

zoom-zoom

zoom-zoom  
zoom-zoom  
zoom-zoom



MAZDA TECHNICAL REVIEW

# マツダ技報

Mazda Technical Review

2008 No. **26**

# マツダ技報 第26号 (2008)

## 目 次

### 巻頭言

技術の伝達 .....	稲本信秀 .....	1
-------------	------------	---

### 特集：新型マツダデミオ

1. 新型マツダデミオの紹介 .....	水野成夫, 本藤雅彦, 奥田憲一 日下勇樹, 村松健二 .....	3
2. 新型マツダデミオのデザイン .....	前田育男 .....	9
3. 新型マツダデミオのパッケージング .....	豊田 稔, 伊藤 晃, 福井信行 鈴木 崇, 西山雄気, 三田村信雄 .....	15
4. 新型マツダデミオのパワートレイン .....	前田敏正, 古野貴久, 栗田淳右 世良 久, 西村憲一郎, 松崎俊幸 .....	21
5. 新型マツダデミオの軽量ボデーシェル開発 .....	佐藤謙三, 角屋敏光, 山本裕士 田中祐充 .....	27

### 特集：新型マツダアテンザ

6. 新型マツダアテンザの紹介 .....	梅下隆一, 久保田聡, 平山 勲 高原順司, 岡光 淳, 清水勝矢 日浦正仁 .....	31
7. 新型マツダアテンザのデザイン .....	佐藤洋一 .....	40
8. 新型マツダアテンザのパッケージング .....	小平正則, 河手 功, 高原順司 廣川正人, 新部忠幸 .....	46
9. 新型マツダアテンザのダイナミクス性能 .....	豊島由忠, 池田直樹, 吉村匡史 佐野 晋, 澤村伸哉, 川崎敬三 吉井群治, 清水勝矢 .....	52
10. 新型マツダアテンザのパワートレイン .....	高戸 剛, 井上 康, 春森俊宏 岡田光平, 遠藤孝次, 東尾理克 岩田陽明 .....	58
11. 新型マツダアテンザの空力性能開発 .....	大平洋樹, 岡本 哲, 中藤博文 賀谷 守, 植松 徹, 松岡秀典 .....	65

### 論文・解説

12. マツダロードスターPRHTシステムの開発 .....	松延知昭, 田上宏紀, 石丸伸吾 木下尚年, 黒田将仁, 小林豊彦 .....	71
13. 新長期排出ガス規制対応 ボンゴ用New MZR-CDの紹介 .....	柚木伸夫, 上奥慎二, 廣瀬倫之 西村博幸, 白橋尚俊, 杉本 亮 .....	77
14. マルチホールインジェクタを用いた成層直噴ガソリンエンジン ...	山下洋幸, 瀬戸祐利, 永澤 健 山本博之 .....	82

15. 新しいメカニズムによるPM燃焼触媒 .....	鈴木研二, 原田浩一郎, 山田啓司 岡本謙治, 高見明秀 .....	88
16. 低貴金属量で耐熱性に優れた貴金属シングルナノ触媒 .....	養島浩二, 三好誠治, 岩国秀治 國府田由紀, 住田弘祐, 高見明秀 .....	94
17. ロードノイズ吸音技術の開発 .....	萬菜穂子, 福原千絵, 加村孝信 .....	100
18. 車室内におけるVOCの低減 .....	松井恵子, 市川智士 .....	106
19. 高効率な多品種変量塗装システムの開発 .....	寺本浩司, 世良和也, 末次道久 .....	112
20. MADYMOを活用したサイドエアバッグシステムの最適化 .....	金子直樹, 元木正紀, 田口征吾 尾川 茂 .....	118
21. 後側方障害物警報システムの開発 .....	信時宜和, 高橋達朗, 清水賢治 松本成司, 花田充基 .....	124
22. 車車間通信を利用した安全運転支援システムの開発 .....	山本雅史, 岩下洋平, 藤田健二 .....	131
23. CADテンプレートを活用したレイアウト品質向上と効率化 .....	佐々木和也, 平島喜生, 今井洋子 .....	137
24. 数値解析を用いた通風改善による熱害低減への取り組み .....	上田 健, 西村真人, 藤元清信 .....	141
25. 軸受け摩耗予測計算と薄層放射化法による予測精度検証 .....	宮内勇馬, 廣部敏之, 木村昇平 権代明典, 広田哲昭 .....	147
26. 遊星歯車のかみあい伝達誤差連成解析 .....	西野隆之 .....	153
27. 高能率フェイスミル加工技術の開発 .....	中山 亨, 鳥居 元, 網井義浩 平井泰史 .....	159
28. 鋳抜きピン設計基準の最適化 .....	小関 孝, 村尾優作 .....	165
29. ロボットのリプロデュース精度向上 .....	野島歎之 .....	170
<b>社外への発表論文一覧表</b> .....		<b>176</b>

# Mazda Technical Review No.26

## CONTENTS

### Foreword

#### Technology Communication

<i>(N.Inamoto)</i> .....	1
--------------------------	---

### Special Edition for All-New Mazda Demio

<b>1 . Introduction of All-New Mazda Demio</b> <i>(S.Mizuno, M.Hondo, K.Okuda, Y.Kusaka, K.Muramatsu)</i> .....	3
<b>2 . Design of All-New Mazda Demio</b> <i>(I.Maeda)</i> .....	9
<b>3 . Package of All-New Mazda Demio</b> <i>(M.Toyota, A.Ito, N.Fukui, T.Suzuki, Y.Nishiyama, N.Mitamura)</i> .....	15
<b>4 . Introduction of All-New Mazda Demio Powertrain</b> <i>(T.Maeda, T.Furuno, J.Natsumeda, H.Sera, K.Nishimura, T.Matsuzaki)</i> .....	21
<b>5 . Development of Light Weight Body Structure for All-New Mazda Demio</b> <i>(K.Sato, T.Kadoya, H.Yamamoto, M.Tanaka)</i> .....	27

### Special Edition for All-New Mazda Atenza

<b>6 . Introduction of All-New Mazda Atenza</b> <i>(R.Umeshita, S.Kubota, I.Hirayama, J.Takahara, A.Okamitsu, K.Shimizu, M.Hiura)</i> .....	31
<b>7 . Design of All-New Mazda Atenza</b> <i>(Y.Sato)</i> .....	40
<b>8 . Package of All-New Mazda Atenza</b> <i>(M.Kodaira, I.Kawate, J.Takahara, M.Hirokawa, T.Niibe)</i> .....	46
<b>9 . Dynamics Performance of All-New Mazda Atenza</b> <i>(Y.Toyoshima, N.Ikeda, T.Yoshimura, S.Sano, N.Sawamura, K.Kawasaki, G.Yoshii, K.Shimizu)</i> .....	52
<b>10 . Introduction of All-New Mazda Atenza Powertrain</b> <i>(T.Takato, Y.Inoue, T.Harumori, K.Okada, K.Endou, M.Higashio, K.Iwata)</i> .....	58
<b>11 . Aerodynamic Development of All-New Mazda Atenza</b> <i>(H.Ohira, S.Okamoto, H.Nakato, M.Kaya, T.Uematsu, H.Matsuoka)</i> .....	65

### Technical Reports

<b>12 . Power Retractable Hardtop System for Mazda Roadster</b> <i>(T.Matsunobu, H.Tanoue, S.Ishimaru, H.Kinoshita, M.Kuroda, T.Kobayashi)</i> .....	71
<b>13 . Introduction of New MZR-CD for BONGO to Meet JPN05 Emission Regulation</b> <i>(N.Yunoki, S.Ueoku, T.Hirose, H.Nishimura, N.Shirahashi, A.Sugimoto)</i> .....	77
<b>14 . Stratified Lean Direct Injection Spark Ignition Using Multi-hole Injector</b> <i>(H.Yamashita, M.Seto, T.Nagasawa, H.Yamamoto)</i> .....	82

15 . PM Oxidation Catalyst on New Oxidation Mechanism ( <i>K.Suzuki, K.Harada, H.Yamada, K.Okamoto, A.Takami</i> ) .....	88
16 . Single-nano Precious Metal Catalyst with Low PGM and High Thermal Stability ( <i>K.Minoshima, S.Miyoshi, H.Iwakuni, Y.Koda, H.Sumida, A.Takami</i> ) .....	94
17 . Absorption Technique for Road Noise Reduction ( <i>N.Yorozu, C.Fukuhara, T.Kamura</i> ) .....	100
18 . Reduction of in-Cabin VOC ( <i>K.Matsui, S.Ichikawa</i> ) .....	106
19 . Development of a Highly Effective Painting System of Many Colors in Variable Quantities ( <i>K.Teramoto, K.Sera, M.Suetsugu</i> ) .....	112
20 . Optimization of Side Airbag System Using MADYMO Simulations ( <i>N.Kaneko, M.Motoki, S.Taguchi, S.Ogawa</i> ) .....	118
21 . Development of Rear Side Obstacle Warning System ( <i>Y.Nobutoki, T.Takahashi, K.Shimizu, S.Matsumoto, Y.Hanada</i> ) .....	124
22 . Development of Safe Driving Assistance Systems with Inter-vehicle Communications ( <i>M.Yamamoto, Y.Iwashita, K.Fujita</i> ) .....	131
23 . Layout Quality Improvement and Efficiency Improvement were Achieved by Using CAD Template ( <i>K.Sasaki, Y.Hirashima, Y.Imai</i> ) .....	137
24 . Numerical Analysis-based Activity to Reduce Heat Damage by Improving Air Flow through Engine Compartment ( <i>T.Ueda, M.Nishimura, K.Fujimoto</i> ) .....	141
25 . Wear Prediction Calculation of Bearing and Correlation Using Thin Layer Activation Technique ( <i>Y.Miyauchi, T.Hirobe, S.Kimura, A.Gondai, T.Hirota</i> ) .....	147
26 . Coupled Analysis of Transmission Error in a Planetary Gear System ( <i>T.Nishino</i> ) .....	153
27 . Development of High Efficiency Face Milling Technology ( <i>T.Nakayama, H.Torii, Y.Amii, Y.Hirai</i> ) .....	159
28 . Optimization of Die-Design Standard for Core Pin ( <i>T.Ozeki, Y.Murao</i> ) .....	165
29 . Reproduce Accuracy Improvement of Robot ( <i>Y.Nojima</i> ) .....	170
List of Reports Published in 2007 .....	176

## 巻頭言

### 技術の伝達

Technology Communication



常務執行役員 稲本 信秀

Nobuhide Inamoto

「シートに座り込むと、十分な広さを実感、シートはほどよく硬く、フロントビューは開放感を覚える。助手席の足元空間も狭くない。走行性能は衝撃を受けるほど素晴らしいとしか言えないものであり、すご過ぎる。これがマツダの掲げる“Zoom-Zoom”なのかと痛感した。これは新型デミオに関し、お客様相談室に寄せられたお客様からの生の声の一つ。このようなお客様が満足されている情報は、胸が熱くなるほど嬉しく読むことができる。

しかし、同時に様々な形で苦情のフィードバックを受けるが、この時はなんとも情けない気持ちになり胸が痛くなる。

常に、お客様の期待に応え期待を上回り、満足して頂けるクルマを提供し続けたい。

一方で、企業を取り巻く環境は大きく変化している。その代表的なものとしてCSR（企業の社会的責任）への世界的な関心の高まりが挙げられる。企業は、これまでのように自らの事業活動にだけ目を向けるのではなく、CSR活動によって社会に対して新しい価値を創造しなければ持続的に発展できない、というものである。つまり企業は、社会問題や環境問題の解決に積極的に貢献することも強く求められている。

地球温暖化への対応もこの喫緊の課題のひとつであり、二酸化炭素など温室効果ガスの削減を先進国に義務づけた国際協定「京都議定書」の約束期間が今年から始まった。また、昨年末の国連気候変動枠組み条約第13回締約国会議（COP13）では、「ポスト京都」つまり2013年以降の温暖化対策の枠組み交渉の進め方をまとめた行程表「バリ・ロードマップ」に各国が合意した。

マツダも様々なCSR活動を推進しているが、その一環として昨年、技術開発の長期ビジョン「サステイナブル“Zoom-Zoom”宣言」を公表した。これは、お客様が「見て乗りたくなる、乗って楽しくなる、そしてまた乗りたくなる」といった気持ちになるような魅力的なクルマの開発を進める一方で、環境・安全技術の開発強化を図って持続可能なクルマ社会の実現を目指す、という宣言である。

そしてこの「サステイナブル“Zoom-Zoom”宣言」の下で開発された第1弾が新型デミオであり、第2弾が新型アテンザである。

このマツダ技報第26号には、この新型デミオと新型アテンザの特集が生まれ、それと同時に環境・安全に関する多くの論文・解説が掲載されている。まさに「サステイナブル“Zoom-Zoom”宣言」のマツダ技報初号と呼んで良いであろう。

マツダが、自らの事業を成長させ続けるためにも、お客様に満足して頂けるクルマを提供し続けるためにも、CSRに真摯に取り組んでいる企業であると社会から認めて頂けるためにも、その根幹を支配するものは「技術」であるということに疑う余地も無い。お客様や社会の期待は多くの矛盾を生み技術の高度化や複雑化を要求することとなるが、それをブレークスルーする技術開発こそがその矛盾を解く鍵と成り得る。例えば、二酸化炭素排出削減は事業活動を制約する成長阻害要因であるとの認識がこれまでは強かったが、緑を生む環境技術で先行すればもう一つのグリーン（ドル紙幣）も生み出せるというGreen is Greenという言葉も使われ始めた。このように、技術開発の可能性が考え方を変えるし、考え方が技術開発の可能性を生む。

技術は要求される機能や制約条件の変化によって時代と共にダイナミックに変化するものであるが、ある日突然に実現できるものではない。先人・先輩が育て積み重ねてきた技術を基盤として、その上に我々の努力があって初めて実現できるものである。我々は高き志を持って技術開発に臨まなければならないが、その前提として、先人・先輩の技術をしっかりと受け継ぐ必要がある。

その意味において反省と不安がある。我々は、先人・先輩の技術をしっかりと理解し、その上に技術を積み重ねているであろうか。我々は、自分たちの技術を後輩に的確に伝達しようとしているであろうか。様々な場面でこの技術の伝達に不安を覚える。

技術への要求は高度化・複雑化し、技術者への負担が大きくなったので、分業化したりマニュアル化したりして効率化を追求してきた。このことは、決して非難されるものではなく必要なことであり、多くの成果も生んできた。しかし、このことが過度になり、また狙いから外れてしまうと、技術者は全体が見えなくなるし、考えることもしなくなる。技術者への仕事の与え方を、技術の伝達という側面からも十分に配慮する必要がある。また同時に技術者も、基本を大切に、先人・先輩からの技術を素直に受け入れながら技術開発に努め、更にその積み重ねを的確に後輩に伝達していくことを強く意識する必要がある。

この技術の伝達という課題に対する答えのひとつは、平素のコミュニケーションのあり方の中にあるように思う。近年、Eメールの活用が氾濫し、直接顔を突き合わせてのコミュニケーションも少なくなった。直接顔を突き合わせ、刹那的に表面上の会話に留まることなく、モノの原理原則や、先人・先輩が積み重ねてきた技術の中身にまで立ち返った会話をすることで、お互いに、技術の伝達の大切さが痛感でき実践できるのではないだろうか。現地現物を基本とし、平素のコミュニケーションを大切にしていきたい。Mazda Quality 5つの質の基盤である我々一人ひとりの行動の質の重要性をここでも強調しておく。

勿論、本誌（マツダ技報）のようなものも技術の伝達に欠かせないものである。先人・先輩が積み重ねてきた技術の上に開発された技術が本誌に掲載されており、本誌によっても後輩に技術が伝達されていくことであろう。今後、今以上にマツダ技報が充実し、技術の伝達に大きく貢献することを期待し、巻頭言とする。



特集：新型マツダデミオ

1

## 新型マツダデミオの紹介

### Introduction of All-New Mazda Demio

水野 成夫\*<sup>1</sup> 本藤 雅彦\*<sup>2</sup> 奥田 憲一\*<sup>3</sup>

Shigeo Mizuno

Masahiko Honda

Kenichi Okuda

日下 勇樹\*<sup>4</sup> 村松 健二\*<sup>5</sup>

Yuki Kusaka

Kenji Muramatsu

## 要 約

新型デミオは、グローバル・コンパクトカーとして本来コンパクトカーが持つべき性能を追求する、いわばコンパクトカーへの原点回帰を行い、前モデルから大きくコンセプトを変更した。100kgの軽量化を軸とする技術力を駆使し、サステイナブル“Zoom-Zoom”の第一弾の商品として「デザインが魅力的であること」、「扱いやすいこと」、「経済性に優れていること」、「環境・安全性能に優れていること」を実現した魅力あふれる商品である。

## Summary

The all-new Mazda2 has fully changed its original concept as a global car. It went back to the starting point to pursue the features that a compact car should have normally. With technology centering on 100kg weight reduction compared to the previous model, the all-new Mazda2 is an appealing model as the very first product that embodies sustainable “Zoom-Zoom”, offering “attractive design”, “easy to use”, “cost efficiency”, and “superb environmental and safety performance”.

## 1. はじめに

コンパクトカーを取り巻く環境は大きな変化を遂げ、競合車は大型化している。新型デミオは、グローバル・コンパクトカーとして求められるものが何かを徹底的に調査し、本来コンパクトカーが持つべき性能を追求する、いわばコンパクトカーへの原点回帰を行い開発した商品である。そのために、プラットフォームをわずか一世代で全面的に新しくし、ダウンサイジングを行い、100kgの大幅な軽量化を様々な技術力を駆使して実現した。

本稿では、サステイナブル“Zoom-Zoom”の第一弾となる新型デミオの商品コンセプトやデザインを含む商品の概要について紹介する。

## 2. 商品コンセプト

新型デミオの商品コンセプトは「パーソナル・スマート・コミュータ」である。グローバル・コンパクトカーの

原点に立ち返り、メインターゲットである独身女性が求めている「デザインが魅力的であること」、「扱いやすいこと」、「経済性に優れていること」を徹底的に追求した。また、サステイナブル“Zoom-Zoom”の第一弾商品として、マツダの特徴であるダイナミック性能を進化させるだけでなく、安全・環境性能で競合トップクラスを実現し、乗り心地や静粛性といった質感をも向上させた。

新型デミオでは、4つのキーバリューを顧客に提供する。

### (1) デザイン

所有することに喜びと愛着が持てるデザイン

### (2) 扱いやすさ(ドライバオリエンティッド)

運転のしやすさ、ドライバが扱いやすい機能や操作性

### (3) 経済性

様々な使用状況で高い経済性を得られる燃費の大幅改善

### (4) 安心感

燃費の向上による環境への配慮や、高い安全性、および乗り心地、静粛性など質感の向上

\*1, 2 第1プログラム開発推進室  
Program Management Office No.1  
\*4 シャシー開発部  
Chassis Development Dept.

\*3 技術研究所  
Technical Research Center  
\*5 装備開発部  
Interior & Exterior Components Development Dept.

### 3. 車種構成と主要諸元

#### 3.1 車種構成

ボデータイプは、5ドアハッチバックで、直列4気筒1.3Lと1.5LのMZRエンジン、並びに、1.3Lミラーサイクルエンジンを搭載する。また、トランスミッションはマツダ初のCVT（自動無段変速機）を、1.3Lと1.5Lの両方に搭載し、1.5LのSPORTには7速のマニュアルモードを設定した（Table 1）。

Table 1 Powertrain Lineup in Japan

Drive	Engine	Transmission	Model
FWD	1.3L	Electronic Controlled 4 Speed Automatic	13F, 13C, 13S
		5 Speed Manual	13C
	1.3L *1	CVT	13C-V
	1.5L	5 Speed Manual	15C, SPORT
		CVT	15C
		CVT [7 Speed Manual Mode]	SPORT
4WD	1.3L	Electronic Controlled 4 Speed Automatic	13C, 13S

\*1 1.3L MZR Miller Cycle Engine

#### 3.2 主要諸元

前モデルに対して、全長と全高を縮小する一方で、全幅と前/後のトレッドを拡大し（Table 2）、ローアンドワイドの安定したフォルムを実現した。また、マツダのDNAである走りにも寄与した。

Table 2 Key Dimensions

Dimensions	New Demio	Previous Demio
Overall length (mm)	3885/3895 *2	3925
Overall width (mm)	1695	1680
Overall height (mm)	1475	1530
Wheelbase (mm)	2490	
Tread Front/Rear (mm)	1475/1465 [1465/1455 *3]	

\*2 Sport Appearance Package Model and SPORT

\*3 195/45R16 Tire

### 4. 新型デミオの特徴

新型デミオの最大の特徴は、軽量化や新型パワートレインの開発による大幅な燃費の向上と環境への配慮、更には、本来難しいとされる軽量化と衝突安全性能の両立を実現していることである。

#### 4.1 ボデー剛性と軽量化

ダウンサイジングと構造変更、高張力鋼鉄採用など、車両全体で軽量化を徹底的に実施した。ロードスター開発時の「グラム作戦」に匹敵する努力により、高い剛性と衝突安全性能を確保しつつ、前モデルの車両質量の約10%にあたる約100kgの軽量化を実現した。その約6割はエンジニアリングによる軽量化、更にその約4割はボデーシェルの軽量化である。

高張力鋼鉄・超高張力鋼鉄の使用比率を高めるとともに、新たに980Mpa級という超高張力材を用いて、ボデーシェルで前モデル比23kgの軽量化を達成した（Fig.1）。

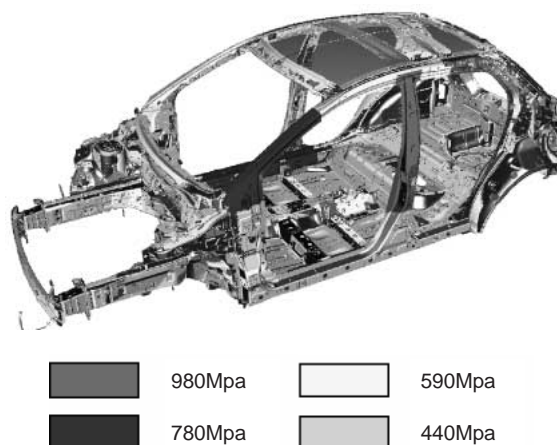


Fig.1 Body Structure

質量を増やさずにボデー剛性を向上するため、ドアとリフトゲート開口部まわりの接合強化を採用した。これは、鉄板補強の場合に比べ6kg減相当の効果を達成。ドア開口部ではスポット溶接点数を増加し、またリヤ開口部ではスポット溶接を増加した上でウェルドボンドを採用し、サスペンション入力荷重に対しての変形位相遅れを効果的に改善している。

980Mpa級の超高張力鋼鉄を左右Bピラーとそれを結ぶルーフメンバに使用し、Bピラーまわりを環状に補強して重量増なく効率よく車体補強を実現している。

#### 4.2 安全性能と軽量化の両立

これまでの新世代商品開発で培ってきたノウハウや衝突シミュレーション技術を駆使して、高剛性・安全ボデー「MAGMA」(Mazda Geometric Motion Absorption)を更に進化させ、高い衝突安全性能と軽量化を両立している。

##### (1) 前面衝突時の安全性

フロントサイドメンバのストレート化・大型断面化、超高強度フロントバンパレインフォースの採用、クラッシュスペースを最大限に活用するフロントサイドメンバ変形コンセプト等の対策により、衝撃を効率的に吸収し、キャビンの変形を抑制している。

##### (2) 側面衝突時の安全性

ルーフレインフォースの強化、Bピラーへの980MPa級

の超高張力鋼板の採用と断面拡大による強化，サイドシルの大型断面化とクロスメンバの強化により，トリプルH構造をいっそう強固にし，衝撃の効率的な分散・吸収を実現した。

### (3) 後面衝突時の安全性

リヤサイドメンバをストレート化・大型断面化したうえで，590MPa級の高張力鋼板を採用した。更に，燃料タンクより前の部分には衝突時のエネルギーを外側のフレームに効率的に分散させる構造を採用した。

### 4.3 新開発パワートレイン

新型デミオでは，新開発のMZR1.3「ミラーサイクル」エンジン（Fig.2）を搭載したモデル（13C-V）をラインアップしている。ミラーサイクルに加え，エンジンと，マツダ初の採用である（13C-V，15C，SPORT）CVT（自動無段階変速機）の協調制御により，クラストップレベルの10・15モード燃費23.0km/Lの優れた燃費性能と，スムーズでリニアな走行フィールの両立を実現している。



Fig.2 MZR 1.3L Miller Cycle Engine

### 4.4 環境への配慮

新型デミオは，大幅な軽量化と各部の抵抗低減により優れた燃費性能と，全車「平成17年基準排出ガス75%低減レベル」認定取得のクリーンな排出ガスを達成し，省資源，CO<sub>2</sub>抑制，大気保全に配慮した，地球環境への負荷が少ない走りを実現した。1.3Lの2WD車の燃費性能では，13C-Vが「ミラーサイクル」エンジンとCVTの組み合わせによりクラストップレベルの10・15モード燃費23.0km/Lを達成している。また，13C-VとSPORTのCVTは「平成22年度燃費基準+20%」を，15CのCVT，13S，13C，13Fは「平成22年度燃費基準+10%」を達成し，グリーン税制に適合している。

その他，シックハウス症候群の原因とされるVOC（揮発性有機化合物）対策として，インテリアに使われる主要な樹脂や塗料，接着剤などの素材そのもののVOCを低減し，厚生労働省が定めたVOC13物質の室内濃度指針値をクリアしている。

### 4.5 洗練されたスタイリッシュなデザイン

凝縮されたダイナミズムの表現を狙い，コンセプトは「Exquisite & Dynamic（エクスクイジット&ダイナミック）」として開発した。エクスクイジットとは，「精巧で練りこまれ，考え抜かれた美しさ」を意味し，強い「動き」を表現したラインや面処理などのデザイン表現と，室内空間/性能/機能との関係を緻密に考察し，無駄を省き，引き締まったアスレティックな骨格づくりを行うデザインアプローチである。

#### (1) エクステリアデザイン

エクステリアでは「動きの連携」をテーマとし，フォルム，ライン，光の3つの「動き」のコンビネーションにより，コンパクトカーとは思えないダイナミックで多彩な表情を創造し，今にも動き出しそうな躍動感ある造形を実現した（Fig.3~5）。



Fig.3 Front Exterior Styling



Fig.4 Rear Exterior Styling



Fig.5 Front Exterior Styling (SPORT)

(2) インテリアデザイン

インテリアデザインでは「動きのある空間」をテーマとして、軽快な広がり感と力強く頼もしい安心感の両立を目指した。操作系を運転のしやすいシンプルなデザインにし、円形を基調とした個性的なデザインを用い、フレッシュで愛着の持てる雰囲気表現した (Fig.6)。



Fig.6 Interior Styling



Fig.7 Magazine Rack and Glove Box



Fig.8 Center Console

4.6 パッケージング・機能性

新型デミオは、コンパクトカーの使用実態に基づき、運転がしやすく取り回しのしやすさを向上するため、ドライバ視点で様々な機能・操作性の向上に注力して開発した。コンパクトでスポーティな外観からの想像を超える広々感のある室内空間、運転のしやすさや日常の使い勝手を高める機能、更に、清潔さに敏感な女性ユーザへのきめ細かな配慮を行った。また、後席も必要十分なゆとりを確保し、荷室は使用実態に即した使いやすさと容量を実現している。

(1) 安心して運転できるワイドな視界

フロントウィンドウは18.9°の広い前方上方視界を実現し、信号待ちでの信号や標識の確認が容易になっている。また、狭い道への進入や前進駐車での車両感覚をつかみやすくするために、ベルトラインを前モデルより低くして斜め前下方視界を良くし、更に、ドアミラーを大きくして取り付け位置を下方に移動し、特に交差点右折時などにおけるドアミラー越しの横断歩行者の確認をやすくしている。

(2) 運転席まわりの収納性

グローブボックス前面には、リッドを閉めたままでA4サイズの雑誌などを入れられるマガジンラックを装備した。このマガジンラック部の奥には、車検証のほかCDが入る約7Lの容量のグローブボックスを備えている (Fig.7)。

ハンドバッグなどを置ける便利なスペースとして、センターコンソールトレイを装備した (Fig.8)。カップホルダのほか、トレイに付属のフレキシブルチップ (仕切り板) をセットすることにより小物の収納が可能になる。また、メーカオプションでAUXジャック (外部入力端子) を設定し、携帯オーディオからの音楽を楽しむことも可能にした (Fig.9)。



Fig.9 AUX Jack

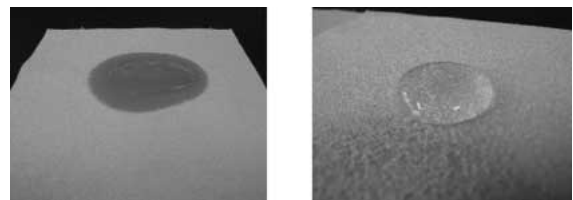
4.7 快適な室内空間

室内空間では、清潔で気持ちの良い快適性を追求した。

(1) クリーナブルシート

シート表皮には、コーヒー、ジュース、油、ケチャップなどの液体汚れがふき取りやすく浸透しにくい「クリーナブルクロス」を開発し、採用した (Fig.10)。

該表皮は、フッ素系撥水・撥油剤 (パーフルオロアクリレート) を採用し、パーフルオロアルキル基 (以下、Rf基) の配合量をアップすることにより、大幅な撥水性能の向上を実現している。また、繊維と接着するアクリルグループにビニル基を混合して、Rf基と繊維との接着力を強化することにより、Rf基を倒れないようにして、長期間の性能維持が可能な耐久性能を確保した。



[ Oil : General Cloth ] [ Oil : Easy Clean Cloth ]

Fig.10 Cleanable Cloth

## (2) アレルバスター<sup>®</sup>搭載フィルタ

フルオートエアコンには、スギ花粉やダニの死骸などのアレル物質やウィルスなどを捕捉し、それらを不活性化するフィルタを装備している。このフィルタは抗菌、防カビ効果も発揮する。

## (3) 消臭天井

天井の生地に光触媒による消臭機能を持たせ、タバコの臭いやホルムアルデヒドなどの成分を吸着して分解・消臭する。その効果は半永久的に保たれる。

### 4.8 ダイナミック性能・操作性

前モデルに対し大幅な軽量化を行いながら、「運転のしやすさ」と「安心感のあるダイナミクス性能」を実現するために、①ジオメトリ/コンプライアンス特性の最適化、②サスペンション取り付け部の高剛性化と剛性バランスの最適化、③ボデーへの振動入力低減に注力した。

#### (1) 構造と特徴

##### ① フロントサスペンション・ステアリング

フロントサスペンションにはマクファーソン式ストラット形式を採用した (Fig.11)。



Fig.11 Front Suspension

ロアアームは1枚板のプレス成型とし、ボールジョイント、後側ブッシュの圧入構造を採用して、剛性を確保しながら前モデル比で約3kgの軽量化を実現した。また、ロアアーム後側ブッシュのスグリの向きを車両斜め方向に配置することで、前後コンプライアンスステアをアウト方向に近づけ、安定性と応答性能を向上させた。

スタビライザについては、ロール時のスタビ反力により発生するキングピン廻りのモーメントを考慮し、コントロールリンクの配置を最適化することで、ステアリングの戻り、フリクション感を改善した。更に、国内SPORT・欧州向けには、スタビライザブッシュの下側に鉄板をモールドすることでスタビ効率を向上させ、スタビサイズを抑えながら狙いのロール剛性を実現させた。

ステアリングシステムには、シャフトと直交にモータを配置した新開発のコラム式電動パワーステアリングを採用した。また、高出力で慣性の小さいブラシレスモータの採

用により、パーキング時の操舵力を20%低減、かつフリクションも5%低減し、最適なステアリングフィーリングを実現した。

##### ② リヤサスペンション

リヤサスペンションにはトーションビーム式サスペンションを採用した (Fig.12)。



Fig.12 Rear Suspension

これは前モデルと同じ形式であるが、構造の最適化により同等の剛性を確保しながら、優れたダイナミクス性能を実現するとともに、前モデル比で約9kg (国内SPORT, 欧州向けは約7kg) の大幅な軽量化を実現した。

トーションビームはビームの配置・断面形状の見直しとロール剛性を確保しながらビーム板厚を従来比2.5mm (SPORT, 欧州向けは1mm) 薄くした。また、アクスル取り付け位置をトレーリングアームの上のブラケットから末端に取り付けたプレートに変更し、オフセットを0に近づけるとともに、スプリングシートをビームとトレーリングアームを繋ぐ形で配置することでトー剛性・キャンバ剛性を確保しながら軽量化を行った。更に、トーションビームを別体のブラケットを介してボデーフレームに取り付けていたものを、ボデーフレームに直接取り付ける構造に変更し、サスペンションとボデーの取り付け剛性を確保しながら軽量化を行った。

ハブベアリングについては、第3世代ハブを採用し、アクスルの剛性を確保しながら軽量化を行っている。

1.5°のネガティブキャンバを採用することで、リヤグリップを向上させると同時に、ロールステア(トーイン量)を増加させた。

#### (2) 達成性能

##### ① 操縦安定性

前述のように、各サスペンションブッシュの特性を方向毎に最適な値に設定し、更に取り付けるボデー側の剛性を高めることで、応答に優れ、かつリニアでコントロール性に優れたハンドリングを実現した。まさに、“Zoom-Zoom”な操縦安定性を実現できている。Fig.13に応答のゲインと、ゲインのリニアリティの関係を示した。該図より、新型デミオは高い次元で両立できていることが判る。

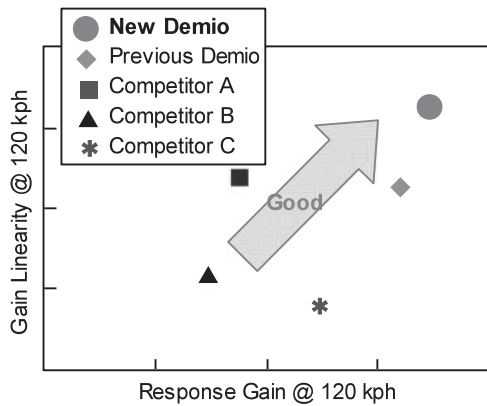


Fig.13 Response Gain Characteristics

また、新開発の電動式パワーステアリングの特徴を最大限に引き出し、パーキング時には低い操舵力で取り廻し性が良く、高速走行時にはしっかりとした手応えで、ドライバに安心感を与えている (Fig.14)。更に、細心のチューニングを施し、電動式特有の人工的なステアリングフィールを払拭し、極めて自然で滑らかな操作感を達成した。

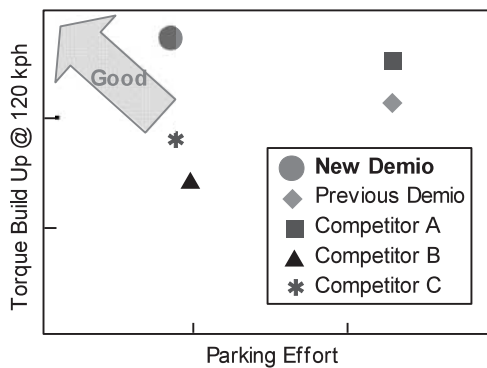


Fig.14 Steering Effort Characteristics

② 乗り心地性能

新型デミオは、操縦安定性と乗り心地を高い次元で両立した。軽量化の恩恵を活かしてサスペンション特性をきめ細かく最適化し、また、サスペンションからの入力をしっかりと受け止める高いポデー剛性を実現し、マツダ車の伝統である優れたフラット感を継承しながら、ゴツゴツした振動を抑制し、優れた乗り心地性能を実現した (Fig.15)。

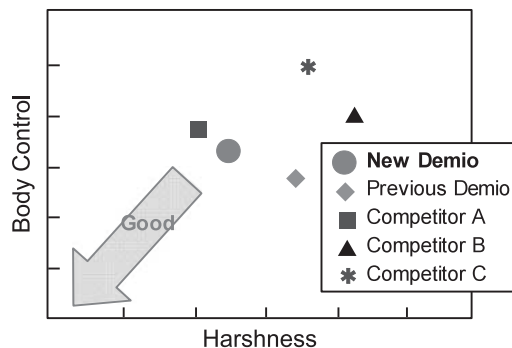


Fig.15 Flat Ride vs. Harsh Ride

4.9 ブレーキ性能

ブレーキについては、安心して操作できる性能を目指して開発した。

ペダル比を小さくし、マスタシリンダ径を 23.8mm から 20.6mm へ小さくし、同一ペダル踏力におけるブレーキブースタ入出力を低くすることで、ダッシュパネル変形などによるペダルストロークロスを低減している。その結果、ペダルの踏み込み量に応じてリニアに減速する高いコントロール性、そして、いざというときには大きな制動力を発揮する安心の制動性能を実現している。更に、フロントブレーキのパッドとディスクの摩擦によって生じる「引きずりトルク」の低減 (前モデル比約50%減) は、燃費性能の向上に寄与している。

5. おわりに

新型デミオは、初代がコンパクトカーの新機軸を切り開いたように、「コンパクトカーとは何であるか」をグローバルな視点で開発しており、コンパクトカーのあるべき姿を提案している。「見て乗りたくなる」「乗って楽しい」「また乗りたくなる」を体現したと自負しており、一人でも多くのユーザにすばらしさを実感していただきたい。

著者



水野成夫



本藤雅彦



奥田憲一



日下勇樹



村松健二

特集：新型マツダデミオ

2

## 新型マツダデミオのデザイン Design of All-New Mazda Demio

前田 育男<sup>\*1</sup>

Ikuo Maeda

### 要 約

グローバルな市場で受け入れられること、かつ次世代マツダブランドの柱の一つとして、新鮮で強い存在感を持たせること。これがこの車のデザインに課せられた2つの大きな役割だった。この役割を果たすべく、新しいコンパクトカーのデザインに挑戦したのが、ここに紹介する新型デミオである。この車は国内、欧州競合メーカーが凌ぎを削る、デザイン激戦区セグメントのセンターにマツダが初めて投入するグローバルコンパクトカーであり、ユニークでマツダらしい個性を持たせると同時に、多くの幅広いユーザに受け入れられ愛されることを目指した。デザイン開発では数多くのことに挑戦し、「凝縮のダイナミズム」をデザインテーマとするダイナミックな造形を創り上げた。次世代マツダデザインのトップバッターとしての価値を創り出すことができたと考えている。

### Summary

The new Demio has to be accepted in global markets and show the fresh and strong presence as one of the next generation Mazda brand pillar vehicles. Those are two major roles the design had to fulfill. To this end, we tried to develop the new compact car design. This vehicle enters into the category as a global compact vehicle where other domestic and European manufactures are engaged in fierce competition. Therefore, we aimed at expressing characters unique to Mazda and making sure that the vehicle should be recognized and loved by various customers. We took many design challenges to pursue dynamic shapes based on the compact dynamism as the design theme. We believe that this vehicle created the value as the first vehicle reflecting the next generation Mazda design.

### 1. はじめに

初代デミオは「小さく見えて、大きく乗れる“自由形ワゴン”」というキャッチフレーズで1996年にデビューし大ヒットした。コンパクトなミニバンというポジショニングは明解で、ゆとりの室内空間を素直に表現したBOXスタイルのデザインは新鮮だった。2代目はキープコンセプト、初代のコンセプトをキープしつつスポーティなイメージを持たせ、ブランドイメージとの融合を狙った。

この3代目をどうするか？コンパクトカーのあり方は、日本と欧州で大きく違っている。日本のコンパクトカーは室内空間の大きさを優先させ、背を高くして全長全幅を最

小に仕立てたデザインが主流。スポーティなシルエットを持つ欧州車と違い、背が高く不安定でグローバルな競合環境の中ではやや特殊な存在といわざるを得ない。

新型デミオでは、日本、世界のスタンダードになり得るスタイルを目指した。そこには現状の日本のコンパクトカーのあり方に一石を投じたいという思いもあった。コンパクトカーは、コンパクトに見え生き生きと機敏に走り回る姿が最も魅力的に見えるべきであると考えている。とはいえ、多くの制約によりコンパクトに作る、見せることは、大きく作るより遥かに難しい。その難題に挑戦したのが、新型デミオのデザインである。

\*1 デザイン戦略スタジオ  
Design Strategic Studio

## 2. デザインコンセプト

### 2.1 デザイン基本方針

マーケットの様々なニーズを考慮し、開発当初デザインの方向性を絞り込まず幅広いアイデアを検討した (Fig.1)。基本となるデザインのミッションは以下の2つである。

- ① グローバルに受け入れられること。
- ② 次世代マツダデザインを表現すること。

第一に、多くの提案についてグローバルに市場調査を行い、そこから得た数々の成果を融合することで市場の要求を平均的に満足させようと考えた。しかしその結果、個性もインパクトもないデザインに辿り着いてしまった。これでは、市場のリクエストには答えられても、次世代マツダは表現できないし競合力もない。

そこで、基本方針の見直しを行い「マツダらしさ」に重点を置くデザイン、つまり独自性を持ち、繊細かつダイナミックな「造形」と、柔らかな「表情」を融合させることで、グローバルに多くのユーザに愛されるデザインを追求することとした (Fig.2)。

### 2.2 デザインコンセプト

凝縮・洗練されたダイナミズムを表現すること。これが、このデザインの狙いである。マツダデザインDNAであるアスレティックな「動き」の表現を更に進化させ、同時に

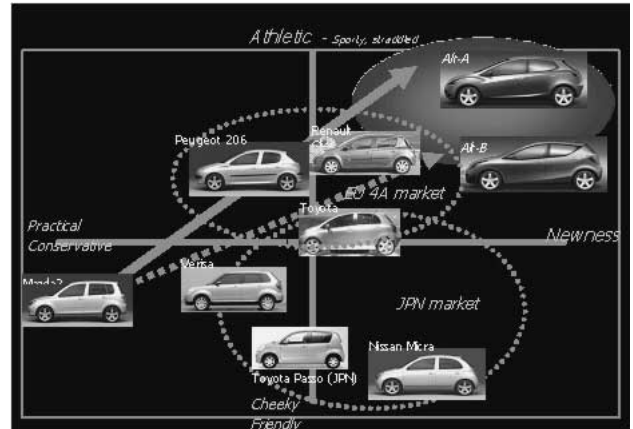


Fig.2 Positioning Map

精度の高さを感じさせる造形の作り込みを行った。

デザインコンセプトは「Exquisite & Dynamic」。

エクスクイジットとは、「精巧で練り込まれ、考え抜かれた美しさ」を意味する。すなわち、デザイナーがただ思いに任せて描くのではなく、すべてのラインや面処理などのデザイン表現、室内空間との関連を見据え、「動き」と「抑制」のバランスを考え抜いたコンパクトカーらしい「凝縮感」を感じる造形表現を目標とした。凝縮という行為は、日本固有のものづくりのアプローチであり、ここに我々のアドバンテージがあると考えたわけである (Fig.3)。

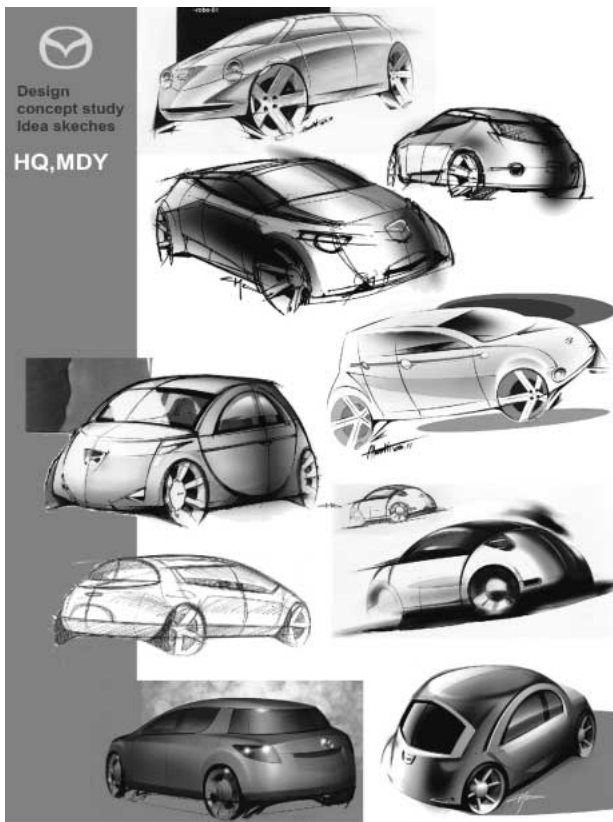


Fig.1 Idea Sketches



Fig.3 Exterior Theme Sketches



### 3. エクステリアデザイン

#### 3.1 エクステリアデザインテーマ

エクステリアデザインは、次世代マツダデザインを表現するため、デザインDNAであるアスレティック表現を進化させ新しい「動き」の表現を追求した。

シルエット、ライン、光の3つの「動き」のコンビネーションで、コンパクトカーとは思えないダイナミックさと多彩な表情を創造することで、止まっても今にも動き出しそうな躍動感あふれる造形を実現。軽快で強い前進感のあるウェッジシェイプのプロポーション、Aピラーの前後でぎゅっと絞り込まれた極めて立体的な造形、RX-8を彷彿とさせるフロントフェンダアーチからポデーショルダに繋がる特徴的なキャラクタラインが、このデザインのキーフィーチャといえる (Fig.4)。



Fig.4 Front and Rear Quarter View

#### 3.2 プロポーションと居住空間

基本のシルエットは、スリークで軽快！加えてタイヤが踏ん張って安定感のある、シンプルで明快／普遍的なもの (Fig.5)。

現代の安全性能を確保するために、最近の競合車が大きくなっていく中で、最大限オーバハングを短くし、コーナを切り落とすことで、クォータからのシルエットをコンパクトで軽快、かつ安定感溢れるものとした。この基本のシルエットを大切にしきちんと作り上げることが、きびきびとしたコンパクトカーらしさを生み出し、デザインの陳腐化を防ぐ、つまり長く愛されるデザインの基本となると考えている。



Fig.5 Proportion

#### 3.3 造形，質感表現

我々デザインチームは、この造形に精緻で独特な質感を持たせた。

ひとつの動きから他の動きに移行する「繋がり的美しさ」を追求する。それから、繊細で変化に富んだ「光の質感」を自然でリニアに変化させるなど、ダイナミックな造形の中に、洗練された豊かな表情を与えることで、造形の「動き」「表情」をより多彩なものにした。ここは特に力を入れたところで、マツダデザインの造形レベルの高さを示すつくり込みができたと思っている (Fig.6)。



Fig.6 Surface Quality

#### 3.4 SPORTエクステリアデザイン

SPORTのフロントデザインは、よりスポーティ度を高めるため、スタンダードグレードに対して全長を若干延ばし立体／キャラクタラインとともにセンターフォーカスで伸びやかなスピード感あふれるデザインとした。フロントバンパ下端に、強い光を受けさせることにより視覚的な重心を下げ、安定感のあるシルエットを作り出し、加えてサイドスポイラ、リヤスポイラを装着しスポーティさを強調した (Fig.7, 8)。



Fig.7 SPORT Theme Sketch



Fig.8 SPORT Front View

## 4. インテリアデザイン

### 4.1 インテリアデザインテーマ

インテリアデザインは平板な処理の多いこれまでのコンパクトカーとは一線を画す、しっかりとした厚みと動きの強い立体的なフォルムを持たせた。

タイトながら視覚的な広がりを感じさせるインテリア空間を実現するため、インストルメントパネル（インパネ）はセンターからピラーの根元（外側）へ抜けていく強い動きと、アッパーとロアに分割した立体的な構成によって「空間の抜け」を表現した。加えて視界の良さを追求したAピラー形状、低いベルトラインにより、広々とした軽快な雰囲気を生み出すことができた。一方センター部には強い量感を持たせ、頼もしい安心感を表現した（Fig.10）。

全体のイメージは、ブラックを基調としてシルバーのアクセントを効かせたコントラストにより、スポーティで個性的なテイストと楽しさを演出する一方、円形を基調とした個性の強いディテールデザインによって、フレッシュで愛着の持てる雰囲気を持たせている（Fig.9）。



Fig.9 Interior Theme Sketch



Fig.10 Interior Design Theme

### 4.2 心地よい空間

先代より40mm低いベルトライン高さ、適正なAピラー位置により、前席からの視界は非常に良く、乗った瞬間から違和感なく運転できるイージーなフィールを持つ。前述のインパネ造形の抜けの良さ、シートの薄さも開放感を演出するのに効果的だった。

一方力強いインパネセンター部、適度に厚みのあるドアトリムによって、上質で安心感のある空間をつくり出せた。リヤシートは、けっして必要以上に広くはないが、ヒップポイント（着座位置）、ピラー位置、フロントシート下部の空間づくりによって、外から見た印象とは全く違うゆったりとしたスペースを持っている（Fig.11）。



Fig.11 Interior Space

#### 4.3 シンプルな機能レイアウト

インパネシフトの採用に加え、使用頻度の高いスイッチ類をなるべくドライバーの近くに置くデザインとし、センターコンソールの圧迫感のない範囲だけ飛び出させた。またオーディオはスイッチ個数を減らし、一目でわかる使いやすさを狙った。インパネシフト含め、コンパクトに使いやすい操作性を実現したデザインとしている (Fig.12)。



Fig.12 Interior Layout

#### 4.4 SPORTインテリアデザイン

SPORTのコックピットにはブラックアウトメータを採用し、質感を上げるとともにスポーティな演出を行った (Fig.13)。



Fig.13 SPORT Meter

### 5. カラー&マテリアル

#### 5.1 カラーデザインテーマ

女性比率の高いコンパクトカーのユーザにとって色揃えは非常に重要である。第一に世界中のどんな景色の中でも、パッとみて人々が振り向く、ダイナミックで新鮮、インパクトのあるデザインを狙うと同時に、コンパクトカーらしい楽しさを表現したいと考えた。基本の狙いは以下の通り。

① 色自体が目立つ (人目を惹く) こと。

② その色が、デザイン意図をきちんと表現すること。  
③ 晴れ、曇りなどの光の状態にあまり左右されないこと。

#### 5.2 ボデーカラー

① ビビッドでスポーティな2色 (レッド, ブルー)  
② アイキャッチでBカーらしいトレンドカラー3色 (ライトグリーン, ライトイエロー, ライトレッド)  
③ 質感が高くシックなトレンドカラー3色 (ライトブルー, ブラウンブラック, ダークグレー)  
加えて定番色4色という組み合わせで計12色、多彩な印象を持たせた (Fig.14)。



Fig.14 Body Color Line Up

テーマカラーは、スピリテッドグリーンとした。

この色は、ビビッドな色揃えを持つコンパクトカー競合車の中でもひと際ユニークなもので、我々としてもこの選択はチャレンジだった。どんな環境下でも目立って印象に残ること、車のデザインテーマである微妙な陰影をきちんと表現できること、この両立ができる色でありテーマカラーとして最適だと考えた (Fig.15)。



Fig.15 Exterior Theme Color

5.3 インテリアカラー

シートファブリックは4種類、豊富なバリエーションを設定した。ブラック基調でスポーティなイメージを基本とし、以下の4タイプを採用した (Fig.16)。

- A-シンプルでベーシックなもの
- B-カジュアルながら質感の高いパターン布
- C-モダンで明るい質感の高い織物+パイピング
- D-立体感の強い織物+パイピングで強いスポーツ性を感じさせるもの

デザインメインテーマとして開発したのがタイプCで、明るいシート布のコントラストが、シャープでモダンな印象を強調している (Fig.17)。

日本のコンパクトカーの世界に一石を投じるだけでなく、競合ひしめくグローバルコンパクトカーの世界でそのリーダーに成り得ると確信している。

著者



前田育男



Fig.16 Interior Color and Fabric



Fig.17 Interior Theme

6. おわりに

軽量・コンパクトというこの車の狙いに合致した「凝縮感溢れる」デザインを創ることができたと思っている。マツダのデザイナーと熟練したモデラーの技によって作りあげた完成度の高いフォルムは、国内外から高い評価を得、デザインに与えられる多くの賞を頂いた。

デザイン、エンジニアリング、マニファクチャリングなどチーム全体の力を結集することで実現したスタイリングは、グローバルに受け入れられるポテンシャルを持ち、

特集：新型マツダデミオ

3

## 新型マツダデミオのパッケージング Package of All-New Mazda Demio

豊田 稔<sup>\*1</sup> 伊藤 晃<sup>\*2</sup> 福井 信行<sup>\*3</sup>  
 Minoru Toyota Akira Ito Nobuyuki Fukui  
 鈴木 崇<sup>\*4</sup> 西山 雄気<sup>\*5</sup> 三田村 信雄<sup>\*6</sup>  
 Takashi Suzuki Yuki Nishiyama Nobuo Mitamura

### 要 約

デミオは、初代、2代目と、優れたスペースユーティリティを持つ、ミニワゴンとして高い評価を得た。今回3代目となる新型デミオは、「デザイン」「扱いやすさ（運転のしやすさ）」「経済性（燃費のよさ）」という、コンパクトカーに求めるお客様のニーズの本質に答えることに注力した。更に、ユーザの中心となる女性のニーズに配慮し、“運転のしやすい視界とコンパクトサイズ”、“体格差に配慮した運転姿勢と操作系配置”“使い勝手のよい気の利いた小物入れ”“清潔感のある気持ちよい室内”を、開発の注力点とした。本稿では、開発注力点の具体策に加え、それらの実現に重要な役割を担うシートと、クラフトマンシップの取り組みについて紹介する。

### Summary

The first and second generation Demio is highly praised as a compact wagon with excellent space utility. The all-new third generation Demio has focused to satisfy customer's nature of needs on compact cars: “styling”, “maneuverability (easy-to-drive)”, and “economy (great fuel efficiency)”. Furthermore, it focused to develop “good visibility within compact body”, “appropriate driving position and accessory layout for various body sizes”, “well-thought-out and ingenious storage spaces”, and “clean and comfortable cabin”, considering needs of all-new Demio’s main customer group, women. This paper describes specific measures of developing above focus items, and seat and craftsmanship approaches, which are important to realize above items.

## 1. はじめに

コンパクトカー市場は、グローバルでの顧客ニーズの多様化に呼応し、様々なボデースタイルが存在する激戦区である。一方、社会環境は、地球環境問題への意識の高まり、原油の高騰など、経済性への要求は益々高まりを見せている。新型デミオでは、ターゲットを若者、中でも独身女性に絞り、車を「パーソナルな自分自身の所有物」と捉える彼女達に、コンピューターとしての利便性や経済性の提供を狙って開発した。そこで、初代、2代目と続いた「ミニワゴンコンセプト」を見直し、コンセプトを「パーソナル・スマート・コンピューター」とした。

## 2. パッケージングの狙い

新型デミオは、お客様が重要視する、「デザイン」「扱いやすさ（運転のしやすさ）」「経済性（燃費のよさ）」の3点を、高いレベルで実現するパッケージを目指した。車両サイズは、コンパクトでありながらも、室内には広々感を持たせ、スタイリングは、ダイナミックな動きのあるスタイリッシュなデザインの実現を狙った。また、ユーザの中心となる女性の声を取り入れた、気の利いた装備・収納や、シンプルでスマートなクラフトマンシップ、清潔感ある室内の実現を狙った。

以下に、これらの施策を具体的に紹介する。

\*1, 2 企画設計部  
Basic Design Dept.

\*4~6 装備開発部  
Interior & Exterior Components Development Dept.

\*3 車両実研部  
Vehicle Testing & Research Dept.

### 3. ダウンサイズした車両サイズと運転のしやすさ

前モデルから100kgの軽量化による、燃費、運動性能向上、更に、運転のしやすさを実現するため、前モデルから車両サイズをダウンサイズした。更に、取り回しのしやすさ、運転のしやすい視界や、体格差に配慮した運転姿勢などの機能と、スタイリッシュで、ダイナミックなスタイリングを、高度にバランスさせることに注力し開発した。

#### 3.1 外観諸元

前モデルから、全長を40mm短縮し、取り回し性の向上や、軽量化につなげた。更に、前モデルから全高を55mm短縮し、コンパクトカークラスでは最も低い全高とする一方、全幅は15mm拡大した。これにより、一目でデミオとわかる、“Zoom-Zoom”なロー&ワイドなスタイリッシュフォルムを実現した (Table 1)。

Table 1 Exterior Dimension

	New Demio	vs. old model	Vehicle A	Vehicle B
Overall length (mm)	3885	-40	3750	3725
Overall width (mm)	1695	+15	1695	1665
Overall height (mm)	1475	-55	1520	1550
Wheelbase (mm)	2490	0	2460	2440

#### 3.2 運転のしやすさ

##### (1) 周囲を確認しやすい視界

女性パネラーによる運転評価を実施し、ストレスを感じやすい運転シーンと車両の部位を特定した。その結果を分析し、周辺を確認しやすい運転視界を実現するため、様々な施策を織り込んだ。

次の3点は、新型デミオに採用した視界の特長である。

- ① フロントウインドの上下の視界角をクラストップの25.4°とし、停車時の信号や標識確認を容易にした。これは、ドライバに安心感を与えると同時に、広々感も与えている (Table 2, Fig.1)。
- ② フロントピラー部のベルトラインを前モデルから40mm低くし、かつアウトミラーのサイズや位置を最適化し、斜め前方の視認性を向上させた。これにより、狭い道や交差点での横断歩行者を確認しやすい視界を確保し、日常での取り回し性を向上させた (Table 2, Fig.1)。
- ③ リヤウインドやリヤピラー形状、リヤシートヘッドレスト形状を最適化し、後方の死角を低減した。特に鞍形ヘッドレストの採用は、視界障害物をなくし、後方視界をすっきりとしたものとしている。

これらの開発においては、仮想の車両と走行環境を再現した、バーチャル技術を積極的に活用することで、様々な走行シーンで視界に影響を与える部位を特定し、定量的な目標設定と検証を可能なものとした (Fig.2)。

Table 2 Visibility Dimension

	New Deimo	Vehicle A	Vehicle B
Front visibility angle (°)	25.4	22.3	24.4
Beltline height (mm)	354	372	401

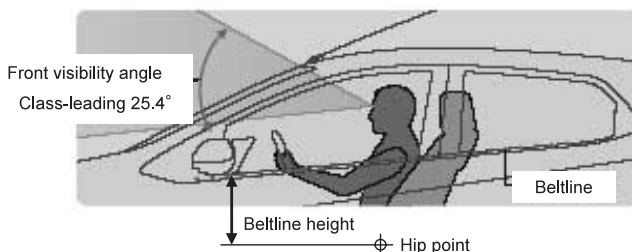


Fig.1 Front Visibility Angle and Belt Line Height



Fig.2 Virtual Simulation of Driver's Visibility

##### (2) ドライビングポジション

ドライビングポジションは、前モデルで好評であったシート、操作系配置を進化させた。

グローバル市場での体格差を考慮し、小柄な女性から大柄な男性まで、最適な運転姿勢がとれるドライビングポジション調整範囲とした。ステアリングは上下50mm調整できるチルト機構を採用し、シートでは、上下55mmのリフトによる高さ調整幅と、250mmの前後スライド量とした (Table 3)。

操作系配置においては、ステアリングは上肢のリンク解析により導き出した位置を基に、力の出しやすい最適位置に設定した。また、シフトレバーとパーキングレバーは、ステアリングからの持ち替え負担の軽減を狙い、手の届きやすい位置へ配置した。その結果、シフトレバーはインパネシフトを採用し、パーキングレバーは、前モデルの車両中央配置から、ドライバ席に43mmオフセットさせた配置に変更した。

Table 3 Position Adjustment Amount

	New Demio	Veh. A	Veh. B	Veh. C
Steering Tilt (mm)	50	26	42	32
Seat Lifter(mm)	55	43	35	46
Seat Slide(mm)	250	242	246	239

### (3) 回転半径

取り回しのしやすさと回転半径は、密接な関連がある。新型デミオでは、取り回しのしやすさを提供するため、フロントフレーム断面の見直しを行い、14"タイヤ車の回転半径を、前モデルから0.2m短縮し、4.7mとした。

また、極低速時のステアリング操舵力を軽減し、狭い道や駐車での扱いやすさを向上させた。

## 4. シート

新型デミオでは長時間運転でも疲れにくく、乗り心地のよさに貢献する「座り心地」、操縦安定性のよさに貢献できる「ホールド性」の両立を狙い開発した。

更にシートレバー操作性を向上しながら、共通化、軽量化を実現した新型フレームを初めて採用した。

### 4.1 快適な運転姿勢とサポート性

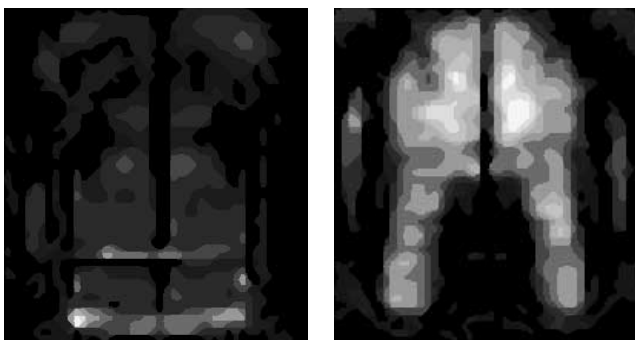
#### (1) 長時間ドライブでも疲れにくい姿勢支持

新型デミオでは腰椎部分の支持をしっかりと確保し、シートバックに対する上体の接触面積を十分にとることで、上体全体をバランスよくサポートするようにした。更にアテンザ同等のクラスを超えたシートバック長さを確保することで、ゆったりとした座り心地と快適性を実現した。

シートクッションはヒップポイント下の座角を緩やかにすることで、バランス良く尻下をサポートし、大腿部から膝にかけて均一の体重を支持することで疲れにくい着座姿勢を実現した (Fig.3)。

#### (2) コーナリング時のホールド性とハンドル操作性の両立

シートバックサイズを十分にとり、ゆったりとした着座姿勢を実現しながら、肩部のウレタンパッド形状を薄くすることで、シート形状がハンドル操作に支障をきたさないような配慮を織り込んだ。その一方で、腰部から骨盤部のシートバックボルスタの高さを十分にとり、またウレタンパッドを異硬度とすることにより、コーナリング時にもしっかりと乗員の上体移動をサポートできるようにした (Fig.4)。



Seat Back

Seat Cushion

Fig.3 Front Seat Pressure Distribution



Fig.4 Front Seat Back Holding Performance at Cornering

### 4.2 新型フレームによる最適構造化

#### (1) 新型フレームの特徴

取り付けブラケットを変動要素とし、スライドのアップチャンネルより上を固定要素と定義した共通化構造を採用した (Fig.5)。IQSスコアでトップレベルの実績があるスライドモジュールは、前モデルの機構を流用展開する一方、リフトモジュールは新規構造を採用し、トルクの伝達率を改善することで、女性でも楽に操作できる、軽い操作力を実現した。

#### (2) シートフレームの軽量化

フロントシートバックフレームには390MPa級、スライドチャンネルやリフトユニットにはともに590MPa級の高張力鋼板を使用し、板厚を最適化することでフレームの軽量化を図った。また、ナックルモジュール、クッションフレームの固定構造を改善することで締結部品の部品点数を削減した。これらにより、フロントフレーム1脚で前モデルのフレームと比較して、約1.5kgの重量低減を実現した。

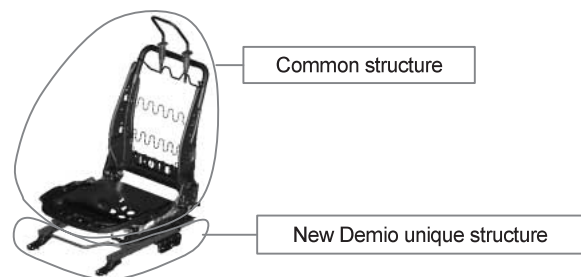


Fig.5 New Front Seat Frame

## 5. 小物入れ

ターゲットユーザである独身女性は、車内を自分専用のマイスペースと捉え、身近な箇所に荷物を置きたいという要望が強い。そこで、独身女性に対し、車の使用実態アンケートを実施した。その調査結果により得られた、車内常備品/持込品トップ50項目について、特にドライバーから手の届く範囲に収納スペースを確保するよう開発した。

特徴的な装備としては次のものがある。

(1) マガジンラック付グローブボックス

グローブボックスリッドには、マガジンラック機能をもたせ、パッセンジャはもちろん、ドライバからも手が届き、リッドを閉めたままでも、ガイドブックや地図帳が容易に取り出しできる構造とした (Fig.6)。



Fig.6 Glove Compartment with Magazine Rack

(2) センターコンソールトレイ

シフトレバーをインパネに、パーキングレバーを運転席側に寄せて配置することで、運転席シートと助手席シート間に、セカンドバッグが置けるコンソールトレイを設定した。更にトレイ前側には、カップホルダ、携帯オーディオ普及に対応した電源ソケット・AUX端子を配置した。また、付属のフレキシブルチップ (仕切り板) をセットすることで、カップや携帯オーディオ、または小物を整理して置くことができる構造とした (Fig.7)。



Fig.7 Center Console Tray

6. シンプルでスマートなクラフトマンシップ

新型デミオでは、マツダのクラフトマンシップの軸となる造り込み・機能美・カスタマーディライトを追求しながら、デザインスタイルの良さをサポートし、シンプルでスマートなクラフトマンシップを目指した。

6.1 感性工学、人間工学とバーチャル技術の応用

新型デミオでは、「インテリアの重視度」分析を行い、特に女性ユーザの感度の高い部位や領域に注力して効果的な質感の向上を図った (Fig.8)。また、「広々感」や「上質感」のように「感」と表現される感性の領域にも感性工学を応用し、求められる具体的な構造や仕様を織り込んだ。

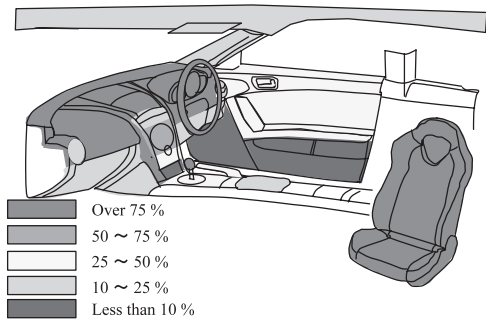


Fig.8 Priority of Interior Quality

更に、デザイン造形と材料、表面処理を効果的な組み合わせとし、その検証過程では、狙いの質感を実現するため、バーチャル技術を駆使したシミュレーションを積極的に取り入れた (Fig.9)。

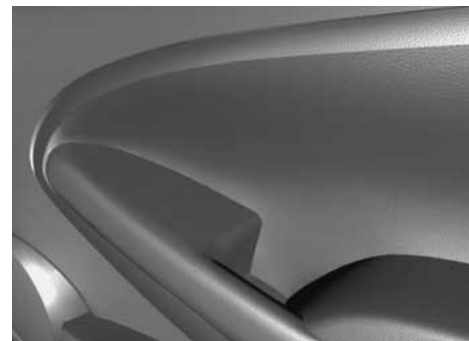


Fig.9 Virtual Evaluation of Door Trim

6.2 エクステリア

ボデーの美しさを最大限生かすために、サーフェスの繋がりを重視し、各部品間の合い沿いと精緻な仕上げに注力した。また大型でスタイリッシュなヘッドランプデザインをより美しく表現するため、ハウジングとの接着部である「シールライン」のスムーズ化、レンズ内部を目立ちにくくするためのローレットの入れ方、またアルミ蒸着やベセルの表面処理品質など、細部に亘るまで造り込みを行った。

フロントフェイスは、グリル内部が見えにくいようにフィンの断面構造を工夫し、同時に内部の処理も行った。またボンネットまわりがすっきりと見えるよう、ウォッシャーノズルはカウル内にレイアウトした。

リヤスタイルでは、リヤコンビランプのハウジングを赤色系にすることで、シール部分を目立たせない配慮を織り込み、美しいボデーとの一体感を追求した。またリフトゲートを電磁ロックによる開閉としてハンドルを排除したことで、機能的ですっきりとしたリヤビューを実現した。

6.3 インテリア

インテリアは、スタイリングの良さと広々感を両立させることをテーマに、感性工学に基づいた評価分析を行い、Aピラートリム、フロントヘッダの位置と形状の最適化を



追求した。検討には男女のパーソナルスペースに対する感覚の違いも配慮し、圧迫感がなく誰もが居心地よく感じるコックピットを実現した。

また、質感に対するお客様の感度の高いインパネ上面を、シンプルにすっきりと上質に仕上げるため、助手席エアバッグをシームレス化し分割線を排除した。表面処理は、光の反射特性を定量的に評価しながら、シボ形状や深さを慎重に決め、低VOC塗装を用いて適切な艶にコントロールすることで、品質感ある仕上げを行った (Fig.10)。



Fig.10 Instrumental Panel Surface Quality

メータにはシルバーリングとホワイトメータで効果的に目を引くデザインを採用 (Sportを除く)。インパネサイドのシルバー加飾材はパーチャル技術を用いてデザインし、ウインドウガラスへの反射を少なくして、運転の妨げにならないように配慮した。またオーディオ内や、ドアトリムのシルバー加飾など、シルバーパーツ全体の色味を統一し、シンプルな加飾の使い方を追求した。

ステアリングホイールまわりのコントロールレバーは、操作性と周囲の造形にマッチした機能美デザインを新しく採用した。ステアリングホイールも新しく断面形状やスポークの形状を検討し、握りやすい造形とした。革ステアリングでは、縫製ラインを握った時指にかからない位置に通すことで、些細な違和感も排除している。

女性の感度が高いシートファブリックには手触りのよい布を使うとともに、縫い合わせ部分の蛇行やしわ、柄ズレが起こらないよう、細かな管理を徹底した。また上級仕様には、効果的なステッチを施して、従来のコンパクトカーにはない、立体感と仕上げ品質の良さを実現した。

ドアトリムには、光沢のあるABS樹脂にシルバー素材を混ぜることで、傷付きにくく上質感のあるシルバー加飾を実現した。

また小物入れやポケットなど、室内でお客様が手で触れるすべてのパーツの端末処理・エッジ処理を徹底して行い、女性やお子様に対しても、安心感の高い手触りを実現した。

## 7. 清潔感のある気持ちよい室内

女性に感度の高い、清潔感ある気持ちよい室内を提供す

るために、次の装備を設定した。

### 7.1 イージークリーンシート

シート表皮に汚れ防止機能を採用し、飲み物などをこぼしたときでも簡単にふき取れ、汚れのしみ込みを防ぎ、清潔さを保てるよう開発した。布地表面ではなく、糸に撥水加工を施すことで、湿気の通過を妨げることなく、撥水・汚れ防止機能を実現した。

### 7.2 消臭天井

生活空間である車室内には、食べ物やタバコ、ペットによる動物臭など、あらゆる生活臭が発生する。この消臭天井は、そうした環境下でも快適な室内空間を保持する目的で開発を行った。

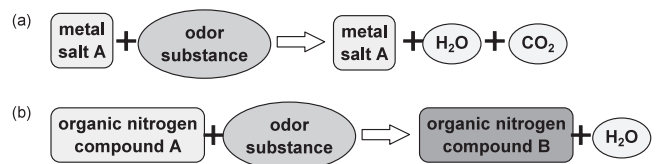
#### (1) 消臭機構

今回の開発では、上述の生活環境を想定し、食べ物 (玉ねぎ) 臭 (メチルメルカプタン) やタバコ臭 (アンモニア)、魚臭 (トリメチルアミン)、腐敗臭 (硫化水素)、シンナー臭 (酢酸) などの臭い物質に着目し、二つの機能を利用して、これらの消臭効果を実現した。

一つめは触媒機能によるものである (Fig.11 (a))。繊維に含まれる金属塩に臭い物質が吸着すると、その触媒効果によってこれらの臭い成分が分解される。更に、この金属塩は反応の過程で再生されるため、消臭効果を持続的に得ることができる。

二つめは化学反応による (Fig.11 (b)) もので、繊維に含まれた特殊な窒素化合物にホルムアルデヒドなどの有害物質が結合すると、化学反応によって無害な物質に分解される。また、化学反応による機構は反応性が高いため、消臭効果の即効性に優れている。

これら二つの機能を利用し、天井表皮に消臭機能を付加させた。



(a)By Metal Salt : (b)By Organic Nitrogen Compound

Fig.11 Odor Elimination Process

#### (2) 消臭効果

臭いの代表としてタバコ臭の消臭効果を検証した結果を Fig.12 に示す。車室内にタバコの煙を注入し、時間経過とともに官能評価を行い、それらの結果に対して消臭機能の有無でそれぞれ平均化した。官能評価は6段階で行っており、点数が低いほど臭いが少ないことを示している。これらの結果から、消臭天井を備えた車両の方が、備えていない車両より車室内に残っている臭いが軽減されていることが確認できた。

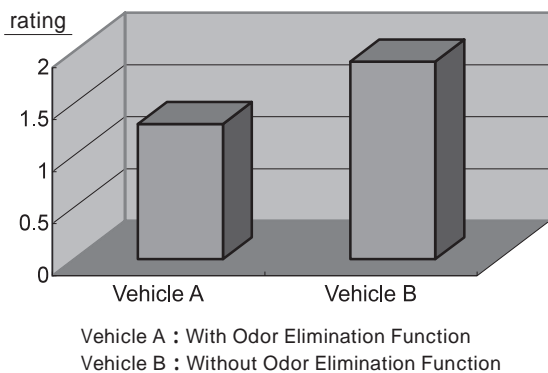


Fig.12 Comparison of Odor Elimination

### 7.3 エアコンマルチフィルタ

女性は特に空気質に敏感であることに着目し、新型デミオでは、セリングポイントの一つとして既に家電では好評な抗アレルギー機能を持つアレルバスター搭載フィルタを採用した。

このフィルタは、フィルタ上に捕集したアレルギーの原因となるアレルゲンを不活化し、アレルギーが発症しにくい室内環境を実現するもので、次のような特徴がある。

(1) アレル物質抑制作用

弱酸性のフェノール性水酸基をもつフェノール系ポリマーで空気を汚すダニの死骸やフン、花粉のアレル物質を包み込んでコーティングする (Fig.13)。

(2) 抗ウイルス作用

緑茶カテキンがウイルスを取り囲んでコーティングする (Fig.14)。

(3) 抗菌, 防カビ作用

酵素が細胞壁に働き掛け酵素が菌を取り除く (Fig.15)。

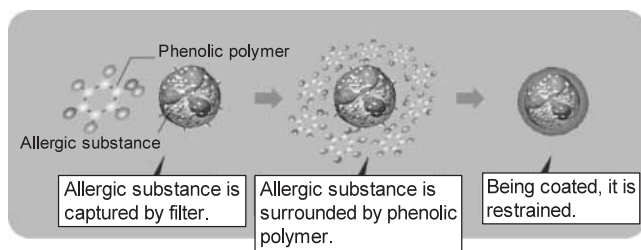


Fig.13 Allergic Substance Inhibitory Effect

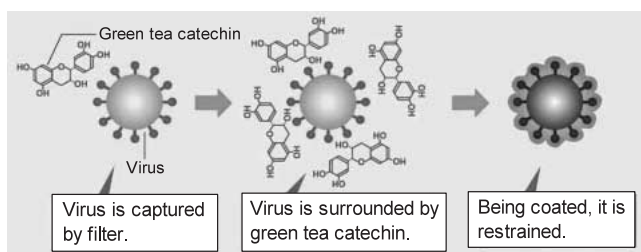


Fig.14 Virucidal Effect

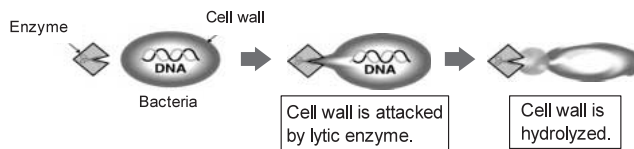


Fig.15 Antibacterial & Fungus Proofing Effect

なお、捕集したアレル物質 (花粉, ダニの死骸など), ウィルス, カビ菌, 浮遊菌は, その時点でコーティングされ, 抑制されるため, 万が一, 自動車の振動によりフィルタ下流側から再飛散した場合でも, 車室内の空気が汚れることはない。

## 8. おわりに

躍動感あふれるスタイリッシュなデザインと, シティコミューターとしての優れた使い勝手, 更に, 軽量化がもたらす経済性を, 高いレベルで両立させたパッケージングを具現化できたと考えている。グローバルな市場で, コンパクトカーの本質にこだわった商品魅力を実感頂けるものと確信している。

### 著者



豊田 稔



伊藤 晃



福井信行



鈴木 崇



西山雄気



三田村信雄

特集：新型マツダデミオ

4

## 新型マツダデミオのパワートレイン Introduction of All-New Mazda Demio Powertrain

前田 敏正<sup>\*1</sup> 古野 貴久<sup>\*2</sup> 栗田 淳右<sup>\*3</sup>  
Toshimasa Maeda Takahisa Furuno Junsuke Natsumeda  
世良 久<sup>\*4</sup> 西村 憲一郎<sup>\*5</sup> 松崎 俊幸<sup>\*6</sup>  
Hisashi Sera Kenichiro Nishimura Toshiyuki Matsuzaki

### 要約

新型デミオは、走る喜びと環境安全性能の調和を目指した「サステナブル“Zoom-Zoom”宣言」の第1弾の商品である。前モデル比約100kgもの軽量化を柱とし、熟成した既存パワートレインに新開発の自然吸気MZR1.3Lミラーサイクルエンジン（ZJ-VEM型）とマツダ初のCVT（自動無段変速機）をラインアップに加えることで、「環境と走り」性能を高次元で両立させている。ここでは、新たに採用したパワートレインの主要技術について紹介する。

### Summary

The new Demio is the first product which was developed under the slogan of the sustainable “Zoom-Zoom” aiming at balancing enjoyable driving and environmentally-safe performance. “Environment protection and driveability” is balanced to the maximum extent with various technologies, such as approximately 100kg weight reduction than its previous model, which is an important pillar of development, and addition of newly-developed natural-aspirated MZR 1.3L “Miller cycle” engine (ZJ VEM-type engine) and Mazda’s first CVT (Continuously Variable Transmission) to the powertrain lineup besides base engine which is an existing matured powertrain. This document describes such major technologies applied to the new Demio in details.

## 1. はじめに

マツダは2007年3月に、ブランド価値を向上していく技術開発の長期ビジョンとして「サステナブル“Zoom-Zoom”宣言」を策定した。すなわち、CO<sub>2</sub>削減など自動車産業が抱えるさまざまな課題に対応し、地球環境と交通環境のサステナブル（持続可能）な未来に向けた技術開発に取り組んでいくことを宣言したわけである。

その第1弾の商品として開発した新型デミオは、「Personal Smart Commuter」というコンセプトを掲げ、前モデル比約100kgもの軽量化を柱として、新開発の自然吸気MZR1.3LミラーサイクルエンジンとCVTを採用することにより、「環境と走り」性能を高次元で両立させた。

本稿では「前モデルからの主要向上技術」、「ミラーサイクルエンジンの概要」、および「CVTとの協調制御」について紹介する。

## 2. パワートレイン開発のねらい

### 2.1 開発のねらい

新型デミオの開発にあたり、「優れた環境性能の実現」と「軽快な走り感」を高次元で両立することを開発の狙いとした。

開発目標は以下の通り。

- (1) クラストップレベルの低燃費：10・15モード23.0km/L【1.3L/CVT車】
- (2) SU-LEVレベルの低エミッション（EM）性能：平成17年度低排出ガス基準75%低減レベル【全車】
- (3) クラストップレベルの走り感：Linear・Livelyの訴求【CVT車】

以上を実現化するために、「ミラーサイクル+CVT」を始めとするパワートレイン開発を行った。

\*1 パワートレイン開発推進部  
Powertrain Development Promotion Dept.  
\*5 ドライブトレイン開発部  
Drivetrain Development Dept.

\*2 エンジン設計部  
Engine Engineering Dept.  
\*6 パワートレインシステム開発部  
Powertrain System Development Dept.

\*3, 4 エンジン実研部  
Engine Testing & Research Dept.

2.2 パワートレインラインアップ

新型デミオのパワートレイン・ラインアップをTable 1に示す。前モデルに対して、新開発のミラーサイクルエンジン (ZJ-VEM型)、マツダ初採用のCVTを追加した。

全車「平成17年基準排出ガス75%低減レベル (SU-LEV)」認定を取得した。SPORT ModelのCVT搭載車と13C-V Modelは「平成22年度燃費基準+20% ( )」、15C ModelのCVT搭載車と13S/13C/13F Modelは「平成22年度燃費基準+10% ( )」を達成し、「グリーン税制 ( / )」に適合させている。

Table 1 Powertrain Lineup

Vehicle Model	Engine Type	Max.Power (kW/rpm) Max.Torque (Nm/rpm)	T/M	Drive Train	EM Rank	10・15 Mode F/C (km/L)	Green Tax.
Sport	ZY-VE (1.5L)	83kW/6000	5MT CVT	2WD	1.0 t	19.4	—
					1.25t	20.0	○
15C			5MT CVT		1.0 t	19.4	—
					1.25t	20.0	○
13C-V	ZJ-VEM (1.3L)	66kW/6000 120Nm/4000	CVT		1.0t	23.0	◎
13S	ZJ-VE (1.3L)	67kW/6000	4AT	e-4WD	1.0t	21.0	○
13C	5MT 4AT			2WD	1.0 t	21.0	○
			e-4WD	1.25 t	17.8	○	
13F	2WD		1.0t	21.0	○		

ピストンリングは、Topリング：1.0mm、2ndリング：1.0mm、オイルリング：2.0mmの薄幅リングを採用してライナーへの追従性を向上させている。ピストン形状も変更し、④2ndランド幅拡大によりランドボリュームを増やしてリング挙動を安定させ、⑤オイルリング溝のオイルドレン穴数と位置の最適化によりピストン裏へのオイル排出性を向上させている。以上の仕様によりガスシール性とオイル消費性を維持し、2ピースより安価な3ピースオイルリングを採用しながらBICの低張力化を実現している (Fig.2)

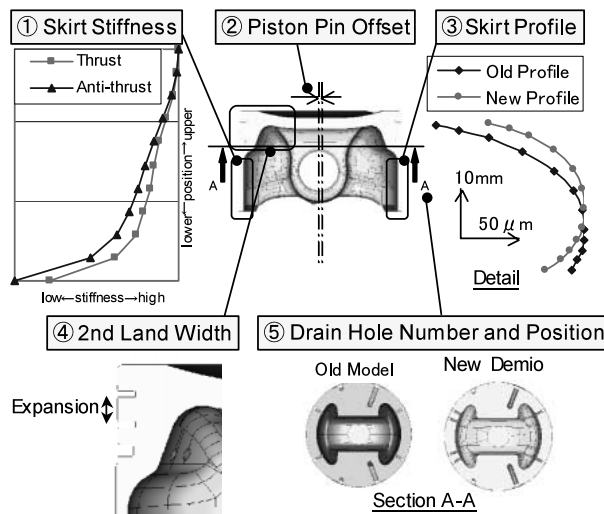


Fig.1 Modification of Piston

3. 前モデルからの主要向上技術

3.1 燃費向上技術

前モデルに採用してきた技術を熟成するとともに、更なる燃費向上技術を織り込んだ (Table 2)。ミラーサイクルエンジンおよびCVTは後述するとして、本章ではそれ以外の技術について紹介する。

(1) ピストン・ピストンリングの低抵抗化 (Fig.1)

エンジンの静粛性・ピストンの信頼性を確保しながらピストン~ライナー間の摺動抵抗を低減するために、①ピストンスカート剛性分布 (非対称剛性)、②ピストンピンオフセット量、③スカートプロフィールの最適化を行った。

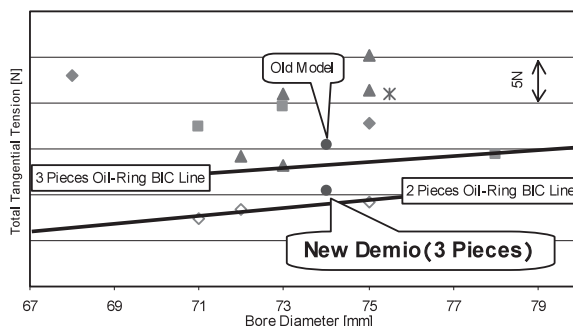
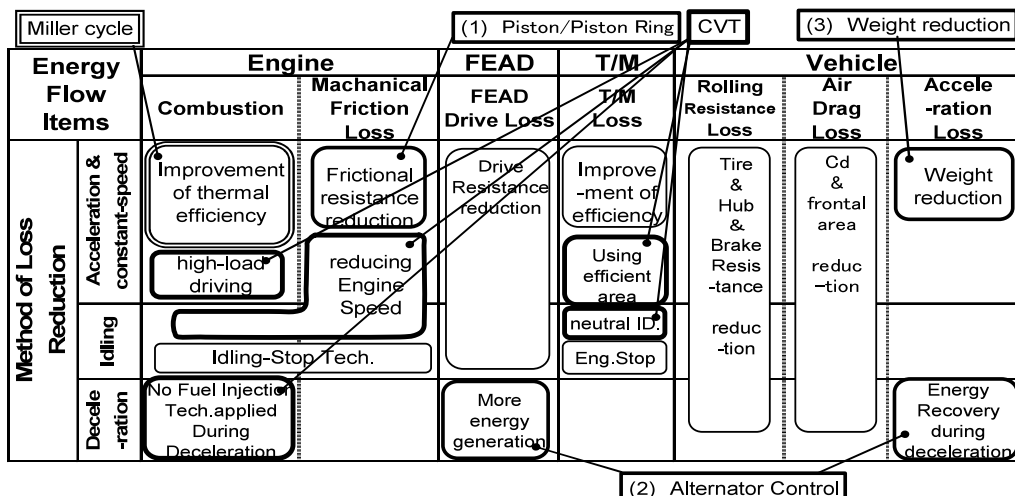


Fig.2 Benchmark Data about Total Piston Ring Tangential Tension

Table 2 Energy Flow Chart



(2) オルタネータ制御 (Fig.3)

減速エネルギー回生技術をオルタネータ発電制御に応用している。減速時に積極的な発電を行うことにより、従来減速時に熱エネルギーとして損失していた運動エネルギーを回生する。そのため、減速時以外ではオルタネータ発電電圧を抑えることができ、エンジンに対しロストトルクとなるオルタネータ発電負荷を低減できた。

またコントロールユニットによりバッテリー電圧および、バッテリーからの放電電流を計測し、バッテリー比重を予測することで回生時に最適なバッテリー充電状態に制御している。

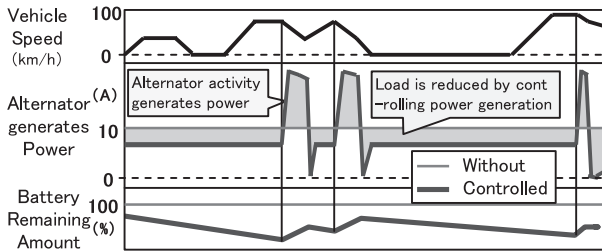


Fig.3 Alternator Electric Power During Acceleration/Deceleration.

(3) 軽量化

機能を維持・向上しつつ、パワートレイン全体で約10kgの軽量化を達成した。おもな内容は以下の通りである。

- ① 排気システム [ 5.0kg ] - エンジン直キャタのみでSU-LEVに適合し、Under Footキャタを廃止した(全車)、一部機種についてはプリサイレンサを廃止 (1.3L/2WD車) しメインサイレンサのみで排気音の低減を行った。
- ② クーリングシステム [ 1.7kg ] - フィンを効率アップした薄型ラジエータ及び薄型電動ファンを採用した。
- ③ バッテリー [ 2.2kg ] - バッテリーマネジメントにより、バッテリーのサイズダウンを実現した (2WD車)
- ④ その他クランクシャフトブリー [ 0.26kg ], Fresh Air Duct [ 0.17kg ] 等、グラム単位での軽量化開発を行った。

(4) トランスミッション・変速比の最適化

車両全体の軽量化に伴う余裕駆動力の向上を元にN/V比

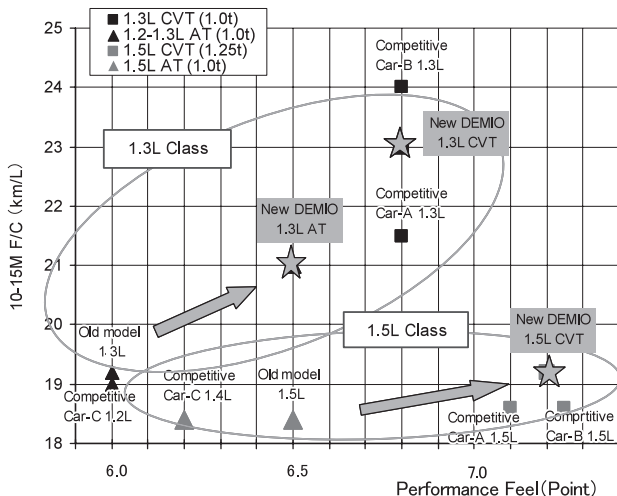


Fig.4 Balanced Performance-F/C

の最適化を行った。最終減速比を1ランク高めに設定することで燃費と走りの両立を図った (Fig.4)

3.2 エミッション低減技術

(1) エンジン直結キャタリスト

エキゾーストマニホールドからキャタベッド間の距離を約100mm短く (Fig.5) することにより、キャタのウォームアップ性能を向上させた。その結果、キャタの早期活性をはかり低エミッション性能を実現した (Fig.6)

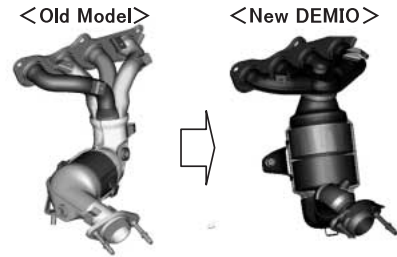


Fig.5 Close Coupled Catalyst

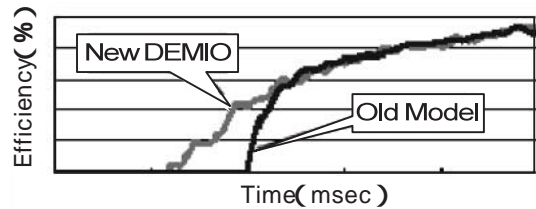


Fig.6 HC Catalytic Conversion Efficiency

(2) LAFS (Linear Air Fuel Ratio Sensor)

従来のO<sub>2</sub>センサ ( O<sub>2</sub>センサ) では、A/F (空燃比) がリッチあるいはリーン状態から「A/F=14.7」を横切ることによりA/Fを補正していたため、横切らない状態ではセンサ出力に変化がなく、緻密な制御ができなかった。LAFSでは実際のA/Fのずれ量からA/F補正量を決めるため、目標A/Fへの収束性が改善され過渡時のA/F挙動を正確に補正できる。その結果キャタ浄化率が最も高くなるA/Fに制御することができEMの改善を図ることができた (Fig.7, 8)

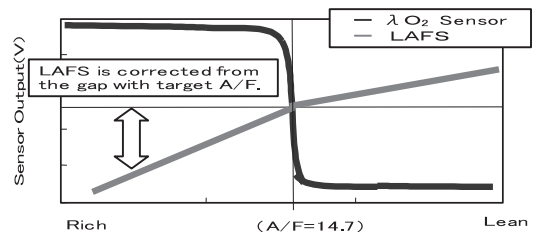


Fig.7 LAFS vs O<sub>2</sub>

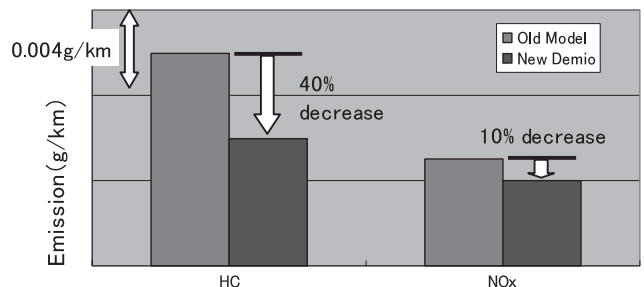
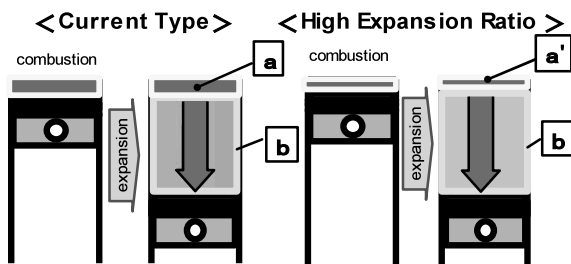


Fig.8 Emission Improvement

## 4. ミラーサイクルエンジン概要と採用技術

### 4.1 ミラーサイクルとは

熱効率は熱エネルギーが移動する相の温度差が大きいほど高い(熱力学第二法則)。すなわち、燃焼温度が高く排気温度が低いほど効率は高くなるので、燃焼開始時の燃焼ガスの体積(a)と排気開始時の体積(a+b)の比が高いほど効率が低いということになる。オットーサイクルでは「圧縮比=膨張比」のため圧縮比が高いほど熱効率は高くなるが、高くしすぎると圧縮行程でノッキングが発生してしまう。そこで、膨張比だけをより大きくして「圧縮比<膨張比」を実現したのが「アトキンソンサイクルエンジン」である。しかし、その実現手段が複雑なクランク機構であったため、そのサイクル理論を元に、比較的簡単な動弁系の工夫で実現したものが「ミラーサイクルエンジン」である。新型デミオでは「膨張比アップ“(a+b)/a (a +b) / a ”+ 吸気遅閉じ」によって、「圧縮比<膨張比」を実現している(Fig.9)。



■ Mechanism of Late Intake Valve Close ~ compression Cycle

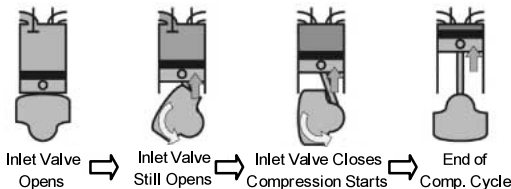


Fig.9 Miller Cycle Theory

### 4.2 自然吸気ミラーサイクルエンジン(ZJ-VEM)の概要

ZJ-VEM型の外観図をFig.10に示す。

Table 3に、ZJ-VEM型/ZJ-VE型/ZY-VE型の主要諸元比較を示す。



Fig.10 ZJ-VEM Engine Appearance

Table 3 Engine Main Specifications Comparison

Engine Model	Miller Cycle		Otto Cycle
	ZJ-VEM	ZJ-VE	ZY-VE
Displacement [L]	1.348	←	1.498
Bore Diameter [mm]	74.0	←	78.0
Stroke [mm]	78.4	←	←
Valve Train Mechanism	DOHC 16-Valves	←	←
Sequential Valve Timing	Intake	←	←
Compression Ratio	11.0 : 1	10.0 : 1	10.0 : 1
Max Power [kW/rpm]	66 / 6000	67 / 6000	83 / 6000
Max Torque [kW/rpm]	120 / 4000	124 / 3500	140 / 4000
Exhaust Emissions Regulations	SU-LEV	←	←

### 4.3 ミラーサイクル実現化手段と燃費性能

ピストン・クラウン形状変更(Fig.11)により、ZJ-VE型(10.0)に対してより大きな圧縮比(11.0=膨張比)を実現した。更に、吸気側カムシャフトのプロフィールを変更して吸気バルブの閉じタイミングを遅らせ(ABDC59°80°)、ノッキングを抑制しながら、ポンピングロスを低減、熱効率を高めた(Fig.12)。これにより、定常・過渡走行時ともに低燃費化を実現している(Fig.13)。

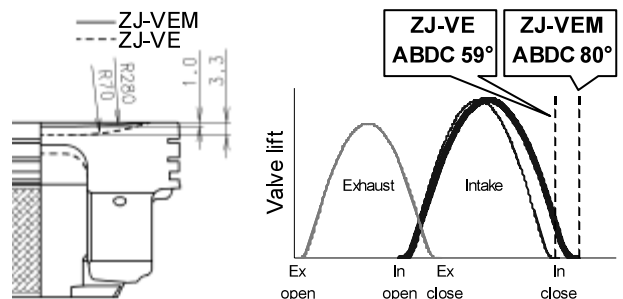


Fig.11 Piston Shape Fig.12 Valve Timing Comparison

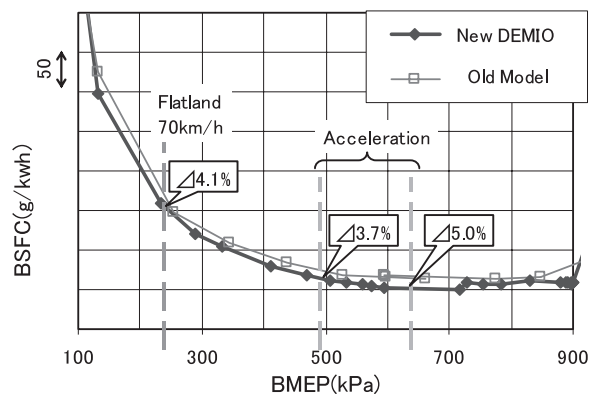


Fig.13 Fuel Consumption

### 4.4 ミラーサイクルの走り向上技術

#### (1) S-VT (Sequential Valve Timing)

吸気側に油圧式S-VTを採用し、カムシャフトの位相を連続的に可変させている。前モデルに対してスロットル全開領域のS-VT進角を拡大し、ミラーサイクル(吸気遅閉じ)に伴うトルクの低下を最小限に抑えた上、S-VTの作動範囲を高回転化(4,500rpm 6,500rpm)し、高回転域でのトルクを確保している(Fig.14)。

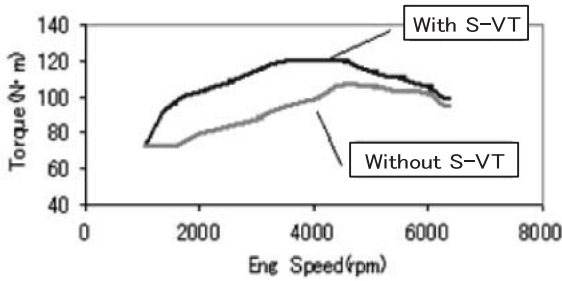


Fig.14 ZJ-VEM Engine Torque

(2) FAD (Fresh Air Duct)

吸気取込み口をエンジンルーム内(ヘッドランプ裏)からフロントグリル部に変更した(Fig.15)。これにより、走行時、積極的に外気を吸入させることで、停車からの発進時などにおいて、上昇した吸気温度の冷却効果で(Fig.16)、加速性能を向上することができた。

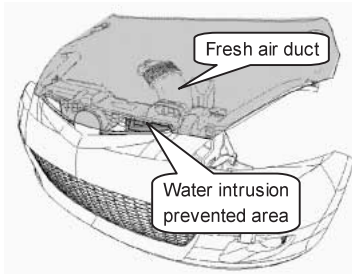


Fig.15 Structural Air-Intake

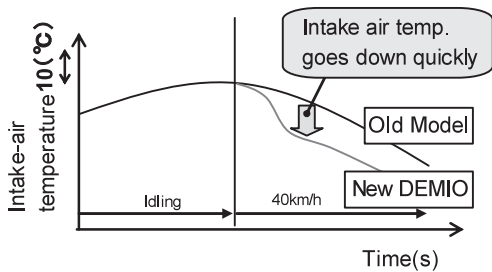


Fig.16 Intake Air Temperature Reduction Effect

5. CVT概要と車両とのマッチング技術

13C-V Model (1.3Lミラーサイクル)とSport/15C Model (1.5L)にマツダ初のCVTを搭載し、滑らかな発進・加速性能及び燃費性能の改善を実現した。

CVTの外観図(Fig.17)及び断面図(Fig.18)を示す。

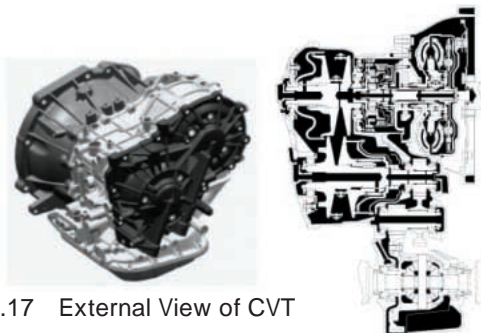


Fig.17 External View of CVT

Fig.18 Cross Section of CVT

本CVTの機構は油圧制御でプライマリプーリをストロークさせ、ベルトの接触半径を調整することでリニアにプーリー比(High/Low)を変速させるものである(Fig.19)。

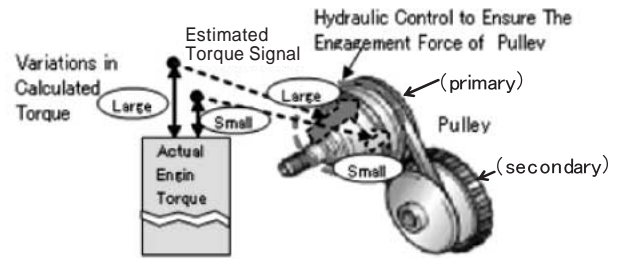


Fig.19 Relationship between Engine Torque Signal and CVT

5.1 CVT制御による燃費向上

ニュートラルアイドル制御の採用、シフトパターンの最適化、エンジントルクに応じたCVT油圧制御の最適化、L/U(Lock up)領域の拡大により、燃費向上を図った。

(1) ニュートラルアイドル制御

信号待ちなどでDレンジのまま停車している時、CVTが自動的にニュートラル状態に近づけるとともに、エンジン回転数を低く抑えることにより、エンジンの負荷/燃料消費を軽減し、燃費の向上を図った(Fig.20)。

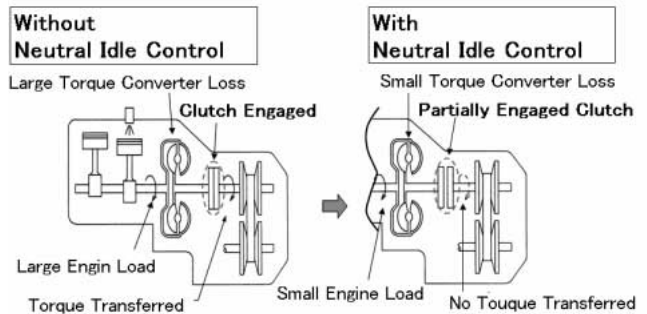


Fig.20 Neutral Idle Control

(2) シフトパターンの最適化

シミュレーション計算にて、エンジン+CVT効率及び車両の加減速を考慮した燃費最良領域を使用するベース変速マップを作成し、後述のオートパワーモード制御と合わせ、燃費/走りの性能を両立させる変速マップを作りこんだ。

(3) L/U(Lock Up)領域の拡大

無段階変速機能による変速時のL/U on-off動作が不要、変速ショックが出ない、というCVTの特性を生かし、ATに対しL/U領域を低速側に拡大することで、加速時のトルクコンバータのスリップロス低減、減速時の燃料カット領域の拡大(Fig.21)により、燃費を向上させた。

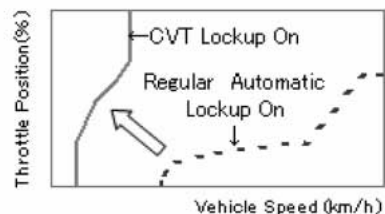


Fig.21 Lock up

(4) ライン圧(油圧)制御の適正化

CVTはATに対して走行中のライン圧が高い領域があり、ロストルクによる燃費悪化の要因となる。ライン圧はPCMから出力される推定トルク信号を元に設定されるが、ATに対しエンジントルク演算精度を上げることで、必要最低限のライン圧設定とし、燃費を向上させている。

5.2 走行性向上

マツダ独自の变速制御を織込み、車両の走行状態に応じてシフトパターンを切替えることで、ドライバの意図した通りの走行性を可能とした。

(1) 变速時のエンジン回転数制御

一般的なCVTの過渡走行は、アクセルの踏み込みに対し、エンジンの回転上昇が大きく、その後、エンジン回転が一定のまま車速が上昇する、スリップ感のある制御となっていた。本CVTでは、アクセルの踏み込み量に対し、エンジン回転の上昇を抑えて、車速とエンジン回転の上昇をリニアにする制御を採用し、CVT車特有の違和感を抑え、AT並のリニアな加速フィーリングを実現している (Fig.22)。

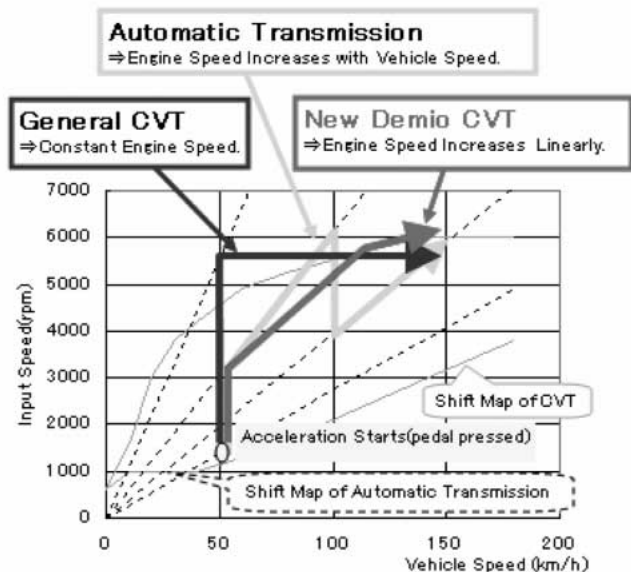


Fig.22 Engine Speed Transition

(2) オートパワー制御

走行性向上のため、ドライバのアクセル操作や車両加速度の履歴から、ドライバの要求加速度を推定し、变速マップを選択するようにしている。

① 市内・郊外等でゆっくり走る場合

前車に追従して交通の流れに沿ってゆっくり走る場合は、燃費や静粛性を重視した高速ギヤレシオの变速マップを選択する。

② ワインディング走行等でスポーティに走る場合

コーナへの進入の減速からコーナ脱出の加速シーンでは、適度なエンブレと十分な駆動力となる低速ギヤレシオの变速マップを選択し、キビキビした軽快な走りを可能にした。通常はできるだけエンジン回転を低く保ちながら、省燃費でスムーズな走りを演出し、ドライバがキビキビ

た走りを要求する場面は、切り替え操作なしで素早く变速マップを切り替える制御を採用し、省燃費と“Zoom-Zoom”な走りを高次元で両立させた。

(3) 7速マニュアルモード

Sport Model には、ステアリングシフトスイッチにより特定のギヤ比が選択可能な「7速マニュアルモード」を採用した。マニュアルシフトパターンをギヤ比が固定となるように变速段毎に設定することで実現している。これによりドライバの要求に応じた駆動力が選択可能となり、MT車の操作感に似たスポーツ走行を実現した (Fig.23, 24)。



Fig.23 Steering Shift Switch

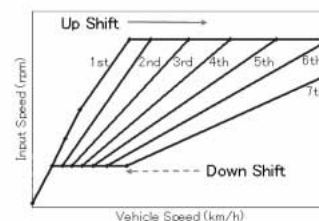


Fig.24 Manual Mode Shift Map

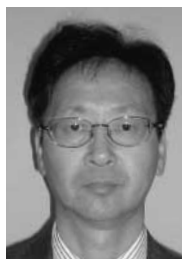
6. おわりに

新型デミオのパワートレインは、「ベースモデルの熟成」に加えて、「ミラーサイクル」・「CVT」という新たな技術を導入することで、「環境と走り」性能を高次元で両立させた自信作とすることができた。

今後とも、地球環境と交通環境のサステナブルな未来に向けた技術開発に、微力ながら貢献していきたい。

最後に、本開発において、多くのご指導・ご協力を頂いた社内外の関係者の皆様に、誌面をお借りして深く感謝申し上げます。

著者



前田敏正



古野貴久



桑田淳右



世良久



松崎俊幸



特集：新型マツダデミオ

5

## 新型マツダデミオの軽量ボデーシェル開発 Development of Light Weight Body Structure for All-New Mazda Demio

佐藤 謙三<sup>\*1</sup> 角屋 敏光<sup>\*2</sup> 山本 裕士<sup>\*3</sup>

Kenzo Sato Toshimitsu Kadoya Hiroshi Yamamoto

田中 祐充<sup>\*4</sup>

Masamitsu Tanaka

### 要 約

新型デミオはマツダが新たに掲げた「サステイナブル“Zoom-Zoom”」を具現化した商品群の第一弾であり、マツダDNAの「反応の優れたハンドリング」を体現するための高いボデー剛性と優れた衝突安全性を備えた上で、地球環境維持につながる低燃費に貢献するため大幅な軽量化を達成するという、相反する課題を解決する必要があった。その達成手段として、新採用のフレームワークと高張力鋼板の使用拡大、部分剛性に注目した効率的な補強、を掲げ開発に取り組んだ。

成果として、新型デミオは前モデルから衝突性能や車体剛性といったパフォーマンスを向上させつつも、前モデル比22kgもの軽量化を実現するベストインクラスレベルのホワイトボデー重量を達成した。

本稿ではコンパクトカーの新たな軽量化技術を確立した新型デミオの軽量ボデーシェルについて紹介する。

### Summary

New Demio is the first among next generation products which embody Mazda's new theme "Sustainable Zoom-Zoom". In the development, we needed to solve conflicting challenges. On the one hand, we tried to secure high body stiffness to achieve Mazda's DNA "Responsive Handling" and excellent crash safety performance. On the other hand, we had to reduce the weight significantly in order to contribute to low-fuel consumption that leads to the preservation of global environment. To this end, focusing on a new lightweight framework, expansion of high strength steels, and effective reinforcement for stiffness, we proceed with the development.

Consequently, as compared to a preceding model, the weight of Body in White was reduced by 22kg and best-in-class weight was achieved while improving the performance including crash safety and body stiffness.

In this paper, the body structure of new Demio which established a new lightweight technology for compact car is explained.

### 1. はじめに

最近市場に導入されるモデルのボデーシェル重量は、衝突安全性や操縦安定性能などに対する要求の高まりに対応して増加する傾向にある。デミオの属するコンパクトカークラスも同様で、ホワイトボデー単位の重量で200数十kgに上るのが当たり前になっている。

新型デミオの開発にあたり、自社の新しいブランドメッセージである「サステイナブル“Zoom-Zoom”」を具現化するには、より安全性を高め、更に「反応の優れたハンドリング」を体現する高剛性ボデーシェルに進化させる一方で、地球環境維持のため、低燃費につながる大幅な軽量化を行うという相反する課題を解決する必要があった。

そこで、構造体として最適なフレームワークの採用と高

\*1~4 ボデー開発部  
Body Development Dept.

張力鋼板の使用拡大を行う一方で、優れた操縦安定性を重量を掛けずに効率よく実現するために、ボデーの部分剛性に着目し、これまでにないレベルで高性能と軽量化の両立を図った。

本稿では、この実現のために採用した新型デミオのボデーのキーストラクチャと新技術を紹介する。

## 2. 新採用の高効率フレームワーク

プラットフォームについては、新型デミオ開発に先行して、軽量化専門チームにより技術開発され、試作車による検証まで行った軽量コンセプトカーのフレームワークを基本的に踏襲し、更なる進化を図った。

アッパーボデーも含めた車体構造の基本的な考え方として、各部材は周辺レイアウトとの整合を取りながら可能な限り太く、かつ最適な断面積を確保するとともに、ストレートに配置することに注力した。

新型デミオでは高張力鋼板を大幅採用することで部品の板厚を下げ、軽量化を図っているが、単純に部品の板厚を下げると剛性が低下し、自社のDNAである「反応の優れたハンドリング」を支える高剛性ボデーは得られなくなる。そこで我々は構造的な工夫を随所に取り入れ剛性向上を図った。

以下にフレームワークの具体構造について述べる。

### 2.1 フロントボデー構造

フロントフレームをストレート化、および大断面化するとともに、590MPa級の高張力鋼板を採用して正面衝突時の耐力向上を図った。また少ないクラッシュスペースを最大限利用するために、内部補強の配置や折れビード、テーラードウェルドブランクによりフロントフレームの変形モードをコントロールした。フロントフレーム先端部は六角断面形状とし、エネルギー吸収量を向上させている。

フロントバンパレインフォースメントには980MPaの超高張力鋼板を採用し、衝突時に車体に入るエネルギーを最小化した。

また、フロントフレームからキャビンに伝わる荷重を分散させてキャビンの変形を抑えるためにFig.1に示すようにフロントフレームとダッシュの結合部に三叉構造を採用した。フロントフレーム後端からダッシュ下方に向かいトルクBOXへとつながるメインのロードパスに加えて、ダッシュクロスメンバを介したトンネル部へのロードパス、更にはダッシュパネルのサイド部分に設けた三角形のダッシュサイドガセットを介したキャブサイドへのロードパスを採用することで、オフセット衝突時の乗員足元部分の変形を最小限に抑えた。

この三叉構造は衝突性能のみならず車体剛性確保の上でも大きく貢献している。

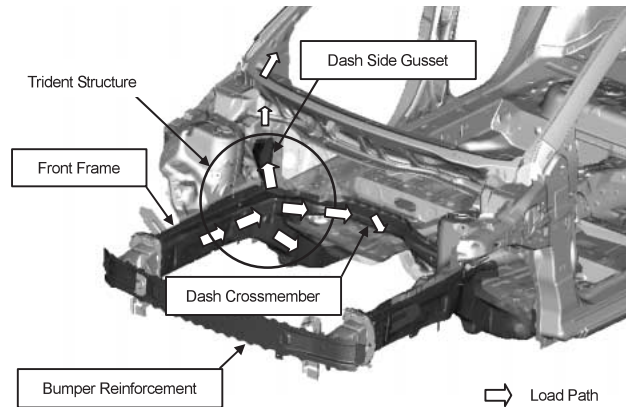


Fig.1 Front Body Structure

### 2.2 リヤボデー構造

Fig.2に示すようにリヤフレームをストレート化、および大断面化するとともに590MPa級の高張力鋼板を採用して後面衝突時の耐力向上を図った。特にサイドシルとの結合部からトレーリングリンク取付部にかけての断面を大きく確保することで荷重の流れをスムーズにするとともに、リヤフレームの変形を抑えて燃料タンクの保護を行った。これにより法規制の50km/hでの後面衝突はもちろん、より厳しい独自基準の80km/hオフセット後面衝突にも対応する優れた安全性を確保している。

剛性面では、サスペンションの取付部に近接するNO.4クロスメンバを大断面化するとともにリヤフレームとの結合部剛性を向上させた。更に、トレーリングリンク取付ブラケットは車体の一部としてリヤフレームに直付けとし、操縦安定性に直結する取付部剛性を向上させつつ、ブラケット本体の軽量化を図った。

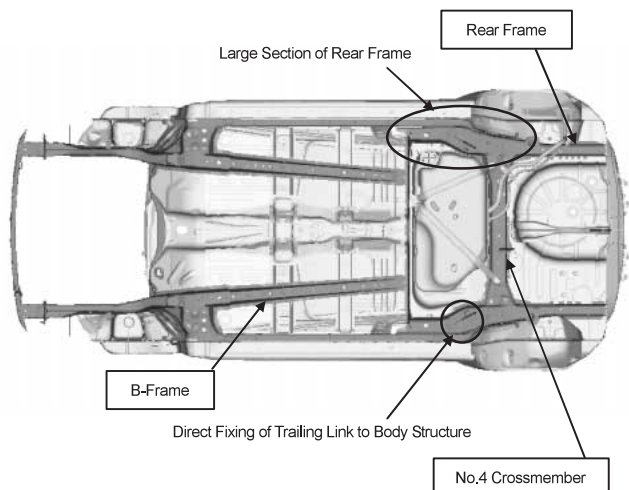


Fig.2 Under Body Structure

2.3 キャビン構造

自社のポデーシェルとしては初採用となる980MPa級の超高張力鋼板をBピラーレインフォースメントとルーフレインフォースメントに採用した。Fig.3に示すようにルーフレインフォースメントは前後方向の位置をBピラーに合わせ、更にルーフサイドガセットによりBピラーと強固に結合した。またフロア部分にはNo.2.5クロスメンバを新たに採用し、Bピラー部にリング状の強度部材を形成することで自社伝統のトリプルH構造をより一層進化させ、側面衝突性能の向上を図っている。

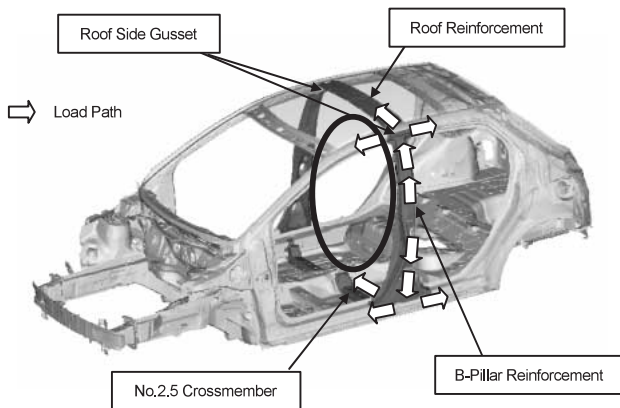


Fig.3 B-Pillar Ring Structure

また、各ピラーやサイドシルなどの部材を大断面化するとともに、部材同士の結合部においても形状や板の重ね合わせ方を工夫して重量効率の良い構造を実現した。

フロア下には780MPa級の超高張力鋼板を採用した大断面のBフレームを走らせ (Fig.2)、衝突時のキャビン変形を抑えるとともに、トンネル上部にも閉断面を設定して衝突時のロードパスとしている。

NVH性能面では、Fig.4に示すようにフロアパネルに周囲の制振材貼付効果をも高める凹形状を設けることにより、制振材の量を抑えても同等の減衰効果を発揮させ、軽量化を図った。

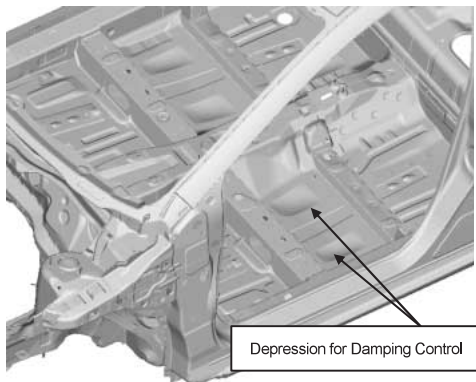


Fig.4 Damping Control Panel

3. 高張力鋼板の大幅使用拡大

自社は2005年に発売した新型ロードスターから高張力鋼板の使用を拡大してきたが、今回の新型デミオではそれを更に拡大採用した。前述のように自社として初めてポデーシェルに980MPa級の超高張力鋼板を採用したほか、780MPa級についてもホワイトポデー全重量の7.1%の比率で採用した。強度と生産性とのバランスが比較的良い590MPa級は32.3%と大幅に採用拡大し、合計した高張力鋼板の使用比率は53.1%に上る (Table 1, Fig.5)

Table 1 Proportion of High Strength Steel

Class	Proportion	
	Preceding Demio	New Demio
980 MPa	0.0%	3.0%
780 MPa	0.0%	7.1%
590 MPa	5.7%	32.3%
440 Mpa	30.5%	10.7%

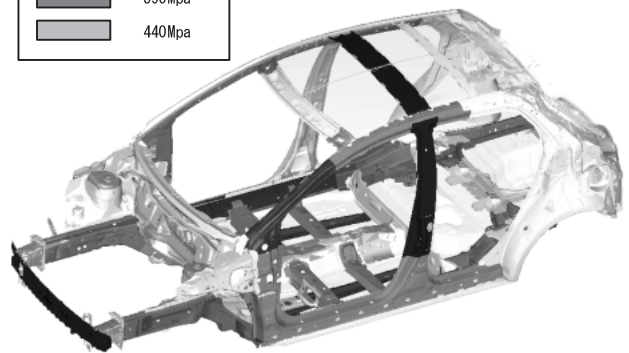
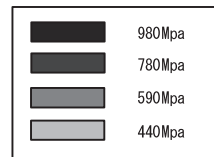


Fig.5 Usage of High Strength Steel

部材強度選定にあたっては、衝突時の部品のエネルギー吸収量、部品の絞り形状の深さからくる加工性、更に部品を重ね合わせてスポット溶接する際の必要電流値といった溶接条件を考慮し、開発部門、生産部門が協力しCAEとテストピースによる評価を繰り返し行って、適材適所となる仕様を決定した。

車体全体の軽量化重量のうち、構造最適化による8kg、ダウンサイジングによる4kgを除いた約10kgが、高張力鋼板の使用拡大による部品薄肉化の効果となっている。

4. 部分剛性への着目

新型デミオではポデーシェルの軽量化を行いつつ、自社のDNAである操縦安定性を確保し更に進化させるため、改善に多くの重量を必要とする全体剛性よりも、より少な

い補強でサスペンションの性能を最大発揮させるための部分剛性に着目して開発を行ってきた。サスペンションタワー対角変位、リフトゲート開口部変位、サスペンション取付部の局所的な剛性、車体ねじり変形時の位相遅れなどを特性指標として活用し、効率的に性能改善することに注力した。

特に変形位相遅れに関しては、優れたハンドリング性能を持つ欧州車では徹底的に押さえ込まれており、新型デミオでも特に注力した特性である。

その特性改善のために、サスペンション取付部やドア開口部、リフトゲート開口部を中心に、部材同士の接合を強化させた。Fig.6に示すようにドア開口部の各コーナ、リフトゲート開口部、およびリヤフロア周りのスポット溶接のピッチを縮小して、車体全体で百数十点ものスポット溶接を増加させた。更にはリヤタイヤハウスとヒンジピラー部に車体剛性向上目的としては自社初となるウェルドボンドを採用し接合強化を図った。

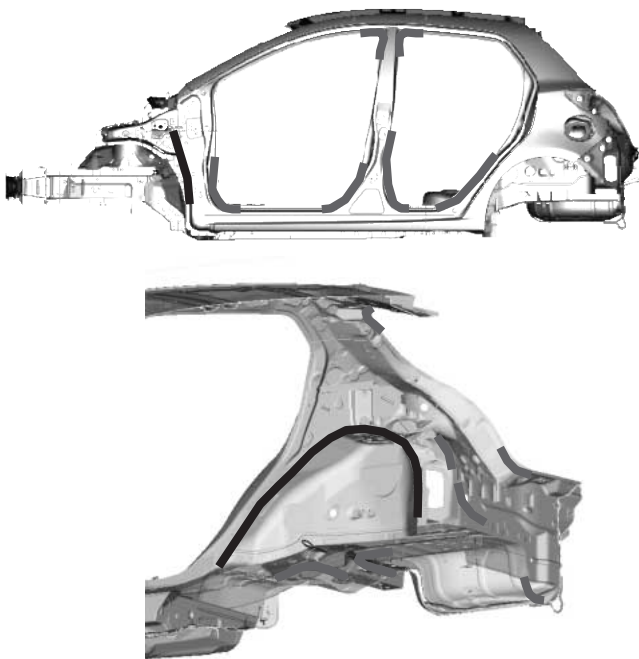
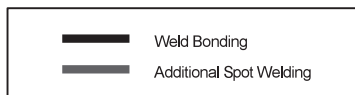


Fig.6 Reinforcement for Jointing

これにより、位相遅れを前モデルより15%改善することができた。リヤサスペンションタワー対角変位は約25%改善するとともに、リフトゲート開口部変位も18%改善した。

また全体剛性についても、高効率なフレームワークと強固な結合部構造を採用した結果、高張力鋼板の広範な使用で部品板厚を大幅に下げたにもかかわらず、前モデルと同等の曲げ・ねじり剛性を確保することができた。

## 5. スタイリングと軽量化の両立

新型デミオでは前後オーバーハングを大幅に切り詰めた躍動感のあるスタイリングを実現している。

これにより衝突時のエネルギー吸収を行う前後のフレーム長さが制約されるため衝突開発には厳しい条件となり、通常は多くの補強重量を必要とする。そこで、開発初期からエンジンルーム内レイアウトの工夫を重ねるとともに、衝突時のロードパスの最適化と車体変形モードのコントロールを行うことで重量増加を抑制した。

また、リヤオーバーハング縮小により従来のフューエルファイラーボックスの構造が成り立たなくなるなど、多くの難課題があったが、その度に関係者一体となった活動で課題解決した。

## 6. おわりに

以上、新型デミオの軽量ボデーシェルについて、キーストラクチャと新技術を紹介した。

成果として、新型デミオは前モデルから衝突性能や車体剛性といったパフォーマンスを向上させつつも、前モデル比22kgも軽いベストインクラスレベルのホワイトボデー重量を達成した。衝突性能と車体剛性を向上させるために必要だったはずの重量を含めると、30kg近い軽量化を行ったと見なすことができる。

今後、地球環境維持に貢献していくためには、低燃費につながるボデーシェルの軽量化がますます重要となる。

世界の自動車業界をリードして、業界全体で軽量化への流れを作り出せるような車体開発を継続する所存である。

### 著者



佐藤謙三



角屋敏光



山本裕士



田中祐充

特集：新型マツダアテンザ

6

## 新型マツダアテンザの紹介 Introduction of All-New Mazda Atenza

梅下 隆一<sup>\*1</sup> 久保田 聡<sup>\*2</sup> 平山 勲<sup>\*3</sup> 高原 順司<sup>\*4</sup>  
 Ryuichi Umeshita Satoshi Kubota Isao Hirayama Junji Takahara  
 岡光 淳<sup>\*5</sup> 清水 勝矢<sup>\*6</sup> 日浦 正仁<sup>\*7</sup>  
 Atsushi Okamitsu Katsuya Shimizu Masahito Hiura

### 要 約

初代アテンザは、マツダの“Zoom-Zoom”を本格展開する商品として2002年に導入されて以来、全世界で130万台以上が販売され、130以上の賞を受賞するなど、好評を博した。新型アテンザは、この初代アテンザを土台とし、“Zoom-Zoom Evolution”をコンセプトに開発を進めてきた。このコンセプトは、“Zoom-Zoom”をそのまま継承するのみならず、更に進化させて世に問うという開発陣の志を表すものである。その結果、感性に訴える高いダイナミック性能、このクルマならではの質感、考え抜かれたパッケージなど、マツダの新しいクルマ作りの思想を全身で表現するクルマに仕上げることができた。特に、このセグメントのお客様の期待に応えるべく、「最高の高速ロングツアー」としてあらゆる性能・装備を磨き上げながら、「スポーティかつ品格あるデザイン」を実現している。

### Summary

The 1<sup>st</sup>-generation Atenza, sold over 1.3 mil vehicles and won over 130 awards, has acquired a good reputation since its introduction in 2002 as the model which carried full-scale “Zoom-Zoom”. The new Atenza, based on its well-received predecessor, has been developed with the concept of “Zoom-Zoom Evolution”. This product concept indicates the spirit of the new Atenza development team, which means not only to succeed “Zoom-Zoom” without any change, but also to evolve it. The new Atenza, then, comes out as a vehicle which embodies Mazda’s new philosophy for vehicle creation, such as high dynamic performance appealing to driver’s feeling, high-quality feeling exclusive to this model, and insightful package. Especially this new Atenza embodies “the best high-speed long tourer” with best-tuned performance and equipment, and also “design with sportiness and gracefulness”; these are highly expected by the customers in this segment.

### 1. はじめに

新型アテンザは、“Zoom-Zoom”を本格展開し、全世界で130以上の賞を受けた初代アテンザのフルモデルチェンジとして、“Zoom-Zoom”の更なる進化を世に問うモデルである。マツダならではの際立つデザインや優れたダイナミック性能を、車とドライバとの間の信頼や共感などに基づく絆として昇華させ、マツダの新しい車作りの思想を全身で表現している。本稿では、その新型アテンザの商品概要を紹介する。

### 2. 商品コンセプト

新型アテンザの商品コンセプトは、“Zoom-Zoom Evolution”。これは、初代アテンザがマツダ新商品群の第一弾として本格展開した“Zoom-Zoom”を、更に進化させて世に問うという志を表す。このコンセプトをより具体的に表現するため、3つのキーバリューを設定した。

① Emotional & Sporty：スペック的な速さだけでなく、ドライバの感性に訴えるマツダらしいSportyさの更なる強化。

\*1, 2 第2プログラム開発推進室  
Program Management Office No.2  
\*5 車両システム開発部  
Vehicle System Development Dept.

\*3, 7 装備開発部  
Interior & Exterior Components Development Dept.  
\*6 NVH性能・CAE技術開発部  
NVH & CAE Technology Development Dept.

\*4 車両実研部  
Vehicle Testing & Research Dept.

- ② Exclusive Experience : 高品質感・上質感を表現するとともに、マツダらしいお客様との絆を深める表現・装備を工夫した。
- ③ Insightful Package : 歴代のマツダアテンザクラスのパッケージを受け継ぎ「まじめな」室内・荷室のパッケージと、Sportyなエクステリアデザインを高次元で両立。使い勝手にも更に磨きをかけた。

### 3. 新型アテンザの特徴

以下、新型アテンザの商品の特徴を、上記3つのキーワードに沿って述べる。

#### 3.1 キーバリュー ① Emotional & Sporty

##### (1) デザイン

初代アテンザのAthleticに更に磨きをかけるとともに、日本の美意識の要素を織り込み、より際立つマツダらしいデザインとした。新型アテンザのデザインキーワードは、「Bold & Exquisite = 大胆かつ精妙」とし、対立する性格の要素がぶつかり合い、融合するダイナミズムをカースタイリングとして具現化した。更に3つのデザインキューを設定し、上記キーワード具現化の方向性を定めた。

- ① Zoom-Zoom Spirit : 初代アテンザから受け継ぐ“Zoom-Zoom”の精神
- ② Authentic Cool : 初代アテンザを成熟させた、大人が求めるクールさ
- ③ Exotic Avant-garde : 日本車としての魅力を再確認する、日本の美意識

エクステリアデザインは、ウエッジの効いたシルエット、ワイドな足元とタイトなキャビン、リッチなボリュームを持つショルダーデザイン等、先代からの特徴を引き継ぎつつも更に个性的かつ先進的なデザインを実現している (Fig.1~3)。



Fig.1 Exterior Design: Sedan



Fig.2 Exterior Design: Sport



Fig.3 Exterior Design: Wagon

またインテリアデザインは、センターコンソールを中心とした左右対称の意匠を基本に、上下を分割したインパネアッパーが視覚的に軽快で開放的な印象を与える (Fig.4)。



Fig.4 Interior Design

##### (2) ステアリング・ハンドリング

- ① ステアリングシステムは、現行の油圧式から電動式に変更した。多くの小型車が採用するコラム式ではなく、モーターで直接ラックを駆動するラックマウント式とし、RX-8タイプをベースにモーターのブラシレス化など、更に進化させて搭載した。これにより、車速に応じた最適な操舵力コントロールが可能となり、極低速の駐車性と高速走行時の安心感・手応えを両立。また、ステアリング

剛性感ならびに路面外乱等に対する寛容性が改善され、ハンドル取られと直進安定性が大幅に向上した。更に、燃費改善にも寄与している (Fig.5)



Fig.5 Electric Power Assist Steering

- ② サスペンション：フロントは、ペリメータフレームのマウントを、現行の4点から6点マウントに変更するとともに、ロアアームを現行のダブルピボットからシングルピボットに変更。これにより、ドライバ操作に正確かつリニアに反応するステアリングを実現しながらハンドル取られも低減できた (Fig.6)。リヤは、現行モデルで約28度の傾角を持ってレイアウトされていたダンパをほぼ垂直に変更し、ダンパレバー比を0.73 0.89に約20%改善、スタビリティと乗り心地の両方の改善を実現した (Fig.7)。



Fig.6 Front Suspension



Fig.7 Rear Suspension

- ③ 軽量高剛性ボデー：ヘッダジャンクションのガセット形状化、ルーフレイン締結強化、リヤダンパタワーの設

定、トンネルメンバ設定、サイドシル断面拡大などの構造部材や締結構造を強化、ならびにウェルドボンド採用やSW点数増加などの接合強化により、剛性感の向上に取り組んだ。更に、重量効率の高いボデー構造や、ウルトラハイテン・ハイテン材など軟鋼板以外の採用比率を現行の42% 49%に引き上げ、高い剛性と同時に軽量化も実現した (Fig.8)。

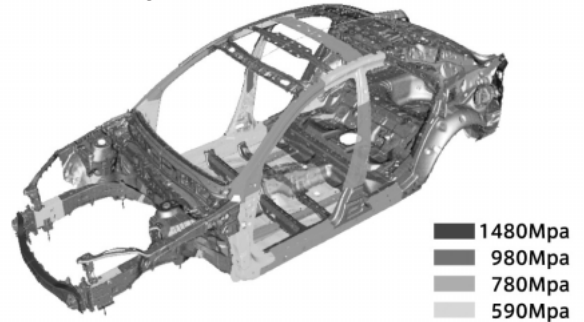


Fig.8 Body Material

- (3) パワートレイン

エンジンは、MZR 2.0L及び2.5Lを設定した。特に新開発の2.5Lエンジンは、排気量を2.3Lから2.5Lに拡大、トルク向上による正確かつリニアなレスポンスと低燃費を実現している。また、2ベッドの直結キャタリスト採用により排ガスのクリーン化、更にデュアルマスダンパとフレキシブルフライホイールの効果から、クラストップレベルのNVH性能とした (Fig.9)。

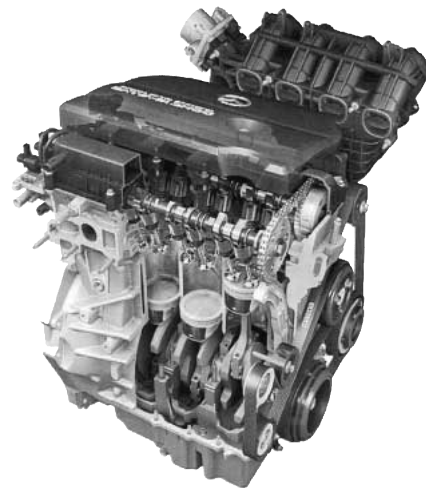


Fig.9 MZR 2.5L Engine

- (4) ブレーキ

ブレーキシステムは、フロントディスクを現行の283mmから299mmへと大径化、マスタシリンダも 20.2 22.2へと大型化することにより、高いペダル剛性感と、クラストップレベルの制動距離を実現した。

3.2 キーバリュー ② Exclusive Experience

- (1) 上質感クラフトマンシップ

マツダのクラフトマンシップの考え方である「造り込み」

「機能美」「カスタマーディライト」を追求しながら、商品コンセプトである上質感と車両とお客様の絆の向上を実現するために大切な要素である、以下の項目にフォーカスして開発を行った。

- ・インテリアは表面質感の向上
- ・エクステリアは美しいデザインをサポートする造り込み

① 表面質感の向上

・**上質感 シボの開発**：インテリア全体の樹脂部品の表面質感を向上するために、デザイン性と質感のメトリクスで評価が高く、全体がコーディネートしやすい材質や工法による差が少ない、上質感シボを開発した。まず感性工学を用いたお客様の視点分析で4つの評価要素を明確にし、要素ごとに官能評価結果と光学特性の相関を取った表面質感の定量的な評価技術を用いて開発を行った。次にシボメーカーを訪問し、デザイン性と質感の4つの要素を兼ね備えたベースとなるシボを6パターン選定し定量評価に基づき絞り込みを行い、目標となるシボのマスター板を設定した。更にハードプラスチックでは、加工性からシボの転写性が表皮タイプのものより低いため、表面の荒れ方や凸凹の形状を、サンプル板で4回造り込んだ上で定量評価を行い、材質や工法による差が少ないシボを開発した (Fig.10)。このシボ開発には、パッチャル技術によるシミュレーションを用いた3次元での立体検証を取り入れている。

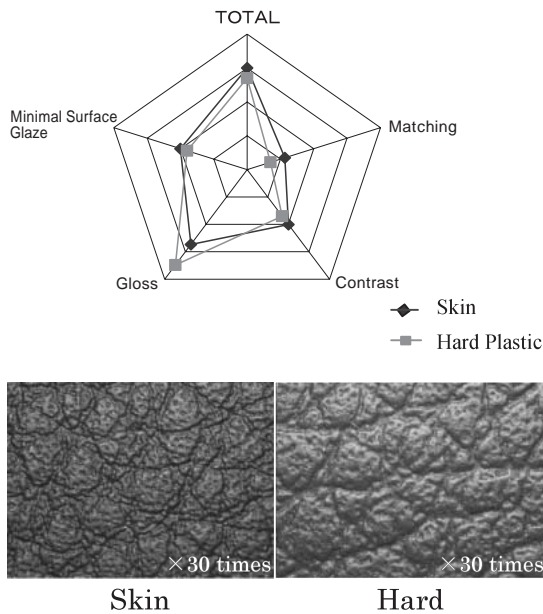


Fig.10 Harmonization of Visual Surface Quality

また製品に反映した際、サプライヤや成型条件の違いなどにより、部品を合わせた際の質感の微妙なずれなども、実車に部品を組み込んでチューニングを行い、インテリア全体のコーディネーションを確認しながら質感向上を図った。

- ・**上質感 革シート**：お客様は、特に革シートの質感には

敏感である。上質感シボ同様お客様の視点分析により「見た目」「触感」「座った時のソフト感」の3つの評価要素を明確にし、要素ごとに官能評価結果と物理特性の相関を取った定量的な評価技術を用いて開発を行った。まず、革の加工メーカーを訪問し、革の加工方法や特徴を研究した。「見た目」については、獣の皮から製品としての革になるまでの加工工程の中で、表面にシボ加工する際のシボの入れ方や表面塗装に配慮し、表面の光沢やシボの深さを最適にした (Fig.11)。「触感」は、シボの深さや表面塗装に着目し表面摩擦係数を最適化した。革のランクを上げるとともに、原皮のキズなどの補修方法の改善により、革の柔らかさを向上させた (Fig.12)。「座った時のソフト感」は、シートに仕上げた際の最適なたわみ特性となるように、ウレタンの厚みや硬さに配慮をすることで、上質感を感じる革シートを実現した。

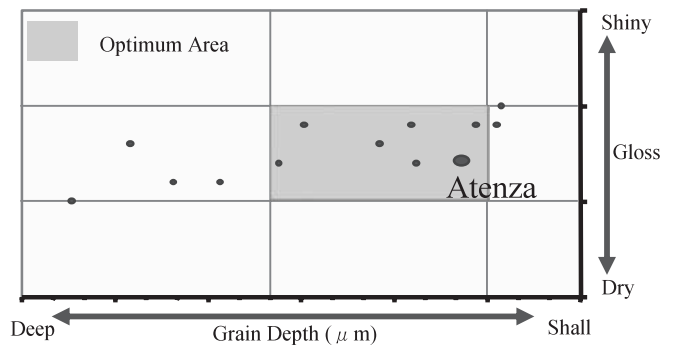


Fig.11 Appearance

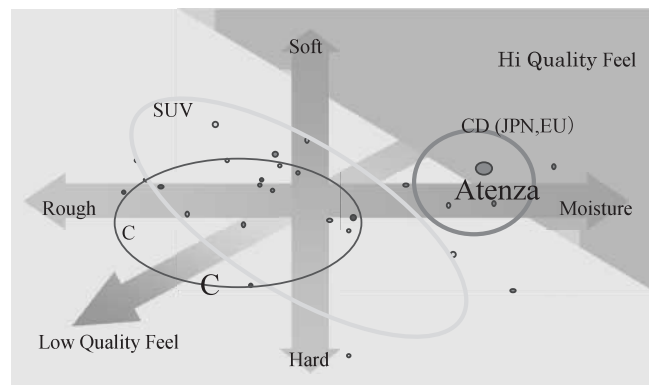


Fig.12 Touch Feel

- ・**エクステリア**：デザインの美しさを最大限生かすために、各部品の折り合いの造り込みに注力した。フロント周りではボンネットパーティングラインを、クラストップレベルの隙の狭さに加えて、ねじれない一定の面にするすることで、どこから見ても均一に見える折り合いを実現した。サイドビューはサッシュ部にステンレスモールを採用し、表面剛性と光の反射のバランスを取り、最も美しく見える断面形状に造り込んだ。ヘッドランプ、リ



アコンビネーションランプは、レンズ内部のアルミ蒸着の表面処理品質やインナレンズの取り付け爪のレイアウトなど、細部に至るまで造り込みを行った (Fig.13)



Fig.13 Exterior

② 車両とお客様の絆の向上

・ **ウェルカムモード**：車両とお客様の絆を向上するために、お出迎えを表現する光の演出を織り込んだ。その点灯のタイミングは、パネラー評価を用いて最適なタイミングとした。お客様がドアを開け乗り込み、シートに着座する時を狙って、コックピット周辺の照明をヒーターコントロールからオーディオ 集中ディスプレイ メータへと、順次点灯を行う。この照明の開始から個々へと点灯していくタイミングは、幅広い性別や年齢のパネラーに評価してもらい、お客様が認知でき違和感のないものとした (Fig.14)

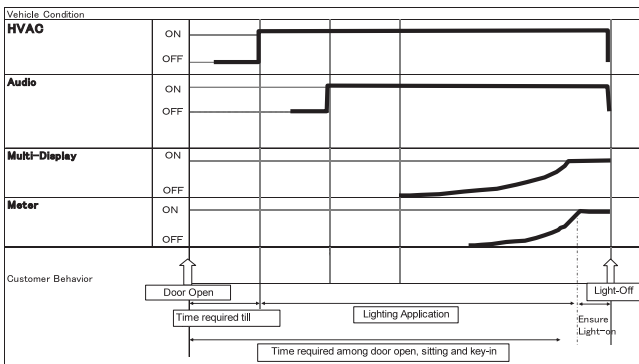


Fig.14 Welcome Mode Timing

(2) 空力性能

デザイン初期から空力シミュレーションにより、各部形状のmm単位でのチューニングを実施し、デザイン意図と空力形状の両立を図った。加えて、床下にはフルフラットアンダーカバー、フロントホイール前の馬蹄形ディフレクタ (Fig.15) の採用などにより、CDカークラストップレベルのCd 0.27を実現した。この優れた空力性能は、ドライバに安心を与える高速走行性能や燃費・CO<sub>2</sub>の向上に大きく貢献している。

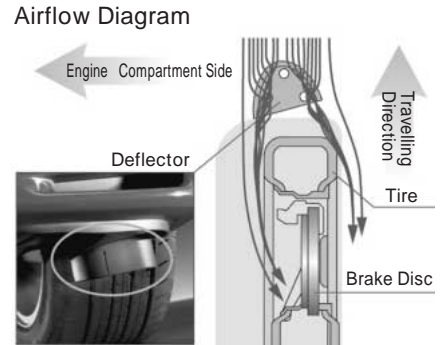


Fig.15 Horseshoe Deflector

(3) 静粛性

不快と感じるNoise, Vibrationを低減し、心地良いエンジンサウンドを演出することにより、新型アテンザの“サステイナブルZoom-Zoom”実現に貢献した。

① 達成性能

・ **良路静粛性**：防音材の構造や材質の変更により一般走行時の静粛性を改善した。良路走行時の高周波の音圧を以下に示す (Fig.16)

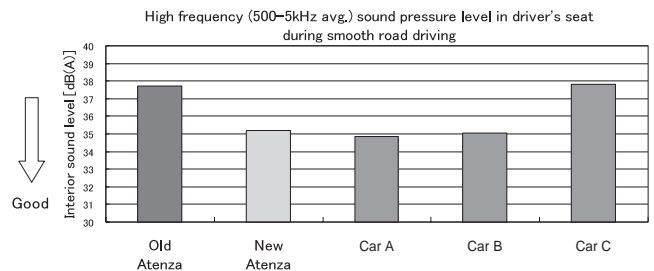


Fig.16 Smooth Road Noise (500-5kHz Average)

・ **ロードノイズ性能**：ロードノイズ性能の車体弱点部位に対策を行うことにより車体感度を改善 (音になり難い車体の実現) し、荒れた路面走行時の音圧を低減した (ロードノイズの達成性能は「新型アテンザのダイナミクス性能」のFig.17に示す)

・ **エンジンサウンド**：ロードノイズ同様に車体弱点部位への対策、及び防音材の構造や材質の変更により、加速中の全体音圧を低減しながらエンジンマウントの周波数チューニングにより、心地良いと感じられる350Hzの音圧を強調しスポーティなエンジンサウンドを演出した。2.5Lエンジン車の加速中の車内音圧レベル (Fig.17) と

音色を表すカラーマップ ( Fig.18 ) を以下に示す。

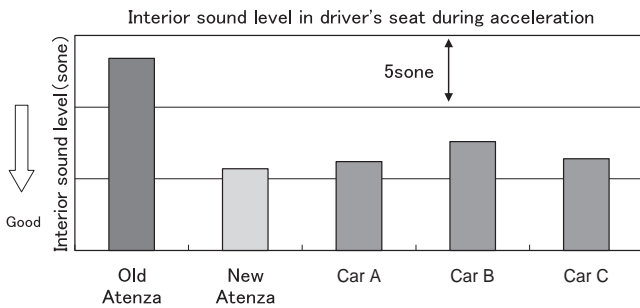


Fig.17 Interior Sound Level during Acceleration

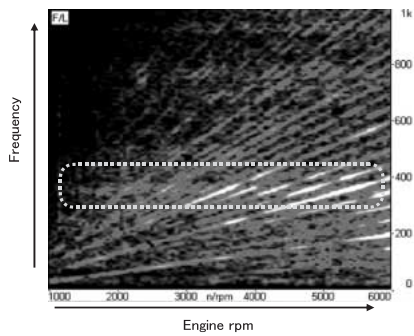


Fig.18 Engine Sound Color Map during Acceleration

② 達成手段

・防音性能の改善：エンジンルーム内の吸音材の設定範囲拡大やボデーアタッチメント部材，車室内内装トリム部品の吸音性を向上させることにより，車体の防音性能を向上させ，軽量化と同時に大幅な車内騒音低減を実現した。防音材の改善内容をFig.19に示す。

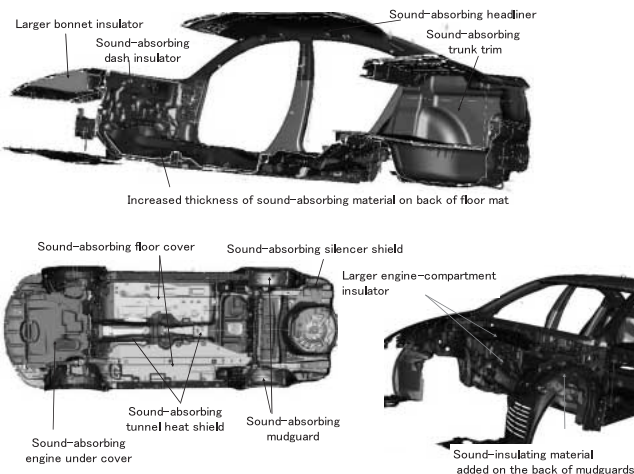


Fig.19 Improvements in Sound Insulation Structure

・車体音響感度の改善 (音になり難い車体の実現): 車体音響感度の改善にはCAE解析と実車の実験分析を繰り返し，ダッシュパネル周辺，センターフロア，ルーフパネルへ数々の対策を織り込みロードノイズ，エンジン音の音圧低減を行った。車体音響感度の改善構造をFig.20に示す。

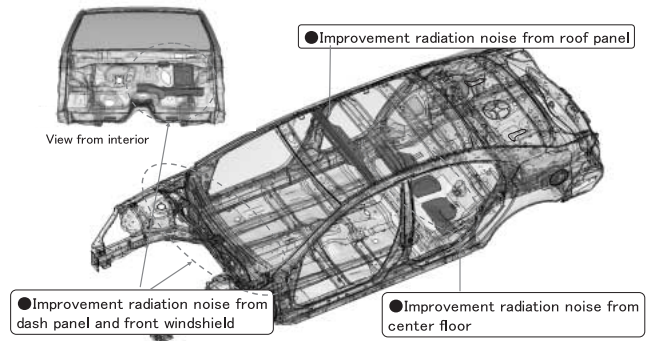


Fig.20 Improvements in Acoustic Sensitivity of Body

(4) 装備

以下の装備は，高速での安全かつ安心なクルージングを強力にサポートするものである。

- ① CF-Net (Cross Functional Network) : ステアリングスイッチと集中ディスプレイとを組み合わせた新開発マルチコントロールシステムである。オーディオ・トリップコンピュータ・空調コントロールの機能をカバーし，ドライバは集中ディスプレイの表示配置に従いカーソルを移動させ，トグルスイッチで各機能をコントロールする。階層がなく，ドライバの感覚に直結した確実なコントロールが可能となり 操作時に視線をそらす時間を低減できる。
- ② MRCC (Mazda Radar Cruise Control)+ リヤビークルモニタリングシステム：MPVから導入しているMRCCを，セット可能速度域や追従走行制御速度域の下限を拡大して採用した。また，リヤビークルモニタリングシステムはこのセグメントで初めての採用となる。後方にも2個のレーダユニットを搭載し，車線変更を意図するドライバに対し，隣接する左右車線の後方から接近する車両を検出し警告を行う。

3.3 キーバリュー Insightful Package

(1) スポーティコックピット

現行モデルでの好評なコックピットを，人間工学視点での改善を加え，更に進化させた。

- ① ステアリング角度をより鉛直に近い21°に変更した。肩が浮いたり体と干渉することがなく，よりスムーズなステアリング操作ができるようになった。
- ② エルゴノミクス分析により，シフトの位置を上方に32mm，乗員側に22mm移動し (MT車)，スポーティかつ使いやすいドライビングポジションとした。
- ③ スライド&幅広アームレスト：新型アテンザでは，幅広い体格の乗員をカバーしながら1クラス上の装備仕様となる，自走式スライド機構を持ったアームレストを採用した。これは，アームレストの前端に設置したボタンを押すことで，内蔵するスプリング力により，アームレストがスムーズに75mm前方へ自走スライドする (Fig.21)。これにより，小柄なユーザでも肘を掛けてのドライビングが可能となる。

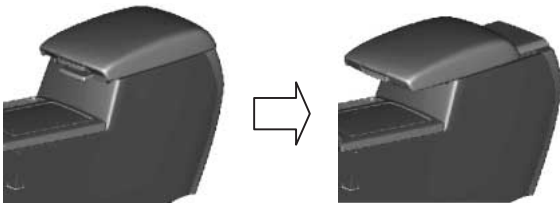


Fig.21 Slide Armrest

- ・開発の狙い：性能を悪化させずに使い勝手を向上させること、質感を向上させることの2点に注力した。
- ・実現手段：収納性については、スライド機構部の軽量コンパクト化を行い、特にアームレストリッドヒンジ部の樹脂化により、スライド機構ベース部分とヒンジを一体化した。また、フロントシートとの隙設定の見直しを行い、アームレスト幅を旧モデルから約20mm広げボックス容量を確保した。これらにより、収納性を悪化させることなく自走式スライド機構が実現できた。更に、ストレージボックスを脱着タイプとしたことで、ユーザーニーズに合わせることができ、使い勝手が向上した(Fig.22)。質感については、20mmの幅拡大に伴い、上面コーナ部を極力丸めないデザイン処理が可能となり、しっかり感を持たせることができた。また、スライド機構によるアームレストの重量増のためリッド閉じ音が大きくなる対策として、リッドヒンジ部にダンパを設置して閉じ音を緩和し、質感を損なわないように配慮した。



Fig.22 Storage Box

## (2) ラゲッジスペース

出し入れしやすい開口付近に大きなスペースを確保し、無理のないスマートな荷役動作を実現している。9インチのゴルフバッグとシューズバックそれぞれ4個を、同時に積載することを可能とした。またワゴンではサスペンションタワー間幅を1,146mm取り、72型スーツケース2個を横に同時に積載可能としている。

## (3) 新しいカラクリ

- ① カラクリシート：スポーツとワゴンにおいては、現行モデルでも好評なカラクリシートを引き続き採用している。これは、荷室側から後席シートバックを可倒とし、長尺の荷物を積載できる機能である。

- ② カラクリトノボード：新型アテンザワゴンには、リフトゲート（以下L/G）の開閉操作とメカニカルに連動するトノカバーシステムを採用した。このシステムを『KARAKURIトノボード』の呼称とし、この車の大きな特徴の一つとしてアピールしている(Fig.23)。

- ・開発の狙い：トノカバー操作のない荷役動作の実現及び大開口荷室、取り外した際の床下収納実現のため、次の項目を注力ポイントとした。

- a. 軽量かつコンパクトな作動構造の採用
- b. 折り畳みボードと巻き取り装置の一体化

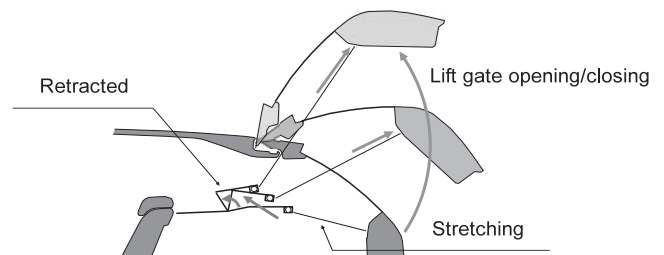


Fig.23 KARAKURI Tonneau Board

## ・構造と特徴

**作動構造：**軽量コンパクトとするためトノボードの開閉にはL/Gの開閉力を利用した。電動モータ等を有するシステムと比較し約1kgの軽量化を実現するとともに、Dピラートリム内部にコンパクトに格納することができ、荷室容量及びデザインの両立を実現した(Fig.24)。



Fig.24 D-Pillar Trim &amp; Rail Assy

**トノボード本体：**トノボード本体は、レーザー巻き取り装置を有する軽量薄型4分割折り畳みボードを採用し、荷役動作時の荷室大開口と床下収納の両立を実現した(Fig.25)。

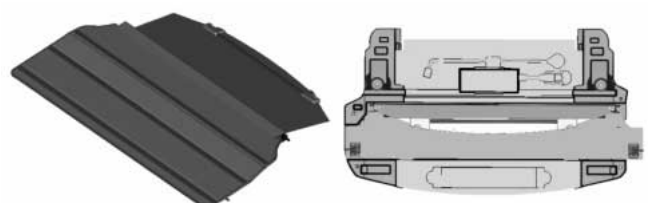


Fig.25 Tonneau-Board

(4) アドバンスキーレスエントリー アンド プッシュボタンスタートシステム

マツダではベリーサ以降、スタートノブを回してエンジンを始動する、Mazda Advanced Keyless Entry & Start System ( card type ) を各車種に導入してきた。新型アテンザで更なる利便性向上を目的として、ドアハンドルタッチセンサを装備するとともに、スタートボタンを押すだけでエンジンを始動することができる、Advanced Keyless Entry & Push Button Start Systemを開発しマツダ車で初めて導入した。

- ・タッチセンサ：ドアのアンロック用として、ユーザがドアハンドルに触れたことを検知する静電容量検出型のタッチセンサをドアハンドル内に内蔵した。反応時間は約200ms以内と高速化を実現し、ドアを開ける通常の動作の中でアンロックを意識することなく行えるようにした。更に、LFアンテナとの一体化で小型化を実現し、ドアハンドル内へ収めた ( Fig.26 ) 。



Fig.26 Touch Sensor & LF Antenna

- ・プッシュボタンスタートシステム：従来 ( 本システム非装着のキーレスエントリー装着車 ) は、ユーザがキーのアンロックボタンを押してドアロックを解除し、車に乗り込んだ後、IGキーシリンダにキーを差し込む ( MT車 ) クラッチを踏む / ( AT車 ) ブレーキを踏む ACC ON Startポジションへ回転 Startで保持し エンジン始動を音で確認 手を離す、という一連の操作が必要であった。しかし、新型アテンザ ( 本システムを装着したアドバンスキーレス装着車 ) ではトランスミッタを携帯しているだけでドアはロック解除でき、車に乗り込んだ後もPCMとの連携によって、( MT車 ) クラッチを踏む / ( AT車 ) ブレーキを踏む ボタン ( Fig.27 ) を1回押すのみで、ハンドルのロック解除、電源投入、エンジン始動 ( スタータを自動的に停止 ) の一連の動作が自動で完了可能である。また、従来はエンジン停止時に、キーをON ACC OFFポジションへ回転 キーをIGキーシリンダから抜く、という操作が必要であったが、本システムではボタンを押すのみでエンジン停止が可能である。加えて、エンジンを緊急停止したい場合、ボタンを約3秒以上長押しするか、約1.5秒以内に3回以上操作することでエンジンを停止することができる。



Fig.27 Push Button Start

4 . 安全性能

- (1) アクティブ・セーフティ：上記3.2(4)の項で述べた、CF-Net, MRCC, リヤビークルモニタリングシステムも、安全な高速ロングツーリングを強力にサポートするものであるが、それ以外にも下記の安全装備を備えている。

- ① DSC ( ダイナミックスタビリティコントロールシステム ) 及びTCS ( トラクションコントロールシステム ) を2.5L全車に標準装備、高速ロングツーリングをはじめとするさまざまなシーンで安心感に満ちたりニアな走りをサポートする。
- ② マツダブリクラッシュセーフティシステム：レーダセンサで先行車や対向車、路上の障害物などを認識し、衝突の危険があると判断した場合にはブザーや警告灯で警告する。更にブレーキ操作が行われない場合には、ブレーキを自動作動させ衝突速度を低減する。同時にブリクラッシュシートベルトの早期巻き取りも行い、乗員の拘束性能を高め衝突時の被害軽減に貢献する。ブレーキ操作が行われた場合でも、ブリクラッシュブレーキアシストにより、衝突速度低減を図る。
- ③ バイクセノンヘッドランプ & 固定式AFS ( アダプティブフロントライティングシステム )：ヘッドランプ Low/Hiビームとは異なる照射部 ( 固定ベンディングランプ ) をステアリング舵角に応じて自動的に点灯させる。これにより、夜間の右左折時の歩行者や自転車、またはワインディング路での進行方向の確認が容易になり、夜間走行時の前方視界視認性を高めるものである。

- (2) パッシブ・セーフティ

高剛性・安全ボデー “ MAGMA ” を、トリプルH構造の強化や衝突エネルギー吸収性の向上など、新型アテンザ用に最適に進化させた。また、カーテン・サイドエアバッグを含むSRSエアバッグシステムやプリテンション&ロードリミッタ機構付ERL3点式フロントシートベルト、追突時に全席乗員の頭部に加わる負担を軽減するアクティブヘッドレスト、クラッシュブルブレーキペダルなど、万一の事故

時の乗員へのインパクトを抑える構造・装備を導入した。更に、ボンネット下へのエネルギースペースの確保、カウルグリルとフェンダブラケット及びパンパビームへのエネルギー吸収構造の織り込みなど、歩行者保護にも配慮を行っている。

## 5. おわりに

以上、新型アテンザの商品特徴を紹介してきた。クラストップレベルの空力性能、飛躍的に向上した静粛性に加えて、CF-Netやリヤビークルモニタリングシステムなどのユニークな装備群により、このクラスのお客様の期待値を満たす「最高のロングツアラー」として胸を張れる商品になっている。また、空力や軽量化、ボデー剛性などにより、環境・安全にも配慮した商品にも仕上がり、まさに「Sustainable “Zoom-Zoom”」の第一歩を体現した車である。

### 著者



梅下隆一



久保田聡



平山 勲



高原順司



岡光 淳



清水勝矢



日浦正仁

特集：新型マツダアテンザ

7

## 新型マツダアテンザのデザイン Design of All-New Mazda Atenza

佐藤 洋一\*1  
Yoichi Sato

### 要 約

新型アテンザのデザイン開発は、初代が確立したアスレチックなイメージを受け継ぎ、“Zoom-Zoom”の精神とスタイリングをより進化させることを目標とした。加えて、大人の鑑賞眼に耐え得るプロダクトとして、品格があり、高品質で、洗練されたデザインとして方向付けた。また、世界的に均質化の顕著なカーデザインの中で、マツダの更なる独自性を世界へ発信していくため、日本の美意識に着目。「幽玄」「凜」「精緻」なるキーワードを導き出し、“Zoom-Zoom”の精神との融合による造形を試みた。新型アテンザにおいては、各車形毎に、その特長をより明快に表現するように努めている。セダンはフォーマルな趣を兼ね備えたデザインに注力、5ドア・ハッチバックではリヤのスロープの美しさにこだわり、ワゴンでは機能性を阻害することなく、スポーティでセクシーなデザインを実現している。

### Summary

In developing the new Atenza design, we aimed at evolving “Zoom-Zoom” spirit and the styling while maintaining athletic images the current model has established. We also defined the new design as appealing to adults, dignified, quality and sophisticated. Given the situation that car designs get homogenized globally, we focused on Japanese aesthetics to express Mazdaness. “Yugen”(ethereal), “Rin”(dignified) and “Seichi”(exquisite) were found as the design key words combined with “Zoom-Zoom” spirit. You see clear differentiations according to the vehicle types. We made the sedan version formal taste, the 5 door/hatchback sleek, and the wagon sporty and sexy without sacrificing functions.

### 1. はじめに

マツダのミディアムカーの系譜は、商品革新の歴史であったといえる。60年代のロータリエンジン搭載や、80年代にはFWD方式の採用、続く5ドア・ハッチバックスタイルのいち早い導入、等がその例である。

2002年に登場した先代アテンザは、アスレチックなイメージを全面に押し出したスタイリッシュなスポーツセダンとして大幅な変革を果たし、全世界にマツダの“Zoom-Zoom” spiritを解りやすく伝えることに成功した。

新型アテンザにおいては、このマツダらしさのメッセージである“Zoom-Zoom” spiritを継承し、更に進化させた。

スポーティプロポーションの追求、走るための機能の視覚的強調、新しいボデーランゲージの開発等を中核に、10年間陳腐化しない「先進的なデザイン」を目指した。更に、大人の品格や、精神的な豊かさをもあわせ持つデザインの実現を目指した。

一方、クルマの性能は欧州のライバルと比肩し得るレベルに達しつつある今、日本のアイデンティティを現代のカースタイリングに翻訳し直し「マツダらしさ」の表現に取り組んだ。

既に時代は、日本の文化と日本の美意識をデザイン表現に取り入れ、マツダの観点から独自のカースタイリングを構築すべき時期に入ったと考えたからであった。

\*1 デザイン戦略スタジオ  
Design Strategic Studio

“Zoom-Zoom Evolution”をかかげる新型アテンザにおいては、極めて明快な独自性とグローバルな魅力を創造するために、マツダのDNAと、日本という個性を「日本のマツダブランド」として具現化し、世界に発信していく取り組みに挑戦した。

## 2. デザイン構想

### 2.1 デザインのターゲットポジショニング

2004年春、欧州コンセプトクリニックにおいて、先代アテンザの成功要因は、スポーティさと洗練さとのバランスにあることが確認され、チームの仮説した次期アテンザのデザインディレクションの正当性が実証された。次世代アテンザは、このスポーティさと洗練さを併せ持つベクトル上で、大幅なストレッチを遂げることが目標となった。

### 2.2 デザインコンセプト

新型アテンザのデザインコンセプトをまとめてみる。基本となるのは、

- ① マツダらしさを構築する上で、次のフェーズに必要とされる要素、「“ ZOOM-ZOOM ” SPIRIT」
- ② 競合車との比較と、将来動向から新型アテンザに必要なとされる要素、「AUTHENTIC COOL」
- ③ 世界に対し堂々とマツダのオリジナリティを主張するために必要とされる要素、これを「EXOTIC AVANTGARDE」

これら3つのコンセプトを順に説明する。

「“ ZOOM-ZOOM ” SPIRIT」、これは、ロータリエンジンやロードスターが中心となって育んで来た、車が本来持っている、「動くもの」としての魅力を、マツダの基幹イメージとして伝えていくコンセプトである。いわばマツダのDNAである。

「AUTHENTIC COOL」、これは、ミディアムクラスの車に欠くことのできぬ「大人の魅力」を伝える世界である。

“Zoom-Zoom”な新型アテンザが目指すのは、「遊び心と品の良さ」を兼ね備えた独自のCoolさの表現であり、Exclusive experienceを提供する世界である。

「EXOTIC AVANTGARDE」これは日本の美意識のマツダ的解釈を通じて、現代という時代に、Worldwideに発信していけるマツダオリジナルの造形テイストを産もうとする新型アテンザのデザインにとって最もユニークな試みである。

### 2.3 日本の美意識の反映

一般的な日本固有の美意識から、現代のカースタイリングとしてそれらの翻訳を試み、3つの世界観「幽玄」、「凜」、「精緻」を導き出し、造形の手がかりとした。

「幽玄」

自然との調和や、静けさや微妙さを求めるところであり、

山々を包む朝霧の、限りなく変化する有様から喚起されるイメージである。

「凜」

緊張を伴う強い意志や、衝撃や、品格を表わす世界で、例えば、「研ぎ澄まされた日本刀」の美が持つイメージである。

「精緻」

細部に至るまで、細かい造形的配慮が行き届き、上品な味わいを醸し出すことである。精密かつ高精度な作りこみは、日本の風土が育んだ独特の凝縮による美の創造である。

新型アテンザのデザインでは、「幽玄」と「凜」という対峙する要素を共存させ、互いに引き立てあう造形を目指した。また、幽玄なるモノの特質である、「余白の美=意味のある空白」のカースタイリング的表現も試みた。

## 3. 外観デザイン開発

### 3.1 デザインテーマ開発

#### (1) イメージスケッチによるアプローチ

2004年春からスポーティさと洗練さとを兼ね備えるべき次世代モデルのイメージスケッチを開始した。下は当時のスケッチのごく一部である (Fig.1)。



Fig.1 Exterior Image Sketches

#### (2) デザインテーマモデル

スケッチとクレイモデルを使った試行錯誤を繰り返し、数案のスケールモデルに絞り込んだ。それらをもとにデザインクリニックを控えた2004年晩秋に、熟成を重ねて完成したデザインテーマモデルのA案 (Fig.2) とB案 (Fig.3) である。



Fig.2 Exterior Theme A



Fig.3 Exterior Theme B

(3) デザインクリニックとその結果

欧州及び日本で実施されたデザインクリニックの結果、欧州においてはA, B案ともにトップ選択を争う高評価であった。A案については、先進性、若々しさ、ディスティンクティブ等といった点が高く評価された。強烈な個性故に好き嫌いが明確に分かれる結果が得られた。B案については、全体のバランスの良さ、エレガントさ、洗練されたデザインが好評でポイントを得た。この結果からチームは先進性とユニークさを強くアピールしたA案を選択。強みを更にストレッチしながら弱点解消を提案した。

一方、クリニックから得られた日本市場の課題には、よりアグレッシブなSports Appearance Packageモデルで対応することとし、承認を得た。かくしてデザインのコアとなる5HBの方向性が定まった。

3.2 量産デザインテーマ開発

(1) 4ドアセダンのデザイン

量産デザイン開発は4ドアセダンから開始した。

まずキャビンデザインのイメージ固めに始まり、全体プロポーションの適正化へ進んだ。5ドア・ハッチバックが流麗なサイドシルエットを目指したのに対し、セダンはスポーティながらも、より端正で上品なスタイルを旨として、明快な3ボックススタイルを志向した (Fig.4)。

また、クリニックにおいて課題となった、フロントとリヤの造形イメージの一貫性を更に高める作業に取り掛かり、フロントエンドのダイナミックでリッチな印象をリヤに移植して、トータルコーディネートを進めた。同時に、リヤコンビランプの再デザイン (若干エレガントだった) と、ヘッドランプの再デザインを並行して行った。セダンで開発された大物ユニット類、例えば、フロントフェンダ、ボンネット、前後ドア、リヤバンパ、ランプ等は、他のボデーにも共通展開されるため、あらかじめ5ドア・ハッチバックとワゴンデザインを睨みながら、どのボデーにも破綻のないユニットのデザインを行った。



Fig.4 Style Studies for 4 Sedan

(2) 4ドアセダンの最終デザイン

フロントエンドでは、フォグランプを縦型に変更、フロントスカートにエアインテークを追加。灯火類には未来感と精緻感あふれるデザインモチーフを盛り込み、イメージを一新した (Fig.5)。リヤエンドには、豊かな造形テイストを十分に盛り込んで、全体のトーンが完璧に整い、弱点だったプレミアムフィールも大幅に改善された。ライセンスプレートをバンパに追い出して、トランクエンド面の豊かさを最大限に表現した (Fig.6)。

サイドビューでは、アーチ型のタイトなキャビンに明快な3BOXセダンのメッセージを込めた (Fig.7)。



Fig.5 Front Desin Final



Fig.6 Rear Design Final



Fig.7 Side Design Final

(3) 5ドア・ハッチバックの最終デザイン

クリニックで第一位に選択されたデザインの量産開発であり、スポーティ&プレミアムな新型アテンザのデザイン中核モデルである。現行の4ドアセダンと5ドア・ハッチバックの相対的なポジショニングをキープしながらも、デザインの区別性は強化している。よりスリークなシルエットと、6ライトウインドウのキャビンデザインが特徴である。5ドア・ハッチバック開発の際はSports Appearance Packageのデザイン開発を同時に進め効率をあげた。Sports Appearance Packageのデザインは、フロントフェース、サイドシル、リヤバンパ、スポイラをユニーク部品として、スポーティ・アグレッシブなイメージを強化した。また、リヤコンビネーションランプをメタリックなアピアランスとして、4ドアセダンとの区別性を持たせた (Fig.8)。



Fig.8 Sports Appearance Package Final Design



#### (4) ワゴンの最終デザイン

新型アテンザスポーツワゴンでは、従来のボクシーなワゴンから脱した、よりエモーショナルなデザインを実現したかった。また、最大市場となるドイツの顧客志向にも配慮する必要があった。

初期のデザインテーマは高評価を得たが、そのフロントの強いキャラクタ故に、ドイツ市場にマッチする、洗練されたワゴンデザインができ得るのかを懸念する声も聞かれた。そのために、車体後部の平面形状と側面形状に、強いカーブとテンションを与え、ワゴンではかつてないほど豊かな三次曲面構成とした (Fig.9)



Fig.9 Design Direction of Wagon

サイドビューではスリークなプロポーションを持つガラスエリアが伸びやかさを強調し、スタイリッシュでセクシーなワゴンデザインを創り出した (Fig.10)



Fig.10 Wagon Final Side Design

### 4. 内装デザイン開発

#### 4.1 デザインコンセプト

Sporty Sophisticationの高度な融合を目指す新型アテンザのインテリアデザインにおいては、デザインの刷新と並んで、品質感の劇的な向上を図ることが命題となった。品質向上の考え方には、現行車の分析とベンチマーキングによって以下のキーポイントが存在すると考えた。

- ① 基本的な造りの品質の良さ。
- ② 機能的な美しさと扱いやすさ。
- ③ 乗り手をハッとさせるような嬉しい驚き。
- ④ 官能に訴えてくるフィーリングの良さ。

以下はデザイン開発キックオフの時点で、チームが作成したデザインコンセプトである。

##### Sporty Feel

スポーティの概念は、空間性と機能系の側面に分けて各々を方向付けた。

- ① Fun to driveを予感させるようなドライバにびたっと

寄り添うフィット感を持つ空間。

- ② 乗員を包み込む安全快適な空間。
- ③ 力強くシンプルな面と立体の構成。

機能系では

- ④ 機能を最大限に支援する視認系・操作系デザインメカニカルかつ機能的な意匠、丸モチーフの強調・多用。
- ⑤ 操作性&操作フィールの向上に寄与するデザイン。

Premium Feel

デザイン自体の高度な熟成によるものはもとより、

- ① 絞や艶の統一、部品の統合、パーティングラインの整理等、全体をスッキリ見せるための方策による品質感の向上。
- ② デコレーションエリアの拡大。
- ③ 造形の熟成と練磨による高品質な空間作り。
- ④ 細部にわたる緻密なデザインの配慮。

#### 4.2 デザインテーマの開発

デザインの統一テーマである「Bold and Exquisite = 大胆かつ精妙」と、Sporty & Sophisticatedなデザインを探るため描かれたイメージスケッチ (Fig.11)



Fig.11 Interior Image Sketch

エクステリアデザイン同様、スケッチ段階で数回に及ぶ評価選別を繰り返し、最終候補に絞り込んだ。

下図はセンターコンソールを中心とした左右対称の意匠を基本に、フローティングしたインパネアッパーが視覚的に軽快で開放的な印象を与えている。全体のモダンなテイストも高く評価されて、最終的にインテリアテーマとなった (Fig.12)



Fig.12 Interior Design Theme Sketch

### 4.3 レイアウトスタディ

先代アテンザに較べて、よりスポーティなドライビングポジションを提供する基本レイアウトの特徴を体感しながら開発を進めるために製作した簡易骨格モデルである。ステアリング、シフトレバー、ペダルの位置関係が体感的に把握でき、初期の開発に大いに役立った (Fig.13)。



Fig.13 Layout Study Model

### 4.4 デザインテーマモデル

スケッチに較べ、IPセンター部は若干立ち気味になったが、キーとなったレンダリングの雰囲気は十分に反映。この段階では、ナビゲーションやコンソール表面処理はリアルメタルの研磨品である。コントラストの強い内装色のコーディネートもスポーティで洗練された印象を強めている (Fig.14)。



Fig.14 Interior Design Theme

### 4.5 内装最終デザイン



Fig.15 Interior Final Design

基本的に、デザインテーマモデルから大きく方針変更を余儀なくされた部分はなく、最終承認モデル (Fig.15) で変更された部位は概略以下のとおりである。

ステアリングホイールのスポークとセンターコンソールの表面処理を量産性と防眩性を考慮して、中輝度のペイント仕上げとした (Fig.16)。ダッシュボード表面には、新開発の、よりリアルな質感を持つ新紋を採用し、クオリティを向上した。ダッシュボード両脇のベンチレーショング

リルを、よりスポーティな丸型に改めた (Fig.17)。

ダッシュボード中間にある大型デコレーションパネルは水圧転写方式パターン of 表面処理とした (ベースモデルはブラックの樹脂成形品である) (Fig.18)。

上級モデルのスピードメータとタコメータはブラックアウトタイプだが、メタル調リングを採用することで、精緻感を演出した。またメータの指針を従来のレッドアンバー色から白色発光タイプに変更し、夜間の視認性を向上させた。表示色は従来どおりのレッドアンバーを踏襲した (Fig.19)。



Fig.16 Steering Wheel



Fig.17 Dashboard, Center Panel



Fig.18 Decoration Panel



Fig.19 Meter Design

## 5. カラー・マテリアルデザイン開発

### 5.1 カラー・マテリアルコンセプト

スポーティさと洗練度の高度な融合を目指す新型アテンザは、色彩開発と並んで、品質感の向上が課題となった。

品質向上の考え方は、内装デザイン同様、現行車の分析とベンチマーキングによって、内装用布地と、皮革の品質、及び「紋」特性にキーがあると考えた。

また、内装用のデコレーションには、世界的にメタリック素材の導入が最盛期を迎えつつあり、機能的な美しさとともに、いかに本物感を表現していくかがもう一方の課題であった。

一方、“Zoon-Zoom” Spiritを標榜する上では、伝統的な木目に代わり得る、スポーティな新趣向のデコレーションパターンの開発にも取り組んだ。

### 5.2 外板色パレット

新型アテンザの外板色パレットは全11色である。

- ① スポーティな “Zoom-Zoom” カラー  
オーロラブルー・マイカ、ベロシティレッド・マイカ
- ② トレンディカラー  
ライラックシルバー・マイカ、カップーレッド・マイカ等。
- ③ プレミアムカラー  
クリスタルホワイトパール・マイカ、スパークリングブラック・マイカ等。

## ④ ビジネスカラー

サンライトシルバー、ソリッドホワイトがある。

## 5.3 内装色とカラーコーディネーション

内装のカラーコーディネーションは、基本環境色のブラックに対し、ドアトリムのインサートとシートカラーでアクセントをつける、というコンセプトである。

内装のアクセントカラーはスポーティブラック (Fig.20) と、カームホワイト (Fig.21) の2色である。後者はコンセプトの適合性と、マツダブランドイメージとのマッチングから、従来のベージュに代えて採用を決めた。



Fig.20 Sporty Black Interior



Fig.21 Calm White Interior

## 5.4 皮革の質感向上

皮革の質感向上に関しては、競合車のベンチマーキング等から、アウディA4やトヨタ・クラウンレベルの実力を持つ良質なレザーを導入したことが挙げられる。

先代アテンザで採用していた皮革と比べ、はるかにきめ細かい表情を持つ「絞」、スムーズでしっとりとした感触、加えて表面加工による滑りにくさ等に特長がある。

カラーバリエーションは、スポーティブラックとカームホワイトの2色である。

## 5.5 木目に代わるデコレーション

新型アテンザのスポーティなイメージに、伝統的な木目は馴染まないとの思いから、専門メーカー手持ちの柄に左右されず、新型アテンザの狙いにマッチするマツダユニークパターンを独自に3種類開発した。流星をモチーフとした「ライン」(Fig.22)、水晶をイメージした「クリスタル」(Fig.23)、太い横ストライプの「ゼブラ」(Fig.24)がある。

Fig.22  
Speed LineFig.23  
ChrystalFig.24  
Zebra

## 6. アルミホイールのデザイン開発

新型アテンザでは、寸法限界までホイールが大径に見えることをデザインの第一義とした。ホイールオフセット量が60mmと異例に少ないため、平板になりがちなデザインをいかに立体的に演出するか留意した。最量販の17インチホイールのデザインは、スポーティさと品格、精緻なイメージを持つ (Fig.25)。18インチホイールでは、大胆で荒々しいスポークと大きな冷却孔の構成で、スポーティイ

メージに特化した表現を行っている (Fig.26)。

16インチホイールは軽量化を第一の目標に置いたデザインである (Fig.27)。

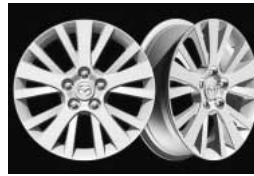


Fig.25 17inch AL.Wheel



Fig.26 18inch AL.Wheel



Fig.27 16inch AL.Wheel

## 7. おわりに

“Zoom-Zoom”の精神と「日本の美意識」との融合を求めて、我々が導き出した「幽玄」なる世界は、フロントフェンダからボンネットフードにかけての、豊かなカーブを描く面や、後方へスムーズに流れていく側面の造形、そしてインテリアでは、ダッシュボード断面のゆったりとした陰影の変化に込められている。

日本刀に見られるような緊張感とは、パーティングラインに施されたボンネットのシャープなエッジに表れている。ドアにおいても、意図されたシンプルな面が、突然、力強くシャープなラインに切り替わる様子に「凜」なるイメージが込められている。

細部にまでこだわった正確な作りこみのランプの意匠に「精緻」なる世界を表現した。内装においては、ハンドル上に整然と配置されたスイッチ、高精度腕時計にインスパイアされたメータデザインの造形的配慮も一例である。

最後に、この新型アテンザの個性的かつ高度なカーデザインが顧客を魅了し続け、マツダが確固たるブランドを築いていく礎となることを願う。そして、新型アテンザの開発を通じて、熱いものづくりの精神と、誇りと、心意気を共有することができたチームの皆様に心から感謝申し上げたい。

著者



佐藤洋一

特集：新型マツダアテンザ

8

## 新型マツダアテンザのパッケージング Package of All-New Mazda Atenza

小平正則<sup>\*1</sup> 河手 功<sup>\*2</sup> 高原順司<sup>\*3</sup>  
Masanori Kodaira Isao Kawate Junji Takahara  
廣川正人<sup>\*4</sup> 新部忠幸<sup>\*5</sup>  
Masato Hirokawa Tadayuki Niibe

### 要 約

2002年に発売した初代アテンザは、デザインとパッケージングを両立させ、マツダのDNAを体現した車として高い評価を得た。新型アテンザでは、初代モデルのグローバルに通用するパッケージを維持、強化しつつ、「Zoom-Zoom」の更なる進化を目指して、特に以下の実現に注力した。

1. スポーティな外観
  2. 走る喜びを提供するコックピット
  3. スマートな動作を実現する荷室
- 本稿では、これらの特徴について紹介する。

### Summary

Since the release of first model in 2002, Atenza had enjoyed a high reputation as a vehicle representing the DNA of the brand and achieving a good balance between design and package. In the new Atenza, we maintained and further enhanced a global-class package of the previous model's in the aim of "Zoom-Zoom" evolution with the special focus on the followings :

- 1.Sporty appearance
- 2.Fun-to-drive cockpit
- 3.Cargo room of realizing smart operations

In this paper, we will discuss the details of each item.

### 1. はじめに

マツダの新世代商品群の第1弾として登場した初代アテンザは、デザイン、ダイナミック性能と居住性を高いレベルで実現させた車として市場で好評を得た。アテンザのフルモデルチェンジに当たり、我々は「Zoom-Zoom」の更なる進化をコンセプトに、高度化する環境・安全要求に対応しつつ、マツダのDNAである「際立つデザイン」、「抜群の機能性」、「反応の優れたハンドリングと走行性能」を更に高めて、次世代スポーティセダンのベンチマークとなるパッケージを目指した。

### 2. パッケージングの狙い

我々は、新型アテンザが「Zoom-Zoom」の更なる進化によって実現する価値、すなわちキーバリューを「Emotional and Sporty」、「Exclusive Experience」、「Insightful Package」と定めた。パッケージングは「Insightful Package」に加えて、全てのキーバリューの実現に重要な役割を持つ。デザイン、ダイナミック性能、居住性など相反関係となりやすい各商品性領域が掲げる難易度の高い目標を、ブレークスルーによって両立を図ることが強力に「Zoom-Zoom」を具現化することにつながる。

新型アテンザでは初代アテンザと同様にセダン、スポーツ(5ドアハッチバック、以下5HB)、スポーツワゴンの3

\*1 企画設計部  
Basic Design Dept.

\*4 装備開発部  
Interior & Exterior Components Development Dept.

\*2, 3 車両実研部  
Vehicle Testing & Research Dept.

\*5 技術研究所  
Technical Research Center

つのボデータイプを持つ。アテンザの属するミドルクラスにおける居住性に対するプライオリティをボイス・オブ・カスタマー（以下VOC）から分析した結果、3ボデータイプとも前席が最もプライオリティが高く、次に荷室の順であることがわかった。

これらを踏まえ、新型アテンザのパッケージングでは、初代アテンザの強みであるグローバルに通用するパッケージングを強化しつつ、キーバリューの実現に直結する下記項目を特に「Zoom-Zoom」を強力に具現化する進化」として捉え、その実現に注力した（Fig.1）。

- ① スポーティな外観
- ② 走る喜びを提供するコックピット
- ③ スマートな動作を実現する荷室

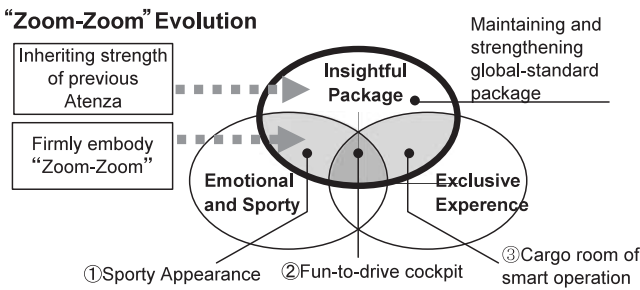


Fig.1 Package Concept

### 3. スポーティな外観

一般的にスポーティな外観と広い居住空間は相反しやすいが、新型アテンザでは、初代を凌ぐゆとりの室内を確保しつつ、好評の初代以上のスポーティな外観を実現することに注力した。スポーティな外観を実現するためのキーポイントは、ロングホイールベースで、かつコンパクトなキャビンに見えるプロポーション、そして大径タイヤである。

#### 3.1 ロングホイールベースのプロポーション

アテンザの属するミドルクラスでは、全長などの車両サイズは拡大傾向にある。新型アテンザでは、拡大傾向のトレンドの中で、好評の初代アテンザと同じ競合中位のポジションを維持し、かつスタイリングの大きなキーポイントであるロングホイールベースのプロポーションを実現するために、全長を65mm、ホイールベースを50mm拡大した（Fig.2）。ホイールベース延長で影響を受ける最小回転半径については、初代アテンザと同等レベルを実現し、車の取り回し性を維持している。

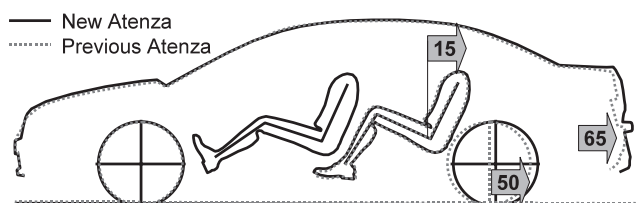


Fig.2 Proportion Comparison (Sedan, Side View)

#### 3.2 コンパクトなキャビンに見えるプロポーション

スポーティなプロポーションと居住空間の両立のポイントは、コンパクトに見える滑らかなキャビン形状の実現にある。新型アテンザでは、VOCの分析をもとにプライオリティをつけた空間拡大を図ることで、居住空間とバランスのとれたスポーティなプロポーションの実現を目指した。

前後方向の空間については、ミドルクラスのカスタマーの居住性に対する重視度が、荷室、後席の順であることを踏まえ、競合トップレベルの荷室容量を確保するために、全長の拡大量を後席に対してプライオリティの高い荷室に多く振り分けた。後席は必要なニー、レッグスペースを確保するために前後空間を15mm拡大した。結果的に全長の拡大量に対してキャビンの拡大量が小さくなり、車両に対して相対的にコンパクトに見えるキャビン形状を実現した。

加えて、フロントヘッダを斜め後方に後退させることにより、前方上方視界、解放感を向上させつつ、ヘッダ部のルーフ面の高さを下げ、更に滑らかなキャビン形状を実現した（Fig.3）。

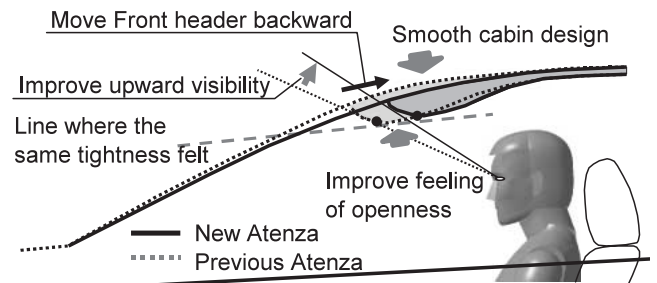


Fig.3 Front Header

左右方向については、カスタマーの重視度がヘッドスペースよりもショルダースペースの方が高い点を踏まえ、全幅を拡大しつつ、左右の乗員間隔とルーフサイドの位置を維持した。これによって、カスタマーの重視する肩周りのスペースの拡大と、サイドガラスの傾斜のついたコンパクトに見えるキャビン形状の両立を実現した（Fig.4）。

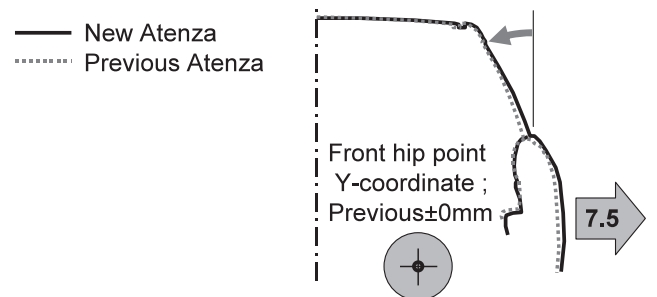


Fig.4 Proportion Comparison (Front View)

新型アテンザのボデータイプの中で最もスポーティな位置づけの5HB車では、特に滑らかなキャビンのプロポーションとするために、リアヘッダ部のルーフ面を低くするこ

とに注力した。一般的に5HB車はリフトゲートヒンジをリヤヘッダ部に内蔵するため、リヤヘッダの断面が厚く、ルーフ面が高くなりやすい。新型アテンザではリヤヘッダ断面を小型化して後席乗員の頭上空間と前後でかわすように後方下方に配置することで、初代アテンザ同等の頭上空間を確保しつつ、低く滑らかなリヤヘッダのデザインを実現した (Fig.5)

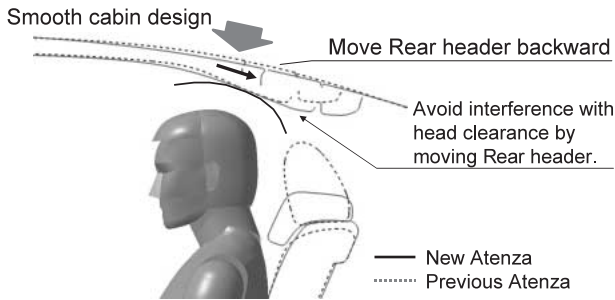


Fig.5 Rear Header (5HB)

3.3 タイヤサイズの拡大

タイヤが大きく見えるスポーティなプロポーションの実現のため、競合トップレベルのタイヤ外径の実現を目指した。最大タイヤを初代アテンザの215/45R18から225/45R18にサイズアップし、タイヤ外径を9mm拡大した。

4. 走る喜びを提供するコックピット

クルマとドライバーとのインターフェイスであるコックピットは走る喜びを体感するために重要な部位である。新型アテンザではスポーティなドライビングと快適性を両立できるコックピット空間の実現を目指した。

4.1 運転の基本機能の進化

初代アテンザでは小柄な人から大柄な人まで不満のないドライビングポジションを実現するため、シート (スライド, リフト), ステアリング (チルト, テレスコピック) の調整量を競合トップレベルまで広げてドライビングポジションの設定自由度を向上させた。新型アテンザでは、更に全ての体型の人の満足度を底上げさせられるドライビングポジションを目指した (Fig.6)

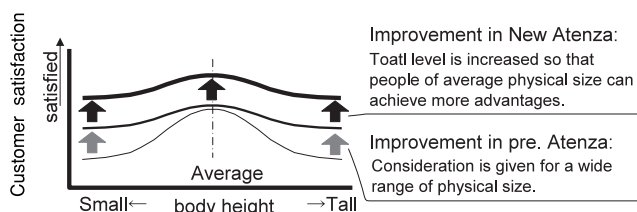


Fig.6 Concept of Driving Position Improvement

特に、運転の基本操作であるステアリングとシフトの操作性を向上させることで、“Zoom-Zoom”な操る喜びを訴求することに注力した。そのために人間工学に基づいたステアリング、シフトの配置の最適化を図った。

(1) ステアリング角度の最適化

ワインディングロードなどを走行する時にドライバーがスムーズにステアリングホイールを回すためには、ホイール上部を持つ時に肘が伸びきってシートから肩が浮いたり、ホイール下部を持つ時に腕が窮屈に曲がって腹部と干渉することをなくすことが必要である。また市街地や高速道路での走行では、ステアリングホイールを強く握らず、ステアリングホイール面に手を預けられると手の疲労が少ない。新型アテンザでは操作性と疲労の双方とも満足するステアリングホイール角を走行評価から求め、初代アテンザの23度から2度起こした21度に設定した (Fig.7)

Steering Wheel Angle  
 — New Atenza 21deg.  
 ..... Previous Atenza 23deg.

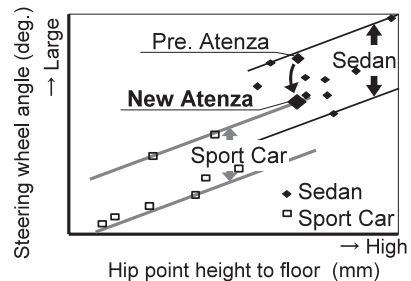
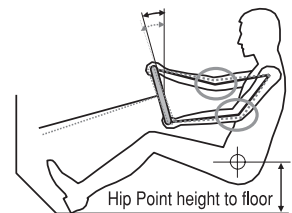


Fig.7 Steering Wheel Angle

(2) 操作性に優れたシフトレバー配置

ドライバーが最も力を入れやすい位置にシフトレバーを配置するため、筋負担計測に基づくエルゴノミクス分析から力の入れやすいシフト位置を明確化した。その結果、シフトノブ位置の最適エリアは初代アテンザよりも高く、ドライバー側に寄せた位置にあることがわかった。これに基づき、新型アテンザではMTシフトノブ位置を初代アテンザに対して32mm上げ、かつ22mmドライバー側に近付けて、トップレベルの操作性を実現した (Fig.8)

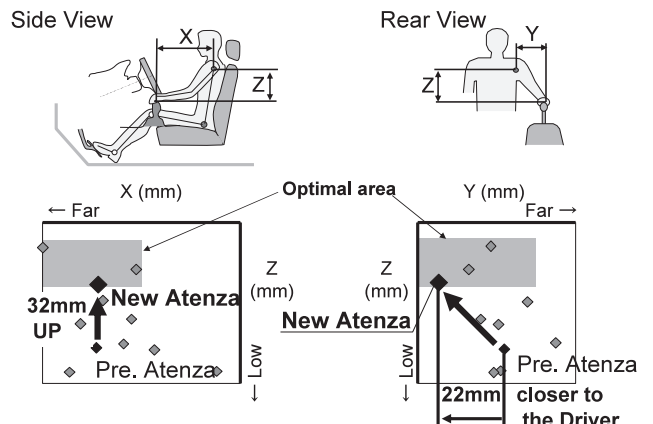


Fig.8 Shift Lever Layout

シフトノブ位置の上方移動は、シフトストロークが増大することによってシフトフィールが悪化しないように、シフトレバー長を伸ばすのではなく、シフトレバー全体を上方に移動することで対応した。

4.2 快適でストレスのないコックピット環境

(1) センターアームレスト性能の向上

小柄なドライバーでも肘を置いたままでシフト操作ができる快適なアームレストと、カップホルダのカップの出し入れとの両立を図るために、75mmのスライド量を持つスライド式アームレストを採用した。これによってスライド最前端時に競合トップレベルの肘置き性を確保しつつ、大型のカップを2個収納できるカップホルダを実現した。更に前側カップはアームレストを後方に戻さなくても出し入れ可能な配置とした (Fig.9)。

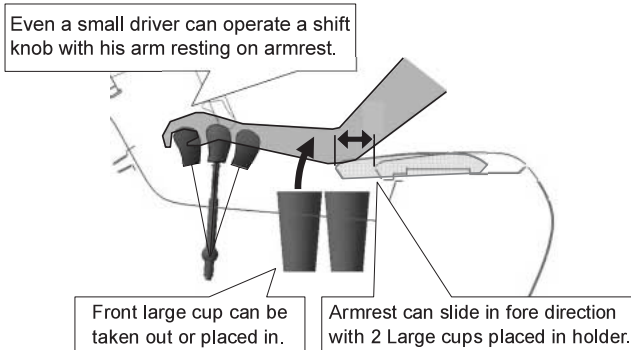


Fig.9 Center Armrest

(2) 車両の後側方を把握しやすい視界

セダンや5HB車では、スポーティなプロポーションはトランクリッド面が高くなりがちである。荷室高さを確保する場合もトランクリッド面が高くなりやすい。その結果、一般的に後方視界の確保は、プロポーションや荷室と相反しやすい。新型アテンザでは、後方視界とプロポーション、荷室を両立させるために、カスタマーの使用実態を踏まえて視界として必要なエリアを規定し、その部分の視界を重点的に改善することでブレークスルーを図った。

カスタマーの使用シーンの中で、後方視界が特に問題となるのは後退駐車時である。後退駐車におけるカスタマーの駐車行動と視認部位を分析した結果、駐車の良い悪いには、隣の車のボンネットを視認しながらステアリングを切り始める時のCピラー前縁部の視界と、駐車スペースに車を収める最後の直進後退時におけるバックウインドウ越しの後方視界が重要であることがわかった。新型アテンザではこの2点を重点的に改善し、後方視界の改善を図った。

① Cピラー前縁部の視界

駐車行動の分析から、駐車の手々なカスタマーはドアミラーによる間接視認より、後方を振り向く直接視認の傾向が強く、その結果、特にCピラー前縁部の直接視界が駐車の良い悪いに重要であることがわかった。新型アテンザで

は後退駐車行動をバーチャル評価でシミュレーションし、Cピラー前縁位置の目標を設定して視界改善を図った (Fig.10, 11)。

Each pillar is located so that a driver can see a right edge on a front bonnet when starting reverse parking.



A driver can see a top of a pole which is used as the right edge of a front bonnet.

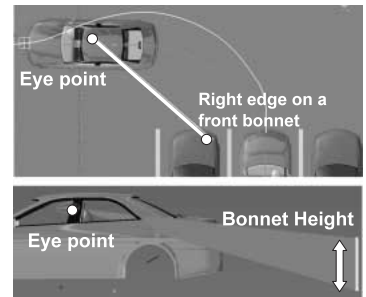
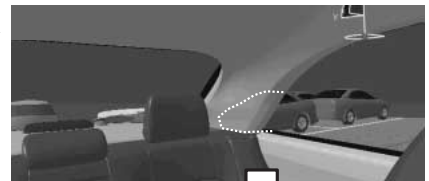


Fig.10 Lateral Rearward Visibility Criteria

Previous Atenza



New Atenza

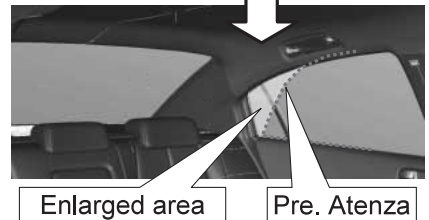


Fig.11 Lateral Rearward Visibility (Sedan)

② バックウインドウ越しの後方視界

初代アテンザを始め、一般的に後席ヘッドレストやパッケージトレイ上にあるハイマウントストップランプが視界を妨害する場合が多い。新型アテンザでは、ガラスの見切り一杯まで使ってバックウインドウの視界のポテンシャルを最大限活用するために、ガラスエリア内で視界を妨害する物を極力排除することを目指した。そのために、後席のヘッドレストを鞍型形状として上下方向に薄型化した。セダンでは、初代アテンザでパッケージトレイ上にあったハイマウントストップランプをトランクリッド後面に移設した。これらにより妨害物のないスッキリした後方視界を実現した (Fig.12)。

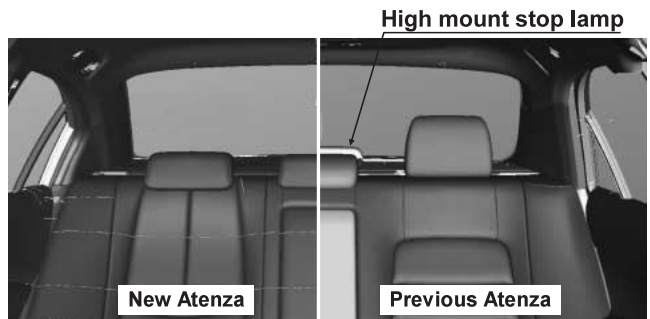


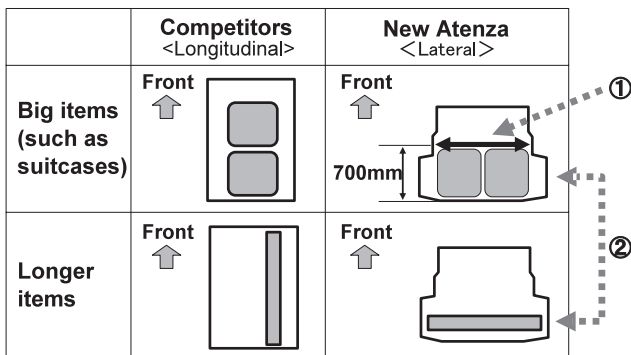
Fig.12 Rearward Visibility (Sedan)

### 5. スマートな動作を実現する荷室

初代アテンザは広い荷室空間とKARAKURIフォールドに代表される使い勝手の良さで顧客の高評価を得た。新型アテンザでは、顧客の荷室の使用シーンに着目し、荷物別の一連の荷役動作を分析することで、よりスマートな荷役動作を実現し、「Exclusive Experience」を提供することを目指した。以下では3ボデータイプの中で最も荷室が重視されるスポーツワゴンを中心に紹介する。

#### 5.1 開口付近に広いスペースを確保した荷室フロア

競合車の多くは、前後方向に長い荷室スペースを確保しているため、顧客は荷物を前後に並べて搭載する。その場合、奥の荷物を取る時は無理な姿勢になりやすい。VOC分析からも荷物に楽に手が届く荷室開口から700mmまでのエリアを顧客が重視していることがわかった。新型アテンザは、このエリアで荷物を左右方向に並べられる幅広い荷室スペースを確保することで、スマートな荷役動作の実現を目指した (Fig.13)



- ① BIC cargo width is achieved at the point of 700mm from opening, which is a sensitive point for customers.
- ② Securing more space at opening makes simple and effortless loading/unloading possible.

Fig.13 Cargo Arrangement Concept

その結果、荷室開口近くに中型スーツケースを左右に2個並べて置ける競合トップの幅広い荷室フロアを実現することができた。更に走行中に荷物が荷室の奥に散らばることを防ぐために荷室フックを配置し、荷室開口近くでの使い勝手を向上させている。

#### 5.2 KARAKURIフォールドの進化

KARAKURIフォールドは初代アテンザの好評なアイテムの一つで、荷室開口部側からワンタッチでリヤシートを前倒させ、瞬時に低く長い荷室フロアを作る機能である。新型アテンザでは初代アテンザの機能を継承した上で、後席を倒した後のスマートな荷役動作を実現するために、長尺物や大きな荷物をスムーズに押し滑らせて載せられる荷室フロアの実現を目指した。そのために、前倒時のリヤシートバックと荷室フロアの角度差を縮小して段差のないほぼフラットな荷室面とした。その際、後方視界改善のため

に採用した鞍型形状のヘッドレストが、シートを前倒させた時にバックとクッションの間に挟まるために、前倒時のシートバック角度の制約となったが、ヘッドレストを薄型化することで、狙いのシートバック角度を実現した (Fig.14)



Fig.14 Cargo Floor when Rear Seat Folded (Side View)

荷室で最も幅が狭くなるリヤサスペンションタワー間の寸法は、リヤシートを前倒して搭載する代表的な大物荷物である組み立て家具のほとんどが積載できるように1,030mmを確保した。更に、荷室開口幅も1,030mm以上を確保することによって荷物のスムーズな出し入れを実現し、サスペンションタワー間幅を有効に使い切れる荷室とした。

#### 5.3 世界初のKARAKURIトノボード

新型アテンザでは、荷室関連の操作についても、顧客が煩わしく思っている操作を洗い出し、スマートに改善することを目指した。荷物別の一連の荷役動作の分析より、頻度が高く煩わしい操作はトノカバーの開閉とわかった。特に盗難防止のために荷室内の荷物を隠すニーズの高い欧州では、顧客は荷物を出し入れする度にトノカバーを開けたり、閉めたりする必要がある。新型アテンザでは、この煩わしい操作を完全になくすことを目指した。

リフトゲート開閉と連動させてトノカバーを開閉させることは、煩わしさをなくす有効な手段である。今までに、開く時のみリフトゲートロックの解除と連動して自動的に巻き取るトノカバーや、リフトゲート開閉と連動して電動で開閉するトノカバーが存在した。いずれも機能として不十分であったり、大掛かりで重量のかかるシステムが必要であったりした。新型アテンザでは、電動よりシンプルかつ軽量のシステムとして、トノカバーの開閉にリフトゲートの開閉力を利用した世界初のシステムを創出し、「KARAKURIトノボード」と名付けた。このKARAKURIトノボードによって、煩わしいトノカバー操作のないスマートな荷役動作を実現した (Fig.15)

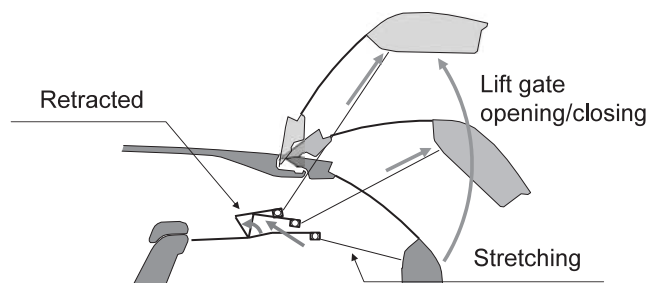
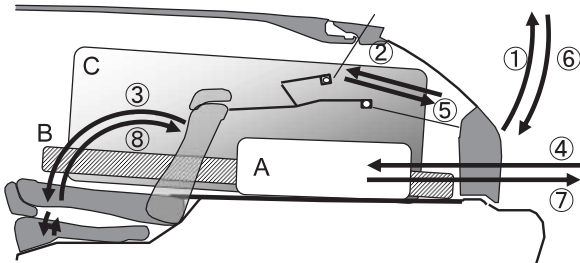


Fig.15 KARAKURI Tonneau Board



またリヤシートを前倒して大きな荷物を積む時に、外したトノボードの置き場所に困らないように、取り外したトノボードを荷室フロア下に収納できる構造とした。

これらのKARAKURIフォールドやKARAKURIトノボードによって、リフトゲートを開けて荷物を載せ、降ろし、リフトゲートを閉めるまでの顧客の一連の荷役動作をスマートに進化させた (Fig.16)。



	←Frequent				
	A Small items	B Lower, longer items	C Taller, longer items		
Loading operation	① Open a lift gate.	●	●	●	
	② Roll up a tonneau cover.	●	●	●	◀ KARAKURI Tonneau board (Linked with lift gate opening/closing)
	③ Fold a Rr seat.		●	●	◀ KARAKURI Fold (Remote operation)
	Remove the tonneau cover.			●	
	Put away the tonneau cover.			●	◀ Tonneau cover storage
	④ Load luggage in trunk.	●	●	●	◀ KARAKURI Fold (Low and flat cargo floor)
Unloading operation	⑤ Roll out the tonneau cover.	●	●	●	◀ KARAKURI Tonneau board (Linked with lift gate opening/closing)
	⑥ Close the lift gate.	●	●	●	
	① Open the lift gate.	●	●	●	
	② Roll up the tonneau cover.	●	●	●	◀ KARAKURI Tonneau board (Linked with lift gate opening/closing)
	⑦ Unload the luggage from trunk.	●	●	●	◀ KARAKURI Fold (low and flat cargo floor)
	Bring the tonneau cover to trunk.			●	◀ Tonneau cover storage
Install the tonneau cover.			●		
⑧ Unfold the Rr seat.		●	●		
⑤ Roll out the tonneau cover.	●	●	●	◀ KARAKURI Tonneau board (Linked with lift gate opening/closing)	
⑥ Close the lift gate.	●	●	●		

Fig.16 By-Item Loading/Unloading Operation

### 6. 後席空間

後席空間においてもスタイリングと居住空間の両立のため、顧客が重視する部位の広さを効果的に改善することを目指した。VOCの分析から後席では前後方向の空間が重視されていることがわかった。分析の結果、長時間の走行で疲れた時、前方にお尻をずらしても足や膝が窮屈にならないことが快適性を大きく左右することがわかった (Fig.17)。新型アテンザでは初代アテンザに対してニー、レッグスペースを拡大して、姿勢を崩せるゆとりの後席空間を実現した。

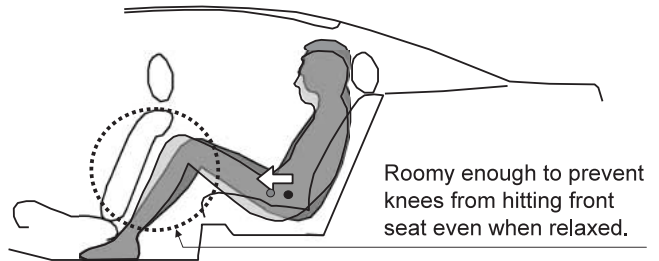


Fig.17 Roomy, Cozy Rear Seat

### 7. おわりに

クルマのパッケージングとは、マツダがお客様に提供する様々な価値、そして商品に託す想いを、最高の技術と創意を持って、商品魅力が最大となるように1台のクルマに包み込むことであると考えている。細部にまで考え抜いて創り上げた新型アテンザのパッケージを是非とも多くのお客様に体感していただきたい。

#### 著者



小平正則



河手 功



高原順司



新部忠幸

特集：新型マツダアテンザ

9

## 新型マツダアテンザのダイナミクス性能 Dynamics Performance of All-New Mazda Atenza

豊島 由忠<sup>\*1</sup> 池田 直樹<sup>\*2</sup> 吉村 匡史<sup>\*3</sup> 佐野 晋<sup>\*4</sup>  
 Yoshitada Toyoshima Naoki Ikeda Tadashi Yoshimura Susumu Sano  
 澤村 伸哉<sup>\*5</sup> 川崎 敬三<sup>\*6</sup> 吉井 群治<sup>\*7</sup> 清水 勝矢<sup>\*8</sup>  
 Nobuya Sawamura Keizou Kawasaki Gunji Yoshii Katsuya Shimizu

### 要 約

新型アテンザは、“サステイナブルZoom-Zoom”を実現するべく、初代アテンザの運転する楽しさを更に進化させたオンリーワンのドライバズカーを目指した。ダイナミクス性能、特に操縦安定性能、乗り心地性能、ロードノイズ性能を徹底的に造り込み、その性能を大幅に向上させた。サスペンションは、初代アテンザの形式を踏襲するも構造を一新し、リニアなジオメトリ変化、コンプライアンス特性の最適化、サスペンション取り付け部の高剛性化、ボデーへの振動入力の低減を図った。ステアリングには、ラックドライブ式電動パワーステアリングを採用し、低速から高速まで自然で違和感のないしっかりしたステアリングフィールを実現した。また、初代アテンザで高い評価を得た車体剛性を更に向上するため、車体全体剛性と局部剛性のレベルアップに取り組み、高剛性・軽量ボデーを実現した。

### Summary

New Atenza was aimed at the only one driver's car which further developed the pleasure of driving from the previous model in order to actualize "sustainable Zoom-Zoom". Dynamics performance, especially driving stability performance, ride comfort, performance and road noise performance, were completely developed and these performances were greatly improved. The suspension type followed the previous Atenza, however, the structures are all new for linear geometry change, optimization of compliance characteristics, high rigidity of suspension mounting, and reduction of vibration input to the body. Rack-drive type electric power steering was adapted and it actualized natural and stable steering feeling from low speed to high speed without strange feeling. Moreover, to improve the body rigidity that was acclaimed with previous Atenza, it worked on the improvement of the whole and local rigidity, and actualized a high rigidity and a light weight body.

### 1. はじめに

新型アテンザでは、初代アテンザからの大幅な進化を目指し、ダイナミクス性能、特に「高速直進安定性」と「質の高い乗り心地」そして「クラストップのロードノイズ性能」の開発に注力した。初代アテンザでは、マツダの“Zoom-Zoom”が味わえる軽快なダイナミック性能に仕上がっていたが、高速走行で車両の挙動が、やや過敏に感じられる傾向にあった。また路面からの入力に対する感度が

高くなり、乗り心地とロードノイズという快適性に改善の余地があった。新型アテンザでは、これらの課題を高いレベルで克服し、いかなる走行シーンにおいても快適性を損なうことなく、進化したマツダの“サステイナブルZoom-Zoom”が感じられるダイナミクス性能を実現した。

本稿では、そのダイナミクス性能を実現するためのシャシー、ボデーの主要構造と操縦安定性能、乗り心地性能、ロードノイズ性能の達成性能と達成手段を紹介する。

\*1 操安性能開発部  
Chassis Dynamics Development Dept.  
\*6, 7 ボデー開発部  
Body Development Dept.

\*2~5 シャシー開発部  
Chassis Development Dept.  
\*8 NVH性能・CAE技術開発部  
NVH & CAE Technology Development Dept.

## 2. シャシー

### サスペンション・ステアリング

#### 2.1 開発の狙い

サスペンション・ステアリングについては、剛性感のある正確なステアリング、ハンドル入力に対する応答性向上、滑らかでリニアな車両挙動を目指した。更に、しなやかな乗り心地やクラストップの静粛性を実現するために次の項目を注力ポイントとした。

- ① ジオメトリ/コンプライアンス特性の最適化
- ② サスペンション取り付け部材の高剛性化
- ③ ボデーへの振動入力低減

#### 2.2 構造と特徴

##### (1) フロントサスペンション

初代アテンザ同様のハイマウントダブルウィッシュボーン式サスペンションを採用した (Fig.1)。



Fig.1 Front Suspension

ロアアームは、2本のアームからなるダブルピボット式から一体構造のアームによるシングルピボット式に変更、路面からの外乱入力に対する微小なステア軸の動きを抑えることにより正確な操縦性を実現させた。

パワープラントやステアリングギヤボックスをマウントするペリメータフレームは、ボデーとの締結点を初代アテンザの4点から6点に増やした。これは、ロアアーム前側の取り付け部近傍をボデーフレームに結合することによるロアアーム支持剛性の向上と、サスペンションからの入力を分散することで、路面からの振動とパワープラントからの振動を大幅に低減させることが狙いである。これにより操縦安定性とNVHの両立が高いレベルで可能となった。

ダンパは、ピストン積層バルブにプリロードを付加したものを採用。これにより微振幅入力に対しても安定した減衰力を発生させることが可能となった。

アッパーとロアアームの前側ブッシュには、RX-8やロードスターに採用しているゼロストップクリアランス構造を採用し、初期からのリニアなばね特性により路面入力による前後変位を抑制し、安定性を向上させた。一方、ロアアーム後側ブッシュには、容量の大きい液体封入式ブッシュを採用し、振動減衰性、絶縁性を向上させた。

またペリメータフレーム前部には、エクステンションビームを新たに設定し、衝突時の衝撃吸収性を最適化しつつ、軽衝突時のリペアビリティも向上させている

##### (2) リヤサスペンション

初代アテンザ同様のE型マルチリンク式サスペンションを採用した (Fig.2)。



Fig.2 Rear Suspension

トレーリングアームのボデー側取り付け位置を25mm上方へ移動し、制動時のリヤリフト量を抑制した。更に、リバウンドストローク時のトー変化もリニアな特性としたことで車両の安定性を向上させた。またトレーリングブッシュのサイズを60mmから70mmに大径化し、充分な前後コンプライアンスを確保したことにより乗り心地性能も飛躍的に向上した。

初代アテンザで28°傾斜させていたダンパは、直立レイアウトに変更した。ダンパレバー比は先代の0.73から0.89となり、微小ストローク域でも効率よく減衰力を発生させることが可能となった。これにより、リニアで遅れない車両挙動となり、路面の変化や横風等の外乱に対する安定性も向上できた。ダンパのバルブ構造は、フロントと同じものを採用している。

アッパーアーム、ロアアームには、中間板付ブッシュを採用し、軸方向と軸直角方向の静特性と動特性を最適化することで操縦安定性と乗り心地向上だけでなくボデーへの振動入力低減を図った。また、トレーリングアームやロアアームの共振モードをコントロールすることによる入力低減も行った。

##### (3) ステアリング

ステアリングシステムには、ラックと同軸にモータを配置するラックドライブ式電動パワーステアリング (Fig.3) を採用した。これはRX-8でも採用した方式であるが新型アテンザでは更に改良を加えた。具体的には、パーキング時のアシスト力を低減、かつ走行時の最適なステアリングフィーリングを確保するため、高出力で慣性の小さいブラシレスモータを開発、その上でフリクション、慣性感を低減するため、ボールスクリューのリード長の最適化を行った (Fig.4)。これらの結果、パーキング時の操舵力を初代比18%低減するとともに、走行時には各車速に適した舵力特性を実現した (Fig.5)。

また電動化によりエンジンに対する負荷も低減させ、燃費向上にも貢献している。



Fig.3 Steering Gear

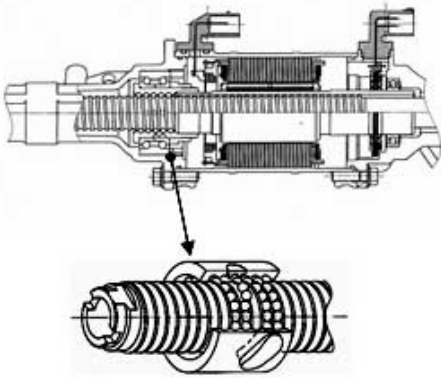


Fig.4 Brushless Motor & Ball Screw

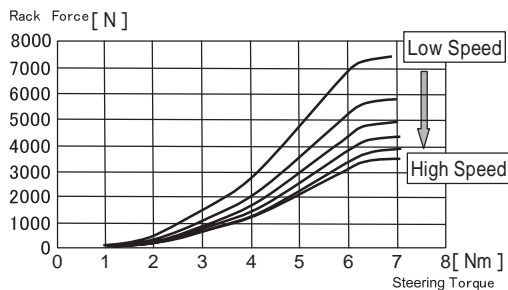


Fig.5 Steering Characteristic

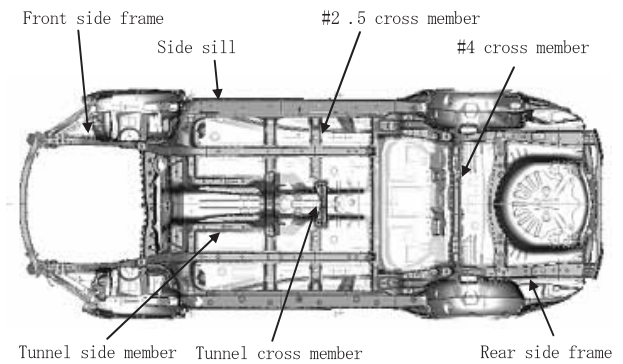


Fig.6 Body Frame Work

(2) フロントボデー構造

フロントボデー構造をFig.7に示す。

左右サスペンションタワー間をカウルメンバで結合し、剛性アップを図っているが、このカウルメンバとエプロンの結合を初代より更に強化し、フロントサスペンションタワー間の対角変位の低減により剛性感向上を実現した。

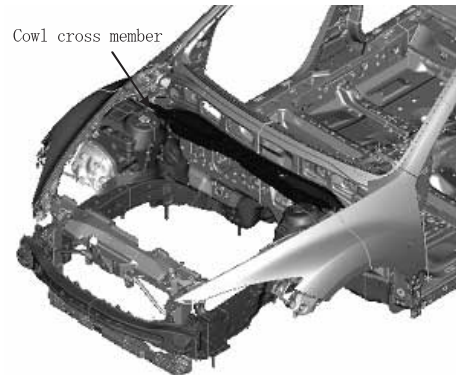


Fig.7 Front Body Structure

3. ボデー

3.1 開発の狙い

初代アテンザでも高い評価を得た車体剛性を新型アテンザでは、更に、高いハンドリング性能と高速直進安定性を達成するため、全体剛性、局部剛性のレベルアップに取り組んだ。また新たに、車体ねじり変形の位相遅れという特性にも注目し、剛性感向上策にも取り組んだ。

3.2 構造と特徴

(1) ボデーフレームワーク

アンダーボデーのフレームワークをFig.6に示す。

車体剛性の評価が高かった初代アテンザのフレームワークをベースに、トンネル裾野へのフレームの追加、#2.5クロスメンバ追加、サイドシルの大断面化、各フレーム結合部の結合強度アップなどの改善を行い、車体全体の曲げ、及びねじり剛性を向上することができた。

フロントフロアトンネル部にはトンネル下部に追加したフレーム間を結合するトンネルクロスメンバを設定し、操舵時のトンネル廻りの局部的なねじれ変形を抑制することで、特に操縦フィーリングや応答性を向上させた。

(3) リヤボデー構造

4ドアセダンのリヤボデー構造をFig.8に示す。

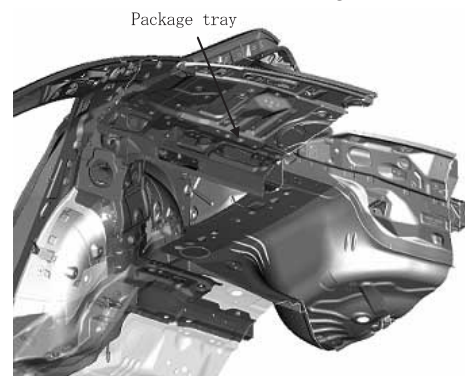


Fig.8 Rear Body Structure (Sedan)

前述のリヤダンパ直立レイアウトに加えて、このダンパ取り付け部のブレースにより局部剛性を高めることで、リヤダンパ特性を改善し高速走行でもよりリニアに追従するリヤサスペンションが実現した。また、このダンパ取り付け部の上下をCピラー/パッケージトレイ部環状構造とすることで、パッケージトレイの対角変位を14%改善し、剛

性感向上を実現した。

ハッチバック車、ステーションワゴン車のリヤボデー構造をFig.9に示す。

リフトゲート開口部が大きいハッチバック車、ステーションワゴン車においてはリヤボデーの剛性が重要であり、特にその開発に注力した。ダンパ取り付け部からCピラー、リヤヘッドにかけての連続した補強部材を設定した。また、開口部の上部コーナやDピラーにレインを最適に設定し、開口部周りを閉断面の環状構造で強化することで、ハッチバック車でありながらセダン並みの捻り剛性を実現し、リヤボデーの対角変位を58%改善することができた。

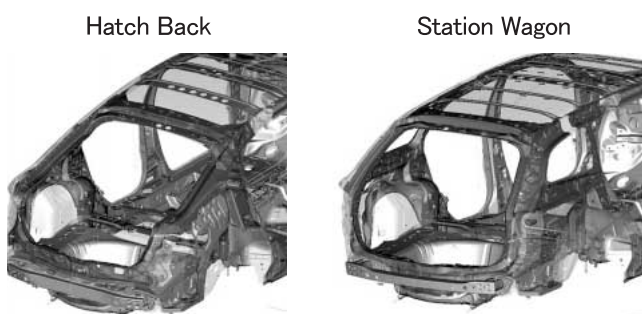


Fig.9 Rear Body Structure

#### (4) キャブサイド構造

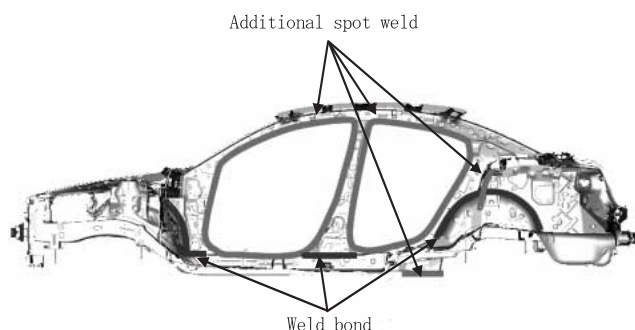


Fig.10 Cab Side

CX-9の開発より取り組んでいる、車体ねじり変形の位相遅れの改善に注力し、剛性感の向上を狙った。開口の大きいフロントドア、リヤドアの開口部を中心にスポット溶接を追加し、更に前後のホイールハウスインナの接合部へウェルドボンドを採用した (Fig.10)。またフロントヘッドジャンクション、リヤヘッドジャンクションのガセット化、ルーフレインとレインレール部の結合強化なども織り込み、大幅な剛性感の向上を達成し、重厚で質感の高い走行フィールを得ることができた。

#### (5) アタッチメント

空力アップグレードに対しては、フロントタイヤ前に馬蹄形ディフレクター、フロア下にアンダーカバー、リヤタイヤ前にエアガイドを設定することでフラットな床下を実現しベストインクラスの空力性能CD値0.27を達成し、高速直進安定性、燃費を改善できた (Fig.11)。またフロア

下アンダーカバーは吸音性能を有する材料を使用することで室内の静粛性も改善した。

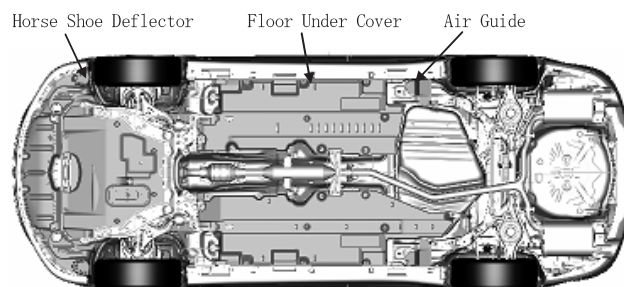


Fig.11 Attachment

#### 3.3 達成性能

以上のボデー構造を織り込んで、操縦安定性に関するボデーの全体剛性は、初代アテンザから曲げ剛性32~45%、ねじり剛性14~30%向上することができた。局部剛性は、リヤの応答遅れに影響の高いパッケージ対角 (セダン)、L/G開口部対角 (ハッチバック、ステーションワゴン) 変位に関して14~58%改善することができた (Table 1)。併せて、車体位相遅れの低減、ハイテン化や構造最適化を行うことで、性能を向上させながら、投影面積当たりの車体重量を同等とすることを達成した。

Table 1 Progress Rate of Rigidity

	Progress Rate of Rigidity (%)		
	Sedan	Hatch Back	Station Wagon
Bending Stiffness	32%	45%	33%
Torsional Stiffness	14%	30%	25%
Diagonal Displacement	14% (Package Tray)	58% (Lift Gate)	39% (Lift Gate)

## 4. 達成性能と達成手段

### 4.1 操縦安定性能

#### (1) 目標と達成性能

目指したのは、中低速では、軽快に扱やす。しかし剛性感とステアリングの正確さが感じられる上質なステアリング性能。高速では、走行シーンを選ばずその安心感と運転する楽しさを提供できる安定性である。

その達成性能を操縦安定性能の評価チャートで示す (Fig.12)。初代アテンザの性能から、剛性感 (Rigid) 正確さ (Precise) として、安定性 (Stable) を特に向上させた。評価結果でもその性能は、バランス良くポテンシャルが向上したことがわかる。本項では、剛性感 (Rigid)、正確さ (Precise)、安定性 (Stable) をいかに向上させたのか一部を紹介する。

#### (2) 達成手段

##### ① 剛性感 (Rigid)

注力したのは、車体剛性の育成である。初代アテンザでも高い剛性感を実現しているが新型アテンザで追求したのは上質を感じさせる剛性感。そのために、今までにない高

い車体剛性の育成が必要となった。中でも車両の箱感（キャビンが硬い箱であるように、ドライバとの一体感が感じられる感じ）育成には特に注力し、安心して操縦を楽しめる剛性感を目指した。その結果、初代アテンザ比較で最大58%まで向上させた。また、より箱感を引き出すために、ルーフ周りの締結を強固にして荷重伝達を、できる限りルーフ回りでさせることで、箱感を更に向上させた。その高い車体剛性は、今までにない安心感を実現した。

② 正確さ (Precise)

ここでは、フロントサスペンションと電動パワーステアリングがキーである。フロントサスペンションには従来4点マウントペリメータだった所を6点マウント化した。追加したマウントは、フロントロアアーム締結に最も近くフロントタイヤの追従反力をよりダイレクトに受ける部分である。ここにマウントを持つことで、ペリメータの変位が抑えられ、よりリニアにフロントサスペンションをストロークさせ「正確さ」をサポートする。ペリメータフレームの変位比較結果を示す (Fig.13)

また、電動パワーステアリングには、前項で説明したように、モータ慣性力を更に小さく抑えるために、新型アテンザではブラシレスモータを採用した（磁気コイルが軸と分離され回転慣性力が小さい）。この採用により、更に正確なステアリング性能を実現することが可能になった。

③ 安定性 (Stable)

安定性能の要は、「リヤサスペンションの完成度で決まる」といっても過言ではない。新型アテンザではリヤダンパのレイアウトに最も大きい改良を加えた。従来の傾斜レイアウトから直立レイアウトに変更。これにより、高速走行でも今まで以上にリニアに追従するリヤサスペンションが実現され、低いダンパ減衰力でもより高い安定性が達成できた。その改善効果を周波数応答特性の比較結果で示す (Fig.14)

4.2 乗り心地性能

(1) 目標と達成性能

目指したのは、小入力の吸収性を高め、微振動を抑えながら、高い車体剛性を採用し、今まで以上に、上質で減衰感ある乗り心地である。その達成性能を乗り心地性能の評価チャートで示す (Fig.15)

初代アテンザからは、剛性感 (Rigidity)、減衰感 (Damping)、入力のシャープさ (Sharpness) が向上していることがわかる。以下は、操縦安定性能と同じように、その達成レベルと手段の一部を紹介する。

(2) 達成手段

① 剛性感と減衰感

高い車体剛性により実現したのはいうまでもないが、ここで注力した特性が、車体捻り剛性の位相遅れ改善である。これによって大小色々な路面入力に対して、今までよりも安定した振動吸収性、及び減衰感が達成でき、今までにない上質な乗り心地を実現した。

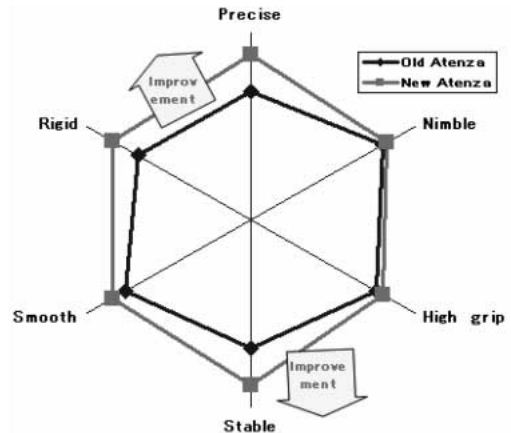


Fig.12 Steering/Handling Result

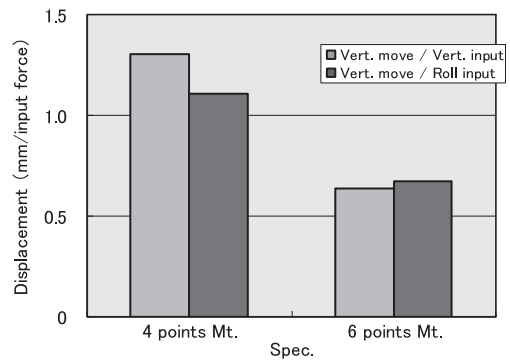


Fig.13 Perimeter Frame Displacement (4P.Vs.6P.Mt.)

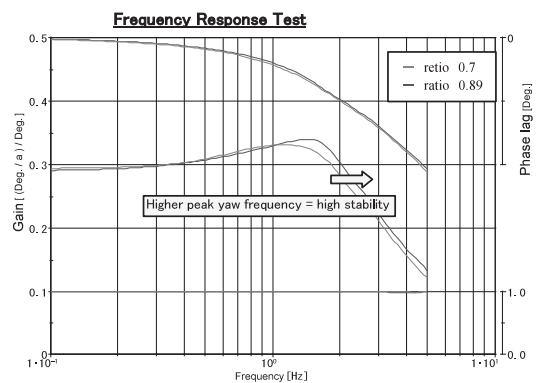


Fig.14 Effect of Damper Layout

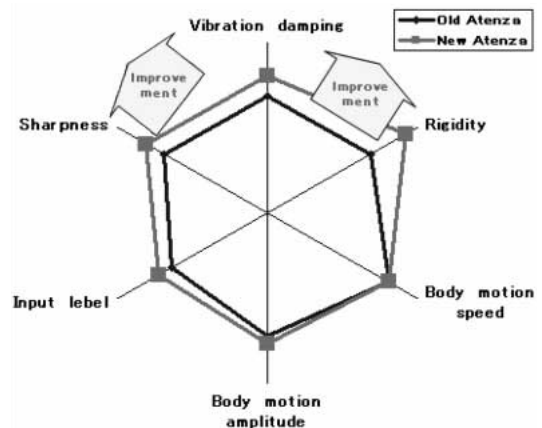


Fig.15 Ride Comfort Result

② 入力のシャープさ (Sharpness)

更に、上質な乗り心地の実現には、微振動 (小さい入力に対する吸収性) を抑える必要がある。そのため、新型アテンザでは、サスペンションのブッシュにも注目した。目指したのはストロークの十分取れたサスペンション (コンプライアンス特性) である。

フロント&リヤサスペンションともに、従来モデルからは改良しているが、特に大きい改良は、リヤサスペンションである。トレーリングブッシュサイズ拡大とサスペンションポイントの改良で、ブッシュでの微振動吸収性と併せて、サスジオメトリでの入力吸収性も改善した。下記グラフは、乗り心地の達成特性データの一部を示す (Fig.16)。

Floor vibration level

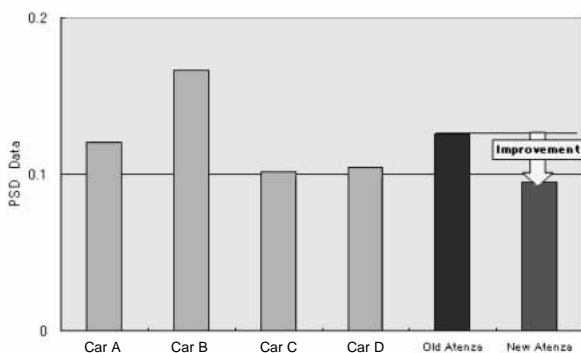


Fig.16 Ride Data at Rough Road

4.3 ロードノイズ性能

新型アテンザでは初代アテンザから静粛性を大幅に改善した。中でもロードノイズ性能はサスペンションブッシュに対し要求が相反することが多い操縦安定性と整合を取りながら、操縦安定性に悪影響を及ぼさない改善策を織り込むことによりロードノイズと操縦安定性の両立を行った。ホイール剛性の改善、サスペンションへのダイナミックダンパ設定、車体の弱点部位へてこ入れによりロードノイズを低減した。車体の改善にはCAE解析と実車の分析を繰り返し、現行の弱点であったダッシュパネル周辺、センターフロア、ルーフパネルへ数々の対策を織り込み車体音響感度を改善 (音になり難い車体を実現) している。次のグラフは粗粒路走行時のロードノイズ音圧を示す (Fig.17)。

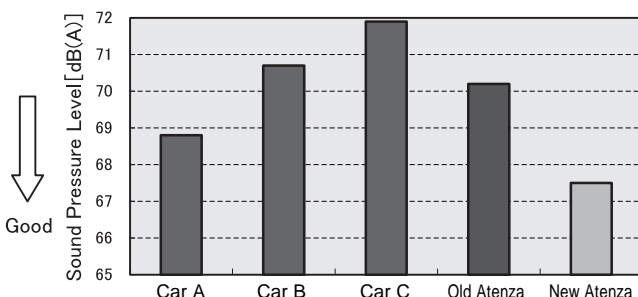


Fig.17 Coarse Road Noise Overall Level

5. おわりに

以上、新型アテンザのダイナミクス性能について狙いの性能とその性能を実現するための構造を簡単に紹介した。

“Zoom-Zoom” を更に進化させた “サステイナブル Zoom-Zoom” を実現するため、開発チームが一体となって意欲的に取り組んできた結果、初代アテンザで高い評価を得た優れたダイナミクス性能を大幅に進化させることができた。

著者



豊島由忠



池田直樹



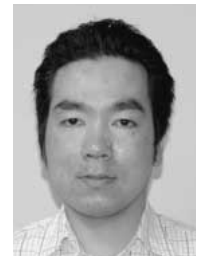
吉村匡史



佐野 晋



澤村伸哉



川崎敬三



吉井群治



清水勝矢

特集：新型マツダアテンザ

10

## 新型マツダアテンザのパワートレイン Introduction of All-New Mazda Atenza Powertrain

高戸 剛<sup>\*1</sup> 井上 康<sup>\*2</sup> 春森 俊宏<sup>\*3</sup> 岡田 光平<sup>\*4</sup>  
Tsuyoshi Takato Yasushi Inoue Toshihiro Harumori Kouhei Okada  
遠藤 孝次<sup>\*5</sup> 東尾 理克<sup>\*6</sup> 岩田 陽明<sup>\*7</sup>  
Kouji Endou Masayoshi Higashio Kiyooki Iwata

### 要約

新型アテンザのコンセプトの一つである「エモーショナル&スポーティ」を際立たせ、「ドライバの感性に訴えるマツダらしいスポーティさ」の実現に向け、「リニアなレスポンスと加速感」を目標に開発を進めた。この実現手段として、実用領域である中速トルクアップを図る新開発MZR 2.5Lエンジン、このエンジン性能をサポートする制御システムの育成に注力した。このような走る喜びと、環境・安全性能との調和を目指すクルマ造り「サステイナブル“Zoom-Zoom”」実現へ取り組んだ。

### Summary

In achieving the development goal of “Linear response and acceleration feel”, an element of the New Atenza concept, “Emotional & Sporty” is emphasized, and “Mazda’s characteristic sporty feel that touches the driver’s senses” is pursued. The enabler was the development of new MZR 2.5 engine to improve more practical low end torque and also establishment of the control system to support performance of this engine. We pursued development of a vehicle that harmonizes joy of driving and environmental, safety performance, the “Sustainable Zoom-Zoom”.

### 1. はじめに

新型アテンザのパワートレインは、従来型から踏襲したMZR 2.0Lエンジン、新開発MZR 2.5Lエンジンに6速MT（一部機種のみ）、5速AT、6速AT（4WDのみ）を採用した。ここでは、新開発MZR 2.5Lエンジン、その性能を生かした車両性能（Performance Feel）、環境性能への取り組みを紹介する。

### 2. パワートレイン概要

新開発MZR 2.5Lエンジンは、「ドライバの感性に訴えるマツダらしいスポーティさ」を「リニアなレスポンスと加速感」、「上質な心地よいフィーリング」の2つの目標に落とし込み、その実現手段として「中速域のトルク向上」、環境性能との調和として「ワールドワイドクリーンエミッション」、「燃費向上」を目標に開発した。また、経済的な「レギュラーガソリン使用」を前提に、スペック選

定、育成を図った。

2.1 「ドライバの感性に訴えるマツダらしいスポーティさ」「リニアなレスポンスと加速感」を実現すべく、従来型の2.3Lから2.5Lへ排気量拡大し、エンジン特性は中低速トルク重視とした。更に、高速域についても、軽快感を持たせる技術、スペックを織り込んでいる。また排気量拡大しつつNVH向上技術を織り込み、軽快なフィーリングを確保している。

#### (1) 低速域

心地よい発進フィールを狙い、耳障りな排気音の低減、1<sup>st</sup> 2<sup>nd</sup> 3<sup>rd</sup>へのシフトアップ時の軽快感を向上し、発進時の「スポーティさ、上質感」を実現した。

#### (2) 中速域

排気量アップ（2.5L化）を生かし、全閉性能、パーシャル性能ともに充実させ、「リニアなレスポンスと加速感」を実現している。

\*1 PT開発推進部  
Powertrain Development Promotion Dept.  
\*3~7 エンジン実研部  
Engine Testing & Research Dept.

\*2 エンジン設計部  
Engine Engineering Dept.



(3) 高速域

エンジン/吸排気系スペック, エンジン制御の最適化を図り, マツダらしい軽快なフィーリングを踏襲した。

(4) アクティブアダプティブシフト (以下AAS)

「リニアなレスポンスと加速感」をサポートする技術として, AASを採用。RX-8, ロードスターで既に導入済であるが, 更に改良を加え, 車両の性格も考慮し, 「上質なAAS」を実現している。

2.2 環境性能への取り組み

次期排気ガス規制にも適合できる排気エミッションシステムを採用し, これを「ワールドワイドな環境スペック」とした。また排気量拡大しながらも軽量コンパクトなエンジンとし, 燃焼改善はもとより, 抵抗低減, 省電力化などを図り, 燃費は従来2.3L同等以上を実現できている。

3. MZR 2.5Lエンジン

高出力, 低燃費, 静粛性で定評のあった2.3Lエンジンを更に進化させるため, 排気量を2.3Lから2.5Lに拡大することにより, 低中速トルクを高め, 十分な加速性能と良好なレスポンスの両立を実現させた。以下に, 2.5Lエンジンの開発の注力ポイントを実現するための主要技術を示す。

3.1 エンジン諸元

Fig.1に新開発の2.5Lエンジン外観図, Table 1にエンジンの主要諸元を示す。

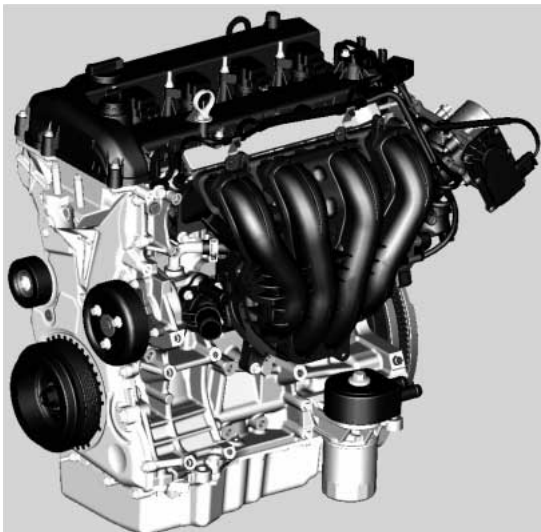


Fig.1 MZR 2.5L Engine Appearance

Table 1 Engine Major Specification

Engine	MZR 2.3L	MZR 2.5L
Cylinder	In-Line 4-Cylinder	In-Line 4-Cylinder
Bore × Stroke (mm)	87.5 × 94	89.0 × 100
Displacement (cm <sup>3</sup> )	2260	2490
Compression Ratio	10.6	9.7
Valvetrain	DOHC 4 Valves	DOHC 4 Valves
Recommended Fuel	Premium gasoline	Regular gasoline
Max. Power (kW/rpm)	131kW/6500rpm	125kW/6000rpm
Max. Torque (Nm/rpm)	215N-m/4000rpm	226N-m/4000rpm

3.2 エンジン出力特性の改善

先代アテンザで定評を得ているMZR 2.3Lエンジンに対し, 更なるレスポンスと加速感で1段上のスポーティな走りを実現させるため, 高出力と低中速トルクの両立を図った。Fig.2にエンジントルク特性を示す。また, 2.5Lエンジンでは, 経済性を考慮しレギュラーガソリン仕様とした上で, 2.3Lエンジンに対しトルク特性を向上させている。以下にトルク向上織り込み技術の紹介を行う。

(1) インテークポートの流動向上

VIS (パリアブル・インダクション・システム) のセカンダリポートの吸気抵抗を低減するために, Fig.3に示すようにセカンダリポート入口をロードスター等で採用しているサージタンク開口型へ変更し, VIS周りのポート形状, フラッパー形状を最適化している。また, 吸気の体積効率を最大限に引き出すために, シリンダヘッドのインテークポートとインテークマニホールドの最適設計を行った。CAE解析の活用により, 吸気抵抗の低減と吸気効率の高いインテークポートを実現させた。特に, TSCV (タンブル・スワール・コントロール・バルブ) 周りの吸気抵抗を低減するために, ポート径, TSCVフラッパーの形状, シリンダヘッドとインテークマニホールドとの合わせ面形状を変更した (Fig.4)。

— MZR 2.5L (Regular gasoline) — MZR 2.3L (Premium gasoline)

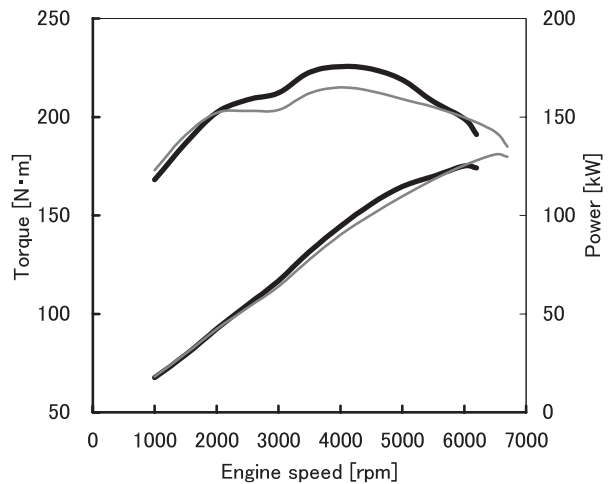


Fig.2 Engine Output Performance

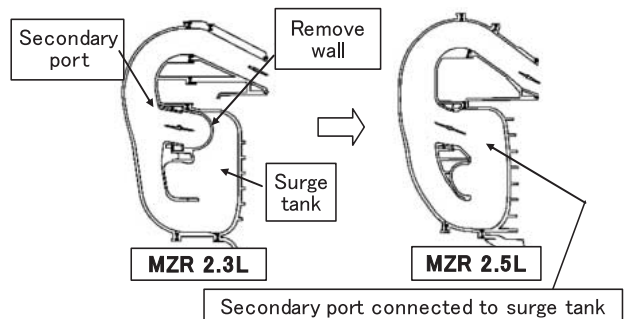


Fig.3 Variable Induction System Structure

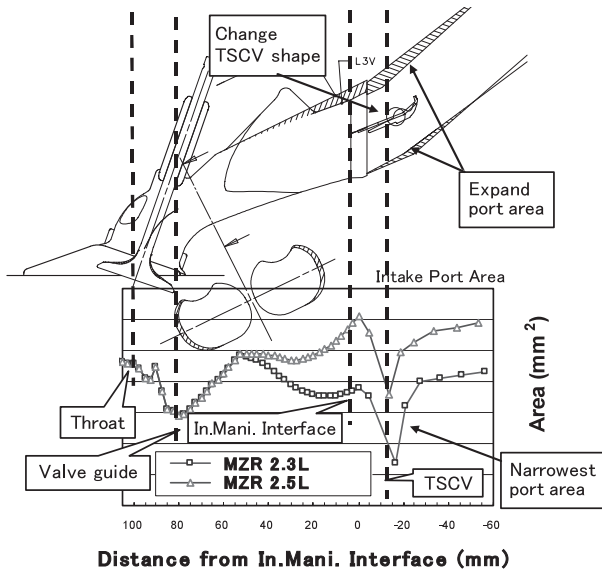


Fig.4 Intake Port Flow Improvement

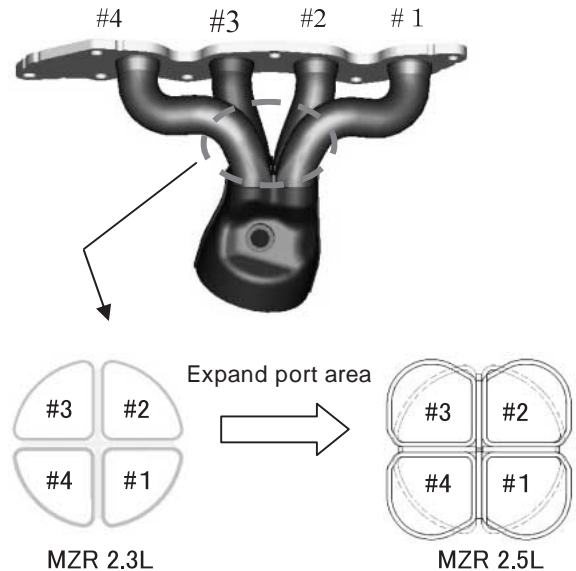


Fig.5 Exhaust Port Shape Refinement

- (2) バルブタイミングとインレットポート長のマッチング  
 2.3Lエンジンにも採用しているVISにより、吸気マニホールドの実質的な長さを変えることによって、低中速回転域と高回転域それぞれで吸気効率を最適化（4,400rpm以上でプライマリポート経路からセカンダリポート経路へ切り替え、中速回転域での高トルク化のためにプライマリポートを約440mmに延長）し、バルブタイミングとマッチングさせることにより、2.3Lエンジンに対し、2,000～5,500rpmの広範囲のトルクを向上した。

(3) 排気マニホールドの排気抵抗低減

排気ガス浄化性能の更なる向上のため、従来採用していた4-2-1集合タイプの排気マニホールドから4-1集合タイプに変更し、排気管からの放熱を低減することで、始動後の3元触媒の活性時間を早めた。そのため、4-1集合タイプで4-2-1集合タイプと遜色のない出力性能を実現するべく、集合部の各ポートの開口面積を拡大し掃気効率の向上を図った（Fig.5）。これにより、従来採用している4-1集合形状に対し、開口面積拡大により最大出力回転速度である6,000rpmにおいて1.5%の出力改善効果を得ている（Fig.6）。

3.3 エンジンNVH性能の改善

排気量拡大に伴う、トルクアップによる燃焼加振力の増大、ストロークアップによるクランクシャフト剛性の低下に対して、低NVHを図るために、フレキシブルフライホイールと、デュアルマスダンパを折り込み、加速時におけるエンジン音の大幅な低減を図った。

(1) フレキシブルフライホイール

フレキシブルフライホイールは、クランクシャフトとフライホイールを柔結合させることで、従来フライホイールの持つ共振周波数の低減を狙い、回転全域にわたり振動レベルを低減させた。Fig.7に、フレキシブルフライホイールの効果を示す。

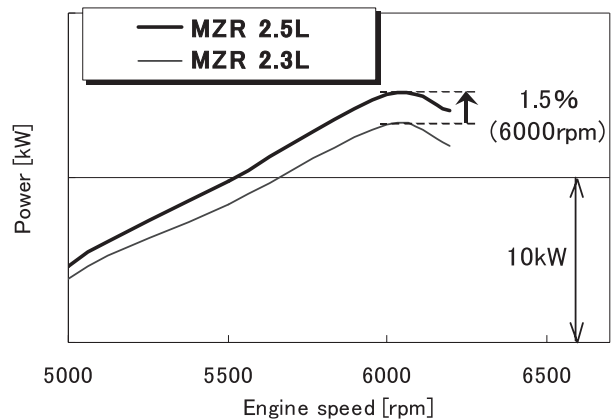


Fig.6 Exhaust Port Improvement Effect

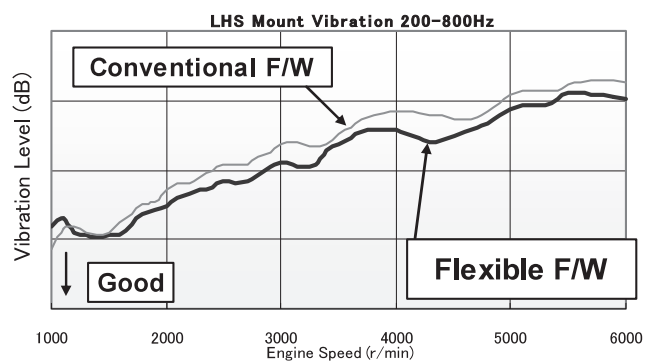


Fig.7 MZR 2.5L Flexible Flywheel Effect

(2) デュアルマスダンパ

クランクシャフト剛性低下による、クランクのねじり振動や曲げ振動抑制のため、今回の新開発2.5Lエンジンより、2種類の共振周波数を狙ったダンパを設定し、2,000～5,000rpmといった広範囲の回転域でクランク系の振動を抑えた。Fig.8, 9に、デュアルマスダンパの構造図と、その効果を示す。

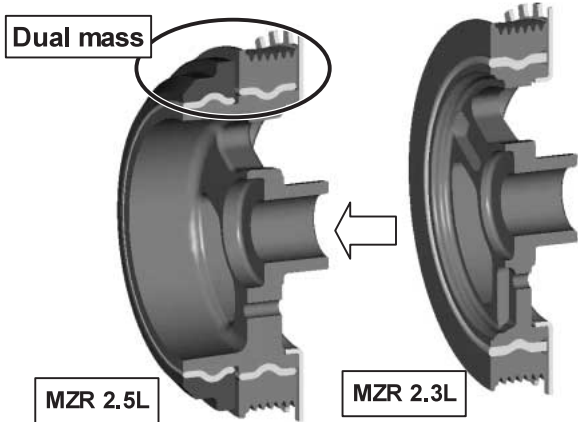


Fig.8 Dual Mass Damper

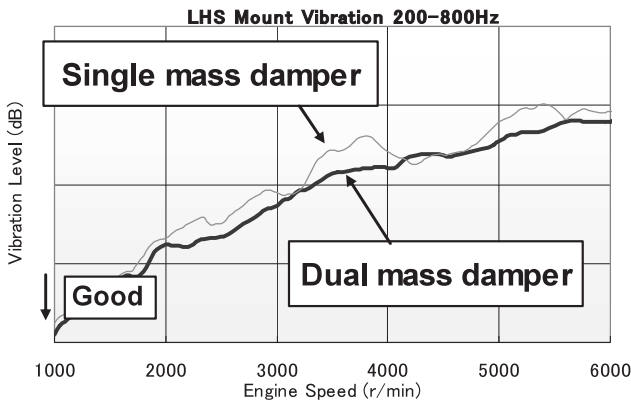


Fig.9 Dual Mass Damper Effect

3.4 軽量/コンパクトなエンジン

2.3Lから2.5Lへの排気量拡大を行いつつ、MZR 2.3Lと同じエンジンサイズ(長さ×幅×高さ)を保つことで、「搭載性/高い衝突性能/軽量化」を実現した。以下にボア、ストロークアップの対応技術を述べる

(1) アルミ製シリンダブロック

MZR 2.3Lシリーズで採用されたコスワース鋳造法をベースに、工法の最適化(アルミ溶湯の充填時間と凝固冷却速度を最適にコントロール)を行うことでボア間アルミ強度を向上させた。更に薄肉鋳鉄ライナの材質にモリブデンを固溶させることで基地の強さを改善し、強度/剛性を30%向上した。シリンダボア変形を抑制し、ブローパイガス、オイル消費性能を確保しつつ、ボア間寸法縮小を実現した。シリンダピッチ、ブロック高さを変更することなく、軽量、コンパクト化を図った。

(2) ピストン/コンロッド

ボアアップに伴い、ピストン径を 87.5から 89.0に拡大した。ピストンピン支持構造をフルフロートタイプに変更し、ピン径を 21から 20に低減した。ピストン及びピンを最適設計することで、従来2.3L比で約6%軽量化を実現した。通常、排気量拡大に伴い音振動に影響を及ぼす2

次慣性力が大幅に上昇するが、2次慣性力は、ピストン系/コンロッドの軽量化を行うことによりベストインクラスを達成している (Fig.10)。

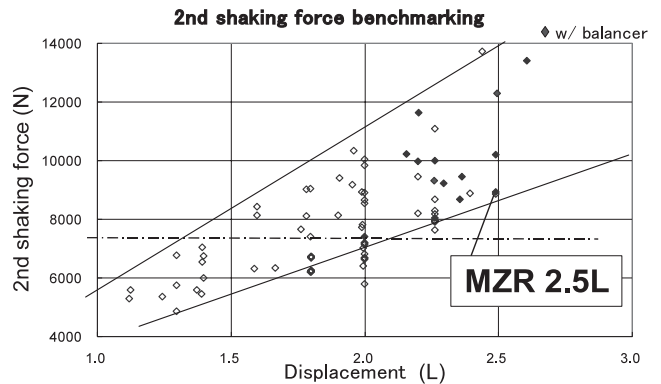


Fig.10 Bench Mark of 2<sup>nd</sup> Shaking

4 . Performance Feel

4.1 Performance Feelとは

Performance Feelとは、お客様が車全体から感じ取る加速度、エンジン・吸排気Sound、操作系の扱いやすさ(シフト・ペダルフィールなど)の性能因子を元に、Linear・Lively・Powerful・Torqueful・Smoothの5軸で表現する走りの管理指標であり、各軸は以下のように定義される。マツダプロダクトDNAからブレークダウンされる走りの方向は「意のままに操れる軽やかな走り」であり、Performance Feel 5軸ではLinearでLivelyな方向となる (Fig.11)。

- Linear : リニアな
- Lively : 軽快な
- Powerful : 爆発力のある
- Torqueful : 余裕のある
- Smooth : 滑らかな

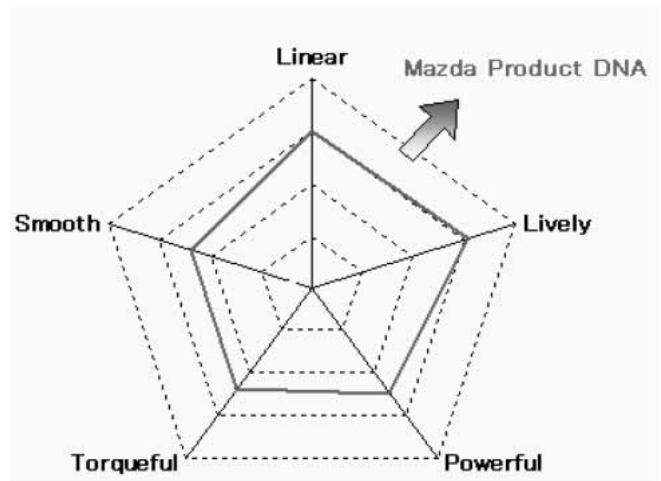


Fig.11 Performance Feel DNA

4.2 新型アテンザのPerformance Feelの方向性

マツダプロダクトDNAでも訴求するLivelyとLinear『Sporty』を初代モデル比損なわず、Linear・Smooth・Torquefulを更に特化させ、Sportyかつ、上質で心地よいフィーリングを目指した (Fig.12)。

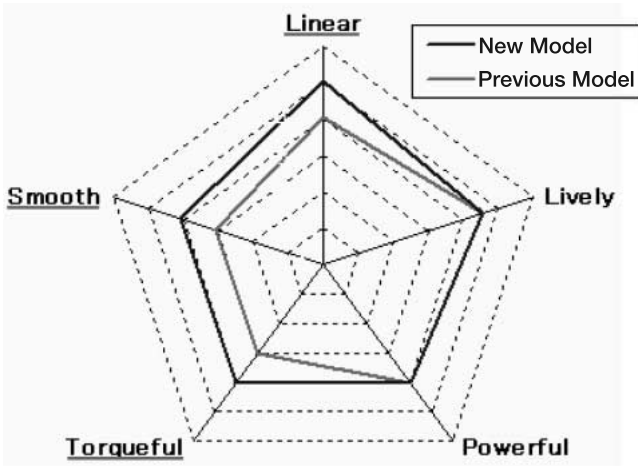


Fig.12 Performance Feel Radar Chart

4.3 パワートレイン制御

アクセルを踏んだ瞬間、いかにストレスなくエンジントルクを発生させ、ドライバーの意思を的確に車両挙動としてフィードバックさせるかに注力してチューニングを行った。エンジン制御、及びデバイス類の制御を協調させながら最適にセッティングすることで、ドライバーの運転状況に応じ、軽快さ (Sporty) と扱いやすさ (上質で心地よい) を兼ね備えた、セッティングに仕上げている。

4.4 Linear & Smoothフィール

新型アテンザでは、初代アテンザの軽快な走行フィール (Lively・Linear) をそのままに、一クラス上の質感 (Linear・Smooth) を更に特化させることを目標に開発を行った。特に、『発進から一般道の交通流にのる』までのシーンを『光るシーン』として設定し、低中速領域におけるLinearでSmoothな加速度特性の作りこみにこだわった。スロットル開度特性・ATとの協調制御・サスペンション特性とのマッチングまで緻密な制御を行うことにより、ドライバーの意思 (アクセル操作) に対し思い通りで心地よい発進フィールを得られる特性に仕上げている。

4.5 Livelyフィール

レスポンスとは、『アクセルを踏み込んだ瞬間発生する、加速度の応答性の良さ』と定義している。但し、瞬間的なトルクの発生が大きすぎると、反応が過敏過ぎてショックを感じる。新型アテンザでは、パワートレイン・サスペンション・エンジンマウント・ドライブシャフトといった、部品を伝達して路面に伝わるまでの一連の流れを解析し、アクセルの踏み込み量や踏み込みスピードに応じた最適なチューニングを行うことで、ショックを伴わない最適な加

速フィールを実現している。

4.6 Active Adaptive Shift (AAS)

(1) Lively & Linearな走りの実現

新型アテンザではLivelyなレスポンスとLinearな加速感を提供するため、ドライバーの要求駆動力に見合った最適シフト段位を選択する、Active Adaptive Shift (以下AAS) を採用した。AASは車両の加速度/加速度積算、減速度/減速度積算、アクセル開度/変化量、ステアリング舵角等の情報を用いることにより、ドライバーのSports走行意図を判定し、シーンに見合ったATシフト制御を行うシステムである。上記情報からドライバーの意図を判別することで、通常走行時は燃費重視のSmoothな走り、Sports走行時は通常走行時よりもLivelyかつLinearな走りを楽しむことができる (Fig.13)。新型アテンザでは、RX-8やロードスターなどのスポーツカーのみで採用していた、減速度に応じたシフトダウンを導入し、スポーティなテイストに仕上げている。

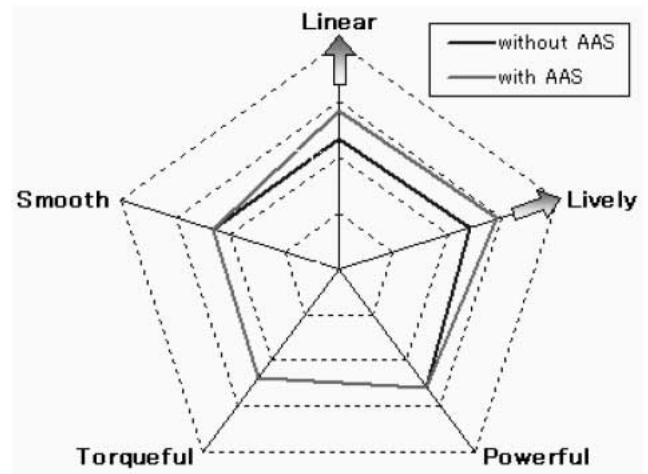


Fig.13 Performance Feel Radar Chart

(2) AAS作動シーンと効果

AASはFig.14のように1~4のモードに分かれており、各モードを判別してシフト段位のホールド、及びダウン制御を行っている。

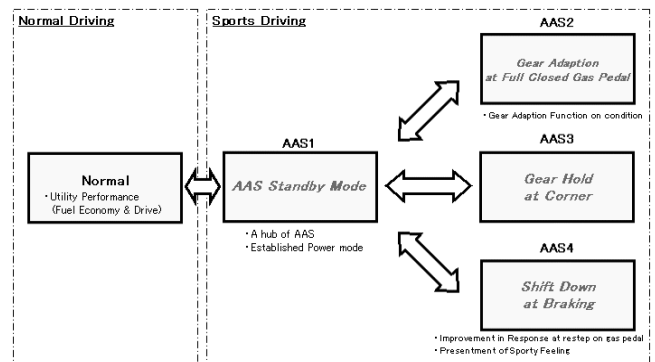


Fig.14 Type of AAS Mode

AASの効果が表れる代表的なシーンである、「山岳路での走行」、及び「高速道路への進入」でのAAS作動/非作動時のシフト段位の違いをFig.15, 16に示す。

コーナの多い山岳路の走行では、減速 コーナ中の車速コントロール 加速を繰り返す。今までのAT制御では減速、またはコーナ中の車速コントロール中にシフトアップしてしまい、コーナ後の加速時にシフトダウンせざるを得なかった。しかし、AASを採用することで不要なシフトアップ&ダウンを抑制し、シフトビジー感を回避するとともに、減速時のエンブレ感の向上と、Livelyな加速フィールを得ることができる。

また、高速道路への進入時は、ランプウェイからの合流 車速コントロール 追抜き車線への移行という流れが多々ある。通常は車速コントロール時にアクセルを戻すこ

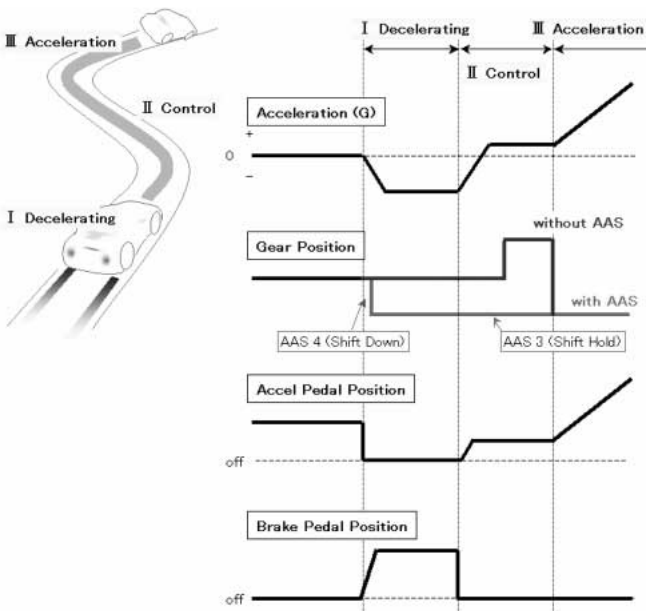


Fig.15 Improvement of Cornering Scene

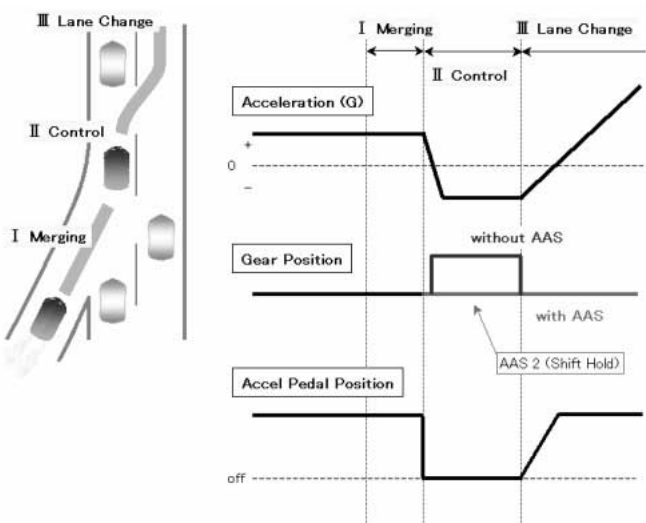


Fig.16 Improvement of Merging Scene

とでシフトアップしてしまうが、新型アテンザではAAS制御によりシフトをホールドし、再加速時のレスポンスを向上させている。

新型アテンザでは、「上質なAAS」を目指してチューニングを行っており、AASによるSportyなテイストを維持しつつも、その作動を感じさせない(加速度や音質・音量変化)さりげない仕上がりとしている。

## 5. 環境性能への取り組み

### 5.1 クリーン排気ガスシステムの構築

MZR 2.5Lエンジンの排気ガス浄化システムは、Fig.17に示すアテンザ初の2Bed CCC (Closed Coupled Catalyst) とU/F CAT (Under Foot Catalyst) 併用システムを採用し、冷間始動後のキャタリスト早期活性と浄化性能向上により排気ガスのクリーン化を図った (Fig.18)

また、白金レス化とロジウム、パラジウム配合の最適化による貴金属量低減を合わせた新開発キャタリストモノリ

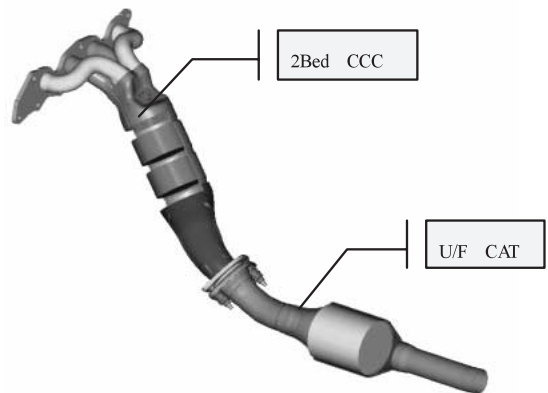


Fig.17 MZR 2.5L 2Bed CCC

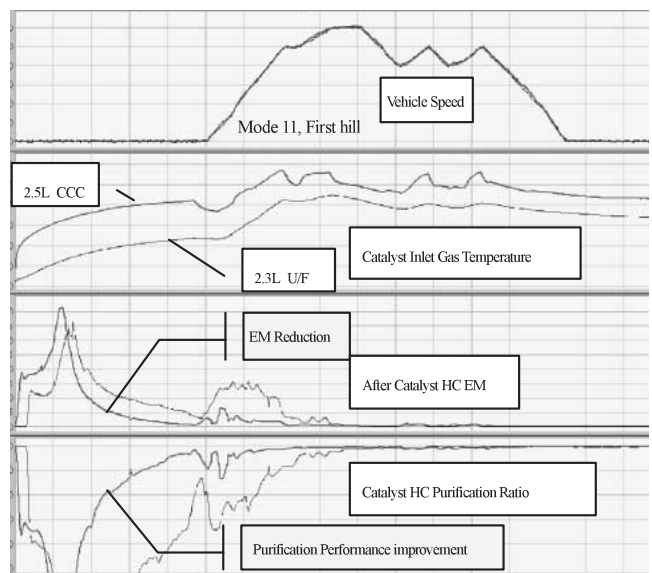


Fig.18 2.5L CCC vs 2.3L U/F 11Mode Catalyst Purification Performance Comparison

スを採用し、コスト低減に大きく貢献した。

このキャタリストシステムにより、国内ポスト新長期規制及び、米国 P-ZEV規制、欧州 Stage- 規制にも対応可能なワールドワイドクリーンエミッションを確保した。

5.2 モード燃費性能の改善

新型アテンザMZR 2.5Lエンジンでは、基本となる「空気抵抗の低減」と「燃焼性能の改善」に加えて、アテンザでは初採用となる「オルタネータ発電制御」「電動パワーステアリング」「ブレーキ・ストップランプLED化」を採用することで、5.5%の燃費改善効果を得ている (Fig.19)。詳細をTable 2に示す。

レギュラーガソリン対応でありながら、前モデルMZR 2.3Lに対しては1.6%の燃費改善を図っており、走る喜びと環境性能との調和、経済性に貢献している。

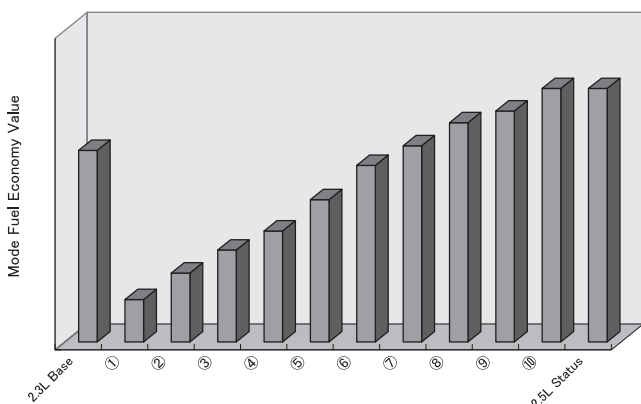


Fig.19 10-15 Mode Fuel Economy

Table 2 Fuel Economy Menu

①	Degradation from displacement increase
②	EGR optimization
③	Idle spark advance optimization
④	Idle Ne RPM Reduction
⑤	ALT Power Generation Control
⑥	Electric Power Steering
⑦	Power Saving LED
⑧	Tire Effective Radius Increase
⑨	Air Restriction Improvement
⑩	Engine Oil Improvement

6. おわりに

新型アテンザは、新開発MZR 2.5Lエンジンの搭載とその育成により、「ドライバーの感性に訴えるマツダらしいスポーティさ」に加え、「上質さ」、「環境性能」を達成できたと確信しています。これも、生産部門/購買部門、関係サプライヤの方々の強力なサポートのおかげです。

この誌面をお借りして、厚くお礼申し上げます。

著者



高戸 剛



井上 康



春森俊宏



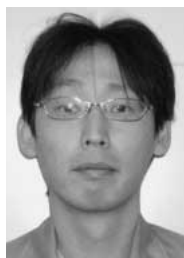
岡田光平



遠藤孝次



東尾理克



岩田陽明

特集：新型マツダアテンザ

11

## 新型マツダアテンザの空力性能開発 Aerodynamic Development of All-New Mazda Atenza

大 平 洋 樹<sup>\*1</sup> 岡 本 哲<sup>\*2</sup> 中 藤 博 文<sup>\*3</sup>  
 Hiroki Ohira Satoshi Okamoto Hirofumi Nakato  
 賀 谷 守<sup>\*4</sup> 植 松 徹<sup>\*5</sup> 松 岡 秀 典<sup>\*6</sup>  
 Mamoru Kaya Tooru Uematsu Hidenori Matsuoka

### 要 約

新型アテンザでは、デザインと空力性能の高次元での融合を目指し、空力性能開発プロセスの変革を行った。この結果、初代アテンザの空気抵抗係数 $C_D = 0.30$ に対して、クラストップレベルの $C_D = 0.27$ （5ハッチバック、セダン）、 $0.28$ （ワゴン）を実現した。また、高速走行安定性を極限まで高めるべく、試作車育成段階における高速走行テストに空力エンジニアも参画し、空力チューニングを行った。これによりクラストップレベルの高速走行安定性を実現できた。特に新規開発した馬蹄型フロントタイヤディフレクタは、「最高速までの車速の伸び感」と「高速安定性」の実現に貢献しただけでなく、相反する性能であるブレーキ冷却性能の両立を実現した。

### Summary

To integrate design and aerodynamics at a higher dimension, aerodynamic development process has been reformed for the development of the new Atenza. As a result, the new Atenzas have improved coefficient of drag from 0.30, which was achieved with the previous model, to  $C_D = 0.27$  with 5HB and sedan, and  $C_D = 0.28$  with wagon, realizing top-level  $C_D$ s in both segments. In addition, in order to maximize high-speed stability with the new Atenza, Aerodynamic engineers had participated in the high-speed travelling testing at the prototype development phase, to tune up the prototype from an aerodynamic perspective. This helped the new Atenza achieve the top-in-class level high-speed stability. In particular, the newly developed horseshoe-shaped front tire deflector had contributed to embody both “unlimited accelerating feel to the top speed” and “high-speed stability”, and succeeded in balancing aerodynamic performance with the seemingly incompatible brake cooling efficiency.

### 1. はじめに

新型アテンザでは、「よりスポーティでエモーショナルに進化し、存在感を高めたデザイン」と「燃費の更なる向上」を高次元で融合させることを狙い、前モデルに比べて大幅な $C_D$ 低減を行った。更に、特に欧州の高速市場で「前モデルを進化させた高速安定性能」を実現するため、実走評価による空力性能チューニングを取り入れた。本稿では、これらを実現させたプロセスと手段について紹介する。

### 2. 空力性能開発プロセスの革新

従来のプロジェクトでは、クレイモデル育成段階に力点を置いて、1/1デザインクレイモデルを使った風洞テストとシミュレーションを併用し、形状変更を行って空力性能を改善するという開発を行ってきた。この開発プロセスでは、すでにデザインテーマが決まっており、空力改善のため形状変更をしようとしても、デザイン面での制約条件が多いため、デザインを傷めずに空力性能と整合を取り、クラストップレベルの $C_D$ 値を狙うのは難しい。そこで、新型アテンザでは、従来と異なるプロセスで空力開発に取り

\*1~4 車両実研部  
 Vehicle Testing & Research Dept.  
 \*6 ボデー開発部  
 Body Development Dept.

\*5 操安性能開発部  
 Chassis Dynamics Development Dept.

組んだ。まず、プロジェクトスタート前の先行段階において、前モデルを用いた車両周りの流れ解析を実施し、空力的に改善すべきポイント（以下、空力改善ポイント）を見出した。次のデザイン初期段階では、空力改善ポイントを初期デザインモデルに織り込んで効果を検証し、理想とする車両周りの流れを実現するためのデザイン、レイアウトをデザイン条件図に反映した。1/1クレイモデル段階では、空力改善ポイントを入れたモデルを使って $C_D$ 目標を過達した状態から育成をスタートし、風洞テストにて理想の流れを保ちつつデザイン要素を盛り込んで目標を達成した（Fig.1）。また、高速安定性を極限まで高めるために、試作車によるアウトバーン実走テストに同行し、高速安定性改善のチューニングを行った。具体的な取り組みを以下に述べる。



Fig.2 Air Flow Analysis around Upper Body in Wind Tunnel

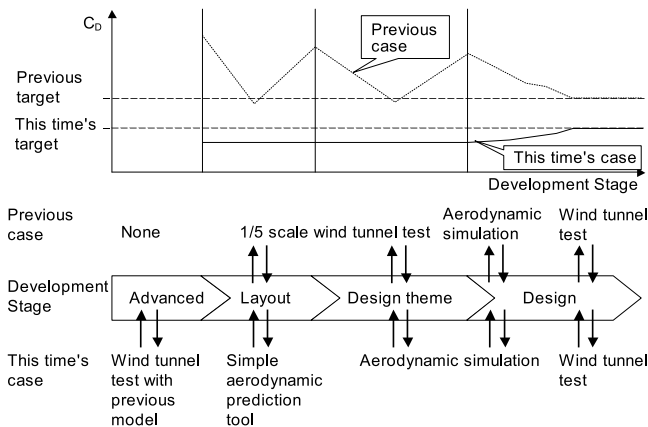


Fig.1 Image of Aerodynamic Development

2.1 プロジェクト開発前段階の先行空力性能開発

新型アテンザでは、低 $C_D$ 化を行うために、プロジェクト開発前の空力先行開発で、空力改善ポイントを見出し、プロジェクト開発開始時にこれを提案した。空力改善ポイントは、車両周りの流れを切り分ける観点から、アッパーボデーと床下の二つに大別される。第一にアッパーボデーは、ベースとなる前モデルの車両周りの流れの可視化や総圧分布測定を行い（Fig.2）、Aピラーやフロントバンパーコーナ等の空力改善ポイントを見出した。

第二に床下は、床下流れを徹底的に研究するために、車両を持ち上げて床下流れを観察できる専用装置（Fig.3）を新規に制作した。この装置を用いてアッパーボデーと同様にベースとなる初代アテンザの床下流れの解析を行った。これにより床下の流れを整流させるための基本となる床下のライン等の空力改善ポイントを明らかにした。

2.2 デザイン初期段階の空力性能開発

デザイン初期段階では、2.1で明らかになった空力改善ポイントを車両の基本骨格に入れなければならない。そこで、以下2項目の取り組みを行った。1) まず、「車両形状パラメータによる簡易空力予測ツール」を用い、初期デザ



Fig.3 Equipment for Under Floor Flow Analysis

インモデルの実力把握とこれに空力改善ポイントを入れた時の効果をラフに検証した。2) 次に、初期デザインモデルへ1)で効果を検証した空力改善ポイントを織り込んでデザインした「CGモデル」（以下、空力CGモデル）を作成し（Fig.4）、空力CGモデルと初期デザインモデルを用いて、床下形状まで考慮した空力シミュレーション評価を行った。これにより、新型アテンザのデザインに合わせて空力改善ポイントをより最適化するとともに、車両周りの流れがどのように改善したのかを（Fig.5）関係者で共有化することができた。以上の取り組みにより、理想とする車両周りの流れを実現するためのデザイン、レイアウトをデザイン条件図に織り込んだ。

2.3 1/1クレイモデルによる空力性能開発

(1) デザインや床下形状と空力性能の詳細な整合取り

1/1クレイモデルによる空力性能開発段階は、デザインと整合を詳細に取りながら、流れと形状を決めていく段階である。そこで、新型アテンザでは、2.2の初期段階で明らかになった空力改善ポイントを反映したデザインモデル（Fig.6）を用い、 $C_D$ 値を下げた状態（ $C_D = 0.25$ ）から風洞での育成をスタートした。理想とする流れが崩れないか流れの様子を見ながらデザイン要素を織り込んでいくこと



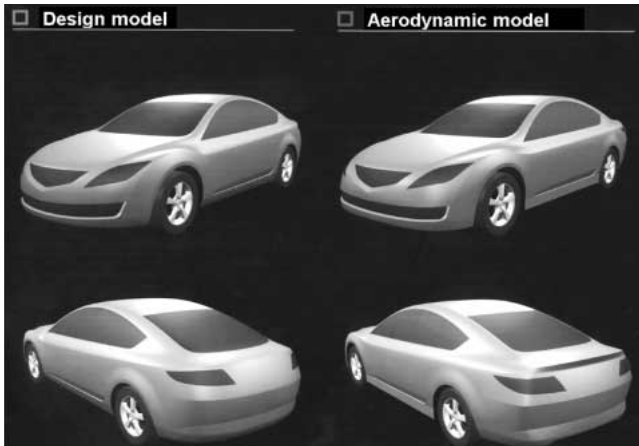


Fig.4 Design Model vs Aerodynamic Model

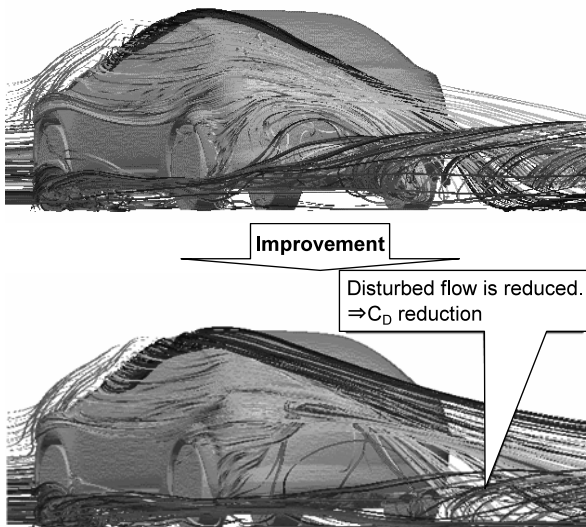


Fig.5 Flow around Design Model vs Aerodynamic Model



Fig.6 1/1 Scale Model with Aerodynamic Improved Parts

で、 $C_D$ 値を悪化させることなく、デザインとの融合を図っていった。

具体的には、モデルを使わなければデザインと空力性能の詳細な整合取りが難しい部位である、ドアミラー、フロントバンパコーナ、サイド、リアコンビランプについて、詳細な形状検討を行った。また、低 $C_D$ 化を極限まで求めるには、アッパー形状変更に合わせて、床下の流れも改善しなければならないため、2.2で織り込んだ床下形状についても詳細なチューニングを施した。

ドアミラー形状

ドアミラー形状を砲弾型にして (Fig.7)  $C_D$ 改善のみならず、風騒音低減にも大きく貢献した。

フロントバンパコーナ形状 (Fig.8)

フロントバンパコーナは、車両の風を側面と床下に分岐させる重要な部位である。デザインと空力性能の整合を取るため、コーナのRを大きく見せて、下端だけ角張らせた形状にした。

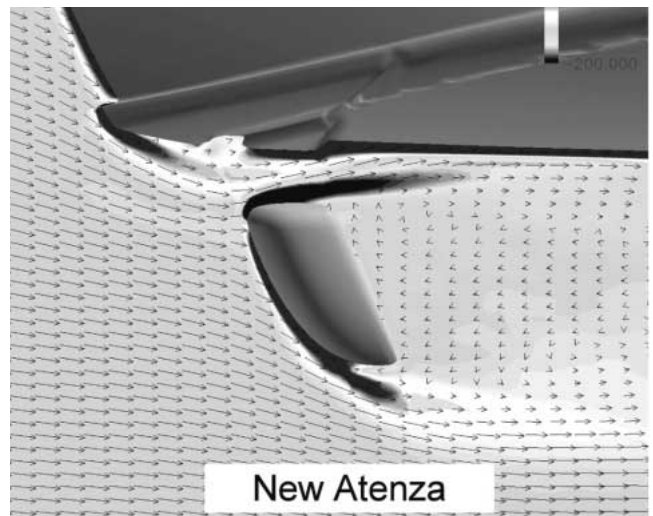


Fig.7 Improved Flow Door Mirror

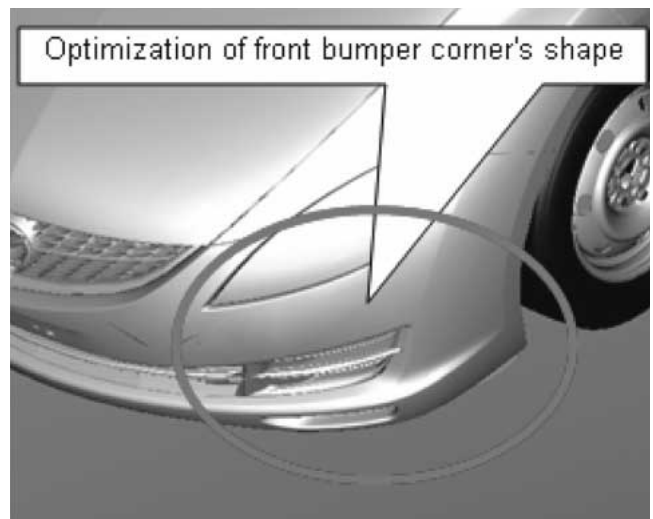


Fig.8 Shape of Front Bumper Corner

サイドステップモール形状 (Fig.9)

ボデーサイドでは、サイドの風を整流し、リヤタイヤに当たる風を抑える必要がある。このため、空力性能からはサイド下端を張り出させなければならない。しかし、デザインは、下端を絞ることがテーマであり、空力性能と相反するものであった。デザインと空力性能の整合を取るために、サイド下端とリヤタイヤ直前の形状を車両側面側にmm単位の調整をして張り出した。

リヤコンビランプ形状 (Fig.10)

車両後端で風を綺麗に剥離させるために、リヤコンビランプ後端を車両横方向に張り出しエッジ化する必要がある。デザインに影響が出ないようにリヤコンビランプの透明部品でこの形状を実現した。

リフトゲート形状 (ワゴン, Fig.11)

風が剥離するポイントを車両後方であつ下側にもっていくために、リフトゲート後端位置を後方に延長し、エッジ化する必要がある。しかし、鉄板でこの形状を再現するのは難しい。このため、形状を比較的自由に成型できる樹脂を用いて、この難しい形状を成立させた。

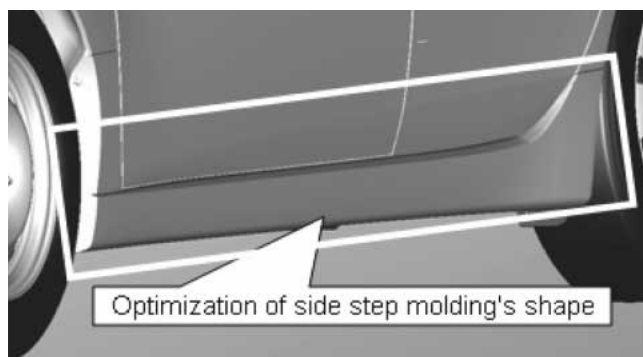


Fig.9 Shape of Side Step Molding

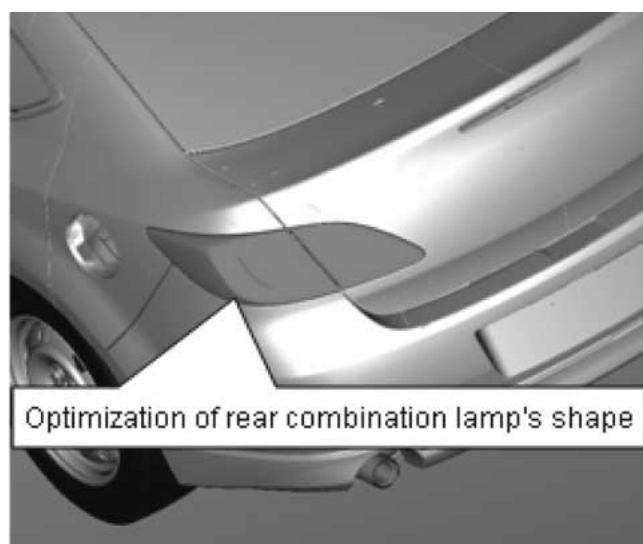


Fig.10 Shape of Rear Combination Lamp Outer

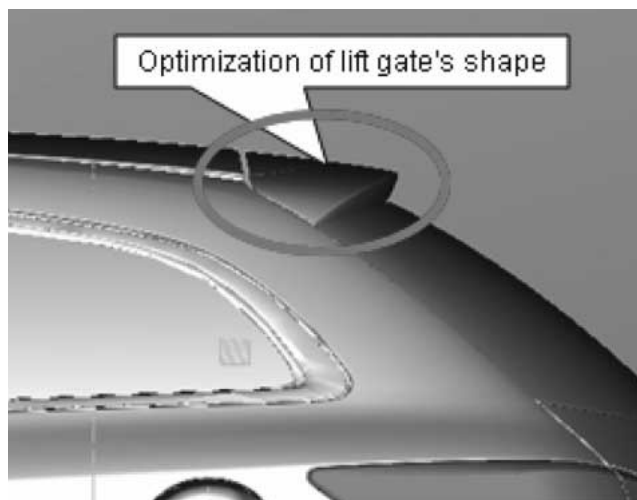


Fig.11 Shape of Lift Gate

床下形状 (Fig.12)

- ・ラジエータ下アンダーカバーは、カバー前側に大きなRを設け、床下に風を入りやすい形状にした。

- ・床下の風を整流し、風の乱れを抑制するために、センターフロアカバーを設定した。リヤタイヤ前は、貨車運搬用のフックを引っ掛ける穴があり、センターフロアカバーでこの部位を覆うことができなかった。フックをかけた時のフックとワイヤーの軌跡から外れた場所に独立したリヤアンダーカバーを設定し、カバーで覆うのと同じ流れを実現した。

- ・リヤバンパ下端的形状は、床下から抜けてくる風が、車両後端で綺麗に剥離をするようにした。

(2) 他性能との整合取り

1/1クレイモデルの空力性能開発段階では、他性能との整合取りも行う必要がある。新型アテンザの空力性能開発で特に他性能との整合取りで苦労したのが、フロントタイヤ前に設定する空力付加物のフロントタイヤディフレクタである。新型アテンザは重量の軽いセダンガソリン車から重い欧州仕様のワゴンディーゼル車まで幅広い機種が存在する。重量の重い機種は、従来の板型タイプや、通風口付板型タイプ (Fig.13) ではブレーキ冷却性能が成り立たなかった。

そこで、風洞でブレーキ周りの風を観察しながら新規に開発したのが、「馬蹄型フロントタイヤディフレクタ (Fig.14)」である。このディフレクタは、ディフレクタ内部で負圧を発生させ、ディフレクタを通過する風を車両上側に勢いよく流す。この風はブレーキに当たり、ブレーキを冷却する。加えて、タイヤ周りの流れを整流する効果もありC<sub>0</sub>を低減する。更に、ディフレクタがラウンドしているため、横風を受けた時でも風を常に正面で受けることができ、安定して負圧を発生させることから優れた高速安定性を実現できる。これにより、空力性能を損なうことな

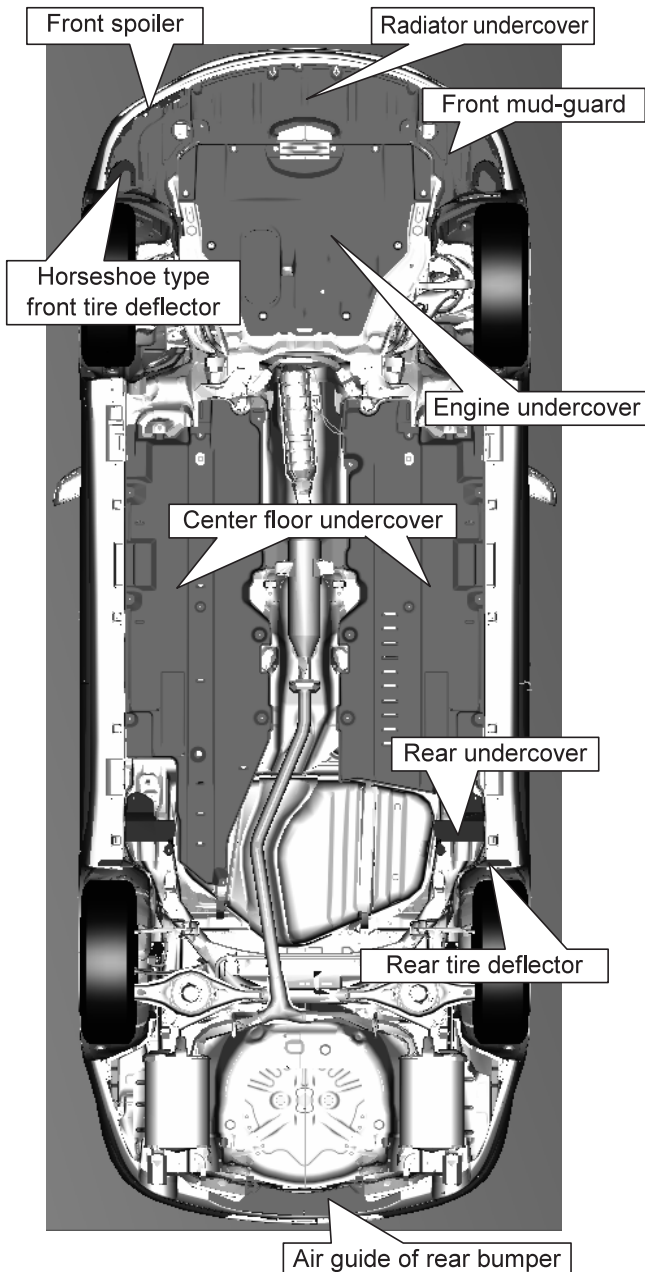
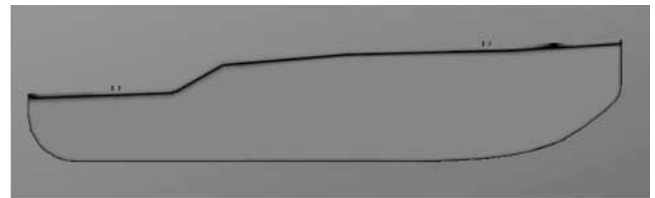
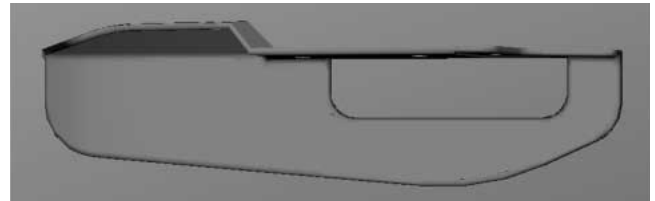


Fig.12 Aerodynamic Appendage of Under Floor

くブレーキ冷却を成り立たせることができた (Fig.15)。しかし、このディフレクタは、高速走行に耐えうる剛性の確保と、スロープや段差等と干渉し破損しないように軟らかくする、という相反する課題も解決しなければならなかった。そこで、材質を軟らかいものに変更し、ディフレクタ内側の根元にリブを付けることにより高速走行に耐える剛性を確保し、かつ段差等に干渉しても壊れないように変形を逃がすためのスリットを設定した。これにより、上記課題を解決し、馬蹄型ディフレクタを採用することができた。



(a) Without Brake Cooling Opening



(b) With Brake Cooling Opening

Fig.13 Flat Type Front Tire Deflector

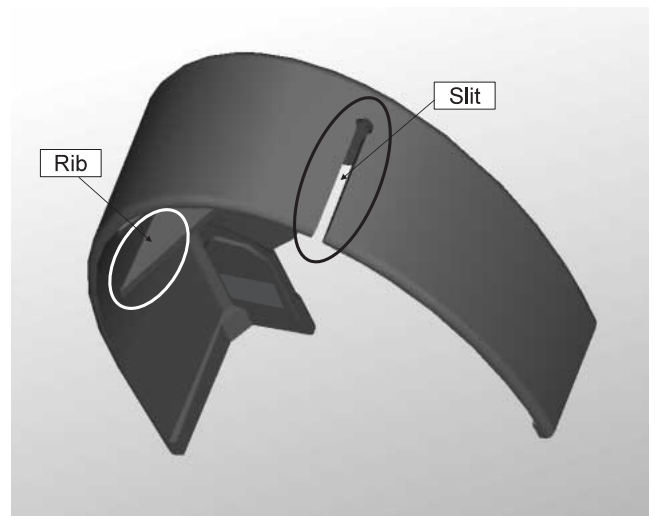


Fig.14 Horseshoe Type Front Tire Deflector

#### 2.4 実走による高速安定性改善

従来、試作車による育成段階では風洞テストだけで空力性能開発を行っていた。新型アテンザでは高速走行安定性を極限まで高めるため、高速走行テストに空力エンジニアも参画し、サスペンションのセッティングに合わせて車両周りの流れを最適化した。具体的には、ドイツのアウトバーンで、馬蹄型ディフレクタとリヤカバーをmm単位で形状育成した。これにより、200km/h以上の高速域において、路面にアンジュレーションがある厳しい運転状況でも、操舵にしっかりとした手ごたえがあり、ハンドルに片手を添えているだけで安心してしかも意のままにZoom-Zoomに走行できるクラスストップレベルの高速安定性を実現できた。

### 3. まとめ

新型アテンザは、空力性能開発の開発プロセスを見直し、積極的に空力改善ポイントを織り込んだ。この結果、初代アテンザの $C_D = 0.30$ から大幅に改善し、デザインテーマを活かしつつクラストップレベルの $C_D = 0.27$ （5ハッチバック、セダン）、 $0.28$ （ワゴン）を実現した。更に、これまで行っていなかったアウトバーンでの実走テストで空力エンジニアが高速安定性の育成を行い、クラストップレベルの高速安定性能を実現した。

特に新規開発した馬蹄型フロントタイヤディフレクタは、「最高速までの車速の伸び感」と「高速安定性」に大きく貢献した。これらの技術は今後の車種にも織り込んでいく。

#### 著者



大平洋樹



岡本 哲



中藤博文



賀谷 守



植松 徹



松岡秀典

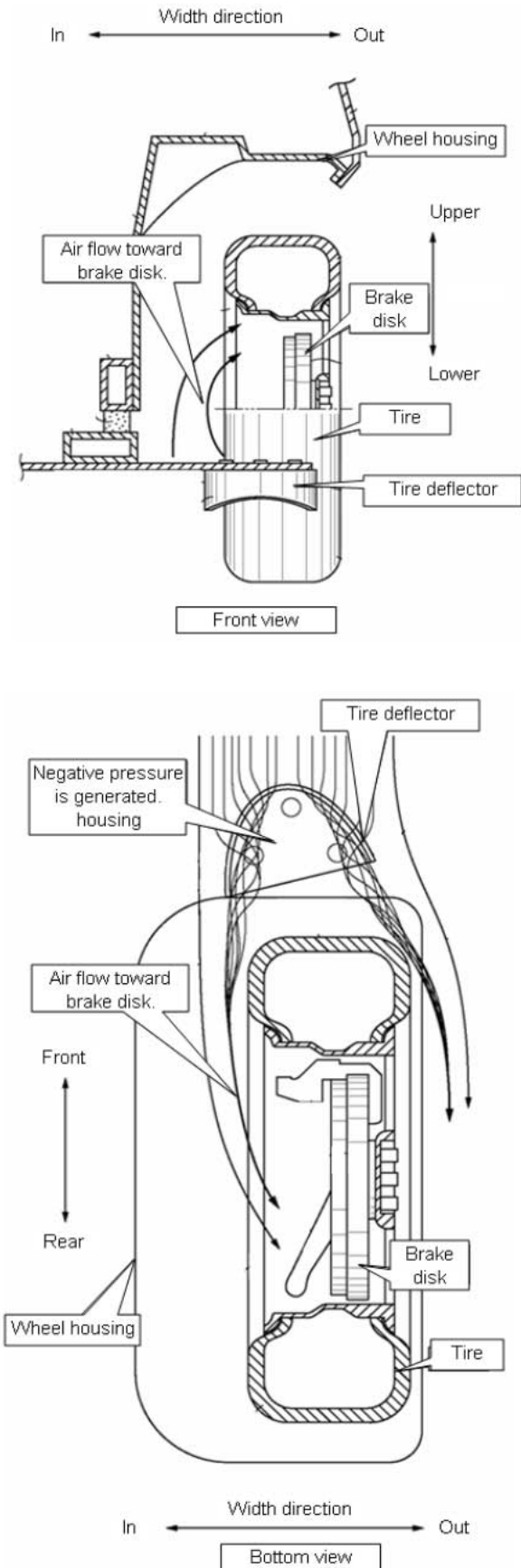


Fig.15 View Showing a Frame Format of Flow through Horseshoe Type Front Tire Deflector into Brake

論文・解説

12

## マツダロードスターPRHTシステムの開発 Power Retractable Hardtop System for Mazda Roadster

松延知昭<sup>\*1</sup> 田上宏紀<sup>\*2</sup> 石丸伸吾<sup>\*3</sup>  
Tomoaki Matsunobu Hiroki Tanoue Shingo Ishimaru  
木下尚年<sup>\*4</sup> 黒田将仁<sup>\*5</sup> 小林豊彦<sup>\*6</sup>  
Hisatoshi Kinoshita Masahito Kuroda Toyohiko Kobayashi

### 要約

ロードスターは初代より全世界で年齢性別問わず幅広い層のお客様に支持されてきた車である。

我々は、ロードスターのパワーリトラクタブルハードトップ（以下PRHT）の開発において、より多くのお客様に「人馬一体」と「Lots of Fun」を体感してもらうため、ロードスターらしさを維持しながら、ハードルーフ化によるクローズ状態の快適性向上、電動化による操作性の飛躍的向上に取り組んだ。

徹底したデザインスタディーを行い、ロードスターらしい流れるようなショルダーライン、低いベルトラインをもつデザインを実現し、3分割したルーフをソフトトップと同じシート後方のキャビンスペースへ収納するシステムを採用した。この結果、50:50の重量配分、ソフトトップ車に勝るとも劣らない操縦安定性、ソフトトップ車と同じトランク容量の確保、そして、量産中の電動ハードルーフモデルとして世界最速12秒の開閉時間を実現した。

本報では、このパワーリトラクタブルハードトップの開発の狙いと特徴について紹介する。

### Summary

Roadster has been supported by wide range of customers irrespective of age or gender since its first model was put into the market.

In the development of Power Retractable Hard Top (hereinafter referred to as PRHT), we tried to improve comfort with the hard roof closed and dramatically improve the operability by adopting electrical operation while keeping "Roadsterness" so that more customers would experience "Jinbaittai" and "Lots of Fun".

Through thorough design study, a flowing shoulder line and low belt line were achieved with 3-piece roof located in the cabin space behind the seat as a soft top is. This enables fifty-fifty weight distribution, vehicle dynamics that matches soft top vehicles, trunk space equivalent to soft top vehicles, and the world-fastest opening/closing time (12sec.) among all PRHT vehicles currently in production.

In this report, the aim of the development of PRHT and its characteristics are described.

### 1. はじめに

ロードスターの商品コンセプトは初代から一貫して、「人馬一体」、「Lots of Fun」であり、3代目ロードスターのパワーリトラクタブルハードトップ（以下PRHT）においても、この商品コンセプトに変わりはなく、「人馬一体」、「Lots of Fun」の実現と更なる進化を追及した。

我々は、快適性を求めるユーザのみならず、根っからのロードスターフリークからも認められる「ロードスターらしい」電動ハードルーフモデルの開発に信念を持って

### 取り組んだ (Fig.1)

本報では、PRHT開発の狙いと特徴について紹介する。



Fig.1 Power Retractable Hardtop for Roadster

\*1~6 ボデー開発部  
Body Development Dept.

## 2. 開発の狙い

ロードスターのルーフに、本来、求められるものは何か？  
人馬一体を具体的にブレークダウンしたフィッシュボーンチャート (Fig.2) より、軽くコンパクト、飾りたてない機能美、軽快感、低いベルトラインなどが挙げられる。

また、ロードスターユーザを対象とした市場調査の結果、「オープン走行が気持ちいい」という好評点がある一方、電動化、静粛性の向上に対する強い要望があることが分かった。女性ユーザの中には、幌の開閉で手が汚れることを嫌う人も多く、また、年配のユーザは電動開閉することで、気軽にオープンエアを楽しむことを望んでいる。

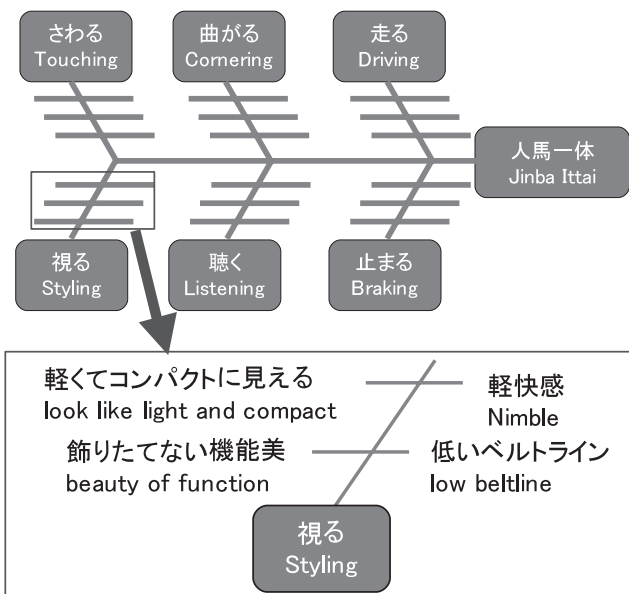


Fig.2 Fish Bone Chart

市場動向の調査結果からも、開閉式ハードルーフ（以下RHT）を採用する車種が年々増加しており、RHT化の流れが顕著に現れていた (Fig.3)。

### Trend of RHT Market

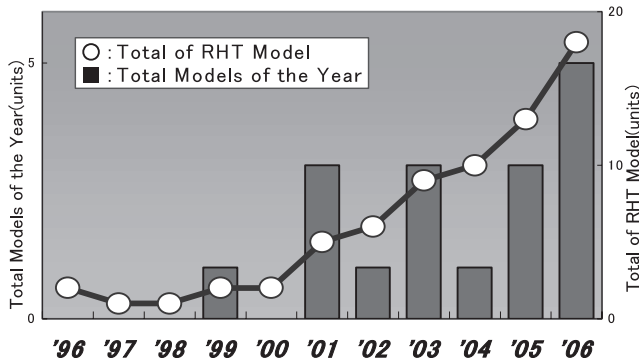


Fig.3 Market Analysis of RHT

ロードスターは初代より年齢性別を問わず幅広い層のユーザに支持されてきた車であり、PRHTというユーザオリエンテッドな装備を、人馬一体のコンセプトにあった形で実現することで、三代目ロードスターを象徴する魅力装備になると確信した。

PRHT開発の狙いは、ロードスターらしさを維持しながら、クローズ状態の快適性を向上し、簡単に操作できる電動開閉化することで、より多くの人にロードスターの「人馬一体」と「Lots of Fun」を体感してもらうことである。

## 3. ロードスターらしいPRHTの開発

### 3.1 PRHTシステム構想

ロードスターらしいPRHTとは何か？

前述のとおり、ロードスターのルーフに求められるものは、軽くコンパクト、飾りたてない機能美、軽快感、低いベルトラインであり、PRHT化してもこのコンセプトは普遍である。近年、RHTを採用するオープンカーが年々増加しているが、その多くは、ルーフをトランクに収納するシステムを採用している。このシステムは、トランク、ルーフともに大掛りなリンク機構を必要とし、重量がかさみ、軽快感が失われることに加え、オープン/クローズでの重心移動量が大きく、操縦安定性にも大きな影響が出ることが分かった。

そこで「人馬一体」を実現するシステムとして、ルーフを3分割し、従来ソフトトップを収納するシートバック後方のキャビンスペースへ収納するシステム (Fig.4) を創出した。

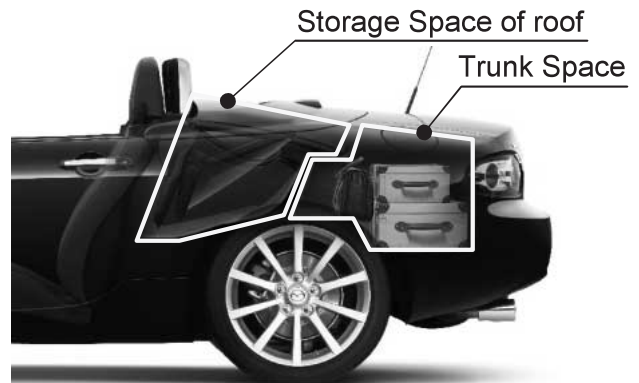


Fig.4 Concept of PRHT

このシステムのポイントは以下の3つである。

- ① 重量物であるルーフをホイールベース間に収納することによりルーフオープン/クローズによる重心移動及びヨー慣性モーメントの変動を抑える。
- ② コンパクトなルーフシステムとすることで開閉動作時間を短縮するとともに軽量化を図る。
- ③ トランクを犠牲にせず、キャビン内にルーフを収納することにより、ソフトトップと同じトランクスペースを確保する。

### 3.2 ルーフ収納のためのパッケージ

薄く折畳んで収納できるソフトトップに対して、ハードルーフはその形を変えることができず、収納スペースの確保が大きな課題である。また、ロードスターの特徴である低いベルトラインを実現することも非常に高いハードルであった。この2つの課題解決のため行った代表的な4つの施策を紹介する (Fig.5)。

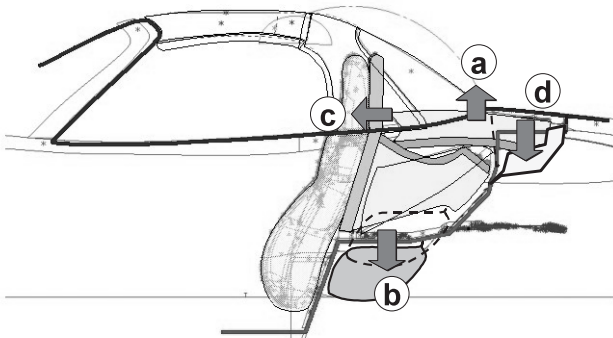


Fig.5 PRHT Retraction Space in Cabin

- (a) 上方向：スタイリングとのバランス最適化、リヤデッキパネルの薄肉化

上下方向の収納スペースを確保するため、リヤデッキパネルを、極限まで薄肉化した。薄い断面で剛性を確保でき、低く流れるようなショルダーラインを実現するため、高剛性かつデザイン自由度の高いSMC (シートモールディングコンパウンド) 製アウトパネルを採用し、スチール製インナパネルとエポキシ系接着剤で接着する構造とした。

- (b) 下方向：燃料タンク位置移動

三代目では、低重心、ヨー慣性モーメントの低減のため、燃料タンク位置を二代目に比べ、前方移動しながら、約120mm下方に移動することに成功している。この燃料タンクの移動は、ルーフ収納スペースの確保にも大きく貢献している。

- (c) 前方向：シートバックバー、シート形状のコンパクト化

三代目では、居住性改善のためのシートスライド量増化、シートバックバーの追加により、シート後方のスペースは2代目比大きく減少し、当初、ソフトトップの収納でさえ困難な状況であった。シートバックを可能な限り薄くし、更にシートバックバーには高張力鋼板/鋼管を使用し、十分な剛性を確保した上でコンパクト化を実現した。

- (d) 後方向：デッキメンバ下方移動&形状変更、トランクリンクヒンジの採用

デッキメンバ上にフロントルーフの収納スペースを確保するため、ボデーの骨格であるデッキメンバの位置を下方移動し、トランクヒンジには、デッキメンバへの影響の少ないリンクタイプを採用した。

### 3.3 ロードスターデザインの実現

ロードスターデザインの特徴は、独特のシルエットと低



Fig.6 Design of Roadster

く流れるような美しいショルダーラインである (Fig.6)。一方、ルーフをキャビン内に収納するためには、収納スペースを確保すると同時に、収納物であるルーフを極力小さくする必要がある。そのためには、ベルトラインを上げること、バックウィンドウ後端位置を前方移動すること、フロントウィンドウを寝かせ、ルーフとの見切りラインをできるだけ後方に移動することが効果的である。特に、ベルトライン高さは、収納スペースの拡大と収納物であるルーフの小型化という2つの効果があり、収納スペースを確保する上で、重要なポイントである (Fig.7)。

Fig.7に示すとおり、デザイン要望と設計要望がことごとく相反した。ロードスターデザインを実現するため、デザイン、設計、関連部門で知恵を絞り、GAPを埋めていく活動を行った。

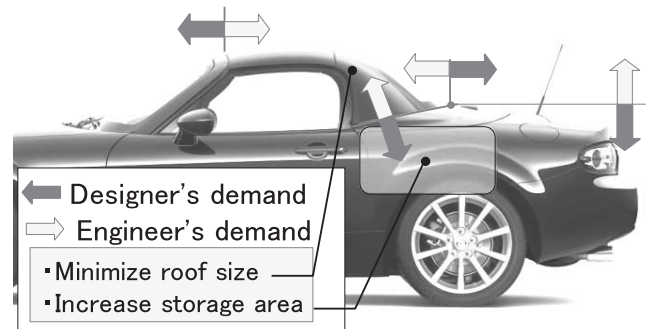


Fig.7 Directly Opposed Demands

ライン要素や面要素ひとつひとつについて、徹底的に検討を行った。オープン時には、デザイン面が、キャビン内に収納されるため、開閉軌跡、収納状態を考慮したデザイン面にする必要がある。また、パーティングラインの位置によっても収納効率が大きく変わるため、ライン1本1本が非常に大きな意味を持ち、ロードスターらしいデザインが完成するまで作りこみを重ねた。ここでは、代表的な例を2つ紹介する。

レイアウト、デザイン検討の結果、ソフトトップに比べ、デッキ面が広がった。このままでは、間延び感が出てリ

ヤが重たく見えてしまう。そこで、リヤデッキパネル上にキャラクターラインを入れることで、オープン状態のルーフとデッキのスキを確保しながら、デザイン的には、トランクからデッキに繋がる面の間延び感を抑制するアクセントになるとともに、ドアベルトラインからの美しいショルダーラインを実現している (Fig.8)。

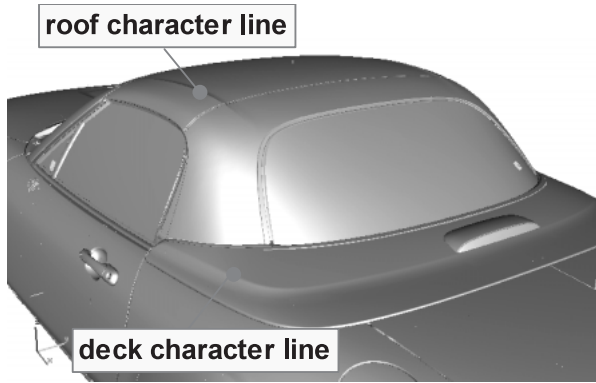


Fig.8 Design Character Line

フロントルーフ両サイドのビード形状は、ルーフ上面のフラット感を抑制する役割とともに、雨の日、乗降時の車内への雨ダレ防止にも効果を発揮している (Fig.8)。

これらはほんの一例であるが、このような活動を繰り返し、デザイン、設計一体となってアイデアを出し、造りこんだ結果、オープンでもクローズでも一目でロードスターと分かるデザインを実現することができた。

#### 4. システム概要

PRHTシステムは、ルーフ部分のRHTアッセンブリ、ルーフを収納する際に開閉するリッドであるリヤデッキアッセンブリ、オープン状態のルーフを固定するルーフフックアッセンブリ、システム全体を制御するECU、及びウェザーストリップ等小物部品で構成されている (Fig.9)。

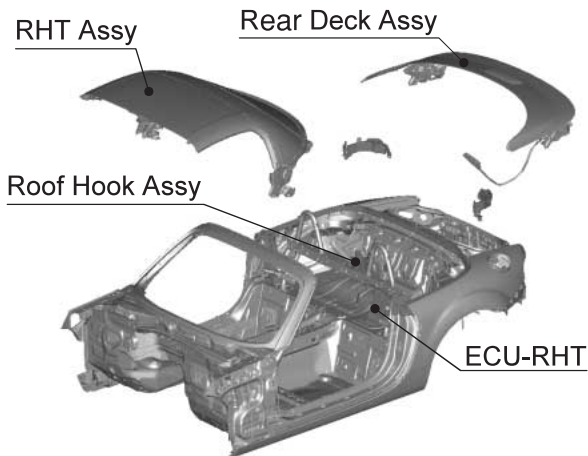


Fig.9 PRHT System Construction

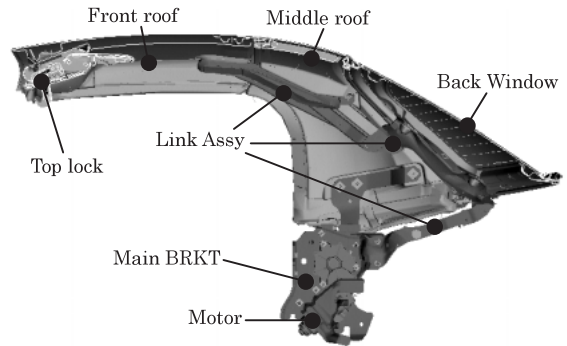


Fig.10 RHT Construction

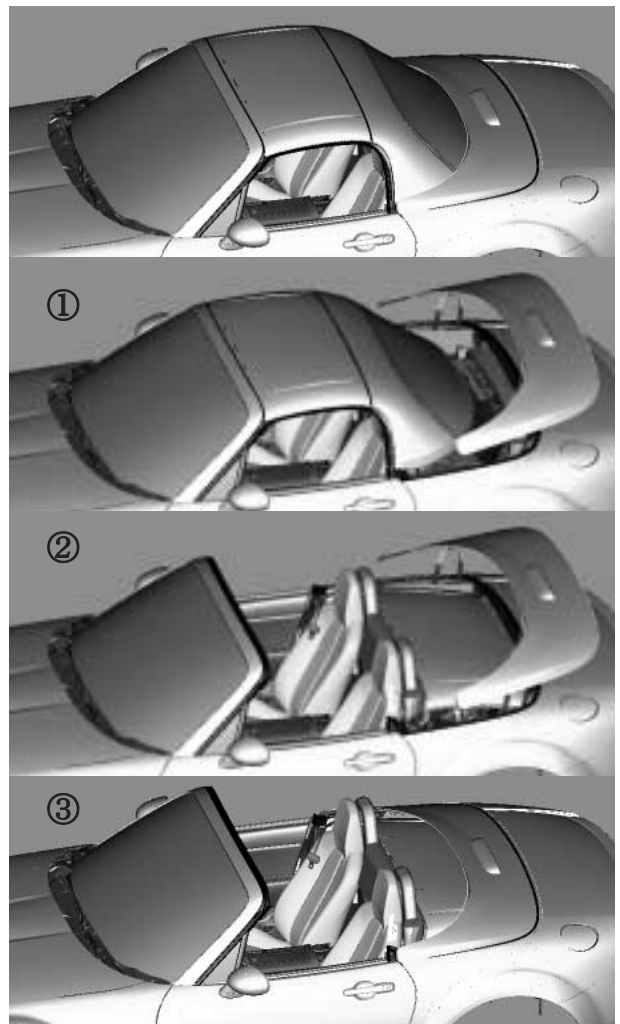


Fig.11 PRHT Operation

RHTアッセンブリは、Fig.10に示すとおりフロントルーフ、ミドルルーフ、バックウインドウの3部品から成り、各パネルをリンクアッセンブリで結合し、メインブラケット部に設置したモータで開閉駆動するシステムである。

開閉作動は、手動式のトップロック操作と開閉スイッチの操作で行う (Fig.11)。オープン作動は、トップロックを手動で解除し、オープンスイッチを押す。すると、リヤデッキパネルがオープンし (①)、その後ルーフがオープン (②)、そして、リヤデッキパネルがクローズ (③) し



て、オープン動作完了である。リヤデッキパネルのクローズ作動に連動して、ルーフックがルーフを拘束する。クローズ作動は、この逆である。この一連の動作はECUにより制御されており、Fig.12に示すとおり、トランク、メータ、パワーウィンドウECUなどの周辺部品の状態を判断し、作動制御している。

RHT system component layout

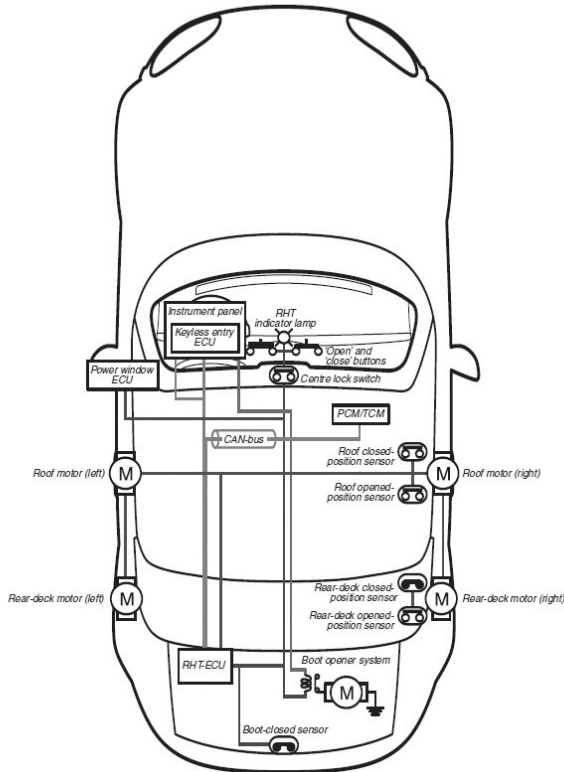


Fig.12 PRHT Electric Diagram

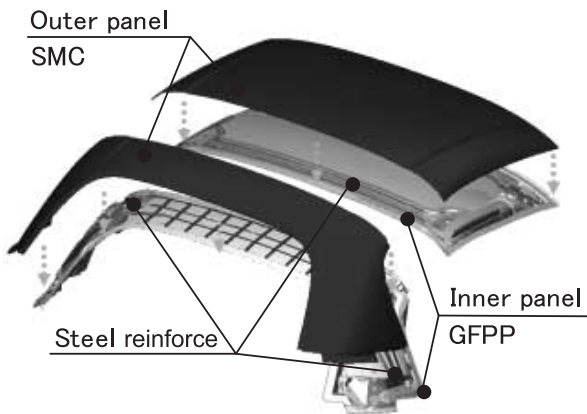


Fig.13 Roof Material

### 5. 特徴

#### 5.1 「人馬一体」の走りの実現

ルーフをホイールベース間のキャビン内に収納したことで、オープン状態での重心移動を抑え、オープン、クローズとも前後重量配分50:50を実現している。また、ルーフ

の素材は樹脂を使用し、軽量化を図っている (Fig.13)。アウトパネルには剛性が高く、寸法精度の良いSMC (シートモルディングコンパウンド)を、インナパネルには、軽量で表面性の良いガラス長繊維強化ポリプロピレン (GFPP) を採用した。ルーフ素材以外にもリンク機構、関連部品の徹底した軽量化を実施し、車両総重量は、ベースのソフトトップモデルから約37kg増に抑え、RHT車としては、競合他社から100kg以上軽い群を抜いた重量を実現した (Fig.14)。

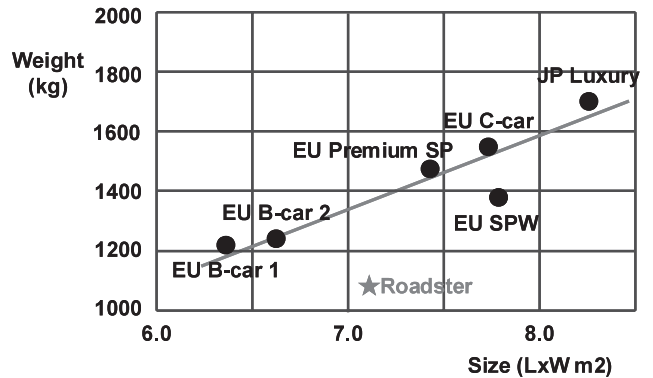


Fig.14 Weight Comparison of RHT Cars

#### 5.2 スムーズな作動と世界最速の開閉時間

コンパクトなリンク機構の採用とモータ駆動制御により、量産しているRHT車としては、世界最速の12秒という開閉時間を実現した (Fig.15)。

#### Comparison of RHT Operating Time

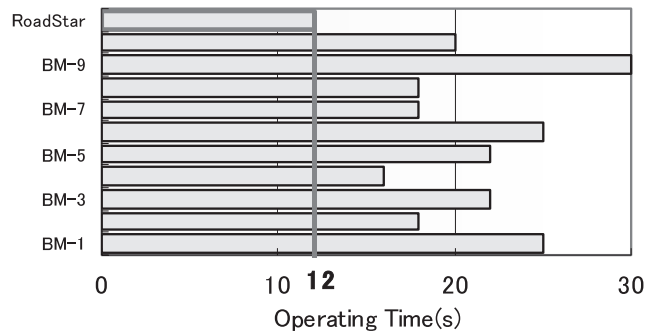


Fig.15 Comparison of RHT Operation Time

#### (1) 抜群の操作性

開閉時間を短縮するだけでなく、操作性にも配慮している。PRHTの操作スイッチは、使いやすさを考慮し、センターコンソール上部ハザードスイッチの両脇に配置し、その横には、PRHTの状態を知らせるインジケータランプを設置した (Fig.16)。

#### (2) 開閉操作方法

PRHTのオープン操作は、フロントルーフセンター部のトップロックを、セーフティボタンを押しながら解除した後、ハザードスイッチ横のオープンボタンを押すのみ。ク



Fig.16 PRHT Top Lock & Operation Switch

ローズ操作は、クローズボタンを押すだけである。安全性を考慮し、ボタンを押している間のみ作動する制御としており、作動完了まで操作スイッチを押し続ける。作動の開始、終了は、ブザー音で知らせるとともに、PRHTクローズスイッチ左に設けたインジケータランプにより作動完了を確認することができる。

PRHTの開閉は、安全性を考慮し、停車状態のみ作動可能としており、以下の作動許可条件を設定している。

<作動許可条件>

- ・ 停車状態である
- ・ トランスミッションのシフト位置
- ・ MT車の場合：ニュートラル
- ・ AT車の場合：ニュートラル(N)またはパーキング(P)
- ・ トランクがクローズ状態である

作動中はPRHTクローズスイッチ左側に設けられたインジケータランプが点灯し、半開状態であることを知らせる。また、半開状態でスイッチ操作を止めると、ブザーが吹鳴し、動作が完了していないことを知らせる。

開閉作動は、スピードだけを重視するのではなくスムーズさにも注力し、開発を行った。4つのモータを専用のECUで作動制御し、スピードコントロールを行うことで、違和感のないスムーズな作動を実現している。

社内外で実施したモニタ評価の結果でも競合他車をおさえ、操作性の良さを証明している (Fig.17)。

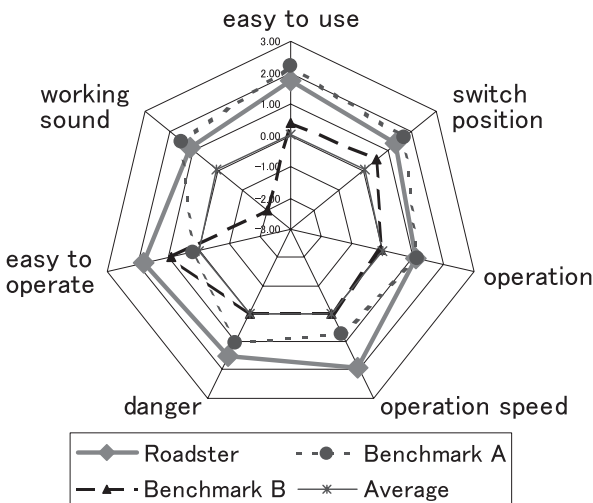


Fig.17 Monitor Evaluation Result

5.3 トランクを犠牲にしないルーフ収納

トランクスペースを使用せず、キャビン内にルーフを収納したことにより、トランクに荷物を満載の状態でも気にせずルーフの開閉が行え、オープン状態でもトランクを100%使用可能である (Fig.4)。

トランク容量は、ソフトトップと同じ150L (DIN方式) を確保している。

6. おわりに

ロードスターのパワーリトラクタブルハードトップは、ライトウェイトスポーツカーの本質をまったく損なうことなく、ハードルーフ化による静粛性向上、電動化による操作性向上を実現した。多くの方々の多大なる協力のもと、商品化することができ、今まで以上により幅広いお客様に“Lots of Fun”を実感して頂けるものと確信している。

今後もお客様に多くの“FUN”を届けることのできる商品開発を行う所存である。

最後にこの開発にあたり、多大なる協力を頂いたサプライヤ殿、社内関連部門に本誌面をお借りし、厚くお礼申し上げます。

著者



松延知昭



田上宏紀



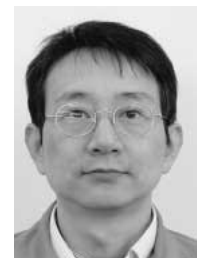
石丸伸吾



木下尚年



黒田将仁



小林豊彦

論文・解説

13

## 新長期排出ガス規制対応 ボンゴ用New MZR-CDの紹介 Introduction of New MZR-CD for BONGO to Meet JPN05 Emission Regulation

柚木伸夫\*<sup>1</sup> 上奥慎二\*<sup>2</sup> 廣瀬倫之\*<sup>3</sup>

Nobuo Yunoki

Shinji Ueoku

Tomoyuki Hirose

西村博幸\*<sup>4</sup> 白橋尚俊\*<sup>5</sup> 杉本亮\*<sup>6</sup>

Hiroyuki Nishimura

Naotoshi Shirahashi

Akira Sugimoto

### 要約

マイナーチェンジした「ボンゴバン」、「ボンゴトラック」、「ボンゴブローニイバン」(以下ボンゴシリーズ)に搭載した、新MZR-CDエンジンの特徴と採用技術について紹介する。本エンジンは従来モデルと同等の出力性能を維持しながら、新長期排出ガス規制に適合した。加えて、従来モデルより導入したディーゼルパーティキュレートフィルタ(以下DPF)のシステム改良と、NVHの低減により商品性を向上させた。

### Summary

This paper describes the characteristics and technologies of the new MZR-CD engine used in the minor change model of “BONGO VAN”, “BONGO TRUCK”, and “BONGO BRAWNY VAN”. This engine corresponded to the JPN05 emission regulations while maintaining the output performance equal to the old model. In addition, marketability been better by improving the system of the diesel particulate and NVH.

### 1. はじめに

2004年より国内導入したDPF搭載のボンゴシリーズは、従来の優れた積載性、安全性、扱いやすさそのままに、クラス初のDPF採用により、「首都圏ディーゼル車規制条例」、「自動車NOx・PM法」に対応し、日本全国どこでも登録が可能となり、ユーザの好評を得てきた。<sup>(1)</sup>

今回のマイナーチェンジは、新長期排出ガス規制対応を主な目的としているが、同時に、様々な環境/使用条件に対してより最適なシステムに改良すべく、開発を行った。本稿では、その内容について紹介する。

### 2. 開発の狙い

新MZR-CDエンジンにおける開発の狙いは、以下のとおりである。

- 1) 動力性能(出力,トルク)は従来モデルを維持しつつ、新長期排出ガス規制に適合
- 2) DPFシステムの改良進化

### 3) 低NVH化

Table 1に新MZR-CDエンジンの主要緒元及び、これらの狙いを達成するため従来モデルをベースに新しく導入した技術を示す。

Table 1 Main Specification

MODEL	MZR-CD	NEW MZR-CD	
Combustion type	Direct injection	←	
Displacement(ml)	1998	←	
Max. power(kW/rpm)	63/3500	←	
Max. torque(Nm/rpm)	178/2000	←	
Fuel economy(km/l)	15.4	15.6	
※1015mode	14.0	14.2	
Bore × Stroke(mm)	86 × 86	←	
Compression ratio	18.4	16.7	
Valve system	16Valve OHC	←	
Variable swirl system	with	N/A	
Intake shutter valve	DC MOTOR	←	
EGR valve	DIAPHRAGM	DC MOTOR	
EGR cooler	with	High efficiency	
Valve timing	IN	Open BTDC	6°
		Close ABDC	30°
	EX	Open BBDC	41°
		Close ATDC	8°
Valve lift(mm)	IN:10mm ,EX:8mm	←	
Fuel injection system	Common rail system	←	
DPF capacity(L)	1.90	2.47	
A/F sensor	N/A	with	
Exhaust gas emission level	JPN03	JPN05	
Glow plug	Metal type	Ceramic type	
Fuel Injector	Base	Small diameter & multi hole type	

\*1, 2 エンジン設計部  
Engine Engineering Dept.

\*6 ㈱マツダE&T  
Mazda Engineering & Technology Co., Ltd.

\*3~5 エンジン実研部  
Engine Testing & Research Dept.

### 3. エンジンの特徴

#### 3.1 排出ガス・動力性能

新MZR-CDエンジンは、従来モデルをベースに、低圧縮比化、インジェクタノズルの小径多噴孔化、EGRクーラの効率アップ、ターボチャージャの過給特性の見直し、A/Fセンサを用いた精密なEGR制御システムを採用した。これらハードウェアの変更と、EGR量と燃料噴射圧力、噴射タイミングの最適化により、従来モデルと出力、トルクを同等とした上で、新長期排出ガス規制に適合させた。Fig.1にエンジンシステム、Fig.2にエンジン性能曲線、Fig.3に排出ガスの達成レベルを示す。

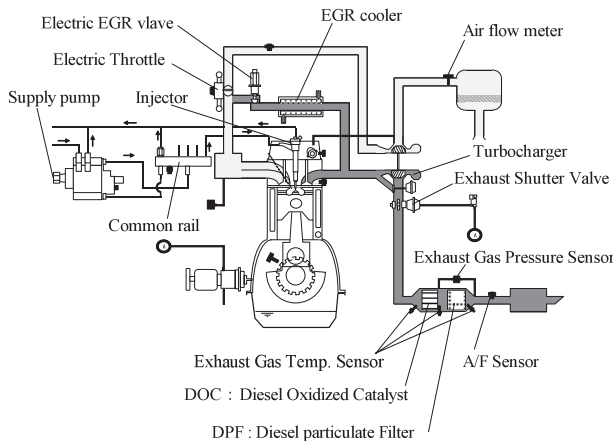


Fig.1 Engine Control System Diagram

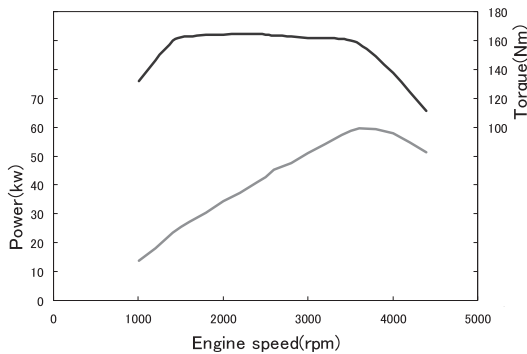


Fig.2 Output Performance

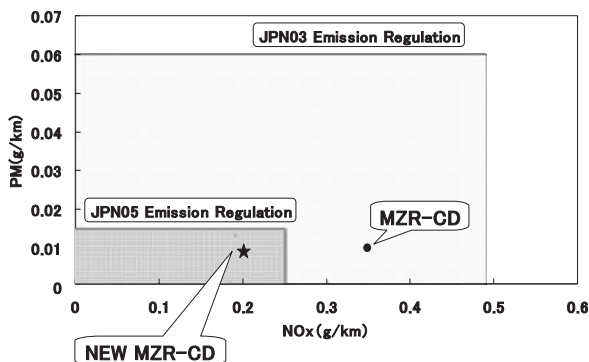


Fig.3 Exhaust Emission Performance

#### 3.2 ピストン

ピストンは従来構造をベースに燃焼改善を目的として低圧縮比化を図った。具体的には、燃焼室直径を大きくする方向で燃焼室容積と形状を変更した。Fig.4にピストンカット図を示す。

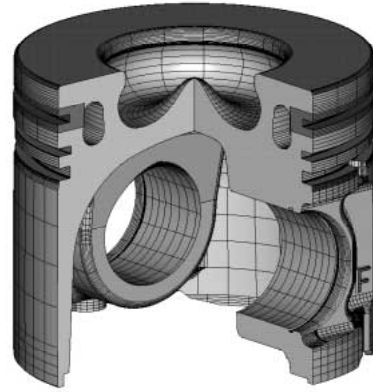


Fig.4 Low Compression EVVC Piston (EVVC : Expansive Vertical Vortex Combustion)

#### 3.3 大量クールドEGR

大量クールドEGRシステムは、NOx低減を目的としてEGRクーラの冷却効率を上げ、DCモータ式EGRバルブを採用した。EGRクーラは冷却効率を従来モデル比40%向上し、サイズを従来比10%以上コンパクト化した。具体的には、コア内部の基本構造を変更し、フィン形状を工夫して伝熱面積の拡大と流れ改善を行った。また、冷却水流量は冷却水の内部沸騰による熱応力低減を目的に最適化を図った。Fig.5にEGRクーラのコア内部図を示す。EGRバルブは、従来モデルのダイヤフラム式からDCモータ式に変更し、EGR流量制御の精度アップを図った。最大流量も従来モデル比45%拡大し、大量EGRに対応した。

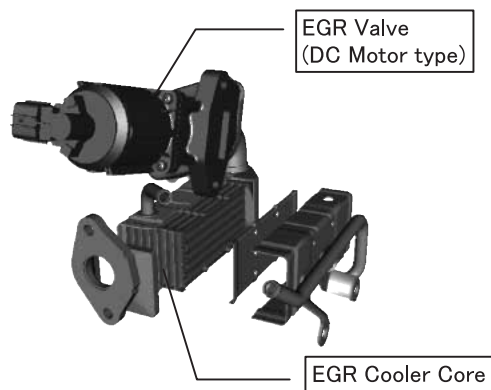


Fig.5 High Efficiency EGR Cooler and Valve

#### 3.4 グロープラグ

新MZR-CDエンジンでは、DPFの再生制御中にグロープラグを使用することにより、負荷増加に伴う排気ガス温度上昇、及び膨張行程での後燃えを補助し、DPF再生性能の向上を図った。また、メタルタイプをセラミックタイプに変更することで、グロープラグの通電頻度増に対応した。

### 3.5 ターボチャージャ

ターボチャージャは、小型・高周速タイプを採用し、低回転から高回転までフラットなトルク特性を実現させている。従来モデルに対しては、コンプレッサインペラの形状を改良し、コンプレッサ効率を向上させることで、PM低減を図った (Fig.6)。

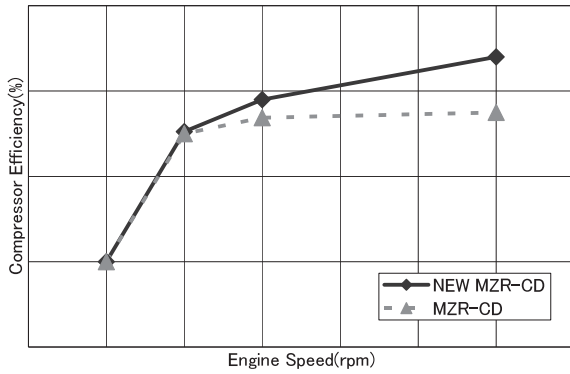


Fig.6 Compressor Efficiency (Full Load)

### 3.6 燃料系

#### (1) インジェクタ

インジェクタは、従来モデルに対してノズルを小噴孔径、多噴孔化し、噴霧粒径の微細化による空気との混合を促進させ、NOx低減を図った (Fig.7)。キャリブレーションの面では、噴霧の微細化に伴う良着火性に着目し、噴射タイミングを遅らせることで、排気ガス温度を上昇させ、過給効率を上げEGR性向上を図った。

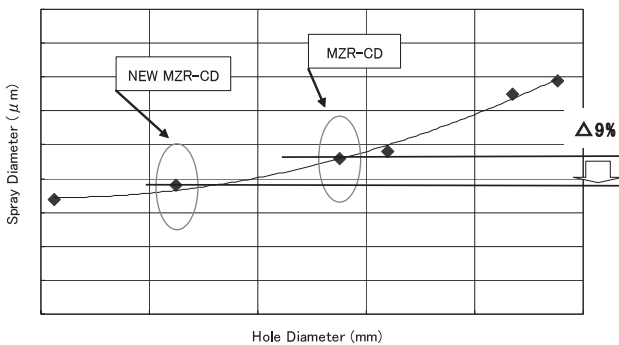


Fig.7 Relation between Nozzle Hole Diameter and Fuel Spray Diameter

#### (2) コモンレール

コモンレールは、インジェクタへ高圧燃料を供給する出口部分のオリフィス孔径を縮小し、パイロット噴射など多段噴射を行った際の、燃料圧力脈動に起因した噴射量ばらつき低減を図った (Fig.8)。

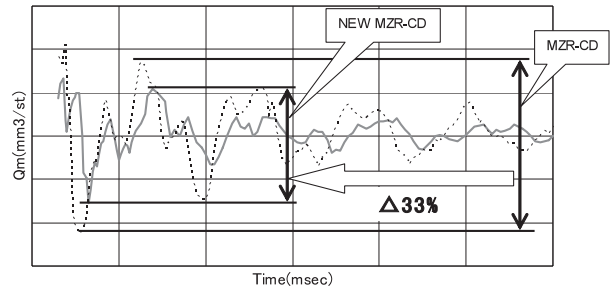
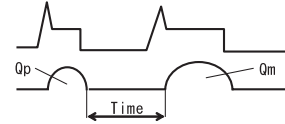


Fig.8 Influence of Pressure Pulse on Injection Quantity

### 3.7 A/FセンサによるEGR量制御システム

本制御システムは、Mazda6 (日本名:アテンザ) にて欧州市場に導入したシステム<sup>(2)</sup>を流用したものである。本システムでは、A/Fセンサを用いて、シリンダ近傍の酸素濃度をモデルで推定し、目標の酸素濃度になるようにEGR量を制御している。これによりEGR量と燃料噴射量ばらつきに起因した走行時のエミッションばらつきを抑制した (Fig.9)。

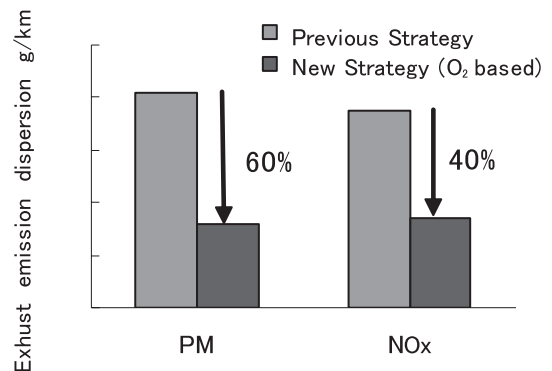


Fig.9 Effect of O<sub>2</sub> Model F/B EGR Control (W/O DPF)

### 3.8 DPFシステムの改良

#### (1) 背景・改良の狙い

ボンゴシリーズは、DPFへ一定量の煤が堆積すると自動的にポスト噴射を行い排気ガス温度を上昇させ、堆積した煤を燃焼し除去するという自動再生システムを採用している。しかし、使用条件により再生が完了しない場合には、停車での手動再生を実施する必要があり、スイッチ操作や10分程度の待ち時間をドライバへ強いることになる。新MZR-CDエンジンでは、様々な環境/使用条件に対して最適化を行い、手動再生を実施する頻度を低減するべく制御システムの改良を行った。

(2) 市場走行分析

ボンゴシリーズは、コンビニエンスストアなどへの商品配送の他、弁当・花などの配送用として広く使われている。これらの用途では、信号間のGO-STOPなど市内での運転頻度が高く、また商品を降ろすための停車が毎日繰り返して行われる。Fig.10, 11は、手動再生に至った市場での走行パターンを分析した一例である。この運転では、アイドル・減速及び停止の時間が、全運転時間の50%と非常に多く、新MZR-CDエンジンでは、この点に着目し再生システムの改良を図った。

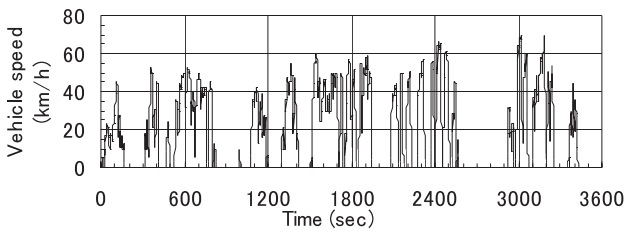


Fig.10 Sample of Driving Pattern

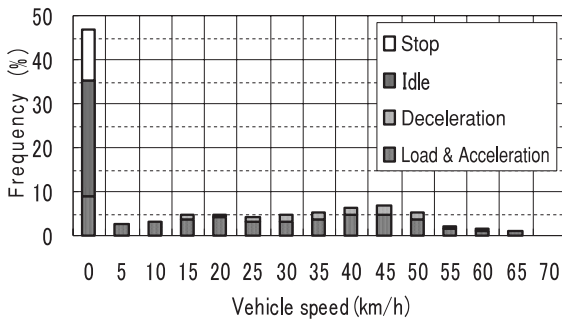


Fig.11 Histogram of Driving Pattern

(3) 再生制御の改良

上記分析結果をもとに、新MZR-CDエンジンでは自動再生中の特定の条件下でアイドル運転や減速時にもポスト噴射を実行させるとともに、 $O_2$ 濃度によるポスト噴射補正などにより制御性を向上させた。Fig.12は自動再生時の排気ガス温度及び煤の燃焼量の従来モデルとの比較結果であり、新MZR-CDエンジンでは、前述の走行条件においても排気ガス温度を煤の燃焼に必要な温度まで上昇できている。また、Fig.13に減速時のポスト噴射の制御波形を、Fig.14にポスト噴射制御の従来モデルとの比較を示す。

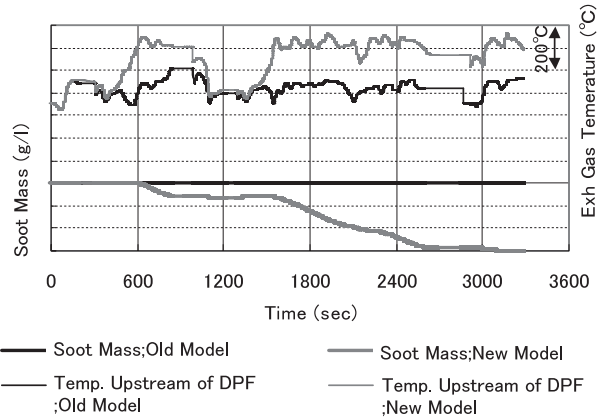


Fig.12 Comparison of Regeneration between New and Old Models

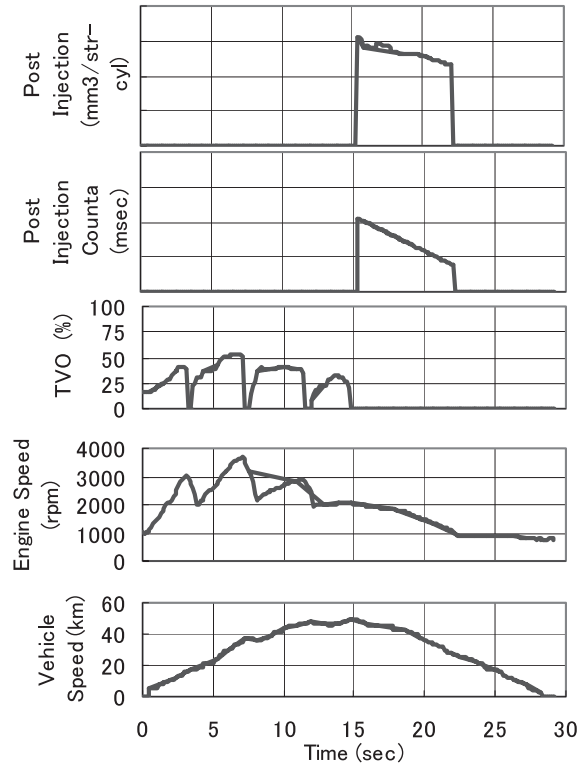


Fig.13 Post Injection at Decelerating

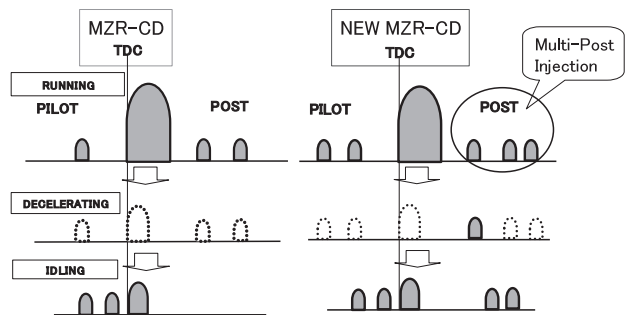


Fig.14 Difference of Post Injection Control

3.9 低NVH化

NVH低減はハードウェアとソフトウェア双方で行った。ハードウェアでは、エンジン上側遮音カバーの面積を1.5倍拡大、クランクプリーカバーの追加、ターボインシュレータの締結構造見直しなどにより、遮音を強化した。一例としてクランクプリーカバー追加による効果をFig.15に示す。ソフトウェアでは、燃焼時ノック音改善のため、燃料噴射圧の低減、パイロット噴射回数、噴射量及びタイミングの見直しを行い、エミッション、スモークとの両立を図った。従来モデルに対する、ノック音の改善効果をFig.16に示す。また、停車時のアイドル騒音低減のため、アイドル回転数を775rpmから750rpmに下げ、吸気スロットルにより吸気を絞り、燃焼圧力を低下させることにより、放射音の低減を行った。従来モデルに対する、アイドル時の放射音低減効果をFig.17に示す。

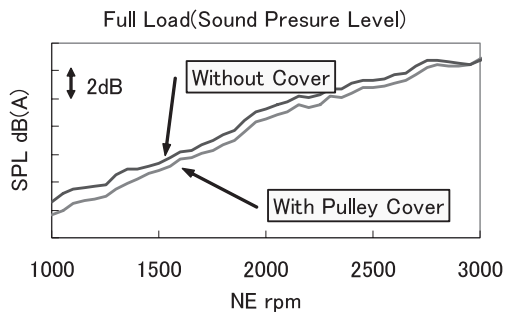


Fig.15 Effect of Crank Pulley Cover

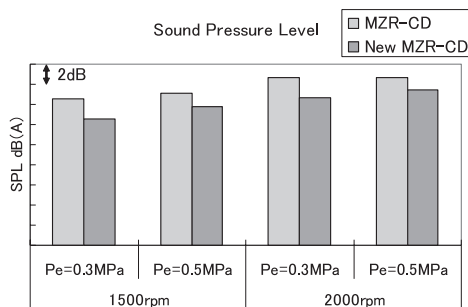


Fig.16 Effect of NVH Improvement

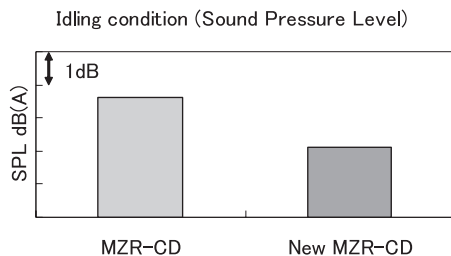


Fig.17 Effect of Low Pressure Idling Technology

4. おわりに

以上の開発を経て、2007年8月より新MZR-CDエンジンを搭載したボンゴシリーズを市場導入することができた。今後はこの開発で得られた各技術を更に熟成、発展させ、マツダ製ディーゼルエンジンの更なる改善のために活用していく所存である。

参考文献

- (1) 松江ほか：ボンゴ用触媒担持型DPFシステムの開発，マツダ技報，No.22，p.126-131（2004）
- (2) 中井ほか：乗用車用直噴ディーゼルエンジンNew MZR-CDエンジンの紹介，マツダ技報，No.23，p.98-103（2005）

著者



柚木伸夫



上奥慎二



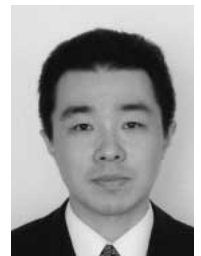
廣瀬倫之



西村博幸



白橋尚俊



杉本 亮

論文・解説

# 14 マルチホールインジェクタを用いた成層直噴ガソリンエンジン Stratified Lean Direct Injection Spark Ignition Using Multi-hole Injector

山下 洋幸<sup>\*1</sup> 瀬戸 祐利<sup>\*2</sup> 永澤 健<sup>\*3</sup>  
Hiroyuki Yamashita Masatoshi Seto Takeshi Nagasawa  
山本 博之<sup>\*4</sup>  
Hiroyuki Yamamoto

## 要 約

ウォールガイド直噴エンジンに対し、燃費低減および出力改善を実現するため、マルチホールインジェクタを適用したサイド噴射方式スプレーガイド直噴ガソリンエンジン (SGDI) のコンセプト検討を行った。CFDを用い、軽負荷域における点火近傍の可燃混合気滞留性および、全負荷域における混合気均質性の観点から噴霧パターンを選定した。得られた噴霧パターンにて実機評価を行った結果、成層運転域の安定燃焼を確保し、低燃費、低NOxおよび高出力化が実現できることを確認した。

## Summary

Concept of the spray guided direct injection spark ignition (SGDI) was studied to improve fuel economy from wall-guided direct injection. By using Computational Fluid Dynamics (CFD) modeling, spray pattern was selected in the viewpoint of ignitable mixture existence around the spark plug in light load and homogeneity in full load. Fuel economy and emissions for a stratified mixture and full load performance were also confirmed by dynamometer evaluation.

## 1. はじめに

近年の省資源化や環境問題から自動車に対する高効率低エミッション化への要求はますます高まっている。この対策として直噴技術におけるリーン燃焼技術は、ポンピングロス低減効果に加え、比熱比向上による熱効率改善効果が得られることから有効な手段である。これまで市場導入されたリーン燃焼技術のうち大半はウォールガイド直噴であった。著者らも当コンセプトを検証しており<sup>(1)</sup>、ピストンキャピティで混合気をトラップし着火させるため、過早燃焼や未燃損失悪化が発生し、リーン化による燃費改善効果は十分引き出せていなかった。また、年々厳しくなるエミッション規制対応により市場において縮小傾向にあった。しかしながら、近年の燃料噴射系の進化により、燃焼時期の最適化や、壁面付着量低減による燃費、エミッション低減が可能となるスプレーガイド直噴が実用化され、再び注目されている<sup>(2)(3)</sup>が、これらは微粒化特性の優れたピエゾインジェクタをセンターに配置している。

本報では、信頼性面やバルブサイズ確保、既存生産設備活用の面で優れるサイド噴射方式を前提に、安価なソレノイド形インジェクタを用いて、SGDIの優れた燃費・トルク特性の実現性検討を行った。

## 2. サイド噴射方式SGDIのコンセプト検討

### 2.1 CFDモデルと評価項目

サイド噴射方式のSGDI実現性検討にはCFDを用いた。計算には、流動解析コードとして脇坂らが開発したGTT法、噴霧モデルとしてはKIVAコードで用いられている離散液滴モデル、それぞれに改良を加えたもの<sup>(4)</sup>を用いた。噴霧モデルの合わせ込みには、二波長レーザー吸収散乱法 (Laser Absorption Scattering : LAS法)<sup>(5)</sup>より、単噴口ホールノズルの高温高压容器下での蒸気相当量比および液相当量比分布を計測した結果を用いた。

噴霧レイアウトの選定指標としては、リーン燃焼実現と高出力化の主な要件となる混合気形成に着目し、(1)圧縮行程噴射時における成層運転の可否を左右する着火安定性、

\*1~4 技術研究所  
Technical Research Center



- (2)燃費、エミッションに影響をおよぼす成層混合気均質性、
- (3)出力性能に影響をおよぼす吸気行程噴射時の混合気均質性、の観点から検討を行った。

検討インジェクタとしては、安価でありながら、噴霧形状の自由度が高く、背圧変化に対し安定した噴霧形状を有するマルチホールインジェクタ<sup>6)</sup>を用いた。

2.2 サイド噴射の混合気形成

(1) マルチホールインジェクタの噴霧レイアウト検討

安定した着火性確保のため着火用の噴霧を3本とし、これをプラグ周りに集めたV字レイアウトとした。また、V字レイアウトの効果を明らかにするため、横一列噴霧計算結果を示した。レイアウトをFig.1に示す。噴口数は6とし、計算条件は着火性が最も厳しいアイドルとした(Table 1)。点火位置は始動時のプラグ濡れを回避するため、インジェクタの噴霧バラツキ等を考慮し、最も点火プラグに隣接する噴霧の軸芯から6.5deg.オフセットした稜線上とした。Fig.2に点火プラグ近傍の局所混合気濃度の比較を示す。V字型は横一列型に比べて、標準点火位置での混合気濃度が高くなっている。また流動等の外乱による混合気分布の変動を考慮して、点火プラグ突出し量を±2mm変化させた場合の混合気濃度変化を比較した。横一列型のプラグ近傍A/Fは大きく変化するのに対し、V字型では突出し量を2mm低減させた場合も、着火可能なA/F範囲にある。噴霧レイアウトによる点火近傍の濃度差の要因分析のため、筒内の流速分布および、混合気濃度分布の履歴をFig.3に示す。

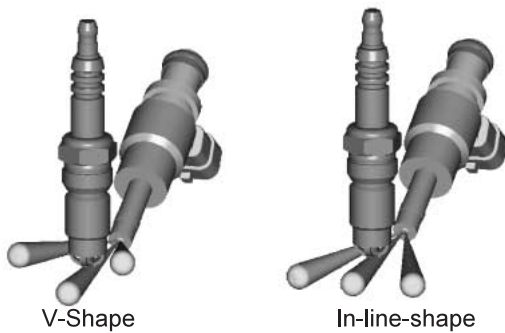


Fig.1 Spray Layout for Ignition

Table 1 Engine Specifications & Calculation Condition

Engine Specifications	
Bore [mm]	87.5
Stroke [mm]	83.1
Compression ratio	11.2
Displacement [cm <sup>3</sup> ]	499.7
Calculation Conditions	
Engine speed [rpm]	750
MAP [kPa]	81.3
Number of holes	6
Fuel pressure [MPa]	15
Injection mass [mm <sup>3</sup> /st]	5.331
Pulse width [msec]	0.427
Injection timing [deg. ATDC]	335

横一列型噴霧レイアウトでは、噴霧によって逆タンプル流が誘起され、これが幾何学的に点火プラグ方向に向かう噴霧を下方に押し下げてしまう。これに対してV字型噴霧レイアウトでは、点火プラグ横の2本の噴霧によって逆タンプル流が抑制され、点火位置近傍に広く混合気が輸送されていることがわかる。

Fig.3で示した混合気形成の差異により、V字型の噴霧配置は、噴霧のサイクル変動、経時変化や点火ギャップ位置のばらつき等に対してロバスト性が高いことを示している。

(2) 着火安定性

サイド噴射の実現性を判断するため、センター噴射との比較を行った。センター噴射においても、サイド噴射と同様にプラグ近傍に複数の噴霧を集めてロバスト性を高める手段が考えられる。しかしながら噴口と点火プラグ間距離が近い場合、V字型では2本の噴霧がマイナス電極に衝突してしまう。また対策として噴孔数を増す場合は、噴孔径縮小に伴うカーボン詰まりの懸念がある。従って本報では、成層燃焼時の噴霧間の火炎伝播性や全負荷時の混合気均質

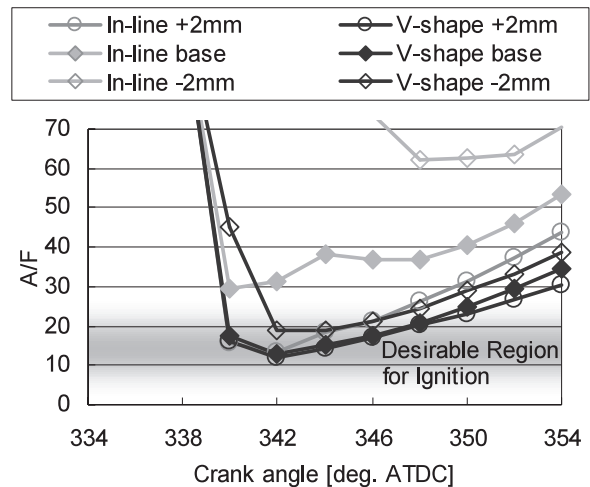


Fig.2 Effect of Spray Layout around Main Spray for Ignition in Side Injection

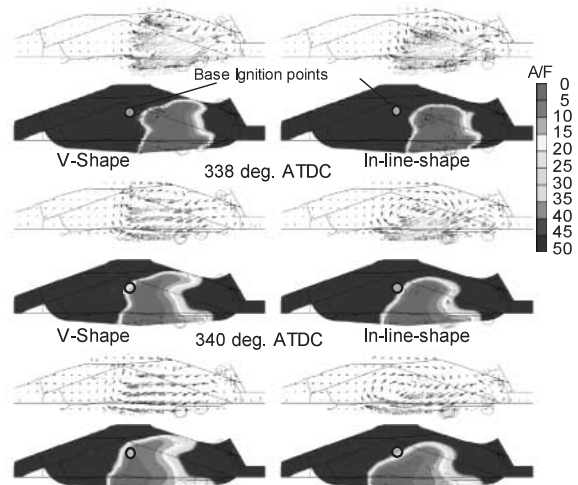


Fig.3 Flow Velocity and A/F Distribution

性および、信頼性を優先しFig.4のように6本の噴霧を等間隔に配したセンター噴射方式を比較対象とした。

Fig.5にセンター/サイド噴射における混合気濃度の時間変化を示す。センター噴射の点火位置についても、液滴燃料を回避するためサイドと同一条件の噴霧軸中心から6.5deg.オフセットした稜線上とした。また、噴口から点火プラグまでの距離はセンター噴射15mm, サイド噴射35mmとした。

サイド噴射では、噴霧到達時に着火が容易な混合気濃度域となっており、オーバリッチ領域が見られない。また、噴霧到達後も緩やかに希薄化している。センター噴射では、噴霧到達直後(336deg.ATDC)にオーバリッチから着火が容易な濃度にシフトし、その後急激に希薄化している。更に点火突き出し量を2mm低減させた場合は、ピーク濃度が大幅に希薄化しており、噴霧半径方向に急激に混合気が希薄化していることがわかる。

一方、点火位置における過度な流速は消炎の懸念があるため点火位置および点火位置-2mmのポイントにて流速の履歴比較を行った(Fig.6)。サイド噴射では、噴霧到達時に10m/sと初期火炎の消炎の懸念が低い流速域に減衰されていることがわかる。一方センター噴射では噴霧により誘発される15m/s超の流動が混合気到達初期に見られ、また空間的な流速勾配も高い。

(3) 成層混合気の均質性

スプレーガイド直噴において、成層燃焼時の混合気は、点火近傍に理論空燃比付近のコンパクトな混合気を形成

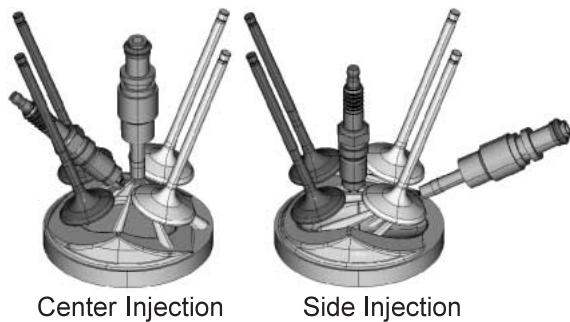


Fig.4 Injector Layouts

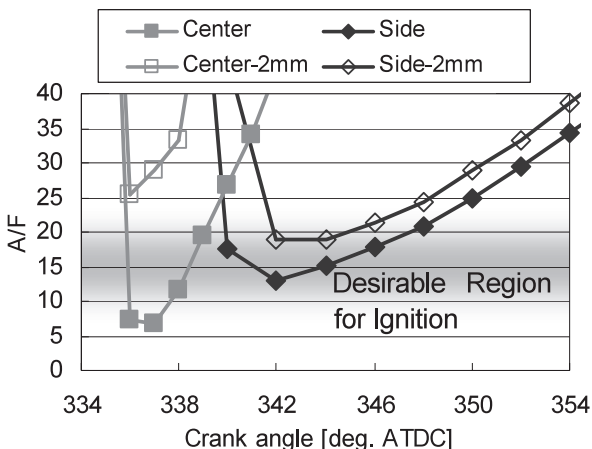


Fig.5 A/F History around Spark Plug

し、負荷増大に伴い体積増加することが、燃焼安定性、燃費、エミッションの観点から望ましいと考えられる。

そこで、圧縮行程噴射時の、混合気分布解析を行った。ここでは、点火時期を想定し、点火位置の混合気がA/F=10~20の範囲で最もリッチとなるクランク角とした。サイド噴射は342deg. ATDC, センター噴射は338deg.

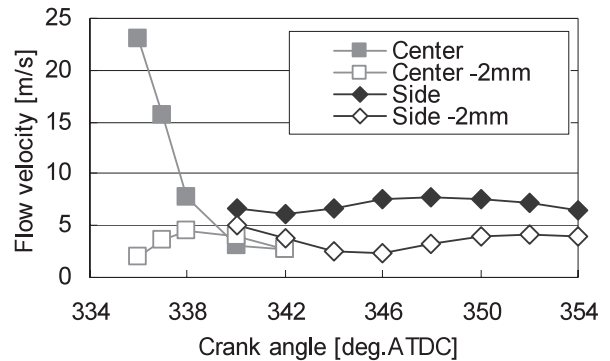


Fig.6 Flow Velocity around Spark Plug

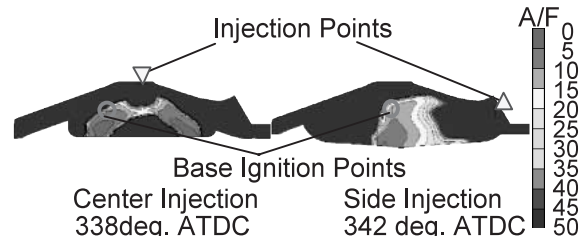


Fig.7 Mixture Distribution in Vertical Cross-section, Including Assumed Ignition Points

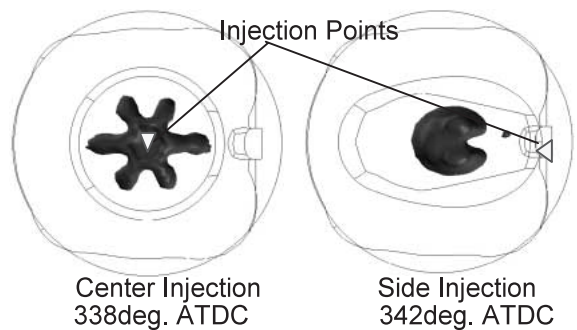


Fig.8 Top View of Isosurface at A/F = 20

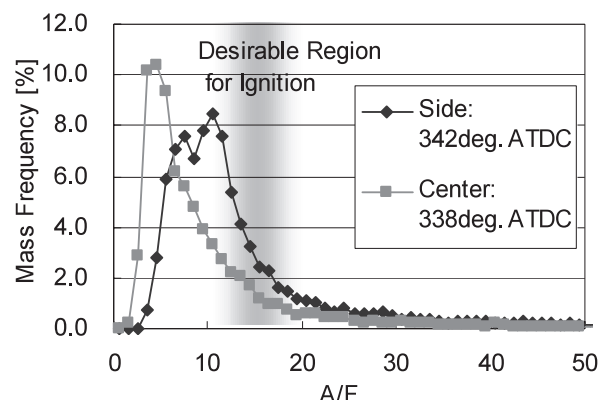


Fig.9 Total Fuel Mass Frequency

ATDCにおける点火ポイントを含む鉛直断面の混合気濃度分布をFig.7に示す。また、Fig.8にA/F=20となる混合気濃度等値面を示す。

サイド噴射の場合、混合気が連続かつコンパクトに点火位置周辺に集まっている。センター噴射では、噴霧先端部において各噴霧が連続しておらず、火炎伝播が阻害されると考えられる。

センター噴射において噴霧の連続性を確保するためには、(i)コーン角を変えずに噴霧数を増やす、(ii)噴霧間隔を狭めコーン角を狭角化する方法がある。しかしながら前述したように噴射率を維持したまま噴霧数を増やすと噴口径が小さくなりインジェクタの耐デポジット性の悪化が懸念される。また噴霧数を同数のまま狭角化するとピストン頂面への燃料付着量が増加することと、点火プラグを突き出さなければ着火可能位置に届かなくなる等の問題が考えられる。従って、センター噴射では噴霧の連続性、壁面付着低減およびインジェクタ耐デポジット性の両立が課題であると推定される。

次に混合気全体の均質性を検証するために、混合気濃度分布を調査した。比較は点火時期を想定し、サイド噴射とセンター噴射のそれぞれの着火性評価点濃度が可燃範囲内でピークとなるクランク角338deg. ATDC, 342deg. ATDC

で行った。Fig.9に各クランク角における混合気濃度(A/F)の質量割合を示す。サイド噴射(342deg. ATDC)の点火想定時期での濃度分布をみると、可燃範囲内の質量割合が多く分布していることがわかる。これに対して、センター噴射(338deg. ATDC)では、濃度過濃領域に質量割合のピークがシフトしており、過濃領域の低減が課題と考えられる。

(4) 全負荷域混合気均質性

吸気行程噴射による均質運転時は燃焼室全体に均一な混合気を形成することが望ましい。そこで、全開運転時を想定した吸気行程噴射時の混合気濃度計算を行った。Table 2 に計算条件を示す。

Fig.10に1,500rpmおよび6,000rpmにおける当量比分布の比較を示す。1,500rpmにおいては、センター噴射とサイド噴射とも当量比1近傍にピークが見られ、同等の混合気濃度分布を有していると考えられる。6,000rpmにおいては、サイド噴射では当量比のレンジが広がり、混合気の偏在が生じており、改善の余地が残る。

3. 実機評価結果

CFD解析により、成層燃焼時の着火安定性、混合気形成の観点からスペック選定を行ったサイド噴射SGDIについて、CFDと同一主要諸元(Table 1)の4気筒実機エンジンにより成層性能、および全開出力性能評価を行った。

成層運転条件および全開運転条件をTable 3に示す。

3.1 着火安定性

(1) 燃焼安定範囲

点火時期と噴射時期をパラメータに燃焼安定範囲を調査した。Fig.11に安定した成層燃焼が最も困難なアイドル状態でのIMEPの標準偏差SDが14kPa以下となる安定燃焼領域を示す。点火には燃焼安定性改善策として多重点火を導入しており、EGR39%導入時においても、安定燃焼領域は噴射時期で10deg.以上、点火時期で30deg.以上の幅を有することを確認した。

(2) 空間的燃焼安定性

次に、点火プラグを噴霧から3.5mm遠ざけ、点火位置が燃焼安定性に与える影響を調査した。Fig.12は噴射時期25.5deg. BTDCにおいてSD 14kPaとなる点火時期の範囲Tab.4 Test Conditionを、Fig.13には同一条件下における着火遅れ期間(Ig-5% mass burn rate)を示す。噴霧と点火プラグの距離を離れた場合においても同等の安定燃焼領域

Table 2 Calculation Conditions for Full Load

Engine speed [rpm]	1500	6000
MAP [kPa]	101.3	101.3
Fuel pressure [MPa]	15	20
Injection Quantity [mm <sup>3</sup> /st]	57	61
Pulse width [msec]	4.96	4.80
Injection timing [deg. BTDC]	320	360

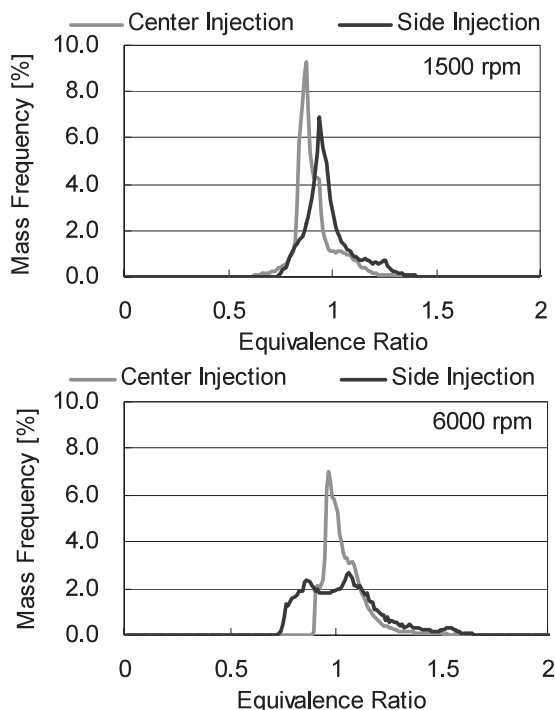


Fig.10 Mass Frequency of Equivalence Ratio

Table 3 Stratified and Full Load Operation Conditions

	Engine Speed [rpm]	BMEP [kPa]	Fuel Pressure [MPa]
Part load	750	50	15
	1500	100	20
	2000	400	20
Full load	1000-6000	—	15-20

を確保できている。また着火遅れ期間の差もわずかで、空間的に広い領域で可燃混合気を形成し、着火安定性を確保していることが確認できた。

3.2 燃費, エミッション性能

Fig.14に成層燃焼時の燃費, エミッション性能を示す。燃費は理論空燃比で吸気行程噴射を行った場合からの改善率で示した。ウォールガイド直噴(WGDI)の性能を併記し, SGDIとの性能比較を行った。アイドル(750rpm, BMEP=50kPa)で31%, 中速中負荷(2,000rpm, BMEP=400kPa)で13%の燃費改善効果を得られた。NOxインデックスはアイドルで1.0以下, 中速中負荷で2.0以下, Smokeはアイドル, 中速中負荷ともに0.1FSN以下とWGDI比で大幅に抑えられ

ることを確認できた。また, Fig.15に各運転条件における熱発生率を示す。一般的にウォールガイド直噴では, 熱発生ピークは低速軽負荷運転時では5deg. BTDCから10deg. BTDCに位置し<sup>(1)</sup>, 低速軽負荷になる程, 進角する傾向がある。一方, サイド噴射スプレーガイド直噴では回転, 負荷によらず熱発生ピークがTDC近傍に位置し, 高効率な燃焼が実現されていることがわかる。

3.3 全開出力性能

CFD結果より, サイド噴射では高速域のミキシング不良が懸念されたため, 実機エンジンにはミキシング改善策

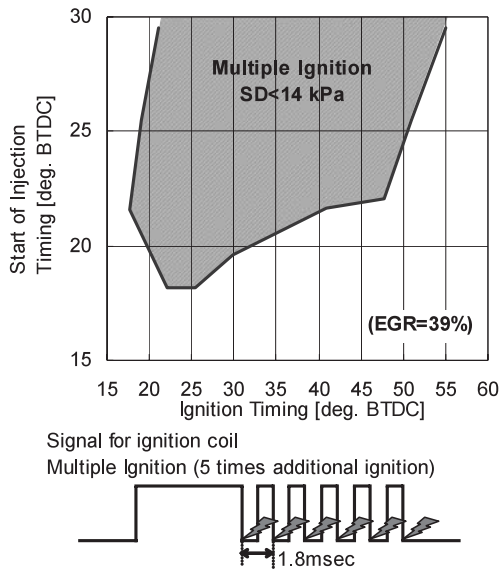


Fig.11 Stable Combustion Window with Multiple Ignition (750rpm, BMEP = 50 kPa, MAP = 97kPa, EGR = 39%)

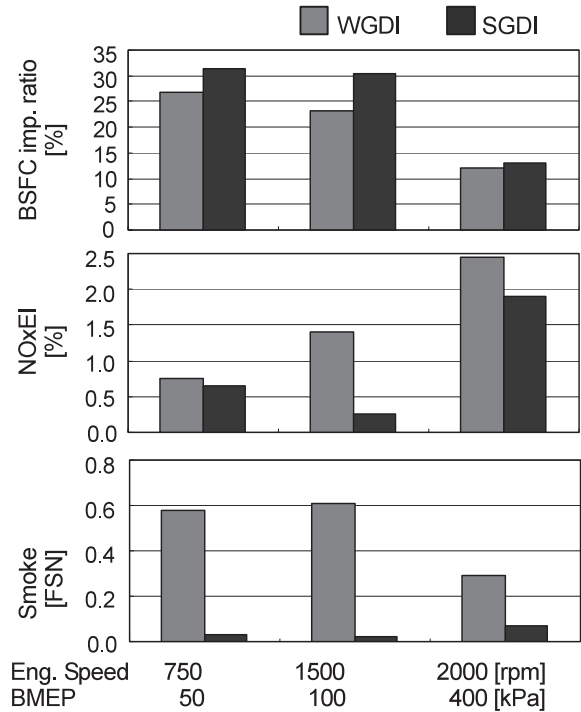


Fig.14 BSFC and Emissions

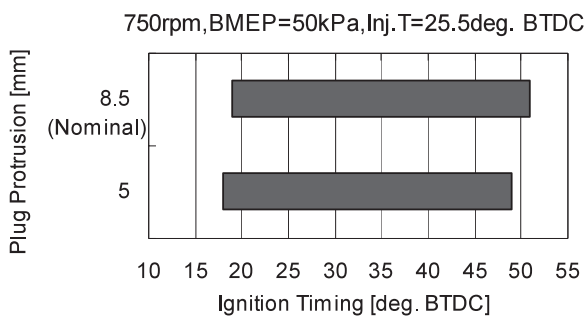


Fig.12 Effect of Spark Plug Protrusion

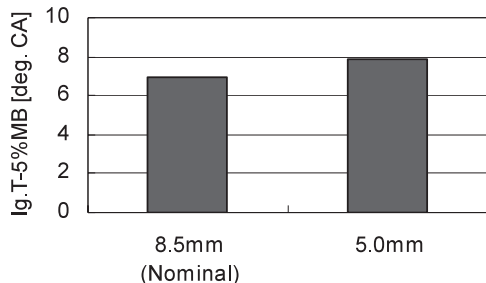


Fig.13 Effect of Spark Plug Protrusion

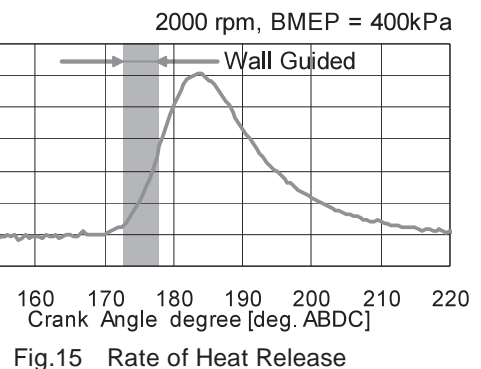
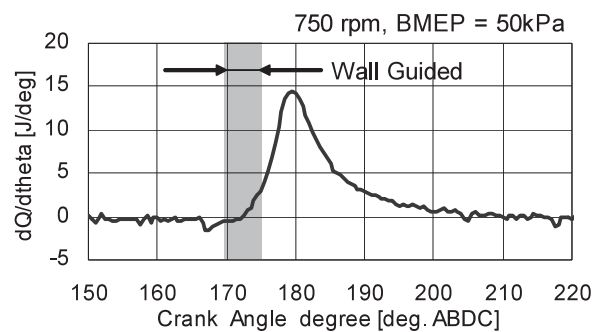


Fig.15 Rate of Heat Release

を織り込んだ。ミキシングの指標として排ガス中の酸素濃度を確認した。

Fig.16に低速および高速域のPFIからのトルク改善率を示す。また、Fig.17に酸素濃度を示す。トルク改善率は低速域が高くなっているが、これは一般に低速域では耐ノック性が厳しいため、直噴化した際の筒内冷却効果により耐ノック性が改善したためと考えられる。排ガス中の酸素濃度は低速、高速域とも大差はなく、Hanらの報告でみられるスプレーガイド直噴の0.2%前後<sup>(7)</sup>に対して同等以下を示しており問題のないレベルとなっていることを確認した。

#### 4. まとめ

マルチホールインジェクタを用いたスプレーガイド直噴の実現性を検討した結果、以下の点が明らかになった。

- (1) サイド噴射はプラグ周りの噴霧をV字配置することにより、プラグ近傍に時間的、空間的に安定した可燃混合気を形成することが可能である。
- (2) サイド噴射はプラグ近傍に火炎伝播が容易なコンパクトな混合気を形成することが可能である。
- (3) サイド噴射スプレーガイド直噴において実機評価を行い、アイドルで点火30deg.以上噴射10deg.以上の安定した着火性、燃費31%改善、NO<sub>x</sub>インデックス1.0%以下を確認した。
- (4) サイド噴射は混合気均質性において高速高負荷域において排気中の酸素濃度はセンター噴射と同レベルでありPFI比5%の最高出力向上が得られることがわかった。
- (5) 以上により、サイド噴射スプレーガイド直噴は燃焼コンセプトとして成立する可能性が高い。

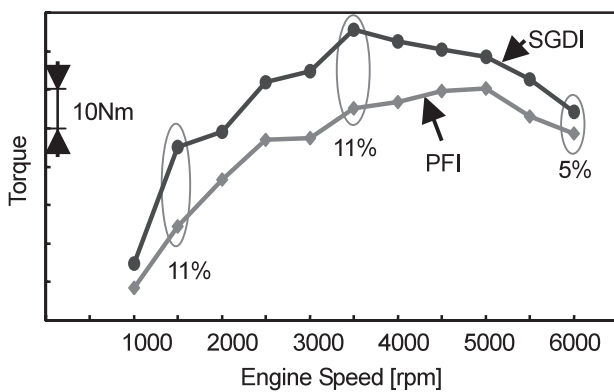


Fig.16 Torque Improvement Ratio Against PFI

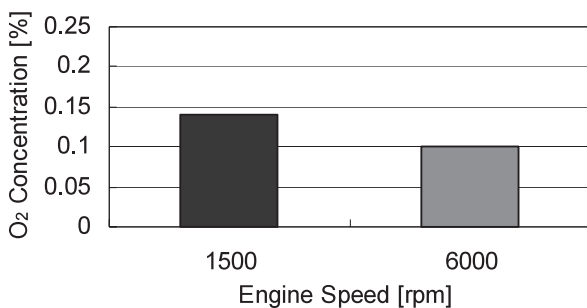
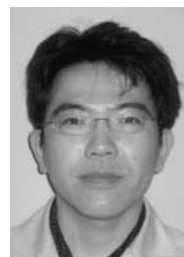


Fig.17 Exhaust Oxygen Concentration

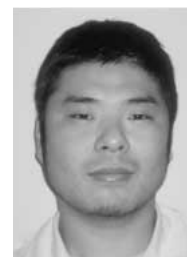
#### 参考文献

- (1) Yamashita, H. et al.: Mixture formation of direct gasoline injection engine-in cylinder gas sampling using fast flame ionization detector, JSAE Review, Vol.20 No.1, p.23-29 (1999)
- (2) Kannenberg, D. et al.: The Efficient Dynamic Strategy with the New BMW Four Cylinder Engines from the 1-Series to 5-Series Vehicles, 16th Aachener Kolloquium, p.95-114 (2007)
- (3) Schaupp, U. et al.: Thermodynamic Potential of the Spray-Guided Combustion System for Gasoline Engines at Mercedes-Benz, 16th Aachener Kolloquium, p.1109-1134 (2007)
- (4) Aoki, O. et al.: An evaluation method for quality of air-fuel mixture distribution and movement in combustion chamber of DISI engine using CFD, JSAE Review 24, p.25-31 (2003)
- (5) Yamakawa, M. et al.: Quantitative Measurement of Liquid and Vapor Phase Concentration Distributions in a D.I. Gasoline Spray by the Laser Absorption Scattering (LAS) Technique, SAE Trans. J. Engine, Vol.111, No.3, pp.2194-2206 (2002)
- (6) Stach, T et al.: New Generation Multi-hole Fuel Injector for Direct-Injection SI Engines-Optimization of Spray Characteristics by Means of Adapted Injector Layout and Multiple Injection, SAE paper, 2007-01-1404 (2007)
- (7) Han, Z et al. : Development of a New Light Stratified-Charge DISI Combustion System for a Family of Engines With Upfront CFD Coupling With Thermal and Optical Engine Experiments, Proceedings of SAE, 2004-01-0545, pp.1-25 (2004)

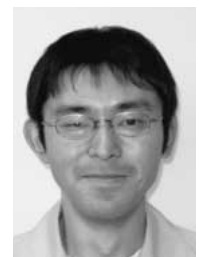
#### 著者



山下洋幸



瀬戸祐利



永澤 健



山本博之

論文・解説

15

## 新しいメカニズムによるPM燃焼触媒 PM Oxidation Catalyst on New Oxidation Mechanism

鈴木 研二<sup>\*1</sup> 原田 浩一郎<sup>\*2</sup> 山田 啓司<sup>\*3</sup>  
Kenji Suzuki Koichiro Harada Hiroshi Yamada  
岡本 謙治<sup>\*4</sup> 高見 明秀<sup>\*5</sup>  
Kenji Okamoto Akihide Takami

### 要約

触媒担持型DPF (Diesel Particulate Filter) において、捕集したPM (Particulate Matter) を自動再生する際の再生時間短縮につながり、燃費の悪化が抑制可能な、PM燃焼除去性能に優れたPM燃焼触媒を開発した。従来触媒では、触媒表面の酸素吸蔵放出能に由来する反応性の高い酸素 (活性酸素) をPM燃焼に利用しているのに対して、本触媒では、触媒表面だけでなく触媒内部の酸素を活性酸素として効率的に利用しており、これまでにない新しいメカニズムでPM燃焼反応を促進させている。また、本触媒は優れた熱耐久性を有しており、実排出ガス条件においても高いPM燃焼性能を示す。

### Summary

PM oxidation catalyst accelerating PM oxidation rate to save fuel economy has been developed for catalyzed DPF. The catalyst has a property to supply large amount of active oxygen released from inside of the catalyst, which is different from conventional catalyst that supplies active oxygen from the surface of it. This property leads a new oxidation scheme of PM and generates higher performance of PM oxidation than that of conventional one. This catalyst also possesses high PM oxidation performance in durability condition and actual emission condition.

### 1. はじめに

ディーゼルエンジン (DE) は、ガソリンエンジンに比べ燃焼効率が良く、CO<sub>2</sub>排出量が少ないことから、地球温暖化の抑制に効果的である。一方で、排出ガス中に含まれる粒子状物質 (Particulate Matter : PM) の低減がDE車にとって大きな課題となっている。このPMの低減には、触媒担持型ディーゼルパーティキュレートフィルタ (Catalyzed Diesel Particulate Filter : CDPF) を排気システムに設置し、それらを捕集するとともに、燃焼 (酸化) 除去することが有効である。

CDPFの内部構造及び担体壁断面の模式図を、Fig.1及びFig.2に示す。排出ガス中のPMは、CDPFを構成する多孔質性の壁を通過する際に捕集され、CDPFの壁に担持した触媒の作用により効率的に燃焼除去される。

DEの排出ガス温度は高負荷運転領域を除き、捕集した

PMを燃焼除去するのに十分な温度が得られにくい。そこで、PMの堆積が一定量以上になると、排出ガス温度を上昇させ、PMを燃焼除去する再生処理を定期的に行う。排出ガス温度上昇には、燃料噴射量を増加させるため、ディーゼルの燃費メリットが低下してしまう。そのため、CDPFに堆積したPM燃焼処理に要する時間を短縮することが商品性向上に有効であり、PM燃焼速度を向上するための優れた触媒が求められている。

PMの燃焼速度を高める触媒としては、酸素吸蔵放出能 (Oxygen Storage Capacity : OSC) を有するCe系の酸化物などが知られている<sup>(1)</sup>。これらを用いた触媒では、反応性の高い酸素を、触媒表面からPMに供給し、PM燃焼反応を促進させることが可能である。しかしながら、触媒表面にある酸素のみに依存するため、供給能力に限りがあり、高いPM燃焼性能を実現させるには不十分であった。より高いPM燃焼性能を得るには、従来とは異なる、新たな

\*1~5 技術研究所  
Technical Research Center

PM燃焼促進メカニズムを有する触媒が必要であった。

本稿では、従来用いられているCe系触媒とは異なり、新しい燃焼促進メカニズムを有する高性能なPM燃焼触媒を開発したので紹介する。

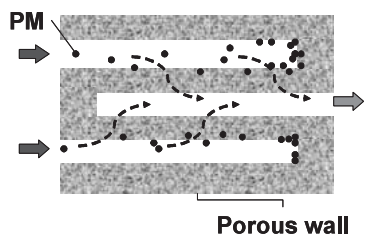


Fig.1 Cross View of Internal Structure of CDPF

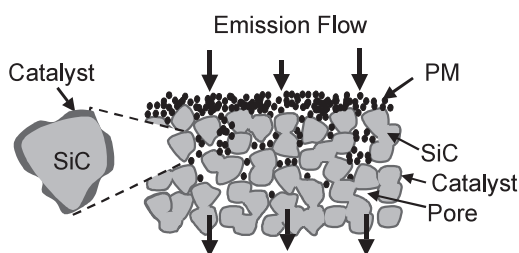


Fig.2 Cross-section of Porous Wall of CDPF

## 2. 触媒材料コンセプト

PMは、そのほとんどを有機揮発成分(SOF)とSoot(すす:カーボン)で構成されている。SOF分は、CDPFの上流に置く酸化触媒(Diesel Oxidation Catalyst:DOC)により浄化され、Sootは主にCDPFに堆積する。このカーボンの燃焼反応は、 $C + O_2 \rightarrow CO_2$ で示される。この反応を促進させるには、反応性の高い酸素をカーボンへ供給することが有効である。Ce系触媒では、Ce元素の3価・4価の価数変化により、酸化雰囲気中で酸素を吸蔵し、還元雰囲気中で放出する特性が知られている。これらの触媒は、DEの排出ガス組成のような酸化雰囲気では、ある温度以上になると、雰囲気中の酸素を触媒内部に取り込みながら、もう一方では触媒内部から酸素を放出する、いわゆる「酸素交換反応」特性を有する<sup>(2)</sup>。この内部から放出される酸素は、触媒構成酸化物の骨格格子を形成している酸素(格子酸素)であり、これまでの研究から、PM燃焼反応は、この酸素交換反応で放出される反応性の高い格子酸素によって効率的に進行することが明らかになっている。しかしながら、このような触媒では、PMへの酸素供給能力が、触媒表面の酸素交換反応の量と速度に依存するため、供給量には限界がある。更に、PM燃焼時に高熱に曝されることで、熱劣化(熱凝集)による表面積低下が生じ、反応面積低下による燃焼速度低下がおきる。

そこで、Fig.3に示すように、触媒表面の酸素交換反応だけでなく、触媒内部の格子酸素も有効に利用することを考え、これまで検討されていなかった酸素イオン伝導特性に着目し、新触媒の検討を行った。つまり、触媒内部の格

子酸素を継続的に触媒表面のPM燃焼部へ供給すれば、PMの燃焼に対応して活性な酸素を多量に供給することが可能となり、PM燃焼速度が飛躍的に向上すると考えた。更に、触媒内部を利用するので、熱劣化による表面積低下の影響を受けにくい、高い熱耐久性を保持することが可能である。

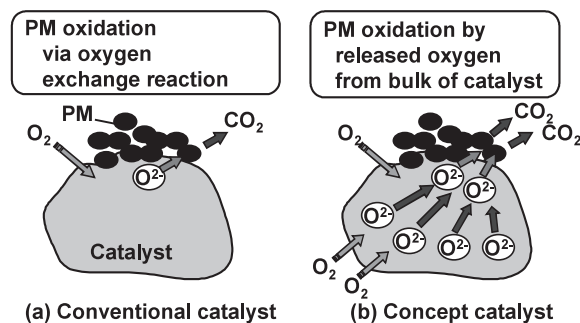


Fig.3 Concept for Improvement of PM Oxidation

## 3. 実験方法

### 3.1 PM燃焼性能の評価

#### (1) モデルガスによるPM燃焼性能評価

触媒の各種ガス条件におけるPM燃焼性能を検討するため、モデルガスによる評価を行った。評価装置の概略図及びガス条件をFig.4に示す。

DPF担体には、耐熱性の高い炭化珪素製のウォールフロータイプ(25cc)を用いた。この担体に、貴金属(Pt)を担持した各触媒粉をコートし、実排出ガスに含まれるPMの代用として、カーボンブラック(カーボン)を堆積させて評価を行った。モデルガスには、カーボン燃焼に寄与する $O_2$ 、 $NO$ 、 $H_2O$ を含む混合ガスを用いた。モデルガスを流しながら、ガス温度を上昇させたときに、カーボンの燃焼反応により生成する $CO$ 及び $CO_2$ をガス分析計で測定し、その濃度から、カーボンの燃焼速度を算出した。

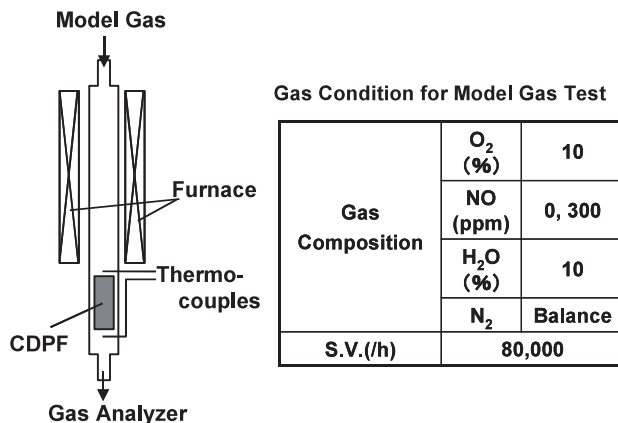


Fig.4 Evaluation Apparatus for Model Gas Test

(2) 実機によるPM燃焼性能評価

評価に用いたエンジン及びCDPFシステムの詳細をそれぞれ、Table 1及びTable 2に示す。CDPFシステムは前段に酸化触媒を配置し、その下流にCDPFを置いた。DPF担体には、モデルガス評価と同様に、炭化珪素製のウォールフロータイプを用いた。評価は、CDPFにPMを堆積させたのち、燃焼制御技術により排出ガス温度を向上させる自動再生を行った。この自動再生を5分間行い、その後でのPMの減少量よりPM燃焼速度を算出した。

Table 1 Engine Specifications

	Specifications
Combustion Type	Direct Injection
Displacement	2.0L
Fuel Injection System	Common Rail System

Table 2 CDPF System Specifications

	Specifications
DOC	Flow Through Type (Cordierite) PGM loaded
CDPF	Wall Flow Type (Catalyzed SiC DPF) PGM loaded

3.2 触媒仕様

本実験に用いた触媒をTable 3に示す。従来の酸素放出特性に優れた触媒材料としてCeO<sub>2</sub> (従来触媒A), Ce系複合酸化物 (従来触媒B) を用いた。新しいIPM燃焼触媒は、Zr化合物に異なる添加材を加えた開発触媒A及び開発触媒Bである。

各触媒は、PMの自動再生時の熱負荷を考慮した酸化雰囲気中、700 以上の高温エージング処理後のものを使用した。従来触媒B及び開発触媒Bはそれぞれ、従来触媒A及び開発触媒Aに対し、エージングによる表面積及び結晶粒子径の低下が小さい、熱安定性の高い仕様とした。

Table 3 Material Properties for Tested Samples

	Surface Area [m <sup>2</sup> /g]		Crystallite Diameter [nm]	
	Fresh	Aged	Fresh	Aged
Conventional A	98	12	15	31
Conventional B	86	65	8	10
Developed A	118	7	9	47
Developed B	104	61	11	15

3.3 触媒基本特性の評価

従来触媒及び開発触媒について、酸素によるPM燃焼反応に影響を及ぼすと考える各種基本特性について評価を行った。

(1) 酸素吸蔵放出特性

触媒内部に吸蔵した酸素が、還元雰囲気条件下でどれだけ放出されるかについて調べるため、H<sub>2</sub>ガスを用いて昇温還元法 (H<sub>2</sub>-TPR法) による評価を行った。評価には整粒したペレット状の触媒を使用し、H<sub>2</sub>と触媒内部のO<sub>2</sub>の反応により生成されるH<sub>2</sub>Oの濃度を測定し、触媒温度との関係及び酸素放出量を調べた。各ガス濃度は、四重極質量分析計で測定した。

(2) 酸素交換反応特性

各触媒の酸素交換反応特性について検討するため、同位体酸素 (<sup>18</sup>O<sub>2</sub>) を用いた評価を行った。評価には、酸素吸蔵放出特性評価の場合と同様にペレット状触媒を用いた。触媒内部の<sup>16</sup>O及び、雰囲気中の<sup>18</sup>Oから生成される各酸素種 (<sup>16</sup>O<sub>2</sub>, <sup>18</sup>O<sub>2</sub>, <sup>16</sup>O<sup>18</sup>O) の濃度について、四重極質量分析計で測定した。

(3) カーボン燃焼時における触媒内部の電流測定

PMの主成分であるカーボンを燃焼させた際の触媒内部における格子酸素 (酸素イオン) の挙動を調べた。測定用触媒として、プレスにより板状に成形した触媒を用い、この上下の平面に電極を取り付けた。一方の触媒板平面上にカーボンを堆積させ、大気炉内で室温から700 まで昇温させ、電極間に生じる電流を測定した。

(4) 酸素イオン伝導性

各触媒の酸素イオン伝導性について検討するため、伝導度の測定を行った。測定用触媒は触媒粉末をプレスして板状のペレットを作製し、研磨により所定のサイズに成形した後、焼成を行い、電極をとり付けた。伝導度は、触媒内部、粒子界面、電極 / 粒子界面の3つの総和からなるが、触媒内部のみの伝導度を測定するために交流インピーダンス法を用いて評価を行った。測定温度は、CDPFの自動再生時の温度を考慮し600 とした。

4. 結果と考察

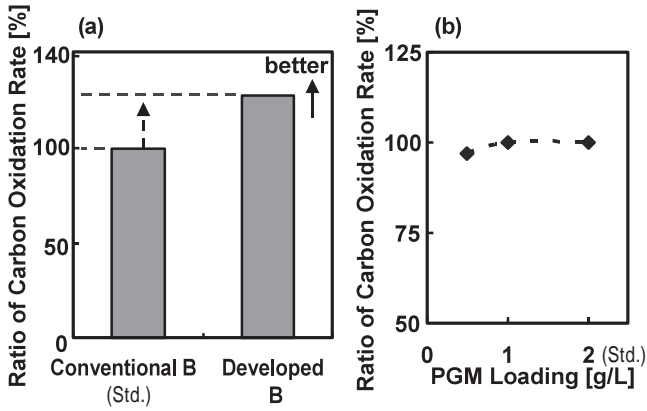
4.1 開発触媒の性能

(1) PM燃焼性能

熱安定性の高い従来触媒B及び開発触媒BをDPF担体にコートしたCDPFを用い、モデルガスによるPM燃焼性能の評価を行った。評価結果をFig.5 (a)(b) に示す。

従来触媒Bのカーボン燃焼速度を100%とした時、開発触媒Bは、カーボン燃焼速度が約20%向上している (a)。また、貴金属を2g/L担持した開発触媒Bのカーボン燃焼性能を100%とした時、開発触媒Bは、貴金属担持量を1g/L及び0.5g/Lへ低減した場合でも、燃焼速度の低下量は非常に小さい (b)。尚、NO<sub>x</sub>を含むガス条件においても同様に、開発触媒Bは従来触媒Bより高いカーボン燃焼性能を有していることを確認している。



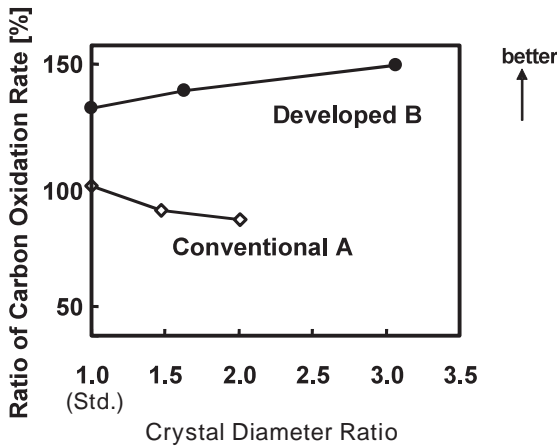


(a) Carbon oxidation rates of Conventional B and Developed B.  
 (b) PGM amount dependence of carbon oxidation rate in Developed B  
 Evaluation condition : Temp : 590 , Gas : 10% O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> (Bal.) with 10% H<sub>2</sub>O, Catalyst : Aged

Fig.5 Carbon Oxidation Performance

(2) 耐熱性能

結晶子径の制御が比較的容易な、従来触媒A及び開発触媒Bについて、カーボン燃焼速度の結晶子径依存性を評価した結果をFig.6に示す。



Evaluation condition : Temp : 590 , Gas : 10% O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> (Bal.) with 10% H<sub>2</sub>O

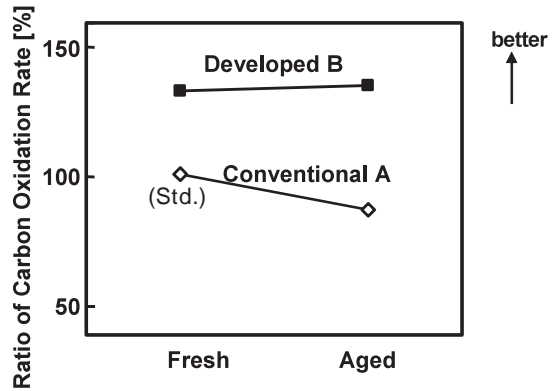
Fig.6 Influence of Crystallite Diameters on Carbon Oxidation Rate

従来触媒Aは、結晶子径が大きくなるに従い、カーボン燃焼速度が低下した。これは、触媒の一次粒子の表面積が低下することにより、雰囲気中との酸素交換反応量が少なくなるためカーボン燃焼速度が低下するものと考えられる。

一方、開発触媒Bについては、結晶子径が大きくなり、表面積が低下しても、カーボン燃焼速度が向上した。

以上のことから、開発触媒Bは、実使用条件にて高い熱履歴を経た後も、優れたカーボン燃焼性能を示すことが示唆された。そこで、従来触媒Aと開発触媒Bを、エージン

グによる加速劣化処理を行って、カーボン燃焼速度を測定した。結果を、Fig.7に示す。



Evaluation condition : Temp : 590 , Gas : 10% O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> (Bal.) with 10% H<sub>2</sub>O

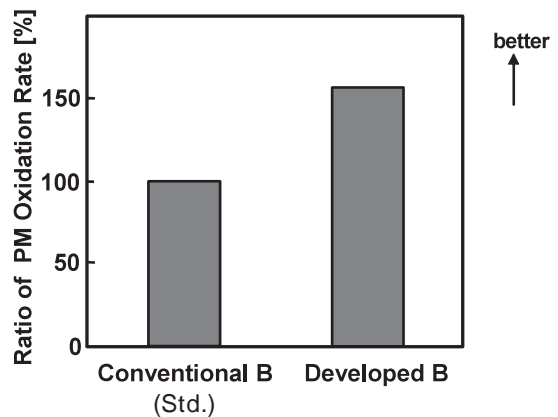
Fig.7 Influence of Thermal Aging on Carbon Oxidation Rate

従来触媒Aのカーボン燃焼性能はエージングにより低下するのに対し、開発触媒Bはカーボン燃焼性能の低下は認められなかった。すなわち、開発触媒Bは、再生処理等の高温条件での使用に対して、優れた耐熱性を有している。

(3) 実排出ガスでのPM燃焼性能

Fig.8に実排出ガスでのPM燃焼性能評価結果を示す。

開発触媒BをコートしたCDPFは、従来触媒Bを用いた場合に比べて、自動再生時の煤燃焼速度が約1.6倍となり、実排出ガス条件においても、開発触媒が優れていることを確認した。



Evaluation condition : Catalyst : Aged

Fig.8 PM Oxidation Rate on DPF Regeneration Control in Engine Bench

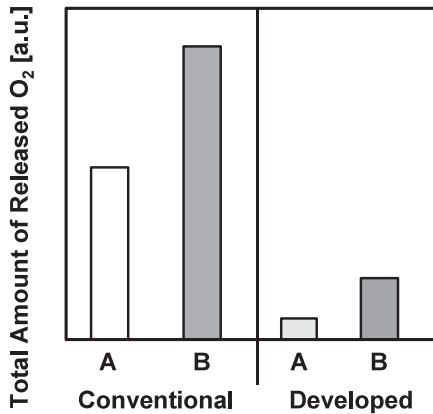
4.2 開発触媒のPM燃焼促進メカニズム

(1) 酸素放出特性

従来触媒の代表的な特性である、酸素放出特性をH<sub>2</sub>-TPR法により検討した結果をFig.9に示す。

開発触媒はいずれも、600 までの酸素放出量が従来触媒に比べて少なかった。従来触媒は、Ceイオンの価数変

化により、触媒内部から多量の酸素を放出するのに対し、開発触媒は価数変化を起こす金属を有していないため、還元雰囲気における酸素放出量が低くなっていると考えられる。

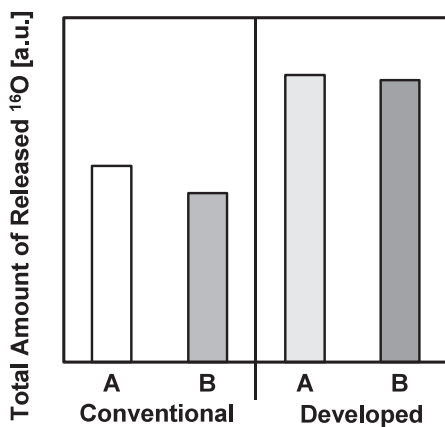


Evaluation condition : Temp : 25-600 (Ramping)  
Gas : 3.5% H<sub>2</sub>/He(Bal.)

Fig.9 Amount of Released Lattice Oxygen from Aged Catalyst

(2) 酸素交換特性

ディーゼル排出ガスのように、酸化雰囲気においては、雰囲気中の酸素と触媒内部の酸素が同時に入れ替わる、酸素交換反応特性が重要である。これまでに、著者らは、触媒内部の格子酸素が、酸素交換反応によって放出される際に、活性酸素としてカーボン燃焼反応促進に寄与していることを見出している<sup>(2)(3)</sup>。そこで、各触媒における酸素交換反応特性の検討を行った。酸素交換反応によって放出された<sup>16</sup>O<sub>2</sub>量(格子酸素の交換量)を、Fig.10に示す。



Evaluation condition : Temp : 600 , Gas : 2.5% <sup>16</sup>O<sub>2</sub>/He(Bal.)

Fig.10 Release of <sup>16</sup>O<sub>2</sub> from Aged Catalyst Caused via Oxygen Exchange Reaction

開発触媒A, Bのいずれについても、酸素交換反応が起こり、従来触媒よりも多くの格子酸素が雰囲気中に放出されることが確認された。開発触媒は、酸化雰囲気において、この優れた酸素交換反応特性をPM燃焼反応へ利用している可能性が高いと考える。

(3) カーボン燃焼時の触媒内部の格子酸素挙動

カーボン燃焼時の開発触媒内部の格子酸素の挙動について解析を行った。開発触媒において、格子酸素は酸素イオンとして存在し、カーボン燃焼反応に関与する場合、式(A)のように、CO<sub>2</sub>とともに電子を生成する。同時に、式(B)のように、開発触媒の酸化物骨格を保持するため、消費された格子酸素分を雰囲気中の酸素から取り込み補充する。このように、格子酸素に起因してカーボン燃焼が促進される際は、電子の生成と消費の平衡が成立していると考えられる。これを明確にするため、カーボン燃焼時の触媒内部の電流測定を行った。

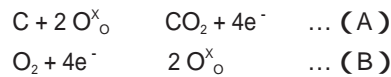
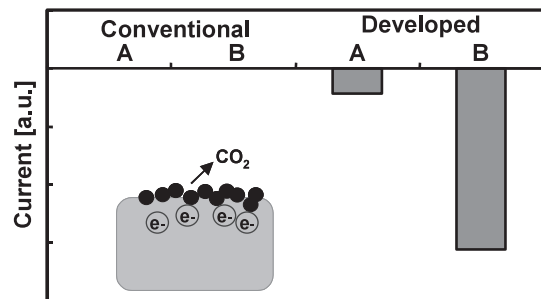


Fig.11にカーボン燃焼中600の触媒内部の発生電流測定結果を示す。



Inset shows schematic view of developed catalyst during PM oxidation.  
Evaluation condition : Temp : 600

Fig.11 Generated Current Caused During Carbon Oxidation Reaction

大気中、700までの昇温過程で、各触媒ともカーボンは燃焼し、消失した。開発触媒では、カーボンが燃焼する面に向かって、反対側の面からの電流が生じた。一方、従来触媒では、カーボン燃焼時に電流を生じなかった。開発触媒における電流発生は、カーボンが燃焼する面で格子酸素が利用され、その格子酸素が有していた電子が放出され、材料内部を流れたことで説明できる。また、評価中、消費された分の格子酸素は、雰囲気中から補充されていると考えられたため、上式(A)(B)の反応が生じていることを強く示唆している。以上のことから、開発触媒は、触媒内部の格子酸素を活性酸素としてカーボン燃焼に利用すると同時に、生成した電子を利用することで、雰囲気中の酸素をイオン化して格子内に取り込んでおり、このサイクルを継続させることによって、カーボン燃焼反応を促進させていると考える。

(4) 酸素イオン伝導特性

触媒内部の酸素を有効に利用するには、酸素イオンの状態で存在する格子酸素の動きやすさが重要な意味を持つ。そこで、酸素イオン伝導性の評価を行った。伝導度測定は、

交流インピーダンス法を用い、600 における測定結果を Fig.12に示す。

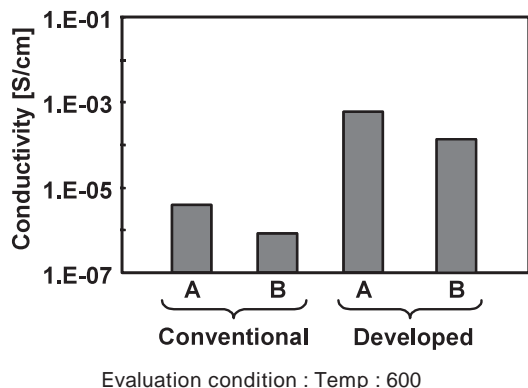


Fig.12 Conductivity of Each Catalyst

開発触媒の伝導度は、従来触媒に対して大幅に高く、従来触媒のうちでは比較的高い従来触媒Aに対しても、開発触媒A及びBは、それぞれ、約150倍及び40倍であった。本評価で得られた伝導度は、酸素イオン伝導及び電子（ホール）伝導の総和であるが、開発触媒は、そのほとんどを酸素イオン伝導が占めており、触媒内部の酸素イオンが非常に動きやすい触媒材料であるといえる。従って、触媒内部で酸素イオン濃度の低いところがあれば、短時間に酸素イオンが移動・供給されることを示唆している。

#### (5) 開発触媒のPM燃焼促進モデル

以上の結果より、開発触媒におけるPM燃焼促進反応モデルを検討する。

開発触媒は、従来触媒よりも多くの格子酸素を活性酸素として放出することが可能であり、この活性酸素を利用することでPM燃焼性能を向上させていると考える。格子酸素の放出を促進するためには、1) 酸素交換反応性の向上、と2) 反応活性点への格子酸素の拡散移動性向上、が重要である。

酸素交換反応性の向上については、開発触媒は価数変化を行う元素を有さず、Ce系の従来触媒とは異なる機構により、高い交換反応特性を実現している。カーボン燃焼時の電流測定より、開発触媒は、PM燃焼に格子酸素を利用するとともに、発生した電子を介して雰囲気中の酸素をイオン化し、格子内に取り込むことで、不足した格子酸素を補充していることが示唆された。このことから、電子を有効に介在させることによって、格子酸素の放出と、雰囲気中酸素の取込みのサイクルを促進させていると考える。

反応活性点への格子酸素の拡散移動性向上については、開発触媒が高い酸素イオン伝導性を有しているため、PM燃焼で格子酸素が消費され、低酸素イオン濃度となった箇所へ、短時間で酸素イオンを供給することが可能になっている。

以上の特性により、開発触媒は、反応性の高い格子酸素を、継続的にPM燃焼部位に供給することが可能になり、高いPM燃焼性能を実現させたと考える。

## 5. まとめ

- 1) 開発触媒は、従来触媒に比べ、優れたPM燃焼性能と熱耐久性を有している。
- 2) 実機による再生制御時において、開発触媒は優れたPM燃焼性能を示した。
- 3) 開発触媒は、従来触媒に比べ、酸化雰囲気において多量の活性酸素を継続的に放出することが可能であり、これにより高いPM燃焼性能を発揮する。
- 4) 開発触媒における活性酸素の高い供給特性は、従来触媒とは異なる酸素交換反応機構と、高い酸素イオン伝導性によって実現されたと考える。

## 参考文献

- (1) K. Harada, et al. : Lowering combustion temperature of carbon particles Pt-supported ceria series oxides, J. Jpn. Petrol. Inst., 48, 4, p.216-222 (2005)
- (2) K. Harada, et al. : Behavior of the Oxygen Species Contained in Oxide in the Carbon Combustion Reaction by Cerium Composite Oxides, Science and Technology in Catalysis, p.601-602 (2006)
- (3) K. Suzuki, et al. : Study on low temperature oxidation of diesel particulate matters by oxygen storage component for the catalyzed diesel particulate filter, 2007 JSAE/SAE International Fuels and Lubricants Meeting, 2007-01-1919 (2007)

## 著者



鈴木研二



原田浩一郎



山田啓司



岡本謙治



高見明秀

論文・解説

16

## 低貴金属量で耐熱性に優れた貴金属シングルナノ触媒 Single-nano Precious Metal Catalyst with Low PGM and High Thermal Stability

養島 浩二<sup>\*1</sup> 三好 誠治<sup>\*2</sup> 岩国 秀治<sup>\*3</sup>

Koji Minoshima

Seiji Miyoshi

Hideharu Iwakuni

國府田 由紀<sup>\*4</sup> 住田 弘祐<sup>\*5</sup> 高見 明秀<sup>\*6</sup>

Yuki Koda

Hirosuke Sumida

Akihide Takami

### 要約

自動車用触媒の高い耐熱性を実現でき、貴金属使用量を低減することが可能な、マツダ独自の新しい触媒技術を開発した。この開発触媒材のコンセプトは、セラミックスのサポート材上に貴金属粒子を高分散かつ強固に担持させることで、貴金属粒子の熱による凝集（シンタリング）を抑制しようとするものである。熱エージング後において、従来触媒材と比較して、開発触媒材の貴金属粒子の大きさをシングルナノオーダー（ $10^{-9}$ m）レベルの粒子径で維持させることができた。また、開発触媒材は、浄化反応の促進に寄与する酸素吸蔵放出量及びその速度に優れていることがわかった。これをガソリン自動車用三元触媒に適用した結果、従来触媒から貴金属使用量を大幅（10分の1）に低減しても優れた浄化性能を得ることが可能となった。

### Summary

To make it possible to improve the durability and reduce the loading amount of platinum group metals (PGM) of automotive catalyst, new catalyst technology has been developed. The technical concept of developed catalyst is that the PGM particles are highly dispersed and strongly loaded on the ceramic support material to prevent their sintering. The mean diameter of the PGM particles of the developed catalyst could be maintained to be lower than that of the conventional catalyst after thermal aging. The oxygen storage capacity and speed of the developed catalyst were increased as compared with the conventional catalyst. Despite 1/10 of PGM loadings as compared with a conventional catalyst, the three-way catalyst purification performance of the developed catalyst is more excellent than that of the conventional catalyst.

### 1. はじめに

近年、環境問題への関心が強まる中、自動車には排出ガスの一層のクリーン化が求められている。そのためには、排出ガスに含まれる炭化水素（HC）、一酸化炭素（CO）及び窒素酸化物（NOx）を浄化低減するための手段の一つとして採用されている触媒材の更なる性能向上が必要である。その中で、ガソリンエンジン自動車には三元触媒（Three-way catalyst：TWC）が採用されている。これは、主に白金、パラジウム及びロジウムなどの貴金属（PGM）とアルミナやセリア化合物などのセラミックスから成るサポート材とで構成された粉末がハニカム担体にコーティングされたものであ

るが、自動車の走行距離の増加に伴い、触媒劣化が生じ、浄化性能が低下するという問題がある。この主な要因は、高温の排出ガスに曝させるためによる熱劣化と燃料や潤滑油に含まれる添加剤成分による被毒劣化であり、これらを解決するための技術開発が行われている<sup>(1)</sup>。これらの問題に対して、通常は、使用時の触媒浄化性能の低下を把握して、使用する貴金属量をあらかじめ増やすことで、要求される耐久性を満足させている。しかし、貴金属は希少資源であり、近年、その価格は高騰している。そのため、少ない貴金属使用量でも、高い耐久性と浄化性能を有する触媒が求められている。本稿では、耐熱性に優れ、極めて少ない貴金属使用量においても優れた特性を有する触媒を開発したので報告する。

\*1~6 技術研究所  
Technical Research Center

## 2. 開発触媒材コンセプト

熱劣化の主要因の一つは、貴金属粒子及び貴金属が担持されているサポート材のシンタリングによる特性低下である。サポート材がシンタリングすると、サポート材上に担持した貴金属粒子がサポート材内に埋没したり、貴金属粒子同士のシンタリングが促進したりするため、これまでは、高温条件下でも構造変化が小さく、耐熱性の高いサポート材を開発し、サポート材のシンタリングを抑制することによって、熱劣化の抑制を図ってきた。しかし、こうしたサポート材の耐熱性向上には材料の特性上限界があり、熱劣化を飛躍的に抑制することは難しかった。そこで本案は、高温条件下で生じる貴金属粒子のシンタリングを直接的に抑制することが、優れた耐熱性を有する触媒の実現に最も効果的であると考え、高価で特別な材料をサポート材に用いることなくとも、従来材に適用できる触媒技術の開発を目指した<sup>(2),(3)</sup>。具体的には、サポート材表面にシングルナノオーダーサイズの貴金属粒子を、高い浄化反応を保持しつつ、高分散かつ強固に担持させることで、貴金属粒子のシンタリングを抑制できる触媒技術の開発を行った (Fig.1)

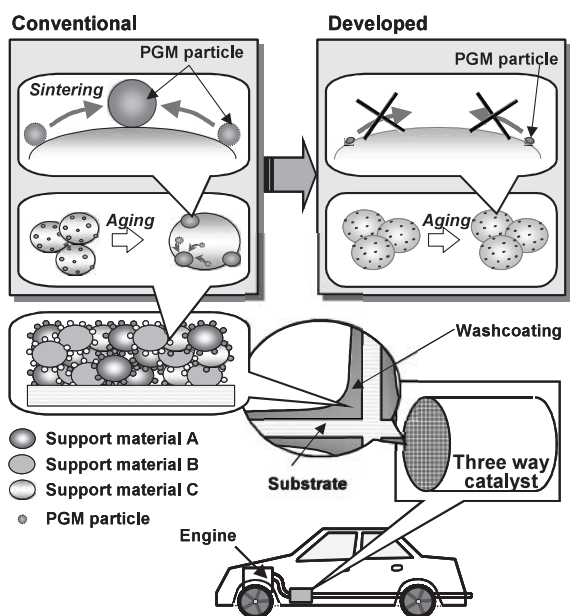


Fig.1 New PGM Sintering Prevention Concept

## 3. 実験方法

### 3.1 評価触媒

性能評価した触媒仕様をTable 1に示す。従来触媒は量産仕様の三元触媒である。これに対して、開発触媒材を適用した三元触媒は、貴金属量を従来触媒に対して90%低減したものである。

これらの触媒をセラミックス(コーディエライト)製八ニカム担体(壁厚0.11mm, セル密度62cells/cm<sup>2</sup>)にコーティングして作製したモノリス触媒を台上エンジンに取り付け、市場での劣化を模擬した加速劣化運転条件の排出ガスに晒した後に、性能評価を行った。

Table 1 Total Amount of PGM in Developed Catalyst

Catalyst	Total amount of PGM (wt%)
Developed	0.1
Conventional	1

### 3.2 物性解析

開発触媒材及び従来触媒材の物性について、エンジン排出ガスよりも厳しい温度条件である1,000 で熱エージングを行い、以下の解析を行った。また、開発触媒材を適用した三元触媒及び量産仕様の従来三元触媒の物性については、加速劣化耐久試験後において解析した。

#### (1) 貴金属粒子の状態

ナノオーダーサイズの観察が可能な、透過型電子顕微鏡(Transmission Electron Microscope: TEM)を用いて、貴金属粒子の大きさ及び担持状態を観察した。

#### (2) サポート材の構造(表面積及び細孔容積)

使用初期時の触媒のサポート材は、微細な細孔が数多く存在しており、表面積は大きい。細孔が多く存在することによって排出ガス分子が触媒内を拡散が促進され、サポート材に担持された貴金属粒子との接触機会が増え、浄化反応が進みやすくなる。触媒の使用過程時では、サポート材は、熱によりシンタリングを起こし、次第に細孔の量が減少し、ガス拡散性が低下する。更に、このシンタリングの際に、サポート材に担持されている貴金属粒子の一部はサポート材内に埋没してしまい、浄化反応に寄与しなくなる。そこで、開発触媒材のサポート材の耐熱性を検討するため、定容法による窒素ガス吸着法により、サポート材の表面積及び細孔容積を測定した。

#### (3) 酸素吸蔵放出特性

ガソリンエンジン排出ガス成分は、エンジンに供給される空気と燃料の重量比(空燃比Air/Fuel: A/F)によって変化する。酸化ガス成分と還元ガス成分が同じとなり、過不足なく反応する空燃比を理論空燃比と呼び、三元触媒により、HC, CO及びNO<sub>x</sub>をほぼ100%浄化できる。実使用

条件では、車が加速・減速を繰り返すため、A/Fが酸素過剰（リーン）条件と酸素不足（リッチ）条件に変化する。リーン条件ではNO<sub>x</sub>の還元が十分に進まず、リッチ条件ではCOやHCの酸化が十分に進まない。従って、排出ガス中のHC、CO及びNO<sub>x</sub>を同時に除去するためには、A/Fを理論空燃比に保つ必要がある。そこで、リーン条件の場合は酸素を吸蔵し、リッチ条件の場合は酸素を放出する酸素吸蔵放出能力（OSC能）を有する材料を触媒に添加して、浄化反応を向上させている。この酸素を吸蔵・放出する量が多く、その速度が速いほど幅広い変動に対応できるため、以下の手法を用いて、これらの特性を測定した。

#### i) 酸素吸蔵放出量

各触媒を297～500 μmの顆粒状に成形し、水素（H<sub>2</sub>）を還元剤とした昇温還元脱離試験（TPR）により、酸素吸蔵放出量を測定した。触媒に酸素を吸蔵させた後に、水素気流中で室温から600℃まで昇温し、触媒から放出される酸素と反応して生成する水（H<sub>2</sub>O）を連続分析することで、酸素吸蔵放出量を算出した。

#### ii) 酸素吸蔵放出速度

ガスを高精度かつ短時間で導入可能なガス流通系と、1,000分の1秒単位での測定が可能な過渡応答質量分析装置（Temporal Analysis of Products：TAP）を用いて、自動車の排出ガスが酸化雰囲気と還元雰囲気を瞬時に変動する条件を模擬し、酸素吸蔵放出速度を測定した。

各触媒材を297～500 μmの顆粒状に成形し、COとO<sub>2</sub>の交互パルス試験により、酸素吸蔵放出量を測定し、単位時間当たりの酸素吸蔵放出速度を算出した。このときの評価温度は500℃で一定とした。

### 3.3 触媒浄化性能評価

#### (1) 模擬組成ガスによるラボ浄化性能評価

開発触媒材を適用した三元触媒及び量産仕様の従来触媒のラボにおけるガス浄化性能を、ライトオフ性能（浄化率が50%に達する温度：T50）及び常浄化性能（400℃における浄化率：C400）を用いて比較した。ライトオフ性能は、触媒の浄化性能が発現する温度特性を示す。定常浄化性能は、触媒性能が既に発現している温度条件下での浄化率を示す。これらの試験は、加速劣化耐久試験後のモノリス触媒からラボ評価用にコア形状に加工した触媒を用い、固定床流通式反応装置にて自動車排出ガスを模擬した合成ガス（C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>、CO、NO、H<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O及びCO<sub>2</sub>の混合ガス）を流通させ、触媒前後のガス濃度を連続分析して浄化率を測定した。評価条件は、A/F=14.7、A/Fの振幅量=±0.9、空間速度（SV）=60,000/hとし、100℃から500℃までの昇温試験によって測定した。

排出ガス組成はA/F変動により、理論空燃比に対しリーン条件やリッチ条件になるため、各A/Fにおける浄化性能を評価した。評価条件は、触媒入口ガス温度を400℃で一定とし、A/Fを14～15の間で変化させたときの各成分の浄

化率を測定した。

#### (2) 実車エミッション性能

実車における開発三元触媒の浄化性能を評価するため、直列4気筒エンジンに加速耐久後のモノリス触媒を取り付け、10-15エミッション評価モードにおける浄化性能を測定した。

## 4. 結果と考察

### 4.1 開発触媒材の物性解析

#### (1) 貴金属粒子の状態

熱エージングした開発触媒材と従来触媒材の粒子表面をそれぞれTEMにて観察した。その結果、従来触媒材では、サポート材上に20nm程度の大きな貴金属粒子が確認された。一方、開発触媒材の貴金属粒子は、TEMの測定限界レベルの2nm以下であった。この貴金属粒子を詳細に観察した結果、貴金属粒子がサポート材に一部埋め込まれた状態で担持されており、この状態が貴金属粒子のシタリング抑制に効果的に機能していると考えた（Fig.2）。

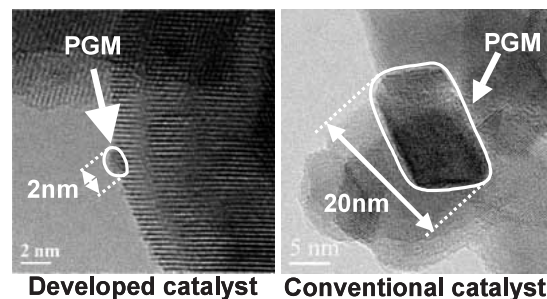


Fig.2 TEM Images of PGM Particle in Each Aged Catalyst

#### (2) サポート材の構造変化

熱エージング後におけるサポート材の表面積及び細孔分布特性をFig.3、4に示す。従来触媒材と比較して、開発触媒材は、表面積・細孔容積ともに約2倍増大しており、新しい触媒構造により、サポート材の耐熱性も向上していることがわかった。

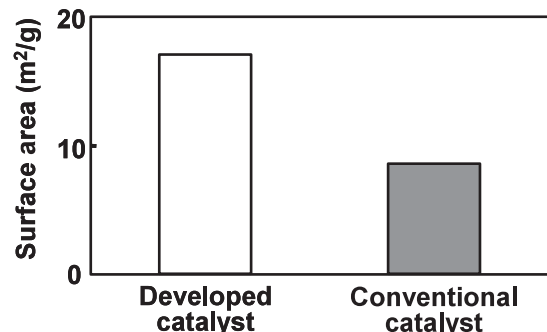


Fig.3 Surface Area of Developed Catalyst

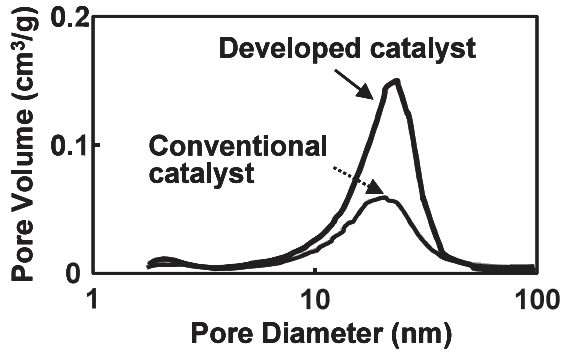


Fig.4 Distribution of Pore Volume in Developed Catalyst

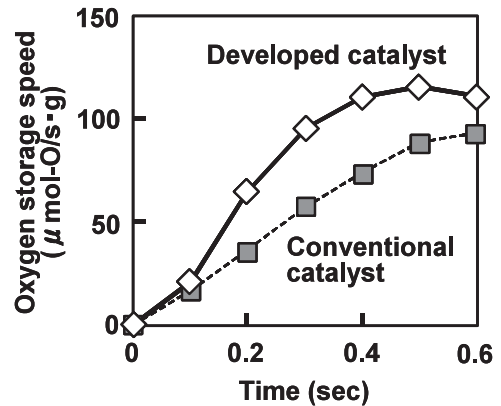


Fig.6 Oxygen Storage Speed after Thermal Aging

(3) 酸素吸蔵放出量

水素を用いたTPR試験により、酸素放出量を測定した結果をFig.5に示す。開発触媒材の酸素放出量は、室温から600 の間において、従来触媒材に対して約1.3倍と多いことがわかった。貴金属粒子とサポート材が接触している部分から、サポート材への酸素吸蔵放出が促進されることから、開発触媒材は貴金属粒子がより高分散化され、サポート材と接触する面積が増えたことで、酸素吸蔵放出作用が高まったと考える。

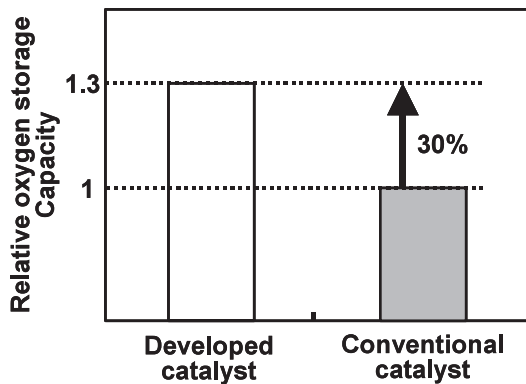


Fig.5 Oxygen Storage Capacity after Thermal Aging

(4) 酸素吸蔵放出速度

Fig.6に熱エージングした開発触媒材と従来触媒材のO<sub>2</sub>導入後からの酸素吸蔵速度を示す。従来触媒材に比べて、開発触媒材は酸素吸蔵速度が高く、0.5秒以下の短時間にガス雰囲気変動する条件下においても応答性に優れた触媒材であると考えられる。

4.2 開発触媒の浄化性能

(1) 模擬組成ガスを用いたラボ浄化特性

100時間エンジン加速耐久後の開発三元触媒のガス浄化性能をFig.7, 8及びTable 2に示す。開発触媒材を適用した三元触媒は、量産仕様の従来三元触媒と比較して、貴金属量が10分の1にも拘わらず、ライトオフ性能(T50)及び定常浄化性能(C400)が同等以上で、COとNO<sub>x</sub>の浄化率が80%以上となるA/Fウィンドウの範囲が広がった。これは、耐久後も貴金属粒子の粗大化が抑制され、高分散な状態で保たれたことで、触媒反応活性点が耐久後も維持できたためと考える。

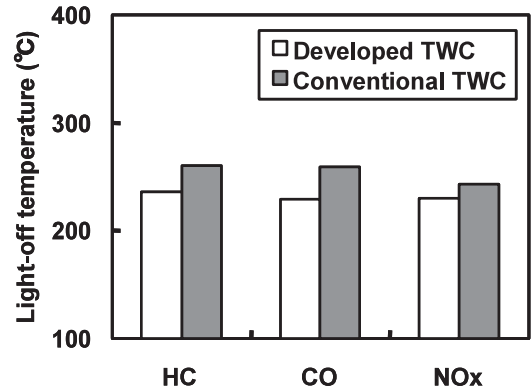


Fig.7 Light-off Performance of Developed TWC

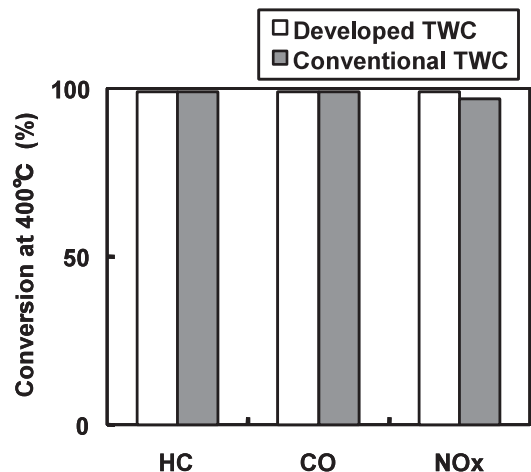


Fig.8 Conversion of Developed TWC at 400

Table 2 Comparison of A/F Window

Catalyst	A/F window
Developed	0.3
Conventional	0.2

(2) 酸素吸蔵放出特性向上の効果

開発触媒材は、優れた酸素吸蔵放出量・速度を有しており、ガス雰囲気変動に対する応答性に優れていると考えられる。Fig.9に、リーン条件の反応モデル(推定)を示すが、この場合、従来触媒材に比べてガス雰囲気中の酸素をより多く、より素早く吸蔵できるため、触媒表面のガス雰囲気が理論空燃比に近づき、NO<sub>x</sub>の浄化反応が向上できると考えられる。

そこで理論空燃比(A/F=14.7)に調製したガスを流通させながら、A/Fの振幅の大きさを変えたときのNO<sub>x</sub>浄化率を検討した。その結果をFig.10に示す。熱エージング後における開発三元触媒は、特に振幅が大きい条件においても、従来三元触媒よりも優れたNO<sub>x</sub>浄化率を有することがわかった。

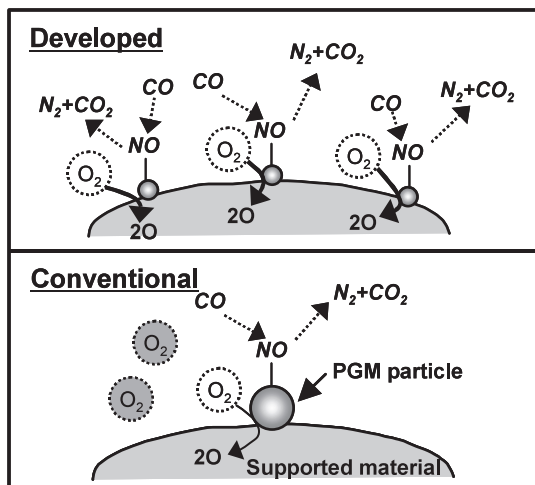


Fig.9 Mechanism of Oxygen Storage During Lean Atmosphere

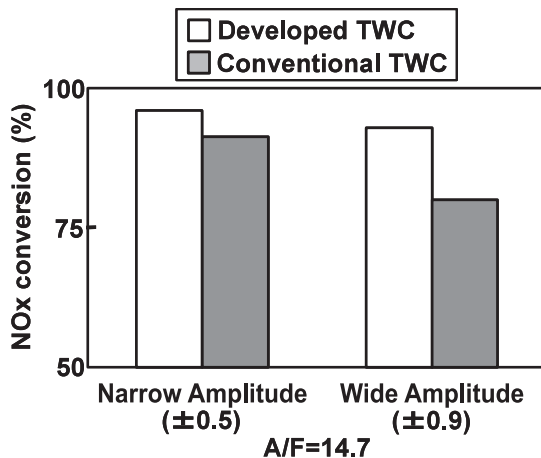


Fig.10 Effect of A/F Amplitude on Developed TWC

(3) 実車エミッション性能

10-15エミッション評価モードにおける性能をFig.11に示す。その結果、従来触媒に対して、貴金属使用量が10分の1であるにも拘わらず、開発三元触媒のHC及びNO<sub>x</sub>排出量は従来三元触媒と同程度だった。よって、開発三元触媒は実エンジン排出ガス雰囲気下においても低貴金属量で優れた浄化性能を有することがわかった。

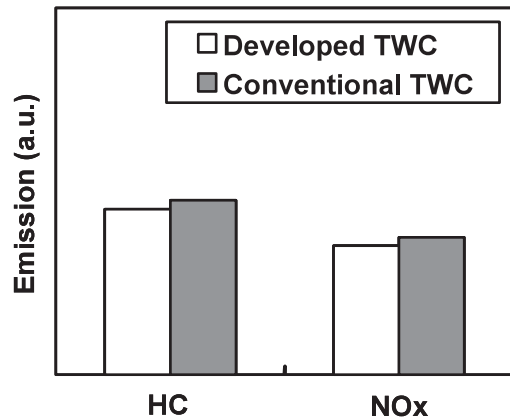


Fig.11 Performance of Developed TWC on Vehicle

(4) 実エンジン排出ガス下における貴金属凝集抑制

初期及び実エンジン排出ガス下における加速劣化耐久試験100時間後の開発三元触媒と従来三元触媒の貴金属状態をTEMにて観察した結果をFig.12に示す。従来三元触媒では、エンジン耐久後において30nm程度の貴金属粒子が観察された。一方、開発三元触媒ではフレッシュ(エンジン耐久前)及びエンジン耐久後ともに貴金属粒子がTEMでは認められないほど小さく、非常に高分散な状態を保っていることがわかった。

更に、加速劣化耐久時間の影響を検討した結果をFig.13に示す。従来三元触媒は耐久時間が長くなるのに従って、貴金属粒子のシンタリングによる粗大化が進行するのに対し、開発三元触媒の貴金属粒子は300時間耐久後でも5nm以下で、粗大化はほとんど進行していないことがわかった。

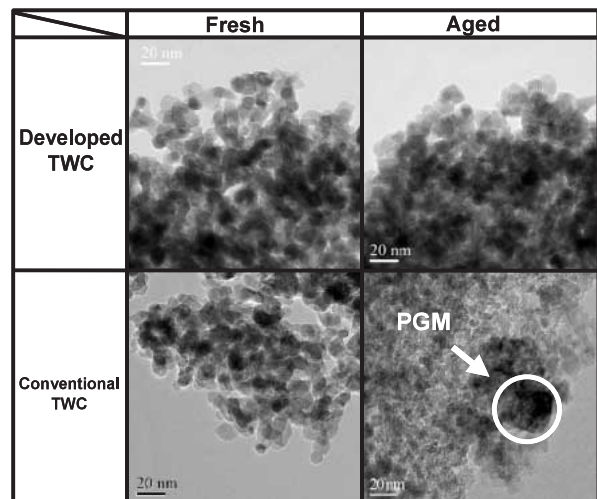


Fig.12 TEM Images of PGM Particle after Engine Aging



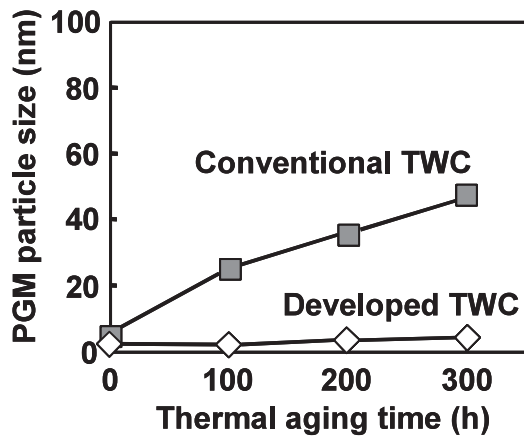


Fig.13 Change of PGM Particle Size During Engine Aging Time

## 5. まとめ

自動車用触媒の高い耐熱性を実現でき、貴金属使用量を低減することが可能な、マツダ独自の新しい触媒技術を開発した。開発触媒の特徴は以下の通りである。

- (1) 熱エージング後の貴金属粒子は、粒子径5nm以下にシタリングが抑制されており、優れた耐熱性を示した。
- (2) 貴金属粒子のシングルナノサイズ化技術により、熱エージング後のサポート材の細孔構造及び表面積の劣化が抑制された。
- (3) 優れた酸素吸蔵放出量及び酸素吸蔵放出速度を示した。
- (4) 三元触媒に適用した結果、従来触媒の10分の1の貴金属使用量で、従来触媒と同等以上のライトオフ性能(T50)、定常浄化性能(C400)及び広いA/Fウィンドウ(COとNOxの浄化率が80%以上の範囲)を示した。
- (5) 実車評価においても、従来触媒の10分の1の貴金属使用量で、従来触媒と同等以上の浄化性能を示した。

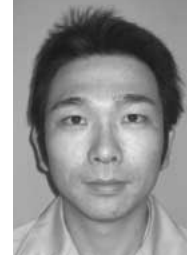
## 参考文献

- (1) S.Ichikawa, et al.: Development of Low Light-Off Three Way Catalyst, SAE Technical Papers, 1999-01-0307 (1999)
- (2) 三好ほか：優れた耐熱性を有する貴金属微量担持三元触媒の開発，自動車技術会学術講演会前刷集，No.154-07，356-20075886，p.1-4 (2007)
- (3) 岩国ほか：貴金属微粒子含有高性能触媒，第100回触媒討論会 討論会A予稿集，p.269 (2007)

## 著者



Masushima Masahiro



Mitsuoka Makoto



Iwano Shuji



Kunitani Yuki



Sumida Hiroaki



Takami Akira

論文・解説

17

# ロードノイズ吸音技術の開発

## Absorption Technique for Road Noise Reduction

萬 菜穂子\*<sup>1</sup> 福原千絵\*<sup>2</sup> 加村孝信\*<sup>3</sup>  
Naoko Yorozu Chie Fukuhara Takanobu Kamura

### 要約

近年、自動車の車室内騒音に対して、他性能との両立や、重量・コスト面で有利な不織布状の吸音材による対策が一般化しつつある。しかし、自動車用吸音材は、車室内の高周波騒音低減が主であり、中間周波数騒音であるロードノイズに対しては、相当な厚みが必要なことから現実的な対策ではない。そこで、本研究では、吸音材の吸音原理である粒子速度の低減作用に着目し、高周波音対策に用いられる薄いシート状の吸音材を用いて、中間周波数音を低減できる要件を明らかにした。更に、その要件を実現する具体構造を導出し、ロードノイズ低減を可能にした。

### Summary

Recently, acoustic absorption material, which has advantages for other performances, weight, and cost, is being popular to reduce cabin noise. However, the current acoustic material is not practical for mid-frequency noise which is main factor of road noise, because considerable thick material is necessary to reduce it. Then, in this study, we focused on the absorption mechanism that was absorption of particle velocity, and clarified the requirements to reduce mid-frequency noise by thin sheet material. Additionally, we specified headliner with this sheet material structure to succeed in reducing road noise.

### 1. はじめに

自動車の車室内騒音でよく問題となるロードノイズは、振動、音響が絡み合った複雑な現象であり、更に、タイヤ/サスペンションから内装/トリムまで、影響する部品が多岐に渡るため、その改善は容易でない。ロードノイズの代表的な対策として、振動入力低減、車体剛性の向上などが挙げられるが、前者は操縦安定性の悪化、後者は車両重量の増加が考えられる。一方で、他の車室内騒音である風騒音やエンジン音に対しては、内装材による対策が有効である。そこで、他性能、軽量化への悪影響が少ないと考えられる内装材、特に吸音材によって、ロードノイズを低減する方法を検討した。

一般に自動車の車内騒音低減に使用される吸音材は、ポリエステルなど樹脂製の繊維を用いた不織布が多く、主に高周波騒音低減のため、薄いシート状態で内装背面に配置

されている。しかし、ロードノイズのような中間周波数域の騒音では、その波長相当の厚さが車室内の内装構造のなかに確保できないため、十分に吸音できない。

これまでに、吸音材の配置最適化による高周波ロードノイズ低減<sup>1)</sup>や吸音材の膜振動を利用した広範囲周波数の吸音構造<sup>2)</sup>など、中間周波数の音を吸音させる技術がいくつか報告されているが、ロードノイズでよく問題となる100~500Hzの周波数域に有効な技術の研究は見あたらない。

そこで今回、吸音材の吸音原理に立ち返り、「粒子速度の低減」に着目することで、薄いシート状の吸音材を用いても、100~500Hzの中間周波数の車室内騒音を吸音できる方法を開発し、実車検証でその効果を確認した。

### 2. 中間周波数騒音を吸音する要件

一般に、吸音材の吸音原理は、「粒子速度を低減することで、音のエネルギーを減衰させる」こととして知られてい

\*1 技術研究所  
Technical Research Center

\*2 NVH性能・CAE技術開発部  
NVH & CAE Technology Development Dept.

\*3 マツダモーターヨーロッパ  
Mazda Motor Europe GmbH.

る。したがって、吸音材は、粒子速度が大きい部位に配置するほど効果的である。

車室内のように壁面にシート状吸音材を配置した場合、以下の理由により、ロードノイズを含む中周波数域（100～500Hz）の騒音は十分に吸音できない。

- ・壁面では粒子速度は小さくなる<sup>(4)</sup>
- ・吸音材をレイアウトの制約から十分に厚くできない

そこで、薄いシート状吸音材を壁面に配置して、中周波数騒音（100～500Hz）を吸音するための仮説を立てた。

すなわち、シート状吸音材の、面直方向に入射する音を、面に平行な方向に進行させることができれば、その吸音材の長手方向の寸法によって波長の長い、より周波数の低い音が吸音できるのではないかと考えた。

この仮説を検証するために、Fig.1のような音響管を用いた実験を行った。

中間周波数域（100～500Hz）における管内部の粒子速度が、管長方向（Fig.1のX方向）に大きくなるように、音響管の長さおよび径を設定し、その一端からスピーカにて音響加振した。この音響管内に、シート状吸音材を管壁面に沿わせるように配置し、吸音材の管長方向の寸法（Fig.1のL）を変更した場合の、管内部の音低減効果への影響を調べた。

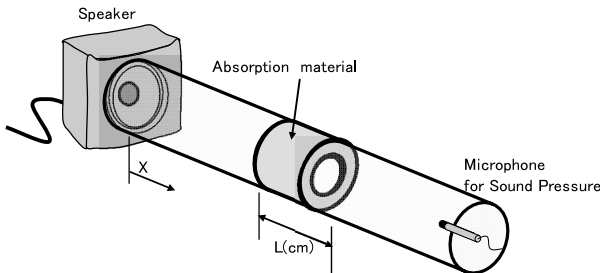


Fig.1 Measurement Condition of Tube Model

100～500Hz付近の周波数における管内音の、吸音材による音低減効果をFig.2に示す。

吸音材の幅Lが、L1=6cmの場合の音低減効果を、図中の△に示す。この場合、一般的な吸音率で見られる傾向と同様に、周波数が低いほど、吸音材の音低減効果は小さい。この結果をもとに、吸音材の幅Lを、L2=43cmまで広げた場合を考える。残響室法において、吸音材試料の厚みが一定の場合、吸音力は試料の表面積に比例する<sup>(4)</sup>ことから、表面積変更後の試料による音エネルギーの低減量は、式(1)のように表せる。

$$SPL2 = S2 / S1 \times SPL1 \quad (1)$$

ここで、S1、S2は、試料の表面積 [m<sup>2</sup>]、SPL1は、試料面積がS1のときの音エネルギー低減量 [Pa<sup>2</sup>]、SPL2は、

試料面積がS2のときの音エネルギー低減量 [Pa<sup>2</sup>] である。

式(1)を用いて、単純に、吸音材の表面積増加分だけを考慮して、吸音材の幅LがL2=43cmでの音低減効果を見積もると、図中破線のようになる。

これに対して、実際に吸音材の幅をL2=43cmにした場合の実験結果を●で示す。吸音材の幅Lの変更による実際の効果は、104Hz、296Hzの低い周波数帯で、破線の換算値を上まわっていることから、単純に面積の効果だけでは言い表せない。これは、吸音材の厚みを増した場合の変化<sup>(3)</sup>と類似している。

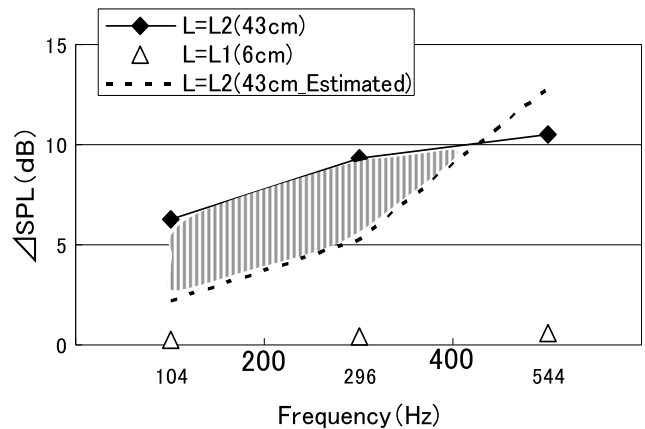


Fig.2 Absorption Effect (SPL) in Tube

このことから、シート状吸音材の面内の方向に音の粒子速度が十分に大きければ、厚みが薄い状態のまま、従来よりも低い周波数の音が吸音できることがわかる。

つまり、中間周波数の音をシート状の吸音材で効果的に吸音させるための条件は、「音の粒子速度の大きい方向と、シート状吸音材の面内方向を一致させる」ことであると考えられる。

### 3. 中周波数騒音の吸音構造の導出

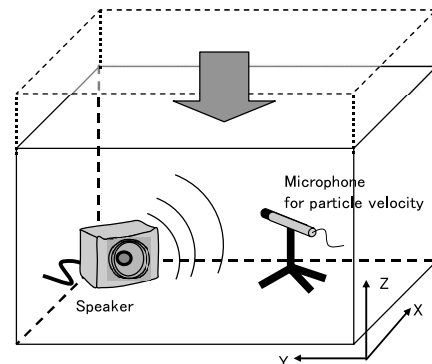


Fig.3 Cabin Model for Changing Balance of Direction of Particle Velocity (Vp)

3.1 空間形状の条件

前述で見出した要件を、車室内で実現できる構造を導出するため、Fig.3のような車室内を簡易に模擬した音響モデルを用いて実験を行った。長さ1.3m × 幅0.8m × 高さ(最大)0.74mの剛壁に囲まれた直方体空間において、音響放射部一点と中央部に騒音評価部1点を設けた。

2章の音響管を用いた実験では、音は管の長手方向に進行し、粒子速度もその方向に支配的となった。このことから、空間形状を扁平にすると、空間内の粒子速度はシート状吸音材の面に平行な方向が支配的になると考えた。そこで、直方体の音響模型の空間を扁平にした場合の、粒子速度の支配的な方向を調べた。

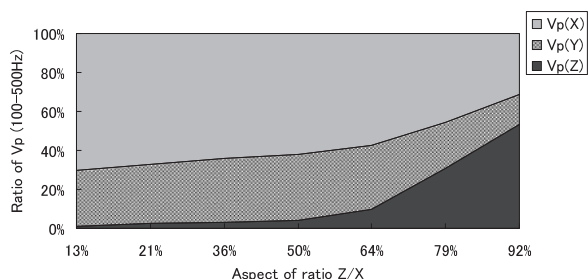


Fig.4 Balance of Vp Inside Cabin Model

Fig.3に示す音響モデルにおいて、高さZ方向を変化させた場合の、空間内部の100~500Hzの粒子速度X, Y, Z方向 ( $Vp(X)$ ,  $Vp(Y)$ ,  $Vp(Z)$ ) の割合をFig.4に示す。

Fig.4から、空間形状を扁平にする(Z方向を小さくする)ことで、X-Y壁面に平行な粒子速度 ( $Vp(X)$ ,  $Vp(Y)$ ) の割合が大きくなるのが分かる。これは、Z方向の空間が制限されるため、X-Y面方向への音の伝播が支配的になったものと考えられる。

3.2 仕切り板の条件

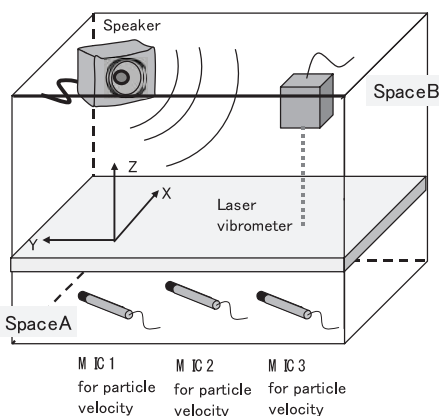


Fig.5 Cabin Model Separated by Plate

3.1節では、空間形状を扁平にすることにより、100~500Hzの音の粒子速度の面内方向成分を大きくできることがわかった。しかし、実際の車室空間を扁平にすることは、

現実的ではない。そこで、トリムの背後空間で、この要件が実現できないかを検討した。

この場合、隣接した空間より音が入力するため、その条件下でも前節と同様の傾向が見られるか確認した。

Fig.5は、Fig.3の扁平空間(Z/Xが13%の場合)に、隣接した別空間を設けた音響モデルである。このモデルでは、扁平空間と隣接空間の間を剛でない非通気な板材で仕切ることにより、隣接空間Bの音エネルギーが、扁平空間Aに透過されている。このときの、空間Aにおける粒子速度を3点計測し、その結果をFig.6に示す。

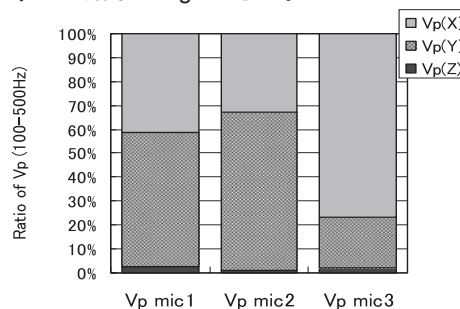


Fig.6 Vp (Mic1-3 in Space A with Plate)

Fig.4と同様に、仕切り板を介して空間Bから空間Aに入った音の粒子速度は、空間Aは扁平であることから、面に平行方向(XY方向)が支配的になっていることを確認した。また、計測位置により、X方向とY方向の粒子速度の割合に違いは見られるが、いずれもXY方向の粒子速度が支配的であった。

以上、音源が対象空間外にある場合でも、剛でない板材から透過してきた音の粒子速度は、扁平空間によって、面に平行な方向が支配的になることが確認できた。

続いて、この仕切り板の振動特性を適切に設定できれば、粒子速度をより大きくでき、吸音材の効果を大きくできる可能性を検討した。

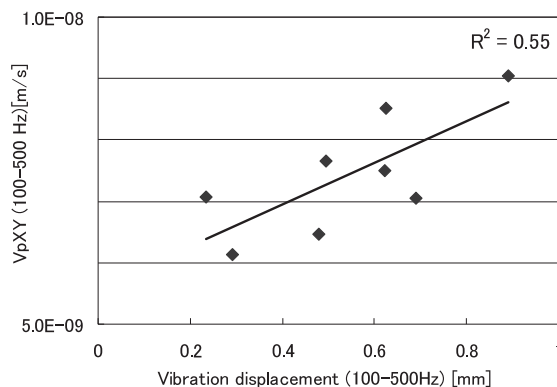


Fig.7 Plots between Vibration Displacement of Plate V.S. Vp (XY) in Space A

今回、できるだけ重量への影響を小さくしたいため、主に面剛性を変えることで仕切り板の振動特性を変更した場合について検討した。

振動特性が異なる各仕切り板について、100~500Hzの板振動変位(O.A.)と、振動計測点直上の面に平行な粒子速度( $V_p(XY)$ )の平均値(O.A.)との関係をFig.7に示す。

面剛性を変更する際に、通気性や材質の異なる板を用いたため、多少ばらつきがあるが、空間Bからの音響加振力に対する仕切り板の振動が大きいほど、空間Aでは板に平行な粒子速度が増大する傾向にある。

以上、剛でない板材で仕切られた隣接空間Bから、音が板を介して扁平空間Aに入ると、空間Aの粒子速度は仕切り板に平行な方向が支配的となる。更に、その粒子速度は、加振力に対する仕切り板の振動を十分に大きくすることで増大されることがわかった。

### 3.3 吸音構造の効果確認

以上、3.1節、3.2節で明らかにした要件を満足する空間A内の壁面に、シート吸音材を配置した場合の、中間周波数音の低減効果を確認した(Fig.8)。

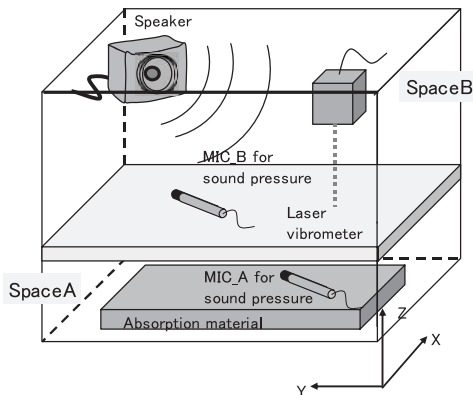


Fig.8 Cabin Model with Absorption Material

扁平空間Aに吸音材を配置した時の扁平空間内におけるSPLの周波数特性をFig.9に示す。また、音源側の隣接空間BにおけるSPLの周波数特性をFig.10に示す。

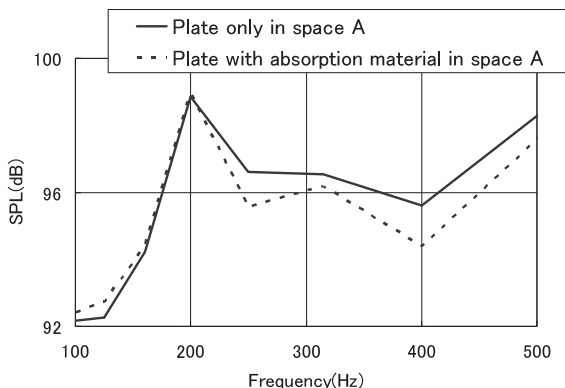


Fig.9 Acoustic Transfer Characteristic of SPL in Space A

扁平空間Aに吸音材を配置すると、空間Aの250~500Hzの音が低減している(Fig.9)。これは、前述した振動する仕切り板により、扁平空間Aのシート状吸音材の面に平行な粒子速度が支配的なので、この吸音材が中間周波域で効果的に作用しているためと考える。

更に、Fig.10より、板で仕切られた音源側の隣接空間Bにおいても、160~400Hzの音が低減している。この空間Bにおける音低減効果は、扁平空間Aでの吸音材の作用が、隣接空間Bにも伝わったためと考える。

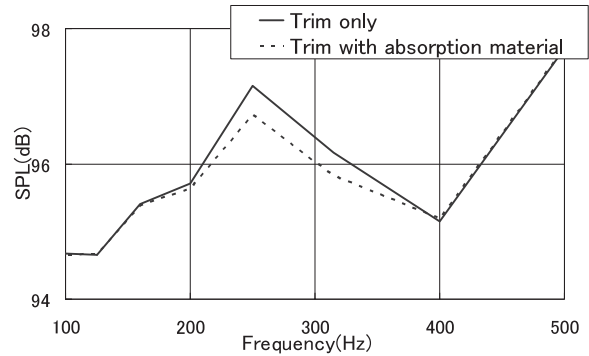


Fig.10 Acoustic Transfer Characteristic of SPL in Space B

ここで、仕切り板の振動による空間Aの板に平行な粒子速度の増大量と、隣接空間Bでの吸音効果の関係を調べた。3.2で記述した、振動特性が異なるさまざまな仕切り板に変更した場合の、空間Aにおける板に平行な粒子速度の大きさと、空間BにおけるSPLの音低減効果とSPLの関係をFig.11に示す。

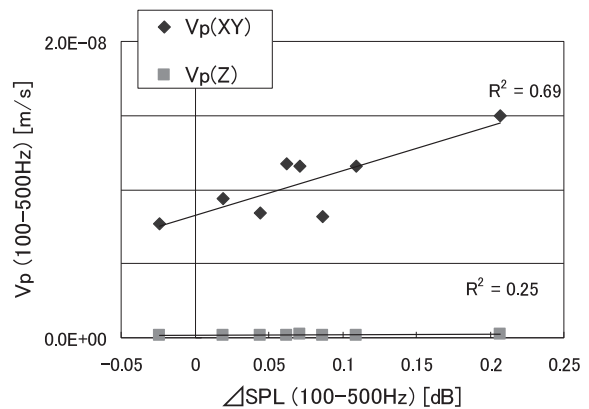


Fig.11 Plots between  $V_p$  behind Plate at Space A-side V.S. SPL in Space B

Fig.11より、空間A内の仕切り板に平行な粒子速度 $V_p(X, Y)$ が大きいほど、空間Bにおける音低減効果SPLが大きくなっていることが確認できる。すなわち、空間Bの吸音効果を高めるために、仕切り板の振動によって、空間

Aの面方向の粒子速度を大きくすることは有効であることが分かった。

#### 4. 実車での検証

前述のシート状吸音材による中間周波数騒音(100~500Hz)の吸音方法を、実車で検証した。剛でない板材で空間を仕切る構造として、実車の車室構造に多くある内装部材とその背後の扁平空間を対象とし、中でも、背後の空間形状の単純さと、吸音材の配置面積の大きさから、ルーフを適用部位として取り上げた。

##### 4.1 ヘッドライナーの振動特性

本吸音法のルーフ構造への適用を検討するにあたり、ヘッドライナーの振動特性と背後空間の粒子速度の大きさを確認した。仕様が異なる2種類のヘッドライナーA(剛性が低い)、ヘッドライナーB(剛性が高い)について、それぞれの表面振動と、その背後空間の粒子速度を計測した。

Fig.12のように、運転席足元、リヤタイヤハウス付近の車室内側から音響加振を行ったときの、ヘッドライナーの表面振動と背後空間の粒子速度を6点計測した。背後空間の粒子速度をFig.13に、ヘッドライナーの表面振動の結果をFig.14に示す。

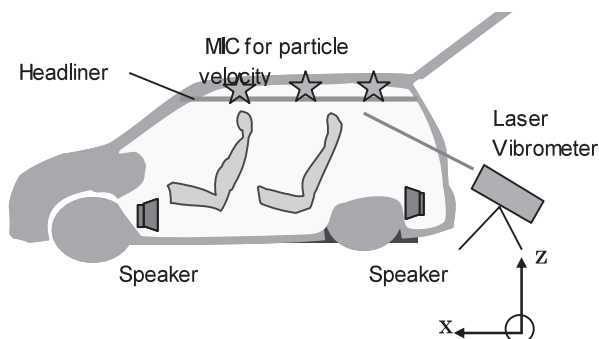


Fig.12 Measurement Condition of Surface Vibration and Vp

Fig.13より、ルーフ背後では、面内方向の粒子速度が支配的であることが分かる。更に、2種類のヘッドライナーの背後空間における、面内方向の粒子速度は、ヘッドライナーAのほうが大きくなっている。

Fig.14より、2種類のヘッドライナーの表面振動は、剛性の低いヘッドライナーAのほうが大きいことが分かる。特に、ヘッドライナーAの背後空間の粒子速度がピークとなる周波数域(160Hz帯、315Hz帯)で、表面振動も大きくなる傾向が見られる。つまり、3.2の模型実験と同様に、ヘッドライナーが振動しやすいほど、その背後空間の粒子速度は大きくなることが確認できる。

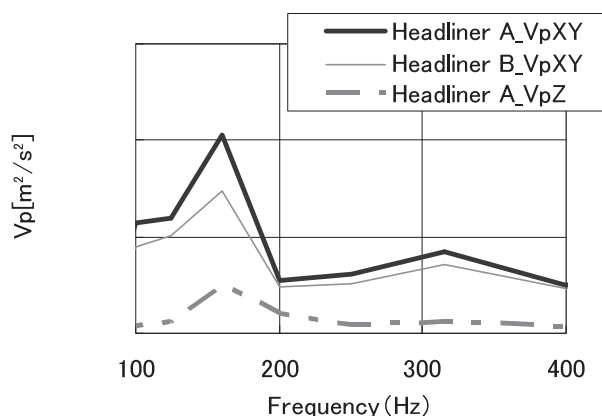


Fig.13 Characteristic of Vp behind Headliners

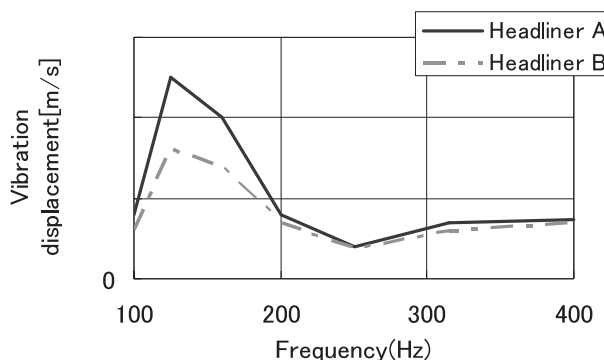


Fig.14 Characteristic of Surface Vibration of Headliners

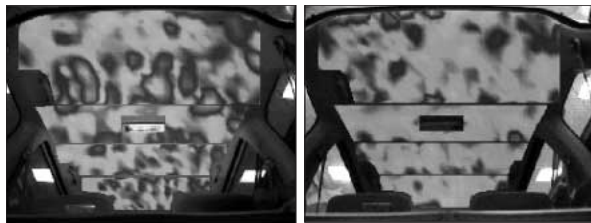
##### Vibrational distributions (144Hz)



Headliner A

Headliner B

##### Vibrational distributions (328Hz)



Headliner A

Headliner B

Fig.15 Vibrational Distribution of Headliners

一方、粒子速度の大きさに影響すると思われるもうひとつの特性として、ヘッドライナーの振動モードが考えられる。そこで、ヘッドライナーA、Bの表面振動分布を計測した(Fig.15)。Fig.15では、ヘッドライナーA、Bともに、振動のモード形状は複雑であり、はっきりとした傾向は確

認できない。つまり、本吸音法のように、部材の振動によって、背後空間の粒子速度を高めようとする場合、振動モードをコントロールするのではなく、振動レベルを大きくするのが良いと考えられる。

#### 4.2 実走による吸音効果の確認

本吸音法をルーフに適用した構造について、ロードノイズ低減効果の検証実験を行った。

最初に、ヘッドライナーの振動特性を変更した場合の、実走行時の背後空間への粒子速度の変化を確認した。今回、量産品から面密度を保持したまま、厚みを変更して振動特性を変えたヘッドライナーの試作品を用いた。

粗粒路を100km/h定常走行した時の、ヘッドライナー背後空間の面方向の粒子速度 $V_p(XY)$ (Fig.16)と、運転席耳位置ロードノイズ(Fig.17)を計測した。

Fig.16より、振動しやすくした試作品を用いると、背後空間の面方向の粒子速度 $V_p(XY)$ が増大していることが確認できた。

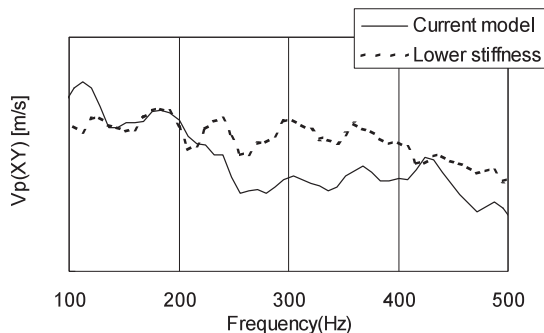


Fig.16 Characteristic of  $V_p(XY)$  behind Vibrated Headliner

更に、Fig.17より、ヘッドライナーの背後空間に吸音材を配置した場合、振動しやすくした試作品を用いた方が、量産品よりロードノイズがO.A.で0.5dB(A)低減していることが確認できた。

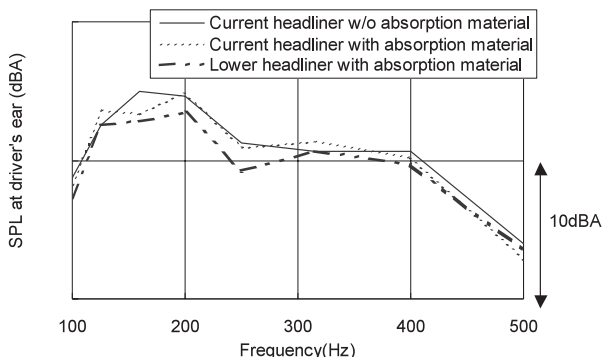


Fig.17 Effect on Reducing Road Noise

以上より、実走時においても、振動しやすいヘッドライナーに変更することで、背後層の面に平行な方向(図中 $V_p(XY)$ )の粒子速度が一層増大されることを確認した。更に、この背後空間に薄いシート状吸音材を配置すると、運転席耳位置の中周波数騒音(100~500Hz)が低減できることを確認した。

## 5. まとめ

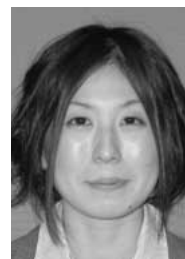
粒子速度に注目した音響モデルの基礎実験および、実車実験により、薄いシート状の吸音材を用いた中間周波数(100~500Hz)の車室内騒音を吸音方法として、以下のことが明らかになった。

- (1) 壁面に配置されたシート状吸音材の面内方向と、粒子速度の大きい方向を一致させる。
- (2) 上記現象を実現させる実車の構造要件は、「車室内を振動しやすい板材で仕切った扁平な別空間に、シート状吸音材を配置すること」である。
- (3) 本吸音方法をルーフ部位に適用することで、ロードノイズ(100~500Hz)を効果的に低減できた。

## 参考文献

- (1) 野田ほか：SEA法による吸音型防音材料仕様の決定方法，Honda R&D Technical Review，Vol.18，No.1，p.149-153 (2006)
- (2) 西村ほか：セル型吸音構造の開発，Toyota Technical Review，Vol.54，No.2，p.70-75 (2006)
- (3) 飯田ほか：第3編 空気伝搬音の低減，現場実務者と設計者のための実用騒音・振動制御ハンドブック，東京，エヌ・ティー・エス，p.263-438 (2000)
- (4) 日本音響学会編：騒音・振動(上)，東京，コロナ社，p.270 (1978)

## 著者



萬菜穂子



福原千絵



加村孝信

論文・解説

18

## 車室内におけるVOCの低減 Reduction of in-Cabin VOC

松井 恵子<sup>\*1</sup> 市川 智士<sup>\*2</sup>  
Keiko Matsui Satoshi Ichikawa

### 要約

当社では、健康に配慮した自動車を提供するため、車室内の揮発性有機化合物（VOC：Volatile Organic Compounds）の低減に取り組んできた。VOCの低減には、主要な発生源（部品）の特定やそれぞれの部品が車室内のVOCに影響する度合いを明らかにすることが必要となる。そこで、VOC発生量の多い部品をふるい分けするためのスクリーニング試験方法（20L小形チャンバ法）と、部品の影響する度合いを明確にするための部品試験方法（2m<sup>3</sup>大形チャンバ法）の2手法を独自に確立した。

これらの試験方法を用いて、新型デミオと新型アテンザの車室内VOC濃度を社団法人日本自動車工業会（以下自工会）の自主取り組みに適合させた。

### Summary

MAZDA has worked on the reducing of in-cabin VOC (Volatile Organic Compounds) to offer a health-conscious automobiles. It is necessary to identify the main source of VOC and to clarify the extent of the effects of each part/component to in-cabin VOC in order to reduce VOC. MAZDA established two evaluation methods. One is screening method by 20L small chamber and the other is 2m<sup>3</sup> large chamber method that can clear the contribution for in-cabin VOC from arising each interior parts VOC.

In-Cabin VOC of new DEMIO and ATENZA has been suited to a JAMA (Japan Automobile Manufacturers Association, Inc.) Voluntary Action Program by using these evaluation methods.

### 1. はじめに

近年、建築物内装材から発生するVOCがシックハウス症候群の一原因として問題視されている。自動車の内装部品にも建築物内装材と同様の素材が使用されていることから、自工会では車室内も居住空間の一部と考え、2005年2月に「車室内VOC低減に対する自主取り組み」<sup>1)</sup>を発表し、2007年4月以降に発売される新型乗用車から適用している（トラック・バスを含む商用車については2008年4月より適用される）。この取り組みは、厚生労働省によって室内濃度指針値が定められた13物質（Table 1）<sup>2)</sup>に対し、所定の試験条件（Table 2, Fig.1）で指針値を満足させるとともに、車室内VOCの低減に努めるものである。

自動車内装の近年の傾向として、質感向上のため部品に

塗装や表皮張りなどの加飾を施し、防音のために天井やフロアに吸音材を設けるなどしており、それらの影響で車室内VOCは増加する傾向にある。また、リサイクル材料、バイオプラスチックなど新しい素材の使用、更に、部品の調達先も全世界へと広がり、使用される材料の種類も増えている。したがって、VOCを低減し健康に配慮した自動車を提供するためには、VOCの発生源（部品）を迅速かつ正確に把握できる試験方法を開発し、効果的な低減メニューを選択して新型車へ技術導入することが重要である。なお、チャンバとは試験槽あるいは試験容器と定義する。

### 2. VOC対策を考慮しない自動車の現状

VOC対策を考慮していない小型から大型の普通乗用車10台に対して、Table 2, Fig.1に示した自工会の自主取り

\*1, 2 技術研究所  
Technical Research Center



Table 1 Indoor Concentration Guideline for 13 Substances Formulated by Ministry of Health, Labour and Welfare (As of Dec.2004)

Substance	Indoor Concentration Guideline <sup>*1</sup>
Formaldehyde	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08ppm)
Toluene	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07ppm)
Xylene	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.20ppm)
Paradichlorobenzene <sup>*2</sup>	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04ppm)
Ethylbenzene	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88ppm)
Styrene	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05ppm)
Chlorpyrifos <sup>*2</sup>	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07ppb) 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.007ppb) for children
Di-n-butyl phthalate	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02ppm)
Tetradecane	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04ppm)
Di-n-ethylhexyl phthalate	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (7.6ppb)
Diazinon <sup>*2</sup>	0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02ppb)
Acetaldehyde	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03ppm)
Phenobucarb <sup>*2</sup>	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8ppb)

\*1 : Converted to values at 25°C ;ppb=1/1000ppm  
 \*2 : The following chemicals have been excluded from in-cabin VOC, because repellants for ants and insects are used mainly at home but not used in automobiles: Paradichlorobenzene, Chlorpyrifos, Diazinon, and Phenobucarb.

Table 2 JAMA Test Method

Item	Test Condition
Test Vehicle	The normal production process, and kept for not more than 4weeks (preferably 14 to 28 days)
Temperature of Passenger Compartment	40±2°C (approximately at the position of the driver's nose)
Measuring Mode	Closed and left-as-is mode : on the short-term impact for formaldehyde Driving mode : on the long-term impact for other chemicals

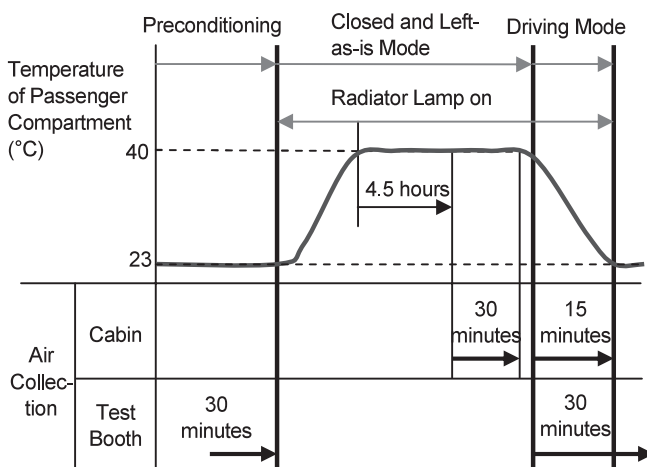


Fig. 1 Test Schedule

組みの試験条件に従いVOCを捕集し、また、厚生労働省「室内空气中化学物質の採取方法と測定方法」<sup>(2)</sup>に準拠した分析条件（以降、この論文中に示される全てのデータは、この分析条件で評価している）で車室内VOCを評価した結果、Table 1に示す13物質のうち、トルエン、キシレン、ホルムアルデヒドおよびアセトアルデヒドの4物質のいずれかの室内濃度指針値を満足しない車種が数台あった<sup>(3)</sup>。その他の9物質については、全ての車種において室内濃度指針値を満足している。したがって、トルエン、キシレン、ホルムアルデヒドおよびアセトアルデヒドの4物質に対し特に対策が必要と判断した。

### 3. VOC主要発生源の特定

#### 3.1 スクリーニング試験方法の検討

車室内を構成する内装部品は様々な形状で複雑な材料構成であり、また、部品点数も約300種類と多い。このうち、どの部品が前述の4物質の主要発生源であるか特定するためには、VOC発生量の多い部品をふるい分けする必要がある。

現在、社団法人自動車技術会では国際規格化をめざして自動車用内装部品のVOC試験方法を策定中である。しかし、技術開発に取り組んだ当初は、国内に公的な自動車用内装部品のVOC試験方法はなく、唯一ドイツ自動車工業協会（VDA）規格があるのみであった。更に、VOC試験方法では先行していた建築材料のVOC試験方法の中から、物質伝達率概念を採用し精度や再現性の向上した日本工業規格（JIS）のVOC放散試験方法（JIS A1901）もVDA規格と併せて参考とし、加熱促進試験をベースとしたスクリーニング試験方法の確立に取り組んだ（Table 3, 4）。

なお、試験設備の構成をFig.2に示す。

Table 3 Reference Standard

Standard	Object Substance	Method	Testing Temperature (°C)	Sample Size
VDA275	Formaldehyde	Flask	60	40 X 100mm X Thickness
VDA276	VOC	1m <sup>3</sup> -Chamber	65	Component
VDA277	Total VOC	Head-space Vial	120	Pieces of 10-25mg
VDA278	VOC	Tube	90	10-60mg
JISA1901	VOC +Carbonyl Compound	20-1000L Chamber	28	Part or Small Piece

Table 4 Test Method

	VDA276	JIS A1901
Chamber Volume	1m <sup>3</sup> (1000L)	20~1000L (±5%)
Test Temperature	65°C	28±1°C
Relative Humidity	45% at 23 °C or 5% at 65 °C	50%±5%
Air Exchange Rate	0.5 per hour	0.5±0.05 per hour
Sampling Timing	2.5 hour	1day, 3day, 7day, 14±1day, 28±2day

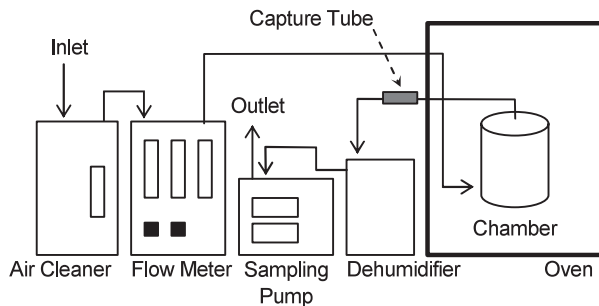


Fig.2 Evaluation Equipments (20L Chamber)

### 3.2 スクリーニング試験条件

#### (1) 試験容器

試験容器の材質としては、ステンレス、フッ化ビニールバッグ、ガラスなどがある。容器自身からVOCを発生しない、大容積にも対応可能であることからステンレス製のチャンバを選択した。容器の容積は試験片の採取箇所によるばらつきを考慮すると大物部品が丸ごと入る大きさが良いが、容積が大きすぎると空気の置換・加熱・安定までに時間がかかり効率的ではない。したがって20Lのものを選択した。

#### (2) 試験温度と相対湿度

VOC発生量の多い部品のふるい分けが目的なので、Table 2に示す車室内VOC試験温度の40より高い温度に設定した。日本における車室内の最も厳しい温度条件は、真夏の昼間の密閉した車室内空間であり、その時の平均的な車室内温度は65である。これはドイツ連邦教育芸術研究技術省のレポートでも同様の報告がされている<sup>(4)</sup>。したがって、試験温度は65を選択した。また、温度が高いと湿度制御が困難になり、水分の影響を受けやすいアルデヒド類の測定値のばらつきも発生しやすくなるため、再現性を考慮して乾燥空気を使用する。

#### (3) 換気回数とVOC捕集条件

Table 2, Fig.1に示す自工会の自主取り組みの密閉モード評価を模擬するためVDA276やJIS A1901のような換気は行わず、チャンバは密閉とする。チャンバ内温度が65に安定(約30分後)してから1h保持した後、チャンバ内に清浄空気を導入しながら、VOC用捕集管に捕集速度0.1L/minで1L採取し再び密閉する。10分間経過後、再び

チャンバ内に清浄な乾燥空気を導入しながら、アルデヒド・ケトン用捕集管に捕集速度1L/minで10L採取する。

#### (4) 試験片のはかり取り量

車室内容積は車種により異なるが、約2~4m<sup>3</sup>(2,000~4,000L)である。試験容器はステンレス製の20Lチャンバであり、最小車室内容積の約1/100のサイズである。したがって、チャンバを車室内と見立て部品も容積の1/100を切り出すのが適切と考えた。しかしながら、複雑な形状の自動車の内装部品に対し、容積の1/100を正確に切り出すのは非常に困難であるため、VOC発生にはほとんど影響のない金属を除いた部品重量の1/100のはかり取りで代用することにした。

### 3.3 スクリーニング試験方法の再現性確認<sup>(5)</sup>

#### (1) 繰り返し再現性

当社の保有の試験設備を用いて、3.2の試験条件で、同一ロットの実験用樹脂混合サンプル(ポリプロピレンのペレット50g+ポリアセタールのペレット2g)から放散するVOC(トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、ホルムアルデヒドおよびアセトアルデヒド)をn=5回評価した。測定値のばらつきは、どの物質でも同様な傾向であり、代表としてFig.3にトルエンの例を示す。トルエン濃度の変動係数(CV値)は6.8となり、ばらつきが小さく再現性の高い試験方法であることが確認できた。

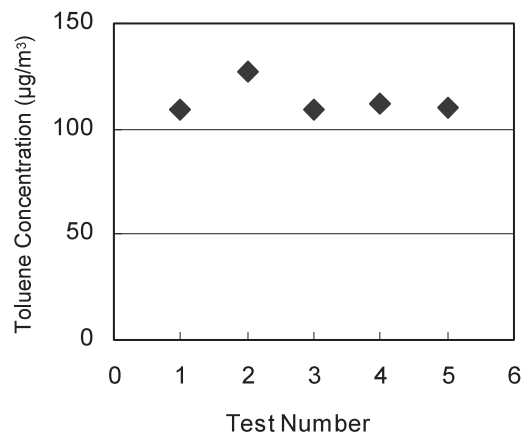


Fig.3 Repeatability of VOC Chamber Test

#### (2) 国内分析機関との相関性

自動車の内装部品やその材料は数が多いので、当社保有の設備がトラブルなどで使用できなくなった場合、VOC低減の取り組みに支障をきたす恐れがある。そこで、代替手段の確保のため、Fig.2に示す試験設備を保有する国内の7つの分析機関の試験設備と当社の試験設備とのコリレーション(相関性検証)評価を行った。

コリレーション評価の内容は以下の2つである。

- 1) 同一標準試薬の分析値の比較による分析装置の相関性確認
- 2) 実験用樹脂混合サンプルを使った試験設備の相関性確認

1) の評価結果では、各分析機関の測定値のばらつきは標準偏差( )で1 内であり、分析装置の相関性はあると判断した。

2) の評価は公定法ではないため、当社の分析値を正として相関性を判断した。その結果、一部の分析機関の測定値が当社の測定値と乖離のあることが分かった。試験条件(加熱温度、加熱時間、昇温速度など)を検討した結果、オープン内部の温度分布のばらつきと昇温速度の違いが、測定値の乖離原因と判明した。これらの条件を当社の試験設備と合わせることで、Fig.4のトルエンの例で示した通り、標準偏差を1 内に納めることができた。したがって、試験設備も相関性があると判断した。なお、サンプルは(1)と同じ樹脂混合サンプルであるが(1)とは別ロットのため、VOC濃度は異なる。

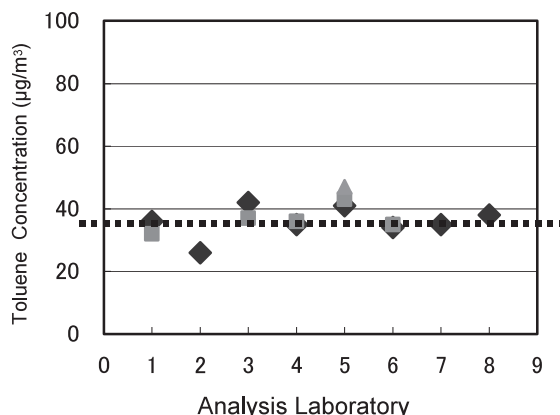


Fig.4 Result of Correlation (Toluene)

### 3.4 内装部品のVOC試験結果

開発したスクリーニング試験方法で内装部品のVOCを採取し評価した結果、2章に示す4物質の主要発生源は、定性的な表現ではあるがTable 5に示した部品・材料であることが分かった。

トルエン、キシレンは、塗装や接着剤など含まれる溶剤、アルデヒド類はポリアセタール(POM)樹脂やウレタン類が主な発生源である。

## 4. VOCの低減策とその効果確認

一般的にVOCを低減する方法は以下の4つが考えられる。

- 1) 材料の見直しや工法を変更する
- 2) 材料や部品を加熱処理する
- 3) 部品にVOC除去材を添加する
- 4) エアコンフィルタにVOC低減機能を付加する

これらのうち、部品から発生する元々のVOC濃度が高いと3)と4)の手法を選択しても低減効果には限界があるため、技術的に困難な場合を除き、まずは1)の源流からのVOC削減をマツダの基本方針とした。

代表的なVOC発生源に対して行った低減策の例を以下に示す。なお、低減効果の確認はスクリーニング試験方法を用いた。

Table 5 Source of VOC of 4 Substances

Source of VOC (Parts / Material)	Ratio of Effect Extent (◎:High, ○:Middle, △:Low)			
	Toluene	Xylene	Form- aldehyde	Acet- aldehyde
Sealer	◎	◎		○
Painted Panel	◎	◎		○
Painted Door Trim	◎	◎		
Other Paintings	◎	◎		○
Window Glass Bond	◎	◎		
Bond of Trims	◎	○	○	○
Adhesive Tapes	◎			
Leather Steering	◎	△		
Base Material (PP)	○	○		
Dash Insulator	○	○	△	◎
Harness	◎			
Polyacetal Resin			◎	○
Urethane	○	△	◎	◎
Floor Mat	○		◎	
Top Ceiling	○		◎	

### (1) 塗装部品(インストゥルメントパネル、ドアトリムなど)

塗装材料や工程内でVOCの発生源となりうるのは、①希釈溶剤、②塗料樹脂の不純物、③製造設備の洗浄溶剤である。そこで、希釈溶剤中のトルエン、キシレンの全廃と塗料樹脂の改良で①と②を対策した。しかし、低減効果が十分ではなかったため、最終的には③に対しても、トルエン、キシレン以外の溶剤に変更することで、両物質をほぼ100%低減できた。

### (2) 接着剤/粘着剤(ウインドウガラス接着剤、粘着テープなど)

接着剤でVOCの発生源となりうるのは、①材料中に含まれる溶剤と②製造設備の洗浄溶剤である。シート表皮に対しては、①と②のどちらも使用しないフレームラミ接着法(加熱して溶着する)にすることで、トルエンとキシレンをほぼ100%低減できた。

なお、フレームラミ接着法を使えないものに関しては、溶剤成分からトルエン、キシレンを低減することと、量産設備の洗浄溶剤を他の溶剤に変更することで、トルエン、キシレンをほぼ100%削減できた。

### (3) POM樹脂

POMはその原材料がホルムアルデヒドであることから、VOCの発生源は、①重合時に未反応で残ったホルムアルデヒドと、②重合した後の不安定な末端基の切断により発

生したホルムアルデヒドになる。これらについては、材料メーカーが、POMの骨格の安定化、主鎖分解を抑制する安定剤、およびホルムアルデヒドガスを補足する添加剤の添加等を施すことで、①と②の対策を行っている。この対策材料に変更することで、ホルムアルデヒドは約80%の低減が可能になった。

### 5. 車室内VOCへの影響度合いを考慮した低減メニューの検討

#### 5.1 大形チャンバを使用した部品VOC試験方法

3章および4章で、VOCの主要な発生源(部品)の特定、および低減策の効果の確認はできた。しかし、それぞれの部品から発生するVOCの車室内VOCに影響する度合いが明確になっていない。

そこで、容積がより車室内空間に近い2m<sup>3</sup>の大形チャンバを用い、部品を裁断せずに丸ごと評価することで、それぞれの部品が車室内のVOCに影響する度合いを明らかにする部品の試験方法を開発した。試験設備の外観をFig.5に示す。



Fig.5 Test Equipments (2m<sup>3</sup> Chamber)

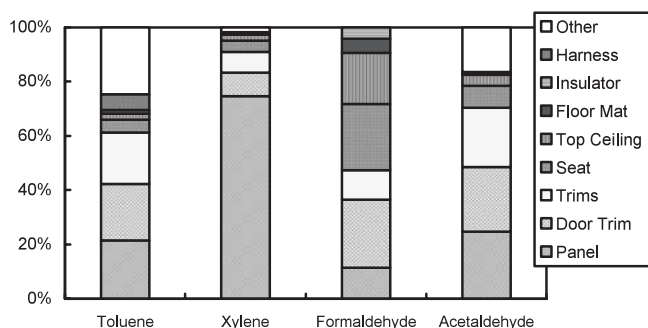


Fig.6 Effect Extent for in-Cabin VOC

評価は以下の手順で行う。まず始めに主要内装部品すべてをチャンバに入れて評価(車室内VOC評価を模擬)し、次に部品を1点ずつ個別に評価する。これらの評価結果を

比較することで、車室内VOCに対するそれぞれの部品の影響度合いを明らかにした。小型の普通乗用車の事例をFig.6に示す。構成部品の仕様の違いで車種毎に影響度合いは異なるが、事例ではインスツルメントパネルやドアトリムなどの影響が大きい。

開発した大形チャンバ試験の試験条件については、ノウハウに関わるので、ここでは割愛する。

#### 5.2 VOC低減メニューの決定と実車での検証

大形チャンバ試験結果によるそれぞれの部品の車室内VOCへの影響度合いをもとに、車種別に効果的なVOC低減メニューを決定した。具体的には以下の操作を行った。

- 1) Table 5に示す主要発生源の中から、車室内VOCへの影響度合いの高い部品を重点的に選択する
- 2) 1)で選択した旧型モデルの部品のVOC値に4章で述べた低減策を用いた時のVOC低減率を乗じる。
- 3) VOC低減策を折り込んだ部品と折り込んでいない部品全てのVOC値を積算し、室内濃度指針値以内にならなければ、低減策を施す部品を追加する。

以上の手続きを踏まえて決定した低減メニュー(新型モデルの車室内VOCの予測値)と実際の車室内VOCの測定値を比較したのが、Fig.7である。Fig.7は、代表として、小型の普通乗用車におけるトルエンとホルムアルデヒドの結果を示している。いずれのグラフも横軸左端が旧型モデルの車室内VOCの実測値、中央が低減策を折り込んだ新型モデルの車室内VOCの予測値、右端が低減策を折り込んだ新型モデルの車室内VOCの実測値である。また、縦軸は旧型モデルの車室内VOCの実測値を100%とした時の値を示している。

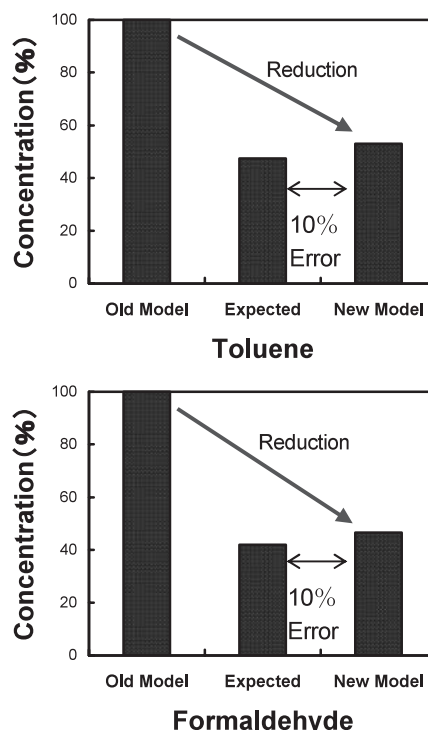
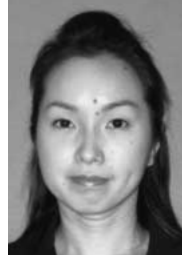


Fig.7 Expected and Measured Value of VOC in Cabin

旧型モデルと新型モデルの実測値の比較より、新型モデルは室内濃度指針値以下に車室内VOCが低減できていることを確認できた。また、諸条件によりばらつきが大きいVOCに対して、大形チャンバを使用した部品VOC評価から予測した新型モデルの値は、実測値の約10%の誤差に納まっており、大形チャンバを使用した部品VOC試験方法はVOC低減メニューの決定に対して有効なツールである。

なお、新型デミオおよび新型アテンザの車室内VOCは、上記の手法によって、自工会の自主取り組みに適合した。今後の新型車開発に対しても、この手法を順次適用していく。

#### 著者



松井恵子



市川智士

## 6. まとめ

より健康に配慮した自動車づくりをめざしVOC低減に取り組んできた結果、以下の成果を得た。

- 1) 内装部品の試験片を用いたスクリーニング試験方法を独自に開発し、VOC主要発生源の特定と低減策の効果を確認した。
- 2) 車室内VOCへの影響度合いを明らかにするための部品VOC試験方法を確立した。これにより効果的なVOC低減メニューの決定が可能になった。
- 3) これらの試験方法を用いて、新型乗用車の車室内VOCを自工会の自主取り組みに適合させた。

## 参考文献

- (1) 日本自動車工業会：車室内VOC（揮発性有機化合物）低減に対する自主取り組み，JAMA Report，No.98（2005）
- (2) 厚生労働省：シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会中間報告書 - 第1回～第3回まとめ（2000年6月26日），第4回～第5回まとめ（2000年12月22日），第6回～第7回まとめ（2001年7月24日），第8回～第9回まとめ（2002年2月8日）
- (3) 鶴賀ほか：車室内VOC測定法に関する研究，自動車技術会学術講演会前刷集，No.116-04，p.13-16（2004）
- (4) Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie und Forschungsvereinigung Automobilforschung e.v.：Emissionen im Kraftfahrzeuginnenraum（1998）
- (5) 市川ほか：車室内部品から発生するVOCの計測法，自動車技術会学術講演会前刷集，No.106-07，p.11-14（2007）

論文・解説

19

## 高効率な多品種変量塗装システムの開発

### Development of a Highly Effective Painting System of Many Colors in Variable Quantities

寺本浩司<sup>\*1</sup> 世良和也<sup>\*2</sup> 末次道久<sup>\*3</sup>

Kouji Teramoto

Kazuya Sera

Michihisa Suetsugu

#### 要約

近年、自動車塗装の分野では、VOC排出量低減とコスト削減のために塗料使用量を削減することが重要課題となっている。一方、市場ニーズの多様化に対応できるフレキシブルな多色少量生産に対応するため、塗色の切り替え時に発生する塗料ロス（以下、カラーチェンジロス）は増加している。

従来から、カラーチェンジロスに対して様々な対策を実施してきたが、抜本的な解決には至っていない。

本稿では、カラーチェンジロスが少ないが、初期投資とランニングコストが増加するというカートリッジ式塗装システムの課題を解決し、高効率な多色変量塗装システムとしてバンパ塗装工場へ導入したので紹介する。

#### Summary

Recently, reducing paint usage to reduce VOC exhaust and cost becomes an important task in auto painting area. However, to correspond flexible production that is producing of a wide variety of colors in small volume which is market demand, paint loss (color change loss) occurred when changing paint color has tendency of increasing.

Many countermeasures have been taken to improve color change loss, however, drastic measure has not been achieved.

In this report, we would like to introduce implementation of cartridge paint system as high efficiency multi-color variable-volume system, after solving issue of high initial investment and running cost.

#### 1. はじめに

自動車の塗装ラインには数十台の塗装ロボットが導入され、ラインを流れる生産車種に応じて20~30色の塗色を自動でカラーチェンジしながら塗り分けている。カラーチェンジを行う毎に、塗料経路内の塗料を入れ替える必要性から塗料と洗浄シンナの排出が繰り返される。これをカラーチェンジロスと呼んでいる。

カラーチェンジロスは、コストアップだけではなく、塗料や洗浄シンナに含まれるトルエンやキシレンなどの揮発性有機溶剤であるVOC (Volatile Organic Compounds) の排出により大気汚染に繋がる。

一方、市場ニーズの多様化による多色化や受注~配車リードタイム短縮に向けたオーダ順序生産にフレキシブルに対応するため、カラーチェンジロスは益々拡大している。これまでも塗料経路の短縮や洗浄性向上により、塗料や洗浄シンナのロス削減を行ってきたが、抜本的な解決には至っていない。

今回、カラーチェンジ方式が従来とは全く異なるカートリッジ式塗装機に着目し、カラーチェンジロス削減メリットの拡大と初期投資やランニングコスト等の課題解決によって、高効率な多色変量塗装システムを開発したので紹介する。

\*1, 2 車両技術部  
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

\*3 第2車両製造部  
Vehicle Production Dept. No.2

## 2. 現状の問題点と開発アプローチ

### 2.1 従来システムの問題点

従来のカラーチェンジ方式 (Fig.1) は、塗装したい塗料を選択するCCV (Color Change Valve) ~ 塗装機の吐出ノズルまでの塗料経路について、以下の一連の動作により塗料を入れ替える方式である。

- ① 前色の塗料排出
- ② 塗料経路の洗浄
- ③ 次色の充填 (吐出ノズルより一部排出)

バンパ塗装においては、①、③で塗料を71cc/台ロスし、②で洗浄用シンナを114cc/台ロスする。

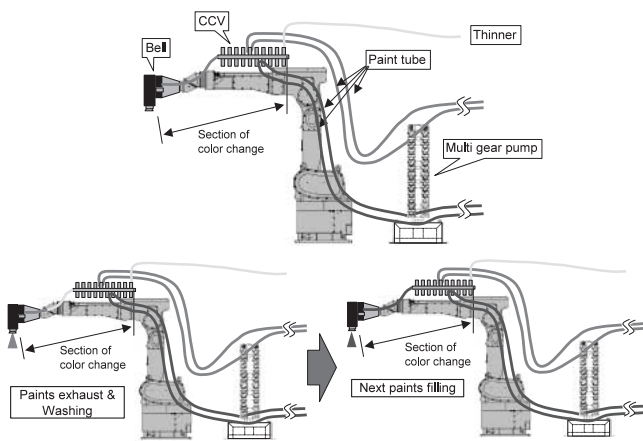


Fig.1 Conventional Method of Color Change

### 2.2 カラーチェンジ方式の選択

カラーチェンジロスの削減には以下のアプローチがある。

- ① カラーチェンジ回数 (頻度) を減らす
- ② カラーチェンジ1回あたりのロス量を減らす

- ・ 塗料経路の容積縮小
- ・ 洗浄性向上による洗浄シンナ削減

上記①を実現するには、カラーロット生産など生産順序への規制が必要となり、本来の趣旨から外れる。また②については、従来システムを前提とした場合、改善による効果が頭打ちの状態である。カラーチェンジロスを抜本的に削減していくためには、塗装システムの全面的な見直しにより②を対策していくことが必要と考えた。

塗装システムの見直しは、実績ある塗装機の要素技術や構成機器を活用しながら、アプリケーション開発に注力し、システムとして最適化を図るアプローチを採った。

開発のベースとなる塗装機を選定した結果、カラーチェンジロスが少ない基本特性を有するカートリッジ式を選択し、単色カートリッジとフラッシュブルカートリッジの組み合わせの最適化を図り、展開スペースやランニングコストなどの課題を解決することにした (Table 1)。

Table 1 Comparison of Color Change Method

Kind of color change method	Color change loss		Stability of quality	Initial cost	Maintenance cost	Space efficiency
	Paints	Thinner				
① Multi gear pump + CCV (Conventional system)	△	○	◎	○	○	○
② Multi feed	○	○	○	○	○	○
③ Exchange of gun	○	○	○	△	△	△
④ Gun with a paint tank internally	△	△	◎	○	△	○
Cartridge	⑤ Single color cartridges	◎	○	◎	△	△
	⑥ Cartridges that can be changed color	△	△	◎	◎	△

### 2.3 カートリッジ式塗装機の特徴

カートリッジ式の構成機器を以下に示す (Fig.2)。

- ・ 塗装機
  - ・ カートリッジ (単色タイプ, フラッシュブルタイプ)
  - ・ 吐出量制御装置
  - ・ ハンドラ
  - ・ カートリッジステーション (塗料充填及び洗浄装置)
- カートリッジ式のカラーチェンジは、カートリッジステーションにおいてカートリッジに塗料を充填し、ハンドラによって塗装機のカートリッジを交換することでカラーチェンジを行う。また、塗装後に余った塗料は塗料配管に戻すことでロスが出ないという特徴がある (ただし、塗装機先端のベルカップの洗浄は必要)。また、カラーチェンジができるフラッシュブルカートリッジもあるが、内部を洗浄して塗色の入れ替えを行うため、ロスは避けられない。

カートリッジの内部はピストン構造になっており、吐出量制御装置から圧送されるDCL (Delivery Control Liquid) によってピストンを押し下げ、塗料の吐出を行う。

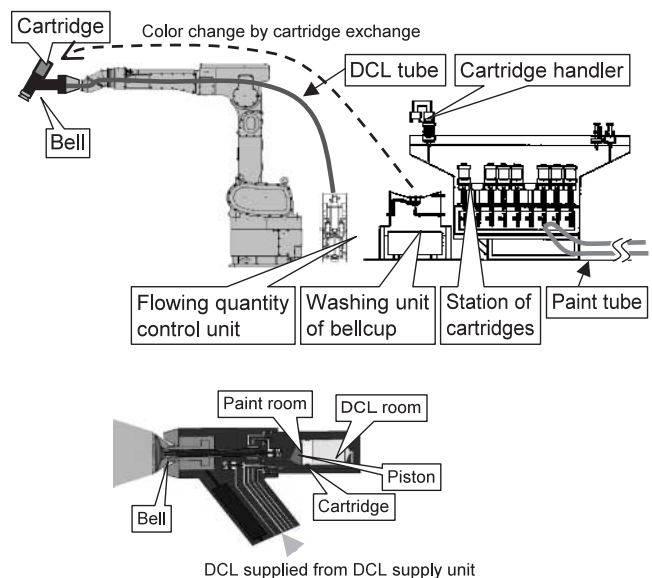


Fig.2 Cartridge Paint System

2.4 開発の目標と課題

新たに開発する塗装システムにおけるカラーチェンジロスの目標値は、従来システムを前提にカラーロット生産を行った場合と同等を狙い、以下のように設定した。

- ・ロスコスト 70%
- ・VOC排出量 33%

実ラインへの導入及び開発目標を達成するためには、カートリッジ式が抱える下記の課題を解決する必要がある。

(1) 省スペース化

生産塗色数だけの単色カートリッジを準備すれば、ロスはなくなる。ただし、同じ塗色を連続して塗装するケースに対応するには2本/色のカートリッジが必要であり、塗色が20色のラインでは40本のカートリッジが必要になる。単色カートリッジのみの構成では2.1m<sup>2</sup>の展開スペースが必要になり既存ラインに収まらない。

(2) フラッシュャブルカートリッジのロス削減

フラッシュャブルカートリッジはカラーチェンジが可能のため、カートリッジ数の削減に有効である。しかし、その構造上、塗料経路の容積が大きくカラーチェンジロスが大きい(従来システム比の約2倍)。フラッシュャブルカートリッジのメリットを拡大するためには、ロス削減が必要である。

(3) 品質保証機能の織り込み

塗装品質は、塗装を乾燥させてからでないと判断できないものが多く、設備の異常等が起こると多発性不具合に繋がる。従来システムでは、設備の異常を検出してラインを停止させる仕組みを構築・熟成してきた。これらの仕組みを機構の異なる新システムにも織り込む必要がある。

(4) 極少量色に対するフレキシビリティ向上

従来システムでは、カラーチェンジロスの増大や現場の運用が複雑になるため、生産量の少ない塗色や塗料配管数を超えた塗色数は生産できない。今回、カラーチェンジロスが少ないカートリッジ式のメリットに加え、現場の運用を簡易化する仕組みを織り込むことで少量生産を可能にする。

(5) ランニングコスト削減

カートリッジ式は構成部品が多く、塗装品質を維持するためのメンテナンスコストが増加する。特に、カートリッジは、内部に蓄積する塗料粕が原因となるブツ不良等の品質不具合を予防するために、1回/月の分解洗浄が求められた。ランニングコスト削減のためには、メンテナンスコストを削減できる機能開発が必要である。

3. 開発内容

3.1 省スペース化

カラーチェンジロスと省スペース化を両立させるためには、カートリッジの総数を少なく抑えながら、ロスのない単色カートリッジの使用頻度を高め、逆にフラッシュャブル

カートリッジの使用頻度を下げる必要がある。

生産比率の高い大量色は、単色カートリッジを2本持ち、生産比率が少ない少量色はフラッシュャブルカートリッジに割り当てる構成が一般的である。しかし、目標のロス削減を達成するためには、フラッシュャブルカートリッジに廻せる塗色は20%~30%に限られ、単色カートリッジの数を減らすことができない。そこで、生産比率が1%~3%程度の中量色に対して、単色カートリッジ1本持ちを基本として同色が連続するケースをフラッシュャブルカートリッジでバックアップするという方式を加えた(Fig.3)。これにより、単色カートリッジ数及び占有面積を約60%削減でき、実ラインにレイアウト可能なサイズとなった。

実際のラインでは、塗色の変更、生産比率の変動が起こる。最少のカラーチェンジロスを生産現場で維持・管理できるように、塗色とカートリッジタイプの割付をパソコン画面での設定変更と塗料経路の小変更のみで容易に行えるように工夫した。限られたカートリッジ数の中で、ロスを最小化できる塗色とカートリッジの構成は、離散系シミュレーションのソルバなどの最適化ツールを用いて容易に求めることができ、効率の維持を可能とした。

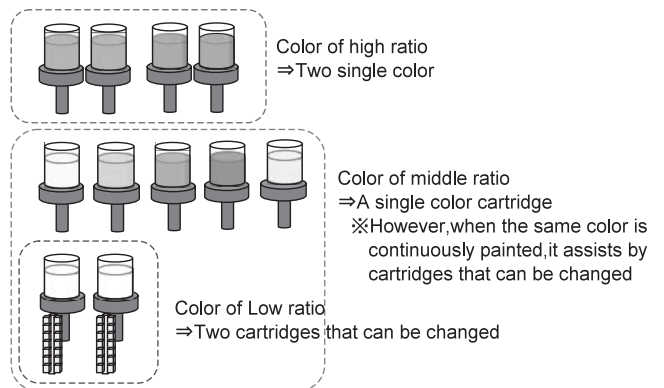


Fig.3 Constitution of Cartridges

3.2 フラッシュャブルカートリッジのロス削減

フラッシュャブルカートリッジのカラーチェンジロスの内訳は以下となっている。特に①はフラッシュャブルカートリッジ特有のロスであり、対策が必要である。

- ① 塗装後にカートリッジ内部に残る塗料の排出 (75%)
- ② カートリッジ内部の洗浄 (23%)
- ③ 次色の充填時の塗料抜き (2%)

①のロスを削減するには、「残塗料を塗料配管に戻す」、「塗装後にカートリッジ内部に塗料が残らないようにする」というふたつの考え方がある。

前者では、残塗料を塗料配管に戻す際に装置異常やオペレーションミスにより他色が塗料配管に混入して変色するリスクがある。また、残った塗料を塗料配管に戻す時間も無駄である。よって、後者の考えに基づき、充填中の塗料流量をリアルタイムで計測しながら、必要な量に達した時



点で充填を停止する「指定量充填機構」を新たに開発した。

塗料の流量計測は、塗料流量を直接測るのではなく、塗料充填によりカートリッジのピストンから押し出されるDCL流量を測る方式とした。DCL経路は各カートリッジステーションに繋がっているため、DCL経路上に流量計を1個だけ設けることで全カートリッジの充填量測定が可能になる (Fig.4)。これにより、カートリッジ毎に流量計を持つ必要がなくなり低コスト化できた。また、流量計の選定に当たっては、塗料の密度や粘度に差があっても安定した流量精度が得られるように、機械ギヤ式を採用した。

一方、充填量の目標値となる塗料使用量の精度も重要である。塗料使用量は、車種×塗色毎に異なる値をとるため、新車導入時や塗装ロボットティーチング修正時に、データの採取や変更管理に多大な工数がかかる。今回、吐出量制御装置から送り出すDCL量 (= 塗料使用量) をサーボモータの回転情報から算出し、車種×塗色情報と関連付けて次回の塗料充填にフィードバックする機能を付加し、塗料使用量の精度向上と維持を両立した (Fig.5)。

3.3 品質保証機能の織り込み

(1) カートリッジへの塗料充填、内部洗浄の保証

各カートリッジは、塗料の充填や内部の洗浄を行うためにカートリッジステーションにドッキング (着座) する必

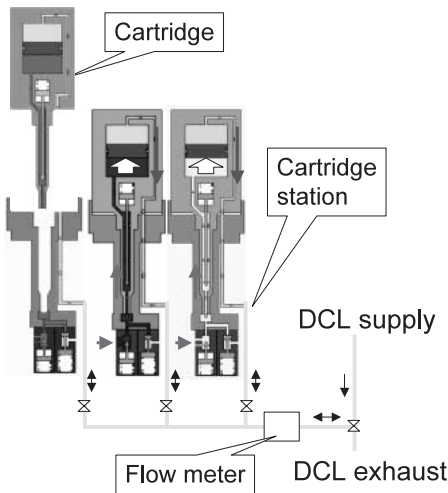


Fig.4 Method of Flow Quantity Measurement

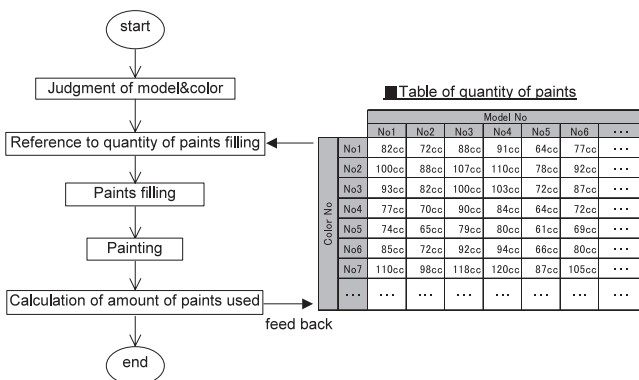


Fig.5 Procedure to Feed Back Quantity Filled Up

要がある。この着座が不確実だと塗料やDCLの漏れ、作動エア圧低下が起こり、塗料充填や内部洗浄が正しくできず、品質不良に直結する。着座を保証するためには、着座を常時監視する機構が必要だと考えた。今回、危険物を扱う塗装区での防火に配慮して電気式センシングではなく、着座時に高圧エアをカートリッジステーションに封じ込め、着座不良時のエア漏れによる圧低下を検出するエア式センシング機構を開発した。着座異常時には、設備を停止させることで、確実な塗料充填と内部洗浄を保証する。

(2) 塗装時の吐出保証

塗装時の塗料吐出の安定性は塗装品質を大きく左右する。吐出が不安定だと膜厚の変動が発生し、スケやナガラなどの品質不良が発生する。カートリッジ式塗装機は、吐出量制御装置 (サーボモータ駆動) から押し出されたDCLがカートリッジのピストンを押し下げることで塗料を吐出する。もし、DCL圧力が高過ぎると吐出の瞬間に塗料が突出する。また、低いと吐出の立ち上がりが遅れる。安定した吐出を得るためには、DCLの圧力管理が重要となる。

今回、DCL圧力の適正化を図るために、塗料充填済みカートリッジが塗装機とドッキングした後、DCL圧力が適正圧と一致するようにサーボモータが正転/逆転を行い、自動調整する機構を設けた (Fig.6)。

また、塗装機のトリガバルブの動作不良やカートリッジ内部のピストンが正常に動作しなくなり、吐出が不安定に

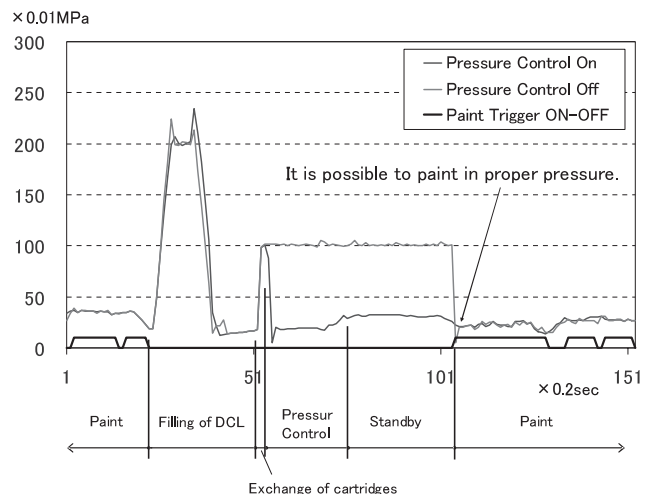
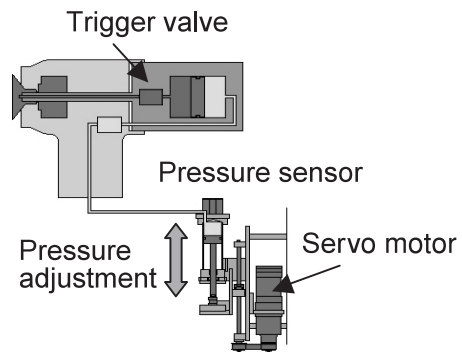


Fig.6 DCL-Pressure Adjustment Function

なるとDCL圧力の変動として表れる。これを利用して、DCL経路上に設けた圧力センサでDCL圧力を監視し、異常圧力を検出した場合にはアラームを出してライン停止する仕組みを織り込み、吐出を保証した。

3.4 極少量色に対するフレキシビリティ向上

限定色、サービスパーツなど生産頻度が極めて少ない塗色は、塗料配管に長時間仕込んでおくと顔料の破壊や沈降が進み、使用できなくなる。また、限られた塗料配管を複数色で共用すると、頻繁な塗料の入れ替えが発生し、カラーチェンジロスや現場の工数ロスが大きくなる。

このような極少量色固有の問題に対して、オフラインでカートリッジに塗料を充填できる「簡易型の洗浄&充填装置」と、「カートリッジを生産中にライン投入及び回収できる機構」を設け、塗料配管なしでも塗装できる仕組みを作った (Fig.7)。これにより、塗料配管数の制約を受けることなく少量多色生産の対応が可能になった。

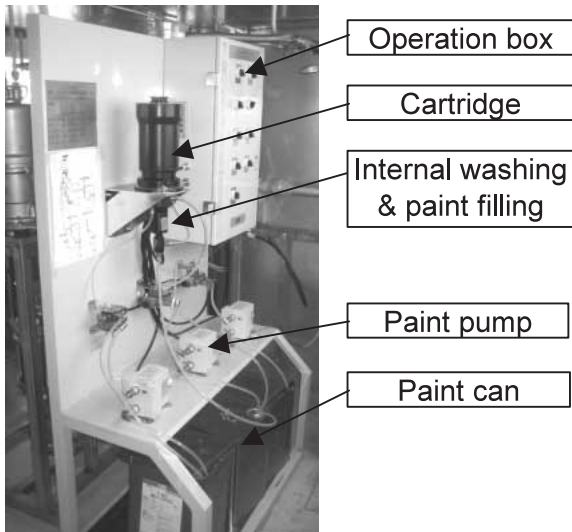


Fig.7 Washing & Filling Device of Brief Mechanism

3.5 ランニングコストの低減

多くのカートリッジを使用する当システムのランニングコストを低減するためには、カートリッジ内部に塗料粕が蓄積しないように、「分解なしで内部を洗浄できる機構」と「現場に負担をかけずに頻繁に洗浄できる機構」を設けることで、コストがかかる分解洗浄周期を延ばそうと考えた。

まず、単色用途を含め全てのカートリッジをフラッシュアップタイプとすることで内部洗浄を可能とした。本来、単色用途のカートリッジステーションには、内部洗浄機能は必要ない。全てのカートリッジステーションに洗浄機能を設けるとコストアップを招く。そこで、フラッシュアップカートリッジ用ステーションに元々ある洗浄機構を共有させ、ハンドラのティーチングによってカートリッジを順次フラッシュアップ用ステーションに移動させて自動洗浄させ

る仕組みとした。これにより、分解洗浄の周期は3ヶ月まで拡大できることを確認しており、シールラバー等の消耗品交換が必要な6ヶ月の周期を目標に実ラインで評価中である。

4. 開発システムの導入効果

開発したカートリッジ式塗装システムをバンパ塗装工場へ導入した効果は、以下の通りである。

(1) カラーチェンジロスの削減

今回、開発した単色カートリッジとフラッシュアップカートリッジの混成システムは、従来システムに対して、初期投資を抑えながらカラーチェンジロスコストを77%、VOC排出量を37%削減できた (Fig.8, 9)

(2) 多色変量生産へのフレキシビリティの向上

塗色の生産量に合わせてカートリッジの構成を変更していくことで、多色変量生産下でもロスが最小化できるフレキシブルな塗装システムを構築できた。

また、少量色を生産する際のラインの運用性が改善でき、生産できる塗色数を約20%増やすことができた。これにより、限定色やサービスパーツの供給に対する柔軟性が向上した。

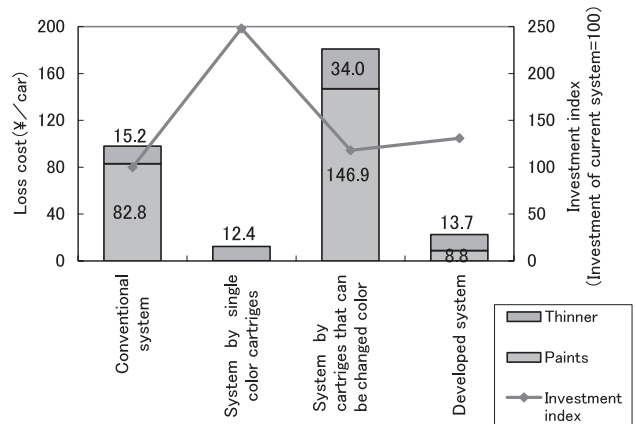


Fig.8 Reduction Effect of Loss Cost

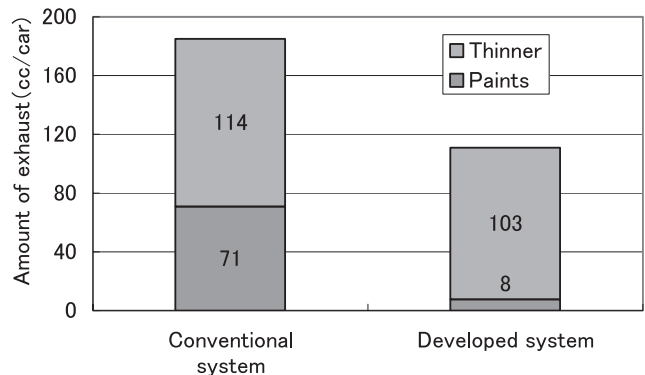


Fig.9 Reduction Effect of VOC Discharge

## 5. おわりに

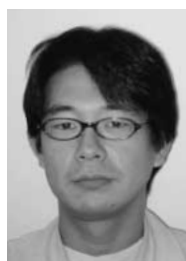
今回、開発した塗装システムにより、多色変量生産下で問題となっていたカラーチェンジロスの低減が可能になった。今後、メンテナンス周期及び消耗品交換周期など実ラインで検証を重ね、より熟成を図っていく考えである。また、ロボット台数の多いボデー塗装ラインへ展開していくために、システムのシンプル化を進めてイニシャルコストの更なる低減を図っていきたい。環境にやさしく、高品質な塗装を低コストで提供していくために、これからも生産技術開発に取り組んでいく所存である。

最後に、今回の取り組みに関して、多大なご協力を頂いた関係各位に深く感謝の意を表します。

### 著者



世良和也



末次道久

論文・解説

20

# MADYMOを活用したサイドエアバッグシステムの最適化

## Optimization of Side Airbag System Using MADYMO Simulations

金子直樹<sup>\*1</sup> 元木正紀<sup>\*2</sup> 田口征吾<sup>\*3</sup>

Naoki Kaneko

Masaki Motoki

Seigo Taguchi

尾川 茂<sup>\*4</sup>

Shigeru Ogawa

### 要約

本稿では、胸部保護型サイドエアバッグシステムの最適化について述べる。まず、乗員挙動シミュレーションソフトMADYMOとクラッシュシミュレータを用いて、傷害値のコリレーションを取った。またドア進入速度やベントホールの感度スタディを行うことで、モデルの応答性も評価した。次に、遺伝的アルゴリズムと品質工学の2つのアプローチを用いてES-2ダミーの胸変形の最適化を行った。最後に、これら2つの最適化アプローチについて、汎用性、効率性、ロバスト性に関する優位性を議論した。

### Summary

This paper describes the optimization of the side airbag system to improve injury and optimization approach using a MADYMO model for side impact. This study simulated a side impact with an ES-2 was simulated as follows :

First, MADYMO model has been established and correlated with a crash simulator. After the correlation, door intrusion and airbag vent hole size were used as main parameters to evaluate the sensitivity. As a result, it was demonstrated that this model has a reasonable response and good correlation. Second, the side airbag was optimized using genetic algorithm and quality engineering for the Euro NCAP mode. Then, results from those two approaches are discussed.

### 1. はじめに

衝突安全性能は、ここ数年目覚しく改善しており、衝突死傷者数は1980年代と比較して半分になっている。しかし、側面衝突では、低減率が24%に留まり更なる安全性の向上が必要である。近年では米国でSports Utility Vehicle (SUV) の増加のため、大型車両の事故時の加害性、特に側面衝突時の問題が注目されている。このような社会的背景から、アメリカの保険会社が出資設立したInsurance Institute for Highway Safety (IIHS) は、2002年からSUVが普通乗用車の側面に衝突する状態を模擬した試験を開始した。更に、2009年からは、FMVSS214の法規が改定され、Table 1に示すように1モードから3モードに変更される。

これは従来のテスト方法から、新たに斜めポール側突が追加され、ダミーもUSDOT-SIDからEuroSID-2re (ES-2re) とSID-IIIsに変更される。一方、欧州でもAE-MDBという新型ハニカムが検討されており、搭載されるダミーについても研究されている。こうした法規の改定や市場評価の要求にこたえるべく、マツダではより安全な車両を短時間で市場に導入できる技術開発に取り組んでいる。このような開発を効率的に行うためには、衝突台上試験(クラッシュシミュレータ)や予測技術(シミュレーション)の導入が不可欠である。今回の報告では、EuroNCAP等で使用されているEuroSID-2 (ES-2) ダミーを用いて、EuroNCAP条件での側面衝突MADYMOモデルを用いたサイドエアバッグの最適化検討について述べる。

\*1~4 衝突性能開発部  
Crash Safety Development Dept.

Table 1 Side Impact Test Mode

Test Mode	Form	Current Tests			214 Proposal			
		FMVSS214	LINCAP	IIHS	New214 POLE	New214 MDB	New214 POLE	New214 MDB
	Velocity	55kph	61.9kph	50kph	32kph	55kph	32kph	55kph
	Barrier Weight	1367kg	1360kg	1500kg	-	1367kg	-	1367kg
Dummy	Name	DOT-SID	DOT-SID	SIDII	EuroSID-2re	EuroSID-2re	SIDII	SIDII
	View							

## 2. テスト方法

### 2.1 実車テスト再現方法

今回のMADYMOモデルを作成するにあたり、まずクラッシュシミュレータを実施した。テスト方法は、Fig.1に示す油圧制御式のクラッシュシミュレータを使用した。乗員の傷害は、バリアによるドアの急激な変形で発生する<sup>(1)</sup>。従って、このクラッシュシミュレータでは、ドアの進入速度を再現している<sup>(2)</sup>。このクラッシュシミュレータによる実車衝突の再現精度の例をFig.2に示す。

### 2.2 評価項目

Table 2に示すように、EuroNCAPでは評価される傷害値が数多く存在する。従って、これら評価項目に対し、傷害値発生メカニズムも多数存在する。本稿では、胸変形にフォーカスしているため、胸部傷害発生メカニズムについて述べる。ES-2ダミーの胸部断面図をFig.3に示す。胸変形量は、胸移動量から背骨移動量を引いたものであり、Fig.4には胸変形量に関する因子を示す。胸移動量として影響される因子としては、エアバッグ反力やトリム剛性、ドア進入量等があり、背骨の移動量に影響される因子としては、腰や胸などから伝達される荷重が挙げられる。



Fig.1 Side Impact Crash Simulator

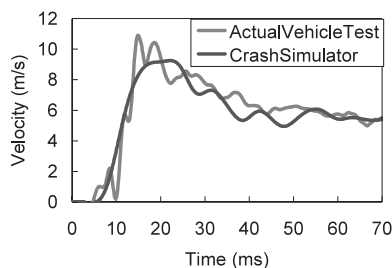


Fig.2 Comparison of Door Velocity between Actual Vehicle Test and Crash Simulator

Table 2 EuroNCAP Evaluation Items

PARTS	ITEMS
HEAD	HIC
	Head_3ms
CHEST	Deflection
	Viscous Criterion
ABDOMEN	Abdominal Force
PELVIS	Pubic Force
BACKPLATE	Load
T12	Load
	Moment

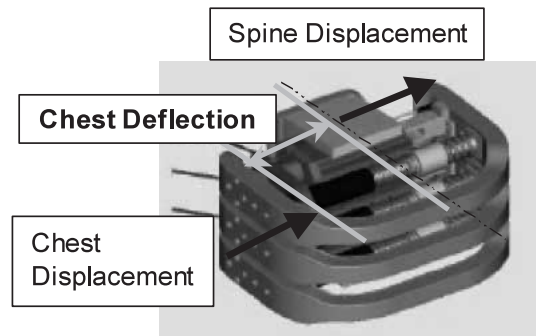


Fig.3 Cross-Section of ES-2 Thorax

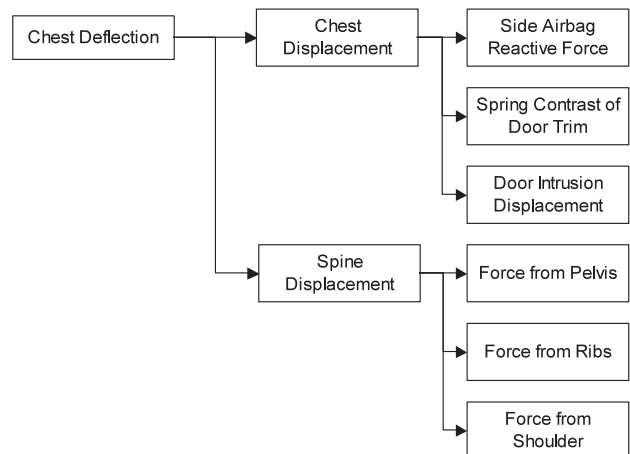


Fig.4 Factors for Chest Deflection

## 3. MADYMOモデル

### 3.1 モデル概要

今回使用したMADYMOモデルをFig.5に示す。本検討の目的は、サイドエアバッグの最適化であるが、モデルに求められるものとしては、再現精度に加え、計算時間の短縮化が挙げられる。Table 3にモデルの仕様を示す。サイドエアバッグを除くすべてのモデルをマルチボデーで作成し、サイドエアバッグのみFEM化した。ドアモデルについては、胸、腹、腰の3つのパートに分割し、それぞれに特性を代入した。そして、簡易的な感度解析を行い、モデルの妥当性を検証した。Fig.6及び7に示すように、傾向が再現できるモデルであることを確認した。

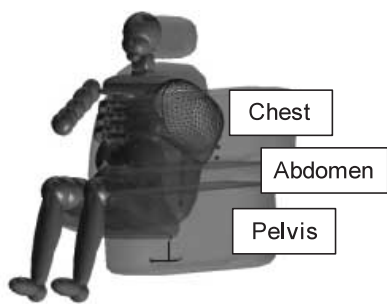


Fig.5 ES-2 MADYMO Model

Table 3 MADYMO Specifications

ITEMS	SPECIFICATIONS
Version	6.2.1
Computational Environment	Windows XP
Dummy	Multi Body
Seat	Multi Body
Door	Multi Body
Side Air Bag	FEM
Computational Time	280s

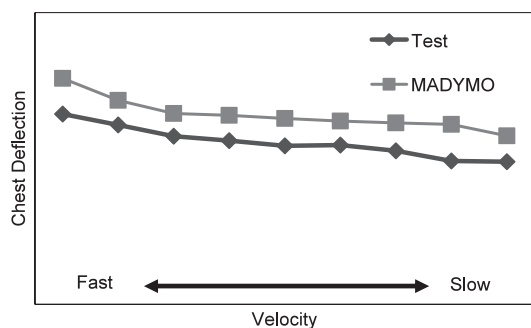


Fig.6 Sensitivity Response of Intrusion Velocity

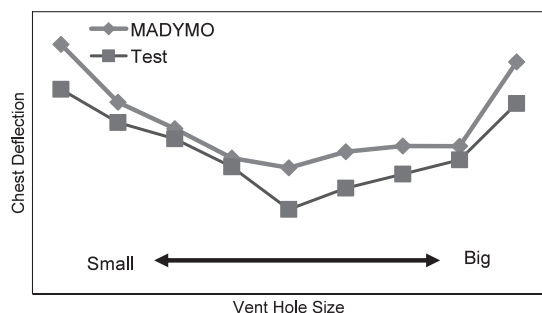


Fig.7 Sensitivity Response of Vent Hole Size

### 3.2 テストとのコリレーション

MADYMOモデルとクラッシュシミュレータとのコリレーション結果をFig.8から11に示す。これらの応答を評価した結果、テストとのコリレーションが取れており最適化検討に使用できるモデルであると判断した。

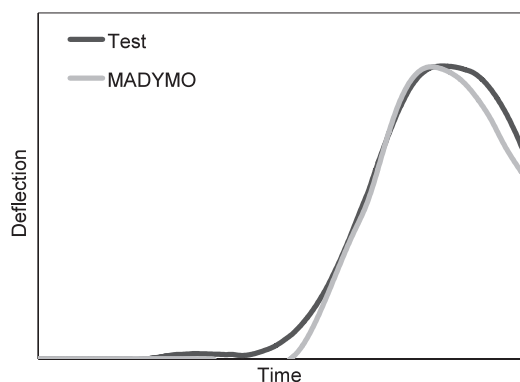


Fig.8 Upper Rib Deflection Criterion Pulse

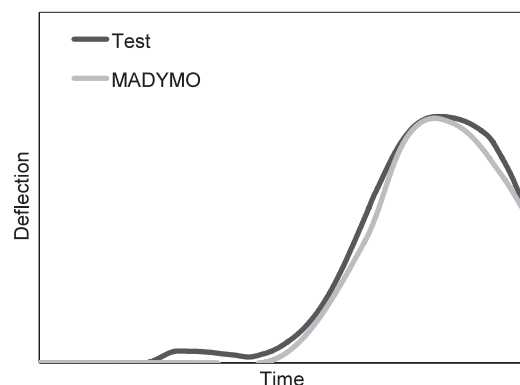


Fig.9 Middle Rib Deflection Criterion Pulse

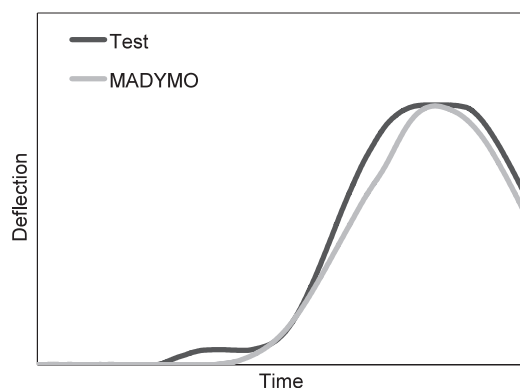


Fig.10 Lower Rib Deflection Criterion Pulse

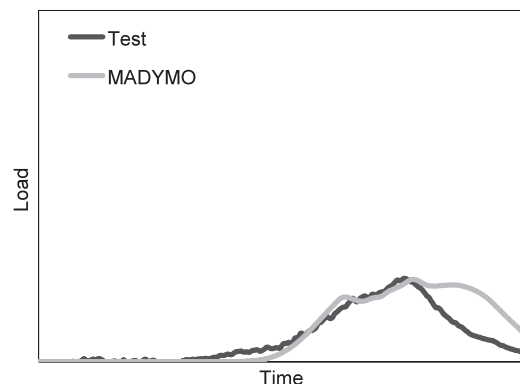


Fig.11 Abdominal Load Pulse

### 4. サイドエアバッグシステムの最適化

#### 4.1 前提条件

前提条件としては、車体系の因子は固定とし、Table 4 に示すような内装系に絞った設計変数とした。また、サイドエアバッグ形状の応答までは今回は評価していないため、本検討ではエアバッグ形状は胸部保護タイプに固定した。また、目的変数は、比較的予測精度の高い胸変形とし、これらの前提条件で最適化を実施した。まず計算手順として、遺伝的アルゴリズム (GA : Genetic Algorithm) を用いたアプローチによる最適化を行い、次に品質工学的アプローチ (QE : Quality Engineering) での最適化を行った。

#### 4.2 遺伝的アルゴリズムを用いた最適化

遺伝的アルゴリズムは自然淘汰と遺伝学に基づく検索アルゴリズムである<sup>(3)</sup>。遺伝的アルゴリズムのメリットは、実用時間内に比較的優れた解が得られ、幅広い範囲に適用できることである。このアルゴリズムを使って、Table 5 に示す設計変数を用いて、最適化を行った。エアバッグについては、コーティングの有無、ベントホール、インフレーター特性は±15%、TTF (Time to Fire) は6msから10ms、エアバッグの上下位置は±15mmそしてドア特性は、それぞれ±10%でスタディを行った。遺伝的アルゴリズムを使った最適化結果をTable 6に示す。ベントホールを小さくし、TTFを早めて初期拘束性能を上げた仕様となった。この仕様で計算を流すことにより、Fig.12に示すように傷害値を40%低減させることができた。この結果を踏まえて、品質工学を用いた最適化を行った。

Table 4 Baseline of Parametric Studies

INTERIOR	PARTS	BASELINE
Side Airbag	Shape	Thorax
	Inflator	Conventional
	Coating	Without
	Vent Hole Diameter	35mm
Seat Characteristics		Conventional
Door Characteristics		Conventional

Table 5 Parameter Matrix for GA

PARTS	PARAMETERS	VARIABLE RANGE
Airbag	Coating	With / Without
	Vent Hole Diameter	20mm to 50mm
	Inflator	-15% to +15%
	Time to Fire	6ms to 10ms
	Vertical Position from Basic Set	-15mm to +15mm
Door	Chest Portion	-10% to +10%
	Abdomen Portion	-10% to +10%
	Pelvis Portion	-10% to +10%

Table 6 Optimization Results with GA

PARTS	PARAMETERS	VARIABLE RANGE	Current	Optimum with GA
Airbag	Coating	With / Without	Without	With
	Vent Hole Diameter	20mm to 50mm	35mm	20mm
	Inflator	-15% to +15%	Normal	Normal
	Time to Fire	6ms to 10ms	10ms	8ms
	Vertical Position from Basic Set	-15mm to +15mm	0mm	0mm
Door	Chest Portion	-10% to +10%	Normal	-10%
	Abdomen Portion	-10% to +10%	Normal	Normal
	Pelvis Portion	-10% to +10%	Normal	+10%

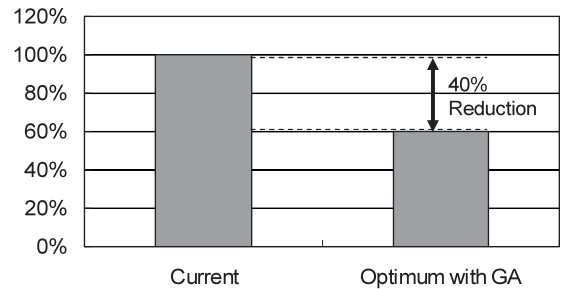


Fig.12 Improvement Ratio of ES-2 Average Chest Deflection for MADYMO

#### 4.3 品質工学を用いた最適化

品質工学<sup>(4)</sup>は田口博士が提唱する手法である。

品質工学的アプローチを取る上で定義される機能は、エネルギー変換として定義されている。すなわち、もし損失がなければ入力と出力の関係はFig.13に示すように、正比例となる。この正比例関係をできる限り満足させる方法のひとつに、“パラメータ設計”手法がある。この手法は、最初にばらつきを抑え、次に目標値に近づけるといものである。本報告では、この手法を用いて、最適化を行った。本検討ではTable 7に示すように、L18の直行表を用いた。設計変数は遺伝的アルゴリズムでの最適化と同様な条件になるようにセットした。その際、水準2を因子が持つ固有の特性Mとし、水準1は低いか弱い特性L、水準3を硬い特性Hとした。最初に、ロバスト性能を向上させるために、4度の繰り返し計算を行いSN比を安定させた。そのSN比要因効果図をFig.14に示す。Fig.15に4度繰り返し計算を行った際の感度要因効果図を示す。太線で示すような感度の高かった因子を用いて、最適化を実施した。その結果、Fig.16に示すように傷害値を現状比35%削減することができた。

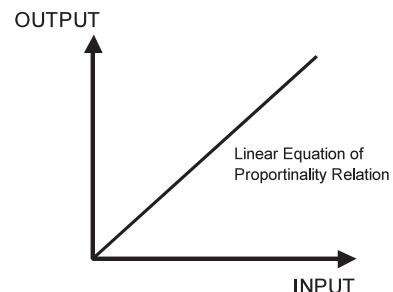


Fig.13 Ideal Relationship between OUTPUT and INPUT

Table 7 Parameter Matrix for QE

PARAMETERS	LEVEL		
	1	2	3
A Airbag Coating	w/o	w	-
B Vent Hole	L	M	H
C Inflator	L	M	H
D Time to Fire	S	M	F
E Airbag Vertical Position	L	M	H
F Chest Part of Door Characteristic	L	M	H
G Abdomen Part of Door Characteristic	L	M	H
H Pelvis Part of Door Characteristic	L	M	H

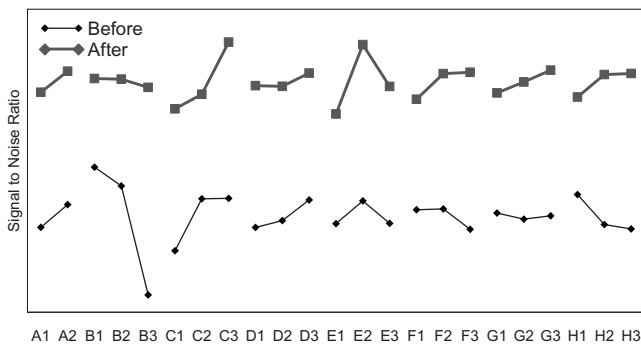


Fig.14 Signal to Noise Ratio of Parameters

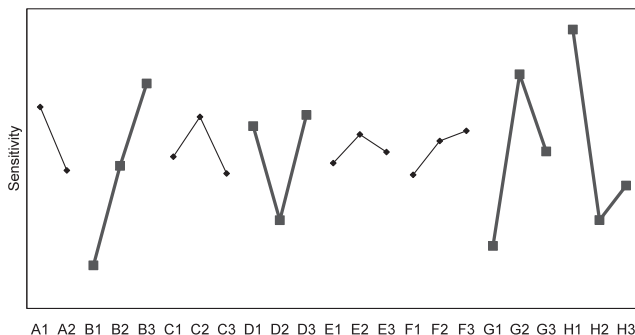


Fig.15 Sensitivities of Parameters

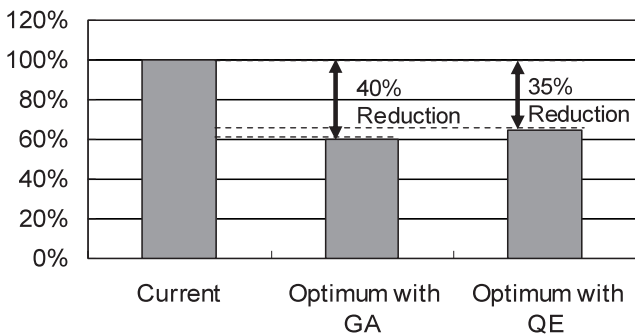


Fig.16 Improvement Ratio of ES-2 Average Chest Deflection for MADYMO

## 5. 考察

### 5.1 最適化手法について

これら2つの手法から得られた最適解の設計変数をTable 8に示す。TTF及び腹部、腰部の特性に若干の違いが見える。これは、さまざまな誤差因子等が入っているかどうかで結果が変わったと考えられる。Table 9には、これら2つの手法における3つの視点、汎用性及び計算効率性、ロバスト性についてまとめたものを示す。

汎用性については、遺伝的アルゴリズムを用いた場合設計変数の数は制限されない。一方、品質工学の場合、L18の直交表を用いると基本的には、8個しか設計変数を指定できない。従って、この場合、8個のパラメータの選び方が重要になってくると考えられる。

次に計算効率性について述べる。計算時間自体は2つの手法でほぼ同一であった。しかしながら、品質工学の場合は、要因効果図から繰り返し計算をする工数が必要に応じて生じる。

最後にロバスト性については、Table 9に示しているように、遺伝的アルゴリズムでは、ロバスト性を定量的に示すことができない。それに対し、品質工学では、きちんと定量的に表現できることが可能になる。品質工学から得られた仕様では、2.64dB改善された。これらの視点から得られた知見としては、これら2つの手法はそれぞれ優れた部分があり、必要に応じて使い分けするか、双方を組み合わせる方が得策だと考えられる。

### 5.2 最適解について

2.2で述べた評価項目にあるように、胸変形量は胸部移動量から背骨移動量を引いたものである。最適化手法双方とも従来に比べ、ベントホールを小さくし、TTFを早めて初期拘束性能を上げた仕様となっており、腰部特性を若干強めた結果となった。本検討では、前提条件に述べたような設計変数及び振幅で解析しているため、Fig.17に示すような背骨の移動量を増やした最適解が選択されている。今後の検討では、設計変数の設定方法や振幅、更に目的変数も多目的に設定し、最適解の分析を行っていく。

Table 8 Optimization Results of GA and QE

Part	Parameter	Current	Optimum with GA	Optimum with QE
Airbag	Coating	Without	With	With
	Vent Hole Diameter	35mm	20mm	20mm
	Inflator	Normal	Normal	Normal
	Time to Fire	10ms	8ms	6ms
	Vertical Position from Basic Set	0mm	0mm	0mm
Door	Chest Portion	Normal	-10%	-10%
	Abdomen Portion	Normal	Normal	-5%
	Pelvis Portion	Normal	+10%	+5%

Table 9 Summary of Three Viewpoints

	Application Range	Calculation Efficiency	Robustness
GA	Unlimited	77.8H	Not Quantitative
QE	8 Parameters* *using L18	78H	2.64 dB Improvement



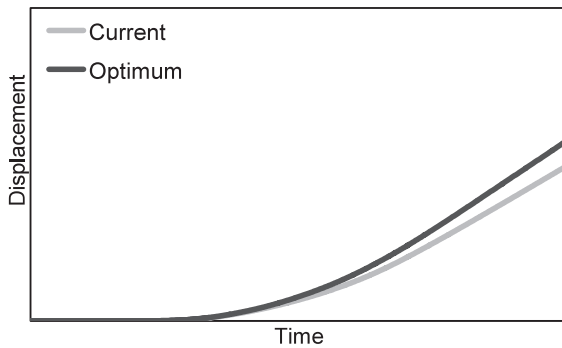


Fig.17 Spine Displacement of ES-2

## 6. 結論

本研究の目的は、新たに開発した側突用MADYMOモデルを用いて、内装の最適化をEuroNCAPモード等で用いられるES-2で行ったものである。以下に結論を示す。

- ① 遺伝的アルゴリズム的アプローチを用いた最適化で、ES-2ダミーの胸変形の平均値を現状比40%削減できた。
- ② 品質工学的アプローチを活用した結果、ベントホール及びTTF、腹部及び腰部のドア特性が胸変形の傷害値に対し、非常に感度が高い結果となった。
- ③ 品質工学的アプローチで、現状比胸変形の平均値を35%低減できた。
- ④ 遺伝的アルゴリズム及び品質工学的アプローチの双方ともそれぞれ優位点があり、必要に応じて使い分けか、双方を組み合わせるべきだと考えられる。
- ⑤ 本検討の前提条件では、胸変形を改善する最適解は、背骨の移動量を増加させたものとなった。

## 7. おわりに

今回の研究は、これまでMADYMOの適用例が少ない側突のシミュレーションで胸変形のみ注力した基礎的なものである。今後は、リアルワールドも視野に入れた様々な評価項目や人体の構造を踏まえ、すべての傷害が低減できるような挙動コントロールも検討し、引き続き傷害全般の低減を目指して更なる研究を行い、お客様に安心して乗って頂ける車作りに貢献していきたい。

## 参考文献

- (1) Ogawa et al. : A Test Methodology of Side Impact Simulation with Hydraulically Powered Crash Simulator, FISITA paper, F2004F187 (2004)
- (2) 元木ほか：側突クラッシュシミュレータによる衝突安全性能開発，マツダ技報，No.22，p.108-113 (2004)
- (3) Yan Fu : An Integrated Robust Design Method for Occupant Restraint System, IMCE paper, 2004-6179 (2004)
- (4) 田口玄一：ロバスト設計のための機能性評価，日本規格協会 (2000)

## 著者



金子直樹



元木正紀



田口征吾



尾川 茂

論文・解説

21

## 後側方障害物警報システムの開発 Development of Rear Side Obstacle Warning System

信時 宜和<sup>\*1</sup> 高橋 達朗<sup>\*2</sup> 清水 賢治<sup>\*3</sup>  
Yoshikazu Nobutoki Tatsuro Takahashi Kenji Shimizu  
松本 成司<sup>\*4</sup> 花田 充基<sup>\*5</sup>  
Seiji Matsumoto Yoshitsugu Hanada

### 要約

交通事故低減に貢献するため、前方領域のみならず、車両の後方・後側方領域にも注力して運転支援・予防安全技術の開発をこれまで進めてきた。そうした中、各市場環境にマッチした2つのタイプの後側方障害物警報システムの開発を完了し、現在、商品化展開を進めている。

一つは、車両後側方の近距離死角領域を検知範囲とするBlind Spot Monitoring (システム)、もう一つは、約50mまでの車両後方を検知範囲とするRear Vehicle Monitoring (システム)で、Blind Spot Monitoringは北米に、Rear Vehicle Monitoringは日本/欧州に展開している。これらのシステムは、24GHz レーダをセンサとして使用しており、その商品化は、国内メーカーとして初めてであるだけでなく、ほぼ同時期でのWorld-wideな商品化展開は世界初といえる。本論文では、黎明期にある24GHz レーダを使った2つの後側方障害物警報システムの概要について、それぞれ紹介する。

### Summary

To contribute to accident reduction, we promoted development of driving assistance and preventive safety technology focusing not only in front area but also in rear and rear side areas.

With this background, we developed two types of rear side obstacle warning system which suite each market environment and are currently proceeding with their commercialization. One type is Blind Spot Monitoring (system) whose detection range is close-range blind spot area at rear side of the vehicle and the other type is Rear Vehicle Monitoring (system) whose detection range is rear of the vehicle, up to approx. 50m away from the vehicle. Blind Spot monitoring introduction is for the U.S. and Rear Vehicle Monitoring introduction is for Japan/Europe. Those systems use the 24GHz radar as sensor and we are the first manufacturer in Japan to commercialize them and we are also the first in the world to roll them out globally around the same time. In this paper, we summarize each of the two types of rear side obstacle warning system with 24GHz radar at an early stage.

### 1. はじめに

近年、運転支援や予防安全技術の普及により、ここ数年間、日本の交通事故による死亡者数は、減少傾向にあるにも関わらず、負傷者数や事故発生件数は、依然増加傾向にある。<sup>(1)</sup>

こうした増加傾向に歯止めをかけ、事故低減に貢献するために、前方領域のみならず、車両の後方・後側方領域に

も注力して運転支援・予防安全技術の開発を進めてきた。

この度、その取り組みの中から、今後の普及が大いに期待される24GHzレーダをセンサとして使い、2つのタイプの後側方障害物警報システム (Blind Spot Monitoring, Rear Vehicle Monitoring) の開発を完了した。現在、Blind Spot Monitoringは、北米向けCX-9に、Rear Vehicle Monitoringは、日本/欧州向けアテンザにと、各市場環境に合わせて順次商品化を進めており、本論文にて、それぞ

\*1~5 車両システム開発部  
Vehicle System Development Dept.

れのシステムの概要について紹介する。

## 2. 後側方障害物警報システムの概要

### 2.1 市場の動向

米国では、車線変更時の事故は、事故全体の9.2%で4番目に多い日常的な事故として報告 (Fig.1<sup>(2)</sup>) されている。これは、車線数の多いハイウェイにおいて、多車線に渡る車線変更の機会が多いことなどが主因と考えられる。また、Fig.2<sup>(2)</sup>に見られるように、事故に際して、ドライバの視界を遮るものが特にない走行状態が約65%もあり、回避行動が取られていないという結果も得られる。このことから、ドライバ本人の確認不足や不注意が原因であると推測される。また、こうした状況は、交通環境が異なる欧州・日本においても同様な傾向にある。

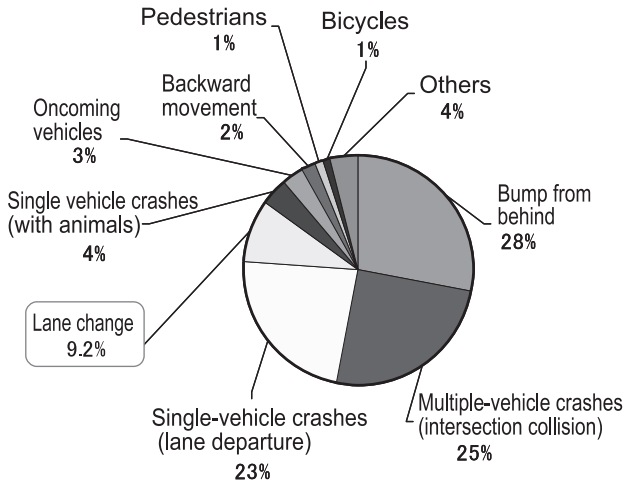


Fig.1 Accident Analysis Data by NHTSA in 2000

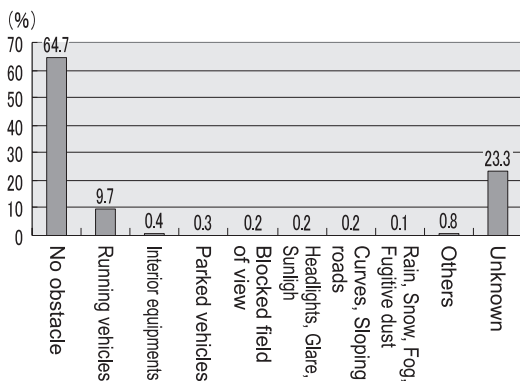


Fig.2 NHTSA Data: Factors Obstructing Driver's View at Accident Time

### 2.2 後側方障害物警報システムとは

後側方障害物警報システムとは、走行中に自車両後側の障害物の有無を検知し、車線変更により衝突の危険性がある場合、ドライバに対して警報を行い、注意を喚起する自立型運転支援システムである。

このシステムは、ドライバの運転負担を軽減し、不注意

動作をバックアップすることを目的としており、車線変更時の事故防止に効果的な手段と考える。

また、当社の調査結果やJ.D Powers, サプライヤの市場クリニックにおいても、事故防止に効果的な手段として高い商品アピール力があり、ユーザの購買意欲も高いシステムであることが報告されている。

### 2.3 障害物の検知範囲

後側方障害物警報システムは、ISOにてLCDAS (Lane Change Decision Aid Systems) として標準化活動が行われている。その活動の中で、検知範囲区分をType 1, Type 2, Type 3と分類した国際規格案ISO/DIS17387が提案されている。

Type 1の検知範囲 (Fig.3<sup>(3)</sup>) は、車両後方3mまでの後側方をAdjacent Zoneと定義し、この範囲を警報領域とする機能をBlind Spot Warningと規定している。

比較的相対速度差が小さく、多車線に渡る車線変更の機会が多い米国において有効なシステムと考える。

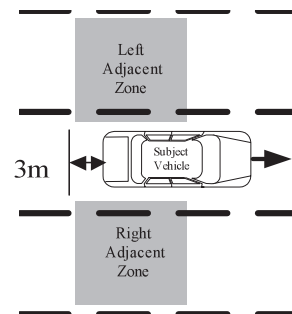


Fig.3 Coverage Zones of Type 1

Type 2の検知範囲 (Fig.4<sup>(3)</sup>) は、車両後方30mまでの後側方をRear Zoneと定義し、この範囲を警報領域とする機能をClosing Vehicle Warningと規定している。

相対速度の比較的大きい欧州のアウトバーン等で有効なシステムと考える。

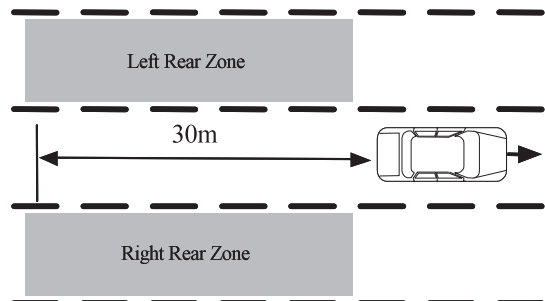


Fig.4 Coverage Zones of Type 2

Type 3は、Type 1とType 2を組み合わせたもので、この範囲を警報領域とする機能をLane Change Warningと規定している。以下に3つのTypeを検知範囲別にまとめた表 (Table 1<sup>(3)</sup>) を示す。

Table 1 Comparative Table of Type , ,

Type	Left Adjacent Zone Coverage	Right Adjacent Zone Coverage	Left Rear Zone Coverage	Right Rear Zone Coverage	Function
I	X	X			Blind Spot Warning
II			X	X	Closing Vehicle Warning
III	X	X	X	X	Lane Change Warning

2.4 センサ

後側方障害物警報システムのセンサとして、24GHzレーダを使用した。24GHzレーダは、現在ACC等で使用されている76GHzレーダに比べ、比較的安価なレーダとして知られている。24GHzレーダは、その放射周波数の帯域幅によって、大きく2つの方式に分けられる。

一つは、UWB (Ultra Wide Band) 方式である。特徴は、帯域幅が500MHz以上と非常に広いこと、高分解能であるが、帯域幅が広いことから既存無線システムとの干渉が懸念される。これを避けるため、平均送信電力を小さくしており、近距離での障害物検知用に向いている。

この方式は、FCC (Federal Communications Commission) や欧州委員会において、その使用が認められているが、日本では、まだその使用は認められていない。しかし、現在、ITU-R (International Telecommunication Union - Radio communications Sector) の勧告に基づき、日本においても法制化の検討が進められている。

もう一つは、ISM (Industrial Science Medical) Band方式である。これは、24.05GHzから24.25GHzの範囲 (帯域幅 = 200MHz) で世界的に認められている。この方式は、UWBレーダに比べて、出力が比較的大きく取れることから中距離向きと考える。なお、日本では、電波法上、200MHzの約1/3である76MHzの帯域幅しか占有周波数として認められていない。

今回、後側方障害物警報システムのセンサとして、UWBとISM Band双方のレーダを各市場の電波法と走行環境を考慮し、使い分けて商品化した。具体的には、Type

の機能を有するシステムは、UWBレーダを使用して米国に、Type の機能を有するシステムには、ISM Bandレーダを使用して日本 / 欧州に導入した。

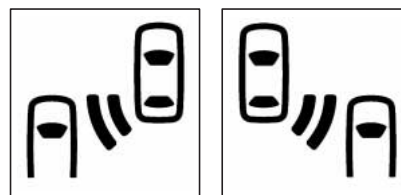
2.5 警報機能

衝突事故を未然に防止するシステムとして、障害物の検知性能を確立するだけでなく、検知結果をドライバーに煩わしく感じさせることなく、的確に伝えることが必要である。そのため、本システムの警報において、HMI開発を重要な位置付けと考え、下記の3点に注力して開発した。

(1) 警報アイコンの認知性

システムを表示するアイコンは、ユーザの誰もがそのアイコンを見ることにより、その機能を視覚的に理解できる

ことが必要である。よって、後側方障害物警報システムのアイコンとして、今後、世界的にその採用が予想されるISO2572で承認されたK17A (Fig.5)を採用した。また、本システムの警報アイコンにもこのアイコンを採用した。



Left side icon Right side icon

Fig.5 Icon

(2) 警報アイコンの視認性

本システムは、あくまでもドライバーの運転支援システムであり、車線変更する時は、これまでと同様に、必ず、アウトミラーを見ること、そして、目視にて障害物の有無を確認することが必要である。

そうしたドライバーの運転動作において、警報アイコンは、アウトミラーに視線移動すると、自然にドライバーの目に入ることが重要と考え、各国の保安基準に準じて、その表示位置を決定した。具体的には、米国に導入したBlind Spot Monitoringはアウトミラー内に設定し (Fig.6)、欧州 / 日本に導入したRear Vehicle Monitoringは、Aピラーのセルガーニッシュ部 (Fig.7) に設定した。



Fig.6 Display Position of Blind Spot Monitoring



Fig.7 Display Position of Rear Vehicle Monitoring

(3) 警報手段

ドライバーに対する警報は、必要以上に注意喚起すると不快感を与えるだけである。後側方の障害物の状況とドライバーの運転動作を考慮し、下記の通り、緊急度に応じた警報手段を採用した。

① 1次警報 (報知)

・車線変更を想定した時、左右の隣レーンを走行する車両と衝突する可能性があると判断した場合、警報アイコン、もしくは警報アイコン近くのLEDを点灯させる。ドライバーへの危険報知の位置付けである。

② 2次警報 (警告)

・1次警報時にウィンカーを出した場合、警報アイコン、もしくは警報アイコン近くのLEDを点滅させると同時

に、ブザーを吹鳴させる。ドライバへの車線変更中止を知らせる警告の位置付けである。

以下に、後方障害物警報システムとして、米国及び欧州/日本に導入している両システムについて、各々その概要を説明する。

### 3. Blind Spot Monitoring

#### 3.1 Blind Spot Monitoringのシステム概要

本システムは、ISO/DIS117387のType で規定されている自動車両背面端の3m後方ラインを、更に後方に拡大し、約7mまでの後側方を検知範囲とした。このシステムは、検知範囲内に対象車両がいる場合に警報を行うが、この機能は、自車速が20miles/h以上で作動する。Fig.8-13に主な走行シナリオでの警報の有無(ON/OFF)を示す。

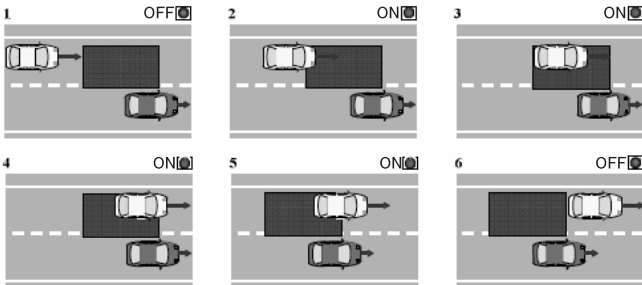


Fig.8 Target Overtakes Subject

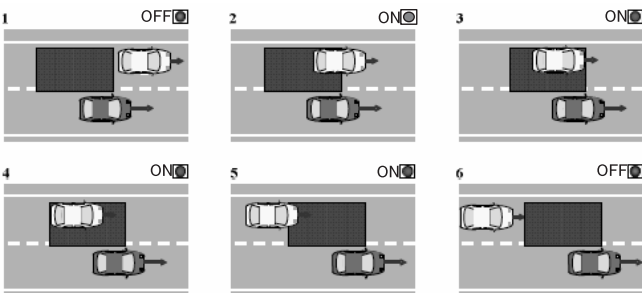


Fig.9 Subject Overtakes Target

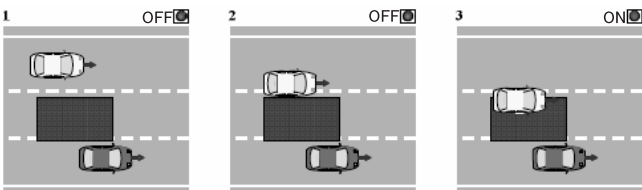


Fig.10 Merge-In

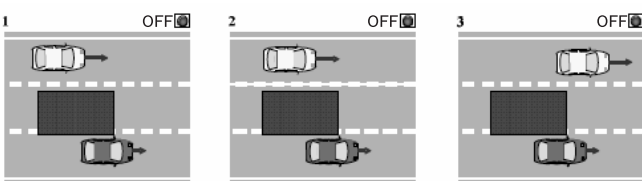


Fig.11 Object in the 3rd Lane

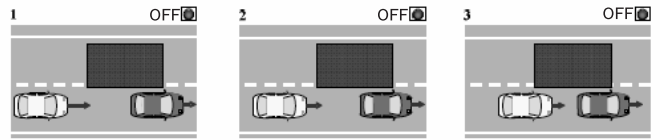


Fig.12 Object in the Same Lane

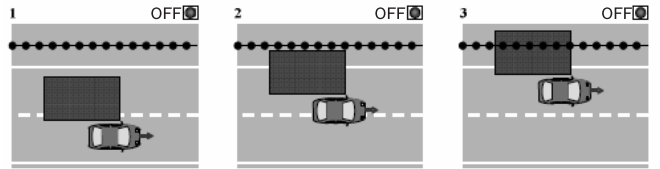


Fig.13 Guardrail

#### 3.2 Blind Spot Monitoringのシステム構成

Fig.14にシステムのハードウェア構成とそのレイアウト場所を示す。24GHzレーダは、左右のリア・バンパ部の背面にそれぞれ一つずつ装着した。アウトミラー内に設定した警報用アイコンは、前述の1次、2次の警報条件に応じて、ミラー背面のLEDを通して点灯/点滅する。

その他の構成要素に、メインSW、インジケータ、ブザー、舵角センサがある。車速など対象車両検知に必要な車両情報はCAN通信を通して情報を得る。

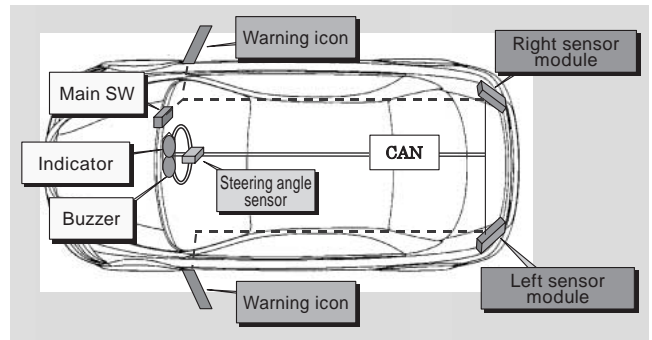


Fig.14 System Structure

#### 3.3 Blind Spot Monitoring用24GHzレーダ

Blind Spot Monitoringに使用している24GHzレーダは、24.25GHzから24.75GHzを放射帯域とする帯域幅500MHzのUWBレーダを使用している。左右各々のレーダは、ビームとビームの2つの放射ビームを持っており、これにより、センサの検知感度領域は、設定した検知範囲を十分にカバーする(Fig.15)

この二つのビームは、パルス化周波数ホッピングとパルス化FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave)の変調方式の併用方式を採用している。受信アンテナにより、放射ビーム内にある移動する全ての車両が検知できる。

ビームには、二つの受信アンテナを持たせ、FMCWの位相モノパルス方式を採用した。これにより、対象車両の水平角度位置を認識することができる。

ビームには、追い越そうとする後方車両を迅速に検知

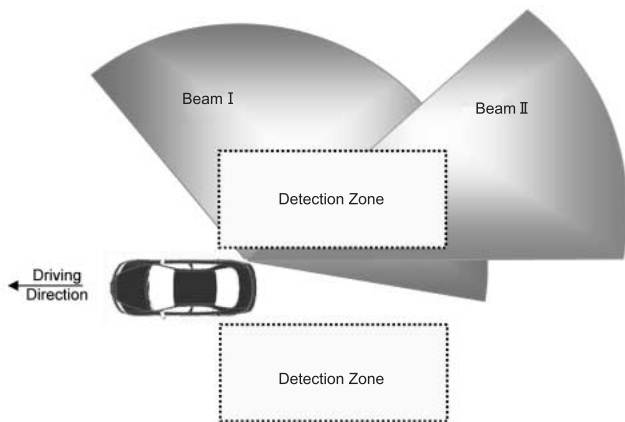


Fig.15 Detection Zones

することを主目的に、後方に対して、ビームより検知距離の長い、そして指向特性の鋭いアンテナを使用した。

Fig.16に外観図とアンテナ形状を示す。



Fig.16 External View and Antenna Geometry

### 3.4 位相モノ・パルス方式

反射物の水平角度位置を検出するために、ビームに距離： $d$ だけ離れた2つの受信アンテナを設定した。水平角度位置検出の原理図をFig.17<sup>(1)</sup>に示す。

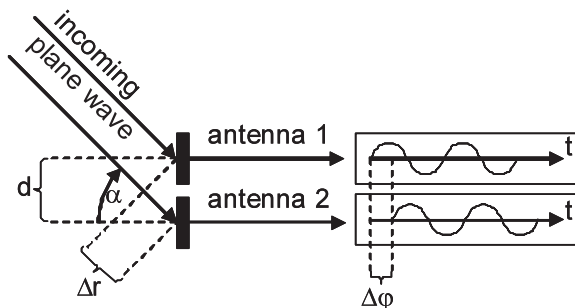


Fig.17 Phase Mono-pulse Principle

これは通常、位相モノ・パルス方式と呼ばれており、二つのアンテナで受信された二つの信号の到達位相差から反射物の角度位置： $\alpha$ が次式で計算される。

$$\alpha = \arcsin \frac{\Delta\varphi \cdot \lambda}{2\pi \cdot d} \quad (1)$$

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta r \cdot 2\pi}{\lambda} \quad (2)$$

## 4 . Rear Vehicle Monitoring

### 4.1 Rear Vehicle Monitoringのシステム概要

本システムは、ISO/DIS117387のType で規定されている検知範囲を、更に後方に拡大し、自車両の背面端から約50mまでの後側方を検知範囲とした (Fig.18)。

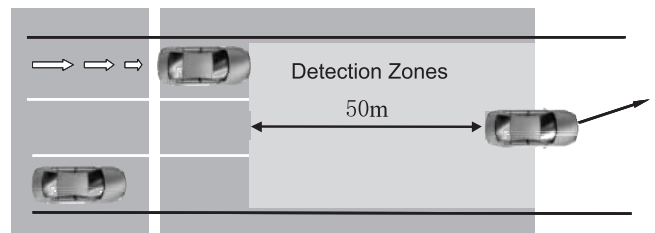


Fig.18 Detection Zones

このシステムは、検知範囲内にある対象車両が、設定した衝突予測時間 (Time to Collision) 内に自車後側方に侵入し、車線変更する時に衝突する可能性がある場合に警報することを主な機能としている。

ISOでは、これをClosing Vehicle Warning Functionと定義している。本システムでは、この機能は、車速60km/h以上で作動する。

### 4.2 Rear Vehicle Monitoringのシステム構成

Fig.19にハードウェア構成とそのレイアウト場所を示す。24GHzレーダを左右のリア・バンパ部の背面にそれぞれ一つずつ装着した。

本システムは、Blind Spot Monitoringに比べて後方にレーダを放射させる必要があるため、本レーダの取付けを後方に向けた。

警報用アイコンは、Aピラーのセルガーニッシュ部に設定し、警報アイコン下のLEDが、警報条件に応じて点灯/点滅する。その他の構成要素に、メインSW、インジケータ、プザー、ヨーレートセンサがある。特に、このヨーレートセンサは、道路の曲率を算出するために使用し、車速などのCAN通信を通して得た車両情報を参考にしながら、後側方対象物の走行車線を明らかにする役割を持っている。

### 4.3 Rear Vehicle Monitoring用24GHzレーダ

Rear Vehicle Monitoringの24GHzレーダには、ISM Bandのレーダを使用している。本レーダが使用している帯域幅は、欧州では100MHzであるが、日本では電波法上から76MHzに抑えた。理論的には、100MHzから76MHzに帯域幅を狭めたことにより、障害物の分離性能 (= Separability)

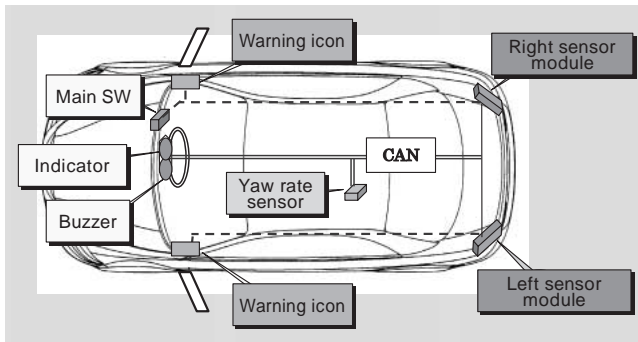


Fig.19 System Structure

は悪化するが、アルゴリズムなどの改善により、市場で十分に満足できる警報性能を確保した。

また、Blind Spot Monitoringレーダと同様に、反射物の水平角度位置を検出する位相モノ・パルス方式を採用している。

レーダの放射方式には、FMCW方式の一種であるFMSK (Frequency Modulated Shift Keying) 方式 (Fig.20<sup>5)</sup>) を採用している。これは、これまでCW方式としてよく知られている2つのLFM (= Linear Frequency Modulated) 方式とFSK (Frequency Shift Keying) CW方式を組み合わせたものである。

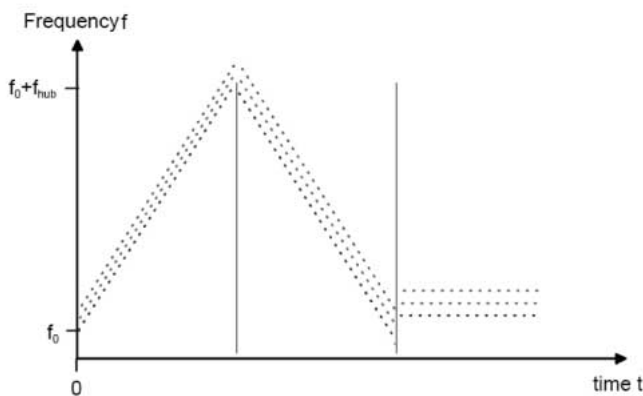


Fig.20 Transmit Waveform

本レーダの外観図とアンテナ形状をFig.21<sup>6)</sup>に示す。また、Fig.22にハードウェア構成を示す。

このレーダは、RF BoardとDSP Boardからなる。

RF Boardは、VCO (電圧制御発振器)、PLL (位相ロックループ)、AMP (アンプ)、Mixer (Mixer) と平面パッチアンテナから構成している。

DSP Boardは、VCOを制御するPWMやアンテナから受信しRF BoardのAMPやMixerで処理された信号を受けるAD-Converter、RAMを持ったSignal Processorなどから構成している。

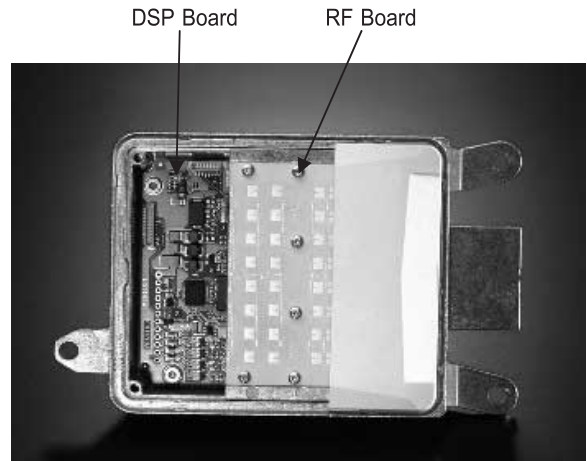


Fig.21 External View and Antenna Geometry

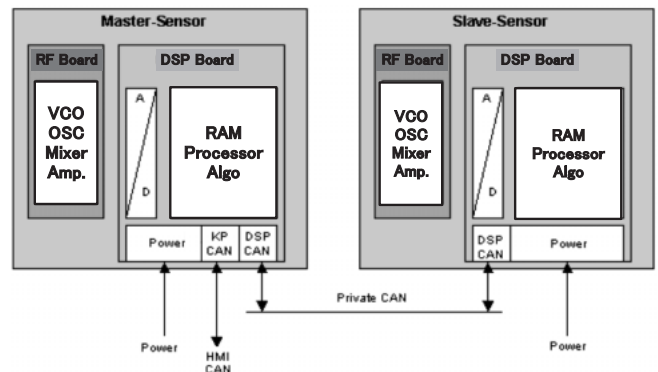


Fig.22 Hardware Architecture

## 5. おわりに

後方及び後側方におけるドライバの運転支援・予防安全技術領域をRear Active Safetyと定義し、Lane Drive AssistとParking Drive Assistの2つに分けて開発を進めている。今回紹介したシステムは、Lane Drive Assist領域のシステムである。

センサとして、2つの24GHzレーダをそれぞれ採用したのは、欧州、米国、並びに日本の規制動向を見極めながら、この安全支援システムの普及を目指したためである。順次、商品化を進めており、より多くのお客様に安心して運転できる環境を提供できることに喜びを感じている。

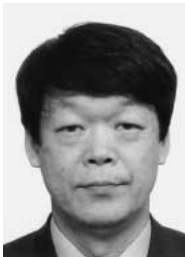
また、もう一方のParking Drive Assist領域においても、画像処理技術をコアとした安全支援システムの商品化も進めている。

こうしたキー技術を開発していくと同時に、更に、レーダ技術と画像処理技術とをコアとしたフュージョン技術の開発や分かりやすいHMI開発により、ドライバが「見えない」、「見にくい」、「見えていても気づかない」といった不安要素の改善を推し進め、お客様により満足して頂ける商品の開発に貢献していく覚悟である。

## 参考文献

- (1) 警察庁交通局交通企画課：平成18年版交通事故統計年報
- (2) National Highway Traffic Safety Administration : Analysis of Light Vehicle Crashes and Pre-Crash Scenarios Based on the 2000 General Estimates System ( 2003 )
- (3) ISO/TC 204 : DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 17387, Intelligent Transportation Systems - Lane Change Decision Aid Systems - Performance requirements and test procedures
- (4) Dr. Karl-Heinz Glander : Siemens 24GHz Radar - Blind Spot Detection, 14th World Congress on Intelligent Transportation Systems ( 2007 )
- (5) s.m.s : Project Documentation Architecture of the UMRR Sensor ( 2007 )
- (6) Norbert Kost, et al. : 24GHz Radar Sensors for Driver Assistance Systems, ATZ Elektronik ( 2006 )

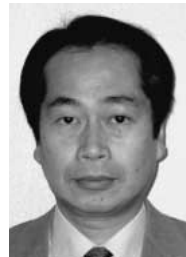
## 著 者



信時宜和



高橋達朗



清水賢治



松本成司



花田充基



論文・解説

22

## 車車間通信を利用した安全運転支援システムの開発 Development of Safe Driving Assistance Systems with Inter-vehicle Communications

山本雅史<sup>\*1</sup> 岩下洋平<sup>\*2</sup> 藤田健二<sup>\*3</sup>  
Masashi Yamamoto      Youhei Iwashita      Kenji Fujita

### 要約

出会い頭事故や右左折時の衝突事故など交差点で発生する事故は、車載センサで交差車両や対向車を発見することが難しい場合が多く、自律型の安全運転支援システムでは対応が困難である。そこで、車同士が無線で情報交換を行う「車車間通信」を利用した安全運転支援システムの研究開発が進められている。

我々は、車車間通信を利用した安全運転支援システムにおけるキー技術の一つである、衝突判定アルゴリズムを開発することを目的に、出会い頭衝突防止支援や右折衝突防止支援など7つの支援機能を持つ車車間通信利用型安全運転支援システムを開発し、検証実験を行った。本稿では、開発したシステムの概要と、ナビゲーションシステムの道路地図データベースを利用して衝突判定を行うアルゴリズムとその検証結果を報告する。

### Summary

Since it is not easy for onboard sensors to detect oncoming and crossing vehicles at intersections, it is difficult for autonomous driving assistance systems to prevent crossing collisions and right-turn/left-turn collisions. Thus, Japanese auto manufacturers are studying safe driving assistance systems with inter-vehicle communication technology.

In order to develop an algorithm for collision judgment that is one of the key technologies of safe driving assistance systems with inter-vehicle communications, we developed a test vehicle equipped with seven safe driving assistance systems such as a right turn collision prevention system and a crossing collision prevention system. This paper describes an overview of the systems. Test results are reported with a description of the algorithms utilizing digital road map database of a conventional navigation system.

### 1. はじめに

日本では、交通事故の死者数は減少傾向にあるものの、事故の発生件数はここ数年90万件前後で横ばいしており、依然として大きな社会問題となっている。事故件数を事故類型別に見ると、出会い頭事故や右左折時の衝突事故など交差点で発生する事故の割合が約40%と高いという特徴がある。ところが、これらの事故では車載センサで危険事象を発見することが難しく、自律型の安全運転支援システムでは対応が困難である。そこで、国土交通省が主導し、自動車メーカー全社が参加するASV (Advanced Safety

Vehicle : 先進安全自動車) プロジェクトにおいて、車同士が互いに無線通信を行うことで情報を交換する「車車間通信」を利用した安全運転支援システムの検討が行われている。これは、車載センサの検知エリア外に存在する他車両と通信を行うことで、見えにくい接近車両の情報を事前にドライバーに伝えたり、交差点で出会い頭に衝突する危険性がある場合に注意を喚起したりすることを狙いとしている。

効果的でドライバー受容性の高いシステムとするために、システムは通信内容をもとに危険状況を認識し、適切なタイミングでドライバーに情報を提供しなければならない。こ

\*1~3 技術研究所  
Technical Research Center

のためには、無線で情報を交換している多数の車両の中から衝突可能性のある車両を抽出するとともに、相手車両が到達するまでの時間（以下、到達時間）を正確に算出することが重要課題の一つである。従来研究では、カーブしている道路が交わる交差点や立体交差で、誤判定をしたり衝突判定が不正確になったりする問題がある。そこで、道路形状・構造に依存しない衝突判定を実現するために、ナビゲーションシステムのデジタル道路地図データベース（以下、DB）から得られる道路属性情報を利用する方法に着目した。

我々は、ASVプロジェクトに参加しながら車車間通信を利用した安全運転支援システムの研究開発に取り組んでおり、システムを搭載した実験車を開発、検証実験を通してアルゴリズム検証やドライバ受容性の評価を行ってきた。本稿では、出会い頭衝突防止システムに焦点をあてて、デジタル道路地図DBを利用して出会い頭に衝突する可能性のある車両を抽出する方法と、デジタル道路地図の位置誤差を補正することで到達時間の精度を向上させる方法について述べる。また、アルゴリズム性能の検証結果を報告する。

## 2. 実験システムの構成

ASVプロジェクトでは、車車間通信を利用した安全運転支援システムのコンセプト設計を行い、Table 1に示す7つのシステムを提案した。更に、車車間通信システムの要件、通信データ内容の検討などを行ったうえで、2005年7月から10月に（独）北海道開発 土木研究所 苫小牧寒地試験道

路で実験を行い、7システムの機能検証を行った。本章では、車車間通信システムと実験車システムについて述べる。

### 2.1 車車間通信システム

システム検証実験を行うにあたり、ASVプロジェクトにおいて、実験に用いる車車間通信機を設計した。主要な仕様をTable 2に示す。必要な通信エリアは、交通事故統計データから得られる事故発生直前の速度分布の上限値、ドライバに情報提供の際に必要な時間、情報提供に対するドライバの反応時間、平均減速度を用いて、対象事故シーンごとに停止に必要な距離から求めた。その結果、7つのいずれのシーンでも満足する通信エリアとして、見通しの良い直線道路では410m、見通しの悪い交差点では200m + 25mと設定した（Fig.1）。

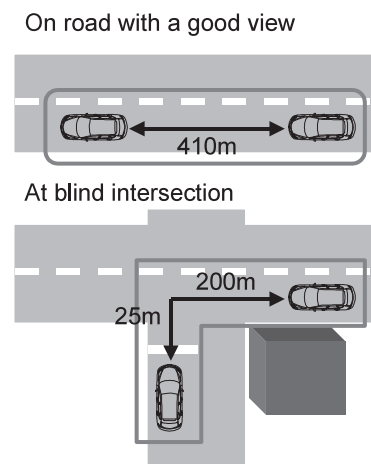


Fig.1 Communication Range

Table 1 Driving Assistance Systems with Inter-vehicle Communications

Place where system is activated	Safe driving assistance systems
On roads	Head-on collision prevention advisory system
	Lane changing collision prevention advisory system
	Multiple pileup prevention advisory system
At intersections	Right-turn collision prevention advisory system
	Left-turn collision prevention advisory system
	Crossing collision prevention advisory system
	Crossing pedestrians collision prevention advisory system

Table 2 Specification of Inter-vehicle Communications

Transmission method	Constantly broadcast, CSMA (Carrier Sense Multiple Access)
Communication band	5.8GHz-band
Minimum communication cycle	100ms
Communication data size	100bytes
Contents of communication data	ID, vehicle type, position (latitude and longitude), direction, velocity, driver's operation information such as turn signal and brake pedal, etc.



Fig.2 Test Vehicle



Fig.3 Onboard Antenna



Fig.4 Information Display

## 2.2 実験車システム

マツダASV-3実験車 (Fig.2) に、車車間通信機とアンテナ (Fig.3)、ナビゲーションシステム、メインコントローラを搭載した。システム構成図をFig.5に示す。車車間通信機を用いることで、他車両と位置、方位、速度などの情報を送受信することが可能となる。また、ナビゲーションシステムに自車両及び他車両の位置情報 (緯度・経度) を入力すると、道路地図DBを参照して、当該車両が走行している道路に関する情報を出力できるように改造した。また、ドライバーへの情報伝達手段としてナビゲーションシステムのディスプレイとスピーカを使用した。音声でメッセージを伝えるとともに、ディスプレイの地図上に自車両とともに他車両のアイコンを表示できるようにした (Fig.4)。

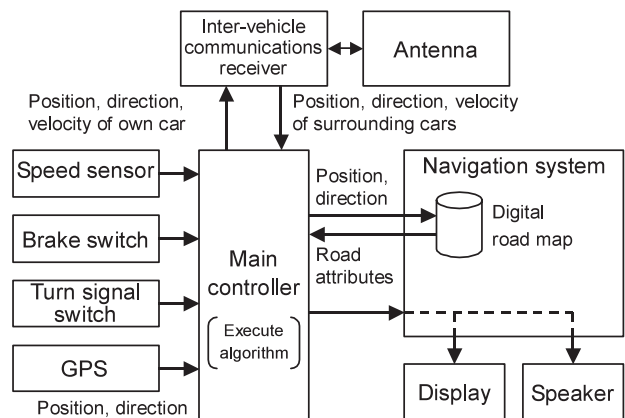


Fig.5 System Configuration

## 3. 車車間通信を利用した安全運転支援システム

本章では、出会い頭衝突防止支援システムを例として、交差点における交差車両との衝突判定について述べる。

### 3.1 システム機能の概要

はじめに、出会い頭事故衝突防止システムの支援機能を説明する (Fig.6)。システムを搭載した車両が、信号のない交差点の一時停止線で停止したとき、このシステムの機能が起動する。システムは通信相手車両の中から接近する優先車両を抽出し、その車両が交差点に到達するまでの時間を算出する。到達時間がある所定値以内になった時点で、音声メッセージとともにディスプレイ上に交差車両のアイコンを表示することで、ドライバーに注意を喚起する。

### 3.2 取り組む課題

従来研究として、通信で受信した相手車両の位置、速度、ヨーレートから将来軌跡を推定することで交差車両との衝突を判定する研究がある<sup>(1)~(3)</sup>。これらの研究で用いられている方法では、直角に交わる交差点では比較的精度よく衝突の判定と到達時間の算出が可能であるが、カーブしている道路が交わる交差点 (Fig.7のケース1) や立体交差 (Fig.7のケース2) では、誤判定をしたり衝突判定が不正確になったりすることがある。これは、カーブ走行中の車両の将来軌跡を正確に推定することが難しいこと、道路の立体構造に対応できないことが原因である。これを解決するためには、走行道路の情報が有用であると考えられる。

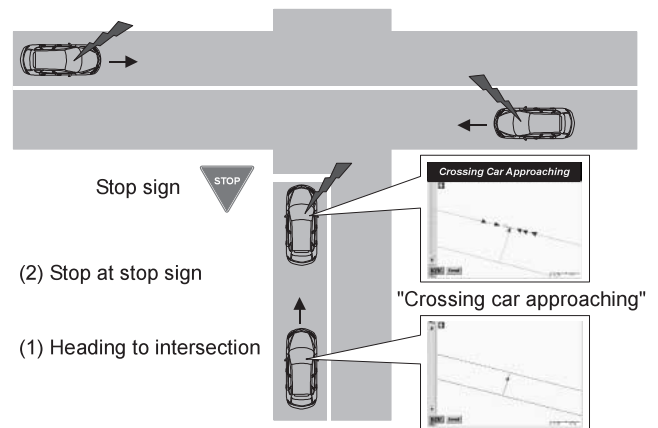


Fig.6 Crossing Collision Prevention Advisory System

そこで、ナビゲーションシステムの道路地図DBから取得した自車両及び他車両が走行する道路の情報を利用して、将来経路が交錯するか否かを判定し、交差車両を抽出するアルゴリズムの開発に取り組んだ。

また、交差車両の到達時間から注意喚起のタイミングを算出するにあたって、道路地図DBから道のり距離を求める必要がある。しかし、道路地図DBの誤差に起因する道のり距離誤差のため、注意喚起のタイミングがずれる問題がある。そこで、道のり距離の誤差を補正するアルゴリズムの開発に取り組んだ。

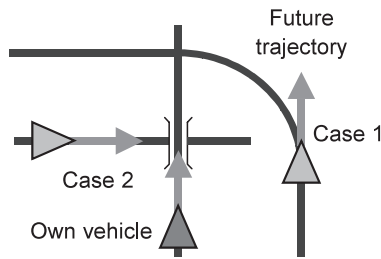


Fig.7 Issues of Future Trajectory Method

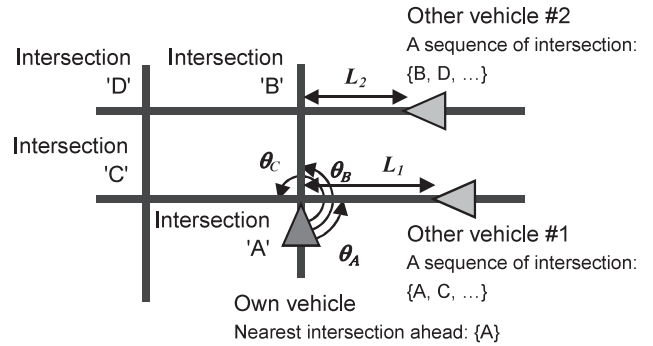


Fig.8 Collision Judgment with Road Attributes

3.3 交差車両検出アルゴリズム

メインコントローラの演算能力上、処理できる車両の数には制限があるため、自車両と各通信相手車両の位置情報を用いて直線距離を算出し、自車両周辺の車両について以下の処理を行う。

実験システムのナビゲーションシステムに車両の位置情報（緯度・経度）を入力すると、道路地図DBを参照して進行路前方の交差点に関する情報（交差点の座標位置、交差点までの距離、交差点に接続する道路の交差角度など）を獲得することができる。まず、自車両の位置情報をナビゲーションシステムに入力し、直近交差点の情報を獲得する。次に、車車間通信で得た周辺車両の位置情報を入力し、各周辺車両の前方経路上に存在する交差点に関する情報を得る。自車両の直近交差点（Fig.8の交差点A）が、各周辺車両の前方交差点列に含まれるかを探索することで、交差点に接近する車両を特定できる。次に交差点に向かってくる車両の方位と接続道路の方位（自車両の方位+道路の交差角度）を用いて、その車両がどの道路から接近してくるかを求め、交差道路を交差点に接近してくる車両を特定する。

以上のようにして抽出した接近車両について、道路地図DBから得た交差点までの道のり距離と車車間通信で受信した車速に基づき、到達時間を算出する。

3.4 道のり距離の誤差補正

道路地図DBから得た交差点までの道のり距離は、実際

の距離よりも長く、誤差があった。我々は、誤差が発生する要因を次のように考えた。一般的なナビゲーションシステムの道路地図DBは、ノードとリンクで表現されている。Fig.9に示すように、ノードの位置が実際の道路位置からずれており、リンク長が実際の道のり距離よりも長くなる。このため、道路地図DBから得た交差点までの道のり距離が実際の距離よりも長くなると想定される。そこで、ノードの誤差分布に基づいて実際の道のり距離を見積もることで、道のり距離の誤差を補正するアルゴリズムを開発した。

ノードが、実際の道路をn等分するように配置されており、各ノードが誤差 xを含んで分布していると仮定し、誤差を見積もるモデルを設計した。このモデルにおいて、両端のノードが道のり方向の外側に位置し、中間のノードが道のりに対して垂直方向に、かつ、奇数番めのノードと偶数番めのノードが互い違いとなるように位置しているとき、リンクL1~Lnの長さの和は最大となる。このとき、式(1)が成り立つ。

$$L + \Delta L = 2 \sqrt{\left(\frac{L}{n} + \Delta x\right)^2 + \Delta x^2} + (n-2) \sqrt{\left(\frac{L}{n}\right)^2 + (2\Delta x)^2} \quad (1)$$

ここで、Lは実際の道のり距離、Lは道のり距離の誤差、nはリンク数、xはノードの位置誤差の標準偏差である。右辺第1項は、両端リンクのリンク長を、右辺第2項は中間リンクのリンク長を表している。式(1)に事前に実験

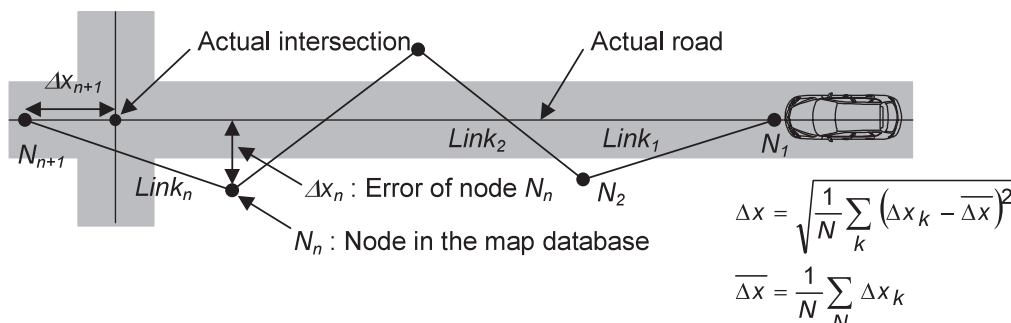


Fig.9 Location Errors of Nodes

$$\Delta x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_k (\Delta x_k - \overline{\Delta x})^2}$$

$$\overline{\Delta x} = \frac{1}{N} \sum_k \Delta x_k$$

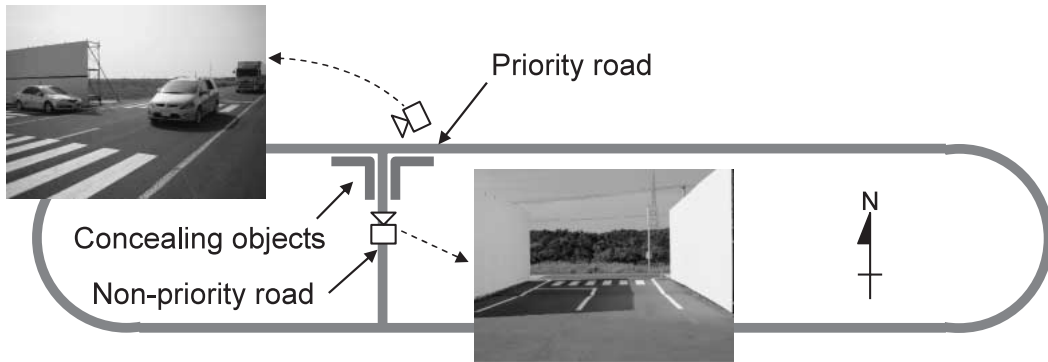
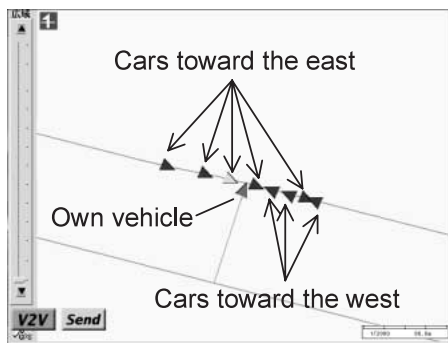
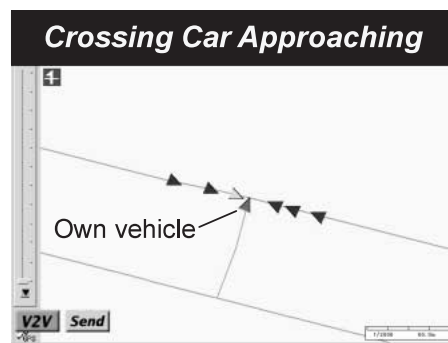


Fig.10 Test Site



(a) Every vehicles around is displayed



(b) Only approaching vehicles are detected

Source: Sumitomo Electric System Solutions Co., Ltd.

Fig.11 Detected Cars on Collision Course

で求めたノードの位置誤差の標準偏差を  $x$  に代入することで、実際の道のり距離を推定した。

#### 4. 検証実験

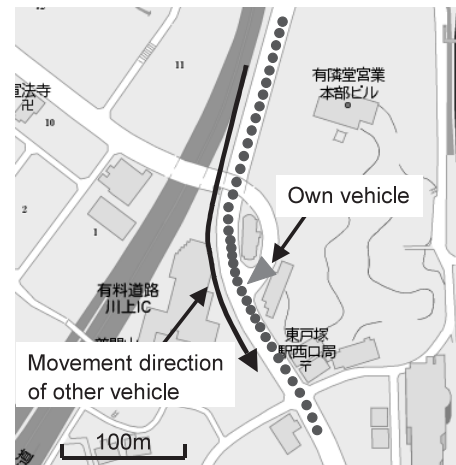
本章では、アルゴリズム検証実験の結果について述べる。

##### 4.1 交差車両検出アルゴリズムの検証

アルゴリズムの機能検証を行うために、テストコースの実験サイトで実験を行った。Fig.10に実験サイトの概略を示す。外周路を優先道路に見立てた、信号のない交差点を模擬した実験サイトを設営した。交差点には遮蔽物を設置し、優先道路の様子が確認しにくい状況を作った。

外周路を複数の車両を走行させ、接近する交差車両を検出できるか検証した。Fig.11 (a) は、ディスプレイの道路地図上に全ての周辺車両が表示されている様子を示す。交差道路には、東進する車両が5台、西進する車両が3台あった。この場合に、アルゴリズムがどのように機能するかをFig.11 (b) に示す。この図より、本アルゴリズムにより接近する車両のみが選別され、遠ざかる車両は削除されていることが分かる。以上のように、アルゴリズムは実時間で接近する交差車両を検出できることが確認できた。

次に、実道路を走行して収集したデータを用いて、アルゴリズムの機能検証を行った。データ収集場所として、従来方法では正確な衝突判定が困難である「カーブした道路が交わる交差点」を選んだ (Fig.12)。非優先側道路の停



Source: Google Maps

Fig.12 Functional Verification in Real Field

止線で一旦停止した状態の自車両、及び、優先側道路を40km/h前後で交差点に向かって走行したときの相手車両それぞれについて、緯度、経度、方位、速度のデータを収集し、オフライン処理でアルゴリズムの機能を確認した。

本アルゴリズムで算出した交差点までの道のり距離、到達時間を表したグラフをFig.13に示す。また、注意喚起を発報したときのディスプレイ表示の様子をFig.14に示す。これらの図から、本アルゴリズムは、相手車両の交差点までの道のり距離と到達時間を算出し、算出した到達時間に基づいて注意喚起を行うことができていることが分かっ

た。このことは、カーブした道路が交わる交差点においても、本アルゴリズムは接近する交差車両を正しく検出できることを示しており、道路形状に依存せず正しく衝突判定できることが確認できた。

4.2 道のり距離の誤差補正の検証

位置誤差を補正しない場合、道路地図DBから算出した交差点までの道のり距離の誤差は、交差点から200m付近で約22mであったが、アルゴリズムを適用することで約6mに減少させることができた。これにより、約60km/hで走行している場合で注意喚起のタイミングが平均1.0秒遅れていたものを、0.3秒以内の遅れにすることができた (Fig.15)。この結果より、本アルゴリズムで道のり距離を補正することができ、注意喚起タイミングを大幅に改善できることが分かった。

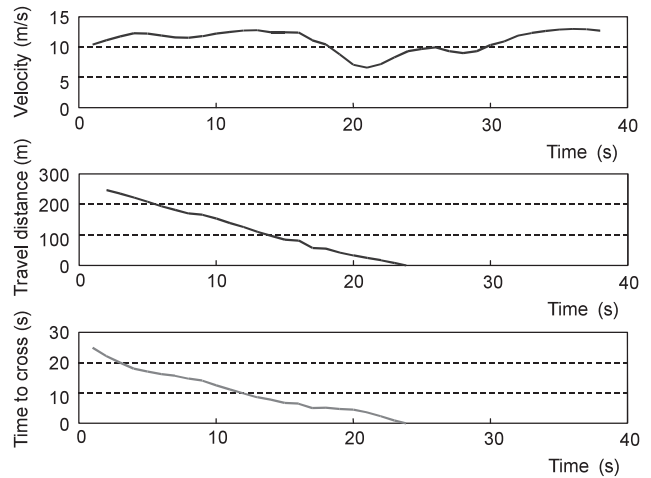


Fig.13 Calculate Time-to-Cross

5. まとめ

本稿では、ナビゲーションシステムの道路地図DBから得られた道路の属性情報を利用して、交差車両を検出するアルゴリズムと、道路地図DBの位置誤差に起因する道のり誤差を補正するアルゴリズムについて述べた。アルゴリズムは、道路形状に関わらず周辺車両の中から交差点に接近する車両を正確に検出し、交差車両の到達時間を補正できることが分かった。本アルゴリズムを安全運転支援システムに適用することで、注意喚起のタイミングが適切で、ドライバ受容性の高いヒューマン・マシン・インターフェースを構築できる可能性があると考えられる。

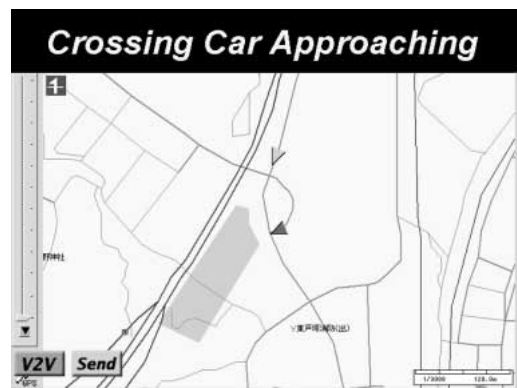


Fig.14 Detected Car in Real Field

参考文献

- (1) Qingfeng Huang, et al. : Development of a Peer-to-Peer Collision Warning System, Ford Technical Journal, Vol.5, No.2 (2002)
- (2) Ronald Miller, et al. : An Adaptive Peer-to-Peer Collision Warning System, Vehicular Technology Conference, VTC Spring 2002. IEEE 55th, pp.317-321 (2002)
- (3) Hidetaka Miyatake, et al. : Prevention method of head-on collision using inter-vehicle communication in VHF region, Proceedings of 7th ITS World Congress, Paper No. 3190 (2000)

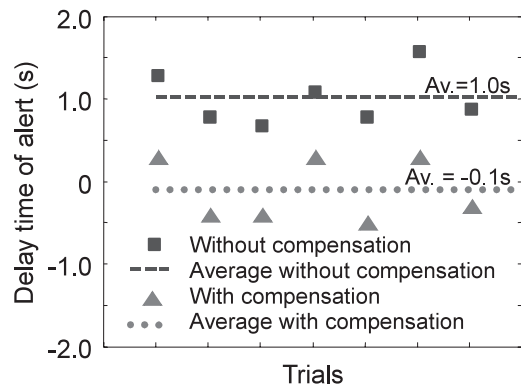
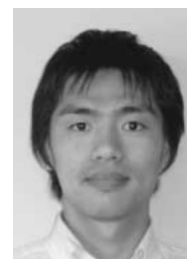


Fig.15 Effect of Compensation

著者



山本雅史



岩下洋平



藤田健二

論文・解説

23

## CADテンプレートを活用したレイアウト品質向上と効率化 Layout Quality Improvement and Efficiency Improvement were Achieved by Using CAD Template

佐々木 和也<sup>\*1</sup> 平島 喜生<sup>\*2</sup> 今井 洋子<sup>\*3</sup>  
Kazuya Sasaki Yoshio Hirashima Youko Imai

### 要約

マツダの新車開発における、車両レイアウト活動の基盤となっているのが“フレームライン”と呼ばれる車体骨格3次元CADデータである。このフレームラインを、新世代のCADソフトが備えるモデリング履歴機能とナレッジ機能を活用して、設計基準に従った高速モデラー及び、生成されたデータによる設計・生産要件の評価・検証ツールを合わせてテンプレート（雛形）化した。それを新車開発に適用することにより、新デザインに沿った検証済みのフレームラインを短納期にリリース可能にし、車両レイアウト活動にそれを供給することでレイアウト品質向上と効率化に貢献した。

### Summary

In a new model development, so-called “ frame line ”, which is 3D CAD data of body frame, serves as the basis of vehicle layout activity. By utilizing modeling history functions and knowledge functions of new-generation CAD software, a template was created with this “ frame line ” combined with high-speed modeler complying with design standard and evaluation/verification tools for design/manufacturing requirements. By applying the template to new model development, already-verified frame line complying with new design was released in a short period of time and was supplied to the vehicle layout activity so as to contribute to improving layout quality and efficiency.

### 1. はじめに

昨今のユーザの多様化するニーズに応えた高品質な商品を他社よりも早く提供するためには、開発の効率化と品質向上の両立が必須である。新車開発のフロントローディングにより早期から品質を上げ、最終出図図面の完成度向上が求められている。全社で共有する車体骨格3次元CADデータを基盤に開発を行っているマツダにとって、このデータの作成期間はクリティカルパスとなっている。我々は可能な限りの作成期間短縮を実現し納期の早期化に取り組んでいる。

MDI (Mazda Digital Innovation) 方針の下、開発の効率化、品質向上を目指し、最新CADのベンチマークを実施

した。車体骨格3次元CADデータの領域は2001年頃から3次元データ作成用CADの検証活動を開始し実務検証の結果、最適な市販CADを選定し導入した。2003年にはプレマシーの一部に実務適用し、続いて新型MPV、CX-7で適用範囲を広げ、2004年のCX-9以降の車種（新型デミオなど）は全領域の車体骨格3次元CADデータを市販CADで作成している。

このデータを“フレームライン”と呼んでいる。その作成する部位は車種タイプ、プロジェクトなどによって多少異なるが、一車種約60部位で構成されている（Fig.1）。

また、設計やモデリングノウハウ、検証、評価などの作業を履歴としてあらかじめ折込んである3次元データの雛形を“テンプレート”と呼んでいる。汎用性を持たせ実務

\*1~3 ボデー開発部  
Body Development Dept.

で使用しやすく、ノウハウを最大限に活かせるよう社外に頼らず自社による開発を行った。

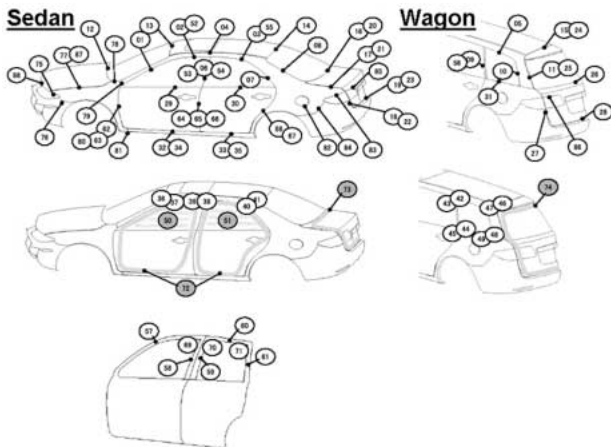


Fig.1 Making Part of Frame Line

フレームラインは、2D断面図上で機能性の整合が取れた車体の基本断面 (Fig.2) をデザイン (Fig.3) に合わせて作成された3次元データである。



Fig.2 Basic Section

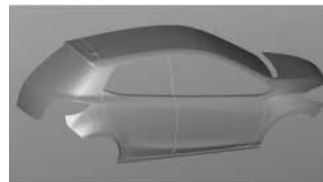


Fig.3 Styling Data

そのデータはボデーアウト、ボデーインナ、ドア、ガラス、トリムなどの車両構造部品単位ごとの基本骨格形状で構成されている (Fig.4)。

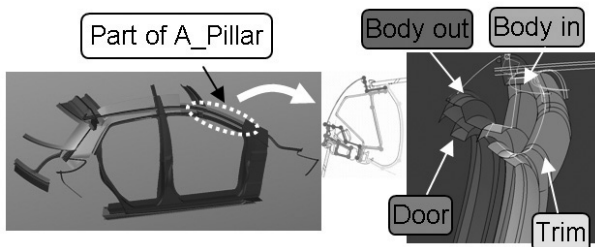


Fig.4 Frame Line

従来の自社CADでは、このデータの作成を時間と人をかけて手作業で行ってきた。作り直しのリスクを避ける目的で、データ作成に必要なインプット (基本断面やデザインの情報など) が全て確定しなければ作業を開始しないことで、無駄な情報待ちの期間が発生していた。また、検討用データも最小限に留めざるを得ず、十分なケーススタディを行えるデータ提供が困難なケースもあった。

## 2. CADテンプレートの狙い

最終出図図面の完成度向上を実現するためには、開発初期段階からいかに早く完成度を上げ、開発期間を短縮できるかが重要となる。フレームラインでは、3D形状作成の高速化によりケーススタディのサイクルを短期化することと、ナレッジ機能を活用したCADテンプレートを使用することにより、開発スタート時点の完成度を上げることが狙いである (Fig.5)。

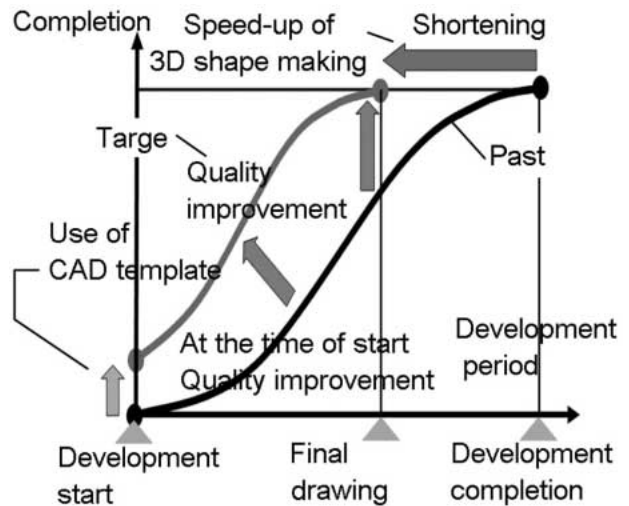


Fig.5 Role of Frame Line in Development

## 3. フレームラインの位置づけ

フレームラインは基本設計段階のレイアウト部品間の整合取りを行う車両レイアウト活動の各種検討を開始するベースデータとなる。また、詳細設計段階の詳細形状を作りこむ部品データ作成に活用されている (Fig.6)。

車両開発は3次元データを基盤に進められており、その基本となるフレームラインの役割は大きい。デザインの変更や車両レイアウトの検討で形状が度々変更になり、それを開発内で共有化するために、短期間で何度もフレームラインを修正することが求められる。

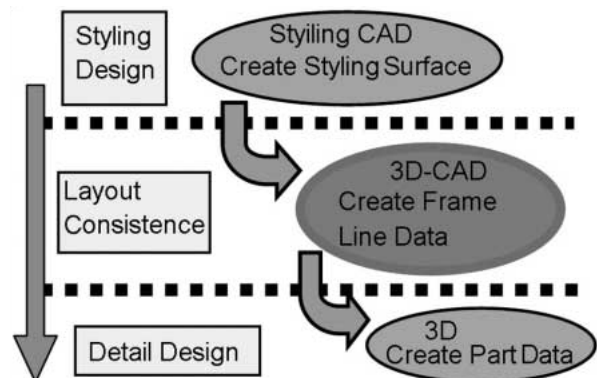


Fig.6 Location of Frame Line in Development

また、ケーススタディのために検討用データ作成の要望もある。設計要件が複雑に関係する課題なども、データ作



成 検証, 評価 決定 データ作成のサイクルを正確に短期間で行うことで品質向上に貢献する。

部品データ作成では基準となるデータとして部品間の隙, 合わせなどのインターフェースや外観R, 外観隙の品質を保証している。また, 意匠(デザイン)領域以外でユーザの目が届く範囲である準意匠領域の見映えを考慮したデータの作りこみも行い品質向上に一役買っている(Fig.7)。

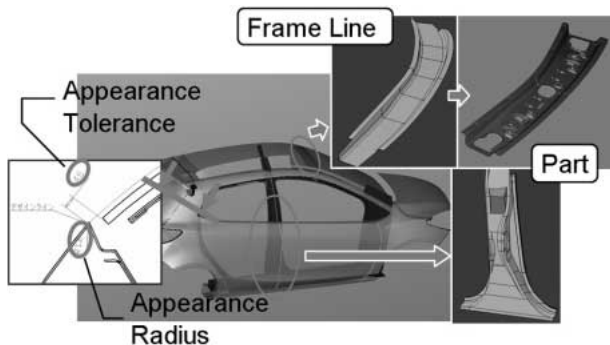


Fig.7 Application

## 4. フレームライン作成業務のテンプレート化

### 4.1 フレームライン形状作成

#### (1) 履歴機能による高速モデリング処理

3次元データは, 市販CADのモデリング手順が履歴として残ることを活用して作成されている。設計情報である作成ルールの寸法は, パラメータによる数値の制御が可能である。開発車の育成が進む過程で, パラメータの数値を変更することで設計変更にも瞬時に対応できる。また, 設計変更の内容を前倒してデータへインプット(仕込み)もできる。全ての情報が揃わなくてもデータ作成などの作業を進めることができ, 情報整合タイミングのタイムラグがデータ修正作業に影響を与えない利点もある。従来の自社CADでは職人技ともいえる難易度の高い面創成も同じインプットなら誰もが同じアウトプットが出せるようになった。

部位ごとに作成したデータ間においては, 全体で共有する板厚やドアガラスなどのオフセット寸法・データを一括で管理・運用することで共有情報の変更作業の効率化につながる工夫をしている。これは形状変更漏れ防止にも効果がある。

#### (2) デザインデータの設定と入替え

フレームラインの形状の大半がデザインデータに沿っているため, デザイン変更の影響による修正の範囲は広い。市販CADのデータ間の関連が維持できる機能を活用し, 作業性を向上させて, 作成時間の短縮を可能にした。あらかじめ設定したデザインデータを置き換えることでフレームラインの自動作成(履歴の更新)ができるようになっている。基本骨格間の繋ぎであるコーナ部分も更新情報が自動伝達され全ての3次元データの更新ができる。

フレームライン3次元データの履歴更新の成功率を上げるために, 様々な工夫をしている。例えば, 作成部位に応じてデザインの面, 境界カーブを必要な範囲で設定し, 要素のベクトルを合わせている。また, 開発初期のデザインデータは単体面のオフセットができない, 面間の離れ, 折れなどのような状況があり, これらがモデリングの更新エラーの原因となっている。これを防ぐために面の修復機能による簡単な修正と, パッチワーク的な処理を施している(Fig.8)。

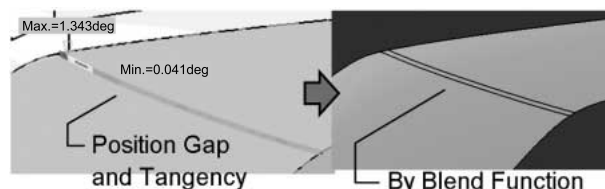


Fig.8 Healing of Tentative Styling Data

### 4.2 確認作業

自社CADで作業していた頃は, フレームラインを単に作成するだけだったが, 市販CADの履歴機能, ナレッジ機能を活用し, 作成されたフレームラインから, ①乗車時の車外への視認性を評価する各ピラーが視界を妨害する角度(Fig.9), ②頭の移動軌跡を考慮し居住性を評価するヘッドクリアランス, ③各国のワイパー払拭エリアなど, 設計要件も形状作成と同時に測定することができる。

また, 設計要件の目標値を達成できるよう形状定義のパラメータ数値を調整し, ピンポイントで形状を決定することもできる。

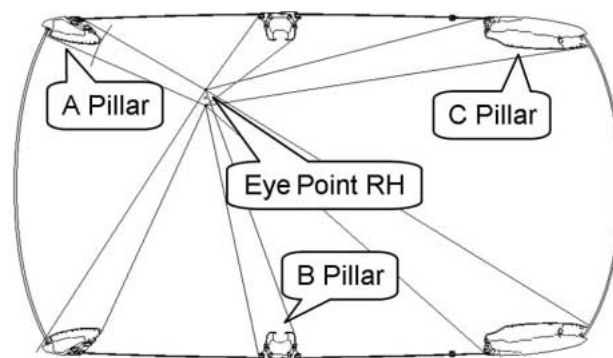


Fig.9 Check on View Obstruction Corner

### 4.3 アウトプット情報

#### (1) 整合性確認用断面の作成

アウトプットであるフレームラインデータとインプットである基本断面との一致を確認するための断面と寸法を作成している(Fig.10)。3次元形状の変更が断面と寸法に追従していることで, 3次元データの作成完了と同時に確認作業ができる。この断面で確認できないところは履歴の使用機能の種類やインプット数値などで確認することになるが, 旧CADで要素一つ一つを測定機能による確認をしていた時と比べ, 格段に効率が上がっている。この断面と寸

法を画像データとして3次元データと合わせ後工程へ提供している。

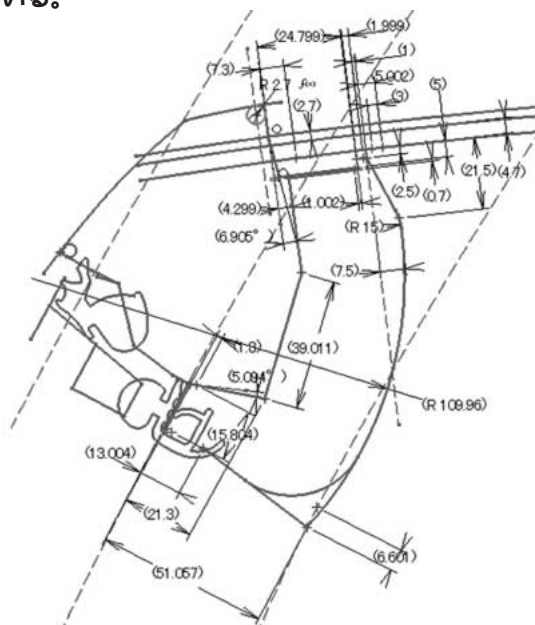


Fig.10 Section for Confirmation

## (2) 自動判定 (諸元値検証) 結果出力

3次元データにピラー妨害角やヘッドクリアランスなどの諸元値検証作業を組み込み、確認結果である数値を情報展開用フォーマットとリンクすることで、一括更新でき目標値と比較し達成可否を自動判定できる。旧CADでは手作業によるフォーマットへの記入や判定をしていた。情報展開の効率化と転記によるミスの防止につながっている (Fig.11)。

Item	Target	Result
H05	463.0	464.1
H03	955.0	
H03SR	954.0	
H06J1	27.0	26.6
H06J2	25.0	24.7
H06J0	35.0	35.3
W03J2	4.0	7.6

Fig.11 Package Major Dimension

## 5. 効果

デザインデータの入替え、基本断面などの設計ルールの変更を行うフレームライン作成作業1回当りの期間短縮は約65%、工数は55%~85%の削減となっており自社CAD活用時と比べ大幅な効率化を図っている。一車種で作成する回数は6割以上増加しても対応が可能となった。作成と同時に検証、評価が終了しているものもあり開発の効率化と品質向上に大きく貢献している。また、この期間短縮は、データによる検証 評価 修正のサイクルを確実に早く回せ、バーチャル検証の確定度が向上していることで問題点の早期発見とその対策が行え、最終出図図面の品質向上、高品質な車づくりに貢献している。加えて、更なる魅力商

品づくりに必要な開発工数に時間を活用できることにつながっている。更に、データを蓄積することで、車種タイプ別、ドアタイプ別などのテンプレートの基となり、後継車種で利用することで、更なる効率化となっている (Fig.12)。

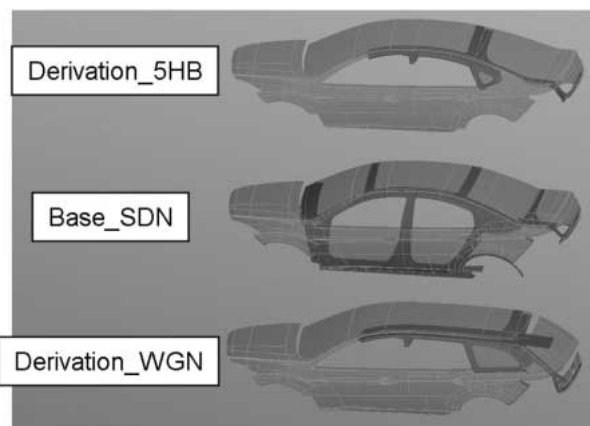


Fig.12 Atenza Series

## 6. おわりに

フレームラインは車両レイアウト活動において、効率化や期間短縮・高品質化にとって欠くことのできないものであり、バーチャル開発期間内での開発完了との経営の要請が強まる中、その役割はますます大きくなってきている。その意味で、我々は、以上に述べた取り組みで、新車開発に貢献できたものと自負している。

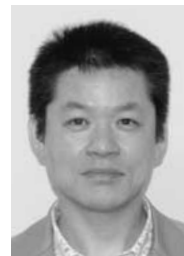
しかし、この活動の成果は今回の取り組みだけによるものではない。“フレームライン”という名前の由来である手書きによる車体構造線図の時代から、次の自社開発の旧世代CAD適用の時代にわたり業務整備を重ね、そのベースがあったからこそ、新CADの新機能の活用で花開いたともいえる。例えば、ボデーシェルを構成する各部品や設計担当が異なる部品を、車として一塊でデータ化し、それを十分育成した上で部品に分割することで、部品間の整合性を保証するという考え方と方法論は既に構築されていた。

我々は、先人の努力と知恵の上に今回の成果があることを思う時、ベース技術の伝承とCADの進化や採用CADの変更にもスムーズに適応し、更にCAD先端技術をフルに活用できる仕組み作りに努め、後進につなげていく使命があると思う。

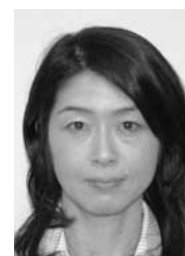
## 著者



佐々木和也



平島喜生



今井洋子

論文・解説

24

## 数値解析を用いた通風改善による熱害低減への取り組み Numerical Analysis-based Activity to Reduce Heat Damage by Improving Air Flow through Engine Compartment

上田 健\*<sup>1</sup> 西村 真人\*<sup>2</sup> 藤元 清信\*<sup>3</sup>  
Takeshi Ueda Masato Nishimura Kiyonobu Fujimoto

### 要 約

エンジンルームの熱害改善の手法として、一般的な遮熱ではなく風速を上げて熱害を低減させることを試みた。エンジンルーム内流れを汎用数値シミュレーションソフトを用いて可視化し、熱害の厳しいエンジン後方の排気系近辺の風速を増加できる改善項目を見出した。加えて、実車試験を実施しエンジンルームの風速改善が部品温度低減につながることを確認した。

### Summary

We tried to reduce thermal damage in engine compartment by increasing air speed rather than by using a conventional measure of adding heat protection. First we visualized air flow in engine compartment by using a general numerical simulation software program. This enabled us to identify air speed can be increased around exhaust system downstream from engine, the area most susceptible to heat. Then we conducted vehicle testing and confirmed the increased air speed can help reduce component temperatures.

## 1. はじめに

近年の車両のエンジンルームは、エンジンのハイパワー化や低燃費化による排気系温度の上昇や車両空力性能改善によるフロント開口部の面積減少に伴うエンジンルーム通過空気量の減少などの要因により、益々高温化する傾向にある。一方、エンジンルーム内には電子部品やゴム部品など高温環境に弱い部品等が多く配置されている。このような背景からエンジンルーム内の温度低減のニーズはこれまで以上に高くなっている。

耐熱性の低い部品を高温となる排気系の熱から保護するために、これまでは、①部品を熱源から遠ざける、②熱源と部品間に遮熱板を取り付ける、あるいは、③部品自体の耐熱性を向上させるという手法が一般的である。しかしながら、エンジンルーム内は、狭い空間に数多くの部品が配置され、すべての部品を熱源から遠ざけるには限界がある。また、遮熱板の追加や材質変更による対策は、一般的に重量増、コストアップにつながり、効率も悪い。

特に、排気系近傍にレイアウトされる部品は、走行条件

によっても異なるが、登坂走行等の高負荷条件化では、排気ガス温は約850～950 となり、排気系表面温度は約400～550 の高温となり、耐熱性を確保することが非常に厳しい環境にある。こうしたエンジンルーム内の各部品の耐熱性確保に当たり、エンジンルーム内の雰囲気温度低減も合わせ、各走行条件下でのエンジンルーム通過風の制御を行い、風速を増加させることで、放熱効率を改善し、排気系の表面温度や各部品の温度低減が期待できる。

本論文は、特に耐熱性に厳しい後方配置の排気系を採用しているエンジンに対して、汎用数値シミュレーションソフトを用いた数値解析により、エンジンルーム内の風の流れを可視化し、流れを制御することで、エンジンルーム通過風をより多く取り入れ、更に、エンジン後方に配置されている排気系近辺に風を導き、排気系及び近接部品の温度の低減に取り組んだ結果について述べる。

## 2. シミュレーション計算

### 2.1 計算手法

当解析は汎用流体解析ソフトSTAR-CD(CDAJ社)を使用。

\*1～3 車両実研部  
Vehicle Testing & Research Dept.

(1) 計算モデル

計算モデルの構成は、車室内部品を除くすべての部品を対象とし、メッシュサイズは細部の解析度を高めるために、1mmを最小サイズとしている (Fig.1)。

また、計算モデルの作成は、適時検討結果を取得するために専用モジュール「es-uhood」を用いて半自動で作成している。更に計算モデルの形状変更を非常に短時間でできるCADツールを当社で開発した。その結果、下記の通り、モデル形状の変更等、最も時間を要するモデル作成時間 (CAD) を80%短縮し、計算時間を含めたトータルの時間も65%削減し検討期間の効率化を可能にした (Fig.2)。

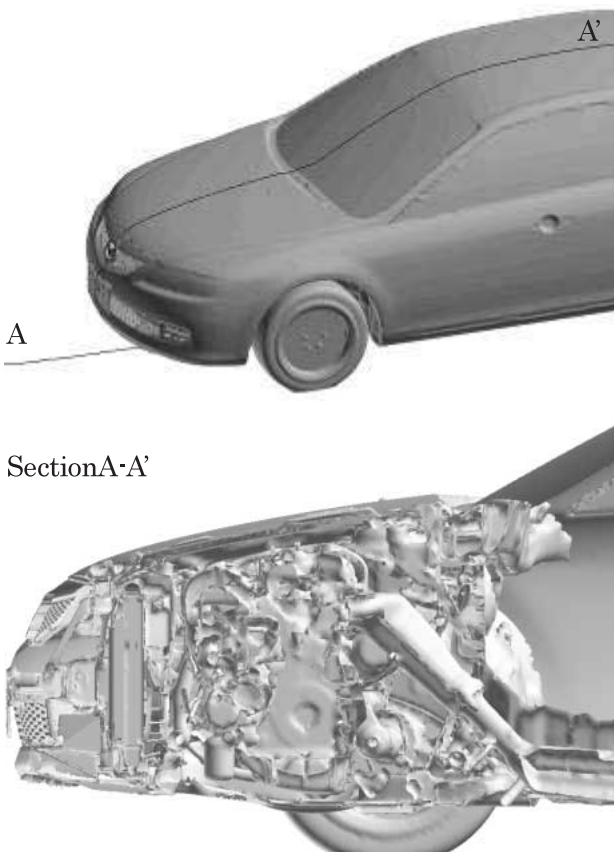


Fig.1 Simulation Model

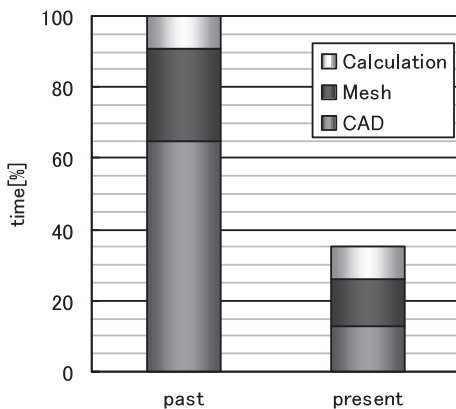


Fig.2 Simulation Time

なお、計算の前提条件としてラジエータ、コンデンサ、インタークーラなどの熱交換器は、個々の性能 (特性) を付与することで複雑な構造を簡易的にモデル化を行い性能を再現させている。電動ファンについては形状を3D計測器「OPTIGO」を用い1mm未満の精度で形状を再現した。その上でMRF法により実際にファンが作動している状態を模擬することで、ファンの回転方向のエンジンルーム内流れに対する影響を再現した。

(2) 計算設定

設定方法としては、乱流モデルをRANSk-法、計算精度はMARSとして、各部の境界条件は以下の通り設定した (Fig.3)。またクーリングの熱交換器の計算モデル形状を Fig.4に示す。

- ・風洞入口：車速 [ m/s ]
- ・風洞出口：仮想空間
- ・壁面：スリップ壁面
- ・車両表面：スリップ壁面
- ・ラジエータ：通気抵抗性能 (P-V性能)
- ・コンデンサー：通気抵抗性能 (P-V性能)
- ・冷却ファン：回転数 (MRF法)

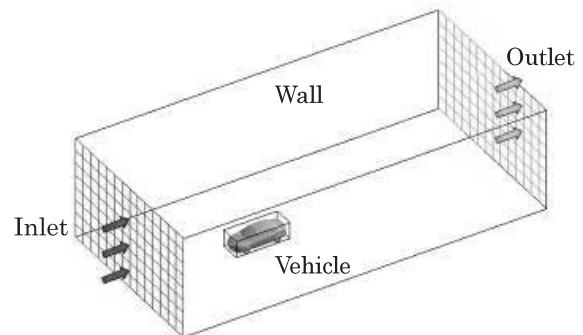


Fig.3 Boundary Condition

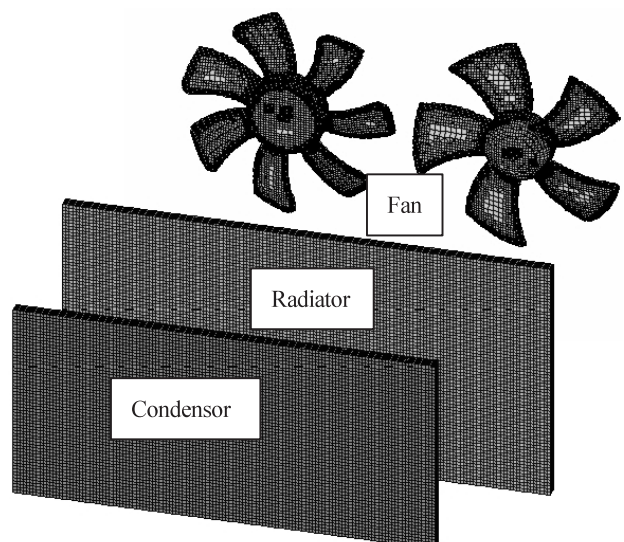


Fig.4 Cooling Model

2.2 計算結果

計算モデルは、当社の中型セダンをベースとした。

走行条件は、排気系温度が最も厳しい低速高負荷運転時を想定して登坂走行モードを設定し、冷却ファンの回転方向についてはFig.5に示す。

計算結果はFig.6に示す通り、フロントグリルから取り入れた冷却風を流入し、エンジンルームに流入した主流はエンジンブロックに当たり、エンジン上方部に向きを変え、エンジンヘッドカバー上部を通過する際に、クーリングファンの回転の影響を受け、エンジンルーム右側方向に流れている。また、エンジンルーム左側に関しては、エンジンブロックとバッテリーの間に主流が見られる。一方、バッテリー壁面に当たった流れは上方に向きを変え、バッテリー上部を通過している。

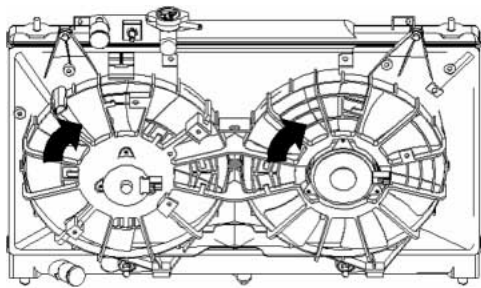


Fig.5 Cooling Fan Direction

2.3 実験結果

上記の計算結果の妥当性を検証するために、実車評価を実施し、計算結果との比較を実施した。

計算に用いたのと同じ機種の車両を用い、ボンネットを透明の亚克力材で加工し、エンジンルーム内各部にタフトを設定し、風の流れを可視化した。

計算結果と比較を容易にするために、上方から見たエンジンルームを格子上に10×4分割し、それぞれの格子のタフトの向きを読み取り計算結果と比較した。

その結果をFig.7に示す。一部の領域を除き、流れの方向性は定性的にも一致しており、エンジンルーム内各部の流れをほぼ再現していることを確認した。

加えて、エンジンルームのエンジンブロック後方の6ヶ所の風速を実測し、測定結果を計算結果と比較した。その結果をFig.8に示す。

各部の風速の絶対値には若干差が見られるが、全体の風速分布の傾向は一致している。これらの結果より、エンジンルームの流れは定性的に再現できており、CFDによる計算結果を用いて流れの机上検討及び熱害改善の検討が可能であると判断した。

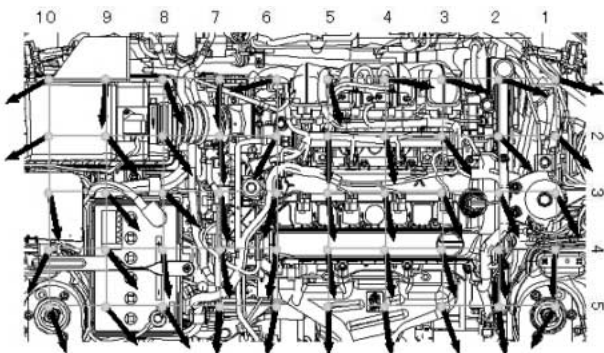


Fig.6 Result of Simulation

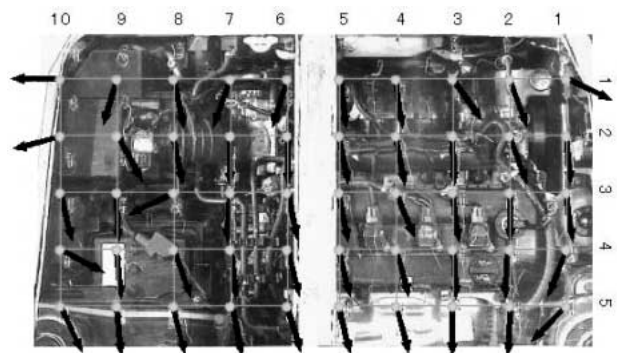


Fig.7 Result of Vehicle Test

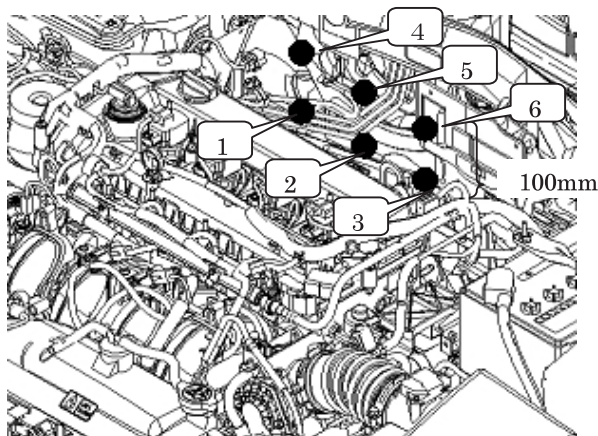
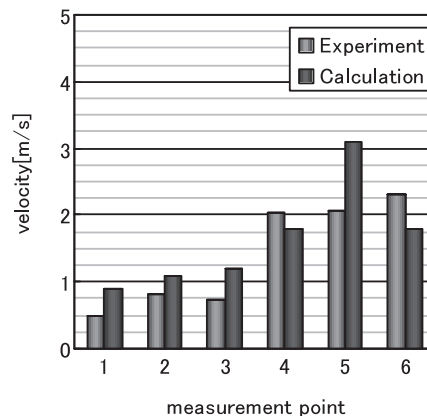


Fig.8 Comparison of Engine Room Wind Velocity



### 3. シミュレーションによる改善手法の検討

一般的に熱害面で厳しい領域は、高温となる排気系の近くにレイアウトされる部品である。従って、エキゾーストマニホールド周囲の風速を上げ、表面温度を低減することを目標とした。そのために、エンジンルームに流入した風をエンジンヘッド上方へ導き、後方部分の風速を上げること考えた。ベースモデルはヘッドカバー上方への流れが少なく、エンジンサイドへの流れが多い。このことは相対的にヘッドカバー上方の通気抵抗が大きいことを示している。そこでエンジンルームの通風抵抗そのものを低減すること及びエンジンサイド部と上方の通気抵抗バランスを変え、エンジンサイド部の流れを上方へ導くことを試みた。

ラジエータ通過風を冷却ファンの回転に従い、スムーズにヘッドカバー上方へ導くよう冷却ファン後のヘッドカバーなどの部品形状を見直した。更に、通気断面の形状変更やヘッドカバー上方へ導いた風をスムーズにエンジンルーム下方へ流すためのエンジン後方部品の形状を見直した。

このようにして、エンジンルームへの導風空気量を増加させ、かつエンジンルーム内に導入した空気をエンジンヘッドカバー上部から、後方部にある温度の高い排気系周辺へと冷却風を導き、フロア下へスムーズに排出させるよう形状変更を実施した。

これらの検討から、エンジンルーム後方にある排気系周辺の冷却風の風量アップ効果の最も大きい以下の改善案を見出した。排気系周辺への冷却風の流れ改善効果を、ベース仕様と比較した結果をFig.9, 10に示す。

また、排気系の周囲の風速は、ベースに対して約10%増加している (Fig.11, 12)。

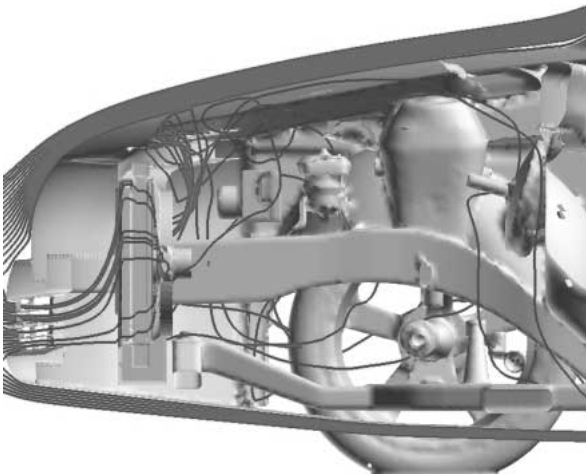


Fig.9 Simulation Result of Original Model in Side View (Powertrain is Hidden)

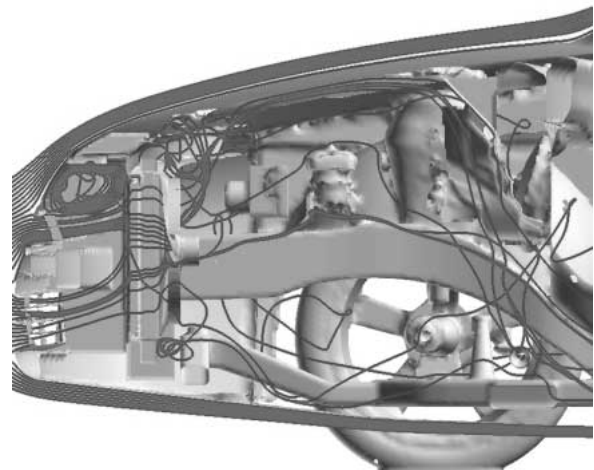


Fig.10 Simulation Result with Improvement Model in Side View (Powertrain is Hidden)

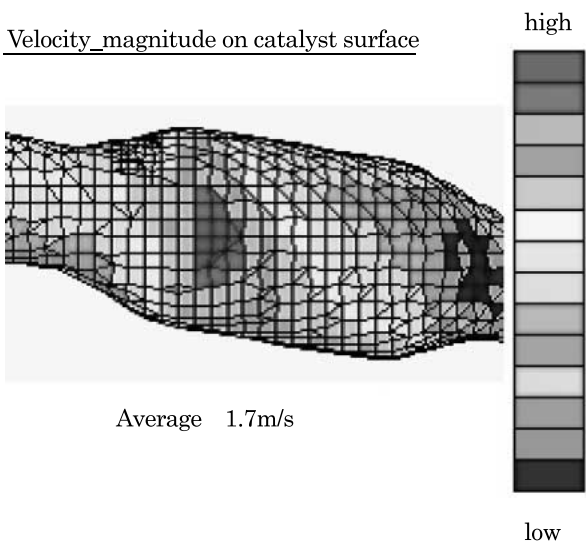


Fig.11 Analysis of Original Model

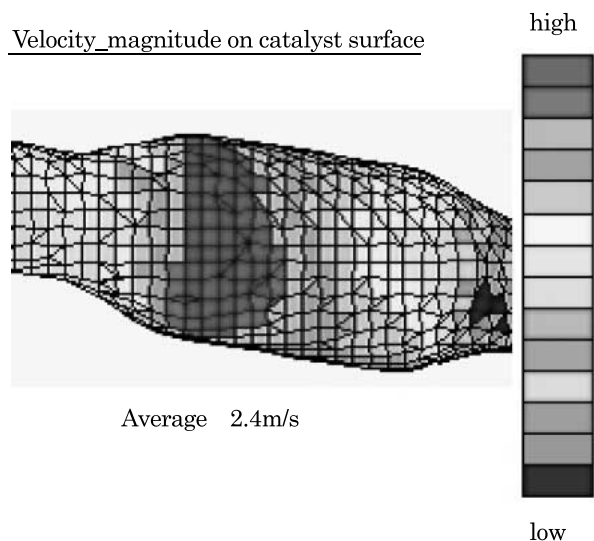


Fig.12 Analysis of Improvement Model

またFig.13, 14にエンジンプロック周囲の流線を示す。ベース仕様に対し、エンジンプロック横の流れは減少し、かつ、エンジン上方部の流れが増加しており、意図通りの流れとなっていることを確認した。



Fig.13 Simulation Result of Original Model in Top View (Powertrain is Hidden)

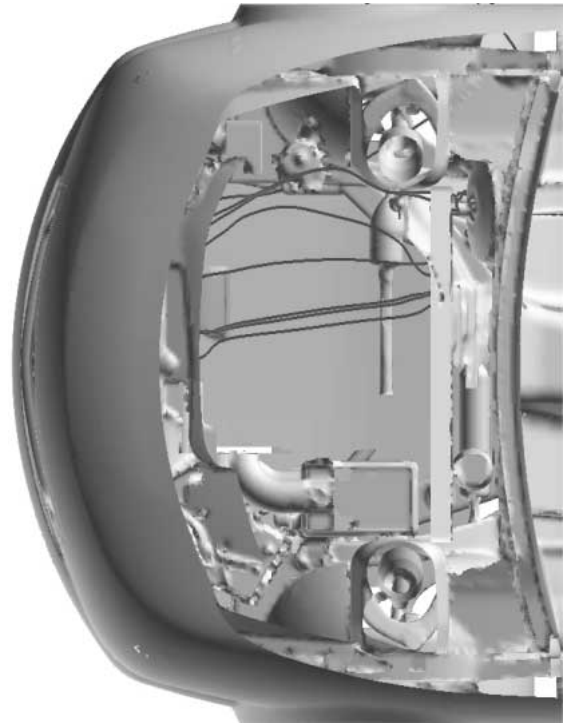


Fig.14 Simulation Result with Improvement Model in Top View (Powertrain is Hidden)

下記の通り、エンジンルーム内風速と温度の関係はFig.15に示すような関係がある。これらから、エンジンルーム内の風速改善代からエンジンルーム内の部品温度の低減代が推定できる。

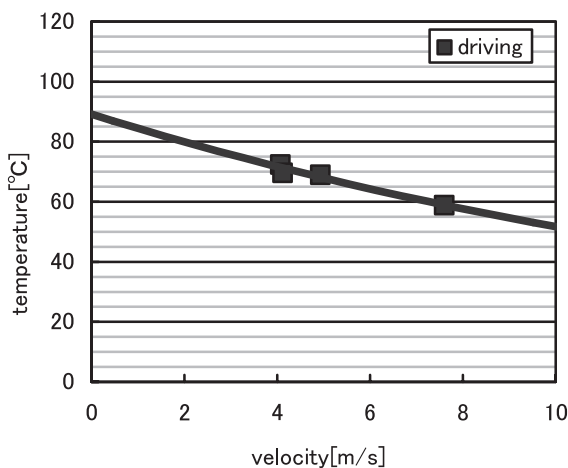


Fig.15 Relation between Temperature and Wind Velocity

## 4. 実車による効果の確認

### 4.1 風速測定結果

シミュレーションにより効果を見出したいくつかの構造を実車に織り込み、実車での検証を行った。実際に車両に織り込んだ構造は以下の5項目。

- ・ラジエータグリル追加
- ・ボンネットインシュレータ形状変更
- ・エンジンヘッドカバー形状変更
- ・カウル形状変更 (ダッシュアッパー前方)
- ・熱害インシュレータ形状変更 (ダッシュパネル前)

上記改善構造を織り込み、排気系周辺部品の風速を実車計測した結果をFig.16に示す。

ベース仕様に対して排気系周辺部品付近の風速は約56%程度増加していることを確認した。この結果はCFDともおおむね一致している。

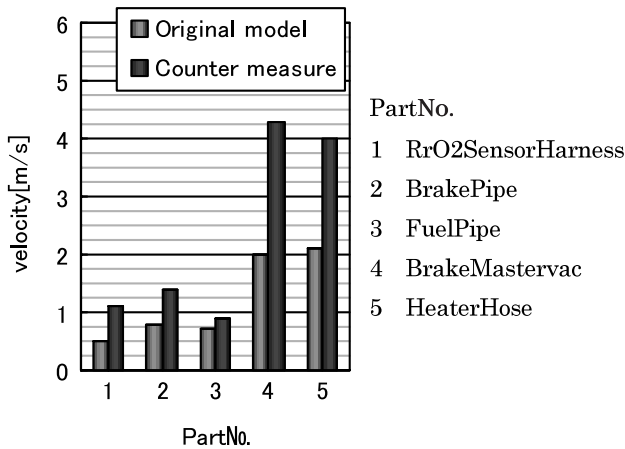


Fig.16 Improvement Effect of Ambient Velocity

4.2 温度測定結果

次に、同様に改善構造を織り込んだ車両での排気系周辺部品の温度低減効果を確認した。その結果をFig.17に示す。エンジンルームの通過風速の改善に伴い、各部品温度の低減が図られていることを確認した。

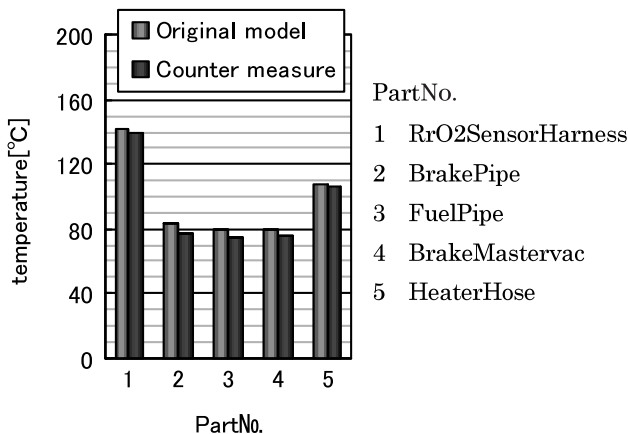


Fig.17 Improvement Effect of Wind Temperature

5. まとめ

- (1) クーリングファン回転状態を織り込んだエンジンルームの流れのシミュレーションを実施し、実車による実測結果と比較し定性的にエンジンルーム内の流れが再現できていることを確認した。
- (2) シミュレーションにて、後方排気エンジンの排気系近傍の風速をアップさせる構造を見出し、目標とする領域の風速アップ及び温度低減効果があることを確認した。  
本論文では、汎用流体解析ソフト(CFD)を用い、エンジンルーム内の風の流れを可視化し、エンジンルーム各部の風速改善を行い、部品の温度低減へと結びつけた。  
自動車の耐熱性を確保する上で、この度のような車両の基本構造/形状の検討段階で、冷却風を適切に制御す

ることによって、耐熱性のポテンシャルアップが図れ、更に、エンジンルーム内の通風抵抗低減により、冷却性能、冷房性能にも大きく貢献できるメリットが期待できる。  
今回検討した改善案は、エンジンルーム内の各部形状や基本レイアウトの適正化によるものであり、低コストで質量悪化への影響を最小限に抑える効果的な開発手法と考えている。

参考文献

- (1) 上田ほか：エンジンルーム内流れの数値解析，マツダ技報，No.12，p.83-90（1994）
- (2) 上田ほか：マルチブロック法を用いたエンジン冷却，及び空力性能予測のための数値シミュレーション手法の開発，マツダ技報，No.14，p.81-87（1996）
- (3) 小野ほか：CFDを用いたエンジンルーム内温度解析手法の開発，自動車技術会学術講演会前刷集No.119-02，20025531（2002）
- (4) 小森谷ほか：エンジンルーム内の熱管理予測への取り組み，自動車技術会No.10-06，自動車空調技術，p.403-412（2006）

著者



上田 健



西村真人



藤元清信



論文・解説

25

## 軸受け摩耗予測計算と薄層放射化法による予測精度検証 Wear Prediction Calculation of Bearing and Correlation Using Thin Layer Activation Technique

宮内 勇馬<sup>\*1</sup> 廣部 敏之<sup>\*2</sup> 木村 昇平<sup>\*3</sup>

Yuma Miyauchi

Toshiyuki Hirobe

Shouhei Kimura

権代 明典<sup>\*4</sup> 広田 哲昭<sup>\*5</sup>

Akinori Gondai

Tetsuaki Hirota

### 要 約

アイドルストップシステムやハイブリッドエレクトリックビークル（以下HEV）による始動停止回数の増加からエンジン軸受けにおいては境界潤滑域で使用される頻度が増加し摩耗の懸念がある。このため従来、混合潤滑を主体としていた軸受けの弾性流体潤滑（EHL）計算を、境界潤滑域まで評価可能にする計算手法を研究した。軸受けの評価には古くから修正レイノルズの式が使われているが、大量の条件を振って計算を行うには計算時間が長く、また境界潤滑域が支配的な評価には適さない。このため境界潤滑域を主体とし、軸受けの摩耗量、摩擦損失などを評価可能にする手法を研究した。

また計算精度の検証のために極短時間で運転条件や仕様ごとの摩耗量がリアルタイムに計測可能な薄層放射化によるRIトレーサ法による摩耗測定を実施したところ、実現象と高い相関を持つことを確認した。

### Summary

Wear concern for bearing is raised because of expanded boundary lubrication area due to HEV and Idle Stop System. Research was taken place in search of Elasto hydrodynamic lubrication calculation procedure which enables to assess the boundary lubrication.

Furthermore, wear measurement was conducted by applying the Radioisotope Tracer Method using Thin Layer Activation Technique to examine the prediction accuracy.

### 1. はじめに

環境保護，地球温暖化抑制が世界的に求められており，自動車産業においては排気ガスに含まれる二酸化炭素低減すなわち燃料消費改善が実施されている。この二酸化炭素低減の一手段としてアイドルストップシステムやHEVが採用されてきている。このアイドルストップシステム，HEVは従来エンジンと比較してエンジンの停止・始動回数が大幅に増加し，これに伴いエンジン主運動系においては境界潤滑域で運転される頻度が増加する。通常運転中に速度が0になるピストン，動弁系については新たな懸念はないが，クランクシャフト主軸受けはエンジン始動する時のみ境界潤滑になるので，アイドルストップシステム，HEVでは新たな摩耗，摩擦損失増加の懸念がある。この

運転領域の関係をストライベック線図上（Fig.1）に示す。

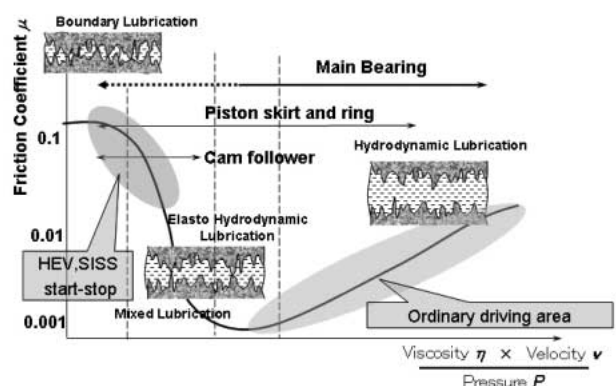


Fig.1 Stribeck Curve

\*1~3 パワートレイン技術開発部  
Powertrain Technology Development Dept.

\*4, 5 エンジン実研部  
Engine Testing & Research Dept.

このため試作品ができる前の開発初期段階で主軸受けの摩耗と摩擦損失を確認可能にする予測計算評価手法の研究を実施し、境界潤滑域を主体とし混合潤滑から流体潤滑域を含め高速で計算し、軸受けの摩耗量や摩擦損失などを評価可能にする手法を開発した。

また極短時間で運転条件や仕様ごとの摩耗量がリアルタイムに計測可能な薄層放射化によるRITレーサ法(Radioisotope Tracer Method using Thin Layer Activation Technique: 以下RTM)による摩耗計測を適用し、予測計算精度検証を実施した。

## 2. 主な記号

- A : ヘルツ接触面積 [m<sup>2</sup>]
- b : ヘルツ接触半幅 [m]
- D : デボラ数 =  $\eta_0 U / Fb$
- E : 等価弾性係数 [GPa]
- F : せん断弾性係数
- G : 圧力による粘度増加
- h : 無次元中央最小油膜厚さ
- P : 油膜圧力 [Pa]
- R : 等価半径 [m]
- S : オイルせん断応力 [Pa]
- T : 油温 [ ]
- u : 摺動面相対速度 [m/s]
- U : 無次元速度 =  $u / E \cdot R$
- V : 摺動速度 [m/s]
- w : 単位幅あたりの荷重 [N]
- W<sub>c</sub> : 固体接触荷重 [N]
- W<sub>i</sub> : 無次元荷重 =  $w / E \cdot R$
- $\eta$  : 有効粘度 - 圧力係数 [Pa<sup>-1</sup>]
- $\eta_0$  : 粘度 - 温度係数 [Pa<sup>-1</sup>]
- r : 微小突起曲率 [m<sup>-1</sup>]
- $\sigma$  : 表面粗さの方向
- ( >1 : 平行粗さ = 1 : 等方粗さ < 1 : 直交粗さ )
- $\eta_0$  : 常温大気圧粘度 [Pa · s]
- $\mu$  : 摩擦係数
- $\rho$  : 微小突起密度
- $\sigma$  : 突起高さの標準偏差
- $\eta_0$  : 無次元せん断速度 =  $\eta_0 U / \sigma h$
- $\eta_0$  : オイルの特性応力 [Pa]
- $\lambda$  : 圧力流れ係数 =  $1 + 3 ( \sigma / \lambda )^2 / ( \sigma / \lambda + 1 ) h^2$

## 3. 計算手法

### 3.1 計算手法概要

軸受けの摩耗評価には古くから弾性流体潤滑計算手法が研究されている。この主流はPatir-Chengの修正レイノルズ方程式<sup>(1)</sup>を基本にしたものであるが、運転条件や形状など大量の条件を振って計算を行うには計算時間が長く、ま

た境界潤滑が支配的な領域では流体計算が主体ではないのでアイドルストップシステム、HEVのエンジン停止から始動時の評価には適さない。このため摩耗と摩擦損失の解を求めるに当たり以下の手法を試行した。

Pan-Hamrockの中央油膜厚さの式<sup>(2)</sup>にPatir-Chengの平均流れ係数を取り入れた中原らの研究モデル<sup>(3)</sup>を適用し油膜厚さを求める。この油膜厚さと表面粗さからGreenwood-Trippの固体接触モデル<sup>(4)</sup>により瞬時の固体接触荷重を求めた。この瞬時の固体接触荷重、摺動速度、摺動距離から瞬時発生摩耗量を導き、サイクル数を考慮した時間で積分し任意のサイクル数における摩耗量を求める。

### 3.2 計算手法詳細

以下に計算手法の詳細を述べる。

まず、油膜厚さhを(1)式により計算する。

$$h = 2.922 W_f^{-0.166} U^{0.692} G^{0.470} \phi^{-0.692} \quad (1)$$

油膜厚さhを求める際に中原らの粗さを考慮した圧力流れ係数  $\lambda$  を組み入れるとともに軸受けと軸とのヘルツ接触面積を求める際に等価半径を主軸半径と軸受け半径から導いた。

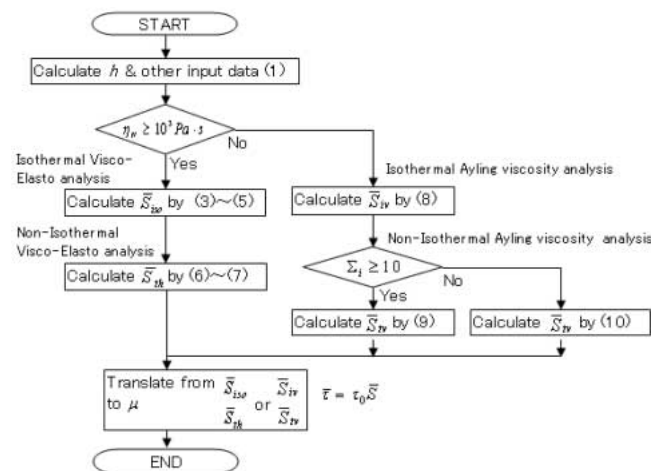


Fig.2 Flowchart of Hydrodynamic Lubrication

次に軸受けに発生する摩擦力、固体接触圧力を求める。油膜厚さhが表面粗さの標準偏差  $\sigma$  の4倍以上ならば、Fig.2のフローチャートに示すように、アイリング粘性解、粘弾性解によりオイルのせん断抵抗を求める。更にBarus-Vogelの式<sup>(2)</sup>によりオイルの圧力と温度からニュートン粘度  $\eta_N$  を導き、 $\eta_N$  が  $10^5$  [Pa · s] 以上であれば粘弾性解、以下であればアイリング粘性解によりオイルのせん断応力を求める。

$$\eta_N = \eta_0 \exp(\alpha P - \beta T) \quad (2)$$

各粘性解の解法は村木 - 木村らの研究に基づく式<sup>(5)</sup>を利用した。Fig.2の( )内処理番号(1)から(10)は文中の式番号に対応させた。

等温粘弾性解による平均せん断応力計算

$$X_c = \left(\frac{D}{4}\Sigma\right) \sinh^{-1} \Sigma \tag{3}$$

Xc 2が真であれば

$$\bar{S}_{iso} = \frac{\Sigma}{D} \tag{4}$$

偽であれば

$$\bar{S}_{iso} = \sinh^{-1} \Sigma(1 - X_c) \tag{5}$$

非等温粘弾性解による平均せん断応力計算

$$D_i = \eta_{Ni} \frac{\bar{U}}{Fb} \tag{6}$$

$$\bar{S}_{th} = \frac{\ln 2\Sigma_i \left(1 - \frac{D_i}{4\Sigma_i} \ln 2\Sigma_i\right)}{1 + \Phi\Sigma_i \left(1 - \frac{D_i}{2\Sigma_i} \ln 2\Sigma_i\right)} \tag{7}$$

等温アイリング粘性解による平均せん断応力計算

$$\bar{S}_{iv} = \sinh^{-1} \Sigma \tag{8}$$

非等温アイリング粘性解による平均せん断応力計算

$$\bar{S}_{iv} = \frac{\ln 2\Sigma_i}{1 + \Phi\Sigma_i} \tag{9}$$

$$\bar{S}_{iv} - \sinh^{-1} \left\{ \Sigma_i \exp(-\Phi\Sigma_i \bar{S}_{iv}) \right\} = 0 \tag{10}$$

次に、混合潤滑および境界潤滑時の計算方法を示す。油膜厚さ  $h$  が表面粗さの標準偏差の4倍未満ならば、Greenwood-Trippの式(11)より固体接触分担荷重を求め、軸受け荷重からこれを減じ、その減じた荷重に対する流体潤滑状態の油膜厚さを再度計算し、流体潤滑膜による分担荷重と固体接触による分担荷重の和が軸受け荷重になるよう収束計算を繰り返す。この式中の硬さ  $H$  は軸側が軸受け側より十分硬いことから軸の値を入力し、関数  $F_1$  には正規確率密度関数を適用する。更にArchardの粗さモデルは解析的に求めるのは難しいため実験経験値とする。

$$W_c = \pi H A (\rho_r \beta_r \sigma) F_1 \left(\frac{h}{\sigma}\right) \tag{11}$$

収束したときの油膜厚さを用いて、油膜せん断応力による摩擦力と固体接触荷重  $W_c$  に境界摩擦係数を乗じて得られる摩擦力を求め、それぞれの和を全体の摩擦力とすることによって摩擦損失を求める。

一方、摩擦量については式(11)から算出された固体接触荷重と摺動速度の積を求めることにより瞬時発生摩擦量  $W_c V$  を算出し、エンジン1サイクルあたりの摩擦量  $W_i$  を導く。この時  $\theta$  はクランク角である。

$$W_i = \int_0^{4\pi} W_c V \cdot d\theta \tag{12}$$

全サイクル数  $Cy$  の摩擦量  $W_M$  はホルムの式を応用し、固体接触域では摩擦し流体潤滑域では摩擦しないことを考慮

に入れ式(13)を仮定した。は比摩擦量を示す。

$$W_v = \lambda \cdot W_i \cdot Cy \tag{13}$$

軸受け荷重や速度などを算出するための計算モデルをFig.3に示す。指圧線図、エンジン主運動系の慣性力、補機ベルトの張力や挙動を機構解析によって求める。

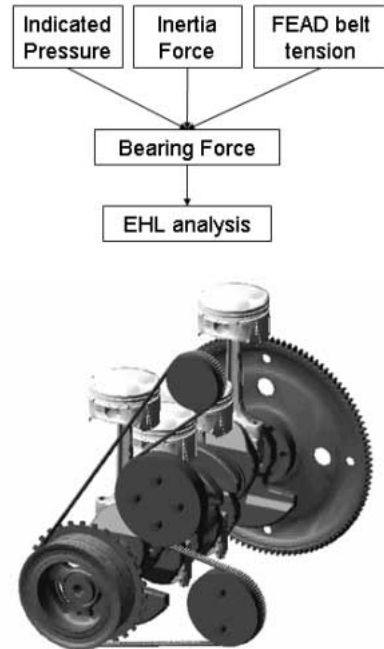


Fig.3 Motion Dynamics Model

上記モデルにより算出した速度と軸受け荷重とEHL計算結果をFig.4に示す。2Lクラス直列4気筒エンジンの(i)一般的なスタータによる始動、(ii)アイドルストップシステムの例としてスタータを使用せず燃焼エネルギーのみでエンジンを始動させるスマートアイドルリングストップシステム<sup>(6)</sup>(以下SISS)による始動、(iii)HEV用高出力モータによる始動の3種類の始動時におけるエンジンフロント側主軸受けの摩擦計算結果を比較した。グラフ横軸は時間でありタイミングをそろえてある。1番目のグラフがFig.3の機構解析モデルで求めた始動時のエンジン回転数、2番目が同モデルにより導いた補機ベルトと燃焼荷重により発生するエンジン前側主軸受け荷重である。3番目が瞬時発生摩擦量として  $W_c V$  値を示し、4番目にこの積算として1サイクルあたりの摩擦発生量  $W_i$  を示す。極低回転時に境界潤滑が発生しておりこの期間において摩擦が発生していることが見て取れる。なおSISSに負のエンジン回転数がある理由は、エンジン停止時すなわち気筒内が大気圧下において燃料噴射後燃焼させるとクランクシャフトを半回転させる程度のエネルギーが発生するが、この半回転分のエネルギーを逆転方向に使い膨張気筒を圧縮行程にさせることに利用し、燃料の直接噴射と点火をし、正転始動に必要なエネルギーを得るためである。

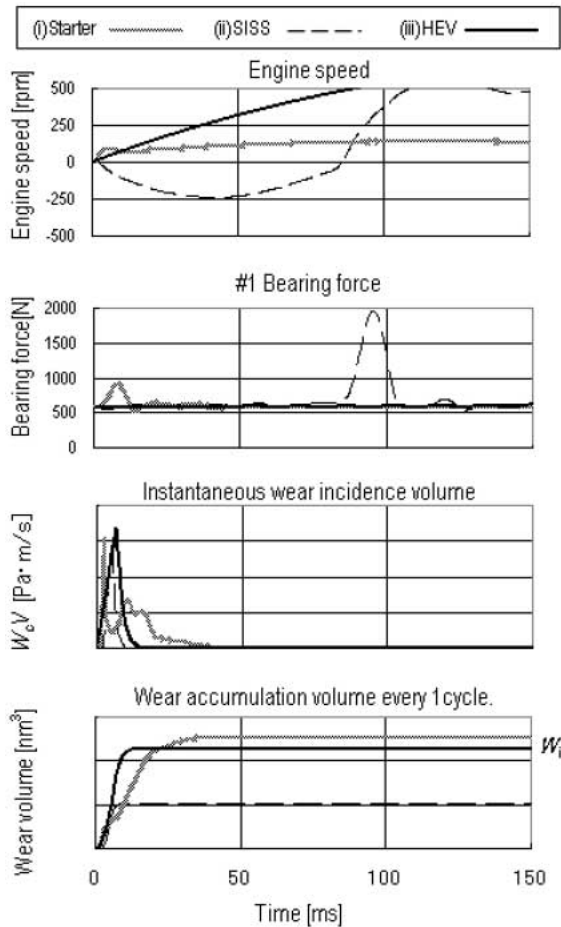


Fig.4 Input Data and Wear Prediction Results

#### 4. 計算入力データの計測

計算では材料の種類による比摩耗量を求めることは難解であるので軸 - 軸受け間の摩耗と摩擦損失を計測する基礎実験<sup>7)</sup>により比摩耗量を求めた。この機器構成をFig.5に示す。

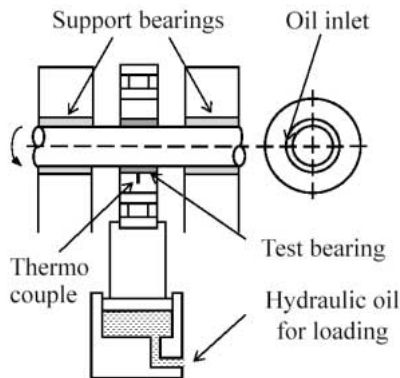


Fig.5 Bearing Rig Test

#### 5. 計算予測精度検証実験

##### 5.1 計算予測精度検証実験手法

HEV, アイドルストップシステムにおける計算予測精

度確認はモータによる始動速度(加速度), 補機ベルトやタイミングチェーンなどの張力ベクトル, 軸受けの材質, エンジン停止時間などさまざまなパラメータにおける感度を評価し, 計算と実機との相関を確認したい。しかし摩耗の耐久試験を実施する場合, 1パラメータにおける摩耗量を評価するだけでも多大な始動 - 停止の繰り返し運転を行い, 更に試験後エンジンを分解して摩耗寸法を計測する必要があるため多大な時間を必要とする。この方法では多くのパラメータを振ったシミュレーションとの計算予測精度検証を実施するには不向きである。

このためエンジン運転中にリアルタイムに摩耗量が計測可能なRTM<sup>®</sup>を採用した。供試エンジンは直列4気筒, 排気量2.3L乗用車用ハイブリッドガソリンエンジンである。まず摩耗計測の対象となる主軸受け単品を加速器の一種であるサイクロトロンで発生させたイオンビームを照射し放射化する<sup>®</sup>。サイクロトロンはイオンの円運動の周期がその速度によらず一定であるという事実を利用し, 高周波電場とイオンの円運動の周期を共鳴させながらイオンを高エネルギーまで加速する。Fig.6は住重試験検査の設備である。左手がサイクロトロンであり中央から右手に向かってイオンビーム伝送ラインが設けられている。

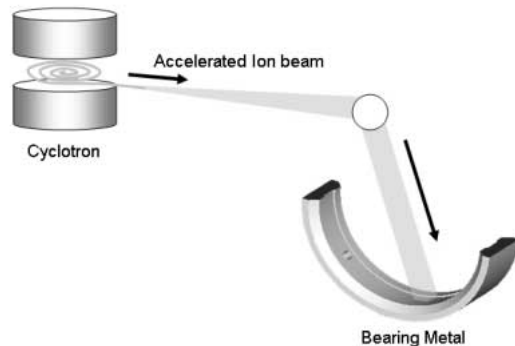


Fig.6 Cyclotron and Beam Transport Line

サイクロトロンにより発生させたイオンビームは直径8mm程度となるので照射位置や角度を変えて軸受け内面にビームが均一に照射されるようにする。このイオンビー

ムが軸受け内面の原子核と核反応を起こし放射性同位元素が生成される。

今回放射化の対象核種は軸受け表面アルミ合金層に含有される<sup>120</sup>Snとしサイクロトロンにより<sup>120m</sup>Sbに原子核反応させた物をトレーサとした。軸受け表面に最も多く存在する核種は<sup>27</sup>Alであり<sup>4</sup>He+を照射することにより<sup>22</sup>Naをトレーサとする手法<sup>(9)</sup>もあるが、強力な照射強度と期間を必要とするためトレーサを<sup>120m</sup>Sbとした。<sup>120m</sup>Sbの半減期は約5.8日であり1ヶ月程度の期間の摩耗試験には十分であることから選定した。この同位体の量は非常に少ないため、試験部品の機械的、化学的性質を変化させることはない。またTable 1に示すようにRTMによるエンジン摩耗試験で得られる放射能強度は、0.037~3.7 [MBq] (0.001~0.1 [mCi])、被曝線量1~10 [μSv]で、摩耗試験をする時の室内の汚染等を心配する必要がない量であり、放射化後の軸受けによる試験作業者の被曝線量も日常生活による被曝量以下であり、非常に軽微である。

Table 1 Comparison of Radiation Dose

Radiation dose [mSv]	Item
0.001~0.010	Thin Layer Activation Technique
0.19	It shuttles between Tokyo and New York by aircraft.
0.1~0.3	X rays of chest taking a picture
2.4	Global average of radiation that person receives in one year.
4	X-ray taking a picture of stomach.
7~20	Taking a picture by CT scan.
50	Limit of radiation to which person who attaches on business related to nuclear power may be exposed in one year.
250	A decrease of white blood corpuscle. (When you receive it at a time collectively. It is the same as follows.)
500	A decrease of lymphocyte.
1,000	Acute radiation damage. Evil intention and vomiting, etc.
2,000	Hemorrhage and depilation, etc. The person of 5% dies.
3,000~5,000	The person of 50% dies.
7,000~10,000	The person of 100% dies.

参考までにエンジン部品の材料中にある材料でトレーサに有効な元素とラジオアイソトープを周期律表Fig.7に示す。

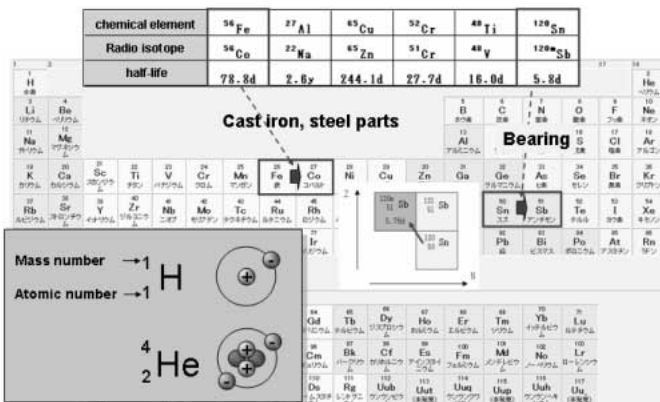


Fig.7 Kinds of Nuclear Reaction for Activation of Mechanical Components

次に摩耗量の測定原理図をFig.8、試験装置の写真をFig.9に示す。まず、放射化された軸受けをエンジンに組み込む。摩耗粉はオイル中に排出されるためオイルに混入した<sup>120m</sup>Sbから放射されるガンマ線をディテクタによって計測する。オイルフィルタにトラップされる程度の比較的粒径の大きな摩耗粉はFMD (Filter Measurement Device) により計測し、フィルタを通過する粒径の小さな摩耗粉はオイルパン下側から導いたオイルをポンプで攪拌し、CMD (Concentration Measurement Device) により計測する。摩耗粉の放射強度は半減期の影響や放射化深さの影響を受け変化するため、放射化軸受けとほぼ同時に同条件で放射化した薄膜をガンマ線放射量の参照基準とする。この参照ガンマ線計測装置がRMD (Reference Measurement Device) である。

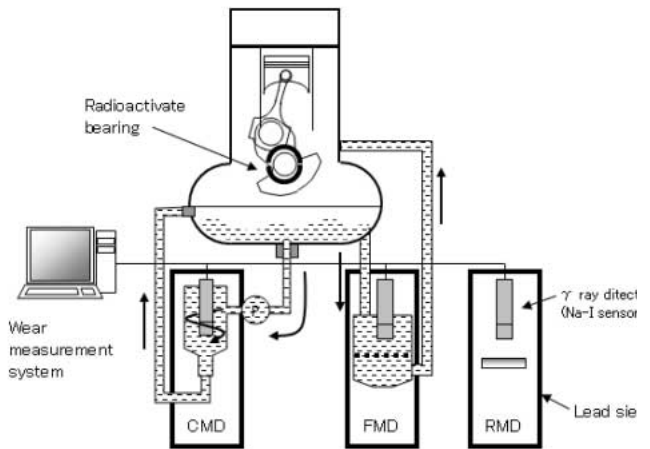


Fig.8 Wear Measurement by RTM

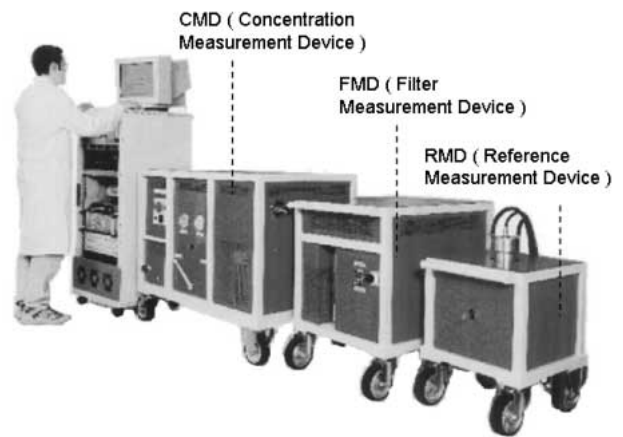


Fig.9 Wear Measurement Devices

この手法により運転条件や仕様の変化によって刻々と摩耗量が変化して行く様を捉えることができる。

5.2 計算予測精度検証結果

まずRTMの有用性と計算予測精度を確認するため、従来の実験方法との比較評価を行った。変化させるパラメー

タとして、軸受け内面の材質、クランクシャフト軸の表面粗さ、エンジン始動時の加速度を変えて試験を実施した。この結果をFig.10に示す。3者間で非常に高い相関が見られる。このことから3者の試験は同程度の現象再現性を有すると考える。

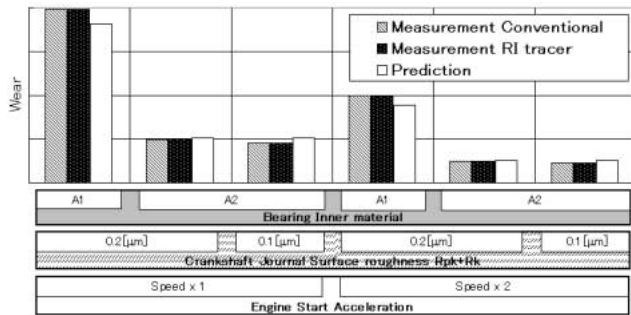


Fig.10 Comparison of Bearing Wear

## 6. RTMと予測計算の有用性

一方、従来実験手法は始動停止を数十万回繰り返すため1試験あたり数週間を要する試験であり、RTMは1試験に1日程度である。RTMに必要な薄層放射化にかかるコストは、数週間を要する従来実験手法においてエンジンが消費する燃料費よりも安価であり、本実験手法が期間的にもコスト的にも極めて優れていることが分かった。またPatir, Chengらによる修正レイノルズの式を基本にした弾性流体潤滑計算は数時間から数日を要するが、今回開発した予測計算手法に要する時間は数分であり、100分の1以下の極短時間計算を実現している。計算の評価期間、コストは実測よりも更に少なく有用である。

## 7. まとめ

- (1) 中原らの手法を主軸受けに応用し境界潤滑域の摩耗問題に適用可能な高速計算手法を構築した。
- (2) 薄層放射化によるRIトレーサ法(RTM)を利用し、短い試験期間かつ安価で、従来の摩耗評価手法と同等以上の評価が可能なことを確認した。
- (3) (2)の手法により多くのパラメータ変化における計算予測精度検証を実施し、計算予測計算と実測の比較結果が高い相関を示していることを確認した。これにより、計算手法が実用的であることを確認した。

計算手法についてご指導いただいた東京工業大学 中原綱光教授、薄層放射化試験についてご指導、ご協力いただいた帝国ピストンリング㈱、住友重機械㈱、住重試験検査㈱の方々へ感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) N.Patir, et al. : An average flow model for determining effect of 3D roughness, Transaction of the ASME VOL100 (1978)
- (2) P.Pan, et al. : Simple Formulae for Performance Parameters Used in Elastohydrodynamically Lubricated Line Contacts, Trans. ASME J. Tribology, 111, 2, p.246-251 (1989)
- (3) T.Nakahara, et al. : Approximate oil film thickness formula considering surface roughness effect on line contact EHL and its application to friction between cam and follower under mixed lubrication condition, The 10th Nordic symposium on tribology (2002)
- (4) J. A. Greenwood, et al. : The Contact of Two Nominally Flat Rough Surfaces, Proc. of the Inst. of Mech. Eng., Trib. Group vol.185, 48, 625 (1970-71)
- (5) 村木ほか：アイリング粘性解による低粘性流体のEHLトラクションの計算, 日本機械学会論文集(C編)55巻520号(1989)
- (6) 細谷ほか：スマート・アイドリング・ストップ・システムの開発, 日本機械学会 第19回内燃機関シンポジウム A5-3 (2007)
- (7) Y.Kagohara, et al. : Development of lead-free aluminum alloy bearing with higher amount of silicon, FISITA F2006P191 (2006)
- (8) 山本ほか：薄層放射化法によるエンジン摩耗計測, トライボロジスト35.1 26 (1990)
- (9) 山本：薄膜放射化法によるコンロッド軸受けの摩耗計測・解析, トライボロジー会議 (1998)
- (10) 片岡ほか：サイクロトロンによる薄膜放射化法と摩耗試験技術への応用, 住友重機械技報, Vol.40, No.120 (1992)

## 著者



宮内勇馬



廣部敏之



木村昇平



権代明典



広田哲昭

論文・解説

26

## 遊星歯車のかみあい伝達誤差連成解析 Coupled Analysis of Transmission Error in a Planetary Gear System

西野 隆之\*<sup>1</sup>  
Takayuki Nishino

### 要 約

本報告ではスター型遊星歯車装置のかみあい伝達誤差の解析方法を提案する。遊星歯車装置は一種の拘束かみあい歯車列である。したがって、数個の遊星歯車と太陽歯車並びに内歯車のかみあいは互いに影響しあう。この影響を考慮し、かみあい伝達誤差の連成解析手法を開発した。そしてこの手法を適用して、かみあい位相と歯面誤差のかみあい伝達誤差およびかみあい起振力へ及ぼす影響について検討した。その結果、順次かみあいは同時かみあいに比較してかみあい伝達誤差およびかみあい起振力の低減において大きな優位性をもつことが示される。この効果は複数の遊星歯車が同一の歯面誤差を持つ場合のみならず、異なる歯面誤差をもつ場合においても期待できる。

### Summary

This paper presents the procedure to simulate the transmission error in a planetary gear of star type. A planetary gear system is a kind of constrained geartrain. Accordingly a number of gear meshes between planet gears and a sun gear or a ring gear affect each others. Therefore a coupled analysis method of the transmission error has been developed. Then this method is applied to study the effects of mesh phasing and tooth surface error on the transmission error and mesh excitation force. As a result, a sequential phasing has a great advantage for reducing transmission error and mesh excitation force compared with a simultaneous phasing. This effect is expected when planet gears have different tooth surface errors from one another as well as homogeneous tooth surface error.

### 1. はじめに

遊星歯車装置は小容積で広範囲の変速比が得られるので、自動車用自動変速機には不可欠である。しかし、歯車騒音の静粛化に対する市場の要求は厳しく、これに対処できる技術の保有が課題である。

これまでに外歯はすば歯車の場合には、歯車騒音の起振源であるかみあい伝達誤差やかみあい起振力の解析について多くの研究がなされ、歯車騒音の低減に貢献している<sup>(1)-(3)</sup>。これに対して、遊星歯車装置の場合には、Katoら<sup>(4)</sup>、城越ら<sup>(5)</sup>、Sundararajanら<sup>(6)</sup>、Palmerら<sup>(7)</sup>の報告しか見当たらない。しかもその多くは歯の弾性や歯面誤差の影響を簡略化しており、一対の外歯はすば歯車の場合ほどには緻密な解析は行われていないようである。

遊星歯車装置は複数の遊星歯車が太陽歯車および内歯車と同時にかみあう拘束かみあい歯車列なので、すべてのかみあいが互いに影響しあう。そこで筆者は各歯車のかみあいを連成させた伝達誤差解析手法を開発中である。本報告では、第1報として、解析手法について述べると同時に、かみあい位相差<sup>(1)</sup>や歯面精度の影響についての解析例を報告する。

なお今回は、次の条件のもとに解析を行った。

- (1) キャリアの回転は固定とする(スター型)
- (2) 各部品の中心は移動しない<sup>(5)</sup>。
- (3) 内歯車本体やキャリアは剛体として扱う。

### 2. かみあい伝達誤差連成解析手法

本章では、かみあい伝達誤差の連成解析方法の定式化と

\*1 パワートレイン技術開発部  
Powertrain Technology Development Dept.

コンピュータプログラムについて述べる。

2.1 かみあい位相差

連成解析を行うには、かみあいの開始・終了に関する歯車間の相対的な進み・遅れ量を正確に把握する必要がある。Fig.1に示す配置角  $\rho_p$  の位置にある遊星歯車# $p$  ( $p = 1, \dots, N$ ) と太陽歯車のかみあいは、遊星歯車#1と太陽歯車のそれに対して次式で示す位相差を持つ。

$$t_{p,1} = \frac{\theta_p - \pi/2}{2\pi/Z_1} - \text{int} \left( \frac{\theta_p - \pi/2}{2\pi/Z_1} \right) \quad (1)$$

ここに $Z_1$ は太陽歯車の歯数である。同様に、遊星歯車# $p$ の裏歯面と内歯車のかみあいの、遊星歯車#1と太陽歯車のそれに対する位相差は

$$t_{p,2} = \frac{\theta_p - \pi/2}{2\pi/Z_3} - \text{int} \left( \frac{\theta_p - \pi/2}{2\pi/Z_3} \right) + t_R \quad (2)$$

で求まる。ここに $Z_3$ は内歯車の歯数である。また、 $t_R$ は内歯車と遊星歯車の裏歯面のかみあいの、太陽歯車と遊星歯車の表歯面のそれに対する位相差であり、次式で求まる。

$$t_R = \frac{-i\pi/Z_2 + \chi_2 + \text{inv} \alpha_1 + \text{inv} \alpha_2}{2\pi/Z_2} \quad (3)$$

ここに $Z_2$ は遊星歯車の歯数； $i$ は $Z_2$ が奇数のとき1、 $Z_2$ が偶数のとき2の値をとる； $\chi_2$ は遊星歯車の基礎円上のスペース角； $\alpha_1$ は太陽歯車と遊星歯車間のかみあい圧力角； $\alpha_2$ は内歯車と遊星歯車間のかみあい圧力角である。

以上によって、それぞれの歯車の作用線上における接触線の相対的位置が求まる。ただし、 $t_{p,1}$ 、 $t_{p,2}$ および $t_R$ は1歯分のかみあい周期で基準化している。

2.2 遊星歯車におけるかみあい伝達誤差

Fig.2において $LOA_{p,1}$ および $LOA_{p,2}$ は、それぞれ遊星歯車# $p$ と太陽歯車間および遊星歯車# $p$ と内歯車間の作用線である。そして、 $\rho_{p,1}$ を遊星歯車# $p$ の太陽歯車に対する遅れ角を $LOA_{p,1}$ 上の並進距離に換算した値、 $\rho_{p,2}$ を内歯車の遊星歯車# $p$ に対する遅れ角を $LOA_{p,2}$ 上の並進距離に換算した値とすると

$$= \rho_{p,1} + \rho_{p,2} \quad (4)$$

は内歯車の太陽歯車に対する遅れ角を作用線上の並進距離に換算した値であり、すべての遊星歯車で同じ値となるはずである。を総合かみあい伝達誤差と定義する。

2.3 定式化

ある回転位置における一本の接触線上の分布荷重は、久保<sup>8)</sup>によって与えられた一対のはずば歯車の場合の基本式

$$\int_{L_{j,p,q}} K_b(x_{j,p,q}, \xi_{j,p,q}) p_{j,p,q}(\xi_{j,p,q}) d\xi_{j,p,q} + K_c(x_{j,p,q}) p_{j,p,q}(x_{j,p,q}) = \{ \Delta_{p,q} - e_{j,p,q}(x_{j,p,q}) \} \cos \beta_b \quad (5)$$

(where  $p = 1, \dots, N$ ;  $q = 1, 2$ ;  $j_{p,q} = 1, \dots, n_{p,q}$ )

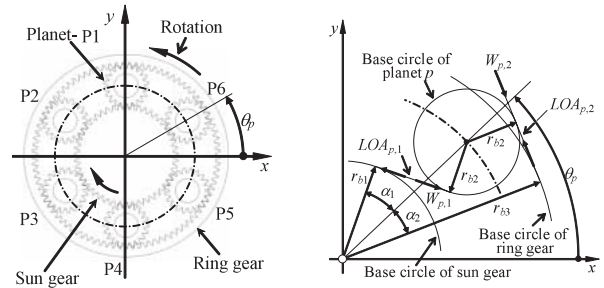


Fig.1 Arrangement of Pinions Fig.2 Line of Actions

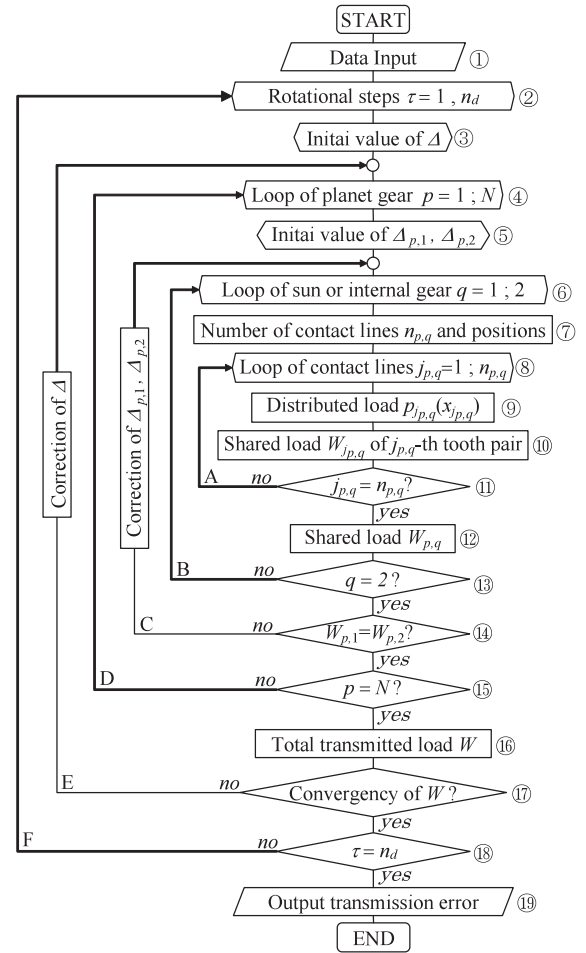


Fig.3 Flowchart of Numerical Procedure

と以下の式を連立させ、式(4)の条件下で解くことによって求まる。

$$W_{p,1} = W_{p,2} \quad (p = 1, \dots, N) \quad (6)$$

$$W = \sum_{p=1}^N W_{p,1} = \sum_{p=1}^N W_{p,2} \quad (7)$$

ただし

$$W_{p,q} = \sum_{j_{p,q}}^{n_{p,q}} \int_{L_{j_{p,q}}} p_{j_{p,q}}(\xi_{j_{p,q}}) \cos \beta_b d\xi_{j_{p,q}} \quad (8)$$

ここに添え字 $p$ は遊星歯車の番号； $q=1$ は遊星歯車と太陽歯車のかみあい； $q=2$ は遊星歯車と内歯車のかみあいを表す。つまり、添え字 $(p,q)$ は対象とする歯車対を表す。



また、 $n_{p,q}$ はこの相対回転位置において同時にかみあう歯車対( $p,q$ )の接触線の数;  $j_{p,q}$ は接触線の番号;  $L_{j_{p,q}}$ は接触線上での実接触領域;  $X_{j_{p,q}}$ は接触線上でのたわみ測定点の座標;  $j_{p,q}$ は接触線上での荷重作用点の座標;  $Kb(X_{j_{p,q}}, j_{p,q})$ は歯対の曲げせん断たわみの影響関数<sup>(9)</sup>;  $Kc(X_{j_{p,q}})$ は接触による歯面間の接近量の影響関数<sup>(8)</sup>;  $P_{j_{p,q}}(j_{p,q})$ は接触線上での分布荷重;  $e_{j_{p,q}}(j_{p,q})$ は接触線上での合成歯面誤差;  $b$ は基礎円筒上のねじれ角;  $W_{p,q}$ は歯車対の分担荷重(Fig.2);  $W$ は作用線方向の伝達荷重である。

2.4 数値解法

Fig.3にコンピュータプログラムのフローチャートを示す。この手順はA~Fまでのループで構成される。以下、各ループでの作業の概要を示す。

ループA: ステップ③で設定したの初期値のもとに式(5)を解いて歯車対( $p,q$ )の一本の接触線上における真実接触領域と分布荷重を求め、この歯対の分担荷重を計算するループ<sup>(3)</sup>。接触線の位置は、ステップにて、式(1),(2)で求まる位相差を考慮して決定されている。

ループB: 一つの遊星歯車の太陽歯車および内歯車とのかみあいに関するループ。このループの終了時点で、与えられた、 $p_1, p_2$ に対する分担荷重 $W_{p,1}, W_{p,2}$ が求まる。

ループC:  $p_1$ と $p_2$ を決定するループ。 $p_1$ と $p_2$ の初期値は、ステップ⑤にて、式(4)を満足するようにを振り分けることによって与えられている。ループBで求めた分担荷重 $W_{p,1}, W_{p,2}$ は $p_1$ と $p_2$ の初期値に対して得られるものであり、式(6)を満足しない。そこで、ニュートン法によって $p_1$ と $p_2$ を修正する。こうして新たな $W_{p,1}, W_{p,2}$ が式(6)を満足するまで収束計算を続ける。ここで、収束条件は $|W_{p,1} - W_{p,2}| / (W/N) < 1 \times 10^{-4}$ とした。

ループD: 以上の手順をすべての遊星歯車について繰り返すループ。このループの終了時点で、初期値として与えたに対する伝達荷重 $W$ が求まる。

ループE: ステップにて求めた伝達荷重 $W$ が入力値 $W_i$ に等しくなるようにを決定するループ。ステップで求まる $W$ はの初期値に対して得られるものであり、 $W_i$ には等しくない。そこでをニュートン法によって修正する。ここで収束条件は $|W_i - W| / W_i < 1 \times 10^{-4}$ とした。このループの終了時点でこの回転位置におけるかみあい伝達誤差 $p_1, p_2$ およびが決定される。

ループF: ループA~Eをすべてのかみあい位置について繰り返し、 $p_1, p_2$ およびを決定するループ。

3. かみあい起振力

本章では、遊星歯車装置特有のかみあい起振力の定式化について述べる。第2章の定式化では、歯車は静的に荷重を伝達しているものとしている。本章では、歯車は動的な状態にあり、6自由度の運動を行うものとする。

歯車対( $p,q$ )の歯面法線方向の動的分担荷重 $F_{p,q}^n$ は次式

で与えられる( $F_{p,q}^n$ は駆動歯面の外向き法線方向が正)

$$F_{p,q}^n = -k_{p,q}^n X_{p,q}^n + \bar{W}_{p,q}^n \phi_{p,q}^n \tag{9}$$

ただし

$$\phi_{p,q}^n = \sum_{j_{p,q}=1}^{n_{p,q}} k_{j_{p,q}}^n \min e_{j_{p,q}}^n / \bar{W}_{p,q}^n \tag{10}$$

である。ここに $k_{p,q}^n$ は歯の合成ばね定数;  $k_{j_{p,q}}^n$ は歯対 $j_{p,q}$ のばね定数;  $X_{p,q}^n$ は代表点における駆動および従動歯面の法線方向の動的相対変位;  $W_{p,q}^n$ は静的分担荷重;  $\min e_{j_{p,q}}^n$ は歯対 $j_{p,q}$ の合成歯面誤差の最小値である。ただし以上の諸量の上付き添え字 $n$ は歯直角値を意味する。

式(9)に現れる変数はかみあいの進行に伴って定常値のまわりで微小変動するものとし、次のように表す。

$$\left. \begin{aligned} F_{p,q}^n &= -\bar{W}_{p,q}^n + (\tilde{F}_{p,q}^n - \tilde{W}_{p,q}^n) \\ k_{p,q}^n &= \bar{k}_{p,q}^n + \tilde{k}_{p,q}^n \\ X_{p,q}^n &= \bar{X}_{p,q}^n + \tilde{X}_{p,q}^n \\ \phi_{p,q}^n &= \bar{\phi}_{p,q}^n + \tilde{\phi}_{p,q}^n \end{aligned} \right\} \tag{11}$$

ただし、上式の右辺第一項は定常値、第二項は微小変動を表す。これらの中で分担荷重に関しては、後述のごとく静的な伝達荷重がかみあいの進行に伴って変動することを考慮し、上式のように表した。これらを式(9)に代入し、誤差に関する高次項を省略し、変動項のみ残すと次式を得る。

$$\tilde{F}_{p,q}^n = -\bar{k}_{p,q}^n \tilde{X}_{p,q}^n + [\bar{W}_{p,q}^n \{\tilde{\phi}_{p,q}^n - \tilde{\kappa}_{p,q}^n (1 + \bar{\phi}_{p,q}^n)\} + \tilde{W}_{p,q}^n] \tag{12}$$

上式の右辺第一項はばねによって伝わる内力である。いっぽう、第二項は外力であるので、これをかみあい起振力とみなせる。かみあい起振力を軸直角値 $E_{p,q}$ で表すと、次式を得る。

$$E_{p,q} = \bar{W}_{p,q} \{\tilde{\phi}_{p,q} - \tilde{\kappa}_{p,q} (1 + \bar{\phi}_{p,q})\} + \tilde{W}_{p,q} \tag{13}$$

ただし

$$\phi_{p,q} = \sum_{j_{p,q}=1}^{n_{p,q}} k_{j_{p,q}} \min e_{j_{p,q}} / \bar{W}_{p,q} \tag{14}$$

$$\kappa_{p,q} = \tilde{k}_{p,q} / \bar{k}_{p,q} \tag{15}$$

式(13)より、遊星歯車装置の起振力は、歯面誤差や歯のばね定数の周期変動による起振力<sup>(3)(8)</sup>に静的分担荷重の変動を加えた量である。

4. 解析事例

本章では、かみあい位相差と歯面精度の影響について検討する。Table 1に歯車諸元を示す。この遊星歯車装置は120等配置であり、各遊星歯車間のかみあい位相差は120°である。Fig.4に遊星歯車と太陽歯車または遊星歯車と内歯車の合成歯面形状を示す。(a)は伝達誤差が最小となるように最適化した歯面、(b)は歯形方向に15μmの水口をもつ歯面である。以降、それぞれ正常歯車および不良歯車と呼

ぶことにする。また、太陽歯車のトルクは100Nmとしている。

4.1 かみあい位相差の影響

すべての遊星歯車が不良歯面をもつとして、120 のかみあい位相差をもつ場合 (Sequentially phased : 順次かみあい) と位相差を零とした場合 (In-phase : 同時かみあい) についてかみあい解析を行った。

Fig.5にかみあい1周期分の総合伝達誤差波形を示す。同時かみあいの場合にはかみあい伝達誤差の振幅は大きいですが、順次かみあいの場合には不良歯面であってもかみあい伝達誤差の振幅は非常に小さい。Fig.6に各遊星歯車と太陽歯車間のかみあい伝達誤差を示す。同時かみあいの場合には、各遊星歯車のかみあい伝達誤差の波形は同じであり、振幅は大きい。いっぽう順次かみあいの場合には、ある程度かみあい伝達誤差は変動しているが、振幅は小さい。また、各遊星歯車間で120 の位相差をもって変動している。

Fig.7に各遊星歯車の静的分担荷重を示す。同時かみあいの場合には、各遊星歯車の静的分担荷重は一定値である。これに対して順次かみあいの場合には、分担荷重は各遊星歯車間で120 の位相差をもって変動している。この結果、最大分担荷重は同時かみあいの場合の約1.06倍になる。Fig.8に遊星歯車#1と太陽歯車間に発生するかみあい起振力の成分構成を示す。歯面誤差と歯のばねの周期変動のみ考慮した場合には大きな起振力が発生している。これに上述の分担荷重の変動による起振力を重ね合わせると波形が打ち消され、振幅が非常に小さくなると同時にFig.6に示す伝達誤差に似た波形になる。このように遊星歯車の起振力の大きさには分担荷重の変動が大きく影響することがわかる。Fig.9には各遊星歯車と太陽歯車間のかみあい起振力を示す。同時かみあいの場合には、各遊星歯車のかみあ

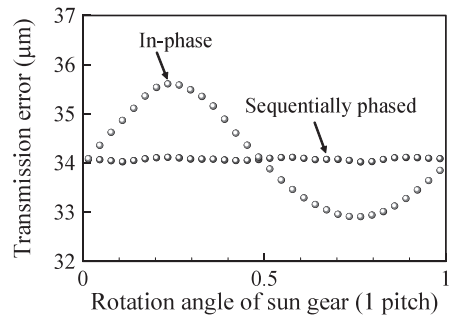


Fig.5 Total Transmission Error

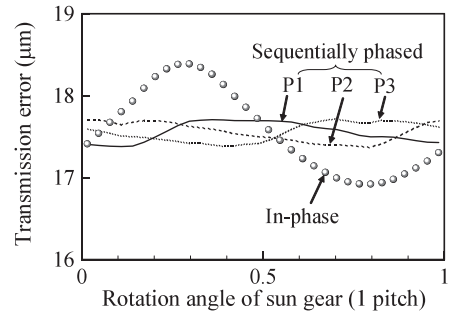


Fig.6 Individual Transmission Error (Sun-Planet)

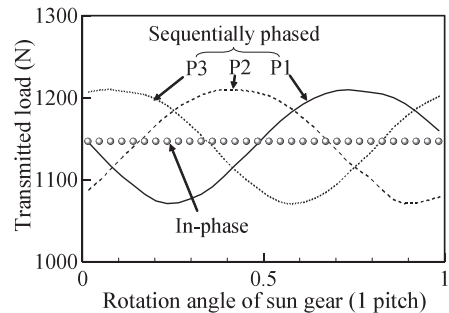


Fig.7 Shared Load

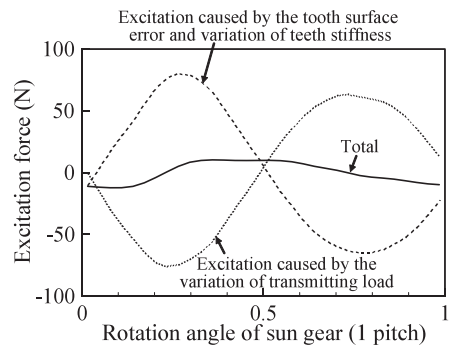


Fig.8 Component of Excitation Force

Table 1 Gear Data

Item	Sun	Planet	Ring
Module	1.17		
Number of teeth	49	20	89
Pressure angle	19°		
Helix angle	22°28'59"		
Direction of helix	LH	RH	RH
Face width (mm)	19	19	19

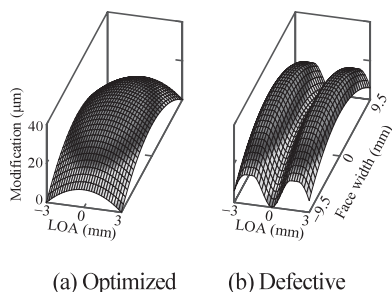


Fig.4 Flowchart of Numerical Procedure

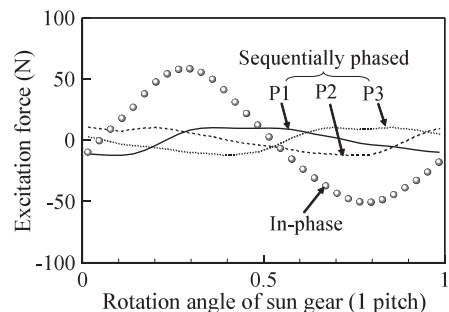


Fig.9 Individual Excitation Force

い起振力は同じであり、振幅は大きい。一方、順次かみあいの場合には、かみあい起振力の振幅は小さい。

以上を要約すると、各遊星歯車が均一な歯面誤差をもつ場合には、かみあい位相差設計によってかみあい伝達誤差および起振力は大幅に低減できるといえる。

4.2 歯面精度の影響

大量生産化では、種々の理由で歯面精度が大きく異なる遊星歯車が同じユニットに混入することが多い。このような場合でもかみあい位相差設計がかみあい伝達誤差や起振力の低減に効果があるか否かを確認する。このためにすべての遊星歯車が正常である場合を基準に、不良歯車を混入させた。その組合せをTable 2に示す。

Fig.10に同時かみあいと順次かみあいの場合のかみあい

Table 2 Combinations of Planet

○: Good Gear  
×: Defective Gear

Case	P1	P2	P3
None	○	○	○
P1	×	○	○
P1, P2	×	×	○
All	×	×	×

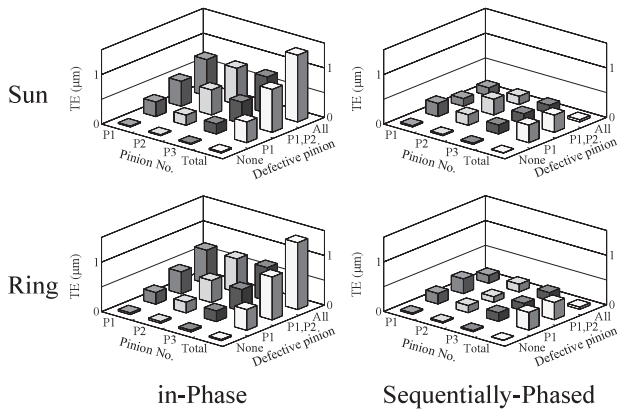


Fig.10 Influence of Tooth Surface Error on Transmission Error

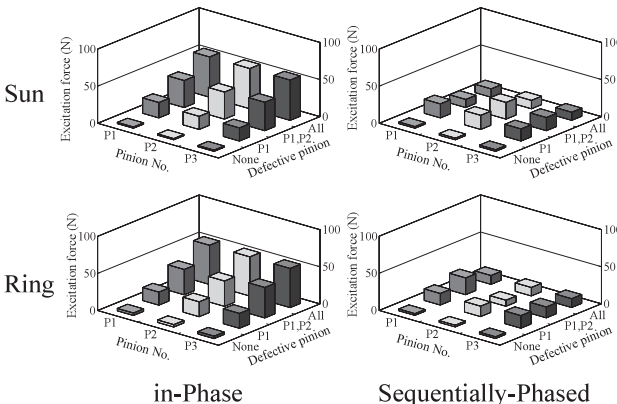


Fig.11 Influence of Tooth Surface Error on Excitation Force

伝達誤差の振幅を示す。同時かみあいの場合、総合かみあい伝達誤差は、不良歯車の数が増えるに伴って大きくなってゆく。この際に、個々の遊星歯車の伝達誤差は不良歯車だけが大きくなるのではなく、三つの遊星歯車の値が平均化されながら不良歯車の数が増えるに伴い大きくなっている。いっぽう順次かみあいの場合には、不良歯車が1個と2個の場合に同程度に伝達誤差が増加しているが、その絶対値は同時かみあいに比べるとかなり小さい。この際に、不良歯車の伝達誤差だけが大きくなるのではなく、全体的に平均化されるのは同時かみあいの場合と同じである。しかし、すべて不良歯車になると伝達誤差が逆に小さくなっており、これが同時かみあいの場合と大きく異なる点である。

Fig.11にかみあい起振力を示す。伝達誤差の場合とまったく同じ傾向が観察できる。

以上を要約すると、かみあい位相差設計のかみあい伝達誤差および起振力の低減効果は各遊星歯車が均一な歯面誤差をもつ場合に最も大きくなるが、各遊星歯車の歯面誤差が同じでない場合でもかみあい伝達誤差および起振力がかなり改善できるといえる。

5. まとめ

本研究では、遊星歯車装置のかみあい伝達誤差の連成解析手法を開発し、かみあい位相差および歯面精度の影響解析を行った。この結果、かみあい位相差設計は同時かみあいに対し、かみあい伝達誤差および起振力が大幅に低減できることを示した。更に、この効果は各遊星歯車が均一な歯面誤差をもつ場合のみならず、各遊星歯車の歯面誤差が不均一な場合でも期待できることを示した。

参考文献

- (1) Umeyama, M., et al. : Transmission Error of a Helical Gear Pair with Modified Tooth Surfaces (1st and 2nd Report), Transaction of JSME, 62-603, C, p.4332-4348 (1996)
- (2) Yoshikawa, K., et al. : Measurement of Helical Gear Transmission Error and Improvement of Analytical Method, Transaction of JSME, 63-609, C, p.1775-1782 (1997)
- (3) Nishino, T. : Vibratory Response in Helical Gear System (1st Report, Analysis of Mesh Exciting Force), Transaction of JSME, 64-623, C, p.2688-2694 (1998)
- (4) Katoh, T., et al. : Loaded Transmission Error in a Planetary Gear System, Proc. MTP 91, p.110-116(1991)
- (5) Shirokoshi, N., et al. : Studies on Influences of Geometrical Errors to Final Performances in Small Backlash Planetary Gear, Transaction of JSME, 65-633, C, p.2014-2021 (1999)

- (6) Sundararajan, V. : Design System for Composite Transmission Error Prediction for Automatic Transmission, Proc. IDETC/CIE 2005, DETC2005-85487 ( 2005 )
- (7) Palmer, D. : Design Consideration of Planetary System for Transmission Error Prediction, Proc. ICMT2006, p.880-889 ( 2006 )
- (8) Kubo, A., et al. : On the Power Transmitting Characteristics of Helical Gears with Manufacturing and Alignment Errors ( 1st Report, Fundamental Consideration ) , Transaction of JSME, 43-371, p.2771-2783 ( 1977 )
- (9) Nishino, T. : Tooth Deflection of External and Internal Helical Gears, Transaction of JSME, 64-623, C, p.2702-2710 ( 1998 )

**著 者****西野隆之**

論文・解説

27

## 高能率フェイスミル加工技術の開発 Development of High Efficiency Face Milling Technology

中山 亨<sup>\*1</sup> 鳥居 元<sup>\*2</sup> 網井 義浩<sup>\*3</sup>  
Toru Nakayama Hajime Torii Yoshihiro Amii  
平井 泰史<sup>\*4</sup>  
Yasushi Hirai

### 要 約

マツダでは、お客様のニーズ（車種・排気量・グレード等）の変化に即応するためフレキシブルかつロバストな生産システムに革新してきた。各加工法（ドリル・フェイスミルなど）においては多品種を加工できる標準刃具の実現に取り組んでいる。今回、フェイスミル加工において狙いの品質と生産性を両立する刃具諸元と加工条件の最適化をテーマとした。

また、この高能率フェイスミル加工技術の課題解決を進めるプロセスにおいて、品質工学と切削シミュレーションの組み合わせによる切削評価というこれまでにないアプローチを行った。切削現象を解析することでシミュレーションを実用レベルに改善し、シミュレーション上で品質工学実験を行うことで短期間に最適刃具諸元と最適加工条件を導き出した。更に試作回数を最小とし、その刃具での量産評価を行って狙いの品質と生産性を両立したものである。

### Summary

In response to variation of customer's needs (vehicle type, displacement, grade), Mazda have innovated flexible and robust production system. In each machining (drill, face-milling), we're developing standard tooling, which can machine various parts.

This report describes on face-milling, aiming to obtain both quality and productivity by optimizing tooling condition and cutting condition.

For the development of high efficiency face milling, we made a new approach by integrating Taguchi method into machining CAE, which can upgrade simulation to practical analysis tool, enabling us to save engineering time and cost greatly. Based on this analysis, we fabricated only one optimum tool which enabled us to achieve both the target quality and productivity in production.

### 1. はじめに

近年、お客様の多様なニーズにタイムリーに応えるため、生産加工ライン（Fig.1）には、量と種類の変動に対し、フレキシブルかつロバストな生産システムが要求されている。エンジンおよびトランスミッションの機械加工ラインも、上記システムの実現を目指し、加工機械や刃物の標準化を進めている。具体的には、従来の各製品加工面の形状に対応した専用加工機械および専用フェイスミルカットにより「ワンパス」で加工する方法から、標準マシニングセ



Fig.1 Machining Production Line

\*1~4 パワートレイン技術部  
Powertrain Production Engineering Dept.

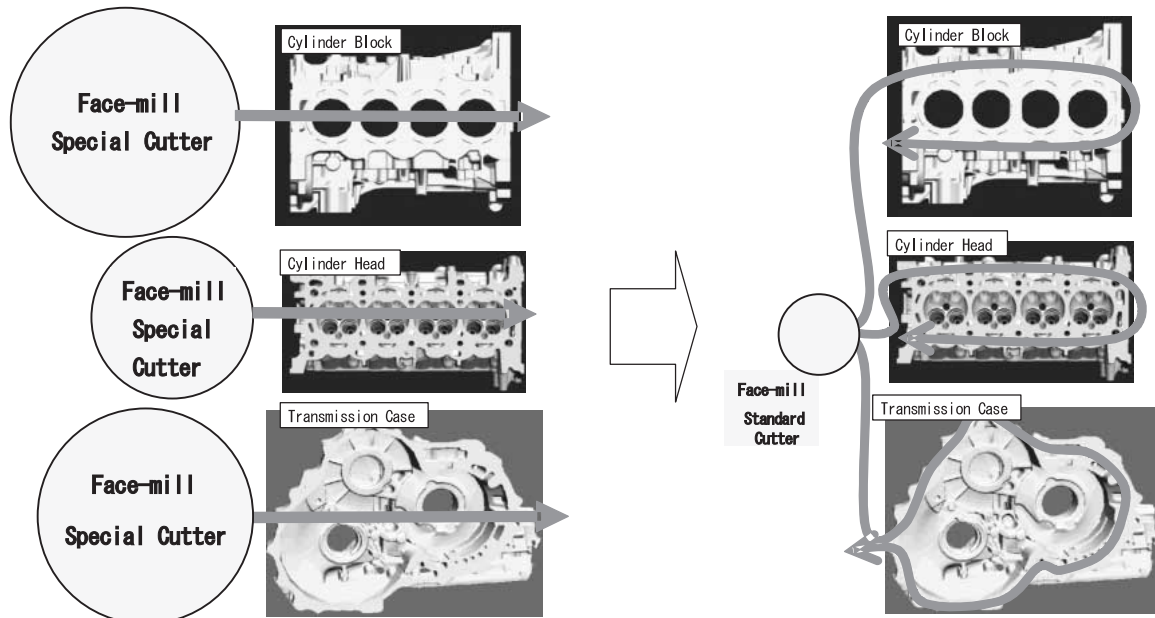


Fig.2 Contouring Process

ンタと標準フェイスミルカッタにより製品の加工必要部位のみを加工するコンタリング加工 ( Fig.2 ) への展開である。コンタリング加工には、品質と生産性において以下の技術課題がある。

- (1) 品質上の課題
  - ① 加工パスの繋ぎ目に生じる段差
  - ② 標準機械にはヒーリング機構<sup>(1)</sup>がないために、後刃が加工面をこすするため仕上げ面粗さ悪化

- (2) 生産性の課題
 

小径カッタのため加工長が長くなることによる加工時間の増加

以上の課題を解決する上で、従来からの実切削による最適条件設定の取り組みでは、開発期間の長さや検証費用が問題となっていた。そこで今回、短期間に効率良く高能率なフェイスミル加工技術を開発する方法として、品質工学を用いた実験に切削シミュレーションを組み合わせた切削評価プロセス ( Fig.3 ) へと最適化を行った。本稿では、これらの活動から得た成果とプロセスの有効性について述べる。

## 2. 切削評価プロセスの変革

これまでにも、切削加工分野で品質工学を用いた技術開発を行ってきたが、従来の切削評価プロセスでは多種類のフェイスミルの製作が必要となる。また、フェイスミル諸元についても市販品からの選択となるがゆえに、水準が大きく振れないという制約が生じるため、十分な改善効果が得られないことが予想された。

そこで、今回の取り組みにおいては切削シミュレーショ

ンの「刃具諸元を任意に設定できる」利点を活用することで、「これでいい」と妥協せず「これがいい」と納得するまで行動し、最適化を追求した。このことにより多くの制御因子や水準での実験・評価で良い条件を導き出せると考えた。また、物を作らずに評価することで、開発期間短縮と検証費用削減に大きく貢献できる新しい切削評価プロセスへの変革も狙った。

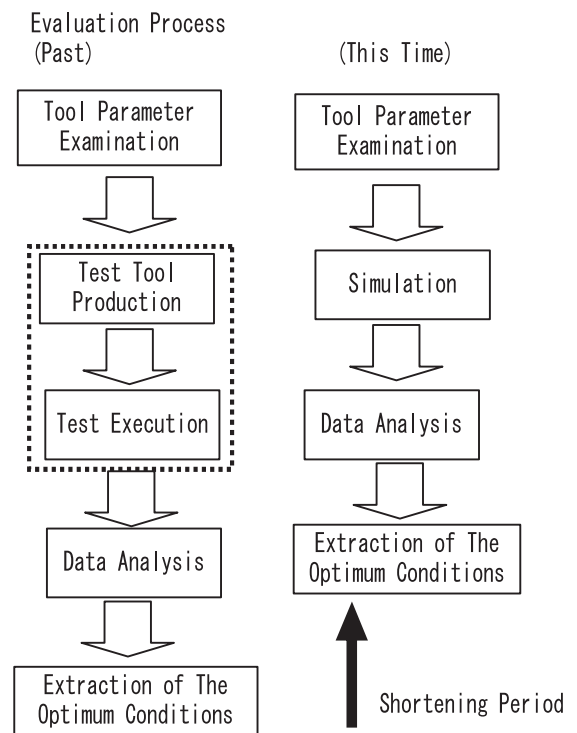


Fig.3 Cutting Evaluation Process

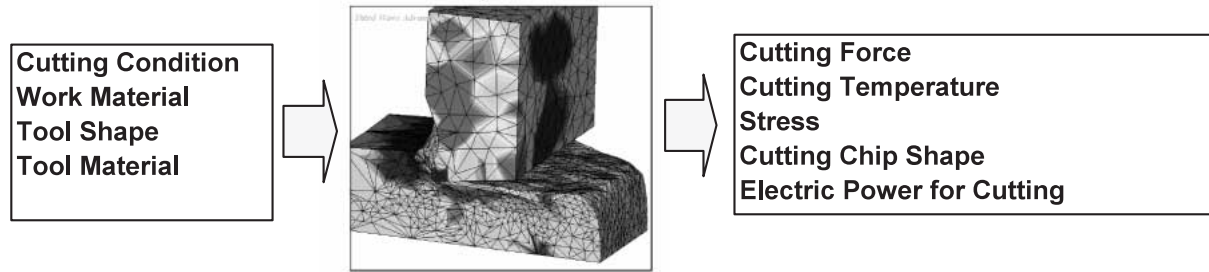
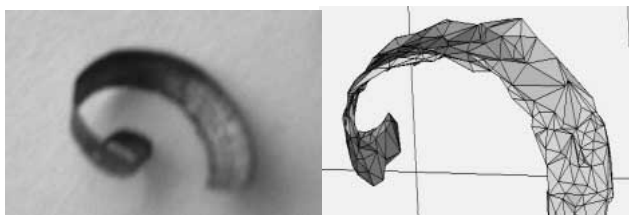


Fig.4 Cutting Simulation



Real Cutting Chip Simulation Chip

Fig.5 Chip

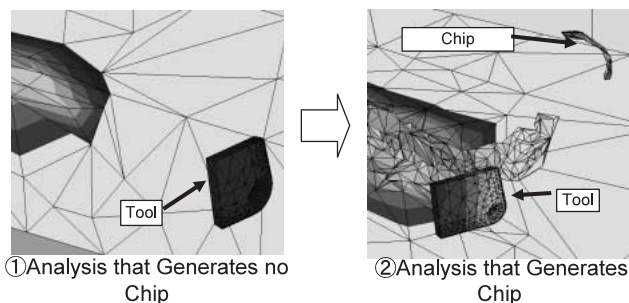


Fig.6 Analytical Result

具形状を入力し、有限要素法に基づいて切削抵抗，切削温度，応力，切削動力を求めるものである。

解析モデルのメッシュ長は、工具寸法に合わせて自動設定されるため、先端部では微細となる。また、メッシュ長が小さくなるほど解析精度は向上するが、解析時間は大幅に長くなる。当初、1解析あたり約48時間かかり、L18直交実験に必要な108回の実験には7ヶ月を要することが予想されたため、解析精度確保と解析時間短縮を両立できるメッシュ長の最適化が切削シミュレーションを効率的に進めるための課題であった。

今回、切削加工の良否判定をする場合の判断基準として、実物の切屑形状 (Fig.5) を選定し、メッシュ長を50段階に変更しながら同一形状条件での解析に取り組んだ。この時、実切削加工とかけ離れた解析結果、つまり切屑が発生しない状態のメッシュ長は採用せず (Fig.6①)、段階的に条件変更を行いながら、Fig.6の②に示すような切屑生成、つまり実物切削の切屑評価項目 (カール径・長さ・幅・厚さ等) と見比べて切屑形状の一致度と解析時間の最適点を導出させた条件を見出し、メッシュ長を決定した (Fig.7)。結果、解析期間を85%短縮できる。

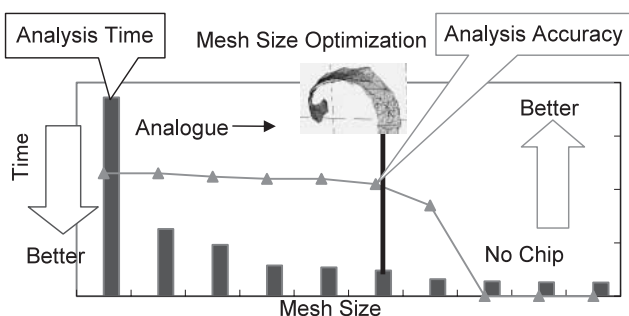


Fig.7 Mesh Size Optimization

### 3. 切削シミュレーションの課題

今回使用した切削シミュレーション (Fig.4) は、切削速度，送り速度などの切削条件，被削材質の材料定数，工

## 4. 品質工学実験

### 4.1 基本機能と誤差因子

基本機能は、切削重量に対する切削エネルギーとした (Fig.8)。工具の切れ味を追究することは、単位重量あたりの切削エネルギーを極小化することであり、後刃のこすりによる粗さ悪化を防ぎ、段差発生をなくすだけでなく、加工率も向上できると考えた。また、今回のシミュレーションの切削エネルギーは切削動力が結果として現れるが、切削重量は分からないため、切削重量の正確な把握も課題の一つとなっていた。

誤差因子はアルミ材質の違いとした。すべてのアルミ材に適用させることと、材質の違いにより切削エネルギーが大きく変化するために、切屑形状に大きな差が生じると考えられるので、当社で使用中の2種類の被削材質を設定した。

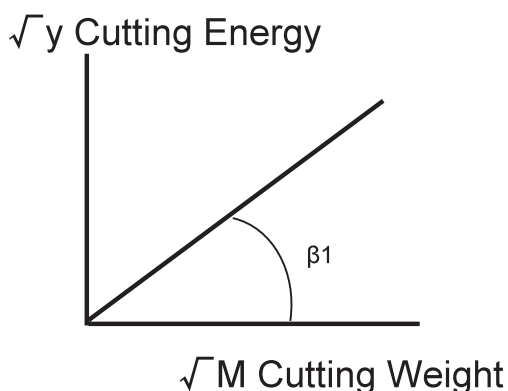


Fig.8 Ideal Function

Table 1 Control Factor and Level

Control Factor	Level 1	Level 2	Level 3
A: Coolant	A1	A2	A3
B: Main Axis Rotational Speed	Low	Median	High
C: Feed (mm/Insert)	Low	Median	High
D: Side Blade Corner	Small	Median	Large
E: Axial Rake Angle	Small	Median	Large
F: Radial Rake Angle	Small	Median	Large
G: Relief Angle	Small	Median	Large
H: Corner R	H1	H2	H3

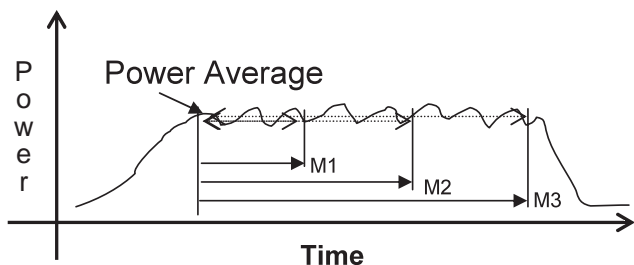


Fig.9 Wave Data

Table 2 Experiment Data

L1	N1			N1		
	y 11	y 12	y 13	M11	M12	M13
	0.0573	0.1135	0.1669	0.0004	0.0008	0.0012
L1	N2			N2		
	y 21	y 22	y 23	M21	M22	M23
	0.0486	0.1032	0.1540	0.0004	0.0008	0.0012

Unit (y:KW)                      Unit (M:g)

4.2 制御因子と水準

Table 1に示すように制御因子と水準は、切削条件・工具諸元の8因子を取り上げ、L18直交表に割り付けた。なお、要因効果が明確に現れるように、切削条件は設備能力の最大値まで、刃具諸元は製作可能な限界まで水準を大きく振って割り付けた。

4.3 波形データ処理方法

解析期間・回数を短縮するため、切り込み深さを変えて複数の実験を行うのではなく、1度の加工で得られる切削動力波形を分割し、算出した重量を信号因子とした<sup>2)</sup>。

Fig.9に示す波形データのように直線部を3等分割しM1・M2・M3の信号因子とした。切削動力の平均値を求め、その時にかかる時間と積算することで切削エネルギーとした。この方法により解析時間を1/3に短縮した。切削重量は、波形データの時間、回転数、送り速度から切削体積を求め、密度との積にて算出した。次に算出した実験データ (Table 2) を用いて、ばらつきの指標であるSN比と平均値の効果を表す感度を求めた。

4.4 要因効果図と最適条件の選定

Fig.10に実験結果のSN比と感度の要因効果図を示す。図中の○は現行条件であり、要因効果図のSN比優先から最適条件は、図中の丸印で囲ったA<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>D<sub>1</sub>E<sub>2</sub>F<sub>2</sub>G<sub>1</sub>H<sub>3</sub>となる。

しかし、要因B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>を選定すると加工能率が現状より50%低下するため、能率を現行条件以上とできるB<sub>2</sub>C<sub>2</sub>を採用した。また、要因Aについては、感度優先としA<sub>1</sub>を選定した。なお、他の要因については、従来の技術的知見から説明できる結果であった。

以上からTable 3に示すように、効果推定と確認実験のSN比と感度について品質工学の計算式に基づいて現行条件に対する最適条件の利得を算出した。この結果、SN比、感度とも利得があり良好な再現性も得られている。

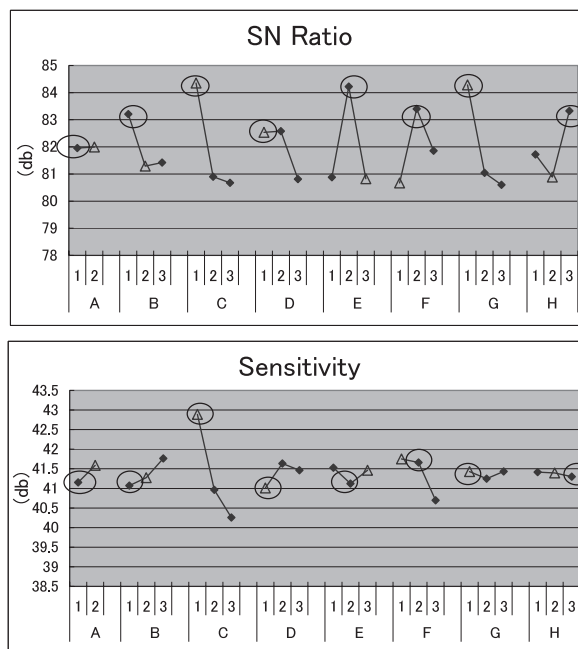


Fig.10 SN Ratio and Sensitivity

Table 3 Prediction and Confirmation (db)

	SN Ratio		Sensitivity	
	Prediction	Confirmation	Prediction	Confirmation
Conventional Condition	82.99	83.77	43.20	41.44
Optimum Condition	88.18	88.54	40.99	39.07
Gain	5.19	4.77	-2.20	-2.37



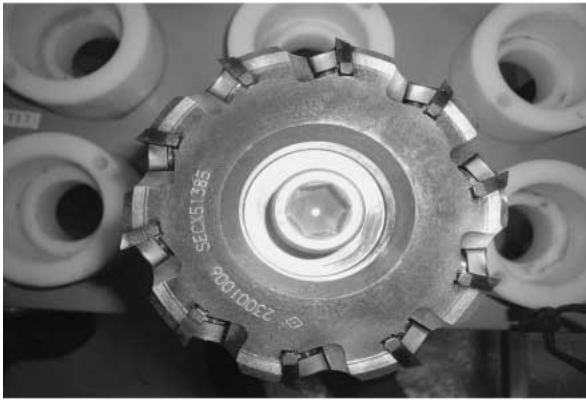


Fig.11 Fabricated Face-mill Cutter with Optimum Specification

を確認した。そのときの切削負荷トルク状態を表したのが Fig.13である。最適条件（下）は、現行条件（上）に比べ送り速度を上げているが切削負荷トルクは下がっている。このことは、狙いの基本機能である切削エネルギーを極小化しており「すばっと切れて少ないエネルギーで加工されている」といえる。この最適条件により大幅な加工時間短縮となっている。

5.2 効果確認

以下に今回の活動の効果を示す。

- (1) 段差，粗さ（品質特性）は，現行条件に比べ，約10%向上を達成した。更に加工能率を181%向上できた（Fig.14）
- (2) 開発期間は，43%短縮できた（Fig.15）。これは，メッシュ長を最適化したことと切削シミュレーションから求める動力波形を分割する処理ソフトを自社開発したことによる。更にソフトのカスタマイズを行うことにより開発期間の更なる大幅な短縮を見込んでいる。

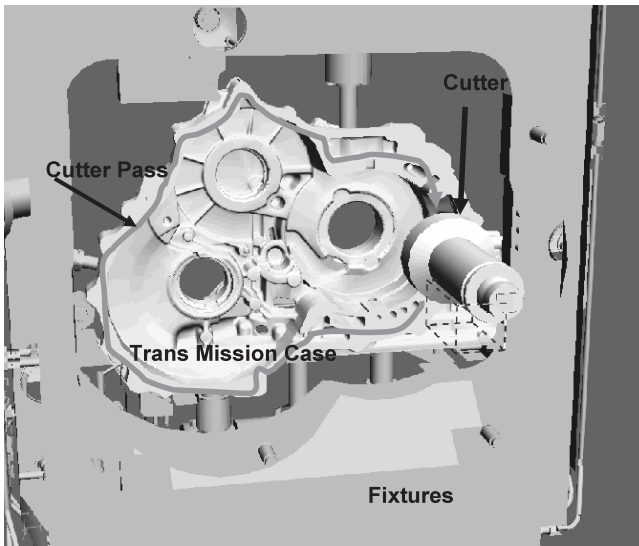


Fig.12 Cutting Trans Mission Case

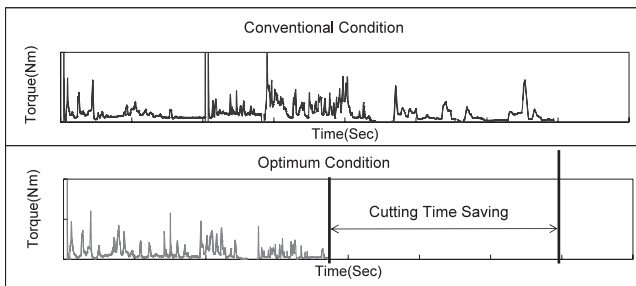
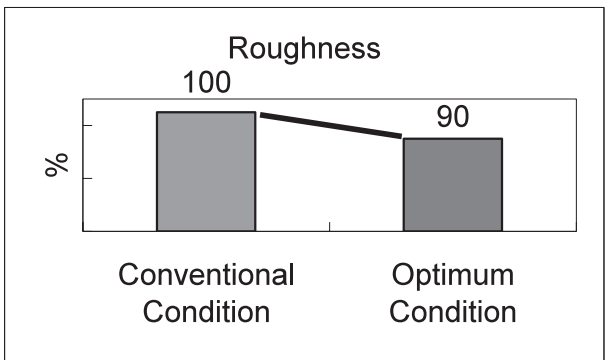
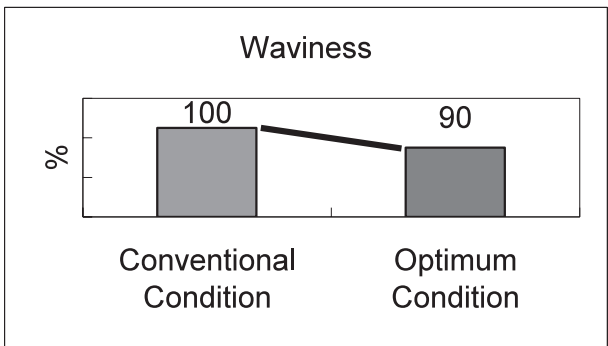


Fig.13 Cutting Torque

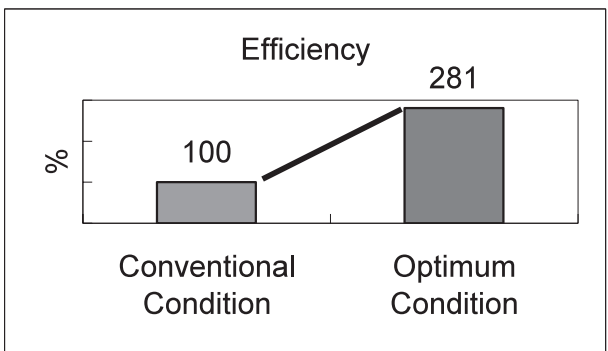


Fig.14 Effect of Waviness, Roughness and Efficiency

5. 最適条件検証

5.1 量産検証

品質工学実験で得られた最適諸元の刃具（フェイスミルカッタ）を1個のみ製作した（Fig.11）。このフェイスミルカッタで実部品トランスミッションケースのコンバータハウジング取り付け面等をFig.12のように加工した。

最適条件は，現行条件の最大6倍の送り速度（F3,200～F16,000mm/min F19,200mm/min）で加工し品質・能率

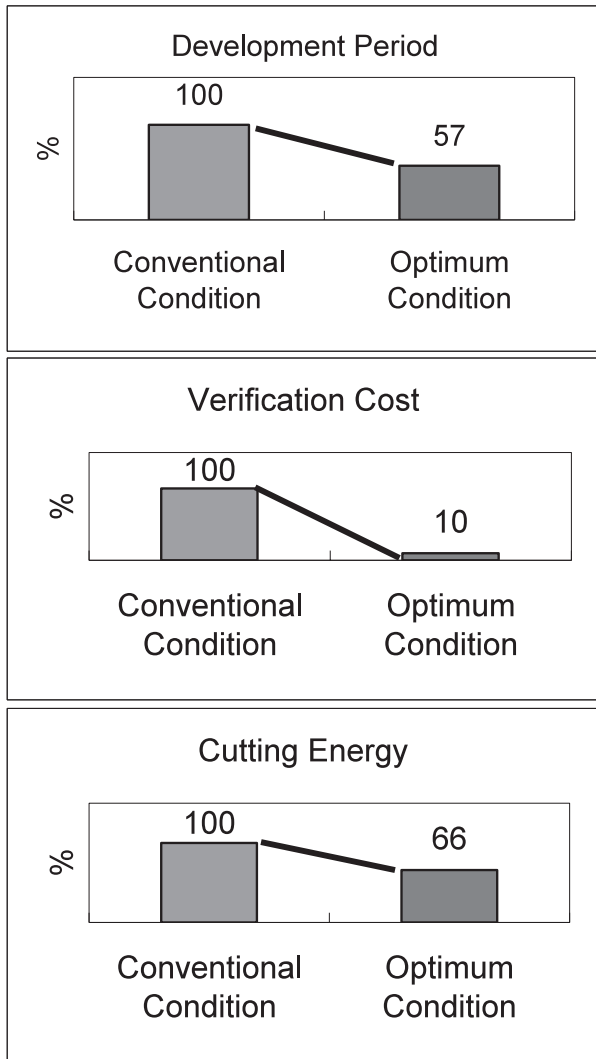


Fig.15 Effect of Development Period, Verification Cost and Cutting Energy

今後この切削評価プロセスを更にスパイラルアップさせ、他の切削工法への展開を図っていく。現在、更なる品質（段差，粗さ）の向上を目指し、今回使用した以外のデータ域，つまり不安定域まで踏み込み，評価範囲を拡大して解析評価を進めている。

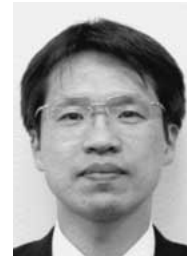
参考文献

- (1) 中村健三：フライス加工ハンドブック，切削油技術研究会，p.89（1988）
- (2) 神蔵ほか：セミドライによる高速深穴加工条件の最適化，第11回品質工学研究発表大会論文集，p.308-311（2003）

著者



中山 亨



鳥居 元



網井義浩



平井泰史

- (3) 検証費用は，90%削減である。今回の検証用に製作したフェイスミルカッタは1個のみである（Fig.15）。
- (4) 切削エネルギーは，34%の低減を実現した（Fig.15）。
- (5) 無形効果としてシミュレーションでの切削評価プロセスの有効性を実証できた。

6. まとめ

今回の取り組みでの成果は，

- ① 狙いの品質と生産性をともに向上させるフレキシブルなフェイスミル加工の最適条件を求めることができ，目標の効果を刈り取れたこと。
- ② 品質工学と切削シミュレーションを組み合わせた切削評価プロセスを確立でき，その有効性を実証できたこと。
- ③ 物を作らずに一回で良い条件を決めるプロセスが確立でき，「これがいいと納得できる」仕事のやり方への革新ができたことである。

論文・解説

28

## 鋳抜きピン設計基準の最適化 Optimization of Die-Design Standard for Core Pin

小 関 孝<sup>\*1</sup> 村 尾 優 作<sup>\*2</sup>  
Takashi Ozeki Yusaku Murao

### 要 約

アルミダイカストは、短いサイクルタイムによる高い生産性にて、製品形状が複雑かつ薄肉形状であっても寸法精度良く造りこむことが可能である。しかし、高温のアルミ溶湯を高速で金型内に充填するために金型への負荷が高くなり、その結果として鋳抜きピン折れや金型破損の問題が発生し、量産稼動を阻害する大きな問題となっている。鋳抜きピン折れを撲滅するために現場・現物の調査・分析を徹底的に行い、焼き付きによるピン折れメカニズムを明らかにするとともに、品質工学を用いて鋳抜きピン設計基準を最適化し、その基準を量産に適用することで量産稼動を改善した。また、鋳抜きピン設計基準に基づいた設計業務を実践することで、手戻りのない量産準備プロセスを実現した。

### Summary

The aluminum die casting enables to build precise products with high productivity in short cycle even if the product shape is complicated and thin. However, a process of filling up the hot molten metal speedily grows high load to the die, causing problems such as core pin breakage and mold breakage, resulting into disturbance to the MP operation. In order to eliminate the pin breakage, the engineers thoroughly investigated and analyzed the actual products on site and understood the mechanism of the pin breakage due to seizure. Then the pin design standard was optimized using Quality Engineering and adopted to the mass production. This improved the MP operation. Moreover, by conducting design operation with the optimized standard, the MP preparation process without re-designing was achieved.

### 1. はじめに

アルミダイカストは、製品形状が複雑かつ薄肉形状であっても短いサイクルタイムで寸法精度良く造りこむことが可能である (Fig.1)。しかしながら、高温のアルミ溶湯を高速・高圧で金型内に充填するために金型への負荷が高くなる。その結果、製品の形状を形成する金型形状部や鋳抜きピンに「焼き付き」「溶損」「折れ」が発生し、稼動を阻害する大きな問題となっている。その中で最も多くの割合を占めているのが、鋳抜きピン折れであり、その主要因の一つが「焼き付き」である。発生時の対策は、冷却の追加や焼き付いた部分をスケーリングするといった対症療法的な対応であり、根本的にアルミが焼き付かない条件を見出

すことが急務である。

今回、「焼き付き」を撲滅できる最適条件を品質工学の考え方をういて導き出し、鋳抜きピン設計基準の最適化を図った。

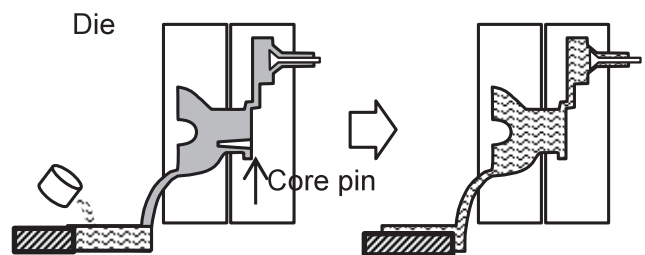


Fig.1 Die-Casting

\*1, 2 パワートレイン技術部  
Powertrain Production Engineering Dept.

## 2. 現状の問題点とその要因

従来の鋳抜きピン折れ対策は、高強度材への変更や鋳抜きピンの形状変更によりピン強度向上を実施してきた。その結果、鋳抜きピン折れは減少したが、未だ撲滅（ゼロ）までには至ってない。

焼き付きによるピン折れとは、①鋳抜きピン形状部とアルミの間にFe-Al-Si系金属間化合物層が形成、②化合物層にアルミが凝着し焼き付きが発生（Fig.2）、③製品が金型から離型する時に焼き付き部に抜き抵抗が発生、④ピンに曲げ方向の外力が発生、⑤ピン焼き付き部近傍に引張応力が発生、鋳抜きピン折れ、というメカニズムで発生する（Fig.3）

以上から、アルミ焼き付きそのものを発生させないことで「焼き付きによる鋳抜きピン折れ」を撲滅することができると考え、アルミ焼き付きが発生する要因抽出を行い、品質工学実験を実施した。

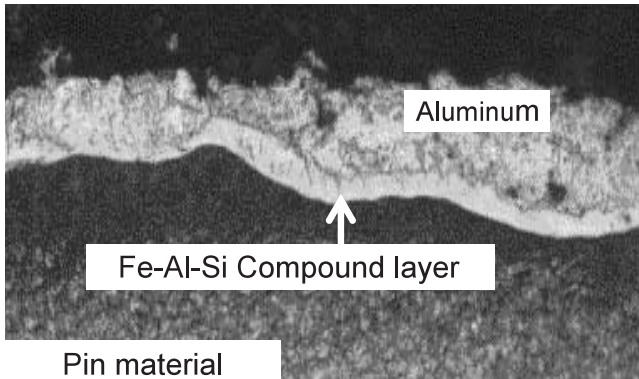


Fig.2 Fe-Al-Si Compound Layer

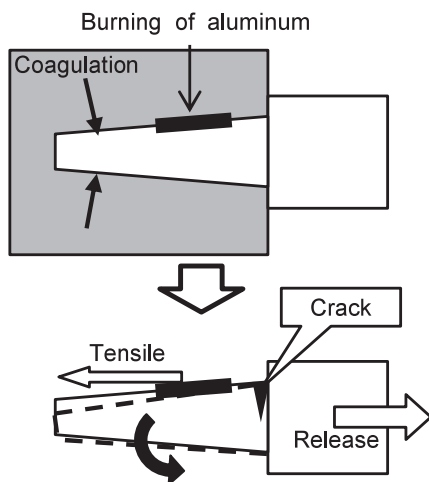


Fig.3 Pin Breakage by Burning of Aluminum

## 3. 基本機能の考え方

鋳造時における鋳抜きピンには、アルミの凝固収縮により抱き付き力が発生する。そして、この抱き付き力により発生する引き抜き抵抗の反力で離型できるのが理想であ

る。また、量産における鋳抜きピンには径や長さには色々な組み合わせがあるが、どの種類のピンにおいてもこの反力は表面積に比例すると考える。そこで、ピン表面積と引き抜き荷重の比例関係を基本機能と定義した（Fig.4）。また、定義した基本機能における理想は、ピン表面積が増加してもより小さい力で引き抜くことができることである。

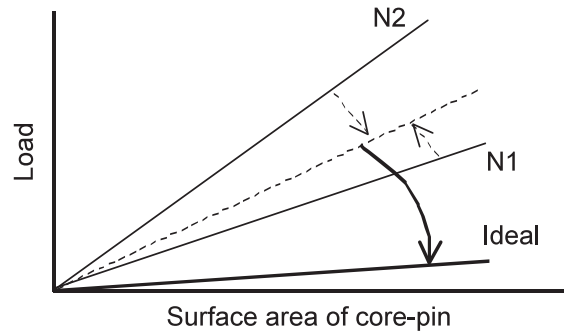


Fig.4 Relation of Surface Area-Load

誤差因子には、焼き付きの発生に対して影響はあるが、金型でコントロールできない「溶湯温度」「溶湯の接触時間」「溶湯圧力」を設定した。この条件をTable 1に示す。

Table 1 Noise Factor

Noise Factor	N1	N2
Temperature of Melting Aluminum	Low	High
Soaking Time	Short	Long
Casting pressure	Low	High

## 4. 制御因子と実験方法

### 4.1 制御因子

制御因子には方案系・材料系・形状系・溶湯系の8因子を取り上げ、L18直交表に割り付けた（Table 2）。

Table 2 Control Factor and Level

Control Factor	1	2	3
A Method system factor	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	
B Material system factor	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
C Material system factor	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
D Method system factor	Low	Middle	High
E Shape system factor	Small	Medium	Large
F Metal system factor	Large	Medium	Small
G Shape system factor	Small	Medium	Large
H Material system factor	Small	Medium	Large

### 4.2 実験方法

テスト用の鋳型に鋳抜きピンをセットし、そこへアルミ

の溶湯を杓で流し込み、鋳抜きピンを鋳包んだテストピースを製作する。そしてそのテストピースをオートグラフを用いて引き抜き荷重を測定した (Fig.5)

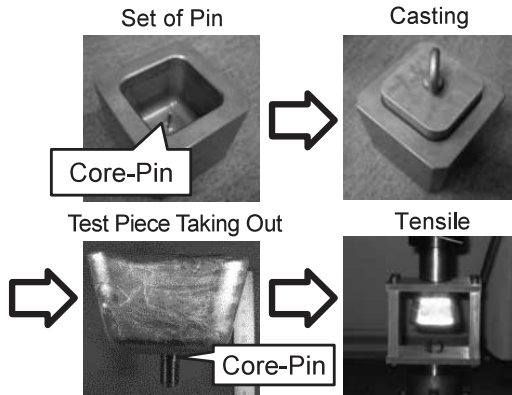


Fig.5 Experimentation

### 5. 実験

#### 5.1 予備実験

基本機能の妥当性を検証するために予備実験を行った (Fig.6)

予備実験の結果より、①信号因子による出力信号の増加を確認した。②誤差による出力信号の差異を確認した。以上のことから基本機能に妥当性があり、L18実験に移行した。

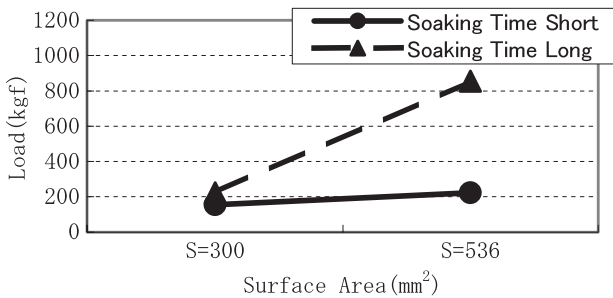


Fig.6 Relation of Surface Area-Load

#### 5.2 データ解析

SN比および、感度を求めるために、鋳抜きピン表面積を入力信号とするデータ変換を行い (Table 3), 下記計算式より、SN比および感度を求めた。計算結果をTable 4に、要因効果図をFig.7, 8に示す。

Table 3 Analyses Data

		Input Signal(mm <sup>2</sup> )			Linear Expression
		M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	
Noise	N <sub>1</sub>	y <sub>11</sub>	y <sub>12</sub>	y <sub>13</sub>	L <sub>1</sub>
	N <sub>2</sub>	y <sub>21</sub>	y <sub>22</sub>	y <sub>23</sub>	L <sub>2</sub>

<計算式>

線形式

$$L_1 = M_1 \times y_{11} + M_2 \times y_{12} + M_3 \times y_{13}$$

$$L_2 = M_1 \times y_{21} + M_2 \times y_{22} + M_3 \times y_{23}$$

有効序数

$$r = M_1^2 + M_2^2 + M_3^2$$

全2乗和

$$S_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{23}^2 \quad (f=6)$$

比例項の変動 (f=1)

$$S_\beta = (L_1 + L_2) / 2r$$

N × β の変動 (f=1)

$$S_{N \times \beta} = (L_1 - L_2) / 2r$$

誤差変動 (f=4)

$$S_e = S_T - S_\beta - S_{N \times \beta}$$

誤差分散

$$V_e = S_e / 4$$

調査誤差分散

$$V_N = (S_e + S_{N \times \beta}) / 5$$

SN比(db)

$$\eta = 10 \text{Log} [(1/2r)(S_\beta - V_e) / (1/2r)V_N]$$

感度(db)

$$\eta = 10 \text{Log} [(1/2r)(S_\beta - V_e)]$$

Table 4 S/N Ratio, Sensitivity Calculation Result

Test No	S/N Ratio (db)	Sensitivity (db)	Test No	S/N Ratio (db)	Sensitivity (db)
1	-48.12	-1.72	10	-51.91	-6.78
2	-52.4	-1.46	11	-43.22	1.94
3	-37.47	-1.81	12	-45.1	-1.4
4	-44.31	-2.34	13	-43.96	-2.83
5	-50.71	-4.55	14	-47.04	1.41
6	-46.35	1.05	15	-42.84	0.1
7	-42.25	0.5	16	-40.37	-0.58
8	-48.3	0.63	17	-52.01	-3
9	-47.7	-4.71	18	-46.96	0.5

#### 5.3 最適条件の選定および確認実験結果

Fig.7, 8の要因効果図よりSN比が高く、感度が低い水準を最適条件として選定した。

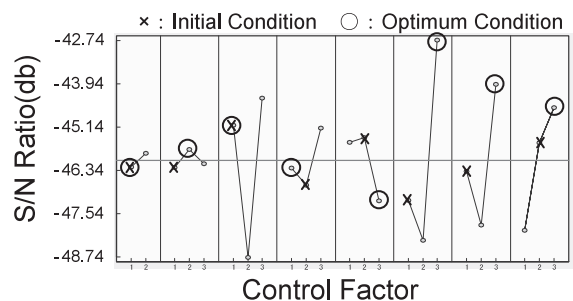


Fig.7 Response Graph (S/N Ratio)

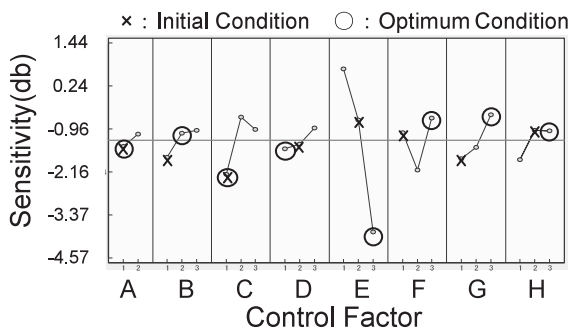


Fig.8 Response Graph (Sensitivity)

次に、得られた最適条件で確認実験を行い、初期条件と比較した利得を計算した。その結果を推定値と合わせて Table 5 に示す。SN比、感度ともに利得が推定値を下回り、再現性を得ることができなかった。

Table 5 Confirmation Test Result

	S/N Ratio(db)		Sensitivity(db)	
	Prediction	Confirmation	Prediction	Confirmation
Optimum Condition	-40.23	-43.12	-2.30	-1.28
Initial Condition	-47.46	-45.53	-1.53	-1.84
Gain	7.23	2.41	-0.77	0.56

## 6. 考察と再実験

### 6.1 再現性が得られなかった原因

なぜ再現性が得られなかったのかについて、実験結果から基本機能が成り立っているのかという目付きで分析した。その結果、基本機能と合わない実験があった。その結果を Fig.9 に示す。

この実験の結果を直交表で確認した結果、全ての実験で制御因子Eの抜き勾配が大きいものについて基本機能に合致しないことが判明した。これは、アルミ凝固収縮時に勾配面に外力が働きその影響で鋳抜きピンに抜き方向の力が加わったため、表面積が大きくなるほどその力も大きくなり、引き抜き荷重が低下したと考えられる。

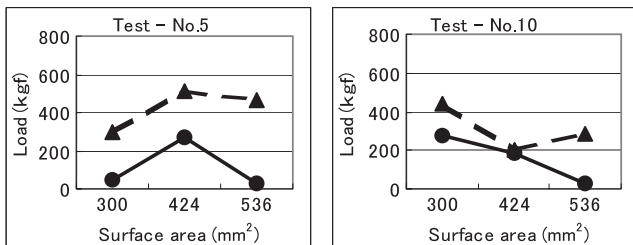


Fig.9 Test Result

### 6.2 制御因子の見直し

考察を踏まえ、基本機能に悪影響を及ぼす抜き勾配を固定水準とし、抜き勾配ゼロの条件で実験を行った。ここでは、抜き勾配ゼロという最も厳しい条件下で最適条件を導き出せば、勾配がある状態では問題なく引き抜くことができると考えた。また、抜き勾配に替わる要因として、Fig.7, 8 から SN比、感度ともに影響の大きい C 要因（材料系）に着目して、C 要因に関連する E' 要因（材料系）を新たに設定した。更に鋳抜きピンだけでなく、金型形状部へも適用できるように、内冷による温度調節ができなくても最適な条件を見出すことができるよう D 要因（方案系）を見直した。基本機能の妥当性を検証するために予備実験を行った。

### 6.3 再実験による基本機能の妥当性確認

前述の予備実験に比べて、入力に対する出力信号の効果が明確に現れた（前述の出力650kgfに対して3,000kgfとなった）。また誤差の効果（出力の差）は、前回の出力600kgfに対して1,000kgfと大きくなり誤差への割り付けとその水準に問題ないことを確認した（Fig.10）。

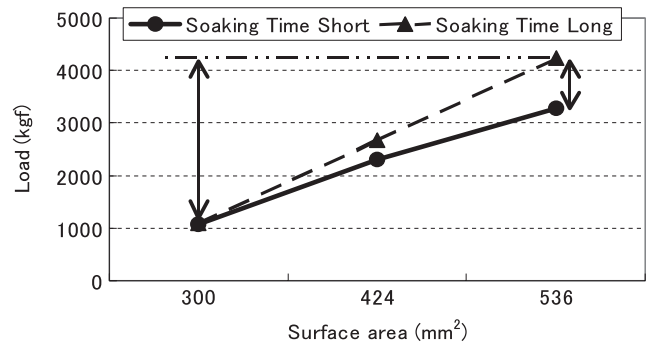


Fig.10 Relation of Surface Area-Load

以上より基本機能の妥当性を確認できたため、L18実験を再度行った（Fig.11, 12）。

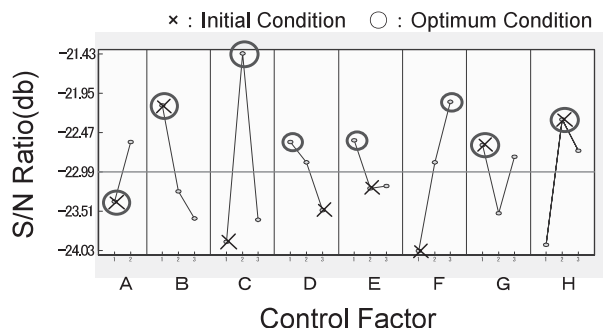


Fig.11 Response Graph (S/N Ratio)

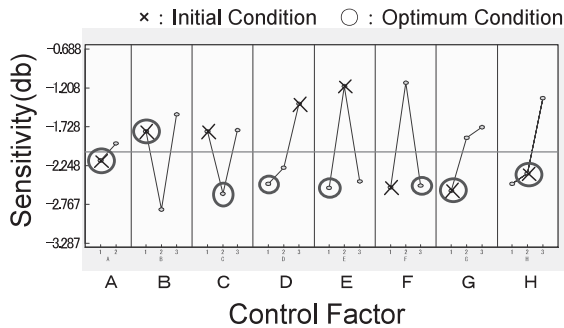


Fig.12 Response Graph (Sensitivity)

Fig.11, 12の要因効果図よりSN比が高く、感度が低い水準を最適条件として選定した。次に、得られた最適条件で確認実験を行い、初期条件と比較した利得を計算した。その結果を推定値と合わせてTable 6に示す。

Table 6 Confirmation Test Result

	S/N Ratio(db)		Sensitivity(db)	
	Prediction	Confirmation	Prediction	Confirmation
Optimum Condition	-19.71	-17.72	-3.98	-1.97
Initial Condition	-25.68	-23.53	-0.75	-0.42
Gain	5.97	5.81	-3.23	-1.55

確認実験の結果から、SN比・感度ともに再現性を得ることができた。また、以下の利得の向上を確認した。

- ・抜き勾配をゼロにしたことで各実験値のバラツキが改善され、SN比で約6dbの利得が向上。これは、バラツキを1/4にすることができることを意味する。
- ・C要因やE' 要因は特に感度に大きな影響を与えるため、約2dbの利得が向上。これを真値に直すと、引き抜き荷重を30%低減させることができる。

更にこの評価プロセスの展開により、焼き付きによる鋳抜きピン折れだけに留まらず、金型形状部全体に対するアルミ焼き付きの撲滅と、稼働の改善を見込んでいる。

### 7. まとめ

今回の取組みにおける効果は以下の通りである。

- ・鋳抜きピン折れ： 78%
- ・金型形状部焼き付き： 50% (見込み)

今回、『焼き付き』というダイカスト技術の最重要課題に対して、現場・現物の調査・分析を徹底的に行い、焼き付きによるピン折れメカニズムを明らかにするとともに、品質工学の考え方を活用することの有効性を確認した。この評価方法は、表面積を入力信号とすることで鋳抜きピンの径・長さの色々な組み合わせに対して汎用的な評価方法となる。これにより、従来の量産後のトライアンドエラー

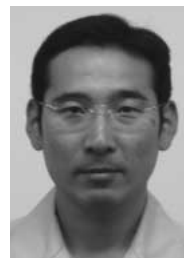
による対症療法的な対策を、金型設計段階で要件として織り込むことを可能とする。また、予備実験から鋳抜きピンの勾配が引き抜き荷重に対して予想以上に大きな影響力をもつということも新しい知見として確認することができた。

今後、この実験から得られた最適条件を金型設計基準として織り込み、これに基づいた設計業務を実践することで、手戻りのない量産準備プロセスとして当社内に展開し根付かせていく。

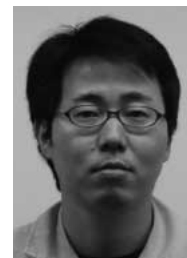
### 参考文献

- (1) 糸井ほか：ダイカスト金型の焼き付きメカニズム，日立金属技報，Vol.15，p.91-96（1999）

### 著者



小関 孝



村尾優作

論文・解説

29

# ロボットのリプロデュース精度向上

## Reproduce Accuracy Improvement of Robot

野 島 欽 之<sup>\*1</sup>  
Yoshiyuki Nojima

### 要 約

近年，産業用ロボットを導入している様々な業界において，量産準備期間の短縮などを目的に，コンピュータ上でロボットの動作設計と検証を行うオフラインプログラミングシステムの導入が進められている。しかし，コンピュータ上で設計したロボット動作を製造現場で精度良くリプロデュース（再現）する手法は確立されておらず，システムを使用するユーザ共通の課題となっている。この課題に対し，デミオの量産準備においてリプロデュース精度向上の取り組みを実施し，現地立ち上げ期間の短縮に成功した。本稿ではその活動の概要を紹介する。

### Summary

In recent years, for the purpose of shortening of mass-production preparation period, various industries using industrial robot have been introducing off-line programming system that does the design and the verification of the robot operation on the computer. But users of these systems have common issue that the technique to reproduce robot operation designed on the computer by the manufacturing premise in high accuracy has not been established. To this problem, we worked on the reproduce accuracy improvement in mass-production preparation of Demio and succeeded in shortening at the launch period of manufacturing premise. It introduces the outline of the activity in this text.

### 1. はじめに

マツダでは，量産準備プロセスにおける手戻りの撲滅を目的として，製造現場（以下，現場）で行っていたロボット動作の設計をオフライン（コンピュータ上）にて完了させ，現場へそのままリプロデュース（再現）する活動を行っている。これまでの活動で，作業部位への到達性評価や設備との干渉評価，ロボットティーチングのオフライン化を実施してきた（Fig.1）。

しかし，オフラインにおけるロボットのティーチング（オフラインプログラミング，以下OLP）を実施しても，現地立ち上げにおいてプログラムを無修正で再生できることはほとんどなく，その修正に多大な工数を費やしていた。場合によっては，ロボット追加や工程追加等の大きな手戻りを発生させ，オフラインでの検証が無駄になることもあ

り，手戻り撲滅に対して十分な効果を発揮していなかった。これに対して，1年前のMPVの量産準備にて，ロボット

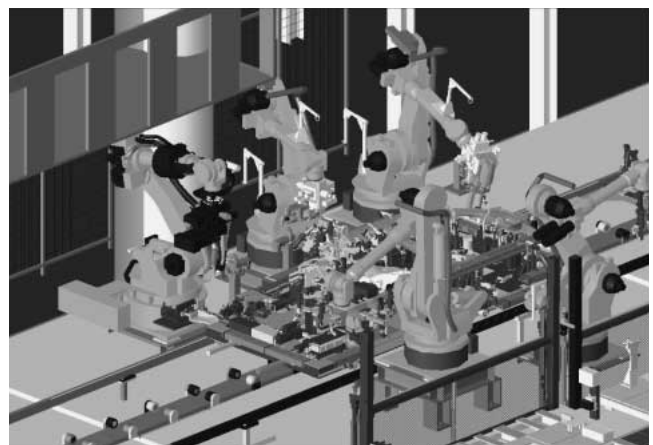


Fig.1 Robot Operation Design in Off-Line

\*1 車体技術部  
Body Production Engineering Dept.



据え付け位置補正及びサイクルタイム算出を一部工程で実施し、現場でのリプロデュースにおける精度向上に効果があることを確認した。

デミオの量産準備では、更なるリプロデュース精度の向上を図る手法を確立することと、その手法を全工程へ展開することで現場での作業（修正）工数を削減することを目指して活動を行った。その結果、現場での手戻りが大幅に減少し、現地立ち上げ期間の短縮に成功した。

本稿では、車体組立領域の代表的な加工であるスポット溶接について、それらの活動概要を紹介する。

## 2. OLPと現場リプロデュースの現状

### 2.1 現場リプロデュースに必要な要件

現場リプロデュースで手戻りを発生させないためには、到達位置・干渉のない動作経路・サイクルタイムの評価において、現場とズレのない高精度なOLP作業を実施することが重要である。そのためには、上述した評価作業ごとに必要となる作業要件がある。以下に、その作業要件を示す。

#### (1) 到達位置

スポット溶接の加工時に溶接ガンの電極先端が到達する位置のことである（Fig.2）。製品図面上に指示された溶接打点位置に正確に到達する必要がある。OLP実施時には、製品図面の溶接打点位置座標をそのまま使用することにより正確な到達が実現できているため、現場リプロデュース時にOLP実施時の到達位置を正確に再現することが求められる。

#### (2) 干渉のない動作経路

OLP実施時には部品や設備との干渉を避けるように動作経路を作成し、一連の動作について干渉チェックを実施する。この時、OLPを実施するためのモデル（以下、OLPモデル）で部品や設備の形状に欠落があると、OLP実施時に干渉がなくても現場リプロデュースで干渉が発生することがある。このため、OLPモデルにも現場と同じ部品や設備の形状を欠落なく再現する必要がある。

また、ロボットや設備の相互動作において干渉領域が存

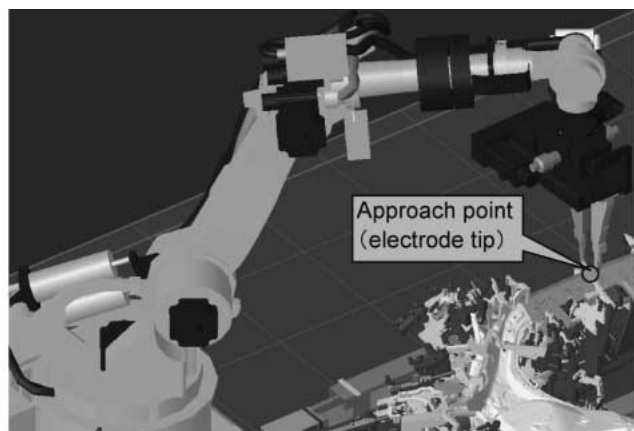


Fig.2 Approach Point

在する場合は、インターロック信号を設けることにより干渉領域への侵入順序を決め干渉を回避している。このため、OLP実施時にインターロックの設計と検証作業を完了させ、現場リプロデュース時の信号入出力ステップフローをそのまま再現させることが必要となる。

#### (3) サイクルタイム

量産準備では、一連の工程動作で目標とされるサイクルタイムを達成しなければならない。未達の場合は、実機でのプログラム変更や軽負荷のロボットへの溶接打点移管を実施することになる。場合によっては、ロボット追加や工程追加等の大きな手戻りを発生させてしまう。逆に過達の場合は、不要な工程やロボットがあることを示し、過剰な投資をしていることになる。

そのため、OLP実施時にサイクルタイムを精度良く算出し、算出された時間が目標のサイクルタイムに一致するか、わずかに下回る必要がある。

### 2.2 OLPと現場リプロデュースの現状

前節で述べた要件に対し、MPVの量産準備では、以下の状況であった。

#### (1) 到達位置

一部工程でOLPツールのレイアウト補正機能を使用し、OLPモデルにおけるロボット据え付け位置精度向上の取り組みを実施した。この機能は、以下によりOLPモデル上のロボット据え付け位置を現場に合わせて修正するものである。以下にレイアウト補正の作業手順を示す。

- ① 3点以上のステップを持つティーチングデータを作成し、現場での到達位置を測定
- ② ①のティーチングデータをOLPモデルに再現
- ③ OLPモデルで①と②の到達位置を比較し、据え付け位置のズレ量を算出
- ④ ③で算出されたズレ量を元にOLPモデルのロボット据え付け位置を修正

上記の据え付け位置修正を行うことにより、以前は現場リプロデュース時の到達位置のズレにそのまま含まれていたロボット据え付け位置の誤差を補正することができるようになった。この据え付け位置補正を活用することにより溶接ガン電極先端位置のズレ量を $\pm 3\text{mm}$ に抑えることができたロボットもあり、現場における手戻りの防止やティーチング修正工数の短縮に貢献できることを確認した。

しかしMPVの量産準備では、据え付け位置補正を全工程のロボットへ展開するまで至ってなかった。このため、据え付け位置補正適用外のロボットでは現場リプロデュースにおける到達位置のズレ量が大きく、多大なティーチング修正工数が発生していた。

#### (2) 干渉のない動作経路

前節で述べたように、現場と同じ部品や設備の形状を欠落なくOLPモデルに再現し、インターロックの設計と検証を完了させることが重要である。

部品形状については製品CADデータから変換したものを使用しており、欠落は発生していない。設備形状も設備設計で作成したCADデータをそのまま変換していたが、変換後のデータ量が大きいためOLPツールの限界量を超える、変換エラーでデータを作成できない、などの問題が発生していた。このため、OLPモデルに設備を取り込まない、OLPツールで簡略な設備形状作成する、など現場設備形状と異なる不十分なモデルを用いた作業を行うこととなり、OLP実施時に干渉がなくても現場リプロデュースで干渉が発生することがあった。

また、インターロック信号の設計と検証を行うためには信号の仕様を事前に決めなくてはならないが、この仕様を現地トライアル直前に決めていた。このため、信号入出力ステップの決定と検証がOLPで実施できていなかった。

(3) サイクルタイム

一部工程においてOLPモデルでサイクルタイム算出を実施した。精度の良い算出を行うため、OLPツールはRCSモジュール (Realistic Control Simulation) を使ってサイクルタイムの算出を行っている。RCSモジュールは、OLPツール上で現場ロボットと同じ制御ロジックによる動作軌跡生成とサイクルタイムの算出を行うためのものである。その結果、OLPと現場リプロデュースのサイクルタイムの差を5%以内に抑えることができたロボットもあった。

しかし、下記のためにOLP実施後の後追いでしかサイクルタイムの算出ができなかった。

- ① RCSモジュールに設定すべきロボットパラメータを現場へのロボット据え付け前に入手することができなかった。
- ② 溶接条件の設定を現地トライアル直前にしており、OLP実施時には加工時間の算出ができなかった。
- ③ 各ロボットの加工対象となる溶接打点の配分 (以下、打点配分) に漏れがあり、現場リプロデュース時に打点配分の変更が発生していた。
- ④ (2)で述べたようにインターロック信号の設計と検証がOLP実施時に完了していなかったため、干渉領域への侵入待ち時間が算出できなかった。

### 3. 到達位置のリプロデュース精度向上

#### 3.1 据え付け位置補正の全工程展開への要件

ロボットを新しく据え付ける場合、据え付け位置補正は現場ロボットの据え付け終了時からティーチングプログラム再生確認までの期間に行う必要がある。このため、新規ラインでは多数のロボットに対する据え付け位置補正作業を短時間で完了させることが求められる。しかし、MPVの量産準備で行った現場での測定方法は誤差が発生しやすく、再測定の手戻りにつながっていた。

MPVの量産準備における測定では、溶接ガンの電極先端位置をベクトロン (多関節型3次元測定機) で測定して

いた。これはベクトロンの「円測定」機能を使用して、電極先端平面の3点と電極側面の円柱を4点測定し、電極先端平面の3点から作成される面に円柱の4点を投影して、投影された点から円を生成し中心座標を算出するものである (Fig.3)。

ところが、先端平面が小さいために平面生成時にズレが生じやすく、これが誤差の要因となっていた。デミオは新規ラインに対する量産準備であり、据え付け位置補正を全工程に展開するためには、この課題を解決し作業の簡素化及び高精度化を図る必要があった。

#### 3.2 到達位置のリプロデュース精度向上の取り組み

前節で述べた問題を解決するため、電極先端ではなくツール取り付け面を測定する方法を考えた。

ベクトロンの「円測定」機能で、ツール側のロボットへの取り付け面3点とロボット側のツール取り付け面周辺の円柱を4点測定し、電極先端時と同様のロジックで円の中心座標を求める (Fig.4)。ロボットへの取り付け面の面積は電極先端平面と比較すると100倍以上の広さがあり、測定作業のバラツキを抑制することが可能であると考えた。これにより、再測定の手戻り削減を実現した。

#### 3.3 取り組み結果

デミオの量産準備において、全ての溶接ロボットに対して据え付け位置補正が実施できた。サイドフレームのスポット溶接ロボットで現場リプロデュース時のティーチング

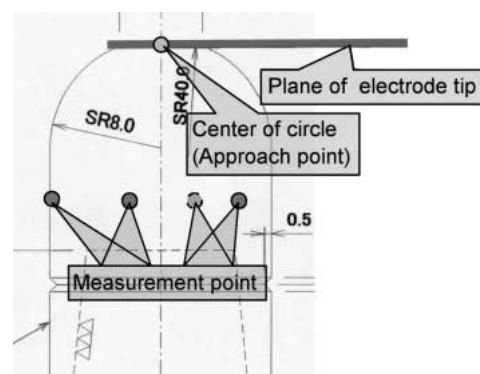


Fig.3 Measurement of a Electrode Tip

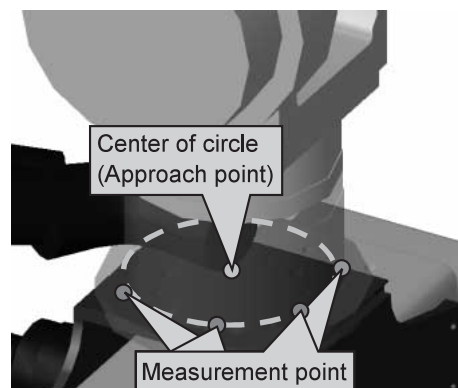


Fig.4 Measurement of a Tool Mounting Plane

修正量を確認したところ、修正量は平均8.53mm、偏差4.45mmであった。最も小さいものは2.38mmであった。

これらの取り組みの結果、MPVの量産準備時と比較して現場での修正工数が大幅に削減され、現地立ち上げ期間の短縮に貢献した。

#### 4. 干渉のない動作経路作成の取り組み

##### 4.1 全ての設備形状をOLPモデルに再現

2章で述べたように、全ての設備形状をOLPモデルに再現できていなかった。この問題を解決するために、以下の取り組みを実施した。

##### (1) データの軽量化

設備設計で作成したCADデータを直接OLPツールで変換するのではなく、JT形式を経由して変換するようにした。JT形式はUGS PLMソリューションズ(株)が提供しているシーメンスPLMソフトウェア製品群で主に閲覧可能なデータ形式である。元々閲覧用に開発されたデータ形式のため、一般的なデータ形式と比較するとデータ量が小さい。これにより、設備のデータ量が70%程度に減少し、OLPツールに全設備形状を取り込むことができるようになった。また、OLP実施中の処理速度も向上し、業務効率が向上した。

##### (2) 変換成功率の向上

JT形式を経由しても、設備設計で作成したCADデータをJT形式へ変換する時に形状欠落 (Fig.5) 等のエラーが多発し、その成功率は70%程度であった。設備設計は様々なCADを使用して行っている。これら全てのCADに対し専用データ形式からの変換ツールを揃えることは困難である。このため、一般に広く流通している中間フォーマットであるIGES形式でデータを受領している。しかし、IGES形式はCADの種類によりフォーマットの解釈が異なることがあるため、変換エラーが発生しやすい問題がある。この問題を解決するために、PDQ (Product Data Quality) ツールであるCADdoctor (株エリジオン製) を導入し、変換前にデータの検証と修正を行うようにした。

また、データが大きいとJT形式への変換でメモリを大量に消費して変換エラーが発生するため、データ受領時のファイルを分割し、1ファイル当たりのデータ量の基準を設け、手順化することで変換エラーの発生を低減した。

これらの取り組みにより、エラーの発生がなくなり (Fig.6)、ほぼ100%の変換が成功するようになった。

##### 4.2 インターロック設計と検証の実施

2章で述べたように、インターロック信号の仕様決定が遅くOLPで設計と検証が終了していなかった。これに対して、インターロック信号の仕様決定タイミングをOLP実施前に前倒した。また、インターロック信号入出力ステップの決定手順とOLPツールでの検証手順を詳細化して、業務プロセスに織り込み実行した。

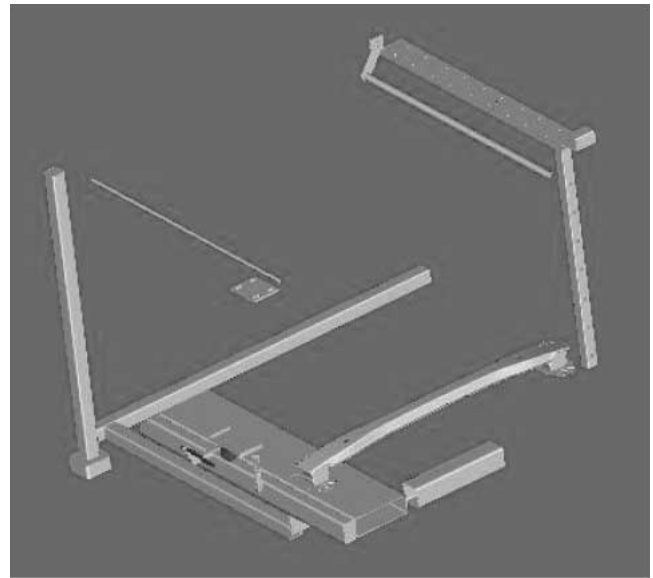


Fig.5 Lack of Shape by Conversion Error

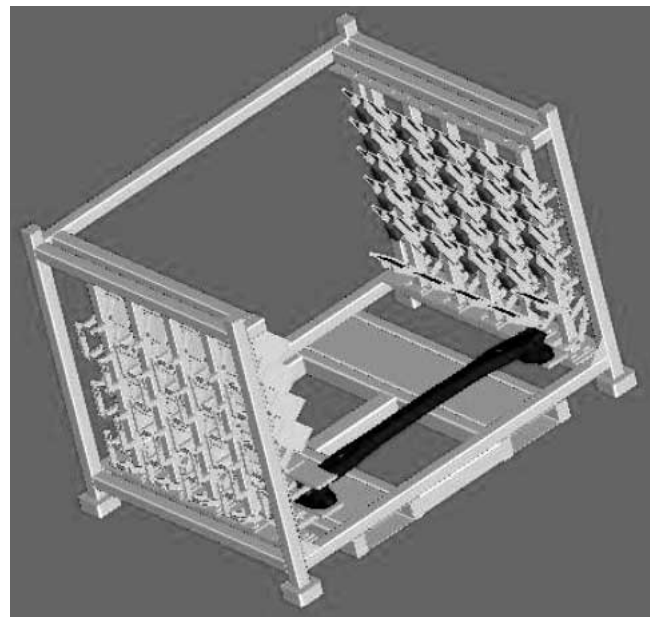


Fig.6 Evasion of Conversion Error by CADdoctor

これらにより、OLP上での設計と検証を終了させることができるようになった。

##### 4.3 取り組み結果

前節までの取り組みの結果、デミオの量産準備はMPVと比べて現場での干渉不具合による手戻りが激減し、現地立ち上げ期間の短縮に貢献した。

なお、取り組み後に発生した手戻りは63件ある。その内容は、配管・配線や付帯形状の配置ズレといった設備設計で作成するCADデータに含まれていない要素への干渉となっていた。

#### 5. サイクルタイム算出精度向上の取り組み

##### 5.1 サイクルタイム算出精度向上の要件

OLPでサイクルタイム算出を精度良く行うためには、口

ロボットの動作時間・加工時間・待ち時間のそれぞれについて、精度の良い算出が行われなければならない。これらに対する取り組みを次節以降に説明する。

5.2 ロボット動作時間の算出精度向上の取り組み

(1) 実機がない状態でのパラメータ設定

OLPツールはRCSモジュールを用いることにより、動作制御ロジックを実機と一致させている。実機には動作速度を制御するための様々なパラメータが設定されている。RCSモジュールについても実機と同様の処理が行われており、パラメータを参照しながら動作時間を算出する。このため、OLPで精度の高いロボット動作時間を算出するためには、実機パラメータの設定値をRCSモジュールにも設定する必要がある。パラメータの内容は、モータ&エンコーダ情報（分解能・電流制限・入力軸イナーシャ等）、サーボ速度情報（速度ゲイン・電流ゲイン・積分時定数等）、サーボ位置情報（最高速度・加減速時間等）、ロボットが把持しているツール情報（重量・重心等）、教示情報（速度設定値・位置決め精度設定値等）、ガン軸情報（加圧カテータブル・撓みテーブル・クリアランス量等）等で、これら複数のパラメータ設定値を正確に指定することが必要である。

ところが、今回のデミオでは既存ラインではなく新規ラインへの量産準備であったため、OLP実施時には実機の据え付けが終了していない。このため、実機パラメータを事前に入手してRCSに設定することは困難であった。

この問題を解決するためにパラメータ個々の内容を調査し、ロボットの型式により設定値が決まるものと、実際の動作条件にて動作調整後に設定値が算出されるものに分類し、ロボットの型式にて設定が行えないパラメータについては、類似の既設設備からパラメータを算出して設定する手順を作成した。

具体的には、ロボット自身が持っている軸については出荷以降にパラメータを変更することがほとんどないために初期設定をそのまま使用すれば問題ない。しかし、サーボ溶接ガン等が持っている外部軸のパラメータやツールの重量・重心については、個々にパラメータが異なる。これら個々に異なるパラメータに関して、同じサーボ溶接ガンを持つ既設ロボットの外部軸を参照してパラメータを設定するようにした。これにより、OLP実施前に正確なパラメータを設定することが可能になった（Fig.7）。

(2) 旧式ロボットの動作時間算出

これまではRCSモジュールを活用したロボット動作時間算出について説明してきた。このRCSモジュールは現行最新型より1世代程度旧式の制御型式から提供が始まっており、それ以前の旧式ロボットにはRCSモジュールが存在しない。これらの旧式ロボットではOLPツール上の動作制御ロジックが実機と一致しないため、精度の高いサイクルタイムの算出ができない。一方、デミオの量産準備では、RCSモジュールが存在しない旧式ロボットを他ラインから転用することが多かった。

この問題に対しては、デミオで使用するロボットと同じ制御型式の実機で事前に動作時間算出実験を行った上で、OLPの動作時間算出を実施した。

5.3 加工時間算出精度向上の取り組み

OLPと現場リプロデュースの加工時間を一致させるためには、打点配分と溶接条件が一致しないといけない。しかし、OLPモデルは工程ごとにデータを作成するため、全ての溶接打点に対する打点配分漏れを確認することは容易ではなく、打点配分漏れを起因とした現場リプロデュース時の配分変更が発生していた。また、溶接条件を記載する工程図は現地トライアル直前に発行しており、OLP実施時に溶接条件の決定が間に合っていなかった。

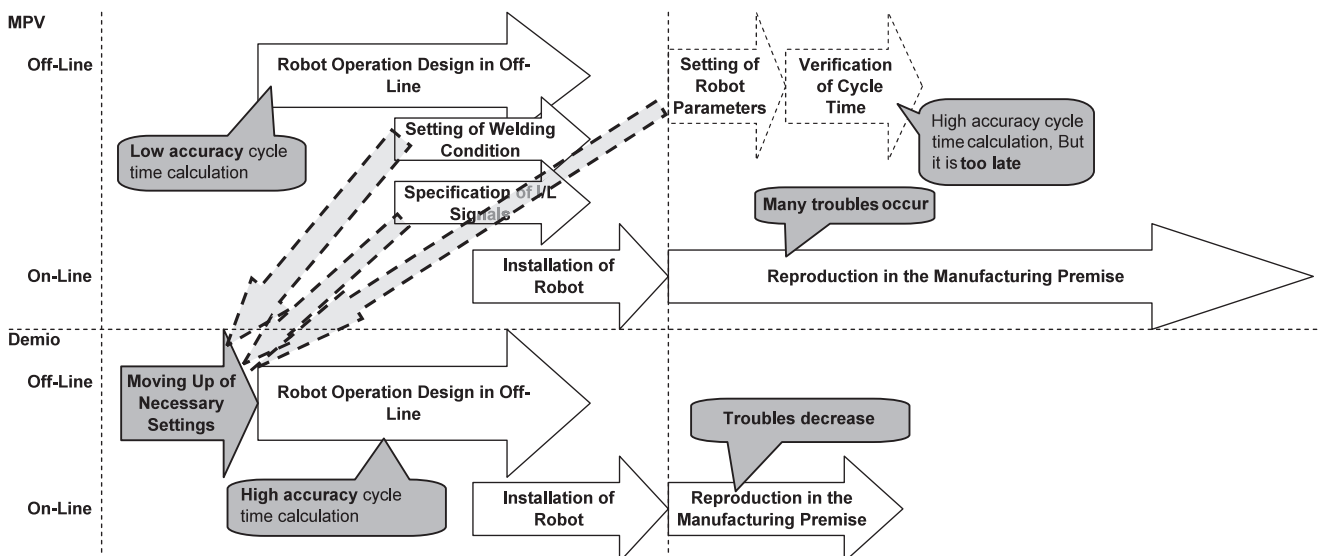


Fig.7 Change of Process for High Accuracy Cycle Time Calculation

これに対し、各工程のOLPモデルからひとつのデータベースに打点配分情報を取り込めるようにし、全打点の配分を確認できるようにした。また、データベースから工程図への情報出力を行い、作図作業を効率化して出図タイミングを早期化できるシステムを構築した。これにより、打点配分漏れを確実に確認できるようになり、OLP実施前に溶接条件決定を行うことが可能となった (Fig.7)。

#### 5.4 待ち時間算出精度向上の取り組み

ロボットの待ち時間はインターロックによる干渉領域への侵入順番待ちで発生する。このため、OLPと現場リプロデュースの待ち時間を一致させるには、インターロック信号の設計と検証をOLP実施時点にて完了させることが必要である。

これについては、前章で述べたインターロック信号仕様決定の前倒しと検証手順の詳細化を進めることで、インターロックの設計と検証をOLP実施時点にて完了させることを可能とした (Fig.7)。これにより待ち時間を精度良く算出できるようになった。

#### 5.5 取り組み結果

デミオの量産準備において、サイドフレームの溶接作業ロボットで実機サイクルタイムに対するOLPサイクルタイムの比率を確認した。その結果、RCSモジュールありのコントローラでは、平均92.02%、偏差6.50%であった。またRCSモジュールなしのコントローラでは平均78.71%、偏差18.61%であった。

この結果、特に旧式ロボットにおいて投資過多の傾向を示すものの、MPVの量産準備で多発した現場でのサイクルタイム未達による手戻りは激減し、現地立ち上げ期間の短縮に貢献した。

## 6. 今後の課題

### 6.1 到達位置精度の更なる向上

全工程において到達位置精度の向上に取り組んだことにより、現場でのティーチング修正工数が減り、デミオの量産準備における現地立ち上げ期間の短縮に貢献した。しかし、ズレ量が平均・バラツキともに残っており、実機でのティーチング修正はなくなっていない。

マツダでは更なる現地立ち上げ工数の削減のため、実機での修正が不要なレベルを目指しており、そのための許容誤差量について検討を進めている。

### 6.2 OLPモデル精度の更なる向上

全工程においてOLP上での干渉のない動作経路作成に取り組んだことにより、現場での干渉不具合が減り、デミオの量産準備における現地立ち上げ期間の短縮に貢献した。しかし、まだ63件の手戻りが発生している。

マツダでは更なる現地立ち上げ工数の削減のため、現場での手戻り撲滅を目指している。そのために、配線や配管といった現時点でモデルに含んでいないものをOLPで表現

することが必要である。

### 6.3 サイクルタイム算出精度の向上

全工程において工程サイクルタイムの算出を実施したことにより、現場でのサイクルタイム未達による不具合が減り、デミオの量産準備における現地立ち上げ期間の短縮に貢献した。しかし、OLP上でのサイクルタイム算出結果は実機よりも短い傾向にあり、そのバラツキも大きい。

最短・最速の工程を実現するためには時間当たりの加工効率向上が必要である。そのためにはロボットの性能を使い切る工程設計やティーチングが求められており、OLP上でそのような設計を行うためにサイクルタイム算出精度の向上が必要である。

### 6.4 OLP業務プロセスの効率化

デミオの量産準備では、OLP業務プロセスを手順レベルに明細化し、それを全工程で完遂させることにより、現地立ち上げ時に発生していた手戻りを大幅に減らすことができた。しかし、OLP業務で多大な工数を費やしており、この効率化が求められる。

そのために、繰り返し設計の排除、検証やシミュレーションの効率化、最適案にたどり着くプロセスの最短化、入力やチェック作業の排除等が必要であり、これらを実現するためのプロセスやシステムの整備・改善が今後の課題となる。

## 7. おわりに

今回紹介した取り組みは、MPVの量産準備において一部工程で確認したOLPの効果を全工程で享受するために、業務プロセスやシステムの整備を行い実際に完遂させたものである。この取り組みによりデミオの量産準備における現地立ち上げ期間はMPVと比較して大幅に短縮することができた。今後は、量産準備プロセスの更なる短縮と高効率生産プロセスの追求に向けて、前章で述べた課題に取り組む所存である。

最後に、この取り組みに当たり多大なご協力を頂いたUGS PLMソリューションズ(株)、(株)電通国際情報サービス、(株)不二越、(株)安川電機、川崎重工(株)をはじめとする関係各位の方々に、深く感謝申し上げます。

### 著者



野島 敏之

# 社外への発表論文一覧表（2007年1月～12月）

## 1. 社外講演（海外）

\* 所属は原則発表時点を示す

日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
2007.3.12	Vehicle Dynamics Committee of JSAE	International Symposium on Advanced Vehicle Control - Work Shop	Development of Radar Cruise Control System	中上 隆 山本 康典 和泉 知示	車両システム開発部 技術研究所 車両システム開発部
2007.3.12-14	Engineous Software	2007 International Symposium & Workshops	Development of Suspension Design Support Tool Using Sensitivity Analysis and Grid Computing Technology	鐵本 雄一	エンジニアリングシステム部
2007.4.5-7	International Conference on Computational Method 事務局	International Conference on Computational Method 2007	Applications of Computational method for Automobile development - Introduction of the up-to-date technologies -	安藤 誠一 川口 克也	NVH性能・CAE技術開発部 同上
2007.4.10-14	IEEE	2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation	Analysis and Modeling of Human Impedance Properties for Designing a Human-Machine Control System	田中 良幸 大西 輝幸 辻 敏夫 山田 直樹 武田 雄策 正守 一郎	広島大学大学院 同上 同上 技術研究所 同上 同上
2007.4.13	MIT/Industry Consortium	MIT Consortium Program Review Meeting	Electrical Supercharging Technology in High Efficiency Hybrid System	山下 洋幸	技術研究所
2007.4.16-19	SAE	2007 SAE World Congress	Spray guided DISI using side mounted multi-hole injector	山下 洋幸 瀬戸 祐利 太田 紀之 村上 康 山本 博之	技術研究所 同上 同上 同上 同上
			Spot friction welding of aluminum to steel	玄道 俊行 西口 勝也 麻川 元康 谷岡 真一	技術研究所 同上 同上 同上
			OPTIMIZATION OF THE SIDE AIRBAG SYSTEM USING MADYMO SIMULATIONS	金子 直樹 元木 正紀 田口 征吾 尾川 茂	衝突性能開発部 同上 同上 同上
2007.7.2-3	JSME-KSME	International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology( ICMDT 2007 )	Vibration Analysis of the Helical Gear System Using the Integrated Excitation Model	西野 隆之	パワートレイン技術開発部

日程	主催	大会名	題 目	発表者	所 属
2007.7.23-27	JSAE/SAE	International Fuels and Lubricants Meeting	Study on low temperature oxidation of diesel prticulate matters by oxygen storage component for the catalyzed diesel particulate filter	鈴木 研二 原田浩一郎 山田 啓司 岡本 謙治 高見 明秀	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上
			Spray and Mixture Properties of Hole-Type Injector for D. I. Gasoline Engine -Comparison of Experiment and CFD Simulation-	佐藤 圭峰 西田 恵哉 田所 正 山川 正尚 横畑 英明	パワートレイン技術開発部 広島大学 パワートレイン技術開発部 同 上 同 上
2007.8.5-8	SAE	14th Asia Pacific Automotive Engineering Conference	The effect of new shape support material for the lean NOx trap catalyst on its catalytic characteristics	三好 誠治 原田浩一郎 岩国 秀治 山田 啓司 對尾 良則 高見 明秀	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上
			A Study of Compatibility and Vehicle Front Stiffness Based on Real-World Accidents	新田 茂樹 千葉 政一 福島 正信 河口 健二	技術企画部 トヨタ自動車(株) 衝突性能開発部 同 上
2007.9.4-7	ASME	10th International Power Transmission and Gearing Conference	INTEGRATED EXCITATION MODELS OF THE HELICAL GEAR SYSTEM	西野 隆之	パワートレイン技術開発部
2007.9.17-20	計測自動制御学会	SICE Annual Conference 2007	Indices for Characterizing Driving Style and their Relevance to Car Following Behavior	石橋 基範 大桑 政幸 土居 俊一 赤松 幹之	技術研究所 (株)豊田中央研究所 香川大学 産業技術総合研究所
2007.10.8-12	Powertrain NVH Governance Board	8th FMC Powertrain NVH & SQ Symposium	An Integrated Excitation Model of a Helical Gear System	西野 隆之	パワートレイン技術開発部
2007.10.9-13	第14回ITS世界会議組織委員会	14th WORLD CONGRESS ON INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS	HIROSHIMA Trial for ITS Safety	岡崎 俊実	技術研究所
			JUDGMENT OF VEHICLES ON A COLLISION COURSE WITH INTER-VEHICLE COMMUNICATIONS	山本 雅史 岩下 洋平 藤田 健二	技術研究所 同 上 同 上
2007.11.8-9	The Institute for Liquid Atomization and Spray Systems in Asia	The 11th Annual Conference of ILASS-Asia	Analysis of Evaporation Process of Wall-Impinging Gasoline Spray Using a Laser Absorption Scattering Technique for Non-Axisymmetric Spray	佐藤 圭峰 西田 恵哉 田所 正 Jian Gao Seoksu Moon	パワートレイン技術開発部 広島大学 パワートレイン技術開発部 広島大学 同 上

2. 社外講演（国内）

\* 所属は原則発表時点を示す

日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
2007.1.9-11	日本機械学会	第19回内燃機関シンポジウム	ガソリンエンジン用低剛性スカートピストンの開発	栗原 明 中尾 裕典 市川 和男	技術研究所 同 上 同 上
			赤外吸収法を利用した点火プラグ実装型センサによる燃料濃度測定（ロータリーエンジンへの適応）	河原 伸幸 富田 栄二 林 健太 田端 道彦 岩井 浩平 香川 良二	岡山大学 同 上 同 上 技術研究所 同 上 同 上
			スマート・アイドリング・ストップ・システムの開発	細谷 英生 田賀 淳一 鐵野 雅之 中山 佳映 杉山 貴則 山本 博之	技術研究所 パワートレイン先行開発部 同 上 同 上 同 上 技術研究所
			直噴ガソリン機関用ホールインジェクタの噴霧混合気特性（- 実験と数値シミュレーションの比較 - ）	佐藤 圭峰 田所 正 西田 恵哉 山川 正尚 横畑 英明 大瀧 康宏	パワートレイン技術開発部 広島大学大学院 同 上 パワートレイン技術開発部 同 上 （株）シーディー・アダプコ・ジャパン
2007.1.13	日本放射光学会	日本放射光学会市民公開講座「21世紀を支える夢の光」	きれいな空気を守る	住田 弘祐	技術研究所
2007.1.19	経済産業省資源エネルギー庁	New Energy EXPO広島	水素ロータリーエンジン車の紹介	柏木 章宏	第1プログラム開発推進室
2007.2.7	熱処理技術協会中四国支部	支部大会	マツダのパワーユニットにおける高強度・高精度化の取組み	庄賀 英雄	パワートレイン技術部
2007.2.21	北海道開発局	水素エネルギーを利用した「環境と交通」シンポジウム	水素自動車の開発と将来展望	柏木 章宏	第1プログラム開発推進室
2007.3.25-28	日本化学会	日本化学会第87回春季年会	パルス法による担持貴金属触媒上でのNO酸化還元挙動に関する研究	河野 崇 萱田 佑斗 久保 政和 山田 啓司 高見 明秀 永岡 勝俊 西口 宏泰 瀧田 祐作	大分大学 同 上 同 上 技術研究所 同 上 大分大学 同 上 同 上



日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
2007.3.28-29	触媒学会	第99回触媒討論会	TAP システムによるCe <sub>0.8</sub> Pr <sub>0.1</sub> X <sub>0.1</sub> O <sub>y</sub> 酸化物のCO酸化活性の検討	久保 政和 高見 明秀 山田 啓司 永岡 勝俊 西口 宏泰 滝田 祐作	大分大学 技術研究所 同 上 大分大学 同 上 同 上
			PrO <sub>3</sub> 担持貴金属触媒を用いたNO還元反応	萱田 佑斗 河野 崇 久保 政和 佐野 要平 永岡 勝俊 西口 宏泰 滝田 祐作 山田 啓司 高見 明秀	大分大学 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上 技術研究所 同 上
			貴金属担持中空3次元構造Ce複合酸化物の基本反応特性	西口 宏泰 永岡 勝俊 滝田 祐作 山田 啓司 三好 誠治 岩国 秀治 高見 明秀	大分大学 同 上 同 上 技術研究所 同 上 同 上 同 上
			Pr,Laを添加したCeO <sub>2</sub> 複合酸化物における酸素放出特性とPM酸化 <sup>(2)</sup>	大石 哲也 松本 広重 藤田 弘輝 原田浩一郎 對尾 良則 高見 明秀 石原 達己	九州大学 同 上 技術研究所 同 上 同 上 同 上 九州大学
			中空三次元構造Ce複合酸化物微粒子の酸素吸蔵特性	三好 誠治 原田浩一郎 岩国 秀治 山田 啓司 對尾 良則 高見 明秀 本田 知広 浦井 智明 西口 宏泰 永岡 勝俊 滝田 祐作	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上 戸田工業(株) 同 上 大分大学 同 上 同 上

日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
2007.3.29-31	電気化学会	電気化学会第74回大会	黒鉛系カーボンを用いる高容量キャパシタの充放電特性へ及ぼす支持塩の影響	横山 友嗣 下坂 暢明 松本 広重 藤田 弘輝 對尾 良則 芳尾 真幸 石原 達己	九州大学 同 上 同 上 技術研究所 同 上 佐賀大学 九州大学
2007.4.22	日本科学未来館	ランドセル・ミーティング	水素エンジン車の未来	柏木 章宏	第1プログラム開発推進室
2007.5.19	日本材料学会	第56期学術講演会	硬質CrMoめっき皮膜の摩擦・摩耗特性におよぼすめっき条件の影響	野間 正載 加藤 昌彦 谷田 芳夫	広島大学 同 上 技術研究所
2007.5.22-24	日本計算工学会	第12回日本計算工学会講演会	車両衝突安全開発向け有限要素法商用コードの内部エネルギー検証とエネルギーを用いた車体軽量化設計	井上 実 渡辺 通成 木戸 啓人 伊東 紀明 尾川 茂	装備開発部 衝突性能開発部 同 上 同 上 同 上
2007.5.23-25	自動車技術会	2007年春季大会学術講演会	Amplitude modulated Fast Steps (AFS) 法適用による成層ガソリンエンジンキャリブレーション期間短縮	楠木 寛之 村上 康 中川 正 山本 博之 Leithgob Rainer Vogels Marie-Sophie Martini Eike	技術研究所 同 上 同 上 同 上 AVL 同 上 同 上
			熱回路数値解析による車体温度簡易予測手法の開発	山本 研一 宇口 誠 矢野 輝昭 匂坂 寿人 松元 良枝 武政 孝治	技術研究所 パワートレインシステム開発部 装備開発部 (株)クアトロ 同 上 広島女学院大学
			プローブ情報を活用した安全運転支援技術の開発	山崎 慎也 高橋 弘行 都築 清士 塚原 英徳 嶋田 一彦 江尻 剛士 石見 成行 竹下 航	技術研究所 同 上 (株)デンソー 日本電気(株) 日本精機(株) 同 上 同 上 日本気象協会

日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
			高仕上がりベース塗料の開発	森 淳哉 久保田 寛 重永 勉 山根 貴和 神田 輝夫 大関 武 池田 敦司 常岡 辰夫	技術研究所 同 上 同 上 同 上 車両技術部 同 上 同 上 同 上
			アイドリングストップと手ぶらキーレスを融合した機能を持つ配送用商用車の開発	益川 和磨 八雲 正 稲田 紀親	(株)マツダE&T 車両システム開発部 第1プログラム開発推進室
			境界潤滑を考慮した主軸受け弾性流体潤滑計算手法の研究	宮内 勇馬 権代 明典 広田 哲昭 富田 裕一 Joachim Patschull	パワートレイン技術開発部 エンジン実研部 同 上 大同メタル工業(株) Ford Motor Company
2007.5.31-6.1	(株)シーディー・アダプコ・ジャパン	CDAJ CAE Conference 2007	modeFRONTIERを活用した噴霧モデルパラメータの多目的最適化	佐藤 圭峰	パワートレイン技術開発部
2007.6.2-3	日本人間工学会	日本人間工学会第48回大会	精神負担とドライバ特性が視覚機能に及ぼす影響の基礎的検討	石橋 基範 栗谷川幸代 景山 一郎 土居 俊一	技術研究所 日本大学 同 上 香川大学
2007.6.19-21	自動車技術会	自動車工学基礎講座	衝突安全	河口 健二	衝突性能開発部
2007.6.22-23	日本金属学会 中国四国支部	第100回金属物性研究会	鋼板とアルミニウム合金板の摩擦点接合	田中耕二郎	技術研究所
2007.6.26-29	リードエグジビションジャパン(株)	第19回設計・製造ソリューション展	マツダの開発現場における3次元CAD/3D図面の活用について	甲斐 克利	ボデー開発部
			マツダデジタルイノベーション(MDI)による業務の変化と今後の課題	木谷 昭博	MDI・MPDS企画推進部
			商品開発プロセスへのラピッドプロトタイプングの活用	村上 直玲	試作部
2007.7.3	品質工学会	第15回品質工学研究発表大会	鋳抜きピン設計基準の最適化 高効率フェイスミル加工技術の開発	小関 孝 中山 亨	パワートレイン技術部 パワートレイン技術部

日程	主催	大会名	題 目	発表者	所 属
2007.7.17	日本機械学会	RC226 先進計測技術と数値解析の統合による能動的制御燃焼の国際協力研究分科会	プレス部品の初物外觀品質向上への取り組み  蒸発噴霧データを利用した三次元数値シミュレーション噴霧サブモデルの最適化	酒井 明 阿賀 弘晃 片桐 泰伸  佐藤 圭峰	車体技術部 同 上 同 上  パワートレイン技術開発部
2007.8.18-20	西日本乱流研究会	創立25周年記念シンポジウム	自動車のトランクデッキ部における境界層構造が壁面上の非定常圧力変化に与える影響  自動車における風騒音の発生とその予測について	岡田 義浩 農沢 隆秀 中村 貴樹 岡本 哲  農沢 隆秀 李 曄 笠木 直彦 中村 貴樹 角田 浩行	車両実研部 同 上 同 上 同 上  車両実研部 同 上 同 上 同 上 パワートレイン技術開発部
2007.8.24	自動車技術会 関西支部	2007年度第一回講習会	自動車用ガソリンエンジンの燃焼技術	山下 洋幸	技術研究所
2007.8.24	日本規格協会	品質工学 活用入門セミナー	エンジン, トランスミッション機械加工におけるオンライン品質工学の実践	井田 吉人	パワートレイン技術部
2007.9.5-6	電子情報通信学会	マイクロ波研究会(MW)	開口部をもつ中空の金属管体内部の電磁界分布の数値解析	眞辺 裕太 浜田 康 田口 光雄	長崎大学 車両システム開発部 長崎大学
2007.9.7	熱処理技術協会	SURTECH 2007	マツダのパワーユニットにおける高強度・高精度化の取組み	庄賀 英雄	パワートレイン技術部
2007.9.8	広島商工会議所青年部	第25回中国ブロック大会 東広島大会	化石燃料からの脱却で未来の車はこう変わる	柏木 章宏	第1プログラム開発推進室
2007.9.10-12	日本機械学会	2007年度年次大会	モード歪エネルギー法の適用による高制振パネル構造の解析	小平 剛央 宇都宮昭則 中川 興也	技術研究所 同 上 同 上
2007.9.11	日経BP社	PLMコンgres2007	マツダのバーチャル開発の現状と今後の課題	菊池 慎一	MDI・MPDS企画推進部
2007.9.12	関西生産性本部	第4期「技術経営」交流研究会 第4回例会	MDIによる業務の変化と今後の課題	河内 正行	MDI・MPDS企画推進部
2007.9.14	中国設計管理研究会	第227回中国EAC例会	出図プロセス/システムの紹介	沖園 信幸	車両開発推進部

日程	主催	大会名	題目	発表者	所属								
2007.9.17-20	触媒学会	第100回触媒討論会	TAPシステムによるCe <sub>0.8</sub> Pr <sub>0.1</sub> O <sub>y</sub> 酸化物のCO酸化活性の検討(2) - 加速劣化処理の影響	久保 政和	大分大学								
				萱田 佑斗	同 上								
				河野 崇	同 上								
				永岡 勝俊	同 上								
				西口 宏泰	同 上								
				滝田 祐作	同 上								
				山田 啓司	技術研究所								
				高見 明秀	同 上								
			酸素イオン伝導材料によるPM燃焼	山田 啓司	技術研究所								
				鈴木 研二	同 上								
				藤田 弘輝	同 上								
				岡本 謙治	同 上								
貴金属微粒子含有高性能触媒	原田浩一郎	同 上											
	對尾 良則	同 上											
	高見 明秀	同 上											
	岩国 秀治	技術研究所											
	養島 浩二	同 上											
	三好 誠治	同 上											
2007.9.18-20	表面技術協会	表面技術協会 第116回講演大会	めっき膜厚解析を用いたCrMo合金段積みめっきの膜厚均等化	角島 信司	技術研究所								
				南場 智	同 上								
				谷田 芳夫	同 上								
				品質工学を用いたCrMo合金めっき摺動面の摩擦特性最適化	角島 信司	技術研究所							
					南場 智	同 上							
					谷田 芳夫	同 上							
			2007.9.19-20	エンジニアス・ジャパン(株)	CAOフロンティア2007	サスペンション設計支援ツールの開発 ~感度解析,グリッドコンピューティングの活用~	鐵本 雄一	エンジニアリングシステム部					
							2007.9.19-20	電気化学会	2007年電気化学秋季大会	添加物による黒鉛系カーボンを用いる高容量キャパシタの可逆性向上	横山 友嗣	九州大学	
											下坂 暢明	同 上	
											松本 広重	同 上	
											藤田 弘輝	技術研究所	
											對尾 良則	同 上	
芳尾 真幸	佐賀大学												
石原 達己	九州大学												
2007.9.19-21	日本金属学会	2007年秋季大会									陽電子寿命とTEM観察によるCrMo合金メッキ層中の高密度ナノポイド	杉尾健次郎	広島大学大学院
												柳澤 平	同 上
												谷田 芳夫	技術研究所

日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
2007.9.19-21	溶接学会	平成19年度秋季全国大会	Mg合金のダイカスト時の凝固割れ発生予測	藤井 敏男 篠崎 賢二 常友 敦 光藤 和昭 篠澤 政宏	広島県立総合技術研究所 西部工業技術センター 広島大学大学院 技術研究所 広島大学大学院 同上
2007.9.24	日本機械学会 機械力学 計測制御部門	D&D2007講習会第5回夏の学校「自動車関連技術の基礎から応用まで」	振動および乗心地 運動性能 動力性能・ロータリーエンジンの基礎	内田 博志 末富 隆雅 神原 伸司	技術研究所 技術研究所 エンジン設計部
2007.9.25-28	日本機械学会 機械力学計測 制御部門	Dynamics and Design Conference 2007	電動アクティブサスペンションのエネルギー回生と振動の最適制御に関する基礎検討	内田 博志 末富 隆雅 三浦 恭平 福島 直人 荻原 一郎	技術研究所 同上 東京工業大学 同上 同上
2007.9.27	日本鑄造工学会	第4回鑄造CAE研究部会	中子造型金型 最小量産準備期間の追究	永谷 卓也	パワートレイン技術部
2007.9.30	広島大学	広島大学市民公開講座「21世紀を支える放射光科学」	青い空をいつまでも	定井 麻子	技術研究所
2007.10.3-5	リードエグジビションジャパン(株)	第10回 関西 設計製造ソリューション展	マツダにおけるテストとCAEの融合について マツダの開発・設計現場における3次元CAD/3D図面の活用について	安藤 誠一 奥原 憲之	NVH性能・CAE技術開発部 ボデー開発部
2007.10.17-19	自動車技術会	2007年秋季大会学術講演会	車室内部品から発生するVOCの計測法 優れた耐熱性を有する貴金属微量担持三元触媒の開発 新しい煤燃焼メカニズムによる高性能触媒担持型DPFの開発	市川 智士 松井 恵子 三好 誠治 養島 浩二 岩国 秀治 国府田由紀 住田 弘祐 高見 明秀 原田浩一郎 鈴木 研二 岡本 謙治 山田 啓司 高見 明秀	技術研究所 同上 技術研究所 同上 同上 同上 同上 同上 技術研究所 同上 同上 同上 同上

日程	主催	大会名	題 目	発表者	所 属
2007.10.18	伊藤忠テクノソリューションズ(株)	PLMシステムユーザー会 2007	革新的次世代低公害車総合技術開発 - 高効率クリーンディーゼル燃焼コンセプト ITIC-PCI -	志茂 大輔 藤本 昌彦 福田 大介 金 尚奎 未岡 賢也 片岡 一司	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上
			自動車乗降時における骨盤周りの身体負担解明と車両寸法の身体負担評価	小竹 元基 道家 健仁 鎌田 実 藤田 健二	東京大学 同 上 同 上 技術研究所
2007.10.20	日本鑄造工学会	鑄造工学 第151回全国講演大会	ユーザー基調講演「自動車とIT」	田神 章一	エンジニアリングシステム部
			超大規模非線形解析システムによるエンジンシリンダーヘッド強度解析について	栗栖 徹	パワートレイン技術開発部
2007.10.24	自動車技術会	ガソリン機関部門ディーゼル機関部門合同公開委員会	ディーゼル機関における多量EGRと吸気冷却による排気低減 - 高効率クリーンディーゼル燃焼コンセプト ITIC-PCI -	志茂 大輔	技術研究所
2007.10.24	MSC(株)	MSC.Software's 2007 VPD Conference	車両プラットフォーム構想におけるADAMSシステムの活用 (ADAMS/Platform-designerの開発)	藤川 智士 佐野 徹 坂田 将人	パワートレイン技術開発部 兼 パワートレイン企画部 パワートレイン技術開発部 同 上
2007.10.26	広島県情報産業協会	コンピュータ&ネットワークEXPO 07 広島	自動車とIT	田神 章一	エンジニアリングシステム部
2007.11.8-9	日本イーエスアイ(株)	PAM Users' Conference in Asia 2007	CAEによる自動車用キーレスエントリー受信性能開発事例報告	浜田 康 鶴長真里絵	車両システム開発部 (株)マツダE&T
2007.11.13-15	電気化学会電池技術委員会	第48回電池討論会	黒鉛系カーボンを用いる高容量キャパシタの充放電特性へ及ぼす支持塩の影響 <sup>(2)</sup>	横山 友嗣 下坂 暢明 松本 広重 藤田 弘輝 對尾 良則 芳尾 真幸 石原 達己	九州大学 同 上 同 上 技術研究所 同 上 佐賀大学 九州大学
2007.11.16	日本機械学会	日本機械学会講習会 機械設計におけるシミュレーション技術の活用	流体解析設計の事例と留意点	横畑 英明	パワートレイン技術開発部

日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
2007.11.17	日本機械学会 関西支部	第8回秋季技術交流フォーラム	サイド噴射方式スプレーガイド直噴エンジン	山本 博之	技術研究所
2007.11.17-18	日本機械学会	流体工学部門講演会	自動車のトランクデッキ部における境界層構造が壁面上の非定常圧力変化に与える影響	岡田 義浩 農沢 隆秀 中村 貴樹 岡本 哲	車両実研部 同 上 同 上 同 上
			実験と数値計算による自動車空力騒音の構造及び発生メカニズムの解明について	李 暉 笠木 直彦 中村 貴樹 農沢 隆秀	車両実研部 同 上 同 上 同 上
2007.11.20	広島市立大学	リエゾンフェスタ2007 産学連携セミナー	自動車の進化 ～環境・安全をテーマにした車づくり～	松岡 孟	技術研究所
2007.11.21-22	プラスチック 成形加工学会	第15回プラスチック成形加工学会秋季大会	後被せ式アームレスト表皮用熱可塑性エラストマーの開発	大西 正明 中島 之典 田中 力	技術研究所 同 上 同 上
			天然繊維強化プラスチックの開発	一原 洋平 松田 祐之 吉田 邦彦 高木 均	技術研究所 同 上 同 上 徳島大学
			ガラス長繊維強化発泡樹脂の力学的材料特性	岡本 伸吾 福庭 優介 播磨 一成 賀佐見真司 宮地 敏記 栃岡 孝宏 金子 満晴 小川 淳一	広島大学大学院 同 上 ダイキョーニシカワ(株) 同 上 同 上 技術研究所 同 上 同 上
2007.11.26	日本機械学会	No.07-114 講習会 基礎教育講習会 - エンジンにおける実験・計測の基礎と応用(その16)	ディーゼルエンジンにおけるDOEと適合	原田 真悟	エンジン実研部
2007.11.26-27	素形材センター	平成19年度鑄造技術研修講座「鑄鉄の生産技術」	キュボラ溶解の実際	田中 裕一	パワートレイン技術部
			中子造型法と砂	堀 雄二	パワートレイン技術部
2007.11.27	型技術協会	型技術ワークショップ 2007 in 広島	成形シミュレーションによるテラード ブランク溶接部の始末端割れ評価	山下浩二郎 浜口 照巳 阿賀 弘晃 猪 一郎	車体技術部 同 上 同 上 同 上



日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
			金型設計における機械加工検証支援システムの開発	毎田 和博 石丸 真 乾 正知	車体技術部 同上 茨城大学
			プレス金型のリサイクル設計法の開発	岡田 又治 森澤 誠	車体技術部 同上
			プラスチックバンパーの金型加工における工具姿勢の最適工程設計	藤末 晃 小瀧 和志 大塚 宏明 乾 正和	車両技術部 同上 ツーリング製作部 茨城大学
			金型工場の見える化による工場運営について	中土 信之	ツーリング製作部
2007.11.29-12.1	日本機械学会	MPT2007 シンポジウム < 伝動装置 >	遊星歯車のかみあい伝達誤差連成解析	西野 隆之	パワートレイン技術開発部
2007.12.1	日本人間工学会 中国・四国支部	第40回中国・四国支部大会	ドライバ特性が視線移動時間の及ぼす影響の基礎的検討	石橋 基範 栗谷川幸代 景山 一郎 土居 俊一	技術研究所 日本大学 同上 香川大学
			車両旋回時における自車位置の認知性向上に関する研究	梅津 大輔 堤 有子 宮崎 透 西川 一男 農沢 隆秀	車両実研部 同上 同上 同上 同上
2007.12.4	自動車技術会	シンポジウム「自動車の振動騒音問題とうまく付き合う方法」	振動伝達低減パネル開発	中川 興也	技術研究所
2007.12.5-7	全NEC C&Cシステムユーザー会	C&Cユーザーフォーラム & iEXPO2007	マツダにおける「CADデータ管理システムの構築」～デジタルモックアップによる開発プロセス革新～	三好 和仁	エンジニアリングシステム部
2007.12.6-8	固体イオニクス学会	第33回固体イオニクス討論会	Ce (Pr, La) O <sub>2</sub> の酸素拡散性とディーゼルパティキュレート酸化活	大石 哲也 松本 広重 高見 明秀 山田 啓司 石原 達己	九州大学 同上 技術研究所 同上 九州大学
2007.12.10	広島県音・振動技術研究会	平成19年度第3回研究会	振動伝達低減パネル	杉原 毅	技術研究所
2007.12.10	日本トライボロジー学会	第3種研究会 第54回自動車のトライボロジー研究会	品質工学を用いたCrMo合金めっき表面構造の開発	谷田 芳夫	技術研究所

日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
2007.12.13	日本規格協会	品質工学セミナー	MTシステム エンジン異音検査パラメータの最適化	中津 健治	パワートレイン技術部
2007.12.14	自動車技術会	No.07-07シンポジウム「進化するガソリンエンジンⅡ」	マルチホールインジェクターを用いたスプレーガイド直噴エンジン	山本 博之	技術研究所
2007.12.15	日本設計工学会中国支部	第31回講習会「e-Learningの実践活用法」	製造業におけるe-Learningの活用事例と「魅せる化」の追求	藤崎 康博 飯田 健次 米今 直子	車両開発本部 ボデー開発部 同上
2007.12.20-21	日本液体微粒化学会	第16回微粒化シンポジウム	Characteristics of Fuel Spray Injected by 2-hole Injector	佐藤 圭峰 田所 正 洲本 康樹 哈 強 田 江平 西田 恵哉	パワートレイン技術開発部 同上 広島大学大学院 同上 同上 同上
			直噴ガソリン噴霧の蒸発特性に及ぼす壁面衝突の影響	佐藤 圭峰 田所 正 洲本 康樹 哈 強 西田 恵哉	パワートレイン技術開発部 同上 広島大学大学院 同上 同上
2007.12.20-21	計測自動制御学会	第8回システムインテグレーション部門講演会	上肢筋骨格モデルによる高速運動時の手先加速度特性の解析	太田 浩司 田中 良幸 河手 功 西川 一男 農沢 隆秀 辻 敏夫	広島大学大学院 同上 車両実研部 同上 同上 広島大学大学院
			ペダル操作における下肢感覚・運動特性の解析評価	兼行 秀和 田中 良幸 梅津 大輔 宮崎 透 西川 一男 農沢 隆秀 辻 敏夫	広島大学大学院 同上 車両実研部 同上 同上 同上 広島大学大学院

3 . 社外寄稿

\* 所属は原則発表時点を示す

寄稿誌名 巻・号・ページ	題 目	発表者	所 属
FISITA TRANSACTIONS F2006P372T	EM REDUCTION BY A LARGE AMOUNT OF EGR AND EXCESSIVE COOLED INTAKE GAS IN DIESEL ENGINES	志茂 大輔 片岡 一司 藤本 英史 寺澤 保幸	技術研究所 同 上 同 上 パワートレイン先行開発部
Review of Automotive Engineering Vol.28, No.1, p.19-25	Spray-guided Direct-injection Engine Using Multi-hole Injector	瀬戸 祐利 山下 洋幸 太田 統之 村上 康 吉田 浩之	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上
Vol.28, No.1, p.61-65	Spot Friction Welding of Aluminum to Steel	玄道 俊行 西口 勝也 麻川 元康	技術研究所 同 上 同 上
Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing Vol.1, No.4(2007) p.541-552	Vibration Analysis of the Helical Gear System Using the Integrated Excitation Model	西野 隆之	パワートレイン技術開発部
IEEE Computer Graphics and Applications Vol.27, No.1(2007) p.82-88	Using a GPU to Accelerate Die and Mold Fabrication	大田 敦史 乾 正知	車体技術部 茨城大学
AutoTechnology Vol.7, p.60-63	Investigation of the Internal Energy Assessment in a Vehicle Crash Event	井上 実 渡辺 通成 木戸 啓人 伊東 紀明 尾川 茂	装備開発部 衝突性能開発部 同 上 同 上 同 上
自動車技術 Vol.61, No.4, p.83-86	鉄 - アルミニウムの摩擦点接合	玄道 俊行 西口 勝也 麻川 元康 谷岡 真一	技術研究所 同 上 同 上 同 上
Vol.61, No.6, p.50-56	感性重視の車開発	貴島 孝雄	第2プログラム開発推進室
自動車技術会関西支部ニュース No.30, p.2-3	環境にやさしい膜厚均一化電着塗料の開発	重永 勉	技術研究所
自動車技術会論文集 Vol.38, No.1, p.37-42	自動車乗降動作における身体的負担推定手法の提案とその評価	小竹 元基 末永真一郎 鎌田 実 吉澤 公理 末富 隆雅	東京大学 同 上 同 上 技術研究所 同 上

寄稿誌名 巻・号・ページ	題 目	発表者	所 属
Vol.38, No.1, p.55-60	オープンカー幌の人間工学的考察	三浦 泰彦 山田 直樹 田上 宏紀 黒田 将仁 山田 勝久	技術研究所 同 上 ボデー開発部 同 上 ドライブトレイン開発部
Vol.38, No.4, p.185-190	自動車乗降時における上半身の身体負担解明とその評価手法の提案	小竹 元基 宮沢 悠介 鎌田 実 吉澤 公理 末富 隆雅	東京大学 同 上 同 上 技術研究所 同 上
日本機械学会 (P-SCD348) 歯車の次世代加工技術と運転性能に関する調査研究分科会 研究成果報告書 p.101-105	三次元歯面修整法に関する一考察	西野 隆之	パワートレイン技術開発部
日本機械学会 (RC218) 歯車装置の使用限界向上とトラブル未然防止のための設計・製造技術調査研究分科会 研究報告書 p.134-135	歯車装置のトラブルシューティング手順 - 原因が歯車装置構造と運転条件にあるとしたときの対処	西野 隆之	パワートレイン技術開発部
p.171	歯車装置トラブルシューティングの勘所	西野 隆之	パワートレイン技術開発部
日本セラミックス協会編 触媒材料 p.57-66	パティキュレート燃焼触媒	高見 明秀	技術研究所
NEDO「革新的次世代低公害車総合技術開発 革新的後処理システムの研究開発」平成16年度～平成18年度成果報告書 p.1-63	ナノテクノロジーを応用した高性能排ガス浄化用触媒の研究開発	對尾 良則 高見 明秀	技術研究所 同 上
NEDO「革新的次世代低公害車総合技術開発 新燃焼方式の研究開発及び燃料の最適化に関する研究」平成18年度成果報告書 p.1-65	超低エミッション高効率乗用ディーゼルエンジンの研究開発	藤本 昌彦 山本 博之 西田 恵哉	技術研究所 同 上 広島大学大学院
触媒学会誌 Vol.49, No.4, p.297-302	ディーゼルパティキュレート燃焼触媒の現状と課題	高見 明秀	技術研究所
電子情報通信学会技術研究報告 (信学技報) Vol.107, No.208, MW2007-89, p.45-50	Numerical analysis on electromagnetic field distribution within a conducting box with an aperture	眞辺 裕太 浜田 康 田口 光雄	長崎大学 車両システム開発部 長崎大学
微粒化 Vol.16, No.55, p.1-9	直噴ガソリン機関用ホールタイプインジェクタから噴射した噴霧の混合気形成過程 (噴孔径と噴孔L/Dの影響)	佐藤 圭峰 神崎 淳 山川 正尚 西田 恵哉	パワートレイン技術開発部 同 上 同 上 広島大学大学院

寄稿誌名 巻号・ページ	題 目	発表者	所 属
日本鑄造工学会中国四国支部会報 「こしき」 Vol.30(2007) p.6-10	高効率鋳鉄溶解システムの開発	田中 裕一 下西 淳 藤川 正義	パワートレイン技術部 同 上 第3パワートレイン製造部
品質工学 Vol.15, No.3(2007) p.57-63	品質工学を用いた新接合技術開発プロセスの構築	橋本 晃 奥村 信弥	パワートレイン技術部 同 上
Vol.15, No.1(2007) p.113-118	スポット電極ドレッサの機能性評価	松井 克真 入鹿 康生	第1工務技術部 同 上
ENGINE TECHNOLOGY Vol.9, No.5, p.70-76	新型デミオ用MZR1.3L「ミラーサイクル」エンジンの開発	前田 敏正 古野 貴久 齋田 淳右 立花 淑孝 西村憲一郎 佃 厚典	パワートレイン開発推進部 エンジン設計部 エンジン実研部 同 上 ドライブトレイン開発部 パワートレインシステム開発部
全NEC C&Cシステムユーザー会 平成19年度論文集	マツダにおける「CADデータ管理システムの構築」 ～デジタルモックアップによる開発プロセス革新～	三好 和仁	エンジニアリングシステム部
自動車工学 Vol.56, No.6(2007)	パワーリトラクタブルハードトップ(ロードスター)	松延 知昭	ボデー開発部
日経 Automotive Technology 2007spring, p.154-159	MDI-II 活動でバーチャル開発強化	河内 正行	MDI・MPDS企画推進部
CAD&CG マガジン November 2007, p.33-38	デジタルで飛躍するマツダのデザインとものづくり	河内 正行 前田 育夫 徳重 修 三好 弘高	MDI・MPDS企画推進部 デザイン戦略スタジオ デザインモデリングスタジオ 生産企画部
広島市建設技術協会誌「水と緑」 Vol.17, p.6-9	水素ロータリーエンジン車の紹介	柏木 章宏	第1プログラム開発推進室

## 編集後記

「子供のときに感じた動くことへの感動」を表す“Zoom-Zoom”のブランドメッセージとともに、マツダの新世代商品群として初代アテンザ、二代目デミオを世に送り出したのは2002年のことでした。その後も、RX-8、アクセラをはじめとする“Zoom-Zoom”を体現する商品を提供し続けてきましたが、いよいよ“Zoom-Zoom”も第2世代に入りました。2巡目のトップバッターとなった新型デミオ、続く新型アテンザはいずれも、環境安全性能とデザインやダイナミック性能を両立させ、昨年に技術開発の長期ビジョンとして策定した「サステイナブル“Zoom-Zoom”」を体現するという進化を遂げています。

新型アテンザの開発テーマは、ズバリ「“Zoom-Zoom”の進化」ですが、私達は今後も更なる『進化』を通して“Zoom-Zoom”を『深化』させ、『新価』（新しい価値）を創造し、そしてその『真価』をお客様に伝えていく努力が必要です。それが、私達の目指す「見て乗りたくなる、乗って楽しくなる、そしてまた乗りたくなる」と感じてもらえるクルマの実現につながると考えています。

本号では、新型デミオ、新型アテンザの特集を組んだほか、環境・安全そして品質の面でマツダ車の『進化』を担う新技术を多く紹介しています。本誌を通してマツダの目指す『進化』の方向をご理解いただければ幸いです。

(中西)

## 編集委員会

委員長	富山 道雄	技術企画部
委員	佐々木克明	企画設計部
	兼品 直和	操安性能開発部
	大段 清二	ボデー開発部
	迫野 隆	パワートレイン技術開発部
	正守 一郎	技術研究所
	中西 克司	生産企画部
幹事	田坂 寿康	技術企画部
事務局	馬郡 雄二	技術研究所
	伊東加奈子	技術企画部

## マツダ技報 第26号

発行 平成20年4月  
発行人 金井 誠太  
編集人 富山 道雄  
発行所 マツダ株式会社  
商品企画ビジネス戦略本部 技術企画部  
〒730-8670  
広島県安芸郡府中町新地3番1号  
電話 082(287)4106  
印刷所 マツダエース株式会社  
広島県安芸郡府中町新地3番1号

## Mazda Technical Review No.26

April 2008  
Publisher Seita Kanai  
Editor Michio Tomiyama  
Distributor Technology Planning Dept.  
Product Planning & Business  
Strategy Div.  
Mazda Motor Corporation  
3-1 Shinchi, Fuchu-cho Aki-gun,  
Hiroshima 730-8670, Japan