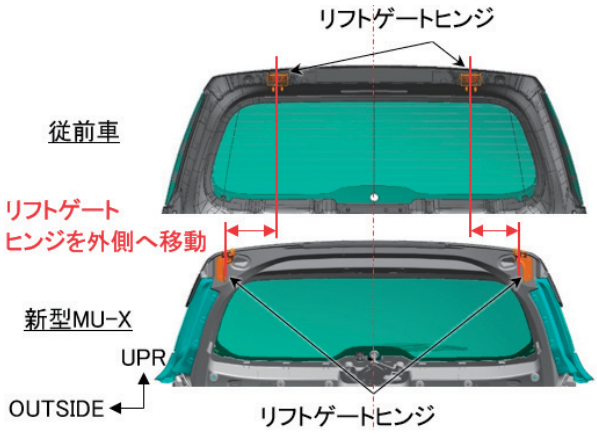


図 33　リフトゲートヒンジ間ピッチ拡大

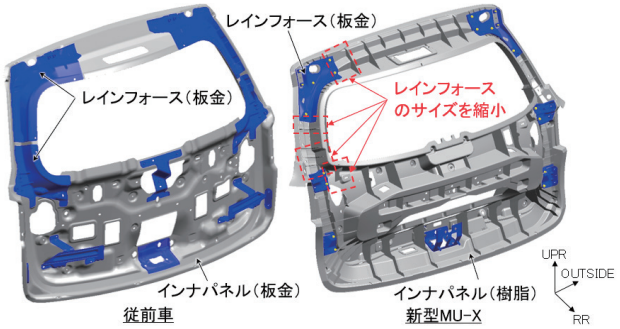


図 34　レインフォース最適化

8.2 空力性能向上

従前車ではグレードにより設定有無のあるルーフスポイラを、新型 MU-X では樹脂製リフトゲート採用に伴い、アウタパネルとルーフスポイラを一体化し、全車に採用した。一体化によりリフトゲートとスポイラの段差をなくし、更にスポイラ両端にはサイドスポイラを設定、風の流れをスムーズにすることで空力性能を向上させた（**図 35**）。

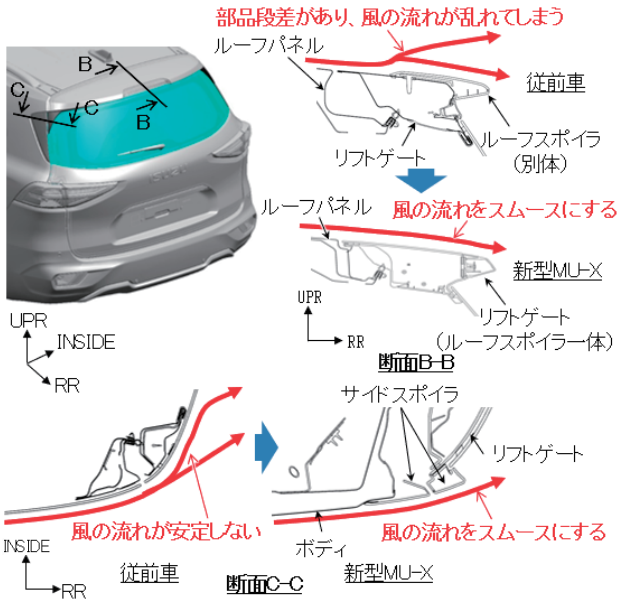


図 35　リフトゲート空力性能改善

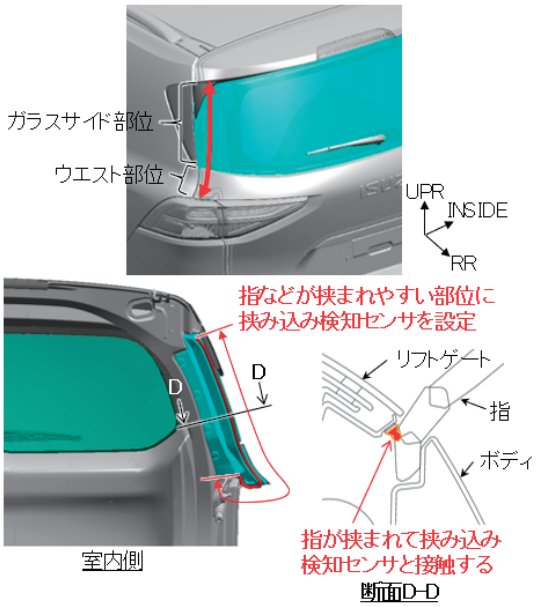


図 36　挟み込み検知センサ

8.3　利便性向上

従前車のリフトゲートは、手動開閉仕様のみであったのに対し、新型 MU-X の上級グレードでは電動開閉できるパワーゲートシステムを採用、開閉操作はリフトゲート閉時に車両外側から操作できるオープンスイッチ、並びに開時に操作できるリフトゲート底面に設定されたクローズスイッチのほか、運転席スイッチパネル、更にリモートキーでも操作可能とし、利便性を向上させた。またこれらのスイッチ操作による電動開閉操作に加えて、手動でリフトゲートを開閉操作した際、リフトゲートが一定の速度を超えると、オート開閉へ自動で切り替わる手動アシスト機能を設定した。これにより、スイッチ操作せずとも電動開閉が可能となり、お客様の開閉操作に対する選択肢を広げることができた。

安全性を向上させるため、リフトゲート電動操作時には、挟み込み及び、衝突を検知して反転作動後、停止する機能を設定した。開閉どちらの方向でも障害物検知は可能で、特に指が挟まれる可能性の高いガラスサイドからウエスト部位にかけては、挟み込みを検知するセンサを設定した（**図 36**）。

9　外装設計　一般外装

9.1　商品性向上

9.1.1　リアコンビランプに新デザインの採用

新たな商品力として、リアコンビランプに新構造を採用した。点灯時に奥行き感を持たせるためインナーレンズの断面を階段状にし、2 色成形を採用することで光らせる部分と光らせない部分をコントロールした。また、柔らかい光を再現するため乳白色のインナーレンズを設定している（**図 37**）。これにより LED 光源を用いながら、ノスタルジックな柔らかい光り方を表現した（**図 38**）。

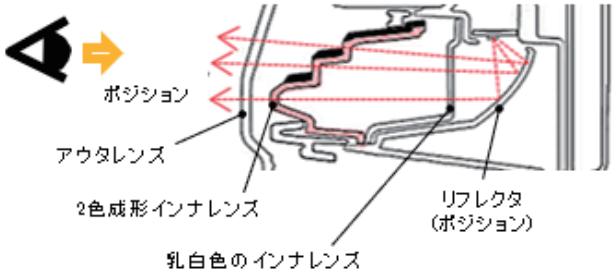


図 37　構造

図 38　リアコンビランプの見え方
（上段：外観、下段：夜間点灯時）

9.1.2　バック＆リアフォグランプ

従前車のリアフォグランプは後付けでバルブ式の別体ランプを設定していたが、新型 MU-X は LED 光源を採用しバックランプと共通デザインにして、リアバンパの左右に各 1 個ずつ配置した（**図 39**）。

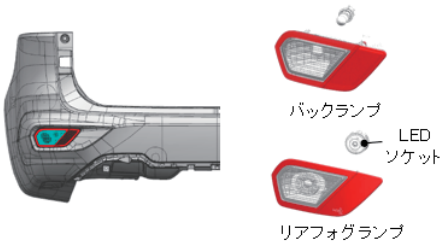


図 39　リアフォグランプ設定位置

9.1.3　ルーフレール性能向上

新型 MU-X では従前車と比べ、断面形状を最適化することでペイロード保証を 90 ⇒ 100 kg としつつレール高さを低くすることを実施した。これにより風切り音の低減と見映え向上を実現した（**図 40**）。またサポートブラケットをレール本体と一体とすることで締付けボルトの数を減らすことができ工数削減（作業性の向上）を図った。また締付け作業穴を塞ぐカバーのサイズも従前車よりも小さくでき、外観品質の向上も行った（**図 41**）。

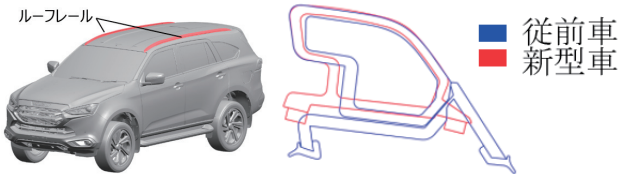
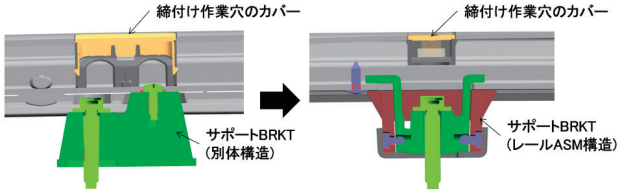


図 40　ルーフレール断面図



従前車　　**新型 MU-X**

図 41　サポート BRKT 部構造

9.2　空力性能向上

新型 MU-X では従前車より空力性能を向上させるため、次の 3 つの空力付与部品を新規で設定した（**図 42**）。

① バンパスカート
② リアタイヤ前スパッツ
③ サイドスポイラ

図 42　空力性能向上アイテム

ここでは①のバンパスカートについて紹介する。従来、車両床下の空気の整流はバンパ下面の付加物で対応してきたが車両パッケージ上、バンパ下面の付加物のみでは性能向上に限界が見えてきた。そこで新型 MU-X では新規構造としてスキッドプレートに着目し、スキッドプレートに固定点を持たせることで車両中央部に大型のスカートを設定できるようにした。（**図 43**）。

車両床下の空気の流れは大型のスカートとトランスミッションカバーの相乗効果により車両後方まで流速を落とすことなく風を流すことができるようになった（**図 44**）。これにより良好な結果を得ることができた。

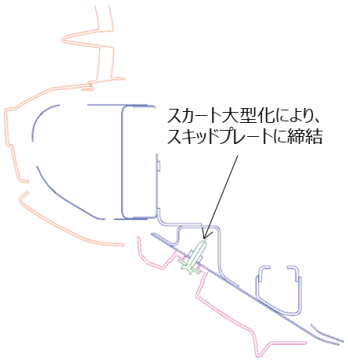


図 43　センタスカート取付け構造

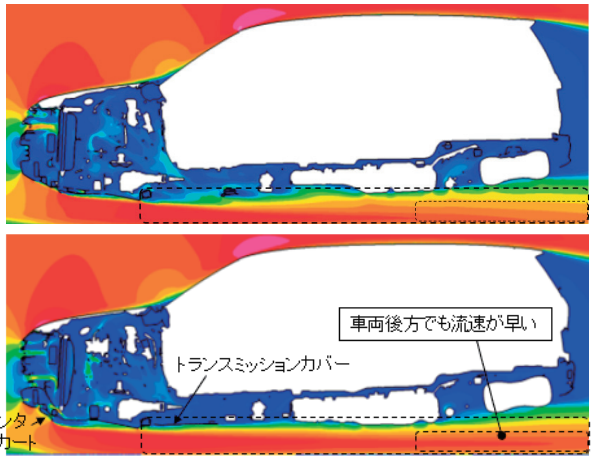


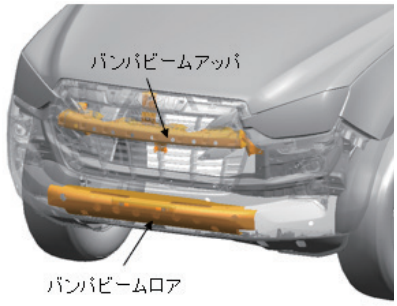
図 44　速度分布比較　上段:従前車　下段:新型 MU-X

9.3 安全性向上　衝撃吸収ボディ性能最適化

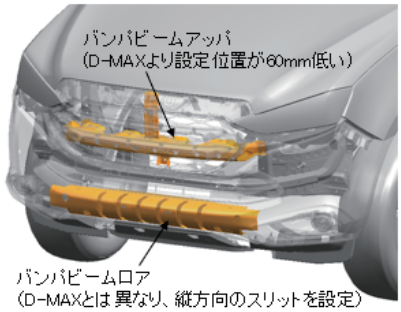
歩行者保護の性能確保のためにエネルギー吸収を目的としたビームを上下に 2 本設定しているが、ビームの設定位置で意匠面の開口位置が決まるため、D-MAX と MU-X では意匠区別化を目的として上側のビーム位置を変更している（**図 45**）。そのため、同じ断面形状のビームを用いた実車試験の結果は満足のいくものではなかった。

対策としてビームの位置違いを補うために下側のビームのアウタ形状を D-MAX と異なる形状とした。各打点でビームのエネルギー吸収を効率的にチューニングできるようにすることを目的とし縦方向のスリットを設定した形状である（**図 45**）。

これにより D-MAX 同一品より評価値を約 10 %改善し、目標値を満足した。



D-MAX



新型 MU-X

図 45　エネルギー吸収構造

10　おわりに

以上、新型 MU-X の車体設計概要について紹介した。今回の開発は「室内空間・居住性とスタイルの両立」「内装の質感向上」「NV の低減」「軽量化」「衝突安全 NCAP 5 ★獲得」に主眼を置いた開発を行ってきた。従前車で好評を得た PPV として使い勝手を更に向上させ、新たな付加価値を追加することでより魅力的な商品に仕上がったと確信している。タイを始めとする世界各国のお客様に更にお応えすべく、引き続き改良に励んで行きたい。最後に新型 MU-X 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ます。

著　　者

金光　伸彦

岡田　博樹

榊　和彦

小島　佳孝

長江　寛之

佐藤　祐輔

遠藤　徹

西原　康太

Tarawit Pongsiripreeda

Nuttawat Suwanrusk

小松　豊和

Pranungchoke Chumnandee

Suvichan Attawuttinun

Jiradat Prasertsri

Sakul Patratheemakul

新型 MU-X のシャシ技術について

Chassis Technology for the New MU-X

渡邉　哲也* Tetsuya Watanabe　妹尾　太輔* Daisuke Senoo　Anirut Patthanatheera*
Sutthirak Jantakram*　Panuwat Jahrupatrakorn*　Phapatsarrin Theerawichetkun*
Meenawat Butnil*　井上　哲雄** Tetsuo Inoue　原澤　哲也** Tetsuya Harasawa　Rianpanya Fa-amnuypol*
Pongsathon Srisuwan*　Nithet Boonyoo*　長澤　孝司*** Koji Nagasawa　江原　秀和**** Hidekazu Ehara

要　旨

MU-X では高い信頼性を持った PPV 専用シャシを採用しており、新型において従前のシャシを活かし更に進化させた。

今回の開発ではこれまでの高い信頼性を維持しつつ、グローバル市場における実路での高い操縦安定性と快適な乗心地、更に運転操作による疲労軽減など快適性を高次元で成立させた。

本稿においては、次世代 PPV として求められる各シャシ装置における開発概要について紹介する。

Abstract

This development will be carried out in the Thai and global markets while maintaining the high reliability of the past.

A high level of comfort has been achieved, such as driving stability and riding comfort on actual roads, as well as reduced driving operation.

This paper introduces the outline of development in each chassis device required for next-generation PPV.

1　はじめに

グローバリゼーションが進んでいる現在、使われる道はオフロードなどの非舗装路メインのお客様から、簡易舗装・舗装路などオンロードをメインとされるお客様まで幅が広い。今回の新型 MU-X においてはオフロード性能とトレードオフ関係にあるオンロード性能を両立させるため、専用フレーム構造による高信頼性、堅牢性のメリットは継承しピックアップ・パッセンジャー・ビークル（以下、“PPV” と略す）ならではの本格オフロード性能はそのままに、オンロードなど日常使いでの商品力アップをお客様に体感していただくため大きな進化を遂げた。

本稿については各装置の開発概要を紹介する。

2　リアサスペンション

新型 MU-X は D-MAX で好評いただいているハイマウントフロントサスペンションの採用だけでなく、PPV ならではの高い操縦安定性とすべての座席での乗心地向上を実現するため、従前から採用している 5 リンクリアサスペンションについても前後のロール姿勢及びロール量の最適化を行った。

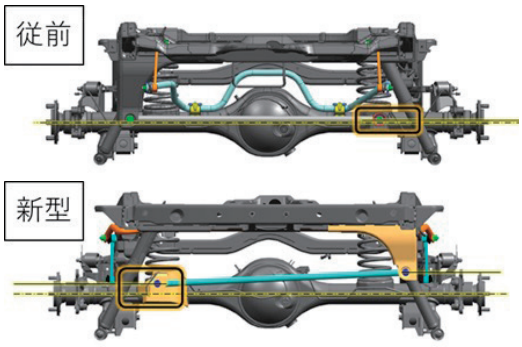


図 1　ロールセンタ高さ変更

新型 MU-X はフレーム側とアクスル側のラテラルリンク固定位置を上げる（WL 方向 フレーム側;+15 %、アクスル側；+5 %）ことによって、リアサスペンションのロール中心の車両重心に対する距離を 10 % 短くし、ロール量の低減、ロール姿勢の改善を図った（**図 1**）。

更に車両のロール剛性を上げるため、リアスタビライザの締結部分をアクスル上からフレームのクロスメンバに移動し、アクスル上の取付けスパンを拡大した。バネ定数の 16 % アップと、形状の曲げ箇所の低減を行い 1.75 kgの軽量化と、相反する項目の両立を実現した（**図 2**）。

* ISUZU Technical Center of Asia Co., Ltd.　**シャシ設計第二部　***車両設計第二部
****駆動商品企画・設計部

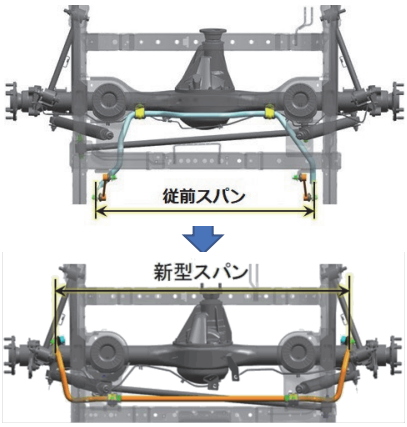
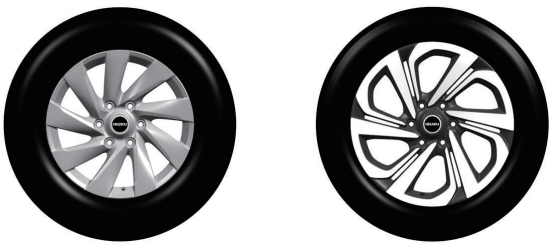


図 2　リアスタビライザ構造の比較

3　20 インチタイヤ＆ホイールの開発

走行性能及び高級感を両立する PPV を期待する顧客のニーズが増えている。それに応えるため、より魅力的でスポーティーな印象を持つ、大径化 20 インチタイヤ（265/50R20）＆ホイール（20x7.5J）の新規開発を行い、新型 MU-X に採用した。新開発の 265/50R20 タイヤは D-MAX で採用されている 265/60R18 に対して、偏平化（60 ⇒ 50）されているが、乗心地が 18 インチと同等となるようにタイヤ開発をおこなった。更に新規 20 インチホイールは強度を保ちつつ、軽量化できる新製造技術を導入し、ホイールにおいても軽量化によりばね下の振動低減により乗心地に貢献している（**図 3**）。



(a)18 インチタイヤ＆ホイール　(b)20 インチタイヤ＆ホイール

図 3　タイヤホイールの比較

4　ブレーキシステム

市場からの安全性への高揚・快適な操作性の要求に対応するため、D-MAX とフロントブレーキを共用することで、高速制動性、操作感の向上を図るとともに、リアブレーキへは、競合に先駆けて、モータオンキャリパ式 EPB（電動パーキングブレーキ：Electric Parking Brake）を採用し、高い制動安定性の確保とオート作動機能によるドライバの利便性向上、疲労軽減を実現した。

4.1　リアブレーキ

従前型のドラムインパーキングを廃止し、モータオンキャリパを採用した。変更に伴い、ブレーキロータを最適化し、軽量化を図った。また、サービスブレーキとしては効き・摩耗寿命・ブレーキ鳴きの抑制、パーキングブレーキとしては駐車性能の確保を目的に、新規摩擦材を設定した（**図 4**）。

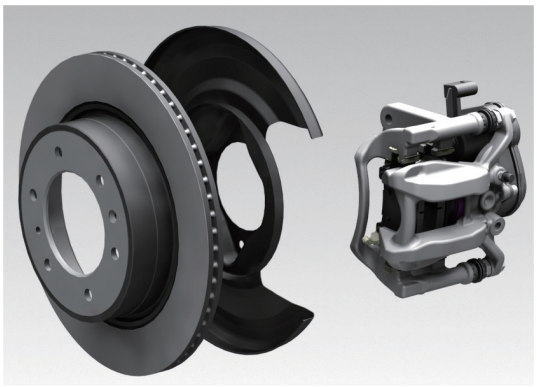


図 4　モータオンキャリパ　リアブレーキ構造

4.2　パーキングブレーキ

通常の作動／解除では、パーキングレバーからスイッチ操作に置き換わることで、確実にパーキングブレーキが掛けられ、安全性が向上した。

オート作動・解除機能を追加することで、一定条件下で、スイッチ操作なく、発進・駐車が可能となった。オート機能については、各国の駐車事情を考慮し、オン・オフの選択を可能としている。

先進安全技術である、全車速追従機能付きアダプティブクルーズコントロール、ブレーキペダルを離しても車両保持が可能となるオートビークルホールドと連携を図った。各機能で停車し、一定時間経過した場合は、パーキングブレーキを作動させることで、確実な車両保持により、安全性の向上を確保している。

5　フレーム

5.1　開発のねらい

新型 MU-X ではフロント回りについて D-MAX ユーロ NCAP（新車アセスメントプログラム：New Car Assessment Program）での五つ星獲得を共通の考えとし、リア回りは後面軽衝突対応と、リアねじり剛性の達成を目指し、開発を行った。その達成に向け、新型 MU-X のフレームは、次の 2 つのコンセプトに基づき開発した。

・後面軽衝突対応
・フレームの剛性向上

5.2 後面軽衝突対応

外装部品であるテールゲートの材料は金属製から樹脂製に変更された。これに合わせリアフレーム回り構造は後面軽衝突（車両後部をある速度で剛体壁に衝突させた）際、テールゲートを破損させないことを目標として次の 2 項目を重点項目として開発を行った。

① スペアタイヤクロスメンバの構造変更

・後面からの入力吸収のため、左右方向の構造から前後方向の構造とした（**図 5**）。
また、後面からの入力があった場合にラテラルクロスメンバが変形するとサスペンションのアライメントに影響が出てしまうため、スペアタイヤクロスメンバでエネルギー吸収させる構造とした。

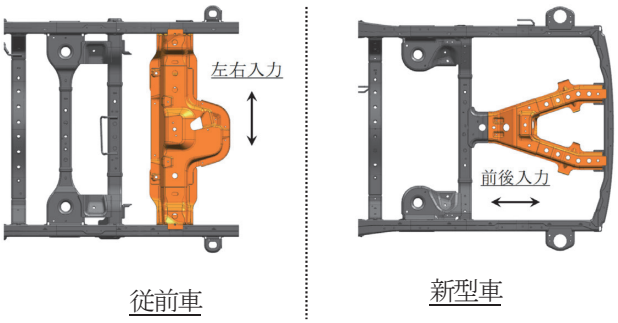


図 5　スペアタイヤクロスメンバ構造の比較

② リアフレーム回り強度アップのため、フレームにエンドクロスメンバを追加（**図 6**）

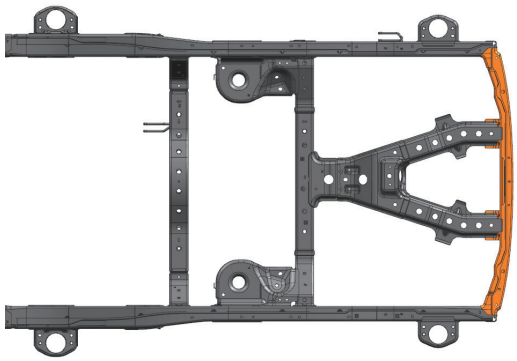


図 6　エンドクロスメンバ

これらフレームの構造変更により、後面軽衝突時テールゲートは破損せずお客様の修理コスト低減に貢献する（**図 7**）。

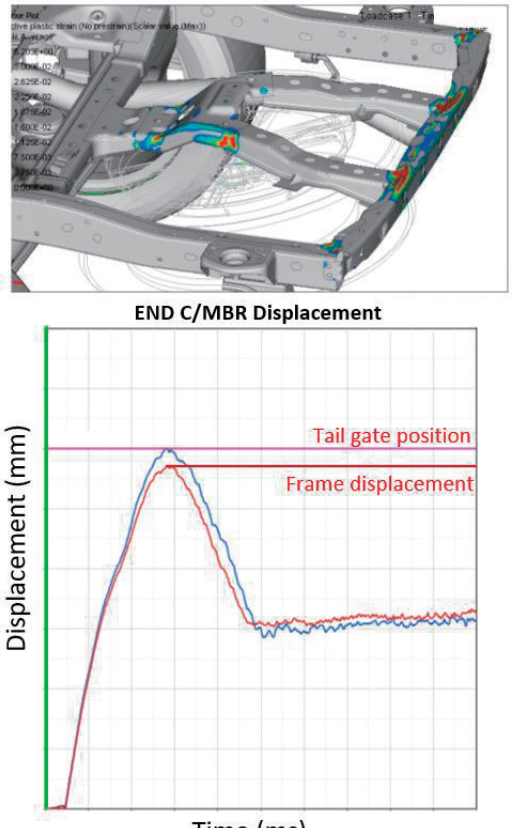


図 7　軽衝突の変形量

これまでのエンドクロスメンバ追加ではけん（牽）引固定点をエンドクロスメンバの真ん中に増やすことができるので牽引ポテンシャル 3.5 トンを満足させた（**図 8**）。

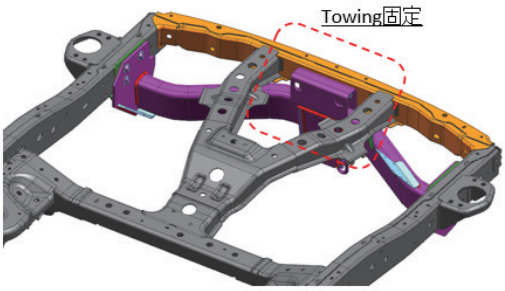


図 8　牽引固定追加部位

5.3 フレームの剛性向上

車両の剛性感、フラット感の向上には、フレームのホイールベース間の縦曲げ剛性と捩じり剛性が寄与する。

フレームの剛性値目標を開発初期に設定し、それに則った設計を行った。

剛性を向上させるには、剛性寄与率の高いサイドメンバの断面高さを増やすこと、もしくはクロスメンバを設定することが有効である。

フロア高さは従前車を維持する必要があるため、車両上方向への断面拡大はせず、地上高とランプアングルを確保しながら車両下方向に最大 14 %の断面拡大を可能とさせた（図 9）。

また、前述の車両後方周りの構造見直しに伴いフレーム後端部にクロスメンバを設定し、後方 2 番目のクロスメンバと前後に繋ぐクロスメンバ構造とした（図 10）。

その結果、縦曲げ剛性：25 %、後周り捩じり剛性；13 % の向上を達成し、目標を満足させるとともに、操縦安定性の向上に貢献した。

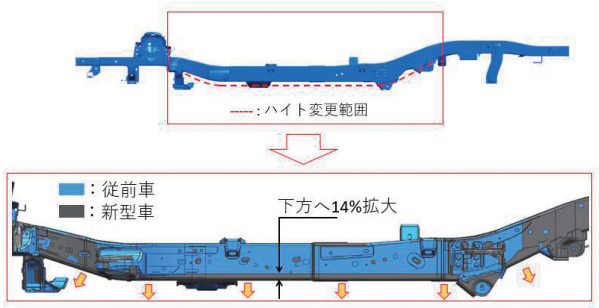


図 9　サイドビューでのサイドメンバ比較

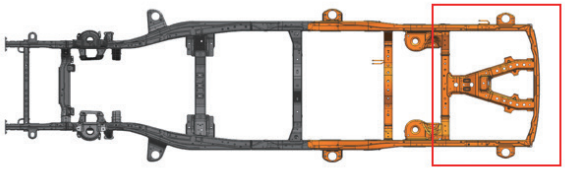


図 10　車両後方の構造見直し範囲（赤枠内）

6　AT コントロールケーブル

AT コントロールケーブルは、従前車ではミッション前側を通るケーブルルートに対し、新型 MU-X ではミッション後側を通るケーブルルートへ変更することで AT コントロールケーブルシステムの軽量化と AT シフト操作性を向上させた（図 11）。

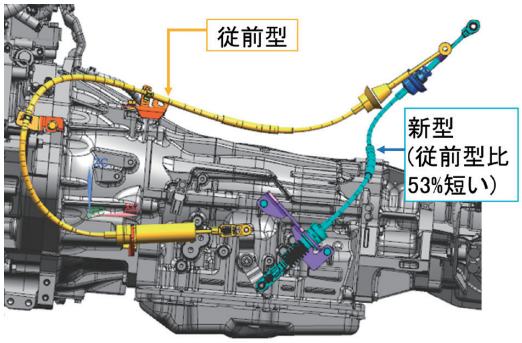


図 11　AT コントロールケーブルレイアウト

6.1　ATコントロールケーブルの荷重効率向上軽量化

新型 MU-X ではミッション後側を通るルートに変更することにより、従前比ケーブル長を 53 % 短くすることで荷重効率を 12 % 向上させた。更にケーブル長を短くすることで、AT コントロールケーブルシステムを 15 % 軽量化した（図 12）。

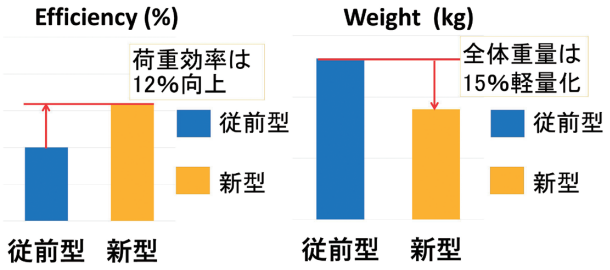


図 12　荷重効率及び重量比較

6.2　AT シフト操作音削減

6.1 節の AT コントロール ケーブルの荷重効率向上により、操作の際シフトレバーの動きが早くなることで操作音が懸念されるが、これに対しては、ガイドパイプへカバーを追加しケーブル内の空気を半密閉とすることでダンピングを上げ、フリクションを上げることなく操作音の低減を図った（図 13）。

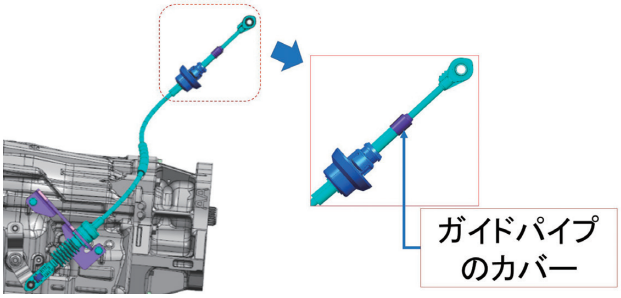


図 13　ガイドパイプカバー

6.3　AT レバーのシフトフィーリング向上

新型 MU-X のケーブルルート荷重効率向上により、操作荷重を従前同等としながら AT レバーのシフトストロークを短くして AT シフトフィーリングを向上させた（図 14）。

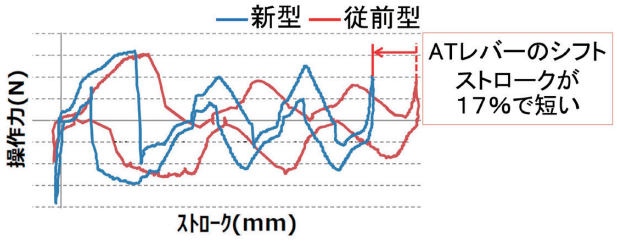


図 14　AT レバーのシフトストローク

7　防振マウントシステム

新型 MU-X では、更なる操縦安定性と快適な乗り心地を目指し NV（騒音振動:Noise & Vibration）性能向上を目的として防振ゴムマウントシステムの構造を変更し、動ばね特性＆マウント剛性の向上を図った。

表 1 ①～③の要求性能に基づき開発した。

表 1　防振ゴムマウント要求特性

要求	項目	【車両向上要求】動ばね特性			反対影響
		前後	左右	上下	
①	NV性能（こもり音）	-	-	↓	
②	チップレット性能＆駆動力	↑	-	-	NV性能：悪化
③	乗り心地（ロール安定感）	-	↑	-	NV性能：悪化

7.1　キャブマウント

①　運動性能＆ NV 性能の向上

従前車で採用のキャブマウントは上下方向を圧縮する構造となっており上下方向特性に対し前後左右方向特性の自由度に限界がある。新型 MU-X では各方向特性の自由度が高いシェアマウント型（図 15）を採用することで上下方向はゴムせん断構造にて保持する構造により低いばね特性を維持しながら前後左右方向ばね特性を高くするという、相反する特性領域を実現し 3 軸方向それぞれのばね特性を最適化した（図 16）。

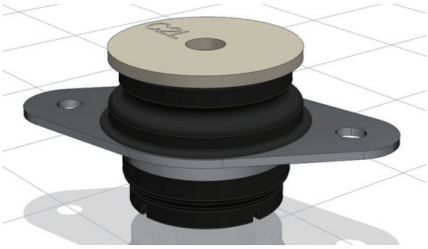


図 15　シェア型マウント

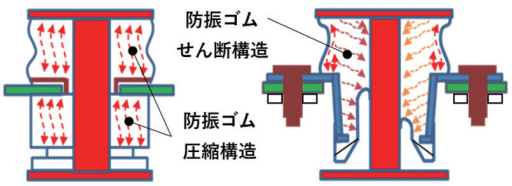


図 16　圧縮型とシェアマウント型との比較

上下方向特性を維持し前後＆左右方向のみばね特性を増加させることで、NV 性能の確保とチップレット抑制による乗り心地向上を図った（図 17）。

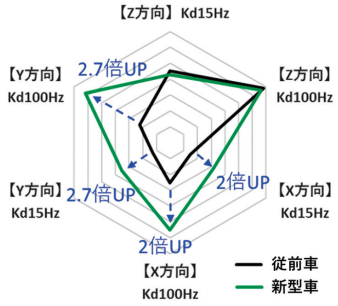


図 17　全体ばね特性

②　安全バリヤの向上

シェア型マウントは運動・NV 性能が向上するだけでなく上下が一体構造となるため構造上強固である（図 18）。

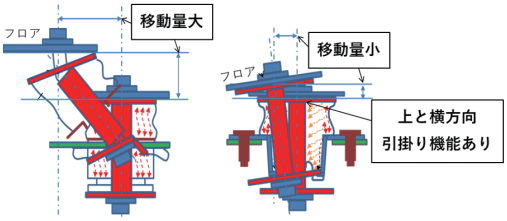


図 18　圧縮型＆シェア型の比較

この強固な一体構造マウントをボルトフィックスすることで、安全バリヤ等の過大入力時にも構造が維持され、従前車で採用していた動き量を規制するキャブストッパを廃止、軽量化へと繋げた。

7.2　トランスミッションマウント

新型 MU-X に採用するトランスミッションマウントは新型防振ゴム 2 個を採用。ロール回転軸に合わせたマウント配置とし（図 19）パワートレインのロール軸回転の安定性を向上させた。これによりパワートレインからの防振性を高め乗心地･質感の向上を図った。

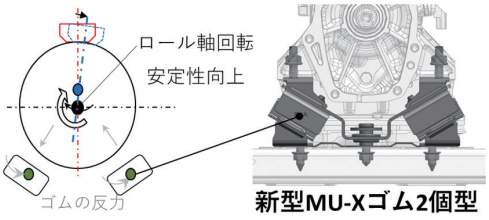


図 19　パワートレイン保持の安定性向上イメージ

更にリアサスペンション・プロペラシャフトからの入力で前後ショックが発生しやすい条件に対し、トランスミッションマウントのゴムばね特性は従前車より 2 倍アップさせたことにより（図 20 ＆図 21）前後方向ショック振動を抑制。これにより乗心地向上と車両加速レスポンスの大幅改善を実現することができた。

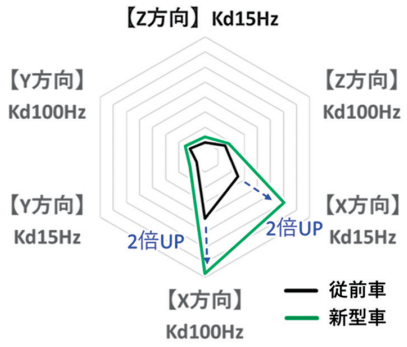


図 20　全体ばね特性クラブ

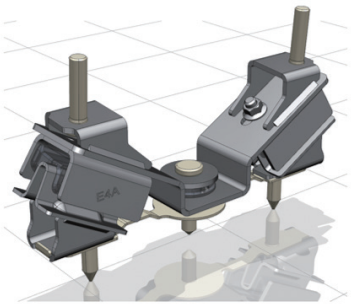


図 21　トランスミッションマウント

8　パドルシフトの採用

オートマチックトランスミッションのマニュアルモード変速を行うパドルシフトを、いすゞとして初採用した（図 22）。エンジンブレーキを効かせたい場合などに、ステアリングから手を離さずギヤ段選択が可能となり、安全性の向上、ドライバの疲労軽減を図った。

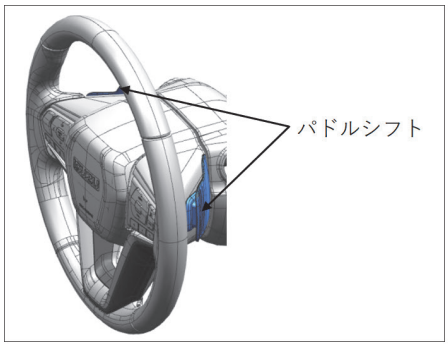


図 22　パドルシフト

8.1　パドル操作時の A/T 制御

従前のシフトレバー操作によるマニュアルモードの機能に加え、パドル操作のみで一時的にマニュアルモードになる制御を採用した。本制御はアクセル開度、車速等の走行条件を満たすと D レンジに自動復帰する設定とし、お客様の使い勝手向上と疲労軽減との両立を図った。なお、復帰条件は MU-X の使われ方を考慮し、実路走行により作り込んだ。

9　おわりに

日タイ協業のもと、PPV としての価値を最大限に追及し自信を持って世に送り出すことができた。お客様に高く評価をいただいていることで更なる自信へと繋がっている。本開発での学びを更に磨き上げ、今後も価値ある商品をお届けし、社会への責任を果たすべくまい（邁）進する所存である。最後に、これまでの開発に当たり多大なるご協力をいただいた社内外の関係各位に、本誌を借りて深く感謝の意を表する次第である。

著　者

渡邉　哲也

妹尾　太輔

Anirut Patthanatheera

Sutthirak Jantakram

Panuwat Jahrupatrakorn

Phapatsarrin Theerawichetkun

Meenawat Butnil

井上　哲雄

原澤　哲也

Rianpanya Fa-amnuypol

Pongsathon Srisuwan

Nithet Boonyoo

長澤　孝司

江原　秀和

新型 MU-X の電子・電装・空調について

Electronics Equipment, Electrical Equipment and HVAC for New MU-X

山川　九司*　Kyuji Yamakawa
安部　英毅**　Hideki Abe
曲澤　正樹**　Masaki Magarisawa
赤澤　啓介*　Keisuke Akazawa
和田　悠哉**　Yuuya Wada
Ekkachai Phenkhetwit *
Nattapong Adiraketanasup *

要　旨

新型 MU-X に搭載された新規電子制御システムと電装品、及び空調システムの開発項目について概要を紹介する。

Abstract

This article introduces outline of the development items new electronic control systems, electrical equipment and HVAC systems which installed in new MU-X.

1　はじめに

新型 MU-X では、先に発売されたピックアップトラック D-MAX の開発成果を最大限活用しながら商品力の向上を狙い開発を行った。

また開発キーワードの “Robust & Exclusive” のもと D-MAX で開発した Robust 性は踏襲し、乗用ユースに近いピックアップ・パッセンジャー・ビークル（以下 “PPV” と略す）としての使いやすさを向上させるための専用装備の開発と電装部品の質感向上を図った。

以下各章にて各装置の開発概要を紹介する。

2　パワーリフトゲート

従前車で採用されているリフトゲートは手動操作で開閉するのみであり、電動での自動開閉及び、リモコンキーでの開閉機能といった便利機能を実現できていなかった。

新型 MU-X では、利便性に特化した電動開閉機能を備えた、いすゞとして初であるパワーリフトゲート機能の追加を果たした。**図 1** に今回開発したパワーリフトゲート ECU（電子制御ユニット：Electronic Control Unit）の外観を示す。

次の **2.1 節**でその特徴を紹介する。

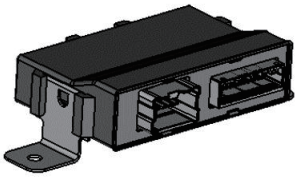


図 1　パワーリフトゲート ECU 本体

2.1 新機能の追加

従前車の手動制御に加え、オプション機能として電動制御を追加した。それに伴い、次の①～⑦の新機能を追加することにより商品性向上を行った。

① 電動での自動開閉機能:
スイッチ操作によるラッチ解除及び、スピンドルモータを使用してリフトゲートを自動開閉させる。

② リモコン開閉機能:
リモコンキー長押しによってリフトゲートを自動開閉させる。

③ 挟み込み防止機能:
アンチピンチセンサにより挟み込みを検知し、リフトゲート作動を停止・反転させる。スピンドルの過負荷を検知し、LIFT GATE 作動を停止・反転させる。

④ 途中停止機能:
開閉中、スイッチ操作により任意の位置で停止。

⑤ メモリ機能:
開方向上限高さの位置を設定可能。

⑥ アシスト機能:
手動でリフトゲートが開けられたと認識した時、自動で開くよう動作する。また、手動で閉められたと認識した時は、自動で閉まるよう動作する。

⑦ 作動周知機能:
開閉時にブザーによる警告音が鳴り、ターンライトが点滅する。

* Isuzu Technical Center of Asia Co.,Ltd　　**電装・制御開発部

3　アンビエントライト

新型 MU-X の室内加飾照明はドア加飾アンビエントライト（**図 2**）とオーバヘッドコンソールアンビエントライトを設定することにより高級感のある室内空間を実現した。

図 2　ドア加飾アンビエントライト

従前車はポジションライト連動のみであったが、新型 MU-X はウェルカムライト及び室内灯との連動機能を加えたアンビエントライト機能を採用した。

次の **3.1 節**と **3.2 節**で、その特徴を紹介する。

3.1　輝度調整

輝度調整は 3 段階にて設定が可能でキャビン空間を華やかに演出する設定とした。

① Dark
② Middle
③ Bright

3.2　カスタマイズ機能

アンビエントライトの点灯はウェルカムライト連動、ポジションライト連動の設定や及び輝度などのユーザーの嗜好によって好みが分かれる機能については、メータのカスタマイズ機能によってユーザーによる変更を可能とした。

4　メータ

4.1　メータ仕様

従前車同様、標準グレード（**図 3**）と上級グレード（**図 4**）の 2 種類のメータを設定した。

図 3　標準グレード

図 4　上級グレード

4.2　外観デザイン

D-MAX とパーツを共用し、コストを抑えつつも、加飾部品の造形を変更することで代り映えを図った。

上級グレード仕様のメータは、標準グレードとの違いをより明確に打ち出す文字盤とした。

立体プリズム目盛の採用により力強さを表現した。また、文字盤色にゴールドを採用し、インテリアに使われているゴールドパーツとの一体感を図った。更にゴールド印刷の上に立体テクスチャ（**図 5**）を重ね、凹凸による影の見え方に至る部分に気を配り緻密で繊細な表情を表現した。文字盤外周にはクロム調リングを装飾し、上級グレードとしてのリッチな印象付けを行った。

ゴールドの光沢に合わせて目盛及び数値の輝度を上げ、視認性の向上を行った。

D-MAX と基板構成を共通に維持しつつ、メータ中央上下にプリズム照明（**図 6**）を配置し、光による質感の高い空間の作り込みを行った。

図 5　テクスチャ

図 6　プリズム照明

4.3　機能

パワーリフトゲート装着車においては機能の詳細設定（**図 7**）を MID（Multi-Information Display）上で設定可能とした。また、リフトゲートが上がっている際には、MID 上に表示（**図 8**）しドライバにお知らせする。

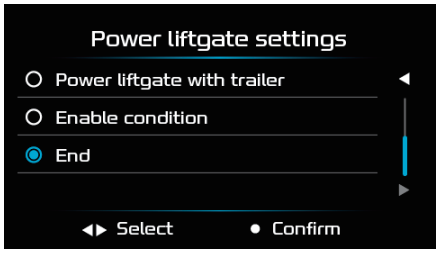


図 7　ユーザー設定画面

図 8　リフトゲート表示

3 列目後席用シートベルトリマインダ機能を設定し、シートベルトの装着及び脱着時の状態を表示する（図 9）。

図 9　後席シートベルトリマインダインジケータ

5　スイッチ

D-MAX 同様、車両と運転者のインタ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、従前車及び商用車で蓄積してきたゾーニングコンセプトに基づき、内装品質の向上、新規装置の追加のニーズを満足させるため一部の操作系スイッチを新規開発した。

5.1 EPB スイッチ

電動パーキングブレーキ及び、オートホールド機能対応のために EPB（電動パーキングブレーキ：Electrical Parking Brake）スイッチを新規で開発した（図 10）。

車両前方にはヒンジ式の電動パーキングブレーキスイッチ、後方にはプッシュ式のオートホールドスイッチを設定した。

パーキングブレーキスイッチは異物挟み込み等による誤作動をなくし、同時に操作性及びデザイン性を維持した設計とした。

また、操作ノブにオーナメントを追加することで高級感を演出した。

図 10　EPB スイッチ

5.2 パドルシフト

いすゞ初のパドルシフトを採用した（図 11、図 12）。

右側にシフトの “UP” ボタン、左側に “Down” ボタンを設定した。また、操作性、視認性を考慮しデザインを決定した。

指先だけで簡単にシフト操作を行うことができ、「シフトを操作することによる運転する楽しみ」を、ユーザーに感じていただけるようになった。

図 11　パドルシフト（右側）

図 12　パドルシフト（左側）

5.3 コンソールスイッチ

内装品質の向上を狙い、コンソールスイッチにメッキ架飾を追加した（図 13）。また 3 連スイッチとすることにより一体感を演出し、デザイン性を向上させた。

D-MAX に対して、4X4 スイッチ（図 14）はコンソールに移動した。また、新規のラフテレインスイッチを併設し、関連するスイッチを集中配置することにより、操作性及びデザイン性を向上させた。

図 13　コンソールスイッチ

図 14　4x4 スイッチ

6　IVI（In-Vehicle Infotainment）

新型 MU-X ではナビ付きの High モデル 9 inc、ディスプレイオーディオの Mid モデル 9 inc / 7 inc、フラッシュサーフェースの CD オーディオの 3 グレードを設定した（**図 15**）。

図 15　MU-X オーディオモデルラインナップ

D-MAX と開発初期より共用設計を行いながら、ディスプレイ外周パネルと操作スイッチ間のシルバー加飾等の必要最低限の追加対応のみで、代り映えや及び質感向上を可能とした（**図 16**）。

また、機能としてはバックカメラ舵角連動ガイドライン追加、リア席の音響性能向上により商品性向上を図った。

図 16　新型 MU-X ディスプレイ配置

6.1　バックカメラ舵角連動ガイドライン機能

バックカメラのガイドラインをステアリングアングルセンサの CAN 信号を使用し、ステアリング回転角に連動しディスプレイ内に描画した。これにより後退時の予想進路がディスプレイ内に表示され、安全かつ容易に駐車することが可能となった（**図 17**）。

図 17　バックカメラ舵角連動ガイドライン表示

6.2　リア席の音響性能向上について

新型 MU-X ではフロント席、リア席での高域クリア感、低域量感、音圧感向上を狙いとして音の作り込みを実施した。

スピーカは従前 MU-X 天井スピーカからリアドアドーム ϕ 2.5 cm スピーカへ変更（**図 18**）合わせてドア下にレイアウトされているリアドア ϕ 16 cm スピーカも改良を実施した。

搭載レイアウトを決定するにあたっては CAE（Computer Aided Engineering）によるシミュレーション評価及びプロト車による実車評価を行い、最適な搭載位置・角度を決定した。また、グリルは複数の案をベンチで音響測定を実施し、最適なグリル形状、開口率を決定した。

ディスプレイオーディオの音響パラメータは、フロント席は D-MAX に合わせる形でチューニングを実施し、リア席は ϕ 2.5 cm スピーカの存在感が出るように高域バランスを補正しクリア感を向上させた。また、ϕ 16 cm スピーカから厚みを出し低域量感、音圧感確保するように音響チューニングを実施した。

これにより、従前 MU-X に対して高域のクリア感が向上し、音の輪郭がはっきりしたことで、個人専用スピーカが搭載されたようなパーソナル感を演出できた。同時に、パワー感・クリア感・拡がり感を向上させた。

図 18　新型 MU-X スピーカ

7　空調装置

7.1　HVAC システム

D-MAX のフロント HVAC（空調装置：Heating Ventilating Air Conditioning）システムを踏襲し、省動力化を図るべくリア HVAC システム開発を行った。

仕様バリエーションは、ピックアップ同等でタイ仕向けに従前設定のあった廉価クーラ及び、オートクーラを廃止した。また、新たに他仕向けと同様に上級グレードにオートエアコンを設定し、温度調整代の拡大を可能にした。

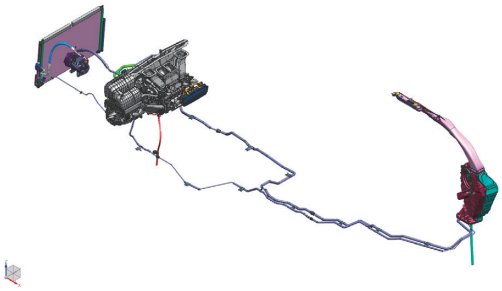


図 19　空調システム全体

図 20　オートコントロール

7.2　エアコンコンプレッサ

エアコンコンデンサはサブクール式を踏襲した。その上で冷却性能を向上させるため面積を従前比約 10 %拡大及び、バンパ内にエアガイドを設定することで、システム圧力を約 5 %低減させることができた。これによりコンプレッサの小型化が可能となった。

コンプレッサは従前のベーンロータリー式 144 cc から 110 cc とし、コンデンサの冷却性能向上効果と合わせて従前車と同等の冷房性能を確保しながら消費動力を約 33 %低減した。

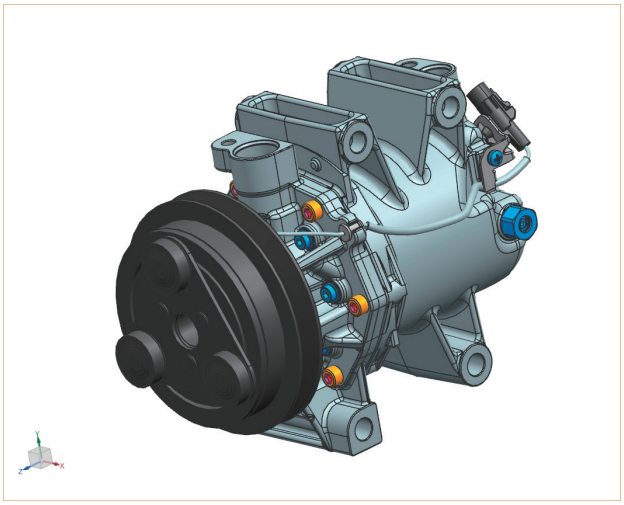


図 21　コンプレッサ

8　おわりに

今回、新型 MU-X の電子・電装・空調装置の概要について紹介した。今後も電子・電装装置の技術進歩は一層進み、将来の自動車の進化も見据えると益々重要な装置になっていくものと考えられる。

市場・技術動向をしっかりキャッチアップし、日本とタイ開発拠点の技術者が協力しながらお客様にご満足いただける車づくりを行っていきたい。

最後に新型 MU-X 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全ての皆様に、紙面をお借りして感謝の意を申し上げる。

著　　者

山川　九司

安部　英毅

曲澤　正樹

赤澤　啓介

和田　悠哉

Ekkachai Phenkhetwit

Nattapong Adiraketanasup

新型 MU-X の車両性能試験について（その 1）

Vehicle Performance Test of New MU-X (Part.1)

後藤　昌彦*
Masahiko Gotou
夏見　宏貴*
Kouki Natsumi
小川　真也*
Shinya Ogawa
柳　龍治*
Ryuuji Yanagi
加茂　元之*
Motoyuki Kamo
村上　俊介*
Shunsuke Murakami
宇多　純人*
Sumito Uda
松本　哲士*
Tetsushi Matsumoto

要　旨

新型 MU-X は、タイ市場で好評を得ている 2019 年にリリースしたピックアップトラック D-MAX をベースにして、その耐久信頼性、経済性、実用性、安全性を継承しながら、多人数乗車のための居住性、快適性、高級感を大幅に向上させることにより、より一層お客様に満足していただける商品力を確保することができた。

本稿では、動力・燃費性能、振動騒音性能、操縦安定性･乗り心地性能について、評価詳細を報告する。

Abstract

New ISUZU MU-X has developed with target performance as more roominess, comfort, luxurious for multi-passenger based on ’19 model D-MAX pickup truck which is popular in Thai market.

It succeeds to reliability, economic, practicality and safety of ’19 model D-MAX. AS the result we achieved performance with which customer can be much more satisfied.

We explain the evaluation details of power / fuel consumption, noise and vibration, handling and stability / ride comfort performance.

1　まえがき

新型 MU-X では、D-MAX の基本性能に SUV (Sport Utility Vehicle) としての高級感･満足感･快適性を確保することをコンセプトに、商品開発を進めてきた。

特に、NCAP 新プロトコルに対応し、5 ☆を獲得すべく先進安全装備を採用するとともに、インテリア質感・室内騒音を重点向上させ、7 年ぶりのフルモデルチェンジとして商品力の刷新を図った。

本稿では、動力・燃費性能、振動騒音性能、操縦安定性･乗り心地性能について、評価詳細を報告する。

2　動力･燃費性能

新型 MU-X は、アセアン地域及びオセアニア地域など、世界各国あらゆる環境で走行することを想定し、環境シャシダイナモにおける走行試験及び、開発拠点があるタイをベースにした実路の走行試験により、車両の作り込みを行ってきた。

D-MAX に投入した 4JJ3 エンジンを MU-X に搭載し、従前車の 4JJ1 エンジンから出力・トルクを大幅に向上させ、ディーゼルエンジンの強みである低回転で高トルクを発生できるトルク特性により、動力性能は大幅に向上させることができた（**図 1**）。

一方、RZ4E エンジンは、新型ボディとの組み合わせにより、ドライバーのアクセル操作に応じたエンジンの応答性を新たに作り込み、小排気量でありながら低速から高速走行、山岳路における走行性能を確保することができた。

新型 MU-X の燃費性能は、フルモデルチェンジでデザインと空力性能を両立させ、空気抵抗を従前車に対して改善。低転がりタイヤの採用などにより、エンジンと車体のトータル改良により、従前車に対して燃費性能は +3～5 %向上させることができた（**図 2**）。

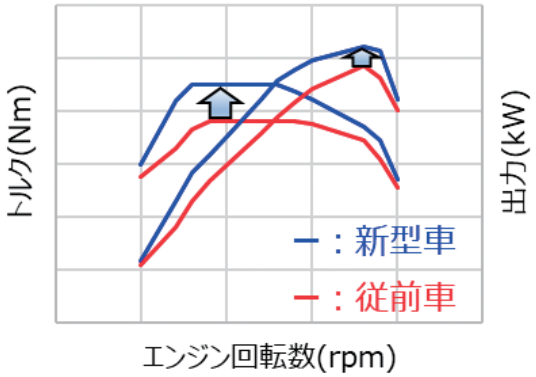


図 1　エンジン出力特性

*車両審査実験第一部

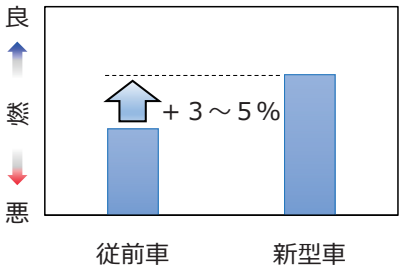


図 2　新型車燃費　従前比較

3　空力開発

新型 MU-X の空力開発に当たっては、CFD（数値流体力学：Computational Fluid Dynamics）解析とモデルを用いた作りこみを経て、実機で最終確認を行うことで冷却性能と空力性能、スタイルを高いレベルで両立させることに成功。新型 MU-X は、従前車に対し Cd（Coefficient of Drag：空気抵抗係数）で 3 % の向上を図ることができた。

1/4 スケールのクレイモデルを作成し、基本となるボディーラインを決定（**図 3**）。次に、空力性能とスタイルの両立を図るべく、実物大のクレイモデルを作成し（**図 4**）、フロント開口部及びボディーラインの検討、各空力デバイスのチューニング、床下の風流れ改善などをデザイナー、設計者を交えてスピーディーかつ効率的に行った。ここで外観の基本形状及びエアロパーツの詳細を検討し、並行して CFD での風流れ解析を段階を踏みながら実施し、リアスポイラの最適化、フロントバンパ下のスカート及びトランスミッション下のカバー等の床下の空力改善アイテムの追加を決定した（**図 5**）。

最終形状を反映した実車を使用して、冷却と空力性能を最適化したフロントグリル及び空力パーツの最終形状を決定した（**図 6**、**図 7**）。

図 3　1/4 クレイモデル

図 4　実物大クレイモデル

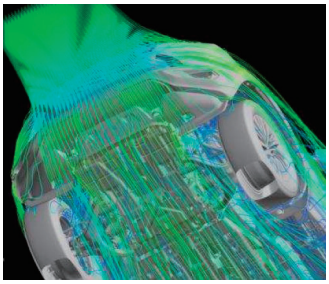


図 5　バンパー下　空力解析

図 6　実車風洞試験

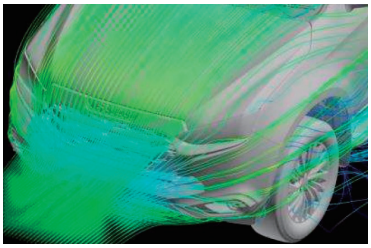


図 7　フロントグリル周辺　空力解析

4　振動騒音性能

新型 MU-X の開発では、従前車で培った SUV としての使い勝手の良さと室内空間の広さを踏襲しつつ、より快適性・高級感を高め、運転すること。そして乗ることの歓びをお客様に提供するために、振動騒音性能も開発の目玉の一つとして位置付けた。

年々高まっている CO_2 削減と排出ガス、ドライバビリティといったトレードオフ性能との高いレベルでの両立を図りつつも、よりチャレンジングな開発目標としてクラストップレベルの高速走行騒音を掲げた。また、室内騒音を下げていくと、今まで目立たなかった騒音が顕在化してしまうことがあるため、騒音全体のバランスを取ることにも留意して開発を進めた。目標を達成するために、開発初期段階からベースとなるキャブについては、振動伝達経路の補強を CAE（Computer Aided Engineering）のシミュレーションで作り込み、CAD（Computer Aided Design）上では空気伝播経路のつぶし込みを実施して開発を進めた。車体への振動伝達経路であるキャブマウント取り付け点の動剛性の確保、音の侵入経路の遮断としての車体パネルとドアパネルの複雑な組み合わせに対応したシールの施工、ピラー内に発泡式の遮音材を採用してピラーからの音を遮断、アウトレレットバルブ回りについても、吸音材の施工を行った。また、フロアパネルからの透過音とキャブマウント経由で入ってきた振動低減のため、フロアデドナーを必要最小限の範囲に最適化して施工した。これらベースの基本的な振動騒音の伝達経路遮断に加えて、吸遮音タイプのダッシュインシュレータとフロアインシュレータを採用し、透過損失の向上を図った。これらのインシュレータは開口

部を極限まで減らし、レイアウトと干渉等の兼ね合いからどうしても必要な開口部については、可能な限りインシュレータ施工後でも上から追加でインシュレータを施した。

それらの結果、新型 MU-X では、これまでにない次世代の快適な静粛性を誇る車両を供出することができた。

ここに幾つかの改善事例を紹介する。

4.1 高速走行騒音性能の開発

従前車から A ピラーに対するドア位置を見直して、A ピラーとフロントドアの間に風が入り込まないように、A ピラーより内側にフロントドアを配置して、本部位で発生する風音を物理的に発生しないようにあらかじめ設計した。形状を最適化したミラーを採用してミラーの風切り音を低減するとともに、ミラー回りに近いフロントドアには専用の吸音材を追加して、ドア内外で発生する騒音を低減した。フレームからキャブマウントを介して入力される振動を遮断するため、キャブマウント取付け点剛性を見直した。これらのキャブによる基本的な振動騒音伝達経路の遮断とともに、専用に開発したフロアカーペットとダッシュインシュレータを採用した。これらの効果により、車内騒音において競合車に対する優位性の確保と従前車両に対する大幅な向上を達成できた。

図 8 に競合車、従前車との高速走行時車内騒音、**図 9** に加速時の車内騒音、**図 10** に加速時の室内こもり音の結果を示す。

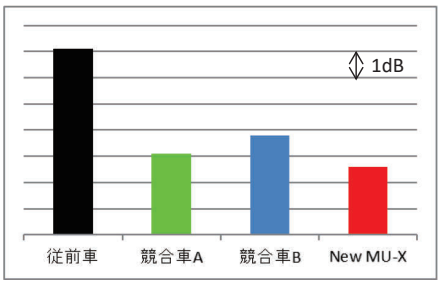


図 8　高速走行時車内騒音（フロント席）

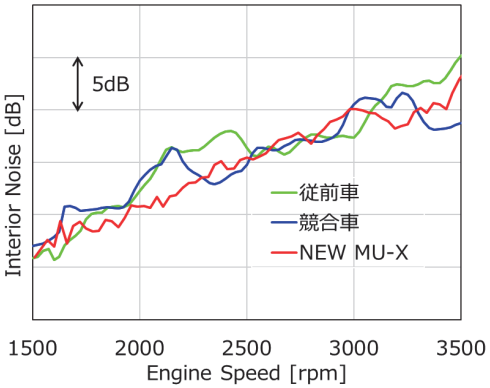


図 9　加速時車内騒音（フロント席）

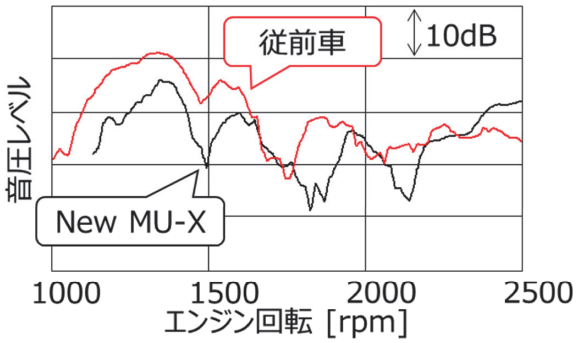


図 10　加速時の室内こもり音（フロント席）

4.2 3 列席の静粛性向上

新型 MU-X では、多人数での乗車の用途にも対応して 3 列席を設けている。SUV では普段 3 列席は倒して荷台として使用し、乗員が乗る際だけ席をセットして使用する等、フロント席と 2 列席に比べると使用頻度が少ないため、静粛性があまり考慮されていないことが多い。新型 MU-X ではたとえ使用頻度が少なくても、乗車されたお客様に 3 列席でもフロント席、2 列席と同様に快適に過ごしていただけよう、3 列席の静粛性にもこだわって開発を進めた。

3 列席の横のパネル面の後方の下側にアウトレットバルブが配置されているが、ここからの音の侵入に対してバルブの室内側のすぐ近傍に吸音材を配置し、更にそこから抜けてくる音に対して、3 列席耳元までの騒音伝達経路でパネル側に吸音材を効果的に配置して室内トリム内で十分に吸音させることで、騒音を大幅に低減することができ、3 列席においてもクラストップレベルの静粛性を達成できた。

図 11 に競合車、従前車との 3 列席の高速走行時の車内騒音計測結果を、**図 12** に吸音材の配置を示す。

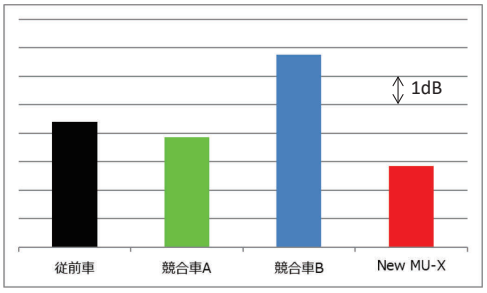


図 11　3 列席の高速走行時の車内音

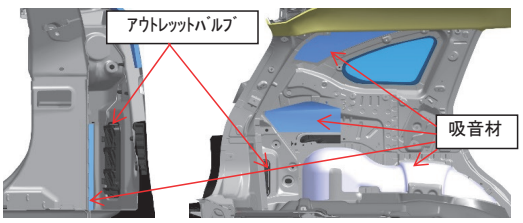


図 12　吸音材配置

5　操縦安定性、乗り心地性能

MU-Xの属するフレーム付きSUVの近年のトレンドにおいては、乗用車に近い乗り味が重要視されている。新型MU-Xでは、好評を得ている従前車の基本思想（操縦安定性：リニアで高い安定感、乗り心地：しなやかな乗り心地）を踏襲しながら、トレンドを考慮してキャビン、フレーム、サスペンション、ステアリングの各部を新規開発した。開発に当たっては、次の点を主要な改良テーマとした。

①　操縦安定性：
　　ロール感の向上、キビキビ感の向上
②　乗り心地性能：
　・変位の少ない、フラットな乗り心地
　・振動の少ない、剛性感の高い乗り心地

5.1節と**5.2節**において、これらの開発概要を説明する。

5.1　操縦安定性

フレーム付きSUVは、モノコックフレームの乗用車に比べると車両重量が重く、車両全体の剛性も低く、重心高も高い。この影響で特にロール感とキビキビ感が劣りやすく、ドライバーが乗用車と乗り味の違いを感じる一因になっている。しかし近年は、このロール感とキビキビ感の改善が進んでいる。それぞれと相関の高い特性値のトレンドからも、その傾向が伺える。（**図13**、**図14**）

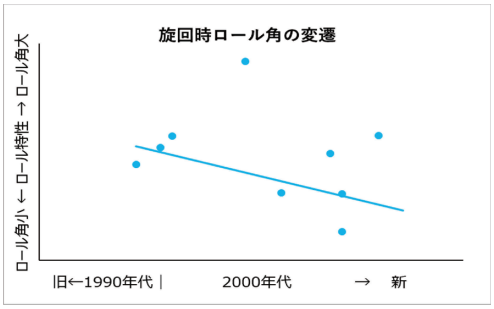


図13　旋回時ロール角に見られるトレンド（特異車は除く）

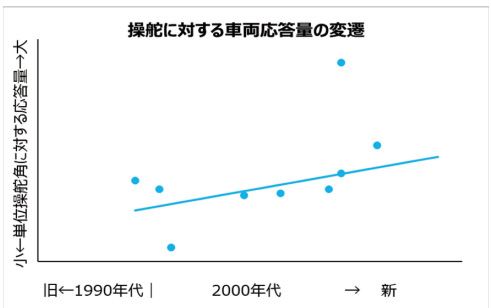


図14　車両応答量に見られるトレンド（特異車は除く）

そこで、ロール感とキビキビ感の向上を主要な改良テーマとして、操縦安定性の開発に取り組んだ。これらのテーマに対応した主な変更点を、**表1**にまとめる。

表1　主要改良テーマに対応した変更点一覧

	主要変更点
ロール感向上	フロントサスペンション ・ジオメトリ見直し（ロール角低減、ロールモード改善） ・ロール剛性向上
	リアサスペンション ・ジオメトリ見直し ・ロール剛性向上
キビキビ感向上	フロントサスペンション、ステアリング ・アッパリンク位置見直し ・ステアリングギヤレシオ変更
	リアサスペンション ・横剛性向上

ロール感の向上は、先行して開発したD－MAXにも共通するテーマで、共用するフロントサスペンションの効果[1)]を最大限に活用した。新型MU－Xのために新規開発したリアサスペンションでは、ジオメトリの見直しによってロールセンタ高さを最適化、スタビライザの形状とレイアウトを新規開発して効率を改善し、ロール剛性を向上させた。この結果、新型MU－Xのロール角はクラストップレベルまで改善した（**図15**）。

キビキビ感の向上に関しても、アッパリンク位置の見直しによる横剛性の向上、従前比クイックになったステアリングギヤレシオという、D－MAXと共用するフロントコンポーネントの強みを活用した。リアサスペンションはリンクの支持剛性を上げることで、横剛性の向上を図った。また、特性値の目標設定に当たっては、適切な目標レンジを設定した。キビキビ感と相関の高い車両応答量だが、大き過ぎても運転しにくくなる傾向があるため、目標レンジは背反も考慮した。以上の結果、新型MU－Xの車両応答量は適切なレベルへと改善（**図16**）し、キビキビ感が向上している。

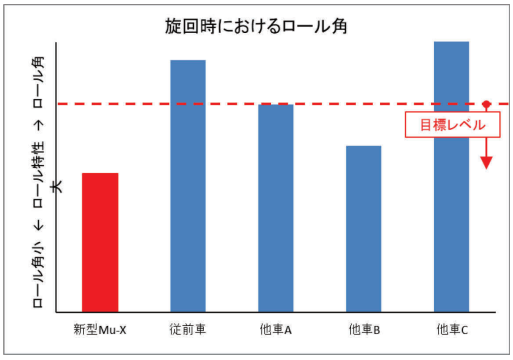


図15　旋回時におけるロール角

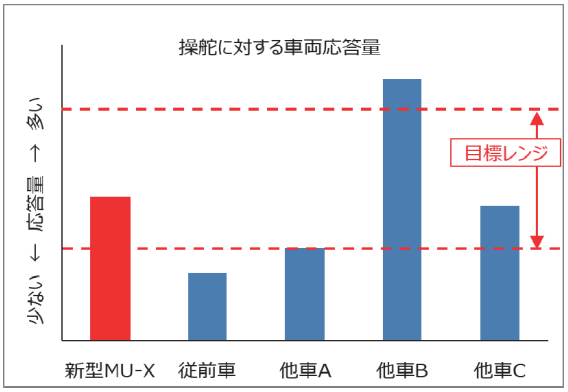


図 16　操舵に対する車両応答量

注 [1] フロントサスペンションの効果の詳細は、いすゞ技報 131 号「新型 ISUZU D-MAX の車両性能試験について」による。

5.2 乗り心地

フレーム付き SUV と乗用車の乗り心地における乗り味の違いを振り返った時、乗員が感じる剛性感の差も大きな要因だと考えている。従前車では、特に路面入力に起因するブルブルした振動が発生しやすく、剛性感の低さを感じさせる一因になっていた。本項では、乗り心地開発の中でもこの振動の改善に焦点を絞って解説する。

振動の改善に当たっては、まず現象の特性値化を行った。結果、突起入力を乗り越した際のシート上の加速度特性が、官能評価結果との相関が高いことが分かった。この相関性に基づき、目標値を特性値化した。データを更に分析すると、振動が発生する際はフレームとキャブマウントに起因するキャビン自体の振動以外にも、シート取付けフロア面とシートそのものの振動も影響していることが分かった。(**図 17**) ここまでの実車評価の成果を踏まえて、対策の検討に当たってはシミュレーションによる現象の解析を行い、寄与度を分析しながら対策アイテムと手法を決定した。その結果、新型 MU-X ではフレームとキャブマウント剛性の向上に加えて、フロア面とシートの剛性も向上させている。

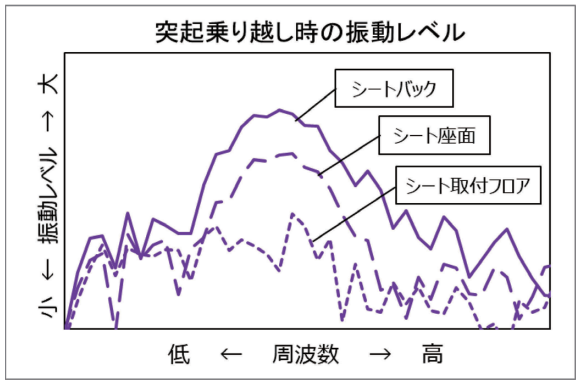


図 17　各部の振動レベル

評価結果を**図 18** に示す。今回設定した特性値目標において、新型 MU－X の振動レベルは目標を満足し、従前比大幅に改善していることが分かる。

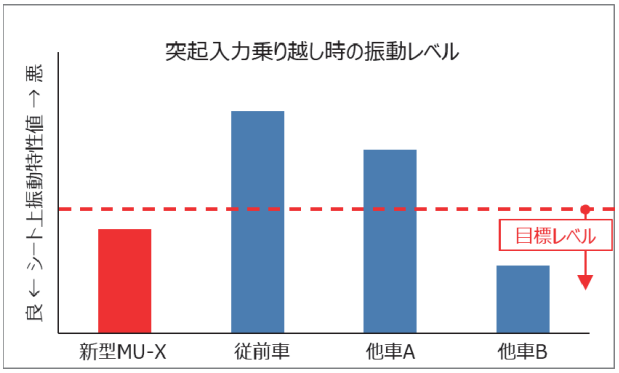


図 18　代表特性値の評価結果

6　あとがき

今回、新型 MU-X の開発における動力・燃費性能、振動騒音性能、操縦安定性・乗り心地性能の評価について紹介してきたが、これらの試験を通して、新型 MU-X が世界中のお客様に満足していただける商品に仕上がったと確信している。

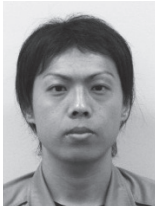
今後も、お客様のご要望に応えるべく、更なる商品改良に尽力する所存である。

著　　者

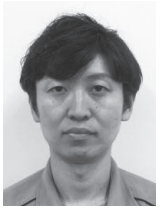
後藤　昌彦

夏見　宏貴

小川　真也


柳　龍治

加茂　元之


村上　俊介

宇多　純人

松本　哲士

新型 MU-X の車両性能試験について（その 2）

Vehicle Performance Test of New MU-X(Part.2)

後藤　昌彦* Masahiko Gotou　佃　洋喜** Hiroki Tsukuda　松本　哲士* Tetsushi Matsumoto　小出　高大* Takahiro Koide　田島　一輝* Kazuki Tashima

要　旨

新型 MU-X は、世界各国 NCAP の 5 ☆を獲得すべく、様々な先進安全装備（ADAS 機能）を採用するとともに、衝突安全性能を向上させた。

本稿では、代表的な先進安全装備と衝突安全性能の評価詳細を報告する。

Abstract

New ISUZU MU-X has adopted various advanced safety equipment (ADAS function) and improved collision safety performance in order to obtain NCAP 5☆ from all over the world.

We explain the evaluation details of ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems) equipment and crash safety performance.

1　まえがき

新型 MU-X の先進安全装備（ADAS 機能）は、D-MAX と共通で開発した。また、衝突安全性能については、MU-X のユニーク部位であるフロントフェイス、B ピラーより後方のボディ・フレーム・シート構造に重点を置き開発を行った。

本稿では、代表的な先進安全装備と衝突安全性能の評価詳細を報告する。

2　先進安全性能 -ADAS 開発試験について -

新型MU-Xは複数のADAS(先進運転支援システム: Advanced Driver-Assistance Systems) を搭載しており、これらの基本機能はピックアップ型トラックである D-MAX と共通で開発を行った。

本稿では ADAS の中から一部の機能を抜粋し（**表 1**）、開発試験時のポイントについて紹介する。

ADAS 用のセンサとしては、フロントガラスの上部にステレオカメラ、ボディ左右後端にレーダを搭載している（**図 1**）。

図 1　ステレオカメラ・レーダ搭載位置

表 1　ADAS 機能抜粋

システム名称	略称	概要
Intelligent Speed Limiter	ISL	ステレオカメラで路上の速度標識を検知し、ドライバへスピードリミッタの提案を行い、ドライバが承認するとスピードを標識速度内に抑止する
Emergency Lane Keeping	ELK	車線変更時、レーダにより行先のレーンに他車両を検知した場合、ハンドルを制御し車線変更を抑制する
Adaptive Cruise Control	ACC	先行車との車間距離を維持し、渋滞などでは車両停止まで制御し運転疲労を軽減する
Autonomous Emergency Braking	AEB	前方障害物を検知し、衝突回避または被害軽減を目的に車両のブレーキを作動させる
Pedal Misapplication Mitigation	–	停止時、前方に障害物がある状態でアクセルが踏み込まれた場合、警報と表示によってドライバへの注意を促すと共に、エンジン出力を抑えて急発進を抑制する
Lane Departure Warning	LDW	白線を認識し、車両が車線を逸脱する危険がある場合、ハンドル振動によってドライバへ警告する
Lane Keep Assist System	LKAS	白線を認識し、車両が車線の中央を維持するようにステアリング操作を支援し、高速道路等での運転負荷軽減を図る

2.1　ISL（Intelligent Speed Limiter）

当機能はステレオカメラによって路上の速度標識を認識したとき、ISL 開始の提案を表示し、ドライバーがスイッチ押下で承認すると、以降アクセルを踏んでも標識の速度内に抑制される機能である。当機能は販売地域各国のうち、速度規制の厳しい国においてニーズが高い。ISL の使用イメージを**図 2** に示す。

*車両審査実験第一部　　**㈱いすゞ北海道試験場

図 2　ISL 使用イメージ

速度標識は劣化や汚れ、光の当たり方などにより検知できない場合がある。比較用他社車両とともに販売地域各国の実路を走行し、通過した速度標識を正しく検知できる割合を確認することで、市場性を満足することを確認した（**図 3**）。

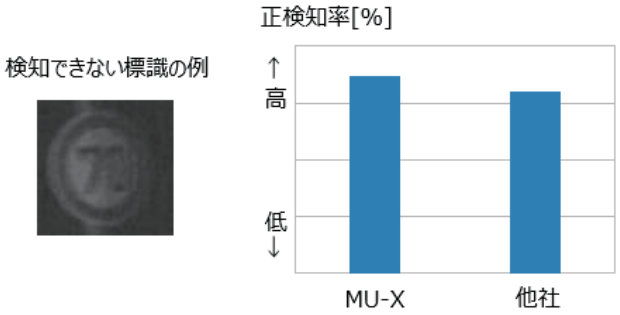


図 3　検知できない標識の例と速度標識の正検知率

高速道路では、**図 4** のように自車線の速度標識と、高速出口の速度標識が混在する。

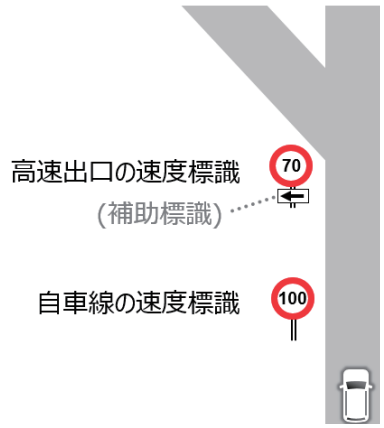


図 4　高速道路における速度標識の例

高速道路を降りる意思がないにもかかわらず高速出口の速度標識が提案されると、誤って承認した場合に高速出口の速度（例：70 km/h）に抑制され利便性が悪い。このためドライバーのウインカ操作情報と、補助標識の情報を用いて、高速出口へ向かわない場合には自車線の速度（例：100 km/h）のみを提案し、高速出口へ向かう場合には高速出口の速度（例：70 km/h）を提案できるよう調整した。

2.2　ELK（Emergency Lane Keeping）

ELK はレーダによる BSM（Blind Spot Monitor）機能と連動しており、ドライバーが車線変更を行った時に、レーダが自車後側方（ブラインドスポット）に車両やバイクなどを検知した場合、ウインカ操作の有無に関わらずハンドルを制御し、車線変更を抑制する機能である（**図 5**）。

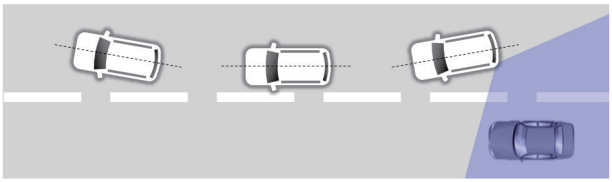


図 5　ELK 作動概要

MU-X は Euro NCAP（欧州新車アセスメント：Euro New Car Assessment Program）と同等の性能を求められる ANCAP（豪州新車アセスメント：Australasian New Car Assessment Program）に適合することを目標に開発を行った。ELK は Euro NCAP 及び ANCAP にて自車速 72 km/h、白線に対する逸脱速度 0.3～0.7 m/s のとき車線変更を抑止することが規定されており、開発試験では、当要件に確実に適合するよう調整を行った。

自車速 72 km/h にて、白線に対する逸脱速度を可変し、繰り返し ELK 試験を実施した時の、車両端から白線までの距離の最大値をプロットしたグラフを**図 6** に示す。

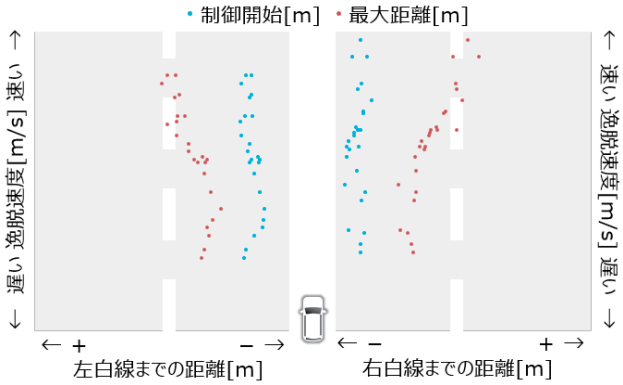


図 6　ELK 作動時の車両端から白線までの距離

2.3 ACC（Adaptive Cruise Control）

当機能は先行車との車間距離を維持し、車両停止まで制御を実施する。ステレオカメラからエンジン及びブレーキに対し加減速を指示することで制御を行うが、停止間際の低速領域では、エンジンのクリープトルクとブレーキの減速力を釣り合わせることが難しい。開発当初、低速追従時加速と減速を繰り返す挙動が発生していたが、ステレオカメラからのブレーキへの減速指示の出し方と、ブレーキ側の減速指示に対する追従性を調整することで、円滑な車速制御となるよう工夫し、渋滞等における ACC 追従中のフィーリング向上に努めた。

ACC 追従走行時の車間距離は、ドライバーの好みに応じて数段階の車間設定から選択することができる。いすゞ自動車で商品化済みである国内向けトラックの ACC 車間距離は、最も短い車間設定においても安全と考えられる車間に猶予を加えた距離となるよう設定していることに対し、MU-X の販売地域の一部では短い車間距離が好まれる傾向があったため、MU-X の ACC 中の車間距離は国内向けトラックと比較して短い距離で追従走行できるよう設定している。

ACC 追従中に先行車が停車した場合、ACC 制御によりブレーキが作動し自車も停車するが、ピックアップ型トラックである D-MAX の場合、一定時間停車したのち警報音発生と同時に ACC を解除し、ブレーキ操作をドライバーへ委ねる仕様となっている。これに対し新型 MU-X では、ACC による停車を数分間保持したのち、電動パーキングブレーキへ切り替えることで、継続的に停車が可能となっている（**図 7**）。

図 7　ACC 停車時のメータ表示遷移

2.4 AEB（Autonomous Emergency Braking）

前方障害物を検知し、衝突回避または被害軽減を目的に車両のブレーキを作動させる機能であり、国内乗用車では一般的に搭載されつつある機能であるが、新型 MU-X としては初の採用となった。

Euro NCAP 及び ANCAP において、AEB は歩行者及び自転車も対象に衝突回避または被害軽減を行うことが求められるため、テストコースにおいて歩行者・自転車のダミーを用いて、狙い通り AEB が作動することを確認している。

また、販売地域の市街地にて走行確認し、歩行者や自転車に対し不要な AEB 及び AEB 警報が発生せず、かつ走行中に歩行者が目前を横切るような、警報が必要と考えられるシーンにおいてのみ AEB 警報が作動することを確認した（**図 8**）。

図 8　歩行者に対する AEB 警報作動の例

MU-X の商品化対象国は多様であり、特に主要販売地域のひとつであるタイでは、スコールや渋滞など特有の環境が懸念される。スコール時のスプラッシュや、先行車の排気などに対し誤作動が発生しないことに注意し、開発を行った（**図 9**、**図 10**）。

図 9　スコール時スプラッシュ

図 10　先行車排気
（旧型トラックから側方に排出）

2.5 Pedal Misapplication Mitigation

当機能は、停車中に前方障害物がある状態でドライバーが誤ってアクセルを踏み込んだ場合、警報と表示によって注意を促すとともに、エンジントルクを抑えて急発進を抑制する。警報時はメータの警告表示に加え、ヘッドアップディスプレイによりドライバー視界の一部を赤色とすることで、強く注意を促す仕様とした。

図 11　Pedal Misapplication Mitigation 概要

開発当初、信号待ちから先行車に続いて発進する場合に当機能が作動し、不要な警報や発進遅れが発生した。このため先行車との距離及びアクセルの踏み込み量から、危険が生じる場合に限り当機能が作動するよう調整を行った。

2.6 LDW（Lane Departure Warning）

LDW はステレオカメラにより白線を認識し、車両が車線を逸脱する危険がある場合、ハンドル振動によってドライバーへ警告する機能である。いすゞ自動車ではトラックで商品化済みの機能であるが、トラックでは逸脱の危険がある場合、ドライバーへ警報音とメータ表示で警告を行っていることに対し、新型 MU-X ではハンドル振動とメータ表示による警告を行っている（一部車型では警報音とメータ表示）。ハンドル振動については、高車速で走行中でも確実にドライバーが感じ取ることができ、かつ作動時に煩わしさを感じないよう振幅や周波数、及び振動の継続時間を調整した。

2.7 LKAS（Lane Keep Assist System）

LKAS はステレオカメラによって白線を認識し、車両の向きや位置に応じて、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。同様にステアリングを制御する機能として ELK や LDP 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、LKAS はドライバーが機能を 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、運転支援に軸足を置いた機能である。この特徴から、LKAS の商品性においては制御感が重要であると考えた上で、次の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、ドライバーの運転意志尊重（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, ADR90）への適合

①に関しては、LKAS は運転支援機能であり、LKAS 作動中は運転するモチベーションを持ったドライバーがハンドルを保舵している。この前提のもとドライバー、車両、LKAS の関係（**図 12**）を考えた時、車両が車線中央付近で安定することが、ドライバーが LKAS から受ける最大の恩恵である。それに加えて、LKAS による操舵制御をドライバー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ーに安心感を与えるもので、これも重要な恩恵である。一方で、「車線の片側に寄せて走らせたい」等、環境に応じたドライバーの意志も存在する。LKAS の制御下であっても、このようなドライバーの運転意志を反映できることは重要である。LKAS の恩恵とドライバーの運転意志尊重は背反になりやすいが、新型 MU-X 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 13**）。

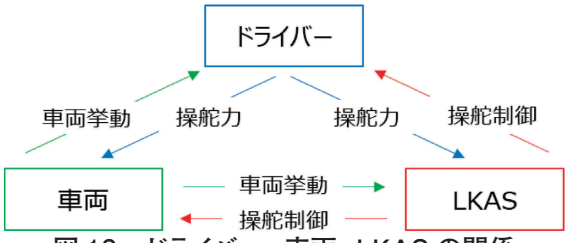


図 12　ドライバー、車両、LKAS の関係

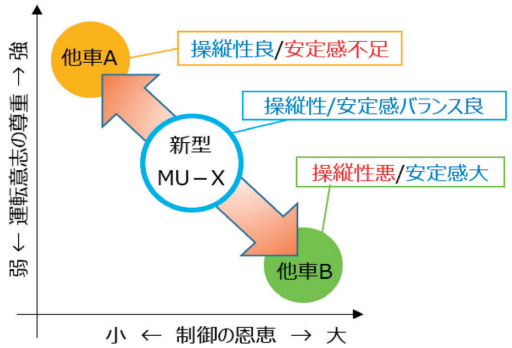


図 13　性能の考え方と新型 MU-X の位置付け

②に関しては、ドライバーが制御に違和感を覚えないように、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。ここで重要な制御パラメータのチューニングにあたっては、各パラメータの効果と役割を十分に検証した上で、パラメータチューニングを実施した。最終的には、①②両方の実環境への適合性を確認する狙いで、公道での性能確認を実施した。

③に関しては、開発が完了した仕様で法規要件を満足することを確認した。

3　衝突安全性能

3.1 衝突安全性能開発

新型 MU-X は、世界各国 NCAP に対して、最高評価である 5 ☆を獲得した D-MAX をベースに開発を推進した。特に MU-X のユニーク部位であるフロントフェイス、B ピラーより後方のボディ・フレーム・シート構造の開発に重点を置き、構想段階で MBD に取り組み、フロントローディングを実践。それにより、設計段階で高い衝突安全性能のポテンシャルを確保し、実機評価の試験車台数･工数等の削減に成功した。

3.2 新規拘束装置の開発

前席乗員の安全性向上を図るために、従前 D-MAX 及び従前 MU-X では採用していないニーエアバックとファーサイドエアバックを新規に採用した。ニーエアバックは、運転手の膝部とインストルメントパネルの間で展開し、乗員腰部の前方移動を抑える事で胸部・腹部の傷害値が軽減される（**図 14**）。ファーサイドエアバックは、運転手側のシート内側側面より上方に展開し、側面衝突時に前席乗員同士の頭部接触による傷害が軽減される（**図 15**）。

各エアバッグの開発は、スレッド試験を主に仕様をチューニングし、最終的に実車衝突試験において性能確認を行うことで、乗員に対する高い安全性を確保した。

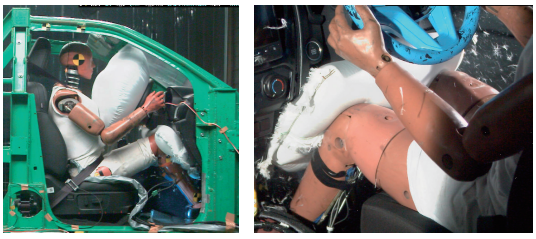


図 14　ニーエアバック

図 15　ファーサイドエアバック

3.3 NCAP 性能

新型 MU-X は、世界各国 NCAP で採用されている様々な衝突試験を実施し、高い衝突安全性能を得ることができた。新型 MU-X ユニークの車両構造に重点を置き、開発を効率化することで、開発期間の大幅な短縮を実現させた。特に、サイズが異なるピックアップトラックと SUV ボディの衝突性能を同じレベルにするための造り込みを行った。

また、NCAP 試験では、各衝突試験における乗員保護性能に加えて、歩行者保護性能も求められており、新型 MU-X ユニークのフロントフェイスに対して、歩行者大腿部・下脚部保護性能に対する開発に注力した。CAE をベースに、バンパビームの構造を検討・改良し、高い歩行者保護性能を確保した（**図 16**）。

その結果、衝突安全／予防安全全ての項目で高い性能を達成し、D-MAX とともに最高評価 5 ☆を獲得することができた。

図 16　歩行者保護試験　大腿部（左）／下脚部（右）

4　あとがき

今回、新型 MU-X の開発における先進安全性能、衝突安全性能について紹介してきたが、これらの試験を通して、新型 MU-X が世界トップレベルの安全性能を持つ商品だと確信している。

今後も、更なる商品改良を継続し、商品開発に尽力していく次第である。

著　　者

後藤　昌彦

佃　洋喜

松本　哲士

小出　高大

田島　一輝

特集「新型 MU-X」

新型 MU-X の車両性能試験について（その 3）

Vehicle Performance Test of New MU-X (Part.3)

後藤　昌彦* Masahiko Gotou
水島　昭博** Akihiro Mizushima
高谷　知之* Tomoyuki Takatani
南野　雄一* Yuuichi Nanno
上野　真吾* Shingo Ueno
上野　邦博*** Kunihiro Ueno
萩村　広也*** Hiroya Hagimura
渡邉　章** Akira Watanabe
林　正裕** Masahiro Hayashi
松本　信之** Nobuyuki Matsumoto

要　旨

新型 MU-X は、D-MAX の高い耐久信頼性、実用性をベースに、SUV としての居住性、快適性を確保すべく、評価･改良を実施してきた。

本稿では、ブレーキ性能、電装品、居住性、強度･耐久信頼性、環境適合性能について、評価詳細を報告する。

Abstract

New Isuzu MU-X has developed with target performance as more roominess, comfort for SUV based on the durability and reliability of '19 model D-MAX pickup truck.

We explain the evaluation details of brake performance, electrical components, roominess, strength / durability, and environmental performance.

1　まえがき

新型 MU-X では、多種多様な使われ方、使用環境に対応した強度・耐久信頼性を確保し、居住空間の拡大、各種快適装備を採用することで、快適性・利便性の向上を図った。

本稿では、ブレーキ性能、電装品、居住性、強度･耐久信頼性、環境適合性能について、評価詳細を報告する。

2　ブレーキ性能

新型 MU-X のブレーキはフロントディスクブレーキの大型化を図り、パーキングブレーキを電動制御化して全車標準装備とした。これにより高い制動安定性を確保した上でパーキングブレーキ機能の自動化が可能となり、利便性が大幅に向上した。また、TCS（Traction control system）に新たな制御を追加して悪路走破性向上を図った。

2.1 電動パーキングブレーキシステム

新型 MU-X のパーキングブレーキは、モータオンキャリパ式電動パーキングディスクブレーキを採用した。新規採用となるキャリパ式電動パーキングシステムは、常用領域からブレーキ高温時の保持性を確保するため、様々な角度からの試験を実施した。また SUV（Sport Utility Vehicle）という車両特性を考慮して、冠水路での水密性試験確認（**図 1**）など、悪路での使用を考慮した試験を実施し、従前車のパーキングブレーキ性能と遜色ない性能を確保した。

図 1　電動パーキング - 冠水路水密性確認試験 -

パーキングブレーキの電動制御化により、オートホールド機能を併せて採用した。オートホールド機能開発に当たり、運転時において車両を停車、発進させる状況を改めて洗い出し、自動制御化による利便性向上を考慮した新たな試験方法を検討した。実際の走行試験に当たり車両停止後のずり落ち感、車両発進時の引っかかり感について違和感がないように制御上の検証を繰り返し、併せてメータ表示上の違和感の有無、ACC（Adaptive Cruise Control）機能、アイドリングストップ機能など各種自動保持制御との協調による不具合確認についても検証を重ね（**図 2**）、車両停止性能の確保と自動解除による利便性向上の両立を実現した。

*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

図 2　電動パーキング -ACC 協調坂路停止確認 -

2.2 TCS（Traction control system）性能

新型 MU-X の TCS は、悪路での走破性向上を狙い、通常制御のほかにラフテレインモードを追加した。ドライバーは路面状況に合わせスイッチ操作にてモード切り替えが可能である。ラフテレインモード開発に当たり、従前車の TCS 制御における市場情報収集、弱点検証を実施の上で走行試験内容を再検証した。実際の試験時においては、既存の悪路評価以外にも新設した路面での評価を追加するなど、悪路に特化した厳しい条件下での試験を繰り返すことにより（**図 3**、**図 4**）、通常の TCS 制御に対して低速側の悪路走破性が格段に向上した制御を実現した。

図 3　TCS ラフテレインモード試験 - 段差路 -

図 4　TCS ラフテレインモード試験 - 泥濘路 -

3　居住性・乗降性能

3.1 居住性

新型 MU-X のコンセプトにある満足感・快適性を目指し従前車より更なる進化をさせ、室内空間を維持させつつも室内パッケージを最適化し、3rd 席を充実させることができた。

従前車からトルソーアングルを約 2 度広げ、レックルームも＋ 37 mm 伸ばしたことで、ヒップアングルとニーアングルに余裕ある姿勢で座ることができ（**図 5**）、更にはリクライニング機構を持たせたことで、大柄な身長にも対応させることができた。

図 5　3rd 席居住性

3.2 乗降性能

着座した状態から乗降のための工夫として、ドアトリム（ひじ掛け）の先端に乗降アシストを取り入れた。（**図 6**）試行錯誤を繰り返した結果、自然に手がいき、力の入る位置と形状にしたことで、動線そのままに動作を邪魔しない降車し易いものとなった。更にサイドステップとリアドアのオープニング開口を広げたことと相まって、全体にスムーズかつ安全・快適な乗り降りができるようになった。

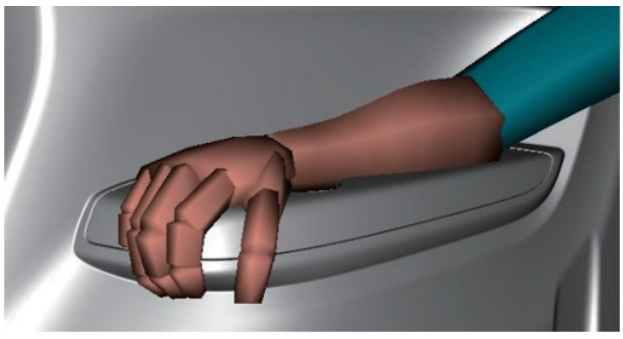


図 6　ドアトリム乗降アシスト

4　電装品の性能

4.1 AHF 連動 ISS の始動･発進性評価

フルモデルチェンジによる EPB（Electric Parking Brake）の設定追加に伴い、ISS（Idling Stop System）と EPB を組み合わせた AHF（Auto Hold Function）連動 ISS 制御が追加された。

従来の ISS では、システム操作にブレーキペダルを踏み続ける必要があるのに対し、AHF 連動 ISS はブレーキペダルを離した状態で制動力を維持できるシステムである。また、AHF の ON/OFF を切り替えることで ISS との連動有無も選択できるので、AHF と ISS のシステム検証をプロト車で実施した。実車評価の中で拘ったのは、オートホールドシステム作動直後のエンジン始動（チェンジオブマインド操作）による発進性のモタツキである。それは、ドライバーへのフィーリング悪化にもつながるため、ISS 作動時はスムーズなエンジン始動ができるよう停車⇔発進の繰り返し試験にて導き出した。また、エンジン停止作動中（揺動時）にスタータを強制的に駆動させると、ピニオンにダメージを与えるため、エンジン停止直後の最適なタイミングで始動できるようチューニングを施している。

4.2 電動パワーテールゲートの作動フィーリング検討

新型 MU-X では、いすゞ初となる電動パワーテールゲートが新規に設定された。これはドライバーによる SW 操作でテールゲートを自動開閉する機能である。その他の機能として、ドライバーの使い勝手を考慮に入れたテールゲートの開閉高さを任意に選択できる機能、安全面を考慮に入れた挟み込みを検知した際の開閉停止機能を備えている。

テールゲート作動時のモータ音は、ドライバーへのフィーリング悪化に直結する。作動音を小さくするにはモータ速度を下げる必要があるが、開閉速度が遅くなるというデメリットに繋がる。そこで、プロト車による評価では、他社のベンチマークを実施することで他社に劣らない最適のテールゲートの作動音、開閉速度を新型 MU-X では検討した。(**図 7**)

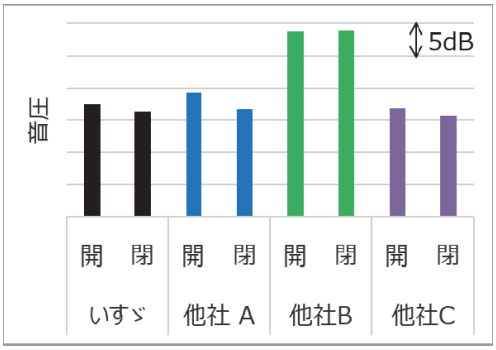


図 7　電動パワーテールゲート開閉作動音比較

5　強度･耐久信頼性

5.1 キャブボディ

新型 MU-X は従前車より耐久信頼性を向上させた D-MAX より引継いだフロント周りのポテンシャルを活かし、更にユニークとなるリア周りについてはコンポーネントごと適切な耐久性能目標を設定して開発評価を行った。

5.1.1　キャブボディ振動試験

先行開発の D-MAX 評価時に見直した振動加振条件にて、新型 MU-X ユニークとなるリアボディの振動試験評価を実施した。振動試験の結果、D-MAX と同等の振動耐久性を有することを確認した（**図 8**）。

図 8　振動試験

5.1.2　リフトゲート開閉耐久試験

新型 MU-X のリフトゲートは、いすゞ初となる樹脂製のリフトゲートを採用した。樹脂製リフトゲート採用に伴い、市場の使われ方及び他社ベンチマークを参考に、評価基準の妥当性を検証したのち、開閉耐久試験を実施した。

開閉耐久試験は、アビューズ入力を想定したマニュアル仕様のリフトゲートで実施した。試験結果より、十分なポテンシャルを有していることを確認できた（**図 9**）。

図 9　開閉耐久試験

5.2 シャシ

新型 MU-X のリアサスペンションは、乗り心地と操縦安定性向上のため、サスペンションジオメトリの見直しとスタビライザーレイアウト見直し（**図 10**、**図 11**）を行っている。

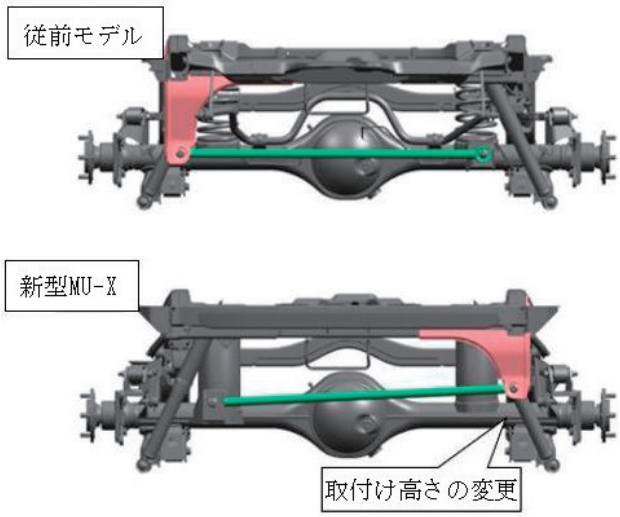


図 10　サスペンションジオメトリ見直し

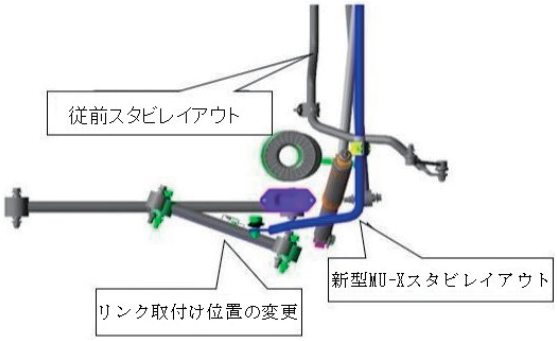


図 11　スタビライザーレイアウトとリンク取付け角度見直し

上記の様に全体に変更されているため、車両の各入力（上下／前後／左右／駆動力）に対し、耐久試験を行った。試験結果より、評価基準の 2 倍以上の高い耐久性を有することを確認した。

図 12　上下耐久試験状況

5.3 実車耐久 - 車両での強度耐久性評価 -

新型 MU-X では、市場サービス情報などお客様から回収した膨大な車両データの調査・分析結果を基に、耐久信頼性評価条件へ落とし込み、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。

新設計のボディとシャシ部品全般の耐久信頼性を確保するため、タイ国市場の使われ方を反映させた悪路系の実車耐久を実施した。本耐久試験は、路面プロフィールの異なる 2 種のベルジアン路を主体とした路面入力、及びツイストデッチ、長波形路といったねじり入力を主体とした大変位入力を中心に、旋回･制動･発進などの操作系入力、砂利路・登坂路等、市場を想定した様々な条件下に対応するストレスを加えた試験を実施し、現行比大幅に耐久信頼性が向上した。

図 13　ベルジアン路（左）、ツイストデッチ（右）

5.4 防錆性能

新型 MU-X では、仕向地に錆に厳しい融雪剤散布地域が追加された。仕向地に適合した防錆仕様とするため、フロント周りは防錆性能を向上させた D-MAX を引き継ぎ、ユニーク構造をもつリア周りを重点に開発評価を行った。

ボディとフレームを例に具体的な活動について次の **5.4.1 項～5.4.3 項**で述べる。

5.4.1　図面段階での評価

仕向地に適合した防錆仕様となるよう、図面段階から作り込みを始めた。新型 MU-X ユニーク部位の中でも特に錆に厳しいリアフロア、リアホイールハウス周りに着目して評価した。基本的な考え方は、D-MAX と同じく、基本構造は全仕向地同じとし、腐食環境の厳しい仕向地には、付加防錆剤の追加で対応した。

5.4.2　代表特性試験段階での評価:電着付きまわり評価

防錆性能上の重要点の一つは、合わせ目／袋部内面に電着塗料を付き回らせることである。図面段階での評価を行い、その検証としてタイ工場の塗装ラインを流れたボディとフレームの電着付きまわり評価を実施した。

5.4.3 実車コロージョン試験段階での評価

図面段階での評価、代表特性試験段階での評価で決定した仕様の最終確認として、実車コロージョン試験を行い、防錆性能が狙いどおりであることを確認した。

図 14　実車コロージョン耐久試験：高速スプラッシュ路走行

6　環境適合性

新型 MU-X の開発に当たり、その他環境適合性について、お客様の使われ方を配慮し評価検証を行った。

排水性の悪いタイ国内では、雨季に道路が冠水してしまうことが多く、渡渉性が重視される。同国にて MU-X は、洪水に強い高級乗用車のイメージがあり、お客様の期待値は高い。

新型 MU-X は、水深 800 mm に対応した D-MAX の吸気システムを採用し、車両下部のユニーク構造部分に着目して評価を行った。実車試験の結果から、冠水路走行に対して十分なポテンシャルを有していることを確認できた。

図 15　実車試験風景：冠水路走行試験

7　あとがき

今回、新型 MU-X の開発における代表的な性能試験について 3 回に渡り紹介してきたが、これ以外にも紹介しきれなかった数多くの試験によって鍛え上げられ、性能、品質は保証されている。

これらの膨大な量の試験を通して、新型 MU-X が世界中のお客様に満足していただける商品に仕上がったと確信している。

今後も、市場での評価、お客様のご意見・ご要望を受けて、MU-X を更に良い商品にするよう磨きをかけ、育て上げていく所存である。

最後に、開発に当たって㈱いすゞ北海道試験場を始めとする開発関係者の多大な尽力があったことに謝意を表する。

著　　者

後藤　昌彦

水島　昭博

高谷　知之

南野　雄一

上野　真吾

上野　邦博

萩村　広也

渡邉　章

林　正裕

松本　信之

新型 MU-X の生産技術について

Manufacturing Engineering of New MU-X

永井　宏明*　Hiroaki Nagai
宮武　寛和**　Hirokazu Miyatake
白井　慶太***　Keita Shirai

要　旨

先行する新型 D-MAX の商品ラインナップに加え、SUV としての差別化・魅力が求められている。その中で、車両の基本構造としての徹底的な軽量化方策により、従来工法の見直しが必要となる。

今回新型 MU-X のモデルチェンジに際し、生産工程の課題を解説し生産技術としての対応を紹介する。

Abstract

In addition to the product lineup of the new D-MAX that precedes it, differentiation and attractiveness as an SUV are required.

Among them, it is required to review the conventional construction method by thorough weight reduction measures as the basic structure of the vehicle.

This time, we will explain production process issue triggered by the new model change and introduce the correspondence as Manufacturing Engineering.

1　まえがき

新型 MU-X では新型 D-MAX をベースに、快適性・スタイルの良さ・新型 D-MAX との差別化をコンセプトに SUV（Sport Utility Vehicle）として幾つかの固有装置を追加している。

今回新型 MU-X ではいすゞで初となる樹脂製テールゲートを採用したが、これまでの車体工程組付けに対し総組立工程組付けとして、ベンチマーキング活動及び実車によるトライアルなど、生産工法の検証を実施。設計構造への生産要件フィードバック、成立性の詳細検証を通じ最適な生産工法を確立した。先行する新型 D-MAX の立上げ準備及び品質玉成と並行し、新型 MU-X の固有装置へ対応すべく工法・工程計画、設備準備を図り立ち上げることとした。

2　総組立（樹脂製テールゲートの総組立工程組付け）

今回初めて樹脂製テールゲートを採用した狙いとしては、次の 2 点である。

① 車両の軽量化
② デザイン面の自由度拡大

従前の MU-X は、スチールパネル製のテールゲートをボディショップでメインボディに建て付ける。そして、そのあとに、ボディとテールゲートを同時に塗装する。

一方で、新型 MU-X は、樹脂製テールゲートであるため、ボディとの同時塗装ができない。そのため、テールゲートを総組立工程で建て付けることになった。

本章では、樹脂製テールゲートを総組立工程で建て付けるに当たり、量産化に向けて行った一連の活動について紹介する。

2.1　総組立工程における生産課題

当初、樹脂製テールゲートを総組立工程で建て付けることに対して、次の 2 点が大きな課題であると考えた。

① 樹脂化に伴う剛性低下による建付け品質への影響
② 建付け工法と水密性能の両立

2.1.1　課題①「樹脂化に伴う剛性低下による建付け品質への影響」

テールゲートをメインボディに建て付ける際には、メインボディとの隙間と段差（以下、「建付け品質」と呼ぶ）が、基準値を満たすように、テールゲートの位置を調整しなければならない。

テールゲートに組み付けられる艤装品の内、テールゲートに反力を与える部品のことを反力部品と呼ぶ。反力部品の影響で、テールゲートの建付け品質は、メインボディに建て付けた直後の状態から変化する。

従前の MU-X のテールゲートは、スチールパネル製であり、十分な剛性がある。従って反力部品による建付け品質の変化量を加味して建付け作業を行えば、完成車の状態で求められる建付け品質を得ることができた。

一方で、新型 MU-X では樹脂化に伴い、従前の MU-X に比べてテールゲートの剛性は低くなると想定した。この剛性低下による影響で、反力部品により、テールゲートが局所的に変形することを懸念した。も

* Isuzu Motors Co., (Thailand) Ltd.　** 車両技術部　*** 車両製造部

し、局所的な変形が起こるのであれば、従前の MU-X のように、反力部品による建付け品質の変化量を加味するだけでは、完成車状態の建付け品質を得られない可能性がある。そこで、課題①樹脂化に伴う剛性低下による建付け品質への影響を明らかにする必要があった。

2.1.2　課題②「建付け工法と水密性能の両立」

建付け品質を満足するように、テールゲートの位置調整をしてからメインボディに建て付ける工法のことを、「建付け工法」と呼ぶ。

従前の MU-X は、テールゲートのヒンジにスタッドボルトが設定されており、車両の室内側からナットで締結することで、メインボディにテールゲートを建て付けている。また、メインボディに対するテールゲートの位置を調整するために、**図 1** に示すようなゲージを使用している。

一方で、新型 MU-X では、従前の MU-X と同じ工法でテールゲートを建て付けることができない。その理由は、バックライトガラスがサプライヤーでテールゲートに接着されるため、車両室内に作業者が手をアプローチできないためである。この背景には、テールゲートパネルの剛性低下によるガラス接着品質への影響を考慮すると、従前の MU-X と同じように、ガラスをインラインで接着することができないという問題があった。そのため、建付け作業性を考慮した、テールゲートの構造を検討する必要があった。

また、水が車両室内へ侵入するのを防止するために、メインボディとテールゲートヒンジの締結部分の水密性能を確保する必要がある。

この要求に対して、従前の MU-X では、ヒンジに設定されたシーラが塗装工程で発泡することで、水密性能を確保している。

一方で、新型 MU-X では、テールゲートを総組立工程で建て付けるため、同じ工法で対応することができず、水密性能をどのように確保するかを検討する必要があった。

このような背景より、前述の課題②建付け工法と水密性能の両立させることが大きな問題であった。

図 1　従前の MU-X のテールゲート建付け工法

2.2　開発プロセスでの取り組み

ここでは、先に述べた 2 つの課題に対して、開発プロセスで行った取り組みについて紹介する。

2.2.1　構想段階～デジタル評価での取り組み

2.2.1.1反力部品による建付け品質への影響調査

課題①に対する見通しを出すために、樹脂製テールゲートを持つ他社の車両をベンチマークし、反力部品によって建付け品質がどのように変化するかを調査した。

調査の結果、懸念していたような、局所的なテールゲートの変形は確認されなかった。また、反力部品による建付け品質の変化量についても、従前の MU-X での変化量と傾向はほぼ同じであった。確認した建付け変化量の結果を**図 2** に示す。この結果より、新型 MU-X でも、総組立工程では反発部品による変化量を加味した建付けをすれば、目標の建付け品質を得ることができると判断した。

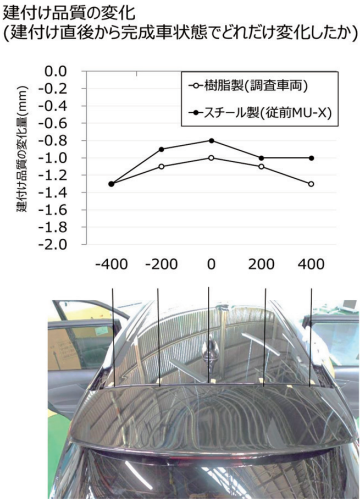


図 2　調査車両と従前の MU-X の建付け品質比較

2.2.1.2建付け工法の検討

課題①の取り組みと同時に、他社の車両の建付け工法の調査を行った。その結果から、他社の車両では**図 3** に示すように、車両前後方向をヒンジの取付け穴で、車両左右方向を搭載設備で調整していると推測した。

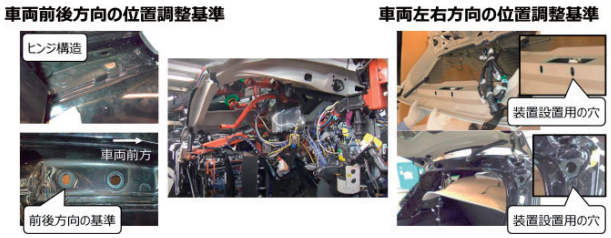


図 3　調査車両の建付け工法

しかし、この建付け工法は比較的規模が大きい搭載設備を使うことを前提としているため、新型 MU-X ではより簡単な建付け工法として、従前の MU-X の工法を踏襲した。この建付け工法は、テールゲートの合わせ部品であるメインボディに位置決めゲージ（スペーサ）を取り付け、そのゲージに合わせてテールゲートの位置を調整する工法である。ゲージを設計するにあたってゲージのセット基準を合わせたい部品の基準と同じにするよう工夫をした。新型 MU-X の建付け工法の概略図を**図 4** に示す。

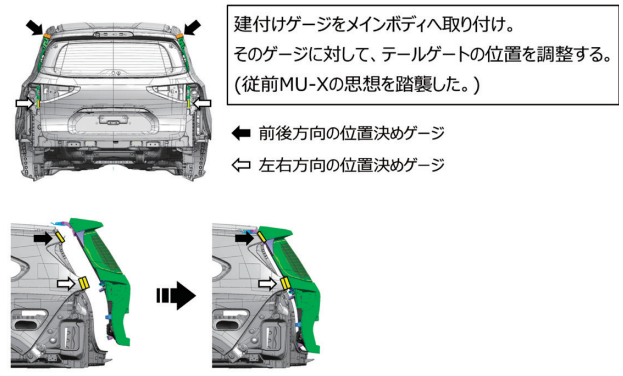


図 4　新型 MU-X の建付け工法

2.2.1.3テールゲートヒンジ構造の検討

次に、課題②の取り組みとして、建付け工法と水密性能を両立できるヒンジ構造を検討した。先に検討した建付け工法を成立させるためには、車両の外側からヒンジを締結できることが必要であり、そのような構造は**図 5** に示すような 2 つの方法があった。新型 MU-X では、テールゲートをメインボディに搭載した後に、手離れができるという点で、ナット締結する構造を基本方針とした。

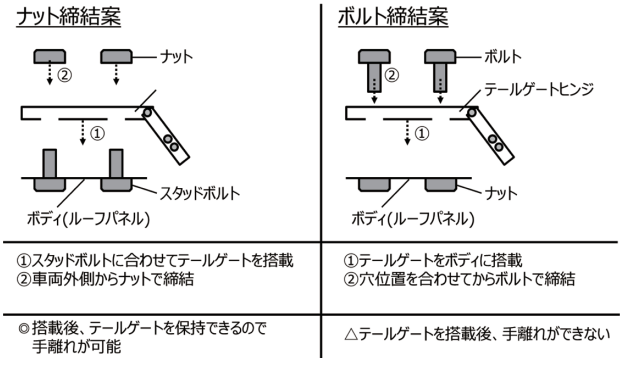


図 5　外側締結できるヒンジ構造の比較

更に検討を進めると、スタッドボルト締付の際に、複数枚で構成されているルーフパネルを密着させるのに必要な軸力と、ヒンジ締結に必要な軸力を考慮すると、ナットのサイズが大きくなってしまい、ボディのデザイン変更をしないと対応ができないことが分かった。

そこで、**図 6** に示すような、ボディ（ルーフパネル）への締結部と、ヒンジを締結する部分を別けることとした。水密性能については、従前の MU-X を参考にして、発泡シーラによる水密構造を採用した。

このヒンジ構造は、**図 7** に示すようにまずボディショップでスタッドボルトをボディに締結する。その後、塗装工程でスタッドボルトに設定されたシーラが発泡し、水密性能を確保する。更に、塗装工程にてスタッドボルトのフランジ周辺に、ペイントシーラを追加することで、より高い水密性能を確保することができる。総組立工程では、スタッドボルトに対してヒンジを車両外側からナットで締結し、テールゲートを建て付ける。このヒンジ構造によって、課題②建付け工法と水密性能の両立についても、達成することができた。

以上の検討により、新型 MU-X のヒンジ構造及び建付け工法を決定した。調査車両との建付け工法の比較検討の結果を**図 8** に示す。他社調査と従前の MU-X の構造を参考に、作業性を考慮した建付け工法を採用することができた。

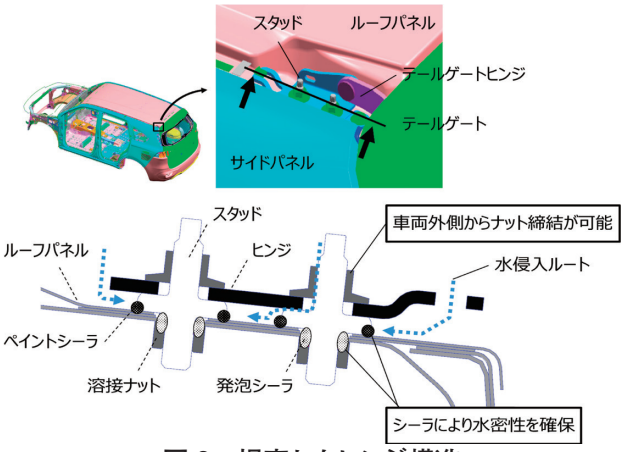


図 6　提案したヒンジ構造

図 7　提案構造に対する各工程での対応

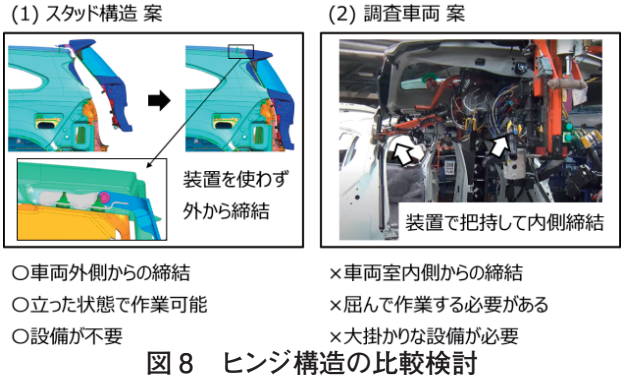


図 8　ヒンジ構造の比較検討

2.2.2　試作評価段階 - 建付け工法の実車検証 -

試作品の樹脂製テールゲートを使用し、計画した工法でテールゲートを建て付けたところ、反力を受けた後の完成車状態での建付け品質が、デジタル評価で解析した値に対し差異が大きくなる部分があった。確認結果を**図 9** に示す。

この結果を受けて、完成車状態の建付け品質目標値を満足できるように、総組立工程での建付け調整の基準値を見直した。

また、課題①で懸念したような局所的なテールゲートの変形は起こらなかった。

併せて、試作車両では水密性能の確認も行った。結果は、車両室内への水漏れは確認されず、検討した構造で水密性能を確保できた。

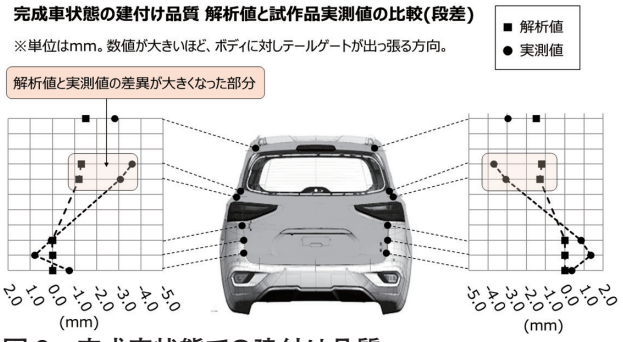


図 9　完成車状態での建付け品質
解析値と試作品実測値の比較（ボディとの段差）

2.3　量産準備プロセス - 建付け品質玉成活動 -

ここでは、量産準備の中で行ったテールゲートの品質玉成活動の一部について紹介する。

量産準備の段階では、生産試作車両に対して検討した建付け工法でテールゲートを建て付け、建付け品質を安定させるための検証と対策を繰り返した。

生産試作の初期段階では、確認台数を増やしていく中で、各車両の建付け品質に大きなばらつきが見られた。特に位置決めゲージに合わせる部分の建付け品質は本来安定するはずだが、大きくばらつく結果になった。位置決めゲージ部分の建付け品質を**図 10** に示す。

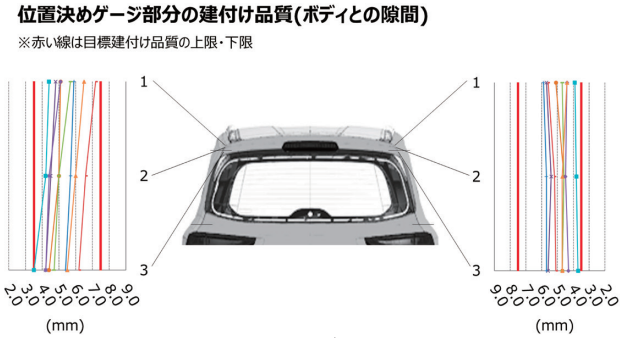


図 10　位置決めゲージ部分の建付け品質
（ボディとの隙間）

この原因調査をするために、サプライヤーの検査冶具上で反力部品取付け前後の建付け品質の差異を確認した。その結果、建付け品質の変化量は、試作評価段階で確認した見込み変化量と差異が無かったため、反力部品が建付け品質に与える影響は想定と同じであると判断した。そこで、この問題は、建付け作業に起因するものであると考えた。

更なる原因調査のため、組立て作業の現認と作業者へのヒアリングを行った。これにより、テールゲートをボディに搭載した後に自重によって車両後方に落ちてきてしまい、テールゲートをゲージに安定して押し当てることができていないことが分かった。対策として**図 11** に示すような、落下防止のサポートを検討した。

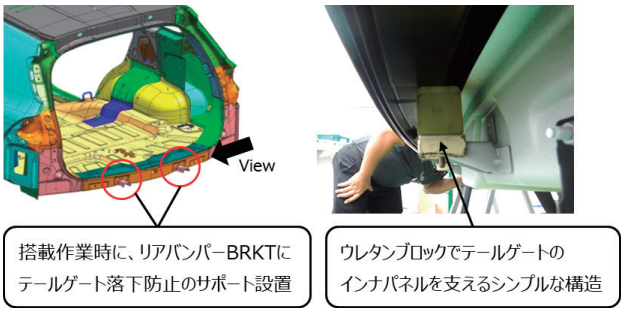


図 11　追加した落下防止サポートの概要

その結果、**図 12** に示すように建付け品質のばらつきは少なくなり、安定した数値を得られるようになった。

図 12　対策後（サポート追加）の建付け品質
（ボディとの隙間）

このように生産試作の中で品質確認と工法見直しを進め、生産試作の後半では建付け品質目標値を全ての管理部位で満足することができた。

以上の建付け品質玉成活動を**図 13** にまとめる。

		1. 構想段階	2. デジタル評価段階
課題①	取り組み	ベンチマーキングによる 樹脂製テールゲートの剛性調査	3Dデータ解析を用いて 反力部品による 建付け品質への影響を想定
	結果	反力部品によるテールゲートの 局所的な変形はない (課題①の解決)	総組での建付け調整の 目標値を決定
課題②	取り組み	ベンチマーキングによる 樹脂製テールゲートの 建付け工法の調査	3Dデータによる 建付け工法の作業性評価 (本稿からは省略)
	結果	建付け工法と水密構造を両立できる ヒンジ構造を提案 (課題②の解決)	作業性に関する懸念点を明確にし、 対策を車両構造へフィードバック (本稿からは省略)

		3. 試作評価段階	4. 量産試作段階
課題①	取り組み	試作品テールゲートによる 建付け品質の確認	量産品テールゲートによる 建付け品質の確認
	結果	反力部品による建付け品質の 変化量が想定より大きかったため、 総組の建付け調整目標値を見直し	反力変位量は試作品と同等であり、 総組での建付け目標値は変更不要
課題②	取り組み	実際に作業し、 検討した建付け工法を評価 (本稿からは省略)	量産品テールゲート組み立てによる 建付け工法のN増し評価
	結果	作業性に対して大きな問題なし (本稿からは省略)	建付け調整作業の安定化のため、 落下防止のサポートを追加

図 13　建付け品質玉成活動のまとめ

これは玉成活動で行った活動の一例である。その他の部位の建付け品質についても同様に確認を実施し、目標の建付け品質に対して問題がある部分については、ゲージの剛性改善及び建付け調整作業の標準化などを実施して、品質玉成をすすめた。

特に、作業に起因する建付け品質のばらつきについては、生産試作で確認車両を増やしていく中で初めて見つかる問題が多々あった。試作評価の段階でこれらの問題に気付き、対策をすることが次のプロジェクトに向けた課題である。

2.4　おわりに

樹脂製テールゲートの開発及び工法の検討に当たり、様々な問題に取り組んできた。初めての樹脂製テールゲートであったため、課題の洗い出しから始まり、検証と対策検討を繰り返し、何とか品質・性能を満足する工法をまとめることができた。活動の中での反省は、次のプロジェクトに向けて活用できるように今一度しっかりと振り返りを実施したい。また、今後も更なる良品化に向けた活動を続けると同時に、ノウハウの蓄積に努めたい。

3　あとがき

新型 MU-X の固有装置に対する生産技術の取り組みについて紹介した。

今回いすゞ初という開発条件のもと、開発当初から工法検討に取り組み、生産試作及び量産準備段階で発生した様々な課題に対し、関係各部が一致団結し創意工夫と迅速な対応を図ってきたことで、日程影響なく市場へ供給することができた。

最後に新型 MU-X の開発・生産準備・立上げ、そしてこの執筆にご協力いただいた多くの関係者の皆様に深くお礼申し上げます。

著　者

永井　宏明

宮武　寛和

白井　慶太

論文・報告

21 型ギガの RUPD について

The RUPD of ISUZU '21-Model GIGA

芹澤　尚宜*
Takayoshi Serizawa

要　旨

最新モデルである'21 型ギガでは改正された UN-R58-03 法規へ適合させるため、RUPD の新規開発を行った。

UN-R58-02 から 03 への法規改正では RUPD に要求される強度と取付け基準が強化され、従前のデバイスに対して高強度化の対応が必要となったが、同時に、商品性低下の要因となる重量増加の抑制が課題となる。

本稿では、高強度化の対応と重量増加の抑制を目的とした RUPD の開発の概要について紹介する。

Abstract

In order to meet UN-R 58-03 requirements, the new RUPD was developed for '21 model GIGA. In the legal revision, the strength required for RUPD were strengthened, and the strengthening of the device became indispensable, but at the same time, the control of weight increase is a problem. This paper presents an overview of the development of RUPD, which aims to achieve both higher strength and reduced weight gain.

1　はじめに

欧州における安全法規の強化を背景に RUPD（突入防止装置：Rear Under-run Protective Device）（**図 1**）の国際法規が UN-R58-02 から 03 へ改正された（**図 2**）。国内における RUPD に関する法規（保安基準第 18 条の 2「突入防止装置」）においても国際法規 UN-R58-03 の技術基準がハーモナイズされており、法規改正が施行された。新法規の技術基準においては、GVW（車両総重量：Gross Vehicle Weight）3.5 t を超える車両に対してデバイスの強度基準が強化され、従前に対しておよそ 2 倍のテスト荷重に耐えることが求められている。また、荷重負荷テストにおいて実車両のシャシフレームを使用することが義務付けられた他、RUPD の変形量、及び地上高に関する規定が変更されるなど、従前に対して強度面の要求が高いものとなっている。

一方で近年、先進安全装置の装着、及び排出ガス規制等の対応法規が厳しくなる中、シャシに搭載する装置が増加し続けている。そのため、シャシに対する軽量化が強く要求されており、重量増加の抑制は必須である。

RUPDの高強度化と、重量増加の抑制という相反する要求に答えるため、今回の RUPD では、次の 3 項目について開発を行った。

① スチール製バンパの超高張力鋼板採用
② アルミ製バンパの断面構造の検討
③ ステーの高張力鋼板採用と構造の最適化

図 1　RUPD の部品構成

項目	UN-R58-02	UN-R58-03 (GVW8t超)
BUMPER 断面高さ(A)	100mm 以上	120mm以上
BUMPER 地上高(B)	550mm 以下	◇エアサス:450mm以下 ◇リーフサス:500mm以下 ◇550mm以下への緩和基準 ・D寸法が下記を超える エアサス:2550mm、リーフサス:2260mm ・ｺﾝｸﾘｰﾄﾐｷｻｰ/ﾀﾞﾝﾌﾟ　・2軸以上駆動
BUMPER 後端位置(C)	400mm以下 (荷重負荷時)	300mm以下(荷重負荷前) 400mm以下(荷重負荷時)
テスト負荷荷重	P1,P3:GVW×25% or 50kN P2:GVW×50% or 100kN	P1,P3:GVW×50% or 100kN P2:GVW×85% or 180kN
試験治具	治具 or 実車相当	当該車両型式を代表するフレーム

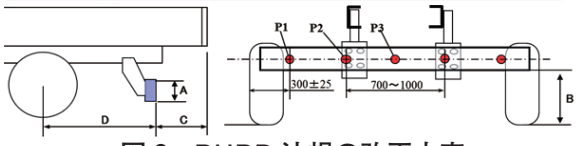


図 2　RUPD 法規の改正内容

2　超高張力鋼板（1180 MPa）の採用

2.1　背景

昨今、乗用車においては高い安全性の確保と軽量化のニーズから、高張力鋼板の採用が一般的となっている。商用車においても近年超高張力鋼板の採用が

*シャシ設計第二部

進んでおり、いすゞにおいては大型車の FUPD（前部潜り込み防止装置：Front Under-run Protective Device）、小型車の RUPD において引張強さ 980 MPa の鋼板が実用化されている（**図 3**）。

乗用車においては比較的板厚が薄い t < 2.3 mm の冷延鋼板が主流となっているのに対して、大型車の FUPD・RUPD では大荷重に耐えるため比較的板厚の厚い t ≧ 2.3 mm の熱延鋼板が一般的である。これまで引張強さ 1000 MPa を超える熱延鋼板はコストと加工性の課題があることから一般的ではなかったが、近年では熱処理技術の開発により、加工性を兼ね備えた 1000 MPa 超の熱延鋼板が台頭している。

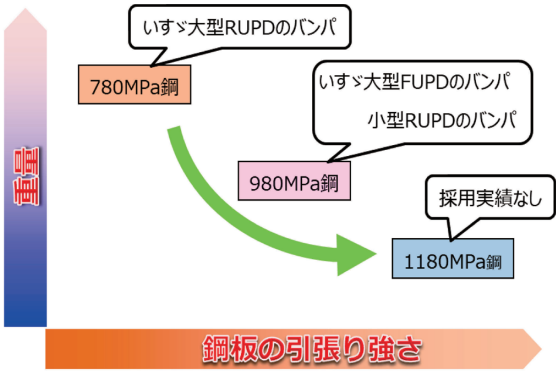


図 3　いすゞ FUPD/RUPD 高張力鋼板の展開

2.2 採用のメリット

21 型ギガでは主に特装車（ダンプ）に展開しているスチール製バンパにおいて、いすゞのトラックでは初となる引張強さ 1180 MPa の熱延鋼板を採用した。従前車のスチール製バンパに採用していた 780 MPa の熱延鋼板と比較して約 1.5 倍の引張強さを有しており、より小さな板厚・少ない投入材料で大荷重を受けることが可能となる。

採用の検討に当たり、強化された UN-R58-03 の強度基準を満足させるために必要な部材の重量を試算した結果、780 MPa 熱延鋼板を使用した場合は従前バンパ比で約 1.8 倍の重量増加となるのに対して、1180 MPa 熱延鋼板を使用した場合は従前比で約 1.2 倍と、重量増加の大幅な抑制が見込めることがわかった（**図 4**）。

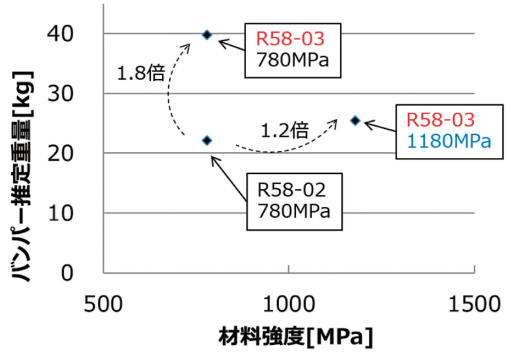


図 4　バンパの推定重量

2.3 バンパ仕様の検討

重量増加を抑制するためには部材の板厚を小さくすること、レインフォースの大きさと配置を適正化することが必要となるが、その際に問題となるのが、剛性低下に伴うデバイスの変形量増加と、バンパ面剛性低下による座屈破壊のリスクである。

剛性を決定する構成部材の板厚、レインフォース仕様の検討には、シャシフレームとステー、及びバンパを RUPD システムとして CAE 解析を繰り返し、必要に応じて板厚とレインフォース形状・配置の見直しを行い、システム全体としての強度・剛性を両立する仕様とした（**図 5**）。

またバンパ外板と内部レインフォースにおいて板厚を共通とする他、レインフォース形状を簡素化することで、コスト増加抑制にも考慮した（**図 6**、**図 7**）。

検討の結果、従前比でおよそ 2 倍の強度基準を達成するとともに、従前車のバンパに対して、重量増加を約 1.1 倍に抑制することができた。

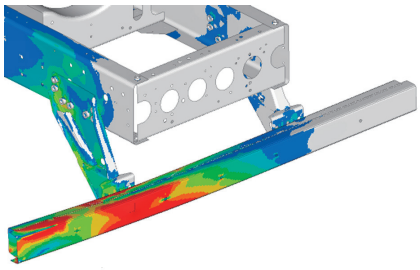


図 5　スチールバンパ CAE 解析

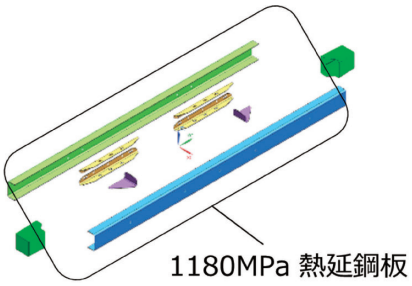


図 6　バンパ部品構成

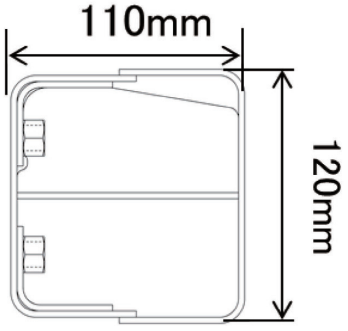


図 7　バンパ断面

2.4 課題

1180 MPa 熱延鋼板は重量増加の抑制に効果的であるものの、採用にあたって次の 3 つの課題を解決する必要がある。

① 成形性
② 耐遅れ破壊性能
③ 溶接品質の確保

1 つめの課題である成形性に関して、一般的に鋼板は引張強さが高くなるにつれ、伸び特性が悪化する傾向がある。伸び特性は鋼板を曲げる際の加工性に大きく影響を及ぼし、伸び特性が低い材料を曲げると、割れ及びクラックなどの問題が生じるケースがある。

1180 MPa 熱延鋼板の採用に当たり、候補となる素材を調査した結果、従前の 780 MPa 熱延鋼板と比較しておよそ 4 割～6 割伸びが悪化することが分かった。

候補材に対して幾つかの異なる曲げ半径で曲げトライを行った結果、伸び特性によっては小さい曲げ半径とした場合に割れが発生することを確認した（**図 8**）。また、板内曲げ部の形状が型に追従せず尖った角形状となる現象も確認した（**図 9**）。

トライの結果から採用する鋼板と曲げ半径を決定し、成形時に割れが発生することなくきれいな曲げ形状が形成される仕様とした。

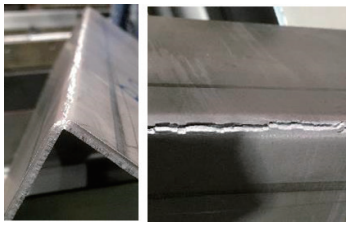


図 8　曲げ成形時の割れ

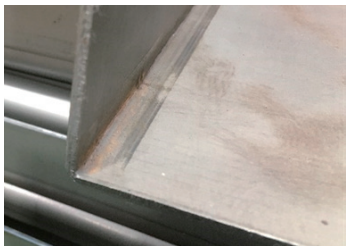


図 9　曲げ成形時の内 R 尖り

2 つめとして、使用過程における腐食などにより鋼中に侵入した微量の拡散性水素が粒界に集まり、き裂を生じさせる「遅れ破壊」が課題となる。

遅れ破壊は、熱処理を行った高張力鋼が、時間が経過した後に突然破壊にいたる現象である。特に引張強さ 1000 MPa 以上を有する材料で顕著に現れる。

1180 MPa 熱延鋼板の採用においては遅れ破壊の原因である拡散性水素に対して十分なストレングスを有しているかの検証が必須である。今回の開発では 1180 MPa 熱延鋼板を採用するに当たり、二段階に分けて遅れ破壊の検証を行った。

第一段階として 1180 MPa 熱延鋼板のテストピースを用いた水素チャージ試験を実施し、遅れ破壊の発生条件となる限界拡散性水素濃度を把握した。

第二段階としては、遅れ破壊のリスクが高いとされる残留応力発生部位で、遅れ破壊が発生しないことを確認するため、バンパ試作品を用いた酸浸漬試験を行った（**図 10**）。実際の使用時を想定し、バンパの締結固定部においては相手部品とのボルト締結を再現し試験を行った。試験後に目視確認とカラーチェックにてクラック等が発生しないことを確認した。特に残留応力が生じる部位（曲げ部、溶接部、切断端面、ピアス穴、締結部）については構成部品ごとに入念に確認を行った（**図 11**）。

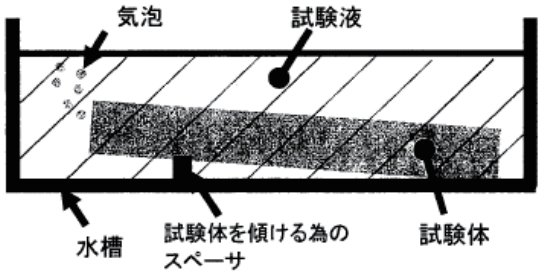


図 10　酸浸漬試験の模式図

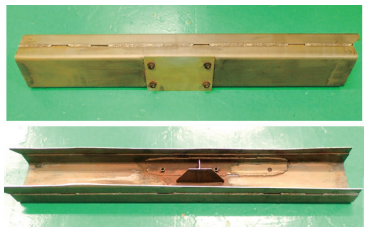


図 11　酸浸漬試験後の部品

3 つめに、溶接品質について確認を行った。スチール製バンパはコの字断面に成形した 2 つの部材を向き合わせてモナカ状に重ねて閉断面を形成しており、2 部材の重ね合わせ部を溶接で接合する構造としている。このため溶接部の品質は強度を確保する上で重要な部位となる。

試作品を作成して 1180 MPa 熱延鋼板を溶接した場合の溶接状態を確認し、溶接割れなどの溶接不良の発生がないことを検証した。また、前述の耐遅れ破壊性能確認のため、酸浸漬試験を実施したのち溶接部を切断して断面観察を行い、き裂の発生がないことを確認した（**図 12**）。

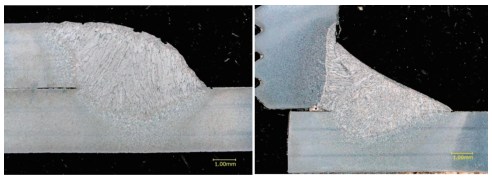


図 12　溶接部

高張力鋼板では、溶接時の入熱による熱影響部において、母材の焼き戻しによる軟化（以下、「HAZ（熱影響部：Heat-Affected Zone）軟化」と呼ぶ）が起きることが一般的に知られている。

今回採用した 1180 MPa 熱延鋼板では、試作品にて溶接部の硬さ測定を実施したところ、溶接部から 10 mm 程度の範囲で HAZ 軟化が認められた。

プロト品で実施したバンパ強度試験では、CAE 解析で求められた耐荷重よりも小さい耐荷重となる傾向があり、実機測定と CAE 解析の結果に乖離が生じた。従前の CAE 解析では母材、溶接部ともに一律の材料特性値を用いて計算しているが、HAZ 軟化による影響を無視できないことがわかった。今回は解析、実験の担当者と CAE 解析の目標値について協議し、実機にて目標値を達成できるようバンパの仕様を決定した。

3　アルミ製バンパにおける断面構造の検討

3.1 背景

高張力鋼板と同様に、アルミにおいても軽量化ニーズに伴い高強度アルミ材の採用が進んでいる。商用車においても高強度アルミ材の採用が進んでおり、大型車の FUPD（Front Under-run Protective Device）では 7000 系のアルミ材が実用化されている。

今回、主にカーゴ車に展開しているアルミ製バンパに、7000 系の高強度アルミ材の採用を検討した。従前のアルミ製バンパに採用されている 6000 系アルミ材と比較して、約 1.5 倍の引張強さを有しており、より少ない投入材料で大荷重を受けることが可能となる。

採用の検討に当たり、強化された UN-R58-03 の強度基準を満足させるために必要な部材の重量を試算した結果、6000 系アルミ材を使用した場合は従前バンパ比で約 1.4 倍となるのに対して、7000 系アルミ材を使用した場合は従前比で約 1.2 倍と重量増加の抑制が見込めることがわかった。

しかしながら、7000 系アルミ材の採用はコストアップの影響が大きく、重量増抑制との費用対効果を検討した結果、7000 系アルミ材の採用は見送り、従前の 6000 系アルミ材を採用することとし、バンパ断面形状を見直すことで重量増加を抑制する検討を行った。

3.2 断面形状の検討

従前のアルミバンパの断面寸法は 150 mm × 110 mm としていたのに対して、21 型ギガでは車両前後方向の断面幅を拡大し、150 mm × 130 mm とすることで、強化された強度基準に耐える形状とした。従前の 150 mm × 110 mm の断面寸法で新法規の強度基準を満足させるためには肉厚を大幅に増加する必要があったが、150 mm × 130 mm に断面寸法を拡大することで、バンパへの曲げ入力に対する断面係数を確保した。また大幅な肉厚増加を避けることによって、従前車のバンパに対して、重量増加を約 1.3 倍に抑制することができた（**図 13**）。

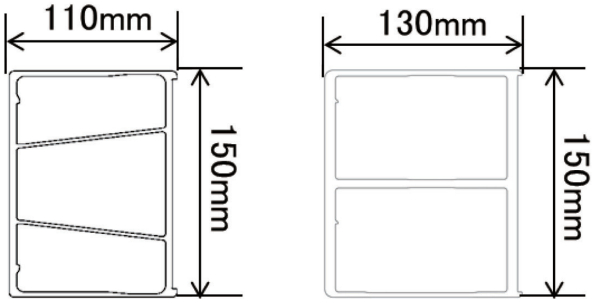


図 13　バンパ断面

3.3 課題

バンパ断面寸法の拡大にあたって、拡幅したバンパ上面と下面の面剛性低下の懸念があった。荷重負荷時に面剛性不足となると、荷重負荷とともに断面形状が崩れ、狙った断面剛性の確保が困難になる。面剛性低下の懸念に対しては CAE 解析を実施し、必要な面剛性が確保されていることを確認した（**図 14**）。

また断面寸法の拡大により、架装時のスペースを圧迫してしまう懸念があった。RUPD 周辺には灯火器、ライセンスプレート、スペアタイヤ、けん（牽）引フック等の装置が近接して配置されるケールがあるため、各種架装レイアウトを確認し、周辺装置への影響がないことを確認した（**図 15**）。

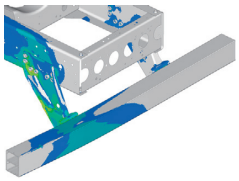


図 14　アルミバンパ CAE 解析

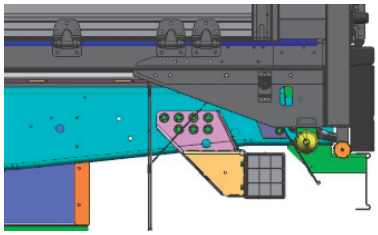


図 15　周辺レイアウト

4　ステーの高張力鋼板採用と構造の最適化

4.1 ステーの高張力鋼板採用

バンパをシャシフレームに取りつけるステーにおいても、重量増加抑制のため材料強度 UP を検討した。

21 型ギガではステーに引張強さ 780 MPa の熱延鋼板を採用した。既存のステーに採用している 440 MPa 熱延鋼板と比較して引張強さは約 1.7 倍となる。

ステーは荷重負荷時にデバイス変位に与える影響が大きいことから、バンパと比較して剛性面が要求される部品であるため、材質の高強度化による板厚低減が困難な部品ではあるが、今回、剛性とのバランスを模索し、従前材料に対して高強度化することで重量増抑制を検討した。

検討には RUPD システムの CAE 解析を繰り返し、必要に応じて板厚及びレインフォース形状の変更を加えた。

検討の結果、従前比でおよそ 2 倍の強度基準を達成しつつも、従前車のステーに対して、重量増加を約 1.6 倍に抑制することができた。

4.2 ステー固定部の検討

ステーのシャシフレームへの固定部において、締結座面の滑りにより実機測定のデバイス変位と CAE 解析の結果に乖離が発生する課題が抽出された。

今回、CAE 解析においては、締結部を剛体結合するのではなく、座面の滑りを再現できるモデルとし作り込みを行った。

ステーの締結部においては、組み立て性及び市場での移設対応などを考慮し、従前と同様にシャシフレームの WEB 面にボルト締結する構造を引き継いだ。本仕様では荷重をボルトのせん断方向で受け止める構造であるため、強化された荷重に耐えるためボルトサイズを M16 から M18 に変更し、締結本数を 6 点から 7 点に変更することで対応した。

材質の高強度化に伴い、成形性が困難になる懸念があるが、構成部材の形状を簡素化することで対策した。具体的には従前部品で存在していた絞り成形を伴う形状を廃止し、全箇所を直線的な曲げ加工とする形状とした。また、ステー高さ寸法違いのバリエーションにおいても、構成部品を共通化と、成形時のプレス金型を共通化し、コストを抑える工夫を行った（**図 16**）。

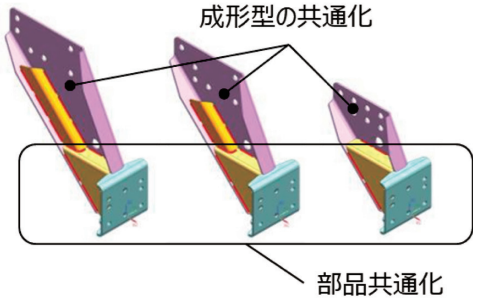


図 16　ステー構成部品

4.3 ステーバリエーションの削減

法規で規定されている RUPD の地上高基準に対応するため、各車型の車両姿勢に合わせたステー高さのバリエーションが必要となる。ステー高さのバリエーションが多いと、車型に応じて細かく地上高地を設定できる反面、部品の共通化と、部品の管理が困難になるデメリットがある。

従前ではスチール、アルミバンパそれぞれに専用のステーを展開しており、それぞれ高さ方向の寸法違いのバリエーションを複数展開していた。今回の法規改正の開発を機に、ステーのバリエーションの最適化を検討した。1 つめにスチールバンパとアルミバンパで共通のステーを設定可能な構造とした。2 つめに高さ寸法違いのバリエーションについては、展開車型の地上高を整理し、最小限の種類で地上高基準に対応できるステー高さを検討した。検討の結果、従前では 8 種類としていたステーの展開を 3 種類まで削減した（**図 17**）。

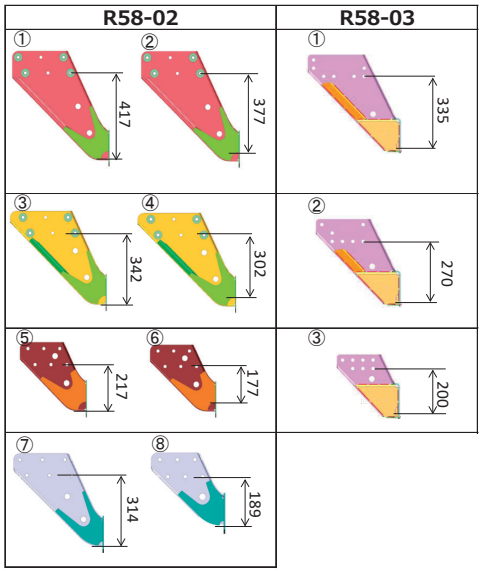


図 17　ステーバリエーション

5　おわりに

今回のような開発を行うことで、21 型ギガの RUPD は、商品性及び架装性を大きく損なうことなく新法規に対応することが可能となった。

素材の基礎研究から始まり、法規要件の確認試験まで、多くの課題がありながらも、ひとつひとつ解決しながら今回の RUPD の開発を行うことができた。

21 型ギガの RUPD の開発を完遂できたのは、評価部署、生産部門関係者並びに協力企業の方々の協力の賜物であり、この場を借りて御礼申し上げます。

著　者

芹澤　尚宜

論文・報告

企画段階における RDE 開発環境の構築とその活用

Construction and Utilization of RDE Development Tool Using for Planning Stage

大久保　泰宏*　Yasuhiro Okubo
瀬戸　洋紀*　Hiroki Seto
石川　直也*　Naoya Ishikawa

要　旨

実路で排出ガス測定を実施する RDE（Real Driving Emissions）に対応したエンジン開発を行うために RDE 法規要件を満足する走行パターンをランダムに生成するツールを開発した。このツールを活用することで排出ガス規制適合が困難となる走行パターンを見出すことが可能となり、企画段階で排出ガス低減に対する対策の指針を示すことが可能になった。

Abstract

Our simulation tool allows generation of random driving conditions compliant with Real Driving Emission regulations to study engines for actual road exhaust emission tests. Using this simulation tool, the worst case of driving condition was extracted, and guidelines for countermeasures to reduce exhaust emissions were provided at the planning stage.

1　はじめに

欧州では自動車に起因する地球温暖化、環境汚染問題への議論と対策が行われており**表 1** に示すように CO_2 と排出ガスを規制する政策が段階的に強化されてきている。その一方で都市部における環境汚染の改善が一向にみられない [(1)] ことが問題として認識されている。この問題を解決するために実路における排出ガス測定を実施する RDE（実路走行試験：Real Driving Emissions）の導入が検討されていた。近年、RDE 施行の機運が一気に高まり、小型商用車（N1 class3）に対しても 2018 年から RDE 規制の導入が始まった。

表 1　欧州における CO_2 と NOx 規制のロードマップ

year	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
CO_2 Emission limit target	175g/km		147g/km					15% reduction from 2021	
NOx Emission limit	Euro6:0.125g/km							Euro7:T.B.D	
RDE CF (NOx)	2.1		1.43					1.0 (predict)	

欧州における RDE の NOx 規制値では、CF（適合係数：Conformity Factor）が設定されており、WLCT（世界統一試験サイクル：World Harmonized Transient Cycle）の排出ガス規制値に対して CF 倍の排出量が許容されている。RDE の開始時には、CF 値は 2.1 であったが 2020 年から CF=1.43 となり、今後は更に強化され 2024 年以降に CF=1.0 となることが議論されている。

このような背景から、台上運転における排出ガス試験モードの排出ガス量の削減のみならず実路上における走行条件での排出ガス性能の改善が自動車開発において求められている。

図 1 は著者らが目指している MBD（モデルベース開発：Model Based Development）の適用による自動車開発プロセスに対する工数のフロントローディングを示したものである。RDE への適合作業は実路での排出ガスを計測する必要があり、従来の開発行為に対して多くの工数の追加が必要となることが予測される。従って、商品企画の段階で RDE への適合に対し MBD によるフロントローディング型の開発を行うことは、大きな手戻りと実路における確認テストの工数削減に有効であると考えられる。

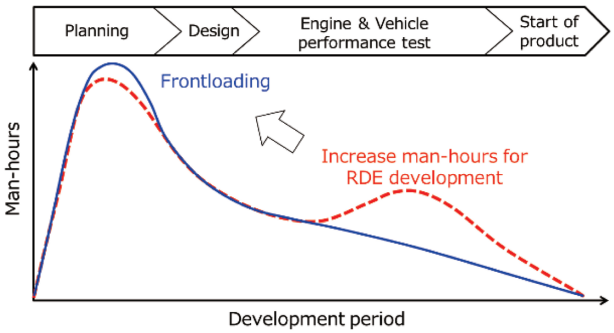


図 1　自動車開発のプロセス

*㈱いすゞ中央研究所

商品企画の段階で RDE に対応するハード・ソフト開発を行うためには、RDE における排出ガス量が多くなる走行パターン（ワーストケース）を見出すことが重要となる。そこで RDE 法規要件を満足するランダムな走行パターンを生成するツールを開発し、生成された走行パターンを実機のエンジンと排気後処理装置の振舞いを再現するバーチャル車両を用いて机上で走行してワーストケースの把握を行う MBD 環境を構築した。

本論文では、開発した RDE 走行パターン作成ツールとバーチャル車両を用いた MBD の活用事例について報告する。

2　RDE 走行が可能なバーチャル車両環境の構築

2.1 欧州における RDE の法規要件

表 2 に RDE 試験における車速、道路、NOx 排出に関する法規要件 [2-3] を示す。RDE では走行における分類を Urban、Rural, Motorway の 3 つに区分してこの順番で排出ガス計測を行うように定められており、その走行比率は各モードともほぼ等しい割合で設定される。また、最低限走行しなければいけない距離と試験開始から終了における時間にも制約がある。

表 2　車速、道路、NOx 排出に関する法規要件

Driving mode	Urban (0-60km/h)	Rural (60-90km/h)	Motorway (90km/h-145km/h)
Percentage of distance	29-44%	33±10%	33±10%
Minimum distance	16 km	16km	16km
Trip duration	90-120min		
Elevation difference between start and goal	±100m		
Positive cumulative altitude gain	1200 m/100 km (Urban and Total)		
NOx emission regulations	CF=1.43 (Urban and Total)		

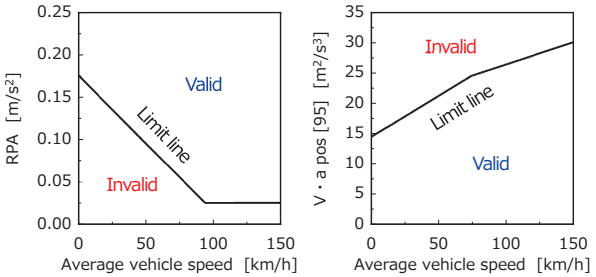
道路勾配については、その変化が大きすぎることによる排出ガスへの影響を抑えるために始点と終点の標高差、更に登り勾配の累積高度が決められている。標高差については始点と終点で± 100 m 以内、上り勾配の累積高度については 100 ㎞走行当たり 1200 m を超えないようにコースを選択する必要がある。

更に排出ガスの規制値は、RDE モード total にだけでなく冷間からの始動が含まれる Urban にも適用される。

車両の加速状況に対しても制約がある。**表 3** に動的境界条件の詳細を示す。加速がゆっくり過ぎることを判断する指標は、0.1 m/s^2 以上の加速時のデータを対象に単位重量当たりの仕事量を積算し、走行距離で除することで定義される。加速が急すぎることを判断する指標は、同様に加速時のデータを対象に単位重量当たりの仕事率を低い値から並べた時の 95 パーセンタイル値で定義される。試験の有効、無効を決定する境界条件のラインは、**図 2** に示すように規定された車速を境に一次式、あるいは一定値によって規定される。

表 3　運転の指標に関する法規要件

Index	Defensive driving	Aggressive driving
Definition	RPA (Relative Positive Acceleration)	V·a pos [95]
	$\frac{\sum_{i=1}^{n} a_i \cdot V_i \cdot \Delta_t}{D}$ [m/s^2]	95persentile of $V_i \cdot a_i$ [m^2/s^3]
	a_i : Acceleration at time step i [m/s^2] , V_i : Vehicle speed at time step i [m/s] , Δ_t : Time increment [s] , D : Trip distance [m] (per speed bin)	
Valid condition	V≦94.05 Id>-0.0016・V+0.1755 V>94.05 Id>0.025	V≦74.6 Ia<0.136・V+14.44 V>74.6 Ia<0.0742・V+18.966
	V : Average vehicle speed [km/h] , Id : Defensive driving index [m/s^2], Ia : Aggressive driving index [m^2/s^3]	



（ⅰ）Defensive driving index　　（ⅱ）Aggressive driving index

図 2　試験の有効、無効を決定する境界条件

2.2 RDE 走行パターン生成ツール

開発した RDE 走行パターン生成のフローを**図 3** に示す。まず法規要件で定められた制約の範囲で走行時間、各走行モードの平均車速及び走行時間を一様分布に基づきランダムに生成する。各走行モードの車速は実路での走行状況を再現するように社内で調査した欧州実路の走行頻度データを参考とした**図 4**（ⅰ）のガンマ分布に基づきランダムに生成する。次に生成された車速データに対し法規要件で定められた制約条件を評価し、全ての制約条件を満たすまで車速生成のフローを繰り返す。更に生成された車速から計算される走行距離に対し欧州のイギリス国内における頻度分布データ [4] を参考にした**図 4**（ⅱ）のパレート分布に基づき勾配をランダムに生成し、同様に法規要件で定められた制約条件を全て満たすまで繰り返す。このようにこのフローによって車速と勾配の両方が法規要件を満たす走行パターンを抽出する。

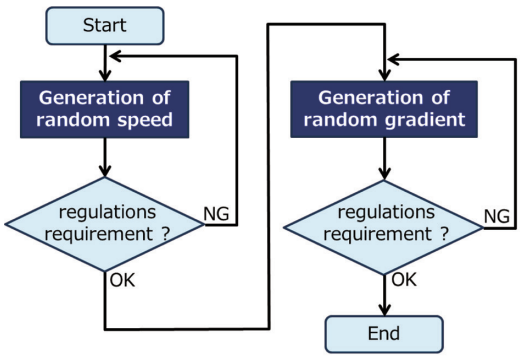
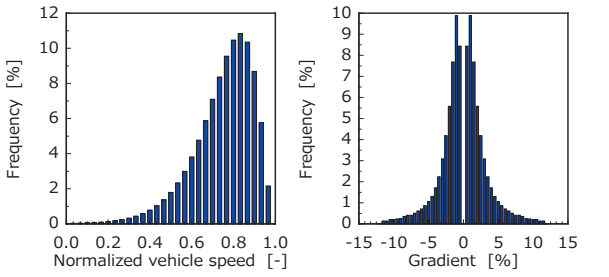


図 3　RDE 走行パターン生成のフロー



（ⅰ）Distribution for speed generation　（ⅱ）Distribution for gradient generation

図 4　車速と勾配のヒストグラム

表 4 に本検討におけるエンジンと車両の主要諸元を示す。エンジンは 2016 年に欧州市場に導入した NOx 排出ガスレベルが Euro6b に相当するモデルを用いた。従って、本エンジン仕様のエミッションコントロールシステムは RDE 規制に対し未対応の仕様である。車両はピックアップトラックを想定しており、重量設定は 2400 kg、変速機は 6 段である。

表 4　エンジンと車両の主要諸元

Engine	Model year	2016
	Emission level	Euro6b
	Engine type	DI-Diesel In-line 4 cylinder
	Displacement	1898cc
	Bore × Stroke	80mm×94.4mm
	Maximum power/torque	120kW/360Nm
	Charge air system	Variable nozzle turbocharger with charge air cooler
	Fuel injection system	Common rail system
Vehicle	Test weight	2400kg
	Transmission	6MT

図 5 は本検討で用いたバーチャル車両のシミュレーション環境の概要について示したものである。また、各要素のモデル概要を**表 5** に示す。この環境はドライバー、エンジン制御、エンジンと NOx 触媒を含む車両プラントの各モデルで構成されている。ドライバーモデルは目標車速を入力として、目標車速に追従するようにフィードバック制御によってアクセルのコントロールを行う。エンジン制御モデルはドライバーモデルからのアクセル信号とエンジン回転数、温度、圧力及び流量信号によるフィードバック制御により燃料と吸排気系のエンジンプラントモデルに対する制御値を決定しエンジンを制御する。エンジンプラントモデルは、各配管、過給機に MVEM（エンジン平均値モデル：Mean Value Engine Model）を用い、ディーゼル燃焼モデルに 0 次元の現象論モデルである HIDECS[5] を用いた。

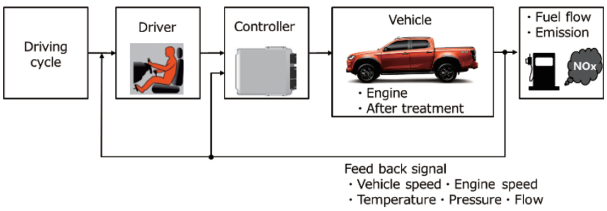


図 5　シミュレーションの環境

表 5　車両とエンジンのモデル概要

Vehicle	Driving force calculation model
Engine	MEVM (Mean Value Engine Model) +diesel combustion model (HIDECS:Hiroshima University Diesel Engine Combustion Simulation)
After treatment	NOx catalyst in-house model

更に冷間スタートからの暖機状態を模擬するためにサーマルモデル [6] を組込んだ。排気後処理装置は各種反応式を考慮した 1 次元のインハウス NOx 触媒モデル [7] を用い、テールパイプアウトの NOx 排出量を計算した。走行に必要な駆動力は車両重量、走行抵抗、ギヤレシオ、タイヤサイズ、イナーシャから算出した。これらのシミュレーション環境構築に当たり、開発プロセスの企画段階において活用することを考慮して計算時間が短くなるように留意した。

図 6 は WLTC における冷却水温とエンジンアウトの排気温度、エンジンアウト NOx 並びに燃料消費量についての車両シミュレーションと実機試験結果の比較である。排気温度に若干の乖離があり、モードの後半で NOx の排出量も乖離するが、冷却水温の挙動と燃料消費量の傾向は一致しており、企画段階の検討に対しては十分な精度を確保していると判断した。

テールパイプアウトの NOx 排出量予測については、前述の NOx 触媒モデルによる浄化率の精度が確保されていることを確認している。

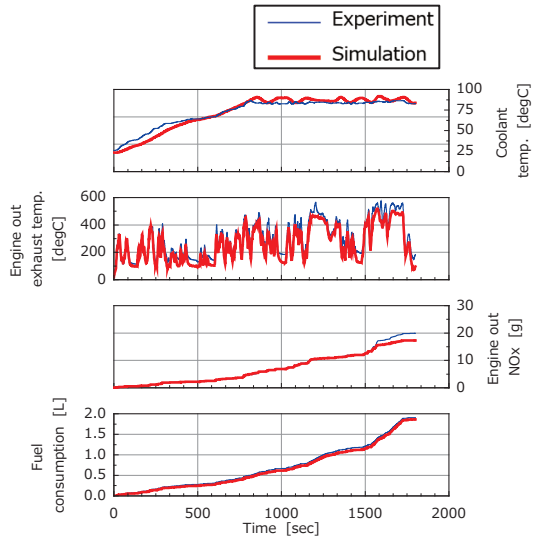
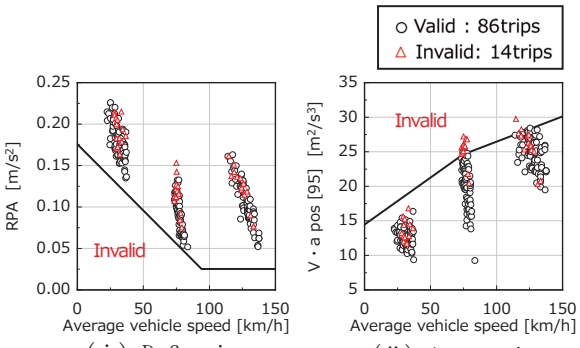


図 6　シミュレーションと実機試験結果の比較

3　RDE 開発環境の活用事例

3.1 RDE シミュレーション結果

図 7 は、本ツールによって生成された 100 個の走行パターンについて動的境界条件のグラフにプロットしたものである。この結果、一部の走行は Rural と Motorway において急加速に対する指標の境界条件を逸脱した。これは検討車両の動力性能上、目標の加速度を得られないパターンを走行した時に乖離した車速を目標に追従させるためにドライバーモデルが急加速をする状況が発生したためである。本検討においては動的境界条件のクライテリアを満足した 86 個のデータについて解析を行った。**図 8** は、生成された各走行パターンにおける Urban とモード Total の NOx 排出量を CF 値で示したものである。**表 2** で示したように RDE 規制では、Urban とモード Total ともに独立して規制値に適合している必要があるが、今回の検討に用いたエンジンシステムは RDE 規制に対して未対応の仕様であるため CF はほとんどの走行パターンで比較的大きな値となっている。



（ⅰ）Defensive driving index　（ⅱ）Aggressive driving index

図 7　生成された 100 パターンの運転指標

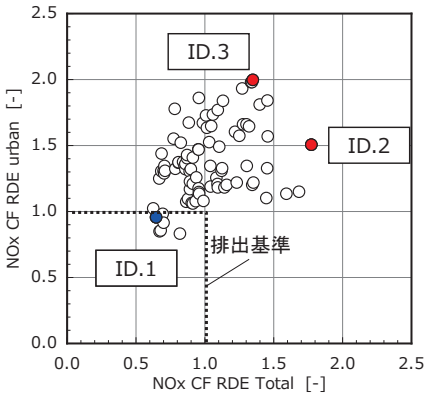
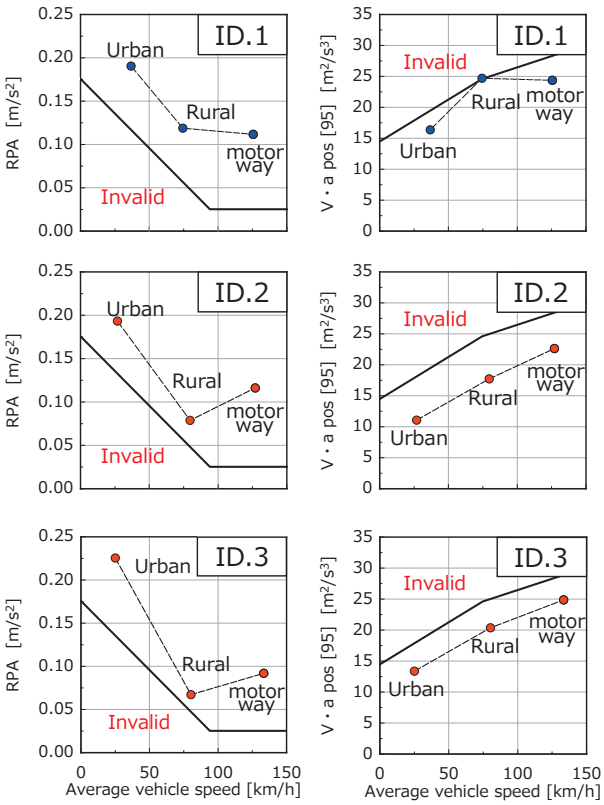


図 8　生成された運転パターンにおける NOx 排出量

3.2 ワーストケースに対する要因の特定

RDE におけるワーストケースを抽出するため、**図 8** 中で NOx 排出ガスレベルが低い結果の代表として ID.1 を、モード Total の NOx 排出ガスレベルが最も高い結果として ID.2 を、Urban での NOx 排出ガスレベルが最も高い結果として ID.3 をそれぞれ選択して NOx 排出ガスレベルの差が引き起こされる要因の分析と対策の指針を検討した。

図 9 は、選択した各 ID における動的境界条件の緩急加速に対する指標をプロットしたものである。緩加速に対する指標に関しては ID.2 と ID.3 の Rural に



（ⅰ）Defensive driving index　（ⅱ）Aggressive driving index

図 9　選択した各 ID の運転指標

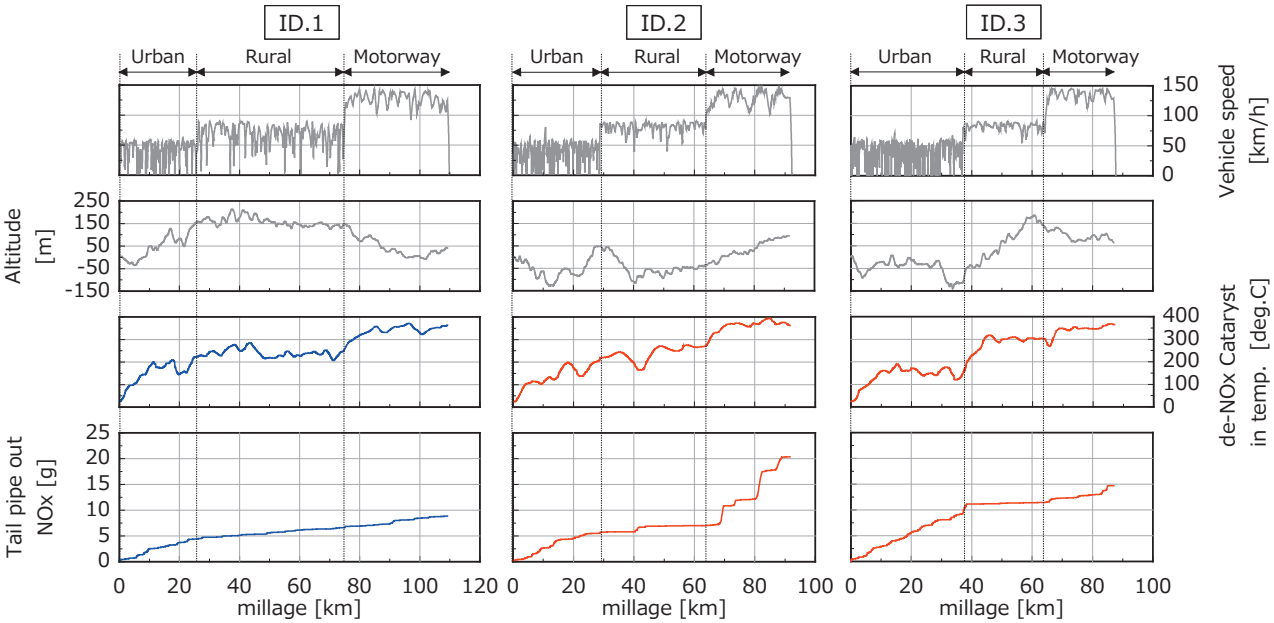


図 10　選択した各 ID の RDE シミュレーション結果

おける値が低いが他のモードに対しては大きな違いがみられない。また、NOx 排出ガスレベルが低く排出ガス規制値に適合している ID.1 では急加速に対する指標が最も高い値を示しており、逆に NOx 排出ガスレベルが高い ID.2 と ID.3 ではこの指標は低い値になっている。当初は、緩急加速の指標と NOx 排出ガスレベルの間には関係性があり、エンジンアウトの NOx 排出量が多くなると思われる急加速に対する指標が高いほど、または排気温度が低くなり NOx 触媒の性能が低下すると思われる緩加速に対する指標が極端に低いほど NOx 排出量が多くなると想定していたが、動的境界条件の緩急加速に対する指標と NOx 排出量が多くなる走行パターンの間には関連性がないことがわかった。

次に選択した各 ID の RDE 試験走行時の速度、標高、NOx 触媒入口排気温度、テールパイプアウトの NOx 排出量をそれぞれ**図 10** に示す。

ID.1 の条件では、テールパイプアウトの NOx は終始緩やかな上昇にとどまり、排出基準を下回った。

ID.2 の条件では、Motorway においてテールパイプアウトの NOx が過大に排出されている。これは Motorway で上り勾配が連続しており、高負荷運転のためにエンジンアウトの排出ガスが過大に排出され、NOx 触媒の処理能力の限界を超えてしまったためであると考える。

ID.3 の条件では、Urban においてテールパイプアウトの NOx の排出が顕著である。これはエンジンの排気温度が低く NOx 触媒が活性するまでに大幅な時間を要したからであると考える。

3.3　ワーストケースに対する対策の指針

ID.2 のように NOx 触媒の処理能力の限界を超えてしまうような場合には、エンジンアウトの NOx 排出を低減するハードウェアの検討と NOx 触媒の仕様再選定などを企画段階で検討することができる。企画段階でハードウェアを変更することにより、実路の RDE 試験結果からハードウェアの大幅変更を行わなくて済み、大きな手戻りを回避できると考えられる。

一方で触媒活性時の性能が向上したとしても ID.3 のような低温時の性能向上は依然として課題である。ここでは Urban における触媒温度の確保に着目し ID.3 の走行パターンを題材に対策の指針を検討する。低温時の性能向上に対しては触媒をすばやく昇温し、その状態を維持する必要がある。そのための対策の一つとしてエキゾーストヒータの活用が考えられる。例えば文献[8]によるとエキゾーストヒータによる昇温によりテールパイプアウトの NOx が大幅に低減できることが示されている。本検討においてもエキゾーストヒータの適用を試みた。**図 11** に示すように NOx 触媒の前方

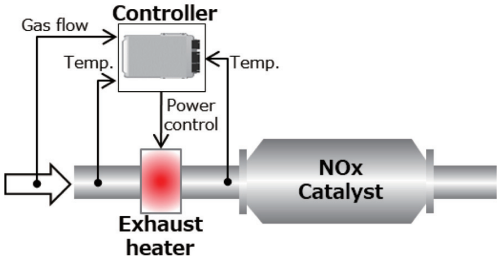


図 11　エキゾーストヒータのレイアウト

にエキゾーストヒータのモデルを設置してシミュレーションを実施した。エキゾーストヒータへの電力供給はエキゾーストヒータ入口と目標としている NOx 触媒入口の温度差、排出ガス流量並びに排出ガス比熱より計算される熱量の理論値をフィードフォワードとして NOx 触媒入口温度が目標値となるようにエキゾーストヒータの出力値をフィードバック制御して決定した。エキゾーストヒータによる性能評価の結果を**図 12** に示す。エキゾーストヒータによって RDE テスト開始直後から NOx 触媒入口の排出ガス温度が急激に上昇していることがわかる。Urban における排出ガス平均温度はエキゾーストヒータなしに比較して約 40 度上昇し、テールパイプの NOx 排出ガスレベルは 40 %低下した。**図 13** に RDE での排出量の変化を示す。エキゾーストヒータの適用により NOx 触媒の活性が早期化し、Urban、モード Total の NOx はともに排出基準を下回った。

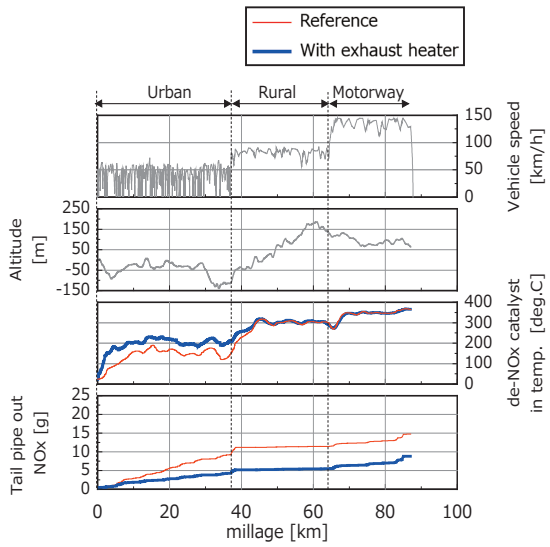


図 12　エキゾーストヒータの適用による NOx 触媒入口温度と NOx 排出性能の変化

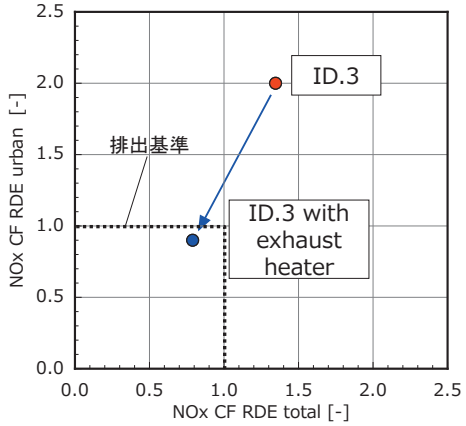


図 13　エキゾーストヒータ適用による NOx 排出低減効果

このように、本ツールの活用により実機の評価を行う前の商品企画の段階で RDE のワーストケースを見出し、RDE 規制への対策の指針を示すことで開発工数のフロントローディングが可能になると考えている。

4　おわりに

企画段階で RDE のワーストケースを想定したハード・ソフト開発を可能にするために、RDE 走行を再現するバーチャル車両の環境を構築した。以下に得られた知見を述べる。

(1) 欧州法規要件に準拠した排出ガス評価用の走行パターンを走行時の車速と勾配のヒストグラムに基づきランダムに生成するツールを開発した。開発したツールと排出ガスシミュレーションを連成させた開発環境により RDE に対する排出ガス性能が予測可能になった。

(2) RDE のワーストケースを導き出し、ワーストケース対する要因の特定と対策の指針を導くことが可能となった。

(3) NOx 触媒の温度が低下する走行パターンに対して、エキゾーストヒータによる昇温により、NOx 排出ガスレベルが低下して排出基準を下回った。

本稿は 2020 年自動車技術会秋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) European environment agency:Air pollution still too high across Europe, https://www.eea.europa.eu/highlights/air-pollution-still-too-high , (参照 2019 年 12 月 16 日)

(2) European Union:Commission Regulation (EU) 2016/646 of 20 April 2016 amending Regulation (EC) No 692/2008 as regards emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 6), https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0646, (参照 2018 年 11 月 30 日)

(3) Delphi technologies:Worldwide emissions standards passenger car and light duty vehicle 2019/2020, p.16-18

(4) 長谷川 裕之ほか：地形的条件からみた日英の道路網の比較, 国土交通省国土地理院調査研究年報 (国土地理院調査研究年報), 2005 巻, (2005), p.251-252

(5) 廣安 博之ほか：直接噴射式ディーゼル機関の燃焼モデルと性能予測（第1報），日本機械学会論文集，48巻，432号（1982），p.1606-1613
(6) 五味 智紀ほか：トータルエンジンシミュレーションシステムを用いた ピストン温度予測手法の開発，自動車技術会論文集，Vol.45，No.4（2014），p.651-656，
(7) 大堀 鉄平ほか：SCR モデルの高温領域での NOx 浄化性能予測精度向上の試み（第1報）－課題抽出と現象のモデル化－，自動車技術会論文集，Vol.48，No.2（2017），p.283-289，
(8) Andreas Hubert et al.: ElroActive - Active Thermal Conditioning of Exhaust System，27th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology，（2018），p.417-430，
(9) 岡 耕平ほか：高 NO_2/NOx 領域における SCR モデルの予測精度向上，自動車技術会論文集，Vol.51，No.2（2020），p.280-285
(10) 金 尚明ほか：NOx 吸蔵触媒を装着したディーゼル乗用車における実路走行時 NOx 排出予測モデルに関する研究，自動車技術会論文集，Vol.50，No.3（2020），p.698-704
(11) Andrew Auld et al.:Assessment of Light Duty Diesel After-Treatment Technology Targeting Beyond Euro 6d Emissions Levels，SAE international Journal of Engines，Vol.10，NO.4（2017），p.1795-1807，
(12) 中田 凌ほか：シミュレーションによる燃費予測手法の提案と可能性検討，自動車技術会論文集，Vol.48，No.3（2017），p.705-710
(13) 小澤 正弘ほか：ディーゼル乗用車の実路走行時における NOx 排出量変動要因の一考察，自動車技術会論文集，Vol.48，No.4（2017），p.807-813

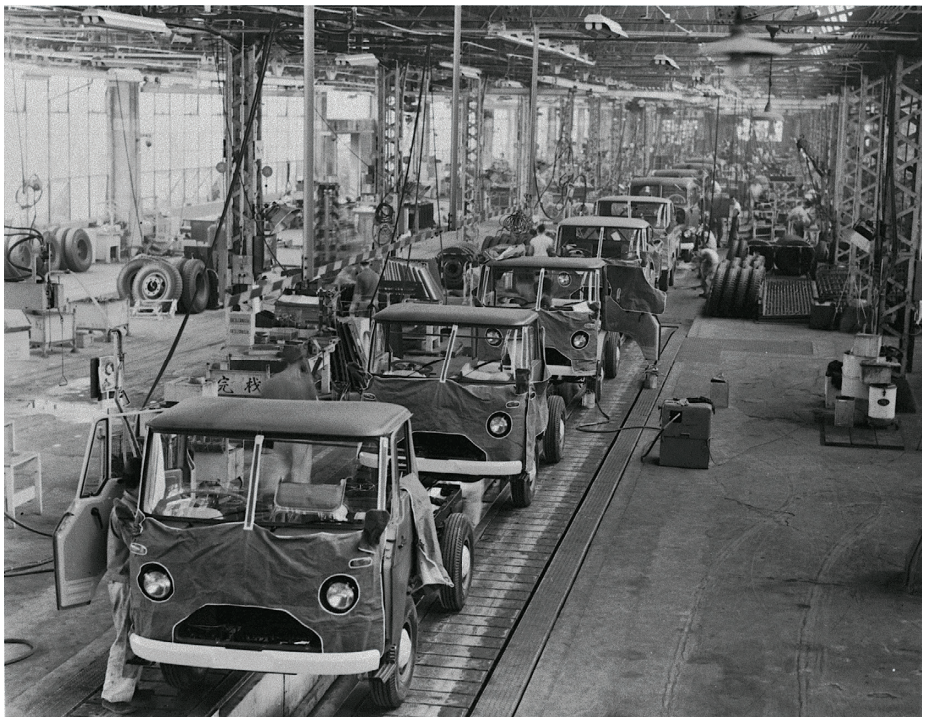
著　者

大久保　泰宏

瀬戸　洋紀

石川　直也

◇いすゞ歴史の一こま



エルフ組立ライン（1959年ごろ）

論文・報告

鋼板プレス部品成形時に発生するかじりの予測検証

Predictive verification of galling that occurs when pressing steel sheets

石黒　尚志*
Naoshi Ishiguro

要　　旨

鋼板プレス部品を成形するに当たり「かじり」による品質不具合が大きな課題である。本稿では、実物の鋼板プレス部品とCAE（Computer Aided Engineering）結果を比較して要因の分析を行い、かじりを抑制できる製品形状を、図面にあらかじめに反映するための評価基準を作成した事例について紹介する。

Abstract

When pressing steel sheet parts , quality defects due to “galling” are a major issue.

In this paper , factor analysis was performed using an actual panel and CAE (Computer Aided Engineering) , and evaluation standard were created to reflect the product shape that can suppress the occurrence of galling in advance.

1　はじめに

商用車はモデルスパンが長く、また**図１**で示すように、小型から大型までの部品の共通化が進んでいる。そのため、プレス金型１型当たりの累計ショット数が増加傾向にあり、ショット数増加は金型の劣化へ繋がる。金型が劣化は「バリ」と「かじり」の２つの品質不具合が発生する要因となる。バリは鋼板のトリミング時に発生し、後工程において車両組み立て上の様々な不具合を引き起こす。ただし、鋼板のバリ取りをすることで暫定的に生産を継続できる。かじりは製品形状を成形する際に発生し、傷による表面欠陥及び製品割れを引き起こす。型表面のダメージであることから、一度発生してしまうと金型を修正しなければ生産の継続対応ができない。両方の不具合共に、事前に金型での対策が必要であるが、かじりに対する対策がより強く求められる。

図１　商用車におけるプレス部品の共通化

2　本稿の目的

プレス部品の成形において、かじりとは金型と鋼板材料とのしゅう（摺）動部に発生する表面損傷のうち、特に金型への材料の焼き付き（凝着）を伴った、材料のむしれ状の損傷のことを言う[(1)]。通常の生産の中で、金型表面に微小な傷が付くことがある。通常は金型のメンテナンス時に傷を補修するが、メンテナンスの間など直ちに手をかけられないタイミングで傷が発生し、この表面状態の金型で生産を続けていくと表面の傷が拡大していく。この傷が材料表面のかじりの起点となり、結果的に生産中に割れが発生してしまう。対策として、金型の表面を磨き修正及びめっき処理を行うことが挙げられる。しかし、前述の対策を施してもしばらく生産を続けると再びかじりが発生することが多々ある（**図２**）。事後対応では生産停止頻度の抜本的な低減が難しいことから、かじりの発生の原因への対策を施し、頻度を減らすことで生産停止の低減に繋ることを目的とした。

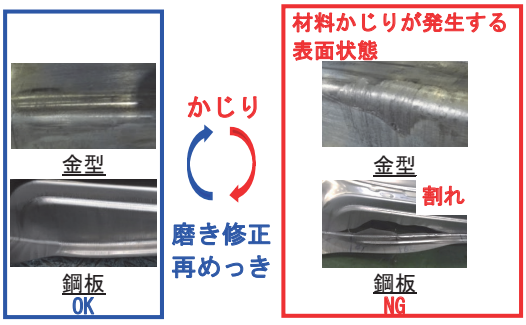


図２　かじりの発生とメンテナンスのサイクル

*車体技術部

3　品質不具合と対策

3.1 ビードによる品質調整

鋼板を製品形状に成形する場合、**図 3** に示すように材料を外周のセット位置から内側へと流入させている。流入量が少なすぎると局部的に材料が不足し、割れ不具合が発生する。逆に流入量が多すぎると局部的に材料が余ってしまい、シワ不具合が発生する。この対策として、ビード形状をフランジ部に設けて流入量を調整する。**図 4** に示すように、割れ対策はビードの高さを小さくすることで抵抗を小さくし、流入を促進させる。また、シワ対策はビードを高くすることで抵抗を大きくし、流入を抑制させる。このようにビード形状を変更して流入量を調整することで、割れ･シワ不具合を抑制する。ビード形状の調整による不具合の改善事例を**図 5** に示す。

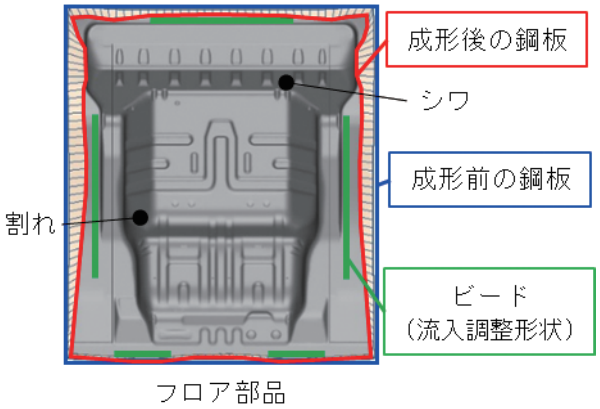


図 3　プレス成形時の材料の流入

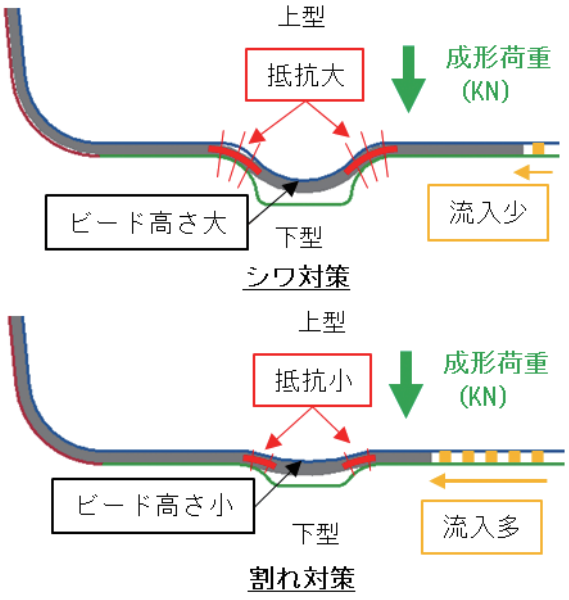


図 4　ビードによる流入量の調整

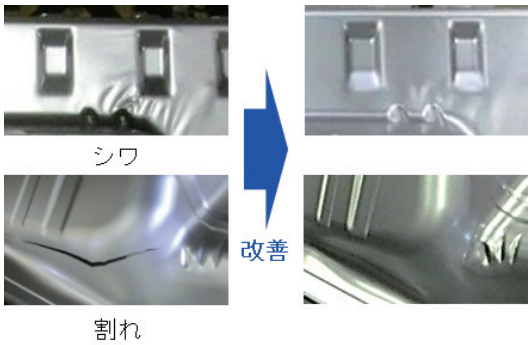


図 5　流入量調整による不具合改善事例

3.2 かじり発生のメカニズム

前段で述べたように、ビードを高くして抵抗を大きくするとその部位に強い摩擦が働く。そのときに発生する摩擦熱により金型に材料凝着作用が働く。それにより材料表面にかじりが発生する。実際にかじりが発生した材料の表面状態を**図 6** に示す。生産を続けると摩擦によりでき上がった凝着物が摺動して大きくなり、材料へのかじり傷が大きくなっていく。材料表面のかじり傷状態は「すりきず」、「軽かじり」、「重かじり」の 3 段階に分類される（**図 7**）。

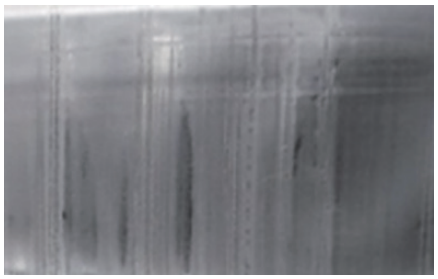


図 6　かじり発生時の材料の表面状態

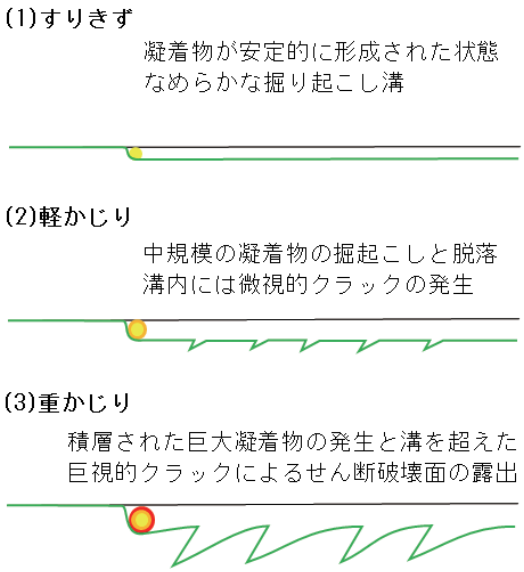


図 7　材料表面を掘り起こすメカニズムの分類 [1]

3.3 CAE での不具合事前対策

これまでに行っていた金型製作前のかじり評価では、CAE（Computer Aided Engineering）による定量的評価基準はなく、経験に基づいた定性的評価をプレス部品の板厚と流入量で行っていた。また、CAE で行う製品形状の事前評価については、割れ・シワ評価を最優先としていた。具体例を**図 8** に示す。CAE 上でシワが発生している形状に対して、流入を調整してシワの良化を確認できる程度に張力を与える対策を行った。結果として実物のプレス生産時もシワが発生することなく成形することができた。しかし、生産数が増えていく中でかじりが発生し、生産を停止させてしまった。この事例より、CAE での評価項目に、割れ・シワに加えてかじりを組み込み、事前にかじりの対策を織り込めると考え、CAE でのかじり判定基準を作成することとした。

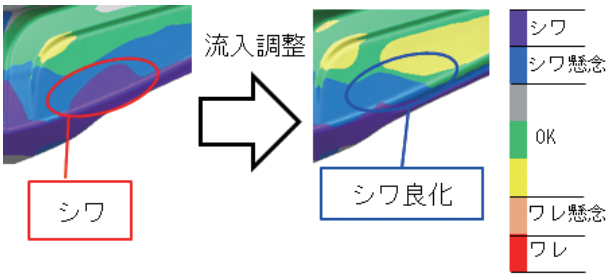


図 8　金型製作前の不具合対策事例

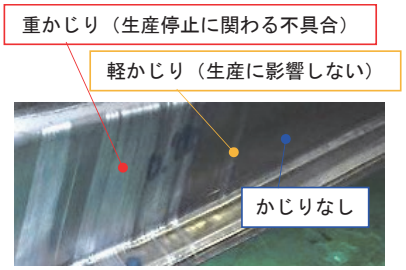


図 9　実物のプレス部品によるかじり判定の定義

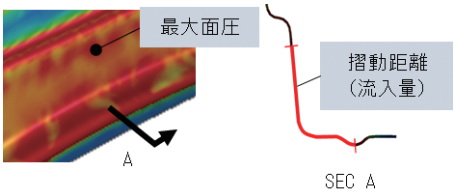


図 10　CAE 上での最大面圧と摺動距離の確認

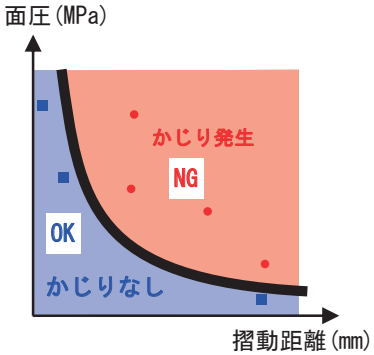


図 11　かじり判定曲線予想

4　CAE でのかじり性判定基準の検証方法

4.1 検証手順について

かじり性判定基準を作成するに当たり、従来の対策内容からかじり発生と直接的影響度が高いと考えられ、また CAE にて数値を算出することが可能である「面圧：金型が材料を挟む圧力」と「摺動距離：金型間を材料が滑る距離」に着目した。判定基準として上記 2 つの影響因子による「かじり判定曲線」を導出するため、実物のプレス部品と CAE を用いて検討を実施した。方法として、**図 7** で分類したかじりの状態を元に、重かじりを「生産停止に関わる不具合が発生している部位」、軽かじりを「生産には影響しないが傷が見られる部位」と定義し、そしてかじりがない部位の 3 つの状態に分ける（**図 9**）。次に実物のプレス部品でかじりを確認した部位について、CAE で加工中の最大面圧と材料の摺動距離を確認する（**図 10**）。鋼板の表面状態及び CAE 上での面圧、摺動距離の関係から、**図 11** に示すようにかじり発生の有無を分けた判定曲線が描けると仮定した。

4.2 検証に用いる部品の選定

検証には過去に実型でかじり対策を行ったフロントピラー部品を選定した。対策内容について下記にて説明する。いすゞでは一定の周期で金型表面の再めっきを行うことを標準としているが、フロントピラー部品ではかじり起点ができやすく重かじりによる生産停止が多発し、突発のメンテナンスも多くなっていた。かじりの発生部位について**図 12** に示す。ビードの R が小さいことから局部的に摩擦力が大きくなっていたことが原因であったため、ビード形状を変更して摩擦力を小さくした。また、流入量を維持させるためビードを 1 つ追加した。この対策によりかじりの起点はなくなり、定期メンテナンスでの対応に戻った。**図 13** に対策前後の比較を示す。

図 12　フロントピラー部品のかじり部位

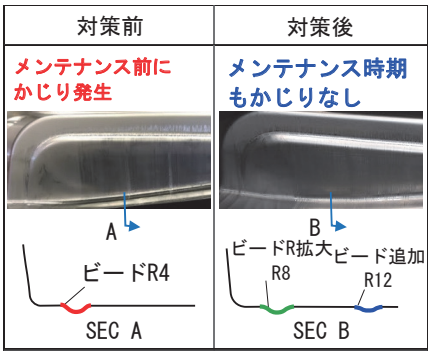


図 13　実物のプレス部品でのかじり対策前後比較

5　検証結果の分析

図 14 にフロントピラー部品のかじり対策前後の形状をそれぞれ CAE で解析し、最大面圧と摺動距離を比較した結果を示す。対策前のプレス部品で重かじりが発生している部位から CAE 上で最大面圧が高い部位を選定し、またその部位の摺動距離を確認した。対策前後を比較すると、流入を維持した状態で最大面圧が最大で 44 %低減していることが分かる。このことから CAE 上での最大面圧と実物のプレス部品のかじり発生は相関があると判断できる。

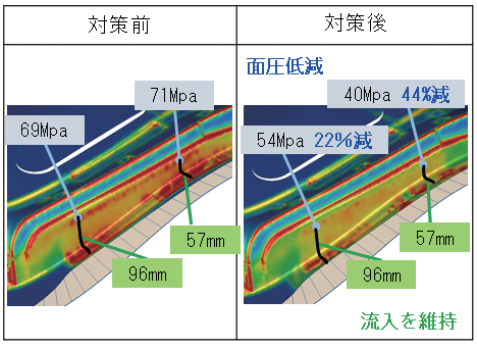


図 14　対策前後を CAE の面圧コンタで比較した結果

次にフロントピラー部品を A～C の部位に分け、各部位の対策前後のかじり発生状態を実物のプレス部品で確認、また CAE 上で最大面圧と摺動距離の分布を散布図にて確認した。図 15 に示すように、重かじりが発生している部位、軽かじりが発生している部位、かじりが発生しない部位がそれぞれグラフ上で分類できた。

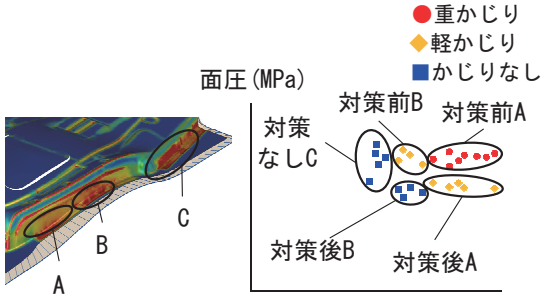


図 15　部位毎の最大面圧と摺動距離の関係

他部品でも同様な分類が可能か検証を行った。過去に重かじり不具合が発生した部品、軽かじりが発生した部品について、実物と CAE 結果それぞれを比較したところ、フロントピラー部品と同様に散布図上にかじり発生有無を分類できた（図 16、図 17）。

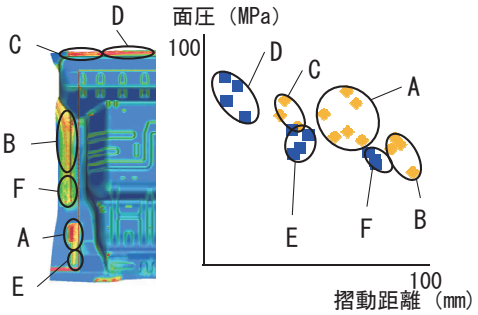


図 16　フロア部品での検証結果

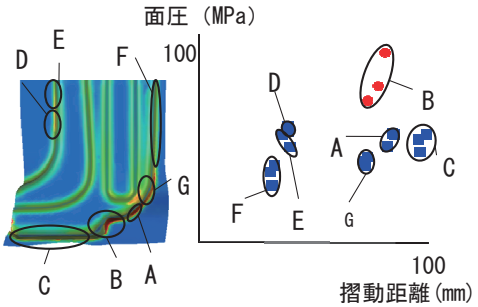


図 17　レインフォース部品での検証結果

検証を行った 3 部品の結果を 1 つの散布図にまとめたものを図 18 に示す。散布図はかじりの状態で 3 つの領域に区切ることができ、その境界に線を引くことで閾値の判定曲線を作ることができた。ただし、一部かじりなしの部位が軽かじりの領域にプロットされている。原因としては、現在の CAE では瞬間的な最大面圧であっても最終的な面圧として表示してしまうためである。実物のプレス部品では成形中の継続的な高面圧がかじりに起因しているため、瞬間的な高面圧ではかじりは発生しにくい。それにより実物のプレス部品と CAE では乖離が起きている。ただし、実用上では大きな問題とならないため、今回作成した判定曲線を活用していく。

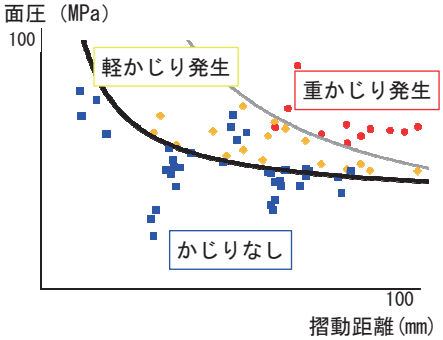


図 18　検証データから作成したかじり判定曲線

6　検証結果の活用

作成したかじり判定曲線を金型製作前の CAE 評価で活用し検証を行った。**図 19** に示すように、CAE 結果を元にかじり判定を実施し、判定曲線で NG となった部位については、最大面圧を低減できるよう製品形状を変更した。**図 20** に対策前後の形状の CAE 結果を最大面圧で表示したものを示す。対策前後で最大面圧は低減し、実物の部品でも金型形状が原因で発生する慢性的なかじりによる生産停止をなくすことができた。このように評価基準を標準化したことで、今後新作する金型のかじり発生頻度が低減させ、計画外の再めっき回数を低減させることができると考える。更に、慢性的なかじりによる生産停止を削減し、表面傷、割れ不具合などの後工程流出防止にもつながる。

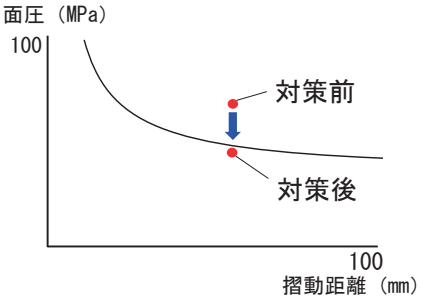


図 19　かじり判定曲線を活用した金型製作前評価

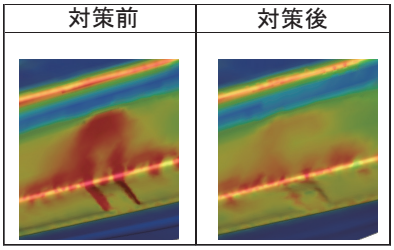


図 20　対策前後を CAE の面圧コンタで表した結果

7　まとめ

本稿では金型製作前にかじりの発生を抑えるための対策を行うことを目的として取り組んだ。かじり発生と影響度が高く、CAE 上で容易に確認可能な「面圧」と「摺動距離」の関係性に着目した。実物のプレス部品の表面状態と CAE 上での面圧、摺動距離を分析し、これらの関係性はかじり発生と相関性があることを確認することができた。また、分析結果からかじり発生を事前に予測する判定曲線を作成した。そして、かじり判定基準を標準化し、新たに製作した金型のかじり発生頻度を低減させることができた。今後の課題として、本稿では一般的な鋼板材質及び型材質での検証であったため、超ハイテン材など鋼種別、工具鋼などの型材別、などの条件別の評価指標を作成していきたい。

8　おわりに

かじりの発生を抑制させることで品質不具合による生産停止の頻度を低減させるだけでなく、金型の摩耗速度を遅らせてメンテナンス工数を削減することにも寄与する。そのため、今後も関係部署で協力してかじりの発生予測の精度向上のための活動を続けていきたい。

最後に、本稿執筆に当たりご協力いただいた関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

(1)　プレス成形難易ハンドブック　第 4 版　薄鋼板成形技術研究会 [編] 日刊工業新聞社 ,P.442-445

著　　者

石黒　尚志

論文・報告

Development and Validation of a Drive Cycle Generation Tool for Electric Vehicle Applications

Santhosh Pasupathi* Sparsh Saxena* Aishwarya Shetty* Gerald Bergsieker*

Abstract

The paper introduces a MATLAB based drive cycle generation tool developed by Isuzu Tehnical Center of America. The developed tool takes inspiration from the NREL Drive tool; the tool can utilize multiple file formats including raw data from telematics and as well as processed data. The tool creates drive cycles that are based on seven important vehicle dynamic parameters. The generated drive cycles and subsequent simulations have provided an accuracy of above 95% with a compression ratio of 1:10 when compared with the raw data.

1 Introduction

Drive Cycle (Definition) — Drive Cycle is a transient profile through time, which represents vehicle velocity at a given instant.

Drive cycles have been used for decades to assess the performance of the vehicle (energy consumption and emission) as well as setting targets for vehicle in early production stages. Today, the world is moving towards electric vehicle application in record time, Electric Vehicles(EVs) have proven to be more efficient and sustainable than the ICE vehicles, they provide a level of customization that is not available for internal combustion engine (ICE) platform — you can have vehicles with different range, power based on the need of the consumer, therefore the need for creating a drive cycle that best represents the customer usage is of essence now as it will help us in better development of the electric vehicles and better component selection.

2 Empiric Foundation

In our study we have used the data obtained from multiple customers who have been using prototype EV trucks. The data has been recorded by ISAAC Instruments which records the data at a frequency of 1Hz. In this field operation 5 EVs have been employed in various fleet operations around the United States. Almost 2 years of data has been logged by these trucks averaging about 60 miles a day. The data has been analyzed by our in house tool and filtered accordingly to represent best customer usage. results throughout the paper:

3 Drive Cycle Generation

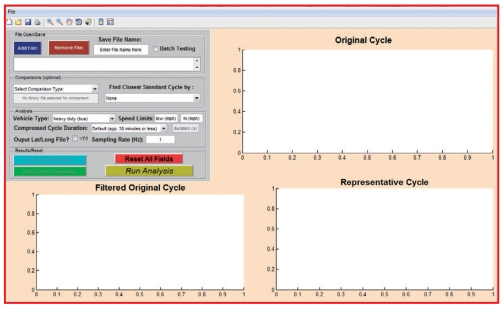
3.1 NREL TOOL

National Renewable Energy Laboratory (NREL) Tool — Drive-Cycle Rapid Investigation, Visualization, and Evaluation (DRIVE) is a MATLAB based analysis tool developed by National Renewable Energy Laboratory (NREL) that produces custom representative drive cycles from vehicle data gathered via onboard logging device. The tool is capable of filtering large sets of raw GPS (Global Positioning System) and CAN (Controller Area Network) data to characterize vehicle operation and produce custom representative drive cycles using specialized statistical clustering methods. The Representative drive cycles aim to match the fuel economy and performance characteristics of the source data.

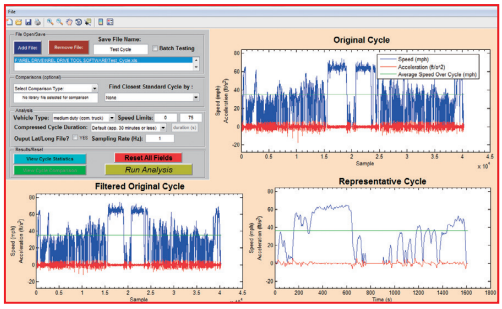
Benefits:

- Significantly reduce testing and analysis time while developing a repeatable process with simple UI (User Interface).
- Outputs simple tabulated statistics usable for vehicle component sizing and reducing technology [see **Figure 1(a)** & **(b)**; Refer to **Figure 5** for ITCA tool UI].

* Isuzu Technical Center of America, Inc.



(a) Starting Screen of the NREL Drive Tool



(b) Output Screen of the NREL Drive Tool

Figure1 NREL Drive Tool User Interface

NREL Tool Drive Cycle Generation Logic —

I. Remove duplicate records & data with negative values or differential time steps

In this step, DRIVE tool calculates differential time values and removes values which are zero or less. This is because having two different location points of the vehicle at same time would result in infinite acceleration, which is absurd.

II. Replace outlying high/low speed values

DRIVE tool filters high speed data spikes as well as negative speed points, replacing them with interpolated data. These outliers can result into faulty average values.

I. Remove zero-speed signal drift when vehicle is stopped

DRIVE tool filters false speed records when the vehicle is actually stopped which in case of EV model simulations can cause inaccurate energy consumption calculations.

Replace false zero-speed records DRIVE tool filters false zero-speed records when the vehicle is actually in motion. This filtration results in dramatic improvements of speed and energy calculations.

II. Amend gaps in data

Correction for gaps in coupled speed-time GPS signals cause by urban canyon effects and sudden signal loss. This is achieved by data interpolation wherever a data gap is detected

III. Repair outlying acceleration/deceleration values

Tool fixes any outlying acceleration/deceleration values which are not between the acceleration limits of the vehicle as defined by the user in the Main Analysis panel.

IV. De-noise and condition final signal

DRIVE tool removes noise from raw GPS data signals using a combination of Savitzky-Golay & Binomial smoothing filters.

The NREL tool is an effective tool which can use the customer data obtained to create a representative pattern, however the tool is complex and cannot be used by uninitiated, furthermore the usage of the tool requires in-house customer data sharing to produce a drive cycle. For these reasons, Isuzu Technical Center of America (ITCA), decided to create a tool which would overcome these issues and will be more integral and viable option for Isuzu to develop their drive cycles, the tool is programmed as such that will provide flexibility in data selection and can be modified and expanded to more avenues if required [see Table 1 for comparison between ITCA tool and NREL drive tool].

NREL's DRIVE Tool	In-house MATLAB Tool
Capable to Analyze Speed Trace data and output various parameters	Capable to Analyze Speed trace data and Raw ISAAC Data and output key parameters
Capable to Develop a Representative Drive Cycle, representing the customer data	Capable to iterate various combinations of multiple cycles and output most representative cycle to customer data
Unable to Modify the source code	Capability to modify the source code at will
Unable to control parameter weightage for developing representative cycle	Capable to fully control any number of parameters' weightage for developing a representative Drive Cycle
User Friendly, MATLAB Independent, App-based tool operation	User Friendly, MATLAB Independent, App-based tool operation

Table 1 Comparison between NREL Drive Tool and ITCA Drive Tool

3.2 ITCA Drive TOOL

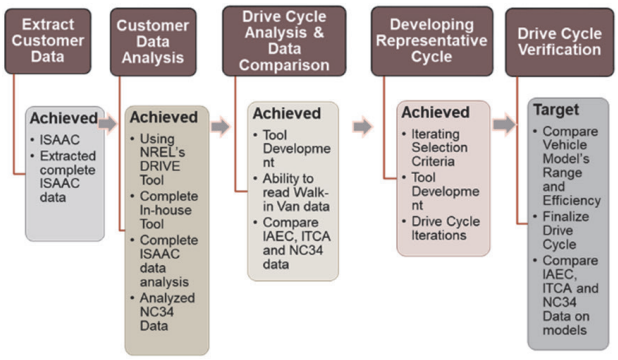


Figure 2 ITCA Drive Cycle Generation Strategy

Figure 2 shows ITCA's main drive cycle generation strategy which was based on the following ideology —

1. Analyze Raw ISAAC (Telematics Software) data.
2. Analyze Speed-Time traces (in fixed formats).
3. Develop Custom representative Drive Cycles using a combination of pre-existing candidate cycles.
4. Develop Custom representative Drive Cycles using "User-defined" speed-time traces.
5. Compare Multiple Drive Cycle Results based on Key Parameters and Model-based Efficiency values.

In order to achieve these goals, traditional approach to the drive cycle generation was used, which involved

1. Identify the Vocational and Operational requirements of the Target Vehicle - Delivery, Service, Transit etc.
2. Collect vehicle operating data in the pre-defined conditions/vocation. - Weather, Time, Location.
3. Identify key parameters important for comparison and Drive Cycle Analysis - Idling ratio, Average speed, Acceleration and Deceleration.
4. Comparing key statistics with candidate cycles.
5. Developing a representative cycle using a comparable combination.

3.2.1 Key Parameter Selection for Drive Cycle Generation

Eight key parameters were used by the team for this purpose, these included parameters which would directly represent the customer usage and also help in assessing the produced drive cycles on the engineering requirements and component selection. The parameters and their calculation methodology are explained below

Speed Cycle = Step wise speed — time trace (1s interval)

[sp]i = Speed cycle (ith element)

n = length of speed cycle

Calculation for Average Acceleration & Average Deceleration

Speed Change array = $(sp_{i+1} - sp_i)$
If speed change > 0
m = Number of times speed change is greater than 0

$$\text{Average Acceleration} = \frac{\sum_{i=1}^{m}(sp_{i+1} - sp_i)}{m}$$

If speed change < 0
m = Number of times speed change is less than 0

$$\text{Average Deceleration} = \frac{\sum_{i=1}^{m}(sp_{i+1} - sp_i)}{m}$$

Calculation for Average Driving Speed (with and without 0)

For average driving speed (without 0), If speed cycle element spi is not equal to 0, then sum all the elements of speed trace and then divide that by number of such elements.

For average driving speed (with 0), sum all the elements of speed trace and then divide by total number of elements in speed trace.

Calculation for Idling Ratio

Count = 0

If spi == 0, then

Count = count + 1

Running the loop for the entire speed cycle gives the number of times speed was 0.

*Note: Ignition off is discarded and is not counted as idling

Idling Ratio = Final Count / length of the Speed Cycle.

Calculation for Number of Stops/Mile

$$\text{Distance Travelled} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{sp_{i+1} + sp_i}{2}\right)$$

*Convert distance travelled to miles if necessary.
For Number of Stops,
Count = 0
If sp_i is equal to 0 and $sp_{(i-1)}$ is not equal to 0, then count = count + 1
Running the loop for the entire speed cycle gives the number of times vehicle stopped (came down to speed 0).
Number of Stops/mile = Final Count/Distance Travelled (miles).
Calculating Veocity Bin Data Details

Split the Ranges based on Maximum and minimum recorded speed in the speed trace. For eg. If speed ranges from 0 — 68, then speed bins will be (0,5), (5,10), (10,15), (15,20), (20,25), (25,30), (30,35), (35,40), (40,45), (45,50), (50,55), (55,60), (60,65), (65,70).

Run all the elements of speed trace in loop and then increase the count of each bin by 1, when any speed value falls within the bin.

Calculating Aerodynamic Speed, (7) Characteristic Acceleration and (8) Kinetic Acceleration [1]

Aerodynamic Speed

$$v^2_{aero,i,i+1} = \sum_{i=1}^{i=n-1} \left(\frac{v^3_{i+1} + v^2_{i+1}.v_i + v_{i+1}.v^2_i + v^3_i}{4}\right) \cdot \frac{\Delta t_{i,i+1}}{\Delta D_{i,i+1}}$$

If speed cycle has 1s interval, then Δt_(i,i+1) will always be 1.

Characteristic Acceleration

$$CA = \frac{\sum_{i=1}^{i=n-1} positive\left(\frac{1}{2}.(v^2_{i+1} - v^2_i) + g.(h_{i+1} - h_i)\right)}{D}$$

If the elevation remains same throughout the drive cycle, g. (h_(i+1)-h_i) can be ignored.

Kinetic Intensity

$$KI = \frac{CA}{v^2_{aero}}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{i=n-1} positive\left(\frac{1}{2}.(v^2_{i+1} - v^2_i) + g.(h_{i+1} - h_i)\right)}{\sum_{i=1}^{i=n-1} \left(\frac{v^3_{i+1} + v^2_{i+1}.v_i + v_{i+1}.v^2_i + v^3_i}{4}\right) \cdot \Delta t_{i,i+1}}$$

If speed cycle has 1s interval, then Δt_(i,i+1) will always be 1 and if the elevation remains same throughout the drive cycle, g.(h_(i+1)-h_i) can be ignored.

3.2.2 Drive Cycle Development Algorithm

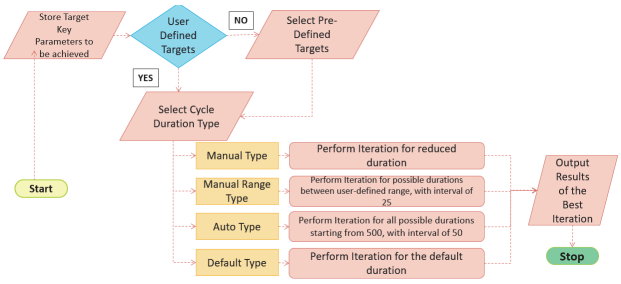


Figure 3 Drive Cycle Development Algorithm

3.2.2.1 Setting Key Targets Parameters

Figure 3, describes in detail the algorithm developed by the team to develop representative drive cycles; the Target parameters are recorded by an onboard data logging system called Isaac Instruments

at a rate of 1 Hz, the data is obtained from 5 electric vehicles which have been operational in different parts of United States for almost 2 years. The raw data is filtered and analyzed by the tool itself using the process mentioned earlier.

The target parameters in the tool can be entered in two ways —

1. Hardcoded in the tool
2. Manually entered by the used (the velocity bin data has to be hardcoded)

3.2.2.2 Drive Cycle Duration Time

Currently there are 4duration options provided in the tool, these are:

1. Manual Type — User can input the exact length of the desired drive cycle.
2. Manual Range — User can input the range of length for the desired drive cycle.
3. Auto type — The tool will process all the iterations and result in the best possible drive cycle length.
4. Default — The tool will perform iteration for the default length.

3.2.2.3 Iteration Process

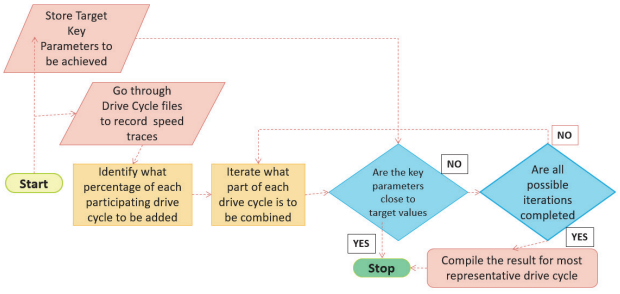


Figure 4 Iteration Process Algorithm

The tool uses a collection of candidate cycles to produce the desired drive cycle, the candidate cycles are drive cycles that are already in used for vehicle evaluation across the globe. The algorithm used by the tool for iteration process in shown in **Figure 4**. The 7 key parameters for these candidates drive cycles are already coded in the tool, and the tool uses these parameters to create a drive cycle that is best representative of the customer target. The candidate drive cycles are as follows —

FTP-75[1];UDDS[2];HWFET[3];GM-City[4];ECE[5];CLTC-C[6];HHDDT[7];Interstate 55[8];JP-10-15[9];California UC[10];US 06[11];Smith Newton[12];WLTP-1[13];WLTP-2;WLTP-3b;AM_130;AM_150; Artemis[14] Road; Artemis Urban; CETC[15]; CHTC-C[16]; CHTC-D[17]; CHTC-HT[18]; CHT-LT[19]; CHTC-TT[20];

Note[1] The FTP-75: Federal Test Procedure

Note[2] UDDS: The EPA Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)

Note[3] HWFET: The Highway Fuel Economy Test (HWFET)

Note[4] GM City: Isuzu's proprietary Drive cycle for testing Urban/City Driving characteristics.

Note[5] ECE: ECE+EUDC. The ECE+EUDC test cycle—also known as the MVEG-A cycle—was used for EU type approval testing of emissions and fuel consumption from light duty vehicles.

Note[6] CLTC — C: China light-duty vehicle test cycle (CLTC)

Note[7] HHDDT: The Heavy Heavy-Duty Diesel Truck (HHDDT) schedule.

Note[8] Interstate 55: Isuzu's proprietary Drive cycle for testing Highway Driving characteristics.

Note[9] JP-10-15: The 10-15 mode cycle had been used in Japan for emissions and fuel economy testing for light duty vehicles

Note[10] California UC: The California Unified Cycle (UC)

Note[11] US 06: The US06 Supplemental to Federal Test Procedure (SFTP)

Note[12] Smith Newton (SN): Representative Drive Cycle as developed using NREL's DRIVE Tool, representing Smith Electric EVs

Note[13] WLTP: Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure

Note[14] ARTEMIS: Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems (Europe)

Note[15] CETC: The China engine test cycle

Note[16] CHTC- C: China heavy-duty commercial vehicle test cycle for inter-city coaches.

Note[17] CHTC-D: China heavy-duty commercial vehicle test cycle for dump trucks.

Note[18] CHTC-HT: China heavy-duty commercial vehicle test cycle for heavy trucks of GVW>5500 kg.

Note[19] CHTC-LT: China heavy-duty commercial vehicle test cycle for light trucks of GVW≤5500 kg.

Note[20] CHTC-TT: China heavy-duty commercial vehicle test cycle for tractor trailers.

3.2.2.4 Drive Cycle Scoring

Once the tool iteration process is completed, each iteration is scored based on the following formula Scoring Criteria = (Target Value − Cycle Value)/ Target Value

The goal is to minimize this function, all the iterations undergo same scoring criteria for all the 7 parameters, and the drive cycle which has the lowest cumulative score is selected by the tool. Drive Cycle Analysis and Development page from the GUI would look like the image shown in **Figure 5** below.

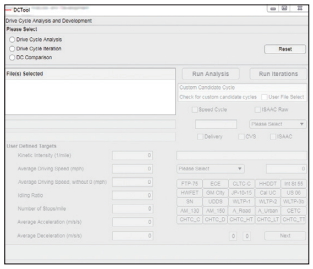


Figure 5　ITCA Drive Tool

3.2.3　Velocity bin Inclusion

Velocity bin is an important factor while creating a drive cycle, if the produced drive cycle velocity bin is a close match to the target profile; it improves the overall score of the drive cycle since all the parameters will be within range. The tool currently uses the velocity bin as a filter in the iteration process, once the iterations are completed the tool uses the target velocity bin to filter the iterated cycles, the cycle which has the best velocity bin and the lowest scores (based on 7 parameters is used)[see **Figure 6** for velocity bin inclusion algorithm].

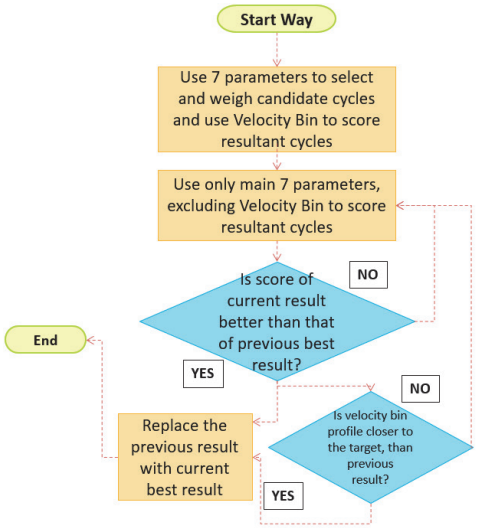


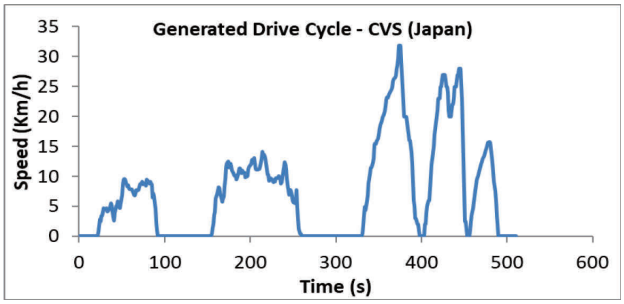
Figure 6　Velocity Bin Inclusion Algorithm

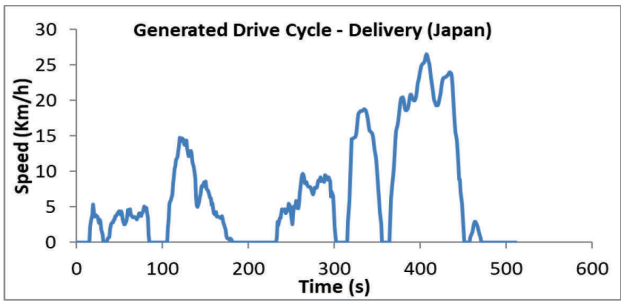
4　Results

The Results obtained from various iterations of the drive tool are presented in the following tables, the iterations are generated based on the 5 US customer operations, these include 2 beverage delivery vehicles − Pepsico and RedBull,; Office Depot; AmeriPride and Safeway. The study also includes data iterations from 2 Japan EV customer demo program for the same delivery vocation.

4.1　Velocity Profiles

Figure 7 show the resultant velocity profiles generated from the ITCA Drive Tool.





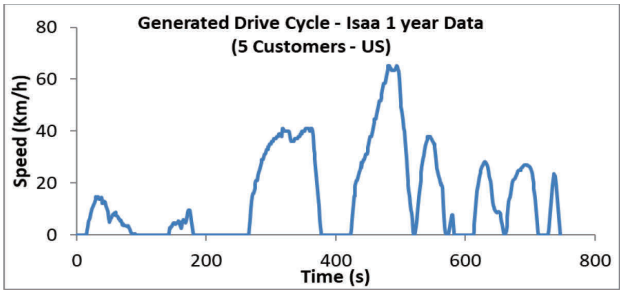


Figure 7　Velocity Bin Profiles

4.2 Data Comparison

The **Figures 8** to **12** show the parameter comparison between the target results versus the results obtained from the Drive Cycle tool, the results have been scaled, where the target values are scaled 100 percentage difference between the target and the result values are kept constant.

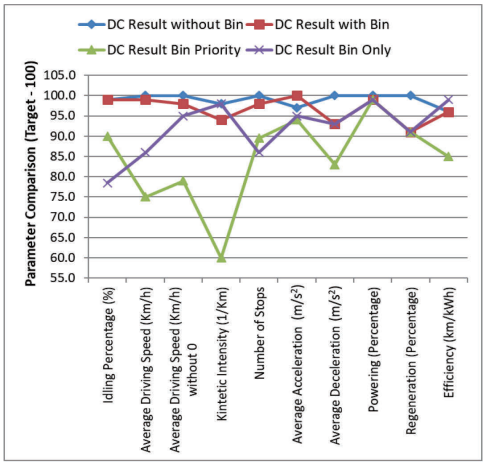


Figure 8 Stand Alone CVS Results (Japan)

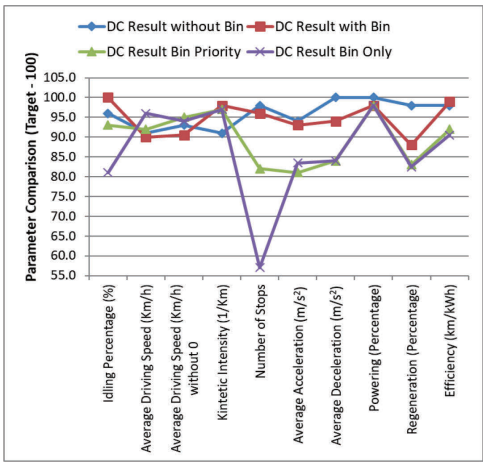


Figure 9 Stand Alone Delivery Results (Japan)

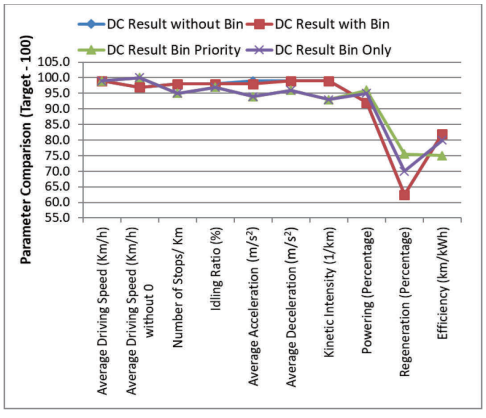


Figure10 US EV Customer Data

4.3 Velocity Bin Results

The velocity bin results obtained are as follows — each bin number represents a bin with a constant interval.

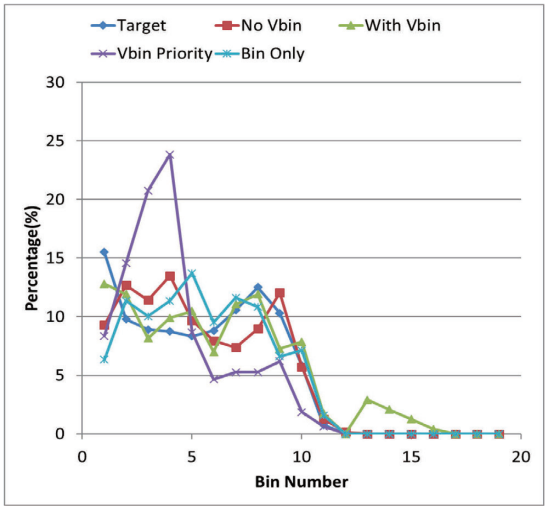


Figure 11 Velocity Bin Spread for CVS

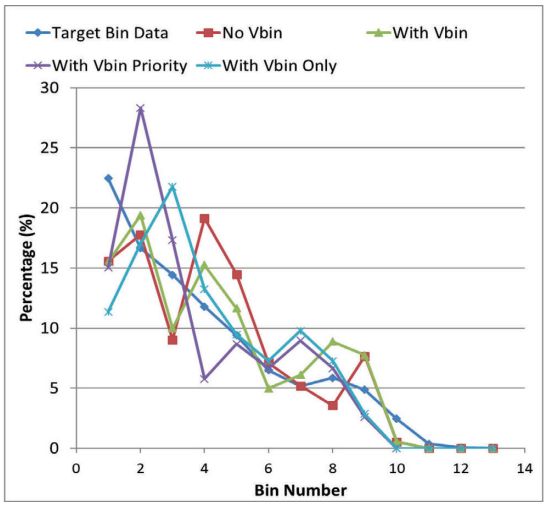


Figure 12 Velocity Bin Spread for Delivery

5 Conclusion

The results obtained from the tool are evaluated by use of 1D Vehicle model in GT power. The models used have shown fidelity of more than 95% and are used by ITCA for every day Electric vehicle performance and range estimations.

ITCA in-house drive cycle generation tool is developed such that it can produce the best representative drive cycle based on real world customer data.

● Next Steps

The drive cycle generation tool has been developed for electric vehicle application. The next step is to expand the usability of the tool for internal combustion engine (ICE) platform. The framework will be re-designed to take into consideration different parameters such as vocation, weight category, combustion type etc.

あとがき

ITCA（Isuzu Technical Center of America, Inc.）において、過去三年間の中でGT[1)]を用いた車両モデルベース開発への取り組みが進み、かつNREL[2)]/SWRI[3)]などの研究機関とのHEV[4)]協業やEVスタートアップのNordresa, INC（現DANA Corporation）とのEVモニター活動を通して電動化に対して一定の知見を得ることができた。今回の報告はそれらの知見を電動化した車両の評価パターンの検討に活かした事例の紹介です。

ITCAはいすゞ自動車やいすゞ中央研究所の皆さんとともにこれらの取り組みを進めており、その一端を本技報で報告させて頂きましたが今後も更なる進化の努力を皆さんとともに続けます。

例年同じ言葉ですが「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り組んでいる様子が本報告で少しでも伝われば幸いです。

（ITCA　チーフエンジニア　深井　泰雄）

注[1)] GT: Gamma Technologies -model

注[2)] NREL: National Renewable Energy Laboratory

注[3)] SWRI: Southwest Research Institute

注[4)] HEV: Hybrid Electric Vehicle

References

1. A. S. K. J. K. Michael P. O'Keefe, "Duty Cycle Characterization and Evaluation Towards Heavy Hybrid Vehicle Applications," SAE World Congress and Exhibition, Detroit, MI, 2007.

2. https://www.nrel.gov/transportation/drive-cycle-tool/

3. NREL Vehicle Drive Cycle Tool, User Guide. Copyright © 2009 Alliance for Sustainable Energy, LLC. All Rights Reserved.

4. V. Schwarzer and R. Ghorbani, "Drive Cycle Generation for Design Optimization of Electric Vehicles," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 62, No. 1, p.89-97, Jan. 2013, doi: 10.1109/TVT.2012.2219889.

5. Pfriem, Matthias and F. Gauterin. "Development of real-world driving cycles for battery electric vehicles." World Electric Vehicle Journal 8 (2016): p.14-24.

6. Zhao, Xuan & Yu, Qiang & Ma, Jian & Wu, Yan & Yu, Man & Ye, Yiming. (2018). Development of a Representative EV Urban Driving Cycle Based on a k-Means and SVM Hybrid Clustering Algorithm. Journal of Advanced Transportation. 2018. 1-18. 10.1155/2018/1890753.

7. H. Y. Tong & W. T. Hung (2010) A Framework for Developing Driving Cycles with On-Road Driving Data, Transport Reviews, 30:5,p.589-615,DOI: 10.1080/01441640903286134

8. Galgamuwa, Uditha & Perera, Loshaka & Bandara, Saman. (2015). Developing a General Methodology for Driving Cycle Construction: Comparison of Various Established Driving Cycles in the World to Propose a General Approach. Journal of Transportation Technologies. Vol.05. p.191-203. 10.4236/jtts.2015.5

著　者

Santhosh Pasupathi

Sparsh Saxena

Aishwarya Shetty

Gerald Bergsieker

論文・報告

国内向け新型エルフの車両開発について

Development of New ELF for Domestic

高橋　学士*
Satoshi Takahashi

小林　舜*
Shun Kobayashi

要　旨

新'21 型エルフは、従前モデルの開発コンセプトである「はしる・とまる・つながる」を踏襲しつつ、「とまる」について一層の強化を行った。加えて、意匠変更による更なる商品力の向上と各種法規対応を行った。

本稿では、その概要について紹介する。

Abstract

The new '21 model ELF has been developed its "stop" function, following current model's development concept; "run", "stop" and "connect". Furthermore, the new ELF had a facelift and also conformed to the latest regulations. The outline is introduced below.

1　はじめに

昨今の国内市場ではドライバー不足の深刻さが増し、多くの企業でドライバーの労働環境が見直される中、商用車に対する安全性・利便性・経済性への要求は更に高まっている。

従前モデルでは、「はしる・とまる・つながる」をコンセプトに、エンジン・シャシを刷新し、高い燃費・環境性能を実現、更に先進安全装備及びコネクテッドサービスを展開することで、多様化する時代のニーズに応えてきた。

新'21 型エルフは「No.1 エルフ」を維持するべく、従前モデルに対し更なる安全性能の強化、及び商品力の向上を目指して開発された。

2　開発のねらい

安全性能の強化を目的とした先進安全装備の拡充に当たり、事故抑制への有効性を高めるため、小型トラックの事故実態を調査した。小型トラックによる加害死亡事故は、横断中の歩行者に対する割合が多い。更にその事故形態を分析すると、自車の直進時の事故が約6割、自車の右折時の事故が約3割を占める（**図1**）。

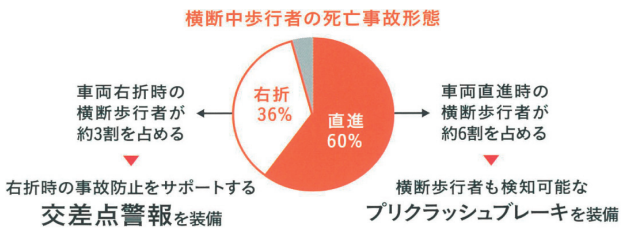


図1　横断中歩行者の死亡事故形態

自車直進時の対横断歩行者事故の抑制には、従前モデルで採用した衝突被害軽減ブレーキシステムが寄与するため、新'21 型エルフでは、自車右折時の事故に着目して交差点警報を追加。本装置の開発にあたり、自車直進時の交差車両に対する出会い頭への警報対応も実施。更に、ヘッドランプ及びフォグランプにLED 光源を採用し、夜間走行時の前方視認性を向上。また、衝突被害軽減ブレーキシステムの全車展開、車間距離警報の強化を実施し、全体的に安全性能を強化した。

商品力の向上においては、外装・内装の意匠変更を実施。

その他として、各種最新法規への対応を実施。

開発項目をまとめると、次の①～③となる。

① 安全装備の拡充
- 交差点警報追加
- 出会い頭警報追加
- 衝突被害軽減ブレーキシステム全車展開
- 車間距離警報強化
- ヘッドランプ・フォグランプ LED 化

② フェイスリフト（意匠変更）
- 外装変更
- 内装色変更

③ 法規対応
- J-OBD Ⅱ（車載式故障診断装置：Japan On Board Diagnosis）対応
- 後写鏡法規（UN-R46-04）対応
- 後部突入防止装置法規（UN-R58-03）対応

これらについて、次の**2.1節**～**2.3節**で詳細を述べる。

*小型・中型商品企画・設計部

2.1 先進安全装備

2.1.1 交差点警報追加

交差点進入時、車両正面の左右（ヘッドランプ上部）に取付けられたSRR（近距離ミリ波レーダ：Short Range Radar）により、右左折先の横断歩行者及び自転車を検知し、衝突の可能性がある場合に警告灯／警告音により、ドライバーへ回避行動を促す（図2）。

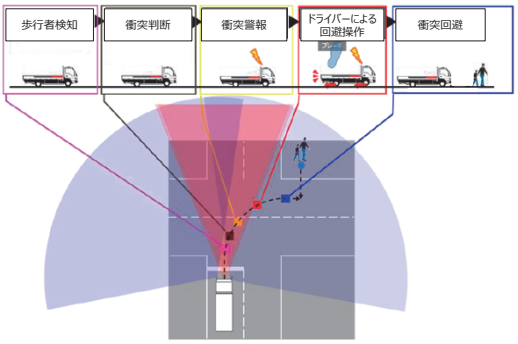


図2　交差点警報の作動内容

2.1.2 出会い頭警報追加

交差路進入時、SRR（近距離ミリ波レーダ：Short Range Radar)によって接近する交差車両(自動車及びバイク）を検知し、衝突の可能性がある場合に警告灯／警告音により、ドライバーへ回避行動を促す（図3）。

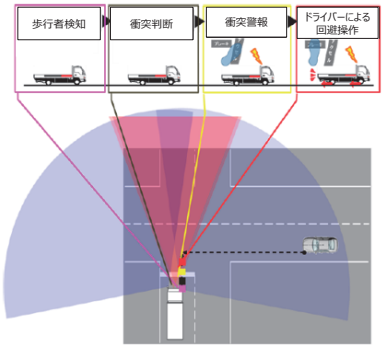


図3　出会い頭警報の作動内容

2.1.3 衝突被害軽減ブレーキシステム全車標準化

従前モデルでは一部車型での展開となっていたAEBS（衝突被害軽減ブレーキシステム：Advanced Emergency Braking System）を、全車型に標準装備とした。

2.1.4 車間距離警報強化

新'21型モデルのFCW（車間距離警報：Front Collision Warning）は、従前モデルのTHW（車頭時間:Time Head Way）方式から、THW方式とTTC（衝突余裕時間：Time To Collision）方式のハイブリッド方式に変更した。これによって、ドライバーの感覚により近いタイミングでの注意喚起を行う。

・車頭時間方式

THW（車頭時間:Time Headway）は、図4に示すように自車が現在の速度 V_f で、現在の先行車両位置に到達するまでの時間、すなわち、車間距離Xを移動するのに要する時間であり、t_h として次式で表される。

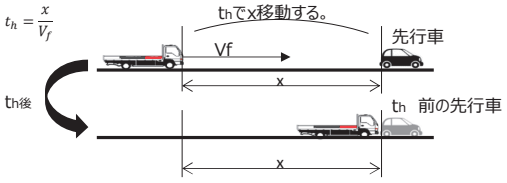


図4　車頭時間方式

・衝突余裕時間方式

TTC（衝突余裕時間:Time To Collision）は、図5に示すように現在の相対速度 V_r が維持されると仮定した場合の、自車が先行車に衝突するまでの時間を示しており、t_c として次式で表される。

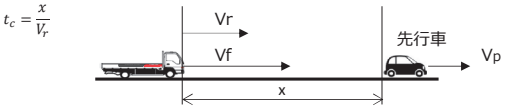


図5　衝突余裕時間方式

2.1.5 ヘッドランプ・フォグランプLED化

ヘッドランプには、ロービームとハイビームの光源を一体化したLEDを採用。

ハイキャブ及びワイドキャブでは上記に加え、ポジションランプにシグネチャーLEDを設定し、先進的なデザインにした。併せてフォグランプにもLEDを採用した（図6）。

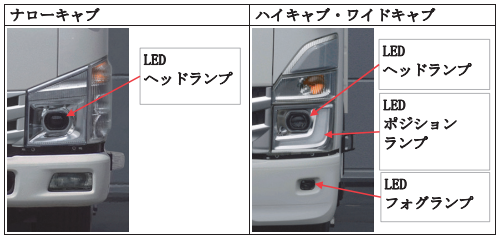


図6　LEDヘッドランプ・フォグランプ

ヘッドランプをLED化することにより、従前モデルで標準装備となっているハロゲンに比べ、ロービームとハイビームともに夜間の視認性が向上した（図7,図8）。

図7　LEDロービーム

図8　ハロゲン ロービーム

また、LEDはハロゲンに比べてランプ寿命が長いため、バルブ交換頻度の低減にも大きく貢献している。

2.2 フェイスリフト（意匠変更）

外装については、ラジエータグリルの色を変更し、車両外観をシルバー基調にすることで、シャープな印象を持たせた。

ハイキャブ及びワイドキャブにおいては、交差点警報の搭載にあたり、ヘッドランプ周りのデザインを変更。また、ハイキャブとワイドキャブではLEDフォグランプの採用に伴い、フロントバンパの形状を変更した。全体的に流線的な形状にすることで、先進的なデザインに仕上げた（**図9, 図10**）。

図9　ナローキャブ 意匠変更
左:従前モデル、右:新'21型エルフ

図10　ハイキャブ 意匠変更
左:従前モデル、右:新'21型エルフ

内装については、従前モデルよりもハイコントラストな色合いに変更することで、より開放的な車内空間を演出した。ドライバーの目線より下側となるインパネ・ドアトリム・フロアマット等は、色調を暗くすることで、引き締まったイメージを与えている。反対に、ドライバーの目線より上側のピラートリム・ルーフトリムは、色調を明るくすることで、開放感を感じさせた。また、シートには清潔感のあるブルーを基調としたデザインを採用した（**図11, 図12**）。

図11　従前モデル 内装

図12　新'21型エルフ 内装

2.3 法規対応

法規対応として次の(1)～(3)への対応を実施。

① J-OBD Ⅱ対応

尿素SCR（選択触媒還元：Selective Catalytic Reduction）の後段に、PMセンサとNOxセンサを追加し、DPD（Diesel Particulate Defuser）捕集率診断及びSCR浄化率診断を可能にした。

② 後写鏡法規（UN-R46-04）対応

UN-R46-04への法規対応として、衝撃テスト要件変更への対応を実施。ミラー破損時の鏡面飛散を防止する構造とし安全性を向上。

③ 後部突入防止装置法規（UN-R58-03）対応

UN-R58-03の法規対応として、強度要件の規制強化に対応。高強度材の採用及び部品の構造変更により、周辺部品への影響を抑制し、架装性を維持した。

なお、新'21型エルフとして設定されているCNG車・HEV車においても、基本性能を維持したまま、先進安全装備・フェイスリフト・各種法規の対応を実施。商品力の向上を実施した。

3　おわりに

今回の新'21型エルフの開発は、新型コロナウイルスの流行による感染対策により、様々な制約を受ける体制での推進となった。

そのような状況下においても本プロジェクトを無事に完遂できたのは、携わって頂いた全ての方々が、いすゞの使命である「運ぶを支える」のもと、一致団結したからに他ならない。

その結果、新'21型エルフは更に魅力のあるモデルに仕上がり、他の追随を許さない商品であると確信する。

最後に、新'21型エルフの開発に関わって頂いた協力企業の方々、社内関係部署の方々に心から感謝の意を表し、本稿の結びとする。

著　者

高橋　学士

小林　舜

論文・報告

フレーム付き車両の実稼働シャシ振動に対するタイヤの影響調査

Effect of Tires on Operational Chassis Vibration of the Vehicle with Chassis Frame

丸山　隆太*　Ryuuta Maruyama
赤間　洋*　Hiroshi Akama
平井　誠*　Makoto Hirai
内藤　敏幸*　Toshiyuki Naito

要　旨

車内騒音性能の開発期間短縮、コストと重量の最適化に対応するため、各部品の振動特性が、車両振動に与える影響を明確にする必要がある。本研究では、フレーム付き車両の加速時シャシ振動に対するタイヤの影響を実験的に解析し、そのメカニズムを実稼働シャシ振動解析モデルにより明らかにしたので、その結果を報告する。

Abstract

In order to shorten development period for a vehicle noise performance and optimize cost and weight, it is necessary to clarify the effect of vibration characteristics of each component on vehicle vibration. In this paper, we evaluate effect of tires on operational chassis vibration of the vehicle with chassis frame experimentally and explored that mechanism by using model which could calculate operational chassis vibration.

1　はじめに

本研究で対象としているピックアップトラックは積荷の搬送だけでなく、乗用ユースとしても使用されるため、車内の静粛性は商品性を決める重要な要素となっている。その一方で、車両開発の期間短縮、及び開発コストと重量の削減も求められており、設計の初期段階での合理的な車両構造の造りこみが重要になっている。

更にピックアップトラックは一般的な乗用車のモノコック構造と違い、キャブマウントでキャブとシャシを結合した構造であるため、応答側であるキャブの伝達特性と、入力側であるシャシ実稼働振動にそれぞれ目標値を定めて開発することが一般的に行われている。そのため、設計の初期段階での合理的な車両構造の造りこみには、各車両部品がキャブの伝達特性とシャシ実稼働振動に与える影響を明確にする必要がある。

各車両部品のキャブの伝達特性への影響については、伝達経路解析を用いて車内音への寄与の大きいパネルを特定し、対策検討した事例等 [(1)] が報告されているが、シャシ実稼働振動への車両部品の影響を考察した報告事例は少ない。更にこれまでに、ピックアップトラックのタイヤを履き替えた際に、加速時のこもり音領域（35～140 Hz）のシャシ実稼働振動が変化する現象が確認されていたが、そのメカニズムの解明には至っておらず、報告事例もないのが実情であった。

そこで本研究では、タイヤが加速時のシャシ実稼働振動に与える影響を実験的に解析し、更にエンジンからタイヤまでのドライブトレインを含むシャシ FEM（有限要素法：Finite Element Method）モデルを用いることにより、タイヤの特性値が加速時シャシ振動に与えるメカニズムを考察したので、その結果を報告する。

2　実験によるタイヤの影響調査

2.1 実験方法

比較用に用いた二種類のタイヤとホイールの仕様を**表 1** に示す。ホイールにタイヤを組み込み、規定の空気圧に調整し、タイヤが接地した状態となるように、ホイール側に輪重相当の荷重を付加して実験モード解析を行った結果を、**図 1～4** に示す。2 つのタイヤでは 1 次から 3 次モードの固有振動数に、36 % 程度の差が生じている。

この 2 つのタイヤを**表 2** に示すピックアップトラックに装着し、シャシダイナモ上で 3 速アクセル全開加速を行った。そして、**表 3** に示すシャシ上の全 28 点の加速度応答のエンジン爆発 1 次成分の計測を行い、タイヤの特性差がこもり音領域（35～140 Hz）のシャシ実稼働振動に与えた影響の調査を行った。

*㈱いすゞ中央研究所

表1　試験対象のタイヤ

	Tire-No. 1	Tire-No. 2
Tire Size	245/65/R17	255/60/R18
Wheel Weight	10.2 kg	11.5 kg

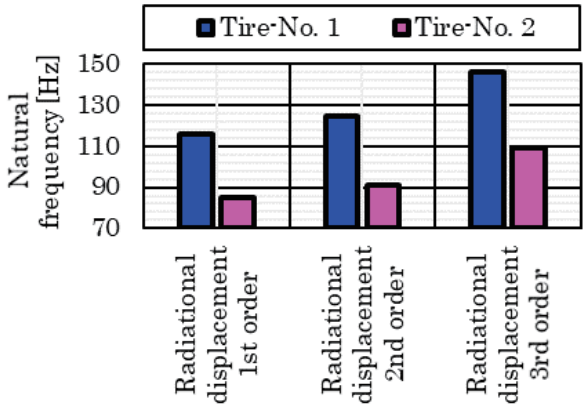


図1　試験対象のタイヤの固有振動数

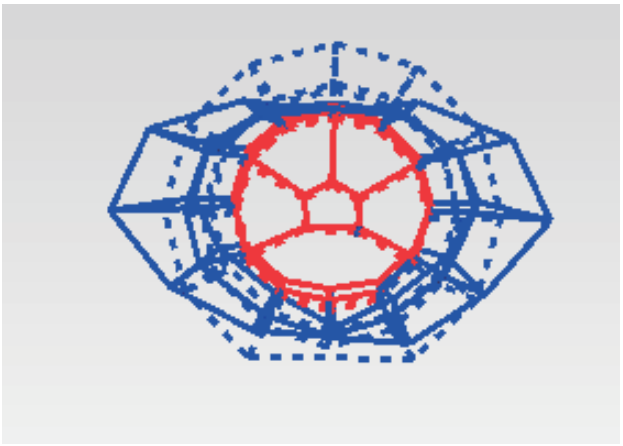


図2　Tire-No.1 半径方向1次モード

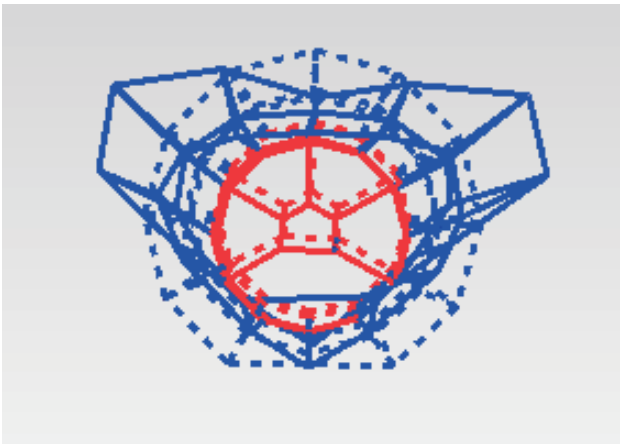


図3　Tire-No.1 半径方向2次モード

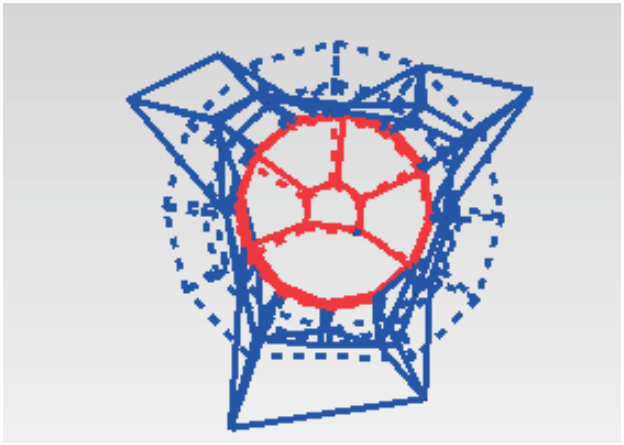


図4　Tire-No.1 半径方向3次モード

表2　試験車両の仕様表

Engine	Displacement	2.5 L
	Type	In-Line 4-Cylinder -Diesel with T/C
Transmission		5-Speed Manual
Drive system		FR
Front suspension system		Double wishbone
Rear suspension system		Leaf rigid

表3　加速時実稼働振動の計測点

Part name		Measurement points
Frame		10 points × 3 directions
Rear suspension	Leaf Spring	10 points × 3 directions
	Axle Case	4 points × 3 directions
Engine		4 points × 3 directions

2.2　実験結果

図5と図6に表3のリーフスプリングとアクスルケース上で計測した全14点×3方向の加速度応答の振幅二乗和とそのタイヤによるレベル差を、図7～9にTire-No.1装着時の加速時リアサスペンション実稼働振動形状を示す。図5～9より、タイヤの変更によって1850 rpmのリーフスプリング曲げモード、3000 rpmのアクスルケースねじりモード、及び3600 rpmのリーフスプリングヨーモードのピークレベルが約3～8 dB変化し、タイヤの特性差が加速時シャシ実稼働振動に影響を与えていることが確認できた。

そこで次に、エンジンからタイヤまでのドライブトレインを含むシャシ FEM モデルを用いて、タイヤのどの部位の特性値が加速時シャシ実稼働振動に影響を与えているのかを考察する。

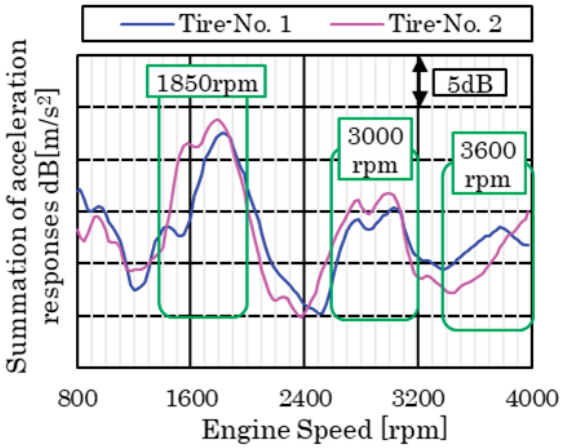


図 5　リーフスプリングとアクスルケース上の応答点の振幅二乗和のタイヤ違いによる比較

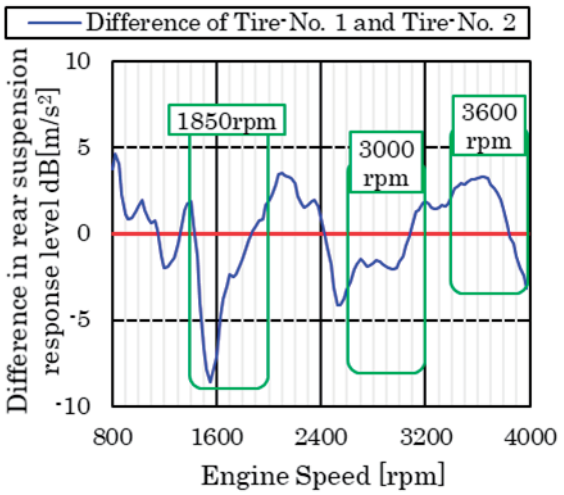


図 6　リーフスプリングとアクスルケース上の応答点の振幅二乗和のタイヤ違いによるレベル差

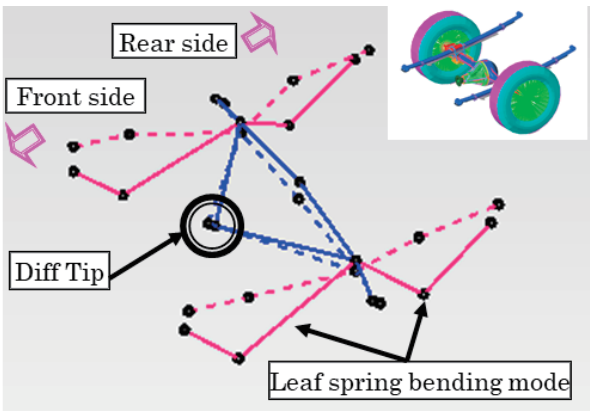


図 7　Tire-No.1 装着時の 1850 rpm の実稼働モード

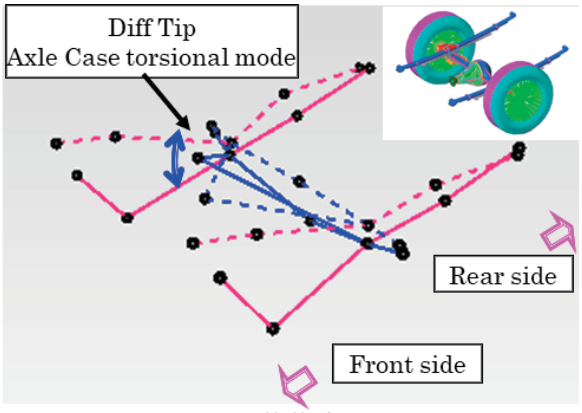


図 8　Tire-No.1 装着時の 3000 rpm の実稼働モード

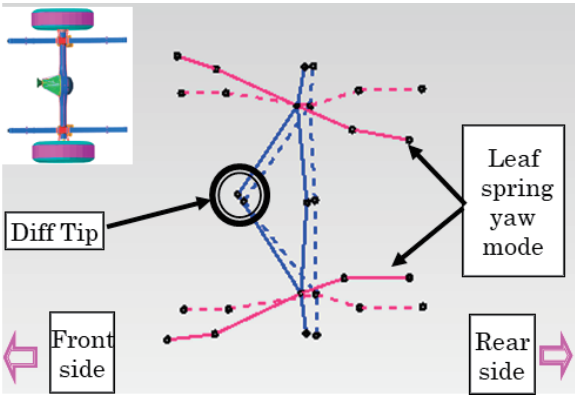


図 9　Tire-No.1 装着時の 3600 rpm の実稼働モード

3　シャシ FEM モデルによるタイヤの影響調査

3.1　1D モデルによる特性値の計算

シャシ FEM モデルへ入力するエンジン起振力（爆発 1 次成分）の算出及び振幅依存性のあるクラッチダンパ特性をシャシ FEM モデルで扱える特性へ変換するために、1D の汎用解析ソフト GT-SUITE を用いてパワートレインモデルを構築した。

パワートレインモデルは、図 10 に示す通り、エンジン、フライホイール（以下 “F/W” と称す）、クラッチ、トランスミッション（以下 “T/M” と称す）、プロペラシャフト、アクスルシャフト、タイヤで構成されている。エンジンは、燃焼モデルを含めずシンプルなモデルとし、入力値として次の a)～c) のいずれかを使用しエンジンの各起振力を算出できるようにした。

a) 実機エンジン F/W 回転変動
b) 筒内圧、
c) エンジントルク

クラッチは、ねじり剛性、ヒステリシストルクを入力パラメータとしてモデル化した。T/M 及びドライブシャフトのねじり剛性と慣性モーメントは、シャシ FEM モデルから値を取得した。なお、各部品の減衰特性を

推定することは技術的に困難であることから、実走行試験結果を基に、ねじり剛性要素と並列にレイリー減衰を与え、ギヤ段ごとに異なる減衰は T/M に与えた。

図 11 に F/W 及び T/M アウトプットシャフトの回転変動（エンジン爆発 1 次成分）の実測と計算結果との比較結果を示す。両者はよく一致しており、1D モデルのモデリング及び算出した回転系に関わるエンジン起振力が正しく求まったと判断できた。この 1D モデルより求めたシャシ FEM へ入力するエンジン起振力及びクランクシャフトトルクのエンジン爆発 1 次成分を図 12、図 13 に示す。

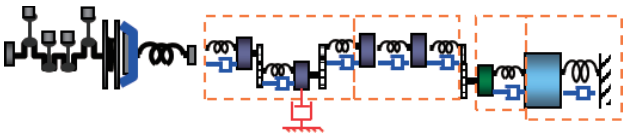
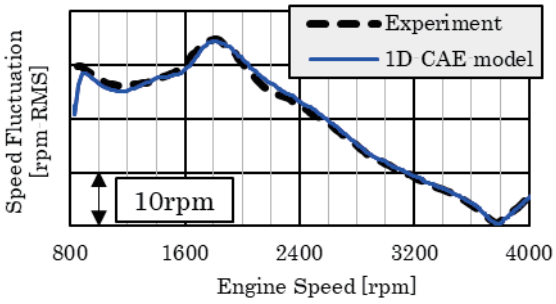
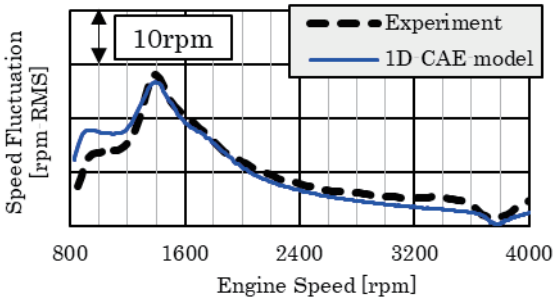


図 10　パワートレイン 1D モデルの概念図



(a) フライホイールの回転変動



(b)T/M アウトプットシャフトの回転変動

図 11　回転変動の実測値と 1D モデルの計算結果との比較

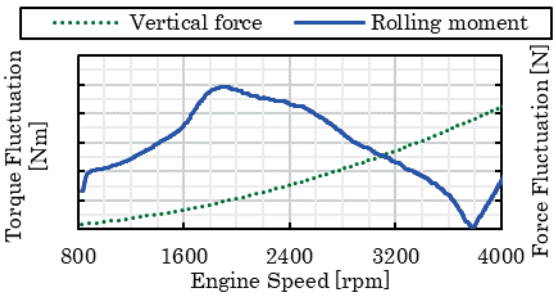


図 12　シャシ FEM モデルに入力したエンジン起振力

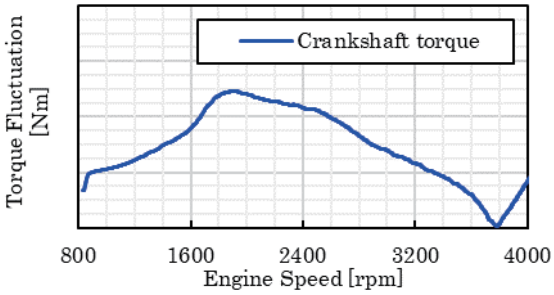


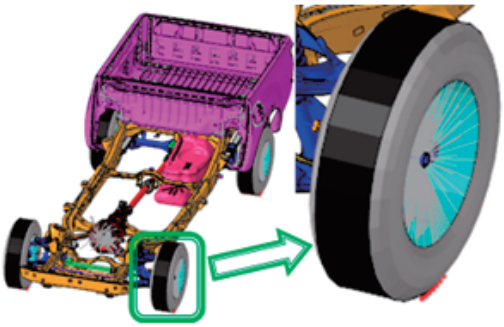
図 13　シャシ FEM モデルに入力したクランクシャフトトルク

3.2　シャシ FEM モデル

図 14 にタイヤの影響調査に用いたシャシ FEM モデルを示す。実稼働振動の解析を行うため、エンジンからタイヤまでのドライブトレインを含むシャシ FEM モデルを構築した。またタイヤモデルについては、トレッドとサイドウォールはシェル要素、タイヤ空洞はソリッド要素でモデル化し、各要素の物性値は、タイヤ接地状態の実験モード解析結果（図 1）より同定した。またホイールは集中質量でモデル化している。

この FEM モデルに 1D モデルで求めたエンジン起振力とクランクシャフトトルク、及び線形化した各物性値を入力し、加速時シャシ実稼働振動の計算を行った。

図 15 に示すタイヤ変更時のリアサスペンション振動の応答レベルの変化量を、シャシ FEM モデルと実験結果で比較した結果より、構築したシャシ FEM は、タイヤの変更によるリアサスペンション応答レベルの変化量を十分な精度で再現することができた。



Tire model
(1) Tread; shell element
(2) Sidewall; shell element
(3) Wheel; concentrated mass
(4) Tire cavity; solid element
⇒Physical property values of each model are estimated from the experimental results of natural frequencies (Fig1).

図 14　シャシ FEM モデル

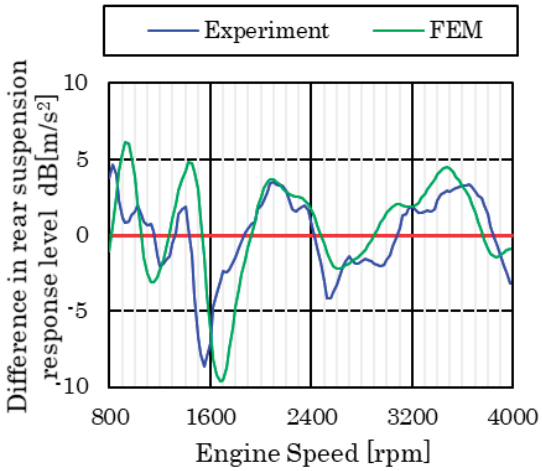


図 15　リーフスプリングとアクスルケース上の応答点の振幅二乗和のタイヤ違いによるレベル差の実験結果と FEM モデルの比較

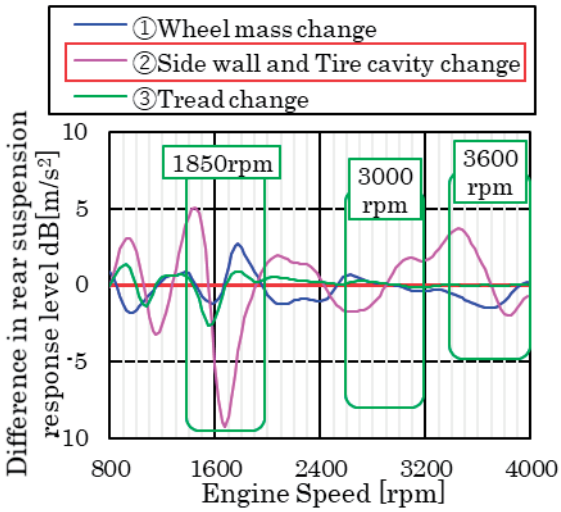


図 16　タイヤの物性値変更によるリーフスプリングとアクスルケース上の応答点の振幅二乗和のレベル差

3.3 シャシ FEM モデルによるタイヤの影響の考察

次に構築したシャシ FEM モデルを用いて、加速中のシャシ実稼働振動への影響の大きいタイヤの特性値の考察を行う。

表 4 に示すシャシ FEM モデルの仕様表のとおり、ホイールの質量、サイドウォールとタイヤ空洞の物性値、及びトレッドの物性値を順次変更して加速時実稼働振動の解析を行い、各物性値変更前後のリアサスペンション振動の応答レベルの変化量を求めた。**図 16** に示すその結果より、トレッドの物性値とホイール重量を変更しても、応答レベルの変化量は約 2 dB 以内で影響は比較的小さい。その一方で、サイドウォールとタイヤ空洞の物性値の変更により 1850 rpm 付近の応答レベルが約 4～9 dB、3000 rpm 付近の応答レベルが約 3 dB、3600 rpm 付近の応答レベルが約 3.7 dB 変化した。

表 4　シャシ FEM モデルのタイヤの物性値の仕様表

model No.	Change property	Property name		
		wheel mass	Sidewall and Tire cavity	Tread
1	-	Tire No. 1	Tire No. 1	Tire No. 1
2	①Wheel mass	Tire No. 2	Tire No. 1	Tire No. 1
3	②Sidewall and Tire cavity	Tire No. 2	Tire No. 2	Tire No. 1
4	③Tread	Tire No. 2	Tire No. 2	Tire No. 2
	-			

更に**図 17～19** に示す、Tire-No.1 装着時のシャシ FEM モデルの左リアタイヤの加速時実稼働振動形状より、各エンジン回転数において、ホイールとトレッドの相対運動に伴い、サイドウォールが大きく変形する振動モードが励起されていた。

従って、タイヤはそのサイドウォールの剛性によってシャシを支持しており、タイヤを変更するとサイドウォールの剛性差によって境界条件であるシャシの支持剛性が異なるため、加速時シャシ振動が影響を受けたと考えられる。

また参考に**図 20** に示す、伝達経路解析によって求めた、Tire-No.1 装着時の運転席耳位置の固体伝播音のエンジン爆発 1 次成分の寄与率より、特に 3600 rpm ではリアサスペンションの寄与が大きい。そのためタイヤのサイドウォールの剛性を変更する際には、車内音への影響を考慮する必要があると考えられる。

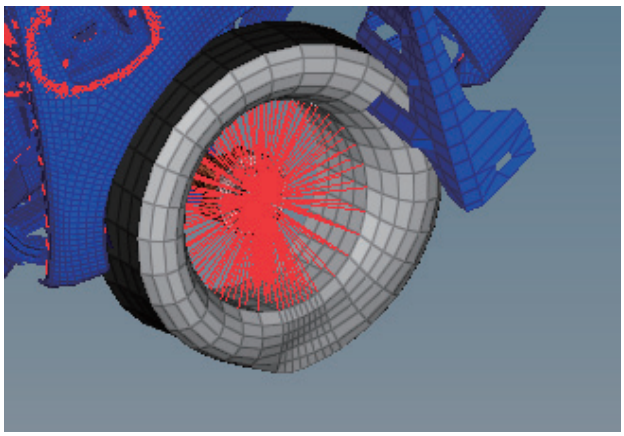


図 17　シャシ FEM モデル 1850 rpm の Tire-No.1 装着時のタイヤ実稼働モード

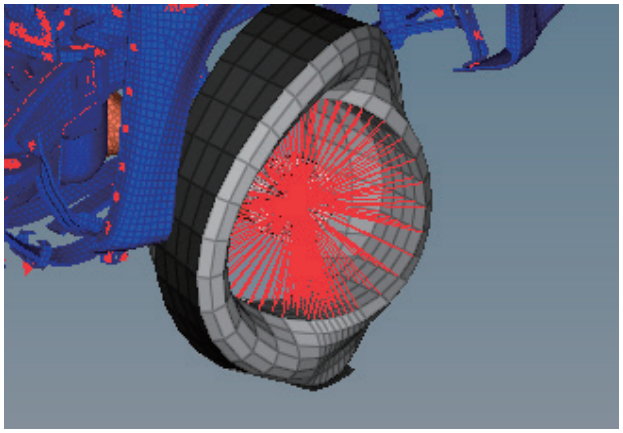


図 18　シャシ FEM モデル 3000 rpm の Tire-No.1 装着時のタイヤ実稼働モード

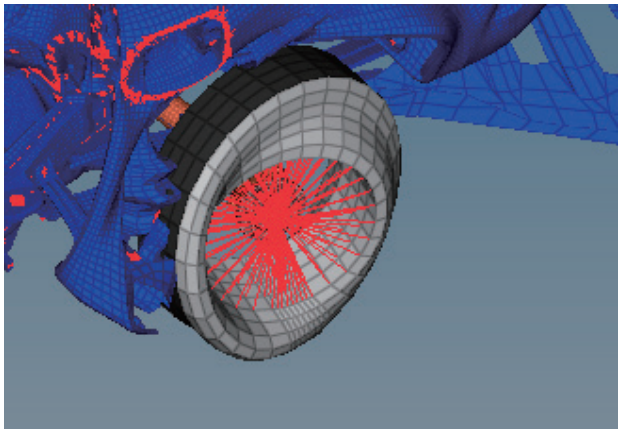


図 19　シャシ FEM モデル 3600 rpm の Tire-No.1 装着時のタイヤ実稼働モード

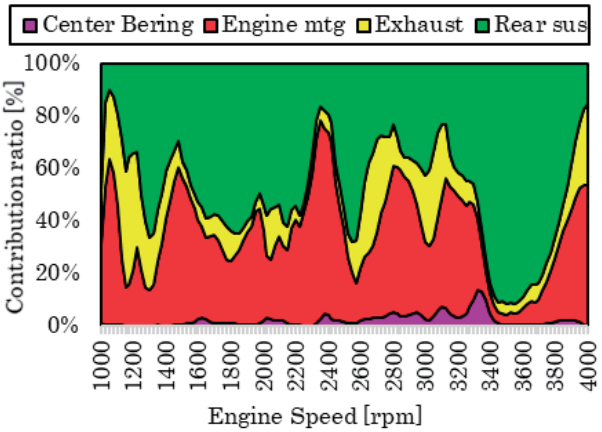


図 20　試験対象車の運転席車内音に対する固体伝播音成分の寄与率

4　おわりに

本稿ではピックアップトラックを対象に、タイヤがこもり音領域 (35～140 Hz) の加速時シャシ実稼働振動に与える影響の考察を行った。その結果、以下の知見を得た。

(1) 特性の異なるタイヤを装着した際に、シャシ振動が変化することを確認した。この現象はリアサスペンションの固有振動モードが見られるエンジン回転域において発生している。

(2) タイヤ特性を含むシャシ振動解析用 FEM モデルを構築し、(1) のタイヤによるシャシ振動の変化を再現可能であることを確認した。

(3) シャシ振動に影響を及ぼすタイヤ特性はサイドウォール剛性であり、タイヤの変更によりサイドウォールの剛性差が生じると境界条件であるシャシの支持剛性が変化し、加速時シャシ振動に影響を及ぼすことを確認した。

本文献は自動車技術会学術講演会講演予稿集 No. 154-20 p.1-5「フレーム付き車両の実稼働シャシ振動に対するタイヤの影響調査」を加筆修正の上報告するものである。

参考文献

(1) 上原律ほか：空気伝播音の要因分析技術検討（第 2 報），自動車技術会学術講演会講演予稿集 No. 19-15A（2015），p.472-477.

著　者

丸山　隆太

赤間　洋

平井　誠

内藤　敏幸

論文・報告

位置情報システム導入事例

Introduce of Location Information System

小笠原　亜紀*
Aki Ogasawara

要　旨

従来、いすゞの工場で物流作業者の作業分析を行う際は、ストップウオッチ等を用いて計測者が物流作業者の移動に同行し、調査及び分析を行うことが主流であった。そのため、調査には多大な時間と労力が必要である。今回、その調査と労力を削減するために位置情報を自動で取得できるシステムを導入した事例を紹介する。

Abstract

Previously, we need to go with the logistics operators who works at factory using stop-watch to study the logistic work analysis. Due to this method, the study takes an enormous amount of the time and the labor. In this time, we introduce new Work Analysis System to save labor.

1　はじめに

いすゞの工場（以下「工場」と略す）での物流工程改善時は作業内容の把握が必要であり、作業内容を分析する際は作業分析ツールまたは、ストップウオッチを使用し作業工数分析を実施している。特に物流作業者（以下「作業者」と略す）は、短時間でのサイクリック（周期的）な把握ではなく、一日を通した作業内容の把握となり、膨大な時間を要する。この作業を新たなツールを用いて自動取得し、分析時間の短縮を目指した。

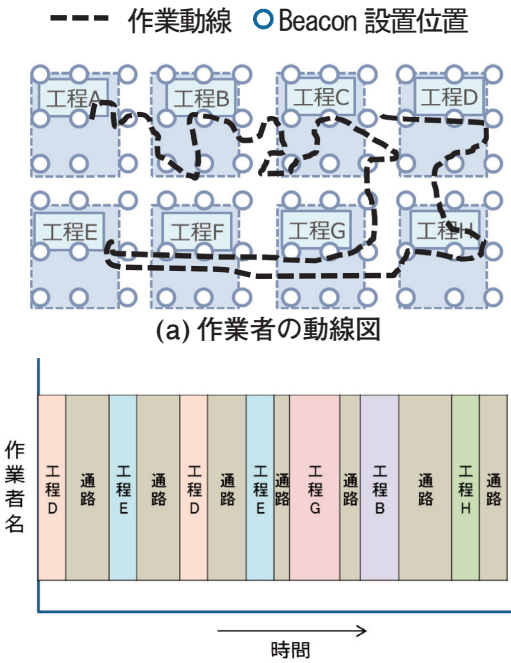
今回、作業者の部品ピッキング実績と位置情報を組み合わせて作業検証を目指した。

2　評価・検証方法

2.1　全体概要

これまでの作業分析は、分析対象をビデオ撮影し作業分析ツールを用いて分析を行ってきた。分析時間短縮を目指し、市販されている Beacon（発信機）とウェアラブル端末（受信機）を組み合わせて、各 Beacon とウェアラブル端末間の電波強度差を三点測量法で連続計測し、自動でレイアウト図に反映する設備を構築した。

Beacon は建屋・柱・棚等の固定物に取付け、ウェアラブル端末を作業者の腰に取付けた。**図 1** は本計測にてレイアウトに表示される作業者の位置情報と、作業時間中にどの工程で作業を行っているかをグラフ化したものである。



(a) 作業者の動線図

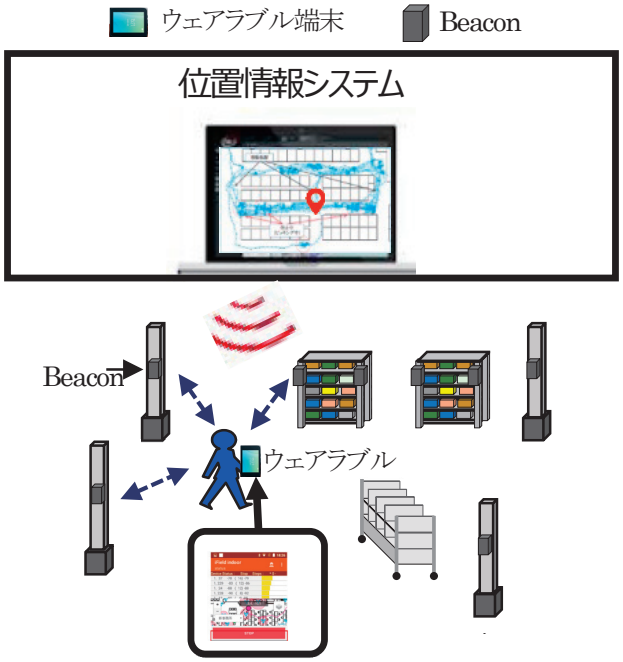
(b) 取得情報

図 1　作業者位置情報

図 2 に導入した設備の構成図を示す。ウェアラブル端末は位置情報の取得と、部品の順位立てピッキング指示の機能を有している。本報告は位置情報に特化した導入事例である。

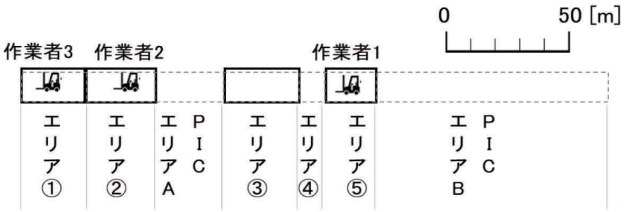
Beacon 自体は LAN 接続・電源が必要ない無線・電池式であり、磁石が付いているので取付け・取り外しが容易にできる。また物流は活動範囲が広範囲に渡りかつ、レイアウト変更が多々発生するので機器移設が容易な設備を選定・導入した。

*車両技術部

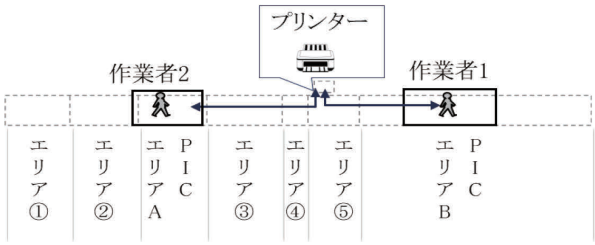


Beacon は、柱・棚等の固定物に取付け実施。
ウェアラブル端末は作業者が所持。

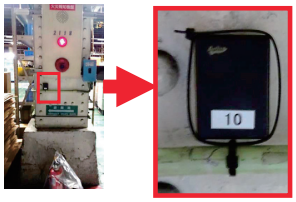
図 2　全体概要



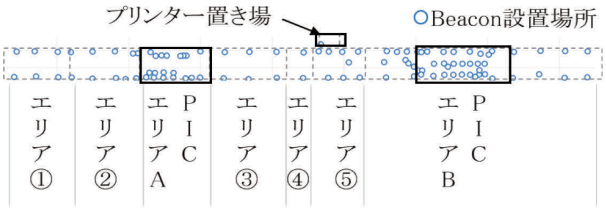
(a) フォークリフト作業者の作業エリア



(b) ピッキング作業者の作業エリア



(c) 計測で設置した Beacon



(d) 対象エリア内の Beacon 設置場所

図 3　本実験の対象エリア及び作業内容

2.2 実施エリア及び条件

HD 総組立工程への部品の順位立てピッキング部品の供給工程を対象エリアとし、フォークリフト（搬送・格納）作業者 3 名、及びピッキング作業者 2 名に対して 2 日間連続計測を実施した。位置情報の計測に使用した範囲は**図 3** に示す範囲である。位置情報の精度は、Beacon の設置数及び設置間隔に依存し、設置数が多く間隔が狭いほど精度が高い。フォークリフト作業は移動範囲が広く、複数エリア間の移動状況の把握が主のため、計測精度を考慮し広い範囲に Beacon を設置した。ピッキング作業は特定エリア内で移動を繰り返し、エリア内のどこにいるのかまで判別が必要なため Beacon の数を増やした。**図 3(c)** に Beacon を示し、設置場所を**図 3(d)** に示す。今回は Beacon の設置間隔を、ピッキング作業者が作業するエリアで 2 m 間隔、フォークリフト作業者が作業するエリアで 10 m 間隔とした。

2.3 対象作業

作業計測対象となる作業者人数及び作業内容の内訳を**表 1** で示す。

表 1　作業内容内訳

作業者番号	作業内容
フォークリフト作業者1	出庫部品の一時置きエリア， 順位出庫エリア間の搬送作業
フォークリフト作業者2	納入部品の一時置きエリア， 順位出庫エリア間の搬送作業
フォークリフト作業者3	順位出庫に使用する空容器回収， 並び替え作業
ピッキング作業者1	ハーネス・バンパーの順位出庫作業 及び作業指示票引き取り
ピッキング作業者2	エアタンク・バッテリーの順位出庫作業 及び作業指示票引き取り

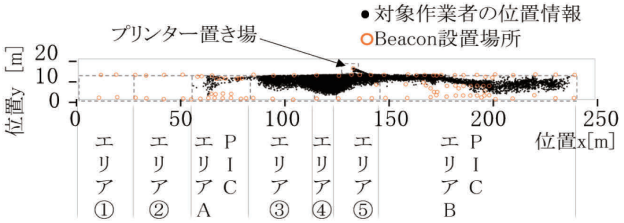
3　結果

3.1　計測結果

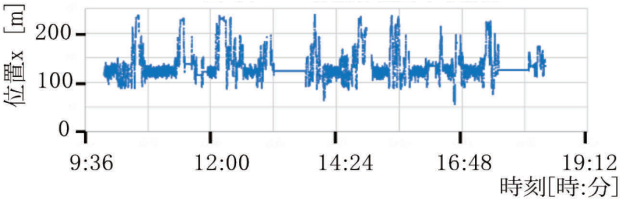
3.1.1　動線情報の可視化･データ化

作業者の位置情報を図 4 に示す。図 4(a) は作業者位置（図中の点）を 1 秒単位でプロットした描画データである。図 4(b) は時間の経過に対する図 4(a) の x 軸の値、図 4(c) は時間の経過に対する図 4(a) の y 軸の値を示す。

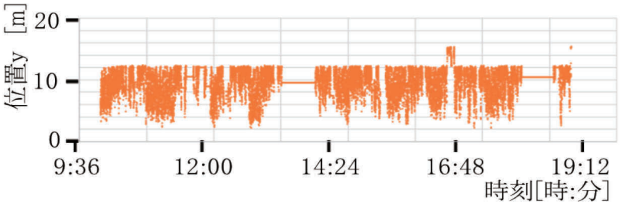
x 軸･y 軸の原点は左下とした。x 軸は作業者が右方向移動すると正の方向に値が増え、y 軸は上方向へ移動すると正の方向に値が増える。



(a) 作業者位置の可視化



(b) 時間の変化に対する x 軸の変位



(c) 時間の変化に対する y 軸の変位

図 4　動線情報の可視化

3.1.2　ピッキング作業内容の取得

部品のピッキング作業者の実績（順位立てピッキング時刻・部品情報）を図 5 に示す。図 5 は時間の経過に伴う品目別のピッキング実績である。

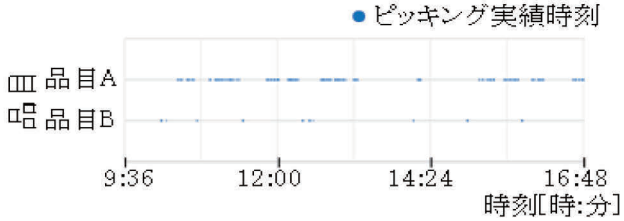


図 5　ピッキング実績情報

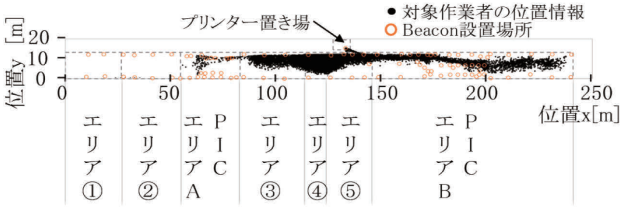
3.2　分析結果

3.2.1　フォークリフト作業者

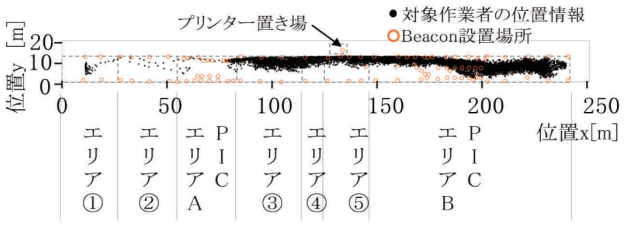
3.2.1.1 フォークリフト作業者の位置情報

フォークリフト作業者の位置情報を図 6、時間に対する x 軸の変位を図 7、時間の変化に対する y 軸の変位を図 8 に示す。

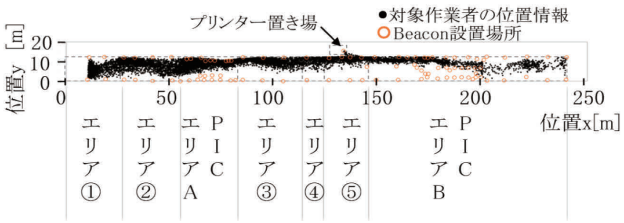
図 6 で示したフォークリフト作業者の位置情報を比較すると、フォークリフト作業者 1、2 は作業範囲が重なっているが、フォークリフト作業者 3 の作業エリアは別であることがわかる。図 7(a)、(b) で示す時間に対する x 軸の変位も含めて確認すると、フォークリフト作業者 1、2 の作業の干渉をグラフから読み取ることができる。



(a) フォークリフト作業者 1 の位置

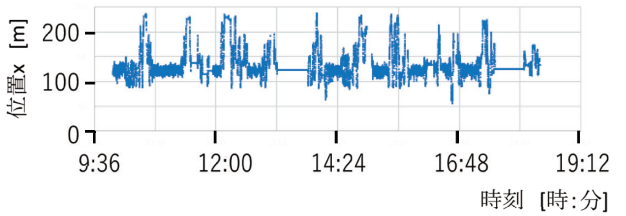


(b) フォークリフト作業者 2 の位置

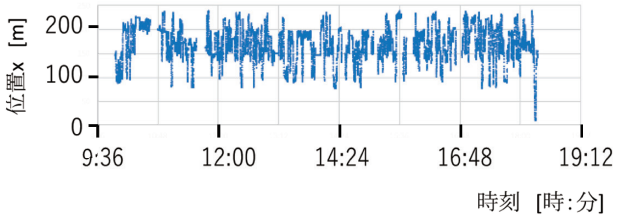


(c) フォークリフト作業者 3 の位置

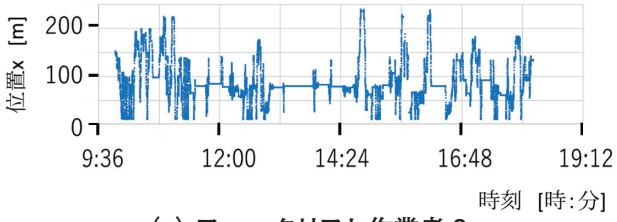
図 6　フォークリフト作業者の位置



(a) フォークリフト作業者 1

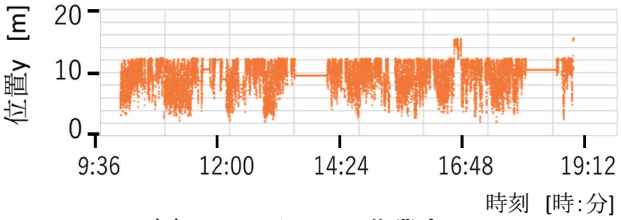


(b) フォークリフト作業者 2

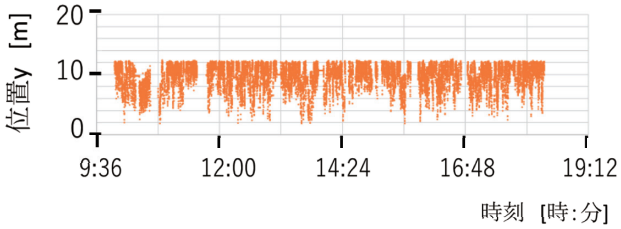


(c) フォークリフト作業者 3

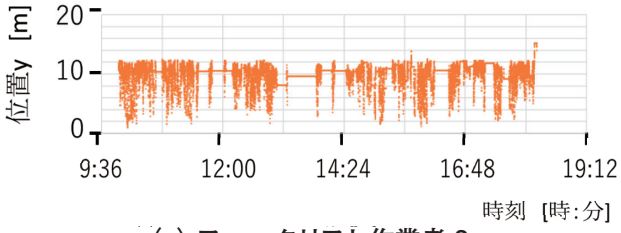
図 7　フォークリフト作業者の時間に対する x 軸の変位



(a) フォークリフト作業者 1



(b) フォークリフト作業者 2



(c) フォークリフト作業者 3

図 8　フォークリフト作業者の時間に対する y 軸の変位

3.2.1.2フォークリフト作業者の x 軸の変位

図 6(a)、**図 7(a)** で示す通りフォークリフト作業者 1 は、x 軸が 100-150 m の限られた範囲で部品の入れ替えのための往復作業を繰り返している。一定期間往復作業実施後、x 軸が 200 m を超えた位置の PIC エリア B まで部品を搬送していることが、グラフから確認できる。

図 6(b)、**図 7(b)** で示す通りフォークリフト作業者 2 は、広い範囲の往復作業を行っており、エリアを跨いでの移動が多いことがわかる。

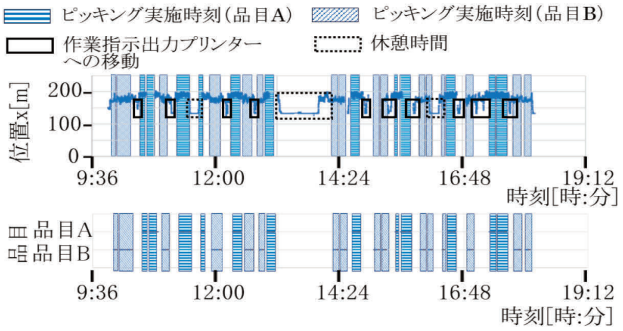
図 6(c)、**図 7(c)** で示す通りフォークリフト作業者 3 は、x 軸が 0-100 m 間の往復作業を繰り返しており、エリア①から PIC エリア B まで広範囲に渡り往復作業を繰り返している。

フォークリフト作業者 2 は**図 7(b)** からもわかる通り、常に移動していることが確認できる。フォークリフト作業者 3 は**図 7(c)** からもわかる通りフォークリフトの停止時間が長く、フォークリフトから降りて作業している時間が長いことが確認できる。そのため、フォークリフトを用いた作業時間を上げるための作業検討が必要である。

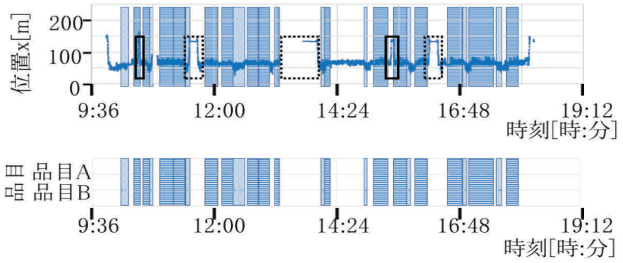
3.2.2　ピッキング作業者の詳細分析
- 動線情報の可視化及びピッキング実績 -

図 9 にピッキング作業者 2 名に対する時間の経過に伴う作業者位置（x 軸方向）の変位及び品目別のピッキング実績、**図 10** にピッキング作業者 2 名の位置情報を示す。**図 9** ではピッキング作業中を示すためピッキング品目別に網掛けした。網掛けされていない時間は、ピッキング作業以外の作業をしている。

図 10 の作業者の位置情報から、ピッキング作業者 2 名の作業エリアが異なることがわかる。作業指示プリンター置き場が 1 か所のため、プリンター置き場への移動は 2 名ともに発生している。**図 9** の実線で囲んだ部分が作業指示プリンター置き場へ移動した時刻を示しており、ピッキング作業者単位で作業指示プリンターへの移動回数が異なることが分かる。作業者別でピッキング品目が異なっておりピッキング作業者 1 は 2 回、ピッキング作業者 2 は 10 回移動しており、作業により 5 倍の移動回数となることが分かった。また、何度もピッキングエリア・作業指示プリンターへの往復を繰り返し実施している時刻も確認できる。

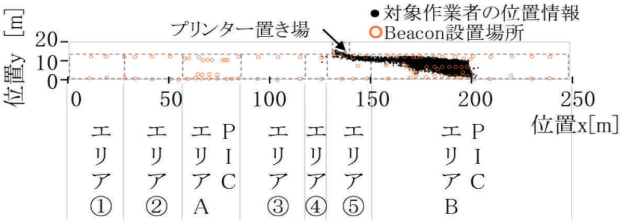


(a) ピッキング作業者 1

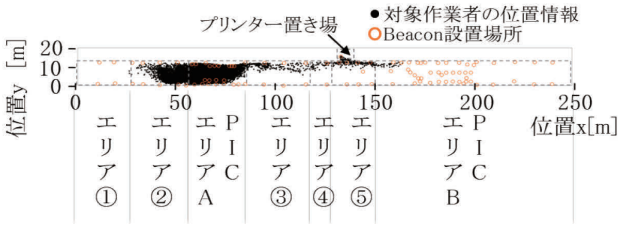


(b) ピッキング作業者 2

図 9　ピッキング作業者の時間の経過に伴う x 軸方向の変位及び品目別のピッキング実績



(a) ピッキング作業者 1



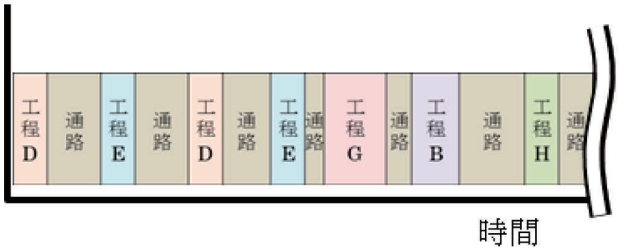
(b) ピッキング作業者 2

図 10　ピッキング作業者の位置情報

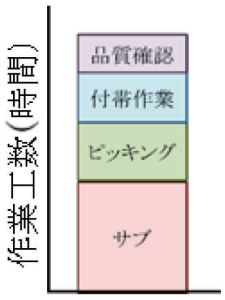
4　考察

4.1　本システムの対象範囲

今まで動画またはストップウオッチを使用した計測方法は、**図 11(b)** で示す通り、ある一部の期間（数サイクル）での作業工数取得であったが、本手法では **図 11(a)** で示している 1 日･1 週間等の長いサイクルでの連続計測が可能となる。今まで点での検討が多く、1 週間単位での調査及び日勤・夜勤での調査には膨大な時間がかかり把握が困難であったが、本手法を用いることで全体を俯瞰することができる。そのため、今まで把握が困難であった夜勤での調査も可能となる。一定期間のデータを詳細検討の前に取得することで、全体像を把握し、動画での詳細分析対象の効率的な選定に役立てていきたい。



(a) 全体作業内容



(b) 数サイクルでの作業工数内訳

図 11　作業内訳の出力内容

4.2　計測者の調査工数低減

従来手法と本手法において、作業者 1 名につき、1 週間工数調査を実施した際に要する調査時間を**表 2** 示す。

従来は、ストップウオッチ等を用いて計測していたため、512 時間という膨大な時間を要していた。しかし本手法にて計測した場合、機器設置の手間はかかるが従来に対し 1/10 の時間で作業者の位置情報が取得出来ることが明らかになった。

表 2　従来手法　本手法での調査･集約工数比較

	作業時間 [h]	
	従来	本設備
事前準備	40 [h]	15 [h]
機器設置		18 [h]
工数測定	440 [h]	
データ整理／集約	32 [h]	16 [h]
合計	512 [h]	49 [h]

4.3 フォークリフト作業・ピッキング作業

フォークリフト作業は、作業者ごとに作業エリアが異なることが位置情報を基に確認できた。移動距離が多い作業及び他のフォークリフトとの干渉が多いエリアが存在するため、レイアウト変更による移動距離短縮及び作業分担変更によるフォークリフト作業者同士の干渉頻度減少が課題である。

ピッキング作業は、作業品目により作業指示票を取得しに行く回数が異なることが判明した。今までレイアウトを考える上で作業指示出力プリンターの設置位置の重要度を考慮していなかったが、今後はレイアウト作成時に品目別の作業指示票取得回数を考慮し、レイアウト作成を実施していく必要がある。

5　おわりに

作業改善を実施する際には作業内容の把握が必須項目となっている。また、工数分析には多くの時間を要するためIoT機器を用いた分析実施を検討した。更に、今回は物流作業者を対象とし、作業内容取得のために、作業者の位置情報と、各車両の部品順位立て時刻を組み合わせ、作業内容の見える化を目指した。位置情報の取得方法としてBeaconを建屋・柱・棚に取付け、作業者がウェアラブル端末を所持し計測を実施し取得したデータを分析した。

分析結果としてフォークリフトを用いた搬送・格納作業においては、位置情報から作業者のエリア別の滞在状況を把握することができ、干渉の多さ・移動距離の長さを確認することができた。

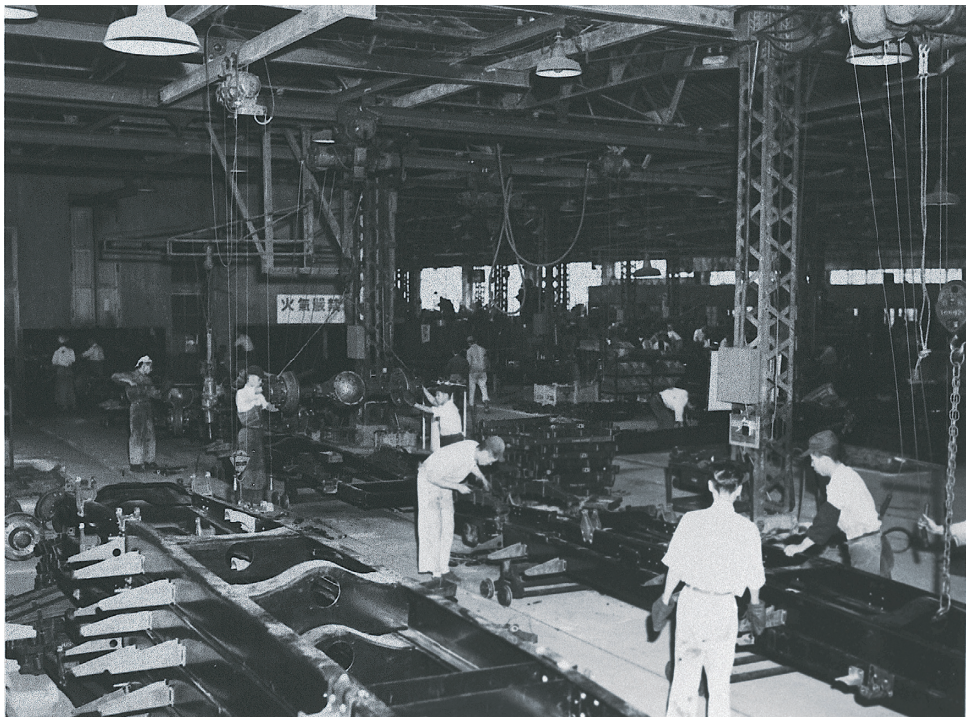
ピッキング作業者に関しては、作業品目により作業指示票を取得しに行く回数が異なることが把握でき、今後レイアウト作成時、作業指示出力プリンターの設置場所を考慮する必要があることが分かった。

今回の事例から、現状レイアウトに対する課題を取得することができ、今後レイアウト変更をする際の必要な検討項目が把握できた。今後も、様々なエリアで情報収集を実施し、ノウハウを蓄積し、よりよいレイアウトを作成するために活用していく予定である。

著　者

小笠原　亜紀

◇いすゞ歴史の一こま



末吉工場内部（1952年ごろ）

論文・報告

Fuel Transformation in Europe towards CO_2/GHG Neutrality by 2050

Markus Münz* Michael Kochs*

Abstract

Latest by 2050, future mobility as well as future transportation needs to achieve green house gas (GHG) neutrality in order to contribute to the 1.5°C goal from the Paris Agreement of 2015. This review gives an overview about the current and the upcoming legislation regarding alternative propulsion systems for on-road applications as well as an insight of future energy sources and energy carriers for public transportation. Furthermore, possible propulsion systems for the future transportation are being discussed briefly.

Based on technological facts, the energy carrier and also the energy source of future propulsion systems will become essential to achieve GHG neutrality. For ICE based systems, CO_2 neutrality can only be achieved by changing the energy carrier — the fuel — from fossil to regenerative sources.

1 Introduction

With regard to the Paris Agreement from 2015, almost all sectors — e.g. energy and transport sector — need to reduce or eliminate their individual CO_2 / green house gas (GHG) emissions[1]. Recently the EU commission proposed new European-wide GHG reduction targets (55% by 2030 compared to 1990) and also dedicated targets for the individual sectors, e.g. the transport sector (55% CO_2 reduction by 2030 compared to 2021 and 100% CO_2 reduction by 2035 for cars and vans), the energy sector (overall renewable energy share at least 40% by 2030) [(1)].

Even before this proposal, the goal in many European countries was to achieve CO_2 neutrality latest by 2050. Some countries have set the schedule even more stringent. Table 1 shows an example of the steps towards CO_2 neutrality in Germany.

Besides all other sectors, also the transport sector needs to significantly reduce its CO_2 emissions. Literature sources often state, that the way to go is to "de-carbonize" the transport sector. From a technological perspective a more holistic demand would be to "de-fossilize" the transport sector. According to this terminus, the goal for the transport sector should be to reduce or even eliminate the dependency of the sector from fossil sources. Weather or not the energy carrier of future propulsion systems contains carbon or not, has probably no impact on the world climate, as long as this carbon is not based on fossil sources.

Regardless of this discussion, some vehicle manufacturers have published their individual deadlines towards CO_2 neutrality. Table 2 shows some of these recently published goals.

Table 1 Climate Change Act in Germany (2021) [(2)].

Year	CO_2 reduction with respect to the year 1990
2030	65 %
2040	88 %
2045	CO_2 neutrality

Table 2 CO_2 neutrality for different vehicle manufacturer

Manufacturer	CO_2 neutrality until…	Source
Daimler	2039	(3)
Volvo	2040	(4)
Tata Motors	2030*	(5)

*100% renewable by 2030

* Isuzu Motors Germany GmbH

The following chapters will give a holistic overview regarding the steps towards CO_2 neutrality of the transport sector, especially based on the usage of new, alternative and synthetic fuels.

Note[1] In this paper, CO_2 emissions are used as a representative for Green House Gas (GHG) emissions in general.

2 Legislative backgrounds and boundaries

To achieve the goals mentioned, several European as well as national laws and directives are in place. One main directive on the European level is the "Renewable Energy Directive II" (RED II). This directive contains the goal of increasing renewable energies in the electricity, heating and transport sector until 2030. It sets a mandatory target of at least 32% renewable energy sources for the gross final consumption of the European Union (EU). For the transport sector, the share of renewable energies in 2030 according to RED II must be at least 14% with regard to the sectors gross final consumption. (6)

For the factual technical discussion of the different possibilities for future transport concepts, the definition of various system boundaries is necessary. As of today and also planned for the near future, the transport sector is evaluated based on a "Tank-to-Wheel" (TtW) approach. This approach sets the system boundary exclusively around the vehicle itself and thus is a reference for the usage or operation of the vehicles only.

The "Well-to-Wheel" (WtW) approach additionally includes the procurement of the energy needed in the vehicles. For conventional fuels, this includes for example primary fuel production, transport of the primary fuel, production of final fuel (e.g. diesel), fuel distribution and finally the fuelling of vehicles [7].

The system boundaries are further increased with the "Cradle-to-Grave" (CtG) approach. This includes the whole life cycle of the vehicle, e.g. including vehicle and fuel production / energy supply as well as recycling.

By increasing the system boundaries from TtW to CtG, the actual influence on climate change also increases.

Actual and also recently proposed legislations related to the transport sector and the operation of vehicles use the TtW approach. This means, that CO_2 limits for vehicle manufacturers need to be met with the vehicle itself. According to that, battery electric vehicles (BEV) are — per TtW definition — CO_2 neutral. For all vehicles utilizing an internal combustion engine (ICE) with a fuel containing carbon, CO_2 can — per TtW definition — not be zero and thus CO_2 neutrality is according to these legislative regulations not possible.

Nevertheless, national governments need to implement the demands from the European RED II and thus need to increase the usage of regenerative energy.

As an example, in Germany the government recently introduced a GHG quota to reduce CO_2 emissions based on the energy carrier (e.g. fuels or batteries) until 2030 within the Federal Immission Control Act [8]. Therein it is required that the share of regenerative energy in the transport sector is significantly exceeding (28% by 2030) the actual requirements from RED II (14% by 2030). According to these targets, by 2030 the so called GHG quota (equals a CO_2 reduction) in Germany will be at 22% for the transport sector at the fuel production or energy supply side. Table 3 gives an overview about the proposed GHG quota.

Table 3 Adopted amendments to the greenhouse gas reduction quota (GHG quota) in Germany [8].

	2022	2023	2024	2026	2028	2030
GHG quota (CO_2 reduction)	6.5 percent	7 percent	8 percent	10 percent	14.5 percent	22 percent
Food and feed crops (upper limit, energy)	4.4 percent					
Waste cooking oil and animal fats (upper limit, energy)	1.9 percent					
Advanced biofuels (minimum share, energy)	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2028**	**2030**
	0.2 percent	0.3 percent	0.4 percent	0.7 percent	1.0 percent	1.7 percent	2.6 percent
	Quantities above the minimum share are allocated factor 2						
Hydrogen and power-to-X fuels (PtX)	Quantities are allocated factor 2						
Electricity	Quantities are allocated factor 3 (electricity from public charging points, private electric vehicles, vehicle fleets)						
Aviation	Quota for Power-to-liquids (PtL) kerosene (energy) 0.5 percent by 2026, 1 percent by 2028 and 2 percent by 2030.						

Starting in 2022, the GHG quota will be increased from 6.5% to 22% by 2030. The minimum amount of advanced biofuels will be also increased over the years with an additional allocation for all amounts higher than the minimum value. Additionally, the used quantities of hydrogen and Power-to-X (PtX) fuels are allocated with a factor of two. Even more CO_2 reduction — according to this legislation — can be achieved by a contribution from fuel producers using and utilizing electricity directly, e.g. by contributing to a charging infrastructure for BEV or plug-in hybrid electric vehicles (PHEV). For these kinds of contributions, a factor of three regarding the GHG quota is granted.

As of now, there are no further official and specific targets or quota for the transport sector from 2030 until 2050.

For the sake of completeness, it should be noted that currently in Germany only certain fuels are permitted for use in public road traffic (10. BimSchV, [9]).

3 Available and future propulsion systems

Independently from the legal background, there are many different possibilities for future propulsion systems. Within this paper, the following systems will be discussed.

- BEV - Battery Electric Vehicle
- ICE - Vehicle with Internal Combustion Engine
- (P)HEV - (Plug in) Hybrid Electric Vehicle
- FCEV - Fuel Cell Electric Vehicle

BEVs are fully electric vehicles. The main components of these vehicles are electric motors and high voltage batteries. These vehicles mainly need to be charged externally by plugging into the grid. While driving they can also charge the batteries by recuperation, which means to transform the vehicles braking energy into electric energy. Overall, BEVs transform electric energy into mechanical energy.

Vehicles with ICE only use this ICE to transform all kinds of chemical energy (e.g. liquid and gaseous fuels) into mechanical energy. ICEs are very efficient energy converters at reasonable prices and have the potential to significantly contribute to the reduction of CO_2 emissions in the future [10].

(P)HEVs are vehicles with an ICE and an additional electric powertrain. Electric motors and batteries are smaller compared to pure BEV. Batteries in a PHEV do have the ability to get charged externally by plugging into the grid, whereas the batteries in HEV have to be charged by recuperation or by the vehicles ICE. According to that, a (P)HEV transforms chemical energy (from the fuel for the ICE) and electric energy (PHEV) into mechanical energy.

FCEVs are basically BEV with an additional fuel cell and without the capability for external charging. FCEVs charge their batteries with an on board fuel cell. Overall, FCEV transform chemical energy (e.g. hydrogen or methanol) into mechanical energy.

Future vehicles can (as described above) be based on a various propulsion systems. Furthermore, the energy source for future mobility can either be fossil based or regenerative for all powertrain systems discussed above. **Figure 1** gives a brief overview of different pathways for each energy source to the final propulsion system discussed in this article.

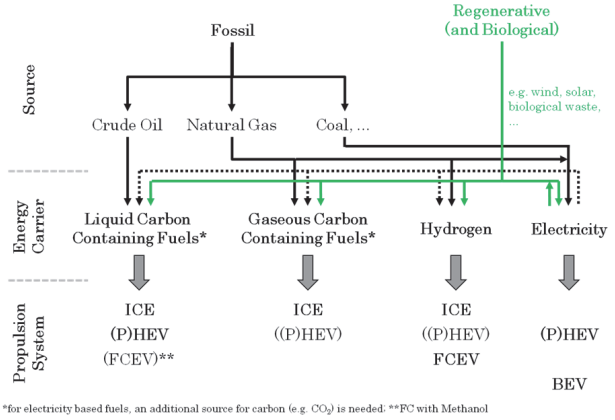


Figure 1 Overview about different propulsion systems and their energy sources.

Independently of the individual propulsion system, for the future mobility it is absolutely inevitable to base mobility and transport on regenerative energy.

Table 4 shows the "CO_2 neutrality" of the discussed propulsion systems according to recent legislations (see **Section 2**) in Europe and thus based on a TtW evaluation. According to this evaluation, BEVs and FCEVs powered with hydrogen (H_2) are "CO_2 neutral", ICEs and HEVs with conventional carbon containing fuels are not "CO_2 neutral" and PHEVs are "CO_2 neutral" only for the range of pure electric driving with electricity from the grid.

Vehicles with ICE (here heavy-duty vehicles) can be "CO_2 neutral" if they are operated with a carbon free fuel (e.g. hydrogen) and additionally if their TtW CO_2 emissions with this fuel are below 1g/kWh or 1g/km [11].

Table 4 CO_2 neutrality according to recent legislation.

Propulsion System	CO_2 neutral – TtW (recent legislation)	
	With Fossil Energy Source	With Regenerative Energy Source
BEV	Yes	Yes
ICE	No[a]	No[a]
(P)HEV	No[b]	No[b]
FCEV	Yes[c] / No[d]	Yes[c] / No[d]

Note[a] can be Yes with H_2
Note[b] except for the range of electric driving
Note[c] H_2
Note[d] Methanol

It can be clearly seen that from the perspective of a vehicle manufacturer the recent and also the proposed future legislation do not take the energy source of the propulsion system into account when evaluating the CO_2 emissions. Moreover, battery electric driving is – per legislative definition – always "CO_2 neutral".

From a technological perspective, there probably will not be a silver bullet for future propulsion systems in general. According to several independent studies and position papers (e.g. (10) and (12)), the ICE will be very much present in the mix of future propulsion systems despite the legislation not being technology open as of today. This is mainly based on the high technological advancements of those systems and also their property to be able to use a big variety of different chemicals as their energy carrier.

As already stated earlier, it is also mandatory for ICE systems to use regenerative energy sources and thus use fuels on a regenerative basis.

4 Future fuels / Fuel transformation

Based on the aforementioned requirement, the energy source and also the energy carrier of the future are of high importance.

In the form of different fuels, ICE can use a big variety of different energy carriers. Those can for example be liquid or gaseous and carbon containing or carbon free. Compared to batteries, all relevant fuels for ICE have a very high energy density.

Nevertheless, a transition from fossil to regenerative sources is very essential. For this evolution of fuels, various pathways are conceivable.

Regenerative fuels ("reFuels") can be divided in various categories. For this paper, they will be divided in "advanced biofuels" and "synthetic fuels".

Advanced biofuels are – as the name already implies – fuels with a biological basis. In contrast to biofuels as FAME, advanced biofuels are mainly based on waste material and thus do not stand in conflict with biological material for food.

Synthetic fuels are – for this paper – fuels with an electrical energy basis. The simplest synthetic fuel and also a feedstock for a big variety of more complex synthetic fuels is hydrogen (H_2).

Independently of the category, fuels can have a huge impact on the overall GHG emissions of the transport sector when utilizing vehicles of the existing fleet. If a fuel is CO_2 neutral and usable in existing engines, a high number of powertrain systems will contribute to a CO_2 reduction of the whole sector.

In the following section, both types of reFuels will be discussed in more detail.

4.1 Advanced Biofuels

In general, biofuels are fuels produced using biological feedstock. Due to the biological cycle, biofuels can be rated as (WtW) CO_2 neutral.

Biofuels themselves might be categorized in different generations. First generation of biofuels are fuels like FAME (Fatty Acid Methyl Ester). These 1st generation biofuels can use all kinds of feedstock (e.g. vegetable oils or animal fats together with methanol). As of today, fuel producers can add a limited quantity of biofuels to their fossil fuels. As an example, for compression ignition (CI) engines, the maximum amount of biofuel (in this case FAME) within the fuel itself is 7 %(V/V). In line with the GHG quota in Germany (see Table 3) and due to the conflict with food production, the amount of those kinds of fuels shall not be increased.

Advanced biofuels (also called 2nd generation biofuels) shall only use waste material as a feedstock

and thus will not have a conflict with food production. According to the GHG quota (see Section 2), the amount of those kinds of fuels has to be increased to at least 2.6% (energy based) by 2030.

One example for an advanced biofuel is HVO (Hydrotreated Vegetable Oil). HVO is a possible fuel for CI engines as a carbon-neutral fuel source. It only contains paraffinic molecules and thus only needs to meet the related norm for paraffinic fuels (DIN EN15940). Overall, its properties are comparable with conventional diesel as exemplarily shown in Table 5.

Table 5 Exemplary fuel properties for diesel and HVO.

	Unit	Diesel (DIN EN590)	HVO (DIN EN 15940)
Cetane Number	-	53 (> 51)	71.2 (> 70)
Density at 15°C	kg/m³	836.6 (820 - 845)	780.3 (765 - 800)
Flash Point	°C	65 (> 55)	78 (> 55)
Viscosity (40°C)	mm²/s	2.715 (2.0 - 4.5)	3.028 (2.0 - 4.5)
C/H ratio	%(m/m) / %(m/m)	6.32	5.52
Lower Heating Value	MJ/kg	42.61	43.91

Assuming an equal engine efficiency and equal injected energy with conventional diesel and HVO, HVO shows a benefit regarding TtW CO_2 emissions due to its lower C/H ratio. Following the stated assumptions, the TtW CO_2 emissions with HVO would be reduced by approx. 5% compared to conventional diesel only because of the lower C/H ratio.

As of now, in Germany it is not allowed to use pure HVO in public transport (see Section 2). In other European countries, HVO can be purchased at public fuel stations as "Neste MY Renewable Diesel" (13). Neste states that, as of now with this fuel, a reduction in GHG emissions by up to 90% (compliant to EU Renewable Energy Directive (2009/28/EC)) compared to fossil diesel is possible. For now, the fuel is available for customers in seven European countries [13].

Besides HVO, there are various other candidates for advanced biofuels. Some of them can be summarized as BtL (Biomass-to-Liquid) fuels. Due to the high variance of these fuels, they will not be discussed within this paper.

4.2 Synthetic Fuels

Beside the advanced biofuels, synthetic fuels can be used to achieve a CO_2 neutral transport with an ICE. For this paper, synthetic fuels are fuels produced with electricity as the feedstock (PtL, Power-to-Liquid).

Thereby electricity can be transformed in all kind of gaseous and also liquid fuels. For almost all synthetic fuel, hydrogen takes a key role with respect to the fuel production process.

Hydrogen itself is the simplest synthetic fuel possible. It is a very promising candidate for future powertrain systems. The production of hydrogen can be based on regenerative electricity by utilizing electrolysis processes. It has a high gravimetric energy density and excellent combustion properties. Due to the fact, that there is no carbon in hydrogen, it can be burned without CO_2 emissions and thus can be rated as CO_2 neutral. Furthermore it can be used in fuel cells and in internal combustion engines.

Hydrogen can be stored in gaseous form at high pressures (typically 35-70MPa), in liquid phase or via liquid organic hydrogen carrier (LOHC) which is still under development. For the combustion itself, basically hydrogen can be used in modified spark ignited (SI) engines. Several vehicle manufacturers and research institutes have shown prototype vehicles or engines with hydrogen SI ICE, e.g. BMW [14], MAN [15], FEV [16] and Keyou [17]. Nevertheless, the usage of hydrogen in a CI engine is currently under development. Besides being CO_2 neutral, the combustion of hydrogen can lead to ultra low pollutant emissions and thus enables the possibility for an environmentally ultra low impact propulsion system with high efficiencies.

Hydrogen can also be used in a fuel cell. FCEV with hydrogen are in series production (e.g. Toyota Mirai [18]) as well as under development (e.g. Daimler / Volvo [19] and MAN [15]).

Based on hydrogen, several other fuels can be produced with different synthesis steps.

The most well-known process is the so called Fischer-Tropsch-process (FT process). This process is a synthesis process resulting in different paraffinic C-H-chains, ranging from short chains like Naphtha up long chains like waxes. Within this range of chain length, gasoline and diesel are also present.

Feedstock for the FT process is synthesis gas, which can be produced based on hydrogen and a source of carbon (e.g. CO_2). When using regenerative hydrogen and atmospheric CO_2, from a technological point of view, FT fuels can be rated as CO_2 neutral. Based on that, FT gasoline (e-Gasoline) and FT diesel (e-Diesel) can be basically used as a replacement for their fossil pendant. Due to the process, these fuels only contain paraffinic chains and thus are very comparable to other paraffinic fuels like HVO, thus showing potential as a replacement for fossil diesel. Based on the chemical structure and the fact that no aromatics are present in these fuels, benefits regarding the soot emissions can be expected. In comparison to fossil diesel, e-Diesel has a lower C/H-ratio which, following the same assumptions made for HVO above, results in lower CO_2 emissions.

One well known FT fuel, even though not CO_2 neutral due to its fossil feedstock, is GtL (Gas-to-Liquid). As of now, GtL as an example of FT diesel fuel is already being produced commercially, e.g. by Shell [20].

Besides direct replacements for fossil fuels with very similar structures, many other fuels can be produces with hydrogen as a feedstock.

When producing synthetic fuels, they can also be tailor made for dedicated applications. Two very interesting candidates regarding these tailor made fuels are OME (oxymethylene ether － liquid fuel) or DME (dimethyl ether － gaseous fuel). Both are alternative diesel fuels with a high oxygen content in the fuel itself. They can burn free of soot and thus demonstrating a significant potential regarding ultra low pollutant emissions in general. Nevertheless, changing the fuel in such a significant way leads to a necessary adaptation of the engines.

As a replacement for natural gas (NG), methane can also be synthesized synthetically (synthetic natural gas or SNG).

Table 6 shows selected actual and also planned demonstration plants for the production of liquid and gaseous alternative and synthetic fuels in Europe as of now.

Table 6 Overview about selected demonstration plants.

Name	Fuel(s)	Source
Energiepark Mainz	Hydrogen	(21)
GrInHy 2.0	Hydrogen	(22)
Nordic Electrofuel	e-Diesel, wax, naphtha	(23)
Norsk e-fuels	e-Diesel, e-Gasoline	(24)
Store&GO	Synthetic Natural Gas (SNG)	(25)
Audi e-gas plant	SNG	(26)

4.3 Sector Coupling

One enabler for the requirement of a de-fossilization of future mobility is the so called sector coupling. It means to aim for CO_2 neutrality over more than one sector. For example, the coupling of the transport and energy sector is very interesting in terms of overall CO_2 reduction potential.

As an example, PtL fuels can be used to store excess energy from regenerative power plants. Using sector coupling widens the point of view on climate protection. For the transport sector and with respect to the CO_2 emissions, sector coupling would results in a very fruitful WtW discussion. The necessary CO_2 reduction with respect to the world's climate can be achieved only when optimized from a holistic point of view.

To evaluate the impact of sector coupling, several publicly funded projects in Europe, e.g. SynLink (Isuzu Motors Germany is participating in this project) [27], C^3-mobility [28] and Namosyn [29], are currently in place.

5 Exemplary results with two reFuels

In this section, selected results with an advanced biofuel (HVO) and a synthetic paraffinic fuel (GtL) will be discussed. Due to the low availability of e-Diesel, GtL is used as a representative for future non-fossil paraffinic fuels. e-Diesel and GtL can be produced utilizing the same process (FT process) and thus can have almost identical fuel properties.

HVO and GtL, which are described in the previous section, have been tested at the engine test bench and also in a test vehicle by Isuzu Motors Germany. Results from the test bench will be discussed below. The fuel characteristics and also the fuel properties

for both alternative fuels are overall comparable to each other.

5.1 Impact of the C/H ratio of the Fuel

As already mentioned above, the lower C/H ratio of the tested reFuels compared to conventional fuel leads to a theoretical CO_2 benefit, even when analyzing the TtW emissions.

Following the assumptions, that the engine efficiency will not be influenced by the fuel and that each test will use the same energy input for all fuels, **Figure 2** shows a comparison of the theoretically expected CO_2 emissions for conventional diesel fuel (according to EN590), HVO and GtL.

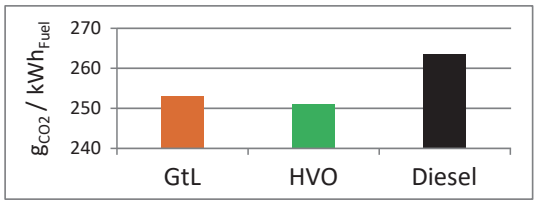


Figure 2 Theoretic fuel specific energy based CO_2 emission.

For the fuels discussed and according to this analysis, the TtW CO_2 reduction based on the individual C/H ratio of the fuels compared to conventional fuel is approx. 4 — 5 %.

5.2 Results from the Engine Test Bench

For the analysis of the fuels at the engine test bench, an ISUZU 4HK1 engine (4 cylinders, 5.2l displacement) in series configuration with 177kW was used. With this engine, several different tests have been performed.

A full load test confirms the theoretical CO_2 benefit based on the C/H ratio as shown in **Figure 3**.

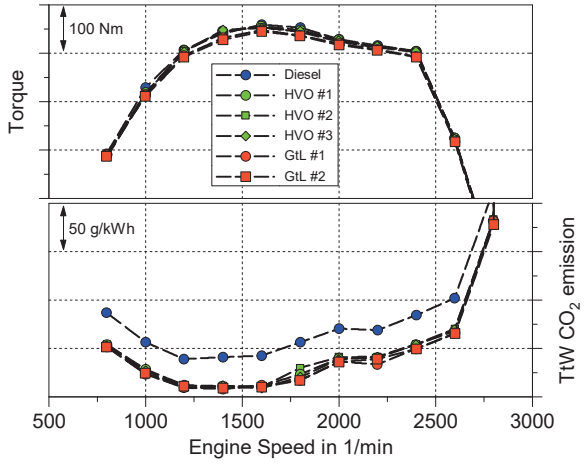


Figure 3 Full load results with Diesel (blue), HVO (green) and GtL (orange).

Lower soot emissions with the paraffinic fuels can be observed within an EGR sweep at constant engine speed and constant engine load. **Figure 4** shows such an EGR sweep at low engine speed and load.

Due to the lower soot emissions with the paraffinic fuels, the well known NOx / Soot trade-off with conventional diesel fuel can be shifted towards lower soot emissions. Starting at a random point with conventional fuel and by adaptation of the engine calibration, two different benefits can be achieved. Keeping the soot at a constant level, NOx emissions could be reduced (magenta arrows). For constant NOx emissions on the other hand, soot emissions could be reduced (brown arrows).

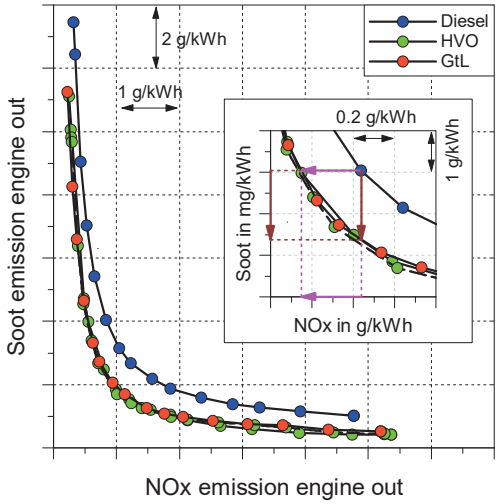


Figure 4 EGR sweep at low engine speed and load.

As shown, alternative fuels not only can be used to successfully reduce CO_2 emissions (even TtW), but also can result in benefits regarding different pollutant emissions.

6 Conclusion

As shown in this paper, it is a strong requirement that future propulsion systems must be de-fossilized. Based on this requirement, future transport can be based on many different propulsion systems, ranging from fully electric vehicles (BEV) to engines with internal combustion engines (ICE).

Independently from the propulsion system, key building blocks for future applications are the energy source and the energy carrier. For vehicles with ICE, the de-fossilization will be achieved by changing the energy carrier to a regenerative fuel ("reFuel"), based on regenerative electric energy or

biological waste. With these kinds of fuels, vehicles with ICE (basically a very flexible energy converter) will have a significant impact on CO_2 emissions by reducing these emissions based on the existing vehicle fleet and thus are mandatory especially for the CO_2 reduction within the transition phase to CO_2 neutrality.

For a good understanding of the different solutions for future propulsion systems and also the aforementioned transition phase, Isuzu Motors Limited has been promoting research and development in various fields towards the realization of a carbon neutral society and Isuzu Motors Germany is currently specializing in the research of future propulsion systems, especially regarding future fuels and future variants of internal combustion engines in Europe. In addition to this internal research, Isuzu Motors Germany is promoting research projects for Isuzu Motors Limited from various perspectives by contributing to several consortia and projects which are publicly funded (e.g. SynLink and selected FVV projects).

For future propulsion systems there will not be a silver bullet and thus an ongoing development of all possible powertrain systems is mandatory.

References

(1) Commission, EU. European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions. *Press release*. [Online] 14. 07 2021. [Zitat vom: 14. 07 2021.] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3541.

(2) Die Bundesregierung. Climate Change Act 2021. [Online] [Cited: 29 06 2021.] https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/climate-change-act-2021-1936846.

(3) Daimler. Daimler Trucks & Buses strebt komplett CO2-neutrale Neufahrzeugflotte bis 2039 in wichtigsten Regionen an. [Online] 25 10 2019. [Cited: 13 07 2021.] https://www.daimler.com/dokumente/nachhaltigkeit/sonstiges/ir-release-daimler-trucks-buses-strebt-komplett-co2-neutrale-neufahrzeugflotte-bis-2039-in-wichtigsten-regionen-an.pdf.

(4) Volvo. Reducing Carbon Emissions. [Online] [Cited: 13 07 2021.] https://www.volvogroup.com/en/sustainability/climate-goals-strategy/reducing-carbon-emissions.html.

(5) COALATION, WE MEAN BUSINESS. THE LATEST INSIGHTS FROM THE WE MEAN BUSINESS COALITION. [Online] 16. 09 2019. [Zitat vom: 21. 07 2021.] https://www.wemeanbusinesscoalition.org/blog/company-profile-tata-group/.

(6) THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Directive (EU) 2018/2001. [Online] 11 12 2018. [Cited: 13 07 2021.] http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj.

(7) Prussi, Matteo, et al. *JEC Well-To-Wheels report v5*. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2020. ISBN 978-92-76-20109-0.

(8) Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. We are promoting fuels that mitigate climate change without destroying nature. [Online] 02 03 2021. [Cited: 29 06 2021.] https://www.bmu.de/en/pressrelease/minister-schulze-we-are-promoting-fuels-that-mitigate-climate-change-without-destroying-nature/. Press release No. 016/21.

(9) 10. BImSchV. [Online] 08 12 2010. [Cited: 13 07 2021.] http://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_10_2010/10._BImSchV.pdf.

(10) (IASTEC), international association of sustainable drivetrain and vehicle technology research. Technical, regulatory and social challenges for realising CO2-neutral drive technology for cars and commercial vehicles during the coming decades. [Online] 06 07 2021. [Cited: 13 07 2021.] https://iastec.org/wp-content/uploads/2021/07/IASTEC-PositionPaper_06072021.pdf.

(11) THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Regulation (EU) 2019/1242. [Online] [Cited: 13 07 2021.] http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1242/oj.

(12) (WKM), Wissenschaftliche Gesellschaft für Kraftfahrzeug- und Motorentechnik e.V. The Future of the Combustion Engine / Assessment of the Diesel. [Online] 13 09 2017. [Cited: 13 07 2021.] https://www.wkm-ev.de/

images/20170708-englisch-Die-Zukunft-des-Verbrennungsmotors.pdf.
(13) NESTE. Neste MY Renewable Diesel — high-performing low-carbon biofuel. [Online] NESTE. [Cited: 06 07 2021.] https://www.neste.com/products/all-products/renewable-road-transport/neste-my-renewable-diesel.
(14) BMW. Eine neue Ära der Mobilität beginnt. Der BMW Hydrogen 7. [Online] 13 11 2006. [Cited: 08 07 2021.] https://www.press.bmwgroup.com/austria/article/detail/T0026585DE/eine-neue-aera-der-mobilitaet-beginnt-der-bmw-hydrogen-7?language=de.
(15) MAN Truck and Busses. WASSERSTOFF MEETS LKW — MAN BAUT ERSTE PROTOTYPEN. [Online] 26 05 2021. [Cited: 08 07 2021.] https://www.mantruckandbus.com/de/innovation/wasserstoff-meets-lkw-man-baut-erste-prototypen.html.
(16) FEV. FEV IS DRIVING FORWARD HYDROGEN INTERNAL COMBUSTION ENGINE DEVELOPMENT. [Online] 08 10 2020. [Cited: 08 07 2021.] https://www.fev.com/en/coming-up/press/press-releases/news-article/article/fev-is-driving-forward-hydrogen-internal-combustion-engine-development.html.
(17) KEYOU. [Online] [Cited: 08 07 2021.] https://www.keyou.de/.
(18) Toyota. BRENNSTOFFZELLENAUTO - Das Auto der Zukunft. [Online] [Cited: 08 07 2021.] https://www.toyota.de/automobile/brennstoffzellenautos.
(19) cellcentric. We power sustainable life - we are cellcentric. [Online] [Cited: 08 07 2021.] https://www.cellcentric.net/.
(20) Shell. Gas-to-Liquids. [Online] [Cited: 08 07 2021.] https://www.shell.com/energy-and-innovation/natural-gas/gas-to-liquids.html.
(21) DVGW. *Übersicht der Power-to-Gas-Anlagen* in Deutschland. [Online] [Cited: 08 07 2021.] https://www.dvgw.de/medien/dvgw/verein/energiewende/bilder/karte-power-to-gas-anlagen.pdf.
(22) GrInHy. Green Industrial Hydrogen 2.0. [Online] [Cited: 08 07 2021.] https://www.green-industrial-hydrogen.com/.
(23) Electrofuel, Nordic. Clean at scale. [Online] [Cited: 08 07 2021.] https://nordicelectrofuel.no/.
(24) Sunfire. NORSK E-FUEL IS PLANNING EUROPE'S FIRST COMMERCIAL PLANT FOR HYDROGEN-BASED RENEWABLE AVIATION FUEL IN NORWAY. [Online] 09 06 2020. [Cited: 08 07 2021.] https://www.sunfire.de/en/news/detail/norsk-e-fuel-is-planning-europes-first-commercial-plant-for-hydrogen-based-renewable-aviation-fuel-in-norway?file=files/sunfire/images/content/company/press/06_20/Norsk_e-fuel_plant_erste_kommerzielle_Anlage_fuer_wass.
(25) STORE&GO. The STORE&GO Demonstration Sites. [Online] [Cited: 08 07 2021.] https://www.storeandgo.info/demonstration-sites/.
(26) Audi. Audi e-gas. [Online] [Cited: 08 07 2021.] https://www.audi-technology-portal.de//en/mobility-for-the-future/audi-future-lab-mobility_en/audi-future-energies_en/audi-e-gas_en.
(27) CBP, Fraunhofer. SynLink — Synthetic e-fuels as key enabler for sector linking. [Online] [Cited: 09 07 2021.] https://www.cbp.fraunhofer.de/en/reference-projects/synlink.html.
(28) C3-MOBILITY. CLIMATE NEUTRAL FUELS FOR THE TRAFFIC OF THE FUTURE. [Online] [Cited: 09 07 2021.] http://www.c3-mobility.de/en/home/.
(29) NAMOSYN - Klimaneutral mit Verbrennungsmotor. [Online] [Cited: 09 07 2021.] http://namosyn.de/.
(30) ISUZU. Initiatives to achieve carbon-neutral society. [Online] [Cited: 13 07 2021.] https://www.isuzu.co.jp/world/investor/financial/pdf/carbon_neutral_e.pdf.

著　者

Markus Münz

Michael Kochs

論文・報告

クランクシャフト材質判別装置の導入・立上げ

Introduction and Start-up of Crank Shaft Material Judgment Device

福　和寿*
Kazuhisa Fuku

要　旨

近年、産業用エンジンにおいても、世界各国で排出ガスの規制強化が進められている。欧州では世界に先だって StageV 排出ガス規制が 2019 年 1 月から施行された。いすゞ自動車では、規制への準拠及び、OEM 先の要求である出力アップを採用し、排気量 2.2 L の産業用エンジン 4LE2X を開発した。

エンジン構成部品の 1 つであるクランクシャフトは、出力アップに伴う耐久性確保のため、従前機から材質変更を行った。よって、同形状で材質のみが異なる従前品と新規部品が並行生産となった。

本報告では、鍛造工程における出荷保証として、自動材質判別装置を導入した事例を紹介する。今回、材料の成分値から直接的に判別する XRF 法を採用し、検証を行った。結果、自動材質判別機構を確立し、装置としてインライン化導入を達成した。

Abstract

In recent years, stricter emission regulations have been enforced in the world for industrial engines. The most advanced regulations came into January 2019 in Europe which are called as EU StageV. Isuzu Motors has developed the industrial engine 4LE2X with a displacement of 2.2 L by adopting regulatory compliance and increased output.

Crank Shaft which is one of engine components, for securing durability due to increased output, the material changes from previous machine was employed.

In this report, we will introduce an example of introducing an automatic material discrimination process as a shipping guarantee in the forging process. This time, we adopted the XRF method, which directly discriminates from the component values of the material, and verified it. As a result, we established an automatic material discrimination mechanism and achieved the introduction of in-line as a device.

1　はじめに

ディーゼルエンジンは、燃焼エネルギーを効率良く動力変換できることで知られており、様々な産業用機械に搭載されている。4LE2 は、排気量 2.2 L の産業用エンジンであり、いすゞ自動車エンジンラインナップの一つである。

2019年1月施行の欧州Stage Ⅴ排出ガス規制では、PM（粒子状物質：Particulate Matter）及び、それらの PN（排出粒子数:Particulate Number）規制値が強化された。いすゞ自動車では、規制への準拠及び、OEM（Original Equipment Manufacturer）先の要求に基づき、出力アップを実施し、日米欧共通仕様である産業用エンジン 4LE2X を開発した。

エンジン構成部品の一つであるクランクシャフトは、ピストンの往復運動を回転運動に変換する軸部品である。4LE2X エンジンは、高出力化されたことにより、従前部品では疲労強度が不足する。そのため、材質及び、熱処理工法を変更することで、強度対策を行い、4LE2X 用の新規部品を開発した。しかし、この変更では、熱処理工程変更による大幅なコスト UP となるため、排出ガス非規制国や中国規制用への反映は採用していない。

よって、従前品と新規部品は、並行生産となるが、形状が同一であるものの材質が異なるため、判別が必要とされる。部品製造の上流工程に位置する鍛造工程では、異材は致命的欠陥であり、材料の判別、管理を確実に行う必要がある。

2　対象部品／鍛造工程の説明

図 1 に従前部品である、4LE2 クランクシャフトの鍛造工程概略を示す。粗材形状を成形する鍛造工程の後、研掃、曲り、傷チェック等の仕上工程を経て、加工工程に出荷される。

表 1 に判別が必要である鍛造粗材 2 部品の仕様を示す。2 部品は全長、重量は同じであり、材質、熱処理工法のみが異なる。**図 2**，**図 3** は鍛造粗材 2 部品の外観をそれぞれ示す。外観は、基本的に同じであるが、新規部品には、従前品との判別のため、浮き出し文字の変更、及び小端側へのリング形状が追加されており、目視での判別が可能である。

*要素技術部

しかし今回、鍛造粗材の信頼度をより確実なものとするため、仕上工程の始めに、出荷保証としての自動材質判別工程を導入した。

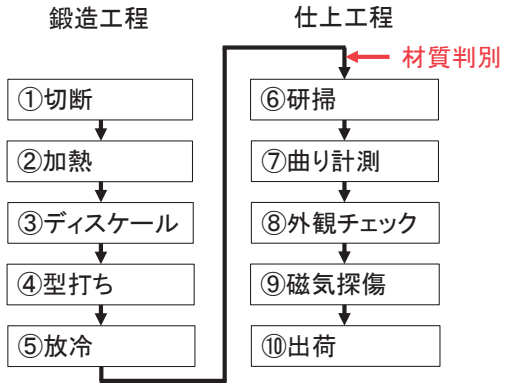
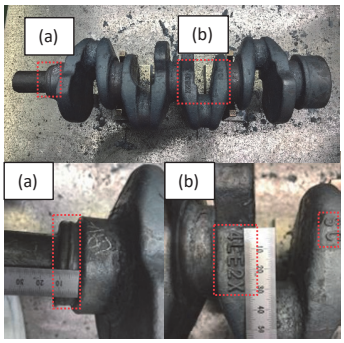


図 1　4LE2 クランクシャフト鍛造工程概略

表 1　判別対象部品の鍛造粗材仕様

型式	4LE2	4LE2X
全長 (mm)	504	
重量 (kg)	19.9	
材質	非調質鋼	炭素鋼
粗材熱処理	—	調質
中間熱処理	高周波焼き入れ	軟窒化

図 2　従前品外観



(a) リング形状 (b) 浮き出し文字変更

図 3　新規部品外観、及び判別形状

3　材質判別方法の検討

材質判別方法としては、金属の透磁率や導電率の違いから間接的に判別する電磁誘導法と、材料の成分値から直接的に判別する XRF 法（蛍光 X 線分析：X-ray fluorescence）が存在する。今回は、電磁誘導法に比べ、測定時間が短く、含有成分が明確になるため、測定の信頼度が高いことが期待される XRF 法での導入を計画した。しかし、いすゞ自動車では、XRF 法のインライン装置導入実績はないため、事前検証を行った。

4　XRF 法による材質判別検証

仕上げ工程での XRF 法による鍛造粗材の材質判別を検証するために、検証項目として、**4.1 節～4.4 節**に記載する 4 項目をあげ、検証を実施した。測定には、海外でのインライン化実績があり、工場環境でも使用可能である、ハンディタイプの蛍光 X 線分析装置を採用した（**図 4**）。

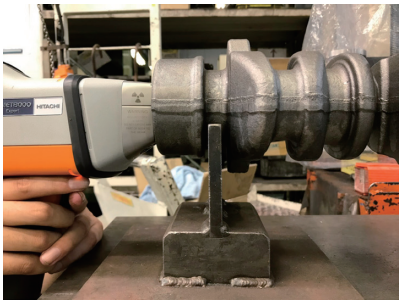


図 4　蛍光 X 線分析装置による鍛造粗材測定

4.1　鍛造粗材に対する測定精度の検証

表 2 に材質判別対象となる 2 部品の含有成分規格値を示す。2 部品の主要含有成分を比較すると、炭素 (C)、ケイ素 (Si)、マンガン (Mn) の量に差異がある。蛍光 X 線装置では、C は測定不能なため、測定対象から外すが、鍛造粗材に対しても、Si，Mn に対して、正確な測定が可能であれば、2 部品の判別は可能であると考えられる。

表 2　判別対象部品の主要含有成分規格 [mass %]

主要含有元素	従前品 4LE2	新規部品 4LE2X
C	0.35-0.40	0.50-0.56
Si	0.55-0.70	0.15-0.35
Mn	1.30-1.45	0.60-0.90
Cr	0.10-0.20	0.20≧
Si	0.040-0.070	0.035≧

図 5, 図 6 は、2 部品の鍛造部品（各 N=10）に対する Si 及び、Mn 含有量 [mass %] の測定結果を示す。Si は 2 部品ともに、測定値がばらついており、含有成分規格値からそれぞれ外れていることがわかる。これは、Si が軽元素であることから、放出されるエネルギー量が少なく、鍛造粗材の表面状態による影響を受けやすいことが起因したと推察する。一方、Mn は 2 部品ともに、測定値が安定しており、従前品の値が規格値よりも低く検出されてはいるものの、しきい（閾）値を設けることで、判別できる可能性が示唆された。

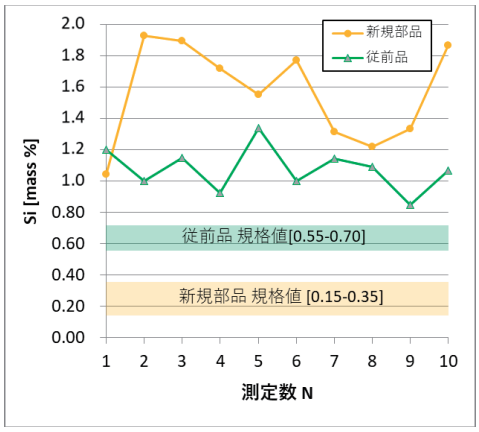


図 5　Si 含有量測定結果

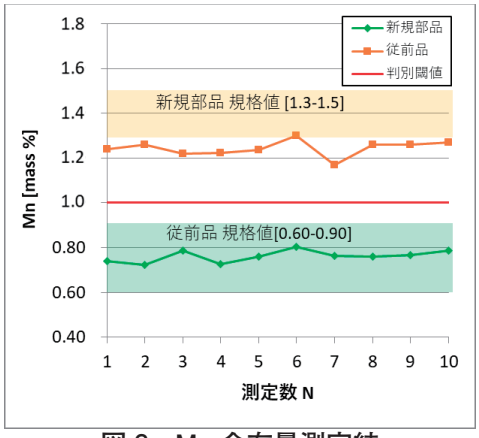


図 6　Mn 含有量測定結

4.2 測定時間と誤差の検証

今回導入する装置は、既存のラインにインライン化するため、C/T（Cycle Time）を満たすためには、測定時間を 20 秒以内にする必要がある。よって、測定時間と誤差の関係を検証し、判別閾値に与える影響を調査した。

図 7 に、鍛造粗材の Mn 含有量に対する測定時間と誤差の関係を示す。測定誤差は、2 部品（各 N=10）の平均値とする。2 部品ともに、測定誤差は 20 秒まで延ばすことで、小さくなることが分かった。20 秒以降も、測定時間を延ばすことで、測定誤差は小さくなるが、変化量が小さいため、測定時間は 20 秒が妥当と判断した。

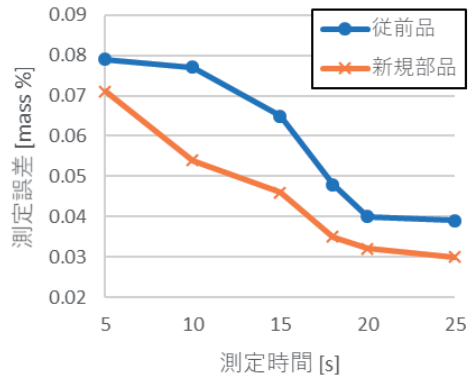


図 7　測定時間と測定誤差の関係

4.3 熱処理有無による検証

新規部品である 4LE2X の材質は調質鋼であり、粗材熱処理を必要とする。今回、装置を導入する仕上工程では、熱処理品を測定するため、熱処理前後での、装置の同等性を評価するために、熱処理が及ぼす測定値への影響を検証した。

図 8 に、新規部品の熱処理有無による Mn 含有量測定結果を示す。測定は、未熱品、熱処理品（各 N=10）に対して行い、エラーバーは測定誤差を示す。熱処理の有無に関わらず、測定値は同等の値を示していることがわかる。よって、熱処理有無は、仕上工程での判別に影響しないと判断した。

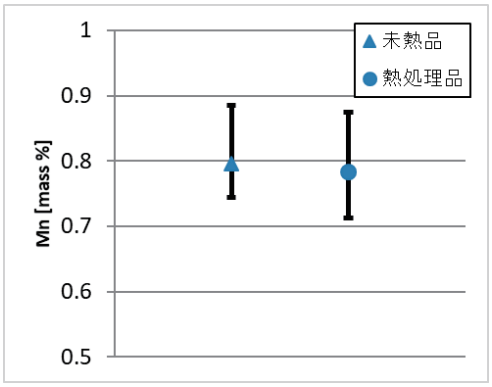


図 8　熱処理有無品の Mn 含有量測定結果

4.4 スケール有無による検証

今回の装置導入は、研掃前のため、鍛造粗材表面には酸化スケールが存在する。そのため、鍛造スケールが及ぼす測定値への影響を検証した。

図 9 に、鍛造粗材 2 部品のスケール有無による Mn 含有量測定結果を示す。測定は、2 部品の研掃前、後品（各 N=10）に対して行い、エラーバーは測定誤差を示す。2 部品ともに、酸化スケールの有無に関わらず、測定値は同等の値を示していることがわかる。よって、酸化スケールの有無は判別には影響せず、研掃前工程での判別が可能であると判断した。

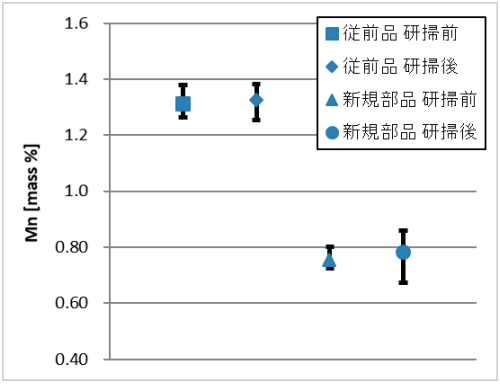


図 9　スケール有無品の Mn 含有量測定結果

5　自動材質判別装置の構築

今回使用する蛍光 X 線分析装置は、ハンディタイプであるため、測定対象物に X 線照射窓を密着させ、トリガーを引くことで測定を行う方法が主流である。そのため、インライン化を達成するために、通信形態の確立、及び自動通信装置への改造を行った。

5.1 通信形態の確立

蛍光 X 線分析装置を材質判別装置として、インライン化導入するためには、既存ラインとの通信形態の確立が不可欠であった。しかし、今回使用するハンディタイプの蛍光 X 線分析装置を自動化した報告例は少なく、新たに通信形態を構築する必要があった。今回の導入では、API（Application Programming Interface）通信を採用することで、通信形態の確立を試みた。API を用いることで、測定データ、測定指令等の情報を、測定機器と PC 間において、やり取りが可能となる。

図 10 に、今回構築した XRF 法によるインライン材質判別装置の通信形態を示す。既存ラインから PC を介して、測定機器への測定指示を行う。測定終了後、測定機器から PC へ測定結果を転送し、設定閾値と照合することで、判別を行う。判別結果に基づき、OK の場合は既存ラインへ起動指示を出し、NG の場合は起動指示が出ず、NG 表示となる。

図 11 に、インライン材質判別装置による測定の様子を示す。判別は、ラインの始めである粗材投入口で行うため、NG 品が出た場合は、その場で取り除くことが可能である。

以上の仕組みにより、材質判別装置のインライン化を達成した。

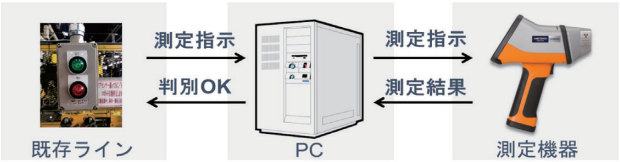


図 10　XRF 法によるインライン材質判別装置の通信機構

図 11　インライン材質判別装置による測定の様子

5.2 通信不良対策

蛍光 X 線分析装置は、防滴、防塵規格の IP54 に準拠しており、使用環境温度は -10～50 ℃であるため、工場環境で使用可能である。しかし、PC とのやり取りは、USB ケーブルを介して行うため、長期的な使用を想定すると、鍛造スケールや埃による接触不良が懸念される。

図 12 に対策後の蛍光 X 線分析装置を示す。機器本体の測定窓を除き、アルミ板で囲うことで、通信不良に対する対策を行った。

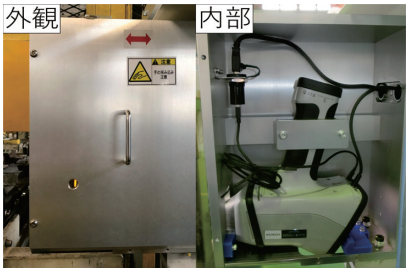


図 12　対策後の蛍光 X 線分析装置

6　自動判別装置の課題

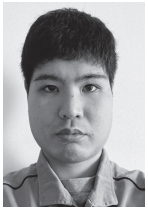
5.1 節で述べたように、今回導入した自動判別装置は、判別結果が OK の場合は既存ラインが起動し、NG の場合は起動しない仕様としている。そのため、不良品が流れることはないが、OK 品個々に対して、トレーサビリティの確保はできていない。本件に限らず、鍛造粗材に対するトレーサビリティの確保は、いすゞ自動車鍛造技術として、今後の課題である。

7　おわりに

形状同一で、材質のみが異なる 2 つの鍛造部品に対して、XRF 法による自動判別装置のインライン化導入を達成した。

最後にクランクシャフト材質判別装置の導入・立上げにあたり、多大なるご協力いただいた協力企業の皆様、及び社内の関係各位に対し、誌面を借りて深く感謝の意を表する。

著　者



福　和寿

論文・報告

大型トラックドライバの運転行動特性を考慮した前方不注視状態の推定方法

Distraction Estimation Method based on Driving Behavior Characteristics of Heavy-duty Truck Drivers

岩男　眞由美*　Mayumi Iwao
山口　和彦*　Kazuhiko Yamaguchi
草刈　由歌*　Yuka Kusakari
津田　隆太**　Ryuta Tsuda

要　旨

大型トラックドライバに受容される脇見警報システムの開発をめざしている。警報されるべき脇見行動の特徴を把握し、A ピラーに設置したドライバモニタリングシステムで認識される顔向き・顔位置情報を用いた前方不注視状態推定ロジックを考案した。実路で評価したところ、多様な脇見行動を的確に検知・警報することを確認できた。

Abstract

In order to develop a distraction warning system for heavy-duty truck drivers, an estimation algorithm for forward careless state was devised. It was based on the face orientation/position, recognized by DMS (Driver Monitoring System) embedded in the A-pillar. When the algorithm was evaluated on an actual traffic road, it consists a good capability of detecting various types of distraction properly.

1　はじめに

近年、運転の自動化領域の拡大に伴い、ドライバの主たる作業はシステム及び道路交通状況の監視に比重が移る傾向にある。機械ではない生身のドライバにとって、交通状況の疎密に関わらず、監視のための注意力を保持し続けることは楽ではないが、数秒後にも状況が大きく変化しかねない交通環境下での監視の怠りは事故の大きな要因となりうる。

図 1 は事業用貨物トラックの法令違反別事故発生状況（2017 年）であるが、脇見による死傷事故の発生割合は約 2 割を占め、安全不確認に次いで多く[(1)(2)]、高速道路では更に割合が増える。脇見は前方不注意による発見の遅れにつながりやすく、要因の過半数が外在的[(3)]である。その内訳（**図 2**）[(3)]は、風景または交通他者を見ていたり、モノを取ったり、拾ったりする行動、補機・ナビゲーションシステム・スマートフォン等の視聴・操作などである。いずれの行動も軽傷事故に留まらず、死亡事故にもなり得る。

これらの行動は、考えごと、意識の脇見、居眠りと言った内在的事例とは対照的に、物理的に前方を見ていない「前方不注視の状態」と言うことができ、外見から客観的に判断できる可能性が高い。ドライバの顔の位置・顔向きをカメラ撮像から認識し、脇見状態を推定できれば、警報等により周囲の交通状況にドライバの目を再び向けてもらうことで、事故リスクを低減できると考えられる。

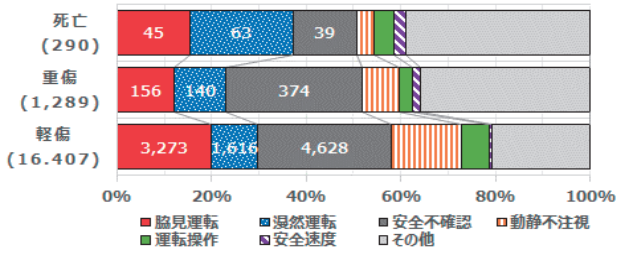


図 1　事業用貨物トラックの法令違反別事故発生状況

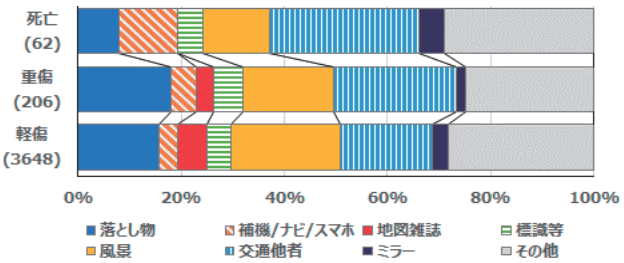


図 2　事業用貨物トラックの前方不注視事故（外在的要因）の具体的行動

このような脇見等を検知、警報する DMS（ドライバモニタリングシステム：Driver Monitoring System）は、多くの乗用車で既に市場投入され[(4)-(6)]、後付けシステムもある[(7)-(8)]。しかし、実際に脇見を検知できているか警報効果を検証した報告は少ないのが現状である。また、事業用貨物或いは業務車両においては、ドライバが自発的に安全運転に適した状態を維持できるよう、支援することが持続性ある事故予防の観点から重要であり、そのためには「今のなら、警報されても仕方がない」と許容できるような、納得感のある検知・警報

*㈱いすゞ中央研究所　　**電装・制御開発部

であるべきと考えている。

そこで、本研究では、カメラを用いた大型トラック向け脇見警報システムの開発をめざし、トラックドライバの脇見行動の特性に基づいた、受容性の高い外在的前方不注視状態を推定し、脇見と判定するロジックを検討した。具体的には、脇見模擬行動の映像に対する警報要否の主観評価試験により、警報すべき行動の特徴を把握し、脇見判定ロジックを考案した。そして、大型トラックでパラメータの調整を行い、実路計測データで効果の検証を行った。

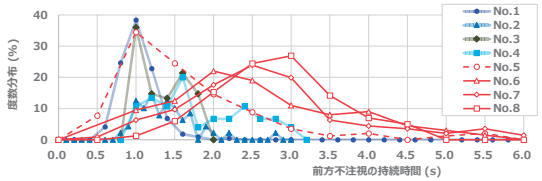
なお、本研究で実施した試験は全て、いすゞ自動車株式会社のヒトを対象とする研究倫理委員会の審査により承認され、事前に実験参加者への趣旨説明の上、同意を得て実施した。

2　脇見行動の一般的特徴

2.1　先行研究による前方不注視時間の分析

脇見行動は一般的に、顔・眼が前方以外に一定時間以上向いている状態と言うように、空間・時間的に記述できる。脇見に関する国内の先行研究 [9]-[14] を調べ、前方不注視の時間についてメタ解析を行った。日常行う範囲のリスクの低い脇見（No.1-4）と、敢えて長く脇見したり、それがヒヤリハットまたは事故に至ったりという、リスクの高い脇見（No.5-8）に分けた、前方不注視時間の度数分布を**図 3** に示す。

試験条件及び脇見の定義が統制できないため研究によりデータに幅があるものの、通常運転における低リスク側の前方不注視時間は 1.0 s をピークに 3.0 s 辺りまで分布する一方、高リスク側は No.5 を除き 2.0～3.0 s をピークに 6.0 s 程度まで分布する。前方不注視時間 3.0 s は検知上の重要な目安になると思われるが、1.0 s～3.0 s の間は両者が重なる領域のため、これのみで警報すべき脇見を切り分けることは難しい。



	グラフ	文献番号	車両	計測環境	車速(km/h)	場面/視認対象	データ規模
低リスク群	1	(9)	乗用車	公道	～60	ナビゲーションシステム	n=12
	2	(10)	乗用車	テストコース	50	ナビゲーションシステム	n=10
	3	(11)	大型トラック	ドライビングシミュレータ	80	情報画面	n=14
	4	(11)	大型トラック	テストコース	～80	情報画面	n=4
高リスク群	5	(12)	タクシー	公道	-	危険場面	104data
	6	(13)	乗用車	公道	-	事故発生場面	64data
	7	(13)	乗用車	ドライビングシミュレータ	60-100	画面視認指示	n=3
	8	(14)	乗用車	ドライビングシミュレータ	60-100	画面視認指示	n=8

図 3　先行研究における前方不注視時間の分布

2.2　前方不注視となる姿勢

前方不注視となる姿勢は、注視点から広がる視野角に伴い情報取得能力が低下傾向にあることが関係する。一般的に、頭を動かさずとも見やすい範囲は左右 15 度程度、動かすと左右 45 度程度と言われる [15]。正面から大きく離れた顔向きでは進行方向の情報処理が行いにくくなるため、視線を計測せずとも、一定以上の顔向き角から前方不注視状態を推定できる可能性はある。ただし、ミラーが左右に離れ、インパネのふ（俯）角も大きいトラックでは、顔向き行動も乗用車とは異なると考えられる。

そこで実際に、脇見行動を模擬した映像を取得し、警報要否の主観評価を行うことで、警報すべき脇見行動の特徴を把握する試験を実施した。

3　トラック運転における脇見行動の特徴

3.1　脇見模擬映像テストピースの作成

脇見行動の模擬は安全面を考慮し、試験走行に習熟している 3 名のドライバが大型トラックあるいは小型トラックで、占有された周回路のカーブなき直線部を約 50 km/h で巡行している中で行った。

脇見動作は、外在的前方不注意事故 [3] の項目を参考に、ドライバの左・右・上・下それぞれの方向にある、補機の操作及び、標識・風景・交通他者等の視認とし、助手席の実験者からの教示に従い、自身のタイミングで開始し、安全を確保しうる範囲で止めてもらった（**図 4** 参照）。

交通他者を見る場面では、定速走行するトラックの隣接車線で乗用車を加速・減速させることで結果的に追い抜いたり、追い抜かれたりする状況を作り、当該車両を意識的に見るよう指示した。なお、指示以外の視認行動は制限しておらず、確認行動は必要に応じて行われた。比較のため、日常行うような車線変更行動時の確認行動も収録した。

図 4　脇見模擬行動の事例

これらの様子をフロントガラスに設置した CCD（電荷結合素子：Charge-Coupled Device）カメラにて撮影し、約 200 の前方不注意状態映像を得た。類似映像もあるため、代表的な事例として、時間長 10～40 s 程度の 84 の脇見模擬映像テストピースを抽出した。

3.2 脇見映像に対する主観評価の方法

取得した脇見映像のテストピースを見て、自身が日常で実施する頻度（Q.1）及び警報された場合の態度（Q.2）を回答する主観評価試験を実施した。

実験参加者は、自動車製造会社の研究開発部門に所属のトラック運転経験のある 20～50 代の男女社員 13 名である。

主観評価は、いずれも 5 段階評価として点数で回答させた。実施頻度の認識（Q.1）としての選択肢は、「頻繁にある」から「極めて稀である」までとし、警報に対する態度（Q.2）の選択肢は、「積極的に肯定」から「積極的に否定」までとし、**表 1** に示す得点との対応付けをして、警報すべきか否かの程度を見た。

表 1　主観評価と得点

Q.1 実施頻度

極めて稀である	1 点
稀である	2 点
どちらとも言えない	3 点
ままある	4 点
頻繁にある	5 点

Q.2 警報に対する態度

積極的に否定	1 点
消極的に否定	2 点
どちらとも言えない	3 点
消極的に肯定	4 点
積極的に肯定	5 点

評価方法の教示として、映像を見ながらなるべく直感で評価するよう求め、点数づけが終わるまで、再生の繰返しを許容した。所要時間はおおむね 60 分から 80 分程度であった。なお、84 シーンの提示順序は同じ方向・動作が続かないようばらつかせてあり、内 7 名には 84 シーンの再生順序を逆にして評価させ、再生順序の影響が少なくなるようにした。

特徴の分析方法として、シーンごとに 13 名の平均値を算出し、態度点数の高い方から上位、中位、下位の 3 群に分けて考察する。また、行動の説明変数を得るためにビデオ行動解析を行い、顔向き方向とその時刻歴をフレーム単位で視察判定した。脇見中に前方を向き直す場合も多いため、一連の脇見が完了するまでの全体を対象に、脇見全体の所要時間、目的方向 1 回当りの最長持続時間、脇見動作の中断回数、画角から顔がフレームアウトする状況の有無を集計した。

3.3 脇見映像に対する主観評価の結果

図 5 にシーン毎の主観評価結果を Q.2 の高得点順に示す。評価点が極端に偏る回答者はなかった。行動頻度の認識と警報に対する態度とがおおむね反比例の関係にあり、低頻度シーンでは警報に肯定的だが、高頻度シーンでは否定的な傾向が見られた。

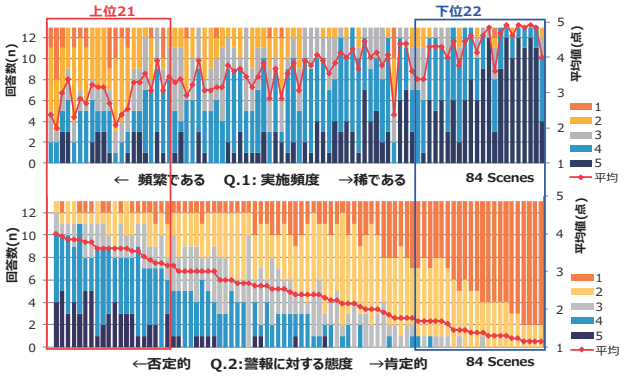


図 5　脇見 84 シーンに対する主観評価結果

また、**図 6** に、警報への態度で平均点が上位の 21 シーン（3.1 以上）、下位の 22 シーン（1.8 未満）の行動種別を示す（カッコ内数値は該当シーン数）。

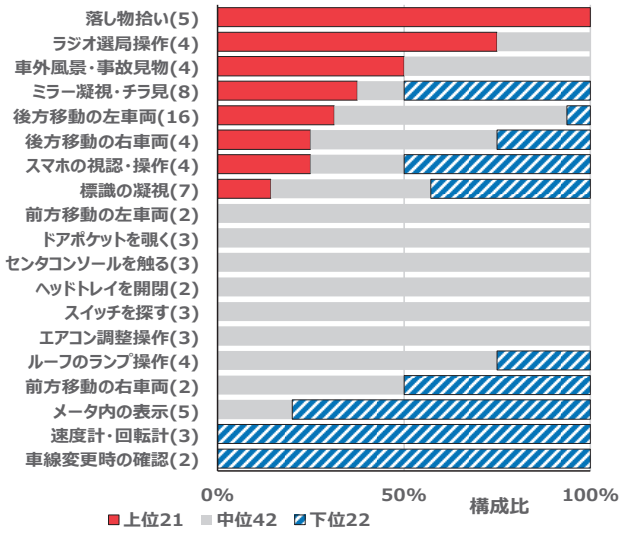


図 6　主観評価結果（上位・中位・下位）と行動種別

警報に肯定的で警報すべき行動と評価された上位には、落とし物を拾ったり、ラジオ操作をしたりする動作・姿勢が挙がり、対向車線の事故車両の見物を想定した典型的な脇見以上に得点が高い。警報に否定的で警報すべきでない行動と評価された下位には、車線変更時の確認行動及びメータ表示・ゲージ視認が挙がった。一方、評価が分かれたのは、ミラー・標識の視認及び後方へ移動する他車両を目で追う行動だった。

3.4 警報要否評価と脇見行動の特徴

ビデオ解析で得た説明変数は集計値の高低から、脇見全体の所要時間は平均値に近い 4.2 s を境界に、脇見個々の最長持続時間は**図 3** の低リスクの最大値 3.0 s を境界に、フレームアウトは有無で 2 群に分け、中断回数は 0 回（なし）/1～3 回 /4 回以上の 3 群に分けた。

警報要否主観評価 3 群（上位 / 中位 / 下位）と行動特徴指標とのクロス集計結果を**図 7** に示す。偏りをカイ二乗検定で統計的に検討した結果、上位は 1 回の最長脇見時間 3.0 s 以上（$p<0.01$）、全体所要時間 4.2 s 以上（$p<0.01$）、フレームアウトあり（$p<0.01$）に有意に多く偏ることが認められた。また、有意ではないが、中断回数が多いほど下位より上位に偏る傾向が見られた。

更に、脇見全体の所要時間と最長持続時間との関係を**図 8** に示す。両者の時間が同じ（基準ライン近辺に分布する）場合は、脇見を始めたら中断なく、標的に集中して長く見続けるようなタイプの脇見であり、3.0 s 以上ではほぼ全てが上位に含まれた。

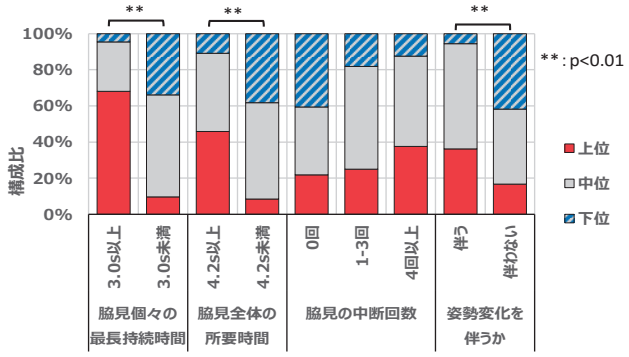


図 7　警報要否と行動特徴とのクロス集計結果

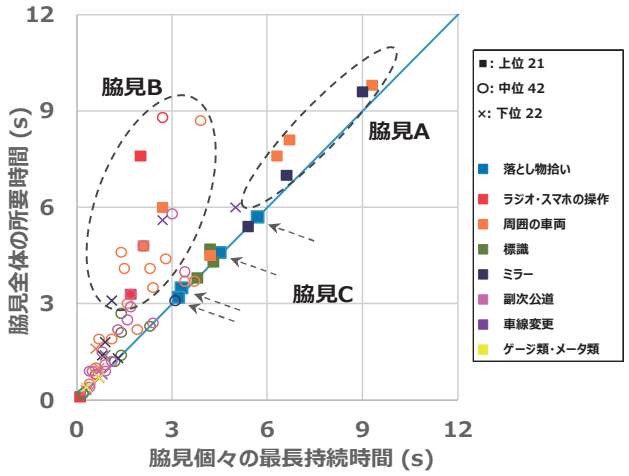


図 8　最長持続時間と脇見全体の所要時間との関係

3.5 警報されるべき脇見行動と考慮されるべき運転状況

以上の実験検討から、警報されるべき脇見行動の特徴の代表的なものとして、「一回でも前方以外に顔向きが長く持続するもの」、「個々の前方以外への顔向き時間は短いけれども繰り返されて長く持続するもの」、「大きな姿勢変化を伴うもの」の 3 タイプを把握した。それぞれ、脇見 A、脇見 B、脇見 C として判定するロジックを検討することとした。

なお、これら脇見時間と顔位置・顔向き角とで識別が難しい場合は、車両挙動情報での警報抑制を検討する。

4　顔認識システムを用いた脇見判定ロジックの考案

4.1 顔認識システム出力値の定義

検知に用いるカメラ顔認識システムは、夜間またはトンネル内でも撮影でき、また昼間の外乱光の影響を低減できるよう、近赤外照明を内蔵するカメラ [7] を用いる。**図 9** に出力データの定義を示すが、画像認識処理によってドライバの撮像画面上の顔位置座標 x、y、顔向き角 Yaw、Pitch を 30 Hz 相当で出力可能である。なお、顔が検知範囲を外れたり、遮蔽物で顔が半分以上隠れたりした場合は未検知状態を意味するロスト値を出力する。

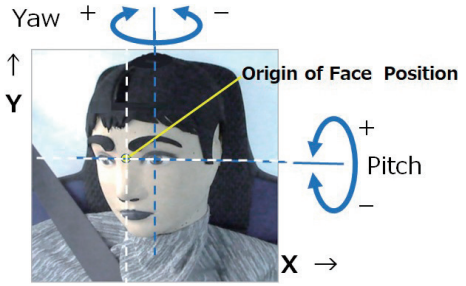


図 9　顔位置と顔向き角度の定義

4.2 脇見判定ロジック

脇見判定ロジックの処理のフローを**図 10** に示す。

脇見 A は、顔向き Yaw、Pitch のオフセット補正及び学習処理といった前処理の後、顔向き 4 方向（左右上下）それぞれについて、次の**式 1** のように脇見 A 判定を下す。

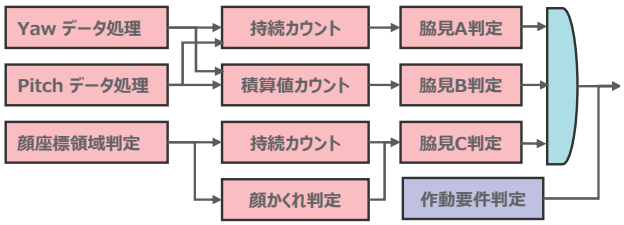


図 10　脇見判定処理のフロー

θ :顔向き角、
thθA:脇見判定される顔向き角度閾値、
TDA:評価対象時間、
AccT:|θ|>thθA となる過去 TDA 内での累積時間、
thTA:脇見 A 判定される時間閾値、としたとき、

$$AccT > thTA \cdots (式\ 1)$$

脇見 B も同様の前処理の後、顔向き 4 方向それぞれについて、次の**式 2** のように脇見 B 判定を下す。
θ :顔向き角、
θb1:脇見に加算される顔向き最小角度閾値、
θb2:脇見に加算される顔向き最大角度閾値、
TDB:評価対象時間、
Accθ:過去 TDB 内で θb1< θ < θb2 となる場合の累積角度、
thθB:脇見 B 判定される累積角度閾値、としたとき、

$$Acc\theta > th\theta B \cdots (式\ 2)$$

脇見 C は、次の**式 3** のように領域外への移行を見て脇見 C 判定を下す。顔が隠れた状態もロスト値が出力されるが、その場合はロスト直前の値が中央部に集中することから、直前（t-1）の座標によって顔かくれと判断して除外する。
X(t):水平座標、
Y(t):垂直座標、
xc1、xc2、yc1、yc2: 顔かくれ判定される中央部座標閾値、
xc1<X(t-1)<xc2 AND yc1<Y(t-1)<yc2: 直前の座標が中心部であることの条件、
L:ロスト判定値、
X(t)=L OR Y(t)=L:ロスト判定条件、
AccT：ロスト直前の座標が中央部の場合を除いたロスト判定の累積時間、
thTC:脇見 C 判定される時間閾値、としたとき、

$$AccT > thTC \cdots (式\ 3)$$

脇見 ABC はいずれか 1 つでも該当した場合に脇見と判定するが、CAN（Controller Area Network）から得られる車両挙動に基づく抑制判断が出た場合には警報を抑制する。具体的には、車線変更時を想定したウィンカ作動時の抑制、意図的運転操作時を想定したブレーキ作動時・操舵操作時の抑制、基本の顔向き角度がオフセットする状態を想定したカーブ走行時の抑制、確認行動が増える低速域を想定した車速抑制である。

5　脇見判定ロジックのパラメータ調整

5.1　試験システムの構成

計測システムの構成を**図 11** に示す。顔認識用カメラ、前方映像・ドライバ顔・姿勢用の CCD カメラ、車速等 CAN 信号をロガーに記録し、オフラインでパラメータを調整検討した。

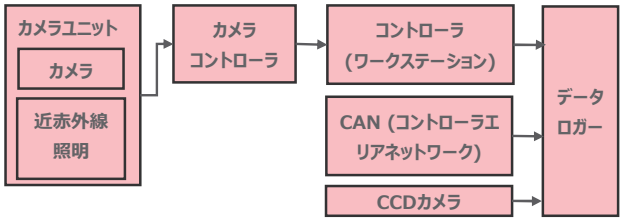


図 11　計測システムの構成

5.2　カメラレイアウト

大型トラックでのカメラレイアウトとカメラ撮像例（鏡像）と認識例を**図 12** に示す。キャブオーバトラックは開口部が広く、フロントガラスが乗用車より立っているため、日射により認識性能に劣化が起こりやすい。A ピラー部に設置することで、カメラは太陽光の直射を受けにくくなり、また、ドライバ左前側に配置する場合と比べ、ステアリング操作時の手及び背景の明るい窓の映り込みが抑えられる [16]。

図 12　カメラのレイアウトと計測画像例（鏡像）

5.3　脇見判定用パラメータの調整

これら計測器の搭載車両でパラメータ調整用の顔認識データと映像とを取得した。改めて、脇見模擬映像取得と主観評価を 3 章と同様の手法にて実施し、警報の要否主観評価点に基づき要警報 40 シーン、警報不要 87 シーン、2 群合計 127 シーンを得た。このとき、警報要否の境界は 3.8 点であった。

パラメータは複数あるため、脇見 A では脇見持続時間 thTA を**図 7** の知見から 3.0 s に固定し、警報不要シーンの誤検知数が 0 となるように thθA を調整した。脇見 B ではまず、積算対象時間 TDB を 3.0 s に、脇見角度 θb1、θb2 を固定し、警報不要シーンの誤

検知数が 0 となるよう積算値 thθB を調整した。更に TDB を 0.5 s から 8.0 s まで振ったときの誤検知・未検知が最小となる最適な TDB を検討した。なお、脇見 C は、顔が領域外となる時間が短い動作は、脇見 A/B でカバーできると考え、thTC を 3.0 s より短くし、顔かくれ動作時の領域も予備検討にて仮に設定した。

5.4 パラメータ調整後の検知状況

このように、誤検知を極力抑える方向で調整したパラメータを 127 シーンに適用した場合の検知率を**表 2** に、要警報 40 シーンでの脇見 ABC 検知状況を**表 3** に、示す。なお、警報不要 87 シーンでの誤検知はなかった。

いずれのロジックでも検知できないシーンが 15 あったが、これらは地図・雑誌、スマートフォンの視認または後ろの荷物を取る等、下を向く動作が多い傾向にあった。ただし、これらを検知すべく閾値調整すると、そのままでは誤検知が生じるため、機能限界であるか、実路で確認する。

表 2　脇見 127 シーンでの検知率

		検知ロジックの判定	
		検知あり	検知なし
主観評価	要警報	TP=25	FN=15
	警報不要	FP=0	TN=87

正解率	88%
偽陽性率	0%
偽陰性率	38%

T;True, F;False, P;Positive, N;Negative

表 3　要警報脇見 40 シーンでの検知状況

順位	スコア	視認行動	A	B	C
1	4.7	助手	●	●	●
2	4.7	標識	●	●	●
3	4.7	標識	●	●	●
4	4.6	スマホ			
5	4.6	助手	●	●	
6	4.4	落とし物			●
7	4.3	落とし物			●
8	4.3	ドアスイッチ	●		
9	4.3	ルームランプ	●	●	
10	4.3	ドアポケット			●
11	4.3	落とし物			●
12	4.3	スマホ			
13	4.3	後ろ荷物			
14	4.3	ルームランプ	●	●	
15	4.3	落とし物			●
16	4.3	落とし物			●
17	4.1	ETC			●
18	4.1	シートスライダ			●
19	4.1	フロントガラス触る	●		
20	4.1	ドアポケット		●	●

順位	スコア	視認行動	A	B	C
21	4.1	ドアスイッチ			
22	4.1	シートスライダ			●
23	4.1	ドアポケット			●
24	4.1	スマホ			
25	4.0	助手	●	●	●
26	4.0	スマホ			
27	4.0	地図			
28	4.0	フロントガラス触る			
29	4.0	助手	●	●	●
30	4.0	ETC			●
31	4.0	テレビ			
32	4.0	フロントガラス触る	●	●	
33	4.0	雑誌			
34	4.0	後ろ荷物			
35	4.0	地図			
36	3.9	標識		●	
37	3.9	標識	●	●	
38	3.9	ETC			
39	3.9	雑誌			
40	3.9	灰皿			

●：検知　□：未検知　□：ABCいずれも未検知

6　脇見判定ロジックの検証

6.1 テストコースでの正検知評価

4.2 節のロジックを、カメラ認識性能が上がった改良ソフトウェアでパラメータを微調整した後に、テストコースにて正検知評価を実施した。

n=1 と少人数であるが、警報されても仕方がないとドライバ自身が思う、要警報動作をそれぞれ数回から十数回程度実施してもらい、検知状況を調べた。脇見方向別の検知率を**図 13** に示す。ドライバの視界中心から近い領域の脇見の検知率は低いが、ドライバから遠い方向の脇見の検知率は比較的高い。

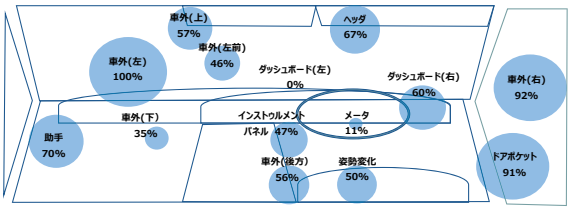


図 13　脇見方向別の検知率（テストコース）

6.2 実路での誤検知評価

誤検知評価のため、同様のシステムを搭載した試験用大型トラックを用いて、試験走行スキルのあるドライバが東名高速道路（神奈川県内～静岡県内）を通常通り、約 80 km/h で巡行中のデータを収録した。1 運行約 70～90 分程度のデータを 11 名分、のべ 16 時間分をオフラインにて解析した。

各ドライバの脇見検知状況を**図 14** に示す。全 33 回の検知の内、正検知が 4 回あり（ガムの取出し、助手との会話で）、いずれも脇見 B で検知された。それ以外は誤検知であるが、脇見 B が大半（28 回）で、脇見 A は 1 回、脇見 C は 0 回であった。ただし、良好な運転状態での明らかな誤検知は 3 回と少なく、首肩を揉むときに視線は正面のまま顔が下方を向いていたり、車線変更でウィンカを点ける 30 s 以上前から右後方のみを確認し続けていたりと、グレーゾーンに入るものも多かった。ドライバによる検知数の差異もあるが、1 運行平均 3 回、時間平均としては 2.2 回の発生状況であった。

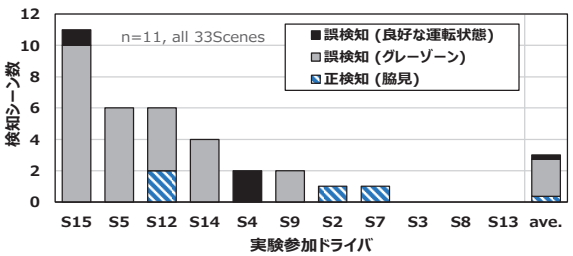


図 14　各ドライバの脇見検知状況（実路）

7　おわりに

大型トラックドライバにも受容性の高い脇見警報システムを開発すべく、大型トラック環境でのカメラ映像に対する警報要否の主観評価に紐づいたデータにて脇見判定ロジックを考案した。本ロジックの検知性能を実車両で検証した結果、おおむね誤警報の少ないシステムであると確認することができた。

更に受容性を高めるためには、下方視認での閾値調整及び、警報音のオン・オフを可能にするなどの工夫が必要であるが、根本的には視線方向の検知を踏まえた脇見判定を行う必要があると考える。

なお、本ロジックは眠気検知警報も含めた大型トラックの「ドライバーステータスモニター」[(16)]に採用されたことを付す。

本文献は、公益社団法人自動車技術会発行の自動車技術会論文集52巻1号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) 交通事故総合分析センター：交通事故統計表データ, No.01-30BC101, No.01-30BC102, No.01-20HZ101, No. 01-20HZ102,（2020）
(2) 交通事故総合分析センター：事業用貨物自動車の交通事故の発生状況（令和元年度),(2019),p.36-37
(3) 交通事故総合分析センター：事業用自動車の交通事故統計（平成29年版）,（2019）,p.50-54
(4) 服部彰ほか：ドライバーモニター付プリクラッシュセーフティシステム , 自動車技術会シンポジウムテキスト ,No.01-07,（2007）,p.36-41
(5) 浅井恵二ほか：ドライバーモニタリングシステムの開発、スバル技報 ,No.45,（2018）,p.159-164
(6) 後藤誠二ほか：カメラを用いたドライバー・モニタリングの開発 , マツダ技報 ,No.36,（2019）, p.130-135
(7) 酒井洋介ほか：後付けドライバーステータスモニターの開発、自動車技術会学術講演会講演予稿集、No.22-19,（2019）,p.1-5
(8) 志村敦ほか：車載環境に対応したカメラを用いたドライバモニタ技術の開発、自動車技術会学術講演会前刷集 ,No.35-12,（2012）,p.15-18
(9) 森田和元ほか：わき見運転時のブレーキ操作の遅れに関する考察 , 自動車技術会論文集 ,Vol.33,No.3,（2002）,p.161-166
(10) 中越聡ほか：ドライバの顔向きによる前方不注視の推定と警報反応時間の研究、自動車技術会学術講演会前刷集 ,No.58-06,（2006）,p.17-20
(11) 岩男眞由美ほか：トラック運転環境におけるドライバの車内情報認知特性の研究、JSAE Review,Vol.23,No.4,（2002）,p.489-494
(12) 植田信介ほか：脇見運転防止支援システム構築に向けた警報タイミングの検討、自動車技術会学術講演会前刷集 ,No.38-11,（2011）,p.5-10
(13) 田久保宜晃ほか：運転中の脇見行動に関する分析 , 自動車技術会論文集 ,Vol.34,No.2,（2003）,p.107-112
(14) 鳥山将司ほか：画像処理によるドライバの視線方向検出と脇見検知への適用 ,Review of Automotive Engineering,Vol.27,No.2,(2006), p.295-300
(15) 畑田豊彦：生理光学（16）自然視画像と視覚特性 ,O plus E, No.74,（1986）,p.121-130
(16) 矢野裕士ほか：20型ギガの先進運転支援システム開発について , いすゞ技報 ,Vol.132,（2020）, p.17-18

著　者

岩男　眞由美

山口　和彦

草刈　由歌

津田　隆太

論文・報告

大型トラック用ファイナルギヤの DUPLEX 歯面研削工法の量産へ向けて

Mass Production Technology for DUPLEX Tooth Grinding Method of Final Gear for Heavy duty Truck

鶴岡　文夫*
Fumio Tsuruoka

迫口　雄三*
Yuuzou Sakoguchi

安孫子　直樹**
Naoki Abiko

要　旨

大型トラック用最終減速機の減速ギヤ（ファイナルギヤ）は、多くがフェイスミルと呼ばれる工法で加工されている。設備老代を機にファイナルギヤの工法を疲労強度・静粛性・生産性に優れる DUPLEX 歯研削工法を採用する。本稿ではその概要と工法設定について紹介する。

Abstract

Most of the reduction gears (final gears) of final drive unit for heavy trucks are processed by a method called a face mill. Taking advantage of the old age of equipment, the final gear construction method will be the DUPLEX tooth grinding method, which has excellent fatigue strength, quietness, and productivity. This report introduces the outline and construction method setting.

1　はじめに

1.1　ファイナルギヤセット

トラック用最終減速機に求められる性能は、エンジンが発生するトルクを確実に伝達し続ける強度と、歯車かみ（噛）合い時に異常な音、振動を発生させない静粛性に大別することができる。アクスル部品において、この性能決定に大きく寄与している部品がファイナルギヤセットである（**図 1**）。

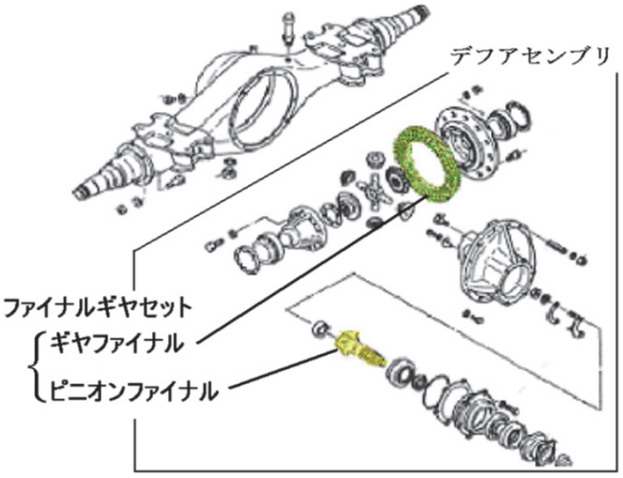


図 1　ファイナルギヤセット

ファイナルギヤセットに求められる性能のうち強度に関しては設計段階でほぼ決定される。一方、静粛性については実機での評価と生産段階での品質管理が重要である。

最終減速機を一般的にデフと呼び、そこから発生する異音をデフノイズと呼んでいる。このデフノイズの発生原因の一つがファイナルギヤセットにある。

1.2　ファイナルギヤの評価方法

開発部門での評価は強度試験機での評価と実車でのノイズ評価である。

生産でのファイナルギヤセットの評価にはギヤファイナル歯面に光明丹を塗布してギヤセットを回転させたときにできる「歯当たり」と呼ばれる接触痕にて両歯車の歯面形状を判定する方法（**図 2**）と、三次元測定器による形状測定、ギヤセットの回転角度ズレ量（伝達誤差）測定、振動値測定などの数値評価も並行して行われている。

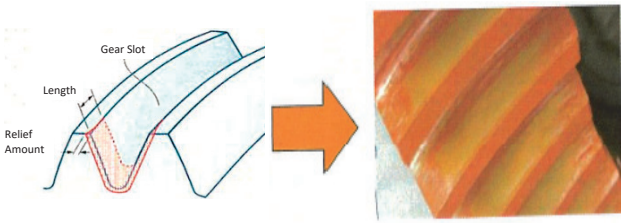


図 2　歯当たり

1.3　背景

近年、デフノイズに対する市場での要求品質が高まっている。これはエンジンの静粛性が向上した結果、その他の音が目立つようになった。その一つがデフノイズである。

* PT 技術部　　** PT 品質管理部

一方エンジンの出力も毎年強化されており強度に関する要求も強くなる一方である。

デフノイズと強度はトレードオフの関係があり（**図 3**）、現行工法では両方の要求を満たすことが難しくなりつつある。また生産設備も老朽化が進み維持管理が難しくなってきた。

大型車用フィナルギヤは熱処理変形のばらつきも大きく DUPLEX 歯面研削工法を採用した。

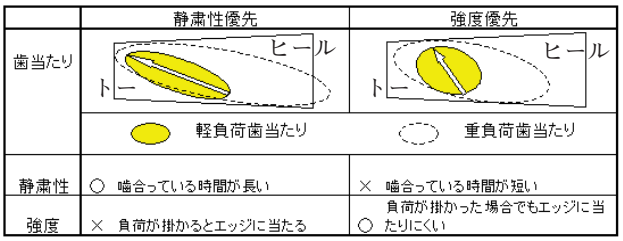


図 3　歯車のデフノイズと強度の関係

2　ファイナル歯切り工法

現在の一般的な自動車部品向けファイナル歯切り工法を**表 1** に示す。

表 1　一般的なファイナル歯切り工法比較表

工法		加工回数	歯面研削	ドライ加工	歯形	歯筋	備考
フェイスミル	SB-FS	5	可	不可	直線	円弧	最も標準的な工法
	SB-FS（歯研）	5 +3	必要	不可	円弧	円弧	いすゞバス系で一部採用
	デュープレックスヘリカル（歯研）	2 +2	必要	可	円弧	円弧	欧州系メーカーに多い
フェイスホブ	NC再研削	2	不可	可	円弧	エピサイクロイド	LCVサイズにて普及・今回採用
	メカ再研削	2	不可	不可	直線	エピサイクロイド	

2.1　現状工法（フェイスミル）

ファイナルギヤの場合、一般的に減速比が 3 以上と大きい。

また噛合う歯車対の一方の歯数を無限大とすると、そのインボリュート曲線は直線となる。いわゆるラック＆ピニオンである（**図 4**）。

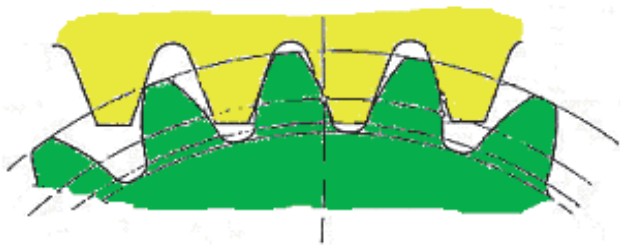


図 4　ラック＆ピニオン

そこで生産性を向上させるため、近似的に大歯車の歯形を直線として、歯切り工具・製品の同期回転を必要としない工法（フェイスミル）が採用されている。

歯筋方向に付いても同様に大歯車は理想的なインボリュート曲線を円弧曲線にて近似している（**図 5**）。

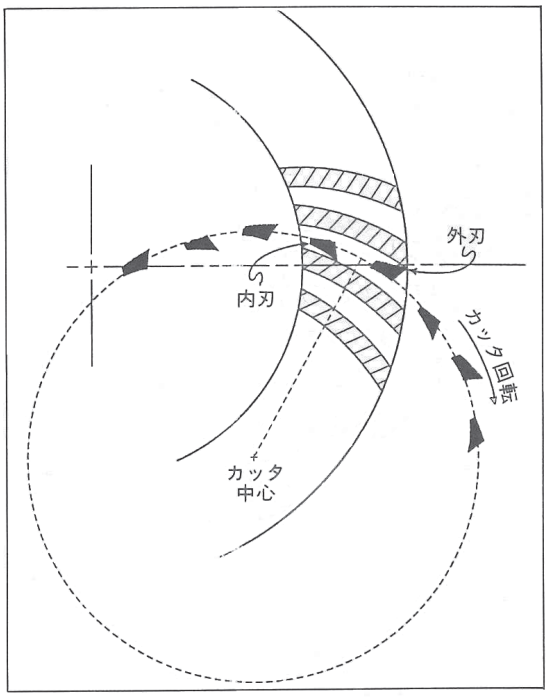


図 5　フェイスミル工法 [1]

大歯車の歯形・歯筋を近似線にて製作しているため、小歯車（ピニオンファイナル）側の歯形・歯筋はこれにならうよう修正して、工具形状を簡単にするために片歯面ごとに仕上げ加工されている。

本工法は 1900 年代の前半にグリーソン・ワークス社によって確立され、近年までファイナルギヤセット加工工法の主流であった。

2.2　新工法（DUPLEX 歯面研削）

今回採用した DUPLEX 歯面研削工法では、同じミル工法だがピニオン歯面の形状を制御することでピニオン歯切りの回数を従来の 3 回から 1 回で両歯面を仕上げることができる。（**図 6**）

ギヤについても 2 回から 1 回へ削減できる。

また歯筋のクラウニングも制御可能。

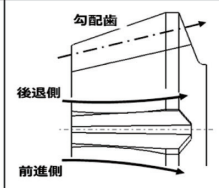
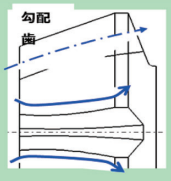
	現状工法の歯型 (FACE/MILL)	新工法の歯型 (DUPLEX)
歯切り回数	GEAR/PINION　2 / 3 回	GEAR/PINION　1 / 1 回
仕上工法	ラップまたは歯研磨	歯研磨
対応機種	メカ機/NC機	NC機
歯形（歯筋）概念図（PINION）	 左右歯面を個別に加工 歯筋は円弧曲線	 切り込み深さを制御して左右歯面を同時加工 歯筋のクラウニング可能

図 6　DUPLEX　工法の違い

2.3 DUPLEX 歯面研削の利点

疲労強度・静粛性にも期待される工法であるが最大の利点は生産性に優れるところである。

図 7 のように歯切りの回数が削減できるため、設備台数が削減できる。すなわち投資削減可能である。

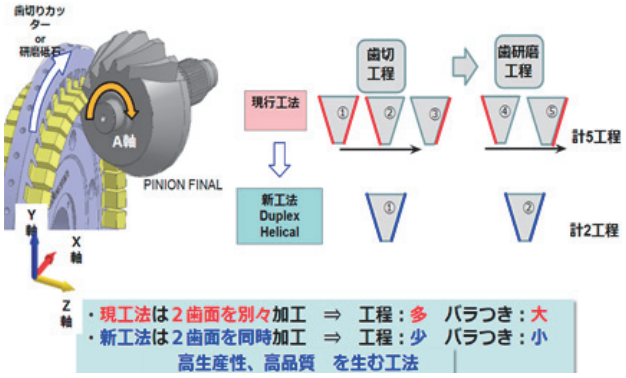


図 7　DUPLEX　工法の利点

また、1 回で両歯面を仕上げるため、ばらつきも少ない。

熱処理後の歯研削も DUPLEX 工法により同様な利点があり、かつ熱処理変形のばらつきも抑制可能である。

3　加工設備

3.1 現行機

図 8 に現状フェイスミル工法にて使用している機械の機構を示す。工法確立当初から使用されている機械であり、歯車列により創生運動･割り出しを行う。

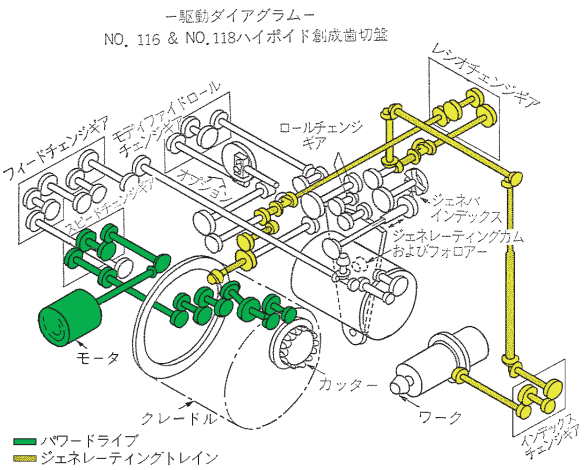


図 8　現行機

3.2 高速 NC 加工機

図 9 に今回導入した機械の概念図を示す。高速加工用にスピンドルモータにビルトインモータを採用している。また切削部位で発生した熱を切粉が持っているので、機械フレームに切粉が溜まらないようにワーク下側にフレームが来ないよう設計されている。

NC（Numerical Control：数値制御）機に老代することで DUPLEX 工法が可能になり品質・生産性の高い生産が可能となる。

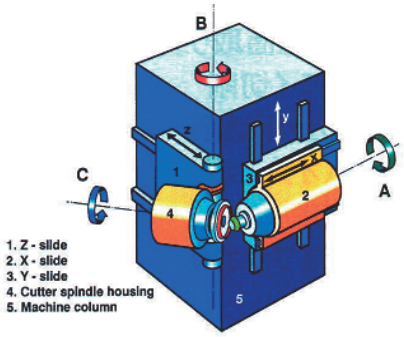


図 9　高速 NC 加工機 [2]

4　諸元設計

4.1 諸元計算

専用ソフトを用いて設計方針に基づき各サイズ・レシオごとに、強度確認パラメータとして、面圧形状、歯元応力を確認する。

面圧は FEA（有限要素解析：Finite Element Analysis）図（**図 10-1**）の分布形状で判断する。**図 10-1** のように最大トルク時に歯面歯先中央部分に集中する様に制御する。ヒール側に高圧分布が伸び出さないこと。

歯元応力は、応力（MPa）で判断する。

最大トルク時にピニオン歯元応力が既定の応力を超えない様にする。(**図 10-2**)

デフノイズ確認パラメータとして、伝達誤差を確認する。車両ノイズ試験のピニオン最大入力トルク時の伝達誤差を仮に 50 μ rad 以下にする。(**図 10-3**)

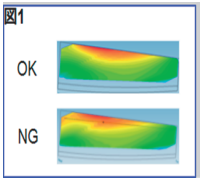


図 10-1

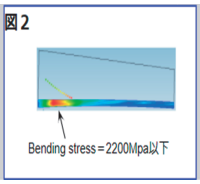


図 10-2

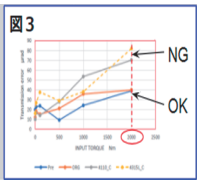


図 10-3

（例：入力トルク 2000 Nm）

図 10　歯車諸元計算結果

ここで決める各パラメータが疲労強度・静粛性に影響を与える。

4.2 管理パラメータ（試作）

諸元計算とその結果に基づき疲労強度・静粛性に影響を与えるパラメータを確認し、疲労強度・静粛性を両立させる最適なパラメータを見出す必要がある。

① 歯当たり位置について

DRIVE 側（前進側）はトー寄り、COAST 側（後退側）はヒール寄りを狙う。FEA で 20 %トルク時の面圧形状を、実際の歯当りと仮定して歯当り位置を定める。

FEA で段階的にトルクを掛けた際の歯当りの伸び方を確認し、トルク 20 %時の歯当り位置を定める。

② 伝達誤差について

歯当たり解析にて規定トルクの 20 %時に出力される伝達誤差が 20 μ rad 以下になるようにする。

また､ピニオン最大入力トルク時の伝達誤差を50 μrad 以下にする。

③ 歯当たりの大きさについて

歯当り解析で、歯幅の約 50 %。少なくとも 40 %は確保する。

①～③のパラメータを最適化することで強度・静粛性を両立させた歯車諸元が得られる。ここに最適化するための諸元計算に固有技術が生まれる。

5 試作機での加工と評価結果

5.1 品質

ほぼ狙いどおりの結果を得られた。(図 11～図 12)

① 歯当たり結果は狙いどおり完成した。

DRIVE 側　　COAST 側

図 11 現物歯当たり（試作）

② 歯面測定結果は狙い値との差は 5 μ m 未満と狙いどおり完成した。

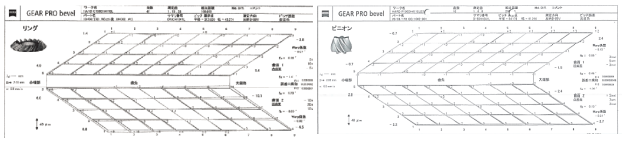


図 12 歯面測定（試作機）

③ 伝達誤差:量産出荷基準を満足した。

5.2 実車静粛性

実車にて静粛性を確認した結果は規格を満足した。

5.3 疲労強度

図 13 に現行フェイスミル歯研削工法と DUPLEX 歯研削工法（試作）の疲労強度試験結果を示す。DUPLEX 歯研削工法の歯車は、フェイスミル歯研削工法に対して約 3 倍の強度（寿命）を示した。

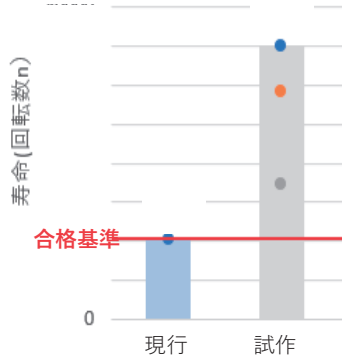


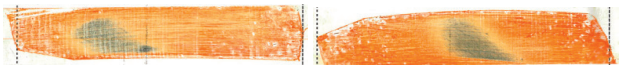
図 13 強度比較（試作時）

6 量産機での加工と評価結果

6.1 品質

ほぼ狙いどおりの結果を得られた（図 14～図 15）。

① 歯当たり結果は狙いどおり完成した（図 14）。



DRIVE 側　　COAST 側

図 14 現物歯当たり（量産機）

② 歯面測定結果は狙い値との差は 5 μ m 未満と狙いどおり完成した（図 15）。

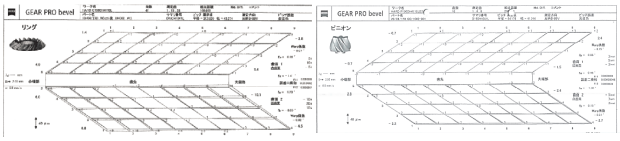


図 15 歯面測定（量産機）

③ 伝達誤差:量産出荷基準を満足した。

6.2 実車静粛性

実車にて静粛性を確認した結果は現行同等の結果を得た。

6.3 疲労強度

図 16 に DUPLEX 歯研削工法の試作機品と量産機品の疲労強度試験結果を示す。出荷品質としては大きな差がなかったが、疲労強度において基準ぎりぎりとなり寿命向上は得られなかった。

バラツキもあり評価 NG となった。

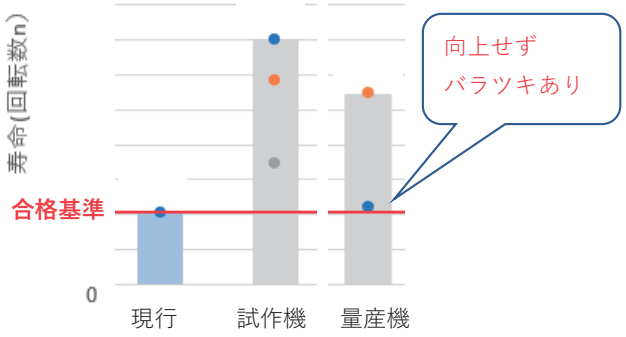


図 16　強度結果

7　試作機品と量産機品で製作した歯面形状の差 - 評価 OK 品と NG 品の差の検証 -

7.1 管理パラメータの比較

① 歯当たり位置について

狙いに差はなく強度試験結果の差の要因ではない。

② 伝達誤差について

歯当たり解析結果は狙いどおりで大きな差はない。

③ 歯当たりの大きさについて

大きさに差はなく強度試験結果の差の要因ではない。

7.2 歯当たり

大きく変わらないがピニオン最大入力トルク時の DRIVE 歯面ヒール側の歯当たりに違いがあった。試作機で製作したものはヒール側の歯底付近の歯当たりがないが、量産機では歯当たりがある（図 17）。この違いが疲労強度試験結果に影響を与えたひとつの要因である。

図 17　最大トルク時の歯当たり

7.3 歯面形状

歯面測定：計算の狙い値との差を計測した結果狙いどおり。歯当たりの違いに起因する形状違いは見られない（図 12 と図 15 の比較）。

しかし歯面測定では 9x5 点にて分割した点のみ測定し形状として点と点を繋げており計測範囲も歯面全域をカバーできていなかった。

そこで歯筋測定機にて歯当たりに差がみられる部分を再測定した（図 18）。

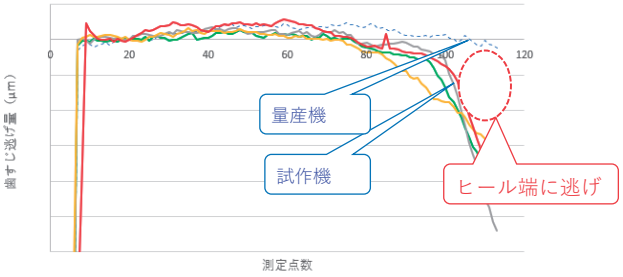


図 18　歯筋測定機結果

その結果、試作機品はヒール側にわずかな逃げがあることが分かった。

この差が最大負荷をかけた時にヒール端での歯当たりの違いが発生した（図 17）。

図 18 の形状の違いが疲労強度試験結果に影響を与えたものと判断した。

8　量産用最終歯車諸元の決定

8.1 管理パラメータ

強度と静粛性を両立させる諸元計算のパラメータは次のとおり決める必要がある。

① 歯当たり位置について

DRIVE 側はトー寄り、COAST 側はヒール寄りを狙う。FEA で 20 % トルク時の面圧形状を、実際の歯当りと仮定して歯当り位置を定める。

FEA で段階的にトルクを掛けた際の歯当りの伸び方を確認し、トルク 20 %時の歯当り位置を定める。

② 伝達誤差について

歯当たり解析にて規定トルクの 20 %時に出力される伝達誤差が 20 μ rad 以下になるようにする。

③ 歯当たりの大きさについて

歯当り解析で、歯幅の約 50 %。少なくとも 40%は確保する。

④ 7.3 節の考察よりヒール端形状の管理項目として追加

ヒール端より 10～20 μ m 程度の長さを削り込む形状にする（図 19）。

FEAでヒール端付近の負荷が減っていることを確認する。

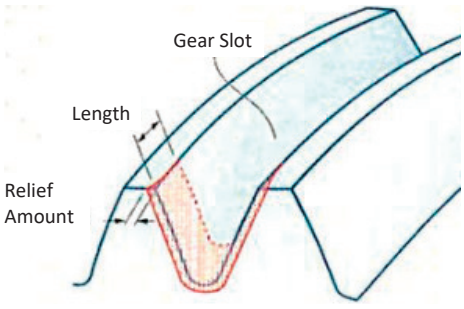


図 19　ヒール端形状

8.2 品質管理項目

量産移行するための品質管理項目は次のとおりとする。

① 歯当たり：歯当たり位置、大きさ、クラウニング量の確認（**参考図 14**）
② 歯面測定：計算の狙い値との差を計測し数 μm 以内にあること（**参考図 15**）
③ 伝達誤差：量産出荷基準を満足
④ 歯筋測定器によるヒール端形状の確認（**参考図 18**）

9 今後の課題

DUPLEX 歯面研削工法は従来のフェイスミルと比較して 1 工程での仕上げのため、歯面調整の自由度が少ない。そのため、工法設定ができればばらつきが少なくなる。また、熱処理後に歯面研削加工をするため、狙いどおりの歯面形状を得られる。

今回工法設定の難しさを経験し、トレードオフの関係にあった静粛性と強度をともに向上させることが可能な設定が得られる見通しがついた。

今後他社型への水平展開するにあたり、引き続き条件設定をし、量産管理していくことが課題となる。

また、ギヤ単品の諸元計算・歯当たり解析からアセンブリした状態での構造解析を含めた強度・静粛性のシミュレーションと実機試験結果との整合が取れれば開発期間の短縮も可能となるだろう。

10 おわりに

いすゞにおける本工法は評価中であり量産展開はこれからである。管理項目、他車型展開・原価低減などこれからの課題も多いが、更なるレベルアップを目指して取り組み中である。

最後になりましたが、本工法の量産展開に関し、ご協力いただいている開発、生産の方々にこの場をお借りして御礼申し上げます。

文献

(1) Hermann J. Stadtfeld:ADVANCED BEVEL GEAR TECHNOLOGY, The Gleason Works, (2000), p24
(2) グリーソンアジア：Gleason セミナー 2003, ドライカット技術開発動向と新ベベル製造セル ,(2003) , p3

著　者

鶴岡　文夫

迫口　雄三

安孫子　直樹

◇いすゞ歴史の一こま

ベレル 2000 スペシャル DX（1965 年ごろ）

解説・講義

公共交通機関におけるエアロゾル挙動とウイルスの対策手法検討

Study of Aerosol Movement and Countermeasures in Public Transportation

達　晃一*　篠原　直秀**　金　勲***　鍵　直樹****　坂口　淳*****
Koichi Tatsu　Naohide Shinohara　Kim Hoon　Naoki Kagi　Jyun Sakaguchi
飯田　明由******　山内　康*******　安原　幸生********　坪倉　誠*********　内藤　航**
Akiyoshi Iida　Kou Yamauchi　Yukio Yasuhara　Makoto Tsubokura　Wataru Naito

要　旨

コロナ感染に対して効果的な対策が、公共交通機関には必要である。本研究では、換気実態を調査し、対策を検討するとともに、路線バスにおけるエアロゾルの拡散挙動を測定した。このときのエアロゾル粒子にはPSLと人工唾液を使用して評価を行った。PSLは沈着しやすい傾向があるため、エアロゾル濃度が低くなり、過小評価につながる恐れがある。また、本研究ではエアロゾルフィルタの粒子捕集能力を評価し、この結果窓開け換気と同じ効果があることがわかった。

Abstract

Public transportation is required to have effective measures against the new corona infection. In this study, we investigated the actual condition of ventilation, which is said to be the infection route of the virus, and examined the countermeasures in addition, the behavior of the particles when they were diffused into the route bus was measured. PSL and artificial saliva were used as the particles. PSL tends to be deposited easily, so the particle concentration is too low. It may lead to evaluation. Also, the particle collection ability of the aerosol filter was evaluated. From this result, it was found that it has the same effect as window opening ventilation.

1　はじめに

不特定多数の人が利用する地下鉄及びバス等の公共交通機関、各種公共施設／建築物における感染リスク低減対策は社会的に重要な課題であり、コロナ・Postコロナ時代で求められる新しい生活様式においては、社会経済への影響を最小限に抑えた効果的かつ具体的な低減対策が求められている。COVID-19を引き起こす新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）への主な感染経路は「飛沫感染」であり、「飛沫核感染(空気感染)」及び「接触感染」も否定できないと考えられているが、経路別の感染リスクは対象とする場の状況（換気・気流、滞在時間、人の流れ・人と人の距離、会話・発声の有無、マスク着用の可否リスクなど）によって大きく異なると考えられる。また、場所ごとによって許容される感染リスクにも違いがあると考えられる。そのため、場所ごとに最適な対策を選択し、実施していくことが必要である。車内及び建築物内において、換気を知るだけでなく、新鮮外気がどこから入り、どこから出ていくのかという空気の流れを把握することは、感染リスクを下げるためのゾーニング及び人の動線を考える上でも重要である。

一般的なウイルス感染経路として、接触感染とエアロゾルを介した吸入感染[(1)]が考えられている。**表1**にはCOVID-19の感染経路を示した。COVID-19の主要感染経路は飛沫である。

表1　COVID-19[(2)]の感染経路

Mode of Transmission		tuberculosis	measles Chickenpox	SARS MERS	COVID-19
Droplet Transmission		○	○	◎	◎
Airborne Transmission	Short-range Aerosol Transmission	◎	◎	△～○	○
	Long-range Aerosol Transmission	◎	○	×	×
Contact Transmission		×	○	○	○

◎:感染に大きく関連　○:感染に関連している
△:感染に関連するケースあり　×:感染に関連なし

空気感染については、限定的な条件が重なったときに発生すると考えられている。限定的な条件とは、換気状況が悪く、感染者の排出する飛沫量が高くなるケースである。飛沫核及び飛沫と想定される粒径10 μm以下の粒子は無風状態で長時間浮遊すると報告されている。建築空間等を想定すると、浮遊時間として1 μmは14.4 h、5 μmは35 min、10 μmは9 minとなっている[(3)]。会話及び咳をしたときの呼気中

*車両審査実験第二部　**(国研)産業技術総合研究所　***国立保健科学医療科学院　****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

の飛沫の大きさは、0.01 μm から数 mm 程度であり、個数濃度としては 1 μm 前後と 100 μm 辺りにピークを持っている[4]。飛沫核及び飛沫に含まれるウイルス濃度は、粒径により異なるが、例えば 1 μm の粒径の体積は 0.5 μm^3、4 μm の粒径は 33.5 μm^3 となり、体積としては約 64 倍となる。**図 1** には呼吸時の飛沫及び飛沫核の粒径分布を示し[4]、粒径分布に体積を乗じた粒子体積を**図 2** に示した。これより、飛沫に含まれるウイルス数は、均一に分散しており、かつ飛沫体積に比例すると仮定すると、10 μm 以下の寄与は、0.01 %以下となる。

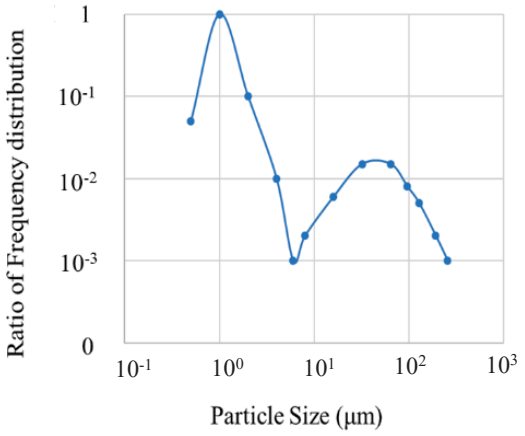


図 1　粒径別の排出比

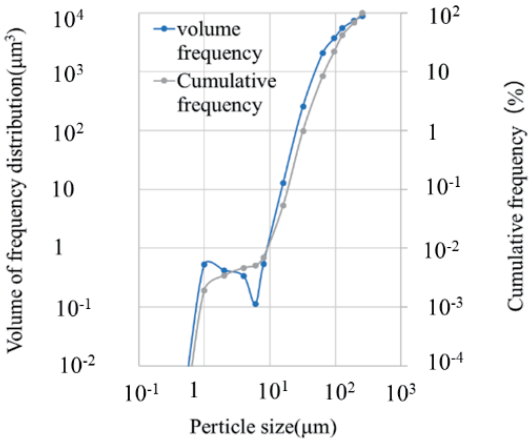


図 2　粒径別の排出量

排出される粒子量は、人間の活動量及び年齢によって異なる。20～34 歳の睡眠中の呼吸量は、0.4 m^3/h、軽い活動は、0.7 m^3/h、運動時は、4.3 m^3/h と報告されている[5][6]。飛沫排出量は、会話及び呼吸などの行動により異なるため[7]、想定する行動の飛沫排出量に呼吸量（m^3/h）を乗じることで、算出できる。ウイルス曝露量は、吸入量から算出することが可能となる。ただしこの暴露量算出には行動を伴うシナリオの検討が必要である。

公共交通機関におけるウイルス感染に効果のある技術は、希釈換気（Dilution Ventilation）、個別換気（Personalized ventilation）、フィルタ捕集（Central system filtration）、流れ制御（In-room flow regimes）[8] と報告されている。行動を考慮したウイルス感染対策の手法を次の①～③に示す。

① 飛沫
排出対策：マスク着用、会話、飲食の制限
曝露対策：マスク着用、眼鏡着用、プロテクター、物理的距離、ウイルス数の希釈（換気・捕集）

② 飛沫核
排出対策：マスク着用、会話、飲食の制限
曝露対策：マスク着用、物理的距離、ウイルス数の希釈（換気・捕集）、気流の制御

③ 接触
排出対策：マスク着用、会話、飲食の制限
曝露対策：行動制限（口及び目を触れない）、洗浄（手洗い）、清掃

これらの中で、公共交通機関として実現できる対策方法としては、ウイルス数の希釈、気流の制御、清掃が挙げられる。直ぐの対応としては、ウイルス数の希釈は、窓開け等による換気によるウイルス数の希釈である。これの課題としては、夏季及び冬季などの温調が必要な時期に、最適な温熱環境を保持することができないといったことが発生している。換気に対するウイルス感染リスク低減効果については、現状は明確な数値を算出することが困難であるが、エネルギー効率だけでなく、冬季、夏季の健康の観点からも窓開けに代わる手法も重要である。

本研究では、①ウイルスの感染対策を講じる上で必要な現象（換気や飛沫・飛沫核の挙動や表面汚染など）について、実測・実験室実験・シミュレーションを組み合わせて明らかにすること、②場所ごとの経路別リスク評価を行い、場所ごとに対策によるリスク低減効果を推定すること、③飛沫核に対する対策技術の開発を行うことを目的とする。今回の報告では、上の目的のうち①に対しては、路線バスの換気実態調査結果について、及び③に対しては、エアロゾルフィルタ（本研究では粒子捕集のフィルタをエアロゾルフィルタと呼ぶこととする）の効果について報告する。

2　試験方法

2.1　換気回数

CO_2 濃度減衰法[9] を用いて、路線バスの車室内の座席及び立ち席の複数箇所の換気回数を測定した。トレーサーガスとなる CO_2 を車内に充填し、車

両のクーラファンで車内濃度を均一にしたあと、所定の換気測定条件に設定して濃度減衰を CO_2 測定器（旭化成 AS1s、サトテック MCH-383SDJ）により計測した。測定は、座席では座面から 70 cm の高さ、通路は立ち席を想定して床面から 150 cm の高さで行った。試験に用いた路線バスの仕様と外観を**表 2**、**図 3** に、測定器の配置図を**図 4** に、測定条件を**表 3** に、乗員として用いたマネキンを**図 5** に示す。

表 2　バスの仕様

Index	Dimention
Length	11130mm
Width	2845mm
Hight	3045mm
Seat	24Seats
Standing Space	63People
Driver	1Person
Volume	50m^3
Cooler Blower	Hi(4100m^3/h)
	Lo(1900m^3/h)
Ventilation Fan	Front×1(522m^3/h)
	Rear×1(522m^3/h)

図 3　換気回数の測定

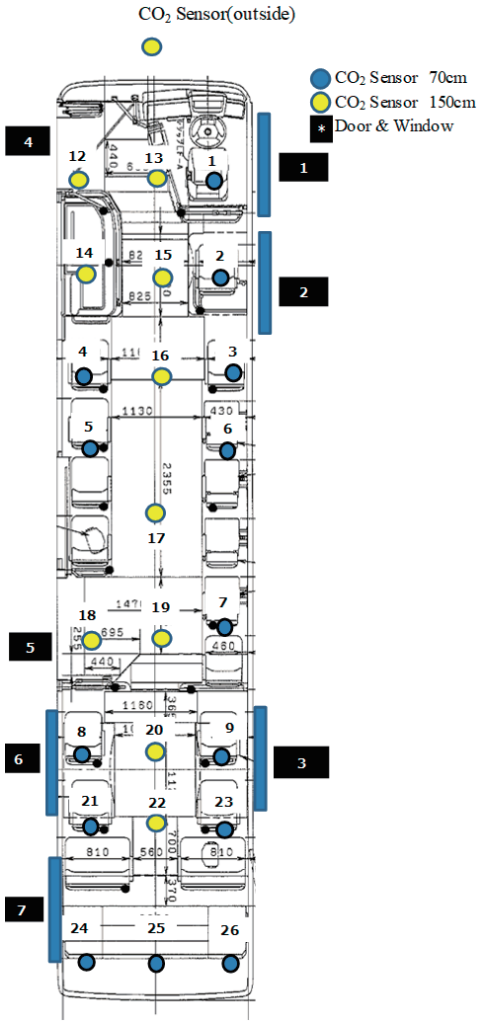


図 4　測定位置

表 3　試験車両の測定条件

Index	Set value
Velocity[km/h]	0,20
Passenger	0,24,75
Cooler blower	ON,OFF
Def(Defogger Fan)	ON,OFF
Door	Close,Open
Window[cm]	0,5,15,30
Ventilation Fan	OFF,intake,exhaust

図 5　マネキン

2.2　相当隙間面積

本研究においては、室内の換気状況のメカニズムを把握するために、流体シミュレーションも活用する。このモデルに必要となる相当隙間面積を送風機による差圧計測（EOM 製 Dr.dolphin）より算出した[10]。相当隙間面積測定時は、屋外風の影響等も考慮して、室内で測定を行った。計測時の様子を**図 6** に示す。

図 6　気密測定

2.3 エアロゾルフィルタ評価

エアロゾルフィルタの効果は、人工唾液[11]（蒸留水: 100 ml、グリセリン：7.6 g、塩化ナトリウム：1.2 g）と PSL（ポリスチレンラテックス　25 倍希釈）の 2 種類を検討した。これらの溶液をアトマイザー（日本カノマックス製 ATM226）により室内に、攪拌用ファンを併用しながら拡散させて、粒子濃度が安定したら、攪拌用ファンを停止してクーラブロワ（クーラ吸い込み口にエアロゾルフィルタ設定）を作動させて 0.3 μm～10 μm 粒子濃度の減衰を、パーティクルカウンター（日本カノマックス製 PC：パーティクルカウンター3889）測定器の外観を**図 7** に、エアロゾルフィルタの設置の様子を**図 8** に示した。エアロゾルフィルタの仕様を**表 4** に示す。パーティクルカウンターは、1,2,5,6,7,9,12,17,20,21,24,26（**図 4**）の位置に、設置した。測定条件を**表 5** に示す。本研究では、人工唾液の粒径毎の数量と安定性を確認した上で試験を行った。PSL は飛沫核を想定して、1.3 μm の粒径を用いた。エアロゾルフィルタの効果は、窓開けによる換気回数と比較できるように、粒子濃度の減衰より換気回数を算出した（相当換気回数と呼ぶこととする）。試験条件を**表 5** に示す。

図 7　測定機器

図 8　エアロゾルフィルタ

表 4　エアロゾルフィルタの仕様

Filter size(mm)	437×135×25
Surface Area(m^2)	4
Dust collection performance (0.5μm %)	50-60
Dust Holding Capacity (+200Pa)	130-140

表 5　粒子の測定位置（図 4 参照）

No.	Condition			
	Cooler Blower	Filter	Ventilation Fan Front	Ventilation Fan Rear
1	ON-Hi	-	OFF	OFF
2	ON-Hi	○	OFF	OFF
3	ON-Lo	○	OFF	OFF
4	ON-Hi	○	Exhaust	Exhaust

エアロゾルフィルタの圧損を考慮し、効果を机上試算すると、クーラ風量 3580 m^3/h、15 min 当たりの車両容積分の空気が、エアロゾルフィルタを通過する回数は、19.3 回となる。粒子濃度の低減率は、エアロゾルフィルタ 1 回の通過で 50 %捕集と仮定すると、99.999 %を捕集できる。この捕集能力から、15 min の車両気積分の空気が 99.999 %置換することを仮定して換気回数を算出すると 51 回 /h 相当の換気となる。

2.4 換気及び飛沫核、飛沫のシミュレーション

CFD（数値流体力学:Computer Fluid Dynamics）を用いて、車両の換気及び飛沫核、飛沫のシミュレーションに対応できるように、車両モデルを作成した。車両モデルの製作は、CAD（computer-aided design）データより製作するが、隙間面積などの情報が存在しない。そこで、実機の相当隙間面積測定結果を反映したモデル製作を行った。隙間部の位置は、実機にて空気漏れを確認しながら寄与の大きい箇所に隙間を設けることとした。このモデルを用いて、実機との結果照合を実施した。その上で、室内における飛沫核及び飛沫の拡散状況を把握する解析を行って、エアロゾルフィルタ設計の基礎データとした。モデル及び解析条件を**表 6** に示す。

表 6　CFD とモデルの条件

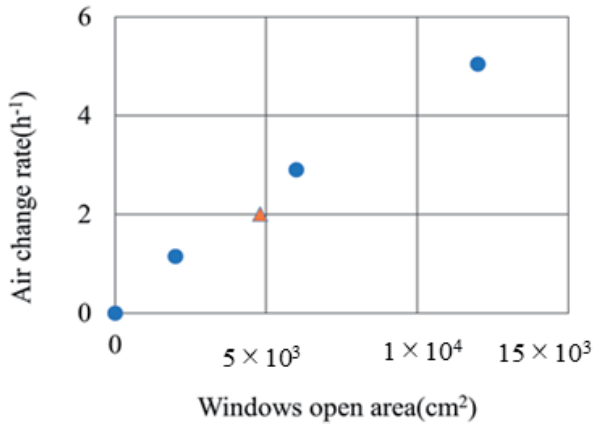
Cells		120million
Nodes		60million
Turbulence Model		Standard k-epsilon Model
Wall Treatment		Standard Wall Functions
Inflow	exhaust-fan	Pressure jump (polynomial profile)
Outflow	pressure-outlet	Results of external flow analysis
Particle	initial speed	11m/s

Particle size(μm)	Count-Ratio	Mass-Ratio	Mass-Flow[kg/s]
0.500	0.5×10^{-1}	0.6×10^{2}	6.67×10^{-12}
1.00	0.1×10	0.1	1.07×10^{-9}
2.00	0.1×10^{0}	0.8	8.54×10^{-10}
4.00	0.1×10^{-1}	0.3	2.88×10^{-10}
6.00	0.1×10^{-2}	0.1	6.83×10^{-11}
8.00	0.2×10^{-2}	1	1.09×10^{-9}
16.0	0.6×10^{-2}	20	2.26×10^{-8}
32.0	1.5×10^{-2}	5×10^{2}	5.24×10^{-7}
64.0	1.5×10^{-2}	4×10^{3}	4.20×10^{-6}
96.0	0.8×10^{-2}	7×10^{3}	7.55×10^{-6}
128	0.5×10^{-2}	1×10^{4}	1.12×10^{-5}
192	0.2×10^{-2}	1×10^{4}	1.51×10^{-5}
256	0.1×10^{-2}	2×10^{4}	1.79×10^{-5}

3　結果と考察

3.1　換気回数の測定結果

各条件における換気測定結果を**表 7** に示す。この結果より停車条件の窓などを閉めた条件（No.1）では、換気回数は 0.1 回 /h 以下であった。今回の測定場所が、室内であるため、温度及び外部風の影響を受けにくかったため換気回数も低かったと考えられる。**図 9** には、停車時の窓の開口面積と換気回数の関係を示した。窓の開口面積と換気回数は比例関係にあることがわかる。換気に寄与するファクターとしては、温度及び圧力であるが、今回の試験場所の屋内では、これらのファクターの寄与度が少ないため、対角に窓を開けても換気増加の影響は少ない結果であった。なお、No.10、11 の結果は濃度計の不具合で欠損データである。



（△:窓 2 と 7 を開放）

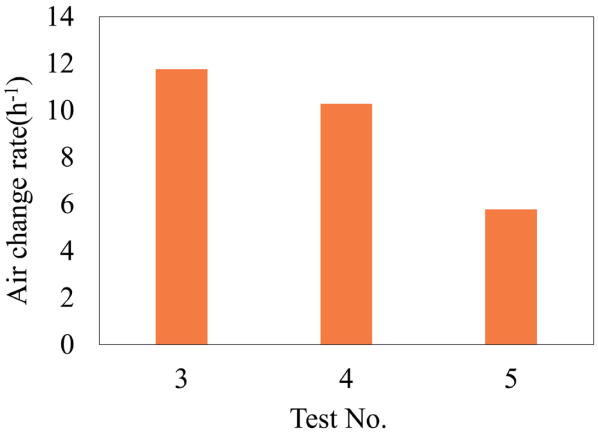
図 9　窓開け面積と換気回数

表 7　各種条件における換気回数

No.	Ventilation Rate[h⁻¹]																							Ave.[h⁻¹]	σ.[%]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
2	4	3	2	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	3	2	4	3	2	2	3	4	2	3	24
3	13	13	13	12	13	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12	11	11	12	10	12	11	11	11	11	12	7
4	11	11	11	10	11	12	12	10	11	11	10	10	10	10	11	11	11	9	8	9	9	9	9	12	10	10
5	6	7	6	6	6	6	6	6	6	5	5	6	5	5	6	6	6	6	6	6	5	5	5	6	6	7
6	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	35
7	2	2	2	2	2	2	3	4	4	2	2	3	2	2	3	3	4	3	4	3	4	4	4	3	3	24
8	2	3	2	2	3	2	4	9	8	1	1	2	1	1	2	5	2	11	7	12	9	9	9	14	5	79
9	3	4	2	5	4	3	4	5	7	2	3	4	2	1	3	7	5	5	4	2	5	4	3	2	4	41
10	2	2	2	2	1	2	2	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	5	2	31
11	4	3	2	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	3	2	4	3	2	2	3	4	2	3	24
12	12	8	10	11	14	15	15	11	13	16	13	11	10	11	15	13	9	10	11	9	12	12	12	12	12	17
13	35	43	36	22	19	63	56	16	45	45	39	28	29	32	28	23	19	23	23	25	30	30	31	43	33	36
14	15	13	12	12	13	12	13	12	11	12	13	12	11	11	11	11	10	12	11	12	12	12	12	11	12	8
15	15	15	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	12	11	12	12	11	11	11	12	8
16	13	13	16	12	12	11	12	12	15	13	12	11	12	12	12	13	13	13	11	15	11	11	11	13	12	11
17	15	15	16	17	15	17	17	16	17	15	17	15	18	18	17	17	18	17	16	17	18	16	16	18	17	6
18	3	2	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	5	1	5	3	3	3	3	4	3	25
19	5	4	4	4	4	3	5	8	8	3	4	4	3	3	6	6	7	6	10	9	9	9	9	10	6	42
20	60	46	60	53	54	67	48	34	38	20	23	41	31	31	38	43	23	25	12	25	36	36	35	33	38	36
21	15	16	13	13	12	13	13	13	13	13	12	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	12	12	12	13	6
22	16	15	14	14	13	13	13	13	13	14	13	13	13	13	13	12	12	14	13	13	13	13	13	13	13	6
23	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	12	11	11	11	11	10	12	11	12	11	11	11	11	11	4
24	51	53	46	46	40	39	38	38	39	39	45	42	32	32	35	35	31	40	30	34	34	34	34	33	38	16
25	3	3	2	0	1	2	5	6	5	2	2	3	2	2	4	5	6	5	6	6	5	5	5	5	4	47
26	3	3	3	3	3	3	7	7	10	3	3	3	3	3	3	7	7	8	11	11	11	11	11	11	6	57
27	52	54	75	28	56	64	59	32	46	37	35	40	35	35	39	27	40	20	28	35	32	31	30	34	40	32
28	16	16	15	15	13	13	13	13	14	15	14	14	14	14	12	13	12	14	12	13	13	13	13	13	14	9
29	18	20	15	15	14	14	14	14	14	16	16	15	16	16	13	13	11	14	12	14	13	13	13	13	14	13
30	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	4
31	55	62	43	42	30	28	27	28	27	40	46	40	27	27	18	28	13	28	19	20	19	19	19	18	30	41
32	27	26	28	27	26	24	27	27	28	25	27	26	24	25	27	28	29	24	26	28	27	25	28	27	27	5
33	52	51	50	52	56	57	56	52	51	52	50	52	56	50	49	48	52	50	48	50	52	48	50	52	52	5
34	14	13	16	14	11	18	10	15	16	14	15	13	18	17	15	14	13	12	18	15	14	14	17	18	15	15

3.1.1　換気扇モード

換気扇（Ventilation Fan）のモード別の換気回数の結果を**図 10** に示す。この結果より、排気モードで使用すると効率良く換気できることがわかった。この原因は、換気扇の翼形状が、排気モードに合わせて製作されていることから、最大静圧が、吸気は約 20 Pa に対して、排気は約 65 Pa と約 3 倍の能力があるためである。

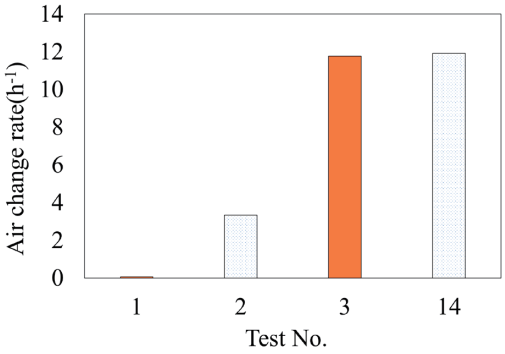


No.3　Ventilation Fan　Exhaust / Exhaust
No.4　Ventilation Fan　Intake / Exhaust
No.5　Ventilation Fan　Intake / Intake

図 10　換気扇モードによる換気回数

3.1.2　Def の効果

デフォッガファン（以下“Def”と略す）の効果を**図 11** に示す。この結果より、換気扇を使用しない条件においては若干の効果を確認することができた。換気扇使用時においては、Def の能力が低いために効果として確認することができなかったと推測している。



*No.10,11 はデータ欠損
No.1　Def OFF
No.2　Def ON
No.3　Def OFF Ventilation Exhaust / Exhaust
No.14　Def ON Ventilation Exhaust / Exhaust

図 11　デフモードにおける換気回数

3.1.3　クーラブロワの効果

図 12 にクーラブロワ有無の換気回数を示す。5 cm 窓開け停車時のクーラブロワなしの平均換気回数は、1 回 /h、クーラブロワ有の平均換気回数は、3 回 /h であった。30 cm 窓開け停車時のクーラブロワなしの平均換気回数は、5 回 /h（変動係数 79 %）に対して、クーラブロワ有の平均換気回数は、4 回 /h（変動係数 24 %）であった。窓開けによる換気回数は、測定位置より異なる傾向があるが、クーラブロワの利用により平準化することがわかった。クーラブロワによる換気回数増加の効果は、今回の結果から有意な差があるとはいえない。

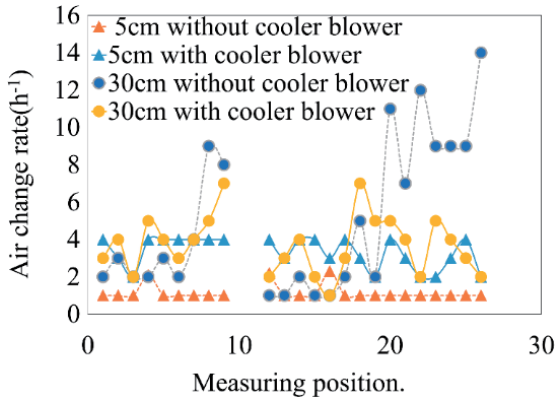


図 12　クーラブロワによる換気回数

3.1.4　扉開けの効果

窓のみ 30 cm 開放したときの平均換気回数は、5 回 /h（No.8）であった。これに扉の開放が加わると、33 回 /h となり、大幅な換気回数の増加となった。実際の乗降においては、人の出入りなども加わるため、更に換気回数は増加する傾向になると推測する。

3.1.5　乗客の影響

図 13 に乗客数別の換気回数を示す。測定条件は、換気扇稼働（排気・排気）の結果であるが、窓開け時も同様に、有意差は見られなかった。室内に乗客が存在すると、空間容積が小さくなるので、同一の換気回数であれば、換気量の低下があるということになる。換気回数の低下は、人体があることによる通気抵抗が発生するためと考えられる。今回は、マネキンを用いているため、衣服の影響なども考慮を無視しているが、冬季などの衣服の影響を考慮すると無視できない可能性もあるため今後の検討課題である。また、人体発熱より上昇気流の発生との関連も検討課題である。

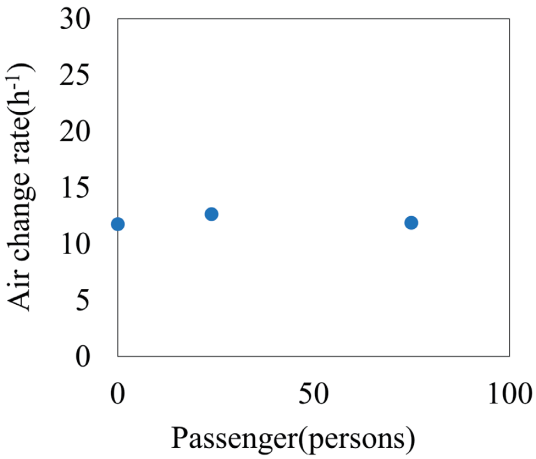


図 13　乗員数と換気回数

3.1.6　走行の影響

走行における窓開け換気の影響を**図 14** に示す。走行により換気回数も増加する。停車時と比較して、約 2 倍から 3 倍の換気回数が増加していた。

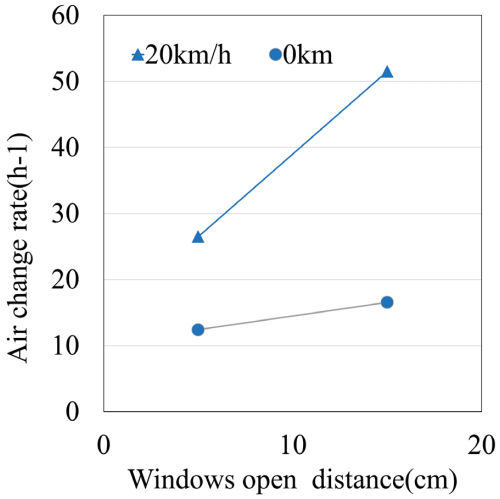


図 14　窓開け走行時の換気回数

3.2　相当隙間面積の結果

隙間面積を測定した結果、222 cm^2 であった。相当隙間面積（C 値：隙間面積／床面積）は、12 cm^2/m^2 であった。

3.3　エアロゾルフィルタ評価

PSL を車室内に発生させたときの結果を**図 15** に示す。PSL は気中の粒子濃度が低いため、アトマイザーを 2 台用いて、車室内に発生させた結果である。発生している粒径は、上から 0.3、0.5、1.0、3.0 μm と粒子が小さい方が検出量も多くなっている。用いた PSL の粒子径は 1.3 μm なので、増加している粒子も 1.0 μm が顕著に増加している。1.0 μm のバックグラウンドの粒子濃度は、約 10^5 個 $/m^3$ なので、試験で

用いる粒子濃度は 10^6 個 /m^3 以上を期待していたが、これを超えることはなかった。約 0.6 h でアトマイザーからの発生を停止させて、クーラブロワを稼働させたときの粒径 1.0 μm の相当換気量は、8 回 /h であった。人工唾液を室内に拡散させた結果を**図 16** に示す。人工唾液を用いた場合は、粒子はパーティクルカウンターの測定限界である 2×10^6 個 /m^3 の粒子濃度まで達していた。発生している粒径は、5.0 μm までの発生を確認できたが、ブランク濃度を考慮すると評価に用いることが困難な濃度であった。これら結果より、エアロゾルフィルタの評価には、人工唾液を用いて、粒径 0.3 μm 以上、0.5 μm 以上、1.0 μm 以上で評価することとした。PSL は参考評価として実施した。

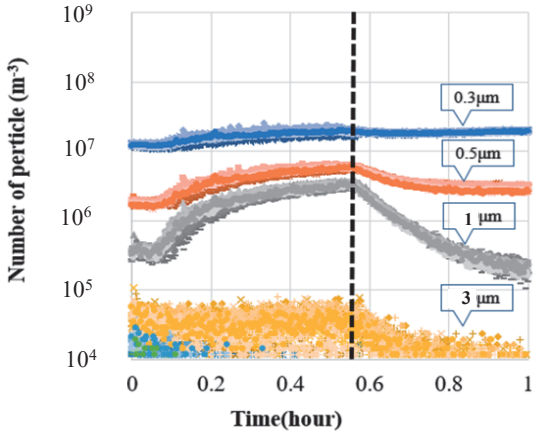


図 15　PSL による換気回数

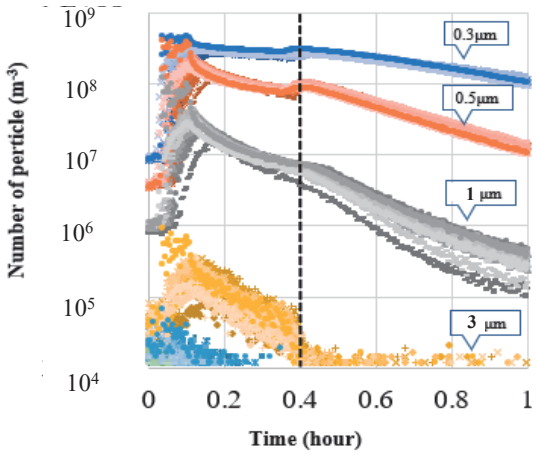


図 16　人工唾液による換気回数

エアロゾルフィルタの粒子捕集性能の結果を**図 17** に示す。測定場所 12 箇所の相当換気回数に顕著な差はなく、0.3 μm～粒子の平均値として、38 回 /h であった。粒径が大きくなると相当換気回数も比例して大きくなる傾向であった。

各種条件における粒子数の減衰から算出した相当換気量を**表 8** に示す。PSL の相当換気回数（粒径 1.0～3.0 μm）は 62 回 /h となり、人工唾液の 49 回 /h よりも大きい値であった。これは、PSL が人工唾液よりも沈着しやすい性状と推測する。同条件における CO_2 ガスによる換気回数は 0.2 回 /h であった。これらの結果より、用いる粒子の性状によりエアロゾルフィルタの捕集効率が異なるため、飛沫及び飛沫核に近い粒径と性状の粒子を用いることが望ましい。

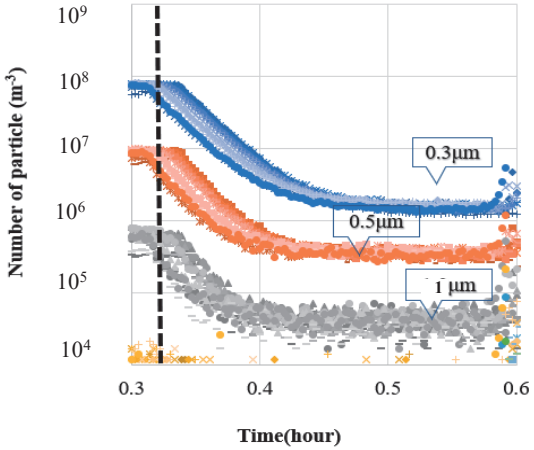


図 17　エアロゾルフィルタによる粒子濃度変化

表 8　PSL と人工唾液の相当換気回数

		without Filter	with Filter	CO_2
Artificial saliva	0.3μm	2	38	0.2
	0.5μm	4	44	0.2
	1μm	5	49	0.2
PSL	0.3μm	–	37	–
	0.5μm	2	45	–
	1μm	8	62	–

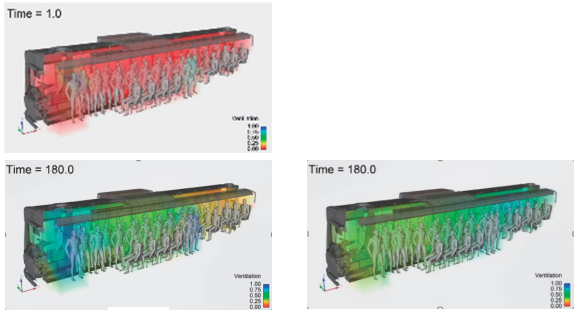
表 9 に人工唾液による粒径 0.3 μm 以上の粒径に対するフィルタの相当換気回数を示す。濃度減衰からの机上計算においては、51 回 /h の相当換気回数に対して、実機評価結果が 38 回 /h であった。室内の空気循環のファン風量と、相当換気回数が比例関係にあることがわかり、風量と容積から、必要となる相当換気回数を算出することが可能である。換気扇を併用しても、粒子排出の効果が付加され、エアロゾルフィルタの効果阻害になることはなかった。ただし、エアロゾルフィルタ能力を超えるような屋外からの粒子流入があると、エアロゾルフィルタの捕集能力を超えることがあるので注意が必要である。エアロゾルフィルタによる粒子捕集の効果は、バックグラウンド粒子濃度よりも低い環境を室内で実現できることがわかった。空気質向上の観点からも、外気から侵入する花粉、ダスト、車室内で発生するウイルスなどの捕集に効果があると推測され、比較的安価に空気質の向上が期待できる技術である。

表 9　エアロゾルフィルタの相当換気回数

No.	Condition				Air change rate (h^{-1})
	Cooler Blower	Filter	Ventilation Fan Front	Ventilation Fan Rear	
1	ON-Hi	-	OFF	OFF	2
2	ON-Hi	○	OFF	OFF	38
3	ON-Lo	○	OFF	OFF	17
4	ON-Hi	○	Exhaust	Exhaust	43

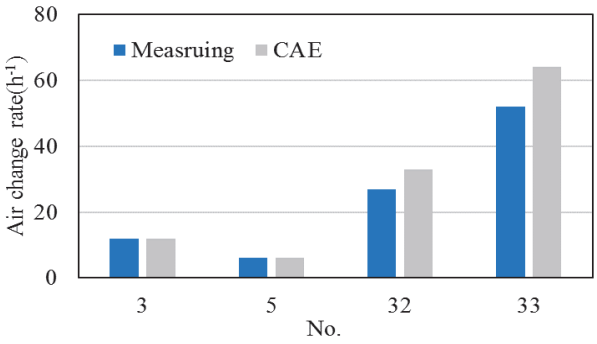
3.4　換気及び飛沫核、飛沫のシミュレーション結果

図 18 に Ventilation Fan 及び窓開け走行時における換気 3 分間のシミュレーション結果を示す。使用したバスのモデルは、実機の隙間面積測定値などが反映されており、実機の換気回数結果と良い一致を示した。実機とシミュレーション結果の比較を図 19 に示す。



(1)0 km/h, door open, with Ventilation
(2)20 km/h, door close, 50 mm open windows with Ventilation

図 18　換気効果のシミュレーション結果



No.3:0 km/h, Ventilation fan (exhaust & exhaust)
No.5:0 km/h, Ventilation fan (intake & intake)
No.32:20 km/h, 50 mm open windows,
Ventilation fan (exhaust & exhaust)
No.33:20 km/h, 150 mm open windows,
Ventilation fan (exhaust & exhaust)

図 19　シミュレーションと実機の結果比較

このモデルを用いて、エアロゾルフィルタの効果検証を行った結果から、呼気にて排出された粒子は、クーラファンの流れに乗り、エアロゾルフィルタが設置している吸気口に引き込まれることがわかった。また、排出された粒子の中で、粒径 64 μm 以上の粒子は沈降するために、フィルタでは捕集が困難であることもわかった。

実運行を想定して、路線バス換気の試算を行った。300 m を 20 km/h の速度で走行、60 秒間バス停に停車して、ドアを開放する。という運行パターンを 60 分間継続した場合を想定した。この結果より、5 cm 窓開けの運行は、26 回 /h、換気扇のみの換気回数は、約 16 回 /h であった。エアロゾルフィルタを用いた運行は、29 回 /h であった。実運行における換気回数は、換気扇のみの運行でも約 16 回 /h であり、流入する空気量に換算すると、800 m^3/h となり、一人当たりの呼吸量が 0.8 m^3/h と想定すると、呼気で排出する物質は 1/100 に希釈されることとなる。室内における濃度が均一と仮定すると、暴露濃度も 1/100 となるため、感染リスク低減にも効果を発揮すると考えられる。

4　おわりに

次の①～⑧に本研究のまとめを記載する。

① 停車時において、窓開け面積と換気回数は比例の関係にある。窓のみでなく、扉開放と併せると効果は顕著に向上する。

② 窓開けによる換気回数は、位置により差異が発生するが、クーラブロワを併用することにより、変動係数が 79 %から 41 %と約半分にまで低下する。呼気で排出される物質濃度を早期に下げるためには、クーラブロワ併用が望ましい。

③ 乗員有無が換気回数に与える影響は少ない。

④ 走行時の窓開けによる換気回数は、停車時の約 2 倍から 5 倍に達する。

⑤ 車両の相当隙間面積は、一般住宅と比較すると 2 倍以上と大きい値であった。

⑥ 粒子として用いた PSL は、沈着影響が人工唾液よりも大きいため、フィルタの効果検証に用いる粒子種としては、過大評価となる可能性がある。このため、飛沫及び飛沫核を模した人工唾液による評価が妥当である。

⑦ シミュレーションは、使用するモデルの隙間面積及び換気回数について実機結果と一致するように境界条件を調整することにより、精度の良いシミュレーション結果を得ることができた。ファンについても実機の静圧特性を反映したモデルとした。

⑧ 60 分間の市街地走行を模擬した換気回数の算出より、換気扇のみの使用で、換気回数は約 16 回 /h、エアロゾルフィルタを用いることで、窓開けなしの条件でも 29 回 /h と一般住宅と比べても高い換気回数であった。換気回数 16 回 /h における新鮮外気の給気量は、800 m^3/h となり、一人当たりの呼気排出量の 100 倍量となる。

本研究の結果より、窓開けなどによる、外気を導入することによる換気に頼っていた対策が、エアロゾルフィルタにより、内気循環の条件であっても、外気導入と同等の効果を得られることがわかった。これにより、これまで寒い時期と暑い時期に我慢を強いられてきたが、これの解決策の一つになると期待している。また、冬季、夏季の温熱環境が健康にも悪い影響を及ぼすことも懸念されており、体に負荷をかけることなく、ウイルス感染対策の一助になることを期待している。ただし、エアロゾルフィルタでは、CO_2 ガスなどは除去できないため、適度な換気は必要となると考えている。

今後は、感染経路及びウイルス素性そのものが未解明であるため、これらの解明と実効性ある対策法の検討を継続する予定である。

本研究は、生活の足である公共交通機関の使命を、果たすために、安全かつ安心となるべく即効性のある対策を提供するために、貴重な知見と時間及び評価装置類を提供していただいた、日本カノマックス㈱殿、エスペック㈱殿、旭化成㈱殿、エヌ・アンド・エス㈱殿、㈱ヴァレオジャパン殿及び㈱いすゞ中央研究所といすゞ自動車㈱の関係者の皆様に深く感謝を申し上げる。

本文献は 2021 年自動車技術会 春季大会 学術講演会予稿集にて掲載した「公共交通機関におけるエアロゾル挙動とウイルスの対策手法検討」を加筆修正したものである。

参考文献

(1) World Health Organization: Infection prevention and control of epidemic- and pandemic-prone acute respiratory infections in health care. Geneva: World Health Organization (2014) https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/112656/9789241507134_eng.pdf?sequence=1
(2) 尾方壮行：新型コロナウイルス感染症の感染経路に関する整理, 自動車技術会委員会資料:(2020)
(3) 柳宇：ウイルス感染拡大を抑えるための設備技術者が出来ること感染とその制御, BE 建築設備, (2020)
(4) Johnson GR et al.: Modality of human expired aerosol size distributions. Journal of Aerosol Science,No.42(2011),p.839-851
(5) Miller et al.: (2020), for someone occasionally talking
(6) US EPA Exposure Factors Handbook - Chapter 6: Inhalation Rates: 86
(7) X. Xie, Y. Li, H. Sun, L. Liu, Exhaled droplets due to talking and coughing, J. R. Soc. Interface No.6 (2009), p.703-714
(8) ASHRAE Position Document on Airborne Infection Diseases,2020
(9) JIS A 1406:1974, 屋内換気量測定方法, p.123-125.
(10) JIS A 2201:2003, 送風機による住宅等の気密性能試験法
(11) M. P. Wan, C. Y. H. Chao, Y. D. Ng, G. N. Sze To & W. C. Yu: Dispersion of Expiratory Droplets in a General Hospital Ward with Ceiling Mixing Type Mechanical Ventilation System, Aerosol Science and Technology, Vol.41, No.3(2007), p.244-258

著　者

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

解説・講義

人とくるまのテクノロジー展 2021 への出展

Automotive Engineering Exposition 2021 Hosted by JSAE

飯田　陽平*
Youhei Iida

要　旨

公益社団法人自動車技術会主催の自動車技術展「人とくるまのテクノロジー展 2021」が開催された。

ただし、今年 2021 年も昨年から続く新型コロナウイルスの影響により、横浜会場・名古屋会場ともにリアル展示は中止、今回より新たに企画されたオンライン出展のみ開催するに至った。

いすゞ自動車の出展は新製品の紹介、及び取り組んできた技術の紹介など合計 5 つの出展物を用意した。

新製品では、2019 年にフルモデルチェンジし、2020 年に豪州向け・欧州仕様を追加発表した新型ピックアップトラック ISUZU D-MAX 及び、それに搭載される新型ディーゼルエンジン 4JJ3 を紹介した。

一方、技術紹介としては、先進安全技術、MIMAMORI/PREISM、及び環境対応とした。

Abstract

Automotive Engineering Exposition 2021 was held by the Society of Automotive Engineers of Japan, Inc. (JSAE).

Due to the spread of COVID-19 continuing from last year, a string of technology exhibitions was cancelled in both Yokohama and Nagoya. Instead, a new attempt was made to showcase them online this year.

We Isuzu Motors, Ltd. presented a total of five exhibitions which includes the introduction of our new products and efforts made in the development of technologies.

The new product lineup included a newly-designed ISUZU D-MAX pickup truck rolled out to Australia and Europe in 2020, which is a full change model of D-MAX released first in 2019, and new diesel engine 4JJ3 developed for the D-MAX.

In addition, we made an introduction of our Advanced Driver Assistance System, MIMAMORI/PREISM and efforts toward environmental improvement.

1　はじめに

いすゞ自動車（以下、いすゞと略す）は、公益社団法人自動車技術会主催の自動車技術展「人とくるまのテクノロジー展」(以下,「人テク展」と略す) に、技術の発信及び交流するためのイベントとして、1992 年の初開催より長年に亘り、参加してきた。

ただし、2020 年の人テク展は、新型コロナウイルスの影響により、横浜会場・名古屋会場で開催するリアル展示は中止となり、いすゞもこの機会を失った。

また、2021 年もリアル展示が中止となり、新設のオンライン出展のみ開催されるに至った。

2　人テク展の紹介

2.1 開催概要

オンラインでの人テク展は全体で、457 社の企業が出展、うち自動車メーカーでは 12 社の企業が出展した。また、主催者企画展示及び主催者企画講演では、「地球にやさしく豊かな社会を築く自動車技術」をテーマに展示並びに講演が実施された。その他にも、新車開発講演、材料技術講演などのイベントが催された。

オンラインという特性上、画面越しではあるものの、最新技術・製品の発信、自動車技術者同士の交流が行われた。

*開発技術企画部

2.2 来場者

人テク展のオンライン出展には、自動車各社、自動車関連企業、メディア関係及び学生などさまざまなお客様が来訪し、事前登録を実施された方は、52,636 名であった[(1)]。今後の来場者増加に期待したい。いすゞとしても今回の経験を活かし、お客様の更なるご要望に応えていきたい。

3 出展概要

いすゞの目玉となる新製品、並びに、いすゞが長年取り組んできた技術を紹介した。

新製品では、新型ピックアップトラック ISUZU D-MAX（以下“D-MAX”と略す）、及びディーゼルエンジン 4JJ3（以下、「4JJ3」と略す）を紹介した。D-MAX はエルフと並び、大きな販売台数を占める、いすゞの主力商品である。

一方、技術紹介は、多方面から注目度の高い、先進安全技術、PREISM/MIMAMORI、環境対応とした。これらの出展方法については、Web ページによる技術説明に加えて、動画による紹介も行った。

なお、来訪者がリアル展示をイメージしていただけるように、ブースの入口にあたる、トップページにはリアル展示で計画していたブースデザインを用いた（**図 1**）。

図 1 トップページ

4 出展物

4.1 D-MAX

D-MAX は 2019 年に 8 年ぶりにフルモデルチェンジした車型である。

車両の開発コンセプトは“Efficient and Robust”として、燃費・安全を高めつつ、多様な使用環境への対応、様々な使われ方に耐えうる車として、開発されてきた。

また、2020 年には豪州向け・欧州向けが、追加発表され、ステレオカメラ及びリアレーダ搭載など、更なる進化を遂げており、これについても紹介した（**図 2**）。

図 2 ステレオカメラ & リアレーダ

4.2 4JJ3

4JJ3 は、市場で実績を積んできた 4JJ1 を基本骨格とする D-MAX の搭載エンジンである。

エンジン本体の性能デバイス及び、それらの統合制御を見直し、排出ガス・出力・燃費性能の向上、並びに、静粛性・音質の改善を実現した。また、将来展開を見据えたモジュールエンジンとして、高次排出ガス規制へも対応した基幹 ECM（エンジンコントロールモジュール：Engine Control Module）開発とともにモデルベース開発されたものである（**図 3**、**図 4**）。

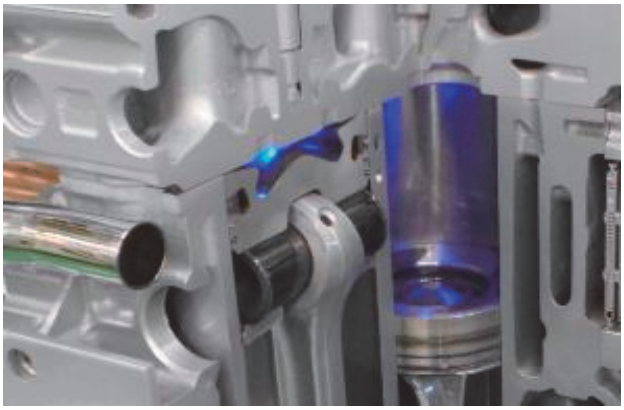


図 3 4JJ3（新型燃焼室形状と遮熱処理）

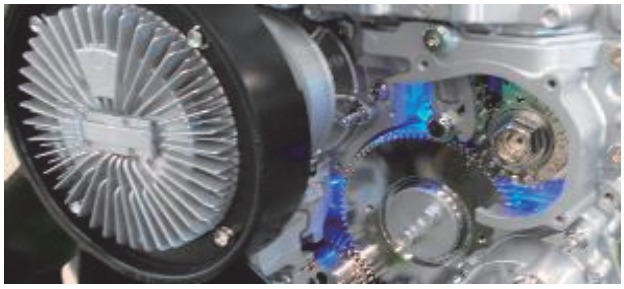
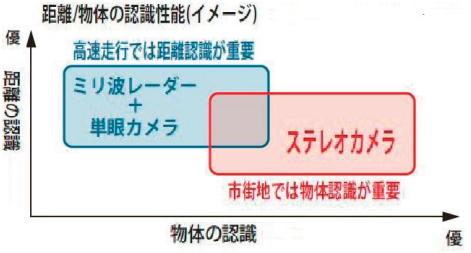


図 4 4JJ3（ダブルシザーズギヤ）

4.3 先進安全技術

いすゞは運行形態の違いにより、大型トラックには単眼＋ミリ波レーダを、小型トラック及びピックアップトラックにはステレオカメラを搭載し、次のように使い分けている。(図 5)。

- 大型トラックは、大きな相対速度で直線的な衝突事故に反応できるよう、遠方からの認識を開始し、ブレーキ制動が必要となる。
- 小型トラック・ピックアップトラックでは、比較的小さな相対速度で、多様な衝突形態への対応が必要となる。



ミリ波レーダー	電波の反射により相対速度と距離を計測
単眼カメラ	画像の特徴を抽出し、物体を識別
ステレオカメラ	左右のカメラで撮像した画像の視差により物体を認識

図 5　ミリ波レーダ＋単眼カメラ及びステレオカメラの特徴

また、それ以外にも交差点警報装置、DSM（ドライバーステータスモニター：Driver Status Monitor）並びに EDSS（ドライバー異常時対応システム：Emergency Driving Stop System）などを紹介した。

4.4 PREISM/MIMAMORI

いすゞが提供する情報通信技術を活用した運行管理サービス MIMAMORI、稼働保証の手助けを行う PREISM について紹介した。

コネクテッドサービスについては日常（運行前）点検アプリの開発、架装システムのコネクテッド化、及びコネクテッドデータの活用など、更なるサービス向上に、日々開発を進めている。

4.5 環境対応

次の内容を動画で、わかりやすく紹介した。

いすゞは「豊かで持続可能な社会」の実現に向け、地球環境への負荷を最小限にすることを目指して、「いすゞ環境長期ビジョン 2050」を策定した。これに定めた 5 つの挑戦を、ステークホルダーと協働しながら取り組んでいる。その中で気候変動も挑戦すべき課題の 1 つと捉えており、いすゞグループ全体で、製品のライフサイクルを通じた GHG（温室効果ガス：Greenhouse Gas）ゼロを目指している。

5　おわりに

本年 2021 年は人テク展が開催され、世界へ向けて新商品の紹介及び技術の発信ができ、有意義であった。

また、いすゞの人テク展事務局としても、新しいイベント形態での展示により、これまでのリアル展示とは違ったノウハウを得ることができた。

一方で、オンライン出展はリアル展示との相乗効果を期待していたので、開催がオンライン出展に限定されてしまい残念に思う。来年こそはリアル展示・オンライン出展が全て、開催されることを願っている。

最後にオンラインで、いすゞブースへご来場いただいた皆様に深く御礼を申し上げます。

参考文献

(1)　自動車技術展 - 人とくるまのテクノロジー展オンライン，公益社団法人自動車技術会，2021 年 8 月 4 日更新，https://expo.jsae.or.jp/

著　　者

飯田　陽平

社外発表（2020年1月 ～ 2020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
1/17	（公社）自動車技術会 No.17-19シンポジウム 構造強度部門委員会 未来のモビリティ社会に貢献するバーチャル開発	バス固有の車体構造におけるCAEの活用	小田　明	ＣＡＥデジタル開発推進部
2/20	㈱島津製作所 自動車室内の発生ガス分析セミナー	車室内空気質（Vehicle Cabin Air Quality）の技術動向と課題	達　晃一	車両審査実験第二部
7/15	（公社）自動車技術会 蓄電システム技術部門委員会	CV・重量車の消費エネルギー	小川　誠	㈱いすゞ中央研究所
8/7	（株）情報技術協会 車室内VOCとにおい	車室内空気質の技術動向と課題	達　晃一	車両審査実験第二部
9/3～ 9/4	（一社）スマートサウンドデザインソサエティ（SSDS）、 日本モーダル解析協議会（JMAC） 2020年度 SSDS/JMAC 技術講演会	商用車用ディーゼルエンジンの音づくり	小澤　恒	㈱いすゞ中央研究所
10/6～ 10/23	Automotive Circle (Vincentz Network GmbH & Co. KG) EuroCarBody 2020	ISUZU D-MAX	田中　大樹 Chawalit Vithayasintana Worapan Pongnapang	駆動商品企画・設計部 いすゞテクニカルセンターオブアジア 〃
10/21～ 10/23	（公社）自動車技術会 2020年秋季大会	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 鈴木　浩高 松本　淳志 香川　景章 山下　健一	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 〃
		企画段階におけるRDE開発環境の構築とその活用	大久保　泰宏 石川　直也 瀬戸　洋紀	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃
		アンモニアスリップ触媒のプラントモデル構築検討 第3報 －混合触媒モデルの複層触媒の性能予測への適用－	田口　将宏 米山　香澄 藤井　謙治 大堀　鉄平 榎　和広 板垣　裕 石川　直也	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 〃 〃 〃
		アンモニアスリップ触媒のプラントモデル構築検討 第2報 －2種類の混合触媒をモデル化する新規な手法の開発－	米山　香澄 田口　将宏 大堀　鉄平 藤井　謙治 榎　和広 板垣　裕 石川　直也	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 〃 〃 〃
		コネクテッド・データを活用した実路走行大型車SCRの水熱劣化度推定	本谷　綾子 岡　耕平 柴田　慶子 榎　和広 石川　直也	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 〃
		フレーム付き車両の実稼働シャシ振動に対するタイヤの影響調査	丸山　隆太 赤間　洋 平井　誠 内藤　敏幸	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃

発表日	発表先	表題	発表者	所属
10/21～ 10/23	（公社）自動車技術会 2020年秋季大会	大型トラックドライバの運転行動特性を考慮した前方不注視状態の推定方法	岩男　眞由美 山口　和彦 草刈　由歌 津田　隆太	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 電装・制御開発部
		短期から長期のポテンシャル場の将来予測に基づく運転支援機能統合型のドライバモデルの構築	原　英之	㈱いすゞ中央研究所
10/30	SCSK㈱ IPS Cable Simulation ユーザーカンファレンス2020	柔らかもの解析ツールIPS Cable Simulation導入プロセスの紹介	赤坂　洋平	ＣＡＥデジタル開発推進部
11/16～ 11/18	（一社）日本機械学会 第31回内燃機関シンポジウム	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 石川　直也 小松　明 瀬戸　雄史 岡本　毅	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 〃
11/27	（公社）自動車技術会 車両特性デザイン部門委員会	トラック用AMTの変速操作の自動化	浅野　雅樹	㈱いすゞ中央研究所

（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
2020/01	(公社) 自動車技術会 自動車技術 Vol.74, No.1	国産ハイブリッド連節バスの紹介	鈴木　隆史 山口　誠一	バス商品企画部 日野自動車㈱
2020/02	(公社) 自動車技術会 自動車技術会論文集 2020年, 51巻, 2号	SCR触媒の水熱劣化によるNH_3吸着量および反応経路変化のモデル化	岡　耕平 田口　将宏 大堀　鉄平 石川　直也	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃
2020/02	(公社) 自動車技術会 自動車技術会論文集 2020年, 51巻, 2号	高NO_2/NO_X領域におけるSCRモデルの予測精度向上	田口　将宏 岡　耕平 大堀　鉄平 石川　直也	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃
2020/04	(公社) 日本技術士会 月刊技術士 2020年, 4月号	トラック･バスの安全･安心	對馬　一昭	車両設計第二部
2020/04	(公社) 自動車技術会 自動車技術会論文集 2020年, 51巻, 3号	減衰特性に着目した部品間結合部のモデル化手法	山下　健一 小澤　恒 山岸　誠弥 清水　伸二	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 日本工業大学
2020/04	Institution of Mechanical Engineers Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering Vol 234, Issue 9, 2020	Slip control during inertia phase of clutch-to-clutch shift using model-free self-tuning proportional-integral-derivative control	矢作　修一 梶原　逸朗 下沢　智啓	㈱いすゞ中央研究所 北海道大学 ㈱いすゞ中央研究所
2020/04	(一財) 素形材センター 素形材 61巻, 4号	商用車を取りまく環境の変化と環境性能向上の取組み	茂泉　健	IM推進部
2020/09	(一社) 日本機械学会 日本機械学会熱工学部門ニュースレター No.91, September 2020	Diesel Particulate Filterに堆積したAsh構造に関する研究	中村　圭介	㈱いすゞ中央研究所
2020/10	(一社) 日本熱処理技術協会 熱処理 60巻, 5号	窒化化合物層の結晶構造が炭素鋼のねじり疲労強度に及ぼす影響	山田　明徳 高橋　宏治 衛藤　洋仁	車両審査実験第二部 横浜国立大学 車両審査実験第二部
2020/12	(公社) 自動車技術会 自動車技術会論文集 2021年, 52巻, 1号	大型トラックドライバの運転行動特性を考慮した前方不注視状態の推定方法	岩男　眞由美 山口　和彦 草刈　由歌 津田　隆太	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 電装・制御開発部
2020/12	(公社) 日本鋳造工学会 鍛造工学 92巻, 12号	アルミニウム合金鋳物	茂泉　健	IM推進部

(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

（2021 年 9 月 30 日現在）

〈編集委員長〉

志賀　正樹　（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　（NGV 企画・設計部）
伊藤　俊一　（PT 商品企画・設計第三部）
湯本　淳　（車両設計第二部）
河野　直樹　（PT 商品企画・設計第二部）
渡橋　弘敏　（エンジン実験第一部）
小峰　保　（エンジン実験第二部）
飯島　成規　（xEV システム開発部）
高木　正一　（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）
大西　高広　（PT 商品企画・設計第一部）
中村　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）
高松　勇太　（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）
高橋　創一　（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）
降幡　健一　（（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）
渋谷　弘之　（開発技術企画部）
齊藤　彰彦　（開発技術企画部）
飯田　陽平　（開発技術企画部）
蛭川　正敏　（開発技術企画部）

編　集　後　記

今年（2021年）の夏、世界的な新型コロナウイルス感染拡大により開催が延期となっていた、「東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会」が無事開催されました。開会式から競技のほとんどが無観客で行われましたが、テレビ放送・動画配信を始め様々なメディアで情報発信され、人々に感動を与えました。

自動車技術会のイベントである「人とくるまのテクノロジー展」もまた、パンデミックの影響で今年は2年振りの開催となってしまいました。残念ながらリアル展示はできなかったものの、新しく導入された特設ウェブサイトを活用してようやく展示することになりました。

リアルでの紹介ができないから終わりなのではなく、伝える媒体はたくさんあるのだと改めて気付かされました。このようにメディアを活用した情報発信の重要性を実感しつつ、いすゞ技報を通じていすゞグループの技術成果をご理解いただくため、本号でも様々な記事をご紹介しております。

今回の特集として、7年振りにフルモデルチェンジしたPPV（Pick-up Passenger Vehicle）の「新型MU-X」を取り上げました。このシリーズは、タイを中心としたASEAN地域、オーストラリアなど、世界60ヵ国以上で多くのお客様に支持されています。今回のフルモデルチェンジでは安全性能が評価され、2021年9月にANCAP（Australasian New Car Assessment Program）において、5☆を獲得しました。

また一般記事では、昨今注目されている2050年のカーボンニュートラルに関する欧州動向の報告や公共交通機関におけるウイルス対策手法の検討記事などを掲載しました。

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。

（蛭川　正敏：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MU-X」です。

今回のフルモデルチェンジでは、いすゞの強みである耐久信頼性、燃費性能、安全性能を確保しつつ、快適性、高級感を高め、お客様に所有する喜びを味わっていただける車を目指しました。

いすゞは幅広いバリエーションでお客様の多様なニーズに応える商品を提供し、LCV事業でも市場をけん引してまいります。

（杉浦　康：デザインセンター）

いすゞ技報　第133号

2021年11月1日　発行

編集兼発行人　志賀正樹

発行　いすゞ自動車株式会社
〒140-8722
東京都品川区南大井6丁目26番1号

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)

©2021　いすゞ自動車株式会社（禁無断転載）

ISUZU

TOYO INK
non VOC
古紙パルプ配合率70%再生紙を使用

いすゞ自動車株式会社