

# テクニカル レビュー

2008 NO.20



MITSUBISHI MOTORS



●表紙

写真は「ランサーエボリューション」の数値流体力学解析結果です。その迫力あるデザインと空力特性を融合させたボデーに、新開発のリヤスポイラーやフロアエアガイドを採用することで、空気抵抗のみならず操縦安定性に極めて重要な揚力についても歴代エボリューションを大きく凌駕する性能に上げることができました。フロアエアガイドは流れを車体外側に排出し、床下中央部の流速を増加させること、及びエアガイド後方に形成される渦の作用で床面の圧力を低下させ、揚力を効果的に低減しています。

様々なイベントで活躍する 新世代電気自動車 **i MIEV**



マイカー乗り入れ禁止の黒部アルペンルートを試走



びわ湖毎日マラソンで審判長車を務める



お台場でのモータースポーツイベントでデモラン



軽自動車の耐久レースでベースカーを務める

# 三菱自動車 テクニカル レビュー

2008 NO.20

## 目 次

巻頭言 .....	益子 修	6
-----------	------	---

### 技術展望

座談会 - 『走る喜び』を支える運動性能向上技術 - .....	須之内博幸・澤瀬 薫・布野 洋 西田恒明・本山廉夫・杉本 浩 近藤祐輔	8
----------------------------------	---	---

### 小特集 走る喜び

#### 技術論文

各種駆動方式における左右トルク移動システムの 車両運動性能向上 .....	澤瀬 薫・後田祐一	16
--	-----------	----

#### 技術紹介

車両運動統合制御システム「S-AWC」の開発 .....	三浦隆未・後田祐一・澤瀬 薫 高橋直樹・林川一史	23
------------------------------	-----------------------------	----

新開発 4B11 型ターボエンジン .....	加藤佳彦・戸原健太・明保宏美	27
-------------------------	----------------	----

新開発 Twin Clutch SST (スポーツシフトトランスミッション) .....	木村孝雄・篠倉 崇・林 邦繁	31
---	----------------	----

ランサーエボリューション のシャシ技術 .....	大内 大・山村 剛・及川 弘	35
---------------------------	----------------	----

ランサーエボリューション のエアロダイナミクス .....	片岡 俊・橋本紀公・吉田昌弘 木村登美夫・濱本直樹	39
-------------------------------	------------------------------	----

ランサーエボリューション の電装系設計 .....	塩谷守人・妹尾陽一・伊藤 司	43
---------------------------	----------------	----

ランサーエボリューション のデザインコンセプト .....	松延浩昭・吉峰典彦 浜田 圭・安井智草	47
-------------------------------	------------------------	----

#### 前頁の写真

軽自動車『i (アイ)』をベースに、大容量のリチウムイオン電池、小型・高性能モーターなど多くの三菱自動車の革新的な技術を搭載した新世代電気自動車『i MiEV (Mitsubishi innovative Electric Vehicle)』。

環境保護のため、通常はマイカー通行禁止の立山アルペンルートですが、走行時ゼロエミッションの『i MiEV』は富山県の公安委員会から特別に許可を取得し、高地かつ登坂路での実証走行試験でその優れた動力性能や環境性能を確認することができました。

クリーンで静かであることからマラソンの伴走車としても人気が高く、またモータースポーツのペースカーを務めるなど、様々なイベントで大活躍の『i MiEV』です。

<b>技術論文</b>	
次世代電気自動車『i MiEV』の開発(第二報) .....	細川隆志・谷畑孝二・宮本寛明 53
ノーズビューカメラによる接近物体検出技術の開発 .....	上南恵資・前村高広・谷内博一 清水貴土・笹根成哉 61
可変吸気流制御による燃費, 排気ガス低減に関する研究 .....	宮本勝彦・山下正行・五島賢司 藤永尚人・三木田彰 69
動弁系振動計算コードの開発 .....	北田泰造・口田征人 75
運転の習熟とそれを支援する制御技術(パワートレイン編) .....	梅井一英 84
<b>技術紹介</b>	
植物由来樹脂技術「グリーンプラスチック」の開発 .....	寺澤 勇・常岡和記 田村明博・棚瀬光隆 91
電動パワーステアリング制御「EPS+」の開発 .....	本山廉夫 97
レインライトセンサの開発 .....	加藤伸一・八木俊憲 99
2008年モデルeKワゴンにおけるETACSの進化 .....	川島直樹・田中寿英 荻野匡史・石川周平 103
高性能オーディオ『MITSUBISHI POWER SOUND SYSTEM』の開発 .....	五味淳史・宮田真行・坂本康弘 109
製品開発におけるユーザビリティ評価 .....	堀栄聡志・磯村有宏・村瀬善弘 大和田富治・谷田部雄大・岸上健二 入方真吾 113
衝突解析におけるプレス成形時加工硬化の影響 .....	高階克彦 上田和弘・大塚健郎 117
ギャラン フォルティスのデザインコンセプト .....	松延浩昭・野田健一 浜田 圭・安井智草 121
<b>受賞紹介</b>	
「省動力カーエアコン」EPA Climate Protection Award 受賞 空調システム省動力化技術の開発 .....	浮田哲嗣・中根重治 126
<b>新商品</b>	
ギャラン フォルティス .....	127
ランサーエボリューションX .....	130
<b>技術発表</b> .....	133
<b>三菱自動車の新型車・主要な技術20年の歩み</b> .....	143

# MITSUBISHI MOTORS TECHNICAL REVIEW

2008 NO.20

## CONTENTS

FOREWORD .....	Osamu Masuko	6
<b>TECHNICAL PERSPECTIVE</b>		
“Vehicle Dynamics Technologies to Provide Driving Pleasure” Round-Table Discussion .....	Hiroyuki Sunouchi • Kaoru Sawase Hiroshi Funo • Tsuneaki Nishida Sumio Motoyama • Hiroshi Sugimoto Yusuke Kondo	8
<b>Special Feature Driving Pleasure</b>		
<b>TECHNICAL PAPERS</b>		
Improvement of Vehicle Dynamics by Right-and-Left Torque Vectoring System in Various Drivetrains .....	Kaoru Sawase • Yuichi Ushiroda	16
<b>NEW TECHNOLOGIES</b>		
Development of Integrated Vehicle Dynamics Control System ‘S-AWC’ .....	Takami Miura • Yuichi Ushiroda • Kaoru Sawase Naoki Takahashi • Kazufumi Hayashikawa	23
New 4B11 Turbocharged Engine .....	Yoshihiko Kato • Kenta Tohara • Hiromi Akebo	27
Newly Developed Twin Clutch SST (Sport Shift Transmission) .....	Takao Kimura • Takashi Sasakura Kunishige Hayashi	31
LANCER EVOLUTION X Chassis Technologies .....	Masaru Ohuchi • Takeshi Yamamura Hiroshi Oikawa	35
Aerodynamics for LANCER EVOLUTION X .....	Satoshi Kataoka • Norimasa Hashimoto Masahiro Yoshida • Tomio Kimura Naoki Hamamoto	39
Electrical-System Design for LANCER EVOLUTION X .....	Morihito Shiotani • Youichi Senoo Tsukasa Ito	43
Design Concept for LANCER EVOLUTION X .....	Hiroaki Matsunobu • Norihiko Yoshimine Kei Hamada • Chigusa Yasui	47

Photo on first page

The iMiEV (Mitsubishi innovative Electric Vehicle) is a next-generation electric car that's based on the Mitsubishi “i” and incorporates high-capacity lithium-ion batteries, compact, high-performance motors, and other innovative technologies from Mitsubishi Motors Corporation.

This zero-emission vehicle recently proved its superior running performance and environmental performance on hilly roads at high elevations in a specially permitted test on Japan’s Tateyama Kurobe Alpine Route, which is normally closed to private cars to protect the environment.

Thanks to its clean, quiet operation, the iMiEV is popular as a support car for marathons. It’s also used as a pace car for motor races and is featured at a wide range of other events.

---

## TECHNICAL PAPERS

Development of i MiEV Next-Generation Electric Vehicle (Second Report) .....	Takashi Hosokawa • Koji Tanihata Hiroaki Miyamoto	53
Development of Technology for Detection of Approaching Objects Using Noseview Cameras .....	Keiji Ueminami • Takahiro Maemura Hirokazu Taniuchi • Takashi Shimizu Shigeya Sasane	61
Study of Fuel Economy and Exhaust Emission Reduction by Intake Flow Control .....	Katsuhiko Miyamoto • Masayuki Yamashita Kenji Goto • Naoto Fujinaga • Akira Mikita	69
Development of Vibration Calculation Code for Engine Valve-Train .....	Taizo Kitada • Masato Kuchita	75
Inexperienced Drivers' Behavior, and Control Technology that Adapts Powertrain Behavior to Drivers .....	Kazuhide Togai	84

---

## NEW TECHNOLOGIES

Development of Plant-Based Plastics Technology, 'Green Plastic' .....	Isamu Terasawa • Kazunori Tsuneoka Akihiro Tamura • Mitsutaka Tanase	91
Development of EPS+ (Electric Power Steering Plus) .....	Sumio Motoyama	97
Development of a Rain-Light Sensor .....	Shinichi Kato • Toshinori Yagi	99
Newly Evolved Electronic Time and Alarm Control System (ETACS) of 2008 eK WAGON .....	Naoki Kawashima • Toshihide Tanaka Masashi Ogino • Shuuhei Ishikawa	103
Development of MITSUBISHI POWER SOUND SYSTEM .....	Atsushi Gomi • Masayuki Miyata Yasuhiro Sakamoto	109
Usability Evaluation in Product Development .....	Satoshi Horie • Arihiro Isomura Yoshihiro Murase • Tomiji Ohwada Yudai Yatabe • Kenji Kishiue • Singo Irikata	113
Influence of Work Hardening during Metal Forming on Crashworthiness Analysis .....	Katsuhiko Takashina • Kazuhiro Ueda Takeo Ohtsuka	117
Design Concept for GALANT FORTIS .....	Hiroaki Matsunobu • Kenichi Noda Kei Hamada • Chigusa Yasui	121

---

## AWARDS

EPA Climate Protection Award for High-Efficiency Mobile Air Conditioning System Development of High-Efficiency Heating, Ventilation, and Air Conditioning System .....	Tetsuji Ukita • Shigeharu Nakane	126
--	----------------------------------	-----

---

## NEW PRODUCTS

GALANT FORTIS .....	127
LANCER EVOLUTION X .....	130

---

NEW TECHNOLOGIES PRESENTED .....	133
----------------------------------	-----

---

A 20-Year History of New Models and Major Technologies at Mitsubishi Motors Corporation .....	143
---	-----

---



## お客様のご満足は、私たちの喜び

Customer Satisfaction is Our Satisfaction

取締役社長

益子 修

Osamu Masuko

一人でも多くのお客様から、ご満足や共感を頂くことが私たちの喜びです。

「とてもぞくぞくするような、何ともいえない快感で、ストレスが一気に解消した。アイはとてもいいクルマだと思う。」

( i (アイ) のお客様 60代男性 )

「運転がしやすく、疲れなくて長距離運転ができ、気に入っています。」

(アウトランダーのお客様 40代男性)

「飽きの来ない形で、このクルマは10年か、それ以上乗れそうな気がします。」

(デリカ D:5 のお客様 40代男性)

当社のお客様相談センターに寄せられる、お客様からの多くの貴重なご意見の中から、このようなお褒めのメッセージを目にするとき、私は心の底から喜びを感じることができます。お客様に少しでも多く喜んで頂きたい、ご満足頂きたい、お客様のお役に立ちたい...このことを常に考えて私たちは日々の仕事に取り組んでいます。

『大切なお客様と社会のために、走る喜びと確かな安心を、こだわりをもって、提供し続けます。』

三菱自動車では、2005年1月にこの言葉を企業理念に掲げ、お客様からご満足頂くことを最優先に企業活動を行うことを宣言いたしました。この企業理念は、クルマ本来の魅力である“走る喜び”と永く安心してお乗り頂ける“確かな安心”をクルマづくりに反映させ、また、お客様にクルマの新しい価値を提案できるような三菱自動車らしい“こだわり”を表しています。

2005年10月に発売した『アウトランダー』以降、『i (アイ)』、『新型eKワゴン』、『新型パジェロ』、『デリカ D:5』、『ギャラン フォルティス』、『ランサーエボリューション』と、続けて発売してきた新型車には、こうしたクルマづくりへの思いを込めるこ



---

---

とができました。

軽自動車の常識を破り『i (アイ)』に採用した「リヤミッドシップレイアウト」や、意のままの操縦性と卓越した安定性を実現する車両運動統合制御システム「S-AWC (Super All Wheel Control = スーパーオールホイールコントロール)」などは、お客様のご満足を実現する当社独自の価値ある技術です。

昨年10月に発売した『ランサーエボリューション』は、最新の技術を惜しみなく注ぎ込み、「すべてのお客様に気持ち良く安心して高い次元の走りを楽しんで頂きたい」との私たちの熱い思いを込めたモデルです。“ランエボ”は1992年の発売以来「走りの限界性能に挑む」という一貫したポリシーのもと、モータースポーツへの参戦を通じた技術の向上や検証、そして次世代モデル及び市販車へのフィードバックを繰り返し、常に最高を目指した“こだわり”のモデルです。10代目となる『』では、これまでにない新感覚のドライビングを可能とした新開発トランスミッション「ツインクラッチSST」や「S-AWC」により、速さの追求のみならず安心・快適性へと新たな進化ステージを切り拓きました。

その思いが多くの方にご支持・共感を頂き、日本カー・オブ・ザ・イヤーでは特別賞「Most Fun」を受賞することができました。

第20号となる今回の三菱自動車 *チグンガル* レビュー では、小特集として『走る喜び』を取り上げ、『ランサーエボリューション』に搭載した新技術の特集しました。

さて三菱自動車では、今年4月から新しい中期経営計画「ステップアップ2010」をスタートさせ、社会と永く共生し、より多くのお客様にご満足頂ける企業を目指して、将来の持続的成長に向けた基盤づくりを推進します。私たちは、自動車という商品が、多くの利便性と価値をもたらす一方で、環境問題や交通事故などの社会問題の原因にもなっているということ認識しています。特に地球温暖化対策は、待ったなしの状況となっており、私たちはこれらの課題の解決に向け、低燃費エンジンや高効率トランスミッションの車種展開を拡大するとともに、クリーンディーゼルや次世代電気自動車『MiEV』などの実用化開発を加速しています。

私たち三菱自動車はこれからも、お客様のご満足と、環境や社会と調和した自動車社会実現のため、たゆまぬ商品・技術開発を続けて参ります。

# 座談会 『走る喜び』を支える運動性能向上技術

“Vehicle Dynamics Technologies to Provide Driving Pleasure” Round-Table Discussion

## 概要

三菱自動車の企業理念は「大切なお客様と社会のために、走る喜びと確かな安心を、こだわりを持って提供し続けます」というものである。『走る喜び』特集である本号では、技術展望として趣向を変えて、『走る喜び』を支える中心技術となっている運動性能向上技術や4WDシステムの開発に携わる担当者が、それぞれの立場から思いを語る。

## Abstract

Mitsubishi Motors' corporate philosophy is encapsulated in the following motto:

“We are committed to providing the utmost driving pleasure and safety for our valued customers and our community. On these commitments we will never compromise. This is the Mitsubishi Motors Way.”

In this issue focusing on driving pleasure, we hear from the engineers in charge of developing the technologies for enhanced vehicle dynamics and 4WD systems, which provide the core support for driving pleasure.

**Key words:** Driving Pleasure, Vehicle Dynamics, 4WD System



写真左から

開発本部 先行車両技術部 シャシー先行技術担当  
須之内博幸 Hiroyuki Sunouchi

開発本部 ドライブトレイン技術部 ドライブトレイン設計担当  
澤瀬 薫 Kaoru Sawase

開発本部 実験総括部 評価統括担当  
布野 洋 Hiroshi Funo

開発本部 運動性能実験部  
西田恒明 Tsuneaki Nishida (司会)

開発本部 先行車両技術部 車両制御技術担当  
本山廉夫 Sumio Motoyama

開発本部 運動性能実験部 操安・乗心地開発試験担当  
杉本 浩 Hiroshi Sugimoto

開発本部 先行車両技術部 車両軽量化担当  
近藤祐輔 Yusuke Kondo

## 1. はじめに

【西田】近年の車両運動性能制御技術の進展は著しいものがあります。厳しい環境の下でも、あるいは特別に熟練したドライバーでなくても、より安全に、より快適にクルマを操ることが可能になりつつあります。当社では、「クルマ本来の魅力である走行性・走破性」を『走る喜び』と位置づけ、「ワクワクするクルマ」造りを目指しており、ランサーエポリューションをはじめとして、これら制御技術が『確かな安心』とともに『走る喜び』

を支えています。一方、これら制御技術によるシステムの作動は、ドライバーの意識や操作に必ずしも対応していないこともありますので、「クルマを操る本当の気持ち良さを味わいにくい」という感覚にも繋がることもあります。必ずしも電子制御万能ではなく、このあたりはやはりクルマそのものが持つ基本特性がものをいうのではないのでしょうか。これらを最適に組み合わせたクルマ造りが、『走る喜び』を目指す我々に課せられた命題です。そこには、試験・解析技術や徹底した走り込み、厳しく正確な評価が必要なことは言うまでもありません。

このような観点で見たとき、車両運動性能に関わるクルマ造りはどのような歩みを見せているのか、今日は、運動性能に関わる技術開発・クルマ造りに対して、制御技術、基本技術、試験・評価、それぞれの立場で携わっている皆さんに、苦労話なども含めて、思うところを語ってもらいます。

## 2. シャシ制御技術

【西田】車両の運動に関わる制御技術が量産採用されるようになったのは1980年代からだと思います。ABSやトラクションコントロールはじめ、4WS、可変特性ショックアブソーバ、エアサスペンションでの車高調整やロール角低減制御、スタビライザーのON-OFF制御もありました。ステアリング系では操舵反力を電子制御するパワーステアリング。これらの中には、装着が当たり前になったものと、一時の勢いが衰えているように見えるものもあります。

【本山】4WSや、ショックアブソーバーの減衰力切り替え、エアサス、油圧サスなどのいわゆる可変特性サスペンションが浮き沈みの激しかった部類です。1980年代後半に盛り上がりましたが一気に普及はしませんでした。1990年代は大きな動きはありませんでしたが、近年は特に減衰力特性を切り替えではなくて連続的に変化させるショックアブソーバーなどは、欧州を中心に拡大傾向にあります。一時下火になったのは、当初のシステムはやはりハード・ソフトとも未熟だったと言えます。さらに、目指すもの自体も未成熟だったのが衰退の理由だと思います。

【布野】4WSなど、ある一面に注目したシステムなのでその点においては目を見張る性能を持っていましたが、実際には、使いにくいところもあったのも事実です。

【本山】この時代は日本の各自動車メーカーが先行していました。造り手側もマーケットも目新しさに価値を見出していました。半面、一部を除いて、最初の製品化以降の熟成が不足していたこともあり、機能が十分認知されませんでしたね。例えば、4WSは小回り以外の機能が認知されなかった。どういう場面で新しい機能が発揮できるのか、一般のお客様には分かりにくいところがあった。操縦安定性能の実感走行環境に大きく左右されますから。乗り心地が格段に向上、というようなものなら分かりやすいのですが。

【須之内】経済環境の変化も影響していると思います。バブル期の、先進技術や新しい機能が注目された時期から、バブル以降のバリューフォーマネーへの変遷。付加

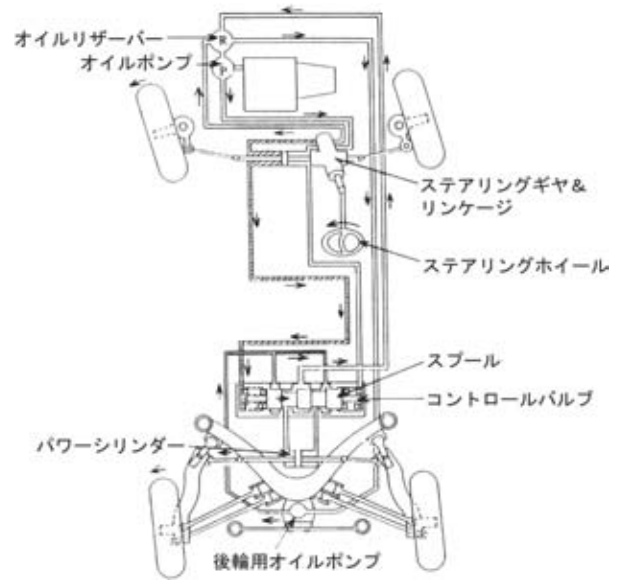


図1 4WSシステム(1987年ギャランVR4)  
4WS system (1987 GALANT VR4)

機能はベースの性能がしっかりしていないと中途半端なものになります。歴史のある欧州車はやはりベーシックな部分を地道に進歩させながら、現在の好景気に支えられた付加価値のステップへ進んできた。一方、日本勢は一旦ジャンプしたものの、ベーシックなところでしっかりやっていく、いわば基本的なやり方へ戻ってきたと。

【杉本】4WSについて言えば、すべての車速域での最適化までは至っていませんでした。したがって、欧州向けの仕様は日本向け仕様とは異なるチューニングでした。

【本山】4WSについてはやはり違和感を避けては通れません。違和感を完全になくしたらただの前輪操舵ですから。慣れさえすれば違和感が快感に変わるというわけでもないでしょう。走り始める前に「これが絶対にイイのだ!」と思込めない限りダメなのかも。

【布野】特にリヤサスペンションについては「位置決めがしっかりしている」ということが操縦安定性の基本です。そういう意味では、4WSは、リヤサスを動かすことは正しいことか?という議論があると思います。最適な動かし方が実現できればさらなる発展の余地があるでしょう。

【本山】4WSを使えばトーコントロールの自由度が格段に広がります。未だそこまで到達していないということです。4WS前提のプラットフォームで考えると可能性が一気に広がるとは思います。

【西田】前輪も含めての四輪アクティブステアですね。可変ギヤレシオという形での前輪操舵系制御が実用化され、後輪操舵と組み合わせたものも出現しています。当社も技術発表済みです。操舵系とともに近年拡大傾向にあるのが、減衰力制御など、サスペンション特性の可変化です。このあたりについては？

【本山】従来は特性の「切り替え」というものが主流でしたが、連続的に変化させるものになってきています。「切り替え」思想は「どちらも最適」と「どっちつかずでどちらも中途半端」が紙一重ですが、連続可変方式は常時最適をねらうものです。現在は高価格車が中心ですが、将来は実用車へも普及するでしょう。上級車についてさらに進化したものになっていくかどうかは、消費エネルギーがキーとなると思います。ブレーキ、駆動系又はステアリング系、サスペンション系の順番で付加制御システムの規模が大きくなって、重くてパワーが必要になってきます。特にサスペンション。例えばアクティブステアの所要電流は最大10Aでブレーキランプくらいですが、サスペンションになると重く、大きくなります。

【須之内】エアサスペンションは現在、上級セダンやSUVに採用例があります。油圧のフルアクティブサスペンションは一時は存在しましたが、現在あるのはセミアクティブというべきものです。

【本山】油圧は大きなパワーが必要です。モード燃費の数値に影響するほどです。その点、電動アクティブサスは可能性が大きいと思います。電動方式はエネルギー回生が可能ですから、制御幅も格段に広くとれます。

【西田】シャシ系システムの電動化が進みつつあります。その中心は電動パワーステアリング（EPS）でしょうか。

【須之内】EPSは操舵フィーリングが課題でしたが、性能向上が進み、油圧パワーステアリングになってきてはいますが、フリクション、モーターの慣性がEPSの課題です。ハードの改良に加え、ソフト（制御）面での性能向上があります。

【布野】EPSの制御でスポーティさを演出することも可能ですね。

【本山】EPSは路面入力でウォームギヤのフリクションが増えるんですね。このあたり、制御でうまくやることのできないことはないのですが、職人技の世界とも言えます。現時点の最良のEPSでも、操舵フィールのある

部分だけ取り出すと、最良の油圧パワーステアリングと比べるとやはり劣るところもあるのではと思っています。

【西田】EPSは省燃費に貢献しますが、運動性能的に見ると？

【本山】スタビリティコントロールシステムをはじめとしたブレーキ系の制御システムは安全をキーワードに今後も拡大します。次は自由度が高いという意味でステアリング系でしょうか。もちろん、それらの統合制御もあります。EPSの特長は制御の自由度です。極端な話ですが、ドライバーの操作とは逆方向に操舵トルクを付加したり、操舵することもできるわけで。

【須之内】大型車は燃費面効果が少なくなってきましたので、低燃費というよりもレーンキーピングアシストとかパーキングアシストなどの付加機能で採用が拡大していくでしょう。技術的に飽和していると言える油圧に比べて、その面での可能性が大きいですね。

【本山】EPSであるからこそ可能な操舵感の造り込みもキーだと考えています。「油圧並み」ではなく、油圧を超える特性をねらいたい。クルマの「味」を決める鍵ですから。

【西田】話が飛びますが、電動化という意味では電気自動車のMiEV。

【布野】MiEVは低重心ですので操縦安定性が良好です。ロールが小さいですし、荷重移動も少なく、タイヤの軸あたりに重心があるような感じがします。バッテリーの位置でマス分布のコントロールができていますね。また、モーターの応答性はエンジンに比べるとずっと良いのですが、アクセルレスポンスはガソリンエンジンとの違いにビックリすることのない程度に…と考えています。ちょっともったいないですが、気持ち良いレスポンスで低電費、キチンと走ることが重要です。iMiEVはキチンと走りますよ。次世代のEVならではの味です。

### 3. 駆動系制御技術

【西田】駆動系制御はどうですか？運動性能を意識しての4WDをはじめ駆動系の「電子」制御の歴史は比較的新しいのでしょうか？

【澤瀬】トラクションの他、旋回性能向上を考慮した駆動力制御が主流となってきています。はじめはオンロードでの速さを追求し、横加速度が高いほど後輪駆動よ

りの駆動力配分にする電子制御オンデマンド方式でした。当社の、運動性能を意識した最初の駆動系制御は1992年のギャランです。これはセンターデフ式フルタイム4WDをベースとした初めての本格的な前後駆動力配分制御でした。ただ、生産台数はそれほど多くなかったのでこのシステムを知っている人は少ないかもしれません(笑)。一方、オンデマンド方式の4WDでは、現在は電子制御が当たり前になっています。6~7割が電子制御オンデマンド。この方式は、運動性能の向上だけではなく、軽量・低燃費という利点もあることが普及した理由です。当社のアウトランダーのシステムは非常にシンプルな制御ですが仕上がりは良いと思います。評価も良く、「マッチングが非常にうまくできている。乗り込んで造ったシステムですね」と言われました。アウトランダーはクルマの素性の良さもプラスに寄与しています。

【本山】左右駆動力配分は、前後はやったから左右をやったらどうなるんだろうという素朴な発想がスタートでした。そしてシミュレーションを始めたのが私でした。入社してすぐに、ものすごいヨーモーメントが出てぐりぐり回るし、ピタッと止めることができるということがシミュレーションで分かり、制御については、車両挙動フィードバックを組み合わせると非常に良いということが分かりました。トラクションも良くなります。このときの発見は、駆動力の「配分」ではなくて「移動」だということ。「配分」だと駆動力ゼロのときは配分してもゼロですから。駆動力がゼロでも片輪を速く、片輪を遅く回すという発想で飛躍的に運動性能が高まることが分かりました。これが入社3年目で、このようなことを澤瀬さんと議論していたら、一週間後にアクティブヨーコントロール(AYC)デフの基本原理図ができてきました。

【澤瀬】いや、三日で考えついた(笑)。

【本山】最初はクラッチを使った四輪独立駆動でした。これの何がすごいかって普通に曲がれないってこと。でも、ドリフトに持ち込むともものすごく気持ち良いってことも分かりました。部長に乗ってもらったら「ものすごく運転しにくいけど、それは制御の開発しがいがあるってことだろう」というコメントでした。ということで、駆動力配分ではなく駆動力移動に取り組むべきであるという結論になったのです。

【澤瀬】そうそう。最初に議論を持ちかけられたときは、「左右駆動力配分の実用化に向けたメカニズムを開発したい」でした。それで最初は私も「配分」メカニズムをあれこれ考えたんです。でも、議論しているうち

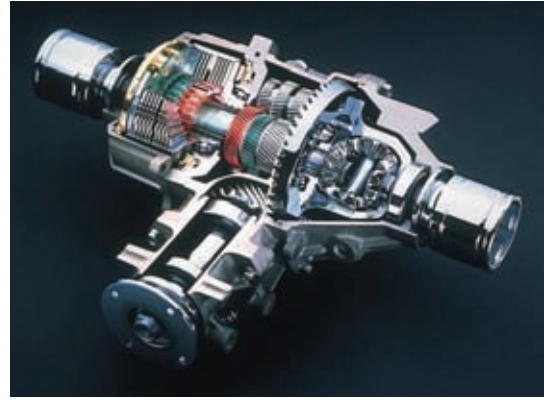


図2 AYC デフ (1996年ランサーエボリューション )  
AYC differential gear (1996 LANCER EVOLUTION IV)

に、制御したいのは「左右配分比」ではなくヨーモーメント、すなわち「左右差」だと分かったんです。その後すぐに「クラッチが滑っている状態では駆動トルクを一方向に伝える」という原理が使えると思いつきました。また、実用化には制御が止まっても普通に走れるようにデフギヤも必要だと。そうして風呂につかりながら思いついたのがAYCデフでした。でも、それからが大変。最初の試作品は、試験担当の人が丸一日かけて組み立てて試験車に搭載したのですが、試験開始して5秒で壊れてしまった。これを3回繰り返したので、さすがに怒鳴られました。

そんな苦労を経て、AYCは1996年のギャラン/レグナム、ランサーエボリューション で最初に商品化されました。現在のエボリューション のシステムはヨーレートフィードバック制御を行うシステムに進化し、約10年かかって本山君の最初の制御コンセプトを実現できました。

【澤瀬】また、AYCも最初はネガティブな評価も多かったです。一番で世に出す難しさで、やはり違和感でした。違和感を消すと効果が分からない。分かるようにすると違和感が出る。しつこく、しつこくやって、熟成に熟成を重ねてようやく市民権？を得ることができました。エボリューションという存在もこのシステムのメリットを出すのに格好でした。最初は酷評されることもありました。

【布野】酷評？

【澤瀬】要するに「普通じゃない」ということです。つまりアクセルを踏むと曲がり、戻すと外に出て行くということ。巻き込みを抑制するフィードフォワードのタックイン抑制制御を入れていたのですが、やり過ぎると違和感になってしまいました。

【西田】この種の話は尽きそうにありません。本日は時間も限られていますから、いつか連載モノでも企画しましょうか？ところで、トルクベクタリング（Torque Vectoring）という表現は一般的なのでしょうか？

【澤瀬】はい。左右トルク移動の英訳がトルクベクタリング。どう訳そうかと悩んでいたのですが、すっきりしました。英国のリカルド社が使い始めた言葉です。当社のAYCが欧州で認知されるきっかけとなりました。日本ではこの思想は「直接ヨーモーメント制御：Direct Yaw Moment Control：DYC」という呼び方をされました。

【西田】当社は、AWC（オールホイールコントロール思想）、S-AWC（スーパーオールホイールコントロール）システムを展開しています。

【澤瀬】4WD技術を中心として、様々な技術で四輪のタイヤの能力を最大限に制御・活用する思想がAWC。その頂点に位置するのがS-AWCです。ランサーエボリューションのシステムは地道に改良を加えた結果、レースにも出るようになって速さに貢献するシステムとして高い完成度が認知されるようになってきていました。この技術をエボリューションだけで終わらせることはありません。

#### 4. S-AWC・ランサーエボリューション

【西田】ランサーエボリューションのS-AWC、発売当初の反響はどうだったでしょう。

【布野】発表試乗会に参加しましたが、非常に高い評価を頂きました。特殊な操作を必要とせず、安定したドライビングが可能です。

【西田】「違和感」的な話は出ませんでしたか？

【布野】ほとんどありません。制御システムが作動する場面や制御量は、従来の車両（エボリューション）に比べて大幅に増えていますが、ドライバーの意思どおりの作動と言ってよいでしょう。従来は、機能を十分に発揮させるためには、少々特殊な乗り方をすることもあったのですが、そういったことは全く不要で、本当に「普通」の感覚になっています。クルマ側の制御量は多くなっているのですけどね。

【澤瀬】普通のクルマではコントロールできないような領域でも特殊な操作を必要とせず、高い横加速度の旋回が可能になっています。

【本山】総じて、「運転がうまくなったように感じる」というコメントが多かったですね。レーシングドライバーの方からは「運転が楽になる」というコメントも。

【澤瀬】一般的には「スゴイ」の一言。車両挙動が安定しています。「安定して走れる」ことを目指したわけですが、そここのところをしっかりと評価頂いています。

【西田】ところで、こういった性能を造り上げていく過程で、制御目標はどのように決めていったのですか？

【澤瀬】いわゆる「制御モノ」に取り組み始めたころは数値データの偏重も確かにありましたが、近年は「実際に走ってどうだ？」という評価に力点を置いています。評価ドライバーの意見をもとに制御ファクターを決めていきます。数値での目標は立てられない、データだけを重視しても仕方がない、という前提で開発しています。クルマの動きのイメージはありますが、それは数値ではなくて、文学的な表現で示しています。

【布野】S-AWCの開発過程で我々が行った性能評価は点数で表す官能評価ですが、その内容は点数だけではとても表現できませんから、システムの開発担当者との濃密な会話やその中での文学的とも言える表現で、運転感覚、クルマに感じる味・フィールを伝えてきたというわけです。

【本山】データは、このシステムの開発完了報告のためのプレゼンテーションに使った程度ですか。それも、古いデータをほじくりだして(笑)。

【西田】ネガティブなコメントは？

【布野】一部にはあります。自分の運転パターンに合わないようなところがあると、最初は限界が分かりにくいという印象を持たれることがあります。また、普通のクルマに乗ったときに運転が下手になっているのではないかというコメントも。

【澤瀬】特に高度な運転技術を持っていなくても、運転ミスをしにくいし、ミスしてもリカバーしやすくなっているためです。でも、エボで新たな「走る喜び」の世界を知って、「確かな安心」の中で運転技量を磨いて、その上で普通のクルマにステップアップ(?)という貢献もあるんじゃないかと。

【布野】この性能は制御システムの効果はもちろんありますが、ベースとなっている車両性能も見逃すことは

できません。ベースのクルマの特性が良くないと制御システムの高度な性能もうまく発揮できませんし、感じにくくなります。例えば横Gがしっかり伝わってこないとよく分からないとか。基本の性能が重要です。

基本といえば、タイヤもそのひとつです。エボのタイヤも転がり抵抗の低減に配慮していますが、低転がり抵抗化とグリップの両立は進歩してきています。評価サイドから見てもタイヤ性能は総じて高くなってきていると思います。ところで、エボのタイヤを見ると摩耗の仕方が良いことが分かります。これはS-AWCの効果です。フロントの負担が少なくなっていることがよく分かります。

また、四輪の接地荷重を適正にコントロールするのもAWC思想のひとつです。駆動力やブレーキ力の制御効果をより大きく引き出すためにはタイヤの接地荷重を確保しておく必要があります。荷重移動によるタイヤの接地荷重変動が過大にならないように、諸元を適正化（トレッド拡大、重心低下）した効果も大きいと考えています。トラクション制御も同様で、タイヤ荷重が抜けるとトラクションも抜けて姿勢制御もやりにくくなります。四輪の荷重を確保しておけば姿勢制御を優先できて、メリットが大きいのです。

【西田】ボデー構造にもこだわりがあります。

【近藤】エボリユーションには、ルーフ、フード、フェンダー、バンパービームにアルミを採用しています。これは重心から遠い部分を軽量化して低重心化・低慣性モーメント化をねらったものです。またアルミフードは歩行者保護性能を考慮したものになっています。頭部保護の観点からは、フードが軽くなるとエネルギー吸収量が減少するので、インナーの形状を工夫することにより克服しました。高剛性化としてはスポット溶接の増し打ちなどを採用しています。

【西田】ルーフのアルミ化に際しては、種々の課題があったようですね？

【近藤】私自身は量産間際に関わったのみですが、種々の苦勞があったと聞いています。そもそもルーフのアルミ化は前述したように低重心化が目的ですが、国内の量産車への適用例はありませんでした。大きな課題はアルミとスチールの接合でした。スチール同士の接合にはスポット溶接が使われていますが、異種金属の接合には不向きなために種々の接合方法を検討し、セルフピアシングリベットによる接合を選択して試作しました。ルーフのアルミ化による重心高の低減の他に、ロール慣性モーメントの低減効果も大きく、エボの運動性能をさら



図3 アルミ採用ボデー（ランサーエボリユーション）  
Body incorporating aluminum (LANCER EVOLUTION X)

に向上できることが分かり、採用する方向となりました。

また、電食の問題も解決が必要で、水の浸入を防ぐためのシーラーに加えて、アルミとスチールの接触部には両者が直接接触しないようにする接着剤を採用しています。さらにルーフの熱ひずみの問題も解決が必要でした。塗装工程では温度が180℃まで上昇し、アルミとスチールでは熱膨張係数が異なるためその際に外板にひずみが発生しやすくなります。CAEでの予測など種々の検討を行い、ルーフパネルのサイド部に熱ひずみを防止するビードを設置することで対応しています。

この技術を使ったアルミルーフはアウトランダーへも採用しています。重心が低い軽快な動きがお客様にも好評と聞いています。

## 5. ボデー・シャシ・評価・解析

【西田】軽量化、低重心化、低慣性モーメント化は運動性能向上面で重要ですね。しかし、ただアルミを使用するだけでは運動性能に影響が大きい車体の剛性の確保に問題が出てきます。エボリユーションの開発でも、剛性の確保は徹底的でした。

軽量化技術としては、アルミスペースフレームボデーでの研究も行っていますね。これは、軽量化によるものだけではなく、結合部などの剛性の増大によって操縦安定性が大きく向上しました。

【近藤】そのとおりです。一般的に、スチールに比べてアルミのヤング率は1/3、比重も1/3で比剛性（重量当たりの剛性）は同じですから、単純に骨格に適用して軽量化した場合、剛性は低下します。アルミスペースフレーム構造はアルミの特徴を生かして主要骨格に押し出し材を適用することで、スチールモノコックの宿命である結合部やスポット溶接部の剛性損失を抑えることができますので、軽量化による慣性モーメントの低減に加えて、高剛性化によりスチールモノコックにはない乗り味が出



図4 アルミスペースフレームボデー  
Aluminum space frame body

張ってもダメな領域があります。

【近藤】ボデーの剛性を代表する数値として曲げ剛性、捩り剛性が挙げられますが、この二つがすべてを表しているわけではなく、悩ましいですね。

【杉本】ボデーの剛性の計測方法は難しいです。剛性を計測するとなるとボデーを固定する必要があるわけですが、へたに固定すると何を計測しているのかわかりにくくなりますから、慣性力を表現できる手法が必要です。

【近藤】実物の変形状態を目で見るのが重要です。

ホワイトボデーの剛性試験での変形量の計測に加えて、過去にはホワイトボデーをプラスチック模型で部品単位で正確に再現させて変形状態を確認するなどしていました。今はCAE解析でのビジュアル化が一般的ですが、私にとっては、模型試験は実際に物に触りながら変形状態を目の前で確認できるので非常に勉強になりました。良くない構造の部分は力を加えるとポコポコだった(笑)。

ただ、曲げ剛性とか捩り剛性とか、あるいはボデーの特定の部位の剛性値などだけで表現するのは限界がありますね。衝突特性やNVH特性と違って、操縦安定性の世界は感性がものを言う部分が広くて、職人の世界でもあります。ボデー剛性が影響するメカニズムが完全に計算に乗っているとは言いがたいと思っています。

【杉本】操縦安定性に携わる訓練された評価ドライバーは、走行評価でボデーの剛性不足箇所を的確に指摘することができます。現在は様々な車両運動解析専用シミュレーションソフトが実用化されていますが、これらではボデーの弾性変形は守備範囲外です。

一方、操縦安定性へのサスペンションジオメトリやアライメント特性の影響の理論的解釈は早くから構築されていて、1980年代以降多く出現しているマルチリンクサスペンションは、アライメント特性やコンプライアンス特性の設計自由度の高さによって、運動性能の向上を目指したものです。同時期に大規模機構解析ソフトウェアも実用化されてきました。しかし、解析上はボデーは剛体でした。操縦安定性や乗り心地の観点での、走行中のボデー変形のCAE解析は1990年代からでしょうか。

【須之内】シャシ技術屋から見ると土台のことが置いてかれていたと感じましたよ(笑)。仮想キングピン思想やリンク配置にこだわったマルチリンクサスのジオメトリコントロールも、土台すなわちボデーがしっかりしていないと話になりませんから。

ていると思います。

【西田】軽量、高剛性の相乗効果ですね。スペースフレーム構造の高剛性効果を考えると、モノコックボデーでの接合技術の重要度が分かります。

【近藤】スポット溶接点数増大による高剛性化はよく知られるところです。エボで採用。その後当社では、FTO、パジェロ、コルトなど。さらにスポット溶接に代わり、レーザー溶接などの連続接合が注目されています。またスポット溶接と併用した接着材を積極的に採用しているメーカーも増えてきています。

【布野】連続接合構造による運動性能の向上は明らかです。分かりやすいところでは、当社のテストコースにあるハンドリング路でのラップタイムが1秒程度速くなったという例もあります。

【西田】タイヤやサスペンションの特性と違って、ボデーの特性の運動性能への影響を数式に載せて理論的に示すのはなかなか難しいところがあります。実験部隊の現場では従来から身体で感じていたものですが。

「サスペンション取り付け部の剛性」というのは簡単ですが、その定義が問題。そもそも基準となる座標はどこにあるのかとか。

【須之内】シャシ担当としてはサスペンションメンバーの高剛性化やサスペンション取り付け部の剛性向上に注目していましたが、そこだけではなくてやっぱりボデー骨格だと思いました。サスペンションだけでいくら頑



【近藤】現在は機構解析と有限要素解析を組み合わせて、走行中のボデーの弾性変形を解析することが可能ですが、車両挙動の他にも、ドライバーの感覚にどのように影響しているかの理論的解析が課題です。

【杉本】人間の感覚は極めて鋭敏ですから、操縦安定性の実験ではドライバーの評価がデータに表れない例は現在でも多くあります。グラフ上では線1本分の幅にも満たない違いがフィーリング評価上は大きな差であるわけです。それだけの違いでもあるだけ良い方なのですが、それで設計者に設計変更を迫るのは骨が折れます。乗ってみるとよく分かるのですが、そうすると「何でこんなに違うのにデータに出ないのか？」と責められたり。官能評価の数値化は大きな課題です。

## 6. 『走る喜び』を目指して

【西田】制御技術はドライバーの能力を超えたところにも踏み込むことが可能ですが、コントロールするのはやはりドライバーなので、クルマとドライバーとのコミュニケーションは重要です。しかし、数値に出ないと制御技術も出番がありません。

【布野】車両運動制御技術はドライバーのコントロール能力を拡張したり、アシストしたりできますが、その制御ロジックのチューニングはそれぞれの車両のキャラクターを考えるとともに、ドライバーの操作や期待と調和したものでなければなりません。もちろん、特徴的な性能として訴えるところは演出して味付けすることもあります。リニアリティはしっかりしていなければなりません。制御システムが作動していることがフィードバックとしてドライバーに入ってくることは、制御システムによる違和感というネガティブなものではなく、車両からのフィードバックという「良いこと」だと思います。しかしこのフィードバックが過大であると違和感になってしまうので、そうならないギリギリのところを抑えることが必要です。

また、クルマは全体のバランスでできるものなので、アクセル操作に対するエンジンのレスポンスや音質などとのバランスどりもしていかなければなりません。



図5 走行評価  
Driving evaluation

【本山】これまでは個々のシステムの制御でしたが、現在は各システムの統合制御に進んできています。制御系の一新と統合で、操縦性や安定性、限界の向上だけでなくドライバーの感性とも調和した性能を目指したいと考えます。制御モノはでしゃばつたらいけない。気付かれないように、縁の下の力持ちであるべきだと思うのです。

人間の脳に直結しているというか、気持ちで動く、直感で動かせるようなものが違和感のない優れた制御だと思います。どんどん進化していくと思います。

【西田】結局は人間の感覚にどう訴えられるかということに戻ってきます。思いどおりに動く気持ち良さは、思いどおりに動かす操作自体に感じる快感にも繋がります。若者のクルマ離れ、クルマは単なる移動手段とか言われていますが、単なる移動や運搬の手段に使うとしても、快感、喜びを感じたほうが楽しいはずですし、三菱自動車が目指す『走る喜び』はすべてのクルマに通じるものです。軽トラックに至るまで。

単一機能の制御からシステムの統合制御へ、車の運動制御の可能性は拡大しつつありますが、数字に表れない官能評価は制御技術だけではコントロールできませんし、新しい制御機能の力を出し切るためにも、まずは基本の部分、諸元、ボデー、サスペンションなどが肝心であることには変わりありません。それこそ「クルマ造りの原点」だと思います。

皆さん、本日はお疲れ様でした。

# 各種駆動方式における 左右トルク移動システムの車両運動性能向上

Improvement of Vehicle Dynamics by Right-and-Left Torque Vectoring System in Various Drivetrains

澤瀬 薫\* 後田 祐一\*  
Kaoru Sawase Yuichi Ushiroda

## 概 要

本論文では、左右トルク移動システムによる車両運動性能向上の計算検証について述べる。車両運動性能限界を向上するために必要な左右トルク移動量も求め、その結果から各種駆動方式の車両において前後輪どちらに左右トルク移動システムを装着すべきか考察した。前輪駆動車には前輪への適用が、後輪駆動車と全輪駆動車には後輪への適用が適切である。

## Abstract

This paper describes the verification by calculation of vehicle dynamics improvement by means of a right-and-left torque vectoring system in various types of drivetrains. The amount of right-and-left torque vectoring needed for expanding the vehicle dynamics limit is also calculated, and suitable wheels to which the system should be applied for each drivetrain are evaluated. Application to the front wheels is more effective for the front wheel drive (FWD) vehicles, whereas application to the rear wheels is more effective for the rear wheel drive (RWD) and the all wheel drive (AWD) vehicles.

*Key words:* Key Words: Drivetrain, Vehicle Dynamics/Torque Vectoring, Torque Distribution

## 1. はじめに

1980年代以降、様々な車両運動制御技術が実用化された。中でも、ブレーキを使った直接ヨーモーメント制御システムは事故を予防するアクティブセーフティの考え方を実現するために有効であり、この制御システムは発達し、一般的なものになった。著者らは、左右輪間のトルク移動機構を使った直接ヨーモーメント制御システムを1996年に世界で初めて市販車に採用した<sup>(1)</sup>。このシステムは、左右輪の間でトルクを授受することで、車両の加減速状態に関わらず車両に作用するヨーモーメントを直接制御できる。この特長により、車両の通常走行域から走行限界域までの任意の走行シーンでシームレスに車両の旋回性能を向上できる<sup>(2)</sup>。

近年、この特長が注目され、トルク移動機能を実現する様々な機構が提案されている<sup>(3)(4)</sup>。また、本システムをAWD (All Wheel Drive) 車やRWD (Rear Wheel Drive) 車の後輪へ適用した場合の車両運動性能向上効果について報告されている。しかし、本システムをAWD車の前

輪へ適用した場合の効果や、FWD (Front Wheel Drive) 車の後輪へ適用した場合の効果などについての報告は少ない<sup>(5)</sup>。また、本システムが具備すべき最大制御量の設定方法についての報告もない。

本稿では、最初に左右トルク移動システムの機能について述べ、このシステムがFWD車の後輪のような従動輪にも適用できることを示す。次に、このシステムが車両運動性能限界に及ぼす影響を示す。そして、その影響を考慮した車両運動性能限界の計算評価方法を示す。さらに、この評価方法を使って、左右トルク移動システムをFWD、RWD、AWDの各駆動方式のそれぞれ前輪のみ、後輪のみ、前輪と後輪の両方に適用した場合の車両運動性能限界を求め、各駆動方式における本システムの適切な適用車輪について示す。また、このときに必要なトルク移動量についても同時に算出し、本計算評価方法はシステムが具備すべき最大制御量の検討に有用であることを示す。

## 2. 左右トルク移動システム

左右トルク移動システムの働きを図1に示す。左右トルク移動システムは、左右輪の間で授受するトルク  $T_v$  の方向と大きさを調整して(これをトルク移動と呼ぶ)、

\* 開発本部 ドライブトレイン技術部

: 2007年9月20日 自動車技術会シンポジウムにて発表。

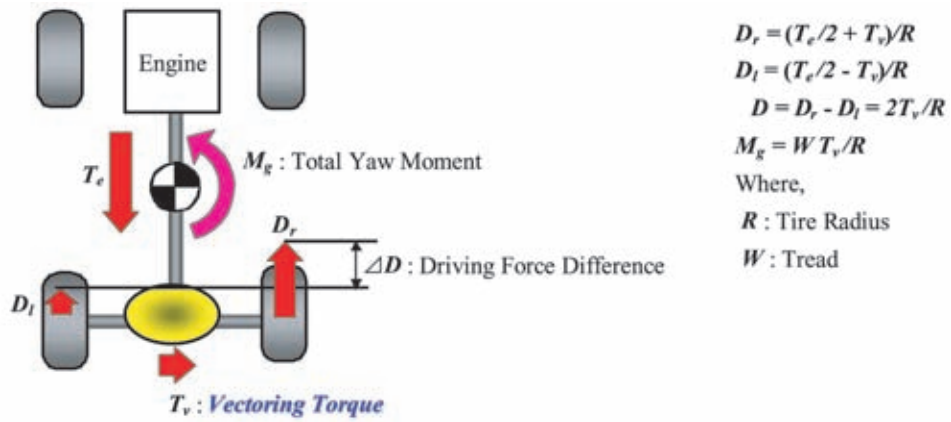


図1 左右トルク移動システムの定義  
Definition of right-and-left torque vectoring

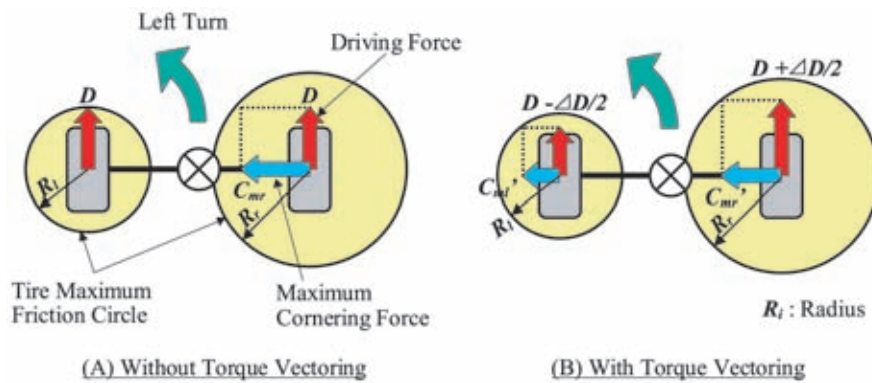


図2 左右トルク移動の効果#1  
Effect of torque vectoring #1

左右一方の車輪には駆動力  $T_v/R$  を、他方には制動力  $-T_v/R$  を作用させる。これにより、前後力差  $\Delta D$  を発生させ、車両にヨーモーメント  $M_g$  を作用させることができる。 $T_v = 0$  のときには、エンジンから車輪に供給される駆動トルク  $T_e$  を左右輪に等しく配分する。

このシステムを使えば、エンジンから各車輪に供給される駆動トルクが変動しても、あるいは減速中であっても、トルク移動によりいつでも自在に左右輪間の前後力差とヨーモーメントとを制御できる。この特長はすなわち車両の駆動輪はもちろん、従動輪にも適用できるシステムであることを意味している。

### 3. 車両運動性能限界への影響

左右トルク移動システムは車両運動性能限界に対して2種類の影響を及ぼす。一つは左右輪間における駆動力分担の適正化による旋回限界の向上であり、もう一つは前後輪間におけるコーナリングフォース分担の適正化による旋回限界の向上である。

旋回中に左右輪が発揮できるタイヤの最大摩擦力と、左右輪に作用する駆動力、及びそのときに発生可能な最

大コーナリングフォースとの関係を図2に示す。左旋回なので、左右の荷重移動により、左輪の摩擦力（摩擦円半径： $R_l$ ）は右輪の摩擦力（摩擦円半径： $R_r$ ）より小さい。左右トルク移動なしの(A)の場合に左輪の摩擦力  $R_l$  と駆動力  $D$  が等しい状態を仮定する。このとき右輪にも同じ駆動力  $D$  が加わるが、右輪の摩擦力  $R_r$  は  $D$  よりも大きいので、右輪にのみ最大コーナリングフォース  $C_{mr}$  が発生できる。一方、左右トルク移動ありの(B)の場合、左輪は駆動力  $D - \Delta D/2$  になるため最大コーナリングフォース  $C_{ml}'$  が発生でき、右輪は駆動力  $D + \Delta D/2$  になるため最大コーナリングフォースは  $C_{mr}'$  になる。これより、左右トルク移動による左右トータルでの最大コーナリングフォースの変化量  $\Delta C_m$  は、

$$\begin{aligned} \Delta C_m &= C_{ml}' + C_{mr}' - C_{mr} \\ &= \{R_l^2 - (D - \Delta D/2)^2\}^{1/2} + \{R_r^2 - (D + \Delta D/2)^2\}^{1/2} \\ &\quad - (R_r^2 - D^2)^{1/2} \end{aligned}$$

この式は  $\Delta D$  をゼロから増大させていくと

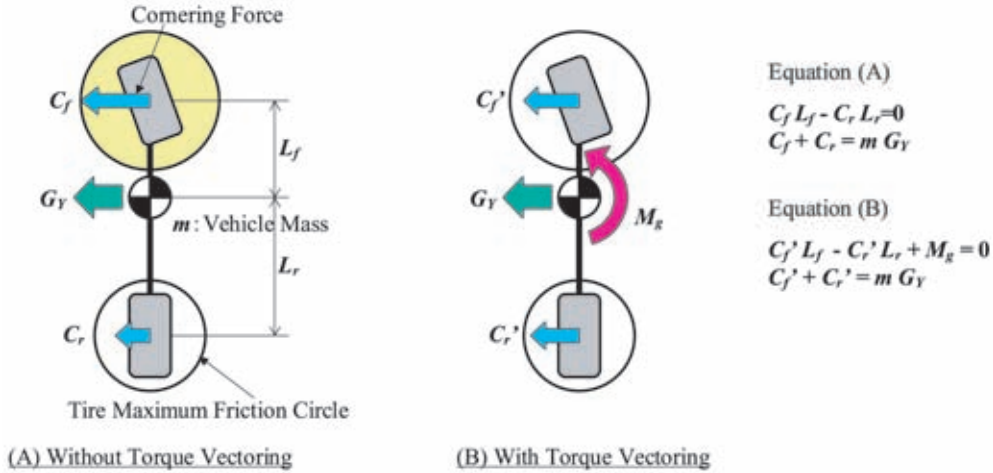


図3 左右トルク移動の効果#2  
Effect of torque vectoring #2

$$\Delta D = D(R_r - D)/2(D + R_r)$$

で最大値を取る関数である。すなわち、左右トルク移動により左右トータルでの最大コーナリングフォースが増大することが分かる。

図3は、車両の定常円旋回運動を表す二輪モデルである。左右トルク移動なしの(A)において、前輪の摩擦力を前輪コーナリングフォース  $C_f$  がすべて消費している旋回状態（横加速度： $G_Y$ ）を仮定する。車両の質量は  $m$ 、重心と前輪との距離は  $L_f$ 、重心と後輪との距離は  $L_r$ 、後輪コーナリングフォースは  $C_r$  である。一方、左右トルク移動ありの(B)における前輪コーナリングフォースを  $C_f'$ 、後輪コーナリングフォースを  $C_r'$ 、左右トルク移動により車両に働くヨーモーメントを  $M_g$  とする。(A)と(B)それぞれの定常円旋回の運動式から整理すると次式が得られる。

$$C_f' = C_f - M_g / (L_f + L_r)$$

$$C_r' = C_r + M_g / (L_f + L_r)$$

これより、左右トルク移動により正（旋回方向）のヨーモーメントを車両に加えると、前輪のコーナリングフォース分担が小さくなり、車両旋回限界が向上することが分かる。

#### 4. 車両運動性能限界の計算方法

左右トルク移動による車両運動性能限界の向上効果を定量分析するため、加藤らによって展開された四輪モデルを用いたダイナミックスクエア解析手法<sup>(6)</sup>に、前述した左右トルク移動の関係式を組み込んだ。そして車両の各加減速状態において車両の旋回限界を最大にする前後駆動力配分、前輪の左右トルク移動量、及び後輪の左右トルク移動量を求める計算方法を開発した。

計算に使用する車両モデルを図4に示す。車両が  $G_X$  で加速（または減速）しているとき、車両の前後輪間で荷重移動が発生する。これを  $\Delta W_x$  とすると、その大きさは車重、前後加速度、重心高に比例し、ホイールベースに反比例するから、次式で表される。

$$\Delta W_x = m G_X H_g / L$$

また、車両が横加速度  $G_Y$  で旋回しているとき、車両の左右輪間で荷重移動が発生する。その大きさは車重、横加速度、前後ロール剛性配分により決まるロールアーム長さ  $H_s$  に比例し、トレッドに反比例するから、前輪左右の荷重移動を  $\Delta W_{yf}$ 、後輪左右の荷重移動を  $\Delta W_{yr}$  とすると、

$$\Delta W_{yf} = m G_Y \{ H_s / (1 + K_r / K_f - m H_s / K_f) + L_r H_f / L \} / W_f$$

$$\Delta W_{yr} = m G_Y \{ H_s / (1 + K_f / K_r - m H_s / K_r) + L_f H_r / L \} / W_r$$

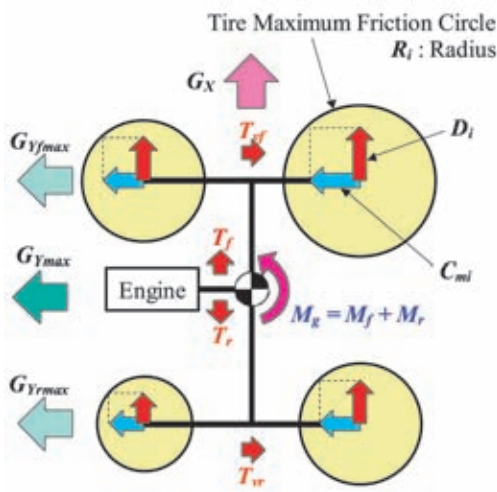
以上より四輪それぞれの動的分担荷重が求まる。

これに路面摩擦係数を乗じると摩擦円半径  $R_i$  で表される四輪それぞれの最大摩擦力が求められる。

$G_X$  を実現するために必要なエンジン駆動トルクと、前後輪へのトルク配分量  $T_f$ 、 $T_r$ 、及び前後輪それぞれの左右トルク移動量  $T_{vf}$ 、 $T_{vr}$  から四輪それぞれの駆動力  $D_i$  を求める。四輪それぞれが発生できる最大コーナリングフォース  $C_{mi}$  は、 $D_i$  と  $R_i$  とにより制限されるから、次式により求まる。

$$C_{mi} = (R_i^2 - D_i^2)^{1/2}$$

3項で導いた前後輪が分担すべきコーナリングフォースに対してヨーモーメントが与える影響を考慮すると、前



$G_x$ : Longitudinal G  
 $G_{ymax}$ : Maximum Lateral G  
 $G_{yfmax}, G_{yrmax}$ : Maximum Front / Rear Lateral G  
 $T_f, T_r$ : Front / Rear Distribution Torque  
 $T_{vf}, T_{vr}$ : Front / Rear Vectoring Torque  
 $M_f, M_r$ : Yaw Moment Generated by Front / Rear Torque Vectoring  
 $R_i$ : Tire Maximum Friction Force of  $i$   
 $D_i$ : Driving Force of  $i$   
 $C_{mi}$ : Maximum Cornering Force of  $i$   
 $i = fl, fr, rl, rr$ : Wheel Position  
 (Front Left, Front Right, Rear Left, Rear Right)  
 $m_f, m_r$ : Front / Rear Vehicle Mass  
 $L$ : Wheel Base  
 $H_g$ : Height of Gravity Center  
 $W_f, W_r$ : Front / Rear Tread  
 $K_f, K_r$ : Front / Rear Vehicle Roll Stiffness  
 $H_f, H_r$ : Height of Front / Rear Roll Center  
 $H_s$ : Distance between Gravity Center and Roll Axis

図4 四輪モデル

Four-wheel vehicle model

表1 車両諸元

Vehicle dimensions

Front Vehicle Mass ( $m_f$ )	( kg )	900
Rear Vehicle Mass ( $m_r$ )	( kg )	600
Wheel Base ( $L$ )	( m )	2.6
Height of Gravity Center ( $H_g$ )	( m )	0.5
Front Tread ( $W_f$ )	( m )	1.5
Rear Tread ( $W_r$ )	( m )	1.5
Front Vehicle Roll Stiffness ( $K_f$ )	( N·m/rad )	70,000
Rear Vehicle Roll Stiffness ( $K_r$ )	( N·m/rad )	60,000
Height of Front Roll Center ( $H_f$ )	( m )	0.05
Height of Rear Roll Center ( $H_r$ )	( m )	0.12
Tire Radius ( $R$ )	( m )	0.32

後輪それぞれが発生可能な最大横加速度  $G_{yfmax}, G_{yrmax}$  は、

$$G_{yfmax} = (C_{fl} + C_{fr} + M_g/L)/m_f$$

$$G_{yrmax} = (C_{rl} + C_{rr} - M_g/L)/m_r$$

そして、これらが次式の両方を満たすとき、仮定した横加速度  $G_y$  の旋回が成立している。逆に次式のいずれかでも満たさない場合は、その旋回は成立していない。

$$G_{yfmax} \geq G_y$$

$$G_{yrmax} \geq G_y$$

以上の式について  $G_y$  をパラメーターとしてループ計算させることにより、各  $G_x$  において発生可能な最大の横加速度  $G_{Ymax}$ 、すなわち車両の旋回限界が求められる。

## 5. 各駆動方式における計算結果

FWD車、RWD車、AWD車のそれぞれについて、Cセグメントセダンに相当する表1の車両諸元にて車両の

旋回限界を計算し、左右トルク移動の効果を検証した。

### 5.1 FWD車

FWD車における左右トルク移動の効果、すなわち車両旋回限界向上の計算結果を図5に示す。このとき、前輪のみに左右トルク移動を適用した場合の前輪左右のトルク移動量  $T_{vf}$  を図6に、後輪のみに適用した場合の後輪左右のトルク移動量  $T_{vr}$  を図7に、前後輪ともに適用した場合の前後輪それぞれの左右トルク移動量を図8に示す。

FWD車では全駆動力が前輪に伝えられるため、前後加速度が正の  $0 \sim 3 \text{ m/s}^2$  の領域では後輪よりも前輪が先に最大横加速度の限界に達する。この領域では左右トルク移動により正のヨーモーメントを加えることで前輪のコーナリングフォース分担を減らし、前輪の横加速度限界を向上できるため、前後輪どちらに左右トルク移動を適用しても車両旋回限界が向上でき、このとき必要な最大トルク移動量はどちらの場合も約  $500 \text{ N}\cdot\text{m}$  である(図6, 図7)。ただしその効果には差があり、左右輪間

における駆動力分担の適正化もできる前輪への適用が後輪への適用よりも旋回限界の向上効果が大きく、前後輪の両方に適用した場合に近い性能を示す。

さらに前後加速度が大きい $3 \text{ m/s}^2$ 以上の領域では、旋回中に左右の荷重移動により摩擦力が小さくなる旋回内側の前輪が駆動力のみで摩擦限界に達し、これにより車両の旋回限界が決まる。この場合、後輪へ左右トルク移動を適用しても旋回内側の前輪の駆動力分担を減少させる効果がなく、旋回限界は向上しない。これに対し、前輪への適用効果が大きい。前後輪両方への適用は、さらに旋回限界が向上する。しかし、その際に必要な後輪左右の最大トルク移動量は約 $800 \text{ N}\cdot\text{m}$ に達する(図8)。よって、システム構成の複雑さを考えれば前後輪両方への適用は効率的ではない。

つぎに減速側、前後加速度 $0 \sim -4 \text{ m/s}^2$ の領域では、減速による前後の荷重移動により前輪よりも後輪が先に最大横加速度の限界に達する。この領域では左右トルク移動により負のヨーモーメントを加えることで後輪の横加速度限界が向上できる。しかし、後輪へ左右トルク移動を適用した場合には、ヨーモーメントを発生させるために後輪の摩擦力を駆動制動力として消費してしまう。そのため、あまり大きなトルク移動はできず、旋回限界向上はわずかである。これに対し、前輪に左右トルク移動を適用した場合は、前輪左右の制動力分担の適正化効果により前輪の横加速度限界が向上するとともに、負のヨーモーメントにより後輪の横加速度限界が向上するため、加速度が正の領域と比べて小さなトルク移動量で大きく旋回限界が向上する。

減速側、前後加速度 $-4 \text{ m/s}^2$ 以下の領域では、旋回内側の前輪が制動力のみで摩擦限界に達し旋回限界が決まる。よって、後輪での左右トルク移動は全く効果がない。前輪へ適用すると、左右制動力分担の適正化により前輪の横加速度限界が向上し、車両としての最大横加速度も向上する。また、この領域では前輪に加えて後輪にも適用すると、前輪で発生した負のヨーモーメントを後輪が発生する正のヨーモーメントで打ち消すことにより、さらに前輪の横加速度限界が向上でき、わずかではあるが前後輪の併用効果が現れる。

以上より、FWD車の場合は左右トルク移動の前輪への適用が効果的であり、システムに必要な最大トルク移動量は約 $500 \text{ N}\cdot\text{m}$ である。

## 5.2 RWD車

RWD車における計算結果を図9～図12に示す。前後加速度が $0 \sim 0.5 \text{ m/s}^2$ の領域では、前後輪間の荷重移動により後輪よりも前輪が先に最大横加速度の限界に達する。そのため、後輪へ左右トルク移動を適用してもヨーモーメントの効果によりわずかながら旋回限界が向上す

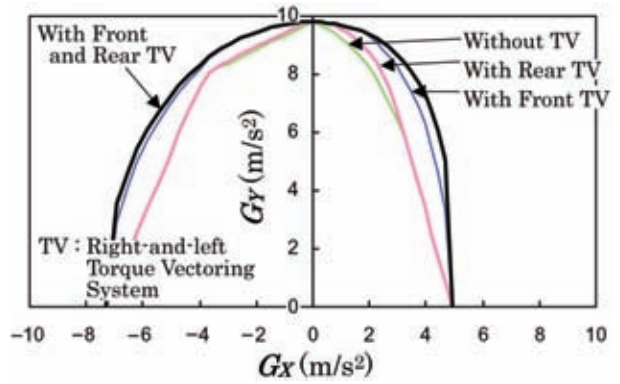


図5 FWD車の運動性能限界  
Vehicle dynamics limit with FWD

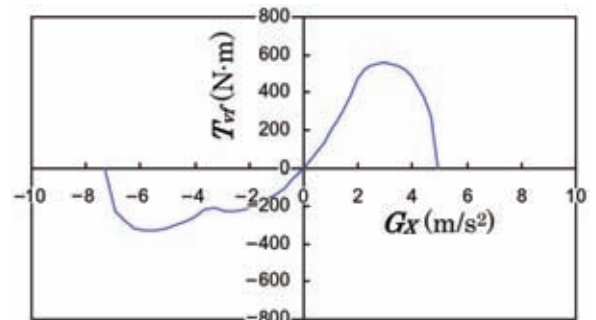


図6 前輪のみの左右トルク移動  
Front wheel right-and-left vectoring torque

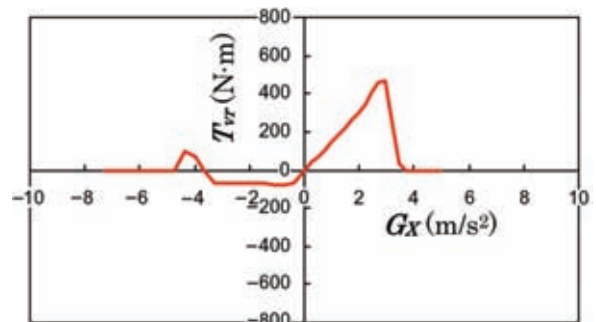


図7 後輪のみの左右トルク移動  
Rear wheel right-and-left vectoring torque

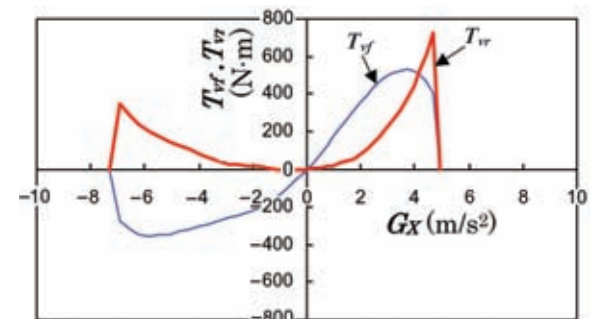


図8 前後両輪の左右トルク移動  
Front and rear wheel right-and-left vectoring torque

る。しかし、前後加速度が $0.5 \text{ m/s}^2$ 以上になると旋回内側の後輪が駆動力のみで摩擦限界に達し旋回限界が決まるため、前輪の左右トルク移動は全く効果がなく、後輪への適用効果大きい。このとき必要な最大トルク移動量は約 $400 \text{ N}\cdot\text{m}$ である(図11)。さらに前後輪両方に適用すると、後輪で発生した正のヨーモーメントにより後輪の横加速度限界が低下するのを負のヨーモーメントを前輪で発生することで適切な前後輪のバランスを取れるため、さらに旋回限界が向上する。ただし、このときに必要な前輪の最大トルク移動量は約 $800 \text{ N}\cdot\text{m}$ にも達する(図12)。

つぎに減速側、前後加速度 $0 \sim -0.5 \text{ m/s}^2$ の領域では、前輪よりも先に後輪が横加速度限界に達する。そのため、前後輪どちらに左右トルク移動を適用しても同様な効果がある。しかし、前後加速度が $-0.5 \text{ m/s}^2$ 以下になると旋回内側の後輪が制動力のみで摩擦限界に達して旋回限界が決まるため、前輪の左右トルク移動は全く効果がなく、後輪への適用が効果的である。前後輪両方へ適用するとさらに効果が大きい、加速側同様に大きなトルク移動量が必要である。

以上より、RWD車の場合は左右トルク移動の後輪への適用が効果的であり、システムに必要な最大トルク移動量は約 $400 \text{ N}\cdot\text{m}$ である。

### 5.3 AWD車

AWD車についての計算結果を図13～図16に示す。このとき、それぞれの適用例において旋回限界が最も高くなる最適前後駆動力配分を算出し、これを用いた。

AWD車の場合、前後加速度が正の領域では、前後駆動力配分の適正化により常に前後輪が同時に横加速度限界に達するため、なめらかな旋回限界線を描く。そして前後輪どちらに左右トルク移動を適用した場合も旋回限界が全領域で向上する。本計算結果では、わずかではあるが後輪への適用が前輪への適用よりもその効果が大きい。また、前輪への適用時の必要な最大トルク移動量は約 $500 \text{ N}\cdot\text{m}$ (図14)、後輪への適用時は約 $400 \text{ N}\cdot\text{m}$ であり(図15)、後輪へ適用したほうが効率良く旋回限界を向上できる。また、前後輪両方への適用は、AWD車の場合、FWD車やRWD車と比べて効果が大きい。

つぎに減速側、前後加速度 $0 \sim -5 \text{ m/s}^2$ の領域では、左右トルク移動を適用しない場合、前輪よりも先に後輪が最大横加速度の限界に達する。そして前後加速度 $-5 \text{ m/s}^2$ 以下では加速側同様に前後輪が同時に横加速度限界に達する領域である。よって加速側と同様に、前後輪どちらに左右トルク移動を適用した場合も全領域で旋回限界が向上する。前後輪両方への適用による向上効果も大きい。

以上より、AWD車の場合は前後輪両方への左右トル

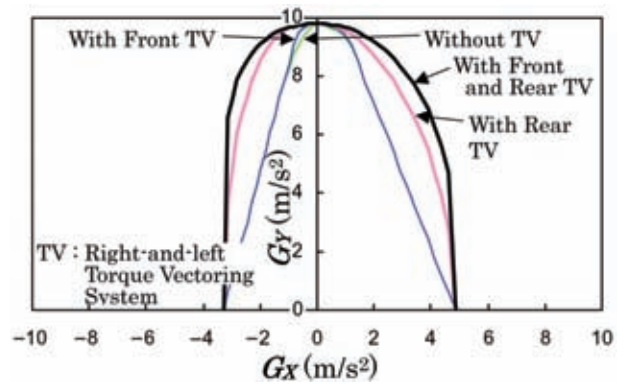


図9 RWD車の運動性能限界  
Vehicle dynamics limit with RWD

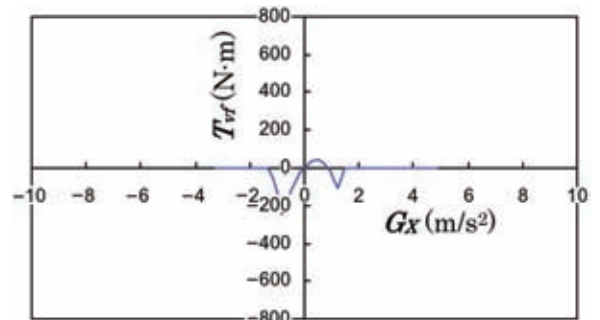


図10 前輪のみの左右トルク移動  
Front wheel right-and-left vectoring torque

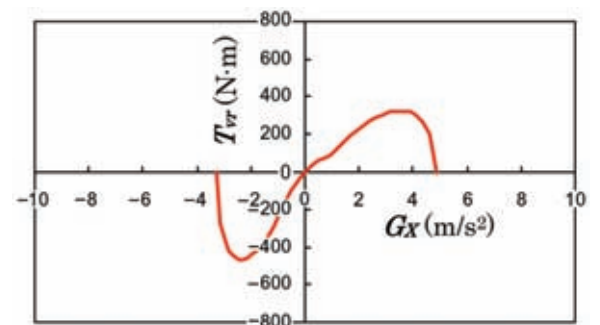


図11 後輪のみの左右トルク移動  
Rear wheel right-and-left vectoring torque

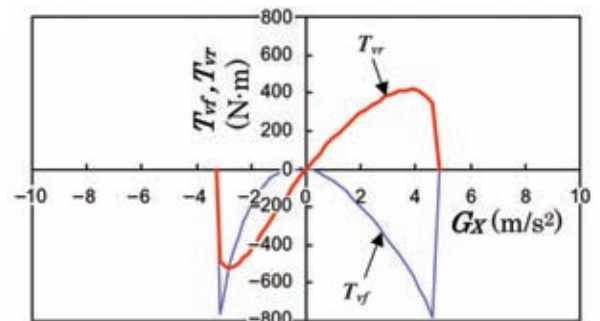


図12 前後両輪の左右トルク移動  
Front and rear wheel right-and-left vectoring torque

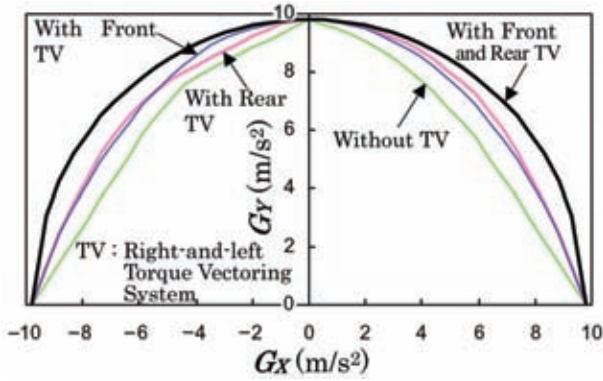


図 13 AWD車の運動性能限界  
Vehicle dynamics limit with AWD

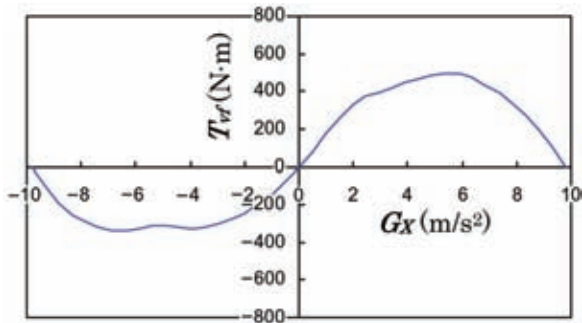


図 14 前輪のみの左右トルク移動  
Front wheel right-and-left vectoring torque

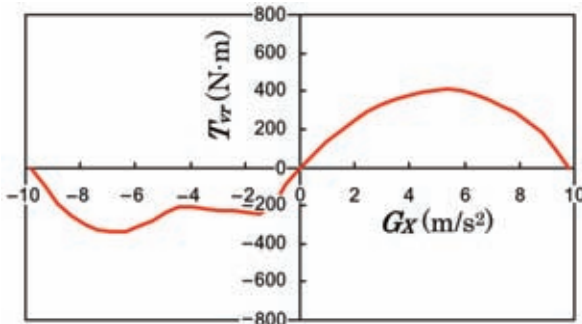


図 15 後輪のみの左右トルク移動  
Rear wheel right-and-left vectoring torque

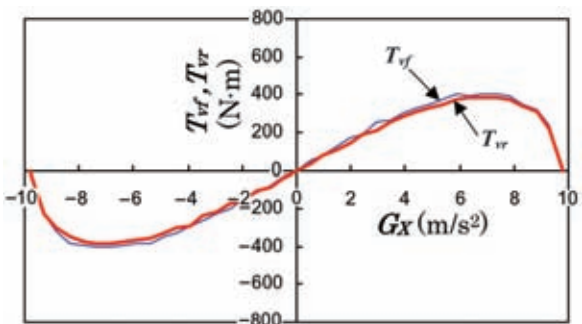


図 16 前後両輪の左右トルク移動  
Front and rear wheel right-and-left vectoring torque

ク移動の適用が望ましい。ただし、システム構成の複雑化を避けるため、前後輪のどちらか一方のみにシステムを適用する場合には、小さな必要トルク移動量で大きな旋回限界向上の効果が得られる後輪への適用が良い。

## 6. ま と め

左右トルク移動システムの機能表現式、従動輪への適用可能性、車両旋回限界に及ぼす影響を示した。さらにダイナミックスクエア解析手法に本システムを組み込み、各種駆動方式における旋回限界向上効果を計算し、次の結果を得た。

FWD車には前輪への適用が、RWD車及びAWD車には後輪への適用が効果的である。

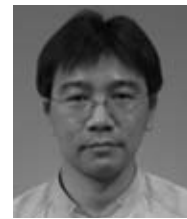
本計算方法はシステムが具備すべき最大トルク移動量の検討に有用である。

## 参考文献

- (1) 澤瀬 薫：駆動力と制動力を利用したアクティブヨーコントロール，自動車技術会シンポジウム No. 9702，9730894
- (2) Ikushima and Sawase: A study on the effect of active yaw moment control, SAE Paper 950303, 1995
- (3) Mohan: Torque vectoring systems: Architecture, stability performance and efficiency considerations, 6th All-Wheel Drive Congress Graz, 2005
- (4) Weals et al.: SUV demonstration of a torque vectoring driveline and new concepts for practical actuation technologies, JSAE annual congress, No. 38-05 194, 2005
- (5) 荒井雅嗣ほか：電動DYCシステムの開発（第1報），自動車技術会春期学術講演会，20075252，2007
- (6) Kato et al.: Study on vehicle dynamics in marginal condition using dynamic square method, SAE IPC-8, 9531020, 1995



澤瀬 薫



後田 祐一



# 車両運動統合制御システム「S-AWC」の開発

Development of Integrated Vehicle Dynamics Control System 'S-AWC'

三浦隆未\* 後田祐一\* 澤瀬 薫\*  
Takami Miura Yuichi Ushiroda Kaoru Sawase  
高橋直樹\* 林川一史\*\*  
Naoki Takahashi Kazufumi Hayashikawa

## 概要

ランサーエボリューションXに採用したS-AWC (Super All Wheel Control) は、三菱自動車が提唱する4輪運動制御の開発思想AWC (All Wheel Control)のもと、三菱自動車独自のシステムであるACD (Active Center Differential) 及びAYC (Active Yaw Control) に加えてActive Stability Control (以下、ASCとする)、ABSを統合制御するシステムである。「意のままの操縦性」と「卓越した安定性」を実現するため、ヨーレートフィードバック制御を基本として求めたヨーモーメントを各コンポーネントの特徴を考慮して配分する制御則を採用した。これにより、広範な走行条件でシームレスに旋回性能を向上した。

## Abstract

The Super All Wheel Control (S-AWC) for LANCER EVOLUTION X is an integrated vehicle dynamics control system for handling the Active Center Differential (ACD), Active Yaw Control (AYC), Active Stability Control (ASC) and Antilock Brake System (ABS). It is based on the All Wheel Control (AWC) philosophy advocated by Mitsubishi Motors Corporation (MMC). To ensure predictable handling and a high performance margin, the S-AWC system calculates the yaw moment by using the yaw rate feedback control and distributes the yaw moment to each component taking into consideration its characteristics. S-AWC can improve the vehicle cornering performance seamlessly at various driving conditions.

*Key words: Four Wheel Drive (4WD), Vehicle Dynamics, Integrated Control*

## 1. ま え が き

4輪のタイヤ能力をバランス良く最大限に発揮させて「意のままの操縦性」と「卓越した安定性」を実現し、クルマづくりの原点である『走る喜び』と『確かな安心』を提供する、これが三菱自動車の提唱する4輪運動制御の開発思想「AWC」である。

S-AWCは、4WD制御を核として様々なコンポーネントを組み合わせ、これらを一体的にコントロールすることにより、AWC思想を具現化する車両運動統合制御システムである<sup>(1)</sup>。

ランサーエボリューションXに搭載したS-AWCは、ACD<sup>(2)</sup>、AYC<sup>(3)</sup>、ASC<sup>(4)</sup>、ABSを統合制御するシステムである。現在実用化されている中で最も制御自由度の高い4WDシステムであるACD + AYCに制動系の制御を



図1 S-AWCの構成要素  
Components of S-AWC

加えることにより、図1に示すように駆動力と制動力とを制御して車両の前後運動と旋回運動とをコントロールできる構成とした。これにより、加速、減速、旋回すべての走行状態でシームレスに車両運動性能を向上した。

本稿では、S-AWCシステムの最大の特長である、ヨーレートフィードバック制御を基本とした駆動力と制動

\* 開発本部 ドライブトレイン技術部

\*\* 開発本部 シャシー設計部



図2 直接ヨーモーメント制御方式  
Various types of direct yaw moment control

力の統合制御を中心に紹介する。

## 2. システム構成の検討

### 2.1 基本制御則

S-AWCのねらいは、「意のままの操縦性」と「卓越した安定性」を高次元に実現することである。

「意のままの操縦性」とは、ドライバーの操作に対して忠実に車両の向きが変わることであり、ハンドル操作に車両挙動を追従させることにより実現できる。一方「卓越した安定性」とは、外乱などに影響されることなく車両の向きが安定することであり、ドライバーのハンドル操作によらない車両挙動の変化を抑制することにより実現できる。

一見これら二つは異なるもののように見えるが、ハンドル操作と車両挙動を一致させるという点で等価である。すなわち、ハンドル角から演算した目標とする車両挙動と実際の車両挙動の差を小さくするように制御することにより、二つのねらいの両立が可能である。

そこで本システムでは、ハンドル角などから演算した車両挙動（目標ヨーレート）とヨーレートセンサで検出される実際の車両挙動（実ヨーレート）を比較し、目標制御量を演算するヨーレートフィードバック制御を基本則に選定した。

### 2.2 コンポーネント

ヨーレートフィードバック制御を有効に働かせるためには、車両に作用するヨーモーメントを広範な走行状態で適切にコントロールする必要がある。

ヨーモーメントを発生できる制御方式として、操舵系の舵角制御、サスペンション系のロール剛性配分制御、駆動系の前後駆動力配分制御、左右駆動力差制御、そしてブレーキ制御などが挙げられる。舵角制御は、タイヤ特性の線形領域では有効にヨーモーメントを発生できるものの、非線形領域では十分なヨーモーメントを発生できない。ロール剛性配分制御は、間接的にヨーモーメントを制御できるが、その効果はタイヤ特性の非線形領域に限られる。前後駆動力配分制御もまた、タイヤ特性の非線形領域で初めて効果が得られる。これに対して、左右輪間の駆動力差や制動力差を用いた直接ヨーモーメン

ト制御は、タイヤ特性の線形領域と非線形領域との両方でヨーモーメントを発生できる<sup>(5)</sup>。

現在実用化されている直接ヨーモーメント制御方式は図2に示す3種類である。

左右トルク配分制御は、エンジンが発生するトルクを左右輪へ不等配分することにより左右輪間の駆動トルク差を発生させ、ヨーモーメントをコントロールする。したがって、エンジンからの駆動トルクが小さな定速走行や減速中は十分にヨーモーメントを制御できない。

左右トルク移動制御は、左右輪間でトルクを移動して、一方の車輪には制動トルクを、他方にはそれと同じ大きさの駆動トルクを発生させる。これにより、エンジンからの駆動トルクの大きさに左右されることなく、いつでもヨーモーメントを制御できる。また、車両に作用する総駆動制動力に影響を与えないため、ドライバーの加減速操作と干渉することはない。この制御を前輪に適用した場合には操舵反力への影響が課題であるが、後輪に適用した場合にはその弊害はない。

左右ブレーキ制御は、4輪それぞれ独立に制動力を付加することで左右輪間の制動力差を発生させ、ヨーモーメントをコントロールする。制動力の付加に伴う減速感という弊害があるものの、広範な走行状態でヨーモーメントを発生させることが可能である。

これらの特徴から、加速から減速までの走行状態でスムーズにヨーレートフィードバック制御を行うためには、後輪の左右トルク移動制御とブレーキ制御との組み合わせが有効である。現在、左右トルク移動制御を実現しているコンポーネントは、三菱自動車が開発した1996年に世界で初めて市販車に採用したAYCデフのみである。ブレーキ制御はASCなど既存のブレーキ制御システムを活用することで実現できる。

以上の理由により、S-AWCシステムを構成するコンポーネントとして、ランサーエボリューションのシステムをベースにブレーキ制御システムを加え、ACD、AYC、ASC、ABSを採用した。

## 3. 構造と特長

ランサーエボリューションXに搭載したS-AWCシステムの全体構成を図3に示す。

本システムは統合制御コントローラーである「S-AWCコントローラー」を中心に構成され、「ACD・AYC油圧ユニット」及び「ASC・ABSユニット」に指示を送ることでACDトランスファ（前後差動制限制御）、AYCデフ（左右トルク移動制御）及びブレーキを統合制御する。

「S-AWCコントローラー」と「ASC・ABSユニット」との通信には専用CAN（Controller Area Network）を採用し、多くの情報量と高い通信速度を確保した。加えて

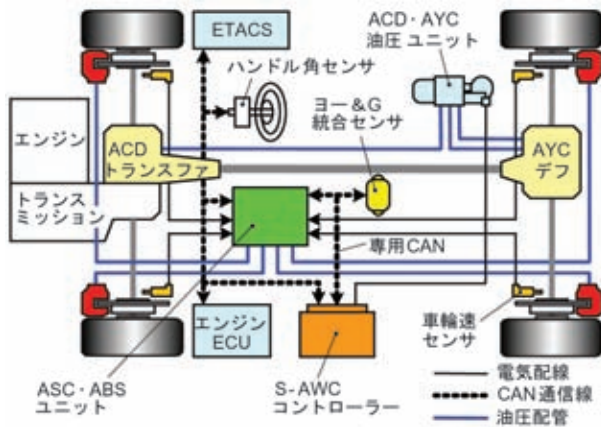


図3 システム構成  
System configuration

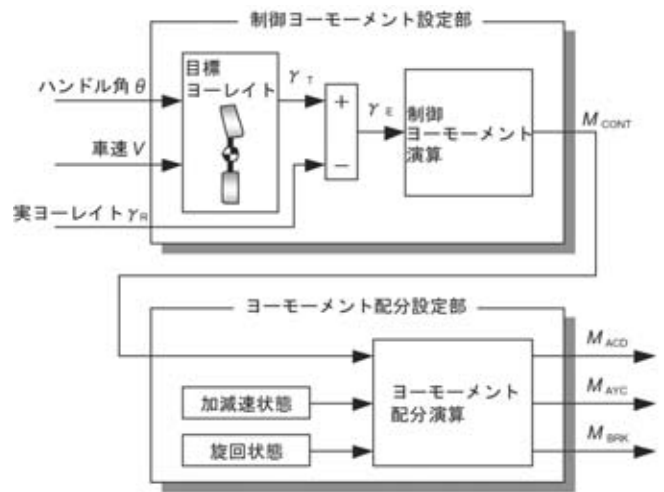


図4 制御概要  
Control diagram

表1 コンポーネントの特徴  
Comparison of component characteristics

		旋回促進	旋回抑制
加速時	前後差動制限制御	-	
	左右トルク移動制御		
	ブレーキ制御		
減速時	前後差動制限制御	-	
	左右トルク移動制御		
	ブレーキ制御		

：制御効果

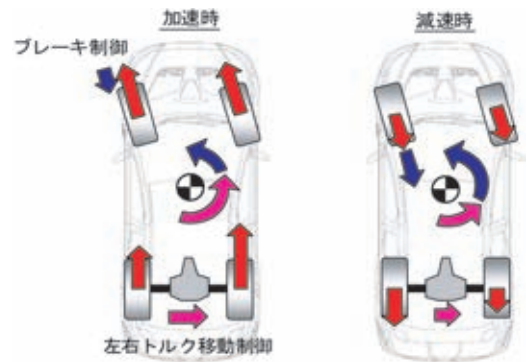


図5 旋回促進時のヨーモーメント配分例  
Yaw moment distribution to reduce understeer

「ASC・ABSユニット」に4輪個々のブレーキ圧力センサとリニアバルブを採用することで滑らかで正確なブレーキ制御を行い、緻密で応答性の良い統合制御を実現した。

また、ランサーエボリューションでも採用していたセンサ（ハンドル角、前後加速度、横加速度、4輪車輪速、アクセル開度など）に、ヨーレイトフィードバック制御のためのヨーレイトセンサ（ヨー&G統合センサ）を追加した。さらにエンジントルク、エンジン回転数、ブレーキ圧力などの情報を追加することで、車両の加減速状態をより素早く正確に把握し、制御の応答性を向上した。

#### 4. 制御概要

前後差動制限制御、左右トルク移動制御及びブレーキ制御の特徴をまとめると表1になる。前後差動制限制御は、スピン傾向にある車両を安定させる効果があり、旋回を抑制できる。左右トルク移動制御は、後輪の荷重が増大する加速時に効果的であり、さらに荷重が増大する旋回外輪へトルク移動する旋回促進に最も効果がある。ブレーキ制御は、過度の減速感を伴わずに効果を得られる減速時の旋回抑制に最も有効である。これらの特徴を考慮し、組み合わせて使用することで、シームレスかつ

高いヨーモーメント制御能力が得られる。これを実現するために、図4に示す制御構成とした。

「制御ヨーモーメント設定部」では、線形2輪モデルを用いてハンドル角と車速Vから目標ヨーレイト $Y_T$ を計算し、実ヨーレイト $Y_R$ との偏差 $E$ に応じて車両に付加する制御ヨーモーメント $M_{CONT}$ を求める。

「ヨーモーメント配分設定部」では、制御ヨーモーメント $M_{CONT}$ を、加減速状態及び旋回状態に応じて前後差動制限制御ヨーモーメント $M_{ACD}$ 、左右トルク移動制御ヨーモーメント $M_{AYC}$ 及びブレーキ制御ヨーモーメント $M_{BRK}$ に配分する。たとえば旋回促進の場合、加速時には左右トルク移動制御のヨーモーメント配分を強め、減速時にはブレーキ制御の配分を強める（図5）。旋回抑制の場合は、ブレーキ制御の配分をより強めた上で、前後差動制限制御への配分を行う。

このように、表1の特徴に応じて前後差動制限制御、左右トルク移動制御及びブレーキ制御にヨーモーメントを配分し、ヨーレイトフィードバックによる統合制御を実現した。

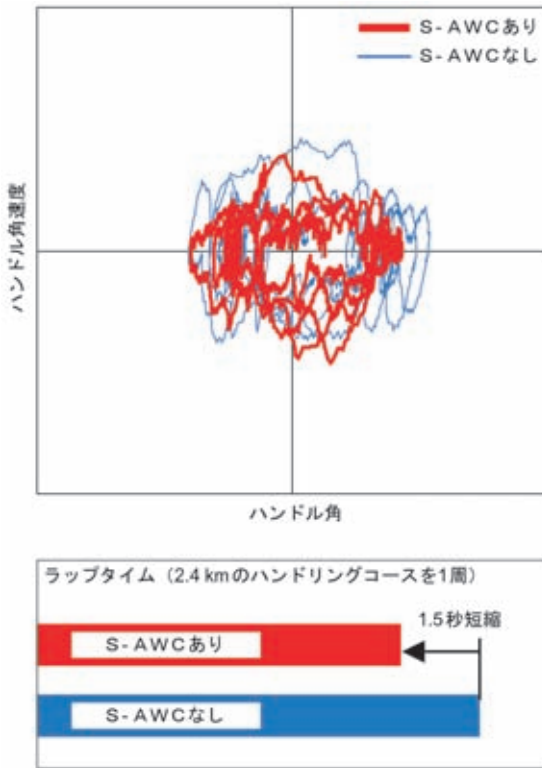


図6 乾燥舗装路スポーツ走行結果  
Result of sport driving on dry handling test course

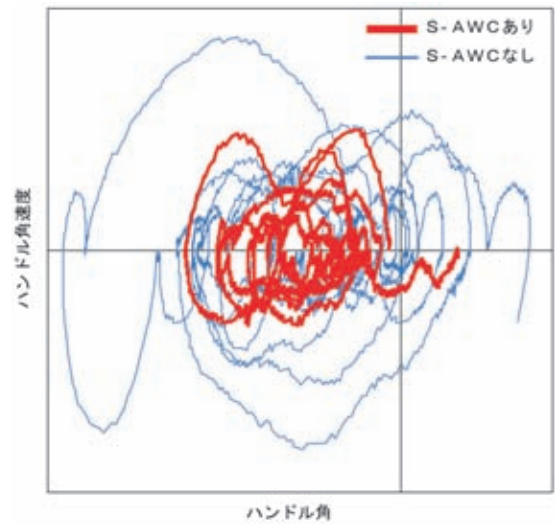


図7 圧雪路円旋回結果  
Result of cornering on packed snow

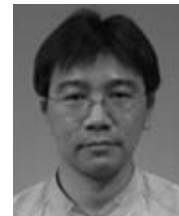
今後もさらなる車両運動性能向上を目指し、コンポーネントの追加や制御ロジックの改良など、S-AWCの進化に取り組みたい。

#### 参考文献

- (1) 澤瀬薫ほか：S-AWC ( Super All Wheel Control ) の核となる左右駆動力移動技術，三菱自動車テクニカルレビュー，NO. 18，p. 18 ~ 24，2006
- (2) 澤瀬薫ほか：高性能4WD車用アクティブセンターデフの開発，三菱自動車テクニカルレビュー，NO. 13，p. 77 ~ 82，2001
- (3) 澤瀬薫ほか：アクティブヨーコントロールシステムの開発，自動車技術，Vol. 50，No. 11，p. 52 ~ 57，1996
- (4) 田中俊三ほか：左右輪の駆動/制動力差を用いた車両旋回システムの開発，三菱自動車テクニカルレビュー，NO. 9，p. 40 ~ 51，1997
- (5) 本山廉夫ほか：ヨーイングコントロール手法の一考察，自動車技術，Vol. 50，No. 11，p. 95 ~ 99，1996



三浦隆未



後田祐一



澤瀬 薫



高橋直樹



林川一史

## 5. 実車性能

実際の車両でのS-AWCの効果の一例を示す。同一車両で「S-AWCあり」の場合とランサーエボリューション用の制御を模擬した「S-AWCなし」の場合とを比較した。

図6に、1周2.4 kmの乾燥舗装サーキットをスポーツ走行したときのハンドル角とハンドル角速度の関係を示す。「S-AWCあり」の方がハンドル角，ハンドル角速度とも小さくラップタイムも約1.5秒速い。

図7に、雪道で半径15 mの円をできるだけ速く旋回したときのハンドル角とハンドル角速度の関係を示す。「S-AWCあり」の方がハンドル角，ハンドル角速度とも大幅に小さい。

以上のように、路面状況によらずハンドル操作に対する車両の応答性が向上し、少ないハンドル操作で安定して速く走行できること、すなわち車両の旋回能力と安定性及びコントロール性が向上することを確認できた。

## 6. あとがき

ランサーエボリューションX用のS-AWCは、ヨーレイトフィードバック制御を基本とする統合制御の導入により、広範な走行条件で飛躍的に車両運動性能を向上させ、「意のままの操縦性」と「卓越した安定性」を実現した。

# 新開発4B11型ターボエンジン

New 4B11 Turbocharged Engine

加藤 佳彦\* 戸原 健太\* 明保 宏美\*  
Yoshihiko Kato Kenta Tohara Hiromi Akebo

## 概要

ランサーエボリューションXに搭載されている新開発直列4気筒ターボエンジンについて紹介する。この新開発4B11型ターボエンジン(2.0L)は、アルミダイカスト製シリンダーブロック、直打式動弁系などの採用により12.5kgの軽量化を達成し、吸排気側ともに可変バルブタイミング機構MIVEC™(Mitsubishi Innovative Valve-timing Electronic Control system)を採用して、全域で最適なバルブタイミングに設定することにより、性能向上、燃費低減及び排出ガス低減を実現した。さらに、吸排気系の圧力損失低減及びターボチャージャー諸元の見直しによって、低中速トルク及びレスポンスが大幅に向上した。環境対応にも配慮し、高性能メタル触媒などの採用により平成17年基準排出ガス50%低減レベル(3)に適合した。

## Abstract

Mitsubishi Motors Corporation (MMC)'s newly developed inline 4-cylinder turbocharged engine for the LANCER EVOLUTION X is introduced. This new 4B11 turbocharged engine (2 L) attained the 12.5 kg weight reduction thanks to an aluminum die-cast cylinder block and direct-acting valve train. A variable valve timing device MIVEC (Mitsubishi Innovative Valve-timing Electronic Control System) is equipped not only at the intake side but also at the exhaust side in this engine. This makes it possible to set the best valve timing for overall engine speed and improve performance, fuel efficiency and exhaust emissions. Furthermore, the low- and middle-speed torque and the response are dramatically improved by reducing pressure drops in the intake and exhaust systems and by revising the turbocharger specifications. Regarding environmental aspects, this engine cleared Japan's Heisei 17 emissions standard by means of a high-performance metal catalyst, etc.

*Key words: Gasoline Engine, MIVEC, Turbocharger, J-ULEV*

## 1. ねらい

開発のねらいは、高性能を発揮しつつ、時代に要求される環境性能にも配慮した新しいエンジンを造り出すことであり、エンジンの軽量化のためにアルミダイカスト製シリンダーブロックを開発し、ターボエンジンとしては初めて後方排気レイアウトを採用した。また、低燃費化のために、吸排気MIVECや高効率オルタネーターを採用した。開発コンセプトの一つが、モータースポーツフィールドで性能の優位性を確保することなので、先行開発段階からモータースポーツ部と協力し、WRC(World Rally Championship)で培ったノウハウ=モータースポーツDNAを惜しみなく注入した。

## 2. 主要諸元

新開発4B11型及び旧型4G63型ターボエンジンの主要諸元を表1に示す。

## 3. 特徴

上記の目標を達成するために採用した技術について紹介する。採用したコンポーネントや技術は複数の特性に重複して寄与しているものが多いので、項目と目的を表2のように示す。

### 3.1 高性能と低燃費の両立

高性能と低燃費の両立という課題においては、4B1型エンジンから採用されている吸排気MIVECと吸排気ポート形状の最適化とともに、インマニ形状の最適化による各気筒への均一な空気量分配により、高速性能を確保しつつ、アイドルの低回転化も可能となった。加えて、

\* 開発本部 エンジン設計部

表 1 主要諸元  
Major specifications

		ランサーエボリューション X	ランサーエボリューション IX MR (参考)
		4B11 (2.0 L)	4G63 (2.0 L)
排気量	(cc)	1,998	1,997
ボア径	(mm)	86	85
ストローク	(mm)	86	88
ボア・ストローク比 (S/B)		1.00	1.04
シリンダーボア間ピッチ	(mm)	96	93
コンロッド大小端長	(mm)	143.75	150
圧縮比		9.0	8.8
レッドゾーン / オーバーレボカット		7,000 / 7,600	
使用燃料		無鉛プレミアム	
ターボチャージャー		TD05HA-152G6-12T チタンアルミ合金タービンホイール / アルミニウム合金コンプレッサーホイール仕様	TD05HRA-155G6C-10.5T チタンアルミ合金タービンホイール / アルミニウム合金コンプレッサーホイール仕様
	オプション設定	TD05H-152G6-12T インコネルタービンホイール / アルミニウム合金コンプレッサーホイール仕様	TD05HRA-155G6mC-10.5T チタンアルミ合金タービンホイール / マグネシウム合金コンプレッサーホイール仕様
シリンダーブロック材質		アルミダイカスト製	鑄鉄製
カムシャフト駆動		サイレントチェーン	タイミングベルト
動弁系		直打式 DOHC 16バルブ 吸排気連続可変 MIVEC	ローラーロッカアーム式 DOHC 16バルブ 吸気連続可変 MIVEC
バルンサーシャフト		なし	二次バルンサー
排気系レイアウト		後方排気	前方排気
最大トルク	(N・m/min <sup>-1</sup> )	422 / 3,500	400 (GSR), 407 (RS) / 3,000
最高出力	{kW(PS)/min <sup>-1</sup> }	206(280) / 6,500	206(280) / 6,500
排出ガス規制適合		平成 17 年基準排出ガス 50 % 低減レベル (3)	平成 12 年規制
エンジン軽量化		12.5 kg*	べーす

\* : エンジン本体のみ ( 除く吸排気系部品 )

表 2 採用技術と目的  
Adopted technologies and their purposes

項目	高性能低燃費	小型・軽量	低排出ガス	低振動低騒音	信頼性向上
アルミダイカスト製シリンダーブロック					
ベアリングキャップ 4 本締め					
セミクロズドデッキ構造					
吸排気連続可変バルブタイミング ( MIVEC )					
等長ショートポートアルミインテークマニホールド					
後方排気エンジンレイアウト					
小型大容量微粒化インジェクター					
バルンサーシャフト廃止					
燃料システム見直し ( 制御燃圧変更 )					
ロングリーチ M12 点火プラグ化					
高効率オルタネーター					
高性能メタル触媒					

アルミシリンダーブロック採用による冷却効率向上により、点火時期の進角が可能となり、燃料消費率も改善できた。また、ピストンピンのフルフローティング構造の採用やシリンダーブロックのバルクヘッド部に連通穴を設け、クランクケース内の圧力を下げることによって、摩擦損失の低減を図った。さらに、当社初となる高効率オルタネーターを採用して燃費向上に努めた。その結果、車両重量が 100 kg 増加したにもかかわらず、ランサーエボリューション MR に対し、動力性能を向上しながらも同等以上の燃費が実現できた。

図 1 にエンジン性能曲線を示す。

### 3.2 軽量化・耐久性の確保

エンジンの軽量化としてアルミダイカスト製シリンダーブロックを採用した。採用に当たっては、重量軽減を図りながら十分な耐久性を確保することが最大の課題であった。そのため、ベアリングキャップ部 5 箇所すべてを 4 本のボルトでシリンダーブロックに締結し、高出力に耐え得る構造とした。また、シリンダーブロックのトップデッキにはブリッジを設けたセミクロズド形状を採用し、高出力時のボア変形の抑制を図った。さらに、ラダーフレーム構造により高剛性にしたことにより、NVH ( Noise Vibration Harshness ) が大幅に向上した。シ

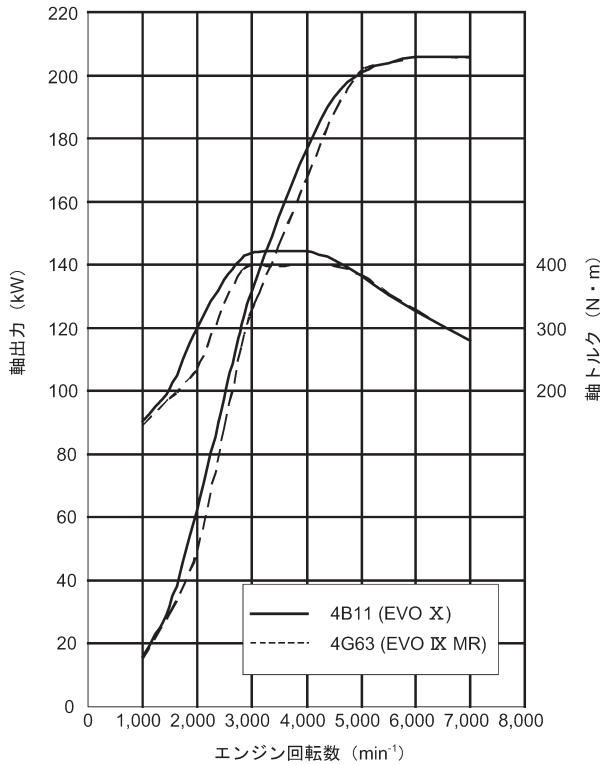


図1 エンジン性能曲線図  
Engine performance

リンダーブロックの構造を図2に示す。その他、動弁系の直動化やバランサーシャフトの廃止など様々な軽量化を行い、エンジン本体の重量を4G63型ターボエンジンに対し、実に12.5 kg低減することに成功した。

### 3.3 低排出ガス

高性能と低排出ガスの両立という面では、小型微粒化インジェクターを採用して燃料ライン圧を見直した。微粒化を促進しながら、高出力時の燃料流量を確保することで、高出力を維持しながらクリーンな排出ガスを実現することができた。これらの技術と後方排気及び高性能メタル触媒採用による触媒の活性化促進により、排出ガスをエポリューション に対し1/4以下のレベルに削減し、平成17年基準排出ガス50%低減レベル(3)に適合した。

### 3.4 レスポンスの向上

高性能とは最高出力及び最大トルクで代表されがちであるが、モータースポーツではレスポンスも重要な要素である。そのため、ターボチャージャーのコンプレッサーホイール形状の最適化や吸気系のストレート化、排気系の管径拡大などにより、4G63型ターボエンジンに対し最大で18%もレスポンスを向上した。図3にランサーエポリューション とランサーエポリューション MRのレスポンスの比較、図4にコンプレッサーホイールの

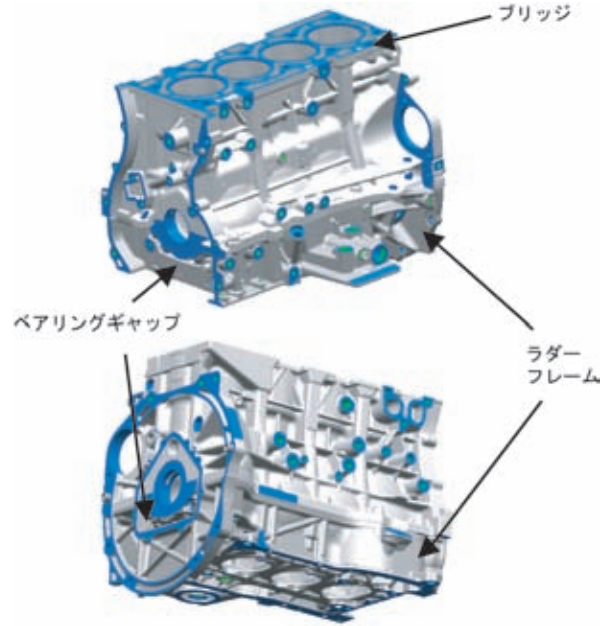


図2 シリンダーブロック構造  
Cylinder block structure

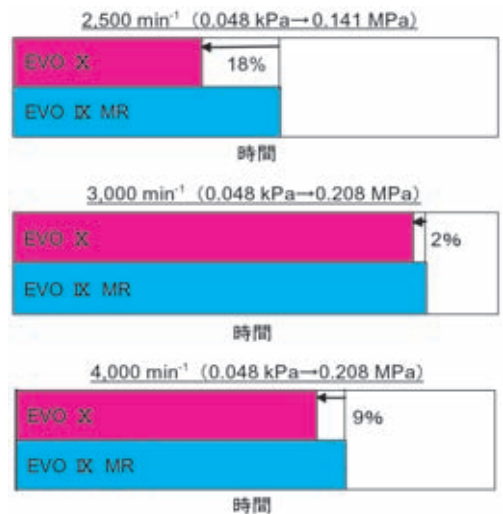


図3 エンジンレスポンス  
Engine response

改良点を示す。

### 3.5 信頼性向上

4G63型ターボエンジンでは、M14 ロングリーチプラグを採用していたが、これを4B11型ターボエンジンではM12 ロングリーチプラグとし、燃焼室周りの水室を拡大することで冷却性の向上を図った。また、熱伝導率の高いアルミシリンダーブロックの採用も加わり、触火面温度としては4G63型ターボエンジンに対し、約50%低減しており、シリンダーヘッドに加わる熱負荷を大幅に低減した。図5にシリンダーヘッド断面図を示す。

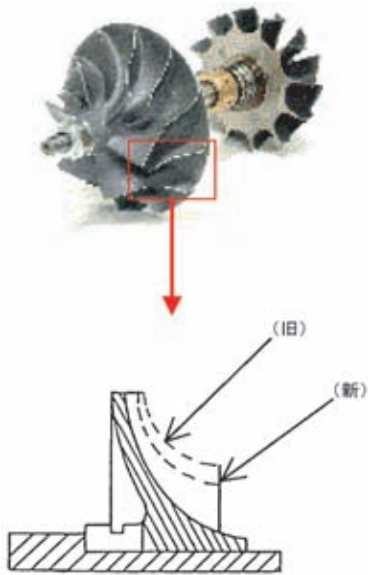


図4 コンプレッサーホイール形状見直し  
Compressor wheel improvement

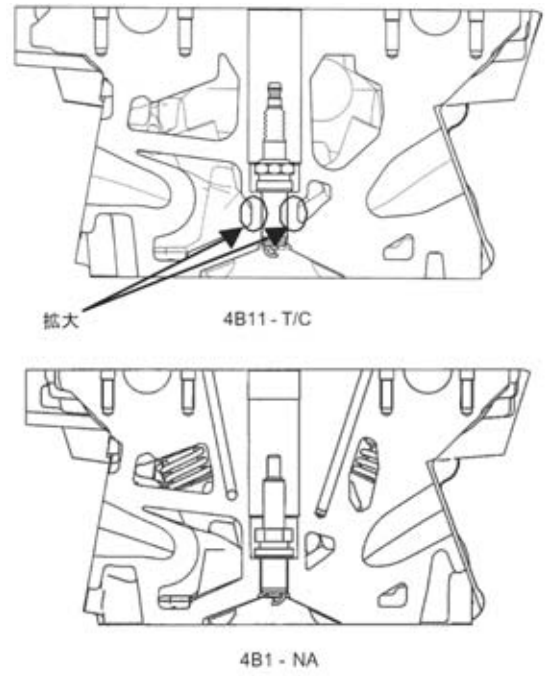


図5 4B11NA シリンダーヘッド断面図  
Cylinder head cross section

#### 4. あとがき

今後、排出ガスや燃費などの環境性能を向上していくことがさらに重要視されるため、高性能化と環境性能向上という相反する要素を高次元で両立していくことが新たな進化の課題であると考えている。



加藤佳彦



戸原健太



明保宏美



# 新開発 Twin Clutch SST (スポーツシフトトランスミッション)

Newly Developed Twin Clutch SST (Sport Shift Transmission)

木村孝雄\* 篠倉 崇\* 林 邦繁\*  
Takao Kimura Takashi Sasakura Kunishige Hayashi

## 概 要

ランサーエボリューション に搭載されている Twin Clutch SST ( Sport Shift Transmission ) について紹介する。

当社初の Twin Clutch SST は、6速自動マニュアルトランスミッションに二つの自動クラッチを組み合わせることで、“素早い変速による気持ちの良い加速フィーリング”と“高効率な動力伝達機構による優れた燃費性能”を実現した新開発のトランスミッションであり、今後の当社FF系乗用車用トランスミッションのラインナップに加わった。

## Abstract

This paper describes the newly developed Twin Clutch SST used in the LANCER EVOLUTION X. In the Twin Clutch SST (the first transmission of its kind to be used by Mitsubishi Motors Corporation), a six-speed automated manual transmission in which two automatic clutches are used to realize (a) quick gearshifts and a concomitantly good acceleration feeling and (b) highly efficient torque transmission and concomitantly good fuel economy. MMC plans to include the Twin Clutch SST in the transmission lineups of future front-engine, front-wheel-drive passenger cars.

**Key words:** Transmission, Power Train, Clutch, Hydraulic System

## 1. 開発のねらい

新開発 Twin Clutch SST (以下、SSTとする)は、以下の主要コンセプトを掲げ開発した。各項目は適合予定の各車両のニーズ、ベンチマークから目標を設定し開発を進めた。

- (1) A/T以上の素早いシフトと、A/Tと同等以上の滑らかなシフトフィーリング
- (2) M/Tと同等の燃費性能
- (3) M/Tと同等の発進加速性能

SSTは電子油圧制御された2組のクラッチに、それぞれ1速、3速、5速の奇数段ギヤと2速、4速、6速の偶数段ギヤがつながっており、クラッチを交互に切り替えて使用する。切替え時には次に使うギヤを予測して事前に契合しておき、エンジントルクを制御しながらクラッチを適切なタイミングで切り替えることで、滑らかな変速と、5速M/T車と同等以上の低燃費と発進加速性能の実現をねらった(表1)。

表1 採用した技術と目的  
Adopted technologies and their purposes

項 目	目 的	シフトクオリティ向上	低燃費	操縦性向上	小型化 軽量化	NVH向上
エンジン協調制御						
ワイドギヤレシオ						
多軸構造による全長短縮						
ボールベアリングとローラーベアリングの多用						
3点支持シャフトのセンターベアリングフローティング構造						
ギヤとシャフト圧入構造						
ライン圧可変制御						
リニアソレノイドの多用						
クラッチスリップ制御の適正化						
事前シフトの適正化						
クラッチ契合位置学習制御の採用						

## 2. 基本構造

表2に従来の5速A/Tとの仕様比較を示す。5速A/Tに対して、許容トルク容量を増大させたにもかかわらず、全長短縮、重量軽減を実現し、車両搭載性を向上させた。

\* 開発本部 ドライブトレイン技術部

表2 SSTとA/Tの比較  
SST specifications

型 式	W6DGA (TC-SST)	W5A5A (ランサーEVOワゴンMR用A/T)
全 長 (mm)	385	418
動力伝達機構 (エンジン~トランスミッション)	湿式多板クラッチ (クラッチセット×2)	トルクコンバーター
適用エンジントルク (N・m)	422	343
ギ ャ 比	1st	3.655 ( 14.848 )
	2nd	2.368 ( 9.621 )
	3rd	1.754 ( 7.127 )
	4th	1.322 ( 5.372 )
	5th	1.008 ( 4.097 )
	6th	0.775 ( 3.148 )
終 減 速 比	4.062	3.333
質 量 (ドライ) (kg)	98	108

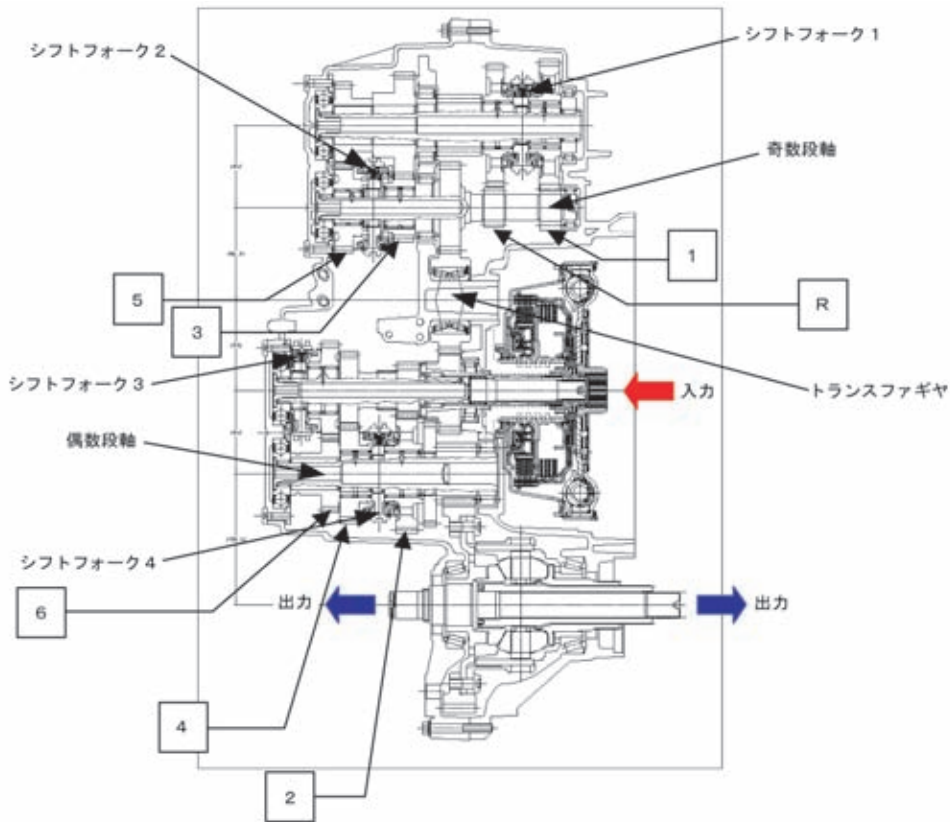


図1 SSTの断面  
SST cross-sectional view

図1に本SSTの断面図を示す。また、図2に本SSTのスケルトン図を示す。

クラッチは油圧で制御される湿式多板式で、同じ直径のものが同軸上に2系統配置されており、中空シャフトが奇数段ギヤ側を、その中を通る中実シャフトが偶数段ギヤ側を駆動する。トルクコンバーターを持つA/TやCVT (Continuously Variable Transmission) に比べて滑り感が少なく、M/T並みのアクセル操作に対するダイレク

ト感を提供する。

また、このクラッチシステムはロングトラベルダンパースプリングを持ち、スプリング前後のイナシャーを適切に設定することで、高い操縦性と優れた振動騒音を達成している。

本SSTのギヤユニットは、6組あるギヤを奇数段軸 (後退, 1速, 3速, 5速) と偶数段軸 (2速, 4速, 6速) の2系統に分け、3速M/Tを二つ組み合わせた構造とな

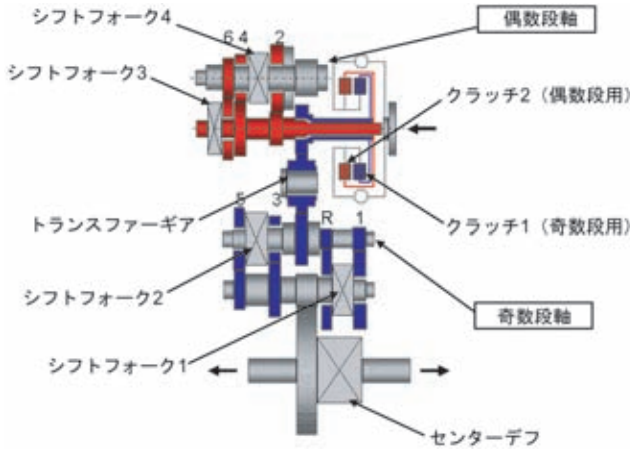


図2 SSTの基本構成1  
SST basic structure (1)

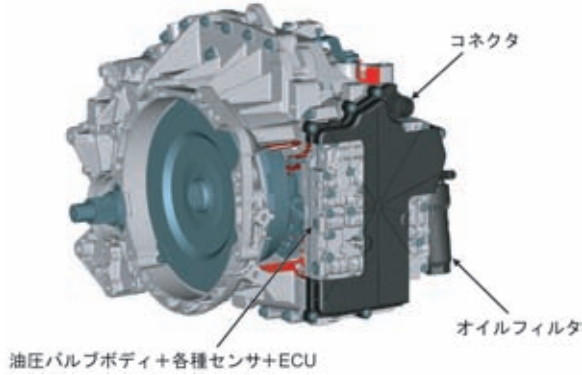


図3 SSTの基本構成2  
SST basic structure (2)

っている。奇数段軸はトランスファァーギアを介して偶数段軸と別の軸上に配置され、トランスミッションの全長短縮を実現している。シフト操作は、従来のM/Tと同じシンクロ機構で行い、シンクロナイザースリーブをシフトフォークでスライドさせる。シフトフォークのシャフト両端に油圧ピストンが付いており、油圧でシフトフォークを作動する。

従来のA/Tコントロールユニットは、A/T本体から分離され、車室内に搭載されるが、SSTコントロールユニットは、各センサ、ソレノイド、油圧バルブボデーと一体化され、SST内部に内蔵されている。これにより、車体配線の大幅な削減と、SST工場出荷前にクラッチストロークなどの個体差をコントロールユニットに学習させることが可能になり、変速フィーリングの安定化が実現できた(図3)。

### 3. SST 変速概要

例えば、1速から発進するときは出力軸と1速ギヤがシンクロ機構によって、かみ合っており、奇数段クラッチを契合させることで、トルクが出力軸に伝達される。この間に、偶数段ギヤは2速をあらかじめシンクロによって出力軸とかみ合わせおく。2速に変速するときは、奇数段クラッチの開放と同時に、伝達トルクが途切れないように偶数段クラッチを契合する。2速から3速への変速でも、同様に、2速走行時には3速ギヤをあらかじめシンクロによって契合させておき、偶数段クラッチの開放と同時に、奇数段クラッチを契合する。

### 4. 電子制御システム

制御システム図を図4に示す。車両とエンジンの情報は国際標準の車内ネットワークであるCAN (Control Area Network) によって、SSTコントロールユニットに伝達され、SST内部の情報と合わせて、車両状態に応じた最適制御を行う。SSTコントロールユニットは、四つのシフトフォークと二つのクラッチに油圧を供給し、各クラッチとシフトフォークを制御することで、伝達トルクの途切れのない滑らかな変速と素早いシフトを両立している。

#### (1) クリープ制御

クラッチの押し付け力の微細な制御で半クラッチ状態を作り出し、エンジンと協調制御を行うことで、エンストを防ぎながら、トルコン付きのA/Tのようなクリープ走行を可能にしている。

ドライバーがブレーキペダルを踏んでいる間は、クラッチの伝達トルクを最低限に制御し、燃費の向上と、シフトレバー操作に起因するクラッチ契合ショックを低減した。

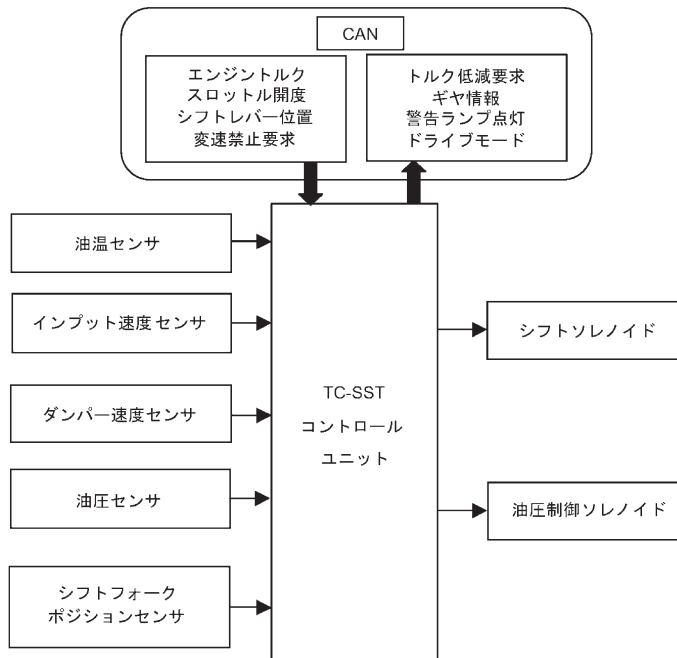


図4 制御システム図  
Control system

表3 SSTの制御モード  
SST control modes

モード	変速タイミング	変速スピード	アクセルレスポンス
ノーマル	低回転	ふつう	滑らか
スポーツ	中高回転	速い	敏感
S-スポーツ	高回転	非常に速い	鋭い



図5 SSTの制御モード  
SST control modes

(2) ライン圧可変制御

SSTはクラッチ制御油圧、クラッチ潤滑油圧、シフト制御油圧、油温、その他を考慮し、状況に応じた必要最低限のライン圧とするために精密な制御を行う。この制御によりトランスミッション全体損失を抑え、燃費向上に貢献している。

(3) クラッチスリップ制御

SSTはドライブモード、車速、アクセルペダルの動き、その他を考慮して、クラッチのスリップ速度を制御する。その制御は燃費向上、アクセルペダル操作に対するダイレクト感、振動騒音の低減などの相反する要件を達成している。

(4) プレシフト(クラッチ契合前のシフト操作)

プレシフトは各ドライブモードごとにモードのねらいを勘案し設定されている。多くの試験走行による確認結果をもとに、違和感のない、素早いシフトレスポンスを実現した。

(5) その他の制御

各 부품のパラッキを吸収し、より高いシフトクオリティを実現するため、クラッチ契合位置の自動学習制御を採用した。また、より素早いシフトを実現するため、ある特定条件下ではクラッチ油圧ピストンに前もって予備油圧をかける制御を採用した。

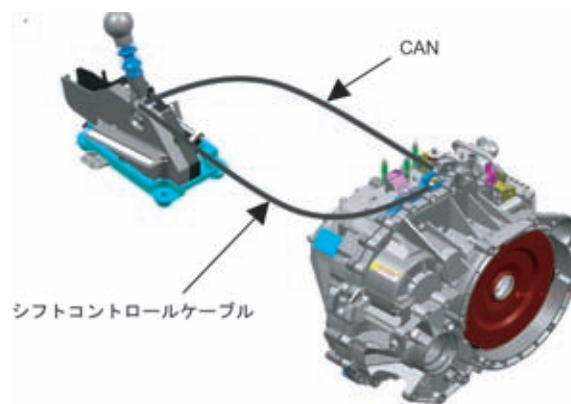


図6 シフトレバーとの通信  
Communication with shift lever

## 5. コントロールモード

ランサーエボリューションに搭載のSSTでは、シフトレバー脇のSST制御モード切替えスイッチで、「ノーマル」「スポーツ」「スーパースポーツ」の3パターンの走り(制御モード)が選択できる。それぞれのモードでは、変速タイミングだけでなく、変速スピードとアクセルレスポンスも変更しており、あらゆるシーンで最適なドライブを楽しめる(表5、図5)。

## 6. シフトレバー

当社初のCANによる通信が可能なシフトレバーを採用した。レバーポジション情報、SST制御モード切替えスイッチ情報、パドルシフト情報はCANによって、シフトレバーコントロールユニットからSSTコントロールユニットに伝達される。CANの使用により、車体配線の大幅な削減が可能になった(図6)。

## 7. あとがき

SSTの開発に当たっては、最新のシミュレーション技術による各種解析、デジタルモデリング技術の活用、最新生産設備の導入などにより品質を高めている。

この場をお借りして、ご協力を頂いた皆様に御礼申し上げます。



木村孝雄



篠倉 崇



林 邦繁

# ランサーエボリューションXのシャシ技術

## LANCER EVOLUTION X Chassis Technologies

大内 大\* 山村 剛\* 及川 弘\*  
Masaru Ohuchi Takeshi Yamamura Hiroshi Oikawa

### 概要

三菱自動車が目指す『走る喜び』を実現するため、ランサーエボリューション では、プラットフォームの刷新とともにシャシを新規に開発した。基本骨格から一新したサスペンションは、ワイドトレッド化 や18インチタイヤ装着と合わせてレイアウトと構造の最適化を図り、四つのタイヤに極めて高い接地性を確保させ、コーナリング性能の向上と新世代ランサーエボリューションにふさわしい上質な乗り味が実現できた。さらにフットワークの進化に合わせてブレーキを大径化し、制動力や耐フェード性の向上とともに、ペダル操作フィーリングの向上を図った。

お客様のさらなる高性能化へのご要望に応えるため、メーカーオプションとして、ハイパフォーマンスパッケージも開発した。

：ランサーエボリューション 比：+ 30 mm

### Abstract

For the kind of driving pleasure targeted by Mitsubishi Motors Corporation with the LANCER EVOLUTION X, the platform was updated and new chassis technologies were developed. The suspension was fundamentally revamped in terms of layout and structure and was combined with wider treads\* and 18-inch wheels, resulting in exceptional roadholding at all four tires and in concomitantly improved cornering performance and a high-quality ride befitting the new-generation LANCER EVOLUTION. In addition, larger-diameter brakes were adopted for superior stopping power and fade resistance and a superior pedal feel.

A high-performance package was also developed as a factory-fitted option to accommodate customer demand for even higher performance.

\*: 30 mm wider than LANCER EVOLUTION IX

**Key words:** Sport Car, Motor Sports, Chassis, Vehicle Dynamics, Steering System, Stability, Suspension System, Shock Absorber, Damping, Wheel Alignment, Brake, Tire, Wheel, Handling, Ride Comfort

## 1. ま え が き

ランサーエボリューションはラリー競技などのベース車として生まれ、進化を続け今日に至るが、近年では競技を主体とした走りの性能追求のみならず、上質な乗り味も要求されるようになってきた。

プラットフォームの刷新に伴い、操縦安定性の向上と上質な乗り味を両立させることを目標として、シャシすべてを新規開発した。

## 2. サスペンション

サスペンションは、タイヤの位置決めを確実にすることを念頭に置き、各部の剛性強化とジオメトリーの最適

化を図った。また、適材適所の材質選定と構造最適化を行うことで高剛性かつ軽量のサスペンションを開発した。さらに車両運動統合制御システム「S-AWC ( Super All Wheel Control )」の効果を最大限発揮させるため、接地性の改良も行った。

### 2.1 フロントサスペンション

従来から実績のある倒立式ストラットを用いたマクファーソンストラット式を進化させながら新規に開発した(図1)。

18インチ低偏平タイヤの採用に伴う各種入力の増大と旋回性能の向上に対応するため、ハブユニットベアリングの大型化やストラットを支えるアッパーインシュレーターの高剛性化、さらにサスペンションの骨格に当たるサブメンバーの徹底的な高剛性化を図った(図2, 図3)。

\* 開発本部 シャシ設計部



図1 フロントサスペンション  
Front suspension



図4 リヤサスペンション  
Rear suspension

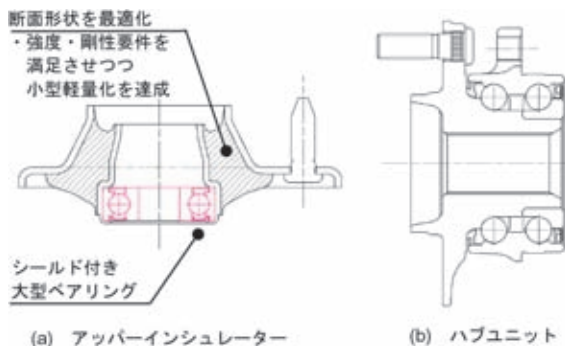


図2 フロント剛性向上コンポーネント  
Front stiffness-enhancing component

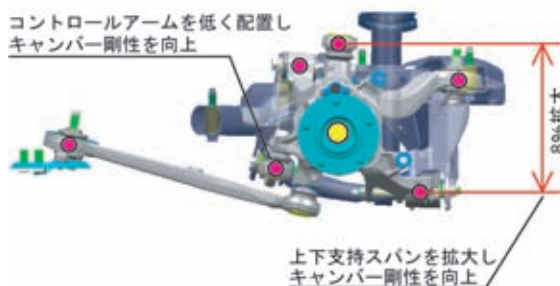
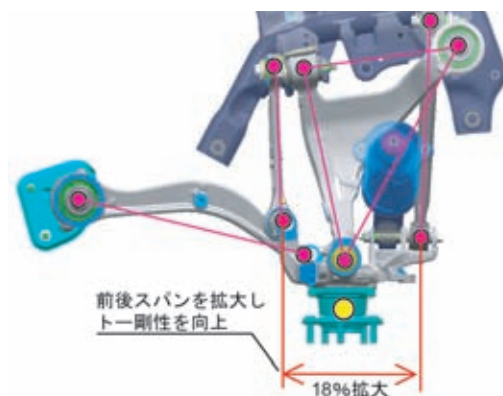


図5 リヤアームレイアウト  
Rear arm layout

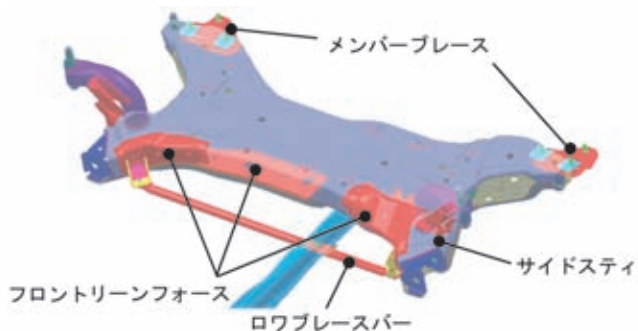


図3 フロント剛性向上コンポーネント  
Front stiffness-enhancing component

## 2.2 リヤサスペンション

ランサーエボリューション で実績のあるマルチリンク式を踏襲しながらも新プラットフォームに適合したサブメンバーを持つ全く新しいサスペンションを開発した。サブメンバーは車体へ6点でしっかりと結合され、サブメンバー本体も高剛性な構造とした(図4)。

サスペンションアームは、各アーム間の支持スパンを拡大しアームの長さや配置を適切にし高剛性かつアライメントの変化を最適化した(図5, 図6)。ハブユニット

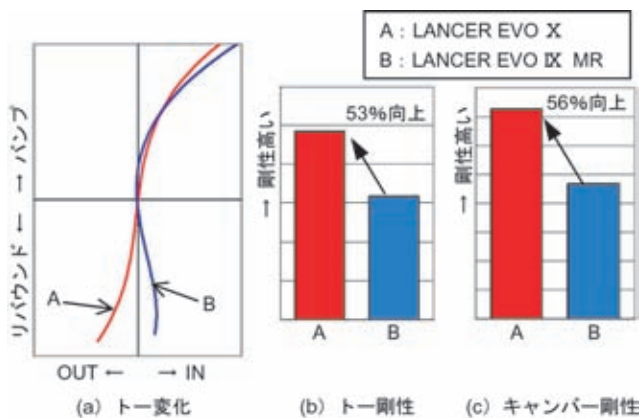


図6 リヤサスペンション特性  
Rear suspension characteristics

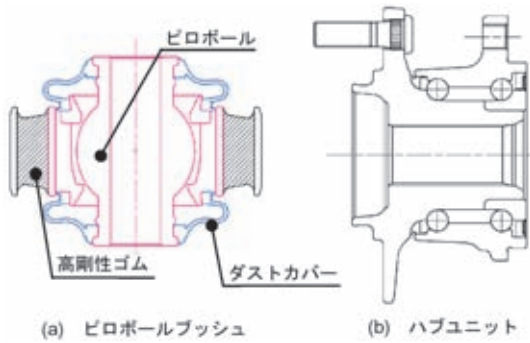


図7 リヤ剛性向上コンポーネント  
Rear stiffness-enhancing component

トベアリングも大型化し、剛性向上を図った(図7)。

ピロボールの使用箇所を増やすことと、リヤダンパーの取り付け位置をロワアームからナックルに変更することで、優れた接地性を実現した(図4, 図7)。

以上のようにサスペンション構造の最適化と剛性向上を図ることで、旋回限界や応答性などの操縦安定性と直進性や乗り心地などの乗り味を高い次元で両立した。

### 2.3 パワーステアリングシステム

油圧アシスト方式を採用し、アシスト特性とステアリングギヤ比を最適化することにより、クイックで上質な操舵フィーリングを実現した。

## 3. タイヤ&ホイール

### 3.1 タイヤ

245/40R18 サイズの低偏平かつワイドタイヤを採用した。新開発の左右非対称トレッドパターンや内部構造の最適化により、操縦安定性、ブレーキ性能、ウェット性能、静粛性などの高性能タイヤに必要な性能を高次元でバランスさせた。

### 3.2 アルミホイール

アルミホイールは、リム部をスピニング加工して材料強度を向上させることで薄肉化し軽量化を図り、さらにリム形状やスポークの配置や形状を最適化することで高剛性かつ軽量のホイールを開発した。

## 4. ブレーキ

### 4.1 ホイールブレーキ

ブレーキは、ランサーエボリューション に対し1インチ大径化し、フロント18インチ、リヤ17インチを採用。ローター外径は、フロントを 350、リヤを 330とした。耐フェード性、効力の向上を図りながら(図8)、キャリパー取り付け剛性の最適化やパッド、ローターの特性及び形状の最適化により、鳴きやジャダーについても低減を図った(図8)。

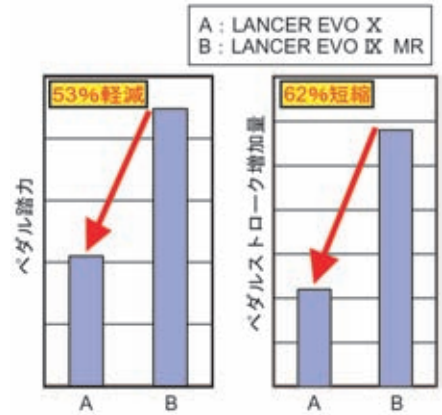


図8 スポーツ走行時の耐フェード性比較  
Fade resistance during sport driving

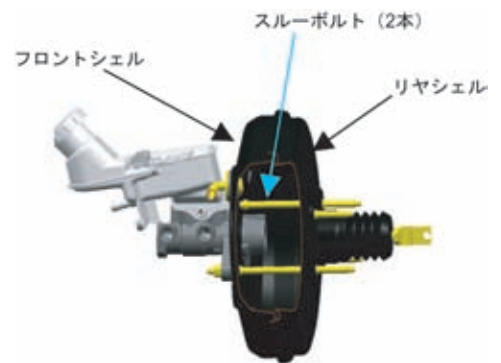


図9 高剛性バキュームブースター  
High-rigidity vacuum booster

### 4.2 高剛性バキュームブースター

制動初期の食い付き性向上、リニアな制動力の立ち上がり、高G減速度域での踏み増し時のビルドアップをねらい、ホイールブレーキの性能向上と合わせて、スルーボルト式10インチバキュームブースターを採用した。ブースターのシングル化による内部摺動抵抗の低減とスルーボルト式による高負荷時のシェル変形抑制効果によって、フリクション感低減と液圧上昇時の低踏力化及び剛性向上を図り、制動コントロール性を向上した(図9)。

## 5. ハイパフォーマンスパッケージ

さらなる高性能化のため、メーカーオプションとして、ビルシュタイン社製ダンパー、アイバツハ社製コイルスプリング、フロント18インチ2ピースディスクローター、操安性能をさらに向上させたハイパフォーマンスタイヤを開発した。

### 5.1 ビルシュタイン社製ダンパー、アイバツハ社製コイルスプリング

従来から好評のビルシュタイン社製モノチューブダンパーにより極低速領域からのきめ細かな減衰特性のチュ



図10 ビルシュタイン社製ダンパー，アイバツハ社製  
コイルスプリング，ハイパフォーマンスタイヤ  
Bilstein damper, Eibach coil spring, and high-performance tire



図11 2ピースディスクローター  
Two-piece disc brake rotor

ーニングを可能とし、アイバツハ社製コイルスプリングの採用と相まってしなやかで接地性の良い足周りを実現した(図10)。

### 5.2 ハイパフォーマンスタイヤ

標準装着タイヤから、操舵応答性と旋回性能をより優先させた内部構造、トレッドパターン及びトレッドゴム(コンパウンド)を与えたハイパフォーマンスタイヤを開発した(図10)。

### 5.3 2ピースディスクローター

摺動ローター部とハブ取り付けベル部を別体の2ピース構造とし、1ピース構造と比べ、1枚当たり1.3kgの軽量化を実現した。ローター部とベル部は、スペーサーを介してスクリーボルトで結合するフローティング構造を採用しており、形状の最適化により高温時の摺動面倒れを抑制し、制動安定化を実現した(図11)。

## 6. あとがき

各世代ごとに高い目標を設定し、それぞれ実現してきたランサーエボリューションのシャシ技術は、今後もさらなるレベルアップを要求されるはずである。

ランサーエボリューションは当社のLeading Carであり、また、自動車業界のLeading Carであり続けるため今後も技術革新に努める。



大内 大



山村 剛



及川 弘



# ランサーエボリューションXのエアロダイナミクス

## Aerodynamics for LANCER EVOLUTION X

片岡 俊\* 橋本紀公\* 吉田昌弘\*  
Satoshi Kataoka Norimasa Hashimoto Masahiro Yoshida  
木村 登美夫\* 濱本直樹\*  
Tomio Kimura Naoki Hamamoto

### 概要

ランサーエボリューションの空力開発に当たっては空気抵抗低減だけでなく、揚力や冷却にも十分考慮した。逆スラントノーズに対応したフード先端形状をはじめ、フード上面への冷却風排出、排気系への冷却風導入、流れに合わせたリヤスポイラー形状など、多くの部位に空力技術を適用した。その結果、ランサーエボリューションより空気抵抗係数 ( $C_D$ )、揚力係数 ( $C_L$ ) が低減し、 $C_L$  はクラストップレベルの値を実現したので、ここにランサーエボリューションに適用した各種技術を紹介する。また、今回のランサーエボリューションXの用品として新開発したフロアエアガイドの概要についても併せて紹介する。

### Abstract

Aerodynamics technology for the LANCER EVOLUTION X was developed not only to reduce drag but also improve lift and cooling performance. The applied aerodynamics technology includes the nose shape like that of a shark, the cooling, the rear spoiler shape, etc. As a result, the drag coefficient ( $C_D$ ) and lift coefficient ( $C_L$ ) values are less than that of the LANCER EVOLUTION IX. This paper describes the aerodynamics technology for the LANCER EVOLUTION X and also introduces the Floor Air Guide, a new aerodynamic device.

**Key words:** Aerodynamics, Fluid Dynamics, Aerodynamic Devices, Cooling

## 1. ま え が き

ランサーエボリューションは初代誕生以来、競合他車を凌駕する卓越した運動性能を武器に様々なモータースポーツフィールドで活躍すべく進化を続けてきた。特に空力開発に当たっては空気抵抗係数 ( $C_D$ ) の低減だけでなく揚力係数 ( $C_L$ ) の低減、さらに冷却性能の向上もねらい、数多くの模型試験やCFD解析、実車試験を繰り返し(図1)、セダンとしての居住性をデザイン的にも高度な次元で融合させたエアロダイナミクスシェイプボデーを提供してきた。今回、ランサーエボリューションにおいても従来にも増した取り組みにより、ランサーエボリューションと比較して空気抵抗係数 ( $C_D$ )、揚力係数 ( $C_L$ ) を低減し、特に $C_L$ はクラストップレベルの値を実現することができたのでここに紹介する(図2)。

## 2. ランサーエボリューションの空力開発

ランサーエボリューションの空力開発は車両全体の

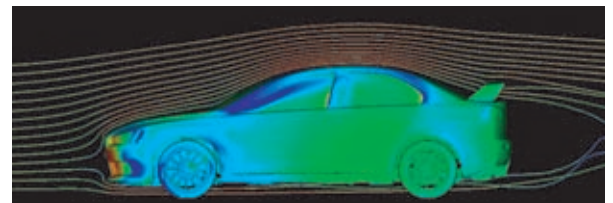


図1 圧力分布と流跡線図  
Pressure distribution and air flow trace line

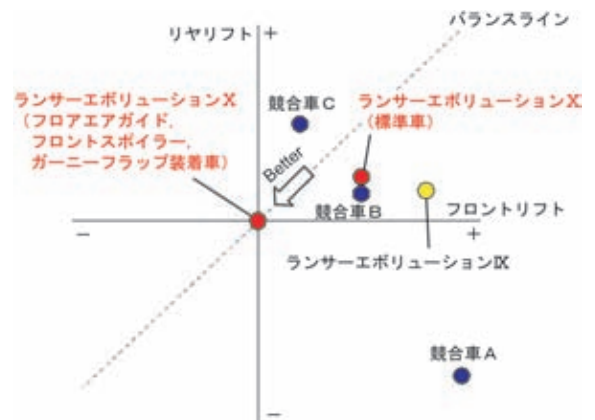


図2 揚力係数 ( $C_L$ ) の比較  
Comparison of lift coefficient ( $C_L$ )

\* 開発本部 実験総括部

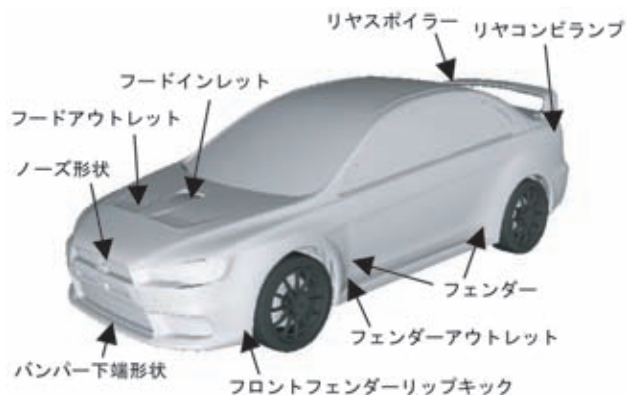


図3 空力的機能を備えた車体形状  
Body shape with aerodynamic functions

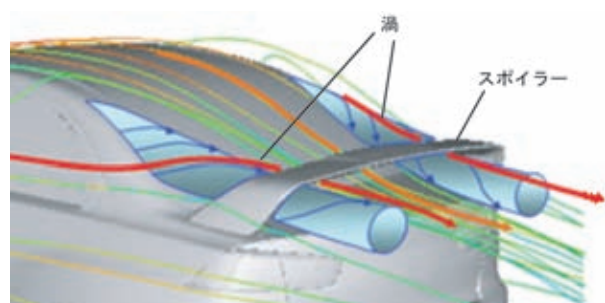


図4 車体後部の流れ  
Air flow on rear of vehicle

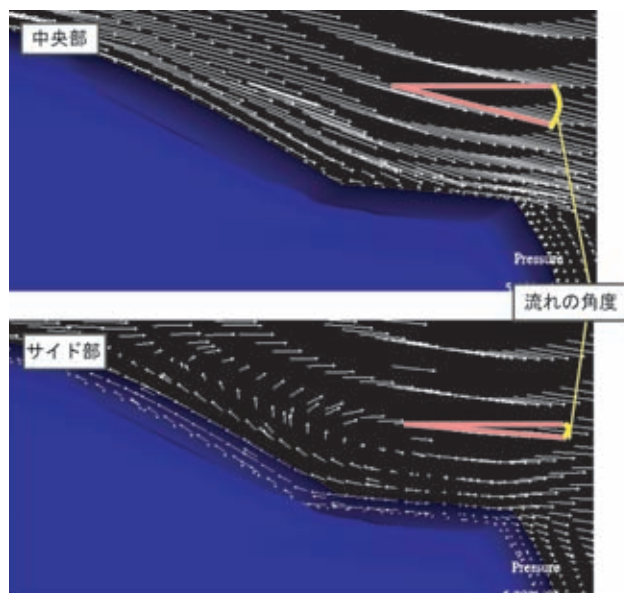


図5 気流の角度差  
Angle of flow at each position

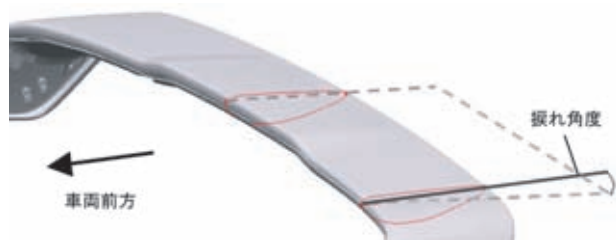


図6 捻れ翼  
Twisted wing

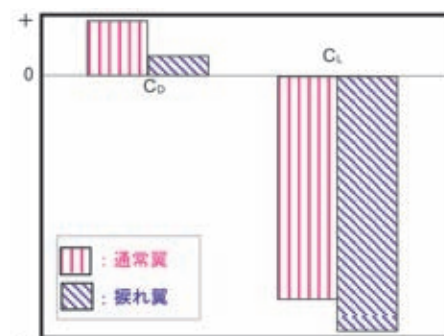


図7 捻れ翼と通常翼の効果  
Effects of twisted wing and basic wing

空力適正化を施した上に、図3に挙げる特徴的な部位を空力的に最適化している。具体的には、逆スラントノーズ形状、前後に緩やかな傾斜を持たせたオーバーフェンダー、シャープなエッジを設けたリヤコンビランプなど、エボリューションの迫力あるデザインを空気抵抗低減というテーマと融合させるために、多くの検討を重ねた上で最適な形状を見出している。フロントフェンダーリップキック、バンパー下端形状は気流を積極的に剥離させ負圧を誘発させることにより、車体の揚力低減を実現している。冷却機構においてはランサーエボリューション

から引き継いでいるNACAスクープを応用した形状のフードインレット、フードアウトレットに加え、新規に採用したフェンダーアウトレットをボデー表面の適正な位置に配置したことにより、エンジンルームの冷却性能を向上している。なお、リヤスポイラーと用品のフロアエアガイド、及び冷却開口を効率的に利用した冷却風取込み構造については、次項以降にその詳細を説明する。

### 3. 新形状リヤスポイラー（捻れ翼）の開発

セダンタイプの乗用車では、Cピラーで剥離した流れがリアウインドウ上で巻き込み、一対の渦を形成する（図4）。この渦により、車体中心部と外側では流れの角度が異なる（図5）。このことから、従来の通常翼を用いたリヤスポイラーでは以下の問題が懸念される。

- (1) 流れの角度が深いところでは翼の迎角が大きくなりすぎ、後縁で流れが剥離してしまう。
- (2) 流れの角度が浅いところでは翼の迎角が小さくなりすぎ、十分な性能を発揮できない。

こういった問題を解決するために、ランサーエボリューションXのスポイラーは、流れの角度に合うように車体中心部と外側とで翼の設定角度を変化させた（図6）。これにより翼の性能を最大限に引き出し、空気抵抗の増加を抑え、大幅な揚力の低減を実現している（図7）。



図8 フロアエアガイド  
Floor air guide

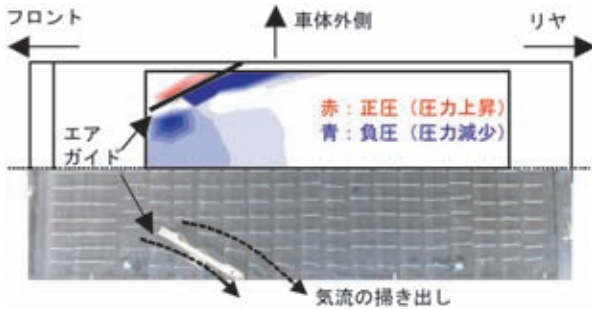


図9 フロアエアガイド模型試験結果  
Model test results of floor air guide

なおスポイラーの装着高さ、前後位置、翼断面の形状も風洞試験により適正化を図っている。

#### 4. フロアエアガイド

ランサーエボリューション の新規開発用品として、揚力を効果的に低減するフロアエアガイドがある(図8)。このデバイスの目的は車体の床下にフィンを取り付けることにより、床下の流れを車体外側に排出し、床下中央部の流速を増加させること、及びフィンの後方にできる渦の作用で床下の圧力を下げ、この二つの効果で車体の揚力を低減させることである。

図9は車体の床下を模擬した平板上に一对のエアガイドを取り付けた際の模型試験結果であり、上半分はエアガイド装着時の表面圧力変化を示し、青色は圧力が低下する(揚力低減に寄与する)領域を、赤色は圧力が上昇する領域をそれぞれ表している。この結果から、圧力減少の効果はエアガイド下流側で最も強く働いており、左右エアガイドの中間に当たる車体中央部でも圧力減少が見られることが分かる。一方エアガイドの上流側は圧力上昇を示す赤い領域が存在するが、その面積は圧力の減少する青い領域と比べて小さい。また下半分は床下面に取り付けた気流系による流れの可視化試験結果である。これを見ると、流れが車両外側に排出されており、エアガイドの後方には渦が形成されているのが分かる。この渦の負圧に引き寄せられて車両中央部の流れが、車両外側に誘導され、それに伴って中央部の流速が増加することで床面の圧力が低下すると考えられる。

図10は実際の床下モデルにおいてエアガイド有無の

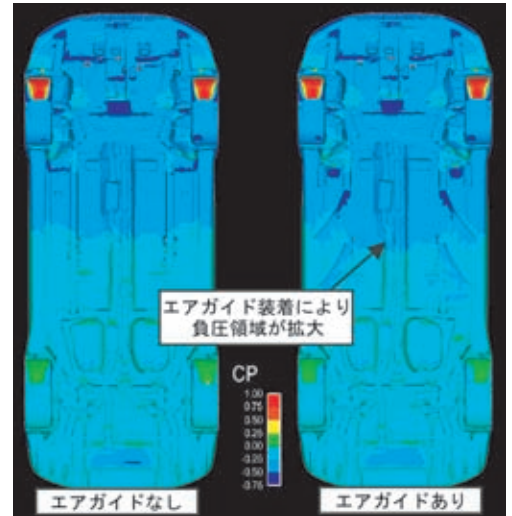


図10 フロアエアガイドの効果  
Effect of floor air guide

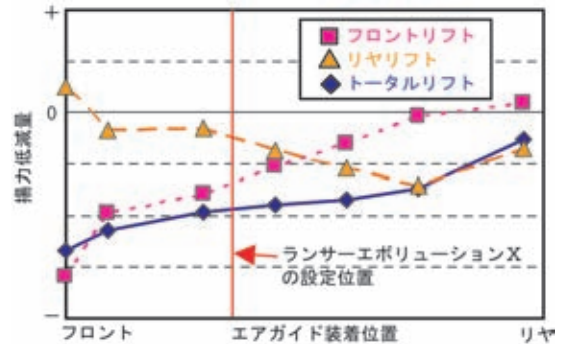


図11 エアガイド装着位置とリフトの変化量  
Change of lift in relation to position of floor air guide

CFD解析を行った結果で圧力分布を表している。この画像からもエアガイド装着により、床下の負圧領域(青色部)が増大していることが分かる。

フロントエアダム、リヤスポイラーに代表される揚力低減デバイスは通常フロントまたはリヤのみの揚力低減に有効であるが、このフロアエアガイドの画期的な点は、その装着位置により、フロントとリヤ両方の揚力をバランス良く低減できるところにある(図11)。ランサーエボリューション ではベースの前後揚力バランスを考慮し、最適な位置に設定した。

#### 5. ボデー構造による冷却性能最適化

ランサーエボリューションXはその動力性能を極限まで生かすために、エンジン冷却についても高い次元を追求した。冷却性向上の一例としてバンパー左右に配したTwin Clutch SSTオイルクーラーとエンジンオイルクーラーへの導風構造の特徴について説明する。図12は車両を前面から見た絵であるが、クーラーを効率良く冷やす



図12 冷却開口  
Openings for cooling

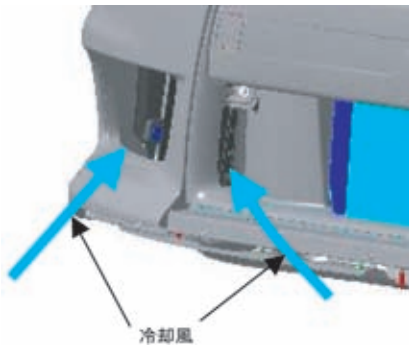


図13 オイルクーラー開口と中央開口ダクト  
Oil cooler opening and air duct at center opening

ために中央開口からダクトを介してオイルクーラーへ導風する工夫を織り込んだ(図13)。

図14は冷却風の流をCFDによって解析した結果であるが、中央開口からダクトを通じてオイルクーラーへ風が流れ込んでいる様子分かる。実際に風速を計測した結果を図15に示すが、風量は約50%増加した。

## 6. あとがき

ランサーエボリューションXはその迫力あるデザインと空力特性を融合させたボデーに、新開発のリヤスポイラーやフロアエアガイドを採用することで、空気抵抗のみならず操縦安定性に極めて重要な揚力についても歴代エボリューションを大きく凌駕できる性能に仕上げることができた。この優れた空力バランスを武器に今後のラリーなどのモータースポーツシーンで先代までの名に恥じない活躍を期待したい。

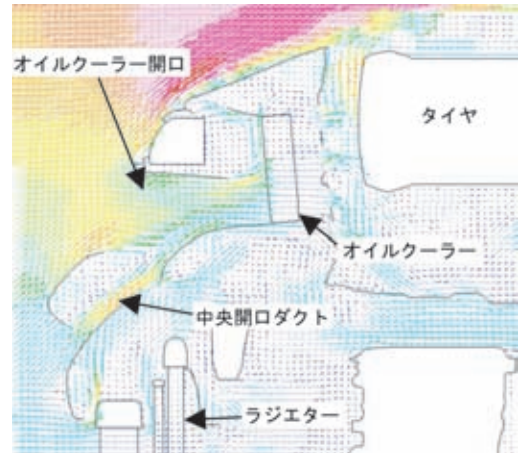


図14 ダクト部風速分布(水平断面図)  
Velocity vector in air duct (horizontal section)

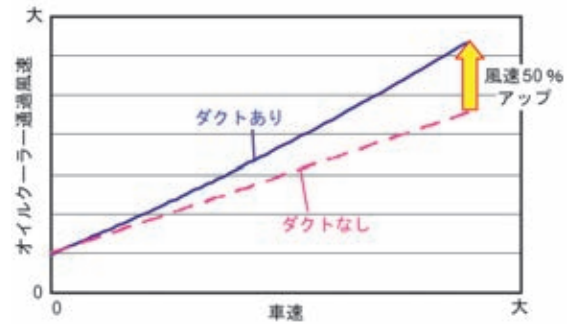


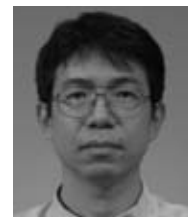
図15 オイルクーラー通過風速比較  
Comparison of wind velocities through oil cooler



片岡 俊



橋本紀公



吉田昌弘



木村登美夫



濱本直樹

# ランサーエボリューションXの電装系設計

Electrical-System Design for LANCER EVOLUTION X

塩谷 守人\* 妹尾 陽一\* 伊藤 司\*  
Morihiro Shiotani Youichi Senoo Tsukasa Ito

## 概要

新型ランサーエボリューション では、前輪分担荷重低減による走行性能の向上を目的に三菱自動車  
で初めてトランクルームにバッテリーを搭載した。

バッテリーは電源系の中心となる部品のため電装品への影響が大きく、ギャラン フォルティスとの共  
用性を確保しながら、開発したので、その概要について紹介する。

## Abstract

With the LANCER EVOLUTION X, Mitsubishi Motors Corporation (MMC) adopted its first ever trunk-mounted battery with a view to delivering superior performance through a reduction in the proportion of vehicle weight borne by the front wheels. Since the battery is the central part of the power-supply circuitry, changing its location had a significant effect on the electrical systems. Nevertheless, MMC was able to mount the battery in the trunk while ensuring component commonality with the GALANT FORTIS (the vehicle on which the LANCER EVOLUTION X is based). An overview is given in this paper.

*Key words: Electric Equipment, Battery, Wiring Harness (W/H), New Model*

## 1. ま え が き

ランサーエボリューションにおいて、さらなる運動性  
能向上のため、フロント荷重の低減が要望されており、  
その手法としてエンジンのアルミブロック化による軽量  
化とともにバッテリーをトランクルームに配置すること  
で、前輪分担荷重を減らし、前後重量配分の改良（従来  
車比2～3%改善）が実現できた。ここに、バッテリー  
のトランクルーム配置及びそれに伴うワイヤリングハー  
ネスの概要を紹介する。

## 2. バッテリーのトランクルーム配置

### 2.1 バッテリーから発生する可燃ガス<sup>(1)</sup>

トランクルームにバッテリーを搭載する場合、最初に  
考慮すべきことは、バッテリーから発生する可燃ガスで  
ある。

鉛バッテリーでは充電すると水の電気分解が起こり、  
正極から酸素ガスが、負極からは水素ガスが発生し、電  
解液が減少する。エンジンルームにバッテリーがある場  
合は、バッテリーから発生したガスはフードの隙間など  
から外部へ拡散されるため問題ないが、トランクルーム  
に搭載すると水素ガスが溜まり、最悪爆発の恐れがある。

この対策として、VRLA ( Valve Regulated Lead Acid )  
密閉型バッテリーを採用するとともに、バッテリーのド  
レインホースを設定した。図1にVRLAバッテリーの概  
要を示す。VRLAバッテリーは、外部との排気部に制御  
弁を設けて密閉構造にしてある。また正極の酸素ガスの  
発生が負極の水素ガスの発生より早い段階で起こること  
を利用し、酸素ガスを負極上に導き酸素を水に戻すこと  
で水素ガスの発生と電解液の減少を抑えている。この現  
象は負極酸素吸収反応と呼ばれ、通常100%の効率で発  
生するため、バッテリーから外部へガスを放出すること  
がない。しかし、オルタネーターの故障などで過充電・  
高電圧状態になると、酸素ガスを負極で吸収しきれず、  
負極で水素ガスも発生し、電解液も減少する。また発生  
したガスは制御弁を開きバッテリー外部に放出されるた  
め、ドレインホースを設定しトランクルームフロアから  
車室外へ排出する構造としている。

なお、通常の鉛バッテリーにボックスを作って密閉す  
る構造も検討したが、床上配線する場合はバッテリーハ  
ーネスがあるために、密閉構造が難しいことと、床下配  
線の場合は密閉構造が可能だが、ボックス内に水素ガス  
が溜まり爆発の危険を回避できないため、最終的に密閉  
式バッテリーを採用した。

\* 開発本部 電子技術部

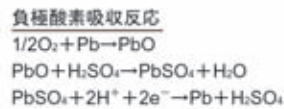
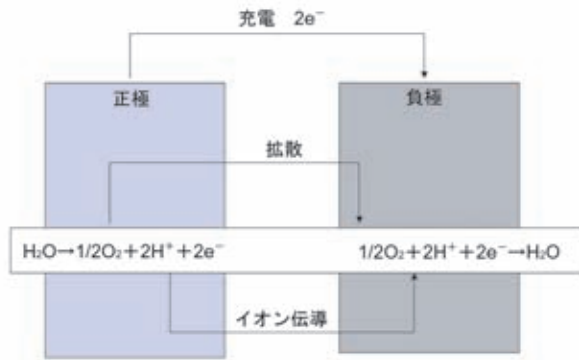
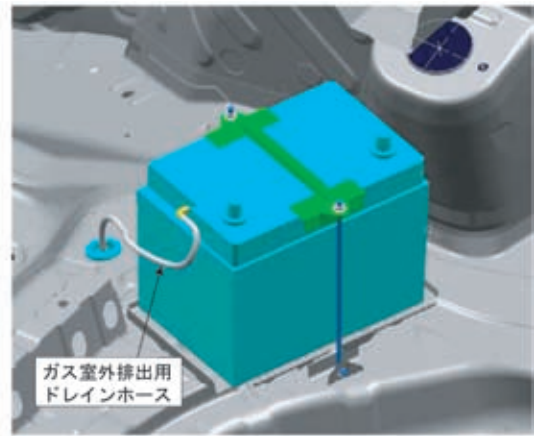
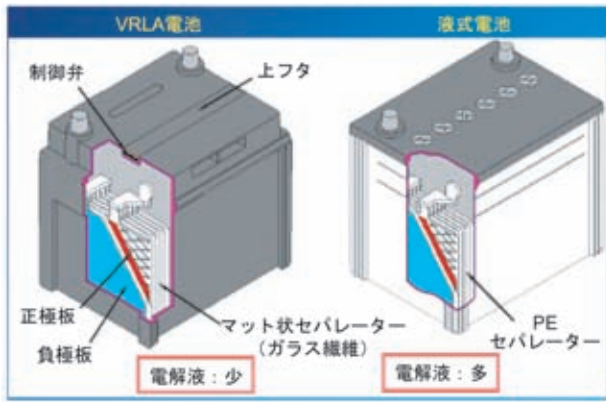


図1 VRLA バッテリー  
VRLA battery

## 2.2 実用性・整備性

実用性の観点では、急ブレーキ時などにトランク内の荷物移動による衝撃でバッテリーを損傷させない構造が必要である。このため樹脂トリムを設定した。また液面点検・補水不要のメンテナンスフリーバッテリーを採用してあるため、トリムの点検口は不要であるが、バッテリーの交換性や電気系の整備時にバッテリー端子を外すこと、及び製作所では最後にバッテリーマイナス端子とケーブルを接続する必要があることなどから、蓋付きトリムとした。

またバッテリー上がり時のブースターケーブル接続端子をエンジンルーム内のジョイントターミナル部に設置し、作業性を向上させている。

## 3. トランク置きバッテリーの電装品への影響

### 3.1 従来車よりの変更内容

バッテリーのトランクルーム内配置により、スターター～バッテリー間のプラスケーブルをスターターハーネスとバッテリーハーネスに分割し、接続用端子（ジョイントターミナル）をエンジンルームに設置した。リレーボックス、ジャンクションブロックはアウトランダー、ギャランフォルティスと部品を共用し、同じ電源回路としてある。

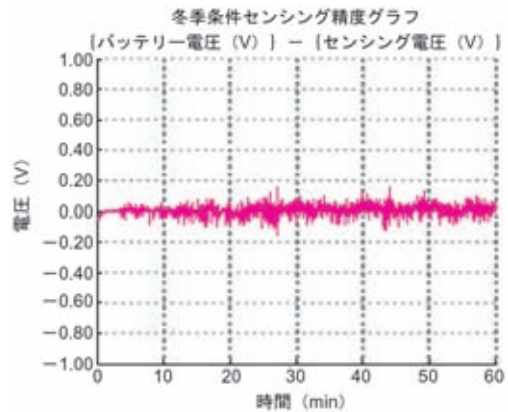


図2 充放電確認試験結果  
Results of charging and discharging verification test

### 3.2 エンジン始動性・充放電バランス

始動性については、ケーブルの延長により配線抵抗が増加し、不利な条件となるが、低粘度エンジンオイルの採用により、ランサーエボリューション と同等レベルを確保できた。

充放電バランスについては、バッテリー～オルタネーター間の配線抵抗増大によるセンシング不良の懸念があり、冬期及び夏期条件での充放電バランス試験を実施し、センシング電圧とバッテリー電圧の差が平均0.1V、最大

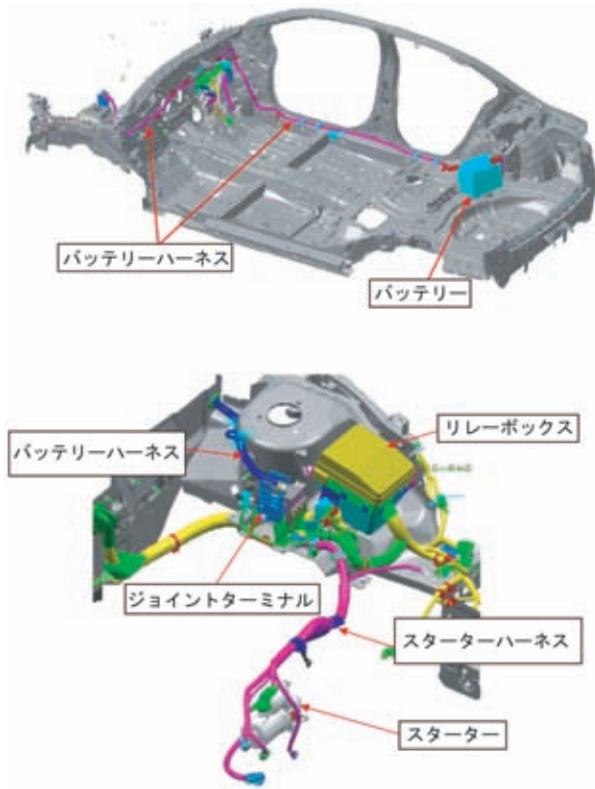


図3 ハーネスレイアウト  
Layout of wiring harness

表1 バッテリーハーネスレイアウト比較  
Battery harness layout comparison

	室内配線	床下配線
製作所の作業性		×
バッテリーハーネス分割数	2	3
飛び石・熱害		
共用部品への影響(コスト)		
ラジオノイズ増大		
部品輸送		×
ダート競技適応(対接地優位性)		

：問題なし   ：懸念あり   ×：問題あり

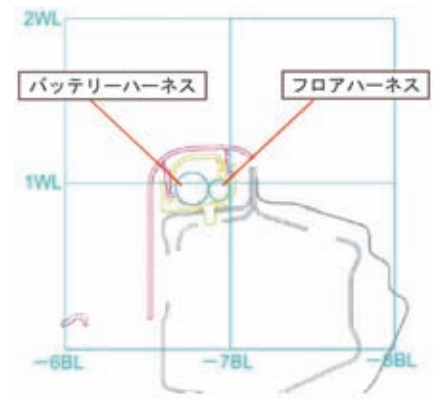


図4 サイドシル断面  
Cross-sectional view of side sill

0.5 Vであることから、正しくセンシングでき、過充電や過放電が生じないことを確認した(図2)。

### 3.3 バッテリーハーネス

#### 3.3.1 バッテリーハーネスレイアウト

バッテリーハーネスは室内配線とし、エンジンルーム左側でトランスミッションマウント上のジョイントターミナルでスターターハーネスと結合する構造とした(図3)。

表1にバッテリーハーネスの室内配線と床下配線との比較を示す。当初バッテリーハーネスは床下配線で検討し、以下の課題のため、室内配線とした。

- (1) 床下配線ではバッテリーハーネスの固定作業が製作所の工程内に収まらない。
- (2) ケーブルの分割数が2箇所になり、接続部に泥・水が掛かる場所になるために、経年変化で抵抗増加の恐れがある。
- (3) 飛び石や熱害の懸念があり、万一の場合電線を引っ掛け脱落の可能性がある。
- (4) 床下の場合バッテリーハーネスがダッシュパネルを横切るレイアウトになるために、ベース車からエンジンルーム内の部品レイアウトの変更が大きい(=高コスト)。
- (5) 大型の樹脂プロテクターが必要になるため、通い

箱に収まらず、輸送上の問題がある。

室内配線とするに当たり、トリム・カーペットなどの内装部品の見える部分に影響がない設計とする必要がある。装備仕様を限定することで、フロアハーネスを細くし、トリム及びハーネスクリップの断面形状を見直すことでバッテリーハーネスをサイドシル上に配線することで、室内配線を可能とした(図4)。

#### 3.3.2 ラジオノイズ

バッテリーがエンジンルームにある場合は、オルタネーターからのニップルノイズをバッテリーがコンデンサーとして吸収するが、トランク置きバッテリーではこの効果がないことに加え、バッテリーハーネスからの輻射ノイズによるラジオノイズの影響が懸念された。しかしながら室内配線の影響は少なく、実車試験では、問題は生じなかった。これはハーネスとアンテナフィーダーケーブルとの距離が十分確保できたためと考える。

#### 3.3.3 安全性への配慮

バッテリーハーネスとスターターハーネスとは、活線かつヒューズがない回路のため、衝突時を含めショート対策が必要である。このため、衝突時のボデー変形が少ない部分に配線するとともに、全区間コルゲートまたは樹脂プロテクター付きとした。また、両者を接続するジョイントターミナルは、衝突時の変形が小さいトランス

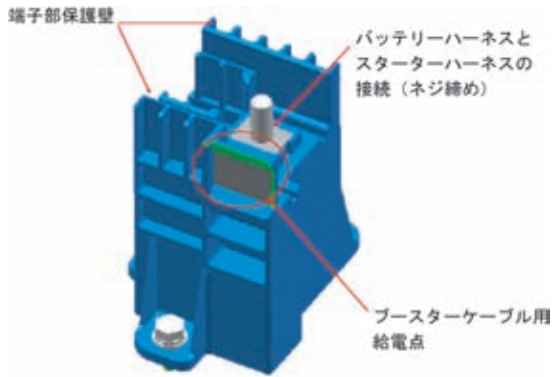


図5 ジョイントターミナル  
Joint terminal

ミッションマウント上に配置し、衝突時に接続部が短絡しないよう樹脂の保護壁を設けた（図5）。

## 4. あとがき

ランサーエボリューション では、旧型より走行性能が大幅に向上しており、トランクルーム置きバッテリーは、それを実現した要素の一つになっている。開発時はエンジン始動性や製作所での製造要件など、多くの問題もあったが、すべて解決し開発することができた。開発に当たりご協力を頂いた松下電池産業(株)並びに関係各位に深く御礼申し上げます。

### 参考文献

- (1) 日本電池編：最新実用二次電池（第6章 鉛蓄電池のしくみと特性），1995



塩谷守人



妹尾陽一



伊藤 司



# ランサーエボリューションXのデザインコンセプト

Design Concept for LANCER EVOLUTION X

松延浩昭\* 吉峰典彦\*\*  
Hiroaki Matsunobu Norihiko Yoshimine  
浜田圭\*\* 安井智草\*\*  
Kei Hamada Chigusa Yasui



## 概要

ランサーエボリューション（テン）は、スポーティと快適性を両立させた世界戦略車「ギャランフォルティス」をベースとし、三菱独自の先端技術を搭載した新世代ハイパフォーマンスセダンの確立を目指した。三菱のフラッグシップカーとして培われてきたスポーティな装いを受け継ぎながら、さらに上質な方向へシフトさせ、「高い次元の走り」を表現するために、スタイリングと機能を高次元で融合させた。

## Abstract

With the LANCER EVOLUTION X, Mitsubishi Motors Corporation (MMC) used the GALANT FORTIS global strategic model, which combines sportiness with comfort, as the basis of a next-generation high-performance sedan that incorporates MMC's proprietary cutting-edge technologies. Since the LANCER EVOLUTION X is Mitsubishi's flagship car, MMC carried forward the long-popular sporty look of the LANCER EVOLUTION series but shifted the styling toward greater refinement and combined it with outstanding functionality as a way to express a higher dimension of performance.

*Key words: Development, Concept, Styling, Aerodynamics*

## 1. はじめに

今回のプロジェクトにおいてもっとも注目すべき点

\* デザイン本部 デザイン部

\*\* デザイン本部 デザイン推進部

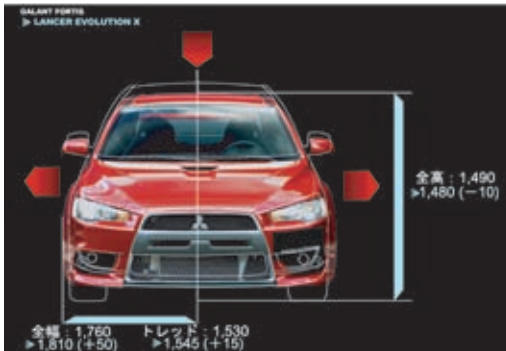
は、初期段階よりデザイナーとエンジニアが常に同軸上の進化を共有し、協力し合いながら開発を進めていったことにある。「意のままの高い次元の走り」を実現するための各機能要件を確実に理解した上で問題点をエンジニアに投げかけるというキャッチボールを繰り返し、デザインと機能を高い次元で融合させることに成功した。



エクステリアイメージスケッチ (最終)  
Exterior image sketches (final)



図2 風洞試験場でのモデリング風景  
Modeling in wind tunnel



正面視 (Front)



側面視 (Side)



平面視 (Plan)

図1 ギャラン フォルティスとのディメンション比較  
Dimensional comparison with GALANT FORTIS

## 2. デザインコンセプト

「エボリューション」としては第四世代に当たる今回のプロジェクトに当たり、デザインでは三つのテーマを立てた。一つ目は機能を損なうことなく形成すること。エクステリアでは、当社がモータースポーツに参画することで培われた走りのディメンジョンを完全に理解した上で造形することによって、従来のセダンにはないソリッドでタイトなフォルムを目指した(図1)。

二つ目は進化し続けなければならないということ。今回は初期段階より風洞実験を繰り返し、基本造形の中にエアロダイナミクス概念を注入。各空力デバイスを適正化した上で造形することにより一体感のある上質な機能美を実現している。また、インテリアは極限状態の走行に対応しながら、快適な通常ドライビングにも適応するという難題を掲げ、テストドライバーとともに開発した。

三つ目は人を魅了するデザインであるということ。機能美を昇華させることに加え、さらに無駄をそぎ落とし、面品質や素材、カラーリングにおいてこだわりを感じさせることに傾倒した。

## 3. エクステリアデザイン

### 3.1 エアロダイナミクスフォルムの構築

「エボリューション」としての機能美を表現するために、走りのディメンジョンと空力要件は必須事項であった。基本形状に後付けしたようなデザイン処理を極力避けるために、初期段階より空力処理を検討した。これらは同時開発していたギャラン フォルティスにも反映され、それをベースとしている「エボリューション」のさらなる性能向上に役立っている。1/1 初期スタディの段階で通常のスタイリングワークをスタートさせず、風洞にて長期に渡る空力形状スタディを行った(図2)。また、冷却性能に関わるすべてのデザイン形状のために、途中段階のモデルのスキャンデータにてFRP製フード及びバンパーを作成。試作車に装着し冷却テストを行うことによって、最適な冷却要件によるスタイリングを



図3 FRP製試験用バンパー&フード  
Rear diffuser and cooling outlet resulting from wind-tunnel testing



図6 モデル作成風景  
Creation of refined surface by skilled craftsmen

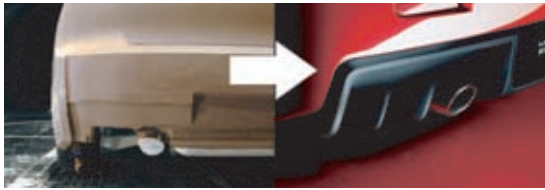


図4 風洞にて生まれたディフューザー形状  
FRP bumper and hood for tests



図5 リファインスケッチ  
Sketches for refinement of model

実現した(図3)。

これら実験によって生み出された機能美は数知れず、ラジエーター及びインタークーラーを効率良く冷却する大型台形グリルから始まり、ボンネット上のNACAダクトやホイールアーチ前キック形状、エンジンルーム内の熱気を逃がしかつ抵抗低減にも役立つフェンダーアウトレット、サイドの気流を剥離することなく後方に運ぶプリスターフェンダーと続く。床下の気流を効率良く吐き出すリヤディフューザー形状は空力エンジニアからの提案による位置及び角度によって成り立っており、まさに実験によって生み出された形状である(図4)。また「エボリューション」の象徴でもある大型リヤスポイラーには翼断面を使用し、中心部と外側で仰角を変化させた。ツイステッド形状を採用、アルミニウム材を使用することにより強度を保ち繊細かつ軽快な3D形状を実現した。

### 3.2 機能とともに作り込んだ本物の造形美

空力性能をスタイリングに導入した後もスケッチワー



図7 コミュニケーションモデル  
Communication model

クを繰り返しながら(図5)、面の玉成や機能部位・パーツのインテグレート化を図った。プリスターフェンダー部の筋肉質かつソリッドな表現と軽量化を目的としたアルミ部材による成型性の限界と、歩行者保護性能の要件を両立させるべく、板金技術者とともに工夫を重ねながらクレイモデルに反映させ、幾度となく面をチューニングした(図6)。またより美しいフォルムを実現させるためにボデー設計者と調整を行い、細部までこだわりぬいた造形を、機能を損なうことなく表現した。これらもまた設計や実験担当者などの開発者との初期段階からのディスカッションにより生まれ、モデラーやデータ作成者による磨き上げられたボデーと一体化することにより「こだわりの造形美」の創出に成功した。

### 3.3 社内外の反響を反映させたスタイリング

ギャラン フォルティスから採用されたデザインアイデンティティ「逆スラントノーズ+台形グリル」とそれらに追従するスポーティな外観の玉成は、発売の3年前から始まった。2004年にデザインの方向性を確認するために、コミュニケーションモデルを作成(図7)。社内関係者に高評価を得ることにより、これをベースにスタイリングに関わる技術的なスペックを詰めていった。そして国内外市場の反響を量るため、コンセプトカーを作成(図8)。また、2007年デトロイトショウでは、最終形に近いコンセプトカーを出展した(図9)。これらにより、内外の意見を取り入れながらファインチューニング



図8 コンセプトX  
Concept X



図9 プロトタイプX  
Prototype X



図10 インパネ基本形状  
Instrument panel shape



インテリアスケッチ(最終)  
Interior sketch (final)

を施し、フロントアイデンティティの確立と世界に通用するスポーティセダンとしてのスタイリングへと発展させた。

## 4. インテリアデザイン

### 4.1 ドライビングへの集中力を高めるインテリアデザイン

「Concentration (集中)」 - 「ランサーエボリューション」のインテリアでは「ドライバーへの負担を軽減し、走りへの集中力を高める機能的なコックピットの創出」を目指しデザイン開発が進められた。

従来、スポーツカーと言えば、タイトな室内空間といったイメージであったが、「ランサーエボリューション」のインテリアはできるだけ快適な居住空間を提供し、ドライビングに集中しやすい状態を作り上げることをねらいとした。インパネの基本形状はアーチ状のフォルムを採用し、使用頻度の高いセンター操作パネルは、よりドライバーに近い位置に、また外側に向けて乗員から遠ざけることで、手の届きやすい操作パネルと広い足元空間の両立を実現した(図10)。この明快なアーチ状フォルムや細部の造り込みはベース車である「ギャランフォルティス」から受け継がれたものであるが、今回「ギャランフォルティス」と「エボリューション」の開発は、同時期に行われたことから、お互いに影響し合い、良い形に昇華させ「極限のスポーツ走行から日常の使用までを考慮したプレミアムスポーツセダンとしてのありべき姿」の実現をねらった。

### 4.2 確実な操作とプレミアムスポーツとしての質感を追求したエボリューション専用インテリア部品

#### 4.2.1 ステアリングホイール

ベース車である「ギャランフォルティス」から直径を10mm小径化したステアリングホイールではスポーク部にS-AWCモード切替えスイッチ(オーディオ調整スイッチとの選択可)を配置し、走行中でもステアリングから手を離すことなく確実な操作を可能とした。グリップ部には触感の良いスムースレザーや本革縫い合わせ部に平行ステッチを採用し、俊敏なステアリング操作時に手の中を抵抗なくすり抜けるように配慮すると同時にスポーティさも表現した(図11)。

#### 4.2.2 シフトインジケーターパネル(ツインクラッチSST)

「エボリューション」で新規開発された高性能トランスミッション「ツインクラッチSST(Sport Shift Transmission)」のシフトパネルではM/Tと同形状のシフトノブやレザー調ブーツを採用することで、「意のままの操作」を表現するデザインとした(図12)。また、シフトインジケーターパネルにはシルバーやメッキ調の光輝処理を施し、プレミアムスポーツとしての高い質感を表現。ブーツ後部にはトグルタイプのツインクラッチSSTのモード切替えスイッチを配置し、走行中での確実な操作を可能とした。

#### 4.2.3 メーター

「エボリューション」専用のメーターパネルには視認性の高いハイコントラストメーターを採用。メーターグ



図 11 ステアリングホイール (エボリューション専用)  
Steering wheel (for LANCER EVOLUTION)



スケッチ (ステアリングホイール)  
Sketch (steering wheel)



図 12 シフトパネル (ツインクラッチ SST)  
Shift panel (Twin clutch SST)



スケッチ (シフトパネル)  
Sketch (shift panel)

ラフィックも専用とし、数字の書体はスポーツ走行時の瞬間的な読み取り性に優れたものを使用。また指針0位置を真下とし高回転域(6,000~7,000回転)を真上とすることで、その間の目盛り間隔を広く取り微少な回転数の変化が見取れることに配慮している。また緻密な目盛りや、中央部にドットグラフィックを用いることでこの車の精巧さを表現した(図13)。

#### 4.2.4 レカロシート

前席には従来から定評のあるRECARO(レカロ)社製フルバケットシートを採用。今回の開発では従来のス



図 13 ハイコントラストメーター (エボリューション専用)  
High-contrast meters (for LANCER EVOLUTION)



図 14 レカロシート (GSR)  
RECARO seat (GSR)



スケッチ (フロントシート)  
Sketch (front seat)

ポーツ走行を前提としたサポート性重視のものから、より多くのお客様にこの高性能スポーツセダンを快適に楽しんで頂くことをねらいとし、日常の使い勝手にも目を向けたものへと進化している。サポート性を低下させずに窮屈感の改善、乗降性・シフト操作性向上の両立を目指し、満足のいくフィーリングを得るまで幾度となく試験を重ね、両立を計った(図14)。

## 5. カラー&マテリアル

### 5.1 新世代に与えられたファントムブラック

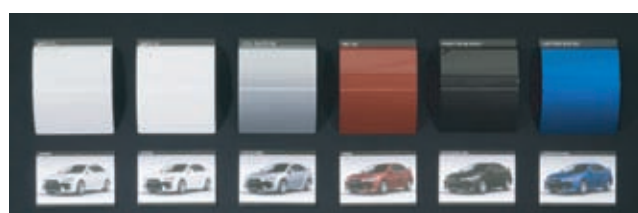
「ランサーエボリューション」では、細部にまでこだわった機能美をさらに魅力的に見せるために、造形の持つ美しさや強さを表現できるボデーカラーを模索した。



図 15 イメージ  
(ファントムブラックパール)  
Image (Phantom Black Pearl)



図 16 イメージ  
(レッドメタリック)  
Image (Red Metallic)



ボデーカラーバリエーション  
Body colors

新色として、レッドメタリックと専用色のファントムブラックパールを開発した。

ファントムブラックパールは、ホイールなどの製造工法のひとつ、鍛造工程で見られる鋼の色変化をヒントに生まれた。一見するとブラックに見えるが、光が射すとオレンジの光を放つボデーは、熱を内包した鍛えられた鋼を彷彿させ、この車の内に秘めたパフォーマンスの高さをストレートに表現するボデーカラーとした(図15)。

また、レッドメタリックは、情熱的な走りのイメージに直結する、鮮やかでアイキャッチ効果の高いレッドを目指した。歴代で展開してきたソリッドレッドから深く鮮やかなレッドメタリックとすることで、三菱自動車が長年ラリーフィールドで培ったスポーツDNAを広く浸透できるコミュニケーションカラーへと進化した(図16)。

### 5.2 テストドライバーと幾度と協議したシート素材

シート素材では、ドライビングポジションをサポートするという機能に重点をおいて開発を進めた。開発段階においては、テストドライバーが極限状態での走行テストにおいてフィーリングを確認し、それを素材へフィードバックすることを繰り返すことで、2種類のシート素材を完成させた。

一つはモータースポーツ志向のニーズを満足させる、シート全面でグリップの高さを実現させたスウェード調ニット(図17)。

また、上質で快適な走りを求める高性能車志向へは、



図 17 スウェード調ニット  
Knit (suede)



図 18 本革 & グランリュクス  
Leather and Glanlux

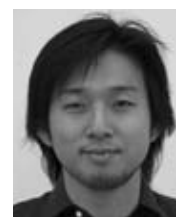
身体をしっかりとホールドさせるだけではなく、作り込みの良さを感じさせる本革とグランリュクス(超極細繊維のスウェード調人工皮革)のコンビネーションとし、機能性とプレミアム性を融合させた(図18)。

## 6. おわりに

今回のプロジェクトは初期段階より具体的なテストやディスカッションを重ねながら、機能を形に取り入れることに集中した。これらは従来のプロジェクト以上にスタイリングからではなく機能から生み出された形状が多い。しかしそこに甘んじることなく機能とスタイリングのベストのクロスポイント(融合点)を見つけるために多大なる時間を費やした。通常の試作車を待たずして冷却性能を測るために試験車を作成、2期に及ぶコンセプトカーの作成など、数々の熟成を重ね、開発が完了した背景には「エボリューション」が三菱自動車のフラッグシップカーとして「進化し続けなければならない」ということが前提となっている。「機能を損なうことは許されない」としながらも、ともにスタイリングの熟成という難関を乗り越えるために協力頂いた関係者に真に御礼を申し上げたい。



松延浩昭



吉峰典彦



浜田 圭



安井智草

# 次世代電気自動車『i MiEV』の開発（第二報）

Development of i MiEV Next-Generation Electric Vehicle (Second Report)

細川 隆志\* 谷畑 孝二\* 宮本 寛明\*  
Takashi Hosokawa Koji Tanihata Hiroaki Miyamoto

## 概要

軽自動車「i（アイ）」をベースに、走行中に全く排気ガスを出さない究極のエコカーである電気自動車『i MiEV』を開発した。この車両は従来の電気自動車の問題に立ち向かうべく、高性能リチウムイオン電池、小型高性能モーターをはじめ革新的な技術によって電気自動車を再構築した車両である。この『i MiEV』で、実証走行試験を通じて実用性の検証を行っている。

## Abstract

Mitsubishi Motors Corporation (MMC) recently developed the i MiEV-an electric vehicle utilizing the ultimate eco-friendly zero-emission driving based on the “i” minicar. With the i MiEV, MMC addressed the shortcomings of earlier electric vehicles using revolutionary technologies such as high-performance lithium-ion batteries and compact, high-performance motors. MMC is verifying the i MiEV’s real-world practicality by means of on-road running tests.

**Key words:** Electric Vehicle (EV), Environment

## 1. はじめに

近年、地球温暖化の問題が深刻化しており、エネルギー利用に伴って生じる環境負荷の低減はますます重要な課題となっている。当社では、これらの課題の解決に向けて、2006年秋から高性能リチウムイオン電池、小型高性能モーターをはじめとする革新的な技術によって、次世代電気自動車（i MiEV）の先行試験車を製作し、各種試験を実施してきた。また、2007年3月からは東京電力、九州電力と電気自動車の実用化に向けた共同研究も開始し、さらに6月には中国電力も加わり、主に業務使用条件における航続距離、電費などの実用性確認と、各電力会社で開発を推進している急速充電器との適合確認を実施中である。先行試験車が完成しておよそ1年が経過するが、その間に電気自動車の課題であると言われてきた一充電航続距離や電費、充電時間などについて確認してきた。われわれの開発目標に対する達成度が確認できたと同時に、それに付随する新たな課題が明確になってきたので、それらについて報告する。

## 2. これまでの電気自動車の課題

トヨタが「プリウス」の量産を開始して10年、ハイブリッドカーは年々普及率を上げ、他社も次々とハイブ

リッド市場に参入している。それに比べ電気自動車の用途は商用や官公庁などごく一部に限られており、一般ユーザーへの販売に至るにはまだ多くの課題を残している。

当社における電気自動車開発の歴史は古く、最初の電気自動車の登場は1971年まで遡る。1971年は当時の環境庁が発足した年であり、大気汚染や光化学スモッグによる大気汚染が社会問題になっていた。電気自動車は高度成長期の大気汚染対策として期待され、各社で開発された。当社は電力会社からの委託で、ミニカバンEVとミニキャブEVを開発、合計108台を納車した。

以降も、石油危機と大気汚染の対策として、1979年にデリカEV、1983年にミニカエコノEVを開発した。1990年代になるとオゾン層の保護や地球温暖化への対応が求められるようになり、ランサーバンEV、リベロEVを開発し電力会社に納車した。またこの頃は、カリフォルニアのZEV規制に対応すべく、大規模カーメーカーの電気自動車開発が盛んになった時期である。当社は大規模メーカーには該当せず、規制対応のための電気自動車の開発には時間的な余裕があったが、1998年には大容量で飛躍的に航続距離を伸ばすことができるリチウムイオン電池を搭載したFTO-EV、2001年にはエクリプスEVを開発するなど電気自動車の技術を進化させてきた（図1）。

しかし電気がエネルギー源であるがゆえの様々な課題があり、各社から電気自動車が開発されたが、残念ながらこれまで普及に至らなかった。その理由は大きく分け

\* 開発本部 MiEV技術部

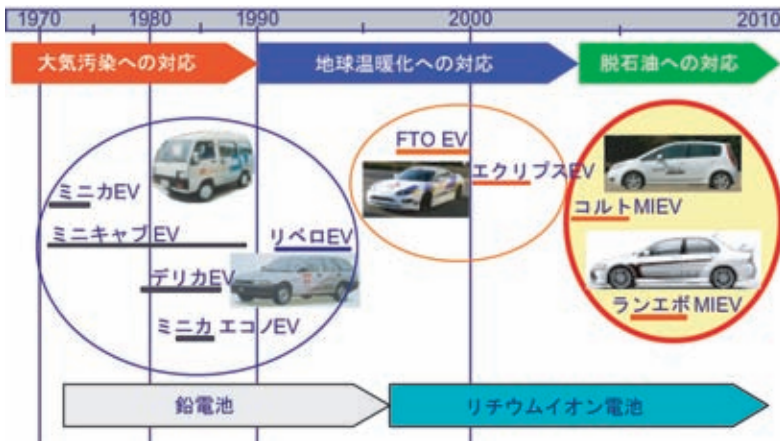


図1 電気自動車開発の歴史  
History of electric vehicle development

表1 総合エネルギー効率  
Overall energy efficiency

車両種類	Well to Wheel		(総合エネルギー効率)
	Well to Tank	Tank to Wheel	
電気自動車	精製・発電・送電 43%*	走行効率 67% (充電効率83%含む)	29%
ディーゼル車	精製・輸送 88%	走行効率 18%	16%
ガソリンハイブリッド車	精製・輸送 82%	走行効率 30%	25%
ガソリン車		走行効率 15%	12%

\*：日本の平均電力構成より算出

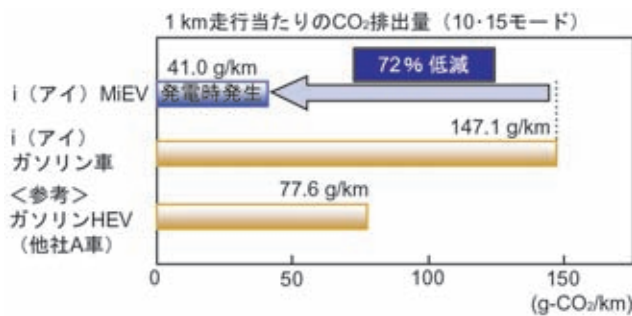


図2 CO<sub>2</sub>排出量  
CO<sub>2</sub> emissions

て三つあると考えられる。一つは、一度の充電で走行できる航続距離が短く、また充電時間が長いことなどの車両性能の問題、二つ目は、電池、モーターが、重く大きく、さらにコストが高いなどのコンポーネント技術の問題、最後に、充電インフラの問題である。

一充電当たりの航続距離は、現在販売されている電気自動車で100 km以下、各社が開発中の新型電気自動車でも160 km程度である。その性能を決定付ける電池は、少量生産なので価格が高く、車両コストも高額である。充電は家庭のコンセントが使えるために、新しくインフラを整備する必要がないというメリットもあるが、1回の

充電で走れる距離が短く、充電に4～8時間かかってしまう。電気自動車が一般に普及するためには急速充電スタンドの整備が不可欠である。電気自動車は走行中に排出ガスを出さないことに加え、騒音が小さく振動が少ないなどの利点があるものの、火力発電所の電力を使った場合はCO<sub>2</sub>を大量に発生するので、環境性能を疑問視する声もある。

### 3. 電気自動車の効果

電気自動車は、走行中に排出ガスを全く出さないことや脱化石燃料といった観点で、高い環境性能を持った車両であると言える。総合エネルギー効率、CO<sub>2</sub>排出量、エネルギー経済性において他種車両と比較すると、電気自動車はすべての項目において最も優れている。総合エネルギー効率<sup>(1)</sup>(表1)は、Well to Wheel(燃料の生産、供給から自動車使用に至るまでの全過程)での効率である。Well to WheelをWell to Tank(燃料の生産、供給から車両搭載まで)とTank to Wheel(車両搭載から走行まで)で分けて比較すると、Well to Tankでは一般にガソリンの精製効率は82%、ディーゼルは88%とされている。電力の場合、発電のもととなる燃料の構成によって効率が変わるが、日本の平均的電力構成を想定すると、43%の効率とされている。Tank to Wheelとして10・15モード走行時の車両効率で比較すると、ガソリン車で15%程度であり、ガソリンハイブリッド車になると30%と言われる。ディーゼル車はガソリン車よりも効率は良いが、それでも18%程度である。それらに比べ電気自動車の車両効率は、充電時の損失を考慮しても、67%と高い。Well to Wheelの総合エネルギー効率で比較すると、ガソリンハイブリッド車で25%、ディーゼル車で16%、電気自動車は29%と最も効率が良い結果となる。現在はさらに車両効率を向上させ、総合エネルギー効率で32%を目指す。同様に、Well to WheelでのCO<sub>2</sub>総排出量<sup>(1)</sup>(図2)を比較する。電気自動車はベースのガソリン車と比べ72%低減、市販されているハイブリッド車と比べても47%低減可能である。しかも電気自動車が排出するCO<sub>2</sub>は発電時のみであり、走行中はCO<sub>2</sub>を全く排出しない。エネルギー経済性、いわゆる燃料代においても電気自動車はガソリンやディーゼルなど



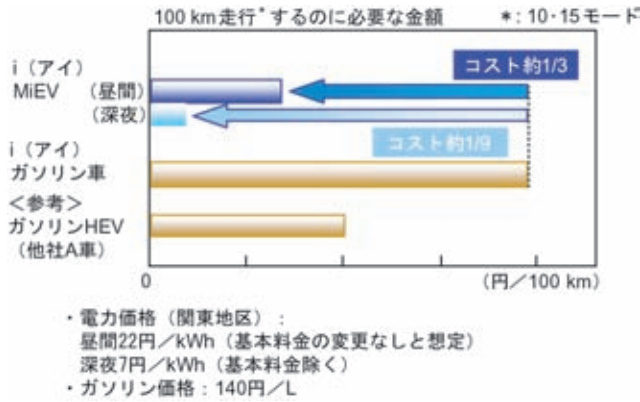


図3 エネルギー経済性  
Energy economy



図4 i MiEV  
i MiEV

の内燃機関自動車よりも優れる。100 km 走行するのにかかる燃料を比較した場合、電気自動車では約270円であり、ベースのガソリン車と比べ約1/3の燃料代である。また深夜電力の利用を想定すると84円しかかからず、ガソリン車のわずか1/9である（図3）。

今回開発した『i MiEV』は、リチウムイオン電池、小型高性能モーターをはじめ革新的な技術によって、電気自動車を再構築した車両である。この『i MiEV』で、電力会社との共同研究や実証走行試験（フリートモニター）を実施し、電気自動車の実用性の検証を行っている。

#### 4. 新たに開発した電気自動車『i MiEV』の特徴

##### 4.1 『i MiEV』の特徴

『i MiEV』（図4）は、ベース車の「i（アイ）」の特長を生かすことで、電気自動車化による変更を最小限に抑えることができた。電気自動車としても日常生活において十分な航続距離を確保し、さらにスポーティに運転できる動力性能を想定して設計されている。表2に主要諸元を示す。

表2 主要諸元  
Major specifications

全長×全幅×全高	(mm)	3,395 × 1,475 × 1,600
車両重量	(kg)	1,080
乗車定員	(人)	4
最高速度	(km/h)	130
一充電走行距離（10・15モード）	(km)	160*
モーター	種類	永久磁石式同期型
	最高出力 (kW)	47
	最大トルク (N・m)	180
駆動方式		後輪駆動
電池	種類・形式	リチウムイオン
	総電圧 (V)	330
	総電力量 (kWh)	16

\*：2007年度フリートモニター目標値

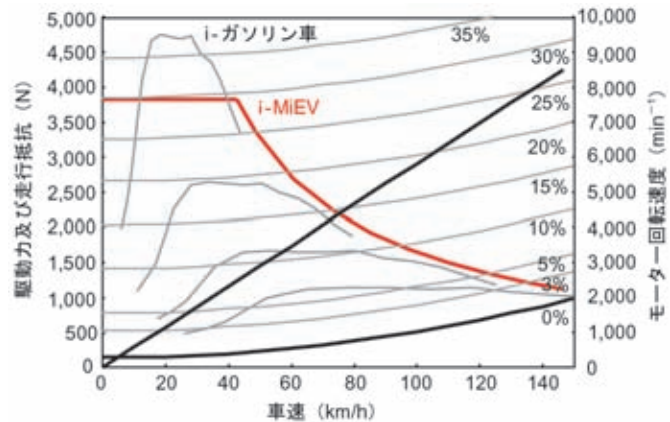


図5 走行性能曲線  
Running performance curves

##### 4.2 ベース車以上の動力性能

『i MiEV』ではエンジンの代わりに、小型高性能な永久磁石式同期モーターを搭載する。モーターのトルク特性は、0 min<sup>-1</sup>から最大トルクを発生可能であり、内燃機関のように変速機を持たなくてもすべての走行領域をカバーすることができる。最高出力47 kW、最大トルク180 N・mのモーターと、固定減速機の組み合わせで、ベース車の駆動力をすべてカバーしている（図5）。

##### 4.3 一充電航続距離の拡大

『i MiEV』では、走行用電池にリチウムイオン電池を採用した。リチウムイオン電池は、従来の鉛電池と比べ、重量エネルギー密度は約4倍で、小型高性能な電池である。また放電状態によらず内部抵抗が小さく出力特性に優れるため、放電末期まで動力性能が損なわれずに走り続けることができる（図6）。現行の車両に搭載している電池では、10・15モードで130 km 走行可能である。2008年度のフリートテスト実施までには、さらに走行効率及び、電池性能を向上させ、一充電航続距離160 kmを

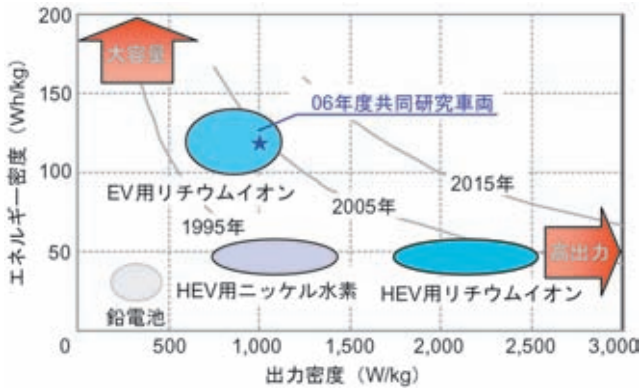


図6 リチウムイオン電池  
Lithium-ion batteries

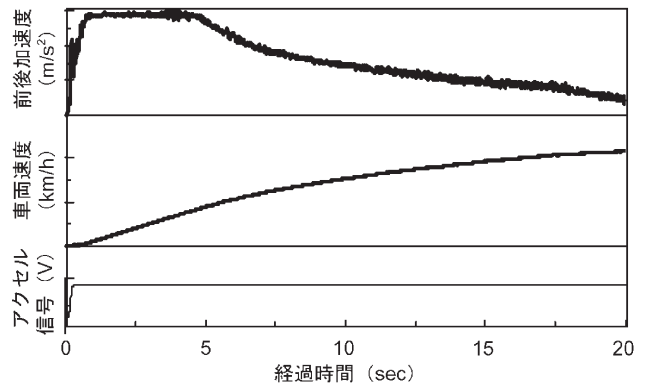


図7 動力性能（加速度・速度）  
Dynamic performance (acceleration and speed)

表3 急速充電と家庭用充電  
Rapid charging and household charging

種類	電源	充電時間
急速充電 (80%充電)	三相 200V 50kW	30分以内
家庭用充電 (フル充電)	200V (15A)	約7時間
	100V (15A)	約14時間

目指している。

#### 4.4 急速充電と家庭用100V/200V充電

走行用電池への充電は、急速充電と家庭用100V/200V充電に対応し、利便性の向上をねらう（表3）。急速充電器は設置型で、30分程度の充電でSOC（State Of Charge：充電率）80%まで充電可能である。出先などで、短時間に充電したい場合を想定している。家庭用100V/200V充電器は車載しており、フル充電に100V 15A想定で14時間、200V 15A想定で7時間の充電時間を要する。こちらは帰宅後、翌朝までの駐車中に、安価な深夜電力を利用して充電することを想定している。

### 5. 『i MiEV』の実証試験結果

#### 5.1 動力性能

『i MiEV』では変速機を持たずモーターから駆動輪までを直結している。またモーターはトルク応答性が高いため発進加速時はアクセルを踏み込み直後から加速度が途切れることなく最高速度まで加速可能である。

さらにモーターの出力は内燃機関と異なり広い範囲で最高出力を出すことが可能であり、通常のカソリン車に見られる吸気遅れや変速によるトルク遮断がないためアクセルを全開にすると、早期に最高出力に到達し加速度が即座に変化してスムーズに力強く加速する（図7）。

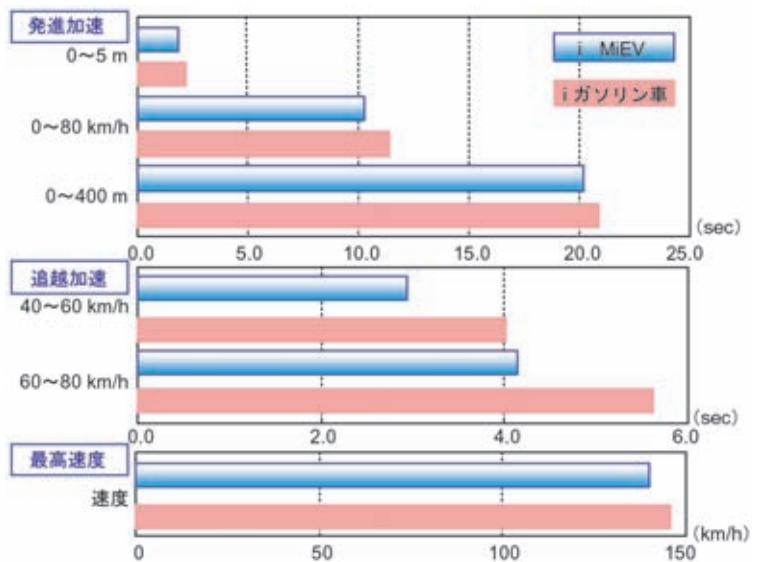


図8 試験結果（動力性能）  
Test results (dynamic performance)

この影響は高速になるほど顕著に現れ40～60km/h追越し加速および、60～80km/h追越し加速において約30%ベース車に比べて向上している（図8）。

これらの特性により重量増加を補い、通常のカソリン車と同等以上の性能と異なる加速感で“走る喜び”をドライバーに提供している。

#### 5.2 ドライバビリティ

電気自動車では変速機構が必要ないため、モーターからタイヤまでのドライブトレインが直結となっている。このためモーターの出力特性と相まって素早い応答性が得られる反面、トルク変動を吸収することができないために車体へのトルク伝達が不連続となった場合に車体と共振して大きなショックと振動が発生してしまう場合がある。『i MiEV』でもモーターが回生から駆動に移る段階でトルクの向きが反対になるためモーターマウント、

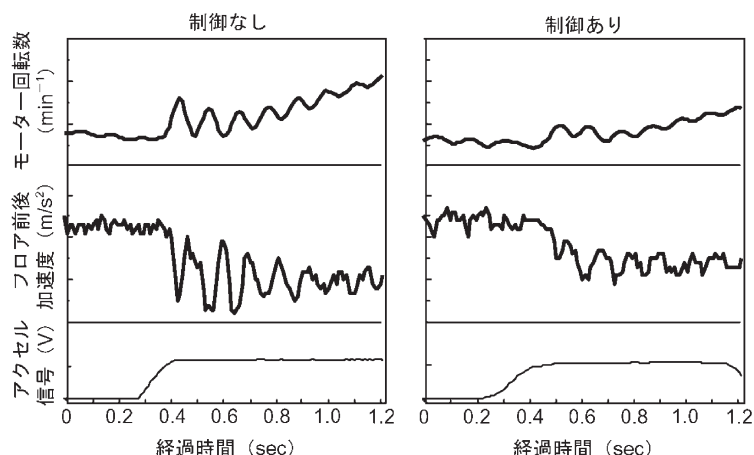


図9 ドラビリティ向上  
Driveability improvement

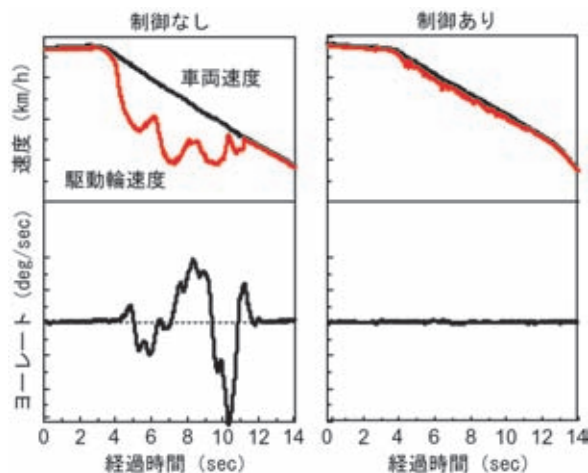


図10 車両安定性  
Vehicle stability

ドライブシャフトに吸収されていたねじれが開放、さらに逆方向へ吸収されるためトルク伝達が瞬断状態となる。このポイントを起震源としてショックが発生し車体との共振により振動が発生してしまう。そこで『i MiEV』では回生から駆動に切り替わる際のトルクを制御してショックを緩和させ、さらに位相制御で振動の早期収束を図っている。これらによりモーター特有の素早い応答性をスポイルすることなくスムーズな加速感を得ている（図9）。

### 5.3 車両安定性

『i MiEV』は後輪駆動であるため、加速時に駆動輪が空転した場合には車体姿勢が不安定になることがある。このためモーター特有の速い応答性を生かして駆動輪のスリップ率制御を行うことで安定性と発進性能を確保している。また電気自動車ではガソリン車と異なり減速時のエネルギーを回生することができるが、大きな回生効

果を得ようとする低μ路では回生ブレーキにより車体が不安定になる可能性がある。このため減速回生時のスリップ率も制御し、加速域から減速域まで高い安定性を確保している（図10）。

### 5.4 電費、一充電航続距離

10・15モード走行による電費に加え、規定の一般路を走行した場合の電費と走行環境が電費に与える変化を調査した。走行コースは市街地と山間路の2コースを設定して電費の評価を行った。市街地での走行試験においては、渋滞や信号による発進・停止などの交通状況により、10・15モードと比較して平均14%程度の電費悪化となったが、少なくとも80 km以上走行が可能であることを確認した。同様に山間路の走行では、市街地走行と比較して登坂やカーブによる加減速走行の条件が厳しくなるが、信号による発進・停車の頻度が減少することから全体では高トルク領域の使用頻度が減少し、結果的に市街地よ

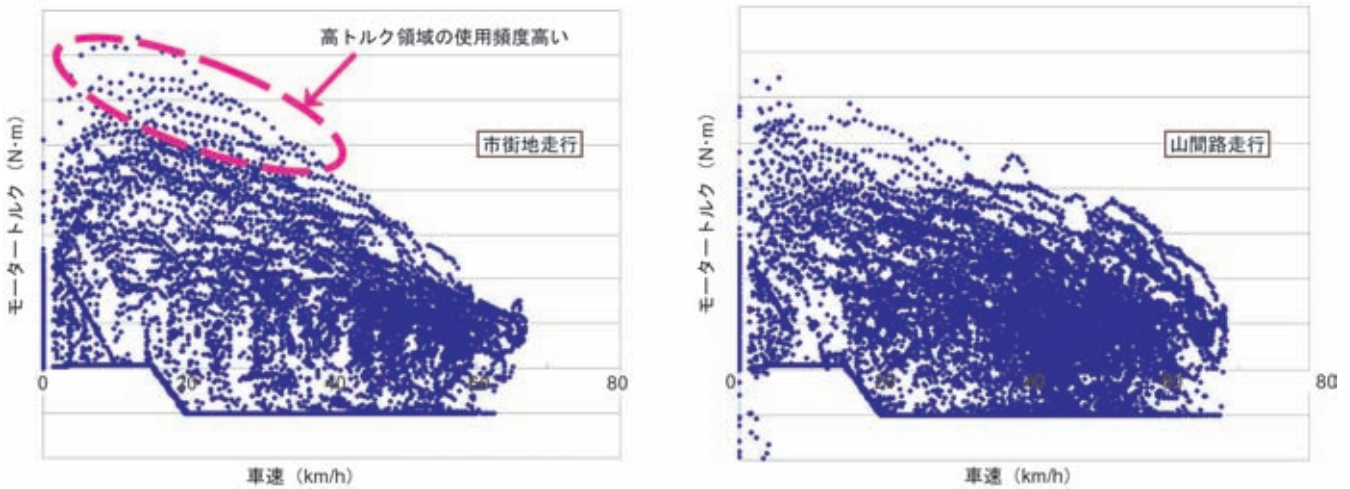


図 11 走行条件によるトルク領域差  
Torque range differences due to running conditions

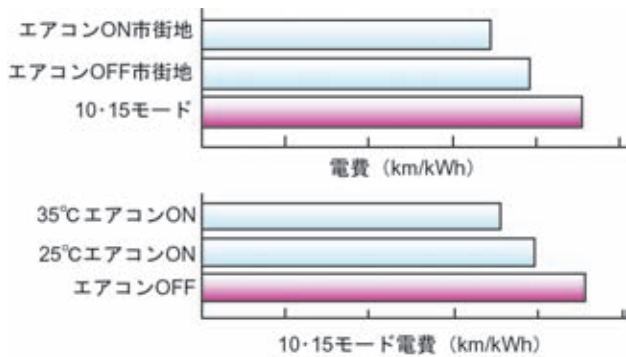


図 12 実用電費  
Power consumption in typical conditions

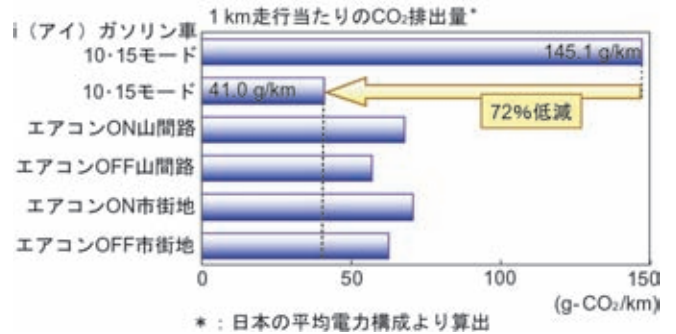


図 13 実用走行におけるCO<sub>2</sub>排出量  
CO<sub>2</sub> emissions in typical running conditions

りも電費は改善する（図 11）。

また、市街地コースでエアコンオン、エアコンオフでそれぞれ運転した場合の電費の変化について評価を行ったところ、盛夏期に実施した走行試験では、エアコン運転の有無による電費悪化率は15～25%程度であり、この結果から、市街地における実用航続距離は70～90km程度である（図 12）。

一般ユーザーの1日当たりの平均的な移動距離はおよそ30km以内であると言われており、実用走行においても過不足なく走行できることが確認できた。

### 5.5 CO<sub>2</sub>排出量削減効果

市街地と山間路の2コースを走行し得られた電費の平均値から充電に伴うCO<sub>2</sub>排出量を算出した（図 13）。CO<sub>2</sub>排出量を算出するに当たり電力発電方法（原子力、火力、風力など）の割合をJHFC\*セミナーにて発表されている日本の平均電力構成より想定した。市街地と山間路の実用走行では10・15モード走行に比較しエアコンの利用を含めCO<sub>2</sub>排出量は増える傾向にはあるが、依然と

してガソリン車に対する優位性を確保しており環境性能の高さがうかがえる。

\*：水素・燃料電池実証プロジェクト

### 5.6 エネルギー経済性

市街地と山間路の2コースを走行し得られた電費の平均値から充電にかかるエネルギー経済性を算出した（図 14）。実際は各電力会社によって様々な料金プランがあり、深夜電力も深夜電力の基本料金が追加される場合もある。市街地と山間路の実用走行では10・15モード走行に比較しエアコンの利用を含め経済性が悪化する傾向ではあるが、ガソリン車に比べ十分に経済的である。

### 5.7 急速充電・家庭用充電

急速充電器は据置型で『iMiEV』側の専用の急速充電用プラグに接続され『iMiEV』との間の専用通信回線を通じて情報の交換を行い『iMiEV』側からの充電指令に従い充電の制御を行う。また、家庭用100V/200V充電器は車載しており、車載充電用プラグと家庭用コンセントを接続したときに、100Vと200Vを自動的に判断し充

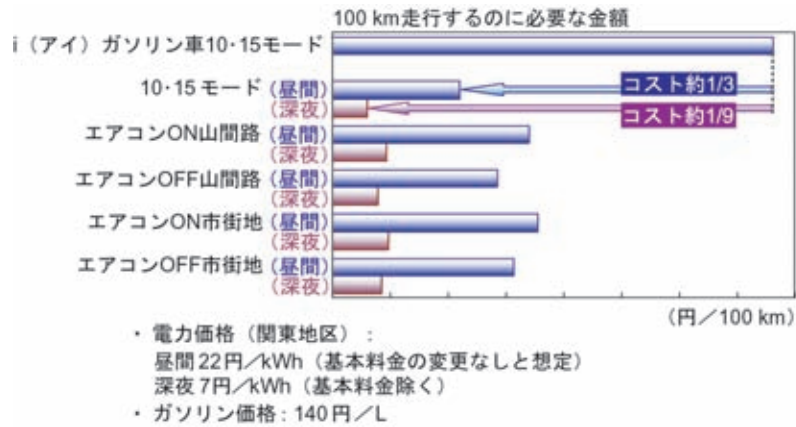


図 14 実用走行におけるエネルギー経済性  
Energy economy in typical running conditions



図 15 充電システム  
Charging systems

電することができる（図 15）。

『i MiEV』を使って急速充電試験を行った。急速充電では充電開始とともに最大 125 A の定電流充電を行い、走行用電池の電池電圧が規定電圧に到達すると定電圧充電を行うように制御されている。充電開始から SOC（State Of Charge：充電率）45%程度までは定電流充電，以降は定電圧充電で制御され，SOC 80%までは約 20 分で充電されている（図 16）。

『i MiEV』を使って家庭用 100 V/200 V 充電試験を行った。家庭用 100 V/200 V 充電は充電開始とともに家庭用コンセントの電力容量を超えないように定電力充電を行い，走行用電池の電池電圧が規定電圧に到達すると定電圧充電を行うように制御されている。充電開始から家庭用 200 V 充電は約 6 A・2 kW，100 V 充電は約 3 A・1 kW の定電力充電を行い，充電末期に定電圧充電に移行し，200 V 充電は約 6 時間，100 V 充電は約 16 時間で充電終了している（図 17，図 18）。

家庭用充電の場合，家庭のコンセントから得ら

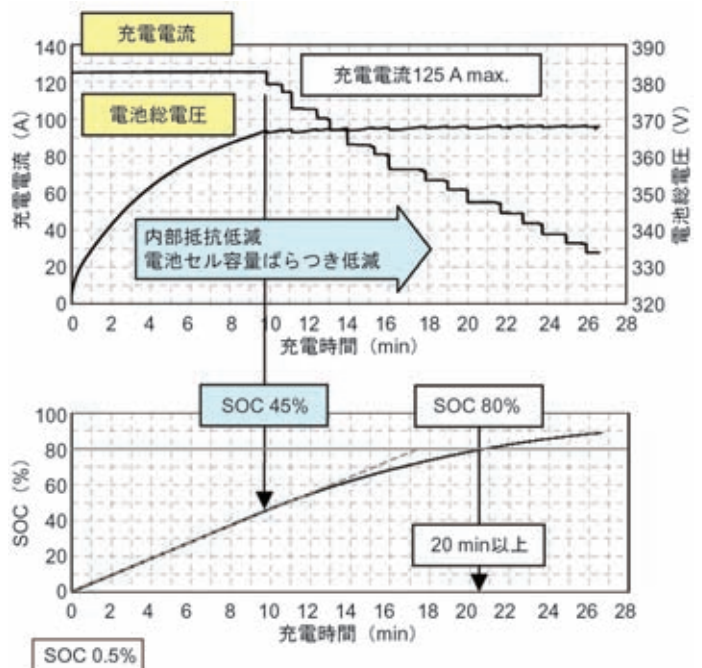


図 16 急速充電試験結果  
Results of rapid charging test

れる電力容量から、電池への充電電力に対し車両補機負荷により消費される電力の割合が大きくなってしまい、充電時間が増長されてしまうことを勘案する必要がある。

充電時間は電気自動車のネガティブな要因の一つであるが、『i MiEV』は走行用電池に小型高性能なリチウムイオン電池を採用し、急速充電を利用することにより充電時間の短縮が可能となってきた。今後は、いつでも、どこでも、どんな人でも、いかに簡単に充電できるようにするか、充電インフラの整備を含め利便性の向上が重要な開発事項である。

## 6. ま と め

電気自動車は過去に2度のブームがあり、今回は10年ぶり3度目に当たる。この10年間の技術革新により、走行性能、航続距離ともに実用レベルに近付きつつあると感じる。また、昨今の原油高騰や社会的な環境意識の高まりにより一般ユーザーも従来どおりの走りだけを求めるのではなく、環境に対する要求も高まっている。電気自動車の実用化にはまだまだ多くの克服すべき課題があるが、これらを追い風として、今度こそ“究極のエコカー”である電気自動車を一般に広く普及させることができるよう、大事に仕上げていきたい。

### 参考文献

- (1) 次世代電気自動車i-MiEVの開発，三菱自動車テクニカルレビュー，NO.19，2007

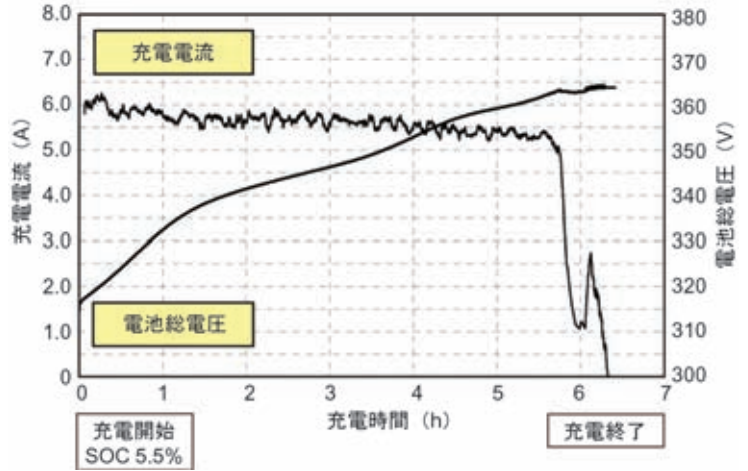


図17 家庭用200Vでの充電試験結果  
Results of household 200V charging test

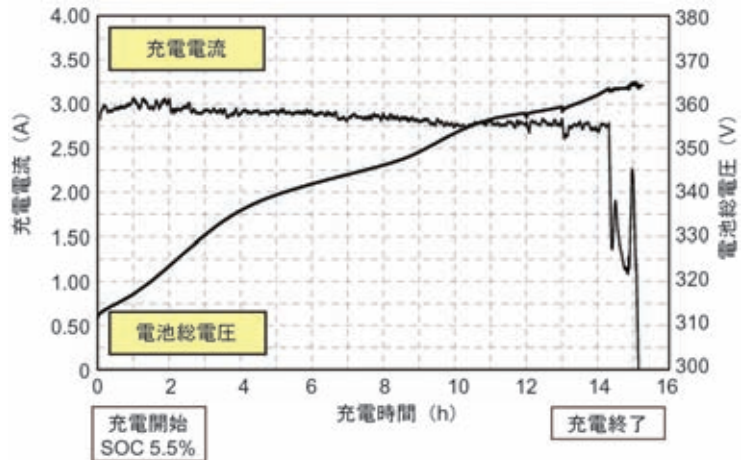


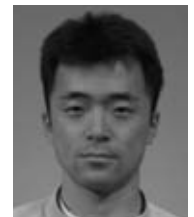
図18 家庭用100Vでの充電試験結果  
Results of household 100V charging test



細川隆志



谷畑孝二



宮本寛明

# ノーズビューカメラによる接近物体検出技術の開発

Development of Technology for Detection of Approaching Objects Using Noseview Cameras

上南恵資\* 前村高広\* 谷内博一\*  
Keiji Ueminami Takahiro Maemura Hirokazu Taniuchi  
清水貴士\* 笹根成哉\*\*  
Takashi Shimizu Shigeya Sasane

## 概要

ノーズビューカメラの映像を画像処理することにより、接近物体とシステムを搭載する車両が交差するまでの時間を算出して情報提供を行うシステムを開発した。ノーズビューカメラとは、見通しの悪い交差点頭出し時に死角となる左右の安全確認を補助する車載カメラシステムである。本システムは、単眼カメラによる三次元復元アルゴリズムを応用した独自アルゴリズムによって、接近物体がカメラ位置を横切るまでの時間である接近交差時間 TTCR (Time To Crossing) を算出する。接近物体が交差する約2秒前にはTTCRを算出でき、ドライバーへ適切な情報提供が可能であることを示した。さらに、実環境において接近物体検出やTTCR算出に影響を与える代表的な外乱に対するロバスト性についても検証し、外乱のある環境でもTTCRを正しく算出することを確認した。

## Abstract

Mitsubishi Motors Corporation (MMC) recently developed a system that warns the driver when an object is approaching. The system uses the results of processing of images from noseview cameras in calculation of the time until the approaching object and the system-equipped vehicle cross each other's paths. (Noseview cameras help a driver check for safety to the left and right when moving forward into intersections where visibility is poor.) The newly developed system uses monocular cameras and a three-dimensional reconstruction algorithm adapted by MMC to calculate the time to crossing (TTCR; the time until an approaching object traverses the camera position). The system showed itself capable of delivering appropriate information to the driver as it could calculate the TTCR approximately 2 seconds or more earlier than the crossing with the approaching object. Further, it was verified as robust with respect to typical interference that affects detection of an approaching object and calculations of the TTCR in real-world conditions. It was thus confirmed as being capable of correctly calculating the TTCR in an environment containing interference.

*Key words: Intelligent Vehicle, Safety, Electric Equipment, Comfort, Human-Machine-Interface, Intelligent Transport Systems (ITS)*

## 1. ま え が き

平成18年中に発生した交通事故における死傷者数を事故類型別にみると、出会い頭事故が追突事故に次いで多く、全体の1/4以上を占める。特に車両相互事故における死亡者数では出会い頭事故が最も多く36%を占める。出会い頭事故の75%は市街地で発生しており、さらにその半数は信号のない交差点で発生している<sup>(1)(2)</sup>。そこで、見通しの悪い交差点で左右から接近する自動車や自転車

などの移動体を検出して、接近物体とシステムを搭載する車両が交差するまでの時間を算出して情報提供を行うシステムを開発した。

## 2. システム構成

本システムは、ノーズビューカメラ映像を画像処理し、モニターで捉えられる自動車、自転車などの移動体を検出する。ノーズビューカメラとは、見通しの悪い交差点において頭出しを行う場合などに、車両前部に取り付けられたカメラで交差する道路の左右の状況を撮像し、モニターに表示することで、ドライバーの安全確認を補助する装置である。近年、ミニバンを中心に多くの車両

\* 開発本部 電子技術部

\*\* (株)MCOR



図1 ノーズビューカメラ外観  
Noseview camera (external appearance)

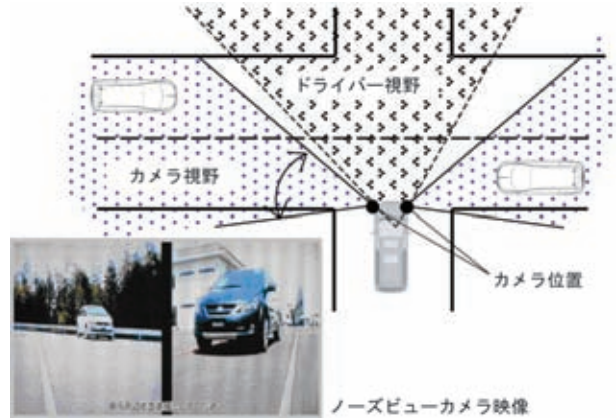


図2 ノーズビューカメラとドライバー視野  
Noseview camera images and driver's field of vision

に搭載されている(図1)。

図2は、すでに市販されているノーズビューカメラの視野とドライバーの視野及び表示される映像を示したものである。交差点の頭出しにおける左右映像を車室内に設置された表示器に表示する。

本システムは、既存のノーズビューカメラシステムと映像を画像処理するECU (Electronic Control Unit) で構成される。

### 3. システム要件

ノーズビューカメラを用いた運転支援システムを開発するに当たり、システム要件の検討を行った。

カメラによる画像処理は、警報や制御を行う運転支援システムで用いられるミリ波レーダーなどと異なり、夜間、雨、雪、霧などに対するロバスト性能に限界があるため、自動的にブレーキを制御するようなシステムではなく、状況に応じて適切な情報をドライバーに提供する情報提供システムを目指した。

市街地交差点を主な対象とすることから、検出対象は車速20～60 km/hの範囲の自動車及び自転車とした。また、交差点進入において一時停止後の発進時に接近物体を見落とした場合を想定するとともに、ドライバーの反応時間などに基づいて、衝突の2秒以上前に情報提供できることを目標性能とした。

自動車の安全性を向上させるシステムとして普及するための要件としてシステム価格が挙げられる。現在、運転支援システムとして、衝突被害軽減ブレーキシステムやレーンキープシステムなどの普及促進が進められているが、いまのところ高価格帯の車両への装着が主である。そこで、既存の単眼ノーズビューカメラを用い、実装するマイコン性能に関わる計算コストを抑えたアルゴリズム開発を要件とした。

今回、単眼カメラで移動物体がカメラ位置を横切るまでの時間を接近交差時間 TTCR (Time To Crossing) (図3) と定義し、32 Bit、400 MHz 相当のマイクロコンピュータ1個を用い、接近交差時間を100 ms 周期で演算可能なアルゴリズムを開発した。

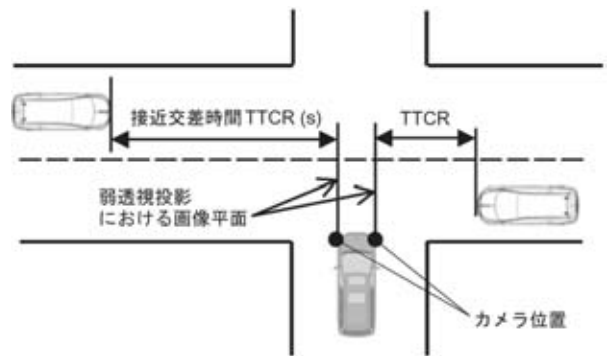


図3 接近交差時間TTCRの定義  
Definition of TTCR

## 4. 移動物体検出アルゴリズム

### 4.1 概要

一般に、走行中の車両を検出するシステムとしては、道路に設置した監視カメラ映像を画像処理して交通流計測を行うものが開発されている。以前は、リアルタイム処理のために比較的計算負荷の少ないフレーム間差分などが適用されていたが、近年では処理装置の高速化により、オプティカルフローアルゴリズムも適用されるようになった<sup>(3)(4)</sup>。交通流計測のようにカメラが定点固定された状況ではカメラ移動について無視できるが、車載カメラシステムではカメラの移動も考慮しなくてはならない。

本報告では、計算コストが小さく、適切な情報提供を行うシステム要件を満足するため、単眼カメラによる三次元復元アルゴリズムを応用し、前章で定義した接近交差時間TTCRを推定するアルゴリズムを開発した(図4)。

図2に示されるノーズビューカメラ映像(640×480 pixel)は、256階調グレー画像として入力され、左右二つの画像に分割された後に1/4に圧縮して演算に供される。まず、左右の画像における移動物体の特徴点抽出は、画像内の小ウィンドウの空間勾配行列における固有値から、多角形の角のような画像を含むものを抽出した<sup>(5)(6)</sup>。また、数値演算



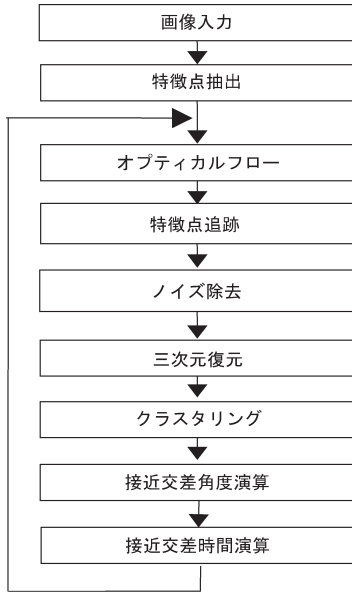


図4 接近物体検出アルゴリズムの概要  
Outline of algorithm for detection of approaching object

的に安定かつ計算量の少ないピラミッド階層アルゴリズムを用いたLucas-Kanadeのアルゴリズム<sup>(7)</sup>を用いて特徴点を追跡している。さらに、追跡された一連の特徴点は、接近物体上の特徴点以外のノイズを除去した後、三次元復元され<sup>(8)(9)</sup>、クラスタリング処理を経て、接近交差角度及び接近交差時間であるTTCRを算出する。

特徴点を抽出し、その特徴点まわりのオプティカルフローの算出は容易であるが、オプティカルフローは見かけの速度であり、実世界において車両に取り付けられたカメラ位置に対する移動物体の実際の位置及び速度は算出されない。このことは、移動物体が何秒後に最接近するのか不明であるため、危険度に応じた情報提供を行う運転支援システムとしては成立しないことを意味する。そこで、本稿では、三次元復元アルゴリズムを応用することで、接近交差時間の算出を実現した。

#### 4.2 三次元復元アルゴリズム

三次元復元を適用するに当たり、車両に搭載されているカメラを弱透視投影カメラとして扱った(図5)。時刻 $t_f$ におけるカメラの三次元空間上の位置を $p(t_f)$ 、カメラ姿勢を示し、お互いに直交する単位ベクトルを $i(t_f)$ 、 $j(t_f)$ 、 $k(t_f)$ とする。

また、特徴点 $i$ の実空間の位置を $S_i = (X_i, Y_i, Z_i)^T$ と表す。ここで $z(t_f)$ はカメラと仮想画像平面との距離を表す。

三次元復元にあたり、以下の行列を定義する。時刻 $t_f$ における特徴点 $i$ の画像上の位置を $(x_i(t_f), y_i(t_f))$ 、特徴点に対する追跡フレーム数を $F$ 、全特徴点数を $P$ として行列 $W$ を作成する。ここで、 $t_1$ は追跡開始時刻、 $t_f$ は現フレームの時刻である。

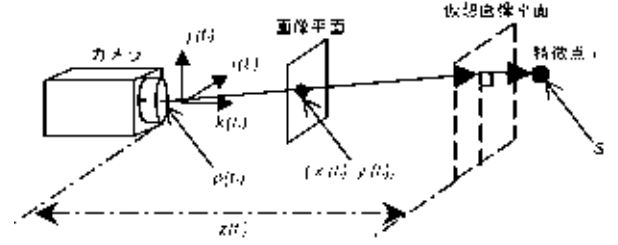


図5 弱透視投影カメラモデル  
Weak perspective projection camera model

$$W = \begin{bmatrix} x_1(t_1) & \cdots & x_p(t_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1(t_F) & \cdots & x_p(t_F) \\ y_1(t_1) & \cdots & y_p(t_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_1(t_F) & \cdots & y_p(t_F) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{x}(t_1) \\ \vdots \\ \bar{x}(t_F) \\ \bar{y}(t_1) \\ \vdots \\ \bar{y}(t_F) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$(\bar{x}(t_f), \bar{y}(t_f))$  は、時刻 $t_f$ における全特徴点の重心を表す。弱透視投影カメラにおける三次元復元では、仮想平面を全特徴点の重心位置に設置することで、カメラと仮想平面との距離 $z(t_f)$ に注目する。ここで、式(1)の行列 $W$ は、カメラと特徴点との相対的な動作を表す動作行列 $M$ と特徴点位置により物体形状を表す形状行列 $S$ に分解できる<sup>(8)(9)</sup>。

$$W = MS = \begin{bmatrix} m(t_1)^T \\ \vdots \\ m(t_F)^T \\ n(t_1)^T \\ \vdots \\ n(t_F)^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & \cdots & s_p \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで、 $m(t_f) = \frac{i(t_f)}{z(t_f)}$ 、 $n(t_f) = \frac{j(t_f)}{z(t_f)}$

上記の式を解いて完全な三次元復元を行うためには、ある時刻における特徴点重心座標が既知である拘束条件が必要であるが現実には未知である。そこで、ある時刻における距離 $z(t_f) = \hat{z}(t_f)$ と仮定することにより、演算される距離 $z(t_f)$ と実際の距離 $\hat{z}(t_f)$ (真値)は、以下の式で表される。

$$\hat{z}(t_f) = A \cdot z(t_f) \quad (3)$$

ここで、 $A$ は正の定数

式(3)は、フレームごとに算出されるカメラと物体までの距離であるところの特徴点重心位置までの距離 $z(t_f)$ は、

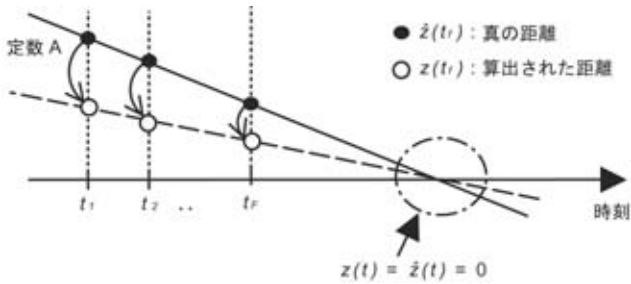


図6 接近交差時間TTCRの導出  
Derivation of TTCR

真の距離  $\hat{z}(t_f)$  に対してある定数  $A$  を乗じた値として算出されることを意味する。ここで、接近物体が画像  $x-y$  平面を横切る時刻を考えると、フレームごとに算出された時系列の算出値  $z(t_f)$  と真の距離  $\hat{z}(t_f)$  は、定数  $A$  に関係なく、 $z(t)=0$  ならば  $\hat{z}(t)=0$  が成立する。ゆえに、各時刻における時系列の算出値を補間し、真の距離  $\hat{z}(t_f)$  がゼロとなる時刻を予測することで、TTCR が導出可能となる (図6)。

また、特徴点重心位置の接近交差角度の導出は、フレームごとに算出された特徴点重心位置  $(X_f, Y_f, Z_f)$  の差分である移動ベクトル  $s$  として演算可能である。

$$s=(X_f, Y_f, Z_f) - (X_{f-1}, Y_{f-1}, Z_{f-1}) \quad (4)$$

この接近交差角度の算出は、交差角度を閾値とするフィルターに適用することで、画像  $x-y$  平面に直交しないノイズの低減に大きく寄与している。なお、本アルゴリズムは、接近交差の時間、角度の算出において、カメラの画角や焦点距離などのカメラパラメーターに依存しない特徴を持つ。

## 5. 基本性能評価

図2に示されるノイズビューカメラ映像 (640 × 480 pixel) を256階調グレー画像の解像度を落とした画像を用いて、特徴点の抽出及び接近交差時間TTCRを算出する実験を実施した。今回、アルゴリズムの基本性能を確認するために昼間の環境で実験を行った。図7(a)に実験状況、図7(b), (c)にそれぞれ接近物体が自転車、自動車の場合のカメラ映像を示す。実験は、レーザーレーダーを設置して検出対象を接近させ、レーザーレーダーから求めたTTCRと車載ノイズビューカメラ画像から算出したTTCRを比較した。

図8(a)から(f)に各実験状況における実験結果を示す。縦軸はTTCR、横軸は時刻である。図8(a)から(f)の実験状況と結果は次のとおりである。

図8(a)は自転車の接近で、交差2秒前からTTCRを算出している。交差前2.0-1.5sでTTCRを算出していない

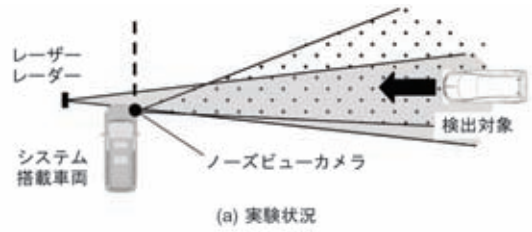


図7 基本性能評価実験  
Basic performance evaluation experiment

が、1.5sから再び算出している。図8(b)から(e)は、単独車両が20, 40, 60, 80 km/hの各速度で接近したときのTTCRである。80 km/hを除いた各速度において、交差約2s以上前からTTCRを算出している。最後に、図8(f)は、ドライバーの交差点における頭出し動作を模擬したものである。単独車両が40 km/hで接近している状況で、システムを搭載した車両を6 km/hまで加速させて2m移動させた。ノイズ除去フィルターによって、発進による特徴点の異常な動きが除去される影響でTTCRを算出していないが、0.5s後には再びTTCRを算出している。

全結果においてTTCRが0s付近で算出不能になっているのは、接近物体がカメラの視野範囲から外れるためである。

## 6. ロバスト性

### 6.1 ノイズ除去フィルター

本システムの画像処理において実環境でも安定した性能を出力するためには、三次元復元時に用いる特徴点がノイズを含まず正確に接近物体を表わしている必要がある。そこで本システムでは上述のとおり特徴点追跡結果に対しノイズ除去を行うことで、ロバスト性を向上させている。ノイズ除去には、接近物体上の特徴点のオプティカルフローが以下の特性を持つことに注目して設計したノイズ除去フィルターを使用している。

- ・フローが特定の方向を向いている。
- ・フローが直進している。
- ・フローが拡張している。

以下に各フィルターについて述べる。

まず、フローの方向によるフィルターは、車両横向きに設置したカメラ映像上で接近物体は、左側の映像なら右へ、右側の映像なら左へ移動することに着目し、特徴点のフローベクトルの方向によって背景と接近物体を区

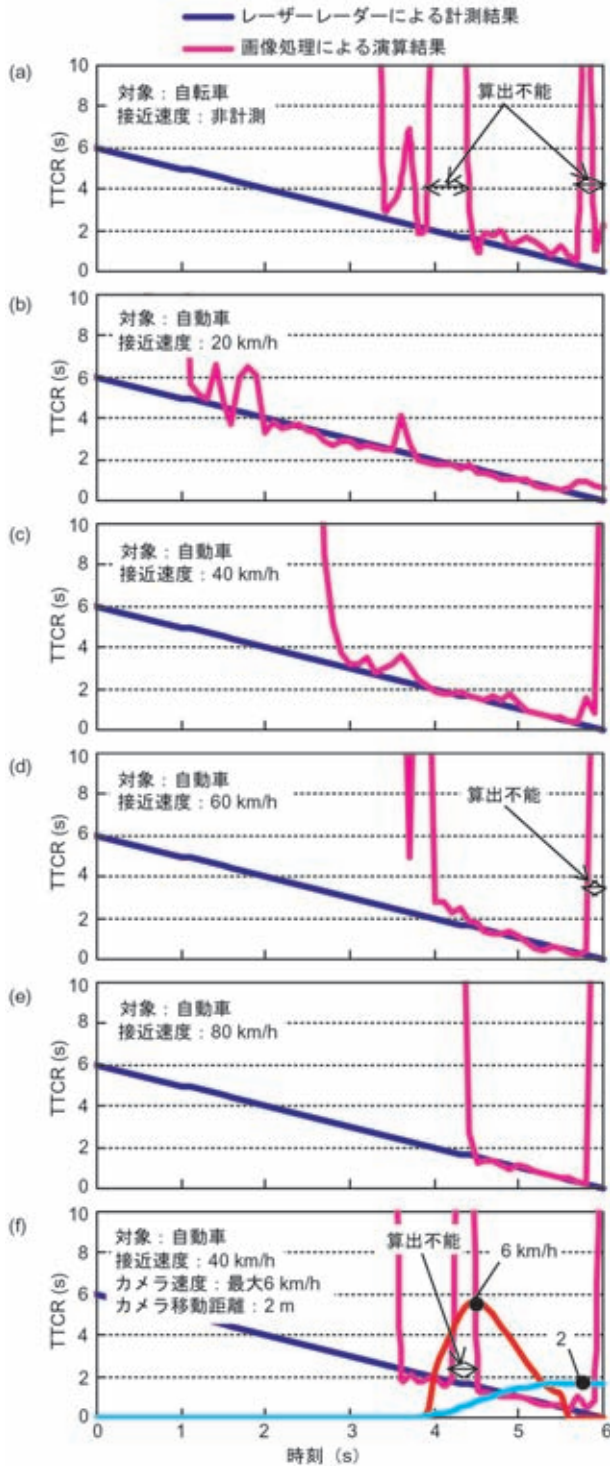


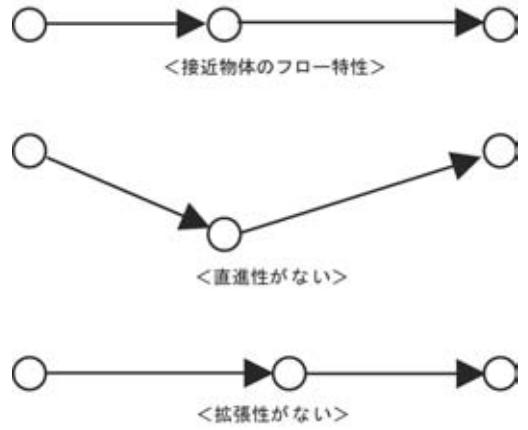
図8 基本性能評価結果  
Results of basic performance evaluation

別する(図9(a)). また、フローの直進性と拡張性によるフィルターは、連続するフローの向きが、ある一定の角度以内に収まり(直進性)、フローの長さが時間とともに長くなる(拡張性)という点に着目してノイズを除去する(図9(b)).

実環境下では、雨や雪などの環境や、路面形状による接近物体の挙動などの外乱が検出性能に影響を与える。



(a) 背景の除去



(b) フロー特性の評価

図9 ノイズ除去フィルター概要  
Outline of noise filter

雨や雪などの環境外乱については、特徴点を抽出する際に、雨粒や雪を特徴点として抽出することで誤検出の増加が考えられるが、上述のノイズ除去フィルターが有効に作用する。一方、接近物体の挙動については、接近物体上の特徴点であるにもかかわらずフィルターによってノイズとして除去される可能性がある。そこで、次章では環境や接近物体の挙動といった外乱が存在する条件下のシステムのロバスト性について、CG (Computer Graphics) などを用いて検証した結果を述べる。

## 6.2 環境外乱に対するロバスト性

環境による外乱に対するロバスト性の検証に当たっては、実環境下で評価することが望ましいが、再現性や定量評価の観点では実環境での検証は困難である。そこで、CGを用いた雨や雪のシミュレーション画像をノーズビューカメラ実映像に合成して検証を試みた。雪を合成させたカメラ映像(図10(a))と雪の外乱のない映像の場合の処理結果を比較した(図10(b))。横軸は経過時間、縦軸は接近交差時間TTCRで、レーザーレーダーで計測したTTCRについても参考として示している。

外乱がある場合、接近物体の検出開始時間が若干遅れ、レーザーレーダーから求めたTTCRに対しての誤差

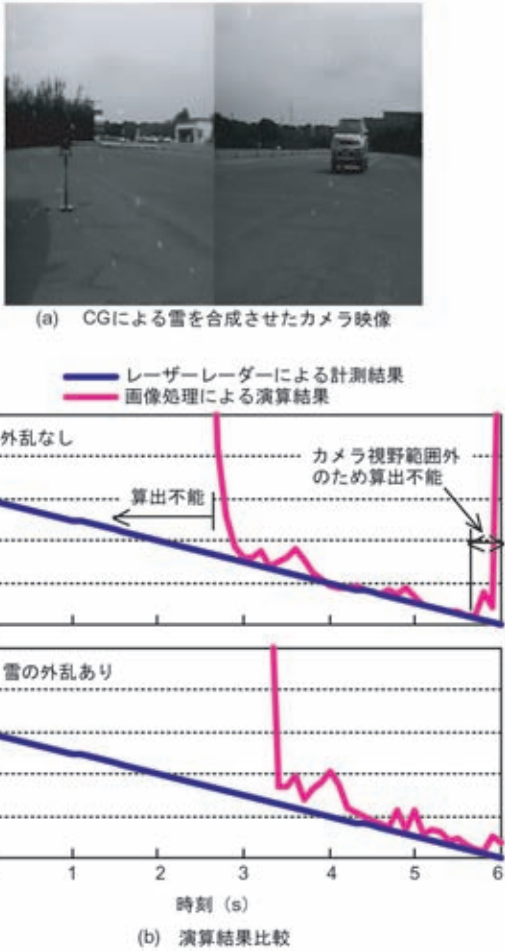


図 10 環境外乱に対するロバスト性評価結果  
Results of evaluation of robustness with respect to environmental disturbance

も若干大きくなっているものの、2秒以上前からTTCRを算出できており、ノイズ除去フィルターによって外乱が効果的に除去されていると言える。

### 6.3 接近物体挙動に対するロバスト性

#### 6.3.1 挙動解析実験

接近物体挙動に対するロバスト性検証に当たり、四輪加振装置に実際の車両を設置し、実道路環境における接近物体挙動解析実験を実施した。四輪加振装置は、実際の車両のタイヤ設置面を四輪独立に加振可能である。実路面を模擬した加振波形を入力することで台上において実路環境の車体挙動を再現することができる。そこで、本装置を用いて市街地の一般道路相当の加振波形を入力し、車体重心を通る軸上の前後左右4箇所を設置したレーザー変位計で上下変位を計測し、車体のバウンス、ピッチ、ロールの各挙動を求めた(図11)。

加振波形は、やや粗い路面の市街地の一般道路を速度40 km/hで走行した場合に相当する波形とした。加振波形には実際に計測した路面変位を用いたが、実走行時の

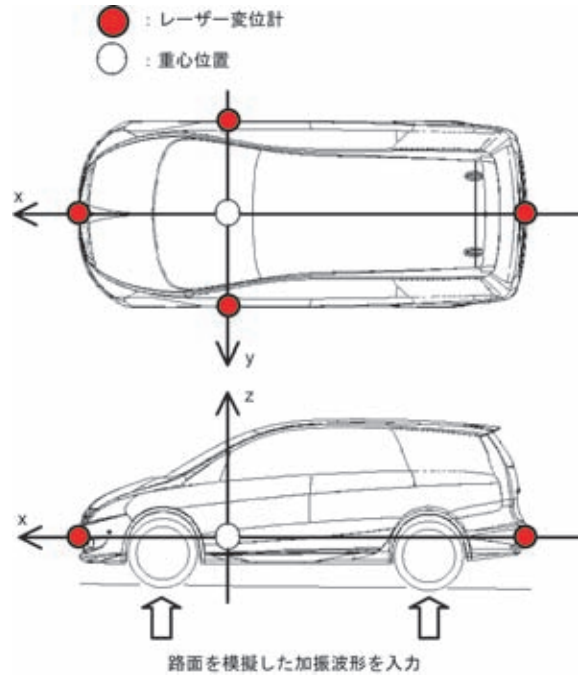


図 11 四輪加振装置による挙動解析実験  
Behavior analysis experiment using four-wheel oscillation test device

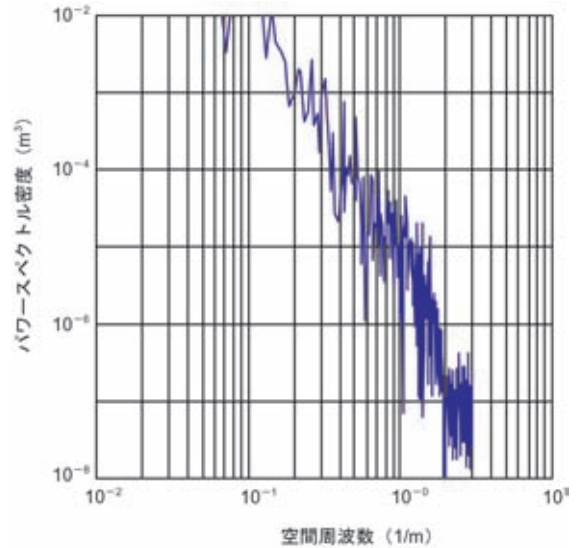


図 12 加振波形のパワースペクトル分布  
Power spectrum distribution of oscillation waveform

車体上下加速度と、フィーリング評価でやや粗い路面の市街地の一般道路を再現した。図12に入力波形のパワースペクトル密度分布を示す。実験車両は、加振による挙動がやや多めに出ると予想される重心の高い乗用車とした。ここで、バウンス量は車両重心位置のz軸方向の変位で、左右2箇所の平均変位とした。また、ピッチ角はy軸回りの回転角で、前後2箇所の変位差から、また、ロール角はx軸回りの回転角で、左右2箇所の変位差から求めた。さらに、接近物体検出に最も影響を与えるバウンスとピッチの複合による車体前面の上下変位は、車体

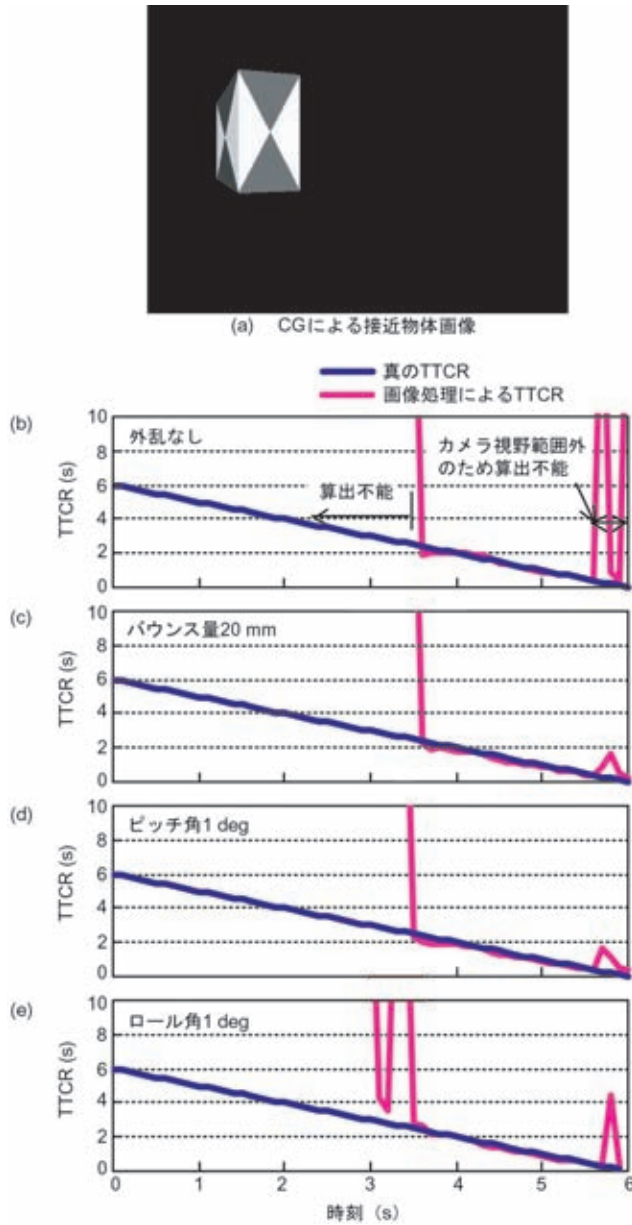


図 13 接近車挙動に対するロバスト性検証結果  
Results of verification of robustness  
with respect to behavior of approaching vehicle

前部の変位から求めた．各頻度分布を正規分布と仮定すると，頻度の99.7%を占める3σはそれぞれ，バウンス量10.1 mm，ピッチ角0.36 deg，ロール角0.73 deg，車体前面の上下変位17.9 mmとなる．そこで，各外乱の3σの範囲における検出性能を評価した．

### 6.3.2 CGによるロバスト性検証

環境外乱に対するロバスト性評価と同様，接近物体挙動に対するロバスト性評価についても，実環境下での評価が困難なため，接近物体を模擬したCG映像を用いた(図13(a))．

挙動を付加しない場合及びバウンス，ピッチ，ロールの各挙動を付加した場合について処理した結果をそれぞ

れ図13(b)から(e)に示す．この場合の接近速度は，40 km/hの一定速度とした．また，バウンスとピッチの複合による車体前面の上下変位はバウンスで近似した．それぞれ挙動解析実験で求めた実路における各挙動の3σ相当を付加しても接近交差時間の演算には影響ないことが分かる．なお，性能限界として，それぞれの挙動を大きくして演算結果に影響が出始める値を求めたところ，バウンス量50 mm，ピッチ角20 deg，ロール角5 degとなり，やや粗い路面の市街地の一般道路を速度40 km/hで走行した場合の挙動に対して2倍以上の余裕がある．

## 7. ま と め

今回，既存の単眼カメラであるノーズビューカメラシステムを用いて接近交差する移動物体を検出し，さらに交差するまでの時間である接近交差時間TTCRを算出可能なアルゴリズムを開発した．アルゴリズムの基本性能について，自転車に関しては安定して検出するための改良が必要であるが，20～60 km/hで接近する自動車については，接近して交差する約2秒前にはTTCRを算出することが可能である．約2秒前に接近物体を検出することにより，ドライバーへ適切な情報提供を行うことができるシステム構築が可能であることが示される．

さらに，本アルゴリズムでは，広く普及するためのシステム開発を目指し，処理の高速化による計算コスト低減を行い，ナビゲーションシステムなどで広く用いられている高性能マイクロコンピュータ1個で100 ms以下の処理周期を実現した．

また，本システムを実環境下に適用するに当たり，必要とされるロバスト性について検証した．環境外乱についてはCGを用いた雨や雪のシミュレーション映像をノーズビューカメラ実映像に合成して検証し，ノイズ除去フィルターによって外乱が効果的に除去されていることを示した．また，接近物体挙動については，四輪加振装置に市街地の一般道路相当の加振波形を入力し，実道路環境における接近車両の挙動範囲を求めた．接近物体を模擬したCGに実道路環境における挙動外乱を付加して検証し，TTCRの演算に影響がないことを確認した．以上のことから，天候などの環境外乱及び路面形状による接近車両の挙動外乱に対して，本システムがロバスト性を持ち，十分な精度でTTCRの演算が可能であることを示した．

本システムは，交差点において，一時停止後に接近物体(自転車，自動車)を見落とすことによる交差点事故を未然に防ぐものとして，その効果が期待できる．

参考文献

(1) 警察庁交通局：平成 18 年中の交通事故の発生状況について，2007

(2) 財団法人交通事故総合分析センター：イタルダイインフォメーション NO. 69，2007

(3) 全炳東ほか：複数視点観測による道路交通センシング，第 11 回画像センシングシンポジウム講演論文集，A-6，p. 21 ~ 24，2005

(4) 沖良晃ほか：対向車情報提供システム，自動車技術，Vol. 61，p. 68 ~ 72，2007

(5) 金澤靖，金谷健一：コンピュータビジョンのための画像の特徴点の抽出，電子情報通信学会誌，Vol. 87，no. 12，p. 1043 ~ 1048，2004

(6) Jianbo Shi, Carlo Tomasi: Good features to track, IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, p. 593 ~ 600, 1994

(7) Bruce D. Lucas, Takeo Kanade: An iterative image registration technique with an application to stereo vision, Proceedings of Imaging Understanding Workshop, p. 121 ~ 130, 1981

(8) Conrad J. Poelman, Takeo Kanade: A paraperspective factorization method for shape and motion recovery, Technical Report CMU-CS-92-208, CMU, 1992

(9) 金出武雄，コンラッドポールマン，森田俊彦：因子分解法による物体形状とカメラ運動の復元，電子情報通信学会論文誌 D-II，Vol. J76-D-II，No. 8，p. 1497 ~ 1505，1993



上南恵資



前村高広



谷内博一



清水貴士



菅根成哉

# 可変吸気流制御による燃費，排気ガス低減に関する研究

Study of Fuel Economy and Exhaust Emission Reduction by Intake Flow Control

宮本勝彦\* 山下正行\* 五島賢司\*  
Katsuhiko Miyamoto Masayuki Yamashita Kenji Goto  
藤永尚人\* 三木田彰\*\*  
Naoto Fujinaga Akira Mikita

## 概要

近年，自動車用エンジンには高出力と低燃費が求められている．これらを両立する技術として吸気流の可変化につきシミュレーション（CFD）と実機にて調査を行った．具体的にはインテークマニホールド（以下，インマニとする）の一部を閉塞し吸気流れを偏らせた際の燃焼や燃費の向上，また実車テストでもその燃費効果を実証した．排気ガスに関しては冷態始動でのHC（炭化水素）低減を目的として取り組んだ．特に，燃焼光計測を用いて液滴燃焼を表すと考える後発光分布とHCの関係に着目した．インマニの一部閉塞による流動強化では燃料液滴分布の偏りが大きく，HCが多く排出される場合があることが判明．液滴の壁面付着を抑えるように吸気流れを形成した場合に，後発光とHCが低減することを見出した．

## Abstract

With the increasing demand for car engines with higher power and lower fuel consumption, this research was focused on a variable intake flow system as a promising technique that attains both targets. Using computational fluid dynamics (CFD) simulation and testing, the authors investigated the effect of an intake manifold that blocked a certain portion on combustion and fuel consumption. Subsequently, an engine with this system was installed in a car in order to verify the fuel consumption reduction. Regarding exhaust gas, the reduction of hydrocarbon (HC) emission during cold start was addressed, with particular focus on the relationship between after-radiation distribution representing fuel droplets burning up and HC emission. The results showed that the deviation in liquid fuel was relatively large and that considerable HC was emitted when part of the intake manifold was blocked. It was also found that after-radiation and HC decreased when an adequate intake flow prevented fuel droplets from adhering to the wall.

*Key words: Gasoline Engine, Intake System, Combustion*

## 1. ま え が き

近年，環境問題として最も注目されているのは地球温暖化である．産業革命後，地下に固定されていた炭素資源から熱を取り出し動力として使用し，その際の生成物である二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を大気中に排出してきた．その結果，大気中のCO<sub>2</sub>濃度は産業革命後100年で急激に増加し，昼間に注いだ太陽光線による熱がCO<sub>2</sub>に代表される温室効果ガスに吸収され地球の温度は上昇し続けていると言われている．

国内の運輸部門はCO<sub>2</sub>排出の約25%を占め，民生部

門に続く多くの量を排出している．また，中東の政治不安から原油の供給が不安定になり原油が高騰している．これらの状況から燃費低減への要求は日増しに強くなっている．日本では2015年度燃費基準として2010年燃費基準の約30%低減，そして欧州ではCO<sub>2</sub> 120 g/km規制の法制化への動きなどがその例である．

一方，自動車の商品性の観点からは『走る喜び』を代表する動力性能の向上も求められている．

エンジンの燃費低減に関しては，筒内流動の強化による燃焼改善，EGR（Exhaust Gas Recirculation）や吸気バルブ遅閉じによるポンプ損失低減，ピストンリング張力やオイル粘度の低下によるフリクション低減などの地道な改善が行われている．

筒内流動の強化に関しては，性能との両立を図るため

\* 開発本部 パワートレイン研究部

\*\* 三菱自動車エンジニアリング(株)

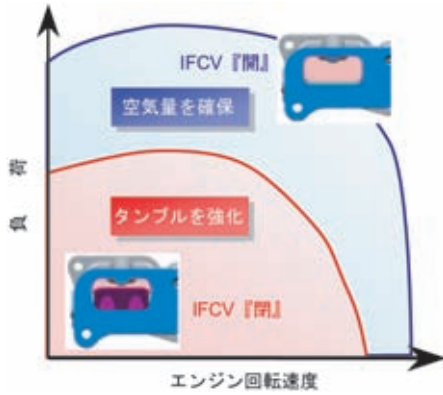


図1 IFCVの動作例  
Example of IFCV operation

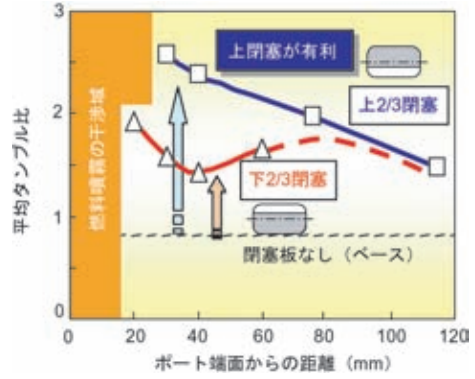


図2 定常流試験による閉塞位置とタンプル強さ  
Tumble plate location and tumble intensity

表1 エンジン諸元  
Engine specifications

燃料噴射方式, 気筒数	ポート噴射, 4気筒	
排気量	2.4 L	
圧縮比	10.5	
カム駆動方式	DOHC	
VVTアクチュエータ	位相可変 ベーン式	
VVT作動角	吸気	50° CA
	排気	50° CA

表3 CFD計算条件  
CFD conditions for constant flow test

解析条件	バルブリフト 9 mm
セルタイプ	直方体
境界層	3層 × 0.5 mm
セル数	765158 ~ 906849
計算条件	非圧縮性定常流解析
差分スキーム	MARS (単調移流再構成スキーム)
乱流モデル	RNG k-

表2 定常流試験仕様  
Specifications of constant flow test

スロート径	31 mm
計測気筒	#2
ライナー差圧	4.05 kPa

吸気流れを制御するバルブの適用が目立ってきている。これは、低速、低負荷では吸気系の一部を閉塞し吸気流れを偏らせ、筒内に縦渦（タンプル）または横渦（スワール）を生成し燃焼改善、燃費低減を図るものである。また、高負荷、高回転ではバルブを開け、吸気を遮らず筒内に導き空気量を確保することをねらっている（図1）。

本稿は、吸気の流れをコントロールするバルブ（インテークフローコントロールバルブ、以下、IFCVとする）に注目し、閉塞位置や閉塞割合などとタンプル付与の特性並びに燃費、排気ガス低減効果について調査したものである。

## 2. エンジン及び可変動弁系（VVT）諸元

試験に供試したエンジン諸元を表1に示す。VVTは吸排独立してカム位相をコントロールするものである。

## 3. 定常流試験での閉塞板装着位置の影響

最初に定常流試験にてバルブの装着位置の影響を調査した。IFCVを装着する代わりに閉塞板を設置した。定常流試験条件と閉塞仕様を表2、図2に示す。

タンプル比は上側閉塞ではシリンダーヘッド（以下、C/Hとする）に近いほど高くなるのが分かる。しかし、下側閉塞ではC/Hから40 mm上流で極小値を示した後にC/Hに近くなるにしたがい強くなる。この理由を調査するためSTAR-CDを用い閉塞板上側、下側に配置したモデルでのCFD計算を行った（表3）。図3左の平均タンプル比は実測（図2）と同傾向で上側閉塞が高く、また下閉塞の場合は位置に対して極小値が存在することが再現できている。

図3中央、右は吸気ポート内と筒内の流線を示す。

上閉塞の場合は閉塞板により下側に偏った流れが、吸気バルブ近傍までほぼ直線のポート下面に沿って進行する。そして吸気バルブ傘部直上を通り点火プラグ位置に向け流れ込んでいる。この流れがタンプルを強くしている要因である。

一方、下閉塞の場合は閉塞板により偏った流れが、上面に沿わず拡散しているのが分かる。拡散する位置にはインジェクター装着用の突き出しがあり、これが原因で流線が乱れ不十分なタンプル生成となっていた。

そこで、インジェクター取り付け部が流れを障害しな



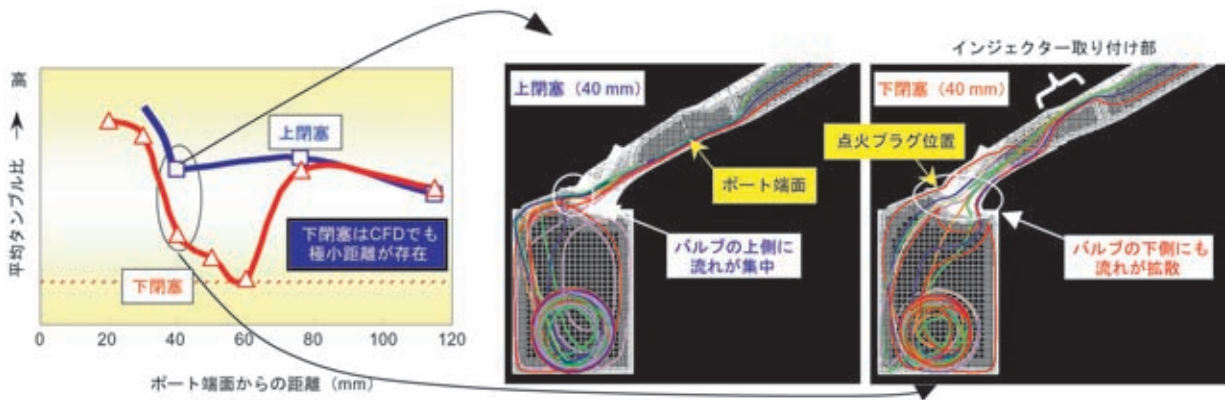


図3 定常流試験のCFD 計算結果  
CFD result of constant flow test

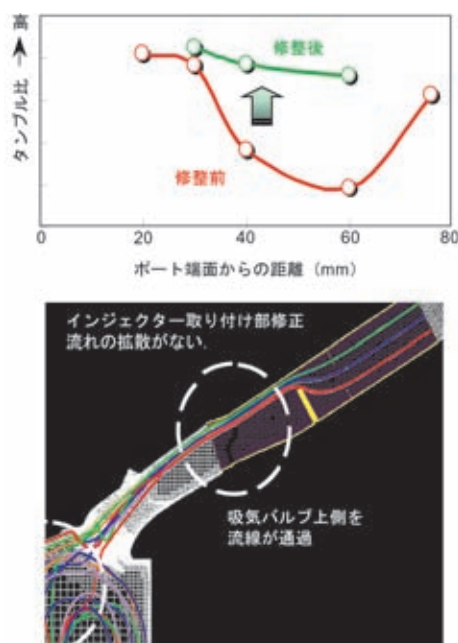


図4 インジェクター取り付け部修整の効果  
Effect of modified injector installation area

いように突き出しを削除した結果，図4に示すように流れはポート上面を通るので，強いタンブルが得られるようになった。

以上の結果から，上，下の閉塞位置によらず流れを偏らせた側のポート内面は流れを阻害しないような形状にしておくことが重要であることが分かった。

#### 4. 閉塞板による燃費低減効果

閉塞率，閉塞位置を変えた仕様にて，そのタンブル強度と部分負荷でのEGR導入による燃費低減効果を調査した(図5)．ポート閉塞による流動強化はEGRなしではほとんど効果を得られない．点火時期はすべてMBTになっており，閉塞により遅角していることから燃焼改善効果は窺えるものの，閉塞によるポンプ損失増加と燃焼

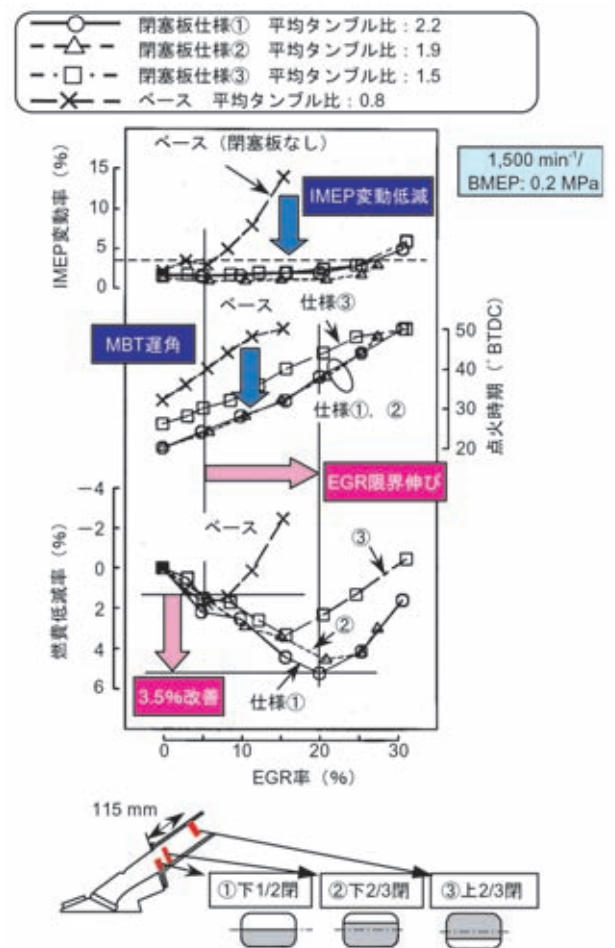


図5 閉塞板による部分負荷燃費の低減  
Fuel consumption reduction by tumble plate

活性化による最高温度上昇に伴う熱損失増加が，燃費に対し負の因子として影響したためである。

EGRを導入すると，閉塞なしではEGR率5%程度で燃費が底を打つのにに対し，閉塞ありではIMEP変動率同等でのEGR率が約25%となり，大量EGRによる燃費低減が可能となる．タンブル比が大きな閉塞仕様ほど燃費効果は大きく，平均タンブル比2.2で約3.5%の低減とな

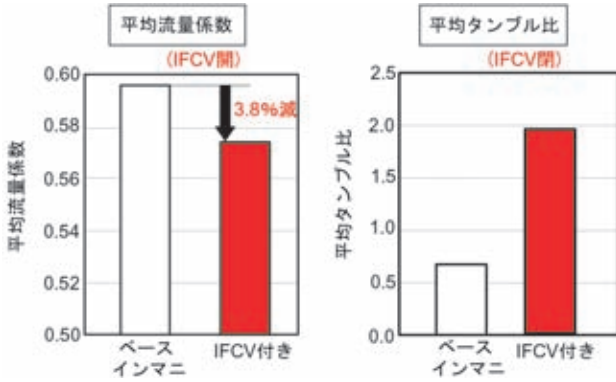


図6 IFCV付きインマニの定常流試験結果

Constant flow test results for intake manifold with IFCV

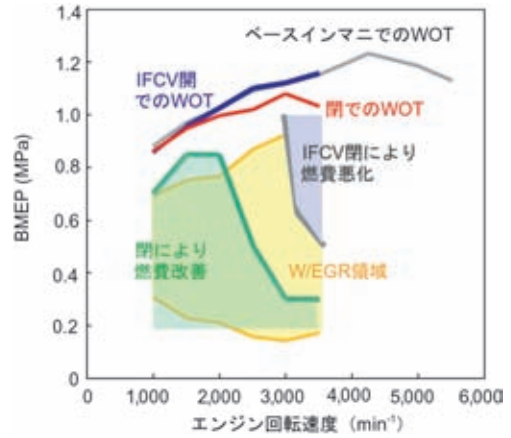


図8 IFCVの制御と燃費低減領域

IFCV control and region of fuel consumption reduction

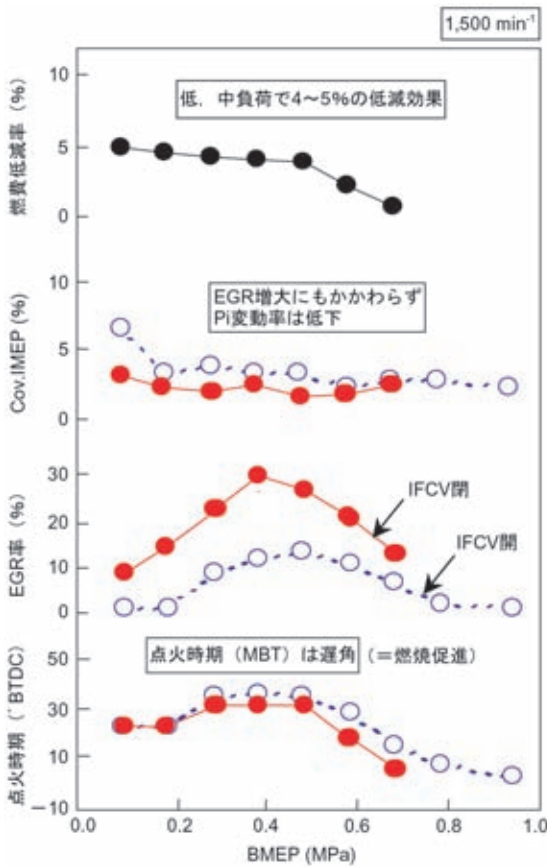


図7 IFCV付きインマニの部分負荷燃費低減効果  
Fuel consumption reduction by IFCV

表4 10・15モードとJC08 (HOT)の燃費低減率

Fuel consumption reduction ratio in 10-15-mode cycle and JC08 (hot) mode

10・15	JC08 (HOT)
3.5%	2.6%

試験結果を図6に示す。それぞれ4気筒平均の値である。

平均流量係数はベースに対し3.8%減少した。平均タンブル比は目標とした2をおおむね達成している。図7にIFCV閉の部分負荷燃費への効果を示す。

IFCV閉では大量にEGRを導入してもIFCV開より燃焼は安定しており、点火時期(MBT)はリタード側にあることから、燃焼活性化が著しいことが分かる。燃費低減率は低負荷から中負荷にかけて4~5%でBMEP 0.7 MPaまで効果は維持されている。

図8にIFCV制御領域を示す。空気流量が多くなるとバルブ閉による吸気時の損失仕事が増加するため燃焼改善効果は相殺される。それでも燃費効果のある領域は常用域の多くをカバーできている。また、10・15モード、JC08モードではすべてをIFCV閉で運転可能である。

## 5.2 実車モード燃費

IFCV開閉でのモード試験を行った。試験車両は国内向けのアウトランダーである。10・15モードでは3.5%、JC08 (HOT)では2.6%の燃費低減を達成できた(表4)。この中には燃焼改善によりMBTが遅角したため低回転、低負荷域をMBTに設定可能となったことが含まれる。

図9に10・15モードでの各運転領域の燃費低減率とモード燃費への寄与率を示す。定常運転が42%と最も寄与率が高く、次いで加速の30%となっている。低減率は定常が5%強であり台上での低減結果を再現できている。加速域は2%強であり、運転中のエンジン負荷が高くなるので低めになる。また、減速域の低減率が大きいのは

る。また、EGR導入でも点火時期は燃焼の活性化により過進角しておらず、他領域との点火時期差が少ないので運転も安定しやすい。このこともタンブル強化のメリットである。

## 5. IFCV付きインマニの性能検証

### 5.1 定常流及び台上試験での評価

これまでの知見をもとに設計したインマニの定常流試

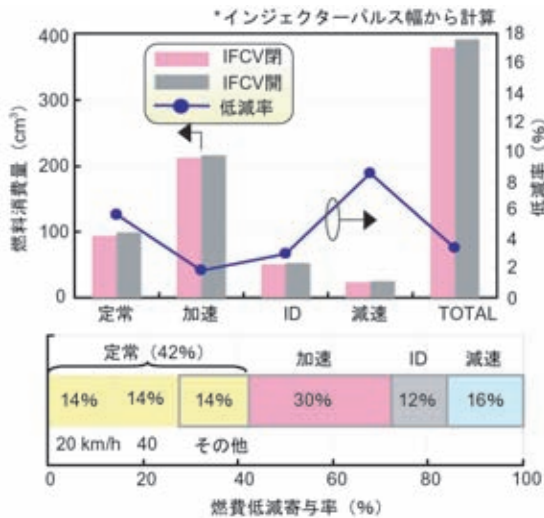


図9 10・15 モード燃費低減率と寄与率内訳  
Fuel consumption reduction ratio in 10-15-mode cycle and contribution ratio of each driving mode

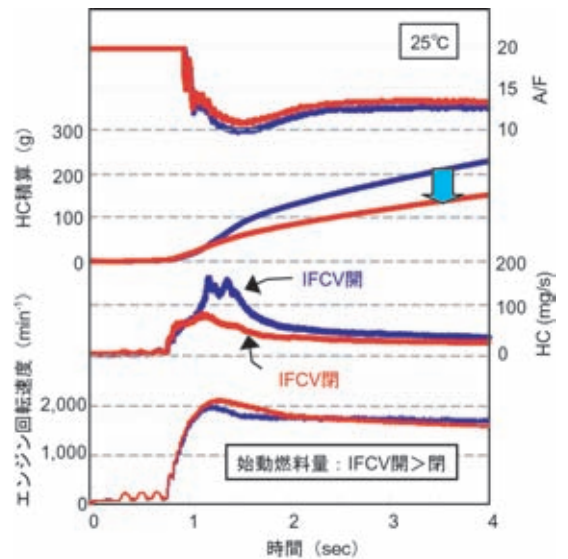


図11 冷態始動時のHC低減  
(始動性：低揮発性燃料使用時同等)  
HC reduction during cold start  
(with the same startability as that using low-volatility fuel)

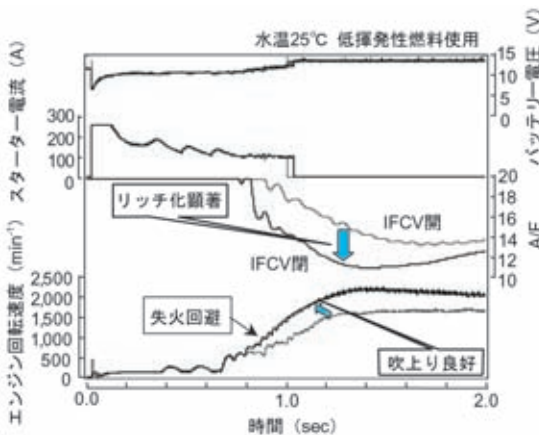


図10 冷態始動時低揮発性燃料使用時のIFCVの効果  
Effect of IFCV on cold startability with low-volatility fuel

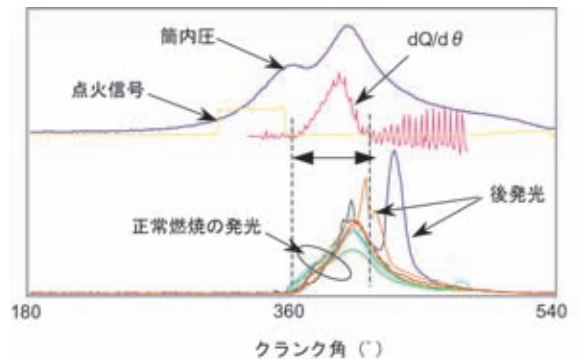


図12 後発光の定義  
Definition of after-radiation

燃焼改善により点火時期をMBT近くに設定できたためである。

## 6. 始動時の排気ガス低減

IFCVを閉じることにより，低揮発性燃料での始動性が改善できる(図10)。

これは初爆後の回転上昇による吸入空気の流速がIFCV閉により増大し，吸気ポートに噴射された燃料の輸送率が向上した結果である。本特性からIFCV閉では開と同等の始動性を得たい場合，燃料量を減らすことが可能となる。そこで，IFCV閉で始動フィーリング上必須である低揮発性燃料での始動性を確保できる燃料設定とした上で，通常燃料での始動時HCを調査した結果が図11である。IFCV閉でHCが低減できていることが分かる。

## 7. IFCV閉での始動時筒内液滴分布とHC

IFCV閉でのさらなるHC低減の可能性を調査するため筒内の液滴分布を間接的に検出することを試みた。その方法は始動時の燃焼光の観察によるもので，点火プラグに観測部(8方向)を設け，プラグから外周方向に向け燃焼光を計測する装置(AVL社製Visio knock)を用いた。

燃焼光センサからの信号は，通常の燃焼では熱発生率( $dQ/d\theta$ )と似た形状を示すが，冷態からの始動時には熱発生以降にスパイク的な信号が観察されることがある。これは筒内に液滴として流入したガソリンが火炎面に触れて燃焼する際の発光であると考え，正常燃焼時の信号とスパイク時の信号高さの比を後発光強度と定義し，その方向性を観測することで筒内の燃料液滴分布が推定できるものとして，以下の試験を実施した(図12)。また，HCについては高速HC計を用いて燃焼光を取得した

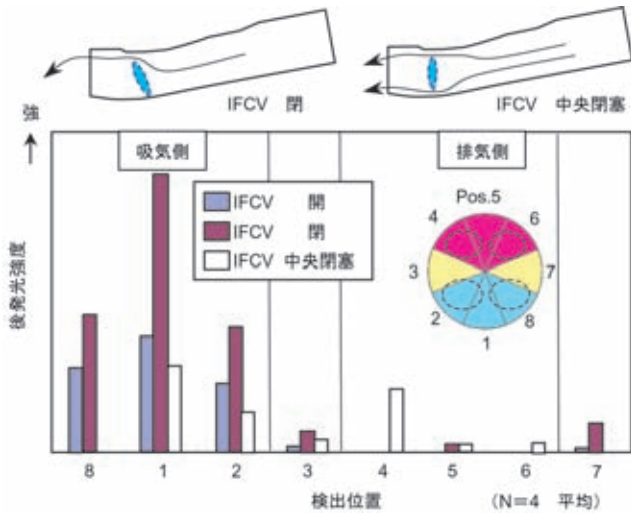


図13 後発光強度  
Intensity of after-radiation

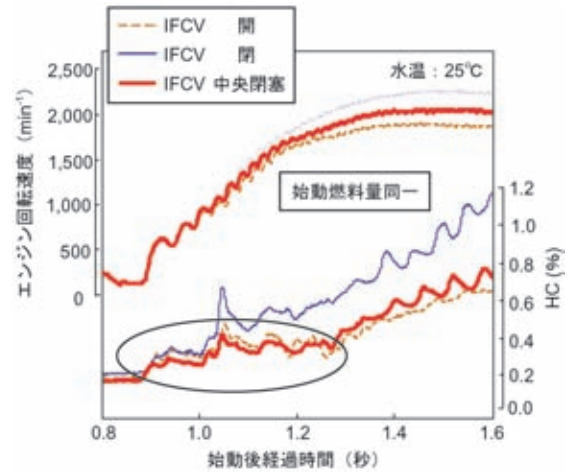


図14 冷態始動時IFCV取り付け位置とHC排出量  
Relationship between HC emissions and IFCV position

気筒を計測した。

IFCVを開，閉，そして中央部分を閉塞した場合の後発光強度と高速HC計測の結果を図13及び図14に示す。

IFCVを閉じた場合は後発光が強く発生場所は吸気側に偏っている。また，同一燃料噴射量ではHCの排出量は多くなっている。開の場合は後発光の強度も低く，発生場所の偏りも少ない。また，HC排出量もIFCV閉より少なくなっている。このことからIFCVを閉じた場合は吸気流を偏らせた反対側の流速が低下し燃料が液滴で流入する量が多くなり，HCが増加しているものと考えられる。

しかし，中央を閉塞した場合は後発光強度が低く，HCも低減している。これは吸気ポート壁近く上下に流速の高い吸気流を偏らせたことで，流速が遅かったポート下側壁の液滴付着が低減したことによるものと考えられる。

このことは吸気流制御の工夫によりさらにHCを低減できる余地があることを示している。

## 8. ま と め

- (1) インマニの一部を閉塞し吸気流を制御するIFCVを使用しタンブルを強化，大量のEGR導入を可能とし10・15モードで3.5%，JC08（HOT）で2.6%の燃費低減効果が得られた。
- (2) 低揮発性燃料での始動性を確保した上で通常燃料での始動時のHC低減が図れることを示した。

- (3) 始動時の吸気流制御の方法とHC排出の関係について，燃焼光を計測し解析した。吸気流の制御により流速が低くなった側の筒内では液滴の存在を示す発光が見られ，インマニの閉塞方法を改良することでHC改善の可能性があることを示した。

### 参考文献

- (1) 宮本，棚田，山下，田辺：SULEV規制対応技術の開発，自技会，学術講演会前刷集，No. 154-07，p. 19～24，2007
- (2) 吉村，吉松，安部，飯坂：ガソリン直噴エンジンのノッキング特性に及ぼす混合気均質化の影響，自技会，学術講演会前刷集，No. 132-05，p. 13～16，2005



宮本勝彦



山下正行



五島賢司



藤永尚人



三木田彰

# 動弁系振動計算コードの開発

Development of Vibration Calculation Code for Engine Valve-Train

北田 泰造\* 口田 征人\*  
Taizo Kitada Masato Kuchita

## 概要

当社の技術者が使い慣れているエンジン性能シミュレーター<sup>(1)</sup>と同じセンスで利用できる動弁系振動計算コードを開発した。この計算コードを利用すると、エンジン性能計算で決めたバルブリフトが動弁系振動に与える影響を素早く予測することができる。また、計算結果から動弁系振動を理解して適切な対策を取ることができる。

動弁系の振動計算では、バルブクリアランスなどの不連続な要素を取り扱う必要があるが、陰解法の差分で解く方法を取り入れることにより、安定して計算できるようになっている。また、周辺ソフトも充実しており、マウス操作で入力データを作成したり、スプリングの挙動をアニメーションで観察することができる。計算の操作はすべてWindowsアプリケーションを使って行えるようになっている。

## Abstract

A vibration calculation code for an engine valve-train was developed. This code can be used in a similar manner to Mitsubishi Motors Corporation (MMC)'s engine performance simulator<sup>(1)</sup> with which MMC engineers are very familiar. The code quickly predicts how the valve lift curve obtained by using the engine performance simulator affects the valve-train vibration. The calculation results help engineers to understand the valve-train vibration characteristic and to take appropriate countermeasures.

Valve-train vibration calculation is somewhat difficult because of nonlinear elements such as valve clearance, but this code ensures a stable calculation by employing finite difference calculus with the implicit method. The code also has some useful auxiliary software. For example, the data is input by mouse operation and the spring vibration can be observed as an animation. All operations can be done on Windows' applications.

*Key words: CAE, Vibration, Valve Train*

## 1. はじめに

コンピュータの進化により、吸排気系レイアウトとバルブタイミングを決めれば、エンジン性能シミュレーターで簡単にエンジン出力を予測できるようになっている。しかし、このソフトウェアでエンジン性能を引き出せる理想的なバルブリフトを決めても、それが動弁系の制約で利用できないケースが多々ある。また現在では、吸排気バルブタイミングを振ってエンジン性能を最大限に引き出す可変動弁機構から、マルチリンクを使いバルブリフト量も連続的に可変する機構が一般的になる勢いで、その進化は止まらない。このような進化に対応して、動弁系の実力を最大限に引き出すためにも、動弁系振動を予測する技術が望まれている。

今までの動弁系振動解析では、バルブリフトカーブをフーリエ展開して次数ごとの振幅を求めて、実用回転数の上限付近で、動弁系の固有振動数に強く影響を及ぼす次数成分がないかを確認するものだったが、近年、当社では市販の汎用ソフトLS-DYNA<sup>TM</sup>を使ったフルFEMの動弁系振動解析や、市販のADAMS/Engine<sup>TM</sup>を使った振動計算を行っている<sup>(2)</sup>が、入力モデルを作成する時間が長くなり、条件を変えて多数の計算が行える設計ツールにはなっていない。そこで、当社のエンジン技術者が日常的に利用して使い慣れているエンジン性能シミュレーターと同じセンスで利用できる動弁系振動計算コードの開発を行った。本稿では、この計算コードの概要と計算例について紹介する。

\* 開発本部 パワートレイン研究部

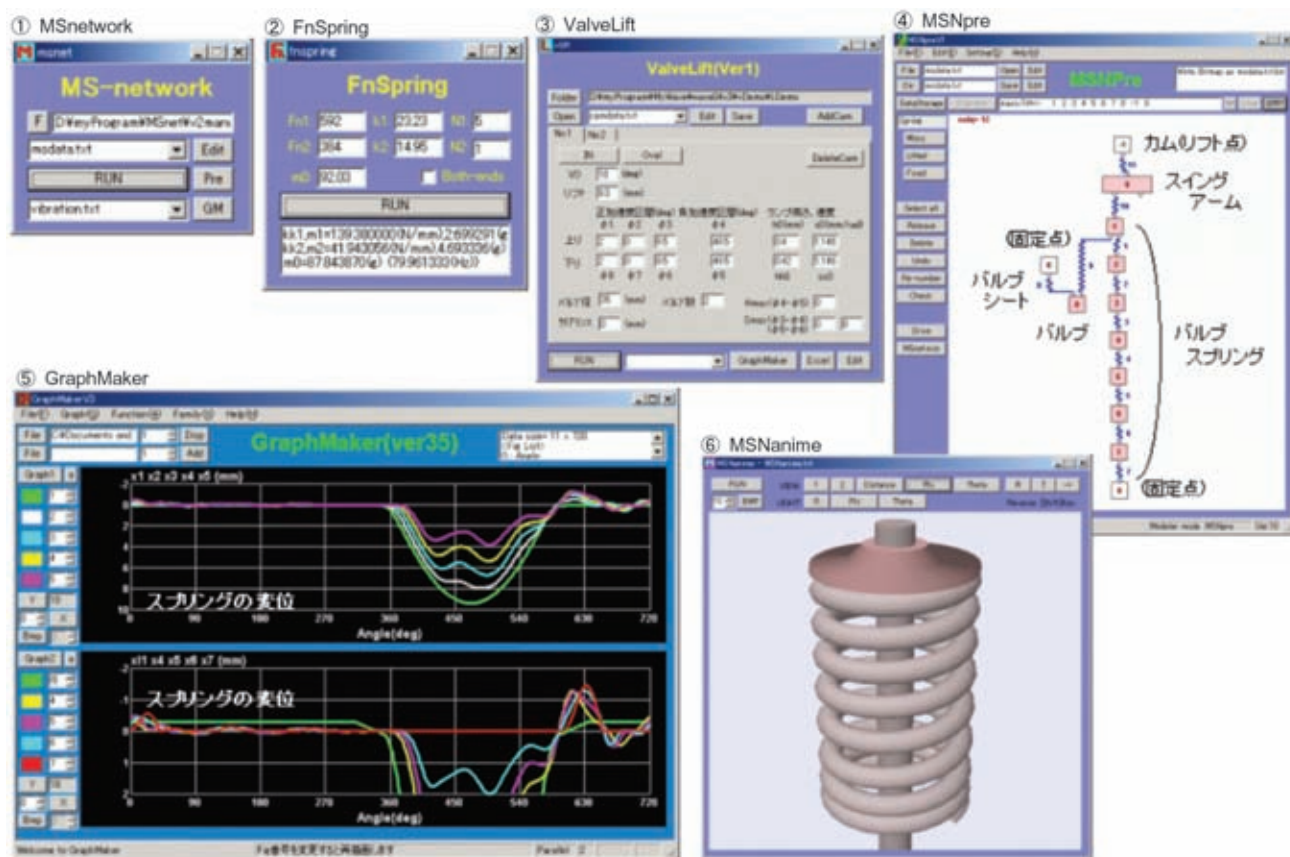


図1 動弁系振動計算コード (MSnetwork) と周辺ソフトウェア  
Valve-train calculation code and auxiliary software

## 2. 動弁系振動計算コードの概要

### 2.1 動弁系振動計算コードと周辺ソフトウェア

動弁系振動計算コードとその周辺ソフトウェアを図1に示す。すべての計算をWindowsアプリ上で行う操作環境になっている。MSNpre ( ) で入力モデルを、ValveLift ( ) でバルブリフトカーブを作成し、MSnetwork ( ) で計算を実行する。入力モデルを作成する際バルブスプリングを多質点にモデル化するのにFnSpring ( ) を利用する。計算結果は、GraphMaker ( ) を使って即座に作図してタイムリーに現象を解析することができる。また、MSNanime ( ) を使えば、バルブスプリングの挙動を動画で観察できるようになっている。これらのソフトウェアは、すべて当社で独自に作成したものである。

補足すると、MSNpreでは、マウスとボタン操作で、インタラクティブに一次元の振動系をモデル化して、入力データを作成することができるようになっている。質量、固定点、リフト点を示す要素をボタンで選んでマウスで画面上に配置し、これらの要素に付いているノブ間をマウスで結ぶことによりバネ要素を設定できる。各要素に与えるデータは、マウスの右クリックでダイアログ

を開いて設定する。

ValveLiftはエンジン性能シミュレーターと共通で、ポリノミアル(多項式)リフトカーブの他、サインカーブと放物線を組み合わせたリフトカーブ、サインカーブと楕円を組み合わせたリフトカーブを作成することができる。

MSNanimeでは、線径、コイル径、巻き数などのバルブスプリングの諸元と、表示するために必要なリテーナーとバルブ形状を記述したTextファイルを用意するだけで、計算で求めたバルブスプリングの質点変位を使って、スプリングの振動を表示できるようになっている。表示データを三次元で持っているので、視点の位置や角度を振って観察することができる。また、設定したクランク角度ごとに、画像をBitmapでファイルに落とす機能を持っており、この画像を編集してアニメーションを作成することもできる。

### 2.2 動弁系振動の計算方法

#### 2.2.1 一次元振動モデル

この計算コードでは、一次元の振動モデルを取り扱う。具体的には、入力データとして各スプリングの両端にどのような境界要素(質量、固定、外力振幅)が来るのかを記述することで、モデルの繋がりを定義している。

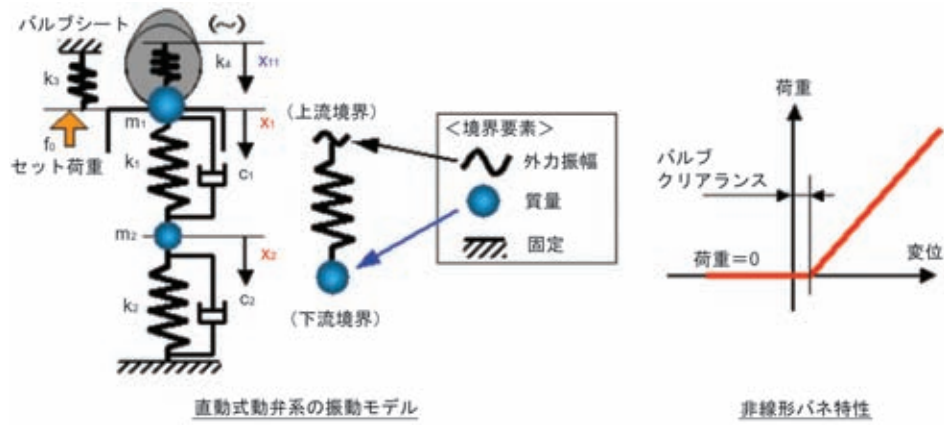


図2 動弁系振動計算コードの詳細  
Details of vibration calculation code for valve-train

計算の対象として取り扱うモデルは、図2に示すように一見単純に見えるバネ - 質量モデルだが、動弁系特有のバルブクリアランスやバルブのシートへの着座、高回転でバルブリフト中にカムとタペットが離れるジャンプや、さらに回転数を上げると、スプリングの線材同士が衝突する線間接触などの不連続な現象、すなわち、突然バネ定数が切り替わる現象が各所で発生する。

また、バルブスプリングには振動を抑えるための密巻部を設けており、バルブ着座時の振動が大きいと、通常接触している線間が開いてスプリングのバネ定数を変え、動弁系固有振動数が変化するようにになっている。ここで言う動弁系固有振動数とは、スプリングの一部とバルブ、リテーナー、タペットなどを合算した質量とスプリングのバネ定数で決まる値を指す。

よって、動弁系振動の計算では、このようなバネ定数に突然の変化が起こった場合でも、発散することなく安定して計算を進められるアルゴリズムを採用する必要がある。

### 2.2.2 振動計算のアルゴリズム

安定して振動計算を行うために、完全陰解法のアルゴリズムを採用した。この方法は、今の各質点の変位を仮定して、すべての変位が矛盾なく決まるまで、仮定した変位を修正しながら計算を繰り返す方法である。

図2に示した2質点の動弁系を例にとると、質点 $m_1$ と $m_2$ の運動方程式は、式(1)及び式(2)で表される。

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} = k_1(x_2 - x_1) - k_3 x_1 + k_4(x_{11} - x_1) + c_1 \left( \frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right) - f_0 \quad (1)$$

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} = k_1(x_1 - x_2) - k_2 x_2 + c_1 \left( \frac{dx_1}{dt} - \frac{dx_2}{dt} \right) - c_2 \frac{dx_2}{dt} \quad (2)$$

- ここで、 $m$  : 質量
- $x$  : 変位
- $k$  : バネ定数
- $c$  : 減衰係数
- $t$  : 時間
- $f_0$  : 荷重
- 添字 1, 2, 11 は各要素の番号を示す。

時間方向の二次精度の前進差分<sup>(3)</sup>で、加速度と速度はそれぞれ式(3)、式(4)と表示できる。

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{2x^n - 5x^{n-1} + 4x^{n-2} - x^{n-3}}{dt^2} \quad (3)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{3x^n - 4x^{n-1} + x^{n-2}}{2dt} \quad (4)$$

ここで、上付きの添字 $n$ は時間ステップ ( $n$  : 今,  $n-1$  : 1step 過去,  $n-2$  : 2step 過去,  $n-3$  : 3step 過去) を示す。

この式(3)、式(4)を式(1)、式(2)に代入すると、質点 $m_1$ と $m_2$ の変位は式(5)と式(6)の離散式で表すことができる。

$$x_1^n = \frac{\frac{m_1}{dt^2} (5x_1^{n-1} - 4x_1^{n-2} + x_1^{n-3}) + k_1 x_2^n + k_4 x_{11}^n + \frac{3c_1}{2dt} (3x_2^n - 4x_2^{n-1} + x_2^{n-2} + 4x_1^{n-1} - x_1^{n-2}) - f_0}{\frac{2m_1}{dt^2} + k_1 + k_3 + k_4 + \frac{3c_1}{2dt}} \quad (5)$$

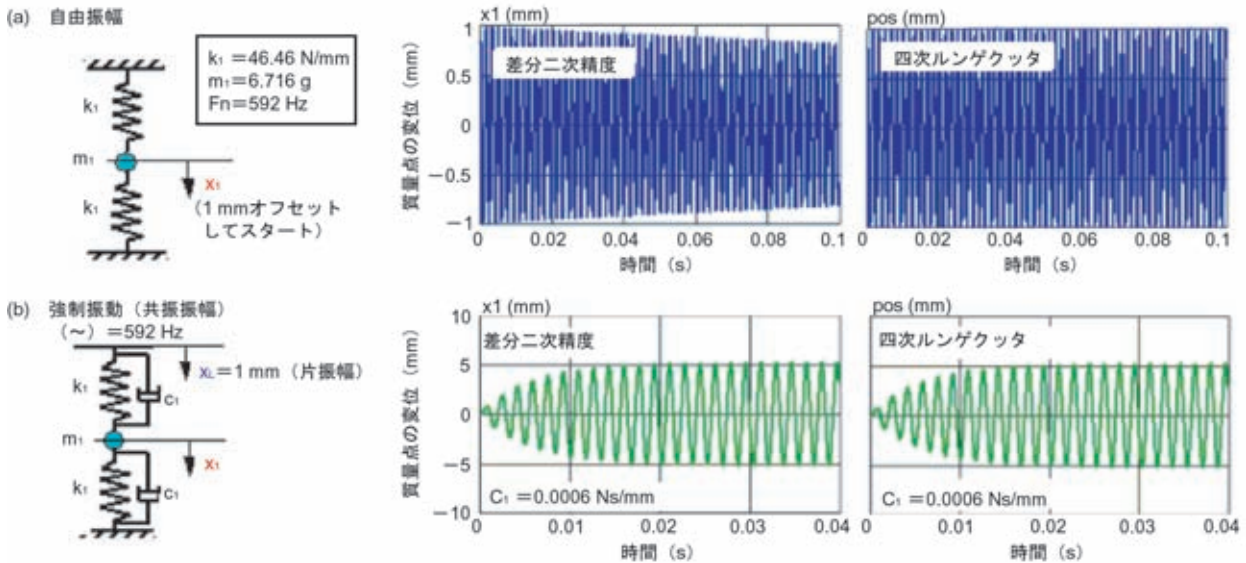


図3 二次精度差分法の計算精度

Precision of calculus of finite difference with second-order accuracy

$$\begin{aligned}
 & \frac{m_2}{dt^2} (5x_2^{n-1} - 4x_2^{n-2} + x_2^{n-3}) + k_1 x_1^n \\
 & + \frac{3c_1}{2dt} (3x_1^n - 4x_1^{n-1} + x_1^{n-2} + 4x_2^{n-1} - x_2^{n-2}) \\
 & + \frac{3c_2}{2dt} (4x_2^{n-1} + x_2^{n-2}) \\
 x_2^n = & \frac{\quad}{\frac{2m_2}{dt^2} + k_1 + k_2 + \frac{3c_1}{2dt} + \frac{3c_2}{2dt}} \quad (6)
 \end{aligned}$$

この離散式で上付きの添字nが付いた今の変位に注目すると、 $x_1^n$ を求めるのに $x_2^n$ を、逆に $x_2^n$ を求めるのに $x_1^n$ を使っていることが分かる。よって、 $x_1^n$ と $x_2^n$ とが矛盾なく成り立つ解を見つけるには繰り返し計算を行う必要がある。しかし、このようにして求めた結果は、すべての今の変位が矛盾なく成り立っているため、急にバネ定数が切り替わった場合でも発散することはなく、安定して計算することができる。

また、計算の時間ピッチに対する制約が緩いので、計算ステップをクランク角1度に固定して計算を行える。1ステップの時間がエンジン回転数によって大きく変わるが、陰解法のアルゴリズムにより、問題なく解くことができる。

### 2.2.3 計算精度の検証

差分で求める振動計算の精度を検証するために、スプリング単体の1質点モデルで質点をオフセットさせ、その減衰の様子を観察すると、図3(a)に示すようになった。陽解法の四次ルンゲクッタ法は計算精度が高いため、0.1秒間ではほとんど減衰しないが、二次精度の差分では、計算誤差によって生じる人工粘性の影響で、振幅が約20%低減している。

図3(b)には、スプリングの一端に共振周波数の振幅を与えて質点の変位を観察した例を示している。ここでは

適当な減衰係数を与えている。この減衰係数を与えた条件では、差分二次精度の共振倍率は四次ルンゲクッタと変わらないことが分かった。スプリング要素には、常にこの程度の減衰係数を与えるので、実用的には、二次精度の差分で計算を行っても支障を来たすことがないと考えられる。

また、適切な減衰係数が分からず、とりあえず計算を行う場合のために、一次精度の差分も利用できるようにしている。この一次精度の差分を利用すると、計算誤差による人工粘性が程よく作用するので、スプリング要素に減衰係数を与えなくても計算を行うことができる。

### 2.3 バルブスプリングの多質点モデル化

バルブスプリングを多質点でモデル化するために、専用のソフトウェア(FnSpring)を用意している。この計算ソフトでは、スプリングのバネ定数と固有振動数を与えて、質点の数を設定すれば、分散させる質量が求まるようになっており、密巻部を持つスプリングにも対応している。また、多質点化によって、動弁系質量(図4(c)の $m_1$ )に含めるバルブスプリングの質量が変わってくるので、この補正も行うようになっている。

分散質量は、たわみ影響係数を利用してフレキシビリティマトリックスを作成し、これを反復計算法<sup>(4)</sup>で解いて求めている。図4(a)のスプリングを3質量点に分散させる場合は、マトリックスと各質点の影響係数は以下ようになる。

$$\begin{pmatrix} x_1' \\ x_2' \\ x_3' \end{pmatrix} = \omega^2 \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \quad (7)$$



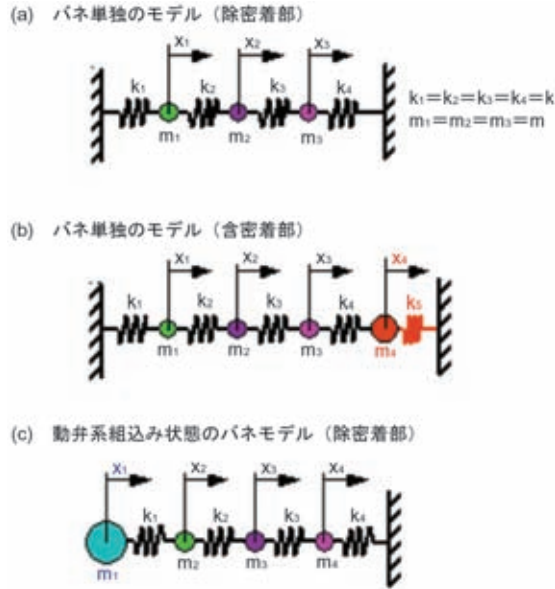


図4 バルブスプリングの多質点化モデル  
Multi-mass calculation model for valve spring

$$a_{11} = \frac{m_1}{k_1 + 1/(1/k_2 + 1/k_3 + 1/k_4)} = \frac{3m}{4k} \quad (8)$$

$$a_{21} = a_{11} \frac{1/(1/k_2 + 1/k_3 + 1/k_4)}{1/(1/k_3 + 1/k_4)} = \frac{2}{3} a_{11} \quad (9)$$

$$a_{31} = a_{11} \frac{1/(1/k_2 + 1/k_3 + 1/k_4)}{k_4} = \frac{1}{3} a_{11} \quad (10)$$

$$a_{22} = \frac{m_2}{1/(1/k_1 + 1/k_2) + 1/(1/k_3 + 1/k_4)} = \frac{m}{k} \quad (11)$$

$$a_{12} = a_{22} \frac{1/(1/k_1 + 1/k_2)}{k_1} = \frac{1}{2} a_{22} \quad (12)$$

$$a_{32} = a_{22} \frac{1/(1/k_3 + 1/k_4)}{k_4} = \frac{1}{2} a_{22} \quad (13)$$

ここで、影響係数  $a_{ij}$  は質量  $m_j$  が質点  $i$  の変位 ( $x_i$ ) に及ぼす影響を示している。例えば、 $a_{21}$  は質点1の質量  $m_1$  が質点2の変位 ( $x_2$ ) に及ぼす影響度合いを示している。

なお、 $a_{11}$  は固有振動数を示しており、 $a_{13} \sim a_{33}$  は  $a_{11} \sim a_{31}$  と同様の式になるので省略している。

反復計算法は、影響係数を求めて式(7)のマトリックスを作成し、適当な初期値を変位  $x_1 \sim x_3$  に与えて  $x_1' \sim x_3'$  を求め、 $x_1 \sim x_3$  を  $x_1' \sim x_3'$  に置き換えて計算する操作を、両者が一致するまで繰り返して固有振動数を求める手法である。

今回は、目標とする固有振動数になるように、質量  $m$  を求める計算なので、適当に仮定した質量  $m$  を修正して、目標の固有振動数になるまで上記の手法を繰り返している。

ここで求めた質量を既知として、密巻部の質量 (図4(b)の  $m_4$ ) と動弁系の修正質量 (図4(c)の  $m_1$ ) も同じように求めている。

### 3. 計算例

#### 3.1 直動式動弁系の計算例

##### 3.1.1 エンジン最高回転数付近の動弁系振動

カムで直接タペットを押し下げてバルブを開く直動タイプの動弁系振動を計算した例を示す。この振動系には、密巻部を含んだ6質点のバルブスプリング、バルブクリアランスを持ったカム剛性とバルブシートを含めている。また、バルブスプリングにはセット荷重 ( $f_0$ ) を与えている。

図5は、設計上限エンジン回転数 ( $7,500 \text{ min}^{-1}$ ) での計算例を示している。強制外力として、ランプ高さを含めたカムリフト量をカム部に与えている。バルブ加速度に動弁系質量を乗じた動弁系荷重が、スプリングの静荷重に対して十分な余裕を持って設定されているが、このエンジン回転数ではスプリングがかなり励振されており、もう少しエンジン回転数を上げると、動弁系荷重をスプリング力で支えきれなくなる部分が出るのが予想できる。スプリングの下端 ( $k_7$ ) は密巻になっているので、バルブ着座時に振動を減衰させるため、線間が開いたり閉じたりしており、線間が開いたり閉じたりしてあり、線間が開閉するタイミングで、線同士の間による衝撃荷重が出ている様子が分かる。また、

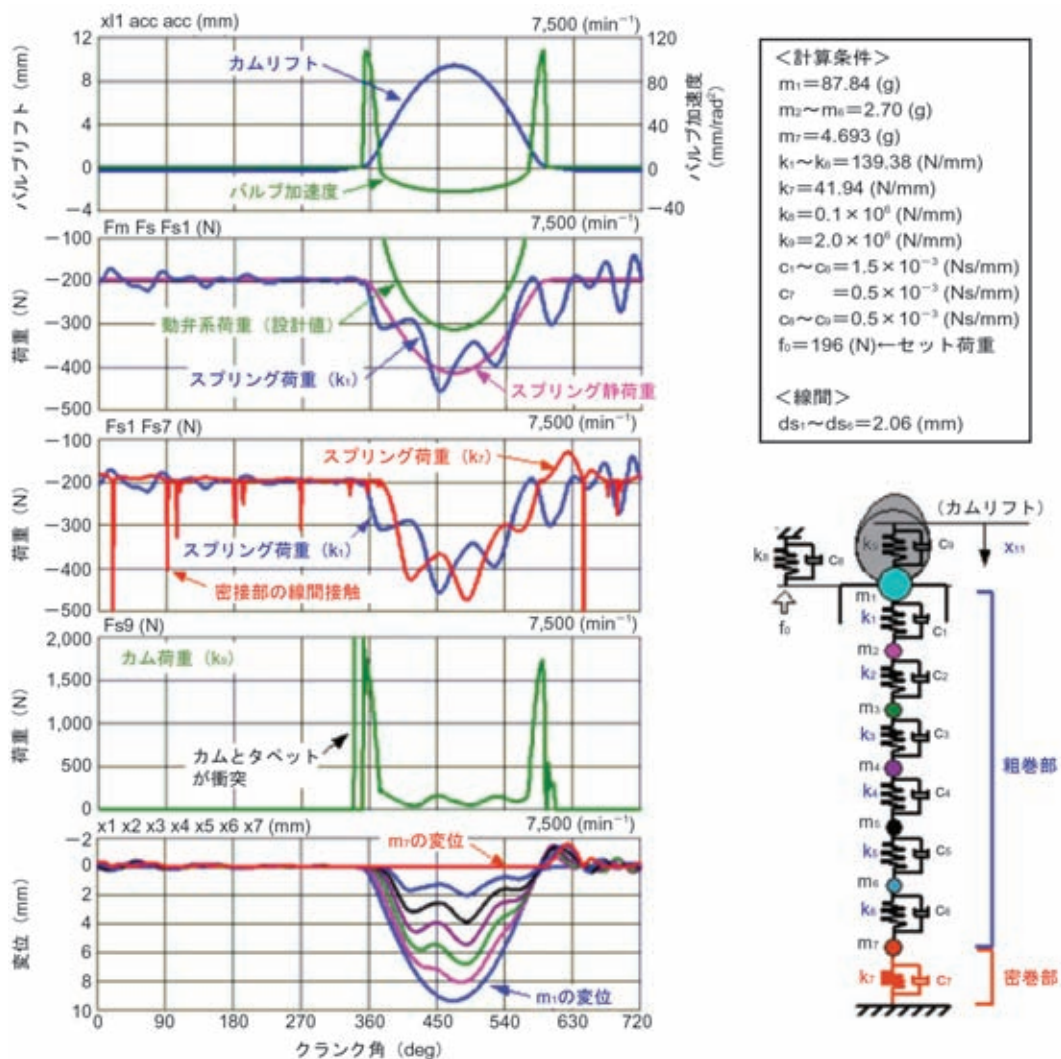


図5 直動式動弁系の計算例 (7,500 min<sup>-1</sup>)  
 Example of direct-acting valve-train calculation (7,500 min<sup>-1</sup>)

スプリングの両端の荷重 ( $k_1$  と  $k_7$ ) は逆位相に変動している。

### 3.1.2 ジャンプ発生のシミュレーション

設計回転数を超えてエンジンを運転すると、ある回転数からジャンプと呼ばれる現象が起こる。これは、バルブスプリングが動弁系荷重を支えきれなくなるタイミングが発生し、タペットがカム面から離れる現象を言う。

ジャンプが発生し始めたエンジン回転数での動弁系挙動を図6に示している。計算条件は図5と同一である。一番上のカムリフトとバルブリフト ( $m_1$  の変位) を重ねた図では差が分からないので、下の図に拡大して示すと、最大リフトの前後で2回小さなジャンプが発生していることが分かる。スプリング荷重の変動により、動弁系荷重を支えきれなくなるタイミングが発生し、ここでジャンプが起こっている。カムのバネ要素に引っ張り側で荷重を発生させないように、すなわち、バネ定数を0に切

り替えているため、このジャンプの現象をシミュレーションすることができている。カム荷重 ( $k_9$ ) を見ると、ジャンプで一旦離れたタペットがカム面に戻るタイミングで、衝撃荷重が発生していることが分かる。また、バルブリフトを拡大した図からは、僅かな変位量ではあるがバルブ着座時にバウンスが発生し、減衰していく様子が分かる。バウンスとは、バルブが速度 (ランブ速度) を持ってバルブシートに着座するため、その衝撃をシートで吸収できない場合に飛び跳ねる現象を言う。

### 3.1.3 スプリングの線間接触のシミュレーション

さらにエンジン回転数を上げていくと、到底スプリング力では動弁系荷重を支えきれなくなり、図7に示すようなカムリフトを大きく上回るジャンプが発生する。そうするとバルブは設定したリフトどおりに動作せず、ランブ速度を越えてバルブシートに着座するため、大きな

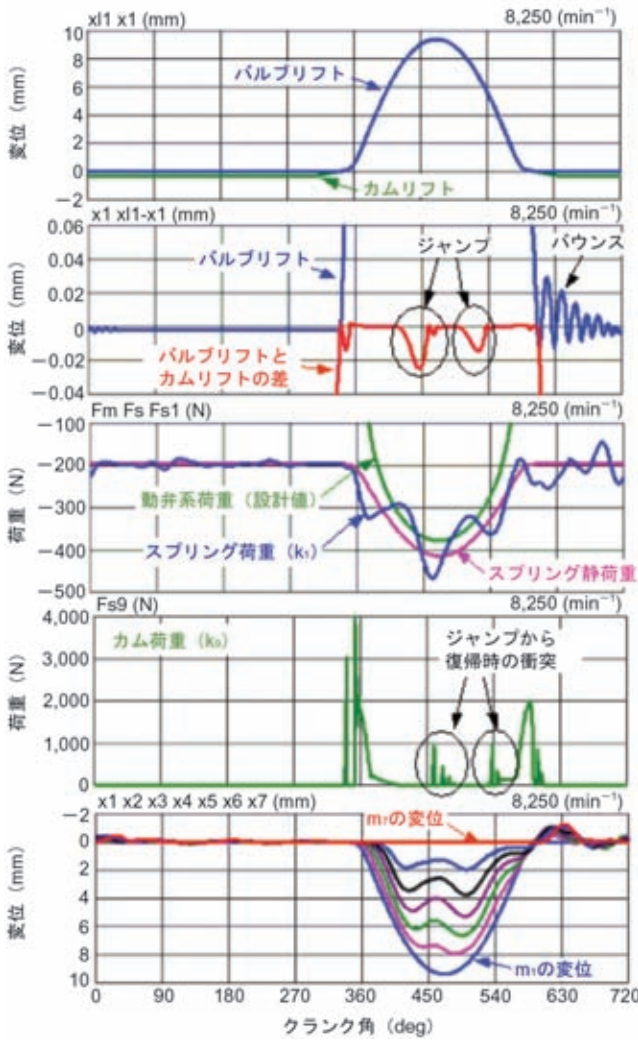


図6 直動式動弁系の計算例 (8,250 min<sup>-1</sup>)  
Example of direct-acting valve-train calculation (8,250 min<sup>-1</sup>)

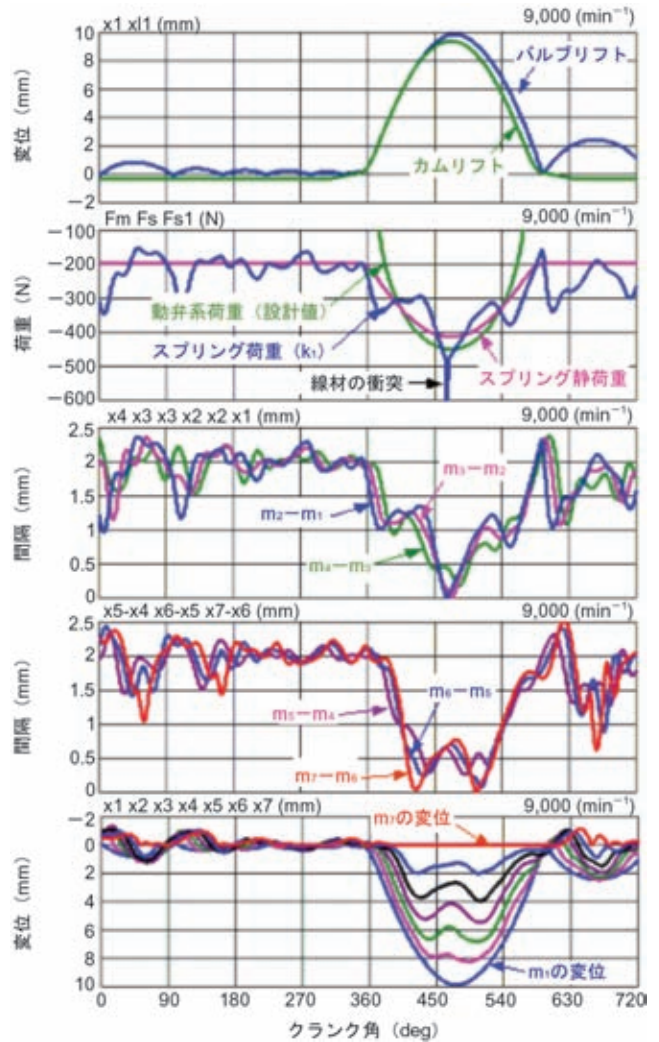


図7 直動式動弁系の計算例 (9,000 min<sup>-1</sup>)  
Example of direct-acting valve-train calculation (9,000 min<sup>-1</sup>)

バウンスが発生する。このバウンスは減衰するものの、着座期間を通して持続している。

大きなジャンプが発生するとバルブリフト量が大きくなり、設定した以上にバルブスプリングを押し下げる。そして、スプリングの内部で生じている振動と相まって、線材同士が衝突する線間接触が発生する。

図7は、線間が0になる様子と、線材の接触によって衝撃荷重が発生する様子を示している。

この線間接触を再現するため、設定している質点間の距離より縮むと、大きなバネ定数に切り替えるようにしている。

### 3.2 スイングアームを含めた計算例

この計算コードは、スイングアームのようなロッカー比を持った要素を特殊な質点として取り扱う機能を持っている。図8に、ロッカー比1.4(一定)のスイングアームを含めた振動系を計算した例を示す。この振動系モ

デルには、バルブのステム部をバネ要素、ヘッド部を質量要素としたモデルを加えている。

図に示すように、カムリフトに対してバルブリフトはロッカー比倍になっている。また、スイングアームのカム側の正加速度荷重がバルブ側のロッカー比倍になっている。

また、カムとスイングアーム間にバルブクリアランスを与え、カムとスイングアーム間のバネ要素( $k_{11}$ )とスイングアームとバルブ間のバネ要素( $k_{10}$ )に非線形性を持たせて、圧縮のみ荷重を伝えるようにしているため、バルブ着座時に、このクリアランス内をスイングアームが上下している様子が計算できている。

バルブシステムには、バルブ着座時にスプリングセット荷重が引っ張りで、リフト時にバルブヘッド部の質量にバルブ加速度を乗じた力が加わっていることが分かる。そして着座のタイミングで、セット荷重に衝撃荷重が上乘せられることが分かる。

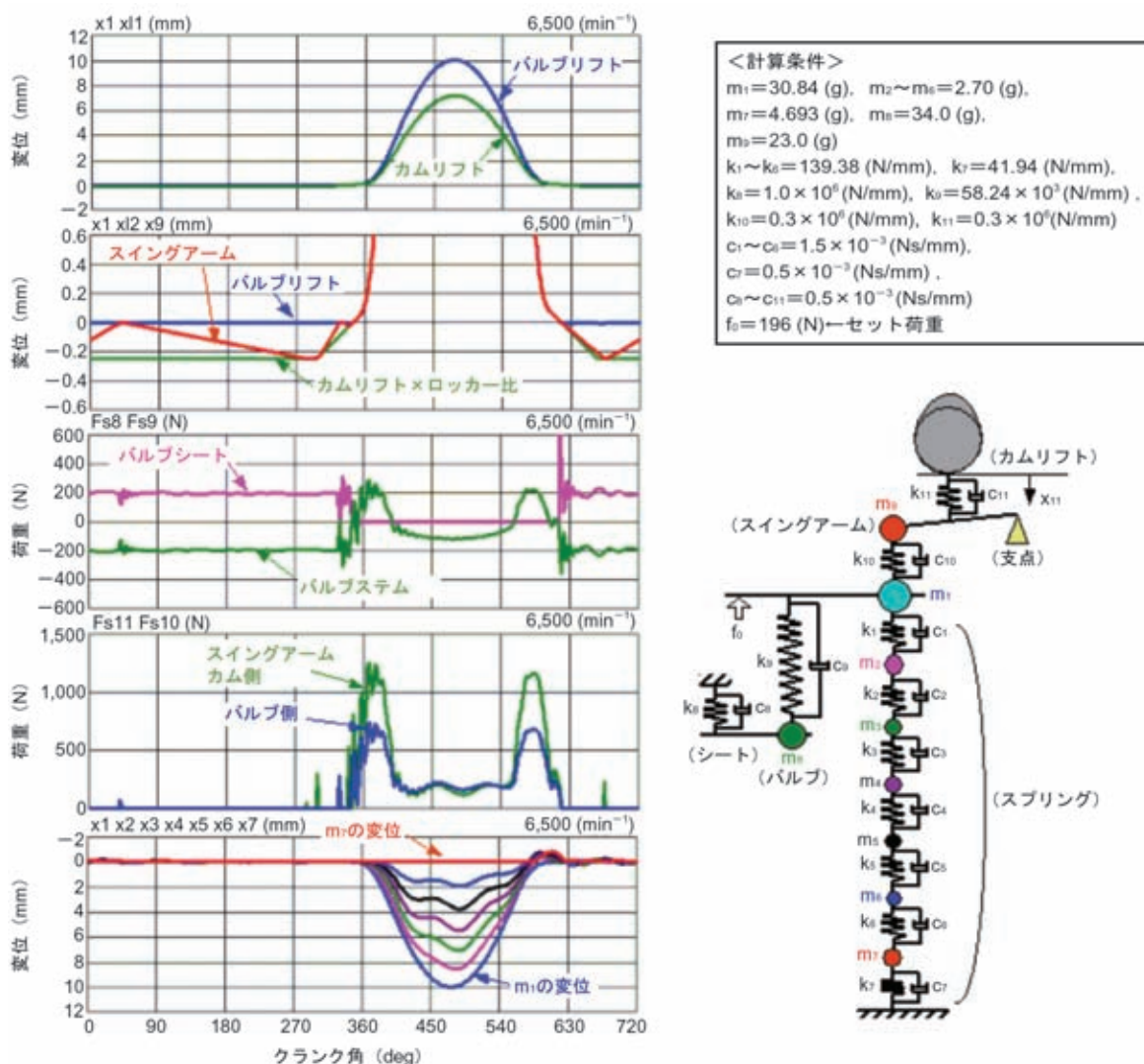


図8 スイングアーム式動弁系の計算例(ロッカー比1.4)  
 Example of swing-arm-type valve-train calculation (Rocker ratio 1.4)

### 3.3 スプリング振動のアニメーション表示

クランク角を横軸に取りスプリングの変位を示した図からでは、スプリングの線材がどのように振動しているかをイメージすることは難しい。そこで、視覚的に現象を理解できるように、スプリングの振動をアニメーション表示するソフトウェアを用意している。

図9は、3.1.1項の直動式動弁系 7,500 min<sup>-1</sup> 運転時のスプリング挙動を示したものである。この図に示したスプリングの画像を見ると、バルブリフトが始まると、まずスプリングの下端が縮む様子や、戻るときはスプリングの上端から開いていく様子が観察できる。そして、バルブが着座したタイミングから少し遅れて、密巻部が開く様子がよく分かる。

## 4. ま と め

動弁系の振動計算では、バルブクリアランスのような不連続な要素を多数取り扱うが、この計算コードで採用

した陰解法の差分により、安定した計算が実現できている。本稿では、この計算方法で動弁系に現れるジャンプ、バウンスやスプリングの線間接触なども取り扱えることを示した。また、この計算コードは、周辺ソフトウェアも含めて、当社の技術者が使い慣れているエンジン性能シミュレーターと同じセンスで利用できるように配慮している。

振動計算は、流体計算のような難しさがないので、試験結果から減衰係数をうまく選べば、試作レス開発を実現できる可能性があるかと期待している。

計算機の性能向上に伴って、動弁系、主運動系、タイミング系を含めたエンジン全体の振動シミュレーションが可能になってきたので、これに取り組んでいきたい。また、エンジン性能シミュレーターでバルブの前後に加わる圧力が求まっているので、この影響を取り込んで計算できるようにしたいとも考えている。

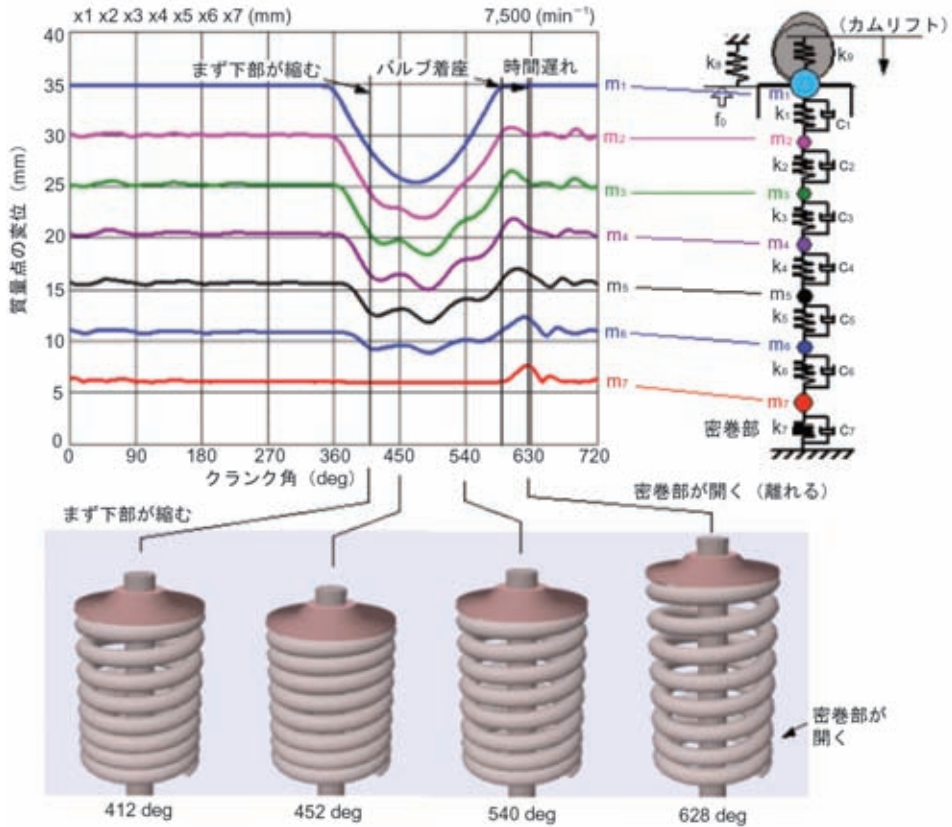


図9 バルブ挙動のアニメーション (直動式7,500 min<sup>-1</sup>)  
Spring movement animation (Direct-acting type at 7,500 min<sup>-1</sup>)

## 5. あとがき

市販のソフトウェアの充実により、CAE業務は計算コードの開発から、導入した市販のソフトウェアを早く動かして計算結果を出すことになってきている。計算対象の運動方程式や計算アルゴリズムを十分に理解せずに計算を行っているため、見当違いの計算結果になっていることも少なくない。これを避けるため、これからも比較的簡単なコーディングで作れるものは、なるべく独自開発する試みを続けて行きたいと考えている。

プログラムの開発に当たり、計算精度の検証にパワートレイン研究部藤本、大澤社員の協力を得た。

## 参考文献

- (1) 北田、口田、大橋：三菱自動車テクニカルレビュー，NO. 11，p. 31，1999
- (2) 藤本、東、大澤（ほか2名）：三菱自動車テクニカルレビュー，NO. 19，p. 19，2007
- (3) 日本機械学会編，流れの数値シミュレーション，p. 58，コロナ社
- (4) 北郷、玉置：機械振動学 基礎と応用，p. 84，工学図書



北田泰造



口田征人

# 運転の習熟とそれを支援する制御技術（パワートレイン編）

Inexperienced Drivers' Behavior, and Control Technology that Adapts Powertrain Behavior to Drivers

梅井一英\*  
Kazuhide Togai

## 概要

自動車は運転があって初めて目的どおり走ることができる。運転技術はうまいへたがあり、うまく運転するにはある程度経験が必要である。運転者のモデルを作成して速度追従運転シミュレーションに適用し、経験による習熟の要因は先読みと車両挙動の内部モデルの精度であることを示した。駆動力を発生するパワートレインでは非線形性や応答遅れが大きく、また外乱による操作以外の出力変化がある。これらを制御技術により改善することで、より少ない経験でも車両応答の違いにとまどうことなく運転できるようになる。

## Abstract

For a vehicle to move as desired, it must be driven by a person. Some drivers are more skilful drivers than others, and good driving requires a certain amount of experience. Mitsubishi Motors Corporation (MMC) recently created a driver model and applied it to a speed tracking simulation. The results showed that the experience-linked level of skill was dictated by the ability to read the road ahead and by the accuracy of the internal model of vehicle behavior. With the powertrain, which produces driving force, it was found that non-linearity and response lags were significant and that interference caused output fluctuations other than those caused by driver inputs. By employing control technologies to improve these factors, MMC made it possible for inexperienced drivers to drive without being troubled by discrepancies between driver inputs and vehicle responses.

**Key words:** Driving Behavior Modeling, Driving Agent, Emission Test Cycle, Disturbance Compensation, Powertrain Control

## 1. はじめに

乗用車は何十個ものマイクロコンピュータが搭載されている高性能な機械である。しかし機能は人のある地点から別な地点に道路に沿って運ぶことであり、人が運転しなければ全く機能しない道具である。衣類を入れれば乾燥までできる洗濯機の方が自動機器としては高度である。道具であれば使う人の身体特性と合わせて初めて機能が生きる。道具と人の関係では、はさみや包丁では利き手に合わせたものがある。指で音階を作らなければならないバイオリンでは子ども用にいくつかの大きさがある。近代になって発達し、音程が保証されているピアノでは鍵盤の大きさは一定で、身体特性が演奏技術に影響する。

アクセルを踏めば駆動力を発生して車は走り、ブレーキを踏めば減速する。しかしエンジンやトランスミッションの機構によりアクセルに対する駆動力の応答性は異なる。人間は体をセンサアクチュエータとして目標軌道（道路、速

度）に追従するようアクセル/ブレーキを操作している。

自動車の挙動は人間が含まれる追従系において検討しなければならない<sup>(1)</sup>。そこで、人間の運転操作を構造（目標値の先読み、反応・操作遅れ、以前の経験をもとにした学習などの要素を定義して）とパラメーターによりモデルを構成した。それに対してパワートレインの応答性（静的及び動的）、制御を含む外乱への応答。これを用いて速度追従運転の習熟過程を解析した。こうして人間の運転挙動を含めて自動車の応答を考えることで人間-機械系の中で操作しやすい自動車を設計することにつながる<sup>(2)</sup>。

## 2. 人間の運転操作（速度追従）

### 2.1 習熟度による運転挙動の違い

シャシダイナモ上で日本の燃費排出ガス計測法として規定されている10・15モード運転をした。運転者として排出ガス計測モード運転が初めての者と試験に利用した車で排出ガス計測を常時している熟練者を選び、それぞれの操作量と目標追従性を計測した。図1に試験結果を示す。

\* 開発本部 パワートレイン研究部

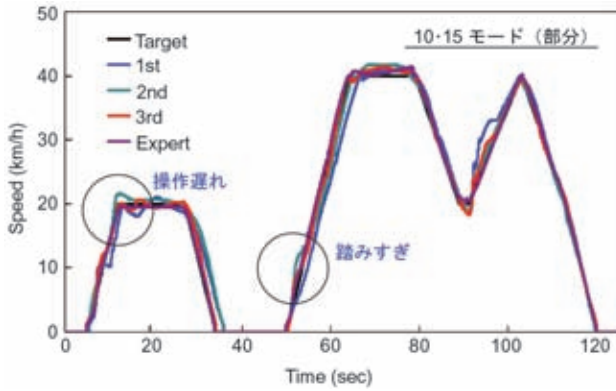


図1 排出ガステストモードでの目標速度追従性  
Target speed tracking behavior in a test cycle

### 2.2 追従性と操作の差の要因分析

初心者はモード運転の目標速度変化に慣れていない。そのため、目標変化点に対してあらかじめ予測してアクセルとブレーキの操作を準備しておくことができない。またアクセルやブレーキの踏み込み量に対する車の加減速度の感覚をつかんでいないので、加速や減速の開始点で適切な初期操作量が設定できない。そこで速度偏差から修正の動作をするが、人間は瞬時のフィードバック反応があまり得意でないことから、修正操作に時間がかかる。反応遅れ（タイミング）とフィードバック操作量の適切さが2回目以降に習得され少しずつ追従性が改善されていく<sup>(3)(4)</sup>。

## 3. 運転者モデル

### 3.1 認知, 判断, 操作

人間の操縦を理解するために運転者モデルを構成した。モデルは構造が明示でき、パラメーターにより熟練度を含む個人差を設定できるものとした。そこでモデルを構築する前に人間の運転行動を分析した。目標速度変化から次の操作を準備する。また現在の速度と目標とのずれから修正操作をする人間の行動は認知（将来の速度と現状のずれの認識）、判断（どれくらいアクセル/ブレーキを操作する）、操作（足の動作）に分けられる。これらが主要な機能であり、機能間の情報の流れを図2に表す<sup>(5)</sup>。

- ここで、 $V(t)$  : 現在の速度  
 $V'(t)$  : 認識された速度（遅れ含む）  
 $a(t)$  : 推定加速度誤差  
 $f(t)$  : 操作力  
 : 各段階の付加誤差  
 （添字 R:認識, E:判断, A:操作）  
 : 反応遅れ  
 （添字 R:認識, E:判断, A:操作）

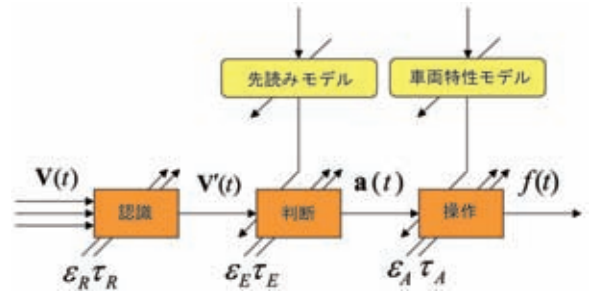


図2 運転者のモデル構造と情報伝達  
Driver model and information transfer

### 3.2 操作量の制御

速度制御の操作量はアクセルとブレーキである。ブレーキ制動力はブレーキペダル踏み込み力が負圧ブースター（マスターバック）と油圧装置で増強されたものである。ブレーキ操作が選択されると、まず予備動作として、足を一定量動かし（例えばアクセルからの踏み替え）、ペダルに足を乗せ、適当な反力があれば、初期の位置決めは終わる。そこからある一定力になるまで踏み込む（フィードフォワード）、そして速度のずれを判断しながら踏み込み力を変える。

アクセルペダルの操作力はブレーキペダルに比べはるかに軽く（ストローク 50 mm で 10 N・m、ブレーキの 1/20）微妙なアクセル量（踏み込みストローク）調整がしやすくなっている。図3にストロークと踏力を示す。

### 3.3 予測

実際の道路で曲がるときドライバーは現在の地点ではなく先を見ており、それも速度に応じた先の地点である。カーブにさしかかったときに適切な操舵ができているように、操作に必要な時間も見込んでハンドル操作を始める。車の加速/減速においても同じであり、先の地点（時点）を見て、アクセルとブレーキの踏み替え時間と応答性を考慮して操作を始める。初心者では近くを見すぎることがあり、速度に応じた視点と操作開始は習熟度による。

### 3.4 車両応答の人間の内部モデル

目標とする車両の加速（度）/減速（度）に対してアクセル/ブレーキを操作する量が最初は分からないので操作量が多すぎ戻すことがあっても、その車に慣れれば操作量はほぼ決まってくる。これは人間の中に車両応答のモデルが形成されることを示している。

アクセル・ブレーキ操作量と加速度の関係（知識）が何らかの形で運転者の体認知判断系の中に埋め込まれていないと、予測運転あるいは足のフィードフォワード操作はできない。アクセル操作量と反力の関係は線形であるが、エンジンの出力トルクとの関係では、図5に見ら

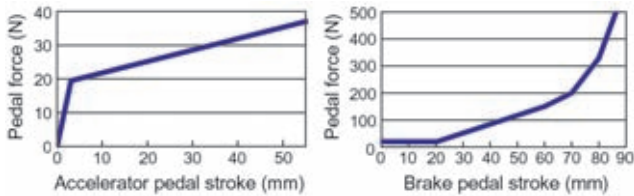


図3 アクセルとブレーキのストロークと踏力  
Pedal force vs. stroke - accelerator and brake pedals

れるようにアクセル踏み込み量20%程度（エンジン回転数によるが）までしか線形ではなく、そこで出力は飽和に近くなる。またトルクコンバーターとギヤを介した駆動力はさらに速度に依存する関係が加わる。

車の駆動力の関係初心者にとってブレーキ踏み力増大は制動力増大、アクセル踏み込みは駆動力増大という原始的な知識しかない場合がある。熟練者にはこの駆動力/制動力の知見がかなり正確に判断系に築かれているものと思われる。制動力はブレーキ踏力が油圧系を通じて直接ブレーキディスク（ドラム）に作用するため、ブレーキペダル操作に対する応答性は良い。通常の使用範囲外では必要な操作力が非常に大きくなるため、初心者にとっては細かい操作は困難である。

これはエンジン出力のような情報ではなく、アクセルをこれくらい踏むとこれくらい加速するというもので、アクセルに対する駆動力の傾きであろうと考えている。同じ車であっても、電気自動車以外では、この傾きはギヤ比によるため習熟に時間がかかることになる。また、駆動力の応答遅れはトルクコンバーターの遅れを除き人間の運動能力に比べて小さいため、内部モデルとしては形成されにくい。

### 3.5 モデルの実現

認識部：将来の目標速度軌跡と現在の速度を取り込む。目標速度から将来ペダルの踏み替えのような大きな操作変化があることを予期する。また現在が、加速か減速か、大きな修正が必要か認知する。これより認知情報は現在速度と加速度に認識精度誤差及び時間遅れから構成される。また、加速度から近い将来の速度を予測して認識している。

判断部：ペダルの踏み替えが必要な時期かどうか決断する。踏み替えの場合は踏み込み量の初期値を設定する。また速度偏差に応じてアクセルペダル/ブレーキの操作力を増加・減少する。認識から得られた情報から目標速度と現在の車両速度のずれを判断し操作の目標量（変更量）を求める。

操作部：踏み替えのときは足をそれぞれのペダルに乗せ替える。それは人間の座標系で決まった量を移動させ、ペダルと感知すると終了するが、その動作はエージェント

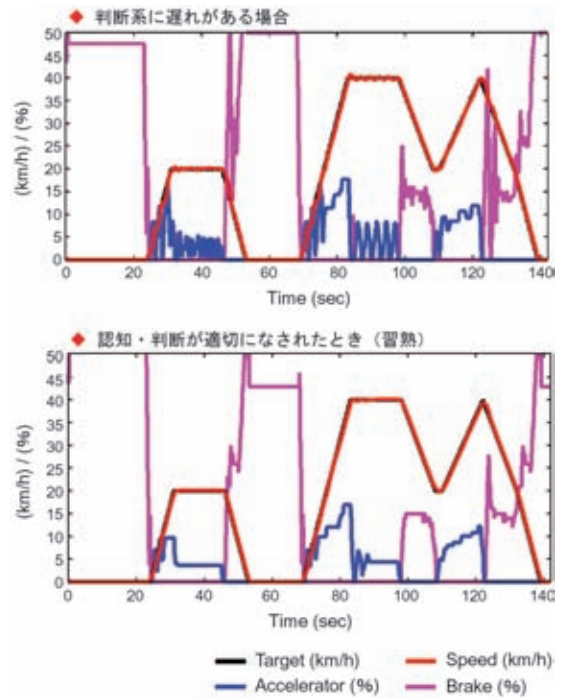


図4 習熟したエージェントによる排出ガスモード運転  
Test cycle driving with an experienced agent

トには含んでいない。その後は判断した初期踏み込み力まで動かす。継続の加速/減速の場合は判断した量だけ加減する。体としては力をもとにした局所フィードバック制御である。

運転者は車の内部モデルからペダル操作量と加速度の関係を把握している。初期の踏み込み量をそれにより定める。継続の加速/減速の場合は目標加速度と加速度の誤差をいくつかの領域に分類し、それに対応した量を加減する。

### 3.6 シミュレーションによる非熟練者の理解

作成した運転エージェントによる10・15モード運転の結果を図4に示す。熟練により速度追従性が改善されるが、その要因は二つである。認知判断の遅れの減少、車の応答を予見した適切な初期操作力である。これらは加速側で見られ、減速では習熟せずとも最初から追従性が良好である。これは操作に対する制動力が線形であり（この範囲では）人間が感知できる範囲で応答遅れがほとんどないことによると考えられる。ここから認知判断系の遅れと車の応答についての知見（内部モデル）が運転技術に影響している。横方向の位置追従制御である操舵においても同じことが言える。

### 3.7 目標起動の生成と追従性の絶対制約

運転は二次元平面の上に目標軌道を作りそれに追従する制御である。制約条件は道路からはみ出さないこと（これは横方向の位置制御）と前の先行車（物）に衝突しないこと、信号で適切に停止することが主である。排



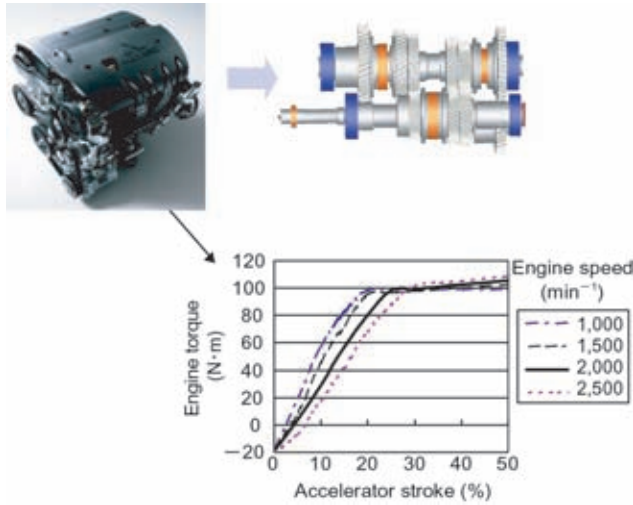


図5 アクセルペダルストロークに対するエンジントルク  
Engine torque and accelerator pedal stroke

出ガスモード運転のような速度追従制御は人間の能力と車両の応答性からいってそれほどやさしくないのが現状である。しかし、大きな問題がないのは、進行方向の目標軌道があまり厳密に作られないこととそれに対する追従性の制約（評価）もゆるいからである。

## 4. 車両の応答

### 4.1 エンジントルクのアクセルへの応答（図5）

車両の応答特性はパワートレインの特性と車の重量に依存する。ここでパワートレインとしてガソリンエンジンとA/T（トルクコンバーター付き）を考える。加速側はアクセル操作による。ガソリンエンジンの出力はスロットルにより制御されているが、最近の乗用車ではアクセルとスロットルの間には機械的なケーブル（索）による連結はなく、アクセルの踏み込み量（原点からの距離）を位置センサ（多くはポテンシオメーター）で検出し、それからスロットル開度の目標を決め、モーターによりスロットルの目標位置への追従制御がなされている。アクセルペダルには踏み込み量に比例した反力がかかるようになっており、ペダルと同様踏み力を感じ、操作していると考えている。もちろん、位置変化（ストローク）がある程度あることが必要である。ブレーキ同様、予備行動としてアクセルペダルへの足の移動（適当な動作量）でペダルに足を乗せ、反力で正しく初期位置にあるかどうかを確認する。判断部で決めた踏み込み力になるようフィードフォワードで位置を決め、速度偏差により力を増減する。フィードフォワード量自体も予期反力に対するフィードバックで決められる複雑な構造であり、習熟度はこのフィードフォワード操作量にも寄与している。

人間の運動機能の中で力（及び位置変化）を検出し、微妙な操作ができるためには、操作量の範囲（位置・

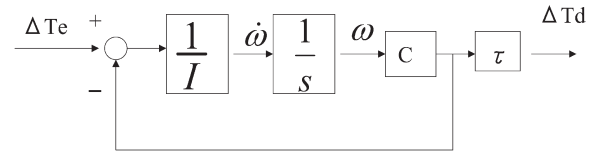


図6 トルクコンバーター伝達特性  
Torque converter transfer function

力）及び体に対する向きが重要である。ある程度習熟することで操作の精度は向上するが<sup>(5)</sup>、極端に重いペダルは微妙な操作を妨げるものである。手の精緻な操作では押すのか引くのか得意な方があり、手のひらが固定されている回転運動は位置決め精度が高い。

### 4.2 トランスミッションを含む駆動力応答

一方アクセルに対して車の加速度は線形ではない。まずエンジンの出力トルクがあるスロットル開度で飽和する。この飽和領域は、モード運転の回転数では1/3以下である。またこれに関連してギヤ比が変わり、パワーを増大させて駆動力をかせぐことになっている。さらに、国内で販売される新車の多くはトルクコンバーターが装備されており、発進直後から20 km/h程度まで働く。トルクコンバーターはエンジン回転数の二乗でトルクを伝達するため、かなり大きな非線形要素となっている。また、エンジン出力は構造と原理上スロットル変化（アクセル操作）に対して遅れを持つ（図6）。

ここで  $T_e$  はエンジントルク増分、 $T_d$  は駆動トルク増分、 $\omega$  はエンジン速度、 $I$  は慣性モーメント、 $C$  はトルクコンバーター容量係数、 $\tau$  はトルク比である。

こうしたことから加速側ではその車の特性を知っているかどうかの違いが操作に影響し、熟練者と初心者の違いが現れやすい。

### 4.3 ブレーキの応答

ブレーキ踏み込み力（及びスローク変位）と制動力の間には比例関係があり、運転条件によらない（図3）。また応答遅れは無視できる程度である。さらにマスターバッグ負圧が十分あれば操作力は大きくなく、操作しやすい制御系になっている。

## 5. 外乱と抑制技術

外乱とは運転中に予測できない、操作と無関係に発生する車両挙動の変化である。エアコンのコンプレッサーが作動すると、その駆動力分だけ走行に利用できるパワーは減る。また逆にエアコンのコンプレッサーが停止すると、走行のパワーは突然増え、場合によっては加速ショックと感ずることもある。

振動も同様に影響する。低速から急にアクセルを踏む

と駆動軸のねじり振動を発生し、不快な振動を発生する（チップインショック）<sup>(8)(9)</sup>。

### 5.1 駆動トルクの変動

エアコンのコンプレッサー駆動力は大きい場合 10 N・m くらいあり、エンジンの運転状態によっては 20% 以上もの大きさになる。これは運転者が指示しているものでもなく、また予期できるものではないため、減速や加速で生じたショックに不快感を覚える。

これを防ぐために、負荷の変化タイミングを遅らせて他の重要な事象との同時発生を避けたり、エアコン制御やコンプレッサー圧力から負荷の増減を検知してその分をエンジン出力の増減で補償する制御が組み込まれている。

発電やパワーステアリング（油圧駆動）では負荷はあるが、前者は急激な増減がなく後者は操舵という行動に伴うので影響は少ない。発電については急激な負荷の増減がないような制御も採用されている。

### 5.2 変速（ギヤシフト）

ニュートラルから D または R に入れることでタイヤに駆動力が発生する。また変速により駆動トルクが変化する。変速（クラッチ接続）制御が良くないとショック性（後述）の外乱になるが、そうしたことにつながらなくても、クラッチ契合の遅れは D を選択した時点で駆動力の伝達を期待しているドライバーを混乱させることになる。

クラッチが完全に契合した状態でアクセルを踏んでないとき（エンジンアイドル運転）の駆動力は、ドライバーに感知できる程度あることが、操作に対する確実な応答性の意味から必要である。この駆動力はクリープ機能で必要な力とは同じではない。

A/T（AMT（Automated Manual Transmission））では同じ車の速度でもアクセルの踏み込み量が大きくなるにしたがいギヤ比が大きくなる（ロー側）のが一般的であり、このギヤの変更点がエンジンの回転数範囲内で任意に取れる。燃費と排気ガスを考慮してこうした点は決められるが、アクセル踏み込み量変化（ $Ac$ ）と駆動軸出力トルク増加（ $Td$ ）との間にヒステリシスを含め適切な関係にすることが容易な加速操作に必要である。

また CVT（Continuously Variable Transmission）の変速比制御において油圧フィードバック制御のパラメーター設定によっては駆動系のねじり振動系と連動して自励振動を引き起こすことがある<sup>(7)</sup>。こうした現象はドライバーが期待している車両反応の一貫性を損なうものである。

### 5.3 坂道，路面

坂道では重力の加速度がかかるため、同一のアクセル操作（駆動力 / エンジンブレーキ）やブレーキ踏力（制動力）で同一の加速度や減速度が得られるわけではない。

自動変速機の普及とともに勾配を検知できる車は増えている。そしてスロットルの電子制御（及び電子制御ディーゼル）の普及と合わせて、勾配を考慮したエンジン出力制御とエンジンブレーキのためのギヤ比制御ができる環境にある。しかし、ある程度以上の勾配はドライバーからも、目視やアクセル踏み込み量と速度 / 加速度の関係から、認知できるため、外乱と言い切れない。そこで駆動力制御で一方的に補正するのは、ドライバーを混乱させる（内部の車両モデルと異なる挙動）ことにつながることも、前の車に追従している場合にアクセル操作によっては不用意に接近することになる。このため、駆動側補正は慎重にする必要がある。制動側では坂道の勾配に応じたエンジンブレーキ力を確保するためより低いギヤ段（減速比を大きくする）を自動的に選択する制御が広く採用されている。選択されたギヤ段によりエンジンブレーキが効きすぎてドライバーの意にそぐわないこともあるが、足ブレーキを多用しないよう安全側の制御としておおむね受け入れられている。

濡れた路面や凍結した路面ではタイヤとの摩擦係数が極端に下がり、駆動力が路面に伝えられずタイヤがスリップして運転が困難になることがある。特に予期できなかったときこうした路面に慣れていないときは最初にアクセル / ブレーキ / 操舵の操作を誤り、路面状態に対し過大な操作をして車両の挙動を不安定にさせて、修正ができない事態に至ることがある。ABS（Antilock Brake System）はほとんどの乗用車に装備されているが、さらにこの現象に対して摩擦係数限界に駆動力を制限する機構（自動安定化制御 ASC）を装備した車も増加してきている。

### 5.4 振動外乱

自動車は基本的に質量がばねによって結合されている構造であり、非常に振動しやすい。そのため特定の振動が入ったときの共振（例えばアイドル D レンジ振動やギヤ音）、ステップ的な入力による車両の振動（例えば加速ショック）が起き、時として不快なことがある。さらにこうした振動は運転者が意図も予測もしていないため不快感が増幅される。この中で中低速で運転していて急に加速 / 減速したときに起こる加速 / 減速（チップイン / チップアウト）ショックは、エンジントルクのステップ的な変化により駆動軸のねじり振動が励起され、パワートレインマウントとサスペンションを通して車室内に伝達したものである。これにはエンジントルク制御によるアクティブ振動抑制が有効で、スロットルの電子制御により実現されている<sup>(8)(9)(10)</sup>。

トルクコンバーターの特性により微速発進時に駆動軸のねじり振動を伴った自励振動が発生することがあり、速度が上がると減衰する。これは電子制御で抑制することが困難である<sup>(7)</sup>。

## 6. 運転のしやすさ

運転のしやすさとは頭の中にある目標挙動（速度，加速度，位置）に対して実際の車両の挙動がうまく追従することと定義する．あいまいな目標挙動に対して正しく解釈して新しく目標を車の側で決めるというもう一段上の補正は考えないことにする．

### 6.1 反応挙動の線形性と応答性

操作に対する線形性は非常に重要である．人間は前述のように自身の中に車両の応答モデルを持つ．線形性は早く習熟する上で重要であり，少なくとも滑らかな一様性は必要である．

またトルクコンバーターのような反応遅れを内部モデルとして形成しにくいので，人間の感知できる応答遅れを減らすことが望ましい．足の踏み替えなどは操作遅れも含めて予知と判断で対処できる範囲である．

### 6.2 微少操作と操作力

単にペダルが踏めることと微少操作ができることは同じではない．人間は大きな力があるときに蹴飛ばすようにして踏むことができるが，微妙に踏力を加減するためには位置と調節できる力の関係が重要である．ブレーキはエンジン負圧による増力と油圧による増幅により軽い踏力で大きな制動力を得て，微妙な制御のできる範囲で操作できるようになっている．もし増幅がなければ精度の高い操作は困難である．

アクセルについては強力な戻りばねのついたスロットルはモーターで動かし，アクセルには軽いばねがついているだけで軽い踏力と適度なストロークにより，機械式より操作（制御）性が良くなっている．

### 6.3 なめらかな加速

有段（ステップ）自動変速機の場合には加速中に車の速度上昇に伴い上のギヤに切り替わり，その度ごとに駆動力の段差を感じる．また自動変速機に通常組み合わせられるトルクコンバーターでは伝達トルクはエンジン回転速度の二乗に比例するため，回転数が上がるまで出力トルクが増えないので，一次遅れに似たトルク応答をする．そして，ある回転数で最大トルクを発生して，それ以降トルクが単調に減る．ギヤシフト時のトルク変化を抑えるためのエンジン電子制御はすでに実現されている．また，トルクコンバーターの代わりに多板クラッチを採用して電子制御を適用し，加速応答遅れとピーク加速度の落ち込みを減らす試みが見られる．

全く違ったトルク発生の電気自動車では，ある速度まで一定の駆動力が得られ，内燃機関とトルクコンバーターの組み合わせで起こる駆動力発生の遅れはほとんどな

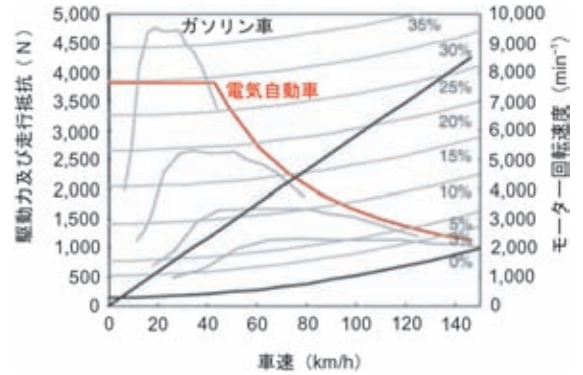


図7 電気自動車の駆動トルク特性  
Electric vehicle driving force characteristics

い．アクセルに対する駆動力の線形性と遅れの少ない応答により，操縦への習熟が早いものとなっている．典型的な電気自動車の駆動力特性を示す<sup>(11)</sup>（図7）．

### 6.4 一定速度維持

ガソリンエンジンではスロットルをある開度に維持しておくでエンジン速度上昇とともに出力トルクは減少する．また走行にかかる抵抗は，速度の二乗で空気抵抗がかかるため，速度とともに上昇する．そのため任意の速度で安定平衡点が得られる．ディーゼルエンジンでは，ガバナ特性の選択によっては，速度維持をしているつもりなのにその近傍で自励振動が発生することがあると報告されている<sup>(12)</sup>．

### 6.5 減速，停止と微速走行

ブレーキペダル踏み込み力に対して制動力の線形性と応答性は良好であると述べたが，これが低速及び停止直前に至るまで維持されないと滑らかな減速と正確な停止位置が得られない．微速でブレーキの摩擦特性が急激に変わり，急に制動力が増えて，意図せず急減速停止するようなことがあれば，運転が困難になる．また，ブレーキジャダーが起こると，ブレーキ踏力の反力に周期外乱を受けることになり，外乱を受けたブレーキ操作（制御）となる．

エンジンと車輪を直結してアイドル回転で微速走行できるギヤ比は乗用車には備わっていない．そこでアクセルとクラッチを両方操作して走行することが必要だが，初心者にはなめらかな操作はやさしくはない．トルクコンバーターによりエンストすることなく一定の駆動力を取り出し，それをブレーキで抑制する方が操作としては容易で精度の良い車の速度／位置制御ができる．

### 6.6 外乱抑制と補正

例えば坂道で停止し，再度上ることを考えよう．ブレーキとアクセルペダル別々の足で操作するのでもなければ（A/Tの場合はこれが便利で安全であるが），踏み替えて

いる間に車は後退し、これが大きな不安となるし、危険に結びつく場合がある。トルクコンバーター付きの車ではこのコンバーターの容量特性をクリーブが大きくなるようにして対応できるが、燃費は悪化する傾向になる。AMTをはじめとする自動クラッチの車では、坂道を検出して後退しないようにクラッチ制御を行っている車もある。これも燃費の悪化傾向は同じである。

### 6.7 拡大補償機能

補助ということでは衝突防止や車間接近防止のような機能や、認知・判断系を含む操縦機能をまるごと自動化する研究も進んでいる。しかし、本論文の範囲を越えるので別な機会に論じられる。

## 7. 結論

習熟した専門家の高い認知感覚と正確な操作はすばらしく、機械も及ばないところがあるが、非熟練者はそうしたことが期待できない。そこで人間の操作能力と機械側の応答性の適合性が問題となる。

運転動作では習熟者と初心者ではあきらかに目標への追従性に違いがある。その差は運転者の身体反応（運動能力）によるものではなく、認識と判断過程にある。

人間による運転操作を認知・判断・操作の各過程に分け、それぞれの過程を入力・知識（及び環境）と出力として定義して、モデルを構成した。

習熟は認知系における目標変化の早期の検知と判断系におけるそれに対する操作変更の準備や運転車両の特性についての知識（内部モデル）の精度向上により進む。

電子制御の拡大により、また新機構の採用により運転ははるかにしやすくなっている。しかし、操作に対する応答性の遅れや非線形性はまだ存在しており、外乱と合わせて改善の余地はある。そしてパワープラントを内燃機関から電気モーターに変えた電気自動車の操作・応答性に見られるように、別な技術にすると制御性が大きく変わるものもある。

これまでパワートレインにおける応答性、外乱、制御による運転のしやすさの支援を述べたが、車両の操作系においても同じように議論できる。

運転のしやすさはまず安全性につながり、燃費や排出ガスの改善にもつながる。従来人間-機械系のインターフェース（HMI）は視認性や操作器の形に重点が置かれていたが、今後は人間が制御する車両挙動と補償の研究が進

むものと思われる。

## 8. 謝辞

本論文で利用した運転エージェントについては神戸大学大学院玉置教授との共同研究がもとになっている。運転挙動の計算をして頂いた同大学院清水氏に感謝します。

### 参考文献

- (1) 鈴木達也：運転におけるヒューマンファクタの解析～コントローラとしてのドライバ～，計測自動制御学会 計測と制御，Vol. 45，No. 3，p. 231～236，2006
- (2) 佐藤昌之：可変操縦特性と外乱抑圧を実現する移動体の制御系設計，計測自動制御学会論文集，Vol. 32，No. 8，632/640，2007
- (3) 景山一郎，栗谷川幸代，大須賀美恵子，堀江良典，下山修：狭路走行におけるドライバの運転挙動評価に関する研究，自動車技術会 学術講演会前刷集，p. 5～10，2005
- (4) A. Pellicchia, C. Igel, J. Edelbrunner, & G. Schoner: Making Driver Modeling Attractive, IEEE IEEE INTELLIGENT SYSTEMS, 1541-1672/05, 2005
- (5) 梅井一英，玉置久：排出ガスモード運転エージェントと運転習熟過程（第一報），JSAE20075814，自動車技術会 学術講演会前刷集，2007
- (6) 景山一郎，栗谷川幸代：ドライバ特性解析用ドライバモデル構築に関する研究，JSAE20075284，自動車技術会 学術講演会前刷集，2007
- (7) 梅井一英，竹内正：CVT車のドライブトレイン振動現象の解析とアクティブ制御設計，三菱自動車テクニカルレビュー，NO. 17，2005
- (8) Kazuhide Togai, Kyounggon Choi, Tadashi Takeuchi: Vibration Suppression Strategy with Model Based Command Shaping: Application to Passenger Car Powertrain SICE02-0607 SICE annual conference 2002, 2002
- (9) 竹内正，崔敬坤ほか：加減速ショック低減のための伝達系感度解析と起振力抑制制御，三菱自動車テクニカルレビュー，NO. 15，2003
- (10) 桑原清二，河野克己ほか：駆動力による統合的な制御システムの開発，JSAE20075624，自動車技術会 学術講演会前刷集，2007
- (11) 半田和功，吉田裕明：次世代電気自動車i-MiEVの開発，三菱自動車テクニカルレビュー，NO. 19，2007
- (12) 森一俊：ディーゼルエンジン電子制御の夜明け前...，計測自動制御学会，計測と制御，Vol. 45，No. 3，2006



梅井一英

# 植物由来樹脂技術「グリーンプラスチック」の開発

Development of Plant-Based Plastics Technology, 'Green Plastic'

寺澤 勇\* 常岡和記\*  
Isamu Terasawa Kazunori Tsuneoka

田村明博\* 棚瀬光隆\*\*  
Akihiro Tamura Mitsutaka Tanase

## 概要

地球温暖化防止のため二酸化炭素の削減は急務であり、また循環型資源の有効利用も重要となっている。当社では、様々な植物由来材料に注目し、これらを利用した技術の総称を「グリーンプラスチック」(図1)と名付け、環境に配慮した新材料の開発を推進している。すでに植物由来のポリブチレンサクシネート樹脂と竹繊維からなる自動車用内装ボード及びポリ乳酸樹脂を使用したフロアマットを開発し、実車に搭載した。さらに継続して種々の植物由来材料とその部品を開発している。これら技術の概要について紹介する。

## Abstract

It's very important to make effective use of sustainable resources, as the reduction of carbon dioxide is urgent for the prevention of global warming. We note a wide variety of plant-based material and name 'Green Plastic' (Fig. 1) for these technologies generically and promote developments of new materials considering environment. We have already developed a new automotive interior board made from a composite of plant-based poly butylene succinate resin and bamboo fiber and a floor mat using polylactic acid resin, and used them to vehicles. And also, we are developing several kinds of plant-based materials and car parts using them. The overview of these technologies is introduced.

*Key words: Composite Material, Plastic, Environment, Interior*

## 1. ま え が き

2007年2月に発表されたIPCC第4次評価報告書において、地表の平均温度は、1906年から2005年の100年間で0.74 上昇し、最近50年間は過去100年のほぼ2倍の比率で上昇していることが報告された。今後、少なくとも0.2 / 10年の速度で上昇を続けると言う<sup>(1)</sup>。また、海洋研究開発機構の衛生観測で、北極海の氷の面積は、1978年の観測開始以来、過去最小になっていることが2007年8月に発表された<sup>(2)</sup>。地球温暖化は我々の予想をはるかに上回るスピードで進行している。これらは化石資源の大量消費、農業及び土地利用の変化といった人間活動によって排出された温室効果ガス(CO<sub>2</sub>など)の増加が原因とIPCCの第4次評価報告書によってほぼ断定された<sup>(1)</sup>。

また、石油などの化石資源に依存している先進国や、急速な経済発展を遂げる発展途上国の化石資源の大量消



図1 三菱自動車グリーンプラスチックのロゴマーク  
MMC Green Plastic logo

費により、化石資源の枯渇も危惧されている。

以上のような背景から、当社は、地球温暖化対策や化石資源の節約、森林資源の保護を目的に、循環型資源、すなわち植物由来樹脂や植物繊維などの植物由来材料を自動車部品へ適用する研究開発を推進し、ポリブチレンサクシネート(PBS)竹繊維ボード、ポリ乳酸(PLA)繊維フロアマットを開発した<sup>(3)(4)(5)</sup>。また、2007年9月13日から23日にかけてドイツで開催されたフランクフルトモーターショーにおいて、上記の部品展示の他に開発中のPLA射出成形部品1点と繊維系部品3点を展示した。植物由来樹脂や植物繊維は、植物を原料としている。

\* 開発本部 材料技術部

\*\* 開発本部 先行車両技術部

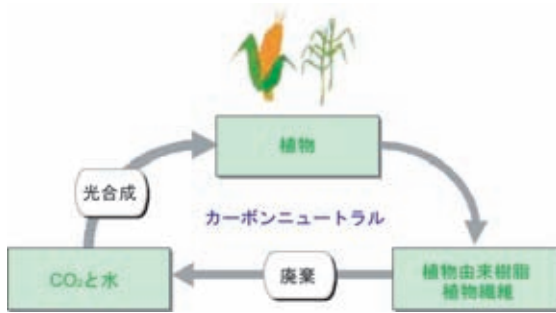


図2 カーボンニュートラル  
Carbon neutral

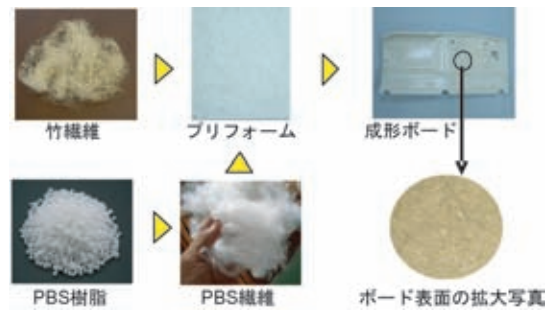


図3 PBS竹繊維ボードの製造工程  
Manufacturing process of bamboo-fiber board

表1 植物繊維の特性<sup>(6)(7)</sup>  
Characteristics of plant fibers

種類	密度 <sup>(6)</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	引張弾性率 <sup>(6)</sup> (GPa)	引張強度 <sup>(7)</sup> (MPa)
大麻 (Hemp)	1.50	12.7	-
亜麻 (Flax)	1.30	13 ~ 26	344
黄麻 (Jute)	1.50	19 ~ 35	393
ケナフ	1.50	15 ~ 37	-
サイザル麻 (Sisal)	1.45	16 ~ 37	510
苧麻 (Ramie)	1.50	-	-
竹	0.9 ~ 1.2	21 ~ 38	391 ~ 713
孟宗竹	1.20	21.1	-
パナナ	1.35	27 ~ 32	-
ココナツ	1.45	13.7	-
綿	1.50	11	-
(参考) ガラス繊維	2.50	70	3,400

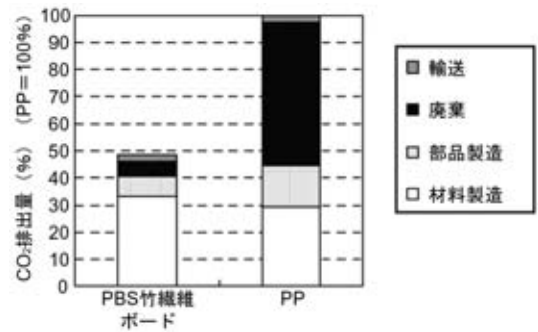


図4 PBS竹繊維ボードのLCA  
LCA of PBS bamboo-fiber board

植物は、成長過程で光合成により大気中のCO<sub>2</sub>を吸収するため、植物由来樹脂や植物繊維を焼却しても大気中のCO<sub>2</sub>量は増加しないとみなされている(カーボンニュートラル)(図2)。

本稿では、これら開発部品の概要について紹介する。

## 2. PBS竹繊維ボード

### 2.1 補強繊維の選定

PBS樹脂の欠点の一つは弾性率が低いことであり、PBS樹脂の剛性向上と合わせて植物度を向上させるため、植物繊維での補強を検討した。今回、数ある植物繊維の中から竹繊維を選定した。その理由を以下に述べる。

第一の理由として、竹繊維の密度は低い、引張弾性率(剛性)が非常に優れている。表1に主な植物繊維の特性を示す<sup>(6)(7)</sup>。第二の理由として、竹は環境面、入手性でも優れる。竹は生育力が高く、約2~4年で成長する。また、古くから循環型資源として有効利用されてきた。しかも、竹は日本国内をはじめ東南アジアや中国など世界中で元々生育しているため、国内及び近隣諸国から調達が可能である。第三の理由として、安価な中国産

の竹の輸入やプラスチック製品の増加による竹製品の著しい減少に伴い、竹産業が衰退し国内の竹林・里山が放置され荒廃し、竹の地下茎が宅地や畑を侵食する竹害が深刻化している。本開発材は竹の新たな利用用途を構築するものでもあり、国内の村おこしや竹害の解決にも貢献できると考えている。

### 2.2 製造工程

PBS竹繊維ボードは図3に示す製造工程で得られる。PBS繊維と竹繊維を特殊な機械で混合プリフォーム化し、それを熱間プレス成形しPBS樹脂を溶融させ、冷却することでボードとしている。

### 2.3 CO<sub>2</sub>排出量

PBS竹繊維ボードの原料採取から廃棄に至るまでのライフサイクル全体におけるCO<sub>2</sub>排出量を、LCA(Life Cycle Assessment)により試算し、従来実績材であるPP樹脂と比較した(図4)。PBS竹繊維ボードは、PP樹脂に比べて約50%のCO<sub>2</sub>排出量を削減できることが分かった。

### 2.4 VOC発生量及び有機酸発生量

PBS竹繊維ボードのVOC(Volatile Organic Compounds: 揮発性有機化合物)発生量及びにおいの主成分の一つである有機酸発生量を測定した。従来実績材である木材ハードボードを100%とした場合のVOC発生量及び有機酸

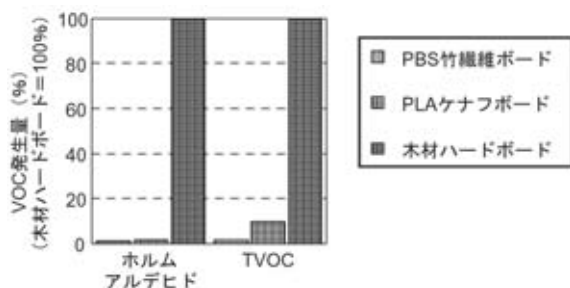


図5 ボード類のVOC発生量  
VOC emissions from boards

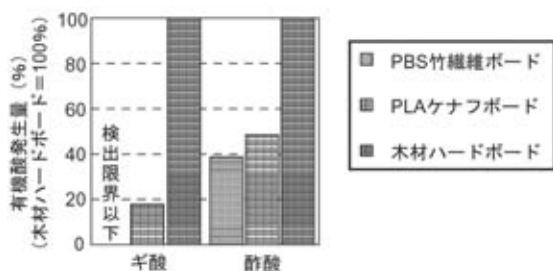


図6 ボード類の有機酸発生量  
Organic acid content of boards

表2 PBS竹繊維ボードの一般物性  
General properties of PBS bamboo-fiber board

評価項目	開発品	木材ハードボード	リサイクルPP+PE+PET	PLA+ケナフ
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.20	1.00	1.19	0.62
荷重たわみ温度 (°C)	109	170	76	60
曲げ弾性率 (MPa)	53.2	31.8	37.5	24.6
Izod衝撃強さ (kJ/m <sup>2</sup> )	15.5	13.6	15.0	26.6
吸水率 (%)	3.8	38.6	-	52.5

表3 PBS竹繊維ボードの部品性能  
Component performance of PBS bamboo-fiber board

評価項目	結果	評価項目	結果
燃焼性	合格	タッカー打ち	合格
収縮率	合格	断熱性	合格
反り	合格	通気性	合格
表皮剥離	合格	臭気性	合格
耐衝撃性	合格	耐薬品性	合格
吸音率	合格	促進耐光性 (不織布面)	合格
耐湿熱老化性	合格	表面外観 (不織布面)	合格



**i MiEV** (Mitsubishi innovative Electric Vehicle)

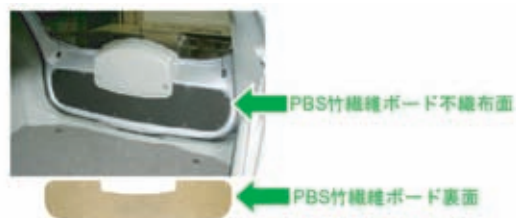


図7 i MiEV (アイミーブ) フリートモニター車に採用したPBS竹繊維ボード  
PBS bamboo-fiber board used in i MiEV fleet monitor vehicle

発生量の比較をそれぞれ図5及び図6に示す。

PBS竹繊維ボードは、木材ハードボードに比べてホルムアルデヒドなどのVOC発生量を90%以上低減でき、また有機酸類である酢酸を約60%、ギ酸を検出限界以下に低減できることが分かった。

木材ハードボードではバインダーとしてVOCを多く含むフェノール樹脂が使用されているが、PBS竹繊維ボードでは、VOCを含んだバインダーを全く使用しないため、VOCを低減できたものと考えられる。また植物繊維を構成するリグニン、セルロース及びヘミセルロースは加水分解によりアルデヒド類や有機酸類を発生するが、その分解温度には差があり、リグニンは130℃付近、セルロースは240℃、ヘミセルロースは160℃で加水分解が進む<sup>(8)</sup>。PBS竹繊維ボードでは、これらの温度よりも低い温度でPBS樹脂が溶融し成形できるので、木材ハードボードに比べてさらにVOCや有機酸類を低減できたものと考えられる。

## 2.5 その他の性能

表2にPBS竹繊維ボードの一般物性を示す。PBS樹脂は、加水分解性があるので、加水分解抑制剤を添加して、PBS竹繊維ボードの耐加水分解性(耐湿熱老化性)を向上させた。荷重たわみ温度は109℃であり、100℃以下の環境に使用可能である。また耐衝撃性や曲げ弾性率も従来実績材と同等以上である。

さらにPBS竹繊維ボードは、配合しているPBS樹脂がバインダーの役割を果たすため、ボードの成型と同時に表皮を貼り合せることが可能であり、接着剤を使用しないため、接着剤に含まれる溶剤から発生するVOCを抑制できる。同時貼り合せ品の部品性能を表3に示す。内装部材として十分使用可能なことが確認できた。本開発品は、2007年秋に導入した環境に優しい電気自動車i MiEV(アイミーブ)フリートモニター車に採用した(図7)。

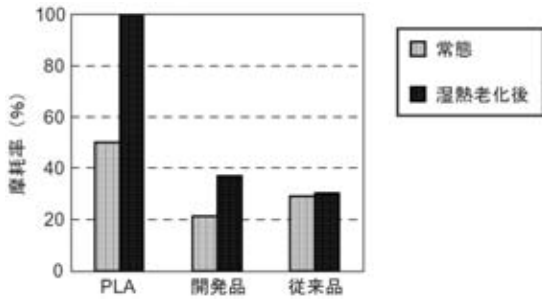


図8 フロアマットの耐湿熱老化性と耐摩耗性  
Hydrothermal aging and abrasion resistance of floor mats

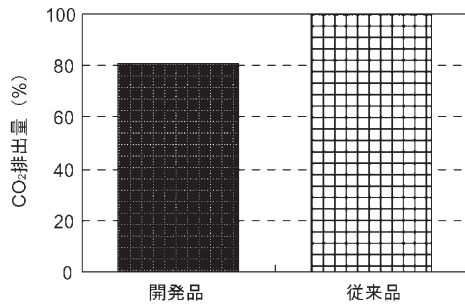


図9 フロアマットのLCA  
LCA of floor mats

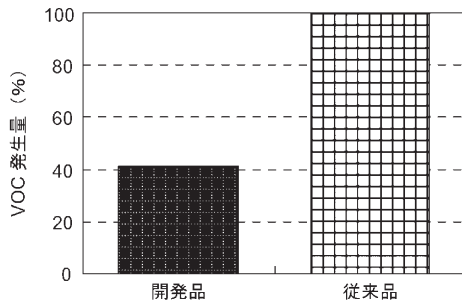


図10 フロアマットのVOC発生量  
VOC emissions from floor mats

表4 開発フロアマットの一般性能  
General properties of developed floor mats

評価項目	開発品	現行品
引張り強さ (N/25 mm)	たて 562 よこ 486	たて 284 よこ 252
引裂き強さ (N/25 mm)	たて 114 よこ 108	たて 131 よこ 113
パイル引抜き強さ (N)	21.6	24.6
加熱収縮性 (%)	0.2	0
耐摩耗性	合格	合格
促進耐光性	合格	合格
耐熱老化性	合格	合格
耐寒性	合格	合格
臭気性	合格	合格
重錘性	合格	合格
湿熱老化性	合格	合格
燃焼性	合格	合格

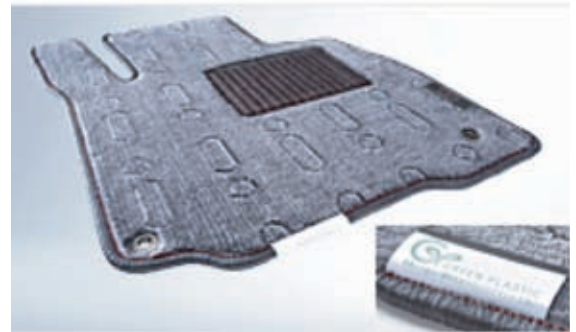


図11 i (アイ) 1st anniversary edition に採用した  
PLA 繊維フロアマット  
PLA fiber floor mat used to i 1st anniversary edition

### 3. PLA 繊維フロアマット

#### 3.1 耐湿熱老化性 / 耐摩耗性

PLA 繊維フロアマットでは表面のパイル部分に PLA 繊維を採用した。PLA 樹脂は硬くて脆く耐摩耗性に劣り、また PBS 樹脂と同様に耐湿熱老化性（耐加水分解性）に劣る。したがって、分子構造の最適化を行い、耐加水分解性を向上させたが、そのみではまだ従来品に比較して耐加水分解性、耐摩耗性に劣っていた。そこで柔軟性があり摩耗しにくい PA6 繊維と PLA 繊維を撚り合わせた合燃糸を新たに採用することで耐湿熱老化性・耐摩耗性を向上させた（図 8）。

#### 3.2 CO<sub>2</sub> 排出量

図 9 に開発品と従来品（PA6 繊維）の表面パイル部のラ

イフサイクル全体での CO<sub>2</sub> 排出量の比較を示す。開発品は従来品と比較して約 20% の CO<sub>2</sub> を削減することができた。

#### 3.3 VOC 発生量

開発品では、PLA 樹脂の採用による CO<sub>2</sub> 削減とともに、VOC を含まない素材を選定し、接着剤の代わりに溶融 PP（ポリプロピレン）樹脂で表面層と裏打ち層を貼り合わせる新工法を採用することで、従来品（ラテックス使用）と比較して、VOC 量を約 60% 低減することができた（図 10）。

#### 3.4 その他の性能

表 4 に開発品の一般性能を示す。従来品と比較して遜色ないことが分かる。本開発品は、2007 年 1 月に発売した i (アイ) 1st anniversary edition に採用した（図 11）。





図 12 2007年フランクフルトモーターショーにおける展示部品 (PBS 竹繊維ボードと PLA 繊維フロアマットも展示)  
Exhibits at 2007 year Frankfurt Motor Show

表 5 フランクフルトモーターショー展示品の特徴と課題  
Characteristics and problems of exhibits at 2007 Frankfurt Motor Show

部 品	ドアトリム表皮	クォーターアッパートリム	フロアカーペット	ピラーガーニッシュ
構造・材料	改質 PLA 繊維	改質 PLA 射出成形材	改質 PLA 繊維 - 不織布	改質 PLA 繊維植毛
特 徴	耐加水分解性 耐 光 性	耐加水分解性 耐 熱 性 耐 衝 撃 性	耐加水分解性 耐 摩 耗 性	耐加水分解性 耐 摩 耗 性 風 合 い
課 題	耐 久 性 コ ス ト	耐 久 性 成 型 性 伸 び コ ス ト	耐 久 性 成 型 性 コ ス ト	耐 久 性 コ ス ト

#### 4. フランクフルトモーターショーでの展示

当社は、2007年9月13日から23日にかけてドイツで開催されたフランクフルトモーターショーにおいて、上述した2点の部品及び以下の4点の開発中の部品を展示した(図12)。

- ドアトリム表皮 (PLA 繊維)
- クォーターアッパートリム (PLA 射出成形材)
- フロアカーペット (PLA 繊維)
- ピラーガーニッシュ (PLA 繊維植毛)

それぞれの特徴と課題を表5に記す。PLA 繊維類については、PLA 繊維フロアマットよりもさらに高い耐久性が要求されるため、耐加水分解性を向上させた改質 PLA 繊維を用いている。今後の課題は、耐久性、成型性、コストなどである。PLA 射出成形材については、耐熱性を天然繊維のジュートと新規結晶核剤によって、耐衝撃性をポリアリレート繊維によって、耐加水分解性を加水分

解抑制剤によって各々改良した。今後の課題は、耐久性、成型性と伸びのバランス調整及びコストである。これらについても実用化を目指して鋭意開発中である。

#### 5. 今後の課題

今後植物由来材料のさらなる普及拡大のためには次の課題が挙げられる。

- (1) インパネなどの耐熱性と耐衝撃性を要求される部位で使用可能な植物由来内装材料の開発
- (2) 外装などの水分・光・熱を同時に受ける環境下で使用可能な高耐久性の植物由来材料の開発
- (3) PP樹脂などの従来材との価格差解消

#### 6. あとがき

迫り来る地球温暖化危機の対策として、CO<sub>2</sub>削減は火急の課題である。当社が採用したPLAフロアマットは、ささやかな試みであるが、それでもi(アイ)1,000台

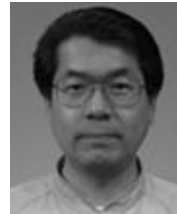
当たり、224軒分の家庭の1日のCO<sub>2</sub>排出量を削減できた。

今後も当社は自動車に使用されるプラスチック・ゴム材料に対して、CO<sub>2</sub>削減が可能となる技術開発を継続していく。そのためには、今回採用したPLA樹脂・PBS樹脂・竹繊維のさらなる利用技術開発も進めながら、各種植物繊維や木材、セルロース、リグニン、天然油脂類、天然ゴムなどを有効利用する技術に積極的に取り組んでいく。

PBS竹繊維ボードの開発に当たっては、愛知県産業技術研究所の多大なご協力を得た。PLAフロアマットは、東レ(株)との共同開発により製品化した。ここに謹んで関係各位に感謝の意を表す。

#### 参考文献

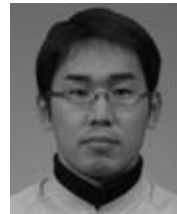
- (1) 文部科学省ほか：気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次評価報告書 第1作業部会報告書（自然科学的根拠）の公表について，2007
- (2) 北極海の氷，過去最小に IPCCの予測上回るペース，Sankei WEB，2007年8月16日 <http://www.sankei.co.jp/culture/kagaku/070816/kgk070816000.htm>
- (3) 常岡和記ら：PBS樹脂竹繊維ボードの開発，自動車技術会2007年春季学術講演会前刷集，Vol. 50-07，p. 13，2007
- (4) 寺澤勇ら：自動車への植物由来材料の展開，第18回プラスチック成形加工学会年次大会予稿集，p. 35，2007
- (5) 田村明博：PLA樹脂製フロアマットの開発，自動車技術会関西支部ニュース第30号，p. 1，2007
- (6) 北川和男：“生分解性樹脂の土壌生分解とバイオマス繊維との複合化”，セミナーテキスト，技術情報協会，2003
- (7) 藤井透：竹の高度利用 - 持続的再生産可能天然資源としての竹の有効利用 - ，加工技術 Vol. 42 No. 4，p. 233，2007
- (8) 公開特許公報 特開2004-278160



寺澤 勇



常岡和記



田村明博



棚瀬光隆

# 電動パワーステアリング制御「EPS+」の開発

Development of EPS+ (Electric Power Steering Plus)

本山 廉夫\*  
Sumio Motoyama

## 概要

電動パワーステアリングの新しい制御：EPS+（Electric Power Steering Plus）を開発し、08年モデルのi（アイ）から採用を開始した。このEPS+によって操舵フィーリングと車両の安定性をさらに向上させることができた。

## Abstract

A new control algorithm called EPS+ was developed for electric power steering and adopted in the 2008-model "i". It improves the steering feel and vehicle stability.

**Key words:** Steering System, Electric Power Steering

## 1. ま え が き

電動パワーステアリング（EPS）は、油圧式に比べて燃費への影響が小さいことから急速に普及が進んでいる。この普及に伴い、EPSの課題であった操舵フィーリング面での性能向上も進み、現在では油圧式に近いフィーリングが得られるようになってきている。一方で、EPSが持っている制御の自由度を積極的に活用して、操舵フィーリングを向上する研究も行われている<sup>(1)(2)</sup>。

今回、EPSの操舵フィーリングと車両の安定性をさらに向上させる新しい制御である「EPS+」を開発し、08年モデルのi（アイ）に適用したので、その内容を紹介する。

## 2. EPS+の制御

EPS+の制御の概要を図1に示す。EPS+は、従来のEPSと同様のアシスト制御と、新開発の二つの制御「路面反力推定制御」、「車両挙動推定制御」で構成される（図1）。

### 2.1 路面反力推定制御

路面反力推定制御は、EPSのセンサ情報とEPS制御の内部情報を使って、タイヤと路面の間で発生する操舵反力を推定し、この反力に応じた操舵トルクを電動モーターで付加する制御である。これにより、ドライバーは路面反力をハンドルからの確に感じられるようになり、操舵フィーリングが向上する。図2に制御効果のイメージを示す。

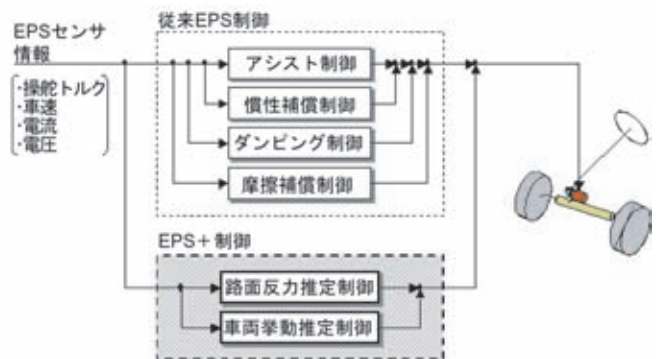


図1 EPS+の概要  
Outline of EPS+ control

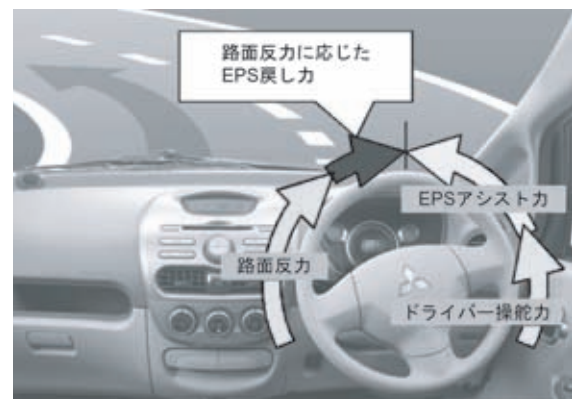


図2 路面反力推定制御の効果  
Effect of self-alignment estimation control

### 2.2 車両挙動推定制御

車両挙動推定制御は、EPS内部の操舵角速度情報を使

\* 開発本部 先行車両技術部

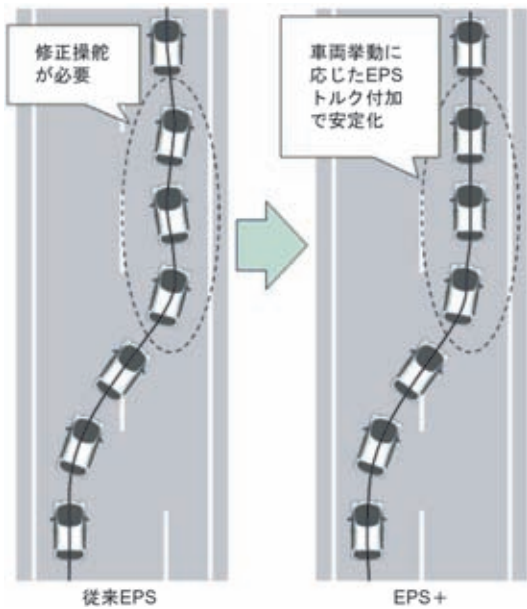


図3 車両挙動推定制御の効果  
Effect of vehicle motion estimation control

って車両の旋回状態を推定し、この旋回状態の変化を抑制する操舵トルクを付加する制御である。これにより、高速域での車両のふらつきが低減し、ドライバーの修正操舵の負担を低減することができる。図3に制御効果のイメージを示す。

### 2.3 アシスト制御

上記二つの新制御の特性を生かすために、アシスト制御を全面的に見直した。具体的には、操舵トルクに対するアシスト電流を従来よりも低めに設定し、やや重めの操舵感としつつ、ダンピング制御の電流を小さく設定してスッキリとした操舵感が得られるようにした。

## 3. EPS+ の効果

図4に低速域でのハンドル戻り試験結果を示す。EPS+の路面反力推定制御の付加トルクがステアリング系のフリクションの一部を相殺し、ハンドル戻り性が向上していることが分かる。

図5に車速100 km/hでのハンドル手放し試験結果を示す。従来EPSは手放し後のヨーレートが振動的であるが、EPS+は車両挙動推定制御の付加トルクが車両の挙動変化を抑制する方向に働くことで、減衰性が向上していることが分かる。

## 4. おわりに

今回、i (アイ) にEPS+を適用することにより、ミ

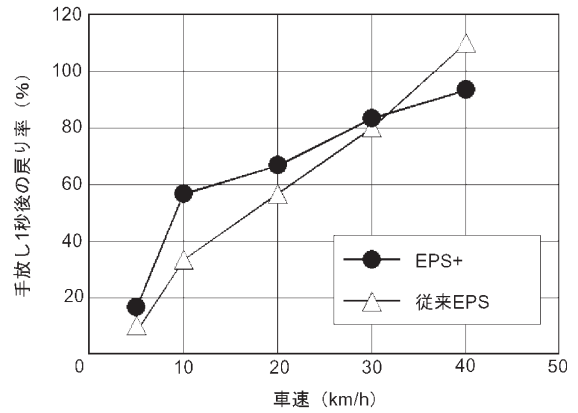


図4 ハンドル戻り率の改善効果  
Improvement of steering returnability

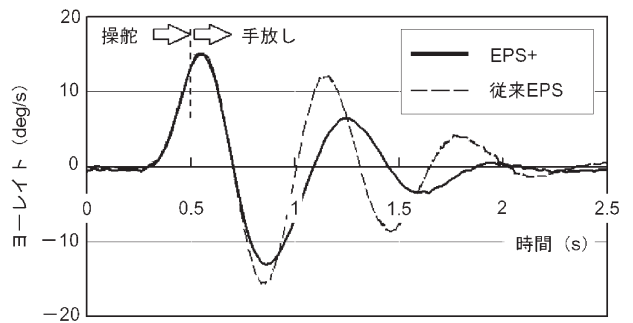


図5 手放し安定性の向上効果  
Improvement of free steer stability

ッドシップレイアウト特有の軽快な操舵フィーリングと、高速域での安定性をさらに向上させることができた。今後はEPS+の採用車種を増やしていくと同時に、他のシステムとの統合制御についても開発を進めていきたい。

### 参考文献

- (1) Tanaka et al. : The Torque Controlled Active Steer for EPS , AVEC'04, p.501 ~ 506
- (2) 久保田ほか：過渡的な操舵力アシスト特性が車両挙動に及ぼす影響，自動車技術会学術講演会前刷集，No.75-05，p.9 ~ 14，2005



本山廉夫

# レインライトセンサの開発

Development of a Rain-Light Sensor

加藤 伸一\* 八木 俊憲\*  
Shinichi Kato Toshinori Yagi

## 概要

雨滴感応オートワイパー機能とオートライト機能を統合したレインライトセンサを開発し新型ギャラン フォルティスに搭載した。このレインライトセンサは、LIN (Local Interconnect Network) 通信によりボデー系総合制御 ECU (Electronic Control Unit) 「ETACS」<sup>(1)</sup> (Electronic Time & Alarm Control System) から車両情報を受信し、自身が持つ二つの照度センサ、二つの雨滴センサ入力から、ライト点灯・消灯要求、ワイパー駆動要求を ETACS へ送信し、ETACS がヘッドランプ、ワイパーを制御する。オートライト機能では、前方と周囲の照度を検出する二つのセンサを用いることにより、トンネルと橋梁下を判別し、橋梁下通過時に短い時間ヘッドライトが点灯することを防ぎ、雨滴感応オートワイパー機能では、雨滴の検出範囲の感度を一様化するレンズを採用することにより雨滴検出感度を向上し、ドライバーへより快適な運転を提供できるよう配慮した。

## Abstract

Mitsubishi Motors Corporation (MMC) has developed a rain-light sensor that controls the auto-light system and the rain-sensitive wiper system. It is installed in the new GALANT FORTIS. The rain-light sensor controls the headlamps and windshield wipers, sending an activation request to ETACS (Electronic Time and Alarm Control System). This data consists of vehicle information from ETACS, ambient light intensity, front light intensity and raindrop detection. Regarding the auto-light function, the rain-light sensor distinguishes between entering a tunnel and passing under a bridge, using front and ambient illumination sensors. It prevents the headlamps from blinking when the vehicle passes under a bridge. The rain-sensitive wipers have newly designed lenses to ensure uniform distribution of sensitivity for raindrops and improve the timing for the first wipe when there are fewer raindrops on the windshield glass.

*Key words: Rain-Light-Sensor, Auto-Light, Rain Sensitive Wiper, Electronic Control, Convenience*

## 1. ま え が き

トンネルが続くような道路での高速走行時にライティングスイッチやワイパースイッチを操作する回数を低減する目的から欧州ではオートライトと雨滴感応オートワイパーは一般的な機能であり、Bセグメント車にも搭載されている。これらの機能は快適装備というだけではなく、薄暮時に被視認性を向上する装備としても機能していると考えられる。

近年日本でもオートライトはかなり普及しているが、雨滴感応オートワイパーはまだあまり一般的とは言えない。今回新型ギャラン フォルティスに、ドライビングプレジャーを提供する快適装備、かつ被視認性向上する安全装備としてレインライトセンサを開発したので紹介する。



図1 レインライトセンサレイアウト  
Location of rain-light sensor

## 2. システム構成

レインライトセンサは、オートライト機能と雨滴感応オートワイパー機能を統合した ECU であり、図1のよう

\* 開発本部 電子技術部



図2 レインライトセンサ本体  
Appearance of rain-light sensor

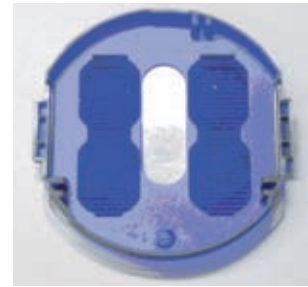


図3 オプティカルカプラー  
Appearance of optical coupler

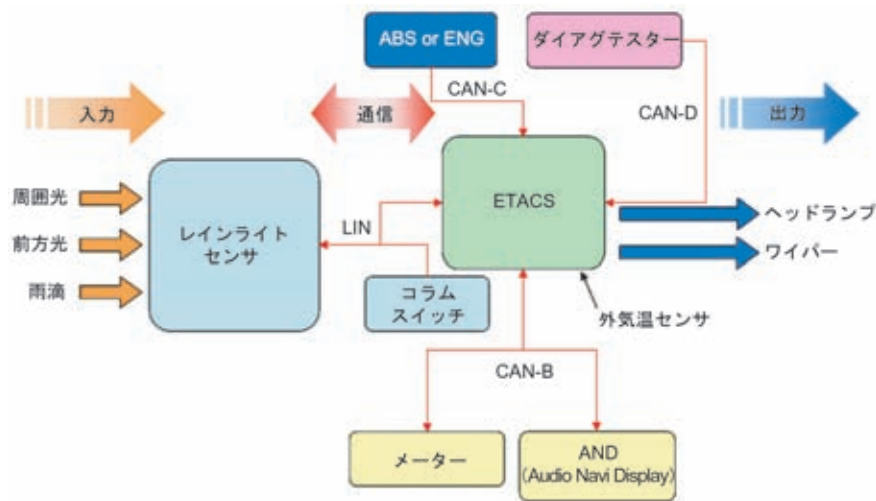


図4 システム構成  
Structure of rain-light sensor system

にウィンドシールドガラスへ直付けされ、コントロールユニットであるセンサ本体とガラスに接着されるオプティカルカプラーで構成される。コントロールユニットには、オートライト機能に関する照度センサを二つ、雨滴センサを二つ装備させた。それぞれの外観を図2及び図3に示す。

システム構成概要を図4に示す。レインライトセンサはマスターノードをETACSとしたLIN通信の一つのスレーブノードであり、ETACSから受信する車速、外気温、仕向けなどの車両の仕様情報、同じくスレーブノードであるコラムスイッチから受信するライティングスイッチ、ワイパースイッチの信号をもとに、オートライト点灯・消灯要求、雨滴感応オートワイパー駆動要求をETACSに送信する。それらの情報をもとに、ETACSがスモールランプ、ヘッドランプ、及び、フロントワイパーを制御する。

ギャランフォルティスでは車内に張り巡らされた通信ネットワーク、及びETACSのゲートウェイ機能<sup>(2)</sup>により、車速はABSからの情報を、外気温はメーターが演算した情報をETACSを経由して受信する。仕向けなどの車両の仕様情報はETACSが持つデータコーディング情

報<sup>(3)</sup>から、ユーザーがナビゲーション画面で行うオートライトのカスタマイズ情報もETACSを経由して受信する。

レインライトセンサに必要な車両から得る情報はすべてこの通信ネットワークを利用しており、使用ハーネスはレインライトセンサへの電源、グラウンド、LIN通信線の3本のみとしており、同じ電子プラットフォームを持つ車両への展開を容易にしている。

### 3. レインライトセンサ機能

#### 3.1 オートライト機能

##### (1) 基本機能

オートライト機能は、ライティングスイッチがAUTOポジション時、イグニッションキーがONの位置で、周囲の明るさによってスモールランプ、ヘッドランプを点灯・消灯させる。また、ナビゲーション画面で行うカスタマイズ機能によりユーザー自身が点灯タイミングを早め、または遅めに二段階ずつ調整することができる。

日本向けでは薄暮時、スモールランプ点灯とヘッドランプ点灯のタイミングを二段階に分ける設定とし、日本向け以外では、スモールランプとヘッドランプを同時に

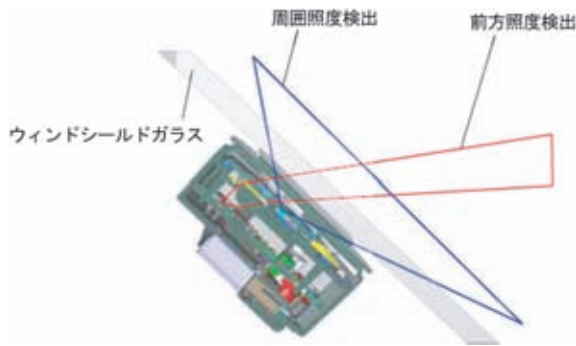


図5 オートライト照度検出  
Outline of light detection

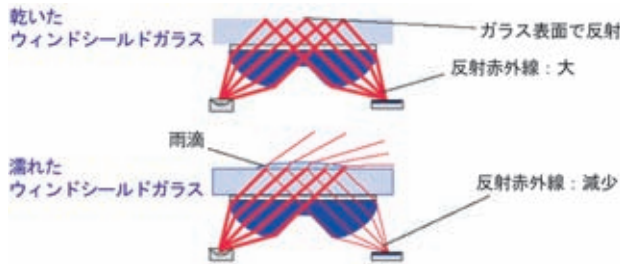


図6 雨滴検出メカニズム  
Outline of raindrop detection

点灯させる設定とした。

(2) 従来オートライトからの改善点

従来の周囲照度を検出するオートライトセンサでは、橋梁下を通過するときなどの短時間の照度低下時にランプ誤点灯を防ぐため照度変化の検出に走行距離や時間のフィルターを付け急峻な照度変化を受け付けられないようにしていた。しかし、このフィルターはトンネル進入時のヘッドランプ点灯の遅れの要因となっていた。

このレインライトセンサのオートライトでは図5に示すとおり、青線で指示する車両周囲の光だけではなく、赤線で指示する車両前方の光を検出し、その二つの情報を処理することにより、トンネル進入と橋梁下通過を判別し、トンネル進入時にはすぐにヘッドランプ点灯、橋梁下通過時にはヘッドランプを点灯させない制御を行っている。さらにこのロジックにより、トンネル点灯と薄暮時の点灯を切り分けができるため、薄暮時の点灯タイミングを従来に比べ早め被視認性を向上させながらも、木陰、橋梁下での瞬点灯を抑えることを実現した。

3.2 雨滴感応オートワイパー機能

(1) 基本機能

雨滴感応オートワイパー機能はワイパースイッチがAUTOポジション時、イグニッションキーがONの位置でウィンドシールドガラス表面の雨滴に応じて、ワイパーを間欠作動、または、LO/HIで自動制御する。また、

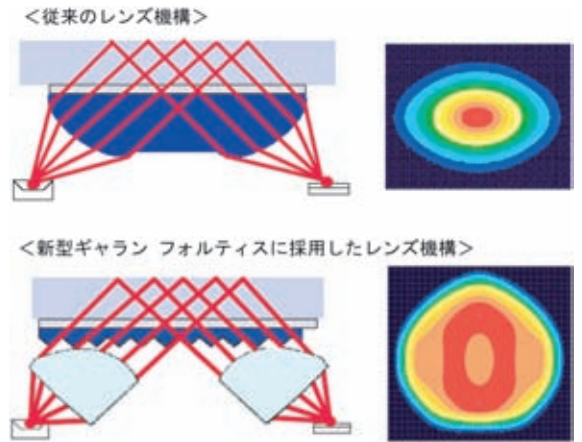


図7 新レンズ機構  
Optimized lens shape

ボリューム操作により雨滴検出の感度を変えられる設定とした。

(2) 雨滴検出の向上

雨滴感応オートワイパーの雨滴検出原理を図6に示す。発光ダイオードにより赤外光を発生し、ウィンドシールドガラス表面にて反射した赤外光をフォトダイオードで受光する。ガラス表面に雨滴がある場合は反射する赤外光が減少するため雨滴の有無を判定できる。

雨滴検出においては、検出領域が大きく取れないこと、また検出感度が均一化できないことがこれまでの課題となっていたが、今回のレインライトセンサでは、図7に示すとおり、ガラス取付け部品のレンズ構造を改善することにより検出範囲を拡大し、従来のレンズ機構では検出範囲の中心に存在したピーク感度(図7右図中の赤色部)を広げ、検出範囲境界近くまで高い感度(図7右図中の黄色部)を分布させることを実現している。この改善により、降雨始めのワイパー拭き始め感度を向上し、降雨時の感度調整の範囲を広げることができ、ユーザーフィーリングにより近付けることができた。

しかし、雨滴検出範囲はウィンドシールドガラスの一部であり、ユーザーの視界とは必ずしも一致しない。これによる感覚のずれに対応するためにドライバーがボリューム操作により雨滴感度を高い設定へ変えた場合、ワイパーを一度マニュアル駆動する仕様を追加した。

また、外気温情報を用いることにより低温時ガラス凍結が予想される場合は、エンジン始動時にワイパー駆動を禁止し、ワイパーブレードの傷みを防ぐ機能も装備している。

また、雨滴感応オートワイパーでは、雨滴だけを正確に検出するためワイパーブレードの通過、及び、ワイパーブレードが掻き集めた水の通過を無視する必要がある。今回ギャランフォルティスではこのワイパーブレードの位置を検出する信号もLIN通信でETACSから送信して

いる。LIN通信の最短周期50msごとに送信される信号では精度が足りないことが課題であったが、ワイパーオートストップスイッチのON/OFF変化にタイムスタンプ(変化してからの経過時間)を付加して送信する仕様とすることで精度の問題を解決している。

### 3.3 機種切替え機能

日本向けと欧州向けでは、オートライトの点灯タイミング、及び点灯方法が異なっている。また、ガラスの種類により光の透過率が異なることに起因するオートライト点灯タイミング差をなくしたり、雨滴感応オートワイパーがワイパーブレード通過を知るために、レインライトセンサのレイアウト位置とワイパー払拭の位置関係のパラメーターを変える必要がある。

このレインライトセンサは、ETACSからLIN通信により以下の情報を受信し、上述の仕様切替えを行う。

- ・オートライト仕向け情報
- ・オートライト点灯タイミング調整情報
- ・ガラスの種類
- ・ワイパー払拭とセンサのガラス位置パラメーター

### 3.4 故障検出機能, ダイアグ機能

本レインライトセンサは、ウィンドシールドガラスが乾いた状態での赤外光の反射量を記憶するため初回電源投入時、キャリブレーションを行う。そのため電源投入する際には、ガラスにセンサが取り付けられている必要がある。自動車製造ラインでセンサ取付け前に電源投入され、初期キャリブレーションが正常に完了しなかった場合、故障としてダイアグテスターへ知らせることができるようにした。また、故障によりオートライト制御できない場合、または、雨滴感応オートワイパー制御ができない場合は、それぞれの故障コードをダイアグテスターへ知らせることができる。

各個体はシリアルナンバー、ソフトウェア、ハードウェアのバージョン情報を持ち、トレーサビリティについても配慮している。

## 4. 実用性評価

雨滴感応オートワイパー、及びオートライトの評価については、実用性に重点をおき、以下をポイントとして走行官能評価を実施した。

<雨滴感応オートワイパー機能評価ポイント>

- ・小雨, 中雨, 大雨時のワイパー作動
- ・降雨時のトンネル進入時, 通過後のワイパー作動
- ・降雨時の立体駐車場入庫時, 出庫時のワイパー作動
- ・降雪時(低温時)のワイパー作動
- ・晴天時のドライワイブ作動

<オートライト機能評価ポイント>

- ・トンネル進入時, 通過後のヘッドランプ点灯・消灯
- ・立体駐車場入庫時, 出庫時のヘッドランプ点灯・消灯
- ・橋梁下/高架下でのヘッドランプ点灯不作動確認
- ・薄暮時の点灯タイミング(各カスタマイズ)

## 5. あとがき

オートライト機能では、車両前方と周囲の照度を検出することにより、橋梁下での短時間のヘッドランプ点灯を防止した上、薄暮時のヘッドランプ点灯を早めることができた。

雨滴感応オートワイパー機能では、新しいレンズ構造を採用することにより拭き始め感度を高め、またドライパーによる感度調整範囲を広く設定した。

ギャランフォルティスの通信ネットワーク、及びボデー系総合制御ECUであるETACSの特徴を生かし、さらに快適、安全を提供できるシステムを開発していきたい。

最後に本開発に関し多大なるご尽力を頂いたKOSTAL殿、及び関係者の方々に御礼申し上げます。

### 参考文献

- (1) 長森健夫ほか：アウトランダーにおけるETACSの機能進化，三菱自動車テクニカルレビュー，NO. 18，2006
- (2) 深津弘樹ほか：新世代電子プラットフォームの開発，三菱自動車テクニカルレビュー，NO. 18，2006
- (3) 滝水宏樹ほか：ECU機種切替え書き込みシステム，三菱自動車テクニカルレビュー，NO. 18，2006



加藤伸一



八木俊憲



# 2008年モデルeKワゴンにおけるETACSの進化

Newly Evolved Electronic Time and Alarm Control System (ETACS) of 2008 eK WAGON

川島直樹\* 田中寿英\*\*  
Naoki Kawashima Toshihide Tanaka  
荻野匡史\*\* 石川周平\*\*  
Masashi Ogino Shuuhei Ishikawa

## 概要

eKワゴンは、2008年モデルへの変更を機にETACS (Electronic Time & Alarm Control System) を一新した。軽自動車クラス初となる運転席ドア限定アンロックの採用をはじめとする商品性向上、お客様の好みに応じて各種機能が調整できるカスタマイズ機能の充実、及び故障診断機能の強化など、大きな進化を果たしている。

## Abstract

Mitsubishi Motors Corporation (MMC) greatly evolved the ETACS of the eK WAGON for the 2008 model. The improved ETACS has greater customer appeal owing to new functionality that includes the first driver's-door-only unlocking function among minicars; greater customizability of functions to accommodate customer preferences; and stronger fault-diagnosis functions.

*Key words: Electronic Control, Electric Equipment, Multiplexing, Diagnostics*

## 1. ま え が き

従来eKワゴンのETACSは、多重通信を採用し、各種ボデー電装機能を8bitマイクロコンピュータにて制御することにより、軽自動車クラスの枠を越えた数々の付加機能を実現させた<sup>(1)</sup>。2008年モデルeKワゴンではさらなる多機能化・性能向上を目的に16bitマイクロコンピュータの採用など内蔵電子部品を一新した。ソフトウェアについても最新の制御ロジックを組み込み、将来の拡張へのアドバンテージを持たせたので、ここに紹介する。

## 2. システム概要

### 2.1 システム構成

2008年モデルeKワゴンでは、三菱独自の通信バスであるSWS (Smart Wiring System) を採用し、コントロールユニット (以下、ECUとする) は、マスターノードとしてETACS、スレーブノードとしてコラムスイッチECU、パワーウィンドウスイッチECUという構成としている。本システムに接続される負荷は、ヘッドランプ、テールランプ、盗難警報用ホーン、ターンシグナル



図1 ETACSの外観  
Appearance of ETACS unit

ランプ、ワイパー、ルームランプ、センタードアロック、パワーウィンドウ、電動格納式ドアミラー、各種インジケーターなどがある。ETACSは電源系 (ヒューズ、リレーなど) の集中するジャンクションブロックと一体化するように設けることでフラッシャーやドアロック回路及びキーレスエントリーのレシーバーやアンテナなどを統合して制御している。これらシステム構成や入出力器機自体には、従来eKワゴンからの大きな変更はない。図1にETACSの外観、図2にシステムのブロック図を示す。

\* 開発本部 電子技術部

\*\*三菱自動車エンジニアリング(株)

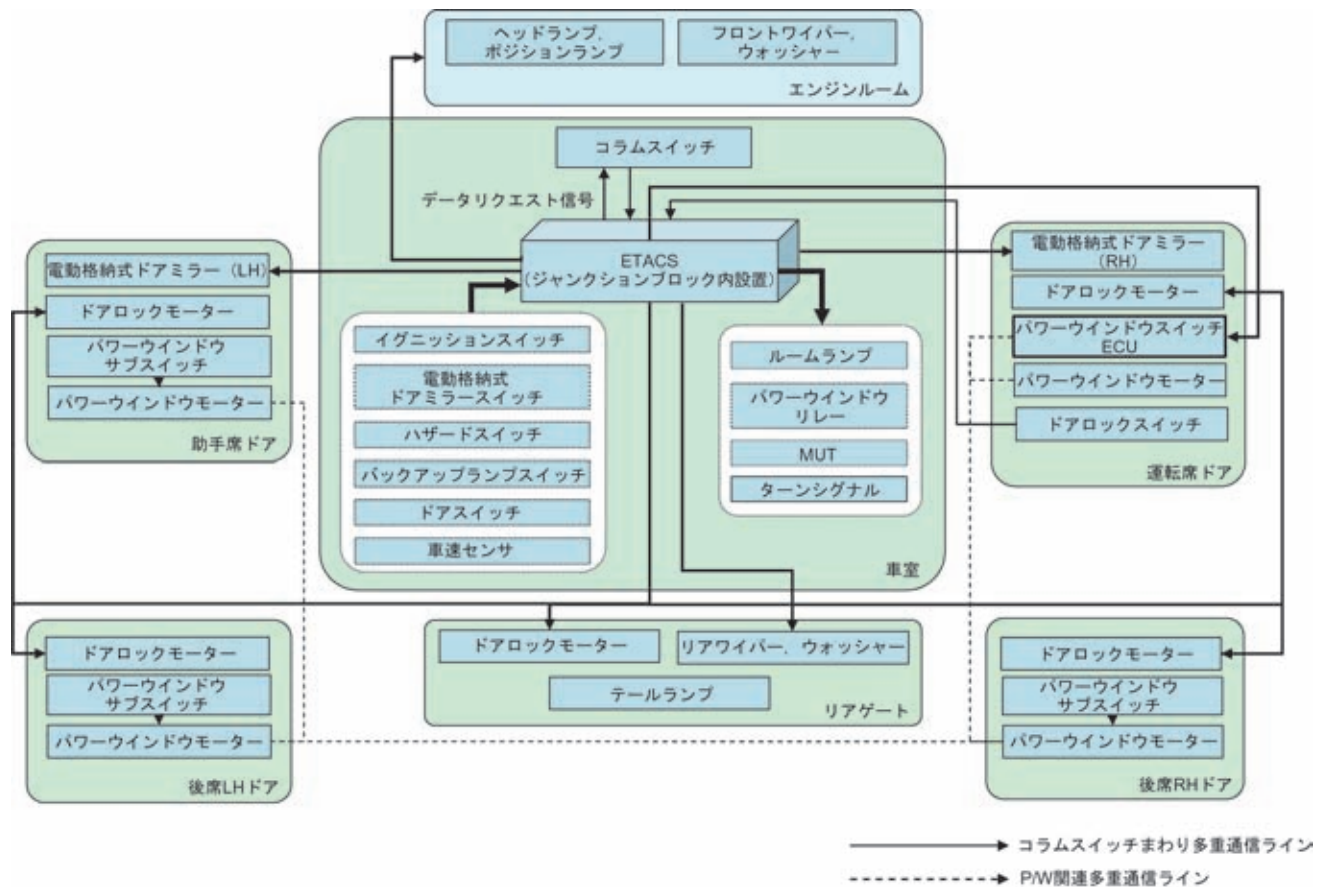


図2 システム概要  
Overview of system

表1 通信プロトコル  
Communication protocol

	諸元	仕様
物理層	ネットワーク形態	バス型トポロジー
	伝送触媒	C A V S 線
	伝送速度	5 kbps
	コード形態	バスフェイズ (マンチェスターコード)
	伝送形式	シングルワイヤー電圧伝送
	最大ノード数	8
	データリンク層	同期方式
フレーム構成		SOM : 1
		データ : 4 ~ 16 (可変長)
		CRC : 5ビット
		EOM : 1
エラー検出	CRC, フレーム長チェック	

## 2.2 通信仕様

SWSについては、コラムスイッチは内蔵してある通信用ICにより通信の制御を行い、ETACS及びパワーウィンドウスイッチECUはマイクロコンピュータのソフトウェアにより通信制御を行っている。

各ECUは分散制御型ネットワークを構築しており、以下のような仕様にて動作する。

- ・通信サイクルはスイッチ類の応答遅れを感じない40msの速度にて動作
  - ・通信速度は通信線からの放射ノイズを抑えるため5kbpsに設定
  - ・高精度のクロックを必要としない、ビット同期方式のマンチェスターコード
- 通信プロトコルの内容を表1に示す。2.1項同様、

表2 新旧ETACS機能比較表  
Function comparison chart

		08型eK	従来eK
警告ブザー、インジケーター	バックブザー		
	セキュリティアラームブザー	*	
	半ドア警告	*	
	キー抜き忘れブザー		
	ライトモニターブザー		
	カスタマイズ調整機能ブザー		
	マナー消灯ブザー	*	
	ターンシグナルブザー	*	
コンフォートフラッシャー		*	
フロントワイパー			
リアワイパー		*	*
リバース連動リアワイパー (A/T車)			
リアワイパーウォッシャー			
パワーウィンドウキーオフタイマー		*	*
電動格納式ドアミラーキーオフタイマー		*	
ライティング (ヘッド・テールランプ)			
ヘッドランプオートカット		*	*
集中ドアロック	運転席ドア限定アンロック機能対応	*	
キー抜き忘れ防止			
マルチモード	パワーウィンドウの開閉	*	*
キーレスエントリー	電動格納式ドアミラーの展開、格納	*	
減光式ルームランプ		*	*
キーレスアンサーバック機能		*	*
パワースライドドアの開閉			
MUT- によるカスタマイズ機能			
特殊操作による調整機能			
SWS通信	MUT- との通信対応		
	MUT- との通信非対応		
ダイアグ関連	入力チェック機能		
	SWSダイアグコード出力		
	スイッチ入力信号状態送信		
	アナログ入力信号状態送信		
	トランスミッタースイッチ状態送信		

\* : カスタマイズ項目あり

SWSの通信プロトコルについても、従来eKワゴンの仕様から大きな変更は行わなかった。

しかし、2008年モデル型eKワゴンにおいてはSWSの通信データ量を増加させ、またMUT- (Multi Use Tester : 販売会社で使われる故障診断ツール)との双方向通信に対応したことにより高度なカスタマイズを実現することができた。後述においては、2008年モデルeKワゴンを、08型eKワゴンと呼び替えて表現する。

### 3. 新機能

08型eKワゴンでは、10項目の新機能を追加し(表2)、また全19項目のカスタマイズ可能な機能を備え(表3)、大幅な商品性向上を果たしている。カスタマイズ操作は、MUT- を使って行えるようにしたこと

で販売会社での対応も容易にした。

主な追加機能としては、最新の三菱車に採用しているコンフォートフラッシャーや、電動格納式ドアミラーの自動作動などの利便性機能、車速感応フロントワイパーや、ワンタッチで連続作動にも切り替え可能な間欠リアワイパーなどの走行安全機能、セキュリティアラームや運転席ドア限定アンロック機能などの盗難防止機能などがある。これら新機能の数々は、お客様の嗜好に合わせカスタマイズが可能であり、軽自動車の枠を越えた先進のボデー電装制御システムにしている。主な新機能の詳細を以下に説明する。

#### 3.1 運転席ドア限定アンロック

キーレスエントリーを使ってドアをアンロックする

表3 カスタマイズ一覧表  
Function customization chart

装 備	調 整 機 能	設 定 内 容	08型eK	従来eK	
キーレスエントリーシステム	リモコンスイッチで施錠・開錠したときの非常点滅灯による作動確認	a. なし		a, bのみ選択可能	
		b. 施錠1回/解錠2回			
		c. 施錠1回/解錠0回			
		d. 施錠0回/解錠2回			
		e. 施錠2回/解錠1回			
		f. 施錠2回/解錠0回			
		g. 施錠0回/解錠1回			
	リモコンスイッチでできるパワーウィンドウ及びドアミラーの開閉操作	a. 機能しない	b. パワーウィンドウ：開&閉 ドアミラー：開&閉		ただしミラーは操作できない
		d. パワーウィンドウ：閉 ドアミラー：開&閉			
リモコンスイッチでUNLOCKスイッチを押した後、自動的に施錠されるまでの時間	a. 30秒			×	
	b. 60秒				
	c. 120秒				
	d. 180秒				
リモコンスイッチのUNLOCKスイッチを1回押したときに開錠するドアの位置	a. 全席解錠する			×	
	b. 運転席のみ解錠する				
ドアミラー	電動格納式ドアミラーの自動格納・復帰の条件	a. 車速約30km/hで復帰する		×	
		b. エンジンSWに連動して、格納・復帰する			
		c. 施錠/解錠に連動して、格納・復帰する			
		d. 自動で格納・復帰しない			
ワイパー	ウォッシャー液を噴射させたときのワイパー作動	a. 運動する		×	
		b. 運動しない			
	リアワイパー間欠作動時間	a. 4秒 かつ連続作動モードあり			×
		b. 8秒 かつ連続作動モードあり			
		c. 16秒 かつ連続作動モードあり			
		d. 0秒 連続作動			
		e. 4秒			
		f. 8秒			
		g. 16秒			
ヘッドライト	ヘッドライトオートカット機能(自動消灯)	a. 消灯する		×	
		b. 消灯しない			
	降車後照明として利用するときのライトスイッチの位置	a. ヘッドライト・オンするときのみ機能する		×	
		b. ヘッドライト・オン及びポジションライト・オンのとき、共に機能する			
車内照明	すべてのドア及びテールゲートを閉じたときに消灯するまでの時間(遅延消灯)	a. 7.5秒点灯	初期値b 選択可能	初期値c, b, c, g のみ	
		b. 15秒点灯			
		c. 30秒点灯			
		d. 1分点灯			
		e. 2分点灯			
		f. 3分点灯			
		g. 減光点灯しない			
警告音	セキュリティアラームの設定	a. 機能あり		×	
		b. 機能なし			
	半ドアのまま走行したときのブザーによる警告	a. 一定期間吹鳴する		×	
		b. 吹鳴しない			
パワーウィンドウ	エンジンスイッチをOFFにした後に開閉できる時間(タイマー機能)	a. 0秒		×	
		b. 30秒			
		c. 3分			
		d. 10分			
	エンジンスイッチOFF後、キーオフタイマー時間内に運転席から開閉可能なドアガラスの設定が可能です。	a. 全席開閉可能		×	
		b. 運転席のみ開閉可能(助手席, 後席は閉のみ可能)			
方向指示灯	車線変更時の3回点滅機能	a. 機能する		×	
		b. 機能しない			
	車線変更時の3回点滅機能が作動するまでのレバー操作時間	a. 標準		×	
		b. 長くする			
方向指示灯の点灯に合わせて断続的に鳴るブザー音の音程	a. 高音と低音		×		
	b. 低音				
方向指示灯が作動するエンジンスイッチの位置	a. ONの位置のときのみ作動する		×		
	b. ONまたはACC位置のときに作動する				

工場出荷時は 〇 の初期設定内容となっております。

○ : カスタマイズ設定可  
× : カスタマイズ設定不可



図3 運転席ドア限定アンロック  
Driver's door limited unlocking function

際、通常は全ドアがアンロックするが、アンロック箇所を運転席のみに限定する機能が運転席ドア限定アンロックである。これはキーレスエントリー送信機のアンロックスイッチを1回押すと運転席ドアのみが開錠、アンロックスイッチを2回連続押しすると全席ドアが開錠できるものである。北米向車については、安全上の市場要求（一人乗車の場面で、助手席側から不審者侵入を防ぐというニーズ）から、運転席ドア限定アンロックを採用済みであるが、日本国内においても、そのニーズは高まりつつあり、特に一人で車を使用することが多い女性のお客様から採用要望の声が聞かれ始めている。この要望に応えるかたちで、新型eKワゴンに本機能を採用した。軽自動車クラスとしては初の採用でもあり、08型eKワゴンの最も訴求できる機能の一つとなっている（図3）。

### 3.2 セキュリティーアラーム

キーレスエントリーの送信機以外の開錠方法でドア（テールゲートを含む）が不正に開けられた場合に、ホーン吹鳴、ハザード点滅で警報を行う機能である。室内にLEDインジケータを備え、駐車時に点滅作動することにより、不正侵入を抑止する効果も備わっている。

### 3.3 電動格納式ドアミラー

電動格納式ドアミラーは、以下三つの自動作動機能のうち、いずれかが選択可能である。例えば、(3)の設定にすれば、ドアの施錠状態が容易に確認でき、安心につながる。

- (1) 時速 30 km/h になると自動でミラーが復帰
- (2) 降車時（イグニッションオフし運転席ドアを開ける）にミラー格納し、乗車時（イグニッションオン時）にミラー復帰
- (3) キーレスエントリーでドアロック時にミラー格納



図4 MUT-III  
MUT-III

し、ドアアンロック時にミラー復帰

### 3.4 半ドア警告

ドアまたはリアゲートのいずれかが開いた状態（半ドア含む。後述では半ドアと説明）で、コンビメーター内のドアインジケータを点灯させ、運転者に警告を促す機能は一般的であるが、新型eKワゴンにおいては、半ドア状態で走行する（8 km/h 以上）と、ドアインジケータの点滅とブザー警告を行い運転者に注意を促す機能を備えた。万が一、半ドア状態に気付かず走行開始した場合に、インジケータ点滅にブザー音が同期して作動するので、運転者は警告の意味を容易に理解することができる。

### 3.5 コンフォートフラッシャー

ターンシグナルレバーを短い間操作することによりターンシグナルランプを3回連続点滅させる機能である。ターンシグナルレバーの戻し操作を必要としないためレーンチェンジなどの際に使うと、運転者の負担軽減につながり、安全運転に寄与する。

## 4. サービス性

故障診断テスターであるMUT-III（図4）を車両に接続することにより、以下の保守操作が行える。

### 4.1 カスタマイズ

従来eKワゴンのETACSでは、コラムスイッチの特殊操作によりカスタマイズが行えたが、その操作は煩雑であった。また、カスタマイズ可能な機能が少なく、多様化するお客様の嗜好に応えられるものではなくなりつつあった。08型eKワゴンにおいては、カスタマイズ可能な機能が大幅に増え、MUT-IIIにより販売会社で容易に操作ができるようにした。

4.2 サービスデータ

SWS通信ラインのデータ値，ETACSに入力されるハードワイヤスイッチのON/OFF情報，ETACS内部処理データの物理変換値など，故障診断に必要な情報（表4）をMUT-に表示することができる．このようにして的確な故障診断が迅速に行えるよう改良した．

5. むすび

近年，車両電装システムは，高度複雑化しており，そのシステム構造は電子プラットフォーム<sup>(2)</sup>と呼ばれるまでになった．通信プロトコルについては業界標準であるCAN，LINなどを採用するのが主流となってきた．今回，08型eKワゴンにおいてETACSの新作を行ったが，マイナーチェンジであるがゆえに電子プラットフォームを変更することはせず，主にETACS内部の電子部品やソフトウェアを変更することで，ボデー系電装機能の大幅機能向上を目指した．結果として，運転席ドア限定アンロックなどお客様に訴求できる数多くの新機能が採用でき，また故障診断機能の強化など販売会社に対してもメリットのある製品ができた．また，電子部品の最新化によりキーレスエントリーの受信性能，作動レスポンスも大いに向上した．今後も，軽自動車クラスの中で，他社をリードする先進のボデー電装機能を開発していきたい．

最後に，本開発を進めるに当たり，短期開発にご協力頂きましたオムロン(株)殿，及び関係各位に厚く御礼申し上げます．

参考文献

- (1) 川島直樹ほか：コラムスイッチ廻りの多重通信システム，三菱自動車テクニカルレビュー，NO. 10，1998
- (2) 深津弘樹ほか：新世代電子プラットフォームの開発，三菱自動車テクニカルレビュー，NO. 18，2006

表4 サービスデータ  
Service data list

機能	設定状態	出力ECU	アイテム名 (MUT表示)	スイッチ状態	
ワイパー	INT	コラムECU	INTワイパー SW	ON	
			LOワイパー SW	OFF	
			HIワイパー SW	OFF	
			ミストワイパー SW	OFF	
			フロントウォッシャー SW	OFF	
	ETACS	イグニションSW ACC	ON		
			ワイパー-INTジカン	ジカント	
ライティング	LO	コラムECU	INTワイパー SW	OFF	
			LOワイパー SW	ON	
	HI	コラムECU	HIワイパー SW	OFF	
			ミストワイパー SW	OFF	
			ETACS	イグニションSW IGI	ON
			ETACS	HDランプオートカット	OFF
セキュリティアラーム	セキュリティアラーム	ETACS	ヘッドランプ SW	ON	
			ディマー SW	ON	
			パッシング SW	OFF	
			イグニションSW IGI	ON	
			HDランプオートカット	OFF	
			セキュリティアラーム	ON	



川島直樹



田中寿英



荻野匡史



石川周平

# 高性能オーディオ 『MITSUBISHI POWER SOUND SYSTEM』の開発

Development of MITSUBISHI POWER SOUND SYSTEM

五味 淳史\* 宮田 真行\* 坂本 康弘\*  
Atsushi Gomi Masayuki Miyata Yasuhiro Sakamoto

## 概要

「パジェロ ショート」及び欧州向け「L200（日本名：トライトン）」の特別仕様車に搭載するプレミアムサウンドシステムとして、三菱自動車のオリジナルブランドである『MITSUBISHI POWER SOUND SYSTEM』を開発した。このサウンドシステムは、中音域及び高音域のサウンドクオリティが最も考慮された設計となっている。また、その車のスペースユーティリティが犠牲とならないようにサブウーハー（重低音再生専用スピーカー）を搭載せず、しかしながらお客様が満足できるような高音質を演出できるよう車体側構造に改良を加え、チューニングをきめ細かに実施した。スピーカー単体においても今まで培ってきた技術とノウハウを最大限に活用し、車載世界初となるスピーカー技術を採用した。

## Abstract

Mitsubishi Motors Corporation (MMC) developed a premium sound system called the MITSUBISHI POWER SOUND SYSTEM for the short-body PAJERO and the special editions of Europe-specification L200 (Japan name: TRITON). In the design of this system, MMC placed top priority on sound quality at mid-range and high frequencies. To avoid sacrificing space utility, MMC did not include a subwoofer in the system. However, it realized high-quality sound by means of vehicle-body revisions and detailed tuning. With the speakers, MMC took full advantage of its technological strengths and know-how to adopt speaker technologies that are the first of their kind to be used in automobiles.

*Key words: Sound, Acoustics, Audio System*

## 1. ま え が き

近年、MMCが市場に投入したプレミアムサウンドシステムはそのクオリティの高さが評価され、市場から大変好評を得ている。これを受け、現在プレミアムサウンドシステムの設定のないパジェロ ショート及びL200（日本名：トライトン）にもプレミアムサウンドシステム搭載のニーズが高まっていた。しかしながら、車体の形態上、レイアウトの制約が厳しい上記車両においては、サブウーハーの設置が難しく、十分なサブウーハーボックス容量を確保できないために、意図するサウンドクオリティを達成することが困難であった。そこで、これらの車種において、高品位なサウンドを提供できるよう、サブウーハーなしでも十分なクオリティを確保することを目指した三菱自動車オリジナルブランド『MITSUBISHI POWER SOUND SYSTEM』の開発を進めてきた（図1）。



図1 MITSUBISHI POWER SOUND SYSTEM 構成部品  
MITSUBISHI POWER SOUND SYSTEM components

今般、このMITSUBISHI POWER SOUND SYSTEMについて、そのシステム構成とコンセプト、採用された技術を紹介する。

## 2. システム構成

MITSUBISHI POWER SOUND SYSTEMのパジェロショート及びL200でのシステムレイアウトをそれぞれ図2に示す。本システムでは「8スピーカー6ポジション

\* 開発本部 電子技術部

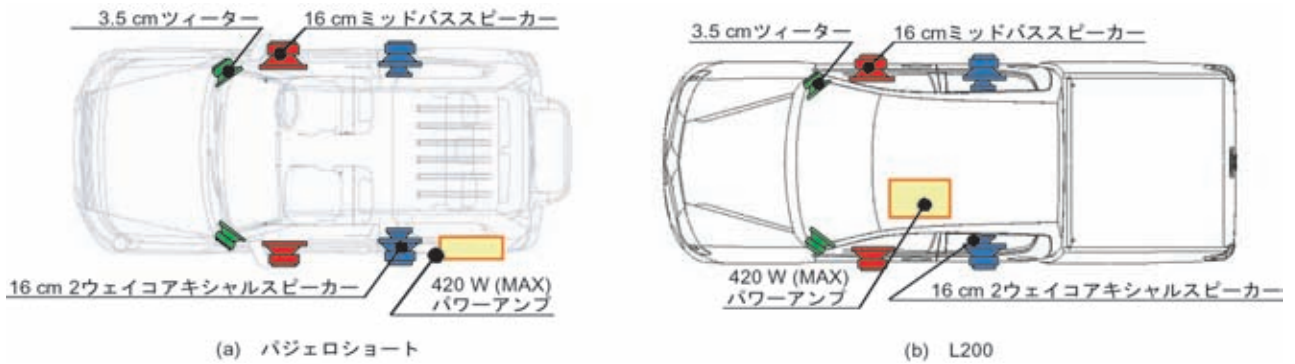


図2 MITSUBISHI POWER SOUND SYSTEMのシステムレイアウト図  
MITSUBISHI POWER SOUND SYSTEM layout

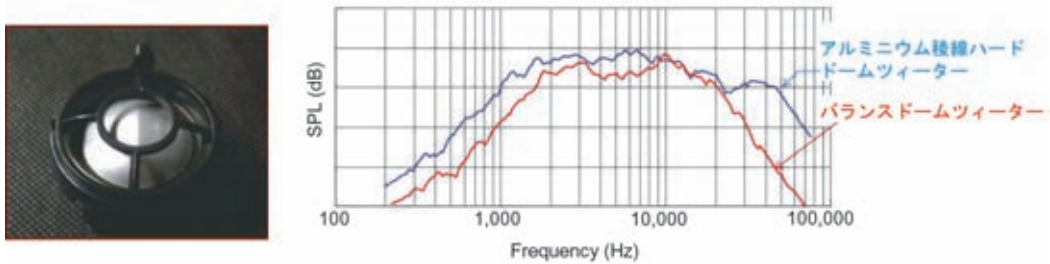


図3 アルミニウム稜線ハードドームツイーター外観及びバランスドームツイーターとの周波数特性比較  
Aluminum hard dome tweeter with ridge, and comparison of its frequency characteristics with those of balanced dome tweeter

ンシステム」を採用している。各スピーカーは以下のとおり、設定した。

- ・Aピラー下：（高音域再生専用スピーカー）  
アルミニウム稜線ハードドームツイーター
- ・フロントドア：（中低音域再生専用スピーカー）  
メタライズド・ハイブリッドPPダイアフラムミッドバススピーカー
- ・リアシートサイド：（全帯域再生用スピーカー）  
メタライズド・ハイブリッドPPダイアフラム2ウェイ  
コアキシャルスピーカー

また歪み感の少ないクリアな音質を十分な入力でスピーカーに与えるべく、トータル420 W (MAX) パワーアンプを搭載した（スタンダードオーディオでの出力はオーディオヘッドユニットに内蔵されたアンプによる140 W）。またパワーアンプに搭載されたDSP（Digital Signal Processor）を用いて、出力特性を新規採用した各スピーカーの特性を最大限に生かしつつ、さらに各車両の室内音響特性に合わせて最適化することで、高品位のサウンドを再生することを可能とした。

### 3. MITSUBISHI POWER SOUND SYSTEMの 開発コンセプトと課題

まえがきにおいて触れたように、車体の形態上、スペースの制約が厳しい車種がある。この場合、大容量のボックスを必要とするサブウーハーの設置は非常に難しく

なる。また、スペースを確保するために、サブウーハーボックスを小型化させるとサブウーハー自体のポテンシャルを発揮できなくなってしまう。そこで、このパジェロショート及びL200に採用されるMITSUBISHI POWER SOUND SYSTEMは、「サブウーハーなしで高音質を目指す」ことを念頭において開発を進めた。具体的には、「中音域」「高音域」のクオリティを最重要課題としている（ただ、重低音の再生を断念したわけではない）。さて、上記の「中音域」「高音域」のクオリティ向上のための具体策として

- ・スピーカー単体の高性能化
  - ・DSPによる車体にマッチングしたサウンドチューニング
- これら2点を熟成させることにより、意図する高品位のサウンドシステムを構築した。

## 4. 技術特徴

### 4.1 車載世界初 アルミニウム稜線ハードドーム ツイーターの採用

音質を向上させる上では、まずスピーカー自体の性能を向上させる必要がある。まずは、高音域の改善について説明する。

高品位な高音域の再生を実現化するために、より再生限界周波数の高いハードドーム型のツイーターを採用した。図3はスタンダードオーディオで採用されているバランスドーム型ツイーターとMITSUBISHI POWER





MITSUBISHI POWER SOUND SYSTEM      スタンダードオーディオシステム

図4 ツィーターガーニッシュ (L200)  
Tweeter garnish (L200)

SOUND SYSTEMで採用されているアルミニウム稜線ハードドームツィーターとの周波数特性グラフである。図から明らかなように、バランスドームツィーターと比較すると本ハードドームツィーターは再生限界周波数はるかに高い(なお、図は秘匿情報のため詳細は省いている)。これにより、原音に近いリアリティのある高音域が再生可能となった。また、最低限界周波数もバランスドームに比べて有利である。これによりボーカルイメージをより上方に定位させることが可能となり、サウンドシステムを構築する上で有利となった。さらに、ツィーターに振動板中央を横切る直線の稜線を入れている。これは、ツィーター振動板を振動させたときの複次振動を安定させ、またツィーター振動板自体の振動を全体に均一に拡散させる作用がある。この作用により、振動のピークを抑えることができ、周波数特性に突出したピーク/ディップが現れるのを抑制し、歪み感の少ないクリアな高音域の再生を実現させた。

このツィーターの性能を十分に発揮できるように、ツィーターガーニッシュには、薄くて開口率の高いパンチングメタルを採用した(図4)。ガーニッシュの開口率は音質に与える影響が大きい。開口率が低ければどんなに高性能なスピーカーを採用してもそのポテンシャルを引き出すことができない。本システムにおいては、開口率の影響で音質の劣化が起こらないよう十分に配慮した設計を実施している。

以上により、意図した質感の高いクリアな高音域の再生が可能となった。

#### 4.2 メタライズド・ハイブリッドPPダイアフラムスピーカーの採用

次に高品位な中音域の再生に焦点をあてて説明する。高品位な中音域の再生を実現するためには、スピーカーコーン振動板の剛性を高める必要がある。これを実現するため、強化マイカ(雲母)を配合したPP(ポリプロピレン)樹脂を素材とし、剛性が高い凹型形状のPPセンターキャップを採用した。これによりスピーカーの



図5 メタライズド・ハイブリッドPPダイアフラムスピーカー  
Metallized hybrid polypropylene diaphragm speaker

コーン振動板の剛性が向上し、振動板内部の音の伝播速度が改善され、より臨場感のあるリアルな中低音が再生可能となった。振動板の音の伝播速度を更に改善するため、振動板表面にチタンスパッタリングを施した。振動板表面にチタンの薄膜を覆うことで、表面に伝わる音の伝播速度が上がり過渡特性が向上し、より原音に近い中音域を再生可能とすることができた。

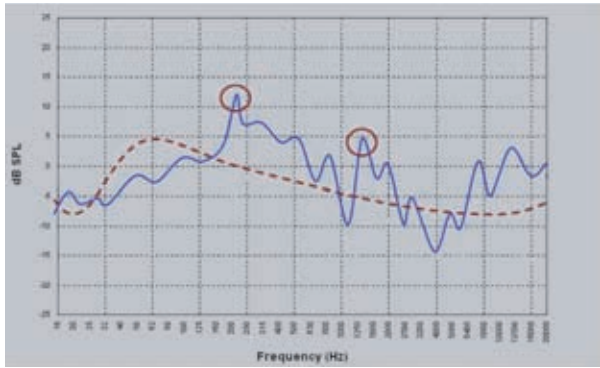
また、前述しているように本システムにおいてはサブウーハーが装着されていない。すなわち、重低音を再生可能とする16cmスピーカーを開発する必要があった。このために振動板の素材はセンターキャップと同様に強化マイカを配合したPPを採用している。PPは非常に軽い素材であるために低音に対するレスポンスが非常に良く、なおかつ強化マイカの配合により剛性を上げ、歪み感の少ない低音が再生可能となる。振動板のエッジにはリアリティの良いブチルゴムを採用し、低音域の量感を再現している。また磁気回路には大型のフェライトマグネットを採用している。低音の切れ及び重低音の再生には強い磁場の中にボイスコイルを配置する必要がある。本スピーカーはこれを実現したスピーカーとなっている(図5)。

以上により、高品位な中音域を達成するとともに、低音においても歯切れの良い低音が再生となり意図する音質に達成することができた。

#### 4.3 DSPによる車体にマッチングしたサウンドチューニング

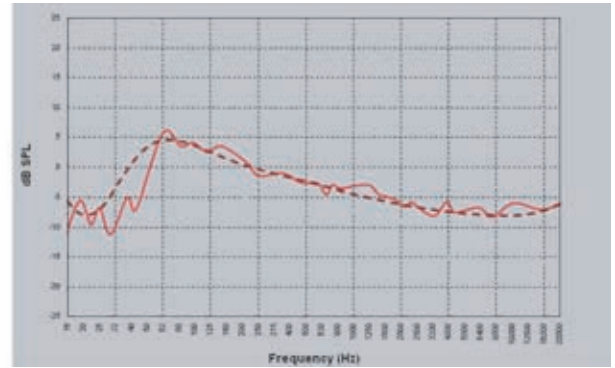
これらのポテンシャルの高いスピーカーを採用しても、自動車という特殊環境にスピーカーを設置すると、車自体の形状及び剛性、ガーニッシュの開口率などの問題で、意図しないピーク/ディップが発生する。この状態ではやはり「高品位なサウンド」と呼べるものには成り得ない。

これを改善するためにDSPを用いてサウンドチューニングを実施した。本システムにおいては今まで培ってきた三菱自動車のノウハウと技術を満遍なく生かし、スピーカーの特性を最大限発揮できるようなきめ細やかなサウンドチューニングすなわち『音創り』が成されている。



(青線：チューニング前の車室内音響特性)  
(茶点線：理想の車室内音響特性)

**図6 チューニング前の車室内音響特性**  
Cabin acoustic characteristics before tuning



(赤線：チューニング後の車室内音響特性)  
(茶点線：理想の車室内音響特性)

**図7 チューニング後の車室内音響特性**  
Cabin acoustic characteristics after tuning

前述したように本プレミアムサウンドシステムは高音域と中音域を最重要課題として開発を開始したものであり、音創りに関してもこの部分に細心の注意を払った。

一部紹介すると、パジェロショートにスピーカーを装着しDSPで制御をかけない状態（フラット出力状態）で車室内の音響特性を測定した結果、トリムやボデーの影響により、200 Hz 付近に極端なピークが発生していた（**図6**）。この影響により、全体的に暗くこもったイメージになっていた。これをDSPにより取り除くことで、全体的にまとまり感があり、音質的にバランスのとれた特性へと作り込んだ（**図7**）。

また、サブウーハーがない分、重低音の再生も考慮しなければいけなかったが、本システムの場合は左右から発生する音の干渉を用いて重低音を表現できるような設定がなされている。左右から発生する重低音がリスナー地点にて干渉し増幅されるタイミングを考慮し、左右のスピーカーのディレイを設定することで、重低音を表現することを可能とした。

以上のような車室内を理想の音響空間にするためのチューニング技術を盛り込むことで、高品位な音質を達成

することができた。

## 5. あとがき

スピーカーの高性能化に加え、スピーカーの特性及び車両の室内環境にあわせ最適化させたアンプの出力特性を実現させることで、サブウーハーが設置できない車両においても、高品位なサウンドシステムをお客様に提供することが可能となった。

今後は、今回高性能化された各スピーカーの他車種への展開を検討し、車載オーディオの付加価値の向上を図っていきたいと考えている。



五味淳史



宮田真行



坂本康弘

# 製品開発におけるユーザビリティ評価

## Usability Evaluation in Product Development

堀 栄 聡 志\* 磯 村 有 宏\* 村 瀬 善 弘\*  
 Satoshi Horie Arihiro Isomura Yoshihiro Murase  
 大和田 富治\* 谷田部 雄大\* 岸 上 健 二\*  
 Tomiji Ohwada Yudai Yatabe Kenji Kishiue  
 入 方 真 吾\*  
 Singo Irikata

### 概 要

ユーザビリティ評価は、製品の使い勝手を評価するだけではなく、その製品が魅力的かどうか、ユーザーのニーズに合っているか、さらには、ユーザーの潜在的なニーズまでも探ることができる評価手法である。その評価手法の一つであるユーザビリティテストは、製品が開発のねらいどおりになっているか、なっていないとすれば改良点はどこなのかを、ユーザーを使って評価・抽出するテストである<sup>(1)</sup>。このユーザビリティテストの事例を通し、当社の開発プロセス及び評価指標の一端を紹介する。

### Abstract

Usability evaluation is not only a means of evaluating a product's ease of use; it also serves as a means of determining whether the product is appealing, as a means of determining whether the product meets users' needs, and as a means of finding potential user needs. One method for evaluating product usability is a usability test, whereby users evaluate the product to determine whether it satisfies the development goals and, if it does not, the points that need to be improved<sup>(1)</sup>. Using a usability test as an example, this paper describes some of Mitsubishi Motors Corporation's development processes and evaluation indices.

**Key words:** Usability, Testing, Human-Machine-Interface, Driver Behavior

## 1. ま え が き

ユーザビリティという言葉は「使い勝手」と一般的に訳され使われることが多いが、ここで言うユーザビリティとは使用品質（利用品質とも言う）のことである（図1）。

日本の自動車産業において1980年代頃までの品質が意味するところは「信頼性」「耐久性」が主であった。しかし1990年代以降は「お客様が満足する」「魅力的な」という商品性に品質の意味が移ってきた。つまり「お客様の満足度が高い＝品質が高い」ということであり、製品開発において使用品質は品質を左右する中心的な存在となっている。このように、お客様に満足を与えるものは時とともに、また場所によって変化してゆくため、各企業はユーザビリティ評価を実施し、常に「お客様は何を求めているのか」を把握し、品質向上に努める必要がある。



図1 品質管理における品質特性<sup>(2)</sup>  
 Quality characteristics

## 2. ユーザビリティの定義

国際規格ISO9241-11において、「ある製品が、特定のユーザーによって、特定の利用状況下で、指定された目標を達成するために用いられる際の、有効さ・効率・ユーザーの満足度の度合い」と定義されている<sup>(3)</sup>。

有効さ：ユーザーが指定された目標を達成する上での正確さと完全さ

\* 開発本部 実験総括部

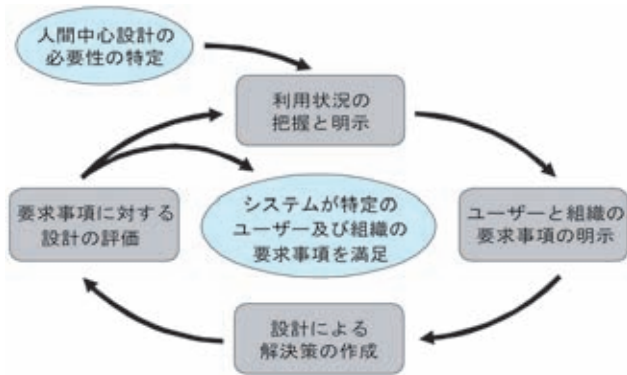


図2 人間中心設計プロセス  
User-centered design process

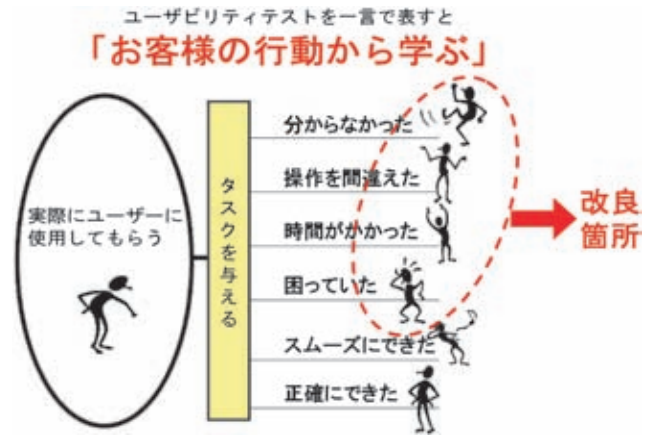


図3 ユーザビリティテストとは  
Image of usability test

効率：ユーザーが目標を達成する際に正確さと完全さに費やした資源

満足度：不快さのないこと、及び製品使用に対しての肯定的な態度

### 3. ユーザビリティ評価

#### 3.1 ユーザビリティ評価とは

機能・性能といった製品そのものの品質に加えて、ユーザーが使用する際の品質も保証しなければ、ユーザーの満足は得られない。その品質を保証するための手法がユーザー中心設計であり、ユーザーの視点に立って設計した製品の品質を評価することがユーザビリティ評価である(図2)<sup>(4)</sup>。

#### 3.2 評価手法の種類

ユーザビリティ評価には大きく分けて二つある。専門家評価とユーザーを使った評価である。

当社の専門家評価は、人間工学をもとにした評価指標によって専門家が実施している。もう一方のユーザーを使った評価は、設定された状況下でユーザーに製品を実際に使って頂き、その行動観察から評価を実施している。このユーザーを使った評価法をユーザビリティテストと言い、この評価法は市場の変化に的確に対応できる特徴を持ち合わせている(図3)。

#### 3.3 評価の対象

自動車の場合、評価対象は大きく分けて二つある。ひとつはコンポーネント単体の評価、もうひとつは車両全体の総合評価である。

### 4. ユーザビリティテスト<sup>(5)</sup>(6)

一般的なユーザビリティテストの流れを、ユーザビリティ担当者の業務に沿って説明する。

#### 4.1 開発担当者からの情報提供

評価対象の製品が何であり、ねらいは何であるか、また、主な使い方、対象ユーザー層はどこか、評価結果から具体的に何が知りたいかなど、開発担当者から情報を得る。

#### 4.2 テストの準備

開発担当者から得た情報をもとに、テスト参加者の選定、テスト内容(タスク)の決定、テスト機器及び環境の確保、日程調整などを実施する。特にタスク選定は非常に重要で、ユーザーが普段の生活の中で使用している状況を作り出すことで正確な結果を導き出すことができる。

#### 4.3 テストの実施

テスト参加者を迎え入れ、用意したタスクを実行してもらい、それを開発担当者とユーザビリティ担当者が観察し評価を実施する。行動の理由を知るために、タスク実行の前に発話思考法(発話思考法:操作中に頭の中で思ったこと(これからやろうとしていることや疑問など)をすべて発話してもらうこと)を教授し、テスト実行時には発話思考法により「なぜ、そうしたのか」が分かるようにしている。また、テスト参加者にはリラックスしてテストに参加してもらうために環境にも配慮する必要がある。

#### 4.4 分析及び評価

ユーザビリティの定義にある、有効さ・効率・満足度により評価を実施する。タスクが達成できたか、時間がかからなかったか、いらいらすることはなかったかなどを分析し評価する。

当社の評価は図4に示すように、有効さ・効率・満足度の各評価点数を算出し、それぞれに重み付けを行い評価点を算出している。

評価結果は開発担当にフィードバックし改良した後、再び評価を実施する。これを繰り返し完成度を上げてゆ

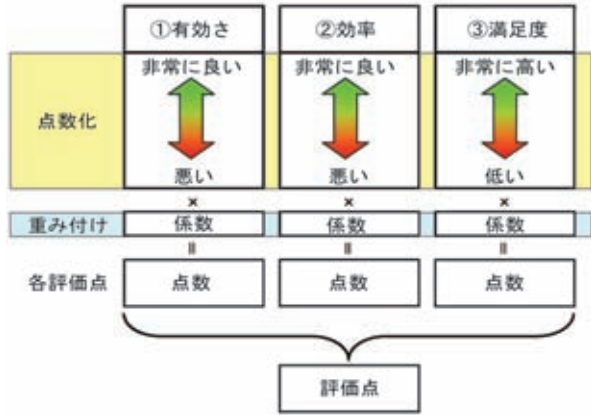


図4 評価点数の算出方法  
Method of calculating evaluation point



図5 ユーザビリティテスト風景  
Usability test in progress

くのである（開発のスパイラルアップ）。

## 5. ユーザビリティテスト事例

デリカD:5（2007年1月発売）に採用された、マルチアラウンドモニターのユーザビリティテスト事例を紹介する（図5）<sup>(7)</sup>。

### 5.1 対象コンポーネントの特徴・ねらい

今回開発したマルチアラウンドモニターは、

- ・車両の前方、後方、左側方の車両周辺の主な死角のほとんどをカバーした映像表示
- ・二つの別々の映像を1画面に合成して表示することで画面切替えの煩わしさを解消
- ・カメラスイッチを押すことなく、条件によりカメラ画面を表示する自動表示モードの設定

主に上記三つのねらいで製品開発を実施した<sup>(5)</sup>。

### 5.2 テストの目的

設計段階での仕様決定のために評価を実施した。実際

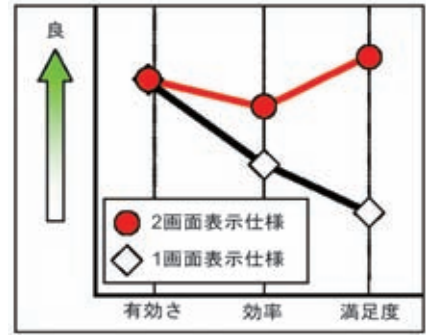


図6 表示画面構成の評価結果  
Evaluation result for two screen display

の使用状況を用意し、実際にユーザーに使ってもらい評価を行うことで、ユーザビリティの高い仕様を決定するための判断材料とした。

## 5.3 評価方法

ターゲットユーザーは男女とも20～50代の幅広い年代を対象として、26名の被験者を選定した。また、後方カメラなどの視界補助システムを日頃から使用している人を全体の1/3程度人選した。

表示画面構成、画像表示制限、自動表示モードの設定方法、カメラ画像及び画面切替えスイッチ（以下、カメラSWとする）位置などについて、2回の試作及び最終仕様にて主観評価及び行動計測を実施した。

テストは、一般と同様の環境を提供するために一般路を模擬した走行コースにて行い、天候も晴れ・曇り・雨、また、日中・薄暮時・夜とそれぞれの状況で実施した。

タスクは、一般的によくある死角部を見たいと思う状況を想定し下記の四つを設定した。

- (1) 後退での車庫入れ及び出庫
- (2) 前進での車庫入れ及び出庫
- (3) 見通しの悪い交差点での（右）左折
- (4) 左幅寄せ

## 5.4 評価結果

図6に評価結果の一例として表示画面構成の結果を示す。表示画面構成が2画面表示仕様の効率、満足度ともに、1画面表示仕様より優れていることが分かる。

有効さはタスクの達成度により評価したので、1画面表示仕様の場合でも、2画面表示仕様の場合でもタスクは達成することができたため、ほとんど評価に差がない。

効率については、2画面表示仕様の方が優れている結果となった。その理由は、見たい画面を切り替え、確認しながらタスクをこなした1画面表示仕様に対し、2画面表示仕様は画面をわざわざ切り替える必要がないので、短い時間でタスクを達成できたためである。

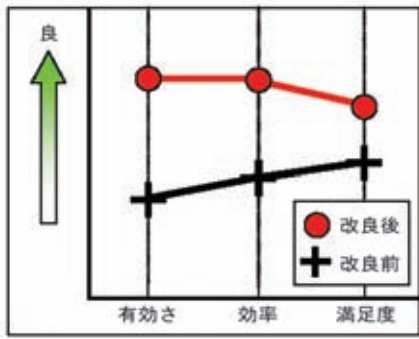


図7 カメラSW位置の評価結果  
Evaluation result for camera switch location

評価対象項目	試作1	試作2	最終仕様
表示画面構成	☹☹☹	☹☹☹☹	☹☹☹☹☹
画像表示制限	☹☹	☹☹	☹☹☹
カメラスイッチ位置	☹☹	☹☹☹☹	☹☹☹☹☹
補助線	☹☹	☹☹	☹☹☹
画質	☹☹	☹☹☹☹	☹☹☹☹☹
自動表示	☹	☹☹	☹☹☹

図8 評価対象項目ごとの改善結果  
Improved results for individual items

満足度については、2画面表示仕様の満足度が非常に高い結果となった。「画像を切り替える煩わしさが無い」「同時に見ることができて便利」などが高評価の理由である。

また、図7に示すように、試作1のカメラSW位置では、有効さ・効率・満足度ともに低い評価であった。そこで、有効さ及び効率を上げるためカメラSW位置を見直す改良を実施した結果、有効さ・効率が改善され高い評価を得ることができた。それに伴い満足度の評価も高くなった。

このように、行動観察と行動計測の分析結果及び主観評価の結果により個々のユーザビリティのレベルを算出し、それにより明確になった改良点を改善することで、ユーザーニーズに沿った製品開発を実施している。

今回開発したコンポーネント「マルチアラウンドモニター」は、試作1 試作2 最終仕様と、評価・改良を繰り返し、ユーザビリティの高い製品を開発することができた(図8)。

参考文献

- (1) Jakob Nielsen: Tokyo Denki University Press, Usability Engineering, 2006
- (2) 黒須政明: 共立出版株式会社, ユーザビリティテストینگ, 2004
- (3) ISO 9241-11: 1998 Ergonomic requirements for office work with VDTs - Part 11: Guidance on usability
- (4) ISO 13407: 1999 Human-centred design processes for interactive systems
- (5) 社団法人 人間生活工学研究センター: 丸善株式会社, ワークショップ人間生活工学 第3巻, 2005
- (6) 樽本徹也: 株式会社オーム社, ユーザビリティエンジニアリング, 2005
- (7) 上南恵資, 早瀬憲次, 佐藤英充: マルチアラウンドモニターシステム, 三菱自動車テクニカルレビュー, NO. 19, p. 54 ~ 57, 2007



堀栄聡志                      磯村有宏                      村瀬善弘

6. あとがき

つい5年前には魅力的だった電動スライドドアも、今では当たり前の装備となり、改めて市場の流れの速さに驚かされる。また、若者のクルマ離れが叫ばれ「クルマのとらえかた(役割)」が確実に変わってきているなど、市場の状況変化をいかに的確に掴むかが大切であることは、周知のとおりである。

ユーザーに製品を実際に使ってもらい評価するユーザビリティテストは、市場の顕在的ニーズのみならず、潜在的なニーズまでも拾い上げることが可能である。また、シーズ指向で開発した製品の、市場ニーズとの符合点を抽出し、それに合わせ改善することも可能である。

今後も当評価手法を用い、ユーザーにとって魅力的な製品、市場のニーズにマッチした製品の開発を実施してゆく。



大和田富治                      谷田部雄大



岸上健二                      入方真吾

# 衝突解析におけるプレス成形時加工硬化の影響

Influence of Work Hardening during Metal Forming on Crashworthiness Analysis

高階克彦\* 上田和弘\*\* 大塚健郎\*\*  
Katsuhiko Takashina Kazuhiro Ueda Takeo Ohtsuka

## 概要

これまで衝突解析精度向上の一つとして、プレス成形時の加工の影響を反映することが考えられていたが、プレス成形解析には多大な工数が必要となるなどの問題があり、実用化への課題が多い。本稿では、製品形状から成形の影響を簡易的に予測する手法を用い、プレス成形時の残留歪みと板厚変化が、衝突性能CAEへ及ぼす影響を報告する。結果は、一部の衝突形態を除いて、加工硬化の影響で変形量が低減し、実験結果と近付くことが分かった。

## Abstract

To raise the accuracy of crashworthiness analysis, it is important to consider the effects of metal forming. However, this approach is difficult in practice since analyzing the stamping simulation in detail requires much work. This paper describes the influence of residual stresses, work hardening and material thickness changes resulting from the stamping process on the crashworthiness analysis. For most crash load cases, the results show that deformation is reduced by the work hardening effects. These results are supported by actual experimental data.

*Key words: Crashworthiness, CAE, Forming*

## 1. はじめに

衝突解析精度への要求が高まり、これまで部品形状の詳細モデル化、モデル化対象部品の拡大、材料特性の見直しなど、様々な取り組みを行ってきた。今回、さらなる精度向上手段の一つとして、プレス成形時の残留歪みと板厚変化が、衝突解析結果に及ぼす影響を考察した。

## 2. 加工の影響考慮方法

プレス成形時の残留歪みと板厚変化を考慮するには、プレス型を用いたプレス成形解析（以下、詳細プレス成形解析とする）を行い、これを衝突解析モデルへ反映する方法がある（図1）。しかし、詳細プレス成形解析は、1部品ごとに衝突解析並みの計算時間がかかる上、解析結果を衝突解析モデルへ反映する手段が複雑なため、実用化への課題が多い。これらを解決するため、陰解法有限要素（以下、FEとする）による逆解法<sup>(1)(2)</sup>を用いて、製品形状のFEから blanks材の展開形状を予測し、残留歪み及び板厚分布を計算（以下、簡易プレス成形解析

とする）する方法がある（図2）。この手法により、衝突解析モデルをそのまま利用し、数百部品への成形の影響を1時間程度で計算することができる。ただし簡易予測計算なので、詳細解析と比較し、計算精度を把握することが必要である。

## 3. 簡易プレス成形解析の精度

簡易プレス成形解析の精度を把握するため、ドロウ成形部品であるカウルトップパネルの残留歪み、及び板厚分布を詳細プレス成形解析と比較した（図3、図4）。簡易プレス成形解析結果での残留歪みの大きさは、詳細プレス成形解析に比べ小さいが、全体的な歪みの分布は類似している（詳細プレス成形解析で、周辺部分に大きな歪みが発生しているが、成形後切り捨てられる部分なので、衝突解析モデルには反映されない）。また、板厚分布もほぼ等しい。残留歪みが小さく見積られるのは、実際のドロウ型では、blanks材周辺が拘束され、成形時に引っ張り力が発生する（図5）が、簡易プレス成形解析では、この拘束条件を考慮していないことが主要因と考えられる。

\* 開発本部 デジタル技術部

\*\* 生産技術本部 板金樹脂生産技術部

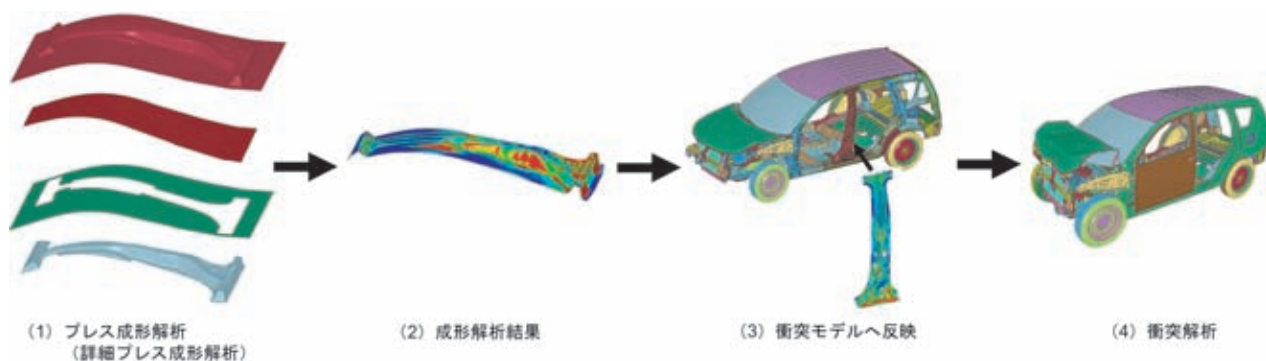


図1 従来の手法  
Conventional process

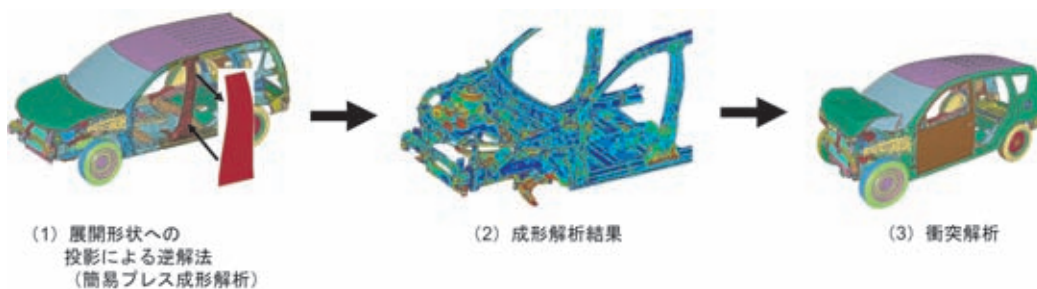


図2 今回の手法  
Newly adopted process

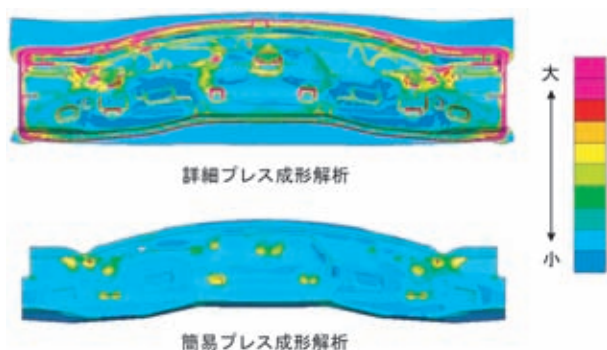


図3 残留歪み分布  
Residual strain distribution

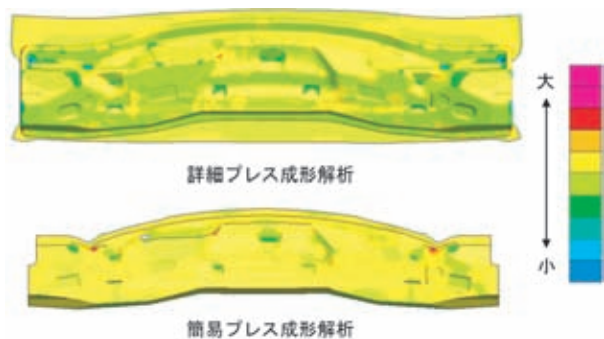


図4 板厚分布  
Sheet thickness distribution

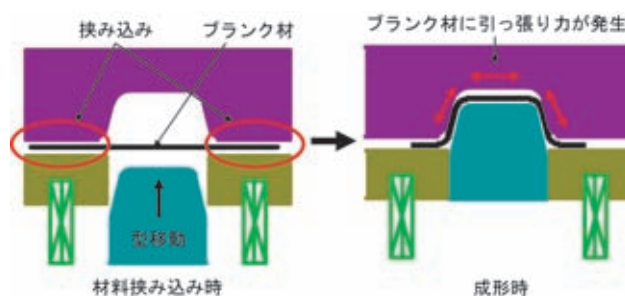


図5 ドロー型の構造  
Structure of draw die

#### 4. 成形解析による残留歪みを反映した衝突解析

##### 4.1 衝突解析形態と対象部品

車種開発で行われる複数の衝突形態について、衝突性能へ影響を与える可能性がある部品を選択し、簡易プレス成形解析を行った。対象部品点数とプレス成形解析実行時間を表1に示す。参考までに、詳細プレス成形解析の実行時間は、1部品当たり10時間程度である。簡易プレス成形解析の残留歪み分布の例を図6及び図7に示す。この結果を衝突モデルへ反映し、衝突解析を行った。

##### 4.2 衝突解析結果

変形が部品の広範囲にわたる衝突形態(表2 ~ )では、加工の影響を反映することで、塑性変形する部位が硬くなるため、車体変形量が減少し、実験結果に近付



表1 衝突形態  
Load cases

衝突形態	対象部品点数	簡易プレス成形解析実行時間
55 km/h 正面衝突	約250	約1.0 Hr
29 km/h ボール側面衝突	約250	約1.0 Hr
80 km/h オフセット後面衝突	約350	約2.0 Hr
歩行者保護頭部衝撃	約130	約0.5 Hr
5 mph バンパー衝突	約50	約0.2 Hr

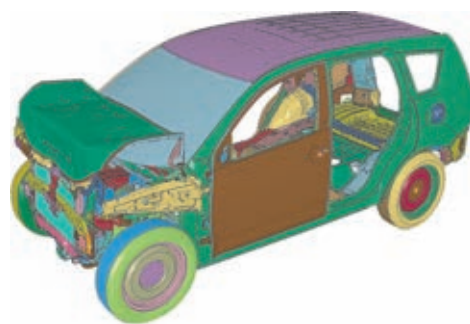


図8 車体変形状況 (正面衝突)  
Vehicle deformation ( frontal impact)

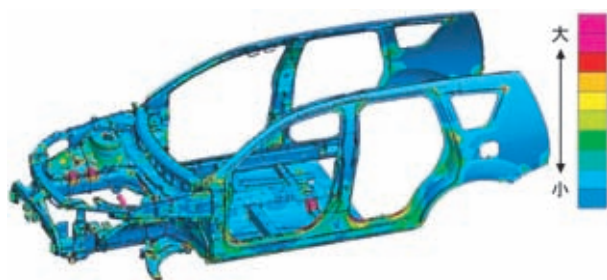


図6 残留歪み分布 (正面衝突解析対象部品の例)  
Residual strain distribution (example for parts in frontal impact analysis)



図9 サイドメンバー変形状況 (正面衝突)  
Side member deformation ( frontal impact)

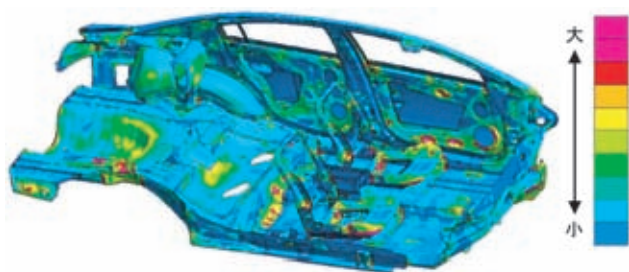


図7 残留歪み分布 (側面衝突解析対象部品の例)  
Residual strain distribution (example for parts in side impact analysis)

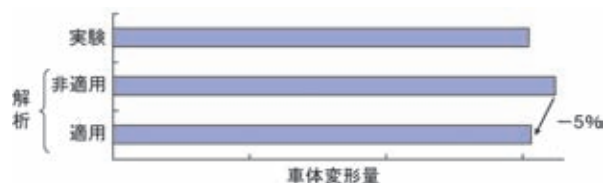


図10 車体変形量比較 (正面衝突)  
Comparison of extent of vehicle deformation ( frontal impact)

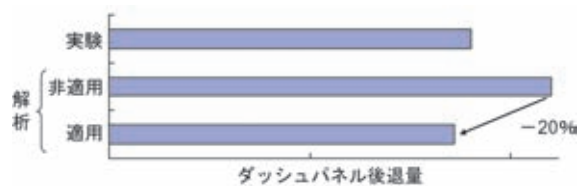


図11 ダッシュパネル後退量比較 (正面衝突)  
Comparison of extent of rearward movement of dash panel ( frontal impact)

表2 衝突解析結果  
Influence on crash analysis

衝突形態	変形量	精度
55 km/h 正面衝突	減少	精度向上
29 km/h ボール側面衝突		
80 km/h オフセット後面衝突		
歩行者保護頭部衝撃	変化なし	影響なし
5 mph バンパー衝突		

く、一方、変形が局所的となる衝突形態(表2)では、塑性変形する部位に、加工の影響が及んでいないので、変形量に差がなかった(2%程度)。

正面衝突(図8~図11)、側面衝突(図12~図14)、歩行者保護頭部衝撃(図15、図16)の比較を示す。

## 5.まとめ

簡易プレス成形解析による残留歪みと板厚変化を衝突解析に反映することで、一部の衝突形態を除いて変形量が減少し、実験結果に近付いた。変形量が減少するのは、プレス成形時の加工硬化(図17)の影響が、板厚減少に比べ大きいことが主要因と考える。本手法は、数百部品を対象にしても、実行時間は数時間程度であり、またプレス成形に必要な詳細情報を必要としないので、成形性を考慮する手段として有効である。ただし、詳細



図12 車体変形状況 (側面衝突)  
Vehicle deformation (side impact)



図15 衝撃位置 (歩行者保護頭部衝撃)  
Impact location (pedestrian head impact)

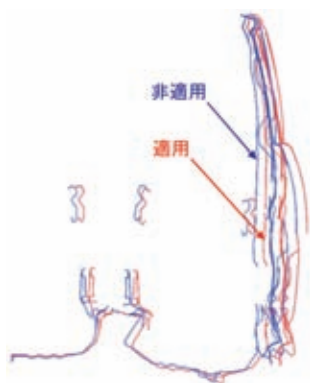


図13 センターピラー変形状況 (側面衝突)  
Center pillar deformation (side impact)

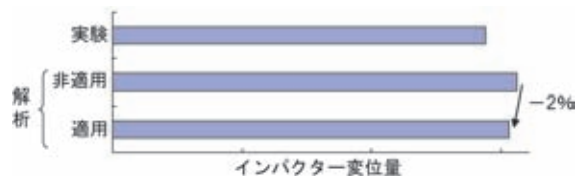


図16 インパクト変位量 (歩行者保護頭部衝撃)  
Impactor displacement (pedestrian head impact)

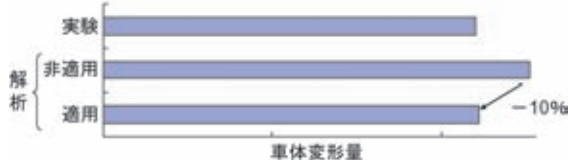


図14 車体変形量 (側面衝突)  
Comparison of extent of vehicle deformation (side impact)

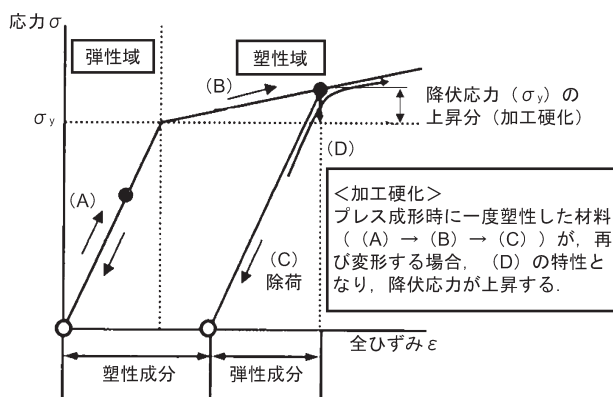


図17 プレス成形時の加工硬化  
Concept of work hardening process during metal forming

プレス成形解析に比べ残留歪みが小さく見積もられるので、今後解決し、さらなる精度向上を図っていく。

最後に、本開発を進めるに当たり、多大なるご協力を頂いた日本総研ソリューションズの皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 日本総研ソリューションズ：HYCRASH Ver1.1 (rev061214) USER'S Manual, 2006
- (2) Yasuyoshi. Umezu, Yuko. Watanabe, Ninshu. Ma: Development of JSTAMP-Works/NV and HYSTAMP for Multipurpose Multistage Sheet Metal Forming Simulation, 2005



高階克彦



上田和弘



大塚健郎

# ギャラン フォルティスのデザインコンセプト

Design Concept for GALANT FORTIS

松延 浩昭\*  
Hiroaki Matsunobu

野田 健一\*\*  
Kenichi Noda

浜田 圭\*\*  
Kei Hamada

安井 智草\*\*  
Chigusa Yasui



## 概要

「ギャラン フォルティス」は、日本市場では三菱セダンの中核をなす車として、また世界市場においては競合ひしめくいわゆるCセグメントマーケットの中で、三菱自動車ブランドを再構築する世界戦略車として開発された車である。グローバルな要求に対応すべく、一目で認知できるデザインアイデンティティの確立や、居住性と機能性の両立など、各市場特性・顧客志向を検証し、セダンらしい新しさを追求した。また、「ランサーエボリューション」との平行開発による部品の共通化やデザインの差異化など、同時であるからこそできる双方での検証を行い効率的な開発プロセス運用を行った。

## Abstract

Mitsubishi Motors Corporation (MMC) developed the GALANT FORTIS to be its flagship sedan in the domestic market and a strategic model for rebuilding the Mitsubishi brand in the highly competitive C-segment in overseas markets. Recognizing a need to accommodate global demands with the GALANT FORTIS, MMC studied market attributes and customer preferences around the world and took them into account in its pursuit of an instantly recognizable design identity, a combination of comfort and functionality, and an overall freshness in the sedan experience. MMC developed the LANCER EVOLUTION X in parallel with the GALANT FORTIS, so it was able to implement efficient development processes involving common use of components, differentiation of the two models' designs from each other, and tests. This paper gives an overview of the design concept for the GALANT FORTIS.

*Key words: Development, Concept, Styling*

## 1. はじめに

「ギャラン フォルティス」の開発において、この車をベースとする「ランサーエボリューション」との同時開発は、

デザインコンセプトを語る上での重要なファクターである。つまり、「ランサーエボリューション」は三菱スポーツDNAの象徴であり、その血統を「ギャラン フォルティス」に与えることは、世界戦略車としてブランド戦略上不可欠であったからである。また、これまでの三菱自動車セダンの成功事例の検証より、逆スラントノーズの発展的採用は、伝統的デザインの有効活用という点で真に取り組んだポイントである。

\* デザイン本部 デザイン部

\*\* デザイン本部 デザイン推進部



図1 エクステリア イメージスケッチ  
Exterior image sketches



図2 サイドプロポーション  
Side proportion



図3 スポーティなたたずまい  
Sporty stance



図4 コルトギャラン 図5 ギャラン(1989) 図6 ギャラン(1996)  
COLT GALANT GALANT (1989) GALANT (1996)

一方、車の基礎となるプラットフォームについては、歩行者保護対応の織り込みや、居住性/乗降性/高いアイポイントによる取り回し性を向上させたため、セダンとしては車高の高いプロポーションとなり、スポーティなスタイリングを表現するには苦心したが、結果、世界戦略車としての十分な居住性と独自性あるスタイリングを両立させ、商品価値として訴求できるポイントとなった。

## 2. デザインコンセプト

「世界に通用する高品質スポーティセダンデザイン」を確立すること。ギャラン フォルティスの開発に当たり我々が掲げたデザインコンセプトである。グローバルマーケットに適応したワイドボデーをベースに「ランサーエボリューション」の血筋を引く三菱らしいスポーティスタイリングの実現と、世界中のお客様を魅了する高品質なデザインを目指した。

## 3. エクステリアデザイン

エクステリアデザインのテーマは三つ。一つ目は全世界市場に対応しうる“快適・安全性とスポーティデザインの両立”を図ること。二つ目は新世代三菱セダンブランド構築の原点となる“新世代のフロントフェイスデザイン”を確立させること。三つ目はセダンならではの高品質な創り込み“こだわりの造形美”を追求することである。

新世代のワールドワイドセダンに求められるこれらのテーマの具現化を目指しデザイン開発を行った(図1)。

### 3.1 快適・安全性とスポーティデザインの両立 多種多様な車の中で「セダン」とは乗員が最も快適に

移動できる形態の車であるべきと考え、全高1,490mmの広々とした室内空間を生かしつつ、歴代の三菱セダンで培われてきたスポーティスタイリングを追求した。

卓越したフットワーク性能を強調するクラス最大径の18インチアルミホイール/大径タイヤの採用とそれを包み込む豊かなフェンダー造形はベルトライン位置の適正化に寄与し、その結果、十分な居住空間を確保した安心感あるロアボデーと軽快な薄型キャビンの両立が可能となった。

適切な丸みを持たせた伸びやかなロングノーズ形状、滑らかなルーフラインとシャープなショートリヤデッキスタイルは、躍動感に溢れかつ端正なセダンフォルムを創り出すとともに、高い空力性能にも寄与している(図2)。これは「ランサーエボリューション」のベース車両として「素性の良さ」を追求したプロポーションでもある。

また、車体側面前後を絞り込み、フェンダーの張り出しを強調して安定感のあるスタンスを感じさせる立体造形を目指した(図3)。

### 3.2 新世代のフロントフェイスデザインの確立

フロントには、今後の三菱セダン系新アイデンティティフェイスを採用。初代コルトギャラン(図4)を起源とする三菱セダン伝統(図5, 図6)の逆スラント形状のノーズに、スリーダイヤマークと呼応した安定感のある台形グリルを組み合わせることで、存在感あるフロントデザインを確立した(図7)。台形グリルグラフィックに関しては、2005年の東京モーターショーに出展した『コンセプト』(図8)をキーデザインとし、国内外で



図7 新アイデンティティフェイス  
New-identity face



図8 コンセプトX  
Concept X



図9 ランサーエボリューションX  
LANCER EVOLUTION X



図10 プレミアムイメージ  
Premium image

の市場反響を取り入れ、量産車としてのデザインチューニングを行った。その結果、「ランサーエボリューション」(図9)とのイメージ統一を図り、相乗効果によるブランドイメージ浸透をねらうアイデンティティとなった。この個性的なフロントセクションは世界基準に適合した高い安全性能/歩行者保護性能を併せ持っている。

### 3.3 こだわりの造形美

セダンに求められる「高品質感」を徹底的に追求し、細部に渡り丹念な造り込みを行った。張りのあるシャープなキャラクターラインと抑揚のある豊かな面構成によるボデー形状は、陰影により様々な表情を見せる官能的な造形とした。この美しいボデーデザイン創出に当たってはCAD面データ作製時に、モデラーが創作した微妙なニュアンスを表現するためのデジタルチューニングを徹底的に行い、お客様に「セダンを所有する喜び」と「感動」を感じて頂けるべく多くの時間を注いだ



図11 ヘッドランプ フロントグリル リアコンビランプ  
Head lamp, front grille and tail lamp



図12 インテリアイメージスケッチ  
Interior image sketch



図13 インテリア  
Interior

(図10)。オープニング隙間やボデーパーツの合わせ一つ一つにも徹底した精度向上策を反映し、高品質な製品作りに開発陣が一体となり取り組んだ。

車のキャラクターを決定付ける重要な要素であるフロントグリル、ヘッドランプ、リアコンビランプ類(図11)、その他、すべての構成部品に徹底した作り込みを施した。それは「MADE in JAPAN」製品としての使命であり、「世界に通用する」高品質な工業製品を作ること为目标とした開発思想の表れでもある。スリダイヤと新アイデンティティを強調する台形形状のメッキグリルと立体感を与えたグリル構成部品。緻密かつ精巧に作り込み、発光フィリングにもこだわった前後ランプ。走りのイメージを主張する繊細かつダイナミックな造形の大径アルミホイール。プレミアムイメージを演出するメッキパーツ類。これらにより、すべてのお客様に御満足頂ける高いデザインクオリティを目指した。

## 4. インテリアデザイン

インテリアデザインは「走りの機能と心地良い室内空間の両立」と「こだわりの造り込み」をテーマとし(図12, 図13),



図 14 インパネ形状特性  
Instrument panel shape characteristics

イージーオペレーションによるドライバーへの余分なストレスの排除と質感の高い面で構成された室内空間により乗ることの「楽しさ・心地良さ」を追求したデザイン開発を行った。また部品単位にもそれぞれの機能について操作性を十分に考慮しながら巧みの技を感じさせる造り込みを施した。

#### 4.1 走りの機能と心地良い室内空間の両立

インストルメントパネルは使用頻度の高い操作系が集まるセンターパネル部を極力ドライバー側に近付け、そこから外側に向けて弧を描く形状とすることで足元空間を確保した機能性と居住性を同時に高める形状を採用。また、全体的にシンプルで張りのある面で構成されたインテリアは乗員をゆったりと包み込むリラックスできる空間とし、「心地良さ」を表現。さらにインストルメントパネルのデコレーションパネルは中央を太くドアトリムに向けて徐々に細く変化させることで遠近法を利用し、広々感を感じさせる工夫を施した(図14)。

#### 4.2 こだわりの造り込み

各種ディテールには機能的な造形としながらも巧みの技を感じさせる上質さを表現した。ステアリングホイールは手にしっかりと馴染む感触とし、シルバーに加飾されたスポーク部はオーディオ調整スイッチなどを配列した造形により、高い質感を感じさせるものとした(図15)。「SUPER EXCEED」ではハイコントラストメーターを採用。読み取り性を重視した書体と専用メー



図 15 ステアリングホイール  
Steering wheel



図 16 ハイコントラストメーター (S/EXCEED)  
High-contrast meters (SUPER EXCEED)



図 17 シフトパネル (S/EXCEED)  
Shifter panel (SUPER EXCEED)



図 18 インパネデコレーションパネル (S/EXCEED)  
Instrument panel decorative panel (SUPER EXCEED)



図 19 フロントシート  
Front seats



図 20 リアシート  
Rear seat

ターグラフィックにより、視認性を向上させながら上質さも表現した(図16)。またシフトパネルやインパネデコレーションパネルには専用の木目柄と光輝処理が施されたアクセントパーツとのコンビネーションによりさらなる上質な世界を創出した(図17, 図18)。

フロントスポーツシートは、快適な走りを考慮したサポート性と、乗員を優しく受け止める厚みのあるクッション形状を両立した立体造形を採用(図19)。リアシートは大型のサイドクッションを備えた広々とした背もたれとしっかりと乗員をサポートする、腰を包み込むような座面形状により長距離の移動でもゆったりとくつろげる造形とした(図20)。

## 5. カラーデザイン

### 5.1 エクステリアカラーデザインの特徴

エクステリアカラーは「ギャラン フォルティス」の持つ端正かつ均整の取れた美しさをより魅力的に表現する8色を設定した(図21)。



図 21 ボデーカラーバリエーション  
Body colors

メタリックカラーでは力強い輝きを発する特性により、張りのある豊かな面とシャープなラインを引き立て、引き締まったボデーの表現をねらった。マイカやパールカラーは光と影の変化が見せる美しい色変化と輝きを持ち、印象的かつ存在感のある佇まいを演出している（図 21）。

### 5.2 インテリアカラーデザインの特徴

インテリアカラーはインテリア全体の色数を抑え、異なる素材を効果的に組み合わせることによりシンプルながらも機能的でスポーティな空間を演出。また細かな部品に至るまで、より素材感を引き立てる表面処理を施すことで乗る人を魅了する上質でこだわりのある造り込みを表現した。

「SPORT」には、モダンな印象をねらったブラックモノトーン内装に、エンボスパターンを配した触感の良いスウェード調ニットのシート素材を合わせた（図 22）。

「SUPER EXCEED」には、所有する喜びを満たすこだわりのビターブラウンカラーの内装に、上質なレザー（本革/人工皮革）やグランリュクス（超極細繊維のスウェード調人工皮革）を組み合わせたシート素材を採用（図 23）。

「SPORT」「SUPER EXCEED」それぞれの個性を明確に表現し、吟味した素材のコーディネートにより幅広い



図 22 スポーツ  
SPORT



図 23 スーパーエクシード  
SUPER EXCEED (black and beige)

ユーザーニーズに応えられるバリエーションとした

## 6. おわりに

今回の「ギャラン フォルティス」プロジェクトにおいては「世界に通用する高品質スポーティセダンデザイン」を確立し、すべてのお客様に「セダンを所有する喜び」と「感動」を感じて頂くため、スタッフの熱い情熱を注ぎ込み、地道な改良を積み重ねた。その結果新世代の三菱セダンとして、「快適・環境・安全性能」を併せ持つ存在感あるデザインが完成したと確信している。また、幾多の困難な開発プロセスにおいて多大なる協力を頂いた関係者にこの場をお借りして御礼を申し上げたい。



松延浩昭



野田健一



浜田 圭



安井智草



## 空調システム省動力化技術の開発

Development of High-Efficiency Heating, Ventilation, and Air Conditioning System

浮田 哲嗣\* 中根 重治\*\*  
Tetsuji Ukita Shigeharu Nakane

三菱重工業(株)と当社が共同開発した「省動力カーエアコン技術」が、地球の環境保全に貢献することが認められ、米国環境保護庁(EPA: Environmental Protection Agency)から2007年Climate Protection Awardを受賞した。この賞は温室効果ガスの排出を減らし地球の環境を保護することに貢献した企業・団体・個人に対して贈られる賞である。

### 1. 基本概念・構成

エアコンシステムの効率改善のため、圧縮室形状の見直しなどにより圧縮効率を向上した新型スクロールコンプレッサーを用いた。またコンプレッサー作動条件の適正化のため、年間を通して必要最低限の作動範囲となるよう、それほど冷房能力を必要としない中間期には作動温度を高め設定することで、コンプレッサーの運転時間を少なく抑えるように制御を見直した(図1)。今回比較した主要コンポーネントを表1に示す。効率改善の目標は、米国自動車技術会(SAE)とEPAが立ち上げた「I-MAC(Improved Mobile Air conditioning)」システム研究プログラムの目標値である30%とした。

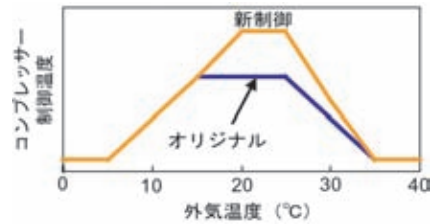


図1 コンプレッサー作動制御温度(外気断面)  
Compressor control temperatures (vs. outside temperatures)

表1 主要コンポーネントの比較  
Comparison of system specifications

	基準システム '05MY エアトレック	改良システム アウトランダー改良
コンプレッサー	MSC90CA Fixed scroll Pulley ratio: 1.58	新型コンプレッサー Fixed 3D scroll Pulley ratio: 1.52
コンデンサー	Multi-flow 16 mm width	Multi-flow 16 mm width
エバポレーター	Laminated Plate type, 58 mm width	Laminated Plate type, 38 mm width

### 2. 性能・効果

年間を通じた消費動力を評価するために、種々の外気温・湿度・車速条件で試験を実施し、各試験条件に発生頻度を考慮することで、通年の消費動力を比較した結果、改良システムでは約39%低減した(図2)。また、最大冷房性能は新開発コンプレッサーを搭載した改良システムでは7%向上していることを確認した。さらに、実車燃費への効果を確認するため、シャシダイナモ上で燃費計測を実施した。外気25℃、日射なし条件で、各種走行条件を模擬したパターンを走行し、エアコン作動と非作動の燃費を比較した。基準エアコンシステムが渋滞路で消費する燃料量を100としたときに、その他条件にて消費する量を表したのが図3である。今回検討した省動力仕様車の燃料消費量は少なく、エアコン使用による燃費悪化が低く抑えられていることを確認した。

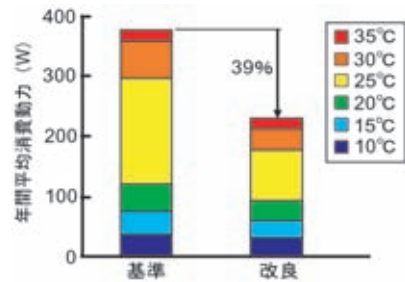


図2 年間エアコン消費動力の比較  
Comparison of annual total power consumption

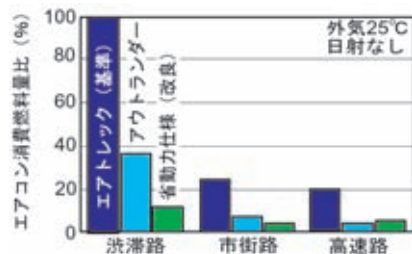


図3 実車燃費の比較  
Comparison of fuel consumption

\* 開発本部 実験総括部

\*\* 開発本部 装備設計部



# ギャラン フォルティス

GALANT FORTIS



スポーツ  
SPORT



スーパーエクシード  
SUPER EXCEED

国内では7年ぶりとなる新型セダン『ギャラン フォルティス』を、歴代のランサー、ギャラン、ダイヤモンドの走りの良さを継承したスポーティセダンとして、2007年8月23日に発表・発売した（SUPER EXCEEDは10月23日発売）。

## 1. ねらい

『「安全」「環境」「快適」性能を高い次元でバランスさせた“グローバル基準のスポーティセダン”』という商品コンセプトに基づき、一目見て「三菱自動車のセダン」と認識できる、躍動感と存在感のある個性的なデザインとするとともに、スポーティな乗り味や走りの質感、高い安全性能を確保し、セダンならではの精悍さと安定感を備えた世界戦略車として開発した。

## 2. 特長

### 2.1 エクステリアデザイン

三菱自動車の新型セダンとして、「快適、安全性とスポーティデザインの両立」「新世代のフロントフェイスデザイン」「こだわりの造形美」という三つのテーマを追求した。

しっかりとした快適な居住空間を、躍動感溢れるスポーティフォルムで包み、歴代『ギャラン』の伝統を継ぐ逆スラントノーズに、大きく安定感のある台形グリルを組み合わせ、スポーティ感と上質感を表現した。

また、官能的な面質とシャープなキャラクターラインのコントラストにこだわり、ランプやグリルなど細部まで緻密な造り込みを徹底することにより、これからのセダンに求められる高品質感を実現した。

### 2.2 インテリアデザイン

次世代を見据えたセダンとして備えるべき機能性を極め、「走りの機能と心地良い室内空間の両立」「こだわりの造り込み」という二つのテーマを追求した。

アーチ状のインストルメントパネルや、シンプルで張りのある面構成によって、ゆったりとした広々感を演出するとともに、スイッチやメーター、モニターなどは、ドライバーの操作性、視認性を考慮しながらシンプルなレイアウトとした。

また、しっかりと馴染む質感や、匠の技を感じさせる細部の造形は、ひとクラス上のユーザーにも受け入れられる、高い完成度を実現した。

### 2.3 パッケージング

スポーティなスタイリングとゆとりの居住空間の両立をねらいとし、全長を抑えながら全幅と全高を十分確保。欧米のマーケットも考慮し、世界基準のボデーサイズとした。

有効室内長は、レイアウトの工夫によりラージサイズセダン並みの1,715 mmを確保。後席は大型のシートクッションにより包み込むようなリラックスできる空間を確保した。

また、幅広いボデーに加え、ボデーサイドのタンブル角を抑えることにより、ショルダー룸、ヘッドルームも十分確保した。

さらに、十分な全高を取ることで、着座ポジションを高めに設定。良好な運転視界と乗降性を実現するとともに、ゆとりのヘッドルームを確保した。

リヤシートバックに6：4分割トランクスルー機構を全車に採用し、トランクルームからの長尺の荷物を収納可能としたほか、リンク式のトランクリッドヒンジを採



インテリア（スーパーエクシード）

Interior (Super Exceed)



SRSエアバッグ

SRS airbags

用することで、トランクリッドを閉めた状態でもヒンジが突き出ず、荷物を効率良く収納できるよう配慮した。

さらに、こうしたゆとりある居住空間を確保しながら、ワイドトレッド、サスペンションの各パーツの配置やアライメントを適正化することにより、コンパクトカー並みの最小回転半径5.0 mを実現。街中や狭い駐車場での取り回しの良さを向上させた。

#### 2.4 動力性能

スポーティな走りを実現する新開発の2.0 L DOHC MIVEC 16バルブエンジン。『アウトランダー』『デリカD:5』で高い評価を得ている4B12型をベースに、高性能・低燃費・小型軽量の4B11型を開発。アルミダイキャスト製シリンダーブロックや樹脂製シリンダーヘッドカバー、後方排気レイアウト、二重構造のステンレス製エキゾーストマニホールドなど、先進技術を採用。連続可変バルブタイミング（MIVEC）を吸気側と排気側の双方に稼働させることで、あらゆる運転状況に最適なバルブタイミング制御を実現。また、ボア×ストロークや圧縮比も車の特性に合わせ最適化。これにより113 kWの高出力、198 N・mの高トルクがもたらすパワフルな走り、優れた経済性、日常での扱いやすさを両立させた。さらに全グレードで、平成17年基準排出ガス75%低減レベル、平成22年燃費基準を達成している。

#### 2.5 操縦安定性・乗り心地

新世代サスペンションと高剛性ボデーにより、高い操縦安定性としなやかな乗り心地を実現した。

フロントマクファーソンストラット式サスペンションは、広いトレッド幅とサスペンションストロークの延長により、旋回性、接地性を向上させるとともに、乗り心地を改善。また、後方排気レイアウトの採用により、サスペンションクロスメンバーのフラット化が可能となり、サスペンションロアアームの取り付け部の横剛性を大幅

に高め、操舵応答性を向上させた。

リヤにはトレーリングアーム式マルチリンクサスペンションと井桁タイプのクロスメンバーを採用。ホイール取り付け部の剛性を高め、アライメント精度を向上させた。また、トレーリングアームのボデー側取り付け位置を上方に設定することで突起乗り越し時のサスペンションの動きをスムーズ化し、トーコントロールアームのハブ側取り付け点を下方に配置することで、トー、キャンバー剛性を高めた。

#### 2.6 衝突安全性

前面、側面、後面の全方位での衝突安全性能を飛躍的に高めた三菱独自の衝突安全強化ボデー RISE (Reinforced Impact Safety Evolution) を採用した。

フロント部分は低速衝突時のダメージを最小限にとどめる「サイドメンバー前端クラッシュBOX構造」を採用し、「八角断面ストレートフロントサイドメンバー」「スリーレグ支持構造」により、前面衝突エネルギーを効果的に分散させ、キャビンの変形を抑えて乗員を保護する構造とした。

サイドとリヤ部分には、従来のハイテン材（高張力鋼板）をさらに強固にした超ハイテン材を適用。加えてサイドの開口部すべてを補強材（リンフォース）で囲う「客室保護環状リンフォース構造」の採用により、高いボデー剛性を実現するとともに、側面衝突時のキャビンの変形を抑制した。

パッシブセーフティとして全車に、衝突の大きさを感知して展開の強さをコントロールする運転席&助手席SRSデュアルステージエアバッグと、運転席SRSニーエアバッグを標準装備した。

また、バンパー、ボンネット、フェンダー、カウルに衝撃吸収構造を採用し歩行者保護にも高いレベルで対応している。

## 2.7 快適装備

### 2.7.1 アダプティブフロントライティングシステム (AFS)

山間部の連続するコーナーを走行するような場合、ステアリングホイールの操作に連動し、固定式の補助灯がコーナー内側を照らし、前方の照射範囲を広げる AFS をディスチャージヘッドライトとセットで装備し、走行時の視認性を向上させた。

### 2.7.2 オートライトコントロール&雨滴感応オートワイパー

オートライトコントロール機能は、従来の周囲照度センサのみのシステムに対し、車両前方の照度も検知することにより、高架下、短いトンネルを判別し、不必要なヘッドライトの点滅を防止するシステムとした。

雨滴感応ワイパーはガラス表面の雨滴を検知し、その量に合わせた払拭タイミングを自動的に調整するだけでなく、ドライバーの好みや運転環境に合わせて、雨滴検出感度の調整も可能とするシステムを採用した。

### 2.7.3 ロックフォードフォズゲートプレミアムサウンドシステム

ロックフォード社と共同開発したプレミアムサウンドシステムを設定。総合出力 650 W (最大) の 8 ch ハイパ



ロックフォードフォズゲート  
プレミアムサウンドシステム  
Rockford Fosgate premium sound system

ワーンプをベースに、9スピーカー7ポジションのスピーカーシステムを車両設計段階から緻密にレイアウト。ドアのスピーカーボックス構造や DSP ( Digital Signal Processor ) の採用などにより、明瞭感と臨場感、圧倒的な重低音など、従来の純正カーオーディオの常識を覆すほどのハイクオリティサウンドを実現した。

## 3. 主要諸元

主要諸元を下表に示す。

型 式		三菱・DBA-CY4A								
		2WD			4WD					
		INVECS- 6速スポーツモード CVT			5 M/T	INVECS- 6速スポーツモード CVT				
		STMH	STHH STHH1	STXH STXH1	SNXH SNXH1	STMHZ	STHHZ STHHZ1	STXHZ STXHZ1		
諸 元		EXCEED	SUPER EXCEED SUPER EXCEED NAVI		SPORT SPORT NAVI		EXCEED	SUPER EXCEED SUPER EXCEED NAVI		SPORT SPORT NAVI
寸	全 長	( mm )	4,570							
	全 幅	( mm )	1,760							
	全 高	( mm )	1,490							
	ホイールベース	( mm )	2,635							
法	ト レ ッ ド	前	( mm )		1,530					
		後	( mm )		1,530					
	最低地上高	( mm )	150							
性 能	乗 車 定 員	( 人 )	5							
	最小回転半径	( m )	5.0							
	燃料消費率 ( 10・15モード )	( km/L )	13.6			13.2				
エ ン ジ ン	型 式	4B11 MIVEC								
	弁機構・気筒数	DOHC 16バルブ4気筒								
	総排気量	( cc )	1,998							
	最高出力( ネット )	{ kW (PS)/min <sup>-1</sup> }	113 ( 154 ) /6,000							
	最大トルク( ネット )	{ N・m (kg.m)/min <sup>-1</sup> }	198 ( 20.2 ) /4,250							
	燃料供給装置	ECI-MULTI ( 電子制御燃料噴射 )								
	仕様燃料	無鉛レギュラーガソリン								
	タンク容量	( L )	59			55				
走 行 装 置	ステアリング形式	パワーアシスト付きラック&ピニオン								
	サスペンション	前	マクファーソンストラット式							
		後	マルチリンク式							
	ブレーキ形式	前	15"ベンチレーテッドディスク		16"ベンチレーテッドディスク		15"ベンチレーテッドディスク		16"ベンチレーテッドディスク	
		後	14"ディスク		16"ディスク		14"ディスク		16"ディスク	
タイヤ	205/60R16		215/45R18		205/60R16		215/45R18			

( 開発本部 C-seg 商品開発プロジェクト: 加川, 前, 尾崎, 水野 )



図1 エクステリア (GSR プレミアムパッケージ)  
Exterior (GSR Premium Package)

WRCでの勝利を目指し1992年に市場投入後、モータースポーツでの活躍と、そのフィードバックによる走りの進化を続けてきたランサーエボリューションが、いよいよ第4世代、すべてを一新し、新たなドライビングプレジャーを創造してランサーエボリューション として誕生した。

## 1. ね ら い

高い運動性能をさらに進化させるとともに、ドライビングにおける心地良さとの高次元のバランスを具現化し、内外観の質感も高めて高付加価値な位置付けの商品へと広げていくことを目指した。

エンジン、トランスミッション、ボデー、サスペンション、まさにすべてを一新し、ドライバーの操作を含めた走りの性能と質を追求することで、これまでのエボリューションユーザーのみならず、より幅広い層へ走る楽しさと所有する喜びを提供することをねらい開発した(図1)。

## 2. 特 徴

### 2.1 機能を追及したエクステリア・インテリア

エクステリアは、高い空力性能と効率の良い冷却性能を追及し、細部にもこだわって磨き上げた、機能美とも言うべきエアロダイナミクスボデーを実現した。ショートオーバーハングのタイトなフォルムは走りへのこだわりを形にした。

インテリアはあらゆる走行状態における操作の確実性



図2 インテリア (GSR)  
Interior (GSR)

をねらい、走りへの集中力を高める機能的なコックピットをデザインした。字体や色も吟味した視認性の高いハイコントラストメーターや、ステッチまでこだわった小径ステアリングホイール、素材選びからサポート性、着座フィーリングにまでこだわったRECARO社製シートなど、機能に基づいた質感も向上した(図2)。

### 2.2 基本性能向上による走りの進化・新化・深化

四つのタイヤを効率よく機能させるため、ワイドトレッド化、低重心化や重量配分の改良など、基本諸元の改良によりボデーバランスを向上した。



図3 ベアシャシ  
Bare chassis

さらに、すべてを一新したボデーと足周りは、高剛性を図るとともに、レイアウトを最適化し、4輪の極めて高い接地性を実現することにより、スポーツ走行だけでなく、タウンユースでも高性能車の凄みと走りの気持ち良さを体感できるものとした。

新しいプラットフォーム（＝新化）で、コーナリング性能を向上（＝進化）させた上で、新世代にふさわしい乗り味（＝深化）を実現した。

### 2.3 意のままに操れる高性能

伝統の4G63型から新開発の軽量な4B11型に変わったエンジンは、アルミブロックの採用などによる軽量化で前輪分担当加重を軽減、さらに後方排気のメリットを生かした低重心配置により、運動性能の向上にも貢献している（図3）。

最高出力は280 PSと4G63型と変わらないが、低中速域を中心に、広い範囲でトルクを大幅に向上し、レスポンスの向上とともに、扱いやすい高性能を実現している。これだけの性能を有しながら、排出ガス性能は平成17年基準の50%低減を実現し、環境性能にも配慮している。

1サイズ大径化したブレーキは、制動力、耐フェード性を向上するだけでなく、フィーリングの向上も図り、信頼感のあるブレーキングを実現した。

三菱独自のオールホイールコントロール開発思想の集大成とも言うべきS-AWC（Super All Wheel Control）は、



図4 ハイパフォーマンスパッケージ（メーカーオプション）  
High Performance Package (factory-fitted option)

従来から搭載しているACD（Active Center Differential）、AYC（Active Yaw Control）、ABS（Anti-lock Brake System）にアクティブスタビリティコントロールを新たに追加。これらを統合制御して4輪の駆動力、制動力を高度にコントロールし、通常走行から緊急回避時まで様々な走行状況で駆動性能、旋回性、安定性を向上させ、ドライバーの意図に忠実な操縦性と卓越した安定性を実現し、エボリューションらしい走りの中で、当社の企業理念でもある、『走る喜び』と『確かな安心』を具現化している。

新開発のツインクラッチSST（Sport Shift Transmission）は、2組の油圧クラッチ式3速M/Tを一体化し、それぞれが奇数段と偶数段を受け持っている。クラッチの接続を交互に切り替えることにより、トルク切れ感のない素早い変速を可能にするとともに、M/Tのようなダイレクト感のある加速を可能とし、新しい走りが楽しめる。燃費性能はA/Tを大きく凌駕している。

モータースポーツやマニュアルトランスミッションにこだわる人のために、新開発の5速M/Tも用意した。高性能化したエンジン性能に対して十分な耐久信頼性を確保しながら、重量を押しさえるため5速とし、全段マルチシンクロ化して、モータースポーツにおける耐久性を高めるとともに、シフトワーク、ペダルワークを駆使したドライビングを楽しめるものとした。

### 3. 類別展開

これまでのエボリューションと同様に、競技ベース車のRS（5M/Tのみ）とGSR（5M/T及びTC-SST）の2類別展開であるが、GSRにはユーザーのニーズに応じた各種パッケージオプションを設定。

ハイパフォーマンスパッケージは、性能をより追求するユーザーに向け、BILSTEIN社製アブソーバーやEibach社製スプリング、2ピースタイプフロントブレーキディスクと専用タイヤをセットした（図4）。



図5 スタイリッシュエクステリアのフロントグリル  
Front grille (Stylish Exterior package)

スタイリッシュエクステリアは、より上質な外観を求めるユーザーに向け、フロントグリルにメッキとシルバー塗装を施し、フードとフェンダーのエアアウトレットは車体色とした(図5)。

レザーコンビネーションインテリアでは、本革とスエード調人工皮革などを機能的に使い分けたシートを採用。シルバーのステッチをあしらったドアトリムとコンソールボックスリッド、アルミ製のスカッフプレート(フロント)が上質な空間を演出する。さらに遮音材も追加し、音響にも配慮した(図6)。

また、この三つのパッケージにBBS社製鍛造アルミホ



図6 レザーコンビネーションインテリア  
Leather Combination Interior package

ールを加えた、プレミアムパッケージを設定。高性能でかつ上質なエボリューションのトップモデルとして

#### 4. 主要諸元

主要諸元を下表に示す。

型 式		ランサーエボリューションX		
		三菱CBA-CZ4A		
諸 元		フルタイム4WD		
		GSR [TC-SST]	GSR [5 M/T]	RS [5 M/T]
乗 車 定 員	(人)	5		
寸	全 長	4,495		
	全 幅	1,810		
	全 高	1,480		
	ホイールベース	2,650		
法	ト レ ッ ド	前	1,545	
		後	1,545	
最低地上高		135	140	
エ ン ジ ン	型 式	4B11 MIVEC ターボ		
	弁機構・気筒数	DOHC 16バルブ 直列4気筒		
	総排気量	1,998		
	最高出力(ネット)	206 (280)/6,500		
	最大トルク(ネット)	422 (43.0)/3,500		
燃料供給装置		ECI-MULTI (電子制御燃料噴射)		
走 行 装 置	ステアリング形式		ラック&ピニオン (パワーステアリング)	
	サスペンション	前	マクファーソンストラット式	
		後	マルチリンク式	
	ブレーキ形式	前	ベンチレーテッドディスク (18インチ, 4ポット)	ベンチレーテッドディスク (15インチ, 2ポット)
		後	ベンチレーテッドディスク (17インチ, 2ポット)	ベンチレーテッドディスク (15インチ, 1ポット)
タ イ ヤ		245/40R18	205/60R16	

(開発本部 C-seg 商品開発プロジェクト: 岩田, 藤井, 一樂)

## 技術発表

### ▶ 海外講演

発表時期	題 名	発 表 先	発 表 者	所 属
'07. 4. 18	Application of new technology for new car development - Experiment in Short Term Development and High Quality (短期開発と品質向上を目的とした新解析手法)	LMS Conference Europ 2007 ドイツ	塩 崎 弘 隆	技術開発本部 デジタル技術部
'07. 6. 18 } '07. 6. 21	The Study For Static And Quasi-Dynamic Evaluation Method For Assessing Whiplash-Associated Disorder In Rear Impact (後突時の頸部傷害を評価するための静的、準動的評価法の検討)	20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles フランス	浅 田 浩 之	技術開発本部 先行車両技術部
'07. 8. 5 } '07. 8. 8	Effect of the right-and-left torque vectoring system in various types of drivetrain (各種駆動方式における左右輪トルク移動システムの車両運動性能効果)	The 14th Asia Pacific Automotive Engineering Conference (APAC-14) アメリカ	澤 瀬 薫 後 田 祐 一	技術開発本部 ドライブトレイン技術部 東北大学
	Development of high-performance PP masterbatch for interior parts (内装樹脂部品用ハイパフォーマンスマスタッチ材料の開発)		近 藤 慎 二 田 中 勉 山 森 嘉 則 芦 川 亮	技術開発本部 材料技術部 カルブ工業
	Direct Simulation for Aerodynamic Noise from Vehicle Parts (自動車部品から発生する空力騒音の直接シミュレーション)		濱 本 直 樹 吉 田 昌 弘	技術開発本部 機能実験部 名古屋大学
'07. 9. 25	Towards a Verified Tool for the investigation of Transmission Gear Rattle (トランスミッションギヤラトル現象を究明するための実証ツールの形成)	Romax 4th European Technical Conference ドイツ	梅 井 一 英 山 口 寛 樹	技術開発本部 パワートレイン研究部 ドライブトレイン技術部 Romax
'07. 10. 23 } '07. 10. 24	Classification and character analysis of right-and-left torque vectoring mechanism applying velocity diagram (速度線図を利用した左右輪トルク移動デフの分類と特性解析)	11th International VDI-Congress Tires-Chassis-Road ドイツ	澤 瀬 薫 東 北 大 学	技術開発本部 ドライブトレイン技術部 東北大学
'07. 11. 8 } '07. 11. 9	Tank System Simulation Test of Actual Vehicle on 6DOF Motion Platform (6軸加振装置による燃料タンクの実車シミュレーションテスト)	Tuev-Sued 燃料タンク国際会議 Tank.Tech 2007 ドイツ	西 澤 達 也	技術開発本部 機能実験部

### ▶ 国内講演

'07. 5. 10	MMCにおけるCATIA-V5への取り組み	菱友システムズ 「CATIA-V5ものづくり最新活用セミナー」	山 本 亮 介	技術開発本部 デジタル技術部
'07. 5. 17	マルチフィジックス解析の有効性	MSC 次世代エンタープライズ CAEセミナー	塩 崎 弘 隆	技術開発本部 デジタル技術部

'07. 5. 23 }	車載ノーズビューカメラによる移動物体検出システム	自動車技術会 春季学術講演会 横浜	前村 高広 谷内 博一 上南 恵資 笹根 成哉	技術開発本部 電技部 MCOR
'07. 5. 25	ニーエアバッグ展開による膝関節挙動 ( Knee Airbag Deployment and Behavior of Knee Joints )		鈴木 直幸	慶應義塾大学 東京女子医科大学 技術開発本部 安実部
	ヨーモーメントオブザーバとコーナリングスティフネス推定に基づく四輪独立駆動電気自動車のヨーレート制御		蒲池 誠 吉田 裕明	横浜国立大学 技術開発本部 MiEV 推進部
	車体速検出不要なスリップ率推定に基づく電気自動車のトラクションコントロールの実機検証		蒲池 誠 吉田 裕明	横浜国立大学 技術開発本部 MiEV 推進部
	PBS 樹脂竹繊維ボードの開発		常岡 和記 寺澤 勇 野口 順一	技術開発本部 材料技術部 愛知県産業技術研究所
	歩行者保護対応樹脂フェンダーの開発		伊藤 繁 福原 靖英 植田 祐史	技術開発本部 材料技術部 安全実験部 日本 GE プラスチックス
	ドライビングシミュレータによるドライバの衝突回避行動特性の基礎調査		渡辺 武司	技術開発本部 先行車両技術部 労働科学研究所
	パワープラントのダイナミックダンパ効果を利用したコンパティブルカーのボディシェイク設計		秋竹 俊太郎 門松 晃司 真弓 知博	技術開発本部 デジタル技術部 機能実験部 第一車両実験部
	FF ベース電子制御 4WD の運動性能向上に関する検討		藤井 祐介 澤瀬 薫 後田 祐一	技術開発本部 ドライブトレイン技術部
	側面衝突解析 FEM モデルのばらつきを考慮した DFSS によるロバスト設計最適化の適用事例		林 賢司 粟野 正浩	技術開発本部 デジタル技術部
	Towards a Verified Tool for the Investigation of Transmission Gear Rattle ( トランスミッションギヤラトル現象を究明するための実証ツールの形成 )		梅井 一英 山口 寛樹	技術開発本部 パワートレイン研究部 ドライブトレイン技術部
'07. 5. 26	軽量車体へのアルミ適応事例	塑性加工学会	藤井 康司	生産技術本部 溶接組立生産技術部
'07. 5. 30	軽量車体へのアルミ適応事例	溶接学会東海支部総会	藤井 康司	生産技術本部 溶接組立生産技術部
'07. 6. 5	歩行者保護対応樹脂フェンダーの開発	自動車技術会中部支部 2007 年度研究発表会	伊藤 繁 福原 靖英 植田 祐史	技術開発本部 材料技術部 安全実験部 日本 GE プラスチックス
'07. 6. 8	自動車への植物由来材料の展開	プラスチック成形加工学会 2007 年年次大会	寺澤 勇 常岡 和記 野口 順一 土屋 浩一 田村 明博 白神 治	技術開発本部 材料技術部
'07. 6. 22	HILS を利用した ECU の統合 & 総合テスト	dSPACE ユーザ会 2007	酒井 邦宏	技術開発本部 電子技術部



'07. 7. 2	ミニバン「デリカD:5」におけるボデー外板の樹脂化への取り組み	AUTOMOTIVE TECHNOLOGY DAY 2007 summer 東京	伊藤 繁	技術開発本部 材料技術部		
'07. 7. 23 }	Engine management system diagnosis based on knowledge (知識に基づくエンジン制御システムの故障診断)	2007 JSAE/SAE International Fuels and Lubricants Meeting in Kyoto Japan (燃料潤滑油会議) 京都	梅井一英 木戸和夫	技術開発本部 パワートレイン研究部		
'07. 7. 26	A Study of Transmission Fluid Performance on Fuel Economy (燃費に関するトランスミッションフルード性能の研究)				倉品秀夫	技術開発本部 材料技術部
	New DOC for Light Duty Diesel DPF System (乗用車ディーゼルDPFシステムのための酸化触媒技術)				渡辺哲也 川島一仁 田川嘉夫 田代圭介	Johnson Mtthey 技術開発本部 パワートレイン研究部
'07. 7. 26 }	CAE Technology Body Structure Concept Study (車体構造コンセプト検討手法)	7th IJCC CAD/CAE Workshop 東京	塩崎弘隆	技術開発本部 デジタル技術部		
'07. 7. 27	エンジン振動の防振技術				日本機械学会中国四国支部 VS研究会 広島	門松晃司
'07. 9. 7	軽量車体へのアルミ適応事例	地球環境セミナー	藤井康司	生産技術本部 溶接組立生産技術部		
'07. 9. 8	電気自動車アイ MiEV の開発	名古屋都市産業振興公社 環境にやさしいクルマの技術産業展	吉田裕明	技術開発本部 MiEV 技術部		
'07. 9. 17 }	ディーゼルパティキュレート除去用ソーダライト担持 カリウム触媒上での相転移による高活性点の形成	触媒学会 第100回触媒討論会	棚田 浩	東京大学 技術開発本部 パワートレイン研究部		
'07. 9. 20						
'07. 9. 19 }	側面衝突解析FEMモデルのばらつきを考慮したDFSS によるロバスト設計最適化の適用事例	エンジニアスジャパン CAO フロンティア 2007 横浜	林 賢司	技術開発本部 デジタル技術部		
'07. 9. 20						
'07. 9. 20	各種駆動方式における左右トルク移動システムの車両 運動性能向上効果	自動車技術会 No.02-07 シンポジウム 「自動車の運動制御最前線」	澤瀬 薫 後田 祐一	技術開発本部 ドライブトレイン技術部		
'07. 10. 17	繰り返し塑性を考慮した加工硬化モデルによるスプリ ングバック解析精度の向上	日本塑性加工学会 東海支部	松山邦臣	生産技術本部 板金樹脂生産技術部		
'07. 10. 17 }	排ガスモード運転エージェントと運転習熟課程(第一 報)	自動車技術会 秋季学術講演会 京都	梅井一英	技術開発本部 パワートレイン研究部 神戸大学		
'07. 10. 19	SULEV 規制対応技術の開発				宮本勝彦 棚田 浩 山下正行 田辺 健	技術開発本部 パワートレイン研究部
	ミニバン用樹脂フェンダーの開発				福原靖英 伊藤 繁 西村浩二 馬場教揮	技術開発本部 材料技術部 生産技術本部 板金樹脂生産技術部
	車載ノーズビューカメラによる移動物体検出システム 第2報				上南恵資 前村高広 清水貴士 笹根成哉	技術開発本部 電子技術部 MCOR

'07. 10. 18	Vector ツールを利用したソフトウェア品質向上の取り組み	ベクターコンgres 2007	早瀬 憲 児	技術開発本部 電子技術部	
'07. 10. 20	CFRP (一部 GFRP を含む) の採用事例の紹介と今後の課題	複合材料研究センター 開設記念講演会	後 呂 学	技術開発本部 材料技術部	
'07. 10. 25	天然ガス - ガソリン Bi-Fuel 車開発への取り組み	自動車技術会 No.03-07 シンポジウム 「ガス燃料エンジンの現状 と将来」	伊 藤 秀 紀	技術開発本部 エンジン設計部	
'07. 10. 26	車両運動統合制御システム S-AWC	GKN ドライブライントルク テクノロジー '07 第 16 回駆動系フォー ラム	後 田 祐 一	技術開発本部 ドライブトレイン技術部	
'07. 10. 30 }	'07. 10. 31	側面衝突解析 FEM モデルのばらつきを考慮したロバ スト設計最適化の適用事例	日本総研ソリューションズ LS-DYNA ユーザー会	栗 野 正 浩	技術開発本部 デジタル技術部
'07. 11. 1	三菱自動車におけるボディ系 ECU 開発への MBD 取 組み	JMAAB ( Japan MATLAB Automotive Advisory Board ) Open Conference 2007	坂 本 康 弘	技術開発本部 電子技術部	
'07. 11. 8	車載ソフトウェア開発の効率化 ( HILS を用いた ECU ソフトウェア試験 ) 仮題	Automotive Technology Days 2007 autumn	金 田 匡 弘	技術開発本部 電子技術部	
'07. 11. 9	Yoshida-Uemori モデルによるスプリングバック解析精 度の向上	PAM Users Conference in Asia 2007	松 山 邦 臣	生産技術本部 板金樹脂生産技術部	
'07. 11. 28	電気自動車アイ MiEV の開発	中部エレクトロニクス振興会 フロンティア 21 エレクトロ ニクスショー	早 川 浩 之	技術開発本部 MiEV 技術部	
'07. 12. 4	減衰とんちんかん	自動車技術会 No.06-07 シンポジウム 「自動車の振動騒音問題と うまくつきあう方法」	門 松 晃 司	技術開発本部 デジタル技術部	
'07. 12. 4	周波数依存性を考慮したボディシェイク解析手法	自動車技術会 No.06-07 シンポジウム 「自動車の振動騒音問題と うまくつきあう方法」	秋 竹 俊 太 郎	技術開発本部 デジタル技術部	
'07. 12. 7	車載新機能開発における QFD 実践例と課題	日本科学技術連盟 第 14 回品質機能展開シンポ ジウム	坂 本 康 弘	技術開発本部 電子技術部	
'07. 12. 10	電気自動車の可能性と課題 - i MiEV の開発 -	未来ビークルリサーチセン ター 第 7 回シンポジウム	宮 下 拓 也	技術開発本部 MiEV 技術部	
'07. 12. 13	電気自動車アイ MiEV の開発	関西電力 エネルギー利用技術セミナー	小 池 宏 和	技術開発本部 MiEV 技術部	
'07. 12. 18	4WD を核とした車両運動統合制御の開発	自動車技術会 No.09-07 シンポジウム 「動力伝達系の最新技術 2007 - 環境と走りに貢献す る駆動系動向 - 」	三 浦 隆 未 澤 瀬 薫 後 田 祐 一 鈴 木 啓 之	技術開発本部 ドライブトレイン技術部	
'07. 12. 19 }	'07. 12. 21	ドアミラーのはく離せん断層から発生する空力音の数 値解析	日本流体力学会 第 21 回数値流体力学シンポ ジウム	濱 本 直 樹	名古屋大学 技術開発本部 機能実験部
'08. 2. 8	側面衝突解析 FEM モデルのばらつきを考慮した DFSS によるロバスト設計最適化の適用事例	自動車技術会 No.14-07 シンポジウム 「CAE 技術の進化と車両開 発」	林 賢 司	技術開発本部 デジタル技術部	

'08. 2. 8	電気自動車アイ MiEV の開発	新エネルギー技術創生研究会 次世代複合システム技術	近藤 裕 次	技術開発本部 MiEV 技術部
'08. 2. 21	バイオマス資源の自動車部品への活用	大阪グリーン産業創造ネットワーク 第2回 グリーン産業シンポジウム	寺澤 勇	技術開発本部 材料技術部
'08. 3. 6	繰り返し塑性を考慮した加工硬化モデルによるスプリングバック解析精度の向上	薄鋼板成形技術研究会	松山 邦 臣	生産技術本部 板金樹脂生産技術部
'08. 3. 7	Pt/Pd系DOC ( Diesel Oxidation Catalyst ) の開発	自動車技術会関東支部 2007年度学術研究講演会	渡辺 哲 也 川島 一 仁 田川 嘉 夫 田代 圭 介	Johnson Matthey Japan 技術開発本部 パワートレイン研究部
'08. 3. 10	構造用鋼スポット溶接継手の疲労破壊形態のFEM解析による考察	日本機械学会東海支部 第57期総会・講演会	尾嶋 良 文	静岡大学 技術開発本部 材料技術部
'08. 3. 28	自動車部品から発生する空力騒音予測手法の開発	先端の大規模計算シミュレーションプログラム利用シンポジウム	濱本 直 樹 浮田 哲 嗣	技術開発本部 機能実験部

## ▶ 国内向寄稿

'07. 4	SUVへのアルミルーフの適用技術の開発	日本機械学会 日本機械学会会誌 4月号 Vol.110, No.1061	松村 吉 修	技術開発本部 先行車両技術部
'07. 4	アルミルーフにおける異種金属接合技術	自動車技術会 自動車技術 4月号 Vol.61, No.4	松村 吉 修 小川 伸 一 三崎 利 次	技術開発本部 先行車両技術部 ボデー設計部
'07. 5	車載画像処理システムによる視覚支援システム	日本交通医学工学研究会報 ( JATMENEWS )	前村 高 広	技術開発本部 電子技術部
'07. 7	アルミルーフにおける異種金属接合技術	軽金属溶接構造協会誌 軽金属溶接 7月号 Vol.45, No.7	松村 吉 修 小川 伸 一 三崎 利 次	技術開発本部 先行車両技術部 ボデー設計部
'07. 8. 1	バランサーシャフトによる制振メカニズム	日刊工業新聞社 機械設計 8月号	門松 晃 司	技術開発本部 デジタル技術部
'07. 9	電気自動車の挑戦	自動車技術会 自動車技術 9月号 Vol.61, No.9	吉田 裕 明 半田 和 功	技術開発本部 MiEV 技術部
'07. 10	ダカールラリー用パジェロエンジンの変遷	自動車技術会中部支部報 「宙舞」 No.61	幸田 逸 男	技術開発本部 モータースポーツ部
'07. 10	三菱 A9 型エンジン	山海堂 エンジンテクノロジー別冊 「新開発エンジン技術ペーパー」	長谷川 健 新井 泉 山口 康 夫	技術開発本部 エンジン設計部 モータースポーツ部
'07. 10	i ( アイ ) 用 3B20 型エンジン	山海堂 エンジンテクノロジー別冊 「新開発エンジン技術ペーパー」	流郷 幸 裕 神保 岳 史 山本 和 司	技術開発本部 エンジン設計部
'07. 12	自動車に見るバイオマスプラスチックの応用展開	月刊プラスチックエージ 12月号 「環境とリサイクル/バイオマスプラスチックの最新動向」	寺澤 勇 田村 明 博 常岡 和 記	技術開発本部 材料技術部

'07. 12	頸部傷害低減のためのヘッドレスト gtr (世界統一技術基準) 動向	日本交通医学工学研究会会報 (JATMENEWS) 第30号	浅田 浩之	技術開発本部 先行車両技術部
'08. 1	Knee Air Bag Deployment and Behavior of Knee Joints (ニーエアバッグ展開による膝関節挙動)	Review of Automotive Engineering Vol.29, No.1	鈴木 直幸	慶應義塾大学 東京女子医科大 技術開発本部 安全実験部
'08. 1	自動車のボディ構造	日本建築構造技術者協会 structure 1月号 (105号)	越田 佳之 中川 速水	技術開発本部 ボデー設計部 先行車両技術部
'08. 2	健康的で快適な車室内環境を目指して	自動車技術会 自動車技術 2月号	白鳥 彰男 土屋 浩一	技術開発本部 先行車両技術部 材料技術部

## テクニカル レビュー 2007 NO.19 掲載

題 名	発 表 者	所 属
『確かな安心』を提供し続ける安全への取組み	浅田 浩之 御室 哲志 藤野 利明	技術開発本部 安全実験部 技術開発本部 先行車両技術部 経営企画本部 環境技術部
直動式動弁系の動的解析によるバルブジャンプ予測	藤本 昌弘 東 博文 大澤 範貢 中井 英雄 水上 外喜市	技術開発本部 パワートレイン研究部
触媒反応のモデリングと制御	上田 克則 宮田 敏行 川北 幸治 北田 淳也	技術開発本部 パワートレイン制御技術部
知識に基づく故障診断技術 - モデル挙動との比較による検知と特定 -	木戸 和夫 梅井 一英 山浦 広己	技術開発本部 パワートレイン研究部 三菱自動車エンジニアリング(株)
ドライバーのストレス・快適性における感受特性の分析手法	片庭 誠 熊倉 佐恵	技術開発本部 先行車両技術部
ASV-3 情報交換型運転支援システムの開発	伊藤 政義	技術開発本部 先行車両技術部
GRANDIS ASV-3 - ぶつからない、ぶつけられないクルマプロジェクト -	増田 奨	技術開発本部 先行車両技術部
マルチアラウンドモニターシステム	上南 恵資 早瀬 憲児 佐藤 英充	技術開発本部 電子技術部
アクティブコーナリングライトの開発	小林 和成 篠原 聡	技術開発本部 ボデー設計部 技術開発本部 電子技術部
運転席側SRSニーエアバッグの開発	加藤 一幸 深谷 幸博 村松 睦生 藤本 英樹	技術開発本部 装備設計部 技術開発本部 安全実験部
次世代電気自動車 i-MiEV の開発	半田 和功 吉田 裕明	技術開発本部 MIEV 推進部
新開発 V 型 6 気筒 MIVEC ガソリンエンジン	西原 節雄 西殿 武広	技術開発本部 エンジン設計部

題 名	発 表 者	所 属
北米向けアウトランダーのSULEV規制対応排出ガスシステムの開発	渡 辺 計 彦 真 田 一 馬 佐 藤 佑 二 宮 本 勝 彦 山 下 正 行 棚 田 浩 西 原 節 雄 上 田 克 則 加 村 均	技術開発本部 性能実験部 技術開発本部 パワートレイン研究部 技術開発本部 エンジン設計部 技術開発本部 パワートレイン制御技術部
新開発6速オートマチックトランスミッション	大 橋 美 浩 高 橋 健 一 平 岡 忠 士 美 濃 亨 大 原 俊 樹 東 根 章 浩	技術開発本部 ドライブレイン技術部 三菱自動車エンジニアリング(株) ジヤトコ(株)
インナーレール式電動スライドドアの開発	京 藤 正 弘 真 保 俊 也 岩 見 武 博 小 林 文 彦 竹 中 文 敏 神 尾 浩 二	技術開発本部 ボデー設計部 技術開発本部 電子技術部 技術開発本部 機能実験部 三菱自動車エンジニアリング(株)
ヘアラインアルミ調の新加飾工法	吉 田 和 広 山 内 一 人 近 藤 慎 二 小 林 奈 保 子 阪 口 浩 神 戸 俊 和	技術開発本部 装備設計部 技術開発本部 材料技術部 デザイン本部 デザイン推進部 日本写真印刷(株)
新型デリカD:5用樹脂フェンダーの開発	伊 藤 繁 福 原 靖 英 浜 根 浩 志 内 田 幸 作 長 谷 川 雄 一 馬 場 教 揮 石 川 雄 一	技術開発本部 材料技術部 技術開発本部 ボデー設計部 技術開発本部 第一車両実験部 生産技術本部 板金樹脂生産技術部 生産技術本部 塗装生産技術部
新構造アルミスペースフレームボデーの開発	中 川 速 水 中 村 拓 生 松 村 吉 修 高 階 克 彦 柳 瀬 純 一 石 津 久 之 加 納 宏 明 清 野 裕 之 安 井 章 師 伊 藤 秀 樹 藤 井 康 司	技術開発本部 先行車両技術部 技術開発本部 デジタル技術部 技術開発本部 安全実験部 技術開発本部 第一車両実験部 技術開発本部 第二車両実験部 生産技術本部 溶接組立生産技術部

題 名	発 表 者	所 属
空調システム省動力化技術の開発	沖 中 和 見 山 谷 晃 久 門 井 勝 野 山 英 人	Mitsubishi Motors R&D of America 技術開発本部 機能実験部 技術開発本部 装備設計部 三菱重工業(株)
VR技術を活用したデジタル評価手法の開発	前 川 和 司 吉 田 昌 弘 伊 藤 嘉 章 廣 瀬 通 孝 谷 川 智 洋	技術開発本部 パッケージング技術部 技術開発本部 機能実験部 東京大学
新型デリカD:5用後席速暖式リヤヒーター	杉 原 元 明 山 本 隆 英 原 田 知 典 木 村 登 美 夫 瀬 戸 寛 樹 本 間 文 裕	技術開発本部 装備設計部 技術開発本部 機能実験部
シミュレーションツールによるECUの総合試験	酒 井 邦 宏 新 里 幸 浩 金 田 匡 弘	技術開発本部 電子技術部
軽自動車用ハイグレードサウンドシステムの開発	大 場 敬 史 宮 田 真 行 荒 川 誠	技術開発本部 電子技術部 三菱自動車エンジニアリング(株)
高性能5.1chシアターサラウンドシステムの開発	岡 田 明 博 五 味 淳 史 石 渡 秀 和 浅 野 重 昭	技術開発本部 電子技術部
「クルマの学校」スポーティードライビングコース	御 室 哲 志 五 井 美 博 西 田 恒 明	技術開発本部 先行車両技術部 技術開発本部 企画管理部 技術開発本部 機能実験部
大型電波暗室の導入	川 野 敦 弘 勝 野 亘	技術開発本部 電子技術部

# 三菱自動車の新型車・主要な技術20年の歩み

○内数字は月を表す。斜体太字には写真を添付。

新型車	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
新型車	⑩エテルナ ⑥ランサー	⑤ダイヤモンド ⑪シグマ ⑩GTO ②エクリプス	⑩デボネア ③ダイヤモンドワゴン	⑤ギャラン/エテルナ ⑩エメロード	⑩ランサーエボリューション ①ランサーエボリューションII	②ランサーエボリューションIII ④ランサーエボリューションIV	①ランサーエボリューションII ②ランサーエボリューションIII	①ダイヤモンド ⑥エクリプス(米国) ⑩FTO	⑩ディアマンテ ⑩ディアマンテワゴン	⑧アスパイア ⑧エクリプス(米国)	⑥スペーススター(欧州) ①ランサーエボリューションV	①ランサーエボリューションVI ①ミラージュデインゴ ①トップBJワイド ⑥タウンボックスワイド ⑨パジェロ	②ブラウディア・ディグニティ ①ランサーセディア ①ランサーセディアワゴン ②ランサーエボリューションVII ②ランサーエボリューションVII GT-A	①ディオ ⑤ランサーセディア ①ランサーセディアワゴン ②ランサーエボリューションVII ②ランサーエボリューションVII MR ②ランサーエボリューションVIII ②ランサーエボリューションVIII MR	①ランサーカーゴ ①ランサーエボリューションVIII ②ランサーエボリューションVIII MR ②ランサーエボリューションVIII MR	⑩ギャラン(北米) ⑤エクリプス(米国) ⑨ランサーエボリューションワゴン ③ランサーエボリューションIX ③ランサーエボリューションIX MR ⑧ランサーエボリューションワゴン MR	⑩380(豪州) ⑤エクリプス(米国) ⑨ランサーエボリューションワゴン ③ランサーエボリューションIX ③ランサーエボリューションIX MR ⑧ランサーエボリューションワゴン MR	⑨レイダー(米国) ⑧トライトン(タイ) ⑩パジェロ ⑫ジンガー(台湾) ⑩アウトランダー ①i(アイ) ⑨eKワゴン, eKスポーツ	⑧ギャラン フォルティス ⑩ランサーエボリューションX		
新技術																					
エンジン					⑩3弁MVVエンジン ⑩MIVECエンジン ⑩MIVEC-MDエンジン	⑩4弁MVVエンジン			⑧GDIエンジン			⑩軽用MVVエンジン ⑨DIディーゼルエンジン ⑫GDI-ASGエンジン						⑩MIVECターボエンジン ①軽用MIVECターボエンジン ⑩MIVECエンジン (吸・排気連続可変バルブタイミング)			
トランスミッション					④INVECS ⑩INVECS-II ⑩スポーツモード4AT ①INVECS-II 5AT							⑩軽FR用電子制御式4速AT ⑤INVECS-III CVT							③INVECS-II 6速AT(北米) ⑩ツインクラッチSST		
車両運動制御 (駆動・制動力制御システム、ブレーキ)	①HCU式フルタイム4WD	①スーパーセレクト4WDシステム ⑤TCL(トラクションコントロール)			⑦イージーセレクト4WD ⑧AYC(アクティブヨーコントロール) ⑧ASC(アクティブスタビリティコントロール) ⑩ブレーキアシスト	⑥スーパーセレクト4WD-i ⑨スーパーセレクト4WD-II ②ACD(アクティブセンターディファレンシャル) ⑨EBD(電子制御制動力分配装置)									⑤マルチセレクト4WD ①スーパーAYC			⑩電子制御4WD ⑩S-AWC			
予防安全					⑩ディスタンスウォーニング ①プレビューディスタンスコントロール ①タイヤ空気圧低下モニター ⑥ディスチャージヘッドランプ								②ドライバーサポートシステム					⑤音声駐車ガイドシステム ⑤デュアルアラウンドモニター(ノーズビューカメラ&リヤビューカメラ) ①マルチアラウンドモニター ①ACL(アクティブコーナリングライト) ⑧AFS (アダプティブフロントライティングシステム)			
衝突安全					⑩運転席SRSエアバッグ ⑩助手席SRSエアバッグ ⑧SRSサイドエアバッグシステム ⑨衝突安全ポデーRISE ①衝撃感知ドアロック解除								②助手席乗員検知センサー付SRSエアバッグ ⑤頭部衝突低減フロントシート ①ISO FIX対応CRS固定専用バー					⑩SRSカーテンエアバッグ			①運転席SRSニーエアバッグ ①樹脂フェンダー
その他					⑤MMCS(三菱マルチコミュニケーションシステム) ⑨セーフティ機構付パワーウィンドウ								⑨エンジンイモビライザー(盗難防止装置)					①省エネエアコン ②アルミルーパパネル ①CAN(車内通信システム) ⑤UV&ヒートプロテクトガラス ⑤バイオクリアフィルター ⑤消臭天井			①リヤミッドシップレイアウト ⑨軽自動車用インナーレール式電動スライドドア ①PLA繊維フロアマット(グリーンプラスチック) ⑩キーレスオペレーションシステム
新設備	①電波暗室	①基準凹凸路無人耐久システム ④旋回機能付4輪フラットベルト・シャシダイナモメーター ⑪AV特性評価設備			⑩米国加州燃料蒸散規制強化対応設備				⑩十勝研究所			④電波試験棟		④CVT専用新工場				⑧水島製作所新塗装工場		⑧大型電波暗室	

MMCS : Mitsubishi Multi Communication System  
 INVECS : Intelligent & Innovative Vehicle Electronic Control System  
 MIVEC : Mitsubishi Innovative Valve timing (and lift) Electronic Control system  
 MIVEC-MD : Mitsubishi Innovative Valve timing (and lift) Electronic Control system -Modulated Displacement  
 MVV : Mitsubishi Vertical Vortex

GDI : Gasoline Direct Injection  
 AYC : Active Yaw Control System  
 ASC : Active Stability Control System  
 RISE : Reinforced Impact Safety Evolution

ACD : Active Center Differential  
 EBD : Electronic Brake-force Distribution

S-AWC : Super All Wheel Control  
 SST : Sport Shift Transmission  
 ACL : Active Cornering Light  
 AFS : Adaptive Front-Lighting System



