

ISUZU TECHNICAL JOURNAL

いすゞ技報

138
Nov.2026

いすゞ技報　第138号 (2026)
目　　次

◇ **巻頭言**

- 商用車の信頼性を支える技術開発の取り組み …… 西　和博 …… 1

◇ **新製品紹介**

- 25型ギガの開発概要について …… 永井　輝知 ほか …… 3
- 25型ギガのデザインについて …… 椎名　純一 …… 7
- 25型ギガの車輪脱落予兆検知システムについて …… 飯島　一平 …… 10
- 25型ギガの先進安全機能について …… 上鉢　敦 ほか …… 16
- 25型フォワードの商品概要について
  ― I-MACSを活用した4JZ1・ISIM搭載車の開発 ― …… 山田　俊 ほか …… 20
- 25型フォワードの4HK1エンジン開発について …… 鱒渕　俊児 ほか …… 24
- 26型エルガ・エルガミオの開発について …… 竹内　宏一郎 ほか …… 29
- 26型エルガFCVの開発概要について …… 月縄　雅宏 ほか …… 32
- 26型エルガFCVのFCシステムについて …… 永野　大樹 ほか …… 36
- コネクテッド技術を活用した稼働支援サービスの紹介 …… 堀内　諭 ほか …… 40

◇ **論文・報告**

- ディーゼルエンジンにおけるPN10排出挙動について …… 阿野田　洋 ほか …… 44
- ジェネレーティブデザインを活用した
  ディーゼルエンジンのギヤ構造最適化 …… 山岸　誠弥 ほか …… 49
- 噴霧の干渉がディーゼルエンジン燃焼に及ぼす影響(第１報) …… 宮下　和也 ほか …… 57
- 噴霧の干渉がディーゼルエンジン燃焼に及ぼす影響(第２報) …… 古川　伸哉 ほか …… 66
- 高速度赤外線カメラを用いたディーゼルエンジン
  ピストン表面の時系列温度分布計測 …… 宮下　和也 ほか …… 74
- 摩擦条件の高度化によるプレスCAE予測精度向上 …… 藤原　雅利 …… 82
- ダイカスト工程における水素燃焼連続溶解量産実証 …… 塩谷　聡 ほか …… 87
- Leveraging AI Tools in Powertrain Engineering Projects
  – Rapid Development of MATLAB-Based Windows Applications
  for Improving Productivity and Accelerating Knowledge Sharing – …… Shivansh Singhal ほか …… 95
- A Data-Driven Method for Developing Custom Customer-Based
  Duty Cycles from Fleet Data for Vehicle Testing and Validation …… Bharat Kudachi ほか … 103

◇ **解説・講義**

- 脱炭素時代における天然ガス自動車の可能性
  ― バイオメタン・e-methane対応に向けた取り組み ― …… 児玉　裕 ほか …… 112

◇ **特許・実用新案** …… 119

◇ **社外発表(2025年1月～2025年12月)** …… 121

◇ **いすゞ歴史の一こま(No.36)** …… 6，43，56，86，111

ISUZU Technical Journal No.138 (2026)
- CONTENTS -

◇ **Foreword**

- Technological Development to Support the Reliability of Commercial Vehicles ····· Kazuhiro Nishi ····· 1

◇ **Introduction of New Products**

- Development of 2025 Model GIGA ····· Terunori Nagai et al. ····· 3
- Overview of the Exterior Design of 2025 Model GIGA ····· Junichi Shiina ····· 7
- Development of Loose Wheel Alarm System for 2025 Model GIGA ···· Ippei Iijima ····· 10
- Advanced Safety Functions in 2025 Model GIGA ····· Atsushi Uwabachi et al. ····· 16
- Product Overview of 2025 Model FORWARD – Development of 4JZ1 and ISIM Equipped Models Using I-MACS – ····· Shun Yamada et al. ····· 20
- 4HK1 Engine Development for 2025 Model FORWARD ····· Shunji Masubuchi et al. ····· 24
- Development of 2026 Model ERGA and ERGAmio ····· Kouichirou Takeuchi et al. ····· 29
- Overview of the Development of 2026 Model ERGA FCV ····· Masahiro Tsukinawa et al. ····· 32
- FC System of 2026 Model ERGA FCV ····· Taiki Nagano et al. ····· 36
- Introduction to Connected Uptime Support Services ····· Satoshi Horiuchi et al. ····· 40

◇ **Technical Papers and Reports**

- PN10 Emission Behavior in Diesel Engines ····· Hiroshi Anoda et al. ····· 44
- Gear Structure Optimization of Diesel Engines Using Generative Design ····· Seiya Yamagishi et al. ····· 49
- Effect of Spray-spray/wall Interaction on Diesel Engine Combustion (First Report) ····· Kazuya Miyashita et al. ····· 57
- Effect of Spray-spray/wall Interaction on Diesel Engine Combustion (Second Report) ····· Shinya Furukawa et al. ····· 66
- Infrared High-Speed Thermography of Piston Surface on Diesel Engine ····· Kazuya Miyashita et al. ····· 74
- Improvement of Press Forming CAE Prediction Accuracy by Advanced Friction State Modeling ····· Masatoshi Fujiwara et al. ····· 82
- Mass Production Demonstration of Hydrogen-Fired Continuous Aluminum Melting in a Die Casting Process ····· Satoshi Enya et al. ····· 87
- Leveraging AI Tools in Powertrain Engineering Projects – Rapid Development of MATLAB-Based Windows Applications for Improving Productivity and Accelerating Knowledge Sharing – ····· Shivansh Singhal et al. ····· 95
- A Data-Driven Method for Developing Custom Customer-Based Duty Cycles from Fleet Data for Vehicle Testing and Validation ····· Bharat Kudachi et al. ····· 103

◇ **Explanation and Lecture**

- Potential of Natural Gas Vehicles for Decarbonization – Approaches Toward Biomethane and e-methane Utilization – ····· Yutaka Kodama et al. ····· 112

◇ **Intoroduction of ISUZU Patents** ····· 119

◇ **Publications and Speeches by ISUZU Engineers (2025)** ····· 121

◇ **A Frame in ISUZU History (No.36)** ····· 6, 43, 56, 86, 111

巻頭言

商用車の信頼性を支える技術開発の取り組み

開発部門 執行役員　　西　和博
Kazuhiro Nishi



商用車を取り巻く環境は、カーボンニュートラルへの対応、安全規制の高度化、物流構造の変化、更には人手不足の深刻化など、大きな転換期を迎えています。こうした変化の中で、商用車に求められるものは、単なる先進性ではなく、「現場で確実に役に立つこと」、そして「長く安心して使えること」であると私たちは考えています。

いすゞはこれまでも一貫して、現場起点・実用本位のものづくりを大切にしてきました。どれほど高度な技術であっても、お客様の現場で使いこなせなければ、価値にはなりません。過酷な使用条件下においても確実に機能し、安定して稼働し続けること。まさにこの「信頼性」こそが、商用車における最も本質的な価値であり、いすゞの技術開発の原点です。

近年注目されるカーボンニュートラルへの対応においても、この姿勢は変わりません。電動化の推進は不可欠である一方で、使用環境、稼働形態、インフラ条件は、お客様ごとに大きく異なります。いすゞは、BEV (バッテリー式電気自動車：Battery Electric Vehicle)やFCV (燃料電池自動車：Fuel Cell Vehicle) といった新技術に取り組むと同時に、ディーゼルエンジンの更なる高効率化や燃料の多様化への対応にも地道に取り組み、現場で実際に成立する解を提示し続けていきます。重要なのは技術の先進性そのものではなく、「お客様の業務を止めないこと」、そして「経済合理性を伴って成立すること」です。

また、先進安全技術や自動運転技術、デジタルサービスの分野においても、いすゞは同じ考え方に立っています。事故低減や運行負荷の軽減といった確かなベネフィットを実現しつつ、操作性や保守性も含めて現場に定着する技術でなければなりません。加えて、稼働サポートやエネルギーマネジメントといった領域では、車両単体にとどまらず、お客様の事業全体を支える仕組みとして進化させていく必要があります。「止まらない」「無理なく使える」こうしたこの当たり前を支えるための技術こそが、これからの競争力になると考えています。

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

本号では、このような考え方のもとで積み上げてきた技術開発の到達点を紹介しています。商品開発においては、安全性・環境性能・信頼性を高い次元で両立させるとともに、先進技術を現場で使える形にまで落とし込んでいます。また、基盤技術や生産技術、デジタル技術の領域においても、地道な検証と改善を重ね、確かな裏付けを持った進化を遂げています。これらは決して華やかな成果ばかりではありませんが、いずれも現場での価値創出に直結する、いすゞらしい技術の積み重ねです。

技術は今後益々高度化していきます。しかし私たちは常に、「それは現場で本当に役に立つのか」「お客様の手になじむのか」という問いを常に持ち続けます。全ての技術は、お客様の事業を支え、安心して使い続けていただくためにある――この考えをぶらすことなく、確かな技術を愚直に積み上げていきます。

最後に、本号に掲載された成果は、日々現場に向き合い、試行錯誤を重ねてきた技術者・関係者の粘り強い取り組みによるものです。見えにくい部分も含め、品質と信頼を支える努力の積み重ねに、心より敬意を表します。

いすゞはこれからも、「運ぶ」を支える責任を胸に、現場に根ざした確かな技術で、お客様と社会に貢献してまいります。



新製品紹介

25型ギガの開発概要について

Development of 2025 Model GIGA

永井　輝知*　　境　高*
Terunori Nagai　　Takashi Sakai

要　旨

25型ギガは、23型ギガで確立した商品競争力を基盤に、物流業界が直面する安全要求の高度化、ドライバー不足と運転負荷低減への要請、輸送効率及び車両稼働率向上への期待、並びに段階的に適用される各種法規制に対応するために開発されたモデルである。本稿では、25型ギガの開発背景、開発コンセプト、並びに主要な技術・商品改良内容について述べる。

Abstract

2025 Model GIGA was developed on the basis of the product competitiveness established by 2023 Model GIGA. It addresses key challenges facing the logistics industry, including growing safety requirements, driver shortages and workload reduction, improved transport efficiency and vehicle uptime, and compliance with evolving regulations. This paper provides an overview of the development background and concept of 2025 Model GIGA, as well as its major technical and product improvements.

1　はじめに

国内物流の中心はトラック輸送であり、社会・経済活動及び人々の生活を支える重要なインフラである。とりわけ大型トラックは、幹線輸送や大量輸送を担う存在として、その役割は極めて大きい。一方で、物流業界を取り巻く環境は大きく変化している。ドライバー不足の深刻化、労働環境改善への社会的要請、燃料価格の高止まり、更には安全・環境に関する法規制の高度化など、複合的な課題が顕在化している。

また、大型トラックに対しては、従来にも増して高い安全性能と運転支援機能が求められている。事故低減に向けた先進安全装置の普及はもとより、運転経験の浅いドライバーであっても安心して運行できる車両性能が重要視されるようになってきた。加えて、購入時の意思決定においては、ドライバーからの評価や使い勝手、外観デザインといった感性価値の重要性も高まりつつある。

25型ギガ(**図1**)は、このような市場環境及び顧客要求を踏まえ、23型ギガの商品競争力を更に高めることを目的として開発されたモデルである。



図1　25型ギガ外観

2　開発背景

25型ギガの開発に当たっては、次の4点のような背景認識をもとに商品企画を行った。

第一に、安全装備に対する要求の継続的な高度化である。大型トラック事故では、交差点での歩行者事故、左折時の自転車巻き込み事故、車線変更時の側方衝突事故などが依然として多い。また、啓発活動を継続して実施してきたものの、いまだにタイヤの脱輪事故が発生している。これらの事故形態に対応した実効性の高い安全支援機能が求められていた。

第二に、ドライバー不足及び労働環境改善への対応である。ドライバー確保の観点からは、運転負荷の軽減が重要になっており、安全装備や運転支援機

*大型商品企画・設計部

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

能を通じた「運転のしやすさ」が商品力の中核要素となっている。

第三に、輸送効率及び車両稼働率向上への要求である。高積載・高容積車型へのニーズは引き続き高く、燃費性能や実輸送効率の向上に加え、架装性やメンテナンス性を含めた総合的な生産性向上が求められていた。

第四に、外観商品力の重要性である。購入時に重視する点の調査結果からも、外観スタイルに対する評価は年々高まっており、フラッグシップモデルとしての存在感や新鮮さを維持することが求められていた。

3　開発コンセプト

これらの背景を踏まえ、25型ギガでは次の4点を開発コンセプトとして設定した。

(1) 事故実態に即した先進安全・運転支援機能の進化
大型トラック特有の事故形態に着目し、検知・警報に加えて車両制御による支援を拡充することで、事故低減に寄与する。

(2) ドライバー第一の商品力の追求
運転負荷軽減、安心感向上、快適性向上を通じて、ドライバーから評価される商品を目指す。

(3) 高効率輸送と安定稼働の実現
輸送効率向上、架装性・生産性改善、信頼性向上を通じて、物流事業者の生産性向上に貢献する。

(4) フラッグシップとしての外観商品力強化
キャブエクステリア刷新により、ギガブランドの存在感と商品訴求力を高める。

4　事故を起こさない車の追求 (先進安全・運転支援)

大型トラックは車両質量が大きく、ひとたび事故が発生した場合の被害が甚大になりやすい。このため、事故そのものを未然に防止すること、並びに万一事故に至った場合でも被害を最小限に抑制することが、フラッグシップモデルであるギガに求められる最重要性能の一つである。

さまざまな事故形態に対し、従来の注意喚起中心の安全支援に加え、ドライバーの回避操作を補完・代替する車両制御を積極的に取り入れることで、より実効性の高い先進安全・運転支援システムの構築を図った点が、25型ギガの特徴である。

4.1 交差点プリクラッシュブレーキ (右左折時)

交差点における歩行者事故は、大型トラック事故の中でも依然として高い割合を占めている。特に右左折時は、ドライバーの視線移動が多く、車両前方及び側方の確認が同時に求められるため、認知遅れや判断遅れが発生しやすい。

25型ギガでは、前方カメラ及びミリ波レーダを組み合わせることで、横断歩道上の歩行者を高精度に検知し、衝突の危険性が高まった場合に段階的な支援を行う交差点プリクラッシュブレーキを新たに設定した。本機能は、まず警報によりドライバーへ注意喚起を行い、それでも回避操作が行われない場合には自動ブレーキを作動させる構成としている。

これにより、ドライバーの主体的な判断・操作を尊重しつつ、最終的には車両側が介入する多層的な安全支援を実現し、交差点における歩行者事故の回避及び被害軽減を図った(**図2**)。

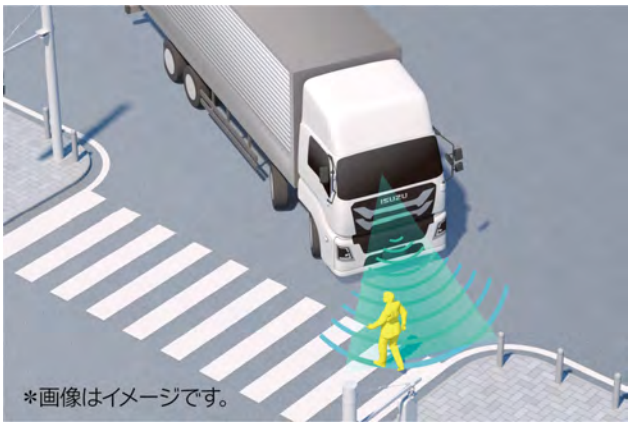


図2　プリクラッシュブレーキ(右左折時)

4.2 左折巻き込みブレーキ機能

大型トラックは車両左側方に構造的な死角が生じやすく、左折時の自転車巻き込み確認は、ドライバーの確認負荷が高いシーンである。

25型ギガでは、車両左側方を監視するレーダを用い、左折時に自転車を検知した場合、衝突リスクに応じて警報及びブレーキ制御を行う左折巻き込みブレーキ機能を設定した。従来は警報による注意喚起が中心であったが、本モデルではブレーキ制御までを含めることで、ドライバーの操作遅れや判断ミスを補完し、より確実な事故防止を図った(**図3**)。

これにより、都市部の交差点などの厳しい交通環境下においても、安全性の向上に寄与した。

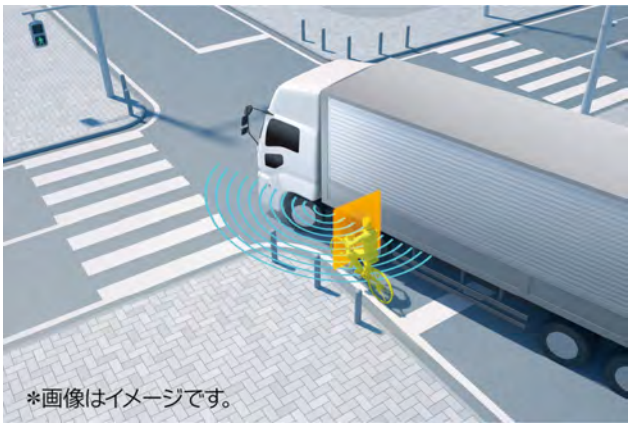


図3　左折巻き込みブレーキ機能

4.3 側方衝突抑制機能

高速道路や幹線道路における車線変更時の側方衝突事故は、発生時の車両速度が高いことから、重大事故につながりやすい。特に大型トラックでは、車両全長が長く、死角も大きいため、側方監視支援の重要性が高い。

25型ギガでは、隣接レーンを走行する車両を検知し、衝突の恐れがある場合にレーンキープアシストによる操舵介入を行う側方衝突抑制機能を設定した(**図4**)。本機能は、ドライバーの車線変更操作を監視しつつ、危険と判断した場合には車線内側へ戻す方向に操舵力を付与することで、意図しない接触を防止する。

これにより、高速走行時における安心感の向上と、ドライバーの心理的負担の軽減を両立した。

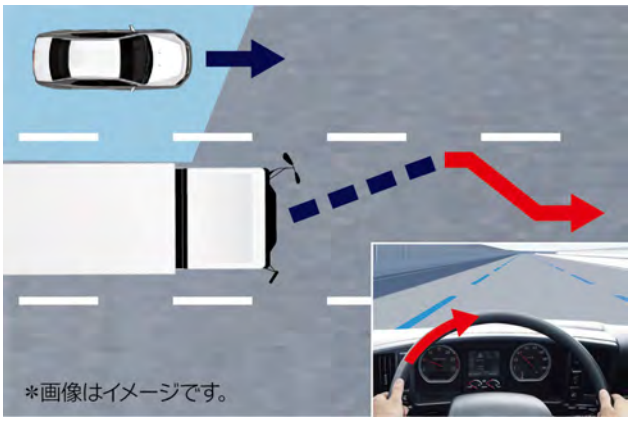


図4　側方衝突抑制機能

4.4 車輪脱落予兆検知システム

大型車の車輪脱落事故は、歩行者や周囲車両を巻き込む重大事故につながる可能性が高く、社会的課題となっている。事故要因の多くは整備不良や締結管理の不徹底に起因するものであるが、人的作業に依存する以上、一定の確率で見逃しやヒューマンエラーが発生することを前提とした対策が求められている。

25型ギガでは、このような背景を踏まえ、日常点検や定期整備を補完するハード対策として、車輪脱落予兆検知システムを新たに採用した。本システムは、車輪脱落そのものを直接防止するものではなく、脱落に至る前段階で発生する「ナットゆるみの進行」を検知し、ドライバーへ早期に注意喚起を行うことを目的としている。

このシステムは、従来の点検・整備を前提とした管理を補完する実効性の高い安全技術として、安全運行の確保に寄与した。

5　快適で安心な運転環境の実現

5.1 運転負荷軽減への取り組み

先進安全･運転支援機能の拡充により、ドライバーの周辺監視負担を軽減するとともに、危険回避操作を支援することで、長時間運転時の心理的負荷低減を図った。

5.2 キャブ内環境への配慮

キャブ内の操作性や視認性を重視した設計とし、運転に集中できる環境を提供することで、ドライバーの疲労軽減に寄与した。

6　高効率輸送と安定稼働の実現

6.1 高効率輸送車型への対応

低床3軸25t車をはじめとする高積載・高容積車型の展開を継続し、実輸送効率向上に貢献した。

6.2 架装性・生産性の向上

バックカメラ配線のインライン化や燃料タンクバリエーション追加など、市場改造項目のライン取り込みを進め、架装作業負荷の低減と品質の安定化を図った。

6.3 操縦安定性・信頼性の向上

スタビライザ仕様の見直しなどにより操縦安定性を向上させるとともに、信頼性向上施策を通じて安定稼働を支援した。

7　フラッグシップとしての外観変更

大型トラックにおける外観デザインは、従来は耐久性や機能性を補完する要素として捉えられる傾向にあった。しかし近年では、ドライバーの就労意識

の変化や企業ブランディングの重要性の高まりを背景に、外観スタイルが商品選定に与える影響は着実に大きくなっている。購入重視点調査においても、外観スタイルは年々評価項目としての重要度を増しており、フラッグシップモデルであるギガには、性能に加えて「新しさ」「存在感」「誇りを持って乗れるデザイン」が求められている。

25型ギガでは、このような市場動向を踏まえ、キャブ前面意匠を中心としたフェイスリフトを実施し、商品としての鮮度と存在感の向上を図った。

おわりに

25型ギガは、安全性、運転支援、輸送効率、外観商品力といった多面的な要求に対し、総合的な商品力向上を図ったモデルである。事故低減に寄与する先進安全機能の進化、ドライバー第一の思想に基づく設計、高効率輸送と安定稼働を支える改良により、物流業界が直面する課題解決に貢献する商品とした。いすゞは今後も、社会インフラを支える大型トラックとしての責任を果たすべく、安全で信頼性の高い商品開発を継続していく。

◇いすゞ歴史の一こま



ギガ(2007年ごろ)

新製品紹介

25型ギガのデザインについて

Overview of the Exterior Design of 2025 Model GIGA

椎名　純一*
Junichi Shiina

要　旨

いすゞ「ギガ」は、1994年の登場以来、2005年、2007年、2010年、2015年とモデルチェンジを重ね、社会や物流環境の変化、技術の進化を捉えながらそのデザインを変遷してきた。25型ギガについては、各種車両制御機能や運転支援機能の拡充を主軸とした商品性向上を図っているが、同時に外観デザインにおいてもフロントフェイスを刷新することで、一層の訴求力の強化やブランド力の向上を狙ったものである。本稿では、その外観デザインの狙いについて紹介する。

Abstract

The 2025 Model GIGA features a redesigned front face that enhances visual appeal and reinforces the ISUZU brand identity. Based on the design theme "THE ULTIMATE," the exterior styling pursues a commanding presence and refinement befitting ISUZU's flagship commercial vehicle. This paper introduces the design concept and key styling elements of the 2025 Model GIGA.

1　はじめに

今回のフェイスリフトは、2015年のフルモデルチェンジ以来、およそ10年ぶりとなる大掛かりな外観変更となる。デザインテーマとして「THE ULTIMATE (究極の)」を掲げ、いすゞ商用車のフラッグシップにふさわしい車格感や存在感を極めたスタイルを目指した(**図1**)。

ギガが持つスマートな体格を活かしながら、より一層すっきりとしたクリーンな表情を与えること、時代に即したダイナミックさや新鮮さを感じさせる造形とすること、そしていすゞ商用車としてエルフ・フォワードとつながるブランドイメージの統一を図ることを念頭に置き、次世代のギガにふさわしいフロントフェイスを目指して、スタイルの開発を行った。



図1　25型ギガ　デザインテーマ

*デザインセンター

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

2　フェイスリフト概要

25型ギガでは、ラジエータグリル、フロントリッド、バンパファシア、ヘッドランプ及びランプベゼルなど、フロントフェイスの印象を大きく変える部分を主としてスタイルを変更した。空力性能及び冷却性能に影響を及ぼすコーナパネルやバンパグリルについては従前車のスタイルを踏襲することで、開発の造り込み期間を短縮し、効率良く開発を進めた(**図2**、**図3**)。



図2　イメージ比較図



図3　25型ギガ　変更範囲

3　各部のスタイルの狙い

スタイル開発過程では、意匠性のみならず冷却性能、空力性能、整備性などの機能面との両立を前提として検討を進めた。本節では、フェイスリフトの主なポイントである、

① ラジエータグリル周り
② ヘッドランプ周り
③ フェイスグラフィック

について、それぞれのスタイルの狙いを解説する。

3.1 ラジエータグリル周り

ラジエータグリルには、『地球を物流でつなげる』をイメージした、いすゞブランドアイデンティティ「ワールドクロスフロー」を採り入れ、先行して展開しているエルフやフォワードとのファミリー性向上と世代感のアップデートを行った。

「ワールドクロスフロー」は、センタバーの力強い水平フローと、両サイドの鋭く切りあがる斜めフローを特徴としており、25型ギガでは、より大型車らしいスケール感と存在感を強調するため、エルフやフォワードとは異なる独自のバランスで「ワールドクロスフロー」を再構築し、伸びやかさと量感の表現を主眼に造り込みを行った。カラーリングについては、造形の立体感が最も映えるメタリック色を新規開発し、スタイルを際立たせた。

「ワールドクロスフロー」を受けるグリルのベース部分には、緻密さを感じさせる造形処理、立体的な桟形状などを施し、「ワールドクロスフロー」を引き立て、車両全体に洗練感や引き締まった印象をもたらすスタイルとした。

また、グリル開口部を中心に、形状のスタディと冷却・空力解析を繰り返し、十分な冷却性能を確保しながら、造形を洗練させた(**図4**)。



図4　グリルデザイン

3.2 ヘッドランプ周り

ヘッドランプユニットには、フォワード(バンパヘッド車両)と共通のBi-LED*灯体を採用し、フォワードとの車格差をつけるため、25型ギガ専用にランプベゼルを設定した。ランプベゼルの造形により、鋭く精悍な目元を演出し、従前車から大きく表情を変えている(**図5**)。

*Bi-LED(Bi-functional LED:単一のLED光源で「ロービーム」と「ハイビーム」の切り替えが可能なもの)



図5　ヘッドランプデザイン

ランプ灯体の配置にあたっては、設計部署と密に連携をとり、ランプ周辺のバンパ構造物や補器部品とのレイアウト成立性を確認しながら、ミリ単位の調整を重ね、最適化を行った。ランプベゼル形状は、数多くの案を作成し、空力特性の向上やランプ取り付け作業性の向上などを織り込んだスタイルとした。

ランプベゼルのカラーリングについては、「ワールドクロスフロー」よりも明るい色調のシルバー色を新規に開発し、ベゼルの立体感をしっかりと出しながら、軽やかですっきりとした印象を与えるものとした。

3.3 フェイスグラフィック

ラジエータグリルについては、従前車に対してグリル上端を約95mm高く設定し、併せて幅も拡大することで、縦方向の伸びやかさを加え、大型トラックらしい存在感を高めた。グリル上端ラインは、従前車までの大きな特徴であった上向きにラウンドしたラインから、フラットなラインにキャラクターを変え、世代の変化を一層強く打ち出すものとした(**図6**)。



図6　フェイスグラフィック比較

バンパでは、足載せステップ部分をハの字型の大きなブラックゾーンで括り、大型化したラジエータグリルを下支えするとともに、足元の踏ん張り感、スタンスの良さを強調するスタイルにまとめた。フェイス全体の印象を大きく変えながら、足載せ部を樹脂カバー化することで、踏み幅の拡大やグリップ性能の強化を図り、使い勝手や機能性の向上にも配慮した造形とした。

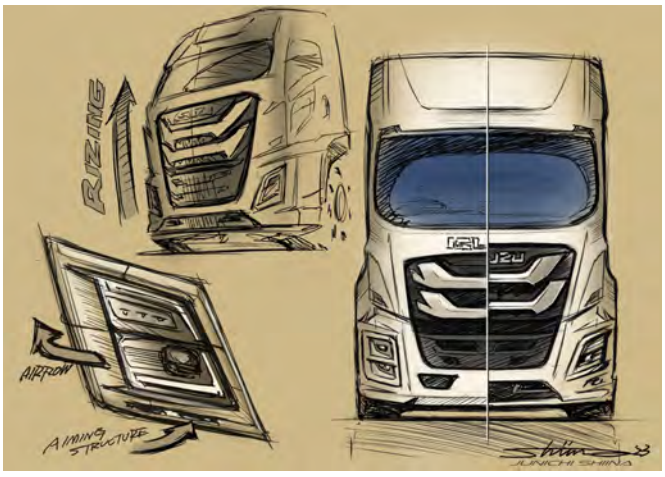
4　おわりに

25型ギガでは、ブランドアイデンティティの展開やフロントフェイスの刷新により、商品性向上に見合う新たな外観価値を創出することができた。

トラックのデザインにおいては、生産財としての機能性、コストなどを常に意識する必要があり、時にはそれらがスタイルを創っていくうえでの制約となる場面もある。しかし、そうした制約を感じさせず、製品が持つ性能の良さや商品の価値を強くアピールする、魅力的なスタイルを創出することがデザインの重要な役割である。今回の25型ギガは、さまざまな制約条件をクリアしながら、物流社会を支えるいすゞ商用車のフラッグシップにふさわしい、高品質なデザインにまとめあげることができたと自負している。

最後に、本プロジェクトのデザイン開発にご協力、ご尽力いただいた多くの関係者の皆様に心から感謝の意を表し、本稿の結びとしたい。





デザインスケッチ

新製品紹介

25型ギガの車輪脱落予兆検知システムについて

Development of Loose Wheel Alarm System for 2025 Model GIGA

飯島　一平*
Ippei Iijima

要　旨

車輪脱落事故の低減を目的に、25型ギガ向け車輪脱落予兆検知システムを開発した。本システムは、後軸に装着した車輪速センサの信号から車輪の回転特性を算出し、正規締め付け時の学習値との差分に基づいて後輪のホイールナットゆるみを検知し、警報を発する。本稿では、検知原理、システム構成、判定ロジック及び評価結果を紹介する。

Abstract

To reduce wheel separation incidents, a Loose Wheel Alarm System was developed for 2025 Model GIGA. The system calculates wheel rotational characteristics from rear wheel speed sensor signals and compares them with values learned under properly tightened conditions. It detects changes caused by rear wheel-nut loosening and alerts the driver. This paper outlines the detection principle, system configuration, decision logic, and evaluation results.

1　はじめに

大型車の車輪脱落事故は、車両の安全運行に重大な影響を及ぼすだけでなく、歩行者や他の交通参加者を巻き込む重大事故につながる恐れがあることから、安全・安心な交通社会の実現に向けて解決すべき重要な社会的課題である。国土交通省資料によれば、2020年度には131件の車輪脱落事故が発生している。また、脱落箇所別発生割合では、左後輪が95%、右後輪が4%であり、後輪からの脱落が大半を占めている[(1)]。車輪脱落事故の主な要因は、タイヤ及びホイール脱着作業時の整備不良である。そのため、整備啓発によって適切な締め付け作業を促すことは、車輪脱落事故の低減に向けて重要である。一方で、タイヤ及びホイール脱着作業は人を介する作業であり、啓発や管理を徹底しても、人為的ミスを完全に排除することは難しい。このような背景から、国土交通省においても、人為的な作業ミスを前提とした車両側のハード対策を中・長期的に推進すべきことが提言されており[(2)]、整備不良に起因するホイールナットゆるみを車両側で早期に検知し、脱落前の対処につなげる技術の重要性が高まっている。

いすゞでは、2020年から車輪脱落事故の低減に向け、脱落ゼロを目指す社内プロジェクトを立ち上げ、整備啓発活動と車両側のハード対策の両面から取り組んできた。LWAS(車輪脱落予兆検知システム: Loose Wheel Alarm System)は、車両側のハード対策として開発した技術の一つである。

本稿では、25型ギガ向けLWASについて、車輪脱落に至るメカニズムを踏まえた検知原理、システム構成、判定ロジック及び評価結果を紹介する。

2　開発の狙い

本システムの狙いは、車輪脱落に至る前に余裕をもって警報を発し、ドライバーに適切な対処を促すことで、ホイールナットゆるみに起因する車輪脱落事故を未然に防止することである。25型ギガでは、脱落箇所の発生傾向を踏まえて後輪を対象とし、ナット座面とホイールとの間に所定量の隙間が生じた際の車輪の回転特性変化を車輪速信号から捉える構成とした。

3　車輪脱落メカニズムと検知原理

3.1 車輪脱落に至るシーケンス

LWASの検知対象を明確にするため、ホイールナットゆるみが車輪脱落に至る過程を整理した。車輪脱

*車両設計第二部

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

落に至る過程は、大きく3つの段階に分けられる。第一段階は締結軸力不足である。タイヤ及びホイール脱着時の締め付けトルク不足や、座面の錆(さび)、潤滑不良に伴うトルク係数の増大により、ホイールナットの軸力が不足する。第二段階は軸力消失である。初期なじみ及び座面のフレッチングにより軸力がさらに低下し、締結力が失われる。第三段階はナット回転ゆるみ及びナット脱落である。軸力が消失すると、ハブとホイール間の摩擦力が低下し、インロー隙間の範囲でハブとホイールに相対変位が生じる。この結果、ナット座面の接触状態が不均一となり、ナットを回転させるトルクが発生することで、ナットの回転ゆるみが進行し、最終的にナット脱落及び車輪脱落に至る。これらの車輪脱落に至るシーケンスを**図1**に示す。

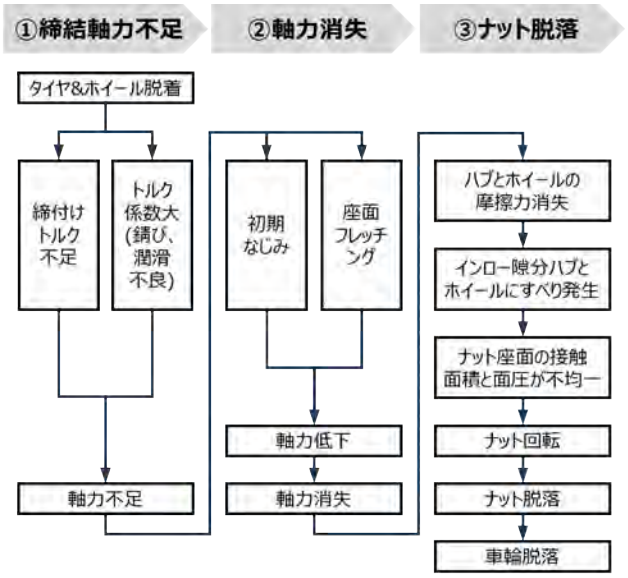


図1　車輪脱落に至るシーケンス

3.2 CAE及び実車による軸力消失後のナット回転ゆるみメカニズムの確認

前節で示したシーケンスにおいて、LWASの検知に直結する現象は、軸力消失後に発生するハブとホイール間の相対変位である。本節では、この相対変位がナット座面圧を変化させ、ナット回転ゆるみにつながる過程を、CAE(Computer Aided Engineering)解析及び実車検証により確認した。CAEでは、ハブとホイールインローの半径方向の隙間、及びホイールナットゆるみにより生じる軸方向の隙間を考慮した解析モデルを用い、ホイール回転時のナット座面圧分布を評価した。解析の結果、ホイール回転時のナット座面圧は円周方向に均一ではなく、局所的に高い座面圧が発生することを確認した(**図2**)。座面圧が高い領域では、ナット座面とホイール間の摩擦力が相対的に大きくなり、周方向の相対すべりが抑制される。一方、座面圧が低い領域では相対すべりが生じやすい。この摩擦力の偏りにより、ナット中心軸まわりにゆるみ方向の回転モーメントが発生すると考えられる。

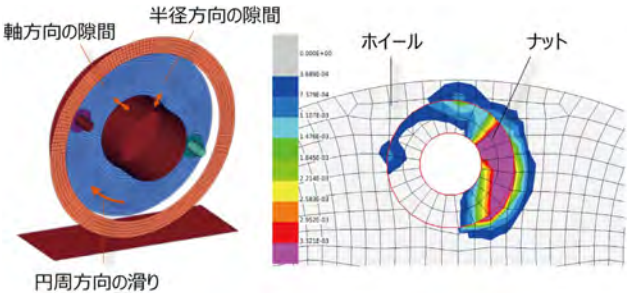


図2　ナット座面圧分布の解析結果

また、実車検証により、ナット回転ゆるみの進行挙動を確認した。ナットのゆるみ回転が発生した後、当該ナットの座面接触が失われると、そのナットの回転は停止する。その後、次のナットで座面圧の不均一に起因するゆるみ回転が発生する。このように、座面圧が不均一となったナットから順次回転ゆるみが進行することを確認した。次節では、この相対変位に伴う車輪の回転挙動変化を、車輪速信号から検出する原理を説明する。

3.3 フラフープ現象に着目した検知原理

前節で示したように、軸力消失後はハブとホイール間の摩擦による拘束が弱まり、インロー隙間の範囲で相対変位が生じる。本システムでは、この相対変位に伴う車輪の回転挙動変化に着目した。本稿では、軸力消失後にホイールがハブに接触しながら相対変位を伴って回転する挙動を、フラフープ現象と呼ぶ。

図3に示すように、フラフープ現象が発生すると、ホイールはハブインロー部に接触しながら相対変位を伴って回転する。このため、車輪1回転中にハブとホイールの相対位置が周期的に変化し、見かけの動半径が変動する。ここで、rは**図3**下段の左図及び右図に示す接触状態における見かけの動半径、Δrはハブとホイールの接触位置の変化に伴うその減少量を表し、中央図の状態では見かけの動半径がr-Δrとなる。この変動は、車輪速センサが検出するエキサイタリング各歯の通過周期変動として現れる。正規締め付け時の通過周期変動は、主にエキサイタリングの工作ばらつき及び走行時の外乱に起因する。一方、ホイールナットゆるみ時には、これらの変動に加え、フラフープ現象に起因する周期的な回転変動が発生する。

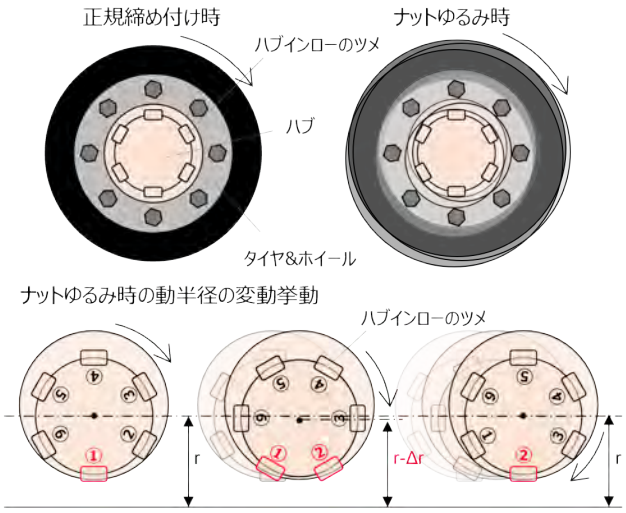


図3　フラフープ現象

4　システム構成

LWASのシステム構成を**図4**に示す。本システムは、LWAS ECU(LWAS用電子制御ユニット: Loose Wheel Alarm System Electronic Control Unit)後軸に追加した電磁誘導式(パッシブ型)車輪速センサ、エキサイタリング、メータ及びブザーで構成される。

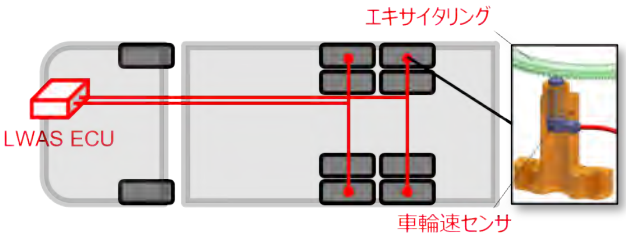


図4　LWASのシステム構成

信号取得部では、後軸に装着した車輪速センサにより、エキサイタリングの歯がセンサ先端を通過する際の磁束変化を電圧信号として取得する。ECUは同信号を処理し、ホイールナットゆるみの判定を行う。判定結果は、メータ表示及びブザーによりドライバーへ通知する。メータは、警報内容を表示するとともに、警報解除などの操作インタフェースとして機能する。警報発生時は、ドライバーに必要な対処を明確に伝えるため、車両状態に応じてメータ表示及びブザーの作動を切り替える。**図5**に示すように、走行中はメータ表示及びブザーにより安全な場所への停車を促し、停車後は全てのホイールナットの増し締め及び警報解除操作をメータ表示により案内する。

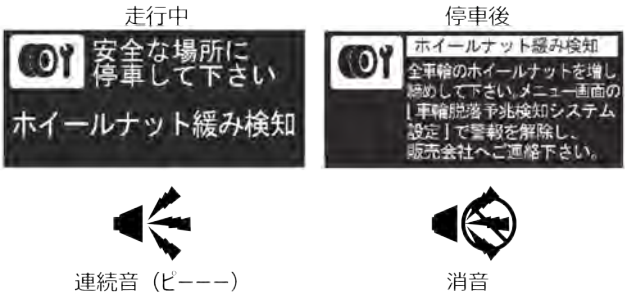


図5　ホイールナットゆるみ警報表示

5　ゆるみ判定ロジック

本開発では、車輪回転速度信号の時間的ばらつき及び回転次数成分に基づく車輪異常検知技術[3]を適用し、25型ギガへの車両適合開発を行った。

5.1 車輪速信号処理

車輪速センサから取得した電圧信号は、エキサイタリング各歯の通過時間に変換される。1回転中のi番目の歯の通過時間をt_i、1回転中の平均通過時間をt_{ave}とすると、通過時間変動率ε_iは**式(1)**で表される。

$$\varepsilon_i = \frac{t_i - t_{ave}}{t_{ave}} \tag{1}$$

ここで、iはエキサイタリングの歯番号を表す。**式(1)**により、車速の影響を受ける通過時間そのものではなく、1回転中の相対的な通過時間変動として回転特性を扱うことができる。更に、1回転分の通過時間変動率列を1周期波形として次数分析し、タイヤ回転次数ごとの振幅を算出する。

5.2 学習及びゆるみ判定

LWASでは、車両ごとの回転特性差を補正するため、正規締め付け時の回転特性を学習値として記憶する。構成部品には工作ばらつきがあり、特定次数成分の振幅特性に車両差が生じる。このため、固定基準値のみで判定すると、車両差をホイールナットゆるみによる変化として誤判定する可能性がある。本システムでは、正規締め付け時の特定次数成分の振幅特性を学習値として保持し、検知時の振幅特性との差分に基づいてホイールナットゆるみを判定する。

一方、学習値は正規締め付け状態で取得されることが前提である。市場での車輪脱落事故の多くは、タイヤ・ホイール脱着作業時の整備不良に起因する。そのため、脱着作業ごとに再学習を行うと、不適切な締め付け状態を基準値として記憶する可能性がある。

そこで本システムでは、学習を工場出荷時に限定し、正規締め付け状態で取得した学習値を判定基準として保持する構成とした。なお、エキサイタリングを交換した場合は、歯間隔特性及び取り付け状態が変化し、車輪速信号の特性に大きく影響する。このため、交換後は学習値をリセットする。また、学習時と検知時の車速差により、正規締め付け状態であってもゆるみ検知指標が変動する場合がある。この影響を低減するため、速度域を複数に分割し、各分割単位で学習値を管理する。検知時も同一速度域の学習値と比較する。

ゆるみ判定では、検知時に算出した特定次数成分の振幅と学習値との差分を算出する。この差分がゆるみ判定閾値(しきいち)を超えた状態をカウントし、カウント値が所定値に達した場合に、ホイールナットゆるみと判定する。カウント方式を採用することで、一時的な外乱により差分が閾値を超えた場合の誤警報を抑制する。以上の判定ロジックを**図6**に示す。

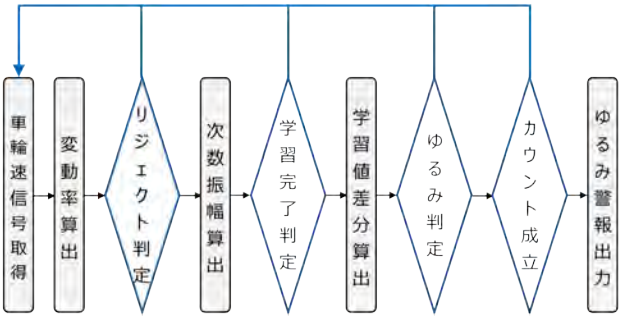


図6　ゆるみ判定ロジックの流れ

5.3 ゆるみ判定次数

3.3節で述べたフラフープ現象に起因する周期変動は、車輪速信号を次数分析することで、特定の回転次数成分として抽出できる。ホイールナットゆるみ時には、ハブインローのツメ本数(**図3**)に対応する回転次数に、ゆるみ起因成分が顕著に現れる。一方、正規締め付け状態であっても、車速差、走行状態、部品交換及び使用環境などにより、ゆるみ検知指標が変動する場合がある。複数の次数成分を判定に用いると、ゆるみと関係の小さい次数成分の変動もゆるみ検知指標に含まれる。このため本システムでは、ゆるみ時に顕著に現れるハブインローのツメ本数に対応した次数に判定対象を限定し、同次数の振幅と学習値との差分に基づいてホイールナットゆるみを判定する構成とした。

判定次数の選定前後における正規締め付け状態のゆるみ検知指標とゆるみ判定閾値の関係を**図7**に示す。複数の次数による判定では、複数の誤検知要因が重なった場合に、ゆるみ検知指標が閾値を超過する可能性があった。一方、ハブインローのツメ本数に対応した次数による判定では、判定対象をゆるみ起因成分が顕著に現れる次数に限定したことで、誤検知要因の影響を低減し、閾値に対する余裕を確保した。

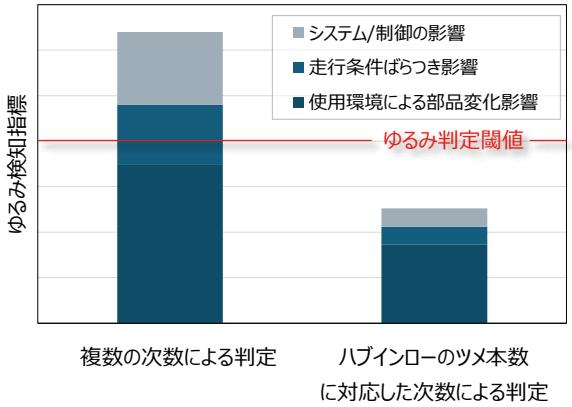


図7　判定次数による誤検知リスク低減効果

5.4 リジェクト判定

実使用環境では、悪路走行、急加減速、急旋回、ブレーキ作動及びタイヤ回転制御などにより、ホイールナットゆるみとは異なる回転変動が発生する場合がある。LWASでは、これらの走行状態をリジェクト条件として判定し、該当区間のデータを学習処理及びゆるみ判定処理の対象から除外する。これにより、ホイールナットゆるみに起因しない回転変動をゆるみとして誤判定することを抑制する。主なリジェクト条件と判定方法を**表1**に示す。

表1　リジェクト条件と判定方法

条件	判定情報	狙い
悪路走行	車輪速信号に基づく路面入力判定	路面入力に起因する回転変動を除外
急加減速	CAN信号	駆動力変化に伴う回転変動を除外
急旋回	CAN信号	旋回に起因する回転変動を除外
ブレーキ作動	CAN信号	制動に伴う車輪速変動を除外
タイヤ回転制御	CAN信号	制御介入による回転変動を除外

悪路走行時は、路面入力により車輪速信号の通過時間変動が回転ごとにばらつく場合がある。このような非定常な変動は、ホイールナットゆるみに起因する周期的な回転特性変化とは性質が異なる。本シ

ステムでは、この違いに着目し、車輪速信号から得られる回転変動のばらつき状態を監視することで、悪路走行の影響を受けた区間を判定する。悪路走行と判定した区間のデータは、学習処理及びゆるみ判定処理の対象から除外する。これにより、路面入力に起因する一時的な回転変動を、ホイールナットゆるみによる回転特性変化として誤判定することを抑制する。急加減速、急旋回、ブレーキ作動及びタイヤ回転制御については、CAN(Controller Area Network)信号などの車両情報に基づきリジェクト判定を行う。

5.5 タイヤチェーン装着時のOFF設定

タイヤチェーン装着時は、車輪の回転特性が大きく変化する。また、回転特性の変化量は、チェーンの種類、形状及び装着状態によって異なるため、システム側でチェーン装着状態を安定して判定することは困難である。このため、タイヤチェーン装着時は、ドライバーがメータのカスタマイズ画面からLWASをOFFに設定する運用とした。OFF設定中は、システムOFFランプを点灯させ、LWASがOFF状態であることをドライバーに通知する(**図8**)。ただし、OFF状態が継続するとホイールナットゆるみを検知できない。このため、イグニッションをOFFからONに切り替えた後は、自動的にLWASをON状態へ復帰させる仕様とし、有効状態への戻し忘れを防止した。



図8　システムOFFランプ

6　評価

6.1 信号取得性の評価

車輪速センサ信号は、車速が低いほど発生起電力が小さくなる。また、センサ及びECUの抵抗値ばらつき、ハーネス長、センサ温度、センサエアギャップ、エキサイタリングの振れなども信号波形に影響する。これらの影響を組み合わせて確認し、検知対象車速域の下限を想定した条件でも信号取得が可能であることを確認した。次節では、取得した車輪速信号を用いたゆるみ判定の成立性について評価した。

6.2 ゆるみ検知性、誤検知及び検知漏れに対する評価

ゆるみ判定性能の評価では、ホイールナットのゆるみ状態をpositive、正規締め付け状態をnegativeと定義し、実際の締め付け状態と警報の有無に基づき、判定結果を以下の4つに分類した。

- TP(True Positive)：ゆるみ状態で警報を発する正しい判定
- TN(True Negative)：正規締め付け状態で警報を発しない正しい判定
- FP(False Positive)：正規締め付け状態で警報を発する誤った判定(誤検知)
- FN(False Negative)ゆるみ状態で警報を発しない誤った判定(検知漏れ)

4分類のうち、TP及びTNはシステムに求める正常判定であり、FP及びFNは抑制すべき誤判定である。そこで、評価ではTP及びTNの成立性を確認するとともに、FMEA(故障モード影響解析: Failure Mode and Effects Analysis)により、正常判定を阻害し、FPまたはFNにつながる要因を抽出した。抽出した要因は、部品ばらつき、使用環境に起因する部品特性変化、走行条件、車両諸元差、信号処理及び制御上の影響に分類した。

TPについては、ホイールナットをゆるませ、ナット座面とホイールとの間に所定量の隙間を生じさせた状態でテストコースを走行するゆるみ走行試験を実施した。その結果、仕様検討で設定した所定の走行距離内にゆるみ警報が発せられ、ゆるみ判定可能な走行条件下で、ホイールナットゆるみに伴う回転特性変化を検知できることを確認した。

TN及びFPについては、ホイールナットを正規締め付け状態とした車両を用い、一般路、高速道路、山間路、砂利路及び積雪路など、実使用環境を想定した実路走行試験により評価した。その結果、ホイールナットゆるみに起因しない回転変動はゆるみとして判定されず、正規締め付け状態で非警報判定を維持した。また、本実路走行試験では、FPに相当する誤警報は発生しなかった。代表条件として、一般路、高速道路及び山間路での各輪のゆるみ検知指標平均値を**図9**に示す。いずれの走行路においても、各輪のゆるみ検知指標平均値はゆるみ判定閾値を下回り、閾値に対して余裕を有していた。これにより、走行路に応じた入力条件の違いがある場合でも、正規締め付け状態では警報を発しない判定が成立することを確認した。



図9　正規締め付け状態における
ゆるみ検知指標平均値

FNについては、リジェクト条件によってゆるみ判定に用いる有効区間が不足しないかを確認するため、TN及びFP評価で取得した実路走行データを用い、ホイールナットゆるみ発生時を想定して評価した。具体的には、リジェクト判定で除外されない有効区間を抽出し、ゆるみ警報を発するために必要な有効走行距離を評価した。その結果、必要な有効走行距離は、仕様検討で定めた許容範囲内であった。また、この有効走行距離は、車輪脱落に至るまでの想定走行距離に対して所定の余裕を有しており、本評価で対象とした走行条件の範囲において、ドライバーが安全な場所へ停車し、ホイールナットの増し締めなどの対処を実施できる段階で警報を発することを確認した。

7　おわりに

25型ギガ向け車輪脱落予兆検知システムを開発し、ホイールナットゆるみに起因する車輪脱落を未然に防止するための検知・警報技術を実用化した。これにより、整備啓発活動を補完する車両側ハード対策として、車輪脱落事故低減に向けた取り組みに寄与できた。また、実使用環境を想定した試験により、ゆるみ検知及び誤警報抑制に加え、リジェクト処理後の有効走行区間においても判定が成立することを確認し、市場適用に必要な基本性能を確保した。本システムで用いた車輪速信号の通過時間変動解析は、ホイールナットゆるみ以外の車輪周辺部品の状態監視にも応用できる可能性がある。今後は、対象とする故障モードごとに検知原理及び判定条件を明確にし、適用可能性を検証していく。

最後に、本開発に際し、多大なご支援及びご協力をいただいた社内外の関係各位に心より感謝する。

参考文献

(1) 国土交通省自動車局：大型車の車輪脱落事故発生状況と傾向分析について，大型車の車輪脱落事故防止対策に係る調査・分析検討会 第1回 資料2-1，https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001465269.pdf，(参照日：2026.06.25)
(2) 国土交通省自動車局：大型車の車輪脱落事故防止対策に係る調査・分析検討会報告書，https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001580707.pdf，(参照日：2026.06.25)
(3) 住友ゴム工業株式会社：車輪の異常検知装置，特許公報，特許第7786280号，(2025)

新製品紹介

25型ギガの先進安全機能について

Advanced Safety Functions in 2025 Model GIGA

上鉢　敦*　橋詰　良平*　宮本　拓海*　青木　智治*　伊東　凌波*　油原　智貴*
Atsushi Uwabachi　Ryohei Hashizume　Takumi Miyamoto　Tomoharu Aoki　Ryoha Ito　Tomoki Yuhara

要　旨

トラックが関与する死亡事故では、交差点での右左折時や左折巻き込み、高速道路での車線変更時の側方衝突が重要な課題である。本報では、従来技術による対応が困難であったこれらの事故の低減を目的に、旋回時軌道予測に基づく交差点AEB、動的リスク評価による左折巻き込み防止自動制動機能、及びドライバー意図を考慮した側方衝突抑制機能を開発し、大型商用車の安全性能向上を実現した。

Abstract

Fatal truck accidents frequently involve critical scenarios such as right- and left-turn maneuvers at intersections, left-turn side-swipe accidents involving vulnerable road users, and side collisions during lane changes on highways. To reduce these types of accidents, which are difficult to address with conventional technologies, this study developed three advanced safety functions: Intersection AEB based on turning-trajectory prediction, a left-turn side-collision mitigation braking function using dynamic risk assessment, and a side-collision mitigation function that considers driver intent. These technologies contribute to improved safety performance in heavy-duty commercial vehicles.

1　はじめに

いすゞは安全技術戦略の基本方針として「死亡事故ゼロ」を掲げ、事故低減効果の高い領域から優先的に技術開発を推進している。

トラックが第一当事者となる死亡事故を分析すると、被害対象は歩行者及び自転車といった交通弱者が多く、事故形態としては直進時に加え、交差点での右左折時及び左折時の巻き込みが主要である。

自動緊急ブレーキ(AEB：Autonomous Emergency Braking)は既に実用化されているが、その主な対象は直進時であり、旋回時や巻き込みといった複雑な相対運動を伴う場面への対応は十分ではなかった。また、高速道路における車線変更時の側方衝突事故低減も重要な課題である。

特に大型商用車では車体寸法や死角の影響により、周辺車両との相対位置を把握しにくく、ドライバーの認知負荷を考慮した支援技術が求められている。

これらの課題に対応するため、25型ギガでは次の3機能を開発した(**図1**)。

- 交差点対応自動緊急ブレーキ(AEB)
- 左折時巻き込み防止自動制動機能
- 側方衝突抑制機能

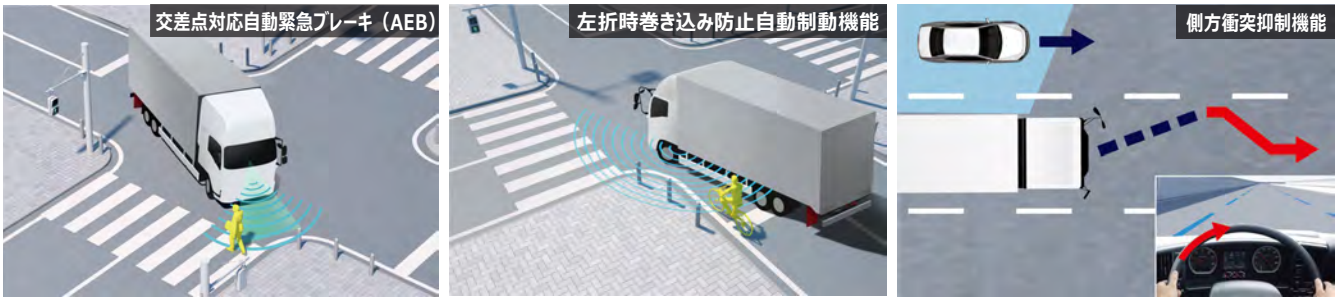


図1　25型ギガADAS開発機能

*ASシステム開発部

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

本報では、各機能の概要、制御設計の特徴、及び技術的課題とその対応について紹介する。

2　交差点対応自動緊急ブレーキの開発

2.1 概要

本機能は、交差点における右左折時において歩行者及び自転車との衝突可能性を予測し、必要に応じて自動的に制動を行うものである。

交差点では車両及び歩行者の運動が複雑に変化するため、直進時と比較して衝突予測が困難である。本機能はこのような状況に対応し、交通弱者との重大事故の低減を目的として開発した。

2.2 旋回時軌道予測モデル

旋回時の車両挙動は、操舵(そうだ)角及び車速の変化に依存する非線形特性を有しており、将来軌道の予測が困難である。

本開発では、操舵角及び車速を入力とした車両運動モデルにより自車の将来状態を推定し、歩行者との相対運動を時系列で評価する衝突判定ロジックを構築した。

また、交差点内における急操舵や進路変更に対応するため、モデル誤差及び予測誤差に対して安定した作動判定が可能となるよう設計を行った。特に大型車はホイールベースが長く、旋回時の軌跡が乗用車と大きく異なる。更に、交差点進入時にはドライバー操作や周辺交通状況に応じて車速が変化するため、将来軌道予測には高いロバスト性が求められる。本開発では、これらの特性を考慮し、実走行データとの比較検証を繰り返すことで予測精度の向上を図った。

2.3 誤作動抑制及び作動判定設計

交差点内での不要な制動は二次事故の要因となるため、誤作動の抑制は重要な設計課題である。

正しい場面での作動率向上と不要作動の低減は相反関係にあり、作動閾値(しきいち)の設定は多条件下での最適化問題となる。本開発ではシミュレーション及び実車試験を組み合わせた評価により、実用領域における両者のバランスを最適化した。**図2**に旋回時シミュレーションの一例を示す。左図は、XY座標上における旋回中の自車の進行軌跡を示し、右図は、車両視点における歩行者の相対的な移動軌跡を示している。これらを用いて、自車と歩行者の相対運動を時系列で評価し、衝突可能性を判定する。

更に、Euro NCAP(European New Car Assessment Programme：欧州新車アセスメントプログラム)の交差点シナリオを参考にし、将来の規制動向を考慮した性能設計とした。

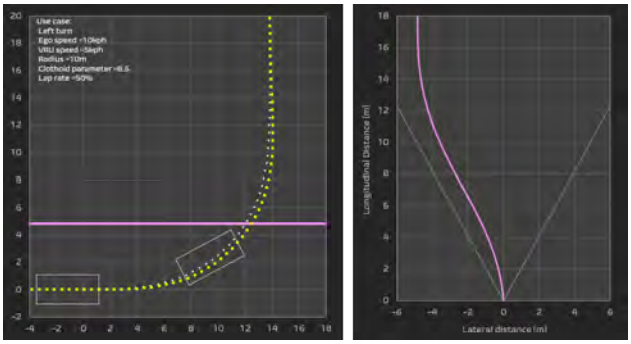


図2　旋回時シミュレーション

3　左折時巻き込み防止自動制動機能の開発

3.1 概要

本機能は、左折時に車両側方へ接近する歩行者及び自転車を検知し、衝突の可能性がある場合に自動制動を行うものである。

従来の警報機能では危険をドライバーへ通知することが主な目的であったが、自動制動機能では制御介入そのものが車両挙動へ影響を及ぼす。このため、警報以上に不要作動の抑制が重要となり、作動開始条件や制動タイミングについて慎重に最適化を行った。

3.2 動的リスク評価

日本の道路環境では、自転車が車両近傍を走行する状況が多く、特に市街地では車両側方を並走した状態から加減速や進路変更を行う場面も少なくない。このような状況では、相対距離のみを用いた判定では衝突リスクを適切に評価できず、不要作動が発生しやすいという課題があった。

本開発では、相対距離に加えて相対速度及び軌道変化を考慮した動的リスク評価指標を導入し、対象物の将来挙動を踏まえた衝突リスク判定を可能とした。

3.3 実環境における作動最適化

路肩への幅寄せや並走状態からの左折など、通常操作との識別が課題であった。

想定ユースケースを詳細に定義するとともに、GPSと連動した走行システムを用いて、想定速度及び走行軌跡を再現した実車試験を繰り返し実施した。

また、レーダによる検知結果を記録・再生可能な評価環境を構築することで、同一条件での比較検証・分析を可能とし、作動ロジック及びパラメータの最適化を行った。

これにより、不要作動を抑制しつつ必要時には確実に作動する制御特性を実現した。

4　側方衝突抑制機能の開発

4.1 概要

本機能は、ウインカを作動させた車線変更時に、ブラインドスポットモニタ用レーダが隣接車線を走行する車両を検知し、衝突の危険性が高まった場合に操舵支援制御を行うことで、自車を走行車線内へ戻し、隣接車線の車両との衝突回避を支援する機能である。従来はドライバーへの警報を主体とした支援が一般的であったが、本機能では危険度に応じて操舵支援を行うことで、より積極的な衝突回避支援を実現した。これにより、側方衝突事故の低減を図ることを目的とした。

4.2 ドライバー意図を考慮した操舵支援制御

大型車は車幅が広く、制御介入が過剰になると不要作動につながりやすい。また、車両応答が緩やかなため、衝突リスクを低減するには十分な操舵支援力が必要となるが、制御量が大きすぎると車両挙動やドライバーの操舵フィーリングに影響を与える。反対に制御量が小さすぎると、十分な衝突抑制効果を得にくい。

そこで本機能では、車線維持支援システムとは独立した専用の制御パラメータを設定し、側方衝突抑制機能に適した操舵支援量及び応答特性となるよう最適化した。これにより、衝突リスク低減に必要な制御効果を確保しつつ、ドライバーが過度な介入と感じにくい制御を実現した。

加えて、制御介入時の違和感を低減するため、ドライバーオーバライドの閾値についても最適化した。安全機能として軽微な操舵入力では容易に解除されないようにしつつ、ドライバーの明確な操舵意図を妨げない設定とした。

更に、不要作動を抑制するため、ウインカ情報に加え、自車と白線との距離や車線中央に対する自車位置を考慮し、車線変更中と判断する条件を追加した。作動がキャンセルされた場合には、短時間での再介入による煩わしさを抑えるため、再作動までに一定時間のインターバルを設けた。

4.3 目標性能の設定

側方衝突抑制機能は、UN R79(車両の操舵装置に関する国連協定規則：UN Regulation No. 79)におけるESF(Emergency Steering Function)に該当する機能である。一方で、同法規では機能要件は規定されているものの、衝突回避性能に関する具体的な定量基準は定められていない。

本機能では、操舵支援時のフィーリングについては定性的な作り込みが必要となる一方、安全装置としての性能を客観的に評価するため、定量的な目標値を設定した。目標値の設定に当たっては、Euro NCAPのELK(Emergency Lane Keeping)試験シナリオを参考にし、側方衝突抑制における「衝突回避」がどのような状態を指すかを明確化した。

これにより、法規要件への適合だけでなく、実使用場面で求められる安全性能を定量的に評価できる目標性能を設定した。

図3に側方衝突抑制機能作動時の各車速条件における横速度と最大逸脱量の実測値を示す。車速が高くなるほど同一操舵入力に対する車両応答は大きくなり、過大な制御介入はドライバーの違和感や不要な車両挙動につながる。一方で、制御量を抑えすぎると衝突回避性能が不足する。本開発では複数の車速条件においてシミュレーション及び実車評価を実施し、衝突回避性能と操舵フィーリングの両立可能な性能を実現した。

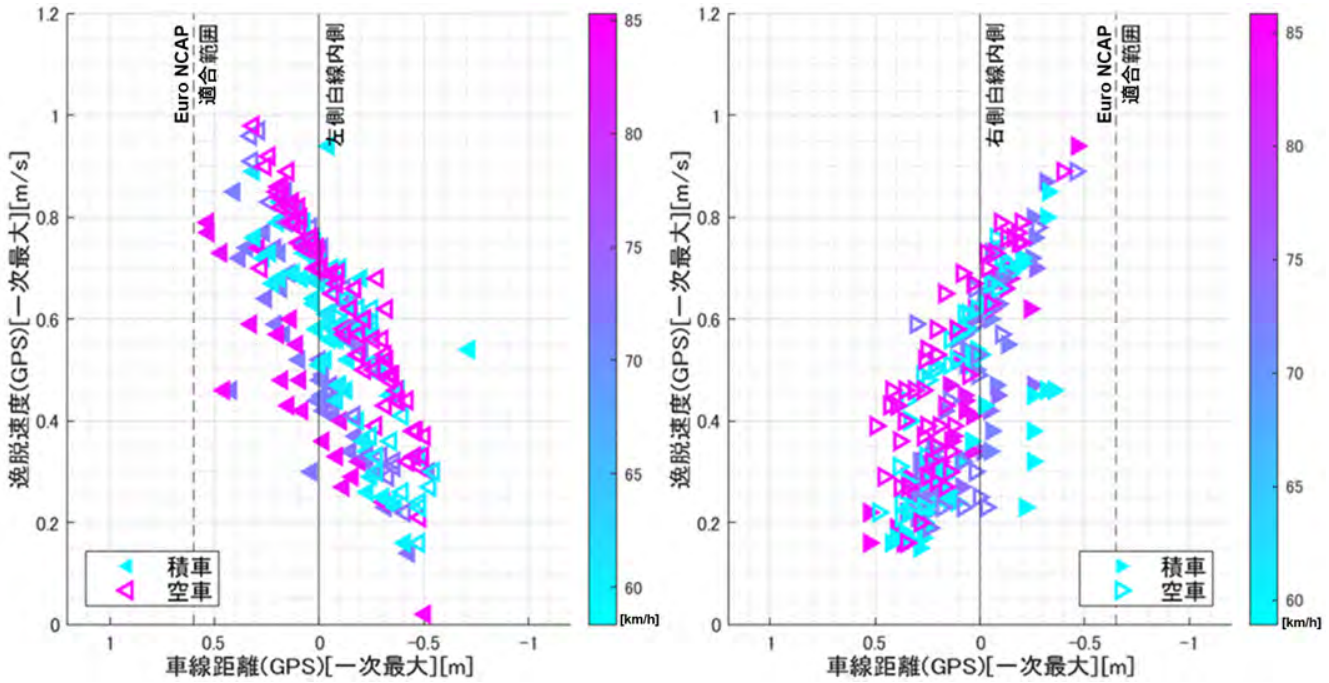


図3　各車速における横速度と最大逸脱量

5　総合評価及び今後の展望

本開発により、従来は直進中心であった自動緊急ブレーキを旋回時及び巻き込み場面へ拡張し、事故対応領域を拡大した。また、側方衝突抑制機能においては、商用車特有の車両特性及びドライバー特性を考慮した操舵支援制御技術を確立した。

これらの機能は大型商用車における先進的な取り組みであり、先進安全分野における技術的優位性の確立に寄与するものである。

本開発では、不要作動の抑制と必要時の確実な作動という相反要求を満たすため、シミュレーションと実車試験を組み合わせた設計最適化を実施した。

今後は実事故分析に基づく機能拡張及び規制対応を進めるとともに、自動運転技術との統合を図り、更なる安全性能向上を目指す。

6　おわりに

本報では、25型ギガに搭載した交差点AEB、左折時巻き込み防止自動制動機能、及び側方衝突抑制機能について報告した。今後も実事故分析に基づく機能改善を進め、安全性能の更なる向上を図る。

新製品紹介

25型フォワードの商品概要について

―I-MACSを活用した4JZ1・ISIM搭載車の開発―

Product Overview of 2025 Model FORWARD
– Development of 4JZ1 and ISIM Equipped Models Using I-MACS –

山田　俊*　　細貝　浩一*
Shun Yamada　　Hirokazu Hosogai

要　旨

25型フォワードでは、法規対応、安全装備及び特装車ラインアップの充実に加え、フォワードの主要な低馬力車型に4JZ1エンジンと9速AMTである「ISIM」を採用した。パワートレインのダウンサイジングと車両全体の最適化により、燃費・積載性・架装性を向上するとともに、ISIMを活用して走行性能・運転容易性を両立した。また、エルフで培ったコンポーネント及び技術を活用し、フォワード固有の要求に応じて最適化することで、効率的な車両開発を実現した。本稿では、その概要を紹介する。

Abstract

For the 2025 Model FORWARD, regulatory compliance, advanced safety systems, and body application lineups were enhanced. In addition, the 4JZ1 engine and 9-speed AMT "ISIM" were introduced to major low-power FORWARD models. Powertrain downsizing and vehicle optimization improved fuel economy, payload capacity, and body-mounting flexibility, while ISIM maintained the driving performance required for this vehicle class and enhanced ease of driving. This paper describes the product features and development approach based on modular design.

1　はじめに

フルモデルチェンジした23型フォワード(以下、従前車)では、安全性、経済性及び快適性を中心に商品力の大幅な向上を図った。一方、商用車を取り巻く環境では、さらなる燃費向上及びCO_2排出量低減に加え、安全装備の充実や多様な顧客用途への対応が求められている。

これらの市場要求へタイムリーに応えるため、25型フォワードでは、将来を見据え、コンポーネントの最適な展開と組み合わせを実現する、いすゞのモジュール設計思想「I-MACS(アイマックス：Isuzu Modular Architecture and Component Standard)」を活用した。I-MACSは、コンポーネントやその接続部を共通化・体系化し、各商品の要求に応じて最適に組み合わせることで、多様な商品展開と効率的な開発を両立する考え方である。いすゞが各商品で培ってきた技術やコンポーネントを有効に活用し、それぞれの用途に適した商品へ展開することで、多様化する顧客ニーズへの対応を図った。

25型では、各種法規への対応、安全装備及び特装車ラインアップの充実等を図った。その中でフォワードの主要な低馬力車型には、4JZ1エンジンと9速AMT(Automated Manual Transmission)「ISIM(アイシム：Isuzu Smooth Intelligent TransMission)」を組み合わせた新たなパワートレインを採用した。本稿では、この4JZ1エンジン及びISIM搭載車を中心に、その商品価値と実現に向けた取り組みを紹介する。

2　4JZ1エンジン・ISIM搭載車の開発

2.1 ダウンサイジングとAMTによる走行性能の両立

従前車であるフォワード 4HK1 190PS仕様は、中型トラックとしての積載性や荷台容積を確保し、レンタカーのダンプ・クレーン付車等、幅広い用途で使用されてきた。また、レンタカーではさまざまな運転経験を持つドライバーが使用することから、走行性能に加え、扱いやすさも重要な商品価値となる。

*CV商品企画第一部

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

25型フォワードでは、従前車の4HK1 190PS仕様を置き換える形で4JZ1エンジンを採用した。パワートレインのダウンサイジングは軽量化及び燃費向上に有効な一方、エンジン単体の出力・トルクは従前車に対して低下するため、軽量化及び燃費向上の効果を維持しながら、中型トラックとして必要な走行性能を確保することが課題となった。

これに対し、9速AMT「ISIM」を組み合わせ、多段化及び最終減速比の最適化によって発進から高速走行まで適切な駆動力を確保した。これにより、ダウンサイジングエンジンを採用しながらも、このクラスに求められる走行性能を確保した。

また、ISIMは滑らかな変速と走行状況に応じた自動変速によって運転を容易にするとともに、省燃費運転をサポートする。更にPポジションを備え、AT限定運転免許にも対応することで、さまざまな運転経験を持つドライバーが利用するレンタカー用途等においても扱いやすい車両とした。従前車と25型フォワードのパワートレイン主要諸元比較を**表1**に示す。

表1　パワートレイン主要諸元比較

項目	23型	25型
エンジン	4HK1-TCC	4JZ1-TCH
排気量	5,193cc	2,999cc
最高出力	140kW(190PS)	129kW(175PS)
最大トルク	515N･m	460N･m
トランスミッション	スムーサーFx	ISIM
変速段数	6速	9速
重量車モード燃費値（JH25）※	8.66km/L	9.29km/L

※両車ともにGVW8t、ecostop付

2.2 軽量化とシャシレイアウトの最適化

パワートレインのダウンサイジングによるメリットを車両全体の商品価値につなげるため、エンジン・トランスミッションに加え、吸排気系、プロペラシャフト及びディファレンシャル等についても最適化を行った。その結果、代表車型では車両重量を320kg低減した。軽量化した重量分は、架装仕様及び前後軸重の条件に応じて最大積載量の拡大につながる。

燃費性能についても、4JZ1エンジンとISIMの組み合わせにより、重量車モード燃費値(JH25)を従前車比約7%向上した。

更に、4JZ1では、ダウンサイジングによる後処理装置のコンパクトさを生かし、尿素タンクの配置を最適化した。尿素タンクを車両右側に配置することで、ミドルホイールベース以上の車型では、左側ホイールベース間における架装関連機器や工具箱の配置、燃料タンク増設等に対するレイアウト自由度を向上させた(**図1**)。

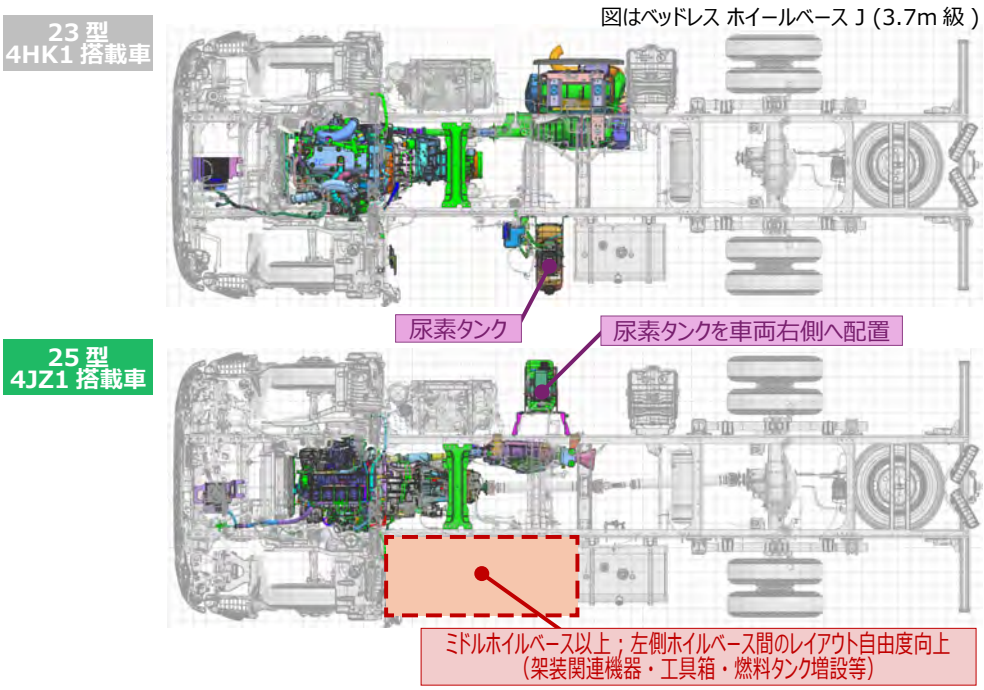


図1　従前車と4JZ1搭載車のシャシレイアウト比較

3　I-MACSを活用した車両成立

3.1 エルフコンポーネントの最適活用

エルフで確立したコンポーネントであっても、車格やフレーム構造、使用条件が異なれば、そのままでは車両として成立しない。このため、共通化できる領域と、フォワードとして新たに成立性を確認すべき領域を整理して開発を行った。

I-MACSの考え方に基づいて開発されたエルフの資産を活用し、4JZ1エンジン及びISIMはエルフ向け仕様を基本としてフォワードへ展開した。フォワードへの搭載に当たっては、エアコンプレッサ等、中型車固有の要求に対応する部分を追加した。吸気・排気・冷却系についてもエルフで確立した仕様を基本とする一方、プロペラシャフト等の駆動系や車両との接続部については、フォワードに適した仕様へ最適化した。

このように、共通化できる部分と車型ごとに最適化すべき部分を見極めることで、I-MACSの考え方を生かした効率的な車両開発を実現した。I-MACSを活用したコンポーネント展開の考え方を**図2**に示す。

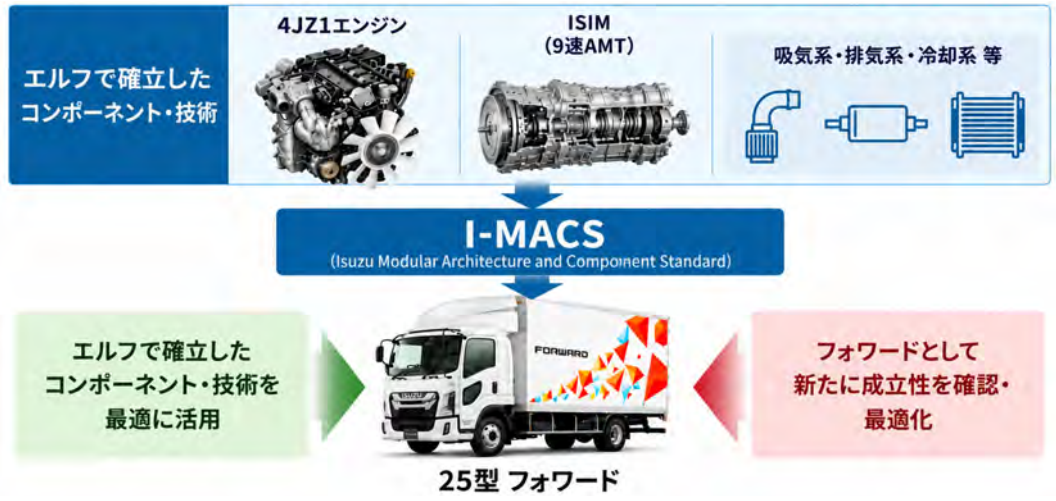


図2　I-MACSを活用したコンポーネント展開

3.2 フォワード固有課題への対応

4JZ1エンジンの搭載では、小型・軽量化によるメリットを生かしながら、フォワードのフレーム構造に適した支持方式を成立させる必要があった。生産性及び重量を考慮し、従前車と同様にサイドメンバに取り付けたエンジンマウントブラケットでエンジンを保持する構造としたが、エンジンの小型化によってエンジン重心とフレーム側支持点との距離が大きくなり、路面入力やパワートレインからの加振に対する支持剛性の確保が課題となった。

そこで、エンジンマウントブラケット及びサイドメンバの変形への寄与を分析し、ブラケット仕様を最適化した。更に、パワートレイン自重によるたわみをあらかじめ考慮して搭載位置を設定することで、基本フレーム構造を活かしつつ、パワートレイン搭載を可能とした。

また、9速AMT「ISIM」の採用によりトランスミッション全長が長くなり、プロペラシャフトレイアウトの成立性が課題となった。これに対し、最終減速比、ホイールベース及びプロペラシャフト構成の組み合わせごとに成立性を確認し、仕様展開を最適化することで、走行性能と振動・騒音性能を両立した。

4 実使用条件における商品性の検証と安全性能の向上

4JZ1エンジンへのダウンサイジングに当たっては、設計諸元だけでなく、実際の使われ方において十分な商品性を確保できるかを確認した。積載状態を含む実使用条件を想定した性能評価に加え、営業部門及び販売会社による試乗会を実施し、十分な走行性能を有することを確認した。また、燃費、積載性及び運転容易性を含めた商品価値についても確認した。

25型フォワードでは、安全性能についてもさらなる向上を図った。交差点右左折時の対向歩行者との衝突被害軽減を支援するプリクラッシュブレーキ(右左折時)、左折時の自転車との衝突被害軽減を支援する左折巻き込みブレーキ、車線変更時の事故抑制に貢献する側方衝突抑制機能等を新たに設定し、交通事故の低減及び事故時の被害軽減に向けて先進安全装備を拡充した(**表2**)。

表2　主な先進安全装置の拡充

プリクラッシュブレーキ(右左折時)	交差点右左折時の対向歩行者との衝突被害軽減を支援
左折巻き込みブレーキ	左折時の自転車との衝突被害軽減を支援
側方衝突抑制機能	車線変更時の事故抑制に貢献

おわりに

25型フォワードでは、法規対応、安全装備及び特装車ラインアップの充実を図るとともに、フォワードの主要な低馬力車型に4JZ1エンジン及び9速AMT「ISIM」を採用した。

パワートレインのダウンサイジングによって軽量化及び燃費向上を図る一方、出力・トルク低下という課題に対しては、9速AMT「ISIM」の多段化及び最終減速比の最適化により、このクラスに求められる走行性能と運転容易性を両立した。また、車両全体を最適化することで、積載性及び架装性も向上した。

開発に当たっては、I-MACSの考え方のもと、エルフで培ったコンポーネント及び技術を活用する一方、フォワード固有となる搭載構造や駆動系について成立性を確認し、関係部門がそれぞれの知見を持ち寄りながら一台の商品として仕上げた。

今後も、いすゞが培ってきた技術やコンポーネントを最適に組み合わせ、安全性・経済性・使いやすさを更に高めることで、多様化する顧客ニーズに応える商品をタイムリーに提供していく。

新製品紹介

25型フォワードの4HK1エンジン開発について

4HK1 Engine Development for 2025 Model FORWARD

鱒渕　俊児*　Shunji Masubuchi
澤内　友太*　Yuuta Sawauchi
阿南　良太*　Ryouta Anami
正田　敦志**　Atsushi Shouda
西村　裕大***　Yasuhiro Nishimura
船津　友規***　Tomonori Funatsu
木下　大輔***　Daisuke Kinoshita
鈴木　啓一****　Hirokazu Suzuki
葛西　歩****　Ayumi Kasai

要　旨

25型フォワードに搭載する4HK1エンジンは、従前エンジンの信頼性を継承しつつ、法規への適合並びに動力性能、燃費性能、排出ガス性能、騒音性能及び整備性の向上を目的として開発した。本開発では、過給仕様、燃焼仕様、排出ガス後処理システム及び制御仕様を最適化し、実用域でのトルク向上と最高出力発生回転速度の低速化を実現した。更に、部品構成の合理化及びレイアウト改良により、軽量化と整備性向上を図った。本稿では、その開発概要及び採用技術について紹介する。

Abstract

The 4HK1 engine installed in 2025 Model FORWARD was developed to ensure regulatory compliance and improve driving performance, fuel economy, emissions performance, noise performance, and serviceability while maintaining the reliability of the previous engine. In this development, the turbocharging system, combustion system, exhaust aftertreatment system, and control strategies were optimized. As a result, torque in the frequently used operating range was increased, and the engine speed at maximum power was reduced. In addition, weight reduction and improved serviceability were achieved by rationalizing the component configuration and optimizing the layout. This article presents an overview of the development and the key technologies applied.

1　はじめに

近年、商用車を取り巻く環境は大きく変化している。排出ガス、燃費、騒音に関する法規制の強化に加え、サイバーセキュリティ、ソフトウェアアップデート及び燃料消費量モニタリングなど、パワートレインに対する要求は年々高度化している。また、中型トラックでは、信頼性、耐久性及び経済性に加え、実用域で扱いやすい動力性能と整備性向上も重要な商品要件となっている。

25型フォワードに搭載する4HK1エンジンは、市場で高い評価を得てきた従前エンジンをベースに、これらの要求に対応するため、エンジン本体、過給システム、排出ガス後処理システム及び制御システムを最適化した。特に、低速域からのトルク向上、最高出力発生回転速度の低速化、燃費性能の向上、排出ガス性能の安定化及び騒音性能の向上を重点項目として開発を進めた。

本稿では、25型フォワード用4HK1エンジンの開発の狙い、エンジン概要及び主要技術について紹介する。

2　エンジン概要

25型フォワード用4HK1エンジンは、177kW仕様及び154kW仕様を設定した。基本骨格は従前エンジンを踏襲しつつ、燃焼仕様、過給仕様、排出ガス後処理システム及び制御仕様を最適化し、法規対応と商品性向上を図った。主要諸元を**表1**に示す。

*PT商品企画・設計第三部　**エンジン装置設計部　***PT実験第一部　****PT実験第二部

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

表1　主要諸元

	4HK1-TCH	4HK1-TCS
総排気量 (L)	5.193	
内径×行程 (mm)	115 x 125	
圧縮比	17.3	
最高出力 (kW/rpm)	177 / 2,150	154 / 2,000
最大トルク (Nm/rpm)	785 / 1,600	737 / 1,300
燃料噴射システム	コモンレール式	
過給システム	電子制御式無段 可変容量型ターボ	
後処理システム	DPD*1 + 尿素SCR*2	

*1 DPD : Diesel Particulate Defuser
*2 選択的触媒還元 : Selective Catalytic Reduction

177kW仕様では最高出力を177kW/2,150rpm、最大トルクを785Nm/1,600rpmとし、154kW仕様では最高出力を154kW/2,000rpm、最大トルクを737Nm/1,300rpmとした。いずれの仕様においても、実用域で高いトルクを発生させることで、中型トラックとして扱いやすい動力特性を実現した。

本開発では、出力仕様によらず過給システムを単段ターボチャージャ構成とすることで、部品構成の合理化及び開発効率の向上を図った。

3　技術概要

3.1 動力性能

動力性能では、市場で使用頻度の高い低・中速域での扱いやすさ向上を目的として、トルク特性を最適化した。従前仕様では十分な動力性能を有していたものの、市街地走行、登坂路走行及び積載時の発進加速において、更なる性能向上が求められていた。

そこで本開発では、ターボチャージャ仕様、カムプロフィール及び燃料噴射制御を最適化し、低速域から高いトルクを発生する特性とした。これにより、最大トルクは177kW仕様で785Nm、154kW仕様で737Nmを達成した。また、最高出力発生回転速度を低速化することで、実用走行時のエンジン回転速度を抑制し、燃費性能及び騒音性能の向上にも寄与した。出力・トルク特性を**図1**に示す。

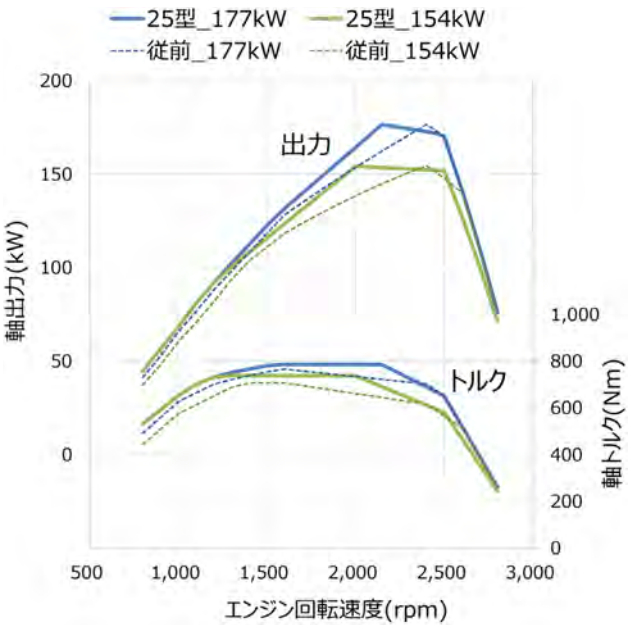
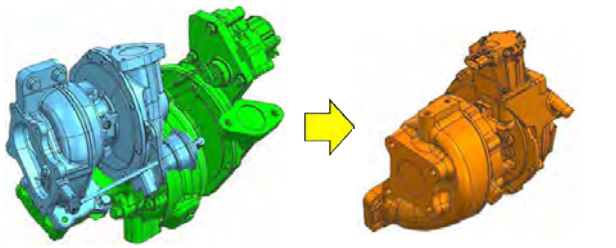


図1　出力・トルク特性

3.2 過給システム

低速トルクと燃費性能の向上を両立するため、過給システムには電子制御式無段可変容量型ターボチャージャを採用した。従前の高出力仕様では2段過給システムを採用していたが、本開発では必要な過給特性を単段ターボチャージャで確保した。これにより、出力仕様によらず過給システムを単段構成へ統一した。ターボ本体の構造変更も併せて高出力仕様では45%の軽量化を達成した。ターボチャージャの比較を**図2**に示す。



従前　2段過給ターボチャージャ　　25型　単段過給ターボチャージャ

図2　従前仕様と25型の過給システム構成比較
(高出力仕様)

従前仕様に対し、コンプレッサのトリム比及び翼車形状を最適化し、低空気流量・高圧力比領域の特性と高効率化を両立した。一方、形状最適化に伴う翼車強度の低下が懸念されたため、従前の鋳造製法に代えて、多軸加工機による削り出し加工を採用した。これにより、複雑な翼形状を実現し、性能と強度を両立した。

従前のVG(可変容量型：Variable Geometry)ノズ

ルは翼弦が直線基調の形状であったが、本開発品ではキャンバ形状を採用した。これにより、実用回転域の効率を高め、トルク及び燃費性能の向上に寄与した。コンプレッサ翼車及びVGノズルの形状を**図3**に示す。

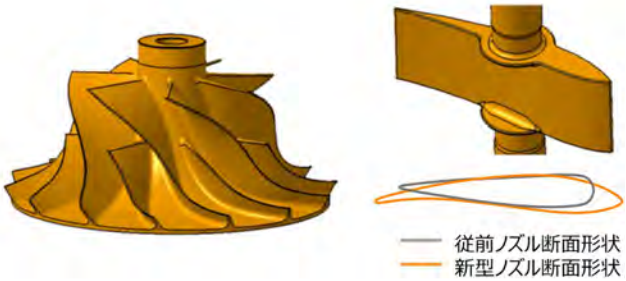


図3　25型のコンプレッサ翼車とVGノズル

3.3 燃費性能

燃費性能については、燃料費低減によるユーザの経済性向上、CO_2排出量低減による環境負荷低減及び2025年度重量車燃費基準(JH25試験法)への対応の観点から、重要な開発課題である。4HK1エンジン搭載全車型で2025年度重量車燃費基準を達成し、主要車型では、燃費基準達成率105%以上を実現した。本開発では、圧縮比及びカムプロフィールの最適化並びにターボチャージャの高効率化を行うとともに、エンジン制御と後処理制御を協調して最適化した。これにより、排出ガス性能を確保しつつ、広い運転領域で燃料消費率を低減した(**図4**)。また、低速域から高いトルクを発生させることで、実用走行時に高いギヤ段を選択しやすい特性とした。これにより、エンジン回転速度を抑制し、実用燃費の向上に寄与した。

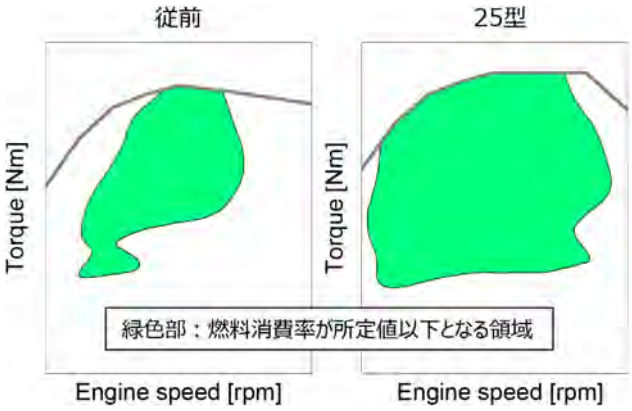


図4　従前との燃料消費率マップにおける低燃費領域の比較

3.4 排出ガス性能

排出ガス性能では、法規適合に加え、市場使用環境に対するロバスト性確保を目的として、燃焼制御、EGR(排出ガス再循環：Exhaust Gas Recirculation)制御及び後処理制御を最適化した。中型トラックは、積載量、外気温、走行環境及び運行パターンが多岐にわたるため、幅広い使用条件において排出ガス性能を安定させることが重要である。

本開発では、低温域におけるNOx浄化性能に優れる尿素SCR触媒を採用するとともに、尿素噴射制御を最適化した。また、触媒性能の向上に合わせて触媒容量を最適化し、後処理システムの軽量化を図った。これにより、排出ガス性能の確保と重量低減を両立した。

更に、EGR制御及びDPD再生制御にモデルベース制御を適用し、運転条件の変化や部品ばらつきに対する制御ロバスト性の向上を図った。詳細を次節に示す。

3.5 EGR及びDPD再生制御の最適化

排出ガス性能の安定化、DPD再生制御の最適化及び制御適合の効率化を目的として、EGR制御及びDPD再生制御にモデルベース制御を採用した。

EGR制御では、吸排気系の状態量をモデル化し、目標EGR量に対する制御精度及び応答性を向上させた。また、運転条件の変化や部品ばらつきによるEGR量の変動を抑制することで、過渡運転時を含む排出ガス性能の安定化を図った。

DPD再生制御では、DPD内のすす(Soot)堆積及び燃焼挙動をモデル化した。Sootモデルにより、DPDへのSoot堆積量及び再生中の燃焼量を推定し、再生インターバル及び再生時間を最適化した。これにより、Soot堆積量に応じた再生制御が可能となり、再生性能を維持しながら再生時間を適正化することで、再生に伴う燃費影響の抑制に寄与した。

また、DPD再生時の温度制御には、DOC(ディーゼル酸化触媒：Diesel Oxidation Catalyst)下流温度応答をモデル化したDOC簡易モデルを活用した。DOC簡易モデルでは、DOC入口温度と目標温度から再生に必要な熱量を算出し、燃料噴射量を最適化する。温度や排気流量などの物理量に基づいて制御するため、運転条件や環境条件の変化に対しても高いロバスト性を有する。これにより、従来制御と同等の再生性能を維持しながら、再生温度制御の適合工数を約30%短縮した。

3.6 騒音性能

騒音性能では、車外騒音規制R51-03 Phase3への対応に加え、市街地走行時の騒音環境改善及び長時間運転時のドライバーの負担軽減を目的として、走行時のエンジン回転速度低減と燃焼騒音の抑制を図った。中型トラックは、幹線道路、市街地及び住宅地周辺など幅広い環境で使用されるため、法規適合だけでなく、実使用時の騒音低減も重要な市場要求である。

本開発では、最高出力発生回転速度を低速化することにより、走行時のエンジン回転速度を低減した。また、燃料噴射制御を最適化し、燃焼圧力変化に起因する燃焼騒音の抑制を図った。これにより、加速走行時の車外騒音低減に加え、実用走行域での騒音性能改善に寄与した。

一方で、PCV(クランクケース強制換気：Positive Crankcase Ventilation)システムのレイアウト変更に伴い、エンジン上部の騒音カバーを廃止したため、遮音機能低下による騒音性能への影響が想定された。これに対し、ヘッドカバーのリブ形状を最適化して剛性を高めることで、振動に起因する騒音の発生を抑制した。これにより、必要な騒音性能を確保し、車外騒音規制R51-03 Phase3への対応に必要なエンジン単体騒音レベルを実現した。ヘッドカバー形状比較を**図5**に示す。

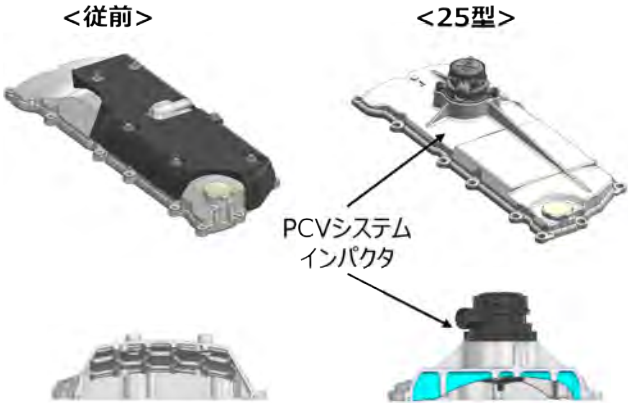


図5　従前とのヘッドカバー形状の比較

3.7 モデルベース開発を活用した仕様選定

本開発では、性能要求の高度化と開発期間短縮を両立するため、ピストン仕様及びターボチャージャ仕様の選定にモデルベース開発を活用した。

従来の実機評価を中心とした仕様選定では、要求性能の高度化に伴い、評価対象となる仕様候補及び評価工数が増加する傾向にあった。そこで、燃焼、過給、排出ガス、燃費及び動力性能を机上で予測し、実機評価に先立ち候補仕様を絞り込んだ。

ピストン仕様については、熱効率、排出ガス及び騒音性能への影響を考慮し、複数仕様を比較した。また、ターボチャージャ仕様については、低速トルク、過給応答、燃費及び排出ガス性能のバランスを考慮して選定した。

これにより、試作回数及び評価工数を抑制しながら、目標性能を満足する仕様を効率的に選定した。

3.8 軽量化

商用車用エンジンでは、燃費性能及び積載性の向上、車両搭載性の確保の観点から軽量化が重要である。特に中型トラックでは、法規対応や排出ガス性能向上に伴いシステム構成が複雑化する一方で、車両重量の増加を抑制することが求められる。

本開発では、エンジン本体、過給システム及び後処理システムを対象に、部品構成の合理化、材料変更及び形状最適化を実施した。エキゾーストマニフォールドでは、耐熱性に優れる新規材料を採用し、CAE解析により応力集中部位を抽出したうえで形状を最適化した。これにより、必要な耐久性を維持しながら2.5kgの軽量化を達成した。

更に、各部品の機能及び信頼性を確保しつつ、軽量化項目を積み上げることで、154kW仕様ではエンジン及び後処理システム全体で従前比約28kgの軽量化を実現した。これにより、燃費性能及び積載性の向上に寄与した。

3.9 市場整備性の改善

市場整備性については、開発初期段階から販売会社サービス部門と連携し、従前エンジンに対する改善要望を抽出した。その結果を踏まえ、整備頻度が高く、作業工数への影響が大きいヘッドカバー、フューエルフィルタ及びPCVシステムを対象に、レイアウトの改良及び部品構成の合理化を実施した。

ヘッドカバー脱着性については、上方に配置されたEGRクーラにより工具作業スペースが限られ、脱着時に同部品の取り外しが必要であった。本開発では、EGRクーラの冷却性能を維持しつつ2段構成から1段構成へ変更し、ヘッドカバー周辺の作業スペースを確保した。これにより、EGRクーラの取り外しを不要とし、作業工数の低減に寄与した。ヘッドカバー周辺レイアウトの比較を**図6**に示す。

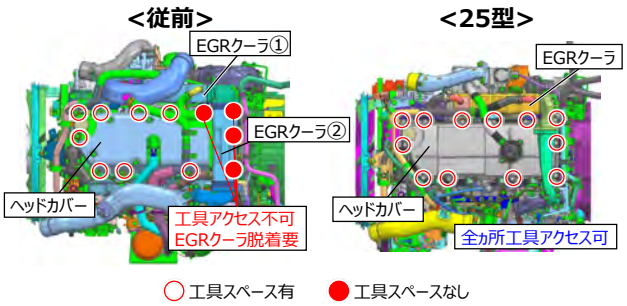


図6　従前とのヘッドカバー周辺レイアウトの比較

フューエルフィルタについては、下部の作業スペースが限られ、脱着作業に時間を要していた。本開発では、脱着方向及び周辺部品の配置を最適化し、必要な作業スペースを確保した。定期整備時の作業性を改善し、市場での整備負担低減に寄与した。フューエルフィルタ周辺レイアウトの比較を**図7**に示す。



図7　従前とのフューエルフィルタ周辺レイアウトの比較

PCVシステムについては、従前の外置きフィルタ方式から、ヘッドカバー搭載インパクタ方式へ変更した。PCV機能をヘッドカバーに集約することで、外置きフィルタ及び接続ホース類を不要とし、構成部品を22点削減した。また、インパクタ方式の採用によりフィルタ交換を不要とし、PCVシステムのメンテナンスフリー化を実現した。これにより、ユーザのメンテナンス負担の大幅な低減に寄与した。PCVシステム構成の比較を**図8**に示す。

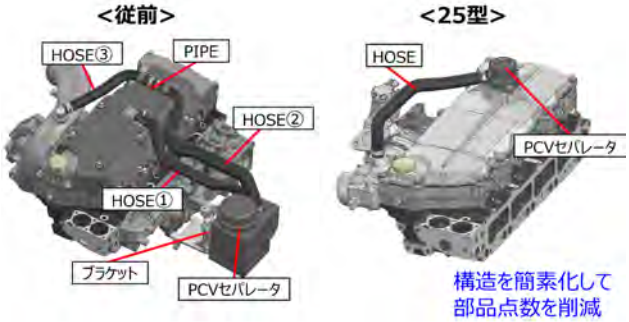


図8　従前とのPCVシステム構成の比較

4　おわりに

本稿では、25型フォワード用4HK1エンジンの開発概要について紹介した。

25型フォワード用4HK1エンジンでは、2010年以来15年ぶりとなるエンジンハードウェア及び制御システムの大幅な刷新を実施した。本開発では、従前エンジンで培った信頼性を継承しながら、法規対応に加え、動力性能、燃費性能、排出ガス性能、及び騒音性能の向上を図るとともに、軽量化及び市場整備性の改善を実施した。

本エンジンでは、環境性能、走行性能及び使いやすさを総合的に高め、商用車に求められる実用性能と商品力の向上を図った。本開発の成果が、これまで以上にお客様の「運ぶ」に貢献することを期待する。

排出ガス性能及び燃費性能に対する要求は、今後も一層高まることが予想される。これらの要求に応えるため、市場から得られる情報を製品開発へ反映し、次世代エンジンの更なる商品力向上に向けた技術開発を継続していく。

最後に、本開発の推進に当たり、多大なるご支援、ご協力を賜った社内外の関係者各位に深く感謝の意を表する。

新製品紹介

26型エルガ・エルガミオの開発について

Development of 2026 Model ERGA and ERGAmio

竹内　宏一郎*　　福井　憲司*
Kouichirou Takeuchi　　Kenji Fukui

要　旨

近年の公共交通においては、環境負荷低減、交通事故削減、運転士不足への対応が求められている。26型エルガ・エルガミオでは、法規対応のみならず、これらの社会要請に応えるべく、2015年のフルモデルチェンジ以降最大規模となる商品改良を実施した。本稿では、26型エルガ・エルガミオの開発概要について紹介する。

Abstract

In recent years, public transportation has faced increasing demands for reducing environmental impact, preventing traffic accidents, and addressing the shortage of bus drivers. In addition to complying with the latest regulations, 2026 Model ERGA and ERGAmio underwent the largest product enhancement since their full model change in 2015 to address these social demands. This paper presents an overview of the development of 2026 Model ERGA and ERGAmio.

1　はじめに

2050年カーボンニュートラル社会の実現に向けて、商用車の電動化が進展している。一方で、路線バス市場においては、当面の間ディーゼル車が主力であり続けることが想定される。そのため、環境負荷低減を実現するためには、将来の電動化技術の開発だけでなく、ディーゼル車の燃費性能向上やCO_2排出量低減を継続的に推進することが重要である。また、安全に対する社会的要請は年々高まっており、交通事故による被害の低減は商用車メーカに課せられた重要な使命である。加えて、近年は運転士不足による減便や路線廃止が地方のみならず都市部でも発生しており、公共交通を維持するうえで大きな課題となっている。

このような社会背景のもと、路線バス市場を長年牽引してきたマーケットリーダーとして、公共交通の持続的発展に貢献することを目指して本商品を開発した。

2　開発の狙い

26型エルガ・エルガミオでは、環境性能の向上、安全性の向上、及び運転士不足への対応を開発コンセプトとした(**図1**)。

環境面では、エンジンの改良により燃費性能を向上させ、CO_2排出量低減を図った。安全面では、先進安全装置の採用により交通事故の未然防止及び被害軽減を目指した。運転士不足への対応としては、運転負荷の軽減や誰もが扱いやすい車両づくりを通して、幅広い人材確保に貢献する商品とした。加えて、運転士の裾野拡大を目的とした2027年施行予定のAT大型第二種免許制度に対応するため、ATの教習車仕様を新たに設定した。



図1　26型エルガ・エルガミオ開発コンセプト

*バス商品企画・設計部

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

3　開発概要

3.1 環境性能

JH25重量車燃費基準(2025年度重量車燃費基準)への対応として、4HK1エンジンの改良を行った。次世代高効率ターボの採用、ピストンの変更、そのほか吸排気系、燃料噴射系、EGR(排気ガス再循環：Exhaust Gas Recirculation)システム等の見直しを実施した。これらの改良により、エルガ・エルガミオ全カテゴリにおけるJH25重量車燃費基準達成を実現するとともに、CO_2排出量低減によりカーボンニュートラル実現へ貢献する商品とした(**表1**)。

表1　燃費値・CO_2排出量の従前車との比較

車名	カテゴリ	JH25重量車燃費値(km / L) 赤字：基準未達 緑字：基準達成			1 km走行におけるCO_2排出量(g / km)		1年あたりのCO_2排出削減量(kg / 年) ※1年5万 km走行の場合
		基準値	従前車	26型	従前車	26型	従前車 ⇒ 26型
エルガミオ	BR3	5.80	5.61	5.80	461	446	750
エルガ	BR4	5.27	5.35	5.35	483	483	0
	BR5	4.52	4.81	4.84	538	534	200

3.2 安全性

交通事故の未然防止及び被害軽減を図るため、車両前面3箇所にレーダを搭載し、フロントブラインドスポットモニター及び交差点警報機能を追加した(**図2**、**図3**)。レーダ搭載に伴いフロント周辺の意匠を見直したが、従前車のデザインアイデンティティを継承することで、路線バスとしての高い認知性と先進性を両立した。



図2　レーダ搭載位置

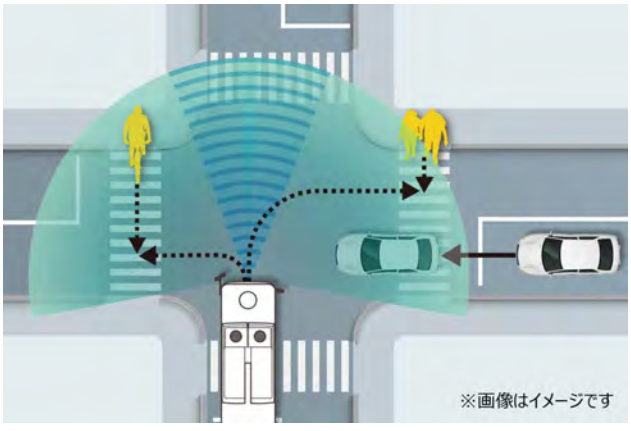


図3　交差点警報

フロントブラインドスポットモニターはエルガEVで実績のあるシステムを展開したものである。ミリ波レーダによって車両前方の歩行者・自転車を検知し、メータディスプレイやシートバイブレータによりドライバーへ警告を行う。

一方、交差点警報は本車両で新たに採用した機能である。交差点での右左折時の歩行者・自転車との接触事故防止、及び見通しの悪い交差点における出会い頭の衝突事故防止を目的としている。衝突の危険性が高まると、メータディスプレイ、シートバイブレータでの警告に加えて、左右のAピラーに配置した警告灯を点滅させることで、ドライバーの危険認知を支援する(**図4**)。

なお、路線バスは立席乗客もいることから、ドライバーの意図しない自動制動は車内転倒事故を誘発するおそれがある。そのため、これらのシステムはドライバーへの注意喚起を基本とし、自動制動は行わない制御としている。

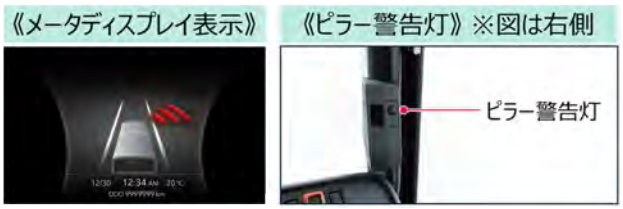


図4　メータ表示とピラー警告灯

ブレーキにおいては、EPB(電動パーキングブレーキ：Electronic Parking Brake)を採用し、キーオフ時の自動作動機能を備えた。これにより駐車ブレーキのかけ忘れによる逸走事故防止を図った。更に、EDSS(ドライバー異常時対応システム：Emergency

Driving Stop System)による車両停止時に自動で駐車ブレーキを作動させる制御を追加することで、坂路等で車両が停止した際の安全性を向上させた。

また、タイヤ脱着作業後の点検不備等による車輪脱落事故の撲滅を目指し、エルガにはLWAS(車輪脱落予兆検知システム：Loose Wheel Alarm System)を採用した。後軸に追加した車輪速センサによりホイールナットの緩みに起因する回転むらを検知し、車輪脱落に至る前にドライバーへ警報を行う。

3.3 運転士不足への対応

近年の運転士不足への対応として、運転負荷の軽減及び運転環境の改善を目指した。

パワートレインについては、4HK1エンジンの改良により低回転域のトルクを向上させ、市街地走行や発進時における扱いやすさを向上させた(**図5**)。

運転席周りについては、7インチカラーメータディスプレイを備えた新型メータ、小径ステアリングホイール、及びステアリングスイッチを採用し、視認性及び操作性を向上させた(**図6**)。更に、発進時にアクセルペダルの踏み込みに連動してパーキングブレーキが解除されるオートリリース機能も追加し、EPB操作の手間を減らした。これらの改良により、運転負荷の大幅な軽減を図っている。

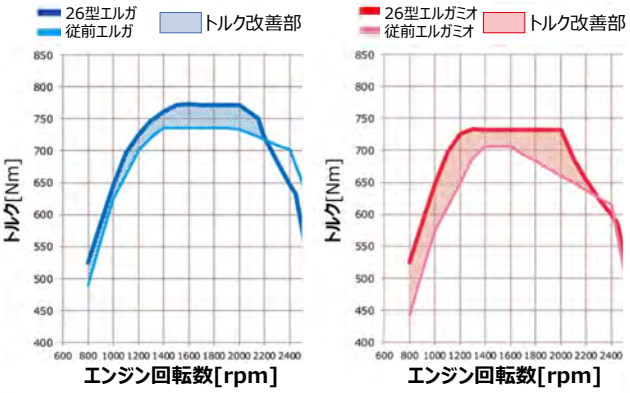


図5　エルガ・エルガミオのトルクカーブ

《従前車のメータ》



《26型のメータ》



図6　従前車と26型のメータ比較

また空調については、クーラユニットの刷新により外気導入機能が加わるとともに、きめ細やかな風量調整が可能となった。これにより、運転士の空調操作の頻度を低減するとともに、車内の快適性向上を実現した(**表2**)。

表2　クーラ操作パネル

	従前車	26型
オート操作	4段(Lo、M2、M3、Hi)	16段
マニュアル操作	2段(弱 (Lo)、強 (Hi)のみ)	8段
操作パネル		

4　おわりに

26型エルガ・エルガミオでは、環境負荷の低減、交通事故の削減、運転士不足といった社会課題の解決に貢献することを目指して、大規模な商品改良を実施した。

開発に当たっては多くの困難があったものの、さまざまな関係者の尽力により、事業者、乗客、運転士をはじめとするバスに関わる全ての人々に対して価値のある商品へと進化させることができた。時代とともに変化する社会課題の解決を目指して、今後も商品開発を推進していく。

最後に、本開発にあたりご協力いただいた全ての皆様に深く感謝申し上げ、本稿の結びとする。

新製品紹介

26型エルガFCVの開発概要について

Overview of the Development of 2026 Model ERGA FCV

月縄　雅宏*　　白石　卓也*
Masahiro Tsukinawa　Takuya Shiraishi

要　旨

エルガFCVは、国及び社会からの「水素社会実現」に向けた要求に応えるため、トヨタ自動車株式会社と共同開発した大型路線燃料電池バスである。本車両はエルガEVをベースとし、フルフラットなノンステップフロア、インアクスルモータ及び高い耐久性を継承しながら、新たに燃料電池システムを搭載した。これにより、エルガEVと比較して燃料充填時間を大幅に短縮するとともに、航続可能距離を伸長している。本稿では、「エルガFCV」の開発の狙いについて、その概要を紹介する。

Abstract

ERGA FCV is a large fuel-cell transit bus jointly developed with Toyota Motor Corporation to meet national and societal demands for the realization of a hydrogen society. Based on ERGA EV, the vehicle retains key features such as a fully flat, low-floor layout, in-axle motors, and high durability, while newly incorporating a fuel cell system. Compared with ERGA EV, it significantly reduces refueling time and extends driving range. This article provides an overview of the development objectives of ERGA FCV.

1　はじめに

日本政府は「2050年カーボンニュートラル(Carbon Neutral：以下、CN)に伴うグリーン成長戦略」を掲げており、脱炭素への取り組みはバス事業者にも求められている。これに伴い、国産の大型路線FC(燃料電池:Fuel Cell)バスへの期待も高まっている。

いすゞとしても、CN社会の実現に貢献するため、2030年までの新事業への挑戦として、CNソリューションへ更に注力することを掲げている。また、さまざまなパートナーとの協業を通じて新たな選択肢を提案し、マルチパスウェイ、すなわち全方位でのCN化を進めていく。

エルガFCV(Fuel Cell Vehicle)は、エルガEV(Electric Vehicle)で環境性能及び安全性を考慮して開発したフルフラットなノンステップフロアやインアクスルモータを生かしつつ、エルガEVと比較して燃料充填時間を大幅に短縮し、航続可能距離も伸長している。このように、BEV(Battery Electric Vehicle)及びFCVの特性を生かした路線バスである。

一方、水素社会の実現に向けてエルガFCVを市場投入するに当たっては、依然として課題がある。水素エネルギーを社会に定着させていくためには、技術、コスト、制度及びインフラなど、多くの面で取り組むべき課題があるのも現実である。

大きな課題としては、大型車が利用できる水素ステーションの拡充や、燃料代となる水素価格の低減などが考えられる。車両メーカとして貢献できる課題としては、FCシステムなどの更なるコスト低減がある。

エルガFCVの開発においては、いすゞが長年の開発で培ってきた路線バスの開発力と、トヨタ自動車株式会社(以下、トヨタ自動車)のFCシステムを組み合わせ、コスト低減を意識した路線バスの開発を行った。

2　開発の狙い

エルガFCVでは、公共交通機関として求められるCNへの対応に加え、エルガEVで培った環境性能及び安全性を生かしながら、高電圧バッテリを併用した新たなFCシステムを搭載する車両の開発を狙いとした。

*バス商品企画・設計部

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

2.1 動力性能

エルガFCVは、エルガEVに対して最大出力は低いものの、連続出力は同等としている(**表1**)。動力性能については、市場実績のあるエルガEVと同等の加速性及び最高車速を狙い開発した。

登坂性能はやや劣るが、市街地及び郊外での走行性能はBEV路線バスと同等である(**図1**)。

表1　最大・連続出力比較表

	エルガEV	エルガFCV
最　大	250 kW	220 kW
連　続	156 kW	155 kW

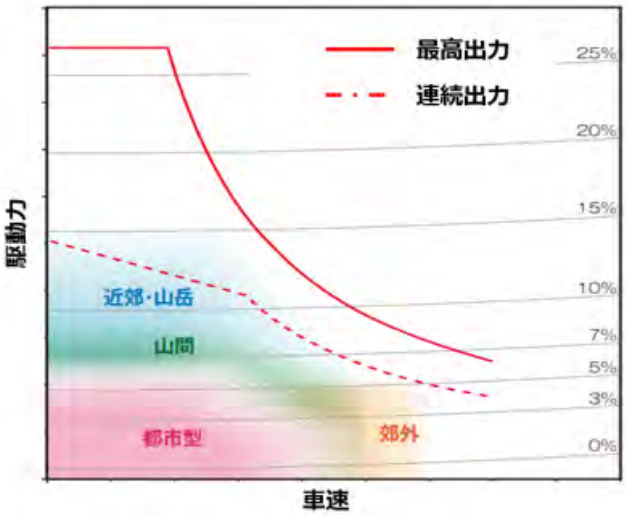


図1　走行性能曲線

2.2 バッテリ容量と航続距離

高電圧バッテリは、先行して量産を開始しているエルガEVのものを共通化することで、信頼性及び市場サービス性を確保した。

FCスタック寿命及びTCO(Total Cost of Ownership)の向上を狙い、国内路線における1日の走行距離を満足する適切な高電圧バッテリ搭載数を決定した。また、電費改善に寄与する回生協調ブレーキを採用し、車両に必要な動力性能、回生性能及び航続距離を確保した。

更に、FCスタック及び高電圧バッテリの劣化を抑制するエネルギーマネジメント制御を採用することにより、エルガEVに対して航続距離を伸長した。

2.3 燃料充填時間

路線バスなどの大型商用車では、運行ダイヤへの影響を抑えるため、短時間で必要量の水素を充填できることが重要である。レセプタクル充填口及び水素充填系には、大流量充填時の流量、温度上昇、圧力変化及び安全性を考慮した設計が求められる。これらの高速充填技術により、エルガFCVは、エルガEVに比べて短いエネルギー補給時間を生かした運用が期待できる。

3　商品概要

3.1 主要諸元

エルガEVをベースに車両の共通化を図り、車型はエルガEVと同様に全長10.5m仕様を展開した。FCシステムにはトヨタ自動車製FCモジュールを採用し、FCスタック及び水素タンクなどの主要機器をルーフ上に搭載した。いすゞとトヨタ自動車間のエネルギーマネジメント制御は、CAN(Controller Area Network)コンバータを介したCAN通信により実現している。駆動モータにはエルガEVと共通のインアクスルモータを採用するとともに、リチウムイオンバッテリ4個をリヤオーバハング部に搭載し、FCスタックで発電した電力の蓄電及び回生エネルギーの回収を行う構成とした。エルガEVで実績のある電動駆動システムを活用することで、信頼性の確保及び部品共通化を図るとともに、一充填当たりの航続距離をエルガEV比で伸長した。

3.2 車両レイアウト

車両レイアウトはエルガEVをベースとし、ドロップ式インアクスルモータユニット、駆動用バッテリ及び電動駆動システムを共通化した。これにより、ノンステップ・フルフラット構造による客室空間を維持した。FCシステムにはトヨタ自動車製FCモジュールを採用し、エルガEVでルーフ上に搭載していた駆動用バッテリの搭載位置に配置した。ルーフ上は前方にFCユニット、後方に水素タンク3本を搭載する構成とし、重量配分を考慮し、ノンステップエリアを確保しながらフルフラット構造を実現した。水素充填口は、水素充填インフラにおける左側充填への対応及び方向幕とのレイアウト成立性を考慮し、車両左側第2柱に配置した(**図2**)。

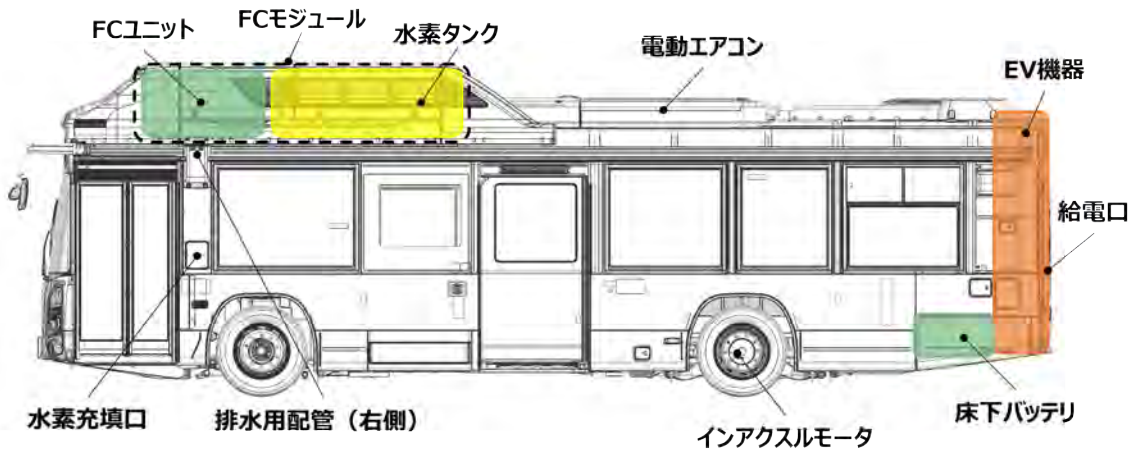


図2　車両レイアウト

FCシステムの搭載に伴い、車両レイアウトに設計上の課題が生じた。レイアウト成立に向けた主な設計検討項目は次の3項目である。

3.2.1 水素充填口および配管レイアウト

水素充填口は車両左側第2柱に配置したが、限られた搭載スペースでレイアウトを成立させる必要があった。このため、左側フェンダカバー及びブラケットを含む周辺構造を見直し、充填口の搭載スペースを確保した。また、屋根上に搭載した水素タンクへ接続する水素配管は、車両外側のルーフ部に専用配管カバーを新設して配索した。専用配管カバーは、車幅制限を満足しながら必要な配管スペースを確保できるよう突出量を最適化し、水素充填系レイアウトを成立させた。水素充填系レイアウトを**図3**に示す。

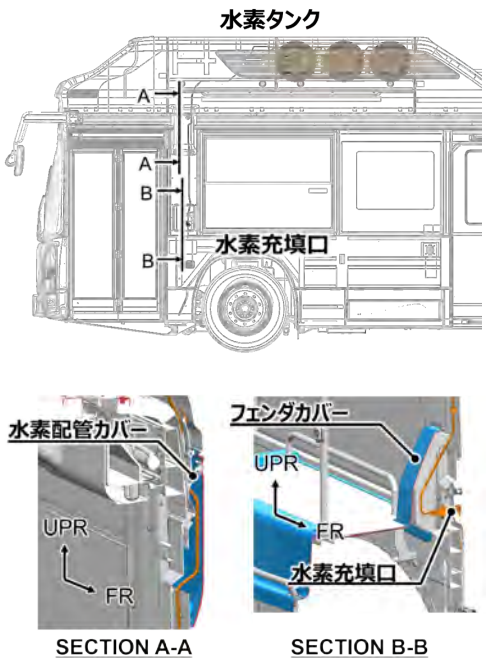


図3　水素充填口および配管レイアウト

3.2.2 FCユニットの生成水排水経路

エルガFCVでは、FCユニットの生成水排水経路を設計した。排水は車両右側の第2柱内部を経由する構成としたが、第2柱内部には空調ダクト上部を車両前後方向に敷設した低電圧ハーネス群が配置されており、限られたスペースで排水経路を確保する必要があった。そこで、低電圧ハーネス群との干渉を回避しながら排水用配管を配置するとともに、排出口を前輪への排水付着を防止できる車両中心側に設定した。これにより、既存艤装との両立を図りつつ、排水経路及び確実な排水性能を確保した。生成水排水経路を**図4**に示す。

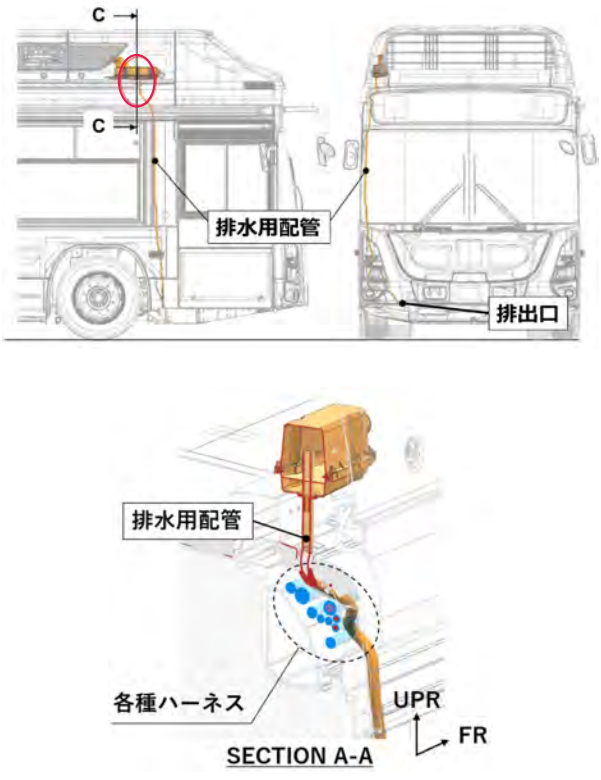


図4　FCユニットの生成水排水経路

3.2.3 ルーフ前端部導風レイアウト

FCユニット前方には、FCスタックなどFCシステムの冷却に用いるラジエータを3基搭載した。ラジエータへ必要な冷却風量を確保するため、ルーフカバー前端部に冷却風導入用の開口を新設するとともに、導風経路を考慮したレイアウトとした。これにより、ラジエータへの走行風を効率的に導入し、FCシステムに必要な冷却性能を確保した。また、限られたルーフ搭載スペースにおいて、冷却性能と搭載レイアウトを両立した。FCユニット前方のレイアウトを**図5**に示す。

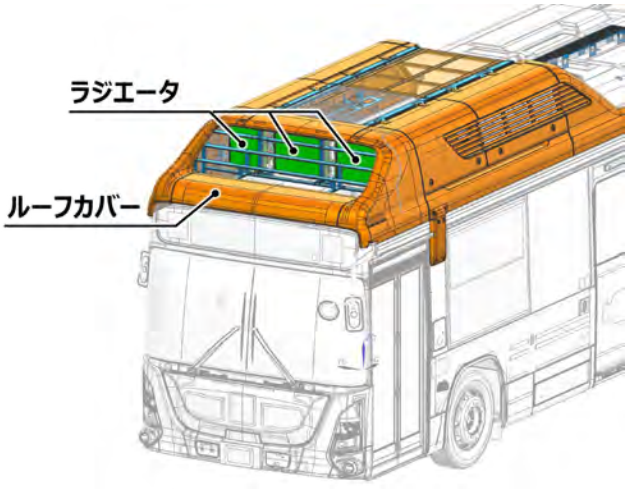


図5　ルーフ前端部導風レイアウト

3.3 運転操作性

メータはエルガEVをベースとし、FCシステム及び水素システムに対応した表示・警報機能を追加した。メータパネルにはFC排水処理中表示、水素検知器異常警報及び水素漏れ警報のインジケータを追加するとともに、SOC(State of Charge)表示を水素レベル計に変更し、水素残量を容易に把握できる表示とした。また、MID(Multi-Information Display)には、水素検知警報、水素充填口開き警報、水素残量低下警報、FC始動待ち状態表示及びFC凍結警報など、FCV特有の運転支援及び故障診断に関する表示を追加するとともに、走行可能距離表示をFCVに対応した表示内容とした。これにより、水素システムの状態を適切にドライバーへ伝達し、安全性及び運用性の向上を図った。メータ表示を**図6**に示す。

シフトスイッチ及び電動パーキングブレーキスイッチはエルガEVと同一仕様とし、運転負荷軽減及び安全性を維持した。

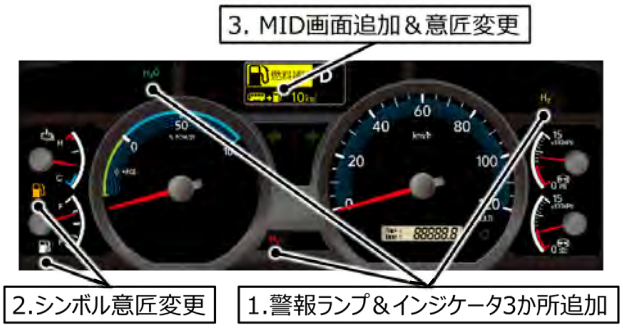


図6　FCシステム対応メータ

4　おわりに

本稿では、エルガFCVの製品概要について、その特徴を紹介した。個々の装置及び仕様の詳細については別稿で述べているので、参照されたい。エルガFCVの開発に当たっては、エルガEVとの車両共通化を図りながら、トヨタ自動車製FCモジュールの搭載、エネルギーマネジメント制御及び車両レイアウトの最適化などの技術課題に取り組んだ。これらの課題に対し、社内関係部門及びトヨタ自動車と連携して開発を進めることで、市場投入を実現した。最後に、本プロジェクトに携わった全ての関係者に深く感謝の意を表する。

新製品紹介

26型エルガFCVのFCシステムについて

FC System of 2026 Model ERGA FCV

永野　大樹*　Taiki Nagano
松木　俊也*　Toshiya Matsuki
石田　椋*　Ryou Ishida
髙橋　佑馬*　Yuuma Takahashi
松崎　智美**　Tomomi Matsuzaki

要　旨

エルガFCVは、エルガEVをベースに水素を燃料として発電するFCシステムを搭載し、運転時CO_2排出ゼロを実現しつつ、航続距離の確保とエネルギーの短時間補給を両立した。本稿では、これらの実現に必要なFCシステムの構成及び車両適合に向けて開発した主要な制御技術について紹介する。

Abstract

The ERGA FCV is based on the ERGA EV and is equipped with a fuel cell system that generates electricity using hydrogen as its fuel. This configuration achieves zero CO_2 emissions during operation while ensuring both sufficient driving range and short energy replenishment time. This paper presents the FC system configuration required to realize these characteristics, as well as the key control technologies developed for vehicle integration.

1　はじめに

エルガFCV(燃料電池車：Fuel Cell Vehicle)は、エルガEV(電気自動車：Electric Vehicle)をベースに、トヨタ自動車株式会社が開発したFC(燃料電池：Fuel Cell)システムを搭載した車両である。これにより、エルガEVと比べ、航続距離を伸ばし、エネルギー補給時間を短縮している。また、FCシステムをルーフ上に配置することで、エルガEVで実現したフルフラットなノンステップフロアを継承している。

本開発において、FCシステムをEVシステムと協調させるための制御開発に取り組んだ。FCVでは、FCシステムの発電電力、駆動用バッテリの充放電電力を車両状態に応じて適切に制御する必要がある。特に路線バスの発進・停止を繰り返す運行条件及び空調などの補機消費変動を考慮しつつ、FCシステムとバッテリの耐久性、動力性能、航続可能距離を成立させたエネルギーマネジメントが重要となる。

本稿では、エルガFCVのFCシステム構成を示すとともに、量産FCVバスとして成立させるために開発したFCシステムの制御について紹介する。

2　FCシステム概略

エルガFCVは、FCユニット、水素タンク、冷却・吸排気システムを一体化したFCシステムをルーフ上に搭載している。車両レイアウトを**図1**、**図2**に、FCシステムの主要諸元を**表1**に示す。

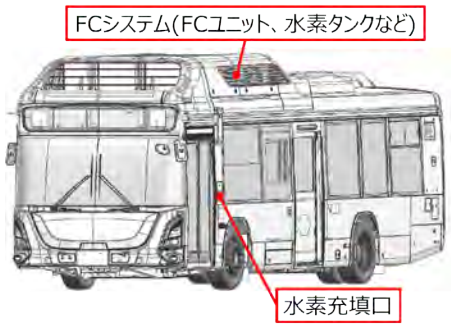


図1　前方斜視車両レイアウト

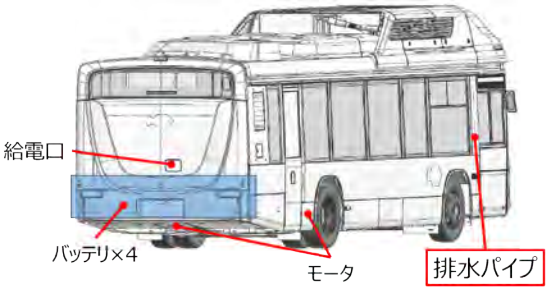


図2　後方斜視車両レイアウト

*CN技術統括部　　**UDトラックス(株)

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

表1　FCシステム主要諸元

項目	諸元
システム構成	FCユニット 1基、水素タンク 3本
FCスタック	トヨタFCスタック(固体高分子型)
FCスタック最高出力	113 kW
水素タンク圧力	70 MPa (公称使用圧力)
タンク容積	471 L

FCシステムは、FCスタック、エアコンプレッサ、インジェクタ、ウォータポンプ、イオン交換器などを含むFCユニットと、水素タンク、冷却・吸排気システム、及び各ECU(電子制御ユニット：Electronic Control Unit)類などから構成される。FCシステムは、水素タンクから供給される水素と大気から取り込んだ酸素により発電する。発電時に生じる生成水は排水パイプから排出される。FCシステムのレイアウトを**図3**に示す。

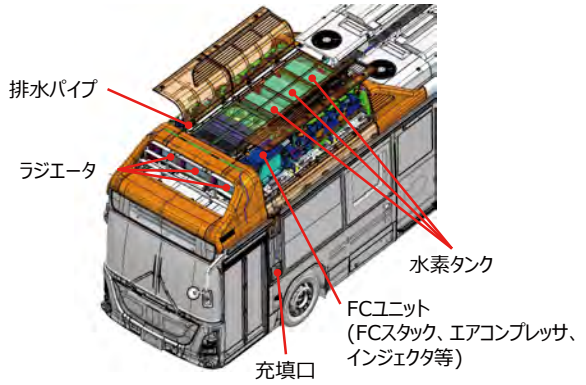


図3　FCシステム内レイアウト

冷却系は車両前面のラジエータで冷却水を放熱することにより、FCスタック及び周辺機器の温度を管理する。

電力系では、FCシステムから出力される高電圧電力を、駆動用モータ及び昇圧DC/DCコンバータへ供給する構成とした。高電圧回路概略図を**図4**に示す。

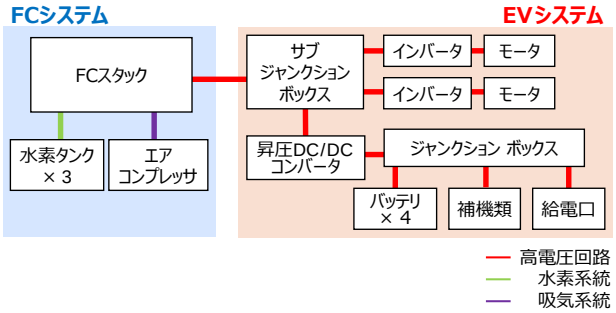


図4　高電圧回路概略図

VCU(車両制御ユニット：Vehicle Control Unit)は、バッテリSOC(充電率：State of Charge)、モータ出力及び補機消費電力などの車両状態をCAN(車載ネットワーク：Controller Area Network)通信によりHV-ECU(ハイブリッド車両制御ユニット：Hybrid Vehicle Electronic Control Unit)へ送信し、HV-ECUではFC発電電力を決定するとともに、エアコンプレッサの制御を行う。その後、FC-ECU(燃料電池制御ユニット：Fuel Cell Electronic Control Unit)がインジェクタを制御し発電を行う。また、VCUではEVシステムで用いていた制御ロジックにFCシステムの起動・終了シーケンスや故障時処理を適合させ、FCシステムの管理を行っている。FCシステムとの通信概要図を**図5**に示す。

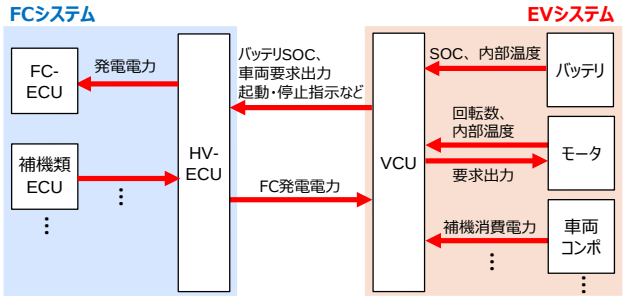


図5　FCシステムとの通信概要図

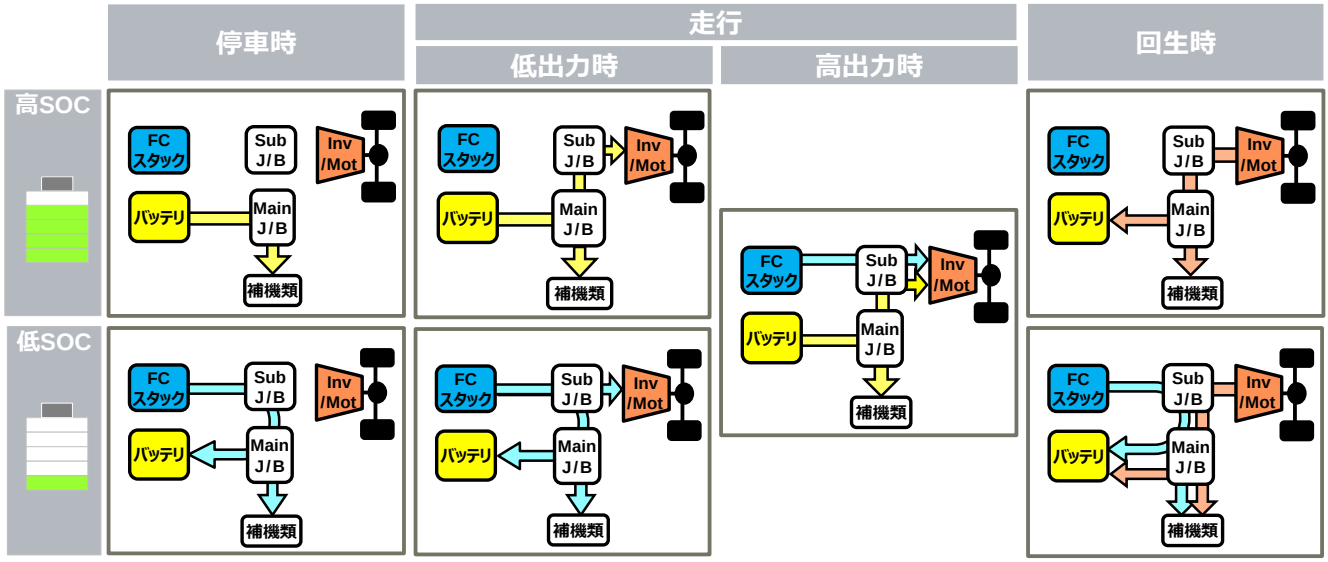
3　FCシステム制御

下記4つのFCシステム制御の開発を行った。

- FCスタック及びバッテリの耐久性を考慮したエネルギーマネジメント
- FCスタック内部凍結対策(パーキングパージ)
- FC冷却水のイオン成分増加による絶縁抵抗低下対策(クリーニング制御)
- 低SOC状態を回避するためのシャットダウン前充電

3.1 エネルギーマネジメント

エルガFCVでは、FCスタックで発電した電力とバッテリの入出力電力を制御し、走行用モータ及び各種補機へ電力を供給する。車両状態及びバッテリSOCによるエネルギーマネジメントを**図6**に示す。



(略語) J/B：ジャンクションボックス、Inv/Mot：インバータ/モータ

※矢印方向は電力の流れ

図6　エネルギーマネジメント概要

車両要求出力が大きい場合には、FC発電に加えてバッテリから電力を供給し、必要な駆動力を確保する。バッテリSOCが低下した場合にはFC発電を増加させ、SOCを適正範囲へ回復させる。一方、SOCが高い場合にはFC発電を抑制し、バッテリ電力を優先的に使用することで、SOCを適正範囲に維持する。また、発電時は効率の良い範囲で運転することで航続距離を確保している。

エネルギーマネジメントでは、航続距離の確保に加え、FCスタック及びバッテリの耐久性、車速維持に必要な動力性能を考慮する必要がある。これらは背反関係にあるが、路線バスとして必要な商品性を満足させるために総合的に成立させるエネルギーマネジメントが必要である。そこでFC発電電力のパラメータを変更し、複数の走行モードでシミュレーションを繰り返し実施した。走行モードごとの検討項目を**表2**に示す。

試行を重ねながら、各走行モードの目標を満足する最適な発電マップを設定した。

表2　走行モードごとの検討項目

走行モード	車速維持	航続距離	BAT耐久性	FC耐久性
A	●	●	●	●
B	●	–	●	●
C	●	–	–	–

●：検討項目
ー：対象外

3.2 パーキングパージ(自動掃気)

FCスタックは発電時に生成水を生じるため、低温環境下ではスタック内部に残留した水分が凍結するおそれがある。スタック内部の水分が凍結した場合、起動時にFCシステムが起動できない可能性があるため、車両停止後に内部水分を除去する掃気(パージ)機能がある。

更に、車両シャットダウン後も外気温を定期的に監視し、所定条件を満たした場合に掃気(パーキングパージ)を実施する機能もFCシステムに実装されている。パーキングパージ機能は、監視時期及び判定条件を適切に設定することで、駐車中の電力消費を抑えながら低温環境でのFCシステム起動を可能にしている。パーキングパージ実施概要を**図7**に示す。

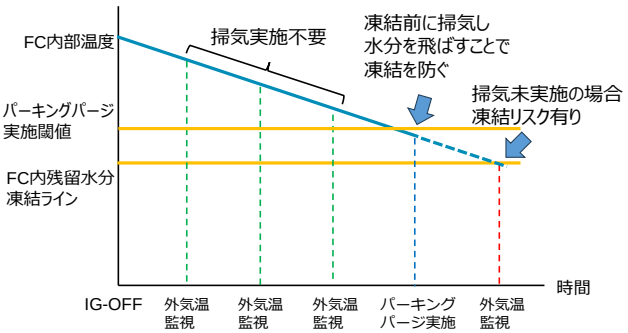


図7　パーキングパージ実施概要

3.3 クリーニング制御

クリーニング制御は、FC冷却水中のイオン成分を除去し、絶縁性能を維持することを目的とした制御である。FCシステム起動中はウォータポンプの駆動

により、冷却水がイオン交換器を含む冷却回路を循環し、冷却水中のイオン成分が継続的に除去される。

一方、長期放置時には、FC冷却水中のイオン成分が増加、絶縁抵抗が低下して車両起動できない可能性がある。そこで、車両の放置期間が所定期間を超えた場合には、ウォータポンプを駆動し、冷却水を循環させるパーキングクリーニング制御がFCシステムに実装されている。パーキングクリーニング実施概要を**図8**に示す。

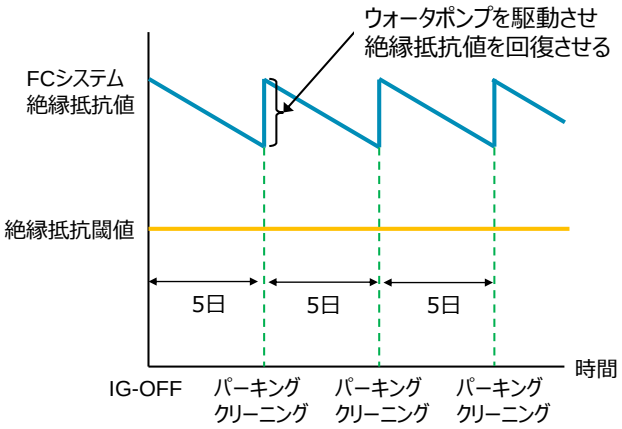


図8　パーキングクリーニング実施概要

また、補機電源の遮断などによりパーキングクリーニングが実施できなかった場合には、車両起動時にクリーニングを実施する制御を追加し、車両起動シーケンスに適合させた。これにより、定期的にFCシステムの絶縁性を維持するとともに、長期放置後も車両起動を可能にしている。

3.4 シャットダウン前充電

バッテリSOCの管理は、走行中だけでなく車両停止後にも重要である。FCシステムの起動には、エアコンプレッサ及びウォータポンプなどの補機を駆動するためにバッテリ電力が必要となる。また、車両停車中に作動するパーキングパージなどの制御においてもバッテリ電力を消費する。このため、車両起動及び起動直後に必要な動力性能を確保することを目的に、シャットダウン前にバッテリSOCが適正範囲を下回っている場合は、FCシステムで発電しSOCを回復する制御を設定した。

本制御により、車両停止時のSOC不足に起因する車両起動不可を防止し、FCV路線バスに求められる稼働信頼性を確保している。また、SOCが過度に低い状態で放置されることを防ぎ、バッテリ劣化抑制にも寄与する。シャットダウン前充電は、走行中のエネルギーマネジメントと連携し、車両停止後から次回起動までを含めてSOCを適正に管理するための制御である。

4　おわりに

本稿では、エルガFCVに搭載したFCシステムの構成と、量産FCVバスとして成立させるために開発した各種制御について紹介した。

これらの制御により、FCシステム、バッテリ及び高電圧機器を適切に保護しながら、路線バスに求められる走行性能、航続距離及び高い稼働信頼性を実現した。

FCシステムと車両システムの協調制御の実現にご協力いただいたいすゞ関係者各位、及び共同開発を行ったトヨタ自動車株式会社関係者の皆様に深く感謝の意を表する。

新製品紹介

コネクテッド技術を活用した稼働支援サービスの紹介

Introduction to Connected Uptime Support Services

堀内　諭*　東條　智一*　山下　晃弘*　工藤　大輝*
Satoshi Horiuchi　Tomokazu Toujou　Akihiro Yamashita　Daiki Kudou

要　旨

いすゞは、2004年に展開したテレマティクスサービス「みまもりくんオンラインサービス」を皮切りに、運行管理サービスや、高度純正整備「PREISM」による故障予兆検知サービスなど、商用車の安定稼働を支援する各種サービスを継続的に進化させてきた。近年では、コネクテッド技術を活用し、車両のみならず架装物や電動車両を含めた稼働支援サービスへと拡張を進めている。本稿では、故障予兆、架装コネクテッド、EVisionを中心に、最新の稼働支援サービスについて紹介する。

Abstract

Since launching the “Mimamori-kun Online Service” in 2004, ISUZU has continuously enhanced its uptime support services, including fleet management services and failure prediction functions through the advanced genuine maintenance service “PREISM.” Recently, these services have been expanded by utilizing connected technologies to support not only vehicles but also body equipment and electric vehicles. This paper introduces the latest connected uptime support services, focusing on failure prediction, connected body equipment, and EVision.

1　はじめに

近年、商用車を取り巻く環境は大きく変化している。物流需要の高度化、人手不足への対応、車両稼働率向上への要求、環境負荷低減への対応に加え、法規制や制度面においても変化が進んでいる。特に、トラックドライバーの時間外労働上限規制に伴う「物流の2024年問題」への対応や、荷待ち・荷役時間削減による物流効率化への要請が高まっている。また、脱炭素社会の実現に向けた商用車の電動化や、使用者に求められる適切な点検整備の実施などを背景として、物流事業者には安全性を確保しつつ、より効率的かつ計画的な車両運用が求められている。

いすゞでは、2022年10月に全面刷新した商用車テレマティクスサービス「MIMAMORI(みまもり)」を軸として、コネクテッド技術を活用した各種サービスの拡充を進めている。本稿では、車両故障の未然防止を支援する「故障予兆」、架装物の状態把握及び業務効率化を支援する「架装コネクテッド」、並びにEV(Electric Vehicle)の導入・運用を支援する「EVision (イービション)」について紹介する。

これらの取り組みは、いすゞが掲げるMISSION「あなたと共に『運ぶ』の課題を解決する」という考え方に基づき、車両単体の性能向上にとどまらず、顧客の事業継続性、物流効率化、脱炭素化を総合的に支援することを目的としている。

2　稼働支援サービスのシステム構成

稼働支援サービスのシステム構成を**図1**に示す。車両及び架装物から収集されるデータに加え、ユーザがパソコンやスマートフォンなどから入力する情報を活用し、商用車情報基盤「GATEX(ゲーテックス)」を中心とした各種システムを通じてサービスを提供している。

PREISM(プレイズム)やEVisionでは、車両から継続的に収集される稼働データを蓄積・分析し、故障予兆検知やEV導入効果の分析に活用している。また、EVisionの充電予約機能では、ユーザがパソコンを用いて、車両状態、充電状態の確認や、EV充電予約設定などを行うことができる。

*コネクテッドシステム開発部

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

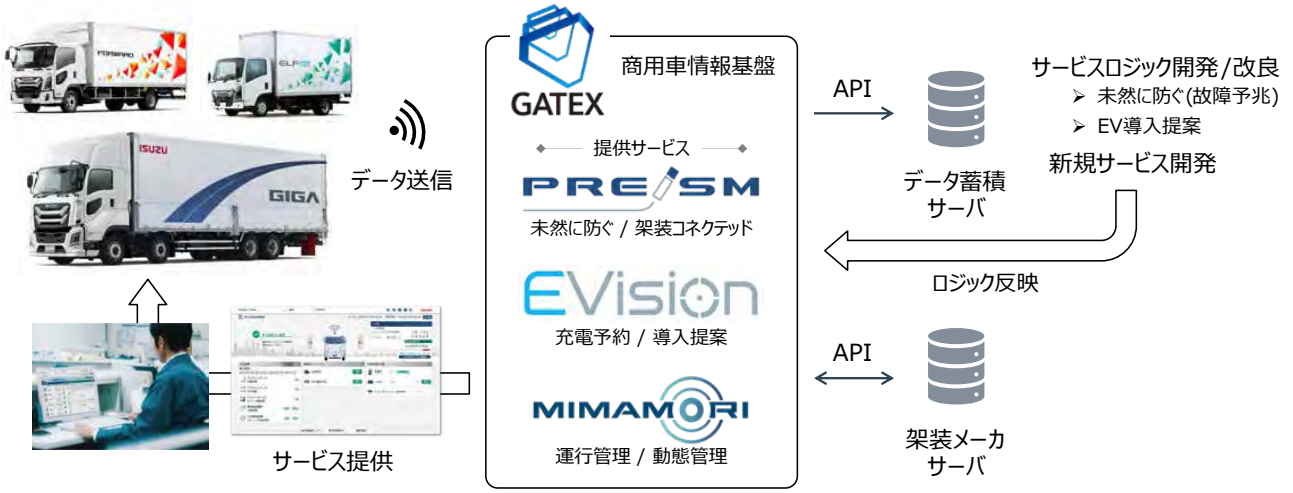


図1　稼働支援サービスのシステム構成

3　PREISM(プレイズム)

故障予兆は、コネクテッド技術を活用して車両状態を遠隔で把握し、故障に至る前段階で異常の兆候を検知するサービスである。検知した予兆情報を活用し、車検や法令点検のタイミングに点検・整備を実施することで、故障による予定外の入庫の抑制及びダウンタイム低減を図っている(**図2**)。

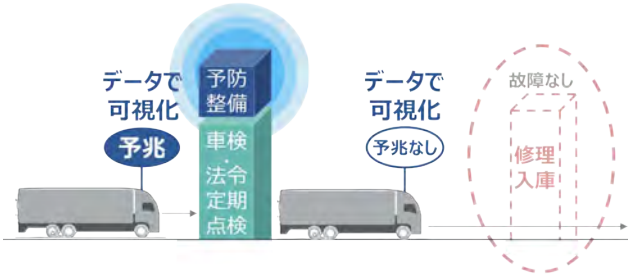


図2　PREISMの概念図

商用車では、運行中の故障が輸送遅延や休車につながり、顧客事業へ大きな影響を及ぼす。そのため、故障発生後の対応のみならず、故障前に異常の兆候を検知し、整備につなげることが重要である。

故障予兆では、車両から収集される、各種センサ値、制御値、自己診断情報、作動回数などを組み合わせることで、部品ごとの劣化兆候を把握している。

劣化兆候を把握するための予兆判定方法は、いすゞが蓄積してきた制御技術や故障メカニズムに関する知見を活用し構築している。予兆判定方法の確からしさは整備履歴と、故障前に現れるデータパターンを照合し確認している。

これにより、突発的な故障対応から計画的な予防対応へ転換することができる。すなわち故障予兆は、車両データを顧客の安定稼働という価値に変換する取り組みである。

4　架装コネクテッド

架装コネクテッドは、シャシから架装物までを含めた車両トータルでの稼働支援を目的として、架装メーカと協業で開発しているサービスである。

いすゞでは、これまでPREISMによるシャシ側での故障予兆サービスを提供してきた。一方、架装コネクテッドは、架装物の制御情報をシャシ側通信端末経由で遠隔取得する仕組みを利用している。これによりシャシのみならず架装物を含めた車両トータルでの最適なメンテナンス提案が行えるとともに、故障時の迅速対応も可能となる。

架装コネクテッドにおける基本的なシステム構成を**図3**に示す。架装ECU(Electronic Control Unit)から出力される制御情報は、架装CAN(Controller Area Network)コンバータ、データレコーダ、車両情報端末を経由してサーバへ送信される構成としている。

架装CANコンバータは、架装側信号を車両仕様に適合した形式へ変換することで、シャシ側システムにおいて架装情報を扱えるようにしている。また、クレーン、脱着装置、冷凍バン、テールゲートリフタなど、複数架装物を備えた車両構成にも対応している。これらを実現するために架装CANコンバータは、異なる架装メーカによる二つの架装ECUの接続を想定し、それぞれ独立した複数の出力系統を有している。

また、架装メーカとのデータ授受は、GATEXを介したサーバ間連携で行っている。車両から送信されたデータは、車両情報端末を利用しGATEXへ集約される。

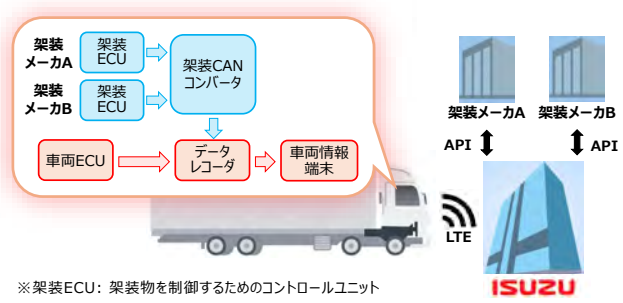


図3　架装コネクテッドのシステム構成

架装コネクテッドは、架装メーカとのデータ連携を通じて、シャシと架装物を一体で把握できる状態を可視化するサービスである。このように、業界を越えた協創による稼働支援サービスは更にお客様の利便性を高めるサービスへ進化する可能性を持っている。

5　EVision(イービジョン)

EVisionは、EVトラック導入に伴う課題解決を目的としたトータルソリューションプログラムである。導入検討段階から運用、導入後評価までを対象とし、「コンシェルジュ」「ソリューション」「レビュー」の三つのアプローチを通じて、EV導入支援を行っている。

商用EVの普及には、EV独自の運用を強いるのではなくディーゼル車両と同等の運用が行える事が重要である。そのためEVisionでは、導入前の成立性検証から導入後の充電管理方法までを一体で支援している。

次に、ディーゼル車データを活用したEV導入提案と、EV運用時の充電予約機能について紹介する。

5.1 ディーゼル車データを活用したEV導入提案

商用EVの導入を検討する顧客にとって、自社の既存運行をEVで代替できるかどうかは大きな課題である。特に商用車では、日々の確実な運行が求められるため、航続距離が不足しないか、業務時間内に充電時間を確保できるかなど、導入前に確認すべき事項が多い。

そこで、既にいすゞのディーゼル車を保有している顧客に対して、ディーゼル車から収集される稼働データから、現在の運行がEVで代替可能か否かを判断するためのEV導入ソリューションを提供している。

具体的には、走行距離、車速、エンジン回転数、アイドリング時間などの走行データに加え、空調や架装物などが実際に行っている仕事量を推定し、電力消費量に変換することで、運行ごとの電費を算出する。これにより、カタログ値や一般的な走行条件だけでは把握できない、顧客固有の運行状況に応じた電力消費量を推定することができる。

ただし、EVの導入可否は、一回の運行状況のみで判断できるものではない。同一車両においても運行状況はさまざまな違いがある。市街地走行が多いのか、高速走行が多いのか、積載量が大きいのか、アイドリングや補機使用が多いのかによって、必要な電力量は変化する。EVisionでは、こうした運行状況の違いを車両データから把握し、EV導入後の運用成立性を判断してEV導入提案を行っている。

5.2 EV運用時の充電予約機能

充電予約機能は、施設電力使用量が少ない時間帯に充電を実施することで、電力ピークを抑制し、電気料金上昇を低減することを目的としている(**図4**)。

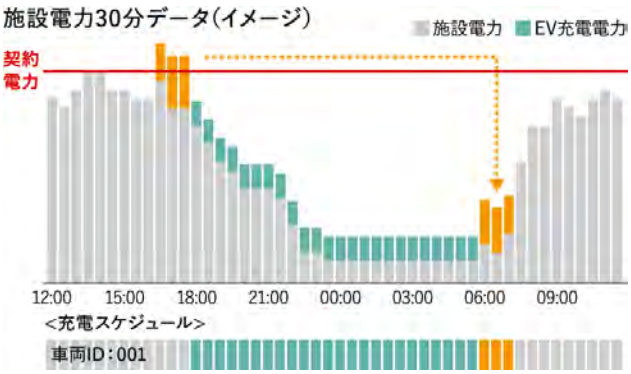


図4　充電予約のイメージ

ユーザはパソコンで充電計画を設定する。複数台のEVを保有するお客様は充電計画自動立案機能により、翌日の運行計画や車両ごとの必要充電量と施設電力を考慮した最適な充電計画を作成できる。

「GATEX」は、その充電計画に従って通信を介して充電開始・停止指示を車両に送信する(**図5**)。

これにより、施設全体の電力消費量を踏まえた充電が可能となり、電力料金の最小化に貢献する。



図5　EV充電マネジメント システム構成

6　おわりに

いすゞは、コネクテッド技術を活用した各種サービスを通じて、運送事業者及び荷主における経済合理性の確保と車両安定稼働の実現を支援している。

今後も、GATEXを中心にエネルギー事業者、倉庫事業者など、業界を超えたさまざまなパートナーとの連携を進めることで、新たな価値を創出していく。

いすゞは車両を提供する会社から、顧客と共に「運ぶ」の課題を解決する商用モビリティソリューションカンパニーへと進化し、社会課題解決に貢献していく。

参考文献

(1) いすゞ自動車株式会社,「いすゞ，高度純正整備『PREISM』の故障予兆検知機能を強化 ～検知対象部品を拡大し，車両の安定稼働を支援～」，https://www.isuzu-global.com/ja/newsroom/20260330_1.html
(参照日：2026.05.18)

◇いすゞ歴史の一こま



ヒルマン ハイスタイル 広告用原稿(1962年ごろ)

論文・報告

ディーゼルエンジンにおけるPN10排出挙動について

PN10 Emission Behavior in Diesel Engines

阿野田　洋*　後藤　陽紀*　渋谷　元司郎**
Hiroshi Anoda　Haruki Goto　Genshirou Shibuya
Igor Gershkovich***　Mojtaba Keshavarz***

要　旨

新型重量車への適用が2028年5月28日を予定されている次期欧州排出ガス規制Euro 7では、PN規制の対象粒子径が23nm超から10nm超へ拡大される。本稿では、Euro 7対応を想定したディーゼルエンジン後処理システムを対象に、通常走行時、尿素水噴射時及びDPF再生時のPN10排出挙動を調査した。その結果、CSF後段での尿素水噴射及びPM燃焼過程においてPN10排出量が増加し、特に再生時は排出ガス流量の影響が大きいことを確認した。

Abstract

In Euro 7, the regulated particle size range of PN will be expanded from particles larger than 23 nm to those larger than 10 nm. This paper summarizes PN10 emission behavior in a diesel engine aftertreatment system assumed for Euro 7. PN10 emissions increased when urea water was injected downstream of the CSF and during PM oxidation in DPF regeneration. The results also indicate that exhaust gas flow rate is a dominant factor during DPF regeneration.

1　はじめに

ディーゼルエンジンは高い熱効率を示す一方、PM(粒子状物質：Particulate Matter)を排出するため、PM質量及びPN(粒子数Particulate Number)が規制対象となっている。これらの粒子を捕集するためにDPF(Diesel Particulate Filter)が一般的に装着されている。

表1に重量車の欧州排出ガス規制Euro VIの後継規制であるEuro 7におけるWHTC(World Harmonized Transient Cycle)での規制値を一部抜粋して示す。NOx(Nitrogen Oxides)及びPMの規制値が強化されていることがわかるが、特にNOx規制値を満足するためには低温でのNOx浄化性能向上が必要であり、尿素SCR(Selective Catalytic Reduction)システムをエンジン近接位置に追加するなど新規の後処理システムが検討されている。

一方、PN規制値自体に変化は無いものの、対象となる粒子径が23nm超から10nm超に拡大されており、実質的な規制強化となっている。

PN排出挙動については、尿素水噴射やDPF再生に伴いPNが増加する事例が報告されている[(1)-(4)]。しかしながら10nm超の粒子(PN10)を対象とし、Euro 7対応を想定した後処理システムで系統的に整理した例は少ない。本稿では、PN10排出挙動及びPN10排出量に影響する因子を調査した結果を報告する。

表1　WHTCにおける排出ガス規制値比較

	NOx (mg/kWh)	PM (mg/kWh)	PN (#/kWh)
Euro VI	460	10	6×10^{11} ※ > 23 nm
Euro 7	200	8	6×10^{11} ※ > 10 nm

2　実験方法

エンジンベンチにて5.2Lディーゼルエンジンを用い、**図1**に示す後処理システムのテールパイプ位置でPN10を計測した。

*エンジン装置設計部　**PT実験第一部　***Isuzu Motors Germany GmbH

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

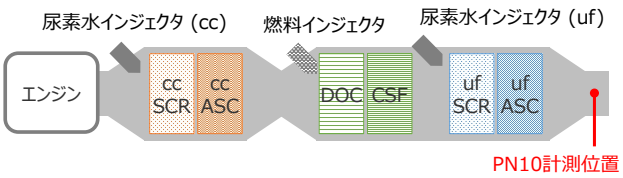


図1　後処理システムとPN10計測位置

Euro 7対応を前提として低負荷運転時におけるNOx浄化に有利な近接SCR(close-coupled SCR、以下「ccSCR」)と高負荷運転におけるNOx浄化に有利な床下SCR(under-floor SCR、以下「ufSCR」)を組み合わせた後処理システムを用いて評価を実施した。各SCRの後段にはSCRからスリップするアンモニアを酸化除去するためにASC (Ammonia Slip Catalyst)を配置した。

尿素水はccSCR上流側及びufSCR上流側の2箇所で噴射可能とした。DPF強制再生時は、DOC(Diesel Oxidation Catalyst)前に配置したインジェクタから燃料を供給し、CSF(Catalyzed Soot Filter)入口温度を上昇させて堆積PMを燃焼・除去した。PN10計測器(堀場製作所製MEXA-2310)を用いた。

3　実験結果

3.1 通常走行時のPN10排出挙動

まずは通常走行時の代表パターンとしてWHTC走行時におけるPN10排出挙動について確認を行った。**表2**に試験条件を示す。ここでは尿素水噴射位置を変更することによる影響について検討を行った。尿素水噴射量は現行規制 Euro VI排出ガス規制対応後処理システムに相当するuf位置のみで噴射した量を基準として、これに対して正規化した値を示している。cc位置ではSCRの温度上昇が早期化しているため、uf位置に対して尿素水噴射量が増加した。WHTC走行時のPN10排出量を**図2**に示す。

表2　WHTC試験条件

	尿素水噴射位置			
	Less	cc only	uf only	cc + uf
正規化尿素水噴射量(cc位置)	0.00	1.48	0.00	1.50
正規化尿素水噴射量(uf位置)	0.00	0.00	1.00 (基準)	0.34
正規化尿素水噴射量(トータル)	0.00	1.48	1.00	1.84
CSFへのPM事前堆積	有	有	有	有

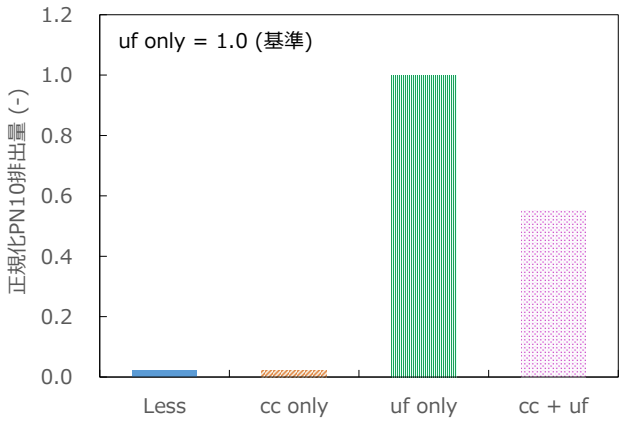


図2　WHTCにおけるPN10排出量

ここではuf位置のみ尿素水を噴射した際のPN10排出量を基準とし、これに対して正規化した値を示している。尿素水を噴射しない条件(Less)に対し、CSF前段のcc位置のみで尿素水を噴射した条件(cc only)ではPN10排出量に大きな差はなく、尿素水由来のPN10はCSFで捕集された可能性がある。一方、CSF後段のuf位置のみで尿素水を噴射した条件(uf only)ではPN10排出量が大きく増加した。Euro 7対応を想定したcc + uf噴射条件(cc + uf)では、uf位置のみで噴射した条件(uf only)に対してPN10排出量が低下した。これはcc位置でのNOx浄化によりuf位置で必要な尿素水噴射量が低減し、uf位置由来のPN10生成が抑制されたためと考えられる。

定常運転にてufSCR入口温度を変化させた際の尿素水噴射量当たりのPN10排出量を**図3**に示す。実験結果から尿素水噴射によるPN10排出量は温度依存性を示し、200℃では小さく、400℃付近で最も大きくなり、500℃では低下することを確認した。

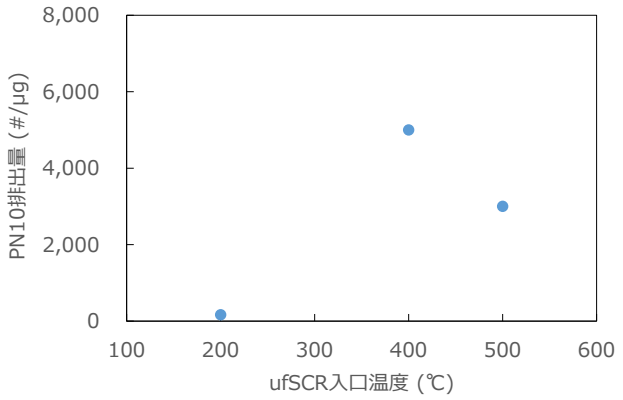


図3　尿素由来PN10の温度特性

3.2 DPF強制再生時のPN10排出挙動

次に、PM堆積有無におけるDPF強制再生時のPN10排出量について確認を行った。結果を**図4**に示す。定常運転にて、CSF入口温度が600℃に到達するようにDOCへ燃料供給を行った。実験結果からPMが堆積している場合、PN10排出量が一時的に高くなることがわかった。CSF温度上昇に伴いCSF圧損が上昇し、その後、堆積PMが燃焼して圧損が低下するタイミングでPN10排出量が増加したことから、PM燃焼過程でPN10が排出されると考えられる。

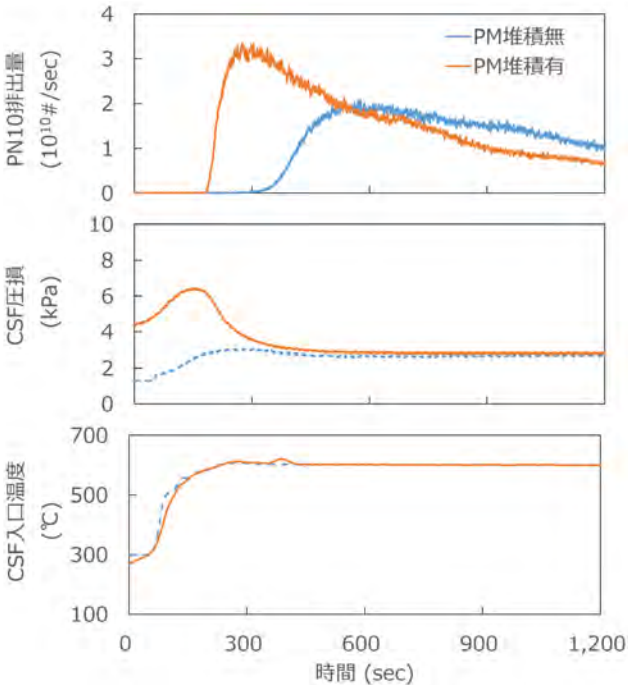


図4　DPF強制再生時のPN10排出挙動

PN10排出量に影響する因子を確認するため、**表3**に示す条件にてDPF強制再生試験を行った。

表3　DPF強制再生試験条件

	A	B	C	D
CSF入口温度 (℃)	600	600	600	600
正規化排出ガス流量	1.00 (基準)	1.46	1.59	3.11
正規化尿素水噴射量 (cc位置)	1.00 (基準)	1.89	0.51	2.85
正規化尿素水噴射量 (uf位置)	-	-	-	-
CSFへのPM事前堆積	有	有	有	有

CSF入口温度はいずれも600℃とし、尿素水はcc位置のみで噴射した。尿素水噴射量及び排出ガス流量は条件Aの値を基準に正規化した値を示している。

図5に各条件のPN10排出量を示す。ここでは現行Euro VI規制におけるRDE(Real Driving Emissions)試験でのデータ処理手法を参考に、WHTC 1回分の仕事量を1つのWork Windowとして1 secごとにWork Windowを作成した。その中で最もPN10排出量が多かったデータを抽出、WHTCにおけるPN10排出量(**図2**、uf only)を基準として正規化した値を示している。

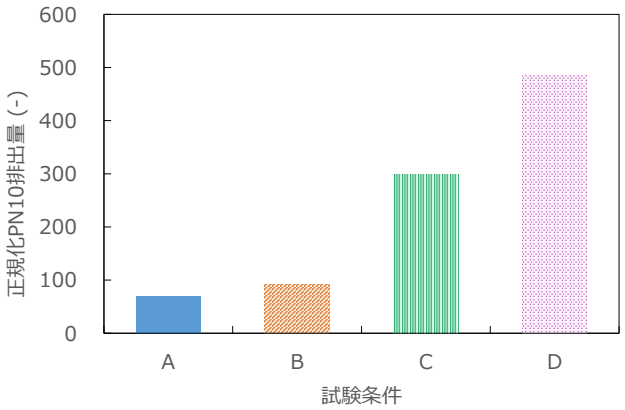


図5　DPF強制再生時のPN10排出量

いずれの条件でも、PM燃焼過程においてPN10排出量が一時的に増加した。条件間で比較すると、PN10排出量は排出ガス流量の増加に伴って大きくなる傾向を示し、排出ガス流量が最も高い条件Dで最大となった。条件Dでは、WHTC走行時のPN10排出量に対して約485倍の排出量を示した。今回はcc位置のみ尿素水噴射を行っているが、尿素水由来のPN10はCSFで捕集される可能性が高く、テールパイプPN10への影響は小さいと考えられる。条件Aと条件Bでは尿素水噴射量が異なるもののPN10排出量に大きな差はなく、条件間差は主にPM燃焼過程及び排出ガス流量の影響と推測される。

3.3 DPF連続再生時のPN10排出挙動

DPF連続再生が起こる高負荷運転条件についても実験を行った。事前にPM堆積を行い、定常運転にてCSF入口温度が400℃となるように設定した。結果を**図6**に示す。DPF強制再生時と同様にCSF圧損が低下するタイミングでPN10排出量が一時的に増加することを確認した。再生方式に依らず堆積したPMが燃焼する過程でPN10排出量が増加することが明らかになった。

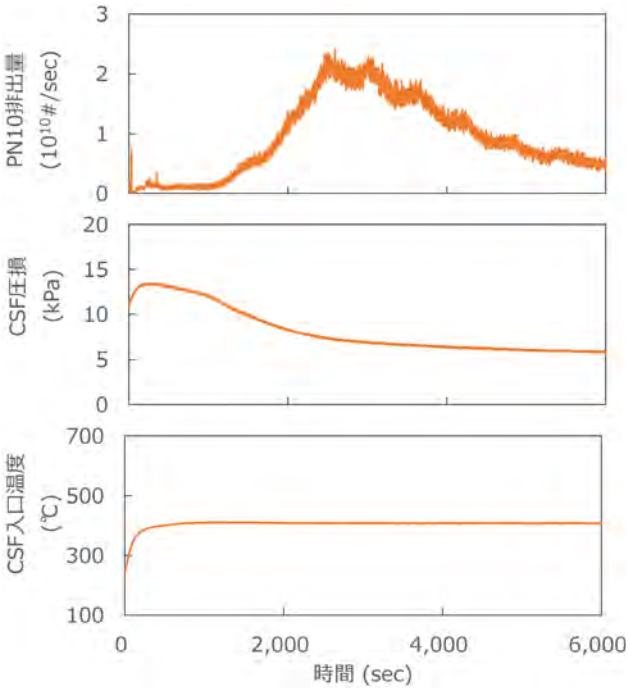


図6　DPF連続再生時のPN10排出挙動

PN10排出量に影響する因子を確認するため、**表4**に示す条件でDPF連続再生試験を行った。尿素水はuf位置のみで噴射し、尿素水噴射量及び排出ガス流量は条件Eの値を基準に正規化した値を示している。

図7に各条件のPN10排出量を示す。**図5**と同様のデータ処理を行い、WHTCにおけるPN10排出量(**図2**、uf only)を基準として正規化した値を示している。

表4　DPF連続再生試験条件

	E	F	G	H	I
CSF入口温度 (℃)	400	400	400	450	488
正規化排出ガス流量	1.00 (基準)	1.29	1.39	1.27	1.40
正規化尿素水噴射量 (cc位置)	-	-	-	-	-
正規化尿素水噴射量 (uf位置)	1.00 (基準)	1.07	1.03	1.18	1.07
CSFへのPM事前堆積	有	有	有	有	有

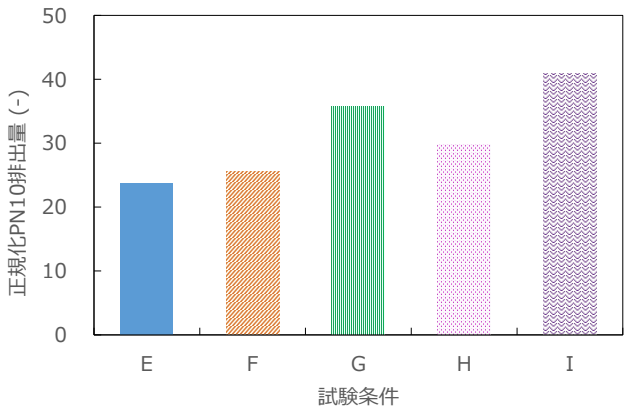


図7　DPF連続再生時のPN10排出量

いずれの条件でもPM燃焼過程においてPN10排出量が一時的に増加した。条件間で比較すると、PN10排出量は排出ガス流量の増加に伴って大きくなる傾向を示し、排出ガス流量が最も高い条件Iで最大となった。条件Iでは、WHTC走行時のPN10排出量に対して約41倍の排出量を示した。今回はuf位置で尿素水を噴射しており、尿素水由来PN10の影響を受け得る。ただし、今回の条件間では尿素水噴射量差が小さく、PN10排出量はDPF強制再生時と同じく排出ガス流量と相関があるものと推測する。

4　考察

4.1 尿素水噴射によるPN10増加メカニズム

尿素水由来のPNはシアヌル酸やアンメリドであると報告されている[(2)(5)]。これらの成分は200℃以上で生成し、300～500℃程度で分解するとされる[(6)]。本試験(**図3**)でも、200℃では尿素水由来のPN10はほとんど検出されず、400℃付近で増加し、500℃で低下する傾向を示した。この挙動は、シアヌル酸やアンメリドの生成及び分解温度に対応していると推測される。

4.2 PM燃焼過程におけるPN10増加メカニズム

PM燃焼過程でPN10排出量が増加するメカニズムの仮説を**図8**に示す。DPFに堆積したPMの燃焼が部分的に進むと、Cake層及び細孔内PMの一部が燃焼して局所的な流路が形成され(**図8(B)**)、一時的に局所流速が上昇することでPN10排出ピークが生じると考えられる。更に燃焼が進むと流路形成が進行し、局所流速が低下するため(**図8(C)**)、PN10排出量も低下すると推測される。

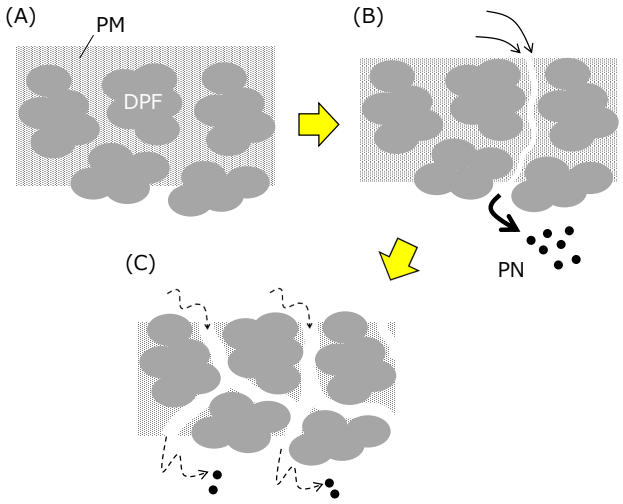


図8　PN10増加メカニズム(仮説)

5　おわりに

Euro 7対応を想定した後処理システムを対象に、PN10排出挙動とPN10排出量に影響する因子を調査した。得られた知見を以下に示す。

① 尿素水を噴射する位置によってPN10排出量への影響は異なり、CSF前段のcc位置ではほぼ影響がなく、CSF後段のuf位置で噴射した場合にPN10排出量が顕著に増加した。
② 尿素水噴射量に応じてPN10排出量は増加し、400℃付近で増加が顕著となった。
③ DPF強制再生及び連続再生では、PM燃焼過程で一時的にPN10排出量が増加した。
④ 再生時のPN10排出量は排出ガス流量が高い条件で増加する傾向を示した。今回の範囲では、強制再生時のワースト条件でWHTC比約485倍、連続再生時のワースト条件で約41倍のPN10排出量を確認した。

今後は、PN10排出量低減に効果的なハード及び制御手法の検討、RDE試験におけるワースト運転条件の探索、並びにPM燃焼時にPN10排出量が増加するメカニズムの解明を進める。

本文献は、自動車技術会論文集2026年57巻2号に掲載された論文を加筆修正のうえ、報告するものである。

参考文献

(1) A. Mamakos, et al.: Effect of selective catalytic reduction on exhaust nonvolatile particle emissions of Euro VI heavy-duty compression ignition vehicles, Aerosol Science and Technology, 53:8, p. 898-910 (2019)
(2) B. Shen, et al.: Experimental and numerical investigations into effects of urea-water solution injection on tailpipe particulate matter emissions, Process safety and Environmental Protection, vol. 148, p. 927-938 (2021)
(3) 山田裕之: 周期再生式Diesel Particulate Filterのすす堆積状況が重量車から排出される粒子数および規制成分に与える影響，自動車技術会論文集，vol. 44，p. 177-183 (2013)
(4) Z. Meng, et al.: An experimental investigation of particulate emission characteristics of catalytic diesel particulate filters during passive regeneration, Chemical Engineering Journal, vol. 468, 143549 (2023)
(5) M.Li, et al.: Investigation on the urea deposit formation and thermal decomposition characteristics in the SCR aftertreatment system of a diesel engine, Journal of Environmental Science, vol. 103, p. 167-171 (2021)
(6) P.M. Schaber, et al.: Thermal decomposition (pyrolysis) of urea in an open vessel, Thermochimica acta, vol. 424, p.131-142 (2004)

論文・報告

ジェネレーティブデザインを活用したディーゼルエンジンのギヤ構造最適化

Gear Structure Optimization of Diesel Engines Using Generative Design

山岸　誠弥*　Seiya Yamagishi
岡崎　一也*　Kazuya Okazaki
石川　泰裕*　Yasuhiro Ishikawa
山下　健一*　Kenichi Yamashita

要　旨

ジェネレーティブデザインをディーゼルエンジンの動力伝達用ギヤに適用し、ギヤラトル音低減とフリクション低減の両立を検討した。代用特性値を用いた感度評価で目標値を設定し、生成構造を試作して実機評価した結果、フリクションを悪化させず従来と同等の騒音性能が得られた。

Abstract

Generative design is an artificial intelligence technology that generates design candidates from criteria defined by the engineer. It was applied to a diesel engine gear structure to resolve the trade-off between gear noise reduction and friction reduction. Sensitivity studies using a gear train CAE model validated the input conditions. A prototype selected from the generated designs was evaluated in an engine test, and achieved noise performance equivalent to conventional parts without worsening friction.

1　はじめに

商用車では、内燃機関のさらなる性能向上と電動化対応の両輪で開発が推進されていることに加え、製造条件の多様化やサーキュラーエコノミーなどの環境因子により、検討すべき条件が複雑かつ広範化することで、設計検討のさらなる効率化が求められる。近年では、ChatGPTをはじめとした「ジェネレーティブAI(生成AI：Generative AI)」の活用による業務効率化を皮切りに、創造的な仕事にも生成AIを活用する動きが出始めている[(1)]。従来のAIは決められた行為の自動化を目的としていたのに対し、生成AIは新しいコンテンツを生成することを目的としており、日常業務から創造的業務への活用が進むことが予想される。また、全世界の生成AIに関連する市場規模は今後も急速に拡大し、2032年には1,519億ドル(約23兆円)に達するとの報告もある[(2)]。生成AIは各業界で活用が進められており、製造業においてはGD(Generative Design)と呼ばれる設計手法が提案されている[(3)-(5)]。GDの活用事例として、フレームなどの支持部品への適用例が報告されている一方で、摺動(しゅうどう)部を持ち、それ自体が駆動する部品に適用し、実機での性能評価結果を報告した事例はほとんど見られない。本報では、GDをディーゼルエンジン内の動力伝達用ギヤに適用して構造最適化を実施し、生成された構造を再現した試作品を実機エンジンに搭載して評価することで、GDを活用した構造検討の有効性を検証した結果を報告する。

2　ジェネレーティブデザインとは

GDは、設計者が設定した用途における材料、強度、コスト、性能などの制約条件をソフトウェアへ入力することで、多数の構造案を生成する手法である。本研究では、オートデスク製FusionのGD機能を用いて構造を生成した。本機能では、最適化手法にトポロジー最適化の一種であるレベルセット法(Level Set Method)を採用するとともに、複数の製造条件と材質を考慮可能とし、クラウドテクノロジーの活用による並列計算により多数の設計案を同時に生成する。レベルセット法は、対象構造に対して一つ次元を上げたレベルセット関数を導入することで、境界を判別する手法である。例として、2次元の2つの境界を分ける場合は、**図1**に示すようなレベルセット関数を用意する。ここで、各節点におけるレベルセット関数は、境界をΦ=0、構造の内側はΦ>0、

*(株)いすゞ中央研究所

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

構造の外側はΦ<0として構造境界を定義する。構造最適化では、各節点を境界からの符号付距離で初期化したあと、目的となる応力などを繰り返し計算しながら、荷重経路に垂直な方向に境界を移動させることで構造を最適化する。密度法などのほかのトポロジー最適化技術と比較してレベルセット法を用いる利点は、生成される構造の境界が明確かつ滑らかになることと、自然な形で境界の分離・結合が表現可能なことである[6]。また多くの場合、トポロジー最適化で得られた3次元構造に対して全体のバランスを崩さずに修正するのは困難であるが、構造の境界が明確かつ滑らかになることにより生成された構造に対する修正が少なくなり、構造生成から実機採用までの工程を短縮できる利点もある。

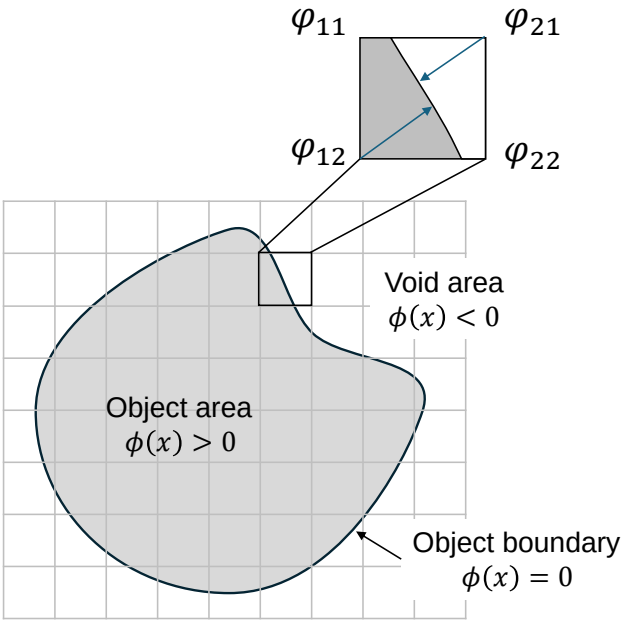


図1　レベルセット法によるトポロジー最適化の懸念

構造生成のための要件定義として、モデル定義、荷重と拘束条件の設定、目標値、材質、製造条件の定義を行う。モデル定義では、保持領域と障害物領域を設定する。保持領域には、最終形状として残す部位を指定し、荷重と拘束条件を設定する。障害物領域には、ほかの部品との干渉などを防ぐための制約を設定する。

構造のどの部位を保持領域とするかは、対象物を要素に分解したうえで、他部品との接続や機能維持を考慮して設定する。更に、質量最小化または剛性最大化などの目標値の設定と応力に対する安全率、候補となる材質及び切削加工、鋳造、3Dプリンティングなどの製造条件を定義する。各要件定義の組み合わせの数だけクラウド上で並列計算することで、多数の設計案が生成される。GDによる構造生成はソフトウェアにより自動化されている一方で、構造生成の前処理としてソフトウェアに適切な境界条件と設計パラメータを入力し、GDにより生成された構造を評価及び修正して採用判断する工程は人の手で行うため、全てが自動化されているわけではない。

3　構造最適化手法のギヤ適用

商用車用ディーゼルエンジンでは、クランクからカムシャフトへのトルク伝達をギヤトレインにより行っており、騒音寄与に占めるギヤラトル音の寄与率が比較的大きい。既報[7]では、実稼働TPA(Transfer Path Analysis)と呼ばれる騒音寄与分析手法を、**表1**に諸元を示す直列4気筒ディーゼルエンジンに適用し、加速走行騒音試験での最大音圧発生条件に近いエンジン回転数2,000rpm全負荷のエンジン騒音の寄与を分析した。寄与分析の結果、エンジン騒音のうち19%がギヤラトル音であることが判明した。そのため本エンジンでは、ギヤラトル音の騒音源対策としてシザーズギヤを採用したが、トルク付与によりかみ合い点がピッチ円上からずれることなどを原因とするフリクション増大が生じ、燃費悪化が課題となった。燃費の悪化を招くシザーズギヤに対して、構造変更によるギヤラトル音の低減が可能であれば、燃費向上と騒音低減の両立が可能になると考えられる。そこで、背反が解消可能な目標値検討のため、ギヤ構造の代用特性値を用いたパラメータスタディを実施した。また、その目標値を実現する構造をGDによって生成し、燃費向上と騒音低減の両立が可能なギヤ構造を検討した。

表1　供試エンジンの諸元

Engine type	Water-cooled 4 cyle DI-diesel engine
Number of cylinders	In-line 4 cylinders
Total displacement	2,999 cm^3
Bore × Stroke	95.4 × 104.9 mm
Maximum torque	430 Nm / 1450 ~ 2860 rpm
Air-charging system	Inter cooled turbocharger
Timing train	All gear

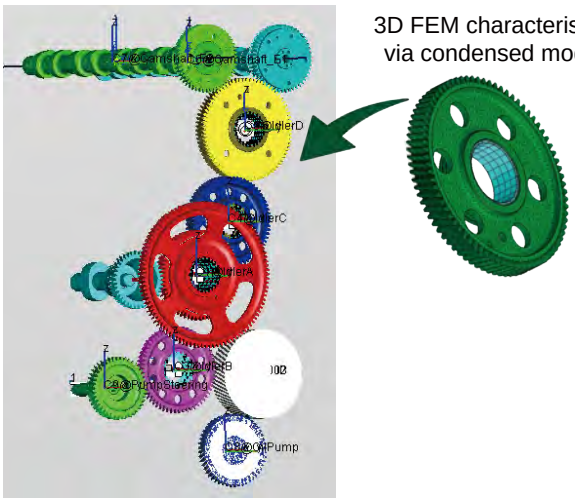


図2　弾性ギヤ本体を考慮したギヤトレインモデル

3.1 代用特性値による目標値の検討

燃費向上と騒音低減の背反解消が可能な構造を検討するため、ギヤ構造の代用特性値である重量と剛性の変更による感度調査を、AVL製EXCITE Power Unitで作成したギヤトレインモデルを用いて実施した。**図2**に示すように、各ギヤ構造の情報としてFEMモデルから作成された縮退モデルが適用されており、FEMモデルの密度とヤング率を変更して一連の解析を実行することで、重量と剛性に対する感度評価が可能である。また、ギヤかみ合い要素にギヤ本体の変形によるかみ合い影響を考慮可能なACYG (Advanced Cylindrical Gear Mesh)ギヤ接触モデルを採用することで、代用特性値に対する感度調査だけでなく、GDにより生成されたギヤ構造の弾性変形による歯の傾きを考慮することも可能である。

重量と剛性の影響をエンジン騒音レベルに換算して評価するため、実稼働TPA (伝達経路解析：Transfer Path Analysis)とを組み合わせて評価を実施した。まず、ギヤトレインモデルにより算出したアイドルギヤ軸芯加速度レベルの変化量をゲインとするフィルタを作成し、実稼働TPAの対応する参照信号に適用した。次に、フィルタ適用後の信号と伝達率からエンジン騒音を再合成することで、代用特性値の変更に対するエンジン騒音レベルの変化量を算出した。**図3**は重量変更に対する騒音レベル変化量の推定結果である。ギヤイナーシャが低減することで歯打ちの衝撃力が低減し、騒音レベルの低減効果が得られた。ギヤCとギヤDの感度が比較的高い一方で、ギヤDに設置され0.4dBの低減効果が得られるシザーズギヤの代替として十分な騒音低減効果を得るには大幅な重量低減が必要である。**図4**は剛性変更に対する騒音レベルの変化である。剛性低下により騒音レベルが増加する傾向が確認されたものの、重量変更に比べると変化が小さい。また、フリクションに対しても同様の感度調査を実施したが、変化は非常に小さかった。重量と剛性変更による調査結果から、ギヤCとギヤDの大幅な重量低減によりフリクションの悪化なく騒音低減効果が得られることが判明したため、GDを用いて大幅な重量低減が実現可能なギヤ構造を検討した。

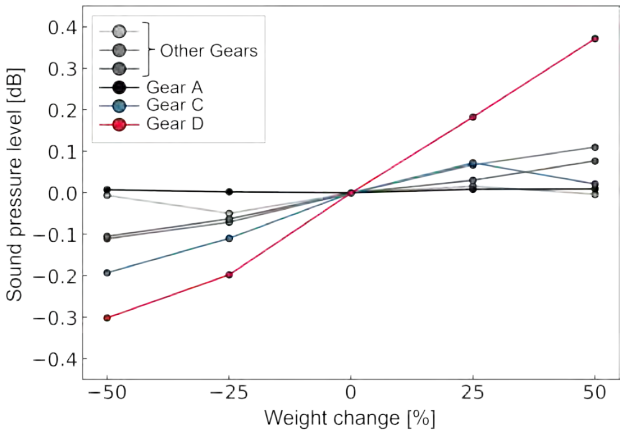


図3　ギヤ重量変更に対する騒音レベル変化

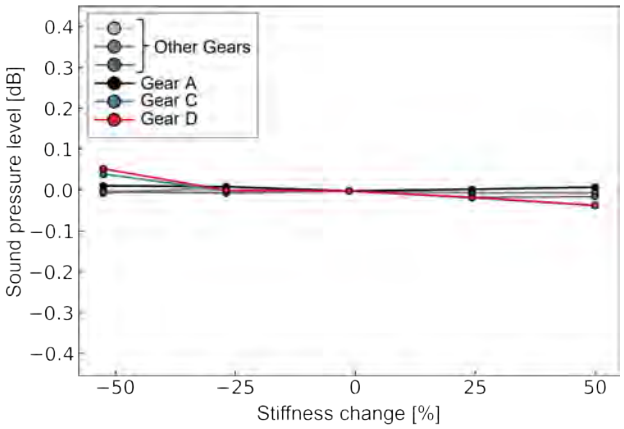


図4　ギヤ剛性変更に対する騒音レベル変化

3.2 制約条件の検討

GDによる構造生成のため、モデル定義、荷重と拘束条件の設定、目標値、製造条件を設定した。モデル定義では、ギヤを構成する要素に分解し、最終形状に残して荷重と拘束条件の設定を行うための保持領域と構造を生成する領域の切り分けを実施した。ギヤ構造を構成要素に分解すると、①荷重を受けて動力伝達を行う歯、②歯を支持する外周部、③回転摺動する軸受部、④外周部と軸受部を接続するギヤ本体に分けられる。①歯と③軸受部は、他部品との接続部であるため保持領域とした。残る④ギヤ本体をGDによる構造生成の対象とした。

図5に示すギヤ歯を支持する外周部高さは、イナーシャを減少させる観点ではできるだけ小さくする必要がある一方で、小さすぎると歯の傾き増大によりかみ合いが悪化する。そこで、隣接するギヤの一方を固定し、もう一方に荷重を付与して変位を計算し、隣接するギヤ間の相対コンプライアンスを評価した。外周部高さに対する隣接する歯間の相対コンプライアンスの変化を**図6**に示す。この結果から相対コンプライアンスを大きく悪化させずに、できるだけイナーシャが小さくなるような外周部高さを設定した。次に、設定した保持領域に対して荷重条件の設定を行った。**図7**に示すように、ギヤ歯にはギヤトレインモデルを用いて算出した最大荷重をギヤ歯面と垂直方向に与え、軸受内周部には拘束条件を設定した。このギヤはほかのギヤと3箇所でかみ合うため、3箇所それぞれの荷重と拘束条件を一つの荷重ケースとして設定し、同様の荷重ケースをギヤ全周77歯分設定した。また、目的関数は重量低減のために質量最小化を設定し、製造条件は出力される構造案の検討の幅を広げるために切削加工や鋳造などの複数条件を設定した。

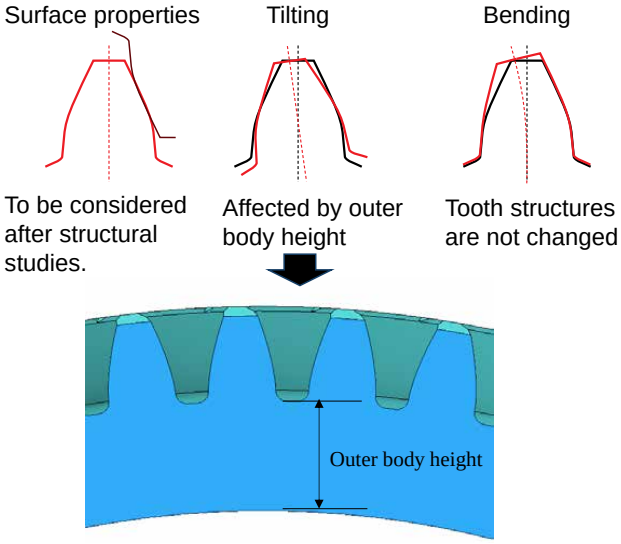


図5　ギヤかみ合い力に影響する因子及び構造変更の影響

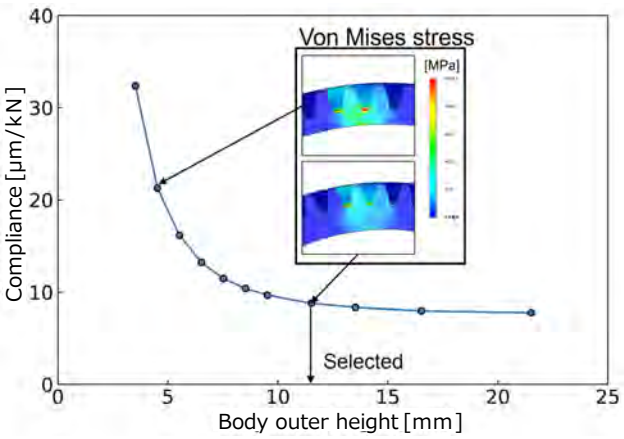


図6　ギヤ本体外周高さに対する歯部コンプライアンス

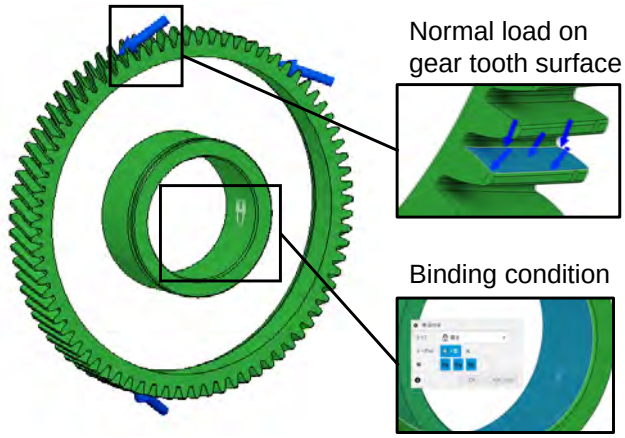


図7　保持領域及び荷重条件の設定

4　GDによる構造生成結果

GDによる構造最適化では、荷重ケースごとの応力計算が行われ、各部位における応力最大値をもとに構造が最適化される。構造生成結果は、設定した条件の組み合わせごとに多数生成され、その中からデザイン性や実際の製造のしやすさなどを加味して選択する。**図8**にギヤCについて出力された生成結果の一部を示す。同じ荷重条件でありながら、そのほかの要件定義の組み合わせの違いから、さまざまな構造が生成された。ほとんどの構造でギヤ本体は10本の支柱で支持する構造であり、外周部が枝分かれした構造も存在する。また、3次元で最適化されているため、荷重が負荷されるギヤ歯面に対して垂直方向に厚みがある。ギヤの歯数77歯に対して本体は10本の支柱構造であるため、一本一本が支える荷重に応じて形状が少しずつ異なっているにもかかわらず、ギヤ全周で均等な荷重を支持するため、結果的

に重心位置がギヤ中心に位置し、バランスの取れた構造となった。本研究では、ギヤラトルの低減に十分な重量低減が可能で、試作品製作のために従来品に対する追加工により製作可能な構造を選定した。

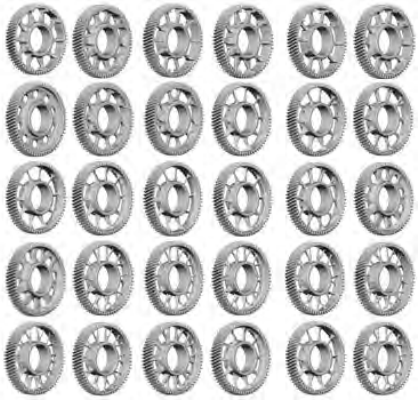


図8　GDによる構造生成結果

選定した構造データを縮退モデルに変換し、ギヤトレインモデルに反映することで騒音レベルの低減量を評価した。**図9**にギヤCとギヤDの重量変更時の結果に加えて、選定した構造を反映して算出した騒音レベルの結果を示す。選定した構造の結果は、重量変更による感度評価の傾向とほぼ一致しており、構造変更だけでギヤラトル音の低減が可能な構造が得られた。一方で、剛性低下により固有振動数と振動モードには大きな変化が確認された。例として、ギヤCの従来構造と生成された構造の6,000Hz以下の固有振動数を**図10**に示す。従来構造では、ギヤ外周部と本体及び軸受部が連成する振動モードがあるのに対し、生成された構造では本体の剛性が著しく低下したことで、外周部のみが振動して軸受部との連成が確認されない振動モード(1次、5次)、本体の変形が主体で外周部の変形を伴わない振動モード(2次、3次)、及び構造全体が連成する振動モード(4次)が現れた。これらの重量低減と固有振動数の変化が振動騒音とフリクションに与える影響を調査するため、試作ギヤを製作して実機エンジンでの評価を実施した。

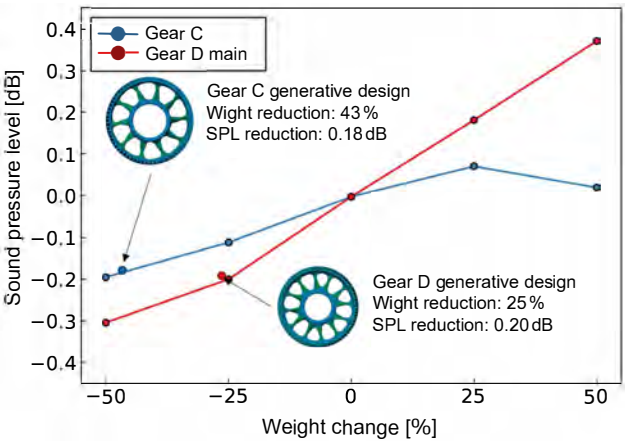


図9　重量変更時及びGDギヤモデルの騒音レベル

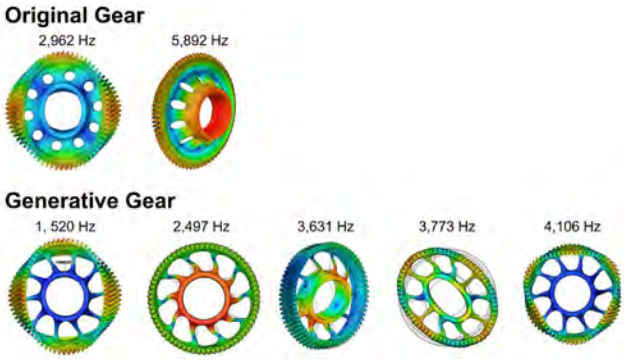


図10　従来ギヤ及びGDギヤの6,000Hz以下の固有振動数

5　実験結果

GDにより生成された構造をもとに試作したギヤを**図11**に示す。本研究では、検証のため生成された構造をそのまま切削加工により再現した。試作ギヤを実機エンジンに設置し、エンジン騒音、ギヤ回転速度、アイドルギヤ軸芯振動を同時計測した(**図12**)。エンジン騒音は、エンジン周囲4方向(左右前上)1mに設置したマイクロホン音圧を平均して評価した。ギヤ回転速度は、各ギヤに設置した電磁式回転検出器のパルス波形出力をヒルベルト変換して得られる解析信号からかみ合いギヤ間の相対周速度を算出した。

加速走行騒音試験での最大音圧発生条件に近いエンジン回転数2,000rpm全負荷のエンジン騒音評価結果を**図13**に示す。従来仕様はギヤDにシザーズギヤが設置された仕様である。まず、ギヤDは変更せずにギヤCを試作ギヤに変更したところ、0.2dBの低減が確認された。次に、ギヤDのシザーズギヤを外すと0.4dBの増加となり、最後にギヤDを試作ギヤに変更すると0.2dBの低減となった。結果として

ギヤCとギヤDを試作ギヤに変更することで、従来仕様の騒音レベルと同程度となった。また、フリクション評価では、シザーズギヤを取り外したことで0.5%の燃費低減効果が得られた。この結果から、試作ギヤによって従来の課題であった燃費向上と騒音低減の背反解消が可能な構造が得られたといえる。



図11　試作したGDギヤ

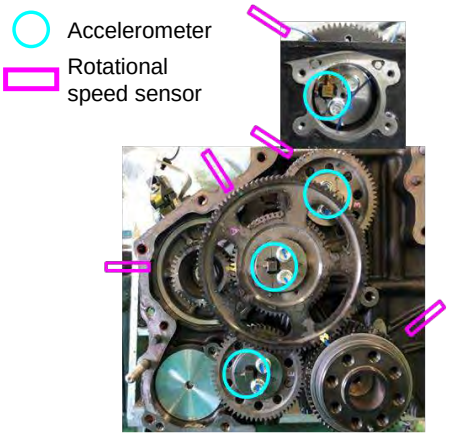


図12　ギヤラトル測定用センサ配置

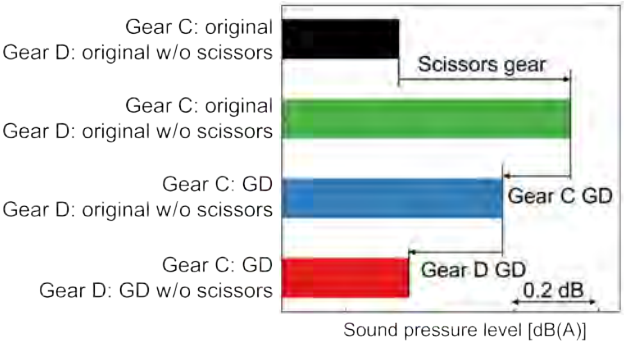


図13　2,000rpm全負荷でのGDギヤ及び
シザーズギヤのエンジン騒音評価結果

次に、ギヤラトル音の低減効果を詳細調査するため、ギヤC-ギヤD間の相対周速度とギヤCのギヤ軸芯加速度を測定した結果を**図14**に示す。ギヤC-ギヤD間の相対周速度はギヤトレイン上部の排気バルブの閉弁に伴うカムトルク変動を起点として、駆動側より被動側の速度が速く相対周速度が負になってバックラッシュ間でギヤ間が離れたあとに、相対周速度が反転してギヤCがギヤDに衝突するタイミングでギヤラトルによる振動が発生する。ギヤの回転変動の振幅にはほとんど変化が確認されないものの、イナーシャの低減により衝撃力が低下したことで、ギヤラトルにより生じる振動が低減した。

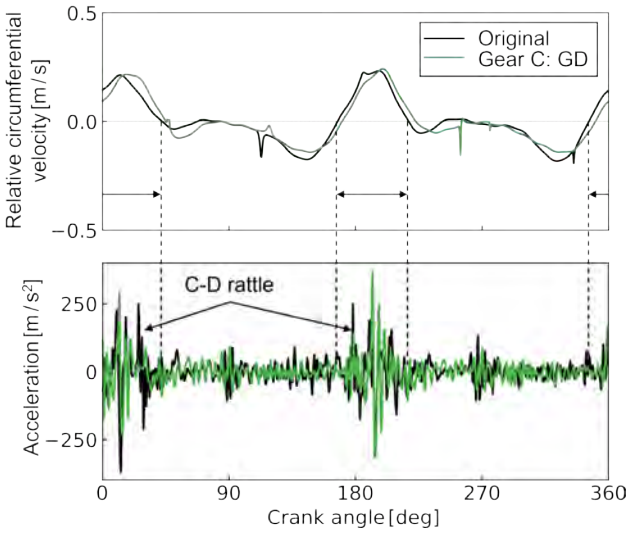


図14　ギヤC-D間の相対周速度及び
ギヤC軸芯加速度

また、**図10**に示したようにギヤ本体部の剛性低下により固有振動数と振動モードが大きく変化したことによる影響を調査した。**図15**に従来仕様及びギヤCとギヤDを試作品に変更した際のモータリング加速運転時のギヤC軸の振動レベルを示す。ギヤラトルは衝撃加振であるため加振周波数成分は低周波数から高周波数まで一様であるのに対し、試作ギヤを適用した場合では、1,500Hzと4,000Hz付近では振動レベルが低下し、2,000Hzから3,500Hzの範囲では増加が確認された。振動レベルの低下が確認された周波数には、**図10**で示したようにギヤ構造の外周部のみが振動し、外周部と軸受部の連成が確認されない振動モードが存在するため、ギヤ歯が励起されたとしても軸芯には振動エネルギーが伝達されず、振動低減効果が表れたと考えられる。一方で、振動レベルが増加した周波数では、本体の変形を主として外周部の変形を伴わない振動モードと構造全体が連成する振動モードが存在するため、ギヤ歯から軸芯

までの振動伝達が増加したと考えられる。**図16**は、かみ合い次数であるエンジン回転65次の加速度レベルを抽出した結果である。2,700rpm以下では振動レベルの悪化は確認されない。一方で、2,700rpm以上の回転数では悪化が確認されるものの、エンジン騒音に対する寄与が高回転側では低下してほかの騒音成分にマスキングされるため、実用上はかみ合い音の悪化が確認されなかった。

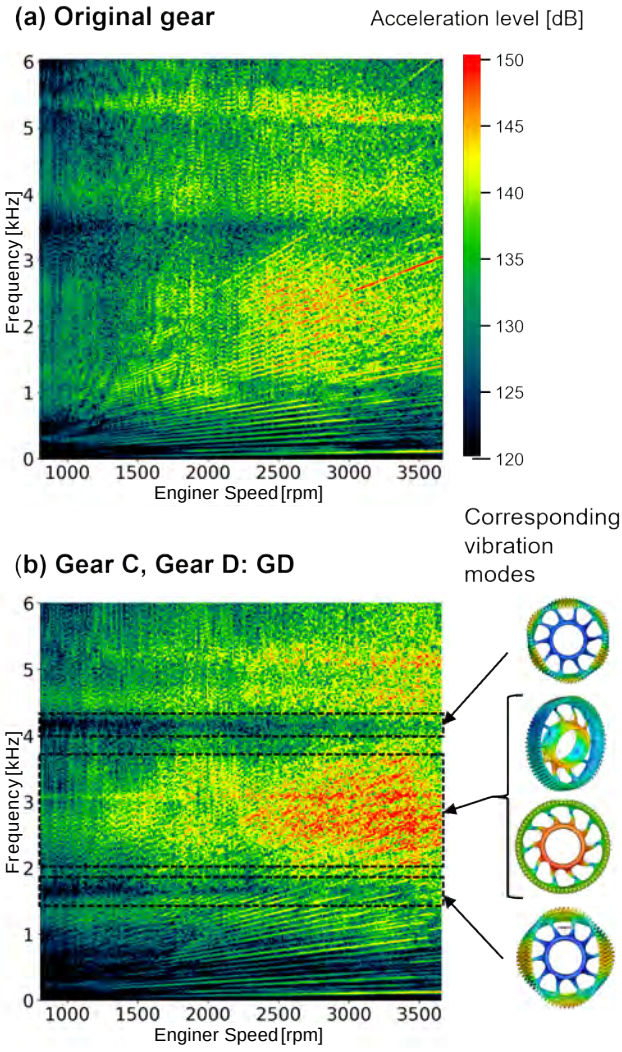


図15　従来ギヤ及びGDギヤのギヤ軸芯加速度レベル

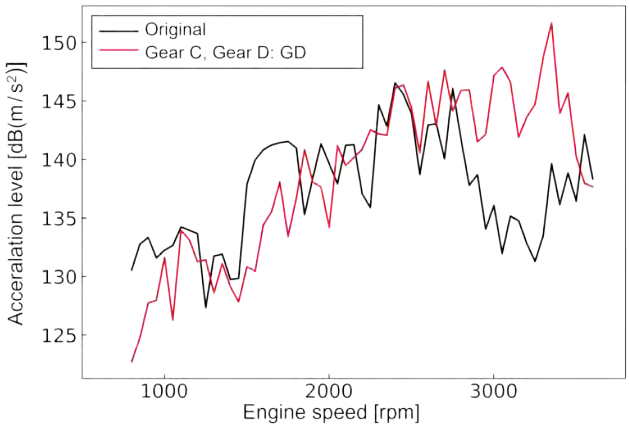


図16　モータリング加速時のエンジン回転数に対する65次加速度レベル

6　おわりに

商用車用ディーゼルエンジンのギヤ構造を対象にGDによる構造生成と検証を実施した結果、構造最適化とクラウドテクノロジーの活用による並列計算により多数の設計案を生成する本手法の有効性が示された。GDを適用した構造最適化に加えて試作品の実機適用と性能の詳細分析を実施した点が本報告の新規性である。本研究により得られた結果を次に示す。

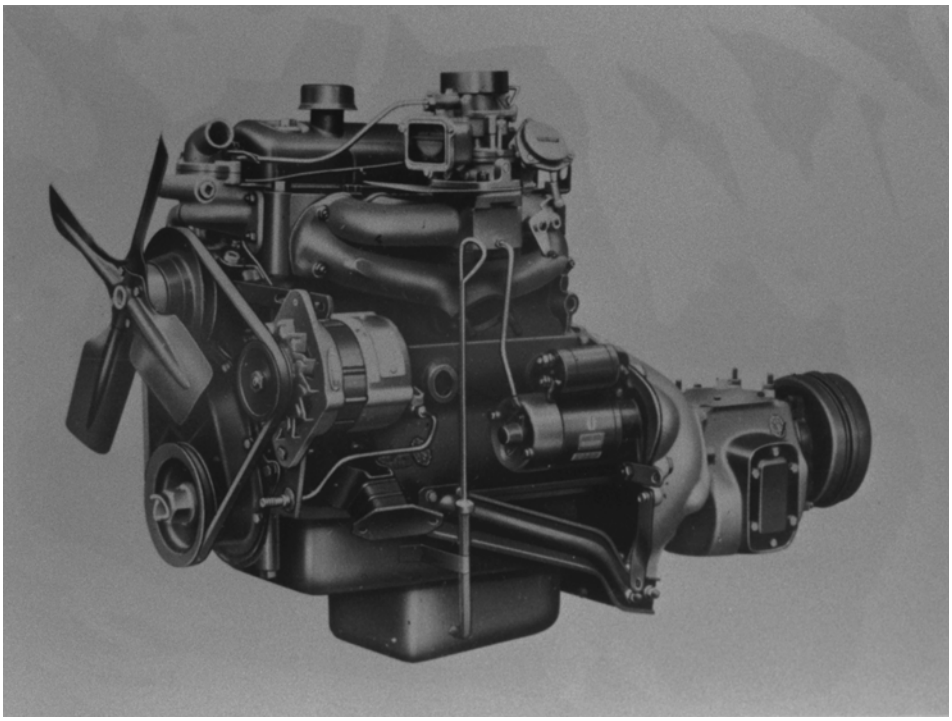
1) 構造最適化に必要な事前検討のため、ギヤトレインモデルを用いてギヤ構造の代用特性値である重量と剛性を変更してエンジン騒音への感度評価を実施した結果、アイドルギヤの大幅な重量低減によりギヤラトル音の低減が可能であることが明らかになった。
2) GDによるギヤ構造の生成を行い、生成された構造データに基づき試作品を製作して実機エンジンで振動騒音とフリクション評価を実施した。エンジン回転数2,000rpm全負荷ではフリクションの悪化なしでシザーズギヤと同等の騒音低減効果が確認され、燃費向上と騒音低減の背反解消が可能な構造が得られた。
3) ギヤ本体剛性の低下により、従来ギヤの1次の振動モードが、ギヤ歯で生じた振動がギヤ内周部に伝達されにくい振動モードに変化した。これにより、ギヤ音の騒音寄与が大きいエンジン低回転数では、かみ合い次数振動がギヤ軸を介してシリンダブロックへ伝達する振動が抑制され、かみ合い音の悪化につながらなかった。

本文献は2024年10月23日自動車技術会秋季学術講演会において発表した原稿を加筆修正したものである。

参考文献

(1) 塩崎潤一：生成AIで変わる未来の風景，NRI 未来創発センター研究レポート，Vol.10(2023)，p.2-5，https://www.nri.com/jp/knowledge/report/lst/2023/souhatsu/1201，(参照日：2024.07.26)
(2) Market.us：Generative AI Market Size, 2024-5, https://market.us/report/generative-ai-market/#overview, (参照日：2024.07.26)
(3) Prasad Umakant Bhad：Multiple Novel Generative Design Solutions for Various Mechanical Engineering Related Products Using Autodesk Fusion 360 Software, International Journal of Design Engineering, Vol.11, No.1(2022), p.1-26
(4) J. A. Sethian, et al.：Structural Boundary Design via Level-Set and Immersed Interface Methods Journal of Computational Physics, Vol.163, No.2(2000), p.489-528
(5) Francesco Buonamici：Generative Design: An Explorative Study, Computer-Aided Design and Applications, Vol.18, No.1(2021), p.144-155
(6) 倉爪亮：レベルセット法とその実装法について，情報処理学会研究報告，Vol.115(2006)，p.133-145
(7) 山岸誠弥 ほか：改良指針検討のための実稼働TPAによるエンジン騒音寄与分析，自動車技術会論文集，Vol.53，No.6(2022)，p.1227-1232

◇いすゞ歴史の一こま



GL201エンジン(エルフ用)（1966年ごろ）

論文・報告

噴霧の干渉がディーゼルエンジン燃焼に及ぼす影響 (第1報)

Effect of Spray-spray/wall Interaction on Diesel Engine Combustion (First Report)

宮下　和也*　古川　伸哉*　石井　義範*　小澤　恒*
Kazuya Miyashita　Shinya Furukawa　Yoshinori Ishii　Hisashi Ozawa

要　旨

エンジン筒内に噴射された燃料噴霧は、周囲の空気を取り込みながら発達していく。その過程においては、噴霧側面への空気導入の流れが隣接する噴霧のそれと干渉する。また、噴霧はピストン壁と干渉し、壁面に沿って発達後、同様に発達した隣接する噴霧とも干渉する。本報では、単気筒エンジンを用いて各干渉が燃焼に及ぼす影響を検証した。

Abstract

Fuel spray injected into diesel engine cylinder develops with entraining ambient air. Air entrainment flow surrounding the spray side boundary interferes with that of adjacent sprays. And the spray interferes with piston wall and develops along the wall surface. Then the spray interferes with the adjacent sprays developing along the wall surface similarly. In this study, effect of each interference on combustion was investigated by using a single cylinder engine.

1　はじめに

気候変動問題の解決に向けて2050年までのカーボンニュートラル(以下、CN)実現が宣言されて以降、CN社会実現に向けた取り組みが加速する中、自動車においてはバッテリ式電気自動車や燃料電池自動車の普及が進みつつある。一方で、既存の内燃機関においても、電動化技術との組み合わせによるCO_2排出量の低減や合成燃料の利用によるCN化がCN社会実現への重要な技術として位置付けられている[(1)]。メーカがこれら多様な動力源の開発に対応していくためには、これまで以上に開発リソースを有効に活用する必要がある。モデルベース開発(以下、MBD)は開発効率向上に有効な手段であり、今後の更なる高度化が求められている。

エンジンMBDにおいては、システム検討からシリンダ内の現象理解まで、0または1次元から3次元のさまざまなシミュレーションツールが活用されている[(2)]。しかしながら、シリンダ内の現象は複雑であり、現在も現象把握やモデル化の取り組みが続けられている。中でも、噴霧火炎の干渉が燃焼や排出ガスに及ぼす影響を把握・モデル化することは重要な課題となっている。筒内に噴射された燃料噴霧は、周囲の空気を取り込みながら発達し、やがて着火に至り噴霧火炎を形成する。その過程においては、**図1**に示すように、①噴霧火炎側面へ向かう空気導入の流れが隣接する噴霧火炎の空気導入の流れと干渉する(噴霧基部エントレインの干渉)。その後、②噴霧火炎はピストン壁に衝突する(噴霧火炎と壁面の干渉)。更に、衝突後に壁面に沿って発達した噴霧火炎は、③同様に発達した隣接する噴霧火炎とも干渉する (壁面衝突後の隣接噴霧火炎間の干渉)。

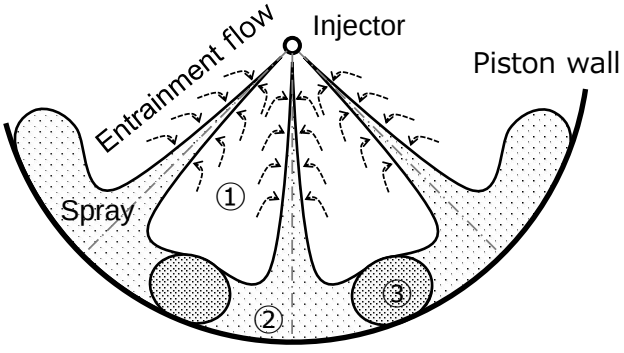


図1　シリンダ内噴霧挙動の概念図

これら個々の干渉については、これまでにも詳細な研究が進められている。噴霧基部エントレインの干渉については、噴孔間角度を変化させたインジェ

*(株)いすゞ中央研究所

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

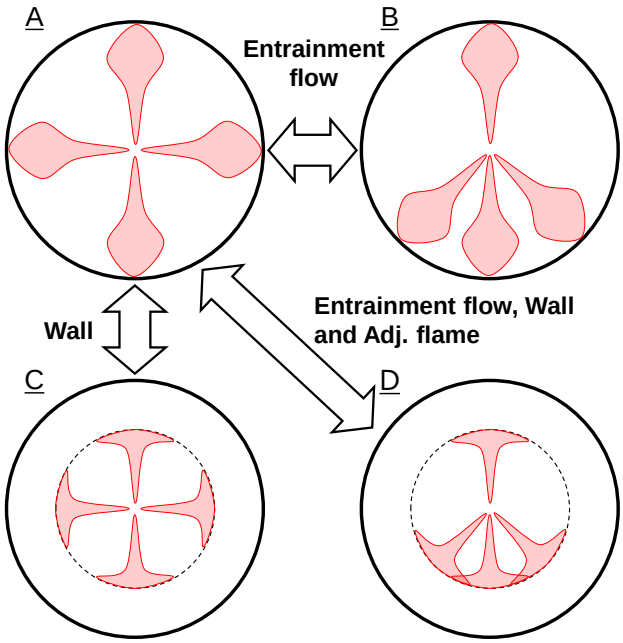
クタを用いて、運転条件を変化させた場合の可視化試験が実施されており、干渉によりset-off長(lift-off長)が変化することが確認されている[3][4]。また、噴霧火炎間の領域においてノズル方向に向かう既燃ガスの流れが確認されており、これがset-off長を短縮させる要因のひとつであることが示されている[5]。噴霧火炎と壁面の干渉については、壁面に衝突するディーゼル噴霧の燃料濃度分布計測[6]や火炎と壁面の干渉により生じる熱損失の計測が熱流束センサ[7]や赤外光の可視化[8]により、詳しく調べられている。また同時に、3次元CFD(数値流体力学：Computational Fluid Dynamics)においては壁関数の改良により、壁面干渉後の噴霧挙動[9]や火炎からの壁面熱損失[10]の再現性向上を目指した取り組みが進んでいる。壁面衝突後の隣接噴霧火炎間の干渉については、火炎の干渉により熱発生が抑制されて後燃えが増加することが示されており[11][12]、火炎の干渉を抑制する噴孔配置や燃焼室形状が検討されている[13]。また、火炎間の干渉領域におけるすすの生成や酸化に着目した現象解明も進められている[12][14]。

上述したように、これまでの詳細な研究により個々の干渉現象の理解が深まっている。その一方で、エンジン筒内においてはこれらの干渉が同時に発生しているが、先行研究では個々の干渉がそれぞれどの程度の寄与度をもって燃焼に影響を与えているかまでは示されていない。そこで本研究は、個々の現象を包含するエンジン筒内において、①噴霧基部エントレイン、②噴霧火炎と壁面、③壁面衝突後の隣接噴霧火炎間の3種の干渉がそれぞれどの程度の寄与度をもって燃焼に影響しているのかを明らかにし、現状の3次元CFDシミュレーションによりその寄与度の再現性を検証する。本報では、シミュレーションの検証に必要なデータを取得するために、各干渉の寄与度を定量的に分離して、比較することを目的とする。

2　実験方法

2.1 干渉影響の分離評価方法

燃焼室内径とノズル噴孔方向を変化させた4パターンの燃焼を比較することで干渉影響を評価する。**図2**にその概略図と各干渉の分離方法を示す。Aはベースとなる干渉の影響を含まない状態である。Bは不均等なノズル配置により、噴霧基部エントレインの干渉影響が含まれた状態となる。Cは燃焼室内径を小さくすることにより、噴霧火炎と壁面の干渉影響が含まれた状態となる。Dは噴霧基部エントレイン、噴霧火炎と壁面の干渉影響に加えて、壁面衝突後の隣接噴霧火炎間の干渉影響を含んだ状態である。BとAの差分より噴霧基部エントレインの干渉影響を、CとAの差分より噴霧火炎と壁面の干渉影響をそれぞれ分離することができる。壁面衝突後の隣接噴霧火炎間の干渉影響は全ての影響を含むパターンDとAの差分を求めたうえで、噴霧基部エントレイン、噴霧火炎と壁面の干渉影響を差し引くことにより分離することができる。



Entrainment flow	B−A
Wall	C−A
Adj. flame	D−A− (B−A) − (C−A)

図2　各干渉が燃焼に及ぼす影響の分離方法

2.2 実験装置・運転条件

実験に用いるエンジンの諸元を**表1**に、燃焼室断面形状を**図3**に、噴孔配置を**図4**に示す。干渉影響の分離試験にはボアΦ115mmの単気筒ディーゼルエンジンを用い、円筒形状の燃焼室内径をΦ80mm及びΦ50mmとすることで噴霧衝突距離を変化させた。また燃焼室外側の形状を調整することにより、どちらの内径の場合も圧縮比は15.3で一定としている。ノズルはいずれも4噴孔の噴孔径Φ0.115mm、噴射角度180°で燃焼室内に水平方向に燃料を噴射した。噴孔方向は噴孔間角度を変化させた3種類のノズルを作製した。噴孔間角度90°の均等ノズル**(図4(a))**をベースとして、噴霧干渉させるため、4噴孔のうち3噴孔を噴孔間角度30°で配置した不均等1ノズル**(図4(b))**と、4噴孔すべてを噴孔間角度30°で配置して干渉領域を拡大させた不均等2ノズル**(図4(c))**を試

作した。**図5**にボッシュ長管法で測定した各ノズルの噴射率を示す。同一噴射圧力・指示パルス期間とした場合**(図5(a))**では均等ノズルに対して、不均等1ノズルでは最大噴射率が高く、不均等2ノズルでは噴射期間が長期化していることが確認された。これはノズル内流れの差によるものと考えられる。今回は不均等1ノズルを使用する場合は噴射圧力を、不均等2ノズルを使用する場合は指示パルス期間を変更して、均等ノズルと同等の噴射率**(図5(b))**となるように調整して試験を実施した。また、今回の試験においては噴霧火炎がシリンダヘッドに衝突することを避けるために、インジェクタを可能な限り突出させ、シリンダヘッドと噴孔中心間距離を3.8mm確保した。

表1　エンジン諸元

Bore		Φ115mm
Stroke		125mm
Displacement		1,298cm^3
Compression ratio		15.3
Swirl ratio		1.29
Chamber diameter		Φ50mm, Φ80mm
Injector nozzle	Hole	Φ0.115mm×4holes
	Direction	Uniform, Non-uniform
	Angle	180°

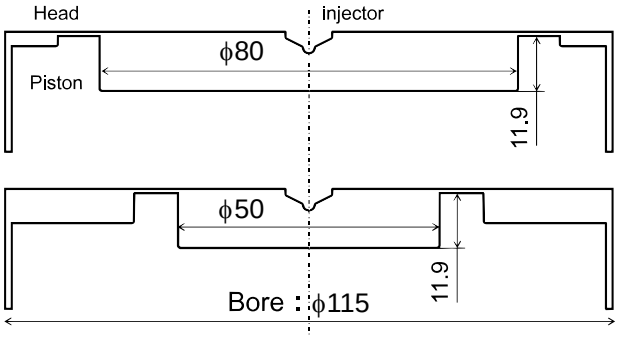


図3　燃焼室形状

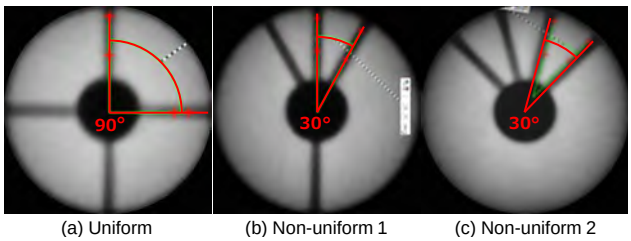


図4　各ノズルの燃料噴射方向

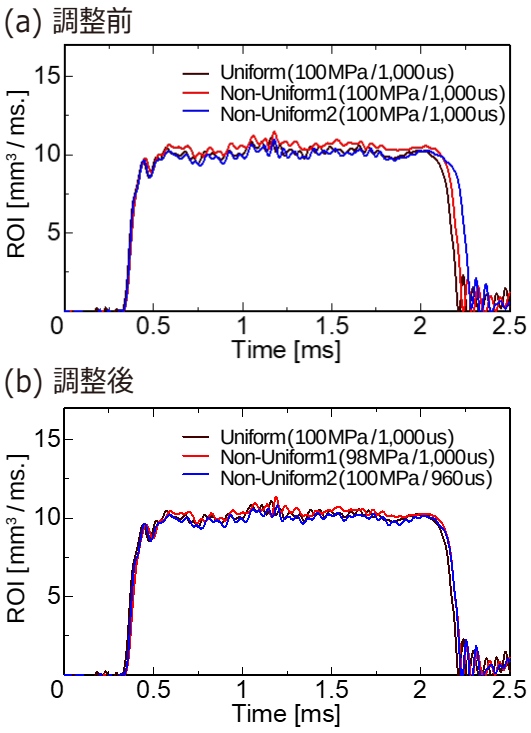


図5　各ノズルの燃料噴射率

表2に運転条件を示す。回転数は1,000rpmとして、モータリング運転時の最高筒内圧力が6MPaとなるように吸気量を調整した。燃料噴射は噴射量22mm^{3}の単段噴射として、噴射圧力を65MPa、100MPa、135MPaの3段階で変化させ、噴射圧力が各干渉の寄与度に与える影響を確認した。燃焼解析にはシリンダヘッドに取り付けたピエゾ式圧力センサ(Kistler製6056A)で筒内圧を計測し、燃焼解析装置(小野測器製DS3000)を用いて熱発生率を算出した。

表2　運転条件

Engine speed	1,000rpm
Injection quantity	22mm^3
Injection timing	-3.55° ATDC
Injection pressure	65MPa, 100MPa, 135MPa
Motoring Pmax	6MPa
EGR rate	0%

2.3 燃焼可視化

噴霧干渉時の燃焼状態を把握するために、観察窓下方より光学アクセス可能な下方可視化エンジンを用いて、筒内輝炎を高速度カメラ(ACS-1, ナックイメージテクノロジー製)で撮影した。**図6**に可視化装置の概略図を示す。観察窓には視野範囲を可能な限り広げるためにアクリル材を使用した。本可視化エンジンの最大視野径はΦ80mmとなっており、今回の検証条件においても燃焼室内を全域可視化することが可能である。燃焼室内径は観察窓上部のピストントップの形状を変更することで**図3**と同一にした。運転条件は**表2**と同条件であるが、噴射圧力は135MPaのみを撮影した。

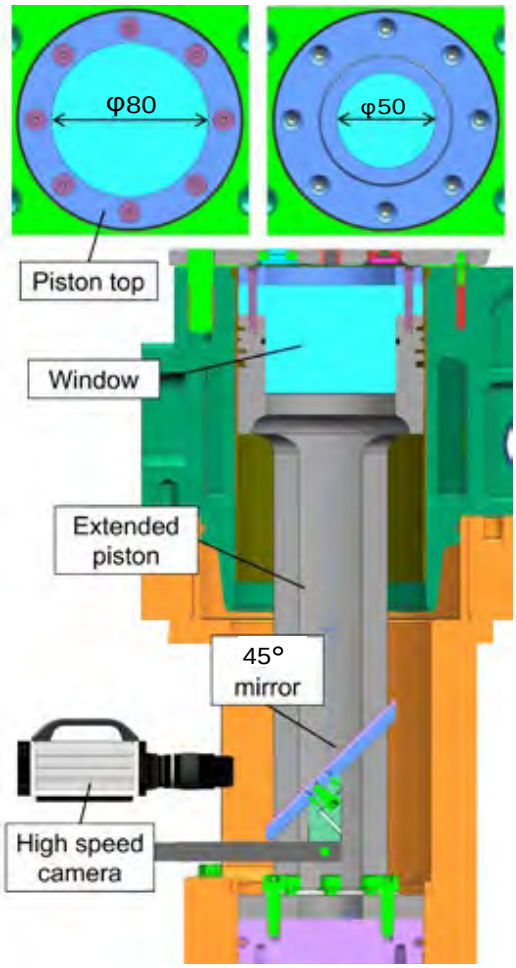


図6　燃焼可視化装置

3　実験結果

3.1 干渉時の熱発生率と火炎挙動の比較

図7及び**図8**に噴射圧力135MPaにおいて、燃焼室内径とノズル噴孔方向を変化させた場合の熱発生率の比較と筒内輝炎の可視化画像を示す。熱発生率は紙面の都合上、65MPaと100MPaの結果は掲載していないが、135MPaとおおむね同様の傾向となっている。可視化画像はカメラの露光開始時期を噴射開始トリガーに同期させて撮影し、10サイクル間で平均化した画像である。**図5**の噴射率計測結果から噴孔配置が異なることでノズル内部の流れが変化し、噴孔ごとの噴霧火炎に差異が生じることが懸念された。しかし噴射率を同等にすることで、パターンA及びBの可視化画像に示される噴孔ごとの輝炎の外形や到達距離に極端な差はみられず、今回の試験条件では噴孔配置が噴霧火炎自体に及ぼす影響は少ないと判断した。

図7(a)の熱発生率は**図2**のパターンAとBの比較であり、噴霧基部エントレインの干渉影響を比較している。噴霧基部エントレインが干渉することにより、拡散燃焼初期のクランク角 (以下、CA)3°ATDC(上死点後：After Top Dead Center)付近から燃料噴射終了までの期間で、不均等ノズルの熱発生率は均等ノズルよりも低くなり、干渉領域が広い不均等2は不均等1よりも低下量が大きいことが分かる。**図8**の同期間であるCA：5°ATDC~8°ATDCの可視化画像を見ると、パターンBのノズルにおいては噴霧基部エントレイン干渉部の輝炎先頭がノズル近傍まで発生しており、空気導入が悪化していると考えられる。また、噴射終了後のCA：10°ATDC以降でも熱発生率に差が見られるが、これは燃焼室内径Φ80mmとした場合においても噴霧火炎が壁面に衝突し、パターンBにおいては壁面衝突後の隣接噴霧火炎間の干渉が発生してしまうためである。可視化画像でも壁面衝突後の隣接噴霧火炎との干渉領域において、輝炎が長期間滞留している様子が観察されている。

図7(b)の熱発生率は**図2**のパターンAとCの比較であり、噴霧火炎と壁面の干渉影響を比較している。噴霧火炎が壁面と干渉することにより、拡散燃焼初期のCA：3°ATDC付近ではパターンAと比べて熱発生率が低下しているが、その後の噴射期間終了までは熱発生率が増加し続け、噴射終了時はパターンAとおおむね同等の値となっている。また、噴射終了後のCA：10°ATDC以降でも熱発生率に差は見られず、噴霧火炎と壁面の干渉では後燃えが増加していないことが分かる。**図8**の同期間の可視化画像を見てみると、パターンCにおいては輝炎が観察され始

める時点から、既に噴霧火炎は壁面に衝突しており、CA：3°ATDC付近では噴霧火炎と壁面の干渉により燃焼が悪化していると推察される。その後、壁面に衝突した噴霧火炎は燃焼室底面に沿って発達しながら、ノズル近傍まで達している様子が観察されている。壁面衝突により噴霧の拡散が促進したため燃焼が活発になっていると推察される。その結果、輝炎消失の時期はパターンAと比べても変化が見られない。

図7(c)の熱発生率は**図2**のパターンAとDの比較であり、噴霧基部エントレイン、噴霧火炎と壁面の干渉に加えて壁面衝突後の隣接噴霧火炎間の干渉影響が含まれている。壁面衝突後の隣接噴霧火炎との干渉が追加されることで、拡散燃焼初期のCA：3°ATDC付近から熱発生率が大幅に低下している。パターンCで見られた噴射期間中の熱発生率の増加も見られず、単調に減少し、噴射終了後のCA：10°ATDC以降においても熱発生が続いている。隣接噴霧火炎との干渉によって燃焼が緩慢になり、燃焼期間が長期化していることが分かる。**図8**の可視化画像からも輝炎が観察され始めるCA：2°ATDC付近から壁面衝突後の隣接噴霧火炎との干渉が発生している様子が観察されている。隣接噴霧と干渉した火炎はその場に滞留し続けており、噴霧の拡散が抑制されていると推察される。その結果、隣接噴霧と干渉した火炎は噴射終了後の膨張行程においても長い間観察され続けている。これらの結果からも、後燃えの原因は壁面衝突後の隣接噴霧火炎との干渉が主要因であることが分かる。

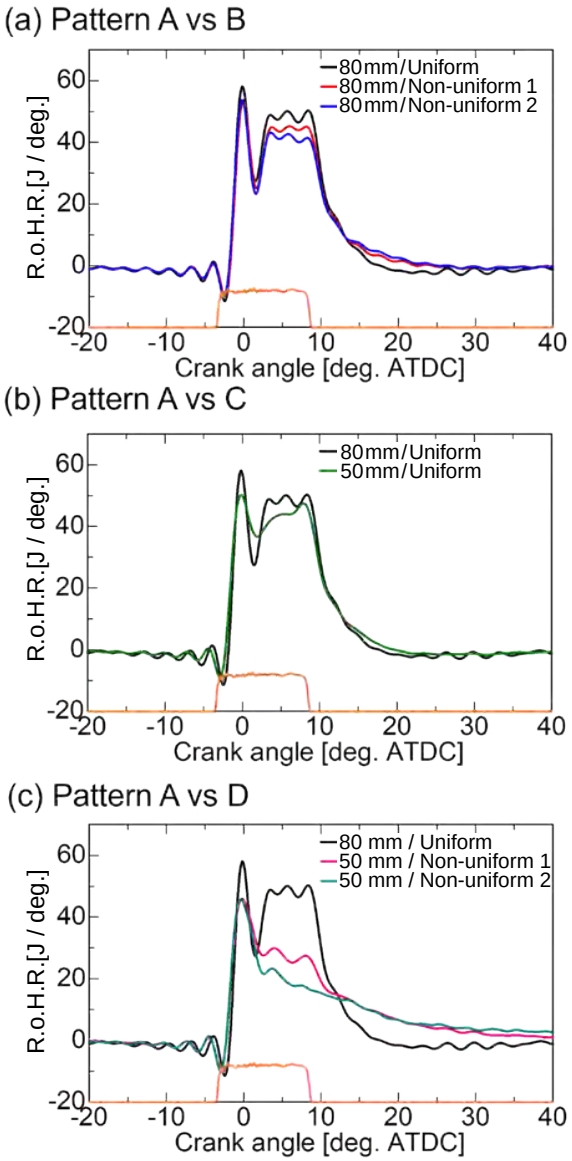


図7　各干渉時における熱発生率の比較

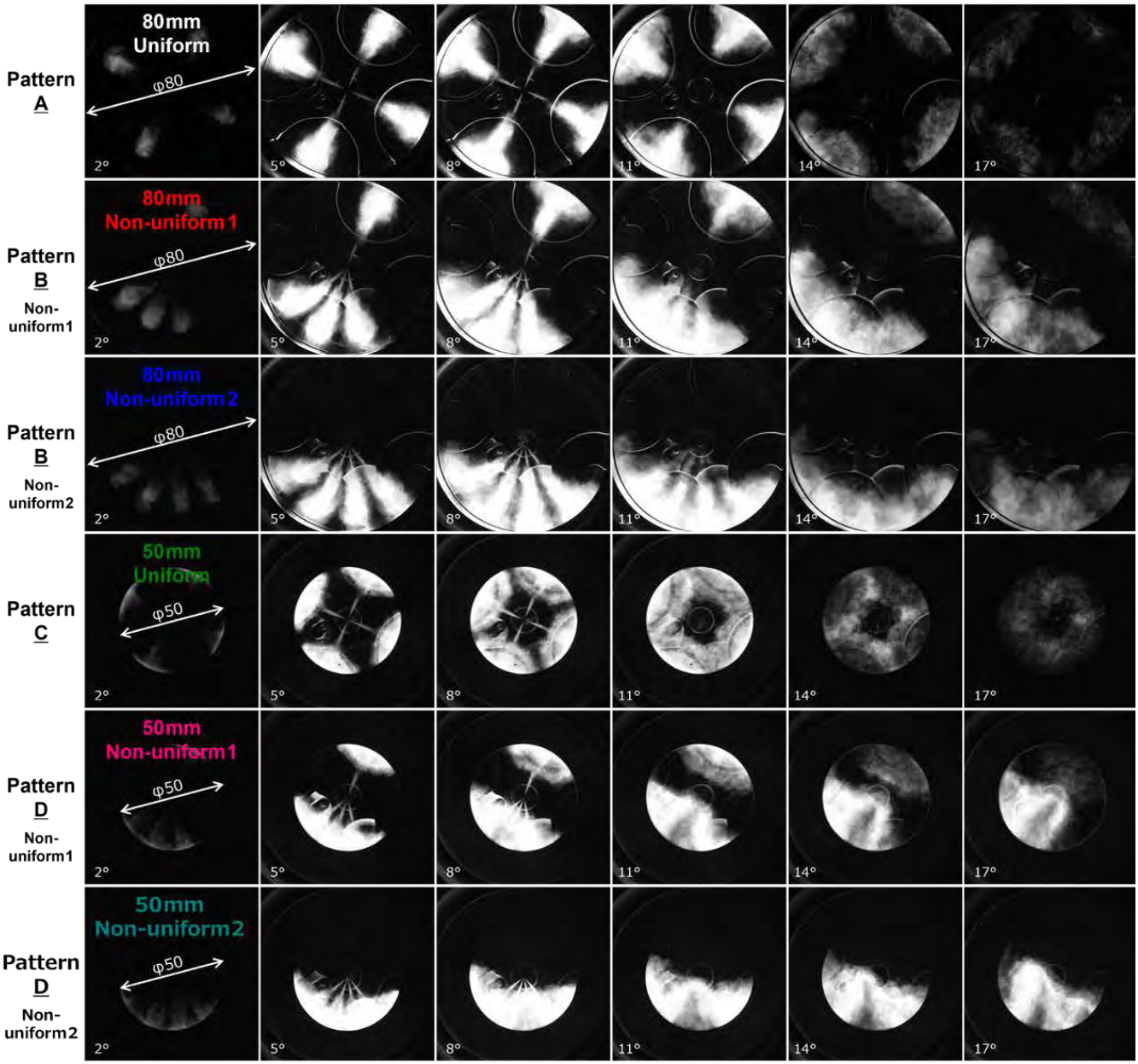


図8　各干渉時における筒内燃焼状態の比較

3.2 各干渉が燃焼に及ぼす影響

噴霧基部エントレイン、噴霧火炎と壁面及び壁面衝突後の隣接噴霧火炎間の干渉が、それぞれどの程度の寄与度をもって燃焼に影響しているかを評価する。**図9**に噴射圧力135MPaにおけるパターンAからパターンDの熱発生率と、**図2**の関係から求めた各干渉による熱発生率の差分を示す。噴霧の干渉により噴射期間中の熱発生率が低下し燃焼が悪化していることが分かる。その後、噴射終了後の膨張行程において発熱量が増加していることが確認できる。今回は噴射期間中の噴霧干渉に着目して、燃焼に与える影響を評価した。CA：−3°~2°ATDCにおいて差分が大きく振動しているが、これはパターン違いで予混合的な燃焼が変化しているためである。この領域は燃焼が急峻で正確に差分が見積れない。本報では拡散燃焼に対する干渉影響を検証するため、この領域は検証の対象外とした。**図9**のハッチングで示すのは、**図9**下段の熱発生率の差分の立下り(すべての干渉影響を含む (D-A)の立下り90%時期)から可視化画像より求めたパターンAにおいて輝炎が壁面に到達するまでの期間を示している。この期間においてパターンAはいかなる干渉の影響も受けないと見なして、**図9**上段の黒色ハッチング領域をベースとなる発熱量とした。**図9**下段の赤色のハッチング領域は噴霧基部エントレイン、緑色は噴霧火炎と壁面、青色は壁面衝突後の隣接噴霧火炎間の干渉による発

熱量の低下を示している。そこで、ベースとなる発熱量に対する各干渉による発熱量の低下率を用いることにより、各干渉が燃焼に及ぼす影響を評価した。

ただし、噴射圧力65MPa、100MPaは可視化試験を実施していないため、パターンAで輝炎が壁面に到達するまでの期間が不明である。そこで次に示すHiroyasuの**式(1)**[13]から火炎の壁面到達時期を推定した。

$$S = 2.95\left(\frac{\Delta P}{Pa}\right)^{\frac{1}{4}}\sqrt{d_0 t} \qquad \cdots(1)$$

ΔPは噴射差圧、Paは周囲気体密度、d_0はノズル噴孔径である。**図10**に噴射圧力135MPaにおける10サイクル平均画像から読み取った火炎先端位置をプロットし、**式(1)**と比較した結果を示す。輝炎の先端位置は可視化画像の最大輝度値の10%以上となった最長距離を読み取り、均等ノズルの4噴孔の平均値から求めた。**式(1)**は非蒸発噴霧のペネトレーションに関するもので、本来は噴霧火炎には適応できないが、**図10**において135MPaにおける火炎の先端位置と**式(1)**の結果がおおむね一致したため、今回はこの**式(1)**で火炎の先端位置が推定できると仮定した。噴射圧力65MPa、100MPaにおけるパターンAで噴霧火炎が壁面に到達するまでの期間は**式(1)**で到達距離が燃焼室半径40mmとなる時期から求めた。

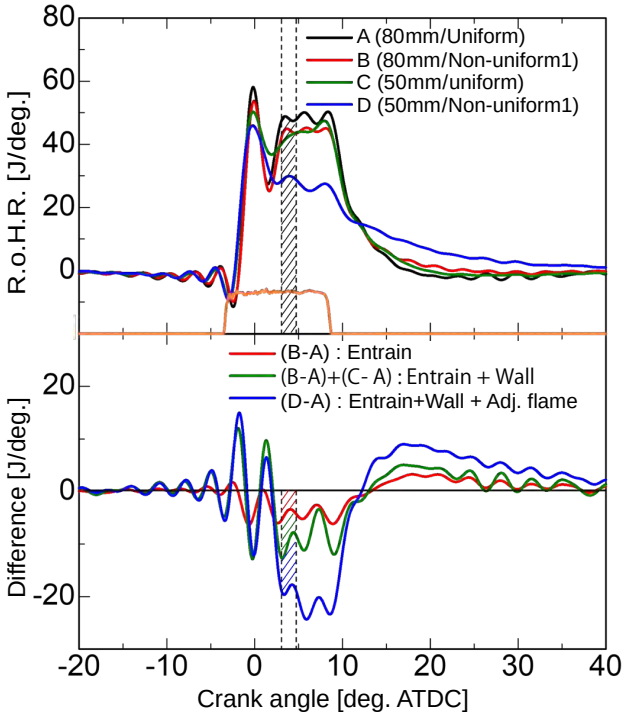


図9　熱発生率の比較(上)とその差分(下)

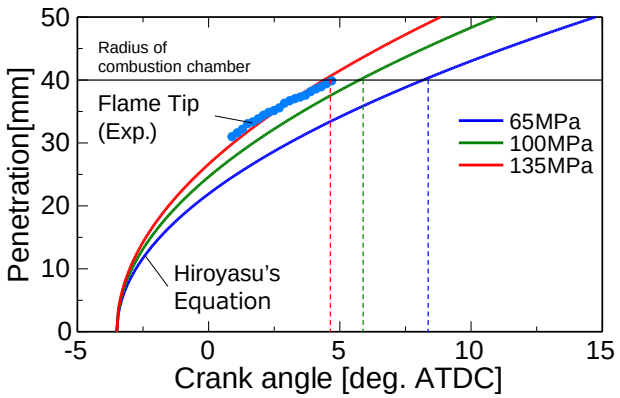


図10　噴霧火炎先端の到達距離

図11に噴射圧力を変化させた場合の各干渉による発熱量の変化率を示す。上段が不均等1ノズル、下段が不均等2ノズルの結果である。不均等2ノズルでは干渉領域が拡大することによって不均等1ノズルに比べて、噴霧基部エントレイン及び壁面衝突後の隣接噴霧火炎間の干渉影響が増加していることが分かる。また噴射圧力に着目すると、各干渉影響が燃焼悪化に与える寄与度は、噴射圧力により変化していることが分かる。噴霧基部エントレインについては噴射圧力が高くなると、干渉影響が小さくなっている。先行研究により噴霧基部エントレインの干渉影響が大きくなると、set-off長が短くなることが知られている[3][5]。均等ノズルのような自由噴霧相当では噴射圧力が増加するとset-off長が長くなる[16]。一方で不均等ノズルのように隣接噴霧が存在する場合においては噴射圧力が増加するとset-off長は長くなるが、それと同時に既燃ガスの逆流速度も増加するためset-off長を短縮させる[5]。この影響により不均等ノズルでは噴射圧力増加によるset-off 長の変化は相殺され、干渉影響が現れる可能性がある。しかし今回の試験においては噴霧火炎がシリンダヘッドに衝突することを避けるために、インジェクタを可能な限り突き出しており、噴霧火炎とシリンダヘッド間に空間が存在している。そのため既燃ガス逆流の影響が小さくなり、噴射圧力増加によって噴霧基部エントレインの干渉影響が小さくなる結果となったと考えられる。これらの詳細を把握するためには先行研究でも実施されているような、噴射圧力を変化させた場合のset-off長の変化を比較することが有効な手段であるが、今回は噴射圧力135MPaにおける輝炎直接撮影しか実施できておらず、set-off長の変化は計測できていない。詳細把握は今後の課題としたい。噴霧火炎と壁面の干渉は65MPaにおいて燃焼悪化への寄与度が顕著であるが、噴射圧力の増加により、寄与度が小さくなっていることが分かる。

これは噴射圧力を増加するほど壁面との干渉後も十分な運動量が維持され、噴霧の拡散が進むためと推察される。一方で壁面衝突後の隣接噴霧火炎間の干渉は強まるという結果になっている。

これらの結果から、4パターンの燃焼を比較することで、①噴霧基部エントレインの干渉、②噴霧火炎と壁面の干渉、③壁面衝突後の隣接火炎間の干渉を定量的に分離して、それぞれどの程度の寄与度をもって燃焼に影響を与えているかを評価することができた。各干渉が燃焼に与える影響は噴射圧力によって寄与度が変化し、低噴射圧力では①噴霧基部エントレインの干渉、②噴霧火炎と壁面の干渉の寄与度が大きく、高噴射圧力では③壁面衝突後の隣接火炎間の干渉の寄与度が大きいことが分かった。

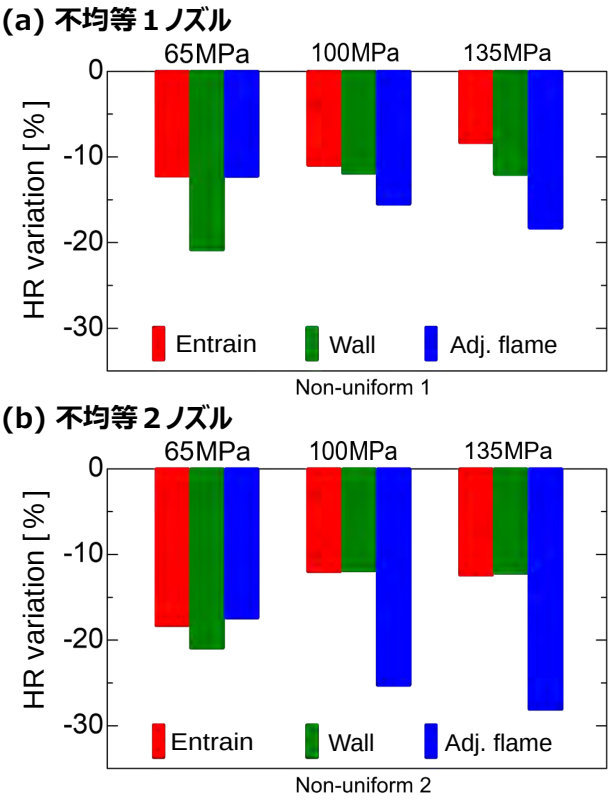


図11　各干渉が発熱量に与える影響

4　おわりに

ディーゼル噴霧火炎の干渉が燃焼に及ぼす影響を検証するために、燃焼室内径とノズル噴孔方向を変化させた4パターンの燃焼を比較することによって噴霧基部エントレイン、噴霧火炎と壁面及び壁面衝突後の隣接噴霧火炎間の干渉の影響を切り分け、各干渉がそれぞれどの程度寄与度をもって燃焼に影響しているかを評価した。得られた結論は以下のとおりである。

1. 熱発生率と筒内輝炎の可視化画像を比較することで、噴霧基部エントレインの干渉により空気導入が阻害されて、噴射期間中の熱発生率は低下するが後燃えは変化しないこと、噴霧火炎と壁面干渉により衝突時の熱発生率は低下するが、その後は衝突により噴霧の拡散が促進され、燃焼悪化せず後燃えは変化しないこと、噴霧火炎が壁面に衝突した後に隣接火炎と干渉することで噴霧の拡散が抑制されて後燃えの大きな要因となっていることが分かった。
2. 4パターンの燃焼の熱発生率の差分をとり、干渉を含まない熱発生との比率から低下率を求めることで各干渉が燃焼悪化に与える寄与度を評価可能であることが分かった。
3. 噴射圧力を変化させて各干渉が燃焼悪化に与える寄与度を評価した結果、噴霧基部エントレイン及び噴霧火炎と壁面の干渉は噴射圧力が増加することで寄与度が少なくなることか分かった。一方で壁面衝突後の隣接火炎との干渉は噴射圧力の増加で寄与度が大きくなることが分かった。

本文献は、自動車技術会論文集Vol.56, No.2に掲載された論文を加筆修正のうえ報告するものである。

参考文献

(1) 経済産業省：2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html (参照 2024-07-24)
(2) 大橋伸匡 ほか：ディーゼルエンジンのライトサイジングによる部分負荷の熱効率向上コンセプト，自動車技術会論文集，Vol.55，No.3 (2024)，p.533-545
(3) Clément Chartier, et al. : Influence of jet-jet interactions on the lift-off length in an optical heavy-duty DI diesel engine, Fuel 112 (2013), P.311-318.

(4) Hyun Jo, et al. : Effect of Jet-Jet Angle on Combustion Process of Diesel Spray in an RCEM, SAE Int. J. Adv. & Curr. Prac. in Mobility, 2020-01-2058 (2020).
(5) T. Fuyuto, et al. : Set-off length reduction by backward flow of hot burned gas surrounding high-pressure diesel spray flame from multi-hole nozzle, Int. J Engine Research, Vol.18, (2017), p.173-194
(6) G. Bruneaux : Mixing Process in High Pressure Diesel Jets by Normalized Laser Induced Exciplex Fluorescence, Part II: Wall Impinging Versus Free Jet, SAE Paper 2005-01-2097 (2005)
(7) M. Nakata et al. : A Study on the Wall Heat Loss from Diesel Spray Flame with Rapid Compression and Expansion Machine, 9th COMODIA 2017, A208 (2017)
(8) R. Mahmud, et al. : Infrared High-Speed Thermography of Combustion Chamber Wall Impinged by Diesel Spray Flame -Imaging Velocimetry of the Radially Striped Infrared Radiation Pattern-, SAE Paper 2023-32-0087 (2023)
(9) K. Saijyo, et al.: CFD Analysis of Spray-Wall Interaction under Evaporating Conditions, SAE paper 2015-01-1854 (2015)
(10) 堀司 ほか：解析的壁関数による壁面に衝突するディーゼル噴霧火炎の解析，第28回内燃機関シンポジウム講演論文集，No. 12 (2017)，P1-6
(11) 渡邉一雅 ほか：火炎間の干渉がディーゼル拡散燃焼に与える影響，自動車技術会論文集，Vol.52，No.6 (2021)，p.1180-1185
(12) Y. Kidoguchi, et al. : Characteristics of Heat Release History of Multi-Hole Diesel Spray Affected by Initial Mixture Formation, Wall Impingement and Spray Interaction, SAE paper 2020-01-2119 (2020)
(13) 小川英之 ほか：千鳥噴孔配置燃料噴射ノズルによる噴霧間干渉の抑制とディーゼル燃焼の改善，自動車技術会論文集，Vol.54，No.3 (2023)，p.574-579
(14) 井上大地 ほか：レーザー誘起赤熱法によるディーゼル噴霧火炎干渉領域におけるすす生成過程に関する研究，自動車技術会論文集，Vol.54，No.5，(2023)，p.984-989
(15) Hiroyasu H, et al. : Development and use of a spray modeling to predict diesel engine efficiency and pollutant emissions: part 1 combustion modeling. B JSME; 26 (214): (1983), p.569–575
(16) Siebers, D., et al. : Flame Lift-Off on Direct-Injection Diesel Sprays Under Quiescent Conditions, SAE Technical Paper 2001-01-0530, (2001)

論文・報告

噴霧の干渉がディーゼルエンジン燃焼に及ぼす影響 (第2報)

Effect of Spray-spray/wall Interaction on Diesel Engine Combustion (Second Report)

古川　伸哉*　Shinya Furukawa
宮下　和也*　Kazuya Miyashita
石井　義範*　Yoshinori Ishii
小澤　恒*　Hisashi Ozawa

要　旨

エンジン筒内に噴射された燃料噴霧は、周囲の空気を取り込みながら発達していく。その過程においては、噴霧側面への空気導入の流れが隣接する噴霧のそれと干渉する。また、噴霧はピストン壁と干渉し、壁面に沿って発達後、同様に発達した隣接する噴霧とも干渉する。本報では、これらの干渉影響を切り分け、それぞれが燃焼に与える影響を実験(第1報)と計算(第2報)の両面から明らかにした。

Abstract

Fuel spray injected into diesel engine cylinder develops with entraining ambient air. Air entrainment flow surrounding the spray side boundary interferes with that of adjacent sprays. And the spray interferes with piston wall and develops along the wall surface. Then the spray interferes with the adjacent sprays developing along the wall surface similarly. In this study, the effect of each interference on combustion was analyzed by using engine combustion CFD simulation.

1　はじめに

第一報にて説明したように、これまでの詳細な研究により個々の干渉現象の理解が深まっている。その一方で、エンジン筒内においてはこれらの干渉が同時に発生しているが、先行研究では個々の干渉がそれぞれどの程度の寄与度をもって燃焼に影響を与えているかまでは示されていない。そこで本研究は、個々の現象を包含するエンジン内において、①噴霧基部エントレイン、②噴霧火炎と壁面、③壁面衝突後の隣接噴霧火炎間の3種の干渉がそれぞれどの程度の寄与度をもって燃焼に影響しているのかを明らかにし、現状の3次元CFD(数値流体力学：Computational Fluid Dynamics)シミュレーションによりその寄与度の再現性を検証した。第1報では、単気筒エンジンを用いて各干渉が燃焼に及ぼす影響を明らかにした[15]。本報では、第1報で取得した実験に対する計算を行い、各種モデルの検証を実施した。

2　計算方法

2.1 3次元CFDシミュレーション

本報の計算には、3次元CFDソフト (Convergent Science製 CONVERGE)を用いた。**表1**及び**表2**に、計算条件と計算に使用したモデルを示す。

後述のとおり、燃焼室内径とノズル噴孔方向の組み合わせにより、各干渉の影響を検証した。対象の燃料はJIS2号軽油であり、燃焼モデルにはShell & CTCモデルと詳細反応モデルの2種類を用いた。詳細反応モデルはヘキサデカンとヘプタメチルノナンの2成分で構成されており、ローレンス・リバモア国立研究所で開発された詳細反応メカニズムを簡略化したものを使用した[16]。また、壁関数には、標準壁関数と解析的壁関数の2種類を用い、壁近傍の噴霧火炎挙動の比較を行った。**図1**に、計算に用いた噴孔軸断面のメッシュ構造を示す。直交に配置されたBase grid(2mm)に対して、噴孔近傍には噴孔軸に沿ったInlaid mesh(0.25mm)を配置した。また、速度及び無次元距離y+を対象に解適合格子(AMR)を適用した。速度に対しては噴射速度の1%を閾値として0.25mm、y+に対しては30～100となるように0.125mmまでメッシュサイズを細分化した。

*(株)いすゞ中央研究所

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

表1　計算条件

Bore × Stroke		φ115×125mm
Compression ratio		15.3
Swirl ratio		1.29
Chamber diameter		80mm,50mm
Injector nozzle	Hole	φ0.115mm×4
	Direction	Uniform,Non-uniform
	Angle	180°
Engine speed		1,000rpm
Injection quantity		22 mm^3
Injection timing		-3.55° ATDC
Injection pressure		65MPa,135MPa
In-cylinder pressure@IVC		150kPa(abs)
In-cylinder temperature@IVC		379.8K
EGR rate		0%

表2　CFD計算に用いたサブモデル

Turbulence	RNG k-ε	
Breakup	KH-RT w/o breakup length	
Liquid fuel property	Diesel 2	$nC_{16}H_{34}$/$isoC_{16}H_{34}$ (Mass fraction: 0.547:0.453)
Fuel vapor component	nC_7H_{16}	
Combustion	Shell & CTC model	Detailed chemistry (97species/136reactions)
Near wall treatment	Std. wall function (SWF) (Launder, Spalding, O'Rourke & Amsden)	Analytic wall function (AWF) (Craft & Suga)

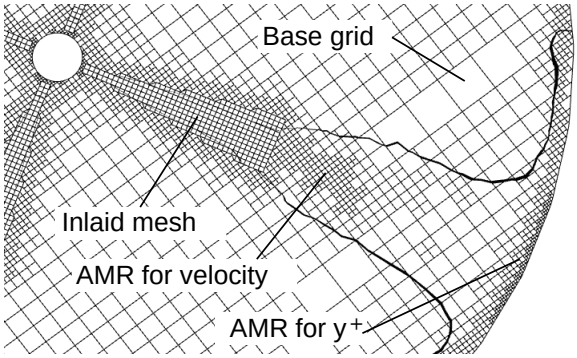
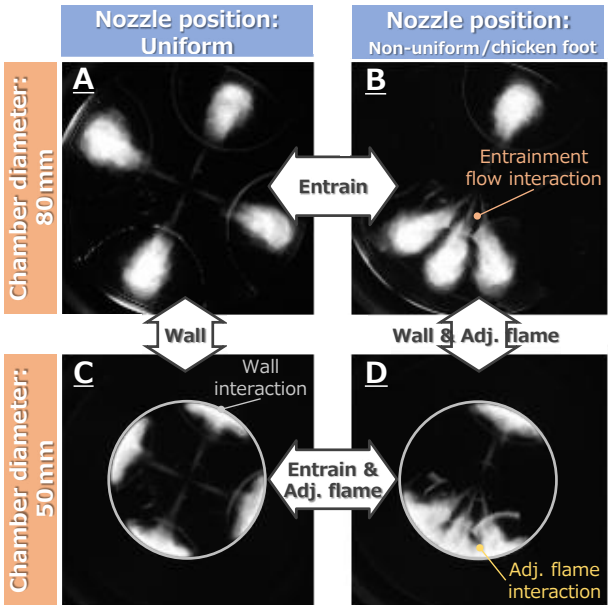


図1　CFD計算に用いた格子構造

2.2 干渉影響の評価方法

図2に、燃焼室内径と噴孔方向の組み合わせパターンAからDの筒内可視化画像と干渉影響の分離方法を示す。Aはベースとなる干渉の影響を含まない状態である。Bは、不均等なノズル配置により、1噴霧のみエントレインの干渉影響が含まれた状態となる。Cは、燃焼室内径を小さくすることにより、壁面の干渉影響が含まれた状態となる。なお、ここでの壁面とはキャビティ側面と底面及びヘッド下面であり(**図7**)、壁面の干渉影響は火炎の拡散が阻害される効果と壁面熱伝達が助長される効果の両方を含んでいる。Dは、エントレインと壁面に加えて、隣接噴霧火炎間の干渉影響を含んだ状態である。例えばBとAの熱発生率の差分より、エントレインの干渉影響を、CとAの差分より、壁面の干渉影響をそれぞれ分離することができる。隣接噴霧火炎間の干渉影響は、全ての影響を含むパターンDとAの差分を取ったうえで、エントレインと壁面の干渉影響を差し引くことにより分離することができる。



Entrainment flow	B-A
Wall	C-A
Adjacent flame	D-A-(B-A)-(C-A)

図2　噴霧間干渉が燃焼に及ぼす影響の分離方法

図3に、噴射圧力135MPaの実験で得られたパターンAからDの熱発生率と、**図2**の関係から求めた各干渉による熱発生率の差分を示す。クランク角-3～2°ATDCにて差分が大きく振動している。これはパターン違いで予混合的な燃焼が変化しているためである。本報では拡散燃焼に対する干渉影響を検証するため、この領域は検証の対象外とした。**図3**のハッチングで示す領域は、**図3下部**の熱発生率の差分の立下り(全ての干渉影響を含む(D-A)の立下り90%時期)からパターンAにおいて輝炎が壁面に到達するまでの期間を示している。この期間においてパターンAはいかなる干渉の影響も受けないと見なして、黒色ハッチング領域をベースとなる発熱量とした。赤色のハッチング領域はエントレイン、緑色は壁面、青色は隣接噴霧火炎間の干渉による発熱量の低下を示

している。そこで、ベースとなる発熱量に対する各干渉による発熱量の低下率を用いることにより、各干渉が燃焼に及ぼす影響を評価した。

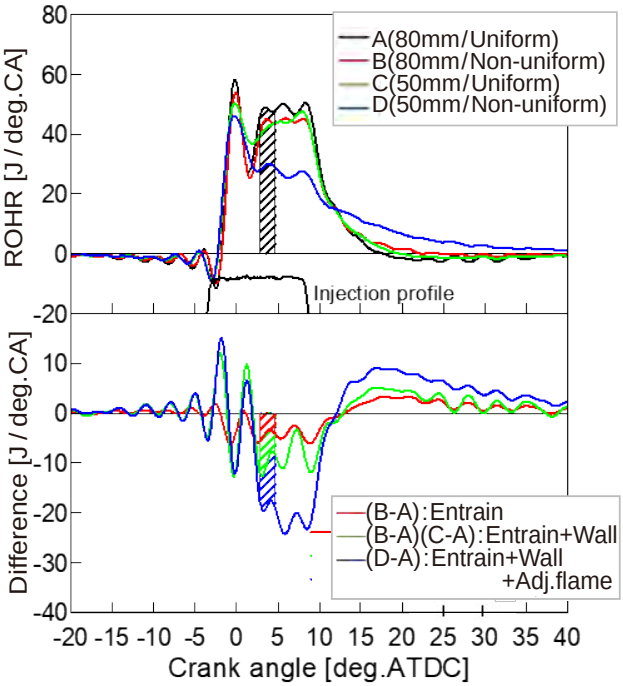


図3　実験による熱発生率(上)とそれら差分(下)

3　計算結果と考察

3.1 燃焼モデルの評価

図4に、噴射圧力135MPa、パターンAの実験結果と計算結果の比較を示す。壁関数にはSWF (標準壁関数:Standard Wall Function)を用い、壁面熱伝達計算にはO'Rourke & Amsdenモデルを用いた。計算結果は、見かけの熱発生率に加えて真の熱発生率も示しており、実験と同様のローパスフィルタ処理を施している。Shell & CTCモデル、及び詳細化学反応計算のどちらを用いた場合も、熱発生率の立ち上り時期、拡散燃焼時の熱発生率の最大値及び燃焼期間は比較的良く再現されている。

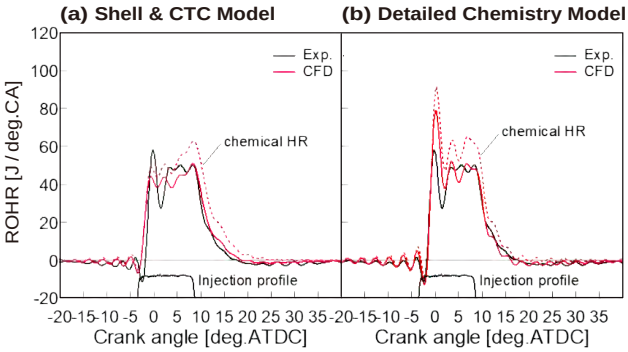


図4　実験及び計算による熱発生率の比較

図5に、筒内をピストン下方から観察した結果を示す。実験結果は火炎の直接撮影画像、計算結果は温度2,000Kと当量比2.0の等値面を表示している。実験結果において白く見える領域は、高温に晒されたSootからの輝炎発光であり、おおむね筒内の高温領域に対応するものとして、本比較を行った。また、3者とも着火時期が異なるため、実験においては輝炎が明確になるタイミング、計算においては温度2,000Kの等値面が明確になるタイミングを起点として、クランク角3°ごとに3枚の画像を比較した。**図5**より、実験で観察された輝炎は、燃焼室内壁(図中白線)付近で現れ、噴霧の上流及び下流側へと広がっていく。これに対して、Shell & CTCモデルを用いた計算結果においては、高温領域は、噴霧の比較的上流部で現れたのちに下流側へ広がっている。これは、実験で確認される輝炎の挙動とは逆の傾向となっている。一方、詳細反応計算を用いた計算結果においては、高温領域は、燃焼室内壁付近で現れ、噴霧の上流及び下流側へと広がっており、実験の輝炎の挙動と一致している。これは、化学反応計算により、予混合気形成後にある程度の着火遅れ時間を経てから着火に至る過程を再現できたためと考えられる。これらの結果から、本検証においては、高温領域の挙動が実験結果の輝炎の挙動と比較的良く一致した詳細反応計算を用いることとした。

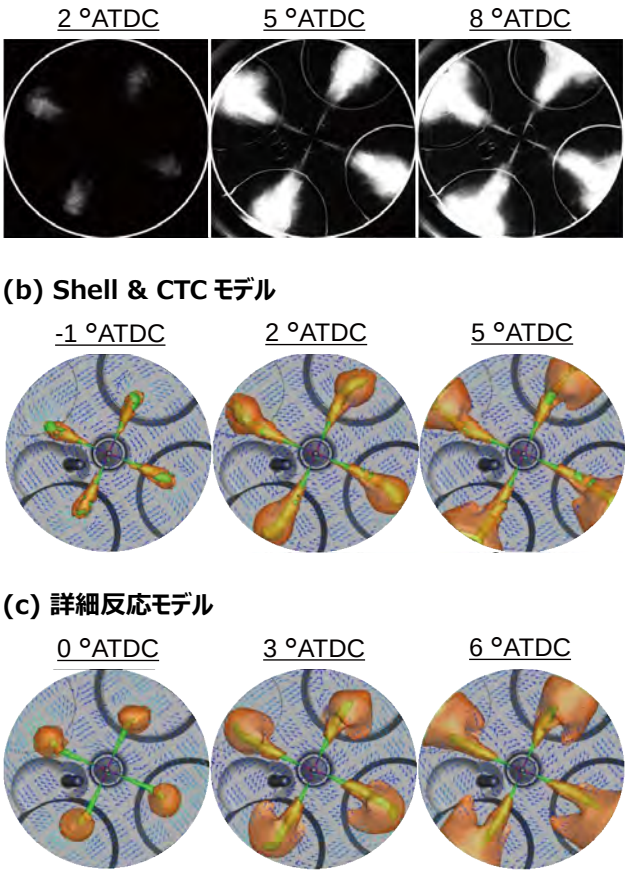


図5　筒内可視化画像
実験及び計算結果の比較(橙：温度2,000K等値面、緑：当量比2.0 等値面)

3.2 壁関数の評価

図6に、パターンCにおいて、SWFとAWF (解析的壁関数:Analytic Wall Function)を用いた場合の計算結果と実験結果の比較を示す。**図6**より、両者の真の熱発生率に大きな違いは見られない。しかしながら、SWFはAWFに対して、熱損失が小さく、見かけの熱発生率の再現性が高いように見える。**図7**に、両壁関数を用いた計算結果の噴孔軸断面の温度分布を示す。燃焼室側面に衝突した噴霧火炎は、燃焼室底面に沿ってシリンダ中心方向に向かって発達していく。AWFでは、火炎先端部が底面から浮き上がっているのに対して、SWFでは先端部も壁面に接触している。また、AWFはSWFに比べて、壁面に沿うペネトレーションが小さく、底面垂直方向への火炎の巻き上がりが大きくなっている。今回の筒内可視化試験は下方からのみの観察であるため、火炎先端部の巻き上がりについて検証することができていない。しかしながら、先行研究における壁面に沿って発達する噴霧の計算においては、壁面に沿うペネトレーションが過大評価され、巻き上がりが過小評価されることが指摘されている[7][8]。また、定容容器のディーゼル燃焼計算において、AWFはSWFに比べて、壁面に沿うペネトレーションが抑制されると同時に、衝突点からの距離に対する熱流束の傾向再現性が改善することが報告されている[8]。本報の計算においても壁面に沿うペネトレーションについては同様の傾向が確認されていることから、噴霧挙動及び熱損失の傾向の再現性向上が期待できるAWFを用いることとした。

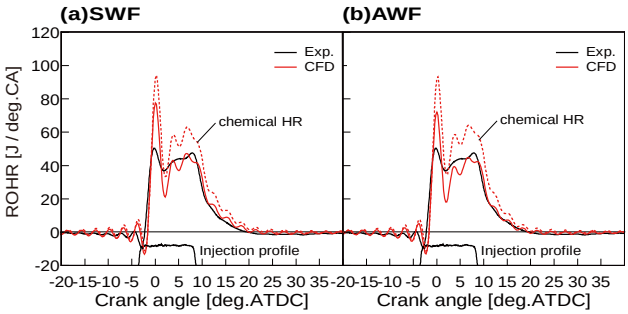


図6　実験及び計算による熱発生率の比較

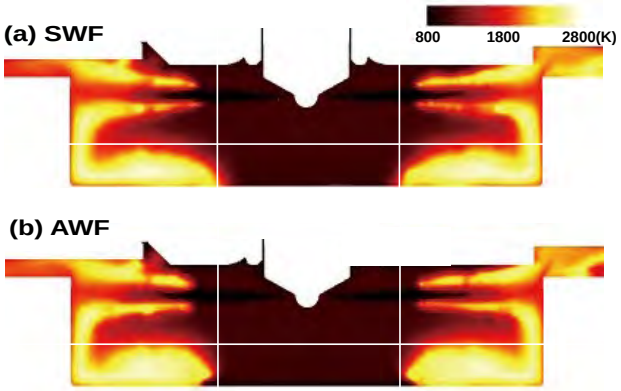


図7　噴孔断面の温度分布

3.3 噴霧干渉影響の評価

図8に、パターンAにおける実験結果と計算結果の比較を示す。いずれの噴射圧力においても、**図4**での比較と同様に、実験の傾向は計算により再現できている。**図9**に、噴射圧力135MPaにおける筒内直接撮影画像と計算結果の比較を示す。比較の方法は、**図5**と同様である。前述のパターンAの場合と同様に、パターンBからDにおいても、実験の輝炎と計算の高温領域は、壁面近傍で出現したあと、噴霧の上流及び下流へ広がることが分かる。また、パターンB及びDの不均等ノズル配置においては、均等配置の場合と比べて、輝炎及び高温領域がノズルに近い位置まで遡っている。図中のパターンBの挿入図に示すように、近接した噴霧間にはノズル方向へ逆流す

る流れが生じている。これは、前述のとおり、噴霧火炎間の領域においてノズル方向に向かう既燃ガスの流れによるものと考えられる[3]。本報の実験及び計算においても、同様の挙動が再現されていることが確認できた。

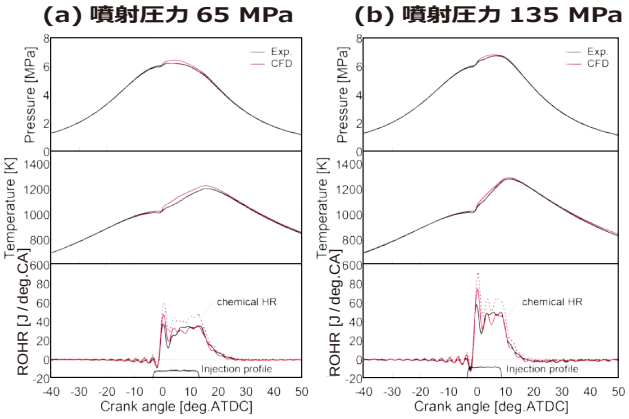


図8　実験及び計算により得られた筒内力、温度、熱発生率

図10に、各パターンの熱発生率の比較を示す。計算結果については、見かけの熱発生率と真の熱発生率を示している。これらの熱発生率に対して、**2.2節**で述べた方法により各干渉が熱発生率に与える影響を評価した。**図11**に、各干渉の寄与度分析結果を示す。実験結果(**図11左**)において、噴射圧力65MPaの場合は壁面の干渉の寄与度が最も大きいのに対して、135MPaの場合は隣接噴霧火炎間の干渉の寄与度が大きくなっている。これを計算による見かけの熱発生率 (**図11中**)を用いた結果と比較すると、いずれの噴射圧力においても、エントレイン及び隣接噴霧火炎間の干渉の寄与度は実験結果を比較的良く再現しているものの、壁面の干渉の寄与度は過大評価となっている。一方、計算により得られる真の熱発生率(**図11右**)を用いた評価では、各干渉の寄与度は、実験結果を比較的良く再現している。見かけの熱発生率と真の熱発生率の最も大きな違いは、熱損失の影響を含むか否かである。この結果から、熱損失を含む見かけの熱発生率は噴霧火炎と壁面との干渉による熱発生率の低下幅が実験値よりも大きく、熱伝達の影響が過大に評価されることが示される。これらの結果より、熱伝達モデル改良の必要性が明らかとなった。これについては今後の課題としたい。

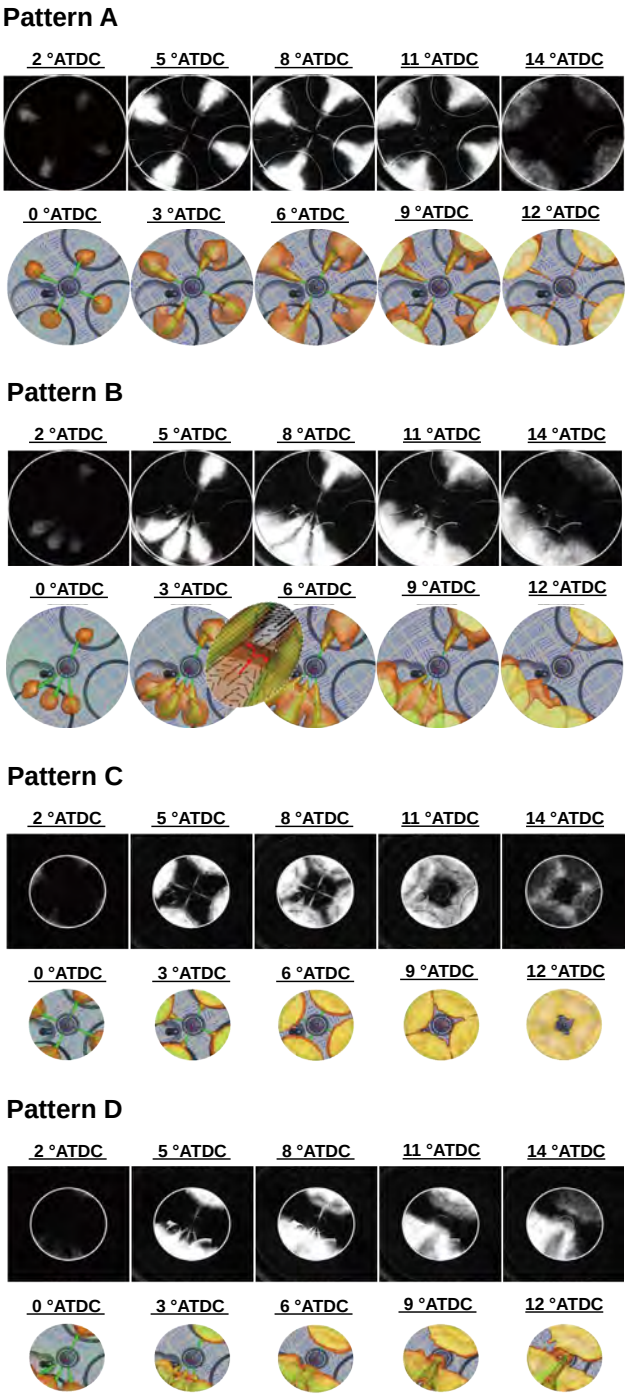


図9　パターンAからDの筒内可視化画像
上段：実験による輝炎発光
下段：計算による温度2,000K(橙)及び当量比2.0(緑)の等値面

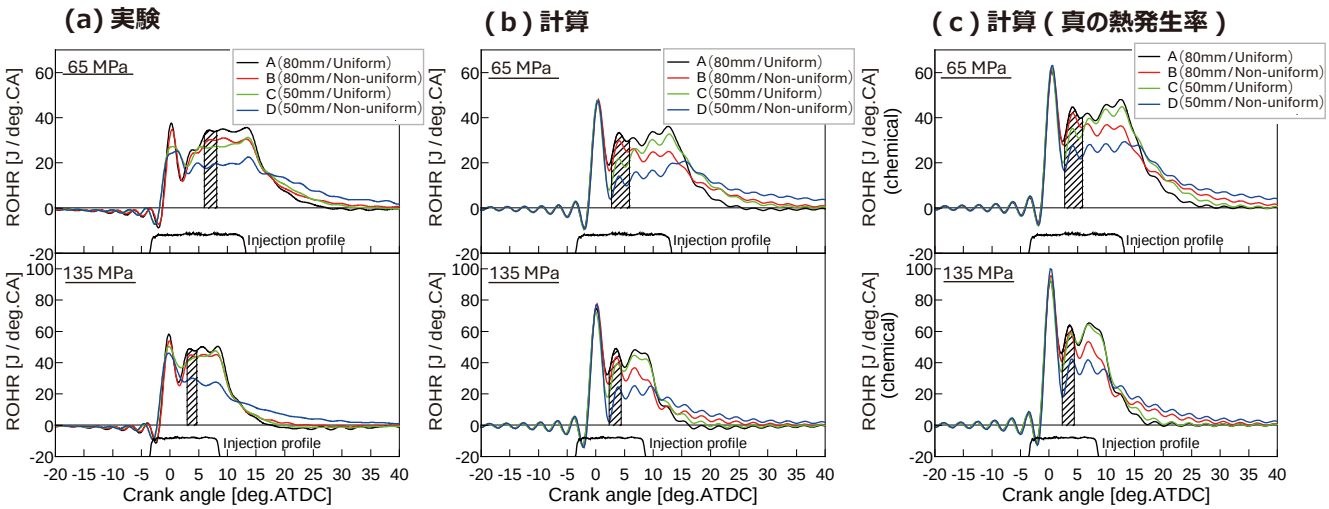


図10　パターンAからDの熱発生率の比較

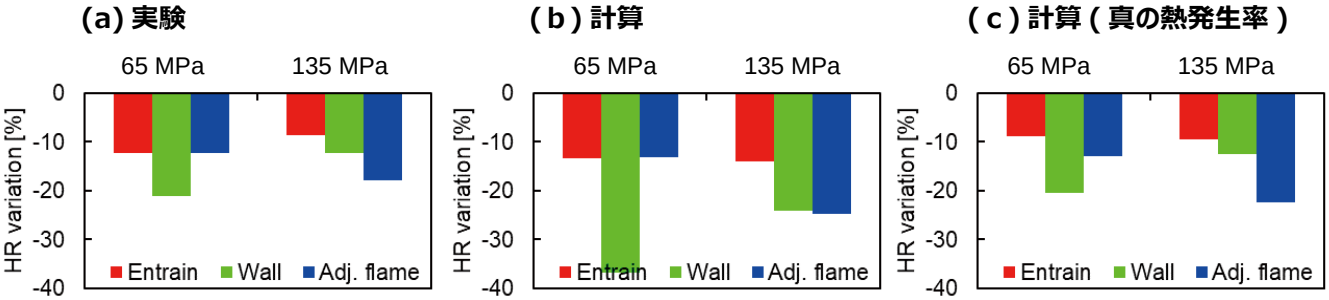


図11　噴霧間干渉が発熱量に及ぼす影響

3.4 噴射圧力が噴霧の干渉に及ぼす影響

本計算においては壁面熱伝達の見積もりに課題が確認された。壁面の干渉には、壁面熱伝達に加えて、壁面による噴霧の分散抑制の影響も含まれる。前節の真の熱発生率を用いた評価は、熱損失の影響を含まないという点から噴霧の分散を主眼とした評価と言える。本実験条件においては、これが実験結果と比較的良く一致した。このことから、本計算結果を用いた場合においても噴霧の分散の観点からの考察は可能と考え、計算により得られた噴霧の質量分率を解析した。

図12に、パターンAからDの噴霧の質量分率を示す。ここでの質量分率$Spray\ mass\ fraction$は、筒内の質量$M_{In\ cylinder}$に対する当量比0.1以上の領域の質量$M_{Phi>0.1}$とし、**式(1)**より算出した。

$$Spray\ mass\ fraction = \frac{M_{Phi>0.1}}{M_{In\ cylinder}} \quad \cdots(1)$$

噴霧の質量分率は、本評価に用いた期間(**図10**のハッチング期間)の平均値を示している。また**図12**中の数値は、各噴射圧力におけるパターンAの質量分率を1とした場合の相対値を示している。**図12**より、いずれの噴射圧力においても、ベースのパターンAに対して、パターンBからDは干渉の影響により噴霧の質量分率が低下する。これは干渉の影響により噴霧の分散が抑制されるためである。65MPaの場合は、135MPaに比べて、パターンCでの低下が大きくなっている。これは、噴射圧力が低いほど、壁面との干渉により噴霧が運動量を失い分散が抑制される効果が大きいためと考えられる。また、**図13**に、各パターンの温度及び当量比の筒内分布を示す。タイミングはそれぞれ本干渉影響の評価に使用した期間の開始付近のタイミングである。**図13**より、壁面の干渉後のパターンCにおいて、噴射圧力が低いほど高温領域の広がりが小さく、噴霧の分散が抑制される様子が確認できる。

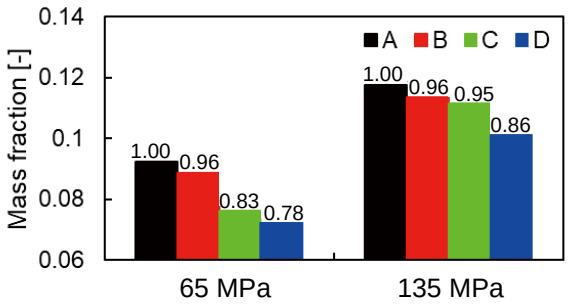


図12　各パターンにおける噴霧の質量分率

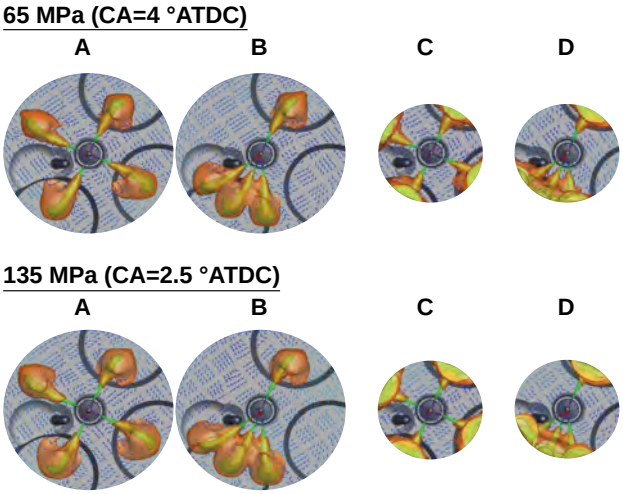


図13　干渉影響が顕著になる時期における
温度2,000 K(橙)及び当量比2.0(緑)の等値面

一方、**図12**より、135 MPaの場合は、65 MPaに比べて、パターンDでの噴霧の質量分率の低下が大きくなっている。これは噴射圧力が高いほど、壁面との干渉後も十分な運動量をもって噴霧が発達するため、その後の隣接噴霧火炎間の干渉の影響が大きくなるためと考えられる。**図13**より、壁面の干渉後のパターンDにおいて、噴射圧力が高いほど高温領域の広がりが大きく、隣接噴霧火炎間の干渉領域が広がっている様子が確認できる。

これらの結果から、噴射圧力が高くなると噴霧火炎間の干渉の寄与度が大きくなる要因として、壁面との干渉後においても噴霧が十分な運動量を維持していることで拡散が継続できることが考えられる。

4　おわりに

噴霧火炎の各干渉が燃焼に及ぼす影響を分離評価し、3次元燃焼CFDシミュレーションソフトCONVERGEを用いて、本現象の解析を行った。

- 燃焼モデルにおいて、Shell-CTCモデルと詳細反応計算を比較した結果、高温領域の発生挙動に違いが見られた。詳細反応計算の結果は、輝炎の発生挙動を比較的良く再現することが確認された。
- 壁面に沿って発達する噴霧火炎において、AWFでは、SWFに対して、壁面水平方向のペネトレーションが抑制され、垂直方向の巻き上りが大きくなる傾向が確認された。これは先行研究にて指摘されるペネトレーションが過大評価かつ巻き上がりが過小評価されるという課題を改善する傾向であった。
- 各干渉が燃焼に与える影響を分離評価した結果、エントレイン及び隣接噴霧火炎間の干渉による熱発生率の低下については、計算により比較的良く実験の傾向が再現された。
- 本評価における壁面の干渉による熱発生率の低下には、噴霧の分散と壁面熱伝達の影響が含まれる。真の熱発生率を用いた評価では実験の再現性が良好であったが、見かけの熱発生率による評価では熱発生率の低下が過大評価された。
- 上記の原因は熱損失の見積もりにある。今後、壁面衝突噴霧火炎に対する熱伝達モデルの改良を行う必要がある。
- 各干渉が熱発生率の低下に及ぼす影響として、噴射圧力の上昇とともに、壁面の干渉の寄与度が小さく、隣接噴霧火炎間の干渉の寄与度が大きくなる傾向が見られた。噴霧の分散の観点から、この要因は、噴射圧力が高くなると壁面との干渉後においても噴霧が十分な運動量を維持していることで拡散が継続できることが考えられる。

本文献は、自動車技術会論文集56巻4号p. 738「噴霧の干渉がディーゼルエンジン燃焼に及ぼす影響(第2報)」に掲載された論文を加筆修正のうえ報告するものである。

参考文献

(1) 経済産業省：2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html (参照日：2024.7.24)
(2) 大橋伸匡 ほか：ディーゼルエンジンのライトサイジングによる部分負荷の熱効率向上コンセプト，自動車技術会論文集，Vol.55，No.3 (2024)，p. 533-545
(3) Clément Chartier, et al.: Influence of jet-jet interactions on the lift-off length in an optical heavy-duty DI diesel engine, Fuel 112 (2013) 311-318.
(4) Hyun Jo, et al.: Effect of Jet-Jet Angle on Combustion

Process of Diesel Spray in an RCEM, SAE Int. J. Adv. & Curr. Prac. in Mobility, 2020-01-2058 (2020).
(5) T. Fuyuto, et al.: Set-off length reduction by backward flow of hot burned gas surrounding high-pressure diesel spray flame from multi-hole nozzle, Int. J Engine Research, Vol.18, (2017), p.173-194
(6) G. Bruneaux: Mixing Process in High Pressure Diesel Jets by Normalized Laser Induced Exciplex Fluorescence Part II: Wall Impinging Versus Free Jet, SAE Paper 2005-01-2097 (2005)
(7) M. Nakata et al.: A Study on the Wall Heat Loss from Diesel Spray Flame with Rapid Compression and Expansion Machine, 9th.COMODIA 2017, A208 (2017)
(8) R. Mahmud: Infrared High-Speed Thermography of Combustion Chamber Wall Impinged by Diesel Spray Flame: Imaging Velocimetry of the Radially Striped Infrared Radiation Pattern, SAE Paper 2023-32-0087 (2023)
(9) K. Saijyo, et al.: CFD Analysis of Spray-Wall Interaction under Evaporating Conditions, SAE paper 2015-01-1854 (2015)
(10) 堀司 ほか：解析的壁関数による壁面に衝突するディーゼル噴霧火炎の解析，第28回内燃機関シンポジウム講演論文，No.12 (2017)，p1-6
(11) 渡邉一雅 ほか：火炎間の干渉がディーゼル拡散燃焼に与える影響，自動車技術会論文集，Vol.52，No.6(2021)，p.1180-1185
(12) Y. Kidoguchi, et al.: Characteristics of Heat Release History of Multi-Hole Diesel Spray Affected by Initial Mixture Formation, Wall Impingement and Spray Interaction, SAE paper 2020-01-2119 (2015)
(13) 小川英之 ほか：千鳥噴孔配置燃料噴射ノズルによる噴霧間干渉の抑制とディーゼル燃焼の改善，自動車技術会論文集，Vol.54，No.3(2023)，p.574-579
(14) 井上大地 ほか：レーザー誘起赤熱法によるディ－ゼル噴霧火炎干渉領域におけるすす生成過程に関する研究，自動車技術会論文集，Vol.54，No.5(2023)，p.984-989
(15) 宮下和也 ほか：噴霧の干渉がディーゼルエンジン燃焼に及ぼす影響，自動車技術会論文集，Vol.56，No.2 (2025)，p305-311
(16) H. Saito, et al.: Numerical Simulation of In-Cylinder Particulate Matter Formation in Diesel Combustion by CFD Coupled with Chemical Kinetics Model, SAE paper 2019-01-2244 (2019)

論文・報告

高速度赤外線カメラを用いたディーゼルエンジンピストン表面の時系列温度分布計測

Infrared High-Speed Thermography of Piston Surface on Diesel Engine

宮下　和也*　古川　伸哉*　石井　義範*　小澤　恒*
Kazuya Miyashita　Shinya Furukawa　Yoshinori Ishii　Hisashi Ozawa

要　旨

燃焼CFDでは、各現象を表現したモデルを組み合わせることによりシリンダ内の燃焼を再現している。しかし、その再現性には課題があり、特に壁面熱損失の精度検証が必要である。本報では、高速度赤外線カメラを用いてピストン表面の赤外放射を直接可視化し、検証に必要な実機エンジンにおける時系列壁面温度分布を計測した。

Abstract

Combustion CFD reproduces in-cylinder combustion by combining models representing each phenomenon. However, there are issues with the accuracy of these models, in particular, verification of wall heat loss is necessary. In this study, in order to verify the accuracy of wall heat loss model, measurement of wall surface temperature distribution was attempted in a top-view optical engine. Infrared radiation from the piston surface impinged diesel spray flame was directly visualized by using the high-speed infrared camera. The obtained infrared images showed the potential for high-speed measurement of wall surface temperature distribution.

1　はじめに

地球温暖化防止のため、我が国では2020年に2050年カーボンニュートラル(Carbon Neutral：以下、CN)が宣言されて以降、CN社会の実現に向けた取り組みが加速している。自動車業界においては温室効果ガスの排出削減を目的として電動化車両の導入が考えられるが、電動化のハードルが高い商用車においては、既存の内燃機関と合成燃料の利用によるCN化が重要な技術として位置付けられている。そのため内燃機関の高効率化は地球温暖化防止に対して引き続き重要な課題である。

熱効率を改善するためには壁面熱損失の低減が有効な手段であり、3次元燃焼CFD(Computational Fluid Dynamics)を活用した低熱損失燃焼コンセプトが提案されている[(1)]。一方で3次元燃焼CFDにおける壁面熱損失の予測精度には課題があり、ディーゼル噴霧火炎が壁面に衝突した際の熱伝達の影響を過大評価していることが確認されている[(2)]。そのため、現在も壁面熱伝達の現象把握やモデル化が進められており、熱伝達式[(3)]や壁関数[(4)]の改良による壁面熱損失の予測精度向上を目指した取り組みが行われているが、検証に不可欠な定量的実験データが不足しているのが現状である。壁面熱損失の予測精度を評価するためには、壁面温度や熱流束の実験結果が必要であり、特に温度や速度が時空間的に強く変動するディーゼル噴霧火炎が衝突する壁面の熱伝達現象を評価するためには、時系列分布計測結果が必要となる。

壁面温度及び熱流束計測手法としては、時間分解能及び定量性に優れ、エンジン筒内における計測も比較的容易な熱流束センサ[(5)]が従来より用いられている。しかし、点計測であるために熱損失現象の全容を把握することが困難である。分布計測の例としてはレーザ誘起燐光(りんこう)法、による計測[(6)]が挙げられるが、複雑な光学系を必要とするため、エンジン筒内における計測が困難である。またレーザ出力及び繰り返し周波数の制約により時系列計測は容易ではない。

時空間的に強い変動を伴うディーゼル噴霧火炎衝突壁面の温度及び熱流束分布を評価する計測手法としては金属膜を蒸着したガラス壁面への高速度赤外サーモグラフィの活用が近年注目されている[(7)(8)]。定容容器において噴射圧力、雰囲気酸素濃度、壁面

*(株)いすゞ中央研究所

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

粗さなどを変化させた場合の基礎的な研究が行われており、壁面熱伝達に関する現象把握と予測精度を評価するために必要な実験データの蓄積が進んでいる。しかし、この計測手法はディーゼル噴霧火炎の強烈な輝炎からの赤外放射を遮断するために金属膜を蒸着したガラスを用いて、ガラス背面より金属膜からの赤外放射を可視化する。このため、複雑な形状を有するディーゼルエンジンのピストン表面における計測が困難であり、定容容器またはエンジンヘッド面[9]における平面形状での計測に限られる。基礎的な検証を進めると同時に、ディーゼルエンジンにおいて壁面熱損失の割合が最も大きいピストン表面における熱伝達現象を把握することも重要な課題である。ガソリンエンジンの超希薄燃焼条件においては輝炎の発生が少ないため、金属膜を蒸着していない透明なガラスを用いて壁面からの赤外放射を直接可視化し、ピストン表面の温度分布を計測可能であることが確認されている[10]。ディーゼル噴霧火炎衝突壁面においても輝炎の発生を抑制して、ピストン表面からの赤外放射を直接高速度撮影することができれば、時系列の温度分布計測が可能となる。

そこで本研究では、ディーゼルエンジンのピストン表面における時系列温度分布を計測して、実機エンジンにおける熱伝達現象を把握することを目的とする。本報ではOME(Oxymethylene Dimethyl Ethers)を用いて輝炎の発生を抑制し、ディーゼル噴霧火炎衝突壁面における高速度赤外サーモグラフィの活用を試みた結果について報告する。

2　実験方法

2.1 上方可視化装置及び実験条件

ピストン表面からの赤外放射の可視化にはシリンダヘッド上方から光学アクセス可能な上方可視化装置を用いた。**図1**及び**表1**に可視化装置の概略図とエンジン諸元を示す。本エンジンは油圧駆動可変バルブ機構を搭載した単気筒ディーゼルエンジン[11]であり、各バルブの開弁、閉弁時期及びリフト量は独立かつ任意に制御可能となっている。上方可視化装置においては排気弁1ヶ所を直径36mm、厚さ40mmの可視化用サファイアガラス窓に置き換えている。**図2**に上方可視化装置の可視化領域を示す。ボア径115mmに対して、シリンダヘッドに設置された可視化用窓の有効最大視野径は30mmであり、燃焼室リップ部からスキッシュエリアにかけて可視化することができる。また点線で示すセクタ計算領域を概ねカバーしており、3次元燃焼CFDとの比較も可能である[9]。ピストン表面からの赤外放射は透明なサファイアガラスを通して、高速度赤外線カメラ(Telops製FAST M3k)により12,000fps、128×128pixelで撮影する。今回使用したピストンの材質はアルミ合金で赤外放射率が0.3程度と低く、赤外線カメラで温度変化を捉えられない可能性がある。そのため放射率を増加させることを目的に放射率0.92の塗料を厚さ20μmでピストン表面全体に塗布している。ここで、ピストン表面に形成した塗膜の熱拡散率は100℃で$0.190\times10^{-6}m^2/s$であり、同温度のアルミピストンの熱拡散率$49.2\times10^{-6}m^2/s$に比べて極めて低いため、塗膜付きピストンで計測される壁面温度上昇はアルミピストンに比べて大きくなることに留意する必要がある。塗膜の密着度は計測できていないが、塗膜付きピストンから試験片を切り出し、SEM観察した画像からは塗膜とピストンの間に隙間はなく、空気層は見られなかった。また可視化試験中に塗膜が剥がれることはなかった。

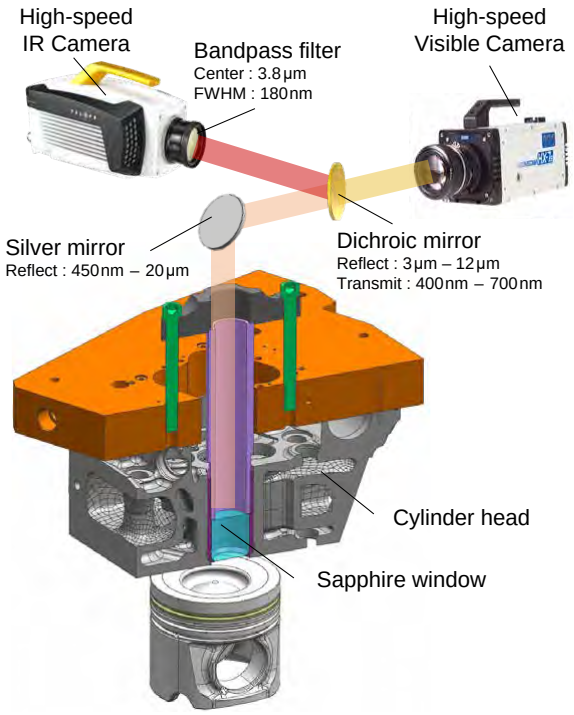


図1　上方可視化装置と赤外及び可視光同時撮影の光学系

表1　エンジン諸元

Engine type	4 stroke 1 cylinder engine
Bore x Stroke	φ115 mm x 125 mm
Displacement	1.298 L
Swirl ratio	1.29
Compression ratio	20
Chamber Shape	Re-entrant
Nozzle	φ0.122 mm x 8 holes
Valve train	Electro-hydraulic variable valve actuation system

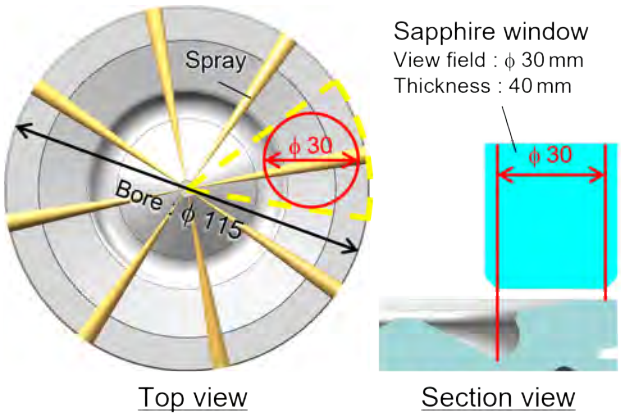


図2　上方可視化装置の視野範囲

表2に試験条件を示す。機関回転数は1,000rpmとして、排気再循環(EGR)及び過給は使用していない。シリンダブロック及びヘッドは温水により80℃に予熱されている。燃料は後述する輝炎の発生を抑制することを目的にOME3、OME4、OME5を主成分とする混合燃料を用いた。燃料噴射量は35.5mm^3/stでプレ噴射及びメイン噴射の2段噴射とした。噴射時期と噴射量は**表2**に示すとおりである。噴射圧力は90MPa、120MPa、150MPaの3段階で変化させて、噴霧火炎衝突時の壁面温度の変化を確認した。ノズル流量及び噴射量一定で噴射圧力を変化させているため、噴射圧力が増加するほど噴射期間が短くなる。可視化試験はモータリングで筒内圧力が安定したあとに20サイクル連続で燃料を噴射して撮影しているが、熱発生率が安定する6サイクル目以降を比較データとして使用している。カメラの露光開始時期はメイン噴射開始指示パルスに同期させており、6サイクル目以降の15サイクル間で撮影画像の平均化が可能である。

表2　実験条件

Fuel	OME
Engine speed	1,000 rpm
Intake pressure	Natural aspiration
EGR rate	0 %
Coolant temperature	80 °C
Injection pressure	90 MPa, 120 MPa, 150 MPa
Injection quantity	Pre : 1.1 mm^3 / st
	Main : 34.4 mm^3 / st
Injection timing	Pre : - 8.3° ATDC
	Main : - 0.5° ATDC

2.2 ピストン表面赤外放射の可視化

エンジン上方から赤外線カメラを用いてエンジン筒内を可視化する場合、撮影される赤外放射画像には① 噴霧火炎が衝突することによって生じるピストン表面からの赤外放射だけでなく、② 噴霧火炎からの赤外放射、③ 周囲ガスからの赤外放射、④ 運転前に温水で予熱されたエンジン全体からの赤外放射、⑤ 噴霧火炎が衝突することによって生じるサファイアガラスからの赤外放射が含まれる。本研究では①を計測対象とし、②～④の影響低減を図るとともに、⑤の影響について評価した。

②については燃料に含酸素燃料であるOMEを用いることで、燃焼によって生じる輝炎を抑制した。また、赤外放射画像中に含まれる輝炎を区別するために**図1**に示すようにダイクロイックミラーを用いて、輝炎を可視光カメラ(ナックイメージテクノロジー製MEMRECAM HX-7S)で同時に撮影した。**表3**にカメラの撮影条件を示す。可視光カメラは露光時間を長くして、OMEの燃焼で発生する極微弱の輝炎発光を観察する。③については赤外線カメラにバンドパスフィルタを取り付けることで除去した。今回使用している高速度赤外線カメラの検出波長帯は3.0μmから5.4μmであり、この帯域においてはCO_2、H_2O、C-H伸縮などによる赤外放射が生じる。これらの赤外放射を除去するために先行研究[12][13]を参考に中心波長3.8μm、半値幅180nmのバンドパスフィルタを選定した。④については運転前の赤外放射画像をバックグラウンドとして撮影画像から差し引いた。ピストンに埋め込んだ熱電対により、運転前のピストン表面温度が水温同等の80℃であること、可視化試験における燃焼前の吸気バルブ閉弁時期のピストン表面温度は80℃で変化がないことをあらかじめ確認している。

これらの撮影方法に対する工夫とバックグラウンド処理により、②～④の赤外放射の影響は低減させることができるが、⑤の影響は除去することができない。そのため撮影された赤外放射画像中に含まれる⑤の割合を先行研究[7]を参考にして推算した。**図3**に25℃におけるアルミピストン、ピストン表面塗膜、サファイアガラスの赤外放射率スペクトルを示す。放射率スペクトルは各材料の透過率と反射率スペクトルを計測し、キルヒホッフの法則より求めた。**図3**よりピストン表面塗膜の放射率はアルミピストンに比べて3倍以上となっており、バンドパスフィルタ透過帯における放射率はサファイアガラスに比べて十分に高いことがわかる。この時、サファイアガラスの表面温度がピストン表面温度と同等まで上昇したと仮定すると、撮影される赤外放射画像中に含ま

れるサファイアガラスからの赤外放射の割合はアルミピストンを用いた場合は32%程度、塗膜付きピストンを用いた場合は8%程度と推算される。これらの検討結果より、噴霧火炎の衝突によるサファイアガラスからの赤外放射の影響は塗膜付きピストンを用いることで最小限に抑制できていることが確認できた。今回使用したサファイアガラスは3.5μm付近から放射率が増加(透過率が低下)しており、撮影された赤外放射画像中に含まれる噴霧火炎が衝突した際のガラス表面からの赤外放射の割合が比較的大きくなっている。この割合を更に低減させ、ピストン表面赤外放射の計測精度を改善させるためには、ガラスの材質の変更が必要である。材質を赤外透過性に優れたフッ化マグネシウムに変更することで、ガラスからの赤外放射の影響は2%以下に低減することが可能である。

表3　撮影条件

	Infrared camera	Visible Camera
Camera	Fast M3k	HX-7S
Frame rate	12,000 fps	12,000 fps
Exp. dur.	3 μs	82 μs
Pixels	128 x 128	384 x 384

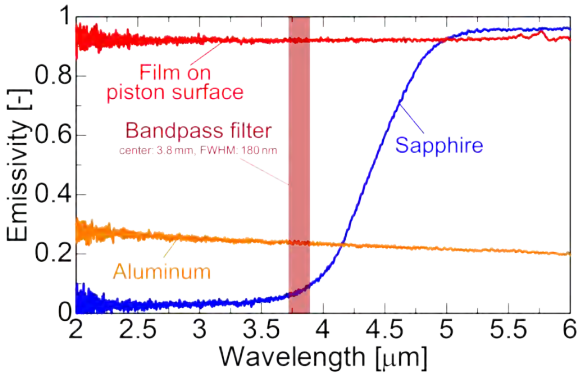


図3　アルミピストン、ピストン表面塗膜、サファイアガラスの赤外放射率スペクトル

2.3 赤外放射強度の温度検定

計測した赤外放射画像を温度画像に変換するため電気炉を用いた検定を実施した[7]。温度検定結果を**図4**に示す。プロットは加熱した塗膜付きピストンを可視化試験と同一の光学系で撮影した場合の赤外放射強度である。実線はプロットに最小2乗法を適用して作成した検定曲線である。赤外放射画像は検定曲線を用いて温度に変換した。

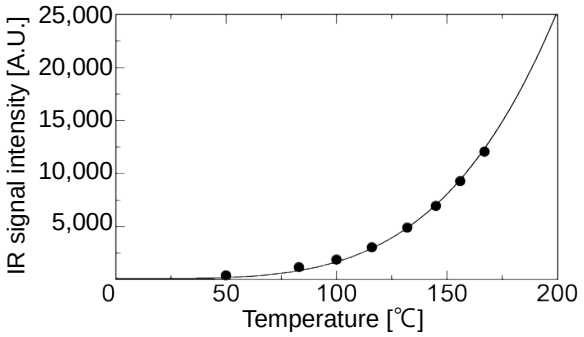


図4　赤外放射強度に対する温度検定結果

3　実験結果

図5に噴射圧力120MPaにおいて赤外及び可視光の同時撮影を実施した結果を示す。上段から順に可視光画像、赤外放射画像、赤外放射画像(赤色)上に可視光画像(緑)を重ね合わせた画像である。なお、**図5**に示した可視光及び赤外放射画像は、6サイクル目以降の結果から代表的なものを選択した。図中の白点線が**図2**に示す可視化視野領域であり、紙面左から右へディーゼル噴霧火炎が通過している様子である。また、黄点線で燃焼室リップ部の位置を示している。**図5**の1段目の可視光画像を見ると、クランク角(以下、CA:) 3.4°ATDC付近から、可視化視野範囲内に極微弱の輝炎が観察され始め、燃焼室リップ部に衝突した噴霧火炎がスキッシュエリアへと流され、CA:12.4°ATDCでは消失している様子が確認できる。CA:9.4°ATDC以降の画像下部から強い発光が観察されるが、可視化試験におけるメイン燃料噴射時期の筒内平均温度は710℃程度と低く、OME燃焼でのすす生成条件[14]を満たしていないと考えられることから、この発光は燃料由来の発光ではなく、潤滑油由来のものと思われる。一方、**図5**の2段目の赤外放射画像を見ると、可視光画像で噴霧火炎が観察され始める時刻と同時刻から赤外放射が観察される。その後、噴霧火炎がピストンに衝突すると、燃焼室リップ部からスキッシュエリアにかけて広い領域で赤外放射が確認できる。**図5**の3段目の赤外放射

画像(赤色)上に可視光画像(緑)を重ね合わせた画像では、赤外放射は可視光画像で噴霧火炎の輝炎が消失するCA: 12.4° ATDC以降においても長い間観察され続けている。更に、可視光画像のCA:9.4° ATDC以降で見られた潤滑油由来の発光は赤外放射画像では観察されない。噴霧火炎存在領域と燃焼室衝突面以外からの赤外放射は観察されず、バンドパスフィルタによりCO_2、H_2Oなどのガス成分からの赤外放射は選択的に除去できていると考えられる。赤外放射画像と可視光画像が異なる挙動を示していることから、同時撮影において赤外放射は存在するが噴霧火炎の輝炎が存在しない領域はピストン表面からの赤外放射と推測され、本手法により輝炎及びガス成分の影響を排除したピストン表面からの赤外放射を観察できることを示唆する結果を得た。

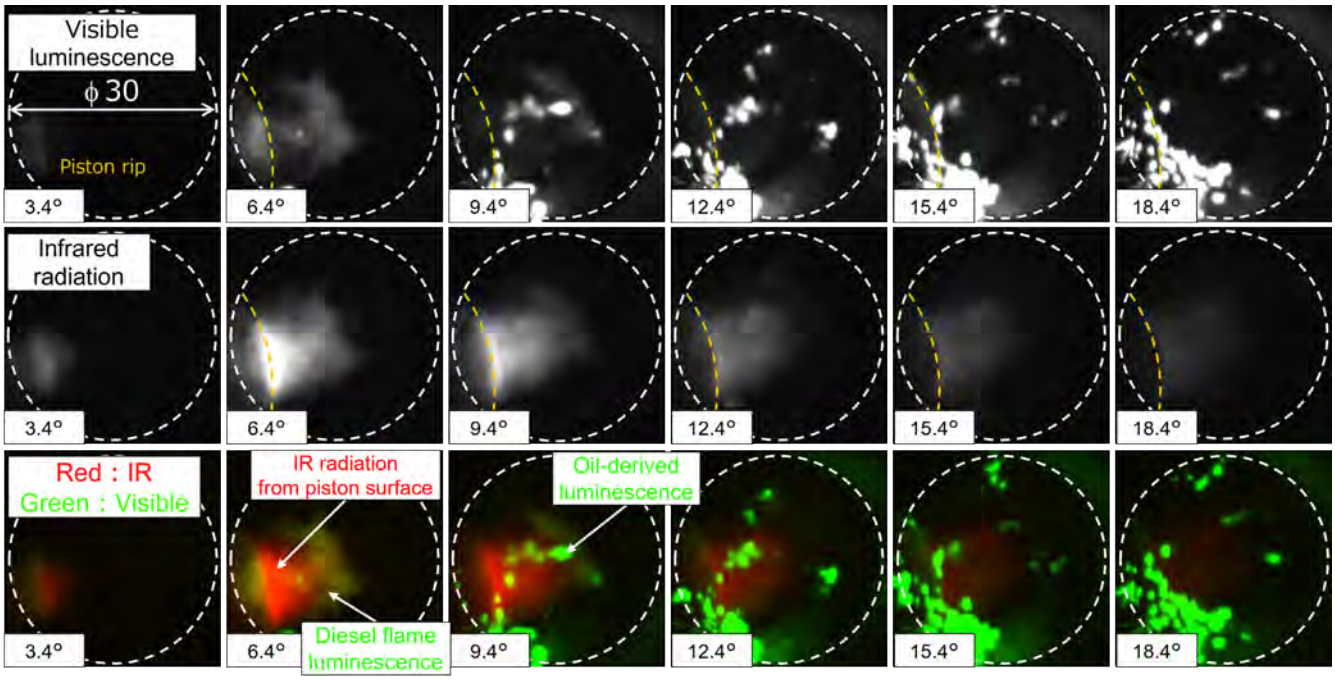


図5　赤外及び可視光の同時撮影結果

図6上段にCA:9.4°ATDCにおける単発及び15発平均した赤外放射画像の拡大図を示す。単発でのピストン表面からの赤外放射は先行研究[7]で見られるような筋状パターンを呈しているが、この筋状パターンは噴霧火炎の衝突により生じた壁面近傍の流体の乱れに起因するものと考えられている。噴霧火炎衝突により見られた筋状パターンが平均した赤外放射画像では観察されないことは、壁面近傍の流体の乱れ成分の影響が小さくなり、平均的な流れの成分が強調されたためと考えられ、上述の推測と整合性がある。**図6下段**に拡大画像中の赤線9mm上の赤外放射強度をプロットして比較した結果を示す。平均画像では線の中央付近で赤外放射が最も高く、左右に広がるにつれて低下しているが、単発画像では平均画像に比べて赤外放射が線上で大きく変化していることが確認できる。単発画像の赤外放射強度の変化を**図4**の検定結果を適用して温度差に変換すると約20℃となっており、先行研究[7]と近い値を示していることが確認できる。

以上の比較より、含酸素燃料を用いて輝炎の発生を抑制すること、可視光カメラとの同時撮影により赤外放射画像中に含まれる輝炎を区別すること、ガス成分の赤外放射をバンドパスフィルタで除去することでディーゼルエンジンの場合でもピストン表面における高速度赤外サーモグラフィの活用が可能であることが示された。

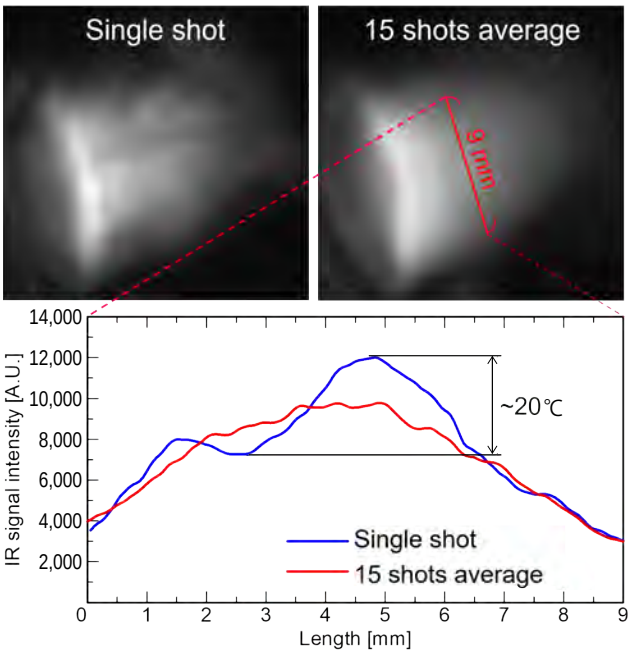


図6　単発及び平均画像の比較

図7に赤外放射の平均画像に**図4**の温度検定結果を適用して作成した壁面温度分布画像を示す。上段から噴射圧力90MPa、120MPa、150MPaの結果である。点線で**図2**に示す可視化視野領域、一点鎖線で噴霧軸を示している。壁面温度は噴霧火炎衝突点の燃焼室リップ部で温度が最も高く、スキッシュエリアに向かうにつれて低下していく分布が鮮明に可視化できている。噴射圧力による差を比較すると、噴射圧力の増加により燃焼室リップ部の温度上昇が観察され始める時期が早くなり、高温領域も増加するが、噴射期間が短くなるために温度が低下し始める時期は早まっていることがわかる。また、どの噴射圧力においても、燃焼室リップ部付近では噴霧軸に対して対称な温度分布となっているのに対して、スキッシュエリアではスワールに流されて、非対称な分布となっていることが確認できる。これらの結果により、運転条件を変化させた場合の温度分布の変化や実機エンジン特有の現象に関しても計測可能であることが示された。一方で、噴霧火炎の衝突によりピストン表面温度は100℃程度上昇しているが、これは従来センサを用いたアルミピストンの表面温度計測結果[5]に比べて温度の変化量が大きい。今回の赤外放射可視化試験ではピストン表面に放射率を増加させるための塗膜を形成しており、熱拡散率がアルミと比べて低くなったことによって、温度スイング幅が大きくなっていると推察される。本計測結果を用いて3次元燃焼CFDの熱損失予測精度を評価する場合には、ピストン表面塗膜の物性値を考慮した評価が必要である。

図8は**図7**に示すピストン温度分布画像の噴霧軸上のスキッシュエリアにおける赤丸径3mm内の平均温度履歴を噴射圧力別に比較した結果である。噴射圧力が増加することによって、ピストン表面温度上昇の開始時期や壁面温度が最大値を迎える時期が進角している様子が定量的に確認できる。一方で、赤外放射可視化試験では温度がピークに達するまでの期間とピーク値から噴霧火炎衝突前のピストン表面温度に戻るまでの期間がアルミピストンの表面温度計測結果[5]に比べて極めて短い。これはピストン表面塗膜の熱物性値と厚みによる影響と考えられるが、塗膜なしアルミピストンでの赤外放射計測ができておらず、詳細把握は今後の課題である。

図7で見られる噴霧火炎衝突点近傍で温度上昇が最大になり、高温領域が拡大する傾向や、**図8**で見られる噴射圧力が増加することで壁面温度上昇が確認され始める時期や最大温度を迎えるクランク角が進角する傾向は従来の熱流束センサによる計測結果[5]や感熱燐光体による温度分布の計測結果[6]、金属膜付きガラスを用いた高速度赤外サーモグラフィの結果[7]と傾向が一致しており、今回の計測結果の妥当性を示すものと考えられる。実機エンジンピストン表面における温度分布の計測例は少なく、高速度赤外サーモグラフィの活用により得られたディーゼルエンジンのピストン表面の時系列温度分布は時空間的に強い変動を伴うディーゼル噴霧火炎衝突壁面の熱損失予測精度を評価するために必要な極めて有用な定量的実験データである。

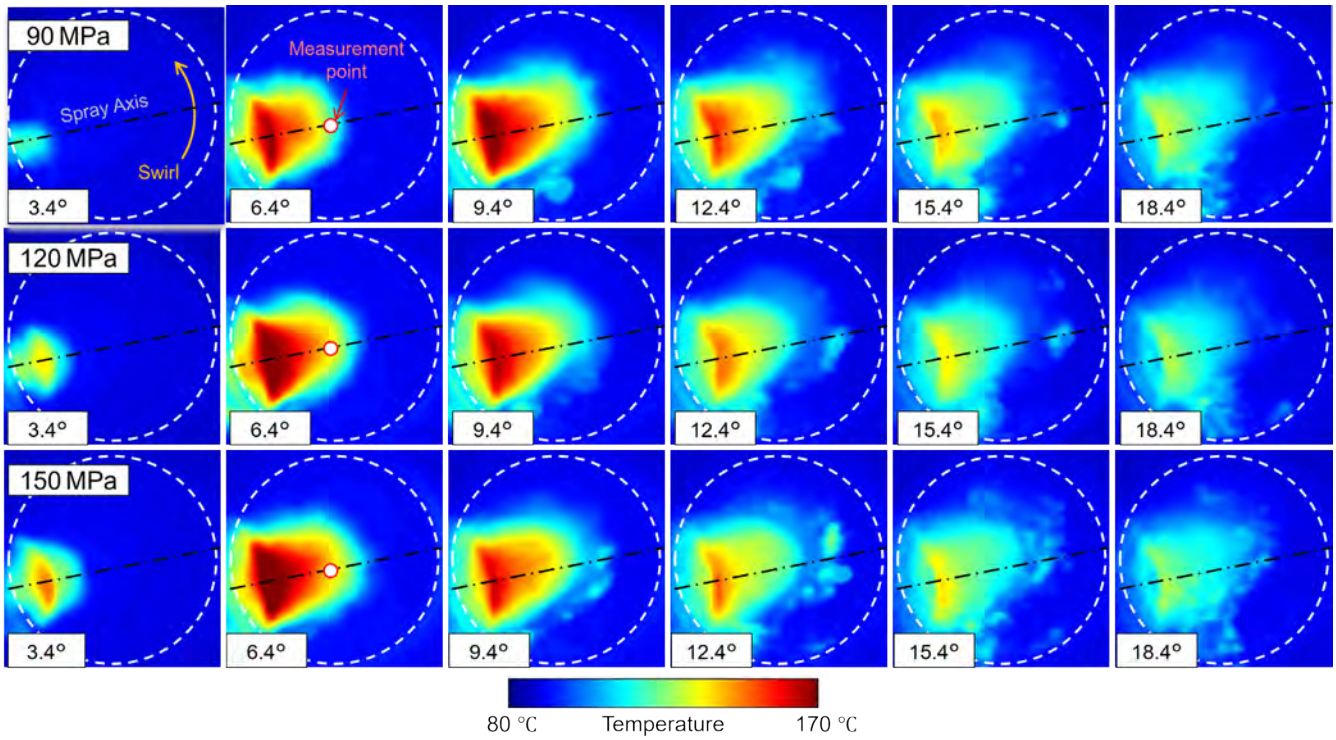


図7　噴射圧力を変化させた場合のピストン表面温度分布

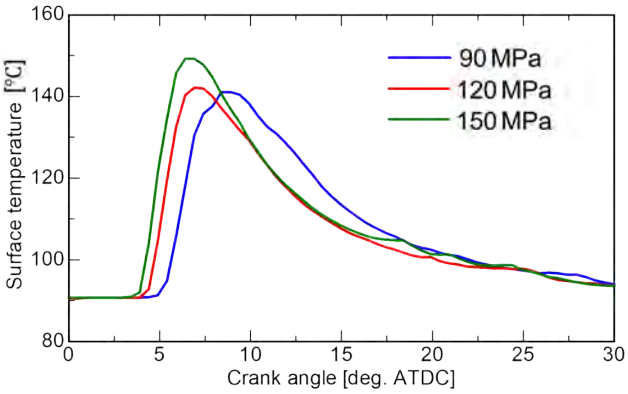


図8　噴射圧力を変化させた場合の温度履歴

4　おわりに

ディーゼルエンジンにおける時系列のピストン表面温度分布を計測して、実機エンジンにおける熱伝達現象を把握することを目的に、ディーゼル噴霧火炎が衝突することによって生じるピストン表面からの赤外放射を高速度赤外カメラで直接可視化した。得られた結論は以下のとおりである。

1. 含酸素燃料による輝炎抑制、可視光カメラとの同時撮影及びバンドパスフィルタの適用により、ディーゼルエンジンのピストン表面においても高速度赤外サーモグラフィの活用が可能である。
2. ピストン表面温度は噴霧火炎衝突点の燃焼室リップ部で温度上昇が最大となり、スキッシュエリアに向かうにつれて低くなる分布となっていること、噴射圧力が増加すると温度上昇が観察され始める時期が早くなり、高温領域も増加することが確認できた。
3. ピストン表面温度分布は燃焼室リップ部付近では噴霧軸に対して対称な分布となっているのに対して、スキッシュエリアではスワールに流されて、非対称な分布となることが確認できた。
4. 赤外高速度サーモグラフィで計測したピストン表面温度の変化量は従来センサを用いたアルミピストンの表面温度計測結果に比べて大きいことがわかった。これは放射率を増加させるために使用したピストン表面塗膜の熱拡散率が低いために、温度スイング幅が大きくなっていると推察される。

本文献は、自動車技術会論文集Vol.56, No.5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) K.Arato et al. : A Study on Reduction5 of Heat Loss by Optimizing Combustion Chamber Shape, SAE Int. J. Engines,Vol.8, No.2(2015), p.596-608

(2) 古川伸哉 ほか：噴霧の干渉がディーゼルエンジン燃焼に及ぼす影響(第2報)，自動車技術会論文集，Vol.56，No.4 (2025)

(3) 稲垣和久 ほか：ディーゼルエンジンの噴霧－壁面衝突場に適用できる新しい壁面熱伝達率式の提案―噴霧相似理論を用いた壁面熱伝達率式の同定―，自動車技術会論文集，Vol.49，No.6 (2018)，p.1120-1125

(4) 堀司 ほか：解析的壁関数による壁面に衝突するディーゼル噴霧火炎の解析，第28回内燃機関シンポジウム講演論文集，No. 12 (2017)

(5) 青木勇太 他：自然吸気DIディーゼル機関の燃焼室壁面における熱伝達率に関する研究，自動車技術会論文集，Vol.41，No.2(2010)，p.365-370

(6) T.Aizawa et al. : Laser-Induced Phosphorescence Thermography of Combustion Chamber Wall of Diesel Engine, SAE Int. J. Fuels Lubr., Vol.1, No.1(2009), p.549-558

(7) T.Aizawa et al. : Infrared high-speed thermography of combustion chamber wall impinged by diesel spray flame, Int J Engine Res, Vol.23, No.7(2022), p1116-1130

(8) R.Mahmud et al. : Infrared High-Speed Thermography of Combustion Chamber Wall Impinged by Diesel Spray Flame: Imaging Velocimetry of the Radially Striped Infrared Radiation Pattern, SAE Int. J. Adv. & Curr. Prac. in Mobility, Vol.6, No.3(2024), p.1399-1413

(9) 宮下和也 ほか：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，自動車技術会論文集，Vol.52，No.2 (2021)，p.238-243

(10) 後藤雄一 ほか：超希薄燃焼における火炎速度と燃焼室壁面二次元温度分布測定法の研究，日本機械学会論文集(B編)，Vol.57，No.539(1991)，p.238-243

(11) R.Kitabatake et al. : Simultaneous Improvement of Fuel Consumption and Exhaust Emissions on a Multi-Cylinder Camless Engine, SAE Int. J. Engines, Vol.4, No.1(2011), p.1225-1234

(12) M Jansons, et al.: Infrared spectral analysis of engine preflame emission, Int J Engine Res, Vol.9, No.3(2008), p.215-237

(13) G.Roberts et al. : RCCI Combustion Regime Transitions in a Single-Cylinder Optical Engine and a Multi-Cylinder Metal Engine, SAE Int. J. Engines,Vol.10, No.5(2017), p.2392-2413

(14) 冬頭孝之 ほか：オキシメチレンジメチルエーテル(OME)筒内燃焼でのsoot 生成条件，自動車技術会2023年秋季大会学術講演会講演予稿集，No.20236046 (2023)

論文・報告

摩擦条件の高度化によるプレスCAE予測精度向上

Improvement of Press Forming CAE Prediction Accuracy by Advanced Friction State Modeling

藤原　雅利*
Masatoshi Fujiwara

要　旨

プレス金型の円滑な立ち上げを実現するためには、事前検証においてプレスCAEで高精度に予測することが重要である。本研究ではプレス成形における流入量の予測精度向上を目的として、摩擦条件の高度化に取り組んだ。摩擦摺動試験により摩擦係数への影響因子を調査した結果、面圧が支配的な因子であることを確認した。そこで、面圧と摩擦係数の関係式を同定し、CAEへ適用した。その結果、実成形との流入量差が低減し、流入量の予測精度向上に有効であることを確認した。

Abstract

To improve the accuracy of press forming CAE simulations, an advanced friction model was developed. Friction sliding tests were conducted to identify dominant factors affecting the friction coefficient. Contact pressure was found to be the most influential parameter, and a pressure-dependent friction equation was derived and implemented in CAE simulations. Validation using production die forming demonstrated improved agreement between simulation and actual material inflow, confirming the effectiveness of the proposed method.

1　はじめに

プロジェクトの立ち上げに際しては、プレス金型を円滑に立ち上げることが求められる。円滑な立ち上げのためにプレス成形では、事前にCAE (Computer Aided Engineering)によって不具合の予測と検証を行い、不具合の事前対策に努めている。しかし、実際は初回トライでプレス部品に品質不具合が発生し、その修正のための金型の改修に多くの工数がかかっている。円滑なプレス金型の立ち上げを実現するためには、実成形とCAEによる事前検証との一致率の向上が求められ、CAEの予測精度向上が重要となる。本報告では、プレス部品の品質に大きく影響する流入量に着目し、その予測精度向上を目的として、流入量に大きく影響する摩擦条件の高度化に取り組んだ内容について報告する。

2　プレス品質不具合

プレス成形金型は下型のパンチと上下のブランクホルダで構成されている(**図1**)。材料の外周を上下のブランクホルダで押さえ外周部のしわを抑制しながらパンチを押し込み、目的の部品形状に成形する。成形が進む間、押さえられている外周部から材料が少しずつ金型の内側へ移動する。この時、材料が内側に滑り入る量を流入量と呼ぶ。流入量が少なすぎると材料が引っ張られ、伸び限界を迎えると割れ不具合が発生する。一方、流入量が多すぎると形状の中に材料が余り、しわ不具合が発生する(**図2**)。こういった不具合対策のためビード形状や本数を調整することで、材料の流入量を調整している。このようにプレス部品の品質には流入量が大きな影響を及ぼしている。

*車体技術部

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

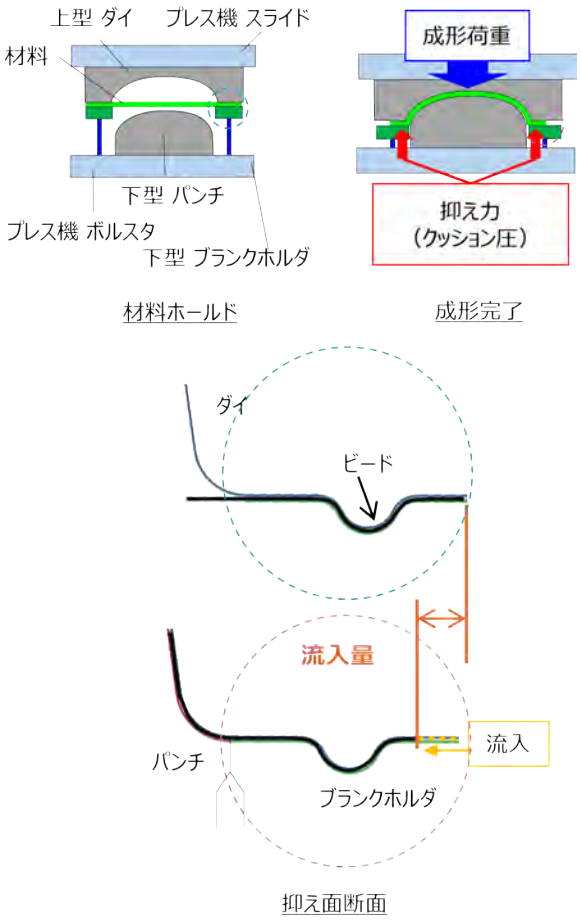


図1　プレス成形の模式図

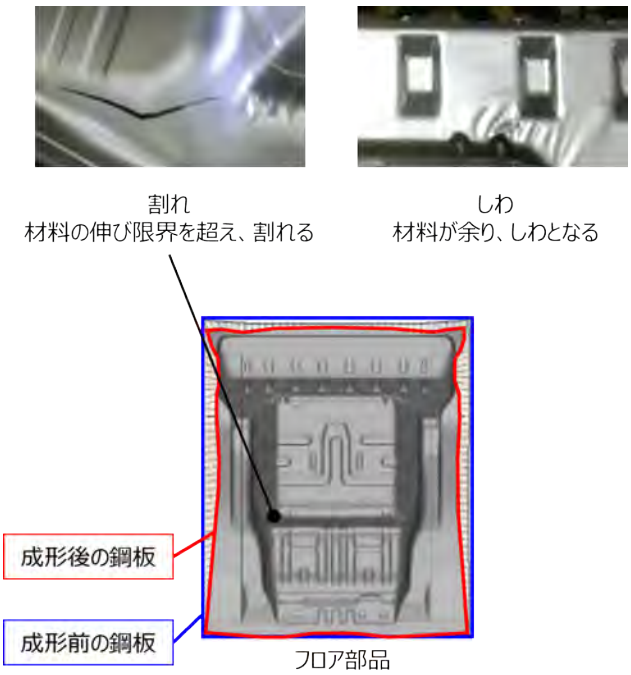


図2　プレス成形時の不具合

3　プレスCAE

金型製作前の評価プロセスは、製品モデルをもとに金型の面データを作成し、CAEで成形性評価を行う。成形性評価では割れ・しわ評価、寸法評価、外観不具合評価を行う。不具合対策として、成形条件の調整や製品形状の変更や金型形状への見込みを行い、事前対策を講じている。

事前対策の精度向上を図るため、CAEの予測精度向上に取り組んできた。**2章**で述べたとおり、流入量は不具合の根源となっていることから流入量の予測精度向上が重要となる。流入量の予測精度には材料と金型の接触条件・材料モデル・摩擦条件が大きく影響する。 流入量の予測誤差±5mmを目標として、これまで接触条件及び材料モデルの改善に取り組んできた。その結果、直線部では目標値である±5mmを達成した。一方、コーナ部や絞りの深い箇所では依然として10mm以上の誤差が生じており、予測精度の向上が課題となっている(**図3**)。そこで今までの精度向上の取組みに加え、摩擦条件の改善に着手した。

アモントン・クーロン則に基づき、動摩擦係数を面圧に依存しない一定値としてCAEを実施している。一方、摩擦係数は接触面圧、摺動(しゅうどう)速度、油量などの影響を受けて変化することが知られている。摩擦条件の改善に当たり、摩擦試験を実施して摩擦係数に影響を及ぼす因子を評価した。更に、影響が確認された因子について摩擦係数との関係式を同定し、その結果をCAEへ反映することで、流入量の予測精度を検証した。

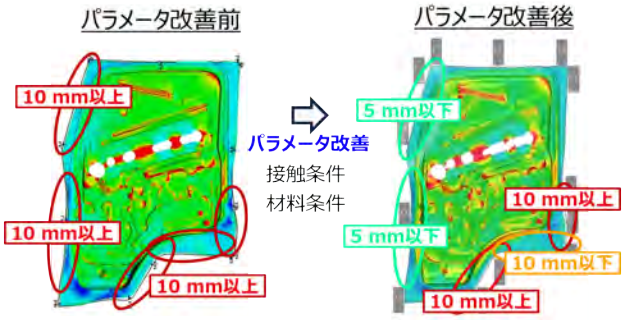


図3　CAEの流入量と実成形の流入量差

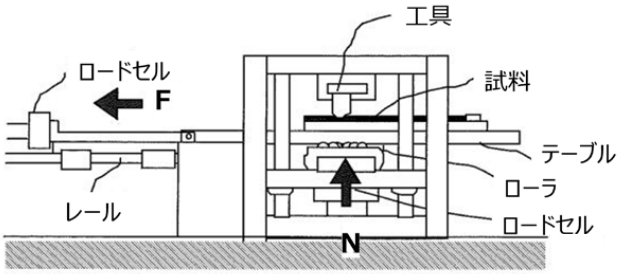
4　評価・検証方法

摩擦係数変化適用による流入量の予測精度を検証するに当たり、次のプロセスで検討を進めた。

① 摩擦試験を実施し、摩擦係数への影響因子の大小を評価する。
② 摩擦係数への影響がある因子に対して、再度詳細に条件を設定した摩擦試験を実施し、摩擦係数と影響因子との関係式を同定する。
③ CAEに同定した摩擦係数の関係式を適用し、実成形とCAEの流入量差を評価する。

5　摩擦試験

摩擦係数を評価するため、試験方法として摩擦摺動試験を実施した。**図4**に装置の模式図を示す。試験方法は対象の鋼種に工具を規定の押付力で抑え材料を引き抜く。この時の押付力と材料の引抜力から摩擦係数を算出する。



摩擦係数 ＝ F/N
F: 引き抜き力，N: 押し付け力

図4　摺動試験機の模式図

摩擦係数への影響度を調査する因子の条件を**表1**に示す。今回調査する因子はプレス成形時に流入量に影響を及ぼす因子から、摩擦と関係が深いものを選定した。供試材となる鋼種は自動車用鋼板で使用される冷間圧延鋼板を使用した。

表1　調査因子の試験条件

面圧 [MPa]	摺動速度 [m/min]	油量	摺動方向
10, **40**, 70	1, **5**, 7	**小**、大	**平行**、直行

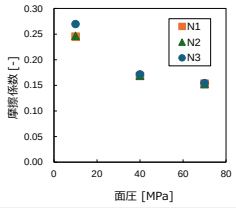
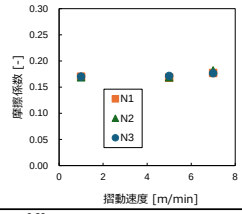
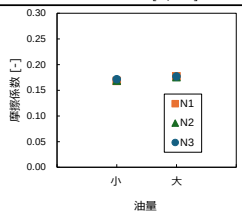
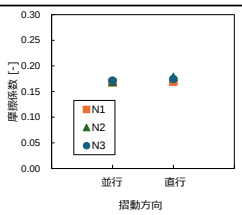
摺動方向に関しては材料コイルの送り方向を平行、幅方向を直行と表記し、各条件N=3で試験を実施した。

摩擦係数に対する因子の影響度をF検定により評価した。F検定は調査した条件での摩擦係数の分散と摩擦係数の誤差分散が等しいか比較し、それが偶然起こる確率から有意差の有無を評価する手法である。今回発生確率が5%未満であれば有意差がある(=影響因子)とし、評価した。

6　摩擦試験結果

摩擦係数への影響因子調査の結果を**表2**に示す。**表2**にはF検定の結果と、摩擦係数と調査した因子のグラフも併記している。F検定の結果より、面圧に有意差があると示された。

表2　摩擦係数への影響因子の評価結果

調査因子	グラフ	F検定
面圧		有意差あり $F>F_{0.05}$
摺動速度		有意差なし $F<F_{0.05}$
油量		有意差なし $F<F_{0.05}$
摺動方向		有意差なし $F<F_{0.05}$

摩擦係数と面圧の関係式を同定するため、面圧条件を細分化させた追加の摺動試験を実施した。また、関係式の同定に用いた式を**式(1)**に示す。面圧と摩擦係数の関係式を同定するため、面圧条件を細分化した追加の摺動試験を実施した。**式(1)**に、CAEへ適用する面圧と摩擦係数の関係式を示す。

$$\mu_{eff} = \mu \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)^{e-1} \quad \cdots(1)$$

μ：基本摩擦係数、P_{ref}：参照面圧、e：面圧指数

図5に追加試験の結果を示す。追加試験の結果と**式(1)**による近似曲線が良好に一致したことから、本関係式をCAEの摩擦条件として適用し、その有効性を検証することとした。

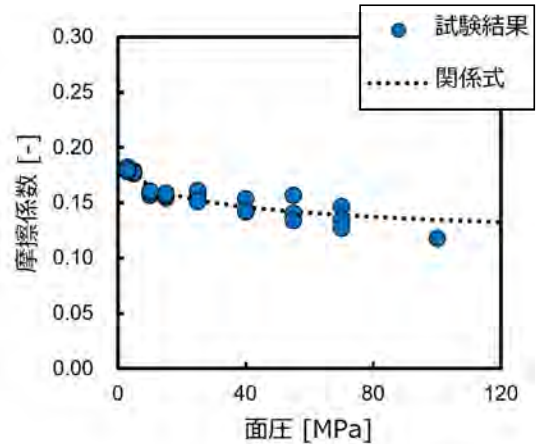


図5　面圧と摩擦係数の関係と関係式

7　実機評価

摺動試験により同定した摩擦関係式を適用し、流入量予測精度を検証した。比較対象の実成形の金型として流入量が多いルーフ(**図6**)、成形機は2,000tトライプレス機(**図7**)を使用した。



図6　ルーフ金型



図7　2,000tトライプレス機

プレスCAEは、成形条件を実成形と同一条件として実施した。摩擦条件には、従来の摩擦係数一定値に加え、摩擦試験で同定した面圧と摩擦係数の関係式を適用した。本関係式に必要となる成形過程の面圧は、**図8**に示すようにCAEにより算出可能である。また、解析に使用した金型データは、実金型を3Dスキャンして取得した形状データをもとにCADモデルを作成した。

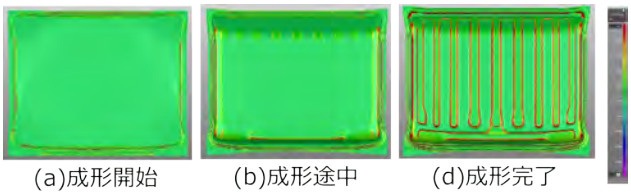


図8　CAE上での成形過程の面圧変動

図9に流入量の測定ポイントを示す。**図10**に実成形とCAEの流入量のグラフを示す。**図10**より、実プレス成形とCAEの流入量が一致する傾向に良化している。これらのことから、摩擦係数に面圧との関係式を導入することで流入量の予測精度を向上させることが示された。

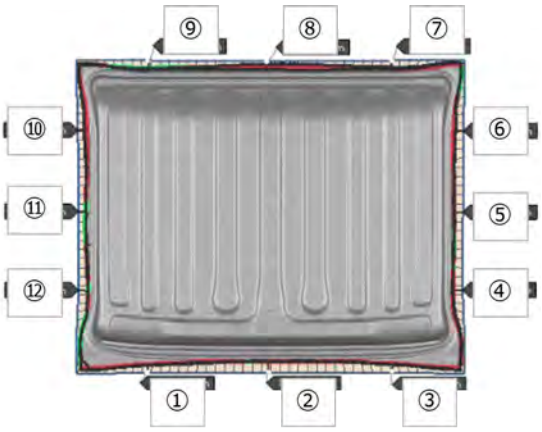


図9　流入量測定ポイント

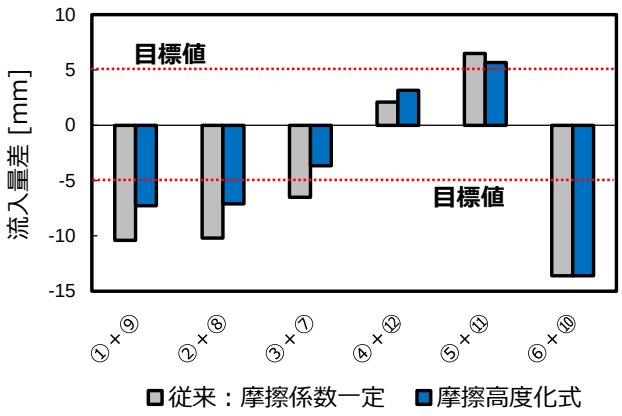


図10　実成形とCAEの流入量の差

8　考察

摺動試験より、面圧が摩擦係数に与える影響が大きいことが分かった。そこで面圧と摩擦係数の関係を調査したところ、式同定することができた。同定した関係式を適用することで流入量の予測精度が向上するか、量産の金型に対して検証を行ったところ全体としては流入量の予測精度が向上した。このことは実際に成形中の面圧変化によって摩擦係数が変化しており、摩擦係数の再現性が向上したためと考えられる。一方で、全ポイントを目標値としていた流入量差±5mm以内にすることはできず、ポイントによっては流入量に変化が生じなかった。このことは面圧の再現精度が不十分であり、面圧の合わせこみが今後課題となる。

9　おわりに

今回プレスCAEの流入量予測精度向上のため、摩擦条件の高度化に取り組んだ。その結果非メッキ材においては、面圧依存を摩擦係数に考慮することで流入量の予測精度向上を示すことができた。今後、非メッキ材以外の材料に対しても摩擦係数の影響を調査する。また考察でも述べたが、実プレスの成形とCAEでの面圧の再現性を向上させることで、更なるCAEの予測精度向上を実現していきたい。

◇いすゞ歴史の一こま



大森工場 板金治具(1959年ごろ)

論文・報告

ダイカスト工程における水素燃焼連続溶解量産実証

Mass Production Demonstration of Hydrogen-Fired Continuous Aluminum Melting in a Die Casting Process

塩谷　聡*　Satoshi Enya
茂泉　健**　Ken Moizumi
和田　淳一***　Junichi Wada
大村　正吾*　Syougo Oomura

要　旨

いすゞグループでは2050年の事業系カーボンニュートラル達成に向け、アルミ溶解炉の脱炭素化技術として水素燃焼技術の開発を進めている。本研究では125tダイカスト量産ラインに設置された小型高効率アルミ溶解保持炉を対象に、水素燃焼による5日間の量産実証を行い、量産適用の可能性を検証した。総溶解量2,622kg、総水素使用量2,007Nm^{3}の条件下で評価した結果、安全面で懸念となっていた逆火等の異常は発生せず、溶湯品質、鋳造品質及び溶解性能は都市ガス溶解と同等であった。また実証期間中の溶解工程のCN化を実現し、水素燃焼技術の量産適用可能性を実証した。

Abstract

A five-day production demonstration test of hydrogen combustion was conducted using a small high-efficiency aluminum melting and holding furnace on a 125-ton die-casting line. No flashback occurred, and molten metal quality, casting quality, and melting performance were equivalent to those of conventional city gas combustion. Carbon-neutral operation of the melting process was achieved during the demonstration period, demonstrating the feasibility of hydrogen combustion for mass-production aluminum melting furnaces.

1　はじめに

いすゞグループの2050年事業系カーボンニュートラル(Carbon Neutral：以下、CN)達成に向け、生産部門では、いすゞエンジン製造北海道株式会社(以下、IEMH) のグリーンファクトリー(以下、GF) に向けた取り組みの一環として、アルミ鋳造工程におけるCO_2排出量削減技術の開発を推進している。アルミ溶解保持炉は鋳造工程における主要なCO_2排出源であり、その脱炭素化手法として水素燃焼技術に着目した。本報では、小型高効率アルミ溶解保持炉を対象として実施した量産実証試験について報告する。

1.1 アルミ溶解炉CN化技術の検討

図1はIEMH GF計画のロードマップである。総排出CO_2の70%は電力調達によりCN化が可能であるが、残る30%のCN化には、都市ガスを燃焼利用するアルミ溶解工程でのCO_2排出量削減が大きな課題となっている。アルミ溶解炉のCN化手法としては、再生可能エネルギー由来の電力を活用した電化と、水素燃焼への燃料転換が有力な選択肢である。

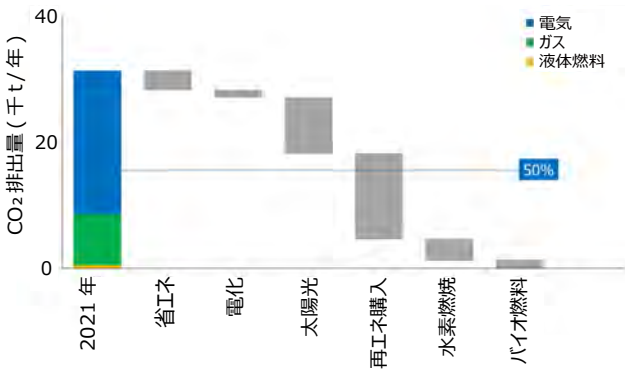


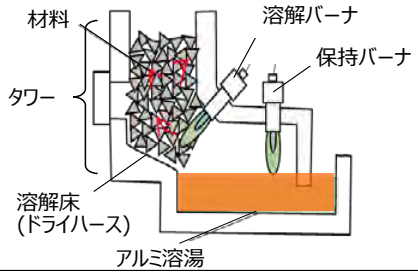
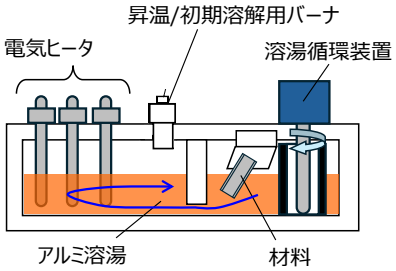
図1　IEMH GF計画ロードマップ

*要素技術部　　**IM推進部．生産技術企画部　　***いすゞエンジン製造北海道(株)

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

表1にアルミ溶解炉の水素化と電化の比較を示す。電化の場合は、グリーンエネルギーの調達が容易である一方、大容量受電設備や電力インフラ整備といった設備対応には課題がある。また、水素燃焼は燃料調達の課題はあるものの、既存の燃焼炉技術を活用できるため既存設備の流用・改造による導入が可能であり、高温燃焼による十分な溶解能力も期待できる。どちらの手法も有力候補であり、将来のCN化に向けた技術獲得を進めている。本報では、IEMHで採用している高効率個別溶解保持炉との親和性も高い水素燃焼技術の量産適用性の検証結果を報告する。

表1　アルミ溶解炉の水素化・電化比較

	水素		電気	
概要				
炉構造	○	従来の炉とほぼ同じ構造 合成ガス導入時の適用が容易	△	炉体が大きい（浸漬タイプ） 立上時の炉体昇温及び初期溶解ができない （昇温・初期溶解用バーナが必要）
自由度	○	気体・液体燃料への置換が可能 都市ガス／水素／合成ガス／バイオガス等	×	電気以外の熱源変更ができない
品質	○	メーカ試験溶解で問題なし 連続運転の結果、浄化槽+浄化装置追加の可能性はあり	○	リターン材による溶湯汚染の検証が必要 NGの場合、浄化槽＋浄化装置追加が必要
投資	○	炉体イニシャルコスト；１（水素を１と仮定する）	△	炉体イニシャルコスト；２以上（水素１に対して）
コスト	×	5.8（電気１に対して）	○	１（電気を１と仮定する）

1.2 水素燃焼量産化に向けた課題

水素は都市ガスと比較して次の特徴を有する。

- 可燃範囲が広い
- 燃焼速度が速い
- 着火しやすい

そのため、配管内に空気が残留した状態で着火すると逆火や爆発が発生する危険性がある。

また、アルミ溶解工程では燃焼生成物が100%水蒸気となるため、アルミ粗材に対して次の品質影響が懸念される。

- 溶湯内水素量増加
- 機械的特性低下
- ブローホール発生

そこで量産設備を用いた実証試験を実施し、安全性、品質及び生産性の観点から量産適用の可能性を評価した。

2　水素量産実証試験の概要

2.1 技術検証ステップ

水素燃焼技術の量産化に向け、段階的な評価を実施した。第1ステップとして、2023年11月に(株)宮本工業所の試験炉を借用し、4時間連続溶解試験を実施した。この試験では、まず安全性を最重視し、逆火対策についての検証を行った。次いで、溶湯品質、溶解能力について、製品を鋳造しない状態での評価を行った。次のステップとして、量産ラインの改造を行い5日間連続の量産実証を実施した。**表2**に水素燃焼検証ステップを示す。

表2　水素燃焼検証ステップ

		1st STEP			2nd STEP		3rd STEP
		メーカ試験(2023/11実施済)			小型炉実機検証	大型炉実機検証	量産実証
対象炉		メーカ小型試験炉			IEMH 125tN#1	検討中	IEMH 対象 5 炉
溶解時間		4h連続			5日間(10直)連続	←	2030年～
課題/評価項目		目標	結果		目標	目標	目標
S	設備安全	逆火対策の検証 (JIS安全指針に準拠)	逆火なし	○	・自動パージ機能の検証 ・水素/都市ガス切替時 の安全対策検証	・大型炉での検証完了 →量産仕様見極め完了	・100％安全を確保 した状態で量産開始
Q	溶湯品質	成分他 いすゞ規格内	いすゞ規格内	○	・量産稼働条件下 連続10直稼働で 問題ないことを確認	・大型炉での検証完了 ・1,000kg/h以上 →量産移行判断完了	・4ケ月の連休ごと 年間の季節変動等 長期間での検証完了
	溶解能力	200kg/h 以上	250kg/h	○			
C	燃費	熱効率 45％以上	49％	○	・200kg/h以上	今回検証STEP	
	溶解歩留まり	97％以上	97.2％	○			
	設備コスト	–	–	–	・小型炉 水素改造費の 見極め完了	・大型水素溶解炉の 必要投資見極め完了 →量産展開予算申請	・水素炉 保守・メンテナンス 費用の見極め完了

2.2 量産実証設備

実証試験は、IEMHアルミ第1工場の125tダイカストラインに設置されたN#1小型個別溶解保持炉((株)宮本工業所)で実施した。使用した炉は、最大溶解能力200kg/h、貯湯量1,050kgの高効率溶解保持炉である。また、供給水素には99.99vol%以上の高純度水素 (エア・ウォーター産業・医療ガス(株)製)を使用し、タンクローリ方式で供給した。**図2**に実証設備の仕様を示す。



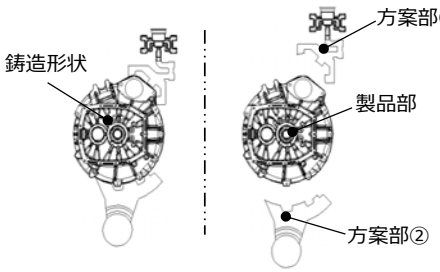
画像出展：(株)宮本工業所
製品カタログ
「ダイカスト用個別アルミ溶解保持炉 DMF･IMF」

125ｔN#1 個別溶解保持炉 仕様概要

メーカ	(株)宮本工業所
溶解能力	200kg/h（最大）
溶解バーナ出力	10万kcal/h（最大）
保持バーナ出力	5万kcal/h（最大）
雰囲気温度(℃)	650℃～750℃
溶湯温度(℃)	650℃～660℃（N#1生産車型）
溶解材料	① 100g塊 ② リターン材

<100g塊>





<リターン材>



図2　実証設備仕様

2.3 材料及び鋳造製品

量産実証で溶解した材料はADC(Aluminum Die Casting)12合金の100g塊を使用した。生産品目及び鋳込み重量、サイクルタイムー覧を**表3**に示す。

表3　生産品目一覧

生産日		品名	鋳造重量 (kg/shot)	サイクルタイム (min/shot)
1日目	AM	MYR VALVE C/CONT	0.98	0.61
	PM	EJ CAM BRAKET LOW#2/4	0.90	0.63
2日目	AM/PM	EJ CAM BRAKET LOW#2/4	↑	↑
3日目	AM/PM	EJ CAM BRAKET LOW#2/4	↑	↑
4日目	AM/PM	EJ CAM BRAKET LOW#2/4	↑	↑
5日目	AM/PM	EJ CAM BRAKET LOW#5	1.04	0.58

2.4 評価項目

評価項目を、安全性(S)、品質(Q)、性能・コスト(C)の3つの分類とした。**表4**に評価項目一覧を示す。

表4　評価項目一覧

		評価項目	評価基準
安全 S	水素供給	タンクローリ接続/切替作業	手順書通りに安全に作業できること
		バーナ交換作業	
		自動パージ機能	正常に動作すること
品質 Q	溶湯品質	成分変動	規格範囲内
		介在物量	都市ガス同等
		溶湯内水素ガス量	都市ガス同等
	鋳造品質	外観	規格範囲内
		内部品質	レベルⅣ以上
		機械的強度(引張/伸び)	都市ガス同等
性能・コスト C	溶解炉	熱効率・ガス使用量 (5日間連続溶解中avg)	都市ガス同等
		溶解歩留まり	3%以下

3　安全対策技術

3.1 水素燃焼リスクへの対応

2024年改訂JIS B8415「工業用燃焼炉の安全通則」に基づき、炉メーカ及び水素供給メーカの専門家を交えたリスクアセスメントを実施した。水素燃焼における最大の課題は逆火である。逆火とは配管内に残留した空気と水素が混合し、点火時に配管内部で燃焼が発生する現象である。量産設備において逆火防止及び逆火が発生した際の設備保護を行うため、次の安全対策を組み合わせた安全システムを構築した。

- 自動窒素パージ機能
- 水素ガス漏れ検知器
- フレームアレスタ(消火装置)
- エクスプロージョンベント(爆発放散口)

図3に安全対策システム構成を示す。

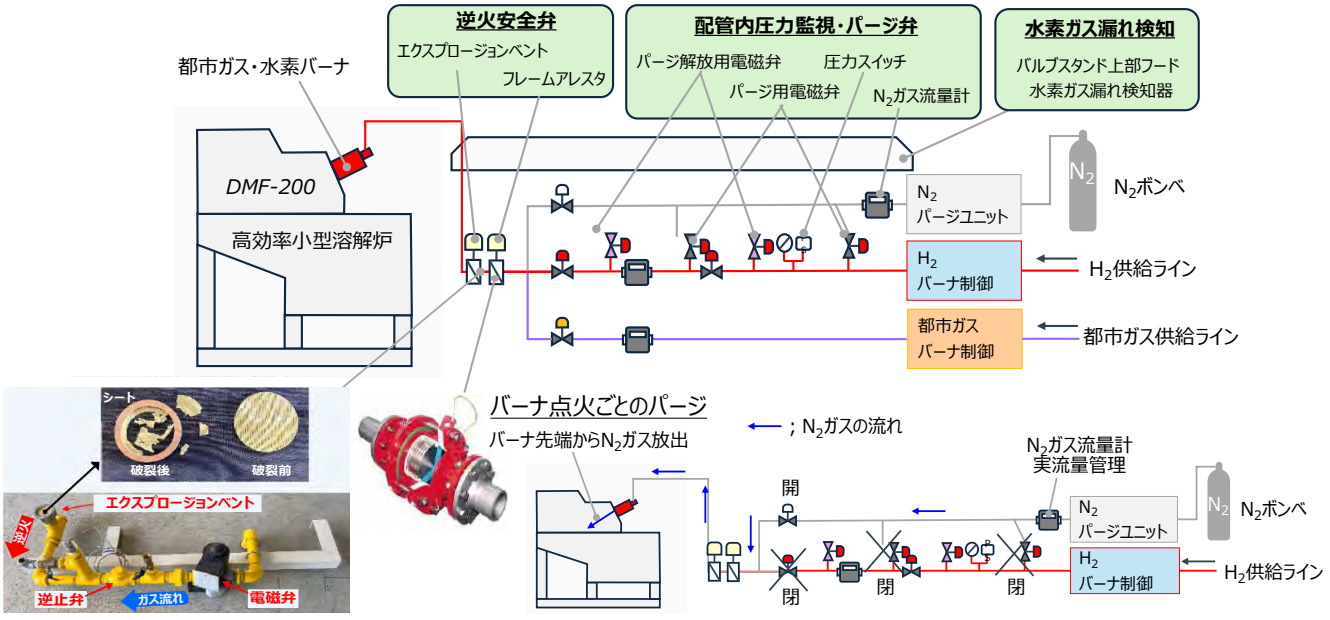


図3　安全対策システム構成

3.2 逆火実証試験

量産実証前に**図3**に示す試験装置を構築し、窒素パージを行わずに配管内へ水素と空気を導入して、意図的に逆火を発生させる検証試験を実施した。その結果、配管内最大圧力は0.2MPa以下であり、設備及び機器類が破損しないことを確認した。また、フレームアレスタ及びエクスプロージョンベントが正常に機能することを確認し、量産設備への適用に必要な安全性を確保して量産実証に臨んだ。

4 量産実証結果及び考察

4.1 実証結果

2025年8月19日から8月23日までの5日間、125tダイカスト量産ラインにおいて水素燃焼による量産実証を実施した。期間中は昼勤にて生産を行い、夜間は保持運転を実施した。**表5**に実証結果一覧を示す。全ての評価項目において基準を満足した。

表5 実証結果一覧

		評価項目	評価基準	結果	評価結果
S	水素供給	タンクローリ接続/切替作業	手順書通りに安全に作業できること	○	リスクアセスで策定した作業手順書 / Wチェックシートを用いて実作業を実施 → 手順書通りに安全に作業ができた。一部改善点が見つかった部分あり、手順書に反映済
		バーナ交換作業		○	
		自動パージ機能	正常に動作すること	○	試験期間中、逆火発生なし
Q	溶湯品質	成分変動	規格範囲内	○	試験期間中、成分NGなし（都市ガス溶解溶湯と同等）
		介在物量	都市ガス同等	○	K値；0.4 ～ 2.0、都市ガス同等
		溶湯内水素ガス量	都市ガス同等	○	都市ガス同等、水素の影響なし
	鋳造品質	外観	規格範囲内	○	外観NGなし（都市ガス溶解品と同等）
		内部品質	レベルⅣ以上	○	レベルⅤ以上OK、（都市ガス同等レベル、量産引当可受領済）
		機械的強度(引張/伸び)	都市ガス同等	○	都市ガス同等、水素の影響なし
C	溶解炉	熱効率・ガス使用量(5日間連続溶解中avg)	都市ガス同等	○	熱効率；41.2％ 溶解原単位；58.3万kcal/t
		溶解歩留まり	3％以下	○	2.9％（都市ガス溶解時と同等）

期間中の総溶解量は2,622kg、総鋳造数は2,695shotであり、総燃焼時間は164時間、総水素使用量は2,007Nm^{3}であった。今回の実証では昇温、初期溶解、量産運転、夜間保持及び溶け落とし作業を含む実際の量産運転条件で評価を実施した。従来の水素溶解試験は数時間規模の連続溶解が中心であり、著者らの調査範囲では、水素燃焼を用いたアルミダイカスト量産ラインでの連続溶解・鋳造に関する公開事例は確認されていない。本結果により、将来の量産適用に向けた重要な知見を得ることができた。

4.2 安全性評価

4.2.1 水素供給設備

実証期間中に実施したタンクローリ接続及び切り離し作業は全て事前に作成した作業手順書に従い実施した。作業中のガス漏れ、異常発熱、圧力異常は発生せず、安全に作業が可能であることを確認した。

一方で、タンクローリ切り替えには30工程以上の作業が必要であり、全てが安全重要作業に該当するため、将来量産設備へ展開する際には、人的ミスを排除するための自動化が必要であると考えられる。

4.2.2 自動パージ機能

評価期間中、逆火発生は確認されなかった。

また、失火及び再点火動作時には、自動パージ機能が正常に作動し、安全に再着火できることを確認した。

今回採用したのは、次に示す四重安全構造である。

- 窒素自動パージ機能
- 水素ガス漏れ検知器
- フレームアレスタ
- エクスプロージョンベント

これらの安全を組み合わせることで、量産設備として必要十分な安全性を確保した。

4.2.3 ガス漏れ検知

評価最終日に可燃性ガス警報が発報し、エクスプロージョンベント部のシール面からppmレベルの微小漏れが検出された。原因は、エクスプロージョンベント取り付け部のパッキンの不具合であった。意図しない形ではあったが、漏れ検知、自動停止、自動パージ、再起動(再点火)の一連の安全機能が正常に動作することを確認できた。

4.3 溶湯品質評価

4.3.1 成分変動

期間中に採取した全ての溶湯サンプル(生産開始前/昼休/生産終了後、3個/日×5日間)について成分分析を実施した。主要成分の測定結果を**図4**に示す。

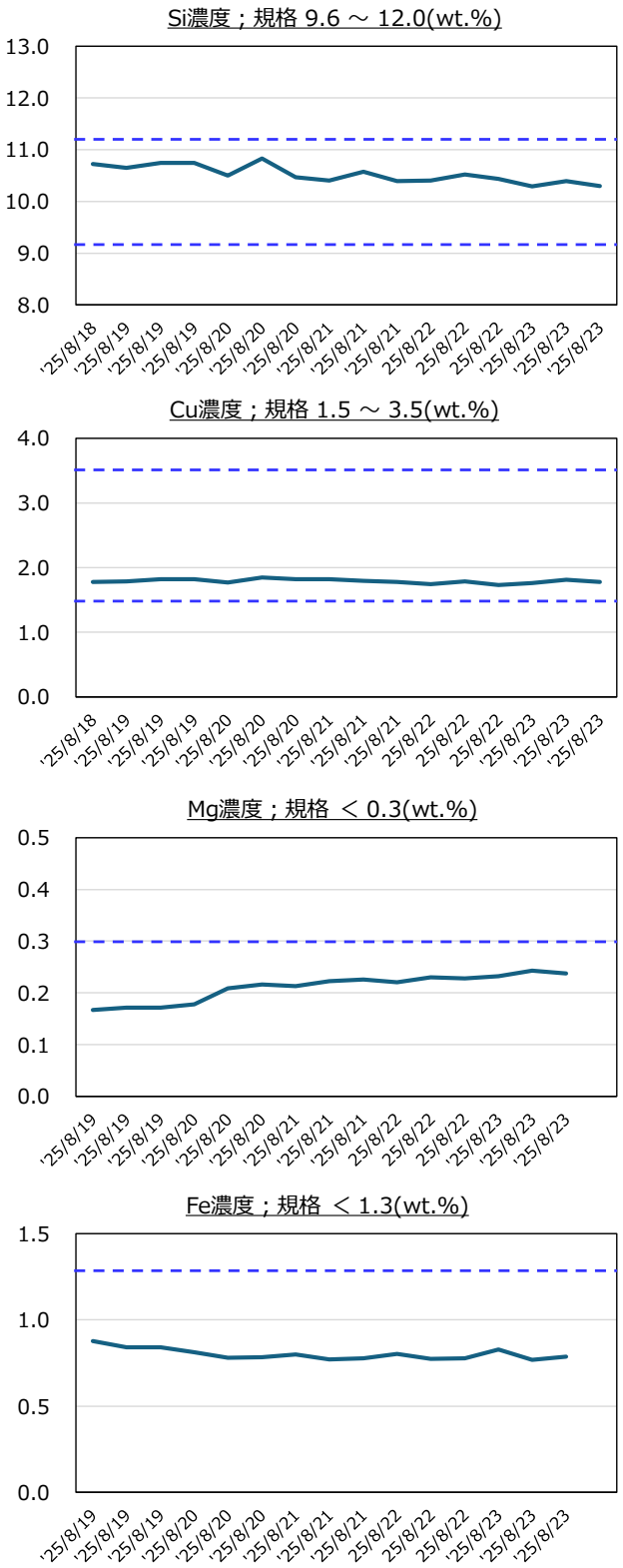


図4　主要成分の推移

図4に示す代表元素(Si，Cu，Mg，Fe)は全てADC12規格範囲内で推移した。また5日間の連続運転中に有意な成分変動は認められなかった。これにより水素燃焼による水蒸気の発生が溶湯成分へ大きな影響がないことを確認した。

4.3.2 介在物評価と引張・伸び評価

溶湯の清浄度評価として、Kモールド法(溶湯清浄度評価法)による評価を実施した。K値(溶湯中の介在物量を示す清浄度指標)は0～2.0の範囲で推移し、平均値は1.3であった。溶湯内介在物量と相関のある引張強度及び伸びについても併せて評価した。結果一覧を**表6**に示す。本評価範囲においては、一部で低下傾向はあるが、有意な差は認められなかった。これは高効率溶解炉特有の安定した燃焼制御及び定湯面制御の効果によるものと考えられる。

表6　都市ガス・水素の各データ

項目	都市ガス(N=3)	水素(N=10)
引張強度(MPa)	218 ± 8	220 ± 10
伸び(%)	2.3 ± 0.4	2.2 ± 0.5
K値	1.4 ± 0.5	1.3 ± 0.6

4.3.3 溶湯内水素量

ランズレー法(減圧凝固・密度測定法)による測定結果と引張伸び強度の結果を**図5**に示す。溶湯内水素量は0.31～0.55cm^3/100gの範囲で推移した。今回のADC12ダイカストでは機械的性質への影響は認められなかったが、AC4C(Al-Si-Mg系アルミニウム鋳造合金)等の重力鋳造用材料では影響が顕在化する可能性があり、今後の検証課題である。

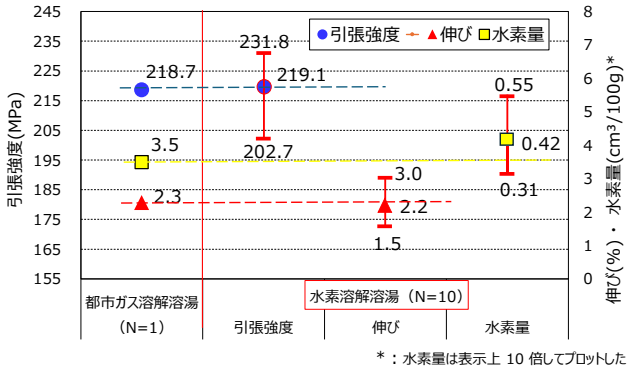


図5　溶湯内水素量

4.4 鋳造品質評価

外観検査では湯じわ、ひけ、湯回り不良等の異常は確認されなかった。またX線検査による内部品質評価でも、全サンプルが規格レベルを満足した。先

に記載した引張強度、伸びについても同様であり、水素燃焼による機械的性質への影響は確認されなかった。これらの結果から、ADC12ダイカスト部品においては水素燃焼による品質への影響はないと判断した。

4.5 溶解性能評価

熱効率は連続溶解中、溶け落とし溶解、直間保持を含み平均41.2%であり、都市ガス溶解と同等レベルであった。また溶解歩留まりは97.2%を達成した。一般に水素は燃焼速度が速くフレーム長さも変化しやすいため、溶解能力への影響が懸念されていた。しかし、今回の評価では最大200kg/hの溶解能力を確認しており、設備能力上の問題は認められなかった。一方で、燃焼容量を低下させた際にフレーム長が短くなり、熱効率が低下する傾向が確認された。この結果から、将来的には燃焼容量と連動してフレーム位置を最適化する技術が有効であると考えられる。

4.6 CO_2削減効果

今回の量産実証期間中の溶解量は、2,622kgであった。この溶解量を都市ガスで実施した場合のCO_2排出量を換算すると、約1,126kgとなる。これは、1年間で試算すると54t/年、IEMHの溶解炉全炉を水素で稼働した場合には、2,750t/年に相当する。アルミ鋳造工程のエネルギー消費量は、工場全体のエネルギー消費量に占める割合が大きく、今後、大型溶解炉へ展開した場合には更に大きな削減効果が期待できる。

5 今回得られた知見と今後の展開

5.1 爆発放散口取り付け構造

量産実証期間中、エクスプロージョンベント部で微小な水素漏れが確認された。原因調査の結果、ユニオン締結時にベント膜にねじり応力が発生していたことが判明した。そこでフランジ固定構造を考案し、特許出願を行った。**図6**に構造概要を示す。

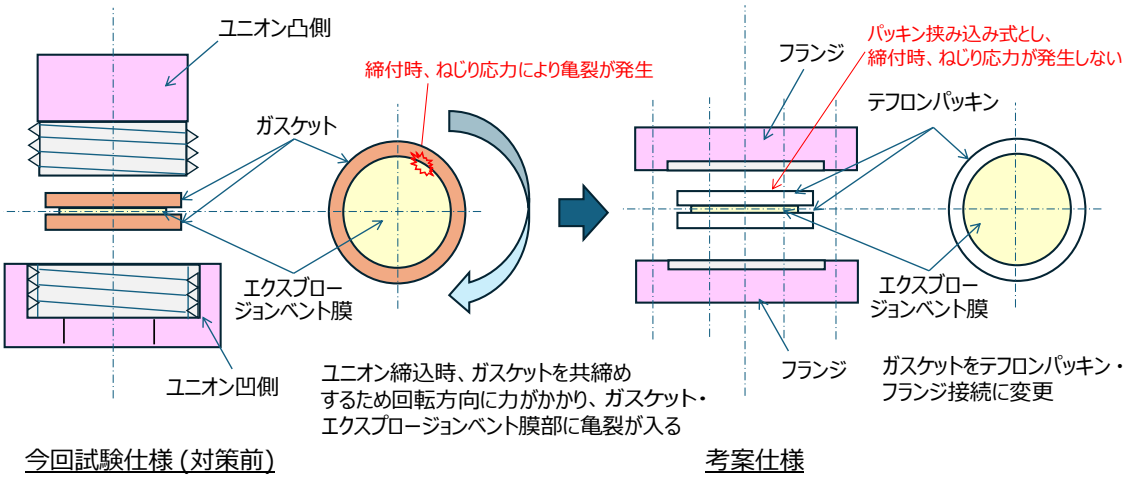


図6　エクスプロージョンベント考案構造

5.2 フレーム長可変機構

水素フレームは、燃焼容量によって長さが変化する。この特性により低負荷運転時の熱効率低下が発生する。そこで、燃焼容量に応じてバーナ位置を自動調整する機構を考案し、同様に特許出願を行った。この技術により、将来的には水素燃焼においても熱効率50%以上の達成を目指している。**図7**に考案構造概要を示す。

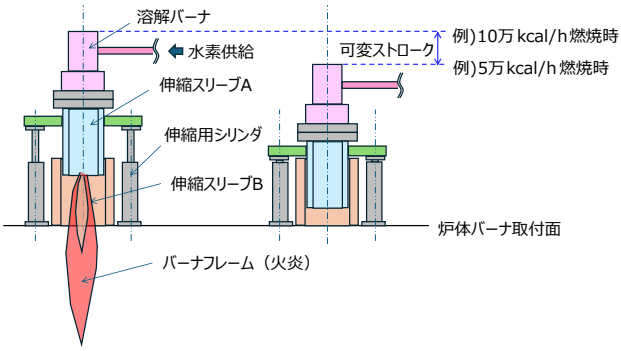


図7　燃焼容量自動可変機構考案構造

今回の量産実証により、小型高効率溶解保持炉における水素燃焼技術の量産適用可能性を確認することができた。また、①～③の知見を得た。

① タンクローリ切り替え作業自動化の必要性
② エクスプロージョンベント構造改善案
③ フレーム長可変機構による熱効率向上案

これらの知見は、将来水素の供給インフラが整備され、水素価格が低下した場合、大型炉に展開する際にも有効なものである。

6　おわりに

小型高効率アルミ溶解保持炉を対象とした水素燃焼量産実証試験を実施し、以下の結果を得た。

(1) 自動パージ機能及び逆火対策機器により、量産設備に必要な安全性を確保できた。
(2) ADC12溶湯の成分、清浄度、鋳造品質及び機械的特性は都市ガス溶解と同等であった。
(3) 熱効率及び溶解歩留まりは、都市ガス溶解と同等レベルであり、量産適用可能な性能を有することを確認した。
(4) 量産実証期間中に約1.1tCO_2削減効果を確認し、アルミ鋳造工程のCN化技術として有効であることを実証した。
(5) タンクローリ切り替え自動化技術及びフレーム長可変機構など、将来展開に向けた技術課題を明確化できた。

以上より、小型炉における量産実証ステップを完了し、大型炉量産実証へ移行するための技術的基盤を確立した。

今後は、水素供給体制及び燃料コストの動向を注視しながら大型溶解炉への展開も視野に、アルミ鋳造工程全体のカーボンニュートラル化を推進していく。

参考文献

(1) 横山賢介：アルミ溶解炉の水素バーナー溶解におけるリスク検証試験，生産技術技報vol.19(2024)，p.13-18
(2) 塩谷聡 ほか：大型ダイカストに対応したコンパクトな省燃費アルミ溶解保持炉の開発，月間素形材vol.66，No.12(2025)，p.18-23
(3) 塩谷聡 ほか：小型ダイカスト水素燃焼による量産実証テスト結果報告，鋳造工学会 25年度秋季全国講演大会(2025)
(4) 茂泉健：商用車のカーボンニュートラル戦略と素形材産業への影響，素形材，Vol.67，No.2(2026)，p.15-23
(5) JIS B 8415-2:2020/AMENDMENT 1:2024
工業用燃焼炉の安全通則―第2部：燃焼及び燃料取扱システム(追補1)，(2024)

論文・報告

Leveraging AI Tools in Powertrain Engineering Projects

– Rapid Development of MATLAB - Based Windows Applications for Improving Productivity and Accelerating Knowledge Sharing –

Shivansh Singhal*　　Thirumal Harikrishnan*

Abstract

ISUZU has committed to using AI to improve its existing engineering workflows. This paper presents examples of how this is being put into practice, exploring how AI tools can accelerate engineering software development in a commercial vehicle powertrain environment. Two MATLAB-based productivity tools were developed using Generative AI as a development accelerator. Engineers directed the development process by defining requirements and validating outputs, while the AI platform generated code, proposed solutions, and supported debugging. In both cases, fully featured tools were delivered within days rather than the weeks a conventional approach would have required. The results show that AI-assisted development is a practical productivity accelerator for domain engineers, even without dedicated software development resources.

要　旨

いすゞは、開発環境にAIを導入することを推進している。商用車のソフトウエア開発において、AIツールがいかに開発を加速できるか検証を行った。生成AIに要求事項や出力内容を指示し、２つのMATLABツールを作成した。両方のケースで、従来の進め方では数週を要した結果が数日で得られ、AIを活用して開発を進めることで相当な開発期間短縮につながる実用的な結果が得られた。その取り組みを紹介する。

1　Introduction

Modern diesel powertrain development is becoming increasingly complex. Emissions regulations such as Euro 7, Environmental Protection Agency (EPA) 2027, and California Air Resources Board (CARB) Ultra Low Nitrogen Oxides (NOx) are setting targets that are harder than ever to meet. Achieving these targets requires precise control of combustion, aftertreatment, and On-Board Diagnostics (OBD) systems. This means more software functions, more calibration parameters, and more complex signal interactions within the Engine Control Unit (ECU).

OBD requirements are also growing in scope. Engineers must ensure that fault detection and diagnostic strategies are correctly implemented and calibrated across a wide range of operating conditions. Gaps in software understanding can lead to warranty issues in the field, which are expensive and difficult to resolve after production.

As a result, engineers are expected to develop a deep understanding of increasingly complex ECU software in shorter timeframes. The volume of supporting documentation continues to grow. Managing and navigating this documentation has become a significant challenge.

This paper looks at how Artificial Intelligence (AI) tools can help with this challenge, using ChatGPT (OpenAI) Enterprise as a development accelerator. Before going further, it is worth being clear about how this was used. The AI platform was never used to read or process any proprietary engineering documents. Its role was limited to generating the MATLAB (MathWorks) code that engineers then used to process these documents locally, within their own MATLAB environment. The platform itself never had access to the actual document content. All developments took place on ISUZU governed enterprise servers, with enterprise level data protection in place throughout. None of the information used during development

*Isuzu Technical Center of America, Inc.

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

was shared for model training, and no proprietary data ever left the controlled environment.

1.1 Industry Context and Engineering Challenges

ECU calibration projects present a particular challenge within this environment. Before productive calibration work can begin, engineers must develop a thorough understanding of the interlinked functions within the ECU software, a familiarization process that relies heavily on documentation often spanning thousands of pages across multiple file formats. For established programs with well-understood ECU software, this process is supported by accumulated team expertise and documented institutional knowledge.

However, new ECU programs introduce a substantially greater burden, engineers must independently trace internal signal flows, decode function hierarchies, and map software interdependencies with limited prior reference. In the absence of structured tooling to support this process, the familiarization phase alone can consume a substantial portion of engineering time, time that would otherwise be directed toward productive calibration and validation activity. **Figure 1** illustrates the typical software familiarization workflow within such programs highlighting the specific stages where knowledge acquisition bottlenecks are most acute.

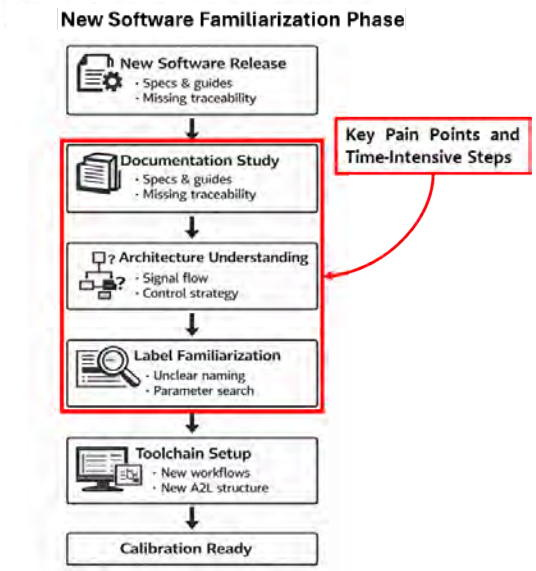


Figure 1 Structured Approach to Software Familiarization

1.2 Gaps in Current Practice

Model-based development has brought structure to many parts of the engineering process. However, when working with supplier-developed ECU software, teams often have limited visibility into the internal software architecture. The documentation provided varies in format, depth, and quality across suppliers and programs. There is no standard way to navigate it, and the burden of understanding falls largely on individual engineers.

In practice, teams rely on manual document review, informal knowledge sharing between colleagues, and ad hoc search methods. These approaches are slow. They also produce inconsistent results. One engineer may develop a strong understanding of a particular software function while a colleague working on the same program has very little. This inconsistency creates risk. Decisions made on incomplete understanding of the software can lead to calibration errors, missed OBD requirements, or warranty issues that only surface in the field.

The challenge is made worse when engineers move between programs or when a new ECU platform is introduced. The knowledge built up on one program does not transfer easily to the next. Each transition requires a significant investment of time before productive calibration work can begin. For teams working under tight program timelines, this is a recurring and costly problem.

There is a clear need for tools that help engineers access and understand software documentation more efficiently. This paper presents two such tools, developed using AI-assisted methods within a commercial vehicle powertrain environment. **Section 3** covers the development process and engineering impact of each tool in detail.

2 Workflow Development Framework

2.1 Session Initialization and Context Setting

The AI platform used in this effort is the ChatGPT enterprise tool. Each development session began with deliberate context establishment. The engineer configured the session by first orienting the platform toward the specific development environment. A typical opening prompt would resemble: "*We will be working in MATLAB throughout this session. Please refer to MATLAB syntax, functions, and documentation*

conventions in all responses." This was followed by a description of the engineering problem – what the tool needed to do, what the input data looked like, and what the expected output should be. For example: "*I have a folder of Word and Portable Document Format (PDF) documents containing ECU software information. The files are a mix of tables and free text. I need to extract calibration label names, input and output signals, min/max values, units, and which software feature each label belongs to.*"

Critically, the engineer did not immediately request code. Instead, the platform was asked to suggest possible approaches first: "*Before writing any code, can you suggest two or three ways we could approach parsing these documents in MATLAB? I want to understand the options before deciding.*" The platform would then outline candidate strategies, and the engineer would evaluate these against the engineering requirements before selecting a preferred direction. Only once a satisfactory approach was agreed did the engineer provide a detailed output specification, forming the basis for the first code generation pass. From this point, development proceeded through a continuous cycle of prompt and response.

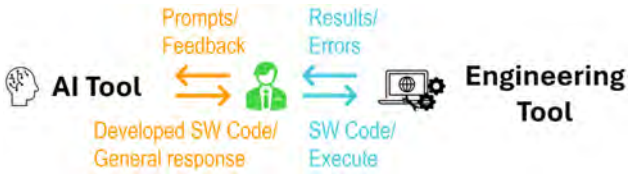


Figure 2 Engineer-Mediated Iteration Cycle Between AI Tool (ChatGPT) and Engineering Tool (MATLAB)

2.2 Project-Based Continuity

Development was organized using the Projects feature within ChatGPT, which allowed multiple related chat sessions to be grouped under a single project context. This preserved accumulated knowledge (context for the Large Language Model (LLM)) across sessions, enabling the model to maintain awareness of previously developed components, design decisions, and established conventions without requiring the engineer to re-establish context at the start of each session. This continuity was particularly valuable across the multi-phase development lifecycles of both tools, where later sessions were built directly upon earlier architectural decisions.

2.3 The Iteration Cycle

There was no direct interface between the AI platform and the MATLAB environment during development. The platform was prompted to write specific aspects of the code, which the engineer then manually copied into MATLAB and executed. Feedback was returned to the platform in two ways. The first was text-based MATLAB error messages pasted directly into the chat, or qualitative observations about the output were described in words. For example, when the parsing script produced incomplete results, the engineer would return to the session with a prompt such as: "*The script runs without errors but is missing labels that appear in paragraph text rather than tables. Here is the error output: [pasted error]. Can you update the parsing logic to also capture these?*"

The second feedback method was image-based. Where the issue was visual in nature, such as incorrect application layout, unexpected User Interface (UI) behavior, or output formatting problems. In these cases, screenshots of the MATLAB environment were shared directly in the chat. The platform was able to interpret these images, identify the shortcoming from the visual context, and suggest corrective code without requiring the engineer to describe the problem in words. This proved particularly useful for debugging UI components and output formatting, where a screenshot communicated the issue far more precisely than a text description could.

The platform reworked the code based on both types of feedback, and the cycle repeated. Initial functional prototypes were typically achieved within a small number of exchanges. Subsequent iterations were driven by fine-tuning and edge case handling rather than fundamental correctness issues. All refinements were handled within the AI tool rather than engineer directly editing the generated code, hence preserving a clean and traceable development dialogue.

2.4 Engineer's Role and Validation

Engineer brought an intermediate level of MATLAB proficiency to the collaboration, sufficient to evaluate the correctness and structure of generated code, identify logical errors, and direct refinement without being dependent on AI generation for every aspect of implementation. Technical validation of the developed tools was conducted jointly by the engineer and colleagues, ensuring that outputs were assessed

against real engineering requirements. This validation approach was essential in identifying edge cases. Such cases were addressed by explicitly surfacing them within the AI chat session, enabling the model to incorporate appropriate-handling logic in subsequent code revisions.

Figure 2 Illustrates how the engineer bridged communication between the AI Tool and Engineering Tool.

2.5 Methodology Maturation

Prompting practice evolved considerably across the project. Early sessions used broad, exploratory prompts. For example: "*Can you write a MATLAB script to extract data from these documents?*" Over time, prompts became more precise and specific. For example: "*Write a MATLAB function called parseWordTables. It should take a file path as input, extract all table rows where the first column matches the pattern 'XYZ', and return a structured array with fields: labelName, minValue, maxValue, unit, and featureName.*"*

This shift came from a growing ability to specify requirements clearly and anticipate edge cases upfront. The engineer also became better at recognizing early when the platform was going in the wrong direction, allowing quick correction before significant rework was needed. This improvement in prompting effectiveness directly contributed to the faster development observed in later phases. It also represents a transferable skill that can be applied to future AI-assisted engineering work.

3 AI-Assisted MATLAB Tool Development: Powertrain Engineering Case Studies

3.1 Case Study 1: Software Documentation Rapid Search Toolchain

Of the familiarization challenges outlined in **Section 1**, navigating large volumes of calibration documentation was the most time-intensive bottleneck in day-to-day engineering work. Engineers had to manually search across Word and PDF files spanning thousands of pages. There was no structured way to query, filter, or cross-reference signal data. Most content was in structured tables, but some appeared as free text, with both formats spread across multiple pages within the same files. This made the process slow, inconsistent, and heavily dependent on individual familiarity with the documents.

The tool was built across three phases: document parsing, database creation, and application delivery, as illustrated in **Figure 3**.

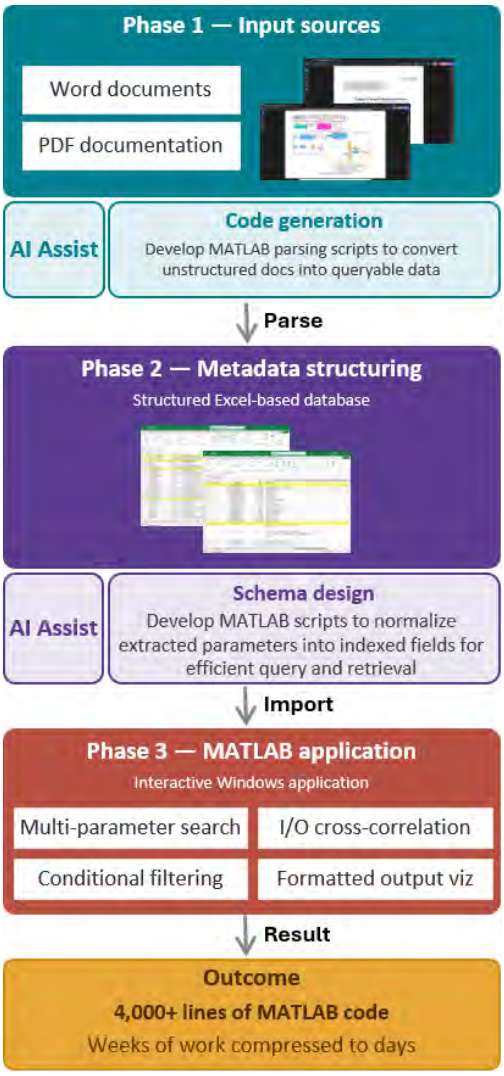


Figure 3 Layered pipeline architecture of the Software Documentation Rapid Search Toolchain, illustrating phase-wise integration of AI-assisted development and resultant application capabilities

Development started with the engineer describing the problem to the platform. The documents were a mixed set of Word and PDF files, mostly in table format but with some free-text sections, spread across multiple pages. The engineer also described what data needed to be extracted: calibration label names, input and output signal definitions, boundary values, units, functional descriptions, and software feature attribution.

Rather than jumping straight to code, the engineer first asked the platform to suggest possible parsing approaches. The platform outlined several options. The engineer then selected the most suitable one, which used separate routines for table content and free-text paragraphs. This early discussion shaped the direction of the entire development. As the work progressed, the engineer also asked the platform to add comments throughout the generated code. This made it easier to follow the logic, understand each step, and continue development across multiple sessions.

Second phase was about storing the extracted data in a format that could be easily searched and queried. Engineer specified to the AI tool on what the database should look like "*Three separate Excel worksheets for calibration labels, input signals, and output signals, each capturing parameter-level metadata*". The AI tool generated the Excel structure and the MATLAB code to write data into it.

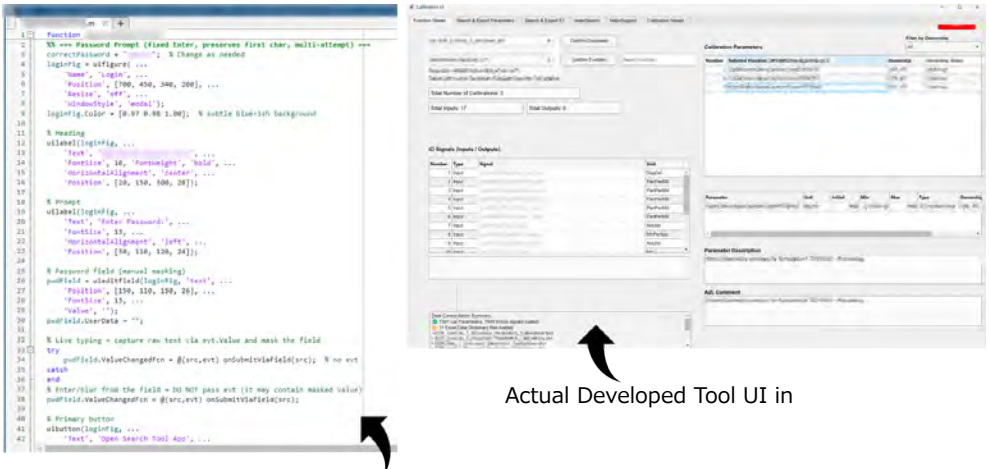
During testing, a problem became apparent. The extraction was picking up a large number of uncertain or incomplete records alongside the valid ones. The engineer described this to the AI tool, which suggested adding a filtering step. High confidence records would go into the main sheets, and uncertain ones would be moved to a separate review sheet for manual inspection. This change improved the quality of the database significantly. A separate issue also came up during testing: a MATLAB error related to column naming. The engineer pasted the error into the chat, and the AI tool returned a corrected script straight away.

Third phase was the application itself. A Windows desktop application was built using MATLAB's uifigure framework. The engineer described what the application needed to do, one requirement at a time. These included keyword search, exact field lookup, approximate query modes, signal cross-correlation analysis, conditional filtering, and formatted output for engineering review. The application was made available in two ways: as a standalone executable for engineers, and as a native MATLAB application.

The codebase was organized as one main script with a set of helper functions. Each helper function handled a specific task such as parsing, database writing, search, or UI rendering. New features were added one at a time by requesting new helper functions from the platform and connecting them to the main script. The engineer also asked the AI tool to include comments throughout the generated code. This made it easier for colleagues to understand the code and made it simpler to continue development across multiple sessions.

It is worth noting that the AI tool was not used to process any proprietary documents. It was only used to help build the tool itself. All document data was handled within internal engineering systems only.

The first working prototype was ready within hours of starting development. The complete application, with over 4,000 lines of MATLAB code, was delivered within days. A conventional development approach would have taken several weeks. **Figure 4** shows the finished application interface and a sample of the generated MATLAB code.



MATLAB Code to Implement the Tool UI and Integrate All the Information into a Single, User-FriendlyIn terface

Actual Developed Tool UI in

Figure 4　Realized MATLAB Application Interface and Supporting Code Structure

3.2 Case Study 2: Automated Simulink Model Generation Toolchain

Building Simulink models manually is a time-consuming process. For each software function, the engineer has to create subsystem blocks and populate them with the correct inputs, outputs, calibration labels, and lookup tables by hand. This information has to be read from specification documents and entered into Simulink one parameter at a time. The process is also prone to error. A missed signal or incorrectly named block can cause problems later in the development cycle that are difficult to trace back. For the software and controls team, this setup work took up a significant amount of time before any real modelling could begin. It also had to be repeated from scratch for every new software function.

The tool was developed in MATLAB using the same workflow described in **Section 2**. As shown in **Figure 5**, the process has two parts. The first part is AI-assisted, where the AI tool helped develop the MATLAB scripts to read and process the specification data. The second part is engineer-led, where the generated output is reviewed and built upon to create the complete Simulink model. This division kept the engineer in control of the technical decisions while the platform handled the time-consuming code development work.

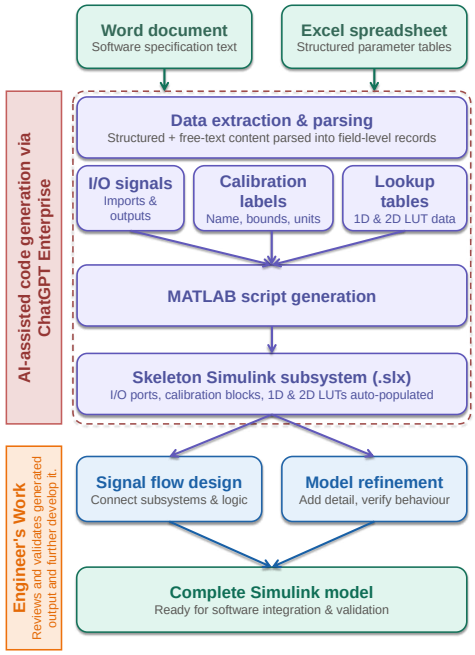


Figure 5 End-to-end workflow of the Automated Simulink Model Generation Toolchain – from source documentation to complete Simulink subsystem

Development started with the engineer describing the problem to the platform:

"*I have Word and Excel documents describing ECU software functions. Each document defines the input signals, output signals, calibration labels, and lookup tables for a function. I want to write a MATLAB script that reads this information and automatically creates a Simulink subsystem block with the correct Input/Output (I/O) ports, calibration blocks, and lookup tables pre-populated.*"

The platform asked a few clarifying questions about the document structure before suggesting an approach. For example, it asked how the signal names and lookup table data were laid out in the Excel sheets, and whether the Word documents followed a consistent format across all functions. This helped make sure both the engineer and the platform had the same understanding of the problem before any code was written. It also helped avoid rework later in the development.

The tool read specification data from both Word and Excel files. These were the two formats used to store function definitions, signal lists, calibration parameters, and lookup table data across the project. Once the basic parsing logic was working, the engineer refined the requirements through follow-up prompts as new cases came up during testing. For example:

"*The lookup tables can be either 1D or 2D. Can you update the script to handle both cases?*"

Each follow-up prompt added a new capability to the script. This is a good example of how the tool grew incrementally through the development process rather than being fully specified at the start. The final scripts generated skeleton Simulink subsystem blocks directly from the source documents. Each block included the correct input and output ports, calibration label blocks, and 1D or 2D lookup table blocks where needed. Block names were taken directly from the document content, keeping the generated model consistent with the original specification.

The engineer's role, shown in the lower part of **Figure 5**, was to review the generated blocks and then build on them. The blocks were used mostly as they were. The engineer then connected them, defined the signal flow between functions, and added the logic needed to complete the software architecture. The auto-generated blocks gave the engineer a reliable starting point and removed the need to set up each subsystem from scratch.

The main benefit was removing the repetitive manual setup work. Previously, an engineer had to locate each parameter in the specification document and enter it into Simulink individually. For a function with many signals and multiple lookup tables, this could take a considerable amount of time. The tool did this automatically and consistently. **Figure 6** shows a snippet of the generated Simulink Wireframe and a sample of the generated MATLAB code. The tool removed a time-consuming step from the workflow, allowing engineers to start signal flow design and software logic implementation sooner. The benefit was most noticeable for complex functions with large signal interfaces. The tool was initially used by the software and controls team, but the approach showed clear potential for wider use across model-based development workflows.

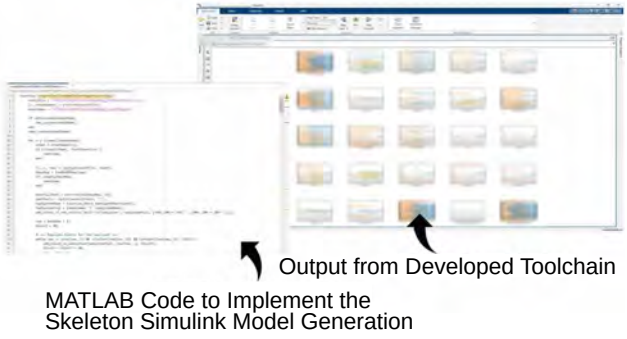


Figure 6 Realized MATLAB Code for Automated Simulink Model Generation and its output

4 Future Scope for Organizational Workflow Enhancement

The tools presented in this paper address specific workflow bottlenecks. However, the underlying development approach is transferable to any engineering activity that involves repetitive tasks, large volumes of data, or structured information processing. The organizational opportunity is therefore considerably broader than the individual case studies suggest.

Within engineering organizations, the most immediate gains are likely in workflows where the inputs and outputs are well defined, and the tasks are time-consuming but not highly creative. These are actly the conditions where AI-assisted development provides the largest productivity boost – freeing up engineers to work on higher-value problem solving and decision making.

As illustrated in **Figure 7**, looking further into the future, the maturation of agentic AI systems represents a more fundamental change. Unlike the assistive approach shown in this paper – where a human engineer stays in the loop at every step, agentic systems can autonomously plan and execute multi-step workflows, work on tools, make intermediate decisions, and adapt based on results. As these capabilities mature, the line between human-directed and AI-directed engineering work will continue to shift.

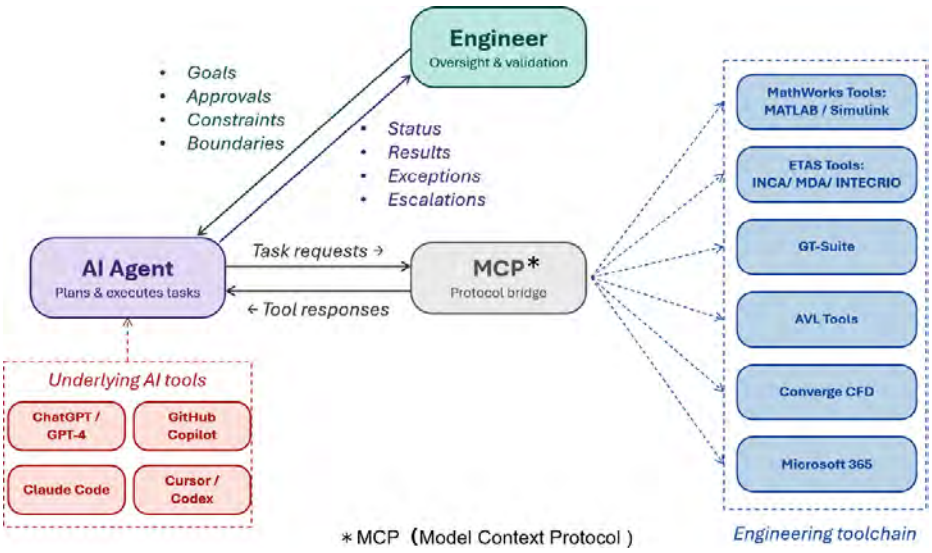


Figure 7 Agentic AI workflow for powertrain engineering: AI agent orchestrating multi-tool execution via MCP (Model Context Protocol) under engineer oversight

5 Conclusion

The case studies presented in this paper demonstrate that generative AI can fundamentally alter the economics of internal toolchain development, compressing what would traditionally require weeks of specialist effort into days, without compromising engineering rigor or data governance.

Beyond development speed, AI-assisted development expanded the scope of what engineers considered feasible to build. Problems that would previously have been worked around due to development time constraints could now be directly addressed through targeted tooling, shifting the engineering mindset from adapting to limitations toward actively resolving them.

Perhaps most significantly, this work demonstrates that effective AI-assisted development is itself a learnable and transferable skill. Engineers can achieve productivity benefits that go far beyond any one tool or project by investing in creating collaborative workflows with AI systems and organized prompting practices.

あとがき

この取り組みを開始した当初は、それほど多くの成果を期待していませんでした。しかし、すぐにこのプラットフォームがエンジニアリング的な文章を驚くべきレベルで理解可能であることが明らかになりました。通常であれば作成に何時間もかかるような膨大で複雑な成果物をわずか数秒で生成し、初回の試行にも関わらず精度が70%を大きく超えていました。この事実は、1日の業務中に何を達成できるかという常識を根本から覆す可能性を秘めています。

とはいえ完全にシステム任せにできるわけではありません。プラットフォームは度々当初の目標から逸脱し、一見正しいように見えても実際の問題を完全には解決していないアウトプットをあたかも正しいかのように生成することがあります。そのためエンジニアは常に主導権を握り、プラットフォームを適切にコントロールし続ける必要があります。

最後に、本稿を通じて単なるツールの紹介にとどまらないメッセージをお伝えできれば幸いです。AIを慎重な検討と明確な線引きのもとで活用すれば、エンジニアの能力と生産性を高めることができると私たちは確信しています。ここでご紹介した取り組みは、チームやプロジェクト、そして私たちが開発した車両を信頼してくださるお客様に、高付加価値をお届けするより良い方法を絶えず追求し続けるという、ITCA(Isuzu Technical Center of America Inc.)の姿勢を体現するものです。

(ITCA Powertrain Engineering　岩下拓郎)

論文・報告

A Data-Driven Method for Developing Custom Customer-Based Duty Cycles from Fleet Data for Vehicle Testing and Validation

Bharat Kudachi* Sparsh Saxena* Mano Priya Subramanian Manoharan*
Santhosh Pasupathi* Gerald Bergsieker*

Abstract

Fleet data provides Automotive manufacturers with a practical method to understand how vehicles are used by customers in real-world operation., This customer data is especially critical because vehicle operation varies significantly by vocation, payload, location, driver usage, and most importantly emission regulations. These characteristics provide a quantitative basis for, customer usage-pattern analysis, real-world product performance assessment, duty-cycle development, validation, and prioritization of future technology investments. This paper presents a data-driven approach for converting the resulting insights to create a direct link between field usage and OEM decision-making by using a case study in which customer data is used to classify customers from a pool of fleet data to develop a High-Demand In-Use Testing cycle.

要　旨

大手流通企業が保有する車両の情報は、実際にどのように車が使われているか知るうえでとても有用である。車両開発において市場での運用を想定した試験を行うが、顧客の運用に近いテストパターンが望ましい。本稿では、これらの車両から得られたデータを元に高負荷な市場での車両運用のテストパターンを作る取り組みを紹介する。

1 Introduction

Future commercial vehicle development is increasingly influenced by the need to match product capability with actual customer operation. Traditional development programs use regulatory cycles, proving-ground procedures, engineering assumptions, and limited customer feedback. While these legacy inputs remain necessary to establish baseline structural and emissions performance, they operate as highly controlled environments. Consequently, they fail to fully capture the stochastic, wide-ranging real-world boundary conditions created by highly variable route topography, shifting payload distributions, ambient climates, urban-to-highway traffic congestion, specialized vocational applications, and erratic operator habits[1][3][5].

Fleet data can close this gap by providing direct evidence of how vehicles are used in the market. By analyzing customer operation across a fleet, an Original Equipment Manufacturer (OEM) can identify usage clusters, severe applications, route demands, thermal exposure, idle behavior, energy consumption, and real-world performance trends. For instance, proactively integrating real-world profiles allows OEMs to mitigate compliance risks for mandatory, post-production audits like the Heavy-Duty In-Use Testing (HDIUT) program, as well as global standards like Real Driving Emissions (RDE) testing. OEM's Product planning teams can leverage these data-driven insights to strategically prioritize future Research and Development (R&D) pipelines, balance technology investment portfolios, and align next-generation architectures with actual customer applications. Concurrently, engineering teams can use the exact same fleet-derived datasets to establish rigorous development targets, apply precise engineering judgment, define highly accelerated validation cycles, and objectively evaluate whether

*Isuzu Technical Center of America, Inc.

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

future component designs truly mirror the real-world customer operation[3][5][6][9].

2 Strategic value of fleet data

Product planning and engineering decisions require evidence about customer needs, operating severity, technology suitability, and market opportunity. Fleet data provides this evidence by showing real-world operation across applications, regions, routes, and vehicle configurations. Planning teams can use it to identify priority markets and future investments, while engineering teams can use it to distinguish representative and severe-use operation, apply engineering judgment, and define validation targets for future vehicle programs[3][5]. As outlined in **Table 1**, the fleet data applications span across multiple powertrain architecture directly enabling targeted engineering decisions. For any OEM the value of this approach is the ability to convert customer operation into quantified planning/validating inputs which creates a stronger link between field evidence, future project development plans, and business decisions.

Table 1 Examples of fleet-data applications across powertrain types and planning purposes

Powertrain or program	Fleet-data insight	Planning decision enabled	Example output
ICE and aftertreatment	Cold start frequency, high-load operation, idle ratio, fuel economy, SCR thermal exposure	Aftertreatment robustness, heater strategy, calibration margin, durability target	Cold-start/high-load HDIUT cycle
BEV	Daily distance, speed distribution, stop frequency, energy demand, ambient and thermal exposure	Battery capacity, range target, charging strategy, route suitability	Customer-derived range and charge plan
Hybrid	Urban/highway mix, idle time, acceleration demand, load variation, energy recovery opportunity	Hybrid system sizing, battery capacity, control strategy, engine-electric balance	Hybrid duty-cycle library
Fuel cell	Route length, continuous load, refueling opportunity, thermal exposure, downtime patterns	Hydrogen storage size, fuel-cell power rating, infrastructure and route strategy	Fuel-cell application suitability map
All powertrains	Customer segmentation, route severity, real-world product performance, field reliability signals	Project prioritization, investment planning, validation conditions, target setting	Market-specific development plan

3 Fleet data analytics framework

To systematically translate raw vehicle telematics into actionable engineering metrics and strategic planning decisions, a structured, sequential workflow is required. **Figure 1** illustrates the proposed Fleet Data Analytics Framework, which maps the end-to-end pipeline from initial edge data acquisition to final downstream product deployment. This linear progression ensures that data is rigorously conditioned, contextually analyzed, and translated into high-utility validation targets Unlike conventional architectures that process heavy, continuous raw time-series streams, this specialized framework ingests aggregated MIMAMORI*1 Controller unit (MMU) data. **Figure 2** shows process flow of how MMU-based approach uses aggregated, pre-processed vehicle data to quickly identify customer operation across fleets with lower processing effort and minimal test instrumentation, compared with conventional raw time-series data analysis.

By transforming these pre-compiled, vehicle-processed health and operational summaries into targeted inputs, the framework effectively bridges commercial fleet tracking with engineering validation [3][5].

*1 MIMAMORI (Fleet operation data source used in the ISUZU N-SERIES case study.)

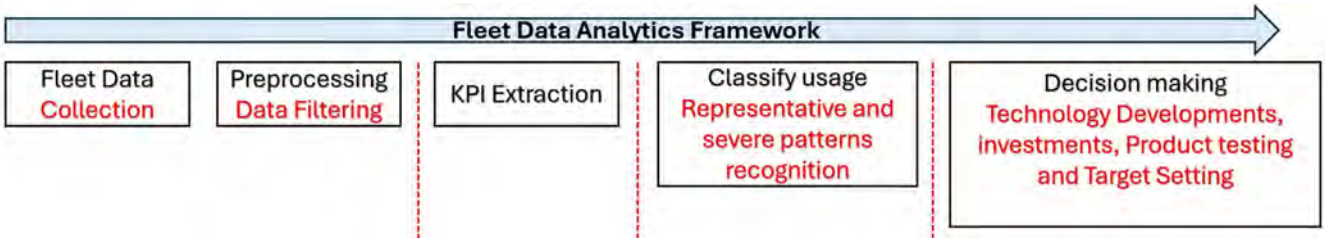


Figure 1　Fleet-data analytics framework

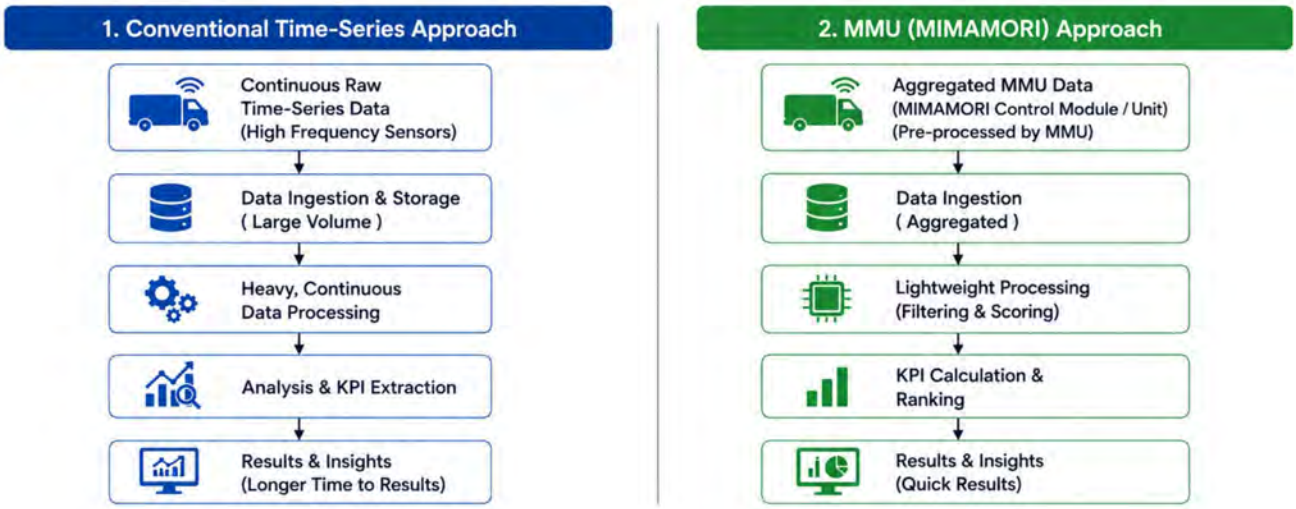


Figure 2　Time series vs MMU data process flow comparison

3.1 Fleet data preparation and quality filtering

The framework initiates by aggregating an expansive, statistically significant MMU dataset across a diverse, geographically distributed customer operational fleet. This data is further filtered to ensure data integrity and quality control by eliminating anomalies or parameters.

3.2 KPI extraction

The second step is to convert raw operation data into KPIs that describe customer usage. The exact Key Performance Indicators (KPIs) depend on the purpose/objective of the analysis. For example, an aftertreatment study may emphasize cold operation. A Battery Electric Vehicle (BEV) study may emphasize route length, speed distribution, energy demand. A Fuel-Cell (FC) study may emphasize hydrogen storage requirement and refueling availability[6][7].

3.3 Usage Classification and Severity Scoring

Once the distinct KPIs are extracted, individual fleet vehicles are categorized into specific commercial vocations that isolate their primary operating signatures. These classifications typically distinguish between high-speed long-haul highway transit, urban stop-and-go delivery routing, high-idle municipal or vocational operations, extreme cold-region deployments, and severe high-energy demand applications. **Figure 3** illustrates these distinct commercial vehicle vocations alongside their respective real-world usage distributions.

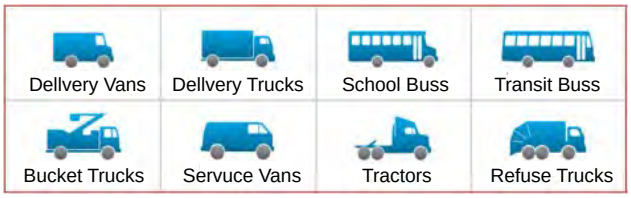


Figure 3　Different vocation of commercial vehicle

For planning purposes, classification should identify both representative use and severe use. Representative use supports mainstream target setting, while severe use supports robustness, durability, emissions, and worst-case validation planning.

To synthesize multi-dimensional KPIs featuring disparate physical units into a singular, cohesive assessment tool, a standardized severity index is implemented. For any individual metric where a higher numerical value directly correlates with elevated component stress, the normalized rating is calculated using a linear min-max feature scaling approach shown in **Equation (1)**.

$$x_{norm} = (x - x_{min}) \,/\, (x_{max} - x_{min}) \quad \cdots(1)$$

The resulting normalized KPI ratings are subsequently aggregated through weighted distribution, and the final composite score is normalized a second time to ensure scale consistency. The assignment of specific weighting factors is directly governed by the downstream engineering target. As in the HDIUT cases study showcased in the later part of this paper, a cold-start emissions optimization study will heavily penalize lower non idling states and cold thermal states.

3.4 Decision making

The final block is where the recognized operational patterns are translated into actual decisions, technology developments, investments, vehicle testing, and target setting. The synthesized duty cycles and severe-use profiles are deployed multi-functionally across the organization:

- Product Testing & Validation: Directly generates localized, real-world testing procedures, such as custom HDIUT or RDE compliance cycles for laboratory dynamometer and Portable Emissions Measurement System (PEMS) evaluation.
- Target Setting: Establishes rigorous, data-justified reliability and durability targets for next-generation vehicles based on actual customer boundaries.
- Technology Investments & Development: Informs R&D teams where to allocate capital–such as optimizing battery capacities for specific BEV routes or refining Selective Catalytic Reduction aftertreatment system (SCR) heater strategies for high-frequency cold-start profiles.

4 Case Study: HDIUT cycle generation using ISUZU N-SERIES MIMAMORI data

The HDIUT case study demonstrates how the proposed data driven framework can be applied to a specific research and development need. As mentioned in the introduction section with post-production audits in scope, the team planned to investigate customer data and understand customer usage patterns that can be used to create a drive cycle that can be used to generate similar results at development phases.

The scenario of interest includes repeated cold starts, high-load driving, engine shutdown, soak time, and repeated operation during a work shift. This operating pattern is important because aftertreatment systems such as SCR may have reduced effectiveness before reaching sufficient thermal temperature, and repeated cold operation can increase emissions risk. Fleet data provides a practical way to evaluate whether this type of severe-use condition exists in the field and how frequently it occurs within customer operation[2][4].

For the HDIUT example in this paper, a minimum mileage threshold of 500km is considered to avoid making decisions based on very small sample exposure.

For this case study, ISUZU N-SERIES MIMAMORI data is used to identify customer vehicles with operation patterns that may represent a realistic high-demand condition. The objective is not only to create a test cycle, but to demonstrate how fleet data can be transformed into evidence for planning and development decisions (**Figure 4**).

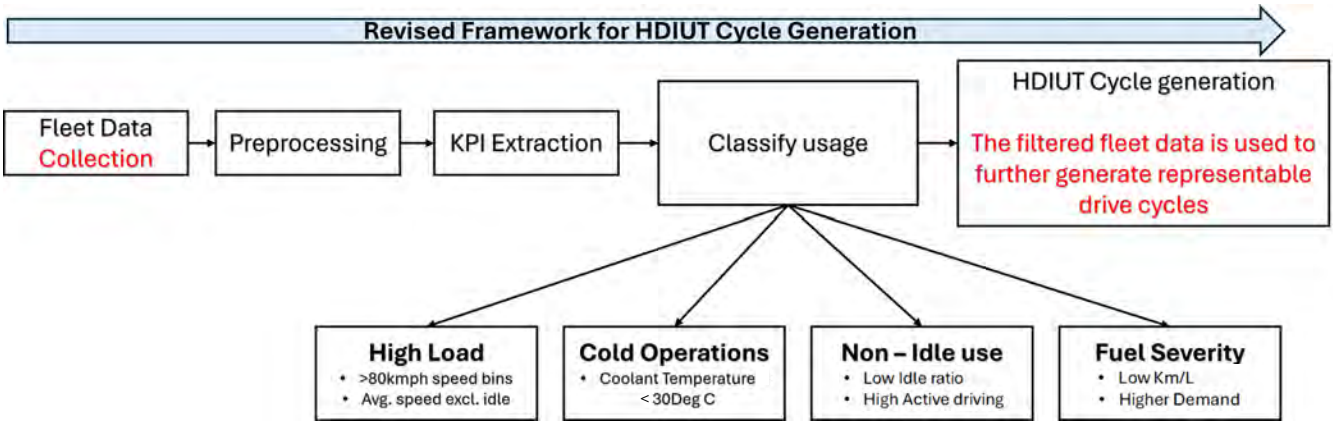


Figure 4 Revised framework for HDIUT cycle generation from fleet data

4.1 KPI logic for HDIUT identification

For HDIUT identification, KPI logic focuses on four customer-operation characteristics: high-load driving, cold operation, non-idle operation, and fuel-consumption severity. These characteristics were selected because they represent the combination of operation that can challenge thermal management and emissions control while still being based on actual customer field data.

4.2 Rating calculation

The ISUZU N-SERIES fleet data analysis converts each raw operating metric into a normalized KPI rating so that parameters with different units can be compared on a common 0 - 1 scale. For KPIs where a higher raw value indicates greater severity, such as average speed or high-speed exposure, min–max normalization is applied directly. For KPIs where a lower raw value indicates greater severity, such as idle ratio or fuel economy, inverse normalization is applied. This allows each KPI to be evaluated individually or combined with other KPIs based on the objective of the analysis.

The final severity score is calculated from the selected KPI set using a normalized weighted combination with higher priority given to non-idle operation and cold operation as shown in **Equation (2)**.

$$Final\ Score = [(3 * Non - Idle) + (2 * Cold\ Operations) + (1 * High\ speed) + (1 * High\ Fuel) \quad \cdots(2)$$

The initial demonstration uses equal KPI contribution, but the method is intentionally expandable. Depending on the research or validation requirement, different KPIs can be added, removed, weighted, or evaluated separately.

For example, a cold-start emissions study may assign higher weight to coolant temperature and soak-related indicators, while a highway-load validation study may prioritize high-speed exposure and non-idle operation.

This data-driven structure allows KPI selection, threshold definition, and scoring logic to be quantified according to the specific engineering or product-planning objective, rather than forcing one fixed interpretation of fleet data.

4.3 Sample ISUZU N-SERIES MIMAMORI results

Five sample vehicles from the ISUZU N-SERIES MIMAMORI dataset were considered for this analysis. Actual Vehicle Identification Numbers (VINs)*2 are not disclosed to protect intellectual property and maintain data privacy. Within each VIN, the KPI that are associated with HDIUT cycle characteristics are chosen as shown in **Table 2**.

*2 VIN (anonymized in this paper for publication readiness)

Table 2 Sample ISUZU N-SERIES MIMAMORI vehicles used for HDIUT screening

Sample	Mileage (km)	Avg speed excl. idle (km/h)	>80 exposure (%)	Idle ratio (%)	Avg fuel economy (km/L)
VIN-A	3,478	92.25	83.03	9.2	4.38
VIN-B	17,177	81.96	67.66	8.2	5.4
VIN-C	18,340	91.8	74.23	8.8	4.3
VIN-D	2,572	19.59	0	56.8	3.51
VIN-E	1,282	12.85	0.14	45.7	2.91

The values show that VIN-A, VIN-B, and VIN-C operate with high vehicle speed with respect to avg speed, velocity bins, and low idle ratio. These vehicles are therefore strong candidates for high-load HDIUT cycle generation. VIN-D and VIN-E show low speed and high idle ratio, so they are not HDIUT candidates, although they may be useful for other product-planning studies such as urban-idle operation or stop-and-go route evaluation.

Figure 5 compares the cumulative operating hours for each VIN across low coolant temperature bins below 30°C. Operation in these temperature ranges is important because it represents periods where the engine and after-treatment system may not yet be fully warmed up, which can increase emissions sensitivity during repeated cold-start, low idle and high-load operation.

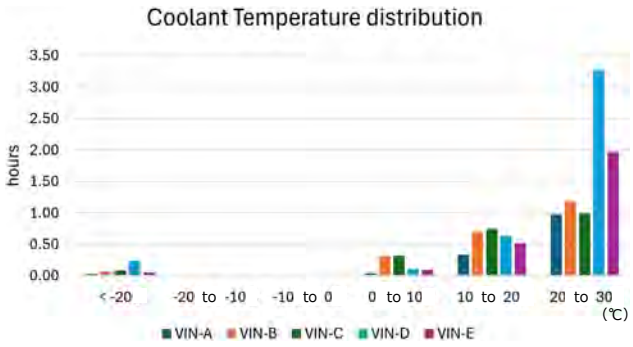


Figure 5 Coolant temperature distribution for anonymized VINs used in HDIUT cold-operation screening

The proportion of operational time spent in each velocity bin for five anonymized VINs is compared in **Figure 6**. When paired with cold-operation exposure, low idle ratio, and high fuel-consumption severity, higher exposure in the 80 km/h and above speed range implies stronger high-speed operation and is therefore thought to be more significant for HDIUT candidate selection. (The engineering assessment may once more be used to modify the 80 km/h limitation).

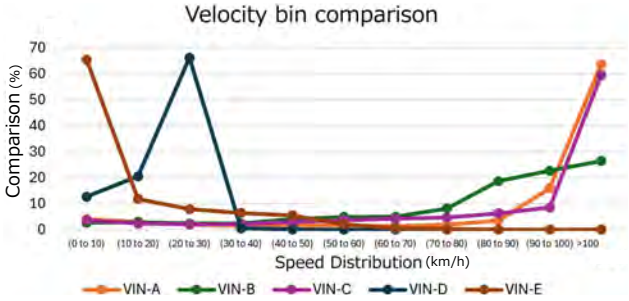


Figure 6 Velocity bin comparison for anonymized VINs used in HDIUT high-load operation screening

For HDIUT candidate selection, lower idle ratio is preferred because it indicates that a larger portion of engine running time is associated with active driving rather than stationary operation. **Figure 7** compares vehicle running time, engine running time, and total idle time for the anonymized VINs. The idle ratio is calculated as total idle time divided by engine running time.

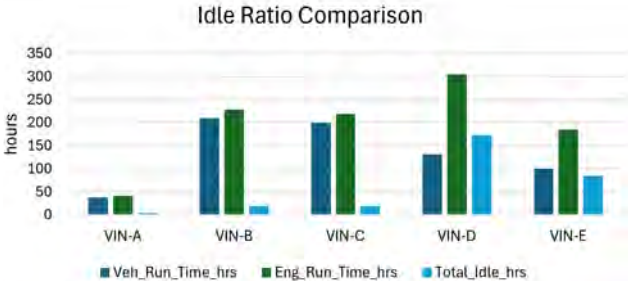


Figure 7 Idle operation comparison foranonymized VINs used in HDIUT non-idle operation screening

The results in **Figure 8** show a clear separation between the candidate and non-candidate vehicles. VIN-A, VIN-C, and VIN-B have final normalized ratings of 1.000, 0.986, and 0.918 respectively. These ratings

are driven primarily by HDIUT case requirements. VIN-D and VIN-E have final ratings close to zero because their operation is dominated by low-speed and high-idle usage.

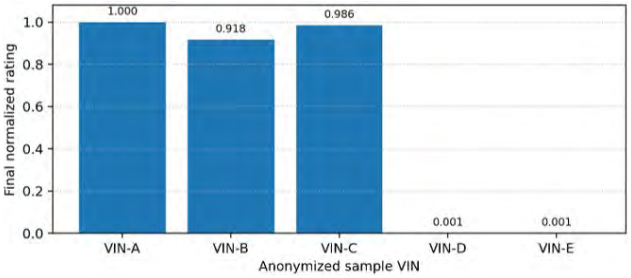


Figure 8 Final normalized HDIUT severity rating for anonymized sample VINs

For this demonstration, the selected VINs were intentionally chosen from the extreme ends of the normalized rating distribution to clearly explain the KPI logic and candidate-selection approach. VINs with ratings close to 1 represent strong alignment with the target HDIUT severe-use condition, while VINs with ratings close to 0 represent low alignment. This contrast helps demonstrate how fleet data can be used to separate high-priority HDIUT candidates from less relevant customer usage patterns.(**Table 3**)

Table 3 Normalized KPI ratings for sample ISUZU N-SERIES MIMAMORI vehicles

Sample	Avg speed rating	High-speed rating	Cold rating	Non-idle rating	Fuel severity rating	Final normalized rating
VIN-A	0.91	0.93	0.03	0.88	0.14	1
VIN-B	0.8	0.76	0.04	1	0.09	0.918
VIN-C	0.91	0.83	0.04	0.93	0.15	0.986
VIN-D	0.1	0	0.08	0.06	0.21	0.001
VIN-E	0.02	0	0.05	0.1	0.28	0.001

4.4 Interpreting the HDIUT candidate vehicles

The candidate vehicles illustrate how aggregate fleet data can identify realistic customer operation that should be considered during future vehicle development. VIN-A and VIN-C combine very high average speed this indicates a strong highway or high-load operating pattern. VIN-B also shows high-speed operation and the strongest non-idle rating among the sample vehicles. These characteristics make the three vehicles suitable starting points for retrieving trips or route segments that can be assembled into a high-demand cycle.

The cold-operation metric in the sample should be interpreted carefully. A vehicle may have cold coolant exposure without also having immediate high-load operation after the cold starts. Even without the timestamp data, aggregate KPIs can still narrow the candidate list, but cycle construction should be confirmed with additional data or targeted instrumentation.

4.5 From candidate VINs to HDIUT cycle:

The HDIUT cycle-generation process begins by applying the framework to the full fleet dataset and selecting candidate vehicles with high final ratings. Trips or operating windows from those candidate vehicles can then be screened for the target operation sequence. The selected windows are then fed to the in-house developed ISUZU drive cycle tool, that generates representable cycles by interlacing different parts of standard evaluation cycles and generates a time series speed profile that can be used for future vehicle evaluation.[1].

This case study therefore provides an example of how fleet data moves through the complete framework: raw customer data, KPI extraction, severity scoring, candidate identification, route or duty-cycle generation, and final test application. The output is not only a test cycle. It is also evidence that a proposed development scenario is linked to real customer usage.

5 Broader applications of the same approach

The HDIUT case study is an application of a broader fleet-data framework. The same method can be reused to understand customer operation and convert that understanding into future product decisions. The key is to change the KPI set and scoring logic to match the business and engineering question. **Table 4** highlights some of the key outcomes of this framework when used with other powertrain applications.

For route generation, the method can identify actual customer speed profiles, distances, stop patterns, idle events, and thermal conditions[1] Those routes can be converted into simulation inputs, chassis dynamometer cycles, proving-ground schedules, or customer-representative validation plans. For real-world performance and engineering evaluation, the method compares product behavior against actual customer operation, including fuel economy, energy consumption, aftertreatment warm-up, regeneration frequency, range utilization, and thermal limitations. Planning teams can use the results to identify usage clusters that justify investment, while engineering teams can use them to set targets, investigate limitations, and define validation requirements

Table 4 How the same fleet-data approach can support other planning decisions

Planning question	KPI emphasis	Potential decision or output
Which routes are suitable for BEV introduction?	Daily distance, energy demand, charging opportunity, temperature exposure	BEV route suitability and battery/range target
Which customers require hybridization or idle reduction?	Idle ratio, stop frequency, speed distribution, auxiliary load	Hybrid system priority and idle-reduction strategy
Which applications are suitable for fuel cell?	Route length, continuous load, refueling opportunity, payload and climate exposure	Hydrogen storage, fuel-cell power rating, infrastructure plan
Which ICE customers need stronger aftertreatment robustness?	Cold starts, SCR warm-up opportunity, high-load driving, fuel severity	Aftertreatment sizing, heater strategy, calibration margin
Which duty cycles should future vehicles be tested on?	Representative and severe customer clusters from speed, load, idle, thermal, and energy data	Customer-derived validation cycle library
Where should development investment be prioritized?	Fleet population size by severe-usage clusters and technology need	Product roadmap and investment plan

5.1 Limitations and recommended improvements

The case study uses available aggregate MIMAMORI metrics, which are sufficient for identifying candidate vehicles and demonstrating the product-planning and engineering development value of the approach; However, aggregate metrics cannot fully confirm the exact event sequence required for the intended HDIUT condition, such as cold start, transition to high-load driving, repeated operation during a work shift etc. Time series data, where available, should therefore be used as a second-stage confirmation method. This additional step is more time-consuming because it requires trip-level data extraction, time-damp alignment, filtering of large data volumes, and engineering review of candidate segments. Therefore, aggregate KPI analysis is recommended for scalable fleet-level screening, while time-series analysis should be applied selectively to the shortlisted VINs to improve confidence that the selected cycle truly represents the target HDIUT operating condition.

6 Conclusion

This paper presents a fleet-data-driven framework for future powertrain product planning. Its main contribution is positioning fleet data as a strategic planning input, rather than only an engineering diagnostic tool. By translating customer operation into KPIs, usage classifications, and severity ratings, OEMs can better define project targets, technology investments, validation cycles, and customer-segment priorities.

The HDIUT case study demonstrates a practical application. ISUZU N-SERIES MIMAMORI data identified vehicles with cold temperature, low Idle, high average speed, and high normalized severity. Three sample VINs were strong HDIUT candidates, while two represented lower-speed, higher-idle operation better suited to other use-case studies. This demonstrates how fleet data can be converted into customer-derived duty-cycle inputs for vehicle testing and evaluation.

By adjusting KPIs, thresholds, and weighting factors, the same methodology can support other powertrain programs and planning questions, including HDIUT cycle generation, route generation, usage-pattern analysis, real-world performance evaluation, and future Isuzu investment planning.

References

(1) Sparsh Saxena et al. : Commercial Vehicle – Drive Cycle Development and Validation Using GT-RealDrive & 1D GT-SUITE Electric Vehicle Models, WCX SAE World Congress Experience, (2023), https://doi.org/10.4271/2023-01-0472

(2) Srinivas Rao et al. : A Controls Overview on Achieving Ultra-Low NOx, WCX SAE World Congress Experience, (2020), https://doi.org/10.4271/2020-01-1404

(3) B S. B et al. : An Innovative and Customer Centric Approach on Validating Telematics Based Fleet Optimization Feature for Small Commercial Vehicles, Symposium on International Automotive Technology, (2024), https://doi.org/10.4271/2024-26-0378

(4) California Air Resources Board : California Adopts Strong New Regulation to Further Reduce Smog-Forming Pollution from Heavy-Duty Diesel Trucks, https://ww2.arb.ca.gov/news/california-adopts-strong-new-regulation-further-reduce-smog-forming-pollution-heavy-duty, 26 July 2026

(5) Saurabh Vashisht : Connected Aftermarket Services for Off-Highway Vehicles: Enhancing Fleet Management Through Real-Time Data and Predictive Maintenance, Off-Highway Technical Conference 2025, (2025), https://doi.org/10.4271/2025-28-0307

(6) Brian Konopa et al. : Optimal Use Cases for Electric and Hybrid Tactical Vehicles, WCX SAE World Congress Experience, (2024), https://doi.org/10.4271/2024-01-2662.

(7) Alberto Garcia et al. : Electric Vehicles vs e-Fueled ICE Vehicles: Comparison of Potentials for Life Cycle CO2 Emission Reduction, WCX SAE World Congress Experience, (2022), https://doi.org/10.4271/2022-01-0745

◇いすゞ歴史の一こま



エルフィン 運転席(1960年ごろ)

解説・講義

脱炭素時代における天然ガス自動車の可能性

―バイオメタン・e-methane対応に向けた取り組み―

Potential of Natural Gas Vehicles for Decarbonization
– Approaches Toward Biomethane and e-methane Utilization –

児玉　裕* Yutaka Kodama　植田　嘉久* Yoshihisa Ueda　原　裕一* Yuuichi Hara　長島　義文** Yoshifumi Nagashima

要　旨

脱炭素化がマルチパスウェイで進む中、バイオメタン及びe-methaneといったカーボンニュートラル燃料の活用が期待されている。天然ガス自動車は、これらの燃料の活用先の一つとして期待できる。本稿では、技術面、社会実装面及び燃料供給面の適用性を整理し、天然ガス自動車への適用可能性について考察した。

Abstract

As decarbonization advances through a multi-pathway approach, carbon-neutral fuels such as biomethane and e-methane are attracting increasing attention. Natural gas vehicles are expected to be one of the applications for these fuels. This paper reviews the technical, social implementation, and fuel supply potential of natural gas vehicles, and discusses their applicability to biomethane and e-methane utilization.

1　はじめに

近年、カーボンニュートラル実現に向けた取り組みが加速しており、商用車分野においてもCO_2排出量低減への対応が求められている。一方で、商用車は航続距離、積載量及びエネルギー補給時間に対する要求が厳しく、単一の技術だけで全ての輸送ニーズを満たすことは容易ではない。このため、BEV(バッテリ電気自動車：Battery Electric Vehicle)、FCV(燃料電池自動車：Fuel Cell Vehicle)及びカーボンニュートラル燃料を利用する内燃機関など、それぞれの特徴を活かしたマルチパスウェイによるカーボンニュートラル化が現実的なアプローチとして認識されつつある。

マルチパスウェイを構成するカーボンニュートラル燃料の一つとして、バイオメタン及びe-methane(合成メタン)への期待が高まっている。バイオメタンは生ごみ、下水汚泥及び家畜糞尿を原料として製造される燃料であり、e-methaneは再生可能エネルギー由来の水素とCO_2から製造される燃料である。これらは、いずれもメタンを主成分とし、天然ガス利用技術との親和性が高いことから、都市ガス(13A)と同様の利用形態が期待されている。

このような燃料の活用先の一つとして、NGV(天然ガス自動車：Natural Gas Vehicle)が挙げられる。これらの燃料を活用することで、ライフサイクル全体でのCO_2排出量低減に貢献できる可能性がある。国内で使用される都市ガス(13A)は、メタンを主成分としながらもエタン及びプロパンなどを含む比較的発熱量の高い燃料である。一方、バイオメタン及びe-methaneは製造方法及び精製条件によってメタン濃度や不活性成分(CO_2、N_2など)の割合が異なる場合がある。このため、既存のNGVへ適用する際には、燃料性状の違いがエンジン性能及び排出ガス特性に与える影響を把握することが重要となる。

本稿では、バイオメタン及びe-methaneの活用を想定し、燃料性状の違いが天然ガスエンジンの性能へ与える影響を整理するとともに、燃料多様化に対する技術的適用性、各種実証事業で得られた知見及び将来の可能性について考察する。

*マルチ燃料エンジン企画・設計部　　**PT実験第三部

Copyright© 2026 ISUZU MOTORS LIMITED.
All Rights Reserved. 無断転載・複製・配布禁止

2　燃料多様化への技術的適用性

2.1 バイオメタン・e-methane利用課題

バイオメタン・e-methaneは、製造方法及び精製条件によって、メタン濃度及び不活性成分(CO_2、N_2など)の割合が変化する。

メタン濃度が低下し、不活性成分が増加すると、単位体積当たりの発熱量が低下する。この結果、同一体積の燃料を供給した場合でも、エンジンへ供給される可燃成分量が減少し、出力性能と燃費性能へ影響を与える可能性がある。

また、燃焼速度及び燃焼安定性にも影響を与えるため、排出ガス特性への影響も含めて考慮する必要がある。更に、商用車用途では、単に走行可能であるだけでなく、排出ガス規制への適合及び実運用に耐えうる性能が求められる。

このため、燃料多様化への対応においては、出力性能と燃費性能だけでなく、排出ガス特性と燃焼安定性まで含めて評価する必要がある。

2.2 燃料性状がエンジン特性へ与える影響

メタン濃度及び不活性成分濃度を変化させた複数の模擬燃料を用い、排出ガス特性、出力性能、燃費性能及び燃焼安定性への影響を確認した。

試験用エンジンには国内向け大型NGV用エンジンを使用した(**表1**)。

試験には都市ガス(13A)を基準燃料として用いた。また、燃料性状差の影響を評価するため、メタン濃度99%及び82%の模擬燃料を使用した(**表2**)。

表1　6UV1型エンジン主要諸元

	6UV1-TCN
総排気量 (L)	9.839
内径×工程 (mm)	120×145
最高出力 (kW/rpm)	243/1,800
最大トルク (Nm/rpm)	1,390/1,200-1,400
使用燃料	CNG*(13A)
過給システム	ウェイストゲート式ターボ
排出ガス後処理装置	三元触媒

*CNG (圧縮天然ガス : Compressed Natural Gas)

表2　評価用模擬燃料の仕様

	メタン99 %燃料	メタン82 %燃料
メタン濃度 [vol %]	99	82
不活性ガス濃度 [vol %]	1	18
位置づけ	高品質燃料	精製簡略化燃料

図1に全負荷運転時における性能比較結果を示す。メタン濃度99%燃料においても出力及びトルクの低下が認められたものの、その影響は小さく、メタン濃度82%燃料ではより大きな低下が確認された。特に高回転域では、都市ガス(13A)に対して全負荷出力が最大約7%低下した。

これは、不活性ガスの増加によって単位体積当たりの発熱量が低下するためである。エンジンは目標空燃比を維持するため燃料噴射量を増加させるが、その結果として吸入可能な新気量が減少する。更に、燃料組成の変化が想定範囲を超える場合には、空燃比制御の補正量が不足し、燃焼が希薄側へ移行することで出力低下が生じると考えられる。

燃費については、発熱量低下を補うため燃料噴射量が増加することから、正味燃料消費率が最大約37%悪化した。一方、正味熱効率は燃料種による差が小さく、燃料組成差が熱効率そのものへ与える影響は限定的であることが確認された。

また、燃焼速度の指標である10～90%燃焼期間も増加しており、燃焼の進行が遅くなる傾向が確認された。

燃焼安定性及び燃焼速度の詳細な評価結果を**図2**に示す。

不活性ガスの増加に伴い、10～90%燃焼期間は増加する傾向を示した。メタン濃度99%燃料では都市ガス(13A)に対して約5%、メタン濃度82%燃料では約9%増加しており、燃焼速度が低下することが確認された。これは、不活性ガスによる燃焼反応の希釈効果により火炎伝播速度が低下したためと考えられる。

また、燃焼変動率についても同様に増加傾向を示した。メタン濃度99%燃料では約12%、メタン濃度82%燃料では約22%増加しており、燃焼速度低下に伴う燃焼安定性の悪化が確認された。ただし、実用上大きな問題となるレベルには達しておらず、燃焼安定性への影響は限定的であることが確認された。

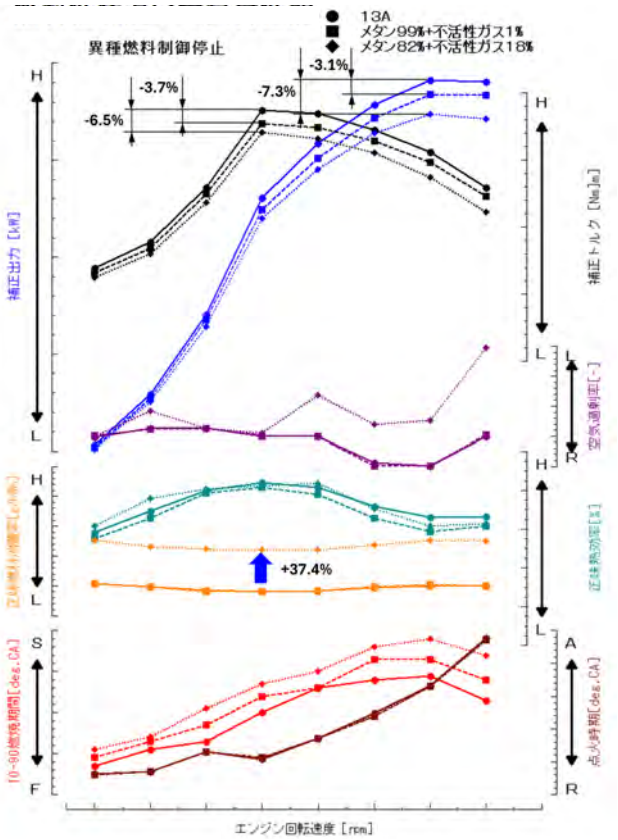
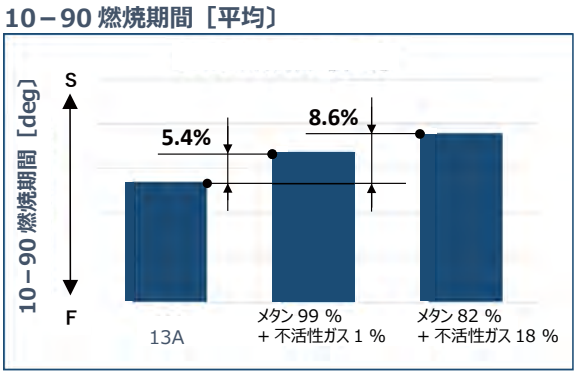


図1　燃料性状差が全負荷性能に与える影響



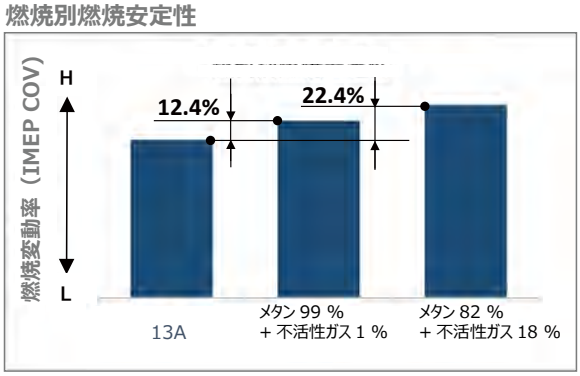


図2　燃料性状差による燃焼特性への影響

排出ガスについては、テールパイプNOx排出量への影響が確認された(**図3**)。

都市ガス(13A)及びメタン濃度99%燃料では排出ガス規制を満足したのに対し、メタン濃度82%燃料ではテールパイプNOx排出量が約10g/kWhまで増加し、規制値を超過した。

天然ガスエンジンでは、三元触媒によってNOxを浄化するため、理論空燃比付近での空燃比制御が重要となる。**図4**に示すように、不活性ガス含有量の増加に伴い、目標空燃比を維持するために必要な平均燃料補正率は増加する。

必要な平均燃料補正率が制御可能範囲内であれば、空燃比を適切に制御できるため、三元触媒の浄化性能を十分に発揮できる。一方、燃料組成が想定範囲を超えて変化した場合に、過渡時NOx抑制のための燃料補正量が上限に達し、燃料組成変化に十分追従できなくなる。その結果、空燃比を理論空燃比付近に維持できず、三元触媒の浄化性能が低下することで、**図3**に示したようにテールパイプNOx排出量が増加したものと考えられる。

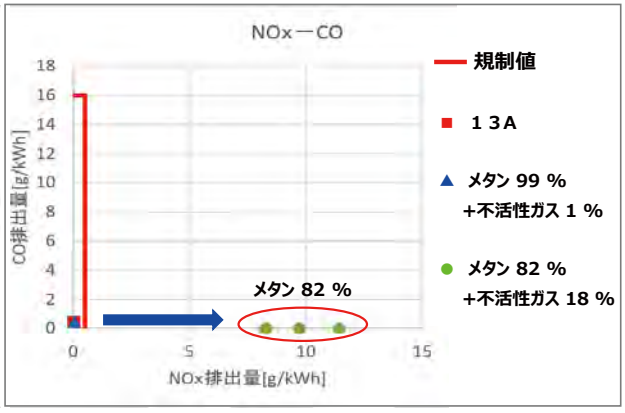


図3　燃料性状差による排出ガス特性比較

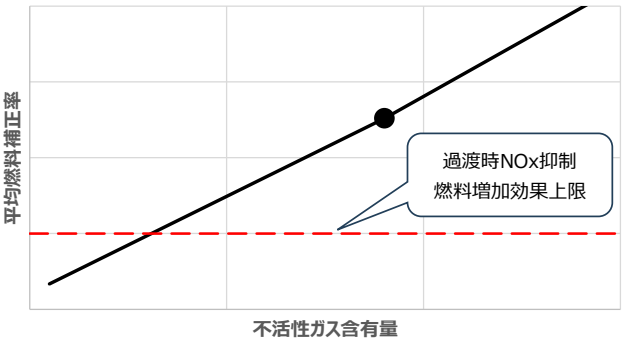


図4　不活性ガス含有量と平均燃料補正の関係

2.3 国内向け制御と異種燃料制御

日本国内のNGVでは、都市ガス組成が比較的安定しているため、一定の燃料組成を前提とした燃料噴射量制御を適用している。一方、海外市場では地域によって天然ガス組成が異なる場合があるため、燃料組成が想定から大きく外れると、前節で示したように空燃比制御が適切に機能せず、理論空燃比を維持できなくなる。その結果、三元触媒の浄化性能が十分に発揮されず、NOx排出量が増加する。このため、燃料性状のばらつきに対応し、燃料組成が変化した場合でも理論空燃比付近を維持できる制御技術が必要となる。

このような背景から、いすゞでは海外向け車両に、燃料組成差へ対応するための異種燃料制御の検討・適用を進めてきた。異種燃料制御では、燃料充填後の燃料組成変化に伴う空燃比偏差を検知し、燃料性状の違いを学習する。その学習結果を燃料噴射量のフィードフォワード制御値へ反映することで、燃料組成が変化した場合でも適切な空燃比制御を維持し、従来制御では対応が困難であった燃料組成差への適応を可能にしている。

異種燃料制御を適用した結果、メタン濃度82%燃料においても排出ガス規制適合性を維持できることが確認された。(**図5**)また、出力低下についても国内向け制御と比較して改善が見られた。(**図6**)これにより、燃料性状の違いによる影響をエンジン制御によって吸収できる可能性が示された。

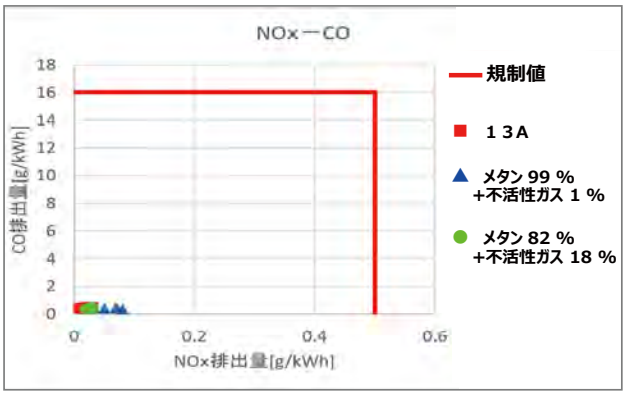


図5　異種燃料制御適用時の排出ガス特性比較

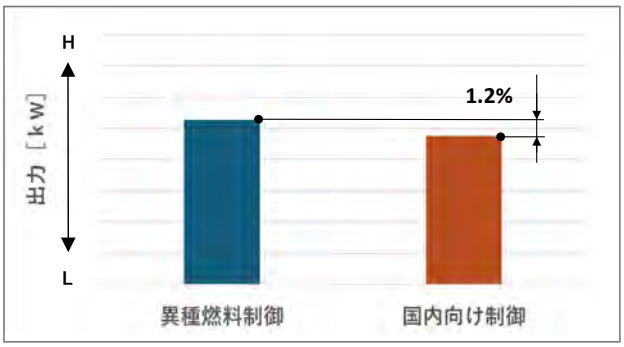


図6　異種燃料制御による出力改善効果

2.4 技術的適用性の整理

これらの試験結果から、天然ガスエンジンは、燃料組成差によって出力性能、燃費性能、排出ガス性能及び燃焼特性に影響を受けるものの、一定の条件下では既存の国内向け制御においても運転可能であることが確認された。更に、異種燃料制御を適用することで、燃料性状の違いを吸収しながら排出ガス性能を維持できる可能性が示された。一方で、商品力向上の観点では、燃焼性能及び出力性能についてなお改善余地が残されており、継続的な技術検討が重要である。

今後の社会実装に向けては、燃料品質を踏まえ、性能・環境性・商品性のバランスを考慮した最適化を進める必要がある。

3　バイオメタン・e-methaneでの実証

3.1 生ごみ由来バイオメタンNGV利用実証 (岡山県真庭市)

いすゞは、家庭から分別回収した生ごみを原料とするバイオメタンの車両利用実証に参画した。本実証では、生ごみから製造したバイオメタンを燃料として利用し、地域で発生する未利用資源を地域内の輸送エネルギーとして活用する地域循環型エネルギーシステムの実現可能性を検証した(**図7**)[(1)]。

真庭市のメタン発酵施設では、メタン濃度約60vol%のバイオガスをPSA(圧力変動吸着法：Pressure Swing Adsorption)及びCO_2分離膜を組み合わせたハイブリッド精製技術により95 vol%以上まで精製し、メタン回収率99%以上を達成した。精製ガスは都市ガス13A相当に調整した後、燃料として既存のNGVに供給され、100回以上の走行実証を実施し、燃料として問題なく利用できることが確認された。これにより、地域資源を活用した地域循環型エネルギーシステムの実現可能性を示した。

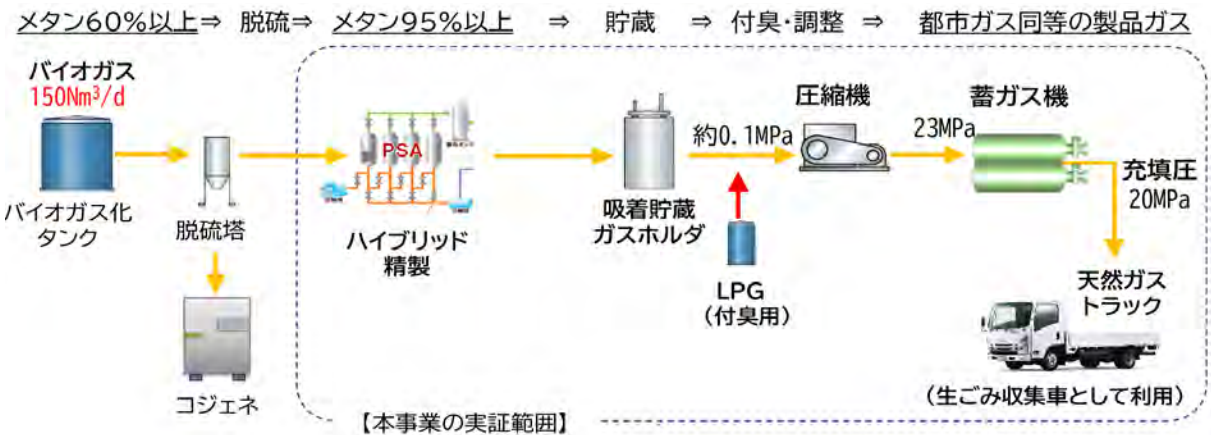


図7　地域循環型バイオメタン利用モデル

3.2 家畜糞尿由来液化バイオメタン(LBM)のLNG車両利用実証(北海道十勝地域)

いすゞは、酪農由来の家畜糞尿を原料とするLBM(液化バイオメタン：Liquefied Bio Methane)の利用実証に参画した。本実証では、家畜糞尿から製造したバイオメタンを液化し、LNG(液化天然ガス：Liquefied Natural Gas)車両用燃料として利用することで、再生可能ガス燃料の商用車分野への適用可能性を検証した。

バイオガス中のメタンを精製して純度99%以上のバイオメタンを製造し、更に約−160℃で液化することでLBM化した。実証設備は年間約360tのLBM製造能力を有し、既存LNGインフラを活用した供給を可能とした。事業全体では年間約7,740t-CO_2の排出削減効果及び60%以上の温室効果ガス削減効果が見込まれる。本実証を通じて、LBMが商用車用燃料として活用可能であることを確認した。これにより、既存LNGインフラを活用したLBM利用モデルの実現可能性を示した。

3.3 清掃工場由来CO_2を原料としたe-methane利用実証

いすゞは、清掃工場排出ガスから回収したCO_2と再生可能エネルギー由来水素を原料として製造したe-methaneの利用評価に参画した(**図8**)[(2)]。

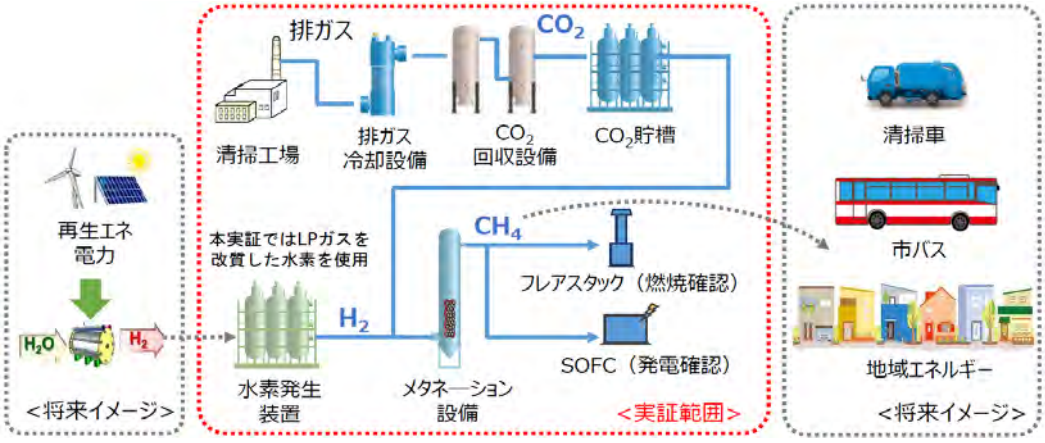


図8　カーボンリサイクル型e-methane利用モデル

本実証では、従来は大気中へ排出されていたCO_2を資源として回収し、燃料として再利用するカーボンリサイクルの可能性について検討した。

e-methaneは既存の天然ガスインフラ及び天然ガス利用機器との親和性が高く、新たなエネルギー供給インフラを必要とせずに導入できる可能性を有している。また、清掃工場(300t/日規模)への導入モデルでは、年間約8.1万tCO_2回収及び約4,100万Nm^3のe-methane製造可能量が示された。

本実証を通じて、既存のガスインフラ及びNGVを活用しながら、輸送分野におけるカーボンリサイクル型e-methane利用モデルを実現できる可能性が示された。

3.4 実証事業から得られた知見

生ごみ及び家畜糞尿を原料とするバイオメタン及び清掃工場排出CO_2を原料とするe-methaneについて、商用車用燃料としての利用可能性が示された。また、これらの実証を通じて、NGVが低炭素ガス燃料を活用するプラットフォームとなり得ることが確認された。更に、それぞれの実証では、地域で発生する未利用資源を活用した地域循環型エネルギーモデル、既存インフラを活用した再生可能ガス供給モデル及びCO_2を再資源化するカーボンリサイクルモデルの可能性が示された。

これらの取り組みを通じて、低炭素ガス燃料の活用においては、車両技術だけでなく、燃料製造、供給、利用を含めたシステム全体での検討が重要であることが確認された。また、既存のガスインフラと天然ガス利用技術を活用できることは、社会実装を進める上での有効な選択肢の一つになり得ると考えられる。

4　ガス業界動向とNGVの将来可能性

4.1 バイオメタン・e-methane動向

近年、世界のガス業界ではカーボンニュートラルの実現に向け、天然ガスから再生可能ガスへの転換が加速している(**図9**)。

欧州ではエネルギー安全保障と脱炭素化を両立する手段としてバイオメタン及びe-methaneの導入が推進されており、2024年のバイオメタン生産量は約52億Nm^3(5.2bcm)に達した。2030年までに350億Nm^3(35bcm)の生産を目標としており、再生可能ガスを天然ガス代替の重要エネルギーとして位置付けている。更に2030年代以降は、再生可能電力由来の水素とCO_2を利用したe-methaneの大規模導入が計画されている。

日本においても、都市ガス業界は2030年度までに都市ガス供給量の1%相当をe-methaneまたはバイオメタンへ転換する目標を掲げている。また、2050年にはガス供給全体の50～90%程度をe-methane及びバイオメタンで置き換える方向性が示されている。これらの取り組みは、既存のガス導管網とLNGインフラを活用しながら段階的な脱炭素化を実現することを目的としている。



図9　ガス燃料の脱炭素化変遷イメージ

4.2 脱炭素化時代におけるNGVの可能性

国内外でバイオメタン・e-methaneなどの再生可能ガスの導入拡大に向けた取り組みが進められている。これらの再生可能ガスは既存の天然ガスインフラとの親和性が高く、輸送分野においても活用が期待されている。今後、再生可能ガスの供給拡大が進むことで、NGVの役割も変化していく可能性がある。

特に大型商用車分野では、電動化、水素、再生可能ガスを組み合わせたマルチパスウェイ戦略が現実的な脱炭素アプローチとして検討されている。NGVはその中で、既存資産を活用しながら段階的な脱炭素化を実現できる選択肢として位置付けることができる。

これらの結果より、バイオメタン及びe-methaneの普及はNGVの価値を「天然ガス車」から「脱炭素ガス車」へと変化させる可能性がある。特に、既存車両及び燃料供給インフラを活用しながらCO_2削減を実現できる点は大きな優位性である。今後の再生

可能ガス供給拡大の動向次第では、NGVは大型商用車分野におけるマルチパスウェイ戦略を構成する有力な脱炭素ソリューションとして位置付けることができる。

5　NGVの可能性

以上のように、**第2章**では燃料組成差に対する技術的適用性、**第3章**では実証事業を通じた適用可能性、**第4章**では再生可能ガスの供給拡大の可能性を示した。これらを総合すると、NGVはバイオメタン及びe-methaneを活用するための有効なプラットフォームとしての可能性を有していると考えられる。

6　おわりに

今後、再生可能ガスの普及が進むことで、NGVは商用車分野におけるマルチパスウェイの一つの選択肢として、その役割を広げていくことが期待される。

最後に、本稿で紹介した技術検討及び各種実証事業の実施に当たり、ご協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表する。

参考文献

(1) 環境省，令和6年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業(バイオガスのハイブリッド精製と真庭市地域の生ごみ収集車両への利用実証)委託業務成果報告書，
https://www.env.go.jp/content/000305617.pdf
(参照日：2026.06.22)

(2) 環境省，清掃工場から回収したCO_2を用いたメタン製造，
https://www.env.go.jp/content/000167953.pdf
(参照日：2026.06.22)

(3) 環境省，未利用バイオガスを活用した液化バイオメタン地域サプライチェーンモデルの実証事業，
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cpttv_funds/pdf/db/306.pdf
(参照日：2026.06.22)

特　許　紹　介

Introduction of ISUZU Patents

25型フォワードに関連して、提案された発明の特許を紹介します。

運転支援装置及び運転支援方法

特許番号：米国特許第12597276号(2026/4/7登録)
出願番号：米国特許出願第19/011,687号 (2025/1/7出願)

＜課題＞

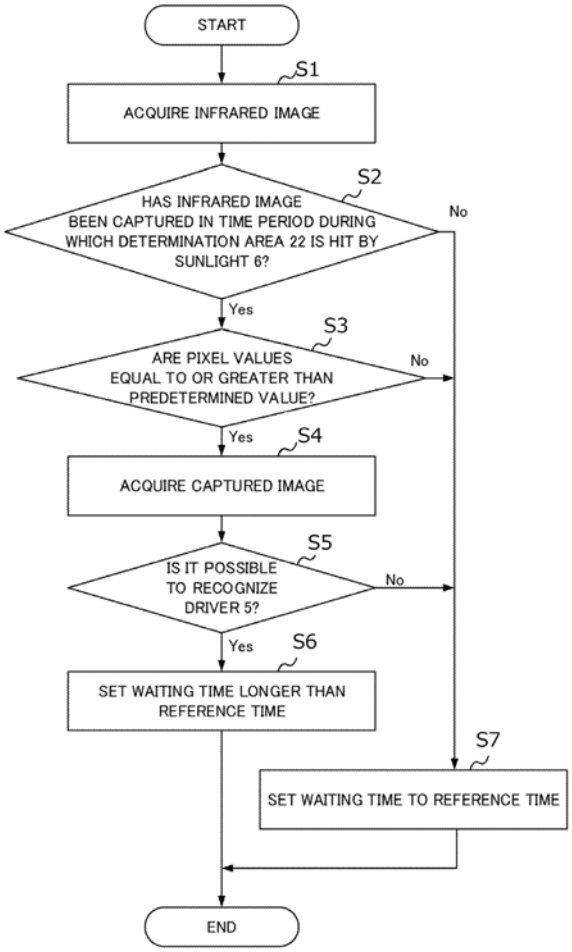
車両の運転者を撮像した赤外線画像に基づいて運転者の異常を判定し、異常と判定されてから待機時間の経過後に警報を報知する運転支援装置において、運転席に日差しが当たることにより赤外線画像に白飛びが生じると、運転者が正常に運転していても異常であると判定されて誤警報が報知されることがある。

＜発明＞

本発明に係る運転支援装置は、運転席を含む撮像領域を撮像した赤外線画像を取得し(S1)、撮像領域のうち日差しが当たる部分に対応する赤外線画像の画素値に基づいて赤外線画像に白飛びが生じているか否かを判定し(S3)、白飛びが生じていると判定した場合、運転者を認識できない状態になってから警報を報知するまでの待機時間を、白飛びが生じていない場合の待機時間よりも長く設定する(S6)。

＜効果＞

赤外線画像に白飛びが生じている場合に待機時間を長くすることにより、待機時間中に日差しの影響が変化して白飛びが解消した場合、運転者を認識できる可能性が上がる。これにより、白飛びによる誤警報を抑制できる。



［**図1**］

吸気構造

特許番号：特許第7363999号(2023/10/10登録)
出願番号：特願2022-141487(2022/9/6出願)

＜課題＞

吸気ダクトとマニホールドとを接続する吸気の流入口が、複数の気筒が並ぶ方向に対してオフセットして設けられる場合、複数の気筒の各々に対する吸気の流入量の均一性が低下する。

＜発明＞

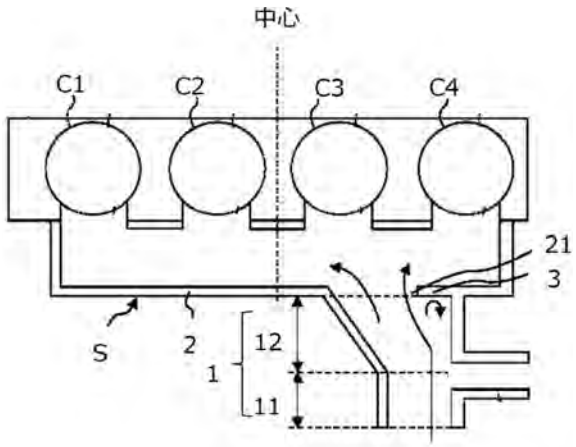
本発明に係る吸気構造Sは、所定の方向に並ぶ複数の気筒(C1、C2、C3、C4)へ吸気を供給するマニホールド2と、マニホールド2へ吸気を供給する吸気ダクト1とを備える。吸気ダクト1からマニホールド2へ吸気を流入させる流入口21は、複数の気筒が並ぶ方向に対してオフセットした位置に設けられる。

吸気ダクト1は、流入口21に近い側から中心方向へ吸気が向かうように形成された領域12を有する。

領域12と流入口21との接続部には、流入口21がオフセットした側から中心に向かって延在し、マニホールド2に流れる吸気の障壁となる壁部3が設けられる。

＜効果＞

流入口21から遠い側の気筒(C1、C2)へ向かう吸気は、領域12によって中心側へ導かれるため流入しやすくなる。一方、流入口21に近い側の気筒(C3、C4)へ向かう吸気は、壁部3に衝突したり、壁部3を回り込むため、流入しづらくなる。流入口21がオフセットしている場合であっても、複数の気筒の各々に対する吸気の流入量の均一性の低下を抑制することができる。



［**図2**］

ヘッドカバー

特許番号：特許第7559872号(2024/9/24登録)
出願番号：特願2023-84372(2023/5/23出願)

＜課題＞

エンジンのヘッドカバーの上面にオイルセパレータ等の重量物を搭載するために、ヘッドカバーの剛性が求められる。

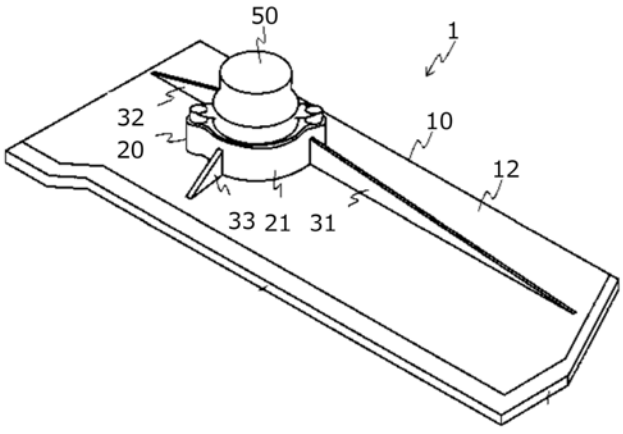
＜発明＞

本発明に係るヘッドカバー1は、ヘッドカバー1の本体を成す平板状のカバー本体10と、カバー本体10の上面に設けられた、カバー本体10の厚さよりも大きく突出し、重量物50を支持する円筒形状の支持部20と、を有する。

カバー本体10の上面12は、支持部20の外周面から互いに直交するように放射状に延出する複数の上面リブ31～33を有し、複数の上面リブ31～33は、支持部20の外周面21及び上面12の両方に接している。

＜効果＞

上面リブ31～33により、支持部20に重量物50が載置されても、カバー本体10の変形を抑制することができる。これにより、重量物50を支持する高剛性のヘッドカバー1を実現することができる。



［**図3**］

社外発表(2025年1月 ～ 2025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
1/24	(公社)自動車技術会 自技会フォーラム【24-W1】 持続可能な陸海空のモビリティ： 電動化と地球環境保護展望	商用車の電動車・電動化技術	浅野　雅樹	(株)いすゞ中央研究所
2/4	TVS Motor Co. Taguchi Methods Symposium	Study of Metal Materials Evaluation -Evaluation of Load and Deformation-	衛藤　洋仁	車両審査実験第二部
2/14	協同油脂(株) トライボロジー研究会 第35回講演会	ディーゼル機関のピストン温度推定と寿命予測技術	三田　拓朗	(株)いすゞ中央研究所
3/3～ 3/4	(一社)日本機械学会 情報・知能・精密機器部門 講演会	データ駆動型アプローチによるモデルフリー制御器設計法	矢作　修一 梶原　逸朗	(株)いすゞ中央研究所 北海道大学
3/11～ 3/13	学校法人金沢工業大学 KITハッカソン2025	分散システムとしての車載電子システムと自動運転システム	渋谷　浩一	CAEデジタル開発推進部
3/18～ 3/20	(公社)電気化学会 第92回大会	全固体電池のモデル化と精度検証のための拘束荷重実測試験	松本　淳志 柳田　英雄 松本　浩友紀 別府　伸哉 井深　重夫 野元　邦治 菅野　了次	(株)いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 〃 東京都市大学 〃
4/4	歯車技術研究会 第71回 歯車技術研究会	小型トラック用 9段自動変速機 ISIMの開発について	明石　浩平	駆動商品企画・設計部
5/21～ 5/23	(公社)自動車技術会 2025年春季大会	高速度赤外線カメラを用いたディーゼルエンジンピストン表面の時系列温度分布計測	宮下　和也 古川　伸哉 石井　義範 小澤　恒	(株)いすゞ中央研究所 〃 〃 〃
		ピストン隙間が摺動部における油膜のオイル量におよぼす影響	石川　泰裕 又吉　琉翔 伊東　明美 山下　健一	(株)いすゞ中央研究所 東京都市大学 〃 (株)いすゞ中央研究所
5/23～ 5/26	(公社)日本鋳造工学会 第185回全国講演大会	ダイカスト金型における金属3Dプリンタ活用に向けた取組み	千田　修平 大村　正吾 横山　賢介	要素技術部 〃 〃
6/3	アルテアエンジニアリング(株) ATC Japan 2025	車両開発におけるフルビークル電磁波解析技術の適用事例の紹介	上田　威一郎 村井　信之	CAEデジタル開発推進部 〃
6/5～ 6/6	薄鋼板成形技術研究会 2025年度 第1回薄鋼板成形技術研究会 研究討論会	CAE予測精度向上に向けた摩擦係数高度化の取り組み	藤原　雅利	車体技術部
7/3～ 7/3	ニュートンワークス(株) 感性とエンジニアリングセミナー	マニュアルトランスミッションのシフトフィーリングと物理量の関係について	野原　和彦 衛藤　洋仁 岡本　祐磨 石塚　裕也 永野　裕介 西平賀　隆一 稲見　涼介 岩石　智志	駆動商品企画・設計部 品質技術センター 駆動商品企画・設計部 〃 〃 〃 〃 〃

発表日	発表先	表題	発表者	所属
7/3～ 7/4	(一社)品質工学会 第33回 品質工学研究発表大会	DFSSによる次世代低温熱源排熱回収システムの技術開発	阿部　誠 廣澤　友章 津田　研一郎	(株)いすゞ中央研究所 〃 〃
7/15～ 7/18	(一社)日本環境化学会 第33回環境化学討論会	水素キャリアガスTD-GC-MSによる車室内VOC成分の定量性検討	達　晃一 唐木　恭將	車両審査実験第二部 〃
9/7～ 9/10	(一社)日本機械学会 2025年度 年次大会	揺動ピストンの慣性力に着目したラジアルピストンポンプの軸受に関する実験	竹本　翔一 野島　優樹 諏訪　広樹 風間　俊治	(株)いすゞ中央研究所 室蘭工業大学 〃 〃
7/29～ 7/29	学校法人金沢工業大学 情報工学科 3年 分散システム 特別講義	分散システムとしての自動運転車両とその開発環境	渋谷　浩一	CAEデジタル開発推進部
8/27～ 8/29	日本エアロゾル学会 第42回エアロゾル科学・ 技術研究討論会	バンコクにおけるエアロゾルフィルタ効果検証	達　晃一 篠原　直秀 Yutachai　Kitiwan 西谷　崇 大谷　吉生	車両審査実験第二部 (国研)産業技術総合研究所 Isuzu Technical Center of Asia Co.Ltd. 日本バイリーン(株) (独)日本学術振興会
9/3～ 9/5	(公社)空気調和・衛生工学会 令和7年度空気調和・ 衛生工学会大会の学術講演	エアロゾルフィルタによる花粉捕集の効果	達　晃一 篠原　直秀 坂口　淳 井上　悠一郎 谷　英明 松井　秀親 西谷　崇	車両審査実験第二部 (国研)産業技術総合研究所 新潟県立大学 (株)長谷エコーポレーション (株)竹中工務店 (一財)東海技術センター 日本バイリーン(株)
10/3	関西品質工学研究会 品質工学シンポジウム2025	DFSSによる次世代低温熱源排熱回収システムの技術開発	阿部　誠 廣澤　友章 津田　研一郎	(株)いすゞ中央研究所 〃 〃
10/11～ 10/12	(公社)日本鋳造工学会 第186回全国講演大会	小型ダイカスト水素燃焼による量産実証テスト結果報告	塩谷　聡 大村　正吾 茂泉　健 和田　淳一 水上　正人 松井　仁嗣 青木　公俊	要素技術部 〃 IM推進部．生産技術企画部 いすゞエンジン製造北海道(株) (株)宮本工業所 〃 〃
10/15～ 10/17	(公社)自動車技術会 2025秋季大会	ディーゼルエンジンにおけるPN10排出挙動について	阿野田　洋 後藤　陽紀 渋谷　元司郎 Gershkovich　Igor Keshavarz　Mojtaba	エンジン装置設計部 〃 PT実験第一部 Isuzu Motors Germany 〃
		水素キャリアガスTD-GC-MSによる車室内VOC成分の定量性検討	唐木　恭將 達　晃一 星野　邦広 中村　貞夫 芹野　武 田原　麻衣子 松井　秀親	車両審査実験第二部 〃 ENVサイエンストレーディング(株) アジレントテクノロジー(株) 〃 国立医薬品食品衛生研究所 (一財)東海技術センター
		アークプラズマ蒸着を利用した触媒のスクリーニング法の研究	大堀　鉄平 町田　正人 小澤　恒	(株)いすゞ中央研究所 熊本大学 (株)いすゞ中央研究所

発表日	発表先	表題	発表者	所属
10/18～ 10/19	(公社)日本経営工学会 2025年秋季大会	商用トラック産業におけるリマニュファクチャリングが環境にもたらす影響	吉田　有希 北代　絢大 西野　成昭	技術戦略部 (現所属：エンジン装置設計部) 東京大学 〃
10/24	(株)アスペクト・ 三菱商事テクノス(株) アスペクト・ 三菱商事テクノス 共同セミナー	ダイカスト金型における金属3Dプリンタ活用に向けた取組み	千田　修平	要素技術部
11/1	東京工業高等専門学校 同窓会講演会	排気ガスの浄化と環境 ～これまでとこれから～	大堀　鉄平	(株)いすゞ中央研究所
11/4～ 11/6	SCSK(株) GeoDict Innovation Conference Japan 2025 Autumn	全固体電池のモデル化と精度検証のための拘束荷重実測試験	松本　淳志 栁田　英雄 松本　浩友紀 別府　伸哉 井深　重夫 野元　邦治 菅野　了次	(株)いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 〃 東京科学大学 〃
11/5	SCSK(株) ADVENTURECluster ユーザ会 2025	ADVENTURECLusterによる締結緩み理論の再現	杉安　孝幸	CAEデジタル開発推進部
11/6	SCSK(株) 第10回 IPS Cable Simulation Japan ユーザーカンファレンス 2025	機械設計CADソフト:NXとの連携による IPS Cable Simulationの業務効率化および活用拡大の取り組みの紹介	尾形　直樹 山口　哲	CAEデジタル開発推進部 いすゞエンジニアリング(株)
11/6～ 11/7	(株) IDAJ IDAJ SYMPOSIUM 2025	噴霧の干渉がディーゼルエンジン燃焼に及ぼす影響	古川　伸哉	(株)いすゞ中央研究所
11/7	(一財)素形材センター 素形材月間記念式典(表彰式) 受賞者講演	大型ダイカストに対応したコンパクトな省燃費アルミ溶解保持炉の開発	塩谷　聡 佐藤　智治 和田　淳一 青木　公俊 松井　仁嗣 井浦　茂一	要素技術部 〃 〃 (株)宮本工業所 〃 互交産業(株)
12/4～ 12/5	(一社)日本フルードパワーシステム学会 2025年秋季フルードパワーシステム講演会	ラジアルピストンポンプ軸受性能のFEM解析	竹本　翔一 北本　雄祐 風間　俊治	室蘭工業大学 ((株)いすゞ中央研究所) (株)いすゞ中央研究所 室蘭工業大学

◇投　稿

発表者所属は、発表年月時点である

発表日	発表先(掲載誌)	表題	発表者	所属
2025/01	(公社)日本設計工学会 設計工学 Vol.60, No.1	特集：学生向けコンテストを通じた設計教育 「鋳物コンテスト」による若手人材育成の取り組み	茂泉　健	IM推進部．生産技術企画部
2025/02	Institute of Control Robotics and Systems International Journal of Control, Automation and Systems Vol.23	Sparse Identification and Nonlinear Model Predictive Control for Diesel Engine Air Path System	矢作　修一 瀬戸　洋紀 米沢　安成 梶原　逸朗	(株)いすゞ中央研究所 〃 北海道大学 〃

発表日	発表先(掲載誌)	表題	発表者	所属
2025/03	(公社)自動車技術会 自動車技術会論文集 Vol.56, No.2	噴霧の干渉がディーゼルエンジン燃焼に及ぼす影響	宮下　和也 古川　伸哉 石井　義範 小澤　恒	(株)いすゞ中央研究所 〃 〃 〃
		重量車用ディーゼルエンジンのロングストローク化による高圧縮比化の評価	齋藤　大晃 橋本　宗昌 石井　義範 小澤　恒	(株)いすゞ中央研究所 〃 〃 〃
2025/05	(公社)自動車技術会 自動車技術会論文集 Vol.56, No.3	MBD(Model-Based Development)を活用した近接SCRシステムの設計	阿野田　洋 岩下　拓朗 仮屋　智孝 望月　立行 藤井　謙治 大塚　千尋 米山　香澄	エンジン装置設計部 PT実験第一部 〃 〃 (株)いすゞ中央研究所 〃 〃
2025/05	Elsevier Ltd. Tribology International Vol. 210	Improvement of measurement accuracy for oil film distributions on piston skirts by blocking diffuse fluorescence with a hole in a cover	石川　泰裕 久米　史郎 又吉　琉翔 伊東　明美 山下　健一	(株)いすゞ中央研究所 東京都市大学 〃 〃 (株)いすゞ中央研究所
2025/05	(公社)自動車技術会 自動車技術会論文集 Vol.56, No.3	尿素SCR システムにおけるN_2O 排出解析と設計指針の検討	米山　香澄 藤井　謙治 小澤　恒 石川　直也 阿野田　洋 大堀　鉄平	(株)いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 エンジン装置設計部 (株)いすゞ中央研究所
2025/06	(公社)自動車技術会 自動車技術 2025年, 6月号	尿素SCR システムにおけるN_2O 排出解析と設計指針の検討	米山　香澄 藤井　謙治 小澤　恒 石川　直也 阿野田　洋 大堀　鉄平	(株)いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 エンジン装置設計部 (株)いすゞ中央研究所
2025/07	JSME Journal Mechanical Engineering Journal Vol.12, Issue4	Optimal design of slippers in a radial piston pump (Experiment and simulation under concentric conditions)	竹本　翔一 北本　雄祐 野島　優樹 風間　俊治	(株)いすゞ中央研究所 〃 室蘭工業大学 〃
2025/07	(公社)自動車技術会 自動車技術会論文集 Vol.56, No.4	噴霧の干渉がディーゼルエンジン燃焼に及ぼす影響(第二報)	古川　伸哉 宮下　和也 石井　義範 小澤　恒	(株)いすゞ中央研究所 〃 〃 〃
2025/09	(公社)自動車技術会 自動車技術会論文集 Vol.56, No.5	高速度赤外線カメラを用いたディーゼルエンジンピストン表面の時系列温度分布計測	宮下　和也 古川　伸哉 石井　義範 小澤　恒	(株)いすゞ中央研究所 〃 〃 〃
2025/09	(公社)日本鋳造工学会 鋳造工学 Vol.97, No.9	アルミニウム合金の鋳造性に及ぼす微量不純物の影響	茂泉　健 岩澤　秀 駒崎　徹	IM推進部．生産技術企画部 静岡県工業技術研究所 リョービ(株)
2025/10	International Measurement Confederation(IMEKO) Measurement Vol.258	Electric-power free impulse point sound source generation system with bubble wrap bursting phenomena for simplified non-destructive testing	矢作　修一 清水　俊希 稲寺　正也 梶原　逸朗 細矢　直基	(株)いすゞ中央研究所 芝浦工業大学 〃 北海道大学 芝浦工業大学

発表日	発表先(掲載誌)	表題	発表者	所属
2025/11	(公社)自動車技術会 自動車技術会論文集 Vol.56, No.6	ピストン隙間が摺動部における油膜のオイル量におよぼす影響	石川　泰裕 又吉　瑠翔 伊東　明美 山下　健一	(株)いすゞ中央研究所 東京都市大学 〃 (株)いすゞ中央研究所
2025/12	(一財)素形材センター 素形材 Vol.66, No.12	大型ダイカストに対応したコンパクトな省燃費アルミ溶解保持炉の開発	佐藤　智治 和田　淳一 塩谷　聡 青木　公俊 松井　仁嗣 井浦　茂一	要素技術部 〃 〃 (株)宮本工業所 〃 互交産業(株)

(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
(独)：独立行政法人
(国研)：国立研究開発法人

編 集 委 員

〈編集委員長〉

小嶋　充	開発技術企画部

〈編集委員〉

林　京志郎	CN技術統括部
椎貝　竜二	ASシステム開発部
苫米地　康久	デザインセンター
上平　和季	PT商品企画・設計第三部
湯本　淳	車両設計第二部
渡橋　弘敏	PT実験第三部
辻　誠	PT実験第二部
国守　亮太	バス商品企画・設計部
江部　淳	エンジン装置設計部
児玉　裕	マルチ燃料エンジン企画・設計部
堀内　諭	コネクテッドシステム開発部
早坂　淳	大型商品企画・設計部
山際　正憲	CV商品企画第一部
南　健司	車両技術部
瀬戸　雄史	(株)いすゞ中央研究所

〈事務局〉

森　瑞樹	開発技術企画部
小室　拓司	開発技術企画部
蛭川　正敏	開発技術企画部
北村　佳子	開発技術企画部
吉川　好美	開発技術企画部

編 集 後 記

このたび、「いすゞ技報」138号を無事発行することができました。

「いすゞ技報」は、前号からWebでの公開となり、これまで以上に多くの方々にお届けできるようになりました。技術ジャーナルでありながら、さまざまな層の読者の皆様に興味を持っていただけるよう、できるだけわかりやすく、読みやすい内容とすることを心がけています。特に論文などでは、技術者にとっては既知の情報であっても略語に解説を加えたり、よりなじみやすい表現に置き換えたりするなど、執筆者の皆様にもご理解・ご協力をいただきながら編集を進めています。

いすゞは、LCVから小・中・大型トラック、バスまで幅広い商用車を取り扱っています。また、ガソリンやディーゼルだけでなく、多様な燃料に対応する内燃機関を動力源として採用するとともに、BEVやFCVなどの電動車もラインアップに加え、幅広い輸送・モビリティのニーズに応える製品・技術の開発に取り組んでいます。

そのような中、本号では、2025年に発表したギガ・フォワード、2026年に発表したエルガについて、その特徴や機能を紹介しています。また、研究開発、設備開発、商品開発など、いすゞのさまざまな技術開発の一端も取り上げています。本号が、皆様の知識を広げる一助となり、また、新たな発想につながるきっかけとなれば幸いです。

最後になりましたが、執筆者・編集者をはじめ、本号の制作にご協力いただいた皆様には、日々の業務でご多忙の中、貴重なお時間とお力をいただきました。皆様のご協力に、心より御礼申し上げます。

(小室　拓司：いすゞ技報編集事務局)

表紙について

本号の表紙は、新製品紹介の記事となっている25型ギガです。

いくつか候補となった写真の中から、堂々とした大きさを感じるローアングルの構図で、なおかつスタイリッシュなフロントマスクがしっかり見えるものを選びました。

精悍な顔つきを構成するグリルの黒と、キラリとしたライトの輝きのコントラストによる、エモーショナルな印象を目指しました。

(花原　晴光：デザインセンター)

いすゞ技報　第138号

2026年11月1日　発行

編集兼発行人　小　嶋　　充

発　　行　いすゞ自動車株式会社
〒220-8720　神奈川県横浜市西区高島一丁目2番5号　横濱ゲートタワー

発 行 所　いすゞ自動車株式会社 開発技術企画部
〒252-0881　神奈川県藤沢市土棚8番地

編 集 所　株式会社テックメイト
〒546-0013　大阪府大阪市東住吉区湯里6丁目14番地9号
電話 06-6702-1467

©2026　いすゞ自動車株式会社(禁無断転載)

いすゞ自動車ホームページアドレス
企業情報サイト　https://www.isuzu-global.com　　商品サイト　https://www.isuzu.co.jp

ISUZU

いすゞ自動車株式会社