

zoom-zoom  
zoom-zoom



MAZDA TECHNICAL REVIEW

zoom

# マツダ技報

Mazda Technical Review

2009 No. **27**

# マツダ技報 第27号 (2009)

## 目 次

巻頭言 .....	龍田康登 .....	1
<b>特集：サステイナブル “Zoom-Zoom”</b>		
1. マツダの燃費改善に向けた取り組みについて .....	富山道雄, 小島岳二 .....	3
2. マツダ i-stop (アイ・ストップ) .....	猿渡健一郎, 田賀淳一, 吉田 真 八雲 正, 吉井輝夫, 上原茂幸 .....	9
3. 新型MZR-CD 2.2エンジンの紹介 .....	上杉康範, 内藤雅博, 安田浩明 山内道広, 上月正志, 森 恒寛 谷村兼次, 森永真一 .....	15
4. 発泡成形技術を用いたドアモジュール基材の開発 .....	小川淳一, 梶山智宏, 山田勝久 栃岡孝宏, 金子満晴, 中島之典 .....	21
5. プレマシーハイドロジェンREハイブリッドの紹介 .....	柏木章宏, 下村 剛 .....	26
6. ハイドロジェンREハイブリッドシステムの開発 .....	若山敬平, 米盛 敬, 松島智善 瀬尾宣英 .....	31
7. インフラ協調安全運転支援システムの公道実証実験 .....	岡崎俊実, 藤原由貴, 山田直樹 山田秀行, 山崎慎也, 石橋基範 .....	36
<b>特集：新型マツダアクセラ</b>		
8. 新型マツダアクセラの紹介 .....	前田剛享, 永柄邦次, 岡沢恭久 前田俊和 .....	42
9. 新型マツダアクセラのデザイン .....	栗栖邦彦 .....	49
10. 新型マツダアクセラのパッケージング .....	山内 一, 高山雅年, 齊藤道雄 武田雄策 .....	55
11. 新型マツダアクセラのダイナミック性能 .....	嶋中常規, 中山伸之, 友貞賢二 吉井群治, 渡邊雅哉 .....	60
12. 新型マツダアクセラのパワートレインの紹介 .....	猿渡健一郎, 白石大作, 宮崎亜希夫 森 工, 倉増 拓, 西尾貴史 .....	66
13. 新開発マルチインフォメーションディスプレイの紹介 .....	居倉和徳, 細田浩司, 角岡幸治 宮崎 透 .....	72
<b>特集：マツダピアンテ</b>		
14. マツダピアンテの紹介 .....	清地秀哲, 山崎博和, 前川義博 藤田智史 .....	78
15. マツダピアンテのデザイン .....	小泉 巖 .....	83
16. マツダピアンテのパッケージング .....	伏見 亮, 斎藤暢祐, 草譯清香 .....	88
17. マツダピアンテの振動・騒音性能開発 .....	伊藤 肇, 幅野浩司, 住田英司 高野 毅, 鎌田浩樹, 津村信一 .....	93

18. マツダピアノテのTailボデー開発 .....	銭谷恒明, 中髪修一, 後藤英貴 .....	99
-----------------------------	------------------------	----

## 論文・解説

19. 新型ロードスターのパワートレインの進化 .....	若狹章則, 野崎 修, 西田智宣 齊藤忠志, 佐々木健二, 濱田雅美 藤富哲男 .....	103
20. 最適化を用いた下肢傷害低減手法の開発 .....	宮原亮平, 宮島陽一, 尾川 茂 .....	108
21. 新型AM/FMラジオ用ガラスアンテナの開発 .....	重田一生, 谷口龍昭 .....	114
22. キーレスエントリー受信感度バーチャル評価技術の開発 .....	浜田 康, 沼元正樹, 鶴長真里絵 .....	119
23. 3DCAD活用によるボデー領域のバーチャル開発革新 .....	中村克宏, 菅本大成, 清水和己 岡本暢宏, 三戸手文明, 皿海慎也 .....	125
24. NVH性能分析システムCPAs2の開発 .....	江頭裕二, 川口克也, 馬屋原立裕 .....	131
25. ガソリンHCCI機関における燃料特性と自己着火に関する解析 .....	養祖 隆, 山川正尚, 廣瀬敏之 田中重行, 草鹿 仁 .....	136
26. ロータリエンジンの火炎伝ばに及ぼす点火プラグ配置の影響 .....	奥井伸宜, 高橋巧朋, 香川良二 田端道彦 .....	142
27. エンジン摺動部材の低摩擦表面処理の開発 .....	谷田芳夫, 角島信司 .....	148
28. ピストンスペック選定における品質工学の適用 .....	須藤康博, 村中宏彰, 小泉昌弘 山内智博, 古野貴久, 来住南和雄 .....	153
29. エネルギー評価によるスプライン転造システムの最適化 .....	田中雄幸, 森弘真司, 河野弘和 .....	159
30. 人間作業工程へのパラメータ設計の適用 .....	垣田 健, 三宅鹿生, 山本慈喜 .....	164
31. ハーネスコネクタ嵌合作業における工程内品質保証 .....	久保田修平, 戸井隆史 .....	169
32. 金型設計における機械加工性検証システムの開発 .....	毎田和博, 石丸 真, 中廣幹夫 .....	175

社外への発表論文一覧表 .....		181
-------------------	--	-----



# Mazda Technical Review No.27

## CONTENTS

### Foreword

<i>(Y.Tatsuta)</i> .....	1
--------------------------	---

### Special Edition for “ Sustainable Zoom-Zoom ”

<b>1 . Mazda’s Challenges for Fuel Economy Improvement</b> <i>(M.Tomiyama, T.Kojima)</i> .....	3
<b>2 . Mazda i-stop</b> <i>(K.Saruwatari, J.Tagu, M.Yoshida, T.Yagumo, T.Yoshii, S.Uehara)</i> .....	9
<b>3 . Introduction of New MZR-CD 2.2 Engine</b> <i>(Y.Uesugi, M.Naito, H.Yasuda, M.Yamauchi, M.Kouzuki, T.Mori, K.Tanimura, S.Morinaga)</i> .....	15
<b>4 . Development of Door Module Carrier Using Foam Molding Technology</b> <i>(J.Ogawa, T.Kajiyama, K.Yamada, T.Tochioka, M.Kaneko, Y.Nakajima)</i> .....	21
<b>5 . Introduction of Premacy Hydrogen RE Hybrid</b> <i>(A.Kashiwagi, T.Shimomura)</i> .....	26
<b>6 . Development of Hydrogen RE Hybrid System</b> <i>(N.Wakayama, K.Yonemori, T.Matsushima, N.Seo)</i> .....	31
<b>7 . Public Road Test of Vehicle-infrastructure Cooperative System for Driving Safety Support</b> <i>(T.Okazaki, Y.Fujihara, N.Yamada, H.Yamada, S.Yamasaki, M.Ishibashi)</i> .....	36

### Special Edition for All-New Mazda Axela

<b>8 . Introduction of All-New Mazda Axela</b> <i>(Y.Maeda, K.Nagae, Y.Okazawa, T.Maeda)</i> .....	42
<b>9 . Design of All-New Mazda Axela</b> <i>(K.Kurisu)</i> .....	49
<b>10 . Packaging of All-New Mazda Axela</b> <i>(H.Yamauchi, M.Takayama, M.Saito, Y.Takeda)</i> .....	55
<b>11 . Dynamic Performance of All-New Mazda Axela</b> <i>(T.Shimanaka, N.Nakayama, K.Tomosada, G.Yoshii, M.Watanabe)</i> .....	60
<b>12 . Introduction of All-New Mazda Axela Powertrain</b> <i>(K.Saruwatari, D.Shiraishi, A.Miyazaki, T.Mori, T.Kuramashi, T.Nishio)</i> .....	66
<b>13 . Development of Multi Information Display</b> <i>(K.Ikura, K.Hosoda, K.Kadooka, T.Miyazaki)</i> .....	72

### Special Edition for Mazda Biante

<b>14 . Introduction of Mazda Biante</b> <i>(H.Seichi, H.Yamasaki, Y.Maekawa, S.Fujita)</i> .....	78
<b>15 . Design of Mazda Biante</b> <i>(I.Koizumi)</i> .....	83
<b>16 . Package of Mazda Biante</b> <i>(A.Fushimi, Y.Saitou, S.Kusawake)</i> .....	88

17 . Noise and Vibration Development of Mazda Biante ( <i>H.Ito, K.Habano, E.Sumida, T.Takano, H.Kamada, S.Tsumura</i> ) .....	93
18 . Tall Body Development of Mazda Biante ( <i>T.Zenitani, S.Nakagami, H.Goto</i> ) .....	99
<b>Technical Reports</b>	
19 . Enhancement of Powertrain with New Roadster ( <i>A.Wakasa, O.Nozaki, T.Nishida, T.Saito, K.Sasaki, M.Hamada, T.Fujitomi</i> ) .....	103
20 . Development of Optimization Techniques to Reduce Lower-Extremity Injuries ( <i>R.Miyahara, Y.Miyajima, S.Ogawa</i> ) .....	108
21 . Development of New AM/FM Window Glass Antenna ( <i>K.Shigeta, T.Taniguchi</i> ) .....	114
22 . Virtual Testing Technique for Remote Keyless Entry Receiving Performance ( <i>Y.Hamada, M.Numoto, M.Tsurunaga</i> ) .....	119
23 . Innovation of Virtual Development in Body Where 3D CAD was Used ( <i>K.Nakamura, H.Sugamoto, K.Shimizu, N.Okamoto, F.Mitote, S.Saragai</i> ) .....	125
24 . Development of NVH Analysis System CPAs2 ( <i>Y.Egashira, K.Kawaguchi, T.Umayahara</i> ) .....	131
25 . Analysis of the Relationship between Fuel Characteristics and Auto-Ignition in Gasoline HCCI Engines ( <i>T.Youso, M.Yamakawa, T.Hirose, S.Tanaka, J.Kusaka</i> ) .....	136
26 . Effect of Spark-plug Arrangement on Flame Propagation of Rotary Engine ( <i>N.Okui, Y.Takahashi, R.Kagawa, M.Tabata</i> ) .....	142
27 . Development of Low-Friction Plating for Engine Sliding Parts ( <i>Y.Tanita, S.Kadoshima</i> ) .....	148
28 . Application of Quality Engineering for Piston Geometry Selection ( <i>Y.Sudou, H.Muranaka, M.Koizumi, T.Yamauchi, T.Furuno, K.Kisuna</i> ) .....	153
29 . Optimization of Spline Coldrolling System on the Basis of Energy Evaluation ( <i>T.Tanaka, M.Morihiro, H.Kouno</i> ) .....	159
30 . Application of Parameter Design to Human Operation Process ( <i>T.Kakita, S.Miyake, I.Yamamoto</i> ) .....	164
31 . In-Process Quality Assurance of Wire Harness Connector Mating ( <i>S.Kubota, T.Toi</i> ).....	169
32 . Development of Manufacturability Verification System for Assisting Holder Part Design ( <i>K.Maida, S.Ishimaru, M.Nakahiro</i> ) .....	175
List of Reports Published in 2008 .....	181

## 巻頭言

## エンジニアの夢



常務執行役員 龍田 康登

Yasuto Tatsuta

サブプライム問題を発端とした2008年9月の世界金融危機は依然としてその底が見えず、社会は現在、世間で“未曾有の速さ、広がり、それに深さ”、“100年に1度の不況”などの言葉で、その異常さが形容されている経済不況の真っ只中にある。特に自動車業界はその波をまともにかぶり、最もダメージを受けている業界のひとつでもある。2008年11月の自動車販売は前年比で半分近く（米国）、あるいは1/3近く（日本）まで落ち込んだ。自動車生産はもとより自動車部品関連業、アフターマーケットなどさまざまな領域で大きく仕事量が落ち込んでいる。さらに、ことは自動車だけに止まらず、あらゆる業界が緊縮状態に陥ってきた。金融不安、為替変動、株価下落などの要因もあるが、この不況そのものが自動車の不振に端的に現れているし、また、自動車の不況が自動車に関連する鉄鋼、運輸、工作機械、ベアリングなど他の業界の急激な緊縮をもたらしている。雇用問題も大きな政治問題になってきた。環境・エネルギー問題に対する対応の遅れなど様々ご指摘もあるが、消費者の方々の“ものを買う”マインドが大幅に低下している。大型消費財である自動車の販売が早急に回復すると言うことは難しいとは思いますが、なんとしてもこの危機は乗り越えなくてはならない。そのためには、環境・エネルギー・安全など、次の時代のお客様が本当に望んでおられる技術の開発が不可欠であり、経済不況の冬の時期を切り開き、乗り越えていくためには“時代が変わった”ことを実感できるような技術の飛躍が必要である。この冷たい冬の時期にあたり、まさにエンジニアにとっては次の時期・時代に備えて技術の開発を行う好機であり、また、危機脱出の主演としてその真価を問われる時期であるとも言えるのではないかと。

エンジニアという職種を考える場合、いつも思うのであるがエンジニアの別称として“技術屋”という言葉が、また専門性をより示すため、たとえば、エンジンのエンジニアに対しては“エンジン屋”という別称がよく使われる。『屋』という総称が非常に気になるのは私だけであろうか？ 『 屋』、『家』というと、建築の世界を思い起こす。建築家という言葉があるが建築屋とはあまり言わない。建築家といえば有名な建築物を設計した人を思い出すが、建築屋というと、構造計算をする人というイメージが浮かぶのは私だけではあるまい。『家』と『屋』の違いは何であろうか？ なぜこう浮かぶイメージが違うのであろうか？ 語源にさかのぼってみると、『家』は専門の学問・技術の流派、一族を示し、『屋』はその職業の家そのものを指す言葉であるよう書かれている。

私が参加する品質工学会の会合の席で、よく“技術屋”は責任を取らない、開発・設計の確実性を評

価していないということを知り、また、その結果、開発途中で不具合が発生し「手戻り」に悩まされたり、最後には、不具合が市場に流出しお客様に多大な損害を与えてしまう。ここで使われた“技術屋”という言葉はどんな意味を持った言葉であろうか。おそらく、システムとしての確実性を評価していない、システム全体でとらえた開発・設計を行っていないという意味ではなかつたろうか。

一方で、技術への要求は高度化・複雑化し、また、もともと自動車技術の技術分野の裾野は広いことに加え、材料技術、加工技術の革新、電子技術の進化等技術者への負担が大きく、広がっており、分業化あるいはマニュアル化、IT化等により開発の効率化を追求してきた。このことは当然のことであろうし、必要なことであり、多くの成果もあげてきた。しかしこのことが過度になり、また、部分的追究が行き過ぎると技術者は全体が見えなくなるし、システムでモノを考えることもしなくなる。これは、システムの分解に問題があるわけで、技術は要素分解ではないことを肝に銘じる必要がある。モノをシステムとしてとらえ、部分最適でなく、システムでものを考える全体最適につながる開発が望まれる。

顧客の立場に立って、ユーザーの立場で技術を考える。技術者の都合ではなく、ユーザーの都合で考え、技術者自らが顧客の視点に立ち、製品の働きを徹底的に追究して、ロバストネスの高い品質を開発段階で造りこむことこそエンジニアに求められることであると思う。“どういふものを作るのか、どうありたいのか”という本来のシステム機能に立ち返った思考があつてこそ、はじめて“技術屋”から“技術家”言い換えれば、マツダが目指す“骨太エンジニア”が生まれるのではないかと思う。

幕末の備中松山藩元締・執政を勤め、松山藩の藩政改革を行った山田方谷の生き様、考え方である『夢出せ、知恵出せ、元気出せ』の言葉がモノづくりの姿と重なってくる。

モノづくりの起源は太古の人類の道具の発明にまで遡るが、足元のニーズを創造的英知によって克服していく営みであり、その原点は、「この状態を何とかしたい」「こういうものができればいい」という願望すなわち“夢”である。夢に直面しつづけることで“知恵”が生まれる。「こうすればいいのではないか」という外部への働きの意思が知恵である。そして知恵は具体的な“技術”・“技能”を生み出す。技術・技能は“努力”によって洗練され、“競争”が生じる。そして、下の願望すなわち夢をかなえるのに最も適したモノが生み出され、“価値”が享受される。そして、夢実現の達成感で“元気”が生まれ、次の新たな夢への願望を培うことができる。

「夢 知恵 (技術・技能) (努力) (競争) (価値) 元気 新たな夢」

このように、技術に野心を持ちつつも謙虚で、“夢 知恵 元気 新たな夢”の“夢のサイクル”を回し続けることがエンジニアの本質であり、いいかえれば、モノづくり、製造業の本質であると思う。

あのエンジニアはどんな夢を持っているのだろう。考えるだけでわくわくする。

最後に、2007年マツダは「サステイナブル“Zoom-Zoom”宣言」を行った。前号でその第1弾にデミオ、第2弾としてアテンザの特集を紹介したが、本号ではサステイナブル“Zoom-Zoom”特集として「マツダi-stop (アイ・ストップ)」、「ハイドロジェンREハイブリッドシステム」を紹介した。骨太エンジニアの手に成るサステイナブル“Zoom-Zoom”の進化を理解していただければと思う。

特集：サステイナブル “Zoom-Zoom”

1

## マツダの燃費改善に向けた取り組みについて Mazda's Challenges for Fuel Economy Improvement

富山 道雄\*<sup>1</sup> 小島 岳二\*<sup>2</sup>  
Michio Tomiyama Takeji Kojima

### 要約

2002年のアテンザ導入以来、全商品の燃費改善を進め、日本では2001年から2008年で、企業平均燃費を約30%向上させた。2007年3月に「サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言」を策定し、2008年比2015年で、グローバルに企業平均燃費を、更に30%向上させる目標を掲げている。このCO<sub>2</sub>削減や将来の脱化石燃料化といった自動車の抱える課題に対応するため、2009年にはi-stop (アイ・ストップ) やプレマシー・ハイドロジェンREハイブリッドを市場に導入した。更に、2011年以降、大幅に燃費を改善する新しいパワートレインユニットや100kg以上の軽量化を実現する新しい車体の導入を計画、更に、2020年に向けて電動技術の展開拡大を進め、サステイナブルな未来の実現に取り組んでいく。

### Summary

Since the introduction of Atenza in 2002, fuel economy of all products improved. And the average fuel economy of Mazda vehicles in Japan improved about 30 percent from 2001 to 2008. Sustainable “Zoom-Zoom” vision was established in March, 2007, and by 2015, it is setting the target on improving the average fuel economy by 30% over 2008 level globally. To response to the automotive industry's issues that are CO<sub>2</sub> reduction and anti-fossil fuel in future, in 2009, i-stop and Premacy Hydrogen RE Hybrid were introduced into market. Moreover, from 2011 onwards, Mazda plans to introduce new powertrain that improve fuel economy largely and also introduce new platform that aim to reduce the weight by 100 kilograms or more. Furthermore, toward 2020, Mazda will expand the deployment of electric technologies, and realize a sustainable environment for the future.

### 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「サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言 (Fig.1)」を策定した。この宣言を通じて、CO<sub>2</sub>削減など自動車産業が抱える様々な課題に対応し、地球環境と交通環境のサステイナブルな未来の実現に向けた技術開発に取り組んでいる。本稿では、この「サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言」に基づき、現在までに取り組んできた燃費改善の実績と、今後の燃費改善の目標、およびその具体的な主要施策について紹介する。

#### Long-term Vision : Announcement of Sustainable Zoom-Zoom

Mazda makes cars that always excite, that look inviting to drive, are fun to drive, and make you want to drive them again. We are committed to achieving an exciting, sustainable future for cars, for people and for the Earth

#### Basic Policy:

Provide all customers who purchase Mazda cars with the joy of driving and excellent environmental and safety performance.

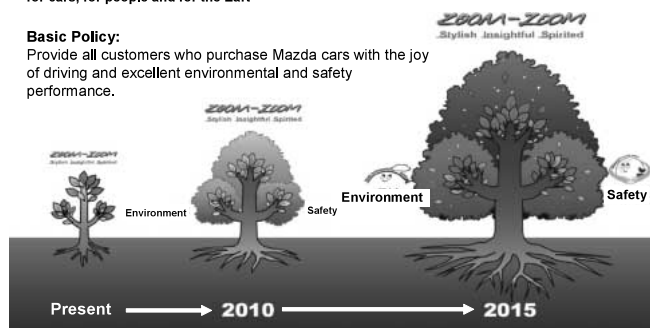


Fig.1 Announcement of Sustainable Zoom-Zoom

\*1, 2 技術企画部  
Technology Planning Dept.

## 2. 地球環境問題の認識

人類は産業革命以降、文明と経済を大きく発展させ、快適さや楽しさを享受してきた。しかし、その加速度的な資源の消費によって、人類や地球に大きな負荷を与えてきている。自動車にとって、現在最も実用的でかつ経済的なエネルギーは、化石燃料である。この化石燃料も、このまま使用すれば、いずれは枯渇していく。そして様々な有害物質を排出する。この中でも、現在特に問題となっているのが、CO<sub>2</sub>の増大による地球温暖化である (Fig.2)。

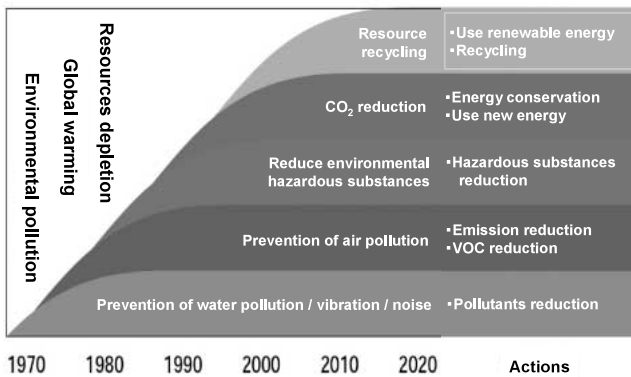


Fig.2 General Situation of Global Environment

地球規模の台数拡大が続く中、今まで以上にCO<sub>2</sub>の削減、すなわち燃費改善に取り組む必要がある。一方で、電気や水素といった脱化石燃料化の動きも既に始まっている。自動車の抱える環境課題は、地域、車両特性、そして時期によって、様々の異なる側面があり、複数の解決策 (= Multi-solution) を準備しておく必要がある (Fig.3)。

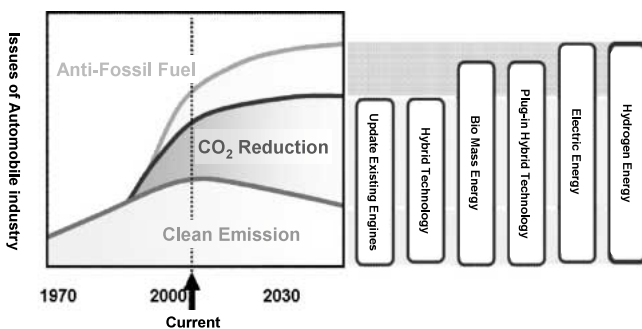


Fig.3 Multi-solution in the Automobile Industry

## 3. マツダのクルマづくりと燃費改善の実績

2002年に導入したアテンザから、“Zoom-Zoom”なクルマづくりを始め、“Zoom-Zoom”の木は芽を出した。これ以降、新世代商品を開発しながら、この芽を少しずつ成長させてきた。この過程で環境技術にも真剣に取り組む、業界トップレベルの技術を導入してきた (Fig.4)。

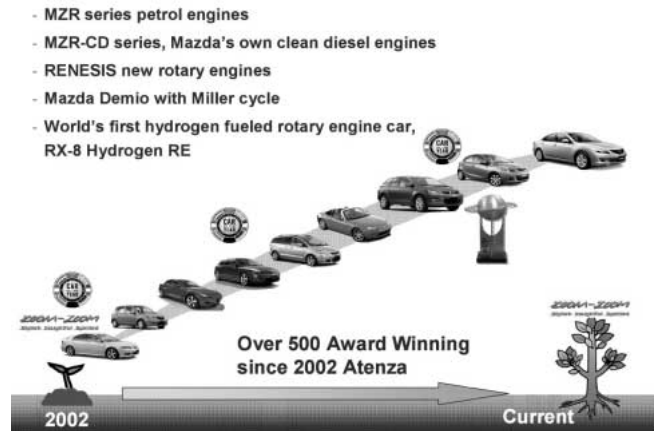


Fig.4 Evolution of Technology

これらの新世代商品では、大幅な燃費改善を実施し、企業平均燃費も大幅に向上させてきた。新世代商品導入前の2001年と比較すると、日本では、2008年までの7年間で30%以上の燃費向上を達成している (Fig.5)。これは自動車業界でもトップレベルの向上率である。

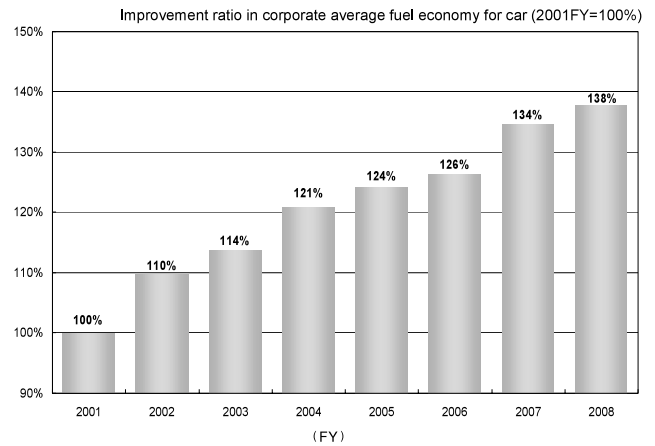


Fig.5 Improvement Trend of Corporate Average Fuel Economy in Japan

また、日本の燃費規制である2010年燃費基準に適合する登録乗用車の出荷台数比率は、2001年で6%に対し、2008年には88%に達している。加えて、2009年の取得税、重量税、自動車税の税優遇基準である2010年燃費基準 + 15%および2010年燃費基準 + 25%適合車の登録乗用車の出荷台数比率は、2008年で60%以上と高い水準となっている (Fig.6)。



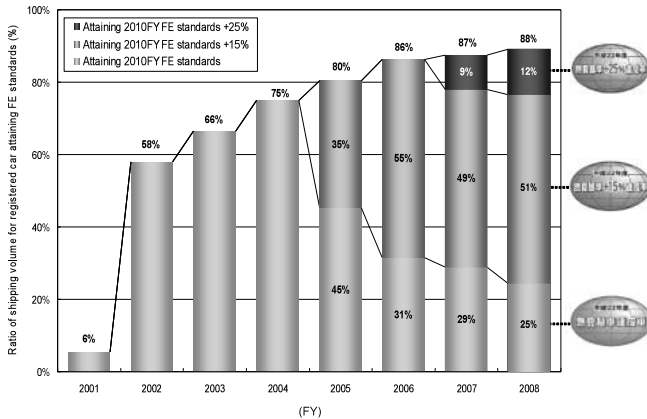


Fig.6 Volume Ratio Trend for Car Attaining Fuel Economy Standard in Japan

#### 4. 今後の燃費改善目標

日本では、2001年から2008年の7年間で30%以上の企業平均燃費を向上させた。このペースを緩めることなく、2008年から2015年までの今後7年間に、今度はグローバルに、更に30%の企業平均燃費の向上を目標として設定した (Fig.7)。これらは主に内燃機関の改善など、クルマづくりの基本となるベース技術の進化によって達成する計画である。

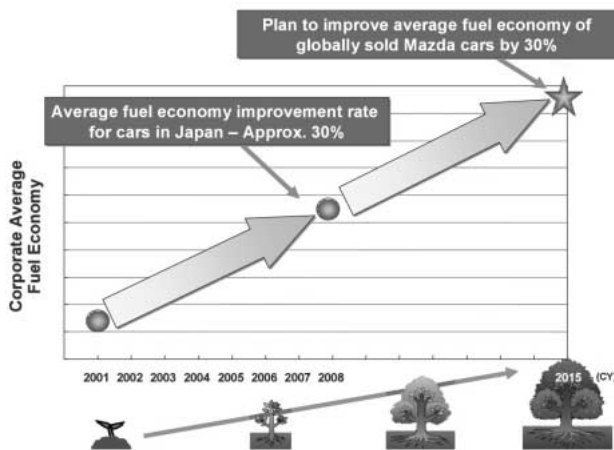


Fig.7 Target of Fuel Economy Improvement

#### 5. 具体的な主要施策

##### 5.1 パワートレイン

将来のエネルギーのマルチソリューションに対するマツダのロードマップの考え方は、将来に向けて“Zoom-Zoom”を実現するため、内燃機関へのこだわりを持ち、加えて、きたるべき水素・電気エネルギー社会に向けてそれらの技術を追求することである。そして、その社会への進化の過程

で、社会インフラの整備状況を考慮し、現実的な環境技術を積み上げながら、お客様により優しい環境車を段階的に提供することである (Fig.8)。

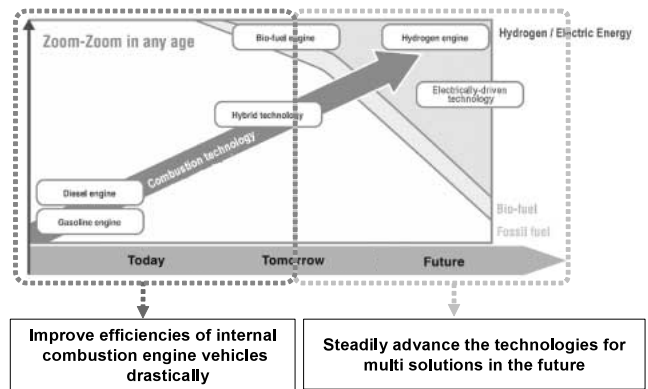


Fig.8 Roadmap of Powertrain Evolution

##### (1) ガソリンレシプロエンジン

ガソリンレシプロエンジンは、2011年から、次世代DISI (直噴) システムや、2009年にアクセラで導入したi-stopなどを採用した新型エンジンを導入する計画である。15~20%の動力性能向上と20%の燃費向上を計画している (Fig.9)。

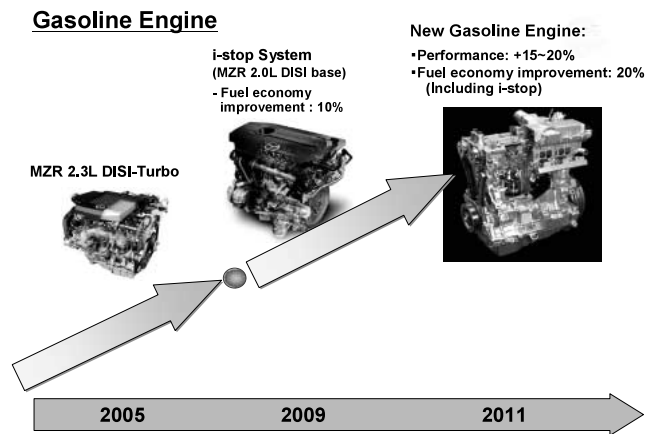


Fig.9 Roadmap of Gasoline Engine

##### (2) ディーゼルエンジン

欧州に導入し、好評を得ているクリーンディーゼルエンジンを更に進化させ、各市場の最も厳しい将来の排出ガス規制に適合した新型ディーゼルエンジンを、2011年からグローバル展開する計画である。このエンジンでは、次世代直噴技術や高過給システム、NOx低減技術などにより、排出ガス性能の向上と同時に20%の燃費向上を計画している (Fig.10)。

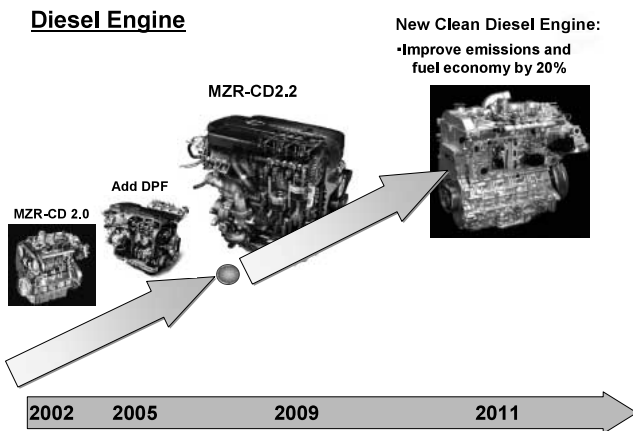


Fig.10 Roadmap of Diesel Engine

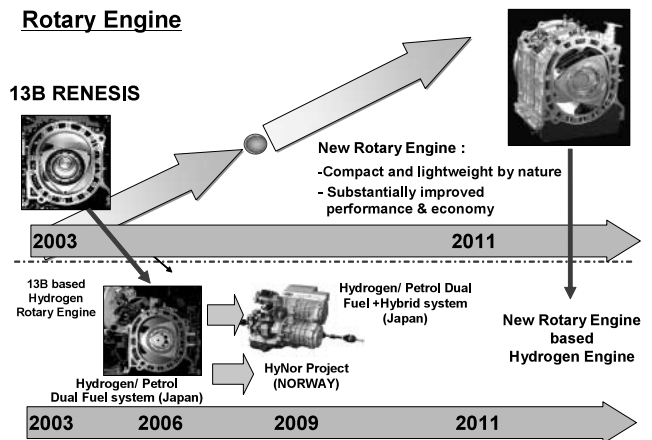


Fig.12 Roadmap of Rotary Engine

(3) オートマチックトランスミッション

マニュアルトランスミッション並みのダイレクト感と燃費性能を実現する高効率な新型オートマチックトランスミッションを2011年に市場導入する計画である (Fig.11)。

**Automatic Transmission**

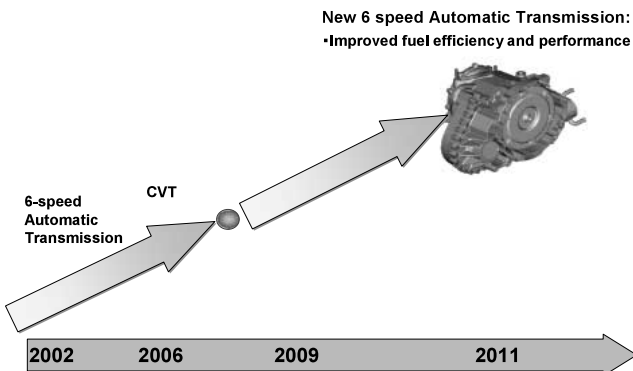


Fig.11 Roadmap of Automatic Transmission

(4) ロータリエンジン

動力性能、燃費性能を大幅に改善した新型エンジンの導入を計画している。エンジンのディメンジョンの見直しや排気量の拡大も考慮に入れ、トルク特性の向上と燃費の改善を目指す。将来的にはこのエンジンをベースとし、新型ハイドロジェンロータリ搭載車の実用化も計画している (Fig.12)。

5.2 車体の軽量化

車体の軽量化は燃費のみならず、運転の楽しさの追及にも大きな武器になる。2007年に導入したデミオではすでに旧モデル比100kgの軽量化を実現し、クラストップレベルの燃費性能を達成した。2011年以降の次世代のモデルでは現行車より更に100kg以上の軽量化を計画している。徹底した車両の軽量化と抵抗低減により、運転性能の向上とともに燃費向上を実現する (Fig.13)。

**Weight Reduction**

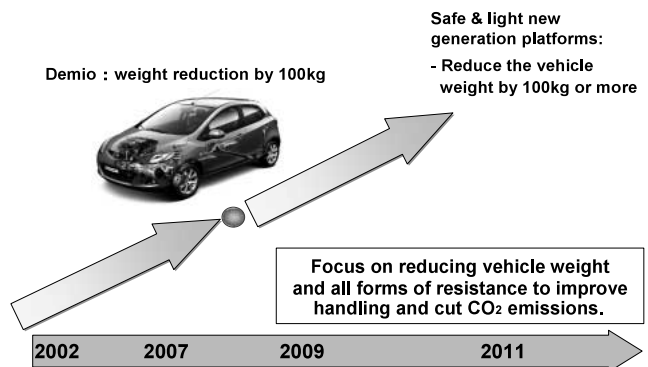


Fig.13 Roadmap of Vehicle Weight Reduction

軽量化の視点は「理想構造の追求」、「新工法の開発」、「材料置換」の3つである。理想構造の追求は、まず強度や剛性などに関して合理的な基本構造とすることであり、更に、CAEにより徹底的に最適化を図っていく。新工法の開発については、特に加工技術と接合技術に着目している。材料置換は多くは金で軽さを買うことになりがちだが、システムトータルでコストアップさせない技術に焦点を当てる (Fig.14)。



**Weight Reduction**

Implement comprehensive weight reduction development

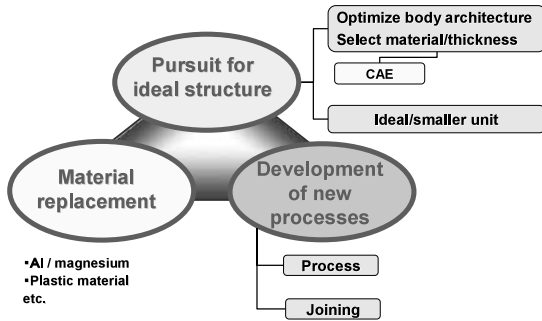


Fig.14 Weight Reduction

**5.3 将来のマルチソリューションに対する取り組み**

Fig.15は、自動車の動力源に対する環境技術の採用動向を、2020年まで予測したものである。2015年には、2009年に導入といわれているEVが、市場の一部を占めるが、EVはコストに加えて航続距離などにも課題があり、普及はかなり限定的と見られる。従い、ほとんどのクルマが内燃機関であることには変わりはないと考えられる。

2015年以降を考えると、2020年には欧州のCO<sub>2</sub> 95g/km規制の計画があり、またグローバルでも同様に燃費規制が強化されると考えている。ベース技術の改善の余地は残っているとはいえ、それだけでは適合は難しいと見込まれ、電動技術の拡大が必要となる。ただし、市場全体のボリュームを見ると、2020年においても依然として内燃機関を含むパワートレインが大半である。

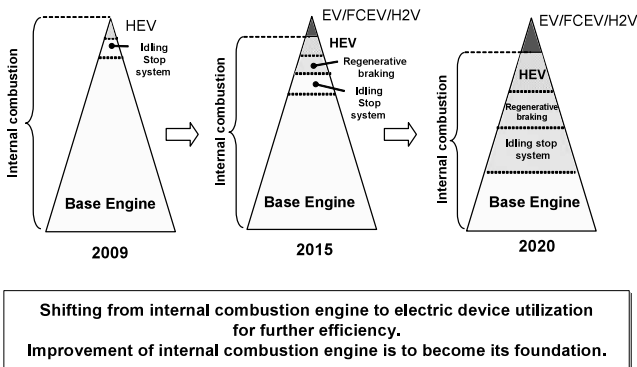


Fig.15 Forecast of Environmental Technology Expansion

このような認識から、電動技術の導入に当たっては、最もシンプルなアイドルストップから採用を開始し、次のステップで減速エネルギー回生、そしてHEVへと、ステップ

アップしていくアプローチを考えている。更に将来には、プラグインHEVなどへの発展が考えられる。できるだけ多くのお客様に提供してCO<sub>2</sub>の総和を削減するという観点からは、Fig.16の左側から順番に導入し、拡大していくのが最も現実的な方法であると考えている。

**Continuity of Electric Device Technology**

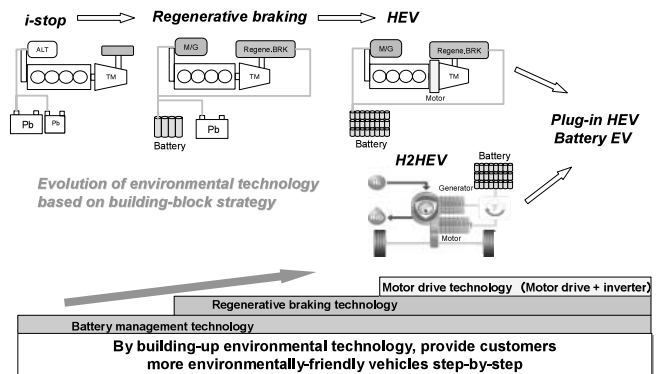


Fig.16 Building-block Strategy for Electric Device

この電動技術の第1ステップとして、アクセラに搭載されたi-stopシステムとプレマシー・ハイドロジェンREハイブリッドを市場導入した。

(1) i-stopシステム

停止中のエンジンのシリンダ内に直接燃料を噴射して燃焼させ、ピストンを押し下げて始動させるマツダ独自のアイドリングストップシステムである。日本市場の10.15モード燃費では約10%の燃費向上を実現している。また、他社のシステムに比べ、静粛で、0.35秒の素早い再始動を可能としている (Fig.17)。

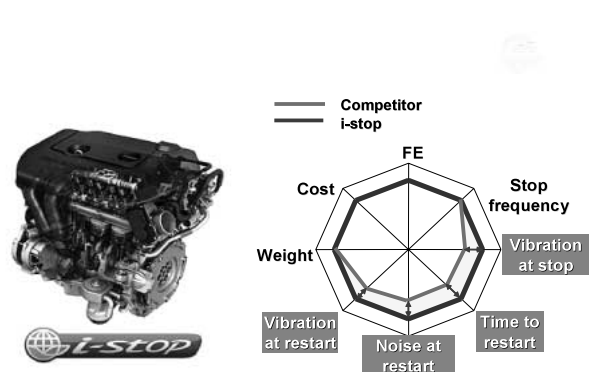


Fig.17 i-stop System

(2) プレマシー-水素REハイブリッド

水素RE並びに水素REハイブリッドについては、将来の脱化石燃料のソリューションとして開発している。

2008年10月には、ノルウェーのHyNorプロジェクトにてRX-8水素REの走行を開始しており、プレマシー-水素REハイブリッドは、2009年3月に、日本でのリース販売を開始している (Fig.18)。



RX-8 Hydrogen RE

Premacy Hydrogen RE Hybrid

•Feb. 2006 Domestic Fleet Lease started  
•Oct. 2008 First overseas test drive started (Hynor Project)

•Mar. 2009 Domestic Fleet Lease started  
Performance: +40% Improvement to RX-8 Hydrogen RE  
Mileage: 200km(Hydrogen)

Fig.18 Hydrogen RE

プレマシー-水素REハイブリッドは、水素エンジンに加えて、モータ、バッテリー、電子制御技術など様々な電気デバイスの要素技術を含んでいる。これらの技術の将来への展開可能性を見ると、充電器を追加しバッテリー容量を増やせば、プラグインハイブリッドが可能である。また、更にバッテリー容量を増やせば、エンジン/発電機能を省略して、単純なEVにもなりえ、バッテリーを燃料電池に置き換えれば、燃料電池車となる。このクルマの開発を通じて、将来考えられる多くの発展可能性についての準備を行っている (Fig.19)。

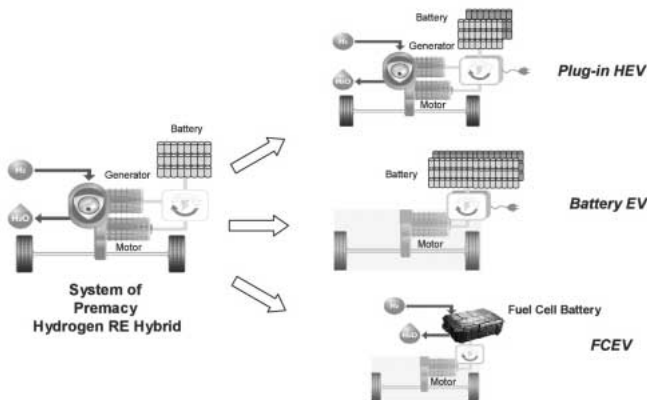


Fig.19 Potential Application of Hybrid Technologies

6. おわりに

以上、マツダの燃費改善の取り組みについて紹介してきた。サステナブル“Zoom-Zoom”宣言の基本ポリシーは、「マツダ車をご購入いただいた、すべてのお客様に走る喜びと優れた環境安全性能を提供することである。今後も我々は、いつまでも『ワクワク』するクルマ、『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』クルマをお客様に提供し、クルマも、人も、地球も、みんながワクワクし続けられるサステナブルな未来の実現に向けて、“Zoom-Zoom”を更に進化させていく。

著者



富山道雄



小島岳二

特集：サステイナブル “Zoom-Zoom”

2

## マツダ i-stop (アイ・ストップ) Mazda i-stop

猿 渡 健一郎\*<sup>1</sup> 田 賀 淳 一\*<sup>2</sup> 吉 田 真\*<sup>3</sup>  
Kenichiro Saruwatari Junichi Taga Makoto Yoshida  
八 雲 正\*<sup>4</sup> 吉 井 輝 夫\*<sup>5</sup> 上 原 茂 幸\*<sup>6</sup>  
Tadashi Yagumo Teruo Yoshii Shigeyuki Uehara

### 要 約

マツダは「サステイナブル “Zoom-Zoom”」にて、走る喜びを体現しながら環境と安全にも配慮した技術を今後導入することを宣言している。当技術は、この宣言の核となる新技術である。

世界的に環境問題への取り組みが議論される中、車両停止時の燃料をカットすることは「Zoom-Zoomな走り」を損なうことなく無駄を排除し、特に渋滞が厳しい都市部での環境問題対応に適切な手段ととらえている。しかしながら、これまでのスタータモータのみを活用した再始動システムでは、停止から再始動時までの時間がかかり実交通流に乗りにくいこと、始動時の振動・音が大きく快適性と安心感を得られないことがこれまで懸念されていた。

マツダの「i-stop (アイ・ストップ)」は直噴エンジンのメリットを生かし、エンジン休止時からエンジン内部に燃料を直接噴射し爆発させる「燃焼始動式」を採用した。これによりスタータモータのみを使用した時より短時間でスムーズにエンジンが再始動でき、ドライバや同乗者にストレスを感じさせずに環境問題への対応が可能となった。

### Summary

Mazda announced that the new environmentally-friendly technology which provides both enjoyable and safe driving to our customers would soon be introduced into Axela under the slogan of “Sustainable Zoom-Zoom”. The new technology described in this paper was the key to fulfilling the commitment made by Mazda.

While environmental issues have vigorously been discussed worldwide nowadays, shutting off the fuel of the vehicle in a stop state without spoiling “Zoom-Zoom” is an effective way to avoid the wasteful use of fuel. This is regarded as an appropriate means to solve environmental issues in urban areas where traffic congestion is greatest. The conventional idol-stop systems which rely only on a starter motor have the following disadvantages. 1) It is not easy for the vehicle to merge into the traffic flow because it takes too long to get it restarted from a stop state. 2) Sever vibrations and loud noise upon restarting the engine hinder our customers from feeling comfortable and safe.

By taking advantage of the features of the direct injection system, we have designed Mazda “i-stop” for restarting the engine through combustion by injecting the fuel directly into the cylinders while the engine is stopped and igniting it to generate the force necessary to push down the piston. With this technology, we have successfully developed the new environmentally-friendly system that not only saves fuel but also restarts the engine more quickly and quietly than the conventional idle-stop systems, enabling drivers and passengers to feel more comfortable and stay stress-free.

### 1. はじめに

エンジンがアイドルしている間は、燃料を燃やし続

けている。この燃料消費をなくし、低燃費に寄与しようというのが、アイドルストップ技術である。しかし、これまでのアイドルストップ車は再発進にかかるタイムラグ、振

\*1 パワートレイン開発推進部  
Powertrain Development Promotion Dept.

\*3 装備開発部  
Interior & Exterior Components Development Dept.

\*2 エンジン実研部  
Engine Testing & Research Dept.

\*4~6 車両システム開発部  
Vehicle System Development Dept.

動や音が乗員者の快適性・安心感を損なってしまうことが問題としてあったため、マツダは従来のスタータモータ（以下スタータ）だけを用いる方法ではなく、シリンダ内に直接燃料を噴射し爆発させ、ピストンを押し下げてエンジンを再始動させるシステムを新たに開発した。そのために、エンジン休止時に燃焼室内へ燃料を直接噴射する必要があり、直噴エンジンをベースとしている。エンジン休止時までの間で、燃焼再始動のために最適な位置にピストン位置を確実に制御し、かつ燃焼室内の掃気を充分に行うことで、迅速に始動させることを可能にした。

これらの技術によって、オートマチック・トランスミッション（以下AT）車の社内計測値で、従来のアイドリングストップシステムのおよそ半分となる0.35秒での再始動を実現すると同時に、国内10・15モードで最大約10%の燃費改善効果を可能とした（アクセラクラスでの値）。

## 2. アイドルストップシステム概要

### 2.1 エンジン休止・再始動・停止条件

i-stopにおけるエンジンの休止・再始動の制御は、ドライバーが特別な操作をすることなく、エンジンを自動休止・再始動させるシステムを採用している。

#### (1) エンジン休止

AT車においては、Dレンジで車速が0km/hでブレーキを踏み所定のブレーキ圧が発生した段階でエンジンを休止させる。マニュアル・トランスミッション（以下MT）車においては、シフトポジションがニュートラルでクラッチがリリースされ車速が3km/h以下になった状態でエンジンを休止させる。ただし、AT車、MT車ともにエンジン/トランスミッションが完全暖気であること、室内の温度が快適温度になっていること、バッテリーの状況が良好であることがエンジン休止の条件となっており、常にこれらの状況をモニタしている。

#### (2) ユーザ意志によるエンジン再始動

ユーザが発進意志をもって操作をしたと判断される動作をした際は、自動的にエンジンを再始動させる。AT車の場合はブレーキをリリースする、ステアリングを操舵する、およびエンジン休止後ニュートラルにシフトしその後DレンジやRレンジ等へシフトした際、MT車はクラッチを踏み込んだ際が対象。

#### (3) ユーザ意志以外でのエンジン再始動

エンジン休止状態で、室内温度、バッテリー状態等が設定値以外の状況となると、快適性・安全性を確保するためにエンジンを自動的に再始動させる。この場合は、自動的にエンジンが始動するために、車が再始動しても安全な状態であることが再始動の条件としている（MT車でシフト位置がニュートラルポジション等）。

#### (4) 危険操作時のエンジン停止

エンジン休止状態でボンネットを開ける、シートベルト

を外してドアを開ける等の危険あるいはドライバーが運転を終了したと判断できる場合は、警告音を出すとともにエンジンを完全停止させる。この状態からエンジンを始動させるには、通常の始動と同じキー操作によって始動可能である。

### 2.2 システム構成

Fig.1にAT車のシステム全体図を示す。システム全体としては大きく四つに分かれ、①エンジンを再始動させるシステム、②バッテリーの状況をコントロールするシステム、③AT車におけるエンジン始動時の車両挙動制御システム、④空調・シートベルトスイッチ等の信号入力およびメータ内表示系である。

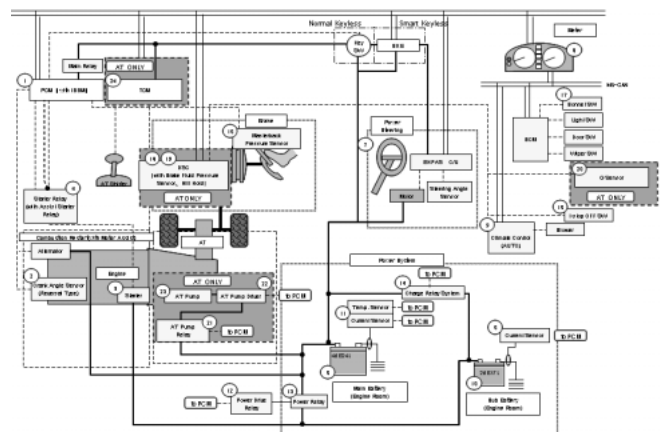


Fig.1 System Image (AT Vehicle)

## 3. エンジン再始動システム

### 3.1 燃焼始動技術

i-stopでは、従来のアイドルストップ機構であった発進時の応答遅れによる使いづらさを解消するため、燃焼始動スタータアシスト方式による迅速な始動で、ストレスのないアイドルストップ機構を目指した。燃焼始動スタータアシスト方式の再始動プロセスをFig.2に示す。

再始動プロセスは、①再始動指示（AT車：ブレーキoff、MT車：クラッチ踏み込み）と同時に膨張行程に停止している気筒に燃料を噴射するとともにスタータ駆動を開始、②燃料が空気と混合する時間を待って点火、③圧縮上死点を越えた後、次の燃焼気筒の混合気点火、④以降の燃焼気筒を連続して燃焼させて回転数を立ち上げる、の四つからなる。この燃焼始動スタータアシストで迅速な始動を行うためには、再始動開始後2回の燃焼力が十分に得られるように新気量を確保することが必要であり、i-stopではこの実現手段として、筒内掃気制御およびピストン停止位置制御を新たに開発した。

これらの制御はエンジンが休止する間に行われる。その詳細を以下に説明する（Fig.3）。

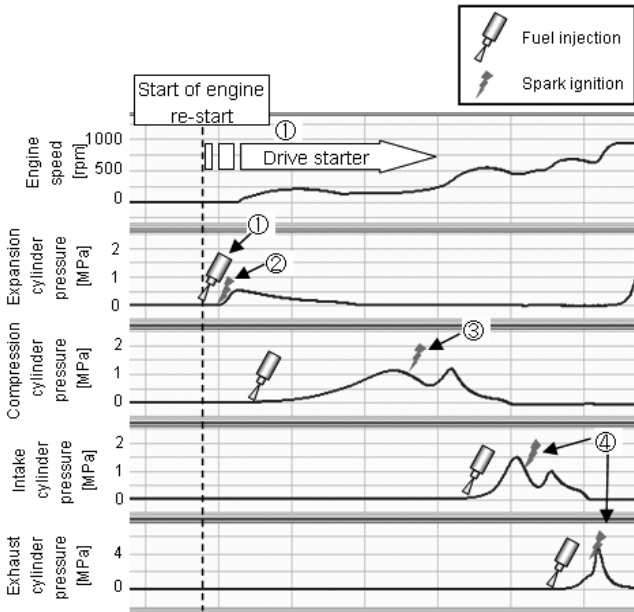


Fig.2 Engine Restart Process

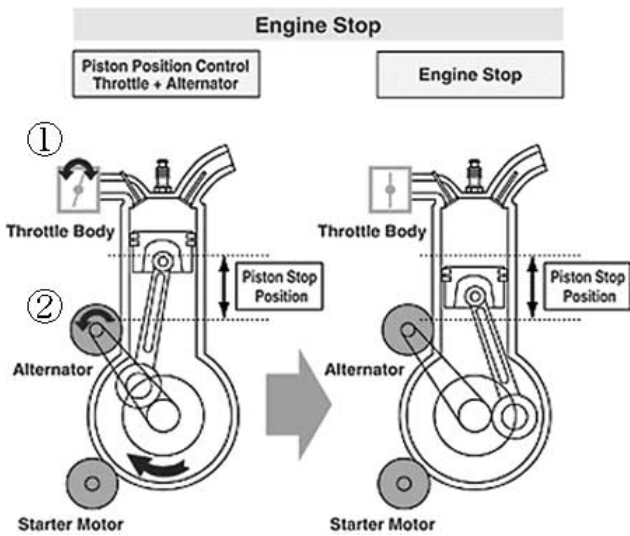


Fig.3 Operating Principle

(1) 筒内掃気制御

燃焼力を十分に得るためにはまず筒内の既燃ガスを減らし、新気濃度を高める必要がある。i-stopではこの実現のため、燃料カット後に通常閉じているスロットルを開ける制御を行っている (Fig.3-①)。しかしスロットルを開けた状態でエンジンを停止させると、圧縮反力による回転数変動でエンジンが振動し不快なフロア振動につながる。また、このフロア振動による不快感は、エンジンが停止する直前の揺り返しに特に影響される。そこで、燃料カット直後にはスロットルを開けて筒内の掃気を行うとともに、回転数が低下するとスロットルを閉じることでエンジン停止直前の揺り返しを抑え、始動性と快適性の両立を図った。

(2) エンジン停止位置制御

エンジン休止中の筒内は大気圧になっているため、再始動開始後2回の燃焼を行う膨張行程および圧縮行程気筒の空気量は、その容積つまり停止位置に依存する。従って、エンジンの停止する角度を適正に制御することが、安定して迅速な再始動を実現するためには必要になる。

Fig.4にエンジン停止位置に対する再始動時間の関係を示す。上死点および下死点付近では再始動時間が長くなるが、ATDC (圧縮上死点後) 40deg. ~ ATDC100deg.の範囲では再始動時間が安定して短くなっており、ここに停止させれば良いということがわかる。

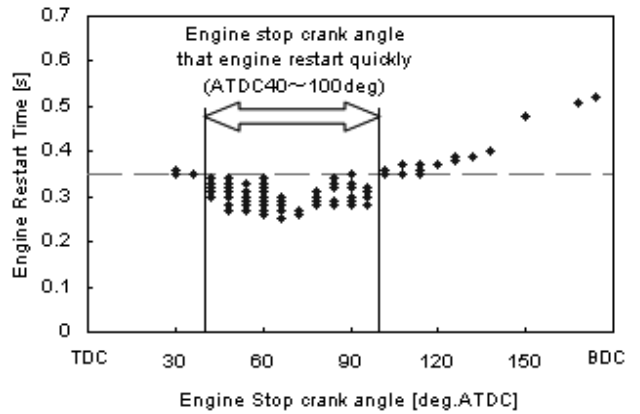


Fig.4 Engine Restart Time

エンジン停止位置制御を開発するにあたり、停止位置と燃料カット後の上死点通過回転数の関係を調査した (Fig.5)。この結果、上死点通過回転数と停止位置の間に相関があること、つまり、燃料カット後の回転数を適正範囲内にすれば停止位置を再始動時間が短い範囲に制御できることが分かった。そこで、燃料カット後にオルタネータによる発電負荷を調整し、回転数を適正範囲内に収める制御を開発した (Fig.3-②)。この制御導入による停止位置分布をFig.6に示す。迅速始動が可能な停止位置範囲に安定して制御できている。

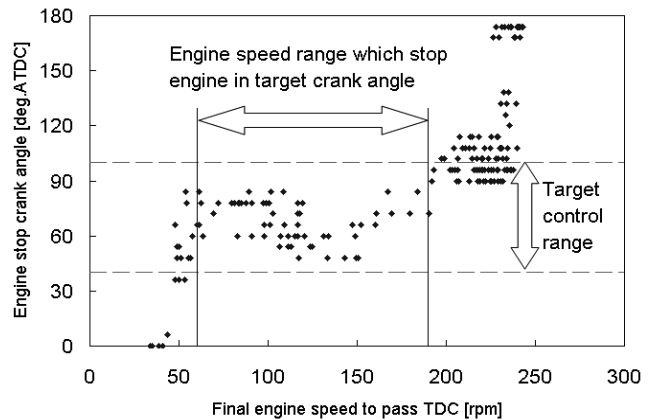


Fig.5 Engine Stop Crank Angle

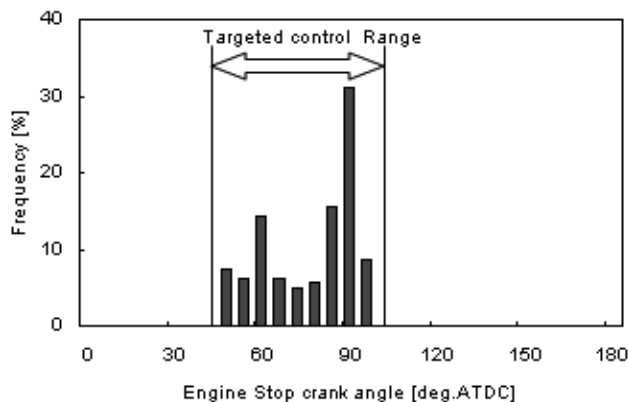


Fig.6 Distribution of Engine Stop Crank Angle

### (3) 変更スベック

この再始動システムを実現するために変更した仕様は、クランクアングルセンサのタイプを逆転検出できる仕様にし、エンジンのコンピュータの仕様変更、およびMT車でエンジン回転数増加による摩耗対策として、メインメタルをアルミ合金の中でも耐摩耗性に優れた材質に変更したのみで、直噴エンジンがベースであれば非常に少ない変更で対応が可能である。

#### 3.2 振動抑制

i-stopでは、ドライバの意思・動作に関わらず自動的にエンジンを休止・始動させるため、それに伴うショックや振動レベルが大きいと乗員に不快感を与え快適性を損ねてしまう。ハイブリッド車ではタイヤからの外乱がある走行中のエンジンの休止・始動により不快感を低減させているが、i-stop車では車両停止中にエンジンの休止・始動を行うため、タイヤの反力を受けて振動レベルは大きくなる。そこで、できる限り快適性を損ねないために、エンジン制御やエンジンマウントのハード・ソフトの両面から振動を抑制する対応が必要となった。

ソフト側での対応は前述3.1の項のとおりだが、ここではエンジンマウントからの対策内容について触れる。エンジン休止・始動時には急な回転変動により、クランク軸周りに大きなトルク変動が発生する。この時、タイヤからの反力によりパワートレイン（以下PT）はロール方向に過渡的な加振力を受ける。これによりPTはロールの慣性軸回りに刺激を受け、揺れ戻しにより車体振動が発生する。

i-stop導入車では、PTの剛体共振の連性を避けるためにサスクロスを新設し、エンジンマウントのうちロール方向の動きを規制しているロールリストラクターの位置を、エンジンの重心に近づけた。これによりエンジンのロール方向のみの動きを吸収し、PTユニット側の共振も抑えつつ車体側への振動伝達を抑制させた。更にロースリストラクターのラバー特性を変更・最適化することにより、乗員に不快感を与えないレベルまでショック・振動を抑制することができた。

## 4. 安全、快適性

### 4.1 ローンチアシスト

AT車のi-stopは、Dレンジでブレーキペダルをリリースすると同時にエンジン始動を開始する。このため、上り坂ではエンジンが始動してクリーブトルクが発生するまでの間に車両が後退してしまい、また平坦路や下り坂ではエンジンの再始動に伴うトルクによって車両の飛び出しが発生してしまうという問題が発生する。

これらの問題を解決するため、新型アクセラではローンチアシストシステムを採用し、i-stopによるエンジン休止中にドライバが踏んでいたブレーキ力をそのまま保持することで、安全な車両挙動を確保した。

ブレーキ力の保持制御は、横滑り防止システムであるDynamic Stability Control system（以下DSC）とエンジン制御ユニットであるPowertrain Control Module（以下PCM）の協調制御によって実現した。Fig.7にブレーキの制御イメージを示し、以下に説明する。

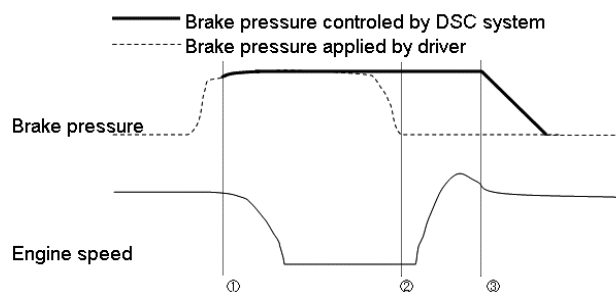


Fig.7 Brake Control Image

①で、車両停止後に路面の勾配に応じて安全が確保できるだけのブレーキ力が発生していれば、PCMはDSCにブレーキ保持を要求する。DSCがブレーキ保持を開始した後、PCMはエンジン休止制御を開始する。②で、ドライバがブレーキペダルをリリースするとPCMは再始動制御を開始する。この時DSCによってブレーキ圧は保持され、坂路でも車両は静止している。③で、エンジンの再始動が完了し、それに伴う吹け上がりが収束した後、DSCは保持していたブレーキをリリースする。この時、路面の勾配に応じて急な下り坂ほどゆっくりとリリースすることによって、通常のAT車に近い自然な発進フィーリングを実現した。

また、ブレーキ圧をリリースするタイミングは、始動後のエンジン回転数と合わせて、アクセルペダルの踏み込み量でコントロールしている。

アクセル踏み込みが小さい領域ではコントロール性を要求されるので、ブレーキ圧のリリースをゆっくり行う。アクセルの踏み込みが大きい領域では迅速な加速応答性が要求されるので、迅速にリリースする。これにより、発進時のコントロール性と応答性を両立させている。

4.2 ATの油圧制御

(1) ATシステムの概要

5速AT (FS5A-EL型) をベースに電動オイルポンプを追加し、その油圧でアイドルストップ中の発進クラッチ締結状態を保持させることで、エンジン再始動直後のスムーズな発進性能を実現させた。

(2) 作動概要

エンジン作動時はメカニカルオイルポンプより油圧を供給し、逆止弁により電動オイルポンプへの逆流を防止する。

アイドルストップ時は、メカニカルオイルポンプが停止し、電動オイルポンプを作動させる。逆止弁は開放し、AT本体へ油圧を供給する。

エンジン再始動直後は、メカニカルオイルポンプと電動オイルポンプがともに作動する。メカニカルオイルポンプが十分な油圧を供給できるようになったタイミングで逆止弁が閉じ、電動オイルポンプの作動を停止する。

(3) 搭載レイアウト

電動オイルポンプ搭載位置をAT内の油面位置に近い所に配置することにより、長期放置時の回路内エア混入を防止し、供給流量の安定化を行った (Fig.8)

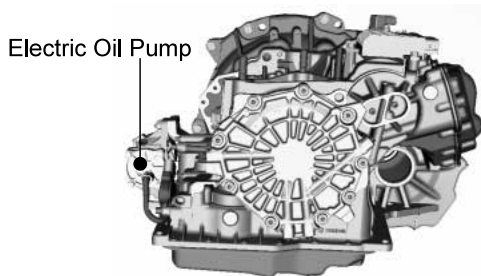


Fig.8 Layout of Electric Oil Pump

(4) 電動オイルポンプ制御概要

電動オイルポンプは、アイドルストップ直前から再発進するまで、AT内部のクラッチへ適切な油圧を供給するように制御し、スムーズな再発進性能を実現している。

4.3 バッテリマネジメント

i-stopでは、アイドルストップ中の車両電力供給用のメインバッテリーと、始動電力を補助するサブバッテリーを設け、車両電力によってアイドルストップからの再始動が影響を受けないような電源構成としている。

Fig.9にエンジン始動からアイドルストップ中、走行中のバッテリー電源回路状態を示す。メインバッテリーとサブバッテリーの間にあるパワーリレーによってアイドルストップ中の車両電力供給回路と再始動回路は分断され、再始動に必要な電力を確保する。

(1) メインバッテリーの管理

アイドルストップ中は、メインバッテリーから車両電力を供給するため、通常よりバッテリーの消耗が大きく、劣化は

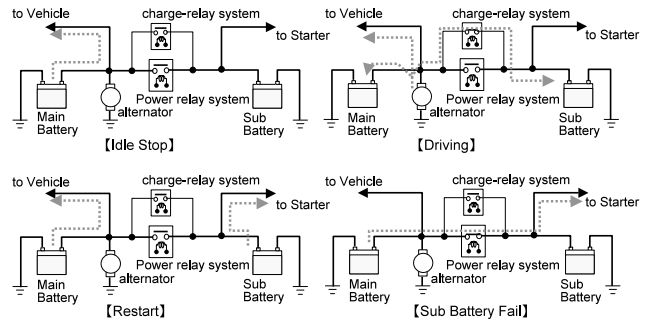


Fig.9 Circuit Configuration

早くなる。i-stopではバッテリーターミナルに設定した電流センサおよび温度センサによって、充電状態と放電深度をモニタし、これに応じてアイドルストップの制限やエンジン始動を行い、バッテリーの過放電や早期劣化を防いでいる。

更に、車両消費電力の大きいAT車ではアイドルストップなどの放電使用に対応したバッテリーを使用している。

(2) サブバッテリー制御

再始動電力を供給するサブバッテリーがフェイルすると始動不能となってしまいます。そのため、基本的にサブバッテリーは満充電状態で管理される。

車両の電力消費回路とは分けられ、必要に応じてオルタネータ充電回路に接続し満充電状態を保っている。もし、サブバッテリーがフェイルしたとしても、速やかにパワーリレー作動させメインバッテリーを接続し、始動電力を確保するよう制御する。

4.4 空調との総合制御

室内温度、外気温度などの情報により、オートエアコンアンプがアイドルストップ許可または不許可を常に判定して、PCMに送信している。この結果、エアコン使用中でもアイドルストップ許可を実現している。

アイドルストップ中は送風のみで作動となるが、エンジン休止中はエバポレータ表面とヒータコア下流に設けた温度センサが検出する値を用いて、ウォータポンプおよびエアコンコンプレッサが停止している間も快適な吹き出し温度を維持するよう、オートエアコンアンプにより補正制御を行っている。

またデフロスタ、リアデフォッグ使用時は、視界確保とバッテリー保護のためにアイドルストップ不許可の信号をPCMに発信している。

4.5 マツダ・アドバンストキーレスエントリー&プッシュボタンスタートシステムとの協調制御

アイドルストップ後の再始動の安定性と確実性を確保するために、マツダ・アドバンストキーレスエントリー&プッシュボタンスタートシステム (以下キーレス&プッシュシステム) とPCMの相互で協調制御を行っている。

(1) システム構成とエンジン再始動時の制御

キーレス&プッシュシステムは、ドライバのプッシュスタートボタン操作によりキーレスユニットが安全性を確認

したうえで電氣的にエンジン始動制御を行うシステムであり、かつキーレスユニットとPCMの二つのユニットによりスタータを制御することで、高い安全性を確保している。この考え方をアイドルストップシステムへ適応させる場合にも踏襲するが、アイドルストップシステムにおける再始動時には、通常と異なる操作でエンジン始動を行うため、PCMが再始動時の安全性を確保したうえでキーレスユニットへの再始動要求を行い、同様に二つのユニットによりスタータを制御することで高い安全性を確保している。

(2) アイドルストップ実行時の制御

ドライバが車内にいない状態でのアイドルストップ実行を回避するため、アイドルストップ実行前にアドバンストキーが車内に存在するか否かの確認(キー認証)をキーレスユニットが実施する。また、再始動の確実性を確保するため、アイドルストップ実行前にキーレス&プッシュシステムの診断を行う。

キー認証が成功し、かつ診断結果が正常であれば、アイドルストップを許可する信号をキーレスユニットからPCMに送信し、アイドルストップの実行を許可する。

キー認証が失敗するか、あるいは診断結果が異常であれば、アイドルストップを禁止する。

(3) アドバンストキー車外持ち出し時の制御

アイドルストップ状態での車両放置を防止するため、アイドルストップ中にアドバンストキーの車外持ち出しを検知した場合、PCMに対して再始動を促す信号をキーレスユニットから送信する。

5. 燃費

i-stopは車両停車時の燃料をカットすることで、燃費・CO<sub>2</sub>を改善する技術であるため、その効果は交通環境によって異なる。また、車室内の快適性やバッテリーの状態、更には気象状況や車両の電気負荷状況によっても燃費効果は変動する。Fig.10に日本の主要都市を走行した際のデータを記載しているが、都内の渋滞では最大10%程度の燃費改善効果が期待できる。

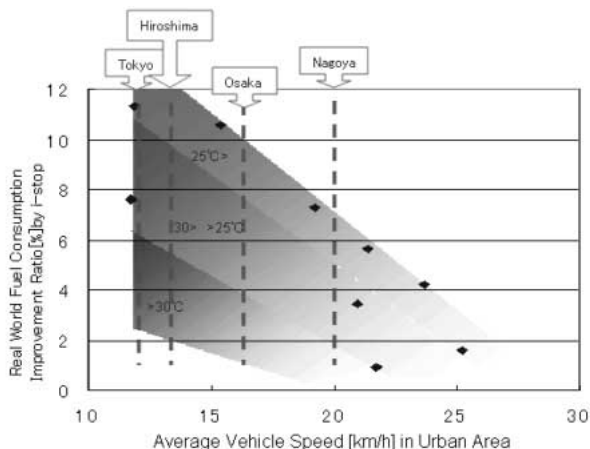


Fig.10 Effect of Fuel Economy

6. おわりに

i-stopは燃焼始動技術とピストン位置制御技術を用いて、燃費・環境性能だけでなく、ドライバが違和感なく発進でき同乗者の快適性を損なわないよう開発を進めた。

アイドルストップ技術は低燃費・低排出ガスといった環境性能に貢献できるが、広く普及させるにはドライバや同乗者に違和感なく使用していただく必要がある。

そこでより快適性を求め、停止・発進時の振動抑制やエンジン休止時の空調など車内装備の制御に力を入れた。更に安全性と利便性の両立を考えて、キーレス&プッシュシステムの制御およびバッテリーマネジメントシステムを新たに開発し、安心して快適に使用していただけるようにした。

今後ともお客様目線での開発を継続し、システムの熟成を行っていききたい。

著者



猿渡健一郎



田賀淳一



吉田真



八雲正



吉井輝夫



上原茂幸



特集：サステイナブル “Zoom-Zoom”

3

## 新型MZR-CD 2.2エンジンの紹介

### Introduction of New MZR-CD 2.2 Engine

上 杉 康 範<sup>\*1</sup> 内 藤 雅 博<sup>\*2</sup> 安 田 浩 明<sup>\*3</sup> 山 内 道 広<sup>\*4</sup>  
 Yasunori Uesugi Masahiro Naito Hiroaki Yasuda Michihiro Yamauchi  
 上 月 正 志<sup>\*5</sup> 森 恒 寛<sup>\*6</sup> 谷 村 兼 次<sup>\*7</sup> 森 永 真 一<sup>\*8</sup>  
 Masashi Kouzuki Tsunehiro Mori Kenji Tanimura Shinichi Morinaga

#### 要 約

欧州市場のディーゼルエンジン（以下DE）に求められる性能は燃費だけでなく、環境保護、走り性能、NVH性能を高次元で実現することであり、その期待は更に高まる一方である。この度All-New Mazda6のモデルチェンジに際し、2002年の初代Mazda6からMZR-CD2.0を導入してきた経験を元に「サステイナブルZoom-Zoom」を実現することを目標とし、全面的に改良した。本エンジンはAll-New Mazda3にも搭載し、今後のモデルへも搭載して行く。本稿では、New MZR-CD2.2における開発の狙いと導入技術コンセプトについて紹介する。

#### Summary

What is required for the diesel engine (DE) on the European market is to raise fuel efficiency, environmental protection, running performance and NVH performance to higher dimensions, and expectations keep rising further. On the occasion of the restyling of All-New Mazda6, we have improved the MZR-CD2.0 engine in full scale to develop New MZR-CD2.2 engine, aiming to achieve “Sustainable Zoom-Zoom”. We undertook the development based on the experience of introducing the MZR-CD2.0 engine from the original Mazda6 launched in 2002. New MZR-CD2.2 engine has also been mounted on All-New Mazda3, and is planned to be mounted on future models. In this paper, the aim of the development of New MZR-CD2.2 engine and the concept for the introduction of new technologies are outlined.

#### 1. はじめに

マツダはガソリン車に匹敵する出力性能、環境性能を兼ね揃え、大幅に進化させた新型クリーンディーゼルエンジンMZR-CD2.2を開発し、このたび欧州、豪州All-New Mazda6、Mazda3に搭載した（Table 1）。

このエンジンは初代Mazda6搭載のMZR-CD2.0から、排気量を10%拡大させた上で、大きく改良を加えている。

ソレノイド駆動のインジェクタでは業界トップの最大噴射圧、高応答 & 微粒化インジェクタ、多段噴射による優れた燃費性能、可変容量、高効率のターボチャージャーによる、低速から高速までクラストップレベルの高トルクと高レスポンス、そして高剛性ロアブロック、バランスシャフトによる、優れた静粛性を実現した。

また、独自に開発した世界初の触媒活性メカニズムを採用したディーゼルバティキュレートフィルタ（DPF）により、DE特有の煤の燃焼処理速度を大幅に高め、欧州の排気ガス規制であるStage5まで対応するポテンシャルを有し

Table 1 Main Specification

Engine	MZR-CD2.0	New MZR-CD2.2		
Displacement (ml)	1998	2184		
Bore×Stroke (mm)	86×86	86×94		
Combustion type	Direct Injection	←		
Intake shutter valve	DC Motor	←		
EGR valve	DC Motor	←		
EGR cooler	with	←		
EGR cooler by-pass valve	N/A	with		
Compression ratio	16.7	16.3		
Valve driving system	OHC,belt-driven 16valves	DOHC,chain-driven 16valves		
Valve timing	IN	Open BTDC	6°	←
		Close ABDC	30°	←
	EX	Open BBDC	41°	40°
		Close ATDC	8°	←
Valve lift (mm)	IN:10mm,EX:8mm	IN:9.5mm,EX:9mm		
Fuel injection system	Common rail system DENSO U2-F	Common rail system DENSO U2-F(Improved)		
Max Fuel pressure (MPa)	180	200		
Supercharger system	Variable geometry turbocharger IHI RHFV4	←+ Abradable seal & Camber nozzle & Position sensor IHI RHFV4		
Inter-cooler	with	←		
Max. torque (N·m)	330	400		
Max. power (kW)	103	136		
Disel particulate filter	with	←		
Linear O <sub>2</sub> sensor	with	←		
EU exhaust gas emission level	Stage4	Stage5 (Some model : Stag4)		

\*1~4 エンジン設計部  
Engine Engineering Dept.

\*6,7 エンジン実研部  
Engine Testing & Research Dept.

\*5 パワートレイン開発推進部  
Powertrain Development Promotion Dept.

\*8 パワートレイン技術開発部  
Powertrain Technology Development Dept.

ている。

以下、主要性能と、それを達成した技術メニューについて詳しく紹介する。

## 2. 技術課題と主要導入技術

前述のエンジンユニットの狙いから、以下課題に対応する技術導入を行った。

### 1) 燃費, 出力, エミッション性能の両立

ターボ効率改善, 200MPa & 高応答 & 微粒化インジェクタ採用, 噴射系, 燃焼室, スワールの最適化とMBC (Model Base Calibration) によるEGR / 噴射セットの最適化

### 2) 本体系改良によるNVH性能改善と更なる信頼性向上

バランスシャフト, 高剛性ロアブロック, ノーマンテナンスカム駆動チェーン

### 3) DPFシステムの改善

スプリット噴射, DPF煤堆積量UPによる再生間インターバル拡大, および高耐熱DPFと新触媒 & 再生制御改善による再生時間の短縮

### 4) ドライバビリティの向上

トルク制御による燃焼切り替え時トルク段差の改善

## 3. 基本性能

### 3.1 燃費性能

一般的にDE車両は燃費性能が良いが、お客様の燃費性能への期待に応えるべく、継続した燃費性能の改善を行った。具体的には、ピストン変更による低圧縮比を採用してポンプ損失低減や燃焼温度の低減によるエミッション改善や燃費改善を図った。更に、大型EGRクーラー/インタークーラーを採用することで吸気温度も低減した。それらの採用による燃焼温度の低減および噴射システム改善（高応答化, 高噴射圧力化, 近接噴射間隔短縮）に伴い、EGR量と噴射パターン・燃料噴射圧力・タイミングを最適化して燃焼効率を改善した。

また、エンジンシステム・排気量アップに伴う機械抵抗の増加を最小限に抑えるために基本構造の機械抵抗を低減した。オイルリングのレール外周あたり面を最適化することでMZR-CD2.0比30%の張力を低減した。

オイルポンプの容量については、各部のエンドフロー低減および油路構造最適化による圧力損失低減を行い、

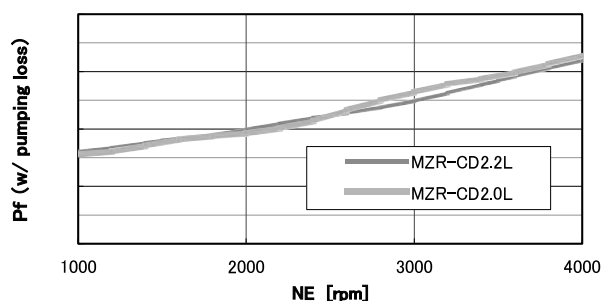


Fig.1 Comparison of Pf New 2.2L and 2.0L

MZR-CD2.0比8%アップに留めている。更にサプライポンプ駆動損失低減などのPfを低減し、チェーン駆動&バランスシャフトを装着しながら、MZR-CD2.0とほぼ同等のPfを実現した (Fig.1)。

車両燃費性能は、①エンジン単体による燃費改善、②エンジン改良による煤排出量低減により、DPF再生回数を半減および再生時間の短縮化、③車両抵抗低減により、欧州モード燃費 (NEFC) は前モデルから5%~7%改善した (Fig.2)。

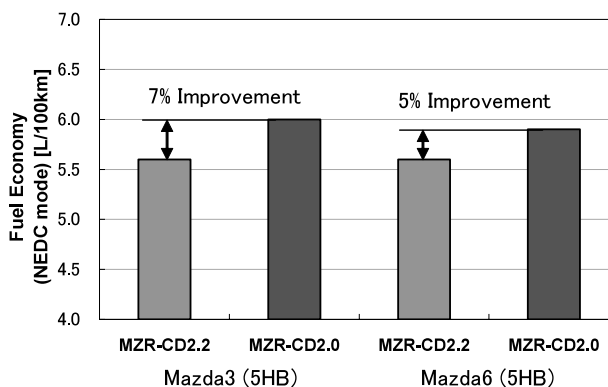


Fig.2 Fuel Consumption Performance

### 3.2 出力性能

出力性能の比較をFig.3に示す。Zoom-Zoomな走りを実現するために排気量アップ, DOHC, 過給効率改善, 低圧縮比化と構造系の高剛性化および最高噴射圧力高圧化による燃焼効率改善などにより、大幅な出力アップを実現した。出力アップと低速トルク性能の両立は過給機性能改善によって補った。これらにより、車両の過渡レスポンス改善に大きく貢献している。

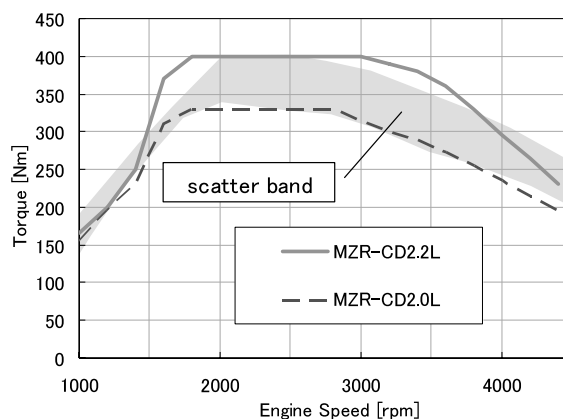


Fig.3 Output Performance

### 3.3 排気エミッション性能

前モデルは欧州Stage4規制に対応した低排気エミッション性能を実現していた<sup>(1)</sup>が、今回は更にクリーンであるStage5規制適合を実現した (一部Stage4適合)。エンジン改善メニューとしては、3.1項でも述べたように①低圧縮比化および吸入空気温度低下によるNOx低減、②噴射系・燃焼室・スワールの最適化による低エミッション化、

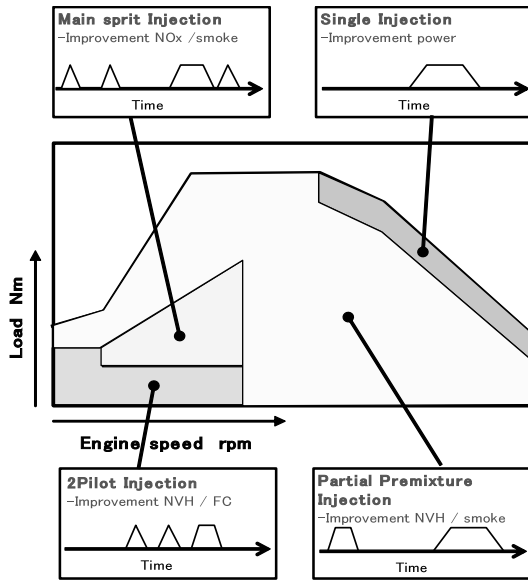


Fig.4 Multi Injection Pattern Map

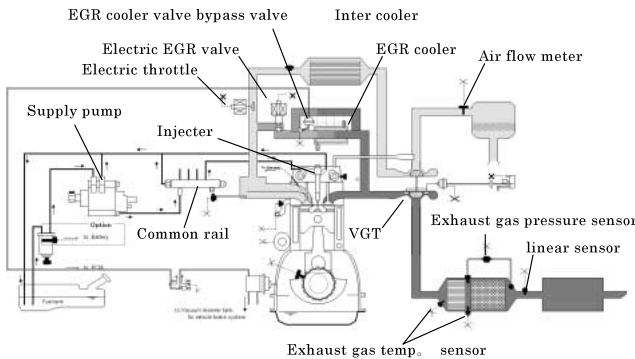


Fig.5 Engine Control System Diagram

- ③MBC<sup>②</sup>によるEGR / 噴射パラメータの最適化 (Fig.4),
- ④排気量アップによる高負荷領域のNOx低減により, 低騒音・燃費改善・高出力等の性能を改善しながら, 低排気エミッション性能を実現している。

#### 4. 基本エンジンシステム

Fig.5に示すように, コモンレールシステム, 可変容量ターボチャージャ, EGRシステムによりエンジン制御システムおよび吸排気システムを構築した。

基本システムとしてはMZR-CD2.0を踏襲しているが, Stage5対応することを狙いとし, EGRバルブ&クーラーの大型化を実施するとともにEGRクーラーバイパスを導入することで, NOxとCO, HCの両立を図っている。

可変容量ターボチャージャにはノズルの開度センサを追加し, 過渡時における過給圧制御を精密化することで, ドライブビリティとEGRガスの統合したコントロールを実現している。またアブレードダブルシールや流体性能に優れた湾曲ノズルを採用して, 効率化と信頼性改善を図った。

DPFシステムは更に高性能とすべく, システム全面での改善を実施するとともに, ①貴金属量の低減, ②1次元のDPF温度シミュレーション制御導入による排気温度センサ

の削減によりコストを大幅に低減した。

コモンレールシステムは, インジェクタを更に高応答化し, 最大噴射圧は業界トップの200MPa (ソレノイドタイプ) を採用して, 高出力化を図った。

#### 5. 本体系開発

##### 5.1 NVH開発

通常, 排気量を拡大すると2次慣性力が増加し, 車室内の“こもり音”が悪化する。MZR-CD2.2では新たにバランスシャフト (以下B/S) を採用することで, MZR-CD2.0に比べてエンジン2次振動を10dB以上低減した (Fig.6)。これにより2.2Lにも関わらず, 高回転域までこもり音を低減し, リニアなエンジン音圧を開発した。

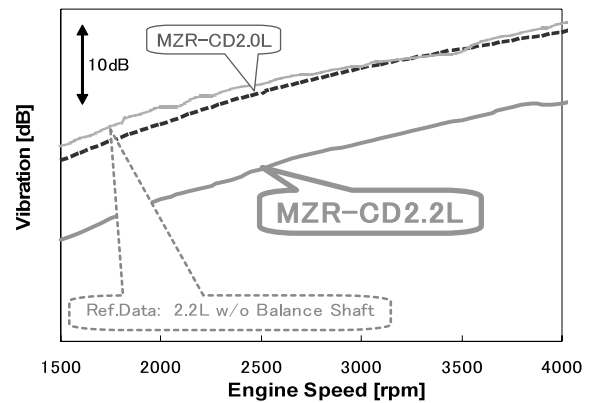


Fig.6 2<sup>nd</sup> Order Vibration at Engine Mount Position

このB/Sシステムはクランクシャフトからチェーンで駆動しており, ハウジング材質をアルミニウムとした。駆動方式についてはチェーン駆動を選定した。これは, エンジン全高低減, クランク軸との軸間距離調整 / ミスアライメント吸収の面でギヤ駆動に対し有利であるためである。またバランス率は, 駆動チェーンノイズおよび2次振動低減効果から最適な値を選定した。

オイルポンプは, バランスシャフトの後端への一体化および駆動方式とした (Fig.7)。

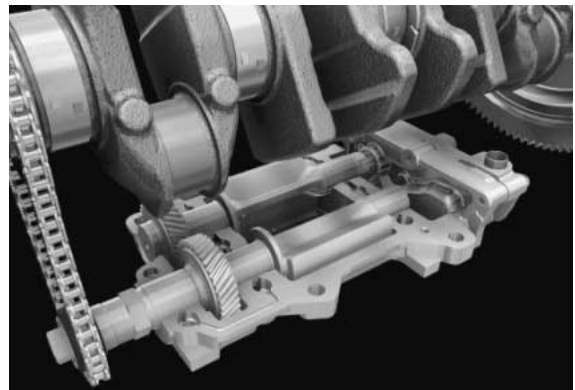


Fig.7 B/S with OIL Pump

チェーンとスプロケットの噛合時に, 歯数に応じた次数音が発生する。MZR-CD2.2ではノイズ低減のため, ロー

ラチェン、ラバーリングの採用、スプロケットの歯形、テンショナ、チェーン長さの最適化を行った。加えてチェーンとスプロケットの衝突振動の伝達を抑えるため、影響の大きい構造系は共振周波数を考慮し、FEM（有限要素法解析）による適切なリップ配置などの対応を行った。これらの加振力、伝達系改善により、車内で聞こえやすい3,000rpm以下のチェーンノイズを台上評価で10dB以上低減した（Fig.8）。これにより車室内外のチェーンノイズを全く聞こえないレベルとした。

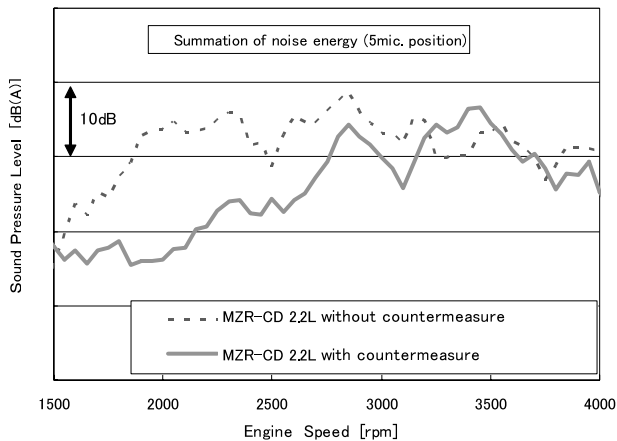


Fig.8 B/S Chain Noise (36 Order Noise)

シリンダブロックは鋳鉄製（Fig.10）とし、ベアリングキャップとブロックスカートを高剛性締結したアルミダイキャスト製クアブロック（Fig.10）を採用した。FEMとリグ評価により各部の肉厚・構造・リップ配置を最適化して、前モデルからの重量増を最小限に抑えたとともに、エンジン振動・放射音を低減した。

また、シリンダブロック下部には制振鋼板製オイルパンとオイルパン専用の遮音カバー（Fig.10）を適用して、エンジン下部からの放射音を低減した。

一方で、NVHではDE特有のノック音について、これまでもエミッション、スモークとの両立の観点で改善を進めてきた。関連する構造変更の改善に加え、更なる両立のキャリアブレーションを進めた。特にMZR-CD2.2では2,500rpm以下の常用域と加速時に使用する高負荷時のノック音の改善を進めた。これにより現モデルに比べ、ノック音の指標となる振幅変調度で3～10%低減させ、よりガソリンエン

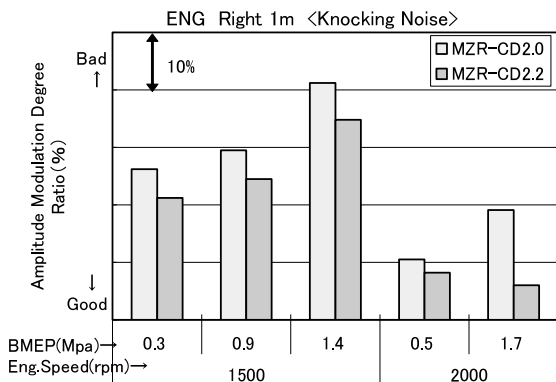


Fig.9 Knocking Noise of DE

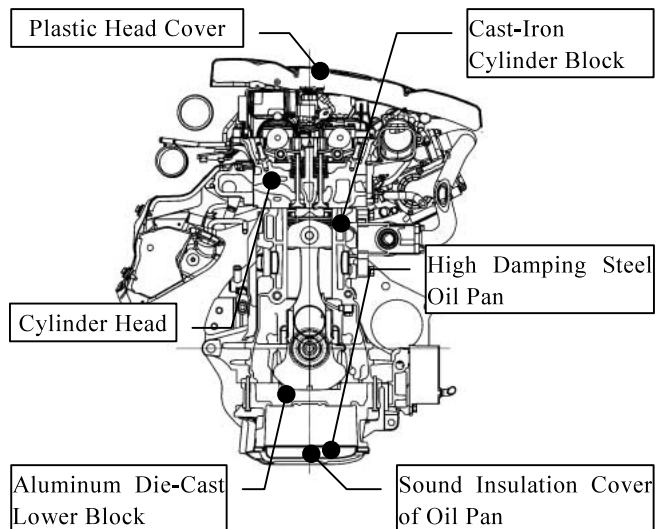


Fig.10 Engine Cross Section

ジンに近い音質を実現した（Fig.9）

5.2 高出力化

1) シリンダヘッド

シリンダヘッド（Fig.10）の強度・剛性を確保するために、FEM解析とリグ評価・簡易的な耐久試験を実施して、各部の肉厚・構造を最適化した。

この活動により、ヘッド内の水流れを最適化してバルブシート間の温度低減、ウォータージャケット内部構造を最適化して高燃焼圧に対する信頼性を確保した。

2) ピストン

高い燃焼圧と温度に耐えられるように、ピストン材質を高温疲労強度の高い（350 で50%アップ）新材質とし、更に中空耐摩環（Fig.11）を採用することで燃焼室リップ部は10、トップリング溝は40 の温度低減を行った。また、スラスト力増加によるスカッフ対策としてピストンスカートのコーティング膜厚も8μmアップさせた。

トップリングについてはPVD皮膜（イオンプレーティング）を耐スカッフ/耐クラック性の良いものとし、リング溝に溜まるカーボンでのスティック防止のため、カーボン除去効果のあるハーフキースト形状を採用している。

コンロッドについても高強度材（疲労強度約2倍）を採用し、小端プッシュはPbフリー化とともに耐面圧も20%向上、Lowメタルは耐面圧50%向上させている。クランクシャフトは全ピン全ジャーナルフィレット部に高周波焼入

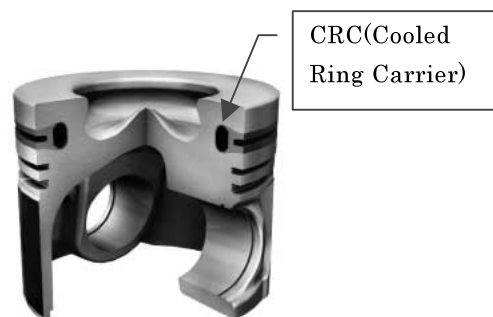


Fig.11 Piston

れを行い、疲労強度を向上している。

5.3 軽量化

1) クランクシャフト

クランクシャフトのカウンタウエイトをセミハーフ化することで1.3kg軽量化した。

2) エンジンオイルクーラ

エンジンオイルクーラは、従来のステンレス製からアルミニウム製とし、0.6kg軽量化した。それに伴う強度低下については、補強版の設置および厚みの最適化により確保した。

3) ヘッドカバー

樹脂製ヘッドカバー (Fig.10) を適用して、アルミカバー比1.0kg軽量化した。また軽量化とは別に、次に示す技術も同時に採用した。ヘッドカバー上面&パッフルプレートにカムからの噴出オイルを跳ね返して近接するカム上に滴下する構造を採用し、動弁系潤滑油量を半減して燃費改善につなげた。ブローパイガス中に含まれるオイルミストを効率良く補足してエンジン内に排出するために、スリットを持つ二重の隔壁によるセパレート構造、オイルドレイン用の斜面・溝を持つセパレート室を採用した。

6. DPFシステム開発

煤の堆積したDPFは定期的に再生させる必要があるが、高温の排ガスを生成するため追加の燃料をポスト噴射しなければならないが、この際に燃費悪化や燃料によるオイル希釈の弊害が発生する。またMZR-CD2.2ではカムシャフト、バランスシャフトの駆動にチェーンシステムを採用しており、オイル希釈下でのチェーンの信頼性開発という新たな課題が加わった。以上から、市街地での再生性能改善による燃費改善、オイル希釈性能向上を中心にDPFシステムの

更なる性能向上を図った。

開発課題と導入技術の関係をFig.12に示す。

Fig.13に示すように、再生時間短縮にはDPFの排ガス温を向上させることが非常に有効である。

- ・高耐熱DPF採用による再生目標温度40 UP
- ・減速時のポスト噴射実施
- ・新触媒の採用<sup>3)</sup>

新触媒はマツダ独自開発である。この触媒は煤燃焼性と耐熱性に優れており、煤燃焼速度をMZR-CD2.0以上としながら貴金属量を低減し、低コスト化を実現した。

その結果をFig.14に示す。DPF再生時の燃費をMZR-CD2.0比約60%改善し、オイル希釈もお客様の問題とまらないレベルにまで改善できた。また渋滞などの低車速でも再生可能な運転領域が拡大したことでお客様への負担は大幅に軽減できたと考えている。

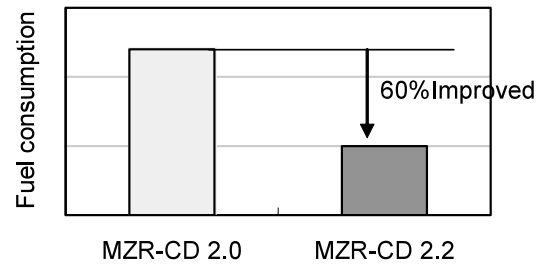


Fig.14 Improvement of Fuel Consumption at DPF Regeneration

7. ドライバビリティ改善技術

7.1 トルクベース制御の導入

現行MZR-CD2.0では、排気エミッション性能、NVH性能、燃費性能といった、相反する性能をバランスさせるため、噴射パターン、コモンレール圧力、多段噴射インターバルなどの最適化を実施してきた<sup>1)</sup>。現行MZR-CD2.0は噴射量ベース制御であり、噴射パターンの切り替わり時にトルク段差が生じ、各性能とドライバビリティの両立に多くの工数を費やしてきた。

MZR-CD2.2では新たにスプリット噴射などを活用し、より高次元のキャリブレーションを実施している。一方でスプリット噴射はトルクへの影響が大きく、抜本的なドライバビリティ向上のために、MZR-CD2.2においてはトルクベース制御を開発した。

7.2 トルクベース制御概要と効果

本来、ドライバはアクセル操作よりトルクをコントロールしている。ドライバの要求トルクを読み取り、そのトルクを発生するための燃料噴射量を算出する制御である。

加速シーンでのエンジントルク変化を噴射量ベース制御と比較した形でFig.15に模式的に示す。

噴射量ベース制御 = トルク制御なしでは、要求噴射量から噴射パラメータを決定するため、噴射パターン切り替わ

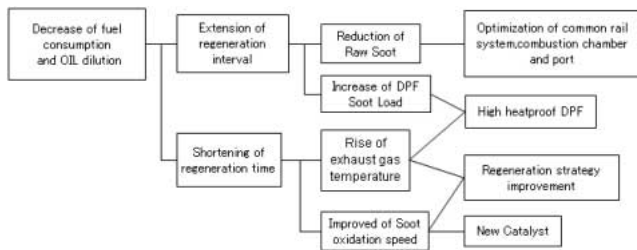


Fig.12 DPF Introduced Technology

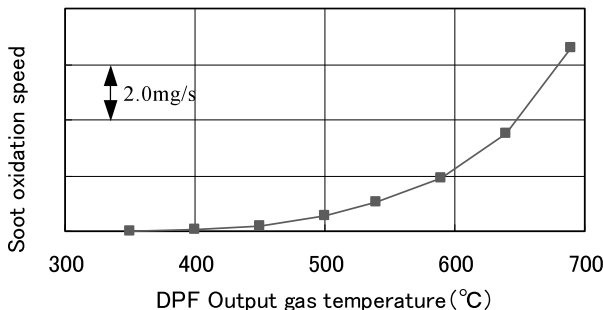


Fig.13 Soot Oxidation Performance

り時にトルク段差が発生する。トルクベース制御では、ドライバ要求トルクを達成できる、噴射量、レール圧、噴射インターバルを選択する。これらの噴射パラメータは噴射パターンに応じて最適化されており、様々な噴射切り替わり時においても、的確に要求トルクを発生することが可能となる。

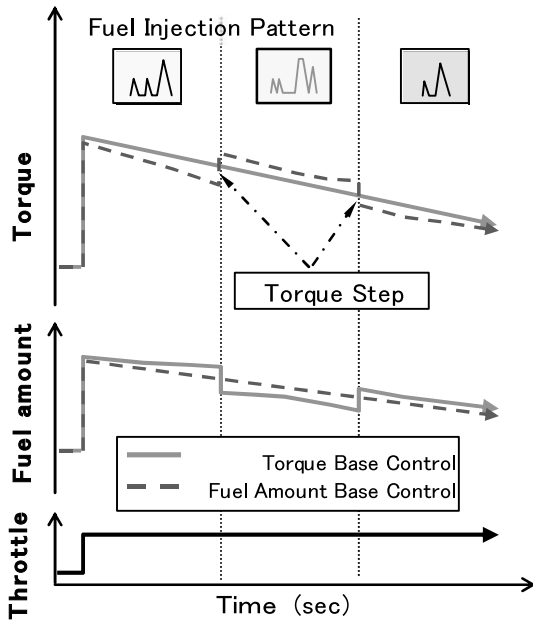


Fig.15 Benefit of Torque Control

このトルク制御導入により、実車ではトルク領域でのドライバビリティ開発、台上エンジンでは要求トルクに対する噴射パラメータの最適化といった、開発分担の明確化とともに、セット変更時におけるドライバビリティ開発の修正を最少とすることができ、飛躍的にキャリブレーション効率を改善した。

### 8. まとめ

要約でも述べたように、欧州ユーザのDEへの商品性に対する要求は高次元である。MZR-CD2.2の商品性を作りこむ上で、前モデル以上にMRE（欧州R&D拠点）と合同で、開発を実施した。その結果をフィードバックすることで、各性能のバランス点=ヨーロピアンテイストを作りこみ、「サステイナブルZoom-Zoom」を達成することができた。

### 9. おわりに

2002年に初めて導入したコモンレールMZR-CD2.0から、本エンジンで3世代目となった。現行MZR-CD2.0を踏襲し、全面的な商品性の向上を本エンジンにて達成できたことから、欧州Stage5のエンジン開発はひとつの節目を迎えることができたと感じている。

この経験を今後の開発へフィードバックしながら、北米Tire2bin5、欧州Stage6、国内ポスト新長期など、新たな

技術課題へ挑戦し、マツダのDEブランドイメージを確実にしていく所存である。

### 参考文献

- (1) 中井ほか：乗用車直噴ディーゼルエンジンNew MZR-CDの紹介，マツダ技報，No.23，p98-103（2005）
- (2) 吉田ほか：直噴ディーゼル・エンジンにおけるモデルベースキャリブレーションの適用，機械学会基礎教育講習会資料集，No.07-114，p21-25（2007）
- (3) 鈴木ほか：新しいメカニズムによるPM燃焼触媒，マツダ技報，No.26，p88-93（2008）

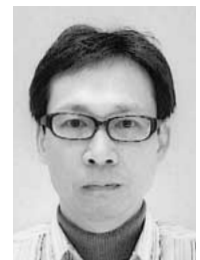
### 著者



上杉康範



内藤雅博



安田浩明



山内道広



上月正志



森 恒寛



谷村兼次



森永真一

特集：サステイナブル “Zoom-Zoom”

4

## 発泡成形技術を用いたドアモジュール基材の開発 Development of Door Module Carrier Using Foam Molding Technology

小川 淳一<sup>\*1</sup> 梶山 智宏<sup>\*2</sup> 山田 勝久<sup>\*3</sup>  
Junichi Ogawa Tomohiro Kajiyama Katsuhisa Yamada  
栃岡 孝宏<sup>\*4</sup> 金子 満晴<sup>\*5</sup> 中島 之典<sup>\*6</sup>  
Takahiro Tochioka Mitsuharu Kaneko Yukinori Nakajima

### 要約

近年のCO<sub>2</sub>排出量削減や原材料費の高騰不安などといった背景から、プラスチック部品においても大幅な軽量化と材料費低減が強く求められている。これを達成する手段として、高強度・高剛性な材料による薄肉化とともに、発泡技術による材料使用量削減が注目されている。しかしながら、発泡に伴う機械物性の低下が著しく、大幅な材料削減が困難であり適用部位も限られていた。

我々は、超臨界流体を活用し、コアバック法と組み合わせた射出発泡成形技術を開発した。この技術によって、微細な気泡構造を有し機械物性を保持した表層と、高発泡化で軽量な中心層を持つサンドイッチ気泡構造が得られ、機械物性の保持と大幅な材料削減の両立が可能となった。ドアモジュール基材の成形にこの技術を適用することにより、22%以上の軽量化ポテンシャルがあることを確認した。

### Summary

Recent imperative to cut CO<sub>2</sub> emissions and growing concern about higher prices of raw materials have brought great needs for drastic weight reduction and material cost saving for automotive plastic parts. Under such circumstances, a reduction of material usage by foaming technology draws attention as a new approach to meet these requirements, in addition to the conventional thickness reduction technique that uses high-strength and high-stiffness materials. The current foaming technology, however, only allows limited application because of a significant decrease in mechanical properties.

We have developed an injection foam molding technology that uses super critical fluid as a foaming agent in combination with the core-back process. Through this technology, a multi-layer cell structure, which consists of a micro-cell surface layer that retains mechanical properties and a highly-foamed light-weight core layer, is formed, enabling it to both maintain mechanical properties and reduce materials significantly. A door module carrier molded by the use of this technology has the potential for more than 22 % weight reduction.

### 1. はじめに

自動車部品の軽量化及びコスト削減を達成する手段として、周辺部品の機能統合や一体化によってVE（バリューエンジニアリング）を図る機能統合型モジュール化が進んでいる。また同時に、モジュール基材を従来の金属から樹脂に材料置換することによる軽量化が取り組まれている。マツダではガラス長繊維強化ポリプロピレンの高い強度と射出成形の形状自由度を両立する新たな射出成形技術を開発し、2002年よりフロントエンドモジュール及びドアモジ

ュールの基材として実用化した。軽量高強度な樹脂材料への置換と、高い成形自由度を生かしたクリップ類やブラケット類などの一体化、防水機能の統合などによって重量低減及びコスト削減を達成している<sup>(1)</sup>。

しかしながら、近年のCO<sub>2</sub>排出量削減や原材料費の高騰不安などといった背景から、モジュール基材やその他の硬質プラスチック部品のより一層の軽量化及び材料費低減が強く求められている。これを達成するアプローチとして、素材の高強度・高剛性化による薄肉化とともに、発泡成形技術による低比重化が注目されている。

\*1, 4~6 技術研究所  
Technical Research Center

\*2, 3 ボデー開発部  
Body Development Dept.

我々は、超臨界流体 (supercritical fluid, 以下SCFと略す) を発泡剤とし、コアバック法と組み合わせて気泡構造をコントロールする独自の射出発泡成形技術を開発した。本技術によって高発泡倍率で低密度な中心層と、微細発泡によって機械物性を保持した表層を有するサンドイッチ気泡構造が形成され、Fig.1に示すドアモジュール基材において20%以上の材料削減と実用性を満足する性能を両立した。

## 2. 開発の狙い

### 2.1 従来技術の課題

従来の発泡技術では、主として発泡剤に化学発泡剤が用いられ、コアバック法と組み合わせることで材料使用量を削減し、製品重量の軽減を可能としている。コアバック法とは、金型のキャビティ内に発泡剤を含んだ熔融樹脂を射出充填した後にキャビティ厚みを拡大して発泡させる方法である。厚みが増すため曲げ剛性が向上する反面、強度や耐衝撃性が材料削減率以上に低下するため、適用範囲は限られたものであった。

この問題を解決する手段の一つとして、超臨界状態の窒素や二酸化炭素を発泡剤とし、減圧や温度変化によって樹脂中に微細 (十~数十 $\mu\text{m}$ ) な気泡を形成するSCF発泡成形が知られている。気泡サイズを微細化することで破壊の起点となることが抑制され、機械物性を保持できる<sup>(2)</sup>。また、物性面でのメリットに加えて、ヒケ、反りが低減され寸法精度が向上する、発泡剤が一般的な不活性ガスであるため安価であり環境負荷も小さい、樹脂中に発泡剤の分解残渣が残らないためマテリアルリサイクル性に優れるな



Fig.1 Door Module

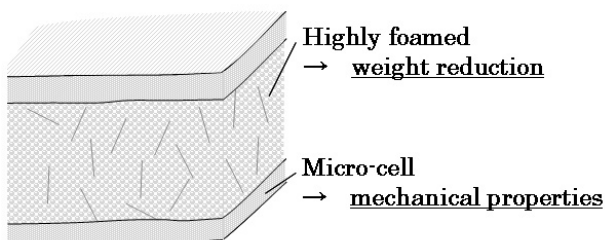


Fig.2 Concept of Multi Layer Cell Structure

どの利点が挙げられる。

SCF発泡における気泡構造は使用される樹脂の物性や成形条件によって大きく変化することが知られており<sup>(3)(4)(5)</sup>、これによって機械物性も影響を受ける。特にコアバック法を用いると気泡サイズが増大し、物性が低下するため一般的にはキャピティ容積に対して樹脂の射出量を減じて発泡させるショートショット法が用いられる。しかしながらショートショット法では流動末端において気泡サイズの増大や充填不良を生じやすく、材料削減率は10~15%程度と大幅な材料削減は困難であった。

### 2.2 開発コンセプト

我々は、SCF発泡による機械物性の保持と、コアバック法による大幅な材料削減を両立するため、Fig.2に示すように成形品の表層と中心層で気泡構造の異なるサンドイッチ気泡構造を着想した。強度や耐衝撃性は微細な気泡を有する表層で、軽量化は高発泡化した中心層で機能分担することをコンセプトとし、これを実現する射出発泡成形技術の開発に取り組んだ。

## 3. 射出発泡成形技術の開発

### 3.1 開発技術の概要

開発した射出発泡成形工程の概要をFig.3に示す。成形工程は大きく以下の三つのステップに分けられる。

- ① 可塑化工程：通常の射出成形と同様に樹脂を可塑化溶解する工程において、SCFをシリンダ内に注入して樹脂と均一に混合溶解させる。
- ② 射出工程：SCFを含んだ熔融樹脂を金型キャビティ内に射出充填するとともに、樹脂内部に微小な気泡 (気泡核) を生成する。
- ③ コアバック工程：金型を所定量開く (コアバック) ことによって厚み方向に拘束を開放し、高発泡化する。

以上の工程によって気泡生成と成長をコントロールし、微細な気泡を有する表層と高発泡化された中心層のサンドイッチ気泡構造を一つの工程内で形成する。

我々は、SCF注入量や樹脂温度、コアバック速度などの各プロセスパラメータが表層及び中心層の気泡構造に及ぼす影響を成形実験を通じて明らかにし、発泡に伴う機械物性の低下が抑制されたサンドイッチ気泡構造を実現する成形技術を確立した。

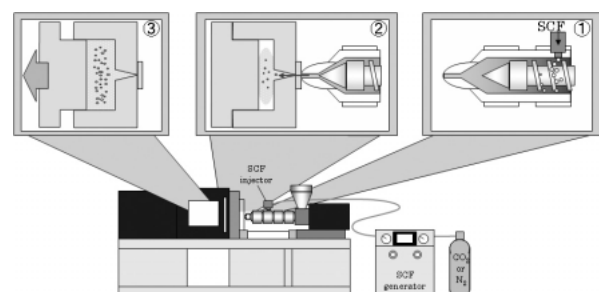


Fig.3 Outline of the Developed Injection Foam Molding



3.2 成形技術の開発

成形実験にはTREXEL社のMuCellシステムを搭載した日本製鋼所製電動射出成形機を使用した。材料はモジュールキャリアの基材として開発されたガラス長繊維強化ポリプロピレン (GFPP) を用いた。金型は1点ダイレクトゲートの平板型 (600×300mm, 厚みは可変) を使用し、成形品から切り出したテストピースを用いて気泡構造の観察及び機械物性の測定を行った。

サンドイッチ気泡構造を形成するためには、表層において気泡成長を抑制し、気泡サイズを微細化する一方で、中心層では逆に気泡を成長させて高発泡化させる必要がある。そこで、表層においては射出工程において気泡核を多数生成させ、これらが成長して気泡サイズが増大する前に冷却固化させることを狙いとしてプロセスパラメータの検討を行った。その結果、射出速度やSCF濃度などの影響が大きいことが分かった。SCF濃度による表層の平均気泡径への影響をFig.4に示す。高い射出速度、高SCF濃度とすることによって、Fig.5に示す直径約20μmの微細な気泡構造が得られた。

一方、中心層においてはコアバック動作条件によって気泡構造が特に大きく影響されることが分かった。Fig.6(a)-1~3に示すように、動作が速すぎても遅すぎても粗大な気泡構造となり、適切な条件範囲においてのみ緻密な気泡構造が得られた。また、SCF注入量は表層の気泡構造のみならず、

中心層の気泡形成にも影響を与え、Fig.6(b)-1~3に示すように高濃度であるほど緻密な気泡構造が得られることが分かった。また、Fig.6(a)-2のように粗大な気泡形成のないサンプルでは、気泡壁が厚み方向に配向した様子が観察され、Fig.7に示した厚み方向と直交するようにカットした断面では、直径 $100 \pm 50 \mu\text{m}$ の気泡が観察された。以上のことから、気泡はコアバックによって厚み方向に延伸される形で成長したことが示唆され、粗大な気泡は気泡壁を形成する樹脂が限界以上に延伸され破断に至った結果であると考えられる。したがって、コアバック条件を樹脂の延伸特性に応じて適切に設定することが重要である。またSCF濃度が高い場合、気泡核生成速度が高くなることが知られており、コアバック前の気泡数は増加する。コアバックによってこれら多数の微細な気泡が均一に成長することで気泡壁の局所的な延伸が抑制され、破断による粗大化が起こり難くなったと考えられる。

3.3 開発した発泡成形品の基本性能

各種機械物性の測定値は発泡/非発泡の比を取り、相対評価を行った。Fig.8に曲げ強度の評価結果を示す。いずれの相対密度においても、相対曲げ強度は相対密度の値を上回っており、サンドイッチ気泡構造によって発泡に伴う強度低下が抑制されていることを確認した。

相対密度0.375の発泡成形品の機械物性平均値をTable 1に示す。曲げ弾性率及び落錘衝撃試験におけるエネルギー吸収量についても同様に発泡による強度低下が抑制されてい

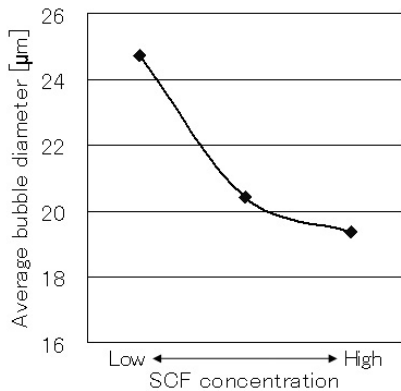


Fig.4 Relationship between SCF Concentration and Average Bubble Diameter

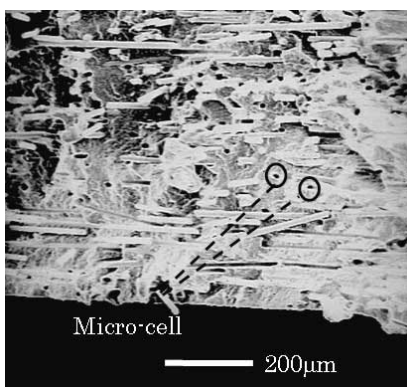


Fig.5 SEM Image of the Surface Layer

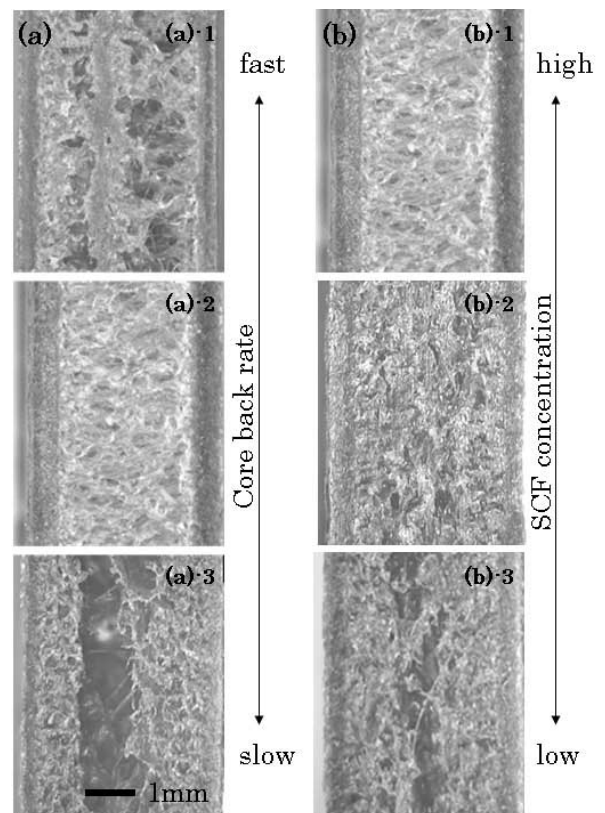


Fig.6 Cross Sections of the Foamed Sample ; (a) Effect of Core Back Rate, (b) Effect of SCF Concentration

る。特に落錘衝撃試験では、Fig.9の荷重 - 変位曲線が示すように最大荷重及び破壊変位とも非発泡のものを上回り、エネルギー吸収性に優れることが分かった。これはサンドイッチ構造による強度及び剛性の向上に加え、非発泡では荷重値がピークに達した後、クラックが瞬時に伝ばして破断に至るのに対し、低密度な発泡層が存在することでクラックの伝ば速度が低下したためと考えられる。

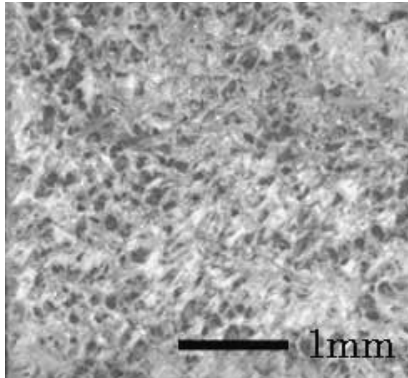


Fig.7 Horizontal Section of the Foamed Sample

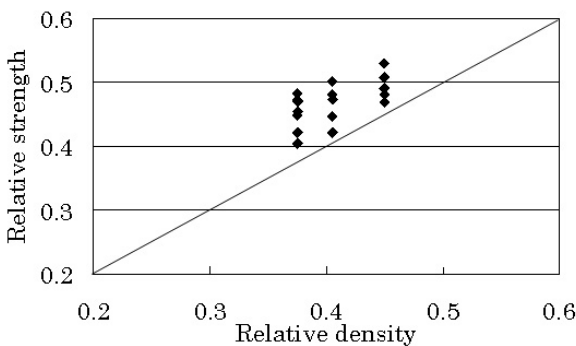


Fig.8 Relationship between Relative Density and Relative Flexural Strength

Table 1 Mechanical Properties of Foamed Sample

Relative density	0.375
Relative flexural strength	0.458
Relative flexural modulus	0.397
Relative energy absorption	2.186

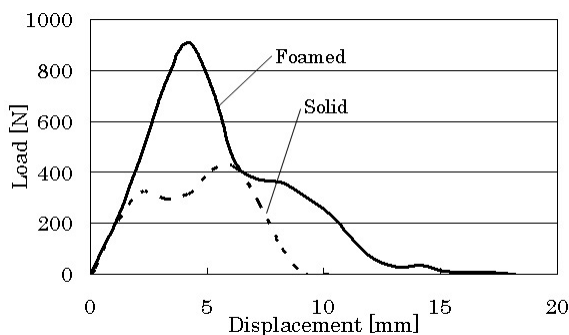


Fig.9 Load-Displacement Curves in Weight Drop Impact Test

### 3.4 ドアモジュール基材への適用

開発した射出発泡成形技術を実際の部品へ適用した際の効果を検証するため、ドアモジュール基材の試作評価を行った。成形には日本製鋼所製650t電動射出成形機を用いた。製品形状では、凹凸や開口部などが存在するため、流動速度やフローフロント圧力の変動、ゲート部と流動末端の圧力差、金型部位による温度分布など、発泡条件がばらつくことで一定の気泡構造が得られないことが懸念された。そこで流動解析や冷却解析を活用しながら冷却配管やゲート配置、ガスベント等に留意して金型を設計した。その結果、Fig.10及びFig.11に示すように一部に気泡の粗大化も見られるが、各部位において狙いとする気泡構造と機械物性を得ることができた。また、製品板厚についてもFig.12に示すようにばらつきは抑えられている。

コアバック法による発泡成形では、射出時のキャビティ厚みを薄くして材料削減を図っている。薄肉部に高速で樹脂を注入するため、通常であれば型内圧が増加し、成形機に求められる型締力が増し、より大型の成形機が必要となる。これに対して本技術では、二酸化炭素や窒素が溶解すると樹脂の粘度が低下するという性質を生かし、高流動に設計されたGFPPの流動性を更に高めることによって、薄肉高速充填でありながら、従来よりも約30%低い型内圧を達成した。従来の非発泡成形と開発技術の型内圧の比較をFig.13に示す。低压化により製品サイズによっては従来よりも1ランク小型の成形機を使用できる可能性がある。

従来の非発泡タイプのドアモジュール基材に対し、約22%軽量化した発泡試作品について部品性能試験を実施し、安

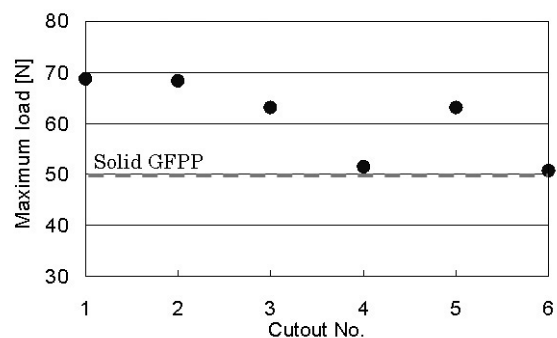


Fig.10 Relative Strength of Cutout Specimens from the Foamed Door Module Carrier

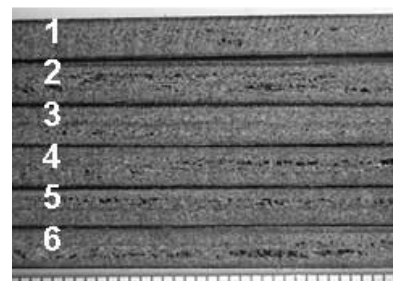


Fig.11 Cross Section of Cutout Specimens from the Foamed Door Module Carrier

全性・商品性のスペックを満足することを確認した。Fig.14に静荷重試験結果を、Fig.15に衝突荷重試験結果を示す。剛性、強度ともに従来品同等以上の性能を実現した。

#### 4. おわりに

SCFを活用し、コアバック法と組み合わせて気泡構造を

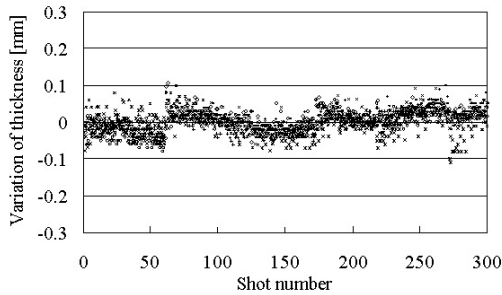


Fig.12 Thickness Variation

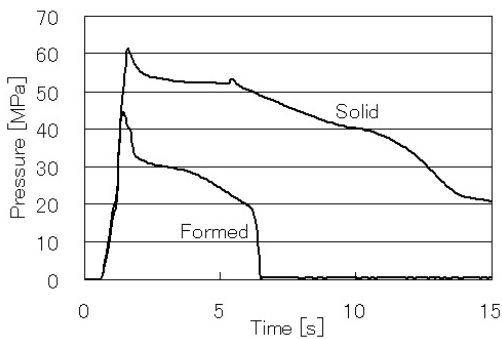


Fig.13 Die Internal Pressure During the Door Module Carrier Molding

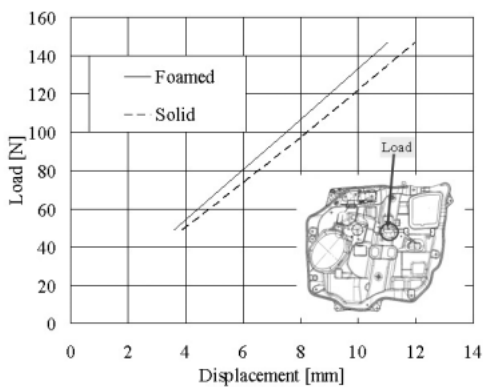


Fig.14 Results of Stiffness Test

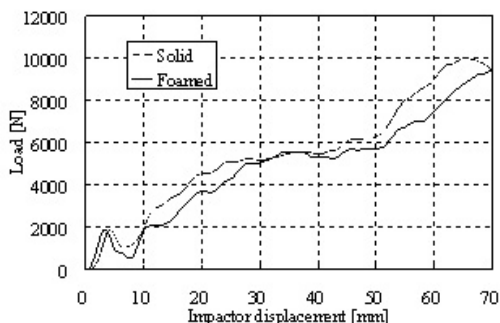


Fig.15 Results of Impact Test

コントロールする独自の射出発泡成形技術を開発した。

- ① 本技術によって高発泡倍率で低密度な中心層と、微細発泡によって機械物性を保持した表層を有するサンドイッチ気泡構造を形成し、発泡成形の課題であった機械物性の低下を抑制した。
- ② ドアモジュール基材の成形における本技術の適用性を検証し、材料削減による23%の軽量化と要求機能を満足することを確認した。

我々は、この技術をドアモジュール基材以外の樹脂部品にも広く応用展開することによって、化石資源を原料とする樹脂の使用量削減と部品の軽量化を進め、持続可能な自動車作りへ貢献していく。

最後に、この開発にあたり、多大なご指導とご協力を頂いたダイキョーニシカワ(株)、(株)日本製鋼所の皆様に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- (1) 吉田ほか：ドアモジュールの開発，マツダ技報No.20，p.5-8（2002）
- (2) 新保ほか：マイクロセルラープラスチックの機械的・粘弾的物性に及ぼすセルサイズの影響，成形加工，6，12，p.863-868（1994）
- (3) 川東ほか：マイクロセルラー発泡射出成形の発泡構造制御因子と物性，成形加工 02年次大会予稿集，p.115-116（2002）
- (4) M. Yamaguchi：Melt Elasticity of Polyolefins；Impact of Elastic Properties on Foam Processing, Polymeric Foam, p.19-73（2004）
- (5) 瀧ほか：高分子発泡成形における分子量の気泡生成・成長への影響，成形加工 03年次大会予稿集，p.91-94（2003）

#### 著者



小川淳一



梶山智宏



山田勝久



榎岡孝宏



金子満晴



中島之典

特集：サステイナブル “ Zoom-Zoom ”

5

## プレマシーハイドロジェンREハイブリッドの紹介 Introduction of Premacy Hydrogen RE Hybrid

柏木章宏\*<sup>1</sup> 下村剛\*<sup>2</sup>  
Akihiro Kashiwagi Takeshi Shimomura

### 要約

プレマシーハイドロジェンREハイブリッドは、水素、ガソリンいずれの燃料でも走行可能な、デュアルフェューエル機能をもつ水素ロータリエンジンに、独自に開発したハイブリッドシステムを組み合わせた車両である。2006年に市場導入したRX-8ハイドロジェンREに対して、水素での航続距離や走行性能、および実用性を大幅に改善した。本稿では、その開発の狙いと特徴について紹介する。

### Summary

Mazda Premacy Hydrogen RE Hybrid is a vehicle equipped with Mazda-unique hybrid system based on the hydrogen RE with a dual-fuel system that enables the car to run on either hydrogen or gasoline. The vehicle's hydrogen fuel range, driving performance and utility are significantly improved over the RX-8 hydrogen RE launched in 2006. In this paper, we introduce aim and features of the development.

### 1. はじめに

エネルギーを発生する段階で、水しか排出しない究極のクリーン性質を持つ水素自動車は、二酸化炭素（以下CO<sub>2</sub>）の排出がない地球環境にやさしい車である。その代表的なものに水素燃料電池車があり、現在多くの自動車会社が開発を行っている。しかし、いまだコストや信頼性の面で解決すべき課題を抱えており、水素インフラの少なさと相まって普及には至っていないのが現状である。

一方、水素エンジン車は、水素燃料電池車に比べてエネルギー効率で劣るものの、コスト、信頼性などの面で大きなアドバンテージを持っている。更に、同じエンジンでガソリン運転をすることも容易であるため、水素インフラの少ない地域でも利用できるという利点がある。マツダは、これらの点に着目し、早くから水素エンジン車の開発に注力してきた。そして、ロータリエンジン（以下RE）をベースエンジンに用いたRX-8ハイドロジェンREを開発し<sup>(1)</sup>、日本国内で2006年からリース販売を行っている<sup>(2)</sup>。

そして、このRX-8ハイドロジェンREに続く新たな水素エンジン車として、プレマシーハイドロジェンREハイブ

リッドを開発した。

本稿では、この車両に採用した技術とその特徴を紹介する。

### 2. 開発の狙い

RX-8ハイドロジェンREに対して、走りの進化と使い勝手の向上を図るため、以下を目標とした。

- (1) 水素航続距離；RX-8ハイドロジェンREの2倍となる200km。
- (2) 走行性能；加速性能の向上のため出力を40%改善。
- (3) 実用性；日常の使用に十分な荷室容量の確保。

### 3. 水素エンジン

水素はガソリンに比べ最小点火エネルギーが小さいという特徴を持つ。このため水素を内燃機関の燃料に用いると、作動室内の高温部位の影響により、本来の点火時期より早く燃焼する異常燃焼（過早着火）が起きやすくなる。

レシプロエンジンでは吸気、圧縮、燃焼（膨張）、排気をシリンダの同じ場所で行うため、燃焼時の熱の影響で排気バルブなどが高温になり、異常燃焼が起きやすい。

\*1, 2 プログラム開発推進本部  
Program Management Div.

一方、REではその構造上、吸排気バルブを持たず、かつ、燃焼、排気を行う高温部と、吸気、圧縮を行う低温部が分かれている。このため、比較的温度の低い吸気室へ水素を導入でき、水素燃焼で問題となる異常燃焼の回避が容易である<sup>(2)</sup>。

以上の理由で、RX-8ハイドロジェンREと同様に、REを水素エンジンのベースエンジンに採用した。但し、後述するハイブリッドシステムを新たに採用したことにより、エンジンの低回転およびアイドル運転が基本的に不要となるため、その運転条件に合わせてエンジンに小変更を加えた。ガソリンでも走行可能な、デュアルフューエルシステムは踏襲した。

#### 4. ハイブリッドシステム

水素航続距離と走行性能を大幅に改善するために、ハイブリッドシステムを採用した。

##### 4.1 システム方式選定

一般にハイブリッドシステムには、パラレル、シリーズ、パラレル、シリーズの3方式がある。

システム選定にあたっては、近年の電気駆動系の効率改善技術に着目し、それを最大限に利用することを目指した。このため、エンジンの出力をすべて電気エネルギーに変換し、車両の駆動をモータで行う、シリーズハイブリッド方式を採用した<sup>(3)</sup>。

##### 4.2 システム構成

ハイブリッドシステムの構成をFig.1, 2に示す。パワーユニットは、水素RE（横置き）、ジェネレータ、モータ、インバータ、および高出力密度のリチウムイオンバッテリーで構成される。

##### 4.3 システムの動き

以下に運転状態ごとの作動を示す。

発進時；バッテリーから供給される電気で発進する。

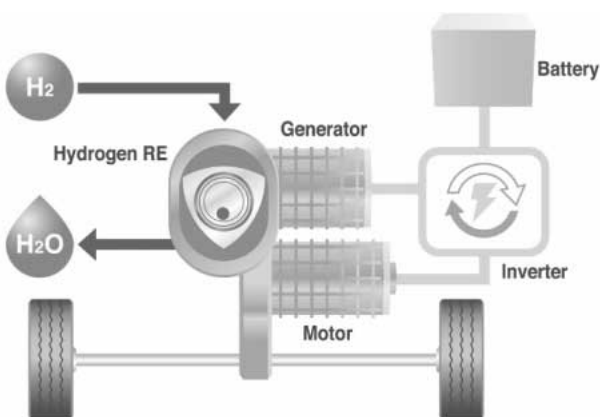


Fig.1 Hybrid System

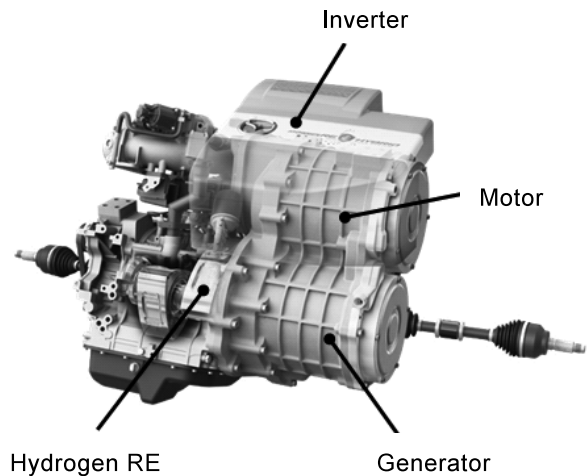


Fig.2 Hybrid Power Unit

走行時；モータへの要求出力が上がるとエンジンが始動し、バッテリーからの電気供給は中止される。エンジン出力は、エンジンと直結したジェネレータによって電気エネルギーに変換され、インバータを介してモータに送られる。モータは減速機を介してタイヤを駆動する。この状態では、エンジン出力が上がると発電量が増え、モータの出力も上がりZoom-Zoomな走行感覚を得ることができる。

加速時；登坂や追い越し時など高い出力が必要なときは、エンジンでの発電に加えバッテリーからも電気を供給する。

減速時；減速時はモータを発電機として使用する。減速エネルギーを使って発電し、その電気でバッテリーを充電する。また条件が整えば、エンジンも停止する。

停止時；エンジンはアイドルストップをする。但し、バッテリー残量に応じてエンジンを始動しバッテリーを充電する場合もある。

#### 5. その他の特徴

##### 5.1 エクステリアデザイン

運転する楽しさ（Zoom-Zoom）とクリーンテクノロジーをひと目で感じることができる、存在感のある外観とした。

斜め基調の大胆なグラフィックと、躍動感ある水しぶきをイメージしたアクセントで、運転する楽しさを表し、ホワイトパールマイカの車体色とブルーグラデーションのコーディネート、および水素REをシンボル化したロゴマークで、クリーンテクノロジーを表現した（Fig.3, 4）。



Fig.3 Front Exterior Styling



Fig.4 Rear Exterior Styling

5.2 パッケージ

3列シートを持つベース車に対して、2列目シートまでを乗員スペースとし、3列目シートを廃止し水素タンクと荷室をレイアウトした (Fig.5)。高電圧バッテリーは2列目のシート下に配置した。

これにより、大人5人の居住空間を確保した上で230Lの荷室スペースを実現した (Fig.6)。

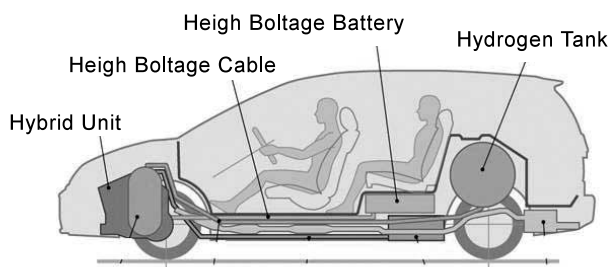


Fig.5 Vehicle Layout



Fig.6 Luggage Space

水素タンク圧力は、現在の国内水素ステーションで標準的な圧力である35MPaとした。

水素充填口は、ベース車のガソリン給燃口と左右対象の位置に設けた。充填口は、他社の水素燃料電池車用のものと共通である。

5.3 ドライブインターフェース

(1) 燃料切り替え

デュアルフューエルシステムは、RX-8水素燃料電池ハイブリッドと同様、以下の機能を持つ。

- ① 水素走行中に水素がなくなった場合の、ガソリン走行への自動切り替え。
- ② 水素走行中に水素燃料系に異常が発生した場合の、ガソリン走行への自動切り替え。
- ③ 水素もしくはガソリンへの任意による切り替え。

燃料切り替えスイッチ位置も、RX-8水素燃料電池ハイブリッドと同じく運転席右側とし、切り替わり時のチャイム音、インジケータの点滅なども踏襲した (Fig.7)。



Fig.7 Fuel Selection Switch

(2) メータパネル

水素およびハイブリッドシステム関係の警告灯は、運転席正面のメータパネル内に集中させ視認性を高めた。水素およびガソリンの燃料計、使用燃料インジケータなどの燃料系の表示は、右側にまとめて配置した (Fig.8)。

走行中は常に水素、ガソリンいずれかの燃料インジケータが点灯し、使用している燃料を表示する。



Fig.8 Meter

### (3) エネルギフローモニタ

本ハイブリッドシステムでは、走行状態によって水素REの運転、停止や、バッテリーの充放電などが自動的に制御される。乗員がシステムの作動状況を認識できるように、エネルギフローモニタをインパネの上部に設定した。

発進、加速などの走行状態ごとに、稼働しているユニットや、エンジン、ジェネレータ、モータ、バッテリー間でエネルギーが伝達される状況、バッテリーの残量などを画像で確認できる (Fig.9)



Fig.9 Energy Flow Monitor

### 5.4 植物由来材料

走行時だけでなく、車両製造時においても脱石油資源と発生するCO<sub>2</sub>を削減することを目指し、植物由来の原料から作られるバイオプラスチックとバイオフィブリックを内装材に採用した。両者を総称して、マツダバイオテックマテリアルと称する。

バイオプラスチックは植物を原料とするカーボンニュートラルな材料であり、石油由来のプラスチックから置き換えることで、化石資源の使用量を削減できる。また、原料の製造過程で、植物に含まれているでんぷんと糖質の発酵を利用し、代表的な石油系プラスチックのポリプロピレンと比べ30%程度使用するエネルギーを減らせる。そのため、製造工程で必要な化石燃料の量を減らすことが可能になり、CO<sub>2</sub>の排出を削減できる。現在、自動車部品の生産に多用されている射出成形法で製造できるため、外観品質も高く、量産性にも優れる。採用した部品に求められる耐熱性、耐衝撃性は、石油由来のプラスチックと同等の性能を実現している (Fig.10)

植物由来100%の繊維から成るバイオフィブリックは、自動車内装表皮に求められる耐摩耗性、難燃性などの高い品質を達成し、全席のシート表皮、ドア内張材に採用した (Fig.11)

### 5.5 車両諸元

車両諸元をTable1に示す。

最高出力は110kWで、RX-8ハイドロジェンREに対し40%高めた。航続距離は水素走行時200km (10-15モード)を達成した。



Fig.10 Bioplastic Parts



Fig.11 Biofabric

Table 1 Vehicle Specifications

Model	Premacy Hydrogen RE Hybrid	
Vehicle	Overall Length	4565mm
	Overall Width	1745mm
	Overall Height	1620mm
	Wheel Base	2750mm
	Weight	1760kg
	Seating Capacity	5 Passengers
Fuel Tank	Hydrogen: 150L/35MPa High Pressure Tank	
Engine	Type	Hydrogen Rotary Engine (with Dual-Fuel System)
	Fuel	Hydrogen and Gasoline
Motor	Type	AC IPM Synchronous
	Max Power	110kW
Generator	Type	AC IPM Synchronous
High Voltage Battery	Li-ion	

## 6. おわりに

水素エンジンにハイブリッドシステムを組み合わせることで、水素航続距離と走行性能の大幅な改善を実現し、水素エンジン車のポテンシャルを大きく引き上げることに成功した。また、荷室スペースの拡大や乗員の増加も合わせて実現し、車両としての実用性が大幅に向上した。これにより、スポーツカータイプであったRX-8ハイドロジェン

REに比べて、更に幅広い用途で水素エンジン車の利用が可能になると考える。

本車両は2008年6月に国土交通大臣の大臣認定を取得し、公道での評価を開始した。同年7月の洞爺湖サミットにおいても利用され、2009年3月にリース販売を開始した。

### 参考文献

- (1) 森本ほか：RX-8ハイドロジェンREの紹介，マツダ技報，No22，p.132-138（2004）
- (2) 柏木ほか：RX-8ハイドロジェンREの紹介，マツダ技報，No24，p.135-138（2006）
- (3) 柏木ほか：水素エンジン車の開発，自動車技術，Vol62，No11，p.53-57（2008）

### 著者



柏木章宏



下村 剛



特集：サステイナブル “Zoom-Zoom”

6

## 水素燃料電池ハイブリッドシステムの開発 Development of Hydrogen RE Hybrid System

若山 敬平<sup>\*1</sup> 米 盛 敬<sup>\*2</sup> 松島 智善<sup>\*3</sup>  
Norihiro Wakayama Kei Yonemori Tomoyoshi Matsushima  
瀬尾 宣英<sup>\*4</sup>  
Nobuhide Seo

### 要 約

2006年に開発した「マツダRX-8水素燃料電池」に続き、水素燃料での航続距離と加速性能の大幅な改善を目指し、ハイブリッドシステムを搭載した「マツダプレマシー水素燃料電池ハイブリッド」を新たに開発した。ハイブリッドシステムには、近年のモータ・ジェネレータの効率改善を最大限に活用することを目指し、シリーズ方式を採用した。駆動用モータは巻線を走行中に切り替える技術を取り入れ、高回転型と高トルク型の出力特性を併せ持つ、小型高効率なモータを実現した。モータ、ジェネレータの設計においては、常用回転方向の効率を重視した非対称電磁界設計を行った。高電圧バッテリーは入出力特性に優れたリチウムイオンバッテリーを採用し、セル構造は搭載性と冷却性に優れたラミネートタイプとした。これら新技術を採用したハイブリッドシステムにより、水素での航続距離200km（10・15モード）と、優れた加速性能を実現した。

### Summary

Mazda Premacy Hydrogen RE Hybrid has been developed, following RX-8 Hydrogen RE launched in 2006, aiming for dramatic improvements in hydrogen fuel range and acceleration performance with a hybrid system. A series hybrid system has been adopted to fully leverage the recent improvement in efficiency of motors and generators. The driving motor that electrically switches its windings during driving has been mounted. This switching technology allows the motor to be small and high-efficient, while having both high-speed motor and high-torque motor characteristics. Electro magnetical fields of the motor and generator are asymmetrically designed to improve the efficiency in the regular rotation direction. The lithium-ion high voltage battery, which has excellent input-output characteristics has been adopted. The laminated cell structure, which has excellent battery packageability and eases battery cooling has been employed. The hybrid system featuring these new technologies enhances the hydrogen fuel range to 200km( 10・15 mode ) and achieves excellent acceleration performance.

### 1. はじめに

「RX-8水素燃料電池<sup>(1)(2)</sup>」に対し、水素での航続距離と加速性能、居住性等の大幅な改善を目指し、独自のシリーズハイブリッドシステムを搭載した「プレマシー水素燃料電池ハイブリッド」を開発した（Fig.1）。本稿では、このハイブリッドシステムの主な仕様と採用した新技術、車両性能への効果について述べる。



Fig.1 Mazda Premacy Hydrogen RE Hybrid

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

## 2. ハイブリッドシステムの概要

### 2.1 主な仕様

Table 1にハイブリッドシステムの主な仕様を、Fig.2にシステムの構成を示す。水素ロータリエンジン（水素RE）は最大80kWを出力し、水素REと直結されたジェネレータがこの出力を電力に変換する。この電力と高電圧バッテリーからの電力を合わせることで、最大出力110kWのモータを駆動させる。

RX-8ハイドロジェンREのシステムを踏襲し、ガソリンでも走行可能とした。そのため、水素ステーションが整備されていない地域において水素切れになった場合でも、走行不能に陥ることはない。また、水素切れの場合は走行中でも自動でガソリンに切り替える。更に、利便性を考慮し、水素とガソリンの燃料切り替えを手動でも可能にしている。

Table 1 Specifications of Hydrogen RE Hybrid System

Engine	Fuel	Hydrogen or Gasoline
	Max Power	80kW
Generator	Type	Permanent Magnet AC Synchronous Motor
Motor	Type	Permanent Magnet AC Synchronous Motor
	Max Power	110kW
	Max Torque	350Nm
High Voltage Battery	Type	Li-ion
	Max Output Power	40kW
Hydrogen Storage		35MPa High Pressure Gaseous Hydrogen

### 2.2 シリーズハイブリッドの利点

一般的に、ハイブリッドシステムには、パラレル、シリーズパラレル、シリーズの3方式が存在する。本ハイブリッドシステムの選定にあたっては、半導体電力変換素子や高性能磁石応用モータといった電気駆動技術の向上を最大限に活用することを目指し、シリーズ方式を採用した<sup>(3)</sup>。

シリーズ方式では、他の方式と比較して、エンジンの動力を一旦電力に変換し、再び機械的な動力に変換する動力伝達が支配的となる。そのため、ギヤ等の機械的な動力伝達の効率よりも、ジェネレータ・モータでのエネルギー変換効率が燃費に大きく寄与する。ジェネレータ・モータの今後の効率改善にとともに、シリーズハイブリッドのシステム全体のエネルギー効率は、他のハイブリッド方式よりも、大きな改善が期待できる。

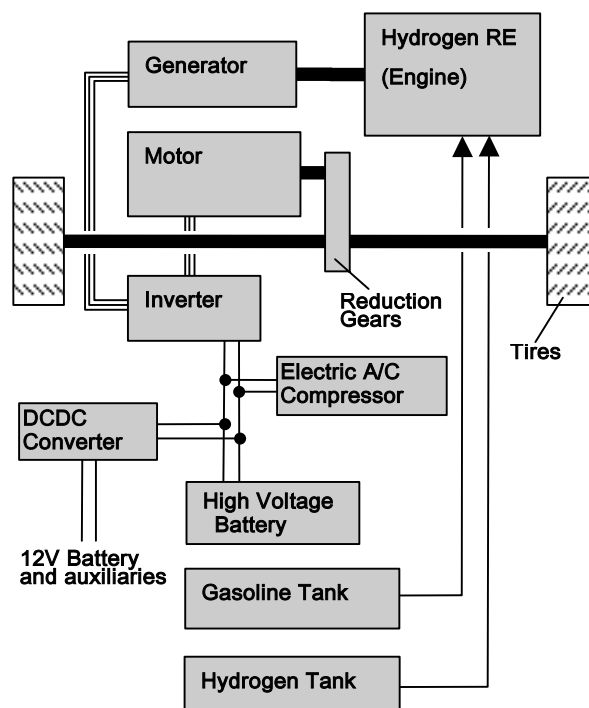


Fig.2 Schematic Diagram of Hydrogen RE Hybrid System

### 2.3 システムの動作

発進や定常走行などのモータ出力が比較的小さい走行シーンではエンジンは停止し、高電圧バッテリーからの電力で走行する。加速や高速走行等の比較的大きなモータ出力が要求されるシーンでは、エンジンを始動し、エンジンで発電する電力によってモータを駆動する。全開加速など一時的に大変大きな出力が必要なシーンでは、エンジンによる発電電力に高電圧バッテリーからの電力を加えモータを駆動する。減速時には駆動用モータが発電機として働き、減速エネルギーを回収し、高電圧バッテリーに蓄える。

また、エンジン出力とモータ出力をできるだけ同調させるため、例えば加速に合わせてエンジン回転数が上昇するなど、通常の内燃機関と同様の走行感覚を体感できる。

エンジンはハイブリッドシステムの要求に従い出力するが、水素運転とガソリン運転、各々で最適なエンジン回転数とエンジントルクを出力することで、高燃費と優れた排出ガス特性を実現している。

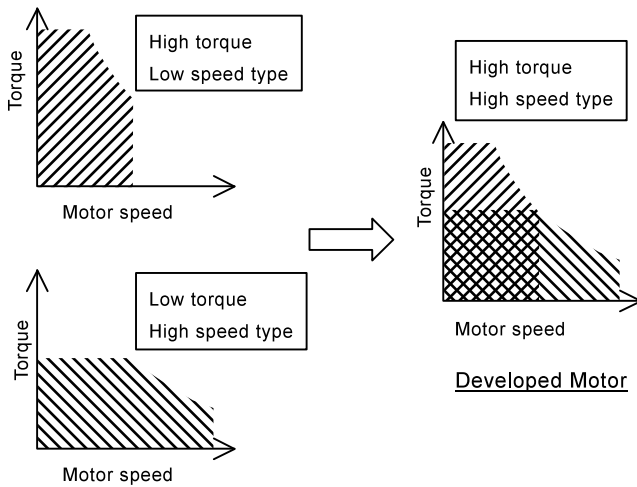
## 3. モータ・インバータ技術

通常、モータ設計においては高トルク型か、高回転型を選択し、ステータの巻線仕様を決定する必要がある。本システムでは、巻線切り替え装置により運転中にモータ巻線数を切り替えることによって、高トルク型と高回転型の双方の特性を両立する技術を開発した。低車速域では高トルク型モータにより加速性能を確保し、高車速域ではコイル

巻数を低減することで高回転型モータへ移行させて最高性能を満足させた。この技術により、通常は両立困難な高トルク・高回転特性を単一のモータにて実現している (Fig.3)<sup>4)</sup>。

Fig.4に本システムで採用した電子式巻線切り替えの概念を示す。モータの三相スター結線の各相巻線の巻数を走行シーンに応じて選択可能とした。低回転時は全巻線を利用し、効率よく高トルクを発生する。

一方で高回転時は電池電圧に対する誘起電圧の相対的上昇を抑制するために一部のコイルを電気的に切り離す。具体的には高速用と低速用の二つの中性点を備えており、これらのON/OFFを電子制御で瞬間的に行うことで、モータ走行中にトルクの連続性を保ちながらトルク特性を切り替えることを可能とした。



Conventional IPM Motor

Fig.3 Torque-speed Characteristic of the Traction Motor

従来の機械式巻線切り替えとの比較をFig.5に示す。電子式巻線切り替えでは、俊敏な動作によりトルク抜けを生ずることなく、連続的にトルクを発生しながら切り替えている。これにより運転者はトルクショックを意識することなく運転することが可能である。

また、モータ・ジェネレータともに基本的な動作が片方向回転であることに着目し、磁石配置を回転非対称に電磁界設計した埋込磁石同期モータとした (Fig.6)。なお、Fig.6においては、本来円弧形状である磁気回路の一部 (扇形) を直線状に展開し、模式的に示している。

通常は正転/逆転のいずれも同じトルク特性となるように配置するV字磁石の底部を、正転方向に対し後進配置することにより、最大トルクを逆転方向よりも増大させた。一般的なIPMモータに対し、マグネット・トルク・ピークとリラクタンス・トルク・ピークを機械的に接近させた結果、総合トルク・ピークが増大した (Fig.7)<sup>5)</sup>。

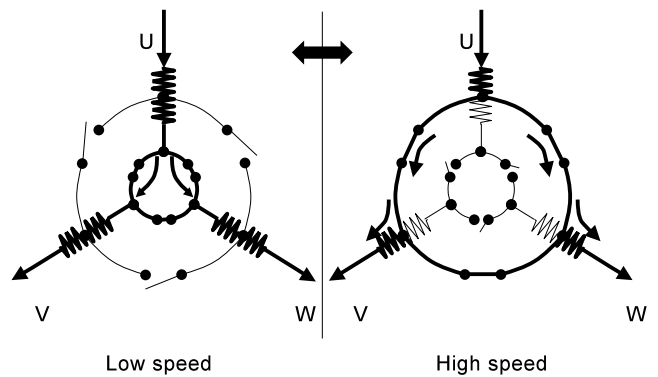


Fig.4 Conceptual Diagram of the Electric Winding Change

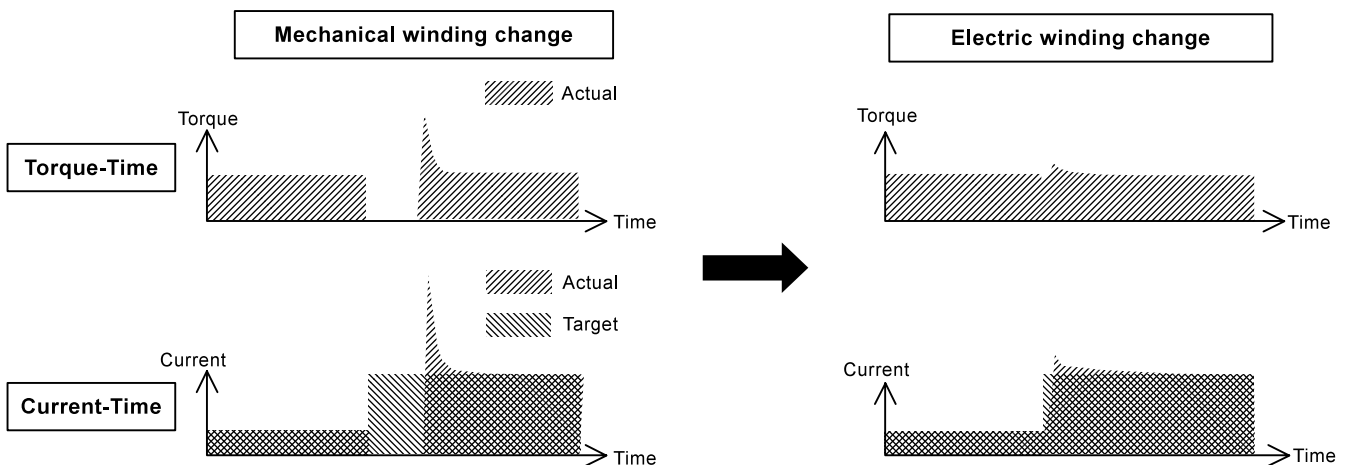


Fig.5 Comparison of Torque Continuity During the Winding Change

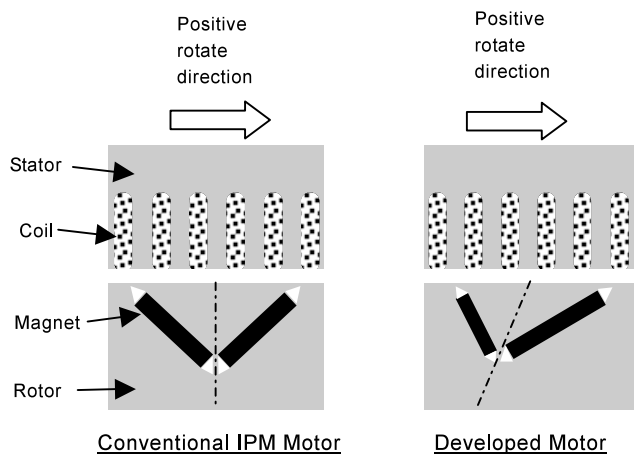


Fig.6 Comparison of the Magnetic Circuit Design Concept

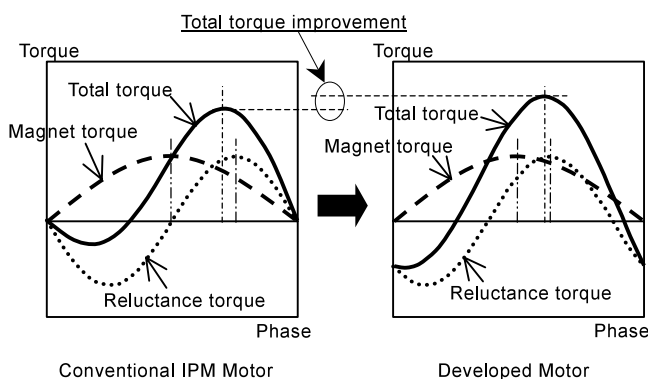


Fig.7 Total Torque Improvement Mechanism

これら2つの技術の組み合わせにより、高効率運転領域を広範囲に拡張し、動作効率の向上ができた。また、モータの最大トルクを向上させ、コンパクトに仕上げることができた。

なお、本モータとジェネレータ、インバータは(株)安川電機との共同開発によって製作した。

#### 4. バッテリー技術

高電圧バッテリーは加速・定常走行時に駆動用モータへ電力を供給するとともに、減速時にはエネルギーを回収する役割があり、ハイブリッドシステムの中で重要な要素の一つである。Table 2に高電圧バッテリーの主要諸元を示す。Fig.8にバッテリーパックの外観を示す。

本ハイブリッドシステムでは、エネルギー密度が大きく出力特性に優れたリチウムイオンバッテリーを採用した。セル構造は搭載性および冷却性に優れたラミネートタイプを採用した (Fig.9)。

バッテリーパックはセル、ジャンクションボックス、バッテリーコントローラなどから構成される。

本システムにおいてバッテリーコントローラは、①バッテリー状態 (電流・電圧・充電状態など) のモニタリング、②入出力可能な最大電力の算出、③バッテリーセル間の充電バランス、④異常監視などの機能を有する。車両コントローラはバッテリーコントローラからの情報を受け取り、入出力を制御する。

高電圧バッテリーは空冷方式で冷却を行っており、セルの温度に応じて冷却ファンが作動し、冷却風量が適切にコントロールされる。

Table 2 Specifications of the High Voltage Battery

Battery type	Lithium - ion
Nominal Voltage	346 V
Capacity	3.65 Ah
Maximum output	40 kW
Minimum input	25 kW



Fig.8 Appearance of the Battery Pack



Fig.9 Appearance of the Cells

## 5. ハイブリッドシステムの効果

RX-8ハイドロジェンREの水素での航続距離は100km (10・15モード)である<sup>(1)</sup>。これに対し、ハイブリッドシステムの採用と高圧水素タンクの容量増大(110L 150L)により、車重増等の影響を補って、プレマシーハイドロジェンREハイブリッドの航続距離は200kmに伸ばすことができた。

ハイブリッドシステムの採用により、水素運転時の駆動軸での出力を、エンジン単独駆動と比べて約40%増大した。この結果、停車から100km/hまでの到達時間を4割短縮することが可能となった。

## 6. おわりに

新技術を取り入れたハイブリッドシステムにより優れた航続距離と加速性を持った水素自動車を開発することができた。加えて、エンジンとモータ出力を同調させることで、慣れ親しんだ内燃機関の走行感覚を具現化できた。実用性と環境性能、走る楽しさを併せ持った、この水素内燃機関自動車が市場に出ることにより、水素社会の実現に向けた橋渡しになることを期待する。

## 参考文献

- (1) 柏木ほか：RX-8ハイドロジェンREの紹介，マツダ技報，No.24，p.135-138 (2006)
- (2) 齊藤ほか：RX-8ハイドロジェンREデュアルフューエル制御システムの開発，マツダ技報，No.24，p.139-143 (2006)
- (3) 柏木：水素エンジン車の開発，自動車技術，Vol.62，No.11，p.53-57 (2008)
- (4) M. M. Swamyほか：永久磁石形同期電動機の電子巻線切替による速度範囲の拡大方法，平成16年電気学会産業応用部門大会，p. 187-190 (2004)
- (5) 株式会社安川電機：「電磁鋼板形成体，電磁鋼板積層体，これを備えた永久磁石形同期回転電機用回転子，永久磁石形同期回転電機，該回転電機を用いた車両，昇降機，流体機械，加工機」，特開2008-236890，2008.10.2

## 著者



若山敬平



米盛 敬



松島智善



瀬尾宣英

特集：サステイナブル“Zoom-Zoom”

## 7 インフラ協調安全運転支援システムの公道実証実験 Public Road Test of Vehicle-infrastructure Cooperative System for Driving Safety Support

岡崎 俊実<sup>\*1</sup> 藤原 由貴<sup>\*2</sup> 山田 直樹<sup>\*3</sup>  
Toshimi Okazaki Yoshitaka Fujihara Naoki Yamada  
山田 秀行<sup>\*4</sup> 山崎 慎也<sup>\*5</sup> 石橋 基範<sup>\*6</sup>  
Hideyuki Yamada Shinya Yamasaki Motonori Ishibashi

### 要 約

内閣総理大臣を本部長とするIT戦略本部において、世界一安全な道路交通社会の実現に向けたインフラ協調安全運転支援システムの推進が2006年1月にIT新改革戦略として定められた。この戦略を踏まえ、インフラ協調安全運転支援システムの実用化を加速するために、国内の特定地域での官民連携による大規模公道実証実験の2008年度の実施が計画された。我々は広島地区において、2007年度から2008年度にかけて（社）新交通管理システム協会（UTMS協会）および広島地区ITS公道実証実験連絡協議会と共同で、広島地区の特徴的な道路交通状況を踏まえた公道実証実験を実施した。本稿では、開発したインフラシステムおよび車載システムの概要と、2007年度の実験結果について報告する。

### Summary

The IT Strategy Headquarters (Chief: Prime Minister) decided on a policy in January 2006 regarding the promotion of the vehicle-infrastructure cooperative system for driving safety support as New IT Reform Strategy, aiming to realize the safest road environment in the world. On the basis of this strategy, large-scale public road tests of the vehicle-infrastructure cooperative system for driving safety support have been planned for fiscal 2008 in several special regions of Japan under the cooperation between the public and private sectors, so as to accelerate the process toward its practical use. We, jointly with Universal Traffic Management Society (UTMS) and Hiroshima ITS public road test consortium, have implemented public road tests in Hiroshima from fiscal 2007 to 2008, based on the typical road environment of Hiroshima area. This paper describes an overview of the infrastructure systems and on-board systems we have developed and the experimental results in fiscal 2007.

### 1. はじめに

IT新改革戦略を踏まえて、世界一安全な道路交通社会の実現に向けて、インフラ協調安全運転支援システム等の開発／実用化を官民統一した方針に基づいて進めるべく、ITS推進協議会が設置された。その協議会は関係省庁、産業界を代表するメンバで構成されており、2007年度に「ITS-Safety2010 / 2008年大規模実証実験実施計画」を取りまとめた。大規模実証実験は、東京都で実施される合同実証実験と広島、愛知、神奈川、栃木、大阪での地域実証実験から構成されている。合同実証実験では、統一仕様に近い車載機を用いて、インフラが異なるサービスのシームレ

ス化の検証や異なるメーカー間の互換性確認、アプリケーションの効果／受容性の検証を行うとともに、国民への周知を目的としている。一方、地域実証実験は、各地域の特性を考慮した実験と、より高度なシステムの検証を目的としている。マツダは広島地区において、（社）新交通管理システム協会（UTMS協会）、広島地区ITS公道実証実験連絡協議会と共同で、2007年度はシステム設計と検証、専用実験車両を用いた被験者実験を実施した。2008年度は8月から2009年2月末まで約50台の一般車両に車載機を搭載し、モニタ実験を実施した。本稿では、広島地区で検証を行ったインフラ協調システムの紹介と、2007年度の専用実験車両による被験者実験の結果について述べる。

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

## 2. インフラ協調安全運転支援システム

### 2.1 システム概要

インフラ協調システムは、車両からは直接見えない範囲の交通事故に対処するために、車両が路側に設置したセンサや交通管制機器との無線通信により情報を入手し、必要に応じて運転者に情報提供、注意喚起等を行うシステムである。本実証実験で検証するシステムの基本構成をFig.1に示す。

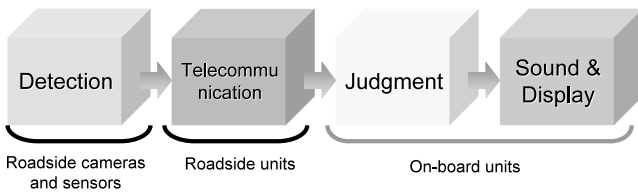


Fig.1 Basic Configuration of the System

### 2.2 運転支援システムの支援レベル

Table 1に運転支援システムのレベルを比較したものを示す。今回の実証実験ではインフラ側で危険度を判定せず、車両側で周辺交通の動的変化と自車挙動やドライバの操作から危険度を判定し注意喚起を行うレベルで、従来の情報提供型であるレベルに比べて大きな支援効果が期待できる。

Table 1 Support Levels of Driving Assist

Support level	Explanation	Functions of on-board unit
I Information Provision	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vehicle provides the information from roadside system without any processing.</li> <li>Vehicle doesn't judge the risk.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Receive the information</li> <li>Display and sound the information</li> </ul>
II Reminder	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vehicle judge the risks calculated from the information of roadside sensors and vehicle behavior.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Receive the information</li> <li>Measure vehicle behaviors and judge the risk</li> <li>Display and sound the information</li> </ul>

## 3. 広島地区公道実証実験

### 3.1 交通状況

広島市周辺は以下のような特徴的な道路交通状況がある。

- ・デルタ地帯で橋梁が多数あり、いわゆる太鼓橋では前方の渋滞状況が確認しづらい
- ・路面電車と自動車とが共存しており、交通が錯綜している

広島地区ではこのような状況を踏まえた特徴のある交差点での事故（右直事故，出会い頭事故，追突事故）の低減を狙ったシステムを検証することを目的とした。

### 3.2 インフラ協調システムの考え方

レベルの支援を有効に機能させるためには、車両の走行状態と運転操作を正確に判定し、適切なタイミングでドライバに伝えることが重要である。そのためには正確な自

車位置の計測や道路関連情報の獲得、および路側センサが検知した動的な情報がリアルタイムに車両に伝達される必要がある。本実験では、固定情報の伝達と位置標定には光ビーコンを、動的情報のリアルタイム通信にはDSRC (Dedicated Short Range Communication: 専用狭域通信) を用いたシステムを検証した (Fig.2)。

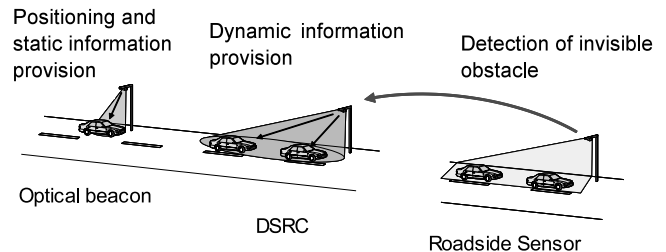


Fig.2 Optical Beacon and DSRC Combination System

### 3.3 実証実験インフラシステム

広島県内の事故多発交差点と事故態様を調査し、広島市中心部の新明治橋東詰交差点，新明治橋～住吉町交差点，平野橋東交差点，および西広島バイパス観音高架橋を抽出した。それぞれについて事故実態と要因を踏まえてシステムの機能を定義し、それに基づいてインフラ機器の設計，設置を実施した。

(1) 出会い頭衝突防止支援システム（広島市中区：新明治橋東詰交差点）

#### a) システム概要

Fig.3に示すような幹線道路（国道2号）に合流する信号のない交差点において、交差点に接近する車両に対して一時停止規制情報の提供と、交差点での合流時に左方向から接近する自転車や歩行者の存在をインフラにより伝達し、衝突防止を支援する。

#### b) 実験機器

インフラ機器は主に光ビーコン，DSRC，自転車・歩行者検出センサで構成される。Fig.4には実際の公道上に設置した機器を示す。

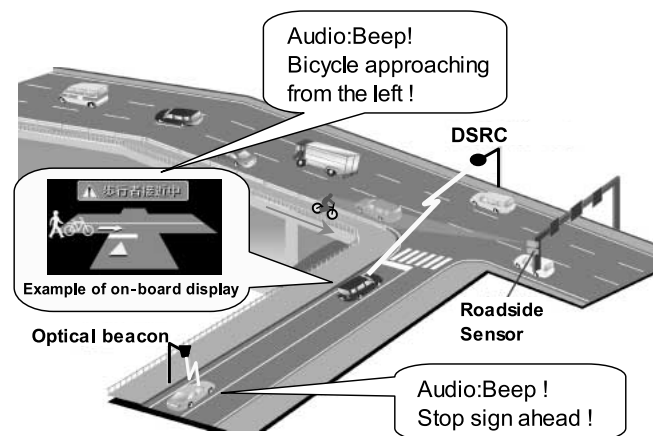


Fig.3 Support System to Prevent Crossing Collisions



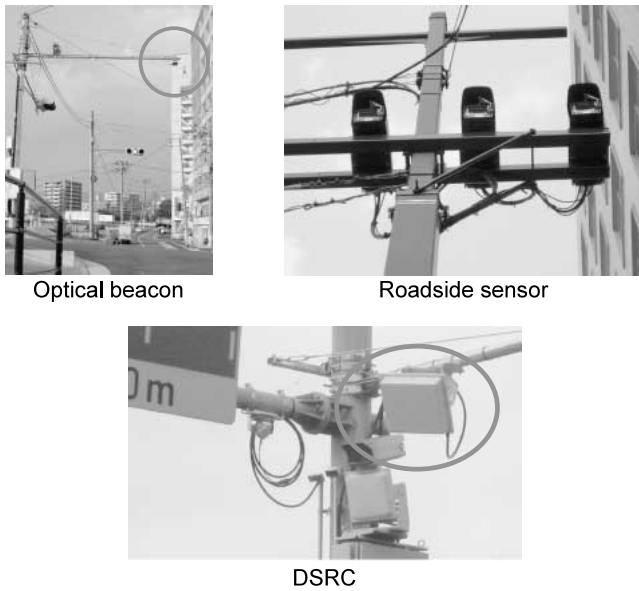


Fig.4 Roadside Units Equipped on the Public Road

(2) 信号待ち車両追突防止支援システム (広島市中区：新明治橋～住吉町交差点)

a) システム概要

Fig.5に示すアーチ型の橋梁に起因した見通し不良の交差点に滞留する停止・低速車両の存在情報および信号現示情報を路側通信機により事前に車両に伝達し、追突事故防止を支援する。

b) 実験機器

実験機器は、滞留車両群の長さを検知する画像式車両検知機、光ビーコン、DSRCで構成される。

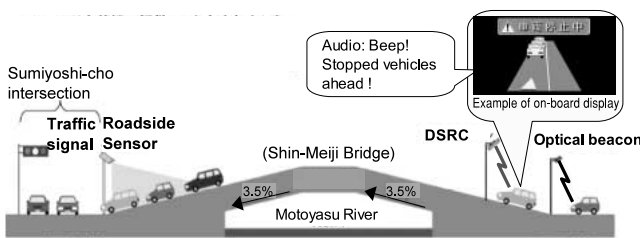


Fig.5 Support System to Prevent Rear-end Collision

(3) 右折時衝突防止支援システム (広島市南区：平野橋東交差点)

a) システム概要

Fig.6に示すような路面電車の軌道を有する大交差点における右折待ち車両に対して、路面電車や対向車両の接近情報、および右折後の横断歩道付近の歩行者・自転車の存在情報を伝達する。これらを適切なタイミングでドライバーに情報提供することで、交差点入り口と交差点出口の広範囲な安全確認を同時に行うことができ、ドライバーの負担軽減と右折時の事故防止が図れる。

b) 実験機器

実験機器は、対向直進してくる車両を位置・速度を検出する車両検知センサ、横断歩道や待機エリアに存在する歩行者や自転車の存在を検知する歩行者センサ、後方から接近する路面電車を検知するセンサ、光ビーコン、DSRCで構成される。

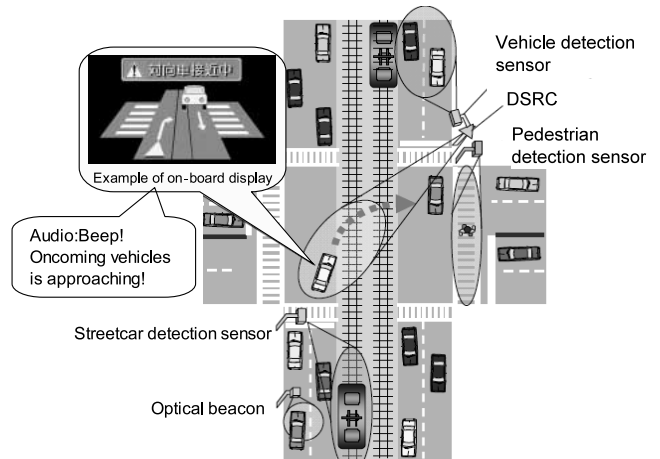


Fig.6 Support System to Prevent Right-turn Collision

(4) 渋滞末尾追突防止支援システム (国道2号観音高架橋)

a) システム概要

Fig.7に示すような渋滞が多発する見通しの悪い単路において、カーブ先の死角に滞留する渋滞車両をインフラセンサが検出し、接近する車両に情報を伝達する。車両ではその情報と自車挙動に基づき危険を判定してドライバーに注意を喚起する。

b) 実験機器

機器は、渋滞車列の長さを計測する赤外線カメラ、光ビーコン、DSRCから構成される。

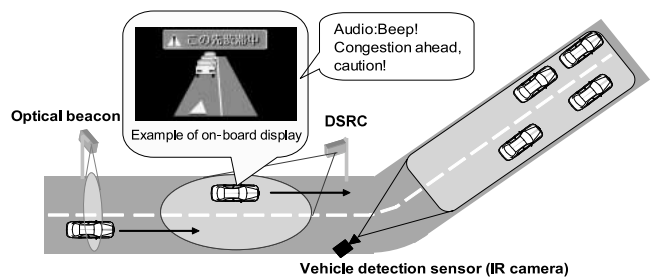


Fig.7 Support System to Prevent Rear-end Collision on Congestion Ahead

3.4 車載システム

車載システムの構成をFig.8に、専用実験車と搭載機器の外観をFig.9に示す。システムは、DSRC車載機、光ビーコンユニット、車載コントローラ、ディスプレイ、スピーカ、車載センサで構成される。DSRC車載機、光ビーコンユニ



ットで受信したデータを、車載コントローラが受け取る。車載コントローラは各サービスの判断アルゴリズムを格納しており、光ビーコン通過時に認識したサービスIDをもとに、所定の判断アルゴリズムを起動させる。判断アルゴリズムは、路側インフラからのデータ、および車載センサからの車両状態量をもとに必要性和タイミングを判断し、画像と音声でドライバへ注意喚起を行う。

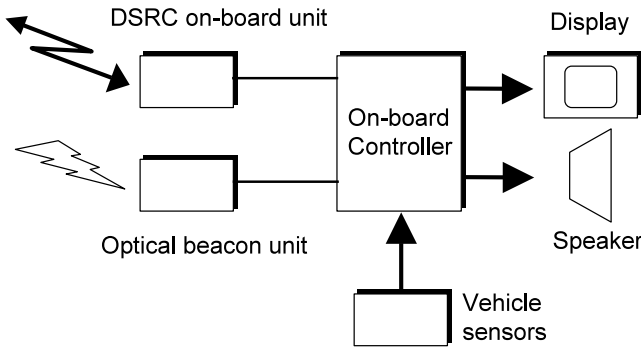


Fig.8 Block Diagram of on-board System



Fig.9 Test Vehicle and on-board Units Appearance

#### 4. 2007年度被験者実験結果

##### 4.1 実験概要

支援システムの事故防止に対する有効性の評価は、注意喚起によってドライバの運転行動がどう変化するかを車載センサと走行画像から定量的に計測する客観評価と、アンケートによる主観評価の二つの方法で行った。

運転行動の変化での評価は、まずシステムによる支援がない状態でのドライバの運転行動データや周辺の交通状況データを計測し、その後、システムによる支援がある状態での運転行動データ、交通状況データを計測する。システムからの支援がない状態では、ドライバへの画面表示や音声メッセージの出力を行わないだけで、システム内部では支援情報を提供するか否かを判断するアルゴリズムは作動している。収集したデータの中から、周辺交通の影響による運転行動データを排除したうえで、支援がない状態とある状態でのデータのうち、システムの判断アルゴリズムが支援情報の提供を行うと判断したデータのみを比較し、「システムがドライバに期待する規範的行動」や、「副次的

に期待される運転行動」について定量的に評価した。

「規範的行動」とは、支援サービスの導入目的や法令順守の視点から、ドライバに確実に求める行動であり、具体的には、一時停止支援であれば「一時停止線の手前で確実に一時停止する」である。一方「副次的な期待行動」とは、リスクの低下に繋がるような慎重な行動のことを指し、一時停止支援であれば「アクセルを早く緩めるようになる」などである。

質問紙を用いたシステムの主観評価は、各被験者ドライバが運転後にアンケート用紙に記入する形式で実施した。

ドライバの運転行動データの収集は、3台の実験車を用い、被験者はシステムの開発に直接関わっていないマツダ社員31名（男性30名、女性1名）である。

##### 4.2 運転行動の変化による分析

###### (1) 出会い頭衝突防止支援システムによる運転行動の変化

###### a) 一時停止見落とし防止支援

一時停止見落とし防止の支援がない状態とある状態での、被験者ごとの停止線手前の運転行動をFig.10に示す。停止している先行車が存在する場合など、解析に無効なデータは除外している。

支援がない状態では一時停止をしない被験者が65%いたが、その一時停止しない被験者のうち82%の被験者は支援がある状態では一時停止を行うようになっており、一時停止見落とし防止支援により8割以上の被験者で運転行動が望ましい行動（規範的行動）に変化した。

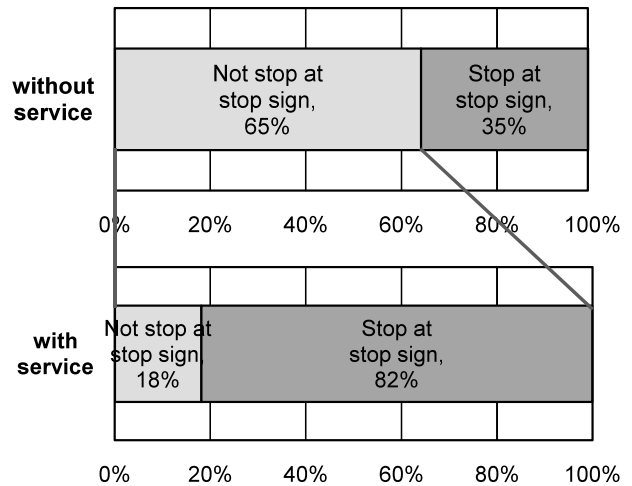


Fig.10 Change in Driver's Stop Behavior

###### b) 交差点合流時の発進時支援

出会い頭衝突防止支援（発進時支援）がない状態とある状態で、全被験者のデータのうち一時停止中に歩行者・自転車が接近し、歩行者・自転車の接近情報の提供がなされる場面において、一時停止を維持した割合をFig.11に示す。

支援なしのとき、歩行者・自転車接近時に一時停止を継続した割合が20%であったのに対して、支援ありのときに

一時停止を継続した割合が56%と増加した。これは出会い頭衝突防止支援システムが、歩行者・自転車接近時に一時停止を継続し、安全確認を行うといったドライバーの確認行動に影響を与えたことを示している。

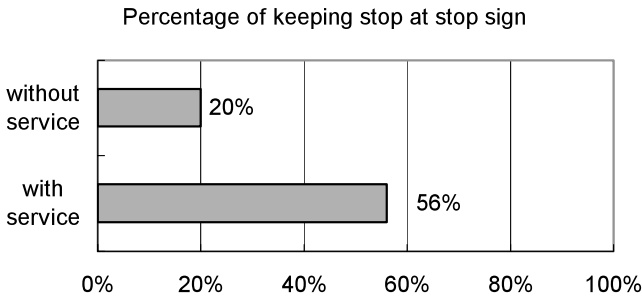


Fig.11 Change in Driver's Start Behavior

(2) 信号待ち車両追突防止支援システムによる運転行動変化  
 支援がない状態とある状態で、解析対象区間の始点と終点における被験者ごとの速度差をFig.12に示す。解析対象区間の始点とは、支援情報が提供された地点を指し、終点とはアーチ型の橋梁の頂上部、つまりドライバーが前方の状態を直接目視確認できる地点のことである。

支援がない状態では解析区間で減速していない被験者が80%いるが、そのうちの63%の被験者は支援がある状態では始点より終点で速度が低くなっており、追突防止支援により運転行動が望ましい行動に変化した。

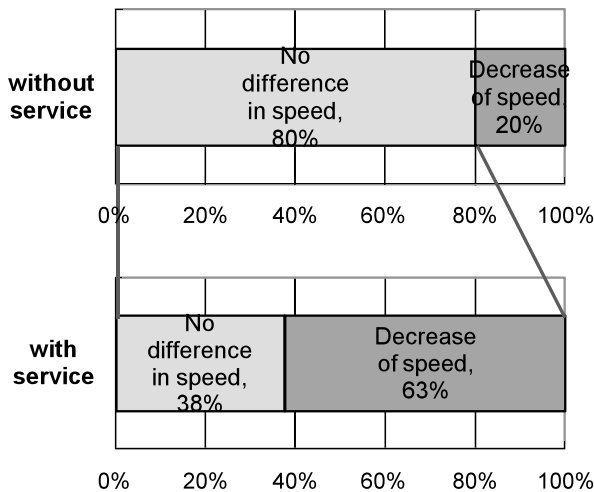


Fig.12 Change in Speed through the Information Provision

(3) 右折時衝突防止支援システムによる運転行動の変化  
 右折時衝突防止支援がない状態とある状態での運転行動に関しては、今回収集したデータでは差が見られなかった。この理由は、本支援システムは対向直進車が接近している状況や右折先の横断歩行者がいる状況で右折を行う際に運転行動が安全よりに変化することが目的であるが、2007年度の実験では支援のあるなしに関わらず、いずれの被験者

も右折矢印信号が表示されてからや対向直進車がまったくいない状況で右折を行っていたためである。ただし、2008年度の一般車両によるモニタ実験では支援がない状態において対向直進車が接近中に右折を開始している被験者が複数いるため、2008年度の実験結果を分析することで運転行動の変化を明らかにする。

(4) 渋滞末尾追突防止支援システムによる運転行動の変化  
 本システムは2008年にインフラ機器の設置、運用を開始した。2008年度の実験結果を分析することで運転行動の変化を明らかにしていく。

4.3 ドライバへのアンケート結果

ドライバーの安全運転を支援することがシステムの第一目的であるが、システムによる情報提供がドライバーにとって理解しづらいものであれば効果を発揮できない。そこで実験に参加した被験者に対し、各支援システムで提供された情報の意味が正しく理解できていたか、情報提供タイミングは適切であったか、情報提供を煩わしく感じたかなどヒューマン・マシン・インタフェースの適切さを評価するアンケートを実施した。

これらのアンケート結果例をFig.13からFig.16に示す。

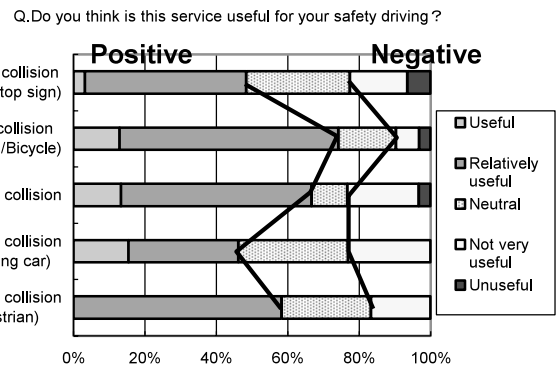


Fig.13 Query Result "Useful for Safety Driving"

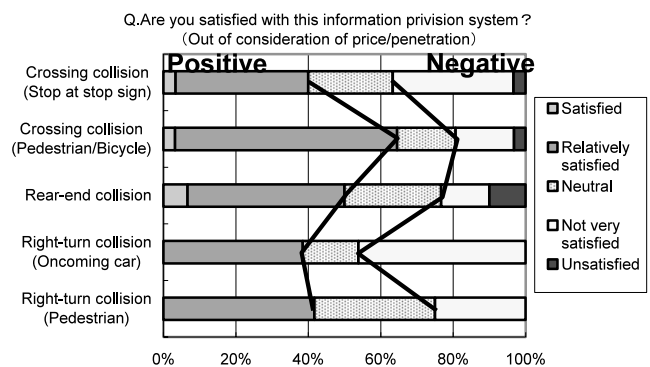


Fig.14 Query Result "Satisfaction"

アンケートの結果から、本支援システムはドライバーにとって安全運転に役立つと好意的に思われている割合が多いが、今回の実験で体感した情報提供は各ドライバーにとって十分満足できるレベルではないことが分かった(Fig.13, 14)。

この理由の一つとして情報が提供されるタイミングがドライバにとって適切でないということが考えられる。この提供タイミングについて聞いた質問では、一時停止支援は約半数が早いという回答であり、右折対向車との衝突防止支援では約半数が遅いという回答であった (Fig.15)。支援内容や周囲の交通環境の違いにより、ドライバにとってより適切な提供タイミングを設定していく必要があることがわかった。この結果は2008年度の一般モニタ実験に反映し、情報提供の最適なタイミングについて更に検討を進めている。また、情報提供の煩わしさについての質問では、初めて情報を提供された時点で煩わしいと感じた人が約40%であったのに対し、3回から5回情報提供を体験した後では約67%が煩わしく感じるようになったと回答している。これらの結果を踏まえてドライバにとって理解しやすいが煩わしくない情報の提供方法について、様々なヒューマンインターフェースで検討を進めている (Fig.16)

2008年度のモニタ実験は、2007年度の実験に比べ実験期間が長期間であるため、支援システムを長期使用することによる煩わしさや慣れ、提供される情報やシステムへの過信についての詳細な調査を実施している。

### 5. おわりに

インフラ協調安全運転支援システムの開発は、2010年からの運用開始に向けて、各地域や各企業・団体の実証実験の結果が反映されて加速していくと思われる。広島地区での実証実験では、2007年度はシステムの支援によりドライバが自ら望ましい運転行動をとるようになることを明らかにし、システムの有効性が確認できた。2008年度のモニタ実験では、情報提供方法の改善や支援システムを長期間使用することによる慣れや煩わしさ、システムへの過信や依存を詳細に分析し、実用化に向けた技術開発に生かしている。今後はインフラからの情報だけでなく、車両搭載の環境認識センサの情報や地理情報を総合的に判断することで、より高度でお客様にとって価値の高い安全運転支援を実現するシステムを開発していく所存である。

#### 著者



岡崎俊実



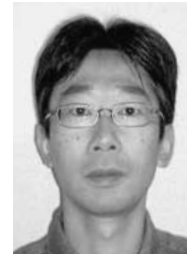
藤原由貴



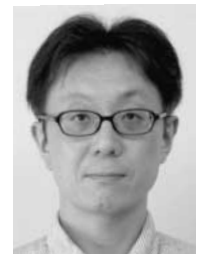
山田直樹



山田秀行



山崎慎也



石橋基範

Q.Information provision timing

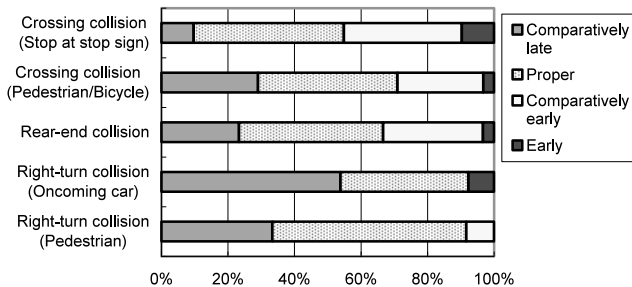


Fig.15 Query Result “ Information Provision Timing ”

Q.When you received the stop information, Did you feel it was annoying ?

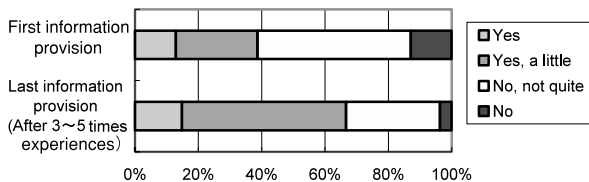


Fig.16 Query Result “ Annoyance of the Information ”

特集：新型マツダアクセラ

8

## 新型マツダアクセラの紹介 Introduction of All-New Mazda Axela

前田 剛 享<sup>\*1</sup> 永柄 邦 次<sup>\*2</sup> 岡 沢 恭 久<sup>\*3</sup>

Yoshiyuki Maeda Kunitsugu Nagae Yasuhisa Okazawa

前 田 俊 和<sup>\*4</sup>

Toshikazu Maeda

### 要 約

Cカーのクラスに新しい風を吹き込んだ初代アクセラ（海外名：Mazda3）は、ダイナミックなデザインとクラスをリードするダイナミックパフォーマンスでカスタマーの期待を超え、マツダの全販売台数の約3分の1を占めるブランドを代表するグローバルカーとなった。自動車を取り巻く環境が大きく変わる中、新型アクセラのダイレクションを「再び世界のカスタマーの期待を超える」とし、世界中で高い評価を得た初代アクセラのスポーティな走りを進化させ、見る・乗りこむ・走るといったクルマと接するあらゆる場面でドライバの「爽快感」を極めることをキーワードに、大きなチャレンジに挑戦した。

表情の豊かさと動力感を強調した、よりエモーショナルなデザイン～Expressive & Dynamic Design ドライバとの一体感を極めた、俊敏さと安心感に溢れる走り～Sophisticated Driving Performance サステイナブルZoom-Zoomが息づく、充実の環境・安全性能～Sustainable Technology & Advanced Safety の三つのキーバリューを武器に全ての要素を徹底的に磨き上げ、「ドライバの感性を揺さぶり、走りの興奮と上質感で走りの爽快感を極めたエキサイティング・スポーツコンパクト」、それがマツダブランドを代表する新型アクセラである。

### Summary

The first Axela that breathed new life into C-car class vehicle exceeded customers' expectation with its dynamic design and class leading dynamic performance and became a brand-representative global car selling approximate one third of total Mazda sales volume. Although the global industry climate has been changed dramatically, we set the new Axela's direction to "exceed the customers' expectation all over the world ONCE AGAIN." We evolved the original Axela's globally acclaimed sporty and dynamic performance using key phrase "exhilarating feel" for the driver. The key phrase was applied to the all aspects of the car including situations such as seeing the car, getting onto the car, and driving the car. That is we attempted an ambitious challenge.

We set the three key values. 1) Expressive & Dynamic Design ~ More emotional design emphasizing richness in expression and dynamism. 2) Sophisticated Driving Performance ~ Agile driving performance providing the driver with rich comfort and ultimate feel of oneness with the car. 3) Sustainable Technology & Advanced Safety ~ Enhanced environment and safety performance where sustainable Zoom-Zoom is strongly alive. All the factors related to these three key values were thoroughly refined and realized as "Exciting sports compact car that inspires driver's sensitivity and culminates in driver's exhilaration with its inspirational and quality drive." That is the New Axela representing the Mazda brand.

### 1. はじめに

初代アクセラ（海外名：Mazda3）は、マツダの全販売台数の約3分の1を占めるブランドを代表するグローバルカーとして、これまでに100カ国以上で合計約180万台が販売され、90を超える自動車賞を獲得している。その魅力の核はダイナミックなデザインとクラスをリードするダイナミックパフォーマンスで、このクラスに新しい風を吹き込み、販売を伸ばした。すなわち、カスタマーの期待を超えるモ

デルだったといえる。

一方、自動車を取り巻く環境は大きく変わった。成熟市場ではカスタマーの価値観が多様化するとともに、中国、ロシア、東欧など新興市場が台頭してきた。また、人々の環境や安全に対する意識も高まってきた。

このような状況下においても新型アクセラの目指すゴールを不変とした。すなわち、「再び世界中のカスタマーの期待を超える」ことを目指して大きなチャレンジをスタートした。

\*1~3 プログラム開発推進本部  
Program Management Div.

\*4 商品企画部  
Product Planning Dept.

## 2. 商品コンセプト

「再び世界中のカスタマーの期待を超える」ことを実現するために最初に行ったことは初代アクセラの成功要因と改善ポイントを徹底的に探ったことである。アメリカやヨーロッパのマーケット分析だけでなく、直接ディーラーやカスタマーにヒアリングを行い新型アクセラの商品コンセプトを練った。

結果、新型アクセラの商品コンセプトを「ドライバの感性を揺さぶり、走りの興奮と上質感で走りの爽快感を極めたエキサイティング・スポーツコンパクト」とし、世界中で高い評価を得ている初代アクセラのスポーティなデザインと走りを進化させ、見る・乗りこむ・走るといったクルマと接するあらゆる場面でドライバの「爽快感」を極めることをキーワードとし、全ての要素を徹底的に磨き上げた。

具体的には次の三つのキーバリューに対し、商品力の飛躍的な向上を図った。

Key Value#1：表情の豊かさと動力感をより大胆に強調した、エモーショナルなデザイン～Expressive & Dynamic Design

Key Value#2：ドライバとの一体感を極めた、俊敏さと安心感に溢れる走り～Sophisticated Driving Performance

Key Value#3：サステイナブルZoom-Zoomが息づく、充実の環境・安全性能～Sustainable Technology & Advanced Safety

## 3. 商品特徴

新型アクセラの商品の特徴を、三つのキーバリューに沿って述べる。

### 3.1 Key Value #1：Expressive & Dynamic Design

#### (1) デザインコンセプト

新型アクセラのデザインコンセプトを「アイデンティティの継承とエクスペシブ（表情の豊かさ）への進化」とした。マツダのアイデンティティを確立した初代アクセラのマツダらしい「ダイナミックでスポーティ」な表現を継承しながら、「エクスペシブ」をキーワードとし、表情のゆたかさと躍動感を大胆に取り入れることによりエモーショナルなデザインへと進化させた。

#### (2) エクステリアデザイン

新型アクセラも前モデル同様、5ドアハッチバックと4ドアセダンの二つのボディタイプをラインナップした。

欧州の競合車は強いファミリーフェイスでブランドの明確化を表しており、新型アクセラもマツダの存在感とブランド構築のために、判りやすく強い印象を与える新たなファミリーフェイスを採用した。2007年ショーカーの“流雅（リュウガ）”に通じる大型ファイブポイントグリルにより、ロー&ワイドを表現し、マツダのデザインDNAであるセンターフォーカスとスポーティさを際立たせた。

サイドビューはダイナミックでスポーティさを新しい表現で行うため、力強いフロントフェンダと伸びやかなキャラクターラインをデミオやアテンザから踏襲し、マツダのデザイン表現としての一貫性を新型アクセラに与えた。ハッチバックのサイドシルラインは、よりコンパクトに見せるため、Cピラーに繋がるようにデザインし、セダンのサイドシルラインは、洗練された伸びやかさを表現するためリヤバンパに繋がるデザインとした。

リヤビューはハッチバックでは、ショルダーの張り出しとセンターフォーカスの強調において、前モデルを引き継ぎながらもエクスペシブを大胆に表現し踏ん張り感のあるスポーティなデザインを作り上げた。セダンでは、ショート&ハイデッキのプロポーションを前モデルより踏襲し、アスレチック感とファントムドライブを演出するキャビンを実現し、キャビンからリアデッキにつながるCピラー造形にて洗練さを訴求した。

更に、Mazdaspeed（欧州とオーストラリア向けはMPS）モデルでは、ボンネット中央にインタークーラー用のエアダクトを設け、フロントバンパ&グリル、リアバンパ、リアスポイラと18インチタイヤを専用設定し、新型アクセラのフラッグシップモデルとして最もアグレッシブなスタイリングとした（Fig.1, 2）



Fig.1 Exterior Design : 5Hatchback (L) Sedan (R)



Fig.2 Exterior Design : Mazdaspeed / MPS

#### (3) インテリアデザイン

インテリアのキーワードを「スタイリッシュ、ソフィスティケイテッド、ダイナミック、スポーティ」とした。ダッシュボードはウエイトをセンターから両サイドに移行させ、インテリア空間に広がりを与え、ドライバを包み込む大型集中ディスプレイにより適度なタイト感を表現した。

ドライバがエキサイティングなドライブを存分に楽しめるように、視線移動と手の動きを連動させたデザインテーマにすることで、機能と調和したスタイリッシュでダイナ

ミックなインテリアを実現した。メータイルミネーションはレッドとブルーの組み合わせとして、マツダ共通のスポーツ表現とした ( Fig.3 )

また、Mazdaspeed/ MPSモデルでは室内全体をブラック基調としながら、専用のデコレーションパネルと赤いグラフィックのシート、ドアトリム、並びに赤ステッチをデザインし、ドアを開けた瞬間に心が沸き立つインテリアとした。



Fig.3 Interior Design

3.2 Key Value #2 : Sophisticated Driving Performance

(1) 一体感と安心感を高めたドライビング環境

新型アクセラでは、ドライバが安心して運転に集中でき、見て、触れて、操作するたびにファントムドライブへの期待感が高まる一体感と安心感に満ちた運転環境を追求した。

先進のヒューマン・マシン・インターフェイスを実現するために、運転席にゾーンレイアウトcockピットの考えを取り入れた。スピードメータや新採用したマルチ・インフォメーション・ディスプレイ ( MID ) など走行に必要な情報を自然な視線移動で視認できる位置に配置するとともに、オーディオスイッチやシフトノブ、パーキングレバーをドライバが操作しやすい位置に配置し、安全かつ安心して運転に集中できる環境を実現した。

また、MIDのコンテンツの一つとして北米及び欧州向けにコンパクトナビゲーションシステムを採用した。ステアリングスイッチによる操作と視認しやすい位置に高輝度・高精細の4.1インチディスプレイを配置することで、走行中でも安全確実に操作・確認できるようにした。

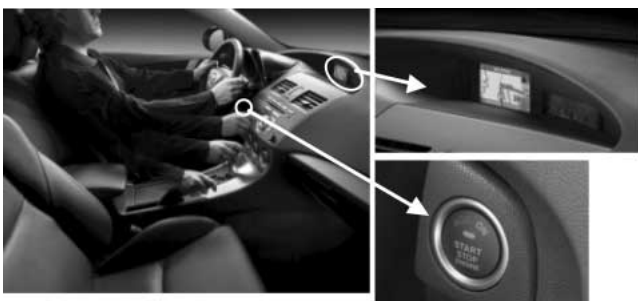


Fig.4 Driving Environment

更に、インタラクティブ・ライティング・コントロールやアドバンストキーレスエントリー & プッシュボタンエンジンスタートシステムなどクルマとの一体感を演出する装備を設定した ( Fig.4 )

(2) 爽快な走りを実現するパワートレイン

新型アクセラでは、パフォーマンスと燃費を両立したパワートレインをコアモデルに設定するとともに、クラストップレベルのパフォーマンスを持ったパワートレインを上位モデルに設定した。また、Mazdaspeed/ MPSモデルで“Zoom-Zoom”の先鋭化を図った。

各主要マーケットでのパワートレインのラインナップは以下の通り ( Table 1 ) で、代表的なエンジンを紹介する。

Table 1 Powertrain Lineup

Japan	FF	CE	Core Grade	1.5L	CVT
			High Grade	2.0L DISI i-stop	5AT
			Mazdaspeed/MPS	2.3L DISI TURBO	6MT
	4WD	CE	Core Grade	2.0L	4AT
USA	FF	CE	Core Grade	2.0L	5MT/5AT
			High Grade	2.5L	6MT/5AT
			Mazdaspeed/MPS	2.3L DISI TURBO	6MT
EU	FF	CE	Core Grade	1.6L	5MT
			High Grade	2.0L	5AT
			Mazdaspeed/MPS	2.0L DISI i-stop	6MT
	DE	CE	Core Grade	2.3L DISI TURBO	6MT
			High Grade	1.6L	5MT
			Mazdaspeed/MPS	2.2L (150ps)	6MT
			High Grade	2.2L (185ps)	6MT
Australia	FF	CE	Core Grade	2.0L	6MT/5AT
			High Grade	2.5L	6MT/5AT
			Mazdaspeed/MPS	2.3L DISI TURBO	6MT

 New

- ① 新型アクセラにふさわしい、エモーショナルでスポーティなパフォーマンスフィールを提供するために、北米向けMazda6で採用したMZR 2.5LエンジンをUSAとオーストラリアに設定した。前モデルの2.3Lエンジンに比べ、出力とトルクの向上に加え、エンジン制御にトルクベース制御を導入しリニアな走り感を実現した。また、Mazda6に比べてアクセルに対するスロットルの開きを大きくし、シフトダウンラインも深くすることで、高速段位で粘るシフトパターンとし、新型アクセラのスポーティなキャラクタを際立たせた。
- ② 欧州向けMazda6に搭載されている新開発のMZR-CD 2.2Lディーゼルエンジンを欧州に設定した。特に185PSパワーエンジンはギアレシオを低速化することで低中速から高速までレスポンスの良い加速性能を実現した。アウトバーンへの進入シーンにおいて、アクセルペダル踏み込み直後の加速度特性はクラストップで、その後の加速度特性も競合車を凌駕している。
- ③ 新型アクセラのフラッグシップカーであるMazdaspeed/ MPSモデルに、MZR 2.3L DISI TURBOを搭載し、このクラスのFFスポーツコンパクトとして世界最高レベルのパフォーマンスを実現した。エミッションや燃費性能も改善し、前モデルに続き競合車を凌駕するレベルにある。

(3) 洗練されたスポーティな走りへと進化したシャシー & ボデー

エンジンパフォーマンスを最大限に発揮させるために新型アクセラのダイナミクス性能のダイレクションをヨーロッパのプレミアムゾーンにセットした (Fig.5)。その実現のためにサスペンションとボデーの剛性改善を行い、ステアリング/ハンドリング性能と乗心地、ロードノイズ性能を向上させた。

① サスペンションの基本システムはフロントにマクファーソンストラット式、リヤにマルチリンク式を採用し好評の前モデルのシステムを継承した。新型アクセラではステアリングの正確な応答とリニアリティ、並びにロールコントロール性とフラットライドの向上を目指し、サスペンションに以下の変更を加えた (Fig.6)。

フロントサスペンション

- ・ステアリングギヤボックスの3点マウント化
- ・フロントスタビライザの取り付けピッチの拡大
- ・フロントサスクロスタワーの断面拡大
- ・サスクロスマウントブッシュ特性の最適化

リヤサスペンション

- ・リヤサスクロスメンバの形状最適化
- ・リヤスタビライザの取り付けピッチの拡大

② サスペンションの性能を余すところなく発揮させるためにそれを受け止めるボデーシェルの剛性を高めた。ボデーの静的剛性・動的ねじり剛性に加え、新型アクセラでは、よりストレスのかかる部位を重点的に強化する局部剛性の向上に注力した。具体的には、ボデーの各コーナー部やドア、リフトゲート開口部の結合剛性強化とフロント、リヤサスペンション取り付け部周りの補強を行った。ドア、リフトゲート開口部はスポットウエルド (溶接) により接合強化を行い剛性と車体ヒステリシスを向上させた。また、入力が大きくかかるフロント・リヤサスタワー部は構造用接着剤 (ボンド) で結合を強化した (Fig.7)。

これにより、ステアリング/ハンドリング性能とフラットライドを高次元で実現した。更には制振材の最適配置や遮音対策によりロードノイズ性能を前モデルから大幅に改善するとともにクラストップレベルを達成した (Fig.8)。

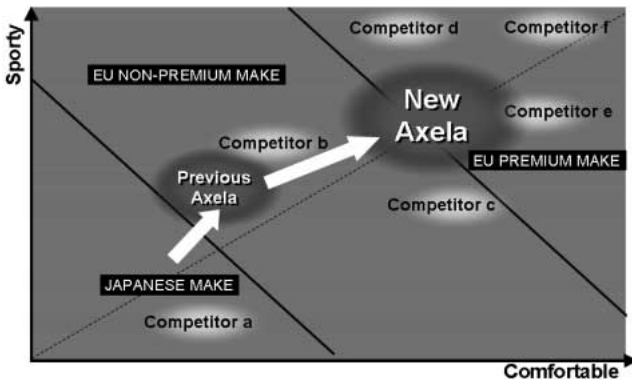


Fig.5 Performance Target

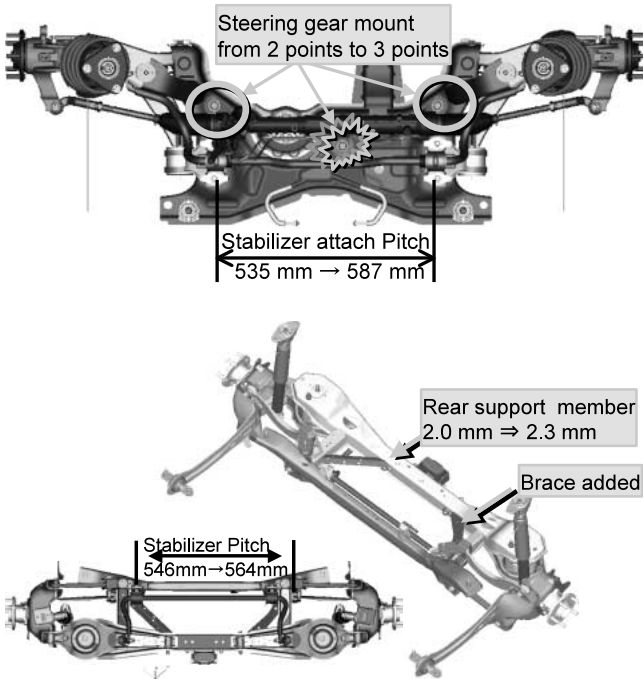


Fig.6 Improvements of Suspension

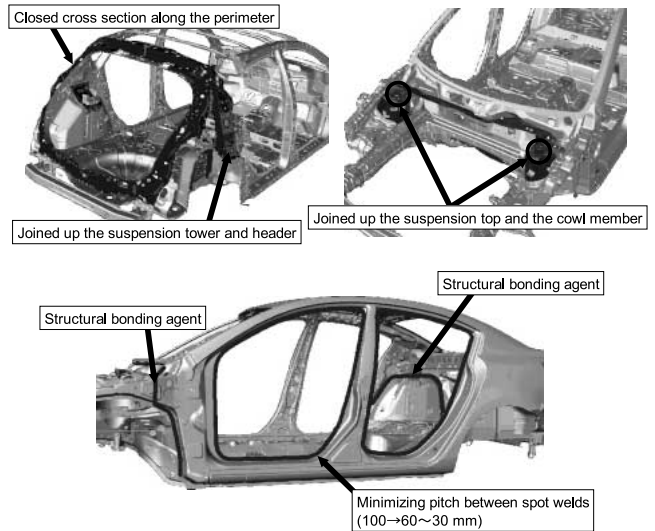


Fig.7 Improvements of Body

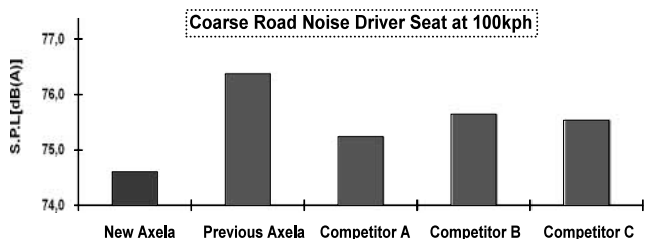


Fig.8 Road Noise



3.3 Key Value#3 : Sustainable Technology & Advanced Safety

新型アクセラでは燃費改善やCO<sub>2</sub>の排出量を削減するために、空力性能の改善と軽量化技術を駆使し、その上でニューパワートレインに新しい環境技術を織り込んだ。

(1) クラストップレベルの空力性能

新型アクセラではラジエーターやエンジンルームなどの冷却に必要な量だけの空気をグリルから取り込み、残りの空気を車両後方にスムーズに流すことで空気抵抗を大幅に低減した (Fig.9)。

従来の車はグリル開口の大きさに応じて空気を取り込むため、多くの空気を抵抗として受け空力性能に対しロスを生じていた。これに対し、新型アクセラでは最も空気を取り込みやすい位置にグリル開口を配置、取り込んだ空気をバンパに内蔵されたエアダクトによってラジエーターやエンジンルームに無駄なく送り込むことで、前モデル比較で約80%まで低減したグリル開口面積を実現した。フロントグリルから必要な量の空気だけを取り入れることで抵抗悪化を避け空力性能を向上させた。

一方、空気の流れを後方にスムーズに流すために、アッパーボデーにまわりこむ気流をコントロールした。具体的にはフロントバンパのエッジ部やAピラー、並びにリアコンビランプの形状も気流の剥離を考慮して設計した。また、アンダーボデーでは、ラウンド型フロントタイヤディフレクターによりエアフローを整え、センターフロアカバーやリアバンパ下カバーを設定して気流を後方にスムーズに流した。

その結果、欧州仕様モデルのCd値は、4ドアセダンが0.28、5ドアハッチバックが0.30となりクラストップレベルを達成した。なお、このように空気の流れをマネジメントすることは燃費性能の向上だけでなく、クラストップレベルの風騒音性能や高速安定性にも大きく貢献した。

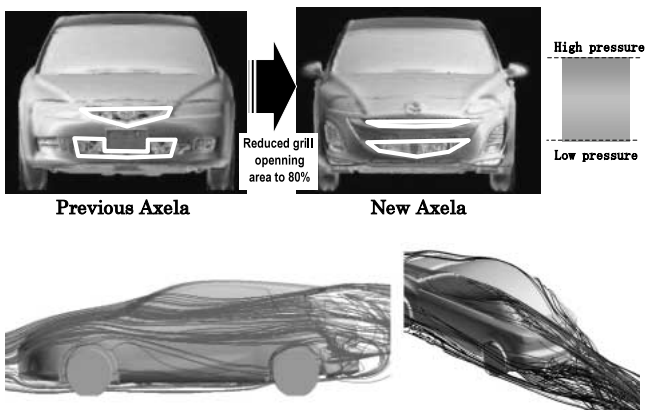


Fig.9 Air Flow Management

(2) 徹底した軽量化の取り組み

新型アクセラでは、ボデーサイズの拡大、エミッション規制や衝突性能の向上、そしてダイナミック性能と快適性を高めたことにより、本来質量アップとなるところを、高

張力・超高張力鋼板の採用、基本構造の見直しや部品形状の変更など様々な軽量化技術を駆使し質量増加を抑えた。

具体的にはボデーシェルのハイテン材の比率を大幅に見直した。前モデルと比較し新型では590MPsのハイテン材の使用率を大幅に増やすとともに特別な成型方法で作られるホットスタンプという1,480MPsの超高張力鋼板をバンパレインやサイドインパクトバーに採用し、ボデーシェルで約11kgの質量セーブを実現した。また、インストルメントパネルの骨格構造やリヤサスペンションの最適化検討により約3kgの質量セーブを行った。

更には、衝突性能やダイナミック性能にかかわる構造部材や部品間の接合方法の徹底的な見直しを行い、車両トータルで前モデルに比べ約15kgの質量セーブを実現した (Fig.10)。

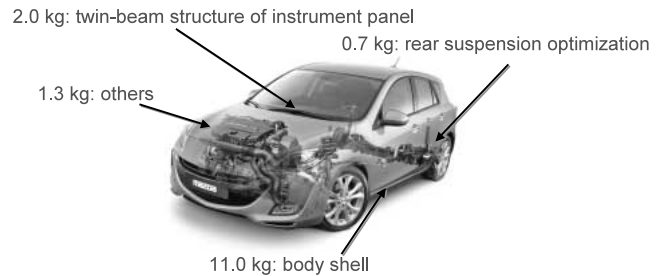


Fig.10 Weight Saving

(3) 環境と調和したパワートレイン

新型アクセラでは先に述べた空力性能の飛躍的改善と軽量化の取り組みに加え、環境技術を織り込んだ新型エンジンと新型トランスミッションを採用した全てのパワートレインで前モデル以上の燃費性能の向上とCO<sub>2</sub>削減を実現した (Fig.11)。以下に代表的なエンジンを紹介する。

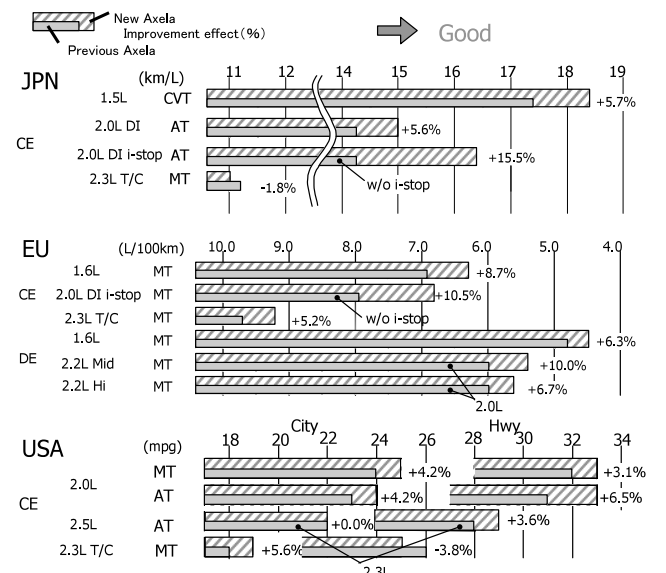


Fig.11 Fuel Economy



- ① Stage5に対応した新型MZR-CD 2.2Lディーゼルエンジンを欧州に設定した。前モデルから10%以上の大幅な燃費向上を実現し、出力性能、燃費性能、静粛性においてクラストップレベルの高性能クリーンディーゼルエンジンを開発した。
- ② 世界初の燃焼再始動方式によるマツダスマートアイドルリングストップシステムであるi-stopを備えたMZR 2.0L DISIエンジンを欧州と日本に設定した。一定走行後、ドライバーが車両を停止させた場合に自動的にエンジンを停止させ、発進時に自動的にエンジンを再始動させることで燃費性能を向上させた。再始動時には、燃料をシリンダ内に直接噴射することで、従来車に比べエンジン再始動までの時間が大幅に短縮され再始動時の振動やノイズも小さいためストレスなく車を前に進めることが可能となった (Fig.12)

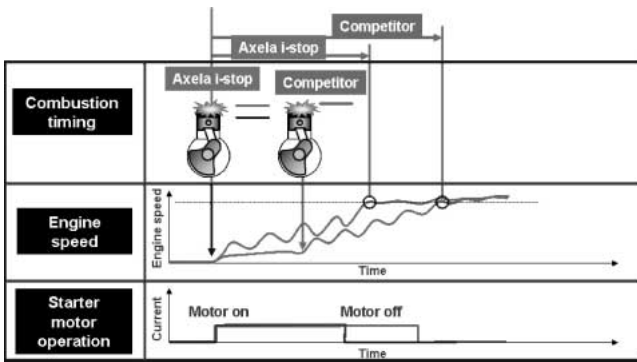


Fig.12 Axela i-stop

- ③ CVTをMZR 1.5Lエンジンと組み合わせて日本に設定した。CVT特有の無段階変速の特徴を活かして走行条件に応じて任意のブリー比を設定することにより、スポーティな走りや低燃費を両立した。キャリブレーションにおいてもDレンジの車両停止状況において自動的にニュートラルアイドル状態に近づくことでエンジン回転数を下げたり、ロックアップ領域の低速側拡大により燃費を向上させた。
- ④ シングルナノテクノロジーを活用した世界初の自動車用触媒をMZR 2.0L DISI, MZR 2.0L, MZR 2.5L, MZR 2.3L DISI TURBOエンジンのアンダーフロアキャタリストに採用した。5nm (ナノメータ) 以下の非常に小さな貴金属粒子を触媒材料に埋め込むことで劣化状態でも浄化作用が維持でき、希少な貴金属の使用量を70~90%削減することが可能になり省資源化に貢献した。

(4) 先進の安全性

新型アクセラは万一の事故の際にドライバーの被害を軽減するパッシブセーフティ技術の向上に加え、事故防止や危険予知をサポートするアクティブセーフティ技術に注力し、安心感に包まれた爽快なドライビング環境を提供した。事故防止のために「走る・曲がる・止まる」の基本性能

を向上させるとともに、ABSの標準化やDSC (ダイナミックスタビリティコントロール) の展開拡大などドライバーの安全走行をサポートする機能を充実させ、衝突回避能力を高めた。更に、車両の全方位において危険認知能力を高めることに注力し、旋回式アダプティブ・フロントライティング・システム (AFS) 付バイキセノンヘッドランプ (Fig.13), リアビークルモニタリングシステム (Fig.14), エマージェンシーストップシグナル, 広角バックモニタカメラ (Fig.15) など、先進のアクティブセーフティ技術を導入した。

パッシブセーフティにおいても、トリプルH構造の高剛性・安全ボデー “MAGMA” や新採用した運転席ダブルブリテンション&デグレッシブLLR付きシートベルト, アクティブヘッドレストや最大6個のエアバッグシステムなどにより各市場においてベストインクラスの性能を実現した。

AFS effectiveness in lighting corners

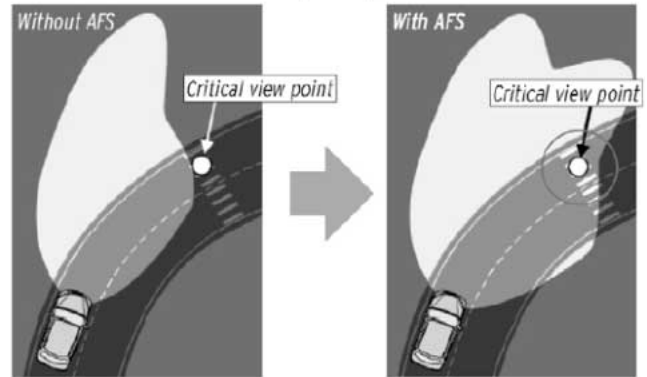


Fig.13 Adaptive Front-lighting System (AFS)

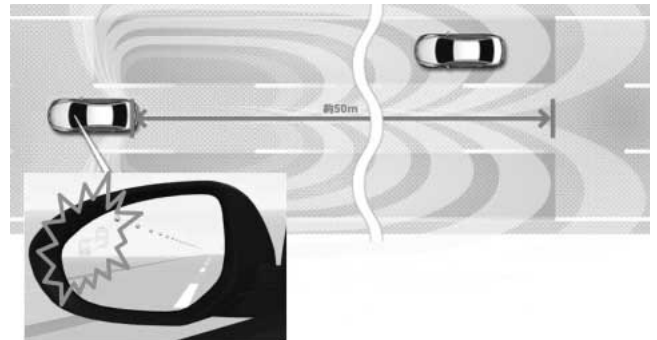


Fig.14 Rear Vehicle Monitoring System

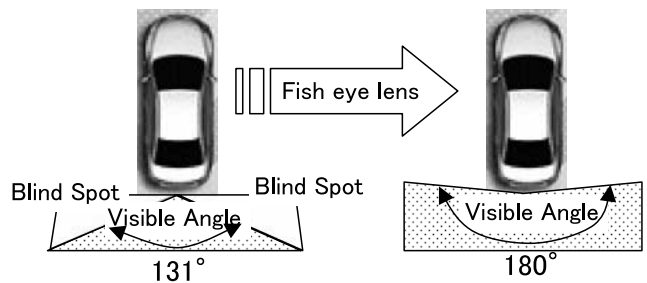


Fig.15 Back Monitor Camera

#### 4. その他の主要装備

新型アクセラに導入した先進の快適装備を紹介する。

(1) 左右独立温度コントロールを備えた空調システム

前モデルに対し20%大型化した熱交換器や120ccから180ccに容量アップしたコンプレッサ、そしてベンチレーションからの風量を430m<sup>3</sup>/hから500m<sup>3</sup>/h（US仕様は550m<sup>3</sup>/h）に大風量化することで、クラストップレベルの冷暖房性能と静粛性を実現した。更に運転席と助手席それぞれで温度調節が可能な左右独立温度コントロール空調システムを装備した。

(2) Bose<sup>®</sup>プレミアム・サラウンドシステム (Fig.16)

10個のスピーカ構成と最新のBose<sup>®</sup>デジタルアンプを駆使した新型アクセラ専用チューニングを行った。音の定位感が向上し、クオリティの高いサウンドがどの座席からでもバランス良く楽しめ、エンターテインメントと快適性を提供する。ドライブ中の音の聴きやすさを追求するBose<sup>®</sup>のデジタルアンプ技術により、小さい音でも聴きやすく、大音量でも歪まないサウンドを実現した。また、さまざまな走行ノイズの変化に対して、聴きやすさの自動補正が行われるBose<sup>®</sup>の独自技術、AUDIOPILOT™2を搭載した。更に、2チャンネル録音のCDを臨場感溢れるサラウンド・サウンドとして再生することができる、特許技術「Bose<sup>®</sup> Centerpoint<sup>®</sup>」を装備した。このように高価なアフターマーケット製品でも手に入らない高い水準のプレミアムオーディオサウンドを装備した。

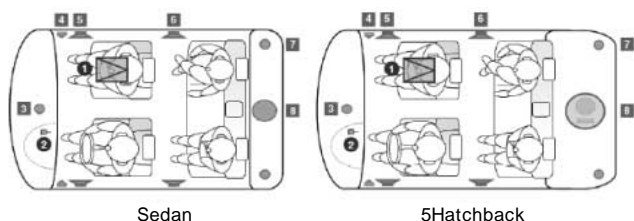


Fig.16 Bose<sup>®</sup>Premium Sound System

(3) Bluetooth<sup>®</sup>オーディオ/ハンズフリーシステム

市販のBluetooth<sup>®</sup>オーディオプレイヤーを車内のオーディオシステムに無線（Bluetooth<sup>®</sup>）で接続し、車両のオーディオパネルやステアリングスイッチ操作で音楽を再生できるBluetooth<sup>®</sup>オーディオシステムを北米/欧州/オーストラリア向けに装備した。またBluetooth<sup>®</sup>機能付の携帯電話とコードレスで接続し、ハンズフリー通話することも可能にした。

(4) 機能をより高めた充実のシート

前モデルに対しシートクッションを拡大しシートバックを延長するとともに、ボルスタをシート内側に寄せ剛性を上げることでクラストップレベルのフィット性能とホールド性能を実現した。また、三つのシートポジションを記憶できるメモリー付きパワーシートの採用により利便性を高

めた。更には5段階のシートヒータースイッチによりきめ細かな温度調節を可能にするとともに、サーミスターを使った温度制御方式により狙いの温度に対して安定した温度制御を実現した。

(5) ヒーティッドウィンドウシールド

寒冷地である北欧、ロシア向けにニーズが急増しているヒーティッドウィンドウシールドを欧州向けに装備した。これはフロントウィンドウの合わせガラス中間膜に極細フィラメントを設置し、空調コントロールパネルにあるスイッチ操作でフロントウィンドウを40 - 60 まで加熱することで、ウィンドウ上の凍結をすばやく解氷することを可能にした。

このようにCカーのクラスとしては他に類を見ないほどの充実した装備を揃えた。

#### 5. おわりに

現在自動車環境を取り巻く環境は極めて厳しい状況にあるが、マツダは、独自の視点でスポーティな走りと環境を調和させていき、魅力あるクルマをこれからも創り続けていく。そしてこの新型アクセラがその先がけとなることを確信している。是非、新型アクセラの魅力を体感してください。

著者



前田剛享



永柄邦次



岡沢恭久



前田俊和

特集：新型マツダアクセラ

9

## 新型マツダアクセラのデザイン Design of All-New Mazda Axela

栗栖 邦彦\*1  
Kunihiko Kurisu

### 要 約

新型アクセラは、初代の成功を踏まえ、再びカスタマーの期待を超えることを目標とした。そのためには、デザインをどこまで進化させるかが、大きな課題であった。この課題を解決するために、主要市場にて調査を行い、カスタマーがコンパクトカー（以下Cカー）に求める重要な要素を明確にしていった。その検証結果と各拠点のデザインチームの協働により生まれたのが、“ニューファミリーフェイス”と、“エクスプレッシブ”（表情の豊かさ）を共通テーマとしたデザイン展開である。Cカーセグメントの競合は、強い存在感を表現するダイナミックな方向を模索している。その動きの中で、新型アクセラは“Zoom-Zoom”を明確に表し、トップクラスとなることを目指した。

### Summary

We aimed at exceeding customers' expectations once again with the new Mazda 3 given the fact that the outgoing model has been successful. The key was to what extent the design should be evolved. In order to find it out, we conducted researches in markets and clarified what customers really need in compact vehicles ( hereafter called C cars segment ). Combining the clinic result with outputs from designers in branches, we decided to develop expressive designs ( rich countenance ) with incorporation of the family face. Vehicles in the C cars segment have been running toward dynamic directions to enhance strong presences. Under the circumstance, we targeted at expressing “ Zoom-Zoom ” clearly to take the No.1 position.

## 1. はじめに

初代アクセラは、従来のCカーセグメントの概念にとられない車としてデビューし、世界の市場で大いに受け入れられた。マツダのラインナップの中での販売台数は、今や1/3をしめるまでに成長し、重要な戦略車種となっている。Cカーセグメントは世界中で一番生産台数が多く、環境問題からくるダウンサイジング等により、今まで以上に拡大傾向にある。新型アクセラはデミオ、アテンザに続く新世代商品群の第3弾にあたる。初代アクセラの良さを引き継ぎ、新世代商品の統一性を持たせながら“マツダらしさ”をより強めることを意図した。カスタマーに強い情感をもって受け入れられるデザインでありながら、その形状には、機能的な意味を含ませた。

## 2. デザインコンセプト

### 2.1 デザイン基本方針

新型アクセラは初代が目指した“エキサイティング&コンフォータブル”の考え方を踏襲し、より大胆に、力強くスポーティさを増すことを目標とした。カスタマーニーズの高い品質については、優先順位をつけ、触感に至るまでの徹底した品質のコントロールを行った。新型アクセラに与えられたミッションは、

- ① グローバルで再び、カスタマーの期待を超えるデザインを完成させる。
- ② デミオ、アテンザに続く“Zoom-Zoom”を明確に引き継ぎ、一貫性を持たせることでブランド強化を行う。
- ③ Cカーセグメント内でトップクラスの品質を実現する。

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

## 2.2 デザインコンセプト

デザインコンセプトは“エクスペッシブ”を統一コンセプトとした。マツダデザインは現在、2001年からのテーマである“アスレチック”から“Nagare”へ移行期にあたる。自然界のもつ物質の動きからインスピレーションを受け、造形に表情豊かな強い個性を与えることを目的としている。新型アクセラは、デミオ、アテンザと続く一貫性をもたせながら、面やライン、そして塊に表情の豊かさを表現することで、マツダらしい存在感を出すことを意図した。実現のための造形キーワードは“テンション（緊張）& トランジション（変遷）”である。全てのラインは方向性を持たせ、カーブの強さと伸びのあるラインでコントラストをつけ、面は変化していき他の面と自然に溶け込んでいく。この形状は、効率的なエクステリアの風の流れや、心地よいインテリア空間を生む。個性の強い欧州車や、塊感の強い北米市場のデザインに対抗する、大胆さや力強いスポーティさを追求した。これらの表現により、カスタマーのアクセラに対する期待を、再び越えることを狙った。

## 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

初代からの進化度をどうするかが、デザインテーマを決める上で大きな課題であった。解決のため、革新型テーマから進化型テーマまでの幅広い検証を行った。革新型テーマは、初代アクセラから離れ、自由な発想でダイナミック、エクスペッシブを素直に表現した案。進化型テーマは初代の良さを残し、先進的にした案とした（Fig.1）。これらを基に、ターゲットカスタマーを対象にしたクリニックで

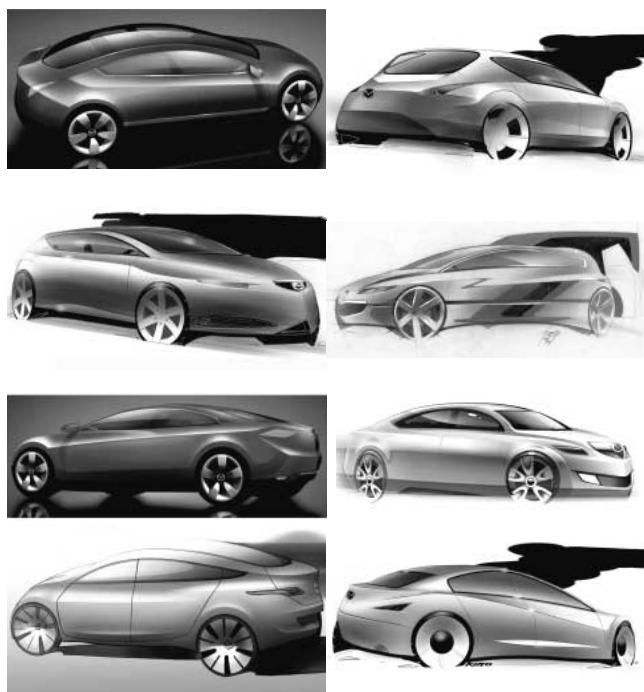


Fig.1 Idea Sketches

の検証結果は、

- ① 5ドアハッチバック（以下5ドア）は機能性とアスレチックが高次元で両立すること、力強いフロントビュー、コンパクトに見えるキャビンが必要。
- ② 4ドアセダン（以下セダン）はスポーティかつ洗練されたハイエンドな存在感が必須であること。

スタイリングを重んじて、これらの要素が弱まると、カスタマーの期待値に反することが判った。5ドアはボールド（大胆さ）、セダンはソフィスティケートド（洗練された）をキーワードとし、上記内容を盛り込んだテーマを追求した。

### 3.2 プロポーションスタディ

カスタマーニーズとして、キャビンはコンパクトに見せながら、機能性も満足させる必要があった。プロポーション決定には重要な、Aピラーの前後位置について検証を行った。Aピラーを前に出しすぎると、インテリアから斜め前方を見た時に、Aピラーによる死角ができ、安心感が失われると同時に、エクステリアから見てもキャビンが大きく見え、きびきび感がなくなってしまう（Fig.2）



Fig.2 Proportion Study

### 3.3 強い進化の表現

#### (1) 初代モデルからの継承点

初代アクセラはグローバルカーとなり、ファミリアから大きな革新を行った。新型アクセラのデザインテーマは、ブランドの定着を狙い、再び大きな革新を行わず“強い進化”とした。5ドアは、台形のCピラーとリヤフェンダの張り出しによる踏ん張り感のあるたたずまいの良さ、セダンはショート&ハイデッキによるタイトなプロポーションが、カスタマーの好評点であり、初代アクセラの強い個性となっている。これらの要素は、50M以上離れた位置からでも認識でき、テーマとして継承した（Fig.3）



Fig.3 1st Axela

## (2) ニューファミリーフェイス

欧州の競合は、強いファミリーフェイスで、ブランドをイメージ付けている。クリニック結果からも、強いフロントが求められた。キーイメージとなったのは、マツダのショーカーの“流雅”である。ポリウームの動きの中に、5ポイントグリルを強調したフェイスは、明確にマツダを表している (Fig.4)

新型アクセラは、上部開口をなくし、下部開口部を5ポイントグリルとして、一つに統合した。重心を低く、ワイ



Fig.4 Ryuga



Fig.5 Center Focus

ドに見せ、ダイナミックでスポーティな印象を与えることを意図した。

## (3) センターフォーカスの追求

5ポイントグリルは単にグラフィック要素ではなく、センターに力を集めること (センターフォーカス) を目的としている。ラインとポリウームの動きを、ボデー全体でセンターフォーカスにすることで、色々な角度から見た時でも、ダイナミックで力強さを与えることを意図した。

センターフォーカスの考え方はリヤ周りにも展開した。リヤ平面でのラウンドを強め、すべてのポリウームの動きをセンターに集め、ダイナミックさを出した。トランク周りは塊の強さを表現するため、ライセンスプレートをパンパに配した (Fig.5)

## 3.4 2種類のボデーデザイン

デミオ、アテンザからの一貫性を持たせるため、力強いフロントフェンダからウエッジさせたキャラクタラインに繋がるテーマを採用したが、5ドアとセダンのキャラクタの違いを表現するため、フロントフェンダから後ろはユニークなデザインとした。5ドアは下回りのラインをCピラーに向かわせることで、コンパクトに見せている。サイドシル上部のハイライトは後部でボデーサイド面に同化していき、リヤフェンダを強調することで、大胆さと力強さを出した。セダンのプロポーションは、ショートアンドハイデッキとし、塊の強さを表現した。ショルダーの面は、後ろに向かうほど緩やかに変化し、キャラクタラインに光と影のコントラストを与えている。ドアの下周りは、リヤパンパに繋がる伸びやかなラインとし、セダンに必要な洗練されたイメージを出した。こうした造形手法により、置かれる環境に応じて、光と影を微妙に変化させていき、面の表情が更に増すことを狙った (Fig.6)



Fig.6 Side Design

## 3.5 エクスペッシブなディテールデザイン

スポーティグレードの17インチアルミホイールは、外側に向かって、面を捻ることで、躍動感と奥行きを出し、大きく見せている。ランプはセンターフォーカスをより強調

する表情豊かなグラフィック構成とし、メッキを効果的に扱うことで、1クラス上の品質感を実現した。カスタマーの関心が高いこれらの部位を、徹底的に創りこむことで、“エクスペッシブ”をより際立たせた (Fig.7)



Fig.7 Expressive of Details

### 3.6 スポーツバージョン エクステリア

フラッグシップモデルとして、マツダスピードバージョンを5ドアのみ設定した。初代アクセラと同様にボンネット、フロントフェンダ、バンパ、リヤスポイラ、ホイールを専用部品とした。初代はあえて大幅な代わり映えを出さない戦略であったが、Cカーセグメントでは、よりダイナミックなスポーティモデルが登場してきている背景から、ノーマルモデルからの差別化レベルを拡大した。新型アクセラはインタークーラー開口をボンネット上部に配し、ラインの抑揚を強調することにより、大幅な代わり映えを出すことを意図した。5ポイントグリルは光沢のあるダークメタリックを塗装することで、ポデーとの一体感を強め、ハイエンド感を表現した。リヤ周りは大型のフローティングタイプのスポイラを設定することで、フロント周りのボリューム感に対応している (Fig.8)

## 4. インテリアデザイン

### 4.1 基本パッケージレイアウト

新型アクセラは、ヒューマンマシーンインターフェースを基に、ゾーンレイアウトコンセプトをインテリアの基本思想とした。この考え方は、表示類は見る頻度によって、適正な位置、すなわち、視線移動の少ない位置に配置することを意図し、シフトやオーディオなどの操作する部位は、腕の動きに沿った適正位置に配置することで、安心して、スポーティな走りを楽しめることを、目標とした。



Fig.8 Mazda Speed Exterior

### 4.2 インテリアデザインテーマ

ゾーンレイアウトコンセプトの考え方を基に、インストルメントパネル (以下インパネ) は、視覚的にも、ドライバーを包み込むように構成し、適度なタイト感を狙った。インパネは、傾斜させ、緩やかに変化していく面構成により、視覚的に前方の圧迫感をなくし、センター部から左右に広がる加飾パネルによって、広がり感のある空間を実現した。

シルバー加飾は低い位置にレイアウトすることで、重心を下げスポーティに見せている (Fig.9)

インパネからリアコンソールにつながるラインは、カーブでつながっている。テンションを持たせたカーブで構成させることで、スタイリッシュなインテリアを実現した。リアコンソールのカーブは、シフトを前側に倒したときのヒーターコントロールノブとの干渉を防ぐ役目も果たしている (Fig.10)



Fig.9 Interior Design Theme

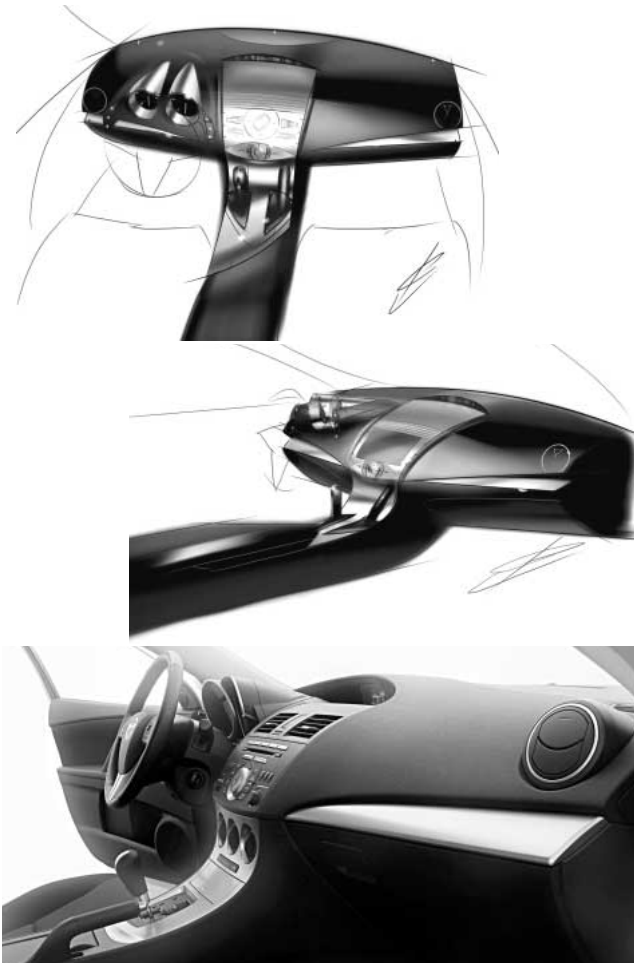


Fig.10 Interior Layout

#### 4.3 品質の表現

欧州市場でのクオリティに対する期待値は、非常に高い。品質を保つための必須要件として4つ定めた。

- ① インパネ上面は柔らかい素材を使う。
- ② 分割ラインは極力、減らす。
- ③ 低い艶で統一する。
- ④ 表面の絞は部位によって使い分ける。

その中で、インパネ上面は一体で成型し、ソフト素材とした。インパネとリヤコンソールの分割ラインは、オーディオ下部までコンソールを延長し、インパネ、コンソール、グローブボックスのシンプルな構成とし、分割ラインを極力減らす配慮を行った (Fig.11)。



Fig.11 Parting Line

#### 4.4 スポーティ表現

メータは筒型とし、奥に赤色の文字とブルーの間接照明を配した。ブルーの間接照明は赤色の文字を際立たせる効果があり、指針は白色としコントラストをつけ、見やすさを配慮した。メータ上部は、反射防止のフードをなくすることで、インパネ上面に軽快さを与えている。

トリムにはグリップタイプのハンドルを左右対称に設定した。ドア開閉時にしっかりとホールドでき、助手席側では、コーナリング時にも、安心して体を固定できる。ドアグリップ形状は手をトリムに置いただけで、自然に握れる形状とし、パワーウィンドウの操作性改善のために、表面を斜め形状とした。夜間には、間接照明にて、スイッチを照らす配慮も行った。

シートは、乗降性とホールド性を両立させたバケットタイプとし、カーブで構成させることにより、インテリア空間に緊張感とリズムカルな心地よさを与えた (Fig.12)。



Fig.12 Sporty Item

## 5. カラー & マテリアル

#### 5.1 エクステリアカラー

ボデーカラーはグローバルで全11色とした。5ドアのテーマカラーはセレスティアルブルー。色の鮮やかさを高め、大胆さを表現した。セダンのテーマカラーはアルミナムシルバー。アルミの含有量を増し、平滑さと輝度を増すことにより、形状がはっきり見え、洗練されたイメージを表現した。マツダスピードバージョンは、ベロシティレッド。鮮やかさの中に、プレミアムフィールの輝きを醸し出した (Fig.13)。





Fig.13 Body Color Line Up

### 5.2 インテリアカラー

インテリアカラーは全3色設定した。スタンダードなブラック，モダンさを狙った欧州向けのグレー，高品位を狙った北米向けのデューンページュである。デューンページュは，大自然が持つ力強さを表現するため，彩度を上げ，赤黄よりの色域とした。黒とのハイコントラストのコーディネートとすることで，スポーティに見えるページュとした (Fig.14)。



Fig.14 Interior Color

### 5.3 スポーツバージョン インテリア

マツダスピードバージョンのインテリアコーディネートは，ドアを開けた瞬間，インパクトを与えることを意図し，赤のグラデーションをテーマとした。黒の中に赤のグラデーションを有機的に入れることで，エクスペリシブを最大限表現し，マツダスピードバージョンの独自性を強く表すことを狙った (Fig.15)。



Fig.15 Mazda Speed Interior

## 6. おわりに

新型アクセラのデザイン開発は，正に地道な積み重ねで，検証と造りこみを繰り返し，トップレベルのデザインを実現することができたと思っている。このことは，デザイナー，モデラー，設計者が根気強く，一つ一つの課題を乗り越えた結果であり，継続が力につながった一例である。

カスタマーのマツダに対する期待の一つはデザインであり，カスタマーの期待を超えるデザインを常に造り続けることが，カスタマーとの深いつながりを維持，継続させられる唯一の道である。今後も，新しいテーマ創造に向けて，邁進する必要がある。新型アクセラのデザイン開発は，将来的なデザイン開発の一つの基盤を構築できたと思うし，自信にもつながったと確信している。

著者



栗栖邦彦



特集：新型マツダアクセラ

10

## 新型マツダアクセラのパッケージング Packaging of All-New Mazda Axela

山内 一<sup>\*1</sup> 高山 雅年<sup>\*2</sup> 齊藤 道雄<sup>\*3</sup>  
Hajime Yamauchi Masatoshi Takayama Michio Saito  
武田 雄策<sup>\*4</sup>  
Yusaku Takeda

### 要 約

初代アクセラは、コンパクトカーとしての基本要件である実用性/快適性と、スポーティでダイナミックなスタイリング/パフォーマンスを両立させ、更に充実した装備と価格との好バランスを実現することにより、発売以来世界中のお客様から熱いご支持をいただいた。

その後継車である新型アクセラを開発するにあたって、私達は初代アクセラのお客様の声を徹底的に分析し、その特長・美点を更に進化させていくことを開発の目標に据えた。

この目標達成の一翼を担うパッケージングについては、アクセラの魅力であるスポーティな感覚、つまり日常生活の中のちょっとしたクルマでの移動（例えば通勤や買い物など）であっても、走ることの楽しさが感じられるような、わくわくするような感覚が実現できるように注力した。本稿では、パッケージング開発の経緯、及び注力点について紹介する。

### Summary

1st generation Axela realized practicality / functionality, compact car's basic requirements, and sporty and energetic styling / performances, together with well-balanced price and improved equipment, to be enthusiastically supported by global customers since its introduction.

In developing All-New Axela, we first thoroughly analyzed customer's voice and set development target to further evolve its features and excellences.

Packaging plays a role in achieving above target, so focused to make driver experience Zoom-Zoom feeling and driving enjoyment in everyday driving, such as commuting and shopping. This report introduces details of packaging developments and its focus points.

### 1. はじめに

私達開発チームは、新型アクセラがどの方向にどれだけの歩幅で進化すべきなのかを明確にするために、まず初代アクセラのグローバルなお客様の声を徹底的に分析した。

その結果お客様は、優れた快適性や実用性だけではなく、アクセラが持つスポーティな感覚、つまり日常生活の中のちょっとしたクルマでの移動（例えば通勤や買い物など）であっても、走ることの楽しさが感じられるような、わくわくするような感覚に共感いただけている、ということが分かった。

このクラスの車は、日常性を重んじる実用的な車というイメージが一般的であったが、それに対してアクセラは、シリーズ全体で軽快かつ楽しいスポーティさを実現できているという点が特長的であり、これが幅広いお客様の支持を得ているという結論を得た。

この特長をしっかりと受け継ぎながら、更に次世代の市場をリードしていけるような進化を遂げていくことを、開発の目標に据えた。

\*1~3 企画設計部  
Basic Design Dept.

\*4 技術研究所  
Technical Research Center

## 2. パッケージングの狙い

ところで、この「スポーティ」あるいは「スポーツ」という言葉の定義とは何であろうか？ よく使う言葉であるが、あいまいな言葉でもある。

そこでその語源を尋ねてみると、「固定的な日常から抜け出すこと」という意味が込められていることが分かった。

従って語源に忠実にアクセラのスポーティさを表現するならば、「一度乗り込むと、退屈な日常から抜け出して、わくわくするような走りの楽しさに浸れ、Zoom-Zoomを体感できる」ということになる。

ではこのスポーティさを正しく進化させるためのパッケージングとはどんなものだろうか？

開発チームはテストコースに集結し、競合車を一気に乗り較べながら次期車のパッケージングについて語り合い、ドライバや乗員とクルマとの関係性についてディスカッションを重ね、考えを共有化していった。

その結果、パッケージングの狙いと注力点として、下記を定めた。

**狙い：**ドライバや乗員がクルマとの一体感を感じながら、安心して快適にドライビングに集中できること

**注力点：**運転視界、コックピットレイアウト、荷室利便性、クラフトマンシップ

下記にそれぞれの特徴について述べる。

## 3. パッケージングの特徴

### 3.1 基本パッケージング

初代アクセラで好評であった取り回し性、室内空間を維持するため、ホイールベースは初代同等とし、全幅は+10mm、全高は+5mmと、ほぼ初代アクセラを継承した (Fig.1)。

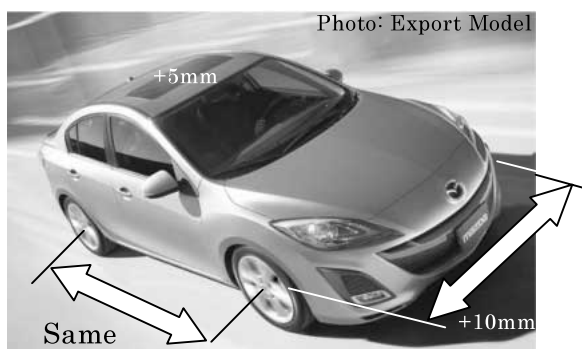


Fig.1 Basic Packaging

### 3.2 運転視界

ドライバが運転するために必要な情報のうち、最大のウエイトを占めるのは視覚的な情報である。従ってドライバがクルマとの一体感を感じながら、安心して運転を楽しむためには、運転視界は非常に重要な要素である。

特にアクセラらしいシーン、例えばコーナが連続するワインディング・ロードを駆け抜けるようなシーンでの見通しの良さについては、重点的に検討を重ねた。

まずテストコースを走行するドライバの視線移動を記録/分析し、運転視界として実現すべき要件を定義した。その定義に基づいていくつものデザインプロポーザルを評価し、要件を満たしているかをチームで協議しながら方向付けしていった。

その結果として、コーナでの見通しが良いフロントピラー形状を実現しながら、スタイリング上の要件と両立させることができた。

### 3.3 コックピットレイアウト

刻々と変化していく運転状況の下で、ドライバの運転への集中を維持するためには、しっかりとした機能に裏付けられ、すぐにドライバにしっかりとなじんで使いやすく、すべての操作インターフェイスが手の内にあるように感じられるようなコックピットが必要だと考えた。

しかし近年、自動車を取りまく環境の進化に応じて、コックピットに表示される情報は増加し、操作内容も複雑化する傾向がある。従って、これらをいかに整理し改善していくかが一つの課題であった。

そこでカテゴリを問わずに最新のコックピットをベンチマーキングし、前方の道路状況に対するドライバの運転操作の反応時間をレイアウトの違いによって比較/分析しながら、デザイナーや設計者、評価部門等の開発チームが一丸となって、様々なアイデアを練っていった。

その結果、ドライバの視線移動及び手の動きに着目し、これらが最適になるように、各要素の重要度や使用頻度を考慮しながら表示/操作系を配置していく「ゾーンレイアウトコンセプト」(Fig.2, 3)を確立した。



Fig.2 Zone Layout Concept (Display)



Fig.3 Zone Layout Concept (Operation)

このコンセプトを実現するために、前方注視時のドライバの視線中心に近いエリアには、情報を集中表示するマルチ・インフォメーションディスプレイ (Multi Information Display, 以下MID, Fig.4) を配置した。ディスプレイは4.1インチカラー液晶と、3.5インチドット液晶の2タイプを用意。運転支援情報、警報、オーディオ表示などを表示する。これらの表示の切り替えはステアリングのスイッチで行えるため、走行中にもスムーズに操作できる。



Fig.4 Multi Information Display

またオーディオコントロールパネルはドライバの手元に近づけ、操作面の角度を変更することにより操作性を改善した (Fig.5)。コントロールパネル中央には操作方法が直感的に把握しやすい大型ダイヤルスイッチを採用し、表示系は上述のMID内に集中配置した。

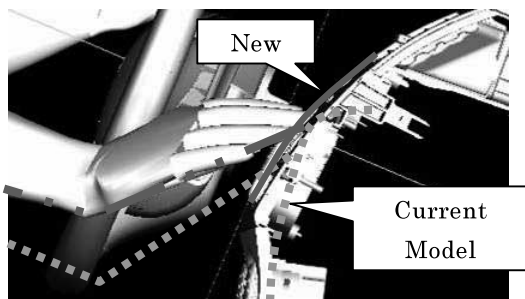


Fig.5 Audio Control Panel

更にシフトノブ位置は、より素早く正確な操作を可能とするため、初代アクセラより約60mm上方に配置 (Fig.6)。

なおこのステアリングホイールとの位置関係は、マツダのスポーツカーシリーズに近い配置となっている。

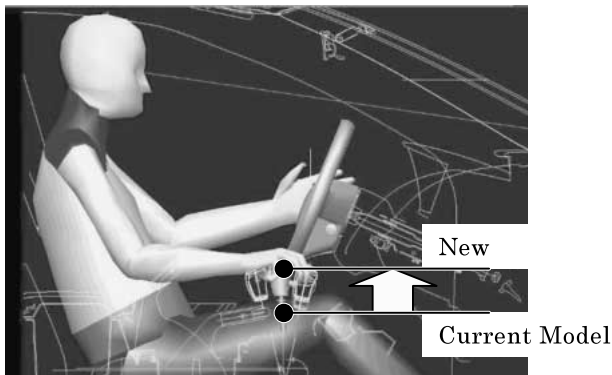


Fig.6 Shift Position

これらにより、クルマとの一体感を感じながら、ドライバが安心して運転に集中でき、日常から抜け出してファン・トゥ・ドライブの世界に没れるコックピットが出来上がった。

### 3.4 荷室利便性

グローバルなお客様の評価に基づいて、セダン、ハッチバックともに初代アクセラから荷室を進化させた。

セダンは、リヤオーバーハングを約80mm延長することにより積載容量を拡大し、初代に対しトランク開口幅を片側10mm拡大することで積載性を向上させた。

またハッチバック車については、初代アクセラで採用したフレキシブルフロアボードを更に進化させ、荷室中ほどにネット付きのハードボードを立てられるようにした。

ハッチバック車は荷室の広さが魅力であるが、日常生活ではちょっとした荷物、多くはころがったり、割れたりすると困る物を搭載する機会が圧倒的に多い。そこでビンなどの割れ物、食品など汚れを嫌う物、ケーキや花束などのデリケートな物等、具体的な使用シーンを想定し、日常的な実用性を考慮して開発した (Fig.7, 8)。

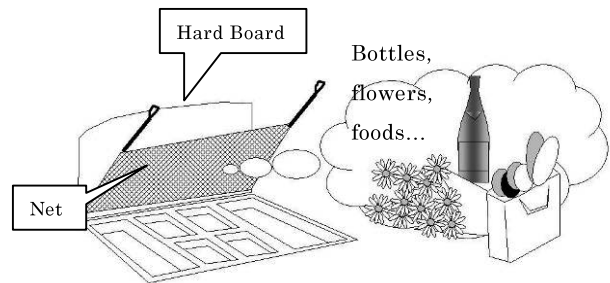


Fig.7 Specific Scene Setting

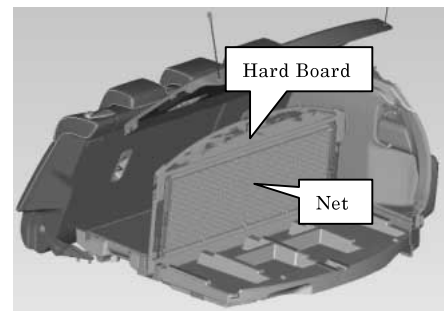


Fig.8 Hard Board and Net

## 4. クラフトマンシップ

クルマとの生活の中で、ふと目に入った部分、ふと手が触れた部分が上質なメッセージを発していれば、このクルマにして良かったという実感が湧く。これがクラフトマンシップの領域であり、ここに注力したのも初代アクセラの特長の一つだった。

新型アクセラでは、更にすっきりとした1クラス上の質感を実現することを目標としたエクステリア及びインテリ

アの造り込みを行い、ドアを開けた瞬間から「走る楽しさ」を予感させる印象的な照明演出を採用した。

4.1 エクステリアの質感向上

エクステリアの質感を向上させるため、カウルやルーフまわりの凸凹感の削減、分割ラインの変更や隙詰め等の造り込みを行った。

カウル、ルーフモール周り (Fig.9)

ワイパームの形状をスムーズ化し、ウォッシュノズルをカウル内に設定した。

フロントウインドウモールからルーフモール、セダンではトランクサイドまでを連続的に処理し、段差のない流れるようなラインを実現した。



Fig.9 Washer Nozzle and Roof Molding

4.2 インテリアの質感向上

インテリアの質感を向上させるため、インパネやトリム類の構造/材質改善による見栄え品質、及び手に触れた時の触感の改善を行った。

インパネ上部部とグローブボックス (Fig.10)

インパネ上部部では部品構成を見直すことにより、分割線を減らし、艶やぎらつき、コントラストを高次元でマッチングさせたシボを採用した。更に、視覚的のみならず、触感的に好感度が高いソフト層のある表皮を採用した。

グローブボックスの分割線は乗員から見えにくい位置に設定した。また両側ロック構造を採用し、ロック受け面の凸形状のないフラットな面とスムーズな開口部周りの形状とした。



Fig.10 Instrumental Panel & Globe Box

ドア開口部周り

ドアを開けた瞬間に高品質を予感させるすっきりとした見映えを狙い、ドアに全周シールを採用した (Fig.11)。



Fig.11 Door Opening

アームレスト

触れる頻度の多いドアアームレスト及びコンソールリッドに表皮巻きを設定 (一部類別)。

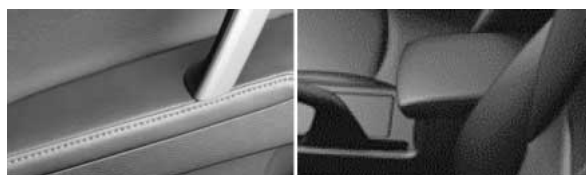


Fig.12 Door Arm Rest and Console Lid

4.3 ドライビングへの期待を高める照明演出

停めてあるクルマに近づき、ドアを開けて乗車し、エンジンを始動して走り出す...この一連の動作をする間にドライバや乗員をアクセラの世界へと導くために、クルマとのコミュニケーションが感じられるような照明演出を採用した。

具体的には複数のイルミネーション (Fig.13) が、乗員の動きや操作に応じて光が反応する照明システムである。

まずドライバが解錠すると室内灯がフェードイン点灯。続いてドアを開くとドアハンドルグリップ内の青色LEDが点灯し、ドライバが着座するタイミングでメータ、集中ディスプレイやオーディオ、エアコン操作パネルのイルミネーションが順番に点灯する。

またオーディオ操作パネル中央の大型ダイヤルスイッチの周囲と、ダイヤルの左右に水平に伸びる帯状の部分は、乗員のオーディオ操作に応じて照明が変化する。

更に左右独立温度調整機能を備えるオートエアコン装着車では、左右の温度調整ダイヤルの操作に応じて、温度を上げた場合はダイヤル上の赤色、下げた場合には青色の照明が変化する演出を採用した。

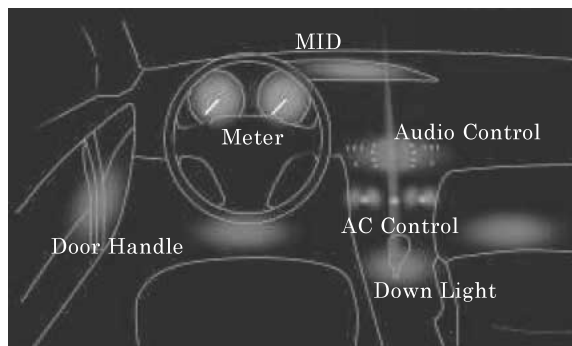


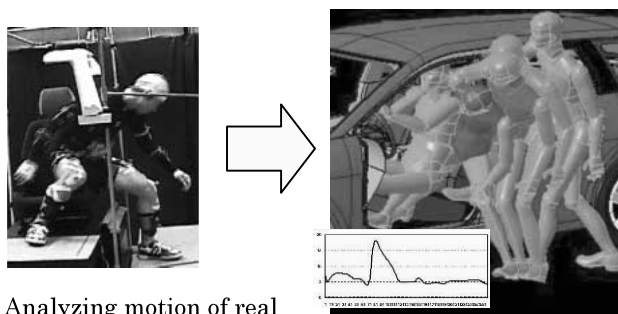
Fig.13 Interior Lighting Items

## 5. バーチャル・リアリティ技術の活用

様々なアイデアや構想がデジタルデータのみで存在する開発の初期プロセスにおいては、迅速に多くの案を評価し、進むべき方向性を模索していく必要がある。しかもその評価とは可能な限りお客様が実車に触れられた時の感覚を再現すべきであり、またその評価結果に対して開発チーム全体がいかに定量的な認識を得られるか、が開発の成否を握っているといっても過言ではない。そこで最新のバーチャル・リアリティ (Virtual Reality, 以下VR) 技術を活用した。

具体的には、クルマの乗降性や操作性等、エルゴノミクスに関する領域では、人体の骨格や筋肉/関節の構造を精密にデジタル化したマネキンを活用した (Fig.14)。

より忠実に実際の人体の動きを再現するために、モーションキャプチャにより乗員の体の動きを記録/分析し、デジタルマネキンの動きに反映した。



Analyzing motion of real human body

VR evaluation

Fig.14 Digital Mannequin

また運転視界の領域では、デジタル化したテストコース (Fig.15) を活用した。

実際のテストコースでの評価をVR上で正確に再現するため、テストコースでのドライバの視線移動 (Fig.16) を記録/分析した結果を、バーチャル上での視界評価に反映した。

このテストコースで、様々なデザイン案や競合車をバーチャルドライビングすることによって、狙い通りの視界要件を満たしているかを確認していった。



Fig.15 Digital Test Course



Fig.16 Actual Driver's View

## 6. おわりに

新型アクセラのパッケージングは、デザイン/性能/品質とが高いレベルで両立しており、お客様のご期待に応えられるものになったと考えている。

この魅力は、世界中の皆様を理解していただけるものと確信している。

### 著者



山内 一



高山雅年



齊藤道雄



武田雄策

特集：新型マツダアクセラ

11

## 新型マツダアクセラのダイナミック性能 Dynamic Performance of All-New Mazda Axela

嶋 中 常 規<sup>\*1</sup> 中 山 伸 之<sup>\*2</sup> 友 貞 賢 二<sup>\*3</sup>  
Tsuneki Shimanaka Nobuyuki Nakayama Kenji Tomosada  
吉 井 群 治<sup>\*4</sup> 渡 邊 雅 哉<sup>\*5</sup>  
Gunji Yoshii Masaya Watanabe

### 要 約

新型アクセラは、初代アクセラの優れた運動性能に更に磨きをかけ、競合他車から一歩抜きん出たポジショニングを確立すべく開発に取り組んだ。

サスペンションは、車両追従性とライントレース性の改善に注力し、各構成部品の剛性アップとスタビライザの効きをよくすることにより応答性の向上と安定性を実現した。そして、ステアリングギヤBOXの保持剛性アップで前輪の位置きめを正確に行うことにより、狙ったとおりの操縦性としっかりとした安定性を実現した。

ボデーについては、そのサスペンションをしかりと支える車体構造とするため、局部剛性と車体ヒステリシス（ねじり変形の位相遅れ）の特性に注目し開発を進めた。同時に、高張力鋼板の使用比率を大幅に見直すことで、衝突安全性能も米国と日本・欧州NCAPを改善しながら、軽量で高剛性なボデー構造を実現した。

本稿ではその概要について紹介する。

### Summary

The new Axela has been developed to even more improve the former Axela 's dynamic performance, and to achieve prominent positioning among its competitors.

Handling follow ability and line traceability has been improved through suspension development. Improved response and thorough stability has been achieved by improving rigidity of each parts and increasing efficiency of stabilizer. Also perfect handling and thorough stability has been achieved by establishing precise locating of front tire, through improving fixing rigidity of the steering gear box.

Body is developed to strongly support this suspension. Is has been developed by focusing on local rigidity and structural hysteresis( phase gap in tensional displacement ). And usage rate of high-tension steel has been highly increased, which results in gain of 1 star in each US, Japan, Euro-NCAP. A light weight and highly rigid body has been developed.

### 1. はじめに

新型アクセラでは、優れた運動性能でお客様に高い評価を得た初代アクセラからの大幅な進化を目指した。特にマツダDNAの「反応の優れたハンドリング」についてシャーシ・ボデーの領域で改善に取り組んだ。

コーナリング時のコントロール性、高速での直進安定性、しなやかな乗り心地を高いレベルでバランスさせることで「Zoom-Zoom」を感じることで運動性能を実現した。

本稿では、その運動性能を実現するためのシャーシ・ボデーの主要構造と操縦安定性能の目標達成手段を紹介する。

### 2. シャーシ

#### 2.1 開発の狙い

初代アクセラでは、マツダのブランドDNAである反応の優れたハンドリングを実現した。新型アクセラでは、更に上質なダイナミクス性能を狙った。

特にダイナミクス性能ではステアリングの正確さと、安

\*1, 2, 4 ボデー開発部  
Body Development Dept.

\*3 シャーシ開発部  
Chassis Development Dept.

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

定性を進化させることに注力した。これらを実現するため主にサスペンション剛性の向上を図ることを目標とした。

## 2.2 構造と特徴

### (1) フロントサスペンション

フロントサスペンションはマクファーソンストラット式を採用した (Fig.1)。

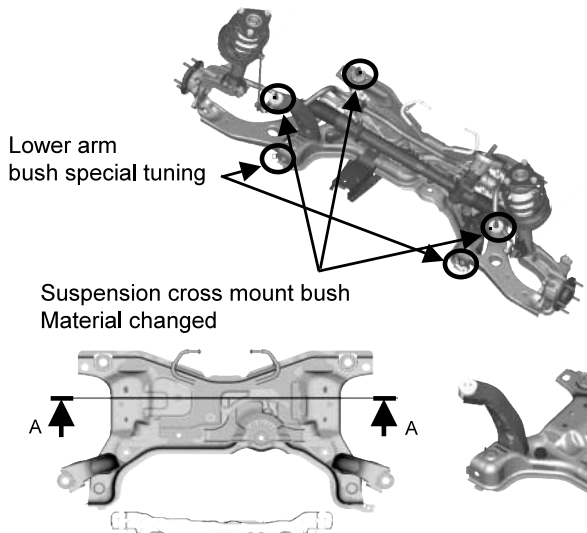


Fig.1 Front Suspension

フロントサスペンションについては、前輪の支持剛性を向上させ、ハンドル操作と車両の動きの一体感 (車両追従性) を向上させることを狙った。

サスペンション部品を取付けているフロントサスペンションクロスメンバはクロスメンバ本体の板厚アップや、車体との取付け構造を見直し、クロスメンバ本体の剛性アップを図った。更に、クロスメンバと車体を結合するインシュレータの材質を変更し剛性アップを行った。また、スタビライザのサスペンションクロスメンバへの取付けピッチ拡大を行い、車体ロールに対するスタビライザの効きを向上させ、応答性の向上を図った。これらにより狙ったとおりの操縦性 (応答性の向上) としっかりとした安定性 (ふらつきを抑える) を実現した。

### (2) ステアリングギヤBOX

ステアリングギヤBOXをFig.2に示す。

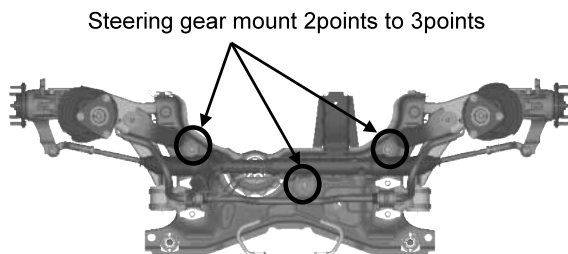


Fig.2 Steering Gear Attachment

ステアリングギヤBOXでは、ギヤBOXの保持剛性を向上させ、ハンドル操作に対する前輪の応答性、正確さを向上することを狙った。具体的には、初代アクセラではアルミダイキャスト製のステアリングギヤBOXの両端をクロスメンバに2点で固定していたものを、取付け点数を増し3点で固定した。ギヤBOXの中間部に現在の取付けに対してステアリングギヤの反対側に取付け点を追加し、ステアリングギヤBOXのクロスメンバ (車体) への位置決め剛性を向上させた。これによりハンドル操作による、ステアリングギヤの無駄な動きを抑制し、ハンドル操作と前輪の動きの応答性を向上させた。

これらフロントサスペンションの剛性アップ、および、ステアリングギヤBOXの保持剛性アップを行うことで、前輪の位置決めを正確に行い、狙ったとおりの操縦性としっかりとした安定性を実現した。

### (3) リヤサスペンション

リヤサスペンションはマルチリンク式を採用した (Fig.3)。

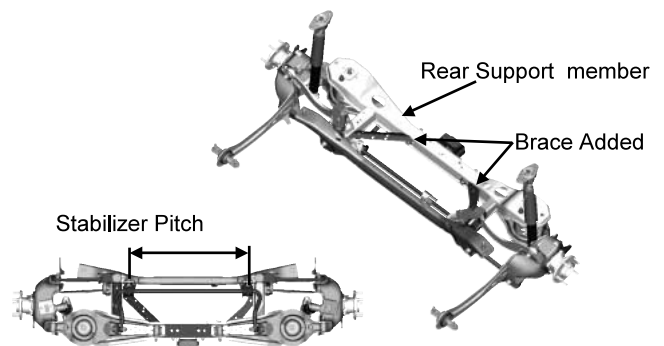


Fig.3 Rear Suspension

リヤサスペンションもフロントサスペンションと同様に後輪の支持剛性を向上させ、ハンドル操作と車両の動きの一体感、車両の安定性の向上を図った。

リヤサスペンションクロスメンバはメイン部材であるリヤサポートメンバの板厚アップと、前後をつなげているメンバとの間にブレースを追加することで、剛性アップを行った。

また、フロントサスペンションと同様にリヤスタビライザのクロスメンバへの取付けピッチ拡大も実施し、車両の応答性の向上と、しっかりとした安定性を実現した。

## 3. ボデー

### 3.1 開発の狙い

優れた運動性能で高い評価を得た初代アクセラを更に進化させ、欧州プレミアム車同等のパフォーマンスを実現することを目標とした。

新型アクセラは最小限の重量で目標を達成すべく、静剛性の指標となる曲げ、ねじりの剛性値に加え、サスタワー



剛性などの局部剛性のレベルアップと車体ヒステリシス（ねじり変形の位相遅れ）の特性に注目し、操縦安定性の更なる向上に注力し開発に取り組んだ。

3.2 構造と特徴

(1) アンダーボデー

アンダーボデーのフレームワークをFig.4に示す

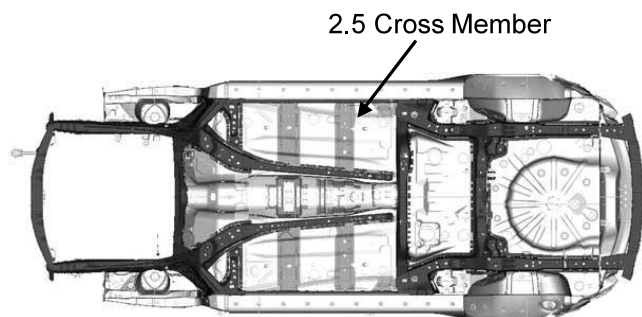


Fig.4 Frame Work

高い評価を受けた初代アクセラのフレームワークを基本としながら、2.5クロスメンバの追加と各パネルの板厚、材質の見直しを行うことで、重量を増加させることなく衝突性能を向上させるとともに、曲げ、ねじりの静剛性を確保できるアンダーボデーを作り上げた。

(2) フロントボデー構造

フロントボデー構造をFig.5に示す。

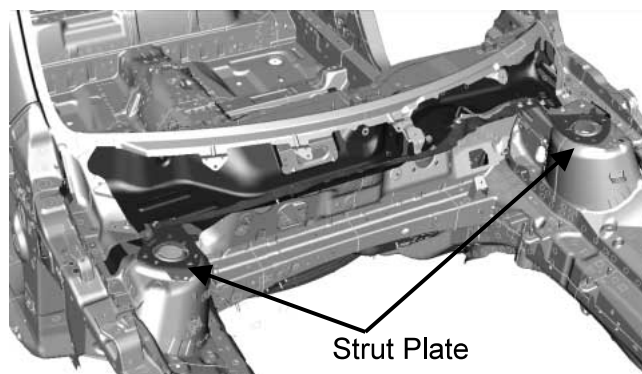


Fig.5 Front Body Structure

剛性を向上させたフロントサスペンションを支えるため、サスタワーの上面とボデー左右にわたるカウルクロスメンバを、ストラットプレートと呼んでいる部品で結合することで、スポーツモデルに採用される「ストラットタワーの機能」をボデー構造として採り入れた。

フロントサスタワーの横剛性を初代アクセラから38%改善させることで（Fig.6）、コーナリング時におけるライントレース性を向上した。

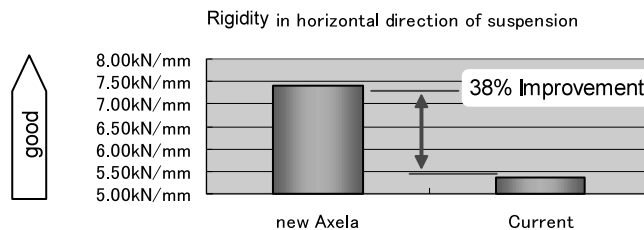


Fig.6 Progress Rate of Rigidity

(3) リヤボデー構造

最初に4ドアセダンのリヤボデー構造をFig.7に示す。

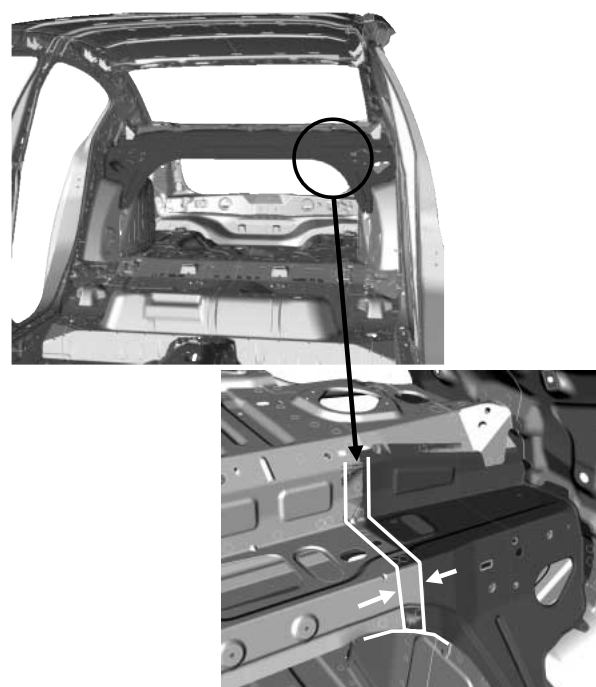


Fig.7 Rear Body Structure (4Door Sedan)

フロントボデーと同様、サスペンションをしっかりと支えることに注力した。CAE解析による弱点部の洗い出しを行った結果、サスタワーの上面から伸びるジャンクションと閉断面で構成されたパッケージトレイとラップ量を増やすことで効率よく結合を強化した。

以上の改善を織り込むことにより、リヤサスタワー間の対角変位量を初代アクセラから19%低減させることで（Fig.8）、操縦安定性にもっとも重要な車両後部のしっかり感を向上させた。

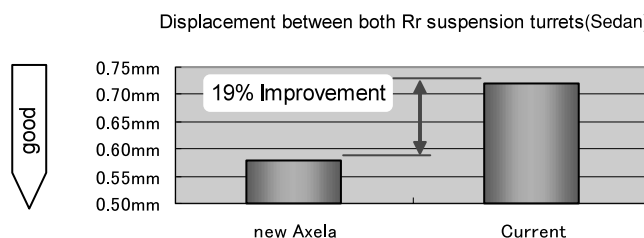


Fig.8 Progress Rate of Rigidity



次に5ドアハッチバックのリアボデー構造をFig.9, 10に示す。

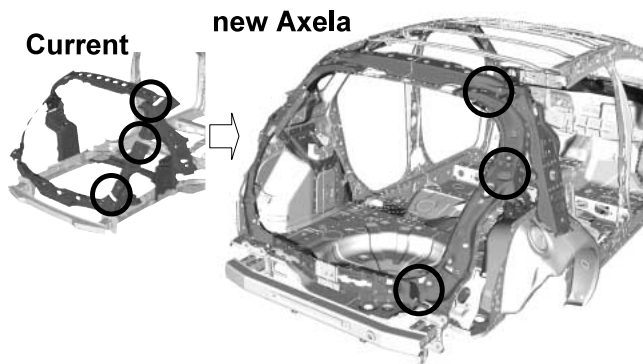


Fig.9 Rear Body Structure (5Door Hatchback)

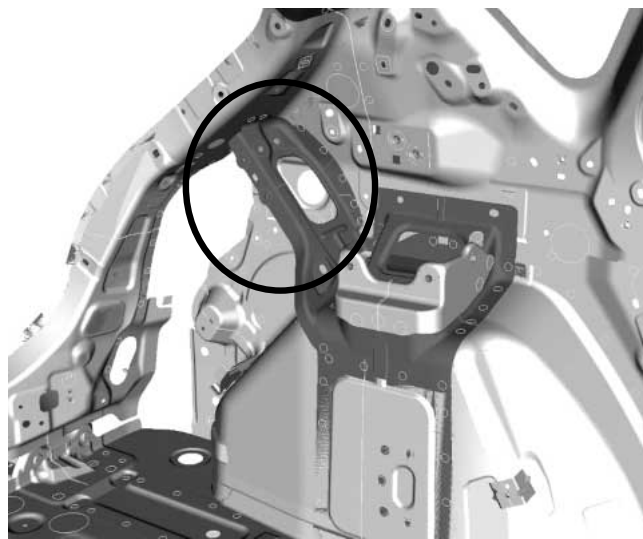


Fig.10 Rear Body Structure (5Door Hatchback)

5ドアハッチバックは、剛性上の弱点となるリフトゲート開口部を強化するため、リフトゲート開口に沿って切れ目ない閉断面で囲う環状構造を採用した。また、環状構造とサスタワーを結合するようにサスタワーレインとブレースパーを配置し結合を強化した。特に、この環状構造からブレースパーの結合までの一連の構造決定には、CAE解析を繰り返し行い最適形状の作りこみを行った。

以上の改善により、初代アクセラからリフトゲート開口変位を33%低減、リアサスタワー間の対角変位量を10%低減させることで (Fig.11), 4ドアセダンと遜色ない車両後部のしっかり感を実現した。

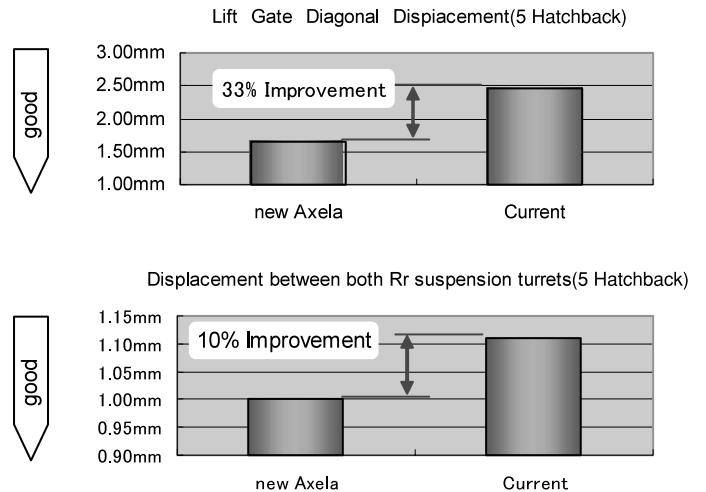


Fig.11 Progress Rate of Rigidity

(4) キャブサイド構造

キャブサイド構造をFig.12に示す。

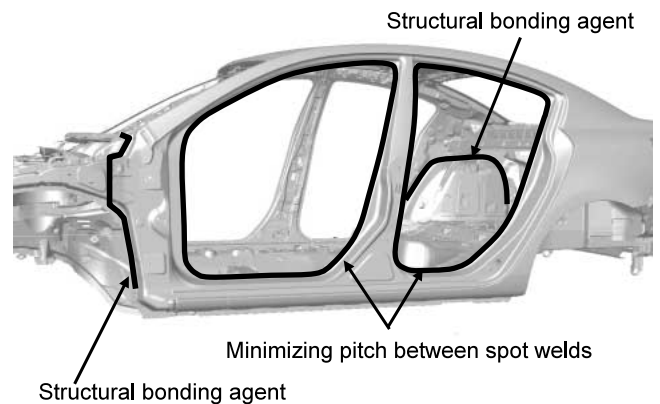


Fig.12 Cab Side Structure

車体は複数の部品をスポット溶接で接合することで構成されるため、接合部分に塑性変形が発生する。これを車体ヒステリシス(ねじり変形の位相遅れ)という。この値が大きいと、運転者は「ハンドル操作と車両の動きに一体感がない」と感じる。

新型アクセラは変形量の大きなフロントドア・リアドア開口部、更にハッチバック車はリフトゲート開口部のスポット溶接を増やした。前後サスペンションの荷重が大きく入るフロントヒンジピラーとリアホイールハウス部分はウェルドボンドによる連続接合を採用した。

車体構成部品間の接合を徹底して強化し、車体ヒステリシスを初代アクセラから13%低減させることで (Fig.13), 車体剛性の向上を行い、車両応答性を改善した。

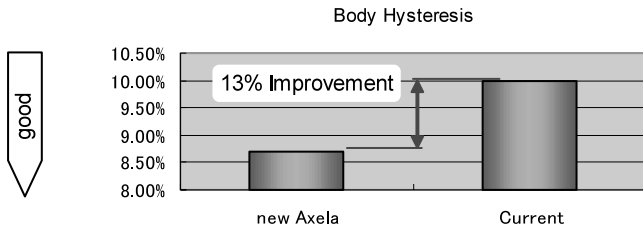


Fig.13 Progress Rate of Rigidity

(5) 高張力鋼板

初代アクセラと新型アクセラの高張力鋼板使用比率を Fig.14に示す。

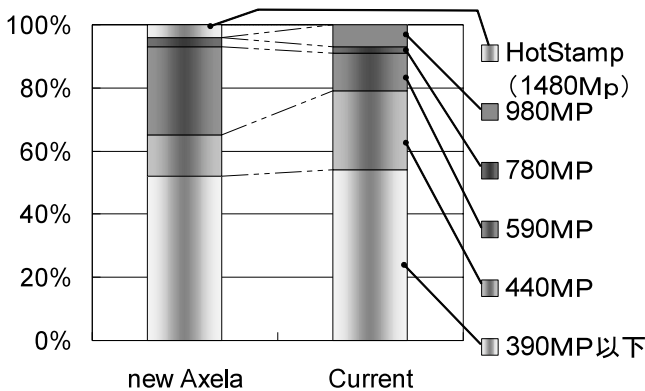


Fig.14 High Tensile Steel Percentage

新型アクセラは高張力鋼板の使用比率を大幅に見直した。590MPa級の鋼板を12%から27%に拡大し、更にホットスタンプという特別な成型方法で作られる1,480MPa級の鋼板をパンバレインに採用した。強度の高い材料を適材適所に採用し、初代アクセラよりも薄板化を進めた結果、衝突安全性能を米国と日本・欧州NCAPで1ランクの改善を達成するとともに、運動性能を悪化させる要因となる重量増加をゼロに抑えることができた。

更に、前後端で2.5kgの軽量化を行い、車体全体の重量バランスを整えることにより、車体応答性を改善させた (Fig.15)。

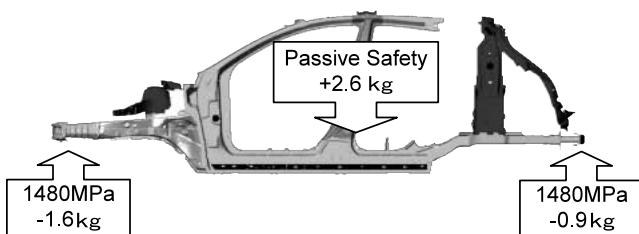


Fig.15 Structural Reinforcement and Weight Reduction

4. 達成性能

4.1 操縦安定性能

Steering/Handlingの目標をFig.16に示す。

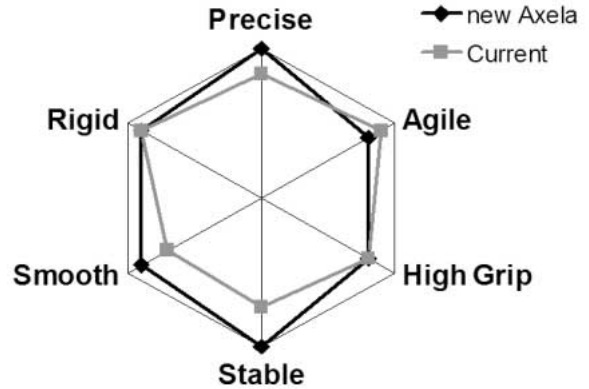


Fig.16 Steering Handling Result

以上述べてきたシャシーとボデーの様々な施策により、初代アクセラに比較して、俊敏さ (Agile) を抑え、正確さ (Precise)、なめらかさ (Smooth)、安定性 (Stable) を特化させる目標とした。

このDNA Targetを達成するために、2つのポイントに注力した。

正確かつなめらかなステアリング性能を実現するために、車速に応じたリニアな手応えの増加を目指した。

Fig.17に操舵角に対する操舵力変化の比率を示す。欧州競合車は中～高旋回加速度域における操舵力増加が大き過ぎて、なめらか (自然) な操舵フィールを損なっている。一方、新型アクセラはリニアな変化と、初代アクセラより手応えを増加させることで、正確なコントロール性とを両立させた。

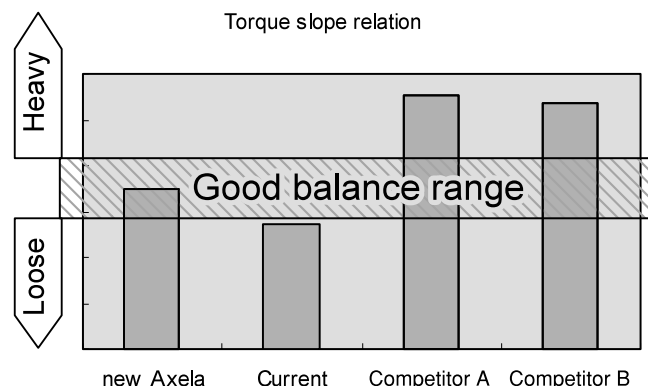


Fig.17 Balance between Lateral Acceleration and Torque Build Up

安定性を高めるためには、リヤのサスペンションおよびボデーがしっかりしていることが不可欠であり、前述のような手段を採用した。この結果、微小なステアリング操作にもサスペンションとボデーが追従し、ドライバの意図に忠実で安定感あるステアリング性能が実現できた。Fig.18に微小横G(0.05G)を発生させるのに必要な操舵角の比較を示す。新型アクセラは、より少ない角度で横Gを発生させており、車両の高い応答性を実現できていることが示されている。

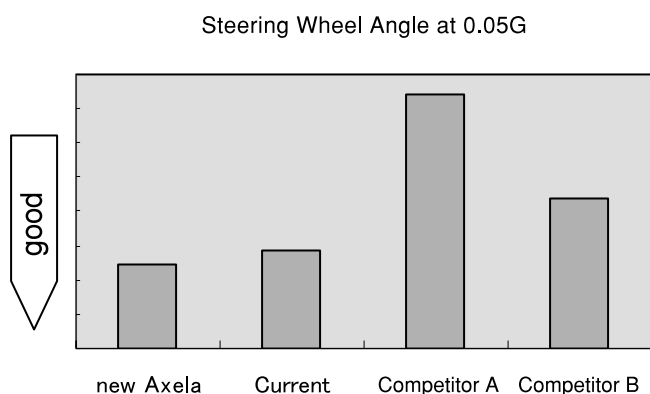


Fig.18 Lateral Acceleration Dead Band on Steering Wheel Angle

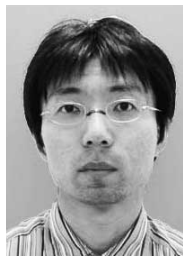
### 5. おわりに

以上、新型アクセラの運動性能について狙いの性能と実現するための構造を簡単に紹介した。

運動性能を大幅に改善した新型アクセラが初代アクセラ同様、高い評価でお客様に受け入れていただけると確信している。

最後に新型アクセラの高い運動性能を実現できたのは、関連サプライヤの多大な協力による。この誌面をお借りして感謝の意を表したい。

### 著者



嶋中常規



中山伸之



友貞賢二



吉井群治



渡邊雅哉

特集：新型マツダアクセラ

12

## 新型マツダアクセラのパワートレインの紹介 Introduction of All-New Mazda Axela Powertrain

猿 渡 健一郎<sup>\*1</sup> 白 石 大 作<sup>\*2</sup> 宮 崎 亜希夫<sup>\*3</sup>  
Kenichiro Saruwatari Daisaku Shiraishi Akio Miyazaki  
森 工<sup>\*4</sup> 倉 増 拓<sup>\*5</sup> 西 尾 貴 史<sup>\*6</sup>  
Takumi Mori Taku Kuramashi Takashi Nishio

### 要 約

新型アクセラのパワートレインは、マツダの技術開発の長期ビジョンである「サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言」に基づいて開発された新世代商品である。狙いとして「意のままに操れ 爽快感を感じる」Performance Feelと、環境問題に積極的に対応した「低燃費・低CO<sub>2</sub>・クリーン排気ガス」の実現に特に注力をして開発を進めた。

具体的には、新開発のアイドリングストップシステム「i-stop (アイ・ストップ)」・クリーンディーゼルやデミオで好評のCVTを採用し、走りと環境性能実現を図っている。更に吸排気系の改善によるエンジンサウンドの造りこみやキャリブレーションの適正化による走り感の向上、トランスミッションへの機能の追加等を実施し、マツダのDNAである「走る喜び」を熟成させた。

### Summary

The power train of new Axela is a new generation product developed based on “Sustainable Zoom-Zoom” which is the long-term vision of Mazda’s technological development. We advanced the development aiming to achieve “Performance Feel which enables drivers to control the vehicle at their will and to experience exhilaration” and “Low fuel consumption, low CO<sub>2</sub> emissions and clean exhaust gas” which positively responds to environmental issues.

Specifically, we have realized compatibility between enjoyable driving and environmental performance by adopting the newly-developed idle stop system (i-stop), clean diesel engine, and CVT well reputed in “Demio.” In addition, we have matured “driving fun” which is Mazda’s DNA, by elaborating engine sound through improvement in the intake & exhaust system, enhancing “Performance Feel” with optimized calibration, and adding new functions to the transmission.

### 1. はじめに

アクセラは、マツダの主力商品であるとともに世界戦略車でもある。先代アクセラは、その位置づけにふさわしい性能を実現し、多くのお客様に喜んでいただける自信作となった。

新型アクセラのパワートレインでは、先代から多くの好評をいただいているPerformance Feelを更に進化させるとともに、環境性能と高い次元で両立させた。本稿では、新

型アクセラが目指した「走る喜び」を感じるPerformance Feelと優れた環境性能を達成するための主要改善技術を紹介する。

### 2. パワートレイン開発について

新型アクセラでは、幅広いカスタマー層にご満足していただくために、よりユーザ視点でのPerformance Feelの熟成と、燃費/CO<sub>2</sub>性能の大幅な改善を狙いに関係を進めた。

\*1 パワートレイン開発推進部  
Powertrain Development Promotion Dept.

\*2, 4 ドライブトレイン開発部  
Drivetrain Development Dept.

\*3, 5, 6 パワートレインシステム開発部  
Powertrain System Development Dept.

## (1) Performance Feel

ガソリンエンジン・ディーゼルエンジンともに、実際のユーザの使用条件下での走り感を熟成するために、主要地域での大規模な市場実走評価とユーザ調査を行いアクセルの踏み方に対する発生車両G目標の見直しを行った。更に、吸排気系の設計を見直したことによるエンジンサウンドの造りこみ、トランスミッションの操作系の見直しもを行い“Zoom-Zoom”感の向上を図っている。

## (2) 環境性能

マツダ初であるスマートアイドルストップシステム、クリーンディーゼルやエコランプを採用し、商品性を大きく向上させるとともに、シングルナノテクノロジーを応用した自動車用触媒を採用することで、浄化性能を維持しながら、使用貴金属量を大幅に低減した。

## 3. ガソリンエンジン

基本的には、旧モデルで好評であるエンジンを継続採用しているが、Performance Feelと環境性能を大きく向上させるために、CVTやアイドルストップシステムなどの新技術を積極的に採用、合わせて吸排気系や制御系の見直しを図るなど基本性能の熟成も図っている。

## 3.1 Performance Feelの向上

## (1) Performance Feel開発の革新

走り感を大幅に改善するために技術的なアプローチとともに、開発のプロセスの変革も実施した。具体的には一例をFig.1に示すように各地域を各拠点開発メンバ、ユーザ及び本社開発メンバと一緒に長期間走り込み、実際のユーザのコメントを細かく分析し定量的な目標に落とし込むことを実施してきた。特に注力したのは、アクセルペダルの踏み込みに対する発生車両Gのあり方であり、新型アクセラでは1回のアクセル操作でユーザが期待する車両Gを発生できるようキャリブレーションの見直しを行っている。



Fig.1 Driving Area for Development

## (2) 新型アクセラのPerformance Feel改善

基本的にはエンジン、トランスミッションは旧モデル・他モデルで搭載済みの実績のあるユニットを採用し、吸排気系の最適設計及びエンジン・トランスミッションの制御

系を大幅に変更することであらゆる条件下で狙いの走り感を実現可能なものとしている。

## (3) 吸排気系最適化

## ① ガソリン車吸気システム

吸気システムはシュラウド吸気システムを採用した。構造的には、吸気口位置を車両前右方に配し、導入ダクト経路をシュラウド上部に沿わせる配置とした(Fig.2)。これにより、外気温度に近い位置からの空気導入とダクト途中の温度上昇を最小限に抑えることを可能とし、エンジン吸入空気温度の抑制と高外気温下でのエンジン制御性向上に寄与している。

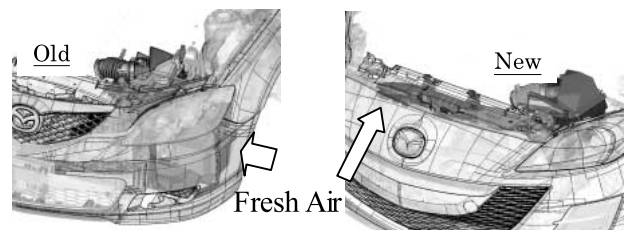


Fig.2 Air Intake System

## ② インタークーラ冷却ダクト

ターボモデルの走りのパフォーマンスを訴求するため、インタークーラの冷却にはボンネットバルジタイプ(Fig.3)を採用した。バルジ開口面積は $22,800\text{mm}^2$ (W: 558.3mm, H: 49.3mm)とし、同一セグメント内でトップクラスの開口を確保した。これによりエンジン直上搭載のインタークーラを効果的に冷却し、最適なエンジン出力とレスポンスを提供している。また、本来の冷却風導入機能の他、車両の揚力係数を最小限に止める締結構造、導風時の剛性を確保しつつ、歩行者保護に対する対衝撃緩和構造をCAEにより最適設計している。



Fig.3 Intercooler Cooling Duct

## ③ 吸気サウンドのチューニング

吸気サウンドは、旧モデル並みの静粛性を維持しつつ、システム簡素化による軽量化を実現した。具体的にはロングダクトにより100~200Hzの低周波数領域の音圧を低減した。これにより、実用運転域(2,000~3,000rpm)の静粛性と、高回転まで伸びるリニアな吸気サウンドを実現している。

2.0L, 2.5Lは、吸気サウンドを高回転域までリニアに上昇させ、かつ低騒音を図るため、基本次数音である2次成分に対してはエアクリーナ容量を旧モデル比で約1Lアップし、約2dB低減させた。開発構想段階からレゾナンスチャンバを綿密にチューニングすることにより、エンジン回転速度にリニアな吸気サウンドを実現した。Fig.4に新旧モデルの吸気音の比較を示す。

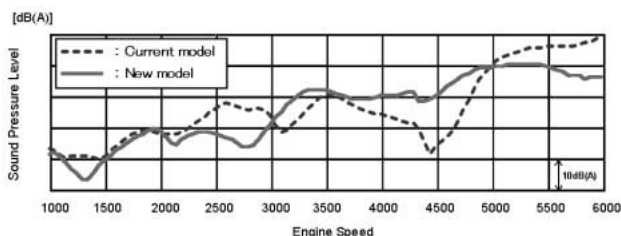


Fig.4 Sound Pressure Level

④ 排気系最適化設計

2.0L, 2.5Lの排気系は、抵抗低減と排気音低減を目的に、旧モデル比、メインサイレンサのVolumeアップ、パイプ径アップを織り込んだ。また、2.5LにはDualテールパイプを採用し、静粛性と抵抗低減を両立するとともに、スポーティな走り、アピランスに貢献している。

2.3Lターボモデルのメインサイレンサも同じく、旧モデル比、Volumeをアップするとともに、Dualテールパイプを採用し、高周波音を低減した排気サウンドにチューニングした。Fig.5に2.3Lターボモデルの排気系を示す。

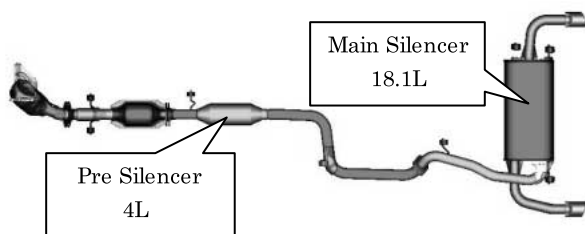


Fig.5 Exhaust System of 2.3L Turbo Engine

(4) 制御系、駆動系 最適化設計

① トルクベース制御 (2.5L)

Performance Feelの向上のために、トップグレードの2.5Lのエンジンには、北米向けMazda6で採用した新しいエレキスロットル制御(トルクベース制御)を展開した。本制御は、従来よりも高い精度でドライバが要求するトルクが実現できるトルク演算モデルを採用しており、あらゆる走行シーンにおいてPerformance Feel構築の自由度がアップした。また、AT・TCS (Traction Control System) 等のエンジントルクの抑制が必要な制御(トルクダウン制御)に対しては、各要求トルクを調整するための共通インターフェースとしてエンジントルクを採用した。これによってトルクダウン制御時の要求トルクのつながりが大幅に改善した。

i) 新トルク演算モデルの採用

従来よりも精度の高いトルク演算モデルを採用すること

でドライバの要求するトルク量に応じた燃料制御・点火制御・エレキスロットル制御が可能となった。また、環境変化(外気温・気圧・ノック限界等)や吸排気系デバイス(可変バルブタイミング等)の作動に関わらず、ドライバが要求するトルク感をより高い精度で実現できるようになり、Performance FeelのLinear・Lively感の向上につながった。

ii) エンジントルクを共通インターフェースに採用

エンジントルクを共通インターフェースとすることで、従来では個別に作動していたAT・TCS等のトルクダウン制御時の要求トルクの調整が容易にできるようになり、各要求トルク間のつながりが格段にスムーズになった。

② 5速AT

新型アクセラ用5速ATは、先代アクセラに採用した小型軽量FS5A-ELをベースに、新規車体に合わせたチューニングを施したものである。ベースATで確立した小型軽量でかつ高トルクに対応したギヤトレイン部を継承し小気味良い変速応答性と、高品質なシフトクオリティを両立させることで、高品質な走り感を実現した。更にAAS(後述)及びダイレクトモード(後述)を新規採用することでスポーティな走行性能も実現し、商品性を大きく向上させている。

③ AT車 アクティブ・アダプティブ・シフト(AAS)

マツダのスポーティイメージの象徴でもある、RX-8から順次採用し、ジャーナリスト試乗レポート等でも、好評を得ているAASを新型アクセラでも採用し、スポーツカーのDNAを受け継いでいる。AASは道路環境(上り坂、下り坂)を判別し、最適なシフト段位を自動的に選択する既知のスロープ制御に加え、屈曲路の判別、及び、ドライバの意思を反映した、走行シーン判別を行い、より最適なシフト段位を自動的に選択することで、Linear・Lively感を具現化している。

④ AT車 ダイレクトモード

新型アクセラではクルマを積極的に制御する新しい機能として、ダイレクトモードをステアリングシフトスイッチ付きのモデルに標準採用した。ダイレクトモードはDレンジでの自動変速走行中でも、Mレンジに切り替えることなくステアリングシフト操作によって素早く一時的なシフトダウンを可能にするシステムである。下り坂でのエンジンブレーキによる減速シーン、コーナリングでの減速から再加速までのシーン、一度シフトダウンしてからの追い越し加速シーンという、一般のドライバが頻繁に遭遇すると考えられるシーンを想定して開発している。この機能は、ステアリングシフトスイッチの操作だけでドライバが要求するシフト段に素早く移行し、シーンが続く間はそのシフト段を継続させ保持を必要とするシーンが終了したとシステムが判断した時点で自動的にDレンジのオペレーションへ戻すものである。この機能により、ドライバが望む思い通りのタイミングでエンジンブレーキや素早い加速を簡単に行うことができ、運転のしやすさと楽しさをいっそう高め

ている。Fig.6にダイレクトモード使用時のイメージを示す。

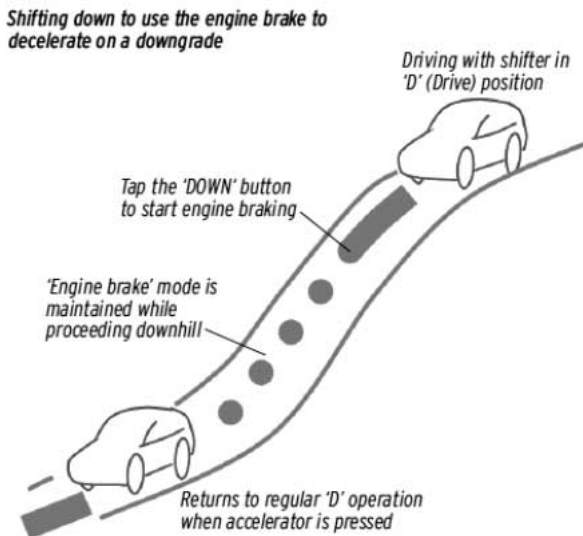


Fig.6 Typical Scene where Direct Mode Excels

⑤ MT車 シフトフィールの改善

ドライバ (Human) が、クルマ (Machine) との一体感を感じながら安心 / 快適に運転に集中できるシフトフィールを実現するため、種々の改善に取り組んだ。その技術的内容について、以下に述べる。

i) ハイマウントシフトの実現

最適なドライビングポジションを実現するため、ノブ位置を60mmUPさせた。そのため、操作時のモーメントが20%増加したが、チェンジレバーハウジングの高剛性化、ポデーパネルの形状、板厚変更、マウント構造の変更等の施策により、旧モデルと同等以上の強度、剛性を実現した。

ii) 機械特性 (静的シフト特性) の改善

チェンジレバー上へのハードストッパーの採用により、オーバストローク量を大幅に縮小し、高いストッパー剛性感を実現するとともに、実効シフトストロークの短縮と合わせて、前後で約20mm縮小し、コンパクトなシフト操作エリアを実現した (Fig.7)。

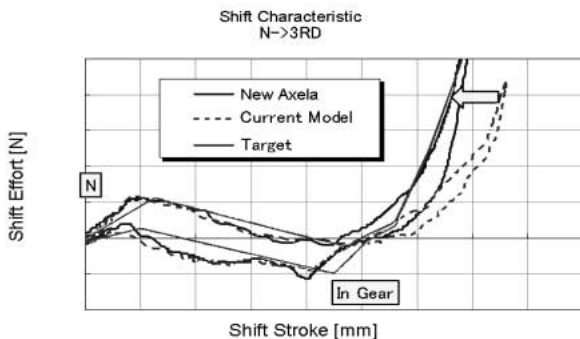


Fig.7 Static Shift Characteristic (N 3rd)

iii) MT車 操作力 (動的シフト特性) の改善

高速走行時のイーゼードライブを実現するため、5速、6速ギヤのシンクロナイザリングをサイズアップし、仕事

量で10~15%の低減を実現した。

また、低粘度のトランスミッションオイルを採用することにより、低温時の操作力を改善した。同時に内部の回転抵抗を低減することができ、省燃費化にも貢献できた。

3.2 環境性能の向上

世界的なCO<sub>2</sub>排出量削減、ガソリン代高騰に積極的に対応するために、マツダが保有する最新の技術を惜しみなく投入することで、大幅な燃費・CO<sub>2</sub>改善を図っている。

(1) 燃費性能の改善

日本においては 2010年燃費基準に対し1.5L/CVTは+15%、及び2.0L i-stop車が+25%を、2.0L (FF) が+15%を達成。

欧州においては各国で細かく分類されているCO<sub>2</sub>税制を考慮して大幅な燃費改善を実施している。この実現のため、i-stopやCVTの採用に加え、補機駆動ベルトの見直しや冷却ファン制御の見直し及びマニュアルトランスミッションに低粘度オイルを採用している。また、実用燃費の向上を目的に、お客様のエコドライブをサポートする「エコランプ」を新規採用した。

① i-stop

新型アクセラは、マツダ独自開発のアイドリングストップシステムである「i-stop」を2.0L直噴エンジンに採用した。i-stopは、約10%の燃費向上 (国内10・15モード) に加え、エンジン停止・再始動時にドライバに違和感を与えない自然なドライビングフィールを提供する。常に0.35秒 (AT車) というすばやい再始動を実現するため、エンジン停止時のピストン位置制御と、直噴エンジン技術を活用した「燃焼始動方式」を採用した。詳細は、本技報の「マツダi-stop (アイ・ストップ)」を参照のこと。

② CVTの採用

新型アクセラ用CVTはデミオで採用したCVTをベースに新規車体に合わせて、以下のチューニングを施したものである。

- i) 高車速安定性適合：アクセル操作に対する車速コントロール性、応答性他適合
- ii) 燃費適合：燃料流量特性をもとに燃費が最適になるようにシフトパターンを適合
- iii) 登降坂適合：車両諸元変更によるエンブレ感、再加速性確保のための適合

参考にギヤトレイン部の断面図をFig.8に示す。



Fig.8 CVT Cross Section



③ 補機駆動ベルトの張力低減による燃費改善(1.5L, 1.6L)  
 補機駆動ベルトの張力を低減することで、各補機への軸荷重が低下し、機械抵抗が減少することによって燃費が向上した。オルタネータにワンウェイクラッチ付きプーリーを採用することで、補機駆動ベルトのスリップ抑制とベルト張力低減との両立を可能とした。

④ 冷却系ファン制御  
 冷却システムにはPWM(無段階)制御電動ファンを旧モデルから踏襲した。従来Cセグメントではリレー(多段)制御が広く普及しているが、この制御システムにより、よりきめ細かな電力供給が可能となり消費電力の低減と低燃費化に貢献している。加えて商品性面でも日常コースのファン作動音の低減が実現でき、1ランク上の上質な音質を提供している。

⑤ エコランプの採用

i) 採用背景

「サステナブル“Zoom-Zoom”」の取り組みの一環として、お客様のエコドライブをサポートする『エコランプ(Fig.9)』を新型アクセラのAT車に採用した。本装備はランプの点灯により、無理や無駄の少ない運転操作をしていること、車両が燃費効率の良い走行状態であることを伝えることで、ドライバーの判断・操作・学習を喚起、エコドライブへの継続的な取り組みを促し、実用燃費の向上に寄与することを目的としている。



Fig.9 ECO Lamp

ii) 制御ロジック

エコドライブ普及連絡会が提唱する「エコドライブ10のすすめ」に対し、「ふんわりアクセルスタート」、「加減速の少ない運転」、「早めのアクセルオフ」といったドライバーの操作に関わる推奨行動を、よりドライバーが実現しやすくするためのガイド情報となる。基本的には、アクセル開度と車速によりあらかじめ設定したエコゾーン(Fig.10)の枠内で運転できているかどうかを示す機能であるが、車両前後の加減速度を検出することにより、例えば急発進や急ブレーキといった状況でエコランプを消灯させ、ドライバーにスムーズなアクセル、ブレーキ操作を促すことも考慮している。本機能はDレンジだけでなく、Mモードや、S/Lレンジといった走行レンジで機能する(Rレンジは除外)。また本機能は、ドライバーの運転操作技量向上のための機能

でもあり、ドライバーの操作を伴わないアイドル停車ではエコランプを消灯させている。

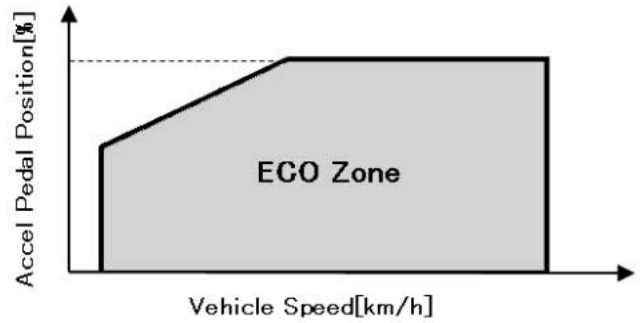


Fig.10 ECO Zone

(2) エミッション性能の改善

エミッション性能では、各国の厳しい排気ガス規制をクリアすることを目標に、エンジン制御の見直し及び新開発の触媒を採用している。特に新しく開発した「シングルナノ触媒」は使用貴金属量を大幅に低減しつつも、優れた浄化性能を維持させることができている。新型アクセラでは、排出ガス低減技術の一つとして「シングルナノ触媒(Fig.11)」を採用した。

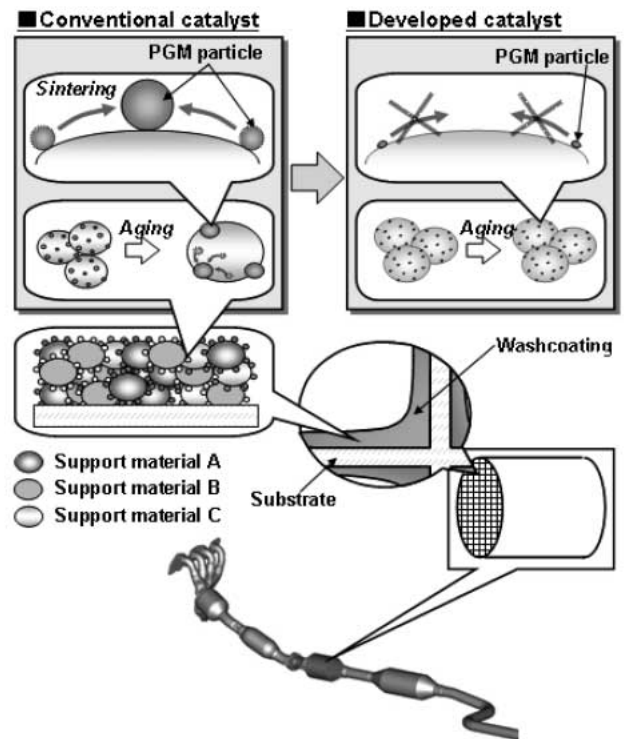


Fig.11 Single Nano Catalyst

自動車用触媒には、希少で高価な貴金属を使用しており、その使用量低減が重要な課題である。自動車用触媒では、貴金属はその表面で排出ガスの浄化反応を促進するという役割を果たしている。従来は走行距離の増加に伴って、排出ガスによる熱で貴金属の表面積が減り、触媒性能が低下するため、あらかじめ多くの貴金属を使用する必要があった。

今回採用した触媒では、貴金属の表面積を増やすために5nm以下という、より小さいサイズの貴金属の粒子を開発するとともに、触媒材料構造を独自開発し、貴金属を触媒材料に埋め込みシングルナノサイズのまま固定する世界初の触媒構造を実現することで、貴金属の使用量を大幅に低減することを可能にした。本技術により、新型アクセラは床下触媒の貴金属の使用量を0.15g/Lと大幅に低減しながら、国内JC08C + JC08Hモードで平成17年基準排出ガス75%低減レベル (SU-LEV) を達成し、ヨーロッパのエミッション規制である「Stage5」にも適合している。

#### 4. ディーゼルエンジン

新型アクセラでは、旧モデルから採用している1.6Lと新開発のMZR-CD2.2Lの2種のディーゼルエンジンをラインアップした。

##### (1) MZR-CD2.2L

新型アテンザで搭載している新開発のMZR-CD2.2Lエンジンを搭載。このエンジンは、200MPaの高圧コモンレールシステム、可変ノズルターボチャージャーなどの新技術により、クラストップレベルの運動性能を実現した。また、新型アクセラでは150ps仕様において、小型ターボを採用することでアクセルレスポンスを高めるとともに、ギヤ比を高速化することで燃費性能を向上させた。更に独自開発の触媒活性メカニズムを利用したディーゼルパティキュレートフィルタにより、ディーゼルエンジン特有の煤の燃焼速度を高め、欧州の排気ガス規制であるStage5に対応している。詳細は、本技報の「新型MZR-CD2.2エンジンの紹介」を参照のこと。

##### (2) 1.6Lディーゼルエンジン搭載車の冷却システム

新型アクセラの1.6Lディーゼルエンジン搭載車では、冷却性能を向上させるために新規開発した冷却システムを採用した。具体的には、エンジン冷却用ラジエータと、吸入空気冷却用インタークーラを車両前方にモジュール化搭載した (Fig.12)。これは、冷却に必要な車両全面風速を最大限に活用するとともに、パッケージ効率を最大限に引き出すことを目的としている。更に、インタークーラには専用の電動ファンを装着し、低速域での冷却効率を補助することで、低速時の加速・発進応答性向上に加え、冷房性能にも寄与している。

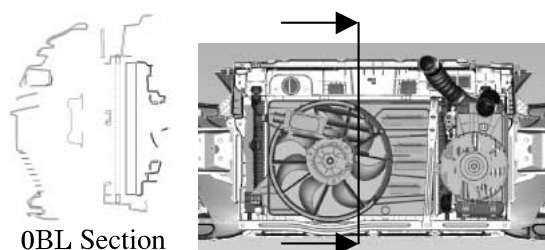


Fig.12 Cooling System of 1.6L Diesel Engine

#### 5. おわりに

新型アクセラのパワートレインは、先代よりも更に、世界中のお客様に喜んでいただけるよう、ベースモデルの熟成だけでなく、多くの新技術を採用することで、一歩進んだ「サステイナブル“Zoom-Zoom”」を具現化した自信作となった。今後も更なる喜びをお客様に提供できるよう、革新的な商品開発を進めていきたい。

#### 著者



猿渡健一郎



白石大作



宮崎亜希夫



森工



倉増拓



西尾貴史

特集：新型マツダアクセラ

13

## 新開発マルチインフォメーションディスプレイの紹介 Development of Multi Information Display

居倉和徳<sup>\*1</sup> 細田浩司<sup>\*2</sup> 角岡幸治<sup>\*3</sup>

Kazunori Ikura

Kouji Hosoda

Kouji Kadooka

宮崎透<sup>\*4</sup>

Tooru Miyazaki

### 要約

マルチインフォメーションディスプレイ（以下MID）は、車両の情報表示機器として新たに開発した商品である。従来の表示機器より多くの情報を表示することが可能になるため、ユーザへの有効な伝達手段となる。新型アクセラにおいては、運転に必要な情報をより分かりやすく表示することに注力して開発を行った。本稿において、その開発コンセプトを紹介する。

### Summary

MID (Multi Information Display) is a product newly developed as a vehicle information display device. Since MID can display more information than conventional display devices, it serves as an effective method of communication from a multifunctional vehicle to a user. Our focus in the development of all-new Axela was to make the information display necessary for driving easier to understand. This article introduces the background of the development.

### 1. はじめに

昨今、車両の電装化が進む中で、ドライバに提供できる車両情報が増えてきている。情報提示の手段としては、インストルメントパネル内にディスプレイを配置することが一般的である。しかし、ドライバが運転中にディスプレイを注視できる時間は限られており、いかに安全に分かりやすく情報を提供するかが課題となっている。

このような状況においてマツダは、走行中に視認が必要な情報をまとめて、インストルメントパネル上部に表示させる“集中ディスプレイ”を初代アテンザより採用し、好評を得ている。新型アクセラでは、このコンセプトをベースに、機能統合と表現力を更に向上させたMIDを開発したので紹介する。

### 2. MIDの開発コンセプト

MIDとは、マツダ初のマルチインフォメーションディスプレイの略であり、高解像度な液晶に自由に画像を表示することができる情報表示器である。従来からマツダ車はオーディオ、空調などの表示を一括してインストルメント

パネル上部に設定することで、走行中でも情報の確認ができるような車造りを行ってきた。一方、最近のナビゲーションシステムやリアビューカメラなどのサブシステムの増加により、それらの表示位置（ナビゲーションディスプレイ）がインストルメントパネル中段まで拡大し視認性が低下する、操作が複雑化し分かりにくい、といった課題がある。そこで、これらの新機能も含めて「インパネ上段に一括表示し集中操作できる統合表示システム」として、MIDを計画した（Fig.1）。



Fig.1 MID

\*1~3 電子開発部  
Electrical & Electronics Development Dept.

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

- 具体的なコンテンツは、従来から採用している
- ・オーディオ（音源，ラジオ周波数，再生曲順，再生時間など）
  - ・空調（設定温度，風量，吹き出しモードなど）
  - ・時計，およびトリップコンピュータ（瞬間燃費，平均燃費，航続距離など）

に加え，最近の需要増大や車両の機能統合を踏まえた

- ・ナビゲーションシステム
- ・衛星ラジオやiPod等のデジタルオーディオ表示（放送局名，アーティスト名，アルバム名，曲名など）
- ・ECO情報（ECOドライブ診断，i-stopなど）
- ・車両のメンテナンス情報（オイル交換時期など）
- ・カスタマイズ（ワーニング音量変更など）

等の新機能を織り込んだ。これにより，従来のマツダのディスプレイに対する考え方を一歩推し進めている。このような情報表示器において，どのような内容を，どのような意匠で表示させるかは，お客様の使いやすさに直結するため，とても重要なところである。また，その表示の視認性をいかに確保するかも，安全な走行を保障するために重要な要素であると考えられる。このため，我々はMIDに開発において，以下の項目に注力して開発を行った。

- ・視認性：視線移動の最小化のため，インストルメントパネル上方へ配置
  - ・操作性：手元かつブラインド操作の実現のため，ステアリングスイッチを採用
  - ・瞬読性：表示する情報の厳選と，高解像度LCDの採用
  - ・コンテンツ：お客様に喜んでいただける付加価値の創造
- 以下の章にこれらをどのように実現したかを詳細に述べる。

### 3. 視認性

MIDの開発初期からのテーマだったのは，運転中の視認性の確保であった。運転中，前方を注視しているドライバーが，眼球運動だけで情報を注視することができる範囲，すなわち有効視野は，左右約15度，上方向約8度，下方向約12度といわれている。また，頭部運動が眼球運動を助ける状態で発生し，無理なく注視が可能な範囲（注視安定視野）は，左右30～45度，上方向20～30度，下方向25～40度以内の範囲である（Fig.2）。

そこでディスプレイは，注視安定視野内へ配置することで視線移動を少なくし，かつディスプレイを注視しても，前方車両の挙動変化やStopランプの点灯有無が有効視野から認知できるインストルメントパネル上方の配置とした。しかし，ここで決めたインストルメントパネル上方かつ遠方という位置は，車両構造において，空調のダクト，インストルメントパネルを保持するためのメンバ等が複雑に交錯し，情報機器を配置するための空間がほとんどない場所である。従来であれば，この段階で断念せざるを得ない状

況であったが，DENSO社の新しい基板製造の技術（PALAP）を採用することにより，電子回路を高密度で実装することが可能となり，表示画面の大きさを犠牲にすることなく，最適な位置に配置することが可能になった。

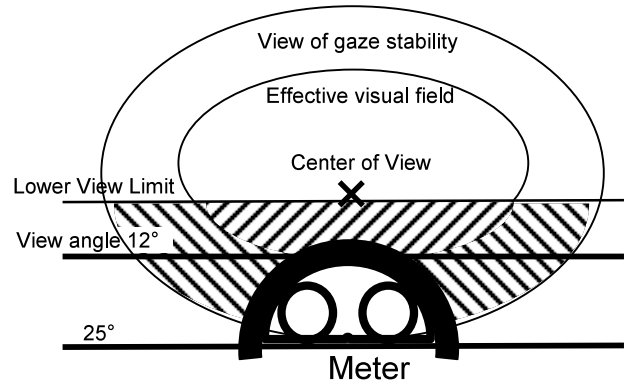


Fig.2 View Area

### 4. 操作性

視認性の確保と等しく重要と考えたのが，運転中の操作性である。特に高速走行中は，ステアリングを両手で把持することが多い。MIDの操作は多くのコンテンツを表示させるために階層構造になっており，操作時間が長くなることがある。このため，操作によってステアリングから手を離すことになるスイッチ配置を避けることを第一優先とし，MIDの操作スイッチはステアリングに配置することが最適であると結論付けた。この方式では，ナビゲーションにおける操作性確保の手段であるタッチパネルが使えないことになる。このため，我々はステアリングに配置したスイッチでも操作できるように，ナビゲーションの操作を簡略化することに注力した。更に，スイッチの操作性についても配慮した。まず配置は，ステアリングを把持した状態から自然な操作ができるよう，フィンガーリーチの要件を決定した。また，スイッチの操作方向は，ステアリングを把持した状態における人間の指の動作は「上下方向がしやすい」ことに着目し，上下方向の操作を基本とし，左右方向の操作は極力使わないように配慮した。以上により，運転中にステアリングを把持した状態で，ブラインド操作が可能な操作性を実現した。

### 5. 瞬時に分かる表示内容

これまで説明してきたように，MIDは高速走行中でも安全に使えることを開発の目標としている。このため，画面に表示する内容についても，分かりやすく，シンプルな表示を採用している。カラータイプは，高解像度な液晶を採用していることもあり，細かい表示を出すことも可能であるが，分かりやすさに重点を置き，あえてシンプルな表示にしている（Fig.3）。

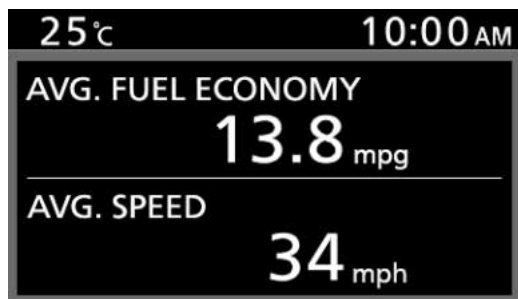


Fig.3 Screen Design

## 6. 付加価値

### 6.1 ナビゲーション

ナビゲーションは前述のMID開発コンセプトに加え、近年、欧米を中心に爆発的に需要が伸びている簡易型ポータブルナビ（PND）に対抗し得る、“低コストで使いやすいナビゲーション”をコンセプトに新規開発した。

機能面ではナビゲーションシステムの基本機能である位置表示、目的地検索、ルート案内の各機能に特化したシンプルな構成とすることで操作性を向上させている。具体的には、一度に設定可能な目的地数の削減や回避エリア設定機能の廃止など市場ニーズに応じた機能の絞り込みを行っている。このような機能の絞り込みに加え、地図データを蓄える媒体をフラッシュメモリ化することでPNDに匹敵するコストを実現した。

操作は他の機能と同様に全てステアリングスイッチで行うが、基本的な操作は全てプッシュエンター付き上下グルスイッチひとつで可能なように画面上のボタン類を縦方向配置とすることでブラインド操作を実現している。また、素早く直感的に操作できるようにメニュー構成を見直し、特に地図のズームイン・アウトや周辺施設検索など走行中の操作頻度が高いものはより少ないアクション数で操作できるよう、操作フローと画面ボタンのレイアウトを考慮した。一画面に表示するメニュー数は最大5項目とし、選択（オンカーソル）時に強調表示とすることで走行中もストレスなく短時間で確認可能なように、視認性面での配慮も行っている（Fig.4）。



Fig.4 Menu Screen

ナビゲーションシステムで最も重要なルート案内機能ではMIDの画面サイズを考慮し、一般的なナビゲーションシステムで採用されている通常地図+交差点拡大図の2画面案内に代わってオートズーム機能、および地図画面へのTBT（進路の矢印）重畳表示機能を新たに開発し搭載した。交差点等の案内ポイントに近づくと地図の縮尺を自動で拡大表示し、進路を大型の矢印で強調表示することで小型の画面サイズにも関わらず優れたルート案内性能を実現している（Fig.5）。



Fig.5 TBT Screen

目的地検索などの際に必要な文字入力のインターフェイスについては、欧州向けMazda6で採用したCF-NetのインターフェイスをベースにMID向けに新規設計した（Fig.6）。次候補文字の絞り込み機能や次候補が1件に絞り込まれた際に自動入力するオートコンプリート機能も備えており、ステアリングスイッチで容易に入力できるよう、工夫をしている。



Fig.6 Character Input Screen

### 6.2 オーディオ

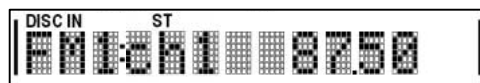
新型アクセラでは初代アテンザ以降の車種で採用してきた集中ディスプレイオーディオ表示を残しながらMIDへの追加情報表示を行っている（Fig.7）。

従来の主なオーディオメディアはラジオ、CDであり、これらのメディアでは周波数や曲番号等の数字情報のみで十分に選曲操作が可能であった。

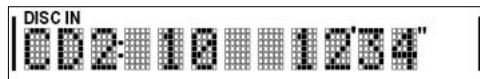


Fig.7 Audio Display

そのため、我々は集中ディスプレイに数字情報を基本としたオーディオ表示を行うことでお客様のオーディオ操作をサポートしてきた (Fig.8)。



(a) Radio mode



(b) CD mode

Fig.8 Current Display

しかし、近年市場環境が急激に変化しており、オーディオメディアの増加、多機能化が著しく進んでいる。北米ではデジタル衛星ラジオ放送が開始され、またお客様はパソコンを用いることで誰もが容易にMP3やWMA形式の音楽データを作成できるようになった。また、マツダが世界の自動車メーカーに先駆けて対応を推し進めてきたiPod等のデジタル携帯オーディオプレーヤの普及も見逃せない。これらの新オーディオメディアではアーティスト名や曲名等の各種タイトル情報が付加されており、お客様はこれらの情報を利用して選曲操作を行うことにより多数の放送チャンネルや曲の中から目的の音楽にアクセスする。そこで、集中ディスプレイとMIDを併せ持つ新型アクセラでは、MIDのオーディオ表示情報は従来の集中ディスプレイオーディオ表示情報を補完するものと位置付けた。MIDは、その画面に様々な情報を表示できることがメリットであるが、オーディオ表示のようにお客様がいつでも確認をしたい情報をその画面内に常時表示させると画面構成が複雑になり、見づらくなるというデメリットがある。このため、従来の集中ディスプレイオーディオ表示はそのまま残すことで、お客様が最低限必要としている情報はわかりやすく常に確認できるように配慮し、MIDへは集中ディスプレイに表示されないオーディオ情報を追加表示することにした。

ラジオモードでは従来の集中ディスプレイオーディオ表示では表示されなかった放送局周波数メモリー一覧をMIDに表示することでお客様のラジオ選局を容易にした (Fig.9)。

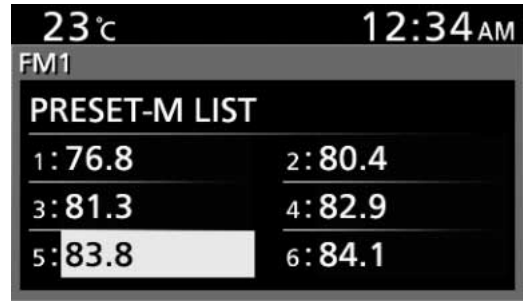


Fig.9 Preset Screen

なお、RDS (Radio Data System) と呼ばれる高機能FM放送が行われている欧州仕向けにおいては、周波数表示に代えて放送局名を表示することにより直感的なラジオ選曲を可能としている (Fig.10)。



Fig.10 Auto Memory Screen

その他、各種タイトル情報を持つデジタル衛星ラジオやMP3/WMA、iPodモードではアーティスト名や曲名等のタイトル情報を表示することによりお客様の曲選択操作をサポートし、再生時には複数のタイトル情報を提供している (Fig.11)。



Fig.11 CD Screen

また文字数については可変幅フォントを採用し1行あたり最大48文字の表示を可能としている。文字種類については各仕向けの主要言語を表示するため、北米仕向けでは3言語、欧州仕向けでは5言語に対応している。更に国内仕向けでは、かな/漢字表示を行うことができる。

このようにMIDでは従来の数字情報を基本とした集中ディスプレイオーディオ表示に加え、ラジオの周波数メモ

リリストやCD等のアーティスト名や曲名等のタイトル情報を表示することにより、MIDの持つ情報表示能力の高さを最大限活用し、お客様のオーディオ操作をより分かりやすいものになっている。

6.3 ECOドライブ診断

昨今の環境問題への対応の一つとして、運転時における燃料消費の抑制が話題になっている。マツダにおいても、新型アクセラにてECOランプを採用している。ECOランプはドライバが燃費に良い運転をしている際に点灯するインジケータである。MIDにはエンジン始動してから現在までのECOランプの点灯率を表示させ、お客様が確認できるようにした。ECO表示の画面は、ドライバの好みで走行中常時表示させることも可能であるが、走行中表示させないドライバに対して、エンジンを切った際約5秒間ECO画面を自動で表示させるようにしており、運転状況を把握していただけるようにしている (Fig.12)。

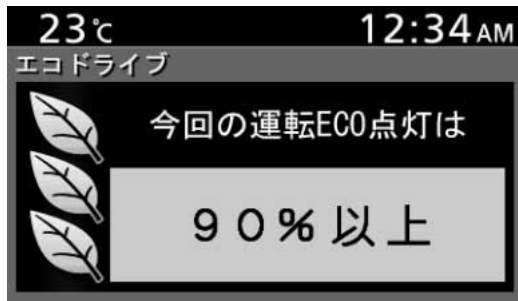


Fig.12 Eco Screen

6.4 i-stop表示

ECOランプと同じく、環境問題に対するマツダの取り組みの一つとして、i-stopを新型アクセラに採用している。i-stopはマツダ初のアイドリングストップシステムであり、アイドリング中にエンジンを自動で停止させるシステムである。システムの目的は、お客様には意識されることなく、自動でエンジンを停止し再始動させることであるが、お客様にどれだけ環境に寄与しているかを感じていただけるよう、MIDにアイドリングを停止した累計時間を表示させる機能を持たせた。特にカラータイプにおいては、その表示の中に時間に応じて成長していく木を表示させる機能を持たせており、車を運転するのは別の楽しみを感じていただけるようにした (Fig.13~15)。



Fig.13 i-stop 1



Fig.14 i-stop 2



Fig.15 i-stop 3

6.5 メンテナンス

従来、定期点検時期等の案内はハガキ等の手段でお客様にお伝えしているが、MIDはその時期になると画面上にお客様への告知画面を出し、適切な情報提供ができるようにした (Fig.16)。また、従来であればお客様にお伝えすることが困難であったタイヤローテーション時期も走行距離を計算することで、告知を可能にした。これにより、お客様に更なる安全、安心を提供することが可能になった。定期点検時期は、その機能を稼動した日と距離を起点として、MIDに備わる時計機能とトリップコンピュータ用に取得している距離情報をもとに計算する。初期値は仕向けにより定められたサービスインターバルを工場出荷時に記憶しており、ディーラーでの設定値変更等の作業を軽減している。

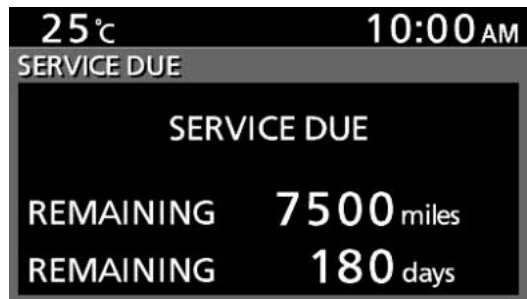


Fig.16 Maintenance Screen

6.6 カスタマイズ

もともと、大量生産により同じ車を数多く作ることで価格を下げた自動車産業であるが、反面個々のお客様の好みを細かく反映できないというジレンマがあった。今回



MIDに採用したカスタマイズ機能は、これまで決まったものとして提供していた機能の一部を、お客様に選択していただけるようにするものである。今回カスタマイズを可能にした機能は、メータ内の警告ブザーの音量調整、方向指示器の音量の調整、日本以外の仕向けに対しては、言語選択、温度表示単位選択などがある。これにより、お客様の好みにあわせた車両設定が可能となっている (Fig.17)。

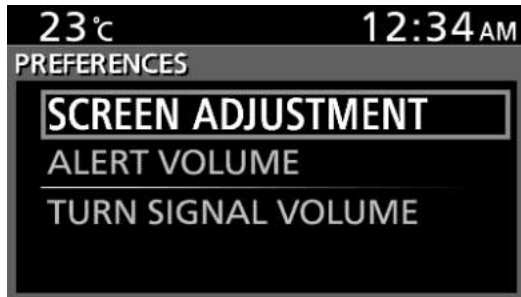


Fig.17 Setting Screen

## 7. おわりに

以上、MIDの機能の概略を紹介した。車両電装品はますます高機能化しており、今後更に情報表示機器の重要度が増すと考えられる。お客様へのより良い情報表示手法の開発は今後も引き続き必要であり、更なる進化をお客様に感じていただけるよう努力していきたい。

### 著者



居倉和徳



細田浩司



角岡幸治



宮崎 透

特集：マツダビアンテ

14

## マツダビアンテの紹介

### Introduction of Mazda Biente

清地 秀 哲<sup>\*1</sup> 山 崎 博 和<sup>\*2</sup> 前 川 義 博<sup>\*3</sup>  
 Hideaki Seichi Hirokazu Yamasaki Yoshihiro Maekawa  
 藤 田 智 史<sup>\*4</sup>  
 Satoshi Fujita

#### 要 約

ビアンテは、国内の自動車市場におけるボリュームセグメントの一つである「Tallタイプ」と呼ばれる背の高いミニバンカテゴリに、満を持して投入したクルマである。デミオとアテンザに続くサステイナブル“Zoom-Zoom”商品として、環境・安全性能を確保するのはもとより、Tallタイプミニバンの基本要件である「広い室内」や「高い機能性」と、「車本来の魅力であるデザイン」や「走る喜び」を高い次元で両立させた、乗る人すべてをワクワクさせる進化したTallタイプミニバンである。

#### Summary

Mazda Biente made its long-awaited debut into the tall type mini van category called “tall type”, which is one of volume segments in domestic auto market. Following Demio and Atenza, as a product to represent sustainable “Zoom-Zoom”, needless to say environmental and safety performances, Mazda Biente ensures “spacious cabin”, a basic feature of “tall type” mini van, and “high functionality” as well as its achievement of perfect balance of “vehicle’s primary attractive design” and “driving pleasure”. Mazda Biente is the evolved “tall type” mini van to achieve exciting experience for all of the occupants.

#### 1. はじめに

国内市場でコンパクトカーとTallタイプミニバンは健闘している数少ないセグメントである。ビアンテは、小さなお子様を持つ家族にとって「乗る人すべてがワクワクする」、「乗ればみんなが幸せになれる」商品を目指した。特に、クラスNo.1<sup>\*</sup>の広さを持つ開放感のある室内に加えて、ユニークなシートアレンジ 躍動感ある個性的なデザイン、快適で安心感の高いダイナミック性能を実現した。本稿では、ビアンテの商品コンセプトやデザインを含む商品概要について紹介する。

\*：2,000~2,300ccクラスミニバン（3列シート国産乗用車）の室内容量

#### 2. 商品コンセプト

ビアンテの商品コンセプトは、見て、乗って、夢が広が

る“Zoom-Zoom Tall”である。開発に当たっては、「家族みんなをワクワクさせる みんなの夢をかなえるミニバン」の創造を目指した。そのため、サステイナブル“Zoom-Zoom”を支える環境・安全性能をベースに、3つのキーワードを実現した。

- (1) 乗る人の“楽しさ”“快適さ”を最優先した居住空間  
「室内の広さ」「扱いやすさ」「クリーンインテリア」
- (2) 所有することの“楽しさ”がひと目で感じられるデザイン  
「ビアンテだけの躍動感あるデザイン」
- (3) 家族と快適にドライブできる“安心”と運転する“楽しさ”  
「ダイナミック性能」「環境・安全性能」

\*1, 2 プログラム開発推進本部  
Program Management Div.

\*3 車両開発推進部  
Vehicle Development Promotion Dept.

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

### 3. ビアンテの特徴

#### 3.1 乗る人の“楽しさ”“快適さ”を最優先した居住空間

##### (1) 室内の広さ

3ナンバーボデーのゆとりを活かしてクラストップの室内空間、他に類を見ない広々感と開放感を実現した。具体的には、室内長、室内幅、1列目と2列目席の頭上空間はクラストップの寸法を確保した。加えて、1列目席のヒップポイントの地上高さを同クラスの競合車より30~50mm程度低めに設定した上で、後席になるほど着座位置を70~80mm程度高くしたシートレイアウトを採用 (Fig.1)。大きなガラスエリアと後席の鞍型ヘッドレストと相まって、どの席からも見晴らしが優れる開放感ある室内を実現した (Fig.2)。また、3列目席の座面をチップアップさせて2列目席と一緒に最後端位置まで後退させることにより、2列目席前にリビングルームでくつろぐような広大な足元スペースを実現することができ、楽しさと快適さが味わえる。

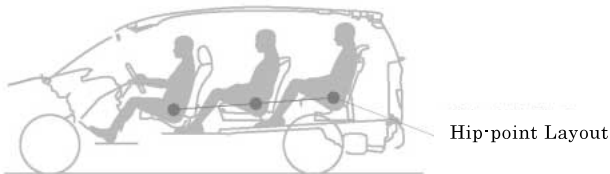


Fig.1 Seating Package Layout



Fig.2 Front Visibility

##### (2) 扱いやすさ

乗降性面では、1列目席は前方が見やすい運転視界を確保しつつ、小柄な方も無理のない姿勢で快適に乗り降り可能とするため、ヒップポイント地上高を競合車より低めの708mm (設計基準位置) に設定し、フロア高さも低くして視界と乗降性の両立を図った (Table 1)。

Table 1 Ingress/Egress of 1<sup>st</sup> Row Seat

	Biante	Competitor A	Competitor B	Competitor C
1st Row SgRP to Ground (CW)	708	765(+57)	753(+45)	741(+33)
1st Row Floor to Ground (CW)	319	441(+122)	415(+96)	393(+74)

SgRP : Seating Reference Point

CW : Curb Weight

2列目席への乗降は、780mmの大開口両側スライドドアとフロアと段差の少ない幅広ステップを採用。2列目席の前後/左右スライド機能と合わせて、小さなお子様と手を取り一緒に乗り込みできる寸法とした。更に、3列目席へ

の乗降は、2列目席を車両の外側へ横スライドさせることにより、チャイルドシートを装着したままでも、2列目席の間を通り3列席へ乗降することができる (Fig.3)。

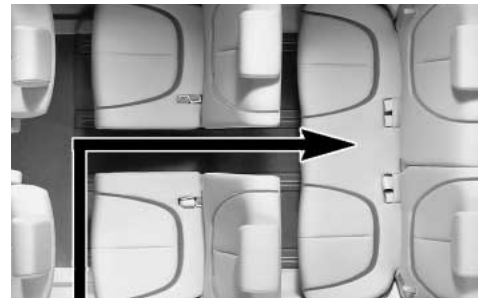


Fig.3 Access to 3<sup>rd</sup> Row Seat

シートは、2列目席は左右独立とし3列目席と同一スライドレール上に配置。2列目席の乗員が思い切り足を伸ばせてくつろげる「リビングモード」、運転席の目の届く位置まで赤ちゃんを近づける「トライアングルモード」、必要に応じて3列目へのアクセスができる「ウォークスルーモード」など快適で楽しさあふれるシートアレンジを採用した (Fig.4, 5, 6)。また、女性でも楽に簡単な操作で広い荷室を作れるように、3列目席はベンチシートのロングスライド式とし、操作レバー位置を3列目席は室内側及びリフトゲート側からでも操作できるようにシートの前後へ、



Fig.4 Living Mode



Fig.5 Triangle Mode



Fig.6 Walkthrough Mode

2列目席は室外からの乗降性に配慮してシートの外側へ配置した。

荷室収納面では、長尺物などの積載を考慮して3列席目のシート下に荷物の収納が可能な空間を設定した。

取り回しでは、3ナンバーポデーでありながら、最小回転半径5.4mを実現。大きなフロント三角窓により、交差点での右左折時、横断中の歩行者などがはっきり見えるワイドな斜め前方視界を確保した (Fig.7)。



Fig.7 Front Quarter Visibility

### (3) クリーンインテリア

小さなお子様を持つ家族に、「空気清浄」「消臭効果」「お手入れ簡単」をコンセプトに快適装備を設定した。

空気清浄では、エアコンに除菌、脱臭、アレル物質の抑制に効果のあるラジカルイオン発生装置とアレル物質やウイルスなどを捕捉するアレルバスター<sup>®</sup>\*フィルタを採用。

消臭効果では、天井生地に消臭機能を持たせ、タバコの臭いやホルムアルデヒドなどの成分を吸着させて分解・消臭、半永久的に効果が持続する消臭天井を採用。

お手入れ簡単では、シートにコーヒーやジュースなどの液体がこぼれた場合でもしみこみにくい加工を施し、汚れが付きにくく拭き取りやすいクリーナブル機能を採用した。

\*:「アレルバスター<sup>®</sup>」はパナソニック株式会社の商標です

### 3.2 所有することの“楽しさ”がひと目で感じられるデザイン

ビアンテでは、「ドライバが楽しい」から「乗る人すべてが楽しい」へとZoom-Zoomの提供価値を進化させた。また、初めて見るのにひと目でマツダ車とわかるファミリーフェイスに加え、動き、エネルギー、軽やかさの表現としての「流れ」を感じさせるデザインテーマを採用した。

#### (1) エクステリアデザイン

「スペースモチベーター」をコンセプトにひと目で直感



Fig.8 Front Quarter Styling



Fig.9 Rear Quarter Styling

できる室内の広さ、快適さ、ワイドな視界、止まっても動いて見えるスタイリングを実現。Tallミニバンにはない滑らかなシルエットと広い室内を両立させた (Fig.8,9)。

#### (2) インテリアデザイン

「オープンフォーカスインテリア」をコンセプトにドライバの他、ビアンテに乗る全員がワクワクするドライビング体験を共有できる空間を目指した。後席からもよく見えるトップマウントワイドメータ、後席になるほど着座位置が高くなるシート配置、広いガラスエリアなど、楽しさと開放感あふれるインテリアを実現した (Fig.10,11)。



Fig.10 Instrument Panel



Fig.11 Interior Styling

#### (3) カラー&マテリアル

インテリアカラーは、穏やかで開放感のあるライトベージュと引き締まって重厚感のあるブラックを設定。ポデーカラーは気品のある華やかさを演出する7色を設定した。

### 3.3 家族と快適にドライブできる“安心”と運転する“楽しさ”

#### (1) ダイナミック性能

##### ① 高剛性ポデー

軽量かつ剛性の高い高張力鋼板を多用しつつ、ウエルド

ボンド及び溶接位置の最適化や、サスペンション支持部の局部剛性を高めた。また、大きなリヤドア&リフトゲート開口部の形状最適化等により、サスペンションの入力をしっかりと受け止める高剛性と軽量化の両立した安心感あるボデーを実現した (Fig.12)

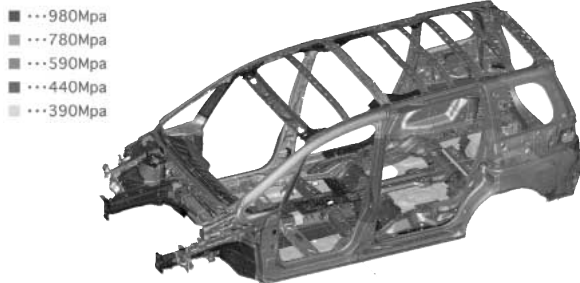


Fig.12 Body Shell Structure

② サスペンション, ステアリング

フロントにはマクファーソンストラット式, リヤにはクラス\* 唯一のマルチリンク式を採用。ダンパ支持部やリヤトレーリングアーム取り付け部の局部剛性アップなどにより, 多人数乗車でも安心感ある操縦安定性と快適な乗り心地を実現した。ステアリングは, 電動ポンプ式油圧パワーステアリングを採用。運転する楽しさが味わえるナチュラルなすっきりした操舵フィールで, 正確さとリニア感を実現した (Fig.13)

\* : 2WD 2,000cc Tallミニバンクラス (3列シート国産乗用車)



Fig.13 Rear Suspension

③ 静粛性能

高剛性ボデーを基本にして, タイヤ構造&ホイール剛性最適化, サスペンション系の振動特性の最適化や吸音材の最適化などによるロードノイズ低減, Aピラー&ドアミラー形状最適化やドア剛性アップなどによる風騒音低減, 排気系チューニングや最適遮音対策などによるエンジン音低減を図り, クラストップレベルの静かで快適な室内空間を実現した (Table 2)

Table 2 NVH Data

	Road Noise* 60km/h(dB)	PT NVH Loudness(sones)	Wind Noise 140km/h(dB)
Biante	57.4	26.2	34.0
Competitor A	58.3	24.4	39.0
Competitor B	58.7	26.6	38.0
Competitor C	62.4	29.1	36.0

※: Smooth Road

④ 乗り心地

フロント&リヤダンパ支持部やリヤトレーリングアーム取り付け部の局部剛性の向上と, ドア&リフトゲート開口部の形状/仕様などによる全体剛性を最適化した車体, サスペンション系のプッシュヤンプストップなどの弾性素材特性を最適化したサスペンションにより, 家族で快適にドライブできるフラットでマイルドな乗り心地を実現した。

(2) 環境・安全性能

① パワートレイン

エンジンは, 経済性とトルクフルな走りを実現する2.0L DISIと力強く加速レスポンスに優れた2.3Lエンジンを設定した。2.0L全車には, 圧縮比を高くすることで燃費性能と出力性能を改善したDIシステムを採用。2.0Lの2WD車は「平成22年度燃費基準+20%」を達成してグリーン税制適合車とした。また, 全車に「平成17年度基準搬出ガス75%低減レベル (SU-LEV)」認定の優れたクリーン性能を実現した (Table 3, Fig.14)

トランスミッションは, 2WD全車にワイドなギアレシオを持つ5ATを採用。トルクコンバータ特性を最適化することで, 市街地走行で多用する中間領域においてクラストップレベルのピックアップ加速を実現した。2.3L車にはステアリングシフトスイッチを標準として, スポーティなドライブも楽しめるマニュアルモードを採用した (Fig.15)

Table 3 Power Train Lineup

Traction	Engine Displacement	Trans.	Emission
2WD	2.0L S-VT DISI	5AT	SU-LEV
	2.3L S-VT -	5AT	SU-LEV
4WD	2.0L S-VT DISI	4AT	SU-LEV

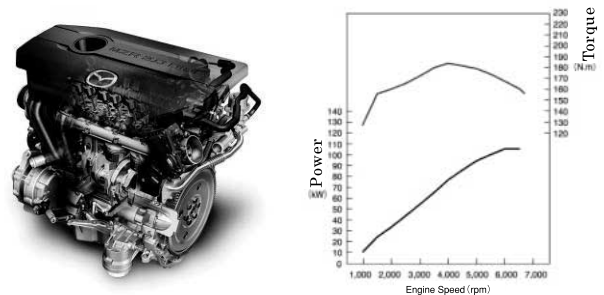


Fig.14 MZR DISI 2.0L Engine



Fig.15 Steering Shift Switch (2.3L)

② ブレーキ

フロントはベンチレーテッドディスク，リヤはディスクとし全車16インチブレーキを採用。ペダル踏力に応じたりニアな効きに加えて，踏み込みに高い剛性でしっかりと応えてくれる安心のブレーキ性能を確保。また，ウォークスルーを配慮し足踏み式パーキングブレーキを採用した。

③ 空力性能

横風安定性や燃費改善というTallタイプのミニバンに求められるニーズに対応し，アッパーボデーでは，A&Dピラーの形状最適化。アンダーボデーでは，フロントバンパ下部形状などの最適化やリヤタイヤディフレクター設定などにより，クラストップのCd値0.30を実現した (Fig.16)

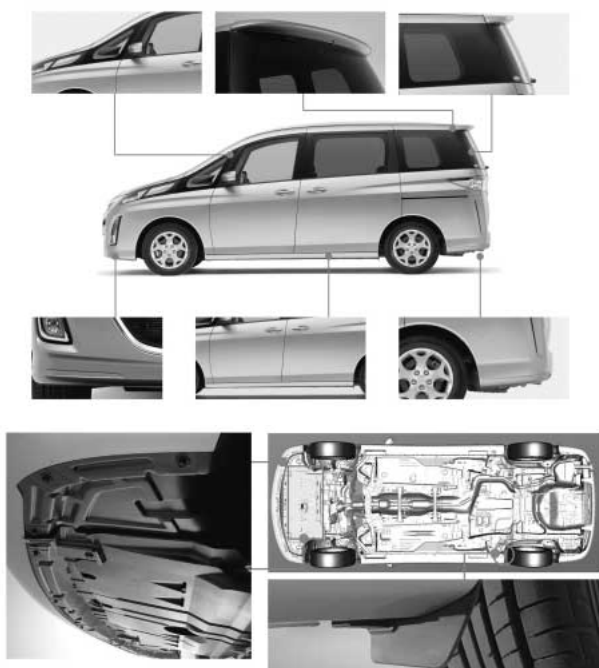
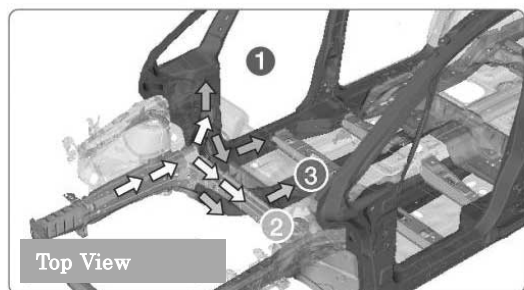


Fig.16 Aerodynamic Appendage

④ 衝突安全性能

フルラップ正面衝突，オフセット正面衝突，側面衝突など様々な衝突形態に対して，国内保安基準はもとよりマツダ独自の厳しい社内基準に対応した高剛性・安全ボデーを開発。クラストップレベルの衝突安全性能を実現した (Fig.17, 18)



①Hinge pillar, ②Dash cross member, ③Tunnel side member

Fig.17 Front Body Structure

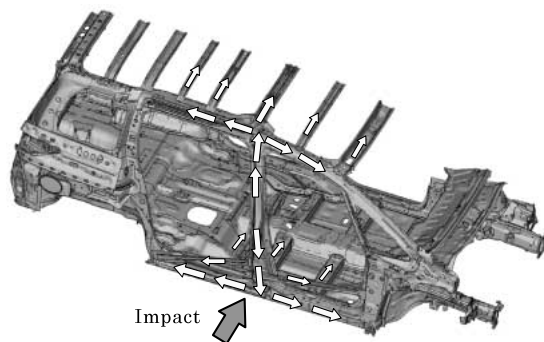


Fig.18 Side Body Structure

4. おわりに

マツダは，ポンゴフレндиを販売中止して以降，久しぶりに中型Tallミニバンセグメントへビアンテで再参入することになる。強力な競合車がひしめく中，ただの道具ではない，乗る人すべてがワクワクする，乗ればみんなが幸せになれるマツダらしいミニバンが開発できたと考えている。この車を通して一人でも多くのお客様の夢が叶い，クルマの隣で笑うお客様の笑顔に出会うことができることを期待している。

著者



清地秀哲



山崎博和



前川義博



藤田智史

特集：マツダビアンテ

15

## マツダビアンテのデザイン Design of Mazda Biente

小泉 巖\*<sup>1</sup>  
Iwao Koizumi

### 要 約

ビアンテのターゲットカスタマーは日本の家族である。日本中の家族に喜んでいただくためのアイディアをパッケージ、プロポーション、スタイリングテーマに統合的に反映した。エクステリアデザインにおいてはマツダらしさとターゲットカスタマーのニーズを従来ミニバンの箱の概念を超越したマツダらしい動きのあるフォルムにまとめた。インテリアデザインにおいては、乗員全員がワクワクするようなドライビング体験を共有できる乗員全員のための開放感のあるコックピットを実現した。カラー領域ではシリーズ全体として気品のある華やかさを具現化した。

### Summary

The target customers for Biente are Japanese family. The integrated approach has been taken to incorporate ideas which make all the family enjoy this vehicle into the package, the proportion and the styling theme. Features unique to Mazda and target customers' needs are reflected in the exterior dynamic form, which goes beyond the conventional concept of minivans. For the interior design, the cockpit, which delivers open feel, is designed in a way that all the passengers share the exciting driving experience. We also embodied distinguished looking and bright colors in the all the series.

### 1. はじめに

ビアンテは日本市場専用のミニバンである。デザイン開発段階の早いうちから販社の代表者やマーケティング部門、購買部門、生産部門、設計部門とディスカッションを繰り返し、販社やメーカーといった会社の枠や、部門の壁を越えたワンマツダの視点で、顧客ニーズとマツダブランドの独自性を共有しコンセプトを練り上げた。

ビアンテが参入する中型トールミニバンはスペース効率と機能性重視の箱が主流である。そのような競合環境の中で我々は、車本来の魅力である動くことへの感動を大切に、顧客ニーズと両立することにより、これまででない新しい価値を創造するという戦略をとった (Fig.1)

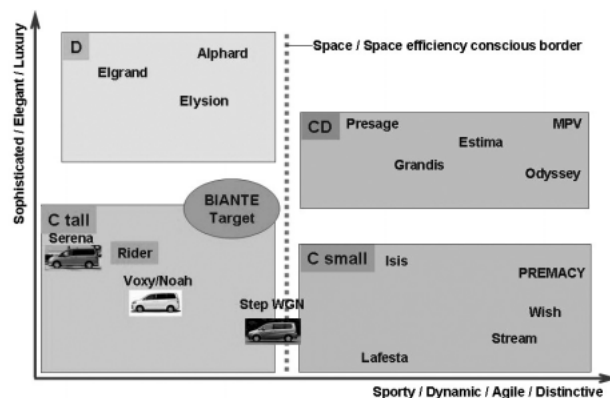


Fig.1 Positioning Map

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



## 2. デザインコンセプト

エクステリアのデザインコンセプトは“スペースモチベーター”である。スペース効率を高めながらも決してステティックな箱ではない動きのあるフォルム、しかも見る人がいろいろな楽しいことを想像し行動したくなるような、見る人を動機付けるデザインを目指した。インテリアのデザインコンセプトは“オープンフォーカスインテリア”である。乗員全員がワクワクするようなドライビング体験を共有できる、乗員全員のための広々とした快適なコックピットを目指した (Fig.2)。

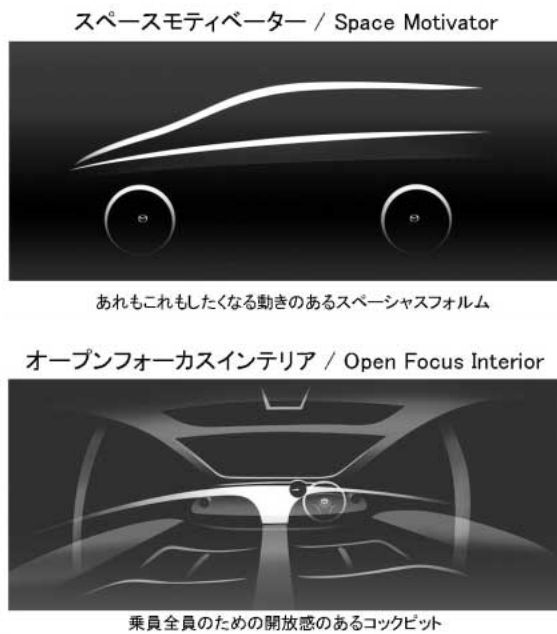


Fig.2 Design Concept

## 3. エクステリアデザイン

### 3.1 プレゼンス・パッケージ・プロポーションの構築

中型トールミニバンの参入要件は空間効率の最大化であり、マツダデザインの目指すZoom-Zoomなデザインは止まっても動いて見える躍動感と生き生きとした表情を持つことである。競合車はすべて5ナンバーサイズだからスペースにもおのずと限界がある一方で、マツダのCプラットフォームはもともと3ナンバーの幅を持っている。この幅を使ってこれまで実現が絶対に無理とされていたスペースと空間の動きを両立できるプレゼンスを構築した。初期のスケッチワークと同時に、プロポーションスタディを行い、競合車に勝る魅力につながるプロポーション上のポイントをパッケージレイアウトに反映し、原寸大のプレゼンスチェックモデルによって主要諸元とその存在感が狙い通りであることを検証した (Fig.3)。



Fig.3 Presence Check Model & Competitors

### 3.2 エクステリアデザインテーマとマツダのデザインDNA

エクステリアのデザインコンセプトを具現化するために重要なポイントはマツダのブランド表現と顧客ニーズの実現である。ブランド表現の核となるのは、一目でマツダと分かる、止まっても動いて見える、そして一目見て乗ってみたいと思うような魅力であり、これらをマツダのデザインDNAと呼んでいる。一方でお客様のニーズを調べてみると、とにかく室内が広い、高速道路を安心してクルージングできる、そして高級感がある車を求めているということが調査の結果から分かってきた。これらの要求をひとつの直感的なイメージにまとめるために、我々はこれまでの中型トールミニバンには前例のない滑らかなシルエットや、広大なガラスエリア、流麗なスタイリングテーマ等によってマツダならではの回答を導き出した (Fig.4)。

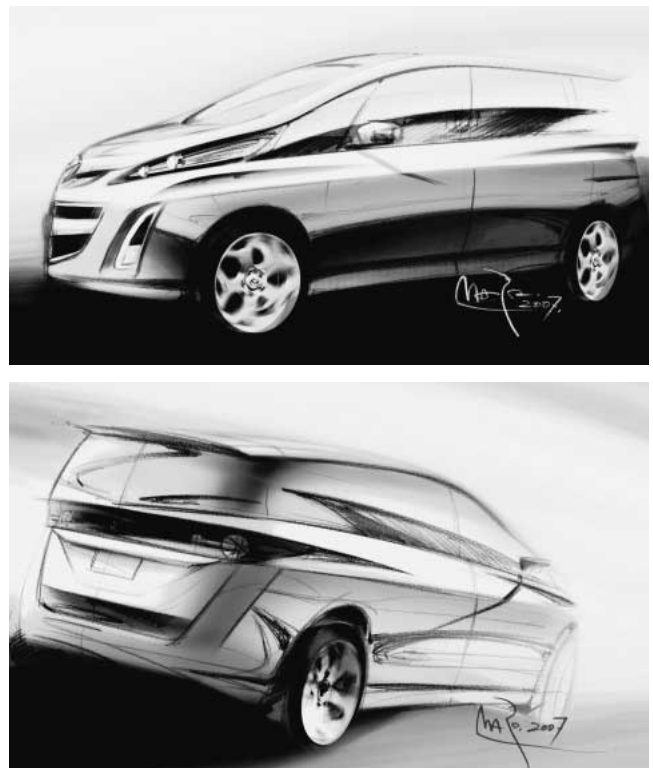


Fig.4 Exterior Image Sketch

ファミリーフェイスも大きく進化した。これまでヘッドライトの間にあった5ポイントの要素をバンパに下ろすことによってスポーティさと安定感を両立させた。また、初めて見るのに一目でマツダと分かる生き生きとした表情作りにも拘った (Fig.5)



Fig.5 Advanced Family Face

### 3.3 自然の美しさへのこだわり

ピアンテのスタイリングモチーフは自然界にある様々な美しさからヒントを得たものである。特に動きの表現につながる「流れ」と人目を引く「輝き」は重要な要素である。カスタマーの求める高速道路をゆったりと安心してクルージングするシーンを水や空気がゆったりと流れて行く様子と重ね合わせて発想した。室内に開放感をもたらすと同時に、その快適性が外観からも直感できるようにベルトラインを下げガラス面積を拡大し、ヘッドランプと繋ぐことで、ヘッドランプからリヤウインドウまで一気に繋がるダイナミックな流れを具現化した。フェンダも前から後ろへと流れるようなプリスターフェンダを採用した。これらの処理は見た目にとどまらず、車体周りの空気の流れとよく調和し、空気抵抗や風切音を低減している。空気抵抗係数



Fig.6 Design Inspiration "Flow"

は $CD = 0.30$ とセダン並みの数値を示している (Fig.6)

また、漣が太陽の光を増幅させるような効果を狙い、灯火器類の周辺には光源の光を増幅させるような輝きのある素材を配置した。テールランプには夕日を連想させる形状と輝きを与えた (Fig.7)



Fig.7 Design Inspiration "Brightness"

## 4. インテリアデザイン

### 4.1 開放感のある空間と乗員の心を繋ぐメータ

インテリアのデザインコンセプト“オープンフォーカスインテリア”を具現化するために必要だったのが、開放感のある快適な空間構成と乗員全員の心をひとつにする象徴的なフォーカスポイントである。低いベルトラインと広いガラスエリアにより得られる圧倒的な開放感に加え、後部座席ほどヒップポイントが高くなるシアターレイアウトと、2列目、3列目からも良く見える視認性の良いメータレイアウトによってこれらを実現した (Fig.8, 9)。



Fig.8 Interior Image Sketch



Fig.9 Interior Over View

### 4.2 神秘的な輝きのトップマウントワイドメータ

更に、そのメータは皆既日食を思わせる神秘的な輝きを放ち、乗員全員がワクワクするようなドライビング体験を共有することの象徴となっている。立体的な奥行きを持ったメータパネルは色の変化を伴う間接照明によって時間的な奥行きも感じさせ、これから始まるドライビング体験への期待を膨らませる (Fig.10)。

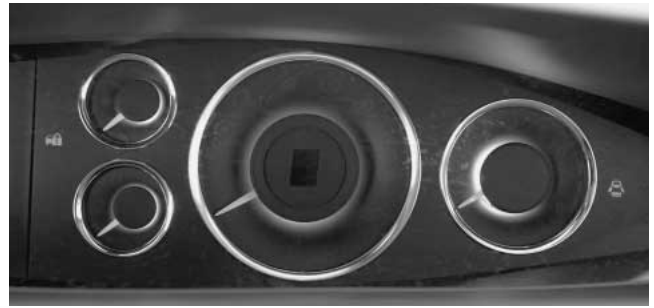


Fig.10 Top Mount Wide Meter

### 4.3 独自のシートパターンと多彩なシートレイアウト

ビアンテのシートは乗降性の良さや車室内での乗員の移動のしやすさと、走行時のホールド性の良さや快適性を両立させた独自の形状と縫製パターンを持つ。空間の広がりと同様フレキシビリティも大きな価値であるミニバンのインテリアにおいて、ビアンテはその多彩なシートアレンジの中でもリビングモードというユニークなアレンジを持っている。リビングモードでは、2列目シート部分の空間が最大化し、車室内での行動の自由度が飛躍的に拡大すると同時にスライドドアからアクセスする大抵の用事をスマートに済ませることができる。まさしく何でもできるリビングルームである。ちなみに、このリビングモードは跳ね上げ式の3列シートシステムでは実現できない装備である (Fig.11)。



Fig.11 Seat Arrangement

## 5. カラーデザイン

### 5.1 ボデーカラー

ビアンテのボデーカラーは全部で7色。中型トールミニ

バンのセグメントは実に90%以上を占めるベーシックな白，黒，シルバー，グレーの4色に元気の良いチリオレンジや洗練されたライラックシルバー，ノブールなストームブルー等のキャラクタを加え，シリーズ全体として気品のある華やかさを演出した (Fig.12)。



Fig.12 7 Body Colors

### 5.2 インテリアカラーとシートアクセント

インテリアカラーは明るく柔らかな，開放感のあるライトベージュと引き締まってスポーティなブラックの2種類を用意した。最上級の23Sのデコレーションパネルは木目とヘアラインをあしらった (Fig.13)。



Fig.13 Black & Light Beige Interior

また，20CSを除く20Sと23Sにはユニークなシートの縫製パターンを際立たせる処理として，ペロア調のアクセントを採用した。ジャージのスポーティな風合いに，柔らかくエレガントな味わいを付加している (Fig.14)。

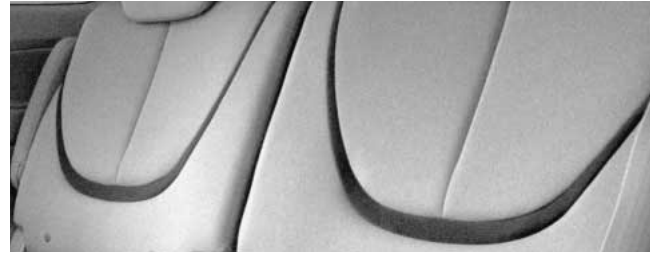


Fig.14 Velour Accent

## 6. おわりに

近年日本社会で起こる数々の問題の中には家族の絆が希薄になったことが原因であると指摘される事例が散見される。冒頭でも述べたように，ピアンテは日本中の家族のためにデザインした車である。ピアンテが日本中の多くの家族に愛用され，ワクワクするような感動体験を提供することで家族の絆が深まり，より豊かな精神性を育むきっかけになることを切に願う。

著者



小泉 巖

特集：マツダビアンテ

16

## マツダビアンテのパッケージング Package of Mazda Biante

伏見 亮<sup>\*1</sup> 斎藤 暢祐<sup>\*2</sup> 草譯 清香<sup>\*3</sup>  
Akira Fushimi Yousuke Saitou Sayaka Kusawake

### 要 約

ビアンテは、お子さんをお持ちのご家族にとって「乗る人すべてがワクワクする」、「乗ればみんなが幸せになる」多人数乗用車として開発した。そのパッケージングにおいては、ミニバンの基本要件である「室内の広さと多用途性」を確保しながら、「快適で扱いやすい」居住空間&機能へと進化させるとともに、躍動的なデザインの両立に注力して開発した。

本稿は、パッケージングの注力ポイントに加え、それらをサポートする扱いやすさ、クラフトマンシップについて紹介する。

### Summary

Biante, passenger car to carry many occupants, was developed especially for family with children to “offer an exciting experience to all passengers” and “make all passengers happy once they get into a car.” Biante ensures minivan’s basic requirements of packaging, “spacious and versatile interior”, evolves them into “comfortable and easily-handled” cabin space and functions, and focused to develop an athletic styling.

This report introduces easily-handled functions and craftsmanship, which support above-mentioned focus points.

## 1. はじめに

国内の需要の中において、Tallタイプミニバン市場は堅調に推移しており、健闘している市場である。この市場のお客様は小さいお子様をお持ちのファミリーがメインである。

ボンゴ・フレンディー以来のTallタイプミニバンであるビアンテを企画・開発するに当たり、数度におよびターゲットカスタマーへのインタビューを実施し、使用実態に基づいた基本要件を確認するとともに、“Zoom-Zoom”商品として車の楽しさを実感できる商品を目指した。そして、

「見て、乗って、夢が広がるZoom-Zoom Tall」をコンセプトとして、デザイン、走り、快適性にフォーカスして開発した。

## 2. パッケージの狙い

Tallタイプミニバンは、買い物など1名での使用からレジャーなど家族・仲間との多人数乗車まで、幅広いシーン

で使用される。

ターゲットカスタマーへのインタビューの結果、お客様は様々なシーンで幅広く使用できることを期待されており、「居住空間の広さ」を生かした「多人数が快適に過ごせる・扱える」ことを重視されている。また、デザインや見栄えに加えて、機能性への期待も高く「スポーティで広く見える」「機能的で高級感がある」ことも重視されていることがわかった。

ビアンテのパッケージでは、「様々なシーンで快適に安心して使用できる居住空間」「クラフトマンシップによる質の造り込み」と、“Zoom-Zoom”を実感できるデザインの両立に注力し、以下のキーバリューに沿って開発した。

- ・「最広の室内空間」
- ・「扱いやすさ」
- ・「取り回しへの配慮」
- ・「収納のしやすさ」
- ・「クラフトマンシップ」

\*1 企画設計部  
Basic Design Dept.

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

### 3. 最広の室内空間

3.1 3ナンバーボデーを活かしたクラスNo.1の室内空間  
全幅1,770mmのワイドな3ナンバーボデーとし、5ナンバーボデーに対して75mm拡大することで、クラス最長の1,545mmの室内幅を確保すると同時に、流れのある躍動的なデザインを実現した。また、全長は4,715mmとしクラス最長の2,990mmの室内長を確保した (Fig.1)。

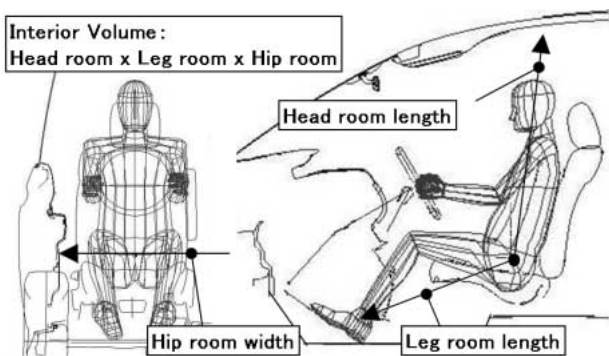
更に、前後方向の足元空間を確保するため、横スライド機構を有する2ndシート下に十分な足入れ空間を設定することで、3rdシートのレッグルームを確保した。

全高については、クラス平均の1,835mm (2WD車) でしたが、フロアを低床化することにより、1stと2nd乗員において、クラス最長のヘッドルームを実現した。



Fig.1 Exterior Dimensions

これらにより、クラスNo.1のインテリアボリュームを確保し、様々な使用シーンに対応した、ゆとりある居住空間を実現した (Fig.2)。



	Biante	A	B	C
Interior Vol.(m <sup>3</sup> )	4.29	3.87	4.20	4.03

Fig.2 Interior Volume

#### 3.2 最広の室内空間を実感できるシートアレンジ

前述の室内空間を最大限活用して、様々な使用シーンに対応したシートアレンジを用意している (Fig.3)。

最も広々感を実感できるアレンジとして、リビングモー

ドがある。2ndと3rdシート共用のロングスライドレールにより、3rdシートをチップアップして後方へ格納し、2ndシートを後方移動させることにより、足を伸ばしてゆったりとくつろぐことを可能とした。

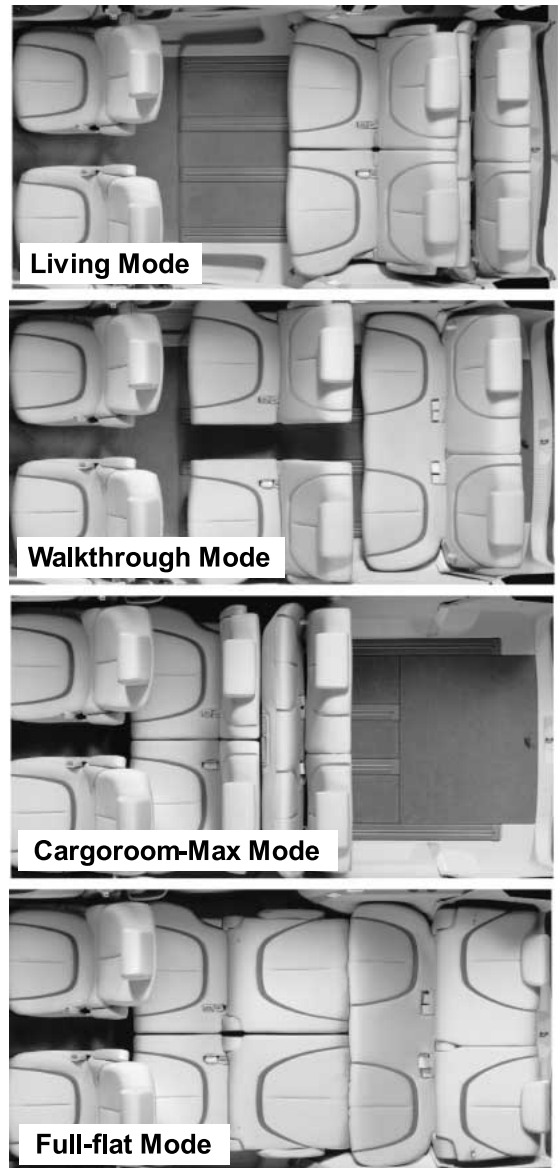


Fig.3 Typical Seat Arrangements

#### 3.3 みんなが広々感を味わえる視界

前席のヒップポイント地上高を、クラスの標準より30-50mm低めに設定した上で、後席になるほど着座位置を高くしたシアタータイプのレイアウトとした (Fig.4)。

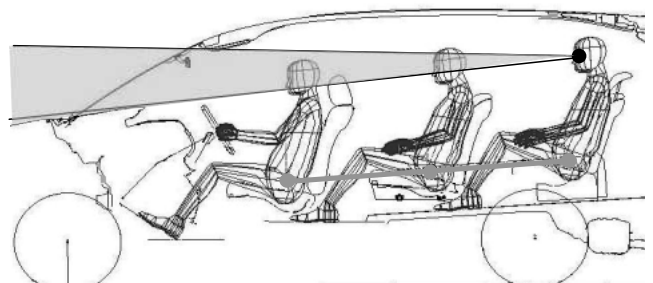


Fig.4 Theater Seating Layout and Visual Area



これらにより、後席の視界が、前席の乗員により妨げられることを少なくし、前席の頭上空間を確保することで、開放感のある空間を実現した。

また、ベルトラインの地上高を低く設定し、ガラスの面積を広くすることと、大型の三角窓を採用することにより、視覚的な開放感のみならず、外から見ても室内空間の広さを実感できるようにした。

#### 4. 扱いやすさ

##### 4.1 乗り降りのしやすさ

1st席の乗降性について、前述の低めの1st席ヒップポイント地上高(708mm)により、腰を横に移動するだけで着座を可能にした。

また、地面からフロアまでの高さを319mmと低床とすることと合わせ、特に小柄な体格の人への乗り降りにも配慮した。

後席の乗降性では、スライドドアの開口幅を780mmに設定し、フロア地上高を413mm、ステップの幅を180mm確保した。

これらにより、赤ちゃんを抱いた状態でも、ドアなどを避ける動作を行う必要なしに乗り降りを可能とした(Fig.5)。

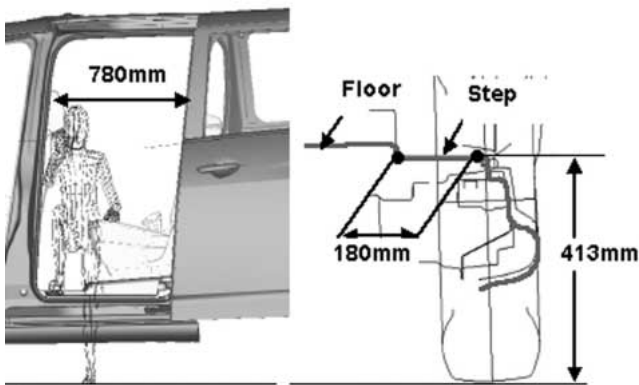


Fig.5 Sliding door's Opening Width and Step Width / Height

##### 4.2 室内移動のしやすさ

ビアンテのシートは、折りたたみや取り外す必要がなく、少ない操作で実用的なアレンジを実現できることに注力した。

2ndシートは、3ナンバーボデーの採用により、クラストップレベルの幅1,300mmを確保すると同時にワンアクションで左右方向に移動可能なアレンジを実現し、幅180mmのウォークスルースペースを常時設定可能とした(Fig.6)。

これにより、シート操作なしにお子様の室内移動やチャイルドシート装着状態での乗り降りを可能とした。

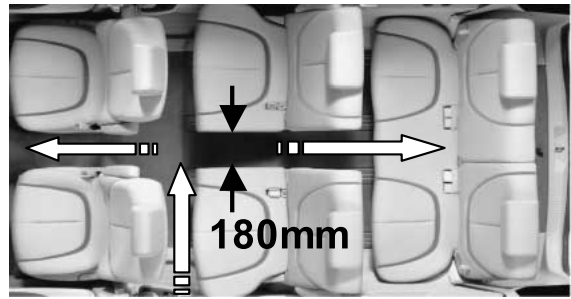


Fig.6 2nd Seat Arrangement and Walkthrough Width

#### 5. 取り回しへの配慮

取り回しに関して、視界および回転半径に配慮して開発を行った。

前方視界は、市街地走行、特に交差点での右左折時に注目し、クラス最大となる三角窓を採用した。これにより、交差点付近の状況の把握において重要である、斜め前方の視認性に配慮した(Fig.7)。



Fig.7 Large Triangular A-pillar Window

後方視界に関しては、2ndと3rdシートに鞍型ヘッドレストを採用することで、視界妨害を排除するとともに、チップアップ&スライド式の3rdシートを採用し、跳ね上げ式3rdシートで発生する視界妨害のない、荷室使用時の後方視界にも配慮した(Fig.8)。

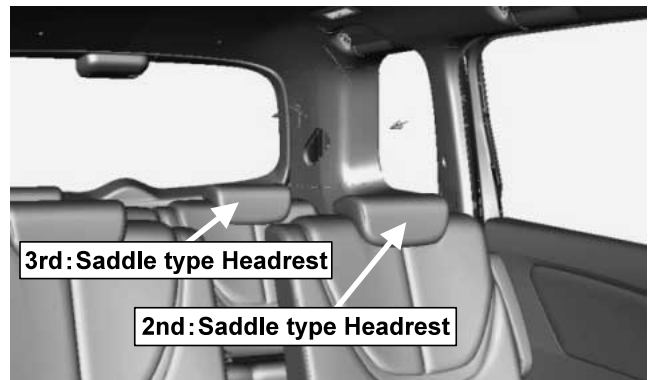


Fig.8 Rearward Visibility and Rear Seat Headrests

また、狭い路地や駐車場などでの取り回し性に配慮し、5ナンバークラス車同等の回転半径5.4mを実現した。これは、フロントホイールのオフセットやワイドトレッド、部品レイアウトの最適化によって実現した。



## 6. 収納のしやすさ

Tallタイプミニバンは、様々なシーンや多人数での使用に配慮して物入れを多く設定している。ピアンテでは実用的な小物がきちんと収納できることと、1クラス上の質感を感じるインテリアにも注力した物入れの実現を目指した。

グローブボックスおよびアンダートレイの容量の合計は競合車を凌ぐ11.7リットルを確保している。アンダートレイは使いやすいオープンタイプとし、A4サイズの雑誌などがきっちり収まる幅を確保した。

また、グローブボックスおよびカップホルダは開閉リセス(ノブ)を見せない形状で、作り付けの家具を連想させるスッキリとした仕上げを実現した(Fig.9)。



Fig.9 Glove Box and Under-tray Capacity

スライドドアに設定したポケットもペットボトルの収納は勿論、A4サイズ雑誌の収納性と、底に落ちた小物の取り出し性に配慮し、デザイン処理した小窓を設定した。

更に、3rd席のボトルホルダは500mlのボトルなら2本、200mlの缶なら3本の収納ができるよう内部形状にも工夫も凝らしているなど、実用性と質感のバランスを考慮したものとした(Fig.10)。



Fig.10 Sliding Door Pocket and 3<sup>rd</sup> Seat's Cup Holders

## 7. クラフトマンシップ

クラフトマンシップに対する基本的な考え方として、

1. 細部まで徹底的にこだわり仕上げた「造り込み」
  2. 人間工学、感性工学に基づいた、使いやすい操作性、質感の良さを造形とベストバランスさせた「機能美」
  3. マツダらしさ・Zoom-Zoomを感じる演出、もてなしをサポートする「カスタマーデライト」
- の3つを柱にピアンテを開発した。

### 7.1 細部の造り込み

#### (1) エクステリア

ヘッドランプから三角窓までの連続感あるデザインがピ

アンテの特徴である。大型のパーツであるヘッドライト・ガーニッシュ・三角窓を、ボンネット・フェンダ・フロントピラー・バンパなどの周辺部品と、いかに合わせ連続したラインを造り上げるかが大きな課題であった。

隙間の見え方を一定にするために、ボンネットラバーとガーニッシュプロテクタの断面および端末形状と取り付け位置に工夫を行った。また、レンズ部分の連続感を表現するためにガーニッシュ内部を隠しながら、ヘッドランプ表面と三角窓セラミック部分を、一体感あるハイグロスの黒塗装処理を施している(Fig.11)。



Fig.11 Continuous Feeling around Large-scale Headlamp

リアエンドは、透明感が特徴の大型フィニッシャ・コンビネーションランプ・メッキガーニッシュを、内部構造物や隙間感を排除する処理を行っている。

ランプとフィニッシャの外周部分の裏に線上の凹凸形状を設けることで、鉄板部分や穴が直接見えないマスク効果と、デザインが注力した透明感を両立させた。更にリアのメッキガーニッシュ上面にもシボを施すことで、フィニッシャ下面への映り込みを抑制し、隙間を小さくシンプルに見せた(Fig.12)。

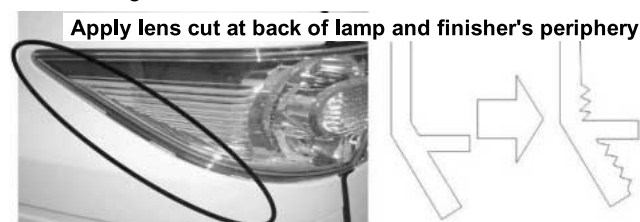


Fig.12 Appearance around Rear Combination Lamp

これらの細部までおよび造り込みは、取り付け構造や隙間の見え方を再現したデザインモデルを活用し、評価および育成することで実現した。

#### (2) インテリア

内装には、穏やかな空間の広がりを出すために、ライトページ色を採用している。明度の高い色であるため、コラムカバー周囲やインストルメントパネル下面、シートレバー穴部分から内側の構造物が目立つようになる。乗員の視線からの見え方を、バーチャル技術を活用して再現および評価し、インストルメントパネルのコラムカバー合わせ部分の端面の位置や、スライドドア下面の断面形状など

で、すっきりとした見映えを実現した (Fig.13)

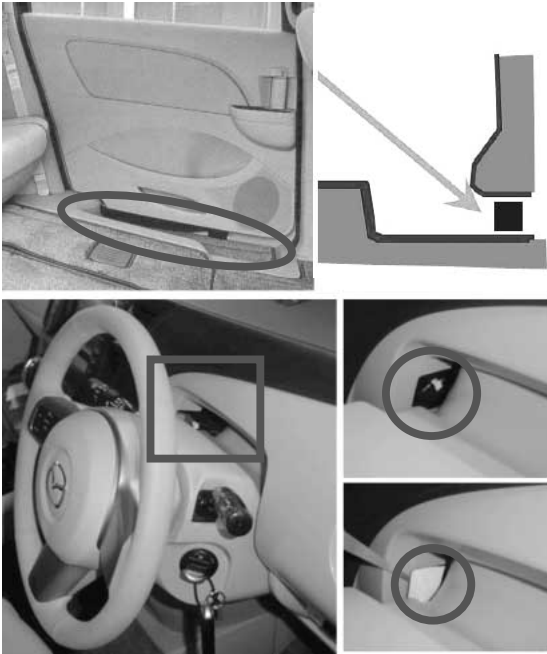


Fig.13 Virtual Study of Interior

### 7.2 機能美

大型のメータは、インストルメントパネル最上部かつ運転席寄りに配置し、運転中にメータを視認する際の視線の移動量を短くすることで視認性を高めると同時に、立体的に見える形状や配色を採用し、乗員全員が眺めて楽しめるものとした (Fig.14)



Fig.14 Center Meter Appearance

また、操作部分は、高輝度で金属の質感が高いメッキで統一することで、室内空間の中で目に付きやすくなりアクセス性が向上した。同時に、オーディオ部分のセンターダイヤルは、掴みやすい大きさと形状を人間工学的に追求し、操作フィーリングも物理特性で目標設定し育成することで、高い質感が実現できた (Fig.15)



Fig.15 Audio Dial Switch with High Quality Feel

### 7.3 カスタマーデライト

ピアノテでは、従来の運転者だけに向けたウェルカム照明ではなく、乗員全員が眺めて楽しめるメータの演出を実現した。

お客様の乗車から着座、運転まで行動する際に、アンバーおよびブルーの間接照明と表示を段階的に点灯することで、クルマが走り出すために目覚めて行く感覚を全席のお客様に感じていただけるようにした (Fig.16)

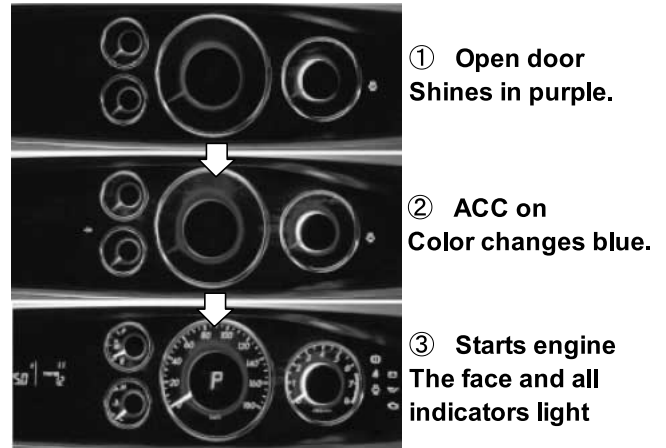


Fig.16 Center Meter and Welcome Mode Lighting

## 8. おわりに

ピアノテのパッケージングはデザイン、機能、品質を高いレベルで実現できた。この魅力は、使用していただく中で必ず実感できるものと確信している。

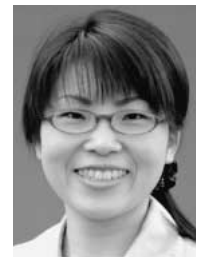
### 著者



伏見 亮



斎藤 暢祐



草譯 清香

特集：マツダビアンテ

17

## マツダビアンテの振動・騒音性能開発 Noise and Vibration Development of Mazda Biante

伊藤 肇<sup>\*1</sup> 幅野 浩司<sup>\*2</sup> 住田 英司<sup>\*3</sup>  
Hajime Ito Kouji Habano Eiji Sumida  
高野 毅<sup>\*4</sup> 鎌田 浩樹<sup>\*5</sup> 津村 信一<sup>\*6</sup>  
Takeshi Takano Hiroki Kamada Shinichi Tsumura

### 要約

ビアンテの開発では、国内の中型トールタイプミニバンのカテゴリへの導入に向けて、競合車を凌駕する優れた振動、車内騒音を実現した。同時に開発工数・対策コストをミニマム化するため、特に開発の上流工程（目標設定、目標のカスケード、図面・CAE解析による検証）を充実させるシナリオ検証型開発に注力した。

パワートレイン騒音性能の開発では、ベース車両からの室内形状変更による性能変化をCAE解析で予測し性能目標の実現を図った。ロードノイズ性能の開発では、アンダーボデーの改善点をベース車両のTPA（入力点寄与度解析手法）等で絞り込み、CAE解析を最大限に活用し性能目標達成の実現を図った。低周波振動騒音性能の開発は、アッパーボデーの各パネルの共振特性目標の分散を行い性能目標の実現を図った。遮音性能の開発では、車両前部カットボデーでのユニット評価などでコストを低減しつつ性能目標の実現を図る一方、Hybrid SEA（Statistical Energy Analysis：統計的エネルギー解析）を活用したシナリオ検証型開発への移行トライアルを実施した。

### Summary

Through the development of Biante, a superior performance was achieved in terms of noise and vibration (hereinafter referred to as NV) among competitor vehicles in the category of Japanese domestic tall type mini-van. Moreover, in order to minimize development man-hours and costs of actions, we applied so called "Scenario Verification Style Development" to enhance the upfront development stages (i.e. target setting, target cascading, and predictive analysis and verification).

For the development of powertrain NV performance, we applied CAE analysis to predict the performance change caused by interior volume and shape modifications from a base model vehicle, aiming to achieve the performance target. For the development of road noise performance, we applied TPA (Transfer Path Analysis) to clarify the weak point of the underbody and leveraged CAE analysis to the fullest, aiming to achieve the performance target. For the development of low-frequency NV performance, we carefully conducted the modal alignment of upper body panels, aiming to achieve the performance target. For the development of sound insulation performance, we applied Hybrid SEA (Statistical Energy Analysis) as a trial case of "Scenario Verification Style Development", while performing a unit-level evaluation of the front cut body aiming to both cut costs and to achieve the performance target.

### 1. はじめに

ビアンテでは、乗員の快適性を実現するため、振動騒音性能においては以下の項目に重点を置き、開発を行った。

- (1) パワートレイン騒音性能：日常の走行シーンで、ストレスなく会話ができるエンジン音を実現する。
- (2) ロードノイズ性能：定常走行において、クラストップ

レベルの静粛性を実現する。

- (3) 低周波振動騒音性能：クラス最大の室内空間容量と多彩なシートアレンジ機構を実現しつつ、クラストップレベルの低周波NVH性能を実現する。
- (4) 遮音性能：パワートレイン騒音やロードノイズ性能目標を最少の材料、コストで達成させる。

\*1~6 NVH性能・CAE技術開発部  
NVH & CAE Technology Development Dept.

本稿では各性能に対し、性能の狙い、達成施策、達成手段について紹介する。

## 2. パワートレイン騒音性能開発

### 2.1 開発の狙い

国内向け中型トールタイプミニバンの特徴は、ファミリーユーザが多く、その使用シーンで重視されるNVH性能は官能的な加速サウンドよりも会話を楽しめる静粛性である。日常の走り出しで力強い加速を發揮するエンジンと、Zoom-Zoomを体現する剛性の高いボデー、クラス最大の室内空間を組み合わせたときに、こもり音やエンジン音でユーザに不快感を与えないことを目指した。

### 2.2 実現手段

試作車を作らずに性能を達成するためには、机上予測技術の精度をどれだけ上げることができかがポイントとなる。ビアンテでは、ベース車両からの車体音響感度の室内空間による差異やベース車両の実走振動特性を基にしたCAE解析を用い、図面の仕様を決定した。

#### (1) 室内空間の形状変化に伴う低速こもり音の変化予測

ビアンテの特徴はその大きな室内空間であり、こもり音を支配する車体音響感度はその室内空間の形状の影響を大きく受ける。Fig.1がベース車両の車内音の寄与度分析であり、エンジン回転2,100~3,100rpm領域の車内音2次成分がほぼ排気音で占められている。ベース車両からの形状変化により、ビアンテはテールパイプからドライバ席までの車体音響感度がベース車両とは大きく異なるということが予想され、この領域のこもり音を予測し改善することが低回転域の静粛感確保のためには必須であった。

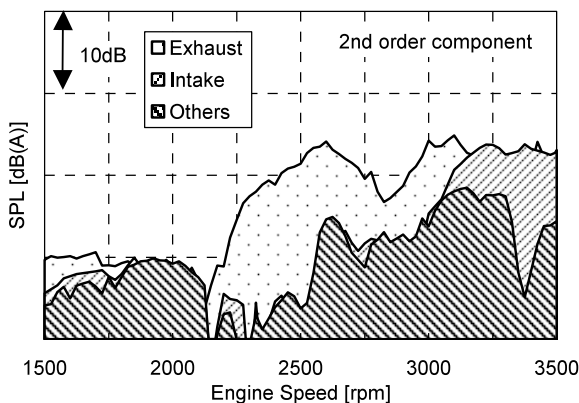


Fig.1 Contribution Analysis of Interior Noise at Driver's Seat

室内空間の違いによって発進時こもり音がどの程度変化するかを予測するために、同等の室内空間をもつ車両のテールパイプから運転席耳元位置までの車体音響感度を計測し、更に室内空間の違いによるベース車両からの車体音響感度の変化をCAE解析で予測し、形状の変化は感度に対して好ましい影響を及ぼすことが分かった (Fig.2)。実際の

車両でも低回転域のラウドネスが改善されることを検証し、ビアンテの静かな走り出しを実現した。

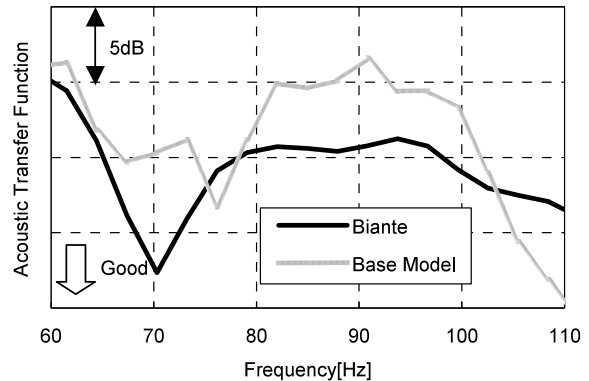


Fig.2 Acoustic Transfer Function from Exhaust Tail to Driver's Ear of Base Model and Tall Wagon

#### (2) CAEによる中高速こもり音予測

振動入力为主要因である中高速こもり音に関してはベース車両の振動を元に骨格系やパネルの形状変化の影響をCAE解析で予測した。まずベース車両で主要なパネルの振動特性や実走状態の加速度、放射音を計測し、TPA (伝達経路解析) を実施した。これによって得られた入力に対して、CAE解析により車体音響感度を掛け合わせ、合成することで車内音を推定した。実際に、量産直前の確認車両で車内音を計測し精度の検証を行った。これにより、こもり音の試作車レスの開発が狙いどおりに完了したことを確認した (Fig.3)。

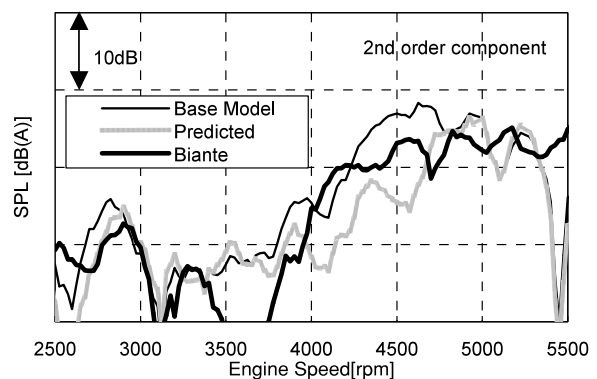


Fig.3 Booming Noise Prediction by CAE

### 2.3 総括 - パワートレイン騒音性能開発

従来はボデーの変更に伴うエンジン音やこもり音の変化を精度良く予測することが困難であり、効率的な騒音性能開発の妨げとなっていた。しかし、今回、ビアンテの開発を通じて、試作車レスでも騒音性能を精度良く予測し、完成車で体現することができた。これにより工数やコストの削減だけでなく、品質確認も確実にできるため、より品質の安定した商品を作り出すことができるようになった。

### 3. ロードノイズ性能開発

#### 3.1 開発の狙い

ピアンテでは、中型トルクタイプミニバンのクラス上位のロードNVH性能を目指し、車室内でストレスなく会話が弾むようなロードノイズ性能を達成した。中でも、粗粒路ロードノイズやドラミングは、乗員へ不快感を与え、車室内での会話の妨げとなりえるため、特に注力して開発を進めた。具体的な目標値をFig.4およびFig.5に示す。

また、開発プロセス革新の先駆者として短期開発、コスト最適化、シナリオ検証型開発、CAEの活用と実車コリレーション、徹底した図面検証を行い量産図面出図以降の設計変更ゼロを目指した。

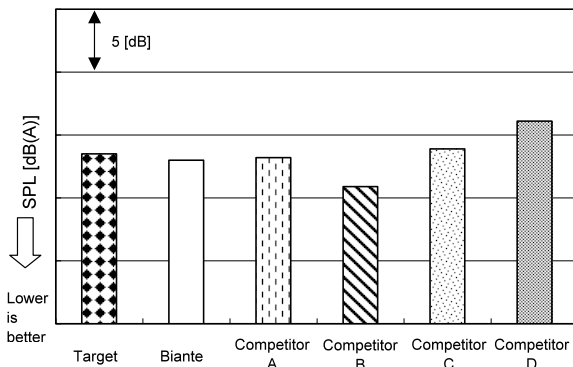


Fig.4 Coarse Road Noise

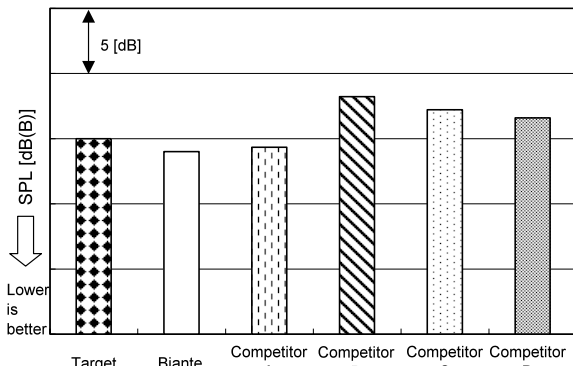


Fig.5 Drumming

#### 3.2 ボデー最適構造実現へのプロセス革新

量産図面出図以降の設計変更ゼロを達成するには、先行段階の充実が不可欠である。ピアンテでは開発初期段階でCAE解析を活用し、実車検証可能な項目は先行検討車で検証した。その結果をCAE予測と照合し、予実差検証を繰り返し行うことで要求性能を図面へ反映した。

##### (1) アンダーボデー開発

ベース車両の改善点と変更点（ホイールベース延長等）を中心にCAE解析やTPA（伝達経路解析）で改善部位を絞り込み、予実差の検証を実施した。Fig.6はベース車両の課題であったフロントサスペンションクロスメンバ取り付け部構造についての予実差検証結果である。加振点イナータンス（以下PIと略）の傾向は一致している。

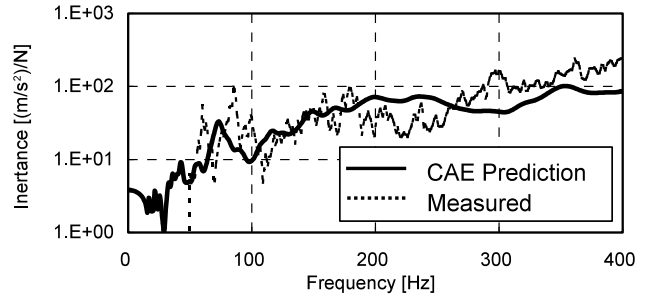


Fig.6 Verification of Difference between Predicted and Measured Value

##### (2) アッパーボデー開発

実車で計測したPIとCAE解析のコリレーションを確実に取り、各部共振周波数の分散化を狙い、共振周波数マップを活用してCAE解析を実施した上で図面仕様を決定した。Fig.7に共振周波数マップの一例を示す。

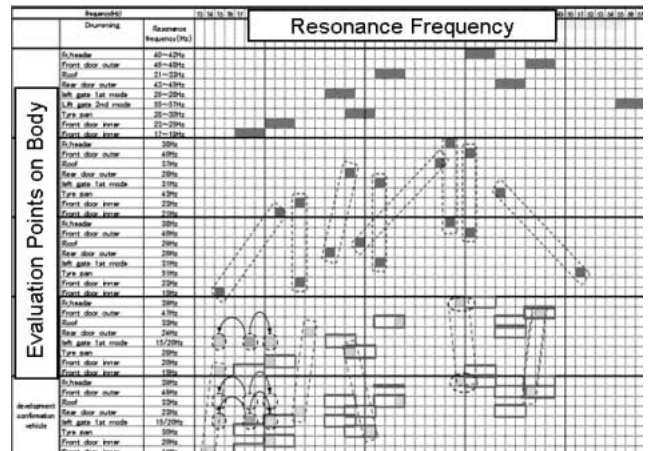


Fig.7 Resonance Frequency Map

##### (3) 車室内空洞共鳴領域予測

ベース車両から大きく変化し、空洞共鳴に大きく影響する室内の形状や広さについてもCAE解析を活用し先行検討車とのコリレーションを取り、精度を高めつつ構造提案を行った。Fig.8にCAEモデルで空洞共鳴領域について解析した例を示す。

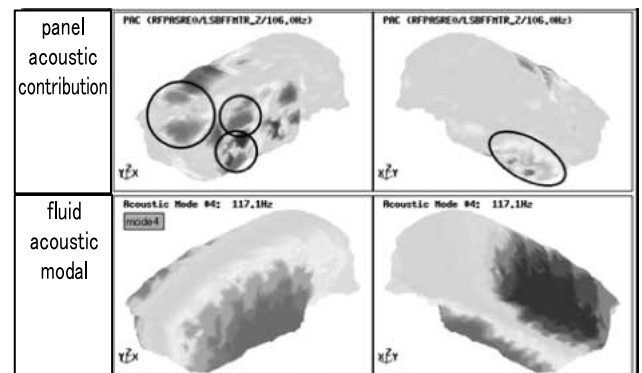


Fig.8 Acoustic Cavity Resonance Prediction

(4) 特性目標の検証

量産直前の確認車両完成前段階においてホワイトボデー、トリムボデーでのPI計測を行い、車両完成の前段階で車体各部の振動特性の検証を行った。Fig.9は検証したユニット特性一覧表(一部抜粋)である。

また、Fig.10にユニット目標を設定し、相関を取ったPI測定点の例(アッパーボデーのみ掲載。図中の丸印)を示す。

Unit Characteristic		Advanced vehicle				CAE analysis				development confirmation vehicle			
		Drummed		White body		White body		Parts		White body		Parts	
Item	Target	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	PI	
Door panel	RH front door	CAE model	G										
	LH front door	CAE model	G										
	RH rear door	CAE model	G	Y									
	LH rear door	CAE model	G	Y									
Class	Front center	CAE model	G										
Roof panel	Front header rear	CAE model	Y	Y									
	#2 rear	CAE model	Y	Y									
	#3 rear	CAE model	Y	Y									
	#4 rear	CAE model	Y	Y									
	#5 rear	CAE model	G	G									
	#6 rear	CAE model	G	G									
Roof rear	Front header center	CAE model	G	G									
	#1 center	CAE model	Y	Y									
	#2 center	CAE model	Y	Y									
	#3 center	CAE model	Y	Y									
	#4 center	CAE model	G	G									
	#5 center	CAE model	G	G									
	#6 center	CAE model	Y	Y									
	Rear header	CAE model	G	G									
LH gate	center	CAE model	G	G									
Trunk pan	center	CAE model	G	G									

Fig.9 Unit Characteristic Targets

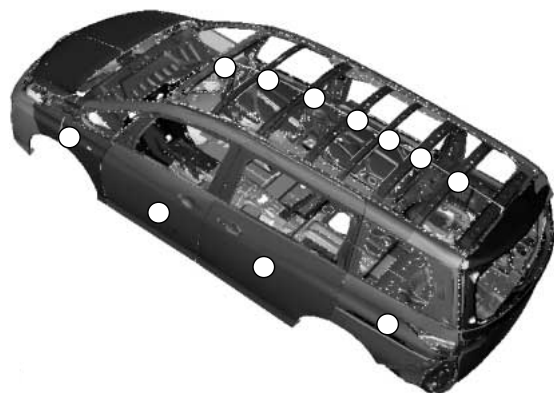


Fig.10 PI Measurement Points

3.3 総括 - ロードノイズ性能開発

ビアンテのロードノイズ性能開発においては、実験とのコリレーションを確実に取りつつCAE解析によるシミュレーションを最大限に活用し予測精度を高め図面化、更に変更点をCAE解析で予測することを繰り返し実施した。その結果、量産図面出図以降の設計変更ゼロを達成することができた。今後のプロジェクトにおいても、ビアンテの開発プロセスを更に進化させ開発のフロントローディング化を推進する。

4. 遮音性能開発

遮音性能に関して、量産図面出図以降の設計変更をゼロにするため、徹底した図面検証や、車両前部カットボデーを活用し、各部位ごと目標特性を確認するなどの活動を行ってきた。ただ、これらの活動は各部位での部分的な遮音性能を確認するための活動であり、車両トータルでの遮音性能の目標達成度を確認するものではない。今回は遮音性

能の最適化とシナリオ検証型開発を目指し、今後の開発ツールの柱にすべく、実験と解析を組み合わせたSEAを用いた遮音解析のトライアルを行った。

(1) SEAモデル作成について

まず現行ベース車両とビアンテのSEAモデルの作成を行う。目標は耳位置での音圧で設定しているが、その音圧を予測するためには、車内&車外の各音圧を実測する必要がある。そのため、CADデータを元にサブシステムを作成し、車室内、車体構造内部の空洞、車室外を約50ブロックに分け計測ポイントを設定した(計測ポイントはFig.11, 12)。

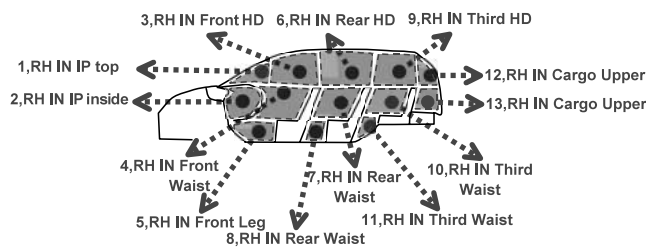


Fig.11 Subsystem (Vehicle Interior)

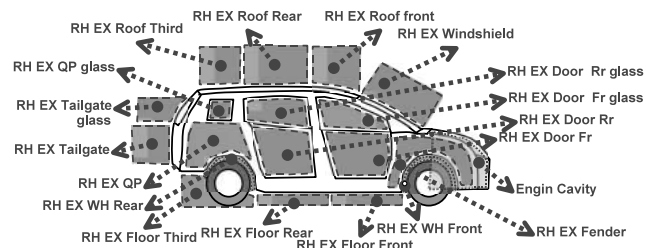


Fig.12 Subsystem (Vehicle Exterior)

このサブシステムに、点音源をエンジンルーム、タイヤに設置して計測した音圧の実測値を入力する(点音源の設置位置はFig.13)。

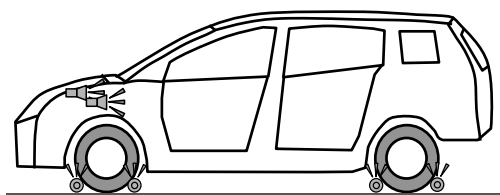


Fig.13 Noise Source Position

このモデルに吸音材の単品特性データおよびダンピング特性などのパラメータを入力し、モデルを作成することができた。

(2) SEA計算結果について

前述のモデルを用い、エンジン放射音に対する車内音の空気伝播成分の予測を行った。現行ベース車両とビアンテの解析結果(Fig.14)および実車計測結果(Fig.15)は以下の通り。

どちらも音圧レベルの差は2,500Hz付近で反転する同傾向を示していることを確認し、SEA上で性能検証を行うことができた。2,500Hz以上の目標未達分については、Aピラ一周辺の遮音性能を強化することで、目標達成させている。

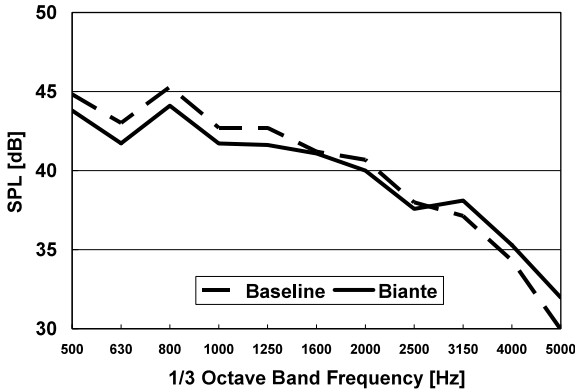


Fig.14 Prediction Result by Using SEA

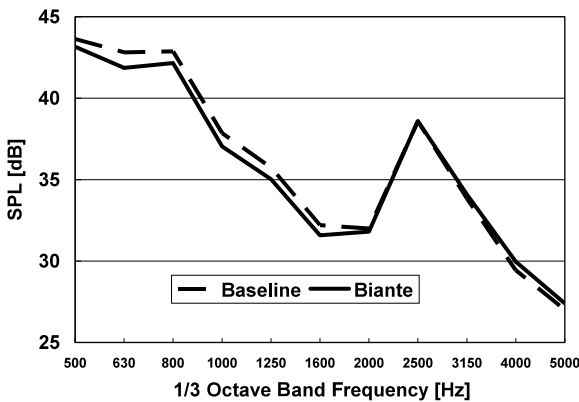


Fig.15 Measurement Result

ピアンテの遮音性能開発においては、SEAを用いながら開発を行うことで、図面段階で性能を予測できる目処がたった。今後、本格的に車両開発に適用していくために、更にSEA技術を熟成させ、活用していく予定である。

### 5. 低周波振動騒音性能開発

#### 5.1 開発の狙い

ピアンテの開発目標は、特長であるクラス最大の室内空間容量と多彩なシートアレンジ機構を実現しつつ、クラストップレベルの低周波NVH性能との両立を図ることとした。

具体的には、下記2点を重点開発項目とした。

- (1) 大開口面積を持つリフトゲート採用による、アイドル時のこもり音の悪化防止
- (2) ロングスライド機構を持つシートレールの採用に伴う、シートレールの剛性低下による、アイドル時の2列目シート振動の悪化防止

また、ピアンテの開発においては、開発の上流工程（目標設定、目標のカスケード、図面・CAEによる検証）に注力し、開発工数・コストのミニマム化に取り組んだ。

#### 5.2 実現手段

(1) 大開口部を持つリフトゲートの共振周波数コントロール  
リフトゲート等のパネル・蓋物系は、アイドル回転域に共振周波数が存在すると、こもり音の発音部位となりやすい。また、開発後期に問題が発覚した場合、ダイナミックダンパ等のデバイスを用いて対応せざるを得なくなり、コストアップの要因となる。したがって、設計段階でアイドル設定回転域を外して共振周波数を設定することが必要である。一方、ピアンテのリフトゲートはベース車両に比べて、大きな開口面積を持つため共振周波数が低くなりやすく、アイドル設定回転域を十分に外して共振周波数を設定することが困難であった。このことから、Dレンジ、エアコン-OFF時の設定回転数域と、Dレンジ、エアコン-ON時の設定回転域の双方にかからない領域を目標周波数とした (Fig.16)。

Engine Speed [rpm]	550	600	650	700	750	800	850	900
2nd Order [Hz]	18.3	20.0	21.7	23.3	25.0	26.7	28.3	30.0
Idle speed at "D" range	← A/C Off			← A/C On				
Biante			●					
Baseline								●

Fig.16 Lift Gate Resonance Frequency Map

目標周波数を実現する構造の検討にはCAE解析によるシミュレーションを活用した。リフトゲート振動特性のCAE予測結果と実車計測結果をFig.17に示す。

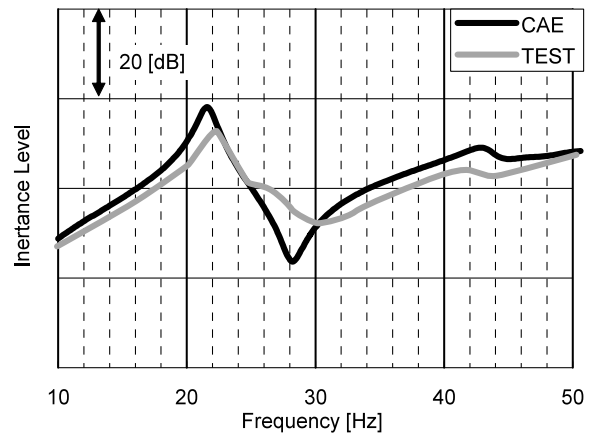


Fig.17 Lift Gate Inertance

CAEによる早期の構造変更検討の結果、狙い通りのリフトゲート振動特性を実現することができた。実車アイドルこもり音のレベルをFig.18に示す。前記、リフトゲート共振周波数のコントロールに加えて、ボデー振動特性の最適化や、サスペンション入力の低減等によるロバスト性の確保を行うことで、ダイナミックダンパ等のデバイスを用いることなく、良好なアイドルこもり音性能を実現した。



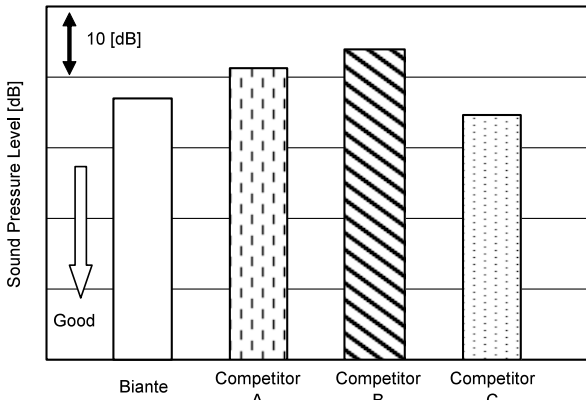


Fig.18 Idle Booming Noise Level

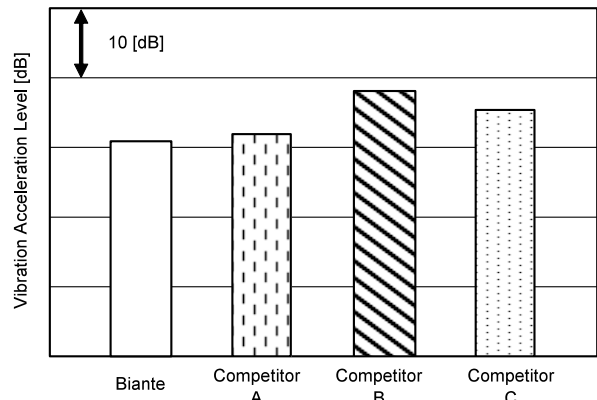


Fig.20 Idle Vibration Level at 2nd Seat

(2) ロングスライド機構を持つ2列目シートのアイドル振動  
 ビアンテでは、2列目シートの足元に前後長863mmの  
 広々としたスペースを確保できる「リビングモード」をは  
 じめとする、多彩なシートアレンジの実現のため、2列目  
 シートにロングスライド機構を持つシートレールを採用し  
 ている (Fig.19)。

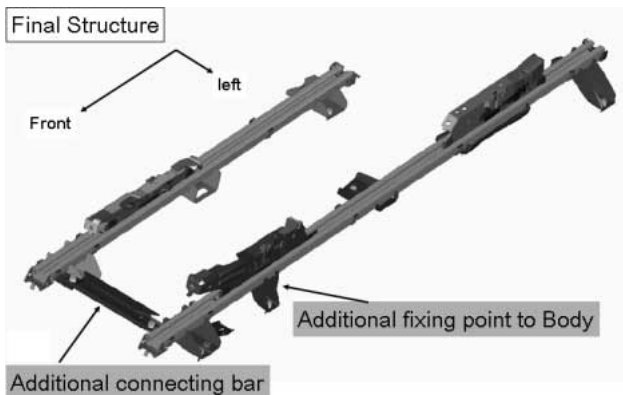


Fig.19 Long Slider Rail at 2nd Row Seat Attachment

このため、シートレールの剛性が低下し、アイドル時の  
 シート振動が悪化する懸念があった。確認のため、ロング  
 スライドレールの試作車両を用いて、課題の抽出を行った  
 結果、シートレール左右方向の倒れ剛性の不足によるアイ  
 ドル時のシート振動悪化が課題であることが分かったため  
 目標剛性を設定した。次に、目標剛性実現のための構造を  
 CAE解析を用いて検討し、初期構造に対して、ポデーへの  
 締結点の追加、およびインナレール/アウトレール間のコ  
 ネクトバーを追加した構造 (Fig.19) を提案し、最終図面  
 に織り込んだ。アイドル時の2列目シート振動の評価結果  
 をFig.20に示す。シートレールに加えて、車体骨格の振動  
 特性の改善を合わせて行うことで、良好なアイドル振動性  
 能を実現することができた。

### 5.3 総括 - 低周波振動騒音性能開発

ビアンテの低周波NVH性能開発においては、CAE解析  
 によるシミュレーションを最大限に活用することで、量産  
 図面出図以降の設計変更を最小限に抑えることに成功し  
 た。今後の開発プロジェクトにおいても、ビアンテの開発  
 プロセスを更に進化させ、開発のフロントローディング化  
 を推進していく。

## 6. おわりに

以上述べたように、ビアンテの振動騒音性能開発におい  
 て、目標とした快適性の実現と開発工数・コストのミニマ  
 ム化を両立させるために 様々な新しい取り組みを行った。  
 これにより、長距離ドライブでも車内での会話が弾み安定  
 して快適に走れる商品として具現化することができた。

### 著者



伊藤 肇



幅野浩司



住田英司



高野 毅



鎌田浩樹



津村信一

特集：マツダピアンテ

18

## マツダピアンテのTallボデー開発 Tall Body Development of Mazda Biante

銭谷 恒明<sup>\*1</sup> 中髪 修一<sup>\*2</sup> 後藤 英貴<sup>\*3</sup>  
Tsuneeaki Zenitani Shuichi Nakagami Hidetaka Goto

### 要約

マツダは、「サステイナブル“Zoom-Zoom”宣言」のもと、第2世代“Zoom-Zoom”商品としてデミオとアテンザを投入した。そして、国内向けに現在最も人気の高いTallタイプミニバンを提案するにあたり、「ワクワクするデザイン」やマツダの“Zoom-Zoom”な操縦性能による「走る喜び」を兼ね備え、クラストップの快適性・静粛性・安全性を実現する必要があった。単なる広さと機能性の追及やTallデザインだから重い、剛性感がないといった妥協は許されず、運転しても楽しいと思わせるマツダ車らしい車の開発に取り組んだ。

そこで、Zoom-Zoom Tallを開発コンセプトとして揚げ、大局的な見地と局部的な剛性に着目し効率的な補強を行い、軽量・高剛性ボデーでサスペンションへの入力をきっちり受け止められるキャパシティを実現し、キビキビとした走りを可能にした。Cカーセグメントにおいて定評のあるボデー剛性感をC-Tallワゴンとして更に進化させた。

### Summary

Based on a sustainable “Zoom-Zoom” declaration, we put Demio and Atenza on sell as the second generation “Zoom-Zoom” product in previous time. In this time, to propose “Zoom-Zoom” in the category of tall mini-ban, we must produce the exciting design, the emotive driving by an advanced steering and handling, and the comfort- calmness- safety. We created the only Mazda style car to enjoy driving, satisfying not only width and functionality but also minimizing the weight accretion and the reduction of rigidity with growing in height.

Holding up “Zoom-Zoom Tall” as a development concept, we efficiently add to the strength of a structure focusing attention on an overall viewpoint and a local stiffness. So we attained a capacity that is able to support force from a suspension and a quick and light driving by a lightweight and high rigidity. We evolved the body rigidity of a C-Tall Wagon that was established in C-car segment.

### 1. はじめに

登録乗用車の約3割を占めるミニバンは、広さや機能が重視されている。ピアンテの開発に当たり、最後発として広さや機能性の確保はもちろんのこと、ワクワクするデザインや走る喜びも兼ね備えたボデーを目指した。軽量化と衝突安全性を両立するため、高張力鋼板の採用、ドアおよびリフトゲート開口部へ、最も効率の良いスポット溶接およびウェルドボンドの採用、サスペンション取り付け部の補強など適材適所な施策を折り込み、今までのTallボデー

にはない安全で高剛性を確保しながら、質量を抑えたボデーシェルを実現した。

本稿では、この実現のために採用した技術を紹介する。

### 2. Tallボデー開発

#### 2.1 基本骨格

プラットフォームの骨格は部分的にはプレマシーを使いながら、ホイールベースの拡大や質量増加に対応した。また、衝突要件に対して解析とユニットテストの繰り返しによる検証を重ね、フレーム内へ断面つぶれ防止のガセット

\*1~3 ボデー開発部  
Body Development Dept.

を効率的に配置し、車体質量増加を抑えた。アッパーボデーは高張力鋼板の採用や、リヤヘッダ断面およびルーフサイド断面の拡大、ドア開口コーナ半径拡大など部品を追加することなく頑強な基本骨格を形成した。クラストップの室内長・室内幅・室内高を確保しつつ、リヤタイヤハウスの張り出しを最小限にとどめ、室内空間を最大限有効に使えるようにした (Fig.1)。

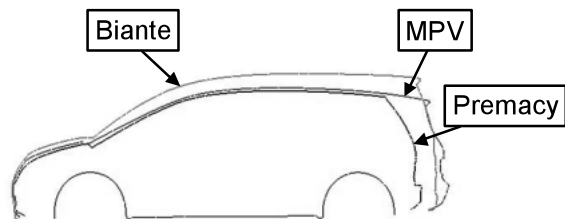


Fig.1 Body Size

2.2 軽量化

車両質量や車両寸法はプレマシーよりも増加するため、車体の強度および剛性の確保と軽量化の相反する課題に取り組んだ。

衝突については乗員傷害値目標から車体のエネルギー吸収量を決め、ロードパスの適正化と車体変形モードのコントロールを行った。これにより各部位の適正な分担荷重を決め、質量の増加を抑えた (Fig.2)。

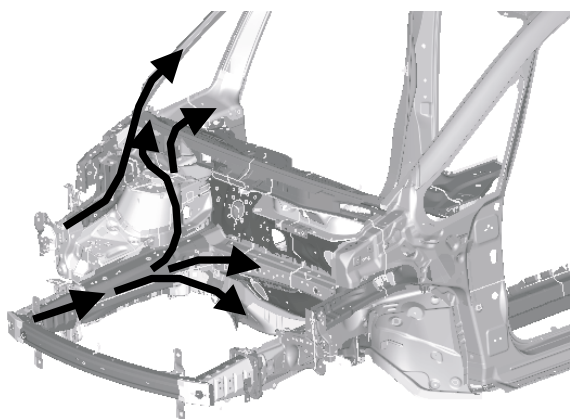


Fig.2 Load Path

ダッシュパネル付近で断面が変化することによって変形を起こしやすい部位には断面つぶれをコントロールする補強を行った。また、キックアップ部では、接合部の折れをコントロールする補強を行い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。それぞれ必要最小限の補強にとどめ、重量アップを抑制した。

アッパーボデーの領域では背高によるAピラー付け根の上方移動により、衝突時のフロントフレームの荷重をAピラーに分散させるべく、そこでAピラーが分担する耐力を決め、フロントからの荷重をヒンジピラーで受け止め、

Aピラーへ分散する構造とした。そのために、荷重をAピラーに伝える部材の設定や、ヒンジピラー内補強部の高張力鋼板化を行った。背高は、側面衝突に関して不利だがBピラー内部の補強材に980Mpaの高張力鋼板を採用した。これら衝突時のロードパスの適正化と車体変形モードのコントロールを行うことで安全性を確保しつつ軽量化も行った。

スライドドア構造でネックとなるガイドレール部断面は、接合構造の工夫により板厚をアップすることなく断面を最大限確保して剛性の向上を行った。その他にもフロント、リヤヘッダそれぞれの断面を拡大した。

車体寸法拡大による質量増加を抑制するため、プレマシーに比べ、高張力鋼板の使用を拡大した。Aピラーレインフォースメントへ780MPa、Bピラーレインフォースメントへ980MPa、Bピラーインナへ590MPaの採用などにより、ボデーシェル全体の42%へ高張力鋼板を使用した (プレマシー32%) (Fig.3, 4)。

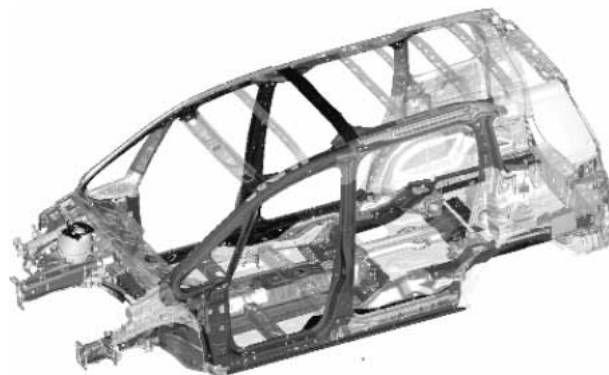


Fig.3 Usage of High Strength Steel

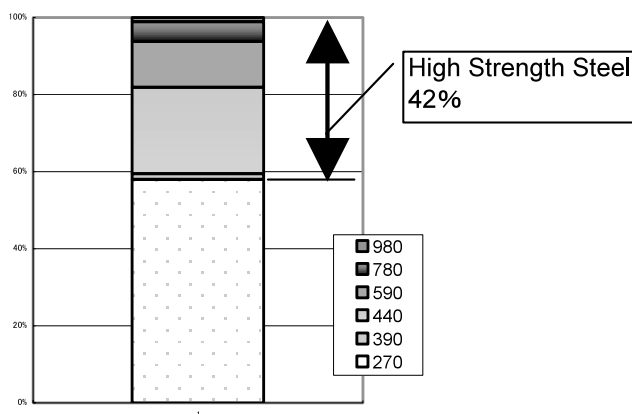


Fig.4 Proportion of High Strength Steel

2.3 車体剛性

“Zoom-Zoom”な操縦性能を実現するため、トレンド分析による結果から操縦安定性目標を決め、車体曲げ、ねじり、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などを特性指標として活用し、変形モードを基に質

量増加を抑え、効率的に構造を決定した。

車体の変形（ねじり、曲げ）が起こりやすいTallボデーの弱点を補うため、フロントドア開口、リアドア開口およびリフトゲート開口の各コーナ半径を商品性を損なわないぎりぎりまで拡大。また、フロントドア開口およびリアドア開口コーナ部へスポット溶接を追加した（Fig.6）。

スライドドア特有でアッパーガイドレールによるルーフサイドの断面削れを抑えるため、レール位置を外側へ出し、断面を拡大することで剛性の低下を抑えた。

また、“Zoom-Zoom”な操縦性能をTallボデーでも実現させるため、サスペンション取り付け部の局所的な剛性にも着目した。

フロントダンパトップ部に補強を設定し、キャブサイドとカウルへ結合することで、前後左右の動きを抑制した（Fig.5）。

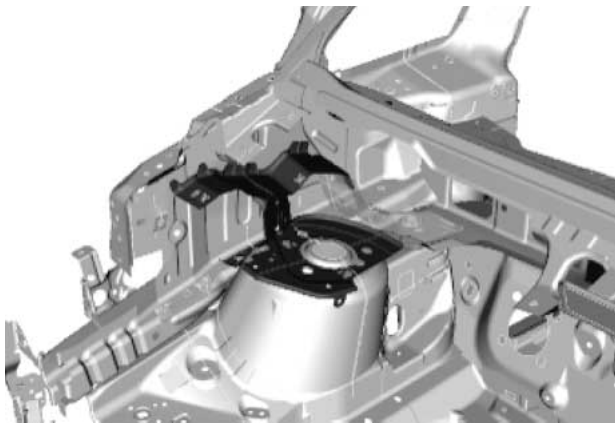


Fig.5 Front Suspension Top Structure

リアサスペンション部はリアホイールハウス接合部へウエルドボンドを採用（Fig.6）。ミニバン特有の空調ユニットの形状工夫とスライドガイドレールの必要スペースを確保しながらリアサスペンショントップ部およびDピラーをつなぐ扇形のカセットを設定。更に、フロア沿いに後方へ伸びるトルクボックスと、サスペンション内倒れ防止のカセットを荷室スペースを損なうことなく設定した（Fig.7）。これらにより、変位を抑制するとともにリアサスペンション入力荷重も効率良く分散し、耐久強度に対する信頼性を向上することができた。

トレーリングリンク取り付け部へは、局部剛性を向上させるためのストラットプレートを設定し（Fig.8）、ボデー変形に起因する操縦安定性や乗り心地を向上させた。

骨格となる車体剛性とこれら局部剛性の向上が相まって競合車比、トップレベルの曲げおよびねじり剛性を達成し、キビキビとした操縦安定性と優れた乗り心地を実現した（Fig.9, 10）。

ルーフが高くなることで発生する開口部変形の抑制により、骨格となる車体剛性が向上し、サスペンションへの入

力をきっちり受け止められる性能を実現したことで、Cカーセグメントにおいて定評のあるボデー剛性感をC-Tallワゴンとして更に進化できた。

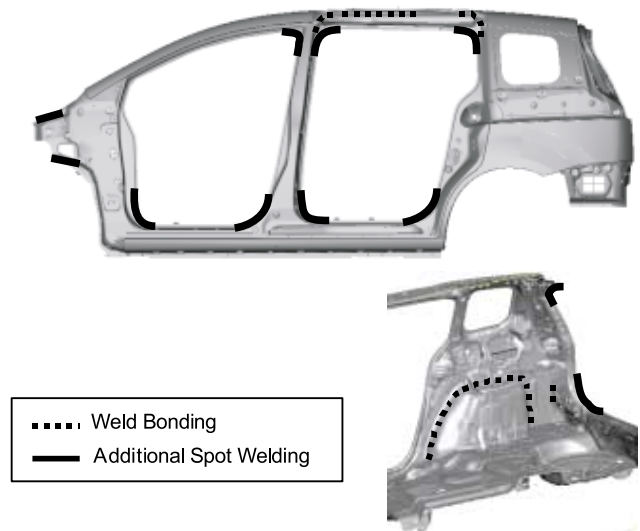


Fig.6 Reinforcement for Jointing

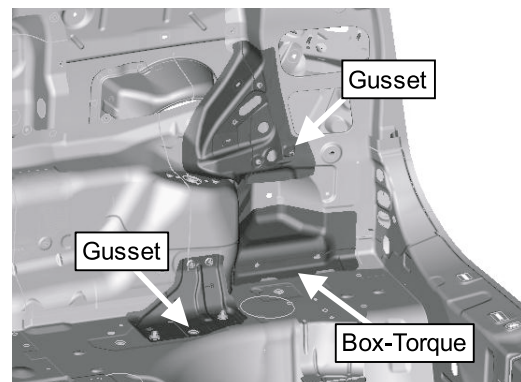


Fig.7 Rear Suspension Structure

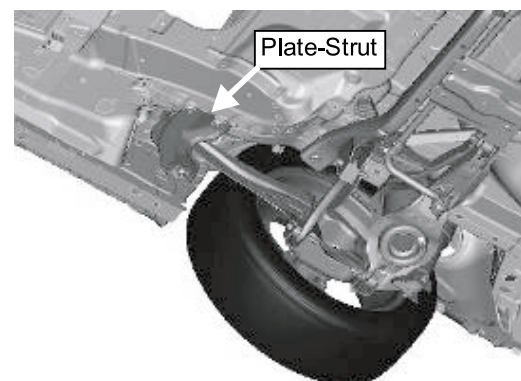


Fig.8 Plate-Strut

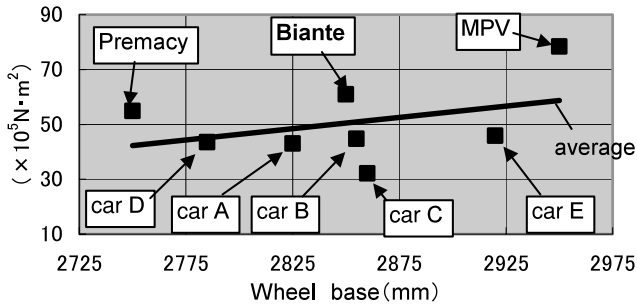


Fig.9 Bending Stiffness

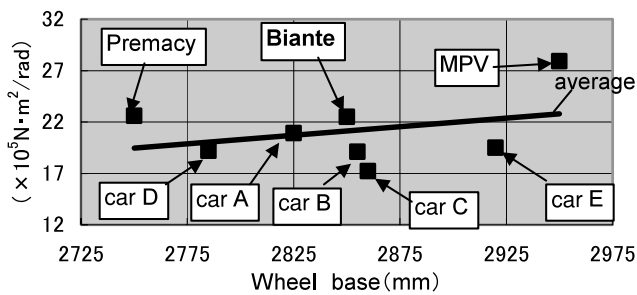


Fig.10 Torsional Stiffness

### 3. デザイン

ビアンテの特徴でもあるヘッドランプからサイドウィンドウにかけて流れるようなデザインを取り入れ、大型クォーターウィンドウを活かして下方視界の拡大を図った。単に面積を拡大しただけではなく、ピラー断面の接合構造の工夫により妨害角の小型化を行った (Fig.11, 12)。これは溶接フランジ部をクォーターウィンドウ接着面へ合わせるのではなく、あえて内側へ移動し目線からフランジ部をはずすことで妨害角を縮小し、特に前方下方視界の拡大に貢献した。

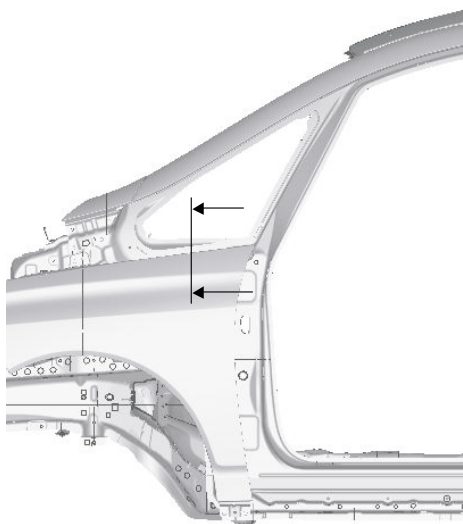


Fig.11 Quarter Window

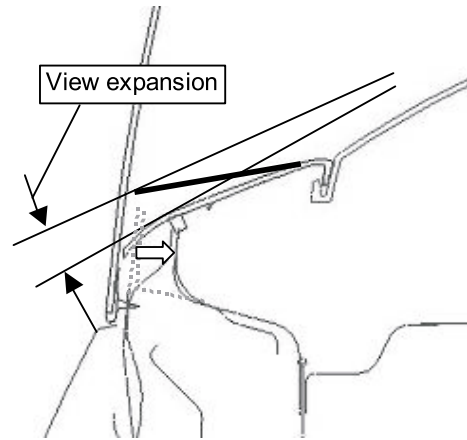


Fig.12 Quarter Window Section

### 4. おわりに

以上、ビアンテのボデーシェル開発で採用した技術を紹介した。

成果として、ミニバン特有のデザインや装備、車両質量増加などに対し、部分剛性に着目し、構造の工夫や解析による徹底的な検証を行った。結果、効率のよい補強を行い、操縦安定性、乗り心地、広い室内空間を高次元で実現し、Tallボデーの弱点である剛性不足を克服することができた。

ボデーシェルの車両全体質量に占める割合は20数%を占めており、軽量化の技術開発は、地球環境改善に貢献するための、低燃費化実現の大きな鍵となる。更に努力を重ねボデーの技術開発を継続する所存である。

#### 著者



銭谷恒明



中髪修一



後藤英貴



論文・解説

19

## 新型ロードスターのパワートレインの進化 Enhancement of Powertrain with New Roadster

若狭章則<sup>\*1</sup> 野崎 修<sup>\*2</sup> 西田智宣<sup>\*3</sup> 齊藤忠志<sup>\*4</sup>  
 Akinori Wakasa Osamu Nozaki Tomonori Nishida Tadashi Saito  
 佐々木 健二<sup>\*5</sup> 濱田雅美<sup>\*6</sup> 藤富哲男<sup>\*7</sup>  
 Kenji Sasaki Masami Hamada Tetsuo Fujitomi

### 要約

三代目ロードスター (MX-5) のマイナーチェンジは、「サステイナブル “Zoom-Zoom”」に基づき、環境保全に対応しつつ今まで以上の「人馬一体」の楽しさを創り込むことが使命と考えた。本稿では、低CO<sub>2</sub>・クリーンな排気ガス、エンジンレブリミットの向上、アクセルに即応する心踊るエンジンサウンド、6速トランスミッションの改良など、走る喜びと環境・安全性能が調和し「進化」したパワートレインの姿を紹介する。

なお、ベースになる三代目ロードスターのパワートレインについては、マツダ技報 (2006 No.24) を参照いただきたい。

### Summary

We have facelifted the third generation Roadster (MX-5) under the slogan of “Sustainable Zoom-Zoom”; aiming to strike a balance between environmental protection and enjoyable driving so that our customers will be able to feel “Jinba-ittai (Oneness between horse and rider)” more than ever before. This paper describes the highly-evolved New Roadster Powertrain which not only has achieved enjoyable and safe driving but has enhanced environmental performance, resulting in low CO<sub>2</sub> emissions and clean exhaust gas, engine rev. limit rise, exciting engine sound that quickly responds to accelerator pedal movement, and upgraded 6-speed transmission.

Refer to “Mazda Technical Review No. 24, 2006” for the third generation Roadster Powertrain, the base of New Roadster.

## 1. はじめに

ロードスターは「人馬一体」を具現化したパフォーマンスフィールドを初代から二代目、三代目へと正統進化させて独自のポジショニングを確立してきた。近年、自動車を取り巻く環境は大きく変わり、スポーツカーといえども地球環境保全に対応することが重要な使命になっている。

一方、どんなに時代背景が変わろうとも、「人馬一体感」で人を魅了し続けることは普遍の理念であり、現状に満足することなく常により向上させてゆくことが自明の理と考えて、開発に取り組んでいる。

## 2. パワートレインの進化

### 2.1 パワートレインが目指したもの

三代目として開発した2.0Lエンジンと6速トランスミッションを搭載しているロードスターは世界中で59ものタイトルを受賞する等、非常に高い評価をいただいた。

この改良に際しては、地球環境の変化や市場ユーザの声を基に真摯な分析を行い、以下を基本的な考え方とした。

- ① 車両の価格上昇に繋がる投資は抑制して商品ポジションを維持する
- ② 短所があれば改善する
- ③ 長所は強みとして更に特化してゆく

\*1, 7 パワートレイン開発推進部  
Powertrain Development Promotion Dept.  
\*4 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.  
\*5 エンジン実研部  
Engine Testing & Research Dept.

\*3 パワートレインシステム開発部  
Powertrain System Development Dept.  
\*6 NVH性能・CAE技術開発部  
NVH & CAE Technology Development Dept.

④ 改良の結果はドライバの五感で明らかに体感できるレベルに仕上げる

具体的には、スポーツカー故に弱みといわざるを得ない環境性能はクリーンでCO<sub>2</sub>排出量の少ないエミッションを実現すること。

パートレインの性能は、レーストラックなどでの加速タイムを追求するのではなく、「一般のどんな走行シーンでも常に楽しく運転できる」と好評を得たパフォーマンスフィールを更に強化することである。

2.2 パートレインラインナップの充実

パートレインは各国のニーズに合わせて展開しているが、近年オートマチック車への期待が高まってきた欧州にも6AT車をラインナップして充実した (Table 1)。

Table 1 Powertrain Line-up ( : Added)

Engine	Transmission	JPN	N.America	Europe	Australia
2.0L	6MT	●	●	●	●
	5MT	●	●	●	-
	6AT	●	●	○	●
1.8L	5MT	-	-	●	-

3. 環境性能の改善

環境性能の改善は、燃費、CO<sub>2</sub>、排気エミッションの改善など、国別のエミッション規制や騒音規制の違いやユーザ調査結果を分析して走る楽しさへの期待を損なわないように最適化を図り機種毎に緻密な改善を進めた。

日本仕様では、触媒の貴金属を変更してULEVから最も厳しいSULEVに強化しながら、将来的に規制となる可能性があるオフサイクルエミッションも先取り対応した。また、6速マニュアルトランスミッション車の6速ギヤ比は5%高速化して実用燃費の改善を行った。北米仕様でも、6速ギヤ比の高速化や走行抵抗の改善などにより、HWYラベル燃費を1MPG低減したことに代表されるように走行頻度の多いフリーウェイ走行時の燃費を改善している。欧州仕様は、量販モデルの1.8LのFGRを4.100から3.909に高速化する等、NEDCモード燃費やアウトバーン走行でのCO<sub>2</sub>排出量の低減をした。1.8LモデルのCO<sub>2</sub>排出量はクラストップの167g/kmを達成している。

各国の機種毎の改善策をTable 2に示す。

Table 2 Environmental Measures

Objectives	Measures	JPN			N.America			Europe			Australia		
		2.0L			2.0L			2.0L			1.8L	2.0L	
CO <sub>2</sub>	EM	6MT	5MT	6AT	6MT	5MT	6AT	6MT	5MT	6AT	5MT	6MT	6AT
✓	Optimized MGR	●			●								
✓	Optimized FGR											●	
✓	Catalytic converter refined	●	●	●									
✓	Powertrain control module refined	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
✓	Air resistance refined	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
✓	Rolling resistance refined	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

4. パフォーマンスフィールの更なる強化

4.1 人馬一体のパフォーマンスフィールの考え方

一般的にユーザがパフォーマンスフィールを表現する時、リニア、ライブリ、パワフル、トルクフル、スムーズ

などと表される。「人馬一体」DNAを具現化するパフォーマンスフィールとは、低回転から高回転までストレスなく伸びて行く感覚 (Linear) と、きびきび軽快な走り感 (Lively) にあると考えている。新型ロードスターでは、このLinear, Livelyの両面を更に強化することが重要と考えた (Fig.1)。

Linearの向上は、エンジンパワーを使い切る楽しさや、マニュアルトランスミッション (MT), 電子制御6速オートマチックトランスミッション (AT) で、コーナリング走行時に不用意にギヤを変速せずにコーナを脱出してゆくこと、そして更にスポーツサウンドの強化によってエンジンの伸びのフィーリングを高めることに主眼を置いた。

Livelyの強化は、アクセルOn, Offに歯切れ良く呼応するスポーツサウンドを作り上げて行くとともに、MTの軽快なシフトフィールの更なる改善, ATのマニュアル操作の利便性を高める制御システムの採用により追求した。

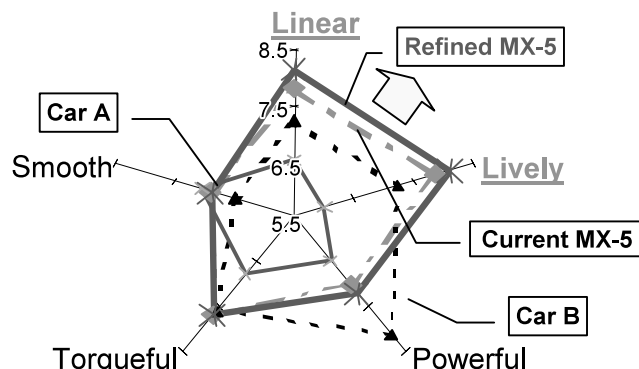


Fig.1 Performance Feel Orientation

4.2 エンジンの使い切り感の醸成

エンジン性能はむやみな最高出力の向上を追うのではなく、ドライバがエンジンのポテンシャルを最大限に引き出すことでリニアな楽しさを実感できることに注力した。

従来の2.0Lエンジンは最高出力発生が6,700rpm、レブリミットが7,000rpmとしていたが、ドライバが全開加速したときトップエンドに向けて伸びてゆく感覚が継続するとき、時としてレブリミットに当たることもあり、もう少しだけエンジンを回したいと感じられることがあった。新型ロードスターの開発では、最高出力を7,000rpm、回転限界を7,500rpmとしてレブリミットを500rpm高回転化した (2.0L MT車) (Fig.2)。

主な採用技術は、

- ・ 従来モデルの鋳鉄クランクシャフトに換えて、より剛性の高い鍛造クランクシャフトを新採用し、高回転でのクランク剛性を確保。
- ・ ピストンをフルフロート化することで、高回転でのピンボスマわりの信頼性を高めた。
- ・ バルブスプリングを新設して、高回転でのバルブのパウンスを抑制した。
- ・ コンロッドのメタル材質をハイグレード化し、高回転で



の焼きつき性を改善して耐摩耗性を向上させ、耐久性を高めた。

これらの技術により、高回転域でもエンジンの振動が抑えられたスムーズなオペレーションを実現した。2速、3速といった低いギヤで全開加速走行をした時に伸びやかな加速を伴う楽しい走りができるようになり、ドライバがエンジン性能を使いきったと感じられるフィーリングを実現した。

なお、エンジンの高回転化で、2.0L MT車の0-100km/h加速性能は0.1秒短縮された。

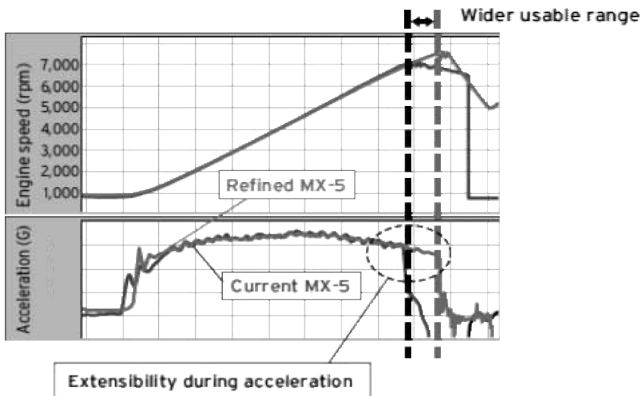


Fig.2 Enhanced Linearity in Performance Feel (Wide-open Throttle in Second Gear)

4.3 「人馬一体」スポーツサウンドの再構築

ロードスター伝統の心地良いサウンドは、エンジン音、吸気音、排気音のトータルサウンドでLinear, Livelyを聴覚という側面から高めている。

新型ロードスターのサウンド開発にあたっては、車外環境に配慮しながら、走行シーンに応じた心地良いサウンドを積極的にドライバへ伝えることに力点を置いて、エンジン本体と吸気システムを再構築した (Fig.3)。

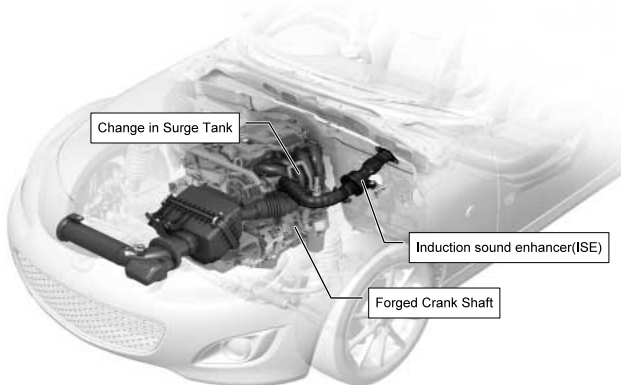


Fig.3 Restructuring of Engine Sound

(1) エンジン本体サウンドのリニア化

マツダのサウンド創りは高度なバーチャルサウンド加工システム『ArtemiS』を用いて、音質の目標値を定めて創り込みを行っている。エンジン本体には様々な周波数を組み合わされた音質があるが、最適なバックグラウンドの音

質を作る目的でエンジン本体の役割を見直した。

2.0L MT車のエンジンの回転系については、レプリミットの500回転アップでも同時に必要とされた高剛性鍛造クランクシャフト (Fig.4) の採用により、ハーフ次数で発生する振動音を低減して、基本次数の振動音のみを強調した (Fig.5)。

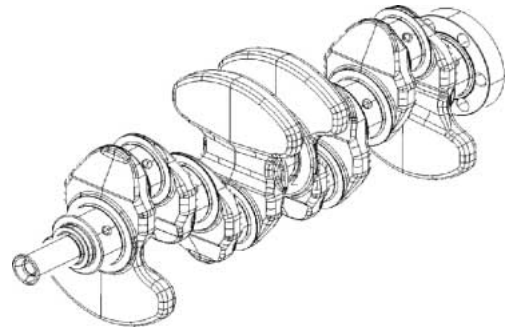


Fig.4 Changes for Crank Shaft

Change in tone resulting from change in crankshaft:

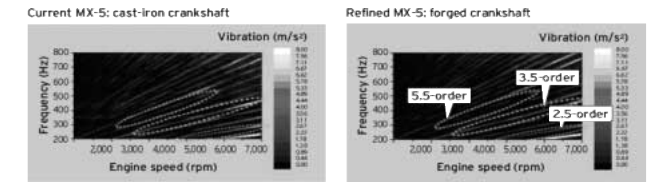


Fig.5 Comparison of Crank Shaft

Fig.5の斜めのラインはエンジンの回転回数に応じて発生する音を示す。従来型ロードスターの鋳鉄クランクでは、2.5次、3.5次などのハーフ次数成分の音も少し出ているが、新型ロードスターの鍛造クランク (Fig.4) では、2.5次、3.5次などのハーフ次数成分の音をほとんど消すことができ、2次、4次といった基本次数の音を強調できたことを『ArtemiS』のチャートで実証している。

また、インテークサージタンクについて、従来型ロードスターでは、サージタンクの膜振動による鼓動を利用してアクセル操作に応じたサウンドを演出したが、新型ロードスターではサージタンクの肉厚やリブなどを再チューニングして500Hz付近の音圧を抑制したことをチャートで示している (Fig.6) この対応は特に減速時とクルージング走行の静粛化に貢献した。

Change in tone resulting from change in surge tank

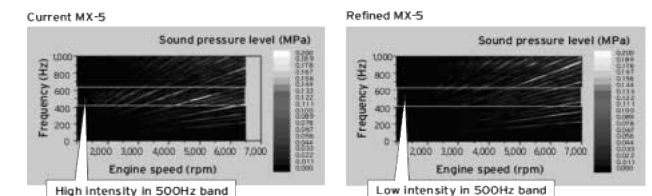


Fig.6 Comparison of Surge Tank

これらにより、通常走行の車内音を「すっきり」した質感に変えることに成功した。

そして、吸気システムの開発でメリハリのある音質を際立たせるようにしたのである。

(2) 新開発 ISE (Induction Sound Enhancer)

アクセルワークに呼応して心地よいサウンドを発生する吸気システムとして、ISE (インダクションサウンドエンハンサー) を新開発し6MT車に装着した。

ISEは2本のサウンドパイプとISE本体から構成される。ドライバのアクセル操作でスロットルが開くと、インテークで発生した吸気脈動がサウンドパイプ内で共鳴しながら、ISE本体へと導かれ、ISE本体内部に設けられたデバイスの膜が吸気脈動を増幅したサウンドになる。

そして、ISEで増幅された吸気サウンドはダッシュカウル内に放出され、250~400Hzのアグレッシブなサウンドとして室内のドライバの耳へと届けられる (Fig.7)。

特にオープン走行時には、カウルアッパー内に伝達されたサウンドがカウルグリルから開放され、直接室内に聞こえてくるため、クローズ走行時よりも、大きな音圧として聞こえ、オープン走行の楽しさが増幅される。エンジン回転に応じたサウンドの大きさをFig.8のチャートで示している。

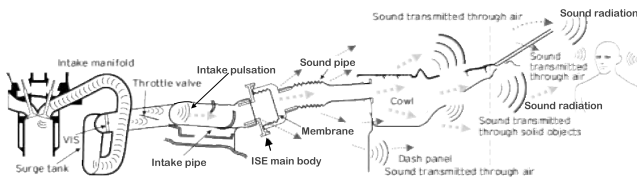


Fig.7 ISE Sound Transmission System

ISEは、ドライバがアクセルを踏んでいる時にのみアグレッシブなサウンドが発生し、ドライバに届けられるという利点がある。

例えば、高速走行で、のんびりクルージングしたい時は、ISEのエンジンサウンドは比較的静かになり、アクセルを戻して減速する時にもサウンドは小さくなる。

しかし、ドライバがアクセルを深く踏み込むと世界が一変する。またアクセルを軽くあおって回転合わせをしながらシフトダウンする時にも、歯切れのよいISEサウンドがドライバの気分を盛り上げる。

このように加速時のアクセル操作に応じてリニアに高まるサウンドは、「鞭を入れた時に感じる馬の息づかいや鼓動が乗り手を奮い立たせる」のに似ていて、ロードスターのドライバはサウンドでも「車との対話」を楽しみながら一体となって走る楽しみを味わうことができることを実現したのである。

なお、5MT車、6AT車についても、オプション装着ができるようにセッティングしている。

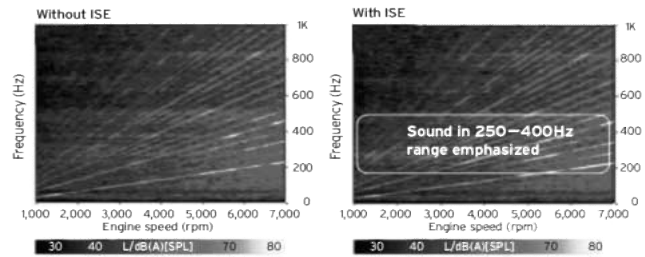


Fig.8 Effects of ISE

4.4 6MT車のシフトフィールの更なる向上

2.0L MT車のエンジンを500回転アップしたゾーンでも軽快なシフト操作ができるように開発を行った。

6MTのトランスミッションでは3~4速のシンクロメッシュの径を6mmアップ、更に1~4速トリプルコンシンクロのアウタコーンにカーボンコーティングを採用するとともに全段位のシンクロコーンの諸元を見直した。

これらの対応によって高回転化したゾーンの変速フィールを軽快にすることを実現しただけでなく、通常走行ゾーンのシフトフィールを更に滑らかなにすることをも実現している。

なお、5MTについては、従来から7,500rpmに適合したトランスミッションであり、常用域から高回転化したゾーンまでスムーズなシフト操作を実現できている。

4.5 6AT車のLiner, Liveryの向上

三代目ロードスターから採用した6速ATアクティブマチックは、ワイドギヤにより走りと燃費の高次元なバランスを実現すると同時に、リニアな変速レスポンスで高い評価を得ている。新型ロードスターの6ATでは、更にリニアなフィールを高めるため、シフト性能を積極的に制御する新しい2つの技術を採用した。

(1) AASの採用

ドライバの意図を瞬時に判断してシフトパターンを変化させ、走行シーンごとに適切なシフト選択を行って、常にスポーティな走行を楽しめるアクティブアダプティブシフト (AAS) を新採用した。

この機能は、勾配量、ワインディング路か否かなどで道路環境を捕え、アクセル、ブレーキ操作などでドライバの意思を掴み、また、加速度、コーナリング状態などで車両の挙動を捉えて、制御システムが自動的に走行シーンの判別を行って最適なシフトを選択する。ドライバの意思に即して常に最適な駆動力をアクセルコントロールできるため、リニアでダイナミックな走りをサポートする。

変速しないタイトなコーナリング、十分なエンジンブレーキによる減速、タイムラグのない鋭い加速を得ることで、6AT車においてもLiner, Liveryが向上し、スポーツ走行をこれまで以上に楽しむことができる (Fig.9)。

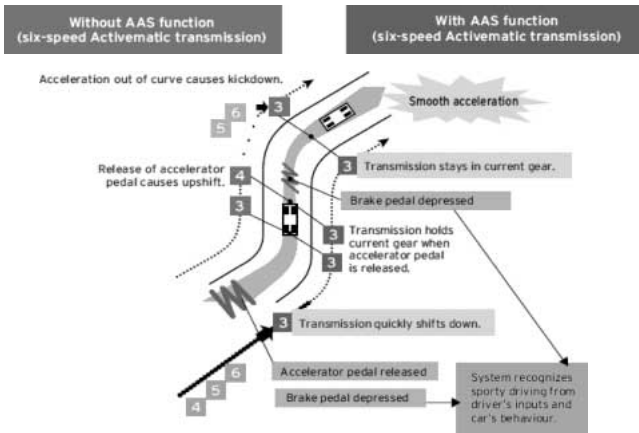


Fig.9 Benefits of AAS Function

(2) DMの採用

走行中にステアリングシフトスイッチ操作のみで素早くストレスなく変速を操れるダイレクトモード(DM)を新設定した。

このDMはすでにMazda RX-8マイナーチェンジに搭載されたものと基本的に同じであるが、Dレンジでの自動変速走行中、Mレンジに切り替えなくてもステアリングシフト操作だけで、シフトダウン等ドライバが要求するギヤ段に素早く一時的に移行するもので、シーンが続く間はそのギヤを継続し、シフトダウンを必要とするシーンが終了したとシステムが判断した時点で自動的にDレンジのオペレーションへ戻すという制御を行う。

チューニング開発は、下り坂でのエンジンブレーキによる減速シーン、コーナリング進入での減速から再加速までのシーン、いったんシフトダウンしてからの追い越し加速シーンという、一般のドライバが頻繁に遭遇すると考えられる3つのシーンを想定して進めた。

このDMによって、ドライバが望む思い通りのタイミングでエンジンブレーキや素早い加速を容易に行うことができるようになりLivelyを更に高めることができた(Fig.10)。

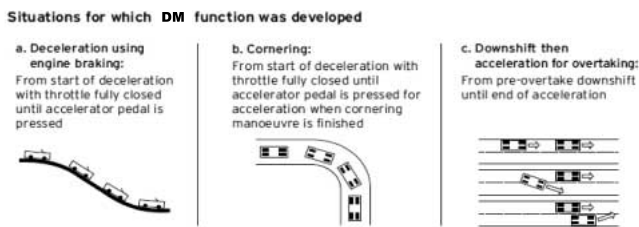


Fig.10 Situations for DM

これらの様々な「こだわりの技術」によって、「人馬一体コンセプト」ならではのパフォーマンスフィールドの「進化」を実現できた。

5. おわりに

この新しいロードスターの、初代から一貫した、「“ Lots of Fun ” の楽しさ」は確実に大きく増幅している。エンジニア達は、「並み居るどんなクルマよりもロードスターが楽しい」と言い切る自信を持っている。

我々にとって、「ロードスターというクルマのありかた」はひとつの「哲学・思想」であるといっても過言ではない。この「哲学・思想」に共感し、支え続けてくださる世界中の人々のために、またこれからこのクルマに出会う人々に向けて、より進化したロードスターをお届けできることは、開発メンバの大きな喜びである。

今後も更なる「人馬一体」の楽しさをお客様に提供できるよう、「情熱とこだわり」を持って「進化」を進めて行きたい。

また、ロードスターは今年誕生20周年を迎える。ファンの皆様方と一緒に「成人式」の喜びを分かち合いたい。

著者



若狭章則



野崎 修



西田智宣



齊藤忠志



佐々木健二



濱田雅美



藤富哲男

# 最適化を用いた下肢傷害低減手法の開発

## Development of Optimization Techniques to Reduce Lower-Extremity Injuries

宮原 亮平\*<sup>1</sup> 宮島 陽一\*<sup>2</sup> 尾川 茂\*<sup>3</sup>  
Ryohei Miyahara Yoichi Miyajima Shigeru Ogawa

### 要 約

本稿では、前面衝突時における乗員下肢挙動の再現およびフォームパッドの荷重特性・構造を決定する手法について提案する。まず、クラッシュシミュレータでの乗員挙動を再現するため、CAEモデルを作成し、傷害値の再現性を確認した。次に下肢傷害を抑制するフォームパッドの形状を設計変数として遺伝的アルゴリズムによりフォームパッド形状最適化計算を行った。得られた計算結果から、フォームパッド形状と下肢傷害の因果関係を議論し、フォームパッド形状のパラメータ最適化手法について提案する。

### Summary

The present study has the following two aims : The first is to reproduce the kinematics of a dummy lower leg observed in a frontal crash. The second is to develop a methodology to assess various theoretical design parameters of a foam pad to reduce the risk of lower-extremity injuries. To address the first aim, a simulation model was developed. To address the second aim, a genetic algorithm was used to optimize the geometrical design parameters of the foam pad to reduce the lower-extremity injuries. Based on the results obtained, causal relationship between the foam pad design and lower-extremity injury was discussed, and then an optimized design of the foam pad was proposed.

## 1. はじめに

車両の安全性能は向上しており、日本国内における交通事故による死亡者数は減少しているが、負傷者数は依然として高い水準で推移している。その負傷の中でも下肢傷害は、後遺障害が残りやすく生活の質へ大きな影響を及ぼす。そのため、車両の安全性能開発においては、下肢の保護性能向上は重要な項目の一つであり、下肢傷害の低減を目的とした多くの研究が、解剖学<sup>1)2)</sup>や事故データの統計分析<sup>3)4)5)</sup>の観点から行われている。これらの研究から得られた知見は乗員拘束装置の開発に活用されている。

下肢における傷害は、脛部に入力される荷重やモーメントによって生じるが、機構が複雑でありユニットテスト等で再現するのは困難である<sup>6)</sup>。そのため、拘束装置の性能を評価するための下肢傷害の数値解析モデルが、長年にわたり開発されてきた。Hallらは人体モデルをマルチボデーで作成し、死体実験から得られたデータに対してモデルの応答を評価した<sup>7)</sup>。Kitagawaらは下肢傷害の危険性評価のために、筋肉を模擬したバネを備えたダミーモデルを開発

した<sup>8)</sup>。Kippertらもフォームパッドやフットエアバッグ、ニーエアバッグ等の乗員拘束装置を評価するためにMADYMOモデルの開発をした<sup>9)</sup>。また、下肢傷害を予測するために、解析ソフトウェアの開発元も精度の高いダミーモデルの開発を続けている<sup>10)</sup>。

本稿では、乗員挙動シミュレーションソフトであるMADYMOを用いて、最新のダミーモデルや有限要素(FE)で定義した拘束装置モデルを作成し、下肢の挙動を再現した。その後、下肢傷害を抑制するフォームパッド形状のパラメータ最適化手法について提案する。

## 2. 下肢傷害予測モデルの概要

### 2.1 スレッドテスト条件

ハニカムバリアに車両の40%がラップした64km/hでの前面衝突を検討条件として、Fig.1に示した車体減速度をクラッシュシミュレータに設定した。また、扱う現象を簡単にするため、下肢傷害に関係する部品が少ない助手席に、Hybrid AM50%tileダミーを搭載し、ダッシュ後退やピッチング挙動は考慮せずにスレッドテストを実施した。

\*1~3 衝突性能開発部  
Crash Safety Development Dept.

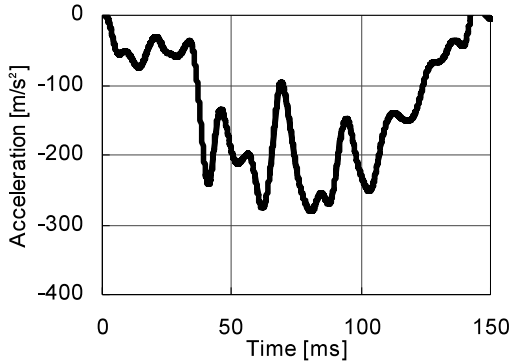


Fig.1 Acceleration of Vehicle in 64km/h Crash

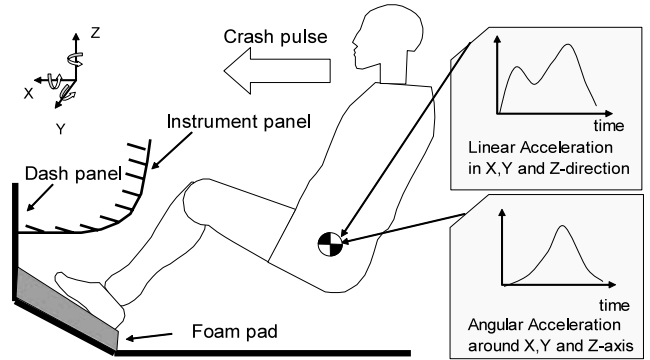


Fig.2 Overview of the Simulation Model

2.2 腰挙動

下肢にかかるダミー上体の慣性力は腰の動きによって変化するため、ダミーの腰挙動は下肢傷害を再現するうえで重要となる。そのため、Fig.2に示したように、スレッドテストで計測された腰の三軸加速度、三軸角加速度をダミーモデルに入力条件として定義した。これにより、数値解析で再現が困難なシート等の部品の影響を分離し、腰から下脚への荷重伝達をテストと同条件とした。

2.3 内装部品モデル

(1) インストルメントパネルは膝が侵入した際に、反力方向が時々刻々と変化し、また、接触位置による反力の違いが大きい。そのため、FEでモデル化したインストルメントパネルを下肢傷害予測モデルに組み込んだ。

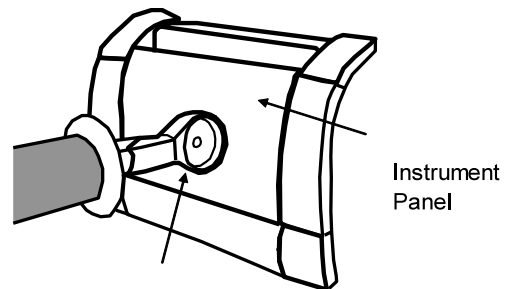
Fig.3のように膝形状を模擬した剛体の負荷子で、インストルメントパネルを動的に圧縮するテストを行い、その反力特性を評価した。その結果Fig.4のように負荷子が100mm侵入するまでは荷重とストロークの関係(F-S特性)がテストとシミュレーションで同等となり、反力特性の再現精度が十分であることを確認した。

(2) フォームパッドは、乗員が車体に対して前進した際に、足の裏から入力する荷重を緩和する、下肢傷害抑制の重要な手段の一つであるため、下肢傷害を評価するためにはフォームパッドの反力を正確に再現する必要がある。そこで、インストルメントパネルと同様にFEでフォームパッドモデルを作成した。

Fig.5に示した靴の踵形状の剛体を用いた静的な圧縮テストでの反力の比較によりモデルの精度を評価した。Fig.6のようにテストと同様のF-S特性が得られ、フォームパッドの反力特性の再現精度が十分であることを確認した。

2.4 ダミーモデル

ダミーモデルは、MADYMO用高精度ダミーモデルであるQダミーを用いた。QダミーはFig.7のように靴等の詳細な形状をRigid-FEで作成し、その構造および特性は様々なユニットテスト結果からコリレーションを取ったバネマスモデルとして定義されている。主に胸変形・下肢傷害の高精度予測を用途として開発された。



Hybrid III Knee without Skin

Fig.3 Schematic Drawing of the Dynamic Impactor Test

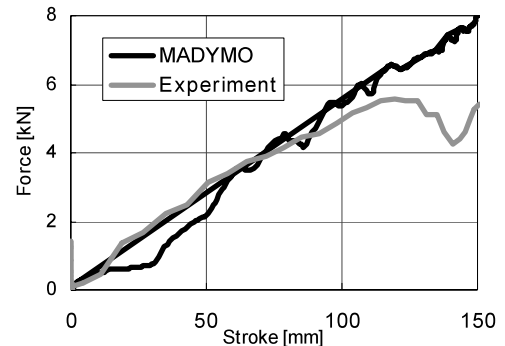


Fig.4 Dynamic Impactor Test Results on the Instrument Panel Obtained from MADYMO FE Simulation and Experiment

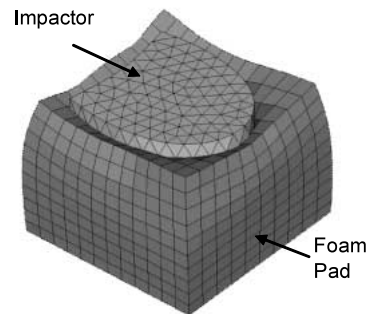


Fig.5 The Foam Pad Compression Test Simulation to Validate the Material Property

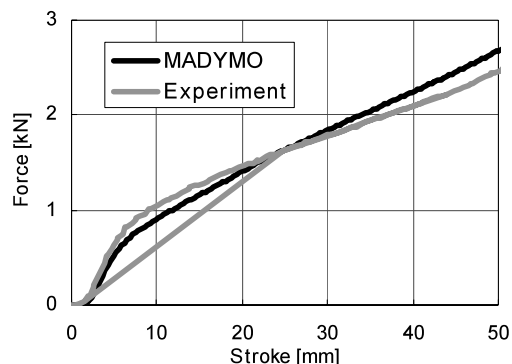


Fig.6 Comparison of the Foam Pad Stiffness between MADYMO FE Model and Experiment

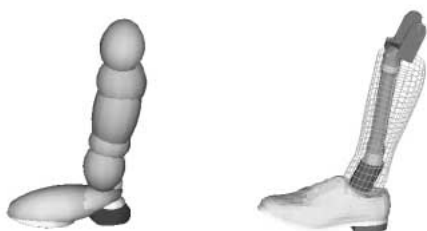


Fig.7 Leg Geometry of MADYMO Multi-Body Dummy (Left) and Q-Dummy (Right)

### 3. 下肢傷害の予測精度

#### 3.1 評価指標

前面衝突時における下肢傷害は複雑な機構で発生しており、現在はHybrid ダミーの脛に入力する荷重とモーメントから計算されるティビアINDEX (TI) や、脛軸荷重 ( $F_z$ )、ニースライド等で傷害発生リスクが評価されている。これらの指標は、様々な体格や年齢層の人体耐性を再現するものではないが、日本や欧州、米国等の市場で評価指標として用いられているTIと $F_z$ に着目した。

脛の骨折は軸荷重と、曲げモーメントの相互作用によって生じると考えられているため、Fig.8のように脛の上部と下部に入力する軸荷重とXおよびY軸周りのモーメントから式(1)により求められるTIで受傷リスクを評価している。

$$TI = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{M_c} + \frac{|F_z|}{F_c} \quad (1)$$

$M_x$ : X軸周りのモーメント [Nm]

$M_y$ : Y軸周りのモーメント [Nm]

$M_c$ : クリティカルモーメント [Nm]

$F_z$ : Z軸方向の荷重 [kN]

$F_c$ : クリティカル荷重 [kN]

また、脛骨の骨端の受傷リスクは、脛骨の軸に入力する荷重によって発生すると考えられており、 $F_z$ を用いて評価されている。

#### 3.2 再現性の検討

Fig.9に示したスレッドテストで90msに右足首がX軸周りに捻られている挙動を例として、計算結果ではダミー挙動が再現されている。

各部位での計測値を、FEモデルとスレッドテストで比較すると、 $F_z$ に関してはFig.10に代表されるように脛部の計測点4箇所全てで良好な相関性が得られた。しかし、TIを評価するうえで重要となるモーメントに関しては、十分な相関性が得られていない結果が認められた。

$M_x$ はFig.11のように、左脚の再現が特に十分ではない。これは、スレッドテストにおいて大きな $M_x$ を引き起こしたロバストでない現象を、現状のモデルで再現させることが困難なためである。右脚に関しては、フロア面の形状に起因する足首の捻れ挙動が再現されているため、Fig.12に示したように相関性が取れている。

$M_y$ に関しては、脛下部のロードセルにおける再現性が良好である。しかし、Fig.13のように脛上部で60~120ms間の再現性が十分でない。これは、膝がインストルメントパネルへ深く侵入した際、試験においてインストルメントパネルの一部に割れが発生したのに対して、計算では割れが再現せず、インストルメントパネルからの反力が高くなったことが原因である。そこで、インストルメントパネルを取り外した状態で、スレッドテストおよび計算した結果、Fig.14に示したように脛上部のロードセルにおける $M_y$ が精度よく再現された。樹脂部品における破断予測の精度が向上すれば、 $M_y$ の計測結果を予測することが可能であることが分かった。

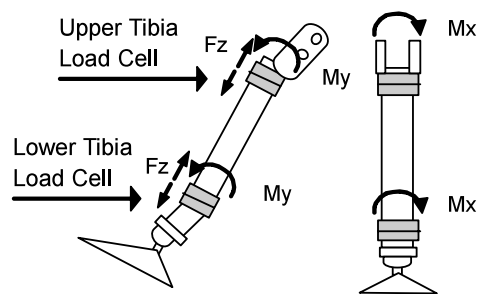


Fig.8 Components of Forces and Moments from Load Cells on Hybrid Tibia



Fig.9 Comparison of the Dummy Lower Leg Kinematics at 90ms

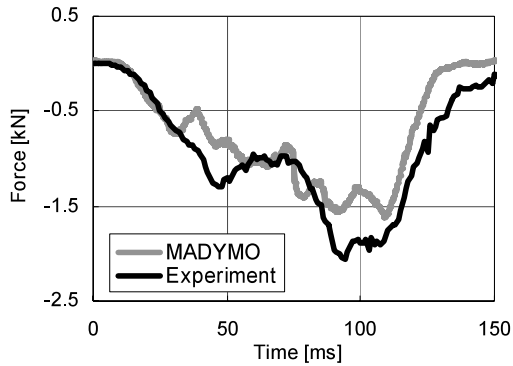


Fig.10 Force in Z-Direction  
on Right Lower Tibia Load Cell

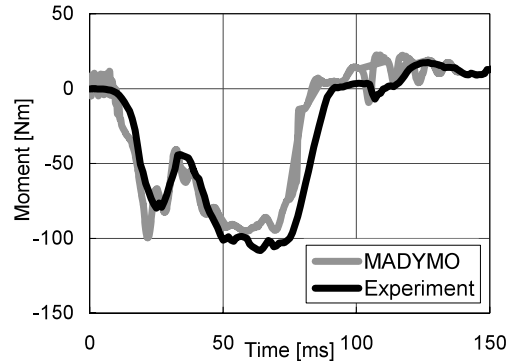


Fig.14 Moment about Y-Axis  
on Left Upper Tibia Load Cell

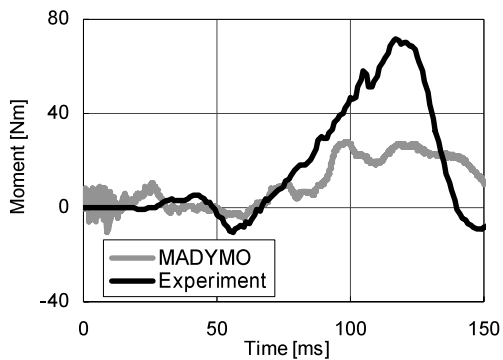


Fig.11 Moment about X-Axis  
on Left Upper Tibia Load Cell

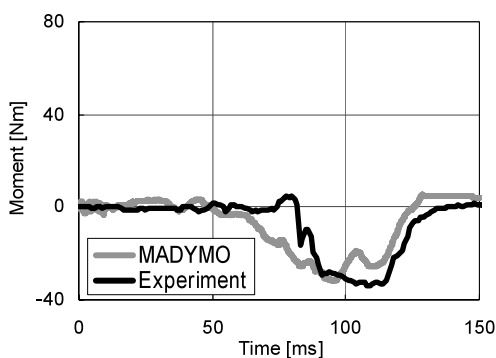


Fig.12 Moment about X-Axis  
on Right Lower Tibia Load Cell

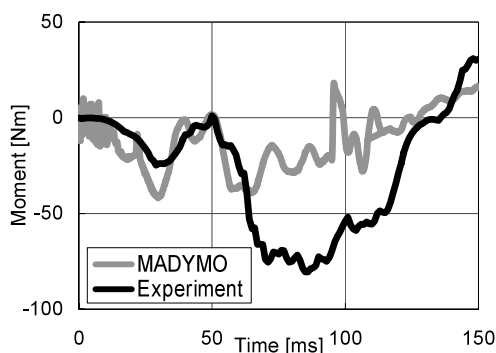


Fig.13 Moment about Y-Axis  
on Left Upper Tibia Load Cell

## 4. フォームパッドの最適化手法

### 4.1 最適化ツール

遺伝的アルゴリズム (GA) は、自然淘汰と遺伝学に基づく検索アルゴリズムである。遺伝的アルゴリズムのメリットは、実行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。本稿では、ES.TEC.O社の modeFRONTIERを用いた。このツールでは多目的最適化ができ、目的関数間のトレードオフを検証できるパレート解が得られる。

### 4.2 モデル条件

下肢傷害の発生には、ポデーの変形や車体減速度等の車体からの影響が考えられるが、内装部品の特性に注目し、ポデーの変形がないスレッドテストの条件下で最適化を行った。高精度の結果を導くには多数の計算結果が求められるため、モデルの計算時間を短縮する必要がある。そのため、下肢傷害に対し寄与度の高い内装部品をRigid-FEで形状を表現した部品モデルを作成した。前述の下肢傷害予測FEモデルでのインストルメントパネル反力を非線型バネ特性として、Rigid-FEの部品モデルに定義し、簡易モデルを構築した。この簡易モデルは、下肢傷害予測モデルと同等レベルで波形は再現できていないが、傷害値の発生現象は再現しているため、最適化に使用可能であると考えた。

### 4.3 フォームパッドモデリング

ダミー足周りのマット、フォームパッドに関する二つの設計変数を選択し、 $F_z$ を最小とする最適化を行った。

一つ目の設計変数は、フォームパッド形状および材料特性の評価を目的として、フォームパッドモデルの非線型バネ特性とした。Fig.15のようにマットを第1のバネ、フォームパッドの肉抜きあり・なしの各層を第2、第3のバネとして設定し、Fig.16のように3本のバネを直列に合成した特性をマットとフォームパッドを重ねた構造の特性としてモデルに定義した。Fig.17に示したように静圧縮テスト結果と合成した特性を用いた計算結果でコリレーションが取れており、本手法の妥当性が確認できた。本稿では、フォームパッドに着目するため、フォームパッドの肉抜きあ



り・なしの各層のパネ特性を決定する構造因子を設計変数とし、マットの特性は固定した。

二つ目は、フォームパッドのレイアウトに関して、足を置く面の角度を選択した。フォームパッドの角度を変化させる場合、フォームパッドとダミーモデルの足が初期貫入しないように、ダミーの足首も同角度だけ回転させた。

最適化するための設計変数をまとめると、Fig.18に示した肉抜き層の幅 $w$ 、肉抜き層の高さ $h$ 、フォームパッドの角度 $A$ の三つである。 $W$ は20mm、 $H$ は30mmとした。

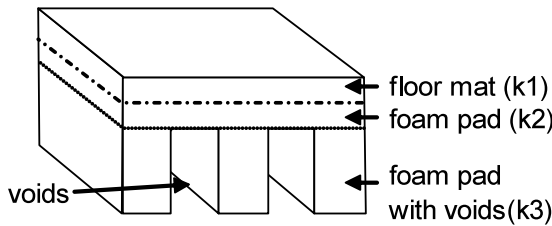


Fig.15 Schematic Diagram of the Foam Pad

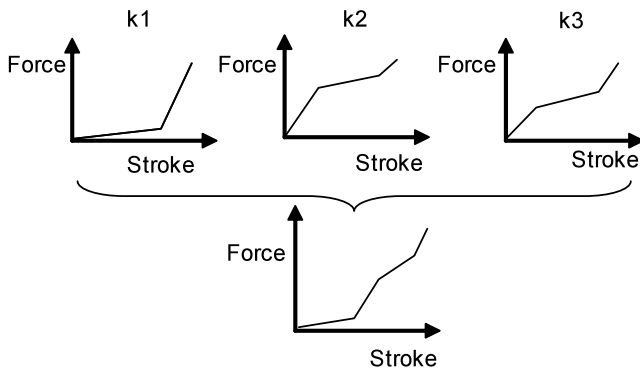


Fig.16 Concept of a Serial Connection of Springs Representing the Foam Pad

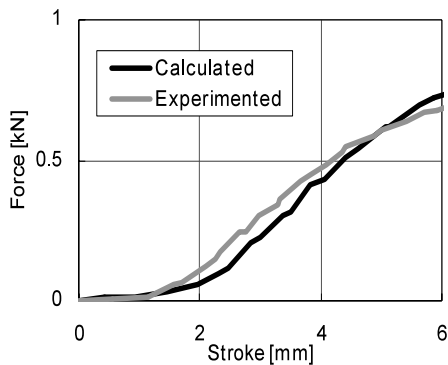


Fig.17 Optimized Stiffness of the Foam Pad

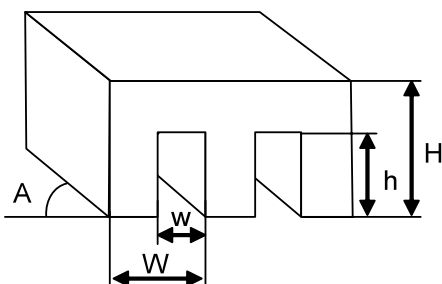


Fig.18 Design Parameters to Optimize

4.4 最適化結果

準乱数法によるSOBOLシーケンスで初期の16デザインを選別し、各部位の $F_z$ を最小化するように多目的GAで30世代進化させてパレート解を得た。パレート解の傾向は、左脛下部の $F_z$ と右脛下部の $F_z$ のピーク値が他の部位と比較して高かった。そのため、Fig.19のように横軸にフォームパッドの角度、縦軸にフォームパッド刚性、バブルの色調で右脛下部の $F_z$ のピーク値、バブルの径で左脛下部の $F_z$ のピーク値を表し、最適解を検討した。この最適解の各部位での $F_z$ のピーク値をFig.20に、設計変数をTable 1に示した。

最適解のフォームパッド刚性は、低い荷重で足を止めるため、Fig.21に示すように最適化前のモデルに設定していた特性より低くなった。しかし、フォームパッドが最適解より更に低いと、踵がフォームパッドへ過剰に侵入することにより底つき荷重が発生し、 $F_z$ のピーク値が増加した。

角度に関しては、ベースに対して+6degのときに最適となった。Fig.22に示すように、フォームパッドの角度が大きくなるとフロア反力の脛軸方向の成分が増加し、 $F_z$ のピーク値が高くなった。一方、角度が小さい場合にも、 $F_z$ のピーク値が高くなったのは、フロア反力の軸方向の成分は減少するが、足の拘束が主に摩擦力によるため、拘束荷重の立ち上がりが緩く、初期拘束が悪化したためである。

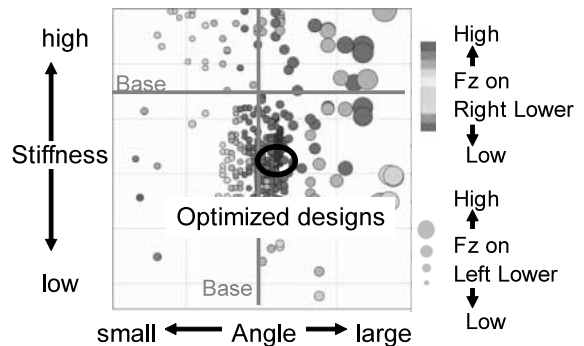


Fig.19 4D Bubble Chart of the Optimized Design

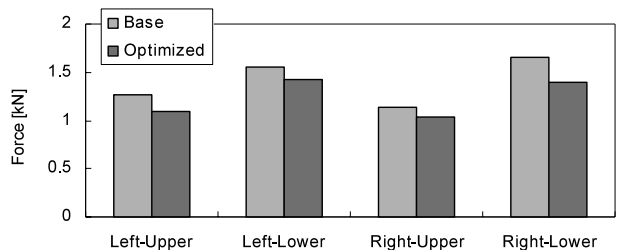


Fig.20 An Optimal Design of Force in Z-Direction on Tibia Load Cell

Table 1 Design Parameters of an Optimal Design

	w/W [-]	h/H [-]	delta A [deg]
Base	0.27	0.50	-
Optimized	0.73	0.33	6

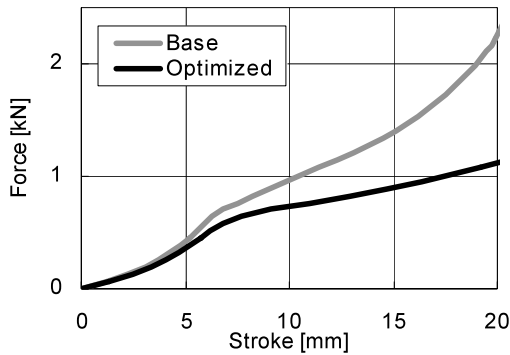


Fig.21 Optimized Stiffness of the Foam Pad

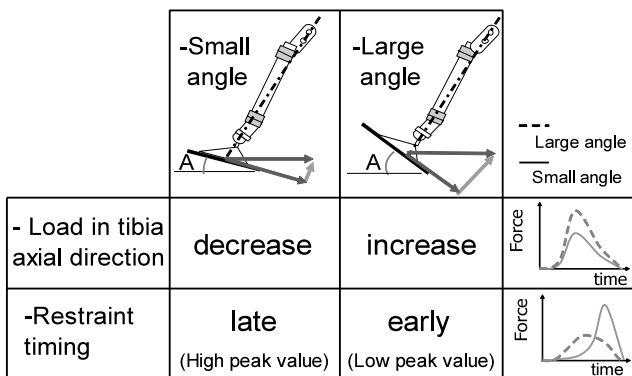


Fig.22 Scheme of Load from the Foam Pad

### 5. 結論

本稿では、乗員挙動シミュレーションソフトであるMADYMOを用いて前面衝突時における下肢傷害を高精度に予測するモデルを作成し、内装部品の反力特性の最適化手法を提案した。以下に結論を示す。

Qダミーモデルの腰にテスト時の実機ダミーの挙動を設定し、インストルメントパネル、フォームパッドをFEでモデル化した。このモデルでは、スレッドテストにおける、ダミーの下肢挙動および各部位におけるFzとMx, Myの計測波形の高い再現性を確認できた。

フォームパッドの形状パラメータを設計変数として最適化した結果、Fzを低減させるフォームパッド仕様を導くことが可能であり、本稿の最適化手法が有用であることが分かった。

### 6. おわりに

今回の報告では、Hybrid AM50%tileダミーのTIとFzの下肢傷害を評価項目とし、スレッドテストを用いて検討した。今後、更にリアルワールドでの下肢傷害を再現するために、他の体格のダミーや人体モデルでの評価、様々な衝突条件を考慮した研究を行い、お客様により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) P. C. Begeman et al. : Human Ankle Impact Response in Dorsiflexion , Proc. 35th Stapp Car Crash Conference , SAE 902308 ( 1990 )
- (2) N.Yoganandan et al. : Dynamic Axial Tolerance of the Human Foot-Ankle Complex , Proc. 40th Stapp Car Crash Conference , SAE 962426 ( 1996 )
- (3) S.Kuppa et al. : Lower Extremity Injuries and Associated Injury Criteria , 17th ESV paper No. 457 ( 2001 )
- (4) T.R.Laituri et al. : Lower-Body Injury Rates in Full-Engagement Frontal Impacts : Field Data and Logistic Models , SAE 2006-01-1666 ( 2006 )
- (5) L.S.Ore et al. : Accident Investigation and Impairment Study of Lower Extremity Injury , SAE 930096 ( 1993 )
- (6) J.R.Crandall et al. : Research Program to Investigate Lower Extremity Injuries , SAE 940711 ( 1994 )
- (7) G.W.Hall et al. : Development of a Dynamic Multibody Model to Analyze Human Lower Extremity Impact Response and Injury , International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact, p.117-134 ( 1998 )
- (8) Y.Kitagawa et al. : Lower Leg Injuries Caused By Dynamic Axial Loading and Muscle Testing , proc. 16th ESV conference , 98-S7-O-09 ( 1998 )
- (9) U.Kippelt : Protection Devices and Development Tools for Reducing Foot and Leg Injuries in Frontal Crashes , International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact, p.161-172 ( 1998 )
- (10) C.Gehre : Evaluation of the MADYMO Quality Dummy Model , Proceedings of MADYMO International Users ' Meeting ( 2006 )

### 著者



宮原亮平



宮島陽一



尾川 茂

論文・解説

21

## 新型AM/FMラジオ用ガラスアンテナの開発

### Development of New AM/FM Window Glass Antenna

重田 一生<sup>\*1</sup> 谷口 龍昭<sup>\*2</sup>  
Kazuo Shigeta Tatsuaki Taniguchi

#### 要 約

カーラジオは、交通情報や天気予報等、運転に必要な情報や音楽、トーク及びスポーツ等のエンターテインメントを提供する、車に欠かせない装置である。ラジオに接続されるアンテナは、放送を安定して受信するために重要な役割を持つ。従来、量産車に採用してきた容量装荷型ガラスアンテナは、アンテナアンプを用いずに高感度な受信を実現できる反面、ワイヤーハーネスと直結する熱線をアンテナの一部として使用するため、車載電装部品から発生するノイズ(ラジオノイズ)を受けやすいという弱点があった。一方、安全・環境・快適化の要求により電装品の搭載数が増すにつれ、ラジオノイズ対策の工数も増加傾向にあり、車両ノイズを受けにくいアンテナ構造が望まれていた。

この状況を鑑み、システム構成の最適化と新しいアンテナパターンの考案により、従来と同様の受信性能を維持しつつ、よりラジオノイズ耐性の高いリヤガラスアンテナを開発した。

本稿では、その技術内容と新型マツダ6への適用事例について紹介する。

#### Summary

Car radio is essential on-board equipment which supplies drivers and passengers with necessary information such as traffic and weather forecast and entertainment programs such as music, sports and talk. Car antenna is an important device for ensuring stable reception of broadcasting contents. While the conventional capacitance-loaded window glass antenna, which has been applied to production vehicles, receives broadcasting contents with high sensitivity though not having an antenna amplifier, it is susceptible to electrical noise (radio noise) generated by the on-board electrical equipment because this type of antenna uses the defogger directly connected to the wire harness as an AM reception antenna element. With the growing need of improvement in safety, environmental performance and comfort, more and more electrical equipments were mounted on the vehicle, increasing the man-hour requirement for removing radio noise. As a result, it was hoped that an antenna highly resistant to vehicle noise would be developed.

With this situation in mind, we have developed a new rear glass antenna that ensures highly-sensitive reception performance and high resistance to radio noise, by optimizing the system configuration and designing a new antenna pattern.

This paper describes the detail of the technology and its application to New Mazda6.

#### 1. はじめに

アンテナは、車のような移動体で安定して放送を受信するために重要な部品である。ラジオ用アンテナとして従来は、90cm前後の棒状の金属素子を用いたモータアンテナやマニュアルアンテナが主流であったが、車載アンテナとしては、車のデザインへの影響、風切り音の発生、使い勝

手(洗車や立体駐車場で収納や取り外しが必要)、折れ等の問題があり、車室外に突出しないアンテナが望まれていた。これに対して、窓ガラス面上にプリントした導体線をアンテナ素子として使用するガラスアンテナが開発され、様々な改良を加えながら、中級グレード以上の車種を中心に採用が進んでいる。

しかしながら、幅広い車種に展開していくためには、開

\*1, 2 電子開発部  
Electrical & Electronics Development Dept.

発効率や、コストの面で課題が残されているのも事実であり、各社、技術開発にしのぎを削っている。

マツダは、それまでのガラスアンテナに比べ大幅な性能向上と理論設計化による開発の効率化を実現した容量装荷型ガラスアンテナの技術を保有しているが、今回、この技術に改良を加え、今後の車載アンテナ構想立案の礎となる新しいガラスアンテナを開発した。本稿では、技術の概要及び新型マツダ6への適用事例について報告する。

## 2. ガラスアンテナ開発課題への取り組み

本章では、新ガラスアンテナのベースとなる容量装荷型ガラスアンテナの技術内容と課題について説明する。

### 2.1 従来のガラスアンテナの課題

フロントガラスのように広い面積のガラス面を利用すれば、アンテナの基本方式であるモノポールアンテナの構造を応用することで、受信したい電波（FM）の約四分の一波長（ただし、誘電体であるガラスによる、波長短縮効果を考慮する必要あり）の金属素子を配置し、窓枠に接地した同軸ケーブルにより給電することで、モータアンテナやマニュアルアンテナ並みの良好な特性を持つアンテナを容易に実現することが可能である（Fig.1）。

しかし、実際には、アンテナ素子が視界を妨げる、近接するエンジン補機からのラジオノイズレベルが許容できない等の理由から、フロントガラスを使用することは困難であり、ラジオ用ガラスアンテナには、セダンを中心にリヤガラスアンテナが採用されている。しかし、リヤガラスには後方視界確保用の熱線が存在し、モノポールアンテナのように理論的に確立された技術をそのまま適用することはできない。そのため、ポールアンテナ並みの性能確保が困難（特に垂直偏波）なことに加え、実車を用いたチューニングを行い、試行錯誤を繰り返すため長い開発期間が必要であった。すなわち、性能改善及び開発の短期化が課題となっていた。

### 2.2 容量装荷型ガラスアンテナ

マツダは、伝送線路の理論を応用した理論設計の確立による、熱線のないガラス面上に構成したモノポールアンテナと同等の特性を持つリヤガラスアンテナを実現し、課題を解決した<sup>(1)</sup>。以下に、本アンテナについて簡単に説明する。

#### (1) 基本構成

このアンテナの基本構成をFig.2に示す。内部中央に垂直方向に素子を延伸させた熱線の上に、枠形状素子を配置し、枠形状素子の上辺に設けた給電点と車体（窓枠）との間を同軸ケーブルにて給電し、FM受信アンテナとして動作させる。そのままではAMの感度が不足するため、枠形状素子と熱線とを接続する。その際、FMアンテナのインピーダンス特性に影響を与えないように、スタブ素子を介して接続する。なお、熱線とワイヤーハーネスの間にはチョークコイルを挿入し、車体との間を高周波的に分離する。

#### (2) 動作原理

Fig.3のようにリヤガラス上に熱線を書くようにモノポールアンテナを構成すると、実用的な感度が得られない。これは、熱線が接続されることにより、インピーダンス特性が劣化するためである。熱線の最上段線を接続した構造のアンテナ（Fig.4）におけるインピーダンス特性は、Fig.2のものと酷似しており、熱線の最上段部の導体線が特性劣化の主要因とみなせる。実際に、Fig.4において熱線最上段部の導体線（ $x+y$  or  $x+y'$ ）の影響を取り除く方法を検討し、Fig.3の構造に適用したところ、モノポールアンテナと同等の特性を得た。具体的には、熱線の最上段部

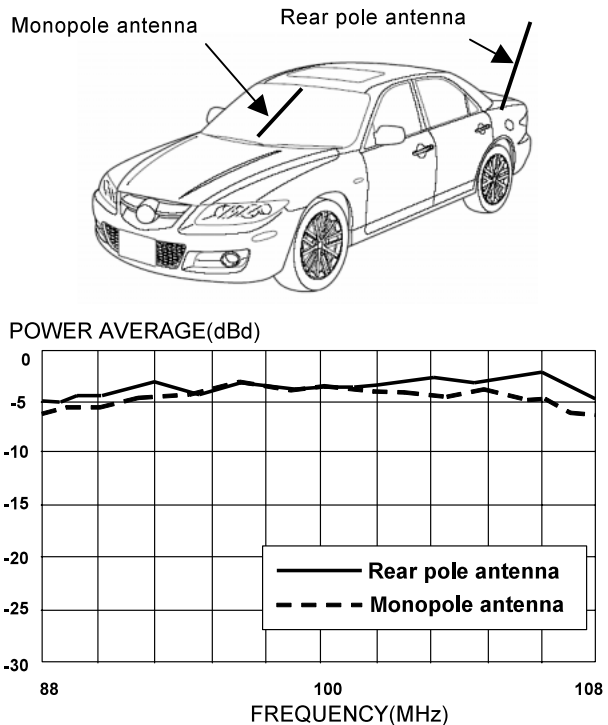


Fig.1 Characteristic of Monopole Antenna (Polarization : Vertical)

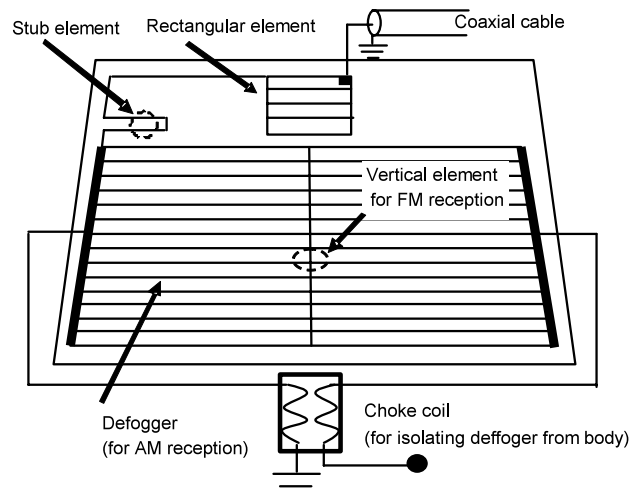


Fig.2 Capacitance-loaded Antenna(Conventional Type)

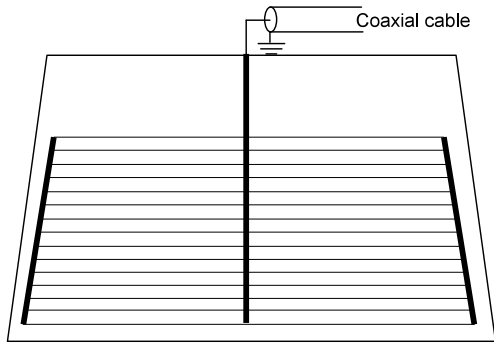


Fig.3 Monopole Antenna on Rear Glass

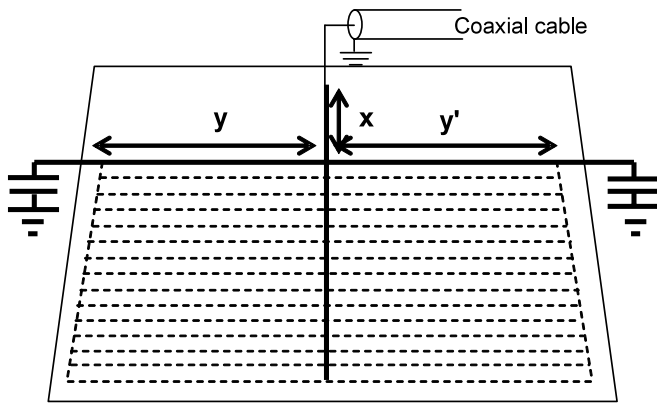


Fig.4 Model of Transmission Line

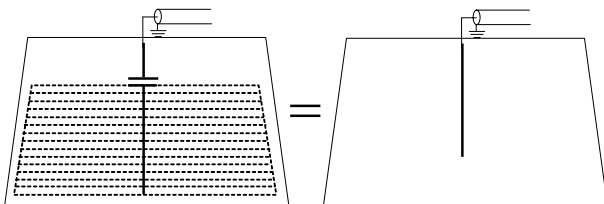


Fig.5 Working Principle of the Antenna

の導体線を周囲の窓枠に先端が地板に短絡する（熱線バスパーは窓枠と近接するため）伝送線路の一部と捉え、線路短縮効果をもつコンデンサを挿入し、伝送線路の電気長を四分の一波長に調整して給電部からみたインピーダンスを高め、導体線の影響を等価的に取り除くことで、モノポールアンテナと等価な特性を実現している（Fig.5）。ガラス上にコンデンサを実装することは現実的ではないため、枠形状素子を熱線上部に近接配置させることで、同等の効果をjている。

この設計手法を用いることで、特にFM垂直偏波における受信特性を大幅に改善し、円偏波を用いることが多い北米市場において、アンプレスガラスアンテナの導入を1995年に世界で初めて実現した。また、理論に基づく設計手法の確立により、開発期間の短期化も達成した。

2.3 ラジオノイズ対策

ラジオを車に搭載する際に、ラジオノイズ対策は、アンテナ性能育成と同様に、重要な開発項目となる。ラジオノ

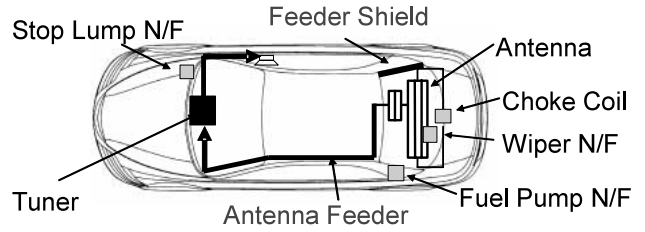


Fig.6 Example of Anti-noise Technique

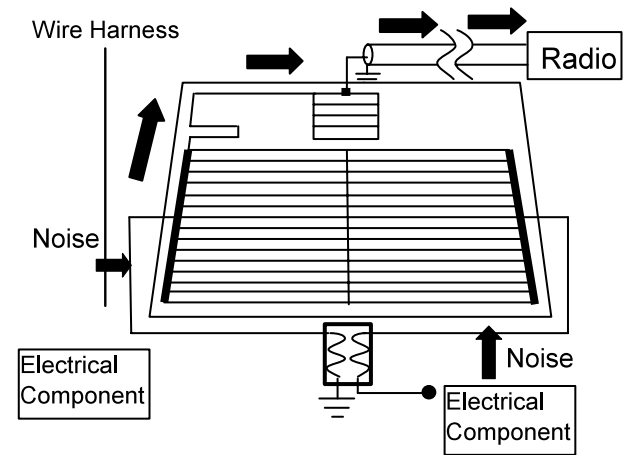


Fig.7 Noise Transmitting Mechanism

イズの問題は、車載電装部品の仕様が確定する、車両開発の後半に発覚することが多く、その場合、ユニットのレイアウトの見直し、ワイヤーハーネスの線種やレイアウト経路の変更作業と効果検証等の手戻りが発生し、工数の逼迫やコストの増加を招く結果となる（Fig.6）。

従来の容量装荷型ガラスアンテナは、熱線をAM用アンテナ素子として利用している。そのため、ワイヤーハーネス経由あるいは輻射等、車載電装部品から生じる電氣的ノイズをラジオに伝えやすい構造となっている（Fig.7）。加えて、昨今の安全及び環境対応、快適性の追求により、車に搭載される電子制御ユニットやアクチュエータの数は増加の一途であり、ラジオノイズに対する車室内環境はますます厳しくなっている。このため、車両ノイズ対策に配慮したアンテナの開発が必要な状況となっていた。

3. 開発コンセプト

3.1 アンテナアンプの採用

熱線をアンテナ素子から直流的に分離し、直接車体に接地した上で、熱線上部にアンテナを配置すれば、ワイヤーハーネスや熱線を通じて侵入する伝導性のノイズが抑制できる。また、熱線自体が車体に接地されることでアンテナ下部にシールド板を置くのと同様な効果が期待できる。

一方で、AM用アンテナ素子は熱線上の狭いスペースを利用するしかなく、そのままでは、十分なAM感度が得られない。感度不足を補う方法として、アンテナアンプの採

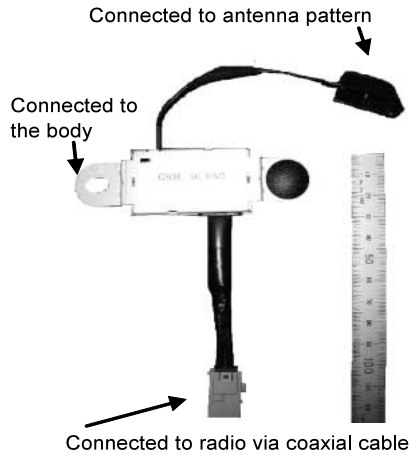


Fig.8 Antenna Amplifier

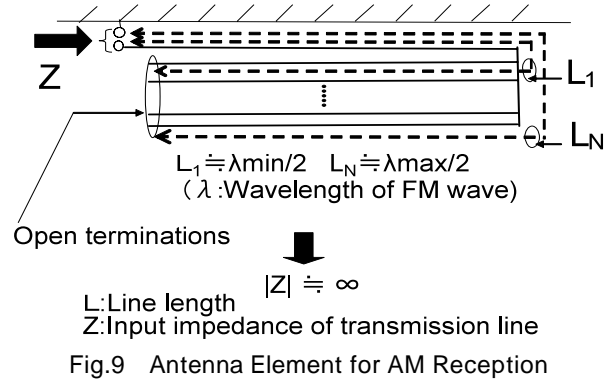


Fig.9 Antenna Element for AM Reception

用が考えられる。従来のアンテナシステムは、アンプレスの状態で十分な性能が得られていたことに加えて、強電界下の性能劣化や費用対効果の面を考慮し、アンテナアンプの採用を見送っていた。一方、近年RV系車両を中心としたショートポールアンテナの普及に伴い、アンテナアンプは小型化、低コスト化、強入力妨害に対する特性改善が進んでいる。この状況を踏まえ、アンテナアンプを利用することで、システムトータルでコスト、重量、性能が改善できる可能性があると考え、アンテナアンプ付ガラスアンテナの成立可能性を検討した。その結果、上部の余白部を高さ150mm以上、幅500mm以上のアンテナ素子の構成スペースを確保することで、実用的なAM感度が得られた。あわせて、強電界下の特性にも問題がないことが確認できたため、本アンテナ方式の採用が可能と判断した。Fig.8は、実際に採用したアンテナアンプの概観である。

アンテナアンプの採用により、熱線をAM用アンテナ素子として使用する必要がなくなり、従来使用していた大型のチョークコイルを省略可能とした。その他、従来必要であったノイズ対策部品の削減等により、システムトータルで、従来比約二割のコスト低減、及び約四割弱（約190g）の重量軽減を達成できる目処を立てた。

一方、FM用アンテナ設計については、ポールアンテナ並みの感度を有する、従来の容量装荷型ガラスアンテナの技術を踏襲する。加えて、昨今、NF（雑音指数）の特性改善が進む、FM用アンテナアンプを組み合わせることで、更なる感度向上が期待できる。

3.2 新AM用アンテナ素子の考案

一般的にラジオ用アンテナフィードは、AMとFMを共用している。このため、AM用アンテナ素子とFM用アンテナ素子を何らかの方法で結合する必要がある。従来の容量装荷型ガラスアンテナにおいては、接続時のインピーダンスの変化を防ぐため、棒形状素子をFM周波数帯域に最適設計した上で、スタブ素子を介在させることでAM用ア

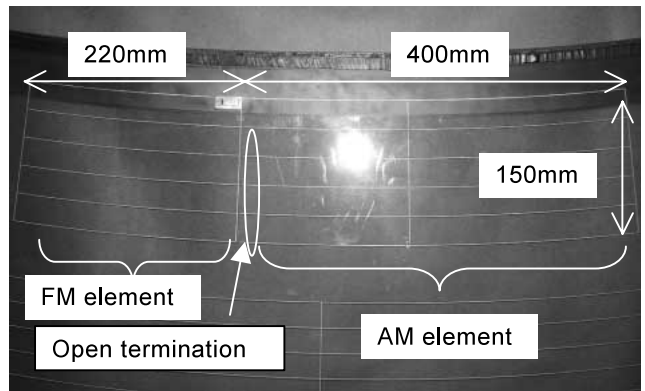


Fig.10 Real Antenna Pattern

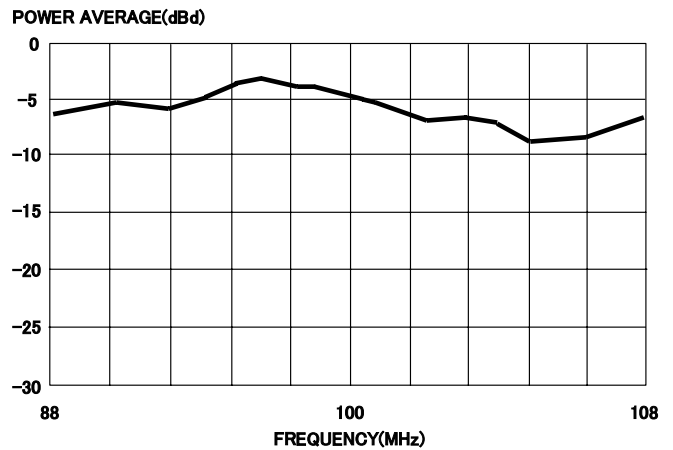


Fig.11 Characteristic of New Mazda6 Antenna (FM) (Polarization : Vertical)

ンテナ素子である熱線のFM周波数における入力インピーダンスが大となるよう調整し、両者を接続していた。

これに対して、新型アンテナでは、線路長が二分の一波長で、先端開放の高周波線路の入力インピーダンスが高くなる性質を利用し、AM用アンテナ素子をFM用アンテナ素子に接続する際のインピーダンスの変化を防いでいる。具体的にはFig.9のような棒形状とし、最上端線を棒形状素子と結合し、残りの端部までの長さを、使用周波数帯

域における二分の一波長に設定している(ただし、アンテナフィードとアンテナパターンを接続する線の長さ及びガラスによる短縮効果:70%程度、の考慮が必要)。

以上により、容量装荷型ガラスアンテナの特徴である、良好なFM受信特性を維持しながら、実用的なAM感度が確保できる。

#### 4. 適用事例

Fig.10は、実際に北米向け新型マツダ6に採用したガラスアンテナパターンである。左側の枠形状素子がFM用、右側の楕形状素子がAM用である。

Fig.11は本アンテナのFM帯における利得の周波数特性である(アンプは未使用の状態)。帯域平均でダイポール比約-6dBの高感度が実現できている。AM受信においても、アンプの感度改善効果により、システムトータルで、従来のアンプレスガラスアンテナと同等レベルの実用感度を確保している。また、北米の実フィールドにおいて、AM/FM、強、中、弱電界等の評価モードにより、競合車数台との比較評価を行った結果において、トップレベルの受信性能を有することを確認している。

開発効率の面では、当初の狙い通り、ラジオノイズ対策にかかる工数は最小限にできた。また、従来のガラスアンテナ開発においては、試作車完成後のパターンチューニングのプロセスが必須であったが、新しい設計手法の開発により、このプロセスの省略が可能となった。

#### 5. おわりに

新しいAM/FMラジオ用ガラスアンテナ設計技術の開発により、従来システムと比較して、同等以上の性能を確保しつつ、コスト及び重量の低減を実現した。加えて、性能予測の面で見通しの良い理論的設計手法と耐ノイズ性の向上により、手戻りのない効率の良い開発を可能とした。

#### 参考文献

- (1) 谷口ほか：容量装荷型ガラスアンテナの開発とFMダイバーシティ受信への応用，自動車技術，Vol.49，No.7，p.47-53 (1995)

著者



重田一生



谷口龍昭



論文・解説

22

## キーレスエントリー受信感度バーチャル評価技術の開発 Virtual Testing Technique for Remote Keyless Entry Receiving Performance

浜田 康<sup>\*1</sup> 沼元 正樹<sup>\*2</sup> 鶴長 真里絵<sup>\*3</sup>  
Yasushi Hamada Masaki Numoto Marie Tsurunaga

### 要 約

車の利便性を高める商品として、電波を利用したキーレスエントリー（以下、キーレス）が普及している。このキーレスにより車から離れた位置で遠隔操作を行うには、車の中に設置したキーレス受信アンテナで効率よく電波を受信することが重要であるが、金属製のボデーシェルの中で電波を受信するには、ボデーシェル内/外の電波の振る舞いを考慮しなければならない。この車の中での電波の振る舞いにより、電波を受信しやすい位置とそうでない位置が混在していることが経験的に分かっている。従来は、試作車を用いて実験的に受信アンテナ設置場所の設計を行っていたが、試作レス開発に対応すべく、バーチャル評価による受信性能開発が必要となってきた。本研究では、ボデーシェルの中のキーレス電波の電界分布およびボデーシェルの中に設置したキーレス受信アンテナの受信利得・指向特性のシミュレーション解析手法を検討し、バーチャル評価によるキーレス受信アンテナ設置場所決定手法を確立した。なお日本では、主としてキーレスには300MHz帯の微弱電波が使用されている。

### Summary

A keyless entry system ( hereinafter referred to as keyless ) utilizing radio wave has been spreading as a product which enhances vehicle convenience. A weak radio wave of 300 MHz band is mainly used in Japan and it is therefore important to enable a receiving antenna to receive the radio wave efficiently for remote operation. To receive the radio wave inside the metal vehicle body, we need to know how the radio wave behaves inside/outside the vehicle. It is known empirically that the radio wave receiving performance varies depending on reception points inside the vehicle. In the conventional design method, we had determined a reception antenna installation position experimentally by using prototype vehicles but we were required to develop the reception performance by simulation to achieve prototype-less development. In our research, we studied in-vehicle electric field distribution and simulation method for reception sensitivity and directional characteristics of an in-vehicle keyless reception antenna. As a result of the research, we established a design method to determine keyless reception antenna location by virtual evaluation.

### 1. はじめに

電波を利用した自動車電装品は、ラジオ・テレビ・キーレスエントリー・Tire Pressure Monitoring System (TPMS)・GPS・VICS・Bluetooth・レーダ等、年々増えてきており、使用される電波の波長は、km～mmの幅広いレンジである。車の内部への電波伝搬は、金属であるボデーシェルにより大きく影響を受ける。電波の波長が長いほ

ど、ボデーシェルの外からボデーシェルの中に侵入する際の減衰は大きくなる。ボデーシェル開口部のサイズが波長に近づく300MHz（波長1m）前後では、電波はボデーシェルの中に到達し、反射と散乱を繰り返し、電波の干渉が生じる。ボデーシェル形状によってボデーシェルの中の電界分布は大きく変化する。日本国内で主として用いられる300MHz帯の微弱電波を用いたキーレス受信アンテナの設置場所を設計する際は、この特性を考慮する必要がある。

\*1, 2 車両システム開発部  
Vehicle System Development Dept.

\*3 (株)マツダE&T  
Mazda Engineering & Technology Co.,Ltd.

このような特徴から、キーレス受信性能を経験則により予測することは難しく、従来は試作車を用いて実験による性能開発を進めてきた。しかしながら、試作レス開発が主流となる中で、バーチャル開発への対応が必要となってきた。

本研究では、ポデーシェルの中に設置される300MHz帯を使用したキーレス受信アンテナの受信利得をシミュレーションにより予測する技術を開発し、測定値と計算値の相関を検証したので報告する。

## 2. ポデーシェル内/外の電波の振る舞い

### 2.1 波長と振る舞い

キーレス受信アンテナ設置場所の設計を行うに際し、ポデーシェル形状と電波の振る舞いとの関係を把握するために、電波の波長を変化させ、ポデーシェル中の電界強度分布の大まかな特徴を計算により調べた。Fig.1は、3MHz (波長100m), 30MHz (波長10m), 300MHz (波長1m) および3GHz (波長0.1m) の電波 (水平偏波) を、ポデーシェル後方から照射した際のポデーシェル内/外の電界分布の計算結果である。これから、以下のことが分かる。

- ① 30MHz以下の波長の長い電波は、ポデーシェルの外から中へ侵入する際の減衰が大きい
- ② 3GHz以上の波長の短い電波は、ポデーシェル開口部から内部に直線的に侵入する (光に似た特性を示す)

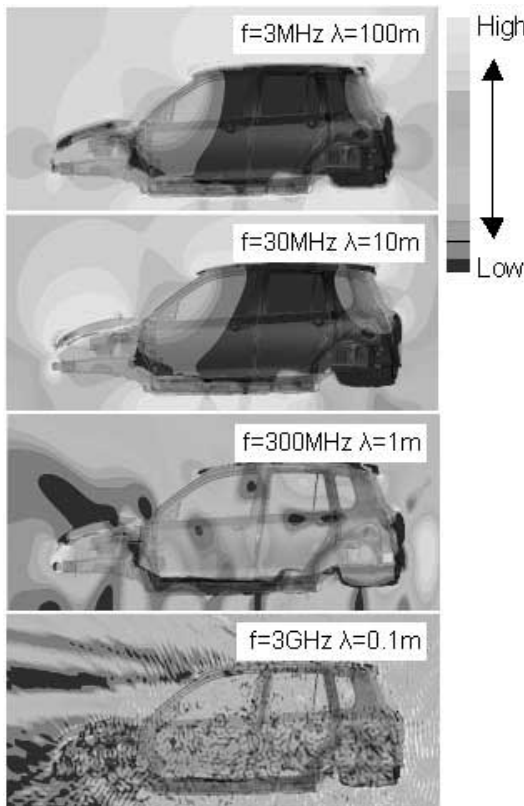


Fig.1 Wave Length vs. Field Strength

これは、電波の波長が金属筐体 (ポデーシェル) の開口部 (窓枠) に対し十分に大きい場合、電波は遮蔽され、十

分に小さい場合、電波はポデーシェルの中に到達することを示している。

ところで、300MHz (波長1m) の結果に着目すると、①と②の中間的な振る舞いとなっていることが分かる。電波は、ポデーシェルの中で、強い箇所と弱い箇所が多数存在する複雑な挙動を示す。これは、波長を徐々に短くしていき、窓枠等のポデーシェルの開口部が電波の波長程度になると、ポデーシェルの中に電波が侵入し、回折、散乱および反射干渉を繰り返す、定在波を生じることによる。

### 2.2 300MHz帯電波の電界分布の特徴

日本国内で主にキーレスに使用されている300MHz帯の電波は、前項で説明したように、ポデーシェルの中で複雑な分布となる。

Fig.2は、300MHz帯の電波をポデーシェルの後方から照射した場合の、ポデーシェル形状による電界分布の違いをシミュレーションにより計算した結果である。300MHz帯の電波のポデーシェル中の電界分布は、ポデーシェル形状によって大きく異なることが分かる。

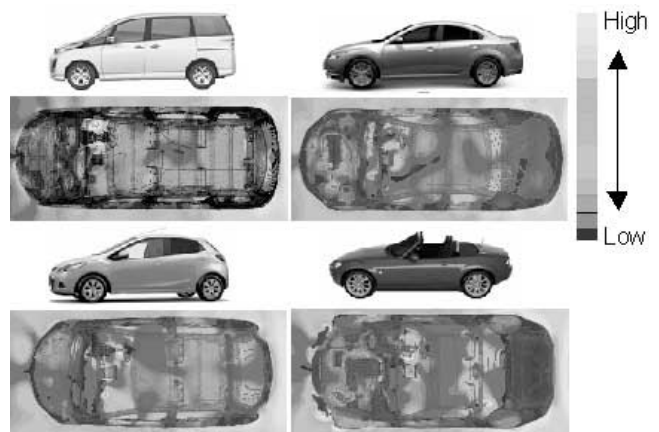


Fig.2 Distribution of Field Strength

Fig.3は、300MHz帯の電波を同一ポデーシェルに対し様々な角度から照射した場合の、ポデーシェル中の電界分布を計算した結果である。電波を照射する角度によって電界強度分布が異なる。キーレス送信機を操作する方向によって作動可能距離が変化するのはこのためである。

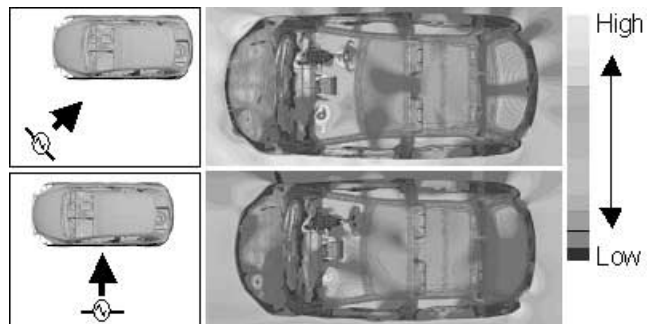


Fig.3 Distribution of Field Strength

Fig.4に、キーレスの作動可能距離指向性の一例を示す。

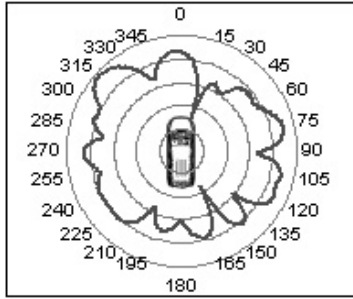


Fig.4 Directivity of the Keyless Operation Range

以上の結果より，300MHz帯を使用するキーレス受信アンテナの設置場所は，所定の性能を確保するために，車種毎に最適化設計が必要であることが分かる。

### 3. ボデーシェルの中の電界分布数値解析精度検証

#### 3.1 簡易車両モデルを用いた基礎検証

基礎研究として，実際のボデーシェルの1/3サイズの金属製簡易車両モデルを用いて，実験値と計算値との相関を検証した。評価には315MHzの3倍である945MHzを用いた。検証に用いた解析モデルの一例をFig.5に示す。水平に設置したダイポールアンテナに945MHz，120dB $\mu$ Vの正弦波電圧を給電し，金属箱内部の電界分布を実験および計算により求め，比較を行った。

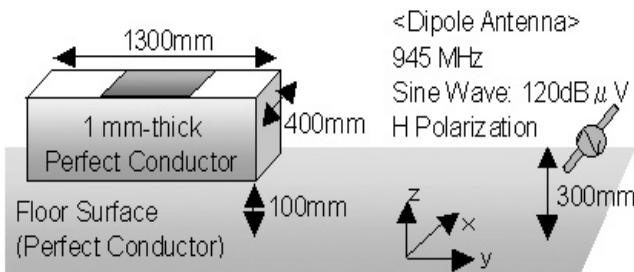


Fig.5 Condition of the Analysis with One-third Scale Vehicle Model

#### (1) 測定技術の検討

実験値と計算値との相関を検討する上で，信頼性のある測定結果を得るために，レーザー光を使って電界強度測定アンテナ給電点と測定装置とを光ファイバでつなぐ装置<sup>\*1</sup>を用いた（\*1：ニオブ酸リチウム結晶のポッケルス効果を利用した光導波路を有する光変調器を用いた装置）。これにより，測定アンテナと測定器とをつなぐ同軸ケーブルによって生じる電界の乱れをなくし，車室内の電界を精度良く測定することを可能とした。

同軸ケーブルを用いた場合と光ファイバを用いた場合の，簡易車両モデル内部の電界分布を計算した結果をFig.6に示す。同軸ケーブルにより電界分布の乱れが生じていることが分かる。

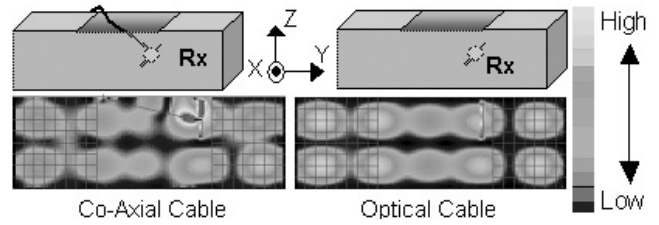


Fig.6 Turbulence of the Field Strength Distribution by the Co-Axial Cable

#### (2) 計算設定と精度検討

次に 数値解析手法の概要と解析精度について説明する。

電磁界数値解析にFDTD法（Finite Difference Time Domain Method）を用いた。FDTD法とは，マクスウェルの微分方程式(1)・(2)を差分化し，時間領域で解く手法である。電場と磁場を時間軸・空間軸ともに半ステップずれて差分化し，電場と磁場を交互に計算する。

磁場は， $H$ の $n+1/2$ を $H$ の $n-1/2$ と $E$ の $n$ から求める 式(3)

電場は， $E$ の $n+1$ を $E$ の $n$ と $H$ の $n+1/2$ から求める 式(4)

これを繰り返すことで 空間領域と時間領域の計算を行う。

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (2)$$

$E$ ：電場                       $B$ ：磁束密度                       $H$ ：磁場

$J$ ：電流密度                       $D$ ：電束密度

$$H^{n+1/2} = H^{n-1/2} - \frac{\Delta t}{\mu} \nabla \times E^n \quad (3)$$

$$E^{n+1} = \frac{1 - \frac{\sigma \Delta t}{2\epsilon}}{1 + \frac{\sigma \Delta t}{2\epsilon}} E^n + \frac{\Delta t / \epsilon}{1 + \frac{\sigma \Delta t}{2\epsilon}} \nabla \times H^{n+1/2} \quad (4)$$

Fig.7にFDTD法の計算構造を示す。

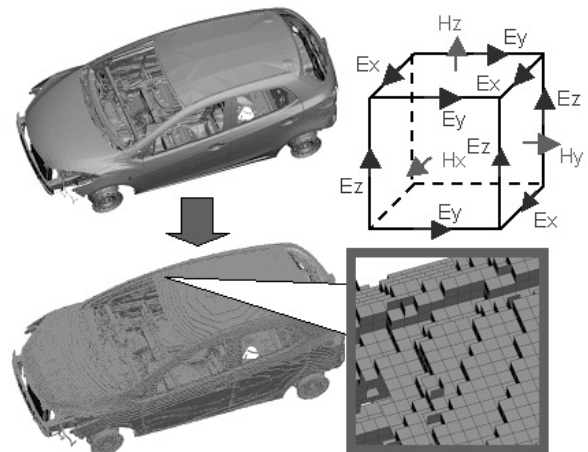


Fig.7 Structure of the FDTD Method

FDTD法は、モデル規模と計算時間とに線形の関係があり、大規模かつ複雑な構造のモデル解析に適している。しかし、Fig.7に示すように、計算の構造上六面体のメッシュを用いるため、曲面の解析を精度良く行うためには、メッシュサイズの設定に工夫が必要となる。また、解析空間はメモリ、解析時間および解析精度を考慮して、解析結果に影響を与えず最小の領域となるよう最適化と境界条件設定を行う。更に、解を収束させるためにタイムステップ数と計算回数の最適化を図った上で、必要最小限の計算回数で解析を打ち切る。

以上を踏まえ、Fig.5の簡易車両モデルを用いて測定および計算の比較検証を行った。測定には945MHzのダイポールアンテナを用いた。Fig.5のモデル内部に形成される電界成分において支配的となるZ成分について、Fig.8に測定結果と計算結果を示す。解析面は、床面から300mmの高さの平面である。測定データ上の黒く一様な部分は、測定装置の制約から計測できなかった領域を示す。

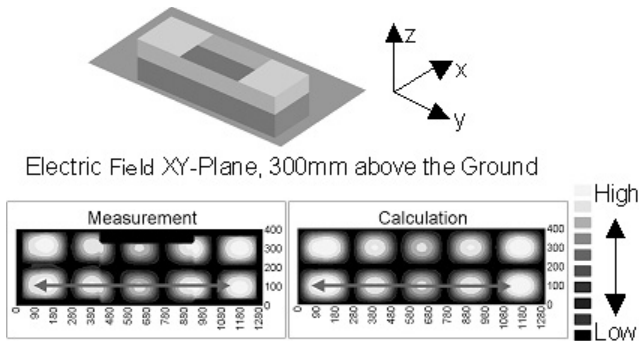


Fig.8 Validation with Simplified Vehicle Model

測定値と計算値との一致性を確認するために、Fig.8の矢印部における電界値の偏差を比較した結果をFig.9に示す。これより、測定結果と計算結果とがほぼ一致していることが分かる。

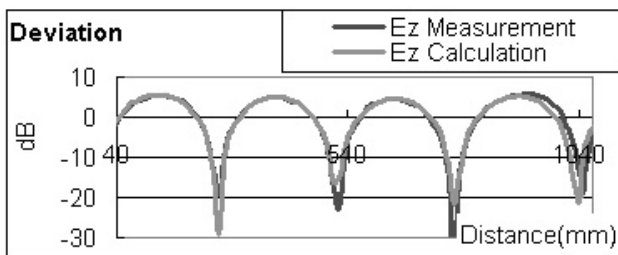


Fig.9 Comparison of Deviation for Measurement Value and Calculation Value

### 3.2 ボデーシェルでの検証

次に、ボデーシェルを用いた測定結果と計算の比較検証を行った。測定には315MHz用の電界測定用短縮ダイポールアンテナを用い、ボデーシェルの正面から315MHz水平偏波を送信した場合の、ボデーシェルの中に形成されるボデーシェルの中の床面から600mmの高さの平面上で、X・

Y・Zの各電界成分の測定と計算を行った。結果をFig.10に示す。

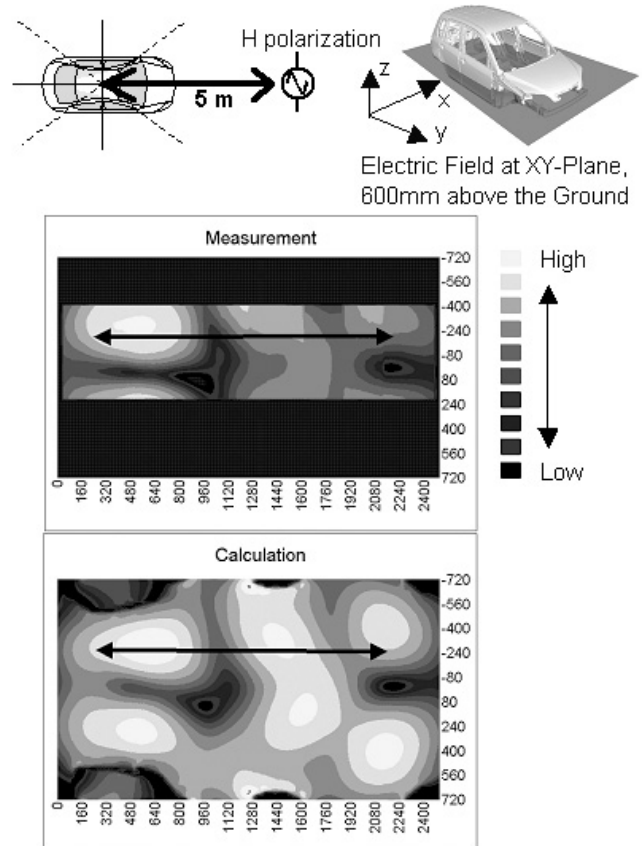


Fig.10 Validation with Actual Vehicle

Fig.10より、測定結果と計算結果の電界分布のピークとディップの位置には相関のあることが分かる。Fig.10中の矢印で示した部位に沿って電界の数値をプロットした結果をFig.11に示す。電界はX・Y・Z各成分を合成したものをを用いた。

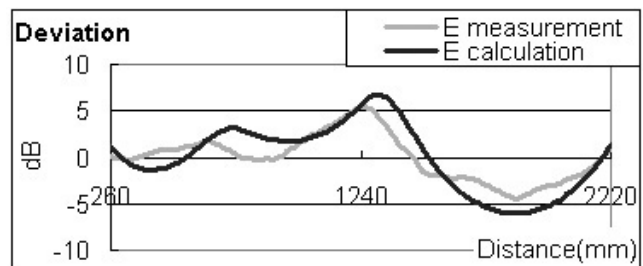
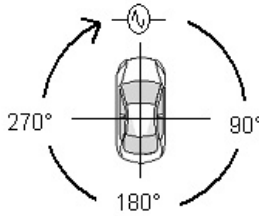


Fig.11 Comparison of Deviation for Measurement Value and Calculation Value

上記比較を、車両の正面を0°とし、送信アンテナを45°ピッチに配置し、各々の測定および計算を行い、偏差から式(5)を用いて平均誤差を導き出した結果をFig.12に示す。

ボデーシェルに対して全方向から電波を送信した際のボデーシェル中の電界分布の平均誤差は2.5dB以下となった。ボデーシェルにおいても測定結果と計算結果がほぼ一致した結果を得ることができた。



$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m}) - (c_i - \bar{c}) \quad (5)$$

$$\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i \quad \bar{c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i$$

$\bar{\varepsilon}$ : Average Error                      m: Measurement Value  
 c: Calculation Value                    n: Number of the Data Points

Average Error (dB)							
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
1.48	2.14	1.21	1.65	2.32	1.24	1.64	2.01

Fig.12 Average Error with Measurement Value and Calculation Value

### 4. キーレス受信アンテナのモデル化

#### 4.1 ボデーシェルモデルとアンテナモデルの融合

以上の検証により、ボデーシェルの中に形成される電界分布を実用レベルの精度で計算できることを示した。しかし、ボデーシェルの中の電界分布を知るだけでは、キーレス受信アンテナ設置場所の最適化を行うことはできない。

電界強度が大きい場所であっても、キーレスアンテナの利得および指向性によっては電波をうまく受信できない、あるいは、アンテナ付近の金属構造物によってアンテナの特性が著しく変化する場合があり、これらを考慮する必要がある。つまり、キーレス受信アンテナの設置場所最適化を行うには、ボデーシェルの中に設置されたキーレス受信アンテナのモデル化を行い、その特性を考慮した上でボデーシェル全体の大規模モデル解析を行わねばならない (Fig.13)

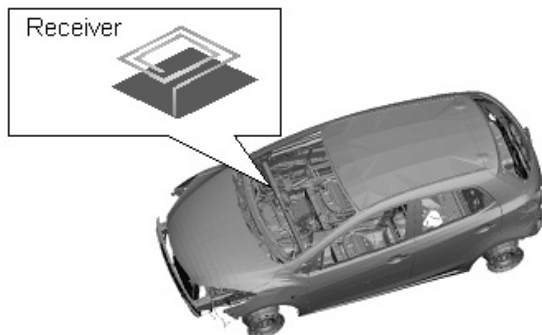


Fig.13 Precision Antenna Model in the Large Scale Vehicle Model

#### 4.2 キーレスアンテナ性能数値解析モデル

キーレス受信アンテナに用いられる小型アンテナの特性を数値解析するには、1mm程度の細かいメッシュでアンテナ形状を忠実に再現した解析モデルを作成する必要がある。

しかし、FDTD法において、ボデーシェルとアンテナ全てを1mmのメッシュで解析モデル化すると、計算に必要なメモリと計算時間が膨大となり、現実的ではない。そこで、Fig.14に示す3つのステップを用いて、大規模ボデーシェルモデルのメッシュサイズを維持した状態で、精度良いキーレス受信アンテナモデルを組み込み、大規模モデル中にある小型キーレス受信アンテナモデルの特性解析を行った。

まず、アンテナ解析精度の良いモーメント法を用いて、実際のアンテナ形状 (Real Model) を忠実に再現したモデル (Precision Model) で特性を解析し、測定値との相関を確認する。次に、モーメント法を用いて、Precision Modelと同じ特性となるワイヤーで構成されたモデルを作成する (Wire Model Mom)。このワイヤーアンテナ形状をFDTDモデルで再現し、(Wire Model FDTD) サブグリッド法等を用いてボデーシェルFDTD解析モデルに組み込む (Wire Model FDTD)。

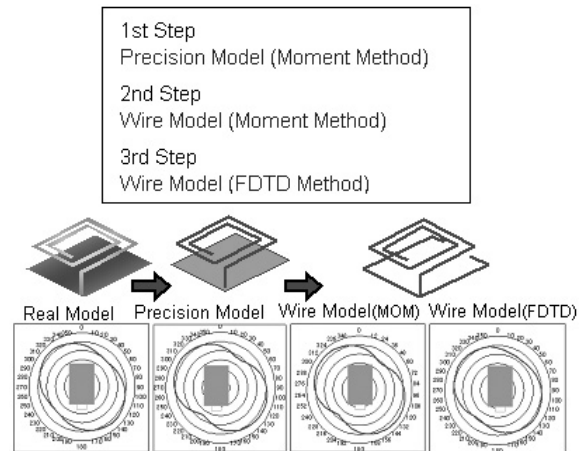


Fig.14 Modeling of the Keyless Receiving Antenna

### 5. ボデーシェル&アンテナモデル数値解析

#### 5.1 簡易車両モデルを用いた基礎検証

まず、Fig.5に示す簡易車両モデル内部に受信アンテナを設置し、ターンテーブルを用いてアンテナに誘起される高周波電圧の指向性を測定した (送信アンテナの設置条件は3章と同じ)。次に、4章で示した手順により受信アンテナのモデル化を行い、これを簡易車両解析モデルに組み込み、アンテナ受信部での受信電圧指向性を計算した。

Fig.15には、簡易モデル内部に設置したアンテナの指向性の測定値と計算値を示した。二つのグラフのスケールは同じである。感度の高い角度、低い角度がほぼ一致している。

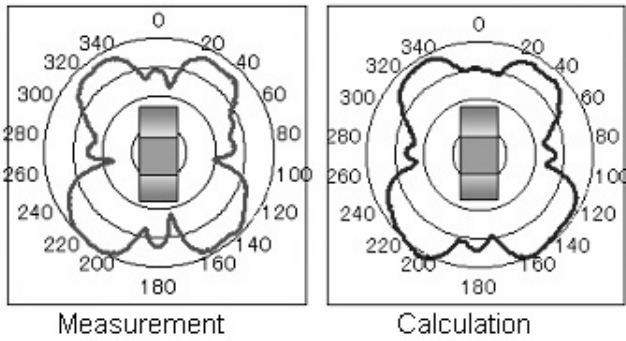


Fig.15 Receiving Directivity of 1/3 Vehicle Model

5.2 ボデーシェルでの検証

次に、ボデーシェルにキーレス受信アンテナを設置し、5.1節と同様、測定値と計算値との比較を行った（送信アンテナの設置条件は3章と同じ）

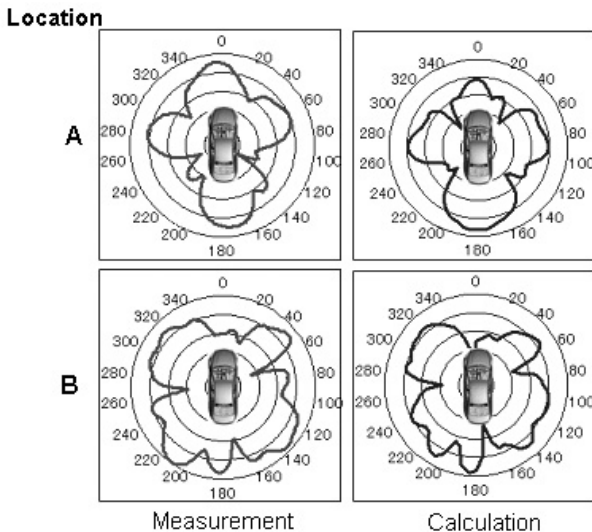


Fig.16 Receiving Directivity of Actual Vehicle Model

Fig.16は、ボデーシェルの中の2ヶ所に設置したアンテナの指向性の測定値と計算値の例である。四つのグラフのスケールは同じである。感度の高い角度、感度の低い角度の傾向は一致している。指向性グラフ上の細かい凹凸には若干の乖離がみられるが、これは、ボデーシェルの中の金属構造物（シートフレーム等）の微妙な位置変化で車内内部の電波の反射・干渉状態が変化すること等によって生じる測定および計算誤差分であると推定される。

キーレスの商品性を考慮すると、アンテナ設置場所を選定する上で重要となるのは、①受かりにくい方向（指向性グラフの急峻な落ち込み）が少ないこと、②平均受信感度が高いこと、の2点である。そこで、ボデーシェルの中の4ヶ所にアンテナを設置し、測定値と計算値の平均感度の偏差を求めた。Fig.17に結果を示す。

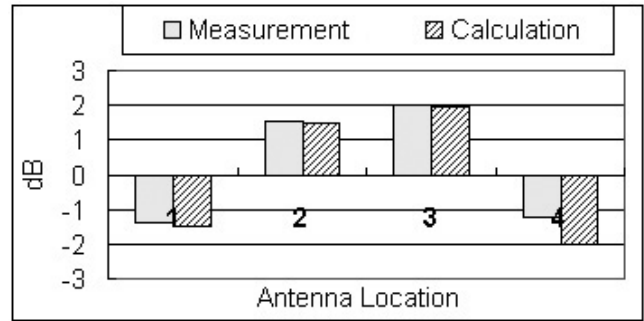


Fig.17 Average Gain at Four Antenna Locations

Fig.17から、平均受信感度についても実験値と計算値とに相関のあることが分かる。

以上より、コンピュータ上で、ボデーシェルの中に設置したキーレス受信アンテナの指向性と平均感度を実用レベルの誤差で計算できることが検証できた。

6. おわりに

キーレスの受信性能（通信距離）の絶対値を決定するパラメータで、一意的に決定できる設計値（送信出力、空間減衰、偏波、変調方式、伝送レート、受信機フィルタ帯域およびチューナIC入力感度）以外の不確定要素であった受信アンテナ構造とアンテナ設置場所による感度・指向性について、従来の試作車での実験評価に基づく設計を、CAEによるバーチャル評価に基づく最適化設計へと移行し、試作レス開発を実現した。

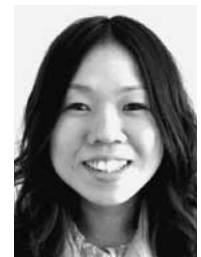
著者



浜田 康



沼元正樹



鶴長真里絵

論文・解説

23

## 3DCAD活用によるボデー領域のバーチャル開発革新 Innovation of Virtual Development in Body Where 3D CAD was Used

中村 克宏<sup>\*1</sup> 菅本 大成<sup>\*2</sup> 清水 和己<sup>\*3</sup>  
Katsuhiko Nakamura Hironaru Sugamoto Kazumi Shimizu  
岡本 暢宏<sup>\*4</sup> 三戸手 文明<sup>\*5</sup> 皿海 慎也<sup>\*6</sup>  
Nobuhiro Okamoto Fumiaki Mitote Shinya Saragai

### 要 約

近年の当社の新車開発は、MDI-I（Mazda Digital Innovation）により、目標とする開発期間の短縮を達成し、今後はMDI-Iの継続として、更なる高品質な商品の提供が求められる。MDI-Iでデジタル開発基盤の整備が完了したためMDI-Iでは、バーチャル開発の適用拡大により業務の品質とスピードを更に高めることが必要となった。そのために、バーチャル開発の核となる3次元のCADデータ（以下CADデータと呼ぶ）の質を業務適合できるよう変革した。CADデータは、解析・生産性評価・設計等の領域で積極的に活用される機会が増え、データ利用部門がCADデータに求める品質・情報付加の要求も高まってきている。

これらの要求に応えるために、設計の効率化と設計品質向上：基本形状を作成するCADテンプレート（雛形）の開発、CADデータ品質向上：隙・干渉チェックの半自動化、溶接情報の自動設定と検証、CADデータ流通性の迅速化：生産、CAE部門の要求情報の付加等の改革を実施し、ボデー領域のバーチャル開発に適用した。本書では、それらの活動での取り組みについて説明する。

### Summary

In recent years, through MDI-I (Mazda Digital Innovation), the development period for new models has been shortened as we aimed. From now on, higher-quality products need to be offered through MDI-I. Since the foundation of digital development has been built in MDI-I, the quality and speed of work must be enhanced in MDI-I by expanding the application of virtual development. To that end, we have innovated the quality of 3D CAD data (hereinafter referred to as CAD data), which is the core of virtual development, so as to adapt it to the work. As CAD data is increasingly utilized for analysis, manufacturing feasibility check and design engineering, users' expectations for the quality of CAD data and additional information it offers are rising.

In order to respond to those expectations, we have (1) improved the design efficiency and quality by developing a CAD template for creating basic shapes, (2) improved the quality of CAD data through semi-automatic check for clearance and interference and automatic verification of welding information, and (3) accelerated the circulation of CAD data by adding information required for manufacturing and CAE analyses and applying it to the virtual development of Body area. This paper describes the efforts we made in this innovation.

### 1. はじめに

昨今、多様化するユーザーニーズに合う魅力的で高品質な商品（車）をタイムリーに市場導入するには、開発の効率化と品質の向上の両立が必要である。また、試作車のない開発の初期段階で、性能・商品性および生産性等の目標設定や確認検証を実行するには、設計品質の良いCADデータを有効活用した開発が不可欠となる。

ボデー開発の一般的な考え方として、開発の流れを大きくバーチャル開発とフィジカル開発の二つに分けることができる（Fig.1）。更に、バーチャル開発は、設計要件・標準および基準の織り込み、CADデータ作成過程（インプロセス）と、作成したデータを用いて確認および修正を繰り返す検証過程に分けられる。CADデータ作成過程では、設計要件やモデリングノウハウをあらかじめ織り込んだCADテンプレートを構築しておくことで、早期に設計品

\*1～6 ボデー開発部  
Body Development Dept.



質の良いデータを作成できる。更に、半自動化により、隙・干渉や溶接情報のチェックを迅速に実行できる。検証過程では、詳細なCADデータと付加情報により、生産性検証・CAEによる性能評価といった様々な検証を迅速に実行できる。バーチャル開発でこれらの活動を繰り返すことで、出図図面の品質が高まる。

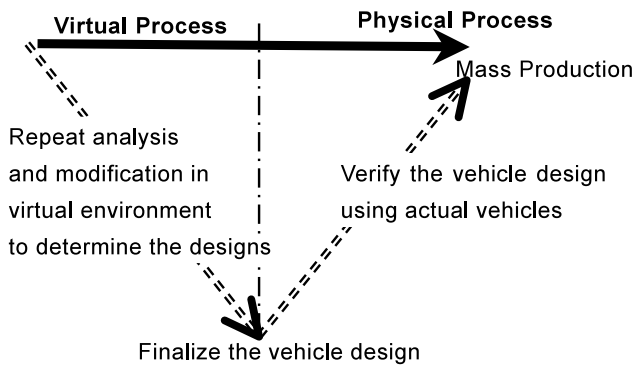


Fig.1 Concept of Vehicle Body Development

## 2. 設計の効率化と設計品質向上

### 2.1 CADテンプレートの狙い

前述のCADデータ作成のインプロセスで、必要な設計要件やモデリングノウハウを、早く漏れなく最小限のリソースでCADデータに織り込み、設計品質を向上させるには、あらかじめ設計仕様・要件およびノウハウをCADデータに織り込む仕組みが必要となり、CADテンプレートを開発した。また、簡単に仕様違いのCADデータを作成できることから、開発の初期段階で、仕様確定のための様々な設計検討にも活用でき、段階出図初期のCADデータの完成度を上げることができる。

### 2.2 CADテンプレートの仕組み

CADテンプレートとは、CADのモデリング手順が履歴として残ることを活用し、設計仕様・要件およびノウハウを形状要素毎に分解する履歴の房（CADの表示上、房状に見えることから）に、車種固有の情報としてあらかじめインプット（仕込み）したものである。車種固有の情報は、設計情報であるデータ作成用寸法をパラメータとし、その数値による制御が可能となり、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時に、迅速に対応することができる。

Fig.2の部品の例で紹介してみよう。この部品は、3階層から成る履歴の房で、設計要件・生産要件および周辺部品との整合性情報が含まれている。第1階層では、周辺部品・断面強度等をパラメータとした履歴、第2階層では、生産要件に絡むフランジ角・寸法・Rの大きさ等の情報が仕込まれている。第3階層目は、局所的な形状として、板の重ね合わせの情報・シール要件等が仕込まれている。

このベースの房構造に、車種固有の情報を入れ込むことで、素早く設計検討やCADデータを作成することもでき

る。また、このCADテンプレートを活用すれば、派生部品も効率よく短期間で作成できる。

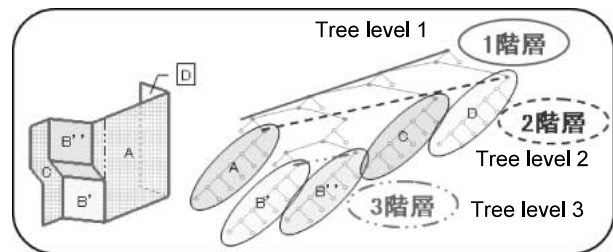


Fig.2 CAD Hierarchical Data Configuration

Fig.3の例では、CADの履歴構造を示しているが、別の親部品の履歴の一部をコピーし別の部品を作成している。これは、親部品の形状が変わればこの部品も同時に変わる。形状のフォローは自動でなされ、素早く設計品質の高い部品のCADデータ作成が可能になる。

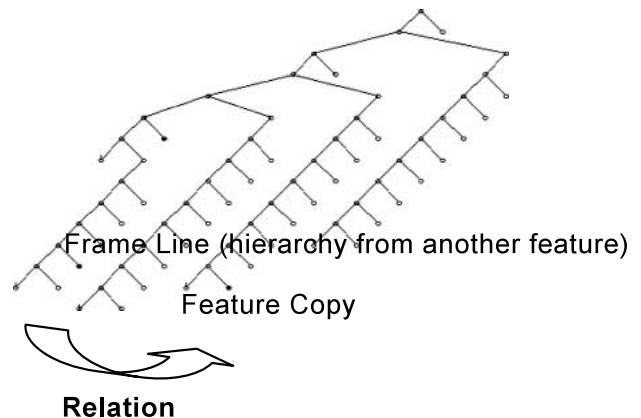


Fig.3 Creation of the CAD Data of a Part Using the Technique to Interlink the Data Sets

### 2.3 CADテンプレートによる効果

開発初期段階からスピーディに設計仕様・要件およびノウハウを織り込んだCADデータを提供することができるようになり、初期段階での300件から400件の設計要件の織り込み項目がすべて網羅できるようになった。またCADモデリング工数も従来に比べ半減した。更にモデリング手順が履歴として残るため、設計仕様・要件およびノウハウの根拠を容易に確認できるようになった。

## 3. CADデータ品質向上

### 3.1 IU-DPA (In Unit Digital Pre Assembly)

CADデータを性能評価・生産性評価および量産準備業務で活用するためには、利用する側のCADデータ要件に沿って、周辺のボデーの板金部品との、隙間や接合といった位置関係の整合の取れたデータを提供する必要がある。一方、車のボデーは、数百もの板金部品で構成され、これをタイムリーにすべて部品ごとに検証するには多大な工数を費やす。当社では、ボデー系板金部品（以下ボデーシェル）間における隙・干渉、部品同士の接合面とスポット溶接（車体板金部品で多用される電気抵抗溶接）記号との

隙、およびスポット溶接作業時に必要な平面や溶接間ピッチに特化した検証を、IU-DPA (In Unit Digital Pre Assembly) と呼んでおり (Fig.4)、この検証を半自動化している。

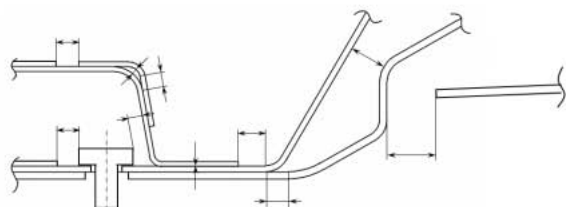


Fig.4 Body Shell Section

### 3.2 IU-DPAのプロセス化への取り組み

当社のボデーシェルのCADデータは、設計者とCAD担当者の2者により、協働で作成される。隙・干渉や溶接情報の検証も、以前はこの2者により進めていたが、検証の漏れや重複が生じていた。また、車種当たり5,000件を越える膨大なボデーシェルの隙・干渉や溶接検証に加え、部品同士が近接し、複雑な部品が多数接合面で接するため、どこまで検証を行ったか不明確なまま出図し、設計変更でやり直すという状況にあった。このような状況を打開し、出図精度向上による設計変更削減を目的に、ボデーシェルの隙・干渉・溶接情報に特化した検証プロセスIU-DPAの制定と車種開発適用を行った。

IU-DPAでは、設計者とCAD担当者双方の役割・責任と、ボデーシェル特有の検証手順を明確に定義した。また5,000件を越える検証を確実に実施するためのIU-DPAチェックシートを作成し、車種開発に運用した (Fig.5)。

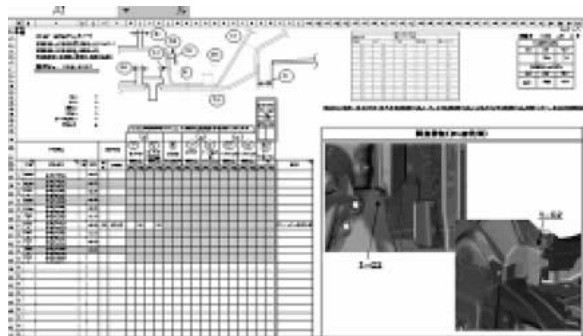


Fig.5 IU-DPA List

検証プロセス適用当初は、検証項目の多さと不慣れな検証手順から、25人のCAD担当者が、12.5日間検証のみ実施という工数的に厳しい状況にあった。

### 3.3 IU-DPA自動化への取り組み

出図精度向上の取り組みはCAE・生産技術部門による出図前データによる先行評価活動が挙げられる。当社におけるCAE部門では、ボデーシェルのCADデータを活用した解析評価の短期化に取り組んでいる。

こうした関連部門評価を確実にを行うには、開発初期からCADデータの精度保証が必要となってきた。

特にIU-DPAで検証する部品同士の隙・干渉や溶接位置について、その精度保証なくして解析評価の短期化は見込めない状況にあった (Fig.6)。

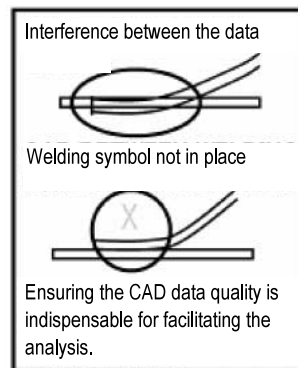


Fig.6 NG Sample

以上の背景から「開発初期からのCADデータ精度向上を通じた関連部門の評価促進」を目的にIU-DPAの早期実施を現在取り組み中である。

従来のIU-DPAは出図前に1回のみ実施していた (出図後はデータ変更箇所のみ検証) が、出図前のレイアウト活動期間で実施するには、これまでより確実、かつ効率良い検証が必要となった (Fig.7)。

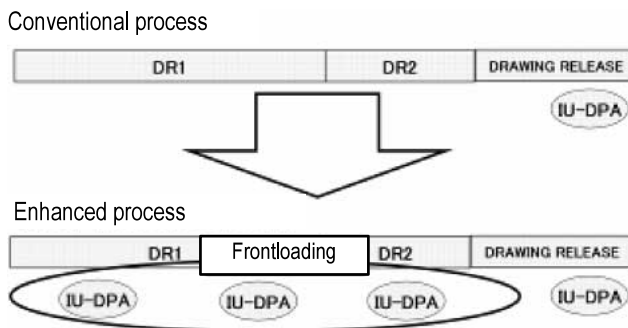


Fig.7 IU-DPA Process

その施策として、デザイン面開発ツールが保有するデータ同士のズレ・干渉を、高精度・高速度でチェックする半自動化機能を開発、活用した (Fig.8)。

Color-mapping technique for providing visual information on gap/interference between the data sets.

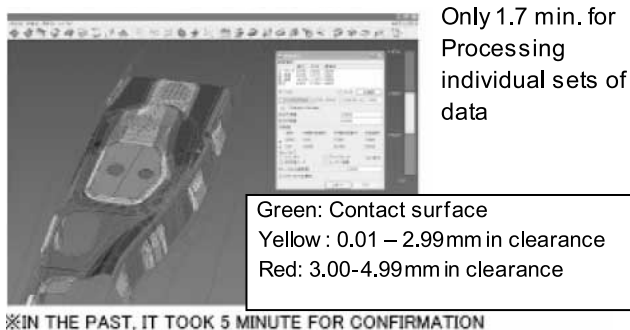


Fig.8 IU-DPA System

また従来、ボデーシェル部品データはその厚みまで表現せず、片面のみ作成し、IU-DPA実施時にCAD担当者が、個別にデータをオフセットする等の追加作業を行ってきた。

しかし、オフセットデータをバッチ処理による自動作成を行い、デザイン面作成ツールが読み込めるデータに変換するシステムを併せて完成した。従来行った追加作業に時間を取られることはなくなった (Fig.9)。

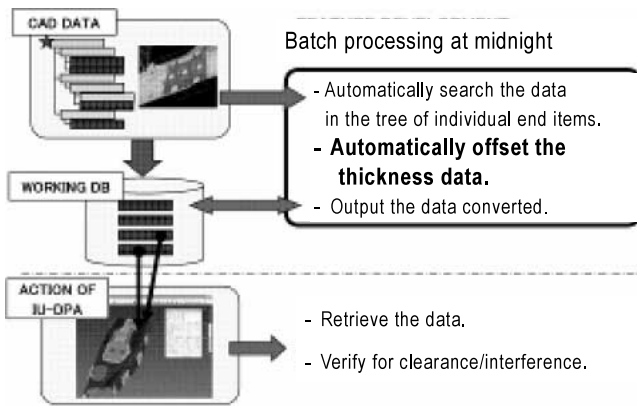


Fig.9 Calculation Flow

一方、溶接情報の自動チェックとして当社での生産要件である、溶接ガンのタイプ、溶接時に分流を起こさない溶接間ピッチおよび溶接作業に必要な平面 (Fig.10) をチェックするプログラムを自社開発し、現在車種開発に適用している (Fig.11)。

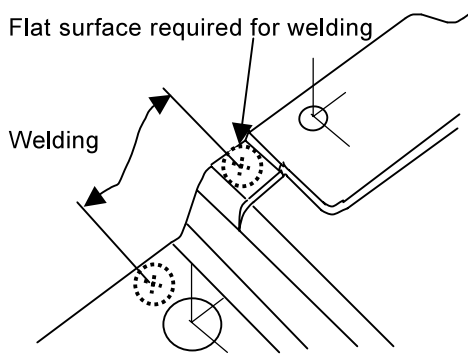
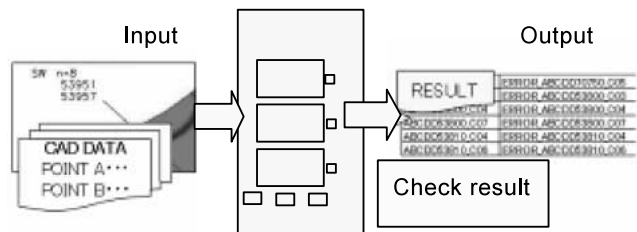


Fig.10 SW Design Requirement

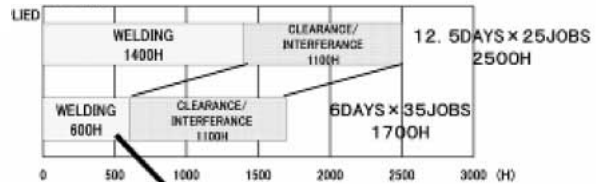


Spot welding Check System  
Fig.11 IU-DPA List Program

### 3.4 IU-DPAプロセス・自動化による効果

IU-DPAの自動化により検証活動期間が半減し、約30% (800H) の効率化を実現した (Fig.12)。

Without automatic checking program



With Automatic checking program

Work efficiency has been increased from 1400 hrs to 600hrs by automatic checking program on the weld spots and the descriptions.

Fig.12 Work Improvement

図面出図後の設計変更を削減するという目的に対して、IU-DPAの実施は以下に示すような改善効果が顕著に表れてきた。IU-DPA未実施の車種は、部品同士の間・干渉防止対策として、200件前後の設計変更を行ってきた。これに対しIU-DPA実施車種では設計変更は数件以下にまで削減、現在は、ボデーシェル部品に起因とする間・干渉による設計変更はゼロ件を継続中である (Table 1)。

Table 1 Design Change

	Without IU-DPA		With IU-DPA	
When	Until 2003		2005 and later	
Product programs	A	B	C	D
The number of engineering change	233	166	3	0

## 4. 3D CADデータの利用拡大 (CAE, 生産)

IU-DPAによりデータ精度を保証したCADデータを、関連するCAE・生産技術部門にて活用、開発初期からのバーチャル評価を促進させる取り組みについて述べる。

関連部門のバーチャル評価を促進させるポイントとして、次の二つに注力して取り組んだ。それは1) 従来2次元の図面で表現していた作業要領の指示を、3次元CADデータ化し、バーチャルファクトリーで活用可能とすること、2) 利用部門がCADデータを追加加工することなく、自動評価ツールなどでそのまま活用できることである。

ここでは塗装シールの3次元形状化とボデーシェルを接合するスポット溶接における情報提供のシステム化について述べる。

#### 4.1 塗装シールの実体形状化

従来の塗装シールは2次元の図面による塗布要領を指示する絵の情報のみであった。このため設計側の意図が正確に伝わらない、試作を作って初めて作業困難な状況に気付く、といった問題が発生していた。

塗装シールの実体形状化は、塗装技術部門による生産設備設計、塗装工具の隙・干渉検証、更には作業性検証を促進し、塗装シールに関連する問題を早期に解決できるようになった。

現在では、塗装シールやアンダーコート等を含め、8種類の塗装要領図の実体形状化と生産技術部門でのデータ評価を行っている (Fig.13)。

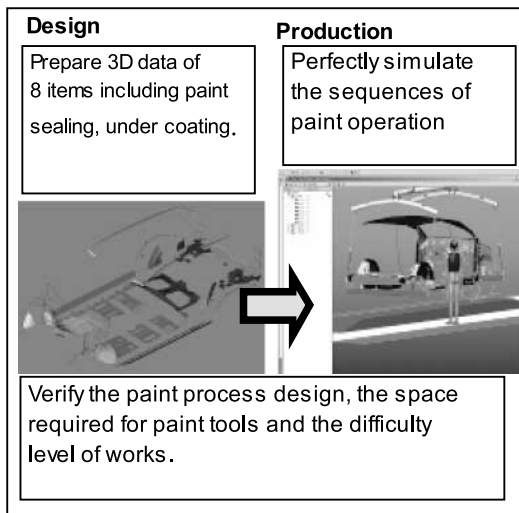


Fig.13 Moving Up Design and Verification of Production Facilities by Preparing the 3D Paint Sealing Data

#### 4.2 スポット溶接打点データ作成・検査支援システム

前出の溶接情報自動チェックシステムは、打点データ作成機能も備える。

従来のスポット用CADデータは、情報不足や作成ルールの不統一により、そのままのデータでは評価に活用できず、後工程で多くのデータの修正や評価の停滞・手戻りが発生していた。

この問題の解決策として、後工程の要求を取り入れたスポット溶接打点データの作成および検査を行うシステムの実現に向けた業務整備、システム構築および適用の3段階の活動を実施した。

業務整備では、後工程であるCAE・生産技術・試作および設計の各部門におけるニーズを調査し、CADデータに具備すべき情報・要件を決定した。その決定事項を基に、CADデータ構成や注記の記入要領等のデータ作成ルールを決め、関連部門と合意した。

現在、関連部門に提供するCADデータに含まれる溶接打点の座標値や注記情報は、量産段階で車体の溶接の量産性検証や生産工程設計用データとして、転記の自動化で活

用されている (Fig.14)。

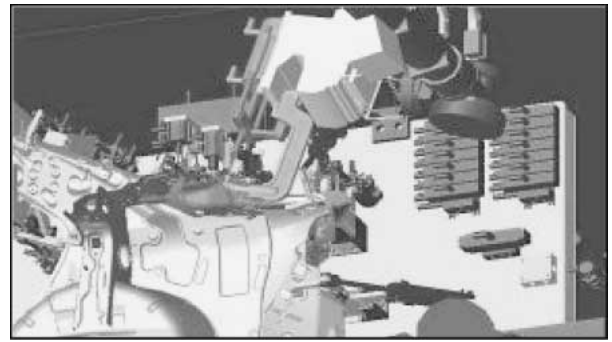


Fig.14 Spot Welding Production Process Verification

また、CAE部門では強度解析・車体剛性解析・NVH解析などの性能検証モデルの溶接要素自動作成に追加工することなく活用、解析評価の停滞なく設計へのフィードバックが実現できている (Fig.15)。

このツールの適用前は、CADデータ作成ミス約50%を溶接データの入力ミスが占めており、入力情報の事前チェックが必要だった。しかし、適用後はミスがゼロとなり、それまで行っていたその作業を廃止することができた。

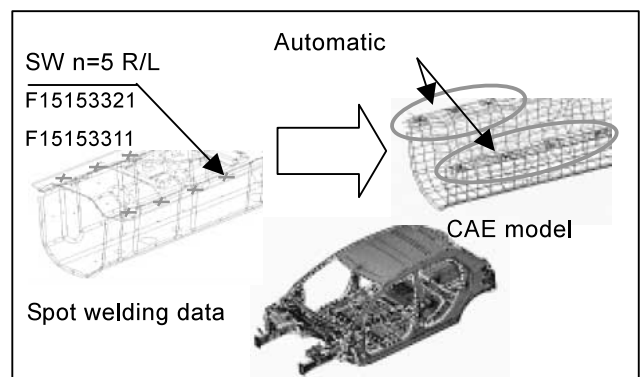


Fig.15 Body Performance Verification by CAE

本節で述べた活動で、設計・CAEおよび生産技術部門の開発効率の向上を実現した。

初期のCADデータの利用は生産要具 (型具・治具および検査具) 製作など限定的なものであった。それが、現在はこの章で述べたような取り組みを通じて、関連部門と連携し、開発初期からのバーチャル評価促進を通じた出図完成度向上を目指し、CADデータの利用がますます拡大しており、その期待も大きくなってきている。

## 5. 成果と今後の課題

### 5.1 取り組みによる成果

今回の取り組みによる成果は、開発のフロントローディングの進展への貢献である。具体的な効果をQCDで以下に述べる。

#### (1) 品質の向上 (Quality)

CADテンプレートの作成と活用により、CADデータへ

の設計要件の早期織り込みと確認が可能になった。また、IU-DPAや溶接データ作成検証ツール活用により、生産部門評価や溶接治具ティーチング用データとしてそのまま使えるCADデータの提供が可能となり、生産性検証や性能検証の実行およびフィードバックにより、出図図面の品質を向上させた。

#### (2) データ作成および利用側での効率向上 (Cost)

CADテンプレートの作成と活用により、データ作成の工数が大幅に削減された。また、それまでは生産部門において、溶接入力情報の事前チェックが必要だったが、その作業がなくなった。更に、CAE部門ではモデリングの手戻りが抑制された。データ修正等の作業やり直し、事前チェックやデータ追加工等の無駄な作業の排除、これらにより全社で約6,000時間の効率化を達成した。

#### (3) タイムリーなデータ供給 (Delivery)

CADテンプレート活用やIU-DPAの実行により、設計要件の織り込みとデータ品質を保証したCADデータが、バーチャル検証段階の初期から生産技術やCAE部門に提供が可能となった。この提供は、正式出図の前に3回行うことができ、生産評価や性能評価を終えたCADデータの出図を可能とした。

#### (4) その他の効果

本活動により付随した二つの効果がでた。1点目は、CAD担当者のモチベーション向上である。溶接データの作成は煩雑で地道な作業である。この精神的な負担は少ない。ツールを使うようになり負担感が軽減され作業意欲向上につながった。2点目は、新人でもミスのない作業が可能になったことである。ツールが作業をガイドしてくれるため、直ぐに使えるようになり、ミスも出ない。

#### 5.2 今後の課題

昨今のクルマ開発を取りまく経済、市場要求等の環境変化は過去になく速く激しい。この環境変化の中でも影響されない口バスタな開発の定着と、変化に迅速に対応できる業務の変革にCAD活用の開発がいかに貢献できるかが課題である。

## 6. おわりに

今回紹介した自社開発したCADテンプレートやCADデータを活用した独自の隙・干渉の検証評価、あるいは、生産性やCAEとの連携が取れるデータ提供が実現できたのは、長年、CADデータがどう在るべきか、CADデータの使われ方はどうなっているかを、設計現場や、生産現場を赴きグループ員全員が追及したからである。

今後も更なる開発効率化と品質向上を目指しCADデータをあり方、使われ方を、CADの現場員が主導となって、全社的視点で変革していく所存である。

最後に、今回の取り組みに関して、多大な御協力を頂いた関係各位に深く感謝の意を表す。

#### 著者



中村克宏



菅本大成



清水和己



岡本暢宏



三戸手文明



皿海慎也

論文・解説

24

## NVH性能分析システムCPAs2の開発 Development of NVH Analysis System CPAs2

江頭 裕二\*<sup>1</sup> 川口 克也\*<sup>2</sup> 馬屋原 立裕\*<sup>3</sup>  
Yuji Egashira Katsuya Kawaguchi Takahiro Umayahara

### 要 約

CAE技術は、商品開発の有効な手段として年々その適用領域を拡大し続けてきた。一方、商品をタイミングよく市場導入するためには、開発全体の期間短縮とともに、CAE活動自体の期間短縮も重要になっている。そこで、弊社ではモデル化から評価・分析までのCAE業務の自動化と、対策部位を早期特定する性能分析機能の強化に取り組んできた。本報で紹介するCPAs2システムは、CAE業務の中で計算から評価・分析までを対象とし、様々な自動処理機能と分析機能を装備している。本報では、NVH領域におけるCPAs2システムについて概要を述べるとともにロードノイズなどの性能予測評価機能やパネル寄与率などの性能分析機能、および評価・分析データを自動生成する自動処理機能について報告する。

### Summary

CAE technology has continued to expand its applicability year after year as an effective method for product development. Meanwhile, it is increasingly important to shorten the CAE development period as well as the entire development period to bring products to the market at the right timing. With this in mind, we have worked to automate the CAE work, from the modeling to the evaluation/analysis, and to enhance performance analysis functions which allow early identification of the areas countermeasures need to be taken against. The CPAs2 system, which is introduced in this report, covers processes from the calculation to the evaluation/analysis in the CAE work, and includes a variety of automatic processing functions and analysis functions. This report outlines the CPAs2 system in the NVH field, and deals with the performance prediction evaluation function for road noise etc., the performance analysis function for panel contribution etc., and the automatic processing function for creating evaluation/analysis data.

### 1. はじめに

CAEは、商品開発の各ステージにおいて構造を決定する有効な手段として活用され、その適用は年々拡大・強化されてきた。また、その適用内容も単に性能目標を満足させるだけでなく、軽量化検討など多種多様化しており、CAEの業務量は急速に増加している<sup>(1)-(3)</sup>。このような状況の中、新しいCAE技術を確実に商品開発へ反映させるためには、CAE適用領域の拡大とともに適用業務の質と生産性の向上を同時に考えていく必要がある。

そこで、弊社は2004年からCAE自動化システムCPAs

(CAE Process Automation system)の開発を行い、モデル化と計算領域の自動化に取り組み、2006年からはCPAs2システムの開発を開始し、計算・評価・分析領域の強化を図った。

本報ではNVH性能開発領域におけるCPAs2の開発を紹介する。

### 2. 開発コンセプト

#### 2.1 開発の狙い

CAEの適用業務は、モデル化・計算・評価・分析・改善に分類される。CPAs2は計算から分析・改善までを対象と

\*1~3 NVH性能・CAE技術開発部  
NVH & CAE Technology Development Dept.

し、Fig.1に示す自動処理による評価分析期間の短縮と分析技術向上による改善サイクルの削減によって、性能目標を早期達成させることを開発の狙いとしている。

今回はPhase1として、

- ① 車種開発適用に順応する高度分析機能の開発
- ② 性能分析に必要な多量データの高速処理と自動化を実施した。

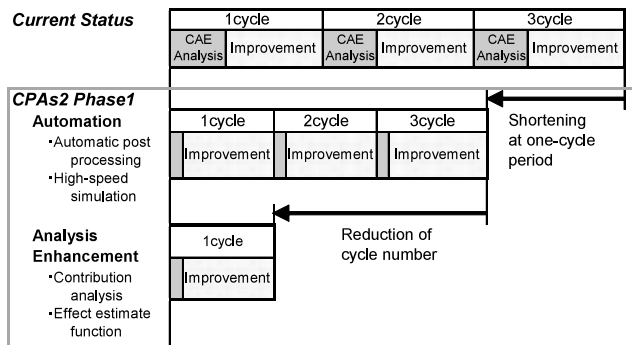


Fig.1 Purpose of CPAs2 System Development

2.2 システムコンセプト

システムは以下をコンセプトとした。

- ① 新技術を早期に実装でき、利用者への導入が簡単であること
- ② 実績あるシステムプラットフォームをベースとして、動作安定性を保証すること
- ③ リアルタイムに高機能な評価・分析業務がストレスなく実施できること
- ④ 既存の資源と環境を踏襲・共通化して必要最小限の保守体制で運用できること

以上を基に、Table 1に示すシステム仕様を決定し、自社開発を行った。

Table 1 System Specifications

Item	Contents
OS	Windows
Framework	MS .NET Framework
Graphic Library	MS DirectX
Analysis Processing	On Local PC
Calculation Processing	Network w/ Super Computer

また、システム構成はFig.2に示すように共通機能を含むプラットフォーム上に、NVH性能別の機能を搭載する形となっている。

RNA	DNA	BNA	IVA	LUA
Road Noise	Drumming	Booming Noise	Idling Vib.	Lock up Vib.
CPAs2 Common Framework v2.5				
Multidimensional data management, Data comparison, Document management, Controller panel control, Panel control, Process tree control, Process completion & panel/activation control				
Microsoft .NET Framework 1.1				

Fig.2 System Framework

3. CPAs2の機能

3.1 CPAs2システムの機能概要

CPAs2システムはユーザインターフェース部と計算制御部で構成される (Fig.3)

ユーザインターフェース部では、①解析標準に基づく必要最小限の計算データ定義機能と、②インタラクティブに評価・分析できる性能予測評価機能や性能分析機能を装備している。これらの機能は社内ネットワークに接続されたクライアント上で利用することができる。

計算制御部では、③NASTRANデータの自動生成から計算までを制御する計算自動処理機能と、④レポートングやユーザインターフェース部で評価・分析をリアルタイムに実施するためのデータフォーマットへ変換する自動ポスト処理機能が装備されている。

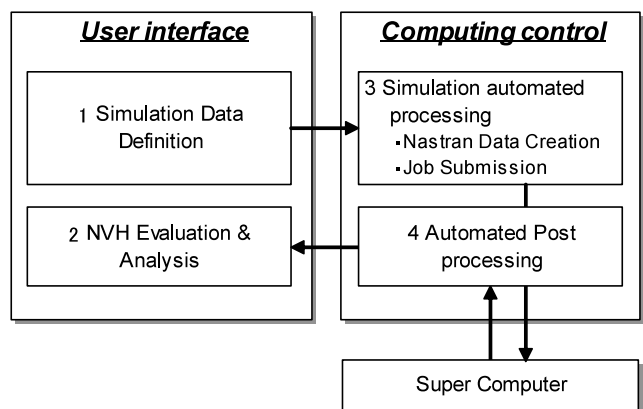


Fig.3 Outline of System Function

3.2 性能予測評価機能

性能予測評価機能は、現在低周波2項目および中周波3項目からなる計5項目のNVH性能をサポートしている。基本的にサスペンション、エンジンマウントから車体へ入る荷重を入力したときのNVH性能を以下の周波数域で評価するものである。

(1) 低周波NV

アイドル振動、ロックアップ振動の評価ができる。フロア、ステアリングなどの各部の振動や車内音の評価が可能である。

(2) 中周波NV

エンジンこもり音、ロードノイズ、ドラミングの評価ができる。1/3オクターブ評価や狭帯域での評価および目標とする性能を確保するために特定周波数域の車内音を下げた改善量を見積もるなどの機能を備えている。

3.3 性能分析機能

(1) 経路分析

エンジンマウントやサスペンションなどから車体へ入る荷重に対して、音への寄与が高い入力源を特定することができる。機能としては、任意の周波数に対して各入力経路



から発生する音圧 (SPL<sub>i</sub>) や、車体取付け部のポイントイナータンス (PI) および振動入力パワー (Wi) などの分析と、各周波数で音の入力源を分析するカラーマップ表示機能を備えている。また、擬似的に任意の入力を減少させて改善効果を推定することも可能である (Fig.4)

(2) 4PLOT分析

4PLOTとは、任意入力点からの音圧 (SPL<sub>i</sub>)、車体入力点のポイントイナータンス (PI)、入力荷重 (F) および車体感度特性 (SPL/F) のグラフを表したものである。入力量の変化、もしくは車体感度や車体取付け部の剛性の変化を調べることで、車内音へ影響を与えた特性を特定することができる (Fig.5)

(3) パネル寄与率分析

要素別パネル寄与と領域別パネル寄与の2つの機能がある。

要素別パネル寄与分析は、音のなりやすさを示すP/Q特性や体積加速度Qおよび音への寄与率を、任意の周波数で分析できるようにしている (Fig.6)。また、Fig.7に示すパネル振動抑制効果推定機能によって、擬似的に一部のパネルの体積加速度を抑圧させたときの改善効果を推定することができる。

領域別パネル寄与分析は、任意にパネルを分割し、音響放射量の大きいパネルを特定するとともに、各パネルの位相関係を分析することができる。

(4) 音響モード寄与

車室内空洞共鳴モードとの連成寄与を分析する機能である。連成によって車内音が高くなっている共振を分離することで車内音を改善できる (Fig.8)

(5) 音響モード表

車室内空洞共鳴モードの一覧表が自動生成される。どの周波数域にどんなモードが存在するか判別することができる (Fig.9)

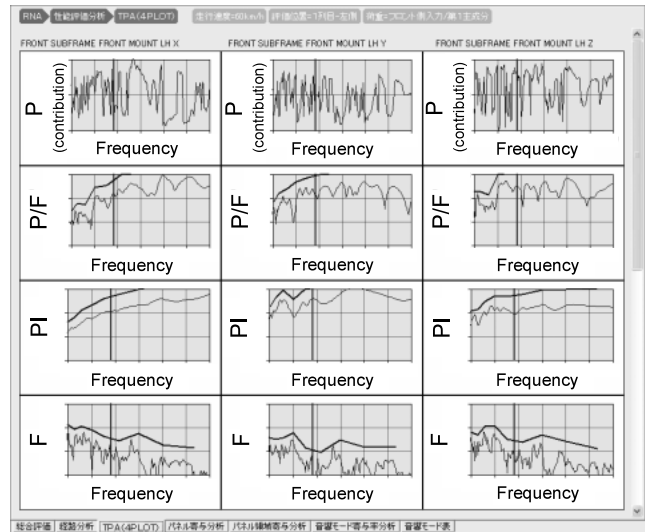


Fig.5 4PLOT Analysis

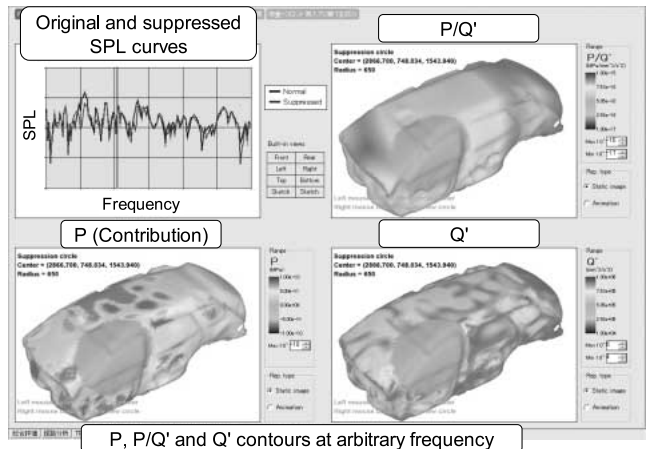


Fig.6 Panel Sound Contribution Analysis

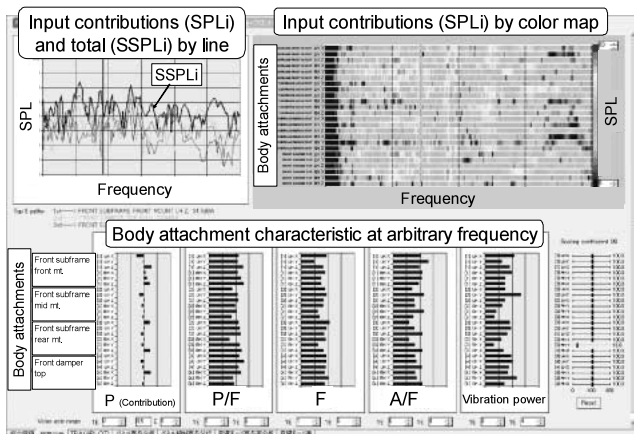


Fig.4 Load Path Analysis

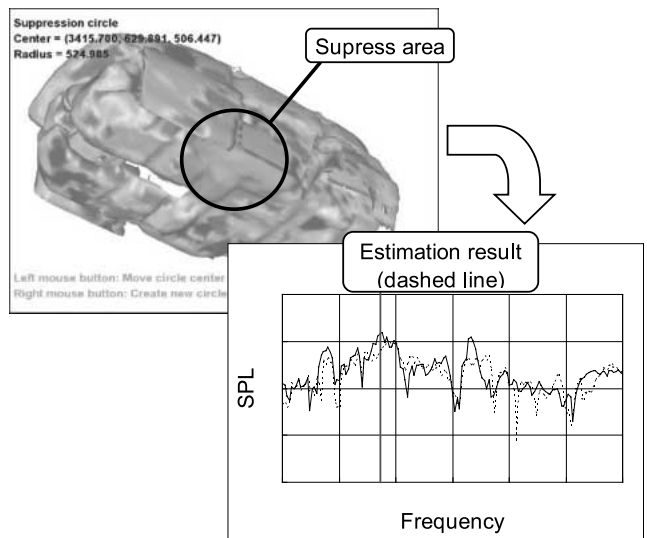


Fig.7 Function to Estimate Effect of Measures

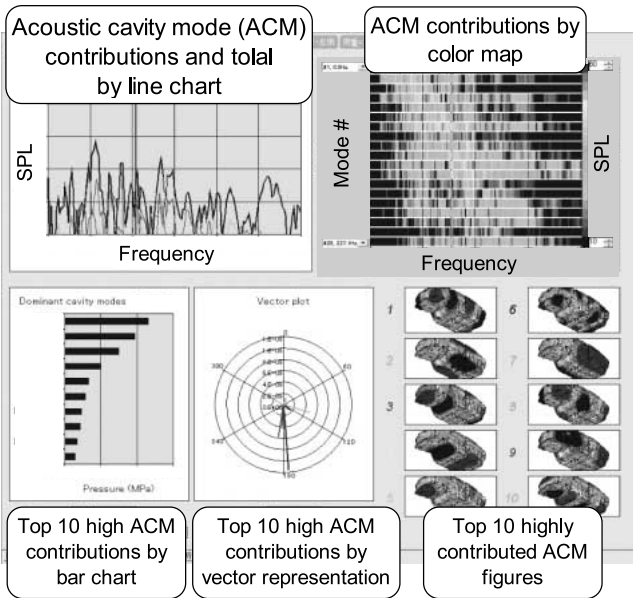


Fig.8 Sound Contribution Rate of Each Panel Area

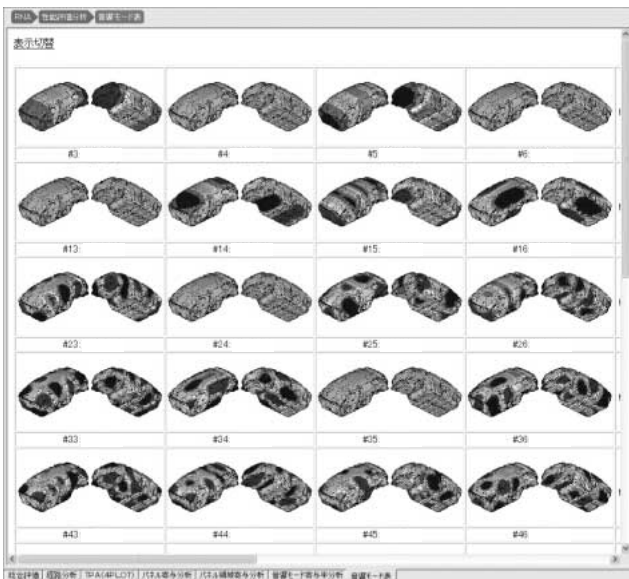


Fig.9 Acoustic Cavity Mode

3.4 自動処理機能

(1) 計算自動処理機能

計算モデルデータ、荷重データを設定するだけで、標準の解析条件に基づいてNASTRANデータを生成し計算投入するまでを自動で処理する。また、評価・分析に必要な車体感度や体積加速度などのデータを、Fig.10に示すように一回の計算の中で出力させている。

(2) 自動ポスト処理機能

ジョブの実行状況は自動ポストが監視し、計算終了後、計算出力データをもとに車内音などの性能予測値や寄与率などの分析用データに変換する。例えば車内音は、各部の車体感度と入力荷重を乗算し、ベクトル和もしくはRSSの処理により計算され、PI特性の場合はモーダルパラメータからモーダル周波数応答解析により計算される。

これらのデータは評価・分析がリアルタイムに実施できるように中間データへ変換される。また、標準的に利用する分析結果は、所定のフォーマットでEXCELデータとして出力される。

自動ポスト処理の計算は並列処理により短時間で出力され、ジョブの進捗状況はモニターで確認することができる。

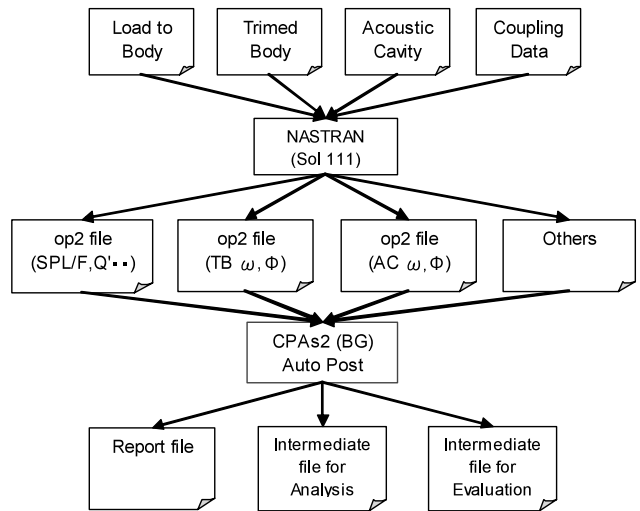


Fig.10 Processing Flow for NASTRAN Computation

4. 成果

CPAs2システムの稼働は日々上昇し、現在では、CPAs2システムを用いた開発に完全移行した。各商品開発では、CPAs2の各種分析機能が性能改善に活用されている。

計算から分析までの工数は当初の狙い通り従来比27%の工数に圧縮し、計算時間含めて1日で評価・分析ができるようになった (Fig.11)。

システム開発の生産性は、費用対機能開発数が従来平均値比約4倍に改善しており、短時間で車種開発へ技術展開できるシステムに改善できている (Fig.12)。

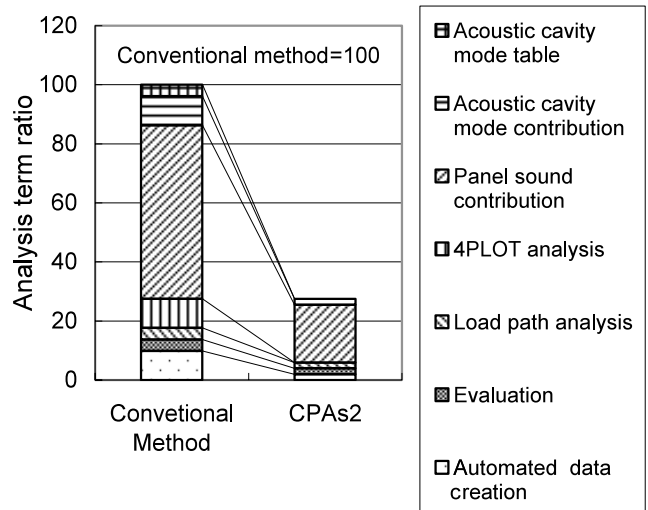
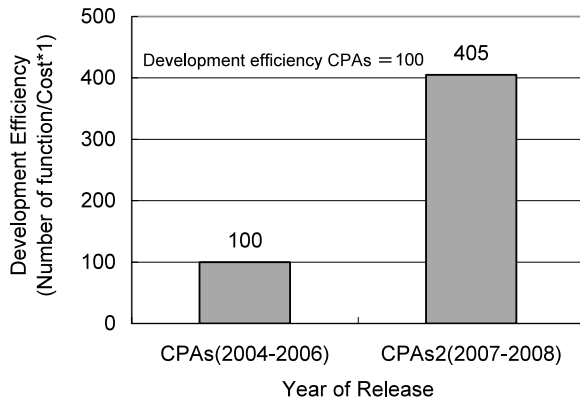


Fig.11 Analysis Term-Efficiency



\*1 Cost: include both development and maintenance cost  
The function development from the calculation to the analysis is targeted.

Fig.12 Development Efficiency

## 5. おわりに

今回、“技術とシステムの融合”を合言葉に開発し、今まで処理しきれなかった膨大なデータの分析が可能となり、商品開発に活用することができた。現在は“プロセスとシステムとの融合”を合言葉に、各開発ステージにおける性能課題や改善状況を見える化することで迅速な対応ができるように性能ステータス管理機能の強化を実施している。また、ニーズが高い軽量化検討の機能強化と効率化など様々な適用状況に対応したシステムへと成長させていく予定である。

## 参考文献

- (1) 渡辺ほか：設計支援システムWISEの紹介，自動車技術，Vol.49，No.1，p.70-76（1995）
- (2) 川口ほか：最大エントロピー法を用いたロバスト性最適化設計法，自動車技術会学術講演会前刷集，No.974，p.165-168（1997）
- (3) 江頭ほか：ペリーサ開発におけるCAE適用技術の紹介，マツダ技報，No.23，p.53-57（2005）

## 著者



江頭裕二



川口克也



馬屋原立裕

論文・解説

## 25 ガソリンHCCI機関における燃料特性と自己着火に関する解析 Analysis of the Relationship between Fuel Characteristics and Auto-Ignition in Gasoline HCCI Engines

養 祖 隆<sup>\*1</sup> 山 川 正 尚<sup>\*2</sup> 廣 瀬 敏 之<sup>\*3</sup>  
Takashi Youso Masahisa Yamakawa Toshiyuki Hirose  
田 中 重 行<sup>\*4</sup> 草 鹿 仁<sup>\*5</sup>  
Shigeyuki Tanaka Jin Kusaka

### 要 約

ガソリンHCCI機関の実用化に向けては、予混合圧縮自己着火（HCCI）燃焼と火花点火（SI）燃焼に対する燃料の影響を把握しておくことが重要である。本研究では比較的圧縮比の高いガソリン機関において、吸気加熱方式によるHCCI燃焼とSI燃焼のノッキングという二つの自己着火に対する燃料のオクタン価の影響を、パラフィン系により構成されたモデル燃料を用いて実験と数値計算により解析した。その結果、HCCI燃焼においては、燃料の高温側の着火特性が支配的であり、吸入空気温度が上昇するに従いオクタン価による着火時期の差異は小さくなる。また、SI燃焼においては、燃料の低温側の着火特性が支配的である。このため高圧縮比のSI燃焼であっても、ノッキング特性がリサーチ法オクタン価（RON）との相関があるという結果になった。この際、上死点（TDC）付近での熱発生による特有の現象が見られたため、その現象についても解析を行った。

### Summary

For the commercial production of gasoline HCCI engines, it is important to understand the effect of fuel characteristics on HCCI combustion and SI combustion. In this study, using model fuels composed of paraffins, we analyze the effect of octane number on two Auto-Ignition phenomena : 1 ) HCCI combustion with intake air heating and 2 ) knocking in SI combustion, through experimental and numerical approaches in a high compression ratio engine. As a result of the analysis, it is clarified that in HCCI combustion, the fuel characteristics in high-temperature region are dominant to the combustion timing. The higher the intake air temperature becomes, the smaller the difference in combustion timing by octane number becomes. In SI combustion, on the other hand, the fuel characteristics in low-temperature region are dominant to the knocking limit. Therefore, with even a high compression ratio, the knocking limit shows a correlation with RON. In the course of this analysis, a characteristic phenomenon was observed in the heat release around TDC, thus this phenomenon has also been analyzed.

### 1. はじめに

ガソリン機関の高効率・低公害化のために高圧縮比を備えたHCCI燃焼の実用化が期待されている。この機関では現在のところHCCI燃焼のみで全ての負荷を運転することは困難なため、高負荷時はHCCI燃焼からSI燃焼に切り替える必要がある<sup>(1)</sup>。そのため、実用化に向けては燃料性状

がHCCI燃焼時の着火性や高圧縮比SI燃焼時のノッキングといった自己着火に及ぼす影響を把握して制御可能な技術を開発していかなければならない。これまでも燃料とHCCI燃焼の関係に関する幾つかの研究<sup>(2)(3)</sup>が行われており、この中で自己着火に対する燃料成分間の相互作用が確認されている。そこで、本研究では燃料性状がガソリンHCCI機関に及ぼす影響を系統的に調べていくため、まず

\*1, 2 パワートレイン技術開発部  
Powertrain Technology Development Dept.  
\*5 早稲田大学  
Waseda University

\*3, 4 コスモ石油(株)  
Cosmo Oil Co., Ltd.

Table 1 Engine Specifications and Operation Conditions

Engine Type	DOHC 4-valve
Bore X Stroke	87.5mm X 83.1mm
Compression Ratio	14.0
Combustion Chamber	Pent-roof
Fuel System	Direct Injection
Water Temp. / Oil Temp.	88°C / 90°C
Engine Speed	1500rpm

Table 2 Properties of Test Fuels

	70RON	80RON	90RON	
RON	70.8	81.2	90.5	
MON	73.3	83.3	89.7	
Density 15°C (g/cm <sup>3</sup> )	0.6903	0.6915	0.6923	
Distillation (°C)	IBP	32.5	33.0	34.5
	10%	57.0	57.5	57.5
	50%	101.5	102.0	101.0
	90%	152.0	151.0	150.5
	EP	188.0	189.0	186.0
Reid Vapor Pressure (kPa)	60	59	60	
Composition (vol%)	n-Paraffin	16.8	4.6	4.3
	iso-Paraffin	83.1	95.3	95.7
	Naphthene	0.1	0.1	0
	Olefin	0	0	0
	Aromatics	0	0	0
	Benzene	0	0	0
Net Calorific Value (J/g)	44392	44374	44354	

は成分間の複雑な相互作用の影響をできるだけ排除し、更に、簡便に反応動力学計算が可能なパラフィン系成分のみで構成されたモデル燃料を用いて、HCCI燃焼とSI燃焼のノッキングという二つの自己着火に対する燃料のオクタン価の影響を実験と数値計算により解析することとした。

## 2. 解析方法および供試燃料

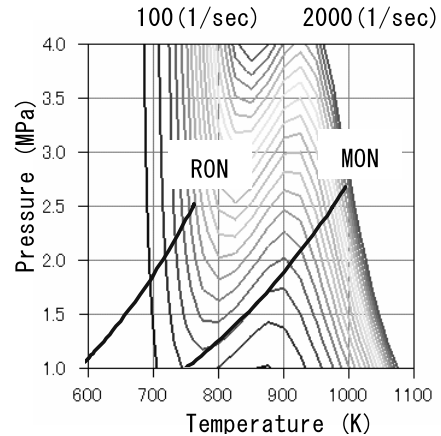
### 2.1 解析方法

本研究に用いた機関の仕様と運転状態をTable 1に示す。圧縮比14でHCCI燃焼実験、SI燃焼実験ともに無過給で運転した。HCCI燃焼実験においては現象を単純化するために外部吸気加熱装置を用いて吸入空気温度を上げて自己着火させ、そのときの吸入空気温度は吸気ポート内の熱電対により計測した。また、燃料の着火遅れ時間を求めるために、化学反応計算コードCHEMKIN<sup>(4)</sup>にイソオクタンとノルマルヘプタンの混合燃料 (PRF) での低温酸化反応および高温酸化反応を再現できる化学種38, 反応数55のリデューススキーム<sup>(5)</sup>を化学反応スキームとして用いて計算した。筒内の温度・圧力履歴には、筒内圧センサにて計測した圧力と、その圧力より算出した温度を用いた。

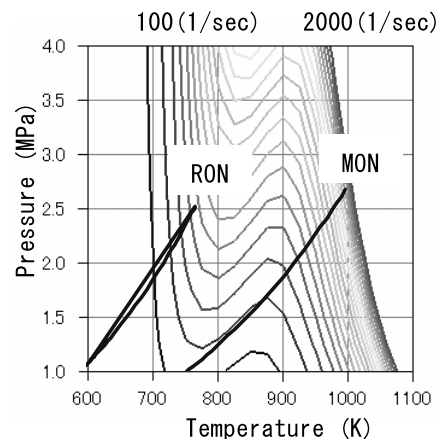
### 2.2 供試燃料

供試した燃料の性状および組成をTable 2に示す。供試機関の燃料供給は筒内直接噴射方式のため、燃料の気化の差によって混合気形成に差異を生じないようにするために供試燃料の蒸留特性を揃えた。また、成分間の相互作用の影響をできるだけ排除するためにイソパラフィン系とノルマルパラフィン系のみで構成し、RONを70, 80, 90に調

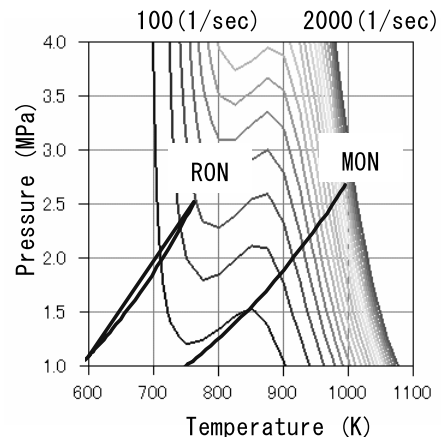
製した3種類の燃料を用いた。Fig.1にこれらの燃料とCFR (Cooperative Fuel Research) エンジンを用いて、石油学会規格JPI-5R-5-93リサーチ法およびモータ法オクタン価測定マニュアルに則った、RONおよびモータ法オクタン価 (MON) 試験時のエンドガス部の温度・圧力履歴を、質量燃焼割合90%時点まで示す。試験により吸入空気温度が異なるため、温度・圧力履歴はRON試験では低温側を、MON試験では高温側を辿る。また併せて、オクタン価の異なる燃料の着火特性の差異を明らかにするために各燃料



(a) Ignition Delay of 70RON



(b) Ignition Delay of 80RON



(c) Ignition Delay of 90RON

Fig.1 Ignition Delay at 1.0 and In-Cylinder History of CFR Engine

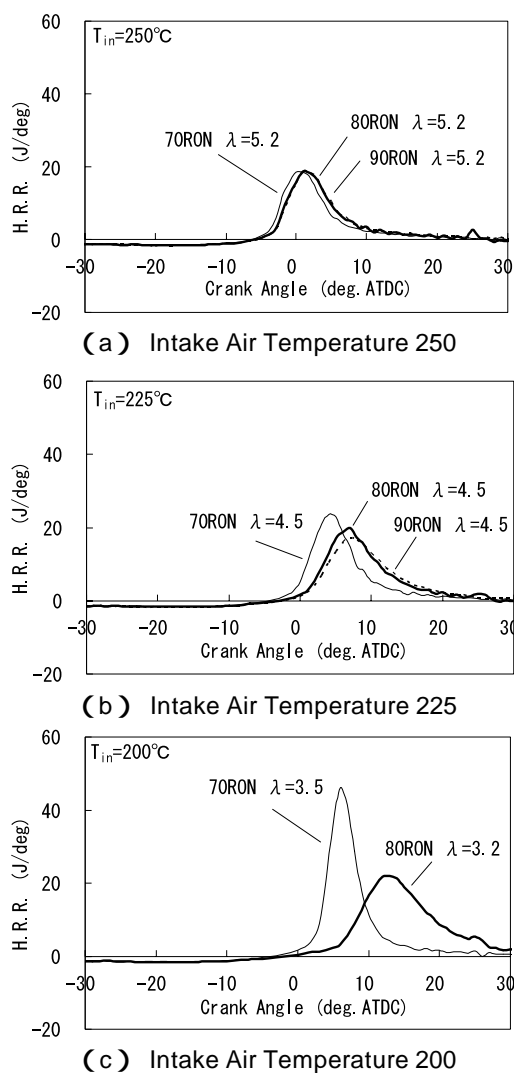


Fig.2 Comparison of Heat Release Rate at 1500rpm WOT

の着火遅れ時間を空気過剰率( )が1.0の条件で計算し、着火遅れ時間の逆数を反応速度の代用特性として示す。RON計測条件では筒内状態が800K以下であり、燃料の低温酸化反応領域を辿っていることがわかる。一方、MON計測条件では筒内状態が800Kから900K程度の間が存在する負の温度依存領域から、900K程度以上の高温酸化反応領域を辿っていることがわかる。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 HCCI燃焼

吸気加熱方式HCCI燃焼におけるオクタン価の影響を解析するために吸気加熱装置を用いて吸入空気温度( $T_{in}$ )を250, 225, 200とし、スロットル開度全開(WOT)にて安定した状態で運転可能なを設定して運転した。

#### (1) 実験結果

Fig.2に各吸入空気温度の運転条件での熱発生率を示す。 $T_{in}$  250 では燃料による着火時期の差が小さいが、 $T_{in}$ が低下するに伴いこの差は大きくなることがわかる。なお、 $T_{in}$  200 では90RON燃料はHCCI燃焼しなかった。

#### (2) 計算結果と考察

Fig.2の結果を考察するために、Fig.3にオクタン価の異なる燃料の着火遅れ時間を各吸入空気温度で運転可能なの代表としてが4.5の条件で計算した結果と、筒内平均場の温度・圧力履歴を質量燃焼割合5%のクランク角まで示す。 $T_{in}$  250 の条件では燃料による着火特性に差異のない高温領域を筒内状態が辿っている。一方、 $T_{in}$ が225, 200と低下するに従って筒内状態も着火特性が燃料成分による影響を受ける低温領域に移る。このため $T_{in}$  200 の

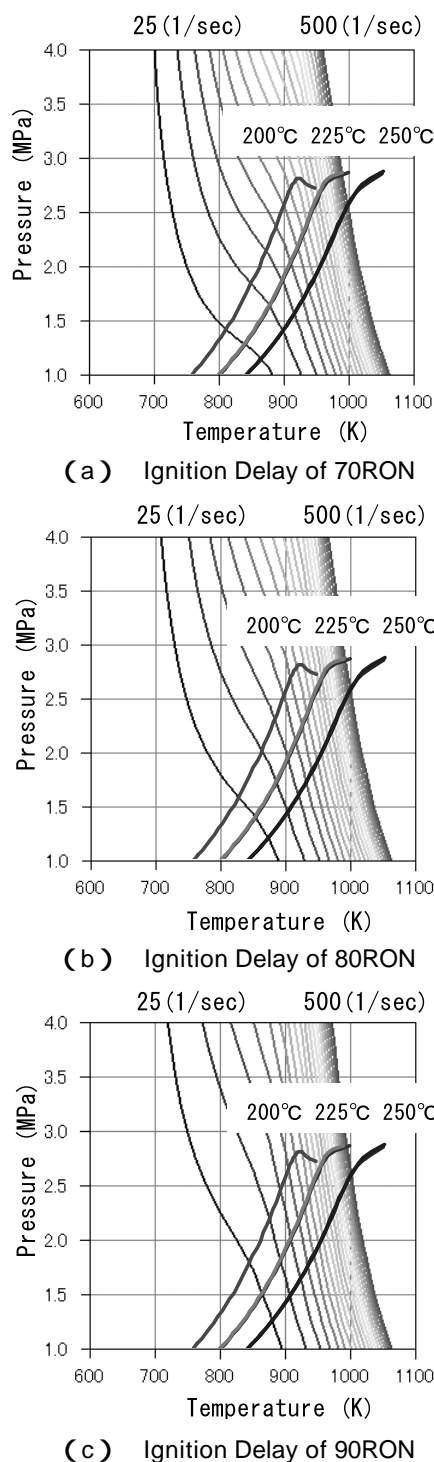


Fig.3 Ignition Delay at  $\lambda=4.5$  and In-Cylinder History of HCCI Combustion

条件で燃料による着火特性が最も異なる結果となった。このように高温領域では燃料による着火特性の差が小さくなるため、HCCI燃焼での着火特性を指標化する際には、RONとMONへの依存割合とともに、RONとMONに対する着火時期の感度そのものが筒内温度により変化することを考慮する必要がある。

3.2 SI燃焼

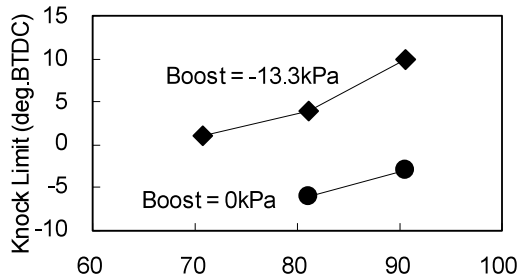
ガソリンHCCI機関で用いられる高圧縮比状態でのSI燃焼のノッキングに対する燃料の影響を解析するために、実験と数値計算を併せて行った。

(1) 実験結果

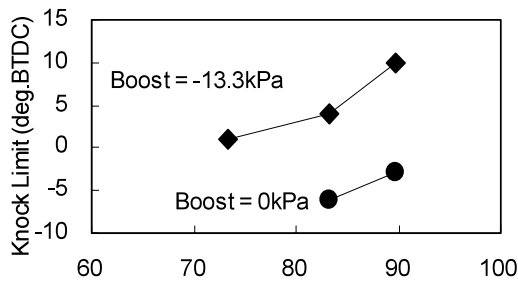
Fig.4に燃料のRONおよびMONとノッキング限界点火時期との関係を示す。全負荷では70RON燃料は点火時期前に自己着火するプリイグニッションを発生したので、スロットリングして70RON燃料のプリイグニッションが収まるまで負荷を下げた実験も行った。RON, MONともに、ノッキング限界点火時期との相関があった。

(2) 計算結果と考察

SI燃焼のノッキング限界点火時期と燃料特性の関係を考察するために、 $\phi$ が1.0の条件での着火遅れ時間の逆数をFig.5に示す。併せてエンドガス部の温度・圧力履歴を質量燃焼割合90%時点まで示した。高圧縮比でのSI燃焼ではノッキングを回避するためにTDC後に点火するため、TDCで筒内温度が最大となりエンドガス部の温度・圧力は低下しながらの燃焼となる。このためエンドガス部の温度・圧力履歴は燃焼期間中も圧縮行程とほぼ同じ領域を辿ることになり、その領域はFig.1に示したCFRエンジンでのRON計測時の温度・圧力履歴の領域(800K以下)に近

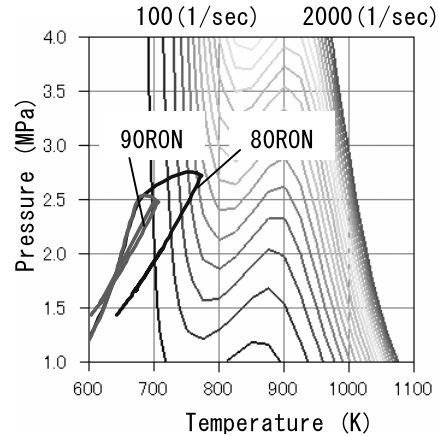


(a) RON

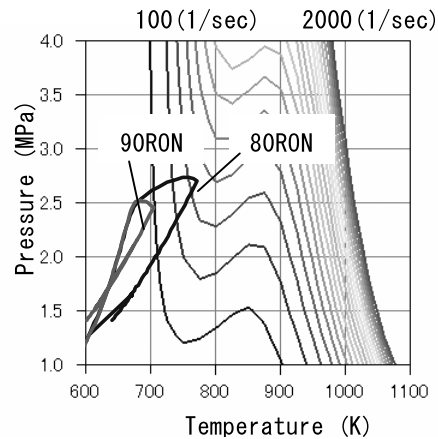


(b) MON

Fig.4 Comparison of Ignition Characteristics at 1500rpm



(a) Ignition Delay of 80RON



(b) Ignition Delay of 90RON

Fig.5 Ignition Delay at  $\phi = 1.0$  and In-Cylinder History of SI Combustion

い。したがって、高圧縮比状態でのSI燃焼であっても、ノッキング特性とRONとの相関がある結果になったと考える。また、今回の供試燃料ではTable 2に示すようにRONとMONの差が比較的小さい。これはパラフィン系成分のみで構成されたモデル燃料であるため、各供試燃料のRONを決める燃料の低温側の着火特性とMONを決める燃料の高温側の着火特性の両方が、Fig.1に示すオクタン価の異なる燃料の着火特性と同様であるためと考えられる。よって、結果としてノッキング特性がMONとの相関がある結果となったと考える。

(3) 高圧縮比のSI燃焼形態

Fig.6に全負荷の点火時期8deg.ATDCでの熱発生率を示す。火花点火の前にTDC付近で熱発生が見られる。80RON燃料の方がTDC付近での熱発生量が多いが、その後の熱発生率の差異はほとんどない。このTDC付近での熱発生による圧力上昇のために、Fig.7のP-V線図に示すように等容度が改善した。Fig.6の熱発生率から求めた等容度改善率は3%であり、このときの図示平均有効圧の改善率3%を充足する。その結果、Fig.8に80RON燃料と90RON燃料での点火時期と図示平均有効圧の関係を示すように、ノッキング限界点火時期での比較では90RON燃



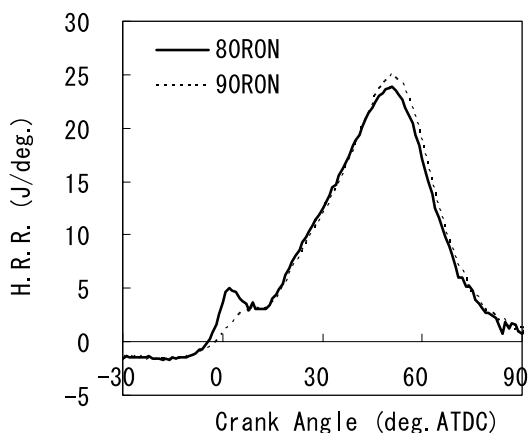


Fig.6 Comparison of H.R.R. at TDC (1500rpm WOT Ig.Timing 8deg.ATDC)

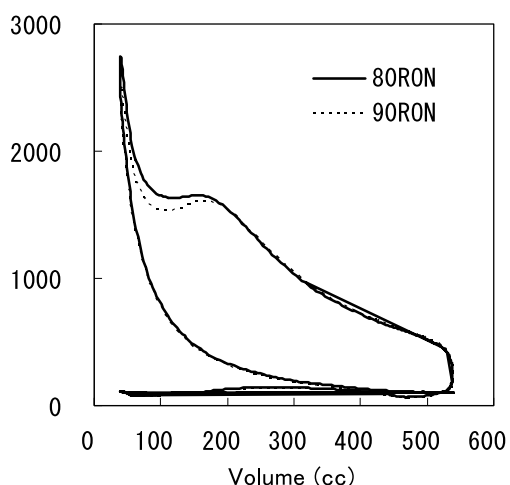


Fig.7 Comparison of Pressure-Volume Diagram (1500rpm WOT Ig.Timing 8deg.ATDC)

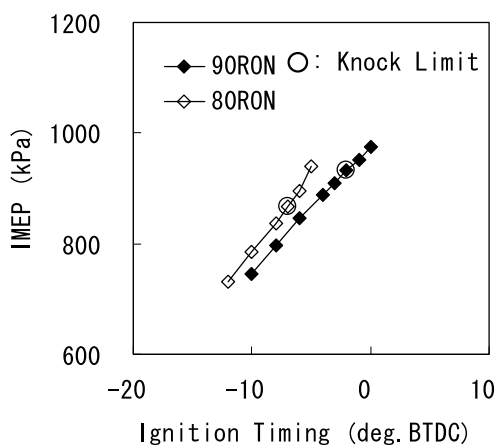


Fig.8 Characteristic of IMEP at 1500rpm WOT

料で高い負荷が得られたが、同一点火時期では80RON燃料で高い負荷が得られた。このように高圧縮比のSI燃焼時には通常の火炎伝播の前に熱発生が生じ、その直後に火炎伝播していく燃焼形態をとっている。そこで、数値計算を用いてこの燃焼形態を更に詳細に検討した。計算コードは数値熱流体コードKIVA-3V<sup>(6)</sup>にCHEMKIN-のサブルーチンを組み込んだ計算コードであり<sup>(7)</sup>、計算メッシュは供試

機関の燃焼室をモデル化したもので下死点において約2万3千セルである。化学反応計算のスキームには化学種109, 反応数591のChalmers Gasoline Surrogateスキームを用いた。燃料組成はPRFでオクタン価80とし、タンブル比0.5相当の初期流動で吸気弁閉時期から計算を行った。Fig.9に中間生成物の生成履歴を示す。実機点火時期の8deg.ATDCで初期燃料成分のイソオクタンとノルマルヘプタンの6割程度が分解し中間生成物が生成していることがわかる。この中間生成物が火炎伝播に及ぼす影響を明らかにするために、CHEMKIN-に上記のChalmers Gasoline Surrogateスキームを用いて1次元層流燃焼速度を計算した。中間生成物としては、低温酸化反応での代表的な生成物(CO, CH<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)と分解された炭化水素(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>, iC<sub>4</sub>H<sub>8</sub>)のみを考慮し、Fig.9の実機点火時期8deg.ATDCでの存在割合とした。上記以外の成分は不活性成分であるアルゴンで置換した。計算条件、計算結果をFig.10に示す。中間生成物を付加した条件では層流燃焼速度が低下した。中間生成物では分子中の炭素結合数が低下しているため燃焼温度が低下し層流燃焼速度が低下したと考えられる。更に温度を上昇させた条件では未燃部温度の上昇により層流燃焼速度が改善した。この結果から、中間生成物による層流燃焼速度低下の影響と筒内温度上昇による層流燃焼速度向上の影響が相殺して火炎伝播速度に有意差がなくなると考えられる。このため、Fig.6からもわか

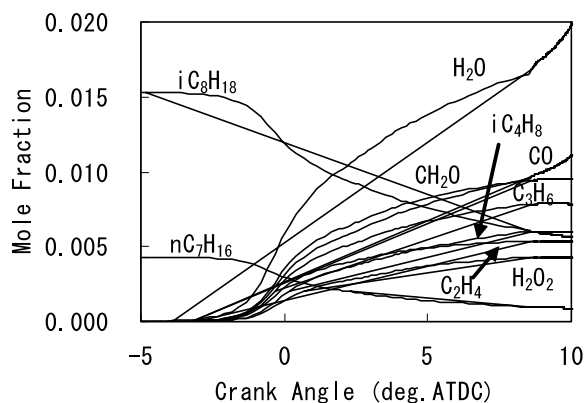
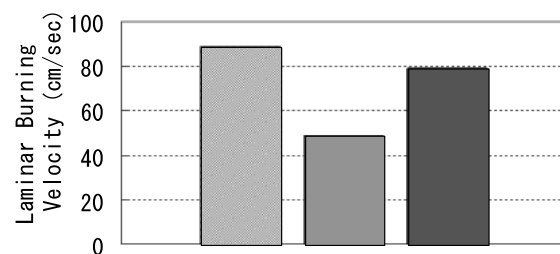


Fig.9 Calculated Chemical Species Histories



Intermediates	none	addition	addition
Temperature (K)	759.6	759.6	887.6
Pressure (MPa)	2.9	2.9	3.5

Fig.10 Comparison of Laminar Burning Velocity

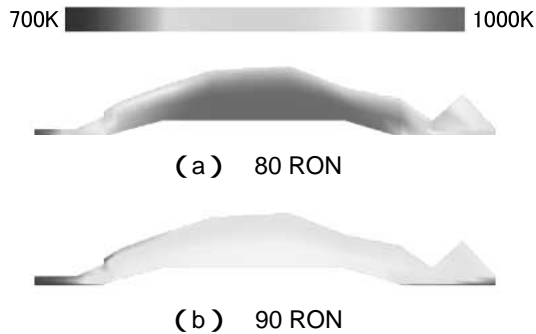


Fig.11 In-Cylinder Temperature Distribution at 8deg. ATDC

るように主燃焼期間はほぼ同一となる。次にこのTDC付近での熱発生がノッキングに及ぼす影響を考察する。Fig.5よりエンドガスの迎る領域の着火遅れ時間は圧力依存性が低く温度依存性が高いことがわかるため、エンドガス部の温度のみに着目した。TDC付近での熱発生によるエンドガス部の温度への影響を前述のKIVA-3VにCHEMKIN- のサブルーチンを組み込んだ計算により求めた。化学反応計算のスキームにはリデューススキームを用い、TDC付近での熱発生量を変化させるために燃料組成はPRFでオクタン価を80と90とした。Fig.11に8deg.ATDCでの燃焼室断面の温度分布を示す。オクタン価によりTDC付近での熱発生量が異なるため、発熱反応が起きている燃焼室中心部の温度は大きく異なるが、燃焼室外周部の温度は差が小さい。そのため、TDC付近の熱発生によっても、エンドガスの着火遅れを支配する火炎伝播中の温度履歴に大きな差は生じず、ノッキングに及ぼす影響は小さいものと考えられる。したがって、TDC付近の熱発生は、ノッキング限界を大きく悪化させることなく、等容度改善で図示平均有効圧の向上を図ることができる。

#### 4. まとめ

本研究では高圧縮比を備えたガソリンHCCI機関においてパラフィン系により構成されたモデル燃料を用いて、吸気加熱方式によるHCCI燃焼とSI燃焼のノッキングという二つの自己着火に対する燃料のオクタン価の影響を実験と数値計算により解析し以下の結論を得た。

- 1.HCCI燃焼においては、燃料の高温側の着火特性が支配的であり、吸入空気温度が上昇するに従い燃料による着火特性の差異は小さくなる。
- 2.高圧縮比のSI燃焼においては、燃料の低温側の着火特性が支配的である。このため高圧縮比のSI燃焼であっても、ノッキング特性がRONとの相関がある結果になった。
- 3.高圧縮比低オクタン価でのSI燃焼においてはTDC付近での熱発生が見られるが、これによる火炎伝播速度、エンドガス部の温度の差は小さい。このためTDC付近の熱発生は、ノッキング限界を大きく悪化させることなく、等容度改善で図示平均有効圧の向上を図ることができる。

なお、本研究を実施するにあたりコスモ石油(株)には燃料提供において、早稲田大学熱エネルギー反応工学研究室には数値計算においてご協力頂いたことを記し、謝意を表する。

#### 参考文献

- (1) Y.Urata et al. : A Study of Gasoline-Fuelled HCCI Engine Equipped with an Electromagnetic Valve Train, SAE paper No.2004-01-1898 (2004)
- (2) G.Shibata et al. : A Study of Auto-Ignition Characteristics of Hydrocarbons and the Idea of HCCI Fuel Index, Review of Automotive Engineering, 28, p.169-174 (2007)
- (3) G. T. Kalghatgi et al. : The Available and Required Autoignition Quality of Gasoline-Like Fuels in HCCI Engines at High Temperatures, SAE paper No.2004-01-1969 (2004)
- (4) R. J. Kee et al. : CHEMKIN- : A Fortran Chemical Kinetics Package for the Analysis of Gas Phase Chemical Kinetics, Sandia Report, SAND 89-8009 (1989)
- (5) S.Tanaka et al. : A reduced chemical kinetic model for HCCI combustion of primary reference fuel in a rapid compression machine, Combustion and Flame, 133, p.467-481 (2003)
- (6) A. A. Amsden : KIVA-3V : A Block-Structured KIVA Program for engines with Vertical or Canted Valves, Los Alamos National Laboratory report, LA-13313-MS (1997)
- (7) 草鹿ほか：詳細な素反応過程を考慮した数値流体コードによるディーゼル燃焼の数値解析 - 高速微分方程式ソルバーを用いた3次元シミュレーション - , 自動車技術会学術講演会前刷集, No.66-05, p.7-10 (2005)

#### 著者



養祖 隆



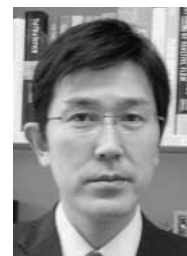
山川正尚



廣瀬敏之



田中重行



草鹿 仁

論文・解説

26

## ロータリエンジンの火炎伝ばに及ぼす点火プラグ配置の影響

Effect of Spark-plug Arrangement on Flame Propagation  
of Rotary Engine奥井伸宜<sup>\*1</sup> 高橋巧朋<sup>\*2</sup> 香川良二<sup>\*3</sup>

Nobunori Okui Yoshitomo Takahashi Ryoji Kagawa

田端道彦<sup>\*4</sup>

Michihiko Tabata

## 要約

自動車用エンジンのCO<sub>2</sub>排出量削減が叫ばれる中、ロータリエンジンの開発においては、ガソリンのみならず将来の燃料として水素も視野に入れた効率向上に取り組んでいる。ここで重要となるのは、燃料の種類によらないロータリエンジンの本質的燃焼特性の解明である。本研究では、可視化を中心とした取り組みによりロータリエンジンの燃焼特性を明らかにした。更に、燃焼特性を活かした燃焼改善を試み、ロータリエンジン燃焼の高効率化に対して新たな指針を得た。

## Summary

Amid calls for CO<sub>2</sub> emissions cut, our development activities of Rotary Engine (RE) are focused on the improvement in thermal efficiency for not only gasoline but hydrogen as a fuel for the future. What is particularly important here is to understand innate combustion characteristics of the RE which is unaffected by fuel components. In this paper, we observe combustion phenomena of RE in depth using an optical RE to clarify its combustion characteristics. Furthermore, based on this observation, we try to improve combustion performance taking advantage of the RE combustion characteristics. In the final chapter, new technical knowledge to improve RE combustion efficiency is described.

## 1. はじめに

低炭素社会への貢献のため、ロータリエンジン（以下RE）は進化を続けている。2003年に量産化した「RX-8」搭載のRE（RENEISIS）は、サイド排気方式の採用により熱効率とエミッションの大幅な改善を達成<sup>(1)(2)</sup>した。更に2006年に開発した「RX-8ハイドロジェンRE」は、CO<sub>2</sub>を排出しない究極のクリーン性能を実現<sup>(3)</sup>した。この車両はREの持つ多種燃料の対応に有利な特性を活かし、燃料の切り替えによる通常ガソリン走行も可能としている。今後、燃料の多様化が予測される中、更なる効率改善を実現するためにはREに備わる燃焼の基本特性に着目する必要がある。REの燃焼室は扁平で、しかも混合気の流動が一方向で非常に強い。このような独特の燃焼環境下で、確実に着火し効率的な火炎伝ばを実現する技術の確立が鍵となる。

本研究では、燃料にガソリンを使用し、REの燃焼室内を高速度撮影することにより火炎伝ば状態を詳細に把握し、REの独特な燃焼特性を明確にした。更に、点火プラグ

配置や数の変更が火炎伝ば特性に及ぼす影響を、燃焼シミュレーション、火炎の高速度撮影、および実機性能評価により明らかにした。

## 2. 実験装置およびシミュレーション概要

## 2.1 実機および可視化エンジン

実機REの基本諸元をTable 1、およびFig.1に示す。点火プラグはロータハウジング短軸よりも上側に位置するものを「Tプラグ」、下側に位置するものを「Lプラグ」、またロータ表面に設けた窪みを「リセス」と称する。

燃焼室内の火炎伝ば挙動の観測には、実機同条件で運転が可能な可視化REを用いた。この装置は実機2ロータREをシングルロータ化し、フロントサイドハウジングをサファイアガラスに置き換えることでエンジン内の観察を可能にしたものである。Fig.2に可視化REおよび計測システムを示す。エンジン内の燃焼計測には、カラーハイスピードカメラ（Phantom V7.1、撮影速度；12,000fps）を用い、燃焼火炎の自発光を撮影した。

\*1~4 パワートレイン技術開発部  
Powertrain Technology Development Dept.

Table 1 Engine Specifications

Engine Type	13B - MSP
Displacement	0.654L × 2rotor
Compression Ratio	10.0:1
Plug position	L plug ;23mm / T plug ;30mm

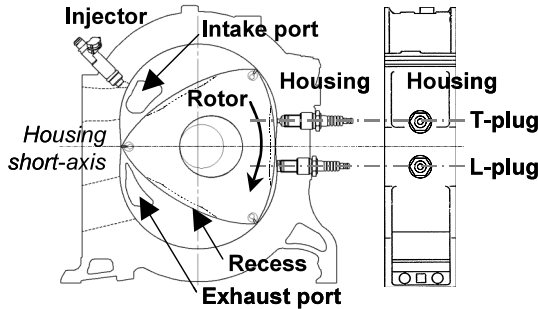


Fig.1 Rotary Engine (RE)

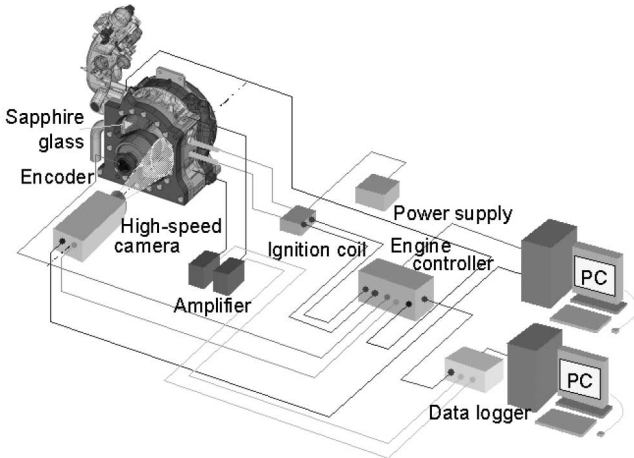


Fig.2 Optical RE & Peripheral Devices

2.2 燃焼シミュレーション

点火プラグ配置や多点点火の検討には、RE用の3次元燃焼シミュレーションを用いた。これはFig.3に示すように各点火プラグから発達する火炎面の挙動に対し、スキッシュ、熱損失およびガス漏れ過程を考慮するものであり、「RE燃焼シミュレーション」<sup>(4)</sup>をベースとしている。計算にあたっては、可視化により得られる火炎計測情報を基に火炎伝ばモデルの精度向上を図った。

3. REの燃焼過程

実用運転領域の代表点として、回転数1,500rpm、正味平均有効圧力294kPaにおけるREの熱発生をFig.4に示す。各プラグの点火時期は、L側/T側 = 20/15deg. BTDCを基本に、L側T側同時に±10deg.進角/遅角させた計3条件である。この図から、燃焼は大きく2段に分かれていることが分かる。60deg. ATDCまでの前半は点火時期との相関が見られ、これを「主燃焼」、60deg. ATDCからの後半は点

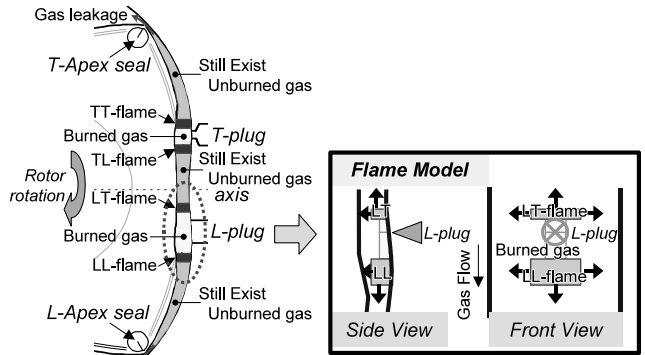


Fig.3 RE-Simulation Model

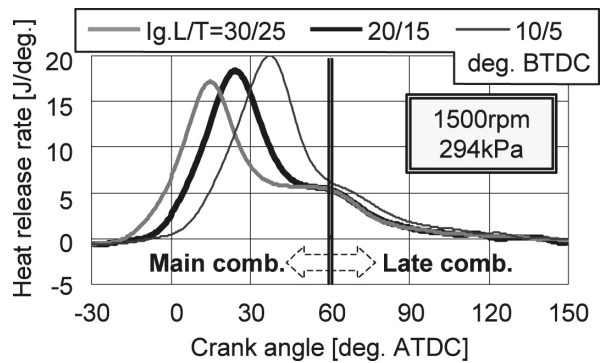


Fig.4 Heat Release Rate of Real RE

火時期によらず同等の傾向を示しており、これを「後期燃焼」とする。このような2段階の燃焼を示すことが、部分負荷領域におけるRE燃焼の特徴である。

ここで、基本点火時期L/T = 20/15deg. BTDCにおける燃焼の可視化結果を時系列画像でFig.5に示す。60deg. ATDCまでの「主燃焼」について、各画像から取得した火炎拡がり（10deg.毎の輪郭）をFig.5の右端図に示す。これより「主燃焼」では、L側T側いずれの点火プラグからの発生火炎もT側方向へは伝ばせず、L側方向へのみ拡がっていることが分かる。このことから、燃焼室内にはT側からL側に向かう非常に強い方向流れが存在するものと考えられる。そこで、CFD (Computation Fluid Dynamics) 計算により、同運転条件における燃焼室内のLプラグ、Tプラグ、および短軸の各位置でのロータハウジング近傍の流速を求めた。Fig.6にT側からL側への流速成分を示す。点火以降、燃焼室内の流速は最大40m/sに達しており、上流への火炎伝ばは困難であることがわかる。次に60deg. ATDC以降の「後期燃焼」について、Fig.5の各画像から火炎の拡がりと輝度を解析した結果をFig.7に示す。上段は「後期燃焼」開始の60deg. ATDC、下段は終了付近の90deg. ATDCである。点火時期はFig.4の実機熱発生と比較できるようにL/T = 30/25および10/5deg. BTDCを加えた。Fig.7左半分を示す火炎の拡がり、右半分を示す輝度から、「後期燃焼」は点火時期によらずほぼ同等であるが、その中でもL/T = 10/5deg. BTDCの燃焼が遅くまで広範囲で持

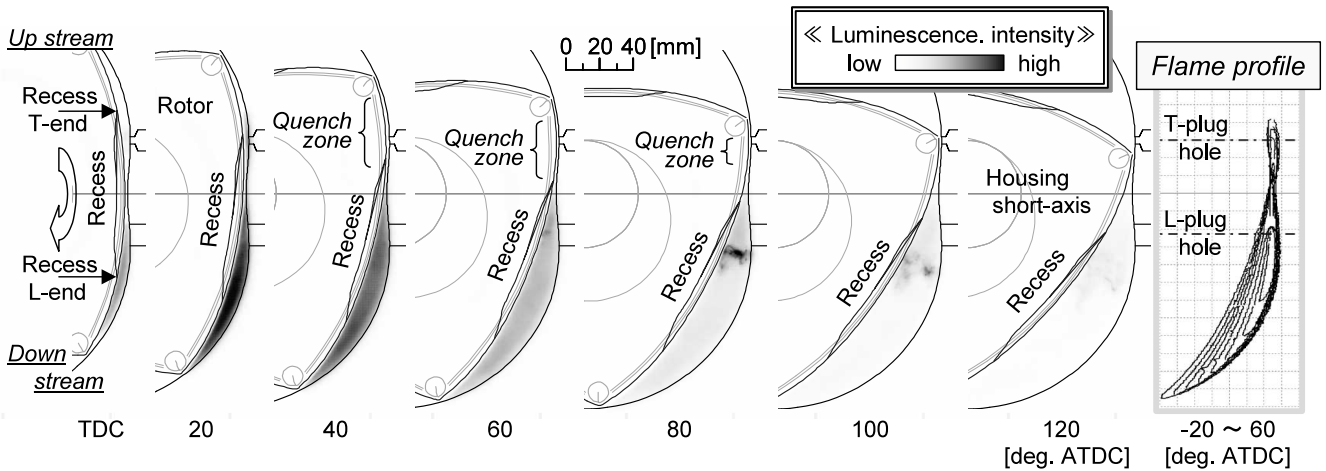


Fig.5 Direct Photographs of Flame Propagation (Optical RE)  
 <1,500rpm, 294kPa, Ignition Timings ; L/T = 20/15deg. BTDC>

続していることがわかる。これらはFig.4の実機熱発生生の「後期燃焼」と同傾向であり、両者の相関が確認できた。更にFig.7から「後期燃焼」には短軸から上流のT側空間に火炎が存在しないことが分かる。上流へ火炎が伝ばしないのは、T側空間が縮小することで発生するスキッシュ流に阻まれるためであり、T側空間の混合気はスキッシュ流として時間をかけて短軸下流域に押し出され、燃焼が後期まで持続するものと考えられる。ここで、火炎が伝ばしないT側空間をTクエンチゾーンと称する。

このように、「後期燃焼」はREの構造に起因する現象であるが、REの更なる高効率化を実現するためには、Tクエンチゾーンの混合気を任意のタイミングで燃焼させ、後期燃焼を低減する技術の確立が不可欠である。

#### 4. RE燃焼に及ぼす点火プラグ配置の影響

より高い燃焼効率を実現するため、点火プラグ配置が火炎伝ばに及ぼす影響を、燃焼シミュレーション、燃焼の高速度撮影、および実機性能評価により検討した。

##### 4.1 燃焼シミュレーション予測結果

計算条件は1,500rpm, 294kPaであり、Fig.8に示す「プ

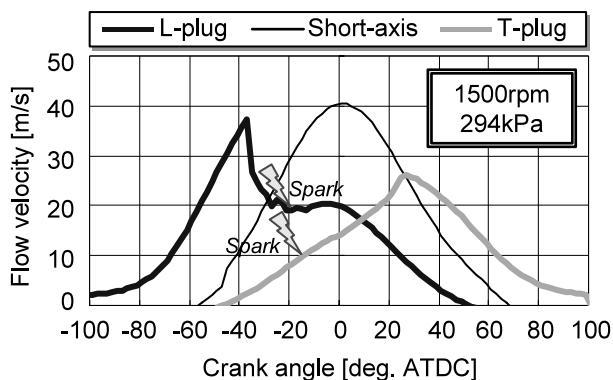


Fig.6 Flow Velocity in Combustion Chamber (CFD)

ラグ位置」および「プラグ本数」をパラメータとした。

まず、2本プラグにおいてLプラグ位置を短軸から下流方向、Tプラグ位置を上流方向に移動させた際の図示平均有効圧力の計算結果をFig.9に示す。ここでは、短軸下流23mmのLプラグと上流30mmのTプラグを組み合わせた基準配置からの改善率で示している。図のように、Lプラグを短軸側に配置し、同時にTプラグを短軸から離すことで効率が大きく改善する傾向が見られた。この結果を基に、2本プラグで高効率化が見込める配置としてLプラグを短軸下流23mm、Tプラグを上流67mm (以下「L23 + T67」配置) とした。次に、点火プラグ本数の影響を調べるために、Fig.10に示す3パターンを検討した。つまり「L23 + T67」を

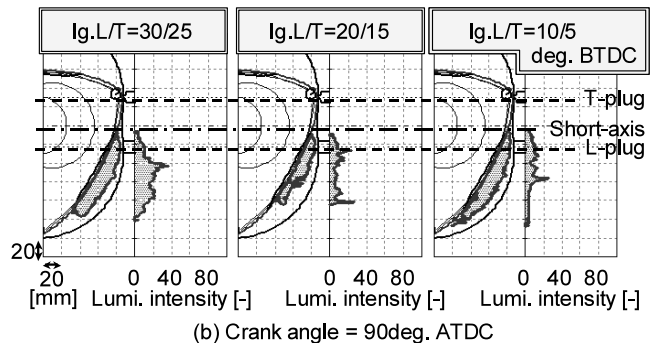
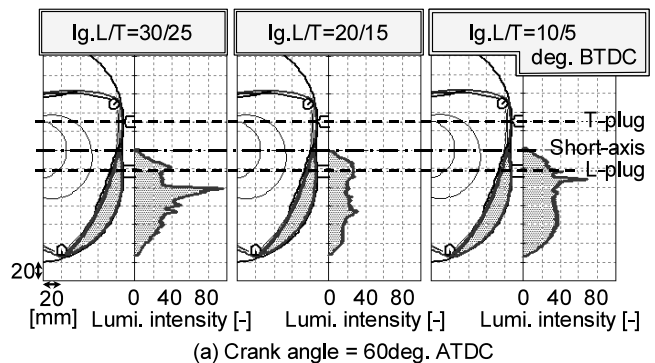


Fig.7 Flame Profile and Luminescence Intensity (Optical RE) <1,500rpm, 294kPa>

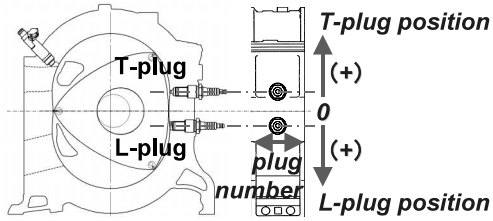


Fig.8 Spark-plug Position

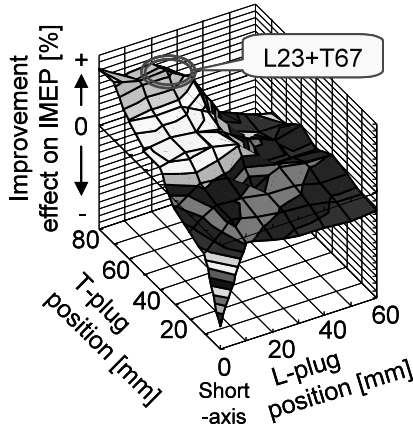


Fig.9 Effect of Spark-plug Positions (RE-Simulation) <1,500rpm, 294kPa, lg.L/T = 20/15deg.BTDC>

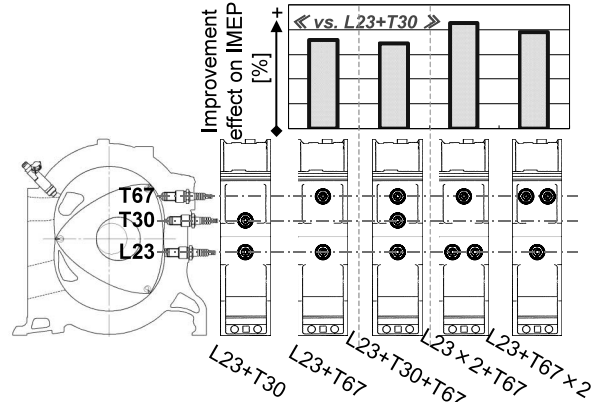


Fig.10 Effect of Spark-plug Arrangement (RE-Simulation) <1,500rpm, 294kPa, lg.L/T = 20/15deg.BTDC>

Table 2 Ignition Timing of Real RE

Plug position	Ignition timing [deg. BTDC]
L23+T30	L23 / T30 = 21 / 11
L23+T67	L23 / T67 = 19 / 12
L23+T30+T67	L23 / T30 / T67 = 19 / 0 / 0
L23 × 2 + T67	L23 × 2 / T67 = 18 / 14

ベースに①短軸上流30mmの位置にTプラグを追加する「L23 + T30 + T67」配置, ②L23プラグをハウジングの幅方向に1本追加する「L23 × 2 + T67」配置, ③T67プラグをハウジングの幅方向に1本追加する「L23 + T67 × 2」配置である。これらの図示平均有効圧力の計算結果を基準配置「L23 + T30」からの改善率でFig.10の上部に示す。「L23 + T67」配置と「L23 + T30 + T67」配置はともに改善を示すが、その差はほぼ同等である。このことから、現状の燃焼室のスケールでは、T側空間において流れ方向にはT67の1本プラグで十分であることが推測される。また、幅方向についてはL23, T67ともに2本化による改善が見られ、特にL23の2本化、つまり「L23 × 2 + T67」配置で最も大きな改善が確認できた。REの燃焼室内において幅方向の流動は非常に弱く、火炎伝ばも遅いため、プラグ追加による強制的な火炎面増加の効果が大きく現れたものと考えられる。

4.2 可視化解析結果

Fig.2に示す可視化REを用い、前節で導いた「L23 + T67」配置、「L23 + T30 + T67」配置および「L23 × 2 + T67」配置による燃焼改善の検証を基準配置である「L23 + T30」との比較で行った。取得した燃焼画像を数値化し火炎位置と輝度で表し、熱発生率とともにFig.11に示す。ここでは、時間変化を示すため横軸に回転角を、縦軸には火炎位置を取り、輝度をグレースケールで表している。縦軸はロータハウジングの短軸を原点としているため、出力軸の回転に伴いロータが移動する表記となる。よって、燃焼室内の位置関係が分かるように、ロータおよびリセスのT端/L端の

軌跡を图中に示した。ここで、Tプラグ火炎の上流側火炎面をTT火炎面、下流側火炎面をTL火炎面とし、Lプラグ火炎についても同様にLT火炎面、LL火炎面と定義する。熱発生率は横軸を共通に上部に示している。

運転条件は計算と同じく1,500rpm, 294kPaである。点火時期は、実機運転で熱効率が最高となるよう選択した。各仕様の点火時期をTable 2に示す。

まず、基準配置「L23 + T30」に注目すると、20deg. ATDC近傍でTL火炎面とLT火炎面とが衝突し、ロータL端にLL火炎面が、リセスT端にTT火炎面が到達している。その狭い空間内で燃焼が進行する際に熱発生はピーク値を示し、その後の30deg. ATDCあたりまで短軸下流50mmを中心とした空間で輝度が高くなっている。このL側空間の活発な燃焼が3章で述べた「主燃焼」である。一方、全行程におよびリセスT端より上流には輝度反応がなく、この空間がクエンチゾーンである。この未燃混合気はT側空間のスキッシュにより下流側に押し出され、60deg. ATDC以降、短軸下流40mmを中心とした空間に高輝度反応が認められる。この燃焼は長期化し、150deg. ATDC付近まで低輝度の拡がり確認できる。これが3章で述べた「後期燃焼」である。

次に、「L23 + T67」配置と基準配置「L23 + T30」を比較する。「L23 + T67」配置の熱発生率は、「主燃焼」において熱発生ピーク時期(30deg. ATDC)が遅れるとともに「後期燃焼」が減少している。火炎からも主燃焼のピーク、つまりL側空間の輝度の高いタイミングが遅れ側に移動していることがわかる。基準配置に見られるように、主燃焼のピークはTL火炎面とLT火炎面の衝突後に生じるが、「L23 +



T67」配置ではT側の点火位置が上流に移動したため、衝突までの期間が長期化したことがピーク遅れの要因と考えられる。また、20deg. ATDCでの短軸上流40mmを中心とした空間では、基準配置で見られなかった燃焼が生じている。これは、基準配置で火炎が進行しなかったクエンチゾーンにあらかじめ火炎を発生させたことで、流動に乗る形で火炎伝ばし、これによりクエンチゾーンが縮小したためである。このため「後期燃焼」、つまり基準配置に見られた60deg. ATDC以降の短軸下流40mmを中心とした空間の火炎は、その輝度と範囲が縮小している。このように、強い一方向の流れ場での燃焼については、Tプラグの上流配置で

「後期燃焼」を低減できることが確認できた。

「L23 + T30 + T67」配置に注目すると、熱発生率は「L23 + T67」配置と同様に「後期燃焼」の減少を示すが、その効果は目減りしている。この仕様ではT30とT67プラグの点火時期が他の仕様のTプラグに比べ約10deg.遅くなっている。T側の2ヶ所の点火が、熱発生初期の急激な上昇による冷却損失の増大をもたらすためと考えられるが、この点火遅延のためT67はより狭い空間で着火することとなり、火炎の成長が阻害され、TL火炎面の下流への伝ばが遅くなっている。また、Fig.6から点火時期の流動はより強くなるのが分かるが、そのためT30のTT火炎面は下流に流され

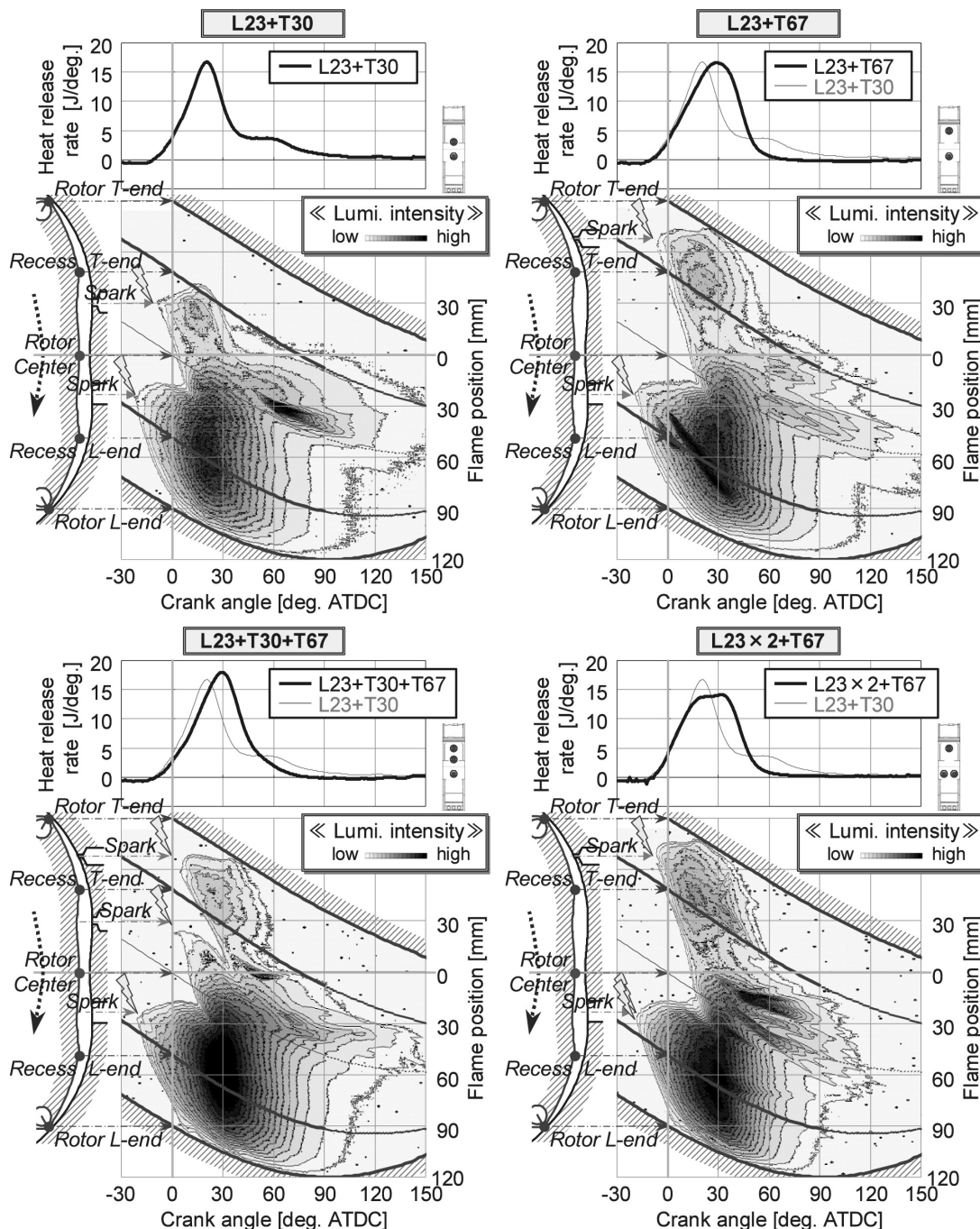


Fig.11 Combustion Characteristics Obtained by Optical RE <1,500rpm, 294kPa, lg.L/T = Torque Best>



ている。これらの理由によりTDCから約30deg.の間、T30とT67の間には火炎が存在しない領域が発生する。これが「L23+T67」配置に比べ「後期燃焼」が若干増加した要因と考えられる。このように、流れ方向のプラグ3本化においてはT側2本の効果を十分に活かすことができず、TプラグはT67プラグ1本の配置で十分であることが確かめられた。

更に、「L23×2+T67」配置に着目すると、熱発生率は立ち上がりで基準配置と同等の傾向を示すが、全体的に台形型となり、「後期燃焼」が低減し、燃焼期間の短縮が達成されていることが分かる。火炎を見ると、Lプラグによる燃焼は30deg. ATDC、短軸下流50mmを中心とした空間で生じ、他の3仕様と比べ領域に大差はないが、その輝度は高い。同じT67プラグを有する「L23+T67」配置に比べ、LL火炎面のL側への伝ばが速いことも確認できる。これらは、Lプラグの2本化でロータ幅方向への火炎面積が増大し、これによる燃焼室内の雰囲気温度上昇が燃焼を促進させたためと考えられる。その効果はT側にも現れており、20deg. ATDC、短軸上流40mmを中心としたTプラグ火炎の輝度が「L23+T67」配置に比べて高まっている。熱発生量の台形型の立ち上がり部分は、このTプラグ火炎の活発な燃焼の現れである。TL火炎面とLT火炎面とが衝突した後の輝度も高く、これもLプラグの2本化の効果と考えられるが、このことが一定期間熱発生の低下を抑え台形型の上底部を形成する要因となっている。そして、4仕様の中で最も早い120deg. ATDC付近で燃焼が終結している。つまり、Tプラグの上流配置による流動を活用したTクエンゾーンの低減、Lプラグ2本化によるTクエンチゾーンも含めた燃焼の促進、これらにより「後期燃焼」を早期に終結させることが確認できた。

#### 4.3 実機性能評価結果

上節のプラグ配置が正味燃料消費率に与える影響を、実機台上試験より確認した。Fig.10の計算結果と同様に、基準配置からの改善率でFig.12に示す。全ての仕様で改善が見られるが、「L23+T67」配置と「L23+T30+T67」配置はほぼ同等で、「L23×2+T67」配置が最も高い改善を示す。このように、実機性能においても燃焼シミュレーションと同様の傾向が得られ、燃焼改善が確実に正味燃料消費率の改善に反映されることが確認できた。

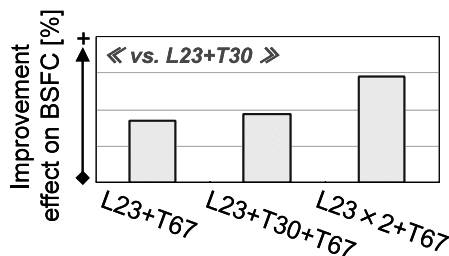


Fig.12 Performance of Real RE  
<1,500rpm, 294kPa, lg.L/T = Torque Best>

## 5. まとめ

ロータリエンジン (RE) の燃焼効率を更に高めるため、実機評価および可視化実験により火炎伝ばの状態を把握し、高効率化が期待できる点火プラグ配置を燃焼シミュレーションを用い検討した。得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 部分負荷領域で見られるRE特有の「後期燃焼」は、強い一方向流れにより火炎伝ばしない燃焼室T側混合気の燃焼遅れであることが確認できた。
- (2) 一方向流れの上流にTプラグを配置することで、Tクエンチゾーンの未燃混合気をあらかじめ燃焼させることができる。これにより「後期燃焼」が低減する。
- (3) 点火プラグを2本のまま一方向流れの上流にTプラグを移動する場合と、上流にTプラグ追加しプラグを3本とする場合の効率的な差は少ない。流れ方向には2本のプラグで効率的な火炎伝ばが可能である。
- (4) 幅方向の流動は弱いため、Lプラグを追加することで効果的に主燃焼火炎を上げられる。更にTクエンチゾーンの燃焼活性化も図れ、「後期燃焼」の早期終結が可能となる。

## 参考文献

- (1) 田島ほか：サイド排気ポート方式ロータリエンジンの概要，マツダ技報，No.21，p.18-23 (2003)
- (2) 植木ほか：新開発ロータリエンジンにおけるアイドル燃費改善とその要素技術，自動車技術会論文集，Vol.36，No.1，p.139-144 (2005)
- (3) 柏木：水素エンジン車の開発，自動車技術，Vol.62，No.11，p.53-57 (2008)
- (4) 長尾ほか：ロータリエンジンの火炎伝ばとノックの解析，マツダ技報，No.4，p.69-78 (1986)

## 著者



奥井伸宣



高橋巧朋



香川良二



田端道彦

論文・解説

27

## エンジン摺動部材の低摩擦表面処理の開発 Development of Low-Friction Plating for Engine Sliding Parts

谷田 芳夫\*<sup>1</sup> 角島 信司\*<sup>2</sup>  
Yoshio Tanita Shinji Kadoshima

### 要約

エンジン燃費改善のため燃焼室摺動部材の低摩擦化に取り組み、ロータリエンジン(以下RE)のロータハウジング摺動面を対象に摩擦摩耗特性を改善させる高速Cr-Moめっき処理を開発した。高速めっき法は、めっき浴に触媒を添加し析出効率を高めるもので、主に生産性向上を狙いとした手法であるが、従来めっきと対比しためっき皮膜の摩擦摩耗特性やその影響要因は明らかではなかった。そこで、高速めっき法によりめっき条件の制御範囲が広がることに着目し、品質工学を用いてめっき皮膜を低摩擦化させるようプロセス条件を最適化した。更に、皮膜の微細構造解析から、摩擦低減効果が高い皮膜応力による摩擦過程での酸化膜の脱落の抑制およびアプレッシブな摩擦の軽減に起因することを明らかにした。本開発めっきを実機REに適用することにより、燃費改善と摺動面の耐摩耗性改善に有効であることを確認した。

### Summary

We applied an approach to lower the friction loss aiming at improving fuel efficiency, and developed a high-deposition-rate Chromium Molybdenum(Cr-Mo) plating for rotary engine(RE). A Cr-Mo-plated RE rotor housing processed in a catalyst-added plating bath showed far-improved wear and friction properties than that processed in a bath with no catalyst added, while both rotor housings had the same hardness level. However, wear and friction mechanisms were still not clear. A micro-structural analysis of plating shows that a high compressive residual stress inhibits oxide film debris falling off, resulting in reduced wear and friction. It is confirmed that the newly-developed plating is effective in improving both wear resistance and fuel economy when it is applied to RE.

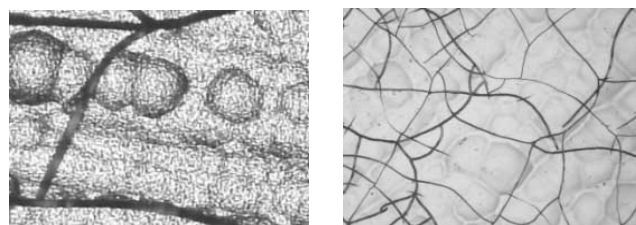
### 1. はじめに

エンジン摺動部の抵抗低減は自動車の燃費改善手段の一つとして重要であり、これらの摺動部材には高い耐摩耗性と同時に低摩擦性が求められている。硬質クロム/クロムモリブデン(Cr/Cr-Mo)めっきは比較的安価で摩擦摩耗特性の優れた表面処理であるが、今後の自動車エンジンにおける更なる負荷増大を想定した場合、その摩擦摩耗特性を現在以上に改善するための有効な手段は見出されていない<sup>(1)</sup>。

そこで、新たな視点として、Cr/Cr-Moめっきの皮膜物性の最適制御を狙いに高速めっき法に着目した。高速めっき法は元来、めっき浴に触媒を添加してめっき析出速度を高めること(生産性向上)を目的とした処理法であるが、CrやCrの合金めっき浴では触媒種やめっき条件によってめっき皮膜硬度<sup>(2)</sup>やめっき析出形態<sup>(3)(4)</sup>が変化することが知られている(Fig.1)。これらを最適に制御できれば摩擦摩

耗特性の改善に有効と考えられるが、これまでこのような視点からの検討はほとんど行われていない。

本研究では、REロータハウジングに用いるCr-Mo合金めっきを対象に高速めっき法を適用して、皮膜物性を最適に制御した新たなめっき皮膜の開発を試みた。皮膜物性の最適制御には品質工学を適用し、従来めっきと対比して摩擦摩耗特性を評価した。また両者の摩擦摩耗特性の相違について皮膜の構造解析から考察を行った。



Sargent Bath Sargent Bath Containing Catalyst  
Fig.1 Surface Texture of Plating

\*1 パワートレイン技術開発部  
Powertrain Technology Development Dept.

\*2 技術研究所  
Technical Research Center

## 2. 高速Cr-Moめっき皮膜の開発

### 2.1 開発アプローチ

めっき皮膜の摩擦摩耗特性には結晶構造や硬さ等の材料要因（皮膜物性）が影響し、これらの材料要因は製造要因（めっき条件）によって決定される（Fig.2）。現状では材料要因の影響度が明らかでないため、まず直接制御可能な製造要因について品質工学を用いて最適化を行った。次いで最適化されためっき仕様の皮膜物性や微視的構造を解析することにより、摩擦摩耗特性改善の考察を行った。

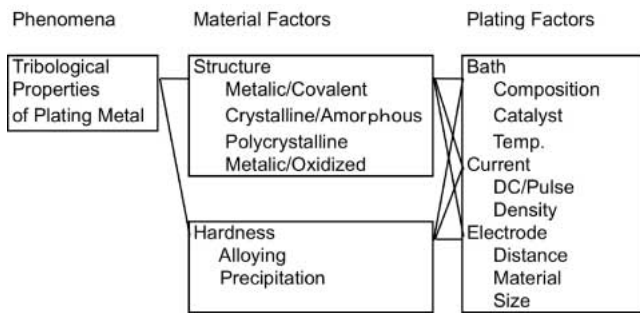


Fig.2 Factors for Tribological Properties

### 2.2 実験方法

#### (1) 高速Cr-Moめっき皮膜の形成方法

Cr-Mo合金めっき用の触媒として、鉛（Pb）電極の損耗が少なく劣化安定性に優れた有機スルホン酸の中からメタン・ジ・スルホン酸： $\text{CH}_2(\text{SO}_3)_2$ を選定した。Cr-Mo合金めっきは、Table 1に示すサージェント浴の浴組成で処理した。めっき浴に添加する触媒量を0~6.6g/Lの範囲で調整し、摩擦試験片（S45C材）に5時間めっきした。触媒量0g/Lが現行めっき条件に相当する。

Table 1 Bath Composition

CrO <sub>3</sub>	260g/L
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.9g/L
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	60g/L
CH <sub>2</sub> (SO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0~6.6g/L

#### (2) 高速Cr-Moめっき条件の最適化方法

品質工学における基本機能として荷重に対する摩擦力を設定<sup>(5)</sup>した。高速めっきの製造要件（触媒添加量、浴温、電流密度、極間距離）を制御因子とし、荷重、すべり速度、潤滑条件を誤差因子に割り付けて評価した。また、めっき条件が皮膜硬度に及ぼす影響を確認した。

#### (3) 摩擦摩耗試験方法

めっき皮膜の摩擦摩耗特性は、Fig.3に示すピンオンディスク摩擦摩耗試験機を用いて評価を行った。エンジン燃焼室構成部材を想定したディスク試験片にCr-Mo合金めっきを処理した後、粗さRa0.02 μmに仕上げた。燃焼室構成

部材と摺動するシール材を想定した3本のピン試験片（幅5mm，先端2R）にはチル鑄鉄材を用いた。

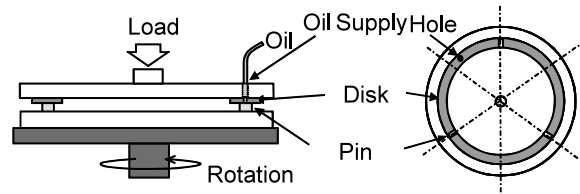


Fig.3 Pin on Disk Test

潤滑油は、0W-20エンジンオイルを用い、ディスク摺動面に加工したポート穴から一定量供給した。摩擦力は荷重と回転数の保持区間中の平均値とした。ピン摩耗量は、試験前後のピン高さの計測から求めた摩耗高さとした。めっきの摩耗は、摺動痕断面を粗さ計で計測した断面深さとした。

#### (4) めっき皮膜構造の解析方法

X線回折装置（XRD）Mo-K 線を用いて、めっき皮膜の結晶構造を解析し、X線残留応力測定装置Cr-K 線にてCr（222）の回折線の変化から皮膜応力を計測した。めっき摺動面の状態は、X線光電子分光法（XPS）により分析を行った。摺動面に形成された酸化膜の厚さは、集束イオンビーム加工装置（FIB）にて試験片断面を切り出し、電解放射型透過電子顕微鏡（TEM）で計測した。

## 3. 高速Cr-Moめっき皮膜の摩擦摩耗特性

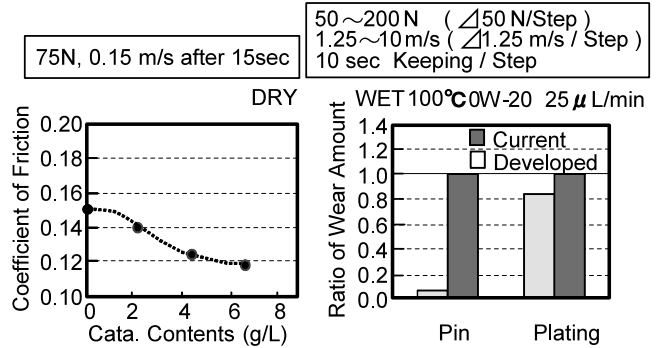
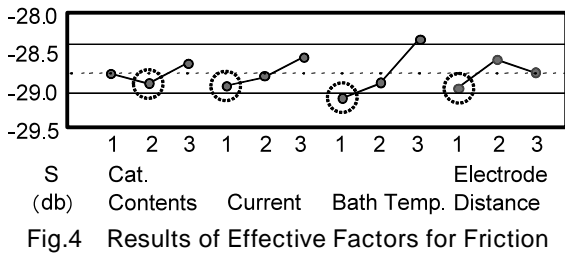
### 3.1 品質工学適用によるめっき条件の最適化

実験計画で割り付けた制御因子と実験水準一覧をTable 2に示す。触媒量はめっき表面性状の調整に有効な範囲内で設定した。通電量と浴温はめっき表面性状が光沢状となる上下限で調整した。また、電極間距離は現実的な部品レイアウトを考慮して設定した。これらをL9直行表に割り付け、50，75，100Nの押し付け荷重に対する摩擦力を動特性で評価し、摩擦力の低減に有効な因子を解析した。

Table 2 Test Level of Condition

		Level		
		1	2	3
A	Cat. Contents	2.2g/L	4.4g/L	6.6g/L
B	Current	35A/dm <sup>2</sup>	40A/dm <sup>2</sup>	45A/dm <sup>2</sup>
C	Bath Temp.	55°C	60°C	65°C
D	Electrode Distance	20mm	25mm	30mm

摩擦力低減の指標となる感度（S）の要因効果をFig.4に示す。図中の破線印が摩擦力低減に有効な条件である。また、図中破線からのずれが改善代を示しており、低くなるほど摩擦低減に有効なことを示す。触媒量の調整に比べて、浴温が低いこと、電流密度が低いこと、極間距離に近いことの方が、摩擦低減効果が大きい。



耐摩耗性の指標としては、皮膜硬度が重要である。皮膜硬度を望大とした時の要因効果をFig.5に示す。図中破線からのずれが高くなるほど硬度アップに有効である。浴温と電極間距離の改善代が極めて少ないことから皮膜硬度に作用しないと判断した。一方、触媒添加量の水準1と水準2は改善代が同程度で高い。電流密度は低くなるほど改善代が大きい。

Fig.6 Results of Friction and Wear Test

ることが分かった。

#### 4. 高速Cr-Moめっき皮膜の構造解析と考察

##### 4.1 めっき皮膜の構造解析結果

##### (1) めっき皮膜の結晶構造 (XRD)

Fig.7にめっき皮膜構造を解析した結果を示す。触媒添加によりCr (211) が弱まり、Cr (222) に強く配向した。また、Cr (220), Cr (310) は非常に微弱であり検出されなかった。めっき条件により、Crの結晶構造が体心立方構造 (BCC) から六方最密充填構造 (HCP) に変化することが報告されている<sup>(6)</sup>が、今回、新たに触媒の添加量がBCC結晶の配向性に影響することが分かった。

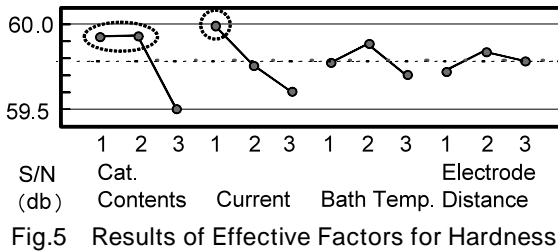


Fig.5 Results of Effective Factors for Hardness

以上、Fig.4とFig.5の結果より、触媒量4.4g/L、電流密度35A/dm<sup>2</sup>、浴温60°、電極間距離20mmの条件を、耐摩耗性が高く、かつ摩擦が低減できる高速めっき最適仕様とした。めっき特性の一覧をTable 3に示す。

Table 3 Results of Cr-Mo Plating Properties

Cat.Contents	Coefficient of Friction	Hardness	Deposition Rate
0g/L	0.062	Hv 1006	23.2 μm/Hr
2.2g/L	0.052	Hv 984	41.1 μm/Hr
4.4g/L	0.051	Hv 984	41.0 μm/Hr
6.6g/L	0.053	Hv 972	41.2 μm/Hr

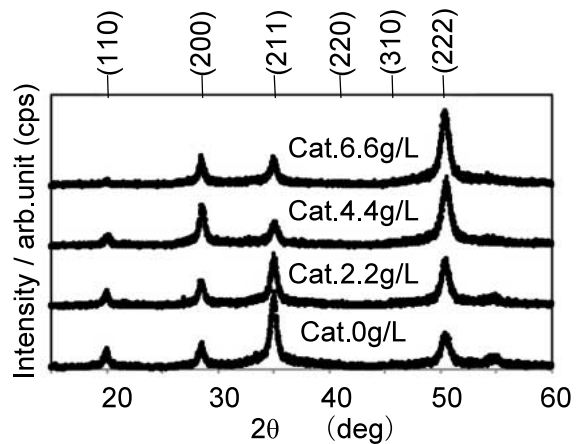


Fig.7 X-ray Diffraction Pattern

##### 3.2 高速Cr-Moめっき皮膜の摩擦摩耗特性評価

Fig.6にめっき皮膜の摩擦摩耗特性の評価結果を示す。

材料そのものの摩擦特性を評価するため無潤滑条件で摩擦試験を実施した。めっき皮膜の摩擦特性は、触媒添加量を増した仕様ほど摩擦係数が低下する傾向を示した (Fig.6左)

次に、実機におけるシールの荷重とすべり速度の変動を模擬した摩擦試験で、耐摩耗性を評価した結果をFig.6 (右) に示す。現行めっきのピン摩耗高さ、めっき摩耗断面深さ基準にして、高速めっきの性能を比較した。これから、高速めっき皮膜は、現行めっきに比べてピン材の摩耗が1/10以下に低減し、めっき自身の摩耗も2割程度改善す

次に、皮膜の残留応力を測定した結果、触媒添加により圧縮残留応力が増加した。残留応力と(222)面への結晶配向率との関係で整理すると、(222)面への配向率が高いほど圧縮残留応力が大きくなった (Fig.8)。Crめっきの膜厚や製造条件が皮膜の内部応力を高めることが報告されている<sup>(7)</sup>が、Fig.8で計測された(222)面への配向率が高い応力ではなかった。これらのことから、今回用いた触媒の添加は、結晶配効率および内部応力の調整に有効に作用する因子であることが分かった。

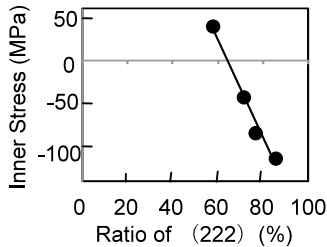


Fig.8 Correlation of Residual Stress vs (222)

(2) めっき摺動面の酸化膜の化学状態 (XPS)

めっき摺動面には、カーボン (C)、酸素 (O)、Cr、Moのピークが観察され、C、O、Crの強度が高いことが分かった (Fig.9)。Cr、Moはめっきの構成元素であり、Cのピーク (C1s) は、潤滑油基油の分解生成物と考えられる。また、相手材のFeや潤滑油極圧剤に由来する元素 (Zn、S) は、検出されなかった。

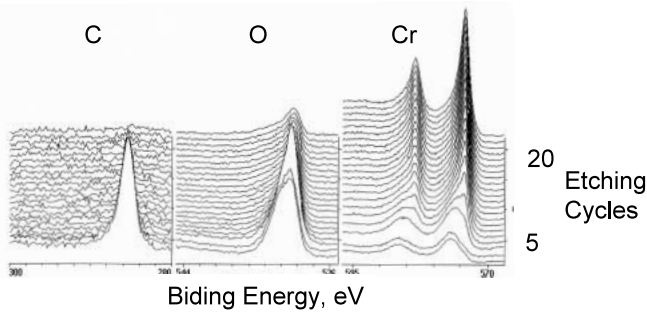


Fig.9 Surface Analysis of Sliding Surface

次に、アルゴン (Ar) を用いて3nmエッチングした後の電子スペクトルをFig.10に示す。Cr<sub>2</sub>p<sub>3/2</sub>のピーク位置を確認した結果、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( : 576.8eV) に一致した。また、高速めっきでは、Cr ( : 574.4eV) の弱いピークを認めた。

高速めっきでは、Arエッチングの時間経過に応じてCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( ) のピークが消失し金属状態のCr ( ) が主となるのに対して、現行めっきは、10min以上ArエッチングしてもCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( ) は消失しなかった。これらの差異から、めっき表面に形成された酸化膜は、現行めっきよりも高速めっきの方が薄いことが分かった。

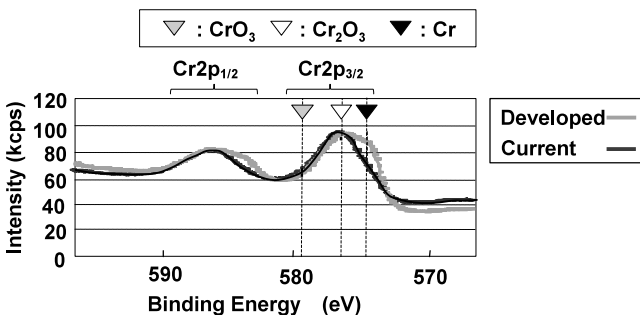


Fig.10 Cr Spectrum of Plating after Sliding

(3) めっき摺動面の酸化膜厚さ (TEM)

Fig.11に摺動面断面を観察した結果を示す。上部の白層部をエネルギー分散型X線分析により定性分析した結果、主成分としてCrとOを検出した。また、白層部を電子線回折で確認した結果、回折点が観察されず非晶質な状態であることが分かった。

断面観察から酸化膜の厚さを推定すると、現行めっき (Fig.11左) の酸化膜厚さ約50nmに対し、高速めっき (Fig.11右) は5nmとなった。XPSのArスパッタの傾向と一致することから、高速めっきでは摺動面の酸化膜厚さが薄くなっている。また、めっき基材を高分解能のTEMで詳細に観察すると、ナノメートルオーダーのポイドが観察され、触媒添加量に応じてポイドの数密度が増える傾向となった。

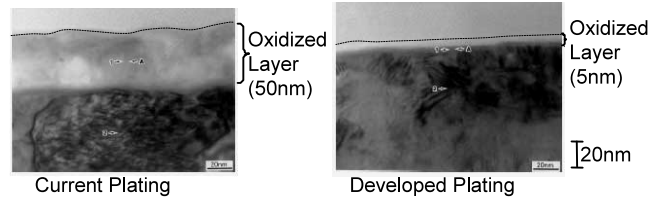


Fig.11 Cross Sectional of Oxidized Layer

4.2 高速Cr-Moめっきの摩擦摩耗特性の考察

硬質Cr/Cr-Moめっきの摺動特性の改善は、めっき皮膜が硬質なことと表面に形成される強固な不動態皮膜 (酸化膜) が金属同士の接触を妨げるためと考えられている。皮膜硬度が高まる理由として、めっき中に発生する水素 (H) が、皮膜中に固溶することで金属格子を歪ませるためと報告されている<sup>9)</sup>。

以上のことを踏まえ、酸化膜の破壊過程に着目し、高速Cr-Moめっきの摩擦摩耗改善のメカニズムを考察する。

めっき浴に触媒を添加すると原子が密に充填された(222)への配向が強まる<sup>10)</sup> (Fig.12左)。その皮膜中で金属格子間に侵入した水素が集まりナノポイドを形成すると、めっき皮膜内部を更に押し広げるよう作用する (Fig.12右)。これらの働きにより、高速めっきにおいて高い圧縮応力が発生すると推定する。めっき表面に高い圧縮応力が加わると表面が割れづらくなり、クラックが生じた場合にもその伸展を抑制する。これにより、摩擦摩耗過程における酸化膜の破壊や脱落が抑制される。

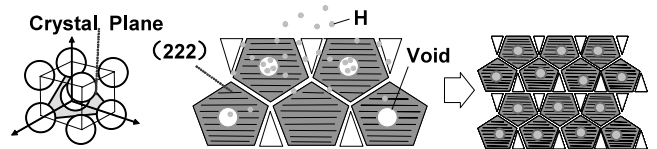
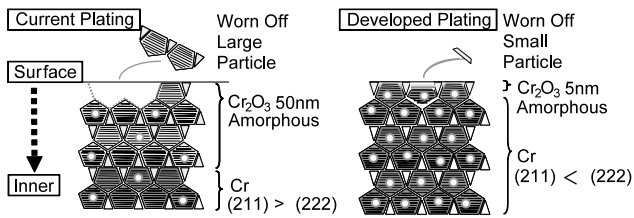


Fig.12 Mechanism of High Compressive Inner Stress

高速Cr-Moめっきでは、酸化摩耗粉の減少と微細化により厳しい潤滑条件下でのアブレッシブな摩耗に起因する摩擦係数の増加を軽減している (Fig.13)。



- (1) (222) Ratio & NanoVoid ◦ Increase Inner Stress
- (2) Highly Inner Stress Prevents Forming Cracks and Keeps Rigidly Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on Cr
- (3) Smaller Particles Worn off Decrease Abrasive Friction and Wear

Fig.13 Wear Mechanism of Oxidized Cr Plating

### 5. 実機エンジンでの効果検証

開発した高速Cr-MoめっきをRE型式13B-MSPのロータハウジング (トロコイド面) に適用して摩擦特性と耐摩耗性を評価した (Fig.14)。摩擦低減効果はエンジン回転数1,500rpmの燃料消費率で評価し、耐摩耗性は冷間から急加減速を繰り返す潤滑条件の厳しい試験モードを用いて評価した。

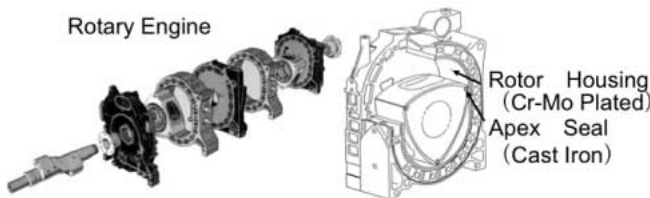


Fig.14 Application of New Plating to Rotary Engine

エンジン試験結果、高速Cr-Moめっき仕様は現行めっき仕様に比べて約1.5%の燃費改善効果が確認できた。また、耐摩耗性は、現行めっきに比べて特にアベックスシール側の摩耗が大幅に低減されることを確認した (Fig.15)。

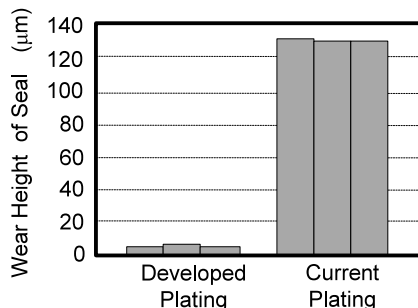


Fig.15 Wear Height of Apex Seals after Engine Test

### 6. まとめ

- (1) 高速Cr-Moめっきをベースに、品質工学を適用して皮膜物性を最適に制御した低摩擦耐摩耗皮膜を開発した。
- (2) 開発したCr-Moめっきによる摩擦摩耗特性の改善は、めっき皮膜の結晶構造に起因する高い皮膜応力が摩擦過程における酸化膜の脱落を抑制し、アブレッシブな摩耗を軽減することによると考えられる。
- (3) 開発したCr-Moめっきを実機 (REロータハウジング) に適用し、燃費改善と耐摩耗性向上に有効なことを確認した。

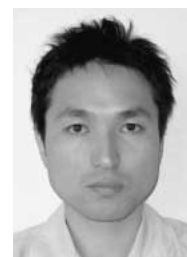
### 参考文献

- (1) 古川直治：複合めっきの現状と将来，表面技術，Vol.51，No.11，p.1056-1061 (2000)
- (2) 小林裕一：クラックフリークロムめっき技術，表面技術，Vol.56，p.334-341 (2005)
- (3) R.K.Guffie：The Hand Book of Hard Chromium Plating, p.132 (1986)
- (4) H.Chessin, et al.：U.S.Patent, 4588481 (1986)
- (5) 谷田芳夫ほか：REロータハウジングのCrMo合金めっき加工条件の最適化による摩擦低減，品質工学会，第16回品質工学研究大会論文集，p.130-133 (2008)
- (6) J.H.Chai, et al.：The Properties of chromium Electroplated with Pulsed Current, Plating and Surface Finishing, June, p.80-82 (1989)
- (7) Z.A.Soloveva, et al.：Internal Stresses of Chromium Coatings Measured During Electrodeposition, Surface Technology, 23, p.57-66 (1984)
- (8) 福島博ほか：陽電子寿命測定とTEM観察によるCrMo合金メッキ層中の高密度ナノポイド，第141回日本金属学会秋季大会，p.100 (2007)
- (9) 吉田進：硬質クロム鍍金の硬度に就いて，日本金属学会誌，Vol.8，p.564-568 (1944)
- (10) 土屋五十洋：クラックフリーCrめっき膜の構造，物性，および耐久性，ヤマハ発動機技報，No.32，p.39-44 (2001)

### 著者



谷田芳夫



角島信司

論文・解説

28

## ピストンスペック選定における品質工学の適用 Application of Quality Engineering for Piston Geometry Selection

須藤 康博<sup>\*1</sup> 村中 宏彰<sup>\*2</sup> 小泉 昌弘<sup>\*3</sup>  
Yasuhiro Sudou Hiroaki Muranaka Masahiro Koizumi  
山内 智博<sup>\*4</sup> 古野 貴久<sup>\*5</sup> 来住南 和雄<sup>\*6</sup>  
Tomohiro Yamauchi Takahisa Furuno Kazuo Kisuna

### 要 約

これまでのピストンの開発プロセスは“仮説・構想 試作 実験検証”のルーチンを繰り返すことで各性能のOKを確認し商品化してきた。しかし上昇し続ける市場要求に対し、この開発プロセスのなかでは実験検証段階で、目標未達・背反性能との調整などの課題が生じるようになり、開発の『手戻り』が増えてきた。複数の商品目標に対する背反に対して、システムに要求される幾多の「品質特性」ではなく、システムに要求される1つの「機能」を改善し、結果として全ての品質特性を満足させる“パラメータ設計”をプロセスに組み入れる検討を行った。更に昨今のコンピュータ処理能力の向上に伴い、品質工学と机上でのシミュレーションを組み合わせ活用することで重要品質課題であったピストンスラップ低減のロバスト性向上を実現したので報告する。

### Summary

In the current development process of the piston, functional target attainability has been verified by traditional “Testing verification method”; in terms of “Plan and Design Prototype Fabrication Testing”. With ever-increasing market demands, however, this development process started to bring “rework”; such as target shortfall and necessity of rebalance between incompatible attributes, in the design verification stage. For a resolution to these issues, we applied “parameter design method” in order find one solution to satisfy all quality requirements of piston system by improving the only one key function, for finding unique solution against each requirement. Moreover, by utilizing the CAE technology which is progressing drastically in the recent, we have successfully improved the piston slap characteristics and enhanced its robustness, which had been one of the neck engineering in the past.

### 1. はじめに

社会における環境意識の向上は、自動車に対しより一層の低燃費/低エミッションを要求している。更には、お客様の要求レベルも高まってきており、静粛性/快適性向上の要求も決して無視することはできない。価値ある商品を提供するためには、これらの性能を高次元でバランスさせる必要がある。

エンジンを構成する重要部品の1つであるピストンにおいても、抵抗損失(燃費)/スカッフ(信頼性)/ピスト

ンスラップ(異音)のバランス取りに多くの開発工数を投入している。特にピストンスラップに関しては、ピストン諸元などの影響要因が十分に把握できておらず、その開発は“仮説・構想 試作 実験検証”のルーチンを繰り返すことが多い(Fig.1)。このためエンジンの開発過程において“手戻り”が発生することがあり、開発工数増加の一因となっている。

このような状況下で上昇し続ける市場要求を満たし、お客様に満足いただける商品を提供し続けることは、一層難しくなっている。

\*1~3 パワートレイン技術開発部  
Powertrain Technology Development Dept.  
\*5 エンジン設計部  
Engine Engineering Dept.

\*4 エンジン実研部  
Engine Testing & Research Dept.  
\*6 開発品質革新部  
R&D Quality Dept.



マツダR&Dにおいて、技術開発段階での品質工学適用を開始しており、我々もピストン開発における“手戻り”防止とピストンスラップ低減のロバスト性向上を目的として、ピストンスペック選定において品質工学の一つの手法である“パラメータ設計”適用を実施した。

以下、2章に対象としたピストンスラップの概要を、3章に“パラメータ設計”の手順に従って実施した結果を示す。

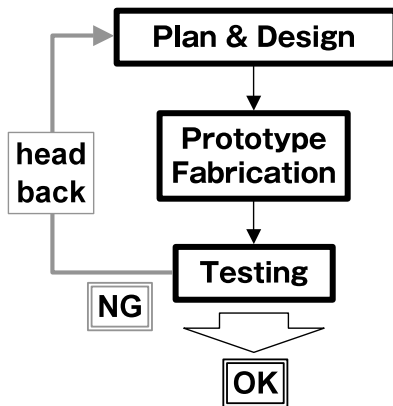


Fig.1 Development Cycle

## 2. ピストンスラップ

往復ピストン機関では、シリンダライナ内をピストンが上下運動し、コネクティングロッドとクランクシャフトによって回転運動へと変換する。シリンダライナとピストンの間には数十μmの隙間が設けられている中でピストンには燃焼荷重や慣性力等の力が作用し、前述の隙間の中でピストンはシリンダライナとの接触/離脱を繰り返す。この接触/離脱の動きが過剰になると、ピストンスラップ(異音)が発生してしまう (Fig.2)。

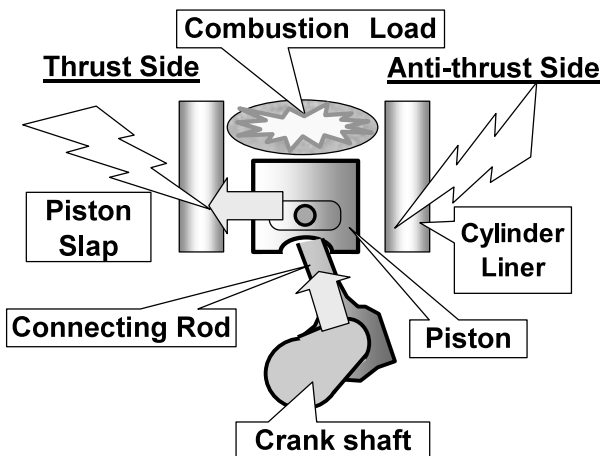


Fig.2 Generating Mechanism of Piston Slap

## 3. パラメータ設計

### 3.1 基本機能と制御因子・誤差因子の抽出

#### (1) 基本機能の定義

品質工学を適用する上での第1ステップは基本機能の定義である。

今回検討を行うピストンスラップは、ピストン挙動の乱れにより発生する現象であり、これはエネルギーのロスと考えられる。

ピストンには“燃焼室を形成する”、“燃焼ガスを密閉する”等、幾つかの機能があるが、今回の検討では上記エネルギーロスの低減が目的であり、ピストンの基本機能を“燃焼荷重をピストンピンを押し下げる力に変換すること”、その理想状態を“燃焼荷重が100%ピストンを押し下げる力に変換される状態”と定義した。したがってパラメータ設計を行う際のINPUTは“燃焼荷重”、OUTPUTは“ピストンピンを押し下げる力”となる (Fig.3)。

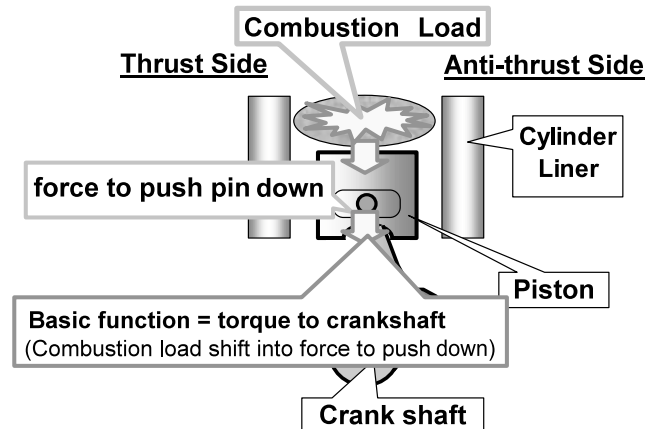


Fig.3 Definition of Basic Function

#### (2) 制御因子・誤差因子の抽出

第2ステップとして制御因子・誤差因子の抽出を行った。因子の抽出に当たっては、ピストンスラップに影響を及ぼす要因をもれなく抽出するため、1980年代から最近までのピストンスペックを洗い出すとともに、FTA (Fault Tree Analysis) による要因検討を実施した。

加えて過去のピストンスラップ発生事例の整理を行い、想定原因と上述の検討結果を突き合わせ、抽出した要因の妥当性を検証した。

これらの検討より、スカートプロフィール、ピン穴オフセット、スカート長さ等の8因子を制御因子として抽出した (Table 1)。

Table 1 Control Factor

Mark	Factor	Mark	Factor
A	Skirt Width	E	Skirt Compliance
B	Upper Skirt Prof.	F	Skirt Upper End Position
C	Lower Skirt Prof.	G	Skirt Length
D	Skirt Oval	H	Pin Hole Offset

誤差因子には、環境条件/使用条件/劣化など、制御できない特性を設定するのが一般的であるが、我々は以下に述べる考え方により、ピストンクリアランス/ピストン重心位置/シリンダライナ変形など8因子を誤差因子として抽出した。

今回の検討では、ピストンの基本機能を“ 燃焼荷重をピストンピンを押し下げる力に変換すること” と設定しており、この値を実験的に計測することは非常に難易度が高い。

計測準備/データ分析を含め、上記8つの制御因子/複数の誤差因子による実機テストを行うことは非常に困難であり、以後の検討は数値実験により実施することとした。

したがって、誤差因子には環境条件/使用条件/劣化などで変化し、なおかつシミュレーションにて検討可能な特性/スペックを設定する必要があり、前述の因子を誤差因子とした。

また、エンジン回転速度や負荷の影響も懸念されるため、これらは標示因子として扱うこととした。

これらの関係を模式的に示すとFig.4となる。

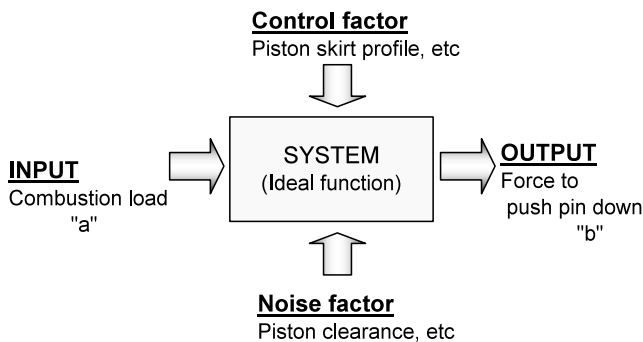


Fig.4 Energy Flow

3.2 検討手法

パラメータ設計を実施するために今回用いた数値シミュレーションは、燃焼荷重を外力として、ピストンの慣性力、ピストンとシリンダライナ間の油膜圧力及び金属接触圧力を計算可能であり、これらの荷重及びモーメントバランスからピストンの挙動を計算している。また、ピストンとシリンダライナ間の接触状態については、弾性流体潤滑モデルを用いて計算しており、詳細なスカートプロフィール、スカートの剛性等を考慮した潤滑状態の予測に基づくピストン挙動の計算が可能である。Fig.5に本数値シミュレーションにおける計算の流れを示す。

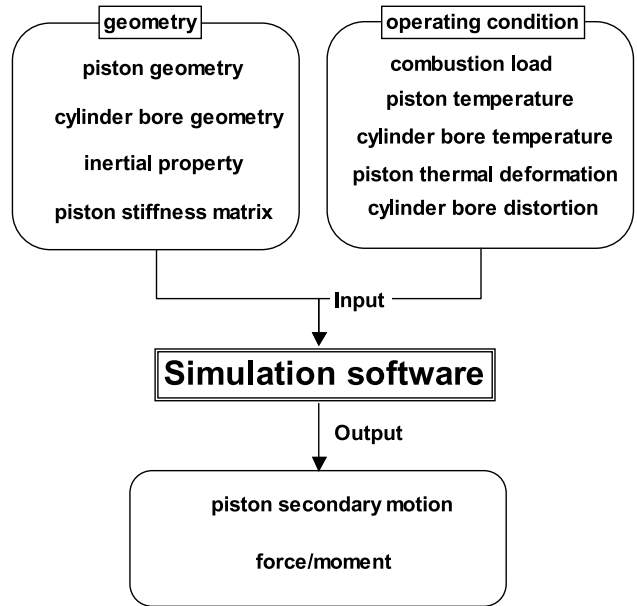


Fig.5 Simulation Flow

3.3 誤差因子の調合

効率的に実験を行うため、パラメータ設計の実施において誤差因子の調合を検討した。具体的には誤差因子のOUTPUTに対する定性的な傾向を確認するため、前項で定義した誤差因子をL18直行表に割り付け、OUTPUTである“ピストンピンを押し下げる力”に対する要因効果を確認する予備実験を実施した。Fig.6に示す予備実験結果の要因効果図から、OUTPUTに対して、必ずしも誤差因子に線形の傾向が見られなかったため、今回は調合不可能と判断し、直積実験を用いてパラメータ設計を実施することとした。

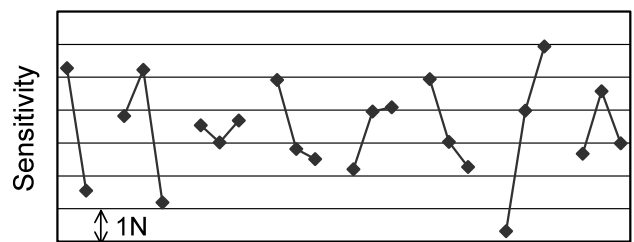


Fig.6 Sensitivity of Error Factor

3.4 直交実験

(1) 直積実験

3.1(2)で述べた制御因子・誤差因子を用い、L18 × L36の直積実験を行った (Fig.7)。

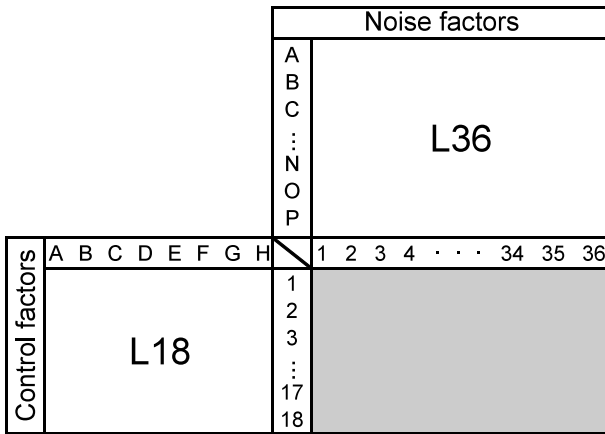


Fig.7 Orthogonal Array

得られた実験データから、SN比、感度を計算したところ、感度の値が制御因子の水準間でほとんど増減せず max minの差でも0.1db以下となり、実際の評価から得られている知見とはかけ離れたものとなった (Fig.8)。

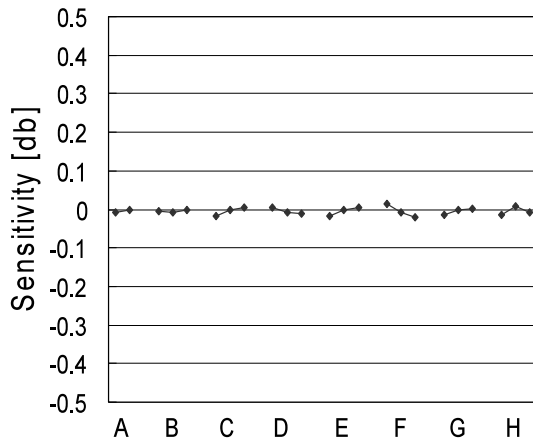


Fig.8 Sensitivity

(2) 再検討

(i) 考察

ピストンに作用する力を簡単に分解すると、次式で表すことができる。

$$a - (c + d) = b \tag{1}$$

ここで、

a: 燃焼荷重

b: ピストンピンを押し下げる力

c: 摺動抵抗

d: その他の抵抗成分

ピストンスラップは主に“d”により発生すると考えることができるが、“d”は他に比べてごく小さいことが分かっている。

先の検討では、“b”をOUTPUTとして、SN比と感度を評価しようとした。つまり、ピストンスラップに直結するエネルギーに対して、非常に大きな値を評価指標に選んだことになる。制御因子の水準間で感度に差が出なかったのは、

このためと推測した。

理想機能の定義そのものは間違っていないが、このままの方法ではピストンスラップの機能評価は難しい。

(ii) 評価指標の見直し

SN比及び感度は、“a: 燃焼圧力”を“b: ピストンピンを押し下げる力”に変換する安定性と効率を評価する指標であり、式(1)より“b”は、“a - (c + d)”に等しい。従って“b”の代わりに“d: その他の抵抗成分”を評価することでそれらが評価できると考えられ、“d”をゼロ望目特性で評価してみることにした (Fig.9)。

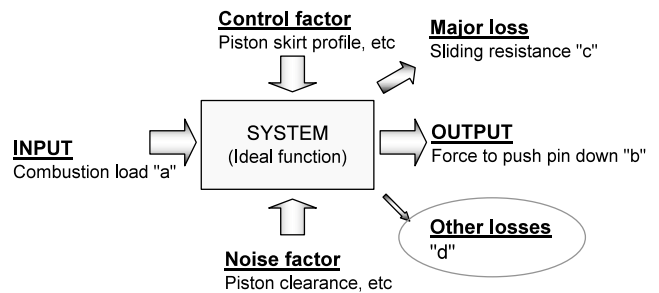


Fig.9 Energy Flow

(3) 結果検証

評価指標を“その他の抵抗成分”で再定義し評価した結果、SN比では各因子で2~3dbの効果が表れ、感度とともに影響が見えるようになった (Fig.10)。

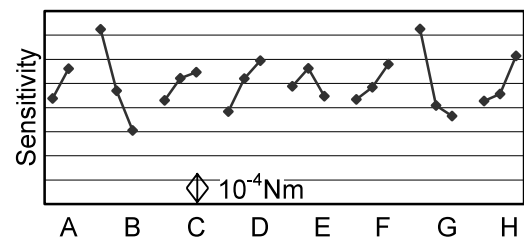
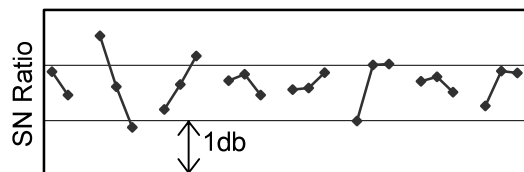


Fig.10 SN Ratio & Sensitivity

次に、この要因効果図の妥当性を検証するために、ベースとする仕様 (現状条件) と要因効果図から得られたSN比最大仕様とで利得の再現性を確認した。その結果良好な再現性がみられ要因効果図の妥当性に問題ないことも確認できた (Fig.11)。

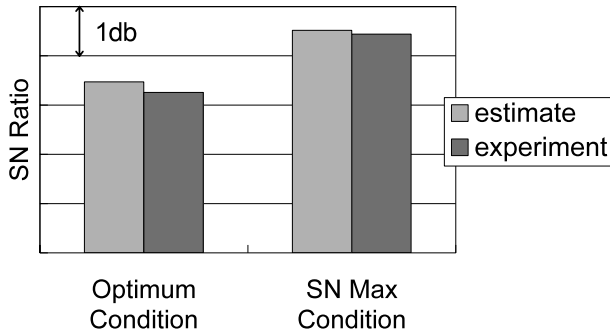


Fig.11 Reproducibility of the Gain

Fig.10の要因効果図からピストンスラップ選定を行った。その結果SN比を悪化させることなく感度を従来の1/2以下となる仕様を選定することができた (Fig.12)。

またこの仕様を実機で評価したところ各部寸法、評価条件を変えても良好な結果が得られ、選定した仕様が安定して狙いの効果が出ていることが確認できた。

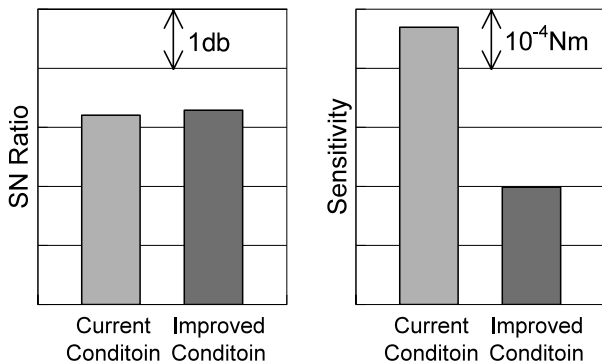


Fig.12 Improvement Effect

これらの結果からこれまでピストンスラップに効果があるとされていた、ピン穴オフセット、スカート長さ、ピストンプロフィールのほかにもスカート楕円量やスカート幅の影響も無視できないレベルでありピストンスラップに対してはスカート全体を配慮した設計が必要であることがわかった。

また経験的知見ともよく合致した結果となっており、過去実績の裏づけにもなる結果であった。

今回品質工学を用いることで、これまで各パラメータの効果を個別に評価してきたものを、一括に評価でき、かつ最適な組み合わせを容易に見出すことができた。

これは設計パラメータの多いピストン開発において有効であり、スペック選定までの時間を大幅に短縮できるものであった。

またこれまでのピストンスラップの良し悪しの指標である感度を改善した仕様ではSN比が悪化するものもあることがわかった。これは通常の評価モードでは効果があるが運転条件、部品寸法が変わると狙いの効果が得られない仕

様もあるということを示している。

今回の評価方法を選定する上で“b:ピストンを押し下げる力”とピストンスラップではエネルギーのオーダーが大きく違うことから、式(1)において、エネルギーのオーダーが微小である“d:その他の抵抗成分”を評価指標として取り上げることにより、ピストンスラップを機能のばらつきとして評価することができるようになり、ピストンスラップについては机上評価方法を確立することができたと考えている。

また、今回はピストンの“燃焼荷重をピストンピンを押し下げる力に変換する”という機能そのものを評価しており、ピストンスラップ以外の抵抗損失や信頼性も向上しているものと考えられる。

今後はそれらが実現できているかを検証し、ピストンのパラメータ設計手法として仕上げていくことが課題である。

#### 4. おわりに

“仮説・構想 試作 実験検証”の1サイクルでピストン開発を完了させることは長年の課題であり、マツダR&Dでは“物を作って評価”を“CAEで評価”に置き換えることで実現しようと考えている。そのためには高い精度でかつばらつきを含めて性能や寿命等の品質特性を予測することが課題である。しかし現状では計算精度は相対比較の上では十分な精度を確保できるレベルになっているが、“ばらつき”に対しては実際に機能する方法論が見出せていないのが現状である。

今回実施した品質工学のパラメータ設計では、“ばらつき”はお客様の使用条件下での“機能のばらつき”という捉え方をしており、お客様の使用条件を誤差因子として与えることで“ばらつき”を評価しようとしている。更にその“ばらつき”がお客様の使用条件下で再現するか否かも

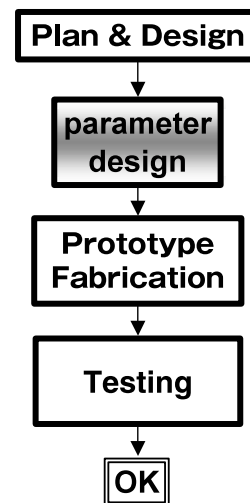


Fig.13 Improved Development Cycle

確認実験で検証することができる。このようなやり方で何故うまくいくかの理論は品質工学の専門書に譲るが、極めて自然な考え方であり、今回の取組でも有効であることが実証できたと考えている<sup>(1)~(5)</sup>。

以上を取り込んだプロセスをFig.13に示す。ピストンスラップについては、これがうまく機能したが、今後はピストンスラップ以外の性能も含めたパラメータ設計の手法を確立していきたいと考えている。

### 参考文献

- (1) 田口ほか：ベーシックオフライン品質工学，日本規格協会（2007）
- (2) 長谷部：ベーシックタグチメソッド，日本能率協会マネジメントセンター（2005）
- (3) 長谷部：技術にも品質がある，日本規格協会（2008）
- (4) 矢野：やさしいタグチメソッドの考え方，日刊工業新聞社（2003）
- (5) 矢野：品質工学計算法入門，日本規格協会（1998）

### 著者



須藤康博



村中宏彰



小泉昌弘



山内智博



古野貴久



来住南和雄

論文・解説

29

## エネルギー評価によるスプライン転造システムの最適化 Optimization of Spline Coldrolling System on the Basis of Energy Evaluation

田中雄幸<sup>\*1</sup> 森弘真司<sup>\*2</sup> 河野弘和<sup>\*3</sup>  
Takeyuki Tanaka Masashi Morihiro Hirokazu Kouno

### 要約

オートマチックトランスミッション(AT)内にある薄肉円筒形状の部品は、塑性加工(プレス成形等)を製造工法としている。その中でも、クラッチドラムのスプラインの成形には、高い寸法精度が求められ、当社ではスプライン転造工法を採用している。今回、スプライン転造における理想の姿を、どんな製品形状でも精度良く、かつ高効率に転造できるシステムと定義し、その最適化に品質工学を適用し、『エネルギー評価によるパラメータ設計』という塑性加工領域としては斬新な取り組みを行った。その結果として、品質を従来以上に向上させ、かつ加工送り速度を従来の5倍まで飛躍的に向上させる革新的な転造方法を確立できたとともに、開発期間を大幅に短縮できた。本稿ではその成果を報告する。

### Summary

Thin cylindrical parts for automatic transmission(AT) are manufactured with using plastic forming such as stamping. Especially, for the spline shape of clutch drum, we adopt of spline coldrolling for high dimensional accuracy. So this time, we defined the ideal spline coldrolling, in which could shape all products shape are formed with high accuracy and efficiency. For optimizing the process, we used Quality Engineering to challenge "parameter design on the basis of energy evaluation" for the first time in plastic forming fields. At last, we improved quality more than current one, and processing efficiency up to 5 times compared with current one. We also established the method of spline coldrolling that can reduce development period revolutionary. This paper introduces our development.

### 1. はじめに

自動車のオートマチックトランスミッション内部には、動力を伝達させるための部品が多く組み込まれている。その中でも変速に関わる重要な機能を有しているクラッチドラム(Fig.1右)に代表される部品は、高い生産性と高い寸法精度要求から、塑性加工を製造工法として採用している。クラッチドラムの成形工程は、まずProcess1にて、平板を円筒形状に成形する(Fig.1左)。その後、Process2で歯形(スプライン)成形後(Fig.1中央)、Process3にて、軸方向に延びた不要な部分の切断、歯部への油穴及びスナッピング溝の成形により完成する(Fig.1右)。クラッチ



Process1 Process2 Process3

Fig.1 Clutch Drum Forming Process

ドラムの中でもスプライン部は、動力を伝える重要な役割ゆえ、高い精度を要する。このProcess2の歯形成形を行う工法は回転塑性加工の一種であり、マツダではこれを『スプライン転造』と呼んでおり本工法を採用している。本稿で取り上げたスプライン転造は回転塑性加工の逐次成形工

\*1~3 パワートレイン技術部  
Powertrain Production Engineering Dept.



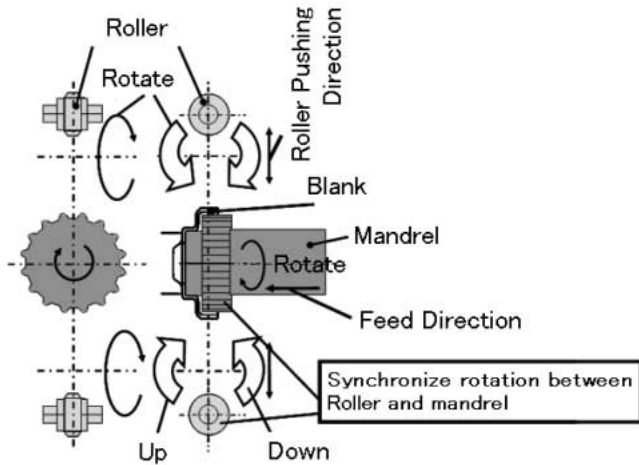


Fig.2 Forming Summary of Spline Coldrolling

法であり、加工概要をFig.2に示し、以下に説明する。(1) 歯形形状を有するマンドレルにワーク（ブランク材）をはめ込む。(2)次に、転造ローラとマンドレルの回転を同期させながらワーク外側から転造ローラでワークをたたいて押込むことにより歯形形状を形成する。この時、ローラを回転運動させて、転造・逃げの運動を繰り返すとともに、マンドレルを回転させながら送り方向に移動させることによって全ての歯型を形成していく。この工法は①転造一回ごとの加工負荷が小さく材料と工具の摩擦接触が発生しないため、ボンデ処理等の表面処理が不要、②高硬度の材料も比較的容易に成形可能、③ツール費用が安価、④プレス成形に対してサイクルタイムが長い、という特徴がある。

### 2. 取り組み内容

従来、スプライン転造においては加工能率と成形精度がトレードオフの関係にあるため、加工能率を上げるために送り速度を速くすると、ワークがマンドレルに添わないだ

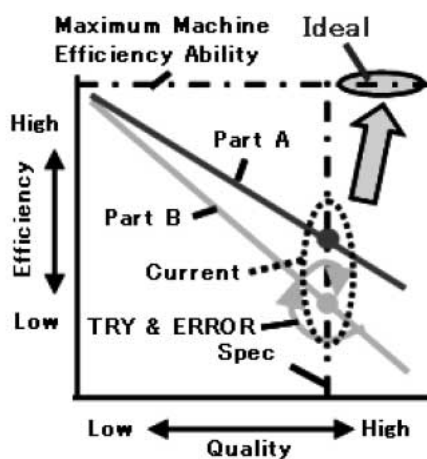


Fig.3 State of Ideal and Current

けでなくバリ発生などの品質問題が発生していた。そのためマツダではこれまで二十数年来、要求される品質とサイクルタイムを満足させるために、部品ごとに現物を使ったテストで最適条件を求めてきた。今回の取り組みの狙いは、Fig.3に示すように、加工能率と成形精度の関係をブレークスルーすることである。この課題を解決するための手法として品質工学を適用した。また、スプライン転造における理想の姿を、どんな製品形状でも精度よく、かつ高効率に転造できるシステムと定義し、その最適化に塑性加工では新しい『エネルギー評価によるパラメータ設計』に取り組んだ。

### 3. 基本機能の設定

品質工学において、塑性加工領域はプレスに代表される型具と製品形状の一致度で評価する『転写性での評価』が一般的であり、本研究においても当初、マンドレルの寸法とワークの寸法が一致することを理想の姿と定義し転写性での評価を試みた。しかし一定の成果は得られたものの、実験結果 (Fig.4) は理想の姿からは程遠いばかりでなく、外歯に発生するバリ (Fig.5) を評価できておらず基本機能としては不十分なものであった。そこで、本研究を進めるにあたり、スプライン転造の理想の姿を今一度考え直した。スプライン転造の工法は、単に金型内に素材を転写するのではなく、狙いの形状を得るためにツールで素材をたたいて、不要部分を軸方向に延ばす成形であり、機械加工

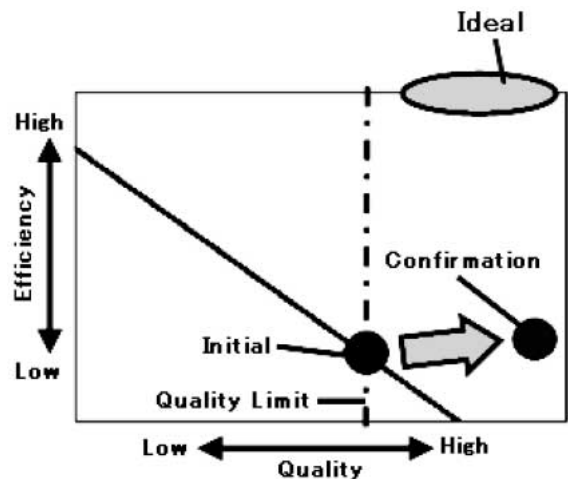


Fig.4 Result on the Basis of Transcript Evaluation

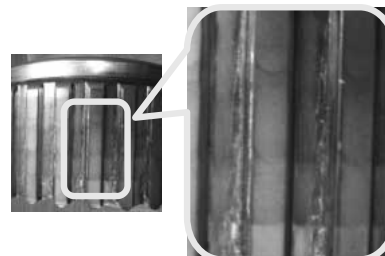


Fig.5 Bar on the Surface of Clutch Drum



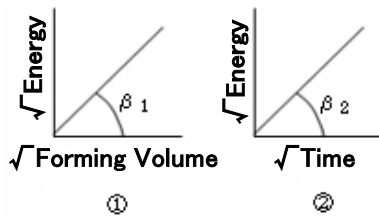


Fig.6 Ideal Function

で不要部分を削って狙いの形状を得ることと同様である。よって品質工学において、切削量をエネルギーで評価することが一般的に知られている<sup>(1)</sup> 機械加工と同様に、本工法においてもエネルギーで評価することがより有効であると考えた。そこで今回、塑性加工においても『入力したエネルギーがロスなく(品質)、かつ効率よく(能率)ワークを成形することに使われることが理想である』と再度定義した。つまり、品質と能率という2つの側面があり、それぞれの評価が必要となる。

(1) 品質に関する機能性評価

基本機能を転造量と累積エネルギー(電力量)とした(Fig.6左①)。理想の品質とは、ワークの内径はマンドレル形状、外径はローラ形状に完全に一致し、不要部分が軸方向に延ばされていることである。この状態を実現できれば、エネルギー消費は少ない状態で安定し、変形やバリなどの品質問題も撲滅できるはずである。従って、材料を転造した体積に対し、安定して電力量が少なければ良いと考えた。

(2) 能率に関する機能性評価

基本機能を時間と累積エネルギー(電力量)とした(Fig.6右②)。能率が高い条件では短時間で多くの仕事をするため単位時間でのエネルギー消費は多くなる。従って、単位時間に対する電力量が大きい条件が能率が高いと考えた。

4. 実験因子の設定

4.1 誤差因子

誤差因子は、マンドレル内歯形状をN1, N2 (Fig.7)とした。これは、マツダで使用する全ての歯型において理想の転造ができる条件追究を目指したためである。データの

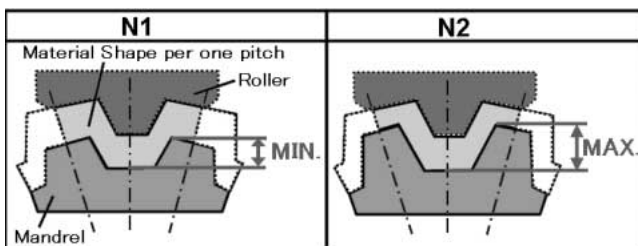


Fig.7 How to Give Error Margin Factor

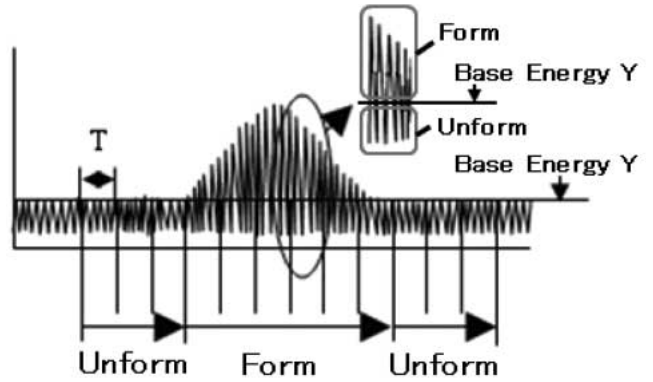


Fig.8 Measurement Method of Energy Data

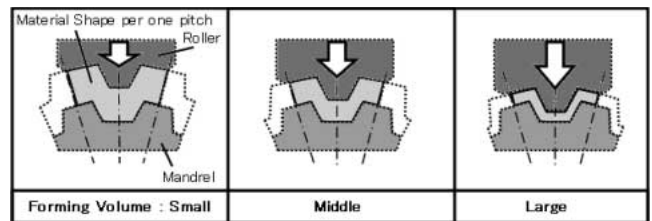


Fig.9 How to Give Signal Factor

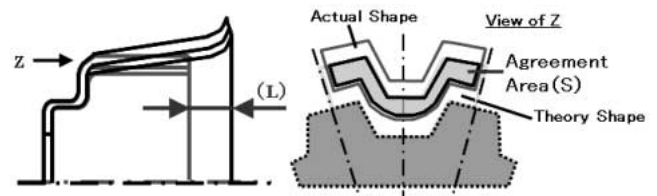


Fig.10 Measurement Method of Forming Volume

収集方法については、Fig.8に示すように、転造時、空転時でそれぞれ時間を均等に6等分し、電力の生データについて転造前後における空転時での最大値を平均化したものをベース電力とし、そのベース電力より高い値を示した値のみを、転造に使用した電力として評価した。電力の生データは、転造ローラの1回転の電力変動を評価するために、サンプリングタイムを50μsとしてデータ収集した。

4.2 信号因子

基本機能①の信号因子である転造量は、ローラ-マンドレル間の距離を遠・中・近の3水準で与え、転造量をそれぞれ小・中・大で変化させた(Fig.9)。転造量は、『理想形状と実形状の一致面積(S)』×『延びた長さ(L)』とし、マンドレル/ローラ間の理論形状に一致していない部分は仕事をしていないとみなし、計算結果から差し引いて転造量を計算した(Fig.10)。

4.3 制御因子

制御因子については、Table 1及びFig.11に示す7因子を選択し、L<sub>18</sub>直交表に割り付けた。制御因子の決定には、

Table 1 Control Factor and Level

		Level		
		1	2	3
A	Feed Speed	A1	A2	A3
B	Roller Rational Speed	Fast	Medium	Slow
C	Roller Shape	C1	C2	C3
D	Rational Resistance	High	Low	
E	Rolling Direction	Reversal	Normal	
F	Forming Method of Coldrolling Start	F1	F2	F3
G	Material Retentivity Force	Low	Medium	High

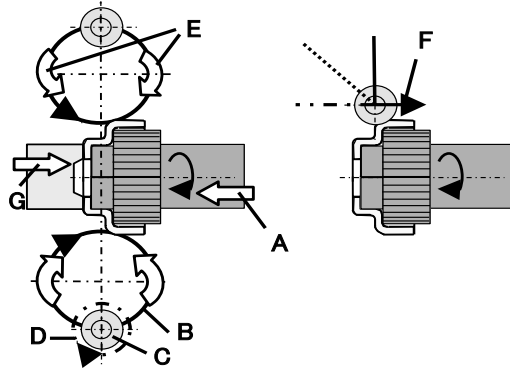


Fig.11 Explanation of Control Factor

理想の転造を定義した上で、更にその理想の実現に向けて、最も重要な材料流れを定義し、それが実現できる制御因子を考案、決定した。

### 5. 実験結果と最適条件の決定

要因効果図をFig.12に示す。最適条件は、転造量 - エネルギーのSN比が最も高くなるものを選択した。ただし因子B及びFについては、感度に及ぼす影響が大きいため、初期条件と同じ水準を最適条件とした。また、初期条件と最適条件での水準をTable 2に、確認実験結果をTable 3にそれぞれ示す。確認実験の結果から、利得が得られていることが確認できた。

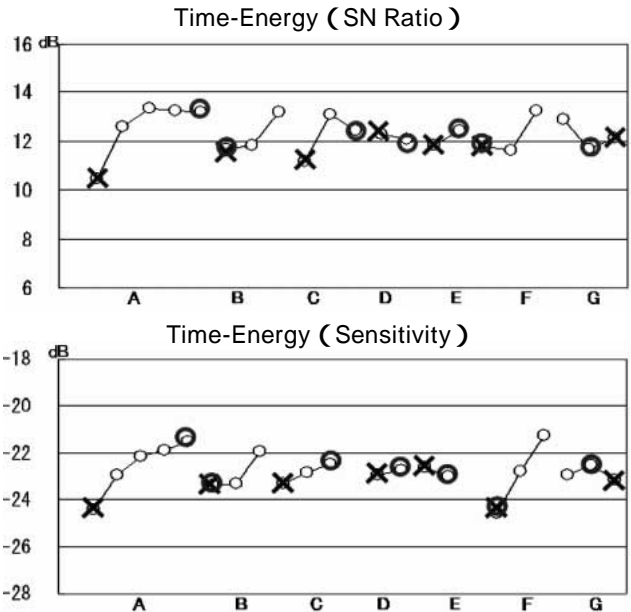


Fig.12 SN Ratio and Sensitivity

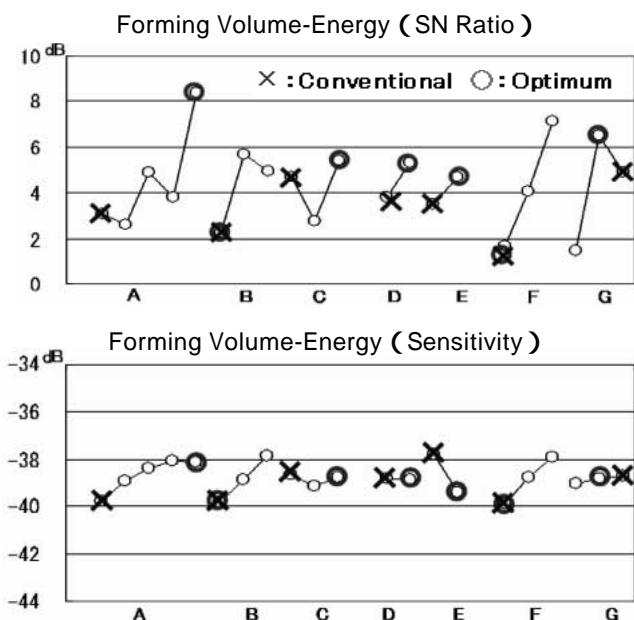
Table 2 Optimum and Initial Condition

	A	B	C	D	E	F	G
Optimum Condition	A5	Fast	C3	Low	Reversal	F1	Medium
Conventional Condition	A1	Slow	C1	High	Normal	F1	High

Table 3 Prediction and Confirmation

SN Ratio	Forming Volume - Energy		Time - Energy	
	Prediction	Confirmation	Prediction	Confirmation
Optimum Condition	8.61	3.33	11.8	13.70
Conventional Condition	-1.6	-3.29	7.45	9.73
<b>Gain</b>	<b>10.41</b>	<b>6.62</b>	<b>4.35</b>	<b>3.97</b>

Sensitivity	Forming Volume - Energy		Time - Energy	
	Prediction	Confirmation	Prediction	Confirmation
Optimum Condition	-40.94	-40.12	-23.92	-23.16
Conventional Condition	-40.77	-40.81	-28.18	-26.66
<b>Gain</b>	<b>-0.17</b>	<b>0.69</b>	<b>4.26</b>	<b>3.50</b>



### 6. 効果

今回の取り組み結果から、品質を従来条件から更に向上させるとともに、能率を飛躍的に向上させることができた。下記に本研究における効果を記す。

- (1) Fig.13, 14に示すように品質特性（ワークとマンドレルとのスキ）を従来から更に17%向上させるとともに、加工送り速度を設備能力の限界である従来5倍にまで向上できた。
- (2) Fig.13に示すようにワーク内歯形状の違い（誤差因子）に対する品質特性（ワークとマンドレルとのスキ）のバ

ラツキを従来から37%低減させることができ、よりロバストでどんな製品形状にも適用できるシステムを確立できた。

- (3) 加工時・非加工時も含めた1サイクル当たりの消費エネルギーを従来条件から約62%低減させることができた。

### 7. まとめ

今回の取り組み成果は以下の通りである。

- (1) システムを最適化することにより、品質を従来以上に向上させるとともに、加工送り速度は設備能力の最大値（現行の5倍）を実現でき、従来の品質と能率のトレードオフの関係を打破できた。これにより開発費用などのコスト削減はもちろんのこと、将来的な能力増強投資も削減できた。
- (2) 品質工学において、転写性で評価することが一般的な塑性加工においても、機械加工同様にエネルギーで評価することがより有効であることを実証した。
- (3) 本研究において明確にできた知見を他部品に適用させることで、開発期間の大幅短縮を実現した。

### 参考文献

- (1) 平井ほか：ドライ加工技術の実用化，品質工学，Vol.10，No.4，p.53-59（2002）

### 著者



田中雄幸



森弘真司



河野弘和

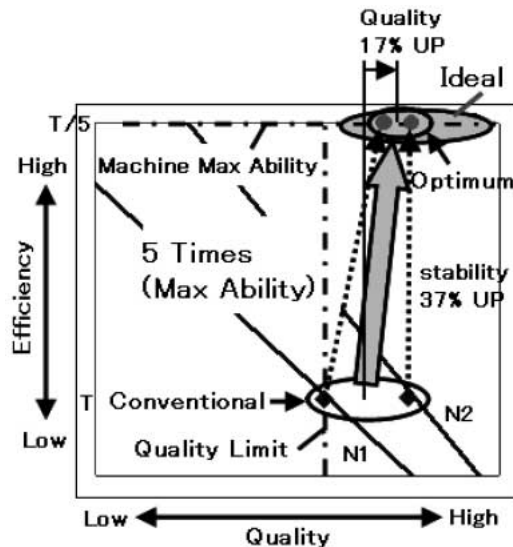


Fig.13 Relation between Quality and Efficiency

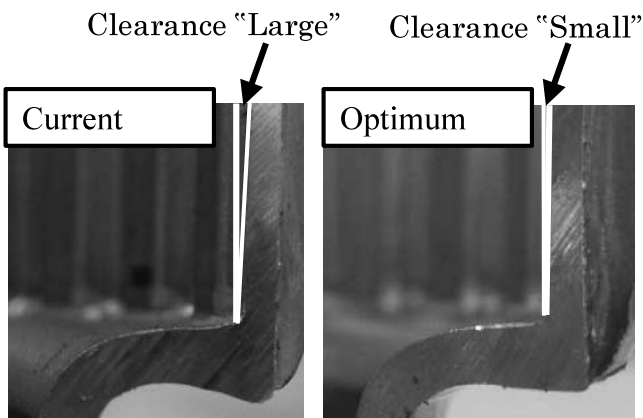


Fig.14 Phase Photograph of Clutch Drum

論文・解説

30

# 人間作業工程へのパラメータ設計の適用

## Application of Parameter Design to Human Operation Process

垣田 健\*<sup>1</sup> 三宅 鹿生\*<sup>2</sup> 山本 慈喜\*<sup>3</sup>  
Takeshi Kakita Shikao Miyake Itsuki Yamamoto

### 要 約

I4エンジン生産ラインにおいて、柔軟性や多機能性の面から人間作業を生産ラインに有効に活用している。従来、エンジン鑄造の砂型組立では人間作業工程は顕在化した欠点数等の結果で評価してきたため、潜在的な不具合対策まで踏み込んだ評価が困難である。よって、手戻りゼロの量産準備プロセスを確立するためには、作業の結果ではなく「作業の質自体の評価」により潜在的な不具合を対策する業務へ移行する必要がある。

今回は、鑄造工場の人間作業工程である砂型組立工程に品質工学パラメータ設計を適用し、砂型の理想軌道に対する実軌道のロバスト性をSN比で評価した。その結果、砂型組立作業における砂型の軌道を安定化する因子を明確にでき、軌道ばらつきを1/2まで低減させた。本稿では、その取り組みについて紹介する。

### Summary

In I4 engine production line, human operation is effectively utilized to improve flexibility and functionality. The evaluation that stepped to potential problem is usually difficult by counting fault number that surfaced in a human operation process. Therefore, it is necessary to shift to the duties that measures potential malfunction by “the evaluation of quality of the operation” not results of the operation to establish mass production preparations without reworking.

In this study, I applied a quality engineering parameter design to the sandbox assembling process that was the human operation process of the casting factory and evaluated robustness of the true path for the ideal path of the sandbox in SN ratio. As a result, I could make the factor which stabilized the path of the sandbox in the sandbox assembling work and reduced path unevenness to 1/2. This report introduces the activities.

### 1. はじめに

I4エンジンの素材工場は、多種多様な工程の集合体である。この中で、複雑で技能が要求される工程も存在するため、柔軟性や多機能性が要求される工程では、必要に応じ人間作業で対応している。人間作業には難度に応じた作業習熟期間が必要である一方、昨今の海外への生産拠点進出や生産台数変動に対して作業未習熟者の即時活用は不可欠である。作業の評価としては、製品の欠点数や種類等によって熟練者を配置したり、工程を改善したりするのが現状であった。そこで、評価の視点を抜本的に見直し、「作業の質自体

の評価プロセス」という新しい切り口で行った。それは、製品の欠点を生じさせない部品の理想軌道を定義して、品質工学により実軌道とのずれをSN比によって評価するという新しい試みである。この評価方法を活用することで、実軌道が理想軌道に対しロバストであれば自ずと潜在的な問題点の未然防止ができると考え、作業者の置かれる環境を定性的なパラメータも考慮して人間作業工程におけるパラメータ設計を適用した。

本稿ではこの一例として、鑄造工程における砂型組立作業に注目し、パラメータ設計を実施した取り組み内容と成果を報告する。

\*1~3 パワートレイン技術部  
Powertrain Production Engineering Dept.

## 2. 鑄造工程における砂型組立ライン

マツダ主力エンジン（直列4気筒1.8～2.5L）の素材はFig.1に示す複数の砂型から構成される組立鑄型にアルミ溶湯を注湯し形成される。更に熱処理、仕上げ処理および検査を経て出荷される。今回の取り組みは、その中で人間作業が最も鑄造品質に影響する砂型組立ラインを対象に、パラメータ設計を実施した（Fig.2）。砂型組立ラインは、ライン後半になるほど、また砂型重量が大きいほど組立の難度は増し、作業ばらつきも増大する。作業がばらつくと、砂型同士がこすれ、はく離落下した砂が組立鑄型内に残り鑄造欠陥になる。調査結果、組立の3工程（Fig.3）が最も砂こぼれ量が多く、習熟度を要する工程であることが判明したため、この工程を対象とした。

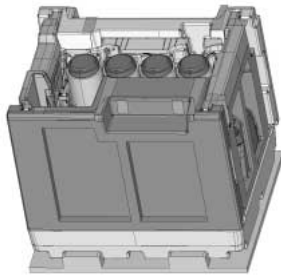


Fig.1 Assembly Mold

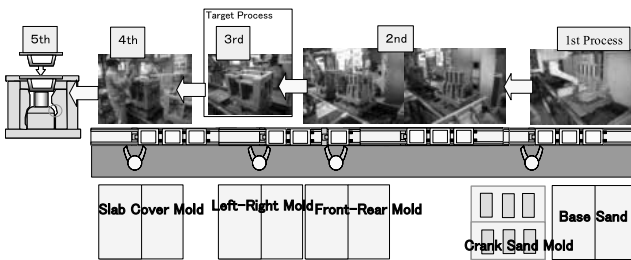


Fig.2 Sand Mold Assembly Line



Fig.3 3rd Assembly Process

## 3. 基本機能の設定と実験方法

### 3.1 基本機能

#### (1) 理想軌道の検討

組立中に砂型同士がこすれることなく、最終接触面でのみ組付けられれば砂がこぼれることはない。この仮説に基づき、組立時の砂型の理想軌道を定義した。理想軌道とは、組立過程での砂型間の距離を最大に保ち、かつ視界などの作業性を確実に確保する軌道である。砂型の理想軌道を

CAD上で求めた結果をFig.4に示す。砂型の軌道を位置1～4で表現している。位置1で砂型を斜めにベース砂型に預け、位置2まで垂直に起す。次に位置2から位置4まで斜め方向に挿入していく。この軌道を砂型の理想軌道と定義した。

#### (2) 座標化による基本機能の設定

この軌道を基本機能に変換するために、砂型の位置を座標化した。まず砂型の位置1～4を、代表する2つの基準点（Fig.4のa, b）により表現した。次に、砂型は衝撃に弱く、着座直前の組立速度も砂こぼれ量に影響するため、位置と時間との関係を求めた。組立手順、ライントクトから、2秒かけて位置1から位置4までを移動する速度を理想とした。この位置と時間との関係を座標化したものを理想軌道とした（Fig.5）。これらの4つの位置における砂型の2点（a, b）、合計8点の距離を標準SN比による動特性の基本機能へ変換し評価した。Fig.6に基本機能と品質不具合との関係の概念図を示す。標準条件での軌道（理想軌道） $N_0$ と誤差条件での軌道 $N_1, N_2$ の関係を示している。この場合、基本機能である直線の傾きが大きいほど軌道速度が速いことを表している。従って衝撃による砂こぼれや作業難度もSN比で同時評価可能である。また人間の習熟度のばらつきを作業設備仕様の最適化により低減し、欠点ゼロエリアを砂型構造の見直しにより拡大することで、砂型組立起因の社内欠点を撲滅できると考え、それを活動目標とした。

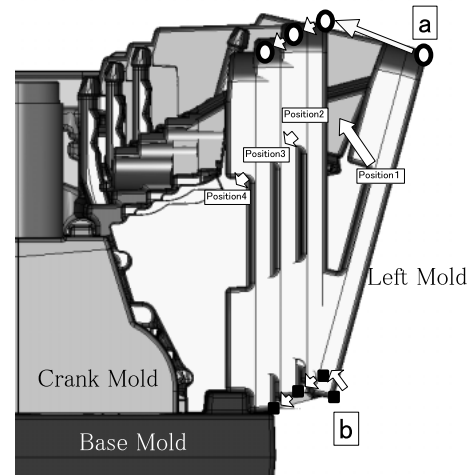


Fig.4 Ideal Path of Sand Mold

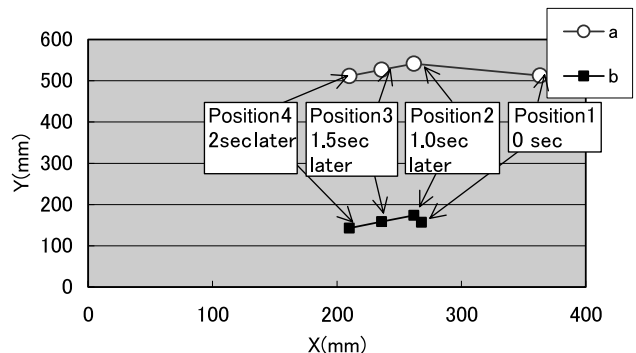


Fig.5 Coordinated Ideal Path

3.2 実験方法

砂型の軌道を解析するために、実際の動きを動画録画し、あらかじめ砂型にマーキングした点 ( a , b ) の原点からの位置を、録画面のコマ送りから読み取り距離を算出した。更に砂型軌道が位置1から位置2, 3, 4と進むほど、砂型間の隙間が小さくなる構造を踏まえた補正を加えた。また実験作業の習熟度や前実験の影響を小さくするため、L18実験の実験No.ごとに一定のインターバルを置いて実験した。習熟者と未経験者の動画解析例をFig.7に示す。この結果から、未経験者の砂型組立軌道は、習熟者と比較すると基本機能に対し外れている。また、SN比の違いも明らかなることから、作業軌道のSN比評価を、品質管理の指標として活用できる。また、一連の実験を、短期に完了するため、製作が容易な簡易治具のみを作り、実験から解析までを1週間で終了することができた。

3.3 誤差因子の設定

人間には、性別、体格、筋力、疲労度、習熟度、精神面などの誤差が存在する。これら誤差については、人間工学により定量的な評価を進めてきたが、習熟度に対する定量的な評価は困難であり、最も砂型の軌道に対する影響が大きい。よって、誤差因子には作業員間の習熟度を取り上げ、組立歴3年の習熟者と組立作業未経験者に依頼し実験した。

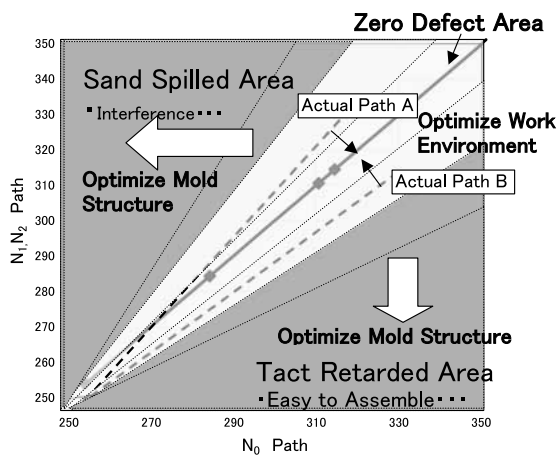


Fig.6 Relationship between Generic Function and Quality

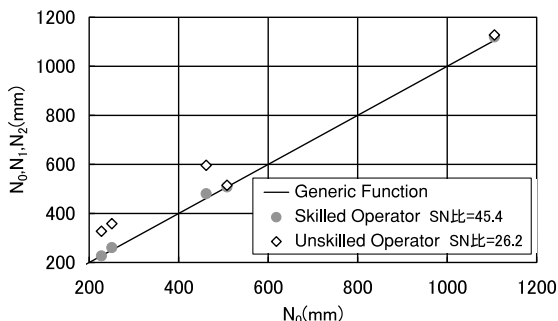


Fig.7 Moving Image Analysis of Skilled and Unskilled Operator

3.4 制御因子の設定

制御因子を決めるために、まず過去のデータから23因子を抽出した ( Table 1 )。既に人間工学を導入済みの、騒音、臭気、触覚、精神面への影響の12因子を除き、作業しやすさ、目視での確認しやすさといった残り11因子からTable 2に示す8因子を選定した。

水準としては、ありなしで評価できる因子を2水準とし、最適な水準を探る必要のある因子を、3水準と割り付けた。例えば、照度は明るければ明るいほど見やすくなる因子ではなく、最適照度が存在するはずである。また、作業高さにも最適水準があると考え、身長から計算した3水準を用いた。制御因子と水準をまとめ、Table 2に示す。

Table 1 Extracted Control Factor

Category	Measures	Example	
Easy-to-work	Working Height	Worktable	
	Hold Position	Fix Hold Position Mark on Mold	
	How to apply force	Lengthwise Crosswise	
Easy-to-Visual check	Brightness	Lighting Spotlighting Ceiling Area Lighting Opposite Color of Mold Natural Light	
	Marking	Machine Mold Mark on Footing Mark on Mold Laser Pointer	
Noise	Sense of Speed Noise	Recognize Production Speed Counter Installed	
Odor	Protective Equipment Dust Collector	Implemented Implemented	
Tactile	Vibration Electricity	Lifter Structure	
Mental Influence	Stress	Reduce Repeat work	Process Shift
	Misstep	Flat Floor	Implemented
	Cuts	No sharp Edge	Implemented

Table 2 Extracted Control Factor

Control Factors and Levels	Level1	2	3
A Weightless Tool Mark	Without	With	-
B Brightness	Poor	Medium	Strong
C Guidance Pointer	None	1 Point	2 Points
D Temporary Table(Relay Point)	None	2 for Left-Right	Center
E Guide Arms	None	Right only	Left-Right
F Working Height	Low	Medium	High
G Weightless Tool Guiderail	Without	With	With
H Fixture for Hold Position	Without	With	With

Table 3 Experimental Data

	time (sec)	N0 (mm)	N1 (mm)	N2 (mm)
La	0.0	120.9	123.7	112.9
	1.0	250.6	393.9	258.1
	1.5	461.5	465.3	469.3
	2.0	1105.7	1143.7	1081.5
Lb	0.0	59.7	59.3	52.3
	1.0	131.0	124.7	116.0
	1.5	227.4	242.7	220.7
	2.0	508.0	598.0	531.0



### 4. 実験結果

#### 4.1 L<sub>18</sub>実験結果

実験No.1のデータをTable 3に示す。このデータを用いて、SN比と感度を算出した。L<sub>18</sub>直交実験を実施し、SN比と感度<sub>1</sub>の要因効果図をFig.8に示す。因子A(無重力ツールマーク)は「あり」の方がSN比、感度ともに大きくなった。B(照度)については影響度が小さく、C(誘導用ポインター)については谷型の傾向になり、明確な効果が確認できなかった。D(中継地点)、E(誘導棒)は、感度は変わらずSN比が向上する。砂型を把持して移動途中の目印、更に組立時の目印を組み合わせた、組立作業の動きに追従する目印設置が有効であることを示している。F(作業高さ)は、現行高さが最適との結果となった。G(ガイドレール)は、自由な軌道を描く無重力ツールを押さえつける力をガイドに預けられることで効果がえられた。H(把持位置固定治具)は、砂型を把持するときの無重力ツールの位置合わせが作業時間を増やす結果となり、その増加時間分が組立軌道を乱しSN比を悪化させる傾向となった。これらのことから、ガイドレールや目印などの作業補助ツールを最適に組み合わせることが、砂型軌道の安定化に有効であることが分かった。以上の結果から、最適条件はA<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>1</sub>D<sub>3</sub>E<sub>3</sub>F<sub>1</sub>G<sub>2</sub>H<sub>1</sub>となった。

#### 4.2 確認実験

Table 4にSN比と感度の効果推定と確認実験結果および利得を示す。この結果から、5.96dbと高い利得が得られ、最適条件でのSN比は再現したと判断した。感度<sub>1</sub>については、ほぼ1であるのでSN比を優先的に最適条件の指標とし、<sub>1</sub>、<sub>2</sub>による合わせ込みは必要ないと判断した。

また、当初の予想通り、最適条件では、作業者が感じる「作業のしやすさ」への悪影響はなく、事実、作業者からは「作業をしやすくなった」との感想を得た。これは、部品(ここでは砂型)の軌道を基本機能とする本アプローチ

により、「作業のしやすさ」も向上することを示している。

以上の結果により、砂型軌道ばらつきが約1/2(利得6dbから計算)まで低減でき、目標タクト内で社内欠点数がゼロにできる目処がついた。

Table 4 Estimation and Confirmation Result

	SN ratio(db)		Sensitivity $\beta_1$	
	Estimation	Confirmation	Estimation	Confirmation
Optimized	44.00	41.32	1.01	1.01
Conventional	36.03	35.36	1.00	1.03
Gain	7.97	5.96	0.01	-0.02

### 5. 量産ラインへの展開

実験で得られた最適条件の量産ライン仕様をFig.9に示す。無重力ツールのマーキング、照明、ガイドレールは実験通りの仕様で織り込んだ。中継地点については、同工程の他の作業性やメンテナンス性を考慮し同じ役割を發揮する仕様をガイドレールに設置した。今後量産ラインで効果を確認していく。

B : Lighting installed on Guiderail Pillar

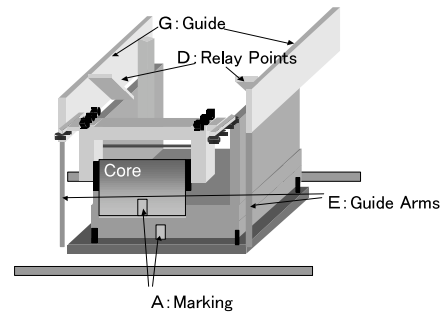


Fig.9 Production Line Spec.

### 6. まとめ

以下に本研究の効果と成果を述べる。

(1) 効果

- ① 砂型軌道ばらつき：約1/2まで低減
- ② 社内欠点数：ゼロ(見込み)
- ③ 生産準備期間：70%短縮(従来比)

(2) 成果

- ① 人間作業による部品の理想軌道を定義して、実軌道とのずれをSN比によって評価するという新しい試みが有効であることを実証。
- ② 本評価プロセスの活用により、潜在的不具合の未然防止が図れ、生産準備期間の短縮が可能であることを実証。
- ③ 本評価プロセスが、作業を軌道で表現できる他の人間作業に適用可能であることを実証。

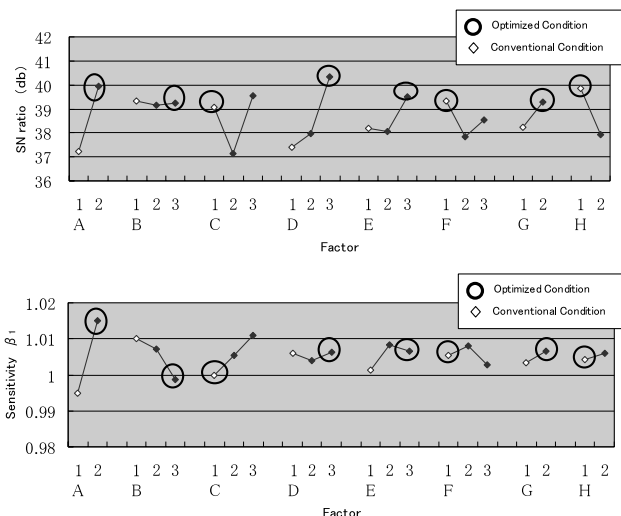


Fig.8 Factor Effects of SN Ratio and Sensitivity



## (3) 今後の課題

- ① 他の人間作業へ適用に向けて更なる誤差因子の研究  
(重り, 目隠し, 時間帯など)
- ② 誤差因子の検討のための予備調査方法の確立。

## 参考文献

- (1) 上林ほか：頸髄損傷者用腕のトレーニングシステムの評価に関する研究, 品質工学, 14, 3, p.69-74 (2006)
- (2) 溝口：撮りっきりカメラシャッター機構安定性のタグチメソッドによる設計, 品質工学, 12, 3, p.44-50 (2004)
- (3) 荒井ほか：スポンジゴムの切断作業者の能力評価, 第15回品質工学研究発表大会論文集, p86-89 (2007)

## 著者



垣田 健



三宅鹿生



山本慈喜

論文・解説

31

## ハーネスコネクタ嵌合作業における工程内品質保証 In-Process Quality Assurance of Wire Harness Connector Mating

久保田 修平\*<sup>1</sup> 戸井 隆史\*<sup>2</sup>

Shuhei Kubota

Takashi Toi

### 要 約

ハーネスコネクタ嵌合作業における工程内品質保証度を向上させるため、マツダでは半嵌合の発生しないコネクタの開発をすすめてきた。更なるコネクタ嵌合品質の向上は車両組立領域の大きな課題である。これまで半嵌合防止構造を持つコネクタを標準コネクタとして全社展開してきたが、嵌合相手側の構造の制約等で現状以上に半嵌合防止コネクタを拡大展開するのは困難である。そこで生産/開発共同で、通常のコネクタに対して作業者が嵌合作業の完了を容易に判断できる3つの要素を定量化したフィーリング新基準を制定し、新型アクセラの量産準備業務ではそれに基づきハーネスコネクタ嵌合作業の工程内保証度の高いフィーリング良好なものを標準コネクタとして選定する活動を行ってきた。そして、机上でのフィーリング新基準評価結果と実車評価結果の相関関係を検証し、今後のコネクタ判断基準の標準化と量産準備段階での評価プロセスへの展開を行った。

### Summary

In order to improve in-process quality assurance of wire harness connector mating, Mazda has been developing the connector having a structure for preventing half lock. Immediate quality improvement in wire harness connection is now critically needed in the trim & final assembly area. We have advanced the connector having an anti-half lock mechanism as standard in the past, but it is effectively difficult to further expand the half-lock-preventive connector because of structural restriction of the mating parts. Therefore, Manufacturing Dept. and Engineering Dept. have jointly established three new quantitative criteria for evaluating the feeling of normal connectors so as to facilitate operator's judgment of connection completion. Based on these criteria, we have selected the connector that assures higher in-process harness connection quality and better feeling of connection completion as standard through launch activity of new Mazda3. We studied correlation between the result of evaluation based on the new connector feeling criteria and that of actual vehicle evaluation, reflecting it in the connector criteria standardization and the launch activity evaluation process.

### 1. はじめに

自動車製造におけるハーネスコネクタの嵌合は、エンジンやその他電装品の電気系統を短い作業時間で結合するために必要不可欠な作業である。近年、安全や環境面で車に対するニーズが多様化し、様々な電装系の新システムが搭載されるようになった。その結果としてコネクタの嵌合数は増加の一途をたどっているが、一方でコネクタをロック

部まで押し込んだという作業完了の判断は、従来と変わらず作業者の感覚に頼るところが大きい。

現在、コネクタ嵌合不良の流出防止として嵌合状態の確認工程の追加や、完成車の手直しによるロスコストを招いており、コネクタ嵌合を組立工程内でいかに確実に保証するかが車両組立領域の大きな課題である。

これまでマツダでは、コネクタを嵌合する際に慣性力を発生させることで半嵌合を防止する「慣性ロックコネクタ」

\*1 車両技術部  
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

\*2 電子開発部  
Electrical & Electronics Development Dept.

や、ロック完了後でしかスライドしない別ピースを設けた「二重ロックコネクタ」等を採用し、部品構造上の改善を実行してきた。しかし、同業他社やマツダ内での電装品流用のために採用できない場合があり、慣性ロックや二重ロックの採用率には限界がある。また、これまで以上に他社部品の流用やフォードとの部品相互使用が進んできた現状では、採用率の更なる向上は困難な状況になっている。

コネクタ嵌合品質保証は自動車業界全体の課題となっているが、同業他社では、慣性ロックという手法は多く採用はされていない。エルゴノミクスの観点からも慣性ロックではない通常のロック構造を持つコネクタ（以下、ノーマルロックコネクタ）で低挿入力化の方向が大勢である。

今後、更なる同業他社間での部品相互利用が進む中で、マツダがこれまで半嵌合防止構造としてきた慣性ロック、二重ロック等にこだわることなく、組立工程内で品質保証ができるように、ノーマルロックコネクタでも嵌合作業完了が作業者に容易に判断できる定量的な指標を設定し、新型アクセラの量産準備業務に折り込んだ評価活動事例を紹介する。

## 2. コネクタの種類と半嵌合防止の考え方

ここでは、慣性ロックコネクタとノーマルロックコネクタ、それぞれのコネクタの特徴を説明し、半嵌合防止に対する考え方を述べる。

### 2.1 慣性ロックコネクタ

一般的にコネクタの嵌合時の挿入力は、ハウジングロック部を乗り越える力と、端子が嵌合する際の摩擦力により発生する。慣性ロックコネクタは、Fig.1に一例を示すように、ハウジングロック部の形状を工夫し、コネクタのロックピークが端子の導通前にかつ端子嵌合の挿入力ピークよりも高くなるような構造にしたものである。そして、ロックピークを超える際に生じる慣性力を利用して、嵌合が完了するまで一気に押し込むことができるようにしている。

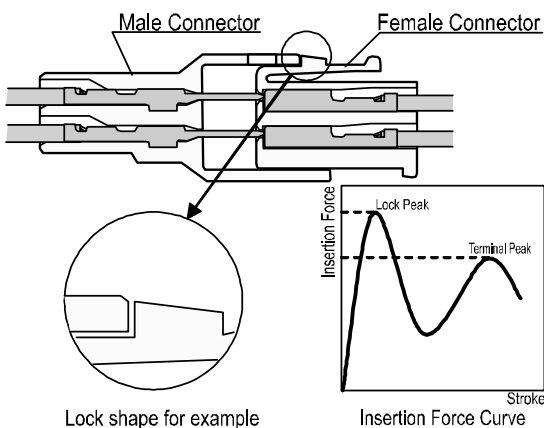


Fig.1 Inertia Lock Connector Concept

### 2.2 ノーマルロックコネクタ

ノーマルロックコネクタの嵌合時の挿入力は、コネクタハウジングのロックを乗り越える力と端子が嵌合する際の力の和でFig.2のように表現できる。ノーマルロックコネクタは慣性ロックコネクタと違い、コネクタの嵌合が完了するまで挿入力が徐々に上がり続ける。

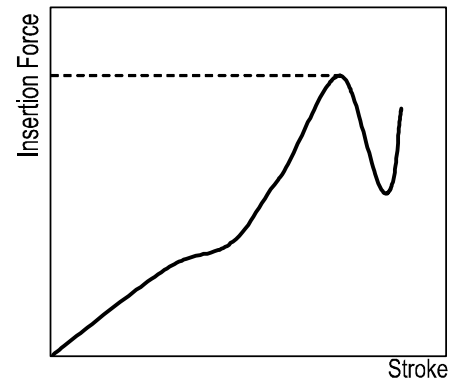


Fig.2 Normal Lock Connector Insertion Force

### 2.3 半嵌合防止の考え方

従来マツダでは、慣性ロックコネクタを代表とする半嵌合防止構造を持つコネクタにより半嵌合防止を行っていた。しかし、慣性ロックコネクタは慣性力を発生させなければならないため、あえて挿入力を高くする必要があり、それが作業者への負担となる場合がある。そこでエルゴノミクスの観点から、作業者にできる限り負担をかけずに半嵌合を防止するコネクタが必要と考えた。そして、低挿入力で嵌合終了の感覚が明確であれば作業者に負担が少なく容易に嵌合終了を判断できるという考え方を持って「嵌合フィーリング良好=半嵌合防止」を今後の方針とし、ノーマルロックコネクタに対して次章に述べるフィーリング基準を定義した。

## 3. 嵌合フィーリング基準

コネクタの嵌合作業時に作業者が感じることでできる要素を、これまでの「挿入力」に「ロック音」、「節度感」を加え嵌合フィーリングを総合的に定量化、そしてその良否を判断できる基準を定めた。これにあたっては、コネクタサプライヤ殿に協力頂き、現存する様々なコネクタの挿入力波形、およびロック音の測定を実施しベンチマークを行っている。それぞれの要素に関してフィーリングの良否を判断する指標をポイントで定義し、総合ポイントで判断できるようにしている。以下にその内容を説明する。

### 3.1 挿入力ポイント

従来は挿入力に対して、その上限値のみを基準として定めていた。フィーリングという観点からは、挿入力が小さいほど良好で、その上限値以下を4つの範囲に分けてポイントを定義した（Fig.3）。同じ挿入力でも、その嵌合ストロークの長短によりフィーリングは異なるとし、このポイ

ントにストロークによる係数掛けをすることとした。これは、(仕事量) = (力) × (距離) の考え方に基づき、仕事量が少ないほど作業者の負担が軽いという意味を持っている。またストロークを考慮する理由には、それが短いほど半嵌合の機会が少ない、つまり作業者が嵌合作業を始めればすぐにロックするというコネクタを良好なものと定義したいからである。ただし、低挿入力コネクタが低い係数にならないように、ストロークとしてカウントする領域は挿入力が10Nを超えたところからとした。

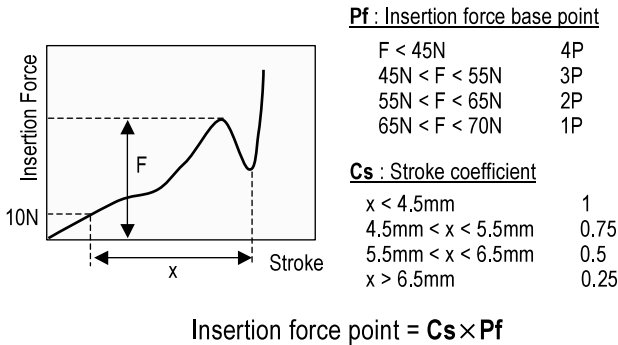


Fig.3 Insertion Force Point

### 3.2 節度感ポイント

コネクタの半嵌合は、あと一押しすればロックするという位置で止まっている状態が多い。これは、作業者自身がロックしたと思っていても実際はしていない、言い換えればロック完了したことを明確に認識できていないということである。そこで、ロック完了時に作業者が感じる「節度感」を定量化することを考え、それを挿入力ピークからロック完了に至るまでの挿入力の落ち込み割合で定義した。様々なコネクタの嵌合時に感じる節度感を段階評価し、その挿入力波形から読み取れる落ち込み割合から、ポイントを定義したものをFig.4に示す。

前述の挿入力ポイント、およびこの節度感ポイントは等速スタンド、フォースゲージという機器を用いて、コネクタ嵌合時の挿入力波形を測定することで得られる。

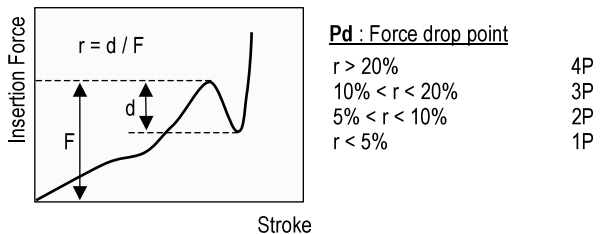


Fig.4 Force Drop Point

### 3.3 ロック音ポイント

作業者がロック完了を認識できるもうひとつの要素として、「ロック音」を判断基準に加える。音は周波数と音圧で表すことができる。音圧は大きいほど良く聞こえるとい

えるが、周波数は人の耳に聞こえやすい領域がある(フレッチャー & マンソンの等ラウドネス曲線によると3~4kHz)。ただしコネクタの嵌合作業は工場の騒音の中で行われるため、その周波数域では打ち消される可能性がある。実際に組立工場内での騒音を測定した結果、聞こえやすいとされる3~4kHzでは最も音圧が大きくなる領域であり、それ以上の周波数では下がる傾向にあることがわかった。したがって、ロック音は5kHz以上の領域でのピーク音圧で判断することとした (Fig.5)。

ロック音は市販の音圧計で、作業者が腕を伸ばした状態での手元から耳までの距離を模擬し、コネクタから600mm離れた位置で測定する(A特性 / Fast)。音圧データは1/3オクターブ解析で処理された各周波数でのレベルを記録する。

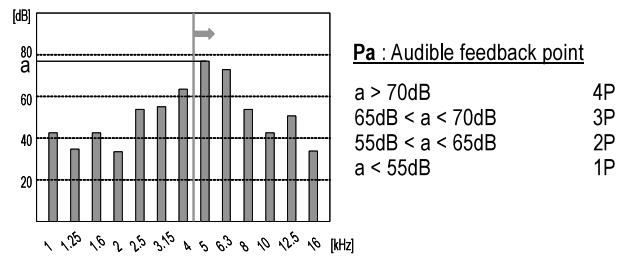


Fig.5 Audible Feedback Point

### 3.4 嵌合フィーリング総合ポイント

以上のポイントを次式のように加算して、総合ポイントとし嵌合フィーリングの良否を判断する。

$$\text{総合ポイント} = Cs \times Pf + Pd + Pa$$

挿入力、節度感、そしてロック音がそれぞれ4点満点で、総合12点満点となる。

## 4. 量産準備業務での検証

### 4.1 正式図前のコネクタ評価

これまで、コネクタ嵌合に関する机上評価は、設定している全ての電装品コネクタを網羅した、Table 1のようなコネクタリストを生産 / 開発で共有しながら行ってきた。

しかし、当コネクタリストでは、コネクタ挿入力がある基準以下であるのを満足しているか、コネクタタイプが慣性ロックや二重ロック等の半嵌合防止コネクタになっているか等の机上評価しかできていなかった。その結果、ノーマルロックコネクタについては実車評価段階で嵌合を行うまで嵌合品質評価ができず、開発段階での大きな手戻りとなっていた。

前章で述べたフィーリング評価の基準を定めたことによって、Table 2のようなコネクタリストにて開発の初期段階からフィーリング評価が可能となり、実車評価前の図面段階でコネクタ改善要否の判定ができる。これは、正式図が出図される前段階で全ての評価をやりきるといふコンセプトの量産準備プロセス改善に繋がる。

Table 1 Connector List

Part Name	Wire Harness	System	Connector #	Quality Rank	Connector Type	Used/ New
BLOWER MOT(K70)	67240	HEATER	MK-DL-2F		Normal Lock	Used
F S/TURN LH	67010	BCM	MNB-WL-2F		Inertia Lock	Used
F S/TURN RH	67010	BCM	MNB-WL-2F		Inertia Lock	Used
F POS/L LH	67010	BCM	MNC1-WD-2F		Inertia Lock	Used
F POS/L RH	67010	BCM	MNC1-WD-2F		Inertia Lock	Used
PURGE SOL	67020	PCM	MNC-WD-2F		Inertia Lock	Used
IG COIL1	67020	PCM	MNE2-WD-3F		Inertia Lock	Used
IG COIL2	67020	PCM	MNE2-WD-3F		Inertia Lock	Used
IG COIL3	67020	PCM	MNE2-WD-3F		Inertia Lock	Used
IG COIL4	67020	PCM	MNE2-WD-3F		Inertia Lock	Used
SPEED SSR(MT)	67020 or 670	PCM	MNF-WD-2F		Inertia Lock	Used
EGR VALVE	67020	PCM	MNF-WD-6F		Inertia Lock	Used
HOOD SW	67010	BURGLAR	MNF-WL-2F		Inertia Lock	Used
TURBINE SSR	67020	TCM	MNF-WL-2F		Inertia Lock	Used
BACKL SW	67020	BACKL	MNF-WL-2M		—	Used
SPEED SSR1	67020	TCM	MNF-WL-3F		Inertia Lock	Used
SPEED SSR2	67020	TCM	MNF-WL-3F		Inertia Lock	Used
OXYGEN SSR REAR1	67020	PCM	MNF-WL-4F		Inertia Lock	Used
MG/CL	67020	MG/CL	MNG-WL-1M		—	Used
PRESS SW	67020	TCM	MNG-WL-1M		—	Used
R TURN RH(SDN)	67140(RH)	BCM	MNH-DL-3F		Normal Lock	Used
REAR COMB LH(SDN)	67140(LH)	STOP/L	MNH-DL-4F		Normal Lock	Used
REAR COMB RH(SDN)	67140(RH)	STOP/L	MNH-DL-4F		Normal Lock	Used
NOISE FILTER(STOP)	67290	STOP/L	MNNA-AL-4F		Inertia Lock	Used
CURTAIN INF(D)	67050	A/B	MNNA-DL-2F		Spring Lock	Used
CURTAIN INF(P)	67050	A/B	MNNA-DL-2F		Spring Lock	Used
SIDE A/B INF D	67050	A/B(POWER)	MNNA-DL-2F		Spring Lock	Used
PAS UNIT1	67030	PAS	MNNA-DL-10F		Normal Lock	Used
KEY INTERLOCK SOL	67030	SHIFT/L	MNNA-AL-2F		Inertia Lock	Used
SSR-EVA	67240	HEATER	MNNA-AL-2F		Inertia Lock	Used
WASH MOTOR	67010	F WIP	MNNE-WL-2F		—	Used
F WIP MOTOR	67010	F WIP	MNNA-WL-5F		—	Used
ALTERNATOR2	67020	MAIN F/B	MNNA-WL-3F		Inertia Lock	Used
VIS CONT VALVE	67020	PCM	MNRS-WD-2F		—	Used
ADD FAN	67010	PCM	MNRS-WD-2F		Normal Lock	Used

Table 2 Connector List Revision

Connector Evaluation										Actual Vehicle Evaluation										Judgement	
Insertion Force (N)	Stroke (mm)	Force Drop (N)	Lock Sound (dB)	Total stiffness (N/mm)	Visuality	Judgement	Insertion Force (N)	Force Drop (N)	Work Space	Stiffness	Visibility	Insertion direction	Terminal	Connector	Actual Vehicle						
37.8	1	4.3	1	33.7	4	99.8	2	7	△	△	△										
43.7	3	2.7	1	11.5	4	73.8	3	10	○	○	○										
43.7	3	2.7	1	11.5	4	73.8	3	10	○	○	○										
51.4	3	2.8	1	8.6	3	74.3	3	9	△	△	△										
51.4	3	2.8	1	8.6	3	74.3	3	9	△	△	△										
51.4	3	2.8	1	8.6	3	74.3	3	9	△	△	△										
38.7	4	5.12	0.75	8.9	4	71.6	2	9	△	△	△										
38.7	4	5.12	0.75	8.9	4	71.6	2	9	△	△	△										
33.4	3	2.6	0.7	22.0	4	89.9	2	7	△	△	△										
37	3	5.7	0.9	41	4	85.4	4	9.8	△	△	△										
37	3	5.7	0.9	41	4	85.4	4	9.8	△	△	△										
37	3	5.7	0.9	41	4	85.4	4	9.8	△	△	△										
55.8	4	6.1	0.8	8.1	3	70.9	2	1.8	△	△	△										
37.2	4	2.6	1	19.9	4	70.3	2	10	△	△	△										
37.2	4	2.6	1	19.9	4	70.3	2	10	△	△	△										
43.6	4	3.2	1	12.2	4	70.2	3	8	△	△	△										
52	3	3.8	1	12.8	4	70	2	9	△	△	△										
52.8	2	3.5	1	19.9	4	72.6	3	9	△	△	△										

4.2 新型アクセラでの正式図前段階の評価結果

新型アクセラの正式図前段階の評価では、新しいコネクタリストに基づいて評価を実施し、特にノーマルロックコネクタに関しては、前述のフィーリング評価基準をベースに、全てのノーマルロックコネクタに関して測定機器を用いた実機評価を実施した。その結果、半嵌合防止構造の慣性ロック、二重ロック等は全体の70%、フィーリング評価基準による評価でフィーリングOKと判断されたノーマルロックコネクタは全体の9%であった。一方、残り21%のノーマルロックコネクタについては、節度感が悪い、ロック音が小さい等、フィーリング評価点数の低いコネクタであった。

この21%のノーマルロックコネクタについて生産/開発で他社実績のある総合点基準を満足したコネクタの採用や、現状の嵌合相手の構造のまま設定可能な慣性ロックコネクタの選定を行うことで、12%のコネクタをOKコネクタへと変更することができ、正式図前段階で全体の91%

のOKを確認することができた。

残り9%のコネクタは、前モデルからの流用部品でフィーリングが悪いながら嵌合相手の形状に互換性のあるコネクタがなくコネクタ変更できなかったものや、コネクタおよび嵌合相手部品がフォードとのコモン部品で変更不可なコネクタであった。このようなコネクタの改善をいかに次期車種に折り込んでいくかは今後の課題となる。

4.3 新型アクセラでの実車評価

フィーリング評価基準でOKと判断したコネクタが、実際の嵌合作業でもOKである確認が必要である。

新型アクセラでの実車評価の中で、ノーマルロックコネクタの挿入力、ストローク、節度感およびロック音のフィーリング評価基準の妥当性を確認するため、実際にコネクタを嵌合しながら正式図前評価結果との相関取りを行った。

フィーリング評価基準でOKとなった21%のノーマルロックコネクタに関して、実際の嵌合作業評価を実施した。その結果、これらのOKコネクタは作業者の嵌合完了判断が容易で工程内品質保証の可能なコネクタであることが分かり、コネクタ新基準の妥当性を確認することができた。

4.4 コネクタ実車評価結果の分析

コネクタの正式図前評価と実車評価との相関は取れたが、その評価の中で、実際の嵌合の作業環境では同じ点数のコネクタを嵌合しても嵌合作業のハンド隙や嵌合相手の剛性、視認性等、周辺レイアウトによって作業者の感じる嵌合フィーリングが異なることが分かった。

フィーリングの正式図前評価はあくまでもコネクタ単品の図面スペックもしくは測定機器上での検証結果のため、コネクタの組み込まれているハーネス自体の剛性や周辺の障害物までは考慮されていない。しかし、実際に工場内で嵌合を行う時は周辺部品と手が干渉してしっかりコネクタを保持できない、あるいは嵌合相手がまっすぐ目視できずに嵌合時に力が入らない場合もある。

一例としてドアSW嵌合作業状態をFig.6に示す。この部位はドアサブラインにてドアトリムを自分の腹部の前に保持しながら、嵌合相手の見えない、コネクタ保持のハンドスペースの狭い状態で嵌合を行わねばならず、コネクタ単体でフィーリングに問題がなくても作業者が嵌合完了を判断するのは困難である。

このような周辺レイアウト条件からくるフィーリングへの影響を定量的にどう表現できるか、コネクタ実車評価の中でデータ取りしながら検討を行った。

その結果、Table 3のように作業スペース、結合部強度、視認性の3項目について、その程度によって、△、×の3段階で点数付けを行い、△を-1点、×を-2点とし、フィーリング総合点から補正することで、実際に作業者が感じるフィーリングを実機検証結果および3Dデータによるレイアウト評価結果から表現できることが分かった。

このレイアウト条件の補正を行うことで、実車評価でし

が確認できなかった実作業での嵌合フィーリング評価を正式図前検証段階で行うことが可能となる。

以下に3段階の点数付けの基準を示す。

(1) 作業スペース

握りこぶしのハンドスペース生産要件である 100が確保されていれば , ハンドスペースは 100未満だがコネクタを保持した手が周辺部品と干渉しながらでも嵌合できる場合は , 指先でしかコネクタを保持できない場合を×とする。

(2) 嵌合部強度

コネクタを嵌合する際に相手部品がストローク方向に動く量が2mm未満の場合 , 2mm以上5mm未満で動く場合 , 5mm以上動く場合は×とする。

(3) 視認性

直立した作業者が相手部品のコネクタ差込口を目視できる場合は , 作業姿勢を傾ければ結線するコネクタを真っ直ぐ持っていても差込口が見える場合は , 作業姿勢を傾けてかつ結線するコネクタ位置をずらさないと差込口が見えない場合は×とする。

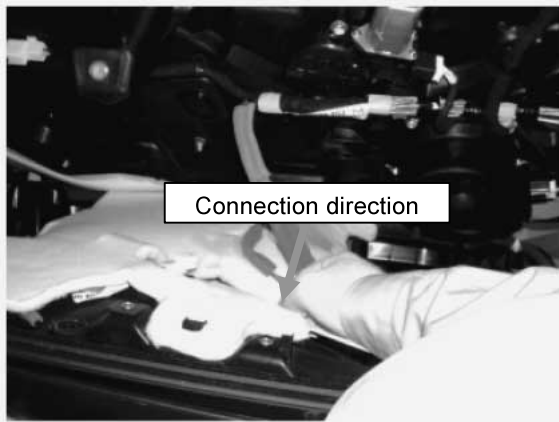


Fig.6 Operation of Door Switch Connection

コネクタの採用率を91%まで高めることができた。しかし、正式図前段階評価で実車嵌合作業OKを確実にするためには、コネクタ単品の評価基準と合わせ、作業性を考慮した評価基準も必要であることがわかった。しかし、9%の構造対策が折り込めていない、もしくはフィーリングに問題のあるコネクタについても半嵌合流出防止を工程内で保証するため、工程内でのコネクタ押し込み確認というダブルチェックの追加加工数をかけることで流出防止の保証を行っている。

これらの追加作業は将来的には全廃すべく、半嵌合防止策を検討し今後の車種に展開していく。

5. 今後の展開

5.1 コネクタ選定ツールの構築

これまで述べてきた量産準備業務でのコネクタ評価はコネクタリストを基にした評価活動となっているが、フィーリングに問題のあるコネクタ自体を選定しないように、歯止めをかけることが必要である。

正式図前検証結果の点数が総合点基準以上で実車での評価結果も良好のノーマルロックコネクタについては、慣性ロック等の半嵌合防止構造コネクタと同様に標準コネクタとしてデータベース登録する。電装品のコネクタ選定はこれらの標準コネクタから選定するよう業務標準を構築していくことで、新型車で問題のあるコネクタが選定されることによる手戻りを撲滅する。今後はコネクタリストで標準コネクタが選定されているかのOK確認を行うことで工程内品質保証度の更なる向上が実現できる。

5.2 周辺レイアウトを考慮したフィーリング評価

新型アクセラのコネクタ実車評価にて、コネクタ単体のフィーリングが良好でも、実際の結線の際に周辺レイアウトによって嵌合フィーリングが机上検証結果と異なる場合があった。

本活動の実車評価結果の分析から、実際に作業者が感じる嵌合フィーリングはコネクタ単体のフィーリング評価のみでは判断できないことが分かった。正式図前段階でより精度の高いコネクタフィーリング評価を行い、コネクタ仕様決定を早期化するためには、Table 3のようなレイアウト条件による補正基準を新たに設定し、Fig.7のような3Dデータ評価を基にコネクタフィーリング総合点を補正するという、レイアウト条件も考慮した机上検証の業務プロセスを構築する必要がある。

Table 3 Correction of Work Condition Requirement

Actual Vehicle Evaluation												
Inserion Force		Stroke		Force Drop		Lock Sound		Total	space	stiffness	visibility	judge
(N)	point	(mm)	point	(N)	point	(dB)	point					
67.8	1	4.3	1	33.7	4	69.8	2	7	○	△	△	
48.7	3							10	○	○	○	
48.7	3							10	○	○	○	
51.4	3							9	△	○	○	
51.4	3							9	△	○	○	
51.4	3							9	△	○	○	
38.7	4							9	△	○	○	
38.7	4							9	△	○	○	
38.7	4							9	△	○	○	
55	2							7	○	○	○	
47	3	3.1	1	8.8	3	71.6	2	8	○	○	○	
47	3	3.1	1	8.8	3	71.6	2	8	○	○	○	

4.5 量産でのコネクタ嵌合工程内品質保証

新型アクセラの量産準備業務において、フィーリング評価基準を作成して正式図前評価することにより、半嵌合防止構造コネクタおよびフィーリング良好のノーマルロック

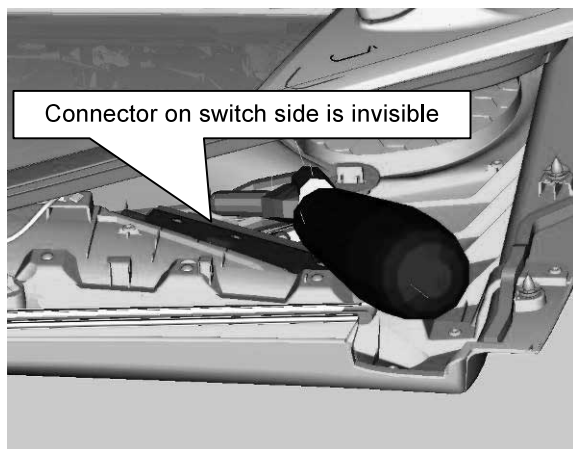


Fig.7 3D Evaluation of Door Switch Connection

## 6. おわりに

今後、前章で述べた標準コネクタの水平展開とレイアウト要件を考慮した精度の高いコネクタ机上検証プロセスにより、机上検証段階で嵌合作業の工程内品質保証が図れるプロセスを構築していく。

また、自動車技術会のコネクタ分科会の中でも「コネクタ嵌合フィーリング評価方法」を統一し、JASO制定への取り組みを行っている。この活動の中で先立つマツダでの取り組み内容を積極的に提案している。

### 著者



久保田修平



戸井隆史



論文・解説

32

## 金型設計における機械加工性検証システムの開発 Development of Manufacturability Verification System for Assisting Holder Part Design

毎田 和博<sup>\*1</sup> 石丸 真<sup>\*2</sup> 中廣 幹夫<sup>\*3</sup>

Kazuhiro Maida

Shin Ishimaru

Mikio Nakahiro

### 要 約

昨今、複数の生産拠点における同時生産への即応や、グローバルな販売環境の変化に対応するため、プレス金型量産準備業務において、更なる期間短縮、金型コストの削減が求められている。それに応えるため、これまで3D金型設計のバーチャルな世界で設計の確かさを検証する品質保証プロセスを構築し、手戻りのないスムーズな量産準備プロセスの実現を目指してきた。しかし、これらの検証は、設計最終段階の限られた時間内でしか行えず設計プロセス内で手戻りが発生するため、設計者への時間的な負担が大きくなり問題となっている。その問題を解消するためには、設計者自身が、設計途中において簡単に短時間で検証することが求められる。本稿では、簡単に短時間で「機械加工性検証」ができるシステムを開発したので紹介する。本システムを使うことで、金型設計段階ですべての品質を保証するプロセスの実現に更に一步近づけることができた。

### Summary

In order to respond to the concurrent production at plural production bases and global changes in the marketing environment, in recent years further lead-time and cost cuts have been required in the stamping-die pre-production process. To that end, we developed a 3D design quality assurance process, aiming to achieve a pre-production process with no reworks taking place. This quality assurance process, however, only allowed engineers to verify the design quality in the final stage of the design process. As a result, reworks took place throughout the design process, thus interrupting engineers' work and requiring increased man-hours. To solve this problem, we have newly developed a manufacturability verification system which allows engineers to verify the design quality both readily and briefly in the design process. The development of this system has brought us one step closer to establishing a process that satisfies all quality requirements in the stamping-die design process.

### 1. はじめに

昨今、複数の生産拠点における同時生産への即応や、グローバルな販売環境の変化に対応するため、プレス金型の量産準備業務において、更なる期間短縮、金型コストの削減が求められている。

これらの要求に対応するため、これまで3D金型設計のバーチャルな世界で設計の確かさを検証する品質保証プロセスを構築することで、手戻りのないスムーズな量産準備プロセスの実現を目指してきた。

従来は、設計の後工程であるNCデータ作成や金型製作（機械加工・組立・トライアル）のプロセスにおいて、

個々のアウトプットを保証するために、設計の不備を“手戻り（不具合対策）”という形で補いながら、時間をかけ、コストアップを重ねながら金型を熟成していくしかなかった。更なる期間短縮、金型コストの削減が求められる今、これらの手戻りという無駄をとことなくさなければならぬ（Fig.1(a)）。

そのため、「上流の工程である設計プロセス内で、金型のすべての品質を保証して、後工程では淡々と設計通りに金型づくりができる姿」をつくる必要がある。

そこで我々は、設計の最終段階で、プレス成形と金型製作のスキルを持つ人が、3D設計モデルの機能性や製作性の検証（チェック）を行い、後工程の手戻りを削減してきた。

\*1~3 車体技術部  
Body Production Engineering Dept.

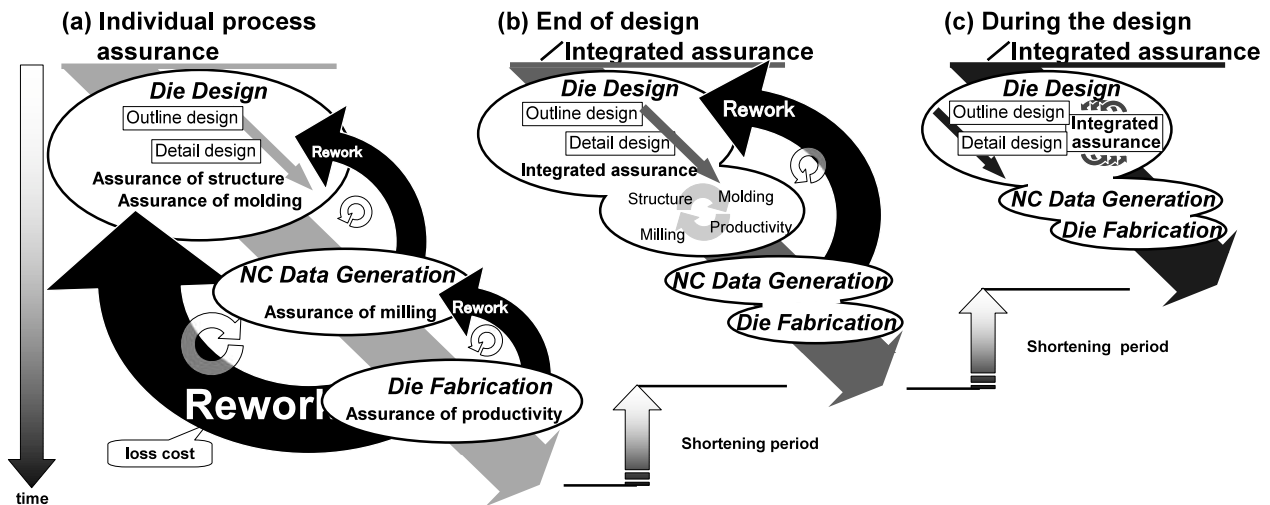


Fig.1 "Rework-less" Process

しかし、設計最終段階の限られた時間内で、ほぼ出来上がった3D設計モデルに対して検証し、更に検証結果による構造修正を行うため、設計者への時間的な負担を大きくしている。それゆえ、検証により出た大幅な構造修正を必要とする効率化案すべてを金型に織り込めず、設計者が必要と判断する最低限の修正に留めてしまっている (Fig.1(b))。

これらの問題を解消するためには、設計の初期段階での構想設計を十分に行った上で、最小限の手戻りですむ設計途中段階で、設計者自身による金型の機能性や製作性の検証を短時間で行い、金型の熟成度を早期にスパイラルアップさせ品質保証をすることが重要と考える (Fig.1(c))。

本稿では、設計途中段階で金型の品質を保証するための支援システムの一つである機械加工性検証システムの開発について紹介する。

## 2. 機械加工性検証

### 2.1 機械加工性検証とは

3D設計モデルを基に、加工困難な形状を見つけ出し、加工が容易に行える金型構造への修正を検討するプロセスを「機械加工性検証」と呼んでいる。

加工困難な形状の代表的事例は、「工具ホルダが金型構造に当り、最長工具でも加工面まで届かない (Fig.2(a))」、「加工面と周囲の構造との隙間が狭く、工具先端の径が入

らない (Fig.2(b))」などが挙げられる。

これらは、使用工具の加工限界を超える金型構造のため起こり、設計後工程であるNCデータ作成や機械加工段階で検出された場合は、機械加工の中断、設計変更待ちといった、対応に1日から数週間を要する大きな手戻りとなる。

### 2.2 従来の機械加工性検証の問題

設計者は、金型の機能要件だけでなく、加工要件に関する知識も持つ必要がある。その加工要件の大部分を占め、多様で見落としが多いのは、加工限界の条件である。それも、大型の金型部品ともなれば、数百もの加工面が互いに関連し合い、使用工具も多種にわたり、熟練の設計者でも、このように複雑で、多様な加工限界の条件すべてを漏らさず考慮し、設計することは難しい (Fig.3)。

従来、加工困難形状の確実な検出方法は、NCデータ作成時に、周囲構造と工具との干渉により、工具経路が発生しない部位を該当形状とする方法しかなかった。しかも、この検証方法を行うには、NCデータ作成、機械加工のスキルを必要としており、設計者が簡単に、短時間で実施できるものではない。そこで、NCデータ作成や機械加工のスキルを持った専任者が、設計最終段階でNCデータを作成し機械加工性検証する方法をとらざるを得ず、これにより、機械加工からの手戻りを防止してはいるが、3D設計モデルの大幅修正による手戻りが発生した。

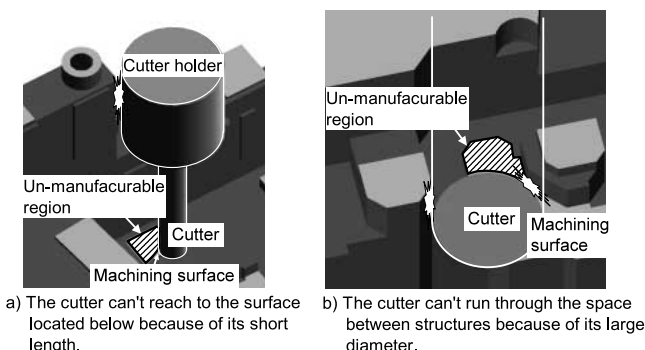


Fig.2 Un-Manufacturability Region

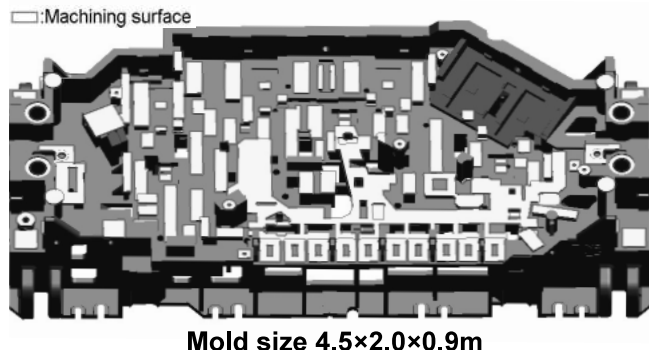


Fig.3 A Large Holder Part (Example)

### 3. 機械加工性検証システムの開発

設計プロセスの問題を解決するため、NCデータ作成や機械加工のスキルがなくても高速で機械加工性検証できるシステムを開発した。

金型構造中の加工困難形状を検出し、設計者に掲示するシステムの概要を、以下の2ステップに示す。

Step1: 3D設計モデルを膨張させ、素材誤差を考慮した加工検証用の素材モデルを作成する。

Step2: NCデータを作成せず、工具選択のみで、素材モデルと工具モデルから検証し加工困難な形状を検出する。

また、機械加工性検証を、設計途中に短時間で実施するためには、上記ステップを高速で処理しなければならない。

本システムの開発においては、本来のグラフィック処理だけでなく高い並列計算能力を活用したGPGPU (General Purpose GPU) などによる数値演算でも注目の集まっているGPU (Graphic Processing Unit) を用いた高速計算<sup>1)</sup>を組み込んだ。

以下に開発した二つの技術を紹介する。

#### 3.1 素材モデルを高速で自動生成する技術

本システムで扱う素材モデルは、「加工面」と「非加工面」とで構成され、「加工面」は設計寸法通り、「非加工面」は、加工素材が持つ誤差において最大の誤差（素材誤差）量だけ膨張させた、設計とは異なる形のモデルである。

プレス金型の主な加工素材は鋳物で、大きな素材誤差を持つ。加工困難形状の検出に際し、加工素材には素材誤差が一律に（膨張側へ）付加されているという最も厳しい加工条件を想定しなければならない。そのため、「設計者が、一分の見落とししもなく検証できる、素材誤差を含んだ実物に近いモデル（素材モデル）の作成」が必要となる（Fig.4）。

このような素材モデルを作成するには、3D設計モデルを基に、CAD機能を駆使し、モデル定義する方法もあるが、短時間で定義できる専用CADソフトウェアは存在せず、現行の設計業務に素材モデル定義作業を組み込む余裕もなく、リードタイムをかけることは許されない。よって我々は、この素材モデルを簡単かつ、高速で自動生成する技術を開発した。その処理手順を以下に述べる。

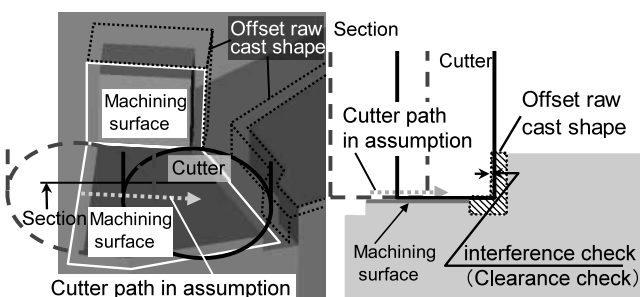


Fig.4 Interference Check between Cutter and Offset Raw Cast Shape

#### (1) 入力用3D設計モデルの作成

素材モデルの生成には、3D設計モデルのデータ構造を変換し、本システムへの入力用3D設計モデルを準備する。

次項目で詳細な説明を行うが、準備する入力用3D設計モデルのデータ構造は、非加工面の膨張形状を瞬時に得る等の高速処理のため、GPU演算に直結できるポリゴンモデル（多面体近似モデル）とした。また、加工面は、使用工具の違いにより、加工属性で分類した。

3D設計モデルには、設計者の意図を後工程へ伝達する目的から、様々な属性情報が付けられており、その属性情報の一つとして、加工属性に応じたいくつかの色を、モデル上の加工面に付けている。その色を利用して「自由曲面、座面、側面、傾斜面、ポケット、溝、および穴」加工の主要7種類の加工属性に分類した（Fig.5）。

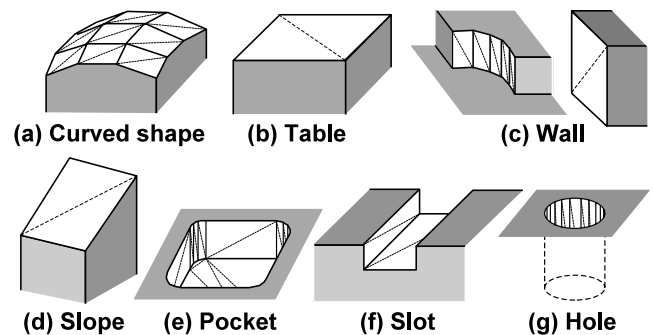


Fig.5 Seven Types of Form Features

#### (2) 非加工面の膨張（膨張形状の生成）

3D設計モデルの加工属性を持たない非加工面のみを、素材誤差量だけ膨張させた形状を生成する。膨張形状は、ポリゴン要素の頂点、辺、平面を、以下のように置き換えることで得る。

頂点と辺は、素材誤差量を半径とした球と円筒に、平面は、裏表に素材誤差量の厚さを持った厚板にそれぞれ置き換えて、その表面のみを膨張形状とする（Fig.6）。

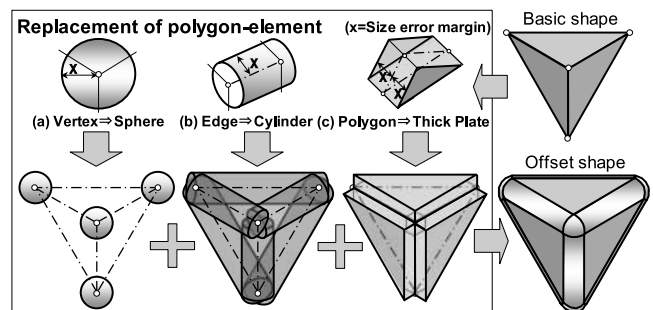


Fig.6 Generation of an Offset Shape

#### (3) 加工面の拡張（加工拡張面の生成）

加工面は、設計寸法通りで誤差を含まないが、素材モデ

ル上では、非加工面と隣接関係にある加工面は、前項目の膨張形状をすべて削り取れるように、加工範囲を広げる必要がある。ゆえに加工面輪郭から、滑らかに加工面に接する方向に素材誤差量だけ範囲を拡張した、「加工拡張面」を生成する (Fig.7)。

この加工拡張面と、非加工面の膨張形状とを考慮し、素材モデルを表現するためには、更に、「膨張形状と加工拡張面」、「加工拡張面と加工拡張面」の処理が重なった場合の対応が必要である。

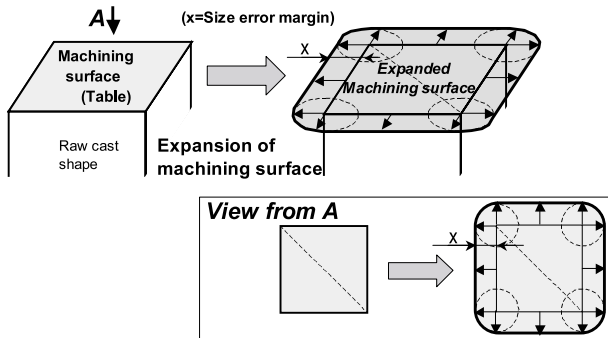


Fig.7 Expansion of Machining Surface

(4) 「膨張形状と加工拡張面」の重複処理

膨張形状と加工拡張面の重複は、加工面と非加工面が隣接する場合に発生し、このような場合は膨張形状のうち、加工拡張面から突出する部分を除去する処理を行う (Fig.8)。

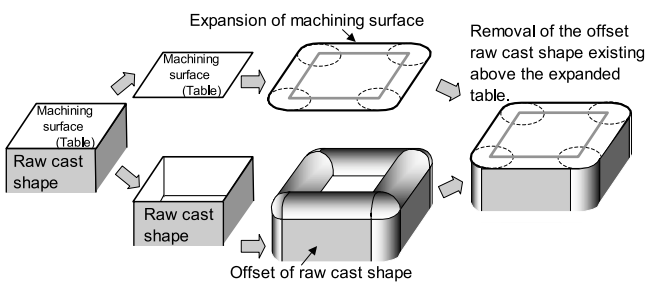


Fig.8 Modification of an Offset Raw Cast Shape Intersecting with an Expanded Table

(5) 「加工拡張面同士」の重複処理

加工拡張面同士の重複は、加工面同士が隣接する場合に発生し、このような場合は、更に、凸交差と凹交差の二つのケースに分けられる。

凸交差の重複処理は、互いに交差した加工拡張面の表側に露出した部分を除去する処理を行う (Fig.9の加工面(b)(c))。

凹交差の重複処理は、互いに交差した加工拡張面の裏側に露出した部分を除去する処理を行う (Fig.9の加工面(a)(b))。

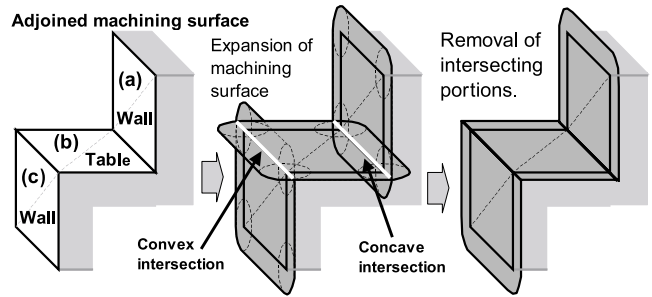


Fig.9 Interference Processing on Expanded Machining Surfaces

以上の処理手順において、「非加工面の膨張」や「加工面の拡張」および、「膨張形状と加工拡張面の重複処理」、並びに「加工拡張面同士の重複処理」を、GPUを用いた<sup>(2)</sup>独自開発のZマップ立体モデリングシステムに組み込むことにより極めて短時間で処理でき、機械加工性検証に適切な素材モデルを高速に自動作成できる。素材モデルを自動作成した事例を示す (Fig.10)。GPUとしてNVIDIA社のQuadro FX1500を搭載したPCを使用し3.4秒で図の大きさの金型素材モデルを計算できる。

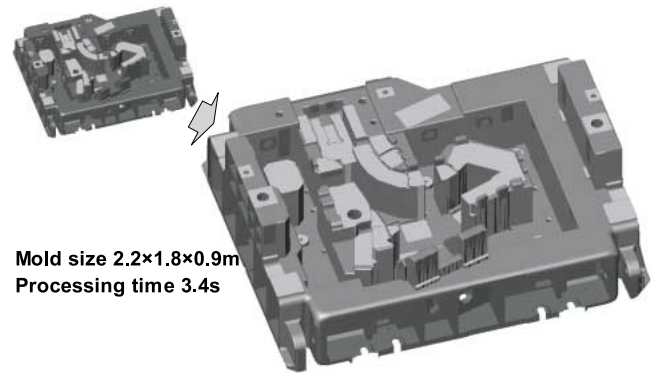


Fig.10 An Offset Raw Cast Shape Automatically Generated by Our System

3.2 加工困難形状を高速NCレスで自動検出する技術

加工困難な形状を検出するためには、市販されているCAMソフトウェアを使用する方法がある。しかし、CAMソフトウェアは、加工属性ごとに使用する工具、工具の動き、加工順序などの加工知識を必要とし、その工具や経路計算の設定などの複雑さから、設計者は容易に使いこなせない。

そのために、NCデータ作成や加工知識の少ない設計者を対象とし、前述の処理で作成された素材モデルを使いより正確な検証ができる「加工困難な形状をNCレスで高速に自動検出する技術」を開発したので以下に紹介する。

(1) 工具データベースによる自動切削工具設定

機械加工性検証するためには、検証する切削工具を選定する必要がある。

金型を機械加工する場合、位置、形、大きさなど加工部位の特性ごとに使用される切削工具の種類や形状が違う。



また、同加工する切削工具であってもできる限り工具径が大きく、かつ少ない工具種類で加工するのが望ましい。

この工具選定を誤るといくら良い検証方法を行っても、実際のNCデータ作成時の工具選定とミスマッチを引き起こし、手戻りをなくすことはできない。そのため、加工属性ごとにNCデータ作成時の工具選定を整理し、実加工に使用される多種類の工具形状から、数種類の加工限界となる工具形状を定義し、その選定優先順を決定することで、その情報を持った工具データベースを構築し、機械加工性検証システムとリンクさせた (Fig.11)。

これによりすべての加工属性に対して、自動的に優先順の高い切削工具から連続選択された工具モデルが作られ、機械加工性検証の計算ができるため、設計者の負担を軽減すると同時にオペレーション回数を大幅に低減できる。また、「検証時の工具選定」と「実際のNCデータ作成時の工具選定」のミスマッチがなくなり手戻りを削減できる。

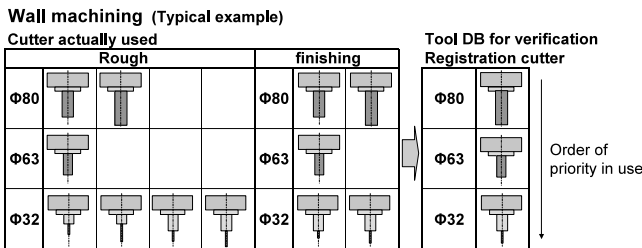


Fig.11 Wall Processing - Case with Cutter

(2) 加工困難な形状を自動検出する技術

加工困難な形状の検出は、加工拡張面上に工具モデルを素材モデルと干渉しない位置に配置し、加工拡張面内の工具モデルを配置できない領域 (加工困難な形状) を見つけ出せば良い。

そのため、CAMソフトウェアのように実加工の複雑な工具経路計算に多大な計算時間をかけ、計算エラーの発生する計算方法よりも、GPUを活用した単純な計算である逆オフセット法による高速工具経路計算の技術を使った。従来これらの計算は、大量の算術計算を実行するため大幅な計算時間が必要であったが、GPUを使ったこの技術は当社で開発したCAMソフトウェア<sup>(2)</sup>で実装した実績があり、計算時間の高速化が見込める (Fig.12)。次にその処理手順を以下に述べる。

まず、加工拡張面を余すことなく加工するように加工拡張面の範囲内に一定ピッチのXY直行格子を定義する (Fig.13)。そして、この格子に、素材モデルの裏から工具モデルをトレースさせる逆オフセット処理<sup>(1)</sup>を施すことにより、工具モデルと素材モデルの干渉が発生しない工具経路を求めることができる (Fig.14)。

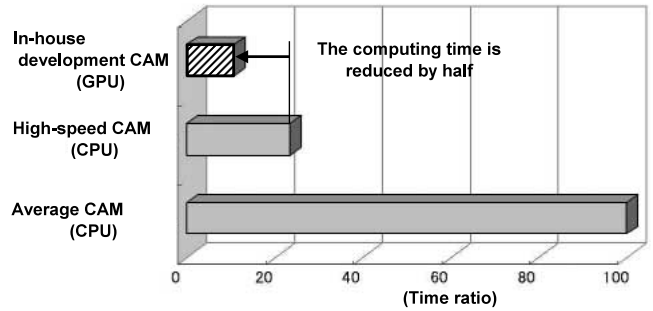


Fig.12 Comparison of Time to Calculate Cutter Path

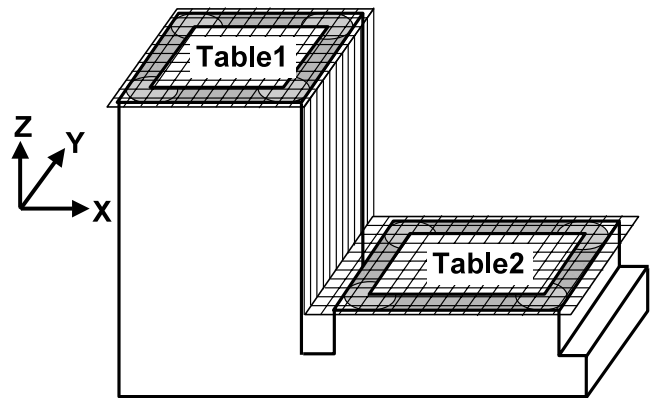


Fig.13 Generate Regular Square Grid Lying on the Table

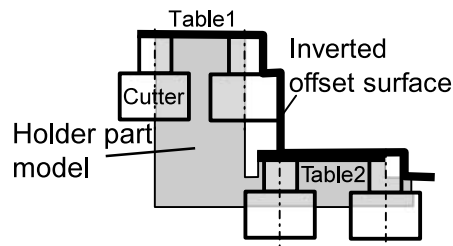


Fig.14 Inverted Offset Process

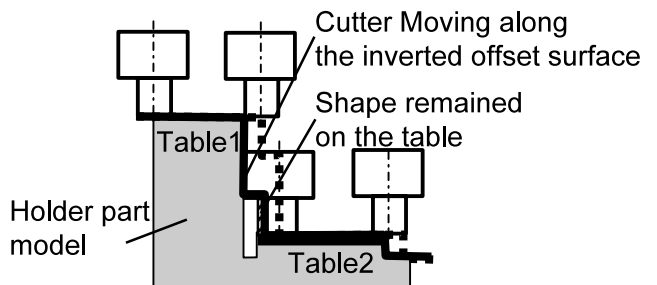


Fig.15 Calculation of Un-Manufacturable Region

次に計算された工具経路を元に加工困難な形状を自動的に検出する。

その検出方法は、検出する素材モデルの範囲にZマップモデルを定義し、工具経路上に工具モデルをトレースさせZマップモデルを削り取る。次に加工拡張面の範囲内でのZマップモデル頂点と素材モデルを比較し、素材モデルより高いZマップモデル頂点が加工困難な点となる。

同様に全てのZマップモデル頂点を検索することにより、加工困難な形状を自動的に検出することができる (Fig.15)。

しかし、本システムではZマップモデルによる処理を行っているため、真上から影に隠れた形状は、表現できない。例えばFig.16(b)のハッチング部は加工拡張面の中に隠れてしまうので今回の手法では検出されず、結果的に加工困難な形状と判定されない。この問題を解決するためにZマップモデルと入力用3D設計モデルを比較し3D設計モデルが隠れている部位も加工困難な形状として検出可能にした。なお、これらの検出計算にもGPUのデブスバッファ法<sup>(1)</sup>を使ったロジックを用いることにより高速化を実現している。

計算した結果検出された加工困難な形状の例を示す (Fig.17)。図の 80の切削工具で検証し、GPUとしてNVIDIA社のQuadro FX1500を搭載したPCを使用し、図の

大きさの金型を98.6秒で計算 (素材モデル作成 ~ 加工困難な形状の検出まで) できる。

#### 4. まとめ

今回開発したシステムを使用した結果、設計プロセス内で、5軸を除く加工範囲すべての加工困難な形状ほぼすべてを検出し設計修正することができ、設計プロセス後の機械加工の手戻りをなくすことができた。更に、従来のNCデータを作成する検証方法と比較し検証工数を50%削減できた。今後の課題は、複雑な形状の機械主軸を使う5軸加工においても加工困難な形状の検出を可能にすることと、設計者による加工困難形状の修正をよりの確に行わせるために、その修正量をアドバイスできるシステムにすることである。

今回は、機械加工性検証のみを紹介したが、金型構想設計の質向上、設計段階で行える部品間の干渉検証、量産性 (パネル搬送、動作、スクラップ) 検証による金型設計品質向上に取り組んでいる。これらの取り組みにより、金型が出来上がるまでQ (品質) C (コスト) D (納期) が不確実であった金型づくりから、設計プロセスにおいて、QCDを保証できる金型づくりへと変革していきたい。

最後に、検証計算方法についてご指導、ご協力いただいた茨城大学 乾正知教授に深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- (1) 乾：ポリゴン表現に基づくCAM, 精密工学会誌, Vol.69, No.4, p.486-489 (2003)
- (2) 大田ほか：コンピュータグラフィックス技術を利用したCAM処理の高速化, 型技術, Vol.19, No.8, p.62-63 (2004)

#### 著者



毎田和博



石丸 真



中廣幹夫

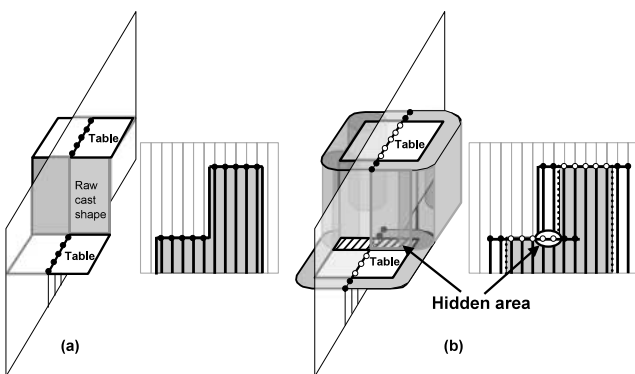


Fig.16 Processing when Machined Surfaces are Hidden

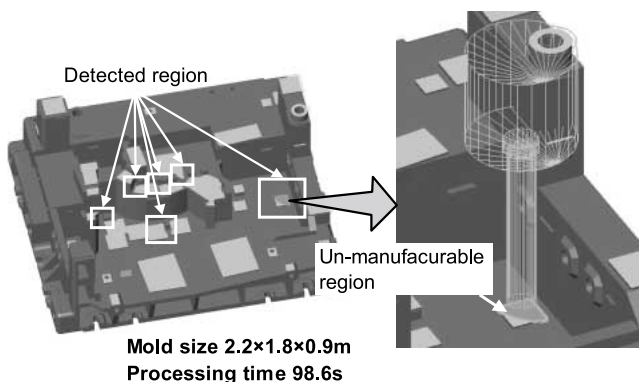


Fig.17 Un-Manufacturability Region in a Holder Part Model Automatically Detected by our System

# 社外への発表論文一覧表（2008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
2008.4.14-17	SAE 2008 SAE World Congress	The Application of Optimization Techniques to Design a Foam Pad to Reduce Lower-Extremity Injuries	宮原 亮平 宮島 陽一 尾川 茂	衝突性能開発部 同 上 同 上
		Ventilation Characteristics of Modeled Compact Car Part 1 Airflow velocity measurement with PIV	尾関 義一 梁 禎 訓 永野 秀明 加藤 信介 野村 栄治 井上 実 小林 新	旭硝子(株) 嶺南大学 東京大学 同 上 三菱自動車(株) 装備開発部 ダイハツ工業(株)
2008.5.29-30	ESI Group Euro PAM 2008	Receiving Performance Analysis for the Vehicle Keyless Entry System with PAM-CEM	浜田 康 鶴長真里絵	車両システム開発部 (株)マツダE&T
2008.5.30-31	Institute of Complex Medical Engineering The Second International Symposium on Complex Medical Engineering	Indices for Workload Sensitivity of Driver and their Relevance to Route Choice Preferences	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
2008.8.6-11	The Combustion Institute 31st International Symposium on Combustion	Cycle-Resolved Measurements of the Fuel Concentration near a Spark Plug in a Rotary Engine Using an in situ Laser Absorption Method	河原 伸幸 冨田 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
2008.9.17	The Association of German Engineers(VDI ) 32nd FISITA World Automotive Congress	Development of High Performance Catalyzed DPF with New Soot Burning Mechanism	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 同 上 同 上 同 上
2008.10.6-9	自動車技術会 9th International Symposium on Advanced Vehicle Control - AVEC 08	A study of dynamics performance improvement by rear right and left independent drive system	菅野 崇 福庭 一志 末富 隆雅	技術研究所 同 上 同 上
		Improvement of Adaptive Cruise Control Performance	宮田 繁春 中上 隆 小林 聖 和泉 知示 内藤 久佳 矢納 陽 中村 一美 竹原 伸	近畿大学 車両システム開発部 同 上 同 上 同 上 近畿大学 同 上 同 上
2008.11.16-20	ITS America, ERTICO, ITS Japan The 15th World Congress on Intelligent Transport Systems	Development of Vehicle-Infrastructure Cooperative Systems using Infrared Beacon and DSRC - Hiroshima DSSS Field Operational Test -	山本 雅史	技術研究所



## 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
2008.1.11	低温工学協会関西支部 2007年度第4回関西支部講演会	水素ロータリーエンジンの開発状況	三角 正法	技術研究所
2008.1.12-14	日本放射光学会 第21回日本放射光学会企画講演	放射光を利用した自動車排ガス浄化触媒のナノ構造設計	住田 弘祐 定井 麻子 三根 生晋 三好 誠治 岩国 秀治 生天目博文	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 広島大学
2008.1.16-17	映像情報メディア学会 放送技術研究会	開口部を持つ金属管体内部の電磁界分布の数値解析 - 第2報 -	田口 光雄 森本 峻平 眞辺 裕太 浜田 康	長崎大学 同 上 同 上 車両システム開発部
2008.1.30	日本機械学会 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17)	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
2008.2.4	土木学会 第1回 実践的ITSシンポジウム	安全・安心なまち広島に向けたITSの取り組み	松岡 孟	技術研究所
2008.2.17	広島エネルギー推進協議会 第4回ひろしま・夢・エネルギーセミナー	環境を考えた未来エネルギー“水素”で走る車	大竹 恵子	技術研究所
2008.3.4	日本塑性加工学会 第166回塑性加工技術セミナー	自動車車体への摩擦点接合の適用と課題	田中耕二郎	技術研究所
2008.3.7	自動車技術会 自動車工学基礎講座 生産技術	組立工程と品質保証	永田 哲也	パワートレイン技術部
2008.3.14	自動車技術会関西支部 2007年度 技術者交流会	ガソリンエンジンの最新動向	山川 正尚	パワートレイン技術開発部
2008.3.17-19	日本音響学会 2008年春季研究発表会	自動車ウインカー音の音質評価による快音化	碓内 良太 戸井 武司 浜田 康 大杉 郁代	中央大学 同 上 車両システム開発部 同 上
2008.3.26	日本化学会 日本化学会第88春季大会	高酸素イオン伝導性酸化物によるPM燃焼促進機構	鈴木 研二 原田浩一郎 山田 啓司 藤田 弘輝 岡本 謙治 高見 明秀	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上
2008.3.28	触媒学会 第101回触媒討論会	PrとLaを添加したCe系複合酸化物におけるパテイクレート酸化特性と格子酸素の拡散性	大石 哲也 松本 広重 石原 達己 山田 啓司 高見 明秀	九州大学大学院 同 上 同 上 技術研究所 同 上
		酸素イオン伝導性を有する酸化物によるPM燃焼(2)	山田 啓司 鈴木 研二 藤田 弘輝 岡本 謙治 原田浩一郎 高見 明秀	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上

日 程	主 催 ・ 大 会 名	題 目	発 表 者	所 属
2008.5.9	熊本県産業支援課 自動車関連取引拡大推進協議会 総会	貴金属微粒子含有高性能触媒～第2報	岩国 秀治 養島 浩二 三好 誠治 國府田由紀 住田 弘祐 高見 明秀	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上
		マツダにおける安全技術のとりくみ ～主として予防安全技術について～	山本 幸男	技術研究所
2008.5.21-23	自動車技術会 2008年春季大会学術講演会	ガソリンHCCI機関における燃料特性と自己着火 に関する検討(第1報) - オクタン価の異なるパラフィン系燃料を用い た解析 -	養祖 隆 山川 正尚 廣瀬 敏之 田中 重行 中山 竜太 草鹿 仁	パワートレイン技術開発部 同 上 コスモ石油(株) 同 上 早稲田大学 同 上
		射出成形用バイオプラスチックの開発	橋本 邦彦 矢野 徹 栃岡 孝宏 松田 祐之 藤井 睦雄 新見 慎悟	西川ゴム工業(株) 同 上 技術研究所 同 上 ダイキョーニシカワ(株) 同 上
		自動車用バイオプラスチック部品の開発	一原 洋平 吉田 邦彦 金子 満晴 松田 祐之 栃岡 孝宏 小島 泰子 清水多恵子 宮下 幸士 藤井 睦雄 新見 慎悟 橋本 邦彦 矢野 徹	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上 車両開発本部 ダイキョーニシカワ(株) 同 上 西川ゴム工業(株) 同 上
		ガソリンHCCIエンジンの開発 - NVO (Negative Valve Overlap) 中燃焼の燃費 への影響 -	外園 徹 藤本 英史 山下 洋幸 田中 達也 瀬戸 祐利	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上
		車室内VOCの測定精度に及ぼす試験槽の影響	市川 智士 松井 恵子	技術研究所 同 上
		人体腕操舵特性を用いたステアリング制御の研究	山田 直樹 末富 隆雅 加芝 祐介 脇田 裕之 田中 良幸 辻 敏夫	技術研究所 同 上 広島大学大学院 同 上 同 上 同 上
2008.6.5	プラスチック成形加工学会 第19回プラスチック成形加工学 会 年次大会	高延性芳香族ポリアミド樹脂の研究	岡本 和夫	技術研究所

日程	主催・大会名	題 目	発表者	所 属		
2008.6.6-12.6	日本鑄造協会 平成20年度鑄造力レッジ中国四 国地区 鑄造中核人材育成 鑄鉄 コース	鑄鉄鑄造概論（キュボラ溶解と実際）	田中 裕一	パワートレイン技術部		
		量産小物鑄鉄鑄物を中心とした鑄鉄の材料と用途	黒谷 真司	パワートレイン技術部		
		量産小物鑄鉄鑄物を中心とした鑄鉄の製造プロ セス，鑄造方案，溶湯処理	田中 裕一	パワートレイン技術部		
		中子造型	堀 雄二	パワートレイン技術部		
2008.6.25-26	品質工学会 第16回品質工学研究発表大会	T法による自動車乗心地指標の定量化	内田 博志 山下真一郎 末富 隆雅	技術研究所 同 上 同 上		
		品質工学に基づく自動車サスペンション系の口 バスト最適設計	内田 博志 山下真一郎 末富 隆雅	技術研究所 同 上 同 上		
		REローターハウジングのCrMo合金めっき加工 条件の最適化による摩擦低減	谷田 芳夫 角島 信司	技術研究所 同 上		
		人間作業工程へのパラメータ設計の適用	垣田 健 三宅 鹿生 山本 慈喜	パワートレイン技術部 同 上 同 上		
		エネルギー評価によるスプライン転造システム の最適化	田中 雄幸	パワートレイン技術部		
		締結ボルトの機能性評価	空久保奈未 小笠 正道 栗田 理世 松井 克真	車体技術部 同 上 第1工務技術部 同 上		
		2008.6.25-27	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・設計現場における3次元CADの活 用について	岡本 暢宏	ボデー開発部
				2008.6.27	日本接着学会 第46回日本接着学会年次大会	車体接合/接着技術の現状と課題（基調）
		2008.7.4	関西品質工学研究会 関西品質工学研究会第170回研究 会	品質工学に基づく自動車サスペンション系の口 バスト最適設計/T法による自動車乗心地指標の 定量化	内田 博志 山下真一郎 末富 隆雅	技術研究所 同 上 同 上
		2008.7.9	水素エネルギー利用開発研究会 第2回水素エネルギー利用開発研 究会	マツダの水素自動車開発の取り組み	森本 賢治	技術研究所
2008.7.9	住商情報システム(株) ADVCユーザー会2008	並列計算による超大規模シリンダーヘッド信頼 性解析	栗栖 徹	パワートレイン技術開発部		
2008.7.22-23	可視化情報学会 第36回可視化情報シンポジウム	ロータリーエンジン燃焼室内流れ場のPIV 計測	横 大地 森吉 泰生 奥井 伸宜 田端 道彦	千葉大学 同 上 技術研究所 同 上		
		実験と数値計算による自動車空力騒音の可視化 について	李 嘩 農沢 隆秀 中村 貴樹 笠木 直彦 岡田 義浩	車両実研部 同 上 同 上 同 上 同 上		
2008.7.23-25	日経BP社 AT International 2008	次世代ロータリーエンジン	清水 律治	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
2008.7.24	自動車技術会 No.03-08シンポジウム車体構造 形成技術の未来像	車体軽量化の新たな必要性 CO <sub>2</sub> 削減に向けて	石田 恭聡 折井 拓 東海林 了 福井 清之 山形 光晴 中西栄三郎 片桐 知克 須田 峰人 藤田 光伸 和田原英輔 河合 功介 志賀 信道 中出 暢也 森 孝男	技術研究所 いすゞ自動車(株) 古河スカイ(株) 住友金属工業(株) 新日本製鐵(株) 日産自動車(株) JFEスチール(株) トヨタ自動車(株) (株)自研センター 東レ(株) 富士重工業(株) 住友軽金属工業(株) ダイハツ工業(株) 富山県立大学
2008.7.31	Ricardo Software セミナー2008	PISDYN, RINGPAKを適用したオイル消費と摩擦 損失の低減検討	菅近 直範	パワートレイン技術開発部
2008.8.22	日本規格協会 品質工学 活用入門セミナー	高効率フェイスミル加工技術の開発	中山 亨	パワートレイン技術部
2008.9.17	広島県EMC研究会 平成20年度第2回講演会	自動車開発における電磁波シミュレーションの 適用事例	浜田 康 鶴長真里絵	車両システム開発部 (株)マツダE&T
2008.9.23	鉄鋼協会 秋季大会シンポジウム	ハイテンの特性評価方法と利用に伴う問題	石田 恭聡 斉藤 直子	技術研究所 同 上
2008.9.24	日本機械学会 西日本エンジンシステム研究会 夏季シンポジウム	直噴ガソリン機関用ホールノズルから噴射され た 燃料噴霧の混合気特性	洲本 康樹 佐藤 圭峰 松本 有平 西田 恵哉	広島大学大学院 パワートレイン技術開発部 広島大学大学院 広島大学
2008.9.26	計測自動制御学会 中国支部 計測制御シンポジウム2008	自動車用エンジンの制御における環境対応技術 の紹介	今田 道宏	パワートレイン技術開発部
2008.9.26	触媒学会 第102回触媒討論会	中空三次元構造を有する複合酸化物のNO <sub>x</sub> 浄化 触媒特性	山田 啓司 鈴木 研二 原田浩一郎 三好 誠治 岩国 秀治 對尾 良則 高見 明秀 西口 宏泰 永岡 勝俊 瀧田 祐作 本田 友広 浦井 智明	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上 大分大学 同 上 同 上 同 上 戸田工業(株) 同 上
		酸素イオン伝導性を有する材料を用いたPM燃焼 触媒の耐久性について	山田 啓司 鈴木 研二 原田浩一郎 高見 明秀	技術研究所 同 上 同 上 同 上
		高耐熱アルミナ材料の開発	赤峰 真明 川端 久也 重津 雅彦 栃岡 孝宏 高見 明秀	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
2008.10.1-3	リード エグジビション ジャパン(株) 第11回 関西 設計・製造ソリューション展	マツダの開発・設計現場における3次元CADの活用について	横井 直人	ボデー開発部
2008.10.11	日本機械学会関西支部 第9回秋季技術交流フォーラム	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
2008.10.17	日本機械学会 RC230歯車装置の使用範囲拡大のための設計・製造技術に関する調査研究分科会 「自動車用歯車の低騒音・低振動化」	シェーピング仕上げ歯車の低振動設計方法	藤井 猛	パワートレイン技術部
2008.10.21	解体性接着技術研究会 平成20年第一回研究会	車体軽量化への取り組みと接着の課題	氷室 雄也 山本 研一 石田 恭聡 山本 幸男	技術研究所 同 上 同 上 同 上
2008.10.22-24	自動車技術会 2008年秋季大会学術講演会	ロータリエンジンの着火と燃焼 (火炎伝ばに及ぼす点火プラグ配置の影響)	奥井 伸宜 高橋 巧朋 香川 良二 田端 道彦 森上 修 村瀬 英一	技術研究所 同 上 同 上 同 上 九州大学大学院 同 上
		横断歩行者に対するドライバの回避行動	内海 将司 石川 敏弘	技術研究所 同 上
		発泡成形技術を用いたドアモジュール基材の開発	小川 淳一 栃岡 孝宏 金子 満晴 梶山 智宏 山田 勝久 播摩 一成 賀佐見真司 宮地 敏記	技術研究所 同 上 同 上 ボデー開発部 ドライブトレイン開発部 ダイキョーニシカワ(株) 同 上 同 上
		大型チャンバー法による部品VOCの評価法の検討	市川 智士 松井 恵子	技術研究所 同 上
		エンジン摺動部材の低摩擦表面処理の開発	谷田 芳夫 角島 信司	技術研究所 同 上
2008.10.25-26	バイオメカニズム学会 第29回バイオメカニズム学術講演会	運転状況による手先インピーダンス特性変化の解析	加芝 祐介 田中 良幸 山田 直樹 末富 隆雅 辻 敏夫	広島大学大学院 同 上 技術研究所 同 上 広島大学大学院
		生体運動インピーダンスに基づくステアリング制御系の操作性評価	脇田 裕之 田中 良幸 山田 直樹 末富 隆雅 辻 敏夫	広島大学大学院 同 上 技術研究所 同 上 広島大学大学院
		人間の頸部関節トルク特性に基づく運転負荷の解析評価	楽松 武 田中 良幸 辻 敏夫 梅津 大輔 宮崎 透 西川 一男	広島大学大学院 同 上 同 上 エンジン実研部 車両実研部 同 上

日程	主催・大会名	題 目	発表者	所 属
2008.10.30	IAV(株) Conference: " Model-based calibration for automobile controls "	ディーゼルエンジンにおけるDOEと適合	吉田 元則 奥田 恒久 大磯 一生 原田 真悟 中井 英二	エンジン実研部 同 上 同 上 同 上 パワートレイン技術開発部
2008.10.31	日本バリュー・エンジニアリング協会 第41回VE全国大会	次世代シートの開発 ~世界のベンチマークとなるシートを目指して~	富田 俊彦	装備開発部
2008.10.31-11.1	プラスチック成形加工学会 第16回成形加工学会秋季大会	四軸織物で強化したガラス長繊維複合材料	中島 之典 栃岡 孝宏	技術研究所 同 上
2008.11.1-3	日本機械学会 計算力学部門 第21回計算力学講演会	均一な通電加熱における効率的最適化法	八木 史昭 天谷 賢治 平本 健治	東京工業大学大学院 同 上 技術研究所
2008.11.5	電気化学会 電池技術委員会 第49回電池討論会	黒鉛系カーボンを用いる高容量キャンパス(2)正極・負極重比が充放電特性に及ぼす影響	横山 友嗣 松本 広重 藤田 弘輝 對尾 良則 石原 達己	九州大学大学院 九州大学 技術研究所 同 上 同 上
2008.11.6	自動車技術会 シンポジウム「動力伝達系の最新技術 2008」	広角捻りダンパーの非線形振動分析	田辺 裕樹 伊藤 貴章 中島 宏幸	パワートレイン技術開発部 ドライブトレイン開発部 同 上
2008.11.8	日本塑性加工学会 塑性加工連合講演会	マツダにおける環境への取り組み	松岡 孟	技術研究所
2008.11.15	早稲田大学 第28回早大モビリティシンポジウム	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
2008.11.15-16	軽金属学会 第115回 秋季大会	簡易形状金型による耐熱Mg合金の凝固割れ発生予測	藤井 敏男 篠澤 政宏 光藤 和昭 山本 元道 篠崎 賢二 常友 敦 小田 信行	広島県立総合技術研究所 広島大学大学院 同 上 同 上 同 上 技術研究所 同 上
		耐熱Mg合金の凝固割れ発生を予測する高温物性値取得方法	篠澤 政宏 藤井 敏男 光藤 和昭 山本 元道 篠崎 賢二 常友 敦 小田 信行	広島大学大学院 広島県立総合技術研究所 広島大学大学院 同 上 同 上 技術研究所 同 上
2008.11.20-21	第14回型技術ワークショップ 2008 in まつしま	品質工学を用いた金型加工条件の最適化	細田 剛	車体技術部
2008.11.22	第41回日人間工学会 中国・四国支部大会	自動車乗降動作における人間の運動メカニズムの解析	堀上 正義 宮崎 透 西川 一男 武田 雄策 岡本 宜久	車両実研部 同 上 同 上 技術研究所 同 上
		感性工学を用いた質感分析 ~自動車内装材の本物感の研究~	高原 順司 友景 功二 西川 一男 福井 信行	車両実研部 同 上 同 上 同 上

日程	主催・大会名	題 目	発表者	所 属
2008.11.25	日本材料学会 第128回破壊力学部門委員会	自動車における溶射の適用と課題	魚崎 靖夫 谷田 芳夫	技術研究所 同 上
2008.11.25-28	素形材センター 平成20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  中子造型法と砂	田中 裕一  堀 雄二	パワートレイン技術部  パワートレイン技術部
2008.11.26-27	高分子学会 第17回ポリマー材料フォーラム	バイオマスプラスチックの自動車への応用	栃岡 孝宏	技術研究所
2008.11.28	日本塑性加工学会 プラスチック分科会 第69回研究会	バンパからバンパへのリサイクル技術	森脇 健二	技術研究所
2008.12.2	日本規格協会 品質工学セミナー - MTシステムコース	T法による自動車乗心地の定量化	内田 博志	技術研究所
2008.12.5-7	計測自動制御学会・システムインテグレーション(SI)部門 第9回計測自動制御学会(SICE)システムインテグレーション部門講演会	下肢の能動的・受動的機械特性を考慮したペダル操作の解析	武田 雄策 上村 裕樹 大黒谷陽子	技術研究所 同 上 同 上
2008.12.8	Car Testing Japan 実行委員会 Car Testing Japan 2008 Winter	モデルを使用したエンジンの適合 マツダにおけるモデルを使った適合の流れと将来展望	原田 真悟	エンジン実研部
2008.12.10-12	日本機械学会 第17回交通物流部門大会	電気自動車におけるヨーモーメントオブザーバのロバスト性に関する考察	山内 雄哉 藤本 博志 福庭 一志 楠本 信平	横浜国立大学大学院 同 上 技術研究所 同 上
2008.12.12	中国地域ニュービジネス協議会 中国地区バイオマス協議会・講演会	マツダ バイオテックマテリアルの開発	栃岡 孝宏	技術研究所
2008.12.17	自動車技術会 No.07-08シンポジウム 進化を続けるガソリンエンジン	シングルナノテクノロジーを活用した貴金属微量担持高性能三元触媒	高見 明秀	技術研究所
2008.12.19	日本液体微粒化学会 第17回微粒化シンポジウム	直噴ガソリン機関用外開きボペットノズルの噴霧と混合気の特性	洲本 康樹 松本 有平 西田 恵哉 山川 正尚 佐藤 圭峰	広島大学大学院 同 上 広島大学 パワートレイン技術開発部 同 上



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
自動車技術	Vol.62, No.2, p.76-81	車室内VOC の概要と低減技術	市川 智士	技術研究所
	Vol.62, No.3, p.16-20	ガソリンエンジンのリーン燃焼技術	山下 洋幸 田中 達也 瀬戸 祐利	技術研究所 同 上 同 上
	Vol.62, No.11, p.67-73	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 金 尚奎 片岡 一司	技術研究所 同 上 同 上
	Vol.62, No.12, p.40-45	内向・外向の性格特性と精神的負荷が精神疲労に及ぼす影響	石橋 基範	技術研究所
自動車技術会論文集	Vol.39, No.1, p.121-126	運転スタイルの指標化と追従運転行動	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
	Vol.39, No.2, p.129-134	Amplitude Modulated Fast Steps (AFS) 法適用による成層燃焼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 Rainer Leithgob Marie-Sophie Vogels Eike Martini	技術研究所 同 上 同 上 同 上 AVL List GmbH 同 上 同 上
	Vol.39, No.3, p.23-28	ロードノイズ吸音技術 - 内装部材を用いた粒子速度低減 -	萬 菜穂子 福原 千絵 加村 孝信	技術研究所 NVH性能・CAE技術開発部 マツダモーターヨーロッパ
	Vol.39, No.3, p.239-243	プローブ情報を活用したヒヤリハット情報提供の検討	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
	Vol.39, No.4, p.147-152	自動車乗降時における骨盤周りの身体負担解析と負担評価モデルの構築	小竹 元基 道家 健仁 鎌田 実 藤田 健二	東京大学大学院 同 上 同 上 技術研究所
	Vol.39, No.5, p.139-144	優れた耐熱性を有する貴金属微量担持三元触媒の開発	三好 誠治 養島 浩二 岩国 秀治 山田 啓司 國府田由紀 住田 弘祐 高見 明秀	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上
	Vol.39, No.5, p.169-174	ドライバの運転負担感受性の指標化と経路選択嗜好分析への応用	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

寄稿誌名 巻・号・ページ	題 目	発表者	所 属
Vol.39 , No.6 , p.95-100	ガソリンHCCIエンジンの開発研究 - NVO ( Negative Valve Overlap ) 中の燃焼が熱効率 に与える影響 -	外園 徹 藤本 英史 山下 洋幸 田中 達也 瀬戸 祐利	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上
Vol.39 , No.6 , p.113-118	新しい煤燃焼メカニズムを用いた高性能触媒担持型デ ィーゼルパティキュレートフィルタの開発	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 同 上 同 上 同 上
Review of Automotive Engineering Vol.29 , No.1 , p.97-101	Development of High Quality Appearance Basecoat - Appearance Improvement Technology of Three-layer Wet Paint System -	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
日本機械学会論文集B編 Vol74 , No.744 , p.1853-1859	非軸対称衝突噴霧の蒸発過程の二波長レーザ吸収散乱 法による解析	佐藤 圭峰 田所 正 高 剣 松本 有平 西田 恵哉 山川 正尚	パワートレイン技術開発部 同 上 広島大学 広島大学大学院 広島大学 パワートレイン技術開発部

## 編集後記

2007年3月に策定した技術開発の長期ビジョン「サステイナブル“Zoom-Zoom”宣言」は、走る喜びと環境・安全性能を高いレベルで調和させ「見て乗りたくなる、乗って楽しくなる、また乗りたくなるクルマ」の開発を宣言したものです。本号は、マツダがこの「宣言」に沿って着実に前進していることを世の中の人々に強いメッセージとして伝えることができるものになったと考えています。

今回はサステイナブル“Zoom-Zoom”を独立した特集として取り上げました。その中では、将来の脱化石燃料化を見据えた技術として独自開発した「ハイドロジェンREハイブリッドシステム」や、既存内燃機関のCO<sub>2</sub>削減、燃費向上を目的とした独自のKey技術であるアイドリングストップ技術「i-stop」などを紹介しました。また、最新の技術を採用し環境/安全と“Zoom-Zoom”を高い次元で融合させた成果として新型アクセラ、ピアンテを別の特集で取り上げました。本号の構成のみならず、マツダ全体が一丸となって活動していることをご理解頂くことができたと考えております。また、開発に携わった一人一人が社会環境に対する己の責任と義務を認識し、それを果たすために、日々、高い目標に向け果敢に挑んでいった熱い思いも感じ取っていただけるものと思います。

2008年後半からの100年に1度と言われる世界規模の不況の中、自動車業界を取り巻く環境は急変しましたが、本号を通じて「サステイナブル“Zoom-Zoom”宣言」のもと、5年後、10年後をしっかりと見据えOne-Mazdaで邁進していく私たちの車創りを多くの方々に知って頂ければ幸いです。 (三戸)

## 編集委員会

委員長	富山 道雄	商品戦略本部 技術企画部
委員	西田 芳伸	商品企画本部 企画設計部
	真鍋 敏之	車両開発本部 車両開発推進部
	松永 啓	車両開発本部 車両システム開発部
	三戸 英治	パワートレイン開発本部 ドライブトレイン開発部
	柴田 伸也	技術研究所
	橋本 晃	技術本部 パワートレイン技術部
幹事	田坂 寿康	商品戦略本部 技術企画部
事務局	坂本 和夫	技術研究所
	伊東加奈子	商品戦略本部 技術企画部

## マツダ技報 第27号

発行 平成21年6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.27

June 2009  
Publisher Seita Kanai  
Editor Michio Tomiyama  
Distributor Technology Planning Dept.  
Product Strategy Div.  
Mazda Motor Corporation  
3-1 Shinchi, Fuchu-cho Aki-gun,  
Hiroshima 730-8670, Japan