ISSN 0287-5446

いすゞ技報

ISUZU TECHNICAL JOURNAL

132
OCT 2020



【特集】

20型 ギガ

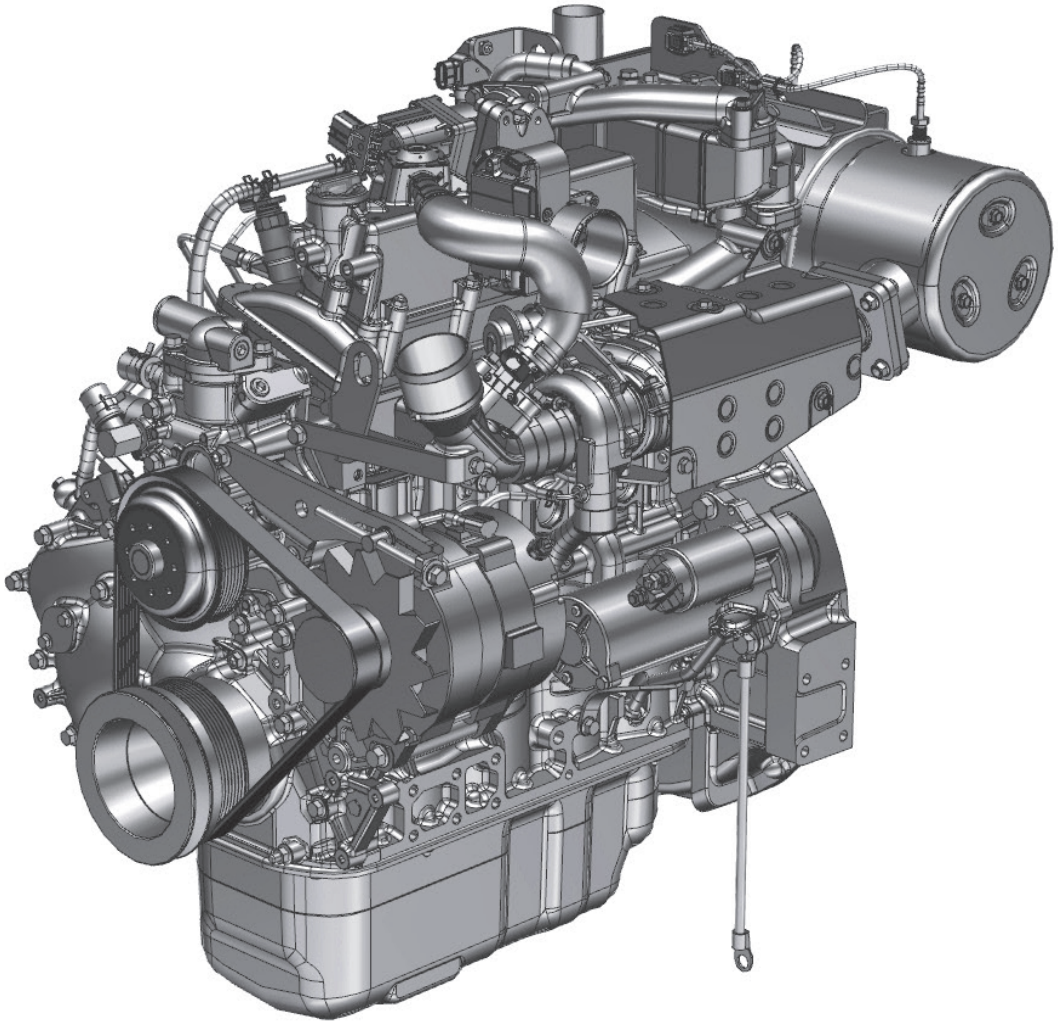


新ハイルーフ外観（ギャップシールド付き）

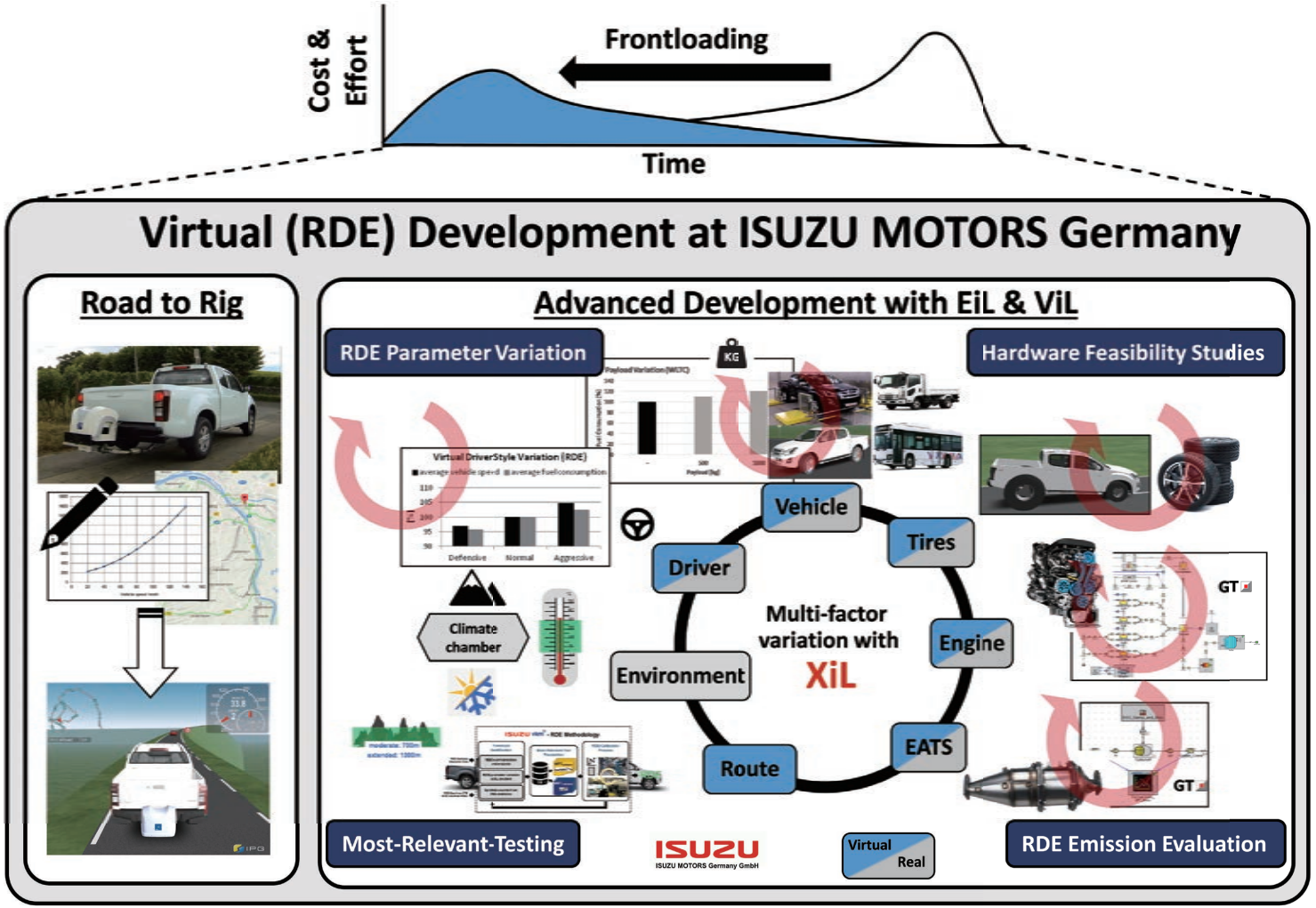
（特集[20型ギガ] 20 型ギガの商品概要について, p.7-10）



センサレイアウト
（新型ISUZU D-MAX の先進安全装備の紹介, p.52-57）



4LE2 外観図
（産業用StageⅤ排出ガス規制対応4LE2 エンジン開発, p.67-71）



Opportunities with XiI at ISUZU MOTORS Germany
(Road to Rig - A Systematic Development Methodology for Robust RDE Calibration Using an Advanced Test Bench Environment, p.79-86)

いすゞ技報　第132号 (2020)
目　　次

◇ 巻頭言

20 型ギガの特集に寄せて …… 奥山　理志 …… 1

◇ 特集　20型ギガ

- 20 型ギガの開発について …… 萩守　泰道・赤木　三昌 …… 3
- 20 型ギガの商品概要について …… 松下　修・宗　泰助 …… 7
- 20 型ギガの先進運転支援システム開発について …… 矢野　裕士・結城　俊男・東條　智一 中嶋　淳一・大下　ワサンタ・青木　智治 金澤　吉平・前川　康之・高橋　尚基・津田 隆太 戸澤　慶昭・木下　博正・奥谷　純平 …… 11
- 20 型ギガのシャシについて …… 髙橋　正寛・大城　佑輔・小山内　裕 清水　良明・林口　太一・大和田　克幸 …… 20
- 20 型ギガのキャブについて …… 折井　拓・馬場　皓平・猪股　伸一 岡田　賢人・齊藤　彰子 水城　崇・松元　匡宏 …… 25
- 20 型ギガの車両審査実験について …… 矢口　岳人・角田　進・宮崎　信之 高野　二郎・澤　智裕・嶋崎　翔・西嶋　義孝 五嶋　亮佑・森　直之・髙山　正巳・平戸　東 …… 33
- 20 型ギガの生産技術について …… 谷　祥二郎・馬場　大輔 立川　公博・植木　裕介 粂川　昌紀・上原　晃・粂　賢治 …… 40

◇ 論文・報告

- 欧州・豪州向け 新型 ISUZU D-MAX 概要 …… 牧　英明・平田　朗・松岡　一幸・菅　雅裕 …… 49
- 新型 ISUZU D-MAX の先進安全装備の紹介 …… 椎貝　竜二・富家　保行・高橋　龍雄 …… 52
- AI Driven Revolution in Methodology Developments for Predictive Maintenance and Autonomous Driving …… Yong Sun・Wenbo Yu・Xuejiao Li …… 58
- 産業用 Stage Ⅴ排出ガス規制対応 4LE2 エンジン開発 …… 多田　和久・明神　泰史・鈴木　拓郎 工藤　睦也・萩尾　健二・柴田　賢 …… 67
- 企画段階に適用するディーゼルエンジン放射音予測 1D-CAE ツールの開発 …… 山岸　誠弥・小澤　恒 …… 72
- Road to Rig - A Systematic Development Methodology for Robust RDE Calibration Using an Advanced Test Bench Environment …… Holger Hüners・Joachim Franck Deniz Serifsoy・Henning Nies …… 79
- 筒内ガス全量サンプリングと GCMS 及び炭素分析による PM 生成過程の把握 …… 古川　伸哉・鈴木　浩高・柴田　慶子 齋藤　大晃・石井　義範・島崎　直基 …… 87
- エンジン CFD への詳細化学反応計算適用による PM 生成過程の解析 …… 齋藤　大晃・古川　伸哉・石井　義範 島崎　直基・石井　一洋 …… 94

◇ 社外発表（2019年1月～2019年12月） …… 101

◇ いすゞ歴史の一こま （No.30） …… 10, 48, 78

ISUZU Technical Journal No.132 (2020)

– CONTENTS –

◇ **Foreword** ..... Satoshi Okuyama 1

◇ **Special Edition for '20 Model GIGA**

- Development of '20 Model GIGA ..... Yasumichi Hagimori, Mitsumasa Akagi 3
- Product Outline of '20 Model GIGA ..... Osamu Matsushita, Taisuke So 7
- Advanced Driver Assistance System of '20 Model GIGA ..... Hiroshi Yano, Junichi Nakajima, Yoshihira Kanazawa, Ryuuta Tsuda, Jumpei Okutani, Toshio Yuuki, Wasantha Oshita, Yasuyuki Maekawa, Yoshiaki Tozawa, Tomokazu Toujou, Tomoharu Aoki, Naoki Takahashi, Hiromasa Kinoshita 11
- Chassis of '20 Model GIGA ..... Masahiro Takahashi, Yoshiaki Shimizu, Yuusuke Ooki, Taichi Hayashiguchi, Yutaka Osanai, Yoshiyuki Oowada 20
- Cab of '20 Model GIGA ..... Taku Orii, Kento Okada, Tadahiro Matsumoto, Kohei Baba, Akiko Saitou, Shinichi Inomata, Takashi Mizuki 25
- Vehicle Performance Test of '20 Model GIGA ..... Takehito Yaguchi, Jiro Takano, Yoshitaka Nishijima, Masami Takayama, Susumu Tsunoda, Tomohiro Sawa, Ryosuke Goto, Azuma Hirado, Nobuyuki Miyazaki, Sho Shimazaki, Naoyuki Mori 33
- Manufacturing Technology of '20 Model GIGA ..... Shojiro Tani, Yusuke Ueki, Kenji Kume, Daisuke Baba, Masanori Kumekawa, Kimihiro Tachikawa, Akira Uehara 40

◇ **Technical Papers and Reports**

- Product Overview of New ISUZU D-MAX (EU/Australia Model) ..... Hideaki Maki, Masamichi Suga, Akira Hirata, Kazuyuki Matsuoka 49
- Introduction of Advanced Driver Assistance System of the New ISUZU D-MAX ..... Ryuji Shiigai, Yasuyuki Tomiie, Tatsuo Takahashi 52
- AI Driven Revolution in Methodology Developments for Predictive Maintenance and Autonomous Driving ..... Yong Sun, Wenbo Yu, Xuejiao Li 58
- Development of Stage V 4LE2 Engines for Industrial Purpose ..... Kazuhisa Tada, Mutsuya Kudou, Hiroshi Myoujin, Kenji Hagio, Takurou Suzuki, Satoshi Shibata 67
- Development of 1D-CAE Tool for Diesel Engine Radiated Noise Prediction at Planning Stage ..... Seiya Yamagishi, Hisashi Ozawa 72
- Road to Rig-A Systematic Development Methodology for Robust RDE Calibration Using an Advanced Test Bench Environment ..... Holger Hüners, Henning Nies, Joachim Franck, Deniz Serifsoy 79
- Particulate Matter Formation Analysis by Using In-Cylinder Total Gas Sampling and GCMS/Carbon Analyzer ..... Shinya Furukawa, Hiroaki Saito, Hirotaka Suzuki, Yoshinori Ishii, Keiko Shibata, Naoki Shimazaki 87
- Analysis of In-Cylinder Particulate Matter Formation Process in Diesel Combustion by CFD Simulation Coupled with Chemical Kinetics Model ..... Hiroaki Saito, Naoki Shimazaki, Shinya Furukawa, Kazuhiro Ishii, Yoshinori Ishii 94

◇ **Publications and Speeches by ISUZU Engineers (2019)** 101

◇ **A Frame in ISUZU History (No.30)** 10, 48, 78

巻　頭　言

20型ギガの特集に寄せて

開発部門 常務執行役員　奥山　理志
Satoshi Okuyama



自動車業界は100年に一度の大変革期に居るといわれておりますが，商用車も例外ではありません。

商用車に求められる環境性能（燃費），安全性能，高耐久性や高信頼性といった基本性能の向上はもとより，大変革のキーワードである「CASE」の頭文字となっている4つの領域「Connected」「Autonomous」「Shared/Service」「Electric」の技術革新への対応が求められるようになってきています。これらは私たちが今まで関わってきた自動車技術を超えた技術領域でもありますが，今後ますます広がりを持つ分野であり，私たちが保有する技術だけでは達成が難しい技術もあることから，達成に向けた異業種との連携も必要になってくるでしょう。

一方足元では，各国で厳しさを増す環境規制対応が喫緊の課題であることは間違いなく，電動化やNGVといった低炭素な動力源へのシフトや，そうは言ってもまだまだ主力となる内燃機関の進化との両面からこの課題に向き合わなくてはなりません。

また，輸送業界の共通課題として「ドライバー不足」,「安全性能の向上」,「稼働を止めない」への対応も引き続き重要な技術開発項目であります。

更にはコロナウイルスの感染拡大に伴う経済活動の変化や人々の生活スタイルの変化という全く予測ができない不透明な時代に向き合わなくてはなりません。

不透明な時代でかつ世の中の変化のスピードが速くなっているなかでは，個々の技術や機能が優れているだけで時代・マーケットをリードし続けることは難しく，提供する機能や価値がどれだけお客様に共感いただけるか喜んでいただけるかが，持続的な成長のカギだと思います。不透明な時代ではありますが，全社一丸となってお客様の期待を超える新たな価値を創造し提供し続けていきたいと思います。

20型ギガは2020年3月に単車，5月にトラクタの販売を開始いたしました。前回のフルモデルチェンジが2015年になりますので，5年ぶりのモデルチェンジとなります。

15型ギガではCABを刷新し，みまもり通信機を標準装着するなどつながるトラックの将来の姿に対して一歩ずつ進化を進めました。

20型ギガでは，その進化を更に進めるとともに，運輸業界の共通課題である，環境性能向上･ドライバー不足・高まる安全ニーズへの対応として，「つかれない車」「ぶつからない車」「こわれない車」を目指し，さまざまな機能を進化させ搭載しております。

詳細は特集記事に任せますが概要をご紹介しますと，次のように多くの新機能を搭載しております。

「つかれない車」

ハイルーフ・高機能シート・収納スペース拡大・キャブサス改良を行いました。

「ぶつからない車」

大きく分類して 13 の安全支援・運転支援・視覚支援機能を搭載しました。

「こわれない車」（車両モニタリング機能）

従来のみまもりやプレイズムのサービスに加えて，消耗品の補充交換時期のお知らせ機能や安全装備の作動お知らせ機能を追加しました。

先進安全機能として，安全性能の向上とドライバーの疲労軽減のために，全車速 ACC（Adaptive Cruise Control）と LKAS（車線逸脱防止支援システム：Lane keeping Assist System）を採用することにより，自動運転の分類で言いますとレベル 2 の機能を持たせることができました。LKAS は車線内を維持して走行する機能ですが，高速道路を長時間運転するドライバーにとって，疲労軽減と安全走行をサポートするために大変有効なシステムです。既に乗用車の一部には搭載されている技術でありますが，高速道路の車線幅は 3.5 m に対してトラックの幅が 2.5 m ですので，片側 50 cm の範囲でコントロールしなければならないことに加えて，車の大きさからくる運動性能の違いや空車時と積車時のステアリング応答性の変化，ホイールベースの多さ等々，乗用車の技術をそのまま使えないトラックならではの難しさがあります。

難しい技術開発ではありますが，これらの先進安全技術は，誤作動や不要作動をすると安心して使えませんので，お客様から「本当にいいね！」「使えるね！」と言っていただけるように，細部にまでこだわり，地球を 5 周するほどの距離を走行しながら徹底した作り込みを行いました。こういうこだわりを持って作ったものがお客様の共感が得られるものと考えております。

本号の構成ですが，前半は 20 型ギガ特集でありますが，後半の論文にはタイで生産するピックアップトラック D-MAX の先進安全技術開発や AI 技術開発への取り組み・排出ガス浄化技術等のレポートもあります。

D-MAX の先進安全技術開発は，大型トラックとは違ったシステムを使い，更に多くの機能を開発し搭載しております。

いずれの技術開発も簡単なものではではありませんが，お客様の喜ぶ顔を想像し，その実現に向けてひたむきに努力するエンジニア一人一人の熱意を少しでも感じ取って頂ければ幸いです。

20 型ギガの開発について

Development of '20 Model GIGA

萩守　泰道*
Yasumichi Hagimori

赤木　三昌*
Mitsumasa Akagi

要　旨

20 型ギガは，高まる安全性及びドライバ不足への対応，高稼働率に対し，「ぶつからない車の追及」，「快適な運転環境の実現」，「故障の未然防止」の 3 つのポイントを重点に開発した。その開発内容について述べる。

Abstract

We developed '20 model GIGA focuses on three points: "pursuit of a car that does not collide", "realization of a comfortable driving environment", and "prevention of breakdowns" in response to increasing safety, driver shortage, and high operation rate. The contents of the development will be described.

1　はじめに

国内物流の中心はトラックであり，経済活動及び人々の生活を支えるインフラとして，トラックは重要な役割を担っている。このように生活に欠かせないトラックだが，トラックを含めた自動車を取り巻く交通事故死者数は年々減少しているものの，政府が掲げる 2020 年の目標「2500 人以下」には到達しておらず，自動車メーカに対する先進安全技術開発の要望も非常に高くなっている。また，トラックドライバ不足は社会的な課題であり，年々深刻となってきている。令和元年度のドライバの有効求人倍率は約 3 倍と増加の傾向が続いており，職業全体の 1.46 倍と比べても 2 倍以上の開きがある。一方，トラック運送事業者の収益性は，燃料価格の高騰なども影響し，ここ 10 年間では営業利益率がほぼマイナスという状況が続き，トラック運送事業者にとっては大変厳しい状況が続いている。このように，日本のトラック業界の抱える課題，「交通事故」「ドライバ不足」「収益性・生産性の低下」に対する解決の一助として，20 型ギガ（**図 1**）を開発した。



図 1　20 型ギガ 外観

2　開発コンセプト

20 型ギガは，先進安全機能による交通事故低減，ドライバ負荷軽減を狙い「ぶつからない車の追及」，より快適な運転環境実現によるドライバの労働環境改善を狙い「快適な運転環境の実現」，遠隔モニタリング機能の拡充による休車時間の低減と安全運転の徹底を狙い「故障の未然防止」という 3 つを開発コンセプトとした。

2.1　ぶつからない車の追及

新たに追加した 6 つの機能でドライバをサポートし，ぶつからない車を追及した。

図 2 に大型トラックが加害となった死亡重症事故の分析を示す。これによると，主に都市間輸送で使用される大型トラックの事故としては，対車両の事故が最も多く，その中でも追突事故が最も多い。

2.1.1　歩行者検知機能付きプリクラッシュブレーキ

これに対して，15 型ギガで対車両への追突事故の対策として，衝突回避及び被害軽減させるプリクラッシュブレーキを投入したが，今回 20 型ギガでは，そのプリクラッシュブレーキの検知能力を向上させ，自転車及び横断中歩行者まで衝突対象を拡大した。

これにより，大型トラック対自動車の死亡事故要因で最も高い "追突事故" を抑制できる機能を，また，大型トラック対歩行者の死亡事故要因で最も高い "横断中の事故" を抑制できる機能を備えた。

*大型商品企画・設計部

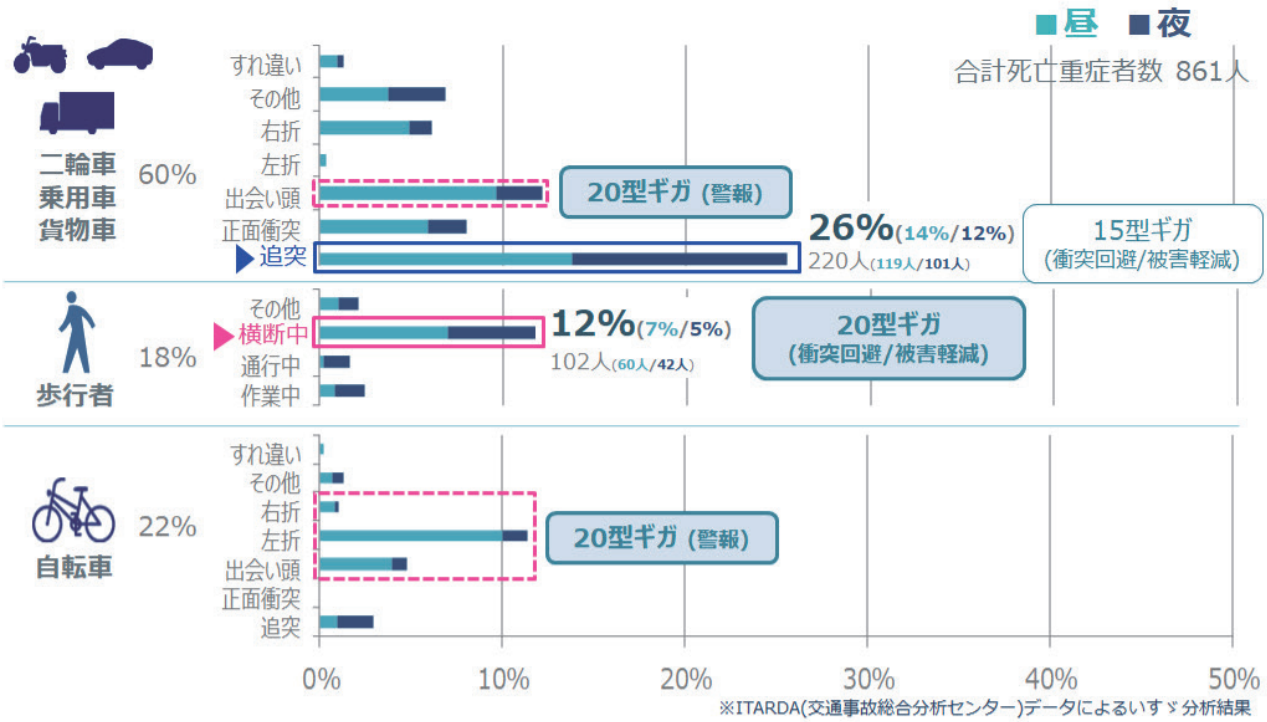


図 2　大型トラックが加害となった死亡重症事故

2.1.2　ブラインドスポットモニター

出会い頭での事故及び右左折時の自転車の巻き込み事故への対策として，車両及び自転車も確実に認識し警報で注意を促す機能を追加した（**図 3**）。

大型トラック対二輪車の死亡事故要因で，最も高い“左折時の巻き込み事故”のほか，右折時，車線変更時，出会い頭の事故を抑制できる。

短距離ミリ波レーダで車両の前方と側方を監視し，警報で注意を促すことでドライバの安全確認を支援。コーナパネルとキャブバック部のキャブ四角にレーダを設置することで，車両側方からの接近も検知でき，架装物への影響を最小限に抑えた。

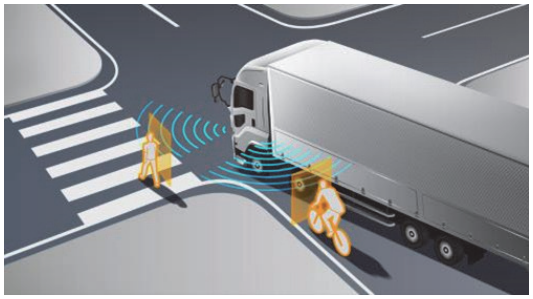


図 3　ブラインドスポットモニター（左折時）

2.1.3　全車速ミリ波車間クルーズ

設定した車間距離を維持するように自動的に加速・減速を行う従前の車間クルーズ機能を拡張し，停止・再発進まで含めた全車速域での制御することにより，安全かつ運転者の疲労軽減を図った。

レーダ検知角度を広角にすることで，急な割り込み車両があった場合でもその車両を先行車として早期に判断できるようにした。

2.1.4　可変配光型 LED ヘッドランプ

車の走行状態に合わせて 11 個の LED ハイビームの点灯と消灯を細やかに制御する。

先行車，対向車に光が当たる箇所だけを自動的に遮光し，ハイビームを使用しやすくすることにより，視認性を向上させた。

低速走行時は手前を幅広く照らすことで得られる情報を増やし，高速走行時は照らす範囲を絞ることで過剰な情報を削ることで疲労軽減を図る。またカーブ走行時は，ステアリング操作に合わせてハイビーム照射範囲を移動し，カーブの先がより見やすくする電子スイブル機能を追加した（**図 4**）。

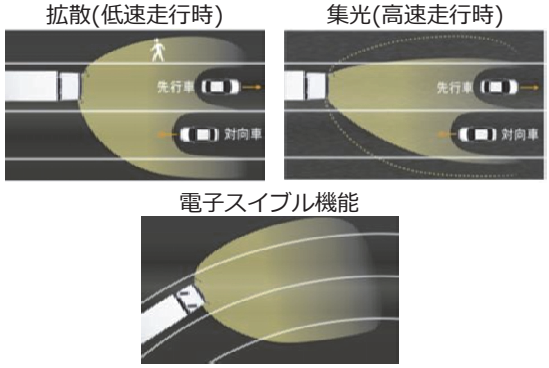


図 4　可変配光型 LED ヘッドランプ

2.1.5　ドライバーステータスモニター

最先端の AI 技術がドライバの脇見・居眠り・姿勢崩れを判断し，注意喚起を促す（**図 5**）。

カメラを A ピラーに設置することで，ハンドルの高さ・位置を調整した場合でも，ドライバの顔を検知する。既に用品で販売しているドライバーステータスモニターに比べ，ドライバの状態を正確にモニタリングでき，サングラス及びマスクを装着していてもドライバの状態を検知できる確率を上げた。

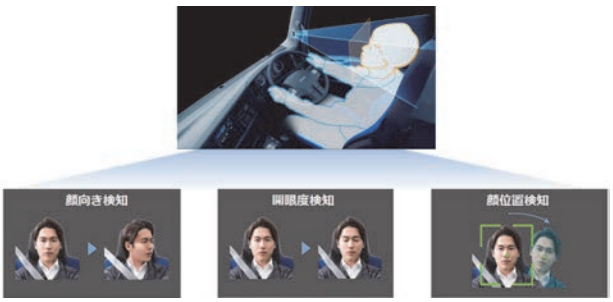


図 5　ドライバーステータスモニター

2.1.6　レーンキープアシスト

カメラが車線を認識し車線を逸脱しそうになると，システムがステアリングをアシストすることにより車線逸脱による事故を抑制する（**図 6**）。また，車線に沿って走りやすいようにステアリングをアシストすることで，修正操舵を低減し長時間運転による疲労の軽減を図った。

ステアリング装置に電動アシスト機能を追加することにより，軽い力でハンドル操作ができる。据え切りは従前よりも半分の力で操作が可能なので，疲労軽減効果があり，逆に高速走行時には油圧流動を調整することで，ふらつかない安定した操舵感を実現させた。

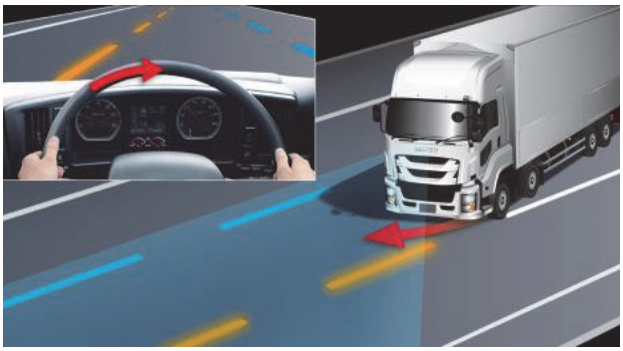


図 6　レーンキープアシスト

2.2　快適な運転環境の実現

居住性の向上，空力と空間を両立する「新ハイルーフ」，室内快適性を大幅に向上する「内装変更」，快適で疲れにくい運転環境を実現する「高機能シート」により，ドライバが働きやすい環境を提供する。

2.2.1　新ハイルーフ

従前の標準ルーフ＋エアディフレクタのスペースを活用して全高 3.8 m 級の新ハイフールを開発した。

居住性の向上と空力性能を両立させ，室内高は，標準ルーフに対して約 500 mm 拡大，室内での着替えもできるスペースを確保し，ヘッダコンソールを左右中央に上下 2 個ずつ配置して収納性も向上させた。(**図 7**)



キャブ外観



キャブ内装

図 7　新ハイルーフ

2.2.2　キャブ内装

新ハイルーフキャブ同様に，標準ルーフキャブも内装を一部変更した。左右の A ピラー部にはブラインドスポットモニターの警告ランプを，またドライバ側の A ピラーにはドライバーステータスモニター用カメラを配置した。また，お客様からご要望が高かったホット＆クールボックスを復活させた。これは，市場で販売されているポータブル温冷蔵庫に使われているペルチェ素子を使用し，使用温度帯は 5 ℃～60 ℃，エアコンを使用してなくても稼働でき，温冷の切り替えは BOX 横の切り替えスイッチで操作可能である。

2.2.3　ISRI ドライバシート

欧州で採用実績多数のイスリングハウゼン社製のシートを採用した。

11 種の調整スイッチにより，さまざまな体格のドライバにフィットした運転姿勢に調節することが可能とした。

上下 2 段で調節可能なランバサポートに加えて，サイドサポート機能も装備。また，シートバック中折れ機能はシートバックの腰部からヘッドレストにかけて角度を調節することが可能なので，背骨をより自然な形で支え，背骨の負担を軽減。更に，体圧を分散させることで，ストレス少なく長時間の運転が可能である（**図 8**）。



図 8　ISRI ドライバシート

2.3 故障の未然防止

いすゞは 2004 年以来，省燃費 / 安全運転の推進及び運転日報等の作成といったコンプライアンスの徹底，また動態把握による配車等の最適化を目的に，車両通信端末 MIMAMORI による運行管理サービスを展開してきた。長年の技術と経験の蓄積をベースに，2015 年にはギガのフルモデルチェンジを機に通信端末を標準搭載して車両コンディションの遠隔把握を可能とした。これは，万が一の故障が分かるだけでなく，故障に至る前の不調及び予兆までも可視化し，事前に故障の芽を摘む高度純正整備が可能とし，「PREISM」と名付けた。

2.3.1 コンディションモニタリング

路上故障の要因は，車両心臓部であるエンジン･排出ガス後処理装置・トランスミッションの故障が約半分を占め，これに対しては，既に 15 型ギガで遠隔モニタリングを開始した。今回の 20 型ギガでは，バッテリー，タイヤのモニタリングを追加することで，路上故障原因の約 9 割をモニタリングできるようにした。

2.3.2　セーフティモニタリング

この車両コンディションだけでなく，先ほどご紹介した先進安全機能の作動状況についても，遠隔地にいながら作動状況を把握できるようにした。これにより，事務所にいながら運行管理者の方も安全装置の作動状況が把握できる。プリクラッシュブレーキ作動時には，MIMAMORI からメールで通知される。（有償契約が別途必要）

3 おわりに

止まることない物流。これを支えるトラック輸送。ドライバ不足の中で大型トラックに求められる性能とは何かを今一度見つめ直し，今回の 20 型ギガを開発した。より安全に，より快適に，より高稼働にをモットーに，今後も新型車両の開発を進めていきたいと考える。

最後に，今回の 20 型ギガの開発に携わっていただいた，協力企業の方々，販売会社の方々，そして社内の皆々様に感謝の意を表し，本稿の結びとしたい。

著　　者



萩守　泰道



赤木　三昌

20 型ギガの商品概要について

Product Outline of '20 Model GIGA

松下　修*
Osamu Matsushita

宗　泰助*
Taisuke So

要　旨

いすゞ 20 型ギガは高まる市場のニーズに応える新世代の大型トラックとして開発し市場に投入した。昨今の市場要求は安全機能の高度化だけでなくドライバが疲れずより使いやすい性能も要求されるため，安全で疲れない商品を目指した。更にいすゞの強みであるコネクテッドサービスを強化し全方位で高性能を目指したいすゞ 20 型ギガの商品概要を示す。

Abstract

The '20 model GIGA has been developed as a new generation heavy duty trucks for Japan market. At this model we have focused on "Advanced Safety", "Driver friendly" and "Improved MIMAMORI for Reliability". Let me show you some key aspects of '20 Model GIGA.

1　まえがき

技術が普及し国内でも先進安全・運転支援技術のトラックへの搭載が進んでいる。更に乗り心地及び収納といったドライバの運転環境の改善要求が高まっている。いすゞギガは 2015 年にフルモデルチェンジを行ったが，その後排出ガス法規対応を期に他社も大規模モデルチェンジを実施した。20 型ギガでは 2020 年の新商品として他社動向及び世界の技術動向を踏まえて魅力のある仕様・性能を有し国内市場で最も選ばれる大型トラックを目指して開発した。

2　開発概要

20 型ギガの開発にあたっては「ぶつからない車」「つかれない車」「こわれない車」をコンセプトに国内大型トラックに求められる機能･性能を追求した。

2.1「ぶつからない車」について

20 型ギガでは先進安全運転支援技術を駆使してより事故を起こしにくい車両を開発した。従来の VAT（View Assist Technology）をより高性能にするためレーダ・カメラを含むシステムの刷新・開発を行った。更に新装置を追加して全方位の検知及びドライバの視界改善，操作アシストなど多方面の安全運転支援を行う高機能な車両を実現した。

【歩行者検知機能付プリクラッシュブレーキ】

プリクラッシュブレーキ（衝突回避支援 / 衝突被害軽減ブレーキ）の検知機能を高め歩行者及び自転車等の検知も可能とした。横断中の動いている歩行者または自転車も検知できるようにすることで役に立つ安全システムを目指した（**図 1**）。

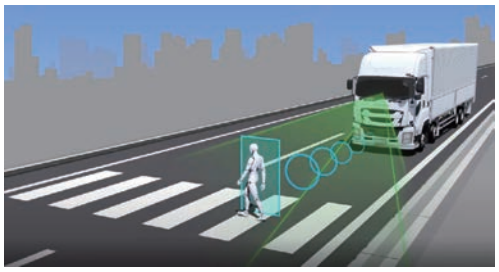


図 1　歩行者検知機能付プリクラッシュブレーキ

【ブラインドスポットモニター】

キャブの前後左右に 4 つのレーダを配置し右左折または車線変更時に衝突する可能性のある物体の検出及び死角エリアの物体検知をアシストしドライバに注意を促す。架装性に配慮したレイアウトを採用したことで全車型標準装備を実現した（**図 2**, **図 3**）。



図 2　ブラインドスポットモニター

*大型商品企画・設計部

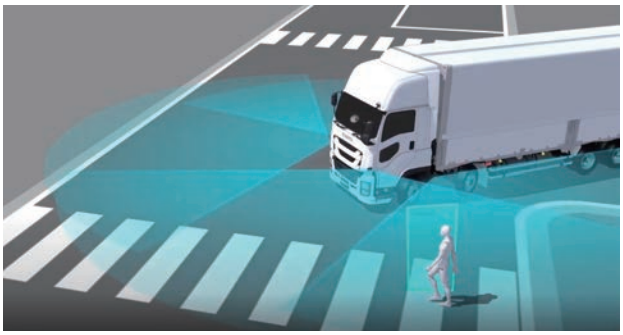


図 3　ブラインドスポットモニター

【全車速ミリ波車間クルーズ】
従来のミリ波車間クルーズを改善し全車速域で前走車に追従できるシステムを搭載した。低速域での追従走行に加えて，自動停車から 3 秒以内であれば自動発進するなどドライバの操作･負担を削減した。

【可変配光型 LED ヘッドランプ】
新規開発した LED ヘッドランプシステムのハイビーム配光を自動で制御することで夜間の視認性を大幅に向上させた（**図 4**, **図 5**）。

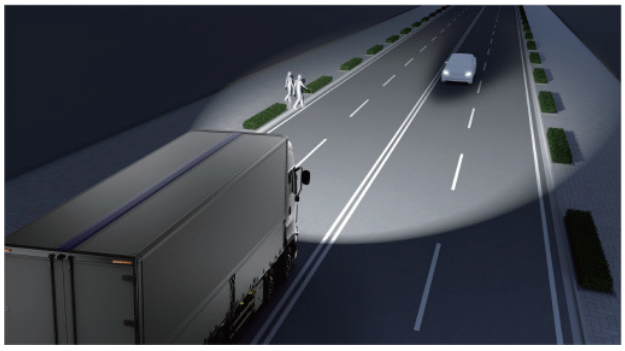


図 4　可変配光型ヘッドランプ



図 5　可変配光型ヘッドランプ

【ドライバーステータスモニター】
ドライバの居眠り及び脇見運転を検知して警報することで事故のリスクを軽減する。最新仕様のシステムにいすゞ独自のアルゴリズムを組み合わせることで高い検知精度を実現した。取付け位置もドライバ視界に加えメータ視認性も妨げないよう工夫した（**図 6**）。

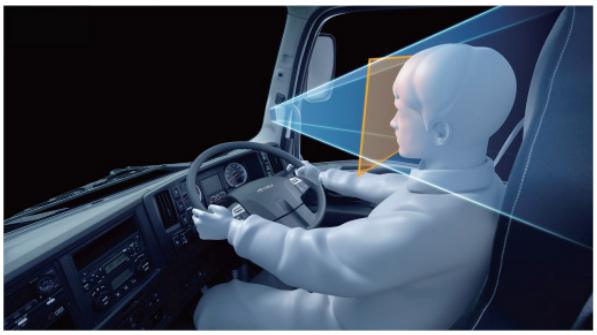


図 6　ドライバーステータスモニター

【レーンキープアシスト】
従来は車線逸脱を検知し警報する機能（LDWS）までだったが，ステアリング装置に電動アシスト機能を追加することにより車線逸脱を抑制する（高速カーゴ車型にオプション設定，時速 65 キロ以上で作動）。また電動アシストの制御により低速走行時及び据え切り時はハンドル操作を軽く，高速走行時には安定した操舵感とした。

【タイヤ空気圧モニタリングシステム】
タイヤの空気圧を監視することでパンクまたはバーストの予防及びスローパンクの早期検知，空気圧低下による燃費悪化を予防する目的で，更に車両システムに組み入れてメータ表示できるよう開発した。またトレーラー側のタイヤも監視できる拡張性を持たせた。

その他オートライト及びオートワイパ，急制動を知らせる緊急ブレーキシグナルを標準装備し，ドライバの操作し忘れ防止及び頻繁な操作によるストレス軽減，もらい事故の抑制に配慮した。

2.2「つかれない車」について

大型トラックに求められる使い勝手をより高めドライバの運転環境を良くして疲労を軽減するため，20 型ギガではハイルーフの刷新と高機能シート採用を実施した。

【新ハイルーフ】
快適に使えるキャブ内スペースの確保と収納力 UP を目指して開発した。国内保安基準の車高 3.8 m の範囲で最大限広いスペースを確保し，立ったまま室内で着替えができる空間を目指した。高くなったルーフ壁面には収納を設け国内クラストップの収納力を確保した（**図 7**～**図 9**）。
またこれまでにない高さのキャブを生産するために生産設備を大幅に見なおす必要があったが，市場要求台数に対応できる工程を実現した。



図 7　新ハイルーフ外観（ギャップシールド付き）



図 8　新ハイルーフ内装



図 9　新ハイルーフ収納（前面）

【ホットアンドクールボックス】

市場から復活の要望が強かったホットアンドクールボックスを，エアコンを使用していなくても使用可能で 500 ml のペットボトルを 2 本収納できる仕様で復活した。保冷 / 保温機能はペルチェ素子を使い安定して高性能な機能を有し，現行のキャブにマッチする形状で新規開発した（**図 10**）。



図 10　ホットアンドクールボックス

【高機能シート】

ドライバの疲労・ストレス軽減のため，シートベルト一体型の ISRI 製エアサスシートを採用した。形状･乗り心地の調整機能が多数装備されるほか，シートヒータに加えベンチレーション機能設定により運転中のストレス軽減を目指した。海外メーカである ISRI 製のシートを採用するにあたってはドライビングポジションが日本人の体形に合うようにも配慮し，いすゞオリジナルの操作レバーの設定及び専用の刺しゅう（繍）を入れるなど工夫した（**図 11**）。



図 11　高機能シート

この他レーンキープアシスト付きの車両には低速時のハンドル操作力をアシストする機能を追加したり，ハイルーフで重量バランスが変わることをきっかけにキャブサスのストロークを改善して乗り心地を改善するなどドライバの疲労軽減に配慮した。

2.3「こわれない車」について

いすゞの強みであるコネクテッドの代名詞「オンラインみまもり」に更に機能追加し稼働率向上を目指した。

【車両コンディション自己診断機能】

これまでのスムーサー･DPD･エンジン関連装置の診断情報に加え，尿素水残量･電圧計･タイヤ空気圧･エンジンオイル交換残距離通知を追加した。これにより路上故障の発生件数の多い故障をより広くカバーし稼働率の向上を目指した。

【セーフティドライブ報告機能】
運行管理者が効果的な安全運転を指導するため，安全装備の作動記録・スイッチ OFF 等の記録をパソコンで見られるようにデータ送信対象とした。
なおプリクラッシュブレーキとドライバーステータスモニターは作動お知らせの機能を備えている。

【エコドライブ報告機能】
運転操作を常にモニタしリアルタイムでドライバにエコドライブをアドバイスするのみでなく，車両ごと・乗務員ごとに集計された省燃費運転レポートを作成し運行後の省燃費教育をサポートする。

3　あとがき

今回の 20 型ギガは法規対応とは別の日程で商品開発を行い多方面の機能を妥協無く開発して市場に投入することができた。多くのお客様に喜んでいただき運ぶを支えることができれば幸いである。
最後に，今回の 20 型ギガの商品化に際して目標値，日程ともに厳しい目標に向かってワンチームで取り組んだ社内の関係者，ご協力いただいた協力企業とサプライヤの方々に心より感謝申し上げます。

著　者



松下　修



宗　泰助

◇いすゞ歴史の一こま



キャブオーバ組立ライン（1964 年ごろ）

特集「20 型ギガ」

20 型ギガの先進運転支援システム開発について

Advanced Driver Assistance System of '20 Model GIGA

矢野　裕士*
Hiroshi Yano
結城　俊男*
Toshio Yuuki
東條　智一*
Tomokazu Toujou
中嶋　淳一*
Junichi Nakajima
大下　ワサンタ*
Wasantha Oshita
青木　智治*
Tomoharu Aoki
金澤　吉平*
Yoshihira Kanazawa
前川　康之*
Yasuyuki Maekawa
高橋　尚基*
Naoki Takahashi
津田　隆太**
Ryuuta Tsuda
戸澤　慶昭**
Yoshiaki Tozawa
木下　博正***
Hiromasa Kinoshita
奥谷　純平***
Jumpei Okutani

要　旨

20 型ギガでは，いすゞ自動車において先進安全技術の次のステージへのスタートモデルと位置づけし，市場ニーズ及び技術動向にあわせ，新機能を投入した。

本稿では，刷新を図った先進運転支援システムの開発概要を紹介する。

Abstract

The Isuzu '20 model year GIGA is equipped with new functions with market needs and technological trends as the starting model for the next stage of advanced safety technology.

Overview of new advanced driver assistance system is explained.

1　はじめに

2020 年度の政府の掲げる 24 時間以内の交通事故死者数の目標に対しては，事故死者数は減少傾向ではあるものの，目標にはまだ到達できていない。我々としてもこの目標の達成に貢献するべく，更なる安全機能へ開発を取り組むことが必要となっている。また，トラック業界を取り巻く環境として，慢性的なドライバ不足が叫ばれており，その結果，市場のニーズとして車両購入重視点は「乗務員の安全性」「乗務員の疲労軽減」「安全装備の充実」の項目が年々上位にシフトしてきている。

そこで，20 型ギガの開発においては，先進安全機能による交通事故死者数低減として，次の 4 つの開発を推進した。

- プリクラッシュブレーキの強化
- ブラインドスポットモニターの新規開発
- ドライバーステータスモニターの新規開発
- オートハイビーム･可変配光型 LED の新規開発

また，ドライバ負荷低減及び労働環境の改善として，次の 2 つの開発を推進した。

- ミリ波車間クルーズを全車速対応に拡大
- レーンキープアシストの新規開発

2　先進安全装置の概要

2.1　先進安全装置への考え方

運行形態を考慮し各々のトラックに最適なシステムを選択するために，これまで社内で蓄積してきた車両の使われ方及び事故データを分析した（**図 1**）。

これにより，中大型トラックにおいては，平均車速が 70 ㎞ /h と高く，主要幹線道路または高速道路の走行が主であることが伺える。また，事故形態を見ても，対トラックと対乗用車との事故が全体の約 60 ％を占めていることから，前方検知システムとしてはより遠くの物体を認識できるシステムが有効であると判断し，18 型エルフのステレオカメラと異なり，単眼カメラ＋ミリ波レーダの採用継続を進めた。

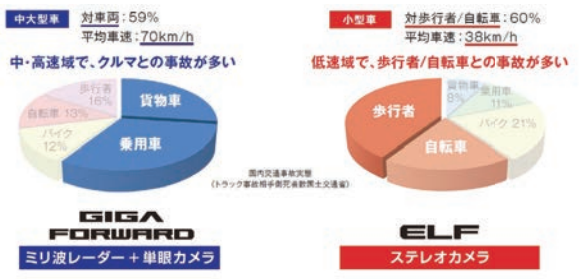


図 1　トラック事故分析
（ITARDA：交通事故総合分析センター データによるいすゞ分析結果）

* AS システム開発部　　**電装・制御開発部　　***車両設計第二部

また，併せて大型トラックによる死亡事故分析結果を**図 2** に示す。追突または正面衝突もさることながら出会い頭による事故も決して少なくはない。また，交通弱者への保護の観点からも，横断中の歩行者に対する事故も見過ごせない。交通事故死者数低減に向けては，従前までの前方監視だけでなく，ドライバの死角となる後側方も含めた車両周辺監視のシステムを構築する必要がある。

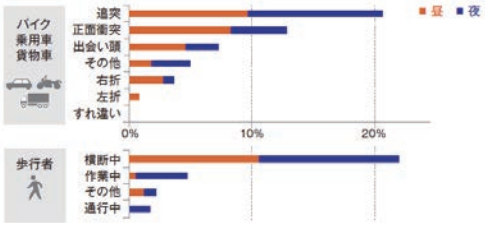


図 2　大型トラックによる死亡事故分析
（ITARDA：交通事故総合分析センター データによる いすゞ分析結果）

2.2　システムの概要

これまでの先進視覚サポートシステムの大幅改良を目的とし，検知デバイスの刷新を行った。**2.1 節**に述べた取り組みのように，単眼カメラ＋ミリ波レーダを用いた車両前方監視に加え，車両の周辺監視としてコーナレーダを採用し，3 つの検知情報をもって車両制御を行っている。

カメラについては，単眼視ではあるものの 2 つのレンズを設定，長距離まで検知できる標準レンズに加え，自車近傍を広く見渡しメインカメラをサポートする広角レンズを採用している（**図 3**）。これにより自車前に割り込んでくる車両または歩行者をいち早く検出し，スムーズで安全な車両動作を実現している。



図 3　フロントカメラ

レーダについては，車両中心に配し，長距離を検知できるタイプのミリ波レーダと，キャブの四方に配し，短距離で広角度の範囲を検知できるタイプのミリ波レーダを設定した。

フロントレーダは，従前と同様にカメラ情報とフュージョンし，物体認識・距離情報・相対速度情報の精度を高め，制御対象を検出している。

コーナレーダ（**図 4**）は，自車近傍においての子供の歩行者またはサイクリストにも反応できる高さに設置した。後側方検知を目的としたキャブ左右後方のレーダは，お客様スペースである架装エリアに影響を与えることのない位置に設定をしている。



図 4　コーナレーダ

これらの新たな検知デバイスを搭載した先進運転支援システムの構成図を**図 5** に示す。これまでに述べた新デバイスの情報をもとに，シャシ制御 ECU（電子制御ユニット：Electronic Control Unit）などを介し車両制御を行っている。20 型ギガでは，「走る・止まる」だけでなく，「曲がる」に対しても新たに制御機能を搭載した。それ以外にも更なる安全性の確保として夜間の視認性向上のための配光制御，ドライバの状態を検知し，よそ見及び居眠りを防止するための注意喚起等，多岐にわたっての制御を実現している。

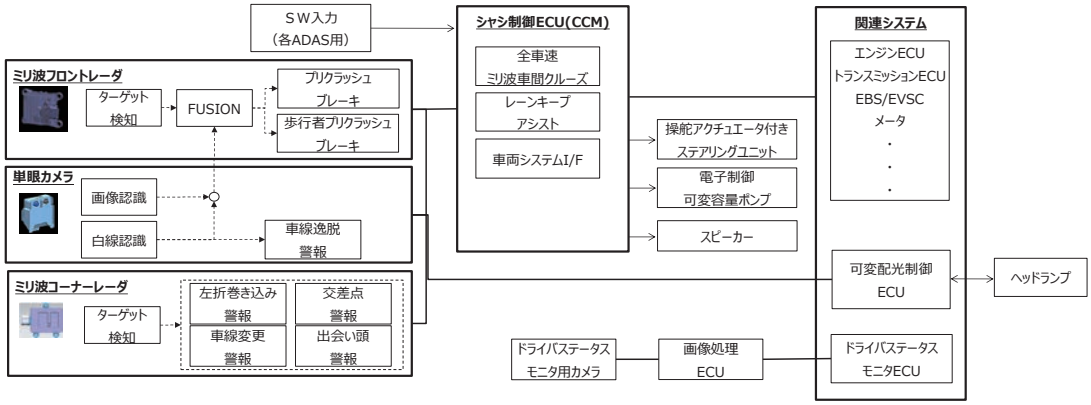


図 5　先進運転支援システム構成図

3　先進安全装置の開発検討

3.1 プリクラッシュブレーキ

プリクラッシュブレーキは，07 型ギガで初めて採用され，15 型･17 型ギガで改良が行われてきた。従前のシステムでは，制御対象を車両のみとしていたが，今回 20 型ギガでは，カメラ・レーダの性能向上を図り，歩行者にも対応するプリクラッシュブレーキの開発を行った（**図 6**）。



図 6　カメラでの歩行者検出例

3.1.1 カメラレイアウト

歩行者の検出は，単眼カメラ･ミリ波レーダのセンサフュージョンにより実施される。ここでトラック固有の課題として歩行者が近距離にいた場合，キャブオーバによりカメラの画角から外れることが挙げられる。そこで新型ギガではカメラの位置を下げ，下方視界の検知性能を向上させた（**図 7**）。また，システムによる検知継続性についても，大人だけでなく子供の身長も考慮して設計検証を行った。

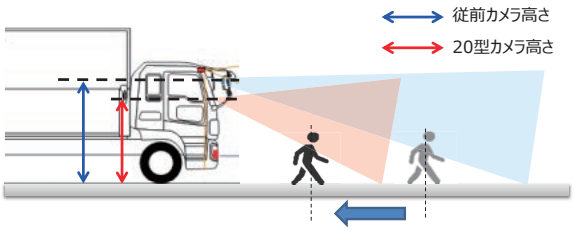


図 7　カメラ位置変更による下方視界向上のイメージ

3.1.2 制御シーケンス

歩行者は急な立ち止まりまたは引き返しなど，予測のできない行動をとる可能性がある。従前の車両に対する制御と同一にすると歩行者に対して，不要作動が生じる懸念があるため，次の (a) 及び (b) の検討を行い不要作動リスクの低減を図った。

(a)　制御シーケンス

車両に対する制御シーケンスは，法規要件である UN-R131 に準じ，衝突警報・警報ブレーキ・緊急ブレーキの順で制御を実施する。これに対して，歩行者には警報ブレーキは実施せず，衝突警報・緊急ブレーキの順で制御を実施することとした。制動距離と制動時間が短くなるような制御シーケンスにすることで，歩行者が十分に接近するまで制動制御タイミングを待つことができる（**図 8**）。

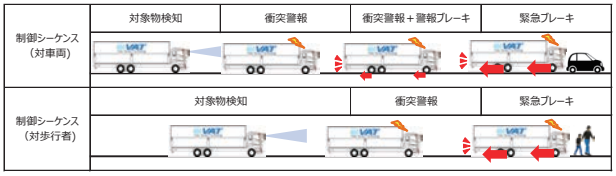


図 8　制御シーケンス比較

(b)　横断歩行者に対する作動条件

横断歩行者に対する作動条件として次の 2 つを設定している（**図 9**）。

- 歩行者現在横位置が車両中心から閾値以下にいる。
- 歩行者予測横位置が車幅内にいる。

歩行者の現在横位置の閾値は，白線内に歩行者が侵入したことを想定した値で設定している。白線の外にいる歩行者には制動制御を抑制することが狙いである。歩行者の現在横位置が閾値を超え，予測位置が車幅内にいることを判断した場合に制動制御を許可する。

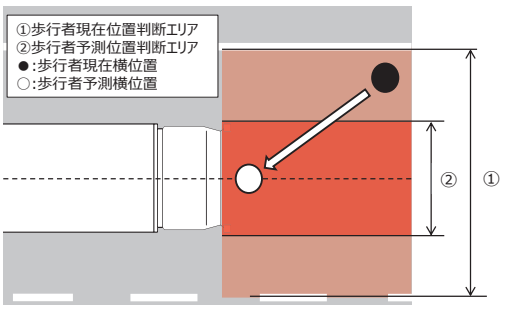


図 9　横断歩行者に対する作動条件

3.2 全車速ミリ波車間クルーズ

3.2.1　システムの概要

設定した車間距離を維持するように自動的に加減速を行う従前のミリ波車間クルーズⅡ（40 km/h 以上）の機能を拡張し，停止・発進まで含めた全車速域での制御を可能にした（**図 10**）。これにより，更なるドライバの運転疲労を軽減と，安全運行に貢献できるシステムを実現した。従前機能から追加改良した機能について紹介する。



図 10　全車速ミリ波車間クルーズシステム

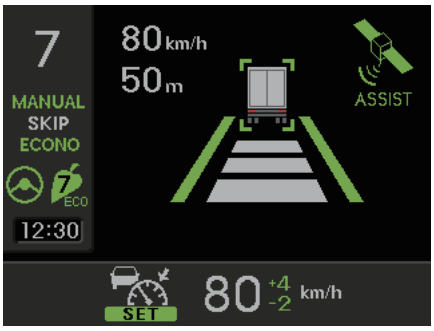


図 11　全車速ミリ波車間クルーズ中の表示

3.2.2　機能・特徴

(a)　40 km/h 以下での追従機能

弊社が保有する車両のビッグデータを活用・分析し，大型車ドライバの運転特性に合わせた停車間際の車間距離を設定した。従前のトルク制御に対し，地図データから得られる路面勾配・曲率情報，更に車両重量も加味した形で前方車両への追従性を向上させている。また，変速制御とブレーキ制御も併せて制御性を向上させたことで，ドライバに違和感を与えることなくよりスムーズな自車停止することを実現している。

(b)　停車保持機能

自車停止後の既存 HSA（坂道発進補助装置：Hill Start Aid）機能と協調することで停車保持状態を実現している。停車保持中は HSA 表示灯に加え，メータマルチインフォメーションディプレイに停止保持状態を表示する。停車保持中にシステムの故障が起きた場合でも，ドライバのアクションがあるまで停車を保持続けることで，安全性も確保している。

(c)　発進機能

目視で先行車の発進を確認した後，ドライバの発進操作（リジュームスイッチ操作またはアクセルペダルを軽く踏み込む）で，追従走行を再開させる。また，先行車の発進に気づかなかった場合でもメータマルチインフォメーションディプレイの表示とスピーカを鳴動し，先行車の発進をお知らせすることで，渋滞緩和に貢献する。

(d)　メータ表示

従前のミリ波車間クルーズの作動車速を全域に拡大することで，システムの作動状態をドライバに認知させることがより重要と考え，新たにメータマルチインフォメーションディプレイにクルーズ専用ディスプレイを設けた（**図 11**）。全車速ミリ波車間クルーズ作動中，自動的にディスプレイが切り替わり，視認性及び安全性の向上を図った。

3.2.3　モデルベース開発の活用

20 型ギガは，より短期間での開発が求められたことから，本機能の開発はモデルベース開発手法を用いた。これは制御モデルを構築し，機能のプロト開発・シミュレーションを実施することで，実車両での評価期間短縮と品質向上の両立を目指した。これにより，実車両の評価で発生する課題において，再現が困難な車両挙動のみならず，再現に時間を要する試験パターンにおいても，机上で簡単に再現させることができ，品質向上と期間短縮の両立に貢献することができた。

3.3　レーンキープアシスト

20 型ギガでは，新たにステアリングアシスト制御を追加し，ドライバの修正操舵を低減させ長時間運転による疲労軽減を図ると同時に，車線逸脱を回避することにより，事故防止にも貢献する車線維持支援システムを開発したので紹介する。

3.3.1　システムの概要

車線維持支援システムは，前方センシングデバイスであるカメラシステムからの車線情報 (曲率・横変位・確信度）とミリ波レーダからのヨーレート信号，その他必要な車両信号を基にステアリング支援トルクを算出する。この演算はいすゞ内製アルゴリズムを使用し，CCM（シャシコントロールモジュール：Chassis Control Module）へ実装した。

CCM より演算されたトルク指示信号を操舵 AHPS（アクチュエータ付パワーステアリングユニット：Advanced Hybrid Power Steering）へ送信し，モータによるステアリング制御を行う。また，同時に eVDP（電子制御可変容量ポンプ：electric Variable Displacement Pump）にて油圧流量を制御することで，違和感のないステアリング操舵感を実現させた（**図 12**）。

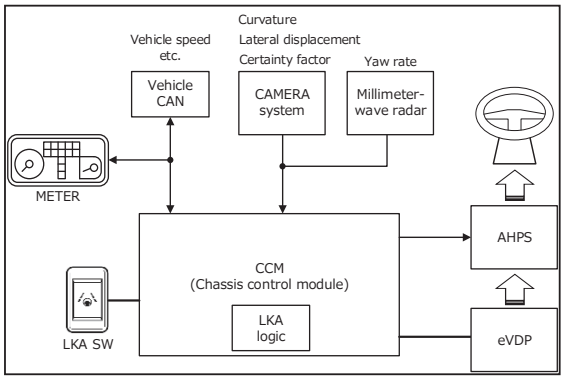


図 12　システム構成図

3.3.2　車線維持支援

直進走行時，状況に応じて次の (a)～(d) の操舵支援を行う（**図 13**）。

(a)　直進走行中

車線中央走行時はモータによるステアリング支援は行わず，車速に応じた eVDP の流量を変更することでステアリングに重みを持たせ，直進走行の操舵安定感を持たせる。

(b)　直進走行中，車線中央から逸脱した時

車線中央からの逸脱量に応じて，車線中央方向へドライバが違和感を覚えない程度の力でモータによるステアリング支援を行う。

(c)　直進走行中，車線から逸脱しそうな時

車線から逸脱しそうな時は，eVDP の流量を下げてステアリングに重みを持たせて反力を与えると同時に，車線から逸脱する方向の操舵に対し，モータによる支援を与えることで逸脱を抑制する。

(d)　直進走行中，車両が車線から逸脱方向へ向いた時

車体が進行方向と平行になるまで，車線中央方向へモータによるステアリング支援を行う。ただし，大きく操舵しないよう操舵角･操舵速度を監視し，アシスト力を制限する。

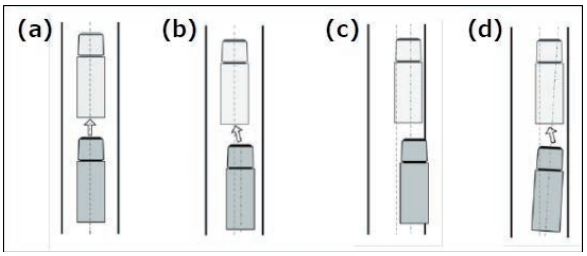


図 13　直進走行状況

また，カーブ路走行時は状況に応じて次の (e)～(g) の操舵支援を行う（**図 14**）。

(e)　カーブ路走行中

カメラシステムが検出する前方曲率と車速より目標ヨーレートを算出し，これに似合ったトルク値をモータより出力することで，カーブ路走行のステアリング支援を行う。

(f)　カーブ路 (外側) 走行中，車線から逸脱しそうな時

目標ヨーレートから算出されたトルク値のほか，車線逸脱量に応じたトルクを加算し，カーブ内側へ戻るようステアリング支援する。また，外側方向への操舵に対してはモータトルクに加え，eVDP 流量を下げることで反力を強め，車線逸脱を抑える。

(g)　カーブ路 (内側) 走行中，車線から逸脱しそうな時

カーブ内側に逸脱しそうな場合には，モータのアシスト力を弱め，セルフアライニングトルクによる進行方向への復元力でハンドル戻しを行う。更に大きく内側に逸脱する場合には eVDP 流量を下げ，反力を増すことで逸脱を回避する。

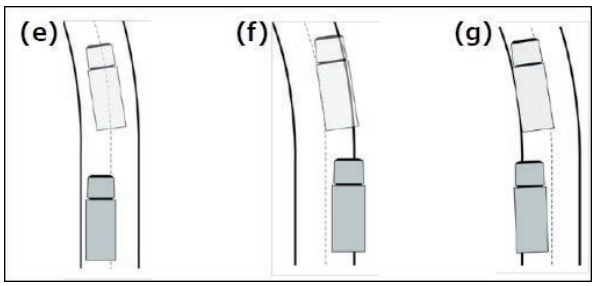


図 14　カーブ路走行状況

3.3.3　手放し検知

車線維持支援システムは手放し運転を助長させないため，手放し運転を感知すると，マルチディスプレイの表示と警報音でドライバへ通知する（**図 15**）。また，手放し運転が 25 秒間続いた場合は車線維持支援システムを解除するシステムとした。

マルチディスプレイ表示		警報音	内容
運転支援表示	LKA 表示		
		なし	車線維持支援システムが "ON" の状態で、ハンドルから手を離して 10 秒経過したとき
		"ピーピー"	車線維持支援システムが "ON" の状態で、ハンドルから手を離して 20 秒経過したとき
		"ピッピッピッ…（連続）"	車線維持支援システムが "ON" の状態で、ハンドルから手を離して 25 秒経過したとき

図 15　手放し通知

3.3.4　中低速時及び後退時の操舵アシスト機能

レーンキープアシストを行わない中低速時及び後退時には，油圧パワーステアリングに加え，モータによる操舵力アシストを行い，極めて軽い力でも操舵できるシステムとした。これにより，疲労軽減と車両進行方向誘導性の向上を行った。

3.3.5　操舵デバイスの開発

AHPS は，モータ，ECU，減速機，トルクセンサで構成されるサーボユニットを従前のパワステユニット上部に配置した構造で，レーンキープアシスト作動時の操舵力付与及び中低速時の操舵力アシストの機能を有している（**図 16**）。

eVDP は可変容量ポンプにソレノイドバルブを追加し，車速により供給流量を制御する機能を有している（**図 17, 図 18**）。

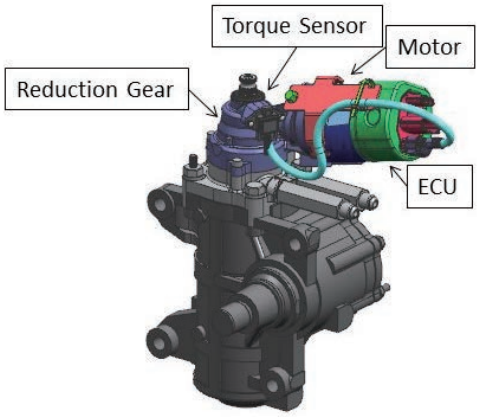


図 16　AHPS 構造

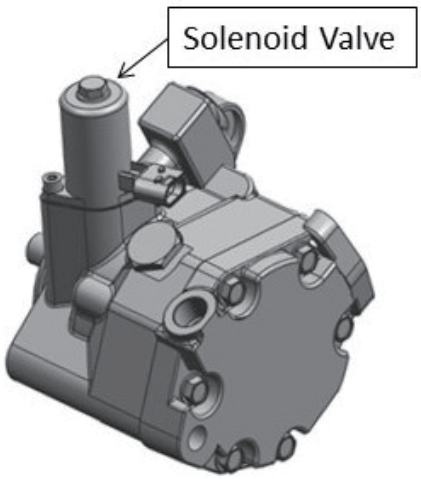


図 17　eVDP 構造

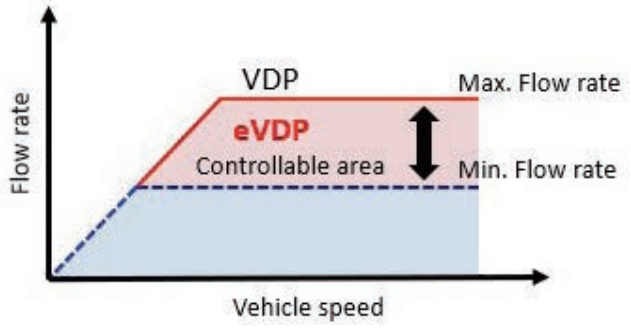


図 18　eVDP 作動イメージ

3.4　ブラインドスポットモニター

大型トラックにおいては各所のミラー等により死角の低減を図っているが，大きな車体であるが故，ドライバへの視覚支援として周辺監視システムは有効である。20 型ギガでは，自車周辺を監視し，ドライバ死角に対してのサポートを行うべく，ブラインドスポットモニターを開発した。

本システムは次の 4 つの機能に分類される。

- **左折巻き込み警報**
- **交差点警報**
- **出会い頭警報**
- **車線変更警報**

3.4.1 節でその機能を紹介する。

3.4.1　機能・特徴

(a)　左折巻き込み警報

自車側面助手席側で巻き込む可能性のある位置に歩行者と自転車が存在する場合にドライバへ通知，更に左折動作により衝突の危険が高まった場合に警報を行う（**図 19**）。

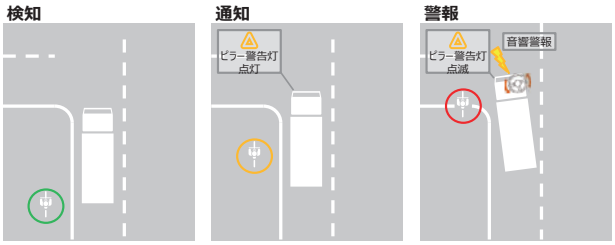


図 19　左折巻き込み警報概要

(b) 交差点警報

交差点での右左折時，自車進行路を推定し，衝突の可能性のある歩行者と自転車に対して，ドライバへ通知･警報を行う（図 20）。



図 20　交差点警報概要

(c) 出会い頭警報

見通しの悪い T 字路等への進入時，自車と公差する進路に車両またはバイクなどが接近した場合に通知，更に衝突の可能性が高まった場合に警報を行う（図 21）。

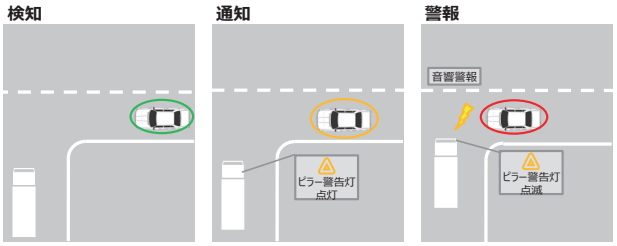


図 21　出会い頭警報概要

(d) 車線変更警報

中高速走行時，隣接車線を走行する車両とバイクを検知し自車に近づいた場合に通知，更に検知対象が存在する車線へ移る動作を実施した場合，警報を行う（図 22）。

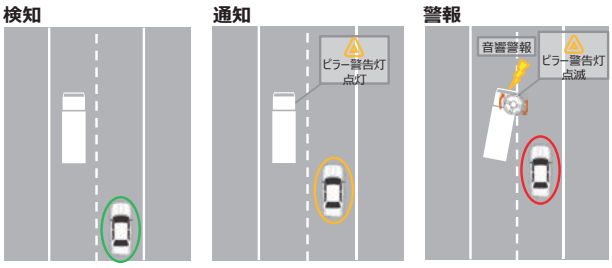


図 22　車線変更警報概要

3.4.2　ドライバへの通知

通知方法にあたっては，警報対象が接近し注意を向けて欲しい方向が判別可能，かつミラーも確認してもらえるよう，ピラーに LED 警告灯を配置した（図 23）。また，警報音は煩わしくなく，旋回中でも判別しやすいよう指向性を持たせ，左右のスピーカの鳴り分けを行っている。



図 23　ピラーLED 警告灯

通知タイミングについては，情報提供･警報発令後のドライバ反応時間と制動による停止必要時間も考慮しつつ，雑多な道路環境下における不要警報のリスクとのバランスを取りながら設定をした。

3.5　ドライバーステータスモニター

20 型ギガでは，近赤外カメラを使用して，顔の向き若しくは顔の位置・開眼度をとらえることで，脇見または居眠り状態を推定し，危険と判定された場合は，ドライバに注意喚起することで事故を未然に防ぐ「ドライバーステータスモニター」を導入した。

3.5.1　システムの概要

システム構成を図 24 に示す。

本システムは，主にドライバモニタリングカメラ（カメラモジュールとカメラ ECU），カメラがセンシングしたドライバ情報を元に居眠り・眠気または脇見等の判定を行う警報判定 ECU で構成される。判定結果は CAN 経由でマルチインフォメーションメータ（以下「メータ」と略す）と音声警報ユニットに通知，各々が連携して警報（音声と警告表示）を行う。加えて，警報判定結果は MIMAMORI に通知され，運行管理システムと連動することで付加価値を高めるものにもなっている。

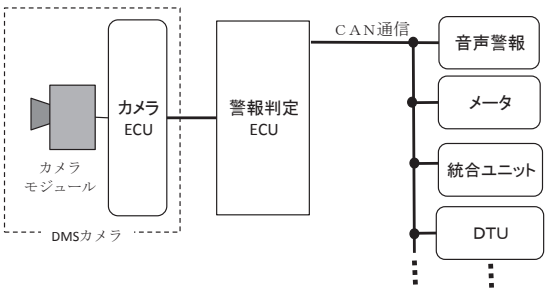


図 24　システムブロック図

3.5.2　カメラレイアウト

図 25 に示すようにカメラモジュールはピラー下部に搭載している。搭載要件として，顔検知性能（認識性能）の確保，前方視界への干渉なきこと，太陽光の影響をできるだけ排除すること，ドライバの運転操作（ステアリング操作等）によりカメラが遮蔽されないこと，があげられる。カメラをピラー内にコンパクトに収納で

きたことで，閉眼誤検知を抑制されるドライバの顔を下から見挙げる角度で撮像することができ，大半の運転シーンに対して外乱の影響を受けにくく，カメラのわずらわしさを抑えたレイアウトとすることができた。

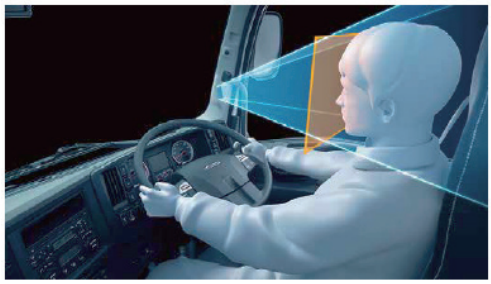


図 25　ドライバモニタリングカメラ

3.5.3　検知システム･判定ロジック

カメラの撮像画像からドライバの顔領域を検出，ディープラーニングなどを活用しながら，顔の輪郭と目･鼻･口などの特徴を検知する。ドライバの顔パーツ情報から顔の向き若しくは目の開閉眼度などを利用して，脇見及び居眠り･眠気判定を行っている。

(a)　脇見検知･判定

顔向き角度があらかじめ定めた閾値を超えている状態が継続した場合，「脇見」と判定し警報をおこなう（図 26）。閾値は標準で 2 段階有しており，一部の正常な顔向きと脇見領域の区別がつきにくい範囲も一定時間以上継続して超えた場合は「前方への注意不足」として警報を作動させている。これにより前方を見ながらディスプレイ或いは操作スイッチをちらちらと覗くような不安全な状態を注意喚起することも可能となった。

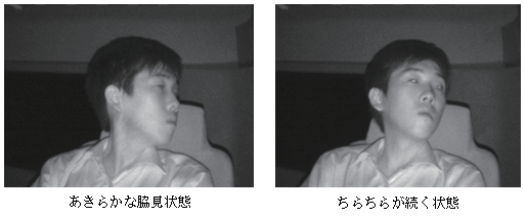


図 26　脇見判定

(b)　居眠り･眠気検知

目が閉じている状態が継続するような明らかな居眠りにくわえ瞬き及び瞼の動き等複数の指標を用いて，ドライバの眠気（覚醒度）を段階的に推定する方式を採用した。また眠気の中で運転を続けようとする場合，修正操舵がおろそかになり，ふらつきが発生する等車両挙動への影響も知られている。それらを組み合わせて統合的に判定するモデルを構築した。顔画像を使用することに起因する誤作動を低減しながら，精度よく眠気を検知してドライバに早期に休憩を促すことができ実用性を高めている。

3.5.4　ユーザへの注意喚起（警報手段）

本システムの警報は，各検知内容に応じてメータ内のディスプレイへの警告表示と警報音吹鳴を行う。更に音声警報ユニットを使用することでドライバへのわかりやすさを配慮した（図 27）。

	音声警報/警告表示	警報音
脇見	「前方に注意して下さい。」 安全アドバイス 前方注意	ピー
居眠り・眠気	「休憩しませんか。」 集中力低下	ピー

図 27　各警報表示と警報音

各警報の判定基準は多くの走行データを用いてチューニング･決定してきたが，警報タイミングがドライバの感性と合致しない場合，煩わしさを感じさせることなる。そのためマルチインフォメーションメータスイッチでドライバステータスモニターの機能の ON・OFF，警報音の音量，感度（高･低）を調整することを可能としている。

3.6　オートライト･配光可変型 LED ランプ

20 型ギガでは，視認性向上のため，照度センサと単眼カメラでの光源検知情報よりヘッドランプの自動制御機能を開発した（図 28）。

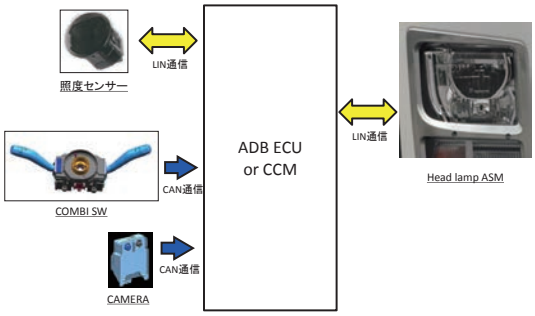


図 28　システム構成図

3.6.1　オートライト

薄暮時間帯に事故が発生する傾向にあるため，うす暗くなる前からヘッドライトを早めに点灯させることが事故低減に有効である。そこで運転者の視認性向上だけでなく，歩行者･自転車･他車両を含む周囲からの被視認性を高めるために，オートライトを採用した。

本システムは車内に搭載されている照度センサにて周囲の明るさを検知し，自動でヘッドライトとテールライトを点消灯する。明るさの方向などを解析し，橋の下及びトンネル内でも最適な制御を行う。

オートライトは次の 4 つの流れで制御を行う。

① コンビスイッチの情報が制御コントローラを介して，照度センサに送信される。
② コンビスイッチが「AUTO」になっているときに，照度センサで照度を読み取る。
③ 読み取った照度にあった電圧を出力する。
④ 出力された電圧から制御コントローラによりヘッドライトとテールライトを駆動する。

3.6.2　配光可変型 LED ランプ

大型トラックは，長距離及び夜間走行の頻度が比較的高い。そのため，夜間の視認性向上は車両の安全な運航に大きく寄与できる。夜間の視認性向上には，ハイビームの使用が効果的である。一方で，対向車或いは先行車がいる走行環境では他車を眩惑してしまうため，常時使用することができない。これを受けて，ハイビームの使用頻度を向上させることができる配光可変型 LED ランプをいすゞとして初採用した。

本システムは車両に搭載しているカメラにより，周辺車両の光源を検知し，ハイビームを部分的に点消灯させることで，他車を眩惑させることなく良好な視界確保を両立させることができる（**図 29**）。

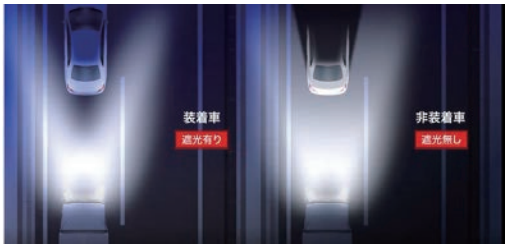


図 29　機能概略図

ハイビームの遮光制御を行うために，次の 2 つの流れで制御を行っている。

① 単眼カメラを用いて周辺車両の光源（テールランプ･ヘッドランプ）を検知する。
② 検知した光源位置をコントローラに送信し，LED ランプの 11 個の LED チップを光源位置に準じ，点消灯する。

周辺環境には他車以外に看板若しくはリフレクタ等があるが，走行環境の照度に応じて制御することで，他のドライバ視界を奪うことなく視認性向上することに貢献した。

4　おわりに

先進運転支援システムの開発は，各社日進月歩に発展しており，先進機能は気が付けば当たり前機能として取り扱われるような状況にある。そのような中，絶え間なく技術動向と市場ニーズをキャッチし，お客様に有用な機能をタイムリーに商品化していくことが設計者の使命となる。

今回の開発においては，これまで本稿にて述べたとおりシステムを刷新することで，新たな機能の追加のみならず従前機能の大幅なポテンシャルアップも成し遂げ，交通事故の低減，ドライバ負荷軽減に貢献するものができ上がったと信じている。

最後に，20 型ギガの先進運転支援システムの開発に携わった協力企業の皆様，いすゞ社内の関係部署の皆様の多大なるご尽力に深く感謝の意を表し，本稿の結びとする。

著　　者


矢野　裕士


結城　俊男

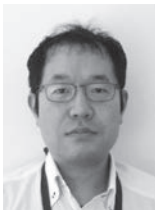

東條　智一


中嶋　淳一


大下　ワサンタ


青木　智治


金澤　吉平


前川　康之


高橋　尚基


津田　隆太


戸澤　慶昭


木下　博正


奥谷　純平

20 型ギガのシャシについて

Chassis of '20 Model GIGA

髙橋　正寛*
Masahiro Takahashi
大城　佑輔*
Yuusuke Ooki
小山内　裕**
Yutaka Osanai
清水　良明***
Yoshiaki Shimizu
林口　太一****
Taichi Hayashiguchi
大和田　克幸*****
Yoshiyuki Oowada

要　旨

2019 年 12 月に発売された 20 型ギガのシャシ開発の概要について紹介する。20 型ギガでは，情報通信を活用した故障予防システムの確立をはじめ，各種商品性の向上を実施した。

Abstract

Introducing the outline of chassis development of '20 Model GIGA released in December 2019.For the '20 Model GIGA, various product characteristics have been improved, including the establishment of a failure prevention system that utilizes information and communications.

1　はじめに

20 型ギガのシャシ開発は，プロジェクトの狙いである「安全技術」「情報通信」「環境技術」の 3 つのうち，「情報通信」に対応する開発と，商用車としての経済的合理性の追求，ドライバ負荷軽減に貢献するための開発を行った。その中で主要な開発項目であった次の 3 つのシャシ開発について紹介する。

- タイヤ空気圧監視による車両稼働サポート技術
  （情報通信を活用した故障予防システムの確立）
- スーパシングルタイヤによる大幅な軽量化
  （経済的合理性の追求）
- キャブサスペンション改良による乗心地の向上
  （ドライバ負荷軽減）

2　タイヤ空気圧監視による車両稼働サポート技術

2.1 現状分析

近年の物流業界は「小口貨物の増加によるトラック積載率の低下」,「運送ドライバの高齢化」,「CO_2 の削減」といったさまざまな課題を抱えている。一方，商用車メーカは物流業界の課題を解消する商品を提供すべく，商品力競争を強いられており，20 型ギガのシャシ開発では「稼働時間の最大化」及び「経済的合理性」に注力した開発に取り組んだ。

まず,「稼働時間の最大化」の障壁となる路上故障の現状について分析を行った結果，タイヤに関する路上故障は全体の上位 3 番目に位置することを認識した。具体的にはタイヤパンク（空気が抜ける）及びタイヤバーストであり，タイヤ空気圧に関する現象である。

次に,「経済的合理性」として挙がる課題は「積載量」と「燃費」である。そのうち,「燃費」については，多くの装置の中でもタイヤ（転がり抵抗）の寄与は高い。タイヤの転がり抵抗は,「タイヤの構造」及び「空気圧」で決まり,「燃費」にはタイヤ空気圧管理が重要である。一般的には大型トラックのタイヤ空気圧が 100 kPa 低下すると，燃費で約 1.5 %影響する。

2.2 開発項目の決定

現状分析から,「タイヤ空気圧」が「稼働の最大限維持」及び「経済的合理性」に重要であることを認識した。これらタイヤ空気圧に関する課題を解決するソリューションとして，20 型ギガにて，タイヤ空気圧を監視できる「タイヤ空気圧モニタリングシステム」の開発に取り組んだ。システムの構成は各タイヤに空気圧・温度センサを設定し，そのセンサから発信される情報を車両に取付けた受信機が受信し，車両メータへ伝達する（**図 1**）。

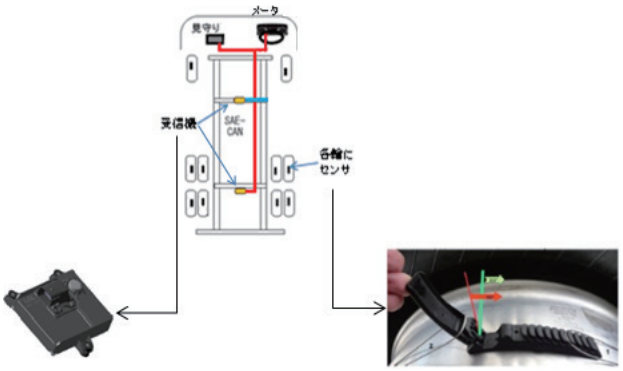


図 1　タイヤ空気圧モニタリングシステム構成

*車両設計第二部　　**電装・制御開発部　　***大型商品企画・設計部　　****シャシ設計第二部
***** CAE デジタル開発推進部

2.3 システム構想

20 型ギガのタイヤ空気圧モニタリングシステム構想として重要視したことが 2 つある。「(1) みまもりと連携することでの稼働サポートサービス」と「(2) メータ表示させることでのユーザの使いやすさ」である。

まず「(1) みまもりと連携することでの稼働サポートサービス」だが，ドライバ人材不足及び高齢化の現状があるため，タイヤ路上故障時のドライバ負担を低減させることを狙い，単にアラートを点灯させるだけのシステムではなく，タイヤ故障情報をみまもりシステムを通じて，運送業者へ通知するシステム（**図 2**）を構想した。

従来の車両はタイヤ内圧の低下があった場合，ドライバが車両の挙動変化を察知するかタイヤ空気圧を点検するまで低内圧走行の状況になる。また，単純なテルテールを用いた車両の場合はタイヤ内圧低下の察知はできるが，ドライバ自身が発生したトラブルへ対処する必要がある。

一方，20 型ギガのシステムは，みまもりに各車番単位で各輪に装着するタイヤサイズを認識させ，タイヤ故障を認識した時点で，運送業者は車両の位置・故障したタイヤサイズを認識できる。

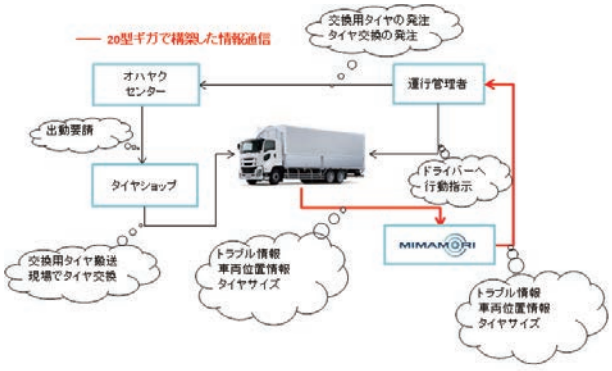


図 2　情報通信システムとの連携

次に「(2) メータ表示させることでのユーザの使いやすさ」だが，タイヤ空気圧のトラブルには空気圧低下の度合い，低下の速度，タイヤの温度上昇など，さまざまなケースが存在する。それぞれのケースで故障モード，緊急性が異なるため，ユーザが視覚的に認識できるようメッセージとカラーにて対応した（**図 3** 及び **図 4**）。

2.4 システム構想実現のための制御開発

受信機は，タイヤ空気圧センサが発信する電波信号を検知し，CAN 信号に変換してメータマルチインフォメーションディスプレイに空気圧を表示する。ギガ向けの特徴として，受信機を最大で 3 個接続することができる仕様とした。

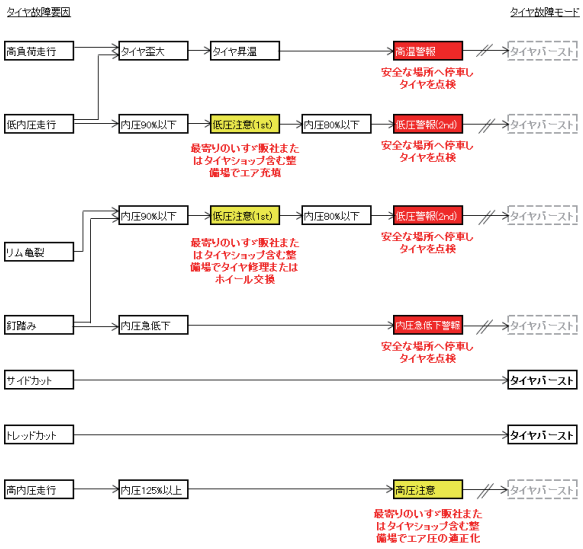


図 3　タイヤ要因 - 故障モード分析

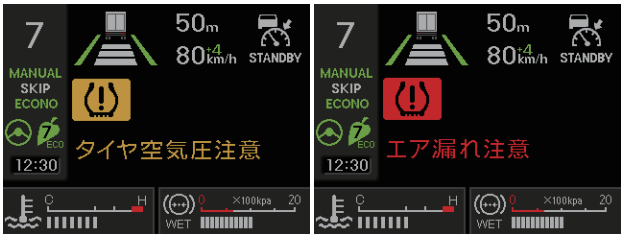


図 4　メータ表示一例

2.4.1　受信機の通信仕様

受信機がタイヤ空気圧センサの電波を受信できる範囲は半径 3 m 以内を目安とし，車両により受信機を 1 個または 2 個設置した。

受信機間は無線接続とし，メータ等と CAN 通信で接続する受信機をひとつにまとめることで CAN 通信仕様の簡略化を図った。(**図 5**)

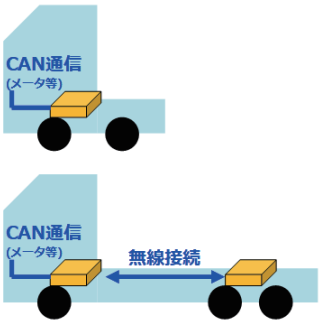


図 5　無線接続による CAN 通信の簡略化

2.4.2　トレーラ自動認識機能

車両側とトレーラ側のメーカが同一な場合，トレーラ側の受信機を自動認識し無線接続する機能を追加した。複数のトレーラを付け替えて使用してもその都度自動認識する仕様とし，利便性向上を図った（**図 6**）。

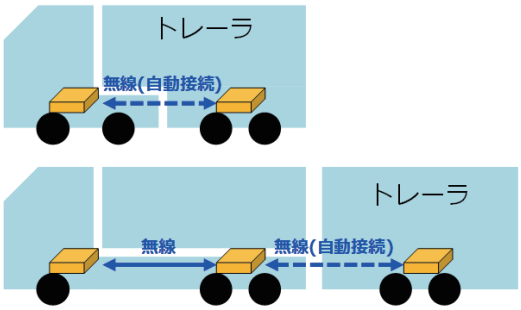


図 6　トレーラ側受信機との自動接続

2.5 今後の課題

「タイヤ空気圧モニタリングシステム」は複数の受信機，及び各輪に搭載する空気圧・温度センサを必要とし，また商用車へはまだまだ普及していないため，高価な装置であるのが現状である。

一方，海外では「タイヤ空気圧モニタリングシステム」の商用車への装着義務が決まっている国もあり，また UN 規則でも装着時の要件が商用車へも対象拡大される議論が進んでいる。今後，法規対応及び経済的合理性への価値提供として普及させるためには，コスト低減が課題となる。また，さまざまな車種への開発を進めるにあたっては，開発効率化として，受信性能及び電波妨害性能についての解析手法の確立も課題である。

3　スーパシングルタイヤによる大幅な軽量化

3.1 現状分析

大型トラック市場では，経済的合理性を理由に，タイヤの摩耗ライフが重要視されており，摩耗ライフの維持・向上のため，ゴムボリュームを低減することが困難で軽量化が厳しい状況にある。

一方，ディスクホイールは過去から軽量化を続けているが，ホイール強度の制約から更なる軽量化が厳しい状況にある。

このような軽量化が厳しい状況を乗り越えるため，大幅な軽量化が可能なスーパシングルタイヤ（**図 7**）装着車両の開発を行った。

しかしながら，以前よりスーパシングルタイヤには特徴故に懸念されることが存在した。ダブルタイヤの場合は，1 軸にある左右計 4 輪のうち，一輪のタイヤにエア漏れがあった場合も緊急事態回避の走行は可能だが，スーパシングルタイヤの場合は，1 軸にある左右計 2 輪のタイヤのうち，一輪のタイヤにエア漏れがあった場合は走行不可能ということである。その懸念を一早く察知し，走行不可能な故障モードを予防する装置である「タイヤ空気圧モニタリングシステム」とセットで展開することで，以前より懸念されていたことを解消し，商品化した。



図 7　ミシュラン 455/55R22.5 XZY3
（画像提供：日本ミシュランタイヤ㈱）

3.2 シャシ重量の低減（軽量化）

設定したスーパシングルタイヤは次の 3 サイズ。

-455/55R22.5（11R22.5）
-445/50R22.5（275/80R22.5）
-385/55R22.5（275/80R22.5）

※ () 内は動半径が近似しているタイヤサイズ

アルミホイール装着のダブルタイヤ仕様に対し，-70～130 kg/ 軸の軽量化を実施（**図 8**）。

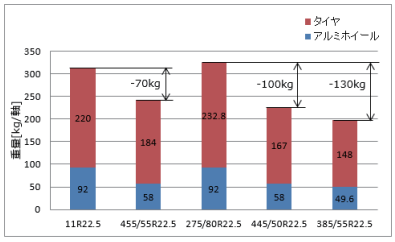


図 8　軸当りの重量変化

3.3 運動性能

フロントリヤタイヤともに 20 型ギガ標準設定の 275/80R22.5 タイヤをコントロールタイヤとし，455/55R22.5 の運動性能比較評価（**図 9**）を実施した。コントロールタイヤに対し，乗心地総合はやや良好，操縦安定性総合もほぼ同等を有することを確認した。

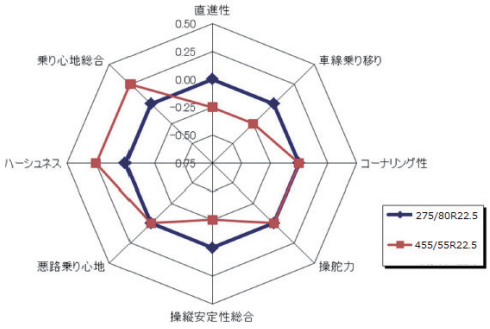


図 9　スーパシングルタイヤ運動性能評価

3.4 今後の課題

スーパシングルタイヤは 20 型ギガの一部車型に採用したが，大幅な軽量化アイテムとして有効であり，ギガでの展開車型拡大及びフォワードへの採用を検討する。

4　キャブサスペンション改良による乗心地の向上

大型トラックには，乗心地確保のため，スプリング及びショックアブソーバ等から構成されるキャブサスペンション（以下,「キャブサス」と略す）が装備されている（**図 10**）。20 型ギガでは「つかれない車」の実現を目指し，高機能シートの採用とともにその土台となるキャブ本体への入力低減を図るべく，キャブサス特性の改善を行うこととした。

一方で開発期間は限られており，その中で確実な効果を得るため，次のステップにて検討を行った。

1.　改善対象領域の把握
2.　特性検討と効果検証（CAE 活用）
3.　具体化と更なるチューニング

4.1～4.3 節に詳細を記載する。

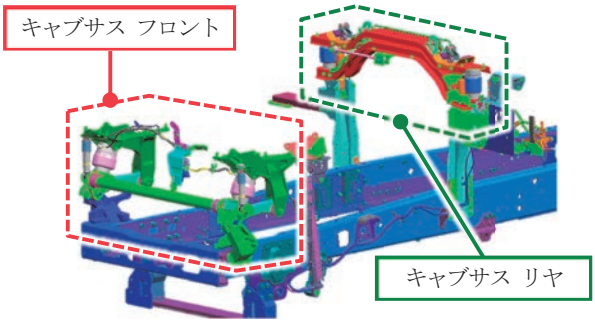


図 10　キャブサスペンション

4.1 改善対象領域の把握

「乗心地」と一言で表される性能には，多様な現象が含まれている。どの領域を改善すれば効果的に乗心地向上が達成できるか見出すため，お客様の協力を得て市場実路での入力を測定し，分析を行った。

図 11 は，実路でのキャブへの入力加速度を周波数解析したものである。その結果より，2 Hz 付近（ばね上共振領域）の上下加速度が最大であることが示され，この領域での加速度低減を乗心地改善の最優先事項とした。また，想定すべき加速度の最大値についても把握することができた。

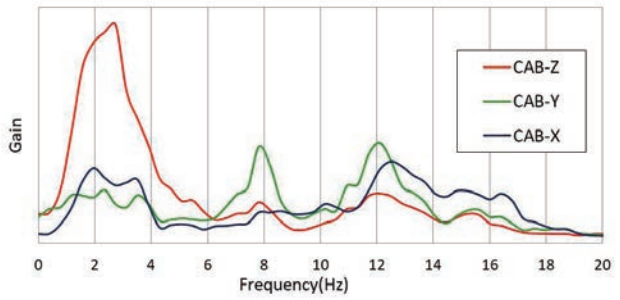


図 11　実路入力の周波数解析結果

続いて，大型車まで加振可能なロードシミュレータを使用し，この入力領域におけるキャブの挙動を測定した。その結果，従前車では市場の最大入力付近において，上下方向に鋭い加速度ピークが生じることを確認した（**図 12**）。

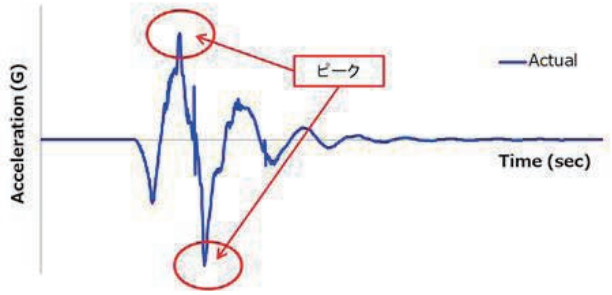


図 12　ばね上領域のキャブ加速度

4.2 特性検討と効果検証（CAE 活用）

この加速度ピークは，キャブサス内部のストッパラバーが強く接触することで生じており，低減には上下ストロークの延長が効果的であると判断した。延長量の検証にあたっては，車両構造を詳細に模した機構解析モデルを活用した（**図 13**）。十分な解析精度を確保するため，高精度に実測したキャブの質量特性をモデルに反映するとともに，空気ばねを始めとした各部の非線形特性及びリーフスプリングの板間摩擦の影響も模擬できるものとした。

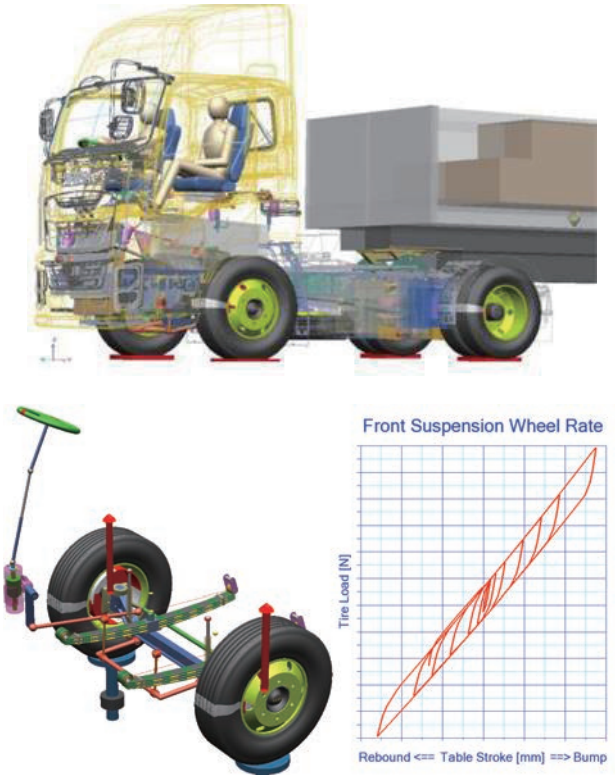


図 13　機構解析モデル

CAE にてロードシミュレータ入力の再現によるケーススタディを実施し，フロント側の伸び側，圧縮側ともラバー接触までの距離（ストッパクリアランス）を従前比約 2 倍（**図 14**）とすることで，十分に加速度ピークが低減される結果を得た。続いて実車にて評価を行い，CAE で得られた効果を確認した（**図 15**）。

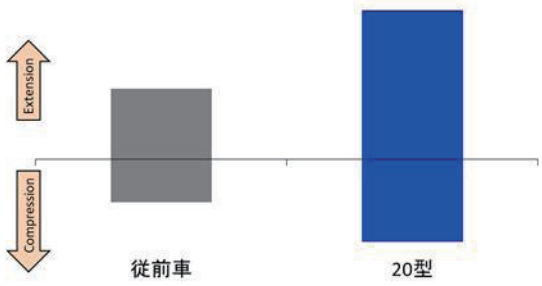


図 14　フロントストッパクリアランス

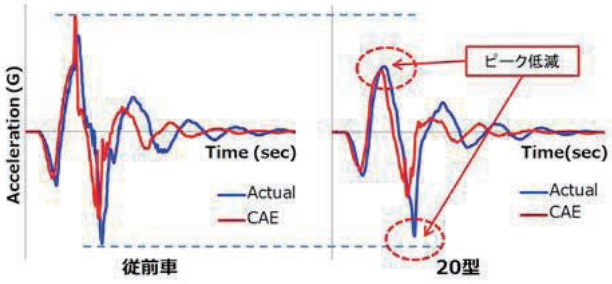


図 15　キャブ加速度の解析･実機比較

4.3 具体化と更なるチューニング

キャブサスのストローク増加は，乗心地を大きく改善する一方で，周辺装置との相対的なクリアランスの確保が課題となる。また，キャブとエンジンとの十分な余裕代を確保するため，圧縮側ストロークの増加分だけキャブ中立位置を持ち上げる必要がある。

これらに対応するため，キャブとシャシを繋ぐコントロール系統及び隙間を塞ぐカバー等は全面的な見直しを行い，動的干渉の回避及び遮蔽機能についての品質を確保した。一方で性能向上による車両コスト上昇は最小限とすべく，バルブ類をはじめとした個々の構成部品について，機能と耐久性を確保しながら合理化を行った。

最終仕様のチューニングは実路同様の複合的な入力を再現するため，北海道試験場のテストコースにて行った。ストロークの余裕が生まれたことにより，チューニングの自由度も拡大した。特に低速域の伸び側減衰力を下げることでソフト感が向上し，20 型新ハイルーフ化による重量増加に対処しながら，更なるフィーリングの改善を達成した（**図 16**）。

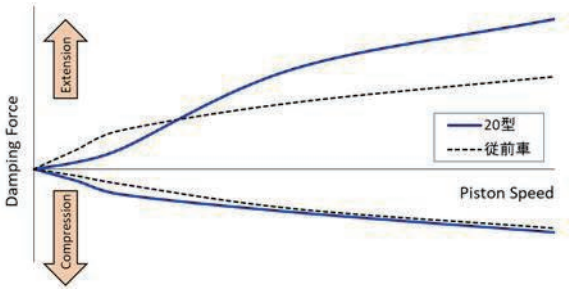


図 16　ショックアブソーバ特性

乗心地は，乗務環境改善の市場要望を背景に，競合他社においても年々向上が図られている分野である。今後の課題としては，CASE の発展も見据えた目標レベルの設定，そのための徹底的なデータの蓄積，及びそれらを分析する手法の構築（機械学習等の活用）が挙げられる。大型車における快適性ナンバーワンを実現するため，継続して研究･開発を続けていく。

5　おわりに

20 型ギガのシャシは「安全技術」「情報通信」「環境技術」の 3 つのうち，「情報通信」に対応した開発とともに，経済的合理性の追求，ドライバ負荷軽減に貢献する開発ができた。

最後に 20 型ギガの開発にあたり多大なる御支援・御協力をいただいた各協力企業及び社内関連部署の方々に本誌を借りて深く感謝の意を表します。

今後もギガのシャシ開発は，See テクノロジーを基本指針とし，変化する内部・外部環境に対応しながら，顧客が真に必要とする価値を提供できる研究開発を進める所存である。

著　　者


髙橋　正寛


大城　佑輔


小山内　裕


清水　良明


林口　太一


大和田　克幸

20 型ギガのキャブについて

Cab of '20 Model GIGA

折井　拓*
Taku Orii
馬場　皓平*
Kohei Baba
猪股　伸一*
Shinichi Inomata
岡田　賢人*
Kento Okada
齊藤　彰子*
Akiko Saitou
水城　崇*
Takashi Mizuki
松元　匡宏*
Tadahiro Matsumoto

要　旨

20 型ギガは,『もっと走れる車を目指して,「ぶつからない」「つかれない」「こわれない」機能を進化』させる開発目標のもと，キャブの改良を行った。

Abstract

2020 model "GIGA" has been changed the cabin for the purpose of development goals "Evolution of the functions of 'No collision', 'No tired' and 'No break'".

1　はじめに

物流効率の向上及びドライバ不足といった市場環境への対応として，ドライバの厳しい労働環境を改善するため「つかれない」を目指した新設計のハイルーフと，高機能シートの搭載。そして先進安全装備による「ぶつからない」機能を実現するため内外装部品を刷新した。

2　開発のねらい

新ハイルーフ＆専用大型ヘッダコンソール，高機能シート，ホット＆クールボックスの採用で快適な運転環境の実現を目指した。加えて先進安全装備として可変配光型 LED ヘッドランプを採用。ブラインドスポットモニター，ドライバーステータスモニター等に対応した内装外装備によってドライバの疲労軽減，安全運行への貢献を目指した。新型ギガの外観を示す（**図 1**）。



図 1　20 型ギガ外観

3　20 型ギガの改良点

3.1　快適な運転環境の実現

新ハイルーフ＆専用大型ヘッダコンソールにてクラストップの室内高と収納容量を実現した。シートには長距離・長時間運行での快適な乗り心地を実現する欧州で高い実績を誇るイスリングハウゼン社の高機能シートを採用。またエアコンを使用していなくても，保冷／保温が可能なホット＆クールボックスを新たに設定し運転疲労軽減と快適な運転環境を実現した。

3.2　先進安全性能の向上

国内トラックでは初めてコーナ方向に集光する電子スイブル制御を搭載した可変配光型 LED ヘッドランプを採用した。また横断歩行者まで検知範囲を拡大したプリクラッシュブレーキ，全車速域に対応したミリ波車間クルーズ，ブラインドスポットモニターを実現するために，バンパ及びフロントパネルにミリ波レーダを設置し，インパネ上面には標準と広角レンズのカメラを新たに追加装備した。更にドライバーステータスモニターとして脇見, 居眠り, 姿勢崩れを検知し, アラーム, 音声, 警告表示でドライバに注意喚起するため，ピラー部にカメラを設置し検知性能と視界を両立することで安全性能を向上した。

*車両設計第三部

4　ボディ

4.1 ボディ開発のねらい

ハイルーフを新規設計し，国内大型商用車クラストップの室内空間と燃費向上のための空力性能最適形状との両立を目指した。車室内 VOC（揮発性有機化合物：Volatile Organic Compounds）に配慮してルーフの材質はスチール製とし，ルーフとボディの接合は生産性に配慮した工法とした。

ベースとなる従前車のボディを変更せずにルーフバリエーションの追加が可能な構造としつつ，乗員保護性能及びねじり剛性を向上させながら，容積比で従前車以上の軽量化を目指した。

4.2 居住空間と空力性能，意匠性の両立

クラストップの室内空間を達成するため，保安基準における車両全高の最大寸法からハイルーフ高さを決定した。これにより室内中央部で余裕を持って立ち上がれる室内高さを確保することで，立ったままの姿勢での着替えと室内移動を可能とし，居住空間と快適性を向上した。

ヘッダコンソールの容積を最大限確保しつつ空力性能を向上させるため，CFD（数値流体力学：Computational Fluid Dynamics）及び風洞実験を活用してハイルーフ前面の形状を決定した。ヘッダコンソールの必要領域及びスチールパネルの成形性を条件に，モーフィングにより Cd 値（空気抵抗係数：Constant Drag）が最適となる基本形状を求めることで，従前車のエアデフレクタ装着時と同等の空力性能を達成した。

意匠性と外観品質を向上するため，ルーフ前面から上面にかけてビード形状を付けず，SPOT 溶接も使用しない構造を採用した。ビード形状を付けずに NV 性能及び面剛性を確保するため，トポロジー解析を用いて補強部材の最適配置を行った。SPOT 溶接の打痕による外観品質の低下を防ぐため，外板パネルと補強材との接合には意匠面全面でマスチックシーラを採用した。これらの意匠性と外観品質に配慮した構造の採用により，大型車にふさわしい堂々としたスタイリングを実現した（**図 2**）。

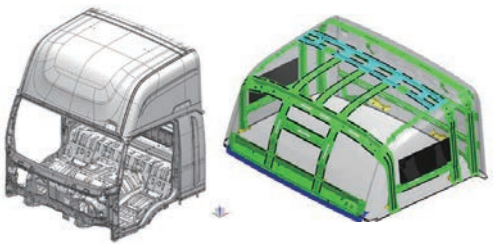


図 2　キャブ全体像と補強部材配置

4.3 接着による接合構造

既存の量産設備での生産性を考慮した結果，ボディとハイルーフの接合には接着工法を採用した。また，衝突時など過大な入力が加わった際のハイルーフの接合強度を保証するため，ボルトによる機械締結を併用した。

投資及び品番削減の観点から，ルーフ以外のボディ側部品は変更せず，つなぎ部品の変更のみでハイルーフを追加設定できるようにするため，接合部にはドリップレール構造を採用した。また，全周に接着剤を塗布できるよう，ヘッダアセンブリ及び背面側ドリップレールを新規設定した。

ボディとルーフ双方の部品バラつきを吸収しつつ水密・気密性を確保するため，ドリップレールとハイルーフフランジの間に一定の設計隙を設け，塗布した接着剤を潰して充填する構造とした。また，接着剤の潰れ高さを一定に保つため，ボルトの締結方向を上下方向に設定し接着剤の潰れ方向と一致させた（**図 3**）。

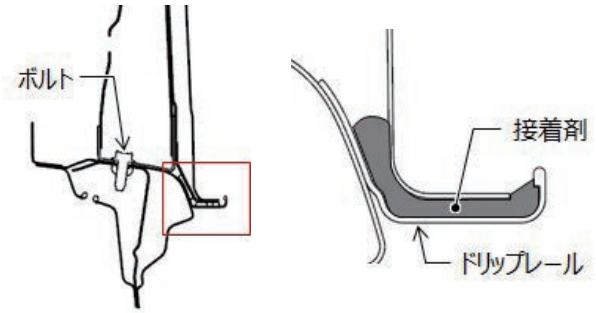


図 3　接着部の構造

4.4 乗員保護性能の向上

横転時の車体強度を確保し乗員保護性能を向上するため，キャブ上部からの荷重をシャシフレームに伝達できるよう荷重伝達経路を設定し変形モードをコントロールした。

荷重入力初期はハイルーフの変形を促進させ，以降は均等に荷重を伝達できるよう，後端部への補強部材の追加と各補強部材に座屈形状を設定することで大変形時の乗員保護空間を確保した（**図 4**）。

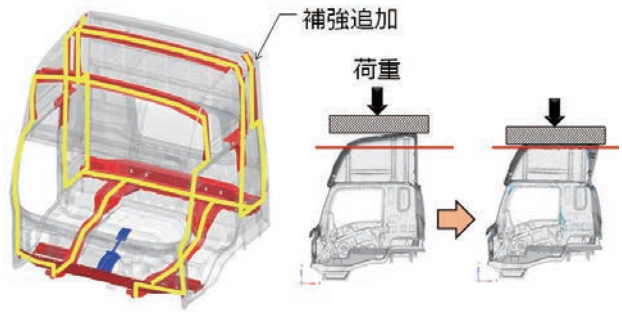


図 4　荷重伝達経路と変形モード

4.5 ねじり剛性･重量

キャブ室内の静粛性及び操縦安定性を向上させたるため，キャブねじり剛性を向上させた。

ハイルーフ高さの拡大，乗員保護性能向上のための補強部材追加を行ったが，トポロジー解析等を活用することで重量増加を最小限に抑え，容積に対する重量比率としては従前車以上の軽量なボディを実現した（図 5）。

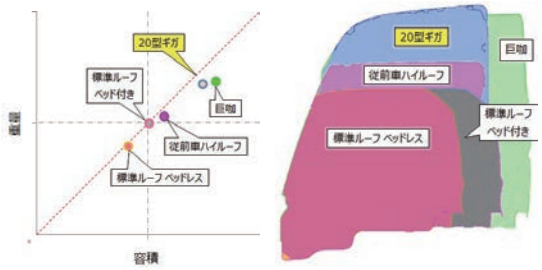


図 5　キャブ容積と重量

5　大空間にマッチしたインテリア

頭上空間が大幅に拡大された新型ギガハイルーフ車に乗り込むと，眼前には圧倒的な存在感を誇る大型ヘッダコンソールが迫り，それとつながる壁面にはプリント柄表皮で加飾されたカバーが優しく出迎える。更に室内を見渡すと，利便性と快適性に特化した新装備に目が留まる。

これらの装置には，各々に開発の狙いと技術的な優位性があり，ここではその内容について紹介する。

5.1 大型ヘッダコンソール

ヘッダコンソールの開発コンセプトは，大容量，使い勝手の良さ，安全性能の高さ，強固な軽量ボックス結合構造，外観合わせ品質の良さ，室内照明の演出である。

5.1.1 収納ボックスの分割法と安全性能への配慮

乗員の着座位置を考慮すると幅方向 3 分割，上下 2 分割とする 6 分割構造が理想で，幅方向では中央部を最大とし，上下の分割位置は女性ドライバがボックスの底部を視認できる高さを基準とすることで，使い勝手と容量確保の両立を図っている（図 6 及び図 7）。



図 6　ヘッダコンソール正面写真



図 7　ドライバ着座位置断面図

また，安全性の観点から，乗員が着座しない下段中央部以外はすべてリッド付きとしており，リッドは車両前突時でも，ロック解除によるリッド解放が発生しないロック機構を採用している。

5.1.2 強固な軽量ボックス結合構造

軽量で強固なヘッダコンソールを生み出すためには，各ボックス単体の強度確保とボック間の強固な結合構造が必要であり，剛性は開口部周りの形状剛性と材料剛性で決まる。

よって，本開発ではその断面形状を全周にわたって山折りコの字形状とし，樹脂材料にはガラス繊維含有材を採用している。更にボックス間の結合剛性を高めるため，開口端部を重ね合わせ結合とするとともに，車体への結合座面は，上部をボックス同士のは（嵌）め合い勘合，下部をブラケット結合とすることで全体重量に負けない強度を有している（図 8 及び図 9）。

その結果，他車で採用しているようなボックス裏面をフル結合した鉄製アングル材が不要となり，全体重量として軽量化につながっている。

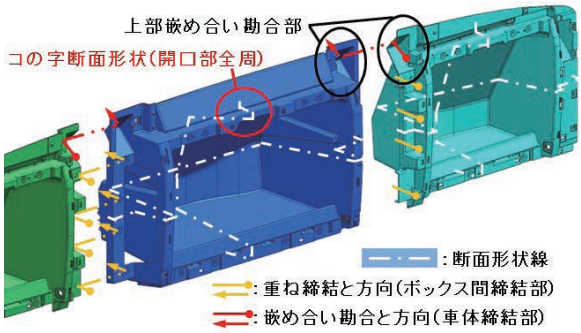


図 8　ボックス間結合を示す斜視図

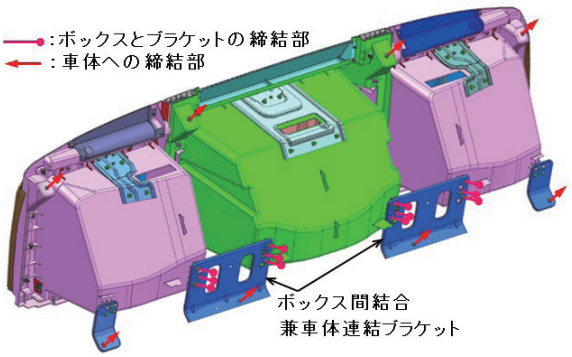


図 9　ボックス間ブラケット結合を示す斜視図

5.1.3 大型ボックスでの合わせ品質向上策

合わせ品質を向上させるためには，大小に拘らず，単品精度の向上が重要となる。

一方，ボックスの開口幅を大きくするには，上述した剛性確保のコの字断面幅を極力狭くする必要があるが，その弊害として成形時の冷却不足が，壁面変形による精度不良を発生させる。

この問題に対しては，コの字断面の一部に開口を設けることで解決が可能となる。その理由は，開口設定が金型断面の拡大を生み，冷却管をより製品の先端部に配置できるようになるため，冷却効率が上がり，成形時の変形が抑えられるというわけである（**図 10**）。

上記以外にも合わせ基準の駆使により，品質向上を図っているが，本報ではその内容記載を省く。

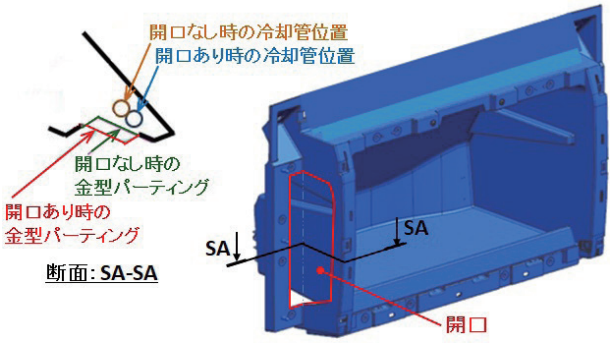


図 10　金型冷却管の位置効果を示す図

5.1.4 ひとつの光源でふたつの照明を演出

ヘッダコンソールに組み込まれている照明としては，ボックス内を照射する庫内照明と室内天井部に沿って室内を照射する間接照明，直射光で室内を明るく照らす直接室内照明がある。

中でも庫内照明と間接室内照明は，ひとつの光源をボックス上面に組込み，ふたつの用途に対応できる配置構造とすることで，コストと部品配置スペースの削減を図ることができた。

また，光源とレンズカバー間に適度な距離を設け，光の輝度をレンズカバーの乳白色化で和らげることで，まろやかな照明演出を可能としている（**図 11**）。

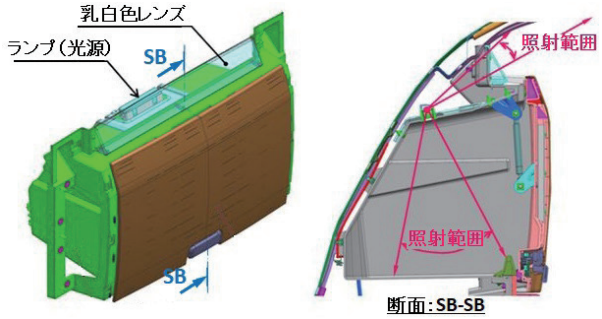


図 11　ボックス内埋め込み照明のレイアウト図

5.2 ホット & クール ボックス

15 型ギガから設定を廃止していた本装置であったが市場からの要望が高く，新型ギガより復活をさせた。開発コンセプトとして，従前車より収納容量を増やすこと，使用温度帯を広げることを目標に掲げ開発を行った。容量拡大については，従前車の空きスペースを有効活用し，500 ml ペットボトル 2 本収納可能なサイズを実現した（**図 12**）。



図 12　ホット & クールボックスのレイアウト図

使用温度帯の拡大を実現するにあたり，温冷方式の種類を調査した結果，主にダクト式，コンプレッサ式，ペルチェ式が挙げられた。それぞれの特徴をこれから述べる。ダクト式は HVAC（空調システム：Heating, Ventilation, and Air Conditioning Unit）を介し温冷風をボックスに導く構造であり，他社を含め採用例が多い。一方，コンプレッサ式は使用温度帯の範囲は最も広い。しかし，いずれの方式も既存車型からの設

定となると変更規模が大きくなる。それらに対し，ペルチェ式は素子に電流を流すことにより両面間で熱が移動する構造であり，車両の空調設定に関連無く保温保冷が可能かつ既存車型からの変更規模も最小限に抑えられる。そのため，今回の新型ギガでは性能及び変更規模で優位性のあるペルチェ方式を採用した。

次に断熱性能を維持するための構造上の工夫を述べる（**図 13**）。効率的な熱移動を実現するため，ボックス内部の材質は熱伝導率が高いアルミニウムを採用した。また，特にコーナ部の密着性を上げて空気の層を作らないことが熱を逃がさない重要な要素であったため，発泡断熱材を設定し目標としていた断熱性能を達成できた。

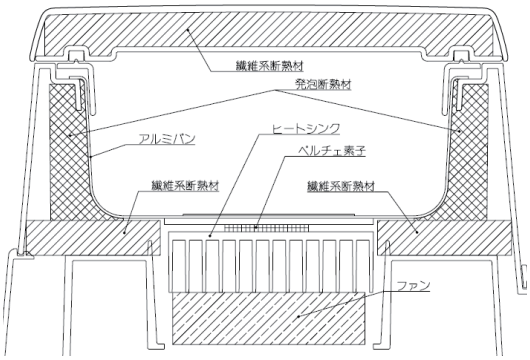


図 13　ホット＆クールボックスの断面図

5.3　その他 室内装備の充実

車格に見合う高級感の達成と環境への配慮を両立させるため，内装トリムは表皮＋リサイクル基材のトリムを採用した。リサイクル材の課題である外観品質については，表皮設定を行うことで解決が可能となる。これにより従前車に対してリサイクル材の採用が拡大できた（**図 14**）。

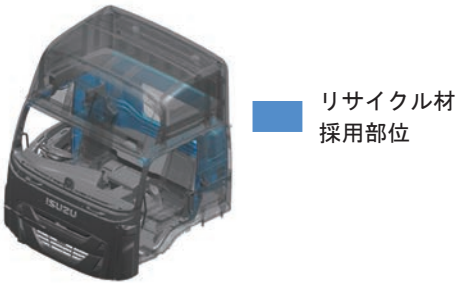
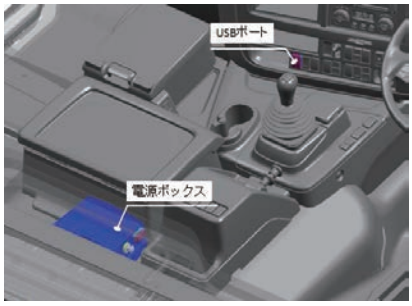


図 14　リサイクル材の採用部位

更に，電源及び充電箇所の充実を図り，インパネ部に USB ポート（24 V x 1）追加に加え，シート後方のスペースに電源ボックスを追加した。これにより各種電源確保に際し，運転席のみならずベッド部からのアクセスも容易となる。その他，新ハイルーフの空間を活かし，ルーフサイドポケットとベッドサイドポケット，背面にはリヤパイプハンガーを設定し，収納容量及び利便性を向上させている（**図 15**）。



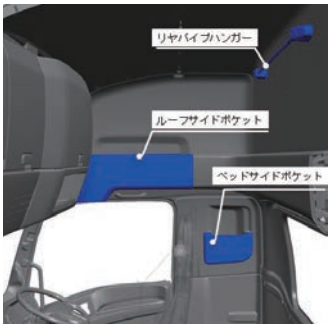


図 15　利便性向上の主な装備

5.4　先進安全装備の充実

新型ギガでは，右左折時の自転車及び歩行者の巻き込み，或いは車線変更時に警告を促すブラインドスポットモニター，脇見と居眠り等を検知して音声と警告表示でドライバに注意喚起するドライバーステータスモニターを新規設定した。各装置で配置の工夫を挙げると，ブラインドスポットモニター用の警告灯は運転視界を妨げないようにピラー内とし，アウトサイドミラーと同時に視認できる高さとした。ドライバーステータスモニター用のカメラは，ステアリングなど周辺部品がカメラの画角に入ることなくドライバの顔全体を捉えられるようにピラー部に設定した。これらの最適配置により検知性能と視界を両立し安全性能を向上させている（**図 16**）。



図 16　先進安全装置の配置

6　高機能シート採用

新型ギガでは，市場からの要望を反映し，疲労軽減と快適性及び座り心地の良い機能を装備したイスリングハウゼン社製シートを採用した（図 17）。



図 17　高機能シート

6.1 疲労軽減

まず疲労軽減では，シートの調整機構を追加することで，乗員それぞれの体格にシートを合わせ，体への負担を軽減させた。例えば，シートバックにはエア式のサイドサポートを追加した（図 18）。乗員の体格及び好みに合わせて無段階で調整可能とし，車両の横揺れに対しても乗員の支持を強化した。また，シートクッションは従来よりも長さを短くし，クッションスライドを追加することで，小柄乗員の運転操作を確保しつつ，大柄乗員の大腿部の支持を確保した（図 18）。

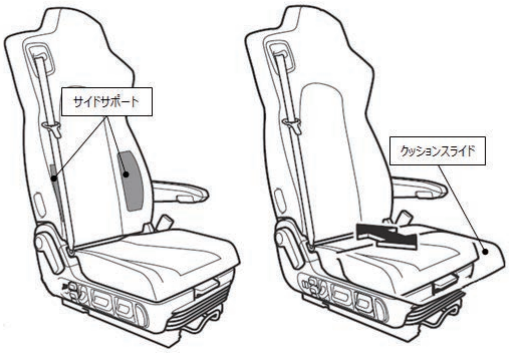


図 18　サイドサポートとクッションスライド

6.2 快適性向上

運転環境をより快適にするために，2 つのアイテムを追加した。一つ目はベンチレーションである。シートバックとシートクッションそれぞれにファンを追加し，風量調整を 3 段階とした。これにより夏場だけではなく，長時間の着座による不快感を軽減させた。

2 つ目はシート内蔵シートベルトである。シートベルトの固定をシートに移設することで，シートの動きにシートベルトが追従し，ラップベルトによる腹部の窮屈感と，ショルダーベルトによる頸部の煩わしさ感を低減させた（図 19）。



図 19　腹部の窮屈間と頸部の煩わしさ感の低減

6.3 座り心地向上

座り心地の向上を狙い，エアサスペンションに，減衰力を調整できる可変ダンパを追加した。これによりさまざまな路面環境に応じた減衰力調整が可能となり，上下加速度低減により振動吸収性を向上させた（図 20）。

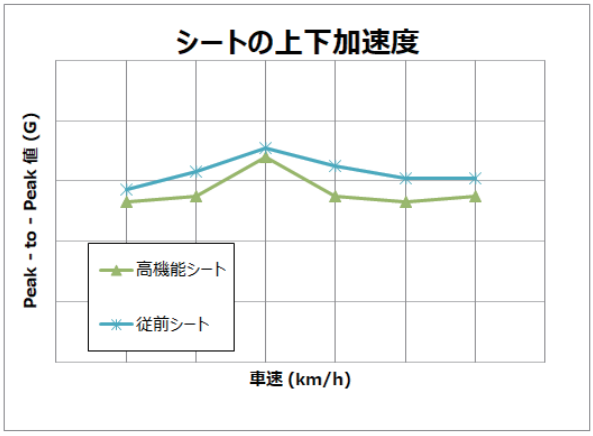


図 20　継ぎ目路面に通過時のシート座面上下加速度

7　エクステリア

大型トラックは長距離走行が多く，夜間走行の頻度が比較的高い。そのため，夜間の視認性向上は車両の安全な運航に大きく寄与できる。この夜間の視界確保にはハイビームの使用が効果的だが，対向車及び先行車がいる走行環境では他車を眩惑してしまうため，常時使うことができない。そのため，ハイビームの使用頻度を大きく上げることが可能な，ADB（配光可変型 LED ヘッドランプ：Adaptive Driving Beam）をいすゞとして初採用した（図 21）。

本システムは，車載システムにより周囲の車両を検知し，ハイビームを部分的に点消灯させることで，他車を眩惑させることなく，ハイビームによる良好な視界確保を両立させることが可能である。

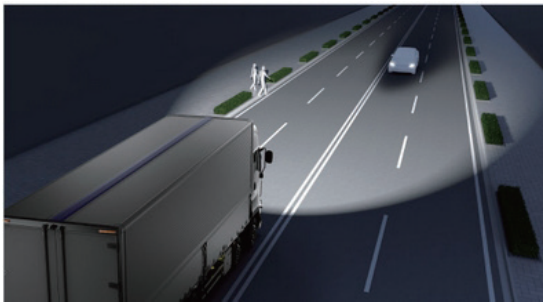


図 21　ADB 遮光イメージ

ハイビームの遮光制御は，可動式シェードでの遮光ではなく，11 個の LED チップを走行状態に合わせて点消灯するメカレス方式で実現している（図 22）。また，光源の冷却方式にも冷却ファンを用いないメカレス方式を採用することで，トラックの過酷な使用環境に耐えうる，高い耐久性も兼ね揃えた。

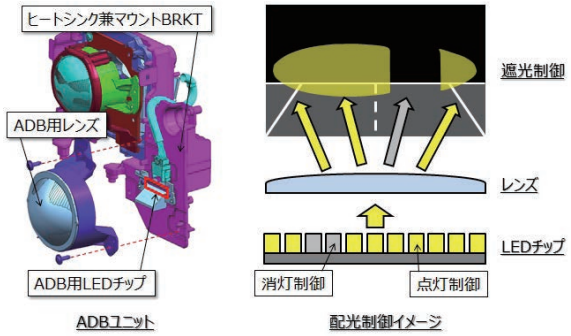


図 22　ADB ユニットと制御イメージ

また，カーブ走行時にステアリングの操舵角に合わせて，カーブの出口方向にハイビームの照射を集中させる電子スイブル機能をクラス初採用した（図 23）。本システムは灯体自体の方向を機械的に変えるメカ式ではなく，LED チップの出力パターンを制御する電子スイブル式を採用することで，高い信頼性を持たせている。

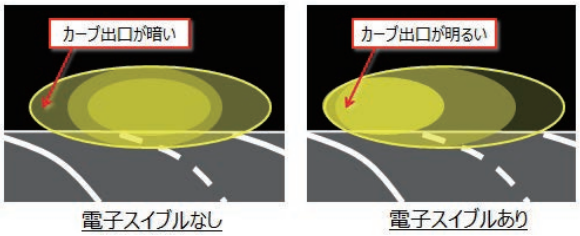


図 23　電子スイブル制御イメージ

ロービームにおいても，従前車のパラボラ方式の LED から，プロジェクタ方式（以下「PES 方式」と称す）を採用することで，遠方の視認性を高めた（図 24）。

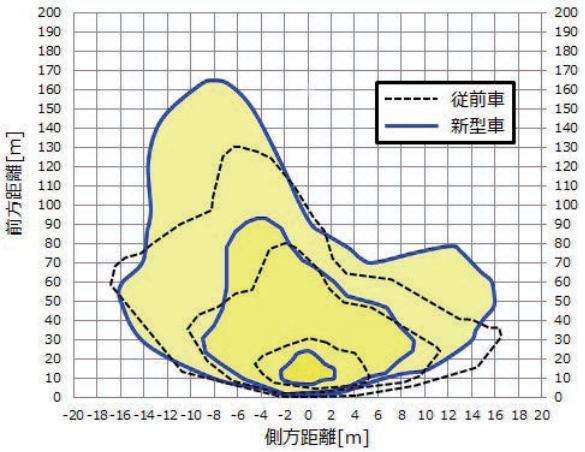


図 24　ロービーム 配向比較（従前車比）

この PES 方式はパラボラ方式に比べて，構造上直近の配光が出にくい。キャブオーバ構造のトラックの場合，ドライバの視野が広く，直近の明るさも求められる。そのため，リフレクタ形状を従来よりも延長し，焦点位置を高くすることで，より手前を照らす配光を実現した（図 25）。

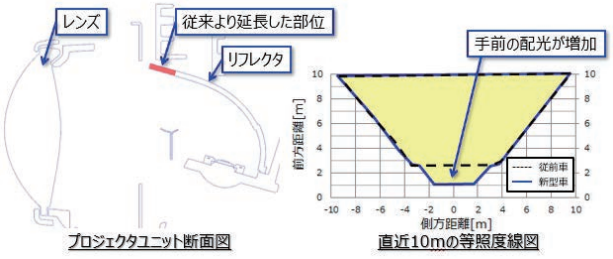


図 25　手前配光原理

また，フロントフォグランプとフロントターンランプのコンビランプの意匠も同時に刷新し，フォグランプもヘッドランプ同様に PES 方式の LED ランプを採用することで，より統一感のあるデザインとしている。これらの変更により，ハイビーム・ロービーム・フォグランプといった，使用頻度の高い照射灯をすべて LED 化することになり，長寿命化によるメンテナンス費用の低減に貢献した（図 26）。



図 26　ヘッドランプとコンビランプ

新型ギガでは先進安全装備の拡充のために，交差点警報・巻き込み警報に用いられるブラインドスポットモニターが初搭載された。このブラインドスポットモニター用のセンサがコーナパネルに搭載されることになったため，レーダカバー付きのコーナパネルを新規設定した。

レーダカバーは電波透過性と耐傷付き性の高い樹脂材料を用いて，原着ピアノブラックかつコーナパネルとのフラッシュサーフェス化を行った。これにより，センサの複雑な搭載要件を守りつつ，周辺意匠との協調，ユーザによる塗装不可領域の強調と，高い品質感を両立させた（図 27）。

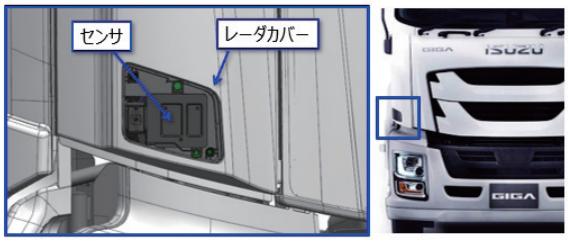


図 27　レーダカバー

8　おわりに

以上，20 型トラックギガのキャブ概要について紹介した。今回の開発は「快適な運転環境の実現」「先進安全装備の向上」に主眼を置いた開発を行ってきた。今後は更にお客様の要望にお応えすべく，改良に励んで行きたい。最後に新型ギガのキャブ開発に多大なご協力をいただいた社内外関係者の皆様に心より御礼申し上げます。

著　　者


折井　拓


馬場　皓平


猪股　伸一


岡田　賢人


齊藤　彰子


水城　崇


松元　匡宏

20 型ギガの車両審査実験について

Vehicle Performance Test of '20 Model GIGA

矢口　岳人*
Takehito Yaguchi
澤　智裕*
Tomohiro Sawa
森　直之**
Naoyuki Mori
角田　進*
Susumu Tsunoda
嶋崎　翔*
Sho Shimazaki
髙山　正巳***
Masami Takayama
宮崎　信之*
Nobuyuki Miyazaki
西嶋　義孝**
Yoshitaka Nishijima
平戸　東*
Azuma Hirado
高野　二郎*
Jiro Takano
五嶋　亮祐**
Ryosuke Goto

要　旨

昨今のニーズに答えるため，新型ギガに先進安全装備及び新型ハイルーフキャブを採用した。これらを採用することで，乗務員は安全かつ快適に運行することが可能となった。合わせて，事業主からのニーズである稼働率の向上をサポートするための新機能も搭載し，商品力の向上を図った。本稿では，代表的な評価内容を紹介する。

Abstract

In order to meet the needs of these days, we have adopted ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems) and full size high roof cab in the new GIGA. Adopting these makes it possible for the driver to operate safety and comfortably.

At the same time, a new function was installed to support improvement in operating rate, which is a need from business owners, and the product strength was improved. The following is a description of evaluation contents.

1　はじめに

新型ギガは居住性，見栄え，快適性，収納性の向上を主目的とした新型ハイルーフキャブを採用し，先進安全装備の新規投入及び既存機能を拡大した。

また，新たな車両制御技術を進化させたことにより，スムーズなシフトチェンジを実現し，ドライバビリティ向上を実現している。本稿では，特に注力した次の評価内容について紹介する。

・先進安全性能評価
・新型ハイルーフキャブ性能耐久信頼性評価
・電装品性能評価
・Smoother-Gx 車両制御評価
・インプットシャフトセンサ評価

2　先進安全性能

新型ギガでは先進安全装備の新規投入及び，既存機能の拡大により，ドライバ疲労軽減への貢献と予防安全性能向上を図っている。本章では運転支援システム及び予防安全システムの性能の作り込み・評価手法について解説する。

2.1 運転支援システム

2.1.1 全車速ミリ波車間クルーズ

新型ギガの ACC（Adaptive Cruise Control System）は従来の 40 km/h 以上での追従機能に加え，停車及び発進までをドライバに代わってシステムが自動で行い，渋滞走行（Stop & Go）までカバーする全車速対応型となり，ドライバの運転疲労軽減に大きく貢献するシステムへと機能が拡張された。

①加速度⇒トルク制御型へ変更による追従性向上

新型ギガでは車両総重量 8 t から連結時の車両総重量 60 t までの単車からセミトレ・フルトレなど，非常に多くの車型に対応させるため，3 つのグルーピングに集約し評価を実施。更に，制御面でも走行抵抗の変化に対して，応答性が良いトルク制御へと一新された効果もあり，従前車より追従性を向上させつつ，最低限の Calibration 数で全車型に対応させることができた。

②地図連携による道路環境変化への細かな対応

新型ギガでは FACC（全車速域アダプティブクルーズコントロールシステム：Full Speed Range Adaptive Cruise Control System）でも地図情報を使った先読み制御を新規に採用。評価ではテストコース内の勾配のみならず曲率情報も地図 ECU（Electric

*車両審査実験第一部　　**車両審査実験第二部　　***㈱いすゞ北海道試験場

Control Unit）に取り込み，テストコース内で実路環境と同じ状況を作り出し，効率よく地図連携機能の評価を実施した。大型トラックの場合は，登降坂路突入時の制御遅れが失速或いは速度超過に直結するため，先読みの勾配のみならず曲率情報も最大限活用し，道路状況に応じたきめ細やかな加減速制御を適宜行うことで，ドライバが安心して使える FACC へと仕上げることができた。

③滑らかな減速･停止を実現

ドライバが不安若しくは不快にならない加減速及び滑らかな停止を実現するため，ドライバフィーリングの特性値として自車の加速度 [m/s^2] と Jerk[m/s^3] を評価クライテリアとして設定（**図 1**）。ドライバ感覚に合わせるため，非常に多くの時間を割きパラメータの最適化を行い，違和感のない減速・停止を実現することができた。

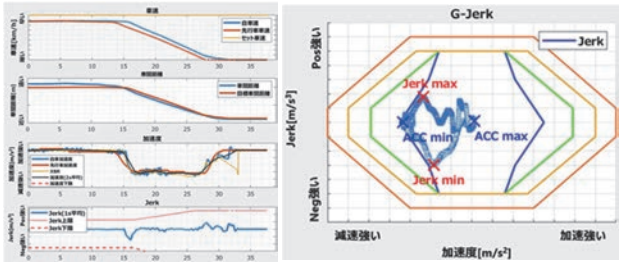


図 1　追従減速･停止時の G-Jerk 特性

2.1.2　レーンキープアシスト

単眼カメラによる車線認識とモータアシスト付きパワーステアリングによる操舵制御により，高速道路走行時の車線逸脱抑制と走行レーンに沿った操舵支援を行うシステムである。走行時の操舵制御はアシスト力が強いとハンドル操舵時の違和感となり，アシスト力が弱いと車線逸脱抑止効果が薄れる。加えて積載条件或いは車両コンディションにより適正アシスト力が異なるため，各条件下における徹底的な走り込みを行い，操舵制御の適正化を図った。**図 2** は LKAS（Lane Keep Assist System）-ON&OFF での高速走行時の操舵力頻度である。0.1 Hz 前後の修正操舵領域の操舵力頻度が低減されており，操舵支援効果の裏付けである。本システムはカメラの車線認識性が操舵支援へも直結するため，雨天時の路面反射及びトンネル出入り口等の視界変化による実機検証も行い，さまざまな環境下における操舵支援効果を得ることを確認できた。

LKAS 搭載車はモータアシストを有効活用するために低速での操舵力支援も実施している。これにより低速では非常に軽い操舵力にてハンドル操作が可能となり，ドライバ疲労軽減に一役買うシステムとなった。

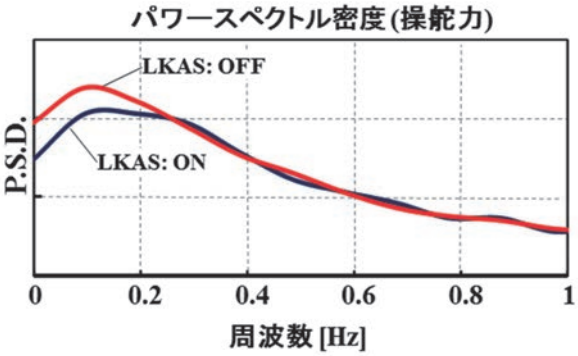


図 2　高速走行時の操舵力頻度

2.2　予防安全システム

2.2.1　ブラインドスポットモニター

キャブ周辺の前後左右 4 ヵ所にミリ波レーダを使い，交差点における歩行者 / 自転車或いは車線変更時の隣接車線の車両など，ドライバから目視しにくい位置に存在する衝突リスクのある対象をお知らせするシステムである。

評価プロセスとして，まず，実走行環境を想定したユースケースを基に代表的なテストシナリオを作成し，テストコース内における機能の作り込みを行った（**図 3**）。その後，実路にて交通環境の複雑な状況変化に着目し，ロバスト性能の作り込みを実施した。

実走行環境から想定されるユースケースにおいては，自車と歩行者等の位置･速度関係及び交差点形状との組み合わせによってパターンが多岐に渡るため，障害物との相対位置，速度，旋回半径，方位角，けん引物の有無など着目すべきパラメータを限定し，これらの組み合わせを総じて網羅可能な代表シナリオをいくつか作成した。本シナリオ検証を通して不作動シーンの特徴を定量的に把握し，狙い通りの動作につなげるために必要な改善策の検討を実施してきた。

実路評価においてはテストコースでは再現できない複数の要素が絡み合う複雑な環境下でのデータコレクションを重ね，不要作動シーンを層別した。発生頻度の高いシーンへ優先的に対策を打ち，ロバスト性を確保したシステムへ作り込んだ。

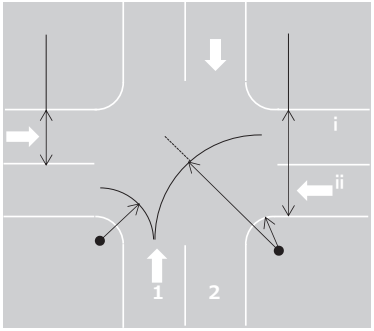


図 3　交差点におけるシナリオ検討の例

2.2.2 プリクラッシュブレーキ

今回，新規採用したミリ波レーダと単眼カメラの二重検知による物体認識で横断歩行者 / 自転車への作動範囲拡大及び，衝突回避可能な速度領域の拡大を図っている。ここでは実使用環境を考慮した評価上の課題と解決に向けたアプローチについて解説する。

①レーダカバー形状の最適化検討

歩行者・自転車検知対応によるレーダの高感度化に伴い，レーダ車載時に周辺レイアウトの影響をこれまで以上に考慮する必要が出てきた。従来のレーダカバーでは送信波の反射若しくは干渉によるゴーストが発生し，センシング精度悪化若しくはターゲット誤検知発生等，これまでにない課題がみつかった。そこで，レーダへの正対角度によるゴースト発生率を分析し，最適なカバー形状の検討を行った。その結果，従来のカバーではゴースト発生率がカバー非装着時と比べて 7.5 倍ほど上昇していたが，形状見直し後のカバーでは非装着時とほぼ同等レベルに抑制することができた。

②さまざまな環境を想定したロバスト性能作り込み

大雨などで一時的にカメラでの検知が不可能となる場合にも，レーダ単独検知で限定的にプリクラッシュブレーキの機能を有効とし，あらゆる走行環境下で事故防止に役立つシステム作りを目指している。

この際，レーダ単独検知時に上部構造物及び路側物等の誤検知がリスクとして挙げられるが，さまざまな道路環境での走りこみを重ね，接近時のレーダ受信電波の強度変化若しくはターゲット候補の横位置変化の様子から路側物判定させることで，このようなリスクに対応している（**図 4**）。

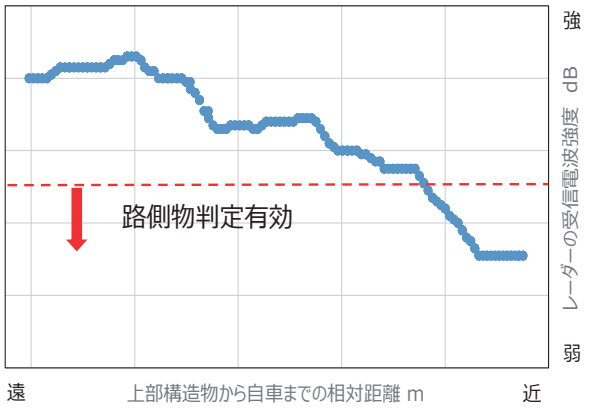


図 4　上部構造物通過時の受信電波強度変化の様子

2.2.3　ドライバーステータスモニター

ドライバが適切に運転へ集中してもらう上で，過度の脇見をしている場合にはドライバに注意喚起を促すドライバモニタシステムを開発した。このシステムは，ドライバをカメラで撮影し，画像処理によりドライバの顔の向きまたは位置を計測し過度の脇見かどうかを判定できる。また，瞬きの状態から眠気を推定することも可能で，単調な運転状況等により，ドライバが眠気を感じてしまうような場合にも，眠気を検知して，注意喚起する機能も備える。

このような装置をどのように評価検証し，有効な運転支援システムとして商品化できるかが課題となるが，ドライバの運転時の顔の向きまたは姿勢を正しく計測できる計測技術或いは実際の車両を使って実験をするには危険を伴うような場合は，仮想現実を用いた運転環境での実験が必要になる。

いすゞでは，6 自由度で位置計測可能なモーションキャプチャカメラを用いて，ドライバモニタシステムのセンシング精度を検証した。更にドライビングシミュレータと組み合わせ，単調な運転シーンを作ってドライバの眠気状況を再現，システム評価できるようにした（**図 5, 図 6**）。これによりプロトでの作り込み段階から高い精度での検証評価ができ，信頼性の高いシステムとして作り上げることができた。



図 5　いすゞドライビングシュミレータ（DS）

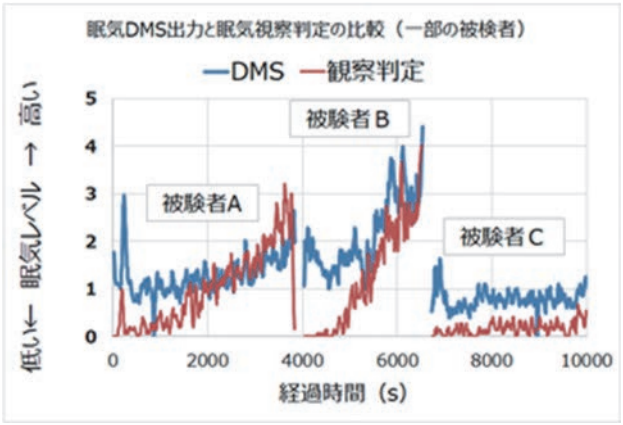


図 6　眠気出力値と視察による眠気評価の比較

2.2.4　可変配光ヘッドランプ

単眼カメラから得られる対向車等の光源情報のみならず，自車の車速と操舵角情報も活用し，ハイビームの配光を部分的に遮光するなど，走行シーンに応じて適切にハイビームを制御するシステムである。

テストコース評価では，UN R-48 法規への適合確認だけでなく，対向車等への幻惑防止が確実に実施されているかの検証を重点的に行った。評価手法として，試験車の光源検知･制御情報以外にも対向車に照度計を設置，感性評価結果を踏まえた照度基準を設けて各シナリオでの評価を実施した。

実路評価では，光源誤検知による不要制御に着目し，夕方から夜間にかけて市街地，高速，山岳道など多くのシーンを走り込み課題の抽出を行った。

2.3　実走行環境での高い信頼性確保への取組み

ここまで紹介してきた先進安全装備では，いずれのシステムも実走行環境で高い信頼性を確保することを念頭に開発を行ってきた。その取組みの一環として，日本全国における高速道路及び主要国道の 20 万キロ走破を達成。ドライバに安心・安全に使ってもらえるシステムを構築することができた。

3.　新型ハイルーフキャブ評価

3.1　新型ギガの騒音振動性能開発

騒音振動性能における新型ギガの目玉は新ハイルーフキャブの設定である。ここでは新ハイルーフキャブの騒音振動性能開発について記す。

3.1.1　新ハイルーフキャブのこもり音

新型ハイルーフキャブは従前ハイルーフキャブに対しルーフを構成する各面の面積が大きくなり，面剛性低下によるこもり音の発生が懸念されたことからCAE（コンピュータ支援技術：Computer Aided Engineering）と実機試験を互いに補完するよう併用して進めた。

具体的には，CAE による検討を基にプロトキャブを作製，予測されたこもり音を実機検証及び対策立案，これを基に他の要件も考慮した最終仕様を CAE 検討し量産前に実機確認した。**図 7** にプロトキャブと最終仕様のこもり音比較を示す。

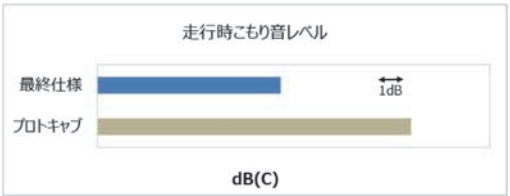


図 7　こもり音レベル比較

3.1.2　新ハイルーフキャブの遮音性能

新ハイルーフキャブの初期騒音評価にてルーフとキャブバックパネルの継ぎ目からの透過音レベルが高いことを検出し対策を講じた（**図 8** 左）。またキャブ形状に関わらずドライバ席足元からの透過音対策としてステアリングシャフト部にブーツを追加した（**図 8** 右）。これらの施策により新型ギガの車室内快適性向上を果たすことができた。



図 8　透過音対策（左）及び遮音ブーツ（右）

3.1.3　新ハイルーフキャブの慣性モーメント測定

新ハイルーフキャブはルーフ部が高く，重くなったことから従来キャブに対し重心位置のみならず慣性モーメントも変化した。これらの特性は CAD（コンピュータ支援設計:Computer Aided Design）データから算出することが可能であるが，振動乗心地への影響が大きいことから実機での評価を実施した。

3.2　乗り心地性能

長距離・長時間運行する大型車ドライバの疲労軽減・快適性向上は年々要求が高まっている。新型ギガではキャブ･サスペンション改良による乗り心地性能の向上を行った。

ロードシミュレータによるさまざまな路面入力･荷重条件下での定量的な改良効果の確認を行い（**図 9**），ソフト感・フラット感と言った官能的な部分については実機での造り込みを行い，乗り心地向上を図った。



図 9　ロードシミュレータ試験

3.3 耐久信頼性評価（キャブ単体）

新型ギガでは車室内居住性向上のため新ハイルーフキャブを設定した。新ハイルーフキャブの耐久信頼性について多くのベンチ評価を実施した。ここでは代表試験である 2 つを紹介する。

3.3.1 ベンチ振動耐久試験

新ハイルーフキャブは，従来のハイルーフキャブに対して天井高が高く，ルーフ部分に大型の収納が追加されたため，重心位置が高くキャブ重量が大きくなっている。重心位置・重量の変化に伴いキャブの耐久性評価のため，4 軸振動試験機（**図 10**）で振動耐久試験を実施した。振動耐久試験の結果から，新ハイルーフキャブは従来のハイルーフキャブに対し，必要な補強を追加することで高い振動耐久性を確保できた。



図 10　4 軸振動試験機

3.3.2 キャブ水密性試験

新ハイルーフキャブは，ハイルーフ部分を上部から接合して製造する。接合部からの水浸入有無を確認するためキャブ水密性試験を実施した（**図 11**）。水の浸入を防ぐためシーラー剤の塗布量・塗布方法の最適化を行い，接合部からの水浸入を防止した。



図 11　キャブ水密性試験

3.4 耐久信頼性評価（車両）

新型ギガでは新型ハイルーフキャブ，先進安全運転支援装置の設定に伴い，耐環境性能を保証するために各種試験を実施した。本稿では代表例として，防錆性能，水掛かり信頼性試験について紹介する。

3.4.1 防錆性能

新ハイルーフキャブは従来のハイルーフキャブに対し接合構造が異なる部分あり，発錆による見栄えの悪化などを防止するために接着剤塗布範囲など開発初期段階から作りこみを行った。初期仕様から改良を重ね最終仕様での実機確認において，問題のない仕様になっていることを確認した。

3.4.2 水掛かり信頼性評価

先進安全運転支援装置の設定でより電制化が進むことから，水が掛かったことによる不具合発生がないように，市場サービス情報若しくはお客様の使われ方を収集した上で各種条件（スプラッシュ / 洗車等）を検討し信頼性試験を実施した。試験走行過程及び走行後の分解による機能失陥調査を行い，信頼性が確保されていることを確認した。

4. 電装品性能評価

新型ギガでは商品性向上及び利便性を目的とした新規電装装置が多数採用されている。電気的負荷が増しており「信頼性を損なわない製品」を念頭に造り込みをしてきた。新規電装装置の開発について試験内容を紹介する。

4.1 イモビライザー（盗難防止装置）の評価

6NX1，6UZ1 及び 6WG1 ディーゼルエンジンのエンジンコントロールユニットと車両電装品の統合コントローラである BCM（Body Control Module）との通信についてマッチングを検証し，エルフ，フォワードと同等の信頼性の高いシステムを実現した。

4.2 オートライトの評価

オートライトの車内照度センサが正確な値を出力するよう，計測用の照度センサと比較 / チューニングを行い，実路走行での評価を実施した。トンネル出入口及び日没等で周囲の明るさの変動により，ドライバが必要と思われる時にはライト点灯し，不要時はなるべく点灯しないようチューニングして利便性を高めた。

5　車両制御技術によるドライバビリティの向上

5.1 Smart グライド +g

GPS（全地球測位システム：Global Positioning System）より受信した現在位置より先行道路情報（勾配）を先読みし最適なギヤ段の選択のみならず設定車速の許容範囲内でニュートラル惰行も実施する制御である。

従前型では適用道路が有料自動車専用道のみであったが，新型ギガでは一般道でも作動が可能となり，従前型に対して一般道での最適ギヤの選択精度が向上した。また，優先自動車専用道の先行道路情報の先読み距離を更に延長，道路種別により先読み距離を切替えることで性能向上を図っている。

5.2 Smoother-Gx

5.2.1　発進フィーリングの向上

新型ギガでは重量推定値による制御マップ選択を可能とすることで，これまで課題となっていた空車時の発進フィーリングを向上させた（**図 12**）。

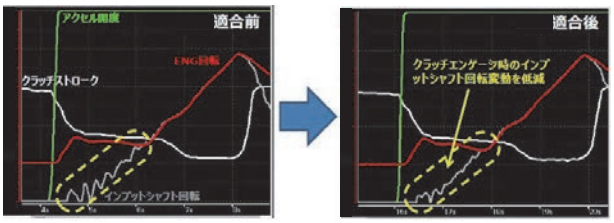


図 12　空車時の発進フィーリング向上

5.2.2　シフトダウン制御向上

従前型では降坂路での車速コントロール性に課題があった。新型ギガでは，補助ブレーキレバー情報信号を追加し，シフトダウンマップを増やすことで道路状況に応じた車速コントロール性の向上が図れた。

5.2.3　キックダウン制御向上

キックダウン制御はアクセルペダルも設けられている ECO 一時解除スイッチ（アクセルペダルを 100 %以上踏込む）が ON した場合にシフトダウンする制御である。

従前型では，走行条件により再度アクセルペダルを踏み直す必要があり操作性が課題であった。新型ギガでは，制御条件を見直しアクセルペダルを踏み直す必要がなくなり，操作性の向上を図った。

6.　故障の予兆検知･予防機能の拡充

6.1 トランスミッションインプットシャフト回転センサ

マニュアルトランスミッション搭載車両においての発進及び変速は運転手による操作であり，操作時の負荷により駆動系部品の寿命が異なってくる。例えば，長時間半クラッチ或いは無理なシフト（過回転シフトダウン）などの操作ではすべり負荷が高く早期故障に至ることがある。クラッチ若しくはシンクロが故障に至った場合はトランスミッション脱着の重整備となりダウンタイムが長くなる。いかに故障を防ぎ故障前に予防整備を実施し稼働サポートに貢献していくかが課題であった。今回すべりを検出すべくマニュアルトランスミッションにインプット回転センサを採用したので紹介する。機能はインプット回転センサと既存回転センサからすべり回転数を検出することである。**図 13** にエンジンからプロペラシャフトまでの回転伝達フロー図を示す。インプット回転センサはカウンタギヤの回転数を検出し，クラッチ及びシンクロのすべり回転数の算出に用いられる。

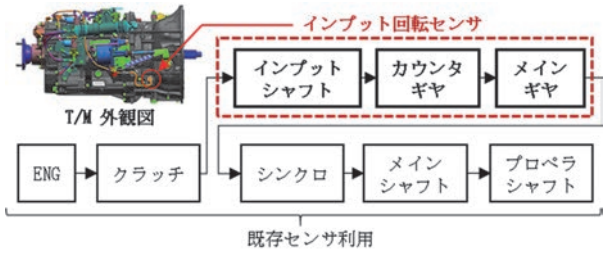


図 13　回転伝達フロー

もう一つの機能として，ギヤ段判定がある。従前のギヤ段はエンジン回転数と車速の比から算出しており，完全にクラッチがつながるまではギヤ段を判定することができなかった。インプット回転数を用いることによって，半クラッチ状態でも精度よくギヤ段を判定することできる。回転センサ信号は ECU で演算処理され，頻度データがみまもりコントロールユニットに記録される。みまもりに記録されたすべり頻度データを用いて，被害度を算出することが可能である。本稿ではすべり摩耗に対する概念を説明する。**図 14** は摩擦材におけるすべり寿命線図である。摩擦材はすべり度合いと寿命に相関があり，1 回あたりのすべり度合い Y と回数 N の関係を $Y = AN^{-\lambda}$（λ：両対数スケールにおける傾き）で表すことができる。みまもりに記録されたすべり頻度データから，被害度 D を次式で算出できる。

$$D = \sum\left(\frac{n_i}{N_i}\right) = \sum\left\{\left(\frac{Y_i}{A}\right)^{\frac{1}{\lambda}} \times n_i\right\}$$

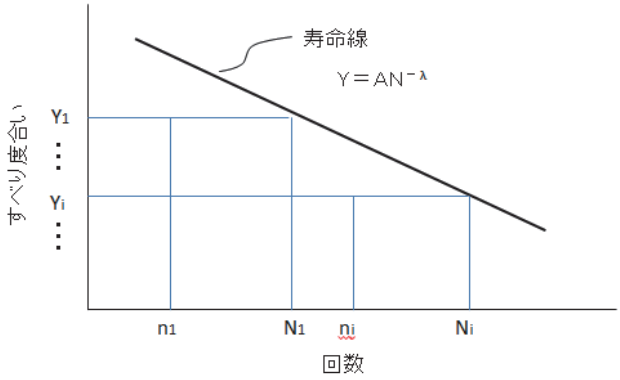


図 14　寿命線図

インプット回転センサの採用により，被害度を予測することと，過負荷な操作履歴があった場合には運転操作を啓もう（蒙）し故障を未然に防ぐことが可能となり，稼働サポートへの貢献ができると考える。

7　おわりに

新型ギガの車両開発に当たり，特に注力した点を中心に述べた。その中で一貫して基本性能と安全性の確保を重点に進めてきた。今後も更なる商品改良に尽力し，継続していく次第である。

最後になりましたが，本紙面をお借りし，新型ギガ開発にご協力いただいた各協力企業の方々，社内関連部署の方々へお礼申し上げます。

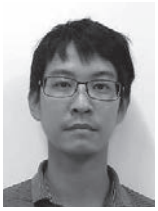
著　　者

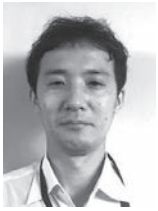

矢口　岳人


角田　進


宮崎　信之


高野　二郎


澤　智裕


嶋崎　翔


西嶋　義孝


五嶋　亮祐


森　直之


髙山　正巳


平戸　東

20 型ギガの生産技術について

Manufacturing Technology of '20 Model GIGA

谷　祥二郎*　Shojiro Tani
馬場　大輔*　Daisuke Baba
立川　公博*　Kimihiro Tachikawa
植木　裕介**　Yusuke Ueki
粂川　昌紀**　Masanori Kumekawa
上原　晃*　Akira Uehara
粂　賢治***　Kenji Kume

要　旨

20 型ギガは数々のいすゞ初となる仕様を装備したモデルチェンジであり，生産部門としてそれらをいかに品質良く生産性に優れた製品・設備計画にするかに取り組んできた。本稿ではその活動事例を示す。

Abstract

20MY GIGA is a model change equipped with a number of Isuzu's first specifications, and the production department has been working on how to plan for high quality, highly productive products and equipment. The following are examples of our activities.

1　はじめに

20 型ギガにおける“「運ぶ」を支える”将来技術のいすゞの取組み方針にある“大幅な進化を遂げた安全技術”，及びお客様の要望を最大限に取り入れた“大型の新ハイルーフの採用”が，生産として大きなインパクトのあるモデルチェンジ対応項目として挙げられる。

1.1 安全技術

20 型ギガで初搭載されることになった時代の先端を行く数々の安全装備を，検査ラインを含む生産ラインに大きな投資をかけることなく，安全装備故の高度な要求品質を満足した生産設備の実現に成功した。

本稿では進化した VAT（先進視覚サポート技術：Advanced View Assist Technology）と，他社に先駆けてインライン組付け・検査を実現した TPMS（タイヤ空気圧監視システム Tire Pressure Monitoring System）の生産設備について紹介する。

1.2 新ハイルーフ

競合他社を凌ぐ居住性を実現する，いまだかつてない大型のハイルーフ付きキャブを生産することになった。

その新ハイルーフの接続部を含めた構造においては，生産性と設計品質を兼ね備えるために設計部門と生産部門の協業により開発初期段階からフロントローディング活動を進め，商品性・設計品質・生産性を兼ね備えた今までにない構造を確立した。

またその生産においては，既存設備を最大限に活用することによって設備投資を最小限に抑えるとともに，要求される生産台数の達成，車両品質を満足するための設備及びいすゞ初の試みとなるハイルーフ装着工法を実現した。

これらを含めたモデルチェンジ項目を実行しつつも生産コストの変動を最小限に抑えることに成功した，生産部門の 20 型ギガ生産準備活動について本稿で紹介する。

2　プレス編

部品分割の方法は，成形性・型費等の投資額・材料費及び工数等のランニングコストに大きな影響を与える。新ハイルーフの外板部品はすべて新規となるのに伴い，部品分割方法を最適化し，成形性及び歩留まりを向上させた事例を紹介する。

2.1 従前の問題と対策

図 1 のように，従前の外板部品は，4 部品によって構成されている。4 部品は別々の金型で成形されるため，4 回の生産が必要となる。これを 4 流れと表現する。

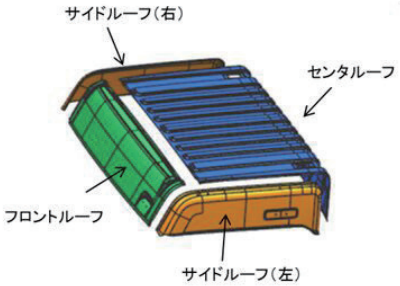


図 1　従前ハイルーフの外板部品の構成

*車体技術部　　**車両技術部　　***生産技術企画部

フロントルーフとセンタルーフの分割位置は，ルーフの前側に設定されている。**図 2** にセンタルーフのドローパネルの写真及び車両中央の断面を示す。90 度に折れ曲がる形状を部品のほぼ中央に持つため，絞り深さが非常に深い。

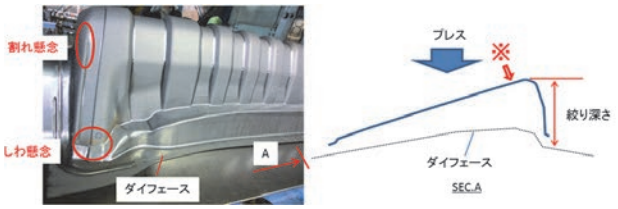


図 2　従前のセンタルーフ

絞り深さが深いと成形中に割れ・しわを生じやすい上，スクラップとなる部分が増え，歩留まりが悪くなる。※で示す位置で部品を分割すると絞り深さが浅くなり成形性が改善するが，型数･流れ数が増えてしまうデメリットがある。

また従前のサイドルーフは，左右が別流れになっており，型数及び生産工数が多い問題もある。

これら従前の問題点の対策として，分割位置の最適化及び左右同一金型での成形及び浅絞り等の工法最適化も進めることで，流れ数を抑えつつ成形性及び歩留まりを向上させることを検討した。

2.2　検討方法

CAE を用いて，サイドルーフの左右セット取りの成立性の確認及び歩留まり向上案の検討を行った。**図 3** にフロントルーフとサイドルーフの解析結果及び従前との工法の比較を示す。両部品とも従前よりも浅絞り工法を採用し，歩留まり向上を図った。両部品ともに新ハイルーフの工法は，製品のトリムラインより外側のスクラップとなる部分を大きく削減できている。

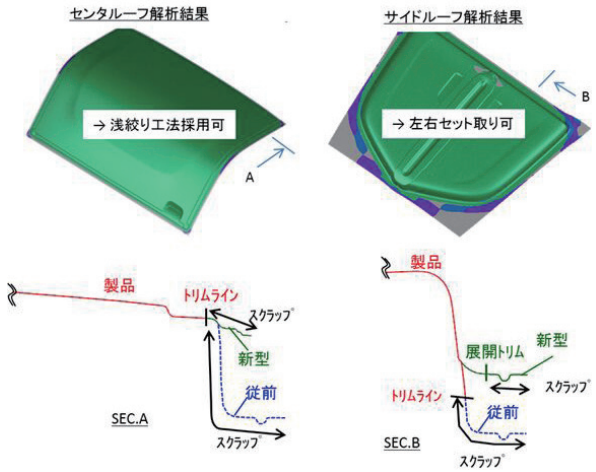


図 3　解析結果及び従前との工法比較

2.3　提案内容と結果

図 4 に提案し採用された部品構成を示す。

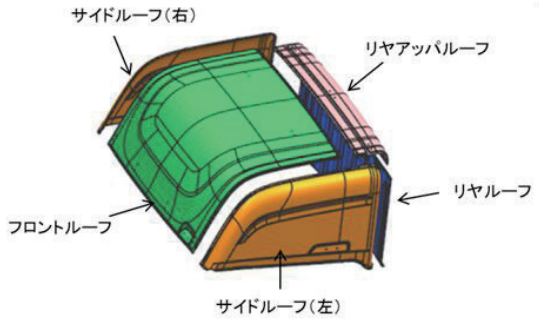


図 4　新ハイルーフの外板部品の構成

部品数は従前より 1 部品多くなるが，90 度に折れ曲がるリヤ上のコーナ部は，極力短い部品とすることで，成形性・歩留まり向上を図った。**表 1** に従前と新ハイルーフの各種比較結果を示す。(外板部品のみ)

全部品において，従前よりも浅絞り化できたため，成形性が向上した。部品重量は部品拡大に伴い約 1.5 倍になったが，流れ数を従前同数に抑えることができた。また歩留まりは約 8 ％向上させることができた。これは台当たり約 750 円のコスト削減効果に相当する。

表 1　従前と新ハイルーフの各種比較

	現行	新型
成形性	△	○
部品数	4	5
部品重量	33.5kg	48.3kg
流れ数	4	4
歩留まり	71.2%	79.1%

3　車体編

20 型ギガでは従前ハイルーフ車よりも車高が高いルーフが設定された。従前ルーフは外製でアセンブリを行っていたが，新型では内製へ取り込み，組み立て工程を新規で立ちあげた。

新工程を立ち上げるにあたり，生産ボリュームが少なくサイクルタイムが長いため，ロボット 1 台をフル稼働させる工程を作り上げた。新ハイルーフ設定に伴うルーフ構造造りこみと，設備準備活動の一端を紹介する。

3.1 新ハイルーフ構造造りこみ

従前ハイルーフは既存 MAIN BODY 工程でルーフなしキャブをアセンブリ後，仕上げ工程よりいったん抜出し，搭載工程でルーフなしキャブとルーフをスポット溶接にてアセンブリしている（**図 5 a**）。それに対し，新ハイルーフではルーフを後工程搭載する構造に変更した（**図 5 b**）。車組工程ではルーフなしキャブにヘッダを MAIN BODY 工程で搭載し，仕上げ工程で抜出すことなく，直接塗装工程へ流すようにした。これにより，生産順位を遵守し，生産ロスを廃止することができた。

また，従前ハイルーフでは外板パネルと内側レインフォースにスポット溶接を行っていたが，新ハイルーフではシーラを採用することで，外観部のスポット溶接を廃止した。それにより，外板に溶接打痕がなく外観品質が向上し，更に従来打痕部に行っていた仕上げ作業がなくなり修正作業工数低減も実現できた。

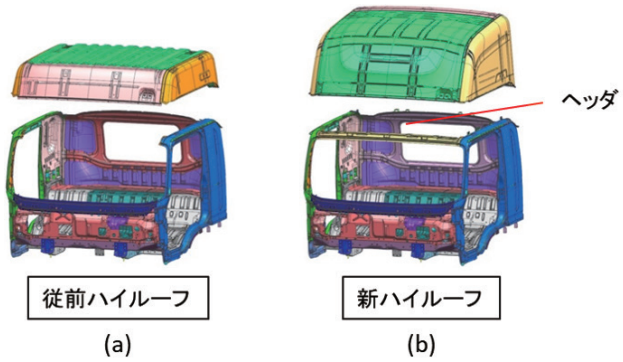


図 5　B.I.W.（車体完）状態

3.2 ハイルーフ組立工程について

今回新規にハイルーフアセンブリ工程を立ち上げるにあたり，設備稼働率向上のため 9 m のロボット用走行軸を使用することで，動作範囲を広げ，ロボット 1 台ですべてのアセンブリを可能とした。また，ロボットが持つツールを付け替えることができるツールチェンジャを用い，溶接ガン 3 式，ワーク搬送用ハンド 3 式を 1 台のロボットで付け替えるようにした（**図 6**）。更に，形状が異なる部品のハンドを共通化することにより，ハンドの数を抑制し，ツールチェンジ時間削減・ハンド置き場削減を実現した。

作業性の面では，3 工程ある部品をセットする投入口すべてを同一方向に集約することで，作業者の歩行数を低減し，セット作業を効率化した。また，3 式あるすべての治具を回転式にすることで，作業者がセットしやすい方向から部品をセットできるようにし，ロボットから治具へのアクセスも向上した。

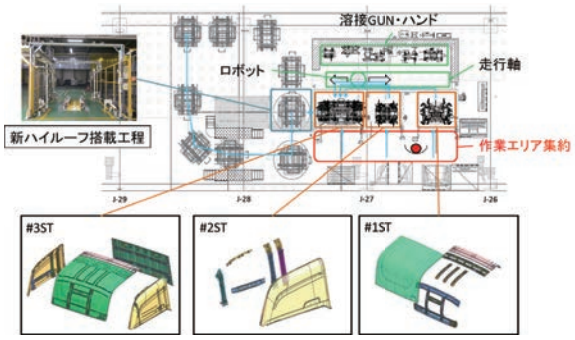


図 6　新ハイルーフアセンブリ工程

3.3 新ハイルーフ骨格精度保証

新ハイルーフアセンブリの骨格精度の自工程品質保証として，ルーフの寸法計測を全車に対しインラインで行えるようにした。

ルーフの四隅をそれぞれ捉えられるように 4 台のカメラを設置し（**図 7**），そのカメラにより特定のポイントにおける 4 か所の点と点のピッチを，マスタとして登録したルーフとの差を計測する。しきい値を設定し，OK・NG の判定を行うことで，車組工程から出荷時の品質を保証している。また，計測結果は自動的に保存されるため，トレサビリティとして，後から計測結果を遡って調査することも可能である。

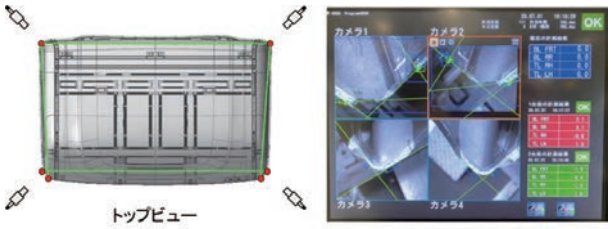


図 7　カメラ設置イメージと寸法計測画面

4　塗装編

藤沢工場　第 5 塗装工場は 2018 年 10 月からライン統合を実現しエルフ・フォワード・ギガすべての車型を同一ラインで生産している。

新型ギガハイルーフを第 5 塗装工場で塗装するにあたっての設備準備活動について紹介する。

4.1 工程でのコンセプト

新ハイルーフはキャブサイズが高さ方向で設備制約サイズを超過していた。設備を高さ方向で拡張するためには，長期的な生産停止を伴う工事が必要となる。

長期的な生産停止を発生させないようにするためキャブをルーフとルーフなしキャブで分割（**図 8**）塗装することをコンセプトとした。

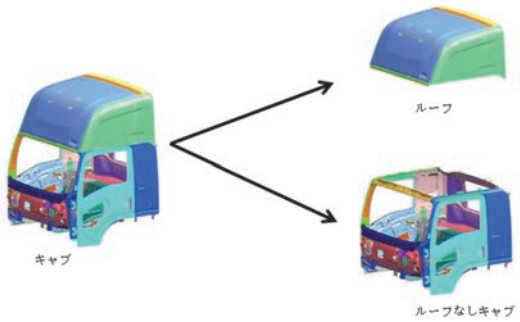


図 8　分割図

4.2 塗装工程での想定

分割塗装を行うにあたってルーフとルーフなしキャブの接地面部での剛性不足が想定された。

キャブの剛性は一体状態で保証しているため，ルーフ単品状態で剛性をもたせるのは過剰であり，補強を行うとキャブ重量増加による競争力低下が発生する。

塗装工程では前処理･電着工程にて水槽内へ被塗物を全没させる工程があるため，塗装時にかかる入槽の浮力，槽内移動時での流体抵抗，出槽での塗料重力による変形が懸念された。

4.3 塗装工程での対応と不具合

ルーフ変形の対応として 3 軸電着塗装機を活用し，塗装軌跡を工夫した。3 軸塗装機とは走行軸･昇降軸･回転軸を自在に変更することができる設備となる。

入槽では浮力が極力働かないようにするために，回転させながら入槽させることで，ルーフ内に空気が残らないようにした。

移動時は流体抵抗を受ける面を剛性のあるルーフ上面になるように 90 度傾けた。

出槽ではパネルに塗料重量と塗料持ち出しが発生しない 45 度での引き抜きを行った（**図 9**）。

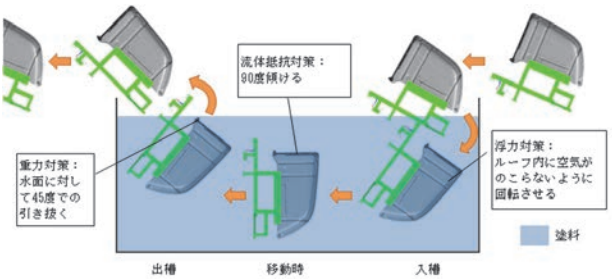


図 9　ルーフ塗装軌跡

しかし，この軌跡で塗装を行った結果，リヤルーフの変形が発生した。変形した理由はルーフを出槽させる際に想定以上に塗料重量がかかり，リヤルーフが内側へ折れ曲がるという変形であった。この対策として荷姿上でバックパネルが内側へ変形しないように抑制ブラケットを追加した（**図 10**）。この変形抑制ブラケットを追加後は図面寸法に対して前後左右 1.5 ㎜以内に抑えられ，形状保証ができている。

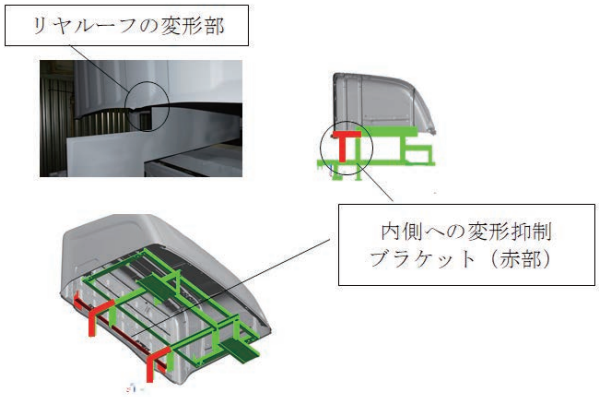


図 10　対策荷姿

4.4 今後の課題

今回は荷姿を工夫することで，既存塗装設備に対して大規模な拡張工事なしで生産を実現したが，分割することで生産台数のロスが塗装工程で発生する。

生産台数ロス対応として，荷姿を吟味し，一体化流しの検討を現在行っている。

5　艤装編

新ハイルーフの生産では，別体のハイルーフとルーフなしキャブを接着工法にて組付ける必要がある。接着工法において，接着強度と水密性の確保，ルーフパネルエッジ･ドリップレールエッジ部の処理（サビ止め処理）が求められる。当初，接着剤をハイルーフ搭載前･搭載後の二回塗布する計画であった。搭載前の接着材（以下，“インナシール”と称す）により接着強度の確保をし，搭載後の接着剤（以下，“アウタシール”と称す）にて水密確保と各エッジ処理を行う構想であった（**図 11**, **図 12**）。

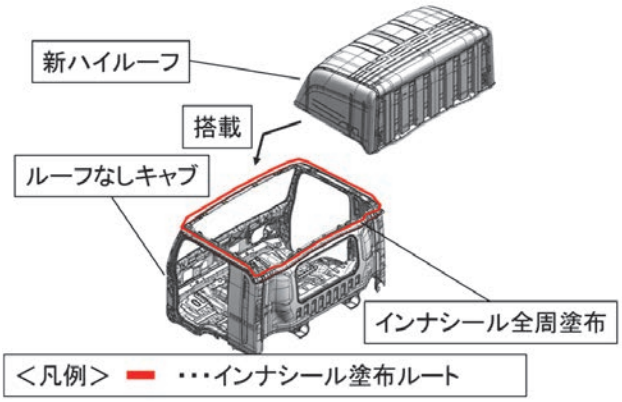


図 11　インナシール塗布（当初工法）

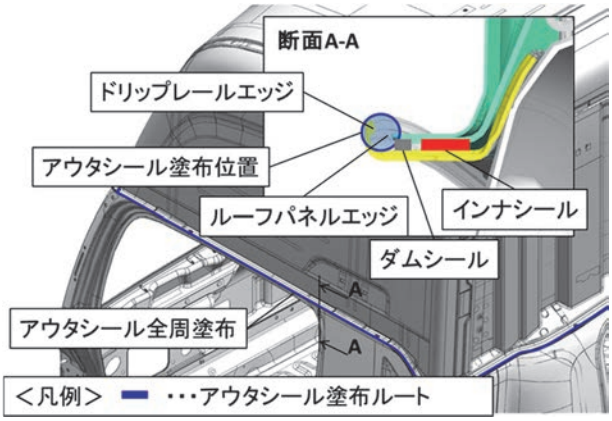


図 12　アウタシール塗布（当初工法）

5.1　当初工法の課題について

当初工法では，二種類の接着剤（インナ・アウタシール）を二度塗布する必要があり，多くの作業工数が発生することが課題であった。

また，アウタシール処理では，水密性の確保と各エッジ処理のため，ルーフパネルとドリップレールの間に隙間なくアウタシールを充填させる必要があった。そのため，アウタシール塗布後にヘラで隙間を埋める作業が必要で，多くの工数が発生すると同時に，作業ばらつきによって，安定した水密性を確保できないことも課題であった。

今回はそれらの課題に対してのアプローチの一例を紹介する。

5.2　課題に対する対策立案

上述の課題に対して，インナシール塗布のみで接着強度･水密性･各エッジ処理･作業性を満足し，作業工数の低減と安定した水密性を確保する方法を考えた。対策イメージを**図 13** に示す。

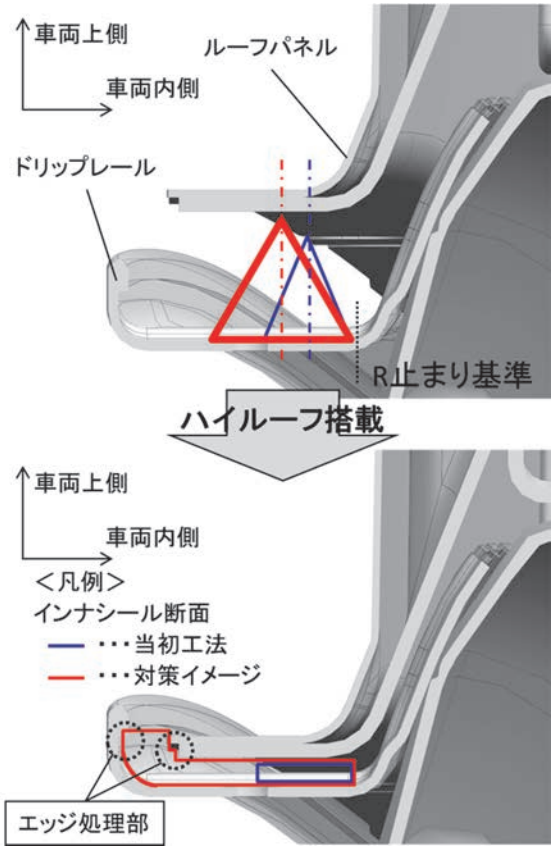
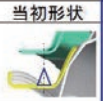


図 13　対策イメージ

図 13 で示した通り，インナシールの塗布量を多くし，ハイルーフ搭載後にはみ出してきたインナシールをそのまま各エッジ処理に利用することでアウタシール塗布を廃止し，作業工数を低減することを考えた。また，水密性についても，ルーフパネルとドリップレール間にインナシールが隙間なく充填され，安定して確保できると考えた。

塗布形状については机上での検討だけではなく，実車での TRY も実施することでより良い形状を探求した。TRY 形状を**表 2** に示す。

表 2　インナシール TRY 形状抜粋

案	当初形状	ALT1	ALT2	
インナシール形状				
幅(mm)	10	20	20	
高さ(mm)	12	15	20	
水密性	×	◎	△	
作業性	△	○	○	
判定	不採用	採用	不採用	

さまざまな形状での TRY を実施し，接着強度・水密性・各エッジ処理・作業性を満足できるインナシール塗布方法を検討した。最終的な形状として**表 2** の ALT1 案を採用した。

5.3 対策の効果

以上の結果，水漏れ発生率が著しく低下し，改善前後で塗布工数を半減させることができた。更にアウタシールを廃止することで，二種類の接着剤を一種類に削減でき，塗布間違いのリスクの低減と準直材コスト削減を実現した。

6 総組立編

6.1 先進安全装備 VAT 学習装置

先進視覚サポート技術「VAT」は，安全装置へのニーズの急伸に応えるべく，横断歩行者及び自転車等の検知が可能となった。

VAT はミリ波レーダとカメラで物体を検知するシステムであり，レーダとカメラの初期学習が必要となる。初期学習では車両と学習用ターゲットを正対させる必要があり，20 型ギガから正対時の車両と学習ターゲットのセンタリング精度も要求が厳しいものとなった。また，学習時の各ターゲット位置・角度が規定通りかの記録と保存も品質保証の一部として必要となった。

ギガには多数の車型バリエーション（**図 14**）があり，全車型に対応できる工法・装置の考案が必要であった。考案した装置について，バーチャルモデルで検証を実施した事例を中心に紹介する。



図 14 多数の車型バリエーション

本装置の課題は大きく 2 つ。1 つ目は多車型への対応である。従前はフロントタイヤ位置を基準にして学習ターゲットまでの距離を決めていた。20 型ギガではキャブ前端からターゲットまでの距離に制約が追加され，かつフロントタイヤ位置とキャブ前端間距離が車型毎に異なるため，基準位置がフロントタイヤだとターゲットを車型に合わせて動かさなければならない。対策として，センサを用いて基準位置をキャブ前端とする工法を採用した。

車両の学習ターゲットへの正対工法について，フロント側・リヤ側ともに機械的にタイヤの内側を押さえつける工法へ変更することにしたが，タイヤの位置は車型により異なり，フロントタイヤとリヤタイヤで左右のタイヤ間距離も異なる。フロントタイヤ側とリヤタイヤ側で装置を分割する必要があり，全車型に対応できるようバーチャルモデルを用いて検証を実施，装置寸法を決定した（**図 15**）。



図 15 タイヤ位置の検証

本装置の 2 つ目の課題は学習ターゲットと車両との高精度なセンタリング及び記録と保存である。センタリングについて，サーボモータを採用することで高精度な位置決めを達成した。また，学習時の各ターゲット位置と傾斜角度を車両 1 台毎に記録できるようにレーザ距離計，傾斜計を各学習ターゲットに設定した（**図 16**）。これによりトレサビリティ機能を持つことができ，設備不具合または車両不具合が発生した際に，発生起点を迅速に特定することが可能となった。

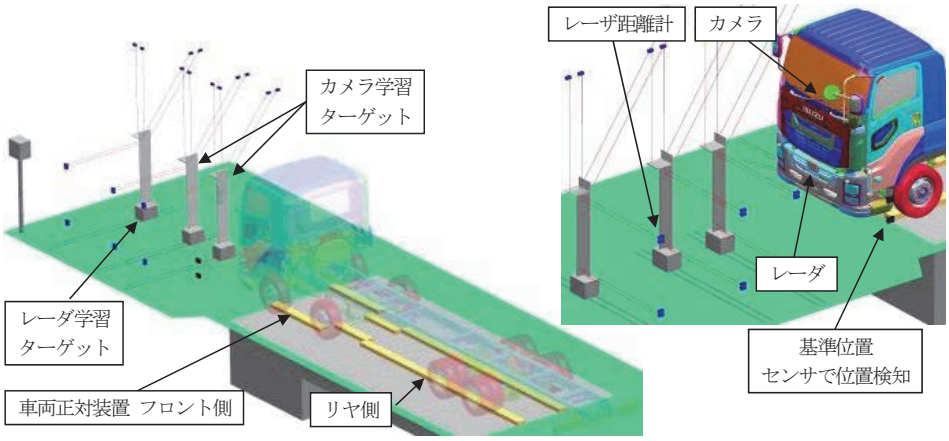


図 16 装置全体図の後方視点と前方視点

6.2 先進安全装備　TPMS ID 読取り装置

20 型ギガに TPMS が藤沢工場生産車で搭載されることになった（**図 17**）。従来は藤沢工場出荷後の改造対応にてこの機能を付加し，市場投入していた。昨今の市場動向と将来予測からいすゞでは他社に先駆け藤沢工場での組立を実施することになった。

TPMS の発信機はホイールとタイヤの間に組立されており，外からは見えない。発信機には固有の ID があり，車両から見てどのタイヤにどの ID が紐付くかを車両に初期学習させる必要がある。出荷後の改造対応ではハンドツールを使用しているが，今回は車両組立後に各発信機 ID を装置で自動読取りする工法を考案し自動化を実現した。大型トラックとしては初の試みである。その概要について紹介する。



図 17　TPMS 機能概要

6.2.1　多車型への対応

自動化に向けての課題は大きく 2 つ。1 つ目は多車型への対応である。タイヤの位置はホイールベースによって異なる。車両が停車した状態で装置がタイヤに近づく工法にすると専用工程が増えて工程のコンパクト化ができず，設備投資が大きくなりサイクルタイムもバランスが悪く（収まらなく）なってしまう。

今回は装置を固定にした状態で，車両が 1 軸ずつ動く既存装置と併設して全車型に対応させた。

6.2.2　リヤ 2 軸ダブルタイヤ時の読取り工法

自動化に向けての 2 つ目の課題は，リヤ 2 軸ダブルタイヤ時に発信機 ID と車両から見たタイヤ位置の正しい紐付けである。リヤが 2 軸車の場合に最大で片側 4 つの発信機が隣接しており，狙った位置の発信機を正しく読取ることが困難である（**図 18**）。

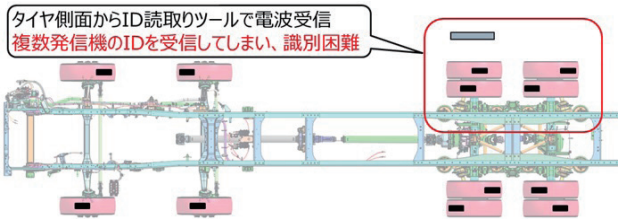


図 18　リヤ 2 軸ダブルタイヤ時は発信機が複数隣接

発信機は ID 読取りツールからの特定電波を受信すると ID 情報を発信する仕組みとなっている。今回は次の 3 つの方法を合わせることで ID を自動で特定する工法を考案した。

① タイヤを装置で回転させ，読取りツールは固定
② 読取りツールからの電波強度を外側タイヤ読取り時と内側タイヤ読取り時で変更する（**図 19**）
③ ID 情報が重複した場合は消去法を用いる

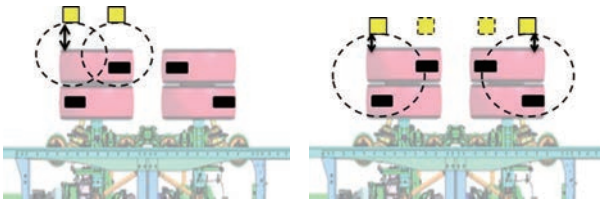


図 19　外側・内側 ID 読取り時の電波イメージ

今回考案した工法により，車両組立後に各発信機 ID の装置での自動読取りを実現した（**図 20**）。

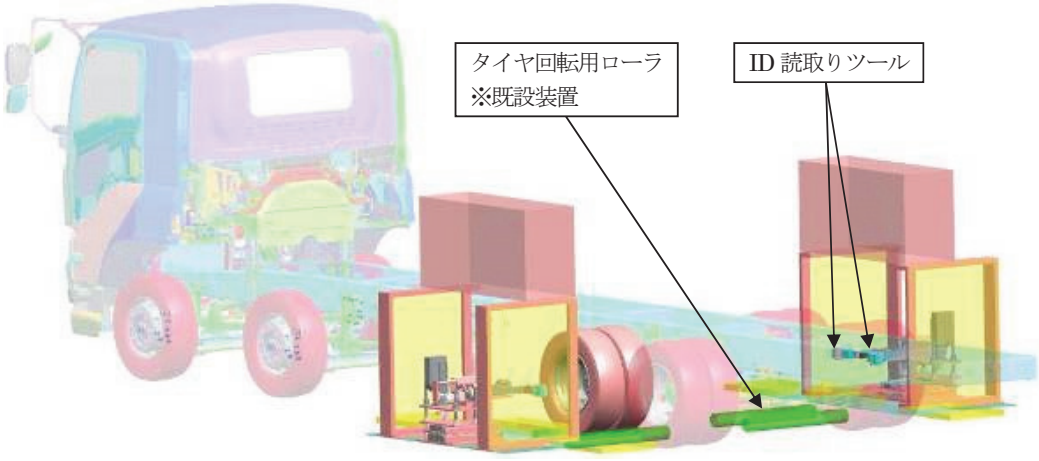


図 20　装置全体概要図

7　車両検査編

7.1 先進安全装置･運転支援装置について

20 型ギガでは，多くの先進安全装置･運転支援装置が搭載されることになった。

この装置追加に伴って，これらの機能をコントロールする新規の ECU（Electronic Control Unit）が大幅に増加し，また，既存の ECU とも連携しており，従前車と比べ車両を制御する機能は，非常に複雑な構成となっている（**図 21**）。

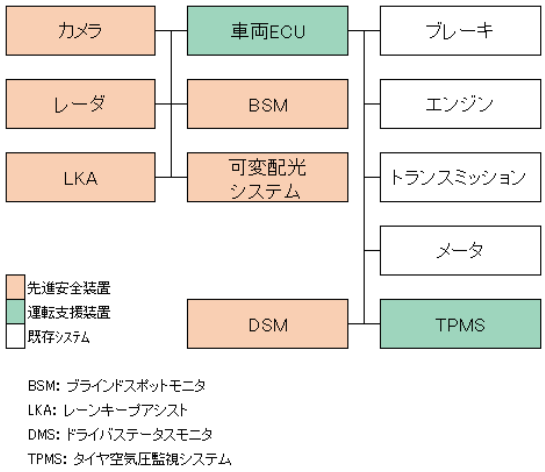


図 21　車両システム（一部）

7.2 車両検査について

現状，車両の仕様差を吸収するため各 ECU に EOLP（データ書込み: End Of Line Programming）を行っている。また，各 ECU と通信して DTC（Diagnostic Trouble Code）の確認と機能検査を行っており，各 ECU に合わせて EOLP 書込みソフト及び検査ソフトを作成している。

7.3 現状把握

前述の通り，20 型ギガでは車両機能が大幅に追加され車両制御システムが複雑になってはいるが，短期間での車両開発と車両評価が求められている。

今までは，ECU ごとに EOLP 書込み・検査ソフトを作成してきたが，従前同様の検査ソフトを開発すると 5 カ月程度必要な見込みである。

今回，複雑化する車両制御システムに対応するとなると，検査ソフトの開発期間が長期間必要となるため，このままでは設備準備に時間がかかり，車両評価が遅れてしまうことが懸念される。

また，車両制御システムが複雑化し，開発からの要求項目が高度化することが想定されるため，開発プロト段階から評価に加わる必要があるが，車両評価において，検査ソフトの変更が必要になった場合，現状のソフトでは改造する必要が発生するため，更に変更する準備期間が必要となり，車両評価の遅れが懸念される。

そのため，複雑な車両制御システムに柔軟に対応できる検査ソフトとし，短期間での車両評価に対応できる検査ソフトの開発が必要となった。

7.4 20 型ギガでの対応

今までは ECU に合わせて，EOLP 書込みソフト及び検査ソフトを作成してきたが，今回は，共通で使用する部分のプログラムと機能単位で使い分けする部分のプログラムに分けてソフト作成し，機能単位のプログラムは内製化し EOLP 及び検査で実行する機能・順序を自由に設定できるようにすることで，いろいろな ECU に対応でき車両評価時の変更にも柔軟に対応できるソフトとなった（**図 22**）。

また，従前ソフトと比較しソフト作成数を低減して，短期間でのソフト開発することができ，従前の検査ソフトに比べて，設備準備期間を約 3 カ月短縮した。

今後も機能を組み合わせることで，さまざまな検査に対応することが可能な検査ソフトとなった。

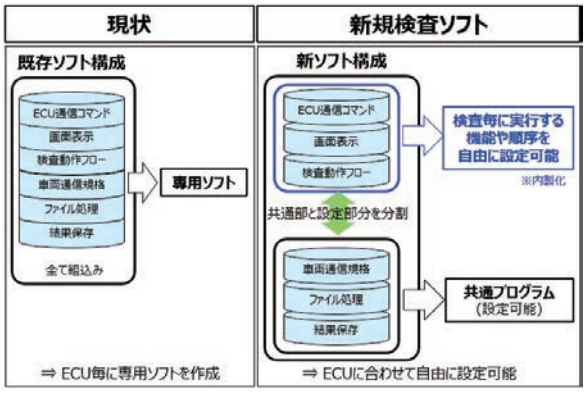


図 22　新規検査ソフトのイメージ

7.5 今後の課題

CASE（Connected，Autonomous，Shared/Service，Electric）対応として，今後，更に車両制御システムが複雑になることが想定されるため，車両検査ソフトの開発方法については前例にとらわれない手法が必要になってくる。

8. おわりに

本稿では，生産部門が高品質で生産効率の良い生産設備を，ミニマム投資でいかに実現したのかを述べてきたが，これらのことは製造，開発，購買を含めた関係各部との開発初期段階からの協業があってのことであり，心よりお礼申し上げます。

安全･安心･快適な 20 型ギガが，お客様に喜んで受入れていただけることを執筆者一同願っています。

著　者


谷　祥二郎


馬場　大輔


立川　公博


植木　裕介


粂川　昌紀


上原　晃


粂　賢治

◇いすゞ歴史の一こま



TD50 組立ライン（1964 年ごろ）

論文・報告

欧州・豪州向け 新型 ISUZU D-MAX 概要

Product Overview of New ISUZU D-MAX (EU/Australia Model)

牧　英明*　Hideaki Maki
平田　朗*　Akira Hirata
松岡　一幸*　Kazuyuki Matsuoka
菅　雅裕**　Masamichi Suga

要　旨

いすゞ自動車は，昨年秋に8年ぶりにフルモデルチェンジした小型ピックアップ・トラック　新型「D-MAX」を，2020年9月の豪州での販売を皮切りに世界各国への輸出を開始した。

本稿では，欧州・豪州向け仕様を中心に，主要開発項目について紹介する。

Abstract

Isuzu Motors Ltd. has started exporting the small-size pickup truck, New D-MAX, which had the full-model changed after 8 years, to various countries around the world, starting with the sales in Australia in September of 2020. In this article, we will introduce the main development items by focusing on Europe & Australia spec.

1　はじめに

8年ぶりにフルモデルチェンジした小型ピックアップ・トラック　新型「ISUZU D-MAX」(以下，「D-MAX」と略す) を，タイに引き続き2020年9月，豪州での発売を皮切りに世界約100ヵ国以上への輸出を開始した。

特に，豪州向けにおいては，ADAS（Advanced Driver Assistance System：先進運転支援システム）として，衝突被害軽減ブレーキ，車線維持支援機能等，最新の安全装備の採用により，自動車アセスメントプログラムである「2020年 新プロトコル ANCAP (Australasian New Car Assessment Program)」で，最高評価である5つ星を取得し，高い安全性が評価された。

今回，欧州･豪州向け仕様を中心に，主要開発項目･性能について紹介する。

2　主要開発項目･性能

2.1 安全性能

各国のNCAP（自動車アセスメント）では，先進安全の導入とともに，衝突安全評価に対する要求が高まり続けている。新型「D-MAX」では，2020年 新プロトコルによる ENCAP・ANCAP 5☆取得を目指して開発した。

2.1.1　アクティブセーフティー･ADAS

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

2.1.2　パッシブセーフティ･衝突安全他

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

ニーエアバッグ及び，ファーサイドエアバッグを新規設定し，8エアバッグを実現することで，安全性の更なる向上を図った（**図1**）。

8エアバッグを装備
Driver Air Bag × 1
Passenger Air Bag × 1
Roof Rail Air Bag × 2
Side Air Bag × 2
Knee Air Bag × 1
Far Side Air Bag × 1

* LCV 商品企画・設計部　　** PT 商品企画・設計第二部



図 1　エアバッグ展開イメージ

2.1.3　歩行者保護対応

歩行者頭部保護性能向上のため，エンジンフード構造及び，内部レイアウトの見直しを実施した。また，ワイパーピボットをエンジンフード内へ設定，樹脂カウルカバー形状の最適化・一部薄肉化を実施することで，頭部傷害値を低減させた。

歩行者脚部保護性能向上のため，CAE（コンピュータ解析：Computer Aided Engineering）によるバンパビームアッパ・ロアー形状造り込みを実施し，エネルギー吸収構造の最適化を図った。

2.2　環境性能

2.2.1　RZ4E エンジン（排気量 1.9 L）・後処理改良

世界トップレベルの排出ガス規制 Euro6d と低燃費を両立すべく，次の技術を採用した。

- 250 MPa 燃料噴射システム
- VGS ターボチャージャー（可変翼ターボチャージャーシステム：Variable Geometry Turbocharger System）の電制化
- 樹脂コートベアリング採用によるフリクション低減
- LP-EGR（低圧排気ガス再循環：Low Pressure Loop Exhaust Gas Recirculation）システム・水冷インタクーラ
- LNT（NOx トラップ触媒: Lean NOx Trap）+DPD（ディーゼル微粒子除去装置：Diesel Particulate Defuser）＋尿素 SCR（尿素水選択式還元触媒：Urea-Selective Catalytic Reduction）後処理システム

特に LP-EGR システム・水冷インタクーラはいすゞ初採用技術であり，重要課題として開発に着手した。LP-EGR システムはターボチャージャーを通過した排出ガスを利用することで HP-EGR システムと比較して，タービン効率を下げずに EGR を掛けることが可能となり，低燃費を実現することができる技術である。一方，EGR ガスを混合した空気をインタクーラで冷却すると，凝縮水が発生し，インタクーラの腐食孔空きの懸念があった。この課題に対して，水冷インタクーラを併用することで吸気温度をコントロールし凝縮水の抑制を図った。結果，耐久信頼性と燃費性能を両立することができた。

排出ガス性能に関しては，従前の後処理システム（LNT+DPD）に対しアンダーフロアに尿素 SCR システムを追加し，リアルワールドに則した路上走行試験 RDE（路上走行試験：Real Driving Emission）規制も満足し，環境負荷の少ないエンジンを開発することができた（**図 2**）。

結果として，Euro6d 排出ガス規制を満足し，実燃費 6 %向上を達成することができた。

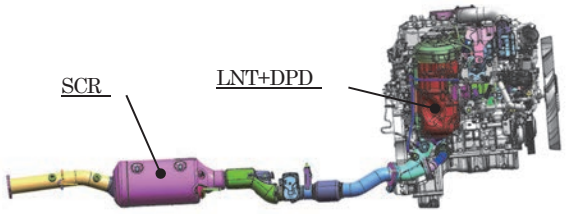


図 2　後処理システム外観図

2.2.2　空力改善

開発初期段階より空力 CAE，1／4 スケールモデルによる風洞試験を実施し，ピックアップ・トラックの空力性能に大きく影響する「ルーフ後端形状」をスタイルの基本シルエットへ反映した。また，試作車による検証段階において，CAE 及び，実車風洞試験を用いた，アンダーカバー詳細形状の造り込みを実施した。結果，Cd（空気抵抗係数：Coefficient of drag）値は従前車に対し 4 %向上し，クラストップレベルの空力性能を達成した。

2.2.3　低転がりタイヤの採用

CO_2 規制対応のため，従前タイヤに対し，転がり抵抗を 15 %低減した「265／60R18 タイヤ」を新規開発した。このタイヤは，転がり抵抗低減のみを狙ったものではなく，操安性能，NV（振動騒音：Noise, Vibration）性能，スキール音の改善など，すべての性能バランスを最適化しており，タイを含めた全世界展開のタイヤとして開発することができた。

2.2.4　ISS の採用

CO_2 規制対応のため，AT・MT 全車に ISS（アイドリングストップスタートシステム：Idling Stop-start System）を新規採用した。エアコンとの協調制御設定及び，マルチメータへの ISS 禁止理由表示などを追加し，車内快適性とドライバへのアナウンスを配慮したシステムとした。

2.3 快適性

2.3.1 全車速 ACC･LKA の採用

全車速 ACC（車間距離制御装置:Adaptive Cruise Control）及び，LKA（車線維持支援装置：Lane Keep Assist）の新規採用により，安全性の確保とともに，運転サポート装備を充実し，快適性を向上させた。

（詳細は後述の「ADAS 紹介」を参照）

2.3.2 操縦安定性

新開発フロントサスペンション，高剛性ボディ，高剛性フレームで高評価を頂いているタイ仕様に加え，欧州では「走り込み開発」を実施した。欧州特有の石畳路面をはじめ，さまざまな路面での評価を行い，最適チューニングを実施した。

2.3.3 電動パワーステアリングの採用

LKA 等，ADAS 技術の対応のため，欧州・豪州仕様では EPS（電動パワーステアリング：Electric Power Steering）を標準設定した。低燃費への貢献とともに，車速感応による低速域の取り回しと，高速域の直進性の両立を達成，また，自然な操安フィーリングを確保し，社内レーティングでは HPS（油圧パワーステアリング：Hydraulic Power Steering）を超える評価を獲得した。

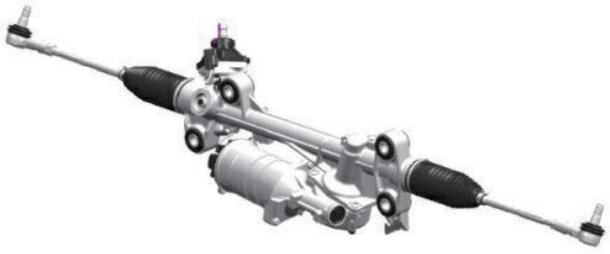


図 3　EPS（電動パワーステアリング）

2.3.4 振動騒音性能

ボディ剛性アップ，インシュレーションの最適化，エンジンの低騒音化などにより，クラストップレベルの静粛性を達成した。

低速トルクが大きい 4JJ3（排気量 3.0 L）エンジン車に対しては，駆動系ノイズ大幅向上のため，Dual Mass Fly Wheel を新規開発した。クラッチダンパから仕様変更することで，減衰能力を強化，また，トランスミッションへ伝達する回転変動を大幅低減することにより，駆動系からの騒音を抑え，車内騒音の低減に貢献した。

3　おわりに

新型 D-MAX の開発を終え，世界中のお客様の満足のために，すべての設計を一から見直し，何を守り何を変えていくべきか議論を重ね，快適かつ安全に，そして環境にも十分配慮された，これからの世界基準となり得るピックアップ･トラックへと進化出来たと考える。

開発過程での多くの悩みも，生産部門，購買部門，営業部門他，皆さまのご協力を得て，まさに‘ONE TEAM’で作り上げることができたことに，改めて感謝申し上げる。

今後も世界中のお客様の満足を追求し続け，良い商品を開発していきたい。

著　者



牧　英明



平田　朗



松岡　一幸



菅　雅裕

論文・報告

新型 ISUZU D-MAX の先進安全装備の紹介

Introduction of Advanced Driver Assistance System of the New ISUZU D-MAX

椎貝　竜二*　Ryuji Shiigai
富家　保行*　Yasuyuki Tomiie
高橋　龍雄*　Tatsuo Takahashi

要　旨

昨今の乗用車は，ADAS(先進運転支援システム：Advanced Driver Assistance System) の標準搭載が増加している。これらの ADAS は，ヒューマンエラーによる運転操作ミスを抑制し，交通事故の低減に有効な装置であるため，ユーザの注目が高い装置である。

ピックアップトラックの車両は，市場では乗用車と同様の使われ方であり，要求される機能も同等である。

このような背景から，20 年式欧州・豪州向けの新型 D-MAX において，いすゞピックアップトラック車に ADAS を初搭載した。これらの機能と開発に際し，工夫した点について紹介したい。

Abstract

In recent years, the standard installation of advanced driver assistance system (ADAS) is increasing in passenger cars. Since these ADAS are devices that suppress human error and are effective in reducing traffic accidents, they are devices that attract a lot of attention from users.

Pickup truck vehicles are used in the market in the same way as passenger cars, and the required functions are the same.

Against this background, in the 20MY new D-MAX for Europe and Australia, ADAS was first installed on Isuzu pickup trucks. I would like to introduce the points that were devised when developing these functions and development.

1　はじめに

自動車の基本機能である「走る・曲がる・止まる」の 3 つの機能を人が「認知･判断･行動」を行うことで，自動車は運転されている。ADAS（先進運転支援システム：Advanced Driver Assistance System）とは，これらの操作を「ある限られた場面で，人の操作を機械が補助する」ことで，事故を未然に防ぐ働きを行う。ADAS 機能は自動運転の基礎部分にあたるものであり，今自動車製造各社が最も力を入れて開発している装置の 1 つである。

ADAS は，車の安全を担う重要な装置と定着しており，この機能の良し悪しがその車の安全性を担保していることと同義となってきている。

NCAP（新車アセスメント：New Car Assessment Programme）では，この性能を数値化したもので安全性を格付けして広く一般に公開している。

新型 D-MAX は，NCAP で求められる機能が従前より大幅に拡大した Euro NCAP 2020 年プロトコルを念頭に置き開発を進めてきた。前方検知･ブレーキ･ステアリング装置との連携により，今ある乗用車と比較しても遜色のない ADAS が完成した。これらの機能について紹介したい。

2　新型 D-MAX 搭載 ADAS 紹介

2.1　搭載機能

表 1　新型 D-MAX 搭載機能一覧

機能名称	
Forward Collision Warning	FCW
Autonomous Emergency Braking	AEB
Pedal Misapplication Mitigation	–
Multi Collision Brake	MCB
Intelligent Speed Limiter	ISL
Manual Speed Limiter	MSL
Traffic Sign Recognition	TSR
Adaptive Cruise Control	ACC
Automatic High Beam	AHB
Attention Assist	–
Lane Keep Assist System	LKAS
Lane Departure Warning	LDW
Lane Departure Prevention	LDP
Emergency Lane Keeping	ELK
Blind Spot Monitor	BSM
Rear Cross Traffic Alert	RCTA

* AS システム開発部

新型 D-MAX では Euro NCAP・安全性・疲労軽減を目的として，**表 1** の 16 運転支援機能を有する。これはピックアップトラックの ADAS 機能としては世界トップレベルとなる。各機能詳細については **3 項**に詳細記述する。

2.2 システム構成

2.2.1 開発の狙い

ADAS が急速に普及し，世界各地域の NCAP では予防安全性能試験の重要性が高まっている。特に欧州では新型車の多くが Euro NCAP の格付けを受けており，Euro NCAP の試験プロトコル動向が車両の先進安全装備に与える影響が大きくなっている。Euro NCAP は積極的に先進安全技術の導入を進めており，2018 年には夜間条件での対歩行者 AEB（衝突被害軽減ブレーキ：Autonomous Emergency Braking）・対自転車 AEB を，2020 年には AEB JA（ジャンクションアシスト：Junction Assist）で交差点での右直事故（右ハンドル車の場合）を模擬した試験シナリオの評価を開始した。

NCAP の試験項目・配点は，事故分析に基づいており，NCAP に追従することで事故削減に貢献することができる。

新型 D-MAX ではいすゞのピックアップトラックとして初めて外界認識センサによる予防安全技術・運転支援技術を搭載し，各国 NCAP に対するポテンシャル確保による安全性の向上，及び運転者の負荷軽減により，安心して使っていただけるピックアップトラックを目指した（**表 2**）。

表 2　Euro NCAP に対する新型 D-MAX の予防安全対応

Euro NCAP/ANCAP 2020の予防安全技術導入

Euro NCAP分類		D-MAX対応機能
Vulnerable Road Users	AEB Pedestrian	Autonomous Emergency Braking（対歩行者（夜間含む））
	AEB Cyclist	Autonomous Emergency Braking（対自転車）
Safety Assist	Occupant Status	Attention Assist
	SAS	Traffic Sign Recognition Intelligent Speed Limiter
	LSS C2C	Lane Departure Warning Lane Departure Prevention E,mergency Lane Keeping
	AEB JA C2C	Autonomous Emergency Braking（Turn Assist）
	AEB CCR	Autonomous Emergency Braking（対車両）

2.2.2 システム概要

前方認識のための外界センサについて代表的なセンサ方式をベンチマークし，18 年式エルフとともにステレオカメラ採用した [1]。

ステレオカメラは車両前方の物体の距離，横幅を左右カメラにより正確に認識できるため，複雑な道路環境とさまざまな検知対象に対応可能なロバスト性の高いセンサである。このステレオカメラに撮像部，画像処理部，認識部，制御部を内蔵し，外界認識から車両制御まで単体デバイスで一貫して実施できるシステム構成（**図 1**）とし，車室内フロントウインドシールド上部中央に搭載している（**図 2**）。

ELK（緊急車線維持支援機能：Emergency Lane Keeping）などにおける後側方車両検知には，左右 2 個の後側方レーダを利用している。後側方レーダはリヤバンパ内に搭載する必要があるため，塗装も含めたバンパによる電波の透過損失が小さく，かつ後方車両の検知に対して十分な性能を有する 24 GHz帯レーダを採用した（**図 2**）。

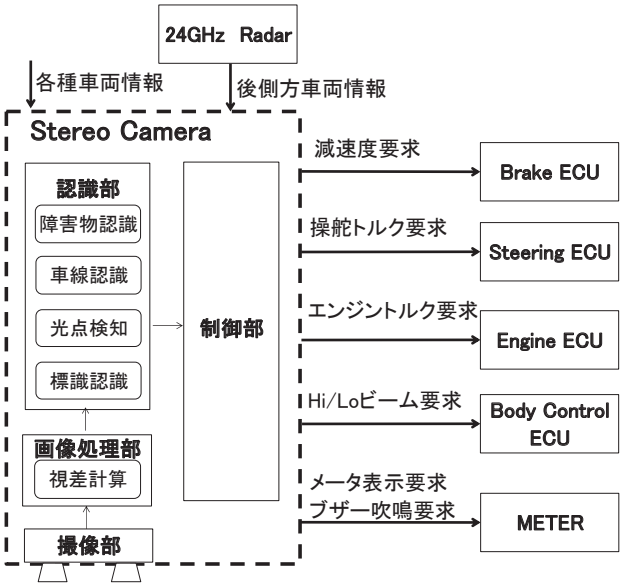


図 1　ステレオカメラシステムブロック図



図 2　センサレイアウト

3　システムの機能

3.1　ブレーキ及びステレオカメラシステム機能

3.1.1　車間距離警報・衝突被害軽減ブレーキ

自車前方の先行車両，歩行者，自転車などをステレオカメラで認識し，衝突の可能性がある場合，メータ表示・ブザー吹鳴によりドライバに警報を行う（FCW（車間距離警報：Forward Collision Warning）機能）。ドライバがブレーキを踏んだ場合，ブレーキアシスト機能により制動力を助勢する。衝突が避けられない場合は，自動ブレーキにより衝突を回避または被害軽減をする（AEB 機能）。

ステレオカメラは立体物の種類，形状によらず障害物を検知することができるため，任意立体物に対して FCW・AEB を作動することが可能である。機械学習技術の活用により夜間歩行者（**図 3**），横断自転車（**図 4**）の識別にも対応した。



図 3　対横断歩行者 AEB 試験（夜間）



図 4　対横断自転車 AEB 試験（遮蔽あり）

また，対向車との衝突判断ロジックを開発し，交差点進入時の事故にも一部対応した。ウインカを作動した低速での左折時（左ハンドル車の場合）または右折時（右ハンドル車の場合），ステレオカメラにより直進対向車を認識し，衝突可能性が高い場合 AEB を作動させるターンアシスト機能をいすゞとして初めて採用した（**図 5**）。



図 5　AEB ターンアシスト試験（左ハンドル車）

AEB 機能については，自動ブレーキをかけるタイミングを，ドライバが通常制動を行うよりもおそいタイミングにすることで，不要な制動とならないことを目標として作りこみを行った。自動ブレーキをかける前には，警報音と光によってドライバに制動を促すことも行う。警報音の発報から自動ブレーキに移行する時間は，ドライバが制動行動に移せることができる時間設定としている。危険回避のためにドライバがブレーキをかけた場合に対しても，通常より低い操作力でも強い制動力を発揮できるブレーキアシスト（BA）機能を付与し，最大制動力を発生させやすく補助する制御を搭載した（**図 6**）。

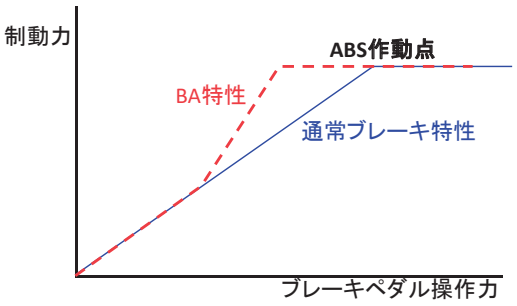


図 6　ブレーキアシスト（BA）作動イメージ

これらのように強い制動力を発生させた場合，後続車から追突される懸念が出てくるため，ESS（エマージェンシストップシグナル：Emergency Stop Signal）も採用した。急ブレーキをかけた際，ハザードランプを高速点滅させることにより，後続車へ急ブレーキの発生を知らせる機能である。これにより追突されるリスクの低減を図った。

3.1.2　マルチコリジョンブレーキ

MCB（マルチコリジョンブレーキ：Multi Collision Brake）機能は，エアバッグとブレーキシステムとの連携機能により，エアバッグが作動するような衝突が発生した場合，ドライバの操作なしで制動を実施し，速度を低減させる。これにより，路外逸脱等による 2 次被害の低減を狙った。

3.1.3　誤発進抑制制御（Pedal Misapplication Mitigation）

AT 車を対象にブレーキペダルとアクセルペダルの踏み間違いによる車両の急発進を防止する機能である。ペダル踏み間違いによる飛び出しは，日本では特に高齢者に多い事故形態として社会現象となっている。欧州でも AT 車比率は上がっており，事故削減に貢献することを期待している。

発進時，または徐行中，車両前方に障害物がある状態でアクセルペダルを踏み込んだ場合，メータ表示・ブザー吹鳴によりドライバに注意喚起するとともにエンジントルクを抑制して車両の急発進，急加速を抑える（**図 7**）。障害物検知のためのセンサ方式はレーザレーダ，超音波センサなど複数存在するが，新型 D-MAX ではステレオカメラを活用することで歩行者などにも対応可能となっている。



図 7　制御中メータ表示

3.1.4　標識認識機能・インテリジェントスピードリミッタ

最高速度違反，追越し違反などの法令違反を防ぐことは事故の未然防止のために重要である。今回，ステレオカメラにより道路標識を認識し，メータ表示する TSR（標識認識機能：Traffic Sign Recognition）機能を主に欧州，豪州向けに採用した。また，特に速度超過は重大事故につながりやすいため，TSR により取得した制限速度情報をスピードリミッタのセット車速に適用できる ISL（インテリジェントスピードリミッタ：Intelligent Speed Limiter）機能を合わせて開発した（**図 8**）。

TSR の対象標識は，ウィーン条約で定められている標準的デザインの制限速度，追越し禁止，進入禁止を選定した。また，補助標識も検知対象とし種別識別が可能なものについては対応する意匠をメータ表示する。

TSR で取得できる制限速度情報の精度には限界があり，また本システムではカーナビゲーションの地図情報を併用していないため，制限速度情報の ISL セット車速への適用は，RES（リジューム）スイッチ操作によるドライバの承認を必要とする方式とした。



図 8　TSR・ISL メータ表示例

TSR は欧州各国・豪州で試験車による走り込みを行い，標識辞書の適合，誤検知防止仕様を作り込んだ。誤検知防止の点で，先行車両に貼られた速度ステッカーなどはステレオカメラによる立体物検知により棄却するなどの工夫を行っている。

ISL のスイッチ類は ACC と共用であり，使い勝手を考慮し，RES スイッチを独立したスイッチとして配置している（**図 9**）。



図 9　ACC・ISL 用スイッチ

3.1.5　アダプティブクルーズコントロール

主に高速道路走行時の運転負荷軽減のため，先行車への追従及び渋滞時の停止まで対応可能な全車速追従機能付き ACC（アダプティブクルーズコントロール：Adaptive Cruise Control）を採用した。ステレオカメラの左右カメラ視差によるステレオ視だけでは ACC 制御に必要な検知距離を確保できないため，単眼画像処理を利用した遠方車両・遠方バイク検知技術を採用することにより，ステレオカメラのみで ACC を実現している。

先行車に追従停止した場合 ACC 制御を解除するが，自車が完全停止するまでの数秒以内に先行車が再発進した場合は追従走行を再開する。また，ウインカ作動により車線変更した場合に加速を強め，速やかな追越し加速ができるようにした。

先行車の急減速などにより ACC の減速制御だけで止まれないと判断した場合は，メータ表示・ブザー吹鳴による接近警報を行う（**図 10**）。接近警報は積車状態を考慮し早めに発報するようにしている。

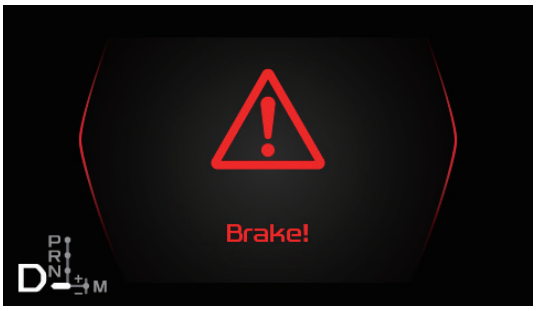


図 10　接近警報中メータ表示

3.1.6　オートハイビーム

AHB（オートハイビーム：Automatic High Beam）機能は，ステレオカメラにより先行車テールランプ，対向車ヘッドランプ，街灯などの光源を認識し，自動でハイビーム・ロービームの切り替えを行う。ドライバの操作負荷を軽減し，かつハイビームでの走行頻度を高めることで夜間の視認性を確保し事故を未然防止することを目的とし，また，夜間の障害物の早期発見を支援できるため，夜間の AEB 性能にも貢献できる機能である。

新型 D-MAX ではステレオカメラを使うことにより，光源の輝度情報に加え距離情報も得ることができるため，より正確に光源としての明るさを判定することができ，制御精度の向上に役立っている。

3.1.7　ふらつき警報（Attention Assist）

事故要因の大多数はヒューマンエラーであり，速度超過とともに漫然運転も主要な要因の一つとして挙げられる。

新型 D-MAX では，ステレオカメラが認識する車線情報と自車の予測進行路から，ドライバの覚醒度低下状態での車両のふらつきを判別し，メータ表示・ブザー吹鳴による注意喚起を行う，ふらつき警報機能を採用した（**図 11**）。



図 11　ふらつき警報メータ表示

3.1.8　車線維持支援機能

先の ACC 起動時に付随する機能で，車線をステレオカメラで認識し，車線中央を維持して走行できるよう EPS（電動パワーステアリング：Electric Power Steering）による操舵支援を行う（**図 12**）。自動運転とは異なり，ドライバがハンドルを握っている状態での操舵支援のため，ドライバの意思に逆らって制御が強く働く場合，その制御が運転の邪魔になる可能性がある。またその逆でドライバのちょっとした操舵ですぐ制御をやめてしまう場合，機能としての恩恵が感じられない可能性もある。ベンチマークの結果，市場ではその両方が存在し，まだ LKAS（車線維持支援機能：Lane Keep Assist System）には正解がなく，各社各様であることが分かった。新型 D-MAX では，その部分に注意してチューニングを実施し，ドライバの意思を反映しつつ，制御の恩恵を感じられる味付けを行った。



図 12　LKAS メータ表示例

3.1.9　車線逸脱警報・車線逸脱防止支援機能

LDW（車線逸脱警報：Lane Departure Warning）と LDP（車線逸脱防止支援機能：Lane Departure Prevention）はともに，ドライバの不注意・横風等による車線逸脱防止のための支援機能である。LDW は警報機能で油圧パワーステアリング車ではブザー音，EPS 車ではハンドル振動とメータ表示によりドライバに警告を行う。LDP は更に自車線内に戻すべく操舵支援を行う。

3.1.10 緊急車線維持支援機能

LDP はウインカ操作をともなう車線変更の場合は機能しないが，ELK はこの車線変更時に隣接車線の後側方に車両が存在した場合，レーダで存在を検知し，衝突を回避すべく車線変更とは逆の自車線内に戻す操舵支援を行う機能である（**図 13**）。本機能はドライバの意思とは逆の制御を行う必要があるため，ドライバの意思（車線変更動作）により簡単に制御を解除（オーバライド）できないようにする必要がある。しかし制御力が強いとドライバが危険に感じるため，開発時はその点を注意してチューニングを実施した。



図 13　ELK メータ表示

3.2 後側方レーダシステム機能
- 後側方車両検知警報・後退時車両検知警報 -

BSM（後側方車両検知警報：Blind Spot Monitor）は隣接車線の死角になりやすい後側方及び近づいてくる車両をレーダで検知し，ドアミラー内インジケータを点灯，そのままウインカを出すと点滅させてドライバに車両の存在を警報する機能である（**図 14**）。RCTA（後退時車両検知警報：Rear Cross Traffic Alert）は駐車場からバックで出る際，側方から接近してくる車両をレーダで検知し，同様にインジケータ点滅及びブザー音により警報する機能である。レーダの特性上，隣接車線の車両との相対速度が 0 km/h に近い場合検知が難しく，感度をあげると検知対象とは関係ない構造物等を誤検知しやすくなるという課題があった。そこでタイヤの回転も判断材料に加えることにより，誤検知を減らす工夫を行った。



図 14　ミラー内インジケータ表示

4　おわりに

今回新型 D-MAX の ADAS は，先に商品化した 18 年式エルフと同型モデルのステレオカメラを採用しつつも，多くの機能を追加したことから，システム全体としては非常に高度なものとなった。ブレーキ及びステアリングといった連携する機構が増えたことにより，制御干渉の確認と通信信号の作りこみに非常に多くの時間を要した。また，商品化する対象国も多く，それらの国固有の交通事情或いは標識の調査などに時間をかけたことも，今までにない開発でありました。

我々開発部門だけでなく，海外拠点とサプライヤの方々の助力があったからこそ，この短期間で開発完了に至れたと思います。

今ここに世界トップレベルのピックアップトラックであると自信を持てる車ができました。ご協力いただいた社内外の多くの関係者皆様に，深く感謝申し上げます。

参考文献

(1) 池田真悟他：18 型エルフのステレオカメラを使ったAEBS，いすゞ技報，131 号 (2019)，p.110

著　者


椎貝　竜二


富家　保行


高橋　龍雄

論文・報告

AI Driven Revolution in Methodology Developments for Predictive Maintenance and Autonomous Driving

Yong Sun* Wenbo Yu* Xuejiao Li*

Abstract

AI is bringing revolution to automobile industry with its unique properties: I.AI bridges the existing development problems, latest methodology and up-coming changes (reflected by data); II. AI serves as infrastructure for other developments, such as predictive maintenance, autonomous driving. III. AI serves as a perfect platform for combining accumulated engineering knowledge and data. In order to illustrate AI's potential in improving efficiency and quality, this article reviewed several examples in engine, big data and autonomous driving. Benefits and limitations were reviewed. And possible next steps were suggested.

1 Unique Properties of AI and Its Influence on the Automobile Industry

I. AI(Artificial Intelligence) bridges the existing development problem, latest methodology and newest changes: AI methodology is applicable even for existing age-old problems within auto industry, such as optimization, calibration, control, predictive maintenance and etc. As a traditional industry, OEMs(Original Equipment Manufacturers) usually accumulated large, sparse, transient data set, which were difficult to be reused. AI provides a great opportunity to centralize, standardize the existing data by its capability of summarizing and analyzing big data.

II. AI serves as infrastructure for other developments. The influence of AI is not limited to data management but also serves as backbone of autonomous driving, predictive maintenance. For example: deep learning-based AI predictive platform would fuse data collected from on board sensors, service record and driving behavior. And then the model will produce multi-level predictions, such as next scheduled service, deteriorating components replacement. Furthermore, using predictive analytic the driver could be alerted to an imminent service while dealers would also be forewarned of the service so that the necessary workshop time could be allocated, and the correct servicing and repair parts ordered. And for autonomous driving, AI model has been extensively utilized in multiple critical components, including object detection, trajectory prediction, localization. After model was built, AI could also do uncertainty analysis which is beneficial for knowledge transferring.

III. AI is a platform combing human domain knowledge and data. The cooperation between human beings and AI is gradually changing the mindset of working. By reviewing high-impact successes of AI so far, the AlphaGo (winning against world top Go champions) and OpenAI's progress in dominating video game (OpenAI's AI model in Dota II is winning 99/100 against top human players) stands out.

The common part for the above and other successful utilization of AI is that human beings are providing the cognitive understanding. No matter in the game of GO or video games such as Atari, Starcraft II, Dota II, all rules were defined by human beings and this understanding is fed into the AI system. Although AI model does not necessarily demand the learning from human beings about how to play, the core cognition of the task or "the world" is the key for AI to reach its full potential. And currently that is also the biggest problem for utilizing AI in the real world, as Eero Simoncelli put it "You can't model the probability distribution function for the whole world, because the world is too complicated." But in order to utilize

* Isuzu Technical Center of America, Inc.

AI to its actual potential, it needs to be combined with human knowledge. The most feasible way to get a robust AI for practical task is to get the reasoning-based approach. In order to make this happen, human being need to be involved. And that's why we put a dedicated section for interpretation of AI model.

2 AI Serves as the Bridge Between Existing Development Problem and New Methodology

Data-driven models have been increasingly used to solve problems in automobile industry. Models such as emission model, engine stall prediction or DTC(Diagnostic Trouble Code) code clustering have been studied in ITCA. In this section, we introduce a predictive maintenance project to predict engine stall failure a week ahead.

2.1 Engine Stall Prediction

In this section, we provide an example of AI solution to an old-age problem, engine stall on the road. It is extremely difficult to predict engine stall a week ahead with traditional methods due to the lack of failure cases and large amount of high dimensional data for analysis.

Our solution was to first divide the sensors into two groups based on domain experts' suggestions. The first group of sensors was considered as reference sensors. The second group was categorized as target sensors. Our idea was that the values of the target sensors could be represented by the regression results of the reference sensors. The logic flow is shown in **Figure1**. The anomaly detection process can be divided into three stages: training, validation, and testing. In the training stage, the vehicle status patterns are uncovered by a regression model, where features and labels are the reference sensors and target sensors respectively. During the training stage, only normal data are used to train the regression model from the reference sensors, to obtain the target sensor values.

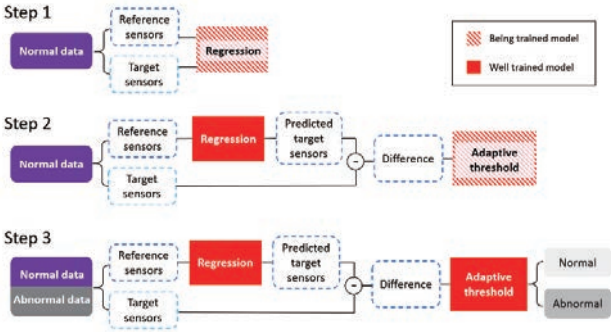


Figure 1 Logic flow for failure prediction.

Once the model for analyzing the normal patterns in the dataset is well designed, whenever anomaly occurs in any sub-system, the actual sensor reading will deviate from corresponding prediction given by the reference sensor variables. After that, a threshold can be set to identify abnormal cases. In other words, the differences between the predicted and actual target sensor variables are used to train the threshold. This step is shown as Step 2 in **Figure 1**. When both the regression model and threshold are trained, the model is used for validation of unseen normal and failure data to quantitively evaluate the model performance by criteria such as the recall or precision.

The data we used were collected with records of 40 s in length, with 4 FPS(Frames Per Second) every 12 min while each vehicle was operating. Data were collected from 75 sensors, which we divided into 14 reference sensors and 16 target sensors. The data were from 16 buses, 9 of which experienced failure cases and 7 of which operated consistently well. The training, validation, and test data roughly corresponded to 70%, 20%, and 10% of the dataset. Note that the samples in training set are summarized in units of days, while the validation and test sets were organized biweekly, only the data from the first week were used as input.

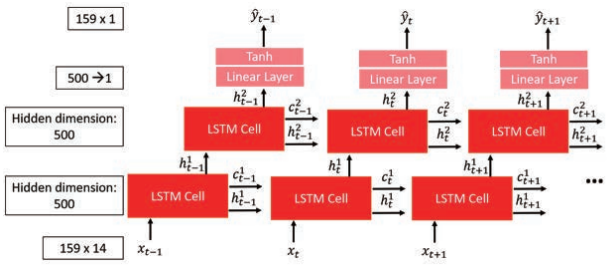


Figure 2 Adopted LSTM network structure.

We adopted long short-term memory (LSTM) network for the data were time-series data (**Figure 2**) and 3σ Gaussian threshold. The LSTM network contains two layers both of which have 500 hidden neurons. The length of each data sample is 159 with dimension 14 (14 control sensors). We then analyzed the data and ranked the critical sensor using recursive feature elimination (RFE). Based on the critical sensor ranks, only the five highest-ranking sensors were considered in the summary of the sensors for each case. The results are listed in **Table 1**. In that table, abnormal cases have more anomaly sensors detected than normal cases. Cases with numbers over 1 were taken as failures; the failure prediction results are listed in **Table 2**. Hence, we achieved 100% accuracy, precision, and recall.

Table 1 Test results considering five highest-ranking critical sensors ("Ab" and "N" indicate abnormal and normal, respectively).

Case	Num	Case	Num	Case	Num	Case	Num
Ab 1	4	N 8	1	N 24	0	N 40	0
Ab 2	4	N 9	1	N 25	0	N 41	0
Ab 3	3	N 10	1	N 26	0	N 42	0
Ab 4	3	N 11	1	N 27	0	N 43	0
Ab 5	3	N 12	1	N 28	0	N 44	0
Ab 6	3	N 13	1	N 29	0	N 45	0
Ab 7	3	N 14	1	N 30	0	N 46	0
Ab 8	3	N 15	1	N 31	0	N 47	0
Ab 9	2	N 16	1	N 32	0	N 48	0
N 1	1	N 17	1	N 33	0	N 49	0
N 2	1	N 18	1	N 34	0	N 50	0
N 3	1	N 19	1	N 35	0	N 51	0
N 4	1	N 20	1	N 36	0	N 52	0
N 5	1	N 21	0	N 37	0	N 53	0
N 6	1	N 22	0	N 38	0	N 54	0
N 7	1	N 23	0	N 39	0	N 55	0

Table 2 Failure prediction results considering five highest-ranking sensors.

	Positive	Negative	Total Number
Normal	0	55	55
Failure	9	0	9

3 AI Serves as Backbone for Other Developments

With the breakthrough on AI, deep learning specifically, autonomous driving has seen rapid expansion. AI serves almost all the topics in autonomous driving including perception, motion planning and decision making. Another progress made by AI to automobile industry is uncertainty analysis. In this section, two AI use cases at ITCA - trajectory prediction and uncertainty estimation, will be discussed.

3.1 Trajectory Prediction for Autonomous Driving

Trajectory prediction is an important part for decision making. Understanding and predicting the trajectory of surrounding vehicles and pedestrians could benefit the safe planning and efficient decision-making processes of Autonomous Vehicles. In this part, we show a study for vehicle lane-changing behavior prediction.

3.1.1 Vehicle Lane-changing Behavior Prediction

We developed our model based on [1]. By assuming that the observed trajectories are generated from multiple realizations of a stochastic process, this model first comprehensively captures the sequential interaction behavior through a recurrent neural network (RNN) framework, and then the predictive trajectory is obtained by estimating a distribution of the mapping from surrounding vehicle information to corresponding target vehicle trajectory conditioned on the history input-output pairs. The framework of Attentive Recurrent Neural Process (ARNP) model is shown in **Figure 3**.

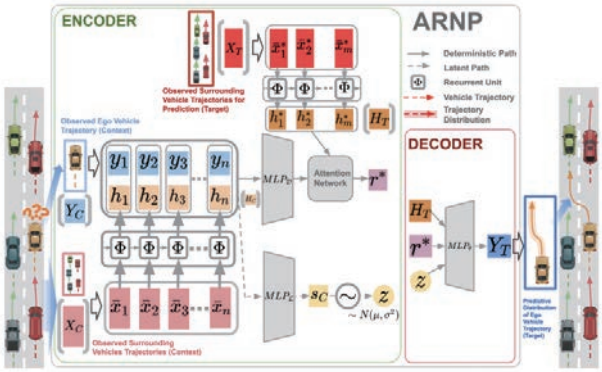


Figure 3 Framework of the proposed Attentive Recurrent Neural Process (ARNP) model to predict the target vehicle trajectory in a lane-changing scenario [1].

Lane-changing scenarios were extracted from the NGSIM[1)] dataset as our data. The trajectories of all involved vehicles were recorded as a period of 10 seconds before and after the ego vehicle crossed

the lane-marking. ARNP is trained by aligning the distributions of observed context and targets together. To check the results more straightforwardly, we directly visualized the lane-changing scenarios, shown in **Figure 4** as an example. It shows that the predicted trajectory, starting from an average straight line around 0, fitted the true trajectory well (heavy blue line) with small uncertainty (light blue).

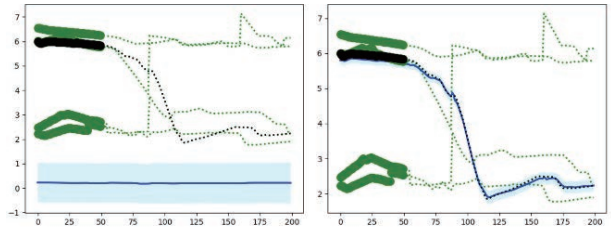


Figure 4 Visualization of ARNP model prediction results.

Figure 4 on the left demonstrates the initial state (iteration = 0). **Figure 4** on the right demonstrates the final state (iteration = 1000). Blue line represents the predicted lane-changing path of the target vehicle while black dotted line represents the actual path. Green dotted lines represent the actual paths of the 5 surrounding vehicles. Light blue region indicates the confidence interval of our predicted path. Heavy lines represent the context from which we train our model.

Note[1)] NGSIM : Next Generation Simulation. Traffic Database by Department of Transportation US Government.

3.2 Uncertainty analysis and Adaptive Learning

In order to deploy solutions to various customers with different applications, commercial vehicle OEMs need to consider the foreseeable variations and adapt quickly to unexpected scenarios. In this section, we introduced how to do uncertainty analysis with deep learning methods for both variation in existing scenarios and adaptation to brand new scenarios. For variation quantification, Neural Processes (NPs) [2] related methods have been employed to evaluate how similar the target scenario with existing scenarios in the training set and model the uncertainty. For a brand-new scenario, we used online transfer learning-based approach. The detailed work is introduced below.

3.2.1 Modeling Uncertainty of Existing Scenarios

We proposed a model called Recurrent Neural Adaptive Processes (RNAP), combine both RNN and Neural Processes (NPs), and trained with meta learning methods. Neural Process (NP) combined the strength of neural networks and Gaussian processes. It could input some background information to firstly predict random variables containing the scenario features as well as the uncertainty. Then the random variables are used as guidance to make the final prediction. Since the number of scenarios is big considering the limited data for each scenario, we added meta learning into the training process to fit the multi-task few-shot learning problems. RNN is applied to model the time series data recorded during vehicles are running. The mathematical model is shown in **Figure 5**. It is different from NPs on two parts to adjust for the time series data: the encoder and decoder.

- **Encoder** Since the cardinal pairs $(x, y)_i$ in NPs become a sequence of ordinal pairs $\{\{(x_t^i, y_t^i)\}_{t=1}^T\}_i$, correspondingly, the produced representation should be changed to $r_i = h(\{\{(x_t^i, y_t^i)\}_{t=1}^T\}_i)$. We model h by RNN.
- **Decoder** $g(x_i, z)$ applies RNN in accordance to recur the input in time order.

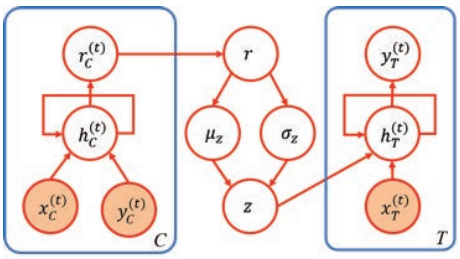


Figure 5 Graphical model of RNAP.

"x" and "y" correspond to the input and output data. C and T are the number of context points and target points respectively. z is the global latent variable. r is the encoded representation. h stands for encoder and g for decoder. In our implementation h and g correspond to neural networks. A shaded background indicates that the variable is observed.

The context and target points are $C = \{\{(x_t^i, y_t^i)\}_{t=1}^T\}_{i=1}^n$ and $T = \{\{(x_t^i, y_t^i)\}_{t=1}^T\}_{i=1}^{n+m}$. So, for a single target pair at time t, the network could be expressed as:

$$p(y_T^{(t)}, h_T^{(t)}, z|x_T^{(t)}, h_T^{(t-1)}, C) = p(y_T^{(t)}|h_T^{(t)})p(h_T^{(t)}|h_T^{(t-1)}, x_T^{(t)}, z)p(z|C) \cdots(1)$$

So, the RNAP could be given as:

$$p(Y_T, H_T|C, X_T, H_0) = \int p(Y_T|z, X_T, H_0)q(z|C)dz \cdots(2)$$

We used RNAP to do DTC code classification as an example to show how the proposed method could help for predictive maintenance tasks. RNAPs could consider the uncertainty and help to reveal the relationship between different DTC codes. When it comes to the modeling the uncertainty, the maintenance history could be modeled by the time-series data recorded when the failure previously happened (freeze frame data). We arranged the history time series data in time order to be the context set (**Figure 6**).

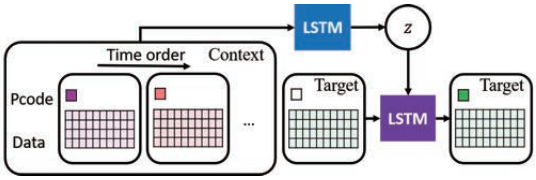


Figure 6 RNAP application for DTC code classification.

The data we used were recorded at every 0.25 seconds in a 30 seconds time frame, resulting in a total of 121 timesteps. Each timestep has a corresponding fault code as its label. The number of recorded features is 13. We picked 10 DTC codes which have more than 20 failure records. We split the data of each DTC code into 75% for training and 25% for test. And the quantity of the test set was 299. We adopted two-layers LSTM for RNN. It was a 5-shots-14-tasks meta learning task. Batch size was set as 5 and update step was 5. The result was improved from 73% to 80%.

3.2.2 Online Transfer Learning for Unseen Scenarios

To make the existing models adaptive to new scenarios. We developed an online transfer learning algorithm based on Monte Carlo method. The existing models forms a set that either one could be used as initialization to train the new model, so the uncertainty for each of the models are the same. After making observations, the uncertainty scores for the models were reappraised until making sure the final model. By following this idea, we modified the HomOTLMS algorithm proposed in [3], which was designed for classification problems. Our HomPlusOTLMS is described in Algorithm 1(**Figure 7**).

Algorithm 1 HomPlusOTLMS

Input: LSTMs from source domains $f_1^S = \{f_1^{S_1}, f_1^{S_2}, ..., f_1^{S_n}\}$, weight discount parameter $\beta \in (0,1)$, online data stream $\mathcal{X}$ and labels $\mathcal{Y}$, and data-stream length m.
Initialize: f_1^T with random weights, $u_1^1, ..., u_1^n = 1/(n+1), v_1 = 1/(n+1)$, loss function L, and optimization function *optimizer*.

1: **for** $d = 1, 2, ..., m$, **do**
2: receive instance: $x_d \in \mathcal{X}$, $y_d \in \mathcal{Y}$
3: $loss_d^v = L(f_d^T(x_d), y_d)$
4: $f_{d+1}^T = optimizer(loss_d^v)$
5: **for** $i = 1, 2, ..., n$, **do**
6: $loss_d^{u_i} = L(f_d^{S_i}(x_d), y_d)$
7: $f_{d+1}^{S_i} = optimizer(loss_d^{u_i})$
8: $r_d^{u_1}, ..., r_d^{u_n}, r_d^v = rank(loss_d^{u_1}, ..., loss_d^{u_n}, loss_d^v)$
9: **for** $i = 1, 2, ..., n$, **do**
10: $p_d^i = u_d^i / \left(\sum_{i=1}^n u_d^i + v_d\right)$
11: $u_{d+1}^i = u_d^i \beta^{r_d^{u_i}}$
12: $p_d^v = v_d / \left(\sum_{i=1}^n u_d^i + v_d\right)$
13: $v_{d+1} = v_d \beta^{r_d^v}$
14: $f_d(x_d) = \left(\sum_{i=1}^n p_d^i f_d^{S_i}(x_d) + p_d^v f_d^T(x_d)\right)$

Output $f_m(.)$

Figure 7 The General Form of HomPlusOTLMS

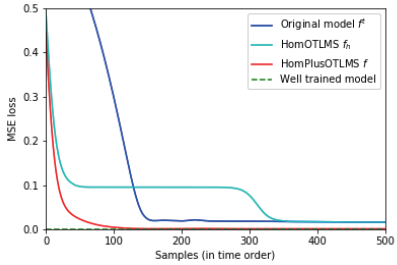
In accordance with the raw algorithm, we used the domain to represent the vehicle. In the pseudo-code, the input includes a list of models built for different domains in an offline batch learning paradigm, which are labeled f^{S_1} to f^{S_n}. Note that β is the weight discount parameter for resetting the weights for each step. The input also contains the online data stream $\boldsymbol{X}$, the corresponding labels $\mathbf{Y}$, and the ending iteration m. The target model f^T is first initialized with random weights. Then, a weight vector $\boldsymbol{u} = (u^1, u^2, \ldots, u^n)^T$ and a variable v are constructed to represent the contributions of the source and target model. During the loop, the online data stream is input in each iteration. All the source and target models are used to generate predictions and to compare the loss. The loss is used to update the networks and rank the performance. Then, the weights are updated using β. The updated weights are then normalized to reflect the possibility. The final model f is got as:

$$f(x) = \left(\sum_{i=1}^{n} p^i f^{S_i}(x) + p^v f^T(x)\right) \cdots(3)$$

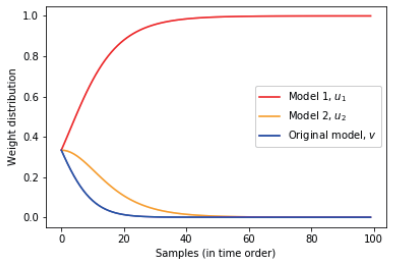
Compared with the HomOTLMS model, HomPlusOTLMS (1) explores homogeneous transfer learning adjustment to become suitable for regression problems besides classification problems and (2) enables updating of model parameters from the source domain. To enhance the target task performance, we leverage knowledge extracted from offline source data. In the validation task performed in this study, we treat each model built for a certain vehicle as a

source domain and explore online transfer learning to make those models adaptive to a new vehicle.

We validated our algorithm by transferring two well-trained models (LSTM model in Section 2.1) to a new vehicle. The β value was set to 0.9. Our online transfer learning results are visualized in Figure 8(a). The losses of a model trained from random weights $f.^T$ in Algorithm 1), a model obtained from transfer learning ($f.$ in Algorithm 1), and a well-trained model are plotted. These models were tested on a test set of 1000 elements obtained from new-vehicle data. The results for the Cylinder-1 balancing fuel compensation sensor only are shown. Note that the curve of the model incorporating our online transfer learning algorithm indicates low loss at the beginning and has a steeper decline than the original models; this indicates that transfer learning can accelerate existing models. To clarify that the existing model assisted the training of the new model, the weights $\boldsymbol{u}$ and v are visualized in Figure 8(b). The $u1$ trend of Model 2 increases continuously with time, whereas the trends for the other two models decrease; thus, the final model was trained based on Model 2. This finding further validates our online transfer learning algorithm.



(a) Losses of various models on test set as function of time order.



(b) Weight distributions changing in time order in the HomPlusOTLMS model.

Figure 8 On-line transfer learning result comparison.

4 AI Is a Platform Combing Human Domain Knowledge and Data

In engine stall example listed in Section 2.1, engineers provide domain knowledge in dividing the reference and target parameters. The information was fed into the AI model. For further utilization of AI, engineers' understanding and interpretation about AI model and results are critical. Therefore, in this section, interpretation examples are discussed to illustrate the importance of interpretation in utilizing AI model results.

The current interpretation model developed by ITCA could generate general interpretation and individual interpretation. General interpretation is capable of finding all root causes for one type of failure. Individual interpretation zooms into individual failure vehicle for root causes analysis. Also, the individual interpretation could help understand whether the high accuracy model predict failures with correct reasoning. As is shown in Figure 9, general interpretation is based on comparison between normal data and failure data, which could be obtained without pre-trained models. Individual interpretation is based on pre-trained model. The individual interpretation module is combined after the well-trained classification model.

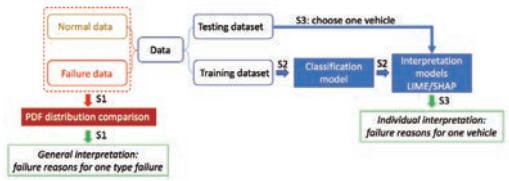


Figure 9 Interpretation model architecture.

4.1 Piston Crack AI Model Interpretation

To explain the interpretation model, piston crack root causes analysis is demonstrated below. This project includes 1306 data records with 6667 features. 1208 records are normal data without crack history, while 98 of 1306 records are crack piston data. 6667 features are included in several feature groups, such as intake pressure, engine temperature, common rail, etc. We utilized two AutoML methods (AdaNet and H_2O) and SVM(Support Vector Machine) method with six feature selection strategies to classify normal and piston cracked vehicles. The prediction results are shown in Table3.

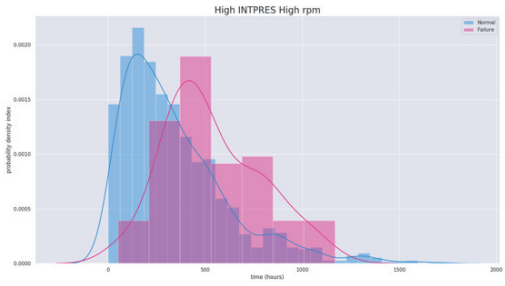
Table 3　Piston crack prediction results.

Errors out of (80 normal, 17 crack cases)	AdaNet	H20	SVM
All features	(0, 13)	(0, 4)	(0, 0)
Selected 77 features from all features	(0, 0)	(0.4)	(0, 0)
INTPRES features	(2, 3)	(1, 4)	(0, 0)
BST features	(2, 5)	(9, 3)	(7, 6)
ENG features	(1, 3)	(1, 6)	(11, 8)
COMRAIL features	(0, 10)	(0, 3)	(4, 1)
BSTCNG features	(3, 8)	(2, 6)	(7, 6)

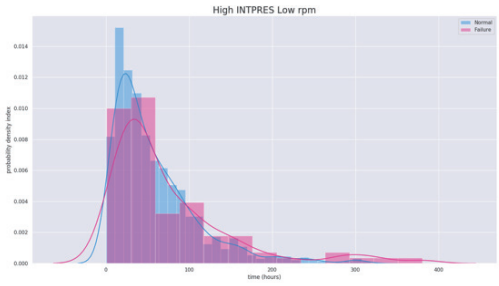
With pre-trained models, we tested 80 normal and 17 cracked data points. SVM and AutoML AdaNet methods could classify normal and crack vehicles with 100% accuracy with selected 77 features and the INTPRES feature group. Then the next step is to combine the high accuracy classification model with interpretation modules to explain prediction results.

For the genera interpretation, one feature group is divided into four sections based on the ranges of two variables, intake pressure and rpm. **Figure 10** shows these four sections of INTPRES(Intake Boost Pressure) feature group. The red (blue) bars and curves indicate failure (normal) vehicles. **Figure 10** shows the Probability density function (PDF) distribution comparison for the high/low intake pressure and high/low rpm ranges. The x-axis represents for working hours, while y-axis stands for the probability density for the vehicle groups. Comparing **Figure 10(a)** and **Figure 10(b)**, normal and failure PDF distributions show obvious difference in **Figure 10(a)**, which means failure vehicles exhibit longer working times under high intake pressure and rpm conditions. While based on **Figure 10(c)** and **Figure 10(d)**, it shows failure vehicles operated longer time with low engine water temperature and low rpm condition than the high rpm.

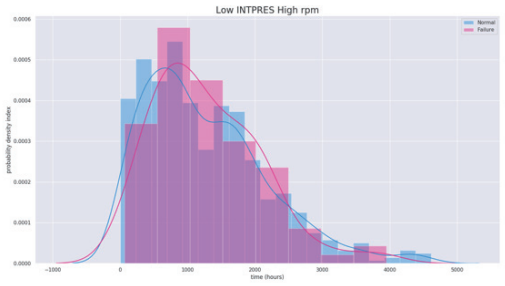
Figure 11 shows individual interpretation with Local Interpretable Model-Agnostic Explanations (LIME) module for one testing vehicle. LIME builds explainable model locally to represent any sophisticated model we provided, then perturbs the input around the neighborhood and sees how the model's prediction behave. The feature perturbed with small variance but resulted in big prediction difference is the critical features for the model. In **Figure 11**, Orange bars represent failure reasons. The length of the bar means the importance of this reason. top orange bars are failure reasons for the testing vehicle. **Figure 11(a)** and **Figure 11(b)** show individual interpretation reasons from INTPRES super-feature and intake temperature super-feature correspondingly.



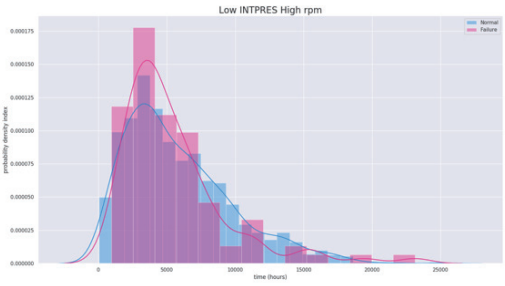
(a) High intake pressure high rpm



(b) High intake pressure low rpm

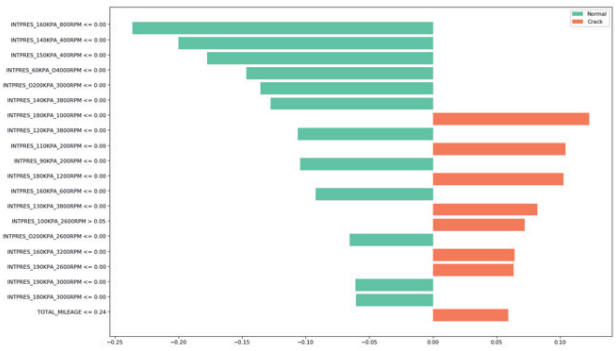


(c) Low intake pressure high rpm

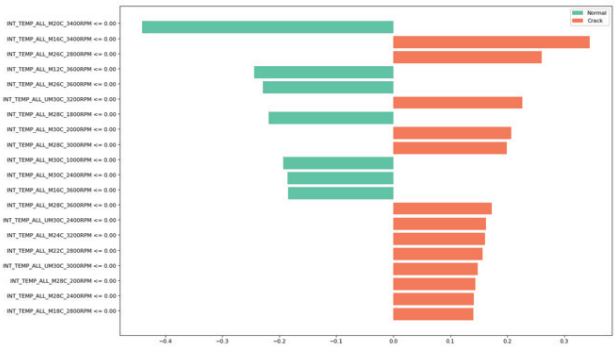


(d) Low intake pressure low rpm

Figure 10　Intake pressure and rpm

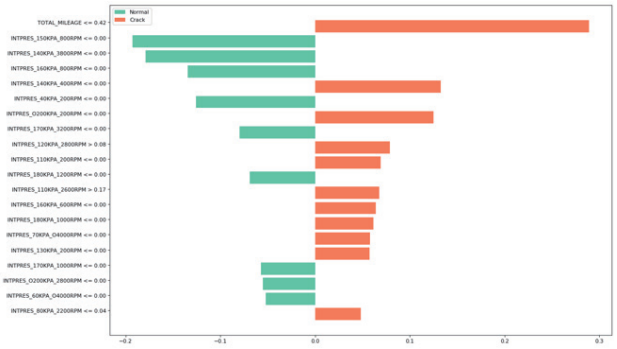


(a) Individual interpretation from INTPRES super-feature.

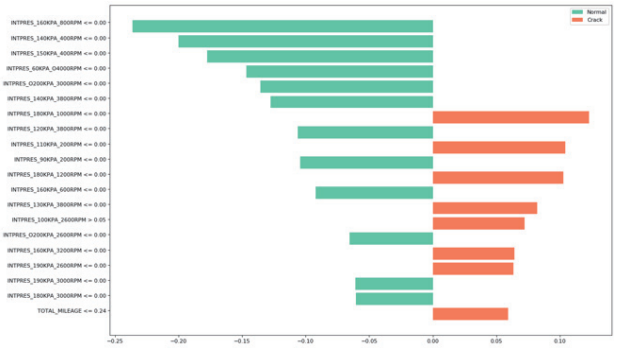


(b) Individual interpretation from intake temperature super-feature.

Figure 11 Individual interpretation for testing vehicle.



(a) Individual interpretation based on model trained with bias data.



(b) Individual interpretation based on model trained without bias data.

Figure 12 Individual interpretation from different models.

As deep learning models and most machine learning models are “black boxes”, which are difficult to understand how the model works. If a model has high accuracy, but predicts samples with wrong causes, we still cannot trust the model. **Figure 12** shows individual interpretations for two different models. These two models all have high accuracy. However, the critical reason from the model in **Figure 12(a)** is mileage, which is not correct. On the contrary, the individual interpretation shown in **Figure 12(b)** from non-bias data model predicts the correct reason. So even both models have high prediction accuracy on the same problem, the one without reasonable individual interpretation cannot be trusted.

With the interpretation model, engineers could understand single failure problem, such as one DTC code from the general interpretation model. The individual interpretation model not only could help engineers understand whether the AI model predict samples in the right direction, but helps target the vehicle’s failure parts for maintenance, thus decreasing the time and financial cost.

5 Conclusions

In this article, the unique properties of AI have been discussed that: I. AI bridges the existing development problem, latest methodology and newest change. II. AI serves an infrastructure for other developments. III. AI is a suitable platform to combine human domain knowledge and data. AI utilization examples have been discussed in predictive maintenance, uncertainty estimation, trajectory prediction and interpretation. It has been demonstrated that AI could solve age-old problem with latest methodology. Also, AI is critical for many latest topics such as autonomous driving and IoT. In order to maximize the potential power of AI, cognitive understanding from human being is necessary. And the communication between AI and engineers will be critical for advancing AI technology in actual production project.

6 References

(1) Qin, S., Zhu, J., Qin, J., Wang, W., & Zhao, D.: Recurrent attentive neural process for sequential data. (2019), arXiv preprint arXiv:1910.09323.
(2) Garnelo, M., Schwarz, J., Rosenbaum, D., Viola, F., Rezende, D. J., Eslami, S., & Teh, Y. W.:.Neural processes. (2018), arXiv preprint arXiv:1807.01622.
(3) Wu, Q., Wu, H., Zhou, X., Tan, M., Xu, Y., Yan, Y., & Hao, T.: Online transfer learning with multiple homogeneous or heterogeneous sources, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol.29, No.7(2017), p.1494-1507.

あとがき

振り返ると4年前はAI（人工知能：Artificial Intelligence）は，まだまだ限られた者が「それが何なのか?」,「どう使うのか?」を知る分野でしたが，毎年入れ替わるITCA（Isuzu Technical Center of America Inc.）のインターン生（多くがインド・中国からの米国への大学院留学生）からの印象では，最近は大学で人工知能を学びインターン先で実践できて当たり前という優秀な学生が多数います。

今回紹介した事例は一,二名のITCA社員の指導のもとにパワートレイン分野，自動運転分野に人工知能を用いる取り組みをインターン生が実務を行う形で進めたものの紹介です。

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

例年同じ言葉ですが「いすゞの中で役に立つITCAでありたい」と社員一同が一丸となって取り組んでいる様子が本報告で少しでも伝われば幸いです

（深井　泰雄）

著　者


Yong Sun


Wenbo Yu


Xuejiao Li

論文・報告

産業用 StageⅤ排出ガス規制対応 4LE2 エンジン開発

Development of StageⅤ 4LE2 Engines for Industrial Purpose

多田　和久*
Kazuhisa Tada
明神　泰史*
Hiroshi Myoujin
鈴木　拓郎*
Takurou Suzuki
工藤　睦也**
Mutsuya Kudou
萩尾　健二**
Kenji Hagio
柴田　賢***
Satoshi Shibata

要　旨

近年，産業用エンジンにおいても排出ガス規制の強化が世界各国で進められている。欧州において世界に先だってStageⅤ排出ガス規制が2019年1月から施行された。各社ではその規制に準拠すべく，エンジン開発が進められた。

本報告では，StageⅤ排出ガス規制に対応した産業用エンジンのラインナップの中から排気量2.2 Lの4LE2の開発経緯と採用技術について紹介する。

従前の規制より更に厳しくなった粒子状浮遊物の規制に対応すると同時に，従前機以上の性能･信頼性･耐久性を確保した。

Abstract

In recent years, stricter emission regulations have been enforced in the world for industrial engines. The most advanced regulations came into January 2019 in Europe, which are called as EU StageⅤ . Each company developed own engines in order to comply with the regulations.

This report introduces the development history and technology of 4LE2 of 2.2 L displacement from the lineup of industrial engines that comply with StageV emission regulations.

In addition to complying with particulate matter regulations that are more stringent than previous regulations, we have improved performance, reliability, and durability over conventional models.

1　まえがき

燃焼エネルギーを効率良く動力変換できるディーゼル機関はさまざまな産業用機械に搭載され，世界中で活躍している。いすゞ自動車では2.2 L～15.7 Lの幅広いラインナップを揃え，多種多様な産業用ならではの要求に対応したエンジンを開発し，商品化している。

いすゞの産業用エンジンの多くは，商用車用として開発されたエンジンをベースに各種産業用にモディファイして対応しているが，4 L系エンジンは産業用専用として開発されたエンジンである。発表以来そのコンパクトさ･低燃費･高耐久性の面で高い評価をいただいている4 L系エンジンに，今回は最新の排出ガス規制対応仕様を追加設定した。

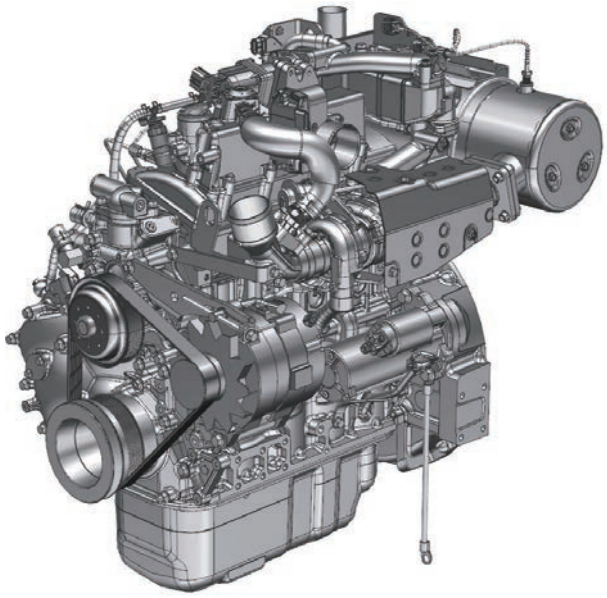


図1　4LE2 外観図

*産業エンジン開発部　　**エンジン実験第一部　　***エンジン実験第二部

排出規制物質：NOx(g/kWh)・NOx+HC(g/kWh)・PM(g/kWh)・PN(#/kWh)

	出力帯	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
EU	56≦kW＜75	NOx+HC4.7/ PM0.4		NOx3.3/PM0.025			NOx0.40/PM0.025					NOx 0.40/PM 0.015/ PN 1×10^{12}		
	37≦kW＜56				NOx4.7/PM0.025							NOx+HC4.7/PM0.015/ PN 1×10^{12}		
	19≦kW＜37	NOx7.5/PM0.6										NOx+HC7.5/PM0.4		
米国	56≦kW＜75	NOx+HC4.7/ PM0.40		NOx3.4/PM0.02			NOx0.40/PM0.02							
	37≦kW＜56	NOx+HC4.7/ PM0.30			NOx4.7/PM0.03		NOx4.7/PM0.03							
	19≦kW＜37	NOx7.5/PM0.3												
日本	56≦kW＜75	NOx4.00/PM0.25			NOx3.30/PM0.02		NOx0.40/PM0.02							
	37≦kW＜56	NOx4.00/PM0.3				NOx4.00/PM0.025			NOx4.00/PM0.025					
	19≦kW＜37	NOx6.00/PM0.4				NOx4.00/PM0.03			NOx4.00/PM0.03					

図 2　排出ガス規制動向

今回の欧州 StageⅤ排出ガス規制では，PM（粒子状物質：Particulate Matter）の重量規制の強化に加え，それらの PN（粒子数：Particle Number）も規制されたため，それらの対応を主眼に置いて開発を行った。従前機の後処理装置 DOC（ディーゼル酸化触媒：Diesel Oxidation Catalyst）に変えて，DOC と CSF（触媒式すすフィルタ：Catalysed Soot Filter）で構成される DPD（Diesel Particulate Defuser）システムを採用し，排出ガス規制値に適合させた。

その開発と並行し，建機用エンジンは出力アップを，フォークリフト用・一般動力用エンジンは低騒音化を図った。

図 1 に建機用 4LE2 の外観を示す。

2　産業エンジンの排出ガス規制

産業エンジンにおいては 1995 年のアメリカ合衆国のカリフォルニア州で初めて排出ガス規制が施行されてから，各国に排出ガス規制が広がり，強化が進められてきた。**図 2** に主要な先進国（EU・米国・日本）の排出ガス規制動向を示す。

図からもわかるように今回の EU の StageⅤ排出ガス規制は米国及び日本と比較しても厳しく，PM は従前規制に対して 40 % 低減が要求されるとともに，PN という新たな規制要求が加えられている。**図 3** に欧州の各規制段階の窒化酸化物（NOx）と PM の排出規制値の推移を示す。

3　開発のねらい

従前型の 4LE2 エンジンで市場より高い評価をいただいているコンパクトさ・低燃費・高耐久性の特性を維持しつつ，最新の排出ガス規制への適合を目的として開発を行った。

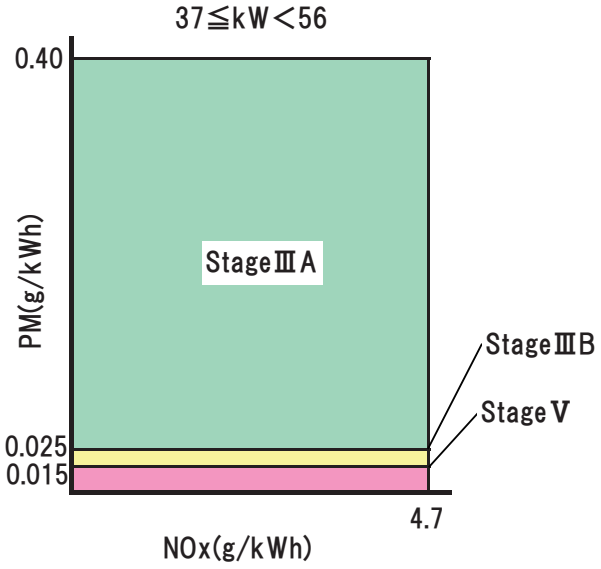


図 3　欧州排出ガス NOx と PM の規制値推移

3.1　低公害化

StageⅤの排出ガス規制への適合に伴い，環境ばらつき及び劣化を考慮した開発目標を設定して従前機と同様に高いロバスト性を確保した排出ガス性能とした。

3.2 エンジン性能

OEM（Original Equipment Manufacturer）先の要求に基づき，用途別に出力バリエーションを設定するとともに，建機用エンジンについては，出力アップを実施した。

表 1 に StageⅤ対応の設定出力を示す。

表 1　エンジン出力バリエーション

主要用途	従前(StageⅢB)	StageⅤ
建機	43 kW / 2000 min^{-1}	48 kW / 2000 min^{-1}
フォークリフト一般動力	46 kW / 2400 min^{-1}	46 kW / 2400 min^{-1}

3.3 コンパクト化

以前よりご好評をいただいているコンパクトさを維持するため，新規外装部品の張り出しを最小限に抑え，後処理サイズも最小限に留めることで，支障なく各機械へ搭載できるようにした。

4　エンジンの概要

StageⅤ対応 4LE2 の主要諸元を**表 2** に示す。

表 2　主要諸元

エンジン形式	4LE2X	
気筒数	4	
ボア×ストローク(mm)	85.0×96.0	
排気量(L)	2.179	
代表定格出力(kW/min^{-1})	48/2000	46/2400
代表トルク(Nm/min^{-1})	237/1800	230/1800
燃焼室形状	DI	
燃料噴射装置	コモンレール式	
過給方式	インタークーラー付きターボチャージャ	
圧縮比	17.6	
後処理装置	DPD(DOC+CSF)	

4.1 出力性能

StageⅤ対応の 4LE2 の出力性能を**図 4** に示す。ターボチャージャの改良をおこない，中速トルクを従前より約 10 %増大させるとともに，建機用エンジンは従前の定格出力 43 kW から 48 kW まで引き上げた。

4.2 排出ガス性能

StageⅤ規制の対応にあたり，粒子物質の排出低減のため，後処理に DPD システムを採用した。**図 5** に後処理装置の外観を示す。

DPD システムの CSF 担体には，商用車用でも採用実績のある PM 溜め込み容量の高い非対称セルを有する SiC（シリコンカーバイト）基材を採用した。

図 6 に排出ガス規制値達成のための変遷を示す。

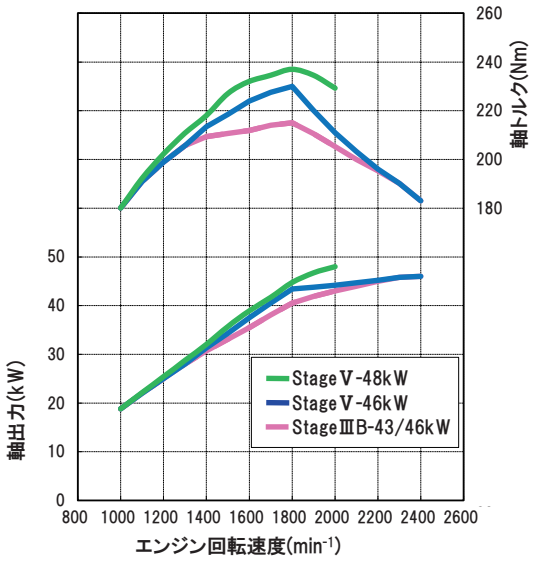


図 4　出力性能

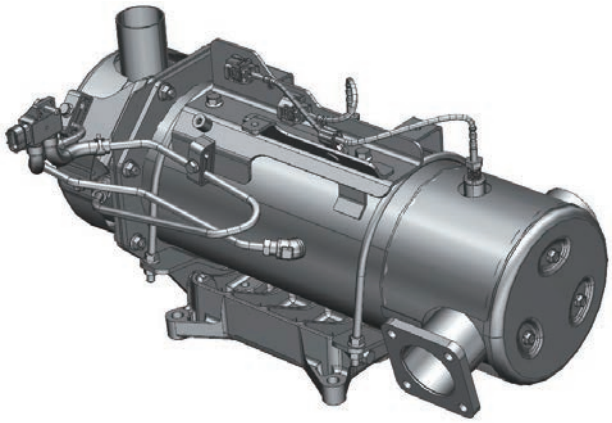


図 5　後処理装置外観

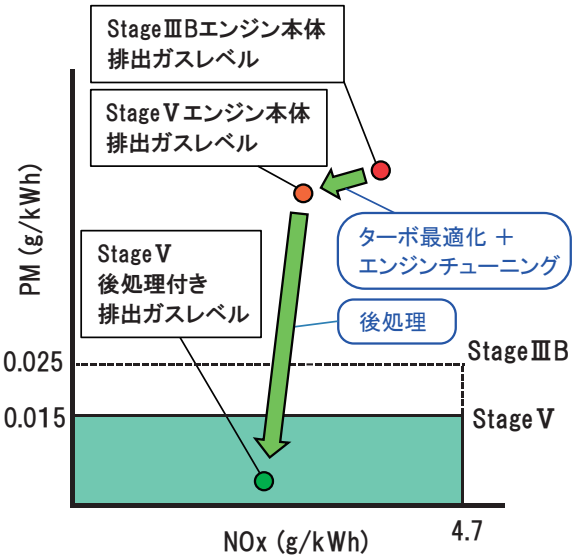


図 6　排出ガス規制達成フロー

4.3 各種オプション

OEM 先の要求に対応するため，従前の StageⅢB 仕様で展開した次のオプションは StageⅤでも踏襲した。

(1) ハイマウントファンオプション
(2) ギヤケース PTO オプション

5 要素技術

今回開発した 4LE2 エンジンには，**5.1～5.3 節**の技術を採用した。

5.1 燃焼最適化

後処理システムを強化したことにより，エンジンの燃焼制御の適合を最適化し，排出ガスの抑制及び燃費を改善した。クローズド PCV（Positive Crankcase Ventilation）システムを採用し，ベンチレーションから排出される PM を燃焼させることでシステムとしてトータルでの PM 排出を抑制した。

5.1.1 燃料噴射システム

環境負荷の低減に配慮し，エンジン単体でも高い排出ガス性能に実績のある従前機のコモンレール式噴射システムを踏襲した。従前エンジンを搭載したフォークリフトで指摘されていたエンジン騒音については，コモンレール圧を急速に下げる制御を追加することで解消した。**図 7** にコモンレール式噴射システムの概要を示す。

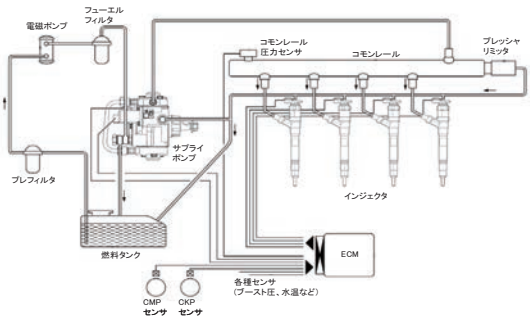


図 7 コモンレール式噴射システム

5.1.2 クローズド PCV システム

StageⅢB までの従前型は，ブローバイガスを大気に開放するオープン PCV システムであったが，StageⅤではブローバイガス中の粒子物質も PM･PN 規制の対象となった。この対応として，ブローバイガスを吸気通路に戻し，大気開放させないクローズド PCV システムとした。また，ブローバイガスと吸気の合流部には PCV ヒータを設け，極低温時の凍結によるガス通路閉塞を防止した。**図 8** にクローズド PCV システムの概要を示す。

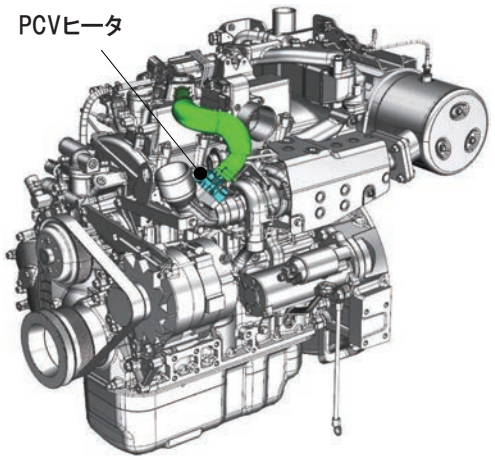


図 8 クローズド PCV システム概要

5.2 出力アップ

中速トルクを約 10 %増大させるとともに，建機用エンジンについては従前の定格出力 43 kW から 48 kW まで引き上げた。これを可能とするため，**5.2.1～5.2.3 項**の技術を採用した。

5.2.1 ターボチャージャ

従前型に対して，商用車で開発した高効率の翼車形状を採用し，中速トルクの改善及び性能向上を図った。

5.2.2 運動系部品

高筒内圧化に伴うクランクシャフトのストレス上昇に耐える強度を確保すべく，クランクシャフト材料と熱処理を変更した。同様に，ピストンリングのコーティング材を，凝着に強い仕様にグレードアップした。

5.2.3 ファンベルト

ベルトへのストレス低減と長寿命化のため，多段リブ形状のベルトを採用した。**図 9** にベルトレイアウトを示す。

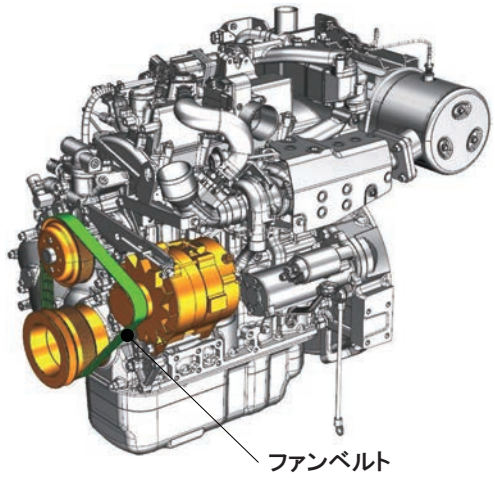


図 9 ベルトレイアウト

5.3 後処理システム

本 StageⅤ規制対応の開発では新たな PN 規制に対応するべく，後処理システムで粒子物質を低減させるために DPD システムを採用した。**図 10** に後処理システムの構造図の変化を示す。

CSF 担体には，再生中の高温環境に耐えるため熱容量の大きい SiC 基材を採用した。また，PM 及び灰分の溜め込み量を高めるため，入口の気孔サイズをできる限り大きく確保した非対称セル構造を選択した。これにより，コンパクトサイズの後処理ながら，いすゞ上位機種での StageⅢB 時 DPD 再生インターバルの 8 時間を確保した。

6 あとがき

排出ガス規制の PM 規制値の強化と PN 規制に対応した上で，従前同等以上の性能・信頼耐久性の確保が求められる中，4 L 系エンジンとして好評を得ている特性を犠牲にせず，産業用として広いアプリケーションに展開できるエンジンを開発できた。

最後に StageⅤ規制対応 4LE2 のエンジン開発にあたり，多大なるご協力をいただいた協力企業の皆様，及び社内の関係各位に対し，誌面を借りて深く感謝の意を表する。

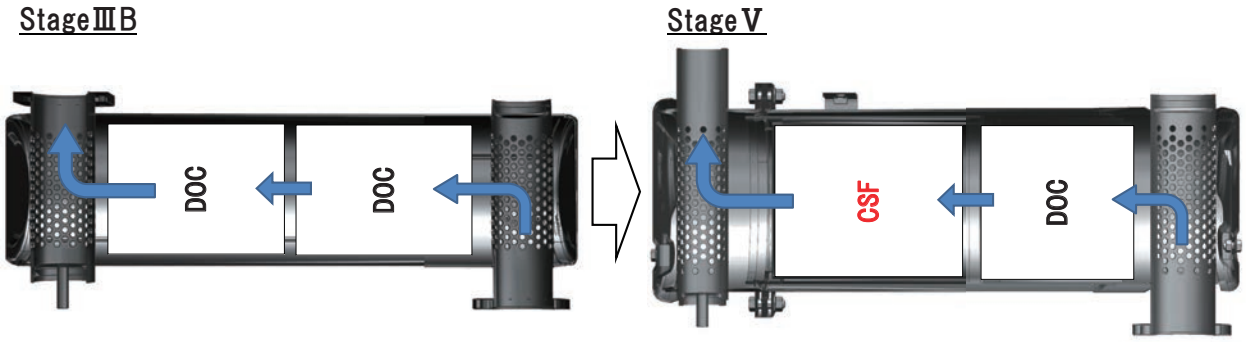


図 10 後処理システム構造図

著 者


多田 和久


明神 泰史


鈴木 拓郎


工藤 睦也


萩尾 健二


柴田 賢

論文・報告

企画段階に適用するディーゼルエンジン放射音予測 1D-CAE ツールの開発

Development of 1D-CAE Tool for Diesel Engine Radiated Noise Prediction at Planning Stage

山岸　誠弥*　Seiya Yamagishi
小澤　恒*　Hisashi Ozawa

要　旨

商用車用ディーゼルエンジンでは，騒音または排出ガスなどの法規制に加え，経済性･耐久信頼性の追求，販売する地域及び用途に応じた仕様検討に基づく開発が進められている。これら多数の要求性能を同時に実現するため，企画段階で背反する他性能とともに騒音特性を予測・検討し，各工程での特性値目標を設定して開発を進めるための 1D-CAE ツールを開発したので報告する。

Abstract

1D-CAE tool for engine radiated noise prediction to enhance the early assessment at planning stage was developed. Proposed automation program and estimating tool encourage planning designers who are not noise experts to resolve contradictory matters in the engine development.

1　はじめに

商用車用ディーゼルエンジンでは，騒音または排出ガスなどの法規制への適合のみならず，経済性･耐久信頼性の追求，販売する地域及び用途に応じた仕様検討に基づく開発が進められている [(1)]。これら多くの要求性能の実現では背反を伴うことが多いため，効率良く，高い次元でエンジンシステムをまとめることを目的とした，多目的最適化シミュレーション [(2)] 及び開発初期に適用する仕様検討ツールが提案されている [(3)(4)]。

当社ではエンジン騒音性能の開発プロセスについて，現状の課題をもとに目指すべき開発プロセスの検討を進めている。**図 1** の上段に従来の開発プロセスの概略を示す。まず企画段階で動力性能などの基本特性及び主要な構造部品の諸元が決定され，その後，3D シミュレーションを用いた詳細設計検討が行われる。試作エンジンが完成するとエンジン制御パラメータの適合試験，排出ガス及び燃費性能の評価試験が行われる。その後，エンジン単体での騒音評価試験が実施され，評価基準を満たしたエンジンが車両評価試験へと供試される。一連の開発フローにおいて前工程の評価項目が原因で問題が生じると図中のループのように手戻りが発生する。ここで，騒音評価は開発の後半に位置しているため生産開始までの時間的余裕が少なく，また，上流に遡っての部品形状の変更及び適合値の変更は限定される。

このような開発プロセスの課題を克服するため，企画段階で適用するエンジン開発プロセス改善のためのツールの開発を行ったので，その結果と適用事例を報告する。

2　企画段階に適用する開発ツール

手戻りが少ない効率的な開発プロセスは，企画段階で背反する他性能とともに騒音特性を予測・検討し，各工程での特性値目標を設定して開発を進めることで実現できると考えた。**図 1** の下段に提案する開発プロセスを示す。エンジン騒音を加振力と構造特性に分離し，その特性値ごとに目標値を設定する。ここで，目標値の検討には他のエンジンのベンチマーク結果が活用される。加振力は燃焼適合の工程で，構造特性は詳細設計の工程で評価する。各特性値は再合成することで，騒音試験相当の評価値が得られる。

*㈱いすゞ中央研究所

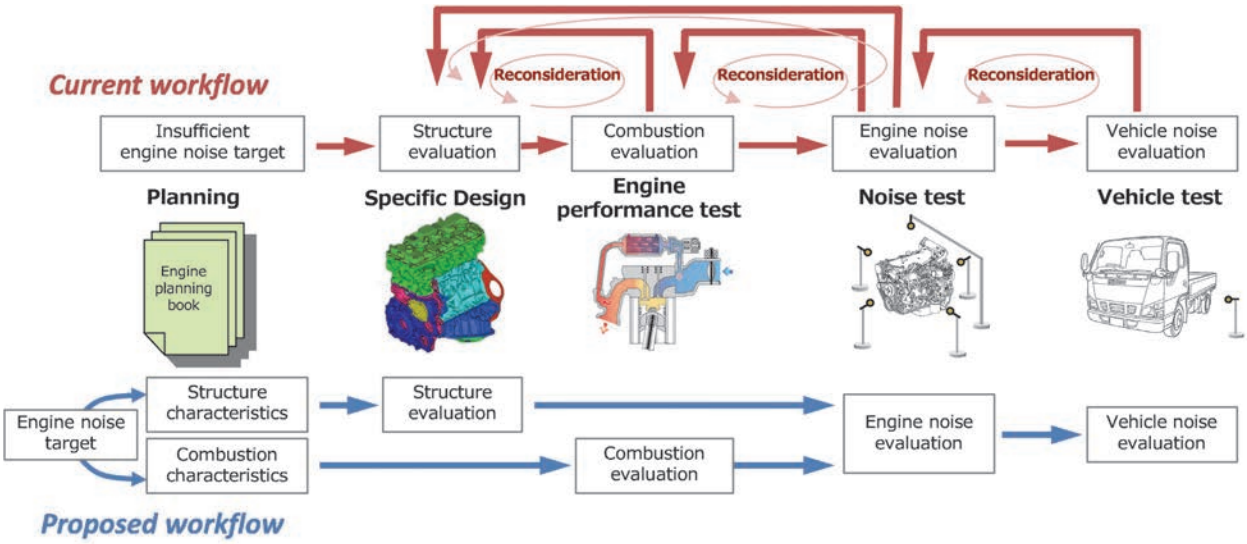


図 1　現状のエンジン開発プロセスと提案するプロセスの比較

企画段階で騒音以外の特性の検討も同時に実施することを考慮すると，騒音特性の評価及び検討に割くことのできる工数は極めて限られる。複雑な操作が必要な手法では，たとえ予測精度が極めて優れていたとしても，限られた時間内での適合が難しく，多種の性能を幅広く検討する企画段階での利用に適さない。予測精度の観点では，企画段階では詳細な形状が決まっておらず，その後の設計段階で細部を検討することになるので，リブなどの部品細部の形状よりもエンジンの基本構造または運動部品の寸法といった基本骨格に基づくシンプルなモデルで検討できることが求められる。また，企画段階での柔軟な対策検討を促すという観点では，機能ベースで製品全体を表現するモデルが好ましい[(5)]。従って，企画段階で目標値検討を効率よく実施するためには，「エンジン騒音の本質的な特性を捉え，できるだけシンプルなモデルで次期仕様のアウトラインが予測･検討できるツール」が求められる。更に，ディーゼルエンジンで騒音レベルが大きい高周波成分及び燃焼騒音に機械騒音を含めたエンジン全体音が定量的に検討できることは，エンジン騒音を包括的に把握し，幅広い選択肢の中からの仕様検討を可能にする点または車両側特性との組み合わせを考慮する上で有効である。

このような検討結果からエンジン開発プロセス改善のためのツールに必要な要件を整理すると次の 3 点となる。

① エンジン騒音を加振力と構造特性に分離でき，それぞれのベンチマークができる。
② シンプルなモデルで騒音のアウトラインを素早く予測検討できる。
③ 高周波成分を含めたエンジン全体音の予測ができる。

これらの特徴を持つツールの実現のため，FEV 社の提唱するエンジン騒音評価手法である FEV Combustion Sound Level method（FEV-CSL 法）[(6)] の騒音モデルを導入し，企画段階に適用可能なディーゼルエンジン放射音予測 1D-CAE ツールを開発した。

3　FEV-CSL 法

FEV-CSL 法は，**図 2** に示すようにエンジン全体音を DCN（燃焼騒音：Direct Combustion Noise），ICN（間接燃焼騒音：Indirect Combustion Noise），FN（気流騒音：Flow Noise），MN（機械騒音：Mechanical Noise）の 4 つの音源に分け，それぞれに対して加振力と構造特性の組合せで各音源の騒音成分を構成する。なお，構造特性を FEV 社では Weighting function と呼ぶが，本論では Structure characteristics と称することにし，これら 4 つの音源の構造特性をそれぞれ，DCN-SC，ICN-SC，FN-SC，MN-SC と略記する。構造特性は，実機試験によって

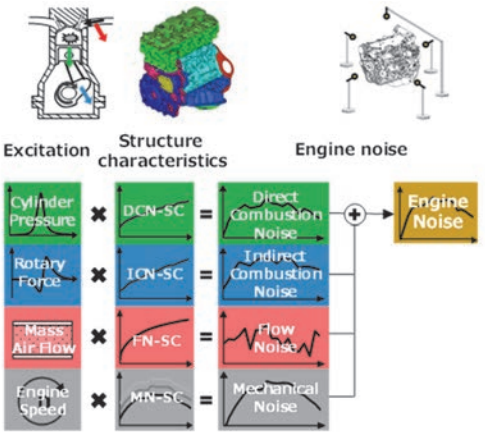


図 2　FEV-CSL 法のエンジン騒音予測モデル

加振力と騒音を同時測定し，統計的なデータ処理によって同定する。

構造特性の同定処理の流れを**図 3** に示す。まず初めに，加振状態が異なる複数の運転条件において，加振力の算出に必要な筒内圧，MAF（吸入空気流量：Mass Air Flow），エンジン回転速度と音圧レベルを同時に測定する。それらのデータを所定のファイル形式に変換した後，運転条件ごとの加振力とエンジン騒音とを用いた統計処理により構造特性を同定する。次に，加振力と同定した構造特性からエンジン騒音を再合成し，実測したエンジン騒音との比較から精度検証を行う。予測精度が不十分と判断される場合は構造特性の修正を繰り返して同定精度を向上させる。修正を繰り返して最終的に得られた結果は，実測騒音のオーバオール（以下“O.A.”と称す）及び高周波までの周波数スペクトルを予測可能であり，企画段階で騒音特性のアウトラインを検討するために十分な絶対値予測精度を持つ。

同定した構造特性は，エンジン構造の良否を定量的に示す物理量であり，加振力と構造特性それぞれを切り分けたベンチマークと目標設定が可能になる。また，加振力である筒内圧，MAF，エンジン回転速度が変化した場合のエンジン全体音を予測することができるため，企画段階における最大トルクなどのエンジン基本特性と騒音性能の同時予測も可能となる。

このように FEV-CSL 法は開発プロセスを改善するためのツールとして必要な要件を満たしていることが確認できた。しかし，この手法を実際の開発ルーチンに適用すると，構造特性同定処理の工数の多さと，作業者の構造特性の補正に関する基準の曖昧さに起因する同定精度のばらつきが問題となった。また，DCN と ICN の加振力計算には専用のソフトウェアへの入力が必要となることが手法活用への障害となった。そこで，データ処理工数の削減と作業者に依存する同定精度のばらつきを改善するため，構造特性同定の自動処理プログラムを開発した。また，手法の活用においては，加振力計算機能を統合した CSL 法に基づく騒音レベルの机上検討用ツールを表計算ソフトで構築した。

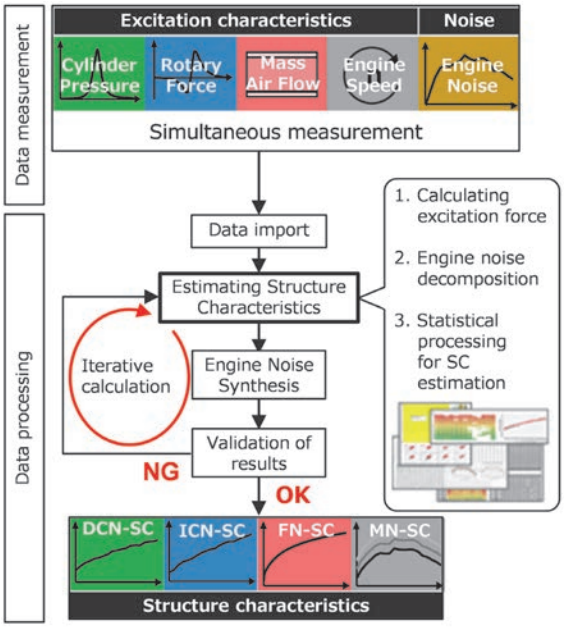


図 3　エンジン構造特性の同定手順

4　エンジン放射音予測 1D-CAE ツールの開発

4.1　構造特性同定プログラムの開発

図 3 で示したワークフローのうち，計測したデータを読み込んでから構造特性を同定する一連の処理をプログラム化することで，処理工数の削減と同定精度の改善を実現した。**表 1** に改善前の処理プロセスと開発した自動化プログラムによる処理プロセスの比較を示す。

統計的な処理を行うため，比較的データ数が多い加振力特性と騒音の測定データから構造特性同定プログラムへの入力データの変換を自動化した。ここでは音響解析装置で測定したデータをエンジンの回転変動を考慮したクランクアングルベースのデータに変換しており，燃焼担当者とのデータ共有を容易にしている。

表 1　構造特性同定プロセスの改良項目

Process	Original	Developed
Data import	・Individual data conversion	・Automatic data conversion
Excitation force calculation	・Dedicated software	・Integrated software
SC estimation	・Manual	・Automatic
Validation of results	・Subjective	・Objective with numerical criteria

表 2　供試エンジンの主要諸元

	Engine A	Engine B
Engine type	Water-cooled 4 cycle DI-diesel	←
Number of cylinder	In-line 4 cylinder	←
Total displacement	2999 cc	←
Bore × Stroke	95.4 mm x 104.9 mm	←
Maximum torque	375 Nm	430 Nm
Timing train	Gear + chain drive	Gear drive with VVT

専用のソフトウェアでデータごとに逐次実施していた加振力の計算を造特性の自動同定プログラムに統合することで，データファイルの受け渡しと入出力，及び加振力計算の工数を大幅に削減した。また，構造特性の同定処理は多量のデータを用いて作業者が手作業により表計算ソフト上で実施していたが，作成したプログラムで自動化することで工数を大幅に削減し，人為的ミスを排除した。

図 4 に手作業と自動処理プログラムを用いた場合の作業時間の比較を示す。自動処理プログラムを用いることで作業時間は約 93 %削減された。

同定精度は分解した加振力と構造特性を再合成し，実測結果と比較することで妥当性を検証して判断する。この判断は作業者の主観に委ねられ，作業者が妥当と判断するまで同定結果の修正が続けられていた。自動処理プログラムでは，作業者による同定結果のばらつきを排除し，客観的で高精度の結果を得るために評価基準を明確に数値化した。精度検証では，再合成したエンジン全体音と実測した騒音の O.A. に対しては，統計値である決定係数（以下 “R^2” と称す），回帰係数，二乗平均誤差をデータの最大値から最小値を減じた値で正規化した nRMSE（normalized Root Mean Square Error）を用い，更に同定した個別の騒音成分が実測値を超えないかを判定基準に採用した。判定基準を満たさない場合には，直前に求めた構造特性を用いて修正処理を繰返し適用することで，漸次に同定精度を向上させた。

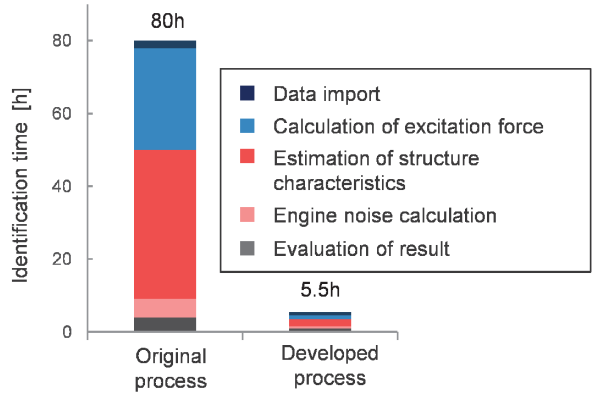


図 4　同定処理の自動化による作業時間の短縮効果

表 2 のエンジン B の構造特性同定処理における繰返し処理過程での判定値の推移を**図 5** に示す。本適用例では，修正処理前でも比較的高い同定精度であるが，処理を繰り返すことで更に精度が向上し，統計値による判定では繰返しの 5 回目には一定の値に収束することがわかる。なお，R^2 のみに着目すれば繰返し 3 回目以降は回数を重ねることでわずかに悪化しているが，後述する他の基準を満たすために必要であった。

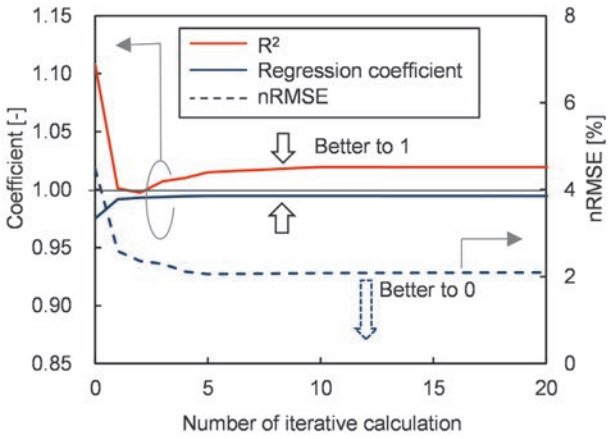


図 5　同定処理の自動化による作業時間の短縮効果

一方で，統計値による判定だけではなく騒音スペクトルに着目した検証も重要である。**図 6** に 1/3 オクターブバンドスペクトルを用いたエンジン全体音（EN）及び FN の検証結果の例を示す。初回の FN-SC は，FN の寄与が大きいモータリング運転状態で，空気系のエンジン制御パラメータを変更して測定したデータから同定している。そのため，モータリング運転時より MAF が大きいファイアリング運転領域では，FN-SC を同定した MAF 領域外で FN を算出することになる。そのため，**図 6** の初回結果のように 800 Hz 以下で FN が過大となりエンジン全体音の予測精度が悪い場合がある。また，統計値による判定で基準を満たしている 5 回目であっても，FN は 500 Hz 帯において実測値を超えており一部の音源成分が全体音より大きいという矛盾が生じる。このような問題を排除するため，統計値による判定に加えて再合成した音源ごとの 1/3 オクターブバンドスペクトルが実測値を越えないことを構造特性同定の判定条件に採用している。この例では，最終的に 14 回目の繰返し処理ですべての基準を満たして同定処理が終了した。**図 6** の実線で示した

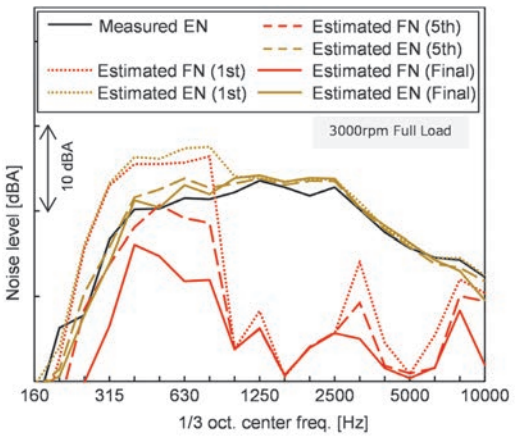


図 6　エンジン騒音スペクトルにおける構造特性同定処理ごとの予測制度改善

最終結果では，10 kHz 帯までの騒音スペクトルで高い再現精度を確保している。また，構造特性を用いて再合成したこのエンジンの全運転領域における全体音の O.A. と実測値の差は，**図 7** に示すように繰返し処理終了後では± 1 dB 以内であり，絶対値としても十分な精度を確保している。

このように，統計値と周波数スペクトルを判定基準に採用し，自動的に同定処理を繰り返すプログラムを構築することで，高周波成分を含めたエンジン全体音について企画段階での検討に十分な予測精度を実現した。

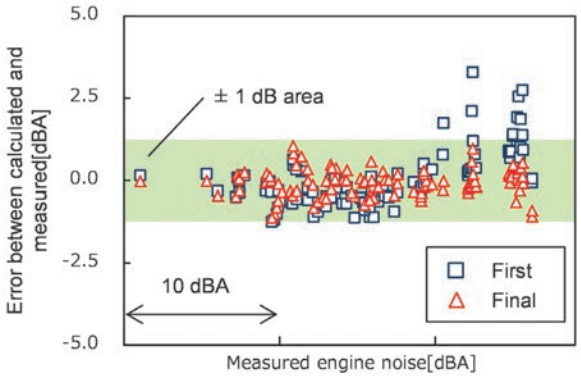


図 7　エンジン騒音の予測精度

4.2 企画担当者が使用可能な机上検討ツールの開発

企画段階では，騒音だけでなくエンジン全体性能を検討するため，騒音の専門家以外が騒音性能を検討できることは，他性能との両立を図る上で有益である。また，実験担当者が自らエンジン騒音特性を検討する場面もあり，このような利用シーンを想定して，多くの人に馴染みがある表計算シートを用いた机上検討ツールを開発した。

図 8 に机上検討ツールの概要を示す。同定した構造特性及びエンジン諸元，加振力特性を記入するデータ入力エリアと騒音計算結果の表示エリアから成るワークシート形式となっている。また。これまで専用のソフトウェアが必要であった燃焼加振力の算出は，所定のセルに入力した筒内圧を元に VBA（Visual Basic for Applications）プロジェクト及び DLL（Dynamic Link Library）を呼び出すことによりバックグラウンドで実行され，その結果がワークシート上に反映される。また，入力した構造特性の数値を直接編集することで，構造特性の目標値検討も可能である。同様に燃焼シミュレーション及び先行実験で得られた筒内圧を利用することにより，燃焼を変更した場合に燃焼騒音の寄与率が考慮された全体音予測にも利用できる。このように，企画段階において多くの性能要件を限られた時間内に検討する際に，騒音を同時に検討するためのツールとして利用価値が高い。

5　1D-CAE ツールの適用事例

表 2 に示すエンジン B の騒音性能改善に本ツールを適用し，同表のエンジン A とのベンチマークにより騒音レベル低減の検討を実施した例を**図 9**～**図 13** に示す。それぞれのベースエンジンで同定した構造特性を用い，加速走行騒音規制の適合で重要となる 2000 rpm 全負荷運転での騒音の寄与を比較した結果を**図 9** に示す。エンジン B はエンジン A に対して高出力化しているが，エンジンブロック高剛性化により，燃焼加振力に対する構造特性を向上させたため，燃焼系騒音

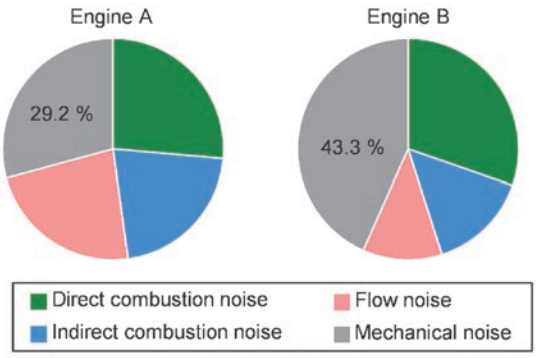


図 9　エンジン A とエンジン B のエンジン騒音寄与率の比較

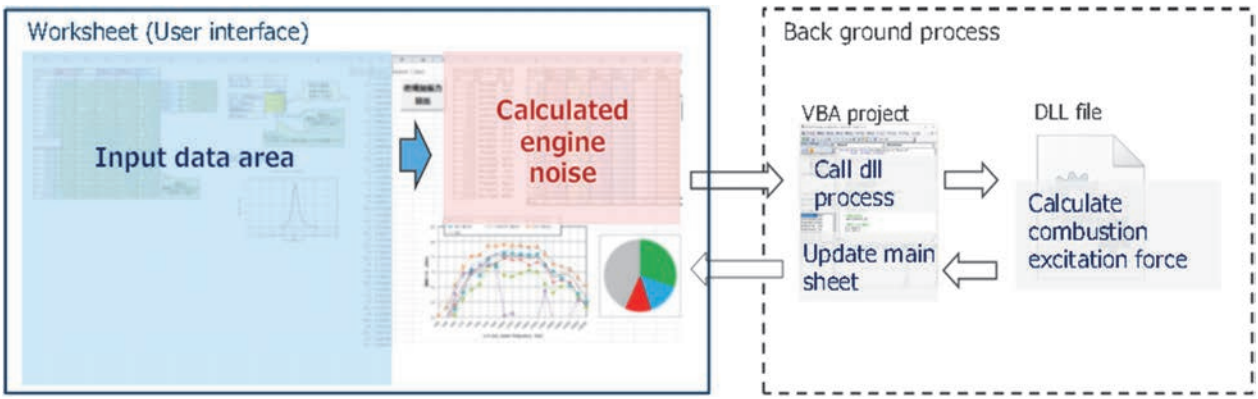


図 8　表計算シートを用いた机上検討ツール

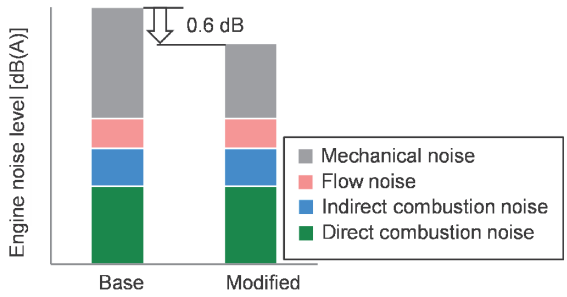


図 10　エンジン B におけるエンジン騒音低減検討結果

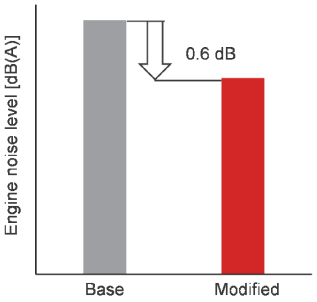


図 12　エンジン B におけるエンジン騒音低減検討結果

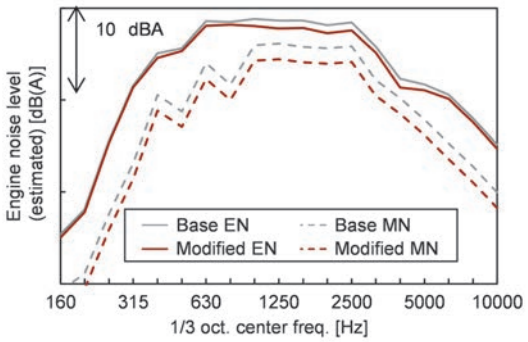


図 11　エンジン B におけるエンジン騒音低減検討結果

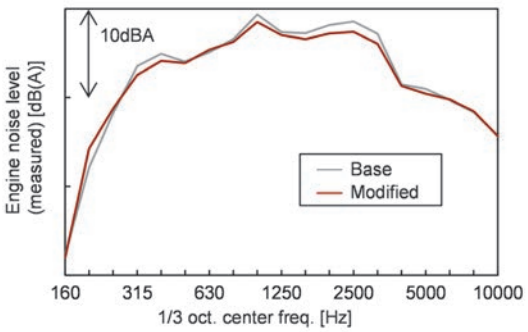


図 13　エンジン B におけるエンジン騒音低減検討結果

(DCN＋ICN) はエンジン A と同レベルを確保している。

一方で，高い耐久信頼性確保のため，ギヤ＋チェーン駆動に替えてギヤのみの駆動方式を採用したことなどに起因して，機械騒音が増加し，寄与率が相対的に上昇していることが明らかになった。この結果から，効率の良い騒音レベルの低減には機械騒音を低減する必要があると考え，開発した 1D-CAE ツールを利用して機械騒音の低減による全体音の低減効果を検討した。

エンジン全体音を 0.6 dB 低減することを目標値とし，**図 9** に示す寄与率を基に機械騒音の低減による検討をすると，機械騒音を 1.7 dB 低減することで目標が達成できることになる（**図 10**）。また，周波数スペクトルで検討結果を確認すると，**図 11** に示すように，機械騒音の低減によりエンジン全体音の高周波までの広い周波数で低減効果があることが予測された。寄与の大きい音源に対して個別に低減効果が検討できることは対策部品の絞込みにおいて極めて有益である。また，音源ごとに周波数特性が把握できることは，対象部品の振動モードを考慮した対策立案にも有益な情報となる。

本ツールを用いて検討した改良効果を実証するため，機械騒音が 1.7 dB 低減できる改良部品を試作し，実機エンジンに組み込んで検証した。改良前後の騒音 O.A. を比較すると，予測通り 0.6 dB の低減効果を確認した（**図 12**）。更に，**図 13** に示す周波数スペクトルでは，**図 11** の予測結果と比較して，同様の周波数成分が改善していることが確認できる。このように，開発した 1D-CAE ツールを利用した改良案を実証した結果は，事前の予測結果を裏付ける結果となり，本ツールの有効性が確認できた。

6　おわりに

ディーゼルエンジンの騒音性能開発を対象に，開発プロセスの改善を提案し，このプロセスの実現に必要不可欠な放射音予測 1D-CAE ツールを開発した。本ツールの有効性を次にまとめる。

(1) 1D-CAE ツールで用いるエンジン構造特性の同定作業において，多量のデータ変換と統計的なデータ処理を自動化するプログラムを作成し，作業工数を 93 %削減した。

(2) 構造特性の同定結果の検証に統計値と周波数スペクトルの定量的な判定基準を導入し，これを満たす繰り返し計算を採用することで実測比，±1 dB 以内の予測精度を実現した。

(3) プラットフォームを汎用の表計算ソフトウェアにすることで，企画段階に多くの性能要件を限られた期間内に検討するためのツールとして利用価値を高めた。

(4) 本ツールを利用した改良案を実機検証した結果は，事前の予測結果を裏付ける結果となり，このツールの有効性が確認できた。

本稿は 2019 年秋季大会学術講演会講演予稿集に掲載された論文を転載するものである。

参考文献

(1) 亀井孝彦ほか：いすゞ'18型エルフ搭載4JZ1-TCH/TCS型ディーゼルエンジンの紹介，いすゞ技報，130号（2018），p.65-71
(2) 小澤 恒，港 明彦，山本 淳氏，渡邊 正人，Bernhard Loda，中島健朗：ディーゼルエンジンの燃焼騒音と燃費の同時改善（第2報），自動車技術会論文集，Vol.44，No.3，p.871-876
(3) 鳥居建史ほか：階層型机上検討ツールとナレッジベースの活用によるエンジン振動騒音開発プロセスの提案，自動車技術会前刷集，（2018），20186039
(4) 藤川智士:マツダの目指すモデルベース開発，マツダ技報，No.31（2013），p.44-47
(5) 大富浩一，1DCAEの目指すところとその実現方法，自動車技術 Vol.72, No.10（2018）
(6) Heuer Stefan: Verbrennungsgeräusch des direkteinspritzenden Hubkolbenmotors, PhD Thesis Aachen Techn. Ochsch., (2001), p.1-104

著　者


山岸　誠弥


小澤　恒

◇いすゞ歴史の一こま



いすゞ全車種パレード（1963年ごろ）

論文・報告

Road to Rig - A Systematic Development Methodology for Robust RDE Calibration Using an Advanced Test Bench Environment

Holger Hüners * Joachim Franck * Deniz Serifsoy * Henning Nies **

Abstract

The European exhaust emissions legislation standard has been extended to include real driving tests on public roads with mobile emission measurement systems - measures of this kind will also be taken and implemented from a global perspective in the short to medium term. The change from a synthetic certification environment of a test bench towards the road, as a complex, yet unpredictable test site, poses a major challenge and considerably increases the measurement and calibration effort for vehicle manufacturers. Methodical adaptations to existing development processes as well as efficient data handling are essential to enable early and robust compliance with Real Driving Emissions (RDE) legislation and to prevent over-engineering. In view of increasing system complexity and high time and cost constrains, it is necessary to ensure functionalities and emission conformity at an early stage of the development cycle. This applies in particular to the emission behavior of vehicle powertrains under RDE boundary conditions, since not only the extension of the operating range of the powertrain to areas which remained unnoticed by original certification cycles, but also the emission relevance of transient driving conditions clearly move into the focus of development.

In this paper, ISUZU Motors Germany and the Institute for Internal Combustion Engines and Powertrain Systems of Technical University of Darmstadt present progress in a methodical development approach that ensures robust compliance with RDE legislation and an integration into OEM development processes. The paper reports the content of a publication published at Expert-Forum Powertrain Conference in Hanau, Germany 2019 [1] added with further project outcomes and information. The paper focuses on important aspects of the development of a vehicle powertrain under RDE boundary conditions - a comprehensive characterization of powertrain behavior with respect to specific emission-critical aspects as well as detailed analysis and application in test bench environments. For early identification and optimization of critical operating ranges, powertrain-specific test scenarios (Most-Relevant Tests) are developed and used in advanced test bench environments for engine- and vehicle applications.

1 Project motivation & methodical objectives

The introduction of RDE within the framework of the European exhaust emissions legislation Euro 6d-temp and further strengthened with Euro 6d brings a profound change in the legal certification procedure, which poses great challenges for the automotive industry.

Despite a steady tightening of the legal emission limits as a measure to control air pollution, no significant reduction of pollutant immissions, especially of nitrogen oxides in urban areas, could be achieved through the respective stages Euro 1-5 [2], [3]. The main reason for this is the deviation of real driving emissions from the laboratory test results determined during the type approval procedure of new vehicles. The development of this discrepancy is mainly due to the originally used test procedure [2], [4]. Under defined and standardized boundary conditions, the certification was carried out by means of a test cycle under laboratory conditions, which did not adequately reflect both environmental influences and realistic driving conditions. This development was to be counteracted by extending the homologation procedure to include an RDE test. In order to obtain type approval for passenger cars and light commercial vehicles, a new test procedure (WLTP) with a new, more realistic test cycle (WLTC) and the testing of exhaust emissions in real driving conditions using a mobile exhaust gas measuring system (PEMS) have been in force since September 1, 2017.

The public road thus developed into a decisive certification criterion and a test environment characterized by a large number of influencing

* Isuzu Motors Germany GmbH ** Technical University of Darmstadt

variables (see **Figure 1**), many of which were ignored in the conventional development environment. The RDE legislation deliberately defines the test procedure only in terms of boundary conditions with regard to the route profile and the test scope in order to create the greatest possible test variability. Stochastic factors such as traffic and environmental conditions make certification tests unique and unpredictable.

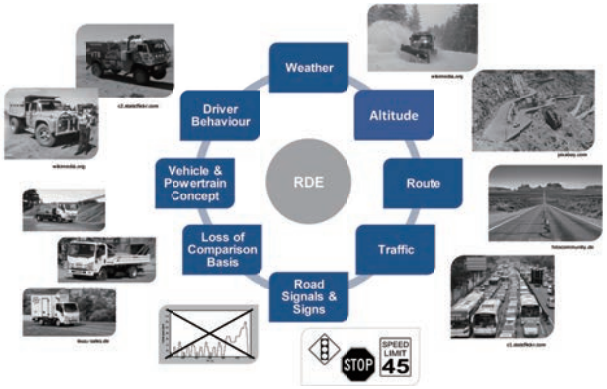


Figure 1　RDE influencing factors

With the introduction of RDE, the objective of powertrain development has shifted away from meeting and optimizing requirements defined in a test cycle towards a robust compliance with emission regulations to stochastically varying and unpredictable real driving conditions. The emission behavior in real driving operations is thus becoming more than ever the focus of application and calibration, accompanied by major challenges in terms of development technology and methodology. Whereas in conventional, cycle-based development processes, real-world driving emission tests were only possible with prototype vehicles, frontloading of development tasks to early development phases is essential to ensure compliance with RDE [5], [6]. In this way, it can be avoided that identified problems, particularly with regard to emission behavior, can only be solved in late development phases by a great deal of effort and correspondingly high costs. The use of test benches to investigate the real-emission behavior of powertrain systems in early development phases is becoming increasingly important [7], [8].

A decisive advantage of the early integration of test benches into the development tool chain is the possibility of reproducing the emission-determining real driving behavior. Emission events that would only occur on the road under certain conditions can thus be examined in detail in the test bench environment.

The challenge for new development methodologies is to generate test results that can be validated on the emissions side at an early project stage and that allow a reference to realistic driving situations and thus to the real driving behavior of the powertrain system [7], [9]. Since the criticality of emission events is largely determined by the selected powertrain configuration and the resulting mechanisms, an early evaluation of the powertrain-specific behavior under real driving conditions is necessary.

2　New Challenges for RDE powertrain development

The mandatory introduction of the RDE test procedure not only has a major impact on the technologies to be used for emission-conform coverage of a significantly extended operating range of the powertrain, but also on the development processes and test methods. In particular, the missing of a test cycle as a reference basis for emission certification and thus the changeover from a defined and known optimization target to an unknown and stochastically random test scope represent a major challenge for powertrain development and application.

Methodical changes in the entire tool chain from development to application and validation of the powertrain are necessary in order to achieve a robust passing of an unknown RDE test [9]. A paradigm change in development methodology is taking place from a stationary operating point optimization to a transient maneuver-based approach with optimization or elimination of critical emission events [5], [6]. **Figure 2** compares the original sequence of cycle-based testing with maneuver-based testing for RDE development.

As already explained in the previous section, the application with vehicle tests in late development phases cannot be efficiently implemented due to poor reproducibility. In terms of frontloading to reduce costs and effort, test bench environments must be supplemented by tools to determine real driving influences such as driver, vehicle, route and traffic and used throughout the development process. Further research results regarding this field have been published by VKM (TU Darmstadt) in various publications (including [5], [9], [12]).

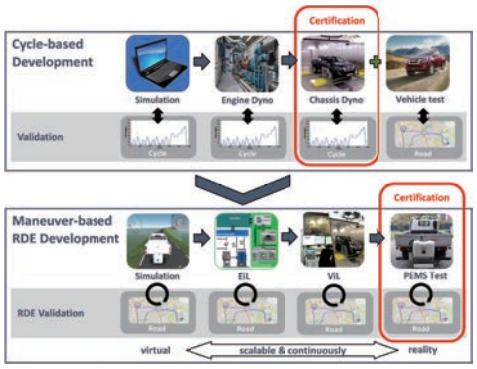


Figure 2 Paradigm Change in powertrain development from cycle-based to maneuver-based methodology (according to [5])

The main focus of RDE calibration is thus on the application of dynamic states from real driving maneuvers. However, the wide range of possible RDE tests, limited only by the legislative framework conditions, carries the risk that not all emission-critical states can be identified. This makes it even more important to identify the individual weak spots of each powertrain concept in a first step in order to eliminate them afterwards. A generic approach is not sufficient for this powertrain-specific focus [9]. Dynamic states that can lead to critical emission events can in some cases only be identified if they are excited by characteristic maneuvers. In addition to the powertrain specification, this also applies to the individual emission components [9]. Here, too, it is necessary to identify critical events individually for each pollutant and assign them to characteristic operating states or maneuvers.

The approach of an early, powertrain- and pollutant-specific identification of weak spots allows a complete evaluation and the delimitation of the possible test area. Concept-specific optimization can also be used to address conflicting goals with regard to other development criteria such as fuel consumption, NVH or drivability [6], [11]. "Over-engineering" in the form of a generalized solution by investigating non-critical conditions and by specifying conservative engineering targets can thus be avoided [11], which is a major advantage, especially in times of high complexity and stringent time and cost pressure.

In summary, the methodical objective for powertrain development can be formulated as follows: For the efficient and robust validation of RDE, new methods are required within the framework of an integrated RDE development environment that specifically detect real-world driving situations that represent powertrain- and emission-specific weak spots. These dynamic maneuvers should be the focus of RDE calibration. In order to identify and address the driving scenarios at an early stage of development, suitable advanced development environments (e.g. RDE-focused X-in-the-Loop test benches) must be provided which enable maneuver-based testing. Furthermore, the identified behavior must be embedded in test structures which allow a calibration approach and a statement regarding the fulfillment of engineering targets. The idea of a concept-specific "Most-Relevant Test" is introduced and investigated in multiple methodical approaches ([9], [12], [13], [14]) and is a substantial element of the developed RDE-Methodology which is discussed in the following.

3 ISUZU/VKM RDE-Methodology

The methodical approach presented below was developed in a joint research collaboration of IMG with VKM of TU Darmstadt and represents a holistic approach to the RDE development process. The aim of the approach is to identify RDE relevant powertrain behavior and to develop and provide powertrain-specific, synthetic Most-Relevant Tests (MRT) that can be used in calibration, application and validation processes to ensure the robustness of the developed powertrain concept with regard to RDE requirements and boundary conditions. **Figure 3** shows the schematic process of the developed approach.

The decisive element of the methodology is the identification of the powertrain to be applied. This could either be a new development or a subsequent project. Using various submodules, the concept-specific emission behavior, especially for transient driving conditions, is analyzed and evaluated with regard to project-specific weak spots. Input data for the analysis can be existing emission measurement data from previous projects, statistical information on operating areas and emission behavior from the fleet, as well as test bench measurements, simulation data and, if already available, real-world driving measurements of the project with regard to RDE suitability.

There are three major methodology submodules within the powertrain identification process: First,

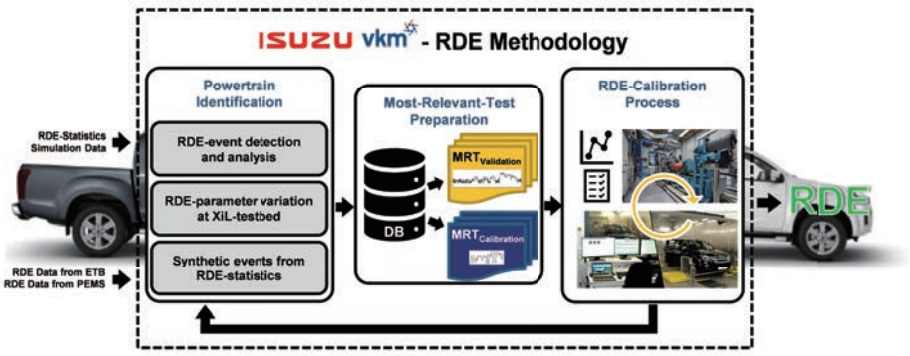


Figure 3　ISUZU/VKM RDE-Methodology

a submodule for the detection and analysis of emission-critical RDE events from measurement and simulation data. Within this module the input measurement data is filtered by defined thresholds to find emission-relevant driving events. They are then analyzed in detail regarding the effective emission-mechanisms and are labeled and classified in a subsequent step. The focus of the second submodule is the generation of synthetic emission-critical RDE driving scenarios. Therefore, a synthetic RDE-related testrun is applied and evaluated within a realtime simulation on a X-in-the-Loop engine or chassis roller test bench (further detailed in following section). By use of parameter variations of RDE-relevant parameters such as payload, driving style (e.g. max lateral and longitudinal acceleration) or road composition (variation of road grade, corner layout etc.) a great variation of synthetic real-driving testruns can be generated for simulation and applied on the test bench with the benefits of reproducibility and emission analyzation. In the third methodology module synthetic, emission-critical events are derived from the analysis of RDE driving statistics. Here emission-critical operating point distributions and operating point changes are evaluated and furthermore investigated in the aforementioned RDE test bench environment. From the results, critical, synthetic real driving events are derived.

Within all 3 major submodules, characteristic, emission-relevant driving events and maneuvers are detected and identified. In a subsequent process step, these are stored in a standardized format in a RDE event database. Based on this database, powertrain-specific, emission-critical Most-Relevant Tests are generated. A MRT describes a synthetic test scenario that addresses the identified, emission-critical (relevant) weak spots for a specific powertrain concept and thus contributes to a robust powertrain development with regard to RDE boundary conditions. The application of Most-Relevant Tests is conceivable for various development stages. A fundamental distinction is made between MRT versions for the calibration process and for the validation process. A MRT for calibration is a shortened and efficiently applicable test for the calibration process. It can be generated from the identified data basis, which should focus on calibration-specific aspects in a temporal scope comparable to conventional test cycles. These tests are mainly composed of driving situations and driving maneuvers that are intended to stimulate a functional behavior to be calibrated. In this context, Most-Relevant Tests are conceivable for the calibration of basic functions that influence raw emissions such as EGR and fuel processing as well as for the adjustment of specific exhaust aftertreatment systems. In contrast to short, function-specific Most-Relevant-Calibration-Tests, MRTs for validation are compliant with the legal RDE specifications and thus cover a wide range of possible driving situations over the whole duration of a valid RDE test (up to two hours), which are, however, still emission-critical with regard to the identified, concept-specific weaknesses. This RDE-valid worst-case approach (see also [10], [13]) makes it possible to validate RDE development work already carried out and evaluate it with regard to specified engineering targets. In this way, a reliable statement can be made on the reliability of compliance with RDE requirements.

In order to guarantee a consistent and flexible application of the generated tests in the test bench environment, a test output in various formats is possible. Thus, the test can be generated as a setpoint specification of load and speed signals for the application on engine test benches, but also as

a control specification of the speed over time, over distance, but also over the road gradient for chassis roller test benches. Figure 4 shows first results of an application of a RDE-valid MRT on the engine test bench.

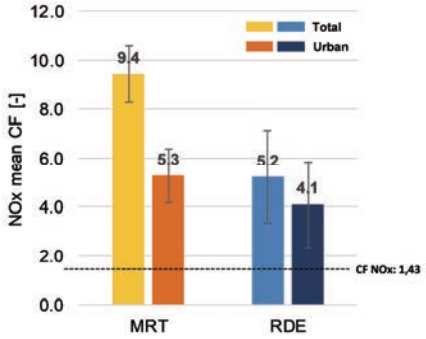


Figure 4 NOx (mean CF) results from MRT (engine testbed) compared to RDE street measurements with D-MAX MY17 EU6b vehicle

The MRT is generated based on an event-database from D-MAX MY17 EU6b vehicle. The test bench results are compared to real driving test results from street measurements. The MRT results clearly show a higher criticality regarding NOx emissions (here CF NOx) as the MRT is generated mostly form NOx-critical driving events.

By applying the developed methodology in the process-chains of RDE development, a frontloading of important development phases is realizable, resulting in an enhancement of the overall RDE testing efficiency. It is content of the ongoing research collaboration to develop and work out methodical validation criteria to support the assessment and generation of a statistical confidence level of the applied MRT-tests regarding RDE compliance. With the application of the developed testcases and the growing statistical database from test results from application and calibration the criteria to assess the confidence level will get more and more exact. By this an objective definition of the MRT development targets to reach RDE conformity and cost/effort benefits is possible.

4 Application in test bench environment (X-in-the-Loop)

In order to validate the real driving behaviour in early phases of the powertrain development, intensive investigations on advanced, dynamic test benches are inevitable. As introduced with the developed RDE-methodology, it is necessary to create test bench environments which enable testing of user-definable and repeatable virtual scenarios which correspond to real driving on the road. To make use of a full frontloading of RDE relevant development phases to early project stages, where the availability of hardware and prototypes is still limited, the combination of available hardware components with a simulation environment is reasonable. Such test bench setups are often called X-in-the-Loop (XiL) test benches [15]. Within this setup, the available hardware systems are embedded in and are interacting with a virtual environment simulation. In this simulation, real world influences such as road scenarios with traffic, a vehicle model as well as the driver behaviour are simulated. The hardware on the test bench replaces the corresponding model in the simulation. Depending on the advancement of the project development status, starting from early simulation at the beginning of the development V-process, up to in-vehicle testing for final validation, various applications of XiL-test benches are thinkable (see Figure 5).

In a first development step, Engine-in-the-Loop-test benches (EiL) are suitable. The unit-under-test on an engine test bench is embedded into the real world simulation and enables reproducible emission measurement, while propelling a virtual vehicle on a virtual road. With the advancement of the development as well as the availability of hardware prototypes, Powertrain-in-the-Loop (PiL) and Vehicle-in-the-Loop (ViL) test benches are common before finalising the development effort with vehicle tests on the road. For PiL and ViL setups, a powertrain on a powertrain test bench or a vehicle on a chassis roller are combined with the real world simulation, replacing model-based structures with real hardware.

Especially for RDE development processes, Engine-in-the-Loop- and Vehicle-in-the-Loop setups bring significant advantages. As engine test benches and chassis roller are proven test environments for base and emission calibration, the extension to RDE capable In-the-Loop test benches enables not only a reproduceable measurement of emission behavior for real world driving situations but also a targeted examination of RDE influencing parameters for the

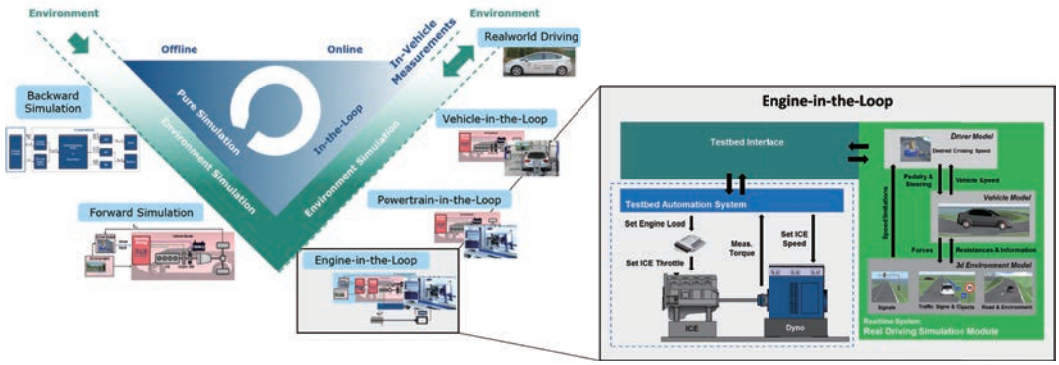


Figure 5　VKM-Methodology: XiL test benches in the Development V-Process with details on Engine-in-the-Loop ([5], [15])

given hardware specimen. Therefore, it is possible to vary variables like the simulated vehicle type e.g. with a different gearbox, different tires, exhaust aftertreatment setup as well as scenario parameters such as payload or driving style (see **Figure 6**).

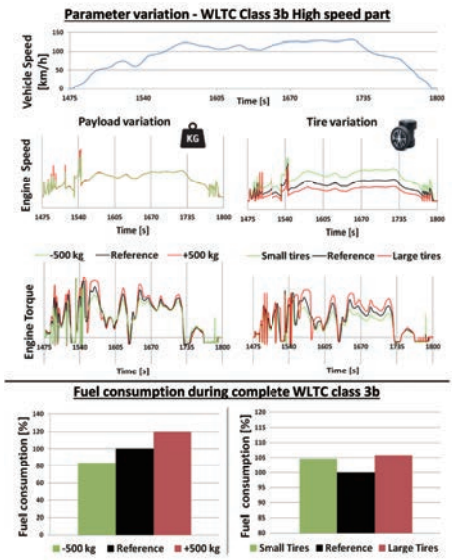


Figure 6　Isuzu D-MAX – Payload & Tire variation

Detailed parameter studies of this kind can also be examined beforehand in office simulations with the possibility of a subsequent validation with real hardware on the test bench. Supplementing these frontloading approaches is the opportunity to transfer real road tests to the test bench (Road-to-Rig) with the target of reducing test effort and costs.

The general functionality of XiL-test benches is described in the following with the example of an Engine-in-the-Loop test bench (see **Figure 5**):

As portrayed in previous sections, the hardware on the test bench (here: the ICE) is connected with a real-world driving simulation. This simulation runs in realtime and depicts a 3D environment model with a road scenario, with road signs as well as traffic objects, a parameterizable vehicle model as well as a driver model. In a closed-loop control, the driver (as the controller) interacts with the driving scenario by operating the pedals (gas, brake, clutch) as well as by shifting gears. For the EiL-test bench, the gas pedal value of the virtual driver model is transferred as a set value for the unit-under-test on the test bench. Furthermore, the engine speed, calculated from the driving velocity of the simulated vehicle serves as a set value to the test bench dynamometer. By this means the engine is put into a defined operating state. To close the control loop, the measured engine torque from the test bench is now returned back to the simulation to propel the virtual vehicle. The overall methodology is adaptable for Powertrain- as well as Vehicle-in-the-Loop test benches.

ISUZU Motors Germany implemented an Engine-in-the-Loop setup at the engine test bench as well as a Vehicle-in-the-Loop setup at the emission roller test bench offering various possibilities for applications regarding RDE and vehicle development (see **Figure 7**).

In terms of the previously introduced RDE methodology developed with TU Darmstadt, the EiL and ViL test benches are a significant element in the RDE development tool chain. For the identification of the powertrain, virtual test scenarios are implemented and investigated on the test benches. This enables the evaluation of emission results when changing RDE relevant parameters of the testruns (such as payload, driver style, road gradient, route etc.) as well es the investigation of the emission

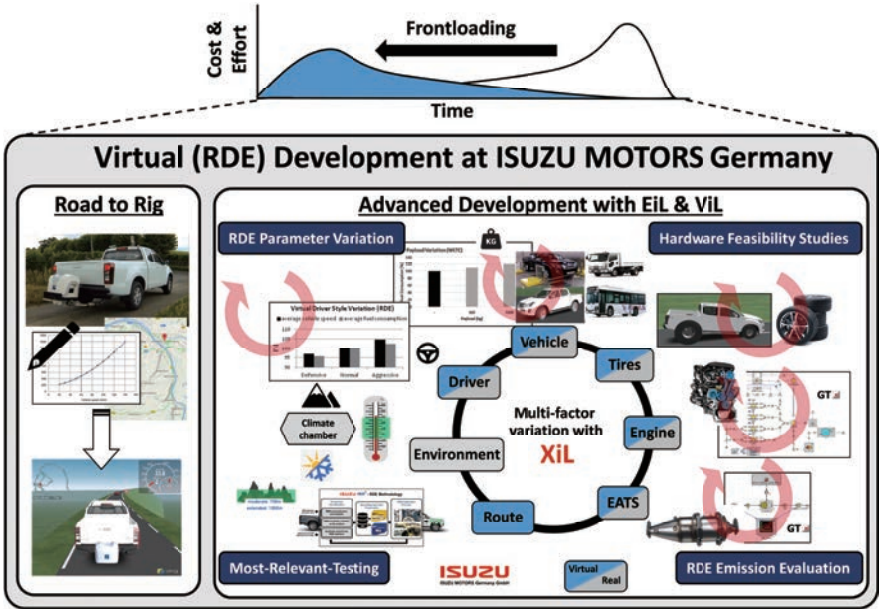


Figure 7　Opportunities with Xil at ISUZU MOTORS Germany

behavior in a variation of dynamic driving maneuvers. The created Most-Relevant-Tests will be examined on the test benches in an ongoing feasibility study.

The existing In-the-Loop test benches at IMG furthermore show great benefits for advanced development projects. Especially with the advanced emission roller and engine test benches offering climate and altitude simulation, RDE testing on the test bench is realizable under RDE relevant and exceeded boundary conditions (e.g. from -10° up to +40° C air conditioning) offering an opportunity to reduce testing effort on the road. Hardware variations such as different tires or different exhaust aftertreatment systems, which so far where only possible in late project phases with prototypes available, are now possible in virtual studies with a subsequent investigation of the impact on available systems on the test benches. These approaches are offering great possibilities to frontload development phases and gaining great advantages concerning testing and development cost and efficiency.

5　Conclusion

The introduction of RDE tests as part of the homologation process to verify and ensure the legal conformity of a vehicle's real driving emission behavior requires far-reaching changes and further development of methodical development approaches.

An RDE development methodology has been developed for the efficient and robust development in compliance with RDE. This methodology reduces the wide range of possible RDE driving scenarios in a powertrain-specific manner, identifies potential problem areas and addresses them individually in Most-Relevant-Tests. As a new RDE development basis, this enables an early and consistent approach to calibration, application and validation.

The utilization of X-in-the-Loop test bench environments offers not only early and reproducible maneuver-based investigations of RDE driving scenarios but also great potential for advanced pre-development projects and feasibility studies.

References

(1) NIES, H., C. BEIDL, H. HÜNERS, K. FISCHER.: Systematische Entwicklungsmethodik für eine robuste Motorkalibrierung unter RDE-Randbedingungen. In: Liebl, J. (ed.) Expert-Forum Powertrain: Simulation and Test 2019. Proceedings. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2020.

(2) TSCHÖKE, H. (ed.): Real Driving Emissions (RDE). Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2019. ISBN 978-3-658-21078-6.

(3) STEININGER, N.: Completing European Emission Targets with RDE test procedures for light duty vehicles. In: International Conference on Real Driving Emissions. Bonn, 2013.

(4) INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN

TRANSPORTATION, Hg. FRANCO, V., F.P. SANCHEZ, J. GERMAN und P. MOCK: Real-world exhaust emissions from modern diesel cars. A meta-analysis of PEMS emissions data from EU (Euro 6) and US (Tier 2 Bin 5/ULEV II) diesel passenger cars. Part 1: Aggregated results, 2014. https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_PEMS-study_diesel-cars_20141013_0.pdf (02/09/2019).

(5) MASCHMEYER, H., M. KLUIN und C. BEIDL: Real Driving Emissions - Ein Paradigmenwechsel in der Entwicklung. MTZ - Motortechnische Zeitschrift, 76(2), 36-41, 2015.

(6) LIST, H.: Zukünftige Antriebsentwicklung: Bewältigung kurzer Entwicklungszeiten und hoher Komplexität. In: 35. Internationales Wiener Motorensymposium 2014. Wien, 2014.

(7) BAUER, S., C. BEIDL und T. DÜSER: Methodik zur Erzeugung RDE-relevanter Szenarien im Prüfstandsumfeld. In: J. LIEBL und C. BEIDL (eds.): Simulation und Test 2017, S. 95-113. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2018. ISBN 978-3-658-20827-1.

(8) GERSTENBERG, J., C. SCHYR, S. STERZING-OPPEL und D. TRENKLE: Effiziente RDE-Entwicklung mittels Engine-in-the-Loop-Prüfstand. MTZ - Motortechnische Zeitschrift, 78(6), 18-27, 2017.

(9) SCHMIDT, D., H. MASCHMEYER und C. BEIDL: Neue Verfahren zur effizienten antriebsstrangspezifischen RDE-Entwicklung. In: J. LIEBL und C. BEIDL (eds.): Simulation und Test 2016. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2017. ISBN 978-3-658-16753-0.

(10) HIPP, J., D. SCHMIDT, S. BAUER, T. STEINHAUS und C. BEIDL: Methodikbaukasten zur effizienten, zielgerichteten RDE-Entwicklung – Potenziale und Perspektiven. In: J. LIEBL (ed.): Simulation und Test 2018, S. 127-146. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2019. ISBN 978-3-658-25293-9.

(11) MASCHMEYER, H., C. BEIDL, T. DÜSER und B. SCHICK: RDE-Homologation – Herausforderungen, Lösungen und Chancen. MTZ - Motortechnische Zeitschrift, 77(10), 84-91, 2016.

(12) MASCHMEYER, H., D. SCHMIDT und C. BEIDL: Simulations- und Testmethoden für die Entwicklung von Fahrzeugantrieben unter Real Driving Emissions Randbedingungen. In: Internationales Symposium für Entwicklungsmethodik. Wiesbaden, 2015.

(13) MASCHMEYER, H.: Systematische Bewertung verbrennungsmotorischer Antriebssysteme hinsichtlich ihrer Realfahrtemissionen am Motorenprüfstand. Dissertation. Darmstadt, 2017.

(14) MASCHMEYER, H. und C. BEIDL: Real Driving Emissions Methodikbibliothek für Motorenprüfstände. In: Internationales Symposium für Entwicklungsmethodik. Wiesbaden, 2017.

(15) MASCHMEYER, H., M. KLUIN, J. MÄDLER und C. BEIDL: Durchgängiger Entwicklungsprozess für Real Driving Emissions-Untersuchungen – Von der Simulation bis zur PEMS-Messung auf der Straße. In: J. LIEBL und G. RAINER (eds.): VPC.plus 2014. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2018 ISBN 978-3-658-23774-5.

Acknowledgment

We express our special gratitude to Professor Christian Beidl and his research assistants from Institute for Internal Combustion Engines and Powertrain Systems of Technical University of Darmstadt for a fruitful and successful joint research collaboration and their competent and professional advice.

著　者


Holger Hüners


Joachim Franck


Deniz Serifsoy


Henning Nies

論文・報告

筒内ガス全量サンプリングと GCMS 及び炭素分析による PM 生成過程の把握

Particulate Matter Formation Analysis by Using In-Cylinder Total Gas Sampling and GCMS/Carbon Analyzer

古川　伸哉*
Shinya Furukawa
鈴木　浩高*
Hirotaka Suzuki
柴田　慶子*
Keiko Shibata
齋藤　大晃*
Hiroaki Saito
石井　義範*
Yoshinori Ishii
島﨑　直基*
Naoki Shimazaki

要　旨

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を用いて，筒内全量サンプリングシステムを構築した。燃焼途中の筒内より採取したガスから PM（粒子状物質：Particulate Matter）をフィルタ捕集した後，TD-GC/MS（加熱脱着ガスクロマトグラフィ質量分析：Thermal Desorption - Gas Chromatograph Mass Spectrometry）分析及び炭素分析を行った。本手法を用いて筒内における PAHs（多環芳香族炭化水素：Poly-Aromatic Hydrocarbons）及びすすの生成過程を解析した。

Abstract

In-cylinder total gas sampling technique has been developed by using hydraulic variable valve actuation system. PM included in the sample gas was trapped on quartz filter, and PAHs components and soot were quantified by TD-GC/MS and carbon analyzers, respectively. Cylinder-averaged histories during/after combustion were obtained by changing the sampling timing. PM formation processes were analyzed by using this technique.

1　まえがき

ディーゼルエンジンから排出される PM（粒子状物質：Particulate Matter）の低減は，排出ガス規制への対応，DPF（Diesel Particulate Filter）への負担軽減の観点から重要な課題である。また，過多の PM は，EGR（Exhaust Gas Recirculation）及び後処理システム内に堆積して，装置の機能低下，ガス流路の縮小，閉塞などの問題を引き起こす恐れがある。これらそれぞれの原因は排出ガス中の特定の成分によるものと考えられる。一方で，排出ガス成分は燃料性状にも大きく影響を受ける。国内においては，石油資源有効利用のため，重質油を軽質化した LCO（分解軽油：Light Cycle Oil）の使用が議論されている。今後このような課題及び変化に対応していくためには，エンジン運転条件と排出ガス組成との関係にまで踏み込んだ理解とそれに基づくシミュレーションモデルが必要である。そのためには，各排出ガス成分の生成過程に遡り，燃焼状態との関係を把握することが重要である。

燃焼ガス・粒子成分の生成過程を実験的に把握するため，著者らは単気筒ディーゼルエンジンを用いた筒内ガス全量サンプリングシステムを構築してきた[(1)]。本手法は，光学計測のような非接触かつ高空間分解計測[(2, 3)]はできないものの，筒内現象の全体像を定量的に捉えられる点で有用である。また，直接サンプリングは目的に応じてサンプルの分析方法を選択でき，同時に多くの成分の情報を得られる点でも有用である。

著者らは燃焼条件と排出ガス組成の関係を把握し，排出ガス組成をシミュレートすることを目指している。本報では，まず，排出ガス中の PM を対象にその生成過程を把握する。そのために，筒内から採取したサンプルガスから PM をフィルタ捕集し，TD-GC / MS（加熱脱着ガスクロマトグラフィ質量分析：Thermal Desorption - Gas Chromatograph Mass Spectrometry）及び炭素分析計を用いて，それぞれ PAHs（多環芳香族炭化水素：Poly-Aromatic Hydrocarbons），すす分の定量を行った。燃焼条件は，EGR を想定して吸気酸素濃度を変化させた場合，更に，JIS2 号軽油とこれに対してセタン指数が低く，アロマ・ナフテン成分混合割合が高い LCO 模擬燃料を用いた場合を比較した。

*㈱いすゞ中央研究所

2　実 験 方 法

2.1 筒内ガス全量サンプリングシステム

表 1 及び**図 1** に，本研究で用いたエンジンの諸元と実験装置の概略図を示す。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であり，各バルブの開弁，閉弁時期，リフト量は独立かつ任意に制御可能となっている [4]。バルブ開閉機構を示した概念図を**図 2** に示す。本機構においては，高圧力の作動油を用いて，バルブ駆動用ピストンを介してバルブを押し下げることにより，開弁を行う。閉弁時は供給した作動油の圧力を開放して，スプリング及び永久磁石の力によりバルブを閉じる。作動油の供給，開放時期によりバルブの開弁，閉弁時期を任意に設定可能であり，作動油を供給せずバルブ動作を停止することもできる。また，本エンジンは 2 つの排気バルブとそれぞれの流路が独立した排気ポートを持ち，一方を通常の排気，他方を筒内ガスの採取に利用する（**図 1**）。通常の運転ではサンプリングバルブを動作させず（通常燃焼サイクル），ある 1 サイクルにおいてのみ排気バルブの動作を停止，サンプリングバルブを動作させる（サンプリングサイクル）。サンプルガスは，希釈，膨張しながらサンプリング容器内に導かれ，燃焼反応が凍結される。サンプリング容器内はあらかじめ 1 気圧の窒素で満たしており，その容積は行程容積の約 10 倍とした（13.2 L）。

図 3 に，サンプリング時のバルブリフト（a），筒内圧力（b），サンプリング容器内圧力（c）の計測例を示す。通常燃焼サイクルからサンプリングサイクルへの移行により，上述のようにバルブの動作が変化している。サンプリングバルブ開弁に伴い筒内圧力は急激に減少，容器内圧力は急激に上昇しており，筒内ガスが採取される様子が見て取れる。サンプリング後は容器内のガス及び粒子の分析を行う。この操作を，サンプリングタイミングを変化させて行うことにより，各成分の時間履歴を取得することができる。

表 1　エンジン緒元

Engine type	4 stroke 1 cylinder engine
Bore × Stroke	φ115 mm × 125 mm
Displacement	1.298 L
Compression ratio	16.3
Swirl ratio	1.29
Combustion chamber	Shallow dish
Valve train	Electro-hydraulic variable valve actuation system

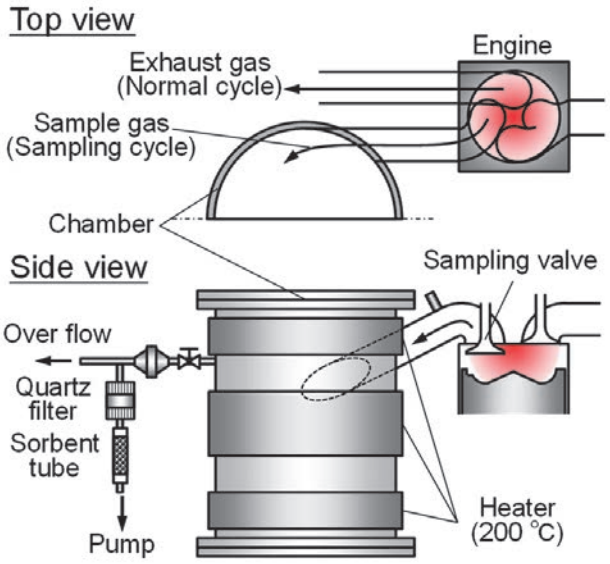


図 1　筒内全量サンプリング実験装置概略図

図 4 に，サンプリングサイクルにおける筒内圧力履歴の計測例を示す。図にはサンプリングタイミングを -8 から 30 °ATDC の範囲で変化させた場合の結果を重ねて表示している。図より，各サンプリングタイミング以降，筒内圧力は急激に低下していることが分かる。このことから，筒内ガスは急速かつスムーズにサンプリングされているものと考えられる。サンプリング性能を評価するため，筒内圧力がサンプリング開始時の圧力の 50 % まで低下するのに要する時間を求めた。その結果，筒内圧力の半減時間は 0.8 ms 程度であった。この半減時間は，過去の筒内ガス全量サンプリング実験と同等であることが確認されている [5, 6]。

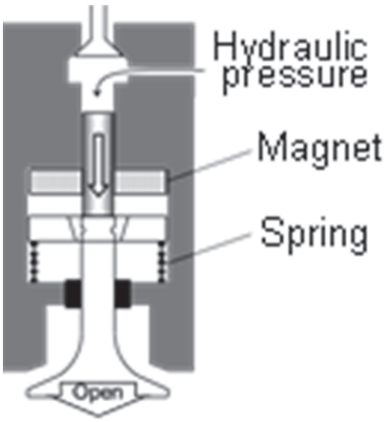


図 2　油圧駆動可変バルブ機構概略図

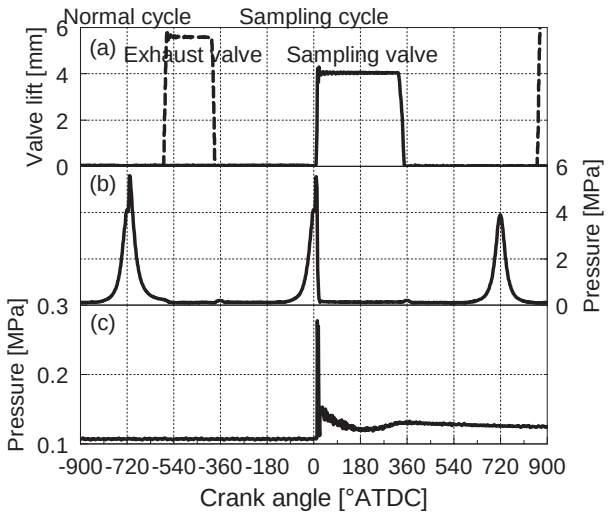


図 3　筒内サンプリング時のバルブ及び圧力挙動 (a) 排気及びサンプリングバルブリフト，(b) 筒内圧力，(c) サンプリング容器内圧力

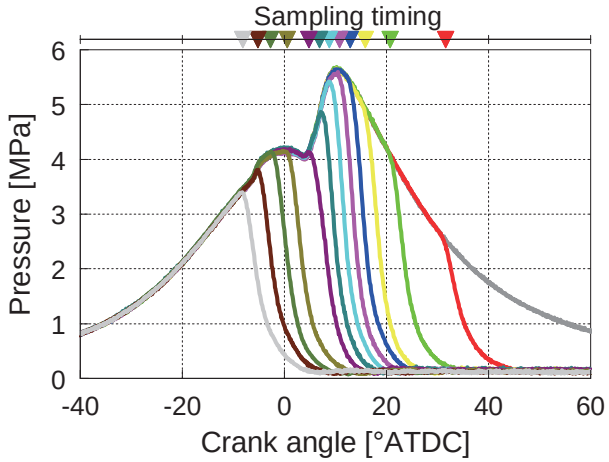


図 4　全量サンプリング時の筒内圧力履歴（さまざまなサンプリングタイミング時の履歴を重ねて表示）

2.2　サンプル分析方法

筒内からサンプリング容器内へ採取したガス中の PM を分析するため，積算流量計付きサンプリングポンプ（ジーエルサイエンス SP208-1000 Dual）により流量 200 mL/min にて 1 分間，PM を石英フィルタ上に捕集した（**図 1**）。このときの捕集面積は ϕ 13 mm とした。次に，PM 捕集面を ϕ 3 mm と ϕ 8 mm に打ち抜き，それぞれ TD-GC / MS（Varian CP-3800 - Bruker 300-MS），炭素分析計（Model2001A, Desert Research Institute, USA）を用いて分析した。TD-GC / MS により分析した PAH 成分は 3 環から 6 環の 6 種類である（**表 2**）。すす分の定量には炭素分析計を用い，分析プロトコルは大気粒子分析に使用されている IMPROVE 法を用いた。本装置では，まずヘリウム雰囲気にて PM を 550 ℃まで段階的に加熱して，OC（有機炭素分：Organic Carbon）を揮発させる。その後，2 % の酸素を導入して，更に 800 ℃まで加熱，残りの炭素分を酸化･燃焼させる。本報では，酸素の導入後に酸化・燃焼した EC（元素状炭素分：Elemental Carbon）の総量をすす分とした。

2.3　実験条件

本研究で行った実験のエンジン運転条件を**表 3** に示す。吸気酸素濃度及び燃料を変更することにより，これらが PM 生成過程に及ぼす影響を調査した。**表 4** に，実験に用いた LCO を模擬した燃料（Test fuel (LCO)）の物性を示す。文献値との比較より[7, 8]，本燃料は，JIS2 号軽油に対して，セタン価が低く，アロマ分，ナフテン分の割合が高いことが特徴となっている。

3　実験結果と考察

3.1　エンジン通常運転時の性能評価結果

図 5 に，本報で対象にしたエンジン運転条件の通常燃焼サイクルにおける筒内圧力と熱発生率履歴を示す。

表 2　TD-GC / MS による定量対象の PAHs 成分

Name	Formula	Structure
Anthracene	$C_{14}H_{10}$	
Phenanthrene	$C_{14}H_{10}$	
Pyrene	$C_{16}H_{10}$	
Chrysene	$C_{18}H_{12}$	
Benzo(*a*)pyrene	$C_{20}H_{12}$	
Benzo(*g,h,i*)perylene	$C_{22}H_{12}$	

表 3　実験条件

Engine speed	600 rpm		
Intake pressure	110 kPa (abs.)		
Nozzle	φ0.137 mm × 9 holes		
Injection pressure	50 MPa		
Injection quantity	2.8 (Pilot), 37.8 (Main) mm^3/st		
Injection timing	-10.6 (Pilot), 1.4 (Main) °ATDC		
Intake O_2	20.8 %	19.6 %	19.6 %
Fuel	JIS#2	JIS#2	Test fuel (LCO)

表 4　燃料物性

		Test fuel (LCO)	JIS#2 (Ref.)
Cetane number		42.0	54.4 [8]
Density [g/cm^3]		0.869	0.8216 [7], 0.8349 [8]
Aromatics [vol%]		45.8	19 [7], 20.6 [8]
Naphthenes [vol%]		45.3	26.8 [8]
Distillation [°C]	T10	216.8	205.5 [7], 226.0 [8]
	T50	278.4	280.0 [7], 287.0 [8]
	T90	336.9	327.5 [7], 340.0 [8]

JIS2 号軽油において，吸気酸素濃度を変化させた場合，圧力，熱発生率に大きな違いは見られなかった。両者の排出ガスをスモークメータ（AVL 415S）で分析した結果，FSN（Filter Smoke Number）は，O_2=20.8 % において 0.38，O_2=19.6 % において 0.65 であり，酸素濃度の低下によりすすの排出量は増加する傾向となっている。吸気酸素濃度 19.6 % において燃料を変更した場合，LCO 模擬燃料においては，JIS2 号軽油に対して，1 段目の熱発生が遅れる傾向が見られ，セタン価の違いが現れている。また，この条件での FSN は 0.84 であり，JIS2 号軽油の場合に比べて（FSN=0.65），すすの排出量は増加する傾向となっている（**表 5**）。本報では，上述の吸気酸素濃度及び燃料が異なる 3 条件において筒内ガスサンプリング計測を行い，PM の生成過程への影響を比較する。

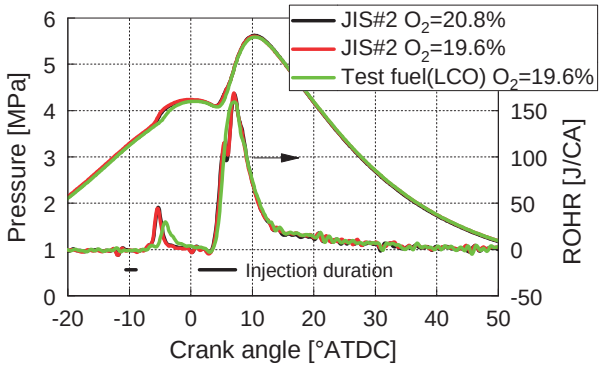


図 5　筒内圧力と熱発生率履歴

表 5　各実験条件におけるエンジンアウトでのスモーク排出量

Intake O_2	20.8 %	19.6 %	19.6 %
Fuel	JIS#2	JIS#2	Test fuel (LCO)
FSN	0.38	0.65	0.84

3.2　筒内の PAHs 及びすす生成履歴

既往の研究から [9]，すすの生成は PAH の凝集による二量体の形成から始まるとされ，そのときの PAH のサイズは炭素数 100 程度とも考えられている。本報で分析した PAHs の最大炭素数は 22 であるが，すすの前駆物質と相関があるものと考え，分析結果を解釈する。

図 6 に，吸気酸素濃度 20.8 %，JIS2 号軽油を用いた場合の熱発生率と PAHs，すすの分析結果を示す。分析結果は，TD-GC / MS 及び炭素分析により得られた石英フィルタ上の各成分質量を，筒内での質量に換算して表示している。図より，2 段目のメインの熱発生が立ち上がるクランク角約 3 ° ATDC 以降において，PAHs，すすの生成が開始することが分かる。PAHs はその環の数が増えるように成長すると考え，各 PAH 成分の生成量 から成長過程を推察する。3 環の PAH のフェナントレンは，同じ 3 環のアントラセンよりも生成量が多く，4 環のクリセンとピレンの比較ではピレンの生成量が多くなっている。このことから，主要な経路としてフェナントレン → ピレンが考えられる。5 環の PAH のベンゾ（a）ピレンの生成経路としては，構造の類似性よりピレンからの成長が考えられ，わずかではあるがその生成を確認できる。一方で，6 環の PAH のベンゾ（g,h,i）ペリレンが比較的多く生成していることが確認できる。Wang らは PAHs の成長過程として，フェナントレン → ピレンから，ベンゾ（e）ピレン（**図 7**）を経由してベンゾ（g,h,i）ペリレンが生成する経路を示している [10]。本報ではベンゾ（e）ピレンの定量ができておらず今後計測する必要があるが，これを経由して生成すると考えられるベンゾ（g,h,i）ペリレンの生成量が多くなっている。このことから，本報の結果は Wang らの報告を支持するものと考えられる。

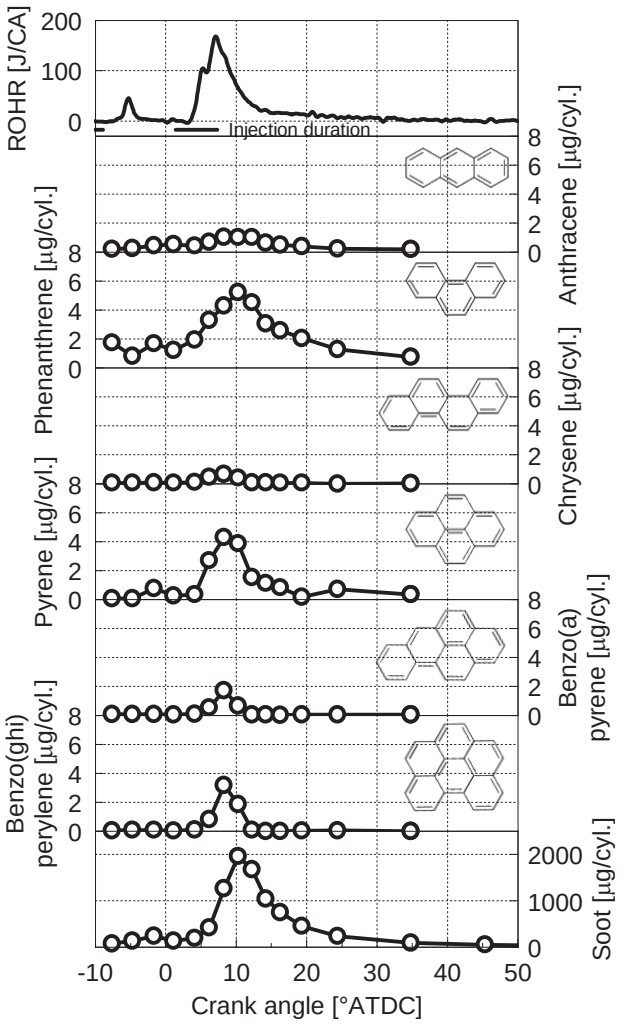


図 6　熱発生率と PAHs，すすの筒内生成履歴（JIS2 号軽油，吸気酸素濃度 20.8 % の場合）

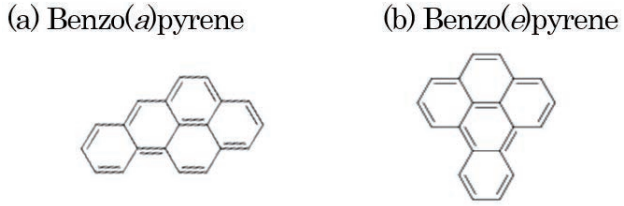


図 7　Benzo(a)pyrene (a) と benzo(e)pyrene (b) の分子構造

3.3　吸気酸素濃度が PAHs 及びすす生成過程に及ぼす影響

図 8 に，吸気酸素濃度 20.8 と 19.6 % における，フェナントレン，ピレン，ベンゾ（g,h,i）ペリレンとすすの生成履歴を示す。図中の挿入図は，クランク角 20 °ATDC 以降のすす履歴の拡大図であり，**表 5** で示した FSN から換算式 [11] を用いて求めたエンジンアウトのすすの質量と併せて示す。両酸素濃度条件ともに，すすは，熱発生が立ち上がるクランク角約 3 °ATDC 以降に生成を開始し，ピークに達した後に減少する。挿入図に示すように，最終的なすすの生成量はおおむね FSN から得られた値に達する。両者の一致は，本サンプリング及び分析方法の妥当性を支持するものである。

吸気酸素濃度の低下により，フェナントレンはピーク後の生成量が増加する傾向が見られるが，これ以外の大きな違いは見られなかった。PAHs はすすの生成に寄与すると考えられることから，両者の差が小さいということは，すすの生成過程に大きな違いがないということになる。このことに対応して，すすの履歴はそのピーク付近までは明確な違いが見られなかった。すす履歴のピーク後の減少は，すすの生成に対して酸化が優勢になるためと考えられる。酸素濃度の低下により，ピーク後のすす生成量は増加しており，これはすすの酸化が抑制されているためと考えられる。これらの結果から，本実験条件の範囲においては，吸気酸素濃度の低下によるすす排出量の増加は，すすの生成が促進されたことよりも，すすの酸化が抑制されたことが支配的な要因と推察される。

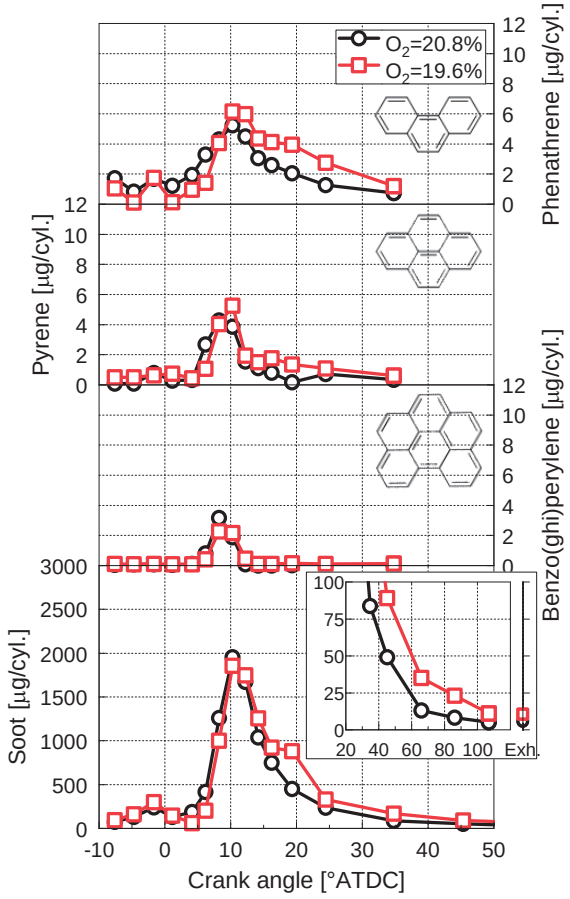


図 8　吸気酸素濃度 20.8 及び 19.6 % におけるPAHs とすすの筒内生成履歴．挿入図はすす履歴の 20 °ATDC 以降の拡大図及びエンジンアウトの値を示す（JIS2 号軽油）

3.4 燃料性状が PAHs 及びすすの生成過程に及ぼす影響

図 9 に，JIS2 号軽油と LCO 模擬燃料を用いた場合の PAHs とすすの生成履歴を示す。前節と同様，最終的なすすの生成量はおおむね FSN から得られた値に達することが分かる。LCO 模擬燃料を用いた場合，JIS2 号軽油と比べて，PAHs のピーク生成量が増加していることが確認できる。これは，すすの生成を促進することを示唆している。このことに対応して，すすの生成量は，クランク角約 5 °ATDC 以降の生成開始直後から増加している。ピーク以降，すすの酸化が優勢になるタイミングにおいても，生成時の差をおおむね維持しており，最終的な排出量は LCO 模擬燃料において多くなっている。Das らの研究によると [12]，すすの生成は，アロマ分＞ナフテン分＞パラフィン分の順に高くなる傾向が示されている。LCO 模擬燃料においては，アロマ分，ナフテン分の増加が，すすの生成を促進したと考えられる。これらの結果から，JIS2 号軽油に対して LCO 模擬燃料においてすす排出量が増加した要因は，前節の吸気酸素濃度を低下させた場合とは異なり，すすの酸化が抑制されたことよりも，すすの生成が促進されたためであると考えられる。

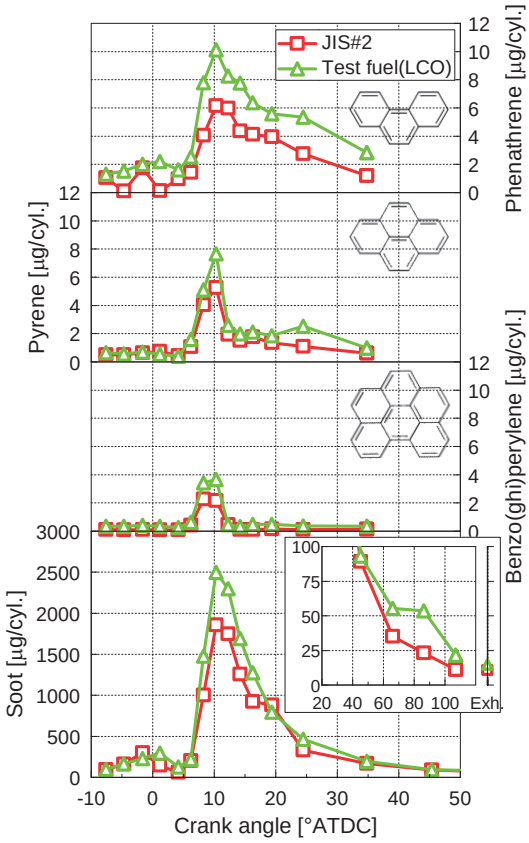


図 9　JIS2 号軽油及びテスト燃料（LCO）における PAHs とすすの筒内生成履歴．挿入図はすすの 20 °ATDC 以降の拡大図及びエンジンアウトの値を示す（吸気酸素濃度 19.6 %）

4　あとがき

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を用いて，筒内ガス全量サンプリングシステムを構築した。サンプルガスから PM をフィルタ捕集して TD-GS / MS 及び炭素分析を行うことにより，PM 中の PAHs とすす分を定量した。本方法を用いて，吸気酸素濃度と燃料性状が PM 生成過程に及ぼす影響を調査した。

(1) 3 から 6 環までの PAHs 生成履歴から，燃焼中の筒内ではフェナントレン，ピレン，ベンゾ（g,h,i）ペリレンの生成量が比較的多いことが分かった。これらの成分は，既往の研究で示された PAH の主要成長過程に含まれる成分と一致することを確認した。

(2) 吸気酸素濃度を低下させた場合，PAHs の生成量に顕著な違いは見られず，すすの生成量においてそのピーク到達後の減少が抑制されることが確認された。このことから，本実験条件の範囲においては，吸気酸素濃度の低下によるすす排出量の増加は，すすの生成促進よりも，酸化抑制が支配的な要因と推察された。

(3) LCO 模擬燃料を用いた場合，JIS2 号軽油と比較して，PAHs 及びすすの生成量が増加する傾向が見られた。LCO 模擬燃料ではアロマ分，ナフテン分の割合が増加したため，PAHs の生成・成長が促進され，すすの生成が増加したものと考えられる。

本報における実験にあたり，株式会社いすゞ中央研究所 柳沢 伸浩 氏，香川 景章 氏の協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

本文献は自動車技術会論文集 49 巻 5 号 p. 944「ディーゼルエンジン筒内における PM 生成挙動に関する研究（第 1 報）- 筒内ガス全量サンプリングと GCMS および炭素分性による PM 生成過程の把握 -」より加筆修正し報告するものである。

参 考 文 献

(1) 古川伸哉，鈴木浩高，塩谷健二，石井義範，島崎直基：“筒内ガス全量サンプリング法によるディーゼルエンジン内のすす生成挙動に関する研究”，第 27 回内燃機関シンポジウム講演論文集，No.17（2016）.

(2) 神本武征，内田登，相澤哲也，近藤克文，窪山達也：“ディーゼル火炎のイメージングとスス酸化過程の定量解析”，第 25 回内燃機関シンポジウム講

演論文集，No.16（2014）.
(3) G. K. Lilik，C. J. Mueller, C. E. Dumitrescu, and C. R. Gehrke：“The Visualization of Soot Late in the Diesel Combustion Process by Laser Induced Incandescence with a Vertical Laser Sheet”, SAE paper, 2015-01-0801 (2015).
(4) R. Kitabatake, A. Minato, N. Inukai, and N. Shimazaki：“Simultaneous Improvement of Fuel Consumption and Exhaust Emissions on a Multi-Cylinder Camless Engine”, SAE paper, 2011-01-0937 (2011).
(5) 廣安博之，小田春己，西田恵哉，鈴木護，吉川滋，新井雅隆：“全量ガスサンプリングによる直接噴射式ディーゼル機関内の燃焼ガス生成過程の解析（第一報，ノズル噴孔 L/D とピストンキャビティ開口比の影響）”，日本機械学会論文集 B 編，Vol. 63, No . 606(1997), p.730-735.
(6) K. Nishida, S. Akiba, K. Hirabayashi, K. Marushita, and W. Zhang：“Combustion and Emission Formation Processed in D. I. Diesel Engine under Various Injection Strategies”, FISITA No. P278 (2006).
(7) H. Iki, and Y. Iguchi：“Development of Bio Hydro-fined Diesel (BHD) Technology：Hdrodeoxygenation of Palm Oil and Adaptability of BHD for Diesel Fuel”, J. Japan Petroleum Institute, Vol.55, (2012), p.349.
(8) 寒川泰紀，ほか：“燃料性状変化に対する最新技術搭載ディーゼル車両のポテンシャル評価”，石油製品討論会，(2014), p.43.
(9) 久保修一，稲垣英人，福本敦勇，高鳥芳樹，近藤照明，光岡拓哉，鈴木教友，井上雅枝：“エンジン筒内における Soot 生成メカニズム”，第 43 回燃焼シンポジウム講演論文集，(2005), p.100-101.
(10) Y. Wang, A. Raj, and S. Chung：“A PAH growth mechanism and synergistic effect on PAH formation in counterflow diffusion flames”, Combustion and Flame, Vol. 160, (2013), p.1667.
(11) R. Christian, F. Knopf, A. Jaschek, and W. Schindler：“A New Method for the Filter Smoke Number Measurement with Improved Sensitivity”, MTZ, Vol.54, (1993), p.16.
(12) D. Das, C. McEnally, T. Kwan, J. Zimmerman, W. Cannella, C. Mueller, and L. Pfefferle：“Sooting tendencies of diesel fuels, jet fuels, and their surrogates in diffusion flames”, Fuel, Vol.197, (2017), p.445.

著　者


古川　伸哉


鈴木　浩高


柴田　慶子


齋藤　大晃


石井　義範


島﨑　直基

論文・報告

エンジン CFD への詳細化学反応計算適用による PM 生成過程の解析

Analysis of In-Cylinder Particulate Matter Formation Process in Diesel Combustion by CFD Simulation Coupled with Chemical Kinetics Model

齋藤　大晃* Hiroaki Saito　古川　伸哉* Shinya Furukawa　石井　義範* Yoshinori Ishii　島﨑　直基* Naoki Shimazaki　石井　一洋** Kazuhiro Ishii

要　旨

エンジン後処理系へ流入する排出ガス成分により浄化性能は大きく左右されるため，燃焼状態を考慮した排出ガス成分の生成過程の数値解析は有用である。排出ガス組成の高精度予測を目的に，エンジン計算に適用可能な燃料モデルを構築するとともに，筒内から採取されたサンプルガスの定量結果と比較した結果を報告する。

Abstract

Purification performance of aftertreatment system is depended on exhaust gas composition, therefore numerical analysis of generation process of exhaust gas components considering combustion state is useful to engine design. To archive high precision prediction of exhaust gas composition, we constructed a reduced chemical kinetics model. This model was applied to CFD simulation and the calculation results were compered to combustion gas sampling experiments.

1　はじめに

現在，各国で施行されている排出ガス規制への対応及び DPF（ディーゼル微粒子捕集フィルタ：Diesel Particulate Filter）の負担軽減の観点から，ディーゼルエンジンから排出される PM（粒子状物質：Particulate Matter）の低減は重要な課題である。同時に，PM は EGR（排気再循環：Exhaust Gas Recirculation）及び排気後処理システム内に堆積し，流路の縮小・閉塞及び EGR クーラの冷却効率低下といった影響をもたらす恐れがある。こうした問題の原因は排気中の特定の物質によるものと考えられ，エンジン運転条件と排気組成の関係を把握することが重要である。また，排気成分は燃料性状にも大きく依存するため，排気組成と燃料性状は切り離さずに検討される必要がある。日本国内においては，重質留分の更なる有効利用のため，重油などから転化させた LCO（分解軽油：Light Cycle Oil）の販売が義務化され，将来のディーゼル燃料の組成が変化することが予想される。したがって，上述の課題と取り巻く環境の変化に対応するためには，排気組成及びこれに関係の深い燃料性状を再現可能な燃焼反応シミュレーションが有用と考えられる。

ディーゼル機関の設計においては，CFD（数値流体力学：Computational Fluid Dynamics）計算は不可欠な検討ツールとなっている。筒内の熱流体計算に加え，中間生成物も含めた化学反応計算を組み合わせた計算ができるようになると，燃料性状を考慮した排気組成を再現できる可能性がある。実燃料の燃焼反応は，非常に多くの化学種と化学反応が関与する複雑な現象であるが，一部の炭化水素成分については詳細な反応モデルが研究機関等で構築されている[(1)]。しかしながら，こうしたモデルは CFD 計算に適用するには規模が大きく，実用に供さないため，簡略化した反応モデルが必要である。

以上の背景から，排気・PM 組成の評価が可能なエンジンシミュレーションの構築を目指して，本研究ではまず PM を対象に，単気筒エンジンを用いた筒内ガスサンプリング実験を行い，PM の生成過程を調査した（次報　筒内全量サンプリングと GCMS（ガスクロマトグラフ質量分析法：Gas Chromatography Mass Spectrometry）及び炭素分析による PM 生成過程の把握を参照されたい）。本報では，PM 生成過程の再現に向け，CFD 計算に適用可能な簡略化反応モデルを作成した。また，計算結果を次報の実験結果と比較することにより，本モデルを評価した。

*㈱いすゞ中央研究所　　**横浜国立大学

2　簡略化ディーゼル燃料モデル

2.1 簡略化ディーゼル燃料モデル作成方法

Mueller ら[2] によるディーゼルサロゲートに関する研究では，セタン価基準燃料成分である HXD（n- ヘキサデカン：n-Hexadecane）と HMN（ヘプタメチルノナン：Heptamethylnonane）にアロマ分及びナフテン分を 1 種類ずつ加えた 4 成分サロゲート燃料によって実燃料の物理的・化学的性状を良く再現できることが示されている。アロマ・ナフテン分は重質油に高い割合で含まれることが知られており，LCO にも多く含まれると考えられる。本報では，この研究例を参考に，セタン価基準燃料 2 成分に加え，アロマ分として TMB（1,2,4- トリメチルベンゼン：1,2,4-Trimethylbenzene），ナフテン分として TDEC（トランス - デカリン：Trans-decalin）をそれぞれ代表させた。この 4 成分の混合割合を調節することで，直留軽油と LCO の着火性及び PM 生成特性を再現可能な 4 成分ディーゼル燃料モデルの構築を目指した。

これら 4 成分の物性を**表 1** に示す。各成分の反応モデルとして，HXD 及び HMN にはローレンスリバモア国立研究所[1]，TMB にはアーヘン工科大学[3]，TDEC にはミラノ工科大学[4] が公開している反応メカニズムを用いた。また，PM 中のすすの生成量を精度良く計算するためには，その前駆物質と考えられる PAHs（多環芳香族炭化水素：Polycyclic Aromatic Hydrocarbons）を考慮することが有効と考えられる。そこで，7 環の PAH であるコロネン（coronene）に至るまでの多環化反応がモデル化された，Wang ら[5] の作成した PAH 生成反応メカニズムを追加した。本研究では，これらの反応メカニズムを簡略化・統合することにより簡略化反応モデルを作成した。これには ANSYS 社の詳細化学反応解析支援ソフトウェア Chemkin-Pro Reaction Workbench[6] を用い，DRGEP（Directed Relation Graph with Error Propagation）法により簡略化した。各反応メカニズムに重複して含まれる化学種については，統合の際に整合するよう配慮した。本報では，239 化学種 974 反応式の簡略化燃料モデルを構築した。このような簡略化と統合の過程を経た本燃料モデルは，計算精度が保たれていないと考えられる。そこで，詳細反応モデルを対象として，各成分の酸化・分解反応の頻度因子の値を調整することにより，着火特性の再現を試みた。対象の詳細反応モデルには ANSYS 社の MFL（Model Fuel Library）2017[7] を使用した。**図 1** は文献[8,9] を参考にパラフィン系炭化水素の低温酸化反応の一部を模式的に示した図である。本研究では，**図 1** に示す 11 の反応の頻度因子を調整した。HXD の酸化・分解反応を例に，具体的に低温酸化反応に関係する次の反応式

$$C_{16}OOH+O_2 \rightleftharpoons C_{16}OOHO_2 \quad (R1)$$

$$C_{16}KETO \rightarrow OH+CH_2CHO+nC_{13}H_{27}CHO \quad (R2)$$

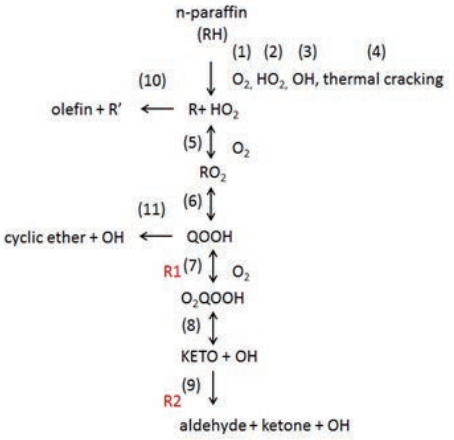


図 1　燃料成分（n- パラフィン）の酸化反応体系

表 1　4 成分ディーゼル燃料モデルの炭化水素成分の物性とモデル概要

Components	Molecular weight[a] (g/mol)	Boiling point[b] (°C)	Derived cetane number[c] (-)	Detailed model reference source	Number of species	Number of reactions
n-hexadecane (HXD)	226.4412	287.1	100	Lawrence Livermore National Laboratory[3]	2115	8157
2,2,4,4,6,8,8-heptamethylnonane (HMN)	226.4412	240.1	15.1	Same as the above	1114	4469
1,2,4-trimethylbenzene (TMB)	120.1916	169.4	8.9	RWTH Aachen University[4]	119	527
trans-decalin (TDEC)	138.2499	187.3	31.8	Polytechnic University of Milan[5]	484	19341

[a]From NIST WebBook[10]. [b]From NIST WebBook[10] at 0.10 MPa. [c]Derived cetane number measured at NREL[11] using ASTM method D6890.

について，頻度因子を変更した場合の温度履歴への影響を**図 2** に示す。(R1）式の頻度因子を 0.1 倍にすると，低温酸化による温度上昇後から高温酸化による温度上昇開始までの期間が長期化する傾向が見られる。一方，(R2）式の頻度因子を 0.5 倍にすると，温度履歴形状に大きな変化はなく低温酸化による温度上昇開始時期が遅れることが分かる。本報で作成した簡略化モデルに関しては，上述のように，各反応の頻度因子の温度履歴に対する感度を把握し，詳細反応モデルの結果を再現するように調整した。

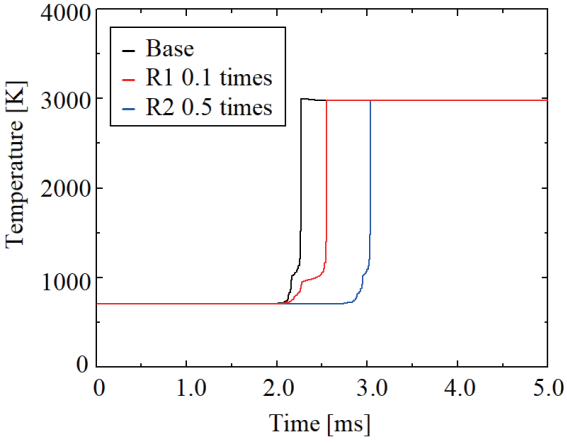


図 2　温度履歴に対する頻度因子変更の影響

2.2 簡略化ディーゼル燃料モデルの評価

図 3 に本簡略化モデルと詳細反応モデルの計算結果の比較を示す。等容条件において初期圧力を 6.0 MPa，当量比を 3 条件設定し，燃料質量割合 HXD：41.3 %，HMN：28.7 %，TMB：15.0 %，TDEC：15.0 %の着火遅れ時間を評価した。図より，本簡略化モデルは温度及び当量比に対する着火傾向をおおむね再現している。当量比の場合と同様に，初期圧力及び初期酸素濃度をパラメータとして変更した場合についても計算し，同等の再現性を有することを確認した。

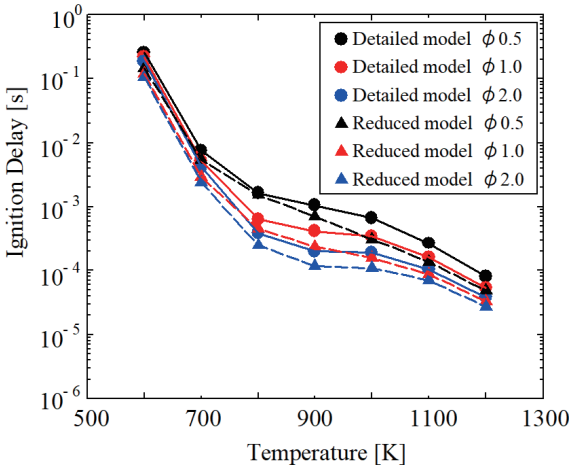


図 3　簡略化モデルと詳細反応モデルを用いた計算での着火遅れ時間の比較

図 4 に両モデルによる温度履歴及び化学種の生成履歴を示す。上段は詳細反応モデル，下段は本簡略化モデルの結果である。各計算条件は上述の**図 3** の計算結果と同様であり，当量比 1.0，初期温度 800 K に設定した。**図 4** 左列の温度履歴をみると，本簡略化モデルの着火時期が早いが，低温酸化反応による温度上昇とその後高温酸化に至るまでの時間が良く一致している。また，中列の燃料成分の分解過程に関しては，各燃料の大部分が低温酸化反応で分解され，その後の高温酸化反応まで緩やかに減少しており，両モデルで傾向が一致した。右列の中間生成物については，アルケン，アルデヒド類の生成量に逆転の傾向がみられるものの，H_2O_2 とともに低温酸化反応による温度上昇後に蓄積され，高温酸化反応で消費される傾向が一致した。OH については，初期の増加速度に差異がみられるが，その後の挙動は比較的良く一致した。

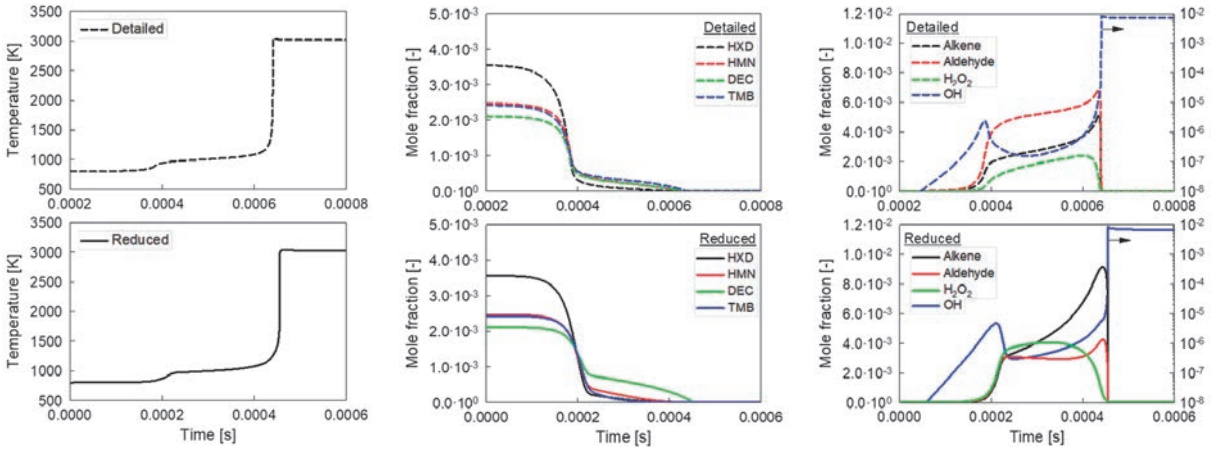


図 4　簡略化モデルと詳細反応モデルを用いた計算での温度（左列），燃料成分のモル分率（中列）及び中間生成物（右列）の時間履歴の比較

図 5 に両モデルによるすす生成 ϕ -T マップを示す。ここでは，すす生成特性を，ϕ -T マップ上の生成領域を比較することにより，評価した。この計算のすすモデルには上述の MFL 2017[9] を，計算には Chemkin-Pro に搭載される moment 法 [12] を用いた。すすの生成量とその生成温度及び当量比領域が両モデルで良く一致することが確認された。

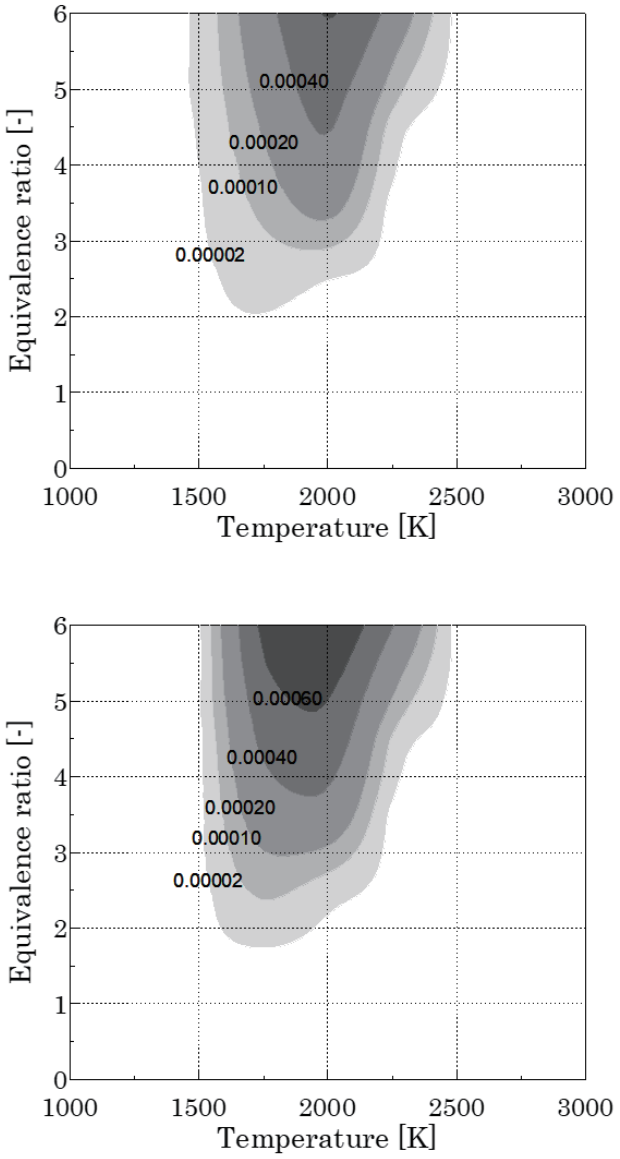


図 5　簡略化モデル（上）と詳細反応モデル（下）を用いた計算での ϕ -T マップ上のすす生成体積分率の比較

3　簡略化燃料モデルの CFD 計算への適用

作成した簡略化燃料モデルを 3 次元 CFD 計算に適用して数値計算を行い，第一報で示された筒内ガスサンプリング実験結果との比較から，すす及び PAH の生成再現精度を評価した。本報では，CONVERGENT SCIENCE 社の 3 次元 CFD 計算ツール CONVERGE[13] を用いた。計算領域は軸対称であることを仮定して 1 噴孔分のセクターメッシュを用いた。計算条件は**表 2** に示されている。吸気酸素濃度を 2 水準で変化させ，燃料は JIS2 号軽油と LCO を模擬したテスト燃料を用いた。また，本計算では，CONVERGE に搭載されている moment 法 [12] によるすすモデルを用いた。このモデルに使用するすす前駆物質はピレンとし，本簡略化モデルにより計算された気相のピレンがすすに核化するように設定した。

3 次元 CFD 計算上では，4 つの燃料成分の割合を調整することで実燃料（JIS2 号，テスト燃料（LCO））の特性を模擬した。第一報の実験で用いた燃料特性を対象に，ANSYS 社の Chemkin-Pro Reaction Workbench[6] の Surrogate Blend Optimization 機能を用いて燃料成分割合を決定した。**表 3** に実燃料とモデルの燃料特性を示す。この JIS2 号軽油の燃料特性については文献 [14,15] を参照した。**表 4** にモデルの各燃料成分割合を示す。LCO を模擬したテスト燃料は JIS2 号軽油と比較してアロマ・ナフテン分が多く，実燃料と同様の傾向となっている。

表 2　CFD 計算条件

Bore × Stroke	φ115 mm × 125 mm		
Displacement	1.298 L		
Compression ratio	16.3		
Swirl ratio	1.29		
Combustion chamber	Shallow dish		
Nozzle	φ0.137 mm × 9 holes		
Engine speed	600 rpm		
Intake pressure	110 kPa		
Injection pressure	50 MPa		
Pre injection quantity	2.8 mm^3/st		
Pre injection timing	-10.56 °ATDC		
Main injection quantity	37.8 mm^3/st		
Main injection timing	1.44 °ATDC		
Intake O_2 concentration	20.8%	19.6%	19.6%
Fuel	JIS#2	JIS#2	Test fuel (LCO)
Breakup model	KH-RT		
Turbulence model	RNG k-ε model		
Soot model	Method of moments		
Soot precursor	Pyrene		

表 3　ディーゼル燃料の物性値比較

Fuel type	JIS#2		Test fuel (LCO)	
	Exp.	Calc.	Exp.	Calc.
Cetane index (Cetane number)	59.6	(54.96)	43.6	(43.10)
Density (15°C) [g/cm³]	0.8216	0.7955	0.87	0.8197
Aromatics [vol%]	19	11.0	45.8	28.4
Naphthenes [vol%]	26.8	10.8	45.3	18.5
Distillation temperature [°C]				
T10	205.5	169.4	216.8	169.4
T50	280.0	228.0	278.4	186.9
T90	327.5	275.9	336.9	269.4

表 4　CFD 計算上での燃料成分組成

Fuel type	JIS#2	Test fuel (LCO)
HXD	42.4 %	26.8 %
HMN	33.6 %	23.2 %
TMB (aromatics)	12.0 %	30.0 %
TDEC (naphthenes)	12.0 %	20.0 %

4　CFD 計算結果

4.1　PAH 及びすすの生成履歴の比較

実験と CFD 計算による筒内圧力及び熱発生率を図 6，計算においてすすの前駆物質に設定した PAH，ピレンの生成履歴を図 7，すすの生成履歴を図 8 に示す。エンジン条件は，吸気酸素濃度 19.6 %，JIS2 号軽油を用いた場合である。図 6 の筒内圧力及び熱発生率の比較より，実験における状態をおおむね再現する結果が得られた。図 7 のピレンの生成履歴については，生成量及びその挙動は実験と計算で比較的良く一致していることが確認された。また，図 8 のすす生成履歴については，メイン燃焼による生成量のピーク値及び生成開始時期，すすの酸化による生成量の減少といった現象がおおむね再現された。プレ噴射によるすすの生成・酸化が計算ではみられなかった。また，これは反応モデルのみならず，噴霧挙動の再現性及び実験精度に原因がある可能性もあり，それぞれの精度向上が必要である。

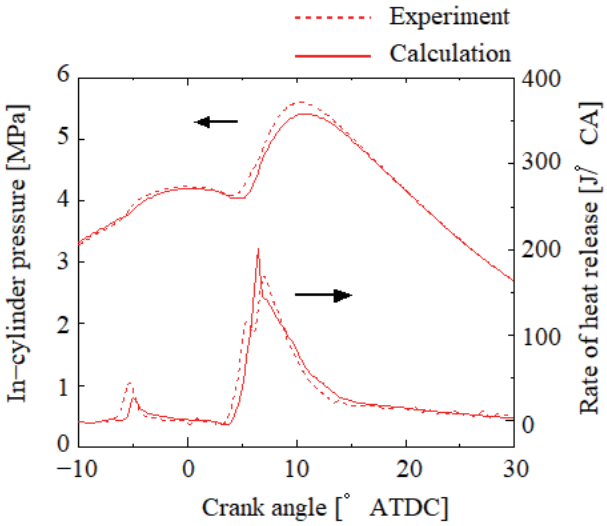


図 6　筒内圧力及び熱発生率の比較（吸気酸素濃度 19.6 %，JIS2 号軽油条件）

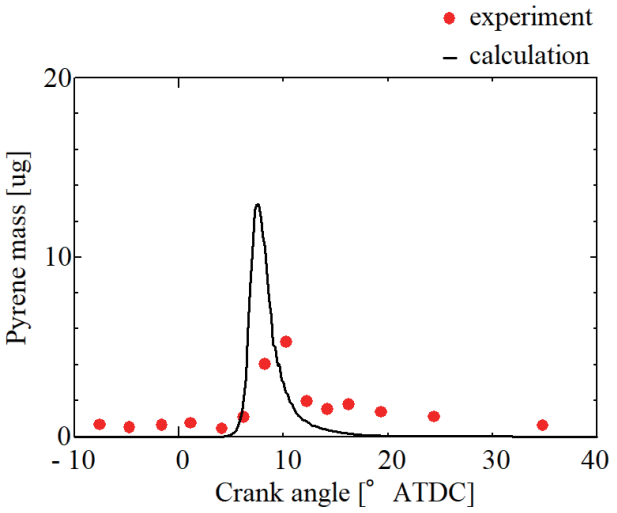


図 7　ピレン生成履歴の比較（吸気酸素濃度 19.6 %，JIS2 号軽油条件）

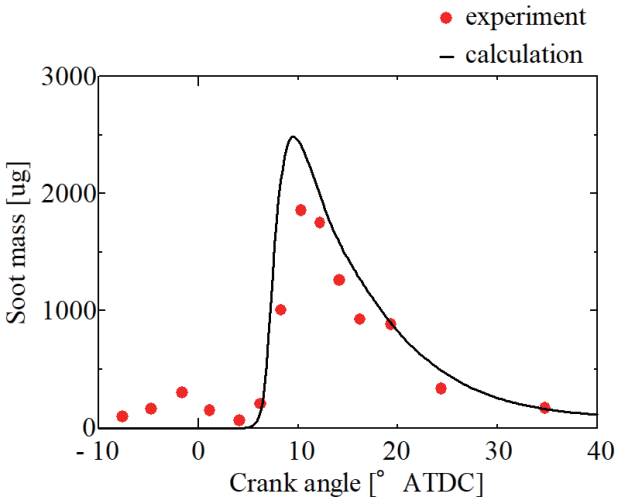


図 8　すす生成履歴の比較（吸気酸素濃度 19.6 %，JIS2 号軽油条件）

4.2 吸気酸素濃度が PAH 及びすす生成に及ぼす影響

図 9 に，吸気酸素濃度を変化させた場合のピレンとすすの生成履歴を示す。左列が実験結果，中・右列が計算結果である。ピレンの生成履歴については，吸気酸素濃度を低下させた場合においても生成量に大きな違いは見られなかった。すす生成履歴については，酸素濃度が低い条件においてピーク後の生成量が多い傾向がみられた。すすの生成に寄与する PAH に明確な差が見られなかったことから，これは酸素濃度の低下によりすすの酸化が抑制されたためであると推察される。以上の吸気酸素濃度の低下に対する PAH，すす生成量の傾向は，実験と計算において比較的良く一致することが確認された。

4.3 燃料性状が PAH 及びすす生成に及ぼす影響

図 9 に，燃料性状を変化させた場合のピレンとすすの生成履歴を示す。左列が実験結果，中・右列が計算結果である。ピレン及びすすの生成履歴について，アロマ・ナフテン分が高い割合で含まれる LCO 模擬燃料では，生成ピーク値が高い傾向が共通して見られるが，この傾向は実験と計算において同様であることが確認された。LCO 模擬燃料にはすすを生成しやすいと考えられるアロマ・ナフテンの環状炭化水素の含有量が多く，これが PAH 及びすすの生成を促進したものと考えられる。

5 おわりに

本報では，ディーゼル燃料を模擬した 4 成分の簡略化燃料モデルを構築した。この簡略化モデルを 3 次元 CFD ソフトウェア CONVERGE に組み込んで計算を行い，PAH とすすの生成特性について評価した。

(1) 燃料成分の酸化・分解反応の頻度因子を調整することで，詳細モデルの着火性を比較的良く再現した。
(2) 本簡略化モデルによる計算結果は実験での熱発生率，PAH 及びすす生成量を良く再現できた。
(3) 吸気酸素濃度を変更した場合，PAH 及びすす生成に大きな違いはなく，酸化過程が異なる傾向が実験と計算で一致した。このことから，低酸素濃度条件では酸化が抑制されるため，すす排出量が増加すると推察された。
(4) 燃料性状を変更した場合，LCO 模擬燃料では PAH 及びすすの生成量が増加する傾向が実験と計算で一致した。このことから，燃料に含まれるアロマ・ナフテン分が増加すると PAH の生成が促進されるため，すすの生成量が増加すると考えられる。

本文献は自動車技術会論文集 49 巻 5 号 p.950 ディーゼルエンジン筒内における PM 生成挙動に関する研究（第 2 報）－エンジン CFD への詳細化学反応計算適用による PM 生成過程の解析－を加筆修正の上報告するものである。

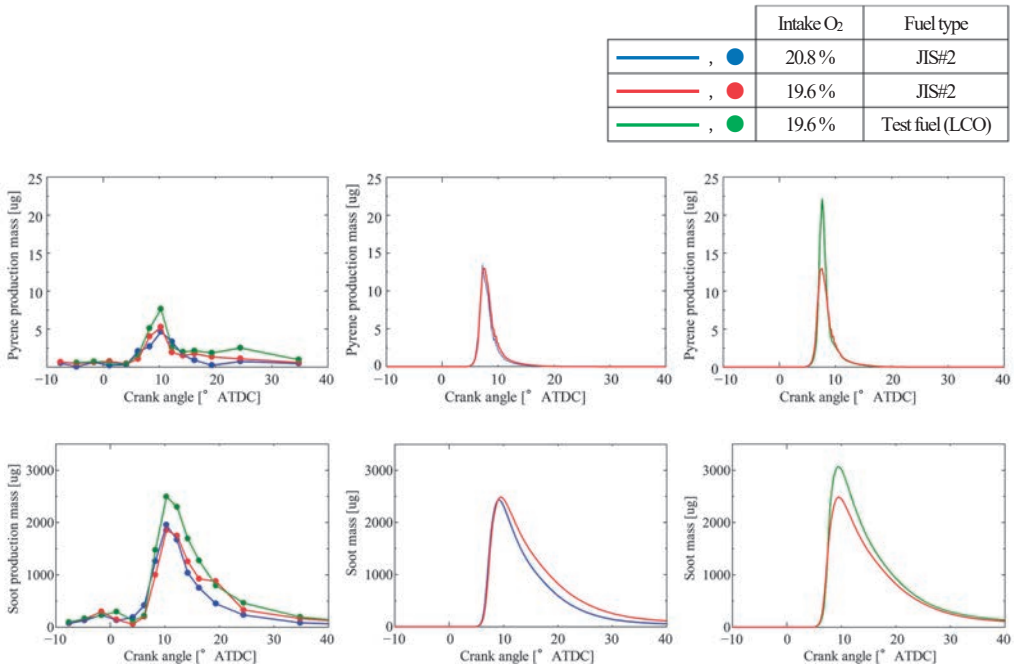


図 9　ピレン（上段）及びすす（下段）の生成履歴の比較（左列：筒内サンプリングによる実験結果，中列：吸気酸素濃度違い条件の CFD 計算結果，右列：燃料組成違い条件の CFD 計算結果）

参考文献

(1) Lawrence Livermore National University, “Mechanisms”, https://combustion.llnl.gov/mechanisms, (Accessed Feb. 16, 2018).
(2) Charles J. Mueller et al.: Diesel Surrogate Fuels for Engine Testing and Chemical-Kinetic Modeling: Compositions and Properties, Energy Fuels 2016, Vol.30, (2016), p.1445-1461.
(3) RWTH AACHEN UNIVERSITY, “Institut für Technische Verbrennung”, http://www.itv.rwth-aachen.de/, (Accessed Dec. 4, 2017).
(4) The CRECK Modeling Group, “Detailed kinetic mechanisms and CFD of reacting flows”, http://creckmodeling.chem.polimi.it/index.php, (Accessed Dec. 4, 2017).
(5) Yu Wang et al.: A PAH grouth mechanism and synergistic effect on PAH formation in counterflow diffusion flames, Combustion and Flame, Vol.160, (2013), p.1667-1676.
(6) ANSYS, “CHEMKIN”, http://www.reactiondesign.com/products/chemkin/, (Accessed Dec.21, 2017).
(7) ANSYS, “Model Fuel Library”, http://www.ansys.com/Products/Fluids/ANSYS-Model-Fuel-Library, (Accessed Dec. 4, 2017).
(8) Glassman, I., Combustion, 3rd edition (Academic Press), (1996).
(9) Curran, H. J., et al.: Combustion and Flame, Vol. 114, (1998), p.149-177.
(10) National Institute of Standards and Technology, “NIST Chemistry WebBook”, http://webbook.nist.gov/chemistry/., (Accessed Feb. 21, 2018).
(11) J. Yanowitz et al.: Compendium of Experimental Cetane Numbers, the National Renewable Energy Laboratory (NREL), U.S., Technical Report TP-5400-67585, https://www.nrel.gov/docs/ fy17osti/67585.pdf, (Accessed Dec. 4, 2017).
(12) Frenklach, M., and Harris, S. J.: Journal of Colloid and Interface Science, Vol.118, No.1(1987), p.252-261.
(13) CONVERGENT SCIENCE, “CONVERGE CFD SOFTWARE”, https://convergecfd.com/, (Accessed Dec 21, 2017).
(14) 寒川泰紀　ほか：“燃料性状変化に対する最新技術搭載ディーゼル車両のポテンシャル評価”, 石油製品討論会, (2014), p.43-51.
(15) H. IKI et al.: Development of Bio Hydro-fined Diesel (BHD) Technology: Hydrodeoxygenation of Palm Oil and Adaptability of BHD for Diesel Fuel, Journal of the Japan Petroleum Institute, Vol.55, No.6 (2012), p.349-357.

著　者


齋藤　大晃


古川　伸哉


石井　義範


島﨑　直基


石井　一洋

社外発表（2019年1月 ～ 2019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
2/1	（公社）自動車技術会 No.11-18シンポジウム 心地よい音をはかる技術・つくる技術2019 －最新の音質評価とサウンドデザイン－	ディーゼル車の音質評価（第7報） －ラウドネスとシャープネスの時間変化を伴う主観評価用燃焼音の加工と合成－	葛西　歩 田村　良介 藤田　耕一 磯山　寛 大石　久己 佐藤　利和 坪山　睦 中嶋　一博 中島　隆 中島　康貴 藤原　哲郎	エンジン実験第二部 日野自動車㈱ UDトラックス㈱ エムティエスジャパン㈱ 工学院大学 スペクトリス㈱ ㈱小野測器 音振技術ネット ㈱エー・アンド・デイ リオン㈱ ㈱ARI大阪
2/19	（公社）自動車技術会 燃料・潤滑油部門委員会	ディーゼルエンジン筒内におけるPM生成挙動に関する研究	古川　伸哉	㈱いすゞ中央研究所
2/22	（公社）自動車技術会 No.12-18シンポジウム 新開発エンジン	小型商用車用3.0L新型ディーゼルエンジン4JZ1型の開発	古賀　崇 松崎　智美 亀井　孝彦	ＰＴ商品企画・設計第三部 〃 〃
	（公社）自動車技術会 構造部門委員会 公開委員会	構造用FRPワーキンググループ活動報告 繊維強化複合材料による衝突エネルギ吸収部材の開発－FRPの圧縮破壊解析法について	小池　朝夫	㈱いすゞ中央研究所
2/26	（公社）自動車技術会 第4回動力伝達システム部門委員会	ピックアップ用MTの操作性改善	野原　和彦	駆動商品企画・設計部
3/1	（公社）自動車技術会 CVT･HEV部門委員会	ELF EV モニター用 Gearbox について	林　雅浩 金子　直弘	駆動商品企画・設計部 〃
3/6	（公社）自動車技術会 関東支部 2018年度 学術研究講演会	ランキンシステム出力予測シミュレーションの開発	加藤　晃太 松浮　朋冬	㈱いすゞ中央研究所 〃
5/27	Asian Aerosol Research Assembly Asian Aerosol Conference 2019	Comparison of chemical properties of emission from a diesel engine by using 10% biodiesel fuel（B10）and petroleum diesel fuel under transient cycle mode　-2nd　Report-	柴田　慶子 塩谷　健二 石川　直也 坂本　和彦	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 （一財）日本環境衛生センター
6/4	日本ばね学会 2019年度春季定例講演会	窒化化合物層の結晶構造がSCM435のねじり疲労強度に与える影響	山田　明徳 衛藤　洋仁 高橋　宏治	車両審査実験第二部 〃 横浜国立大学
6/10 ～ 6/13	SAE（Society of Automotive Engineers） Noise and Vibration Conference & Exhibition	Characteristics of Bending Stress with Whirling at the Rear End of a Crankshaft in an Inline 4-Cylinder High Speed Diesel Engine	小林　紳一郎	エンジン実験第二部
7/3 ～ 7/4	（一社）日本能率協会 第48回 2019工作機械関連技術者会議	寸法公差から幾何公差への変革 －機能要求を正しく伝える公差指示と設計の見える化による働き方改革の実現－	大林　利一	ＣＡＥデジタル開発推進部
7/10	エムエスシーソフトウェア㈱ MSC Software 2019 Users Conference	商用車制動時偏向性のバーチャル評価技術開発	程原　雅之	ＣＡＥデジタル開発推進部
8/9	㈱情報技術協会 自動車室内ＶＯＣ・においの低減法と濃度分析	車室内空気質の技術動向と課題	達　晃一	車両審査実験第二部
8/23	（一社）品質工学会 第7回 品質工学特別講座	技術開発と品質工学	衛藤　洋仁	車両審査実験第二部

発表日	発表先	表題	発表者	所属
8/26	JSAE/SAE International Powertrains, Fuel and Lubricants Meeting	Investigation of Particulate Matter Formation in a Diesel Engine Using In-Cylinder Total Sampling and Thermal Desorption-GCMS/ Carbon Analysis	古川　伸哉 鈴木　浩高 柴田　慶子 齋藤　大晃 宮下　和也 石井　義範 島﨑　直基	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 〃 〃 〃
		Measurement of Oil Transport Phenomena around Piston in Optical Engine Using Photochromic Visualization Technique (Visualization and Quantification of Oil Film Behavior under Low Speed and Low Oil Temperature Condition)	倉辻　風樹 畔津　昭彦 田牧　清治 南郷　哲哉	㈱いすゞ中央研究所 東海大学 TPR㈱ 〃
		Analysis of In-Cylinder Particulate Matter Formation Process in Diesel Combustion by CFD Coupled with Chemical Kinetics Simulation	齋藤　大晃 古川　伸哉 石井　義範 島﨑　直基 石井　一洋	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 横浜国立大学
9/1	(公社) 日本鋳造工学会 第173回全国講演大会	アルミニウム合金鋳物のT5処理における時効挙動に及ぼす冷却速度の影響	竹中　俊夫 池谷　拓哉 茂泉　健 木村　奈津子	ＩＭ推進部 〃 〃 岩手大 (現所属：ＩＭ推進部)
9/8 ～ 9/11	(一社) 日本機械学会 2019年度年次大会	日本における重量車実路排出ガス計測 (PEMS) の計測法、評価法の課題	南　利貴 相馬　誠一	エンジン実験第一部 (一財) 日本自動車研究所
9/10 ～ 9/12	AGENCY FOR SCIENCE, TECHNOLOGY AND RESEARCH INCASE2019	Influence of crystal structure of nitride compound layer on torsion fatigue strength of alloy steel	山田　明徳 衛藤　洋仁 高橋　宏治	車両審査実験第二部 〃 横浜国立大学
9/11 ～ 9/12	(一社) 日本鉄鋼協会 機械構造用鋼表面硬化部材の疲労損傷IIシンポジウム	窒化鋼のねじり疲労強度に及ぼす表面化合物層の影響	衛藤　洋仁 山田　明徳	車両審査実験第二部 〃
9/11	(一社) 電気学会　産業応用部門 産業応用フォーラム 「次世代自動車用車載・インフラ電源システム」	自動車電源システム	小川　誠 立花　武 寺谷　達夫 池田　貞文 高橋　佑典 西里　鉄也	㈱いすゞ中央研究所 トヨタ自動車㈱ 名古屋大学 日産自動車㈱ ㈱本田技術研究所 マツダ㈱
9/17	中越合金鋳工㈱ 中越合金鋳工技術講演会	商品開発と信頼性	古賀　英隆	駆動商品企画・設計部
10/9	(公社) 自動車技術会 2019年秋季大会	SCRのNH3吸着量および反応経路に関する水熱劣化影響のモデル化	岡　耕平 田口　将宏 大堀　鉄平 石川　直也	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃
		領域分割・物体検出のマルチタスク深層学習を用いた自動運転と運転支援装置のための画像認識	原　英之 林田　宣浩	㈱いすゞ中央研究所 〃
		減衰特性に着目した部品間結合部のモデル化手法	山下　健一 小澤　恒 山岸　誠弥 清水　伸二	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 日本工業大学
		高NO2/NOx領域におけるSCRモデルのNOx浄化率予測精度向上	田口　将宏 岡　耕平 大堀　鉄平 石川　直也	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃
		企画段階に適用するディーゼルエンジン放射音予測1D-CAEツールの開発	山岸　誠弥 小澤　恒 Christof Nussmann Christoph Steffens	㈱いすゞ中央研究所 〃 FEV Europe GmbH 〃

発表日	発表先	表題	発表者	所属
10/9	（公社）自動車技術会 2019年秋季大会	良好な運転状態から逸脱したシーンの検出手法と実路評価	草刈　由歌 今西　明 岩男　眞由美 滝波　茂 山口　和彦 関　正寛 堀口　明伯	㈱いすゞ中央研究所 〃 〃 〃 〃 車両審査実験第一部 〃
10/25	（公社）自動車技術会 北海道支部地方講演会	自動車用変速機の技術の変遷	古賀　英隆	駆動商品企画・設計部
10/28	（公社）精密工学会 これぞｘR革命 ものづくりの限界を取り除け! -VR･AR･MR-	デザイン開発における3Dツール展開の取り組み	植松　孝博	デザインセンター
10/30 ～ 11/1	（地独）神奈川県立産業技術総合研究所 Innovation Hub 2019	窒化鋼のねじり疲労強度に及ぼす 表面化合物層の影響	山田　明徳 衛藤　洋仁	車両審査実験第二部 〃
11/1	（公社）自動車技術会 №07-19シンポジウム 快適な車室内環境技術	VIAQの規制と技術動向	達　晃一	車両審査実験第二部
11/8	NTN㈱ 技術交流会	駆動商品企画･設計部の紹介と軸受への期待	金子　直弘	駆動商品企画・設計部
12/5 ～ 12/7	（一社）室内環境学会 2019年室内環境学会学術大会	車室内空気質とTVOC値の活用検討	達　晃一 徳村　雅弘 神野　透人 光崎　純 白井　信介 長尾　祥大	車両審査実験第二部 静岡県立大学 名城大学 （独）製品評価技術基盤機構 ㈱カネカテクノリサーチ エスペック㈱
12/6	（公社）自動車技術会 伝熱技術部門委員会 公開委員会 「省エネを支える伝熱･熱マネジメント技術のご紹介」	MIMAMORI を活用した車両の使われ方確認	高専寺　紘憲	シャシ設計第一部
12/10	（公社）自動車技術会 第30回内燃機関シンポジウム	コンプレッサ性能マップの補正および推定方法	三田　拓朗 松本　淳志 宇田川　和正	㈱いすゞ中央研究所 〃 CAEデジタル開発推進部

（公社）：公益社団法人
（一社）：一般社団法人
（一財）：一般財団法人
（地独）：地方独立行政法人
（独）：独立行政法人
（株）：株式会社

◇投 稿

発表者所属は、発表年月時点である

発表月	発表先(掲載誌)	表題	発表者	所属
2019/01	(公社) におい・かおり環境協会 におい・かおり環境学会誌 50巻, 1号	ISO化された車室内「におい」の評価法	松永　和彦	品質技術センター
2019/5	(公社) 自動車技術会 自動車技術 73巻, 5号	キャンピングカーのために仕上げた専用シャシ	早川　稔 野原　陽二 岩崎　哲弥	いすゞ自動車販売㈱ いすゞ自動車販売㈱ 車両設計第二部
2019/05	(一社) 日本アルミニウム協会 アルミニウム 2019年春夏号　Vol.26, No.105	商用車におけるアルミニウム合金の応用	八木　三哉 海老原　峻義	車両審査実験第二部 〃
2019/07	(一社) 日本機械学会 Journal of Thermal Science and Technology Vol.14, issue2	Simultaneous two cross-sectional measurements of NH3 concentration in bent pipe flow using CT-tunable diode laser absorption spectroscopy	松井　仁 宇田川　和正 出口　祥啓 神本　崇博	CAEデジタル開発推進部 〃 徳島大学 〃
2019/7	Aerosol and Air Qualtiy Research (AAQR) Aerosol and Air Quality Research (AAQR) Vol.19, Issue8	EC/OC and PAHs Emissions from a Modern Diesel Engine with DPF Regeneration Fueled by 10% RME Biodiesel	柴田　慶子 塩谷　健二 石川　直也 坂本　和彦	㈱いすゞ中央研究所 ㈱新エィシーイー (現所属:㈱いすゞ中央研究所) ㈱いすゞ中央研究所 (一財) 日本環境衛生センター, (一財) アジア大気汚染研究センター
2019/08	(公社) 自動車技術会 自動車技術 Vol.73, No.8	ディーゼルエンジン (年鑑)	柿原　知明	PT商品企画・設計第一部
2019/09	(公社) 自動車技術会 自動車技術 Vol.73, No.9	小型商用車用新型3Lディーゼルエンジンの開発	早崎　綱記 亀井　孝彦 松崎　智美	PT商品企画・設計第三部 〃 〃
2019/11	International Journal of Chemical Kinetics International Journal of Chemical Kinetics Vol. 52, Issue2	Kinetic study of the oxidation reaction of 4-methylphenyl radical	松下　真矢 (旧姓 南田) 田中　光太郎 戸野倉　賢一	東京大学 (現所属:㈱いすゞ中央研究所) 茨城大学 東京大学
2019/12	MDPI (Molecular Diversity Preservation International) Metals Vol.9, Issue12	Influence of Crystal Structure of Nitride Compound Layer on Torsion Fatigue Strength of Alloy Steel	山田　明徳 衛藤　洋仁 高橋　宏治	車両審査実験第二部 〃 横浜国立大学

編　集　委　員

（2020 年 9 月 30 日現在）

〈編集委員長〉

志賀　正樹　（開発技術企画部）

〈編集委員〉

谷山　由和　（産業エンジン開発部）
山之内　大介　（CAE デジタル開発推進部）
椎貝　竜二　（AS システム開発部）
高城　豊　（デザインセンター）
岡本　壮史　（駆動商品企画・設計部）
児玉　裕　（NGV 企画・設計部）
伊藤　俊一　（PT 商品企画・設計第三部）
湯本　淳　（車両設計第二部）
河野　直樹　（PT 商品企画・設計第二部）
大沼　潤一　（エンジン実験第一部）
小峰　保　（エンジン実験第二部）
飯島　成規　（xEV システム開発部）
高木　正一　（バス商品企画・設計部）
甲斐　崇　（グローバル CV 商品企画・設計部）
大西　高広　（PT 商品企画・設計第一部）
松島　良幸　（シャシ設計第一部）
芹澤　尚宜　（シャシ設計第二部）
森　瑞樹　（車両設計第三部）
幾竹　弘志　（エンジン装置設計部）
佐藤　秀光　（大型商品企画・設計部）
小林　一彦　（電装・制御開発部）
高松　勇太　（小型・中型商品企画・設計部）
山口　英昭　（LCV 商品企画・設計部）
高野　二郎　（車両審査実験第一部）
高橋　創一　（車両審査実験第二部）
坂尾　和也　（PT 電子制御開発部）
南　健司　（車両技術部）
降幡　健一　（（株）いすゞ中央研究所）
鈴木　章一郎　（いすゞエンジニアリング（株））

〈事務局〉

板垣　正二　（開発技術企画部）
渋谷　弘之　（開発技術企画部）
齊藤　彰彦　（開発技術企画部）
岸本　智美　（開発技術企画部）
飯田　陽平　（開発技術企画部）
蛭川　正敏　（開発技術企画部）

編　集　後　記

いすゞ技報132号は世の中に未知の感染症へ対する不安が残るなかでの発行となりました。私ごとですが，今年ほどに「運ぶ」を支える大切さを感じた年はありませんでした。緊急事態措置のなかでもスーパーマーケットには新鮮な食材が並び，オンラインショッピングでは欲しい物が配送されます。これらは，生産者様や販売小売店様はもとより運送業に従事される方々のたゆみない輸送によって実現している社会体系です。そして，輸送に使用される車両がトラックに代表される商用車で，私達，いすゞの商品･サービスであります。

本号では2019年12月に発表した「いすゞ 20型GIGA」を特集として組みました。「いすゞ 20型GIGA」では先進安全装備の充実，快適性・居住性の向上，故障を予防するためのコネクテッド機能が進化しており，ドライバー様と事業主様を支援する車両となっております。

また，前号に引き続き，「新型ISUZU　D-MAX」の関連記事を載せました。いすゞ技報132号では欧州・豪州向け車両の紹介となります。この車両は2020年9月豪州での発売を皮切りに世界各国への輸出を開始し，累計販売台数210万台を記録しております。更に，新車を対象に安全性能を総合評価するANCAP(Australasian New Car Assessment Program)において，2020年新プロトコルで，最高評価となる5☆を獲得しております。

そのほかにも各部門で取組んできた研究・開発内容を記事として紹介いたしました。

このような困難な状況下でも，執筆に携わっていただいた方々，並びに編集委員の皆様へ深く感謝し，この場を借りて，厚く御礼申し上げます。

（飯田　陽平：いすゞ技報編集事務局）

表紙について

今回の表紙は,更なる進化を遂げた大型トラック「20型ギガ」です。

「ぶつからない」「つかれない」「こわれない」を目指し，運転自動化レベル2相当の高度運転支援や，遠隔地にいる運行管理者に車両の状況を伝える自己診断・報告機能など，最新技術で毎日の安全運行を支援し，交通事故の低減やドライバーの運転疲労軽減に貢献していきます。

（杉浦　康：デザインセンター）

いすゞ技報　第132号

2020年10月21日　発行

編集兼
発行人　志賀正樹

発　行　いすゞ自動車株式会社
〒140-8722
東京都品川区南大井6丁目26番1号

発行所　いすゞ自動車株式会社 開発技術企画部
〒252-0881
神奈川県藤沢市土棚8番地
電話0466(45)2601

印刷所　株式会社　ホクシン
〒211-0021
神奈川県川崎市中原区木月住吉町22-3
電話044(433)3251(代表)

©2020　いすゞ自動車株式会社（禁無断転載）

ISUZU

TOYO INK

non VOC

いすゞ自動車株式会社