

マツダ技報 2010 No.28  
MAZDA TECHNICAL REVIEW

zoom-zoom  
zoom-zoom



90<sup>TH</sup>  
ANNIVERSARY

zoom-zoom  
zoom-zoom

# マツダ技報

Mazda Technical Review

2010 No. **28**

# マツダ技報 第28号 (2010)

## 目 次

|   |  |    |
|---|--|----|
| 巻頭言 .....                                 | 藤原清志 .....                                       | 1  |
| 特集：新型プレマシー                                |  |    |
| 1. 新型マツダプレマシーの紹介 .....                    | 松岡英樹, 永柄邦次, 丸山雅弘<br>松岡 完 .....                   | 3  |
| 2. 新型プレマシーにおけるデザインの新規性について .....          | 田畑孝司 .....                                       | 8  |
| 3. 新型プレマシー ダイナミックフィールの統一感 .....           | 梅津大輔, 岡本隆秀, 八木 淳<br>虫谷泰典, 齋藤茂樹 .....             | 13 |
| 4. 新型プレマシー/Mazda5のパワートレイン紹介 .....         | 秋山耕一, 岡本隆秀, 野崎 修<br>山下 修, 沼 聖司, 星野彦一 .....       | 19 |
| 5. プレスの外観品質保証プロセスの構築 .....                | 西村良治, 河野雄志, 川田光紀 .....                           | 23 |
| 特集：環境                                     |  |    |
| 6. コンセプトカー “マツダ清 (きよら)” .....             | ピーター・バートホイッスル, ベノ・ゲセラー<br>吉村康志, 坂本敏則, 上村昭一 ..... | 28 |
| 7. 次世代パワートレイン開発コンセプト「マツダ SKY コンセプト」 ..... | 鈴木 敬, 石野勅雄, 伊藤あずさ .....                          | 33 |
| 8. ノルウェー仕様のRX-8ハイドロジェンREの開発 .....         | 齊藤智明, 桜井 茂, 赤星英明<br>内田浩康, 菅 俊也, 木ノ下浩 .....       | 39 |
| 9. マツダCX-7用尿素SCRシステムの開発 .....             | 石原 力, 氏原健幸, 勝田真斗<br>中島英信 .....                   | 44 |
| 10. ECU用小型データロガーの開発 .....                 | 吉川尚好, 寺島将太 .....                                 | 49 |
| 11. 次世代バッテリーマネジメント技術の開発 .....             | 久米章友, 庄司 明, 吉田勝正<br>小谷和也, 平野晴洋, 福馬 勉 .....       | 54 |
| 12. 新水性塗装システム「アクアテック塗装」高機能塗料の開発 .....     | 山根貴和, 久保田寛, 中野さくら<br>古賀一陽, 石橋毅子, 神田輝夫 .....      | 59 |
| 13. アクアテック塗装 工程短縮技術の開発 .....              | 橋本 堅, 亀迫裕介, 松田隆臣<br>世良和也, 和泉昭雄, 大谷 崇 .....       | 65 |
| 14. 高耐熱高強度ポリ乳酸開発材による自動車内装部品の開発 .....      | 松田祐之, 栃岡孝宏, 一原洋平<br>岩本道尚, 志水克教, 岩山幸生 .....       | 70 |
| 15. マツダのライフ・サイクル・アセスメント .....             | 新田茂樹, 森口義久 .....                                 | 75 |

## 論文・解説

|                                       |  |     |
|---------------------------------------|--|-----|
| 16. ハイポイドギヤ高速加工条件の最適化 .....           | 三石智洋, 松岡保道, 樋口昭彦<br>坂東武夫 .....             | 80  |
| 17. 鞭打ち傷害低減シートの開発 .....               | 松村広隆, 横山暢彦, 西田靖彦<br>上野正樹, 尾川 茂 .....       | 86  |
| 18. ランプ内結露現象分析のためのCAE技術開発 .....       | 高田俊穂, 井上 実 .....                           | 91  |
| 19. 傷・汚れ防止をした内装樹脂部品の表面の開発 .....       | 中村信弥, 貞野雅人, 山地一平<br>阿部智行, 花田庸子, 福丸孝司 ..... | 96  |
| 20. ヒンジ型a接点電磁リレーの復帰時バウンスに関する一報告 ..... | 岡田厚信 .....                                 | 101 |
| 21. ロードスター20周年の総括 .....               | 山本修弘 .....                                 | 106 |
| 社外への発表論文一覧表 .....                     |  | 111 |

# Mazda Technical Review No.28

## CONTENTS

### Foreword

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <i>(K.Fujiwara)</i> ..... | 1 |
|---------------------------|---|

### Special Edition for New Premacy

|  |    |
|--|----|
| 1. Introduction of New Mazda Premacy<br><i>(H.Matsuoka, K.Nagae, M.Maruyama, K.Matsuoka)</i> .....                                   | 3  |
| 2. “Novelty” that New Premacy Challenged<br><i>(K.Tabata)</i> .....  | 8  |
| 3. Development of Harmonized Dynamic Feel of New Premacy<br><i>(D.Umetsu, T.Okamoto, A.Yagi, Y.Mushitani, S.Saito)</i> .....         | 13 |
| 4. Introduction of New Premacy/Mazda5 Power Train<br><i>(K.Akiyama, T.Okamoto, O.Nozaki, O.Yamashita, S.Numata, H.Hoshino)</i> ..... | 19 |
| 5. Establishment of Process for Assuring Surface Quality<br><i>(Y.Nishimura, T.Kono, K.Kawata)</i> .....                             | 23 |

### Special Edition for the Environment

|   |    |
|---|----|
| 6. Concept Car Mazda KIYORA<br><i>(P.Birtwhistle, B.Gessele, Y.Yoshimura, T.Sakamoto, S.Kamimura)</i> .....   | 28 |
| 7. Next-Generation Powertrain Development Concept “Mazda SKY Concept”<br><i>(T.Suzuki, T.Ishino, A.Ito)</i> .....   | 33 |
| 8. Development of Norway Specification RX-8 Hydrogen RE<br><i>(T.Saito, S.Sakurai, H.Akahoshi, H.Uchida, T.Kan, H.Kinoshita)</i> .....                            | 39 |
| 9. Development of Urea SCR System on MAZDA CX-7<br><i>(C.Ishihara, K.Ujihara, M.Katsuta, H.Nakashima)</i> .....   | 44 |
| 10. Development of Compact Data Logger for Electronic Control Unit<br><i>(H.Yoshikawa, S.Terashima)</i> .....   | 49 |
| 11. Development of Next Generation Battery Management Technology<br><i>(A.Kume, A.Shoji, K.Yoshida, K.Kotani, S.Hirano, T.Fukuma, Y.Nakano)</i> .....             | 54 |
| 12. High Functional Paint for Aqua-tech Paint System<br><i>(T.Yamane, H.Kubota, S.Nakano, K.Koga, T.Ishibashi, T.Kanda)</i> .....                                 | 59 |
| 13. Development of Process Integration Technology for Aqua-tech Paint System<br><i>(K.Hashimoto, Y.Kamesako, T.Matsuda, K.Sera, A.Izumi, T.Otani)</i> .....       | 65 |
| 14. Development of Automobile Interior Parts using Developed Polylactic Acid<br><i>(Y.Matsuda, T.Tochioka, Y.Ichihara, M.Iwamoto, K.Shimizu, Y.Iwayama)</i> ..... | 70 |
| 15. Mazda Life Cycle Assessment<br><i>(S.Nitta, Y.Moriguchi)</i> .....  | 75 |

## Technical Reports

|   |     |
|---|-----|
| 16. Optimization of High Speed Cutting for Hypoid Gears<br>( <i>T.Mitsuishi, Y.Matsuoka, A.Higuchi, T.Bando</i> ) .....                       | 80  |
| 17. Development of Seat to Reduce Whiplash Injuries<br>( <i>H.Matsumura, N.Yokoyama, Y.Nishida, M.Ueno, S.Ogawa</i> ) .....                   | 86  |
| 18. CAE Technology to Analyze Dew Condensation in Lamp<br>( <i>T.Takata, M.Inoue</i> ) .....  | 91  |
| 19. Development of Scratch/Stain-Free Plastic Interior Parts<br>( <i>S.Nakamura, M.Sadano, I.Yamachi, T.Abe, Y.Hanada, T.Fukumaru</i> ) ..... | 96  |
| 20. Bounces of Making Contact Relay on Braking Time<br>( <i>A.Okada</i> ) .....   | 101 |
| 21. Summary on the 20th Roadster Anniversary<br>( <i>N.Yamamoto</i> ) .....   | 106 |
| List of Reports Published in 2009 .....   | 111 |

## 巻頭言

## マツダブランドという襷を夢への挑戦でつなぐ

執行役員 藤原清志  
Kiyoshi Fujiwara

2010年、創立90周年を迎え、このマツダ技報も1983年創刊以来28回目を無事発刊できるのは、これまでの諸先輩方の努力とマツダを思う熱き想いが、駆伝の襷のごとくつながった証である。更なる100周年に向け、この襷をつないでいく責任の重さを感じ、感謝の気持ちと共に、夢実現に向け、変革の努力を続けたいと考えている。

マツダの「襷」とは…と思い、今一度その歴史を振り返ってみると、創刊号の山本 健一氏の巻頭言には、「我社の歴史の根底には、挑戦と前進によって、個性化への強い願望と自覚が息づいている。Something Different, Something Distinctive, Something Innovative...」とある。また、21世紀初刊号の故 以南 文昭氏の巻頭言には、「夢を持たねば革新は進まず、自然の理を解さねば革新は成就しない。」と書かれている。そして昨年、龍田康登氏の「エンジニア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、エンジニアの持つ夢を考えるだけでわくわくする。」まで、一貫して、「個性化への夢、その夢への挑戦、そして前進し革新を起こす」を言われ続けている。

これこそが、マツダのエンジニアの受け継いできた「襷」であり、最近の言葉で言えば「ブランドDNA」であると考えている。

我々、自動車業界、もしくは産業界には、二つの大きな課題があると言える。一つ目は、100年に一度の経済危機と共に、自動車の新動力源の時代の幕開けが始まったこと。二つ目は、若きエンジニアの疲弊感と、直接的なコミュニケーション能力不足からくるストレス過多。この二つは、将来の創立100周年に向け、またマツダ技報を50回、100回と続けていく上で、解決しなければならない大きな課題である。

この二つの課題解決を考えるキーワードは、「ブランディング」にあると考えている。まず、マツダの考える夢・Visionは、“今までも、そして、これからも、子供の時に感じた「動くことへの感動」「乗りこなした・使いこなした時の感動」「美しいものを持った時の感動」を愛し持ち続ける人々に、心をときめかせ、新しい自分を発見し、はつらつとした姿を、また、いつまでも、挑戦し続け、活気あふれる人生を楽しむ姿を、そして、大空に向かいのびのびと、情熱的に人生を楽しむ姿を、また、スマートで、前向きに、独創的に人生を楽しむ姿を通じて、関わる人々が心ときめかせ、はつらつとした笑顔になるように、そして、世界を明るくするために、いつまでも、『心がときめくドライビング体験』を提供し続け

ます。”であると信じている。小さい企業ながらも、いつも感動を与え続けること、これこそが、マツダとお客様が共に創り出し、お互いが期待していることであると信じている。

将来、新しい動力源の時代は来ることは間違いないと言える。ただし、このお客様との約束・期待を達成できることが同時に求められていると考えなければならない。そのためには、いつまでも、五感すべてに感動を与え続けながら、地球のために笑顔になれる技術を開発し続けることが必要である。独創的な考えにより内燃機関の理想を追求し続け、その上で、段階的に電気デバイスを進化させ、世界中のどこでも、マツダ車に乗れば、こころときめく感動を与えつづけることが、一つ目の課題解決であると確信している。つまり、マツダのエンジニアの夢、それは受けつがれてきた「独創的な技術を開発する」というマツダのエンジニアの襷でもあり、それがMazdaのブランドとして受け継がれていくものであると信じている。

もうひとつの課題解決は、「何のために働くのか？」の質問にあると考えている。最近の若手エンジニアの声を聞いてみると、みんな高い志、やる気は持っている。仕事をしたい！と思っている。ただし、目的を失いつつある、もしくは目的を見つけれずにいる。そのためにも、「ブランドのために働く！」ちょっと奇異に感じるかもしれないが、日本人の達成感、組織に貢献できたという効力感であり、全員が同じ目的に向かった仕事をしている姿、つまり「ブランドのため」という姿を作り出すことが重要ではないかと再認識している。自らの目的＝“夢”を追求、忠誠心の対象は仕事、仕事を通じた自己実現＝夢実現 ではないかと。自分の目標実現のため、パートナー（＝仲間）としっかりとコミュニケーションを通じて仕事を楽しむ、このような人間になりたいと、若いエンジニアは考えているように感じている。つまり、その答えは、「ブランドのために」であると信じている。

この3年間、エンジニアに、「10年、15年後の理想の姿を示せ！」「その理想の姿に向けて挑戦することは何だ！」「その挑戦的な厳しい仕事を楽しもう！」と言いつづけてきた。関係するエンジニア全員が同じ理想像＝ゴールを共有化し、その実現に向け、各人が自分の持場（コントロールできること）で自分の仕事の目標を立て、それを実現する。その厳しい過程を、一緒に楽しんできた。エンジニアは、夢実現に挑戦しているとき、素晴らしい目と顔をしている。それが楽しんでいることを表しているバロメーターであり、これこそが、ブランドのために、仕事を楽しんでいる理想の姿であると言える。これこそが、マツダのエンジニアの引き継いできた襷であり、ブランドであると信じている。

マツダブランドのために、仕事を楽しんできたエンジニア達の夢実現の第一弾の予告編として、本誌では、2009年東京モーターショーで発表した「SKYシリーズパワートレイン」、そのパワートレインを搭載したコンセプトカー「清」などの特集を掲載している。90周年から100周年に向けての基盤となる技術であり、これを開発し続けるエンジニアの志、夢、想いを感じていただければ幸いである。

最後に、マツダ技報は、夢実現に向け、多くの素晴らしいマツダのランナーが、諸先輩から受け継いだ襷を持ち走り続けてくれた歴史であり、その成果の一部である。寄稿してくれた皆様に感謝するとともに、今後とも、この襷をつなぎ、マツダブランドのために独創的な技術を開発し続けていただきたいと願う。また、その夢実現に微力ながら、いつまでも貢献したいと考えている。



特集：新型プレマシー

1

## 新型マツダプレマシーの紹介 Introduction of New Mazda Premacy

松岡 英樹\*<sup>1</sup> 永柄 邦次\*<sup>2</sup> 丸山 雅弘\*<sup>3</sup>

Hideki Matsuoka Kunitsugu Nagae Masahiro Maruyama

松岡 完\*<sup>4</sup>

Kan Matsuoka

### 要約

コンパクトクラスの3列モデルとして、現行プレマシー（海外名：Mazda5）は2005年にグローバルに導入された。日本・欧州・北米・アジア各市場で異なる競争環境の中、グローバルで高く評価されている世界唯一のモデルである。新型プレマシーは、自動車を取りまく環境、顧客志向の変化に対応し、現行モデルの強みであるデザイン、機能性、ダイナミックな走りを継承し、更に環境性能を大幅に強化させることで、サステイナブルZoom-Zoomを体現する商品として進化させた。MAV（Multi Activity Vehicle）本来のフレキシビリティを有しながら、サステイナブル時代に相応しい進化を遂げた車として、家族に対しては生活の行動範囲が広がる期待感を提供し、ドライバ自身に対しては惹き付けるデザインと運転の楽しさが自信に満ちた表情をもたらす、それが新型プレマシーである。

### Summary

Current Premacy was introduced globally in 2005 as compact class 3 row seat vehicle. It is an only model as highly evaluated in the world, even under different competitive circumstances by market of JPN, Europe, North America and 4A,. New Premacy is evolved into a product to realize Sustainable Zoom-Zoom, with enhancement of styling, functionality and Dynamic driving of current strength and improvement of environmental friendliness, to comply with industry circumstances and changes of customer expectation. New Premacy offers customers expectations of wider lifestyle activities with families and confident driving and seductive styling as a drive, with MAV (Multi Activity vehicle) original flexibility. That is the New Premacy.

### 1. はじめに

プレマシーは世界で唯一グローバルに展開するコンパクトクラスサイズの3列シートモデルである。各社とも多人数3列シートモデルを日本、欧州、北米各々個別に展開しているが、現行プレマシーは各市場で感情的価値（デザイン・運転の楽しさ）と機能的価値（パッケージ、スライドドア）を高次元で両立することにより、独自性のある商品ポジショニング確立に成功した。一方、市場環境は激変しお客様の価値観は様変わりした。新型プレマシーは、現行の独自性・強みを生かしつつ、市場の変化に対応し、環境性能を大幅に強化させることで、顧客の期待を超えるべく

成熟を重ねたサステイナブルZoom-Zoomを体現した車を目指して開発した。

### 2. 商品コンセプト

商品コンセプトは、様々なシーンでバランス良く使いこなして頂けるスマートな車として、『Contemporary Smart Choice』とした。子供さんの送迎・家族での旅行にといったファミリーカーとしての使いやすさ、またご夫婦での洒落たレストランへのお出かけや自ら運転を楽しむ車としても使って頂けるよう、ファミリーカーとしての機能性だけでなく、乗用車感覚でのスタイリッシュさ、運転の楽しさと快適性を兼ね備え、ドライバ自身の感情を刺激する車

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

\*3 企画設計部  
Basic Design Dept.

\*4 商品企画部  
Product Planning Dept.

を目指した。そのためのKey Valueとして、

1. New Stylish Design
2. Intelligent functionality
3. Intelligent & Dynamic Driving
4. Environment friendly

を注力して開発した。各Valueについての特徴を以下に述べる。

### 3. 商品特徴

#### 3.1 New Stylish Design

##### (1) デザインコンセプト

現行プレマシーは、スライドドアでスポーティなデザインとして受け入れられたが、競合著しい各社のデザインもスポーティなデザインとなり現在では目立たない状況となっている。そのため新型プレマシーでは、New Stylish Designのイメージを“望まれたことを卒なくこなす能力と惹き込まれるような魅力を併せ持つ“Seductive smartness”（誘惑する才気）のデザインコンセプトのもと開発した。

##### (2) エクステリアデザイン

新型プレマシーの造形は、新型アクセラでのファミリーフェースを進化させ、更に3つの思いを“NAGARE”造形に込めてデザイン表現した。

- ① Impact... 誰にでも一目見て感じる強いデザインコンセプト表現のためにエモーショナルな造形をプラスし、ExoticやElegantなデザインイメージを強調した。
- ② Innovation... スライドドアを持つミニバンの箱のような造形、ボデーセクションがフラット、スライドレールといったネガティブなイメージを払拭し、どこにもない・似ていない・あたらしい造形の実現を目指した。
- ③ Harmony... 環境対応として自然のイメージを髣髴させる水の流れをボデー全体で形に表現した (Fig.1)。



Fig.1 Exterior Design

##### (3) インテリアデザイン

インテリアでは、空間デザインとしてスポーツミニバンらしい“ドライバオリエンテッド”な空間としてデザインされ

た。運転席はコックピートのイメージで操作機器を機能的に配置し、パッセンジャ席はシンプルでコンフォータブルな空間とし、全体をメータフード先端から始まる“NAGARE”造形で包み込むデザインとした (Fig.2)。



Fig.2 Interior Design

#### 3.2 Intelligent Functionality

現行プレマシーは、パッケージ／機能性面で競合車にないユニークな商品特徴を持つ、としてグローバルに高い評価を獲得した。我々はこの成功を引き継ぎ、更に市場をリードする、“インテリジェント”なパッケージ／機能性を新型プレマシーに具備させるべく開発をスタートした。

##### (1) お客様に好評なパッケージの継承

新型プレマシーのパッケージ構築にあたり、まず我々はお客様の声の徹底調査／分析を行った。その結果、現行プレマシーのパッケージはグローバルに高い競争力を持ち、新型プレマシーにてこれらを継承することにより、ミニバンをされるお客様の多様なニーズに応え続けていくことが可能だと考えた。

お客様に実車を見て頂いた上で行った、パッケージ評価の調査結果からは、各列の座席の頭上、足元、及び幅方向の空間についてBest In Classの評価を獲得できていることを掴んだ。

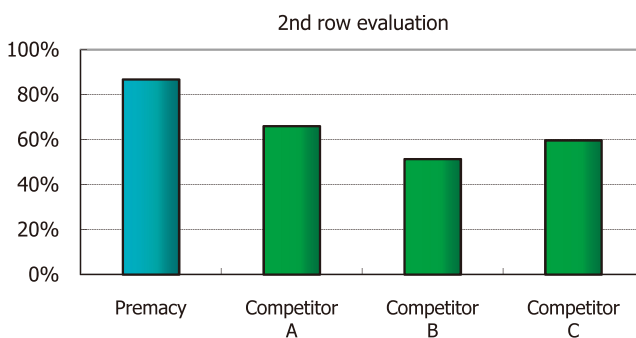


Fig.3 Package Clinic Result

特に、独自のシートアレンジを持つ2列目席において、使用頻度の高い外側席に設定した空間は、“ゆとりある移動空間”という価値を提供していることを確認した。



|                                      | New Premacy | competitor-A | competitor-B | competitor-C |
|--------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 2nd seat type                        | independent | bench        | bench        | bench        |
| width of outboard seat (Dim-a, m/m)  | 575         | (564)        | (584)        | (570)        |
| width of outboard seat (Dim-b, m/m)  | 604         | (533)        | (542)        | (601)        |
| width of center armrest (Dim-c, m/m) | 260         | 235          | 185          | 217          |

Fig.4 2<sup>nd</sup> Row Seat Spacing Comparison

また、新型プレマシーのエクステリア諸元は、歩行者保護規制対応のために拡大した全長を除き現行車同等を維持し、“運転のしやすい車両サイズ”を継承した。

(2) “インテリジェント”を強化した機能性

商品コンセプト“Contemporary Smart Choice”を機能性領域で具現化するにあたり、安心して使える、使ってみてあり難味が分かる“インテリジェント”機能の向上に注力した。

① シートアレンジ

新型プレマシーのシートアレンジは、パッケージ同様にお客様に好評な、マツダ独自の“6+One”シートレイアウトを継承した。シート／アームレスト／ウォークスルー空間として用途に応じて変化させることのできる2列目センタースペースが、他車に例のない独自の魅力点となっている。



Fig.5 6+One Seat Flexibility

新型プレマシーでは、このユニークな2列目中央席に、安全／使いやすさ面での進化を折り込んだ。安全面では、国内向け仕様へヘッドレスト、3点シートベルトを追加設定した。使いやすさ面では、シートサイズを拡大した。シートクッ

ション前端厚さを+50mm、シートバック長さを+50mm、それぞれ拡大した。

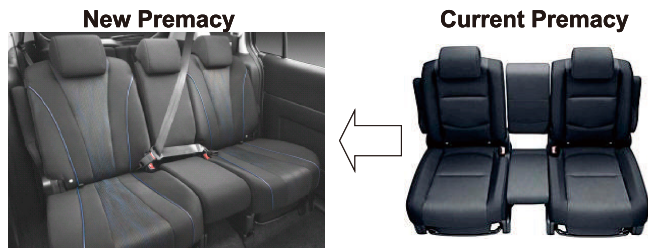


Fig.6 2<sup>nd</sup> Row Seat Enhancement

② スライドドア

新型プレマシーでは、“6+One”シートレイアウトとの組み合わせによる、後席各席への良好な乗降性が好評な両側スライドドアを継承しながら、更に安全面での進化を折り込んだ。リヤドアのラッチをCピラー側だけでなく、Bピラー後部へも設定した“Wラッチ”方式を採用し、リヤドアの離脱、変形を抑制し衝突時の安全性を向上。また電動スライドドア仕様車には、リヤドア閉時に障害物を感知するとドアを反転させる“タッチセンサー”を採用。リヤドア前面シール部へのセンサの設定により、子供の指などの僅かな反力も感知可能とし、電動での操作時の安心感を向上させた。



Fig.7 Double Latch for Sliding Door

③ コックピット

新型プレマシーのコックピット機器配置では、運動性能面で目指す“意のままに操る＝リニア感の向上”をサポートすべく、運転時操作のしやすさに注力した。

運転中にディスプレイ表示を読み取る際の負荷低減を狙い、視線移動量を低減するために、センターディスプレイを現行車比+2.5°上方に配置した。

またセンターパネルの操作SW群については、機能毎に関連の強い物同士を近接して配置するグルーピング配置による直感的な分かりやすさを高めることで、操作のしやすさ向上に配慮した。

### 3.3 Intelligent & Dynamic Driving

#### (1) Harmonized Dynamic Feel

新型プレマシーでは、クラスベストの軽快感による運転する楽しさを更に進化させ、ファミリーカーとしての快適性とより上質な走りの楽しさの両立を目指した。「意のままに操れるリニアさ」を進化ポイントに設定し、アクセル・ステアリング・ブレーキといった各操作系フィールと走る・曲がると・止まるといった一連の車の挙動を一貫して『Dynamic Feelの統一感』を目標に開発した。

#### (2) 「曲がる」ステアリング・ハンドリングの進化

サスペンション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更にリファインした。ステアリングシャフトジョイント部にはラバーカップリングを追加し、フリクション感のないステアリング角度に応じたりニアなステアリングフィールを実現。また、ダンパ、スタビライザ等のサスペンションチューニングの最適化、車体局部剛性を改善し、滑らかなハンドリングとマイルドな乗り心地を高次元で実現した。新型プレマシーでは、ヨー応答性を緩やかにし、リニアで滑らかなハンドリングを楽しめるようにした。これらの統一されたFeelを提供する改善により各シーンでのGのつながりを向上、ドライバだけでなくパッセンジャも走行時の姿勢が安定、安心感のある快適かつ運転の楽しい車へと進化させた。

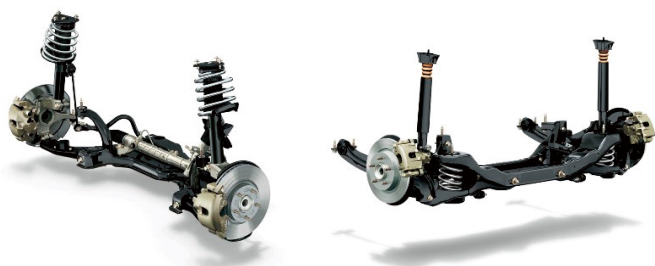


Fig.8 Front and Rear Suspension

#### (3) 「走る」パフォーマンスフィールの進化

アクセルペダル操作に対するスロットル特性・エンジントルク特性を最適化。新型プレマシーでは、ペダル踏み込み量に対する加速Gの出方を全体にリニア化、ステップ制御追加による加速時ショックを緩和、ペダル踏み込み量に応じて加速するフィールをリニアにし、運転に不慣れな方でも扱いやすく、運転を楽しむ方に対してはドライバの意図する「意のままに」楽しめる車へと進化させた。

#### (4) クラスベストの快適性

前述サスペンション特性、リフトゲート開口・サスペンション取付局部剛性アップ、吸音材の最適化、後述する空力性能の最適化を測り、クラストップレベルのドラミングノイズ・インパクトノイズを達成、高速直進安定性と乗り

心地も大きく改善した。また、Aピラーやボンネット後端部形状最適化により風騒音を低減し、更に快適に運転して頂けるようにした。

#### (5) クラスベストの運転の楽しさ

前述の通り、新型プレマシーでは「意のままに」気持ちよく運転できる楽しさと安心感、ノイズ・乗り心地改善によりリラックスして運転できる快適性により洗練された上質なサステイナブルZoom-Zoomな運転を提供している。

### 3.4 Environment Friendly

新型プレマシーは、アクセラで高い評価を頂いている環境技術を採用、更に熟成を図り、環境対応とHarmonized Dynamic Feelを両立させることを目指した。

#### (1) クラストップレベルの燃費性能

日本・欧州向けコアガソリンエンジンとして、i-stop付きDISIガソリンを更に進化させた。圧縮比・バルブタイミングの見直しも含めたエンジントルク特性の最適化、仕向け毎の走りや燃費に最適なギヤ比を選択、欧州向けMT車ではCO<sub>2</sub>を15%低減しつつ滑らかな走りにも貢献した。

また、排気ガス規制として、シングルナノテクノロジーを活用した触媒を全エンジンのキャタリストに採用し、希少な貴金属の使用量を70~90%削減し、省資源に貢献した。

#### (2) 環境対応を見据えた車づくり

##### ① クラストップレベルの空力性能

新型プレマシーは、アクセラ同様のグリルから空気を取り込み車両後方にスムーズに流すNew Family Face構造を採用。また、空気の流れを後方にスムーズに流すために、バンパ、ボンネット、Aピラーからリヤコンビランプに至るまでの各部形状を気流の剥離を考慮して設計した。アンダーボデーには、フロントタイヤディフレクター、アンダーカバーを設定して気流を後方にスムーズに流すための施策を折り込むことで、欧州モデルはクラストップレベルのCD値0.3を達成した。同時に、フロントリフトとリヤリフトも各部仕様の煮詰めによる前後バランスの最適化を図り、燃費性能の向上だけでなく、風騒音性能や高速直進安定性の改善を図り、安心感のあるクラストップレベルの快適な走りの実現にも貢献した。

##### ② 車両質量

新型プレマシーでは歩行者保護対応、年々強化される衝突規制対応、DSC標準化等の安全装備拡大展開による安全対応等による質量増を最小限に抑制、現行プレマシー同等の車両質量とし、クラストップレベルの燃費性能の実現に貢献した。

##### (3) LCA (Life Cycle Assessment)

新型プレマシーでは、燃費モデルによる環境対応としてだけでなく、全機種でライフサイクルにおける環境改善を図り、Life Cycle Assessmentを実施した。欧州向けでは、2.0L i-stopモデルでのCO<sub>2</sub> 15%改善を図るとともに、全車種ライフサイクル平均でも14%のCO<sub>2</sub>改善を果たした。

#### 4. おわりに

新型プレマシーは、乗用車感覚のダイナミクス性能とスライドドアやカラクリ機構を備え、6+Oneシートの使い勝手の高いコンパクトなミニバンとして、また、環境にも優しい車として、更に熟成・進化させた。無駄のない実用的なサイズ・スペースで、非常に使いやすく気持ちよく運転できるサステイナブルな時代に合致したスマートな車だと考えている。

家族のため、ご夫婦・ご友人とご一緒に、また、ドライバとしても、ご自身のライフスタイルをサポートする車として、この車一台で多用途に使える賢い選択としてご活用頂きたい。

#### ■著者■



松岡英樹



永柄邦次



丸山雅弘



松岡 完

特集：新型プレマシー

2

## 新型プレマシーにおけるデザインの新規性について “Novelty” that New Premacy Challenged

田畑孝司\*1

Koji Tabata

### 要約

2005年に発売された2代目プレマシーのデザインは、ミニバン市場が拡大する中、マツダらしさを表現したスマートでスポーティなミニバンとして高い評価を得た。しかし今日では、各社とも同じスポーツ路線の商品で追従しており、厳しい市場となっている。そのため、市場の更なる優位性の確保には、デザインの差別化と新規性が今までに増して注目される重要な要素となっている。

今回の新型プレマシーでは、差別化と新規性のために、デザインのアイデアをストレートに表現した。本稿では、他車との差別化を目指し、今までにない造形にチャレンジしたデザインの取り組みについて述べる。

### Summary

In the expanding minivan market, the design of the second generation Premacy, which was launched in 2005, received high acclaim as a smart & sporty minivan embodying Zoom-Zoom. Nowadays, however, competition in the minivan market is growing increasingly severe due to shrinking market volume and other manufacturers introducing new and unique products one after another.

New Premacy is a car through which we sought high novelty by directly expressing design ideas. While this was a great challenge for us, we perceived through our development activities a further possibility of design in this increasingly competitive market.

### 1. はじめに

世界のミニバン市場に多くの商品を供給する自動車メーカーは、各仕向地のニーズに応じた仕向け地別の商品展開を行っている。

マツダは、MPV・ピアンテ・プレマシーの3種のミニバンをラインナップしているが、MPVとピアンテは国内専用車である。他社を含め、唯一プレマシーだけがグローバルに展開されている、世界的にも珍しいミニバンである。すなわち、現行プレマシーとは、グローバルでの異なる仕様や好みに対し、ワンボデーで対応するデザイン的にもチャレンジャブルな開発車種である。

### 2. デザインコンセプト

#### 2.1 マツダデザインと“NAGARE”造形

マツダデザインでは、Zoom-Zoomのもとに、Athletic and Sporty/Exotic and Emotional/Turns heads（誰もが振り返る）をデザインキーワードとして設定している。しかし、他社との差別化のためには、更に明確な表現が必要であった。

現在マツダデザインでは、一つの試みを行っている。それは、自然界の動きのある造形に触発された“NAGARE”造形で、マツダらしくアスレチックでエモーショナルな造形表現への挑戦である。

今回の新型プレマシーは、既存の表現手法に捕らわれることなく、この“NAGARE”造形を用いて他社との差別化を試み、デザインに取り入れた量産車である (Fig.1)。

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

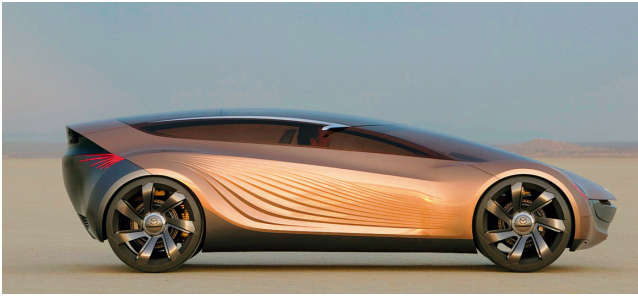


Fig.1 Show Car “NAGARE”

2.2 2つの視点

新型プレマシーのデザイン開発では、2つの視点からデザインの方向性を導き出した。

(1) Mazda Designとしての視点

Mazda Designで規定されている、Athletic and Sporty/ Exotic and Emotional/Turns heads (誰もが振り返る) のデザインワードは、スポーティなマツダ車の軸となるものである。更に今回は、他社はもちろんのこと、マツダの量産車でも今までにない価値として“NAGARE”造形の考え方を取り入れた (Fig.2)。



Fig.2 Design Words

(2) カスタマーニーズの視点

ミニバンの市場では、カスタマーの好むテイストが多様化している。チームでは、新しいスタイルを探るデザイン調査を行った。

日本・欧州・北米で調査を行った結果、従来では実用性が重視され、コンサバティブだったミニバンユーザも、スタイリッシュで斬新なものを求めていることが分かった。

特に欧州・北米では、セダンなどの乗用車ユーザ同様、もしくはそれ以上にデザインに対するこだわりが強い。また、ミニバンは女性ユーザも多く、エレガントなイメージへの嗜好が強い結果となった。そのため、新型プレマシーでは、エ

レガントな表現も含めたスタイリッシュで斬新なデザインイメージを目指し、開発を行うこととした (Fig.3)。

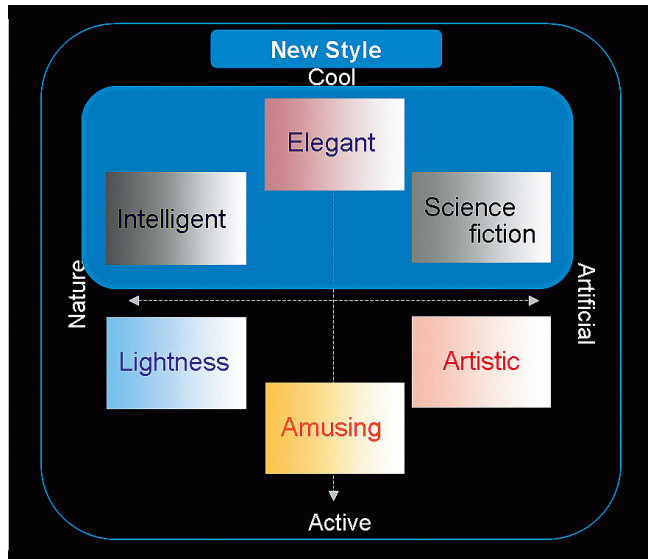


Fig.3 New Style Image

3. エクステリアデザイン

3.1 デザインで表現した3つの思い

自然界の造形が偉大であっても、その形だけをまねしても、デザインとしては優れたものにならない。

デザインは、いかなる造形もそれ自体に意味や意思が必要である。例としては、『枯山水』などが挙げられる。造形自体に作り手の意思が入ることで、文化や感性が宿り、心が伝わるデザインとなり、共感が得られる。

新型プレマシーでは、この思いをImpact/Innovation/Harmonyの3つに込めてデザインを行った。

まず一つ目のImpactについては、誰でも一目見て感じる強いデザインテーマを形とする表現。二つ目のInnovationについては、どこにもない・似ていない、新しい造形の実現。三つ目のHarmonyについては、車を見るさまざまなシチュエーションの中で、風景と一体となる造形美を心がけた (Fig.4)。



Fig.4 New Premacy (Exterior)

### 3.2 エクステリアデザインの新しい試み

#### (1) 水の“NAGARE”

新型プレマシーでは、“NAGARE”を立体的な造形として構築することを試みた。そのため、車を水の塊（流動体）として捉え、水が流れていく様子や風によりできる波の形をデザイン表現とした。

自然の移り行く風景は、留まることなく流れていく。そのため、“NAGARE”造形も常に心地良いリズムを感じるように面やラインのモチーフをリズムカルに表現した。変化と融合を繰り返してゆく様子が、水の流れるような美しさを感じるとともに、エモーショナルでエレガントな印象を持つ新しいデザインとした (Fig.5)。



Fig.5 “NAGARE” Image

#### (2) ボデーでのデザイン表現

フロントグリルから始まった“NAGARE”は、大きな岩に見立てたタイヤを乗り越え、ダイナミックでアグレッシブなイメージを表現しながらフロントフェンダからボデーサイドへ流した。ボデーサイドでは、“NAGARE”は“小石”に見立てたサイドマーカーにあたり、後ろに波紋を残して優雅に流れて行く。そして、スライドドアのレールやリアコンビランプを取り込みながらリヤに繋げる造形とした。

リヤタイヤも大きな岩に見立てた。リヤフェンダ部で“NAGARE”は再び大きな“うねり”となり、これにより単調になりがちなミニバンのボデーに表情を加えた。

“NAGARE”を取り入れたこれら造形により、従来とはまったく違った他車にない斬新なデザインイメージが表現できた (Fig.6)。



Fig.6 Flow of Body

#### (3) “NAGARE”造形の実現

“NAGARE”造形は、デザイン面の造形も含め、開発や生産性においても多くのトライ＆エラーを繰り返した。

デザイン造形では、基本面を通したボデーの凸面に凹面の造形を入れても、凹面のハイライトはイメージしたリフレクションは通らない。また、“NAGARE”のラインをある一定以上傾けると、ボデーの造形がグラデーションで見える明るいボデーカラーなどでは問題ないが、暗いボデーカラーでは、造形が違った表情に見えることも分かった (Fig.7)。

同様に、設計開発・生産領域においても“NAGARE”造形の実現へ向けた議論を重ねた。設計開発の中では、パネルの剛性が必要以上に上がることや、市場での補修性に新たな対応が必要だということが出てきた。開発・生産メンバと、造形の深さや角度、そしてライン間の幅といったパラメータに対し、多くの検証を繰り返した。その結果、最終的に現行車同等の補修性を確保する造形を見出すことができた。



Fig.7 “NAGARE” Trial Panel

## 4. インテリアデザイン

### 4.1 ドライブオリエンテッド

インテリアで重要なことは、空間デザインと機能性の高いレイアウトとの融合である。そのため、“NAGARE”造形を行うにあたり、空間とレイアウトのイメージを明確にする必要があった。



チームで多くの空間とレイアウトの検討を行った結果、商品イメージの原点に立ち帰ることとした。

スマートでスポーティなイメージと、新型アクセラとのデザインテーマの一貫性を考え、ドライバを軸とした『ドライバオリエンテッド』の考え方で空間開発を行った (Fig.8)。



Fig.8 Driver Oriented

内装全体を運転席側から始まる“NAGARE”の波紋としながら、運転席はスポーティなイメージとし、メータフードの先端からセンターパネルや機能パーツを取り囲むイメージで表現した。

助手席側は、横前方への“NAGARE”のラインを使い、開放感を感じるコンフォータブルな空間として包み込むイメージでデザインした。また、物入れについても“NAGARE”の波紋を取り入れ、ドライバ側と助手席側の物入れとも開口を広くし、使い勝手を向上させた (Fig.9)。



Fig.9 Idea Sketch

#### 4.2 加飾の考え方と機能表現

新型プレマシーでは、加飾パーツを単なる飾りではなく、ドライビング時の操作パーツの視認が良くなるように考えた。

見栄えと触感から質感を向上させるとともに、視認性を良くするため、MTシフトノブ・ベンチレーションルーバーノ

ブ・インナハンドルレバー・オーディオセンターノブにクロームメッキ処理を行った。

シルバーのパーツは、操作エリアをグルーピングする配置とした。オーディオでは、各スイッチを機能と使用頻度の違いで分類し、シルバー加飾の内側を一番使用頻度の高い領域のスイッチを配置、外側は使用頻度の低いスイッチの配置として、操作をしやすくした。また、シルバーのパーツを細い形状とすることで、アルミ調の質感を高めた (Fig.10)。



Fig.10 Instrument Panel (L/H & R/H)

## 5. カラー開発

### 5.1 内装カラー&シート

内装カラーは、インパネとドアトリムをブラックとし、シート材料ではスポーティなブラックと、ハイコントラストでラグジュアリーなサンドベージュを設定した。

材料の種類は、ファブリックで2種類を設定した。上級グレードのファブリックシートでは、センター材に立体感のあるジャガード組織を使用し、アクセントカラーを使って“NAGARE”を表現した。また、青いパイピングを加えてスポーティなイメージを強調した。

レザーシートは、欧州・北米向けに設定した。赤いパイピングを加えて、スポーツイメージとともに内装の質感アップを強調した。

シートの造形では、スマートで洗練された優雅さとシャープな印象を両立させた。シート前面から背面に向けて、大胆な1枚布を廻す構成で軽く感じる造形表現とし、ブリーツパターンを縦に4本通す“NAGARE”イメージの造形で体にフィットする立体形状を実現した。性能面では、ドライビング時のホールド性と、繭のように体をやさしく包み込むサポート性を両立させつつ、リラックスできる造形とした (Fig.11)。



Fig.11 Seat & Fabric

### 5.2 グラデーションとリフレクション

カラーを分類する場合、一般的にはライトとダーク・有彩と無彩・ポップとシックといったような表現で分類される。しかし、今回の新型プレマシーでは、まったく違った視点で色の分類を考えた。水をテーマにした今回の新型プレマシーでは、そのボデー表情の見え方が水同様に移り変わることから「グラデーションとリフレクション」とに分類した。

淡い色の3色は、軽やかに流れていく清流のように“NAGARE”の造形がグラデーションで際立ち、濃い色の4色は、夕暮れに輝く“水面（みなも）”のリフレクションのように幻想的なイメージを醸し出す。

今回の新型プレマシーの造形では、“NAGARE”の造形と色の関係により、ボデー面の表情が変わるのも特徴である (Fig.12)。

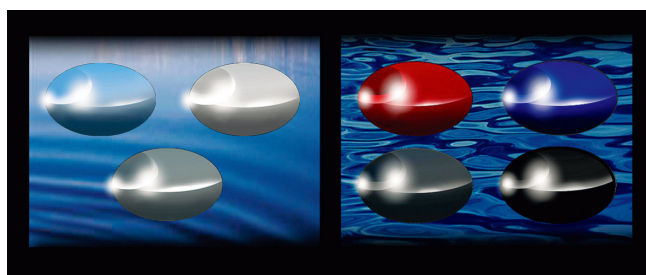


Fig.12 Exterior Color

### 6. おわりに

今回のデザイン開発では、課せられた厳しい開発条件の中でもチームの結束が固く、高いチャレンジ精神を貫いてデザイン開発を行うことができた。

関係者には大変な努力をいただき、生産は難しいとされたデザインを実現することができたし、懸案であった補修性能も現行車同等を達成できた。また、当初より開発目標であった、グローバル商品として効率的な1車種に一のデザイン（エアロパーツは除く）とすることも達成できた。

今回の新型プレマシーのデザインでは、さまざまな点でチャレンジングなものであった。しかし、これも新しいものを生み続けるデザイン開発の一の通過点である。今後も関係者と協力して、更なる魅力あるデザインにチャレンジしたい。

■ 著 者 ■



田畑孝司

特集：新型プレマシー

3

## 新型プレマシー ダイナミックフィールの統一感 Development of Harmonized Dynamic Feel of New Premacy

梅津大輔<sup>\*1</sup> 岡本隆秀<sup>\*2</sup> 八木 淳<sup>\*3</sup>  
 Daisuke Umetsu Takahide Okamoto Atsushi Yagi  
 虫谷泰典<sup>\*4</sup> 齋藤茂樹<sup>\*5</sup>  
 Yasuyoshi Mushitani Shigeki Saito

### 要約

プレマシー/Mazda 5は、グローバルに展開するコンパクトミニバンとして、欧州をはじめとする各市場でクラストップレベルのダイナミック性能を備えている。新型では開発コンセプトに「ダイナミックフィールの統一感」を掲げ、ダイナミック全体を「意のままに操れるリニアさ」で統一することを目標とした。開発にあたっては、統一感の指標を定量的に設定し、ステアリングやアクセルといった各性能において具体的に改善すべき点を明確化した。その結果、「走る」「曲がる」「止まる」のつながりの良さが大幅に向上し、ドライバにもパッセンジャにも気持ちよいダイナミックフィールを実現した。

本稿では統一感開発プロセスの紹介を通して、新型プレマシーのダイナミック性能の特徴を解説する。

### Summary

Premacy has top-level vehicle dynamics in Europe and other markets as the compact minivan sold globally. The development of new model focused on “Harmonized Dynamic Feel” to achieve “linearity that enables operation as intended”. By setting due parameters, improvement needed in each attribute has been identified. The linearity among “driving”, “turning”, and “stopping” feel has improved to deliver dynamic feel for drivers and passengers.

This paper describes the development process for “Harmonized Dynamic Feel” and Premacy’s vehicle dynamics characteristics.

### 1. はじめに

マツダ プレマシー/Mazda 5は、日・欧・米をはじめとする各市場にグローバルに展開するコンパクトミニバンである。前モデルでは、マツダのダイナミックDNAである「反応の優れたハンドリングと性能」を実現し、各市場においてクラスベストの「走りの軽快感」を提供してきた。一方で近年、特に欧州市場においてはミニバン市場の活性化によりクラス全体のダイナミック性能レベルが底上げされつつある。そこで新型車の開発にあたっては、プレマシーの特徴である軽快な走りはそのままに、ドライバが意のままにクルマを操れる「リニアさ」を大幅に改善することをコンセプトに掲げ、改めてミニバンクラスベストの「運転の気持ちよさ」を達成することを目標とした (Fig.1)。

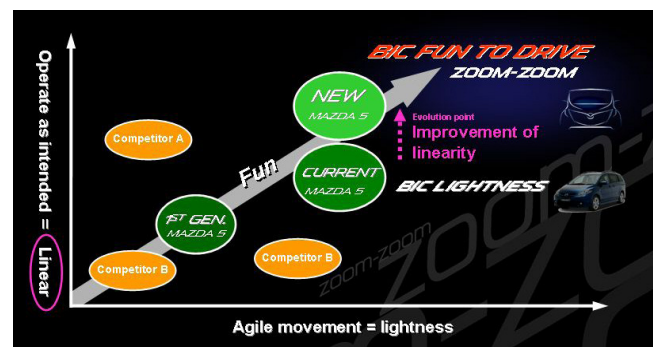


Fig.1 Development Concept

\*1~3 走行・環境性能開発部  
 Drivability & Environmental Performance Dept.  
 \*5 車両開発推進部  
 Vehicle Development Promotion Dept.

\*4 操安性能開発部  
 Chassis Dynamics Development Dept.

## 2. ダイナミックフィールの統一感

### 2.1 開発プロセスの特徴と考え方

車両の「リニアさ」を大幅に改善するためには、走る、曲がる、止まるといった個々のダイナミックフィールを全てリニアな特性とし、車両全体としてリニアなキャラクタにまとめることが重要である (Fig.2)。この考え方を、我々は「ダイナミックフィールの統一感」と呼び、性能開発の柱としている。

統一感のある車両を創り上げるために、マツダでは各性能領域の担当者が横断的にタスクフォースを組んで、互いの影響を確認しながら開発を進めている。この活動では、ダイナミックフィールの目標を物理量で定量的に設定し、それを各担当者間で共有することが最も重要となる。本稿では、その活動の具体的な内容を紹介しながら、新型プレマシーの特徴について解説する。

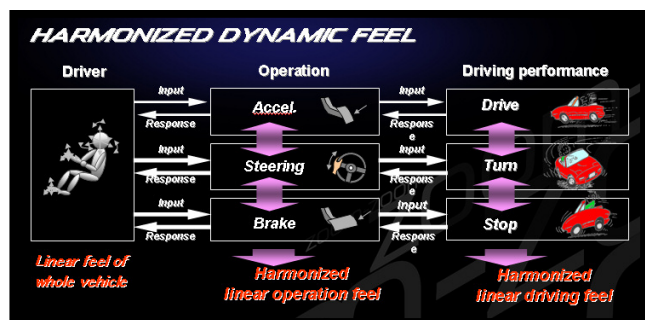


Fig.2 Concept "Harmonized Dynamic Feel"

### 2.2 統一感の定量指標 (G-Gダイアグラム)

ドライバーが交差点やワインディング路でコーナを曲がろうとすると、通常ははじめに直線でブレーキを踏んで減速を行う。これによってフロントタイヤへの荷重を増加させ、曲がりやすい状態を作ったうえで、ブレーキを戻しながらステアリングを切り込む操作を行い、定常旋回運動へとつなげる。その後、曲がり終えて直線へ戻るときには、ステアリングを戻しながら徐々にアクセルペダルを踏み足して直線加速へと移行する。このように、一般的な走行シーンの中では減速→旋回→加速という一連の連係操作と運動が多く見られる。そこで我々は、ダイナミックフィールの統一感を向上させるためには、減速、旋回、加速という各運動間の連係性、すなわち「G (加速度) のつながりの良さ」を進化させるべきと考えた。そこで「Gのつながりの良さ」を定量的に目標設定するためのツールとして、各運動の連係状態を一度に評価可能な指標を検討した。

各運動を全体的に表現する手段の一つとして、前後及び横方向のGをX-Y座標にリサージュ図形として表した「G-Gダイアグラム」がある (例えばFig.3)。レースの世界においては、限界走行時のG-Gダイアグラムの形状と大きさ

を「タイヤの摩擦円」の概念に置き換えて、車両自体の運動限界を表現する手法として用いられる<sup>1)</sup>。レース車両の場合には、摩擦円の淵に沿って運動限界まで余すことなくタイヤグリップを使っているかどうかを評価するために用いられる。一方で乗用車の一般的な走行におけるG-Gダイアグラムの意味を考えると、その形状はGのベクトルと大きさの時間経過を表した軌跡であり、前後及び横方向のGの連係を定量的に表現している。このため、低速での交差点右左折などタイヤグリップの限界に至らない一般領域においては、この形状を用いて減速→旋回→加速の「Gのつながりの良さ」を評価できると考えた。そこで今回は、速度30~50km/h程度の日常的に良く使われる車速帯においてG-Gダイアグラムを指標として用いることにした。なお本稿におけるX-Yグラフでは、直感的理解がしやすいよう、便宜的にX:横G, Y:加減速Gとして表示する。

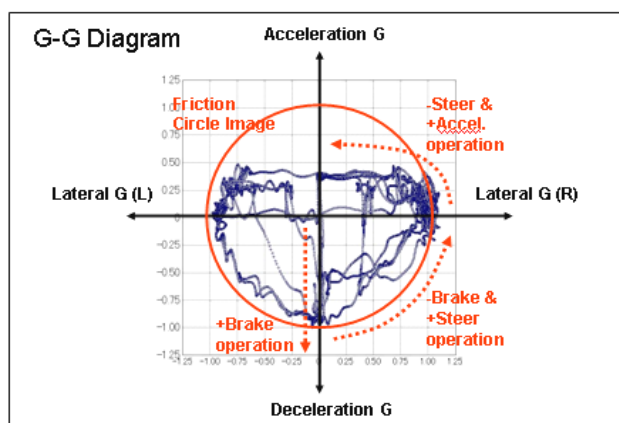


Fig.3 G-G Diagram (Limit Driving at Test Circuit)

### 2.3 G-Gダイアグラム形状の目標設定

では、「Gのつながりが良い」とは具体的にどんな状態であろうか。前述したように、交差点等のコーナを通過するときには通常、減速→旋回→加速という流れでGのベクトルが変化する。ここでいうつながりの良い状態とは、このベクトル変化が連続的、すなわち前者が徐々に減少すると同時に後者が徐々に増加する状態である。これをG-Gダイアグラム上で表現した場合、ひとつのコーナリングが描くG-Gの形状は、減速Gと横G、加速Gのピーク点をつなぐ円形になる。このような運動の場合、乗員の頭部は円を描くような揺れ方となり (Fig.4)、官能評価では安定した身体保持がしやすかった (社内評価結果)。

逆にGのつながりが悪い状態とは、この変化が断続的、あるいは唐突な場合であり、乗員はギクシャクした車両の動きを感じてしまう。これはG-Gダイアグラムでは十字形となり、正にGの連係がなされていない状態である。この場合、乗員の予測と車両運動との不一致によって身体保持がしにくく、特に拘束されていない頭部は各方向に度々振られることとなり、身体的な負担感や違和感が大きかった。

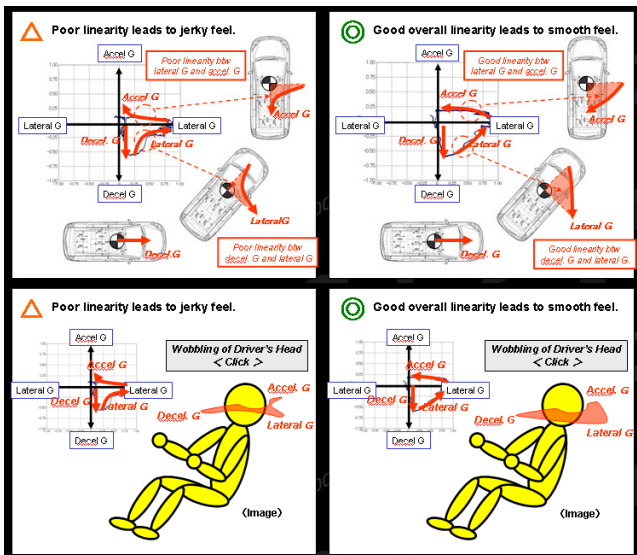


Fig.4 Example of G-G Shape

Fig.5は最大Gが同じで、G-Gの形状が円形、及び十字形と異なる車両運動を行った際の、後席パッセンジャ頸部の胸鎖乳突筋（SCM）の筋電図の一例である。SCMは、加速G及び横Gによって身体に作用する慣性力に対応して、頭部の姿勢を保持する筋である<sup>(2)(3)</sup>。G-G円形運動の場合には、コーナリングの開始から徐々に筋活動が始まり、終了までほぼ一定レベルの安定した活動を続けている。一方G-G十字形運動の場合には、横G及び加速G発生のために筋活動が応答し、ピーク点が複数回現れている。これは短い時間の間に筋が収縮と弛緩を繰り返している状態である。両者の筋電図を全波整流・積分して相対比較した右側の図からは、G-G円形の場合、十字形と比較してターンインの際の筋負担が平均して7%程度低減することがわかった。以上から、最大加速度が同じ車両運動であっても、G-Gダイアグラムの形状によって乗員の筋負担には差異が生じること、またG-Gが十字形であるよりも円形であるほうが乗員の筋負担を低減できることを明らかにした。

G-G円形コーナリングについては、乗員の身体負荷以外においてもその意味が報告されている。山門らの研究<sup>(4)</sup>では、一般走行領域においてG-Gダイアグラムを円形にするエキスパートドライバの走りを車両運動学的に解析した結果、これが各輪タイヤへの負荷が最小となるような運転ストラテジであることが明らかにされている。

以上から、コーナリングにおけるG-Gダイアグラム形状が円形となることを、車両運動全体の達成目標として設定した。

#### 2.4 車両特性によるG-Gダイアグラム形状の違い

これらのG-Gダイアグラムの形状、すなわちGのつながり方は、文献<sup>(4)(5)</sup>でも報告されているようにドライバのスキル、運転操作方法によって異なったものとなる。一方で、ドライバを同一に固定した場合、車両側の操作系、応答性といった動特性によってもG-Gの形状は異なることが考えられる。そこで、様々なタイプの乗用車を、同一のドライバが同一のコース、速度で同様に運転した際の、各車のG-Gダイアグラムを測定した。結果の一例をFig.6に示す。

車両AからFまでの6台を比較すると、減速Gと横G、加速Gそれぞれの最大値はほぼ同じであるが、G-G形状は円形から十字形まで幅広くばらついている。ドライバはコースを同様に走ろうとしているから、このばらつきは主に車両特性の違いによるものと考えられる。また、官能評価の結果からは、車両AのようにG-Gが円形になるほど、意のままに操れるリニアさが良く、車両Fのように十字形になるほどリニアさが悪いことがわかった。

以上から、同一ドライバが同じように運転をしても、車両特性が異なれば描くG-Gダイアグラムの形状も異なることがわかった。そこで、G-Gが円形になりやすい車両の特徴を分析し、その要因となる物理特性を明らかにすることを試みた。

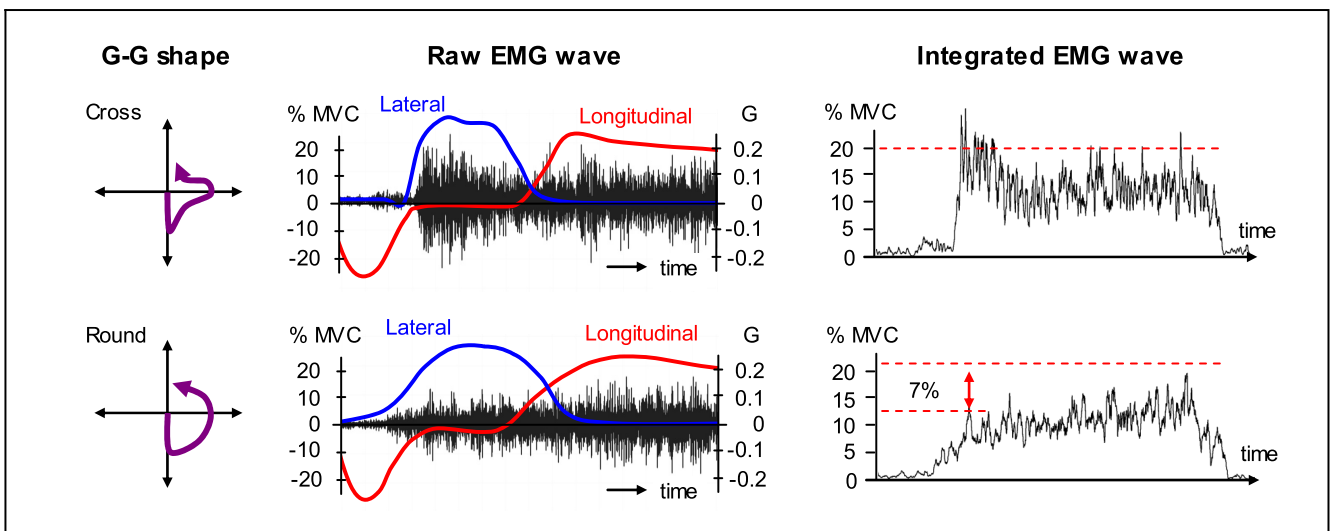


Fig.5 Activity Pattern of Neck EMG

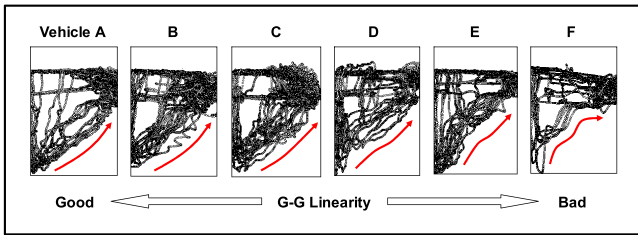


Fig.6 Majored G-G Shape

2.5 運動目標の達成手段

一般走行領域におけるG-Gの形状を決定する車両側の特性としては、おおまかに①ドライバの操作入力に影響する操作系のフィードバック特性、②操作入力に対するGの過渡応答性、という要因が考えられる。そこで、G-G形状に差異が認められた車両AからFまでの6台について①と②の特性を調査した。

①操作系フィードバック特性については、ブレーキとステアリング、あるいはステアリングとアクセルの操作フィールが、それぞれ連係操作しやすい特性となっていることが重要である。このときの連係操作は、Fig.7に示すようにA.ブレーキペダルを戻しながらステアリングを切る、B.ステアリングを戻しながらアクセルペダルを踏む、となるのが理想的である。そこで、どのようなフィードバック特性であればドライバに連係操作を誘導することが

できるのかについて検討した。その結果、全体の傾向として「操作量に対して、フィードバックの増加・減少に急激な変化点がなく、どちらかという線形に近い滑らかな曲線の変化である」場合には、入力がFig.7のような連係操作になりやすいことがわかった。

②操作入力に対するGの過渡応答性については、入力増加に対するGの増加がリニアであるだけでなく、戻し操作に対するリニアなG減少も必要であることがわかった。

以上の検討結果を全体概念図にしたものがFig.8である。この図のように、ドライバの操作入力に対して、各操作系のフィードバック特性をリニア化すること、また各運動のG応答性もリニア化することによって、ドライバー-車両系全体の入出力をリニア化することができ、結果的にG-Gダイアグラムが円形となる状態をつくることのできる。この考え方を基に、前モデルの改善すべき点を明らかにした。

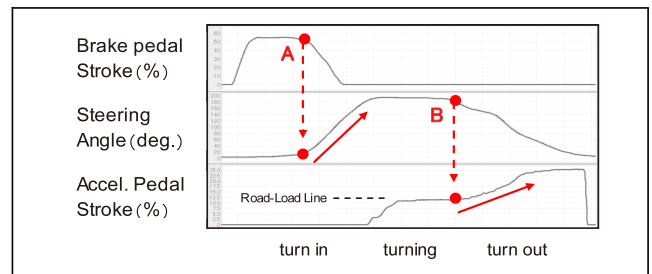


Fig.7 Example of Good Operation

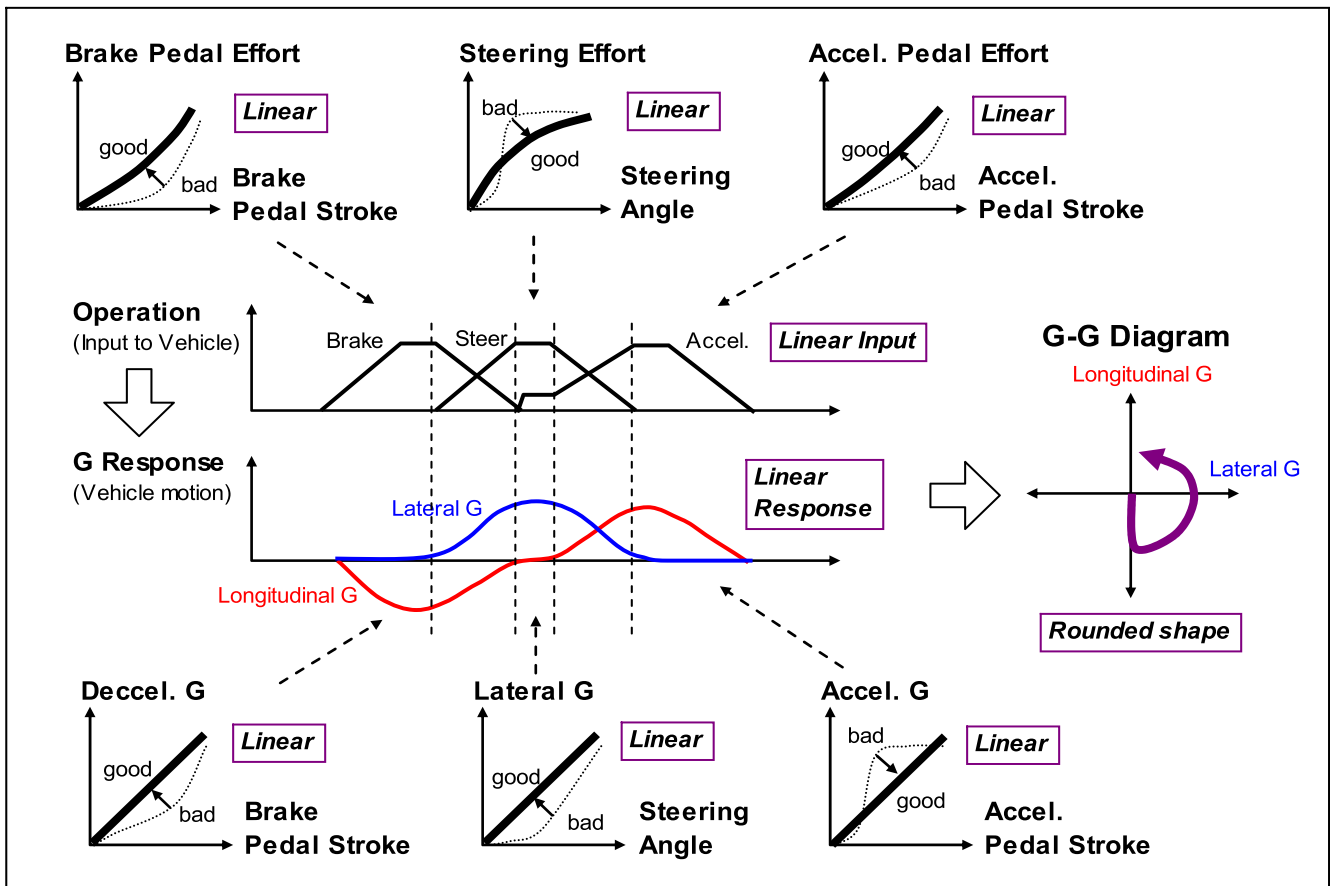


Fig.8 Operation-Dynamics Interaction Image

## 2.6 車両特性の目標設定

Fig.8に示した、G-Gダイアグラムの形状を円形にしやすい理想的な車両特性に対して、前モデルの特性を評価・分析した。その結果、新型で改善すべき性能項目として、

- ①操作系のフィードバック特性については、
  - ・操舵角入力に対する操舵力フィードバックのリニアさ
- ②Gの過渡応答特性については、
  - ・操舵角入力に対する横G応答のリニアさ
  - ・アクセルペダル入力に対する加速G応答のリニアさが挙げられた。これらの改善目標を、操縦安定性能及び走行性能担当をはじめとした開発メンバ全員で共有した。

## 2.7 光るシーンの設定

以上の改善目標達成のため、新型プレマシーはパーキングなどの極低速域からヨーロッパのアウトバーンの高速域まで、あらゆる走行シーンにおいてテストを行った (Fig.9)。その中でも、日常的に使用されるミニバンの代表的な走行シーンである交差点右左折を「ダイナミックフィールの光るシーン」として設定し、特に注力して走行データを計測した。以後に示すデータはすべて、交差点右折を想定した右コーナリングにおける測定結果である。具体的な走行モードは、速度30km/hから減速して交差点に進入、右折して、再度30km/hまで加速（一時停止は行わない）とした。



Fig.9 Prototype Test in Europe

## 3. 新型プレマシーのダイナミックフィール

### 3.1 ステアリングフィードバックのリニアさ改善

操舵角入力に対する操舵力フィードバックのリニアさを改善するため、ステアリングシャフトヘラバーカップリングを追加し、操舵力のビルドアップを全体的にリニア化した (Fig.10)。これにより、ドライバはスムーズかつリニアな操舵角入力をしやすくなった。また、センター中立付近に適度なヒステリシスを設けることで、ステアリングに伝わるフィードバック情報の密度が高く、路面外乱に寛容となった。そのため高速走行における路面外乱安定性が改善され、ドライバの安心感も大幅に向上した。

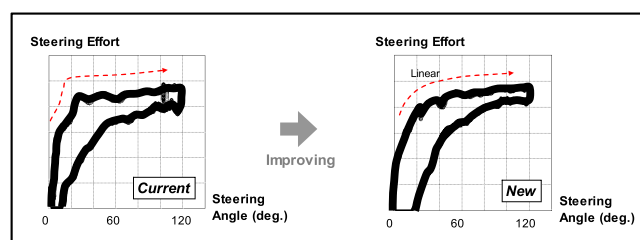


Fig.10 Steering Angle vs. Effort (Feedback)

### 3.2 ステアリング横G応答のリニアさ改善

操舵角入力に対する横G応答のリニアさを改善するため、シャシーの基本的な構成要素であるスプリング、ダンパ及びスタビライザに対してチューニングを行った。具体的には、極低速から限界域まで基本的に弱アンダーステア特性となるよう、ベースモデルに対して前後ロール剛性バランスを変更した。その結果、操舵角入力と車両のヨー応答に対する横G及びロール応答の位相遅れを短縮し、全体的にリニアな操縦感覚を実現することができた (Fig.11)。特に操舵初期においては横G応答遅れを大幅に改善、アンダーステア感を低減した。また乗り心地に関しては、減速Gと横Gのつながりが改善したことによって軽快感のあるダイアゴナルなロール姿勢を実現し、乗員の安心感を向上させている。

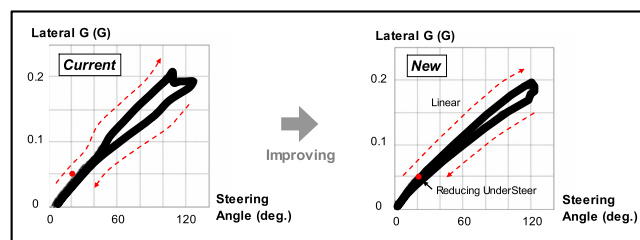


Fig.11 Steering Angle vs. Lateral G

### 3.3 アクセルー加速G応答のリニアさの改善

アクセルペダル入力に対する加速G応答のリニアさを改

善するため、各エンジンのエレキスロットル入出力特性をチューニングした。日本・欧州向けコアガソリンエンジンであるi-stop付き2.0L DISIでは、ペダル開度に対するエンジントルクの割付けをほぼ均等化することで、Fig.12に示すようにドライバのペダル操作に対するGの過渡応答特性を線形化した。これよりリニアフィールが向上し、これまで以上にドライバの意に沿った加速が可能となった。

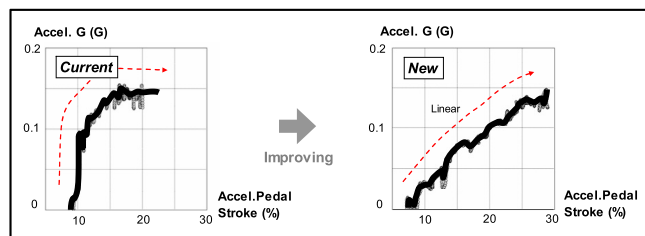


Fig.12 Accel. Pedal vs. Accel. G

### 3.4 ダイナミックフィール全体の統一感

以上の各性能項目の改善により、交差点右折モードにおけるG-Gダイアグラムの形状は、前モデルの十字形から理想に近い円形へと改善した (Fig.13)。具体的には以下の改善効果を組み合わせることで、G-G形状を円形化することができた。

- ・ステアリングフィードバックのリニアさ改善により、ドライバのブレーキ戻し操作に係して操舵しやすくなったこと
- ・ステアリング横G応答のリニアさ改善により、減速Gの減少に係して遅れなく横Gが増加するようになったこと
- ・アクセル加速G応答のリニアさ改善により、横Gの減少に係して適切に加速Gが増加するようになったこと

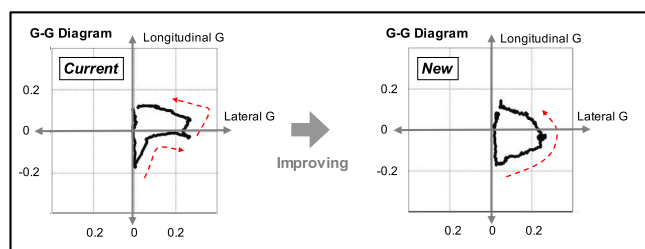


Fig.13 G-G Diagram of New Premacy (Right)

このように新型プレマシーでは、目標である「Gのつながりの良さ」を大幅に改善することで、ダイナミックフィール全体のリニアさを向上し、統一感を進化させることができた。

## 4. まとめ

新型プレマシーは「ダイナミックフィールの統一感」を開発コンセプトとし、G-Gダイアグラム等の定量的な指標を用いて目標を設定と開発を行った。その結果、操作系のフィードバック特性とGの過渡応答性を改善し、ミニバントップレベルのGのつながりの良さを実現、リニアフィールの向上を達成した。

マツダでは、今後も「統一感」をキーワードに車両全体の動的質感向上に取り組む。

## 参考文献

- (1) William L. Milliken : RACE CAR VEHICLE DYNAMICS, SAE (1995)
- (2) Iwamoto, Y. : Analysis of a driver's neck muscle activity and acceleration of a vehicle, Neurosci. Res.55, Suppl.1, p59 (2006)
- (3) Ozaki, S. : Can we evaluate Kansei by physiological measurement? , Kansei Engineering International 6, p25-28 (2006)
- (4) 山門 誠 : 横運動に係して加減速を制御する車両の横運動特性に関する検討, 自動車技術会学術講演会前刷集 No.8-08, p9-14 (2008)
- (5) 原中喜源 : サーキットのコーナー進入における旋回制動時のプロドライバと一般ドライバの運転挙動の比較, 人間工学 Vol.46, No.1, p68-78 (2010)

### ■ 著 者 ■



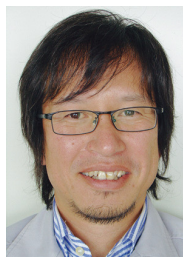
梅津大輔



岡本隆秀



八木 淳



虫谷泰典



齋藤茂樹



特集：新型プレマシー

4

## 新型プレマシー／Mazda5のパワートレイン紹介 Introduction of New Premacy/Mazda5 Power Train

秋山 耕一<sup>\*1</sup> 岡本 隆秀<sup>\*2</sup> 野崎 修<sup>\*3</sup>  
 Koichi Akiyama Takahide Okamoto Osamu Nozaki  
 山下 修<sup>\*4</sup> 沼 聖司<sup>\*5</sup> 星野 彦一<sup>\*6</sup>  
 Osamu Yamashita Seiji Numa Hikoichi Hoshino

### 要約

新型プレマシー／Mazda5は、前モデルで好評を得ていた走りの楽しさや、優れたパッケージングを継承しながら、Sustainable Zoom-Zoomの具現化を目指し、大幅な環境性能の進化を実現すると同時に、ドライバは意のままに容易に車両を操ることができ、同乗者も安心して快適なドライブを楽しめるパフォーマンスフィールへ進化させることを目標とした。

本稿では、商品コンセプトの「Contemporary Smart Choice」を支えるパワートレインを紹介する。

### Summary

New Premacy/Mazda 5 is aimed at achieving significant improvement in environmental performance by embodying Sustainable Zoom-Zoom while inheriting fun-to-drive and excellent packaging of the previous model. It is also targeted at achieving performance feel which enables drivers to control the vehicle at their will, and passengers to enjoy a comfortable drive.

The following article introduces the powertrain that firmly supports the product concept 'Contemporary Smart Choice'.

## 1. はじめに

プレマシーは初代モデル以降、日本・欧州・北米にコンパクトな3列シートモデルを導入し、優れたパッケージング・デザイン・運転する楽しさ等、独自性のある商品ポジションを確立してきたモデルである。

新型プレマシー／Mazda5のパワートレインでは、初代から継続する優れたパッケージング等の長所を受け継ぎながら、環境意識が急激に高まった市場環境に対応すると同時に、「すべての乗員が、快適なドライブを楽しめる」という基本性能を高めることを目指した。

本稿では、2.0L Direct injection spark ignition (以後DISI) エンジンを搭載した国内／欧州のパワートレインについて紹介する。

## 2. 新型プレマシーのパワートレイン

### 2.1 パワートレインの目指したもの

Sustainable Zoom-Zoomの具現化として、排気ガスや燃費に代表される環境性能については、アクセラやアテンザで新開発したパワートレインを更にリファインすることで、クラストップレベルの環境性能を効率よく実現し、アフターダブルな価格でワールドワイドに提供することで、全体の環境負荷を低減することを目指した。

パフォーマンスフィールの領域では、前モデルで高く評価されたドライバの運転する楽しさを維持しながら、新型モデルでは、同乗者全員がより快適にドライブを楽しめる、また乗りたくなるような、上質なフィーリングへの進化を目指した。

\*1, 6 パワートレイン開発本部  
Powertrain Development Div.  
\*3 エンジン設計部  
Engine Design Engineering Dept.

\*2, 4 走行・環境性能開発部  
Driveability & Environmental Performance Development Dept.  
\*5 パワートレインシステム開発部  
Powertrain System Development Dept.

## 2.2 パワートレインの重点開発項目

### (1) 環境性能の進化

DISIエンジンを搭載した国内／欧州のパワートレインでは「i-stopの採用」「エンジン本体改良」「ギヤ比の最適化」「実用燃費改善制御」を実施することで、環境性能を大幅に進化させることに主眼をおいた。

### (2) パフォーマンスフィールの進化

パフォーマンスフィールとは、乗員が感じる特性を指標化したもので、「リニア」「スムーズ」「ライブリー」「パワフル」「トルクフル」の5軸で捉えている。

新型モデルは、前モデルで評価の高かったライブリーの領域を維持しながら、リニア／スムーズを高め、ドライバの走る（操る）楽しさのみではなく、同乗者の快適性をより高い次元で両立し、乗れば明らかに進化が体感できることに重点を置いた。

## 3. 環境性能の進化

### 3.1 環境性能進化の目標と考え方

新型プレマシー／Mazda5の2.0L DISIエンジンでは、「実用燃費の改善」と「モード燃費／CO<sub>2</sub>の改善」に注力して開発を行った。

実用燃費については、お客様の満足度を向上させることを最優先課題として改善の方向性を検討している。

お客様の実用燃費とその満足度を分析した結果、「実用燃費に大きな不満を持っているお客様は主に渋滞走行での燃費の悪さが原因であること。」「多くのお客様の満足度を高めるためには、温度／湿度／車速に左右されない実用燃費全体のポテンシャルアップが必要である。」と考えた。

新型モデルでは、より多くのお客様の満足度を向上させるため、下記2点を改善の方向性として定めた (Fig.1)。

- ① 渋滞走行の燃費を大幅改善し、強い不満を排除する。
- ② あらゆる走行／環境条件での燃費ポテンシャルを底上げする。

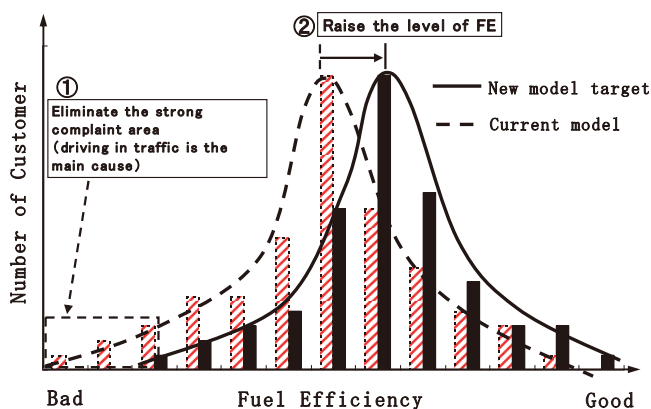


Fig.1 Direction of Fuel Efficiency Improvement

モード燃費の改善については、国内では10・15モード燃費で、16.0 or 15.0km/L (i-stop有無や装備により異なる)を達成し、平成22年度燃費基準に対し15%～25%過達を実現することで、2.0L DISIエンジン全車を優遇税制へ適合させることを必達目標として開発した。

欧州では、多くの国のCO<sub>2</sub>税制において、160 (g/km)以下を達成することで、税制上のメリットを享受できることから、競合環境の中でトップクラスの燃費／CO<sub>2</sub>を実現するだけではなく、159 (g/km) の実現を必達目標として開発した。

Table 1 Fuel Economy & Emission (JPN/EU)

|     | ENGINE           | T/M | 10・15Mode F/E km/L | Emission |
|-----|------------------|-----|--------------------|----------|
| JPN | 2.0L DISI i-stop | 5AT | 16.0 (15.0)        | SU-LEV   |
|     | 2.0L DISI        | 5AT | 15.0               | SU-LEV   |

( ): With Power-operated sliding doors

|    | ENGINE           | T/M | Mode F/E L/100km | Mode CO <sub>2</sub> g/km | Emission |
|----|------------------|-----|------------------|---------------------------|----------|
| EU | 2.0L DISI i-stop | 6MT | 6.9              | 159.0                     | Stage5   |

### 3.2 対応技術

#### (1) エンジン

国内向けの2.0L DISIエンジンでは、i-stopを採用することで渋滞走行での実用燃費を大幅に改良している。

同時にエンジン本体でも、インテークバルブのクローズタイミングを遅閉じ化することで、ポンピングロスを低減し、燃費ポテンシャルを底上げしている。出力性能については、圧縮比を高めて、シーケンシャルバルブタイミング (以後S-VT) の最大作動角を広げて、全開出力性能を維持しており、回転数や負荷に応じてS-VTを最適にコントロールすることで、軽快な走りを維持しながら、低燃費化を実現した (Table 2, Fig.2-1)。

欧州では前モデルのポート噴射タイプ (以後PFI) の2.0Lエンジンから、国内で改良した2.0L DISIエンジンに91Ron仕様から95Ronのガソリン仕様に変更して搭載している。これにより、全域の高トルク化を実現するとともに、実用走行域での燃費を大幅に改善している (Fig.2-2)。

Table 2 Engine Main Specifications

|                                | Current ENGINE | New ENGINE |
|--------------------------------|----------------|------------|
| Displacement(cm <sup>3</sup> ) | 1998           | 1998       |
| Bore x Stroke(mm)              | 87.5×83.1      | 87.5×83.1  |
| Intake valve close             | 37°～67°        | 40°～80°    |
| S-VT Maximum valve angle       | 30°            | 40°        |
| Compression ratio              | 11.2           | 11.5       |

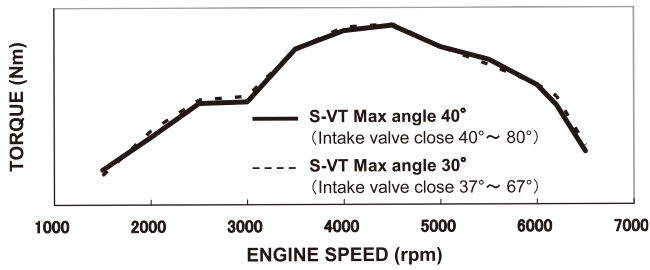


Fig.2-1 Study of Enlarged S-VT Max Angle Effect

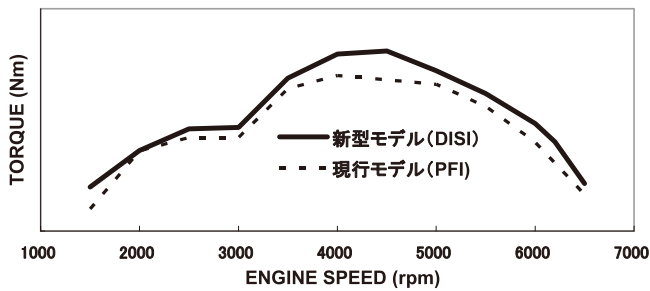


Fig.2-2 Engine Performance (EU 2.0L)

(2) マニュアルトランスミッション

欧州のマニュアルトランスミッションでは、モードCO<sub>2</sub>で159 (g/km) を達成することを最優先に、DISIエンジン化によるトルクアップにあわせてギヤ比を最適化した。新型モデルでは、前モデル比で7速に相当するハイスピードギヤ比を設定することで、常用域のエンジン使用回転を下げ、燃費や静粛性を向上させている (Fig.3)。

しかしながら、このハイスピードギヤ設定は、前モデルと同じギヤ段で走行すると、十分な加速が得られないケースが発生することもあるため、燃費が良いというハイスピードギヤの長所を活かしながら、スムーズに走行できるよう、ギヤシフトインジケータをメータ中央に設定した

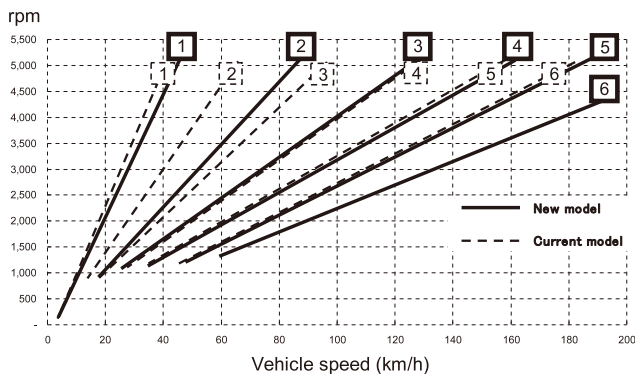


Fig.3 Transmission Gear Ratio

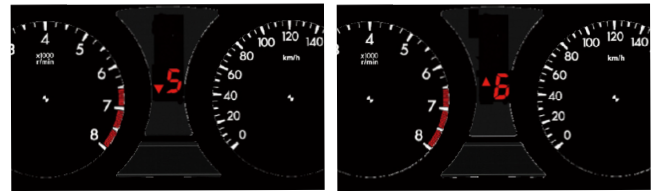


Fig.4 Gear Shift Indicator

(Fig.4)。ギヤシフトインジケータとは、走行環境に応じた最適なギヤ段を表示し、スムーズな走行をサポートするとともに、より良い燃費を実現するシステムであり、ドライバのアクセルペダル操作と車両の状態から、駆動力に余裕のない状況ではシフトダウンを促し、駆動力に余裕があるときはシフトアップを促すように設定している。

(3) 制御システム

あらゆる走行状態/環境条件で、燃費ポテンシャルを改善するために多くの制御改善を行った。

進化させる領域については、冷間/温間/湿度などの環境要素、加速/定常/減速などの走行条件ごとに、下記2点に着目して決定した。

- ① 競合車比較で劣っている領域を改善する。
- ② 伸び代が見込める領域を最大限進化させる。

その結果、12項目の新しい制御ロジックを採用し (Table 3)、温度/湿度/負荷/ドライバの違い等、実用燃費を左右する条件に対し、より安定した燃費性能を発揮できるように進化させている。

Table 3 Fuel Efficiency Improvement Menu

|     |   |
|-----|---|
| 1.  | Knocking limit learning control                   |
| 2.  | Expand lock up range                              |
| 3.  | A/F ratio feedback control for all range          |
| 4.  | $\lambda=1$ driving range expanded                |
| 5.  | Fuel cut area expanded                            |
| 6.  | ignition timing during idling optimized           |
| 7.  | ignition timing at acceleration is optimized      |
| 8.  | ignition timing when high-speed driving optimized |
| 9.  | ignition timing at start optimized(MT)            |
| 10. | Fuel spray amount at start reduced (cold start)   |
| 11. | Idle speed reduced when low temperature           |
| 12. | Elec. Fan operate frequency reduced               |

## 4. パフォーマンスフィールの進化

### 4.1 パフォーマンスフィールの方向性

新型モデルでは、車両全体のダイナミック性能を構成する各性能要素に、より高い統一感を持たせることで、上質なフィーリングを実現することを目指した。

パフォーマンスフィールの領域についても、他の性能要素と方向性一つにして、協調して開発を進めてきた。

具体的には、前モデルで高評価を得たライブリー（軽快）の領域を維持しながら、ドライバの操る楽しさと、同乗者の快適性をより高次元にバランスすることを目指して、「リニア」「スムーズ」の領域を進化させることを目標とした (Fig.5)。

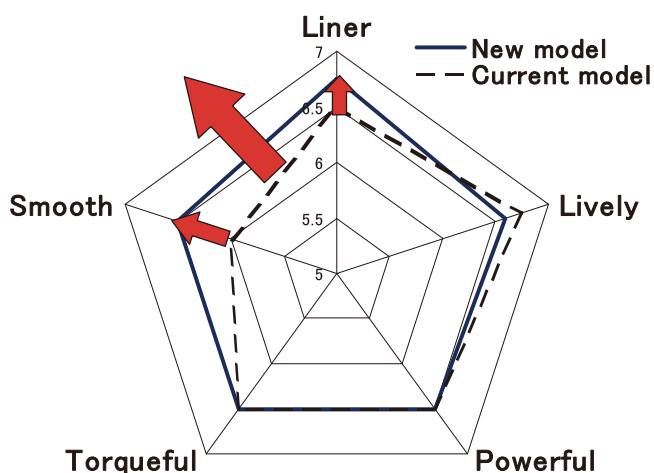


Fig.5 Performance Feel Orientation

### 4.2 「リニア」「スムーズ」の作り込み

#### (1) リンク特性\*の作りこみ

前モデルのリンク特性は、アクセル軽開度での軽快さを重視して、軽開度の領域でも大きなトルクを発生する特性にしていたが、新型モデルでは、アクセル開度に応じて、リニアなトルクを発生する特性を目指した (Fig.6)。

これにより、ドライバはアクセル操作に応じたリニアな駆動力変化を得ることが容易になり、アクセルペダルを踏み込んで意のままに走りコントロールするという、運転する本来の楽しさを更に進化させている。

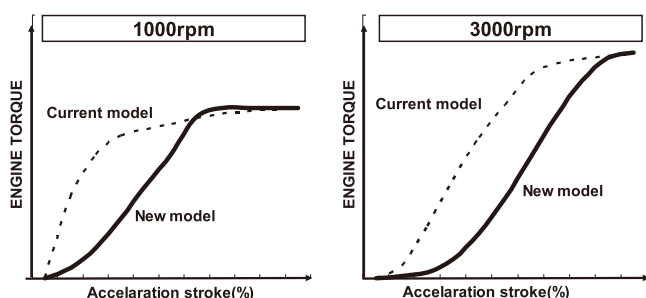


Fig.6 Engine Torque - Acceleration Stroke Relation

また、発進時や加速時などに発生する駆動力がコントロールしやすくなったことで、不必要なアクセルの踏み戻し／踏み増しが減少し、実用燃費の向上にも貢献している。

\* リンク特性とは、アクセルペダル開度に対するエンジントルクの割付特性を示す。

#### (2) スロットル過渡応答の最適化

パフォーマンスフィールの「スムーズ」と「ライブリー」は一般には相反する性能であり、前述したリンク特性の作り込みでスムーズを進化させると、ライブリー（軽快）が低下してしまう。そのため、新型モデルでは、躍度に注目して開発を進めることで「スムーズ」と「ライブリー」の両立を図った。躍度とはG（加速度）の変化率のことであり、Gの絶対値による指標よりも、人間の感じるフィーリングを適切に表すものである。

躍度はスロットル過渡応答を最適に制御することでコントロールしており、スムーズなフィーリングが必要となる領域では躍度を抑え、ライブリー（軽快）なフィーリングが必要な領域では躍度を大きくしている。

このように、躍度をドライバの意図に合わせてコントロールすることで、必要な領域のライブリーを維持しながら、スムーズな特性へと進化させることを実現している。

## 5. おわりに

本稿では、新型プレマシー／Mazda5のパワートレインの目指したものと、その全体像を簡単に紹介してきた。

開発に当たっては数多くの方の強力なサポートのおかげで、初代モデルから継承してきた長所を守り、時代に合わせて進化を遂げた商品を完成させることができた。

関係者各位に厚くお礼申し上げます。

### ■ 著 者 ■



秋山 耕一



岡本 隆秀



野崎 修



山下 修



沼 聖司



星野 彦一

特集：新型プレマシー

5

## プレスの外観品質保証プロセスの構築 Establishment of Process for Assuring Surface Quality

西村 良治\*<sup>1</sup> 河野 雄志\*<sup>2</sup> 川田 光紀\*<sup>3</sup>  
Yoshiharu Nishimura Takeshi Kono Koki Kawata

### 要 約

マツダがコンセプトカーにおいて“NAGARE”を公表して以来、そのシャープなキャラクタラインをデザイン造形テーマとしたモデルが開発されている。このキャラクタラインはマツダのデザインを象徴するものであり、意匠通りにプレス部品へ確実に再現することが重要な課題である。新型プレマシーにおいて、“NAGARE”を受け継いだキャラクタラインをプレス部品へ確実に再現するために、外観品質保証プロセスを再構築した。本稿では、その具体的な取り組みについて紹介する。

### Summary

Since Mazda unveiled “NAGARE” Concept at 2006 LA Auto Show, it has worked to develop a model with its sharp character line adopted as the design theme. This character line is the symbol of Mazda design. It was therefore a big challenge for us to precisely reproduce it on the body. In order to precisely reproduce the character line inherited from “NAGARE” Concept, we reviewed our “process for assuring surface quality”. This paper describes specific efforts we have made in developing New Premacy.

### 1. はじめに

“NAGARE” (Fig.1) を公表して以来、開発されるデザインにこの特徴あるキャラクタラインが、外観意匠のトレンドとなりつつあり、マツダのデザインの象徴ともいえるまでになった。一方で、そのデザイン意匠を実現化するプレス成形においては、現在の外観品質保証のプロセスでは、キャラクタライン間が狭くかつ、その間の面の深さが浅いという特殊な形状（以降、繊細な形状）から十分な外観品質保証が行えていない。更に、正確に再現しないと歪に見えてしまう問題もある。そのため、このデザイン意匠を確実に再現するために、外観品質プロセスを再構築する必要がある。

本稿では従来車種で、このキャラクタライン再現にコストを費やしたことをきっかけに、新型プレマシー (Fig.1) を対象として、外観品質保証プロセスの再構築に取り組んだ内容を報告する。

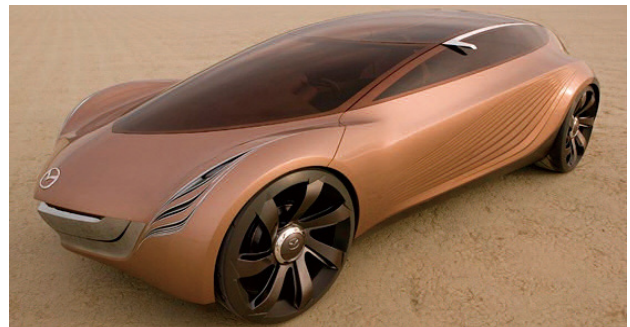


Fig.1 NEW Mazda PREMACY and NAGARE

\*1~3 車体技術部  
Body Production Engineering Dept.

## 2. 現在の外観品質保証プロセス

### 2.1 外観品質プロセスの現状

まず、現在の外観品質保証プロセスについて説明する。現在の外観品質保証プロセスは、プレス部品データを受け取ってから、Fig.2に示すプロセスを経てプレス部品の量産をしている。このプロセスの中で、プレス成形方案を決める段階に、Fig.2の囲いの部分で示した、製品面における面歪評価、線ズレショックライン発生有無、スプリングバック検証および、デザイン面の滑らかさ評価にて外観品質を保証した上で、プレス金型を作製するというステップを踏んでいる。

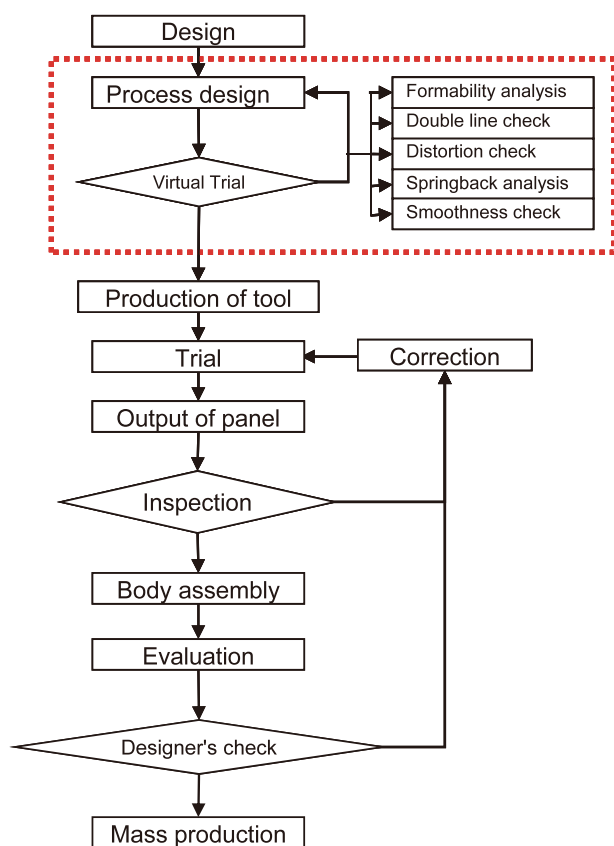


Fig.2 Current Process

### 2.2 バーチャルでの外観品質保証の内容

次に、現状の外観品質保証におけるバーチャル評価の方法について説明する。

#### 1) 線ズレショックラインの評価

線ズレショックラインとは、Fig.3で示すように局所的なライン状の板厚減少で意匠面に線状の凹み発生する不具合現象で、最初に触れた部位がどれだけ移動するかを評価している。

#### 2) 面歪の評価

##### ① 部位の特定

面歪の原因となる局所的な圧縮歪が発生していないかを

Fig.4のようにカラーマップで部位特定し、検証および対策を行っている。

##### ② 簡易可視化

上記の圧縮歪の大きさに加え、弾性回復の影響による変形具合も考慮するために弾性回復の計算を行い、Fig.5で示すような簡易可視化して官能評価している。

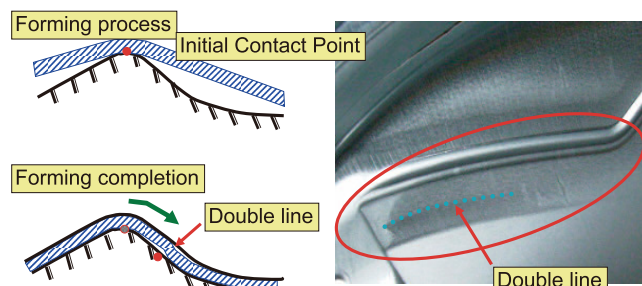


Fig.3 Double Line

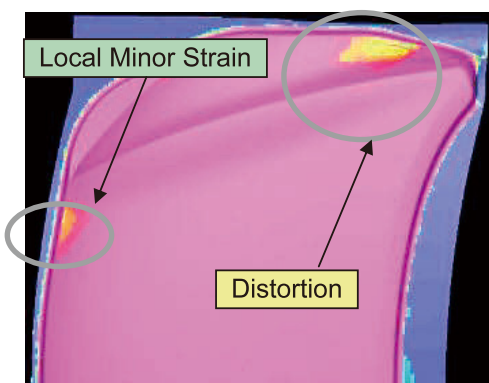


Fig.4 Distortion Check\_Type1



Fig.5 Distortion Check\_Type2

### 2.3 キャラクタラインに対する品質保証の課題

“NAGARE”造形のキャラクタラインが採用されている従来車種のフロントフェンダにおいてデザイン意匠を正確に再現するために多くの育成コストを費やした。この問題を交え

て、現在の外観品質保証プロセスでの課題を明確にする。

(1) 従来車種のフロントフェンダで発生した問題

現在の品質保証プロセスを用いて事前評価をプレス成形方案に織り込み、金型を製作し部品育成を行った。しかし、量産開始直前になっても、Fig.6で示す“NAGARE”造形のキャララインが、デザイン意匠通り正確に再現されていなかった。

(2) 正確に再現されていなかった問題の要因と対策

ここで、実際のパネルがデザインデータに対し、どんな状態かを把握すべく、三次元測定器を用いてパネルを測定し比較を行った。結果、Fig.7に示すようにキャララインのRがデザインデータ以上のRの大きさとなっていた。

今までは、データ通りに製作された金型の凸型に鋼板を沿わせ、かつ、張りも確保することでデザイン意匠を再現したパネルが取得できるという考えの元、パネル育成していた。しかし、今回、正確に再現できなかった。

その要因として、

- ① デザインが繊細な形状をしているため、平面的な伸び量が少なく、Fig.8のイメージ図のように弾性回復の影響を受けやすい。
- ② キャララインR部において、板厚方向の応力による影響で、板の表裏における伸び量の差が極端に大きく、Fig.9のようにRの頂点部の板厚が局部的に薄くなりやすい。
- ③ デザイン意匠面においては、定量での判断は難しいため、デザイナーに委ねざるを得ない部分がある。このデザイナーの官能を代替するCAEでの評価尺度が未整備である。

の三点がある。

結果的に、従来車種の対応はFig.10で示すように金型全体のクリアランスを調整し、再現できなかった部位のデザイン形状に対してクリアランスを適正化することで形状凍結性を確保した。また、評価としてデザイナー判断のレビューイベントを設定して効果を確認した。

(3) バーチャル外観品質保証の必要性和課題

今までのプロセスで外観品質の保証をバーチャルで行ってきたがNAGAREのような繊細な形状には対応しきれなかった。結果、今回のキャララインに対して予測することができなかった。今後、マツダの開発車種で増えてくる繊細な形状を事前に評価できるようになることが重要な課題となる。そのためには、以下の技術課題を解決した上でプロセスを再構築する必要がある。

- ① 鋼板の表裏形状を再現する外観品質検証方法の確立
- ② キャラクタRの肥大化に対して、表裏の歪差をコントロールした形状凍結技術の確立
- ③ デザイナーの感性に近づく外観品質の評価方法確立

以上のキャラライン外観品質保証の技術課題解決に向け、新型プレマシーで取り組んだ内容を次に説明する。

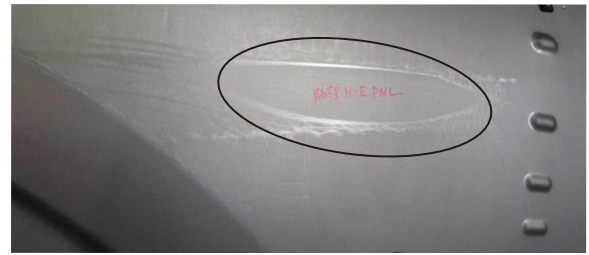


Fig.6 Designer Instruction Point

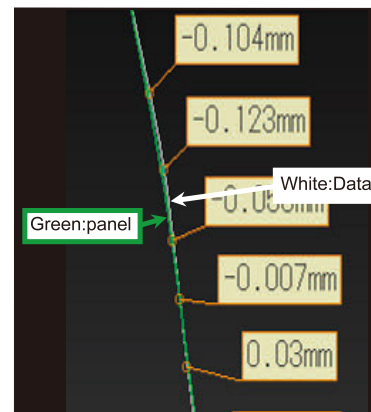


Fig.7 Comparison between Data and Real Panel

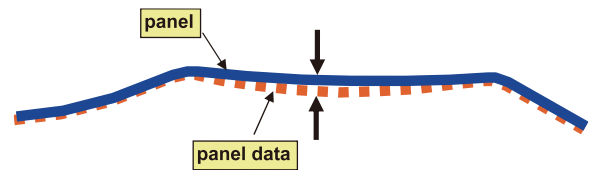


Fig.8 Image of Elasticity Recovery

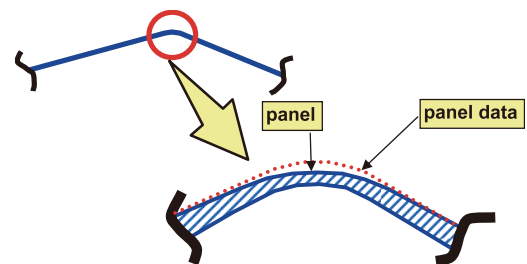


Fig.9 Thickness Decrease Difference of Panel R

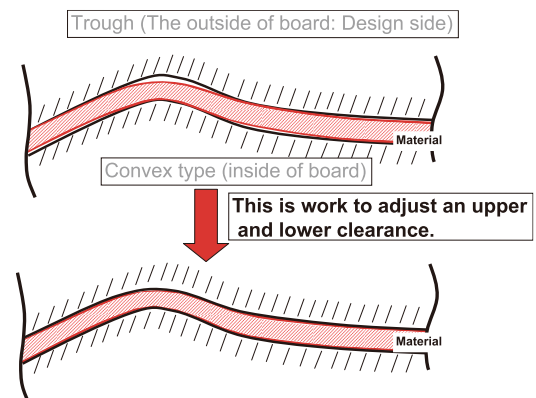


Fig.10 Image of Clearance Adjustment

### 3. 新型プレマシーでの取り組み内容

#### 3.1 新・外観品質保証プロセスの紹介

前項の課題解決に向け、まず通常解析の他にソリッドモデルにおける表裏解析を行い、この結果をもとに凍結形状量を決定する。更に、この形状を織り込んだモデルを再解析することで事前にデザインを保証するプロセスをFig.11のように再構築した。また、歯止めとして初回のパネル取得時にデザイナーとの確認イベントを設けた。

詳細については以下の節に内容を記載する。

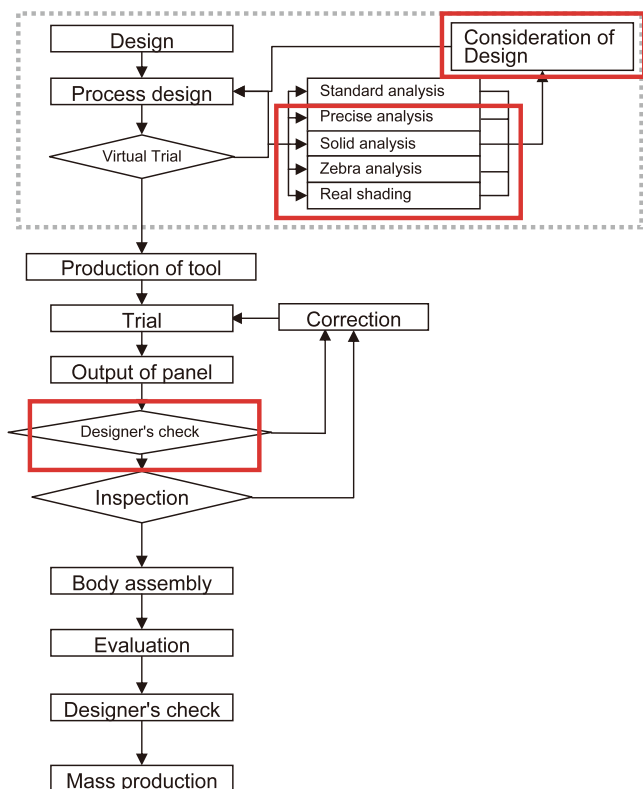


Fig.11 New Process

#### 3.2 鋼板の表裏形状を予測する検証および評価方法

表裏形状を予測するためには、鋼板の板厚を加味した計算が必要である。つまり、シェルでの解析計算からソリッドでの解析計算へ移行しなければならない。現在、部分モデルでの簡易計算技術が開発されており、その技術を応用して解析計算することが可能である。デザイナー意匠の重要部位に限定し、帯状のソリッドモデルを作成する。この部分ソリッドモデルに、シェルの計算結果を引き継ぎ、再計算をすることで、キャラクタRの表裏形状を予測することができた。

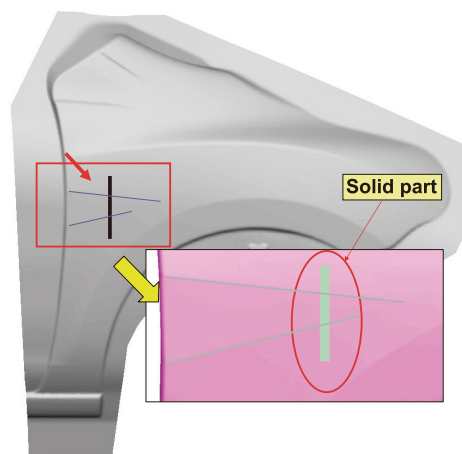


Fig.12 Character Inside and Outside Shape Reproduction

#### 3.3 キャラクタラインR部の形状凍結技術の確立

ソリッドの検証により、板の表と裏の形状差を求めることができたが、プレス成形においては、一般的に金型の凸型に鋼板が沿って成形される。つまり、板の表と裏で形状差ができることで、再現が必要なデザイン面の凹型側に沿っていないことが定量的に分かる。

この凹型と鋼板との空間量に対して、Fig.13に示すように凸型形状に空間を埋める適正な形状を作り、再現の必要な凹型側に鋼板を沿わせる。更に、その形状で鋼板を凹型側へ押し押し、形状凍結性を高めた。

このデータで再度ソリッド解析を行い、計算結果とデザインデータに相違がないことを確認した。

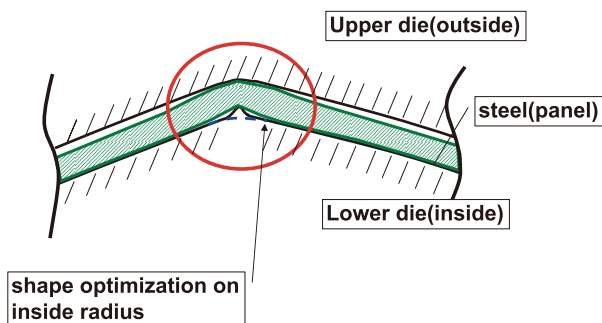


Fig.13 The Change in Die Convex Shape Point

#### 3.4 デザイナの感性に近づく外観品質評価

事前に外観品質保証を行うには、デザイナーに近い感性での外観品質評価方法を確立する必要がある。

デザイナーに近い感性での外観品質評価をするには、実パネルで外観品質の確認をすると同様な方法で見ることが一番の近道と判断した。その方法とは、塗装後のパネルのように光沢を持たせ、かつ周囲の景色を写りこませられる



リアルシェーディング機能を活用し、Fig.14のようにデザインインデータとバーチャルの検証結果データを比較することである。これにより、官能領域まで踏み込んだバーチャル評価が可能になる。

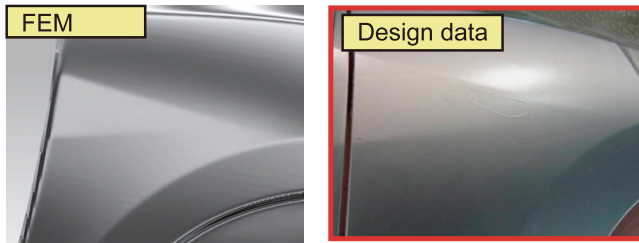


Fig.14 FEM Result and Design Data Comparison

### 3.5 実機検証での外観品質保証早期化

前述の施策にてバーチャルにおける外観品質保証を確立した。この手法を、Fig.15に示すようにボデーサイドアウトパネル、フードアウトパネルなどの主要外板部品に展開を行った。しかし、実機検証において、データと実パネルの比較だけでは、外観品質を判断することは非常に困難である。そこで、デザイン部門と協力して、Fig.16のようなデザイン比較のできる部分マスターモデルを作成した。これにより実機検証でのデザイン意匠を効率よく再現した。しかし、最終的な判断は形状を作り上げたデザイナーに委ねる部分は否めず、初期パネルを取得した時点で“NAGARE”造形を確認するデザイナーとの最終イベントを設けた。これにより、早期にデザイン意匠を確実に再現したパネルを取得した。

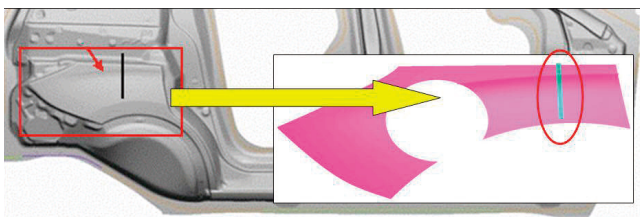


Fig.15 The Change in Die Convex Shape Point

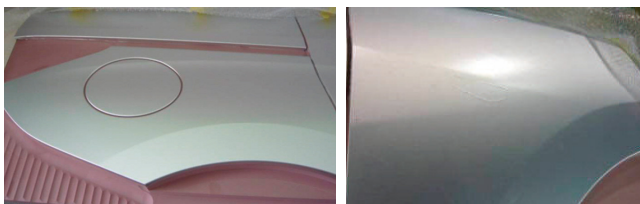


Fig.16 Master Model

## 4. おわりに

従来のプロセスでは方案による対策が取れないため“NAGARE”造形の外観品質を保証する技術がなく金型のクリアランス調整のみの対策しか取れず、キャラクターラインの修正が困難であった。これに対し、要因分析より得られた技術課題を解決し、更にプロセスを再構築することで早期に外観品質を保証できるようにした。今後の車種でも継続して同様の取り組みを行っていく。そして、その蓄積した技術は、キャラクターライン部に限らずパネル形状全てを網羅する内容に仕上げる。また、バーチャルの評価技術については官能で行っている評価を定量で行えるように切り替えることが今後の課題である。

### ■ 著 者 ■



西村良治



河野雄志



川田光紀

特集：環境

6

## コンセプトカー “マツダ清（きよら）” Concept Car Mazda KIYORA

ピーター・バートホイッスル\*<sup>1</sup>

ベノ・ゲセラー\*<sup>2</sup>

Peter Birtwhistle

Benno Gessele

吉村康志\*<sup>3</sup> 坂本敏則\*<sup>4</sup> 上村昭一\*<sup>5</sup>

Yasushi Yoshimura

Toshinori Sakamoto

Shoichi Kamimura

### 要約

「マツダ清」は、技術開発の長期ビジョン「サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言」に基づき、2015年にグローバル平均燃費を2008年比で30%改善することを目指すなかで、マツダが追求する車像のひとつを体現したコンセプトカーである。すなわち、「すべてのお客様に走る喜びと優れた環境性能を提供する」ために、優れた環境性能を達成しながらマツダらしい“走りの楽しさ”を実現させた将来のコンパクトカーの姿である。新開発の次世代直噴ガソリンエンジンコンセプト「マツダ SKY-G 1.3L」に次世代オートマチックトランスミッションコンセプト「マツダ SKY-Drive」を組み合わせ、進化した独自のアイドリングストップシステム「i-stop」や、減速エネルギー回生システムを採用。更に、同クラスの現行車から100kgの軽量化や空力の改善を行い、電気モーターによる走行アシストなしで10・15モード32km/Lという超低燃費を実現する。

### Summary

“Mazda KIYORA” is a concept car expressing “Sustainable Zoom-Zoom”, a long-term vision of Mazda’s technology development, aiming to improve the global average fuel economy by 30% in 2015 over 2008. The car realizes both excellent environment performance and Mazda’s Fun-to-Drive. The car employs “Mazda SKY-G 1.3 L (next generation gasoline engine concept)” combined with “Mazda SKY-Drive (next generation automatic transmission concept)”, “i-stop” and a deceleration energy regeneration system. Moreover, with 100kg weight reduction from current same class models and aerodynamics improvement, the car realizes ultra-low fuel consumption, 32km/L (10-15 mode), without an electric motor assist.

### 1. はじめに

マツダは、「走る喜び＝“Zoom-Zoom”」と優れた環境安全性能をすべてのお客様に提供することを目指している。そのためには、クルマのベース技術を徹底追求し、段階的に「i-stop」などの電気デバイスを順次組み合わせていく戦略である。これはお客様の経済的な負担を軽減し、環境安全技術を広く普及できる適切な方法であると考えている。この考え方をコンパクトカーのジャンルで表現したのが「マツダ清」である。マツダR&D欧州（MRE）の企画チーム、デザインチームとの共同作業で開発した。

### 2. 商品コンセプト

「マツダ清」のコンセプトは、次世代に求められるコンパクトカーとして、若者のシティライフをリサーチするアドバンス活動の中から生まれた。彼ら彼女らが望む、次世代のコンパクトカーとして、スタイルやハンドリングもよく、燃費や環境に優れた性能を次世代技術構想でまとめ、それをMREデザインチームがコンセプトカーとして表現した。

都会でのあらゆる生活シーンをつなぐ、“アーバンハブ”コンセプトを掲げ、ボデーサイズも現行デミオ比で100mm以上短くしたコンパクトカーとした。また、「水の

\*1, 2 マツダR&D欧州  
Mazda R&D Europe

\*3, 4 企画設計部  
Basic Design Dept.

\*5 技術企画部  
Technology Planning Dept.

流れ」をデザインテーマとして、環境を意識し、エクステリア、インテリアのデザインに表現されている。



Fig.1 Concept Car 清 KIYORA

### 3. 技術コンセプト

外部機関によれば、2020年時点においてもハイブリッド車を含めて、内燃機関が依然、ベースパワートレインとして大半を占めると予測されている (Fig.2)。ベースとなる内燃機関の効率や軽量化などのベース技術の向上を徹底的に追及することは、広く様々な車種に展開できるとともに、お客様が負担するコストもミニマムにできる。これは、マツダ車を購入して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」を提供できるもっとも有効な方法と考えている。マツダは2007年に発表した技術開発の長期ビジョンである「サステナブルZoom-Zoom宣言」で、2015年にグローバルな平均燃費を2008年比で30%向上させる目標を掲げた。その達成手段として2011年より順次導入予定の次世代パワートレインや100kg以上の車体軽量化など、ベース技術の革新に注力、その上で技術の進化に応じて、アイドリングストップシステムなどのお客様の経済的負担の少ない形で電気デバイスを付加する「ビルディングブロック戦略」(Fig.3)を展開していく。

コンセプトカー「清」ではこの考えに基づき、以下の技術を搭載し、クラストップの走りや32km/Lの超低燃費を実現する。

- ・次世代直噴ガソリンエンジン SKY-G 1.3L
- ・次世代6速AT SKY-Drive
- ・独自のアイドリングストップシステム i-stop
- ・減速エネルギー回生システム
- ・100kg以上の軽量化
- ・空力などの抵抗低減

### Anticipated expansion in adoption of environmental technologies (through 2020)

[Graphic representation of global market share of powertrain technologies]

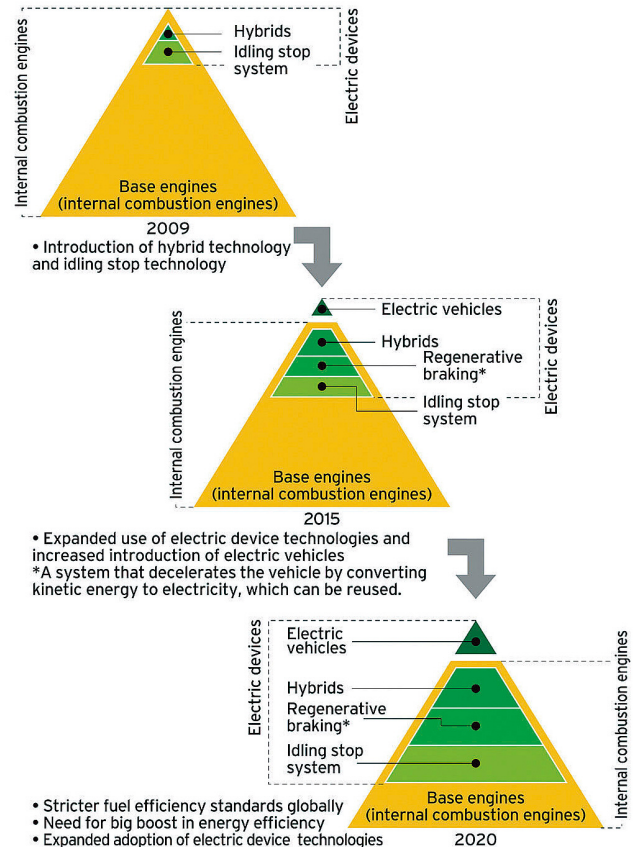
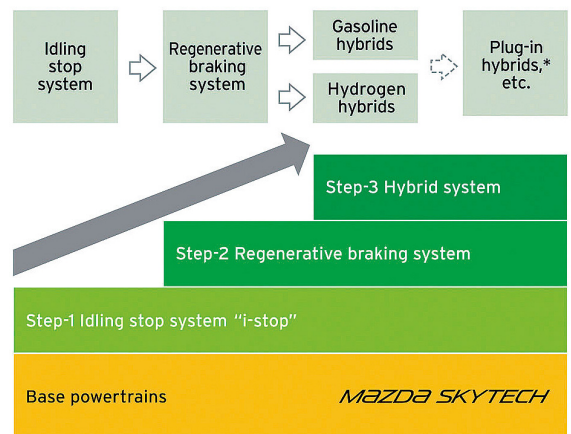


Fig.2 Environment Technology Expansion Forecast

### Gradual application of electric device technologies

We aim to further boost environmental performance by gradually adding electric device technologies to base engines with excellent environmental performance.



\* Hybrid cars with batteries that can be recharged from a residential power source.

Fig.3 Building Block Strategy

### 3.1 次世代パワートレインと電気デバイス

内燃機関の究極に向けて徹底的にベース技術を追及した、次世代直噴ガソリンエンジンコンセプト「マツダ SKY-G 1.3L」と、同様に徹底的な効率を追及したコンパクトで軽量のマニュアルモード付の次世代6速ATコンセプト

ト「マツダ SKY-Drive」の組み合わせにより、「マツダ清」は、画期的な環境性能（燃費を現行エンジン比15%改善、ATで約5%改善）と、低速からレスポンスがよく、ダイレクト感のある力強い走りを実現する。

マツダ独自のアイドリングストップシステム「i-stop」（燃費10%改善）も更に機能を進化させたシステムを採用している。減速時に発生するエネルギーを有効に使用する、「減速エネルギー回生システム」も搭載した。ブレーキングやエンジンブレーキで減速する際に発生するエネルギーを利用して発電を行い、電気エネルギーとして回生してバッテリーに充電するシステムである。エンジンが発電のためにオルタネーターを駆動する負荷が大幅に低減され、燃料消費が削減される（燃費約5%向上）。



Fig.4 Mazda SKY-G



Fig.5 Mazda SKY-Drive

### 3.2 軽量化

マツダの軽量戦略においては、ベース構造を徹底的に見直すことから始め、

- (1) 理想構造の追及
- (2) 新工法の開発
- (3) 適材適所な材料置換

という取り組みを行い、次世代プラットフォームでは、100kg以上の軽量化を目指している（Fig.6）。

コンセプトカー「清」では、CAEを駆使した理想的なボデー構造の追求に加え、マツダが開発中の発泡樹脂やアルミ素材などの軽量材料を、ボンネットやリアハッチなどのパネル類、インパネやシャシー部品に効果的に用いることで、車体全体を軽量化（現行デミオ比100kg以上）、燃費向上（約5%）やキビキビとしたマツダらしいハンドリングの良さにも寄与している。

Fig.7はアッパーボデーの骨格構造である。クリーンな水のイメージや、コンパクトながら開放的な室内の表現からガラスやアクリルなど透過面積が多くなっている。一方、骨格は図のように、しっかりとしたフレーム構造を採っており、軽量化と、衝突エネルギーの分散、吸収やボデー剛性の確保との両立といった課題に対する対応を象徴的に表現したものである。

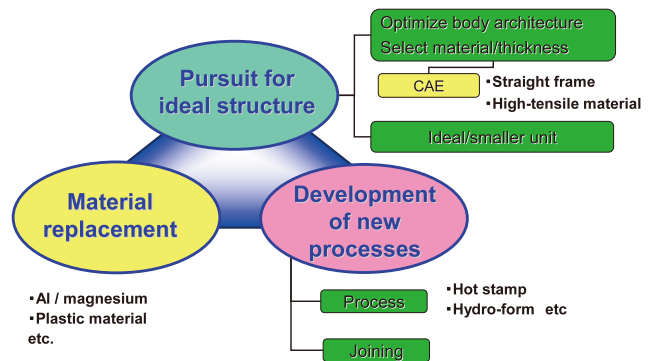


Fig.6 Concept of Light Weight Design



Fig.7 Upper Body Structure of KIYORA

インテリアにおいてもリヤシートのフレームをボデー構造と一体にし、軽量ながらボデー剛性確保の一躍を担っている。シートにはフレームに生地を張って、乗員の体系に合わせて変形する「ハンモックシート」を採用、ほとんどの時間を1名もしくは2名で使用するシティコミューターとしての提案である。後席を使用しない場合はそのまま荷室スペースとして有効に使える。

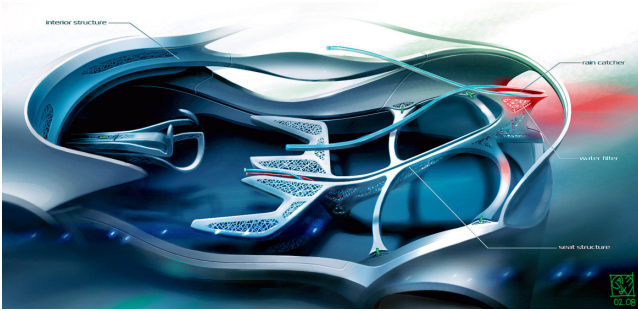


Fig.8 Unified Seat Frame with Body Structure

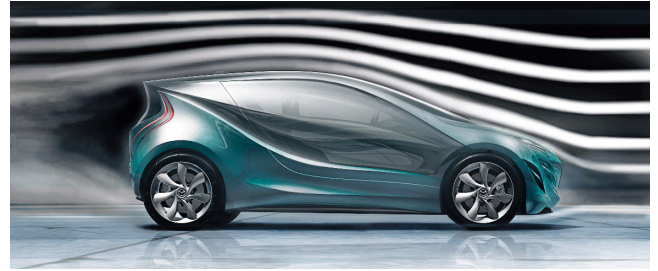


Fig.10 Improvement of Aerodynamics-1



Fig.9 Protect Rear Seating Space for Adults

## 4. デザイン

### 4.1 エクステリアデザイン—フォルムと機能の融合

デミオより全長が約10センチ短い「マツダ清」は、マツダの顔となるファイブポイントグリルを備えるほか、ボデー全体に3次元の要素を加えることで、マツダデザインDNAの進化した塊感のあるアスレティックでスポーティなスタイルを実現。滑らかなキャラクタラインは後ろに行くにつれてせり上がり、リアスポイラと一体化するシルエットとなっている。18インチアルミホイールと、短いオーバハングにより、小さいパッケージながらスポーティな外観を表現。コンパクトなボデーと低めの全高により、前面投影面積を小さく抑えた。更に、空力的に綿密に検討されたボデー表面の形状、床下の気流をコントロールする工夫、リアルーフスポイラなどによって、優れた空力特性を実現し、高速での安定性や燃費効果（他の抵抗低減と合わせて約5%）に寄与している。

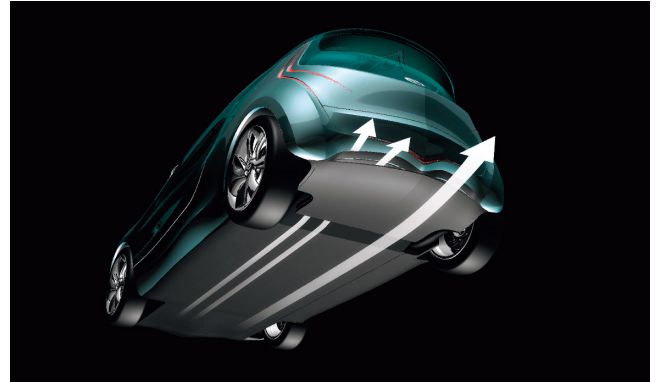


Fig.11 Improvement of Aerodynamics-1

### 4.2 インテリアデザイン

エクステリアは青みがかった緑で、水の純粋さを表現するため、ドアには透明のプラスチックを採用した。

ドア内部には、波間に浮かぶ海藻のような波打った形状の側突対応のサイドメンバが装着され、スケルトンタイプのボデーシェルを通して見える内部は、水というテーマを反映して波打ちながら流れているような形状を表現、インパネとドアトリムはソフトなコーティングと軽い金属を使うことで、その印象を強調した。

インパネは前方からドライバーに向かって流れるようなV字の液晶画面が続き、画面上で自由に表示類の位置をタッチパネル式で変更ができる。必要な情報をドライバーの視界に的確に納め、また操作系もドライビングを考慮した最適配置で、優れたHMI (Human Machine Interface) を実現した。



Fig.12 Cockpit Design



Fig.13 Touch Panel IP Display

### 5. おわりに

「マツダ清」は“マツダの明日”を示すコンセプトカーとして、すべてのお客様に「走る喜び」と「優れた環境安全性能」を提供する技術開発の長期ビジョン，“サステイナブルZoom-Zoom宣言”を体現したものである。近未来のコンパクトカーとしての新しい商品コンセプトやアイデアは欧州チームと一緒に一丸となって作ってきた。今後も環境・安全性能などの社会／お客様の期待に応え、マツダらしい活力のある商品・技術の実現に向けてグローバルで一丸となって取り組んでいく所存である。

### ■ 著 者 ■



P.パートホイッスル



B.ゲセラー



吉村康志



坂本敏則



上村昭一

### コンセプトカー マツダ 清（きよら） 主要諸元

|              |   |
|--------------|---|
| ボデータイプ       | 3ドアハッチバック   |
| 寸法           | 全長：3,770 mm   |
|              | 全幅：1,685 mm   |
|              | 全高：1,350 mm   |
|              | ホイールベース：2,495 mm  |
| 乗車定員         | 4名  |
| エンジン         | 次世代直噴ガソリンエンジン：<br>マツダ SKY-G 1.3L + i-stop + 減速エネルギー回生システム |
| トランスミッション    | 次世代6速AT：マツダ SKY-Drive                                     |
| サスペンション（前/後） | マクファーソン・ストラット / トーション・ビーム                                 |
| タイヤ          | 215/45 R18 MICHELIN                                       |

特集：環境

7

## 次世代パワートレイン開発コンセプト 「マツダ SKY コンセプト」 Next-Generation Powertrain Development Concept “Mazda SKY Concept”

鈴木 敬<sup>\*1</sup> 石野 勅雄<sup>\*2</sup> 伊藤 あずさ<sup>\*3</sup>  
Takashi Suzuki                      Tokio Ishino                      Azusa Ito

### 要 約

マツダは、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「サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言」の基、次世代パワートレインの開発を進めている。この次世代パワートレインの開発コンセプトを「マツダ SKY コンセプト」<sup>\*4</sup>として発表した。次世代ガソリンエンジンコンセプト「マツダ SKY-G」<sup>\*4</sup>では、ディーゼルエンジン並みの燃費率と低中速トルク的大幅改善を確認。次世代ディーゼルエンジンコンセプト「マツダ SKY-D」<sup>\*4</sup>では、約20%の燃費率改善とクリーンな燃焼を確認。次世代オートマチックトランスミッションコンセプト「マツダ SKY-Drive」<sup>\*4</sup>では約5%の燃費改善とダイレクトなシフトフィーリングを両立。

### Summary

Mazda's next-generation powertrains are currently under development based on our “Sustainable Zoom-Zoom” long term vision, which commits us to provide driving pleasure and excellent environmental and safety performances to all our customers. We have announced “Mazda SKY Concept” as the development theme for these next-generation powertrains. With the Next-Generation Gasoline Engine Concept “Mazda SKY-G”<sup>\*4</sup>, diesel-engine-level fuel economy and greatly improved low- and mid-end torque have been confirmed. With the Next-Generation Diesel Engine Concept “Mazda SKY-D”<sup>\*4</sup>, 20%-improved fuel economy and clean combustion have been confirmed. The Next-Generation Automatic Transmission Concept “Mazda SKY-Drive”<sup>\*4</sup> delivers roughly 5%-improved fuel economy and direct shift feel at the same time.

## 1. はじめに

2007年3月、マツダは技術開発の長期ビジョン「サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言」を発表した。これは、「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、サステイナブルな未来の実現に向けてマツダが取り組むこと」と宣言したものである。この約束の遂行に当たり、まず、パワートレイン、軽量化、空力特性といったベース技術の徹底的な改善が重要と、我々は考えている。そして、その上に、マツダ独自のアイドリングストップシ

ステム「i-stop」、減速エネルギー回生技術、ハイブリッドシステム等の電気デバイス技術を段階的に組み合わせていくというビルディングブロック戦略を採ることが、我々が進むべき方向である。本稿では、マツダ独自の環境対応方針とその中核を成す「マツダ SKY コンセプト」及び次世代パワートレインについて紹介する。

## 2. マツダの戦略

### 2.1 環境対応方針

サステイナブル “Zoom-Zoom” 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」ということである。

\*1~3 パワートレイン企画部  
Powertrain Planning Dept.

\*4 2011年以降導入予定のエンジン、トランスミッションのコンセプト名。  
Concept name for engines and transmissions that are intended for launch from 2011 onward.

Fig.1は第三者機関による、グローバル市場における2020年までの環境対応技術の進化予測である。電気自動車も普及はしていくが、依然としてハイブリッド車を含むほとんどの車両は内燃機関等のベース技術の上に付加されたものである。従って我々は、車の基本性能となる、エンジンやトランスミッション等のパワートレインや車両の軽量化といったベース技術の革新が最重要課題であると捉えた。これは、サステナブル“Zoom-Zoom”を目指すマツダの方針とも一致する。そして、Fig.2に示すように、電気デバイスを技術の蓄積とともに進化させ、ベース技術に付加させるというビルディングブロック戦略を打ち出したのである。

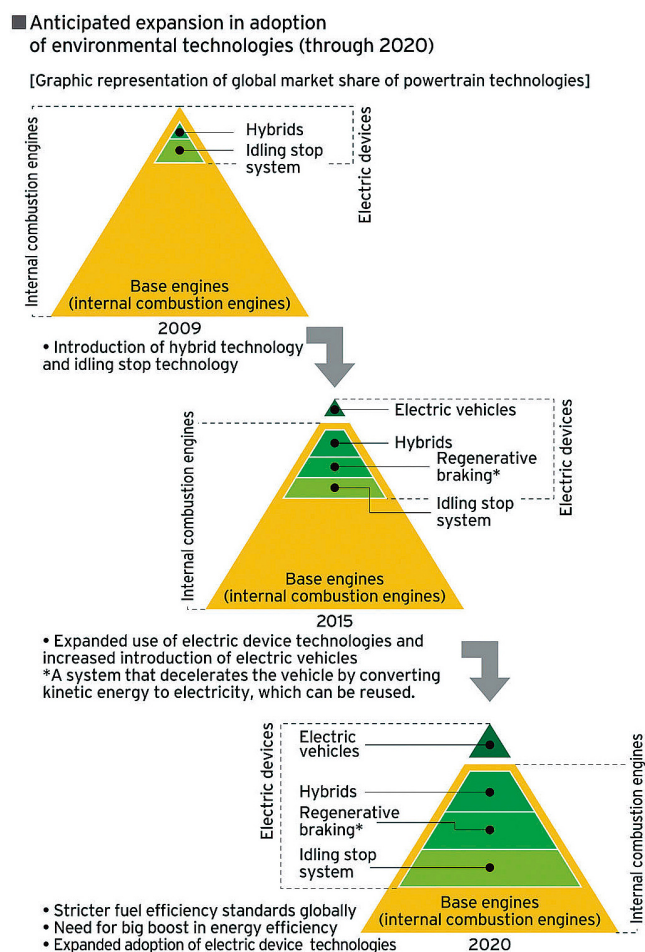


Fig.1 Environmental Technology Expansion Forecast

■ Gradual application of electric device technologies

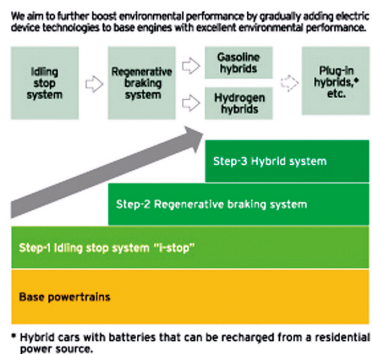


Fig.2 Gradual Application of Electric Device Technologies

2.2 環境目標

マツダは、この環境対応方針に基づき、2015年までにグローバルで販売するマツダ車の平均燃費を2008年比で30%向上させるという目標を策定した (Fig.3)。

■ Mazda target for average fuel economy improvement

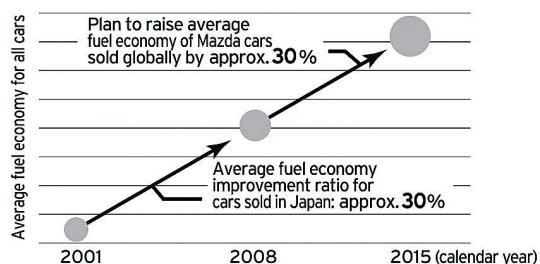


Fig.3 Mazda's Fuel Economy Improvement Target

具体的には、ガソリンエンジン車では各車種とも現在より1クラス下の車種同等の燃費を、また、ディーゼルエンジンをアテンザ (海外名Mazda6) に搭載した場合、現在のデミオ (海外名Mazda2) 並みの燃費、つまり2クラス下の車種同等の燃費を達成するという目標である。

2.3 「マツダ SKY コンセプト」

この挑戦的な目標には、未来に続く青空を守り、その青空の下で意のままに走る喜びをすべてのお客様に提供したいという想いが反映されている。また、それを支えるベース技術の革新を実現するために、エンジニアは高い志を持ち、「The sky is the limit」(無限の可能性) という言葉が表すように、限界にとらわれないのびのびと自由な発想で究極の効率を追及している。これらの想いを「SKY」という言葉で象徴し、次世代パワートレインの開発コンセプトを「マツダ SKY コンセプト」とした。

前述した燃費目標と、進化した走る喜びを高いレベルで実現するための中核技術が、理想燃焼を徹底追求した「マツダ SKY-G」と「マツダ SKY-D」であり、ダイレクトなシフトフィーリングを徹底追求し伝達効率を最大限改善した「マツダ SKY-Drive」である。



### 3. 次世代パワートレイン

#### 3.1 内燃機関の進化の考え方

内燃機関の熱効率を改善させるということは、Fig.4に示すように、主要な四つの損失—冷却損失、排気損失、ポンプ損失、そして機械抵抗損失—を低減させていくことに他ならない。そして、これらの損失を低減させるには、技術的にコントロールが可能なファクタ（制御因子）をいかに理想に近づけていくかが鍵となる。我々が制御できる因子は、膨張比（圧縮比）、燃焼期間、燃焼タイミング、比熱比、有効吸気容積、荷重、摩擦係数である。

#### Internal combustion engine improvement

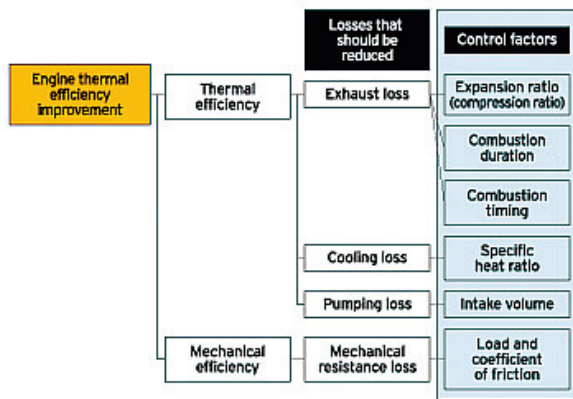


Fig.4 Internal Combustion Engine Improvement

これらの因子の理想状態を描き、目指すべき目標を定めて技術開発を行ってきた。つまり、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジンともに理想の燃焼というゴールに向かって弛まず進化させたものが次世代エンジンである。

#### 3.2 「マツダ SKY-G」

Fig.5に「マツダ SKY-G」の外観を示す。ガソリンエンジンの更なる進化に取り組むため、ガソリンエンジンの燃焼という事象を改めて徹底的に理解することから始めた。そして、空気流動、燃料噴射による混合気の形成、火炎伝播、膨張等、シリンダ内でどのような現象がどのようなメカニズムで起こっているかを詳細に把握した。理想の燃焼に近づけるためには何をどのようにコントロールすべきかを定め、「マツダ SKY-G」の開発を行っている。



Fig.5 “Mazda SKY-G”

#### (1) 燃焼効率改善への取り組み

こうした研究開発を基に、「マツダ SKY-G」では、各種制御因子のうち、膨張比、燃焼期間、吸気容積制御（ポンプ損失）、荷重及び摩擦係数（機械抵抗損失）の改善を行うことが現段階では最も合理的であると判断した。

例えば、Fig.6に示すように、膨張比を上げれば燃費は向上していく。ただし、膨張比を上げるために圧縮比を高くすると、ノッキング等の異常燃焼が発生する危険性が急増する。異常燃焼回避のため点火時期を遅らせる（リタードさせる）必要があり、トルクが低下してしまうというジレンマが生じる。「マツダ SKY-G」では、直噴システムが持つ噴霧形成の自由度を活用し、CAE（Computer Aided Engineering）にて空気流動と燃焼室形状のマッチングを図り、燃焼を制御した。その結果、これまで燃費とトルクのバランスの限界と思われていた点を超える圧縮比を実現することが可能となった。

#### Expansion ratio control graph

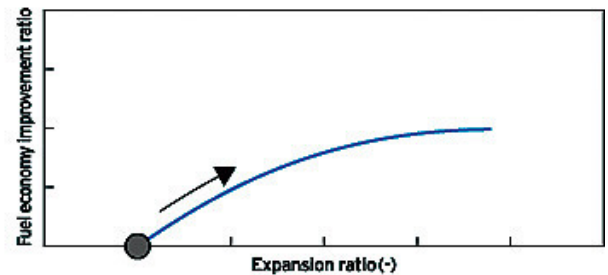


Fig.6 Expansion Ratio Control

#### (2) 大幅な燃費改善とトルク向上

「マツダ SKY-G」2.0Lは現在も開発中だが、現行2.0Lエンジン比約15%の燃費改善を確認している。これはマツダの現行ディーゼルエンジン（2.2L）並みの燃料消費率である（Fig.7）。また出力性能では、現行2.0Lエンジン比約15%のトルクアップを確認できている（Fig.8）。

#### Fuel economy improvement graph

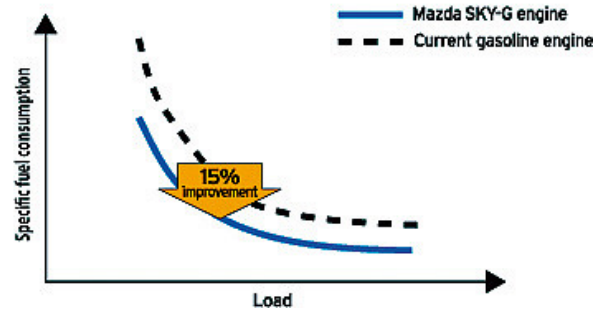


Fig.7 Fuel Economy Improvement

■Performance (torque) Improvement graph

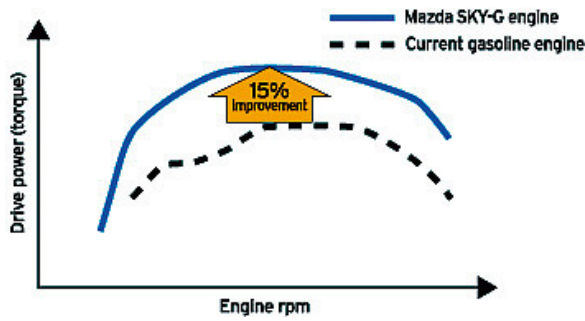


Fig.8 Performance (Torque) Improvement

(3) シングルナノ触媒

システム全体での更なるクリーン化を目指し、「マツダ SKY-G」には独自開発のシングルナノ触媒を組み合わせる。シングルナノ触媒技術とは、触媒に使用する貴金属を大幅に削減しながらも、高い排出ガスの浄化性能と耐久性を実現する技術である。Fig.9にシングルナノ触媒のメカニズムを示している。径がナノレベルの大きさである貴金属粒子を新開発のサポート材に保持させることで、熱凝集による貴金属表面積低減をなくし、耐久性能劣化を防ぐことができる。この技術の採用により、三元触媒に用いる白金やパラジウム等の貴金属の使用量を0.55g/Lから0.15g/Lと従来に比べ約70%削減することが可能になる。

Precious Metal Dispersion Achieved by New Catalyst Technology

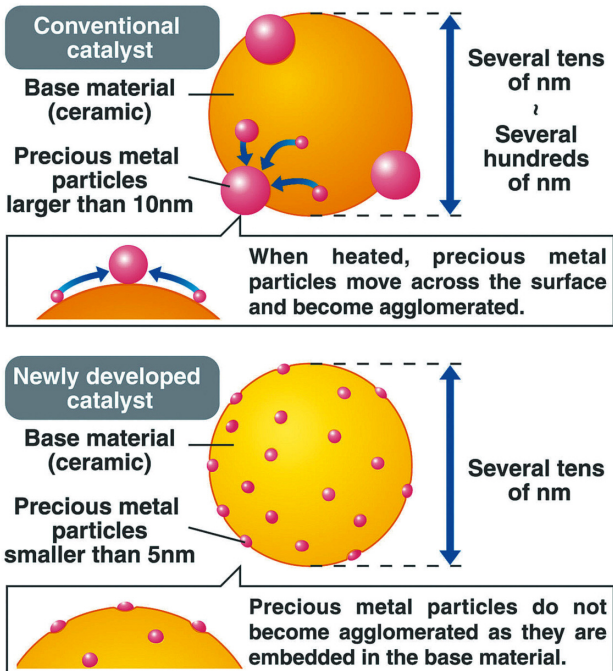


Fig.9 Mazda-Unique Single-Nano Catalyst Technology

3.3 「マツダ SKY-D」

理想の燃焼に近づけるための制御因子は、ディーゼルエンジンもガソリンエンジンも同じである。ディーゼルエンジンのジレンマは、高効率の燃焼を目指すこととNOx（窒素酸化物）や煤（スス）の発生が増加すること、また、高い圧縮比のまま高過給すると燃焼室内圧力がガソリンエンジンの2~3倍となるため、高い剛性が必要となり機械抵抗がガソリンエンジンに比べ大幅に増加することである。

「マツダ SKY-D」の開発では、燃焼を制御することにより、ディーゼルエンジンがガソリンエンジンに対して一般的に劣っている燃焼タイミングと荷重及び摩擦抵抗の領域を大きく改善させることに注力した。



Fig.10 “Mazda SKY-D”

(1) 燃焼効率改善への取り組み

熱効率を高めながらNOxや煤の発生を抑えるためには、  
 1) 燃料噴射から燃焼開始までのシリンダ内の圧力や温度、  
 2) 可能な限り燃料と空気を均質化する燃焼室形状、  
 3) 燃焼割合を制御する燃料噴射率、この三つの要素が鍵となる。従来のディーゼルエンジンでは、NOxや煤を抑えながら熱効率の最も良いタイミングで燃焼を開始させることは困難とされてきた。これに対して「マツダ SKY-D」では、上記三要素をマネジメントすることによって、燃焼タイミングの最適化を図りつつ、NOxや煤を従来比大幅に低減した。更に、革新的な燃焼により燃焼室内圧力を低減し、ガソリンエンジン並みの機械抵抗を実現した。その結果、低燃費・高出力を得られる燃焼システムを確立することができた。

(2) 大幅な燃費改善とワイドなトルクレンジ

開発中の「マツダ SKY-D」では、マツダの現行ディーゼルターボエンジン（2.2L）と比較して、燃費を約20%改善できる目処を得ている（Fig.11）。また、出力性能に関しては、低速側、高速側ともに現行エンジンに対する大幅なトルクアップを実現している（Fig.12）。これは2ステージターボチャージャーによる過給能力向上と、全運転領域で燃料と空気の混合を適正化する新燃焼室形状の効果に大きく起因している。

■ Fuel economy improvement graph

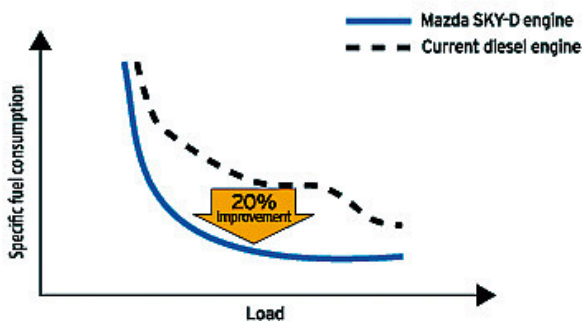


Fig.11 Fuel Economy Improvement

■ Performance (torque) improvement graph

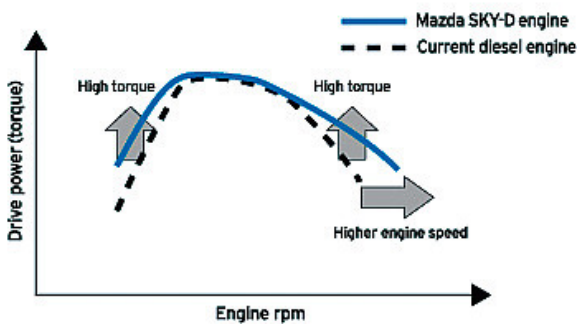


Fig.12 Performance (Torque) Improvement

3.4 「マツダ SKY-Drive」

「マツダ SKY-Drive」では、燃費への大幅な貢献とダイレクト感の向上を徹底的に追求した。「マツダ SKY-G」及び「マツダ SKY-D」と同様のアプローチによって、目標を達成するための制御因子を明確にし、それらの因子をいかにコントロールするかに取り組んできた。

「マツダ SKY-Drive」は全くの新設計でありすべての制御因子の改善を目指しているが、中でも、ロックアップ領域の拡大とダイレクト感向上のための因子に特に注力している。



Fig.14 “Mazda SKY-Drive”

(3) 高効率排気浄化システム

ディーゼルエンジンにおいては、マツダが独自開発した世界初の触媒活性メカニズムを持つ高耐熱性の触媒活性型ディーゼル・パーティキュレート・フィルタ (DPF) を採用する。エンジン制御の精密化とともに、煤を燃焼処理するための再生インターバルを従来の約2倍にし、再生時間を約3分の1に短縮した。

この煤燃焼触媒は、セラミックス・サポート材の中を酸素が移動しやすく、より多くの酸素が活用できるという特徴を持ち、煤の燃焼処理速度を大幅に高めることが可能である。これにより、煤の燃焼処理に必要な燃料を節約することができ、低燃費化つまりCO<sub>2</sub>の削減と排出ガスのクリーン化の両立が可能となった (Fig.13)。

■ Diagrams showing ceramic base materials

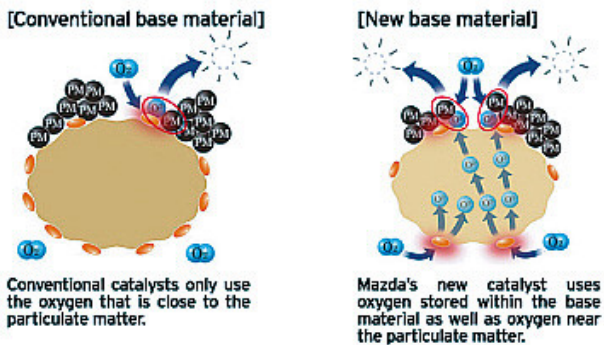


Fig.13 Comparison of Ceramic Base Materials

(1) ロックアップ領域拡大

ロックアップ領域の拡大については、入出力軸を直結させるクラッチの振動をいかにマネージメントしていくかが重要である。我々は高周波のクラッチ振動のメカニズムを解析することで、クラッチ表面の性状や材質の耐熱性、保持構造の剛性、油量、油圧等が制御因子であることを突き止めた。

そこで、CAEによる解析や、品質工学を適用し、これらの制御因子の相互影響を加味した最適化設計に取り組んだ結果、ロックアップ領域の大幅な拡大が可能となった。更に、トランスミッションの各部位に必要な最小油量を把握することで、オイルポンプのエネルギー損失を最小限に留めるだけでなく、効率的な油圧伝達によるクラッチの素早い動きを実現させ、ダイレクト感を向上させた。

(2) 燃費改善とダイレクト感向上

「マツダ SKY-Drive」搭載車による社内テストでは、日本のJC08モードでの走行時間の約80%でロックアップを行うことが確認された。参考までに、同条件での現行5速オートマチックトランスミッション搭載車のロックアップ時間は約50%である (Fig.15)。

このロックアップ領域の拡大と大幅な抵抗低減により、従来比約5%の燃費改善を実現するとともに、デュアルクラッチトランスミッション並みのスポーティで上質なダイレクトフィールを実現した。

■ Lock-up range improvement case

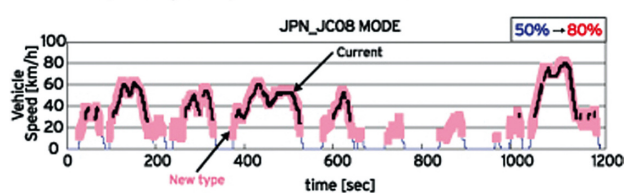


Fig.15 Expansion of Lock-Up Range

■ 著 者 ■



鈴木 敬



石野勅雄



伊藤あずさ

4. おわりに

以上、すべてのお客様に走る喜びと青空を将来にわたりお届けすることを目指す「マツダ SKY コンセプト」と次世代パワートレインの紹介を行った。究極の効率実現のためにこれまでの限界を超えることに挑み続け、のびのびと自由な発想で革新的技術を創造しながら、エンジニアは現在最終段階の開発を行っている。

また、将来ますます拡大すると予測される電気デバイスとの融合においても、基本技術の進化はなくてはならないものになると固く信じており、常に車の基本技術の理想を目指した姿勢を追求していきたい。

特集：環境

8

## ノルウェー仕様のRX-8水素エンジンREの開発 Development of Norway Specification RX-8 Hydrogen RE

齊藤 智明<sup>\*1</sup> 桜井 茂<sup>\*2</sup> 赤星 英明<sup>\*3</sup>  
Tomoaki Saito Shigeru Sakurai Hideaki Akahoshi  
内田 浩康<sup>\*4</sup> 菅 俊也<sup>\*5</sup> 木ノ下 浩<sup>\*6</sup>  
Hiroyasu Uchida Toshiya Kan Hiroshi Kinoshita

### 要約

2006年にリース販売を開始したマツダRX-8水素エンジンREは、デュアルフューエルシステムを搭載し、水素とガソリンのいずれの燃料でも走行可能なことを特徴としている。また、エンジン、車両は水素インジェクタと高圧水素タンクを追加しているが、多くの部品を量産のRX-8とほぼ共通にしている。このため、従来設備での生産や市場でのサービスが可能である。

ノルウェーでは、水素社会に向けた国家プロジェクトがいくつも進行中である。その中の一つであるHyNor（ハイノール、Hydrogen Road of Norway）とマツダは、水素燃料と水素自動車の展開と開発を促進する目的で協力活動を行うことに2007年11月に同意した。

HyNorへの協力を具体化するため、国内仕様のRX-8水素エンジンREを基本とし、左ハンドル化など現地への適合と、商品性の向上のための開発を行った。

本稿では、新しく開発したノルウェー仕様のRX-8水素エンジンREについて紹介する。

### Summary

Mazda RX-8 Hydrogen RE, for which commercial leasing started in 2006, features the dual-fuel system enabling the car to run on either hydrogen or gasoline. While a hydrogen injector and high-pressure hydrogen tanks are newly added, many of the parts of its engine and body are mostly common with those of the RX-8 model in production. Consequently, Mazda RX-8 Hydrogen RE can be built and serviced at existing facilities.

In Norway, various national projects aimed at building a hydrogen-energy society are underway. One of those projects, HyNor (Hydrogen Road of Norway), and Mazda agreed in November 2007 to collaborate in the development of hydrogen fuel and hydrogen vehicles.

As a specific cooperation action with HyNor, Mazda carried out the development in a bid to comply with Norwegian requirements, including the left-hand drive system, and enhance marketability, based on Japanese-spec RX-8 Hydrogen RE.

This paper describes our newly-developed Norwegian-spec RX-8 Hydrogen RE.

### 1. はじめに

ここ数年、地球温暖化の原因物質の一つであるCO<sub>2</sub>の排出量の削減は、世界共通の課題となっている。

CO<sub>2</sub>の削減は自動車メーカーの責務になっており、低燃費だけでなく、石油そのものに依存しない持続可能な社会の

形成に向けて、次世代エネルギーとして水素エネルギーが注目されている。水素エネルギーを利用する自動車には、水素から電気エネルギーを発生させて走る「燃料電池車」と水素を内燃機関で燃焼させて走る「水素自動車」の2種類がある。

マツダは、1990年からこの水素エネルギーに着目し、水

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

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

\*6 パワートレイン技術開発部  
Powertrain Technology Development Dept.

素自動車の開発を続けてきた。2006年2月には水素ロータリエンジンを世界で初めて実用化し、「RX-8 ハイドロジェンRE」のリース販売を開始した。以来、国や地方自治体、民間企業などへ8台を納入している (Fig.1)。



Fig.1 Japan-spec RX-8 Hydrogen RE

## 2. ノルウェー仕様開発のねらい

国内仕様で提供しているリース車で基本技術は確立できているため、国内仕様を基本に、マニュアルトランスミッション (MT)、左ハンドル仕様に変更した上で、商品性の向上のための開発を行った。

### (1) 良好な走行性を確保

トルク特性の改善, エンジン安定性の向上

### (2) 極寒環境下での使用

冷間始動性, 冷間時の走行性改善

主要仕様をTable 1, に, 車両概観をFig.2に示す。

極寒環境下での課題確認のため、国内仕様のRX-8ハイドロジェンREを現地で運用し、課題を開発にフィードバックした。

Table 1 Major Spec of Hydrogen Vehicles

| Items            | Domestic Specification           | Norway Specification |
|------------------|----------------------------------|----------------------|
| Dimension        | OAL 4435mm/OAW 1770mm/OAH 1340mm | ←                    |
| Seating Capacity | 4 persons                        | ←                    |
| Engine           | Hydrogen rotary engine           | Norway Specification |
| Dual-fuel system | Installed                        | Installed            |
| Fuel             | Hydrogen and gasoline            | ←                    |
| Max Power        | • Hydrogen mode                  | 80kw(109PS)          |
|                  | • Gasoline mode                  | 154kw(210PS)         |
| Max Torque       | • Hydrogen mode                  | 140Nm(14.3kgm)       |
|                  | • Gasoline mode                  | 222Nm(22.6kgm)       |
| Max Speed        | 170km/h                          | ←                    |
| Transmission     | 4AT                              | 5MT                  |
| Drive Range      | • Hydrogen mode                  | 100km                |
|                  | • Gasoline mode                  | 549km                |
|                  |                                  | 45km                 |



Fig.2 Norway-spec RX-8 Hydrogen RE

## 3. 商品性の向上

国内仕様はオートマチックミッション (AT) であるが、現地への適合のためノルウェー仕様では5速マニュアルミッション (5MT) とした。

このため、停車からの加速性やシフトチェンジフィーリングの向上のために、エンジン本体の開発を行い、エンジントルク特性を改善した。

また、現地での利便性や安定性の向上のために、ソフトウェアの改善や追加装備を行った。

### 3.1 エンジントルク特性の改善

#### (1) トルク特性改善のための課題

水素ガスを内燃機関で燃焼させる場合、以下の3つの課題がある。

- ① 燃焼速度がガソリンに比べて速く、水素ノック音と呼ばれる燃焼音が生じる。特に、エンジン出力が高い領域で起きる。
- ② ガスのため体積あたりのエネルギー密度が低く、大流量の燃料噴射を必要とする。
- ③ 水素燃焼時は、ガソリンと同様に窒素酸化物 (NOx) が生成される。

一方で、水素混合気は燃焼範囲が広く、希薄混合、多量EGRの条件でも安定して燃焼する特徴がある。

従来の国内仕様は、これらの課題に対応した新しいエンジンシステム (Fig.3) を採用している。

このシステムの特徴としては、ロータハウジングの上方に水素ガスインジェクタを設置し、直接噴射式 (以下、直噴) としたこと、予混合用の水素インジェクタを吸気管部に設けていることと、EGRを追加したことである。

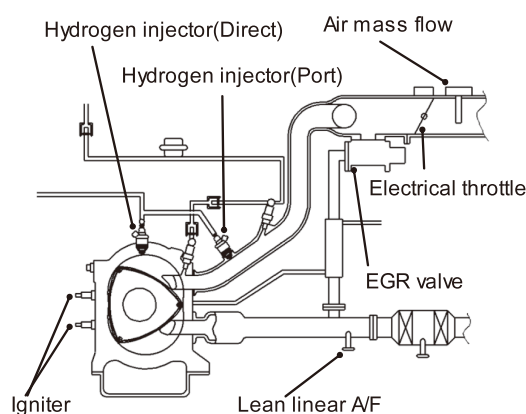


Fig.3 Hydrogen RE System

そして、Fig.4に示すようにエンジンの運転状況に応じて、直噴、予混合の噴射割合を変更して、水素と空気のみキシングをコントロールし、希薄燃焼、多量EGR下での $\lambda=1$ 燃焼を切り替えることによって、出力改善と窒素酸化物 (NOx) の低減を両立している。

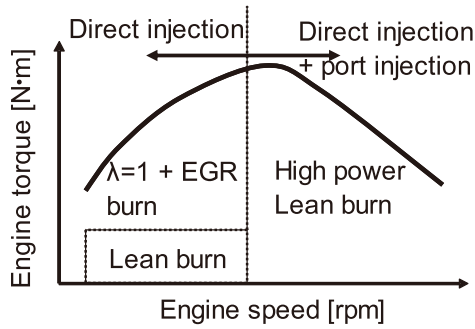


Fig.4 Hydrogen Burn Control

今回のノルウェー仕様でもこのシステムを基本的に踏襲し、以下の改善を行った。

(2) ノルウェー仕様での改善内容

国内仕様では、エンジンの中低回転域において、多量EGRを導入することで、NO<sub>x</sub>と燃焼音を低減した。

一方で、多量EGRの導入によって、充填量の低下と吸気温度の上昇が起きる。また、ロータ表面の温度も上昇し、ヒートポイントと呼ぶ高温の部分が発生しやすくなる。

このため、水素燃料を増量すると、圧縮工程中にプリイグニッション（点火する前に自己着火する現象）という問題が発生する確率が増加するため、更なるトルクの向上が困難であった。

そこで、ノルウェー仕様では、このプリイグニッションを抑制しトルク特性を改善するため、以下の対応を行った。

- ① EGRクーラの容量UPとレイアウト変更によるEGRガス温度の低減
- ② ロータ（エンジン内部）の冷却性アップによるロータ表面のヒートポイント発生の低減

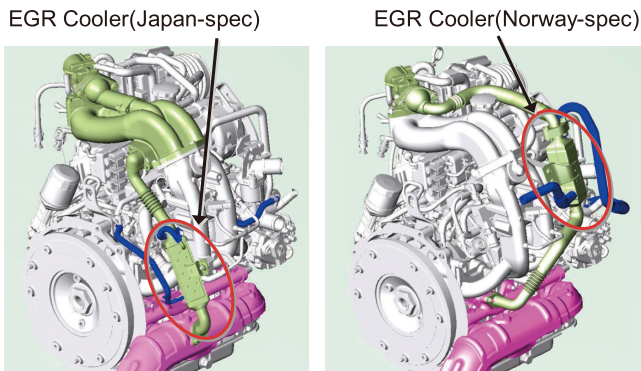


Fig.5 EGR Cooler Layout

Fig.5に変更前（左側）と、変更後（右側）のEGRクーラの位置を示す。変更前は車体と排気系の間にEGRクーラがレイアウトされているため、冷却効果が低かったが、変更後は冷却効果が改善された。

また、ロータの冷却性アップは、オイルコントロールジェット径UPと作動領域を拡大することで対策した。

これらの改善によって、プリイグニッションの抑止と、トルクの向上の両立ができた。

この結果、Fig.6のように、中低回転域のトルクを20%以上向上させたトルク特性に改善することができた。

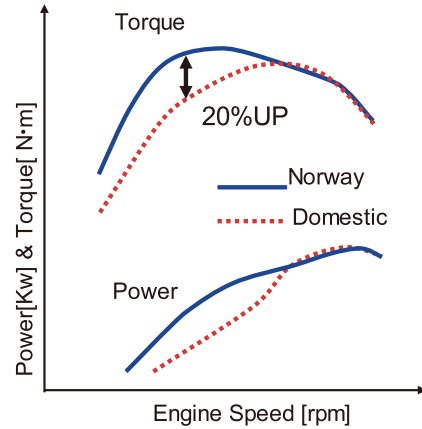


Fig.6 Improvement of Engine Torque and Power

3.2 極寒環境への対応

ノルウェーは、オスロ近郊においても-20℃も珍しくない環境であり、極冷間の機会が多い。そこで、始動性の向上のため、点火時期を最適化した。

具体的には、通常ガソリンでは、点火時期を進角させるとトルクが増大する。このため、当初は、国内仕様よりも進角側で最適化を図った。しかし、図示有効圧力を計測しながら、点火時期を大きくリタードさせた結果、国内仕様よりも更に遅角側に最適なセットがあることがわかった。

Fig.7に点火時期のみ条件を変えた結果（指圧波形）を示す。水素は、燃焼速度がガソリンと比べて速いため、TDC付近で点火した場合には、燃焼期間が短い。一方で、点火時期を大きく遅角させると、燃焼速度が低下し、長い期間燃焼し、図示有効圧力も増加する。

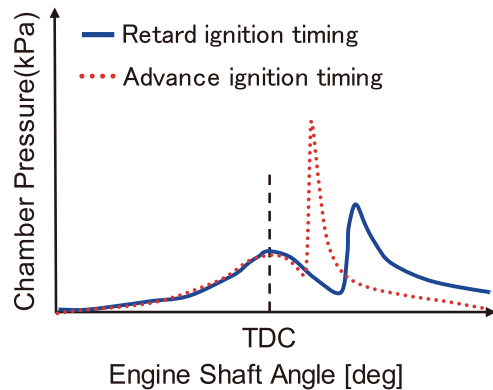


Fig.7 Impact of Ignition Timing on Hydrogen Combustion

この結果、Fig.8に示すように、従来よりも始動時のトルクを30%増加させることができ、極寒環境への対応ができた。

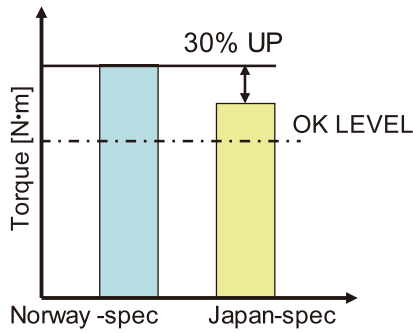


Fig.8 Torque Improvement at Engine Start

3.3 その他の改善点

(1) 給燃時の安全性の向上

ノルウェーでは、水素ステーションはセルフサービスとなっている。そこで、安全性向上の観点から、給燃中の車両の誤発進を防止するため、水素給燃口にスイッチを設け (Fig.9)、リッド開時にはエンジン始動を強制的に禁止するイモビライザシステムを追加した。

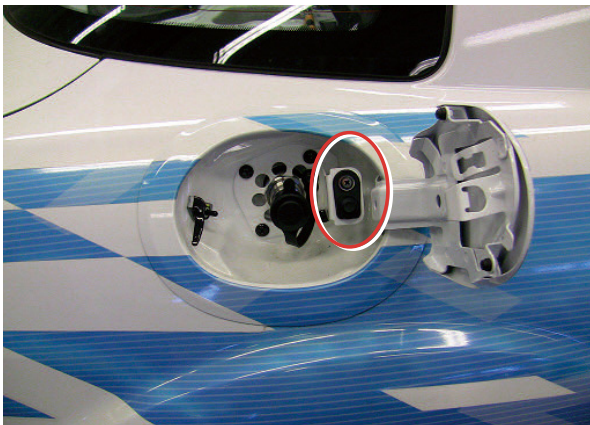


Fig.9 Immobilizer at Hydrogen Fuel Lid

(2) 左ハンドル化およびメータデザインの変更

欧州仕様のため左ハンドル化した。メータは、水素運転をメインにした配置に変更した。

具体的には、従来のガソリン残量計の位置 (右側のメータ) に水素残量計を配置し、更に、水素関係の各種ワーニングを追加した。ガソリン残量は、左側のメータに配置した。



Fig.10 Meter Layout

(3) 極寒環境での利便性向上

極寒環境では、始動性の向上とエンジン暖機のための燃料節約のため、駐車時に電気で暖めておくエンジンブロックヒータが一般的となっている。そこで、エンジンブロックヒータを取り付け、利便性を向上した。

4. 制御ソフトウェアの改善

2006年の国内仕様の開発において、Matlab/Simulink (制御系設計CADツール) を使ったモデルベース開発手法を適用したが、主に設計段階における活用であった。今回は、更に、実機検証段階に活用した。

4.1 空燃比制御のキャリブレーションの改善

空燃比制御は、目標空燃比に対して排気管に配置したλセンサで検出した実空燃比λを追従させる。実空燃比λは、燃料量と空気量で決定される。

エンジンの空燃比は、むだ時間と時定数が大きい系として知られている。このため、Fig.11に示すように実空燃比を推定するオブザーバを追加したF/Bを構成した。

この推定λが実λに近いほど、制御応答性が向上するため、推定精度の向上が重要となる。

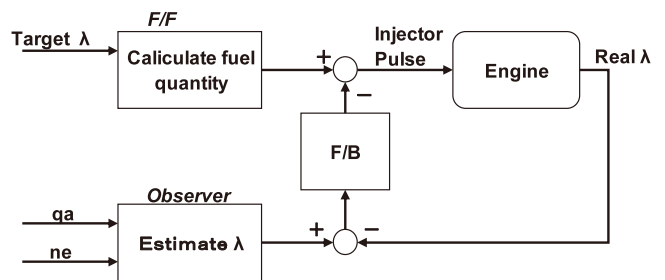


Fig.11 λ Control Block Diagram

従来の手法では、排気管の体積や、λセンサの設計上の時定数を用いて推定モデルのキャリブレーションを行っていた。しかしながら、実機の結果とずれるため、更にキャリブレーションが必要であった。

今回、効率化のため、従来実機で行っていたオブザーバのキャリブレーションを、Matlab/Simulink上で実施した。

4.2 故障診断ソフトウェアの改善

従来の故障検出に加えて、水素特有の部品の劣化を検出するソフトウェアを追加した。

故障検出に比べて劣化検出の方が、誤診断の可能性が高いため、品質確認のためのテスト項目が増加する。

そこで、従来、ECUにソフトウェアを実装後、実機で検証していたが、効率化のため、Matlab/Simulink上で検証した (Fig.12)。



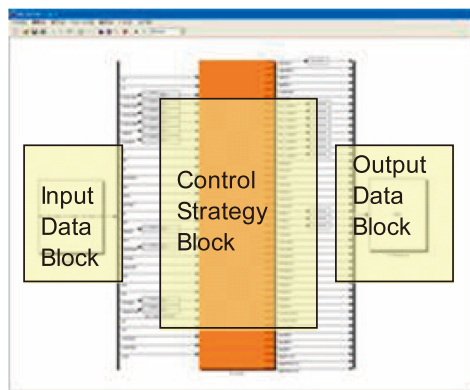


Fig.12 Diagnosis Software Test on Matlab

検証は、まず、劣化状態を模擬した入力データを作成した。次に、作成した入力データを、Matlab/Simulinkに入力してシミュレーションし、診断結果を検証した。机上で入力データを自由に生成できるため、誤判定しやすいケースの検証が容易になり、品質確認を効率化できた。

## 5. おわりに

本稿では、ノルウェー仕様のRX-8ハイドロジェンREを紹介した。

昨年、ノルウェーで型式認定を取得し、リースを開始している。2006年の夏にノルウェーに初めて招待されて3年半が経過したが、ノルウェーの要望に応えることができ、関係者一同うれしく思っている。

最後に、開発に協力して頂いたサプライヤ殿とHyNor、マツダモーターノルウェーの皆様に深くお礼を申し上げます。

## 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) 齊藤ほか：水素自動車「RX-8ハイドロジェンRE」のデュアルフューエルシステム，日本機械学会 [No.09-114] 講習会教材，p.57-63（2009）

## ■ 著 者 ■



齊藤智明



桜井 茂



赤星英明



内田浩康



菅 俊也



木ノ下浩

特集：環境

9

## マツダCX-7用尿素SCRシステムの開発 Development of Urea SCR System on MAZDA CX-7

石原 力<sup>\*1</sup> 氏原 健幸<sup>\*2</sup> 勝田 真斗<sup>\*3</sup>  
Chikara Ishihara Kenko Ujihara Masato Katsuta  
中島 英信<sup>\*4</sup>  
Hidenobu Nakashima

### 要 約

尿素水を使用して窒素酸化物を低減する排気後処理システム“尿素SCR (Selective Catalytic Reduction) システム”を、乗用車では日本メーカーとして初めてCX-7に搭載した。本稿ではその尿素SCRシステムの概要と特徴について紹介する。

### Summary

Mazda successfully employed an “Urea Selective Catalytic Reduction System (Urea SCR System)” to the CX7, which is an exhaust aftertreatment system that cuts NOx by using urea aqueous solution. Mazda is the first automobile maker that adopted the system to a passenger car. This report describes the overview and features of the Urea SCR System for passenger vehicles.

### 1. はじめに

マツダは2007年3月に技術開発の長期ビジョン「サステイナブルZoom-Zoom宣言」を発表し、走る喜びと優れた環境安全性能が調和した、進化する“Zoom-Zoom”の世界を追及していくことを宣言した。

今回、これを具現化する商品として、欧州、及び豪州向けCX-7を開発した。この車両には、MAZDA6（日本名アテンザ）で高く評価されているトルクフルなディーゼルエンジンMZR-CD2.2を搭載し、加えて、欧州Stage5規制に向けて窒素酸化物（NOx）を大幅に低減すべく、乗用車用尿素SCR (Selective Catalytic Reduction) システムを新規に採用した。これにより、走る喜びと優れた環境性能を両立させたSUVを更に進化させることができた。

### 2. 開発のねらい

CX-7搭載の尿素SCRシステムを開発するにあたり、「サステイナブルZoom-Zoomで、ユーザに優しいシステム」を開発のねらいとし、これを実現すべく諸性能の目標を以下のように設定した。

- 1) NOx排出量…SCRを使用しない場合と比較して1/2以下に低減
- 2) エンジン特性…MAZDA6と同等
- 3) 尿素水補給インターバル…航続距離20,000km以上
- 4) ユーザインターフェイス…尿素SCRシステムのメンテナンスや異常時の処置に関する表示機能の搭載
- 5) ユーティリティ…従来モデルと同等のラゲッジスペース

### 3. システム概要

#### 3.1 エンジン諸元

尿素SCRシステムを搭載するCX-7のエンジンMZR-CD2.2の諸元をTable 1に示す。

MAZDA6の仕様に対し、ターボチャージャーを変更し、お客様に「走る喜び」を提供している。

#### 3.2 尿素SCRシステム

CX-7に搭載した尿素SCRシステムの構成をFig.1に、パッケージングをFig.2に示す。

主要構成部品としては尿素インジェクタ、尿素タンク、SCRコントロールモジュールである。また、コンバータはSCR触媒とアンモニア浄化用酸化触媒 (DOC) の一体

\*1, 2 パワートレインシステム開発部  
Powertrain System Development Dept.

\*4 電子開発部  
Electrical & Electronics Development Dept.

\*3 走行・環境性能開発部  
Driveability & Environmental  
Performance Development Dept.

Table 1 Engine Specification

|                          |    |   |     |
|--------------------------|----|---|-----|
| Displacement(ml)         |    | 2184                                      |     |
| Bore x Stroke(mm)        |    | 86 x 94                                   |     |
| Combustion type          |    | Direct Injecton                           |     |
| Variable swirl system    |    | N/A                                       |     |
| Intake shutter valve     |    | DC Motor                                  |     |
| EGR valve                |    | DC Motor                                  |     |
| EGR cooler               |    | with                                      |     |
| Compression ratio        |    | 16.3                                      |     |
| Valve driving system     |    | DOHC,chain-driven 16valves                |     |
| Valve timing             | IN | Open BTDC                                 | 6°  |
|                          |    | Close ABDC                                | 30° |
|                          | EX | Open BBDC                                 | 40° |
|                          |    | Close ATDC                                | 8°  |
| Valve lift(mm)           |    | IN:9.5mm,EX:9mm                           |     |
| Fuel injection system    |    | Common rail system                        |     |
| Max Fuel pressure(MPa)   |    | 200                                       |     |
| Supercharger system      |    | Variavle geometry turbocharger (Improved) |     |
| Inter-cooler             |    | with                                      |     |
| Max. torque(N·m)         |    | 400                                       |     |
| Max. power(kW)           |    | 127                                       |     |
| Diesel paticulate filter |    | with                                      |     |
| Linear O2 sensor         |    | with                                      |     |

型である。SCR触媒はゼオライト系触媒を使用し、コンバータの上流にはミキサーを配置、また浄化機能診断のためにSCR触媒下流にNOxセンサを配置した。

たものである。NOx浄化率はSCR触媒が活性し始めてからある温度までは、触媒温度の上昇に伴い急激に上昇していく。この傾向はNOx浄化率が80%~90%に到達するまで維持され、その後、変曲点を有し、なだらかな上昇率を維持する傾向にある。

また通常走行時に使用頻度の高い触媒温度領域では、触媒へのアンモニア吸着量で浄化率に差が出てくる。

従って、より広い触媒温度範囲で浄化性能を向上させるためには、NOxを浄化するためのアンモニア吸着量を常に最適な状態で触媒上に保持しておく必要がある。

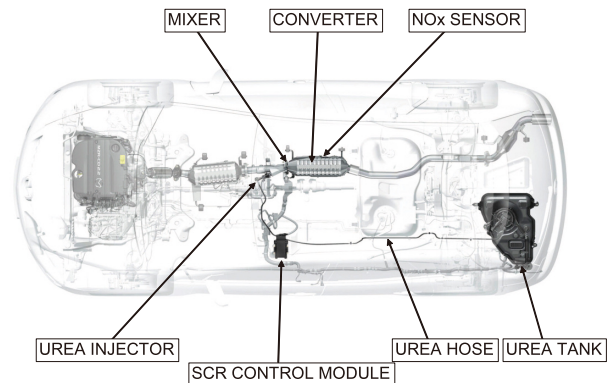


Fig.2 System Packaging Drawing

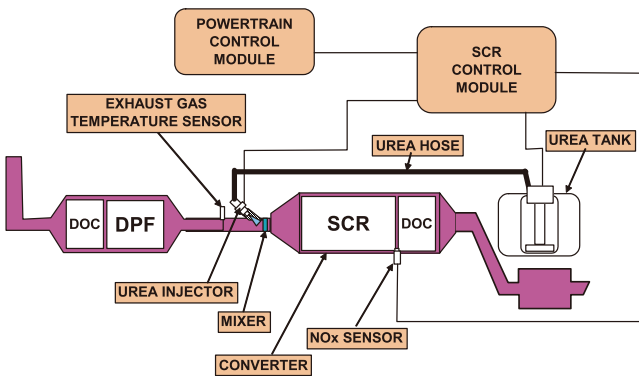


Fig.1 System Drawing

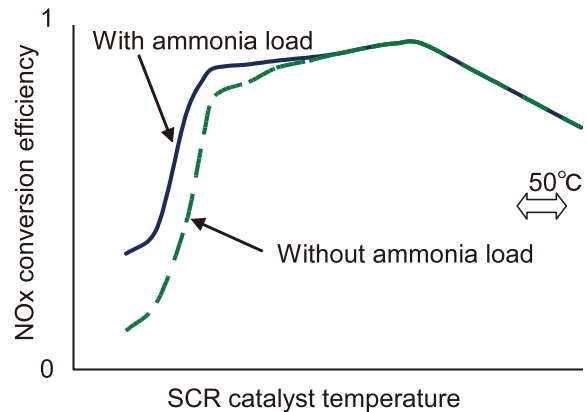


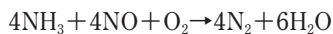
Fig.3 Relationship of SCR Catalyst Temperature and NOx Conversion Efficiency

#### 4. 尿素SCRシステムの性能開発

##### 4.1 NOx浄化性能

###### (1) 触媒特性

本システムのSCR触媒はアンモニアを吸着する特性を持ち、触媒上でそのアンモニアと反応することでNOxを低減するものである。一般的な反応式は以下の3つである。



SCR触媒のNOx浄化性能は、一般的に触媒温度によって変化する。Fig.3は触媒温度とNOx浄化率の関係を示し

###### (2) アンモニア吸着量

Fig.4はアンモニア吸着特性とNOx浄化率との関係を示した例である。これから吸着量が一定より多ければ浄化率が高いことがわかる。しかし、触媒の吸着限界（最大吸着量）を越えてアンモニアを吸着させ続けると、アンモニアの放出（スリップ）が発生することも見てとれる。このことから本システムでは、Fig.4にあるようなエリア内にアンモニア吸着量のターゲットポイントを設定した。これは必要なNOx浄化率を得た上で、アンモニアスリップを防止

するためのマージンを確保することをねらったものである。これにより、触媒担体バラツキなどによるアンモニア吸着量のバラツキが生じたとしても、SCR触媒のNOx浄化率を高い状態で安定して得ることができ、かつアンモニアスリップも抑制することができる。

Fig.5はこの考え方を用いて、SCR触媒温度ごとに吸着量ターゲットを設定した例である。触媒温度毎に最大吸着量に対するマージンを変えたターゲットとすることで、触媒の急激な昇温でアンモニアスリップが起きることを防止している。

このようにして、さまざまな運転条件や環境変化の影響を受けにくいシステムとすることができた。

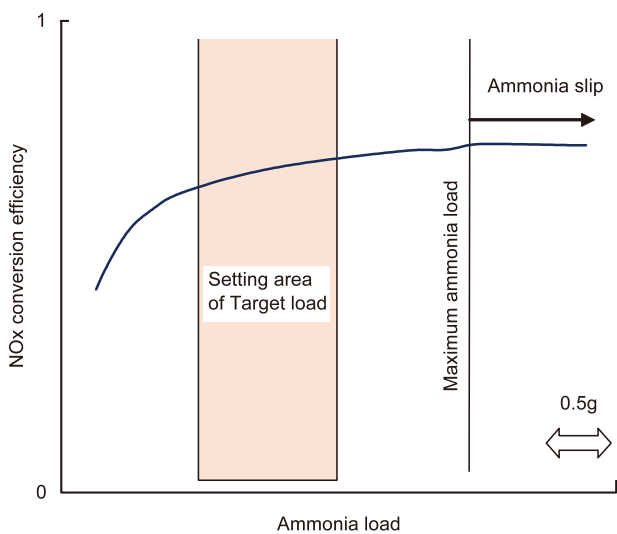


Fig.4 Relationship of Ammonia Load and NOx Conversion Efficiency

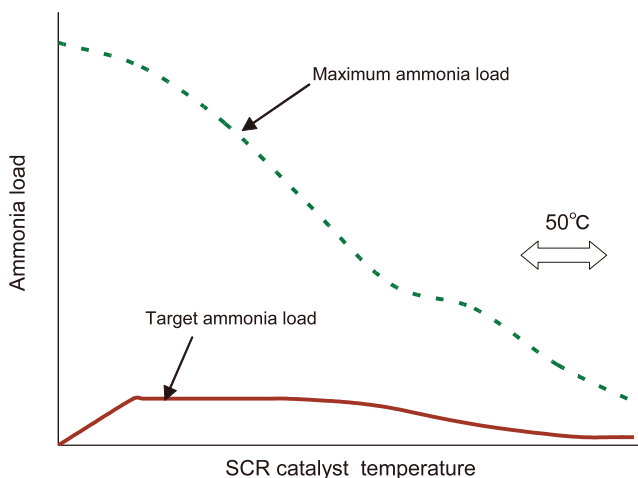


Fig.5 Target Ammonia Load

(3) ミキサー仕様の最適化

触媒性能を最大限に引き出すためには、SCR触媒容量を有効に利用することが必要である。CX-7ではそのため

にミキサーを採用し、SCR触媒前に設置した。

ミキサーは噴射した尿素水を衝突させることで、噴霧を更に微粒化するとともに、排気ガスと尿素水のミキシングを向上させる機能を持つ。

ミキサーの仕様決定にあたっては、CFD (Computational Fluid Dynamics) を用いて、流れやミキシング度合いを検討し、更に実機評価を行って、最終仕様を選定した (Fig.6)。

これによりSCR触媒全体を効率的に使用することができるようになり、ミキサーを装着していない場合に比べNOx浄化率をおおよそ1.5倍にすることができた。

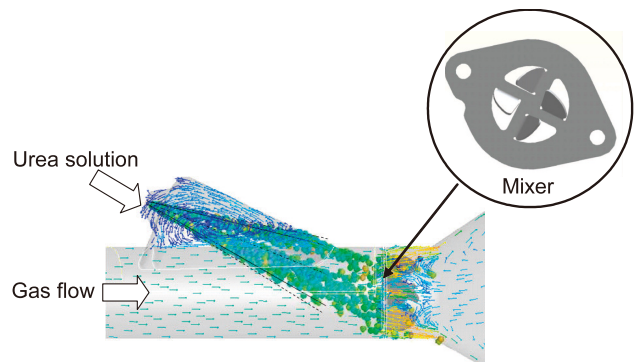


Fig.6 CFD Analysis

4.2 尿素SCRシステムの制御

触媒にねらいのアンモニア量を吸着させて高い浄化性能を確保するためには、「必要な尿素水を正確に噴射する」ことが必要である。そのため尿素SCRシステムの制御としては「NOx流入量を正確に把握」し、「NOx浄化率を正確に推定」することが重要なポイントとなる。なぜなら吸着量をねらい通りに保つためには、触媒に入ってくるアンモニア量と浄化反応に使用されたアンモニア量を把握する必要があるからである。

触媒に入ってくるアンモニア量は尿素水噴射量から算出できるが、浄化反応に使用されるアンモニア量を算出するためにはNOxの流入量を正確に検出する必要がある。従って、本システムの開発にあたり、新たに「NOx流入量」と「NOx浄化率」のモデルを開発した。

(1) NOx流入量モデル

NOx流入量モデル (NOxモデル) は、エンジン排出NOxモデルと排気管遅れモデルで構成されている。エンジン排出NOxモデルは、運転条件等から算出したEGR率をO2センサの検出値で補正したものをを用いて、エンジンからのNOx排出量を算出する。これに排気管経路に対する遅れモデルを適用し、触媒へのNOx流入量を算出する。Fig.7にこのモデルの全体構成を示す。

Fig.8はこのモデルで算出したNOx流入量と実測値を比較した一例である。非常に良く一致しており、NOx流入量モデルとして妥当だということがわかる。

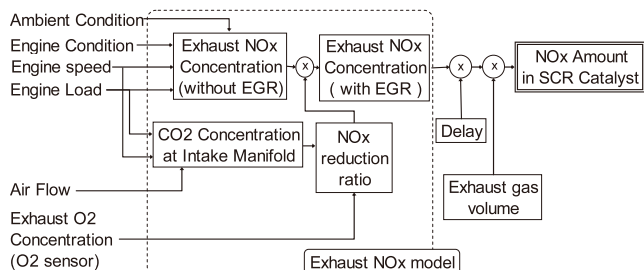


Fig.7 NOx Model Overview

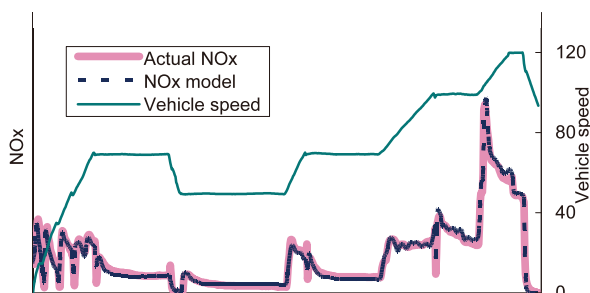


Fig.8 NOx Model

## (2) NO<sub>x</sub>浄化率モデル

NO<sub>x</sub>浄化率モデルはアンモニア吸着量と触媒温度から決まるNO<sub>x</sub>浄化率の特性をモデル化したものである。このうちアンモニア吸着量はNO<sub>x</sub>モデル、噴射した尿素水量及び触媒温度から求めたものである。つまりNO<sub>x</sub>浄化率をモデル化するにあたり触媒温度をいかに推定するか？が重要となる。そのために今回は触媒温度モデルを新たに作成した。これは触媒前の排気ガス温度をベースに触媒容積、排気ガス流量等から触媒温度を算出するものである。Fig.9は欧州エミッションモードでの触媒温度の実測値とモデル値を比較したものである。非常によく一致しており、触媒温度モデルが妥当であることがわかる。この温度モデルを使用することで、触媒の浄化率特性を高い精度で算出可能なNO<sub>x</sub>浄化率モデルを作成した。

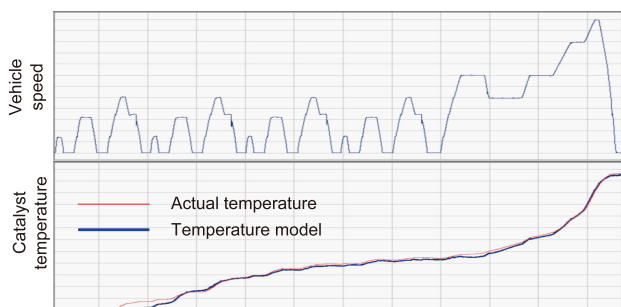


Fig.9 SCR Catalyst Temperature Model

## 4.3 車両エミッション評価結果

Fig.10は実際の車両を使って欧州エミッションモードを走行し、尿素SCRシステムを使用した場合と使用しなかった場合のNO<sub>x</sub>排出量を比較したものである。尿素SCRシステムを使用した走行においては、SCR触媒温度が活性温度以上で尿素水噴射を開始するようにしている

が、モード中の最もNO<sub>x</sub>排出量の多い領域では90%以上の浄化効率を示している。これまでシステムで検証してきたNO<sub>x</sub>低減を実車で再現できているといえるものである。モードトータルとしても約1/2とねらい通りのNO<sub>x</sub>低減を達成したシステムに仕上がっている。

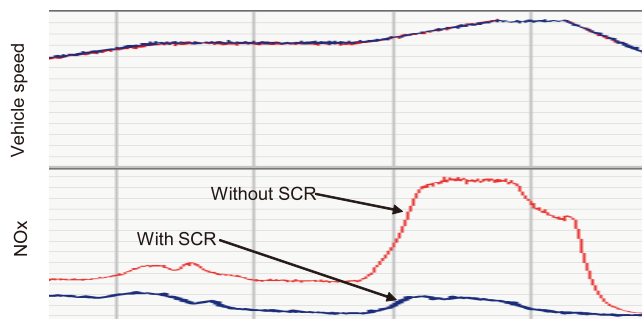


Fig.10 NOx Emission

## 5. ユーザに優しいシステムの開発

### 5.1 尿素水補給インターバルの確保

#### (1) 無効消費量の抑制

本システムの尿素水補給インターバルは20,000km以上を目標としており、補給は定期メンテナンスとして行うこととしている。尿素水補給インターバルは、尿素水の消費量と尿素タンク容量で決定されるので、補給インターバルをのばすためには、尿素水の消費量を抑えることが重要となる。浄化に使われる尿素水消費量については、これまで述べたように触媒効率を最大限に引き出し、それを正確にコントロールしてやることで、最小化を図った。

これに加えて、浄化に使われない無効消費量の抑制も行った。当システムでは、エンジン停止時に配管内の尿素水を、無駄にしないことと詰りの防止を兼ねて、尿素タンク内へ引き戻している。この際に配管内に残る尿素水を最小にするべく、チューブ内径の適正化、及び配管経路の最適化等を行い、引き戻し後に配管内に残る量をほぼ0にすることができた。これにより無駄な尿素水の消費がほとんどないシステムが構築できている。

#### (2) 尿素タンク容量

乗用車のスペースに搭載可能なタンク容量には制限があることから、前述のように消費量を抑えた上で、本当に必要な尿素水量を元に尿素タンクの容量を決定した。目標である20,000km以上走行するために必要な量を検討するに当たり、あらゆる走行シーンを想定し実走行とシミュレーションを繰り返し行い、最終的なタンク容量を15.5Lとした。

#### (3) 尿素水補給

尿素水補給時には、満充填することを前提としている。その実現手段として、尿素タンクの尿素水補給口及びサービスホールは、ノンスピルアタッチメント（吹きこぼれ防止機能付き注入口）を使用したボトルやコンテナが使用可

能な構造とし、尿素水の過補給を簡便かつ確実に防止した。更に車両の定期メンテナンスとしてサービスマンが補給することで、確実に満充填できる。

これらの方策により、極力お客様の手を煩わせず、負担の少ない補給メンテナンスを提供することができた。

### 5.2 ユーザインターフェイス

尿素SCRシステムは乗用車としては新しい技術である。CX-7ではユーザへシステムの状況を伝えるインターフェイスとして以下3つを用意した。

#### (1) 尿素水残量計

ODOメータ、TRIPメータと同位置に尿素水残量計を配置した (Fig.11)。この残量計は、尿素水残量が一定以下になったときには、残量表示から残走行可能距離表示に切り替わり、ユーザに具体的な尿素水補給タイミングを知らせるようになっている。

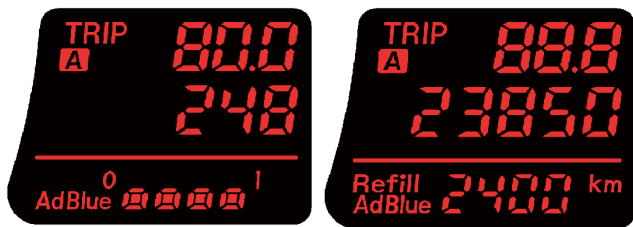


Fig.11 Urea Solution Gauge

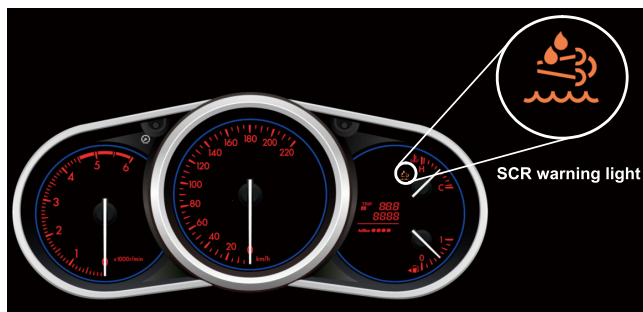


Fig.12 SCR Warning Light

#### (2) SCR警告灯

SCR警告灯 (Fig.12) は尿素水の残量が少なくなったことを知らせる役割を果たす。残量が少ない時にはエンジン始動後の一定時間、警告灯の点滅とアラーム音を連動させ、ユーザへの認知性をより向上させている。またシステム故障時には、マルファンクションインジケータライトと組み合わせることで尿素SCRシステムの異常も知らせる役割も兼ねている。

#### (3) マルチインフォメーションディスプレイ (MID)

SCR警告灯と尿素水残量計による警告内容を更に分かりやすくユーザに伝えるために、MIDに警告内容を表示するシステムとした。このMID画面には、残量が少なくなると、故障が発生したときなど、別々の表示を行い、具体的な警告内容、処置が分かるようになっている (Fig.13)。



Fig.13 Multi Information Display

### 5.3 ラゲッジスペースの確保

尿素タンクを搭載すると、一般的にはキャビンスペースやラゲッジスペースに影響を与えてしまう。しかしSCR触媒を追加すると排気系の消音効果が高まるため、サイレンサ構造を見直し小型化することが可能になった。ここで生じた空間を有効に生かし、尿素タンクを搭載した。この結果タンク容量を確保しつつ、従来モデルと同等のラゲッジスペースを実現している。

## 6. まとめ

今回、市場へ尿素SCRシステムを新たに導入するにあたり、ヨーロッパ各地での実走行モニタを実施したが、動力性能はもちろん車両のユーティリティ面においても尿素SCRシステム搭載に起因するネガティブな意見もなく、高い評価を得ることができた。

また尿素水補給インターバルも、想定した走行シーンにおいて、目標の20,000km以上を達成でき、ユーザインターフェイスも相まって、本当にお客様に安心して乗っていただける商品であることを確認できた。

今後も更に、全てのお客様に走る喜びと優れた環境安全性能をお届けするZoom-Zoomな車づくりを進化させていく所存である。

### ■ 著 者 ■



石原 力



氏原健幸



勝田真斗



中島英信

特集：環境

10

## ECU用小型データロガーの開発 Development of Compact Data Logger for Electronic Control Unit

吉川 尚好\*<sup>1</sup> 寺島 将太\*<sup>2</sup>  
Hisayoshi Yoshikawa Shota Terashima

### 要約

i-stopや水素自動車などの環境対応自動車では、制御の高度化が進むとともに、電子システムの搭載量が増大し、システムを制御する電子制御ユニットやユニット間のデータ通信の重要性が高まっている。このため車両走行中の電子制御ユニットの状態や、通信を効率的に長期にわたり収集することが、製品の品質を確保する上で重要となった。

そこで、電子制御ユニットの内部状態、ユニット間の通信データや、温度などの走行環境を一括で記録し、車両の運転状態に合わせて自動で記録の開始と終了を行うことを可能とする小型データロガーを開発した。本稿では、先行技術開発や商品開発での運用を開始した小型データロガーについて、設計の各段階における開発目標と実現方法を紹介する。

### Summary

Sophisticated electronic control units and data communication among the units are becoming increasingly important as electronic systems are widely used in the environmentally friendly vehicles such as i-stop and hydrogen vehicles. Therefore, long term monitoring of conditions and communications in the electronic control units are very important to ensure product quality.

A unique compact data logger, which can record internal conditions of electronic control units, data communications, and environmental conditions such as temperatures, has been developed. The unit automatically starts and stops the recordings in conjunction with driving conditions. This report explains the design of the data logger, which are widely used during the advanced development and product development in Mazda.

### 1. はじめに

近年の環境対応車両は、i-stop<sup>(1)</sup>や水素自動車<sup>(2)(3)</sup>などの例に見られるように、制御の高度化が進み、電子システムの搭載量が増大することで、システムを制御するECU (Electronic Control Unit) や、ECU間のデータ通信が複雑化している。そのため、車両の品質を確保するには、ECUやECU間のデータ通信に関わる品質の確保も重要である。

ECUの状態やデータ通信情報は、運転者や同乗者が装

置を操作してデータを収集していたが、簡便で長期運用が可能な情報収集装置を開発することによって、車両走行中のECUの状態量や、通信を効率的に収集することができる。更に、制御に影響を与える加速度、温度、走行位置などを同時に収集することができれば現象の再現も容易となる。

一方、近年の車両は、電子システムの増大に対し、故障診断システムであるOBD (On-Board Diagnosis) を用いることで、データ通信を利用した効率的な車両整備<sup>(4)(5)(6)</sup>を行っている。OBDを用いることで、通常のECU間のデー

\*1, 2 技術研究所  
Technical Research Center

タ通信には出てこないECUの状態などの内部データを計測することが可能となる。しかし、不正データ書き込みを防止する観点からセキュリティガードの設定があるなど、ECUの開発と連携して情報収集機能を自社開発する必要があった。

本稿では、OBDをデータ収集に用いたECU用小型データロガーについて、設計の各段階における開発目標と実現方法を紹介する。

## 2. システム設計

### 2.1 システム要件の定義

簡便で、長期運用ができ、効率的な情報収集を可能とするデータロガーの開発を行うため、以下3点を目標とした。

- 運転者に装置の存在を意識させない
- ECU間の通信データと内部状態データを記録できる
- PCと連携できる

これらの開発目標から、システムに求められる要件を、以下6点と定義した。

- (1) 計測の開始、終了に運転者の作業が不要
- (2) 車両の改造が不要
- (3) 長期間の計測が可能
- (4) CAN通信データを取得できる
- (5) ECUの内部データを取得できる
- (6) 計測データをPCに転送できる

### 2.2 システムアーキテクチャ

実現するシステムのアーキテクチャの設計を行い、Fig.1のシステム接続図を作成した。

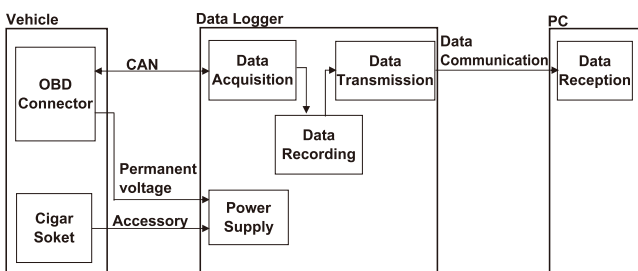


Fig.1 Diagram of System Connection

車両とデータロガーの接続には、車両に標準で装備されているOBDコネクタとシガーライターソケットを用いた。これにより、要件「(2) 車両の改造が不要」を実現した。

OBDコネクタは、CAN通信機能と常時ONの電源を備え、要件「(4) CAN通信データを取得できる」を実現した。更に、CAN通信上にOBD規格を利用することで要件

「(5) ECUの内部データを取得できる」を実現した。また、シガーライターは、ECUの動作中を示すアクセサリ信号を供給することができる。そこで、データロガーをシガーライターの信号と連動して動作させ、要件「(1) 計測の開始、終了に運転者の作業が不要」を実現した。

また、要件「(3) 長期間の計測が可能」を実現するため、大容量の記憶媒体を装備し、要件「(6) 計測データをPCに転送できる」に対しては、PCとの通信機能を持たせた。

## 3. ハードウェア設計

### 3.1 ハードウェア要件の定義

システムアーキテクチャの設計結果より、ハードウェアの要件を定義した。以下にハードウェア要件を示す。

- (H1) 500MByte以上の記憶容量を有する
- (H2) データの記録年月、時間が分かる
- (H3) CAN送受信機能を1ch以上有する
- (H4) 1時間以内にPCへのデータ転送を終了する
- (H5) 車両の電源で動作する
- (H6) OBDコネクタ、シガーライターに接続する
- (H7) PCに標準的な接続方法を使用する

### 3.2 ハードウェア開発

ハードウェア要件「(H1) 500MByte以上の記憶容量を有する」に対しては、入手性とシステム設計の容易性を考慮し、CF (CFカード) を記憶媒体に選択した。また、要件「(H2) データの記録年月、時間が分かる」を実現するため、内蔵電池でバックアップした時計機能を搭載した。

データ取得に対応する要件「(H3) CAN送受信機能を1ch以上有する」については、OBDコネクタの接続用と拡張性を考慮して、CANの送受信機能を2ch準備した。

要件「(H4) 1時間以内にPCへのデータ転送を終了する」と「(H7) PCに標準的な接続方法を使用する」を実現するため、ほぼ全てのPCに標準的に装備されているUSB (Universal Serial Bus) を使用した。また、要件「(H6) OBDコネクタ、シガーライターに接続する」については、データロガーの使い勝手を良くし、筐体に自由度を持たせるため、データロガーとOBDコネクタを専用のケーブルで接続するようにした。

要件「(H5) 車両の電源で動作する」に応えるためには、車両の電源を、電子回路の動作に適した電圧に変換しなければならない。この電圧変換の際に放射される電磁波が、車両のラジオなどに影響を及ぼさないように、回路配置と筐体形状を工夫した。

開発したデータロガーのハードウェア仕様を以下に示す。また、その外観をFig.2に示す。



- 32bitマイコン 動作周波数 240MHz
- CF 512MByte以上の記録媒体
- 時計機能
- OBD用CAN1ch, 電源2系統の車両接続用コネクタ
- 拡張用CAN1ch, 電源1系統の拡張用コネクタ
- PCと接続するためのUSBコネクタ
- 車両電源 (12V) または, 5Vで動作
- 外形 90×130×20mm

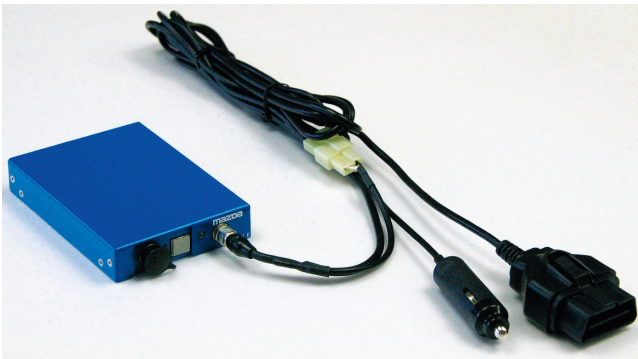


Fig.2 Data Logger and Cable

## 4. ソフトウェア設計

### 4.1 ソフトウェア要件の定義

システム要件とハードウェア仕様より, 以下のようにソフトウェア要件を定義した。

- (S1) システムの起動後, 直ちに計測を開始する
- (S2) ECU停止時, データ記録完了後に動作を停止する
- (S3) ECU動作中のデータを一つのファイルに記録する
- (S4) OBD規格に従い, ECU内部データを取得する
- (S5) 必要なCANデータのみを取得する
- (S6) PCとファイルの送受信を行う

システムの記憶容量が大きいため, 記録データはファイル単位で扱った。また, データ解析を容易にするため, 要件「(S3) ECU動作中のデータを一つのファイルに記録する」を設定した。更に, PC上で動作設定をファイルで変更できるように, 要件「(S6) PCとファイルの送受信を行う」を設定した。

計測動作の開始と終了を, それぞれ「(S1) システムの起動後, 直ちに計測を開始する」, 「(S2) ECU停止時, データ記録完了後に動作を停止する」と定義してシステム要件「(1) 計測の開始, 終了に運転者の作業が不要」を満足させた。

### 4.2 ソフトウェア外部インタフェースの定義

#### (1) 記録データファイルフォーマット

計測データの処理時間を軽減するため, 必要なパラメー

タだけを記録するようにした。パラメータの時間変化を解析するためには, CANデータの有無や, ECUの内部データを取得できたかどうかを認識する必要がある。そこで, 計測タイミング毎のデータ量が同じとなるように, 応答がない場合にもデータを記録すると同時に, データの取得成功を示すフラグを付加した。

#### (2) 計測設定ファイルフォーマット

ECUの内部データの計測において, データを取得する周期とパラメータは, 車両に合わせて設定する必要がある。この設定変更を容易に行うため, 必要な動作設定を一覧できる計測設定ファイルを用いた。

また, PC上でデータを解析する際, バイナリデータでは扱いにくいいため, データ転送後に, PC上で物理値に変換することとした。計測データを物理値に変換するには, パラメータ一つ一つの変換係数が必要である。そのため, 計測設定ファイルには, 変換係数の情報も記述することとし, 変換時に参照するようにした。

### 4.3 ソフトウェアアーキテクチャ設計

ソフトウェアの構造をFig.3に示す。CAN, USB, CFなどのハードウェアを動作させるデバイスドライバと, 機能を実現するアプリケーションソフトウェア (以下, アプリケーション), ファイルなどを扱うミドルウェア, OSの根幹の部分であるカーネル, カーネル領域とアプリケーション領域の境界のインタフェースであるシステムコールで構成した。アプリケーションは, データロガーの計測機能部分のデータ計測アプリケーションと, データロガーとPC間のファイル転送機能部分のデータ管理アプリケーションから成り立っている。

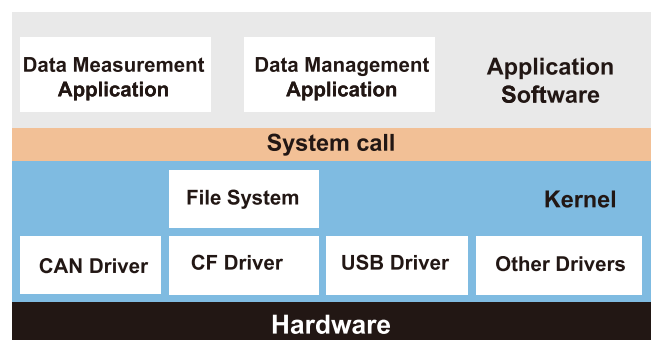


Fig.3 Data Logger Software Architecture

データ計測アプリケーションは, 計測設定ファイルの記述に基づいて, データ取得周期ごとにCANドライバから計測対象となるデータを取得し, ファイルシステムとCFドライバを通して, ハードウェアへのデータ書き込みを行う。そして, ECU停止を示すアクセサリ信号OFFを検出すると, データ書き込み完了後, システム全体の終了処理を行う。

データ管理アプリケーションは、USBドライバからの通信状態の通知に基づいて、CFに蓄えたデータの転送やUSB通信データのCFへの書き込み、データ消去などを行う。

#### 4.4 管理ソフトウェア

データロガーの状態を管理するために、PC上で動作するソフトウェアを開発した。主な機能は、データロガーの個体の情報、記録した計測データの情報などのユニット情報の管理のほか、計測データの転送と削除、計測設定ファイルの作成支援、PCに転送したデータファイルのCSV形式や物理値への変換などである。

計測設定ファイルの作成を支援するため、パラメータごとの設定を全て入力する方法、あるいは設定可能なパラメータリストから選択する方法の、どちらへも対応できるようなツールを具備した。また、EXCELマクロを用いてCANデータ信号表からパラメータリストを作成できる。

### 5. 外部温度計測ユニット

#### 5.1 要件の定義

目的によっては、ECUの制御データと同時に、部品や外気の温度などの外部環境データを計測し、データロガーに記録する必要が生じる。データロガーの拡張インタフェースを介して動作する外部温度計測ユニットを開発した。

外部温度計測ユニットの要件を以下に示す。これらの要件を満たすハードウェアとソフトウェアを設計した。次節以降で詳細を述べる。

- (E1) 熱電対を直結して温度計測ができる
- (E2) 複数種類の熱電対を使用できる
- (E3) 複数本の熱電対を使った計測ができる
- (E4) 0.1℃の分解能を持つ
- (E5) 温度データを変換し、CAN通信でデータロガーに送信することができる

#### 5.2 ハードウェア

熱電対は、測温側の接点と入力端子側の接点（冷接点）間の相対的な温度差によって生じる熱起電力を計測するものである。そこで、冷接点の実温度を計測する温度センサを併用して、測温部の温度を補償することとした。これにより、要件「(E1) 熱電対を直結して温度計測ができる」を実現した。

熱電対の熱起電力は、1℃で50 $\mu$ V程度と微小なため、高ゲインで高精度な電圧増幅機能を持たせることで、広範囲の温度計測において、要件「(E4) 0.1℃の分解能を持つ」を満足させた。

特に、要件「(E3) 複数本の熱電対を使った計測ができる」を実現するため、冷接点温度を高精度に計測すること

ができ、かつ、複数の熱電対入力場所の冷接点温度に差が生じないように配慮した。

また、データロガーに準備した拡張用コネクタは、外部温度計測ユニットに車両電源（12V）を供給することができるが、ユニット内の電子回路を動作させるには、電子回路に適した電圧に変換する必要がある。そこで、本ユニットもデータロガーと同様、電圧の変換時に、電磁波を放射しないように、回路配置と筐体形状に配慮した。

開発した外部温度計測ユニットのハードウェア仕様を以下に示す。また、その外観をFig.4に示す。

- 16bitマイコン 動作周波数 20MHz
- データロガーとの通信用CAN1chと電源を持った拡張用コネクタ
- JまたはK型の熱電対入力が8ch可能
- 車両電源（12V）で動作
- 外形 200×125×20mm



Fig.4 Temperature Measurement Unit

#### 5.3 ソフトウェア

各チャンネル（ch）に入力される熱電対の種類と熱起電力から、接点間の温度差を割り出すことにより、要件「(E2) 複数種類の熱電対を使用できる」を実現した。計測ソフトウェアは、温度差を割り出すとともに、冷接点の実温度によって補償して、測温部の真の温度を算出する。算出した温度は、CANデータに置換してデータロガーに一定周期で送信し、記録する。

また、計測対象である温度は、時間変化がゆっくりなため、対ノイズ性能や応答時間を考慮して、ソフトウェアフィルタを実装した。

### 6. 応用展開

開発したデータロガーと外部温度計測ユニットが、車両の耐久試験や市場評価での環境に対応できるかを確認するため、耐候性試験や、放射電磁ノイズ、電源変動に対する信頼性試験を実施し、いずれも問題がないことを確認した。

現在、環境負荷低減に向けて高度化した制御システムの耐久試験や市場評価で広く使用され、品質向上に貢献している。

また、外部温度計測ユニットの他にも外部拡張計測ユ

ニットを用いて、温度だけでなく路面の傾斜や凹凸、自転車の位置、走行状態などの多様な環境情報を記録することができる。そのため、どのような環境で制御システムに発生した現象かを正確に把握、解析し、再現を容易にすることで、様々な地域に対応した品質向上施策を行っている。

## 7. まとめ

本データロガーと外部温度計測ユニットは、開発目標やシステムの要件を決定する際に、計測ツールへのニーズを徹底的に調べ、的確に把握したことで、運転者が操作を行う必要がないなど、使い勝手が良く、簡便で、長期運用が可能な情報収集装置とすることができた。

今後、このような計測ツールに求められる機能として、高速現象を確実に収集するための高サンプリング周期への対応、連携動作する多数のECUから、同期した計測を行うこと、様々な計測データを一括して扱い、開発者にシームレスな解析環境を提供すること、計測による通信線路への負荷低減、計測データを効率的に開発者に届けるため、データ回収作業の高速化、自動化などが挙げられる。

今後も品質向上に有用な計測ツールとして、使い勝手の向上、性能向上、仕様追加への対応を短期間で行っていき、環境負荷低減を実現する技術開発に貢献していきたいと考えている。

## 参考文献

- (1) 猿渡ほか：マツダi-stop (アイ・ストップ), マツダ技報, NO.27, p.9-14 (2009)
- (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) 若山ほか：ハイドロジェンREハイブリッドシステムの開発, マツダ技報, NO.27, p.31-35 (2009)
- (4) 河添ほか：車載電子制御システム用の高機能故障診断 (車載ネットワークを活用した診断装置), マツダ技報, NO.9, p.199-205 (1991)
- (5) 梶山：車載多重通信システムの紹介, マツダ技報, NO.18, p.83-89 (2000)
- (6) 梶山ほか：アテンザの多重通信システム, マツダ技報, NO.20, p.44-49 (2002)

## ■ 著 者 ■



吉川尚好



寺島将太

特集：環境

11

## 次世代バッテリーマネジメント技術の開発 Development of Next Generation Battery Management Technology

久米章友<sup>\*1</sup> 庄司明<sup>\*2</sup> 吉田勝正<sup>\*3</sup> 小谷和也<sup>\*4</sup>  
 Akitomo Kume Akira Shoji Katsumasa Yoshida Kazuya Kotani  
 平野晴洋<sup>\*5</sup> 福馬勉<sup>\*6</sup> 中野雄介<sup>\*7</sup>  
 Seiyo Hirano Tsutomu Fukuma Yusuke Nakano

### 要約

マツダは、環境戦略としてi-stop、減速回生と、段階的に電気デバイスを付加していく「ビルディングブロック構想」を進めている。i-stopや減速回生では、バッテリーは大きな充放電が伴うため、バッテリー充電状態（以下、SOC：State Of Charge）が大きく変動する。そのため、バッテリーマネジメント技術によりバッテリーの過放電や早期劣化を防ぐ必要がある。しかしながら、これまでのバッテリーマネジメントでは、バッテリーの分極現象などにより、SOC予測精度に限界があった。今回、分極のメカニズムを理論的に解明することで、SOCの予測精度を大幅に向上させた。更に、バッテリー劣化状態（以下、SOH：State Of Health）、電気デバイスの作動状態（以下、SOF：State Of Function）も考慮したバッテリーマネジメント技術を新たに構築した。

### Summary

As an environmental strategy, Mazda is promoting “Building Block Concept”, with which electric devices such as regenerative brakes and i-stop have been phased. As i-stop/regenerative-brake operations require large charge and discharge of a battery, the state of charge (SOC) greatly fluctuates, and excessive discharge and fast deterioration have to be prevented by Battery Management Technology. However, the conventional Battery Management had a limit in SOC prediction precision due to the polarization phenomena of batteries. This time we theoretically clarified the polarization mechanism, and the SOC prediction accuracy is significantly improved. We also established a new Battery Management Technology that considers the state of health (SOH) of batteries and state of function (SOF) of electric devices as well.

### 1. はじめに

マツダは、電気デバイスのためのバッテリーマネジメント技術を継続的に進化させている。まずは、2003年からオルタネータ減速回生<sup>(1)</sup>を採用した車を市場に導入した。2009年には、i-stop<sup>(2)</sup>を採用したアクセラ、ピアンテを市場に導入した。今後は、オルタネータ減速回生とi-stopの両立が求められる。今回、これらを両立する高機能なBMSを開発したので報告する。

### 2. BMSに求められる機能

#### (1) SOCの高精度推定

減速回生は、減速時の運動エネルギーをバッテリーに蓄電し、加速時に利用することで燃費を向上させる技術である。より多く蓄電するには、SOCを下げた状態（以下、PSOC：Partial SOC）でバッテリーに充電をすることが望ましい。一方、バッテリー寿命を維持するために、SOCを必要以上に下げないように管理することが求められる。

そこで、SOCを精度よく制御する必要がある。

\*1, 3~6 PTパワートレインシステム開発部  
Powertrain System Development Dept.

\*7 電子開発部  
Electrical & Electronics Development Dept.

\*2 技術研究所  
Technical Research Center

(2) SOF, SOHの高精度推定

アイドリングストップ時、バッテリーは、電装品および再始動時のスタータに電力を供給する必要がある。バッテリーは、大きな充放電が繰り返されることで劣化が進行し、電力供給に問題が生じる。そこで、電力供給の信頼性を確保するためにSOF, SOHを推定する必要がある。

3. SOC推定手法の課題

これまで、SOC推定手法として満充電法を採用してきた。満充電法とは、エンジンをKEYで始動した直後にバッテリーを満充電状態にしてSOCの初期値“SOC<sub>0</sub>”を取得し、その後は、充放電電流の積算でSOCを推定する方法である。

$$SOC = SOC_0 \pm \int Idt / \text{バッテリー容量} \quad (1)$$

PSOCでバッテリーを使用する場合、満充電化による分極の影響が大きくなるため、SOC推定精度が課題となる。分極が発生すると、SOC推定値に対して真のSOCが低い方にずれてしまう (Fig.1)。

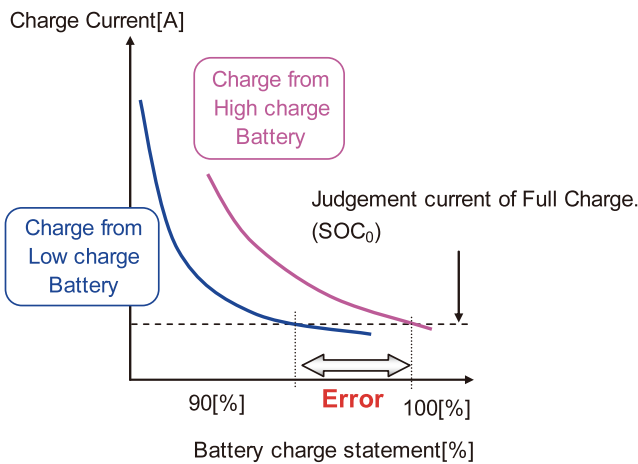


Fig.1 Error of Estimated SOC

この状態が続くとサルフェーションが発生し、バッテリーが早期に劣化してしまう。また、最悪の場合は、過放電や活物質の損失によりアイドリングストップ時の電力供給に問題が生じる (Fig.2)。

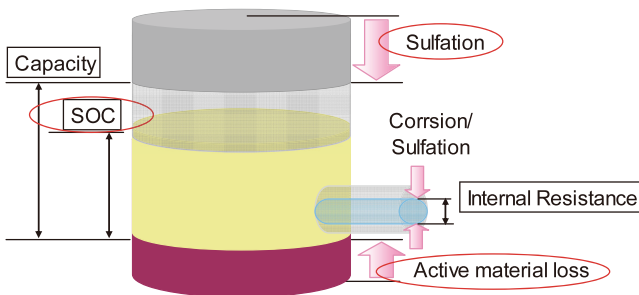


Fig.2 Aging Cause by Over Discharge

分極は、Fig.3に示すようにバッテリーの開放時測定電圧 (以下、OCV : Open Circuit Voltage) が、平行起電力 (以下、EMF : ElectroMotive Force) に対してずれる現象である。これは、電解液濃度が偏ることで発生する。

ここでは、横方向の電解液濃度の偏りで発生する分極を“拡散分極”、縦方向の電解液濃度の偏りで発生する分極を“成層化分極”と呼ぶ (Fig.4)。Fig.5に成層化による電解液濃度変化と電圧の関係を示す。

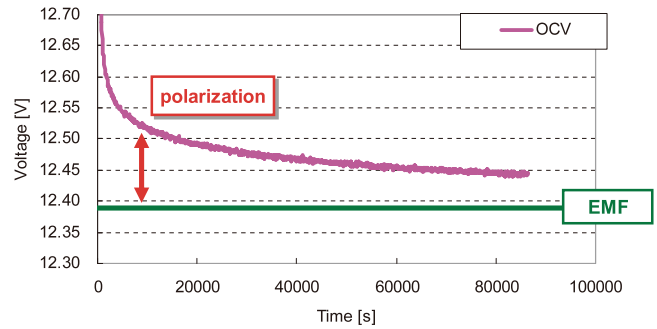


Fig.3 Influence of Polarization

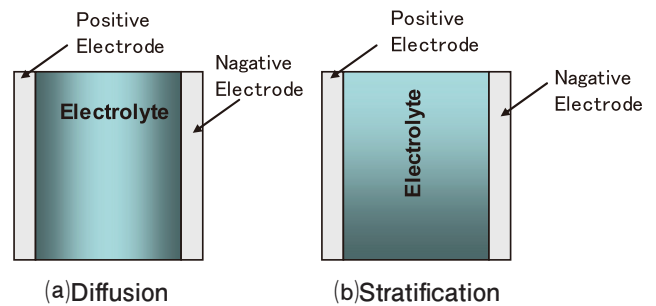


Fig.4 Density Distribution

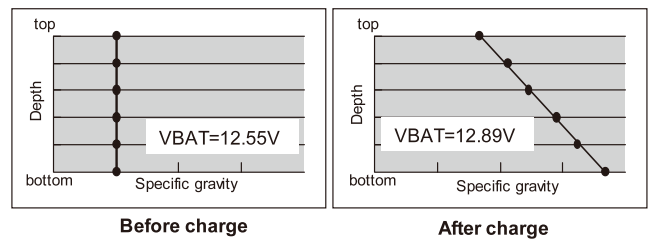


Fig.5 Measure of Stratification

4. 新BMS技術

4.1 OCV法によるSOC推定

SOCを正確に推定するには、分極現象の定量化が必要である。また、満充電化を避け、分極の発生を極力抑えることが望ましい。本来、SOCは、EMFから求めることができる (Fig.6)。そこで、分極を推定する手法を構築し、車両停車中のOCVから分極の影響を除いてSOCを求める“OCV法”を構築した。

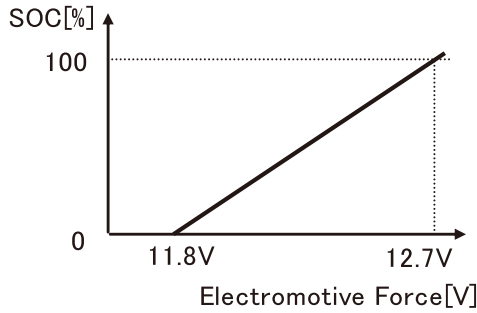


Fig.6 Relations of EMF and SOC

一般的に電解液濃度の拡散現象は、拡散方程式を解くことで表現できる<sup>(3)</sup>が、複雑な式のため車両コンピュータへの実装化が困難であった。また、成層化現象については、モデル化の報告事例がほとんどない。そこで、実験解析、計算解析を駆使して分極現象を解析し、二つの分極現象をRC回路モデルで表現した (Fig.7)。実際の挙動と比較した結果、このRC回路モデルが十分な精度で分極量を推定できることがわかった。

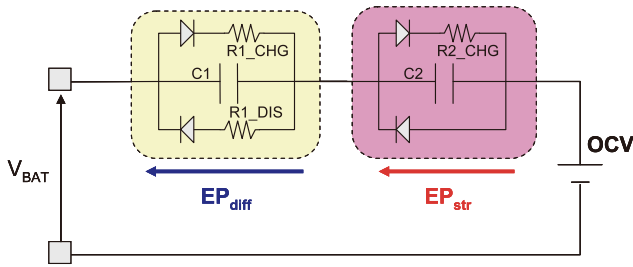


Fig.7 Battery Polarization Model

(1) 拡散分極のモデル化

拡散分極は、充電時に増加していくが、充電を止めると時間とともに減少していく性質がある。よって、拡散分極電圧： $E_{P(D)}$ は、式(2)に示すように電解液濃度変化によるOCV変化： $\Delta E_P$ から、SOC変化によるEMF変化： $\Delta EMF$ を差し引いたものとなる (Fig.8)。

$$E_{P(D)} = \Delta E_P - \Delta EMF_{(\Delta SOC)} \quad (2)$$

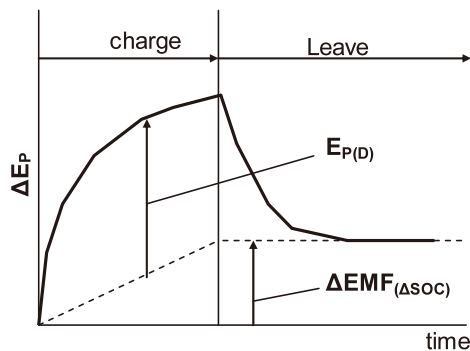


Fig.8 Diffusion Model

これを拡散方程式(3)を用いて表現すると、式(4)となる。

$$\Delta C(x,t) = \frac{i}{2FD} \left[ \sqrt{\frac{4Dt}{\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) - x \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{4Dt}}\right) \right] \quad (3)$$

$C(x,t)$  : 濃度,  $F$ :ファラデー定数,  $D$ :拡散係数

$$\Delta E_P = \left( \frac{dOCV}{dC} \right) \Delta C(0,t) - \left( \frac{dEMF}{dSOC} \right) \Delta SOC \quad (4)$$

$(dOCV/dC)$  : 濃度変化量  $dC$  あたりの OCV 変化量

$(dEMF/dSOC)$  : SOC 変化量  $dSOC$  あたりの EMF 変化量

今回、拡散分極をFig.9に示すRC回路モデルで構成し、式(4)の拡散方程式と矩形波応答で比較した結果、ほぼ同等の推定精度が得られることがわかった (Fig.10)。

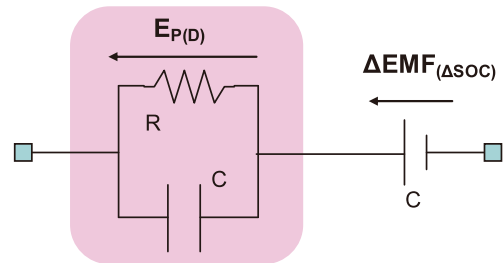


Fig.9 RC Circuit Model

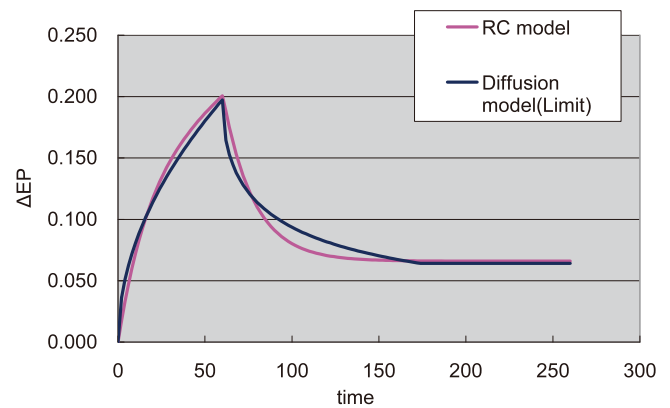


Fig.10 Comparative Result of RC Model and Diffusion Model

(2) 成層化分極のモデル化

充放電に伴う電解液濃度分布を測定した結果、以下の結果を得た。

- ① 電極全体で成層化度合 (垂直方向濃度分布) の増加に応じて、充放電反応も増加している (Fig.11)。
- ② OCVは、電極に接する最大の電解液濃度によって決まる。
- ③ 成層化分極は、充放電量に比例して増加する。

よって、成層化分極は、電解コンデンサと同等のモデルで表されることがわかった (Fig.12)。

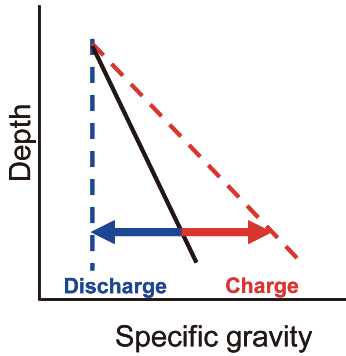


Fig.11 Specific Gravity Change During Charge-Discharge

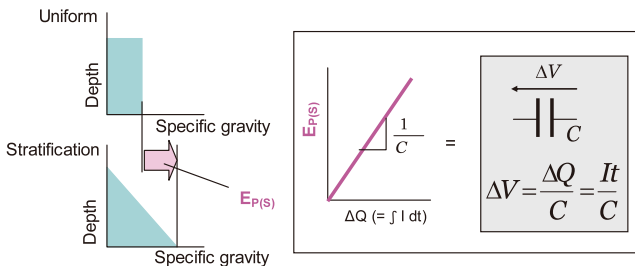


Fig.12 Stratification Model

(3) SOC推定結果

上記のOCV法を使用し、成層化がある状態のバッテリーでSOCを推定した結果、車両を停止してから1h経過すれば、誤差2.5%以下のSOC推定精度を得られることがわかった (Fig.13)。これにより、OCV法が車両で十分に運用可能であることがわかった。

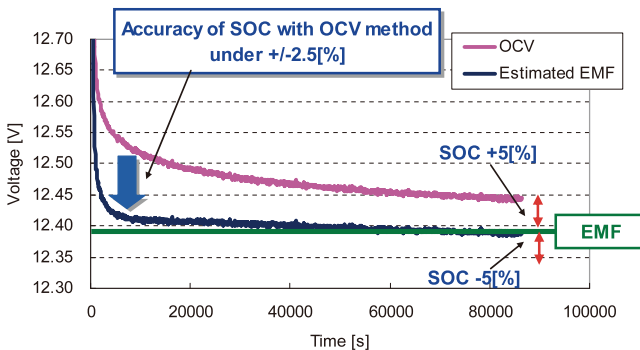


Fig.13 Result of the Estimated EMF

4.2 OCV法によるSOH, SOF推定

EMFを正確に推定できるようになったことで、SOF, SOH判定精度も向上できるようになった。

(1) SOF推定精度の向上

アイドリングストップ時は、電装品の消費電流に応じて、バッテリー電圧が低下する。i-stopでは、SOC管理とアイドリングストップ中の最低電圧の監視で電力供給の信頼性を確保している。今回、EMFを正確に推定することで、

式(5)のようにバッテリーの内部抵抗を知ることができる。

$$\text{内部抵抗} = (\text{バッテリー電圧} - \text{EMF}) / \text{バッテリー電流} \quad (5)$$

内部抵抗とEMFがわかることで、リアルタイムにアイドリングストップ時の最低電圧を予測することができるようになった (Fig.14)。これにより、アイドリングストップ時の電力供給の信頼性を大幅に向上できる。

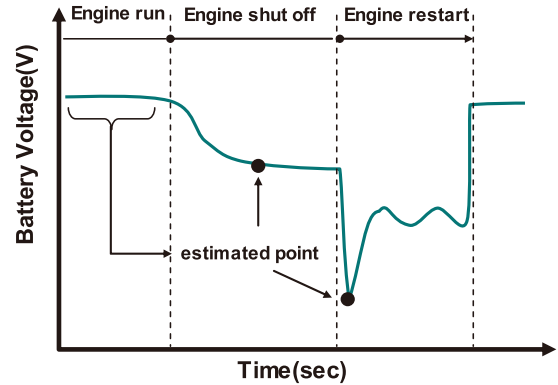


Fig.14 SOF Estimation with EMF and Internal Resistance

(2) SOH推定精度の向上

アイドリングストップ時に電圧が下がる原因は、バッテリー劣化や分極以外にも、車の長期放置やライト消し忘れに等による放電、車両の消費電流の増加、温度による電気抵抗変化などがある。これらの電圧低下要因を細かく判定し、適切な処理を行うことで、バッテリーを限界まで使うことができるようになった (Table 1)。

Table 1 Causes and Solutions of Low Voltage

| monitor                      | cause judgment       | solution         |
|------------------------------|----------------------|------------------|
| Low EMF                      | Low SOC              | auxiliary charge |
|                              | Sulfation            | inhibit i-stop   |
| Internal resistance increase | Low SOC              | auxiliary charge |
|                              | Corrosion            | inhibit i-stop   |
|                              | Battery temperature  | pause i-stop     |
|                              | Active material loss | inhibit i-stop   |
| Current increase             | electrical equipment | pause i-stop     |

5. さいごに

今回開発したOCV法により、高精度にSOCを推定できるようになった。これにより、オルタネータ減速回生とアイドルストップの両立が可能となった。また、SOF推定、SOH推定の精度向上により、アイドリングストップの信頼性も向上できるようになった。今後は、本技術を次世代の車に展開していく。

## 参考文献

- (1) 西里ほか：バッテリーマネジメントによる燃費改善  
マツダ技報No.25 (2007), p152-156
- (2) 猿渡ほか：マツダ i-STOP (アイ・ストップ)  
マツダ技報No.27 (2009), p9-14
- (3) 電気化学便覧, p158

## ■ 著 者 ■



久米章友



庄司 明



吉田勝正



小谷和也



平野晴洋



福馬 勉



中野雄介



特集：環境

## 12 新水性塗装システム「アクアテック塗装」高機能塗料の開発 High Functional Paint for Aqua-tech Paint System

山根 貴和\*<sup>1</sup> 久保田 寛\*<sup>2</sup> 中野 さくら\*<sup>3</sup>  
 Takakazu Yamane Hiroshi Kubota Sakura Nakano  
 古賀 一陽\*<sup>4</sup> 石橋 毅子\*<sup>5</sup> 神田 輝夫\*<sup>6</sup>  
 Kazuhi Koga Takako Ishibashi Teruo Kanda

### 要約

自動車塗装工場の環境保全のため水性塗料の導入が進展している。水性塗装はVOCの排出量を大幅に削減することができる一方、塗装時の温湿度制御や塗料中の水分を蒸発させるフラッシュオフ工程の追加が必要となるため、従来の溶剤塗装と比較してエネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出量が増加するという問題があった。この問題を解決するため、高機能塗料の開発による塗装工程の集約化と塗装工程でのエネルギー消費の抑制によって、CO<sub>2</sub>排出量の増加なしに、大幅なVOC排出量の削減を実現する新水性塗装システム（以下、アクアテック塗装）を開発し、2009年6月より宇品第一工場への導入を開始した。

アクアテック塗装は、CO<sub>2</sub>排出量を現行同等まで抑制しながら、VOC排出量を大幅に削減することで、業界トップレベルの環境性能を実現できた。更に、塗装品質は従来塗装同等以上を達成した。

本報では、アクアテック塗装技術のうち、主に高機能塗料の開発について報告する。

### Summary

Introduction of waterborne paints for the environment protection of automobile paint shops has been progressing. While the waterborne coating greatly reduces VOC emission, it requires temperature/humidity controls at painting and a flash-off process to evaporate paint moisture, resulting in the increase in energy consumption or CO<sub>2</sub> emission over the conventional solvent painting. To avoid this, we have developed a new waterborne paint system, Aqua-tech Paint System, which is an integrated paint process using newly developed high function paints, which requires lower energy consumption. This system significantly reduces the VOC emission without increasing CO<sub>2</sub>, and was adopted to the Ujina No.1 Plant in June, 2009.

The Aqua-tech Paint System achieves the top level environmental performance in the industry due to the large cut-down of the VOC emission with equal CO<sub>2</sub> emission level as before, while maintaining the same or even better paint quality compared to the previous system.

This report mainly describes the development of the high functional paints used for the Aqua-tech Paint System.

### 1. はじめに

環境保全の観点から、自動車製造プロセスにおける一層の環境負荷物質低減が求められている。なかでも塗装工場は、自動車の車両系工場において、環境負荷物質であるVOC（揮発性有機化合物）とCO<sub>2</sub>の排出量が非常に高く

(Fig.1), これら環境負荷物質の排出量削減が急務となっている。この対応策として、近年導入が拡大しつつある水性塗料は溶剤中に含まれるキシレンやトルエンなどのVOCの排出量を大幅に削減することができる一方、塗装時の温湿度制御や塗料中の水分を強制的に蒸発させるフラッシュオフ工程の追加が必要となるため、そこでのエネ

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

\*6 車両技術部  
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

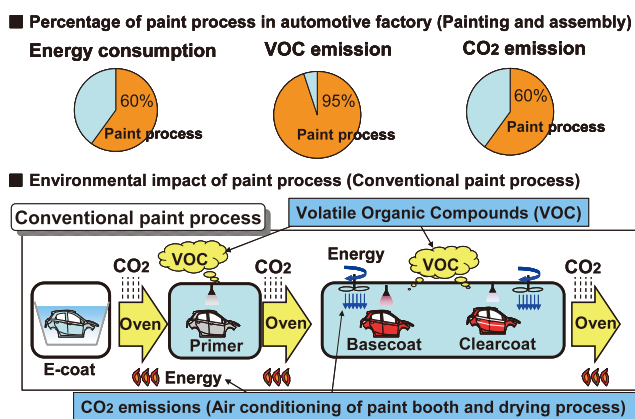


Fig.1 Actual State of VOC and CO<sub>2</sub> Emission of Paint Process

ルギ消費によってCO<sub>2</sub>排出量が増加するという問題があった。そこで塗装工程の集約化と省資源化によって徹底したエネルギー消費の抑制を図り、CO<sub>2</sub>排出量を増加させずに大幅なVOC排出量削減を実現する環境に優しいアクアテック塗装を開発した。

本報では、塗装工程の集約化を実現する高機能塗料の開発について報告する。

## 2. 開発目標

VOC排出量は、業界トップレベルの15g/m<sup>2</sup>（従来比▲57%）を目標とした。CO<sub>2</sub>排出量については、従来塗装である溶剤塗料を用いたスリーウエットオン塗装<sup>1)</sup>において、業界トップの低い排出レベルを実現しているため、これと同等とすることを目標とした。本開発では、従来塗装並みの塗装品質を維持した上で、これらの目標を達成する。

## 3. 開発方針

Fig.2にアクアテック塗装の概要を示す。

目標とするVOC排出量の削減は、水性塗装の導入とチップングプライマを含む中塗り塗装の機能を上塗り塗装に集約した高機能塗料の開発による中塗り塗装の廃止により行う。

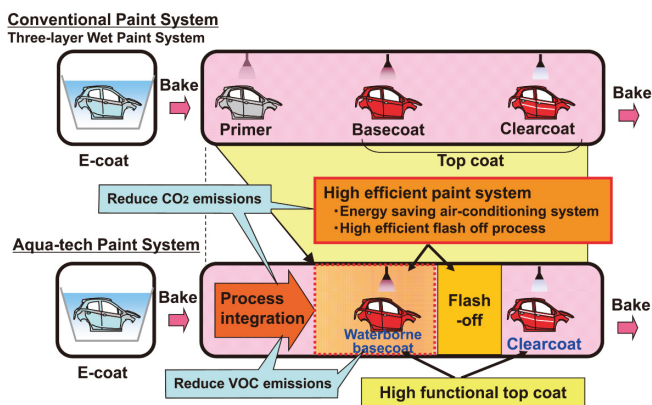


Fig.2 Outline of New Waterborne Paint System

一方、水性化に伴って増加するCO<sub>2</sub>排出量については、高機能塗料による中塗り工程の廃止、ブース空調のエネルギー削減、およびフラッシュオフ工程のエネルギー削減などの塗装工程の省資源化による削減を行う。

## 4. 高機能塗料の開発

### 4.1 高機能塗装に必要な機能と対応

Fig.3に、従来塗装であるスリーウエットオン塗装とアクアテック塗装について、各塗膜層が担うべき主な機能と塗装品質との関係を示す。アクアテック塗装では、水性ベース塗料およびクリア塗料の高機能化によって、チップングプライマと中塗り塗装の主要機能である耐チップング性、並びに中塗り塗装の主要機能である電着の耐光劣化防止性、発色性および外観品質を実現することが必要である。「耐チップング性」は、走行中の飛び石などの衝撃から電着塗装面を保護することで、鉄板を錆から守る性能であるが、従来は、中塗層にある程度の弾力性を持たせることで、衝撃を受け止めながら跳ね返すように対応していた。アクアテック塗装では、クリア層で衝撃を緩和して受け止め、水性ベース層では衝撃を分散させるように設計することとした。

紫外線の透過を抑えて電着表面の劣化を防ぐ「電着の耐光劣化防止性」では、従来は、紫外線の透過を抑える機能の高い中塗り塗料を塗装することによって紫外線を遮断していた。アクアテック塗装では、クリア層への紫外線吸収剤の添加およびベース層の紫外線透過抑止性を向上させることで、電着表面への紫外線透過を遮断する。

「発色性」は、鮮やかな色を実現する機能であるが、人間の目に見える色は塗装最表面だけでなく、そこを通過した光が下の層で反射した際の色も含めたものである。従来塗装では、赤や黄色などの鮮やかな色の場合、中塗りを白などの明るい色にすることで発色を実現していた。アクアテック塗装では、カラーベース塗料の1層目と2層目の顔料配合を変え、最適な光の反射率を得られるように設計することで、すべての色に対して従来同等の発色性を実現する。

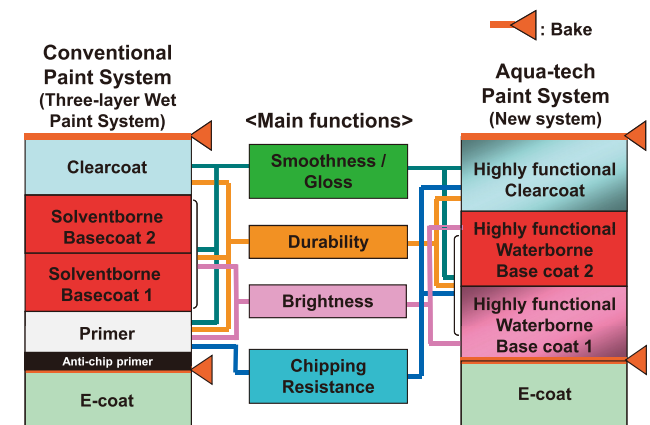


Fig.3 Main Functions of Each Paint Layer

滑らかな肌を実現する「平滑性」についても、新たに開発した水性ベース塗料とクリア塗料のそれぞれの樹脂の流動性を向上することで、平滑性を最大限に確保し、外観品質を向上する。

ここでは、主要機能を確保するための技術のうちチップングによるめっき鋼板のめっき剥離への対応技術、電着の耐光劣化防止技術、および発色性技術について述べる。

4.2 耐チップング性向上技術の開発

合金化溶融亜鉛めっき鋼板（以下、GA鋼板）は優れた耐食性から、国内で一般的に使用されている。しかし、めっき層に硬く脆いΓ相が存在するため（Fig.4）、高速の飛石によるチップングなどによって、防錆皮膜であるめっき層が大きく剥離し（Fig.5）、そこが起点となって赤錆が発生するという欠点を持っている<sup>(2)</sup>。

めっき層の剥離現象の想定メカニズムをFig.6に示す。飛石が塗膜に衝突した際の衝突エネルギーは、各層で吸収されながら、最終的に鋼板部に到達する。鋼板まで伝わったエネルギーにより、めっき層と鋼板が変形するが、めっき層は固く脆いため、鋼板の変形に追従できず、鋼板との間で縦方向あるいは横方向の歪が発生する。この時、鋼板まで到達するエネルギーが大きすぎると、その歪が鋼板とめっき層との付着力を上回ることで、めっき面からの剥離が発生すると考えられる。

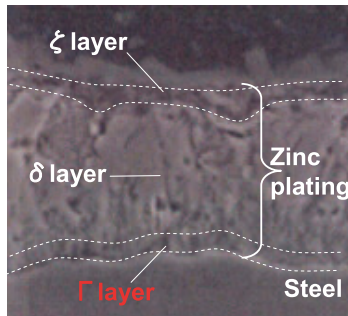


Fig.4 Structure of GA Steel

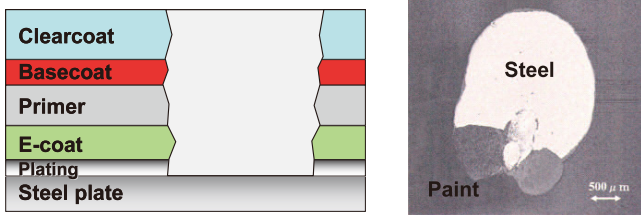


Fig.5 Flaking in Zn Plating of GA Steel

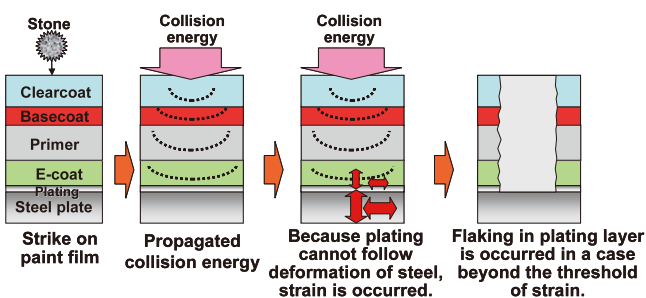


Fig.6 Assumed Mechanism of Flaking in Plating

以上を踏まえ、高機能上塗り塗料がGA鋼板との組合せで十分な防錆性能を確保するためには、開発した水性ベース塗料とクリア塗料が、めっき層の縦方向あるいは横方向の歪をいかに抑制できるかを定量化し、これを指標に材料開発を行う必要がある。

(1) 実験方法

1) めっき剥離性能の測定方法

Fig.7に示したチップングテストを用いて、一定の衝突エネルギーにおける塗装サンプルのめっき剥離率を測定した。

2) めっき層の歪測定方法

衝突エネルギーによるチップング発生時の、亜鉛めっき層と鋼板との縦方向と横方向の歪の測定には、Fig.8のような実験装置<sup>(3)</sup>を用いた。

3) 実験サンプル

供試した塗装サンプルの仕様をTable 1に示す。クリア

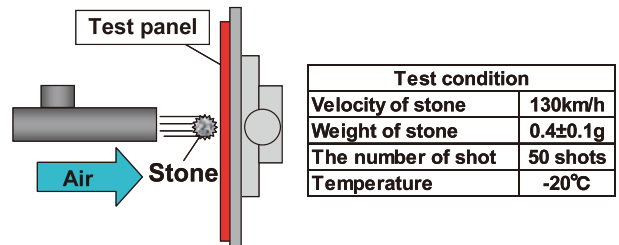


Fig.7 Outline of the Chipping Tester

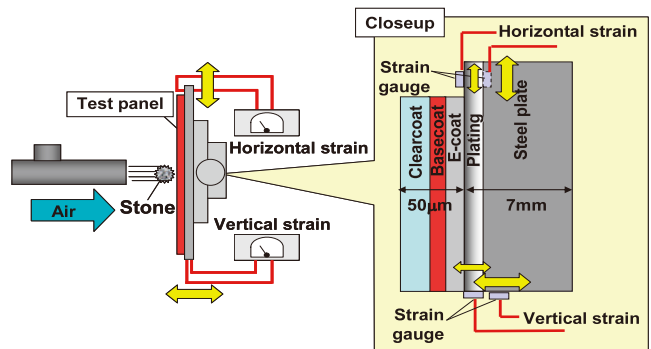


Fig.8 Experimental Equipment for Measurement of Strain

Table 1 Specification of Test Panels

| Sample No.       |               | Basecoat  | Clearcoat                        |   |
|------------------|---------------|---|----------------------------------|---|
|                  |               | Resin   | Resin                            |   |
| ①                | Solvent borne | Acrylic melamine  | Epoxy-acid                       |   |
| ②                |               |   | 2 pack type urethane clear paint |   |
| ③                | Water borne   | Acrylic melamine & Urethane & Energy absorption material (1PHR)       |                                  |   |
| ④                |               |   |                                  | Acrylic melamine & Urethane & Energy absorption material (5PHR) |
| ⑤                |               |   |                                  |   |
| ⑥                |               |   |                                  |   |
| Film build       |               | 15 ± 2μm  | 35 ± 5μm                         |   |
| Baking condition |               | 140°C×20min<br>Flash-off process 60°C×2min (only waterborne basecoat) |                                  |   |

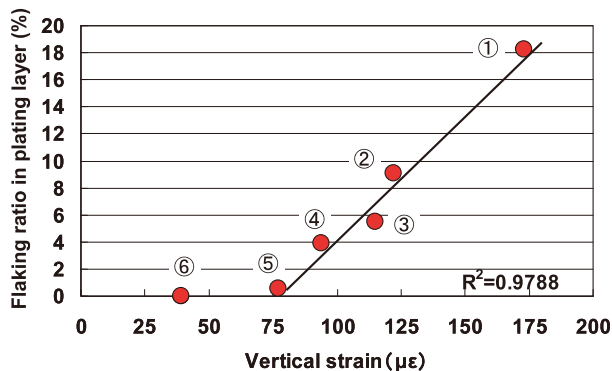
塗料は、柔軟性の高い2液型ウレタン硬化クリア塗料を新たに開発した。ベース塗料では、柔軟成分のウレタン成分と無機物のエネルギー吸収材料の効果も併せて調査した。また、顔料やマイカやアルミフレークなどの光輝材の影響を取り除くため、塗色は黒色顔料のカーボンブラックのみを含む、黒ソリッド色とした。

(2) 実験結果と考察

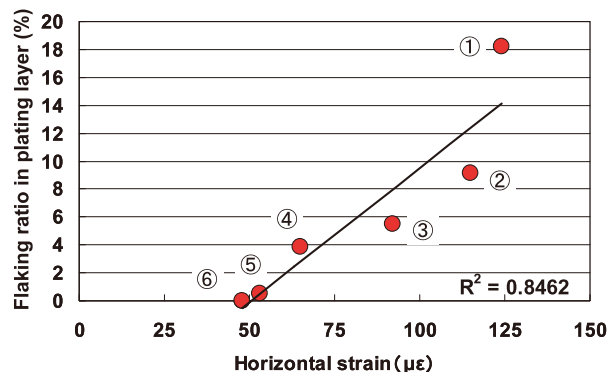
鋼板の縦方向と横方向の歪とめっき層からの剥離発生率の関係をFig.9に示す。歪とめっき層の剥離発生率については相関関係が認められ、相関係数からめっき層と鋼板の縦方向の歪との相関性が高いことが分かった。また、縦方向の歪を75 $\mu\epsilon$ 以下にすると、めっき層の剥離を防止できることが分かった。

塗装材料に着目すると、剥離発生率と縦方向の歪の関係から、クリア塗料は、柔軟性の高い2液型ウレタン系クリア塗料を用いることで大幅に歪を抑制することができた。また、ベース塗料についても柔軟成分のウレタン成分とエネルギー吸収材料を添加することで歪をめっき層からの剥離が発生しないレベルまで、小さくすることができた。

このように、水性ベース塗料にウレタン成分とエネルギー吸収材料を添加することで、ベース塗膜の衝撃吸収力が向上した。しかし、エネルギー吸収材料については、添加量を増加させ過ぎると、塗膜自体が脆くなり、チッピングによるベース塗膜の凝集破壊が発生することが分かった。そこ



(a) Relationship between vertical strain and flaking in plating



(b) Relationship between horizontal strain and flaking in plating

Fig.9 Relationship between the Strain and Flaking in Plating (The numbers in the Figure are Sample Numbers in Table 3)

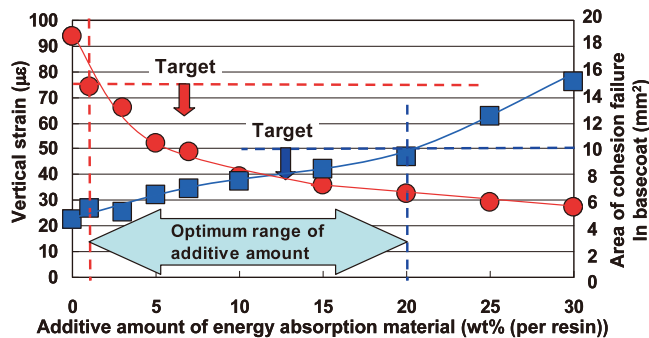


Fig.10 Additive Amount of Inorganic Energy Absorption Material

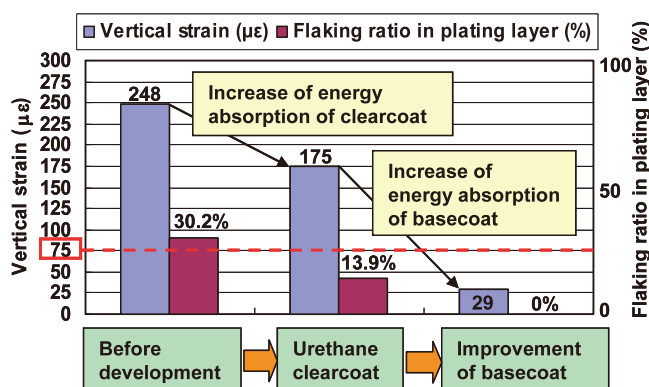


Fig.11 Anti-chip Performance of Limit Speed Condition (150km/h)

で、めっき層からの剥離発生率、ベース塗膜の凝集破壊面積およびエネルギー吸収材料の添加量の関係を調査し、めっき剥離率とベース塗膜の凝集破壊を両立できる添加量範囲を見出した (Fig.10)。

また、高機能上塗り塗料は耐チッピング性以外の耐久品質や外観品質においても、開発目標を満足することを確認した。

塗料改良による耐チッピング性向上効果をFig.11に示す。クリア塗料のウレタンクリア化とベース塗料の改良により、現行の重防錆仕様と同等以上の耐チッピング性を実現することができた。また、全ての色域で目標を達成できた。

4.3 電着の耐光劣化防止技術の開発

耐候性の課題と対応策をFig.12に示す。従来塗装では紫外線が、中塗りで完全に遮断されていたが、アクアテック塗装では中塗りが無いため、紫外線が電着表面まで到達し電着を劣化させてしまう。そこで、耐候性の特性値を電着への紫外線透過率とし、電着への紫外領域の光線透過がないように塗料設計を行った。

(1) 対応技術

材料面からの対応として、クリア塗料に紫外線遮断力の高い新たな紫外線吸収剤 (以下、UVA) を添加した。

ベース塗料の改良では、塗色によって異なる顔料配合がポイントとなる。濃色系で用いられている顔料は紫外線遮断力が高いため、顔料の濃度アップで紫外線遮断

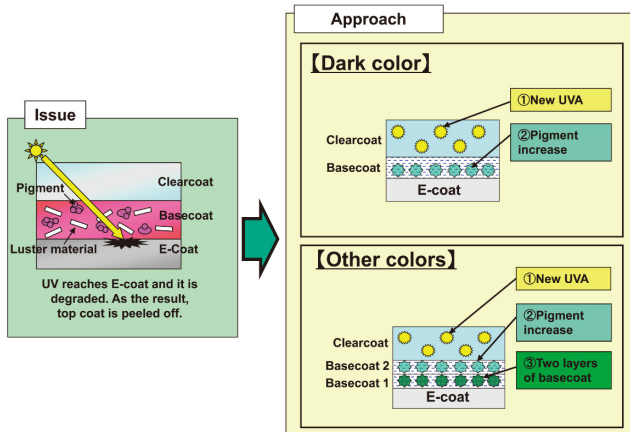


Fig.12 Issue and Measures for Weatherability

能力を向上させた。しかし、シルバーなどのその他の色に含まれる顔料は紫外線遮断能力が高くないため、顔料の増量だけでは十分な紫外線遮断が期待できない。そこで、ベース層を2層化し、下側の層に高紫外線遮断顔料を添加することで、確実に紫外線を遮断することとした。

(2) 結果および効果

1) クリア塗料の改良

従来のUVAを添加したクリア塗膜は、400nm以下の紫外光を非常に良く通すため、今回クリア塗料に添加するUVAを見直すことで大幅に紫外線の透過を抑制した。特に、370nm以下の紫外光は完全に遮断した。

2) ベース塗料の改良

濃色系において、ベース塗膜の顔料濃度が紫外線透過率に及ぼす影響を調査した。結果をFig.13に示す。顔料濃度を上げることで、紫外光を十分遮断できることが確認できた。

淡彩色についてはベースを2層化し、発色に影響の少ない下側の層に紫外線遮断能力の高い顔料を添加した。その結果、Fig.14に示すように淡彩色においても紫外光を十分

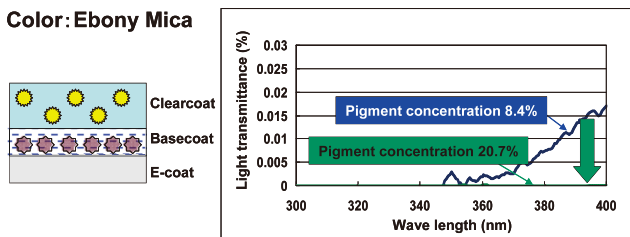


Fig.13 Effect of High Concentration of Pigments in Basecoat

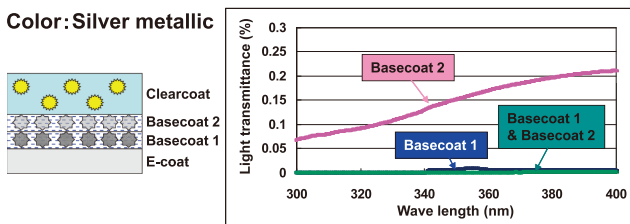


Fig.14 Effect of Two Layers of Base-coat

遮断できることが分かった。

4.4 発色性向上技術の開発

発色性の課題と対応策をFig.15に示す。赤や白などの鮮やかな塗色の場合、中塗りを抜くことによって電着層で光が吸収されるため、期待される意匠性が得られない。この意匠性の相違は、現行塗装とアクアテック塗装の色ずれとして認識され、塗色ごとに固有の分光分布の差で表すことができる。そこで、その差を定量化した色差 $\Delta E^*$ を発色性の特性値とした。発色性のしきい値は、人間が色ずれに対して違和感を感じない範囲となる、 $\Delta E^*$ が1.5以下とした。

(1) 対応技術

アクアテック塗装においては、従来塗装の中塗りが担っていた光の反射の機能を、ベース塗料で実現する必要がある。そこで、中塗りの反射を再現するために、光反射顔料をベース塗膜の下層に添加した。更に、反射した光を確実に発色させるため、ベース塗膜全体の顔料濃度を増加させた。

(2) 結果および効果

高彩度の赤色の分光反射スペクトルをFig.16および17に示す。赤色の分光反射スペクトルの特徴として、600~780nmの長波長領域の光の反射がみられる。そして、高明

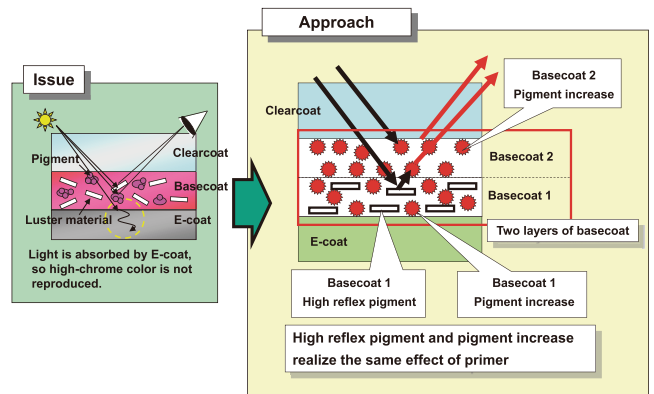
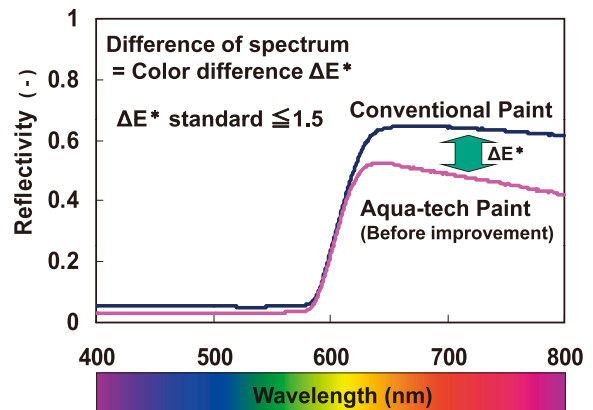


Fig.15 Issue and Measures on Color



| Color : Red                          | Color difference ( $\Delta E^*$ ) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Conventional Paint                   | 6.58                              |
| Aqua-tech Paint (Before improvement) |                                   |

Fig.16 Spectrum Reflection and Color Difference (Before Improvement)

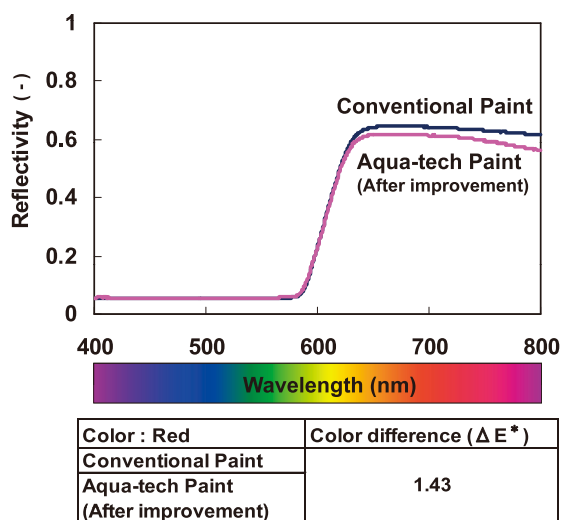


Fig.17 Spectrum Reflection and Color Difference (After Improvement)

度・高彩度の色ほど光の反射率が高い。現行塗装に比べると改良前の色は非常に暗い。このとき、Fig.16に示すように波長600nm以上の光の反射率が現行塗装に比べて大幅に低くなっていることが分かる。また、色差 $\Delta E^*$ の値も大きい。これに対してベース塗料の顔料濃度アップと下層への光反射顔料の添加を施した改良後では、Fig.17に示すとおり、波長が600nm以上の光の反射率を現行塗装並みまで改善することができた。また、色差 $\Delta E^*$ は、基準値として設定した1.5以下に抑えることができた。

### 5. 開発結果

この技術によるVOCおよびCO<sub>2</sub>排出量削減効果を従来塗装であるスリーウエットオン塗装と比較してFig.18に示す。高機能上塗り塗料による工程集約により、CO<sub>2</sub>排出量を31%削減できた。塗装工程の省資源化と併せて、スリーウエットオン塗装の低いCO<sub>2</sub>排出量を維持したまま、VOC排出量の57%削減を実現し、開発目標を達成することができた。

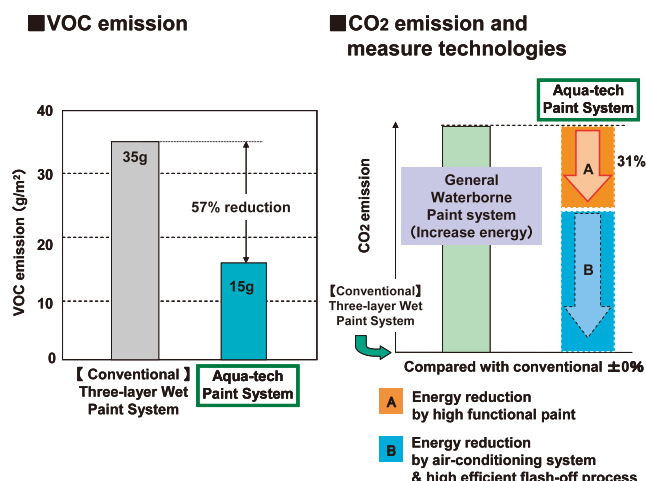


Fig.18 Reduction Effect of Environmental Load Materials

### 6. まとめ

(1) 高機能上塗り塗料の開発

耐チッピング性向上技術、電着の耐光劣化防止技術、および発色性向上技術を確立することで、開発目標を達成する高機能上塗り塗料を開発することができた。

(2) VOCおよびCO<sub>2</sub>排出量

VOC排出量は、水性ベース塗料の導入と中塗り塗装の廃止により、15g/m<sup>2</sup>を実現した。

CO<sub>2</sub>排出量については、水性塗装化によるCO<sub>2</sub>排出量の増加分を中塗り塗装工程の廃止と高効率塗装工程によるエネルギー削減により従来塗装工程と同等まで吸収することができる。

### 7. おわりに

本水性塗装システムは、2009年6月に宇品第一工場へ導入を開始した。今後も、塗装材料面から塗装工程の環境負荷物質の排出量削減を進め、世界で最もクリーンな塗装工場から環境に優しい商品を提供し続けて行く。

### 参考文献

- (1) 山根貴和ほか：環境にやさしいスリーウエットオン塗装技術の開発，自動車技術，Vol.57, No.5, p.68-73 (2003)
- (2) 大和康二：溶融めっき鋼板の製造技術の進歩，社団法人 日本鉄鋼協会 西山記念技術講座，第138, 139回 (1992)
- (3) 青木美樹ほか：塗装鋼板における衝撃応力吸収特性の評価（第1報），塗料の研究，No.144, p.2-8 (2005)

■ 著 者 ■



山根貴和



久保田寛



中野さくら



古賀一陽



石橋毅子



神田輝夫

特集：環境

13

## アクアテック塗装 工程短縮技術の開発 Development of Process Integration Technology for Aqua-tech Paint System

橋本 堅<sup>\*1</sup> 亀迫 裕介<sup>\*2</sup> 松田 隆臣<sup>\*3</sup>  
Ken Hashimoto Yusuke Kamesako Takaomi Matsuda  
世良 和也<sup>\*4</sup> 和泉 昭雄<sup>\*5</sup> 大谷 崇<sup>\*6</sup>  
Kazuya Sera Akio Izumi Takashi Otani

### 要 約

環境保護の観点から、自動車製造プロセスにおける一層の環境負荷低減が求められている。

この課題に対して、工程集約を狙いとした塗料と工程の総合的な高効率化により、VOC・CO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減する環境に優しい新水性塗装システムを開発した。本稿では、このうち、工程を中心に「省スペース」、「省エネルギー」、「省マテリアル」を実現した技術の概要について紹介する。

### Summary

For environment protection, further reduction in environmental load in vehicle manufacturing processes is required.

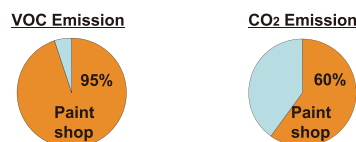
To achieve this, we developed a new eco-friendly waterborne paint system of an integrated and efficient process with high-efficient paints, which significantly cuts VOC and CO<sub>2</sub> emission. On this report we outline the technology that achieves “Space/Energy/Material saving”.

## 1. はじめに

環境保護の観点から、自動車製造プロセスにおける一層の環境負荷低減が求められている。なかでも、塗装工場は自動車の車両系工場において、環境負荷物質であるVOC（揮発性有機化合物）とCO<sub>2</sub>の排出量が非常に多く（Fig.1）、これらの排出量削減が急務となっている。この対応策として、各社とも水性塗装の導入が拡大しつつある。水性塗装は溶剤中に含まれるキシレンやトルエンなどのVOCの排出量を大幅に削減できる一方、塗料に水分が含まれるため、塗装時の温湿度制御や塗料中の水分を強制的に蒸発させるフラッシュオフ工程の追加が必要となり、従来の溶剤塗装と比較してエネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出量が増加する。これを抑制することが大きな課題である。

このような水性塗装の課題に対し、塗装工程の集約化と塗装工程でのエネルギー消費を抑制することにより、今回、CO<sub>2</sub>排出量を増加させずに大幅なVOC排出量を削減する環境に優しい新水性塗装システム（アクアテック塗装システム）を開発した。本報では、塗装工程の省資源化技術について報告する。

### ■Ratio in automobile production plant (body assembly plant)



### ■Environmental impact by paint shop (typical conventional process)

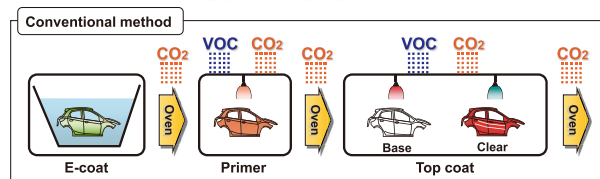


Fig.1 Actual State of VOC and CO<sub>2</sub> Emission of Paint Process

## 2. 開発の狙い

### 2.1 開発目標

外観、チッピング機能等の塗装品質を従来塗装と同等以上とした上で、VOC排出量は、業界トップレベルの15g/m<sup>2</sup>（従来比-57%）を目指す。また、CO<sub>2</sub>排出量については、塗料を水性化すると塗装時の温湿度制御、及びフ

\*1~6 車両技術部  
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

ラッシュオフ工程が必要となり、一般的に溶剤塗料の塗装工程に比べて排出量は増加するが、アクアテック塗装においても、3ウエットオン塗装で実現している業界トップレベルのCO<sub>2</sub>排出量と同等レベルを目標とした。

### 3. アクアテック塗装実現への取り組み

#### 3.1 3ウエットオン塗装の実現

マツダでは、第1ステップとして2001年から3ウエットオン塗装を世界に先駆けて導入してきており、既にマツダが生産を担当する全ての工場で3ウエットオン化を完了している。VOC削減手段として、VOC燃焼方式と水性化の2つの方式があるが、いずれもVOCは大きく削減できるもののCO<sub>2</sub>は逆に増加することになる。このような一般的な手段ではCO<sub>2</sub>排出量の増加は、Fig.2の数字（当社計算ベース）に示すように、巨大な装置で有機溶剤を強制的に燃やすVOC燃焼装置では20~60%、水性塗料の水を強制的に飛ばす水性塗装では5%となる。

これに対し、3ウエットオンでは中塗後の乾燥を不要にし、しかも、従来ベース・クリアを塗っていた上塗ブースで中塗りを塗るように工程集約することで、VOC、CO<sub>2</sub>の双方をバランスよく低減してきた。

|                        | Typical solvent borne paint | Comparison with typical solvent borne                                    |
|------------------------|-----------------------------|--|
|                        |                             |  |
| <b>Technology</b>      |                             | VOC emission: 60% Reduction<br>CO <sub>2</sub> emission: 20~60% Increase |
| <b>Other companies</b> |                             | VOC emission: 60% Reduction<br>CO <sub>2</sub> emission: 5% increase     |
| <b>Mazda</b>           |                             | VOC emission: 45% Reduction<br>CO <sub>2</sub> emission: 15% Reduction   |

Fig.2 Comparison Reduction Effect with Typical Solvent Borne Paint System

#### 3.2 アクアテック塗装のコンセプト

今回導入した「アクアテック塗装」は取り組みの第2ステップとして、更なる効率化を進めたものである。Fig.3は第1ステップの3ウエットオンをベースに、アクアテック塗装の進化のポイントを示している。具体的には、塗料においてVOCを最も多く含む「ベース塗料」を水性化し、チップングプライマを含む中塗り塗装の機能を上塗り塗装に集約した高機能塗料の開発により、中塗り塗装を廃止することで、VOC排出量の大幅な削減を図る。更に高機能塗料による中塗り工程の廃止、及びブース空調のエネルギー削減、及びフラッシュオフ工程のエネルギー削減など徹底したエネルギー効率の追求により工程短縮・省資源化を図り、塗装工程の効率を極限まで高めることで、水性化で増加す

るエネルギーを抑制し、CO<sub>2</sub>排出量を上昇させないことを狙っている。

この「塗料」と「工程」が協調した総合塗装技術を構築することで目標を達成する考えである。

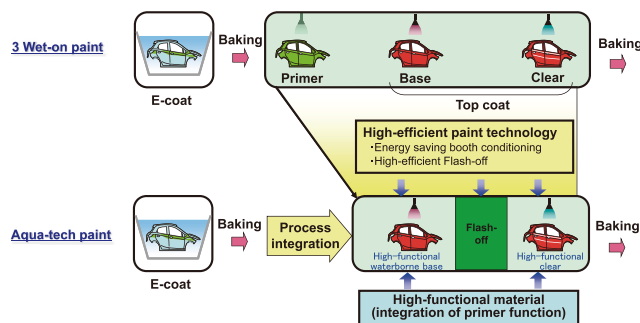


Fig.3 Outline of New Waterborne Paint System

### 4. 超短縮工程の実現に向けた技術開発

#### 4.1 技術開発コンセプト

超短縮工程を実現するために、「省エネルギー」、「省スペース」、「省材料」の3つのキーワードによる技術開発を進めてきた。

「省エネルギー」：水性塗装の水を蒸発させるためのエネルギーを徹底して極小化する。

「省スペース」：既存設備レイアウトの中に入れるために徹底してスリム化する。

「省材料」：既存設備をスクラップアンドビルドしないで、徹底して既存設備を最大限活用（リユース）する。

上記3つのキーワードを具現化するために開発した技術をTable 1に示す。

これらの技術を織り込むことで、低投資で油性・水性の混流生産を実現し、工場の生産を続けながらシャットダウンなしでの移行を実現してきた。

以下、これらのキーとなる技術の概要について紹介する。

Table 1 Resource Saving Technology of Aqua-tech Paint

| Item  | 1) Energy saving | 2) Space saving | 3) Material saving |
|---|------------------|-----------------|--------------------|
| ①Energy saving booth air conditioning                                     | ○                |                 |                    |
| ②High-efficient flash-off   | ○                | ○               |                    |
| ③Space saving cartridge paint supply system                               |                  | ○               | ○                  |
| ④Sharing paint piping with solvent borne paint (pipe cleaning technology) |                  |                 | ○                  |

#### 4.2 省エネルギーブース空調技術

水性塗料は溶剤中に含まれるキシレンやトルエンなどのVOCの排出量を大幅に削減できる一方、塗装品質を確保するには、塗料の乾きやすさを一定にするために、塗料に



含まれる水分の蒸発速度を一定に保つ必要がある。従来の水性塗装空調システムでは、水分蒸発速度を一定にするため、外気の温度や湿度の矯正を行い、塗装ブースに送り込むことで、水性塗装の品質確保を行うのが一般的である。

Fig.4に示す空気線図のグラフは一定の温度と湿度において、空気中に吸収できる水分量の関係を示したものである。グラフの縦軸に絶対湿度と横軸に温度を示す。

Fig.4 (a)において、季節や天候の変化などに起因する温湿度の変化によって、外気とブース内の温湿度の差が大きい場合には、品質保証に必要な狙いの温度と湿度まで外気矯正するため、Fig.4 (a) 図中に示す矢印のように空気を加温や冷却、加湿または除湿することによりエネルギー消費が発生し、その結果CO<sub>2</sub>排出量が増加する。

アクアテック塗装では、最小限のエネルギーで水性塗料の乾きやすさを一定にし、安定した品質保証ができる空調技術を実現した。これは従来のようにブース内の温度や湿度を固定にするものではなく、外気を持つ乾きやすさを最大限利用できるように、Fig.4 (b) の図に示すようにブース内の温度と湿度を可変させ、必要最小限の昇温と湿度調整だけで、空気を含むことができる水分量（絶対湿度差が一定）を自動制御し、塗装ブースの塗料の乾きやすさを一定にできる技術を開発し導入した。これにより、従来の水性塗装のネックであった品質保証とエネルギー消費抑制を両立させ、従来の一般的な塗装ブースに対して、約5%のCO<sub>2</sub>削減を可能にした。

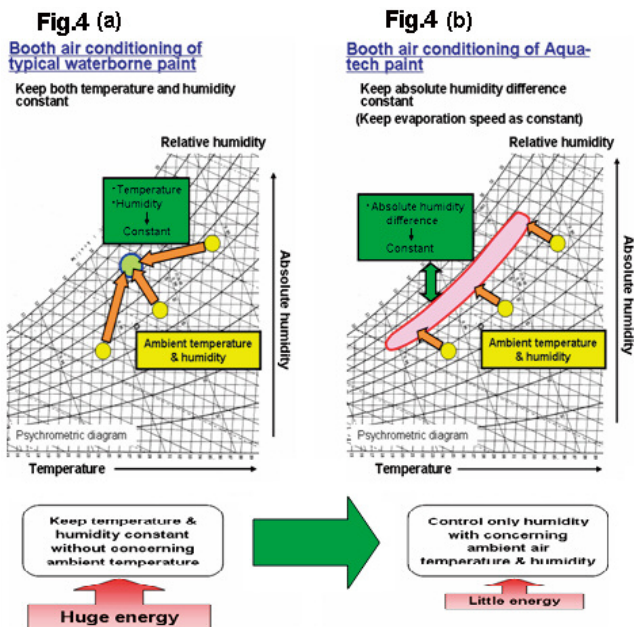


Fig.4 Comparison of Air Conditioning of the Paint Booth

### 4.3 高効率フラッシュオフ技術

良い塗装品質を確保するためには、「ベース塗装した後、次のクリア塗料を塗装する前に一定レベルまで塗膜を乾かしておく」必要がある。

従来塗装の油性塗料は溶剤分のシンナの自然揮発によりこれを行うが、水性塗料は揮発速度が非常に遅いため、インラインサイクル内での乾燥時間を短縮するためにフラッシュオフ乾燥工程が必要となる。また、この乾燥工程でボデーの温度が上昇するとクリア塗装後の塗装面の平滑性が悪化するため、クリア塗料を塗装する前までにボデーを適温まで冷やす工程も必要となる。そのため水性塗装工程はエネルギー消費量が従来工程に比べ増加する。

フラッシュオフ設備は、ボデー鋼板全体に循環温風を最適な風量を与えることで乾燥（水分蒸発）を成立させているが昇温で非常に多くのエネルギーを消費する。また、ボデー全体の昇温と冷却で長い工程が必要なため工程スペース確保のために既存ブースを延長する必要があった。今回のアクアテック塗装では既存のスペースをそのまま活用できる高効率フラッシュオフの開発を行った。

フラッシュオフ設備は、80℃の温風をボデーに吹き付け水分を蒸発させた後、冷風によってクリア塗装前に、40℃程度まで冷却する方式である。この方式だとボデー全体が昇温、冷却するため多くのエネルギーを消費する。そこで、最小限機能の「塗膜のみ」を温めて乾かせばよいことに着目し、「乾燥に必要な熱を塗膜だけに与えられる設備」を開発した。具体的には下記2点である。

- ① 赤外線ヒーターを活用し、塗膜のみに効率的にエネルギーを与え昇温させる。
- ② 通過する車種（被塗物形状による熱伝達距離）、塗色（赤外線等熱伝達条件）によってきめ細かく最適な昇温時間、赤外線ヒーター出力量をコントロールする。

これらにより、ボデーへ加えられる熱の総量が最小となるため、冷却工程のエネルギー消費や工程スペースも最少にでき、従来型のフラッシュオフ設備と比べ、大幅なエネルギー消費の削減（CO<sub>2</sub>を17%削減）と工程時間の短縮（4分→1.7分）を達成した（Fig.5）。

Function pursuit of flash-off : Evaporating certain quantity of water from film

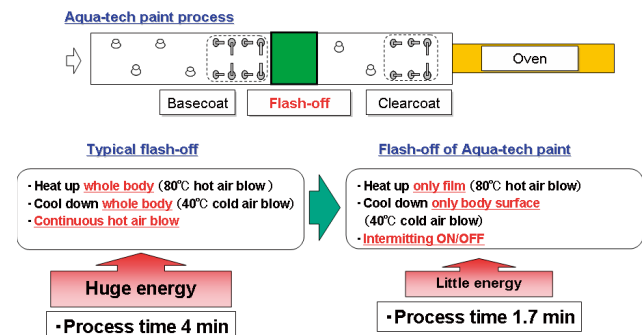


Fig.5 High-Efficient Flash-off of Aqua-tech Paint

### 4.4 省スペースカートリッジ技術

水性塗装機として従来同等以上の高塗着効率を保有するため「内部印加静電塗装方式」を採用した。静電塗装の

際、油性塗料は通電性が低いため、塗料供給経路を直接塗装機につなぐことが可能だが、水性塗料は溶剤の主成分である水が通電するため静電気が逃げて危険となる。今回採用した方式は塗装機と塗料供給経路の遮断（絶縁）する方式で、カートリッジという缶に別の装置であらかじめ塗料を充填し、塗る時はそのカートリッジを塗装機にセットして静電塗装する方式である (Fig.6)。しかし、この方式においては、充填する機器の設置スペースが大きく、既存ブース増設の必要があり、付随するエネルギーの消費が増加してしまう課題があったが、今回、既設ブースをそのまま活用できる省スペースを追求したカートリッジを開発した。

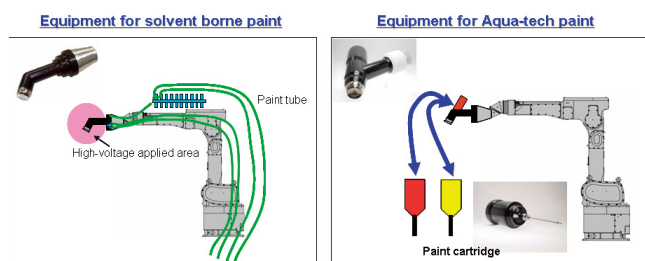


Fig.6 Insulation Method by Cartridge Supply System

一般的な色専用カートリッジシステムは、色ごとに専用のカートリッジを保有し、色替え時は洗浄ロスが少ない利点がある。しかし、上塗り20色の生産を仮定した場合、ロボットごとに色数×2の40個のカートリッジが必要で、ベース水性工程内のロボット16基に展開すると合計640本ものカートリッジ充填機器の設置スペースが必要となる。また品質維持のため色専用カートリッジ缶の中を塗料カスが付着しないように定期的に分解、洗浄するメンテナンスの必要があり、メンテナンス工数やそれに付随するエネルギー消費も膨大となる。そこで今回、ロボット1基ごとに数十色を最小数のカートリッジでインサイクルの中で洗浄、塗料充填の色替え機能を供えた色専用カートリッジシステムに相当する省スペースカートリッジシステムを開発した。

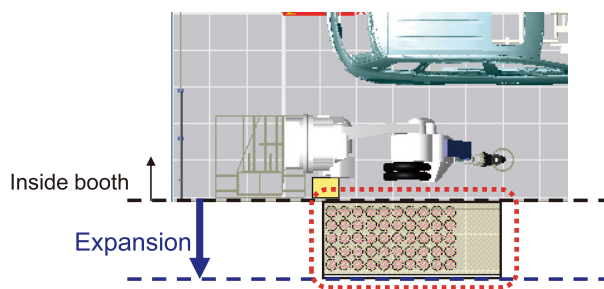
具体的には、下記の3つの技術を開発し具現化した。

- ① 安定した吐出量コントロールと塗料使用量を常にモニタリングして学習する定量吐出及び充填制御の開発
- ② 少量の洗浄液で確実に塗料経路の細部まで綺麗に洗浄できる塗料排出、洗浄ロジックの開発
- ③ 徹底的に機器数を削減した充填-洗浄装置の開発

また、3D-CADや設備制御シミュレーションを活用し「機器レイアウトの省スペース最適配置」や「設備機能」を徹底的に机上検証することで手戻りなく実現できた。

これにより、従来の色数分を装備していたシステムに比べ溶剤、水性混流生産においても大幅に機器の数が少なく、既存ブース内に装置を収めると同時に従来と同等レベルの色替え効率やメンテナンス性を確保している (Fig.7)。

Typical cartridge system



Cartridge system of Aqua-tech paint



Fig.7 Space Saving Cartridge System

4.5 油性→水性 配管洗浄技術

油性塗料と水性塗料は相溶性がないために、ごく微量な油性塗料が水性塗料に混入しても、凝集やハジキなどの塗膜不良が発生する。塗料は、塗料タンクから塗料配管を通じて前述のカートリッジに供給されるが、この塗料配管は、直径10~35mmで数百メートルの折れ曲がった配管であり、内部の完全洗浄は困難である。従って、水性塗料の導入時には、専用配管を新設することが一般的である。

アクアテック塗装では、既存の油性塗料に使用している配管を効果的に洗浄する技術を開発し、既存配管を最大限リユースすることで、設備面での徹底した省資源化の追求と油性/水性の混流生産を可能とした。

洗浄技術の開発においては、まず、通常の洗浄を行っても洗いきれない配管内面の残留物をSEM観察、EPMA分析、分光分析を使って成分を推定した (Table 2, Fig.8)。

Table 2 Elemental Composition Analysis of Residues

| Sample                     | Position | Elements detected (mass%) |      |      |     |     |     |     |      |     |
|----------------------------|----------|---------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
|                            |          | C                         | O    | Al   | Si  | Cl  | K   | Ca  | Ti   | Cu  |
| Residues in the paint pipe | A        | 90.7                      | 6.3  | 0.4  | -   | 0.1 | 0.8 | 0.7 | -    | 0.8 |
|                            | B        | 91.5                      | 8.1  | -    | -   | -   | 0.2 | 0.2 | -    | -   |
|                            | C        | 85.2                      | 11.2 | 0.4  | -   | -   | 0.3 | 0.3 | 2.7  | -   |
| Paint samples (H700.34F)   | D        | 41.5                      | 20.7 | 26.2 | 0.4 | -   | -   | -   | 11.2 | -   |
|                            | E        | 81.8                      | 5.3  | 4.2  | 6.0 | -   | -   | -   | 2.8  | -   |

Detection range : Na ~ U

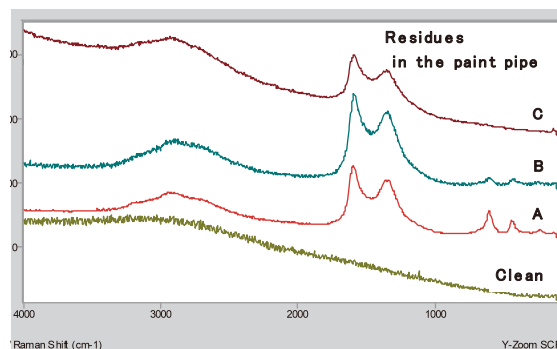


Fig.8 Raman Analysis

この結果、残留物は、塗料の樹脂成分と無機成分が固着したものであることが判明し、これを効果的に溶解するには、高分子樹脂の溶解力が高く、かつ、極性の強い溶媒を使って、配管内で乱流を作って循環させることが重要であると推定されたため、種々の極性溶媒での残留物の溶解テストを実施し、非プロトン極性溶剤の一種をメインの洗浄剤として選定した。次に、時間/流速/洗浄剤の作用の度合いを明らかにするために実験計画法を用いて要因実験を実施し、配管を切断して残留物の除去状態を評価することで、以下の洗浄プロセスを確立した。

- ① 非プロトン極性溶剤の溶解力を効果的に発揮させるため、油性シンナで、固着していない塗料成分を除去
  - ② 配管をブロックに区切るバルブを追加し、非プロトン性極性溶媒を配管に入れ、ブロック単位で高速循環させて残留物を溶解
  - ③ 油性シンナで、非プロトン性極性溶剤を置換
  - ④ 更にアルコール系溶剤⇒水性塗料用シンナの順で洗浄することで、油性状態から水性状態に切り替え
- 以上の方法により、油性塗料に使用していた塗料配管を破棄することなく、水性塗料への変更が可能となった。

### 5. 成果

これらの技術によるVOC、及びCO<sub>2</sub>排出量の削減効果を従来塗装である3ウェットオン塗装との比較をFig.9に示す。高機能上塗り塗料による工程集約と塗装工程の効率化によって、スリーウェットオン塗装の低いCO<sub>2</sub>排出量を維持したままVOC排出量の57%削減を実現し、開発目標を達成した。

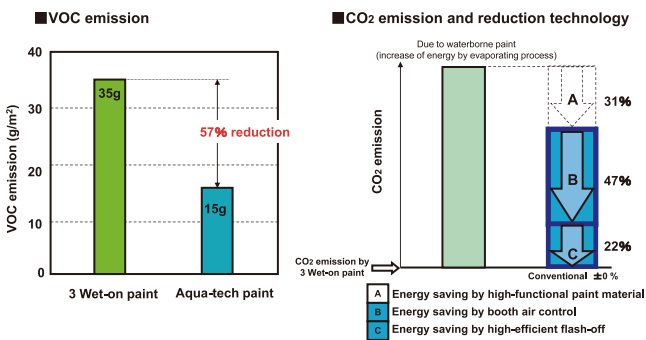


Fig.9 Reduction Effect of Environmental Load Materials

### 6. おわりに

本アクアテック塗装システムは、2009年6月より当社宇品第1工場へ導入を進めている。今後も、塗装工程の環境物質の排気量削減を進め、世界で最もクリーンな塗装工程から環境に優しい商品を提供し続けていく。

### 参考文献

- (1) 山根貴和, 重永勉, 神田輝夫, 亀迫裕介ら: 環境にやさしい3ウェットオン塗装技術の開発, 自動車技術, Vol.57, No.5, P.68-73 (2003)
- (2) 久保田寛, 山根貴和, 古賀一陽, 神田輝夫, 松田隆臣: 環境に優しい新水性塗装システムの開発, 自動車技術会秋季学術講演会, 98-20095708

### 著者



橋本 堅



亀迫裕介



松田隆臣



世良和也



和泉昭雄



大谷 崇

特集：環境

14

## 高耐熱高強度ポリ乳酸開発材による自動車内装部品の開発 Development of Automobile Interior Parts using Developed Polylactic Acid

松田 祐之\*<sup>1</sup> 栃岡 孝宏\*<sup>2</sup> 一原 洋平\*<sup>3</sup>  
Yushi Matsuda Takahiro Tochioka Yohei Ichihara  
岩本 道尚\*<sup>4</sup> 志水 克教\*<sup>5</sup> 岩山 幸生\*<sup>6</sup>  
Michihisa Iwamoto Katsunori Shimizu Yukio Iwayama

### 要約

バイオマスプラスチックは、材料製造における石油依存度低減や、CO<sub>2</sub>排出に関しカーボンニュートラルであるといった理由から、将来の自動車用樹脂材料として有望である。代表的なバイオマスプラスチックであるポリ乳酸（PLA）をベースとして、ブロックポリプロピレン（PP）、タルクおよび相容化剤を配合したバイオプラスチックを新たに開発した。この相容化剤として3種類を併用することにより、100℃以上の高い耐熱性と良好な成形性を持ったPPとPLAとのアロイ材の耐衝撃性を改善することができた。開発したPP/PLAアロイを、幅約1.3m、長さ約0.7mと大型で、高温となる部品に近接しているプレマシーハイドロジェンREハイブリッドの水素タンクカバーに適用した。

### Summary

Bioplastics have a great potential as future resin materials for automobiles because of the less fossil fuel consumption at material production processes and the carbon neutral advantage. We developed a new bioplastic based on Polylactic acid (PLA), a typical bioplastic, blended with Polypropylene block copolymer (PP), talc and compatibilizers. Application of three kinds of compatibilizers improve the impact resistance of PP/PLA alloy of high heat resistance (>100℃) and moldability. The developed PP/PLA alloy is applied to the large H2 tank cover (about 1.3m in width, 0.7m in length) of the Premacy Hydrogen RE Hybrid, positioned close to heat-up parts.

### 1. はじめに

バイオマスプラスチックは、将来の自動車用プラスチック材料として期待されており、研究開発および活用が積極的に進められている<sup>(1-4)</sup>。弊社でも、代表的なバイオマスプラスチックであるポリ乳酸（PLA）をベースに、新規結晶化促進核剤や相容化剤の配合、および成形条件の最適化によって、高植物度でありながら自動車内装部品に使用できる外観品質や物性を持ち、かつ射出成形が可能な材料を開発した。また、原料PLA全体の分子構造をステレオコンプレックス構造とすることで、自動車内装表皮に使用できる品質と耐久性を持つ、植物由来100%の繊維を使用したバイオファブリックも開発した<sup>(5-7)</sup>。プレマシーハイ

ドロジェンREハイブリッドでは、この高植物度PLA開発材とバイオファブリックに加えて、開発したPPとPLAとのアロイ材（PP/PLAアロイ）を水素タンクカバーに採用している。

PP/PLAアロイは、安価なPPを混ぜることによるコスト低減だけでなく、PLAのガラス転移温度である60℃を超えても弾性率の低下が小さく耐熱性を高めやすい、結晶化させるための高い金型温度が不要で設備上の制約が少ない、PLAが吸水率の低いPPに囲まれるため耐加水分解性に有利、といった特徴がある。そこで、高い耐熱性と必要十分な耐衝撃性が要求される内装外観部品への適用を想定し、開発を行った。

\*1~3 技術研究所  
Technical Research Center  
\*6 装備開発部  
Interior & Exterior Components Development Dept.

\*4, 5 車両技術部  
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

## 2. アプローチ

一般的に、プラスチック材料は耐熱性と耐衝撃性とがトレードオフの関係にあるが、無機フィラーの配合によって耐熱性を確保した上で耐衝撃性を高めるアプローチをとった (Fig.1)。アロイ化した材料の特性、特に耐衝撃性は、PPとPLAとがどの位混ざりやすいかという相容性に大きく影響される。しかし、Fig.2に示すように、官能基を持たず極性が非常に低いPPと、エステル結合が非常に多くて極性が高いPLAとでは、相容性が全く期待できないため、単純に混合しても耐衝撃性が極めて低い材料しかできない。そこで、PP中にPLAを微分散させて耐衝撃性を改善する相容化剤を中心に検討した。

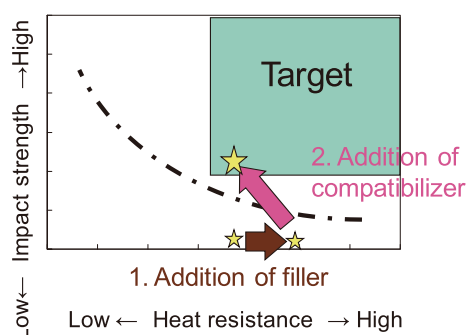


Fig.1 Approach of Material Development

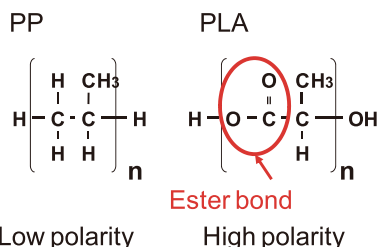


Fig.2 Chemical Structure of PP and PLA

## 3. 実験

### 3.1 供試材料

母材として、流動性と物性のバランスを考慮し、メルトフローレート30g/10minのPPを選定した。無機フィラーの種類は、外観を確保した上で剛性確保や線膨脹係数低減がしやすく、自動車用PPで広く利用されているタルクとしたが、この添加量を多くしすぎると比重が大きくなり、流動性も悪化する。そこで、前もって検討した結果、弾性率や線膨脹係数とのバランスを考慮した上で、耐熱性を充分高められるように添加量を14wt%とした。また、成形後の物性を安定化させるため、射出成形用高植物度PLA開発材に用いた結晶化促進核剤<sup>®</sup>を配合した。

相容性を高めるために多くの相容化剤を試したが、Table 1に示すように、単一の相容化剤では十分な改善効果が得られなかった。そこで、相乗効果をねらい、有効性

が認められた相容化剤を複数種組み合わせることによって、耐衝撃性を確保することを試みた。また、結晶性に影響する加水分解抑制剤も耐衝撃性に影響することが予備実験の結果わかった。

これらの結果を詳細に解析すると、引っ張り破断伸びに有効な相容化剤、アイゾット衝撃値に有効な相容化剤など種類によって効果の発現状態が異なることがわかった。そこで、これらの要因の影響を確認し、効率よく最適化するためタグチメソッドを活用した。すなわち、相容化剤A、相容化剤B、相容化剤Cおよび加水分解抑制剤Dの添加量を制御因子として、Table 2に示す水準でL9実験の直行表に割りつけて実験を行った。

Table 1 Effect of Additives

|                                       | Izod impact strength | Elongation at break | Heat resistance |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| Compatibilizer A                      | ↗                    | ↗                   | →               |
| Compatibilizer B                      | ↗                    | ↗                   | ↘               |
| Compatibilizer C                      | ↗                    | ↗                   | ↘               |
| Hydrolysis inhibitor D (Carbodiimide) | ↘                    | ↘                   | ↘               |
| Talc                                  | ↘                    | ↘                   | ↗               |

Table 2 Control Factors and Levels

| Control Factor | Compatibilizer A | Compatibilizer B | Compatibilizer C | Hydrolysis Inhibitor D |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------------|
| Level          |                  |                  |                  |                        |
| 1              | High             | None             | None             | None                   |
| 2              | High             | Low              | Low              | Low                    |
| 3              | High             | High             | High             | High                   |
| 4              | Low              | None             | Low              | High                   |
| 5              | Low              | Low              | High             | None                   |
| 6              | Low              | High             | None             | Low                    |
| 7              | None             | None             | High             | Low                    |
| 8              | None             | Low              | None             | High                   |
| 9              | None             | High             | Low              | None                   |

### 3.2 実験方法

#### (1) 試験片の作製

各配合組成で、二軸押出機を用いてバレル設定温度180℃で材料調製し、シリンダ設定温度180℃、金型温度40℃にて射出成形して試験片を作製した。

#### (2) 評価方法

エネルギー吸収を目的とする内装部品ではなく、想定しているような外観を形成する内装部品では、荷物などが少し当たった程度では割れないという耐衝撃性が求められる。そこで、クラックの進展に伴ってどれだけエネルギーを吸収するかという尺度であるアイゾット衝撃値が従来広く用いられているが、どの位のエネルギーが加わるまで割れないか

という尺度である面衝撃試験の最大荷重までの吸収エネルギーの方が、実際の部品性能に近いと考え、この方法で評価した。試験はISO 6603-2に準じて、以下の条件で常温で行った。

試験速度：4.4m/sec

ストライカ/座面直径：20/40mm

自動車では、初期性能も大切であるが、使用期間中に性能が低下しないことが非常に重要である。そのため、熱および加水分解による吸収エネルギーの変化を誤差因子とした。熱の条件は炎天下の車内で想定される高温状態を模擬する、加水分解の条件は車内で想定される高温高湿状態を模擬する、という観点から定めた。

また、耐加水分解性は、高温高湿状態での暴露後の引っ張り強さ保持率で評価した。

### 3.3 実験結果

#### (1) 試験片の耐衝撃性

面衝撃試験での荷重-変位特性の例を、熱および加水分解による劣化後の特性と合わせてFig.3に示す。この配合は劣化による吸収エネルギーの低下が大きい例であるが、耐加水分解試験後は最大荷重が低下していること、耐熱試験後は最大荷重だけでなく剛性も低下していることがわかる。この結果から、PLAの分散が悪いとPPで充分保護できず、PLAの分解が進むことが示唆される。

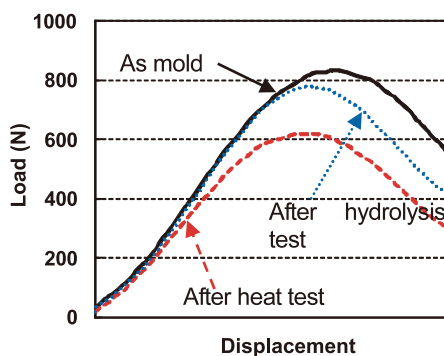


Fig.3 Example of Load-Displacement Curve of Impact Test

#### (2) 各要因の影響

これらの試験結果を基に作成した要因効果図をFig.4に示す。この結果から、今回実験した水準の範囲では、相容化剤Aおよび相容化剤Bは多いほど良く、相容化剤Cには最適量があることがわかる。また、加水分解抑制剤Dは予想通り耐衝撃性を悪化させる効果があることがわかる。相容化剤Aおよび相容化剤Bの添加量を増やしても効果が頭打ちになるのは、PLAの微分散に必要な量に達しているためと考えられる。また、相容化剤Cに最適量があるのは、過剰にあると熱や水による劣化が進行しているためと考えられる。

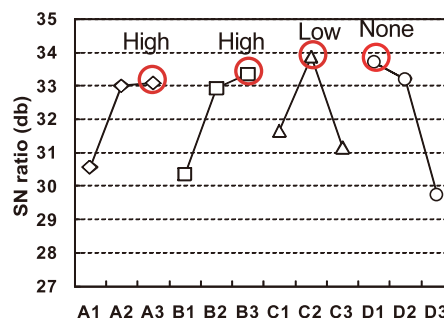


Fig.4 Factorial Effect Chart

#### (3) 材料配合の最適化

タグチメソッドの結果を基に、3種の相容化剤の配合比を最適化した開発材の耐衝撃性の結果をFig.5に示す。劣化もほとんどなく、ねらいとした耐衝撃性が得られていることがわかる。また、他の諸物性も、Table 3に示すように、想定した内装外観部品の目標を満足した。なお、バイオマス度は、CO<sub>2</sub>削減量などを勘案して決められたバイオマスプラマークの基準である25wt%以上を目標とした。

加水分解抑制剤を配合しない場合に懸念される耐加水分解性の実験結果をFig.6に示す。PLA単体から大幅に改善され、試験後も引っ張り強さがほぼ100%保持されており、ねらい通りマトリックスのPPによって保護されていると考えられる。

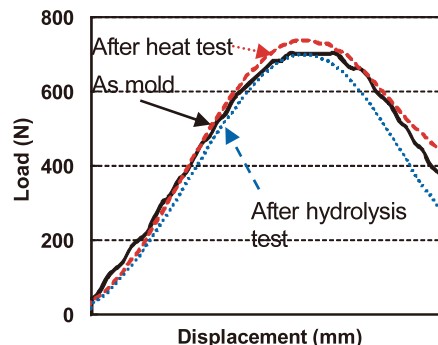


Fig.5 Load-Displacement Curve of Developed PP/PLA

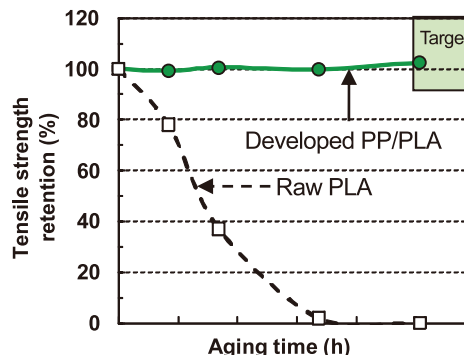


Fig.6 Tensile Strength Retention After Hydrolysis Test

Table 3 Material Properties of Developed PP/PLA

| Item   | Unit              | Target | Developed material |
|--|-------------------|--------|--------------------|
| Biomass ratio                                    | wt%               | >25    | 28.9               |
| Deflection temperature under load (JIS K7191)    | °C                | >100   | 108                |
| Tensile strength (JIS K7161)                     | MPa               | >20    | 26.5               |
| Flexural modulus (JIS K7171)                     | GPa               | >2.0   | 2.2                |
| Izod impact strength (JIS K7110)                 | kJ/m <sup>2</sup> | ≥4     | 4                  |
| Specific gravity (JIS K7112)                     | -                 | <1.1   | 1.07               |
| Tensile strength retention after hydrolysis test | %                 | >90    | 100                |

### 4. 部品への適用

#### 4.1 部品選定

プレマシーハイドロジェンREハイブリッドでは、高温になる水素タンクがFig.7に示すように室内にレイアウトされている。水素タンクは35MPaと高圧のため、剛性が高いカーボン繊維強化プラスチック製であっても、充填時と放出時で大きさが変化する。そこで、荷室を広くするために最高80°C程度になる水素タンクとの隙を最小限にしたいという要求に対して、車幅方向中央部にフレームを設けることなく、左右のフレームのみでカバーを支えられる部品剛性が必要となる。そのためには、リブで補強する方法もあるが、かなり広い平面状の部品形状でヒケが懸念されるため、リブではなく板厚の最適化による剛性確保を目指した。従って、周辺部品との見映え品質を確保するための小さい線膨張係数、自動車部品として求められる耐久性(特にバイオマスプラスチックでは耐加水分解性)に加えて、高耐熱性と高弾性率が材料に求められた。そこで、開発したPP/PLAアロイの適用を試みた。

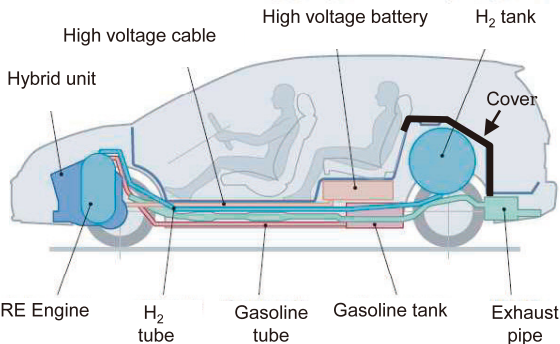


Fig.7 Layout of H<sub>2</sub> Tank

#### 4.2 成形性の確認

水素タンクカバーは約1.3m×0.7mと大型である。その上、ほぼ部品全面が見える部分であり、代表的な大型プラスチック部品であるバンパやインパネのように他部品で隠れる部分や開口部がないため、ゲート点数を増やして成形性を確保することが難しい。そこで、開発したPP/PLAアロイを適用するに当たり、まずCAEでゲート配置を検討した。流動解析に必要な溶融粘度の測定例をFig.8に示す。PLAの配合によって、マトリックスのPPよりも溶融粘度が低下し、流動性が良くなっていることがわかった。

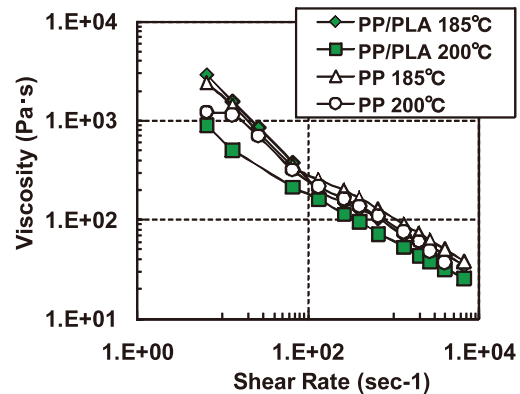


Fig.8 Viscosity of Developed PP/PLA Alloy and PP

前述のように、製品面にゲートが設定できないことから、周囲部にゲートを設ける必要がある。開発材の溶融粘度特性から、市販の樹脂流動解析ソフトを用いて型締め圧力を解析した結果をFig.9に示す。製品前部からフィルムゲートで充填した場合、流動長は約700mmにもなるが、型締力2,500トン以上の成形機を用いることで、バリを発生させずにフル充填が可能となることがわかった。

実際に、型締力3,000トンの射出成形機を用いて射出成形した直後の成形品外観をFig.10に示す。1ショット重量は約5kgで、流動解析の予測通り、大きな問題なく成形可能であった。

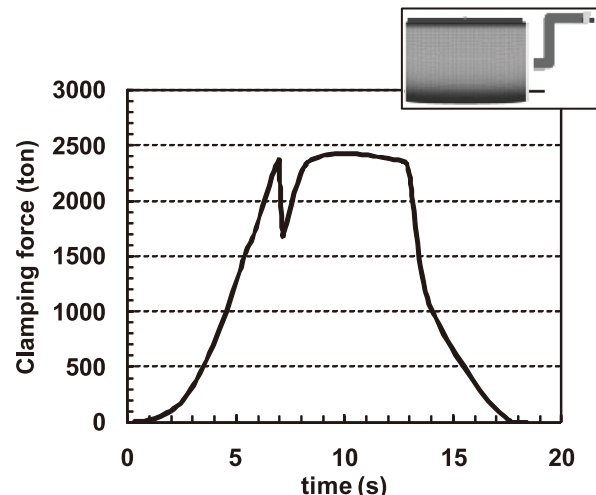


Fig.9 Analysis of Mold Flow

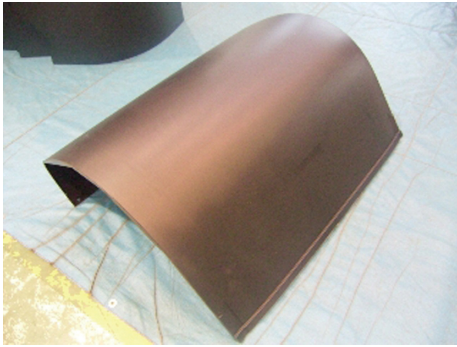


Fig.10 As Molded Part

#### 4.3 部品性能

開発材の物性から、熱変形および剛性をCAEで解析した結果、問題となりやすい段差についてもFig.11に示すように0.5mm以下の変化量であり、見映え品質および部品剛性も確保できそうなことが予測された。

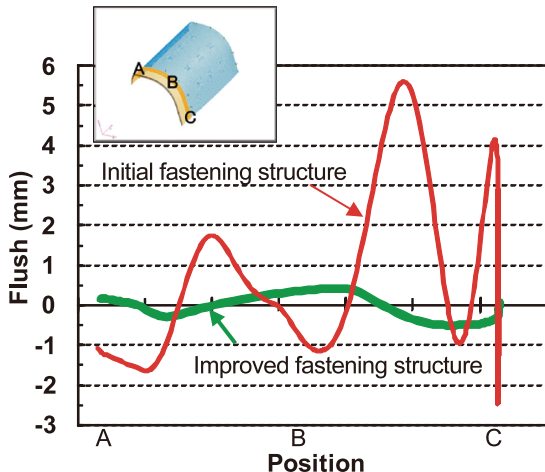


Fig.11 Analysis of Thermal Expansion

試作部品に対して、短期・長期の耐熱試験や冷熱サイクル試験、耐薬品性や難燃性試験、および低温衝撃試験といった部品単体での試験、そしてFig.12のように実車に組み付けた状態での走行耐久試験を行った。その結果、いずれも部品の要求性能を満足した。

Fig.12 H<sub>2</sub> Tank Cover on Premacy Hydrogen RE Hybrid

## 5. まとめ

相容化剤を3種併用することで、PP/PLAアロイの耐衝撃性を改善できることがわかった。これらの相容化剤とタルクを配合した場合、優れた耐加水分解性と100℃以上の耐熱性を持つPP/PLAアロイが得られた。この材料を大型内装部品に適用し、十分な剛性や信頼性を満足することを確認した。

本開発にご尽力いただいた西川ゴム工業(株)、並びに関係者各位に心から感謝いたします。

## 参考文献

- (1) 伊藤晶文ほか：バイオプラスチック射出成形材料の開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.133-08, p.1-4 (2008)
- (2) 種田尚弘ほか：植物由来ウォータブルーフイルムの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.133-08, p.5-8 (2008)
- (3) 亀尾幸司ほか：リアクティブ・プロセッシングによるポリプロピレン/ポリ乳酸アロイの構造制御, 成形加工'09, A-103 (2009)
- (4) 畑野佳伸：ポリ乳酸繊維を適用した自動車内装部品, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.48-09, p.5-8 (2009)
- (5) 吉田邦彦ほか：自動車部品用バイオプラスチックの開発, マツダ技報, No.25, P.157-160 (2007)
- (6) 一原洋平ほか：自動車用バイオプラスチック部品の開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.29-08, p.5-8 (2008)
- (7) 宮本嗣久ほか：自動車用バイオファブリックの開発, 成形加工シンポジウム, A-211 (2009)
- (8) 矢野徹ほか：ポリ乳酸の耐熱性改良, 日本化学会予稿集, 3C4-49 (2004)

## ■ 著 者 ■



松田祐之



栃岡孝宏



一原洋平



岩本道尚



志水克教



岩山幸生



特集：環境

15

## マツダのライフ・サイクル・アセスメント Mazda Life Cycle Assessment

新田 茂樹\*<sup>1</sup> 森口 義久\*<sup>2</sup>  
Shigeki Nitta Yoshihisa Moriguchi

### 要 約

マツダは、技術開発の長期ビジョン「サステナブル “Zoom-Zoom” 宣言」にて、マツダ車を購入していただいたすべてのお客さまに走る喜びと優れた環境安全性能を提供することを宣言している。

燃費向上、排出ガス浄化、車両軽量化など個々の環境性能の向上への取り組みを総合的に捉え、自動車のライフサイクル全体で環境負荷を評価するLife Cycle Assessment（以下、LCAという）の重要性が高まっている。

マツダは、RX-8ハイドロジェンREのLCAを、水素を燃料としたロータリエンジン車としては世界で初めて実施・公表した。また、新型プレマシーでは、これまで一般的に行われていた燃費向上デバイスを搭載した特定のグレードのLCAを全グレードで実施し、販売台数加重平均で評価した。その結果、CO<sub>2</sub>の排出量が、比較対象モデルに比べて、RX-8ハイドロジェンREで57%低減、新型プレマシーで6%低減することが示された。

### Summary

With the long-term vision of “Sustainable Zoom-Zoom” in Technology Development, Mazda announced it’s offer of driving pleasure and great ecological safety to all Mazda vehicle purchasers.

Importance of the Life Cycle Assessment (LCA) is increasing, which assesses environmental loads of a vehicle during its lifecycle, in view of comprehensive eco-performance such as fuel efficiency, cleaner exhaust, and vehicle weight saving.

Mazda is the world-first maker that implemented the LCA on a hydrogen fuel rotary engine vehicle, the RX-8 Hydrogen RE. Also, the LCA which had been applied only to the specific grade models equipped with fuel efficiency devices was carried out on all grades for the new Premacy (assessed based on the weighted average of each model’s sales volume). As a result, CO<sub>2</sub> emission was reduced from the previous models by 57% on the RX-8 Hydrogen RE and 6% on the new Premacy.

### 1. はじめに

マツダは、サステナブル “Zoom-Zoom” 宣言のもと、さまざまな領域においてCO<sub>2</sub>削減など環境保護活動を行っている。その中で、自動車を製造する過程、お客さまの使用段階、使用後の廃棄まで、あらゆる側面から環境負荷を定量化し、自動車のライフサイクル全体で環境負荷低減を目指している。

そのための手法としてLCAに着目し、その実施や評価

に必要なデータベースを構築し、マツダ独自の算出方法によるLCAを2009年に確立した。それを適用し、水素を燃料としたロータリエンジン車としては世界で初めて、RX-8ハイドロジェンREのLCAを実施・公表した。更に、新型プレマシーについて、「マツダ車を購入いただいたすべてのお客さまに『走る喜び』と『優れた環境安全性能』を提供する」との考え方にに基づき、特定の燃費向上デバイスを搭載したグレードだけでなく全グレードでLCAを実施したので紹介する。

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

## 2. LCAの概要

### 2.1 LCA

LCAは、Fig.1に示すように商品が環境に与える負荷(CO<sub>2</sub>排出等)を、ライフサイクル全体(材料製造~廃棄)で定量的に評価する手法である。ISO(国際標準化機構)において、2000年代初頭に国際規格化(ISO14040番台)された。新商品などの環境負荷低減のため広く活用されてきている。

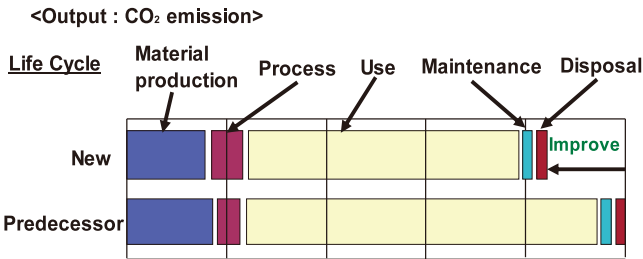


Fig.1 Concept of LCA

### 2.2 LCA手法の枠組み

国際標準規格(ISO14040)におけるLCAの枠組みは、以下の①~④である(Fig.2)。

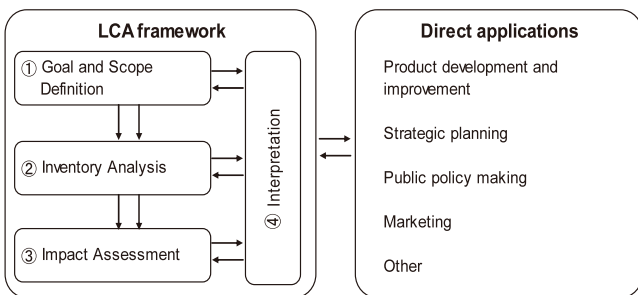


Fig.2 LCA Framework and Applications<sup>(1)</sup>

#### ① 目的および調査範囲の設定

LCA調査の目的(調査を実施する理由、報告対象者、結果の用途)と調査範囲(システムの機能、機能単位、システム境界、データ要件、前提条件、配分手順など)を明確に設定する。

#### ② インベントリ分析

製品ライフサイクルの個々の段階における原料・エネルギーのインプット、排出物をアウトプットとして定量化する。

#### ③ 影響評価

インベントリ分析の結果から、地球温暖化や酸性雨への影響を指数として算出し、環境影響として定量的・総合的に評価を実施する。

#### ④ 解釈

インベントリ分析や影響評価の結果にもとづき考察を行う。

マツダは、製造から廃棄までのライフサイクル全体での環境負荷低減を目指し、LCAを実施している。本論文では、先ずCO<sub>2</sub>など環境負荷項目の排出量を把握することが重要と考え、自動車のLCAで主流となっているインベントリ分析について以下に述べる。

## 3. マツダのLCA

### 3.1 実施目的と調査範囲

#### (1) 実施目的

クリーンエネルギー車の従来型ガソリン車に対する環境改善効果、新型車の従来型車に対する環境改善効果を確認する。

#### (2) 調査範囲

調査範囲をFig.3に示す。自動車のライフサイクルを資源採掘から廃棄までとし、材料製造、車両製造、走行、メンテナンス、廃棄の5段階で設定した。

使用期間を10年間、生涯走行距離を10万kmと設定した。

調査項目は、自動車の重要環境側面を地球温暖化と大気汚染と捉えCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>(窒素酸化物)、NMHC(非メタン炭化水素)、PM(粒子状物質)、SO<sub>x</sub>(硫黄酸化物)とした。

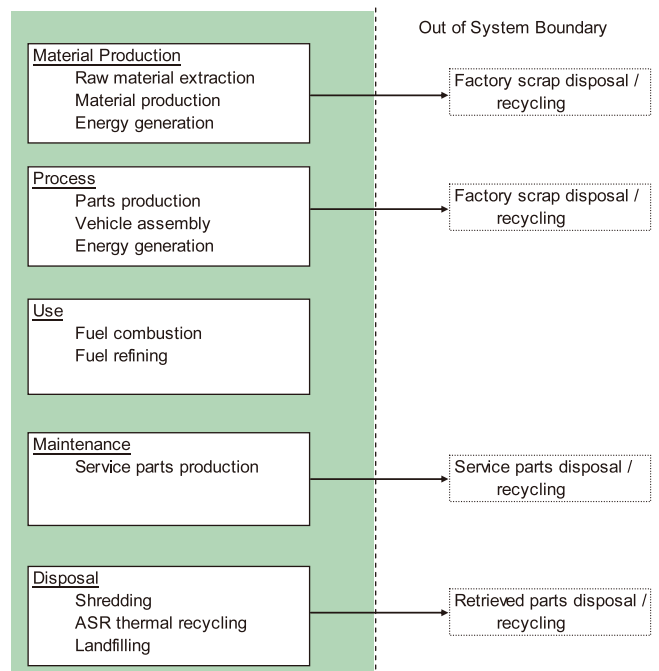


Fig.3 System Boundary

### 3.2 インベントリ分析方法

#### (1) 材料製造段階

ここでは自動車を構成する材料の製造段階の環境負荷を算出する。先ず、自動車を構成する材料と質量を調査する。それぞれの材料の環境負荷は、当該材料1kg製造あたりの環境負荷(材料原単位)に質量を掛け合わせて算出・集計する。その際、それぞれの材料の自動車製造時の歩留まりを考慮する。また集計は、カットオフルールを適用し、

各部品質量の95%をカバーする材料構成を調査・算入し、残り5%は算入した材料構成と同一と見なすことにする。

(2) 車両製造段階

車両を構成する各部品製造段階の環境負荷は、材料毎に部品に加工するときの「材料1kgあたり部品製造の環境負荷」(工程原単位)に質量を掛け合わせて算出・集計する。部品の車両への組立、塗装の環境負荷については、材料毎とは別に算出・集計する。

(3) 走行段階

まず、規定の走行モードで生涯走行距離を走行する場合の燃料消費量を算出する。燃料の環境負荷は製造時および燃焼時の合計とし、燃料消費量に掛け合わせて走行段階での環境負荷を算出する。

(4) メンテナンス段階

自動車の使用期間および生涯走行距離に必要な交換部品を設定し、それらを製造することによる環境負荷を算出する。具体的には、タイヤやエンジンオイルなどを交換部品として設定した。

(5) 廃棄段階

廃棄段階は、シュレッダ処理、シュレッダダストサーマルリサイクル、埋め立て処分での投入量より環境負荷を算出する。例えば、埋め立て処分の環境負荷は、管理型最終処分場での油圧ショベル軽油消費量より算出している。

4. インベントリ分析実施例

4.1 RX-8ハイドロジェンRE

(1) 対象製品

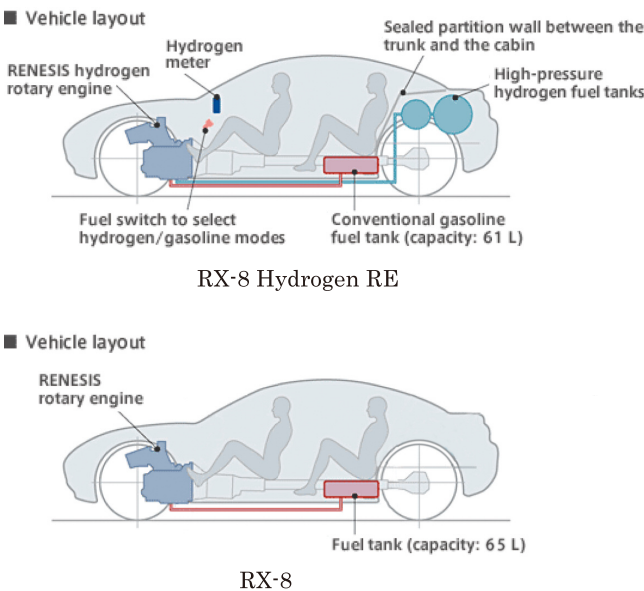


Fig.4 RX-8 Hydrogen RE & RX-8

水素自動車「RX-8ハイドロジェンRE」は、ベースのガソリン車「RX-8」(4ドア・4シートのスポーツカー)を比較対象とする。

RX-8ハイドロジェンREは、水素でもガソリンでも走行できるデュアルフューエルシステムを採用した水素ロータリエンジン車であり、主要諸元は、車両質量1,460kg、水素燃料での航続距離は、100kmである。調査対象車をFig.4に示す。デュアルフューエルシステムとは、運転席でのスイッチの切り替えにより、水素での走行/ガソリンでの走行を選択できるシステムである。

(2) 分析結果

① CO<sub>2</sub>排出量

RX-8ハイドロジェンREとRX-8のCO<sub>2</sub>排出量の比較をFig.5に示す。これは、RX-8のCO<sub>2</sub>排出量(質量)を1.0として相対値で示している。

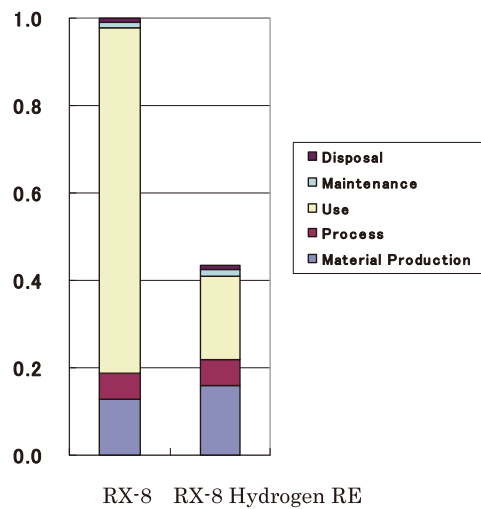


Fig.5 Comparison of CO<sub>2</sub> Emissions between RX-8 Hydrogen RE and RX-8

ライフサイクルトータルでRX-8ハイドロジェンREは、RX-8よりCO<sub>2</sub>排出量が57%削減される。RX-8ハイドロジェンREは、高圧タンクなどの水素自動車固有の部品を追加搭載しているため材料製造段階や車両製造段階のCO<sub>2</sub>排出量が増加する。一方、走行段階は、水素燃料燃焼時のCO<sub>2</sub>排出量がゼロになるだけでなく、燃料製造を含めてもCO<sub>2</sub>排出量は、RX-8よりも75%削減される。

尚、水素燃料は、製造時の環境負荷が小さく、当社水素ステーションで使用している苛性ソーダ副生水素を前提とした。

② NO<sub>x</sub>, NMHC, PM, SO<sub>x</sub>排出量

NO<sub>x</sub>, NMHC, PM, SO<sub>x</sub>排出量(質量)の比較をFig.6に示す。これは、各項目、RX-8のSO<sub>x</sub>排出量を1.0とした場合の、その他の項目の相対値を示している。これを見ると、ライフサイクルトータルでの排出量でRX-8ハイドロジェンREがPM以外の項目でRX-8よりも低減している。

RX-8ハイドロジェンREのNO<sub>x</sub>排出量は、RX-8より33%低減していることが確認された。同様に、RX-8ハイ

ドロジェンREのNMHC, SO<sub>x</sub>排出量は、それぞれRX-8より55%, 26%低減している。これらは、CO<sub>2</sub>排出量同様、水素自動車特有部品による排出量の増加があるものの、走行段階での排出量削減によりライフサイクルトータルでは削減される。一方、PMは、材料製造段階、車両製造段階での排出が大半を占め、水素固有部品の影響によりライフサイクルトータルでは、4%増加する。

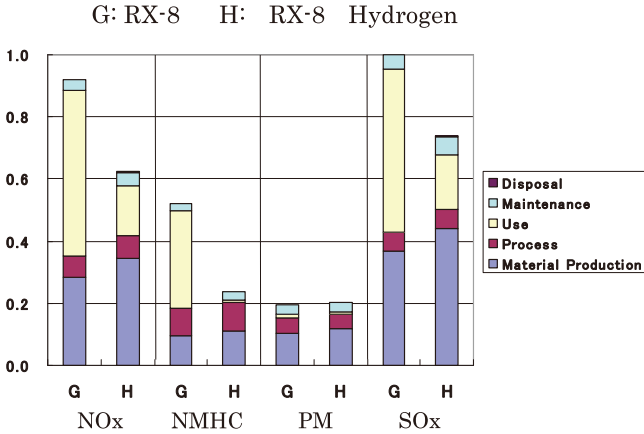


Fig.6 Comparison of NO<sub>x</sub>, NMHC, PM, and SO<sub>x</sub> Emissions between RX-8 Hydrogen RE and RX-8

③ 走行距離とCO<sub>2</sub>排出量

走行距離によるCO<sub>2</sub>排出量の推移を示したものが、Fig.7である。水素自動車特有部品により製造時にはCO<sub>2</sub>排出量が多いRX-8ハイドロジェンREは、水素燃料での走行により単位走行距離あたりのCO<sub>2</sub>排出量が少いため、約6,000kmを超えたところでRX-8とCO<sub>2</sub>排出量が同等となり、それ以降RX-8よりもCO<sub>2</sub>排出量は少なくなる。年間走行距離を1万kmとしたので、1年未満でCO<sub>2</sub>排出量削減の効果が現れることになる。

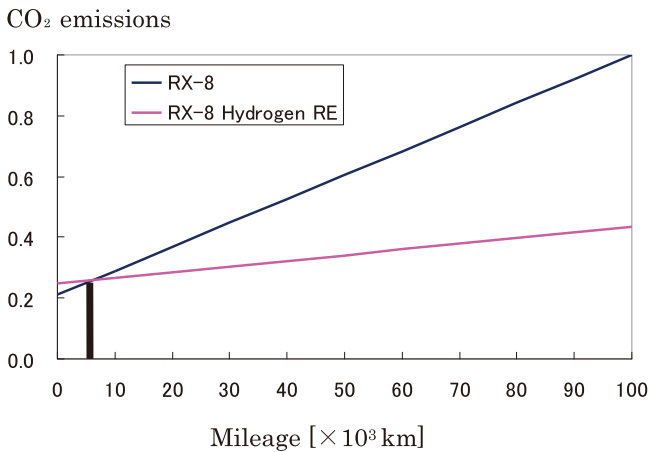


Fig.7 Comparison of CO<sub>2</sub> Emissions Among Variable Hydrogen Process

4.2 新型プレマシー

(1) 対象製品

Fig.8に示す「新型プレマシー」は、グローバルに販売されるミニバンで、アイドリングストップシステム「i-stop (アイストップ)」を装備した直噴ガソリンエンジンなどによって環境負荷を低減している。



Fig.8 New Premacy

(2) 分析結果

各グレードの普及の実態を反映するため、それぞれグレードの販売台数（新型は計画）の加重平均値を求めた。具体的には、グレード毎に実施したLCA結果に販売台数比率を乗じ、全グレードで合計した。この加重平均値が、プレマシー全体としての1台当たりの環境負荷である。このプレマシー全体として、1台当たりのそれぞれの環境負荷項目についての評価を以下に述べる。

① CO<sub>2</sub>排出量

Fig.9に、従来型および新型プレマシーのCO<sub>2</sub>排出量を比較して示す。従来型プレマシーのCO<sub>2</sub>排出量（質量）を1.0とした場合の相対値で示している。

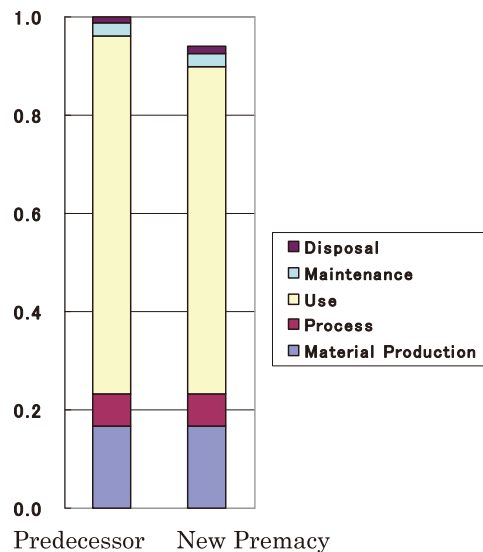


Fig.9 Comparison of CO<sub>2</sub> Emissions between Predecessor and New Premacy

新型プレマシーのCO<sub>2</sub>排出量は、従来型から6%の低減が確認された。これは、主として燃費性能の改善が寄与しており、エンジンの燃焼改善・制御見直し、トランスミッションのギヤ比最適化、空力性能の向上に加え、i-stopの採用によるものである。

## ② NO<sub>x</sub>, NMHC, PM, SO<sub>x</sub>排出量

CO<sub>2</sub>以外の項目の排出量（質量）を従来型と新型プレマシーを比較して示したのがFig.10である。それぞれの項目で、従来型プレマシーのSO<sub>x</sub>排出量を1.0とした場合の相対値を示している。これを見ると、PM以外の項目で排出量が低減している。新型プレマシーのNO<sub>x</sub>排出量は、従来型の2%低減していることが確認された。同様に、新型プレマシーのNMHCおよびSO<sub>x</sub>排出量は、それぞれ従来型の3%および2%低減している。

これは、主にエンジンからの排出ガス浄化性能の向上と、燃費改善によるものである。一方、PMは、安全向上対策などによる車両質量の増加に伴い、1%増加している。

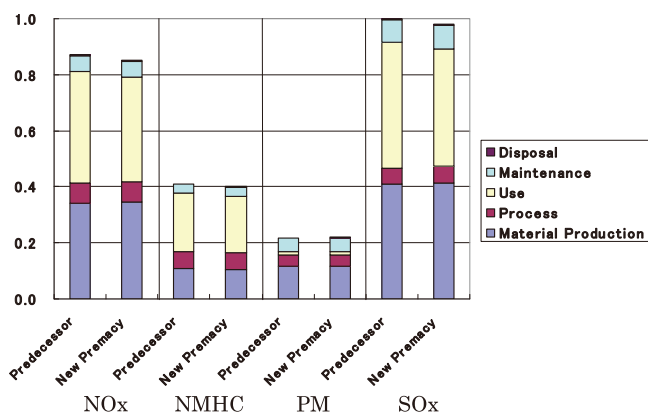


Fig.10 Comparison of NO<sub>x</sub>, NMHC, PM, and SO<sub>x</sub> Emissions between Predecessor and New Premacy

## 5. 結論

RX-8ハイドロジェンREについて、水素を燃料としたロータリエンジン車としては世界で初めてLCAを実施し、また新型プレマシーを、特定の燃費向上デバイスを搭載したグレードだけでなく全グレードでLCAを実施し、販売台数の加重平均値で評価した。

その結果、RX-8ハイドロジェンREおよび新型プレマシーで、ライフサイクル中のCO<sub>2</sub>などの排出量は、従来型に比較して以下の通り低減していることを確認できた。

RX-8ハイドロジェンREは、製造時の環境負荷が小さい苛性ソーダ副生水素を燃料にすることにより、RX-8に比較して、CO<sub>2</sub>排出量は57%低減、NO<sub>x</sub>排出量は55%低減、NMHC排出量は55%低減、SO<sub>x</sub>排出量は26%低減が確認できた。

新型プレマシーは、主として燃費向上したことにより、従来型に比較して、CO<sub>2</sub>排出量は6%低減、NO<sub>x</sub>排出量は2%低減、NMHC排出量は3%低減、SO<sub>x</sub>排出量は3%低減が確認できた。

一方、PMについては、RX-8ハイドロジェンREおよび新型プレマシーは、それぞれ4%および1%増加していた。PMの低減には、車両の軽量化や製造段階の環境負荷の低減などを進める必要がある。

## 6. おわりに

以上述べたように、RX-8ハイドロジェンREおよび新型プレマシーは、ライフサイクル中の環境負荷を低減できたことを確認できた。

今後とも、代替燃料、新技術や新製造工程など、ライフサイクル全体での環境負荷を考慮し、低減するための車造りが重要になると考える。そのため、LCA原単位データの拡充が課題であり、社内外の関係者と連携して取り組んでいく所存である。

## 参考文献

- (1) International Organization for Standard (2006) ISO14040

■ 著 者 ■



新田茂樹



森口義久

論文・解説

16

## ハイポイドギヤ高速加工条件の最適化 Optimization of High Speed Cutting for Hypoid Gears

三石 智 洋<sup>\*1</sup> 松岡 保 道<sup>\*2</sup> 樋口 昭 彦<sup>\*3</sup>  
Tomohiro Mitsuishi Yasumichi Matsuoka Akihiko Higuchi  
坂 東 武 夫<sup>\*4</sup>  
Takeo Bando

### 要 約

本研究では自動車のデファレンシャルユニット内に内蔵されるハイポイドギヤの高速加工条件の最適化を行った。ハイポイドギヤの歯切加工は非常に複雑であるため、一般的な機械加工で行われる品質工学的アプローチを適用することが困難であった。そのため、加工条件の評価は、因子ごとにテストを繰り返し、テスト後の刃具状態や加工精度から判断するものであった。そこでパラメータ設計を行い、従来の評価プロセスからの脱却を試みた。当初は「消費電力」と「切削除去量」を基本機能として評価を進めたが、一般的な機械加工とは加工メカニズムが異なるため、加工の特徴を明確に表現できる解析を新たに提案した。具体的には、刃具と被削物の当たり方からメカニズムを考えていき、1) 切削負荷が変化する、2) 断続切削であるという2つの特徴をパラメータ設計に反映させた。結果、この考え方とアプローチの有効性を実証することができ、ギヤ加工のみならず、様々な刃具形状や加工メカニズムに対しても汎用性を示す一例となることができた。

### Summary

We studied on optimization of high speed cutting for Hypoid gears that is built into the differential units of automobiles. The cutting process, Face Hobbing, is complicated and Taguchi Method can not be used, and to assess the process conditions, we had to test every parameter and check the blade chipping and machining accuracy on the gear flank after each test. To achieve a better process, we designed parameters. Firstly we evaluated cutting energy and weight of chips generated in a cutting process as basic functions, but as the Face Hobbing is a complicated mechanism, we suggested a method that clearly expresses process features. Two features were reflected in the parameter, one is that chip load changes in a cutting process, and the other is the Face Hobbing is an intermittent cutting process. As a result, this new method was proved to be effective, which could be used not only for the gear machining but also for various cutting methods.

### 1. はじめに

ハイポイドギヤ (Fig.1) は、自動車のリヤデフユニットや4WD用駆動伝達ユニット (Power Take Off) に内蔵されるギヤセットに用いられる。今回、この部品加工の近年の主流であるフェイスホブ歯切加工にパラメータ設計を適用し、従来の技術開発アプローチからの脱却を図った。

この加工方案のメカニズムは以下の通りである。①カッター (Fig.2) と被削材が互いに逆方向に回転 (異なる回

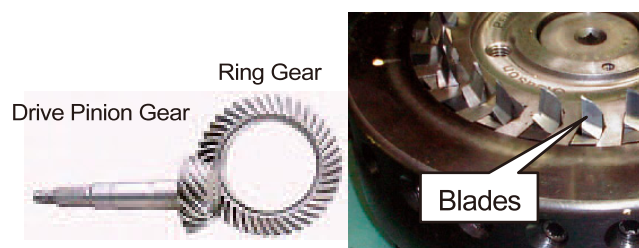


Fig.1 Hypoid Gears

Fig.2 Face Hob Cutter

\*1~4 パワートレイン技術部  
Powertrain Production Engineering Dept.

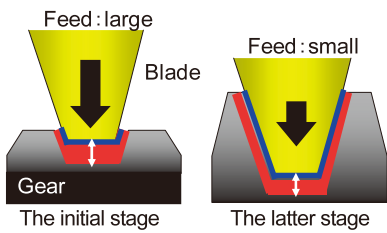


Fig.3 Transition of Cutting Cross-sectional Area on Face Hobbing

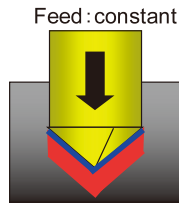


Fig.4 Cutting Cross-sectional Area on Drilling

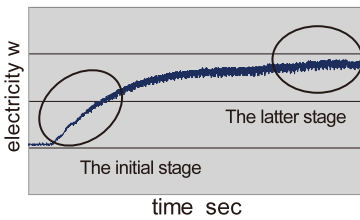


Fig.5 Cutting Energy of Face Hobbing

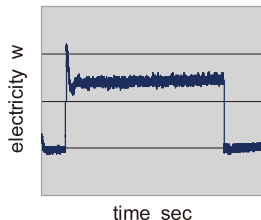


Fig.6 Cutting Energy of Drilling

転数), ②カッターは内刃と外刃のペアで構成。1つのペアで1つの歯溝を切削するが, 2つのペアが別の歯溝を同時切削する瞬間が存在, ③カッターの被削材に対する切込み角度は鋭角。機種(被削材の大きさや歯数など)の差によって変更が必要だが, その最適角度算出は微細過ぎて現状不可, ④カッターの先端にはクサビ形状のブレード(Fig.2)が組付いているため, 切削中に被削材とブレードが接する接触長・面積が常に変化。その変化に伴い送り速度を段階的に減少させる必要あり(現状は3段階)。

これらメカニズムから, 本方案の主な特徴は以下A, Bの通りである。A: 切削負荷の変化。カッターの切込みに従い, 切削除去される断面と送り速度がそれぞれ変化する(Fig.3)ため, 切削負荷は常に変化する(Fig.5)。これに対し, ドリル加工に代表される一般的な機械加工では, 切削除去される断面が加工中一定(Fig.4)であり, 切削負荷は一定である(Fig.6)。B: 断続切削。ブレードは歯溝通過時のみ被削材と接する(Fig.7)。この離合を繰り返す, 歯溝をつくり上げていく。ドリル加工では刃物が常時被削材と接する(Fig.8)連続切削である。

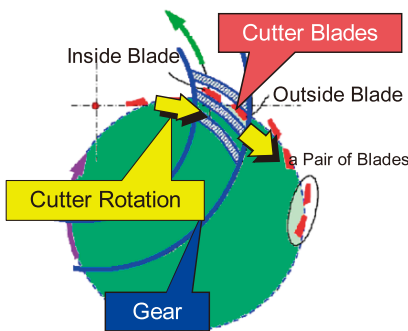


Fig.7 Face Hobbing (Intermittent Cutting)

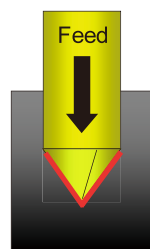


Fig.8 Drilling (Continuous Cutting)

従来, フェイスホブ歯切加工においては, 複雑な加工メカニズムのために, その組合せによる影響を正確に把握することは極めて困難であった。そのため, マシン設定値(送り, 回転数など)の経験的/部分的な組合せでのテストをトライ&エラー的に実施し, 品質特性(結果系指標: 被削材の粗さ, ブレード摩耗状態・寿命など)で評価することを主体とせざるを得なかった。従って, 部分最適ではあるものの, 加工条件, マシン, 刃具と治具などで構成される加工システム全体の最適化には至らず, それを実現する技術評価プロセスの確立と適用が課題であった。

## 2. エネルギー変換による評価

ドリル加工に代表される“連続切削”において, 理想を「スパッと切れ, ロスなくエネルギー変換する状態」と捉え, 切削時の“累積電力”で評価するアプローチは既に一般的であり, 社内においても数多くの事例を通じその有効性を実証してきた。

今回, フェイスホブ歯切加工のような“断続切削”においても, これら特徴を局所的かつ瞬間的に捉えることで連続切削と同様のアプローチが適用できると考え, 以下の二つの仮説を立てた。「切削負荷が変化する場合, 単位断面積あたりの電力を評価することで, 刃先にかかる負荷を捉えることが可能である。」加工初期の切削断面積が小さい場合には, 消費エネルギーは少ないようにみえるが, 単位切削断面積あたりではエネルギーを多く消費しているはずであり, これが表現可能と考えた。また, 「断続切削の場合, 切削時に負荷が瞬間的に変動するため, これを評価することで負荷を更に正確に捉えることが可能である。」電力波形形状が同等であっても, その瞬間的な変動の大きさに差がある場合, 切削状態は異なるはずであり, 区別化を図ることが可能であると考えた。

ただし, 様々な因子が複雑に絡み合い, その影響度合が常に変化しながら加工する本方案について, これらの特徴を正確に捉えることは, 従来のアプローチでは不可能であり, 創造的かつ慎重な検討により以下の技術課題をプレイクスルーする必要があった。

A: メカニズム①~④の組合せの各影響度合が絶えず変化の中で“単位断面積あたりの切削負荷”を正確に捉えるための解析式の提案・適用

B: 断続切削の評価に不可欠な“切削負荷の瞬間的変動”に対する有効成分の抽出方法の提案・適用

## 3. パラメータ設計

### 3.1 対象の絞り込み

まず, 予備実験(切削負荷と電力波形の検討: 詳細後述)から, 以下の通り対象(工程, 被削材)を絞った。フェイスホブ歯切加工は, 荒加工と仕上げ加工で構成される。予備実験結果から荒加工に対象工程を絞った。これは

予備実験により、荒加工が加工システム全体のエネルギーの大部分を支配していることを明確にできたためである。

また、ハイポイドギヤにはドライブピニオンとリングギヤがあり、荒加工は両部品共通の工程である。加工条件がより厳しい部品であるドライブピニオン（歯面のねじれがより大きく、歯幅がより長い）を対象部品に選択することで両部品の最適化を図った。

3.2 基本機能の決定と解析方法（技術課題A）

基本機能を検討する上で、まず、ドリル加工で一般的な基本機能（Fig.9左）では今回の加工システムは表現できないことを改めて確認した。加工初期の電力は後期（ブレード全体が切削に寄与）と比較して小さく、基本機能の関係グラフは谷状となった（Fig.15左、丸部）。また、この時の最適条件では、全ブレードにチッピングが発生し、基本機能が不適切であることを裏付けた。

これを踏まえ、今回の加工システムに合致する基本機能を検討した。電力には加工時の“切削負荷の総和”が現れるため、これを計測特性とした上で、本加工に関わるパラメータの微細な変動を“単位切削断面あたり”で捉え、基本機能を以下の通り決定した（Fig.9右）。

「切削除去量」×「単位切削断面あたりの累積電力量」

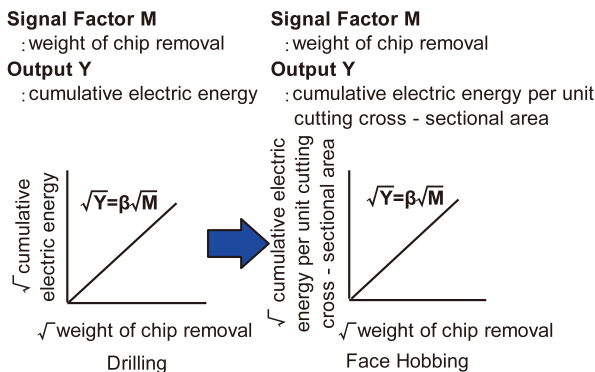


Fig.9 Generic Function

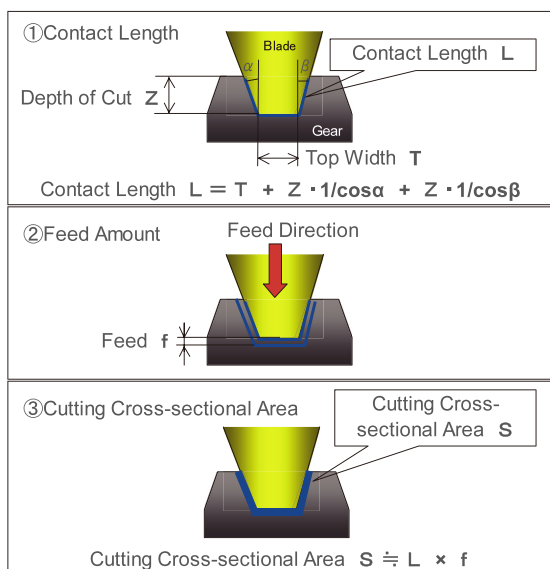


Fig.10 Calculation of Cutting Cross-sectional Area

- a : 送り量
- b : 切削長(歯面長手方向)
- c : 接触長(歯底方向)
- a×b : 切削断面積(歯面長手方向)
- a×c : 切削断面積(歯底方向)
- b×c : 切削面積(歯面長手方向)
- a×b×c : 切削体積

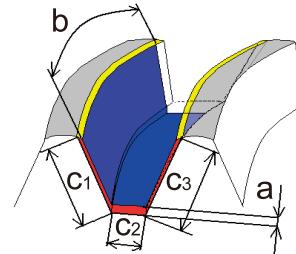


Fig.11 Changable Three Factors on Cutting Process

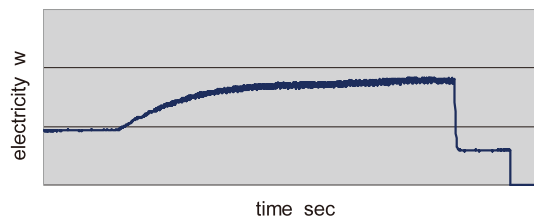


Fig.12 Cutting Energy on Roughing

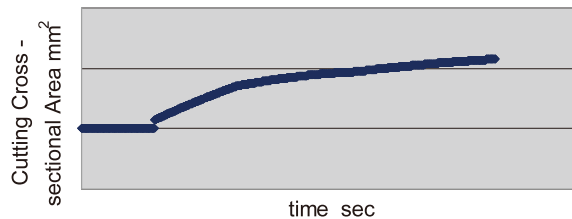


Fig.13 Transition of Cutting Cross-sectional Area (Simulation)

具体的に導出・解析方法を述べる。

- (1) 本加工の電力値がFig.5の形のような波形となる要因を再考した。マシンセッティングだけではなく、刃物と被削材の接触の仕方や軌跡（Fig.11）に着目して考え得る全10因子を抽出し、①因子間の因果関係の有無、②計測可否、③加工1サイクル間の変動の有無について評価した。3つのパラメータ（a, b, c）を洗い出し、その組合せを含めた7つのパラメータを決定した。
- (2) 次に、1サイクル間の各パラメータ値の波形と、実機の電力波形の一致度を評価した。自ら各パラメータ値のシミュレーションプログラムを開発・適用し、シミュレーション結果と実機の電力波形を比較・評価した。その結果、a×c（切削断面積（歯底方向））の波形（Fig.13）が電力波形（Fig.12）と相関があるため、これを解析対象のパラメータと決定した。なお、それ以外のパラメータ値の波形は電力波形と全く異なったため対象外とした。

このa×cの波形の変動ロジックを再現させる数式を導出



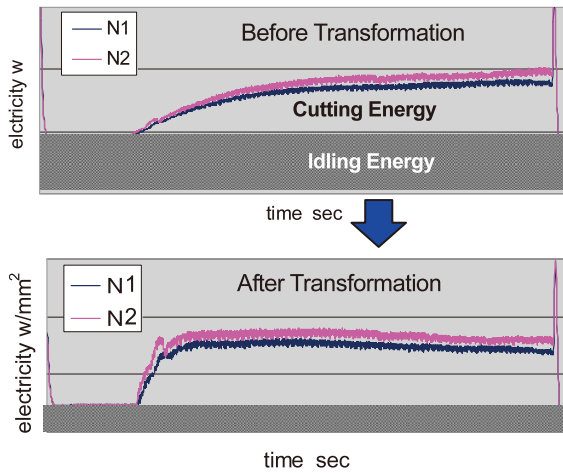


Fig.14 Transformation of Electric Energy

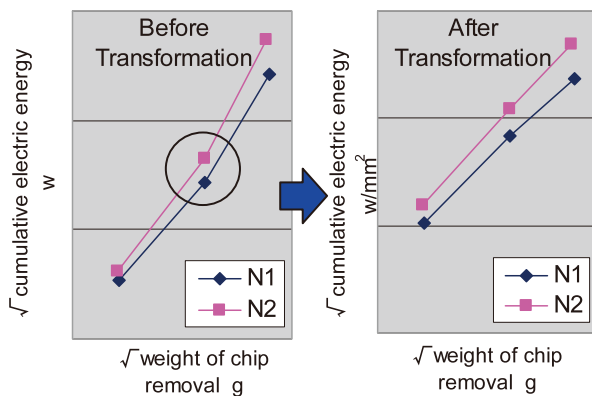


Fig.15 Generic Function

した。その数式は「切削長」と「単位時間あたりのカッターの送り量」の“積”で表される。単位切削断面積(1mm<sup>2</sup>)あたりの電力は計測電力をこの“積”(Fig.10①②, 机上計算値)で除して算出した (Fig.14)。この結果, 加工初期では消費エネルギーが少ないと思われていたが, 単位切削断面積あたりでは, 加工後期と同等のエネルギー量が費やされており, 仮説を検証できた。そして, 基本機能の関係グラフは線形となった (Fig.15右)。

### 3.3 信号因子と誤差因子

信号因子は切削除去量とし, カッターの切込み量を小・中・大で変化させた時の重量とした。除去重量は加工前後のテストピースを電子秤で計測し, その差から算出した。

次に誤差因子は, 加工によって生じる「ブレード摩耗の有無」と, ブレード組付け時に発生する「組付け高さのばらつき」とし, 出力小側をN1, 出力大側をN2として調査した (Table 1)。なお, ブレード摩耗品は, 実際にギヤ加工し限界摩耗品を準備した。本実験に先立ち, 加工時のカッター主軸電力波形の振幅とブレード摩耗との関係を確認するために, 予備実験を実施した。

その結果, ブレードが被削材と接する時に受ける瞬間的な負荷変動の大きさがブレード摩耗の進行を決定している可能性が高く, 電力波形の“振幅”が重要な評価指標となることが分かった。

Table 1 Noise Factors

|    | Blade Wear | Blade Hight Step |
|----|------------|------------------|
| N1 | no wear    | small            |
| N2 | wear       | large            |

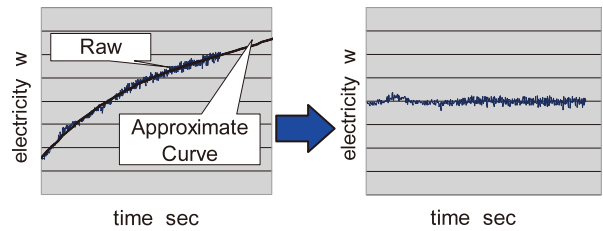


Fig.16 Standard Deviation  $\sigma$  of Waveform

Table 2 Control Factors and Levels

| Control Factors       | levels |        |       | units |
|-----------------------|--------|--------|-------|-------|
|                       | 1      | 2      | 3     |       |
| A. Blade Relief Angle | small  | large  |       | deg   |
| B. Feed Position      | small  | medium | large | deg   |
| C. Feed Angle         | small  | medium | large | deg   |
| D. Cutter RPM         | low    | medium | high  | rpm   |
| E. Feed End chip 1    | small  | medium | large | mm    |
| F. Feed End chip 2    | small  | medium | large | mm    |
| G. Feed End chip 3    | small  | medium | large | mm    |
| H. Feed End chip 4    | small  | medium | large | mm    |

### 3.4 SN比算出方法 (技術課題B)

上記を踏まえ, 今回の電力量評価では, “振幅のみ”を正確に抽出するため, 意図的に与えた誤差 (Table 1) と振幅の標準偏差  $\sigma$  を含めたSN比算出方法を採用した<sup>(1)</sup>。

まず計測した消費電力を単位切削断面積あたりの電力に変換した。次にこれを送り量による被削材とブレードの接触長・面積の変化の観点で3区間に分け, 各区間での累積電力値を算出した。

電力の標準偏差  $\sigma$  は, 区間ごとに波形データ (曲線部分) を3次関数で近似し, 生波形データとの差を取り出し算出した (Fig.16右)。更に, SN比算出式 (式12) の誤差分散の項に電力波形N1, N2の各区間での  $\sigma^2$  の平均を加え, SN比を算出した。

### 3.5 制御因子の水準と実験方法

制御因子は刃具諸元, 切削条件から8つの因子を抽出し, L18直交表に割り付けた (Table 2)。L18実験では, カッターホルダに2ペア (外刃, 内刃各2本) の合計4本のブレードを組付けた。これは実ラインの状態を再現するためであり, ブレード1本あたりの削り代が, ブレード26本全てが組付いている通常のカッターと同条件になるように, カッターの送り量を設定した。

### 3.6 実験結果と最適条件の決定

解析例として実験No.1の結果をTable 3, 4に示す。後述の計算式で各条件のSN比と感度を求め, 要因効果図を作成した (Fig.17, 18)。Fig.17から削り代を小さくする制御因子 (E, F, G, H) がSN比向上に影響が大きいことが分かった。特に“加工初期”の削り代を小さくする因子E

Table 3 Weight of Chip Removal and Consumption Electric Energy per Unit Area (Data No.1)

|      |  |    |        |        |        |
|------|--|----|--------|--------|--------|
| No.1 | √Weight of chip removal g                      | N1 | 4.64   | 8.63   | 11.55  |
|      |  | N2 | 4.65   | 8.67   | 11.63  |
|      | √Consumption electric energy w/mm <sup>2</sup> | N1 | 257.47 | 391.75 | 475.89 |
|      |  | N2 | 281.58 | 422.97 | 513.35 |

Table 4 Variance of Electric Energy in Each Section (Data No.1)

|                               |    |        |        |        |
|-------------------------------|----|--------|--------|--------|
| σ <sup>2</sup> w <sup>2</sup> |    | 1      | 2      | 3      |
|                               |    | N1     | 3449.1 | 5192.6 |
|                               | N2 | 4573.5 | 6633.1 | 8325.2 |

有効除数  $r_1 = 4.64^2 + 8.63^2 + 11.55^2 = 229.33$  (1)

$r_2 = 4.65^2 + 8.67^2 + 11.63^2 = 232.11$  (2)

全2乗和  $S_T = 257.47^2 + 391.75^2 + 475.89^2 + 281.58^2 + 422.97^2 + 513.35^2 = 967952.65$  (3)

線形式  $L_1 = 4.64 \times 257.47 + 8.63 \times 391.75 + 11.55 \times 475.89 = 10070.15$  (4)

$L_2 = 4.65 \times 281.58 + 8.67 \times 422.97 + 11.63 \times 513.35 = 10948.37$  (5)

比例項の変動  $S_\beta = \frac{(L_1 + L_2)^2}{r_1 + r_2} = 957390.60$  (6)

N × β の変動  $S_{N \times \beta} = \frac{L_1^2}{r_1} + \frac{L_2^2}{r_2} - S_\beta = 1224.24$  (7)

誤差変動  $S_e = S_T - S_\beta - S_{N \times \beta} = 9337.81$  (8)

誤差分散  $V_e = \frac{S_e}{4} = 2334.45$  (9)

調査誤差変動  $S_N = S_{N \times \beta} + S_e = 10562.05$  (10)

調査誤差分散  $V_N = \frac{S_N}{5} = 2112.41$  (11)

SN比  $\eta = 10 \log \left( \frac{\frac{1}{r_1 + r_2} \times (S_\beta - V_e)}{V_N + \frac{1}{6} (\sigma_{11}^2 + \sigma_{12}^2 + \dots + \sigma_{32}^2)} \right) = -5.78$  (12)

感度  $S = 10 \log \left( \frac{1}{r_1 + r_2} \times (S_\beta - V_e) \right) = 33.19$  (13)

が最も効果があった。これは削り代が小さいと切削時の電力波形の振幅が小さくなり、加工の安定化に大きく寄与することを表す。

このことから、加工初期で切削負荷の低減が加工システム全体の安定化の鍵であることが明確となった。以上の考察をもとに、加工の安定性からSN比の向上を重視し、A1B1C1D3E1F1G1H1を最適条件に決定した。次に、得られた最適条件と現行条件で確認実験を実施した。その結果、SN比の利得と感度の利得はともに再現性が得られた (Table 5)。ここでSN比の利得を真値に換算し直すと、加工システム全体のばらつき (標準偏差) が従来の60%に抑えられる。更に最適条件での実加工を実施し、電力の生データ波形の振幅を確認した。その結果、波形の標準偏差σ (3区間の平均) は従来の65%となり、実加工においても再現性があった。

この結果の妥当性を検証するため、切削断面積で割らな

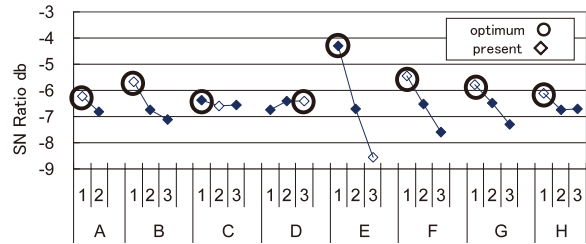


Fig.17 Graphs of Factorial Effects SN Ratio

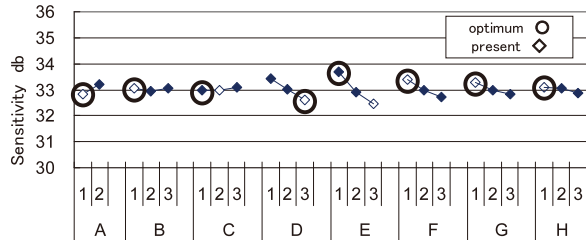


Fig.18 Graphs of Factorial Effects Sensitivity

Table 5 Results of Confirmation Experiments SN Ratio and Sensitivity

|         | SN Ratio db |              | Sensitivity db |              |
|---------|-------------|--------------|----------------|--------------|
|         | estimation  | confirmation | estimation     | confirmation |
| Present | -5.19       | -7.86        | 32.55          | 32.76        |
| Optimum | -0.92       | -3.34        | 34.2           | 34.74        |
| Gain    | 4.27        | 4.52         | 1.65           | 1.98         |

い従来法 (Fig.19) と標準SN比 (Fig.20) を用いたSN比算出を行い、結果を比較した。今回の単位切削断面積あたりの電力での評価では加工初期におけるN1とN2の電力差がより顕著となり、SN比の強弱が従来 (Fig.19, 20) よりも明確となった。これは加工初期の削り代の水準の効果の差として要因効果図に明確に表れている (Fig.17)。つまり、単位切削断面積あたりの電力での評価は、従来法 (Table 6) よりも検証精度が向上しており再現性も高く、その有効性も実証できた。このことから、仮説の妥当性を実証できたとともに、技術課題A, Bの解決が効いていることがわかる。

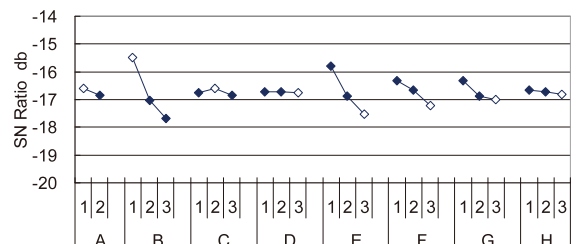


Fig.19 Graphs of Factorial Effects SN Ratio Calculated by Conventional Methods

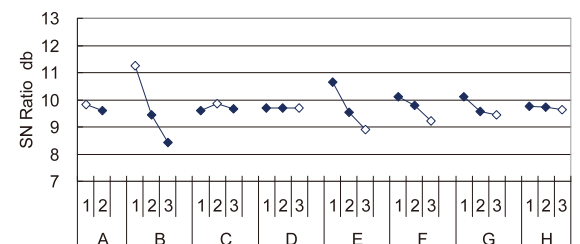


Fig.20 Graphs of Factorial Effects SN Ratio Calculated by Standard SN Ratio

Table 6 Results of Confirmation Experiments  
Conventional Methods and Standard SN Ratio

|         | by Conventional Methods |              | by Standard SN Ratio |              |
|---------|-------------------------|--------------|----------------------|--------------|
|         | SN Ratio db             |              | SN Ratio db          |              |
|         | estimation              | confirmation | estimation           | confirmation |
| Present | -15.16                  | -18.06       | 11.57                | 8.73         |
| Optimum | -13.55                  | -17.32       | 13.08                | 9.46         |
| Gain    | 1.61                    | 0.74         | 1.51                 | 0.73         |

#### 4. 効果の確認

導出した最適加工条件を'08年10月からドライブピニオンの量産工程に適用した。荒加工から仕上げ加工まで通した効果を以下の通り確認した。

- ・歯面の粗さ (Ra) : 35%向上
- ・ブレード摩耗 (大チップング) : ゼロ達成
- ・刃具寿命: 30%延長, 刃具費: 約25%削減

更に、リングギヤ加工においても、上記と同等の効果を確認した。

#### 5. まとめ

今回、ハイポイドギヤ加工を対象に、切削負荷が絶えず変化する加工システムにも対応できる技術評価プロセス (単位切削断面積あたりの電力で評価) を導出し効果を刈取することで、その有効性を実証できた。この評価プロセスを適用することで、従来の問題点であった刃具寿命 (結果系指標) についても大幅な効果を確認した。

この結果には、技術課題A, Bの解決方法の提案・適用が大きく寄与し、複雑な加工メカニズムを正確に再現できたといえる。

更に、今回の基本機能とアプローチは、切削負荷が絶えず変化する加工システム (ホブ加工やドリル加工の食いつき時の微細評価など、他部品・他領域) に汎用的かつ有効的に適用できると考えられる。今後も更なるロバスト性追究を狙い、活動の深化 (今回設定していない制御因子・水準や誤差因子を含めた再実験など) と展開を継続しつつ、実効を刈取ってゆく所存である。

#### 参考文献

- (1) 早川幸弘ほか: 電力による旋削加工条件の最適化, 機械技術, 第55巻, 第7号, p36-41 (2007)

#### ■ 著 者 ■



三石智洋



松岡保道



樋口昭彦



坂東武夫

## 鞭打ち傷害低減シートの開発 Development of Seat to Reduce Whiplash Injuries

松村 広隆<sup>\*1</sup> 横山 暢彦<sup>\*2</sup> 西田 靖彦<sup>\*3</sup>  
Hiroataka Matsumura Nobuhiko Yokoyama Yasuhiko Nishida  
上野 正樹<sup>\*4</sup> 尾川 茂<sup>\*5</sup>  
Masaki Ueno Shigeru Ogawa

### 要約

市場事故での死傷者数低減の観点から、追突事故で発生する鞭打ち傷害の低減は重要課題である。本稿では、鞭打ち傷害の発生要因となる首の歪曲を評価する傷害値指標NIC (Neck Injury Criterion) の低減に着目し、これを低減する分析手法を紹介する。まずシート構成部品の機能を明確化してパラメータを決定した後、CAE解析を活用して品質工学に基づくパラメータ分析を実施し、部品特性を最適化した。その結果、NICを現状より約28%低減できる部品特性の最適バランスを見出した。

### Summary

It is extremely important to reduce whiplash injuries caused by rear-end crash accidents from the viewpoint of decrease in the number of collision casualties in the real world. This paper focuses on how to reduce NIC (Neck Injury Criterion) that is an indicator to assess the distortion of the neck during the whiplash accidents with analytical methods. First parameters were determined by clarifying the function of the components of the seat, and then the characteristics of the each seat component were optimized by parametric study based on quality engineering. As a result, the analytical methods led to the optimal balance of seat component properties that can reduce NIC by 28%.

## 1. はじめに

### 1.1 市場事故データ

Fig.1に示す2008年の警視庁事故統計データによると、日本国内で発生した衝突事故の31%が追突で、最も多い事故形態である<sup>(1)</sup>。更に、ITARDA (助交通事故総合分析センター) の調査によると、追突事故における被追突車両の乗員の約87%が頸部に軽傷を負う、いわゆる鞭打ち傷害となっている<sup>(2)</sup>。鞭打ち傷害は生命を脅かすほどの傷害ではないものの、市場での発生頻度が高く、傷害を負う乗員が多い。そのため、市場事故における死傷者数低減の観点から、鞭打ち傷害の低減は重要な課題であり、各自動車メーカーは研究に力を入れている。

### 1.2 鞭打ち傷害低減性能評価の動向

こうした状況下、世界市場では鞭打ち傷害の低減性能を

評価する動きが拡大している。Table 1に示したトレンドのように、米国のIIHS (Insurance Institute for Highway Safety)、欧州のENCAP (European New Car Assessment Program) で評価が実施されており、日本でも2009年からJNCAP (Japan New Car Assessment Program) の評価に追加された。これらの市場評価で、鞭打ち傷害低減に有効

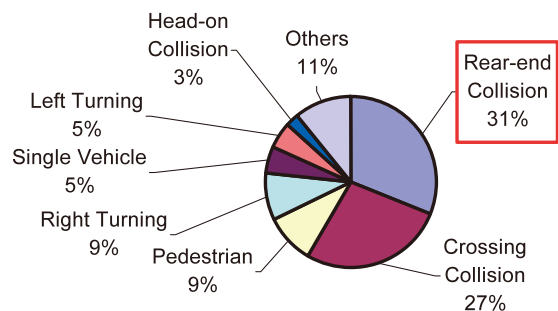


Fig.1 Percent of Collision by Crash Type

\*1~5 衝突性能開発部  
Crash Safety Development Dept.

Table 1 Market Test Trend

|     |           | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|-----|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| USA | IIHS      | ★    | →    | →    | →    | →    | →    | →    | →    |
| EU  | Thatcham* | ★    | →    | →    | →    | →    | →    | →    | →    |
|     | ENCAP     |      |      |      |      | ★    | →    | →    | →    |
| JPN | JNCAP     |      |      |      |      |      | ★    | →    | →    |

\*Research Centre established by British Insurers      ★Test Start

とされるシート構造のひとつに、アクティブヘッドレスト機構（以下AHR）がある。AHRとは、乗員の頭部を素早く支えるため、被追突時に瞬時にヘッドレスト（以下HR）を前方、および上方へ移動させる機構の総称である。当社でも鞭打ち傷害の低減施策としてAHRを開発し、アクセラ（2009 Model Year）に搭載しており、米国IIHSでは『Good』、欧州ENCAPでは鞭打ち評価を含めた総合評価で『5星』という高い評価結果を得ている。

本論文では、AHRの更なる性能向上のため、CAE解析を活用した品質工学に基づくパラメータ分析を実施し、既存シートの部品特性を最適化した結果を報告する。

## 2. 鞭打ち傷害評価指標の概要

### 2.1 鞭打ち傷害評価方法

鞭打ち傷害の評価方法として一般的に実施されているBioRID II ダミーを用いた試験方法について説明する。BioRID IIとは鞭打ち傷害評価用に開発された後突用のダミーであり、試験はFig.2に示すようにBioRID II、シートおよび被追突時の衝突パルスを再現可能なスレッド試験装置を用いて実施する。まず、試験装置の台上にシートを固定し、シート上にBioRID IIを着座させる。そこにFig.3に示すような衝突パルス（ $\Delta V=16\sim 24\text{km/h}$ 相当）を与える。鞭打ち評価では被追突側車両の挙動を再現するため、シートが前方に移動する方向に衝突パルスを与える。このとき、ダミー各部の計測装置（荷重計、加速度計等）のデータから、頸部に発生する傷害値を算出して評価する。

### 2.2 鞭打ち傷害の評価指標NICについて

被追突時の頸部周辺はFig.4に示す挙動が発生し、特にPhase2の歪曲、Phase3の後屈により鞭打ち傷害が発生すると考えられている<sup>(3)</sup>。鞭打ち傷害の評価指標はNIC (Neck Injury Criterion)<sup>(4)</sup>、Fx（首上部のせん断荷重）、HRV（Head Rebound Velocity：頭部の反発速度）等がある。NICは頸部の歪曲を評価する代表的な指標であり、ENCAP・JNCAPに採用されている。今回は、このNICの低減による頸部の歪曲の抑制に注力してシート特性の最適化を実施した。

以下、NICについて説明する。NICはダミーの頭部中心、および第一胸椎（以下T1）の前後方向の相対加速度、および相対速度により算出される傷害値であり、正の値の最大値で評価される。NICの計算式を以下に示す。

$$NIC(t) = 0.2 \times A_{rel}(t) + (V_{rel}(t))^2 \quad [\text{m}^2/\text{s}^2] \quad (1)$$

$$A_{rel}(t) = A_x^{T1}(t) - A_x^{Head}(t) \quad (2)$$

$$V_{rel}(t) = V_x^{T1}(t) - V_x^{Head}(t) \quad (3)$$

ここで

$$A_x^{T1}(t) : \text{T1 x-acceleration} \quad [\text{m}/\text{s}^2]$$

$$A_x^{Head}(t) : \text{Head x-acceleration} \quad [\text{m}/\text{s}^2]$$

$$V_x^{T1}(t) : \text{T1 x-velocity} \quad [\text{m}/\text{s}]$$

$$V_x^{Head}(t) : \text{Head x-Velocity} \quad [\text{m}/\text{s}]$$

理論上では式(2)、(3)がゼロ、つまり頭部中心とT1の相対加速度と相対速度が常にゼロであればNICは発生しない。しかし、一般的な前席乗員の着座姿勢を考えると、通常は頭部とHRが離れた状態で着座している。そのため、被追突時にHRによる頭部の拘束が遅れ、頭部とT1に挙動差が生じてNICが発生する。

NICの計算式とこれまでの研究結果から、NICの低減コンセプトとして、①頭部の拘束タイミングを早くすること、②T1の拘束力を弱めること、が重要であるとされている<sup>(5)</sup>。

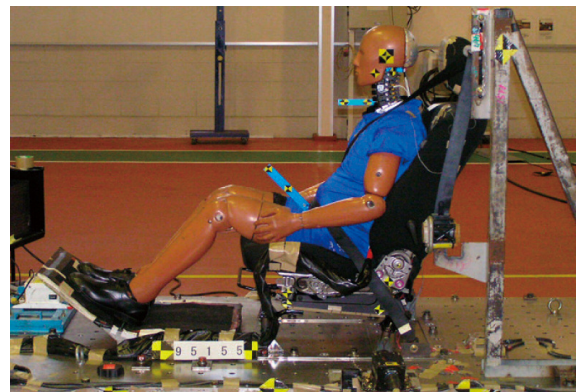


Fig.2 Sled Test

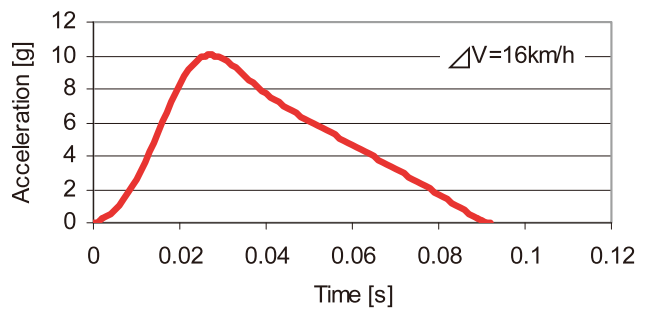


Fig.3 Crash Pulse (IIHS, ENCAP-MIDpulse)

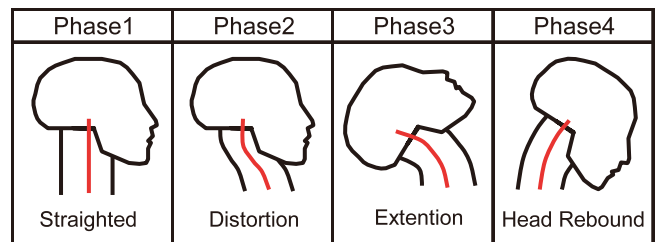


Fig.4 Whiplash Movement

### 3. 品質工学に基づくパラメータ分析方法

#### 3.1 CAE解析モデル

BioRID II による鞭打ち傷害評価試験を再現したCAE解析モデルをFig.5に示す。CAE解析モデルはダミーモデル、シート単体のFEモデルおよび試験パルスを与えるためのフロアモデルにより構成される。解析ソルバは非線形構造解析ソフトであるLS-DYNA (Ver.971) を用い、ダミーモデルはDYNAmore社製のBioRID II ダミーモデル (Ver.2.5) を使用した。

#### 3.2 パラメータ選定

当社のAHR構造をFig.6に示す。シートバックフレームに取り付けられたインナフレームの受圧板で乗員腰部の慣性力を受け、この力でインナフレーム全体が振り子状に動き、HRを前に移動させる構造である。今回の分析に用いたパラメータをFig.7, Table 2に示す。パラメータの選定は、鞭打ち傷害のメカニズムに基づきシート各部件の機能を明確にした後、開発エンジニアの知見により、AからLまでの12項目を選定した。

#### 3.3 品質工学に基づくパラメータ分析

パラメータ分析は品質工学の考え方にに基づき、2段階設計により最適化を実施した。計算回数効率化から、直交表は8パラメータを同時に検証可能とするためのL18直交表を用いた。

まず、STEP1として、12項目のパラメータの中から、特に寄与度の高い8項目を選択し、ロバスト性の向上に着目して最適特性を求めた。続いて、STEP2として、STEP1の結果の中から、寄与度の高いパラメータ4項目とSTEP1で未検証の残り4項目を用いて、傷害値の低減に最適な特性を求めた。

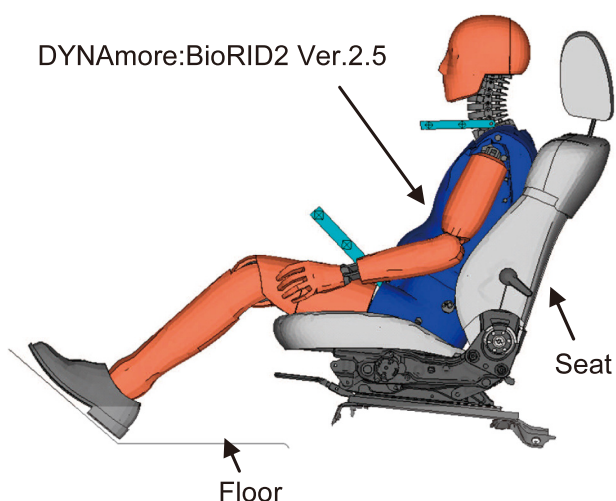


Fig.5 CAE Analysis Model

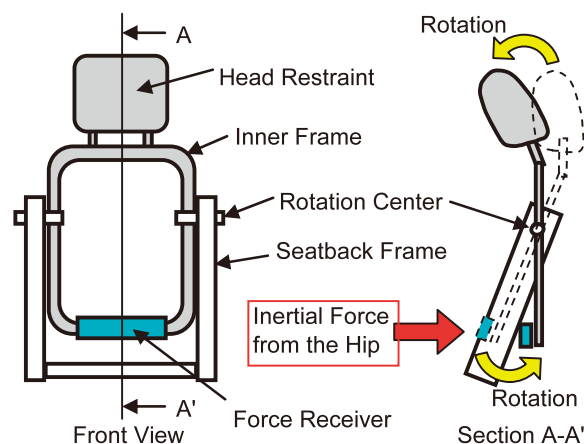


Fig.6 Active Head Restraint Mechanism

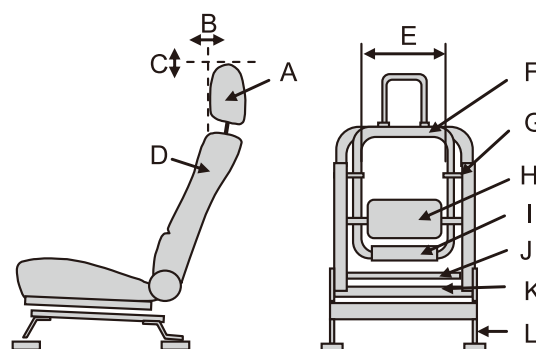


Fig.7 Parameters

Table 2 All Parameters

| Parameter                  | Level |        |       |
|----------------------------|-------|--------|-------|
|                            | 1     | 2      | 3     |
| A Head Restraint Stiffness | High  | Normal | Low   |
| B Head Restraint Backset   | Front | Normal | Rear  |
| C Head Restraint Height    | High  | Normal | Low   |
| D Seat Back Stiffness      | High  | Normal | Low   |
| E Inner Frame Width        | Wide  | Normal |       |
| F Inner Frame Stiffness    | High  | Normal | Low   |
| G AHR Locking System       | Add   | Non    |       |
| H Lumbar support Stiffness | High  | Normal | Low   |
| I Force Receiver Area      | Large | Normal | Small |
| J Lower Rod Stiffness      | High  | Normal | Low   |
| K Lower Plate Stiffness    | High  | Normal | Low   |
| L Seat Lifter Stiffness    | High  | Normal | Low   |

### 4. 結果および考察

#### 4.1 STEP1ロバスト性の改善

STEP1の検討パラメータと最適特性をTable 3, SN比の要因効果図をFig.8に示す。NICのロバスト性に対してはA: HRウレタン強度, B: HR前後位置, の寄与度が高い結果が得られ, SN比が高い特性を最適特性とした。これにより, Fig.9の模式図に示すように, 現状からのバラつき幅は約31%改善, 中央値は50%悪化という結果を得た。ここでは中央値の悪化は問題とせず, パラメータのA, B, CおよびDは寄与度が高いためSTEP2で引き続き検証することとし, 残りのE, H, IおよびLはTable 3に示す最適特性を採用し, これをSTEP2のベースモデルとした。

Table 3 STEP1 Parameters

| STEP1 Parameter |                          | Level |        |       | Optimum Characteristic |
|-----------------|--------------------------|-------|--------|-------|------------------------|
|                 |                          | 1     | 2      | 3     |                        |
| A               | Head Restraint Stiffness | High  | Normal | Low   | A3 Low                 |
| B               | Head Restraint Backset   | Front | Normal | Rear  | B3 Rear                |
| C               | Head Restraint Height    | High  | Normal | Low   | C1 High                |
| D               | Seat Back Stiffness      | High  | Normal | Low   | D3 Low                 |
| E               | Inner Frame Width        | Wide  | Normal | Low   | E1 Wide                |
| H               | Lumbar support Stiffness | High  | Normal | Low   | H2 Normal              |
| I               | Force Receiver Area      | Large | Normal | Small | I1 Large               |
| L               | Seat Lifter Stiffness    | High  | Normal | Low   | L1 High                |

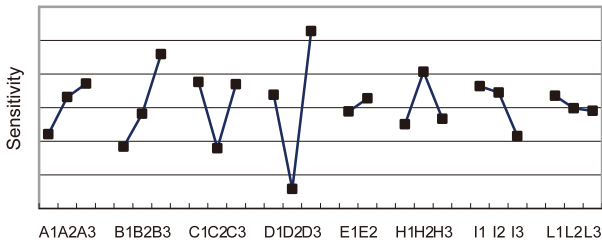


Fig.8 Sensitivity of STEP1 Parameters

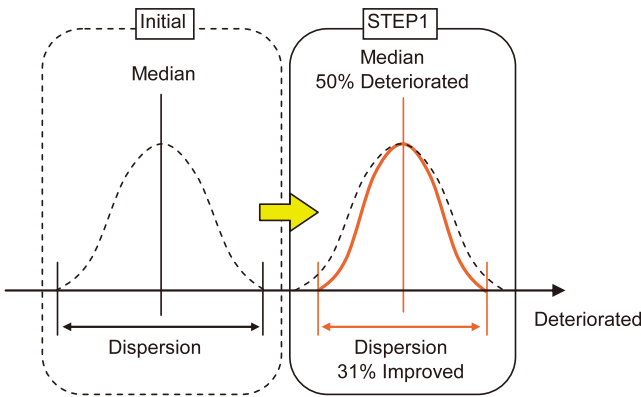


Fig.9 STEP1 Results

4.2 STEP2傷害値の改善

STEP2の検討パラメータと最適特性をTable 4, 感度の要因効果図をFig.10に示す。NIC低減に対してはA: HRウレタン強度, B: HR前後位置, D: バックウレタン強度, F: インナフレーム強度の寄与度が高い結果が得られ, 感度が下がる特性を最適特性とした。これにより, NICはFig.11の模式図に示すように現状からのバラつき幅は約10%改善し, 中央値は約28%改善する結果を得た。

STEP2により, 頭部の拘束タイミングを遅くすること, 頭部の拘束力を弱めること, T1の拘束力を高めることがNICの低減を可能とする結果を得た。しかし, これはNIC低減の従来コンセプトの①頭部の拘束タイミングを早くすること, および②T1の拘束力を弱めること, と相反する結果である。

4.3 パラメータ分析結果の考察

従来コンセプトと異なる結果によってNICが改善された要因を分析するため, STEP2のベースモデルと最適モデルについて, 頭部とT1の加速度およびNICの波形を比較した。

Fig.12に示すSTEP2ベースモデルの頭部加速度は, 初期ピークは高いが, その反発でピーク後に急激に加速度が低下しており, 逆にT1では, 頭部と入れ替わって加速度が高まる。このタイミングでの頭部とT1の相対加速度が大きくなり, Fig.14に示すような高いNICが発生している。これに対し, Fig.13の最適モデルは, 頭部とT1の加速度波形が一致しているため, 相対加速度が小さく, Fig.14に示すようにNICが低い。

以上の結果から, ベースモデルは従来コンセプトの頭部の拘束タイミングを早め, T1の拘束力を弱めることが過剰になりすぎていたことが要因で, 頭部とT1に挙動差が発生し, NICが高くなったと考えられる。品質工学に基づきシート各 부품のパラメータ分析を実施することにより, 従来コンセプトで過剰となっていた特性を最適化し, 全体のバランスが改善され, NICが低減できたといえる。

Table 4 STEP2 Parameters

| STEP2 Parameter |                          | Level |        |      | Optimum Characteristic |
|-----------------|--------------------------|-------|--------|------|------------------------|
|                 |                          | 1     | 2      | 3    |                        |
| A               | Head Restraint Stiffness | High  | Normal | Low  | A3 Low                 |
| B               | Head Restraint Backset   | Front | Normal | Rear | B3 Rear                |
| C               | Head Restraint Height    | High  | Normal | Low  | C3 Low                 |
| D               | Seat Back Stiffness      | High  | Normal | Low  | D1 High                |
| F               | Inner Frame Stiffness    | High  | Normal | Low  | F3 Low                 |
| G               | AHR Locking System       | Add   | Non    | Low  | G2 Non                 |
| J               | Lower Rod Stiffness      | High  | Normal | Low  | J3 Low                 |
| K               | Lower Plate Stiffness    | High  | Normal | Low  | K3 Low                 |

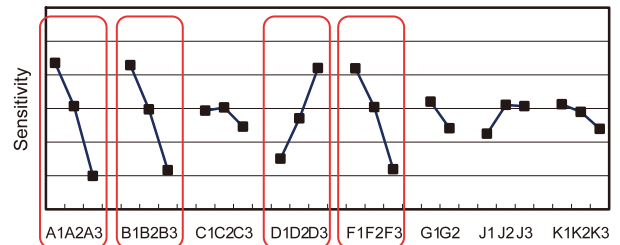


Fig.10 Sensitivity of STEP2 Parameters

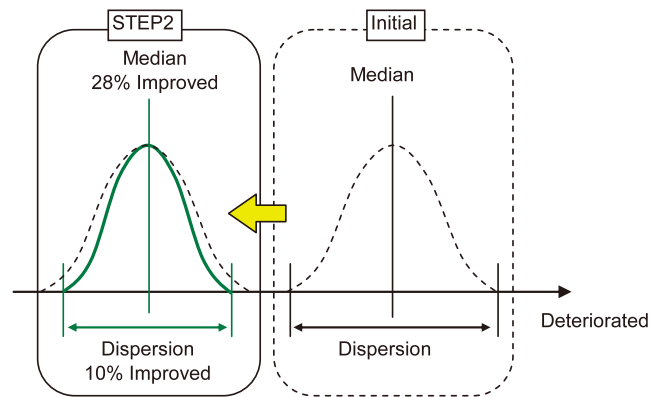


Fig.11 STEP2 Results

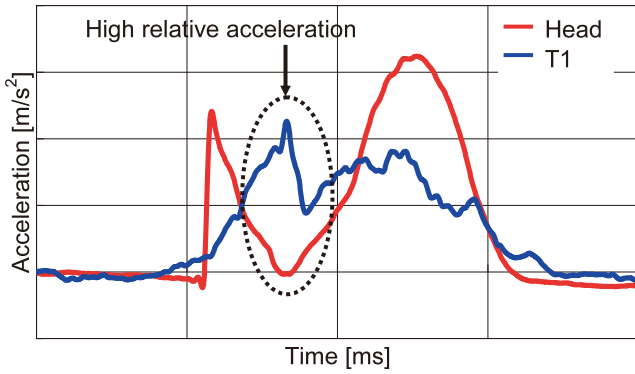


Fig.12 Initial Model Acceleration Pulse

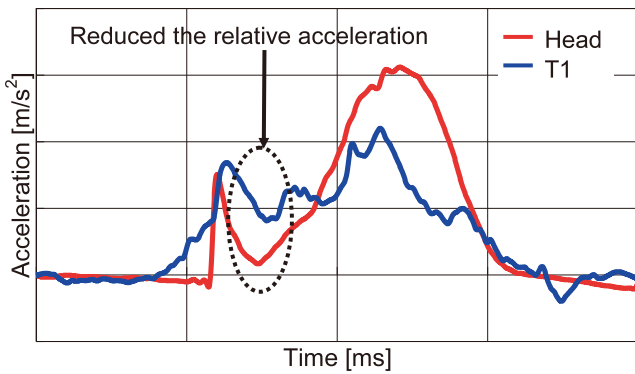


Fig.13 Optimum Model Acceleration Pulse

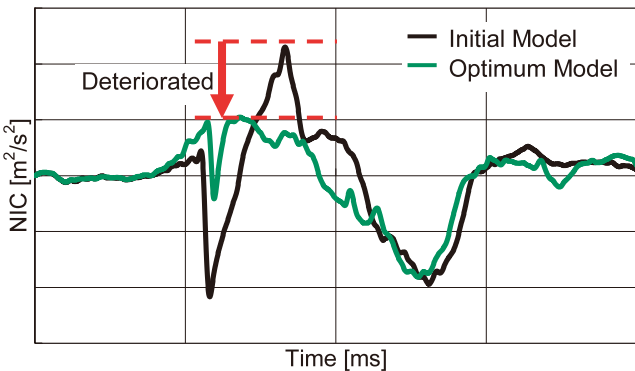


Fig.14 NIC Pulse

### 5. 結言

本研究によりNICの低減について以下の結果を得た。

- ① 品質工学に基づいたパラメータ分析によりNICに対して寄与度の高いシートパラメータを明確にした。
- ② シートの部品特性を最適化することでNICのロバスト性を約10%改善し、傷害値を約28%低減した。
- ③ NICの低減には、頭部の拘束を早めつつ乗員の拘束バランスを考慮し、頭部と第一胸椎 (T1) の挙動差を発生させないことが重要である。

### 6. おわりに

今回の研究によりAHRによるNICの大幅な低減が可能となった。今後も更なる研究を進め、追突事故による鞭打ち症の受傷者数ゼロを達成可能なシートの開発を実現し、より安全な車を全てのお客様の元へ届けたい。

### 参考文献

- (1) 警視庁交通局：平成20年中の交通事故の発生状況 (2009)
- (2) ITARDA (財交通事故総合分析センター)：ITARDA INFORMATION,66 (2007)
- (3) Muser et al.：Biomechanical Significance of the Rebound Phase in Low Speed Rear End Impact, International IRCOBI Conference (2000)
- (4) Boston et al.：A new neck injury criterion candidate based on injury findings in the cervical spinal ganglia after experimental neck extension trauma, IRCOBI Conference (1996)
- (5) 金子直樹ほか：鞭打ち低減シートの開発, マツダ技報, 15, 23 (2005)

### ■ 著 者 ■



松村広隆



横山暢彦



西田靖彦



上野正樹



尾川 茂



論文・解説

18

## ランプ内結露現象分析のためのCAE技術開発 CAE Technology to Analyze Dew Condensation in Lamp

高田 俊穂\*<sup>1</sup> 井上 実\*<sup>2</sup>  
Toshio Takata Minoru Inoue

### 要 約

ヘッドランプなど車両用のランプは、重要保安部品であるとともに、エクステリアデザインを表現する重要な部品である。そのため、ランプ外表面のレンズに素通しを採用して、ランプ内部の凝ったデザイン処理をより際立たせる設計が一般的になった。最近のランプ設計においては、このレンズ表面と内面の温度差に起因する結露現象を抑制することが、重要な検証項目の一つとなっている。従来、この結露性能検証は実機試験に頼らざるを得なかったため、設計の効率化が阻害されていた。この課題解決のために、ランプレンズ内面に生じる結露の発生メカニズムを分析した。そして、ランプユニット内部温度分布の変化によって生じる空気の流れが、結露を左右する重要な因子のひとつであることを究明した。更に、この自然対流を予測しながら効率的に設計するためのCAE技術を構築した。

### Summary

Head lights and other vehicle lights play an important role not only for vehicle safety but also for exterior design. Therefore, the design of light has increasingly focused on how to accentuate the intricate design execution behind a lens and, accordingly, transparent outer lens has become dominant. As the result, dew condensation caused by temperature difference between outer surface and inside of lens has become one of the major issues to be validated in designing lights. Conventionally, the dew condensation had been evaluated mainly in physical tests, which encumbered the development efficiency. To improve this situation, we analyzed the mechanism of dew condensation generated behind a lens and identified natural air convection caused by temperature distribution change in a light unit as one of the critical factors. We have developed CAE technology to efficiently design lights by forecasting this natural convection.

### 1. はじめに

ヘッドランプに代表される車両用の灯火器は視認性、被視認性に関わる重要保安部品であるとともに、エクステリアデザインを表現する重要な部品としても位置付けられる。

マツダのデザインにおいても、ランプ外郭デザインは大型化し、ランプ内部の凝ったデザイン処理をより際立たせる設計に移行している。そのため、ランプ表面を覆っているレンズは素通しでクリアな設計を行うことが定常化し、

その表面積も拡大傾向にある。

一方、このレンズはランプユニット内部環境と外気環境の境界に位置付けられる部品であり、使用環境においてはこのレンズ内面に自然現象である結露が生じ外観品質を損なう場合がある。前述の設計推移とともに、この結露現象の抑制と、実機試験に頼らない効率的な設計検証手法の確立が大きな課題であった。

\*1, 2 装備開発部  
Interior & Exterior Components Development Dept.

## 2. ランプ内結露現象のメカニズム究明

### 2.1 設計因子の明確化

ランプの結露性能を左右する設計因子を抽出し、それらの因果関係を分析していくことにより、結露発生メカニズムと設計で考慮すべき因子を明確にした。主要な因子は次の三つである。

#### (1) 材料

ランプの構成部品は使用部位の温度環境や生産性を考慮し、様々な樹脂材料を使用している。樹脂材料は水分を吸収し、環境温度が上昇するとその水分を放出する特性をもっており、その特性は材料ごとに異なる。従って、設計時の材料選定時はこうした特性を配慮する必要がある。

#### (2) ランプ内部温度分布

ランプレンズ内面の結露現象はランプ内部の温度が上昇した際、レンズ表面が急冷される場合に顕著に発生する。従って外気環境や、ランプ電球類の発熱、エンジンルーム温度環境などを配慮する必要がある。

#### (3) ランプ内部空気の熱対流

ランプ内部温度の分布に伴ない、ランプ内の空気は熱対流現象を生じる。この対流の違いにより、結露発生や結露解消の状況が左右される。構造設計において最も重要な因子である。

### 2.2 設計活動における課題

構造設計において、ランプ内部の熱対流特性の適正化が結露性能改善に重要であるが、効率的な商品開発を行うためには、実機テストに頼らない設計検証技術の確立が課題であった。この課題解決のために確立した設計段階のインプロセスCAE技術に関して以下述べる。

## 3. CAE解析手法

### 3.1 CAE解析概要

#### (1) ランプ内部流れ解析に求められる要件

ランプ内部の結露現象を、CAE解析にて厳密に評価しようとする、以下の多くの物理現象を扱う必要がある。

- ① 発熱
- ② 温度境界条件／温度分布／温度変化
- ③ 熱伝導・熱伝達
- ④ 熱対流（密度成層・浮力）
- ⑤ 湿度・結露
- ⑥ 熱輻射

また、再現すべき物理現象あるいは実機評価モードは過渡（～時刻により変化する）現象である。これらの全項目を考慮したCAE解析を実施するためには、特性データ収集・モデル作業工数・必要ハードウェアリソース・計算時間等膨大なものとなる。

一方で我々設計現場においては、常に開発期間の短縮と高品質アウトプットの両立を要求されており、解析検討に

おいても必然的に短期間での完了が求められている。ランプ内部の流れ解析も、1仕様につき1週間以内、できれば数日程度で完了したい。しかし通常的设计現場では、CAE解析用の高速64bitCPUや大容量メモリを装着したPC・EWSが利用できない場合がほとんどである。

#### (2) 開発したランプ内部流れCAE解析の仕様

前述の状況および前章で述べたメカニズム究明活動の結果、最低限考慮すべき要件はランプ内部がバルブの発熱や太陽光によって温度分布を生じて熱対流を起こしている状況を再現できることであると考えた<sup>(1)</sup>。この結果、熱輻射についてはモデル化せず、簡易的に影響を取り込むために、実機計測結果のランプ表面温度分布を温度境界条件として与えた。湿度・結露についてはメカニズム究明活動の成果として結露の発生しにくい流れ状態・特性目標を明確化できたため考慮しないこととした。

また本手法では、実機評価条件において熱対流現象が最も激しく発生している時点の流れを再現することを主目的と考え、現象としては定常流れとし計算時間の最小化も図った。これらの結果、評価条件としては、発熱・伝熱を考慮した固体-流体定常熱流れ解析となった。

そして作業時間の短縮および設計者が一般的な作業環境でも解析・結果分析等の作業が行えることを考慮して、標準的なメッシュサイズは3mm程度とするとともに表面形状メッシュ作成においては、構造解析で定評のあるHyperworksを活用し、構造解析とのデータ流用や作業ノウハウの活用も行った。これらの結果、Tetra要素で作成したモデル規模は、200万から500万要素程度となり、標準的なヘッドランプの場合、2週間程度で1仕様のモデル作成～結果分析が可能となった。この際1仕様あたりの計算時間は弊社の一般的スーパーコンピュータ環境の8CPU並列計算で4～6時間程度である。

### 3.2 解析モデル

解析は汎用熱流体解析ソフトSTAR-CDを用いてモデル作成および計算実施を行った。換気穴については、評価モデル毎に位置や数が異なり、モデル作成時点でどの穴が吸込口・吹出口になるか不明である。従って全ての換気穴に圧力境界条件を適用し計算結果として判断する形とした。壁面には、No slip条件および一般化対数側（Generalized Log-Law）を適用した。Fig.1にヘッドランプ解析モデルの例を示す。またFig.2には固体として考慮したヘッドランプ内部の樹脂部品やバルブ等を示す。固体部分には、熱伝導率・比熱等の特性値を付与するとともに、発光するバルブにはワット数・熱変換の効率に応じた発熱を与えている。そして解析では固体-流体の熱連成問題を解いている。

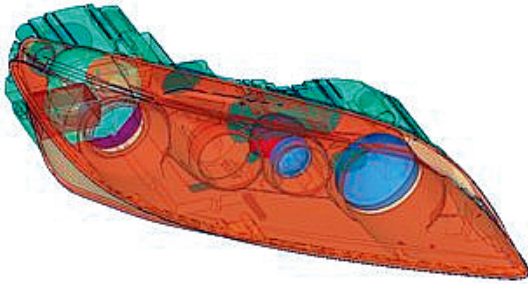


Fig.1 Head Lamp Model (Surface of Fluid Part)

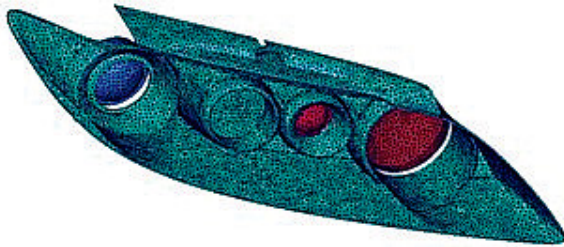


Fig.2 Head Lamp Model (Solid Part)

3.3 CAE適用例

ヘッドランプへの適用例を示す。以後に示す解析結果は、車両停止/アイドリング運転状態で、標準灯点灯/ランプ表面に水をシャワーという条件でランプ内部流れ・温度等を求めたものである。車両外側の点灯させたバルブ中央付近上下断面での、温度分布 (Fig.3: 単位℃) と流速分布 (Fig.4: 単位m/s) を示す。またFig.5には流線を示す。

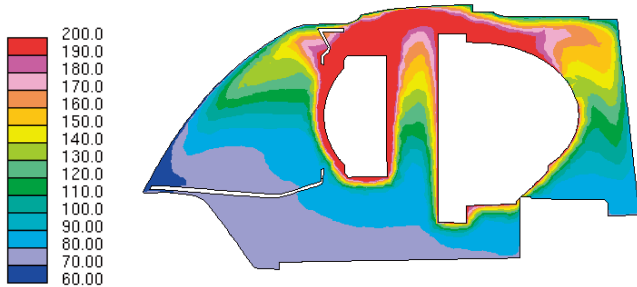


Fig.3 Temperature Contours at Outermost Bulb

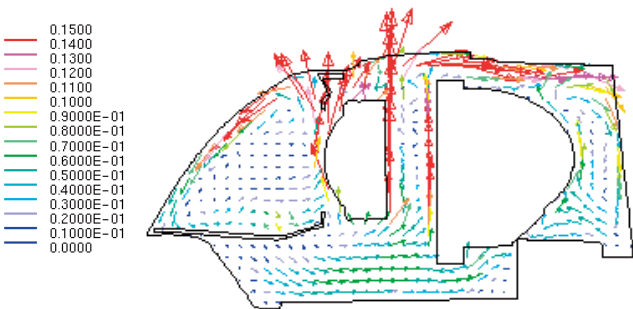


Fig.4 Velocity Distributions at Outermost Bulb

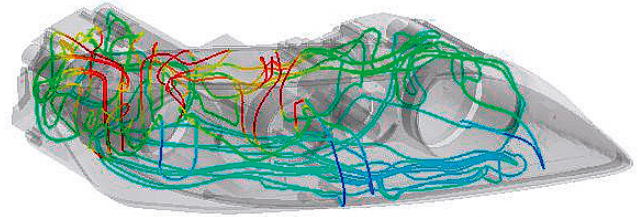


Fig.5 Streamlines Inside Headlamp Unit

Fig.3およびFig.4から、発熱しているランプ周辺で上昇流が発生し、それが上面に達すると前後に分かれて下降流となっている様子が観察できる。ランプ内の最大流速は0.82m/sを示しているが、全般的には高々0.2m/s程度の低速な熱対流状態となっている。またFig.5からは流れは車両前後・上下方向の流れだけではなく、ベゼルとハウジング・レンズ間の隙間を通過して、左右(車両横)方向にも及ぶ立体的なものであることが分かる。

3.4 CAEによる設計変更検討例

3.3と同じモデルによる設計検討例を以下に示す。Table 1にはベースに対して加えた穴塞ぎや面積拡大あるいは穴・詰め物追加等の仕様変更内容を示す。

Table 1 Case Study on Holes and Others

|               | Base | Spec.-1      | Spec.-2               | Spec.-3     | Spec.-4                     |
|---------------|------|--------------|-----------------------|-------------|-----------------------------|
| Hole#1        | Base | Base         | Extended area to 400% | Base        | Extended Area to 320%       |
| Hole#2        | Base | Hole deleted | Hole deleted          | Base        | Base                        |
| Hole#3        | Base | Base         | Base                  | Base        | Base                        |
| Hole#4        | Base | Hole deleted | Hole deleted          | Base        | Extended Area to 300%       |
| Other Changes | N/A  | N/A          | N/A                   | Add 2 Holes | Add 4 Holes & 2 Solid Parts |

Table 2には、計算によって得られた、各仕様におけるランプから排出・換気される時間当たり空気量と、ランプ内の空気体積に対する時間当たり換気回数を示す。

Table 2 Exhausted Air Volume and Ventilation Cycle

|                      | Base | Spec.-1 | Spec.-2 | Spec.-3 | Spec.-4 |
|----------------------|------|---------|---------|---------|---------|
| Exhausted Air Volume | 56.0 | 32.3    | 127.8   | 48.7    | 425.6   |
| Air Charge Rate      | 7.1  | 4.1     | 16.2    | 6.2     | 54.3    |

Table 2からは、仕様によって時間当たりの換気空気量が32.3から425.6L/h、換気回数が4.1から54.3回/hと10倍以上も大きく異なり、換気口の仕様と内部流れとが密接に関係していることが分かる。

そこで、実機評価条件によっては曇りが発生しやすい、車両内側のハイビームバルブ中心付近の上下断面における、空気の流れをベース、仕様①および仕様④についてFig.6~Fig.8に示す。表示条件は前出のFig.4と同一である。

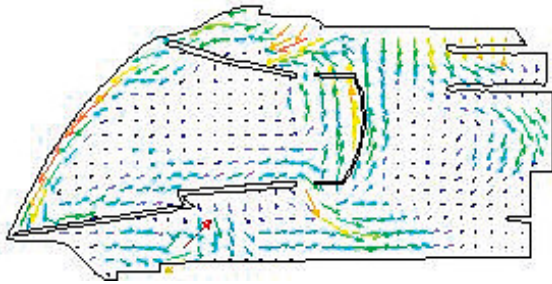


Fig.6 Velocity Vector Distributions (Base)

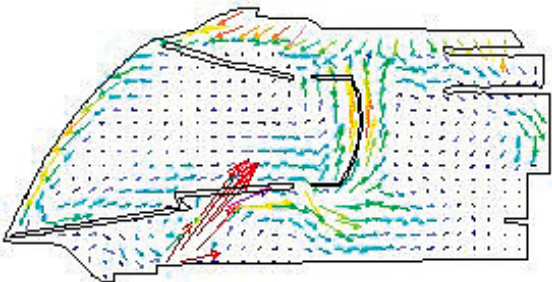


Fig.7 Velocity Vector Distributions (Spec.-1)

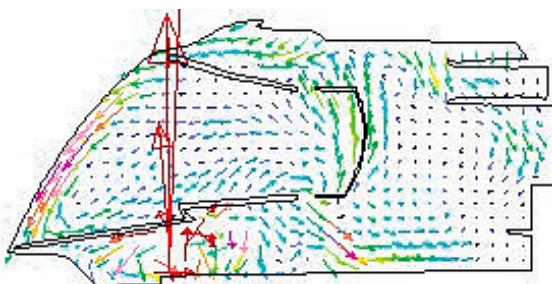


Fig.8 Velocity Vector Distributions (Spec.-4)

表示した断面位置では下方付近に換気口があるため、仕様によって図下側の速度の大きさ・向きが変化していることにまず気づくが、注目すべきは結露現象と密接に関係していると考えられる図では左側のレンズ面近傍の流れ状態である。Fig.6のベースでは0.11~0.12m/s程度であるのに対して、Fig.7では0.1~0.11m/sと若干低下する傾向が見られるとともにレンズ面近傍の流れが弱くなっている様子が観察できる。Fig.8では0.13~0.14m/sと流速値の上昇とともにレンズ面近傍の流れが活発であることが観察できる。これらはTable 2に示した換気量・回数の関係とも対応しており、ランプ内部構造や換気口の諸元・仕様を変化することでレンズ近傍の流れ状態を変更できることが確認できた。

### 3.5 換気効率指標による分析

次にヘッドランプ内部流れに対して換気効率指標(SVE: Scale for Ventilation Efficiency)を適用した結果を示す。換気効率は、建築分野で開発された、閉空間・部

屋等における空調/換気性能・空気汚染度等を評価できる指標である<sup>(2)(3)</sup>。換気効率は実験計測でも取得可能であるが、多数点・高精度計測には手間・ノウハウが必要であり、正にCAE解析向きの分析指標である<sup>(4)(5)</sup>。

仕様②および仕様④のランプ中央高さにおける水平断面のSVE3(空気齢)分布をFig.9とFig.10に示す。

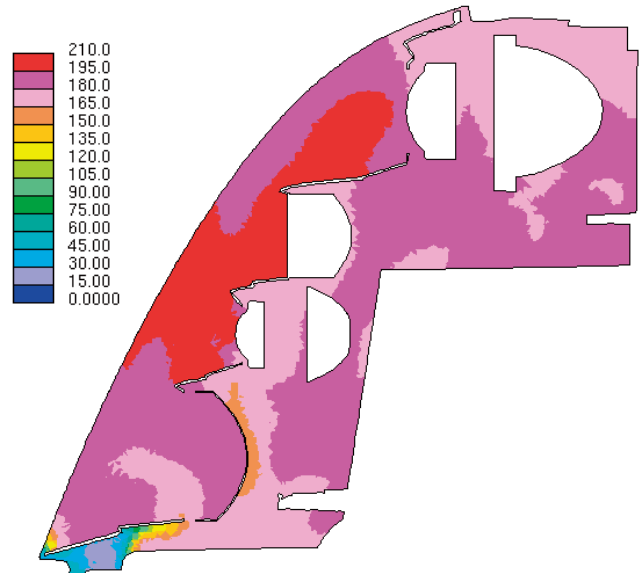


Fig.9 SVE3 (Age of Air) Distributions (Spec.-2)

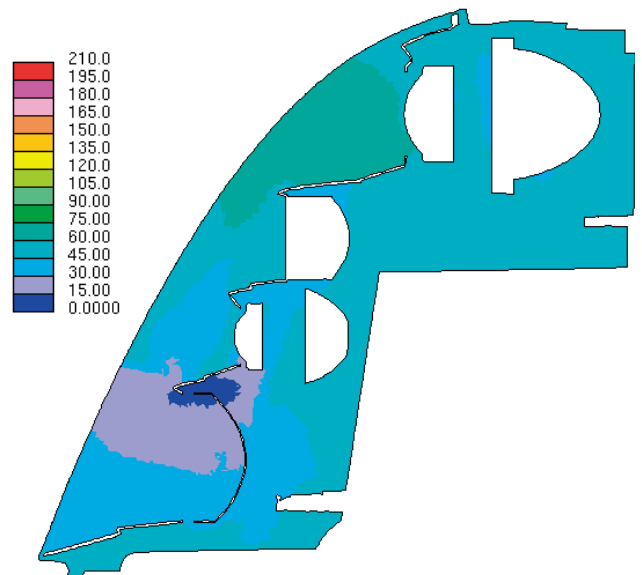


Fig.10 SVE3 (Age of Air) Distributions (Spec.-4)

空気齢(Age of Air)とは、吹出口から入った空気が注目地点に到達するのに要する時間すなわち空気の寿命を表し、図に示す単位は時間(秒)である。数字が小さい領域は空気がフレッシュであり比較的吹出口に近い上流であることを示し、数字が大きい領域は空気齢が高く基本的には流れの下流であることを示す。Fig.9の仕様②では、空気齢のランプ内全体平均値は171.7秒で、最大値は203.5秒であ

る。一方Fig.10の仕様④では空気齢のランプ内全体平均値は43.8秒で、最大値は106.6秒となっており仕様②に比べて空気齢が小さくなっている。Table 2を見ると仕様④は換気回数がベースの7.6倍、仕様②比で3.4倍となっており、ランプ内空気の換気が良く行われていることがSVE3からも確認できる。

続いてFig.11には、ベースの換気口②（吹出口②）に対するSVE4（吹出口の勢力範囲）をランプ下方のベゼル直下付近高さにおける水平断面で示す。

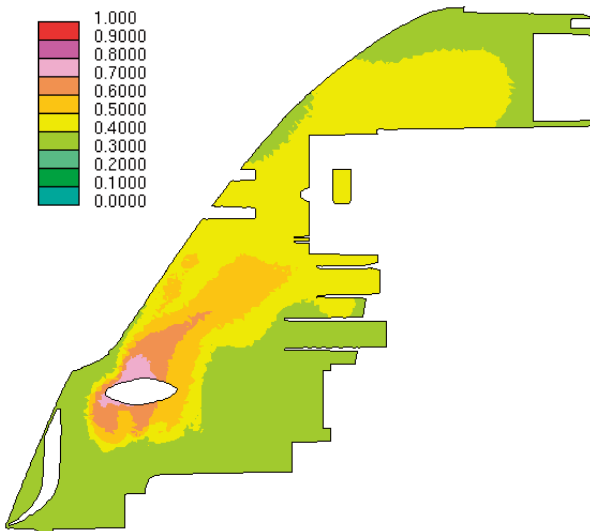


Fig.11 SVE4 (Contribution Ratio of Each Supply Opening) Distributions for Inlet-2 (Base)

吹出口の勢力範囲とは、空間内のある点における空気のうち注目する吹出口から到達した空気が占める割合を指標化したもので、0から1.0までの値を取る。Fig.11は吹出口②のSVE4を示したもので、吹出口②近傍では1に近い0.7～0.8を示し、流れの下流やハウジングに近い遠方ほど数値が低くなっている状況が観察できる。この例のように吹出口が複数個ある場合、SVE4は吹出口の数だけ存在し、ある点におけるSVE4の和は1.0となる（逆に吹出口が1個の場合、SVE4は全域において1.0である）。従って注目する空間内の点において、どの各吹出口の寄与度が高いのかはSVE4によって定量的に把握でき、仕様変更・対策をどの吹出口に加えるべきかが容易に判断できる。単なる流れ・流速分布だけの評価・分析では渦の存在や位置などは概略分かるものの、ある場所の空気がどの吹出口からどれだけ来ているかを判断することは実質不可能であるのとは極めて対照的である。

なお換気効率にはSVE3・SVE4以外にも、SVE3\*、SVE5、SVE6、SVE6\*、CRP1などがある。これらはCAE解析で求めることができ、吹出口や吸込口の寄与度、年齢・余命、汚染度など閉空間内の気流性状や特性が机上で定量的に可視化・評価できる。

またこれらCAE解析手法はヘッドランプ限定のものではなく、リアコンビランプ等にも適用可能である。

#### 4. おわりに

以上述べたように、ランプ内の流速分布とランプユニット内部と外気との換気量や換気効率指標を用いた定量的分析により、従来実機試験に頼っていた性能評価の大部分を、机上段階で推定可能となり、大幅な開発効率化が可能となった。これらのCAE解析手法を商品設計段階に適用し、商品開発の効率化が進んでいる。

#### 参考文献

- (1) 岡田義浩ほか：The CFD Analysis of the Flow in the Automotive Headlamp, 自動車技術会 学術講演会前刷集, No.14-00, 20005353, (2000)
- (2) 村上周三ほか：新たな換気効率指標と三次元乱流数値シミュレーションによる算出法, 空気調和・衛生工学会論文集, No.32, p91-101 (1986-10)
- (3) 小林光ほか：不完全混合室内における換気効率・温熱環境形成効率評価指標に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No.68, p29-35 (1998-1)
- (4) Yoshiichi Ozeki et. al: Ventilation Characteristics of Modeled Compact Car Part3 Airflow Velocity Distributions with Foot Mode, SAE paper No.2010-01-1065 (2010)
- (5) Hideaki Nagano et. al: Ventilation Characteristics of Modeled Compact Car Part4 Estimation of Local Ventilation Efficiency with Foot Mode, SAE paper No.2010-01-1063 (2010)

#### ■ 著 者 ■



高田 俊穂



井上 実

論文・解説

19

## 傷・汚れ防止をした内装樹脂部品の表面の開発 Development of Scratch/Stain-Free Plastic Interior Parts

中村 信 弥<sup>\*1</sup> 貞野 雅 人<sup>\*2</sup> 山地 一 平<sup>\*3</sup>  
Shinya Nakamura Masato Sadano Ippei Yamachi  
阿部 智 行<sup>\*4</sup> 花田 庸 子<sup>\*5</sup> 福丸 孝 司<sup>\*6</sup>  
Tomoyuki Abe Yoko Hanada Takashi Fukumaru

### 要 約

市場情報からお客様が車の内装品質に不満を感じる項目に、傷付きやすい、汚れやすい、汚れが取れにくいことがある。これらの不満を解決するために、本開発では内装樹脂部品に対して、傷付きや手の皮膚の角質、手油、靴などによる様々な汚れがレイアウト上付きやすい部品を明確化し、それら部品の表面（シボ形状、色、艶など）に関して、傷、汚れの付きやすさ、取れにくさ、目立ちやすさに影響する要因を明らかにした。また、傷、汚れの付きやすさ、汚れの取れにくさの評価方法を確立した上で、それらの要因による影響度を、品質工学を用いて導き出した。その上で、各影響度を数値に置換し、評価点化することで、シボ形状、色、艶の組合せに対する傷や汚れ防止、目立ちにくさの度合い（性能）を判定する仕組み（シミュレーション）を作成した。これを導入することにより、これまで机上で予測が難しかった樹脂部品表面による傷、汚れに対する性能が明らかになり、デザイン開発初期に品質対策も考慮した表面仕様を決定することが可能となった。

### Summary

One of the frequently-raised customer complains is that interior parts are prone to scratch/stain and difficult to wipe it out. In case of this development, in order to meet these complaints, we have identified interior plastic parts which are easily scratched or stained by sebum, shoes and oil of fingertip, etc. from layout viewpoint. Regarding the surface of those parts (grain pattern, color, gloss, etc.), we have identified what kinds of factors lead to scratch or stain, make it difficult to wipe out, and make it conspicuous. By establishment of the method to evaluate scratch of stain, wiping out of stain, we rated their severity through the quality engineering method. By quantifying them to a numerical rating scale, we developed a simulation analysis method to determine the severity for each combination of different kinds of grain pattern, color, and gloss. Introducing this analysis method enables us to predict the scratch/stain-proneness of a certain plastic part thinking over the countermeasure of quality in the early stage of development of design, which had been difficult on a desk-top analysis basis in the past.

### 1. はじめに

近年、内装の質感向上や品質改善を各社とも強化しているが、その中で本活動では、内装樹脂表面（無塗装仕様）が傷付きやすい、汚れやすいという不満の改善に取り組んだ。傷・汚れが付きやすいだけでなく、付いて目立ちやすいか目立ちにくいのか、汚れを簡単に拭き取りやすいかそう

でないかの視点も加え、表面（シボ、艶、色など）を最適化する手法を開発した。その手法をデザイン開発初期に導入することで、シボ、艶、色のデザイン意図を反映し、質感を向上させることと、傷・汚れの品質確保を両立させる開発を可能とした。

\*1~5 装備開発部  
Interior & Exterior Components Development Dept.

\*6 車両実研部  
Vehicle Testing & Research Dept.

## 2. 傷・汚れ発生部位と要因

### 2.1 樹脂部品の表面

内装樹脂部品の表面には質感を持たせるためにシボと呼ばれる模様が設定されている。このシボの形状差により、傷や汚れの付き方、目立ちやすさに影響がでる。傷付きやすさに関しては、材質、特に硬度による影響がある。また、塗装した部品の場合、塗装成分によっても影響があるが、本開発では無塗装部品の表面（シボ、色、艶）に着目した。

Fig.1に示すようにシボの形状には様々な種類があり、革模様のシボや、幾何学模様のシボのような基本的なシボ種類に、それぞれ更に細かい複雑な模様が追加され、その組合せで数多くのシボが存在する。各車種の市場品質情報から、シボの種類によって、傷・汚れの付き方に差があることがわかった。

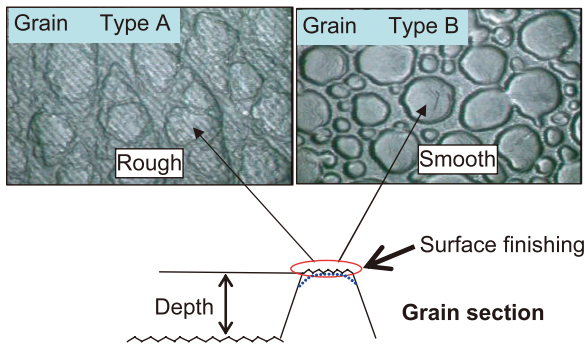


Fig.1 Variation of the Shape of Grain

また、表面にはシボだけでなく、デザイン意匠に基づいた色や艶が設定されており、これらによって傷付きや汚れ付着時の目立ちやすさに差があることもわかった。例えば、内装色が黒の場合、手の皮膚の角質や土など白っぽい汚れは目立ちやすい。また、黒い内装色の艶を低くすると傷が目立ちやすい傾向にある。以上から、内装樹脂部品の表面にはこれら3つの主要要素があり、シボに関しては、更に複数の要素がある。これら要素の組合せにより、傷・汚れへの影響度が決まる。

一方、部品の表面は、デザイン意匠に大きく影響するため、傷・汚れの品質対策を可能とし、かつデザイン意匠を満たす必要がある。そこで、開発段階で傷・汚れの影響度を予測できる手法を検討することにした。

### 2.2 傷・汚れの発生部位

最初に内装部品の傷・汚れが発生する部位を整理した。市場の情報から、傷付き発生は、室内、トランクルーム内の樹脂部品全般に渡って指摘があるが、汚れの発生部位は内装部品の位置によって異なる。例えば、ドアトリム上面部はお客様が車の乗降時に手を触れやすいことにより、手の皮膚の角質や指先の手油が付着しやすい。ドアトリムの下部（マップポケット部など）には、お客様が車の乗降時に靴を当てたりすることにより、傷や土の汚れ、靴の表面

のゴムが削れて付着する汚れなどが起こりやすい。Fig.2にそれら発生部位の分布の一部を示す。Fig.2に示すように、各部位、部品の汚れ対策を行う場合、それらに発生する汚れの項目の組合せに応じた対策が必要となる。

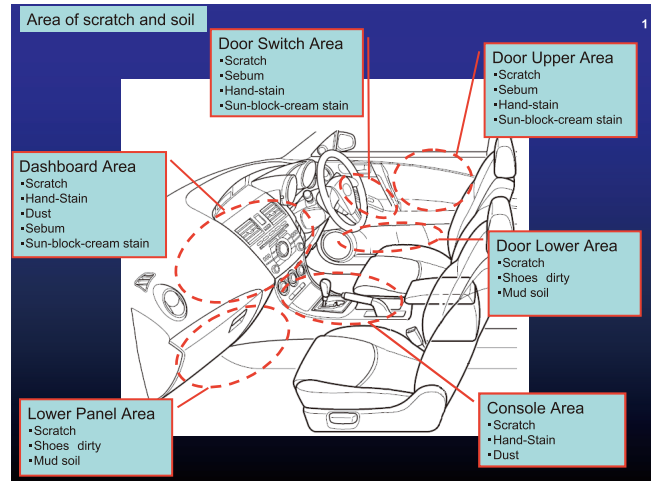


Fig.2 Area of Scratch and Soil

### 2.3 傷・汚れを発生させる要因

次に内装樹脂部品の表面の各要素を整理して、傷・汚れを発生させる要因を机上で可能な限り抽出した。具体的には、FT図などを用いメカニズム的に検討した。その検討経過の一部をFig.3に示す。この作業結果から多くの要因があることが判明した。これら各要因の傷・汚れへの影響度を導き、その影響度が大きい要因を傷・汚れ対策に有利な仕様・条件にすれば傷・汚れ防止ができるといえる。しかし、それらを実際に評価して決めるためには莫大な時間を有する。そこで、効率的に各要因の影響度を導くことができ、有利な条件を解明するために、品質工学を用いて検討、分析した。

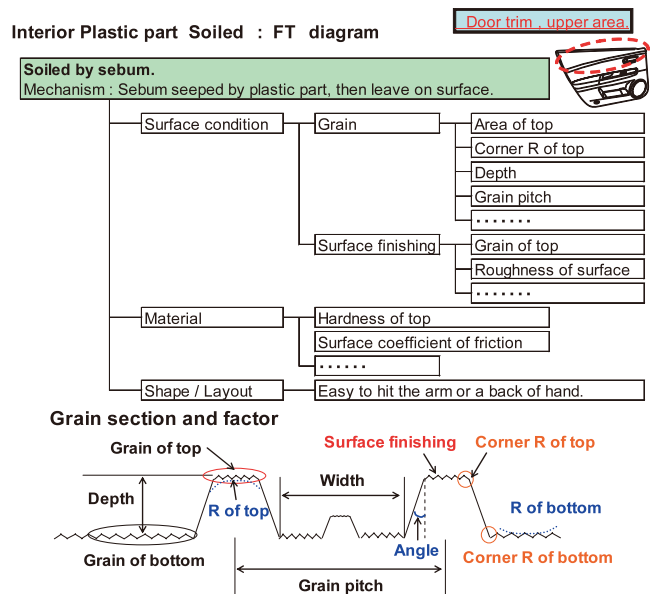


Fig.3 Example of FT Diagram for Investigation

### 3. 要因の影響度

#### 3.1 品質工学を用いた要因分析

##### (1) 因子の選定

要因の影響度を分析、導くためには実験計画法を用いることが適切であるが、抽出した要因の多さから全ての要因の影響度を実験計画法で評価できない。そこで、効率的に評価するためにTable 1に示す要因リストを作成し、傷・汚れに影響があるとメカニズム的に判断できる要因の重要度付け、絞り込みを行った。Table 1は、縦の行に各要因を示し、それら要因の傷・汚れへの影響度を数値化して列に示したものである。この絞り込み結果から、約30種類存在していた要因を10程度に絞り込んだ。その絞り込んだ要因を実験計画法の因子とし、各因子の影響度を導く方法を採用した。

Table 1 List of Factors

| Factor list of scratch and soil |              |                 | Scratch |    |    | Sebum |   |    |
|---------------------------------|--------------|-----------------|---------|----|----|-------|---|----|
| Factor                          | Level        | Value           | h       | r  | s  | e     | a | u  |
| Grain                           | Grain        | Area of top     | 3       | 3  | -  | -     | 2 | 1  |
|                                 |              | R of top        | -1      | 1  | -2 | -     | - | -  |
|                                 |              | Corner R of top | -1      | -  | -3 | -     | - | -1 |
|                                 |              | Angle           | -1      | -  | -  | -     | - | -2 |
|                                 |              | Grain Pitch     | -       | -3 | -2 | -     | - | -3 |
|                                 |              | Depth           | -       | -2 | -  | -1    | 3 | -  |
|                                 |              | Area of bottom  | -       | -  | -  | -     | - | -2 |
|                                 | Grain of top | R of top        | -2      | -  | -2 | -     | - | -  |
|                                 |              | Pitch           | -       | -2 | -2 | -     | - | -2 |
|                                 |              | Depth           | -       | -2 | -  | -     | - | 3  |
| Color                           |              | Lightness       | -       | -3 | -  | -3    | - | -  |

##### (2) 直交表の選択と評価組合せ

実験計画法の中で、本検討を効率的に行える直交表を検討し、L18直交表による組合せを用いることにした。表面形状(シボ)には多くの種類(要因)が存在するため、革シボ、幾何学シボなど4つの基本的なシボごとに個別に直交表を作成し、それぞれ評価を行った。シボの詳細形状、色、艶などを因子とし、絞り込んだ要因を7因子3水準+1因子2水準で評価することを決定した。Table 2に因子と水準の一部を示す。その上で、この直交表による因子、水準の組合せに従った評価用サンプルを作成した。Fig.4に示すような表面のシボや色、艶を変化させた評価用サンプル板を実際に製作し、色、艶も直交表の組合せに従って変化させた。

Table 2 Combination of Factors and Levels

| Grain A |       | Area of top | Corner R of top | Depth | Grain of top | Grain of top | Lightness | Gross  | Hardness |
|---------|-------|-------------|-----------------|-------|--------------|--------------|-----------|--------|----------|
| Factor  | Level | Type        | Depth           | Type  | Depth        |              |           |        |          |
| 1       | 60%   | a           | Shallow         | a     | Shallow      | Gray         | Low       | Soft   |          |
| 2       | Base  | Normal      | Normal          | b     | Normal       | Dark Gray    | Normal    | Normal |          |
| 3       | 140%  | Large       | Deep            | c     | Deep         | Black        | High      | Hard   |          |

| Grain B |       | Area of top | Grain pitch | Depth | Grain of top | Grain of top | Lightness | Gross  | Hardness |
|---------|-------|-------------|-------------|-------|--------------|--------------|-----------|--------|----------|
| Factor  | Level | Type        | Depth       | Type  | Depth        |              |           |        |          |
| 1       | 70%   | a           | Shallow     | a     | Shallow      | Gray         | Low       | Soft   |          |
| 2       | Base  | Normal      | Normal      | b     | Normal       | Dark Gray    | Normal    | Normal |          |
| 3       | 120%  | Large       | Deep        | c     | Deep         | Black        | High      | Hard   |          |

|   | a  | b   |
|---|--|---|
| A | Grain: Type①(60%)<br>Corner: Normal<br>Depth: Normal<br>Grain of top: Type I<br>Gross: Low | Grain: Type①(100%)<br>Corner: Normal<br>Depth: Deep<br>Grain of top: Type II<br>Grain: High |
| B | Grain: Type②(70%)<br>Pitch: 70%<br>Depth: Normal<br>Grain of top: Type I<br>Gross: Low     | Grain: Type②(100%)<br>Pitch: 100%<br>Depth: Deep<br>Grain of top: Type I<br>Gross: High     |
| C | Grain: Type③(70%)<br>Pitch: 100%<br>Depth: Shallow<br>Grain of top: Type I<br>Gross: Low   | Grain: Type③(100%)<br>Pitch: 125%<br>Depth: Deep<br>Grain of top: Type I<br>Gross: Low      |
| D | Grain: Type④<br>Depth: Shallow<br>Gross: Low   | Grain: Type⑤<br>Depth: Deep<br>Gross: High  |

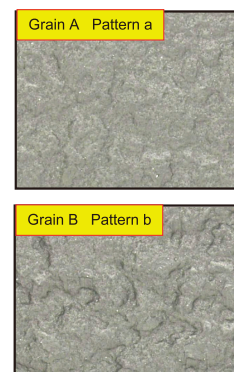


Fig.4 Specification of the Plate for Evaluation

#### 3.2 評価方法

##### (1) 傷・汚れの評価方法

影響度を導くための評価用サンプル製作までのプロセスを述べたが、実際に傷・汚れの付きやすさ、目立ちやすさ、拭取りやすさの優劣を、お客様視点、実際の付着物、付着シーンを想定した評価・判断をする方法が必要である。先に述べた各因子の汚れへの影響度を実験計画法で導くために、以前作成していた傷付きの評価方法に加え、今回、皮膚の角質、手油や靴汚れなどの評価方法、判断基準を決定した。これらの汚れは、実際の汚れ(皮膚の角質など)をそのまま評価に用いることができないので、実際の汚れに近い代替試料を選択した。また、その付着方法も乗降する人、運転中の人を汚れを付着させるシーンや付着時の荷重を想定して設定した。Fig.5に評価方法の事例の一部を示す。

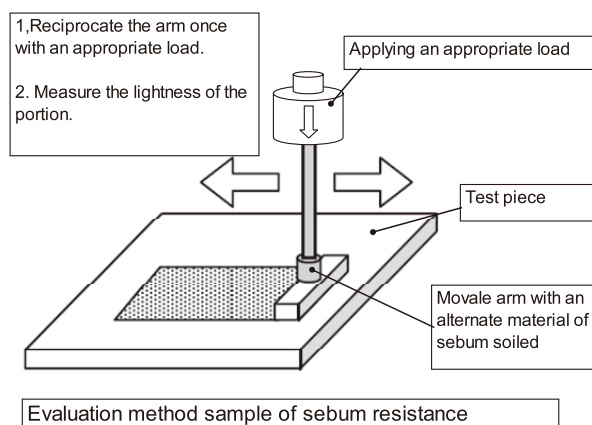


Fig.5 Example of the Evaluation Method

Fig.5に示す評価方法は、手の甲が部品に接触した時、手の甲の角質が部品に付着することを想定したものである。

##### (2) 傷・汚れ度合いの定量的判定

付着させた汚れが目立ちやすい、拭取り難い状態が、お客様が不満として持つか、持たないレベルなのかを客観的に判断するために、一部の汚れに対して、付着前後の表面



の差を計測器の測定数値で定量的に判断できる方法を決め、数値による優劣の判断を可能とした。また、定量的に判断ができない場合は、目視評価結果をランク付けすることで優劣の判断を可能とした。

### 3.3 要因効果図と表面仕様の最適化

#### (1) 要因効果図から影響度の数値化

先に述べてきた実験計画法L18直交表に基づいた評価用サンプル板と評価方法により、傷・汚れ（皮膚、手油、靴、日焼け止めクリームなど）に対して評価を実施し、要因効果図を導いた。Fig.6とFig.7に要因効果図の一部を示す。

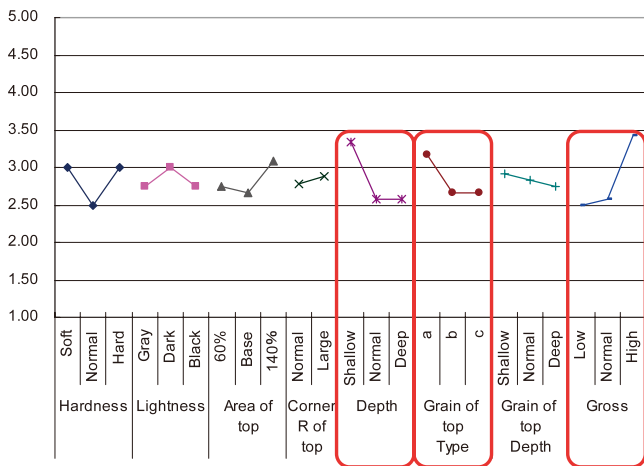


Fig.6 Figure of Factor's Effectiveness (Scratch)

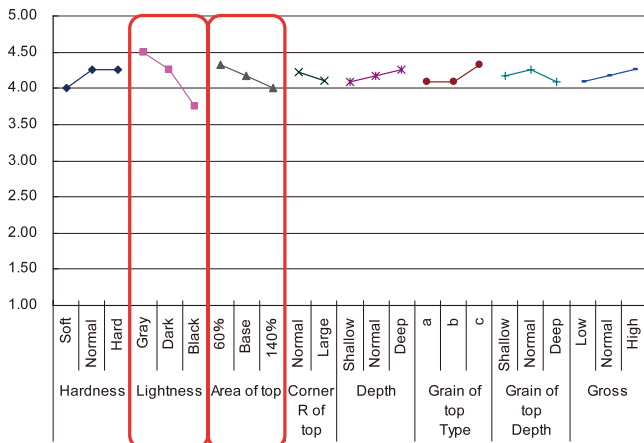


Fig.7 Figure of Factor's Effectiveness (Sebum)

Fig.6は、傷付きの要因効果図を示し、シボの深さや艶による影響度が大きいことが分かる。また、Fig.7は、皮膚の角質の要因効果図を示し、色（明度）やシボの上面部の面積による影響度が大きいことが分かる。

これら要因効果図により、傷・汚れに対する各因子の影響度と、その結果により傷・汚れに有利な仕様、形状を導くことができた。また、傷付きには有利であるが、皮膚の角質の付着には不利になるなど、相反する仕様や形状も明

確にすることができた。ここでポイントとなるのは、2.2で述べたように、内装部品の表面は、その部品の位置によって傷や汚れの付着の組合せが異なることである。したがって、要因効果図で得られた傷・汚れの個別の要因（因子）における有利な仕様の判断だけでは、それぞれの部品の傷・汚れ防止の最適な仕様を決めることはできない。

#### (2) 表面仕様の組合せ最適化手法

そこで、要因効果図から因子毎に、仕様差による傷・汚れの優劣を数値化した。更に、部品ごとの総合評価を行うために部位ごとに傷・汚れの重要度を決め、それらを掛け合わせて評価点を算出した。つまり部位（部品）と表面の仕様による評価点を算出する考え方である。この考え方をFig.8に示す。これは、ドアトリム上部と下部に対して、傷付き、皮膚の角質の付着の評価点を算出する考え方を示す。この評価点を比較することで部品毎に傷・汚れ対策の総合的な性能の優劣を示すことができる。

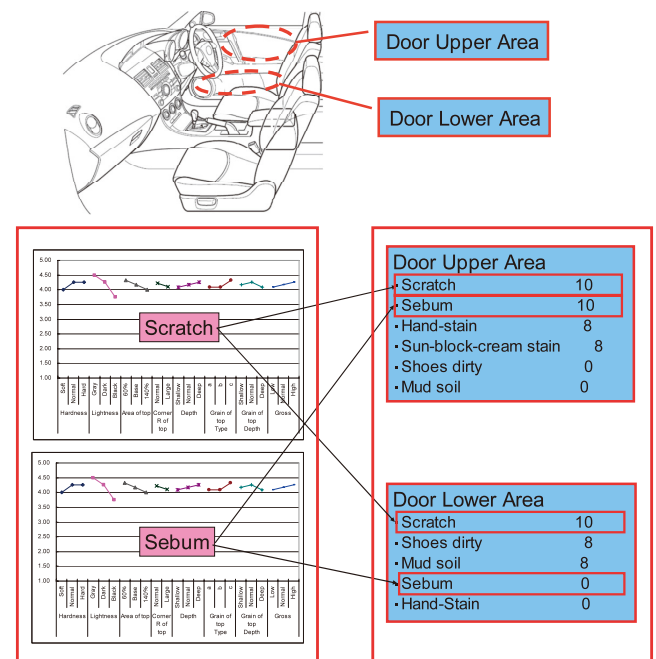


Fig.8 The Calculation Method of Point

この手法を用いれば、内装部品のどの部品に対しても、実際に部品評価をしなくても部品の表面の仕様が分かれば、傷・汚れ防止の優劣を評価点で示すことができ、現物が存在しない段階でも傷・汚れ対策の性能が評価可能となる。

#### 4. シミュレーション

この方法、要因効果図から導いた数値（評価点）のデータベースにより、樹脂部品の色々な表面の組合せごとに、傷・汚れ防止の性能をシミュレーションできる。更に、傷・汚れ防止の性能目標を設定し、それを評価点で設定しておけば、デザイン開発時に部品の表面（シボ、艶、色）の候補となる仕様の組合せのそれぞれが、傷・汚れ防止の目標を満たしているか判断ができる。このシミュレーションのシステムの一部をFig.9に示す。

|                      | Grain A                   | Score       |
|----------------------|---------------------------|-------------|
|                      |                           | <b>3.33</b> |
| Depth                | Normal                    | -0.04       |
| Grain of top (Type)  | a                         | 0.01        |
| Grain of top (Depth) | Normal                    | -0.15       |
| Area of top          | Shallow<br>Normal<br>Deep | -0.02       |
|                      |                           |             |
|                      |                           |             |
| Lightness            | Black                     | -0.19       |
| Gross                | High                      | -0.02       |
| <b>Total score</b>   |                           | <b>2.92</b> |

Fig.9 Format to Calculate the Points

この図では、シボの仕様を選択すれば、指定した部品（部位）の評価点を示すものである。

#### 5. まとめ

デザイン開発時に内装部品の表面（シボ、色、艶）の仕様を決定する時、それら仕様が市場で傷付きや汚れの品質問題を発生させるかどうかを予測する手法を持っていなかったが、この手法で予測が可能となった。一方、ここでは述べていないが、部品の表面に塗装有の場合も傷・汚れの影響が異なっており、塗装がある場合についても本内容に類似した方法で対策案を導いた。また、傷付きは材料の硬度や成分により影響度が変化する。このため、樹脂部品の傷・汚れ対策は多くの要素の組合せがあり、それらを総合的に考え、更にデザイン意匠と両立させることが重要である。我々は、この手法を今後の車種開発に展開していき、内装質感の更なる向上に貢献していきたい。

#### ■ 著 者 ■



中村信弥



貞野雅人



山地一平



阿部智行



花田庸子



福丸孝司

論文・解説

20

## ヒンジ型a接点電磁リレーの復帰時バウンスに関する一報告 Bounces of Making Contact Relay on Braking Time

岡田 厚信\*<sup>1</sup>

Atsunobu Okada

### 要約

電磁リレーの接点劣化を助長させる現象の一つに、バウンスと呼ばれる接点間の異常な間欠的開閉現象がある。一般的に衝突や振動などの機械的要素が起因とされている。本稿では高速度カメラを用いて、コイルサージ抑制部品にダイオードを用いた、ヒンジ型a接点リレーの復帰時の動きを撮影し、機械的要素を起因としないバウンスの存在と、その発生メカニズムを考察したので報告する。

### Summary

Bounce is one of the phenomena that promote degradation or melting of electrical contact of electromagnetic relay and is generally considered to be attributable to mechanical factors such as collision or vibration. Using a hinge-type a-contact relay, which uses diode for a surge suppression coil, we filmed how it breaks with a high-speed camera. This paper describes how we confirmed the bounce not attributable to mechanical factors and investigated its generation mechanism.

### 1. はじめに

車両の省エネや安全性を高める車載電装品において、より細かい制御を実現する高速スイッチング素子の採用が拡大している。その一方で、高速開閉を必要としない回路においては、現在も電磁リレー（以下、リレーと略）がその役を担い続けている。そして、このリレーの品質を確保することは、電装品開発において重要な要素の一つである。

リレーの接点が劣化する要因の一つに、接点間の異常な間欠的開閉現象がある。「JIS C5442 制御用小型電磁リレーの試験方法」では、この現象を「バウンス」と「チャタリング」の2つに分け、次のように定義している。

#### ① バウンス

リレーの可動部分（接極子）が鉄心やバックストップへ衝突したり、または接点相互が衝突することによって生じる衝突、振動などに起因する接点間の異常な間欠的開閉現象。

#### ② チャタリング

リレーに加わる外部からの衝突、振動などに起因する接点間の異常な間欠的開閉現象。

両定義とも、衝突や振動などの機械的要素を起因として

いる。本稿では、リレーのコイルサージ抑制部品にダイオードを用いた、ヒンジ型a接点リレーの復帰時において、この定義に当てはまらない異常な間欠的開閉現象を確認したので報告する。なお、本稿は復帰時の動きを高速度カメラで撮影し、その映像解析の結果に基づいて構成している (Fig.1)。

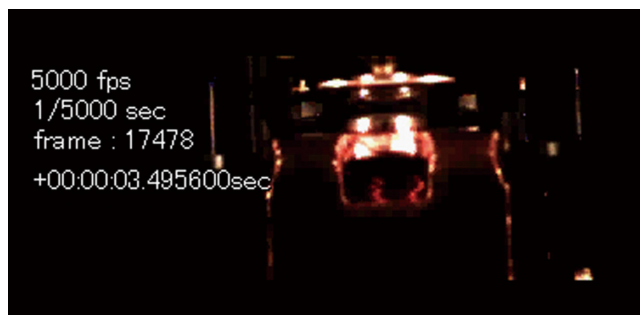


Fig.1 Image with High-Speed Camera

本稿で用いるリレーの構造と各部名称は、Fig.2に準じる。スイッチ①を介して通電されるコイル②は、樹脂製のコイルボビン③に巻かれており、磁束を発生する。ボビンの中心にはコア（鉄心）④が通っており、磁化されたコアはアマチュ

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

ア⑤を吸引する。アマチュアはアマチュアスプリング⑥により可動接点⑦と連結されている。そのため、アマチュアの吸引移動に伴って、可動接点はバックストップ⑧から離れて固定接点⑨側へ移動する。また、コアはヨーク⑩と締結され、一体の磁気回路を形成している。リターンズプリング⑪はスイッチが開いたとき、アマチュアをコアから引き離す働きをしている。スプリングの代用にアマチュアスプリングをヨークに締結しているリレーも多い。

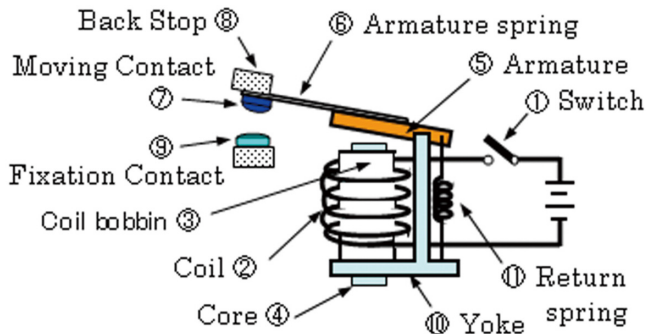


Fig.2 Name of Relay Parts

2. ダイオードの有無と復帰時バウンスの関係

コイルサージ抑制部品にダイオードを用いた評価回路図をFig.3に示す。試験では、スイッチを閉じてリレーコイルに通電し、コイル電流が安定した時点でスイッチを開き、リレーを復帰させた。復帰時のバウンスの観測は、回路のマイナス側を基準にして、リレー接点間の電圧波形を測定した。リレー接点の負荷は抵抗を用いた。試験電圧は被試験品リレーの定格電圧 (12V) とした。

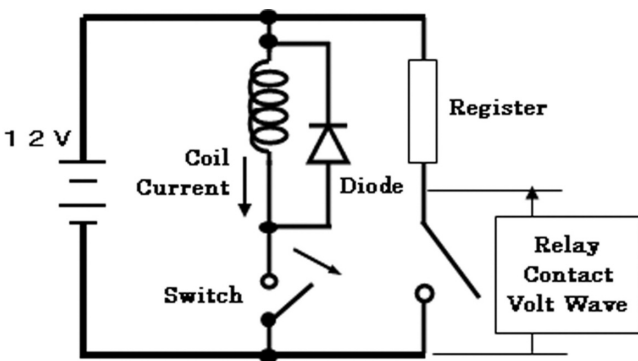


Fig.3 Test Circuit

Fig.4-1とFig.4-2は、同一リレーで測定した復帰時のバウンス波形である。試験回路の各部の電流変化が分かりやすいように、Fig.4-1はコイル電流、Fig.4-2はダイオード電流を測定して示した。

両図中で電流波形が急峻に立ち上がり始めたところが、スイッチを開いた時点である。しばらく遅れてリレー接点が開き、一度開いた接点が再び閉じている様子が、接点間

の電圧波形から読み取れる。つまり、復帰時にバウンスが発生していることが分かる。発生回数は一定せず、Fig.4-1では1回、Fig.4-2では2回となっている。

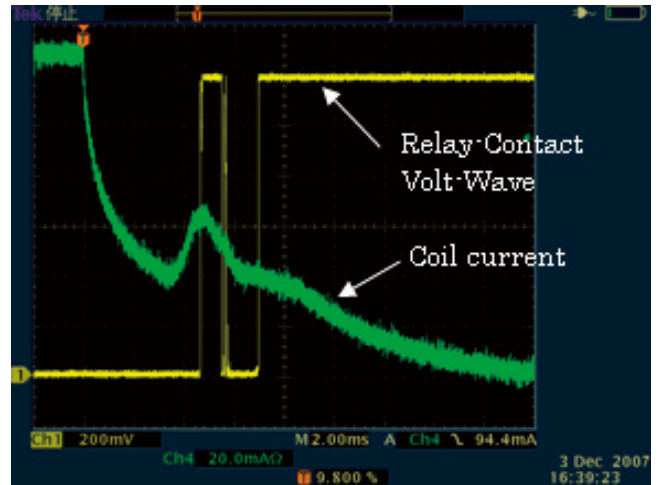


Fig.4-1 Wave with Diode (One Bounce)

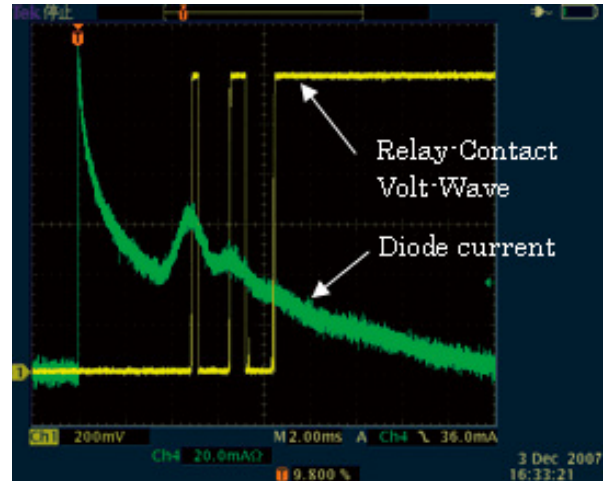


Fig.4-2 Wave with Diode (Two Bounces)

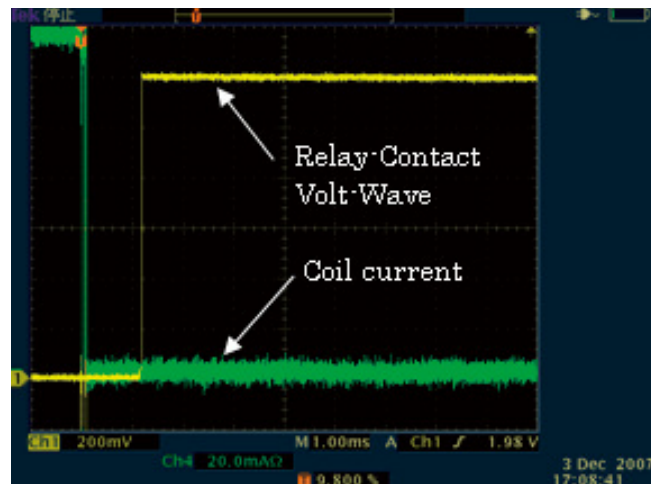


Fig.5 Wave without Diode (No Bounce)

Fig.5は、Fig.4の被試験品リレーからダイオードを取り外して、同じ評価を行った波形である。コイルサージ抑制

部品のダイオードを接続していないため、スイッチを開くと同時に、コイル電流はゼロになっている。そして、少し遅れて接点が開いているが、バウンスは発生していない。ダイオードを接続しない回路では、何度評価を行っても復帰時のバウンスは発生しなかった。

同一リレーで行ったこの比較試験から、復帰時バウンスの発生の有無は、コイルサージ抑制ダイオードの有無が関係していることが分かる。

### 3. 衝突を起因としない復帰時のバウンス

復帰時に可動接点を固定接点から引き離す力は、Fig.2におけるスプリング⑩によって与えられる。また、一般的に、復帰時に発生するバウンスの原因は、固定接点から離れた可動接点が、勢いよくバックストップに衝突し、その跳ね返りで再び固定接点に接触するとされている。つまり、可動接点がバックストップに衝突する速度が速いほど、跳ね返り量も大きくなってバウンスが発生しやすい。

しかし、前項の比較試験の結果は、この通説に沿っていない。なぜなら、可動接点がバックストップに衝突する速度は、コイル電流の減衰特性に大きく影響され、コイル電流の減衰が速いほど衝突速度が速くなるからである。

これはコイル電流が流れ続ける限り、コアはアマチュアを吸引し続け、開離速度にブレーキを掛けるからである。つまり、Fig.5のように、コイルサージ抑制部品に何も用いない場合の衝突速度が一番速く、Fig.4のように、ダイオードを接続した場合が一番遅くなるのである。

従って、最も衝突速度が速いFig.5でバウンスが見られないリレーでは、それよりも衝突速度が遅いFig.4で発生しているバウンスは、衝突による跳ね返りではないと考えられる。

この推測を裏付けるため、高速度カメラで復帰時の可動接点を撮影すると、Fig.4のバウンス発生時においては、バックストップと衝突していないことが確認できた。つまり、Fig.4でa接点に発生している復帰時バウンスは、機械的要因を起因としたものではないと判明した。

### 4. 復帰時バウンスの発生メカニズム

Fig.4のコイル電流波形を見ると、Fig.3の評価回路においてスイッチを開くと、コイル電流が指数関数曲線を描いて一気に減衰している。しかし減衰の途中で一旦増加に転じて小山を形成し、その後、再び減衰している。

増加に転じる原因は、アマチュアがコアから高速で離れるため、磁路の磁気抵抗が急増して磁束が急減することによる。ファラデーの電磁誘導の法則により、磁束の急減はコイルにそれを打ち消す方向の起電力を誘起させる。その結果、コイルとダイオードで形成する閉回路に、新たな電流が供給されるのである。

この時のアマチュアの動きを高速度カメラで撮影したと

ころ、コアから勢いよく離れたアマチュアは、そのまま一気に上死点まで移動せず、途中の空間で急停止をして、その位置でしばらく留まる様子が確認できた。

コイルサージ抑制部品に抵抗を用いた場合や、何も接続しない場合は、この急停止は発生しないことも確認した。コイルサージ抑制部品にダイオードを用いた場合のみ、アマチュアの急停止現象が発生したのである。

従って、急停止の原因は、増加に転じたコイル電流によって、コイルの磁力が再び強まり、アマチュアを再吸引するためと推測した。

更にこの時の可動接点の動きを詳しく見ると、可動接点はアマチュアがコアから離れる動きに連れられて、固定接点から離れた。しかし、アマチュアが空中で急停止するため、慣性によってアマチュアの停止位置を支点として、バックストップ側へ大きく振れた (Fig.6)。そして次に、反り返ったアマチュアスプリングの反動で、今度は固定接点側へと大きくゆり戻される様子が確認できた。

急停止したアマチュアは、停止位置にそのまましばらく留まっているため、ちょうど飛び込み板が上下に振れるような挙動である。

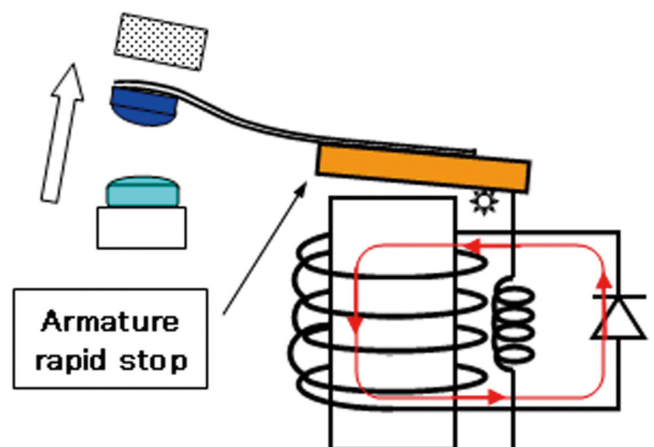


Fig.6 Over Moving of Moving Contact

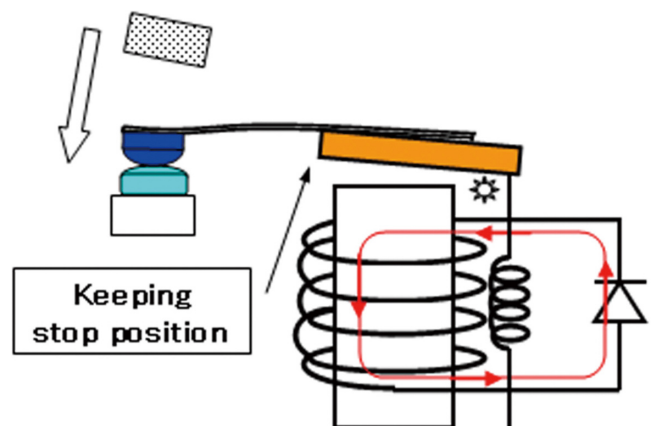


Fig.7 Electro-Magnetic Contact

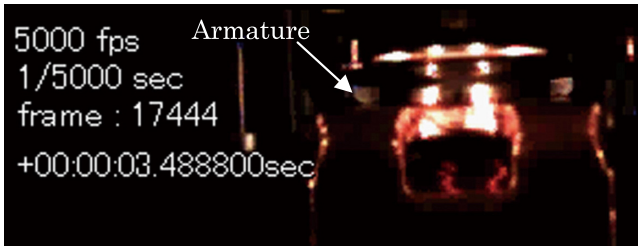


Fig.8-1 Image of Default Stage

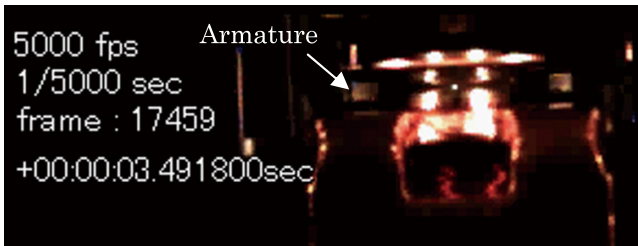


Fig.8-2 Image of First Breaking Stage



Fig.8-3 Image of High Point Stage



Fig.8-4 Image of Re-Contact Stage



Fig.8-5 Image of Re-Braking Stage



Fig.8-6 Image of Back-Stop stage

つまり、可動接点はバックストップに衝突することもなく、アマチュアの停止位置を支点として、固定接点とバックストップの間で大きくゆり動く様子が確認できた。そして、固定接点側に再接近したとき、両接点が接触する様子が、高速度カメラとオシロスコープとによって確認できた (Fig.7)。

この再接触の要因はリレー内部にあり、かつ、衝突を起因としていない。電磁要因に起因する接点間の異常な間欠的開閉現象である。このため本稿では、この現象を前述のJISで定義された機械的要因のバウンスと区別するため、「電磁要因バウンス」と呼ぶことにした。

Fig.8は電磁要因バウンスの様子を撮影した1例である。高速度カメラの映像の中から、要点となる箇所を静止画として抜粋した。各映像のframe番号と時間表示 (sec) は、映像の画像番号と撮影経過時間を示す。なお、この映像のリレーは、Fig.4でバウンスの波形を測定したリレーとは、別型式の製品である。

Fig.8-1はコイル通電時の映像である。接点は閉じており、アマチュアもコアに吸引されている。Fig.8-2はコイル電流が遮断された後、アマチュアがコアから離れ、続いて、可動接点がワイピングの後に固定接点から離れる瞬間の映像である。接点間に見える小さな白い点は、配線のインダクタンスによるアーク放電である。この放電の存在は、接点がこの時点で開いたことを示している。このリレーでは、アマチュアはこの位置でほぼ停止した。Fig.8-3は、アマチュアが空中で停止した後、可動接点が上方向に触れたときの映像である。接点は離れており、ここから固定接点側へと移動が始まる。Fig.8-4は接点が再接触している映像である。アマチュア的位置はFig.8-2とほぼ同じか、コアよりに少し戻っている。戻るのは可動接点の下方向移動の勢いに連れられたものと思われる。Fig.8-5は、再接触を終えて、可動接点が再び離れた映像である。Fig.8-6は電磁要因バウンスが終わって、可動接点がバックストップに衝突した映像である。この後、接点が再接触することはないことがわかる。なお、一連の動きを動画で確認すると、アマチュアの空中停止と可動接点の動きの相関が把握しやすい。

### 5. 電磁要因バウンスのメカニズム検証

電磁要因バウンスの発生メカニズムを検証するには、アマチュアが空中で急停止する原因が、Fig.4の電流波形に現れる電流増加にあるのかを検証すればよい。

本章では、アマチュアがコアから急速に離れても、磁路の磁気抵抗が急激に増加しない工夫をリレーに施して、電流増加の要因を検証した。具体的には、アマチュアが吸引されている動作中のリレーにおいて、コアとアマチュア間に残っている極狭い空間に細い鉄線を置き、その状態で復帰させた。復帰によりアマチュアギャップが突然出現して

も、コアとアマチュアは細鉄線で接続されているため、磁路の磁気抵抗は急増しない (Fig.9)。

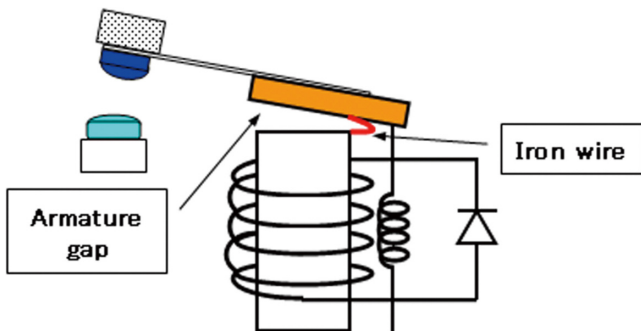


Fig.9 Test Relay with Thin Pieces of Wire Iron

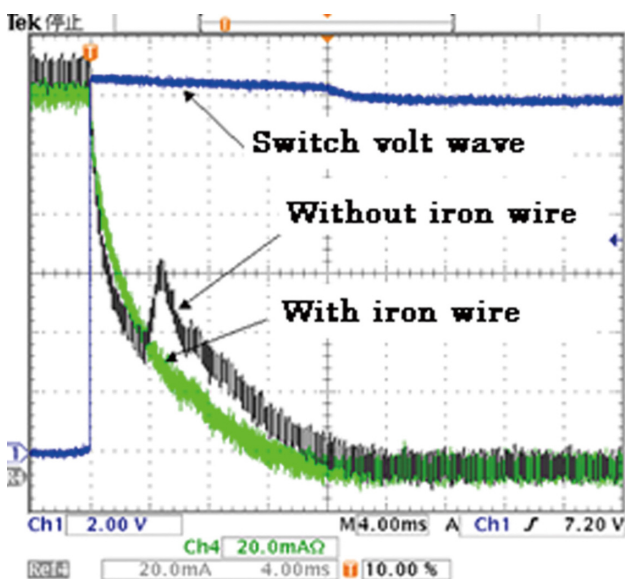


Fig.10 Current Wave with Wire Iron

Fig.10に細鉄線の有無における復帰時のコイル電流波形を示す。双方とも、スイッチを開くとコイル電流は急激に減衰を始めるが、細鉄線があると途中で増加に転じない。電流増加がないため磁力の増加もなく、コアから離れていくアマチュアを再吸引して停止させることもない。

この試験結果より、4章で推測したアマチュア急停止の原因は、アマチュアの高速度開離移動で作られられた磁気抵抗の増加により、コイルに起電力が発生し、この電力によりアマチュア自身がコアに再吸引されるため、といえる。

## 6. 接触信頼性と電磁要因バウンス

一般的に、コイルサージ抑制部品にダイオードを用いると、接点劣化が早くなることが知られている。その要因としては、コイル電流がなだらかに減衰する特性に注目して、次のように説明されている。

- ① 接圧が徐々に低下するため低接圧期間が長くなる。
- ② 接点の開離速度が遅くなり、アークを引きやすい。

しかし、本稿で紹介した電磁要因バウンスは、一旦離れ

た接点に発生する再接触現象であるため、接点信頼性への影響は、上述の従来要因とは分けて扱う必要がある。

電磁要因バウンスは、リレーが保有している電磁エネルギーが減衰する過程において、復帰スプリング力とのバランスの中で、可動接点の持つ運動エネルギーとアマチュアスプリングの弾性特性により発生する。

意図としない偶発接触でもあり、とりわけ、可動接点が振動の下死点で固定接点に接触すると、速度も接圧も確保されない、ゼロ速度、ゼロ接圧での接触期間が生まれる。つまり極低接圧と極低速度の開閉が特徴として挙げられる。

その結果、大きな負荷やアークを引く誘導負荷の場合は、接点に甚大な悪影響を与え、比較的短期間に接点劣化や接触不良を起こしやすいと思われる。

## 7. まとめ

本稿で紹介した電磁要因バウンスは、リレーメーカーの方々にとっては周知のことと思う。しかし、リレーの設計製造を本業としない筆者の立場では、復帰時バウンスの発生原因は、バックストップに衝突した可動接点の跳ね返りであるとの思い込みがあった。また、コイルサージ抑制部品にダイオードを使用した場合の接点劣化要因についても、6章で触れたような一般論でしか持ち得なかった。

本文では紹介していないが、接点开離直前にアマチュア停止が発生する場合もある。この場合は、その停止期間中、可動接点は固定接点と極微接触状態となり、その後、電磁要因バウンスを起こさずにバックストップへ移動する。つまり、極微低接圧期間が発生しているのである。

このように、アマチュアの空中急停止を始めとして、極微低接圧期間や衝突に起因しない復帰時バウンスの存在を実映像として確認し、そのメカニズムを考察できたことは、復帰時の接点劣化要因を考える上で有意義であった。

勿論、すべてのリレーにおいて、アマチュア停止や電磁要因バウンスが発生するものではなく、発生しても接点劣化に直結するものではない。なぜなら接点劣化は負荷との適合性により、大きく影響されるからである。この点はお断りしておきたい。

今後は、今回得た知見を基に、電磁要因バウンスが発生しにくいリレーの開発にも、寄与していきたい所存である。

■ 著 者 ■



岡田厚信

論文・解説

21

## ロードスター20周年の総括 Summary on the 20th Roadster Anniversary

山本 修 弘\*<sup>1</sup>  
Nobuhiro Yamamoto

### 要 約

2009年ロードスターは20周年を迎えた。この節目を期にロードスターの「人馬一体」を支えた特徴的な技術の変遷について報告する。「人馬一体」とは人とクルマが一体となってクルマの楽しさを感じることであり、それらを支える重要なコンセプトとしてFRレイアウトであること、コンパクトで軽量であること、前後重量配分が優れること、ヨー慣性モーメントが小さいことなどがある。それらの構成要素である、高剛性と軽量化を両立させるボデー技術、意のままに操り楽しむことのできるシャシー技術、レスポンスが良く心地よいサウンドを持つエンジン技術、はどのような目標をどのようなアプローチで達成したのか、そこに生まれ培われたキーとなる技術について述べる。

### Summary

In 2009, Roadster marked its 20<sup>th</sup> anniversary. Seizing this milestone, characteristic changes in technology that have supported Roadster's "Jinbaittai — Oneness between car and driver" feeling are reported. "Jinbaittai" means that car and driver can feel driving pleasure as one and FR layout, light and compact body, perfect front/rear weight distribution, and small yaw inertia moment are listed as important concept. Regarding constructional elements of them, that is, body technology that achieves good balance between high rigidity and light weight, chassis technology that makes complete control and enjoyable driving possible, and engine technology that has a good response and comfortable sound, various targets, their approaches, and key technology that has been developed from them are described.

### 1. はじめに

初代ロードスターから一環して追求し続けている「人馬一体」と「Lot of Fun」を継承し進化させるために、「人馬一体」の構成要素である「走る、止まる、曲がる、見る、触る、聴く」の6項目をフィッシュボーンチャートによって定義した。このフィッシュボーンチャートの実現は、スタイリングを眺める楽しさとか、人とクルマが一体となってクルマの楽しさを実現するとか、速度が速いだけでなくいかに速いと感じることができるとか、心地よいサウンドや、ハンドルを切った時にキビキビ軽快に反応するなど、感性の良し悪しを重要とするものであった。また、10年

経っても20年経っても陳腐化することなく、オーナーの所有する喜びを提供する「本物」のFRスポーツカーを作ることが狙いとなっている。20年経過した今日、ロードスターは初代から三代目まで、世界中のロードスターファンに支えられ、小型二人乗りオープンカーの世界記録というギネスを更新中である。20周年の節目に当たり、FRスポーツを支える技術の屋台骨となっている高剛性と軽量化を両立させるボデー技術、意のままに操り楽しむことのできるシャシー技術、そして、レスポンスが良く心地よいサウンドを持つエンジン技術に焦点を当て、それらの技術進化を振り返ってみよう。

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





Fig.1 The First Generation Roadster



Fig.2 The Second Generation Roadster



Fig.3 The Third Generation Roadster

補強するか」という観点ではなく、「オープンボデーはいかなる構造を持つべきか」という観点で設計活動を始めた。初代では、連続格子状に巡らした骨格配置という構造を実現するために、

- ① 多分岐構造を持たせた骨組み
- ② バックボーンフレーム構造（トンネルの骨組み）
- ③ サスペンションクロスメンバの活用

という高い剛性を持つ骨組み構造を開発した。開発過程では解析モデルを作成して剛性が設計の意図通りにできているか解析を行った。判断の目安となる捻り剛性レベルや振動レベルは各部を強化することに考えが傾きがちとなるが、大切なのは乗員の感じる剛性感を高めることであり、ある部位の強化は振動レベルが増大し必ずしも狙い通りにならないことがある。部位によっては意図的に強化を避けることで振動レベルが低減し、フィーリングが良くなることもあり、またハンドリング性能や乗り心地などに多くの機能のベースとなるボデー性能は、実車走行との一致性を重要視して開発を進めた。

2.2 高剛性と軽量化の両立

二代目、三代目となると、ボデー開発は優れたハンドリングや乗り心地に寄与するボデー剛性のみならず、安全性能の向上が求められた。それは、あらゆる方向からの衝突に対して乗員を守る高衝撃吸収ボデーを実現することが必要となった。衝突エネルギー吸収量を高めコントロールするため、バンパの耐力アップやフレームの耐力アップと折れモードをコントロールする工夫を行った。また、ドアインパクトバーの取り付けは車体とのオーバラップを増やして車体側でもエネルギー吸収する構造で剛性と軽量化を両立できるように工夫した。更に、高耐力材料（ハイテン材&超ハイテン材）の開発が進み、加工性の難しいそれらの材料の生産技術開発も併行して進めた。ボデーの軽量化は材料強度を上げることで部品の板厚を下げた質量を低減する手法が早道であるが、単純に板厚を下げるとスポーツカーとして必要な剛性の確保が困難となる。薄い板厚でも高剛性が確保できる車体構造はどうあるべきかという課題の克服に取り組んだ。それは、車体剛性に直結するホイールベース間は大断面構造で薄肉化しながら捻り剛性に寄与するトンネル部にはバックボーンフレームを進化させたハイマウントバックボーンフレーム構造を採用し、ハイテンを多く使えるボデー構造を開発した。その結果、三代目のボデー開発では、ハイテン780MPa級や、特定部位には1,500MPa級の超ハイテン材料を使って、高剛性と軽量化を実現した。その結果、Fig.6に青色で示す超ハイテン材の使用割合は12%になり、ハイテン材料はトータルで58%になった。ボデー剛性は二代目比較で曲げが22%アップ、捻りで47%アップを達成、質量は13kg（6%）ダウンという高剛性と軽量化を両立することができた。

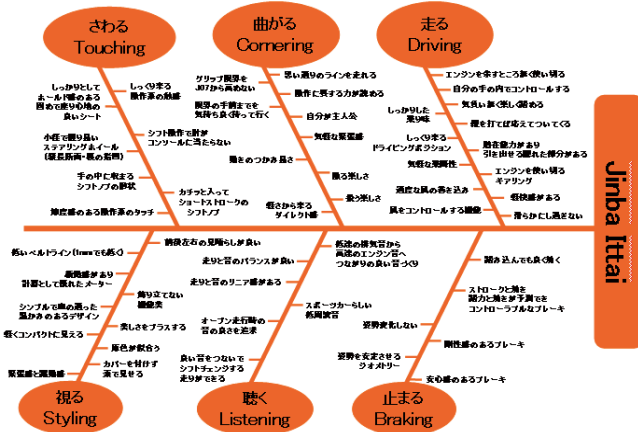


Fig.4 Fish Bone Chart “Jinbaitai”

2. ボデー

2.1 オープンボデー構造

ルーフを切り取ってしまうとボデー全体の剛性は1/5に低下する。ロードスターのボデー開発は「ボデーをいかに

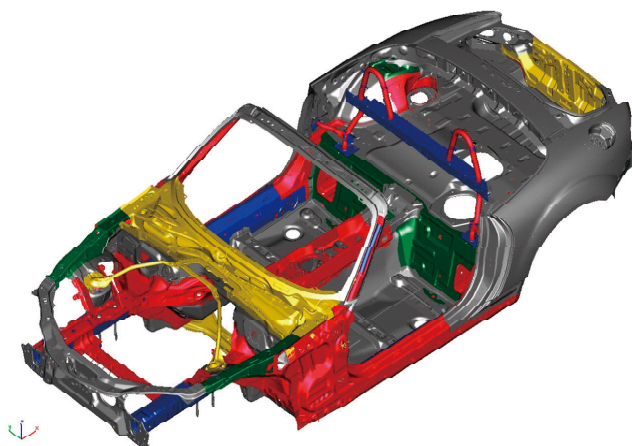


Fig.5 Body Structure

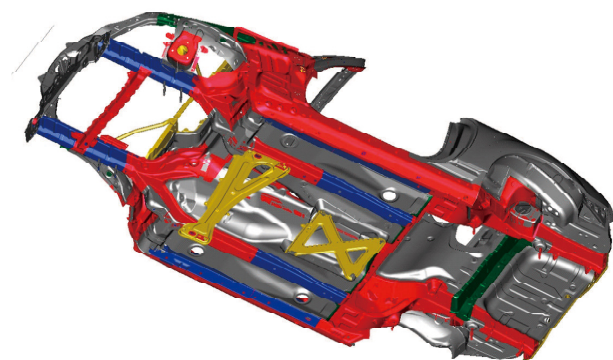


Fig.6 Body Structure (Bottom View)

### 2.3 車体剛性感

一方、もう一つの重要な開発テーマである人が感じる車体剛性感の向上については、人が感じやすい部位はどこかを探りその部位を重点的に改善することで剛性感を感じやすくする取り組みを行った。それは「ハンドルとシート」が感じやすい部位であり、ハンドルが固定されているインパネフレームの支持剛性のあり方を見直し、Aピラーのレインフォースメントとダイレクトにボルトアップする構造を採用した。シート取り付け部は、シート前後の取り付け部が車体のNo.2クロスメンバとアンダークロスメンバと前後のみならず、横方向でも結合する構造とし、シート固定部の動きが車体と連動して一体感を感じることができるよう工夫した。

## 3. シャシー

### 3.1 サスペンション

初代ロードスターは、コーナリング限界が比較的容易につかめ自らのテクニックで人とクルマが一体となってクルマをコントロールする楽しさを徹底的に追求した。そのために、車両重量の軽量化、前後重量バランスの最適化、ヨー慣性モーメントの低減、車体剛性の向上が重要であり、その上でサスペンションはそれらを活用し最大のポテ

ンシャルを持つダブルウッシュボーン形式とした。この形式でジオメトリの自由度を高くすることができ、ロールセンターの位置、キャンバ角度変化を思い通りに設定することができた。ステアリング系は、高剛性のラックアンドピニオンタイプを採用し、クイックなギヤレシオを選定することで、ダイレクトさとキビキビした軽快さを追求すると同時に、フィードバック感覚に優れたエンジン回転数感応型の油圧パワーステアリングとした。

### 3.2 パワープラントフレーム (PPF)

一体感という人馬一体の運転感覚を実現するために採用されたのがFRならではのパワープラントフレーム (PPF) である。PPFはトランスミッションとデフレンシャルギアをコの字型断面のフレーム構造で結合したもので、パワートレイン全体のラバーマウントが7つから4つにシンプルになり軽量化にも貢献している。特徴として、クルマが加速するときタイヤからの反力がデフレンシャルギアケースに逆トルクとして入るので、これを支えるためにデフの首振り現象が発生する。PPF構造ではデフケースから前の長いフレームによってトランスミッションと結合しているため、デフの首振り反力はエンジンマウントが兼ねることになる。これによって従来構造と比べて約6倍のマウントスパンに相当し、デフケースの首振り方向のバネ定数では約38倍相当に匹敵するポテンシャルがある。それによって、アクセルを踏んでタイヤにトルクが伝わって路面を蹴って加速するレスポンスのタイムラグが改善できる効果がある。

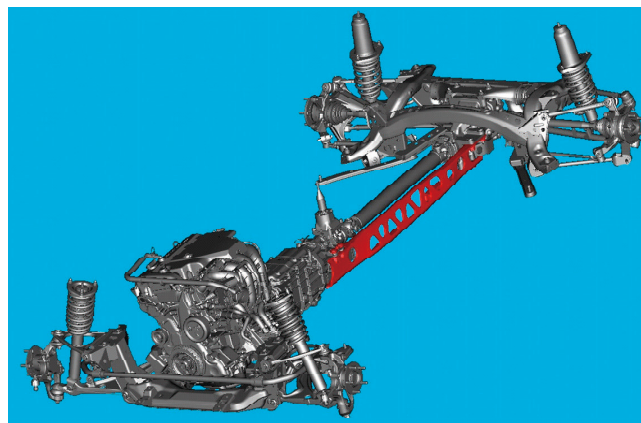


Fig.7 PPF

### 3.3 サスペンションの進化

二代目ロードスターのサスペンションは、初代を踏襲したが人馬一体の感覚を高めるための進化は続けた。乗り心地と高速走行における安定感、安心感の向上とリニアな応答性とハンドリングの正確さを改善した。フロント及びリヤサスはクロスバーによってサスペンション剛性とボデー剛性の両方を改善した。自然なロールフィール改善のため、フロントのロールセンター高さを20mm下げるこ

で、コーナリング時の内輪の浮き上がりを抑え、自然なダイアゴナルロールが実現できた。ダンパの効きを高めるため、ダンパアッパーの取り付け部の構造をスプリングとダンパ入力を分離させる入力分離方式として減衰力の効きを高めた。

三代目ロードスターでは、Frサスペンションはダブルウッシュボーンを継承し、車両姿勢を安定化させるアンチダイブジオメトリを最適化した。ロアアーム、アッパーアームをアルミとして軽量化と剛性アップの両立を図った。ダンパはモノチューブ構造でピストン径を大型化し、タイヤの微小な動きにも安定した減衰力が得られる構造とした。Rrサスペンションはリニアなアライメント変化及びコンプライアンスの最適化を図るためにダブルウッシュボーンからマルチリンク式を採用した。各リンクは十分な長さを確保してアライメント変化を少なくした。アンチスクワット、アンチリフトジオメトリも最適化した。ダンパはFr同様にモノチューブとしRrハブサポートに装着することで、タイヤの動きに対するダンパストロークのレバレッジを高めて減衰力の効きを高め乗り心地との両立を図った。これらの取り組みの中で重要視したことは、操縦安定性や乗り心地がドライバーのフィーリングとして人馬一体感をいかに感じるかという感性領域の指標を大切にしたことである。例えばレーンチェンジした時や、限界付近での走行シーンなどでサスペンションが有効に働くには、ボデー剛性との関係が大切になる。三代目ではボデーの横振りモードや捩じりモードにおける車体の2点間距離変化に注目し改良を重ね、ボデー剛性アップを実現することができた。前述のボデー技術の中で示した技術の積み重ねと相まって軽快で安定した操縦安定性と乗り心地を確保に貢献している。

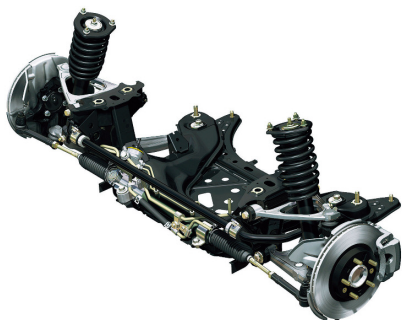


Fig.8 Front Suspension

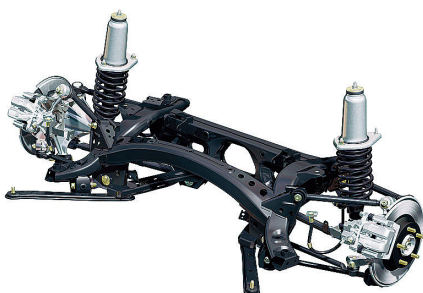


Fig.9 Rear Suspension

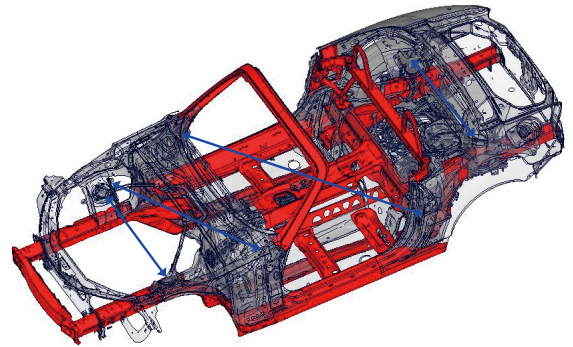


Fig.10 Measurement Location for Two-point Distance

## 4. エンジン

### 4.1 1.6Lエンジン

スポーツカーにとってエンジンは心臓にあたる大切な領域である。パワーやトルクが優れていることはもちろん、ドライバーの感性を刺激する「走り感」を演出することが重要である。そのために、鋭いレスポンスで高回転までストレスなく伸びるトルク特性を持つことや、力強いエグゾーストサウンドや吸気サウンドも欠かせないものである。初代ロードスターでは、FRフロントミッドシップ1.6LDOHC4バルブエンジンで、4-2-1独立エグゾーストや機能美を感じさせるヘッドカバーデザインを採用するなど、ドライバーを刺激するスペックを採用した。

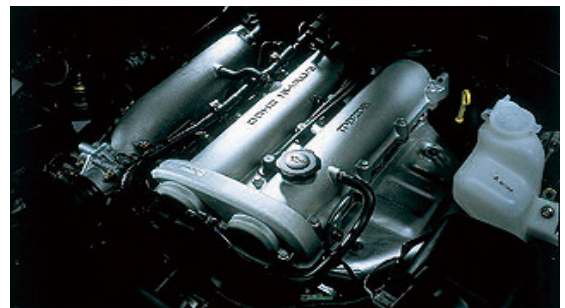


Fig.11 Engine of First Generation Roadster

### 4.2 1.8Lエンジン

二代目1.8Lエンジンは低速から高速までのトルク特性の改善を狙って採用された。可変吸気システム、圧縮比アップ、ノックコントロールシステム、サイレンサの大型化などで低速から高速までのスムーズに吹き上がるトルク特性とアクセルレスポンスの良さを改良した。

### 4.3 2.0Lエンジン

三代目ロードスターでは、2.0Lエンジンを採用した。新開発の2.0Lエンジンはそれまでの1.8L鋳鉄ブロックエンジンからアルミブロックとなり、エンジンだけで20kg以上の軽量化を実現することができ、人馬一体コンセプト実現の大きな軽量化項目となった。合わせてエンジン搭載位置を135mm後方へ移動させてFRフロントミッドシップレイアウトを進化させ、50:50の重量配分をキープした上

で車両全体のヨー感性モーメントを2%低減させた。

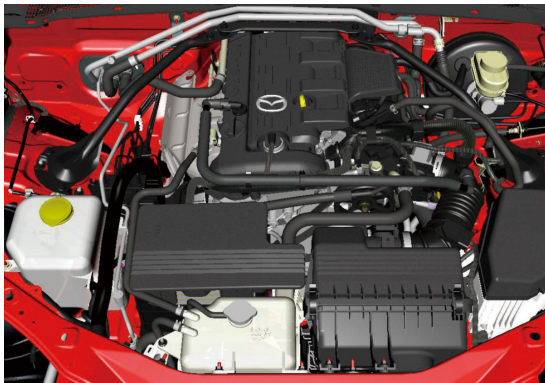
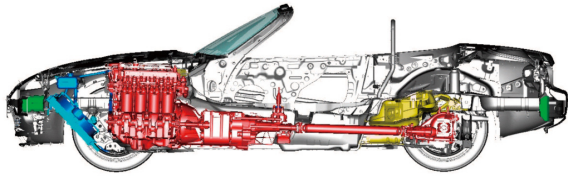


Fig.12 Engine of Third Generation Roadster

#### 4.4 統一感メトリクス

FRとしての「走り感」はどんな走行シーンでも常に楽しく運転できるように、キビキビ軽快でリニアな感覚を高める取り組みを行った。加えて、走りの楽しさを「意のままに操れる＝正確でリニア」と軽やかな身のこなし＝軽快とのバランスであると定義づけし、それらのダイナミック性能のハーモナイズを統一感テストという形で実現する取り組みを行った。それらを実現するメトリクスは、ヨーゲインと加速G、アクセルを踏んでからのGの立ち上がり勾配、クラッチ踏力とアクセル踏力、アクセル踏力とチェンジレバー操作力など、それぞれが、楽しさを体現するテストを持つ調和している姿を作りこんだ。

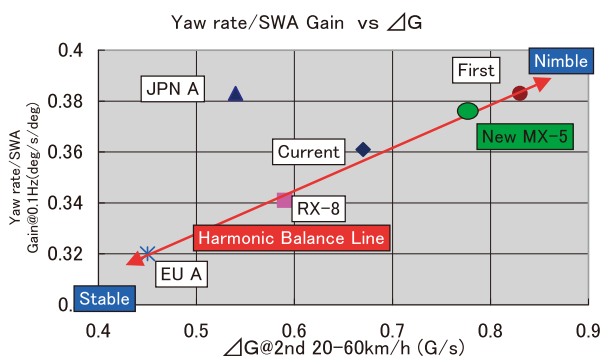


Fig.13 Metrics for Yaw Rate Gain vs  $\Delta G$

#### 4.5 スポーツサウンド

アクセルワークに応じて心地よいスポーツサウンドを積極的にドライバーに伝えることを目的としてインダクションサウンドエンハンサー (ISE) を開発した。インテーク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本体へ導かれ200~400Hzのアグレッシブサウンドとしてダッシュカウル内に放出され、室内のドライバーの耳へと届

けられる。ISEはドライバーがアクセルを踏んでいるときのみ発生するという利点がある。例えば、高速走行でクルージングしているときはISEのサウンドは比較的静かで、アクセルを戻して減速するときは静かになる。そして、ドライバーがアクセルを深く踏み込む時や、ヒールアンドトーでアクセルを踏んだときなど歯切れの良い吸気サウンドがドライバーの気分を高める。



Fig.14 Induction Sound Enhancer

### 5. おわりに

ロードスターの20周年の節目にあたり、「人馬一体」コンセプトを支えるキーとなったFRスポーツのボデー、シャーシ、エンジンの技術について述べたが、その他の多くの技術によって支えられていることはいうまでもない。また、ロードスターは世界中の沢山のお客様によって支えられていることも間違いのないことである。今後も「人馬一体」のFRコンセプトを継承し、お客様の期待を超えられるように常に価値創造と進化を目指し、情熱と誇りを持って技術開発に取り組んでいきたい。

#### 参考文献

- (1) 齊藤ほか：新型ロードスターのダイナミック性能統一感について、マツダ技報No.24 (2006)
- (2) 高橋ほか：新型ロードスターのダイナミック、マツダ技報No.24 (2006)
- (3) 木村ほか：新型ロードスター軽量化ボデーストラクチャの開発、マツダ技報No.24 (2006)

■ 著 者 ■



山本修弘

# 社外への発表論文一覧表（2009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   |
|---------------|--|---|--|---|
| 2009.4.20-23  | SAE 2009 World Congress  | Flow Structures above the Trunk Deck of Sedan-Type Vehicles and Their Influence on High-Speed Vehicle Stability<br>1st Report: On-Road and Wind-Tunnel Studies on Unsteady Flow Characteristics that Stabilize Vehicle Behavior | 岡田 義浩<br>農沢 隆秀<br>中村 貴樹<br>岡本 哲  | 車両実研部<br>同上<br>同上<br>同上   |
|               |  | Flow Structures above the Trunk Deck of Sedan-Type Vehicles and Their Influence on High-Speed Vehicle Stability<br>2nd report: Numerical Investigation on Simplified Vehicle Models Using Large-Eddy Simulation                 | 中島 卓司<br>坪倉 誠<br>農沢 隆秀<br>中村 貴樹<br>一宮 昌司   | 広島大学<br>北海道大学<br>車両実研部<br>同上<br>徳島大学                                    |
| 2009.4.20-23  | SAE<br>SAE World Congress &<br>Exhibition 2009   | Development of PGM Single Nano Catalyst Technology<br><br>Technology of Absorbing Road Noise  | 岩国 秀治<br>高見 明秀<br>三好 誠治<br><br>萬 菜穂子<br>福原 千絵<br>加村 孝信                           | 技術研究所<br>同上<br>パワートレインシステム開発部<br><br>技術研究所<br>NVH性能・CAE技術開発部<br>操安性能開発部 |
| 2009.5.13-15  | JSME<br>International Conference on<br>Motion and Power Transmissions  | Generation and Curvature Analysis of Face-hobbed Hypoid Gears   | 西野 隆之  | パワートレイン技術開発部  |
| 2009.5.15     | IEEE<br>IEEE International Conference<br>on Robotics and Automation  | Moving Object Classification Using Horizontal Laser Scan Data   | Zhao, Huijing<br>Zhang, Quanshi<br>Cui, Jinshi<br>Zha, Hongbin<br>千葉 正基<br>柴崎 亮介 | 北京大学<br>同上<br>同上<br>同上<br>技術研究所<br>東京大学                                 |
| 2009.8.3      | International Foundation for<br>Production Research<br>20 t h International Conference<br>on Production Research | Stochastic Assembly Line Planner with Strategy  | 結城 拓也<br>西本 明充<br>松井 正之<br>上杉 直久<br>山田 哲男  | 電気通信大学<br>同上<br>同上<br>技術研究所<br>東京都市大学                                   |
| 2009.10.11-14 | Proceedings of the 2009 IEEE<br>International Conference on<br>Systems, Man, and Cybernetics                     | Mechanical and Perceptual Analyses of Human Foot Movements in Pedal Operation   | 田中 良幸<br>兼行 秀和<br>辻 敏夫<br>宮崎 透<br>西川 一男<br>農沢 隆秀                                 | 広島大学大学院<br>同上<br>同上<br>車両実研部<br>同上<br>同上                                |
| 2009.11.10    | IEEE<br>The 5th International Workshop<br>on Computational Intelligence and<br>Applications 2009                 | Analysis of Human Hand Impedance Properties Depending on Driving Conditions   | 加芝 祐介<br>田中 良幸<br>辻 敏夫<br>山田 直樹<br>末富 隆雅   | 広島大学大学院<br>同上<br>同上<br>技術研究所<br>同上                                      |
| 2009.11.10-11 | AVL & Technical University of<br>Darmstadt<br>3rd International Symposium on<br>Development Methodology          | Automatic Full Load Optimization  | 矢野 康英<br>村上 康<br>中川 正<br>山本 博之<br>R. Leithgöb                                    | パワートレインシステム開発部<br>同上<br>技術研究所<br>パワートレイン開発本部<br>AVL List GmbH           |

## 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  |
|--------------|--|---------------------------------------|---|--|
| 2009.1.30    | リードエグジビションジャパン株式会社<br>第1回・国際カーエレクトロニクス技術展・専門技術セミナー | 自動車の機能安全に関する最新動向の紹介                   | 村井 健  | 車両システム開発部  |
| 2009.2.9     | 機械学会・中国四国機素潤滑設計技術 (MD&T) 研究会                       | 薄層放射化法による軸受け摩耗メカニズムの解明とその予測計算手法       | 宮内 勇馬   | パワートレイン技術開発部   |
| 2009.2.18    | 岡山県産業振興財団<br>川上・川下ネットワーク構築事業<br>次世代自動車フォーラム        | マツダにおける次世代自動車への取り組み                   | 松岡 孟  | 技術研究所  |
| 2009.02.27   | 自動車技術会<br>新開発エンジンシンポジウム                            | 新型 MZR-2.2L エンジンの紹介                   | 上杉 康範<br>内藤 雅博<br>安田 浩明<br>山内 道広<br>上月 正志<br>森 恒寛<br>谷村 兼次<br>森永 真一 | エンジン設計部<br>同上<br>同上<br>同上<br>パワートレイン開発推進部<br>エンジン実研部<br>同上<br>パワートレイン技術開発部 |
| 2009.3.3     | 自動車技術会<br>自動車工学基礎講座 生産技術                           | 組立工程と品質保証                             | 小笠 正道   | 車体技術部  |
| 2009.3.9-10  | 日本規格協会<br>シミュレーションによるロバスト設計コース                     | 品質工学に基づく自動車サスペンション系のロバスト最適設計          | 内田 博志<br>山下真一郎<br>末富 隆雅   | 技術研究所<br>同上<br>同上  |
| 2009.3.11    | 自動車技術会<br>第6回ガソリン機関部門委員会                           | 動的計測技術の適用による自動テストの効率化                 | 村上 康  | 技術研究所  |
| 2009.3.17    | 電気学会<br>平成21年 全国大会                                 | リチウムイオン二次電池のパルス充放電電流に対する電圧過渡応答解析      | 朝倉 章太<br>田中 正志<br>大河 幸太<br>乾 義尚<br>高辻 秀保                            | 豊橋技術科学大学<br>同上<br>同上<br>滋賀県立大学<br>技術研究所                                    |
| 2009.3.27-30 | 日本化学会<br>第89春季年会 化学技術賞受賞講演                         | 高酸素イオン伝導性材料を用いた高性能パテイクュレート燃焼触媒の開発と実用化 | 山田 啓司<br>原田浩一郎<br>藤田 弘輝<br>對尾 良則<br>高見 明秀                           | 技術研究所<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上  |
| 2009.3.30    | 触媒学会<br>第103回触媒討論会                                 | 貴金属微粒子含有高性能触媒～第3報                     | 岩国 秀治<br>赤峰 真明<br>住田 弘祐<br>重津 雅彦<br>栃岡 孝宏<br>高見 明秀                  | 技術研究所<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上  |

| 日 程          | 主 催 ・ 大 会 名  | 題 目  | 発 表 者  | 所 属  |
|--------------|--|--|--|--|
|              |  | 中空三次元構造を有する複合酸化物のキャラクター化   | 西口 宏泰<br>永岡 勝俊<br>瀧田 祐作<br>本田 友宏<br>浦井 智明<br>山田 啓司<br>原田浩一郎<br>岩国 秀治<br>對尾 良則<br>高見 明秀 | 大分大学<br>同上<br>同上<br>戸田工業(株)<br>同上<br>技術研究所<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上 |
| 2009.4.20-23 | SAE 2009 World Congress  | Spray and Evaporation Characteristics of Multi-Hole Injector for DISI Engines<br>-Effect of Diverging Angle between Neighboring Holes- | 佐藤 圭峰<br>田所 正<br>山川 正尚<br>横畑 英明<br>西田 恵哉<br>洲本 康樹<br>田 江平                              | パワートレイン技術開発部<br>同上<br>同上<br>同上<br>広島大学<br>同上<br>同上                 |
| 2009.5.20-22 | 自動車技術会<br>2009年春季大会学術講演会                                       | 上肢運動インピーダンス特性を考慮したステアリング制御系の操作評価   | 加芝 祐介<br>脇田 裕之<br>田中 良幸<br>辻 敏夫<br>山田 直樹<br>末富 隆雅                                      | 広島大学<br>同上<br>同上<br>同上<br>技術研究所<br>同上                              |
| 2009.5.20-22 | 自動車技術会<br>2009年春季大会  | Using the Hybrid FE-SEA method to predict warning system sound in a trimmed full vehicle   | Arnaud<br>Charpentier<br>宮原 拓也<br>浜田 康<br>大杉 郁代  | 日本イーエスアイ(株)<br>同上<br>電子開発部<br>同上                                   |
| 2009.5.20-22 | 自動車技術会<br>2009年春季大会・学術講演会                                      | 高効率クリーンディーゼル燃焼コンセプトITIC-PCI<br>— LP-EGRを用いた吸気冷却と過渡燃焼制御による実車への適用 —  | 片岡 一司<br>志茂 大輔<br>前川 耕太<br>末岡 賢也   | パワートレイン技術開発部<br>同上<br>同上<br>同上                                     |
| 2009.5.25    | 触媒学会<br>触媒学会 西日本地区 京都地区<br>講演会                                 | 貴金属微粒子含有高性能三元触媒  | 岩国 秀治  | 技術研究所  |
| 2009.5.28    | 日本バイオプラスチック協会<br>日本バイオプラスチック協会セ<br>ミナー                         | バイオプラスチックの自動車分野への利用  | 栃岡 孝宏  | 技術研究所  |
| 2009.6.4     | 中国地域ニュービジネス協議<br>会／ひろしま産業振興機構／岡<br>山県産業振興財団<br>欧州の自動車電子化に係る講演会 | 自動車の機能安全に関する最新動向の紹介  | 村井 健   | 車両システム開発部  |
| 2009.6.10-12 | 日本人間工学会<br>日本人間工学会第50回記念大会                                     | 見通し不良地点での追突防止支援システムによる運転行動の変化  | 岩下 洋平<br>石橋 基範<br>三浦 泰彦<br>山本 雅史   | 技術研究所<br>同上<br>同上<br>同上  |
| 2009.6.16    | 型技術協会<br>型技術者会議2009  | 機械加工面の品質を向上させるパラメータ制御<br>手法の構築   | 河地 孝俊  | 車両技術部  |
| 2009.6.24-26 | リード エグジビション ジャパン(株)<br>設計・製造ソリューション展                           | 活かした3次元CAD情報の作成とその活用を中心<br>とする開発・設計現場の取組み  | 清水 和己  | ボデー開発部   |

| 日程           | 主催・大会名   | 題 目  | 発表者   | 所 属   |
|--------------|--|--|---|---|
| 2009.6.24-26 | リード エグジビション ジャパン(株)<br>産業用バーチャルリアリティ展            | マツダにおけるデジタルモックアップ活用の進化                                   | 渡部 豊  | ボデー開発部  |
| 2009.7.2     | 株式会社広島テクノプラザ<br>EMC対策フォーラム                       | 自動車のEMC開発への取り組み  | 浜田 康  | 電子開発部   |
| 2009.7.20    | 画像情報学フォーラム 他<br>MIRU 2009 第12回画像の認識・<br>理解シンポジウム | 平面投影ステレオ視を用いた路肩検出  | 葛西 達哉<br>小野口一則<br>佐藤 正明<br>岩瀬 耕二                                    | 弘前大学大学院<br>同上<br>日立ソフト(株)<br>技術研究所                |
| 2009.7.21-22 | 可視化情報学会<br>第37回可視化情報シンポジウム                       | セダンタイプの自動車のトランクデッキ上の流<br>れ構造と高速安定性へ与える影響                 | 秋山 裕介<br>農沢 隆秀<br>中村 貴樹<br>岡本 哲<br>岡田 義浩                            | 車両実研部<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上                     |
|              |  | Large-Eddy Simulationを用いたセダンタイプ乗<br>用車のトランクデッキ上の流れ構造の可視化 | 中島 卓司<br>坪倉 誠<br>農沢 隆秀<br>中村 貴樹<br>岡田 義浩                            | 広島大学<br>北海道大学<br>車両実研部<br>同上<br>同上                |
| 2009.7.24    | 日本ロボット学会<br>ロボット工学セミナー                           | デジタルヒューマンの自動車操作性開発におけ<br>る応用事例                           | 山田 直樹   | 技術研究所   |
| 2009.8.1     | 応用物理学会 中四国支部 他<br>物理系3学会 中四国支部 支部学<br>術講演会       | 「マツダの水素自動車開発 ～サスティナブルな<br>未来に向けて～」<br><水素ロータリーエンジンの紹介>   | 森本 賢治   | 技術研究所   |
| 2009.8.28    | 自動車技術会 関西支部<br>2009年度 第1回講習会                     | 車室内VOCの計測技術  | 市川 智士   | 技術研究所   |
| 2009.9.1-3   | 日本機械学会<br>第20回内燃機関シンポジウム                         | CFD解析による群噴孔ノズルのディーゼル噴霧<br>混合気形成および排気低減メカニズムの解明           | 金 尚奎<br>難波 真<br>志茂 大輔<br>片岡 一司                                      | パワートレイン技術開発部<br>同上<br>同上<br>同上                    |
| 2009.9.1-4   | ヒューマンインタフェース学会<br>ヒューマンインタフェースシン<br>ポジウム2009     | 出会い頭衝突防止支援システムによる運転行動<br>の変化とドライバ個人特性の関係                 | 三浦 泰彦<br>石橋 基範<br>岩下 洋平<br>山本 雅史                                    | 技術研究所<br>同上<br>同上<br>同上                           |
| 2009.9.2     | 第20回内燃機関シンポジウム                                   | ロータリーエンジンのサイクル変動に注目したガ<br>ス流動場の解析                        | 森吉 泰生<br>榎 大地<br>田端 道彦<br>香川 良二<br>奥井 伸宜                            | 千葉大学<br>同上<br>パワートレイン技術開発部<br>同上<br>同上            |
| 2009.9.14    | 自動車技術会<br>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   | PT技術部   |
| 2009.09.15   | 日本機械学会<br>2009年度年次大会                             | エンジンシステム部門<br>「マツダ新型 MZR-CD2.2エンジンの開発」                   | 上杉 康範   | パワートレイン技術開発部                                      |
| 2009.9.27-30 | 触媒学会<br>第104回触媒討論会                               | 希土類含有酸化物上でのNO <sub>x</sub> 吸着・脱離挙動に<br>関する検討             | 佐藤 勝俊<br>牟禮 辰洋<br>河野 崇<br>永岡 勝俊<br>西口 宏泰<br>滝田 祐作<br>山田 啓司<br>高見 明秀 | 大分大学<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上<br>技術研究所<br>同上 |



| 日程            | 主催・大会名   | 題 目   | 発表者           | 所 属  |   |               |             |
|---------------|--|---|---------------|--|---|---------------|-------------|
| 2009.10.7-9   | 自動車技術会<br>2009年秋季大会学術講演会                           | Pd触媒上での過渡NO <sub>x</sub> 浄化性能に及ぼすサポート材表面特性の影響                       | 越智 康博         | 技術研究所  |   |               |             |
|               |  |   | 川端 久也         | 同上   |   |               |             |
|               |  |   | 重津 雅彦         | 同上   |   |               |             |
|               |  |   | 住田 弘祐         | 同上   |   |               |             |
|               |  |   | 國府田由紀         | 同上   |   |               |             |
|               |  |   | 栃岡 孝宏         | 同上   |   |               |             |
| 2009.10.23-24 | 日本設計工学会<br>平成21年度秋季大会研究発表講演会                       | 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2報)<br>-燃料成分が異なる同一オクタン価のモデル燃料を用いた解析- | 養祖 隆          | パワートレイン技術開発部                                       |   |               |             |
|               |  |   | 山川 正尚         | 同上   |   |               |             |
|               |  |   | 田中 重行         | コスモ石油(株)   |   |               |             |
|               |  |   | 草鹿 仁          | 早稲田大学  |   |               |             |
|               |  |   | 松村 広隆         | 衝突性能開発部  |   |               |             |
|               |  |   | 久保 一夫         | 車両開発本部   |   |               |             |
| 2009.10.24    | 日本設計工学会<br>平成21年度秋季大会研究発表講演会                       | 品質工学に基づく鞭打ち傷害低減シート開発  | 尾川 茂          | 衝突性能開発部  |   |               |             |
|               |  |   | 上野 正樹         | 同上   |   |               |             |
|               |  |   | 横山 暢彦         | 同上   |   |               |             |
|               |  |   | 松村 広隆         | 衝突性能開発部  |   |               |             |
|               |  |   | 久保 一夫         | 車両開発本部   |   |               |             |
|               |  |   | 尾川 茂          | 衝突性能開発部  |   |               |             |
| 2009.10.29-30 | 日本イーエスアイ株式会社<br>PAM Users' Conference in Asia 2009 | PAM-CEMによる自動車用24GHzレーダー性能解析   | 上野 正樹         | 同上   |   |               |             |
|               |  |   | 横山 暢彦         | 同上   |   |               |             |
|               |  |   | 浜田 康          | 電子開発部  |   |               |             |
|               |  |   | 鶴長真里絵         | 電子開発部(マツダE&T)                                      |   |               |             |
|               |  |   | 2009.10.29-30 | 日本イーエスアイ株式会社<br>PAM Users' Conference in Asia 2009 | Hybrid FE-SEA手法による車室内ブザー音圧解析  | 浜田 康<br>大杉 郁代 | 電子開発部<br>同上 |
|               |  |   | 2009.11.17    | 平成21年度地域イノベーション<br>創出研究開発事業                        | ホットスタンプを活用した車体の軽量化<br><br>ドライブレコーダーによるヒヤリハットデータの<br>予防安全対策候補別分類<br><br>中空三次元構造ナノ粒子NO <sub>x</sub> 触媒の開発<br><br>立体擬音警報が危険回避行動を早めるメカニズム<br>に関する考察 | 尾川 茂          | 衝突性能開発部     |
| 御室 哲志         | 秋田県立大学   |   |               |  |   |               |             |
| 宇野 章則         | スズキ(株)   |   |               |  |   |               |             |
| 宇野 仁          | 日産自動車(株)   |   |               |  |   |               |             |
| 里見 洋平         | トヨタ自動車(株)  |   |               |  |   |               |             |
| 猿渡 英敏         | (株)本田技術研究所   |   |               |  |   |               |             |
| 関口 守          | 富士重工業(株)   |   |               |  |   |               |             |
| 塚原 俊哉         | 三菱自動車工業(株)   |   |               |  |   |               |             |
| 三浦 泰彦         | 技術研究所  |   |               |  |   |               |             |
| 吉田 稔          | ダイハツ工業(株)  |   |               |  |   |               |             |
| 茂呂 克己         | 自動車技術会   |   |               |  |   |               |             |
| 鎌田 実          | 東京大学大学院  |   |               |  |   |               |             |
| 永井 正夫         | 東京農工大学大学院  |   |               |  |   |               |             |
| 對尾 良則         | 技術研究所  |   |               |  |   |               |             |
| 原田浩一郎         | 同上   |   |               |  |   |               |             |
| 山田 啓司         | 同上   |   |               |  |   |               |             |
| 岩国 秀治         | 同上   |   |               |  |   |               |             |
| 高見 明秀         | 同上   |   |               |  |   |               |             |
| 三好 誠治         | パワートレインシステム開発部                                     |   |               |  |   |               |             |
| 浦井 智明         | 戸田工業(株)  |   |               |  |   |               |             |
| 本田 知広         | 同上   |   |               |  |   |               |             |
| 西口 宏泰         | 大分大学   |   |               |  |   |               |             |
| 瀧田 祐作         | 同上   |   |               |  |   |               |             |
| 米澤 泰延         | 技術研究所  |   |               |  |   |               |             |
| 新部 忠幸         | 同上   |   |               |  |   |               |             |
| 山本 康典         | 同上   |   |               |  |   |               |             |

| 日程          | 主催・大会名  | 題 目  | 発表者  | 所 属  |
|-------------|---|--|--|--|
| 2009.10.2   | 化学工学<br>中国地区化学工学懇談会セミナー                                       | 高効率クリーン燃焼コンセプトITTC-PCI<br>～LP-EGRを用いた吸気冷却と過度燃焼制御に<br>よる実車への適用～ | 片岡 一司<br>志茂 大輔<br>前川 耕太<br>末岡 賢也   | パワートレイン技術開発部<br>同上<br>同上<br>同上   |
|             |   | ディーゼル燃焼排出ガス用中空三次元構造ナノ<br>粒子NO <sub>x</sub> 触媒の開発               | 高見 明秀  | 技術研究所  |
| 2009.10.7-9 | 自動車技術会<br>2009年秋季大会学術講演会                                      | 状態遷移モデルを用いた一時停止交差点におけ<br>るドライバの発進意図推定方法の検討                     | 為貝 仁志<br>山本 雅史<br>藤田 健二  | 技術研究所<br>同上<br>同上  |
|             |   | 自動車乗降時における上肢の身体負担への影響<br>と負担評価                                 | 佐々木紀和<br>小竹 元基<br>岡本 宜久<br>武田 雄策   | 東京大学大学院<br>同上<br>技術研究所<br>同上   |
|             |   | 下肢の機械特性と操作性を考慮したペダルレイ<br>アウトの検討                                | 武田 雄策<br>大黒谷陽子<br>梅津 大輔<br>上村 裕樹<br>宮崎 透<br>大坪 智範  | 技術研究所<br>同上<br>走行・環境性能開発部<br>車両実研部<br>同上<br>同上                                 |
|             |   | 高耐熱高強度ポリ乳酸開発材による自動車内装<br>部品の開発                                 | 松田 祐之<br>栃岡 孝宏<br>一原 洋平<br>原 正雄<br>宮本 嗣久<br>岩本 道尚<br>志水 克教<br>岩山 幸生<br>山本 博一<br>作田 信幸<br>友安 伸吾 | 技術研究所<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上<br>車両技術部<br>同上<br>装備開発部<br>西川ゴム工業(株)<br>同上<br>同上 |
|             |   | 環境に優しい新しい水性塗装システムの開発   | 久保田 寛<br>山根 貴和<br>古賀 一陽<br>神田 輝夫<br>松田 隆臣  | 技術研究所<br>同上<br>同上<br>車両技術部<br>同上   |
|             |   | ドライバの安全確認行動検知のための顔向き検<br>出技術の開発                                | 嶋田 敬士<br>野口 祥宏<br>笹原 英明<br>山本 雅史<br>為貝 仁志  | 旭化成(株)<br>同上<br>同上<br>技術研究所<br>同上  |
| 2009.10.10  | 日本機械学会<br>第22回 計算力学講演会  | 複雑形状鋼板の均一な通電加熱における効率的<br>最適化法                                  | 八木 史明<br>平本 健治   | 東京工業大学大学院<br>技術研究所   |
| 2009.10.14  | 水素エネルギー利用開発研究会<br>未来エネルギーとしての水素に<br>関する人材育成研修                 | 水素エンジン及び水素自動車等の基礎知識  | 森本 賢治  | 技術研究所  |
| 2009.10.15  | Ricardo Software セミナー2009                                     | PISDYN を適用した自動車用エンジン開発の紹介                                      | 内田 敦   | パワートレイン技術開発部   |
| 2009.10.16  | 自動車技術会 ガス燃料エンジン<br>部門委員会<br>No.2-09 シンポジウム「普及が<br>進むガス燃料エンジン」 | 水素／ガソリン・デュアルフューエルロータリ<br>ーエンジンの特徴                              | 三角 正法  | 技術研究所  |

| 日程            | 主催・大会名  | 題 目  | 発表者  | 所 属   |
|---------------|---|--|--|---|
| 2009.10.20    | リード・ビジネスインフォメーション(株)<br>第2回品質向上セミナー                     | 品質工学とシミュレーションによる自動車サスペンション系のロバスト最適設計         | 内田 博志  | 技術研究所   |
| 2009.10.23    | 近畿大学工学部<br>近畿大学工学部 研究フォーラム 2009                         | 広島地区のITS公道実証実験の紹介                            | 大西 晃二  | 技術研究所   |
| 2009.10.27    | 日経BP社<br>日経ものづくりセミナー                                    | マツダにおける自動車部品へのバイオプラ適用の取り組み                   | 栃岡 孝宏  | 技術研究所   |
| 2009.10.29    | サイバネットシステム株式会社<br>Maple Techno Forum 2009               | マツダにおけるモデルベース開発の現状とモデリングツールへの期待              | 小森 賢   | パワートレインシステム開発部  |
| 2009.10.30    | 日本イーエスアイ(株)<br>PAM Users' Conference in Asia 2009       | ハイテン部品の寸法精度予測向上の取り組み                         | 酒井 明   | 車体技術部   |
| 2009.11.5     | エレクトロニクス実装学会 環境調和型実装技術委員会 環境配慮設計技術研究会<br>2009年度第2回公開研究会 | マツダの水素自動車<br>～サステナブルな未来に向けて～                 | 齊藤 智明<br>上田 貴之<br>清水 良<br>菅 俊也<br>鳥居 和<br>嘉代 秀和<br>海老野 弘<br>池田 大志      | 技術研究所<br>同上<br>PTシステム開発部<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上            |
| 2009.11.7     | プラスチック成形加工学会<br>成形加工学会 第17回秋季大会                         | 廃車バンパ再生材の新車バンパへの適用技術<br><br>自動車用バイオファブリックの開発 | 森脇 健二<br>栃岡 孝宏<br><br>宮本 嗣久<br>原 正雄<br>松田 祐之<br>栃岡 孝宏<br>林 宏和<br>豊原 清綱 | 技術研究所<br>同上<br><br>技術研究所<br>同上<br>同上<br>同上<br>帝人ファイバー(株)<br>帝人(株) |
| 2009.11.12    | 日本機械学会<br>とことんわかる自動車のモデリングと制御 ～環境対応技術～                  | 水素自動車「RX-8ハイドロジェンRE」のデュアルフューエルシステム           | 齊藤 智明  | 技術研究所   |
| 2009.11.24-25 | 素形材センター<br>平成21年度鑄造技術研修講座<br>「鑄鉄の生産技術」                  | キュボラ溶解の実際<br><br>中子造型法と砂                     | 田中 裕一<br>堀 雄二  | PT技術部<br>PT技術部  |
| 2009.11.25    | 広島大学<br>広島大学リエゾンフェア2009 in 広島                           | 産学連携によるプラスチック技術の研究開発                         | 栃岡 孝宏  | 技術研究所   |
| 2009.11.26    | FTR先端技術紹介セミナー   | RYUJINの適用事例と今後の展開                            | 三瀬 大海  | パワートレイン技術開発部  |
| 2009.11.27    | 日本科学技術連盟<br>品質機能展開シンポジウム                                | 品質工学とシミュレーションによるロバスト最適設計                     | 内田 博志  | 技術研究所   |
| 2009.11.28    | 第42回<br>日本人間工学会中国・四国支部大会                                | 自動車運転席のシフト配置の検討                              | 太田 浩司<br>大坪 智範<br>西川 一男<br>農沢 隆秀                                       | 車両実研部<br>同上<br>同上<br>同上   |

| 日程          | 主催・大会名                          | 題 目   | 発表者  | 所 属   |
|-------------|---------------------------------|---|--|---|
|             |                                 | 車両加速度を考慮した自動車操縦空間の人間特性に基づく解析・評価                   | 楽松 武<br>田中 良幸<br>辻 敏夫<br>西川 一男<br>農沢 隆秀                    | 広島大学大学院<br>同上<br>同上<br>車両実研部<br>同上            |
|             |                                 | 靴底特性を考慮した下肢ペダル操作モデルによる反力知覚メカニズムの解析                | 大中 潤<br>楽松 武<br>田中 良幸<br>辻 敏夫<br>西川 一男<br>農沢 隆秀            | 広島大学大学院<br>同上<br>同上<br>同上<br>車両実研部<br>同上      |
|             |                                 | クルマの装飾が操作機器（オーディオ、空調）に与える効果の研究                    | 秦 沢美<br>古川 千尋<br>友景 功二<br>谷本 雅宏<br>福井 信行<br>西川 一男<br>農沢 隆秀 | 車両実研部<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上     |
| 2009.11.30  | 日本金属プレス工業協会<br>第78回金属プレス加工技術研究会 | 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   |
| 2009.12.1   | 炭素材料学会<br>第36回炭素材料学会 年会         | フェノール樹脂を前駆体とするサブミクロンサイズの球状活性炭の調製とその電気二重層キャパシタへの応用 | 小林 誠<br>甲斐 裕之  | 広島大学<br>技術研究所                                 |
| 2009.12.2-4 | 日本機械学会<br>第18回 交通・物流部門大会        | 二輪独立駆動可能な電気自動車のヨーモーメントオブザーバのロバスト性に関する検証           | 鈴木 亨<br>山内 雄哉<br>藤本 博志<br>楠本 信平<br>菅野 崇                    | 横浜国立大学<br>同上<br>同上<br>技術研究所<br>同上             |
|             |                                 | 緊急時のドライバ回避操作分析に基づく操舵アシスト制御の一考察                    | 高橋 英輝<br>山本 康典<br>石川 敏弘                                    | 技術研究所<br>同上<br>交通事故総合分析センター                   |
| 2009.12.2-4 | 第47回燃焼シンポジウム                    | 急速圧縮装置を用いたロータリエンジンの着火強化に関する基礎研究                   | 中島 史裕<br>神原 伸司<br>香川 良二<br>橋本 秀樹<br>森上 修<br>村瀬 英一          | 九州大学<br>パワーレイン技術開発部<br>同上<br>九州大学<br>同上<br>同上 |
| 2009.12.5   | 日本人間工学会<br>日本人間工学会関東支部第39回大会    | 情報提供のための音の物理特性が方向や遠近感の知覚に与える影響                    | 露木 章史<br>横田佳代子<br>岩本 太郎<br>石橋 基範                           | 技術研究所<br>同上<br>同上<br>同上                       |
| 2009.12.10  | 自動車技術会<br>講習会 車体のロバスト設計の基礎とその応用 | 技術開発のためのシックスシグマ（DFSS）                             | 山田 洋史  | 技術研究所   |

| 日程         | 主催・大会名   | 題 目  | 発表者   | 所 属  |
|------------|--|--|---|--|
| 2009.12.10 | ITS Japan<br>第8回 ITSシンポジウム2009                 | <p>インフラ協調安全運転支援システムの人間工学的評価（第2報）<br/>－広島DSSS公道実証実験での分析－</p> <p>プローブ情報を活用した安全運転支援技術の開発<br/>－プローブカーの急減速発生状況と事故発生時状況の比較－</p> <p>車車間通信を利用した安全運転支援システムの公道検証</p> <p>インフラ協調安全運転支援システムの人間工学的評価（第1報）<br/>－広島DSSSを対象とした評価手法の体系化－</p> | <p>藤原 由貴<br/>奥田 一之<br/>山田 秀行<br/>山崎 慎也<br/>疋田 尚之<br/>石橋 基範<br/>山田 直樹<br/>岡崎 俊実</p> <p>山崎 慎也<br/>舟久保 晃<br/>谷澤 悠輔</p> <p>奥木 友和<br/>岩下 洋平<br/>山本 雅史<br/>藤田 健二</p> <p>石橋 基範<br/>岩下 洋平<br/>三浦 泰彦<br/>山本 雅史</p> | <p>技術研究所<br/>同上<br/>同上<br/>同上<br/>同上<br/>同上<br/>同上<br/>同上</p> <p>技術研究所<br/>同上<br/>同上</p> <p>技術研究所<br/>同上<br/>同上<br/>同上</p> |
| 2009.12.15 | 自動車技術会<br>NO.11-09シンポジウム<br>「進化を続けるガソリンエンジンII」 | 進化複雑化するエンジン開発を支える高機能性能評価技術   | 村上 康  | パワートレインシステム開発部   |

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  |
|--|----------------------------------|--|--|--|
| 型技術  | 2009.7月号<br>Vol.24, No.8, p16-17 | 機械加工面の品質を向上させるパラメータ制御手法の構築                     | 河地 孝俊  | 車両技術部  |
| 自動車技術                                      | Vol.63, No.3, p.53-56            | インフラ協調システムの広島地区公道実証実験                          | 岡崎 俊実<br>藤原 由貴<br>山田 直樹<br>山田 秀行<br>山崎 慎也<br>石橋 基範 | 技術研究所<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上          |
|  | Vol.63, No.3, p.69-72            | ASV広島公道実験                                      | 山本 雅史  | 技術研究所  |
|  | Vol.63, No.7, p.18-19            | 酸素イオン伝導材を用いた高性能パティキュレート燃焼触媒の開発                 | 原田浩一郎<br>山田 啓司<br>藤田 弘輝<br>岡本 謙治<br>高見 明秀          | 技術研究所<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上                |
|  | Vol.63, No.11, p.54-59           | 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次元触媒               | 高見 明秀  | 技術研究所  |
| 自動車技術会関西支部ニュース                             | 35号, p.8-9                       | 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  | パワートレイン技術開発部                                 |
| 自動車技術会<br>Review of Automotive Engineering | Vol.30, No.1, p.91-94            | Development of Bioplastic for Automobile Parts | 松田 祐之<br>一原 洋平<br>栃岡 孝宏<br>吉田 邦彦                   | 技術研究所<br>同上<br>同上<br>知的財産部                   |
|  | Vol.30, No.4, p.401-407<br><br>π | 歩行者に対するドライバの回避行動                               | 内海 将司<br>石川 敏弘                                     | 車両システム開発部<br>交通事故総合分析センター                    |
| 自動車技術会論文集                                  | Vol.40, No.2, p.319-324          | ロータリエンジンの着火と燃焼<br>ー火炎伝ばに及ぼす点火プラグ配置の影響ー         | 奥井 伸宜<br>高橋 巧朋<br>香川 良二<br>田端 道彦<br>森上 修<br>村瀬 英一  | パワートレイン技術開発部<br>同上<br>同上<br>同上<br>九州大学<br>同上 |
|  | Vol.40, No.2, p.573-578          | タスクの精神的負担と個人の注意の特性が眼球運動と動体視力に及ぼす影響             | 石橋 基範<br>栗谷川幸代<br>景山 一郎<br>土居 俊一                   | 技術研究所<br>日本大学<br>同上<br>香川大学                  |
| 自動車工学                                      | Vol.58, No.6, p.46-55            | リアビークルモニタリングシステム                               | 清水 賢治<br>花田 充基<br>磯本 和典<br>西田 史彦<br>遠藤 靖之          | 車両システム開発部<br>同上<br>同上<br>同上<br>同上            |

| 寄稿誌名 巻・号・ページ   | 題 目  | 発表者   | 所 属   |
|--|--|---|---|
| 品質工学 2009, No.1, p35-49  | 広島地区ならびにマツダにおける品質工学研究活動の検討   | 龍田 康登<br>安達 範久<br>井田 吉人<br>福本 康博<br>矢野 宏  | 役員<br>ツーリング製作部<br>PT技術部<br>同上<br>(株オーケン)  |
| MTZ 00I2009 Vol.70, p.464-471  | The new MZR-CD 2.2 Diesel Engine from Mazda  | 上杉 康範<br>内藤 雅博<br>安田 浩明<br>山内 道広<br>上月 正志<br>森 恒寛<br>谷村 兼次<br>森永 真一<br>ヨアキム クンツ | エンジン設計部<br>同上<br>同上<br>同上<br>パワートレイン開発推進部<br>エンジン実研部<br>同上<br>パワートレイン技術開発部<br>MME PEV |
| Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing Vol. 3, No. 3, p.224-235 | Computerized Modeling and Loaded Tooth Contact Analysis of Hypoid Gears Manufactured by Face Hobbing Process | 西野 隆之   | パワートレイン技術開発部  |
| MACHINE DESIGN & TRIBOLOGY 日本機械学会設計部門ニューズレター NO.28, ISSN-1340-6701, p.2                    | 基礎研究をいかに実用製品に結び付けたか (Part21)   | 西野 隆之   | パワートレイン技術開発部  |
| Review of Automotive Engineering JSAE Vol.30, No.4, p.379-385                              | Ignition and Combustion of Rotary Engine -Effect of spark-plug arrangement on flame propagation-             | 奥井 伸宜<br>高橋 巧朋<br>香川 良二<br>田端 道彦<br>森上 修<br>村瀬 英一                               | パワートレイン技術開発部<br>同上<br>同上<br>同上<br>九州大学<br>同上  |

## 編集後記

マツダ技報28号は、特集としてこのたび発売した新型プレマシー、環境を取り上げました。これら特集に加え、その他の論文・解説と併せて、マツダの技術者の熱い思いが伝わってくると思います。

マツダ株式会社の創立90周年に際して、マツダ技報は従来とは異なる取り組みをしました。先ずマツダ技報28号を、誰でもアクセス可能なオフィシャルホームページの掲載のみとし、森林資源の保護のため紙媒体による冊子の発行を止めました。また、マツダ技報の読者のアクセスの容易化を図るため、オフィシャルホームページの構成を改善しました。

また、現在販売中の車種が掲載されている21号から27号のバックナンバーを、オフィシャルホームページに掲載し、マツダ車を購入されたあるいは購入を検討されておられるお客様などが、当該車種に関する技術情報にアクセス可能としました。

さらに、1983年に発行された第1号以降の全バックナンバーと最新の第28号を収録した創立90周年記念DVDを、国立国会図書館を始めとした全国の都道府県市立の中央図書館および国公立の大学・短期大学・高等専門学校に中央図書館に寄贈することとしました。

これらの取り組みにより、マツダ株式会社の技術的文化遺産の1つとして、研究者、技術者、著述家ならびに一般の方々に広く情報提供することで、自動車技術の理解・発展に寄与できれば幸いです。(新田茂樹)

---

## 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   | 森口 義久 | 商品戦略本部 技術企画部            |
|      | 野中 健次 | 商品企画本部 企画設計部            |
|      | 重田 一生 | 車両開発本部 電子開発部            |
|      | 宮島 陽一 | 車両開発本部 衝突性能開発部          |
|      | 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 |
|      | 斉藤 史彦 | 技術研究所                   |
|      | 坂野 律男 | 技術本部 車体技術部              |
| 編集幹事 | 新田 茂樹 | 商品戦略本部 技術企画部            |

---

## マツダ技報 第28号

発行 2010年7月  
発行人 金井 誠太  
編集人 富山 道雄  
事務局 新田 茂樹  
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(565)2198

## Mazda Technical Review No.28

July 2010  
Publisher Seita Kanai  
Editor Michio Tomiyama  
Bureau Shigeki Nitta  
Publishing office Technology Planning Dept.  
Product Strategy Div.  
Mazda Motor Corporation  
3-1 Shinchi, Fuchu-cho Akigun,  
Hiroshima 730-8670, Japan

©2010マツダ株式会社 (禁無断転載)