マツダ技報 2006 No.24

Mazda Technical Review

mazda

マツダ技報
Mazda Technical Review

2006 No.24

マツダ技報　第24号　（2006）

目　　次

巻頭言

今後の商品開発の在り方 …… 丸本　明 …… 1

特集：新型ロードスター

1．新型ロードスターの紹介 …… 貴島孝雄，山口宗則，秋山耕一 …… 3

2．新型ロードスターのデザイン …… 中牟田泰 …… 9

3．新型ロードスターのパッケージング …… 任田　功，福岡泰明，十亀克維 …… 14

4．新型ロードスターのダイナミック性能 統一感について …… 斎藤茂樹，佐々木健二，小栗健作，宮脇俊一郎 …… 19

5．新型ロードスターの走り感／レスポンス性能 …… 佐々木健二，小栗健作，齋藤茂樹，山下　勲 …… 23

6．新型ロードスターのダイナミクス …… 髙橋宏治，小林　茂，小宮勝行，立畑哲也，當舎浩光，新田祐司 …… 29

7．新型ロードスターのパワートレインの紹介 …… 若狭章則，今村善彦，矢嶋綱夫，松尾直也，西村克典，藤冨哲男 …… 35

8．新型ロードスターの新開発サイドエアバッグ …… 中村健吾 …… 41

9．オープン走行時の快適性向上技術開発 …… 矢野輝昭，坂倉忠則，小野正義，濱元克洋，久我秀功，大平洋樹，久文陽子，十亀克維 …… 45

10．新型ロードスターの幾何学絞 …… 阿部智行 …… 50

11．新型ロードスターBose®サウンドシステムの開発 …… 若松功二，手島由裕，池田竜太，毎熊　亮 …… 56

12．新型ロードスターにおける高強度・薄型クロスメンバの開発 …… 三木建次郎，木村隆之，田中祐充，胡木　隆，柴原多衛 …… 61

13．新型ロードスター軽量化ボデーストラクチャの開発 …… 木村隆之，池田敏治，中髪修一，福田真祝，田村　学，小橋正信 …… 66

14．新型ロードスター車体開発におけるCAE適用技術の紹介 …… 田中祐充，胡木　隆，砂田　実，吉井群治，松岡秀典 …… 72

15．新型ロードスターのソフトトップ開発 …… 田上宏紀，黒田将仁，松延知昭，加藤幹人，執行康之，三浦泰彦 …… 78

16．本革製ステアリングホイールの触感向上技術 …… 田中　力，牧野耕樹，宮濱芳文，京極　誠，安原完治 …… 84

17．鉄とアルミ材の点接合技術の開発 …… 庄司庸平，高瀬健治，玄道俊行，垰　邦彦，森川賢一，野口竜弘 …… 90

18．新型ロードスター　フロントフェイシャの開発 …… 神田博文，益田　孝，藤岡義弘，古川智司，渡部　浩，中山伸之 …… 95

特集：新型MPV

19．新型MPVの紹介 …… 青山裕大，髙田　稔，木下勝之，中松由佳 …… 102

20. 新型MPVのデザイン …… 大矢隆一 …… 107
21. 新型MPVのパッケージング …… 渡辺康和 …… 113
22. 新型MPVの駆動力（変速）制御技術の紹介 …… 國分弥則，宮脇俊一郎，渡辺洋史 今石成昭，佐々木和夫，大久保智広 … 119
23. 新型MPV　パワートレインの紹介 …… 青木　基，末国栄之介，室谷満幸 藤川朋久，藤原卓治，佐々木和夫 河野裕人 …… 123
24. 新型MPVのシートの開発 …… 中矢耕一，宮原民夫 …… 130

論文・解説

25. RX-8ハイドロジェンREの紹介 …… 柏木章宏，後藤昌志 …… 135
26. 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 …… 齊藤智明，松下正典，三津木宏明 上田貴之 …… 139
27. 車対車側面衝突における大型車の加害性低減構造 …… 安部晶子，福島正信，尾川　茂 砂川孝之 …… 144
28. マツダ・プリクラッシュ・セーフティ・システムの開発 …… 西鍛治聡，福島正信，山本康典 …… 150
29. マツダ・レーダ・クルーズ・コントロール・システムの開発 …… 山本康典，寺野隆志，中上　隆 …… 154
30. デジタル／アナログテレビ兼用フィルムアンテナの開発 …… 重田一生，谷口龍昭，牛尾將雄 諸橋敏将 …… 159
31. 直噴ディーゼル・エンジンにおけるモデルベース キャリブレーションの適用 … 吉田元則，山田　薫，奥田恒久 原田真悟 …… 164
32. 動弁系及びタイミングチェーンの機構運動解析 …… 小泉昌弘，宮内勇馬，近藤真希夫 …… 169
33. シリンダヘッドの熱疲労寿命予測 …… 宮嵜隆男，加賀谷浩，天野浩平 平本健治，村上展堂，鳥越祐児 池田雅博 …… 173
34. 触媒担持型DPFの開発 …… 藤田弘輝，原田浩一郎，對尾良則 高見明秀 …… 178
35. 手戻りのない新技術開発プロセスの構築 …… 橋本　晃，奥村信弥，山本真司 …… 184
36. 次世代ナレッジデータベースの開発 …… 岡田厚信，角　光真 …… 189
37. 3D金型設計拡大に向けたEngineering HUBシステムの開発 …… 脊戸睦男，松田　武 …… 195
38. 環境にやさしい高付き回り電着塗料の開発 …… 重永　勉，山田光夫 …… 200
39. 中上塗り塗装工程内品質保証技術の開発 …… 山本充億，掛　正喜，世良和也 岩尾　剛 …… 205

特許紹介 …… 211

社外への発表論文一覧表 …… 216

Mazda Technical Review No.24

CONTENTS

Foreword

Our Way to Go in Product Development
(A.Marumoto) 1

Special Edition for All-New Roadster

1. Introduction of All-New Roadster
(T.Kijima, M.Yamaguchi, K.Akiyama) 3

2. Design of All-New Roadster
(Y.Nakamuta) 9

3. Package of All-New Roadster
(I.Tohda, Y.Fukuoka, K.Sogame) 14

4. Task for Harmonizing Tastes of Dynamic Performance
(S.Saito, K.Sasaki, K.Oguri, S.Miyawaki) 19

5. All-New Roadster Performance Feel / Response Performance
(K.Sasaki, K.Oguri, S.Saito, I.Yamashita) 23

6. Dynamics of All-New Roadster
(K.Takahashi, S.Kobayashi, K.Komiya, T.Tachihata, H.Tosha, Y.Nitta) 29

7. Introduction of All-New Roadster Powertrain
(A.Wakasa, Y.Imamura, T.Yajima, N.Matsuo, K.Nishimura, T.Fujitomi) 35

8. All-New Side Airbag
(K.Nakamura) 41

9. Development of Comfortable Technology under Open Top Condition
(T.Yano, T.Sakakura, M.Ono, K.Hamamoto, Y.Kuga, H.Oohira, Y.Kyubun, K.Sogame) 45

10. Geometric Grain of All-New Roadster
(T.Abe) 50

11. Bose® Sound System for All-New Roadster
(K.Wakamatsu, Y.Teshima, R.Ikeda, R.Maiguma) 56

12. Development of Thin & High-strength Cross Member for All-New Roadster
(K.Miki, T.Kimura, M.Tanaka, T.Ebisugi, T.Shibahara) 61

13. Development of Light Weight Body Structure for All-New Roadster
(T.Kimura, T.Ikeda, S.Nakagami, M.Fukuda, M.Tamura, M.Kobashi) 66

14. CAE Application Technology in All-New Roadster Body Structure
(M.Tanaka, T.Ebisugi, M.Sunada, G.Yoshii, H.Matsuoka) 72

15. " All-New " Soft-top of All-New Roadster
(H.Tanoue, M.Kuroda, T.Matsunobu, M.Kato, Y.Shigyou, Y.Miura) 78

16. Improvement of Tactile Feel of Genuine Leather Steering Wheel
(C.Tanaka, K.Makino, Y.Miyahama, M.Kyogoku, K.Yasuhara) 84

17. Development of Spot Friction Welding Technology of Aluminum Alloy and Steel
(Y.Shoji, K.Takase, T.Gendo, K.Tao, K.Morikawa, T.Noguchi) 90

18. Development of All-New Roadster Front Fascia
(H.Kanda, T.Masuda, Y.Fujioka, S.Furukawa, H.Watanabe, N.Nakayama) 95

Special Edition for All-New MPV

19. Introduction of All-New MPV
(Y.Aoyama, M.Takata, K.Kinoshita, Y.Nakamatsu) 102

20. **Design of All-New MPV**
(R.Oya) 107

21. **Packaging, All-New MPV**
(Y.Watanabe) 113

22. **All-New MPV Shift Control System of AT Shifting**
(H.Kokubu, S.Miyawaki, Y.Watanabe, S.Imaishi, K.Sasaki, T.Okubo) 119

23. **Introduction of All-New MPV Powertrain**
(M.Aoki, E.Suekuni, M.Murotani, T.Fujikawa, T.Fujiwara, K.Sasaki, H.Kawano) 123

24. **Seats for All-New MPV**
(K.Nakaya, T.Miyahara) 130

Technical Reports

25. **Introduction of RX-8 HYDROGEN RE**
(A.Kashiwagi, M.Goto) 135

26. **Development of RX-8 HYDROGEN RE Dual-Fuel System**
(T.Saito, M.Matsushita, H.Mitsugi, T.Ueda) 139

27. **Aggressivity-Reducing Structure of Large Vehicles in Vehicle-to-Vehicle Side Crash**
(A.Abe, M.Fukushima, S.Ogawa, T.Sunakawa) 144

28. **Development of Mazda Pre-Crash Safety System**
(S.Nishikaji, M.Fukushima, Y.Yamamoto) 150

29. **Development of Mazda Radar Cruise Control System**
(Y.Yamamoto, T.Terano, T.Nakagami) 154

30. **Development of Dual Analog and Digital TV Film Antenna**
(K.Shigeta, T.Taniguchi, M.Ushio, T.Morohashi) 159

31. **Model Based Calibration for Common Rail Diesel Engine**
(M.Yoshida, K.Yamada, T.Okuda, S.Harada) 164

32. **Multi-Body Dynamics Simulation of Valve Train and Timing Chain Drive**
(M.Koizumi, Y.Miyauchi, M.Kondou) 169

33. **Prediction of Cylinder Head Thermal Fatigue Life**
(T.Miyazaki, H.Kagaya, K.Amano, K.Hiramoto, N.Murakami, Y.Torigoe, M.Ikeda) 173

34. **Development of the Catalyzed DPF**
(H.Fujita, K.Harada, Y.Tsushio, A.Takami) 178

35. **Development of Welding Technology Engineering Process without Re-working**
(A.Hashimoto, S.Okumura, S.Yamamoto) 184

36. **Development of Next Generation Knowledge Database**
(A.Okada, M.Kado) 189

37. **Development of Engineering HUB System for 3D Die Design Expansion**
(M.Seto, T.Matsuda) 195

38. **Development of Environmental-friendly High Throwing Power E-Coat**
(T.Shigenaga, M.Yamada) 200

39. **Development of Quality Assurance Technology in Primer and Topcoat Process**
(M.Yamamoto, M.Kake, K.Sera, T.Iwao) 205

Introduction of Patents 211

List of Reports Published in 2005 216

巻 頭 言

今後の商品開発の在り方
Our Way to Go in Product Development

執行役員　丸　本　　明
Akira Marumoto

我々マツダはブランドの再構築を目指し，1998年にGlobal Brand Bulls Eyeを「人格・イメージ」，「商品」，「バリュー・価値」の3点から定義した。ここで定義した人格とイメージが，「センスの良い」・「創意に富む」・「はつらつとした」の3点であり，これを具現化する商品特性が，「際立つデザイン」・「抜群の機能性」・「反応の優れたハンドリングと性能」である。この商品特性を体現したアテンザ／Mazda6以降の商品と，ブランドイメージの全世界での展開により，ブランドイメージの大幅な向上を実現させつつある。例えばアメリカでのブランド調査では，はつらつとした，独自のデザイン，運転していて楽しいといった項目が大幅に向上しており，購入動機もスタイリングや運転の楽しさが著しく増加し，相対的に「Value for Money」項目支持が減少している。同様な傾向はその他の市場においても顕著であり，これらはブランドイメージと商品が相互補完し成し得た成果と言え，まさにOne Mazdaで勝ち得た向上である。

欧州での調査結果では，商品の総合的な評価も高く，デザインはBIC（Best in Class）レベルにある。ここ数年の開発において，我々は「Zoom-Zoom」をキーワードに全ての商品特性について一定な方向を目指し開発を進めてきた。つまり商品特性の一貫性と継続性が，お客様の商品の総合評価を高めてきた。しかしながら，同調査結果で，抜群の機能性は中位，動力性能・燃費は下位に甘んじていると言う事実もある。今後，我々が目指す方向は，Zoom-Zoomを構成する商品特性のひとつひとつを際立たせていくことであり，以下の3点の実現が，今後我々が実現すべきゴールである。

1）一目でお客様に，「先進性と躍動感で感動を与える，際立つデザイン」
2）簡単な操作でお客様に，「驚きを与え，賢さを即座に理解いただける抜群の機能性」
3）走り出した直後，お客様に，「安心感があり，ワクワクする運転する楽しさを実感いただける，反応の優れたパワートレイン性能とハンドリング」

現在策定中の10年後を見据えた長期戦略の中でも確認していることではあるが，我々マツダは現在のブランド戦略を強化し，より鮮明にブランドイメージを確立することに揺らぎはない。その実現をリードする商品開発は，ここ数年の向上に甘んじることなく，目指すゴールに向けて，積極果敢に取り組んで行きたい。

一方，商品開発の競合他社の取り組みを見ると，ITを中心にしたイネーブラーの開発・実践と，業務設計の強化により，効率と品質面での商品開発のパラダイムシフトが起こりつつある。マツダはベリーサをデザイン決定後12ヶ月で開発したが，他社は8ヶ月，若しくは6ヶ月での開発を宣言し，着々とその準備を進めている。マツダにおいてもトップハット（車両上部）部品の本型での製作は定着化しつつあ

り，ツーリングの準備期間も日々短縮化されている。更なる効率化や，業務品質の向上を目指したツールの開発も計画的に導入中であり，その具体例の一部として，車両全体のCAE解析を約70%短期化する技術や，体系化・優先度付けを行った上でのバーチャルテスティングや自動設計の開発を計画的に開発中である。企画段階の効率化も，新たなツールの実現で大幅に向上させることが可能になってきた。企画設計段階でのプラットフォームやトップハットの構想検討は，構想モデラーの完成により従来とは全く異なる局面を迎えつつある。このイネーブラーを駆使すれば，バーチャルでのパッケージや静的な評価活動は画期的な短期化と大幅な企画品質の向上が実現できる。デザイン開発の効率化も重点的に取り組むべきテーマであるが，既に3次元データを用いた高品質のデータモデリングや，実物大で評価できる大型スクリーンを用いての確認が軌道に乗りつつある。データを用いたデザイン修正や，ランプ類等の主要コンポーネントをデータでビジュアルに製作することにより，デザインモデルの製作を削除できると同時に，その後の詳細な設計フィーズに活用できる。このプロセスの運用を徹底し強化することにより，デザイン開発の短期化と質的向上は確実に実現できる。

更にDPI（Development Process Innovation）活動でのIn-Through-Outを明確化する活動や，NVHやステアリング・ハンドリング等のアトリビュート（商品の属性）の目標を構造化する機能配分活動にも注力している。これは業務設計そのものであり，業務の質を向上させると共に，効率的に手戻りのない開発を実現する取り組みとして極めて重要である。

この様に商品開発の効率化・短期化が進む一方で，ハイブリッド，アクティブセーフティー，車両統合制御等，新技術は益々，高度化・複雑化が進んでいる。諸性能の目標達成や品質確認のためには，十分な開発期間と資源が必要となる。従来，商品開発に先行しながらも，同期させて開発していたパワートレインやプラットフォームの開発も，商品開発がより短期的に開発されるにつれ，新技術開発同様に，諸目標の達成と品質の造り込みを実現するために，独立した開発が必要になってくる。MPDS（Mazda Product Development System）で商品開発のマイルストーンやデリバラブルズ（活動のアウトプット）を規定したのと同様，新技術・先行技術の開発を規定した，MTDS（Mazda Technology Development System）の規定と実践の強化が必須である。10年後を見据えた，現在策定中のR&D長期戦略の中では，「Zoom-Zoom領域の技術ブランドイメージで業界Topを目指す」ことをビジョンに定め，これらの新技術・先行技術の取り組みを強化し，資源面でも大幅なテコ入れを計画・検討中である。

戦略（ゴール）とイネーブラー（道具）は揃いつつある。後は，開発部員全員が，「商品開発の志」を常に念頭に置き，各々が骨太のプランナー・デザイナー・エンジニアを目指し，実践するのみである。この実現に向け，私は次の3点を自らも実践すると共に，開発部員一人一人にそうあってほしいと期待する。

1）One Mazda／全体最適を求め，常に一人称で語り・行動する

2）商品の劇的な進化を目指し，夢を語り・創造力を最大限発揮しながら，果敢に挑戦する

3）業務品質と効率の継続的な向上を求め，常にプロセスの革新に挑戦する

これらをマネージメントは勿論のこと，開発部員一人一人が実行すれば，世界で最高効率を実現できる開発集団になることも夢ではなく，光り輝くZoom-Zoomな商品・技術開発を実現できると確信している。

特集：新型ロードスター

1

新型ロードスターの紹介
Introduction of All-New Roadster

貴島孝雄*1　山口宗則*2　秋山耕一*3
Takao Kijima　Munenori Yamaguchi　Koichi Akiyama

要　約

「人馬一体」と「Lots of Fun」。これは初代ロードスターから一貫して追求し続けている商品のコンセプトである。このコンセプトを継承し更に進化させて，3代目となる新型ロードスターを開発した。「人馬一体」とはドライバとクルマとの心の通いあった密接な関係を象徴する言葉である。また，「Lots of Fun」とは，スタイリングを眺める楽しさ，意のままにクルマを操る楽しさ，手軽にオープン走行する楽しさである。

その商品コンセプトを主に次の内容で実現した。

1. スタイリングを眺める楽しさ
   ・初代及び2代目ロードスターデザインを継承し，ファンでモダンなエクステリア
   ・心地良いタイト感と開放感を両立したインテリア
2. 意のままにクルマを操る楽しさ
   ・ボデー剛性の確保と軽量化の両立，及び重量配分の最適化
   ・「人馬一体」感を追求した，いきいきと躍動感のあるパフォーマンス
   ・「人馬一体」感を追求した，キビキビと軽快なハンドリング
3. 手軽にオープン走行する楽しさ
   ・ソフトトップの操作性向上とオープン走行時の快適性の向上

Summary

“Jinba-ittai（Oneness between horse and rider）” and “Lots of Fun”; this is the consistent concept we have been pursuing since the first generation Roadster. We have taken over this concept and evolved further to develop the new model Roadster for the third generation. “Jinba-ittai” stands for such a close relationship between driver and vehicle that the driver can obtain sympathetic response from the vehicle. Also, “Lots of Fun” stands for a fun of looking at outstanding styling, a fun of controlling the vehicle at will, and a fun of easy driving with roof open.

We have achieved the product concept as follows：

1. Fun of looking at outstanding styling
   ・Fun and modern exterior that has taken over the first and second Roadster designs.
   ・Compatible interior that gives comfortable tight feeling and open-airy feeling.
2. Fun of controlling vehicle at will
   ・Compatibility between ensured body rigidity and weight reduction, and Optimization of weight distribution.
   ・Agile and vibrant performance pursuing “Jinba-ittai” feeling.
   ・Nimble and crisp handling pursuing “Jinba-ittai” feeling.
3. Fun of easy driving with roof open
   ・Enhancement of soft-top operability, and comfort driving with soft-top opened.

＊1～3　第2プログラム開発推進室
Program Management Office No.2

1．はじめに

乗り手と馬とが心を通いあわせて走る一体感を意味する「人馬一体」,これこそがマツダロードスターの真髄である。3代目となる新型ロードスターの開発にあたり最も重要だったのは，この初代から継続するスピリットを忠実に受け継ぐことだった。そのために，新しい時代に向かう3代目モデルとして，「人馬一体」の構成要素をフィッシュボーンチャートとして再構築し，開発要素と実現手段を明確化した。本稿では，その新型ロードスターの商品コンセプト及びそれを実現した商品全体の概要を紹介する。

2．商品コンセプト

新型ロードスターの商品コンセプトは，初代ロードスターから一貫して追及し続けている「人馬一体」と「Lots of Fun」を継承した。「人馬一体」とは前述の通り，ドライバとクルマとの密接な関係を象徴する言葉である。また，「Lots of Fun」とは，スタイリングを眺める楽しさ，意のままにクルマを操る楽しさ，手軽にオープン走行する楽しさなど，いずれも人の感性を基準としたものである。

3．スタイリングを眺める楽しさ

3.1　エクステリア

(1)　デザインテーマ

エクステリアデザインでは，「シンプル」「コンテンポラリー」「ファン」「フレンドリー」という，4つのキーワードを掲げ，初代及び2代目ロードスターのデザインを継承しながら，ファンでモダンなデザインとした。機能的なライトウエイトスポーツカーを表現するため，車両の前後を絞り込んだオーバルシェイプとすることで，最新の安全性を確保しながらもコンパクト感を表現した。ボデーの四隅にはフェンダアーチを強調させるデザインモチーフを取り入れ，ワイドトレッド感とマツダのスポーツカーデザインのDNAを表現した。サイドビューは低く流れるようなショルダーラインをキープしながらも，ウエッジを効かせたアクセントラインを通すことにより，前進感とスピード感を表現した（Fig.1)。

Fig.1　Exterior Design

(2)　外観諸元

外観諸元は，車両のヨー慣性モーメントの更なる低減を狙い，エンジンとガソリンタンクをほぼホイールベース内にレイアウトしたため，また同時に居住性の改善のため，ホイールベースを65mm拡大したが，全長の拡大は40mmにとどめた。また全幅はサイドエアバッグの採用などのため40mm拡大した。コンパクトであることはライトウエイトスポーツカーの基本要件であり，これらの改善を織り込みながらサイズの拡大は最小限に抑えた（Table 1)。

Table 1　Exterior Dimension

		All-New MX-5	2nd-generation MX-5	Difference
Overall length	(mm)	3995	3955	40
Overall width	(mm)	1720	1680	40
Overall height	(mm)	1245	1235	10
Tread Front/Rear	(mm)	1490/1495	1415/1440	75/55
Wheelbase	(mm)	2330	2265	65

3.2　インテリア

(1)　デザインテーマ

インテリアデザインでは，「心地よいタイト感と開放感の両立」をテーマとし，ロードスターのアイデンティティーを継承しながらも，エモーショナルでモダンなデザインとした。マツダのDNAを表現したT字型インストルメントパネル，センターバックボーンの骨格を強調するセンターコンソール，水平と垂直で構成した明確なラインで剛性感とスポーツカーらしさを表現した。メータパネルは5眼とし，メータの配列も初代及び2代目ロードスターと同様として継承した。ステアリングホイールは小型丸型センターパッドと3本スポークの組み合わせとし，ドーナツ型エアバッグの採用により，ホーンスイッチを独立してセンターに配置することを実現した（Fig.2，3)。

Fig.2　Interior Design

Fig.3　Meter Panel & Steering Wheel

(2)　室内寸法

新型ロードスターでは，タイト感を実現しながらも，これまでのモデルで不評のあった長身のドライバが乗れないという問題を，スペースの改善とチルトステアリングの設定で解消した（Table 2）。

Table 2　Interior Space

		All-New MX-5	2nd-generation MX-5	Difference
Interior length	(mm)	875	865	10
Interior width	(mm)	1415	1355	60
Interior height	(mm)	1045	1025	20
Head Room	(mm)	950	933	17
Leg Room	(mm)	1096	1086	10
Tilt Steering		Equipped	N/A	-
	(mm)	32	-	-
Slide Range	(mm)	230	180	50

4．意のままにクルマを操る楽しさ

4.1　軽量化

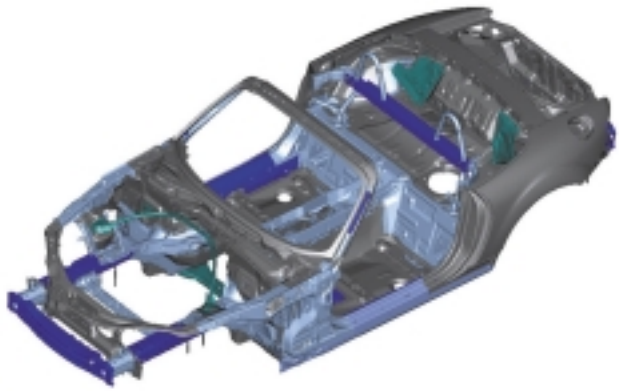
「人馬一体」のドライビングダイナミクスを実現する最も基本的な要素は軽量化である。新型ロードスターでは安全性を高め，お客様のニーズに応える商品対策を行っているにもかかわらず，車両重量の増加を2代目ロードスター比で約10kgに抑えた（Table 3）。

Table 3　Weight Comparison

All-New MX-5 (with ABS)	2nd-generation MX-5 (with ABS)	difference
1100 kg	1090 kg	10 kg

(1)　ボデーの軽量化

最新のCAE技術の駆使による軽量化構造の追求と，超高張力鋼板と高張力鋼板の効果的な使い分けにより，ボデー剛性の確保と軽量化の両立を図った（Fig.4）。



Blue:Ultra-high-strength Steel
Light blue:High-strength Steel

Fig.4　Ultra-high-strength Steel Sheet and High-strength Steel Sheet Locations

この結果，2代目モデルに対して，曲げ剛性で22%，ねじり剛性で47%の向上を実現しながらも，ホワイトボデーの総重量は1.6kgの軽量化を実現した。

(2)　パーツの軽量化

新型ロードスターでは，ボンネット，P.P.F.（パワープラントフレーム）のアルミ化を継承し，更にトランクリッド，エンジンブロック，フロントサスペンションコントロールアーム，リヤハブサポート，リヤブレーキキャリパーなどの大物部品をアルミ化した。またエンジンヘッドカバー，インテークマニフォールドのプラスチック化，フロントスタビライザの中空化，シートフレームの高張力鋼板化など様々な軽量化策を織り込んだ。また，アルミトランクリッドと鋼板製スタッドプレートの接合には「摩擦点溶接」を採用した。これは世界初の新技術である（Fig.5）。

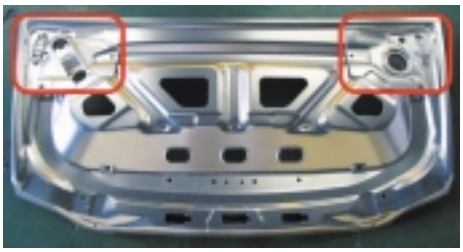


Fig.5　Decklid Employs Spot Friction Welding of Aluminum and Steel

(3)　グラム作戦

前述した大物の軽量化策ではなく，更なる軽量化のアプローチとして，「グラム作戦」を推進した。車両の全ての部品に対して1グラムでも削減できる余地がないかを3Dモデルや実際の試作車，試作部品で徹底的に抽出し検証した。重量削減案の合計は43,589gに及び，この中から鋳造部品のフランジの切削や金属ファスナーの短縮など極めて細かいものも含め，多くの軽量化案を採用した。

4.2　重量配分の最適化

「人馬一体」で，ドライバが意のままにクルマを操れるコントロール性の実現のため，2名の乗員と手荷物を含めた車両の総重量の前後重量配分を，初代モデルから一貫して継承し続けている50：50とした。更に車両の重心はできるだけ低く，ヨー慣性モーメントは可能な限り小さくする車両レイアウトを行った。そのために，空調ユニットを小型化することなどで，エンジンの中心位置を135mm後方に移動した。バッテリをトランク内からエンジン前方に移設し，車両重心～バッテリ間の距離を265mm短縮した。燃料タンクは床下配置とし中心位置を110mm前方かつ120mm下方にレイアウトした。またラジエータの傾斜レイアウトによる重心位置の低下，アルミボンネットとアルミトランクリッドの採用，前後バンパの軽量化などにより，新型ロードスターでは2代目モデルに比べ，車両全体の重心高の18mm低下，ヨー慣性モーメントの2%低減を実現した（Fig.6）。

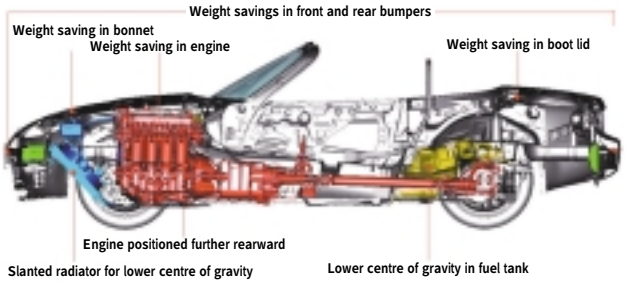


Fig.6　Optimal Front / Rear Weight Distribution

4.3　パワートレイン

(1)　エンジン

「人馬一体」感を実現するエンジンとして，新型ロードスターではLF-VE型を採用した。高くフラットなトルク特性の実現のために，高圧縮ピストン，吸気側S-VT（シーケンシャル・バルブタイミング），VIS（可変吸気システム）などを採用した。これにより2,500回転以上で最大トルクの90%以上を達成，トップエンドでは95%のトルクを達成し，低回転から高回転まで伸びやかなトルクフィールを実現した（Fig.7，8）。

Fig.7　LF-VE Type Engine and Six-speed Manual Transmission

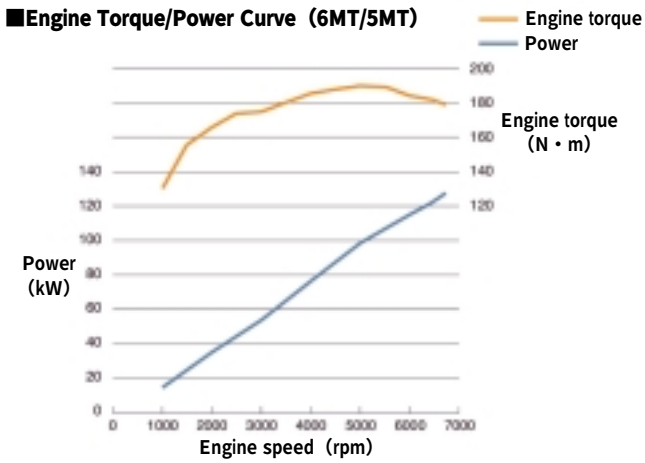


Fig.8　Engine Performance Curve

(2)　トランスミッション

トランスミッションは6速マニュアル，5速マニュアル，6速ATアクティブマチックの3本を設定した。新開発の6速マニュアルは，スポーツ走行に最適なクロスレシオに設定した上で，クイックなショートストロークを実現するため，1～4速の全てにトリプルコーンシンクロを採用した。更に，シフトリンクでの低摩擦ブッシュやガイドプレートの採用により，滑らかで確実なシフトフィールを実現した。6速ATアクティブマチックは，従来の4速ATに対し，1速の低速化とトップギアの高速化を行い，力強い発進加速と燃費性能，高速走行時の静粛性の両立を実現した。更にステアリングを握ったままでシフトアップ／ダウンができるステアリングシフトスイッチを装備した。

(3)　パフォーマンスフィール

「人馬一体」で，いきいきと躍動感ある走りを実現するため，新型ロードスターではアクセルを踏んでエンジンがレスポンスし，加速度が上昇して収束するまでの一連の挙動が，ドライバの意思と一体となるようにセッティングした。これはドライビング要件のシミュレーション，実研，解析にCAEシステムを活用し，回転系の慣性モーメントの低減とドライブトレインの高剛性化によって実現した。具体的には，P.P.F.を継承するとともに，フライホイールの軽量化，エレキスロットルのチューニング，ドライブシャフトの剛性アップ，エンジンマウントの最適化などを行った。

(4)　スポーツサウンド

「人馬一体」感を更に増幅するために，エンジン，吸気，排気の3つの音源を柱として，心地よいスポーツサウンドのつくり込みを行った。特に「リニア感」「伸びやかさ」の実現のため，シリンダブロックの剛性及びクランクシャフトの支持剛性の確保，VIS（可変吸気システム）の吸気マニフォールド長さとサージタンクが共鳴する剛性の追求，フレッシュエアダクト長さや排気システムの細やかなセッティングを行った。

4.4　シャシー

(1)　サスペンションシステム

「人馬一体」の，キビキビとした軽快なハンドリング性能を実現するために，フロントはドライバの意思に忠実に方向を変えながら，リヤは安定性を最大限に確保するために路面をしっかりとグリップするというバランスを追求した。このためフロントはダブルウィッシュボーン式を採用し，コントロールアームをアルミ製としてバネ下重量を低減した上でより長くし，タイヤのストロークに応じたトー，キャスタ，キャンバのリニアなコントロールを可能にした。リヤはマルチリンク式を採用し，アンチダイブ／アンチリフト効果を確実に発揮する設定を行い，加減速やブレーキ操作に左右されない安定した操縦安定性能を実現した。また，リヤハブサポート，ブレーキキャリパはアルミ製とし

バネ下重量の低減を行った。ダンパはガス封入式モノチューブタイプを採用し，前後とも取り付けポイントをタイヤに近づけることで，タイヤの動きに対して応答性が良く最適な減衰特性が得られるようにした。リヤサスペンションのサブフレームは車体にリジッドに結合し，ボデー剛性の向上に寄与させた（Fig.9，10）。

Fig.9　Double Wishbone Front Suspension

Fig.10　Multilink Rear Suspension

(2)　ブレーキシステム

リニアでダイレクト，更にコントローラブルな制動性能を実現するために，ブレーキロータ径のアップとともにペダル比の縮小，ブレーキブースタのサイズアップなどを行った。更にブレーキシステムの剛性を全体で25%高め，レスポンスとリニアリティを大幅に向上させた（Table 4）。

Table 4　Brake Specifications

		All-New MX-5	2nd-generation MX-5
Pedal ratio		2.9	4.1
Booster		Φ9inch	Φ8inch
Front	piston（mm）	Φ54.0	←
	thickness（mm）	22/ventilated	←
	diameter（mm）	Φ290	Φ270
Rear	piston（mm）	Φ38.1	Φ34.9
	thickness（mm）	10/solid	←
	diameter（mm）	Φ280	Φ276

4.5　統一感

車両のダイナミック特性から感じる「人馬一体」感のテイストを統一するために「統一感タスク」と呼ぶエキスパートチームを編成し，感覚的な領域の要素についても定量化と育成を行った。これらは日常の使用での走りの楽しさを追求するために，交差点を曲がる，ワインディングロードを走行する，高速道路の本線に合流するなど，誰もが日常で普通に運転する前提条件での6つの「光るシーン」を設定して行った。統一感の基準はハンドリングの代表特性であるゲイン（操舵に対する車両応答の早さ）と操舵力（ステアリング操作力）のバランスポイントで定量化して設定し，それをベースにパフォーマンスフィール，アクセル，ブレーキ，クラッチの操作力／操作フィール，シートのホールド性能などの目標値を設定し，統一感の実現を行った。

4.6　ダイナミッククラフトマンシップ

クルマとドライバの一体感を最大限に引き出すため，従来のスタティック領域に加え，ドライビングポジションを中心に，操作系のレイアウトや操作感／タッチフィーリングの統一性，視界／視認性など動的な状況における人の動きを研究し車両開発に織り込む，ダイナミック領域のクラフトマンシップに取り組んだ。ドライビングポジションとステリング位置／角度，シフト位置は，楽に，素早く，確実に操作できる位置を人間工学に基づき設定した。本革ステアリング／シフトノブは卵型リム断面形状と本革皮材に特殊コーティングを施すことで，滑りにくく，手にしっくり馴染む触感を実現した。ペダルはトゥ＆ヒールがしやすいレイアウトとした。Aピラーの基部を2代目モデルより90mm運転席側に近づけ3度起こすことにより，前方～側方視界を水平方向に4度拡大した。

5．手軽にオープン走行する楽しさ

5.1　ソフトトップ

オープン時の美しさを実現するために，Z型に折れて格納するタイプを採用した。トップロックはセンターの1ヶ所とし，操作性を改善した。また，アシストスプリングを設定することで操作力を低減，室内に座ったまま開閉操作ができる構造とした（Fig.11）。

Fig.11　Z-fold Design Soft Top for Easy Opening and Closing

5.2　快適性の追求

これまで以上に快適なオープン走行を実現するために，三角窓を小型化して継承するとともに，エアロボードを風の巻き込みをコントロールするメッシュタイプとすることで，不快な風の進入を大幅に低減した。空調システムには新しくウエストルーバーを設定することで，夏の暑い日にはベント／ウエストモード，寒い冬の日にはフット／ウエ

ストモードとすることで，オープン走行可能な時期を長くすることを実現した（Fig.12，13）。

Fig.12　Air Conditioning System Vent-Waist Mode and Foot-Waist Mode

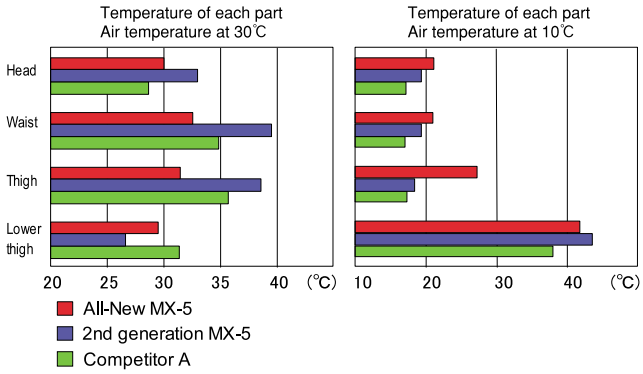


Fig.13　Air Conditioning Performance

5.3　オーディオシステム

これまで培ってきたマツダ／BOSEの共同開発のノウハウをベースに，新型ロードスター専用のオーディオシステムを開発した。4Chデジタルアンプを採用，8インチNdウーファと80mmネオジウムスピーカで構成される7スピーカシステムで，明瞭な音像定位と広がりのある豊かな音響空間を実現した。

6．安全・セキュリティ・環境への配慮

6.1　安全

(1)　アクティブセーフティ

4W-ABSと，車側や後輪にかかる重量に応じて後輪の制動力を高めるEBDを全車に設定した。また，DSC（ダイナミック・スタビリティ・コントロール）をオプション設定した。

(2)　パッシブセーフティ

高剛性・安全ボデー“MAGMA”を採用するとともに，Aピラーやフロントフレームなど，広範囲にわたって高張力鋼板と超高張力鋼板を採用し，ボデー強度を一層向上させた。運転席（ドーナツ型）／助手席エアバッグに加え，頭部保護機能付きサイドエアバッグを新開発して設定した。これは頭部拘束部と胸部拘束部を別室とし，同時に展開させる構造とすることで展開時間を短縮するとともに適正な内圧分配を実現するもので，これにより展開スペースの小さいオープンカーでのサイドエアバッグ設定を可能にした（Fig.14）。

Fig.14　Air Bag System for Locations

(3)　歩行者保護

ショックコーンボンネットの採用とバンパ内部の衝撃吸収部材の設定で歩行者への障害値軽減を図った。またフロントサスペンションタワーバーはカウル＆奪取接合タイプとすることで，障害値軽減に配慮した。

6.2　セキュリティ

車両盗難を防止するイモビライザを全車に設定した。またカード型のキーを携帯するだけでドアのロック／アンロック，エンジンの始動・停止など一連の操作ができるアドバンスドキーレスシステムをオプション設定した。

6.3　環境への配慮

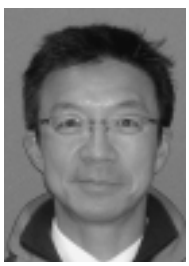
新型ロードスターのLF-VE型エンジンは，平成17年基準排出ガス50%低減レベル（U-LEV）認定を取得している。リサイクルについては，欧州ではリサイクル可能率85%以上を，ISO22628基準においては回収及びリサイクル化能率95%以上を達成している。また，マツダでは環境に影響を与える材質の低減に努め，鉛，6価クロム，水銀，カドミウムの原則撤廃とポリ塩化ビニール（PVC）の1998年車両重量比50%削減を実現している。

7．おわりに

初代ロードスターから16年に及ぶ伝統と，それを評価して頂いたお客様の声は，我々のクルマづくりの考え方をゆるぎないものにしている。今後ともお客様の笑顔を心に描きながら，ロードスターの「人馬一体」と「Lots of Fun」を熟成・進化させる商品開発に取り組んで行きたい。

■著　者■

貴島孝雄



山口宗則

秋山耕一

特集：新型ロードスター

2

新型ロードスターのデザイン
Design of All-New Roadster

中牟田　泰*1
Yasushi Nakamuta

要　約

世界中の幅広い世代の人々に16年という長い間愛されてきた初代及び2代目ロードスター／MX-5の特徴を改めて認識し，人馬一体のコンセプトを目標に最新の技術を駆使して開発されたのが新型ロードスター／MX-5である。デザイン開発においても初代及び2代目のユニークなデザインイメージを継承しながらもより進化したファンでモダンなスタイリングを実現することを基本コンセプトとした。またライトウエイトオープンスポーツカーらしい心地よいタイトなインテリア空間と機能性及び安全性の向上を追及し幅広いカスタマーの共感を得られる次世代のライトウエイトスポーツカーの新しい価値を目指した。

Summary

It is roadster/MX-5 of the original and the second generation that has been loved by people of various generations all over the world generation for a long time of 16 years. This time New Roadster/MX-5 has been developed by recognizing the features of a word “ five ” again and making full use of hot technology aiming at a concept of rider and horse as one. The basic concept of the time New Roadster/MX-5 is to achieve a modern styling with the fan that has further evolved while taking over unique design images from the original and the second generation in design development activities. Moreover, we had aimed at a new value of a lightweight sports car of the next generation resonated with a wide range of customers by pursuing improvements of a tight comfortable interior space, and the functionality and safety as might have been expected with a light weight open-top sports car.

1．はじめに

人馬一体のコンセプトをデザインで表現するためには，まず初代／2代目の持つ本質的な価値を改めて認識することから着手しなければならなかった。最新の技術を使っても人と車が心をかよわせることができるような愛着のわくデザインであること。また，すぐに飽きてしまうような安易な新奇性を求めず長く付き合えるシンプルでクオリティの高いデザインがロードスター／MX-5には必要である。3代目ロードスターとして何を継承し，進化させるところはどこかを見定めることがデザイナーにとって重要なポイントであった。

2．デザインの狙い

2.1　ロードスター／MX-5らしさの継承

ロードスター／MX-5は16年という長い年月にわたり，世界中の幅広い世代の人々に愛されてきた。これは商品そのものの持つ動力性能の評価やアフォーダブルな価格だけではなく，エクステリア＆インテリアデザインに表現されているライトウエイトオープンスポーツカーとしてのシンプルな機能美や，ファンで親しみやすいスタイリングイメージなど，カスタマーが共感できるロードスター／MX-5ならではのユニークなポイントがあったからだと考えられる。

特にエクステリアデザインにおいてショルダーラインが低く，薄く流れるようなサイドシルエット／プロポーショ

*1　デザイン戦略スタジオ
Design Strategic Studio

は競合他車とは違ったロードスター／MX-5ならではのユニークなスタイリングポイントである（Fig.1）。

歴史的な名車が長く愛されてきたスタイリングのユニーク性を継承しながら新しいデザインを成功させているのと同じように新型ロードスター／MX-5もこのユニークなポイントをデザインに継承していく必要があると考えた。

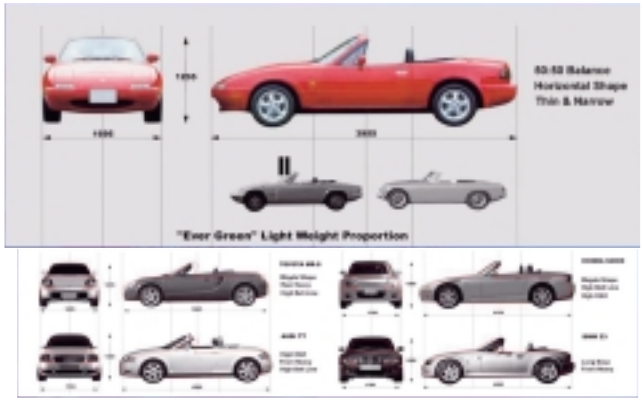


Fig.1　Side Silhouette

2.2　更なるデザインの進化

デザインイメージを継承するだけでは進化したスタイリングは生まれてはこない。ロードスター／MX-5と分かるユニーク性を持ちライトウエイトスポーツカーの機能性をシンプルでモダンなサーフェイスで表現すること，また新しい素材感やグラフィックなど最先端のスタイリングトレンドを取り入れた斬新なデザインを目標とした。

3．エクステリアデザイン

3.1　デザインコンセプト

エクステリアデザインのコンセプトはロードスター／MX-5のユニーク性を継承し一目でロードスターと分かるデザインDNAを感じさせ，シンプルなスタイリングでライトウエイトスポーツカーの機能を表現すること，そして親しみやすくファンでモダンなスタイリングを目指した。キャラクタラインよりもサーフェイスの動きや表情によってスポーツカーならではのアスレティックなかたまり感を表現することに注力し，光と影のリフレクションを効果的に取り入れたダイナミックなボデーフォルムを追求した（Fig.2）。

Fig.2　Exterior Theme Sketch

3.2　デザインテーマ

(1)　プランビュー

基本となるボデーはプランビューから見てサイドインパクト等の安全性を確保するため人が座るシートエリアを最大幅とし，コンパクトなライトウエイトスポーツカーを表現するためフロント，リヤを絞り込んだオーバルシェイプとしている。これは初代，2代目のコークボトルシェイプとは全く違うデザインアプローチである（Fig.3）。

Fig.3　Plan View

(2)　フロントビュー

そのオーバルシェイプのボデーの四隅にフェンダアーチを強調させるデザインモチーフを取り入れ，シンプルなかたまりにアスレティックな表情を加えることによりスポーツカーらしいワイドトレッド感を表現した。四隅いっぱいまでタイヤを張り出したようなフェンダのデザイン処理はマツダならではのデザインDNAでもある。

フロントビューはロードスターのユニークデザインである楕円をグラフィックモチーフとし，よりモダンで親しみやすいロードスターらしいフロントグリル及びヘッドランプデザインとした，またラウンドしたボンネットパーティングラインとそれにバランスした大型のバンパフェイシャを採用することによりクリーンで斬新なスポーツカーらしさを強調することができた（Fig.4）。

Fig.4　Front View

(3)　サイドビュー

サイドビューは低く流れるようなショルダーラインを実現することによりロードスターらしさを表現し，ウエッジのきいたサイドボーンのハイライトによりクリーンなボデーサーフェイスに前進感，スピード感を表現した。またソフトなボデーサーフェイスの丸みとエッジを利かせた硬質なグラフィック処理によりモダンでエモーショナルなサイドビューとした（Fig.5）。

Fig.5　Side View

(4)　リヤビュー

リヤビューも初代・2代目のロードスターらしさを継承しながらも，よりモダナイズしたスタイリングに進化させた。特にリヤクオーターにかかるフェンダ形状はスタイリッシュでモダンなイメージを強調させシンプルでクオリティの高いデザインを表現した。リヤコンビランプはフロント同様ロードスターのユニークデザインである楕円のモチーフを基本に新しい表面処理や素材感を用いながら伝統と新しさを融合させたデザインとした（Fig.6）。

Fig.6　Rear View

4．インテリアデザイン

新型ロードスター／MX-5のインテリアデザインは，オープンカーならではの心地よい開放感とライトウエイトスポーツカーのもつタイト感の融合を基本コンセプトとし，あらゆる状況においても運転する歓びをより大きなものにするために走行中にもスムーズかつ的確に操作できるようにスイッチ類はより機能を優先したレイアウトとし，シンプルで機能的なデザインとした。またオーナーをワクワクさせる趣味性を兼ね備えたファンでモダンなインテリアデザインを目指した（Fig.7）。

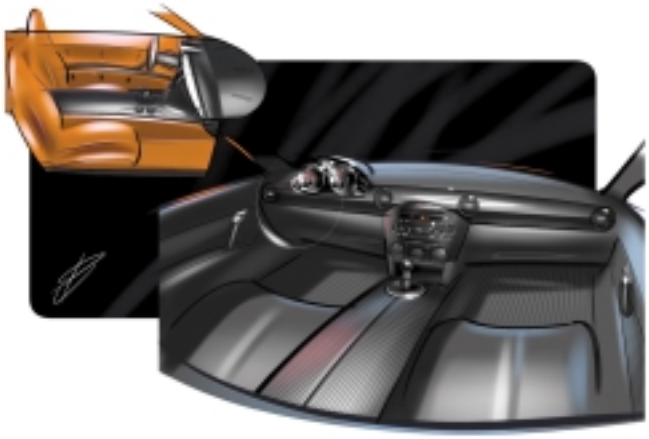


Fig.7　Interior Theme Sketch

4.1　インストルメントパネル

マツダデザインのDNAであるT型のインストルメントパネルを基本に，ロードスターらしいラウンドタイプのベンチレーションを配置した水平基調のブラックパネルやバックボーンフレームを強調するセンターコンソール形状など水平と垂直で構成した明快な空間構成によりライトウエイトスポーツカーとしての軽快感と剛性感を表現した。

またインストルメントパネル正面のブラック華燭パネルは木目や金属調など様々な表面処理を施すことができるアクセサリパーツとし幅広いカスタマーの趣味性をサポートできるものとした（Fig.8）。

Fig.8　Instrument Panel

4.2　メータ＆ステアリング

スポーツカーにおいて重要なパーツとしてメータとステアリングが挙げられる。新型ロードスターとしてより機能的で進化したデザインを表現するため大型のスピードメータとタコメータ，3つの小型メータにシルバーリングを配し，更にメータレンズには反射低減コートを施したフラッ

トタイプを採用することにより視認性に優れたシンプルでクオリティの高い機能的なデザインとした。

またステアリングホイールは小型のセンターパッドと，メタル調のアクセントを利かせた3本スポークを組み合わせた斬新でスポーティなデザインとした。センターパッドは新開発のドーナツ型エアバックを採用しブランドシンボルオーナメントをホーンとして機能させるライトウエイトスポーツカーらしいユニークな演出とした（Fig.9）。

Fig.9　Meter & Steering

4.3　ドアトリム

ドアトリムもライトウエイトスポーツカーらしい機能的でシンプルなデザインを基本としながらも，テクスチャや素材感を変えることでコンテンポラリーなイメージを演出した。ソーイングステッチの入ったトリムインサートやペットボトル等を入れられるマルチホルダなど新型ロードスターにふさわしい高品質で機能的なユニーク性を表現した（Fig.10）。

Fig.10　Door Trim

5．カラー＆トリムデザイン

5.1　ボデーカラー

新型ロードスターのボデーカラーはピュアなスポーツカーをイメージするトゥルーレッドとマーブルホワイトのソリッドカラー，そしてより洗練されたモダンスポーツカーイメージを持つギャラクシーグレイとカッパーレッドのニューカラー4色を含め8色を設定した（Fig.11）。

Fig.11　Body Color

5.2　トリムカラー

(1)　サドルタンインテリア

トリムカラーはハイグレードモデルにサドルタンという新しいトリムカラーを提案した。子育てが離れた高年齢層で本物志向のカスタマーに対しよりモダンでハイクオリティなイメージを演出するためシート等にレザーを使用したブラックとサドルタンの2トーントリムカラーを設定した（Fig.12）。

Fig.12　Saddle Tan Interior

(2)　ブラックインテリア

またベースグレードにはよりピュアなライトウエイトスポーツカーをイメージしブラックのファブリックシートを基本にしたブラックモノトーントリムカラーを設定した。

ステアリング，メータ，インナハンドル等にメタル調塗装を使用することによりハイグレードモデルに劣らない仕上がりになっている（Fig.13）。

Fig.13　Black Interior

6．おわりに

新型ロードスターのデザインは開発及び生産部門の強力なサポートがなければ成しえなかった。大型のフロントフェイシャーパーツ開発など改めてマツダ開発部門の能力の高さとチャレンジスピリットを感じた。デザイン開発では多くの困難な場面があり後工程に迷惑をかけることもあったが，開発及び生産部門の知恵と努力のバックアップにより狙いどおりのデザインを具現化できた。

協力していただいた方々にこの場を借りてお礼を申し上げたい。

新型のロードスターを世界中の，そして幅広い世代のお客様に見て触っていただくことにより，多くのよろこびを与えられることと確信している。

■著　者■

中牟田泰

特集：新型ロードスター

3

新型ロードスターのパッケージング
Package of All-New Roadster

任　田　　功*1　福　岡　泰　明*2　十　亀　克　維*3
Isao Tohda　Yasuaki Fukuoka　Katsumasa Sogame

要　約

ロードスターは，軽量かつコンパクトなボデーにバランスの良い運動性能を備えた，誰もが気軽に操れるスポーツカーである。

我々は，新型ロードスターのパッケージ開発において“人馬一体の走りの継承・進化”を目指し，“ドライバとクルマの一体感の向上”と“コンパクトボデーと室内空間拡大の両立”を開発テーマとして，プラットフォームとアッパーパッケージの進化に取り組んだ。

その結果，“ドライバとクルマの一体感の向上”に対しては，「フロントミッドシップレイアウトの進化」を中心とした重量ユニットの最適配置により，50：50の重量配分はキープした上で，ヨー慣性モーメントと重心高を低減した。また，“コンパクトボデーと室内空間拡大の両立”に対しては，ドライビングに必要な空間を分析することでパッケージ効率を高め，2代目同等のボデーサイズのまま，より幅広いドライバに対応した室内空間を実現した。

Summary

Roadster is a sports car that has well-balanced driving performance within its compact and lightweight body, thus enabling all drivers to handle it easily.

For optimum development of all-new Roadster's package, we aimed “to inherit and evolve driving performance of Jinba-ittai, or oneness of motion between Rider and Horse”. We also studied to improve a platform and an upper package under development themes of “improvement of harmony between car and driver in motion” and “compatibility of body compactness with interior space expansion”.

For accomplishment of the “improvement of harmony between car and driver in motion”, we reduced yaw moment of inertia and height of center of gravity while maintaining weight distribution of 50：50 through the optimum layout of a heavy unit with a focus on “front mid-ship layout evolution”. For the “compatibility of body compactness with interior space expansion”, we enhanced package efficiency by analyzing a necessary interior space for driving, and developed an interior space large enough to accommodate various drivers within an equivalent body size to that of a second generation model.

＊1～3　企画設計部
Basic Design Dept.

1．はじめに

1989年，ロードスターは軽量かつコンパクトなボデーとバランスの良い運動性能を備え，誰もが気軽に操れるスポーツカーとしてデビューした。その優れた基本骨格は1998年に導入した2代目にも引き継がれ，16年にわたって世界中で好評を博した。

3代目となる新型ロードスターでは，人馬一体の走りを進化させるとともに，室内空間拡大，および現代の安全基準適合との両立を目指した。一般的に室内空間拡大と安全性の向上は，重量増とボデーサイズ拡大を伴うため，運動性能の進化と相反する。新型ロードスターでは，この相反要素を両立させるために，プラットフォームとアッパーパッケージの大幅進化に取り組んだ。

本稿では，このプラットフォームとアッパーパッケージの進化について紹介する。

2．パッケージコンセプト

2.1　マツダのスポーツカー開発

マツダは，1967年に発表したコスモスポーツ以降，「50：50の重量配分」と「重心高の低減」にこだわったスポーツカーを開発してきた。人馬一体をコンセプトとした初代ロードスターは，上記に加えて「ヨー慣性モーメントの低減」に注力し，クルマとの一体感を向上させた。この考え方は，RX-8以降のスポーツカー開発にもしっかりと受け継がれている。

2.2　パッケージの開発テーマ

新型ロードスターの商品コンセプトは“人馬一体の走りを継承し，更に進化させること”である。

我々は，そのコンセプトを実現するために，“ドライバとクルマの一体感の向上”と“コンパクトボデーと室内空間拡大の両立”を開発テーマとした。

3．ドライバとクルマの一体感の向上

人馬一体の走りを進化させ，ドライバとクルマの一体感を向上させるために，50：50の重量配分をキープした上で，ヨー慣性モーメントと重心高の低減に注力した。

3.1　ヨー慣性モーメントと重心高の低減

(1)　フロントミッドシップレイアウトの進化

ヨー慣性モーメント低減の有効な手段は，エンジン等の重量ユニットを車両重心近くにレイアウトすることである。そのことは，RX-8でのロータリエンジンによるアドバンスドフロントミッドシップレイアウトで実証されている。しかし，ロータリエンジンに対して全高の高いレシプロエンジンを後方移動させると，エンジン本体がダッシュパネルと干渉してしまうという課題があった（Fig.1）。

我々は，この課題を解決するために，ダッシュパネル中央部を2代目比110mm後方移動させて凹形状とし，吸排気

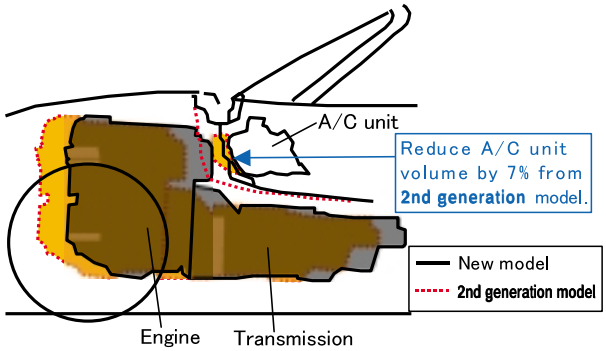


Fig.1　Development of Front Midship Layout（Side View）

形状をこの凹形状に沿わせたY字レイアウトとした（Fig.2）。一方，ダッシュパネル凹形状化のキーとなる空調ユニットについては，熱交換器の高効率化と通風路切り替え方式の変更（回転タイプ→スライドタイプ）により，2代目比7%小型化（空調性能は30%向上）を達成した（Fig.1）。

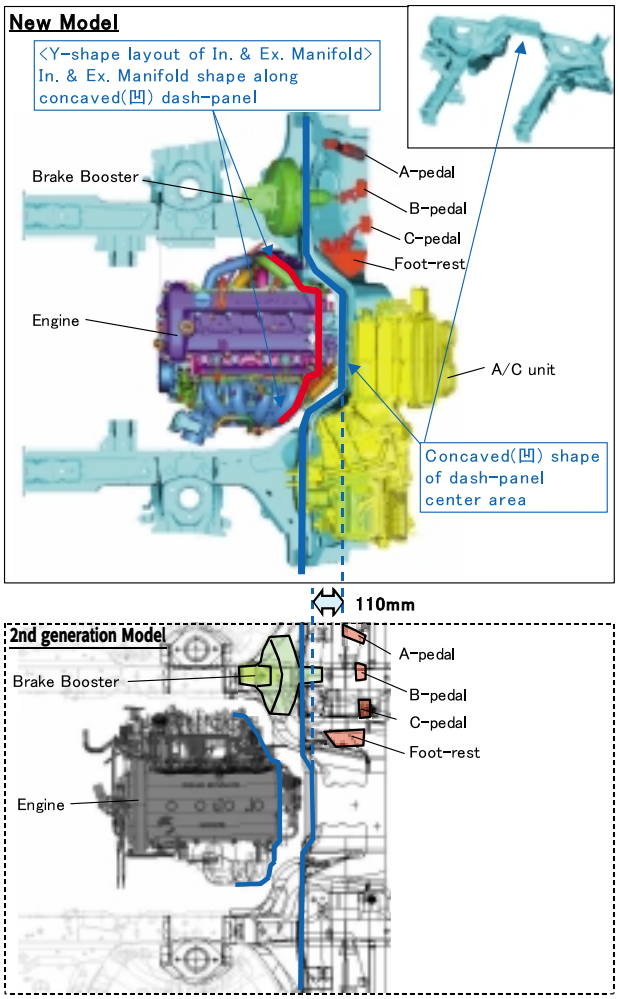


Fig.2　Y-Shape Layout of In. and Ex. Manifold

結果，エンジンセンターは2代目比135mm後方移動でき，センタートンネルへのエンジンの押し込み量では，レシプロエンジンを搭載したFR（Front-engine Rear-drive）車として「世界Topレベル」を実現している（Fig.3）。

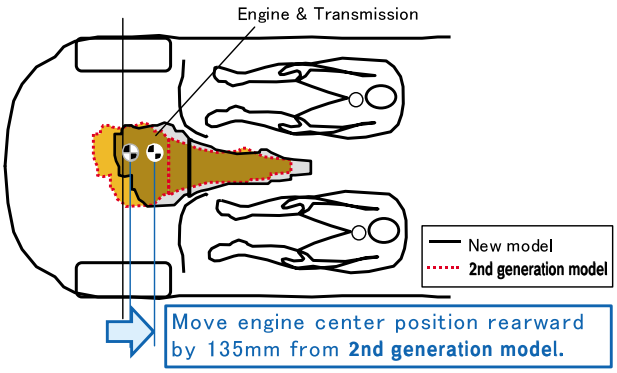


Fig.3　Development of Front Mid-ship Layout(Plan View)

(2)　ヨー慣性モーメントと重心高の大幅な低減

フロントミッドシップレイアウトの進化に加えて，大物重量ユニットである燃料タンクとバッテリも最適配置した。2代目では後車軸の上にレイアウトしていた燃料タンクを，ホイールベースの拡大により，2代目比110mm前方，120mm下方にレイアウトした（Fig.4，5）。また，2代目ではトランクルーム内にレイアウトしていたバッテリをエンジンの後方移動によって生じたエンジン前のスペースにレイアウトし，車両重心からの距離を265mm近づけた（Fig.4）。

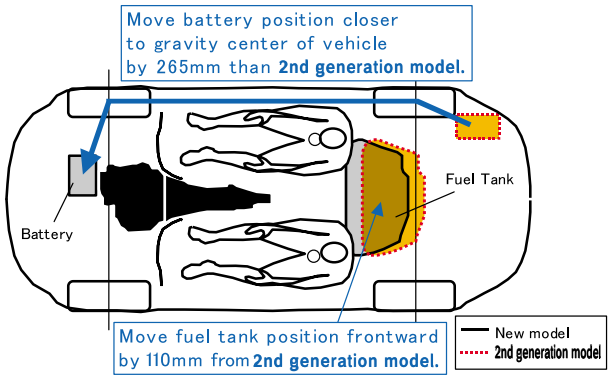


Fig.4　Package for Reduction of Yaw Inertia Moment

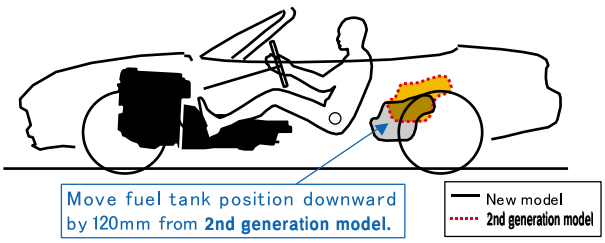


Fig.5　Package for Reduction Height of Gravity Center

これらにより，50：50の重量配分はキープした上で，2代目比ヨー慣性モーメント2%（Fig.6），重心高18mmを低減（Fig.7）し，意のままに操る楽しさを向上させている。

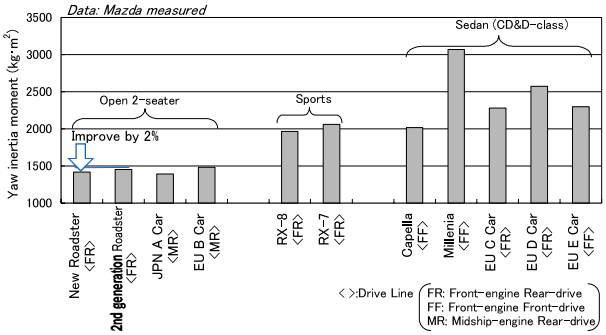


Fig.6　Yaw Inertia Moment of All-New Roadster

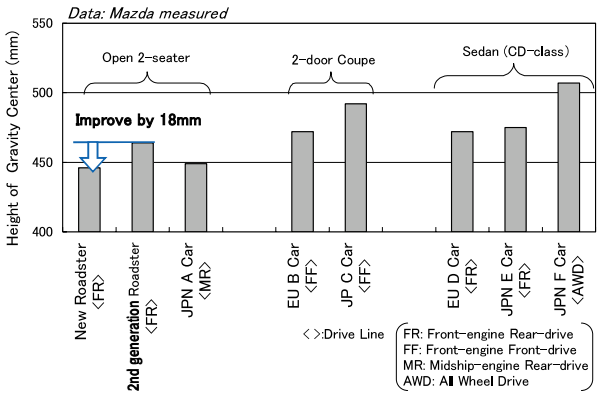


Fig.7　Height of Gravity Center of All-New Roadster

3.2　前方視界の向上

前方視界の向上は，ドライバとクルマの一体感の向上に大きく寄与する。ワインディング走行における運転のしやすさは，“クリッピングポイントの見えやすさ”がキーである（Fig.8）。

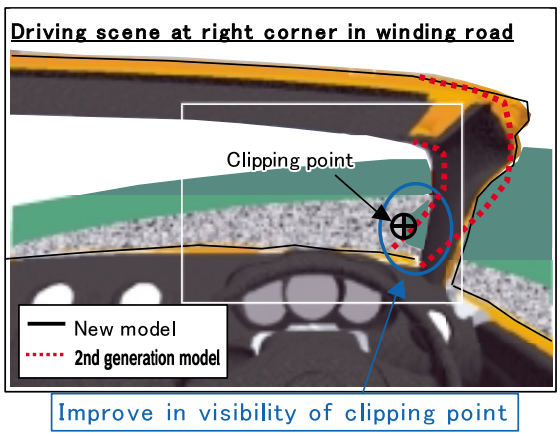


Fig.8　Visibility of Clipping Point

新型ロードスターでは，2代目比フロントピラー傾角を3°立てるとともにヒンジピラーを90mm後方移動させ，クリッピングポイントの見えやすさと関連が深いフロントピラー見開き角を4°拡大した（Fig.9）。結果，レイアウト上有利なMR（Midship-engine Rear-drive）車を超えるフロントピラー見開き角を実現している（Fig.10）（MR車はセンタートンネルがなく，乗員を車両の内側に着座させること

が可能なため，フロントピラー見開き角を拡大しやすい）。

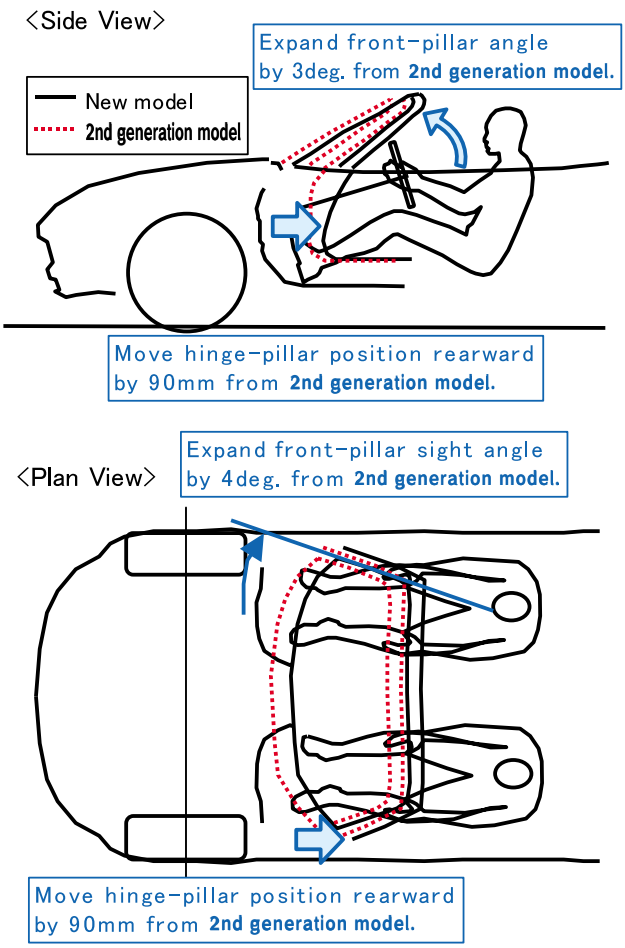


Fig.9　Expansion of Front-pillar Sight Angle

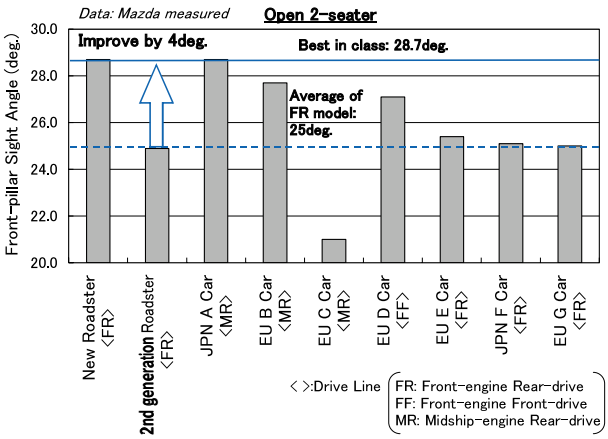


Fig.10　Front-pillar Sight Angle of All-New Roadster

4．コンパクトボデーと室内空間拡大の両立

4.1　幅広いドライバに対応した室内空間

エントリースポーツカーとして幅広いドライバに対応するには，室内空間拡大が必要である。しかし，コンパクトボデーと相反するため，その両立が課題となった。

新型ロードスターでは，幅広いドライバに対応するためにドライバの保証範囲拡大を図った。具体的には，アメリカ人の95%（身長約150cm～185cm）が，適切なドライビングポジションを取れる室内空間を目標にした。これは，2代目に対して背の高いドライバ，背の低いドライバともに，約5cmの保証範囲拡大となる。

コンパクトボデーと室内空間拡大を両立するために，ドライビングに必要な空間を分析した。

レッグルームについては，“ペダル操作時のひざとステアリングの干渉回避”が背の高いドライバのキーであることがわかった。我々は，チルトステアリングの採用とシートスライドの後方10mm拡大により，ステアリングとひざの上下寸法を最大40mm拡大することで背の高いドライバを保証している（Fig.11）（チルトステアリング採用によってホイールベースの25mm拡大を回避している）。一方，背の低いドライバに対しては，シートスライドを前方に40mm拡大することで，ペダルまでの距離を最適化している。

ヘッドルームについては，頭上周りのインナクロス形状を最適化することで，最小限の全高アップで背の高いドライバを保証している（Fig.12）。

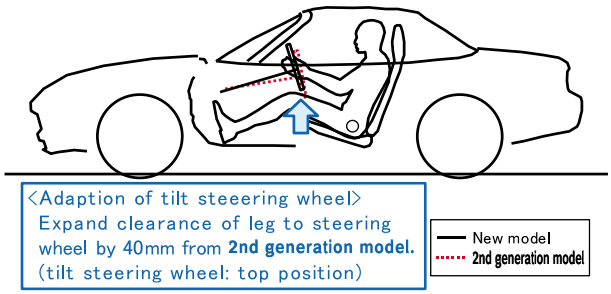


Fig.11　Effect of Tilt Steering Wheel

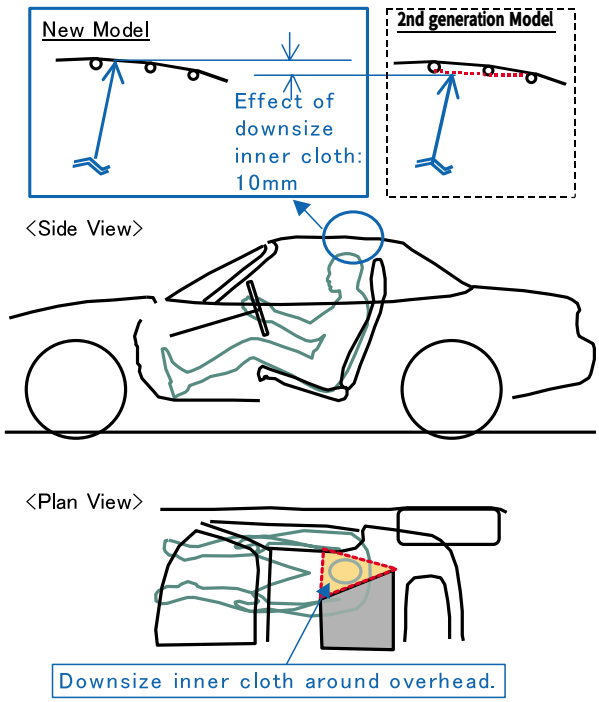


Fig.12　Effect of Downsize Inner Cloth

4.2　コンパクトながらも使い勝手の良い荷室

荷室については，使い勝手の向上を目指した。2代目の荷室に対する不満は少なかったが，水ケースが入らない等の荷室高が低いことによる使いにくさが指摘されていた。新型ロードスターではスペアタイヤを廃止し，トランクフロアを深底化することで，2代目に対して荷室高を100mm拡大している（Fig.13）。

また，荷室への出っ張りがないダブルリンクのトランクリッドヒンジを採用し，隅々まで使える荷室空間を実現している（Fig.13）。

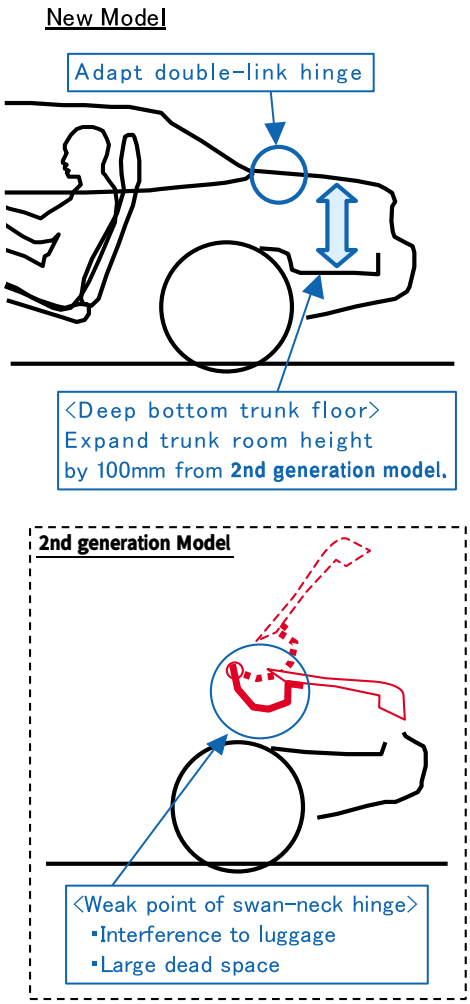


Fig.13　Improvement in Ease of Use of Trunk Room

5．おわりに

新型ロードスターは，歴代ロードスターが培ってきた「人馬一体」を継承しつつ，プラットフォームとアッパーパーケージを大幅に進化させた。その基本骨格の素性の良さは，ライトウェイトスポーツカテゴリにおいて非常に競合力のあるものに仕上がったと自負している。

今後も，ライトウェイトオープンスポーツのパイオニア精神を持ち続け，更なる進化を目指して開発し続けていく所存である。

■著　者■

任田　功

十亀克維

特集：新型ロードスター

4　新型ロードスターのダイナミック性能 統一感について
Task for Harmonizing Tastes of Dynamic Performance

斎　藤　茂　樹*1　佐々木　健　二*2　小　栗　健　作*3
Shigeki Saito　Kenji Sasaki　Kensaku Oguri
宮　脇　俊一郎*4
Shunichiro Miyawaki

要　約

新型ロードスターの開発では，ダイナミック性能の実研エキスパートを中心にタスクチームを組み，主要性能のテーストを統一させ，車全体の統一感を造り込む活動に取り組んだ。この活動の狙いは，マツダブランドDNAを象徴する商品である新型ロードスターを，お客様がドアを開け乗り込むシーンから，高速走行やワインディング走行まで，あらゆるシーンで運転する楽しさを感じていただける商品に仕上げることである。この中でタスクチームは，特にお客様が普通に運転するシーンに焦点を当て，日常シーンでテーストの統一感を造り込み，常にコンセプトである「人馬一体」と「楽しさ」をお客様に感じていただける商品に仕上げた。本稿はその開発手法について解説する。

Summary

For the development of the new Roadster, we had organized a task team mainly consisting of experts in charge of dynamic performance testing and research, and worked on the activities for unifying tastes of principal performance areas and incorporating the sense of unity over the entire car. The purpose of the activities is to create the new Roadster, a product that symbolizes Mazda Brand DNA and provides lots of fun for the customers in every scene from door opening and getting-in-car to high-speed or on-winding-road driving. Through the activities, our task team had incorporated the sense of unity of the tastes in everyday scenes with an especial focus on the customers ’casual driving scenes and has created a product that enables customers to always feel its concepts:“ Jinba Ittai ” -- or ‘ Oneness between Car and Driver ’ and “ Lots of Fun ”. This report will explain our development methods for the new Roadsters.

1．はじめに

新型ロードスターでは，コンセプトである「人馬一体」を確実に継承するとともに，顧客の最大の期待である「楽しさ」を進化させるため，ダイナミック性能の実研エキスパートを中心にタスクを組み，テーストの統一感を造り込む活動に取り組んだ。

具体的には，Fig.1に示すフィッシュボーンチャートの中の「走る・曲がる・止まる・聴く・さわる」これら5つの柱をバランスよく整え，統一されたテーストを造り込むことでロードスターのコンセプトである「人馬一体」を確実に継承させた。

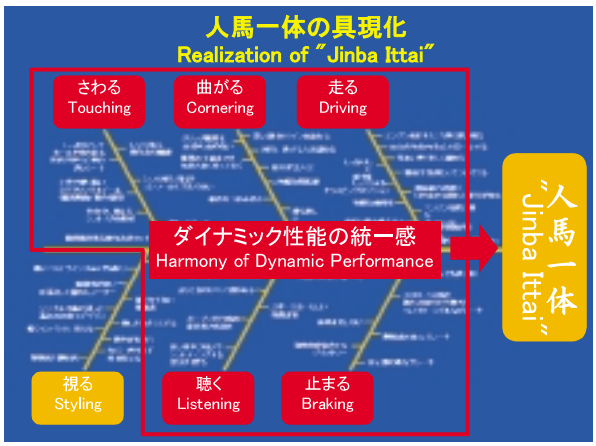


Fig.1　Fish Bone Chart

＊1～4　車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

2．テーストの統一感

2.1　ダイナミック性能の統一感

ダイナミック性能の統一感とは，Fig.2に示すように，車の動き（走る・曲がる・止まる）のテーストを合わせ，更にドライバが操作する操作機器（ハンドル・アクセルペダル・シフト等）のテーストも同じフィーリングとなるよう造り込む。

このように個々の性能のテーストを統一させることで相乗効果を生み，乗った瞬間からより明快に車のテーストを感じていただけるようにすることが狙いである。

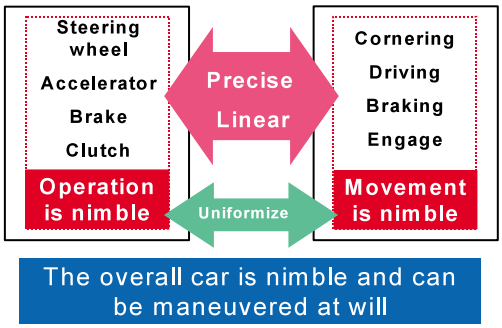


Fig.2　Uniformize the Taste of the Overall Car

2.2　タスクメンバの意思統一と造り込むテースト

車全体でテーストの統一感を造り込むためには，まず造り手である，我々開発者の意思や狙いを統一する必要がある。そのためにタスクメンバは，社外走行や合宿を積み重ね，競合車の性能やロードスターの楽しさを共有化し，我々の目指す新型ロードスターのあるべき姿などについて，徹底的に意思統一を図った。

この結果，タスクチームは「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＝軽快感」とのバランスであると定義した（Fig.3）。

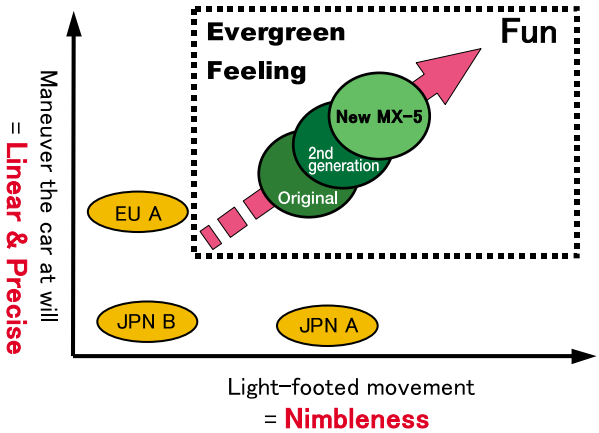


Fig.3　Evolve the " Fun " in the Right Direction

また，車の目指すべき方向性は「軽快で人間的」とし，各性能領域のテーストは，「きびきび軽快＝レスポンス・リニア・正確」を共通のキーワードとした（Fig.4）。

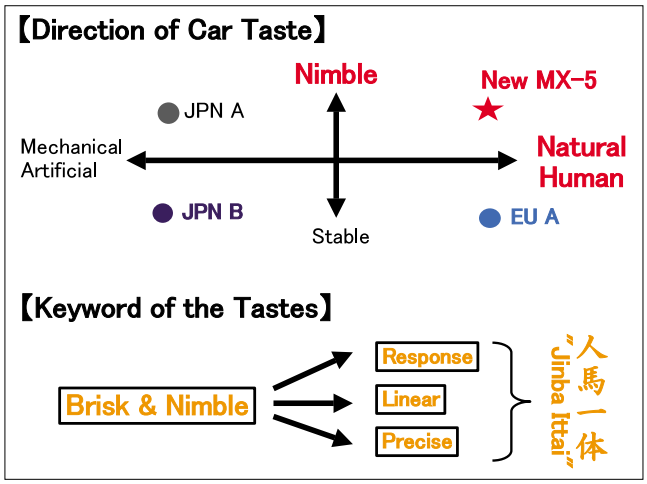


Fig.4　Unify the Intentions of the Development Engineers

2.3　光るシーンの設定

タスクチームは，テーストの統一感をお客様に気持ち良く感じてもらえるシーンを「光るシーン」として設定した。

Fig.5に示す，国内の代表的な高速道，ワインディング，一般道，市街地にて走行解析，並びにフィーリング評価を実施し，ロードスターの楽しさを最も強く感じ取れるシーンを検討した。

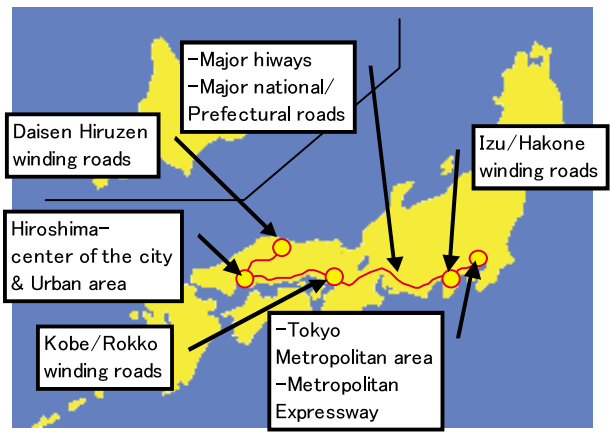


Fig.5　Set up the Scenes where MX-5 Shines

この解析と評価結果から，タスクチームは以下の6つのシーンを「光るシーン」に設定し，共有化した。

① 駐車場から出て一般道の本線に合流する
② 交差点を曲がる
③ 市内，郊外で交通の流れに沿って走行する
④ 高速道路ランプウェイから本線に合流する
⑤ 高速道路で前車を追い抜く
⑥ ワインディングを走行する

これらの光るシーンは，「誰もが普通に運転する」とい

った前提条件で設定した。汗をかき，走り込んで初めて分かる楽しさではなく，女性や高齢者，素人からプロまで，乗り手を選ばないこと。そして，場所を選ばないこととした。

更に，テーストの統一感をより高めるため，車速や加速度・ギア段などを規定した共通の評価モードを各シーンに設定し，造り込みを行った。

3．統一感メトリクス

3.1　統一感メトリクスによる開発

個々の性能のテーストをそれぞれに統一させるのは，非常に複雑で難解な取り組みとなる。したがって，タスクチームは，ロードスターで最も重要な性能である“ハンドリング”のテーストを軸に，車の動きのテーストを合わせた。その上で，操作機器のテーストを造り込み，最終的にダイナミック性能全体を統一させるやり方に取り組んだ。

更に，タスクメンバのフィーリングだけではなく，定量値で統一感を造り込むため，代表特性による統一感メトリクスの開発を試みた。

本稿は，その一例であるハンドリングと走り感をどう統一させてきたかを，最も日常的なシーンである交差点のメトリクスを用い紹介する。

3.2　ハンドリングのテーストを決める特性

統一感の狙いである，「きびきび軽快なハンドリング」のテーストを造り込むには，ハンドリングDNAの指標である“Nimble”を特化させる必要がある（Fig.6）。このNimbleを決める代表的な特性は，ヨーレートゲインとハンドル操舵力である。

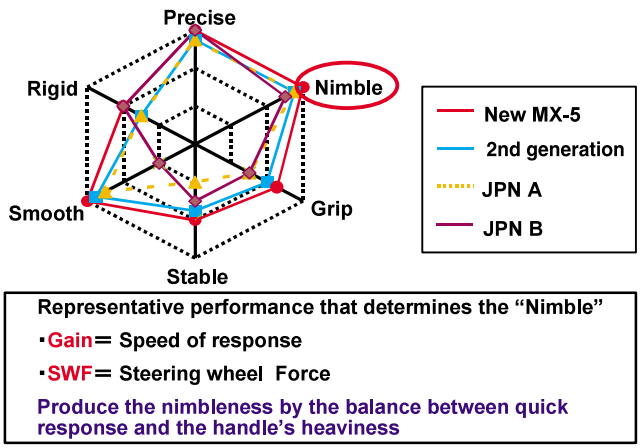


Fig.6　Handling DNA

Fig.7は，縦軸をヨーレートゲイン，横軸を操舵力とし，初代＆2代目ロードスターや競合車をプロットしたグラフである。この中で，人馬一体感のあるロードスターと競合車EU A車から統一感ラインを設定した。

初代＆2代目ロードスターは，ともに軽快なテーストを持っているが，お客様の声や開発の評価結果から，初代は少し敏感過ぎ，2代目はやや安定方向である。そこで，新型ロードスターでは，初代と2代目との中間よりもやや初代よりの，ヨーレートゲイン＝0.375，ハンドル操舵力＝20（N）を目標に設定した。

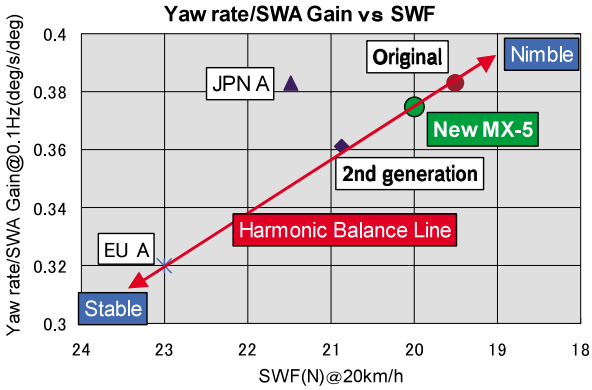


Fig.7　Metrics for Steering & Handling

3.3　走り感のテーストを決める特性

次はハンドリングに合わせる走り感について解説する。

「きびきび軽快な走り感」のテーストを造り込むには，走り感DNAの“Lively”を特化させる必要がある（Fig.8）。Livelyとは，活発な・躍動的といった走りの軽快さを決める軸を示す。このLivelyを決める代表的な特性は，ΔGとアクセルペダル踏力である。ΔGとは単位時間当たりの加速度の変化量であり，アクセルを踏んだ瞬間からのGの立ち上がりの良さを示す。これらをハンドリングのテーストと合わせるために，車の動きであるヨーレートゲインにΔGを，操作機器であるハンドル操作力にアクセルペダル踏力をそれぞれ合わせたメトリクスを設定した。

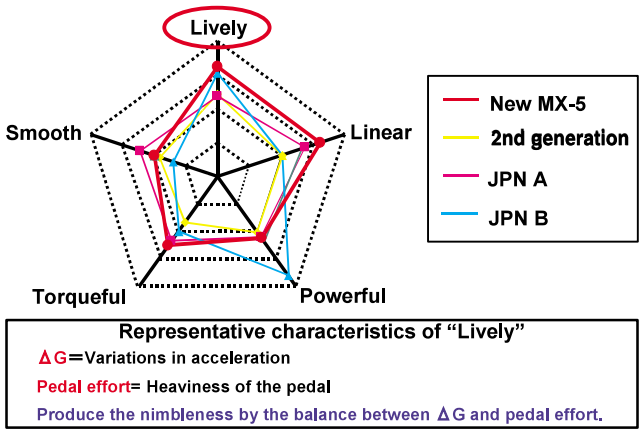


Fig.8　Performance Feel DNA

3.4　ハンドリングのテーストに走り感を合わせ込む

Fig.9は縦軸にヨーレートゲイン，横軸にΔGを取り，各車をプロットしたグラフである。3.2と同様に，人馬一体感のある車両から統一感ラインを設定した。

ここで，ヨーレートゲインの目標は0.375なので，テー

ストを統一させるためにΔGの目標は，0.78に設定した。

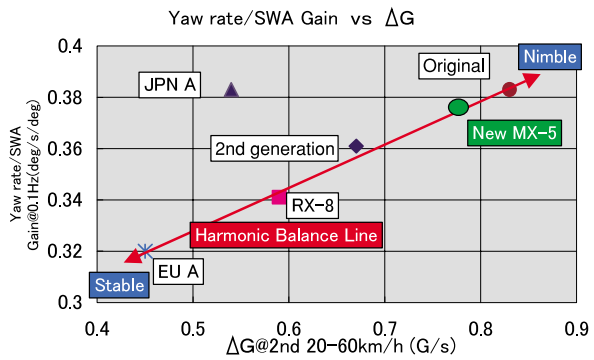


Fig.9　Metrics for Yaw rate Gain vs ΔG

Fig.10は縦軸にハンドル操舵力，横軸にアクセルペダル踏力を取り，統一感ラインを設定したグラフである。

ハンドル操舵力の目標値20（N）から，アクセルペダル踏力の目標は22（N）に設定した。

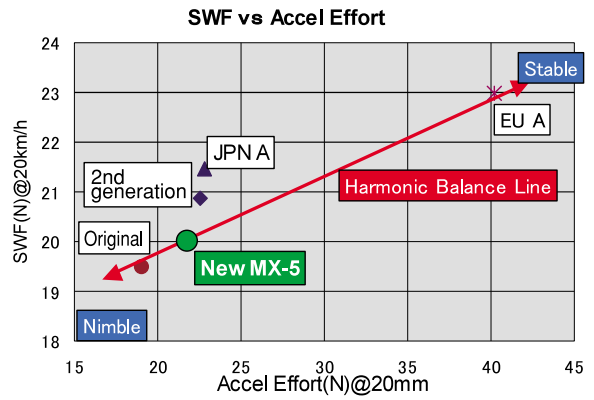


Fig.10　Metrics for SWF vs Accel Effort

3.5　操作系のテーストを合わせていく

同様に，Fig.11がアクセルとクラッチ，Fig.12がクラッチとシフトの統一感メトリクスであり，クラッチ踏力およびシフト操作力の目標値を設定した。

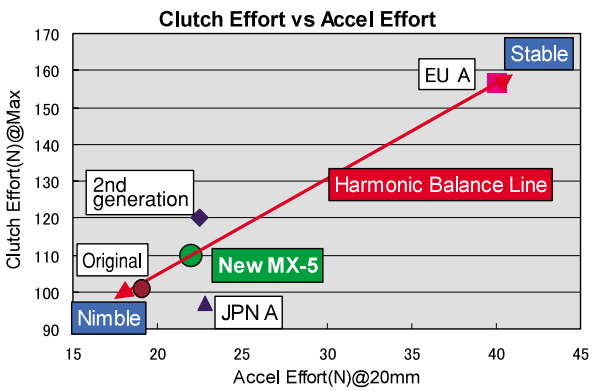


Fig.11　Metrics for Clutch vs Accel Effort

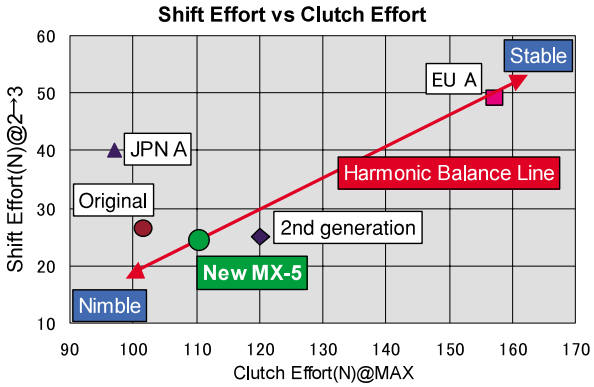


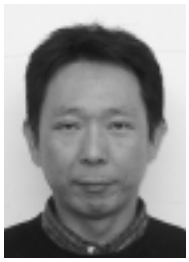
Fig.12　Metrics for Shift vs Clutch Effort

以上のように，ハンドリングと走り感について，目標値を設定し，実車で具現化し，テーストを統一させた。また，本稿で紹介できなかった領域に関しても，各性能の目標を共有化し，チーム一丸となって課題克服と目標達成に向けた取り組みを継続し，車全体として統一感を実現させた。

4．おわりに

新型ロードスターで取り組んだ統一感タスクの一部を，メトリクスを用いて簡単に紹介した。活動のポイントは，タスクメンバ全員のベクトルが終始一致し，担当する性能のみを開発するのではなく，関連する性能を含めた車全体を常に意識した開発を行ったことである。また，活動の重視点を代表的な日常シーンに設定し，お客様が普通に運転する中で楽しさを体感できることにこだわった。その結果，軽快で意のままに操れる「きびきび軽快なテースト」を持った，マツダブランドDNAを象徴する商品に仕上がった。あらゆるシーンで人馬一体を感じ，全てのドライバに走る楽しさを感じさせる車，それが新型ロードスターである。

■著　者■


斎藤茂樹

佐々木健二

小栗健作

宮脇俊一郎

特集：新型ロードスター

5 新型ロードスターの走り感／レスポンス性能
All-New Roadster Performance Feel / Response Performance

佐々木　健　二*1　小　栗　健　作*2　齋　藤　茂　樹*3
Kenji Sasaki　Kensaku Oguri　Shigeki Saito
山　下　　勲*4
Isao Yamashita

要　約

新型ロードスターでは，「人馬一体」を継承し，Fun to Driveを更に進化させるため，単なるエンジンパワーや加速時間といった領域だけでなく，お客様が感じるシフト操作の楽しさやサウンドの心地良さまで含めたPerformance Feel（走り感）の実現に取り組んだ。その中でも主軸となる加速度の反応の良さとエンジン回転数に応じた加速度の変化を作りこむため，フライホイールやドライブシャフト，制御系などを細かく分析・解析することで，ドライバの意志にマッチした軽快感あふれるFeelingを実現した。

Summary

In order to inherit “Jinba Ittai” and further evolve “Fun to Drive”, we worked on the realization of the Performance Feel that even extends to the fun of shifting operation and the comfort of the sound to the customers, not only on the areas such as the engine power and the acceleration time. We realized the feeling full of nimbleness that matches the driver’s intention by conducting the thorough analyses on the flywheel, the driveshaft, and the control system, with the aim of elaborating both the good acceleration response and the variations in acceleration responsive to the engine speed, which are the main elements of the performance feel.

1．はじめに

新型ロードスターは，キビキビとした軽快感あふれるPerformance Feelの実現に向けて，LivelyとLinearに注力して取り組んだ。Livelyについては，トルクの絶対値だけでなく，アクセル操作に対して応答性が良く，正確に反応するレスポンスを実現すること。Linearについては，アクセル操作量やエンジン回転数，車速の上昇に応じたドライバの意志に合ったG変化が得られることが重要と考えている。これらを実現するために，ハード・ソフトの両面から，最適チューニングに取り組んだ内容を紹介する。

2．Performance Feelとは

2.1　Performance Feel

お客様が車全体から感じ取る，加速度の大きさ，エンジン（本体）や吸排気Sound，操作系の扱いやすさ（シフトフィールなど）の性能因子をもとに，Linear，Lively，Powerful，Torqueful，Smoothの5軸で表現する走りの管理指標のことをいう。

2.2　新型ロードスターのPerformance Feelの方向性

マツダプロダクトDNAでも訴求するLivelyとLinearを更に特化させ，軽快感あふれるFunな走りを目指した（Fig.1）。

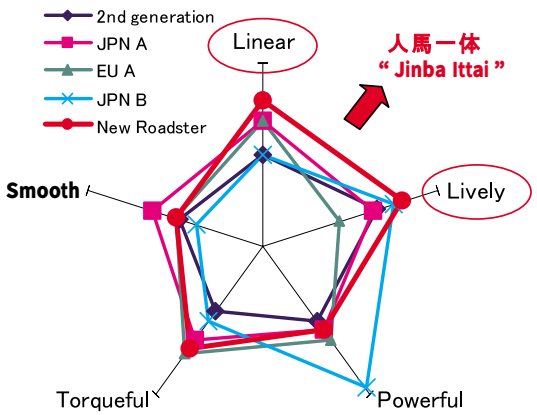


Fig.1　Performance Feel Orientation

＊1～3　車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.
＊4　第3エンジン開発部
Engine Development Dept. No.3

2.3　Performance Feelの重点開発項目

Fig.2に，Performance Feel視点から見た，ロードスターらしいFun to Driveの実現に向けた，具体的な重点開発項目を示す。それぞれLivelyやLinearを構成する一要素ではあるが，スポーツカーの特徴として，Feelingに加速度の占める割合が大きく，「レスポンス」「ダイレクト感」「Linearな伸び」の性能開発に注力した。

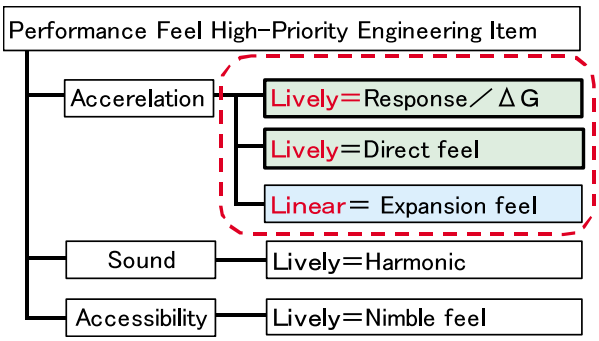


Fig.2　Performance Feel High-Priority Engineering Item

3．人馬一体を実現するLivelyの育成

3.1　基本骨格

まずはレスポンスやダイレクト感を実現するために重要な部品で，エンジン出力を直接ファイナルドライブユニットまで伝えるプロペラシャフトとマツダスポーツカーのDNAを支えるパワープラントフレーム（PPF）の仕様を決定した。PPFはエンジン・トランスミッションとファイナルドライブユニットをつなぐことで，ドライバのアクセル操作をダイレクトに後輪に伝えることができる部品である。

検討方法としては，実車のクランクシャフトに一定のトルクを与え総ねじれ角を計測し（Fig.3），与えたトルクに対してねじれ角の小さい仕様ほど，剛性が高くファイナルドライブユニットにしっかり出力が伝わるものと判断した。

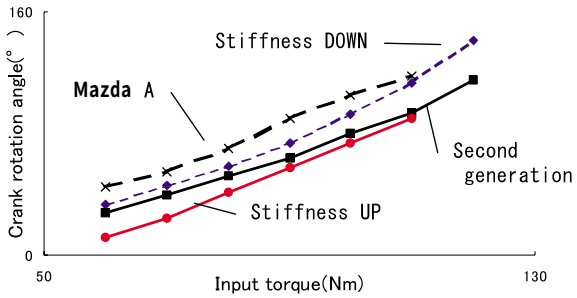


Fig.3　Examination of Twist Angle Measurement

その結果，プロペラシャフトは外径φ60.5→φ65にアップしねじり剛性（34,900Nm/rad）をあげ伝達力を高めた。しかし，PPFは2代目ロードスターの仕様でもかなりの剛性を確保できており，これ以上剛性をアップしてもフィーリングに表れないことから，前後両端を閉断面構造とし必要な個所のみ剛性を高め全体の重量アップを抑えた。

今回，スペック決定において，むやみに剛性を上げるのではなく，Livelyを実現するための最適仕様を決定した。

3.2　レスポンス

(1)　レスポンスの定義

レスポンスとは，「アクセルを踏み込んだ瞬間発生する，加速度の応答性の良さ」と定義している。これを表す指標として，Fig.4に示すTG（アクセルを踏み込んだ瞬間から，Gが発生するまでの応答時間）／ΔG／G_Aveの3つの要素に分類される。

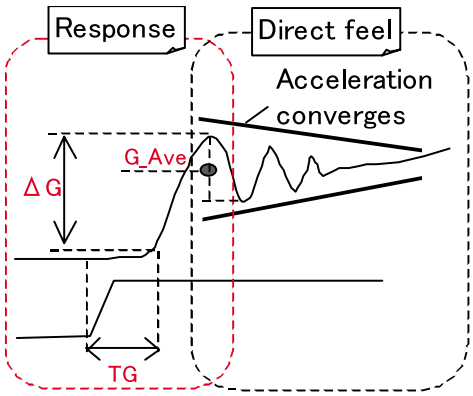


Fig.4　Definition

レスポンスを向上させる上で重要な要素は，アクセルを踏んでから加速度（G）が立ち上がるまでの応答時間の短縮と，立ち上がった加速度を一気に上昇させることである。

これらの実現は，アクセルの踏み込み瞬間から路面に駆動力が伝わるまでの現象を詳細に解析し，最適なレスポンスの実現を目指した。

(2)　応答時間の解析

まずは伝達経路の応答時間を明確にし，目標を定めた。アクセル踏み込み瞬間から車両が反応し，加速度が立ち上がるTGまでの時間を4つに分け解析した（Fig.5）。

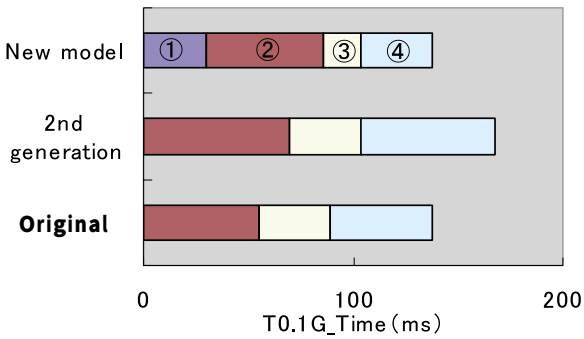


Fig.5　Road Load Response Attribution Analysis

① スロットルの応答時間
（アクセルを踏んで，スロットルが反応するまで）
② エンジン回転への反応時間
（スロットルが反応して，回転が上昇するまで）
③ 車体伝達系の反応時間
（回転が上昇して，タイヤに駆動力が伝わるまで）
④ 加速度の発生時間
（タイヤに駆動力が伝わって，Gに立ち上がるまで）

新型ロードスターでは，Good Responseを実現するためには応答時間の短縮は不可欠である。今回エレキスロットルの採用により，①の応答時間はモータの反応速度の影響分も考慮する必要があったが，市場で最速応答時間となる開度10%点20msという応答性能を活かし，好評である初代ロードスターの応答時間138msを目標に，各部のパーツの最適化に取り組んだ。

②，③，④の領域それぞれ大幅な改善を実現できたが，③，④については他でも述べる，PPF，ドライブシャフト，エンジンマウントなどに関係するため，ここでは，エンジン領域の②に関する改善について説明する。

(3) 達成手段－フライホイールの軽量化

まずは，加速度を作り出す元であるエンジンのイナーシャーダウンによるレスポンス向上に取り組んだ。手段としては，フライホイールの軽量化に取り組み，ロードスターとして最適なレスポンスが得られる仕様を決定した。最終的には，他機種搭載のMZRエンジン比，約6%の軽量化を行い，レスポンスを向上するとともに，スポーツカーにとって必要不可欠な，無負荷レーシングやヒール・アンド・トー時の回転の吹き上がり感も大きく改善した。

Fig.6の性能データから，応答時間TGとΔG，maxGが向上したことが確認できる。

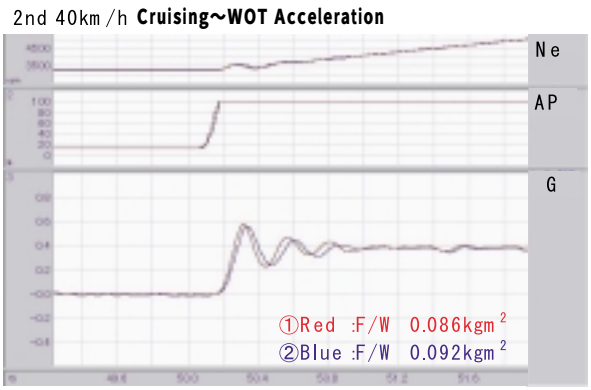


Fig.6　Comparison of Flywheel

また，ロードスターのレスポンスの良さは，Fig.6の管理指標のようなアクセル全開だけで感じられるのではなく，日常の生活シーンで感じられることが重要と考えており，Performance Feel評価で設定している，交差点を左折してから加速するモードでも，ΔGの加速度に明確な性能差があることが確認できた（Fig.7）。

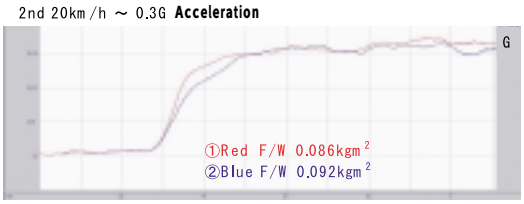


Fig.7　Comparison of Flywheel-Performance Feel Mord

3.3 ダイレクト感

(1) ダイレクト感の定義と狙い

ダイレクト感とは，「加速度の収束の良さ」と定義している。Fig.8のように，加速瞬間の車の挙動を加速度でみると，アクセルを踏み込むと加速度が大きく上昇し，その後，加速度が振幅しながら収束していき，加速へとつながっていく。この加速度が早く立ち上がり，前後波形の収束が早く小さいほど，軽快でダイレクトな加速を実現できる。

Fig.8　Direct Feel Definition

(2) ダイレクト感のメカニズム

加速度の変動は，ドライバがアクセルを踏み込むと，最初にエンジンが反応し，発生したトルクがトランスミッション，プロペラシャフト，デファレンシャル，ドライブシャフト，タイヤといった部品を伝達して路面に伝わる。この伝わった加速度が大きいほどレスポンス向上につながるが，伝達された加速度が大きいほど，伝達中部品にねじれと戻りが発生し，トルクとバランスするまで，加速度が変動する。

それを抑える方法として，部品の強度や剛性を上げる必要がある。しかし，単純に強度や剛性を上げると部品は大きく重たくなる。また，加速ショックや過敏な反応を招く要因となってしまう。新型ロードスターでは，敏感すぎないGood Responseを実現するため，エンジンから駆動系にいたる伝達系に関連するスペックの最適化を行った。

(3) CAE解析

新型ロードスターでは，開発の初期段階からCAE解析による最適設計仕様の造り込みに取り組んだ。その中から寄与度の高い部品，ドライブシャフト，パワープラントフレーム，エンジンマウントについて，更に実車評価によって，特性の最適化を図った（Fig.9）。

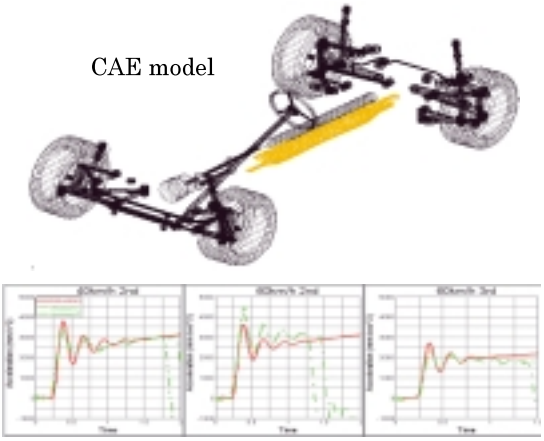


Fig.9　CAE Analysis Data

(4)　達成手段ードライブシャフトの剛性

ドライブシャフトの剛性アップは，レスポンス領域と加速度の収束性に最も有効であることが明確にできた。Fig.10は，剛性値とダイレクト感の官能評価結果を表したもので，新型ロードスターでは，加速度の収束の良さをしっかり体感できるレベルにするため，中空構造を採用することで，10,390Nm/radの高いねじり剛性と軽量化をバランスさせることによって，伝達力を向上させた。

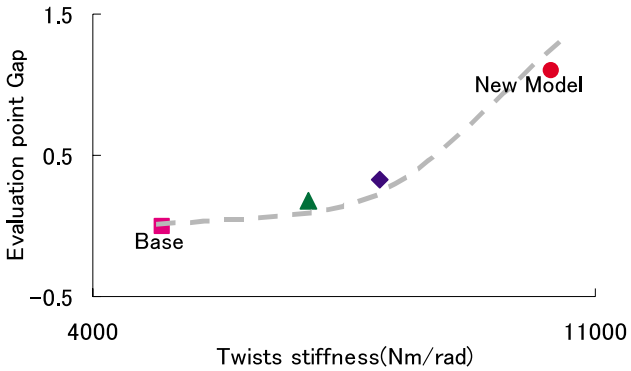


Fig.10　Drive Shaft Contribution Rate

Fig.11の加速度波形でも確認できるように，ねじり剛性向上によってMaxGが高くなり，振動の収束性（黒線）を向上させることができた。

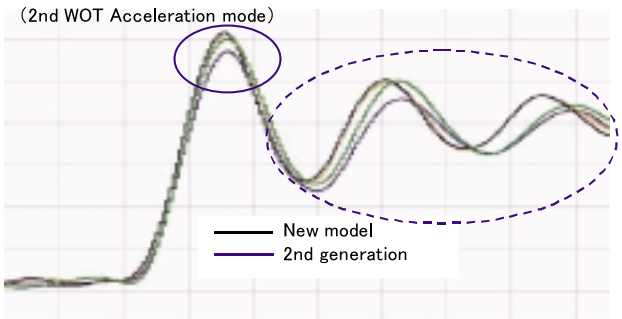


Fig.11　Comparison of Drive Shaft

(5)　達成手段ーエンジンマウントの剛性

エンジンマウントの硬度UPにより，加減速の初期応答性が改善される（Fig.12）。これは，過渡条件下でのパワートレイン系の振れが抑制されることにより，駆動力伝達の応答性が改善されるためと推察される。

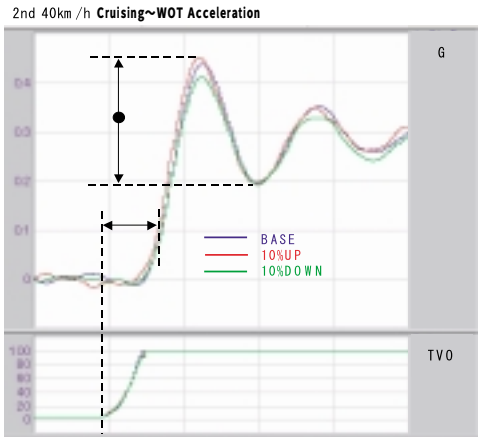


Fig.12　Comparison of Engine Mount

フィーリング評価（Fig.13）では硬度UPにより軽開度の加減速応答が改善され，シフトチェンジ時のパワートレイン系の振れ（ブルブル感）が少なく，一般走行においても，軽快な加速をダイレクトに感じ，スムーズさの向上にも大きく寄与することを確認した。

ただし，エンジンマウントはレイアウトをはじめ，アイドル振動・操縦安定・乗り心地など，他性能との両立が必要であったため，ダイレクト感Bestではなく，全体最適化の観点から，特性値を決定した。

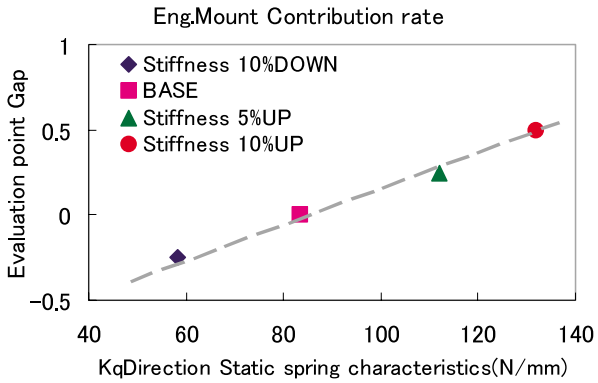


Fig.13　Comparison of Engine Mount

3.4　パワートレイン制御の詳細マッチング

(1)　狙い

新型ロードスターでは，初代ロードスターの軽快な走行フィールはそのままに，一クラス上の質感をプラスさせることを目標に開発を行った。

PCM（パワートレイン・コントロール・ユニット）によるエンジンのセッティングは，燃料，点火，空気＝エレ

キスロットルの3要素をいかにコントロールするかが重要であり，加速，減速といった過渡時には様々な制御が1,000分の1秒単位で作動している。これらをドライバの運転状況に応じ，最適なセッティングをすることで，市街地での扱いやすさとハード走行時の軽快さを兼ね備えた，絶妙なバランスに仕上げている。

(2)　加速レスポンス

アクセルを踏み込んだ瞬間，いかにストレスなくエンジントルクを発生させるかがチューニングのポイントで，各シリンダの1燃焼毎のレスポンスが重要である。ただし，瞬間的にトルクの発生を常に最大限まで立ち上げると反応が過敏すぎて加速ショックと感じてしまうため，ギヤ段毎にアクセルの踏み込み量やスピードに応じたチューニングを行い，軽快に反応する狙いのレスポンスを実現した。

新型ロードスターでは，更にレスポンスを向上させるセッティングも可能であったが，コーナリング中のアクセルコントロール性など含め，一般走行からスポーツ走行まで，あくまでもトータルバランスにこだわった。

(3)　減速レスポンス

スポーツカーでは，加速のみならずアクセルを戻した瞬間の応答性も，車との一体感を保つ重要な性能である。

減速時にはアクセル全閉にした場合，通常燃料カット状態に入るが，エンジントルクが発生した状態からトルクゼロへ移行するため，制御を停止させると急激に大きなショックが発生する。過度なショックを回避しつつトルクゼロへ向け，どのような傾きでトルクを低下させていくかが減速レスポンスチューニングのポイントである。ドライバのトルク低下傾き要求は複雑で常に変化する。新型ロードスターではドライバの運転状態に応じた減速度を絶妙のセッティングにより実現している。

ハード面での対応のみならず，PCMによるソフト面でのチューニングも同じ方向性を持って合わせることで，アクセル操作に対して，期待通りの加速度が得られ，楽しく気持ちの良いパフォーマンスフィールを実現し，「人馬一体」感を更に高めている。

4．人馬一体を実現するLinearの育成

(1)　Linearな伸び感の定義

ここでいうLinearな伸びとは，「低回転から高回転まで，ストレスなくエンジンを使い切れる良さ」と定義している。これを表す指標としてFig.14に示すように，加速度の高さR70LevelのポイントとR70-R90間のG変化が少なくレッドゾーンまでフラットな加速度が続くことと考えている。

また，低回転域のAccelerationゾーンとの加速度のつながりも非常に重要であり，エンジン特性全体で育成していくことが重要なポイントである。

このLinearな伸びを実現するためには，指標に示す加速度のみならず，エンジンサウンドの影響も大きく重要な性能ではあるが，今回は加速度に絞った取り組みについて述べる。

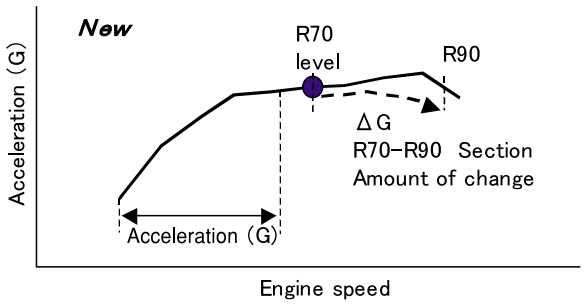


Fig.14　Linear Expansion Feel Definition

(2)　達成手段ートルク特性

狙いの加速度を実現するためには，エンジンのトルク特性が持つウエイトが大きく，最大トルクからレッドゾーンまでフラットに伸びるトルクカーブの実現が必要である。

新型ロードスターでは，吸気系のチューニングを細部に渡り施しトルクの谷間を減らし，空燃費制御のチューニングを行い可能な限りトルク損失を最小限に抑えてBestな出力特性を引き出すことで，狙いのトルクカーブが実現できた。その結果，Fig.15に示すフラットな加速度を実現した。

エンジンを使い切る楽しさが好評を得ていた初代ロードスターに比べ，2代目ロードスターは，加速度とエンジン回転数の関係から高回転域で加速度が急激に落ちてしまうため，オーバレブのかなり手前で頭打ち感があった。そこで新型ロードスターでは，初代ロードスターのようなフラットな加速度を最後まで保ち，エンジンを使い切る楽しさを目指した。排気量アップによって2代目までの欠点であった加速度の絶対値を改善するとともに，初代の持つレッドゾーンまでフラットに伸びる特性を実現させることで，エンジンを最後まで気持ち良く使い切れる伸び感を実現した。

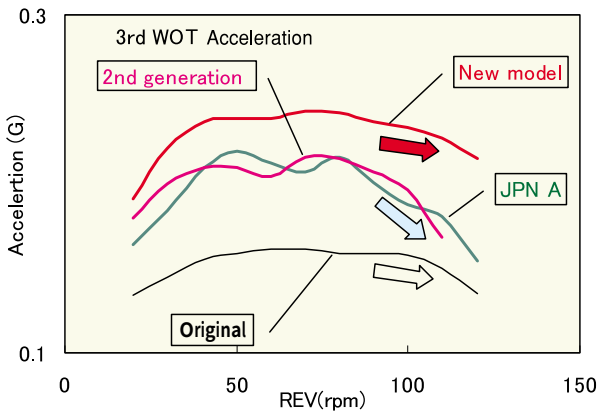


Fig.15　3rd Gear Acceleration Comparison

5．おわりに

新型ロードスターでは，一般的な日常使用シーンで軽快感あふれるFun to Driveの実現を目指して，多くの研究開発を行いその成果を織り込んできた。

今回の紹介は加速度を中心とした報告となったが，Performance Feelの表す感性の領域は，エンジンSoundや排気音，トランスミッションの操作フィーリングなど，多くの複合した性能から実現できている。新型ロードスターを是非試乗して，軽快感あふれる走りと車との一体感を体感していただければ幸いである。

■著　者■

佐々木健二

小栗健作

齋藤茂樹

山下　勲

特集：新型ロードスター

6

新型ロードスターのダイナミクス
Dynamics of All-New Roadster

髙橋宏治*1　小林茂*2　小宮勝行*3
Koji Takahashi　Shigeru Kobayashi　Katsuyuki Komiya
立畑哲也*4　當舎浩光*5　新田祐司*6
Tetsuya Tachihata　Hiromitsu Tosha　Yuji Nitta

要　約

“人馬一体”のキーワードであらわされるロードスターで代々継承されてきた“Lots of Fun”という基本コンセプトの実現と，更なる進化のため新型ロードスターではライトウエイトスポーツの軽快感と安定性，乗り心地とロードノイズの低減に代表される快適性を徹底追求した。

サスペンションは，フロントにダブルウィッシュボーン式，リヤにロングリンクマルチリンク式を採用し，リニアなジオメトリ変化，コンプライアンス特性の最適化を図り操縦安定性，乗り心地及びロードノイズを高次元でバランスさせた。ステアリングには従来のラックドライブ式油圧パワーステアリングを採用しながら，低速から高速まで自然で違和感のないリニアなステアリングフィールを実現した。

ブレーキはフロントロータの直径を拡大し，リヤについてはホイールシリンダ径を大きくしてスポーツドライビングをサポートする高い制動能力を確保した。ブレーキブースタの大型化により全域でリニアなブレーキングを実現した。

ボデーについては，オープンボデーであることを感じさせない剛性感と操縦安定性を実現するため，ボデー全体の静的な曲げ剛性や，ねじり剛性とともに，運動状態での変形解析による局部剛性の向上に取り組んだ。そして強固なアンダーボデーフレームワークや，車体各部に新材料の超高張力鋼鈑・高張力鋼鈑を効果的に使用することにより軽量高剛性ボデーを実現した。

Summary

In order to embody the basic concept of Roadster “Lots of Fun”, which is expressed in its catchword “Jinba Ittai”, or oneness of motion between Rider and Horse, and to further evolve it, stability and nimbleness as a light-weight sports car and ride comfort and road noise reduction have been thoroughly pursued in the development of new Roadster.

With a double wish bone front suspension and a long link, multi-link rear suspension, by pursuing linear geometry changes and optimizing compliance characteristics, a high-level balance among handling stability, ride comfort, and road noise reduction has been achieved. Despite a conventional rack drive hydraulic power steering, natural and comfortable linear steering feel has been accomplished throughout the whole speed range from low to high speeds.

Each brake ensures braking performance high enough to support sporty driving, which has realized by enlarging the diameter of each of brake front rotor and rear wheel cylinder. Furthermore, adoption of an upsized brake booster has accomplished linear braking under all conditions.

For the body to have high stiffness even with an open body and handling stability, improvements were pursed in static bending/torsional stiffness of the whole body, and local stiffness using deformation analysis under dynamic conditions. A stiff under body framework and effective use of ultra high tensile steel/high tensile steel for various areas of body, has accomplished the lightweight body with stiffness maintained.

*1，2　操安性能開発部
Chassis Dynamics Development Dept.
*5　車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.
*3，4　シャシー開発部
Chassis Development Dept.
*6　NVH性能開発部
NVH Development Dept.

1．はじめに

新型ロードスターでは，“Lots of Fun”の実現と更なる進化のため，ライトウエイトスポーツの軽快感と安定性を高次元で両立させるとともに，乗り心地とロードノイズの低減に代表される快適性を徹底追求すべく，次の項目を開発ターゲットとして取り組んだ。

① 操縦安定性
・一般走行でもきびきび軽快で楽しさを感じられる動き
・限界までコントロールしやすく楽にあやつれるハンドリング
・路面からのフィードバックを感じとれるステアリング

② 乗り心地
・剛性感とフラット感を重視し更に角感がなく質感の高い乗り心地を実現

③ 制動性能
・レスポンスが良くリニアなブレーキ性能を実現

④ 静粛性
・ロードノイズの大幅低減

これらを実現するため，オープンカーとしてのプラットフォームのあり方を一から検討し，シャシー及びボデーを新開発した。

本稿では，新開発したサスペンション，ステアリング，ブレーキ及びボデーの構造と特徴，達成した車両性能／システム特性について紹介する。

2．シャシー

2.1 サスペンション・ステアリング

(1) 開発の狙い

サスペンション・ステアリングについては，剛性感のある自然でリニアな手応えや，ハンドル入力に対する車両の応答性向上，滑らかでスムーズな車両挙動を実現することを最大の開発テーマとした。

また部品一つ一つで妥協を許さない徹底したグラム作戦を実施し軽量化を狙った。

(2) 構造と特徴

① フロントサスペンション

フロントサスペンションにはコンパクトでジオメトリの設定自由度が高いインホイールダブルウィッシュボーン式（Fig.1）を採用した。

サスペンションのジオメトリは，制動時の車両の姿勢変化を抑制するためにアンチノーズダイブジオメトリを最適化した。

アッパー及びロアアームはタイヤのストロークに対するリニアなアライメント変化を実現するためアーム長を長く設定し，材料をアルミ化することで軽量化との両立を図った。アッパーアームのアルミ製法はRX-8で採用したスクイズキャストから更に高強度化が可能な半凝固鋳造を採用し強度と軽量化を両立した。

アッパー及びロアアームのブッシュには，RX-8と同様のゼロストッパークリアランス構造を採用することでリニアなストッパー特性を実現し，微少な路面入力やハンドル入力に対するサスペンションコンプライアンスを抑え，正確な操縦性とブルブルしないしっかりとした乗り心地を実現した。

ダンパはモノチューブタイプを全車に採用。封入された高圧ガスによりキャビテーションの発生を防ぎ，かつピストン径を大径化することで単位ダンパストロークに対するピストンバルブのオイル流量を増やし，タイヤの微少な動きに対して常に安定した減衰力を確保し，操縦安定性と乗り心地の両立を実現した。

クロスメンバのサイドメンバ形状はロアアーム前側のボデー締結部に対する左右入力を分散させるためハの字形状とし，後側締結の左右をトランスバースメンバで結合，更に中央部には厚さ2.0mmの補強アンダーカバーを設定（Fig.2）して徹底した剛性アップを図り，ハンドル入力に対する車両の応答性を向上させた。

Fig.1　Front Suspension

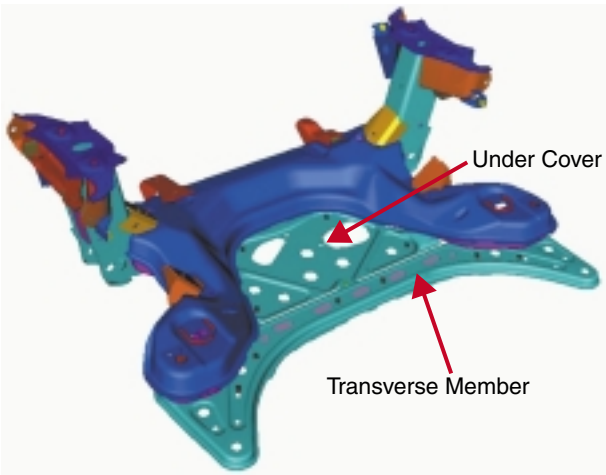


Fig.2　Front Cross Member

② リヤサスペンション

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RX-8同様マルチリンク式サスペンション（Fig.3）を採用した。

各リンクはリニアなアライメント変化を実現するため長くし，かつ加減速時の車両挙動を少なくすることを狙い，アンチスコット・アンチリフトジオメトリを最適化した。

ダンパはフロント同様のモノチューブタイプを採用。ダンパのバネ下への取り付けは直接アクスルハウジングとすることで，バネ下の動きに対するダンパストロークのレバー比を高め，高効率で安定した減衰力を確保し操縦安定性と乗り心地の両立を図った。

またダンパのボデー側を支える筒型スプリングシートはRX-8の複数のスチールパイプの組合わせから一体のアルミダイキャストへ変更し軽量化を図った。

サブフレームはボデーとの締結を6点とし，かつラバーを介さないリジット結合（Fig.4）とすることで，オープンボデーの主要構造部材の一つとして車体剛性の向上に大きく貢献した。

Fig.3　Rear Suspension

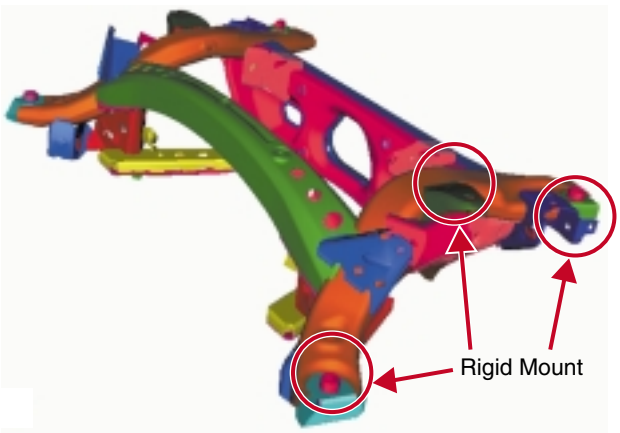


Fig.4　Rear Subframe

③ ステアリング

ステアリングシステムには油圧式ラック＆ピニオンステアリング（Fig.5）を採用。

ステアリングギアはラック軸の外径を拡大し剛性アップを実施。また路面からの逆入力に対するステアリングキックバックを抑制するために新たにワンウェイバルブを採用した。

油圧ポンプには，車速に合わせたリニアでしっかりとした操舵フィーリングを確保するために，流量－圧力の最適化を実現する無復帰バルブを採用した。

Fig.5　Power Steering System

(3) 達成性能

① 操縦安定性

Fig.6は操縦安定性能の評価結果を示す。

グラフの形状は変わらず，大きさが一回り大きくなっている。このことからロードスターのキャラクターを継承しながら，各性能が向上していることが分かる。

軽快感を高めながらグリップレベルを必要以上に上げることなく高い安定性を実現した。

またサスペンションクロスなどの局部剛性と車体剛性を高めることにより剛性感を大幅に向上させた。

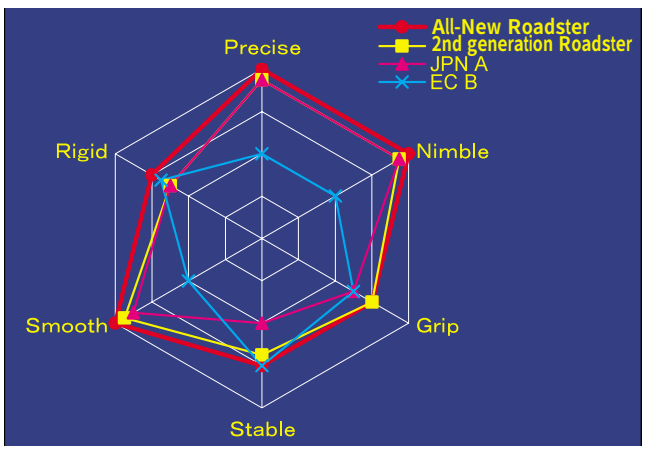


Fig.6　Steering & Handling-Evalusion

② 乗り心地

評価結果をFig.7に示す。新型ロードスターは，これまでのロードスターの乗り味を残しつつ車体剛性を高めることでオープンカー固有の車体振動を抑え剛性感を高めた。Fig.8に荒れた路面を走行した時の車体振動の比較を示す。車体のねじり共振を従来車に比べ共振周波数を6.0Hzアップし振動レベルも低減させた。これによりオープンカーでありながら高い剛性感を実現した。Fig.9に荒れた路面を走行した時のフロア上下振動の比較を示す。従来車比20Hz以上の振動レベルを低減し不快なゴツゴツ感を改善した。

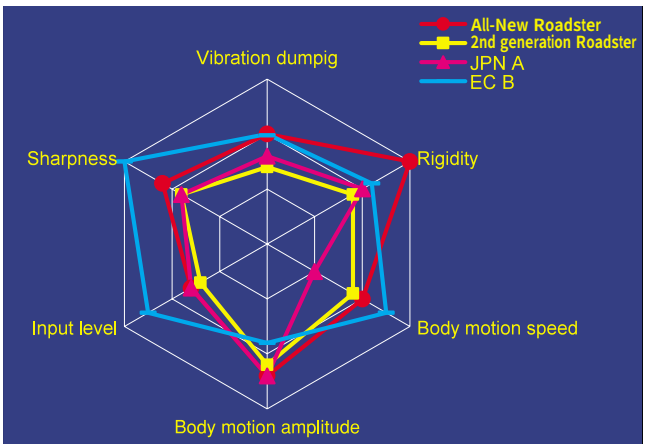


Fig.7　Ride Comfort-Evalusion

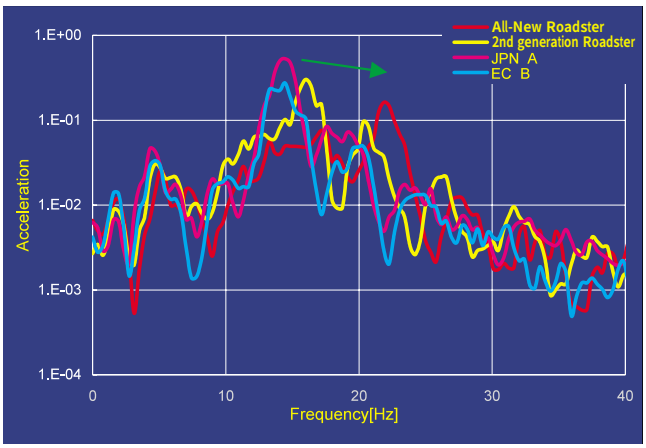


Fig.8　Body Lateral Vibration on Coarse Road

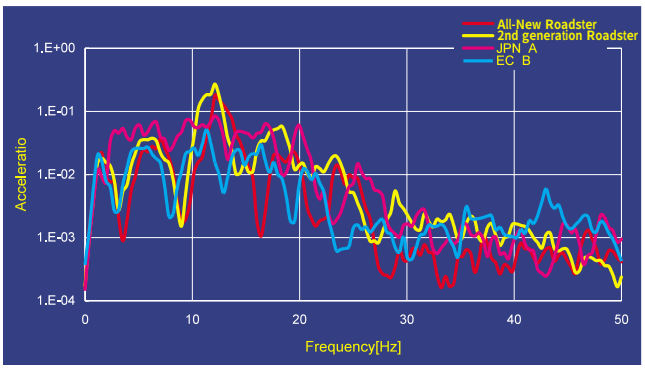


Fig.9　Floor Vertical Vibration on Coarse Road

③ ロードノイズ

粗粒路走行時の評価結果をFig.10に示す。2代目ロードスターは荒れた路面で「ガー」という音が大きく全体の音圧（O.A.）が大きかったが，新型ロードスターではロードノイズに悪影響を及ぼすRear Subframeの振動モードを改善し，車体側の対策と合わせてロードノイズを低減，静粛感を向上させた。

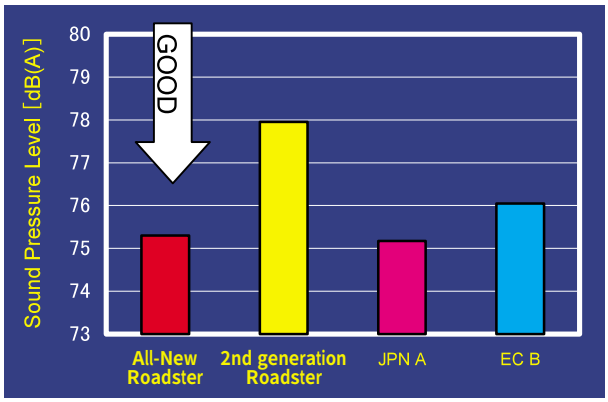


Fig.10　Road Noise O.A. on Coarse Road

2.2 ブレーキ

(1) 開発の狙い

ブレーキについては，スポーツドライビングをサポートする，意のままにコントロールできる安心感の高いブレーキ性能と，ワインディングロードから日常走行まで扱いやすい効きと操作感の実現をテーマとし，下記2点を特に注力して開発した。

① 高レスポンスでリニアなブレーキ

・ブレーキペダルの踏力－トラベルのつながりを重視し，効き始めのロスストローク低減によるレスポンス向上と，高い減速域までのリニアな特性を確保する。

② 圧倒的なペダル剛性

・高いペダル剛性を確保し，街中での使いやすさと，スポーツ走行時の安心感を両立する。

(2) 構造と特徴

① ブレーキペダル／ブースタ／マスタシリンダ

マツダDNA実現のデザイン手法である，ブレーキペダルの低レバー比化（4.1→2.9（新型）），及びマスタシリンダの小径化（φ23.8→φ22.2mm（新型））により，ブレーキ効き始めのロスを最小化した。また，大径シングル9インチバキュームブースタを採用し，高減速域まで倍力を確保した。

② ブレーキ

フロントブレーキは，20%以上剛性を高めた新開発キャリパと，大径ブレーキロータ（φ290mm）を採用した。

リヤブレーキは，ホイールシリンダ径拡大（φ38.1mm）とアルミボデーの採用により，制動能力の向上と軽量化を両立した。

(3)　達成性能

①　フィーリング性能

Fig.11は，踏力と減速度の関係，及びペダルトラベルと減速度の関係を示す。新型ロードスターのターゲットとした，リニアで高いペダル剛性を確保し，優れた制動フィーリングを実現している。

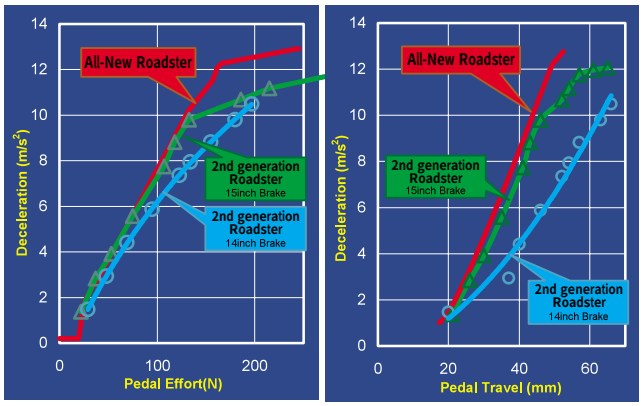


Fig.11　Brake Feeling Data

②　制動停止距離

Fig.12は，JNCAPで公表されている，100km/hからの制動停止距離を示す（1,500cc超の乗用車　2003年以降）。

比較車中トップクラスの停止距離を実現している。

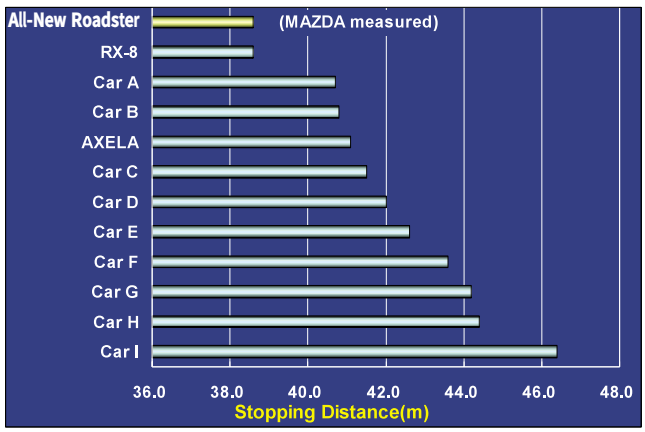


Fig.12　Stopping Distance

3．ボデー

(1)　開発の狙い

ライトウエイトスポーツとして更に卓越した操る楽しさを追求した人馬一体感のあるハンドリングを実現させるには，高剛性・軽量という相反する特性を高次元で両立させる必要がある。

ライトウエイトスポーツクラスにおいて操縦安定性評価における剛性感とボデー全体の静剛性値とは必ずしも一致しない（Fig.13）。これは，ボデー全体の静剛性値を上げるだけでは剛性感は得られないことを示しており，他の代用特性も押さえる必要がある。

新型ロードスターでは，従来のボデー全体の静剛性値に加え，RX-8で適用した運動状態でのボデー各部の2点間距離変化量もボデー剛性をあらわす代用特性として目標項目に取り入れ開発に取り組んだ。

(2)　ボデー全体の静剛性

ボデー全体の静剛性値は重量に大きく影響する値であることからトップレベルとせず，ライトウエイトスポーツクラスにおいて操縦安定性リーダーである2代目ロードスター（Fig.14）並とした。

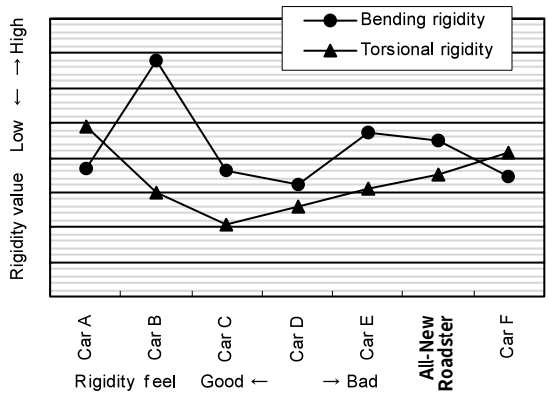


Fig.13　Correlation of Body Rigidity Feel and Static Rigidity

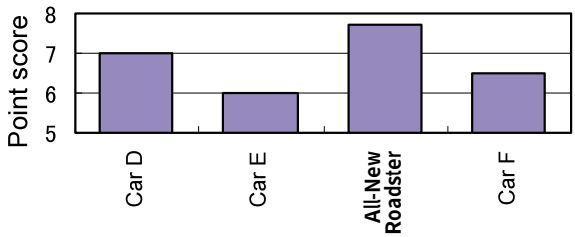


Fig.14　Comparison of Handling Stability Point Score

(3)　運動状態での特性目標

ライトウエイトスポーツの要となる軽量化を実現するため，実走評価におけるボデーの微小変化に対する体感から，操縦安定性・乗り心地に大きく影響すると考えられる部位（Table 1，Fig.15）及びモードを選定し，それらについて4輪多軸加振機を活用しRX-8で行った①横振りモード（レーンチェンジ想定）に加え，②ネジリモード（高い横Gが発生する操舵想定）における運動状態での2点間距離変化量について目標値を設定した。加振機での評価，CAE，実走確認を繰返し，無駄のない最適なボデー構造へと育成した。

Table 1　Target Items for Two-point Distance

Targets		Excitation Mode	
		Lateral	Torsion
①	Fr. suspension tower diagonal	○	○
②	Fr. suspension tower pitch	○	
③	Diagonal from A pillar base to B pillar under		○
④	Rr. package diagonal		○
⑤	Fr.suspension crossmember diagonal	○	○
⑥	No.1 pitch	○	
⑦	Tunnel diagonal(the longer)	○	○
⑧	Tunnel diagonal(the shorter)	○	○
⑨	Rr.suspension crossmember diagonal		○

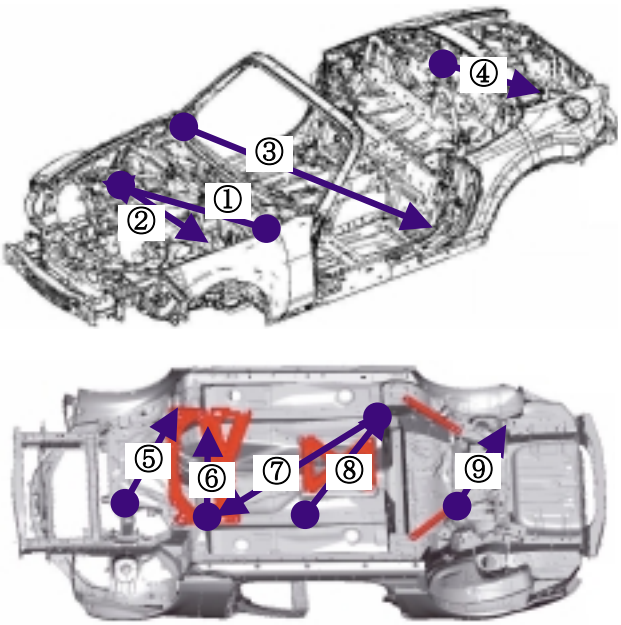


Fig.15　Measurement Location for Two-point Distance

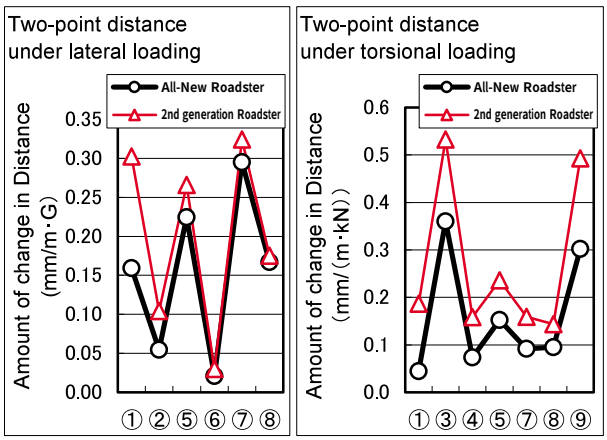


Fig.16　Measurement Result of Two-point Distance

(4)　人馬一体感の実現

その結果，2代目モデルに対し新型ロードスターは，運動状態での2点間距離変化量を横振りモードにおいては30%減少，ネジリモードにおいては半減させた（Fig.16）にも拘わらず，ボデーストラクチャ単位の質量で▲1.6kg軽量化し247.5kgを達成した。また，ボデー全体の静剛性も2代目モデルに対し，曲げで22%，ねじりで47%と大幅に向上させることができた。このボデー剛性向上が，あらゆるシーンにおける軽快感・安定性に貢献している。

4．おわりに

以上，新型ロードスターのダイナミクスについて狙いの性能と構造について簡単に紹介した。

“Lots of Fun”というこれまで継承されてきたコンセプトを更に進化させるため，シャシー，ボデーといった領域を超え，従来の技術，開発手法にとらわれず，新しい発想を持ってワンマツダの精神で意欲的に取り組んできた。そしてライトウエイトスポーツの軽快感と安定性を高次元で両立させるとともに，乗り心地，ロードノイズに代表される快適性を大幅に進化させることができた。

この新型ロードスターはマツダのDNAを象徴するにふさわしい高いポテンシャルを秘めていると確信しており，これまでのロードスターがモデルチェンジ毎に更なる進化を遂げてきたように，更に磨きをかけて進化させていく所存である。

■著　者■

髙橋宏治

小林　茂

小宮勝行

立畑哲雄

當舎浩光

新田祐司

特集：新型ロードスター

7

新型ロードスターのパワートレインの紹介
Introduction of All-New Roadster Powertrain

若狭章則*1　今村善彦*2　矢嶋綱夫*3
Akinori Wakasa　Yoshihiko Imamura　Tsunao Yajima
松尾直也*4　西村克典*5　藤冨哲男*6
Naoya Matsuo　Katsunori Nishimura　Tetsuo Fujitomi

要　約

新型ロードスター／MX-5は，たった5m走っただけで，これこそ新型ロードスターと分かるパフォーマンスフィールを実現していると確信する。これはMZR2.0Lエンジンや6速トランスミッションなどの新開発にこだわりを持って取り組み，多くの困難を乗り越えたことによるものである。本稿では，そのパワートレインを紹介する。

Summary

We believe that we have developed New Roadster / MX-5 capable of enjoying such an excellent performance feel that it will be figured out easily with a just five-meter drive. You will immediately feel that this is exactly what New Roadster's performance is. This has been achieved by working toward new technology developments with firm intention, especially focusing on the MZR2.0L engine and the 6-speed transmission and by overcoming various barriers with utmost efforts. This paper will introduce such new Powertrain technologies.

1．はじめに

新型ロードスターは，初代の「人馬一体」コンセプトを受け継ぎ，更に進化させている。「人馬一体」とは，乗り手と馬が心を通い合わせて走る一体感を意味し，ドライバが車とコミュニケーションしながら機敏に楽しく運転できることである。車を愛着のわく生き物に例え，その心臓となる新開発パワートレインを紹介する。

2．新型ロードスタ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

「人馬一体」を具現化するパフォーマンスフィールとは，レーストラックなどの加速タイムの追求に主眼を置くのではなく，一般のどんな走行シーンでも常に楽しく運転できるようにすることにある。このために目標としたパフォーマンスフィールは，きびきび軽快（ライブリー）でリニアな感覚を高めてゆくことである。そのために，エンジンの出力性能によって車の加速度を高めるだけでなく，サウンド，シフトなどの操作系のフィーリングなど，感性に繋がる領域を総合的に進化させることを目指した。一方で燃費や排気ガスに代表される環境問題にも積極的に対応することは必然の使命と考えている。

2.2　パワートレイン展開

新型ロードスターでは卓越したパフォーマンスフィールを実現するために，2代目ロードスターの1.8L/1.6Lから排気量をアップして，2.0L/1.8Lの2つのエンジン，また6MT/5MT/6ATの3つのトランスミッションを，各国のニーズに合わせてラインナップしている（Table 1）。

Table 1　Powertrain Line-up

Engine	Transmission	JPN	N. America	Europe	Australia
2.0L	6MT	●	●	●	●
	5MT	●	●	●	–
	6AT	●	●	–	●
1.8L	5MT	–	–	●	–

＊1，6　パワートレイン開発推進部
Powertrain Development Promotion Dept.
＊2　第1エンジン開発部
Engine Development Dept. No.1
＊3　パワートレインシステム開発部
Powertrain System Development Dept.
＊4　第3エンジン開発部
Engine Development Dept. No.3
＊5　ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

2.3　パワートレインの重点開発項目

重点開発項目は，以下のライブリーやリニアの構成要素である。

(1)　きびきびしたダイレクトレスポンスの実現

ダイレクトレスポンスとは，アクセルを踏み込んだ瞬間の応答の良さ，加速度上昇，最大加速度以降の収束の良さと定義している。これを表す指標を，Fig.1に示す。

① TG　：アクセル踏込み後に体感Gが発生する時間
② ΔG　：加速度上昇の傾き
③ G_Ave：収束過程の加速度の平均値
④ AC　：加速度変動が収束する時間

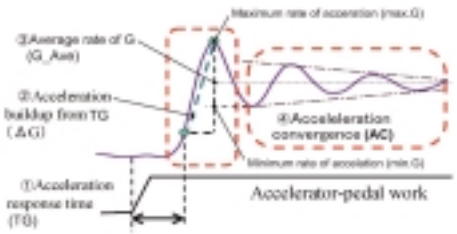


Fig.1　Specific Evaluation Indices for Response

(2)　リニアな伸び感の実現

伸び感とは，低回転から高回転までストレスなくエンジンを使い切れる良さと定義している。指標としては，レッドゾーンまでの加速度の維持率と考えた。

(3)　心地よいスポーツサウンドの実現

走行シーンに応じてドライバが心地よいと感じられる音に主眼を置いて詳細目標を設定して取り組むことにした。

(4)　軽快なシフトフィールの実現

意のままにスポーツ走行が楽しめるシフトフィールに主眼を置いて詳細目標を設定して取り組むことにした。

3．エンジンの詳細

3.1　エンジン開発コンセプト

排気量をアップしてもライトウエイトスポーツに関わる質量と，環境に及ぼす燃費やエミッションは2代目以上に改善したパッケージングを前提に，以下に注力する。

(1)　期待にマッチした加速応答レスポンスの実現

(2)　高くフラットなトルク特性の実現
（常用域ではMax.90%以上～トップエンドでは95%以上）

(3)　心地よいスポーツサウンドの実現

3.2　エンジンの概要

エンジン本体は，他機種FF用で好評のMZRエンジンを，FRフロントミッドシップに搭載するためにFig.2に示す領域を新開発した。

左右方向のエンジン搭載レイアウトは，スペースを有効活用し右側に10度スラントした。吸気側はエンジン上部のスペースを広く確保して，長い吸気管と管長の切替え装置（VIS）を実現。排気側はエンジン下方にスペースを維持し，長いマニホールドの4-1排気システムを搭載できるようにしてトルクを確保するとともに，大型キャタリストのレイアウトを可能にして，モデルサイクル中の排気ガス規制強化に備えている（Fig.3）。

軽量／コンパクト化では，アルミシリンダブロック，プラスチックインテークマニホールドなどで軽量化を図り，2代目に比べ19.1kgの質量低減を実現している。

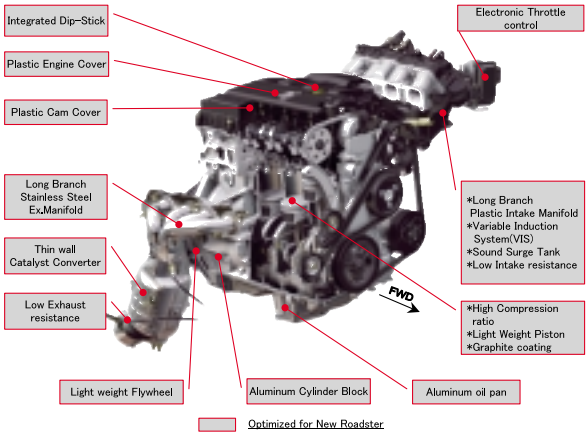


Fig.2　MZR Engine Key Feature

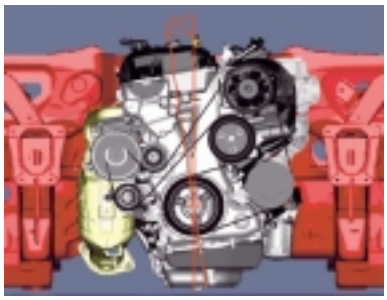


Fig.3　Longitudinally Mounted with a 10 °Slant

エンジンの主要諸元をTable 2に示す。

Table 2　Engine Main Specifications（MZR2.0L）

Engine		MZR 2.0
Cylinder and layout		water-cooled:four cylinders; in-line; longitudinally mounted
Displacement(cm³)		1998
Bore x Stroke(mm)		87.5 × 83.1
Valve mechanism		DOHC 16 Valve
Valve diameter(mm)	In.	35
	Ex.	30
Compression ratio		10.8
Fuel supply		Electric Fuel Injection
Max.Power(manual transmission)		125kw/6,700rpm(JPN)
Max.Power(Activematic transmission)		122kw/6,700rpm(JPN)
Max.torque(manual transmission)		189Nm/5,000rpm(JPN)
Max.torque(Activematic transmission)		189Nm/5,000rpm(JPN)

3.3　エンジンの主要開発内容

(1)　きびきびしたダイレクトレスポンス

ダイレクトレスポンスの実現を目指し，エンジンでは加速応答レスポンスとトルク特性を作り込んだ。

TG目標の達成のためには慣性モーメントの低減が必要になり，新型ロードスター用にユニークとなる軽量フライホイールを開発した。このことで2代目に比べて，TGは8.6%の短縮を実現した。Fig.4に，フライホイールの軽量

化手法を示す。

ΔG/G_Aveの達成には，高くフラットなトルク特性を追求した。高圧縮比，シーケンシャルバルブタイミング（S-VT），バリアブルインダクションシステム（VIS（Fig.10））などを採用。また，吸気／排気系の改善（Fig.5）やエレキスロットルでの緻密なチューニングを行ったことも大きく貢献している。ΔGについては，従来比6.8%の向上を実現した。これらによって，前述で定義しているダイレクトレスポンスの①，②，③のMax.Gまでの目標を達成した。残る③，④は後述（P-6）する。

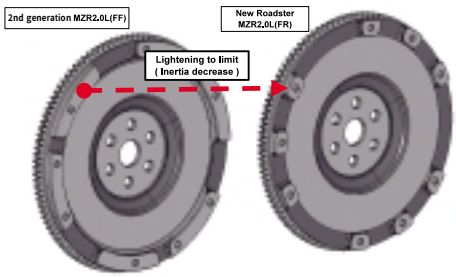


Fig.4　Flywheel Comparison

(2)　リニアな伸び感

常用域（2,500rpm以上）ではMax.90%以上に加えて，トップエンドで95%以上のトルクを達成するために，吸気抵抗の低減／排気系の圧力損失の低減（Fig.5）を行い，リニアな伸び感を実現した。トルク特性をFig.6に示す。

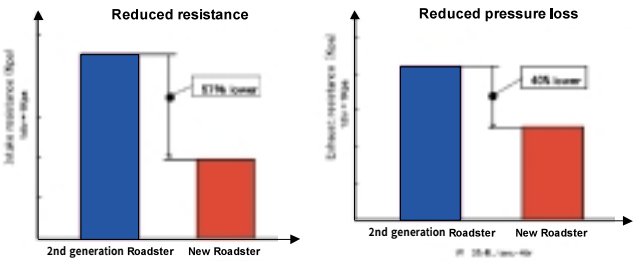


Fig.5　Improved Air Intake and Exhaust System

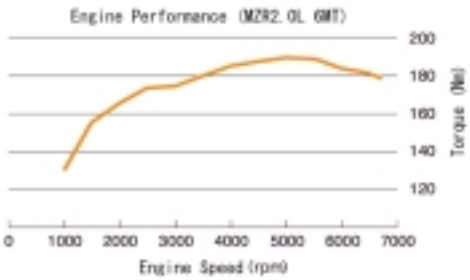


Fig.6　Engine Performance

(3)　心地よいスポーツサウンド

スポーツサウンドの目標は，走行シーンに応じて細かく目標を設定して取り組んだ。Fig.7にサウンド目標を示す。

常用域ではリニアで伸びやかな音質，高回転域ではリニアで力強い音質，そしてパーシャル域ではアクセルワークに応じて少し力強さのある音質目標を設定した。サウンド作りは，不快な音は低減して特定周波数を出して強調することが有効であり，多くのエンジンデバイスのチューニングに取り組んだ。

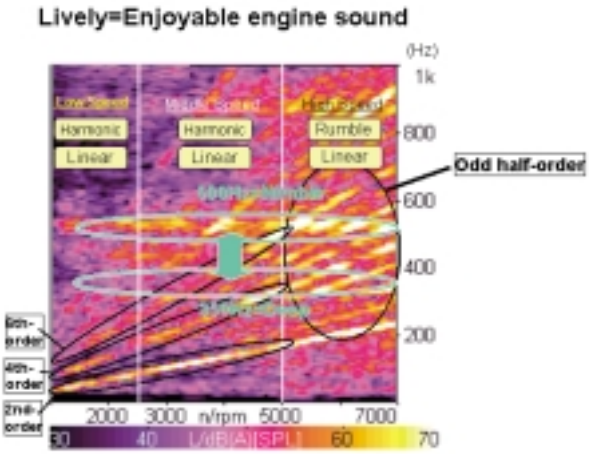


Fig.7　A Color Map of the ArtemiS-generated Proposal

①　常用域でのリニアで伸びやかな音質

まずエンジン本体からの不快な音の低減を図った。エンジン放射音は，鋳鉄製シリンダライナーを組み込んだ軽量コンパクトなアルミシリンダブロックやエンジンカバーで低減した。パワープラントベンディングで発生する音は，高剛性アルミオイルパンやエアコンコンプレッサの締結剛性を高めて低減した（Fig.8）。

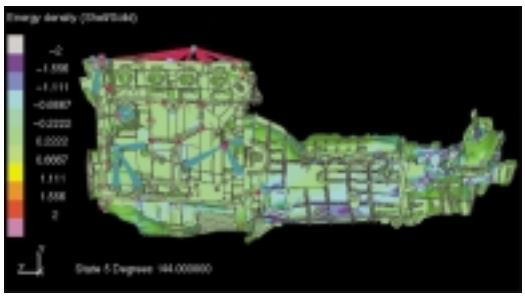


Fig.8　Power-plant Bending CAE

そしてフレッシュエアダクトからの吸気音はダクトの長さをチューニングし，350Hzの音質を強調した。サイレンサは，デュアルテールパイプを採用し，59仕様におよぶ音色を評価（Fig.9）して200Hz以下の低周波を作り込んだ。

Fig.9　Exhaust Sound Tuning

②　高回転域でのリニアで力強い音質

VIS（Fig.10）を活用して，インテークマニホールドの

管長を活用して音質を作った。低中速回転では長いマニホールドを等長にセットして基本次数成分によるハーモニックなサウンドを出す。高速回転になるとVISで短いポートに切り替えるが，そのマニホールドは不等長にセットして，奇数次数，ハーフ次数成分の音を発生させて，力強いスポーツサウンドを演出した（Fig.7）。これは，車からドライバに高回転で走行していることを知らせるものである。

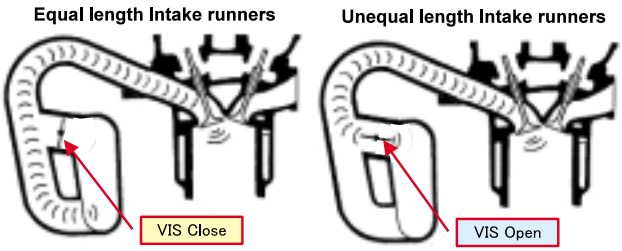


Fig.10　VIS Integrated Plastic Intake Manifold

③　アクセルワークに応じたパーシャル回転域の音質

パーシャル走行時も，スポーツサウンドを楽しめるように，少し力強い500Hzをユニークな手段で演出した。通常であれば抑えるべきサージタンクからの放射音をタンク壁肉厚や形状をチューニングして鼓動のようなサウンドを作り出した（Fig.11）。

以上のように，スポーツサウンド作りは，不快な音を下げ，数種類の装置を使い，数々の心地よい周波数を強調して実現した。このことは，静かなホールで，管楽器や打楽器など数多くの楽器の音色を楽しませるオーケストラを連想させたので，オーケストラサウンドともいえると考える。

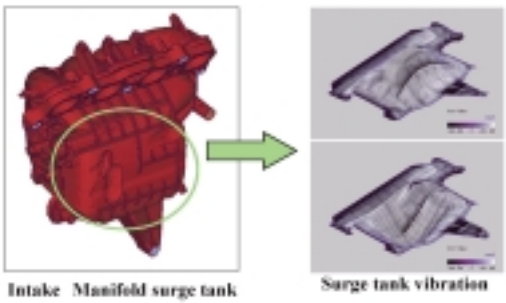


Fig.11　Tuning on Intake Manifold Surge Tank

3.4　エミッション，燃費改善技術

新型ロードスターは，地球環境に及ぼすエミッション，燃費のために，下記の改善技術を採用している。各国のエミッション対応は，Table 3のように訴求している。

Table 3　Emission Regulation Compliance

Destination	Compliance Emission	Engine
Japan	U-LEV（★★★）	2.0L
N.A.(Green States)	ULEV2	2.0L
N.A.(Federal States)	Tier2 Bin5	2.0L
Europe	Stage4	1.8-2.0L
Australia	Stage3	2.0L

(1)　フリクションロスの低減

新形状のグラファイトコーティングを施した軽量ピストン，低張力ピストンリングを採用し，エンジン内フリクションロスを低減し燃費改善を図った。

(2)　ポンピングロスの低減

吸気側S-VTは低中負荷での運転時には，吸気バルブのオープンタイミングを早くしてオーバラップ量を拡大し，残留ガス（内部EGR：排気循環）の量を増大させた。また，EGRシステムを全エンジンに採用。これにより，ポンピングロスを低減し，燃費やNOx低減に貢献している。

(3)　浄化性能の改善

厳しい排気ガス規制をクリアするために，排気ポート直下に触媒を設定し，燃焼室から触媒までの距離を程よく短くした。また，薄壁の触媒担体も採用し，触媒の早期活性化を促し浄化性能を向上させている。

(4)　制御の最適化

エンジン制御システムには，過渡の追従性が早くなり加減速時の空燃比変動を最小限に抑えられるリニアO_2センサシステムを，マツダ初で採用した。これによって最適な空燃比コントロールを可能にし，エミッション，燃費を低減した。

4．ドライブトレインの詳細

4.1　トランスミッション開発コンセプト

新型ロードスターのトランスミッションは，意のままの走りを楽しむスポーツカー用として，以下を基本コンセプトに開発した。

(1)　新開発6MT

①　ベストインクラスのシフトフィールの実現

②　競合力ある静粛性の実現

③　高性能にも適用できるトルクキャパ（300Nm）と最高回転数（8,500rpm）の実現

(2)　熟成開発5MT

①　定評あるシフトフィールの更なる熟成

②　2.0Lエンジンに適用するトルクキャパ（189Nm）

(3)　新開発6AT

①　スポーツ走行と燃費の両立化

②　小気味良い変速フィーリングの実現

4.2　トランスミッションの概要

(1)　新開発6MTは，中ノ関工場のR1-5MTユニットの設備を有効活用した高性能かつ低コストのユニットである。基本設計構想図をFig.12に示す。

(2)　5MTは，シフトフィールに定評のある2代目のM型に1，2速にトリプルコーンシンクロ，3速にダブルコーンシンクロ，4速にカーボンタイプシンクロを新採用して進化させ，トルクキャパの向上はカウンタシャフトと3速ギヤの強化で実現した。

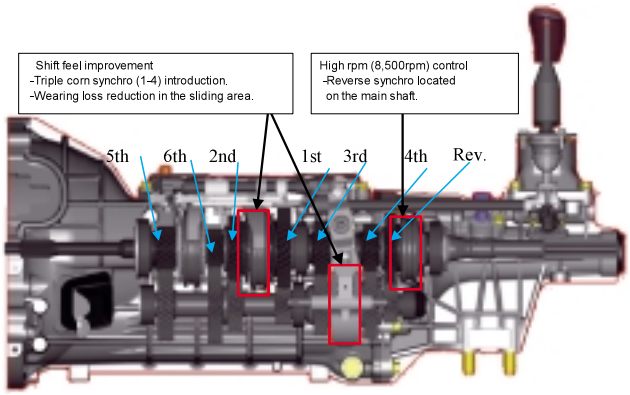


Fig.12　6MT Design Concept

(3)　AT車は，2代目の4速ATに代えてマツダ初（FR）の6ATを採用した。アイシン・エィ・ダブリュ㈱製の購入ユニットであるが，新型ロードスター専用のスポーツカーチューニングを行っている。Fig.13に6ATの断面図を示す。

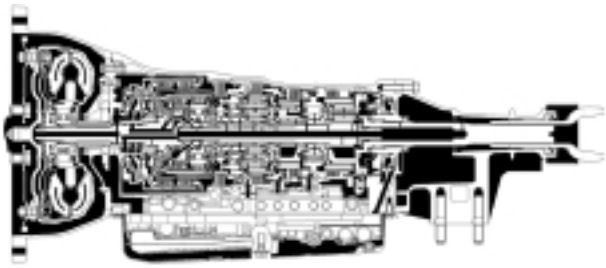


Fig.13　Six-Speed Activematic Transmission

それぞれのギヤ比をTable 4に示す。

Table 4　Transmission Gear Ratio

Market	T/M	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	Rev.	FGR
JPN/USA	6MT	3.815	2.260	1.640	1.177	1.000	0.832	3.603	4.100
EU/ADR	6MT	3.709	2.190	1.536	1.177	1.000	0.832	3.603	3.727
ALL	5MT	3.136	1.888	1.330	1.000	0.814	–	3.758	4.100
ALL	6AT	3.538	2.060	1.404	1.000	0.713	0.582	3.168	4.100

4.3　6MTの主要開発内容

(1)　きびきびしたダイレクトレスポンス

新開発6MTのギヤ比は，スポーツ走行に最適なクロスギヤレシオに設定した。ダイレクトレスポンスに求められる各ギヤ段での高い駆動力と，ギヤシフト時のスムーズな駆動力の繋がりを追求し，ギヤ比はTable 4のように，各国の市場要件に合わせて最適なセッティングを行った。

(2)　心地よいスポーツサウンド

トランスミッションでは，不快な音を低減してサウンドの演出に貢献した。トランスミッションから発生するギヤノイズは噛み合い起振力の解析により，歯面6特性のチューニングを行って最適化した。またケース放射音については，CAE解析によって効果的なリブ補強を設定し，軽量化を図りながら静粛性を実現した。

(3)　軽快なシフトフィール

ショートストロークでクイックかつ，節度感のあるシフトフィールを実現するため，ストロークはエルゴノミクス評価を行い最適値で設定，更に以下の構造による改善策を織込むとともに，匠ともいえる細部のチューニングを行って，新型ロードスターに相応しいシフトフィールを実現した。

・1，2，3，4速にトリプルコーンシンクロを採用
・3，4速シンクロをカウンタ軸上に配置
・シフトリンク機構をユニット化（Fig.14）
・シフトロッド支持部へ低摩擦ブッシュを採用
・チェンジガイドプレートを採用

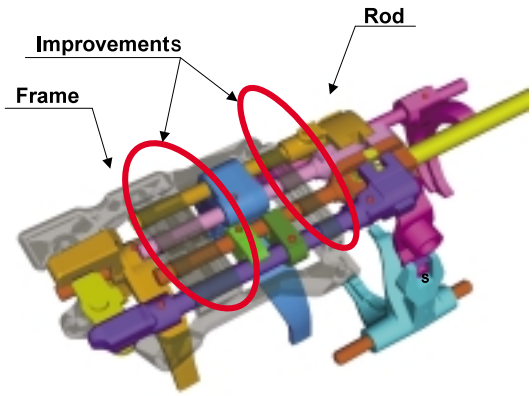


Fig.14　Single Unit Shift Link

また，素早いリバースシフトのため，リバース位置を従来の6速の隣から1速の隣へと移動し，更にミスシフトを防止するためレバープッシュ方式を採用している。

(4)　軽快なクラッチフィール

操作系フィールを軽快なフィールで統一させるため，クラッチフィールの作り込みも注力した。統一感タスク活動で作成したメトリクスを基にアクセル踏力22N/20mmに対応し，クラッチ踏力を最大110Nなど，フィードバック感を含めた特性カーブとして目標設定（Fig.15）し，ダイヤフラムスプリングやクッショニングプレートの特性をチューニングして実現した。また，クラッチのねじり特性を広角化してNVH性能を高めるなど細やかに作り込んだ。

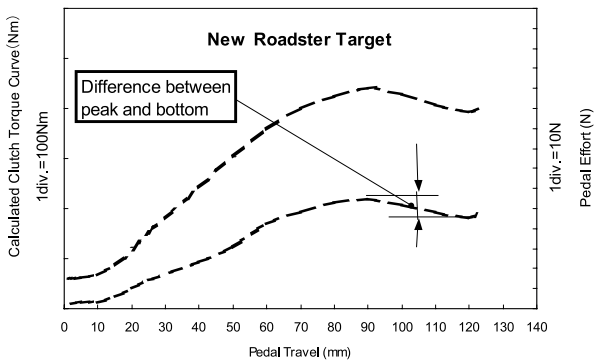


Fig.15　Clutch Characteristic Target

4.4　6ATの主要開発内容

⑴　きびきびしたダイレクトレスポンス

新開発の6ATのギヤ比は，従来型に比べ1速は30.8%低速化し低速側ギヤ段で高い駆動力を発揮してダイレクトレスポンスや発進加速性能に大きく貢献した。一方，トップギヤは20.5%高速化というワイドギヤレシオに設定し，高速側ギヤ段での低燃費化を図り，走りと燃費を両立した。

⑵　軽快なシフトフィール

AT車では，切れの良い素早い変速とスムーズなシフトクオリティとの両立を追求した。この6ATユニットは他社ではラグジュアリーカーに適用され，ゆったりとしたシフトフィールを備えているが，スポーツカーに相応しい味付けを作り出すために，シフトクオリティの目標だけでなく，変速特性や変速時間を細かに目標設定した。シフトタイムラグ短縮を目的とするリアルタイムエンジントルク制御を採用。リニアなパフォーマンスフィールを損なう変速ショックを確実に低減するため，エンジンとAT間のきめ細かいコミュニケーションによって，走行状態や回転数に応じて燃料噴射量や点火タイミングを制御し，最適トルクにアジャストしている。そして，サプライヤと合同検証評価会を密に開催して作り込み，小気味よいレスポンスとリニアリティともに満足するシフトフィールを実現した。

4.5　ドライブラインの開発内容

ドライブラインでは，スーパーLSDのトルクバイアスレシオを最適にチューニングして，操縦安定性，発進性，直進走行性を向上させるなど，全ての部品を新開発して目標のパフォーマンスフィールを訴求した。

⑴　きびきびしたダイレクトレスポンス

ドライバがアクセルを踏み込むと発生したトルクは，トランスミッション，プロペラシャフト，デファレンシャル（以下デフ），ドライブシャフト，タイヤに伝達する。この過程でそれぞれの部品に，ねじれと戻りの力が発生するため，車両が最大加速度を得た後に，車両の加速度が前後に変動して収束してゆきダイレクトな感覚を損なっていることをCAE（Fig.17）によって定量的に把握できた。

この対策は，2代目に対しプロペラシャフトのねじり剛性を24%アップ，最も寄与度の高いドライブシャフト（Fig.16）は中空構造によって107%アップした。中実構造に対しては12%の軽量化を実現。これにより前述(P-2)で定義したダイレクトレスポンスの③，④目標を達成し，全体としてすっきりダイレクトなレスポンス感覚を実現した。

Fig.16　Drive Shaft

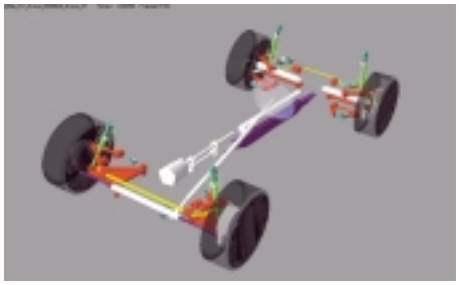


Fig.17　Directness CAE Model

⑵　心地よいスポーツサウンド

デフから発生する音も静粛化してサウンド作りに貢献している。新開発高剛性／静粛性向上のデフを新開発した。デフキャリアをバンジョウタイプからビルトインタイプに変更しファイナルギヤの支持剛性をアップし，高負荷時のファイナルギヤ噛合い歯当たり変化を抑制。また，ファイナルギヤは新開発など高歯諸元のハイポイドギヤを採用し静粛性を向上した。

これらの，こだわり技術によって，人馬一体に相応しい機敏で楽しく運転できるパフォーマンスフィールを実現した。

5．おわりに

本稿では同じ小見出しが何度も現れる結果となった。このことは新型ロードスターのパワートレイン開発に関わった全ての部門メンバが同じベクトルで開発を進めたことを象徴していると思う。その成果として，23年ぶりに「2005-2006日本カー・オブ・ザ・イヤー」を受賞することができた。これはサプライヤも含め，この開発に関わった全ての関係者が高いモチベーションで取り組んで，こだわりを結晶させたことによるものであり，全員で喜びを分かち合いたい。

■著　者■

若狭章則

今村善彦

矢嶋綱夫

松尾直也

西村克典

藤冨哲男

特集：新型ロードスター

8

新型ロードスターの新開発サイドエアバッグ
All-New Side Airbag

中　村　健　吾*1
Kengo Nakamura

要　約

近年の自動車において衝突安全性は最も重要な性能の一つといえる。前面衝突性能のみならず，側面衝突性能についても同じく高いレベルの安全性能が要求されるようになって来ている。マツダではアテンザからカーテンエアバッグとフロントサイドエアバッグの組み合わせにより，乗員の頭部と胸部を適切に保護する装備を展開してきた。今回，オープンカーである新型ロードスターにおいても同様に側面衝突時の安全性をより向上させるため，新しい頭部保護機能付サイドエアバッグを開発したので，この開発内容を以下に紹介する。

Summary

It can be said that safety performance against an automotive crash event is one of the most important performances in recent years. Safety performance at side crash is demanded to a similarly high level of improvement in frontal crash safety performance. Mazda had started, from Atenza, development of an airbag system that positively protects the driver's and front-seat passenger's heads and thoraxes as well as rear-seat passengers' heads by combining its curtain airbag with its front-side airbag, and has developed a side airbag equipped with a new head protection function to further improve the safety performance against the side-crash in a like manner for an all new Roadster as a convertible. This paper introduces the contents of this development as follows:

1．はじめに

ロードスターはオープンカーであるため，一般の乗用車のようにルーフサイドにカーテンエアバッグの設定ができない。また，車体剛性向上のためセンタートンネルが幅広く，シートが車両外よりに配置されているため，シートバックとドアトリムの隙間も小さい。このため，サイドエアバッグが展開するスペースも余裕が少なく，従来の頭部保護機能付サイドエアバッグでは頭部バッグと胸部バッグの両方を安定して乗員の保護エリアに展開させるのが非常に困難である。一方で側面衝突時に適切に乗員を保護するには頭部保護を省くことは難しい。この問題を解決し，更に頭部および胸部の傷害値を低減した全く新しい頭部保護機能付サイドエアバッグの開発を行い，新型ロードスターに実用化することができた。

2．問題点と開発の方向性

2.1　展開スペース不足による頭部バッグ展開の遅れ

マツダでは頭部保護機能付サイドエアバッグを1997年にカペラから導入し，アテンザでのカーテンエアバッグ導入までの間多くの車種に装備してきた。しかし，従来の頭部保護機能付サイドエアバッグ装着車と新型ロードスターではシートセンターからドアトリムまでの横方向距離が，コンパクトカーである現行デミオよりも約20mm短い。更に側面衝突時にはドアが変形し乗員側に侵入してくるため，乗員とドアトリムのクリアランスが縮まる。従って，乗員の頭部，胸部をエアバッグによって適切に保護するためには衝突により乗員とドアトリムのクリアランスが縮まる前にエアバッグを安定して展開させる必要がある。しかし，従来の頭部保護機能付サイドエアバッグの展開挙動は，まず胸部バッグを展開させ，その後頭部バッグが上方に展開する挙動となっている。このため，頭部バッグが乗員の頭

＊1　装備開発部
Interior Components Development Dept.

部保護エリアに到達する前にウィンドウと乗員の頭部が接近することになり，バッグの展開スペースが小さくなるため，頭部を適切に保護できない懸念がある。この問題を解決するには頭部バッグを胸部バッグと同時に展開させ，頭部バッグの展開時間の短縮を図る必要があった。

2.2　シートバックへの収納性

新型ロードスターはライトウェイトスポーツカーにふさわしいシートデザインにするため，シートバックのエアバッグ収納部分を一般の乗用車に比べ約20mm薄くしている。一方，今回搭載する頭部保護機能付サイドエアバッグではエアバッグ自体は頭部保護機能が追加されている分，通常の胸部保護サイドエアバッグよりも大型化している。このため，エアバッグのシートバックに対する収納性についても工夫が必要であった。

2.3　バッグの反力特性

側面衝突時に適切に乗員の頭部と胸部を保護するにはそれぞれの部位で求められるバッグの反力特性が異なっている。頭部においてはポール衝突などで頭部がポールに底付きすることなく，衝撃を吸収させるため，高い反力が必要となる。一方で胸部においては衝突時の早い段階で乗員の胸部とドアトリムのクリアランスが詰まってくるため，反力の高いバッグを設定すると却って胸部変位量が増え，胸部障害が悪化する。ところが，従来の頭部保護機能付サイドエアバッグではバッグの気室が頭部，胸部で一体となっており，頭部バッグと胸部バッグの反力を別々にコントロールすることが困難であった。従い，頭部保護機能付サイドエアバッグの乗員保護性能を更に向上させるには，頭部バッグと胸部バッグ各々の反力特性をコントロール可能にする必要があった。

3．新開発サイドエアバッグの特徴

3.1　展開時間の短縮とシートバックへの収納

2.1で述べたように，新開発頭部保護機能付サイドエアバッグでは頭部バッグの展開時間を早める必要がある。この対策としてバッグの折り畳みを最適にした。具体的には，できるだけ上下の折りを排除し従来比で約150mm，上下に長い収納形態とし，展開時に上下に広い範囲でシートのティア（縫製）を破り胸部バッグと頭部バッグがほぼ同時に展開するように工夫した。こうすることで従来の頭部保護機能付サイドエアバッグに比べ頭部バッグのフル展開までの時間を約5ms早めることに成功した。また，シートバックへの収納性においても，上下拡大の効果により水平方向断面積で約1,000㎟小さくすることができたため，新型ロードスターの薄いシートバックに収めることができた。

3.2　バッグ反力特性の設定

車両としての側面衝突時の乗員保護性能目標からサイドエアバッグが吸収すべきエネルギを基に，頭部バッグ，胸部バッグそれぞれに要求される反力特性を算出した。頭部がFig.1の赤線の範囲，胸部がFig.2の赤線の範囲である。この2つのグラフから分かるように，頭部と胸部では要求される反力は大きく異なっている。これらのバッグ反力を目標範囲に近づけるように頭部バッグからのガスの流出を防ぐ構造の検討や幾度にもわたるバッグの形状変更，折り畳み方法のチューニングを実施した。実際に新開発サイドエアバッグでスレッド試験を行った結果がFig.1，Fig.2の青線である。グラフを見て分かるとおり，目標とテスト結果に差異がなく反力特性を設定することができた。これは新開発サイドエアバッグが，頭部と胸部のバッグ反力を個別にコントロールすることを可能にしたことを示している。この特性を可能にしたバッグのメカニズムを以下で紹介する。

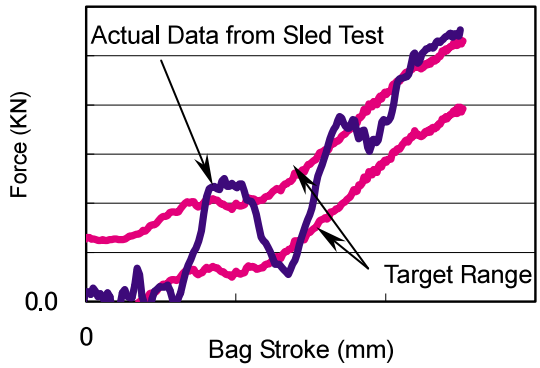


Fig.1　Head Bag Force-Stroke Characteristic

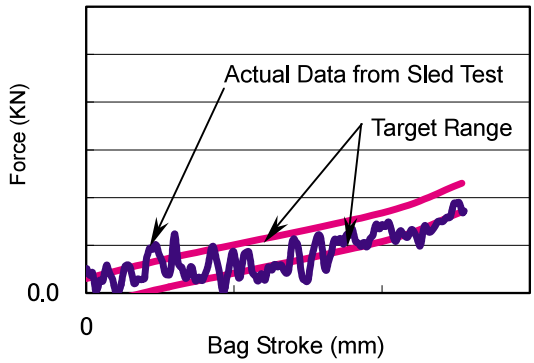


Fig.2　Thorax Bag Force-Stroke Characteristic

3.3　頭部，胸部の内圧配分（逆止弁の設定）

頭部バッグの反力を高く保ちながら，胸部バッグの反力を低く設定するには頭部バッグと胸部バッグの間に隔壁を設け，セルを分けることが有効である。しかし，セルを分けてしまうと，頭部，胸部それぞれのセルに個別にガスを供給するため，インフレータが2本必要になる。インフレータを2本搭載することはスペースの問題や重量増加などライトウェイトスポーツカーであるロードスターに搭載するエアバッグとしては大きな課題が残る。そこで，インフレータを1本で頭部バッグ，胸部バッグに同時にガスを供

給し，頭部バッグに一度供給したガスが長時間流出することなく高いバッグ内圧を保持できるように，頭部バック，胸部バックの間にガスの逆流防止機構（逆止弁）を設けることとした。

Fig.3の赤線のように展開初期にインフレータから頭部バック，胸部バッグに同時にガスが供給される。このときFig.4左側の図のように逆支弁は開いた状態でありインフレータから頭部バッグへのガス供給を妨げない。その後，頭部バッグにガスが充填されるとその内圧でFig.4右側の図のように逆止弁が閉じ，頭部バッグから胸部バッグへのガスの流出がなくなる。一方，胸部バッグにはベントホールが設定されており，バッグの内圧が上がり過ぎないよう，積極的にガスを抜くことで低いバッグ反力を実現している。

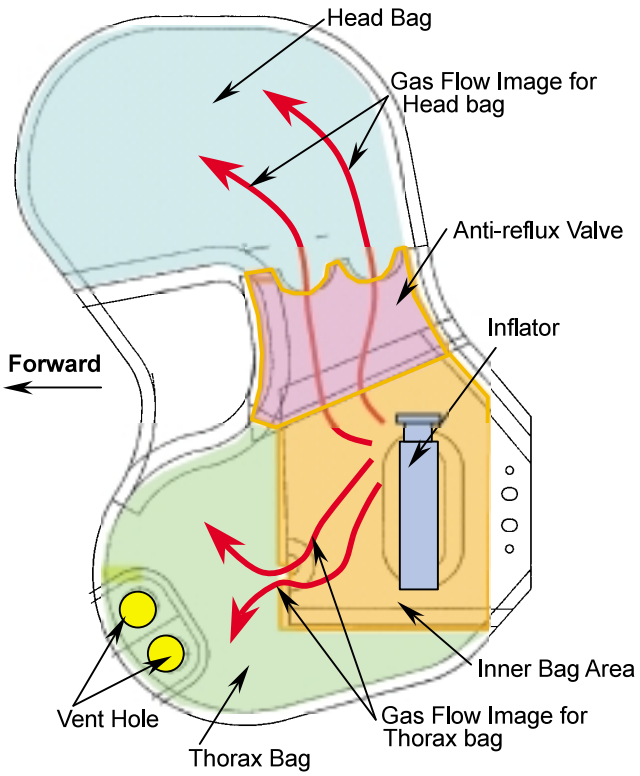


Fig.3　Overall Bag Shape Sketch

3.4　テスト結果

側面衝突の中でも比較的，車両，乗員へのダメージが大きいテストモードである40km/hのポール側突を模したスレッドテストの結果を例にあげ，実際の効果を検証した。Fig.5のバッグ内圧変化のグラフとFig.6の18ms時の写真にあるように衝突中期，バッグのフル展開状態では胸部バッグ，頭部バッグともに内圧が高く保たれ，その後胸部バッグはベントホールからのガス排出によって，内圧が下がっていく。一方でFig.5のバッグ内圧時間変化のグラフを見ると頭部バッグは前述した逆止弁の効果で衝突後期の38ms時点でも十分に高い内圧を保持できており，Fig.6の38ms時点の写真でも分かるように，ポールと乗員の頭部にバッグが入り込み，乗員の頭部がポールに底づきすることなく，十分にエネルギ吸収を行っていることが分かる。

このサイドエアバッグの設定により，オープンカーであるため，カーテンエアバッグが装着できないという制約を克服し，新型ロードスターの側面衝突時の乗員保護性能向上に大きく貢献することができた。

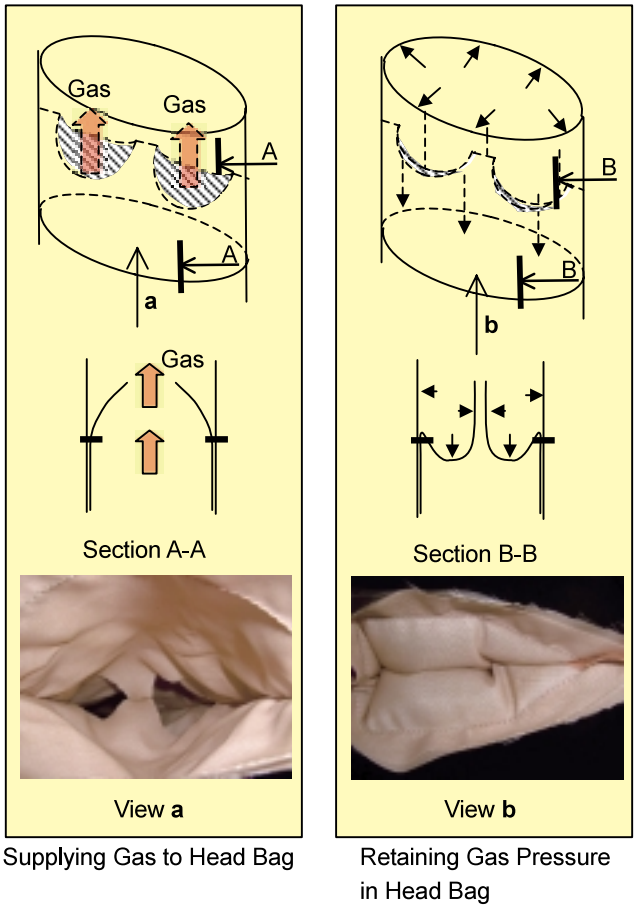


Fig.4　Detail of Anti-reflux Valve

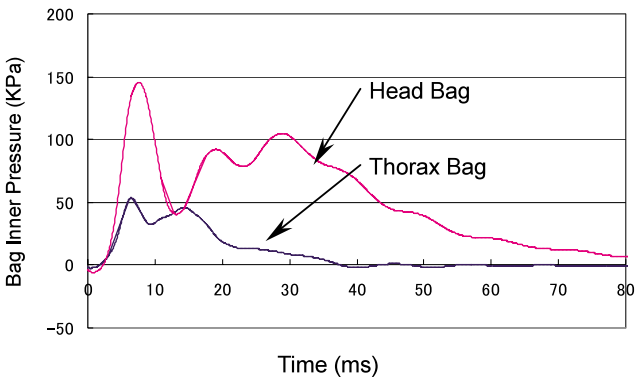


Fig.5　Sled Test Result（Bag Inner Pressure）

Photo of Sled Test at 18ms

Photo of Sled Test at 38ms

Fig.6　Sled Test Result（Photos）

4．おわりに

今回の新開発頭部保護機能付サイドエアバッグの開発で，1つのエアバッグで頭部と胸部を同時に保護するコンセプトの基礎となる構造が構築できた。この構造はスポーツカーやオープンカーのようなエアバッグを搭載するスペースが比較的小さい車両において有効であるといえる。

未筆ながら，今回の新開発頭部保護機能付サイドエアバッグの開発，新型ロードスターへの導入に当たって多大なご協力を頂いた，衝突性能開発部，部品メーカなど社内外関係者の方々へ，深く感謝の意を表すとともに，今後の更なるご指導，ご協力をお願いする次第である。

■著　者■

中村健吾

特集：新型ロードスター

9

オープン走行時の快適性向上技術開発
Development of Comfortable Technology under Open Top Condition

矢野輝昭*1 Teruaki Yano　坂倉忠則*2 Tadanori Sakakura　小野正義*3 Masayoshi Ono　濱元克洋*4 Katsuhiro Hamamoto
久我秀功*5 Yoshiatsu Kuga　大平洋樹*6 Hiroki Oohira　久文陽子*7 Youko Kyubun　十亀克維*8 Katsumasa Sogame

要　約

新型ロードスターにおいて，快適なオープン走行を提供するために，「巻き込み風のコントロール」と「オープン空調システム」の技術開発を行った。巻き込み風のコントロールでは，コンセプトデザインとの両立を図る車体要件を明確にし，またメッシュタイプのエアロボードを開発した。更にオープン走行時の空調システムでは，夏の日差しや冬の冷気による不快感に対してウェストベントを新設し，従来の5つの空調モードに加えて2つのオープンモードを追加した。

これらによって，走行風と空調風を自在にコントロールする技術が確立でき，新型ロードスターは年間を通して快適なオープン走行が可能となった。

Summary

For all-new Roadster to offer the comfortable open top running, we developed a technology of “Wind flow control ” and “Air-conditioning system for open running” For the wind flow control, the body requirement that would ensure compatibility with concept design was clarified and an aeroboard of mesh type was developed. For the air-conditioning system for open running,on the other hand, a waist vent was newly designed to improve uncomfortable feeling due to the sunlight of summer or the cold air of winter, and two open modes were added to five current air-conditioning modes.

The all-new Roadster have enabled comfortable open running throughout the year by the technology that provides wind flow and air-conditioning flow control.

1．はじめに

新型ロードスターでは，商品コンセプトの“人馬一体”を具現化する一つの要素として，オープンカー最大の提供価値であるオープンエアドライビングに着目し，先行段階から「より快適に，より長い期間，オープンエアドライビングを楽しめる新空調システム」の技術開発活動を進めてきた。その活動では，走行風の気持ち良さと空調の効きを向上させる「巻き込み風のコントロール」と，特に夏と冬の快適性を高める「オープン空調システム」の実現を目指した。

本稿では，この巻き込み風のコントロールと効果的な空調システムの具体的な実現手段について紹介する。

2．開発の概要

まず，オープンカーの使用環境を知るため，日本・米国・欧州において使用実態調査を行い，オープン走行時の車速域を定義した。次に実車評価の結果から，気持ちの良い走行風と快適な空調空間を実現できる巻き込み風の目標値を設定し，以下の具現化活動に移行した。

「巻き込み風のコントロール」開発では，歴代ロードスターの特徴である軽快感と開放感を継承するため，低いベ

＊1～4　装備開発部 Interior Components Development Dept.
＊5～7　車両実研部 Vehicle Testing & Research Dept.
＊8　企画設計部 Basic Design Dept.

ルトラインとの両立にチャレンジした（ベルトラインを高くすれば巻き込み風は容易に抑制できる）。巻き込み風とデザイン形状は密接に関係するため，試作車を用いて要件を抽出し，初期のデザイン検討に反映した。更に，“風をなだめる”エアロボードを考案し，狙い通りの「巻き込み風のコントロール」を実現した。

「オープン空調システム」開発では，夏の強い日射によるジリジリ感，及び冬の冷たい侵入風による底冷え感の改善に注力した。温度感度の高い人体部位を明らかにし，集中的に空調風を当てることで，2代目ロードスターよりも夏2か月，冬1.5か月も長くオープン走行を楽しむことが可能になった。

3．巻き込み風のコントロール

3.1　「快適にオープン走行できる」巻き込み風

お客様にオープンエアの楽しさを満喫していただくため，「快適にオープン走行できる」巻き込み風を実現することを目標に掲げた。オープンカーで「快適にオープン走行できる」とはどういうことなのかを知るために，オープン走行時の好評点，不満点について，市場調査及び社内フィーリング評価を行った。この結果からどのような風が「快適にオープン走行できる」巻き込み風であるかを見いだし，その風を実現することを目標とした。

(1)　ユーザの声

まず，ロードスターのメイン市場である欧州，北米，日本のユーザを対象にオープン走行時での風の好評点／不満点の市場調査を実施した。この結果，オープン走行時における好きな風は，開放感あふれる心地よい風と，頭周りの微風があげられ，嫌いな風は，顔や肩部の髪が大きく乱れるような後から前へ強く流れる風と，冬場の足元に吹き込む風が支配的であることがわかった（Fig.1）。

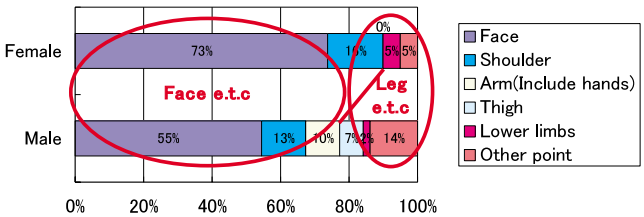


Fig.1　Bad Feeling by Back-draft Wind

(2)　「快適にオープン走行できる」巻き込み風の定義

上記結果を基に，2代目ロードスターを含むオープンカー6台を使用し，一般道，高速道，テストコースにおいて，「人馬一体風の巻き込みフィーリング評価会」を行った。市場調査と同様，後から前へ吹き込む強い風，足元へ吹き込む冷たい風が「嫌いな風」と感じられることを確認した。更に，「好きな風」として，オープン走行時，車室内を無風状態にすることが必ずしも良いわけではなく，適度な風を車室内に送るとオープンエアを楽しめ，Zoom-Zoomを体感できることがわかった。この不快な風を抑え，適度な風を車室内に送ることを，「快適にオープン走行できる」巻き込み風と定義し，その実現を目標とした。

(3)　「快適にオープン走行できる」巻き込み風の定量化

市場調査及びフィーリング評価結果からわかった「嫌いな風」がどこからくる風なのか，「好きな風」はどのくらいの強さの風なのかを解明するため，実車風洞にて流れの解析と体の各部位での風量測定を行った。その結果，「嫌いな風」は「Aピラーから巻き込んで肩や頭に当たる風」「ヘッダで剥離した流れがデッキ上に当たり，逆流して車室内に入り，顔や足元に当たる風」の2種類の流れであることがわかった。すなわち，この2種類の流れを抑えることで「嫌いな風」をなくすことが可能であることがわかった。また，体にあたる風がそよそよと弱い風量である時，人が心地よく感じることがわかった。これらの結果から，「快適にオープン走行できる」巻き込み風を定量化し，その風を実現するための目標として設定した。

3.2　「快適にオープン走行できる」巻き込み風の実現

(1)　コンセプトデザイン

上述のようにオープンカーの風の巻き込みで「嫌いな風」は，Aピラーから巻き込んでくる風と，ヘッダで剥離した流れがデッキ上に当たり，逆流して車室内に入る風である。これら2種類の流れに着目し，目標を達成するため，開発初期段階から要件化を行い，以下の要件を初期デザイン検討に反映した（Fig.2）。

① フロントウインドウ傾斜角の最適化
② フロントウインドウの曲率とAピラーのR
③ Aピラー位置（三角窓の設定）（Fig.3）
④ ショルダーの高さ
⑤ ヘッダ位置の最適化
⑥ トランクデッキ高さの最適化（Fig.4）

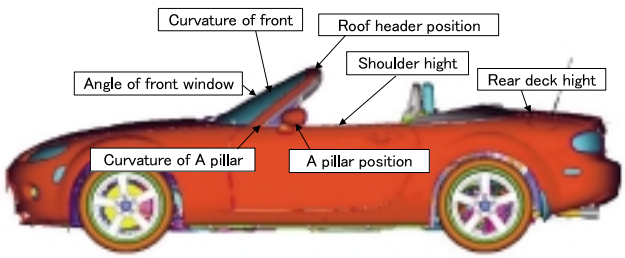


Fig.2　Adjustment Points

①～⑥を織り込むことにより，Aピラーから巻き込んでくる風を抑制し，更にヘッダで剥離した流れがデッキ上に当たり逆流して車室内に強い風が入るのを抑制することが可能となった。

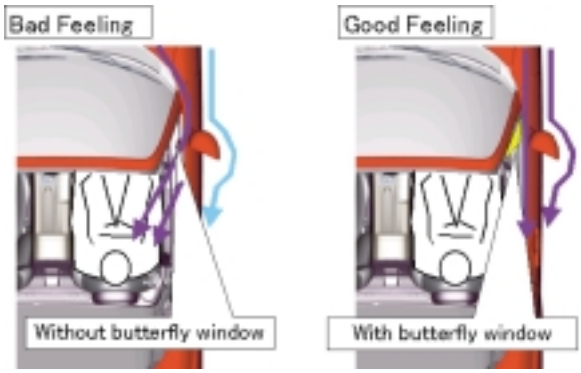


Fig.3　Effect of Butterfly Window

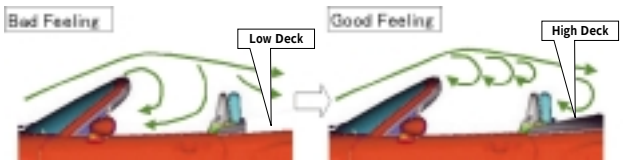


Fig.4　Effect of Rear Deck Height

(2)　エアロボード

上述に加えて，「快適にオープン走行できる」巻き込み風を実現するために車室内に流入する風のコントロールを行った。

⑦　メッシュタイプのエアロボードの設定

「快適にオープン走行できる」巻き込み風を実現するため，心地よい適度な風を車室内に入れなければならない。高速道路の防風壁から発想して，これを応用しメッシュタイプのエアロボードを考案した（Fig.5）。このエアロボードは，エアロボード上を飛び越えてくる強い風を緩和し，心地よい風を車室内に導風することができた。更に，後方視界確保と巻き込み風の整合を取り，最適化した（Fig.6）。

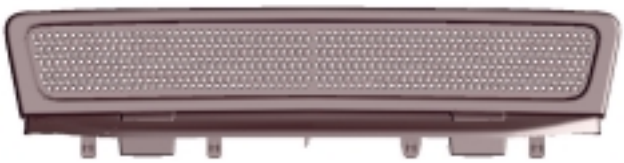


Fig.5　Aeroboard of Mesh Type

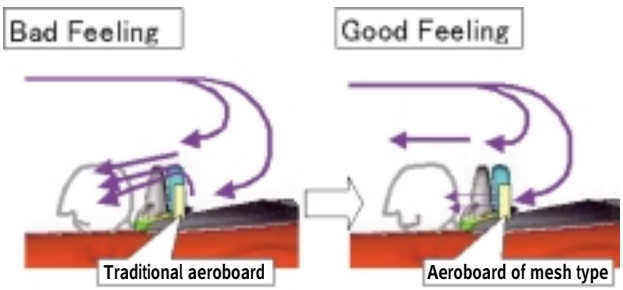


Fig.6　Effect of Aeroboard of Mesh Type

以上述べてきた初期デザインへの要件の織り込みと“風をなだめる”エアロボードの考案により，不快な風を抑制し，車室内に心地良い風を送ることが可能となった。すなわち，「快適にオープン走行できる」巻き込み風のコントロールを実現した。

4．オープン空調システム

4.1　オープン走行時の課題

一般的に，オープンカーでありながら夏季や冬季にオープン走行をしているユーザは残念ながら少ないのが実情である。オープン走行時の不満点として，夏季には直射日光で上半身から大腿部が暑く不快であり，また冬季には後方からセンターコンソールやドア側に巻き込んだ冷気によって腰や大腿部が寒く不快となる。そこで風の巻き込みの低減に加えて，1年を通してオープン走行が楽しめる空調システムを開発した。

(1)　暖房時の課題と対応

新型ロードスターでは，冷風の巻き込みを大幅に低減したが，コンソール沿いに冷気の侵入は若干残り，腰から大腿部にかけての不快感は完全に解消できなかった。これに対して従来の足元への吹き出しに加えて大腿部から腰への温風を出す吹き出し口を追加することが有効であることがわかった。

(2)　冷房時の課題と対応

オープン時の直射日光は，ウィンドガラスを透過した時の約2倍の強さとなり，これを和らげるために大腿部から上半身に冷風を流すことが必要となる。このためベント吹き出しのみではカバーできない大腿部から腰にかけて冷風を送る吹き出し口が必要となる。

そこで新型ロードスターでは温風から冷風まで吹き出すことが可能なウェストベント吹き出し口を設定した（Fig.7）。

Fig.7　Waist Vent

4.2　開発目標

調査の結果，オープンで快適に運転できる季節は，最も良好なオープンカーにおいても関東地方で約半年に過ぎないことがわかった。新型ロードスターでは，年間の4分の3にあたる9か月以上の期間，快適なオープン走行が楽しめるように目標を設定した。

Fig.8に東京の年間の気温を示す。すなわち，快適にオープン走行が可能な外気の保証温度を10～30℃とすることで，大半の季節でオープン走行を楽しむことができる。

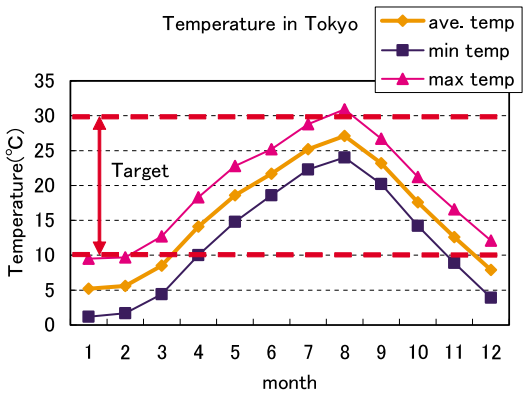


Fig.8　Temperature Target

4.3　HVACユニットの構造と特徴

(1)　小型軽量化ユニット

ヨー慣性モーメントを低減するために，空調ユニットを2代目ロードスターより7%小型化し，エンジンを135mm後方に移動することを可能とした。

高効率熱交換器やスライドドアの採用などで通風抵抗の低減を実現し，2代目ロードスターから能力を30%向上させ，クラストップの冷暖房や騒音性能を確保した。HVACユニットの構成とヒータコントロールパネルをFig.9に示す。

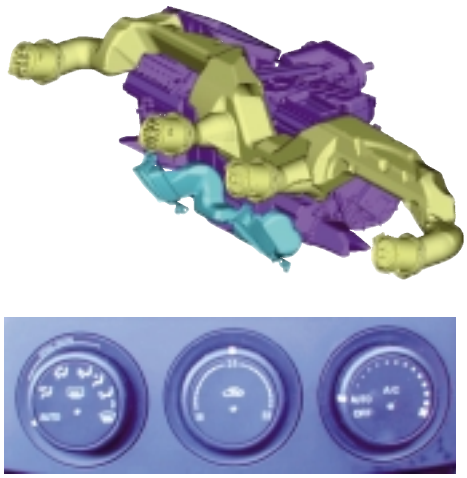


Fig.9　HVAC and Heater Control Panel

(2)　ウェストベント

快適なオープン走行を実現するために，従来の5つの空調モードに加えて2つのモードを追加した。夏の暑い日に対応するためにベント／ウェストモードを設定し，冷風を上半身だけでなく，直射日光の当たる大腿部にも流すことで日射による暑さを和らげることができる（Fig.10）。

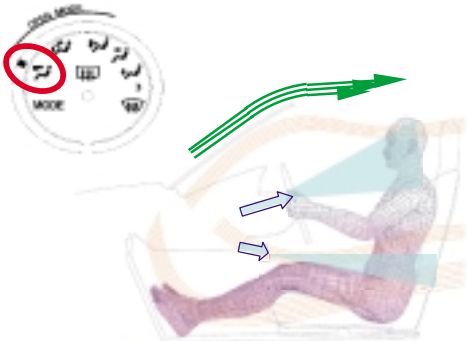


Fig.10　Vent/Waist Mode

また冬の寒い日に対してはフット／ウェストモードを設定することで，足元に加えて大腿部と腰まわりにも温風を送風することで，冷気の侵入に対して下半身を快適にすることができる（Fig.11）。

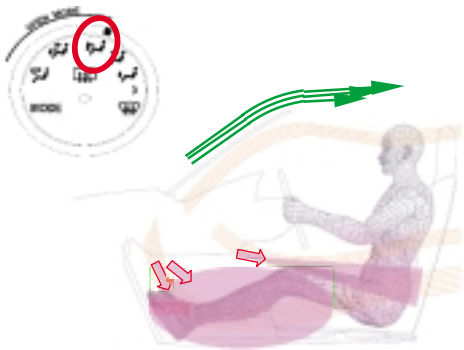


Fig.11　Foot/Waist Mode

吹き出しモードと吹き出し口の関係をTable 1に示す。

Table 1　Air Distribution

Mode \ Outlet	Vent	Waist	Foot	Def
Vent/Waist	○	○	×	×
B/L	○	○	○	×
Foot/Waist	×	○	○	×
Vent	○	×	×	×
Foot	×	×	○	○
Foot/Def	×	×	○	○
Def	×	×	×	○

4.4　オープン空調システムの効果

(1)　評価方法

乗員全身の温度や風速分布を正確に把握するために，アメニティマネキンを活用した。アメニティマネキンは，温度70点，風速24点，輻射12点，湿度2点の計測が可能であり，各部位の快適性の把握に有効である（Fig.12）。

Fig.12　Manikin

(2)　各部の温度比較

オープン走行での冬季と夏季の乗員の各部位での温度分布の測定結果をFig.13に示す。

冬季においては，冷気の巻き込みの低減により上半身の温度が上昇し，ウェストベントからの温風の効果で大腿部の温度が大幅に向上していることがわかる。また，夏季においても同様に，風の巻き込みの防止によりベント風が頭部まで届くようになり，またウェストベントの冷風によって腰から大腿部の温度が大幅に低下している。

これらの効果により，ライトウエイトスポーツの中で最も快適なオープン空調が実現できた。

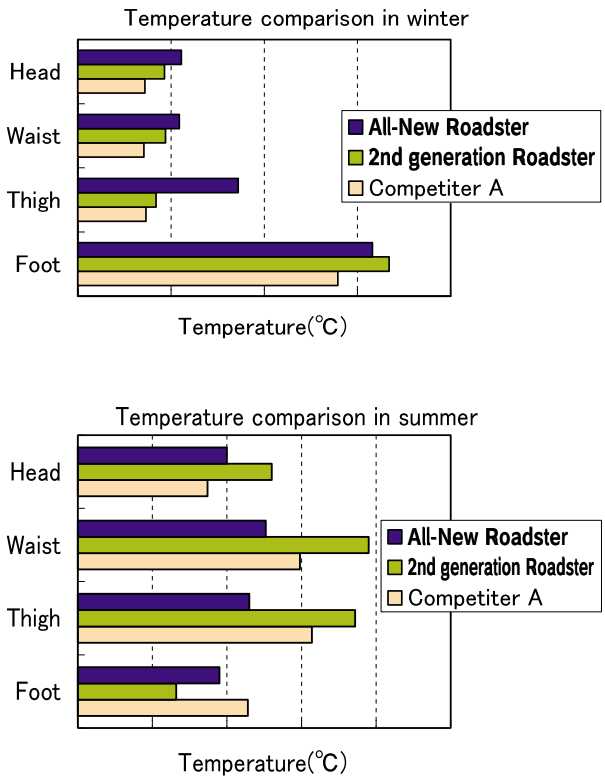


Fig.13　Comparison of Temperature

5．おわりに

以上，新型ロードスターにおいて開発した巻き込み風のコントロールとオープン空調システムの技術について紹介した。これらにより，人馬一体を実現できる心地よいオープンエアと高機能空調が提供でき，オープン走行をより多くのシーンで楽しんでいただけることが可能となった。

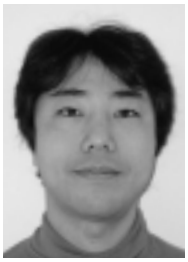
■著　者■

矢野輝昭

坂倉忠則

小野正義

濱元克洋


久我秀功

大平洋樹

十亀克維

特集：新型ロードスター

10

新型ロードスターの幾何学絞
Geometric Grain of All-New Roadster

阿　部　智　行*1
Tomoyuki Abe

要　約

新型ロードスターは，ピュアなライトウェイトスポーツカーをイメージし，そのインテリアはクリーンな造形や新しい素材感を基調とすることによって，シンプルでありながら先進的なイメージを与えるように開発してきた。このインテリアのイメージを形作るものの一つに，内装素材の表面に用いられている絞がある。この絞は，デザイン性，量産性など様々な検討の結果，新型ロードスターのデザインコンセプトを的確に表現するように開発し，実現したものである。

絞はインテリアカラーなどと同様に，インテリアのイメージをお客様へ伝える重要な要素であり，本稿では新型ロードスターで採用した幾何学絞の特徴，開発について紹介する。

Summary

All-New Roadster, imaged as a pure light weight sports car, has an excellent interior which has been so developed that it may give an advanced impression though simple, based on clean sculpturing and new material feeling. As one of means for forming an image of the interior, it uses grain which is applicable to a surface of an interior trim material. The grain has been developed for the new Roadster to positively express a new design concept, from the results of studies on various domains such as design and mass-production.

The grain is one of key design factors that tells the customer the image of the interior as with an interior color. This paper introduces the features and detailed development of the geometric grain of the new Roadster.

1．はじめに

マツダではプロダクトDNAの一つとして，「際立つデザイン」を掲げ，その実現に向けた開発を進めてきた。そのDNAを継承する新型ロードスターはシンプルでありながら先進的なイメージを与えるようデザイン開発してきた。

この開発項目の一つとして，内装樹脂部品の表面につけられた絞があり，インテリアの質感に対し重要な役割を担っている。

新型ロードスターでは，この絞は主に2種使用している。1種類はインストルメントパネル上部，ドアトリム上部などに使われている不規則でやや大きな粒がある幾何学絞であり，もう1種類はインストルメントパネル下部，コンソールなどに使用している細かい凹凸がある砂地絞である。

この2種類の絞の中で，特に幾何学絞は新型ロードスターのイメージにあうように，先進的でありながら，高い質感となるように，意匠などのデザイン性，及び部品成型時の量産性など，様々な項目について検討し，開発してきた。

本稿ではインストルメントパネル上部とドアトリム上部に使われているこの幾何学絞について，その特徴と開発手法について紹介する。

2．絞の種類と加工方法

2.1　絞の種類

新型ロードスターの幾何学絞は，一般に広く使われている革絞とは異なる絞であり，多くの特徴をもっている。その差を明確にするために，まずは一般的な絞種類について整理する。

＊1　装備開発部
Interior Components Development Dept.

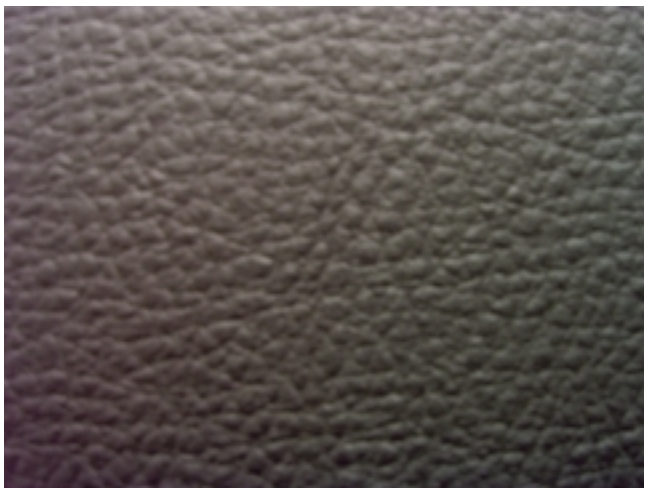


Fig.1　Grain Modeled on Leather

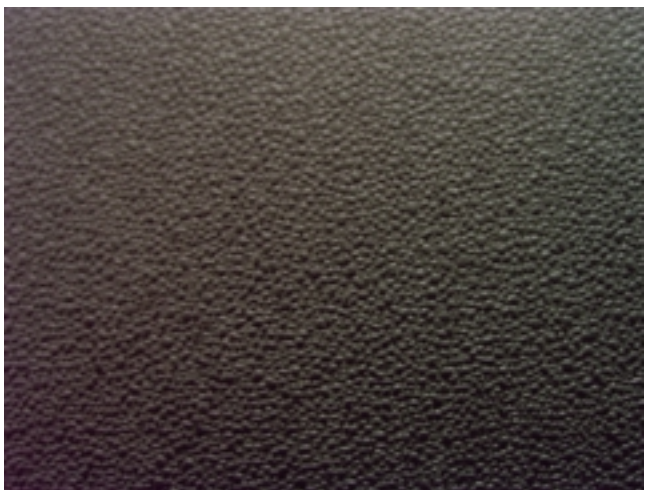


Fig.2　Grain Modeled on Sand Surface

Fig.3　Grain Modeled on Geometric Pattern

代表的な絞種類をあげると，次のように分類される。

(1)　革絞

動物の革に似せて作られた絞である（Fig.1）。

(2)　梨地絞，砂地絞

小さな凹凸をつけた絞である。その凹凸が細かい場合は果物の梨の表面，ある程度大きい場合は，砂を均一に撒いた状態と似ていることからこの名がある（Fig.2）。ツヤ消しも非常に細かい凹凸でできており，この分類に含まれる。

新型ロードスターのコンソールなどに使用している絞はこの分類に相当し，砂地絞と呼ばれるものである。

(3)　幾何学絞

人工的な模様の絞であり，直線，◆，▲など幾何学的形状を持つ絞（Fig.3）と，曲線，●，あるいは多角形の角をとった曲線形状を持つ絞がある。

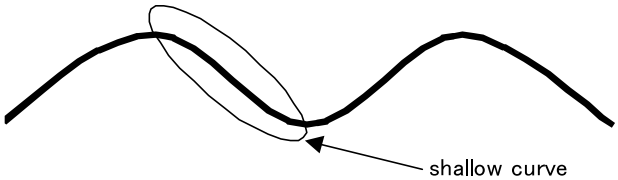
新型ロードスターのインストルメントパネル上部などに使用している絞は曲線形状を持った幾何学絞である。

2.2　幾何学絞の代表的な特徴

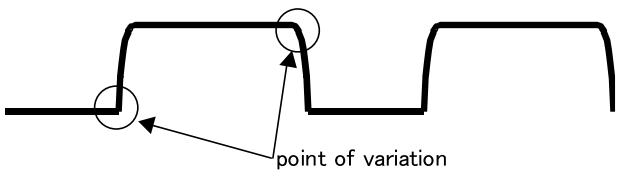
幾何学絞は革絞などと比較し，その形状とコントラストに代表的な特徴がある。

(1)　絞形状についての特徴

革絞の場合，断面形状は緩やかな曲線が多いが，幾何学絞の場合，直線と直線を小さな曲線でつないでいる。そのため，革絞のように面が緩やかに変化するのではなく，面が急激に変わるところが存在する（Fig.4）。この直線部分の絞加工が，彫刻による絞加工では容易であるが，エッチングによる絞加工では困難となる（詳細は後述）。



Grain modeled on Leather



Grain modeled on Geometric pattern

Fig.4　Grain Shape Image of Cross Section

(2)　コントラストについての特徴

幾何学絞の意匠が明確に見えるようにするためには，絞の凸部（山）と凹部（谷）のコントラストを強くする必要がある。

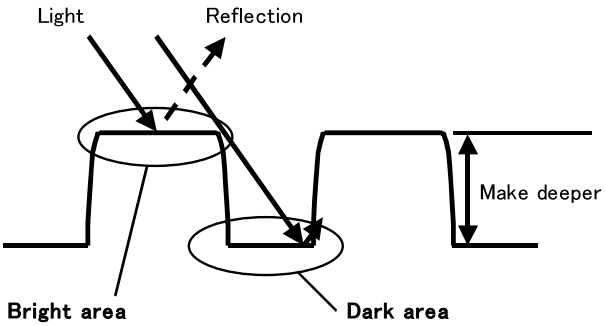
この強いコントラストを実現する手段の一つは，絞の凸部と凹部の高低差を大きくすることである。高低差を大きくする，つまり，絞を深くすることで，凹部に影ができ，強いコントラストが実現できる（Fig.5（a））。

しかし，絞を深くすることは成型時の必要抜き角（必要抜き勾配ともいう）が大きくなり，部品形状への制約が多

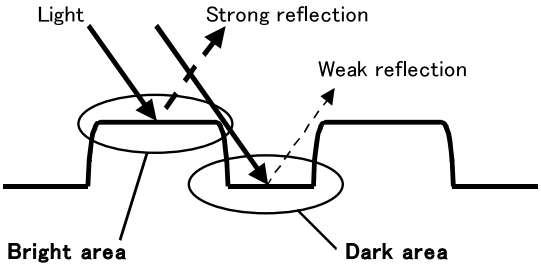
くなる。

もう一つの手段は，絞の凸部と凹部の表面の反射率を異なったものにすることである。凸部と凹部の光の反射率を変えることで，その明暗差により，絞深さが浅くても強いコントラストが実現できる（Fig.5（b））。

例えば，凸部を鏡面にし光の正反射を強くさせ，凹部は梨地絞をつけて光を乱反射させて，正反射を抑えることで，絞のコントラストを強くすることができる。



(a) Deepen the grain.



(b) Change the reflection of grain surface.

Fig.5　Methods to Apply Clear Contrast of Geometric Grain

2.3　絞の加工方法

これらの絞を製品に加工するために，部品の成型方法（工法）に合せた絞の加工方法が存在する。代表的なものをあげると，

(1)　エッチング加工

エッチング加工は金型をエッチング（腐食）することで，型に絞模様をつける加工方法である。この加工方法では，コーナ部，細い溝部などを鋭角に腐食できないため，絞形状が直線的になりにくく，丸みをおびた形状になりやすい特徴をもつ。

エッチング加工は多くの自動車用樹脂部品の型に対し行われる加工方法であり，新型ロードスターでもインストルメントパネルをはじめ，様々な樹脂部品でこの方法がとられている。

(2)　彫刻加工

型に彫刻を施すことによって絞をつける方法であり，直線的に絞がつくことが特徴である。

彫刻する手段は様々なものがあり，新型ロードスタードアトリム上部のPVC樹脂でできた表皮（PVC表皮）については，PVC表皮を成型するロール型へレーザで絞を彫刻加工する技術を用いている。

(3)　ミルロール加工

始めに絞のついたミルロールを作り，そのミルロールの絞を実際の部品製造で使われる型（本ロール型）に転写する方法である。主にPVC樹脂などで長いシート状につくられる製品を対象とするものである。

(4)　電鋳加工

電鋳（金属メッキによって形状や表面の凹凸を反転する電気鋳造法）によって型に絞をつける加工方法である。主にスラッシュ成形時の型に使用されることが多い。

これらのどの絞加工方法であっても，絞が深いと成形後の脱型時に成型品が型から抜けなくなるという課題があるため，その絞深さ，必要抜き角によって部品形状に対する制約が発生する。

3．新型ロードスターの幾何学絞の課題

3.1　インストルメントパネルの幾何学絞

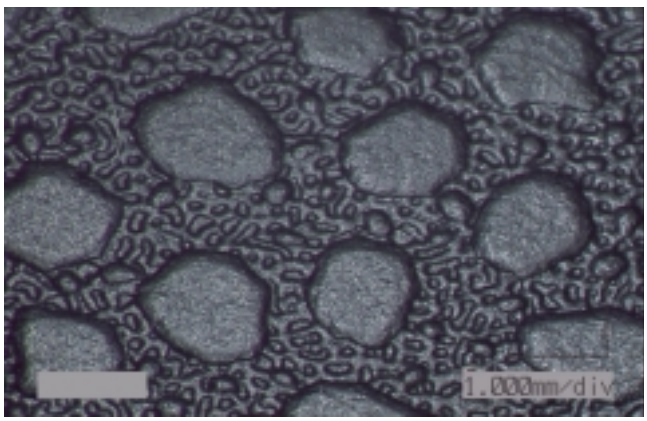


Fig.6　Sample of Grain before Paint

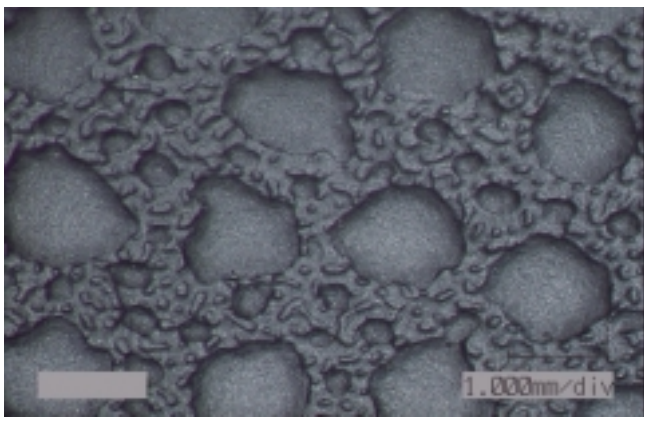


Fig.7　Sample of Grain after Paint

新型ロードスターのインストルメントパネルは，基材が射出成型されたPP樹脂であり，絞加工は射出成型の金型にエッチング加工することでつけられている。

更に，外観品質を高めるため，射出成型後に塗装しているが，この塗装により絞の細かい模様が覆われ，絞模様が変化する（Fig.6，7）。

これらをまとめたものが，下記表（Table 1）である。

Table 1　Feature of Instrument Panel for Grain

Term	Feature
Material	PP
Method of grain	Etching
Process influencing grain	Paint

3.2　ドアトリムの幾何学絞

ドアトリムはお客様が触れる機会が多い。そこで，触れたときの触感を向上させるため，その上部にはPVC表皮を使用している。

このPVC表皮は幾何学絞が彫刻加工されたロール型で成型され，その表皮をPP樹脂の低圧射出成型により張り合せてある。この時にPVC表皮は水平方向に伸ばされ変形し，また，熱，及び垂直方向の圧力も加わることで，絞凸部の白化（部分的に白くなること）などの絞の変化が生じる。

これらをまとめたものが，下記表（Table 2）である。

Table 2　Feature of Door Trim for Grain

Term	Feature
Material	PVC
Method of grain	Sculpture
Process influencing grain	Low pressure injection molding

3.3　部品間で絞を合せるための課題と改善方法

これらの材質，加工方法の異なるインストルメントパネルとドアトリムを車両として一体感を持たせるには，同じ幾何学絞を実現しなければならない。そこで，製品になった時に生じる下記の課題をクリアする必要があった。

(1)　材質によるツヤ，絞意匠の差

材質が異なるので，表面を同じ鏡面状態にしても，ツヤが異なって見える。よって，異なる材質の部品に同じ絞をつけても異なるツヤとなり，その結果，コントラストなどに影響し異なった絞意匠に見えてしまう。

そこで，意匠を同じに見せるために，表面の粗さなどを変えてツヤを合せる必要がある。

(2)　絞加工方法による絞形状の差

インストルメントパネルは直線的な形状を作りにくいエッチング加工，ドアトリムは直線的な形状になる彫刻加工であるため，絞加工時に絞形状が異なってしまう。

そこで，エッチング加工では可能な限り直線的に，彫刻加工では細かな直線を複数つなぐことでやや丸みをおびた絞形状にし，両者を合せる必要がある。

(3)　部品加工工程による絞形状（意匠）の差

インストルメントパネルは成型後に塗装されるため，絞の細かな模様が消えやすい。また，ドアトリムは低圧射出成型時にPVC表皮の絞が伸ばされるなどの変形がしやすい。

そこで，それぞれの加工工程での変化を最小限に抑えると同時に，加工後の変化を予測し，これを見込んだ絞にしておく必要がある。

3.4　課題に対する開発の流れ

これらの課題をクリアするために，今回の開発では，まずデザインの狙いを明確化した。その狙いに対し，ドアトリム，インストルメントパネル，それぞれで加工方法に合せて絞形状などを改善した。その後，エッチング加工絞よりも加工の自由度が高い彫刻加工絞をエッチング加工絞に合せることで，両部品の絞を合せた。次章ではこの開発について述べる。

4．新型ロードスターの幾何学絞の開発

4.1　デザインの狙いの明確化（彫刻加工絞の作成）

まず，今回の幾何学絞の目標を明確にするために，そのデザインの狙いとなるべきものをPVC表皮で開発した。

この狙いはドアトリムPVC表皮と同じレーザで絞を彫刻加工する技術が使われており，正確で複雑な意匠が作成できるため，デザイン性に富んだ狙いにすることができた。

4.2　低圧射出成型を考慮した改善

上記で開発したPVC表皮で実際に低圧射出成型を行い，成型前後での絞形状の変化を確認した。その結果，成型時に絞が様々な方向に伸ばされるなど，変形していることが判明した。

そこで，絞形状を成型前後で測定し，絞の変化を予測することで，成型前の幾何学絞のあるべき形状を求めた。また，熱，圧力による白化も加味し調色も行った。

これらの改善により，成型後にデザインの狙いに近い絞が再現できた。

4.3　エッチング加工絞の作成

4.1で開発したPVC表皮を狙って，PP樹脂サンプルでエッチング加工による絞を試作した。その結果，エッチング加工では，次の課題があることが判明した。

(1)　絞のコントラスト不足

絞の深さに制限があるために，絞の凹部と凸部の差が出にくく，コントラストが不足する。

(2)　絞形状のシャープ感不足

絞加工をエッチング加工で行っているため，幾何学絞の特徴である直線部の形状が丸みを帯びている（Fig.8絞凸

部の周辺部分)。

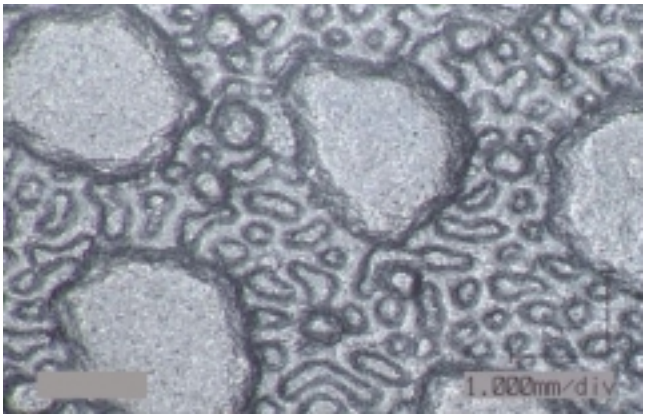


Fig.8　Grain by Etching

4.4　エッチング加工絞の改善

前述の課題解決のために，エッチング加工時に次のことを試みた。

(1)　絞のコントラスト改善

PVC表皮では絞を深くする以外に，次のような手段を用いて絞のコントラストを実現している（Fig.9)。

○絞凸部：浅い細かな絞で，PVC樹脂表面で光を拡散させることで，白みがかった色を表現。

○絞凹部：細かいピッチの絞を深くつけることにより，拡散を抑えることで，深い黒色を表現。

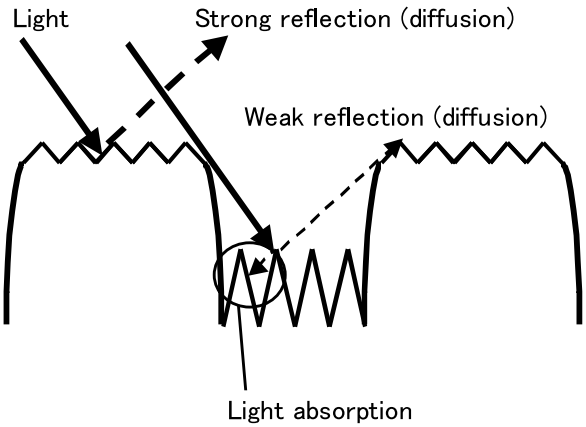


Fig.9　Change the Reflection of Grain Surface（PVC）

この別々の表現方法を塗装後でも再現するために，エッチング加工では下記のように対応することとした。

○絞凸部：細かい梨地をつけることによって，ツヤを低くし，やや白みがかった状態を表現。

○絞凹部：粗い梨地をつけることによって，ツヤは凸部よりやや高めにし，黒く表現。

(2)　絞のシャープ感改善

エッチング加工では困難なことであるが，エッチング（腐食させる）条件をコントロールすることで，絞の立ち上がり（凸部と凹部の境界）を垂直にし，絞の丸みを抑えることを試みた。

これらの手法により，エッチング加工によっても彫刻加工絞に近い絞が開発できた。

4.5　塗装工程を考慮した改善（塗装後の絞変化と改善）

エッチング加工で開発したPP樹脂サンプルに量産で使用される塗料を使い塗装した。

その結果，Fig.7に観られるように，絞凸部と凹部の境界に塗料が集まり，幾何学絞が丸みを帯びた絞になった。

これを改善するために，下記のことを行った。

(1)　改善1：塗膜の薄膜化

絞凹凸部境界に集まる塗料の量を減らすため，塗装の膜厚を薄くする必要があった。そこで，塗装の膜厚をμ単位でコントロールし，塗膜性能，生産性を確認しながら可能な範囲で薄くした。

(2)　改善2：塗料粘度改善

更に塗料が凸部凹部の双方に均一に塗布されるように，塗料の粘度を抑える必要があった。そこで，塗料の溶剤，及びその希釈率を様々に変化させてトライし，最適値を選択することで，均一に塗料が塗布されるようにした。

これらの改善の結果，塗装による絞形状の変化を抑え，デザインの狙いに近い絞が再現できた（Fig.10)。

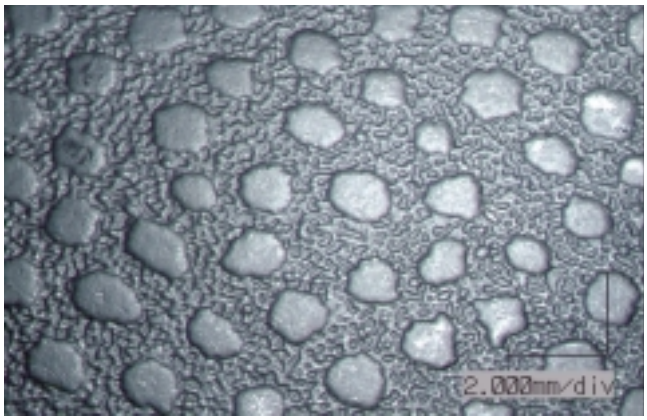


Fig.10　Grain of Instrument Panel

4.6　彫刻加工絞をエッチング絞に合せる改善

エッチング加工による絞加工，及び塗装による絞変化を加味し，PP樹脂サンプルで可能な範囲の改善を行った。しかし，この改善には限界があり，ドアトリムの絞との間にはまだ差が存在していた。

そこで，次にドアトリムの絞（彫刻加工の絞）をインストルメントパネルの絞（エッチング加工の絞）に近づけることで，その差をなくすことを試みた。

手段としては，彫刻加工絞の長い直線と直線とをつなぐ部分について，細かな直線を複数つなぐことで大きな曲線部とする，及び絞の凸部，凹部それぞれの表面粗さを近づ

け，コントラストをエッチング加工による絞と同様に見えるように改善した。

これらの改善によりドアトリムの絞（彫刻加工の絞）とインストルメントパネルの絞（エッチング加工の絞）がほぼ同じ意匠にみえるようになった（Fig.11）。

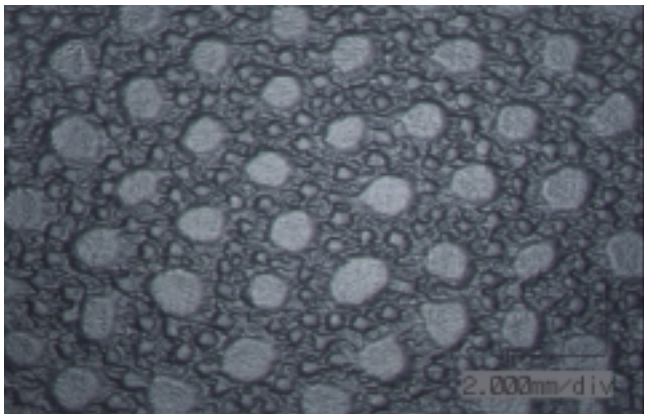


Fig.11　Grain of Door Trim

5．部品間の質感差確認[1]

今回開発したドアトリムとインストルメントパネルの絞の質感差を比較するために，その評価項目として，ツヤ（Gloss），ぎらつき（Glare），コントラスト（Contrast）の3つの項目を選んだ。これらは，内装の質感に関するテキストマイニング分析結果から抽出されたものである。この3項目について，それぞれ部品を計測し，新絞の質感を比較した。

(1)　ツヤ

一般的に内装材料表面のツヤが高いと樹脂特有の印象を受け，質感が低く見えやすい。逆にツヤが低いと落ち着いた感じになり質感が高くなると評価されている。

このツヤは一般的な光沢度計を用いて，表面の光沢度を測定した。測定範囲は10mm×35mm，入射角度60°，受光角度60°とした。

この光沢度を測定した結果，インストルメントパネルの光沢度は1.1，ドアトリムの光沢度は0.8と低くできており，ほぼ同等であることが確認できた。

(2)　ぎらつき

一般的に部分的に光を強く反射する部分があると，局所的にぎらついた見栄えになり，質感が低くみえやすい。逆に，全体的に均一であるものは落ち着いた印象を受ける。

このぎらつきについては微小面の反射率を測定し，評価した。測定範囲はφ0.2mmで，表面形状に沿って150ポイントの反射率を測定した（入射角度45°，受光角度45°）。

この微小面の反射率を測定した結果，インストルメントパネル，ドアトリムともに11という同じ低い値であることが確認できた。

(3)　コントラスト

微小面の反射率の差をコントラストとして評価した。測定方法はぎらつき測定と同様である。

この微小面の反射率に差があるとコントラストがあるように見え，逆にその差が少ないと平坦な絞になる。

測定した結果，インストルメントパネル，ドアトリムともに9～10という値になり，コントラストが同じレベルで確保されている絞であることが確認できた（Table 3）。

Table 3　Evaluation of Grain

Term ＼ Parts	Instrument panel	Door trim
Gloss	1.1	0.8
Glare	11	11
Contrast	9.3	9.7

6．おわりに

以上，新型ロードスターに用いた絞の特徴とその開発について，簡単に紹介した。

この開発を通じて培った技術，知見を今後の開発車種へ折りこみ，更に高いデザイン性をもち，高質感をもったインテリア絞を実現していきたい。

おわりに，本開発に尽力いただきました共和レザー㈱，㈱棚澤八光社，㈱ニューテックス，西川化成㈱，南条装備工業㈱，ダイキョーニシカワ㈱及び関係者の方々に心より感謝いたします。

参考文献

(1)　中西ほか：感性工学を用いた質感分析～自動車内装の表面質感向上への応用～，第38回日本人間工学会　中国・四国支部大会　講演論文集，p.44-45（2005）

■著　者■

阿部智行

特集：新型ロードスター

11

新型ロードスターBose®サウンドシステムの開発
Bose® Sound System for All-New Roadster

若松功二*1　手島由裕*2　池田竜太*3
Koji Wakamatsu　Yoshihiro Teshima　Ryuta Ikeda
毎熊亮*4
Ryo Maiguma

要約

ドライブシーンに応じて開閉されるコンバーチブルトップ，限りなく削られた車両重量，迫力あるエキゾーストノートなどの要素は，「走る楽しみ」としてロードスターの大きな魅力となっている。一方で，これらの要素はプレミアムサウンドシステムの成立には不利な条件といえる。今回開発した新型ロードスター用Bose®サウンドシステムでは，システム選定段階からBose社と共同でこれらの課題に取り組むことで不利な条件を克服し，オープンスポーツカーにより相応しいプレミアムサウンドシステムを実現した。

搭載された七つのスピーカは，いずれも軽量かつ強力なネオジウム磁石を採用しており，車重増の抑制と高音質化を両立した。デジタル・イコライザ（以下EQ）内蔵アンプは，コンバーチブルトップの開閉に応じてそれぞれ専用のEQを持ち，AUDIOPILOT™（走行ノイズ補償システム）を搭載する。開発においては，キャビン内の何百ポイントにも及ぶ音響データを取得し解析することで，車室内音場を正確に把握した。これらをもとに，最新の音響チューニング技術とヒトの感性との融合により，自然な周波数特性，音楽の持つ空間的な広がり，正確なステレオイメージを再現することができた。

本稿は，新型ロードスターに搭載したBoseサウンドシステムの概要及びその技術概略について紹介する。

Summary

With a dynamic EQ change, the Bose® Sound System automatically adjusts its premium performance, whether the top up or the top down. This is just one example of how the Bose Sound System specifically designed for all-new Roadster has made its significant evolution from the second generation Roadster's system. The fact is that a compact light-weight open sports car presents many more challenges in the development of a good audio system than those of typical sedan types.

The Bose sound system for all-new Roadster realized a suitable premium sound system for the convertible sports car, by tackling these challenges in collaboration with Bose from a system selection phase. The technologies such as AUDIOPILOT™ noise compensation, digital EQ amplifier and high-performance, lighter-weight Neodymium magnets in all speakers have been incorporated in the basic design and function of the system. We took more than hundreds of individual acoustic measurements in all-new Roadster. The collected data was used to engineer the sound system specifically for the acoustics of the cabin, top open / closed and down to the interior material options, thus a natural frequency response, great sound stage and accurate stereo imaging were achieved through the fusion of the newest sound tuning technology with human sensitivity.

This paper introduces the efforts put into the development of the successful premium audio system by Mazda and Bose for all-new Roadster.

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

＊4　ボーズ・オートモーティブ㈱
Bose Automotive K.K.

1．はじめに

ドライブシーンに応じて開閉されるコンバーチブルトップ，コンパクトなコックピットのレイアウト，無駄を許さないスポーツカーの重量コントロール，迫力あるエキゾーストノートなどの要素は，「走る楽しみ」としてロードスターの大きな魅力である。

一方で，これらの要素は，プレミアムサウンドシステムを成立させるには不利な条件といえる。コンバーチブルトップ開閉によるキャビン形状の変化は，一台の車が異なる二つの音響空間を有することを意味し，軽量かつコンパクトな車両設計は，理想的なスピーカ配置を難しくする。更に，ロードノイズやエンジンサウンドは，快適に音楽を楽しむ妨げとなる。

2代目ロードスターのBose®サウンドシステムでは，スポーツカーに求められる軽量化と低音域のパワーあふれるサウンドを両立するため，当時新設計の薄型軽量ウーファや高出力スイッチングアンプを搭載し，これに応えてきた。

今回開発した新型ロードスター用Boseサウンドシステムでは，システム選定段階からBose社と共同で開発を進め，2代目ロードスター以降に実用化された新技術を駆使することで，先に述べた不利な条件の更なる克服に取り組んだ。その結果，コンバーチブルトップクローズドとオープンでそれぞれ専用の音響チューニングを施し，走行ノイズ補償システムを搭載するなど，オープンスポーツカーにより相応しいサウンドシステムを実現することができた。

以下，システム概要及びその技術概略について紹介する。

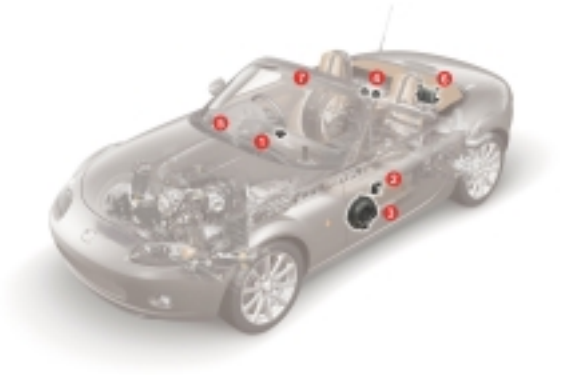
2．システム概要

新型ロードスター用Boseサウンドシステムの搭載レイアウトをFig.1，コンポーネント写真をFig.2，システムダイヤグラムをFig.3に示す。

システムは，二つの20cm Nd™ウーファと，五つの8cm中高音域用スピーカ，4チャンネルデジタルEQ内蔵アンプ，AUDIOPILOT™用マイクロフォン，Boseシステム対応ヘッドユニット，コンバーチブルトップ開閉スイッチから構成される。

2.1　20cm Nd™ウーファ

両ドア前方下部のドアモジュールに締結される口径20cmのNdウーファは，小型で強力なネオジウム磁石を採用し，駆動部をスピーカ前面に配置する特殊な構造により，ウーファの軽量化，薄型化を達成している。限られたキャビンスペースにジャストフィットするコンパクトさを有しながら，最大で25mm強というコーン紙の前後可動量（コーントラベル）により，迫力ある重低音再生を実現している。ちなみに，一般的な構造を持つ同サイズのウーファのコーントラベルは10mm程度である。



❶ Dashboard center : 8cm mid-high range speaker
❷ Door : 8cm mid-high range speaker
❸ Door : 20cm Nd™ woofer
❹ Back trim center : two 8cm mid-high range speakers
❺ Under steering colum : Microphone for AUDIOPILOT™
❻ Behind the rear bulkhead : Bose® 4channel digital EQ amplifier
❼ Headrail : EQ mode change switch

Fig.1　Bose® Sound System for All-New Roadster

Fig.2　Bose® Sound System Components

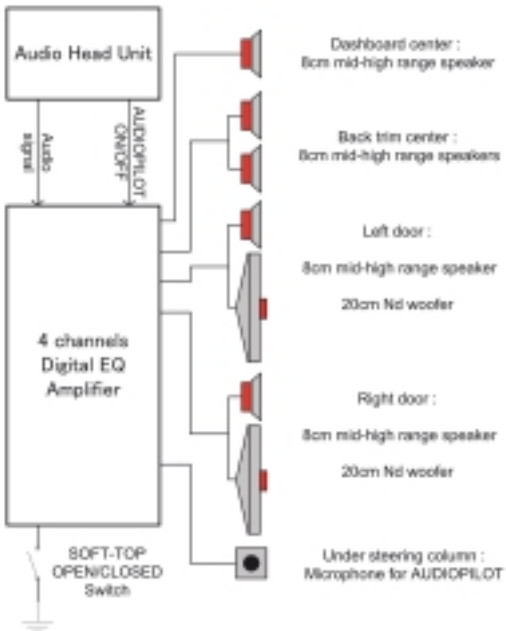


Fig.3　System Diagram of All-New Roadster

2.2　8cm中高音域用スピーカ

キャビン内に五つ搭載される口径8cmの中高音域再生用スピーカは，小型で強力なネオジウム磁石を使用し，五つで合計675gと軽量化を実現しつつ，従来の中高音域用スピーカと比較して，音質向上はもちろん，走行状態でも音の明瞭度を保ち得るパワーを有している。

そのうちの一つは，新型ロードスターに新たに採用されたフロントセンタースピーカとして，ボーカルイメージの定位や目の前に広がる音の豊かさの向上に寄与している。また，二つのリヤスピーカは，他の三つの中高音域用スピーカとのバランスをうまくチューニングすることで，前後方向の立体感と，車両中心方向の広がり感の構築に貢献している。

2.3　デジタルEQアンプ

シート後部のトップ収納下に搭載されるアンプは，4チャンネルデジタルEQを内蔵し，2代目ロードスターのアナログEQでは到達し得なかった，きめ細かい音響設計に貢献している。独立した2系統のEQを持つことができ，今回はコンバーチブルトップの開閉に応じて，それぞれ専用のEQ特性が設定される。

2.4　オーディオヘッドユニット（Fig.4，5）

AM／FM電子チューナとCDプレーヤーを一体化したCDラジオを，Bose®システム専用のライン装着品として設定した（日本仕様はMP3対応6枚CDチェンジャを搭載）。また，ディーラーオプションでは，Boseシステム対応AVナビゲーション（Navigation／AM／FM／TV／FM多重放送／CD（MP3対応）／DVD／MD等の機能を有する）が選択できる。

Fig.4　Bose® System Compatible CD-changer-radio

Fig.5　Bose® System Compatible AV-Navigation

3．音響チューニングにおける注力点

キャビン内においてスピーカから放射された音波は，ガラス面，トリム，シート等に当たり，複雑な反射を繰り返しながら減衰する。更に，リスナーは，距離も方向も異なる七つのスピーカの音を同時に聴くこととなるため，その音響特性は非常に複雑なものとなる。

音響チューニングを実施するにあたり，まず，Bose社の測定システムを用いて，キャビン内の何百ポイントにも及ぶ音響データを取得した。車載状態での各スピーカの特性を個別に測定し，リスナーの体格の違いによるシート位置や乗車姿勢の違い，シート素材の差異までも考慮した分析を行うことにより，キャビン内の音場が正確に把握できた。これらの得られたデータをもとに，最新の音響チューニング技術とデジタルEQの持つ音作りの自由度を最大限に生かし，周波数軸上，時間軸上で，チャンネルごとに最適なEQ設計を行った。

最終的には，リスニング（“ヒトの感性”）による評価を反映させ，自然な周波数特性，音楽の持つ空間的な広がりと正確なステレオイメージを再現することができた。

なお，以下に述べるように，コンバーチブルトップの開閉状態や，シート素材の違いに対して，音響的に全く別の車両と位置付けて開発に取り組んだため，音響測定，音響チューニング作業は通常の3～4車種分の時間を要した。

3.1　コンバーチブルトップのための専用チューニング

コンバーチブルトップはロードスター最大の魅力の一つである。しかし，コンバーチブルトップがクローズドとオープンの状態ではキャビン内の音響特性は全く異なる。

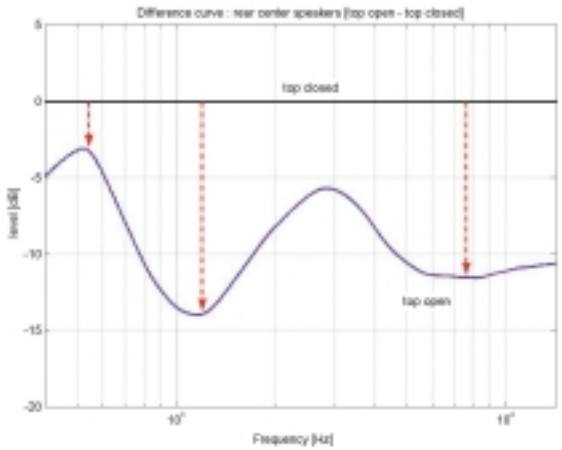


Fig.6　Frequency Response Comparison, Top Open to Top Closed（Rear Speakers - Leather）

例えば，リスナーの背後わずか10cmあまりという，近い距離にレイアウトされているリヤスピーカから放射される音でさえ，音がリスナーの耳に届いた時には，キャビン形状の差によって音響特性の違いが生まれてしまう。

Fig.6は，リヤスピーカ出力のトップクローズド，オープンにおける音圧周波数特性の差をグラフ化したものである。このデータから，400Hz以上の全周波数帯域で音圧に差があり，更に，その差が一様でないことがわかる。

また，トップオープンのキャビン内では，トップクローズドと比べて全般的に音の反射面が圧倒的に少なく，スピーカから放射された音のエネルギの多くが車室外へ逃げてしまうため（Fig.7），迫力感の低下は免れない。

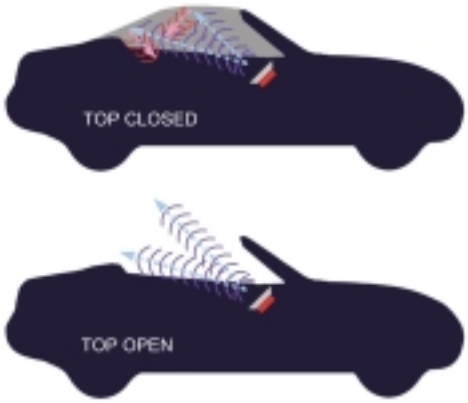


Fig.7　Reflection of Sound（Image Figure）

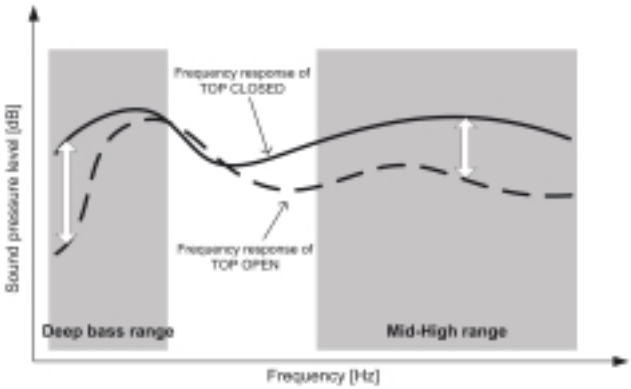


Fig.8　Overall Frequency Response of Top Closed / Open（Image Figure）

以上に述べたように，キャビン形状の差異により，車両トータルの音圧周波数特性（Fig.8）が影響を受けるほか，音の広がり感やステレオイメージ作りにおいても，それぞれ違ったアプローチを要求されることとなる。

これらの問題を解決するため，新型ロードスターではコンバーチブルトップの開閉状態に対して専用の音響チューニングを施した。これにより，コンバーチブルトップがどちらの状態でも最適なサウンドを楽しむことができる。

コンバーチブルトップの状態は，車両前方のトップ開閉スイッチ（Fig.9）からアンプへと情報が送られ，それぞれ専用のEQが読み込まれる仕組みとなっている。これはDSP（Digital Signal Processor）により，複数のEQセッティングを持つことができるメリットを最大限に生かしたものであり，後述するAUDIOPILOT™機能も，EQと同様にコンバーチブルトップクローズド，オープンの双方に最適化したチューニングが施されている。

Fig.9　Convertible-top Switch

3.2　AUDIOPILOT™（走行ノイズ補償システム）

車の中は静かなリスニングルームではない。快適に音楽を楽しもうとすると，ロードノイズの増減，エンジン音の変化はその妨げとなり，オーディオボリューム調整の煩わしさは，時にドライバの運転に対する集中力を低下させる。

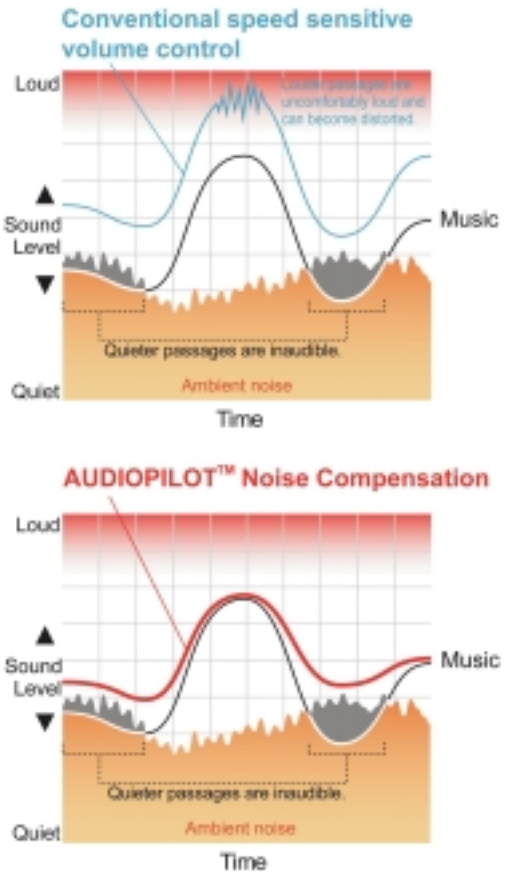


Fig.10　The AUDIOPILOT™ Behavior（Image Figure）

その解決策として，新型ロードスターには，RX-8のBose®サウンドシステムに搭載した，AUDIOPILOT™（走行ノイズ補償システム）を採用した。AUDIOPILOTは運転席ステアリングコラム下にレイアウトされたマイクロフォンによってキャビン内の音響を拾い，音楽成分とノイズ成分をリアルタイムに評価，分離し，ノイズ成分と重なった音楽成分を自動的に補償する技術である。これは言い替えると，ノイズレベルが音楽レベルに対して設定値以上になると，それに応じた出力補正（ブースト）を行うということであり（Fig.10），外来ノイズレベルが大きいオープンスポーツカーには非常に有効な機能である。この技術によって，リスナーは常にバランスの取れた音質を楽しむことができる。

AUDIOPILOTのチューニングには，ノイズ分離に関するフィルタ等の設定を行う静特性チューニングと，ブースト量に関する設定を行う動特性チューニングが必要である。動特性チューニングでは，テストコースでの高速走行，ベルジャン路走行などに加え，市街地を想定したゴーストップ走行にも注力した。これら走行モードを総合的に考慮することで，主にオーディオボリュームが小さい時の効果的なノイズ補償と，耳で聴いて違和感のない動作を両立できた。

3.3　シート素材の違いへの対応

布シートは革シートより表面の吸音率が高いため，中高域の音圧レベルが下がる傾向にある（Fig.11）。このシート素材の違いは，キャビン内の音の周波数特性や目の前に広がるサウンドステージの印象までも変えてしまう。

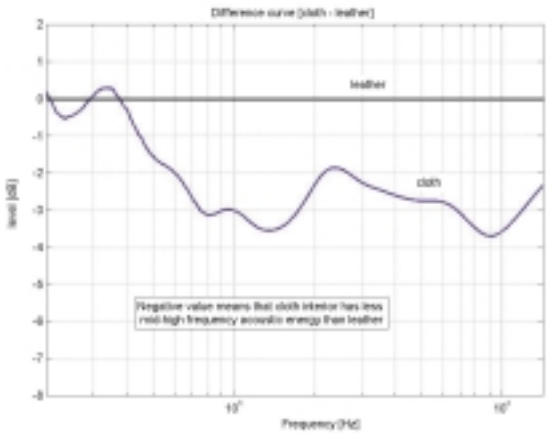


Fig.11　Frequency Response Comparison of Cloth and Leather Seats

今回のシステムでは，この特性差に対しても，測定データとリスニング評価に基づき，布，革それぞれ専用のEQチューニングを施した。アンプに内蔵される2系統のEQには，それぞれコンバーチブルトップの開閉状態が設定されるため，布，革シート用のEQについては，シート仕様に合わせた専用アンプを設定することで，ユーザがどちらの車両を選んでも最適な特性が得られるように考慮した。

3.4　その他車両側の対応

キャビン内の形状はハンドル有無によって左右非対称であり，結果的にアンプの左右チャンネルのEQ特性は異なったものとなる。輸出仕様の左ハンドル車では，アンプ入出力に関わるハーネスを国内仕様と左右反転に設定することで，左ハンドル専用アンプを別設定することなく，設計どおりの左右ステレオイメージを得ることを可能にしている。

また，アンプと20cm Nd™ウーファをつなぐスピーカハーネスや，デジタルEQアンプの電源ハーネスは，伝送ロスを抑えるために標準システムよりも抵抗値の小さいものを採用している。

4．おわりに

今回，我々はBoseサウンドシステムを開発し，新型ロードスターのライン装着品として商品化した。本システムは，ここまで述べてきたように，コンバーチブルトップの開閉状態に合わせたEQ自動切換や，AUDIOPILOTなどの最新技術の採用に加え，ドア開発，トリム開発，インパネ開発，エクステリア開発，ハーネスシステム開発といった関係部門の多大なる協力の結果，当初の狙いどおり極めて高い音響性能を実現できた。

本稿でその再生音を伝えることはできないが，実際に新型ロードスターに乗って風を感じて走る楽しさとともに，音楽を聴く楽しさを体感していただきたい。

最後に，開発にあたって多大なご協力を頂いたBose Corporation殿，ボーズ・オートモーティブ㈱殿，クラリオン㈱殿，三洋オートメディア㈱殿，三菱電機㈱殿，その他社内外の方々に本誌面をお借りして感謝の意を表します。

■著　者■

若松功二

手島由裕

池田竜太

毎熊　亮

特集：新型ロードスター

12 新型ロードスターにおける高強度・薄型クロスメンバの開発
Development of Thin & High-strength Cross Member for All-New Roadster

三木 建次郎*1 Kenjiro Miki　木村 隆之*2 Takayuki Kimura　田中 祐充*3 Masamitsu Tanaka
胡木 隆*4 Takashi Ebisugi　柴原 多衛*5 Taei Shibahara

要　約

オープンカーのフロントシート後方に設定される，シートバックバーに内蔵されたクロスメンバは，各社構造に特徴がある。新型ロードスターでは，そのライトウエイトスポーツカーのコンセプトを実現するために，ストレッチドベンチマークしたスペース目標と質量目標を設定し，達成に知恵を絞った。

最大の課題は，側面衝突荷重を支えるクロスメンバ本体と前後上下荷重を支える脚部を最小スペースで接合することと，Bピラーとオフセットするクロスメンバ本体の結合強化をより軽く強く行うかであった。

これらの課題に対して，クロスメンバ本体に対して脚部をパイプ貫通構造とし知恵の輪式に組み立てる工法により課題を解決し，その結果クラス最小の前後幅52mmを達成した。オフセット構造部においては，クロスメンバ本体に対して，リンクブラケット，ジャンクションといった補強部材を最適に構造に取り組むことでクラス最軽量の7.76kgを達成した。この成果により，車両としても2代目モデルに対し後方へシートスライド量拡大が図れ，長身ユーザの居住性改善に貢献した。

Summary

The structure of a cross member, located inside a seat back bar behind front seats at an open-top sports car, has various types, depending upon the concept of each car manufacturer. For all-new Roadster, we aimed at the minimum space and weight to meet light sports car concept and achieved them utilizing wisdom and innovative ideas.

The biggest issues were how to minimize a structure for uniting a cross member to support a Y-direction load with a pipe to support a Z-direction load and how to strengthen, with the minimum weight, joining of the cross member being offset from a B-pillar.

For the first issue, we have achieved the minimum thickness（52mm）of the cross member structure in the same segment according to a unique procedure of assembling the cross member and the pipe crossed each other in a puzzle ring manner. For the second issue, we adopted a link bracket and a junction to support the cross member, thus having achieved the lightest cross member（7.76kg）in the segment. These achievements have enabled to enlarge a seat slide and give more legroom to tall customers.

1．はじめに

オープンカーにおいて，シート後方からルーフ格納部間のスペースにクロスメンバを各社設定している。この部品の役割は，前面衝突時シートベルトの取り付け部強度を向上させ，衝突荷重による変位量を抑制する。また，側面衝突時はBピラー部へのバリア侵入を抑制させ，乗員の生存空間とエアバッグの展開空間の拡大を図る。そして車体の構造部材としてオープンカーに必要不可欠の車体剛性値の向上を図ることである。

このように重要な機能を有しているが，レイアウト的には，ユーザが快適に過ごす客室空間とトランクのユーティリティスペースをより広くとるためにはより少ないスペースで構造を成立させる必要がある部品である。

新型ロードスターにおいて，様々な工夫を考案・実現化したことにより，クラス最小のスペースで高強度・多機能

＊1，2　ボデー開発部 Body Development Dept.
＊3，4　CAE部 CAE Dept.
＊5　衝突性能開発部 Crash Safety Development Dept.

のクロスメンバ構造を実現した。これらの技術を紹介する。

2．ベンチマーク状況と目標設定

オープンカーの全長は簡単に説明すると，エンジンルームスペース＋乗員スペース＋クロスメンバのスペース＋ルーフの格納スペース＋トランクスペースで決定される。マツダプロダクトDNAである“抜群の機能性”を具現化するためには，クラストップの十分な室内空間とトランク容量を確保する必要がある。車両のベースレイアウトを行った所，クロスメンバに与えられたスペースは約50mmだった。

ベンチマーク状況を確認するとFig.1に示すように75mm以下の車はなかった。開発チームでは，クロスメンバの最小化に知恵を絞ることを前提に，ストレッチドBIC（ベストインクラス）であるクロスメンバの前後幅50mmの目標を設定し，ライトウエイトスポーツカーの実現を目指した。

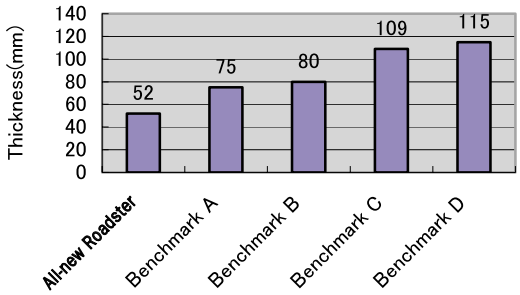


Fig.1　Comparison on Cross Member Thickness

質量については，同様にライトウエイトスポーツカー実現のために，車体全体で2代目モデルと同等にする大目標が設定されていた。クロスメンバに割り振られた目標は8kgであった。これも，他車ベンチマークの結果ではBICをストレッチするものであり（Fig.2），構造の最適化と超ハイテン材の有効活用を前提に，目標達成を目指した。

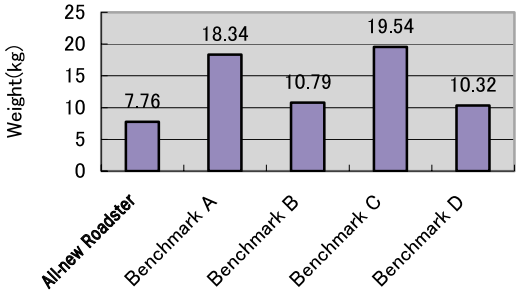


Fig.2　Comparison on Cross Member Weight

3．目標達成構造

性能目標達成とレイアウトスペースの制約により，3種の主要部品で構成する目標達成構造を考案し，実現に向けて詳細形状を詰めた。この基本構造は，スペースを有効活用するために，左右を結ぶクロスメンバに前後上下荷重を支える脚部パイプを溶接結合した本体と，車両工程における組付作業性やサービス性を確保するため分割したリンクブラケット，そして同じく車体側部と脚部パイプを連結するジャンクションである（Fig.3）。

クロスメンバは車体剛性，衝突時の車体変形の抑制に寄与し，他方で多数の内装部品の取り付け・支持の役割を担う。リンクブラケットは，クロスメンバの強度・剛性面の機能を補完する一方，シートベルトと開閉式ルーフの固定も担う。ジャンクションもリンクブラケット同様クロスメンバの機能を補完するが，他部品の取り付け等の機能は有していない。

4．詳細構造と技術の紹介

4.1　クロスメンバの知恵の輪式組立構造

Fig.4のように本クロスメンバ構造は，車両前方のシー

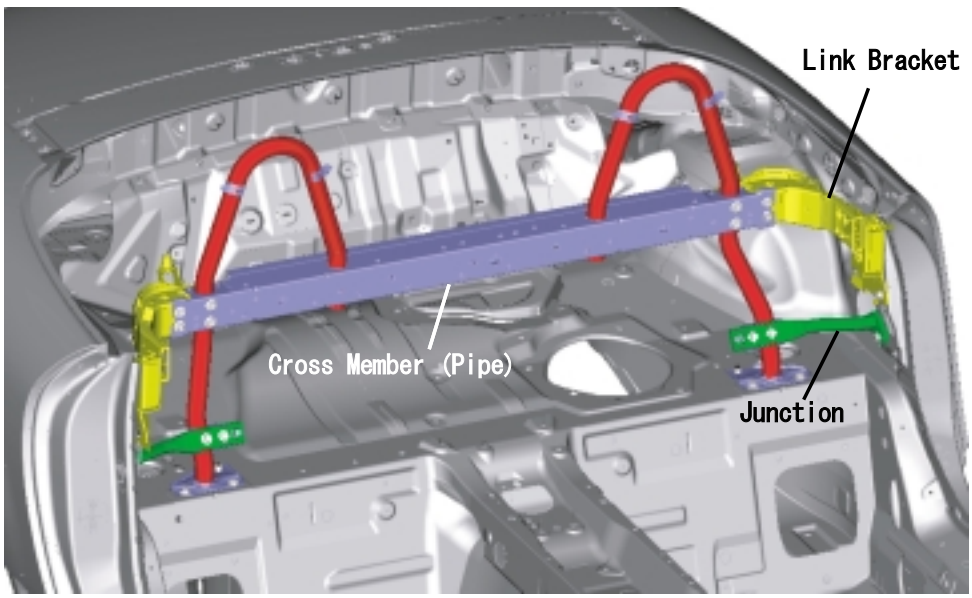


Fig.3　Overview of Cross Member Structure

ト，後方の開閉式ルーフに挟まれ，パイプを含むクロスメンバに与えられた前後幅は約50mmであったため，クロスメンバ構造の開発当初から，パイプをクロスメンバ内に貫通させて薄型化する前提で，基本構造を検討した。

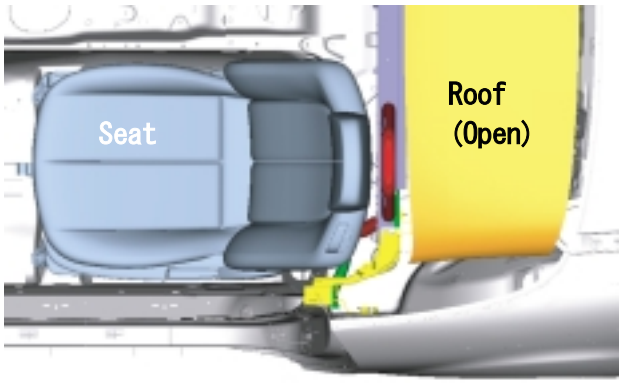


Fig.4　Parts Around Cross Member Structure

一方でパイプは，シートを避けた経路にするため，Fig.5のように複数の曲げ加工を施す必要があった。お互いを結合させるために，パイプに対しハット型断面のクロスメンバを前後から挟み込んで，貫通構造とすることは可能である。この構造の場合，パイプに前後方向の荷重が入力された場合，接合部に剥離方向の荷重が入り，溶接部強度上不利ある。そのため新型ロードスターにおいては，前後クロスメンバの接合部とパイプ貫通部を分離する構造を開発した。具体的にはFig.6に示すように，車体中央側のパイプ端部の直線部分を利用して，知恵の輪のようにパイプを，前後2分割したクロスメンバの片方に先に貫通させた後，パイプを回転させて外側もクロスメンバにセットし，その後にもう片方のクロスメンバをセットし溶接する構造を採用した。

Fig.5　Bends on Pipe

車体中央側のパイプ結合部は，前後クロスメンバの接合面から分離され，仮にパイプに前後方向の荷重が入力されても剥離荷重とはならないため，強度上有利である。また外側のパイプ結合部では前後クロスメンバの接合部と近いが，前後方向の荷重に対してはせん断方向となるため，破断し難い結合構造とした。

4.2　ジャンクションの採用

Fig.7のように，シートスライド量を拡大したことで，側面衝突の荷重入力点とクロスメンバと間に約150mmのオフセット量が生じ，その間をリンクブラケットはシート

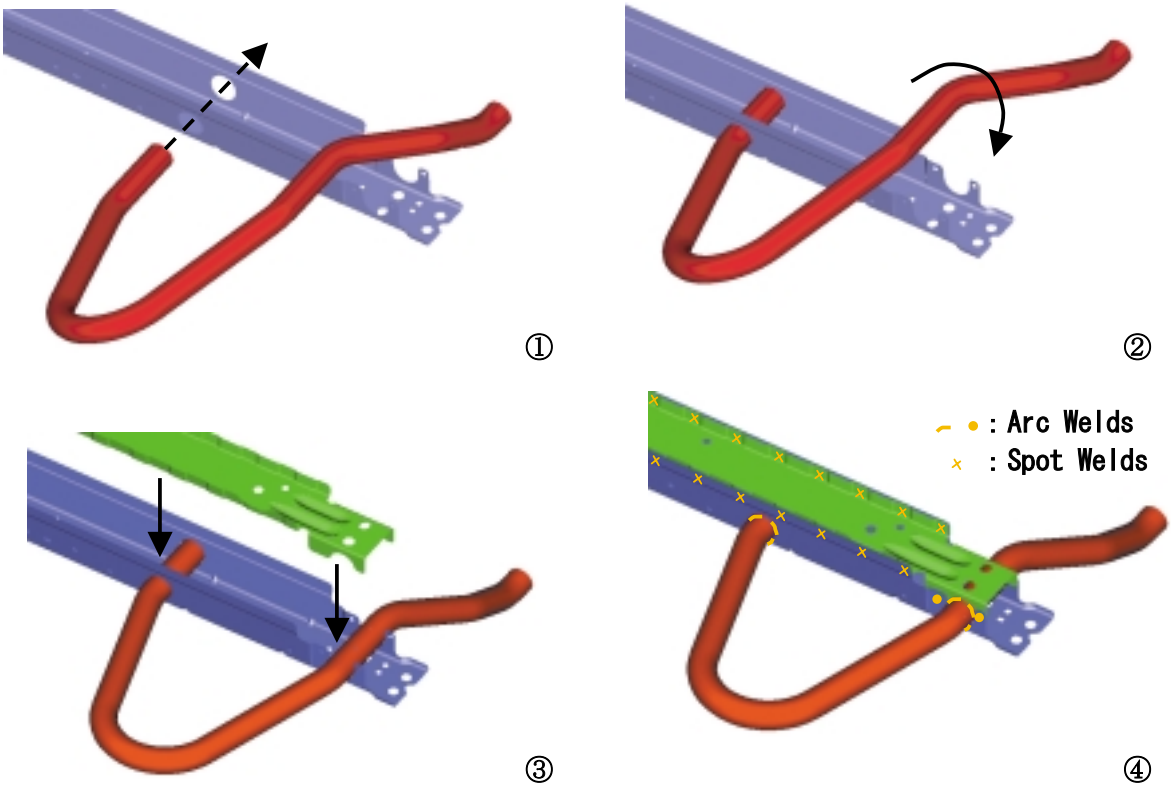


Fig.6　Cross Member Assembly Process

形状を避けて迂回しながら結ぶため，効果的に車室外からの側面衝突荷重を伝達し難いばかりか，リンクブラケットの湾曲部の強度確保が必要となり質量増加につながるレイアウトであった。

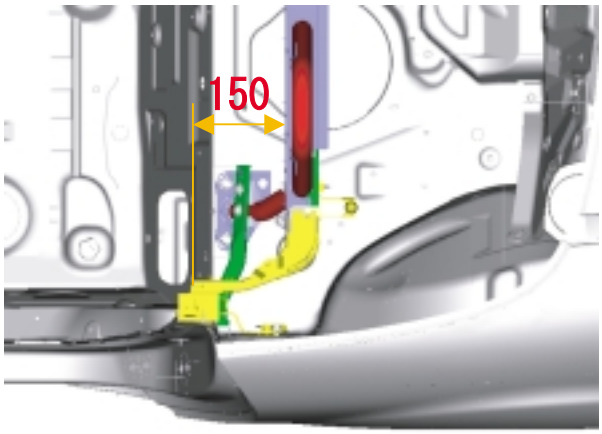


Fig.7　Offset Location of Cross Member Structure

新型ロードスターでは，この非効率による質量増加を回避するため，リンクブラケットの下側にジャンクションを追加した。これは，荷重入力点からパイプを短く直線的に連結し，効果的に荷重をパイプに伝達することを狙っている。更にこの構造は，荷重入力点からクロスメンバ間をリンクブラケットとジャンクションで並列に支持することにより，衝突エネルギを分散して吸収できる構造とした(Fig.8)。

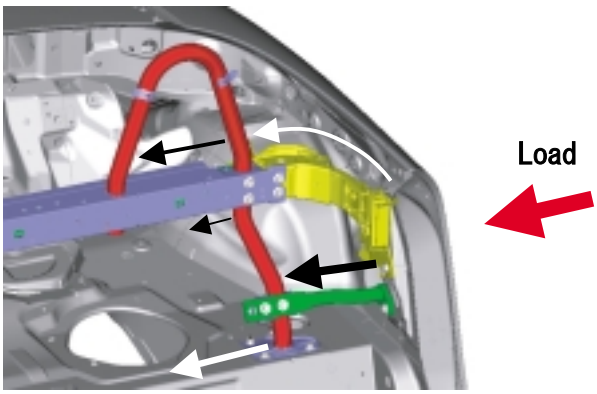


Fig.8　Load Paths at Side Impact Crash

4.3　係合構造の積極的活用

本クロスメンバ構造では，衝突時もしくは組付時に部品間で引っ掛かりが生ずる構造（係合構造）を積極的に採用した。その理由は，衝突時等の大荷重入力においては，構造体が変形し始めた場合に，部品間の引っ掛かりにより結合部の強度を二重で補う（フェイル・セーフ）ものである。更に，組付時においては部品間の引っ掛かりにより，組付ガイドまたは一時預けの役割を持たせることで，生産性の向上も図っている。ここでは，代表的な係合構造を1例ずつ紹介する。

衝突時の安全構造例としては，Fig.9に示す，ジャンクションの取り付けブラケット裏側の溶接ナットを，あらかじめ穴をあけたパイプに埋め込む構造が挙げられる。側面衝突荷重により取り付けブラケットが変形しても，溶接ナットがパイプ穴の端面に引っ掛かることで，荷重を保持し続ける二重安全構造となっている。

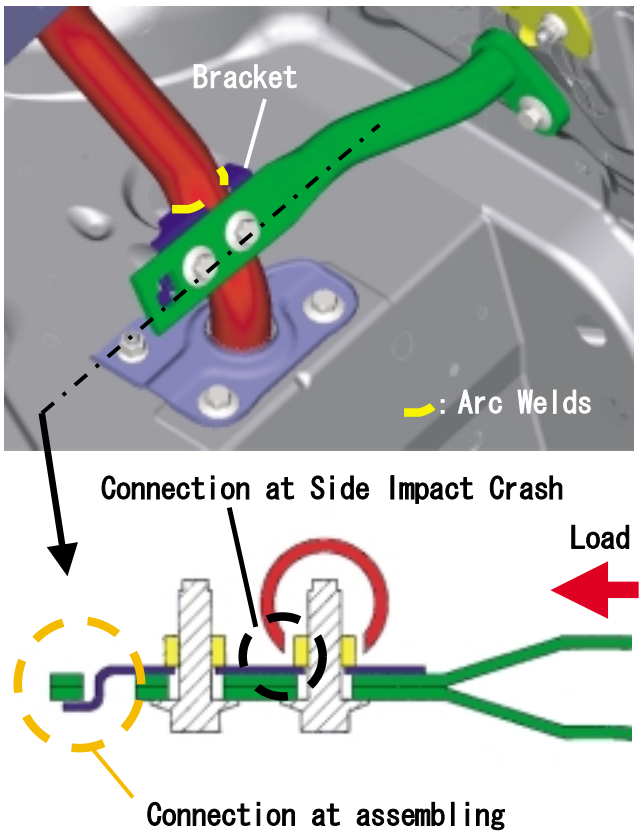


Fig.9　Section of Junction and Cross Member Union

組付性改善構造例は，ジャンクション組付時の締付トルクにより，ジャンクション自体が浮き上がり，接地しない状態で締付けられることを防止するため，取り付けブラケットにフック形状を設け，一方でジャンクションに引っ掛け穴を設けた。ジャンクションを組み付ける際に，それらを係合させた後，車体側部側の取り付け部を締結するとジャンクションが取り付けブラケットの取り付け面とフックの押え面に挟まれることによって，ジャンクションの位置は拘束され，ほぼ接地した状態での締結を可能にした(Fig.9)。

4.4　超ハイテン材の採用

難加工性であるハイテン材を多用できるように，単純な直線形状に部品をレイアウトし実現した結果，クロスメンバ本体に780MPa級超ハイテン材を採用し，板厚を下げることでクロスメンバを軽量化した。

4.5　リンクブラケットの最適化

リンクブラケットで，シートベルトの取り付けと側面衝突バリア侵入防止補強を機能統合し軽量化とレイアウトの最小化を行った。Fig.10にCAE解析による最適化計算の事

例とリンクブラケット周りの構造を示す。590MPa級ハイテン材を基本にシートベルト取り付け部や側面衝突で最大荷重が入る部位に補強板を効果的に設定した。またサイドエアバッグ展開スペースを要しレイアウト的に最も厳しい部位には，590MPa級ハイテン材の薄型角パイプ（18×64）を採用し，展開スペースと側面衝突用耐力の両立を可能にした。

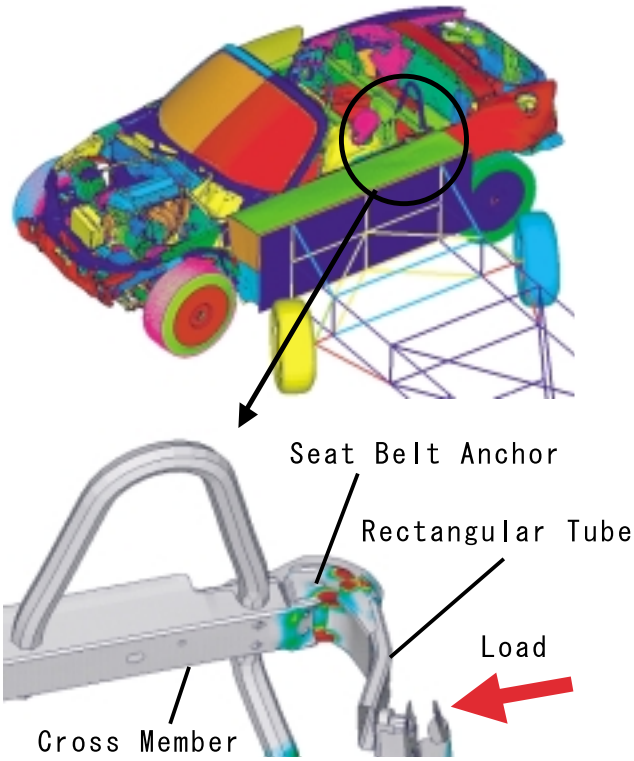


Fig.10　Example of Optimized Calculation

5．目標達成状況

5.1　レイアウト・質量

Fig.1およびFig.2に示したように，ストレッチドBICを達成した。

5.2　部品点数

主な目標値として設定していなかったが，前章で述べた工夫によって部品点数を最少化した結果，Fig.11のようにBICを達成した。

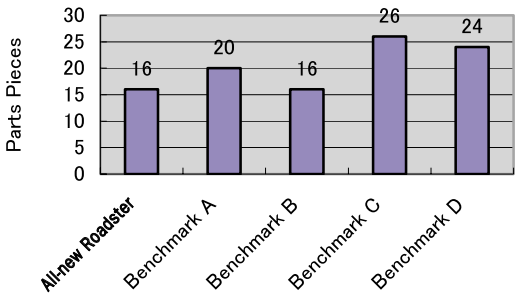


Fig.11　Comparison on Cross Member Parts Pieces

5.3　側面衝突侵入防止

車体側部とクロスメンバ間をリンクブラケットおよびジャンクションの2経路でつないだ結果，側面衝突時には最適な荷重分担が可能になり，側面衝突性能が向上した。

5.4　前面衝突・ベルトアンカー強度

前面衝突時にはリンクブラケット上に設けられたシートベルトアンカー部の変位量を抑制し，またベルトアンカー単体での強度テストでもレギュレーション強度を満足した。

5.5　車体静剛性・動剛性

乗員空間内にクロスメンバ構造で車体の左右を連結したことで，スポーツカーとして要求された車体静剛性および動剛性を確保した。

6．おわりに

近年オープンカー市場も成熟期に達し，商品性を確保するため，更なる居住性および荷室収容性改善が要求される一方で，安全性の向上も求められており，スペース上の制約が大きい場合，商品性と安全性の両立が困難である。しかし本クロスメンバ構造を開発したことで，オープンカーの新たな側面衝突安全構造を提案し，その安全性を実証したことにより，今後のオープンカーの衝突開発の可能性を拡大した。一方で省スペース化を実現したことにより，居住性と荷室収容性を拡大することも可能にした。この省スペース化は，現在増加傾向にある開閉式ハードルーフを備えた車両に対しても，ハードルーフ格納スペースの確保に寄与するため有効であり，今後のオープンカー開発に大きな影響をもたらしたといえる。

■著　者■

木村隆之

田中祐充

胡木　隆

柴原多衛

特集：新型ロードスター

13

新型ロードスター軽量化ボデーストラクチャの開発
Development of Light Weight Body Structure for All-New Roadster

木村隆之*1 池田敏治*2 中髪修一*3
Takayuki Kimura Toshiharu Ikeda Shuichi Nakagami
福田真祝*4 田村学*5 小橋正信*6
Masanori Fukuda Manabu Tamura Masanobu Kobashi

要　約

新型ロードスターはマツダのブランドメッセージである“Zoom-Zoom”を最も具現化したライトウエイトスポーツカーである。マツダでは，スポーツカーとして美しさの実現と，「人馬一体」という基本コンセプト具現化のために足回りを支える強度・剛性の確保や，乗員や歩行者の衝突安全性の更なる向上を念頭に，運動性能向上の基本である軽量化のシナリオを描いた。

まずはボデーストラクチャを開発する柱として，板厚を下げてもスポーツカーとしての剛性が確保できる軽量化構造の創出，そして，薄板化しても衝突時きちんとエネルギを吸収し，高い強度を有する新材料の開発に取り組んだ。

これらと並行して衝突安全の対応構造と車体剛性の向上構造をうまくミックスし，機能統合による軽量化を目指した。その後も運動性能に直結する部分にこだわって軽量化検討を進めた。また，軽量化のみに突き進まず車体剛性値や実際に人間の感じる剛性感を重要視し，性能目標達成を前提とした軽量化を目指した。美しくなければスポーツカーといえない。そこで，デザインからの提案を軽量化技術と技術者の知恵で質量を掛けずに具現化した。

その結果，車体剛性値を従来車比で曲げ剛性で22%，捻り剛性で47%向上させながら，ホワイトボデー質量で13kg軽量化した。また，バンパレインフォースメントなどのサービス性や生産効率化のためボルトアップ化した主要部品を含めたボデーストラクチャ質量でも1.6kgの軽量化を達成した。

Summary

New MX-5 is a lightweight sports car that embodies Mazda's brand message “Zoom-Zoom”. We realized a sporty styling, and, envisioned and attained the scenario for weight saving while maintaining crash safety of occupants and pedestrians and body stiffness for chassis support so as to realize the basic concept of “Jinba Ittai” performance.

Our efforts were focused on creating a lightweight structure that maintains stiffness as a sports car even with thinner sheet metal as well as identifying a material appropriate for absorbing crash energy and hard to brake even with thinner sheet metal.

In parallel with these efforts, we aimed weight saving by functional integration of safety and stiffness enhancing structure with each other. Without interruption, we further advanced the weight saving, focusing on the parts that were directly linked to kinematics performance. While pursuing a lightweight body structure, we also emphasized a body stiffness rate and feeling of rigidity, we aimed at the weight saving on the premise that a performance target was achieved. Unbeautiful sports cars are of little worth. Therefore, we realized styling requirements without additional weight by lightweight technology and engineer's wisdom.

Consequently, as compared to a preceding model, bending and torsional stiffness were improved by 22% and 47% and the weight of a white body was reduced by 13kg respectively. Besides, the weight of a body structure including bumper reinforcement and other main components bolted up for serviceability or productivity was also reduced by 1.6kg.

＊1～6　ボデー開発部
Body Development Dept.

1．はじめに

オープンカーの質量ベンチマーク状況は，安全性要求の高まり，快適装備追加要求やハイパワー化からくる車体剛性向上要求より肥大化傾向にあり，ホワイトボデー単位で260kgから285kgのレベルで推移している。2代目ロードスターは230kgと質量的にはベスト・イン・クラスであり，新型車における更なる軽量化は難課題であった。

安全性についてはレギュレーション等の定量化された基準値があり予測がつくのだが，新型ロードスターのコンセプトである「人馬一体」という感性の領域について，どうすれば車体という物に置き換えられるかをまずは考えてみた。

初期の設計構想より他車のように全ての領域で高剛性を目指す考え方をやめ，ライトウエイトスポーツとして必要な部分を重点的に固め，その他は割り切るといった軽いボデーを開発する構想を立てた。開発構想主要点は，

「人馬一体の躍動」：運動性能の基本である軽量化の完遂。

「人馬一体の感性」：馬の感度を上げ一体を感じさせる。

「人馬一体の繋がり」：人と馬の接点部の剛性に注力。

「人馬一体の絆」：馬の安全性能を上げ安心感を増す。

これにスポーツカーとしての美しさを実現するためにデザインオリエンテッド活動をリンクさせ車体を仕上げた。

本稿では，ボデーストラクチャのキーテクノロジと構造の特徴を紹介する。

2．人馬一体を実現した軽量化基本構造

2.1　軽量化構造の創出

ボデーの軽量化とは，材料強度を上げることで部品の板厚を下げて質量を低減する手法が早道であるが，一般的な車体構造において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。この課題に対して新しく軽量化構造を開発した。

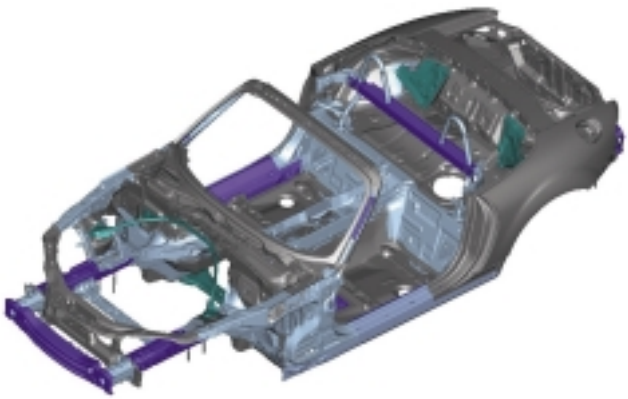


Fig.1　Body Structure

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板化しながらトンネル部にはRX-8より採用したハイマウント・バックボーンフレームを設ける構造とした。

具体的には，Fig.4に示すようにトンネル上面に背骨となる閉断面のフレームを前後方向に設定している。更に，Fig.2の略乗員ヒップポイント高さのボデー断面に示したように，フロントサスペンション固定部のあるフロントフレーム～ハイマウント・バックボーンフレーム～No.3クロスメンバ～リヤサスペンション固定部があるリヤフレームまで，板一枚にならず閉断面で連続させる構造とした。この結果剛性を確保したまま板厚を下げることが可能となり，かつサスペンションと直結した車体の感度向上が図れた。

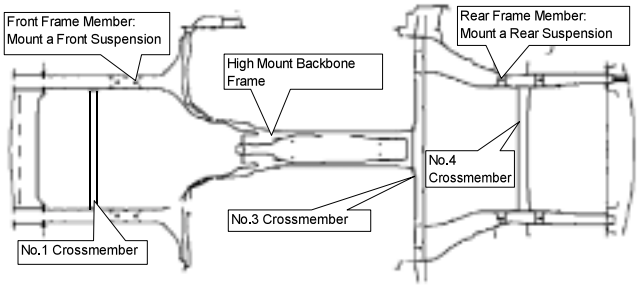


Fig.2　Hip Point Height SECT.

ハイマウント・バックボーンフレームは，Fun To Use.乗員の乗降性を高める技術でもある。新型では通常のオープンカーが採用しているサイドシル部の断面を極大化して剛性を確保する手法を取らず，サイドシル部断面は小型化しトンネル側において剛性を確保する手法を選択した。

フロアパネルを薄板化すると，色々な操舵や路面状況によって，トンネル裾野部の口開きや，微小なパネル変形をおこし剛性感が変わる問題が発生する。新型ロードスターでは裾野の縦方向に2.5メンバを設定し，その下側にアルミ製のアンダクロスメンバを設定した。ハンドルを切り込む時も切り返した場合も同じに感じる車体剛性感を確保した（Fig.3，4）。

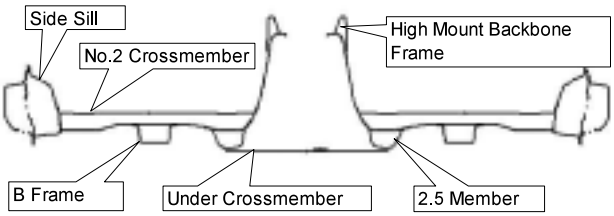


Fig.3　Seat Anchor Point SECT.（Front Side）

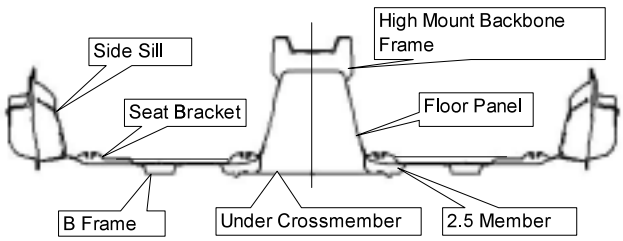


Fig.4　Seat Anchor Point SECT.（Rear Side）

2.2　超ハイテン材使用による軽量化

フロントフレームやサイドシルインナ部といった衝突時

に高耐力が欲しい部位に従来は不可能であった780MPa級超ハイテン材を採用した。同様に，Aピラー部には1,500MPa級超ハイテン材の鋼管を採用し，軽量化を図った。

衝突時のエネルギ吸収性能を高めるために780MPa級材を使用する訳だが，従来Maxサイズだった590MPa級材と性質が異なるため，社内の関連部門を招集してタスクチームを組み量産化の目処を立てた。

どのような断面がエネルギを吸収するか，どれ位の溶接ピッチを取れば衝突させた時に安定して潰れるか，どの成分を使った780MPa級材が一番の性能が出せるのかまたは加工できるのか，等々検討を深めた。また，先行的に部品を試作し，圧縮テストを実施し検証をより確かなものに仕上げた。

加工性の問題も存在した。この超ハイテン材は普通材の約2.8倍の引っ張り強度を有するのだが，いざ加工しようと型具で成形させてもバネのように元に戻ろうとする難加工材である。そこでより加工が容易で折り曲げ加工が可能になるように部品を真っ直ぐにレイアウトした（Fig.5において直線で形成された部品である）。

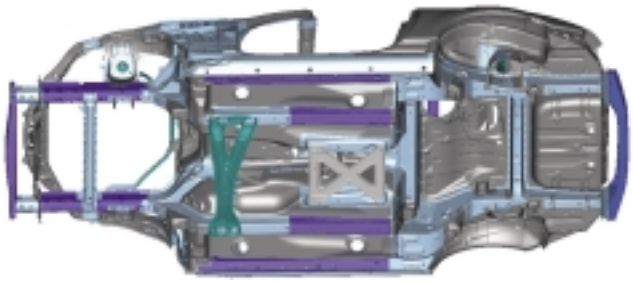


Fig.5　Body Structure（Bottom View）

Fig.1，5に示す濃い青が780MPa級以上の超ハイテン材使用部位である。全体部品質量の12%使用した。薄い青が390～590MPa級のハイテン材である。全体部品質量の46%使用した。合計したハイテン化比率は58%に達した。

3．軽量衝突安全ボデー

衝突安全の対応構造と車体剛性の向上構造を兼用することで軽量化を図った。

3.1　前面衝突安全

前面衝突安全性の高いボデー構造とは，衝突時バンパからエンジンルームの範囲で，前方からの衝撃エネルギを効果的に吸収し，更に客室部への入力を車体全体に分散させることで，客室部分の変形を抑える構造である。

新型ロードスターではFig.6に示すように，前述した780MPa級超ハイテン材製の六角形断面フロントフレームにてエネルギ吸収量を向上させるとともに，これを支える際の大荷重を客室前の三叉構造部でサイドシル，Bフレーム，バックボーンフレームに分散し，客室の変形を抑える構造とした。これはフロントサスペンションを固定しているフロントフレームの剛性アップに直結する構造ともいえる。

更にエネルギ吸収量を増やすために衝突バリヤからフロントタイヤを介してサイドシル部に入力するロードパスを確保した。このために，サイドシル部とカウルサイド部のガセットやレインフォースメントとの結合を強化し，フロントタイヤの客室侵入を抑制する構造をとった。この結合強化により，フロントドアやインパネを支えているヒンジピラーとサイドシルが高剛性に結合される構造となった。

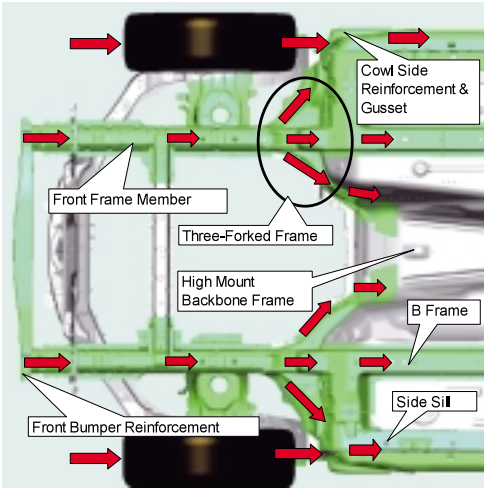


Fig.6　Energy Dispersion Body Structure

また，オープンカーはルーフが設定されていないため，前面衝突時にリヤボデーが前進しサイドシルがバナナ状に変形する現象が見られる。新型ロードスターでは前述したバックボーンフレーム後端とNo.3クロスメンバの結合強化と，Bピラー下のサイドシル後端部とリヤフレーム前端接合部の結合強化により対応した。この構造により最弱部のない車体剛性値の連続を図った。

3.2　側面衝突安全

ライトウエイトスポーツにとって車幅増加は，質量増加と車両のとりまわし悪化に繋がる。これを最小にするためには，側面衝突時，車体内側面と乗員間の非常に限られた空間で，衝撃エネルギをいかに効率良く分散し吸収するロードパスを増やすことが重要である。客室変形を抑えながら，乗員に加わる衝撃を低減するエネルギ吸収構造を開発した。

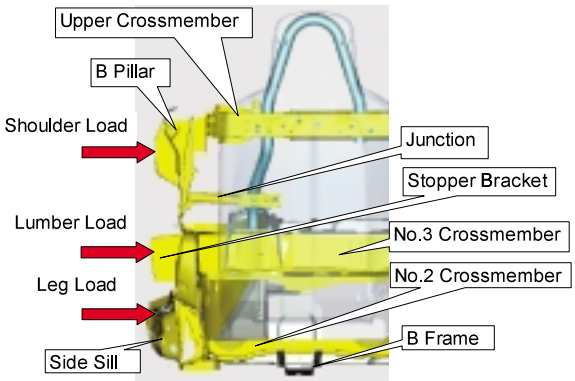


Fig.7　Seat Back Bar SECT.

新型ロードスターではFig.7に示すように，シートの真

後ろに設定されたシートバック・バーに内蔵された780MPa級超ハイテン材のアッパークロスメンバ，440MPa級ハイテン材のジャンクション，No.3クロスメンバと連続した590MPa級ハイテン材のストッパーブラケット，780MPa級超ハイテン材のサイドシルによって乗員への肩入力，腰入力，脚部入力を受け止め，エネルギの吸収とバリヤ侵入の抑制を図った。衝突初期時の変形を抑えたことにより，サイドエアバックの展開スペースを確保した。

3.3　後面衝突安全

新型ロードスターでは車両の重心高を下げるため，フューエルタンクの位置を120mm下方，かつ110mm前方に移設し床下格納した。その結果，後面衝突時，乗員の生存空間をいかに維持し，また，フューエルタンクの保護性能をいかに高めるかが重要となった。

Fig.8に示すように，まずは衝突荷重をエネルギ吸収量が多い1,500MPa級超ハイテン材のリヤバンパレインフォースメントと590MPa級ハイテン材のリヤフレーム後半の圧縮により吸収する（Fig.8　Absorbing Area）。

フューエルタンク部はリヤフレームを下方に拡大させ，サスペンションクロスメンバとの組み合わせ構造にて荷重分散させて変形しにくくさせた。この構造によりFR車で肝になるリヤサスペンション周りのボデー剛性も向上し，リヤがしっかりしたFR車の味を引き出している。

その前方に位置する乗員スペースは，780MPa級超ハイテン材のサイドシルとBフレーム，そして前述したバックボーンフレームにより変形を抑制する構造を実現した。

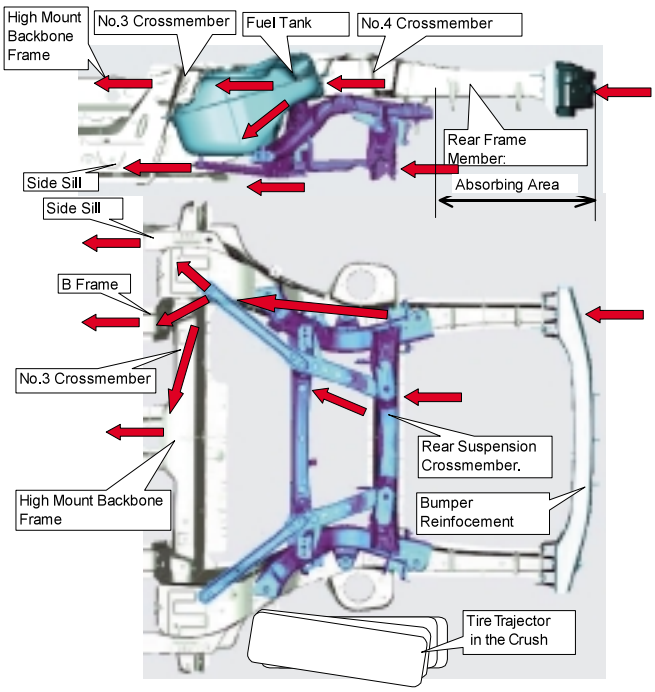


Fig.8　Body Structure for Rear Impact

後面衝突においてもリヤタイヤが前進しリヤフェンダパネルをドア後端に押し付け，覆い被さってドアが開かなくなる危険がある。新型ロードスターではRX-8と同様に衝突変形時リヤタイヤの車両内側部を積極的に先当てする構造を採用しタイヤをハの字変形させて（Fig.8下側図）リヤフェンダパネルの変形抑制を図る構造とした。

3.4　窓枠強度の確保

新型ロードスターではスポーツカーとして最適なコーナクリッピングポイントの視認性を上げるために，Aピラーの角度を立て乗員側に近づけた。ボデーの開発としてはフロントドアが取り付いているヒンジピラーに対して上側のAピラーが後にずれて取り付くため，オフセット入力が増えて窓枠部の強度が取りずらくなるレイアウトであった。

この対応のため，Aピラー内部に1,500MPa級の超ハイテンパイプ（Fig.9赤色着色部）を設定し，ピラーの内側パネルは590MPa級ハイテン材と440MPa級ハイテン材を使用し，お互いを効果的にラップ（Fig.9黄色着色部）させながら強化を行った。

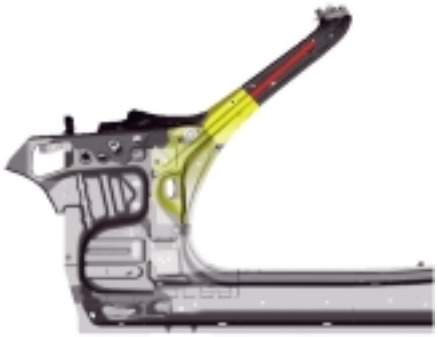


Fig.9　A Pillar Reinforcement

3.5　ストラットタワーバーと安全性能の両立

ボンネットを低く見せたいスポーツカーにおいて，ボンネットとエンジンルーム内の部品との隙はぎりぎりまで詰めたい。しかしながら，事故時における歩行者頭部が，エネルギ吸収しながら侵入するスペースは必要である。

新型ロードスターでは国内向けのRS(Real Sports)車と輸出のランフラットタイヤ装着車に,カウル結合タイプのストラットタワーバーを設定した。衝突時,タワーバー設定車においても，歩行者頭部がエネルギ吸収するスペースを増やした。

また，このバーは，前面衝突時などの大荷重が入力した場合に，への字に折れ曲がるように設計し，フロント・ウインドウ・ガラス面へ侵入しにくい構造とした。

路面入力が大きなタイヤ装着時において，このバーの設定によりロール剛性を向上させ10Hz～20Hzの周波数帯の振動を抑えた。この結果，剛性感のあるブルブル感の少ない乗り心地を実現した。

ストラットタワーバーが取り付くカウル部は，ストラットタワーバーのマウントとガラスマウントを隔離して，室内空間への振動侵入防止を考慮した。更にフロント・ウインドウ・ガラス接着面部は閉断面化し，剛性を上げることでウインドウ面の振動を大幅低下させた。閉断面化により鉄板の板厚は下げて2代目に比べ1.2kg軽量化した。

4．ハンドリングに直結する軽量化へのこだわり

スポーツカーのハンドリングを支えるこだわりの一つに低ヨー慣性化がある。ボデー領域においてもホイールベース外側のオーバハング部の軽量化にこだわった。

フロントホイールエプロン部では，初代および2代目では鉄板面と樹脂部品で泥侵入防止の機能を持っていた構造を，鉄板を廃止して樹脂部品だけで機能をもたせることで軽量化した。

シュラウドパネル部についても，ボデー側のシュラウドパネルと，樹脂バンパの上面剛性を出すための鉄板製リテーナーパネルの機能を統合し軽量化した。また，ヘッドランプ固定位置を最適化して，シュラウドパネルに設定していた固定用の鉄板部を廃止した。

初代および2代目では，リヤタイヤ後のトランク横スペースに液漏れ防止型バッテリを設定していたが，新型ロードスターでは，エンジンルームに標準バッテリを設定し，ヨー慣性モーメントの低減とユーザ交換費用の低減を図った。

リヤの牽引フックはリヤフレーム下面から下側に伸ばす構造を見直しし，1,500MPa級超ハイテン材のリヤバンパレインフォースメントに内蔵する構造とした。ねじ込み式の牽引ボルト込みで0.85kg軽量化した。

リヤ・オーバハング部のリヤ・エンドパネルについては，プラットフォームを強化した結果，板厚をクローズドボデー車並まで下げた。普通では見過ごす内容だが，軽量化のこだわりと一品一品，部品仕様を吟味し刈り取った。

5．あくなき剛性感の探求

5.1　車体剛性値

軽量化すれば車は良くなるがそれが全てではない。その変位によって乗員が車体剛性を感じる車体部については，走行時の変位量についてミクロ単位の目標を設定しCAEを駆使し，構造，板厚の最適化を繰り返した。そして最終的に実車にて確認していった。

今回のCAEによる最適化計算は衝突，NVH，信頼性をあわせて約1,000回の計算投入回数を数えた。Fig.10にCAEによる最適化例を示す。バックボーンフレーム，サイドシル部が赤く変色し構造体として機能していることが良く分かる。

車体全体における剛性値に関しては2代目と比較して曲げ剛性で22%，ねじり剛性では47%という大幅な向上を示している。Fig.11，12に競合車比較値を示す。

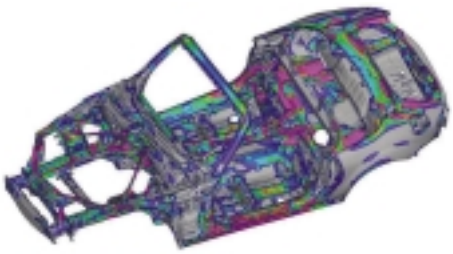


Fig.10　Strain Distribution Chart

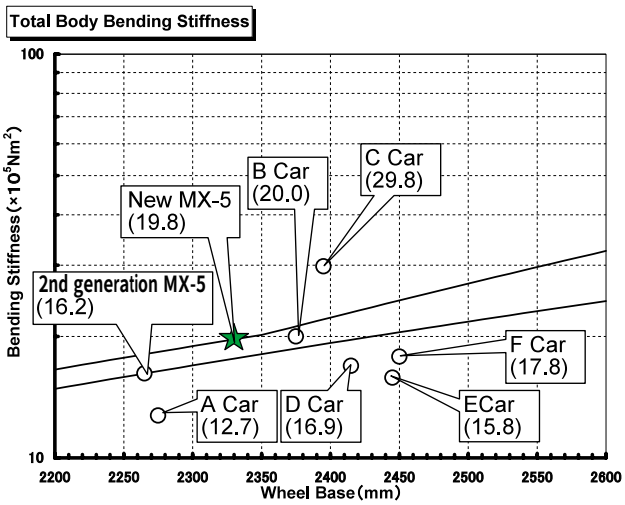


Fig.11　Total Body Bending Stiffness
（※他社数値はマツダ実測値による）

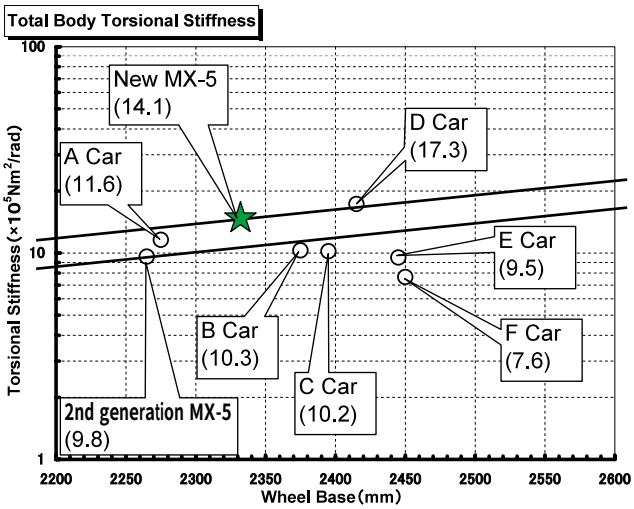


Fig.12　Total Body Torsional Stiffness
（※他社数値はマツダ実測値による）

5.2　人馬の繋がり

前章までに，ほとんどの部位において閉断面を大きくとってパネルを薄板化した説明を行ってきた。これでは軽くはなるが人間が感じる車体剛性感の向上は十分ではない。

そこで人が感じやすい部位に注目した。普段，運転時に人と車が接している‘ハンドルとシート’を重点的に剛性アップし，人が高剛性を感じやすくした。

新型ロードスターのハンドルはインパネフレームに固定されている。このインパネフレームを前述した剛性の高いAピラーのレインフォースメントと直接ボルトアップして（Fig.13）支持剛性の向上を図った。

シート取り付け部は，前側がNo.2クロスメンバに，後側が左右一体のシート取り付けブラケットに固定されている。しかしその下側を覗くと，前述したBフレームと2.5メンバにより前後方向に固められ，かつアンダークロスメンバで左右シートがトンネル下面で横方向に結合されている（Fig.3，4）。車体全体の動きとシート固定部の動きが連動し，一体感を感じやすい構造とした。

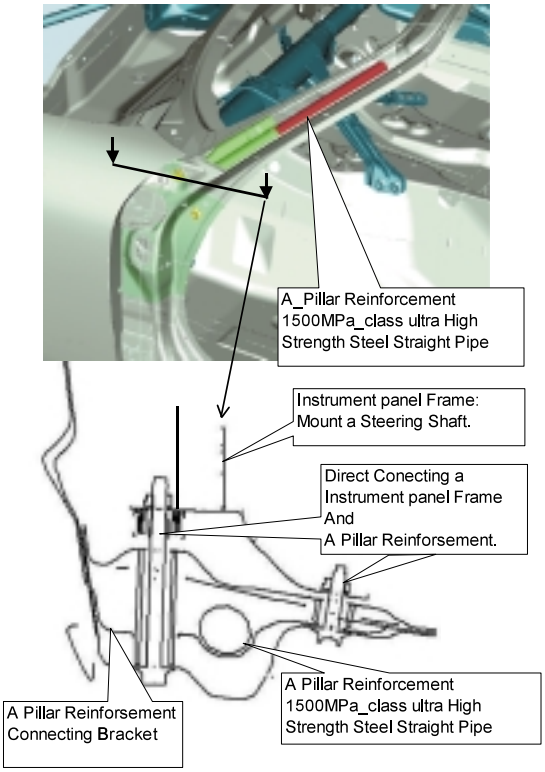


Fig.13　Steering Mounting SECT.

6．デザインオリエンテッドと軽量化の両立

新型においてもデザインは，どこから見てもロードスターと分かるプロポーションと，スポーツカーとしての美しさを表現する必要があった。開発チームは，デザイナから要求される形状を実現するためのフィズ活動や，デザイン条件を極力少なくするために努力した。リヤフェンダ面については5回もの修正が入るデザイナのこだわりに対応し三次元図面データを育成した。

6.1　フロント・オーバハングの短縮

デザインコンセプト実現のため，四隅いっぱいまでタイヤが張り出すように前後のオーバハングを切り詰め，フロント部では更に平面から見た前端部のキャンバを絞り込むデザイン提案を受けた。ボデー構造としては，衝突エネルギを吸収するフロントフレームの長さが短くなる厳しい要求であったが，軽量化技術と技術者の知恵で，高い耐衝突安全性を実現することができた。

一般にはフレームや他部品の板厚アップや補強で約7kg増加するこの課題を，車体生産基準面に対しボデー下面を一律6mm下げて断面を拡大させる（生産現場では6mmキャビンが上に持ち上がる）対応を生産部門と一体になり実施した。更に780MPa級超ハイテン材の活用で最終的に±0kgに抑え，オーバハングは2代目より約30mm短縮した。

6.2　窓枠一体構造

2代目ではAピラーアウタパネルとフロントヘッダパネルをミグ溶接によって結合していたウインドシールド窓枠を，新型では一体プレス成形した(Fig.14の青色部)。

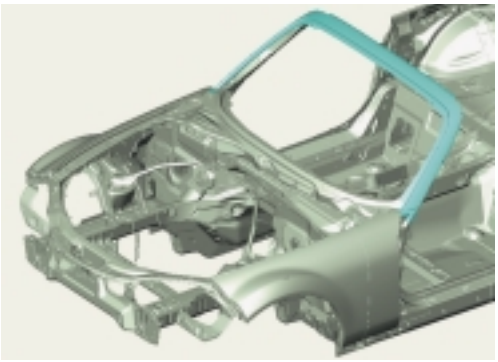


Fig.14　Windscreen Frame

この結果，従来技術では内板面に仕上げ用の作業穴が強度的に空く位置で，パネル接合部は平面が必要，といったデザイン表現の制約を撤廃し，デザインコンセプトからくるサーフェースの流れを自由に表現可能とした。また，溶接熱による鉄板面のメッキ劣化をなくして防錆力を向上させた。

7．おわりに

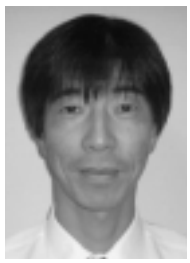
以上新型ロードスターのボデーストラクチャについて，キーテクノロジ構造と特徴を説明した。

成果として2代目よりホワイトボデー質量で13kg軽量化し217kgを達成した。バンパレインフォースメントやシートバック・バーなどのサービス性や生産効率化のためボルトアップ化した主要部品を含めたボデーストラクチャ単位（Fig.1，5に示す単位）の質量においても1.6kg軽量化し247.5kgを達成した。

現時点はオープンカーのベストな構造を具体化したと自負しているが，今後もベンチマークを続け更なる軽量化と性能向上に努め世界からベンチマークされる車体開発を目指す所存である。

■著　者■

木村隆之


池田敏治

中髪修一

福田真祝

田村　学

小橋正信

特集：新型ロードスター

14 新型ロードスター車体開発におけるCAE適用技術の紹介
CAE Application Technology in All-New Roadster Body Structure

田中祐充*1 胡木隆*2 砂田実*3
Masamitsu Tanaka Takashi Ebisugi Minoru Sunada
吉井群治*4 松岡秀典*5
Gunji Yoshii Hidenori Matsuoka

要約

新型ロードスターは安全性能・高剛性ボデー・乗り心地の主要性能の進化を実現しながら，伝統である軽量化・優れたパッケージングを継承することを開発目標に掲げた。本報では主要性能の進化と軽量化を両立するための構造上のキーポイントとして，①前面衝突向上における8角形断面フロントサイドメンバへの高張力鋼板の採用。側面衝突性能向上のための軽量クロスメンバ構造の採用，②際立った操縦安定性を実現するためのバックボーンフレーム・フロアメンバ構造採用，③オープンボデーでありながら上質なNVH性能を実現するためのパワープラントフレーム構造の開発，等について紹介するとともに，開発の各段階で適用した最新のCAE技術について紹介する。

Summary

New MX-5 was targeted to inheriting its traditional weight reduction and excellent package while realizing the development of primary performances：safety, highly rigid body, and riding comfort. This paper covers three structural key points for the compatibility between weight reduction and the development of primary performances：①Adoption of high tensile steel panel for an octagonal section frame in improvement of frontal impact protection. Nurturing lightweight structure of cross-member, aiming at improving side impact performance. ②Adoption of backbone frame and floor member structures for realization of outstanding driving stability. ③Development of a power plant frame structure to realize superior NVH performance in spite of its open body structure. The latest CAE technologies applied to each development phase are also introduced in this paper.

1．はじめに

新型ロードスターの商品コンセプトは『人馬一体』『Lots of Fun』の継承と進化である。このため，開発領域においては，主要性能における進化を実現しながら，ロードスターの伝統である軽量化・優れたパッケージングを継承することを目標に掲げた。主要性能の進化とは，①安心してドライビングを楽しむための世界最高水準の安全性能を実現する，②人馬一体感の進化を行うための高剛性ボデーの開発，③オープンカーでありながら上質さを体感できるNVH性能の実現である。この中で，軽量化を行いながら主要性能の進化を実現するためには，最新のCAE技術を開発の各段階で適用し，性能向上・軽量化の両面から育成を行うことが不可欠であると考えた。

本報では主要性能の進化と軽量化を両立するための構造上のキーポイントと，開発に適用したCAE技術について紹介する。

2．衝突安全

2.1　全方位衝撃吸収ボデー

新型ロードスターではオープンカーにおける全方位衝撃吸収ボデーを実現するために前席乗員の後方にクロスメンバを配置した。クロスメンバは2代目モデルからの追加部品であるため，競合車の最軽量10kgに対し，更にストレッチした8kgを開発目標とした。構想段階からCAE検討を行った結果，クロスメンバをBピラー左右方向につなぐク

＊1～4　CAE部
CAE Dept.
＊5　ボデー開発部
Body Development Dept.

ロスバーとU字型パイプの基本構成とし，それぞれ780MPa級ハイテンと高張力鋼管を採用することで7.76kgと質量目標を達成した[1]。また，クロスメンバの質量アップ分をBピラーレインフォースメントやバルクヘッドなどの軽量化で補うことにより，質量アップを行わずに全方位衝撃吸収ボデーを実現した。また，サイドドア上方に配置したインパクトバーを側面衝突のみでなく，前面および後面衝突時の車体変形にも効果を発揮する構造とすることで，アッパーボデーの軽量化を実現している（Fig.1）。

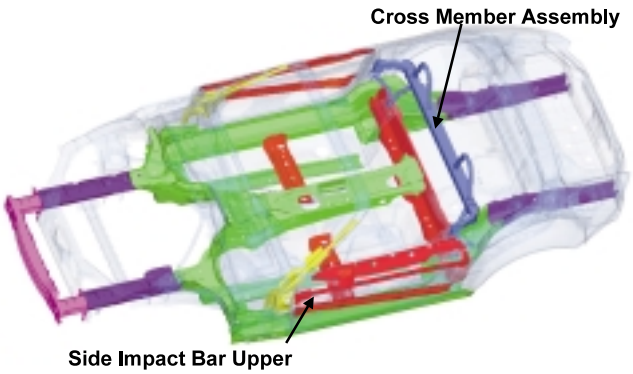


Fig.1　Geometric Motion Absorption Body for New MX-5

2.2　前面衝突安全

新型ロードスターでは，ライトウエイトスポーツとしてのコンパクト感を表現するためにキャンバを絞り込むデザインを採用した。それに伴い，前面衝突時のエネルギの多くを吸収するフロントサイドメンバは，短い変形量で効率よくエネルギ吸収することが要求された。更に，車体の軽量化と軽衝突時のリペア性能の実現も不可欠な課題であり，フロントサイドメンバの潰れ荷重を高めながら軽量化を図る必要があった。この課題を解決するためフロントサイドメンバはRX-8で採用した8角形断面を基本構造とし，かつ材質を変更し590MPa級から780MPa級超ハイテン材を採用した。

このとき，超ハイテン材は，難加工材であるために，その形状決定には生産性を配慮する必要がある。そこで，構想段階から生産実現性を踏まえたCAE検討を実施した。結果，フレーム断面やビード位置・形状の改善とスポット溶接点の増加により，安定した潰れモードと高いエネルギ吸収効率の両立ができる構造を見出すことができた（Fig.2）。

これにより，780MPa級ハイテン材の採用が可能となりフロントサイドメンバの質量を2代目モデルから増加させずにエネルギ吸収性能を達成することができた。

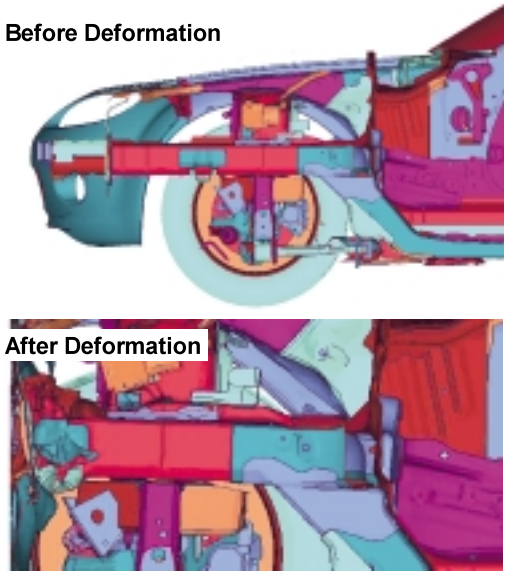


Fig.2　Front Side Member Deformation

また，フロントサイドメンバからの荷重入力を支えるダッシュ廻りの基本構造は，衝突時の入力をBフレーム，バックボーンフレームおよびサイドシルに効率よく分散させるために，RX-8と同様の三つ又フォーク形状を採用した（Fig.3）。オープンカーでは通常のクローズドボデーと異なり，衝突時の入力の大部分をアンダーボデーで受け持つことが重要になる。そのため衝突時の入力を 三つ又フレームからアンダーボデーへ効率的に荷重伝達するように，結合部材の最適化やレインフォースメントの適正化を行い，各部の軽量化を実現した（Fig.4）。またキャビン変形を抑制するため，ドアを構造部材として荷重伝達させることで，ヒンジピラー入力によるキャビン変形の増加を抑制した（Fig.5）。

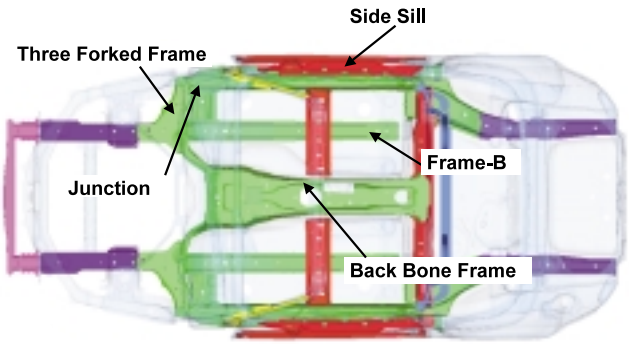


Fig.3　Key Structure for Frontal Impact

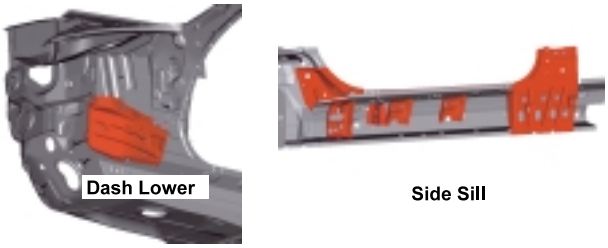


Fig.4　Structure Optimization

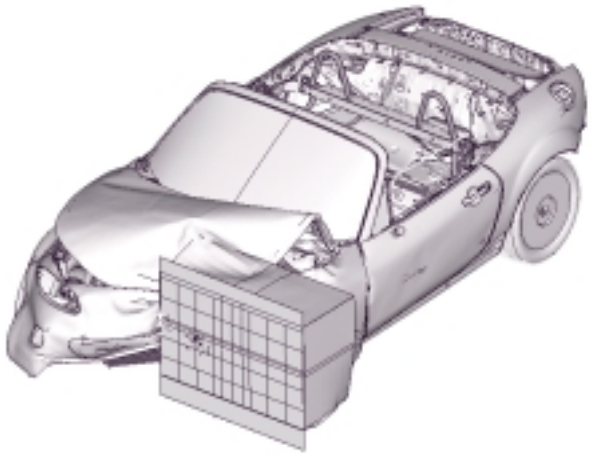


Fig.5　Frontal Impact Analysis Model

2.3　側面衝突

ロードスターのような車高の低い車ではハニカムバリアと乗員の上下方向のラップ量が増加するため，乗員位置での車体およびドアの侵入量低減，ドアトリムでの衝撃吸収特性の向上による対応を行った。まず，車体およびドアの侵入量低減と軽量化を両立させるため，サイドドアに上下2本のインパクトバーを配し，衝突時の荷重をBピラー左右方向につなぐクロスバーとフロアクロスメンバに伝達させるレイアウトとした（Fig.6）。

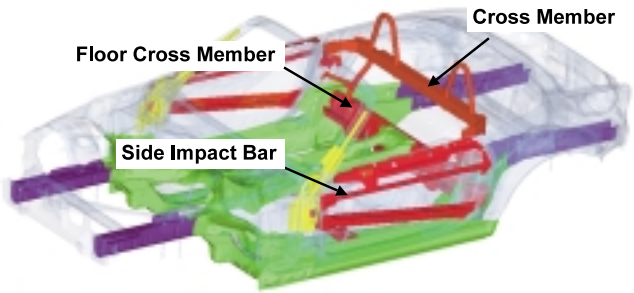


Fig.6　Key Structure for Side Impact

車体系の軽量構造実現を行うためのCAE検討の一例として，クロスメンバとBピラーの結合部を構成するリンクブラケットの検討事例を紹介する。リンクブラケットの側面衝突時の機能はBピラーからの左右方向入力を後方に位置するクロスメンバに伝達させることである。このときシート最後端位置とソフトトップ位置をかわし，前後方向のオフセットを大きく取った形状とする必要があり，左右方向の伝達荷重目標との両立が課題であった。初期の図面形状をCAE評価した結果，部材の折れ部に応力集中をおこしており，また加工性からハイテンの使用ができないため，このままでは対策質量が増加することがわかった。この課題を解決するため，設計・加工メーカと協力して構造案出しを行い，CAE検討を繰り返した。結果，応力集中部に590MPa級のパイプを角型に成型したものを用いることで伝達荷重目標が達成でき，リンクブラケットを4ピース構造とすることでハイテンの加工が可能となる構造を見出した。これにより，初期の図面形状に対し，質量増加なしで性能向上を行うことができた（Fig.7）。

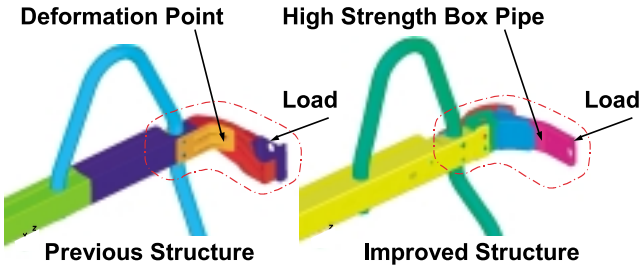


Fig.7　Link Bracket Optimization

次にドアトリムの衝撃吸収特性の育成事例について紹介する。ドアトリムは衝突時にドアと乗員の間で衝撃吸収を行う役割をもつ。このときトリムが硬すぎると乗員の傷害が大きくなり，柔らかすぎるとトリムでのエネルギ吸収ができない。したがって，側面衝突開発では，図面段階で狙いの荷重特性を満足するための構造化を行うCAE技術が重要となる。そのため，まず，ドアトリム材料と衝撃吸収パッドの応力－歪特性を使ってFEMモデル化を行い，荷重特性を予測する基盤技術を確立した。Fig.8は乗員胸部の打撃位置における衝撃吸収特性のCAE結果とテスト結果の比較である。この技術を用いることにより，図面段階で衝撃吸収目標を達成する構造が得られ，テスト結果に対し±10%の予測精度を実現することができた。同様に，腰位置における衝撃吸収パットの配置や，アームレストの衝撃吸収構造などにもこの手法を用い，図面段階で内装構造の育成を行った。

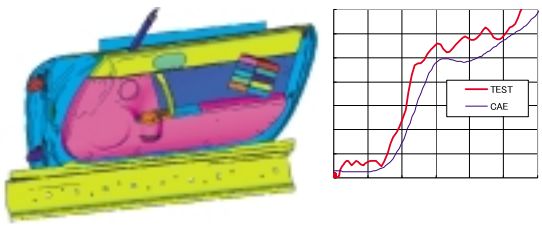


Fig.8　Interior Trim Optimization for Side Impact

車両各部の構造育成を行ったうえで，乗員傷害値の性能検証を車両レベルで実施するため，Fig.9に示す車両・内装・FEMダミーによるシステム解析を適用した。これにより図面段階で側突現象のメカニズムを分析し，車両各部における構造の更なる育成を行うことで，開発の各段階における図面品質向上による開発の効率化を行った。

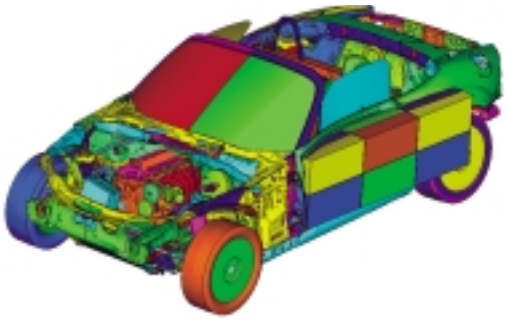


Fig.9　Side Impact Analysis System Model

2.4　後面衝突

後面衝突では，マツダが独自に定めた80km/hオフセット後突時の燃料漏れ防止に対応するため，様々な対策を織り込んだ。リヤサイドフレームについては後突時のエネルギ吸収を向上させるため，590MPa級ハイテンを採用し，軸方向の変形を発生させるよう形状のストレート化を行った。また，衝突時のタンクエリアの変形を抑制するためキックアップとサイドシル結合構造の強化，大型断面化，および590MPa級ハイテンの採用を行った（Fig.10）。解析結果をFig.11 に示す。

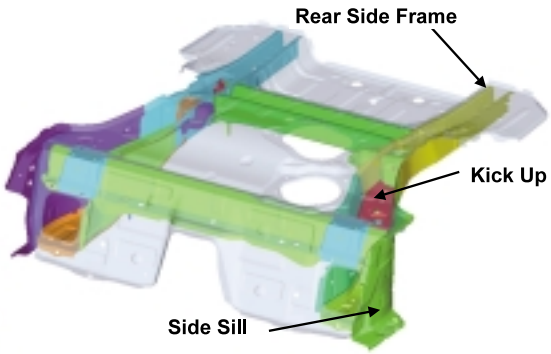


Fig.10　Key Structure for Rear Impact

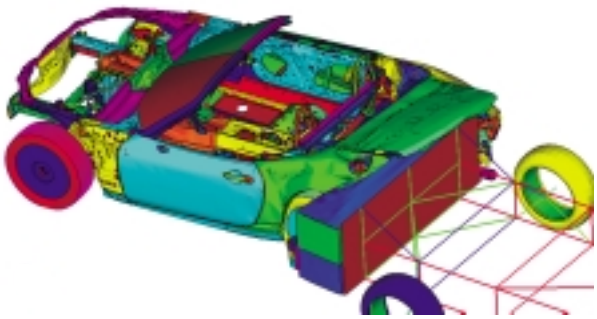


Fig.11　Rear Impact Analysis Model

2.5　歩行者保護安全

スポーツカーは，ボンネットを低く見せたいというデザイン要望があるが，エンジンルーム内の部品との隙が少なくなり歩行者保護安全において頭部のエネルギを吸収するスペースが確保し難くなる。そこで，衝撃をボンネット全体で効率よく吸収する構造としてRX-8でも採用したショックコーンアルミボンネットを採用した（Fig.12）。CAEでは，新型のデザインにあわせてボンネットインナやアウタおよびヒンジやストライカーレインフォースメントの形状・板厚・材質などの最適化を図り，歩行者保護性能は元よりボンネット剛性など各種性能要件を満たしながら，最終的にはボンネット質量を2代目モデルと同等まで抑えることを実現した。

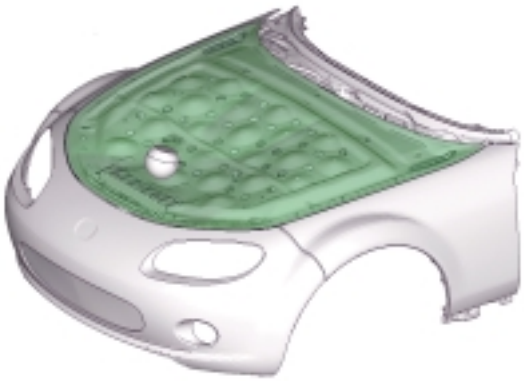


Fig.12　Shock Cone Aluminum Bonnet

3．車体剛性，NVH

3.1　車体剛性

ロードスターの特徴である，際立った操縦安定性を実現するためには，サスペンションの性能はもとより，サスペンションから入力される力をしっかり受け止める高剛性の車体を開発する必要がある。しかし，一般的に剛性の向上には車体補強による質量の増加を伴うため，補強質量の抑制は大きな課題となる。そこで，まず，RX-8で採用しているバックボーンフレーム構造（Fig.13）を採用し，曲げ，捩りという車体の全体的な剛性のポテンシャルアップを図った。

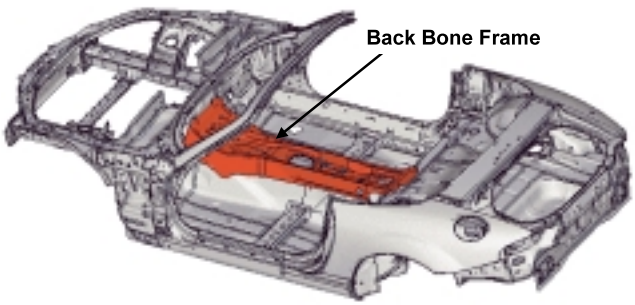


Fig.13　Back Bone Frame Structure

CAEでは，車体の曲げ，捩り剛性に加えて，車体のしっかり感と関係が深い局部剛性の向上に注力した。局部剛性に関しては，Fig.14に示す車体各部の対角変位を指標として採用し，その低減と軽量化を検討した。ここで，対角変位は4輪多軸加振機を用いて実走状態を模擬した時の変位であり，CAEでも同条件となるよう計算条件を工夫した。

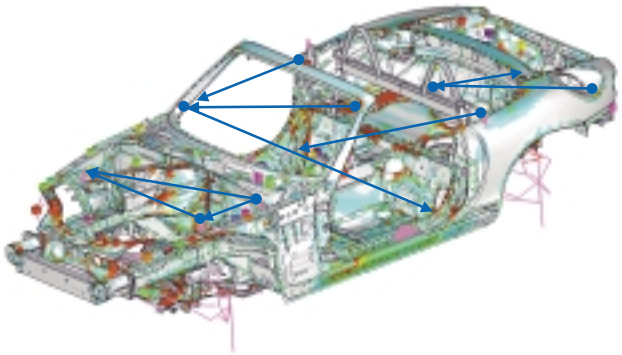


Fig.14　Body Diagonal Displacement Evaluation Point

更に，オープンボデーで特有の，フロントボデーとリヤボデーの剛性の不連続性にも注目し改善を図った。Fig.15は車体を捩ったときのアンダーボデーのフレーム類の振り角を表した線図であるが，更にこの線図の傾きを見ることにより剛性の不連続な箇所を特定した。

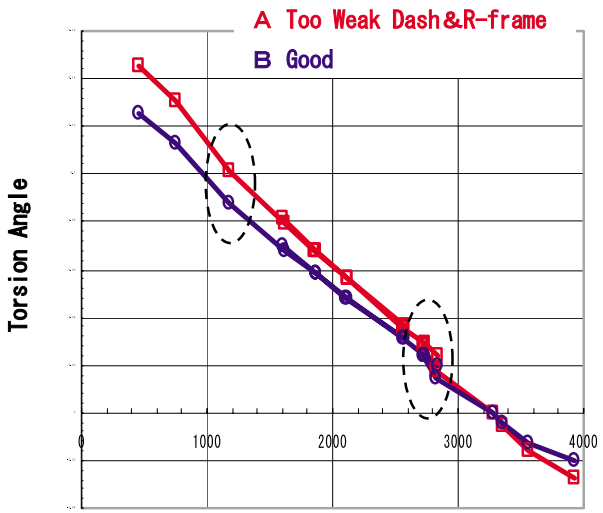


Fig.15　Body Torsion Characteristic

以上の検討を行うことで，トンネル部下のアタッチメントや，フロントバンパレインフォースメントといった局部剛性を効率的に向上させる対策を織り込み，車体の軽量化に貢献することができた（Fig.16）。

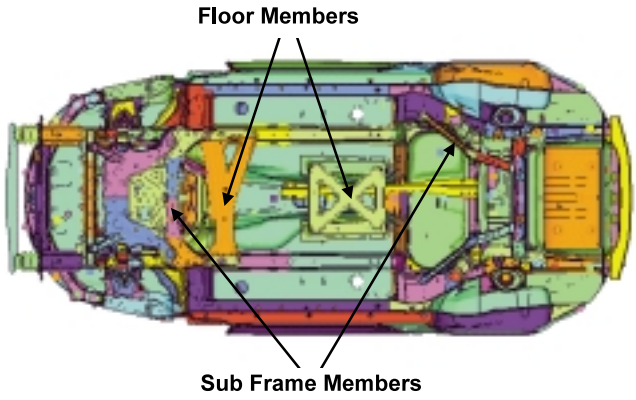


Fig.16　Body Attachment Structure for Rigidity

3.2　アイドル振動

オープンボデーの低周波NVH開発で問題となる現象として，車体の振り共振に伴うアイドル振動，シェークなどがある。アイドル振動開発では，関係する車体，ステアリング，エンジン，パワープラントフレーム（以下PPF）といったユニットの共振周波数をアイドル域から遠ざけることで安定した性能を確保することとした。

車体の振り共振周波数の目標は，エンジン剛体共振周波数とアイドル回転の下限の周波数との間にもってくることとしたが，これには振り共振周波数をこれまで以上に高精度で予測することが要求された。オープンボデーは，クローズドボデーにおけるルーフでの荷重分担が期待できないため，クローズドボデーに比べサイドドアの影響が大きく出る。このため，サイドドアの挙動を正確に模擬する必要があり，サイドドア有無での加振テストなどを繰り返してCAEの結果と比較することでモデルの精度を向上させた。このモデルを用いて車体の振り共振周波数をコントロールする検討を実施したが，前述の車体剛性向上に伴い振り共振周波数がアイドル域に入る懸念が出てきたため，アイドル域下限を狙って補強を検討した。

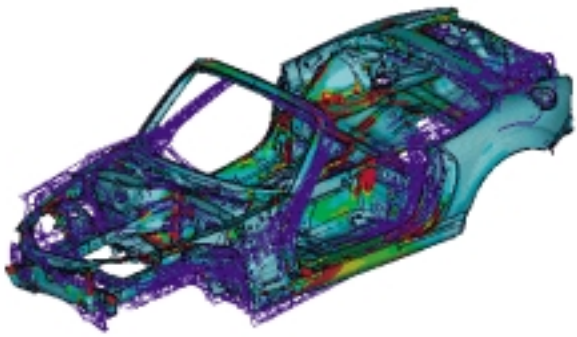


Fig.17　Torsion Body Mode

更に，PPF振動では，RX-8の閉断面構造を軽量化しつつパワートレインの共振をコントロールする検討を行った。PPFの構造検討に際し，パワートレイン系をばねマス，PPFをFEMで表現したユニットモデルを使用した。結果，Z型の開断面構造をとることで，PPFの曲げ，モードの連成を回避してパワートレインからの入力を低減しつつRX-8のPPF質量を半減することができた。

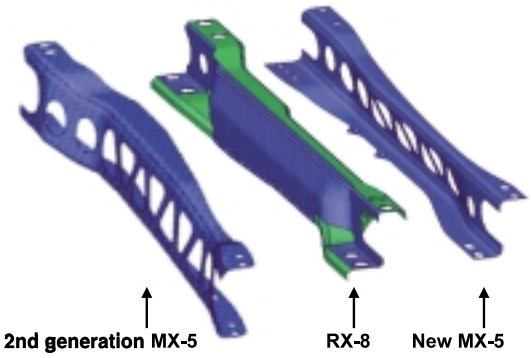


Fig.18　Power Plant Frame Structure

4．おわりに

新型ロードスターは部門・社内外を問わず関係者一丸となって軽量化に取り組んだ。開発段階においても性能向上のための対応策を検討する過程で，いかに質量をかけずに対応するかが重要課題であった。最終的に採用された性能向上対策は，生産・加工工程や材料の領域まで踏み込んではじめて実現したものがほとんどである。設計部門を通じ，ご協力いただいた部品・加工・材料メーカの方々に感謝するとともに，今後も，我々CAE部門の技術力向上により，よりよい商品をお客様にお届けできるよう努力していく所存である。

参考文献

(1)　三木ほか：オープンカーにおける高強度・薄型クロスメンバの開発，マツダ技報，No.24（2006）

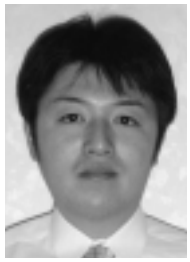
■著　者■

田中祐充

胡木　隆

砂田　実

吉井群治


松岡秀典

特集：新型ロードスター

15

新型ロードスターのソフトトップ開発
“ All-New ” Soft-top of All-New Roadster

田 上 宏 紀*1　黒 田 将 仁*2　松 延 知 昭*3
Hiroki Tanoue　Masahito Kuroda　Tomoaki Matsunobu
加 藤 幹 人*4　執 行 康 之*5　三 浦 泰 彦*6
Mikito Kato　Yasuyuki Shigyou　Yasuhiko Miura

要　約

オープンカーであるロードスター特有の部品の一つとしてソフトトップがある。初代ロードスターはオープンカーブームを巻き起こし，ソフトトップは手動式のベンチマークとして君臨，2代目となる先代にて初代ソフトトップをベースに更なる進化を図った。3代目となる新型ロードスターのソフトトップは“ All-New ”として次世代手動式ソフトトップのベンチマークとなるべく，シンプルな操作性を図りながら，軽量化とデザイン性や高品質を両立させるために全ての部品に手を入れることを前提に開発構想を立てて活動を行った。Z型ソフトトップやセンタートップロックを採用してシンプルな操作性を持った上で，オープン時にはクロス面がブーツカバーの代わりとなるデザイン性や軽量化への配慮，シール性能改善による品質向上を図ったソフトトップを狙い通りに実現できた。

本稿では“ All-New ”ソフトトップの技術について紹介する。

Summary

Soft-top system is one of unique parts in an open car. The first MX-5 set a trend in the open car, and the soft-top was a benchmarker for manual operation soft-top in those day. The soft-top of the second MX-5 refined the first one. For the third generation, we made a development framework that satisfied simple operation, lightweight, good appearance, and high-quality even if all parts were changed. Our target is to establish a new benchmarking model for manual operation soft-top in the future. The soft-top has enjoyed simple operation by use of Z-folding and center layout top-lock, high sealability, and good appearance without use of an open roof cover, and the development has proceed as planned.

This paper introduces the technologies that have enabled the development of the“ All-New ”soft-top.

1．はじめに

新型ロードスターのルーフシステムを開発するにあたり，“ 人馬一体 ”という車両コンセプトの下，開発方針とそれを実現する開発構想を考えた。

『Fun of Open Air Motoring－
ユーザが手軽に，気持ちよく，できるだけ長くOpenを楽しめるソフトトップ』

ルーフシステム担当者及び一ユーザの立場から，ロードスターという車両の魅力を損なうことなく，今までオープンカーに乗ったことのない人にも2代目ユーザにも，Openの楽しみである開放感や快適性を更に感じてもらえるよう，ソフトトップに対して様々な更なる進化への思いがあった。

Lots of Funの一つとして左記開発方針を掲げ，Light Weight Sportsとして可動ルーフの最軽量システムである手動式ソフトトップを採用することを第一に，次世代手動式ソフトトップとして電動式にも負けない簡単な開閉操作が可能な，乗っても降りてもOpenでもCloseでも美しさを感じさせるソフトトップが，いつまでも高品質を持続できるよう，次の開発構想を立案した。

＊1～5　ボデー開発部
Body Development Dept.
＊6　技術研究所
Technical Research Center

【開発構想】

① 手軽なOpen Air Motoring

車両から降りることなくルーフを開閉できる操作力／作業性の実現。

⇒開閉軌跡が小さくかつ自然な動きとなるリンクレイアウトを実現し，操作力に寄与するルーフ部軽量化を行う。

② デザインテーマの実現

“美しい馬”として魅力的かつ先進的にデザインされたものを実現させる。

⇒エモーショナルイメージ（“Soft”topらしさ）を感じさせるトップクロスをOpen/Closeに関わらず見せるZ型格納の採用。

③ 高品質／軽量化を実現する新技術・構造

“長生き”させるために高品質や軽量化を実現する陳腐化しない新技術を積極的に織り込む。

⇒ドリップモールの設定やウェザーストリップ／ソフトトップシーリング部品の基本構造変更。

⇒材料置換やシンプルなリンク／ロック構造への挑戦。

これらを実現した開発活動と技術について，次項より具体的に紹介する。

2．操作性開発

2代目ロードスターや多くの競合車の手動式ソフトトップはルーフを開閉する際，一旦室内から降りて室外から作業することが前提となっており，手軽にOpen Air Motoringを楽しむ，とはいえなかった。また，女性ユーザからは2代目ロードスターは開閉する際に室外側であるトップクロス表側を触ることになるため汚れるから触りたくない，という声もあった。新型ロードスターも室外からの開閉操作が基本であるが，手動式ソフトトップの今後の進むべき方向として既存品より手間，負担のかからない開閉作業もできることが大事だと考え，“より多くのユーザに室内から座った状態でもソフトトップ開閉操作を可能とする”ことを狙いとした。

2.1 人間工学的見地からのシステム選定

2代目ロードスター及び競合車の室内からソフトトップを開閉する作業について評価を行った際，操作力だけでなく操作姿勢上の各部筋負担という観点からアプローチすると2代目のソフトトップシステムは操作力自体は軽い（Fig.1）ものの，開閉の際，腕が伸びきってしまうため，筋負担が大きく最大筋力比で60％にも達することがわかった（Fig.2）。一般に，ある筋肉が最大筋力比40％以上の力を発揮しようとすると，その周辺にある別の筋肉までもが，該当の筋肉を助けるよう協調して働き始める。この状態では，人間はその操作に対し「大きな力を出している」との認識を持つ。2代目のソフトトップを室内から開閉することは実施可能な操作としては限界に近い。

構造上，2代目ロードスターは開閉の際に掴むルーフハ

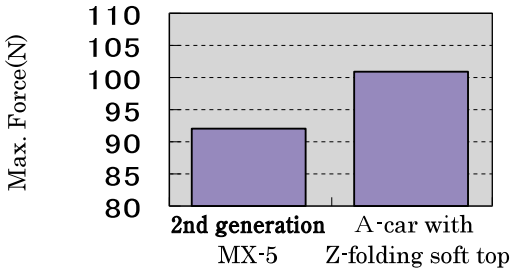


Fig.1 Maximum Force of Roof Operation

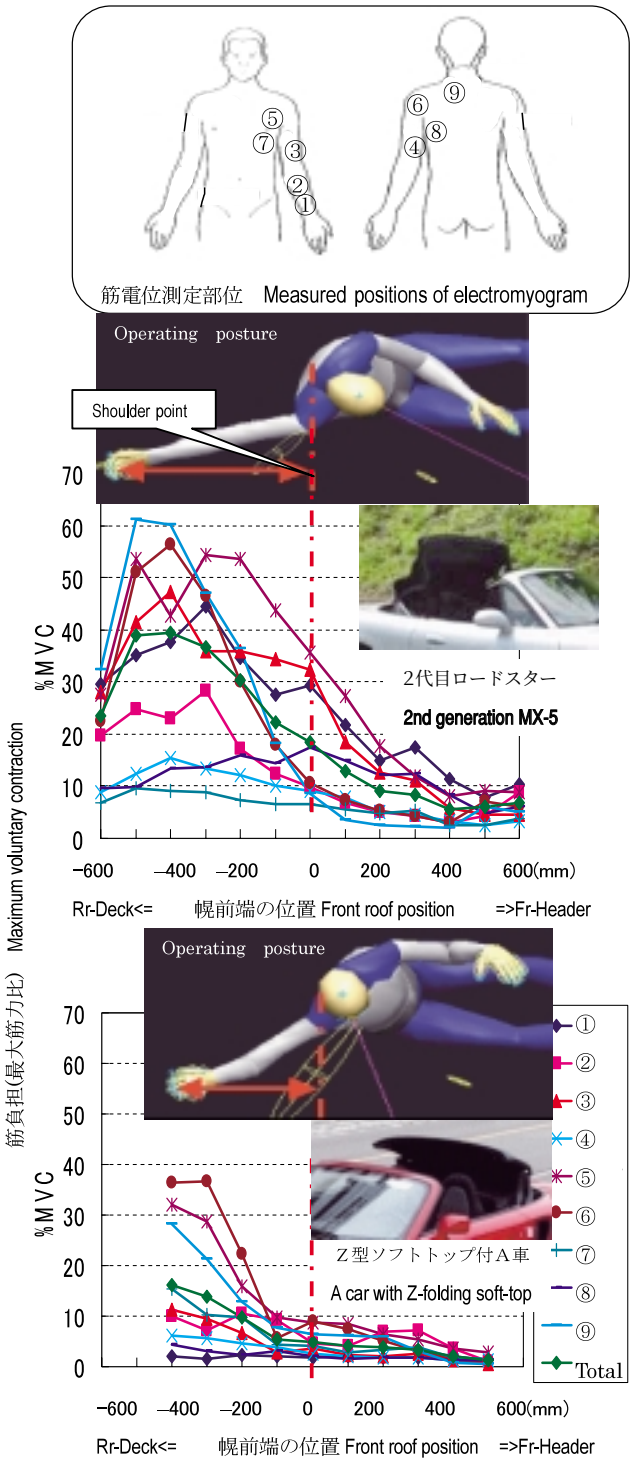


Fig.2 Maximum Voluntary Contraction of Soft-top Operation

ンドルが後方にあり，操作力を落としても体感的に負担を落とせない。これらの結果から開閉軌跡上で肩からルーフハンドルとの距離が最短となる軌跡を実現するため，Z型格納・2分割リンク式ソフトトップを採用した。

更にZ型ソフトトップを持つ競合車を用いて体型別に被験者を選定し操作性評価を行った結果，開閉軌跡に違和感をもつ声が多かった。これは被験者がルーフ開閉操作する際，どのような方向に動くのかを理解できれば全ての力が開閉操作に無駄なく伝わり負担感を減らすことができるが，競合車の初期の開閉軌跡が斜め前方から上方ではなく僅かに斜め後方であるため被験者に予期しにくく効果的な操作性改善が図られていないこともわかった。

2.2　目標とレイアウト要件

体型及び筋力によって操作性や操作力は大きく異なることや，レイアウトの制約から考えて全てのユーザを網羅することは難しく，AM50%ile体型程度（身長172～174cm程度）以上のユーザをターゲットとしたうえで人間工学上，日常の動作として負担を感じないレベルである，最大開閉操作力の競合車比20%低減をターゲットとした。

上記を達成するレイアウト要件として，

① 乗員肩部からOpen時のルーフハンドルまでの距離
② 開閉軌跡上でのルーフハンドルと肩までの距離
③ 開閉軌跡が一旦斜め後方へ後退しない軌跡とする

という制約条件をそれぞれ決定した。特に②に関してはリンク機構上での改善は勿論だがシートバックバーの設定などで制約条件が大きく，少しでも改善できるようルーフハンドルの位置を肩のほぼ真上とすることで最短距離となるように設定している（Fig.3）。

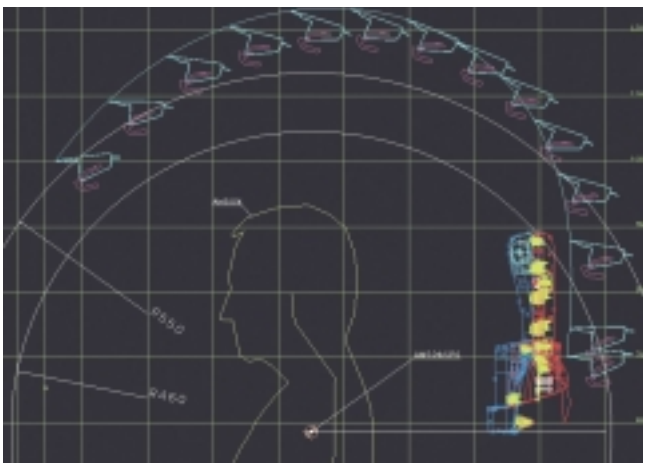


Fig.3　Roof Handle Movement of Soft-top Operation

更に操作性の改善には一般的に軽量化が有効であるが，ソフトトップ開発においても同様で重量軽減による操作性への寄与度を確認しながら適材適所の軽量化を進めた。

また，両手で作業のできる室外操作に関しては，Z型ソフトトップにより室外側を持つことなく，ルーフの持つ位置と開閉方向がわかるラベルを車両側面から見える位置に設定し，すべての力を無駄なく伝えることができるよう配慮をしている。

2.3　アシストスプリングによる操作力低減

操作姿勢も加味した上で操作性が最も悪いのはルーフOpen状態からルーフハンドルが最も遠くなるまでであり，その中で操作力が最も大きくなるのは初期状態である。この範囲を機械的に補助する機構としてアシストスプリング（Fig.4）を設定している。

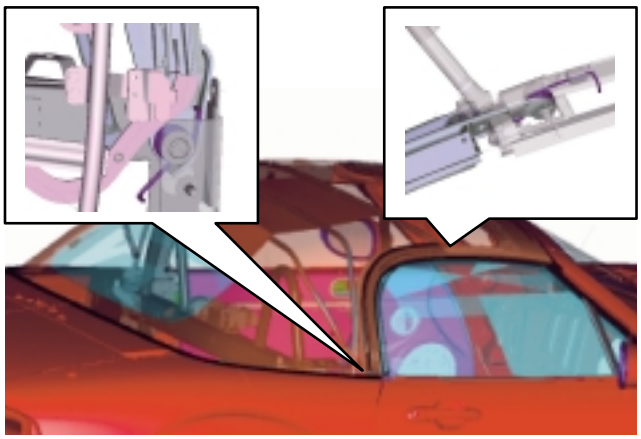


Fig.4　Assist Springs

ルーフOpen時にポップアップさせることでClose操作時のルーフハンドルへの腕のアクセス性向上を図り，更にスプリングの弾性力で操作力低減を図っている。

構造上，アシストスプリングはリンク軸部に設定しておりレイアウトスペースに限りがある中で，効果的に作用するよう軸部の摩擦力低減目的で振動異音との兼ね合いもとりながら軸部に僅かな隙を設定している。このような僅かな負荷低減も含め，操作力の高いOpen位置から40度付近まで，最大で約40%の操作力低減を実現した。

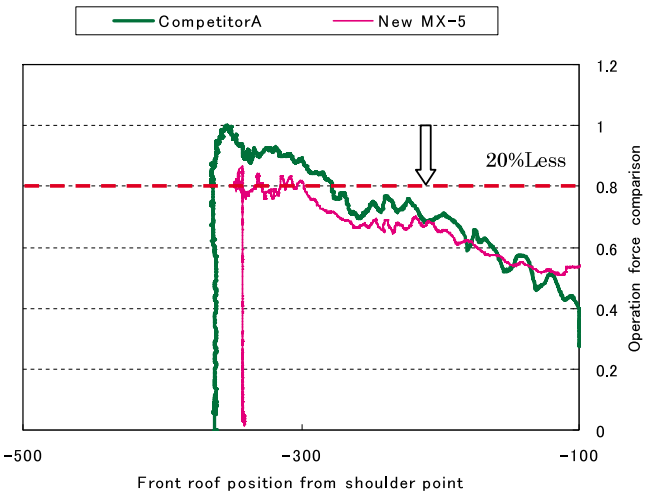


Fig.5　Comparison of Maximum Roof Operation Force

以上を実現した結果，Fig.5のように日常動作として負担を感じさせないレベルの開閉操作力を実現した。

3．デザイン開発

上記操作性の観点だけでなく，デザイン性からもOpen時にルーフ表面が外側となる利点からZ型・2分割ソフトトップの開発を決定していたが，デザインオリエンテッドの開発活動の中でOpenスタイルでは丸いリヤデッキ＆フェンダ開口の実現に，Closeスタイルではデータ検証の難しいトップクロス形状の事前検証に注力した。

3.1　Openスタイル

Z型2分割ソフトトップはOpen時にルーフ／Bピラーリンク回転軸中心が後方に来るため，リヤデッキ開口へのデザイン制約条件が大きい。その中でリヤフェンダ部はドアとつながるリヤデッキ開口を実現するため，開口面積を決める条件となるトップクロス保持用ケーブルエンドブラケットをリーフスプリングによる可動式（Fig.6）とし，Open状態では内側に引っ張り，Close状態ではリンクの外に出て外板の機能を果たす構造としている。また，トップクロス端末に板状の樹脂板を挟み込んで縫製しクロス端末部の芯材機能及びOpen時のリンクカバーとしての機能を持たせている。

Open時のルーフ位置／形状もカバーの役目があるため，高さ及び形状をデザイナーと協力して進めた。これにより，側面視でのリヤデッキ，トリムとのつながりや平面視でのルーフ端末とトランク側端部開口ラインとのつながりなど違和感のないスタイリングを実現できた。

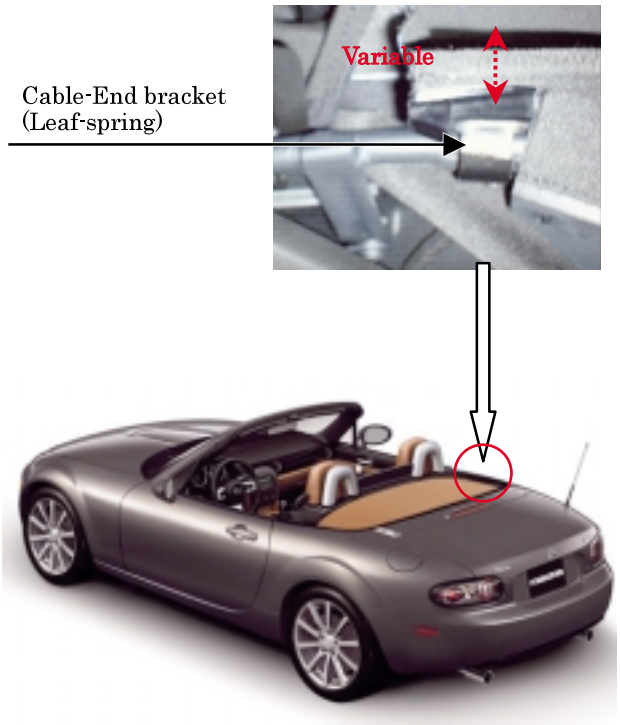


Fig.6　Solution of Open Style Problem

3.2　Closeスタイル

ソフトトップシステムはClose時に外板となりユーザの目に映る重要な部品であるトップクロスが存在する。トップクロスは鉄板のような型で成形するものではなく，骨組みとなるリンク及びトップクロスの張りのみに依存するため，狙いのデザイン形状を正確に実現することが非常に難しい。

短期開発の中でデザイン開発を可能にするために，リンク形状とクロスの張りを考慮して実車でのクロス形状ルールを見出した上で3Dデータ化し開発提案を行いながらデザイナーと調整を行った。

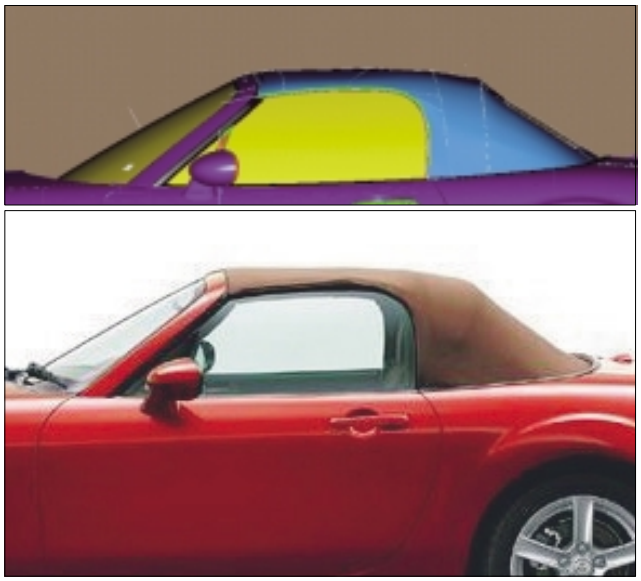


Fig.7　The Comparison of Soft-top Data and Model

結果，リンクで生じる影やクロスとリンクの間をシールするウェザーストリップの凹凸などは最終的に実車にて更なる造り込みを行ったが，ディテール育成のみとして，事前検証した3Dデータと大差のないソフトトップを実現した（Fig.7）。これにより，Closeスタイルのデザイン開発工数を削減することができた。

4．高品質／軽量化開発

4.1　シーリングシステム開発

オープンカーに付きまとう最大の課題の一つはシーリング性能である。次世代ソフトトップとして更なる高品質の実現は製品の信頼性向上だけでなくユーザからのクルマへの愛着にもつながる。従来まではドアガラスシール面を3分割していたが，新型ロードスターでは2分割とし，最もシール性能確保が厳しいウェザーストリップ継ぎ目部を1ヶ所減らして構造上不利な要素を減らした。またウェザーストリップも断面形状を変更しルーフ側はガラスを巻き込むタイプとしてシール面積を増やし，Bピラー側は2重リップとして風騒音も含めたシール性能をアップした。また，

ルーフ上部側面の傾斜にも着眼し角度を小さくするとともにクロス端末部にルーフドリップモールを設定し，ドア開閉時の雨だれへの配慮を行った。

Fig.8　Sealing System

4.2　センターロックの実現

初代ロードスターから設定している左右2ロックシステムは他社へもライセンス供与するほどの完成度を持っており，これをベースに慣れ親しんだ操作方法を踏襲しながら衝突安全性向上や更なる操作方法の向上を狙いセンターロックシステムに変更した（Fig.9）。

(1)　センターロックの主要課題

センターロックを採用する際，必要剛性の確保と拘束条件について重点的に検討を行った。2⇒1ロックとすることにより固定点が減るが，現行車以上の折合い／シール性を実現するため，左右にウェッジを配して位置を規制し生産技術部門とともに各部位の必要公差の検討を重ねた。また剛性に関しては衝突時／ロック時／走行時等の入力荷重や必要剛性を測定，検証した上で剛性確保ができる適正板厚／形状を導いていった。車体への入力に関しても同様に確認を行い，ストライカーは4点締結としている。以上のことにより衝突しても外れや破損に対し必要な強度を確保したトップロック構造を実現した。

(2)　操作性改善

従来までの左右2ロックシステムはレイアウト位置からサンバイザーと重なるため，どうしてもロック解除／固定を行う前にサンバイザーを動かす作業が必要であった。センターロックではロックを中央に配することでサンバイザーと離してロック開閉軌跡上の干渉物をなくし，ルーフ開閉時の手間を減らした。また，ソフトトップには特有のトップクロスのテンションが存在するため，ルーフをロックフックが引っ掛かる位置まで近付ける必要がある。これに要する力をルーフ引込み力と呼ぶ。ルーフ引込み力は，初期状態や長期間のOpen放置をした場合，トップクロスのClose状態でのなじみがなくなり負担が生じやすいが，トップロックフックを従来より長くすることでユーザ負担を改善した。それ以外にもロックハンドル操作時に引掛り感をなくすなど細かい改善も取り入れている。

(3)　デザイン性と安全性の両立

センターロック採用のメリットとして斜突時のユーザ頭部及び頸部の安全性向上がある。従来位置では斜突時に乗員頭部付近にトップロックシステムがあったが，新型ロードスターでは同部位にウェッジカバーを設けてデザイン性を向上した上で内部にパッドを設定し障害値を抑える構造をとっている。また，従来のソフトトップと同様にセーフティロックを設定して2アクションロックとしフェールセーフ構造をとっているが，ロック本体の厚みを減らすため，セーフティボタンをハンドルに対し並列配置としている。トップロックも機能を分け，本体を鉄板で剛性を出しながらカバーを樹脂製とし締結スクリューを隠すなど軽量化とデザイン性を両立させた。

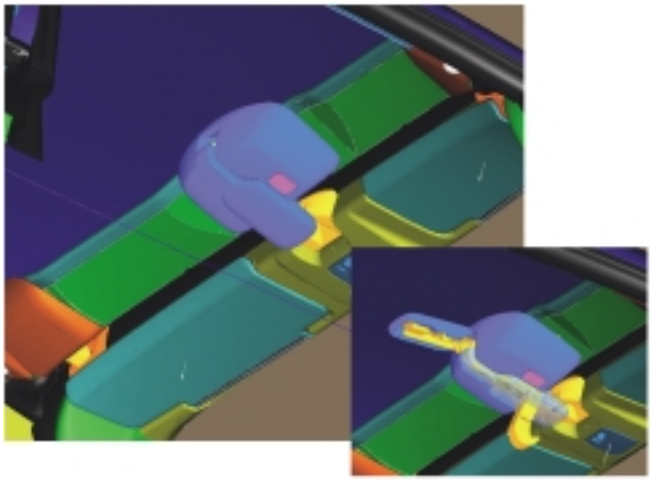


Fig.9　Center Top-lock

4.3　軽量化開発

車両コンセプトの実現やルーフ開閉操作力の低減の観点から軽量化に注力した。リンクの中空化／板厚低減／肉抜きは勿論だが特に尽力したものとしてトップクロスとオープンフックについて紹介する。

(1)　トップクロス分割数の削減

従来，しわのないソフトトップを実現するために，上面／左右側面／後面／ガラス接着面の5枚の幌材をそれぞれ別物として溶着していたが，新型ロードスターでは軽量化や見栄え改善の観点から前後2枚の幌材を接着するだけでしわのないソフトトップを実現した（Fig.10）。バックウィンドウ周辺の反り，クォータ部のしわ，ドアガラス開口部付近のクロス端末形状など開発に苦慮したが，度重なるトップクロス型紙育成を行い実現した。従来車よりも大型化したにも関わらずトップクロス重量の軽量化を果たすことができた。

Fig.10　Top-cloth Separation

(2)　オープンフック材料置換

新型ロードスターのZ型ソフトトップは手動式でありアシストスプリングを設定している構造上，オープン時のルーフを固定するオープンフックが存在する。フックノブ操作方向を斜め前上方としてルーフ初期開閉方向に合せることで，認知ミスによる操作力増加を避けられるよう配慮した。フック本体は車両段差乗り上げ等大荷重の入力もあり，先に述べたセンタートップロックの実現のため，操作ノブに対しオフセットフックとなっていてロックとしての条件は不利であるが，強度と軽量化を両立させるため，近年フロントエンドモジュールやドアモジュールキャリアで用いているガラス長繊維強化ポリプロピレン（GFPP）を採用した。また，樹脂成型品のメリットである形状自由度の高さを生かし，最大限の肉抜き／薄肉化を行うことで，新規開発ながらBest in classの重量を実現した。

Fig.11　Roof Hook for Open Situation

5．おわりに

今回のモデルチェンジにおいて，主題であるソフトトップとともにDHT（デタッチャブルハードトップ）も今回の最新デザインに合せてモデルチェンジを行った。バックウィンドウをDHT最下端まで延長して後付け感をなくしたデザインの実現と，時代とともに厳しくなる衝突性能の改善のため，ルーフ内部にレインフォースメントとワイヤーの設定，頭部保護性能の向上を行っている。後付けルーフ感をなくすためにもトップシーリングの設定やサイドロック／リヤデッキロックの小型化，シール性の向上を図り，ソフトトップ同様に次世代デタッチャブルハードトップを実現している。

以上のように再び世界のベンチマークとなるべく，全ての部品を“All-New”とし，狙い通りの商品が完成した。このソフトトップを実現できた大きな要因として，新しいチャレンジが多く試行錯誤の連続した開発の中で，商品化するにあたり“One MAZDA”として各開発／生産技術／組立／検査他関係各部門の方々の協力を頂いた結果だと考えている。まだ市場に出て日が浅いが，イベントや初期展示会での情報から数多くのお客様から支持され手ごたえを感じているのと同時に，更なる進化への想いも芽生えてきている。

最後にこの開発にあたり，多大な協力を頂いた㈱東洋シート殿，ユーシン㈱殿，㈱アンセイ殿，ダイキョーニシカワ㈱殿，西川ゴム工業㈱殿，片山工業㈱殿，㈱ニフコ殿，みのる化成㈱殿，㈲ピー・アンド・ピー殿にこの誌面をお借りし，厚く御礼申し上げます。

■著　者■

田上宏紀

黒田将仁

松延知昭

加藤幹人

執行康之

三浦泰彦

特集：新型ロードスター

16

本革製ステアリングホイールの触感向上技術
Improvement of Tactile Feel of Genuine Leather Steering Wheel

田中　力*1　牧野耕樹*2　宮濱芳文*3
Chikara Tanaka　Kouki Makino　Yoshifumi Miyahama
京極　誠*4　安原完治*5
Makoto Kyogoku　Kanji Yasuhara

要　約

近年，内装質感として視覚質感だけでなく，触感が重要となっている。これまで，我々は「触れ心地」に着目し，物理特性で代用した「触れ心地」と材料組成の相関関係を明確にし，「タッチ感」の優れた樹脂材料を開発した。今回は上記知見を活かし，最も手触りが重視される本革製ステアリングホイールの触感向上を目的に，物理特性による触感の設計要件化を検討した。内装質感アンケートのテキストマイニングの結果，「触れ心地」だけでなく，握って操作する「握り心地」も重要であった。そこで，走行中の握り力を再現した圧縮試験での圧縮力とストロークからなる波形から抽出した特性値を主成分分析し，圧縮時の変位等の物理量で「握り心地」を代用できた。また，官能評価と物理量の非線形判別分析により，目標値を設定し，目標値を満たす本革の製造要件として型押し条件等を特定した。更に形状や縫製要件も反映した試作品は，ステアリングホイール単体の感触だけでなく操舵フィールも従来品を大きく上回った。そして，触感を代用する物理量，形状及び縫製で設計要件を定義し，開発品を新型ロードスターに適用し，人馬一体感の実現に貢献した。

Summary

Recently, not only visual quality but also tactile feel has become important as interior quality. So far, for tactile feel, having focused on “surface touch feel” and clarified relations between material composition and physical characteristics, which also correlate closely with the “surface touch feel”, we have been developed plastic materials with superior “touch feel” using them. This time, utilizing the findings of our research mentioned above we worked to make a design specification of a physical characteristic for the best leather steering wheel on which customers have the most important value about the tactile feel. As a result, we found that not only the “surface touch feel” but also “grasp feel” such as operating in the hands is important for the steering wheel after analyzing results of the interior quality questionnaire research using Text-Mining tool. Thus, we determined the “grasp feel” as physical characteristics, such as displacement under compression, after extracting characteristic value from F-S curve of steering wheel compression test, while simulating grip efforts under the real driving condition, by the principal component analysis. And we had set target values of development by the nonlinear discriminating analysis using the physical characteristics above, and identified specific embossing conditions as manufacturing requirements of genuine leather that meets the target values. Moreover, we produced a prototype which reflects manufacturing requirement including stitch and wheel shape. Dramatic improvements of the tactile feel and steering feel were verified by the product marketability evaluation of the prototype. In addition, we contributed to improvement of “oneness feel between car and driver” by working on product development including the design standardization, and applying this requirement to all-new Roadster.

＊1，4　技術研究所
Technical Research Center
＊2　シャシー開発部
Chassis Development Dept.
＊3　車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.
＊5　装備開発部
Interior Components Development Dept.

1．はじめに

近年，内装質感の動向として視覚的な質感だけでなく，手触りが重要な要素となっている。これまで我々は手触りの中でも指先で製品表面を軽く触れた際の「触れ心地」に着目し，材料組成による「触れ心地」の制御を目的とした研究に取り組み，「タッチ感」の優れた樹脂材料を開発した[1]。

本稿では，上記開発を通じて構築した「触れ心地」を物理的な特性で定量化する技術を活かし，顧客が最も手触りを重視する本革製ステアリングホイール（以下S/W）の触感向上を目的に，求められる触感を代用物理特性で設計要件とすることを検討した。その結果，触感を代用する摩擦特性と圧縮特性，形状及び縫製で構成する設計要件を定義できた。更に，要件を満足する本革製S/Wを開発して新型ロードスターに適用したので，その内容を報告する。

2．触感向上の取り組み

内装の触感向上に取り組むにあたり，内装質感アンケートを実施し，触感が重視される部品を明らかにした。対象とした内装33部品についてパネラーが触感を重視すると答えた頻度によってスコアをつけ，頻度の高い順に4段階に分けたものをFig.1に示した。

これより，素材として最も触感の向上が望まれた樹脂製部品に着目し，上記スコアの高いS/W，チェンジレバー，ドアトリム，ドアアームレスト及び触感の統一の観点からパーキングレバーを追加した5部品をターゲットとした。

これまで，低比重の非塩ビ系樹脂材料に着目し，触感を代用する物理特性と材料組成の関係を明らかにすることで，触感を向上させる材料開発を進めてきた。その結果，2003年にドアアームレスト用樹脂，2004年にチェンジノブ用樹脂を商品化し，ドアアームレストでは0.2kg/台の軽量化も実現した。そこで，今回は最も触感が重視される本革製S/Wの触感向上に本知見を活かすことに取り組んだ。

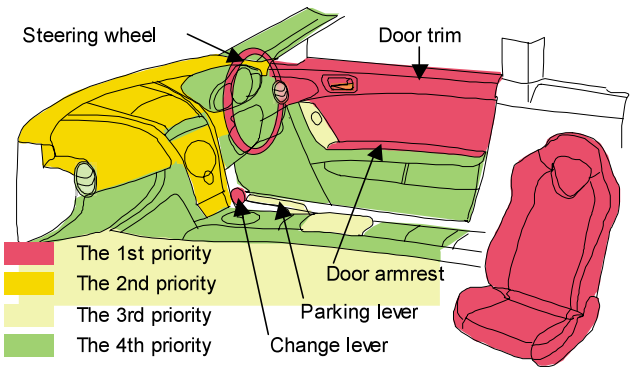


Fig.1　Prioritized Components by Customers in Tactile Feel

3．開発のステップ

本研究では，以下の四つのステップで開発を進めた。

(1)　S/Wの触感を評価する軸の設定
(2)　上記評価軸に対応する物理特性とその指標の明確化
(3)　指標とする物理特性を実現する本革の加工要件と形状及び縫製要件の明確化
(4)　上記要件をもとにした商品開発と設計標準化

4．S/Wの触感評価軸の設定

4.1　高触感の定義

内装質感アンケートの結果から高触感とは何かを定義することとした。手段として，パネラーが触感を重視すると答えた部品に関し，フリーコメントのテキストマイニング（富士通㈱製テキストマイニングソフト）を行った。Fig.2に結果を示す。これより，“触感”や“感触”といった語句と関連性が強い語句を抽出し，高触感とは「触れて，握って，心地よい」と定義した。

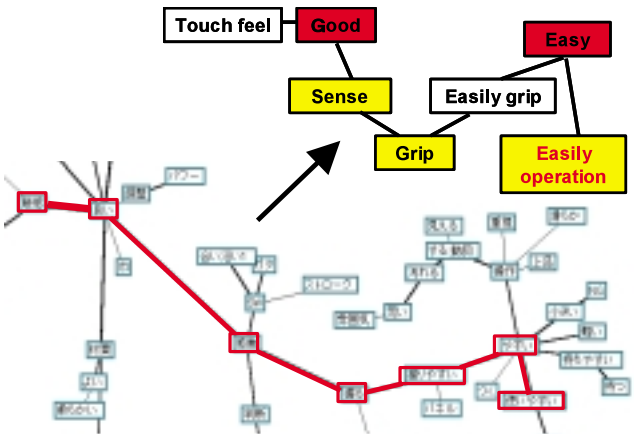


Fig.2　Analysis of Tactile Feel by Text-Mining Tool

4.2　三つの触感評価軸

これまでの研究[1]では指先で製品表面を軽く触れた際の「触れ心地」を取り扱ってきたが，S/Wについてはテキストマイニングの結果より，「触れ心地」だけでなく握るとか操作するといった感覚も重視されることがわかった。そこで，更に設計等S/W開発に関連する部門に所属するメンバによる一般道の走行会を実施して得たコメントから，S/Wの触感を評価する軸として次の三つの軸を設定した。

第1軸：触れ心地
第2軸：握り心地
第3軸：形状

5．S/Wにおける触感評価物理量の明確化

5.1　走行時のS/W操作挙動の計測

各評価軸の目標を定量化するため，代用する物理特性に

ついて検討を行った。これまでの研究[1]の知見から，触れ心地を摩擦特性，握り心地を圧縮特性にて表すことを試み，操作性の観点から走行中の手とS/Wの接し方及びその荷重を明らかにすることとした。

計測には，手袋に圧力センサ（2.56㎠/1個）が20個ついたグローブセンサ（ニッタ㈱製I－SCAN圧力分布測定システムVer.4.2）を左手に装着した状態で，自社テストコースを走行し，S/Wを握る際に発生するグローブ表面の荷重をサンプリングした。被験者は3名，使用したS/Wは本革製3種とウレタン製1種の合計4種，走行シーンは①定常走行，②加速，③減速，④右旋回，⑤左旋回の5シーンとし，各シーンの圧力センサ20個の総荷重値を検証した。同時に走行シーンもVTRで撮影することで，走行シーンとサンプリングデータの同期を図った。

その結果，最も荷重が高くなるのが減速時，最も低くなるのが旋回時の送り手(今回は左手のみの計測であるため，右旋回となる）であり，総荷重値が30～40Nであることがわかった。

5.2　触れ心地の定量化

S/Wに要求される機能として“S/Wを握る際に発生する荷重を必要な操舵力に変換する”ことに着目し，S/Wに要求される表面摩擦特性について適切なμの範囲をFig.3のように，縦軸に必要な操舵力と横軸にS/Wを握る際に発生する荷重とした場合の傾きに見立て，0.2～0.4と仮定した。

実際にS/W用本革表皮のμを測定したところ，0.2より小さいとクリニック結果においても滑りやすく，0.3より大きいものはわずかであった。しかも0.3より高いものは手の動きに敏感に反応する，べたつき感が増すなど不快になることがわかった。これより，S/Wに要求される摩擦特性として表面摩擦係数の範囲を0.2～0.3と設定した。

5.3　握り心地の定量化

(1)　握り心地の官能評価

握り心地の定量化を進めるにあたり，市場評価を参考に本革製とウレタン製別に評価の高いものと低いものが含まれるようTable 1に示した計8本のS/Wを試料として選定した。次に物理特性と相関を検証していくのに必要な官能スコアを得るため，官能評価を実施した。被験者はデザイナー，設計，実研，人間工学，材料の専門家の計5名とした。また，質問にはTable 2に示すように“やわらかい”，“手に馴染む”といった感性因子による個別質問に加え，最後に“好きな程度”を尋ねる総括的な質問も盛り込み，“思わない”から“大変思う”の5段階評価とした。

次に，嗜好に強い影響を与える感性因子を明らかにするため，目的変数として“握り心地が好き”のスコアを取り，説明変数として上記感性因子を取って非線形判別分析を行った。本分析はカイ二乗分析によって，目的変数の平均差が最も大きくなるような二つの群に分類できる説明変数を選定することを繰り返すものであり，その結果をFig.4のツリーに示す。“握り心地が好き”のスコアが高いS/W群（サンプル①，②，⑦，⑧）は“心地良い”のスコアで分類でき，その判定基準値が2.5以上であった。

(2)　S/Wの圧縮特性の特定と主成分分析による層別

Table 1に示した計8本のS/Wについて，実際の握り力に相当する荷重における各リム部の圧縮特性を計測した。

その結果，Fig.5に示す圧縮力－ストロークの波形から“心地良い”のスコアが高い本革製サンプル②は，初期の傾きが緩やかでヒステリシスロスが大きいなど，“心地良い”のスコアが低いウレタン製サンプル③と比較して明らかに異なる特徴を有し，評価の高低を層別できる可能性のあることがわかった。

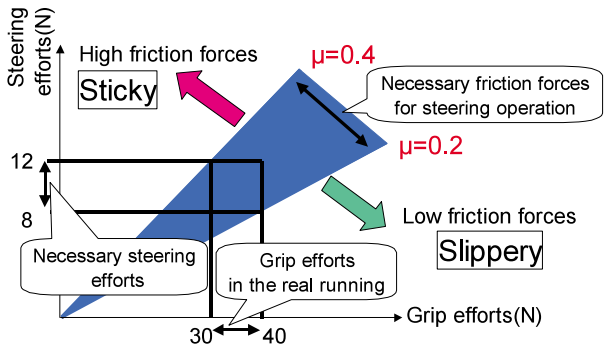


Fig.3　Friction Force of S/W Surface

Table 1　Sample Specifications

No	Surface material	Impression	Note
①	Leather	Good(Luxury)	With cushion layer
②	Leather	Good(Sporty)	No cushion layer
③	Urethane	Poor	No cushion layer
④	Urethane	Indifferent	No cushion layer
⑤	Urethane	Poor	No cushion layer
⑥	Leather	Poor	No cushion layer
⑦	Leather	Good	With cushion layer
⑧	Leather	Good	No cushion layer

Table 2　Questionnaire Sheet

	1. Disagree	2. Neither agree nor disagree	3. Somewhat agree	4. Agree a lot	5. Strongly agree
X1. This sample is **soft.**	1	2	3	4	5
X2. This sample becomes **familiar with the hand.**	1	2	3	4	5
X3. This sample is **smooth.**	1	2	3	4	5
X4. This sample is **shallow softness.**	1	2	3	4	5
X5. This sample is **slippery.**	1	2	3	4	5
X6. This sample is **comfortable.**	1	2	3	4	5
X7. This sample is **sticky.**	1	2	3	4	5
X8. This sample is **grippable.**	1	2	3	4	5
Y. **I like grasp feelings of this sample.**	1	2	3	4	5

そこで，Fig.5の波形から物理量を抽出し，主成分分析することで，上記8本の各S/Wの特徴を層別できるか検討した。

これまでの研究[1]から，物理量としてはX1：圧縮仕事量（圧縮時に要したエネルギ量），X2：圧縮回復仕事量（荷重を取り去る時に生じたエネルギ量），X3：圧縮回復性（X1とX2の比），X4：圧縮剛さ（仮想バネ弾性体とX1の比），X5：圧縮歪量（圧縮時の変位量），X6：圧縮損失仕事量（X1とX2の差）の6つを抽出した。

分析結果をTable 3に示す。第二主成分までで累積寄与率が85%であることから2軸に集約できたといえ，因子負荷量（各主成分と説明変数の相関係数）から，第一主成分はX1，X2，X5，X6と高い正の相関を持つ指標であり“たわみ性”と定義した。一方，第二主成分はX3とのみ高い正の相関を持つ指標であることから“反発性”と定義した。

次に“たわみ性”をX軸，“反発性”をY軸とした座標に各S/Wの因子スコア（相関の高い説明変数で表した各主成分の回帰式から得た主成分の値）をプロットしマップ化すると，各S/Wの分布結果から四つの象限で特徴を層別できることがわかった（Fig.6）。

更に，この分布状態を先の官能評価結果と照合した。Fig.6の各象限で4隅に位置する最も特徴的なサンプルで説明すると，第一象限に位置する，つまり“たわみ性”が大きく“反発性”のある程度小さいサンプル①は，握り心地の評価が高くラグジュアリな車種に搭載された本革製S/Wであった。また，第四象限に位置する，つまりサンプル①同様に“たわみ性”がある程度大きく“反発性”の小さいサンプル②は，同じく握り心地の評価が高いがラグジュアリではなく，スポーティな車種の本革製S/Wであった。

一方，第二象限に位置する，つまり“たわみ性”が小さく“反発性”の大きいサンプル③は，握り心地の評価が低い高硬度のウレタン製S/Wであった。また，第三象限に位置する，つまり“たわみ性”も“反発性”も小さいサンプル⑥は，握り心地の評価が低い本革製S/Wであった。

以上から，圧縮特性としてFig.5の波形の特徴をTable 3中の5つの物理量で表すことが統計的に可能であり，官能評価結果とも整合性があるといえる。また，握り心地の評価が高いS/Wの必要条件は，“たわみ性”が比較的大きくかつ“反発性”がある程度小さいことであり，更に“たわみ性”を増減することでラグジュアリかスポーティかの味付けが可能と考える。

(3)　圧縮特性の目標設定

“心地良い”という感性因子に強い影響を与える圧縮特性を明らかにするため，“心地良い”のスコアを目的変数にとり，Table 3に示した六つの物理量X1～X6を説明変数として非線形判別分析を行った。その結果をFig.7のツリーに示す。“心地良い”のスコアが2.5以上の高い評価であ

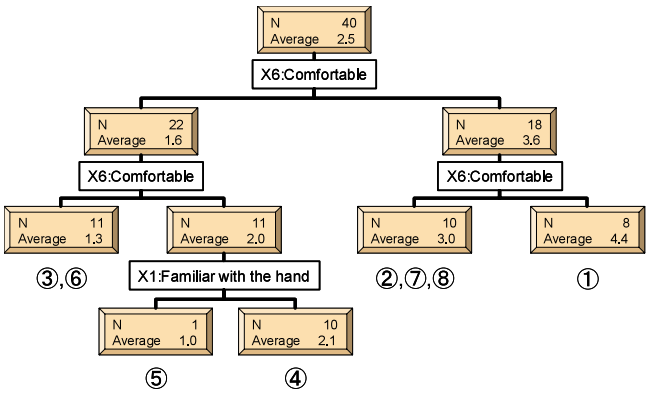


Fig.4　Result of Nonlinear Discriminating Analysis

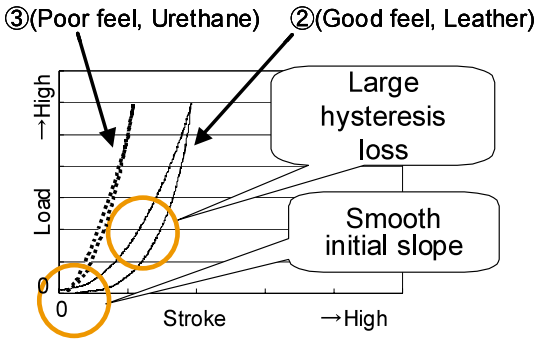


Fig.5　Compressional Characteristics of S/W

Table 3　Factor Loading of Principal Component

Characteristic value	1st principal component	2nd principal component
X1:Compressional work load	0.98	0.11
X2:Repulsive work road	0.93	0.30
X3:Recovery work load rate	-0.10	0.85
X4:Compressional stiffness	0.16	0.76
X5:Compressional displacement	0.95	-0.13
X6:Compressional work load loss	0.95	-0.20
Eigenvalue	3.64	1.46
Proportion	0.61	0.24
Accumulated proportion	0.61	0.85

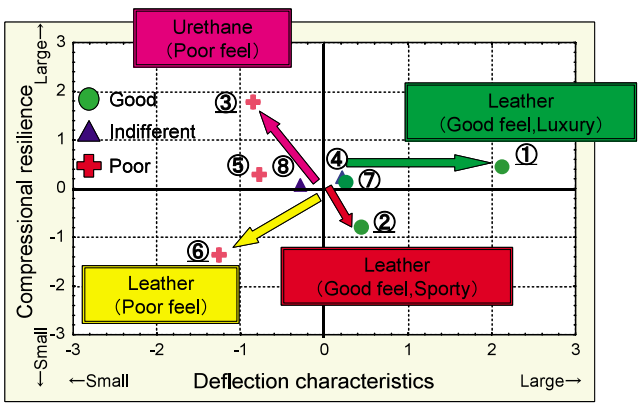


Fig.6　Relative Positioning of Compressional Characteristics

るS/W群（サンプル①，②，⑦，⑧）は，X2：圧縮回復仕事量，X3：圧縮回復性，X5：圧縮歪量の三つの物理量で分類でき，各判定基準値を目標値として設定した。

5.4　形状及び縫製指標の検討

本稿では従来から検討されているグリップ断面形状を除いて，握りやすさを向上させる形状要件を検討した。Table 1の試料を含め，50本以上のS/Wを同被験者で握りながら改善ポイントを列挙していった。特に親指をかけるスポーク部に着目し，握り心地を損なう指側面への刺激を排除できるように，負担の少ないRと縫い目が指に当たらないような縫製ラインを特定した（Fig.8）。

6．本革の加工と形状及び縫製要件の特定

6.1　本革の開発

5章で特定した各要件の妥当性を検証するため，S/Wの試作評価を行った。今回は，適応想定車種がスポーティであることからFig.6のサンプル②に位置する心地良くかつスポーティなS/Wを目指すこととした。最初に本革表皮の製造要件を明らかにするため，型押し・バフ・塗料について検討した。

本革表皮単品での摩擦特性と圧縮特性の測定結果より，浅い型押し，バフなし，水系塗料の組み合わせが各目標特性に最も適合することがわかった。

6.2　要件の検証

(1)　物理特性

見出した形状及び縫製要件で上記本革表皮サンプルを適用したS/Wを試作し，摩擦特性と圧縮特性を測定した。測定結果として，試作S/Wのリム部の圧縮力－ストロークの波形をFig.9に示した。試作S/Wはたわみ量やヒステリシスロスが大きく，狙いのサンプル②同等以上の圧縮特性が得られ，サンプル⑥から大きく改善できた。また，摩擦特性も表面摩擦係数が0.22と狙いの値を実現できた。

(2)　走行時商品性評価

次に，自社テストコースでの走行評価を従来品との比較形式で実施した。評価結果をFig.10に示す。これより，触感となじみといったS/W単体での感触だけでなく，剛性感といった操舵フィールでも改善効果を確認できた。

7．商品開発と設計標準化

7.1　耐久信頼性評価

6章までの取り組みで明らかにした本革の加工と形状及び縫製要件をもとに商品開発に取り組んだ。量産ラインで試作した本革表皮を用いて，S/W単品と車両搭載での耐久信頼性評価を行った。評価の結果，いずれの項目も規格をクリアし，握り心地の良さについても車両搭載での走行にて検証できた。

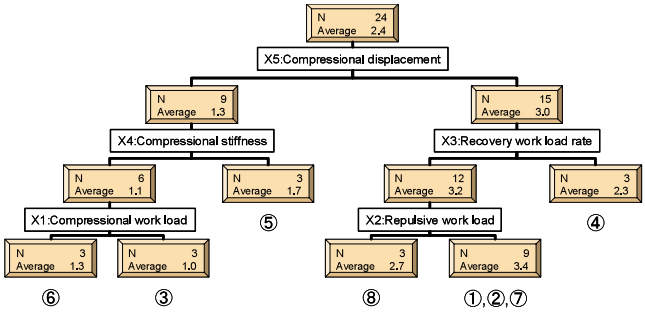


Fig.7　Result of Nonlinear Discriminating Analysis

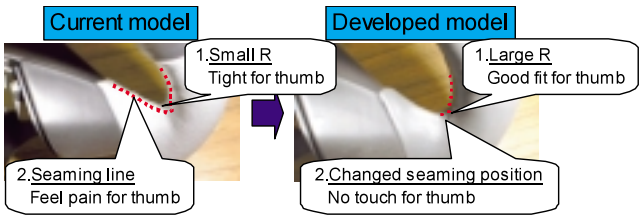


Fig.8　Ergonomic Shape

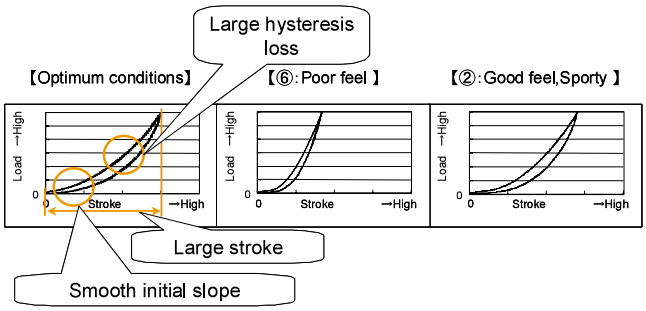


Fig.9　Compression Characteristics of Developed S/W

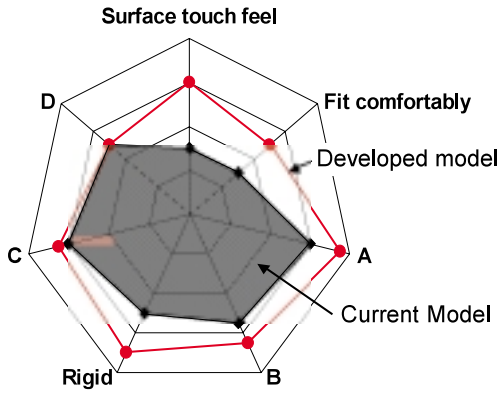


Fig.10　Result of Product Marketability Evaluation

7.2　設計標準化活動

続いて，設計標準の確立として，特に商品性向上効果を客観的かつ定量的に示すための指標作りを目指し，APEALスコアと高い相関をもつメトリクスの作成に取り組んだ。

触感，形状及び縫製に分けて個別の評価項目を設定し，各々の尺度を5段階に分けて各判定基準を定量的に定義した。更に各評価項目の評価点から構成する総合評価点の算出式を作成した。作成したメトリクスによる総合評価点とAPEALスコアの相関度合いを，Sporty及びPremium Sportsに属する4車種（A～D）を題材に，米国APEALのFeel Of Steering Wheelスコアを用いてFig.11に示す。

これより決定係数R^2が0.97と，APEALスコアと高い相関を有するメトリクスが作成できた。

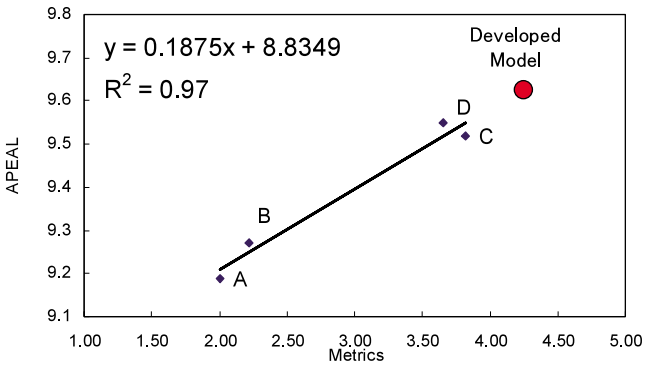


Fig.11　Relationship between Metrics Score and APEAL Score

8．まとめ

本研究では本革製S/Wの触感向上を目的として，アンケートの分析により触感評価軸を設定し，各軸を代用する物理特性と目標値の特定，目標値を満たす本革の製造要件，形状及び縫製要件の試作検討，試作品の走行評価を行った。更に本要件の設計標準化も含めた商品開発を行った結果，以下を得た。

(1)　内装質感アンケートのテキストマイニングにより，「触れ心地」，「握り心地」，「形状」の触感評価軸を設定した。

(2)　走行時のS/W操作挙動の計測等により上記3軸を代用する物理特性を特定し，非線形判別分析から各目標値を設定した。

(3)　各目標値を満たす本革表皮の製造要件を特定し，形状及び縫製要件を反映させた試作品を作成した。また，走行評価により，触感となじみといったS/W単体での感触だけでなく，剛性感といった操舵フィールでも改善効果を確認できた。

(4)　上記(1)～(3)での取り組みから見出した本革の加工と形状及び縫製要件を基に，量産品での耐久信頼性検証，APEALスコアと高い相関をもつ設計標準を作成でき，開発本革を適用した場合の商品性向上効果を定量的に提示できた。

今後，開発した本革及び見出した設計要件を新車開発に適用し，本革製のみならずウレタン製も含めマツダ車のS/Wの触感向上に貢献していく所存である。

最後に，本開発にあたり，多大なご協力をいただいた，オートリブ㈱殿をはじめ関係者の皆様方に深く感謝いたします。

参考文献

(1)　田中力ほか：内装樹脂材料の触感向上，自動車技術会秋季学術講演会前刷集，No.11-03，p.11-14（2003）

■著　者■

田中　力

牧野耕樹

宮濱芳文

京極　誠

安原完治

特集：新型ロードスター

17

鉄とアルミ材の点接合技術の開発
Development of Spot Friction Welding Technology of Aluminum Alloy and Steel

庄司庸平*1 Yohei Shoji　高瀬健治*2 Kenji Takase　玄道俊行*3 Toshiyuki Gendo
埠邦彦*4 Kunihiko Tao　森川賢一*5 Kenichi Morikawa　野口竜弘*6 Tatsuhiro Noguchi

要　約

マツダでは従来の抵抗スポット溶接に比べ，接合に使用するエネルギを大幅に削減したアルミ材の摩擦点接合技術（Spot Friction Welding，以下SFW）を世界で初めて開発し，2003年のマツダRX-8から採用している。今回，このSFW接合技術の基本原理を応用発展させ，鉄とアルミ材の接合技術を確立し，新型ロードスターのアルミ製トランクリッドにおいて実用化した。

従来，鉄とアルミニウムのような異質な金属同士の溶融接合は困難とされてきたが，本接合法では接合ツールを用いて摩擦熱と加圧力を同時に作用させることにより，鉄とアルミ材の固相状態での接合を可能とした。本稿では接合メカニズムや接合特性について解説する。また，量産への適用開発結果についても紹介する。

Summary

Mazda, having developed the world's first Spot Friction Welding technology to join lapped aluminum sheets to each other, has employed this technology since application to the Mazda RX-8 in 2003. This time we have evolved this SFW technology and used to join an aluminum trunk lid for the updated and improved Mazda MX-5.

Up to now, mutual welding of two different metals such as steel and aluminum has been a difficult task. However, the simultaneous action between frictional heat and load by a rotating tool has enabled solid-state steel and aluminum joining. This paper introduces the joining mechanism and characteristics, and the application results for mass production.

1．はじめに

地球環境問題への対応を背景に，CO_2排出量の削減・燃費改善のニーズが高まっている。燃費改善を実現するには，エンジンの効率向上と併せて車両の軽量化が不可欠である。しかし，一方で衝突安全性や快適性の要求から，車両重量が増加する傾向にある。そのため，各自動車メーカでは，構造・軽量化材料・工法など要素技術の開発に積極的に取り組んでいる。

中でも鋼材からアルミ材への材料置換は車体部品の軽量化における有効な手段の一つである。他社においてはアウディA8やジャガーXJのオールアルミボデーに代表される車体骨格にまでアルミ材を適用した例もあるが，鋼板に比べて材料コストが高いため，軽量化メリットが大きいボンネットなどの蓋もの部品への採用が最も多い。近年では，鋼板車体の一部をアルミ材に置換するハイブリッド車体構造が提案され，ダイムラークライスラーCL500やBMW5シリーズなどで実用化されている。軽量化したい部位にアルミ材の部品を採用することで，軽量化と製造コストとの両立を図っている。今後はこうしたハイブリッド車体構造の検討，実用化が増加すると考えられ，鉄とアルミ材を高品質かつ安価に接合する技術が必要とされている。

マツダでは，従来の抵抗スポット溶接（以下RSW）に比べ使用エネルギを大幅に削減したSFW接合技術を開発し，2003年からRX-8のアルミボンネットとリヤドアに適用している。今回，このSFW接合の基本原理を応用発展さ

＊1，2　車体技術部 Body Production Engineering Dept.
＊3　技術研究所 Technical Research Center
＊4～6　第1車両製造部 Vehicle Production Dept. No.1

せ鉄とアルミ材の点接合技術を確立した。本稿では本技術の接合メカニズムや接合特性について解説する。また，本技術は新型ロードスターのトランクヒンジ部に適用しており，その適用開発結果についても紹介する。

2．開発の狙い

2.1　鉄とアルミ材の溶接性

Table 1に示すように，アルミニウムと鉄ではその物理特性，特に融点や熱伝導度が大きく異なる[1]ことから，アーク等を用いた溶融溶接では両者の金属を均一に溶融することが困難な上，仮に溶融しても接合部に脆い金属間化合物が形成される[2]ため，接合強度が著しく低下する。

したがって既存の接合法としては，ブラインドリベット，セルフピアッシングリベット，クリンチングなど機械的な接合が一般的である。しかし，リベット接合では副資材が必要となるためランニングコストが増加する。また，クリンチングでは接合強度が低く適用部位が制限されるなどの問題点があった。

2.2　SFW接合技術の特長

アルミ材同士の接合法として開発したSFW接合はFig.1に示すように，材料の上下から鉄製の接合ツールで接合部をはさみ込み，上側の接合ツールを加圧しながら回転させることで発生する摩擦熱でアルミ材を軟化させ，固相接合する工法である[3]。

この接合法をベースとし，アルミと鉄の脆弱な金属間化合物生成の抑制による安定した接合強度の確保と，リベットなど副資材の廃止によるランニングコストの低減を狙いとし開発に取り組んだ。

3．鉄とアルミ材の接合プロセス

鉄とアルミ材の接合では，溶融点以下の温度で金属間化合物を生成せずに固相接合を行う必要があるが，単に固体金属同士を高温・高圧で接触させるだけでは接合できない。接合を阻害する要因は金属表面の薄い酸化皮膜であり，両者を固相接合するには，その酸化皮膜を破壊し，金属の新生面同士を圧接する必要がある。一般に酸化皮膜は脆弱なことから，破壊には金属表面を大きく変形させる加工が有効である[4]。

鉄とアルミ材の接合ではFig.2に示すように，回転ツール側にアルミ材，下部受け具側にめっき鋼板を配置する。回転ツールは鋼板に接触しない範囲で挿入されアルミ材を塑性流動させる。これによりアルミ側表面が大きく塑性変形し，酸化皮膜が破壊される。鋼板には塑性加工が及ばず酸化皮膜を破壊することはできないが，この点はめっき鋼板を用いることで克服している。

接合プロセスは，まず回転ツールを特定の加圧力で材料表面に押し付け，摩擦抵抗による発熱で上板のアルミ材を軟化させる。同時に下板のめっきも軟化させる。次に回転ツールによって軟化したアルミ材の塑性流動により界面の酸化皮膜が破壊され，同時に界面のめっきが除去される。この結果，めっきがなくなった範囲ではアルミ材及び鋼板の新生面同士が直接接触することになる。更に上下のツールを用い，特定の加圧力で材料を把持することで，新生面同士の冶金的な接合が進むと考えられる。

Fig.3に代表的な接合部の断面写真を示す。鋼板表面のめっき層は除去され，界面においてアルミ材と鋼板が直接

Table 1　Physical Properties of Iron and Aluminum

Property	Iron	Aluminum
Melting point (℃)	1535	660
Thermal expansion coefficient (10^{-6})	12	24
Thermal conductivity	0.12	0.52
Specific gravity	7.86	2.70

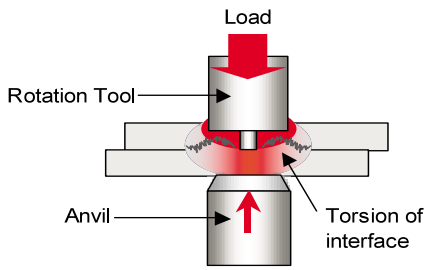


Fig.1　Schematic Image of SFW

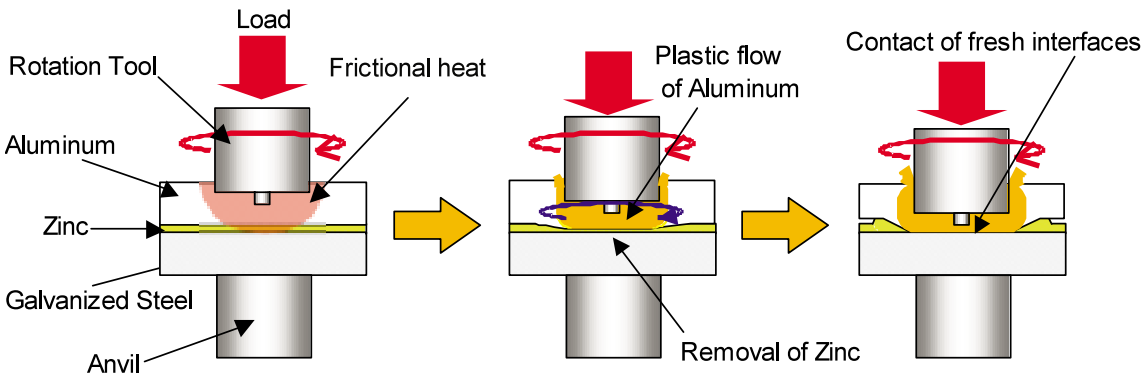


Fig.2　Schematic Image of SFW of Aluminum and Steel

圧着し，接合している。

Fig.4に接合部界面（Fig.3のA部）のEPMA分析結果を示す。比較のため，Fig.5にめっき鋼板表面のめっきと素地鋼板との境界部の分析結果を示す。界面において明瞭な亜鉛めっき層は認められず，鋼板表面のめっき層が除去されているのが分かる。

Fig.6にめっきが溶融し始める固相線温度と接合強度の関係を示す。接合時の界面温度に対して固相線温度が低いめっき種ほど界面からの除去が容易なため接合強度は高くなる。

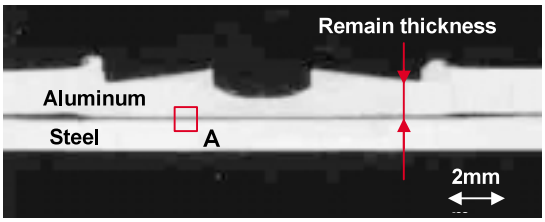


Fig.3　Cross-section of SFW Joint

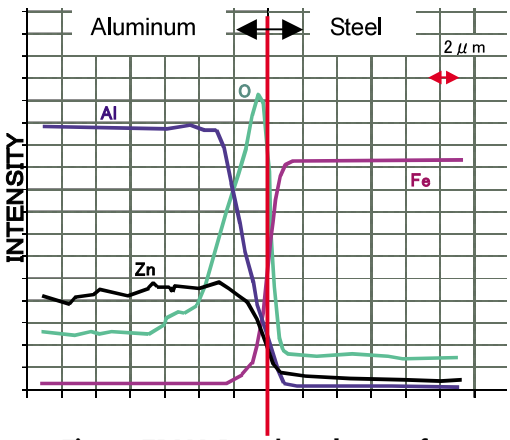


Fig.4　EPMA Result at the Interface

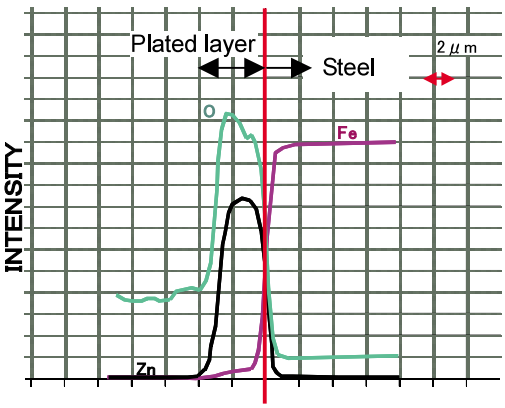


Fig.5　EPMA Result on the Galvanized Steel

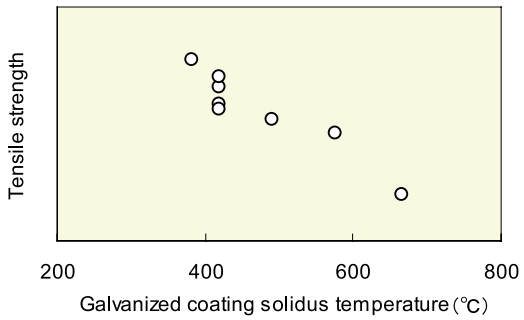


Fig.6　Relationship between Galvanized Coating Solidus Temperature and Strength

4．接合条件と接合強度の関係

SFW接合では，加圧力，回転数，接合時間の3種類が重要な接合条件である。ここでは，これら接合条件と接合強度の関係を解説する。

4.1　加圧力の影響

回転数・接合時間を固定し，加圧力のみを変化させた場合の加圧力と引張りせん断強度，及び上板の残り板厚（Fig.3参照）との関係をFig.7に示す。加圧力の増加とともに接合強度は増加し，ある加圧力から飽和する傾向にある。残り板厚はほぼ直線的に減少する。

これは加圧力に比例してツールのアルミ材内への押込み量が増加した結果，アルミ材の塑性流動による酸化皮膜の破壊と界面のめっき除去が促進され，接合面積が増えるが，更に加圧力を増加させるとアルミ材の板厚減少により強度が飽和するためである。

4.2　回転数の影響

加圧力・接合時間を固定し，回転数のみを変化させた場合の回転数と引張りせん断強度及び残り板厚の関係をFig.8に示す。回転数の増加に対し初期は引張りせん断強度も増加するが，ある回転数でピークを示しその後は減少に転じる。接合中，回転ツール直下のアルミ材はツールとの摩擦力によって回転方向にも塑性流動し，更にその下部の材料も上部に追従するような形で塑性流動すると考えられる。回転数が高くなりすぎるとツールとアルミ材との間

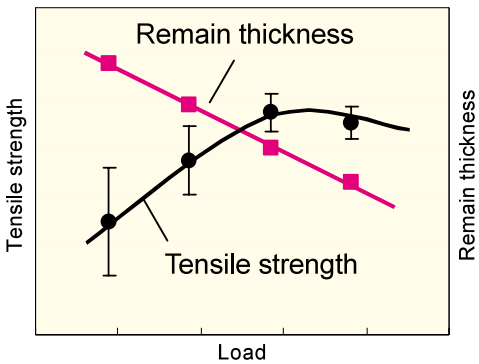


Fig.7　Relationship between Tensile Strength and Load

にすべりが生じアルミ材の塑性流動が不十分になり，接合強度も低下すると考えられる。

4.3　接合時間の影響

Fig.9に，加圧力・回転数を固定し，接合時間のみを変化させた場合の，回転数と引張りせん断強度及び残り板厚との関係を示す。加圧力を変化させた場合と同様，接合時間が長くなるとともに接合強度は増加し，ある時間から飽和する傾向にある。

接合時間が長くなるほど，軟化したアルミ材の塑性流動量が増加し，めっきの除去が促進される。その結果，接合面積が増えることで接合強度は増加するが，同時にアルミ材の板厚減少により強度が飽和するためである。

5．量産への適用

Fig.10に本接合法を量産部品へ適用するために検討した，接合品質に影響を及ぼす材料や製造要因の一覧を示す。以下，代表的な要因の影響について説明する。

5.1　素材の影響

(1)　自然時効の影響

アルミニウム合金では時間の経過とともに，合金元素が析出し硬度が上昇する時効硬化が見られる。このため，時効硬化が接合強度に及ぼす影響について調査を行った。

Fig.11に，T4熱処理からの自然時効時間（月数）と接合強度の関係を示す。接合強度は2ヶ月時点までは上昇するが，それ以降はほぼ一定の強度を示した。これは時間の経過に伴って材料自体の強度が上昇するためである。

(2)　鋼板めっき目付け量の影響

Fig.12に，めっき目付け量と接合強度の関係を示す。めっきのばらつきは接合強度に影響を及ぼすことが懸念される。例えば，目付け量が多い場合には界面のめっき除去が不十分になり強度が低下することが予想されたが，標準的な目付け量と規格上限の目付け量で接合強度に大きな差は見られなかった。

5.2　部品精度及び表面状態の影響

(1)　部品間隙の影響

部品の寸法精度ばらつきにより接合部の上板(アルミ板)と下板（鋼板）の間には，隙間が発生する場合がある。Fig.13に，板間の隙間と接合強度の関係を示す。隙間が大きくなるに従い接合強度は低下し，一定の隙間以上で接合できなくなる。したがって板間隙を適正値内にするよう部品を育成するとともに，管理項目として設定した。

(2)　材料表面状態の影響

アルミ材表面に付着する油は接合初期の摩擦熱発生に影響し，鋼板とアルミ材間の付着は両者の新生面同士の接触

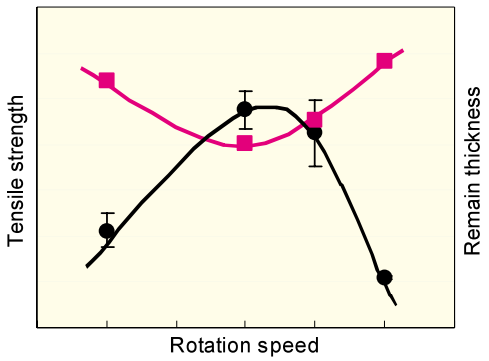


Fig.8　Relationship between Tensile Strength and Rotation Speed

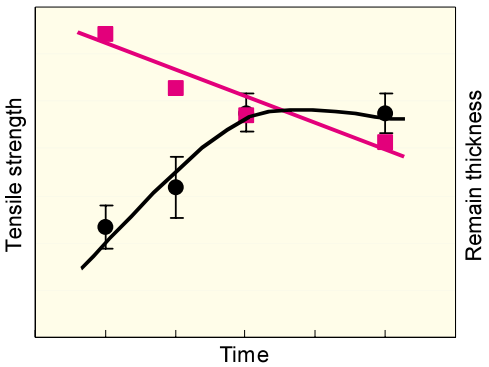


Fig.9　Relationship between Tensile Strength and Time

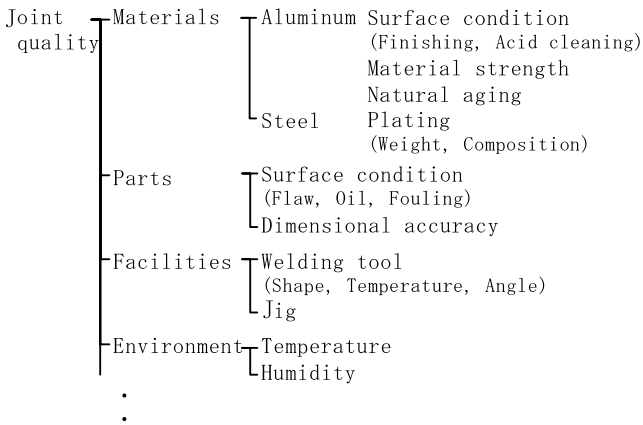


Fig.10　Welding Parameters Affecting Joint Quality

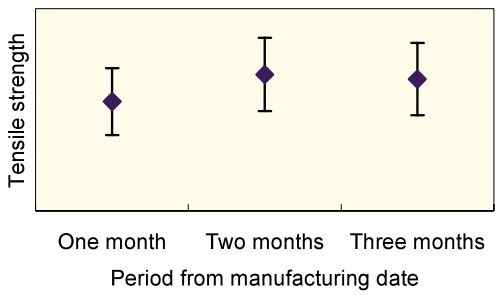


Fig.11　Relationship between Tensile Strength and Natural Aging

を妨げる要因となることが考えられる。Fig.14はプレス工程においてアルミ部品表面に付着する洗浄油の塗布ありなしで引張り強度を比較した結果である。ばらつきに若干の差はあるが，強度はほぼ同等であった。塗布した油は接合の初期段階で摩擦熱によって気化するため，接合強度へ与える影響は小さいと考えられる。

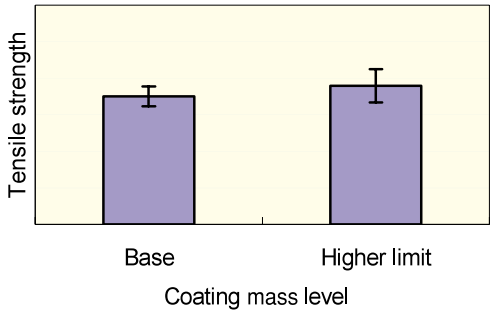


Fig.12　Relationship between Tensile Strength and Coating Mass level

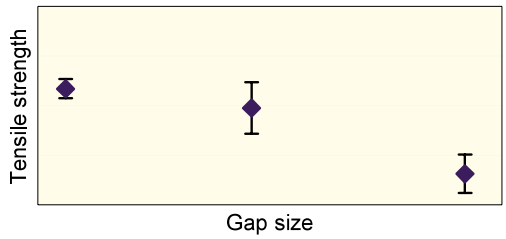


Fig.13　Relationship between Tensile Strength and Gap

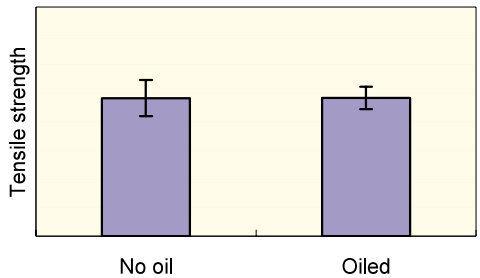


Fig.14　Relationship between Tensile Strength and Oil

Fig.15　Appearance of Reinforcement Assembly

6．採用部位

Fig.15に，新型ロードスターのアルミ製トランクリッドインナパネルの外観写真を示す。本接合技術は，写真中の丸印で示すヒンジレインフォースメントと鋼製ボルトリテーナとの締結に適用している。

7．まとめ

(1)　回転ツールによる摩擦熱を利用することで，これまで困難とされていたアルミ材と鋼板の点接合を実現した。この技術は摩擦熱とアルミの塑性流動によって，鋼板のめっき層を界面から除去し，互いの新生面同士を圧着させる点がポイントである。

(2)　接合条件，材料及び製造因子と接合強度の関係を明らかにし接合条件を設定した。

(3)　本技術を新型ロードスターのアルミ製トランクリッドへ適用し，2005年8月より量産を開始した。これにより，リベットの廃止によるランニングコストの低減に貢献できた。更に副次的ではあるが，ボルトリテーナにめっき鋼板を採用することで，電着塗装廃止によるコスト削減というメリットもある。

参考文献

(1)　中田一博：異材溶接の基礎とその展開，溶接技術（9月），vol.52，p.141-146（2004）

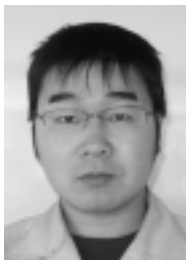
(2)　中田一博：異材溶接の基礎とその展開，溶接技術（10月），vol.52，p.126-130（2004）

(3)　村上士嘉ら：環境にやさしい接合技術の開発，自動車技術，vol.57，No.6，p.63-68（2003）

(4)　N.Bay : Mechanisms Producing Metallic Bonds in Cold Welding, Welding Journal, 137（1983）

■著　者■

玄道俊行



埜　邦彦

森川賢一

野口竜弘

特集：新型ロードスター

18

新型ロードスター　フロントフェイシャの開発
Development of All-New Roadster Front Fascia

神田博文*1　益田　孝*2　藤岡義弘*3
Hirofumi Kanda　Takashi Masuda　Yoshihiro Fujioka
古川智司*4　渡部　浩*5　中山伸之*6
Satoshi Furukawa　Hiroshi Watanabe　Nobuyuki Nakayama

要　約

新型ロードスターのエクステリアデザインは，最新のライトウエイトスポーツカーとしてのシンプルな機能性と本格スポーツカーのアスレチックなかたまり感という，ロードスターデザインDNAの二つの特徴を兼ね備えたデザインへと刷新された。

これらを実現するため，フロントフェイシャでは，最新の解析技術を適用しながらFit＆Finishと機能を両立する構造と，独自の工法を立案・適用し，デザイナの意図する造形を実現した。

Summary

Exterior design of all-new Mazda MX-5 has been updated with marked Mazda MX-5 design DNA attributes which consist of two features: the simple functionality of a modern lightweight sports car and the athletic solidity of a true sports car.

To achieve this, use of an up-to-date CAE technology had created a new structure which meets both fit & finish quality and functionality, as well as development and application of unique methods such as a welding method, thus having attained front fascia sculpturing as intended by designers.

1．緒言

新型ロードスターのエクステリアデザインは，最新のライトウエイトスポーツカーとしてのシンプルな機能性と本格スポーツカーのアスレチックなかたまり感という，ロードスターデザインDNAの二つの特徴を兼ね備えたデザインへと刷新された。

車の顔としてのフロントフェイシャでは，このかたまり感・一体感を表現するためフェイシャとヘッドランプ（以下H/L）が一体となった斬新なデザインが採用された(Fig.1)。

本文ではこのデザインを実現するために新たに採用した構造と，工法について紹介する。

2．フェイシャの構造と課題

新型ロードスターでは，かたまり感・一体感を実現するため，フェイシャと各ボデーパーツとのFit＆Finish向上に注力した。

フェンダとフェイシャでは「0スキ・0段差」また，フェイシャとボンネットでも最小のスキ・段差が合い沿い部全体で一定になることに留意した。

また，フェイシャとH/Lも一体感を表現するため同様のスキ・段差で設計した。

各部品の締結構造は，衝突性能等の機能品質や，量産ラインの組み立て作業性や，サービス性を考慮して，Fig.2に示すようにH/Lとフェイシャは各々個別にシュラウドパネルに締結する構造とした。

Fig.3に，CAEによる熱変形解析の実施結果を示す。

フェイシャは線膨張係数が比較的大きいポリプロピレン（以下PP）材料のため，80℃の熱間時では最大4mmの変形を生じ，フェイシャとH/Lのスキが大きくなって，折り合い品質が確保できないことが分かる。また－30℃の冷間時ではフェイシャとH/Lの干渉が懸念された。

H/Lとフェイシャは熱による線膨張係数の違いもあって

＊1～5　車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.
＊6　ボデー開発部
Body Development Dept.

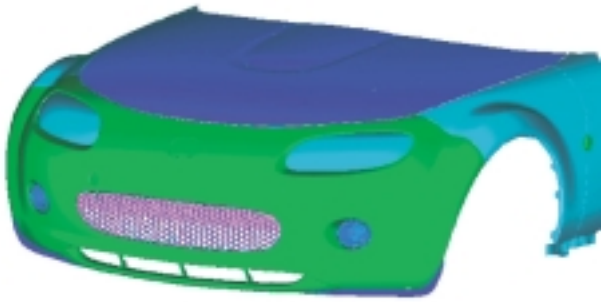


Fig.1　Front Exterior Styling

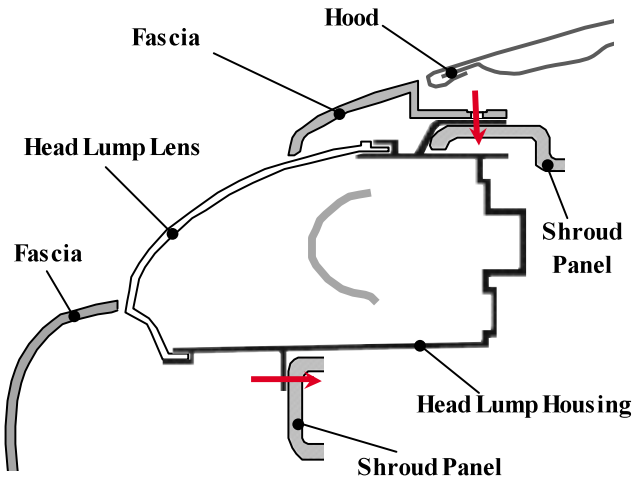


Fig.2　Structure of Fascia and Head Lump

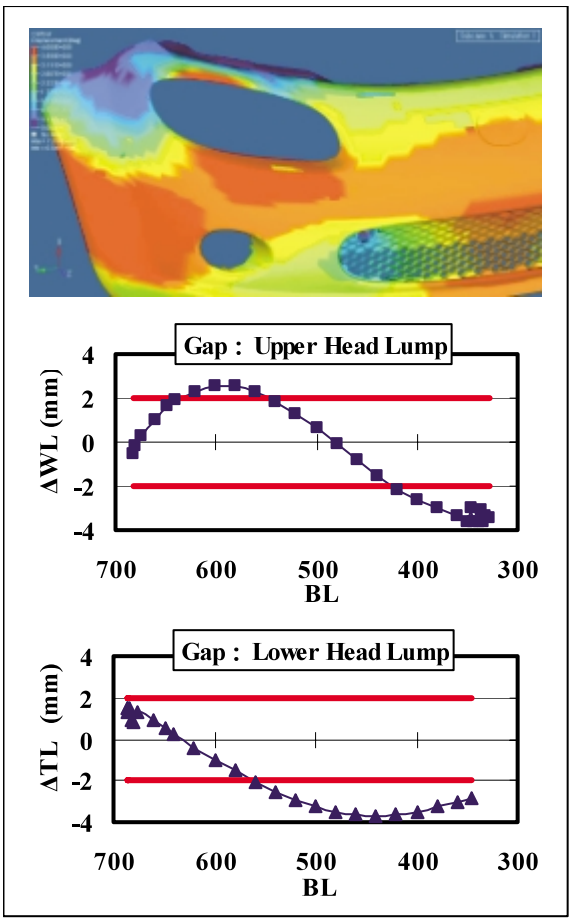


Fig.3　Result of Heat Distortion Analysis

互いを締結することができず，相互の折り合い品質に課題が残った。

3．熱変形防止法の検討

冷間・熱間時の熱変形を防止するための補強法を検討した。基本的には，スチールやアルミ等の線膨張係数の小さい素材で形成されたプレート（以下；フェイシャガード）をH/L周りに貼り付けることによってフェイシャを補強することとした（Fig.4）。

素材は，ロードスターの運動性能を阻害しないよう軽量化を重要視し，最終的にはフェイシャと素材ベースを同一にしてリサイクル性にも優れ，線膨張も小さいガラス長繊維強化PPを採用することとした。ガラス長繊維強化PPのフェイシャガードで固定した後の，フェイシャの熱変形解析結果をFig.5に示す。フェイシャガードなしの際，最大4mmの変形を生じていたが，フェイシャガードを装着したフェイシャでは2mm以下に変形が抑止でき，折り合いを確保できることが分かった。

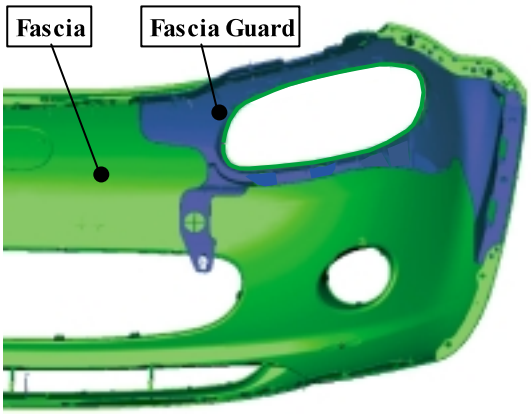


Fig.4　Fascia Reinforced with Fascia Guard

4．ガードの接合方法

フェイシャとガードの接合方法を検討した。H/L周りの狭小な空間で締結するため，「両面テープによる貼り合わせ」「ホットメルトによる接着」「アクリル系接着剤による接着」「超音波溶着」の4手法で検討した。

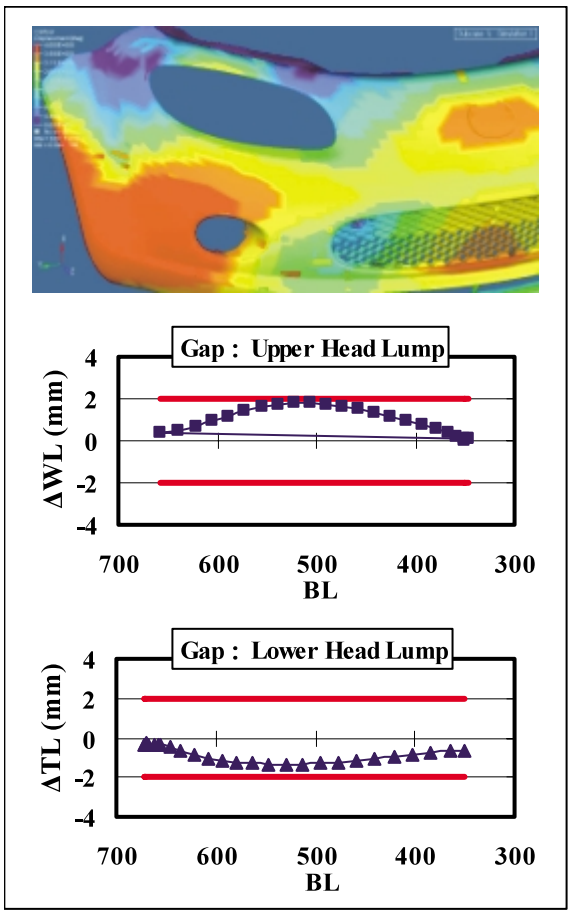


Fig.5　Heat Distortion after Improved Structure

4.1　両面テープによる貼り合わせの検討

両面テープ接合はFig.6のように，ガードとフェイシャを接着テープで貼り合わせる工法である。

実験の結果，常温では15N/cm^{2}の接合強度が，高温の80℃では8N/cm^{2}まで低下した。

また，生産性の面では接着の難しいPP材料に対応するため，フェイシャとフェイシャガード両面に，事前にプライマ塗布が必要なことや，ピックシールの剥がし作業等の人手による難作業が発生するため，コスト・工数面での課題が多かった。

4.2　ホットメルトの検討

Fig.7のようにフェイシャとガードの隙間にホットメルトを注入する方法を検討した。

実験の結果，常温での強度は43N/cm^{2}で基準強度を満足するが，高温では10N/cm^{2}まで低下し，耐熱テスト後に永久変形が発生して，機能面で満足しないことが判明した。

4.3　二液アクリル系接着剤の検討

耐熱性を考慮し，二液アクリル系接着剤による接着を検討した。ホットメルトに比べて，常温時には95N/cm^2，高温時にも100N/cm^{2}の，十分な強度を示し，実車耐熱テストもクリアした。

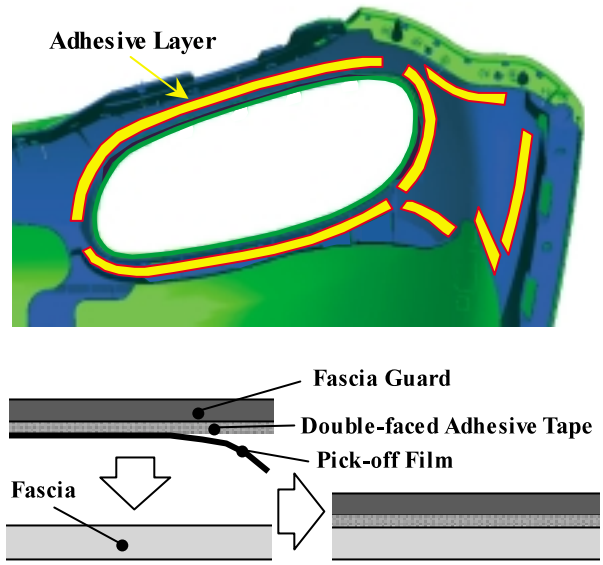


Fig.6　Bonding Process by Adhesive Tape

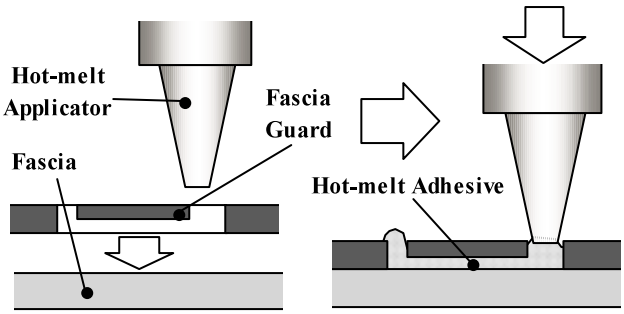


Fig.7　Bonding Process by Hot-melt Adhesive

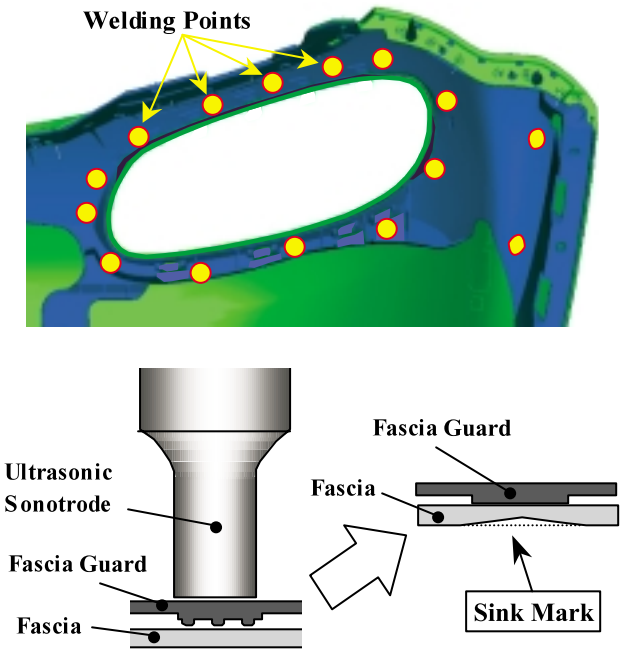


Fig.8　Bonding Process by Ultrasonic Welding

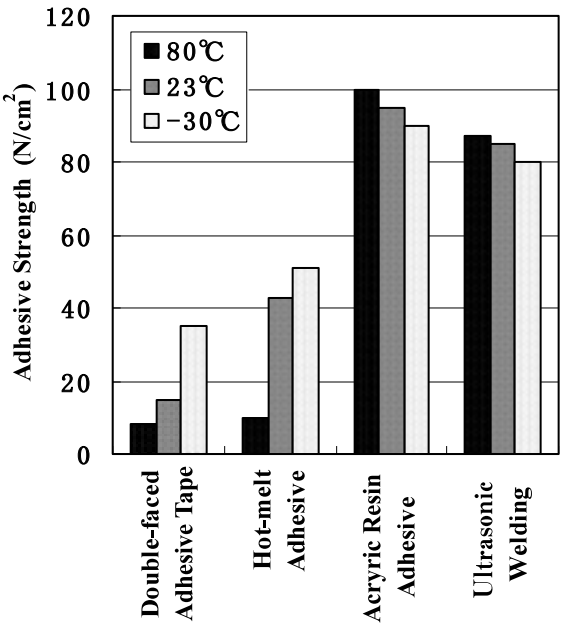


Fig.9　Adhesive Strength of each Adhesive Method

Table 1　Result of Study on Bonding Method

		Double-faced Adhesive Tape	Hot-melt Adhesive	Acryric Resin Adhesive	Ultrasonic Welding
Functional Performance	Initial Adhesive Strength	△	△	△	○
	Decay Durability	△	×	○	○
	Thermostability	×	×	○	○
	Cold Resistance	△	△	○	○
Appearance Quality		○	○	○	×
Productivity	Production Lead Time	△	△	×	○
	Ease of Quality Identification	×	△	△	△
	Ease of Assembling Work	×	×	△	△
Cost		×	△	△	○

一方生産性の面では，両面テープ同様にフェイシャとフェイシャガード表面にプライマ塗布が不可欠であることと，接着強度を発揮するまでの硬化時間に2時間程度要する等，工程設計上の課題があった。

4.4　超音波溶着の検討

超音波溶着でフェイシャガードの裏面から溶着ホーンを押し当て，超音波の振動熱でガード先端のリブを溶かし，フェイシャに溶着させた（Fig.8）。

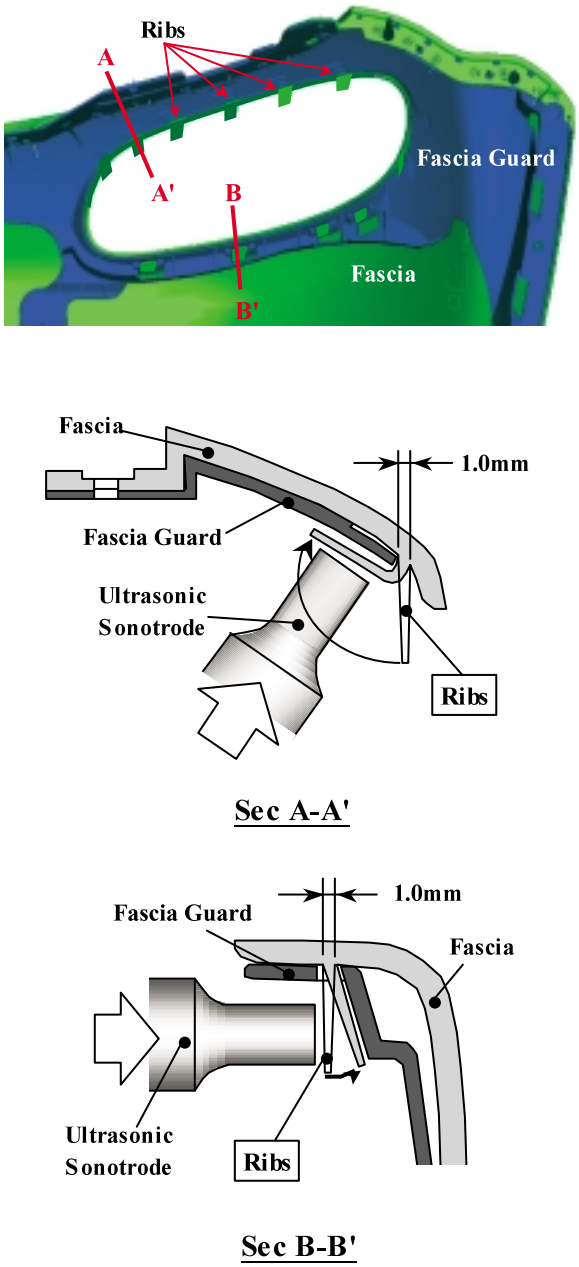


Fig.10　New Welding Process

実験の結果，加圧力を上げて，溶着時間を長くすると，溶着強度は満足するが，フェイシャの表面に「溶着歪」が発生して，外観品質が満足できないことが分かった。

Fig.9に各々接合工法別の，温度による強度変化を，またTable 1に各工法の検討結果のまとめを示す。

5．新工法「折り曲げ溶着法」の開発

前述のように，従来工法には何れも剥離強度等の品質や生産性に課題が多くあり，新たに接合工法を検討した。

我々は，フェイシャ素材のPPには，折り曲げ強度が強い，いわゆる「ヒンジ特性」があることに着目し，Fig.10

のようにフェイシャ側に薄板状のリブを設け，ガード上に折り曲げて溶着をする方法を検討した。

意匠面の裏面にリブを設定する場合，板厚の1/3～1/2の厚さのリブであれば，表面に「ヒケ」が発生しないため，フェイシャのH/L開口部周辺に11ヶ所，厚さ1mmのリブを形成して「折り曲げ溶着」を実施した。

前述同様の剥離実験の結果，常温で120N/cm^{2}の強度を確保し，高温・低温でも同様の強度が確保できることが分かった。

塗装オーバスプレ対策の検討

フェイシャの生産では前工程が塗装工程となるため，溶着面に塗料のオーバスプレによる塗膜が付着する恐れがある。フェイシャとフェイシャガードが熱可塑性樹脂であるのに対して塗膜は熱硬化性であるために溶融せず，溶着後の剥離強度が低下することが懸念された。

そのため，溶着するリブ部に塗膜を付着させてフェイシャとフェイシャガードを溶着し，剥離強度を測定した。

その結果，塗膜のない製品が剥離する際に，120N/cm^{2}の強度を有するのに比べ，塗料が付着したものは12N/cm^{2}しかなく，剥離することが判明した（Fig.13）。

オーバスプレ対策としてはマスキングが一般的であるが，コストアップとなり好ましくない。我々は，フェイシャとフェイシャガードの，PP材料同士が塗膜を貫通して溶着できるよう，ホーン形状の改良を試みた。

通常の溶着ホーンがFig.11のような形状であるのに対して，新たにFig.12に示すような先端を鋸歯形状にしたホーンを作成した。このホーンで溶着した結果，オーバスプレによる塗膜が付着したフェイシャでも溶着強度が確保でき，しかも短時間で溶着できることが分かった。

Fig.12はこの鋸歯ホーンで溶着した時の溶着面の断面写真である。このように鋸歯ホーンによって塗膜を貫通し，素材同士が溶け合って溶融接合していることが分かる。

また，この溶着強度を確認した結果，110N/cm^{2}の剥離強度をありし，塗装品でもほとんど強度が落ちることなく，溶着できることが分かった（Fig.13）。

6．工程内での品質保証の検討

折り曲げ溶着は実績のない構造である。量産での品質保証を確実にするため，FMEA（Failure Mode and Effects Analysis）を実施した。

これまでの実験で，溶着強度については，主にホーンの「加圧力」・「発振時間」の2つの因子で変化することが分かっている。そこで最適な溶着条件を決定するために，加圧力と加圧時間，溶着強度の関係を確認した（Fig.15）。

このグラフから加圧時間1.0秒の時，加圧力が5N/cm^2～80N/cm^{2}の広範囲でOKが確認できた。

また，実作業での加圧力は，10人の作業者の最小値～最大値で20N/cm^2～50N/cm^{2}であることを確認した。

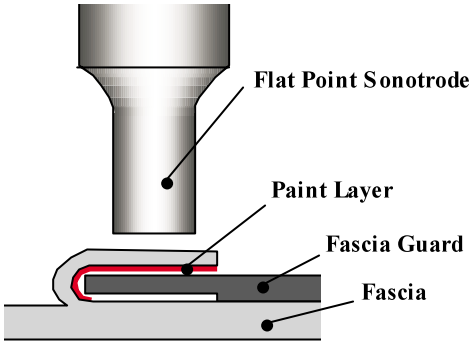


Fig.11　Flat Point Sonotrode

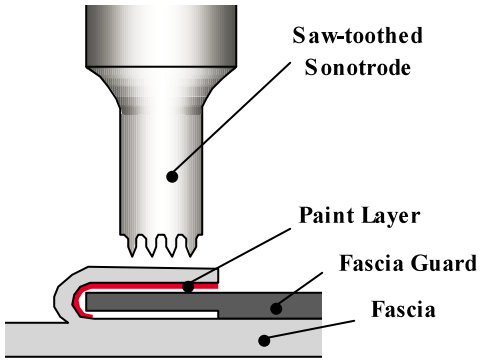


Fig.12　Saw-toothed Sonotrode

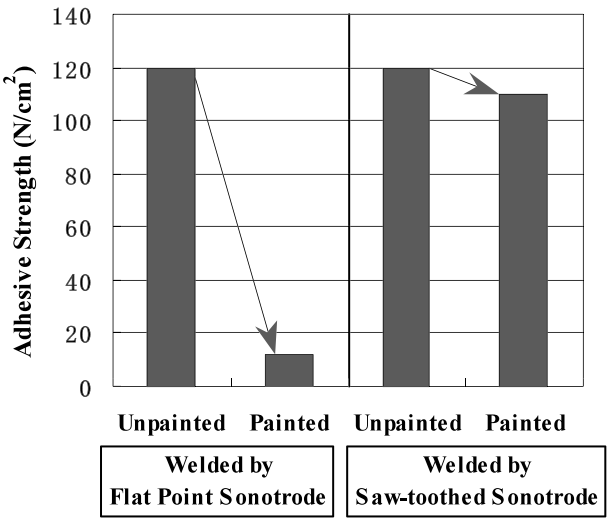


Fig.13　Effect of Saw-toothed Sonotrode

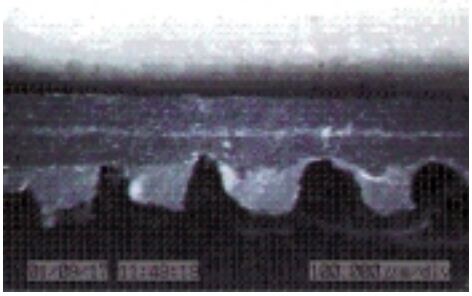


Fig.14　Cutting Surface of Welded Parts by Saw-toothed Sonotrode

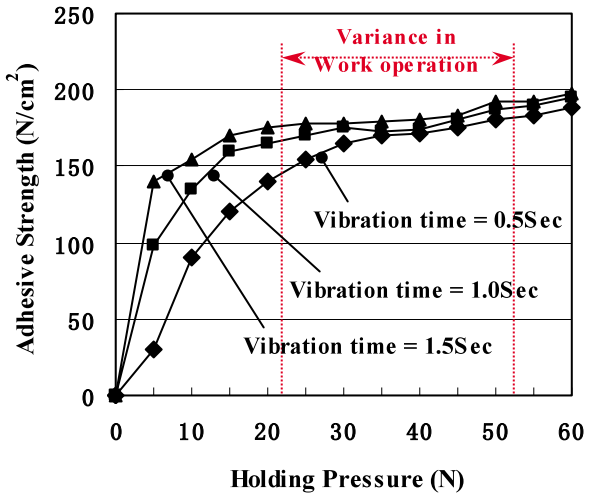


Fig.15　Relation of Welding Condition to Adhesive Strength

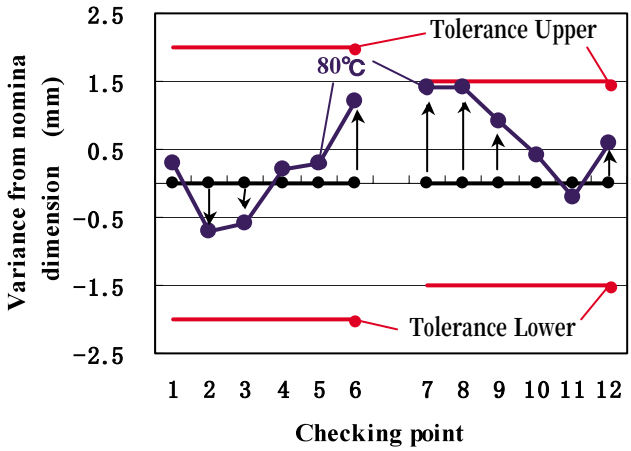


Fig.18　Dimensional Change at Thermal Test

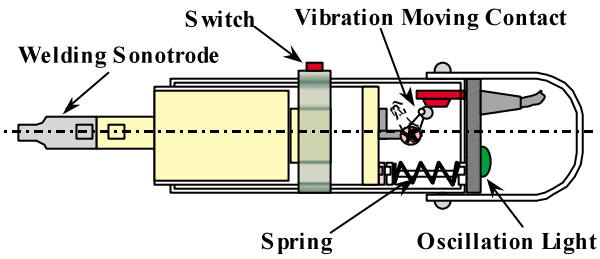
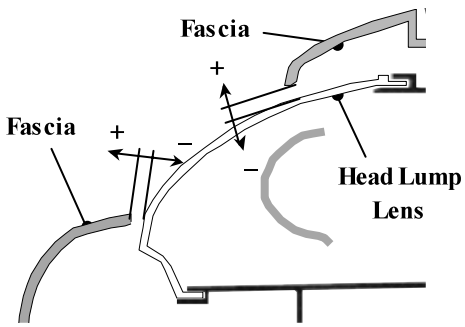


Fig.16　Welding Tool

Fig.19　All new MAZDA MX-5



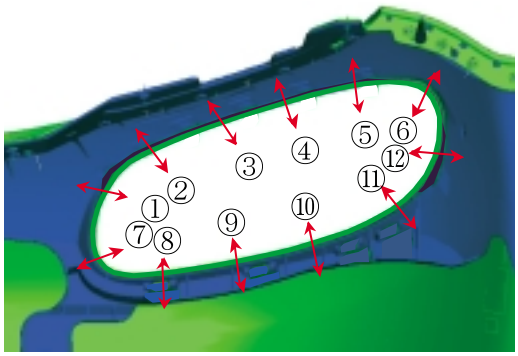


Fig.17　Dimensional Check Points

これらを踏まえ，溶着装置には，発振時間を制御するタイマーと合わせて加圧力の制御を加え，部品寸法や塗膜厚さのバラツキ，作業者の瞬間的な加圧力変化なども考慮してその制御範囲を20N/cm²～60N/cm²とし，作業者がこの加圧範囲で作業している時のみ，設定時間分だけ発振できるようにした（Fig.16）。

更に，作業台にはホーンを面直に当てて作業しやすいよう，ボタン操作で回転できる機構も設けた。

これらの改善により，作業者のスキル差や部品のバラツキを吸収して安定した品質を確保できる，ロバストな工程を実現した。

7．開発結果

これらの開発・検証の結果確立した，最終的な構造と工程によって製造されたフェイシャの，熱間・冷間時の寸法挙動を実験によって確認した（Fig.17）。

Fig.18はH/L周りにおける熱間時の寸法（スキ）変化量を示している。公差の厳しいH/L下側のスキも，極限の炎天下状態でも規格を満足していることが分かる。

また，このロバストな構造と工程によって，量産での折り合い品質の工程能力も十分であった。こうして新型ロードスターのフロントフェイシャは開発された（Fig.19）。

8．結言

アスレチックなかたまり感という，ロードスターデザインDNAの二つの特徴を兼ね備えたデザインを実現するため，試行錯誤の繰り返しではあったが，「これがいい」と納得するまで行動した結果，デザイン要求を満足しながら機能性と生産性を両立する構造を低コストで導入できた。

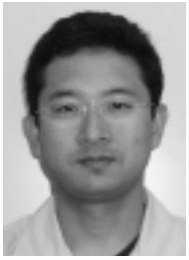
また，今後の締結方法において，締結部品レスの超音波溶着技術を進化させることによって，加工方法の選択肢も増えた。今後，更に厳しくなるであろう市場要求品質に応えられる，よりシンプルな構造を提案していきたい。

最後に，今回のフェイシャの開発にあたって協力頂いた社内外の関係者の方々に，本誌を借りて厚く感謝する。

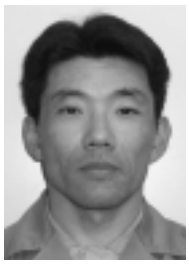
■著　者■

神田博文

益田　孝


藤岡義弘

古川智司


渡部　浩

中山伸之

特集：新型MPV

19

新型MPVの紹介
Introduction of All-New MPV

青山裕大*1　高田　稔*2　木下勝之*3
Yasuhiro Aoyama　Minoru Takata　Katsuyuki Kinoshita
中松由佳*4
Yuka Nakamatsu

要　約

新型MPVは，『マツダのDNAを具現化した次世代ピープルムーバー』を開発コンセプトとしている。ミニバンのリピーターを主要顧客と想定する本商品は，これらお客様からの要求が高まり，かつマツダのDNAであるZoom-Zoomを体現するために，①デザイン及び質感の革新，②ドライビングダイナミクスの革新によって，アテンザ以降のマツダのZoom-Zoomラインナップを締めくくるに相応しい商品となる。また，創意工夫に富んだパッケージや利便性にあふれたフィーチャーを常に時代に先駆けてお客様に提供しつづけてきた『MPVの志』を進化させ，③パッケージと機能性の革新を同時に実現した。これら3つの革新の融合により，前モデル同様，時代に先駆けて創意工夫に溢れたピープルムーバーを提案するミニバンのベンチマークとなると考える。

Summary

The development concept of the All-New MPV is the “People Mover of the Next Generation embodying Mazda’s DNA”. Visualizing repeat buyers of minivans as the main customers, this product responds to the increased demand of customers as well as embodying Mazda’s DNA of Zoom-Zoom. Through (1) innovation of design and quality and (2) innovation of driving dynamics, this will be a suitable product to top off Mazda’s Zoom-Zoom lineup since Atenza. Advancing the “Spirit of MPV” which has continuously offered customers an original and ingenious package full of convenient features, this car simultaneously possesses (3) innovative package and functionality. With the fusion of these 3 innovations, this will become a benchmark of People Mover minivans that leads the generation in originality and ingenuity, as did the previous model.

1．はじめに

新型MPVは1999年に導入したMPVのフルモデルチェンジとして開発された。その使命は，大きく2つある。それは，①ミニバンの代表格として，創意工夫に富んだパッケージや利便性にあふれたフィーチャーを常に時代に先駆けてお客様に提供しつづけてきた『MPVの志』を進化させること，②アテンザ以降，マツダが一貫して追求してきた“Zoom-Zoom”商品群の集大成として，そのメッセージを確実にお客様に伝える商品たること，の2点である。本稿では，このミッション実現に向けた新型MPVの商品コンセプト，商品特徴を紹介する。

2．商品コンセプト

新型MPVの商品コンセプトは，『マツダのDNAを具現化した次世代ピープルムーバー』である。主たるターゲットカスタマーとして，ミニバンからミニバンに乗り換えられるリピーターのお客様を想定した。これらのお客様からの要求が高く，かつマツダのDNAにおいても重要な，『①デザイン及び質感の革新』，『②ドライビングダイナミクスの革新』を目指した。また同時に，MPVの血統でもある，『③パッケージと機能性の革新』を高次元でバランスさせることで，次世代商品を予感させるピープルムーバーたることを志している（Fig.1）。

＊1～4　第2プログラム開発推進室
Program Management Office No.2

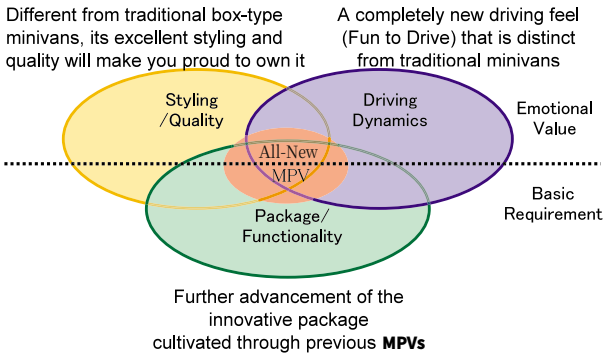


Fig.1　Fusion of 3 Innovations

3．新型MPVの特徴

3.1　デザイン

(1)　プロポーション

新型MPVのデザインは，家族の幸せだけでなく，ハンドルを握るお父さん（＝ドライバ）自身が，他ならぬ自分自身のために妥協なく誇りを持って選択いただける1台を目指している。従来の『いかにも道具然としたファミリーバン』から脱却した『次世代MPVに相応しい新しいプロポーション』を目指し，乗員配置から革新的なプロポーションを考案することから始めた。乗降しやすい低いフロアを採用し，乗り心地を考慮してホイールベースの間に3列6人を快適な着座姿勢でレイアウトさせる。更に，このパッケージを2代目MPV同等の室内高をキープした伸びやかなキャビンに包み込むことで，結果として，クラス最長のロングホイールベース＆ショートオーバハング，低車高＆ワイドトレッドの安定感と伸びやかさを兼ね備えた美しいプロポーションを作り上げた（Fig.2）。

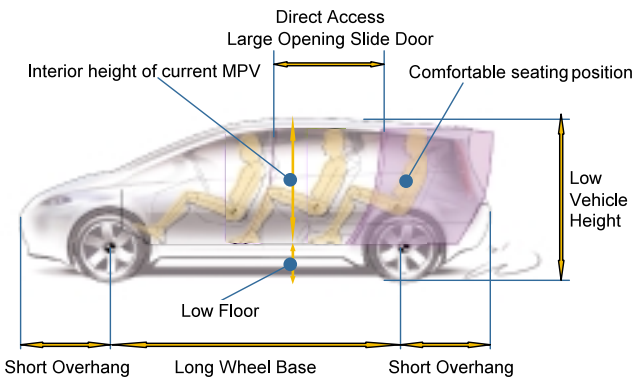


Fig.2　All-New MPV Proportion Concept

ロングホイールベースはデザイン的な効果だけではなく，大開口スライドドアとセットで3列目席へのダイレクトアクセスを可能としている。

(2)　デザインテイスト

このプロポーションを出発点として，デザインテイストとしては，『大人のスポーティ』を目指すことで，単なるファミリービークルとしてだけでなく，ご両親の多彩な乗車シーンをも華やかに彩るクルマとして仕上げた。また，より多くのミニバンリピーターの方の嗜好に応えるべく，『上質』と『スポーティ』をキーワードとした2つのエクステリア，インテリアのテイストを展開している（Fig.3，4）。

Fig.3　All-New MPV Exterior Design

Fig.4　All-New MPV Interior Design

3.2　クラフトマンシップ

アテンザ以降，マツダが注力しているのが，インテリアの質感を中心としたクラフトマンシップの醸成である。こ

れは，単なる仕上げ／見映え／操作性の造りこみに留まらず，内装表現の統一感など機能美の領域や，乗員の感動に結びつくカスタマーデライトの領域に踏み込んだ一連の造りこみを目標としている。

(1)　仕上げ／見映え／操作性領域

助手席エアバッグでのインパネ部のシームレス化，部品の合い沿いなどを造りこみ，極力乗員からパーティションが見えないように細部にわたるこだわりを貫いている。このことにより，『上質，かつシンプル＆モダン』というデザインテイストを実現している。

(2)　機能美

定量データ分析により室内スイッチ類の操作フィーリングの統一感を実現したり，乗員の触れる部位，例えばフロントドアアームレストのクッション感においてクラストップのソフト化を実現したりしている。

(3)　カスタマーデライト

また，更なる新型MPVのこだわりの領域がカスタマーデライトである。メータに虚像を用いることで限られた空間の中で立体的に見える演出を施し，あたかもメータ文字盤や指針がクラスター内に浮遊しているような印象をもたらす新開発の『3Dブラックアウトメータ』を採用した（Fig.5）。

Fig.5　3D Blackout Meter

また，インパネのアッパー部とロアー部の間に間接照明を配し，夜間でインパネ自体が浮遊しているような雰囲気をもたらした。その他にもグレードによってはLEDダウンライトやフットライトを配備した。これらのメータ，間接照明や，その他室内照明を乗車時に順次点灯させる機能を採用することで，全体的に光の演出を用いたカスタマーへの新鮮な感動を提供するしかけ作りを取っている。

3.3　ドライビングダイナミクス

もう一つ，アテンザ以降，マツダの一連の“Zoom-Zoom”商品群の中で，マツダが一貫して追求してきた商品性がドライビングダイナミクスである。新型MPVにおいては，ミニバンとしての多人数性と室内空間を持ちながらも，マツダの商品群の中で最大となる車格や重量を感じさせない安定感，リニアリティ，ダイレクト感を追求するドライビングダイナミクスを実現し，ハンドルを握るドライバをも必ずや満足させるツーリングミニバンとなることを目標とした。

(1)　パワートレイン

パワートレインは，マツダスピードアテンザに導入し，高い評価を得ているMZR2.3Lの直噴ターボエンジンとMZR2.3L SVTの2種類を用意した。

MZR2.3L直噴ターボエンジンは新開発の6速電子制御オートマティックトランスミッションを組み合わせ，かつミニバンの車格・重量や使用シーンに最適なチューニングを施した。結果，180kW/350Nm（245ps/35.7kg-m）といった大排気量V6に匹敵する高出力／トルクを実現し，かつ2,500～4,000rpmでほぼフラットに最大トルクを産み出す特性により，余裕のある高速巡航性能と抜群の加速性能を実現している。一方，燃費・エミッションはV6エンジンとは一線を画し，2WDモデルの10.15モード燃費：10.2km/LとSU-LEVを実現した。

MZR2.3L SVTエンジンは，120kW/210Nm（163ps/21.4kg-m）といったベースエンジンとして必要不可欠の性能を持っている。2代目モデルから，2,500～4,000rpmの常用域のトルク特性を改善し，日常ユースで使い勝手のよい，質感の高いエンジンとなっている。燃費・エミッション性能においても，2WDモデルの10.15モード燃費：12.2km/LとSU-LEVという，クラストップレベルの性能を実現した。

(2)　ボデー

アンダーボデーはメインフレームを前後方向に直線的に配したラダーフレーム構造とし，フレームのキックアップや断面積の確保にも配慮を行うことで，軽量ながら剛性の高いアンダーボデーを実現している（Fig.6）。

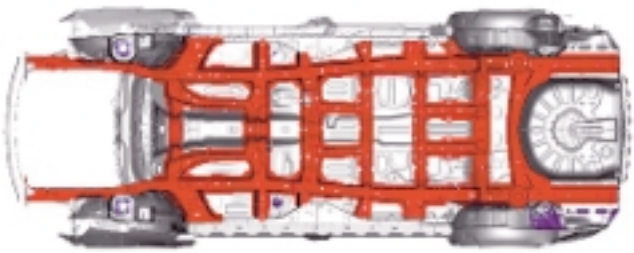


Fig.6　All-New MPV Underbody

また，アッパーボデーは車体の微妙なたわみに対してCAE解析と実車走行を繰り返すことで，効果的なスペックを選定している。

(3)　シャシー

シャシーにおいては，アテンザのアーキテクチャー構想を継承してマツダの“Zoom-Zoom”を体感することを主眼としつつ，ミニバンの車格・重量にも関わらずあらゆる天候・道路状況下でも安心して走行が可能な高い安定性と運転する楽しさを兼ね備えた操縦安定性を提供する。更に，腰高でボデーモーションの大きなミニバンイメージと一線

を画した，フラットで剛性感の高い乗り心地性能を実現した。このために，フロントサスペンションは，6点ラバーマウントのペリメータフレームに横力コントロールスプリングを採用したマクファーソンストラット式を採用した。リヤサスペンションは4点ラバーマウントのクロスメンバにダンパを直立させたマルチリンク式としている（Fig.7）。

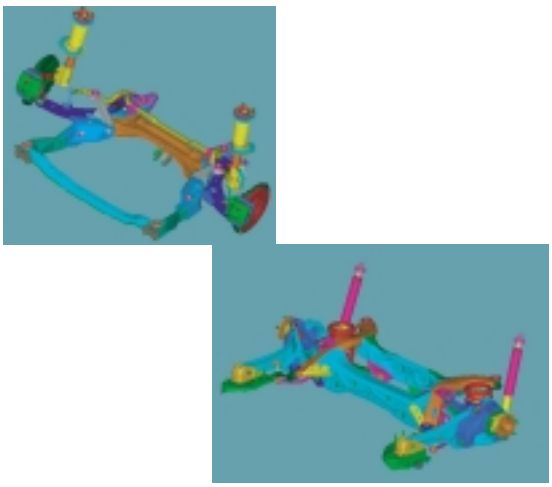


Fig.7　All-New MPV Suspension（Front/Rear）

3.4　パッケージ

3列目に至るまで計算の行き届いた乗員空間や荷物収容性の実現など，MPVはその伝統として優れたパッケージの提案を行ってきた。特にMPVではミニバンを乗り継がれるお客様のライフステージに即し，2代目MPVからのパッケージの進化を図っている。詳しくは，『新型MPVのパッケージング』の稿に譲るが，パッケージの革新点として，下記のような創意工夫項目を挙げておきたい：

- ロングホイールベースを活かした大開口スライドドア（開口幅：785mm）とフロアの低床化がもたらす2列目，3列目への乗降性の改善。
- 2列目のロングスライド（330mm）がもたらす2列目乗員スペースのフレキシビリティ。
- 2列目サイドスライドによりベンチシートモードとした際の2列目シート乗車定員の3名化（新型MPVの乗車定員は8名）。
- 3列目シートのレッグルーム拡大とヒップポイント上昇による3列目乗員姿勢の改善。
- スペアタイヤレス仕様の標準採用による，クラストップの荷室容量の確保（357L）。

3.5　機能性

また，新型MPVには，マツダの国内商品体系のフラッグシップモデルに相応しい利便性にあふれた装備の数々をマツダで初めて採用している。

(1)　G-Book ALPHAナビゲーションシステム

新開発のG-Book ALPHAは，緊急時に車両位置をオペレータから通報したり，盗難などのクルマの異常をメール・電話で連絡する『安心・安全』機能，リアルタイムの交通情報などから渋滞を回避した最適な目的地到達ルートを検索できる『ドライビングインテリジェンス』機能，ハードディスクにプリインストールした曲の中からカラオケなどをダウンロードする『アミューズメント』機能など，様々なテレマティクス機能を備えた最先端のナビゲーションシステムである。

(2)　プレミアムオーディオ

新型MPVのRSES（Rear Seat Entertainment System）には9インチの大型画面を採用し，かつ，5.1CHの11スピーカ Boseシステムを標準設定とし，オーディオマニアも満足できる臨場感を実現した。HDDナビゲーションシステムとセットでは，8スピーカタイプのBoseオーディオシステムも採用している。

(3)　スーパーリラックスシート

2列目には，オプション装備でスーパーリラックスシート（Fig.8）を装備した。これは，大型ヘッドレスト，シートクッションの角度調整機能，オットマン，角度調整式アームレストの採用により，人間工学的により安楽姿勢を取ることができるシートフィーチャーである。長距離移動の休憩時などに利用することで，身体的な疲労を軽減することが可能である。

Fig.8　Super Relax Seats

(4)　6：4分割式3列シートと電動復帰システム

3列目シートは6：4分割タイプのワンタッチ・ダイブダウン式格納シートとすることで，乗員・荷室変換をより容易にするとともに，シート格納時にも荷室の床下スペースを使用できるように配慮した（Fig.9）。また，格納したシートの復帰をより容易にするために，オプションで電動復帰システムを装備している。

Fig.9　6:4 Splitted 3rd-row Seat

(5)　3カメラタイプ駐車支援システム

駐車支援システムは，プレマシーのフロントとリヤのCCDカメラに加えて左側ドアミラーの下部にもカメラを装備することで，後方視界の補完やフロントバンパ付近の死角の補完に加えて助手席前輪付近の視界を補完することで車体の大きさを感じさせない取り回しのよさを実現する。3種類のカメラ映像は，ステアリングスイッチで切り替えが可能である。

(6)　マツダ・レーダ・クルーズ・コントロール・システム（MRCC）

従来のクルーズコントロール機能に加えて，車両前部に搭載したミリ波レーダにより，先行車両の有無，速度，車間距離等を計測して，自車の走行状態に応じて，追従走行を可能にすることで運転者の疲労低減を行う。本装備は，MZR2.3L直噴ターボ車のみに展開している。

(7)　3-Zone独立温度コントロール空調

従来のフロント席，リヤ席に加えて，フロント席の運転席側，助手席側も独立して温度コントロールを行える3-Zoneフルオートエアコンを標準装備している。

(8)　パワーリフトゲート

リフトゲートの開閉をインパネSW，スマートキーに備えられたボタンSWで遠隔操作できる。また，リフトゲート下端のボタンSWで閉操作を行える。

3.6　セーフティ

セーフティの領域においては，プレマシー同様，MAGMAボデー構造，クラッシャブルブレーキペダル，頸部衝撃緩和フロントシート，頭部衝撃緩和構造インテリア，1～3列目シートへのサイド＆カーテンエアバッグのオプション設定など，先進のパッシブセーフティスペックを採用するとともに，最先端のアクティブセーフティ技術として，『マツダ・プリクラッシュ・セーフティ・システム』，『アダプティブ・フロントライティング・システム』をマツダ車として初めて採用した（マツダ・プリクラッシュ・セーフティ・システムはMZR2.3L直噴ターボ車のみに展開）。

(1)　マツダ・プリクラッシュ・セーフティ・システム

これは，車両前部に搭載されたミリ波レーダにより，先行車・障害物・対向車等を認識し，それらと衝突の危険性があると判断された場合は，ブザーなどに警報し，更にブレーキ操作がない場合は，シートベルトのプリテンショナーを駆動してベルトの早期巻取りを行い乗員の拘束性能を高めるとともに，ブレーキを自動作動させることで衝突速度を低減させ，衝突被害の軽減を図る安全装備である。

(2)　アダプティブ・フロントライティング・システム

これは，車速やステアリングの舵角を自動的に感知して，ドライバの進みたい方向にロービームの光軸を左右に作動させ，コーナリング時の視認性を向上させるための安全装備である。最大20度，左側に最大15度スイブルする新型MPVは，競合車に対してスイブル角度が大きく，コーナでの視認性に優れている。

4．おわりに

以上，新型MPVの商品コンセプト，商品特徴を紹介してきた。マツダのZoom-Zoomを体現し，かつ，『MPVの志』を併せ持った本商品は，必ずや乗員であるご家族とともにドライバたるご自分のこだわりを貫かれるお客様方々にとって，豊かなカーライフを提供するよきパートナーとなると信じている。

■著　者■

青山裕大

高田　稔

木下勝之

中松由佳

特集：新型MPV

20

新型MPVのデザイン
Design of All-New MPV

大　矢　隆　一*1
Ryuichi Oya

要　約

Zoom-Zoomラインナップの締めくくりとなる新型MPVは，室内スペースや使い勝手などミニバン特有の「機能的価値」を維持進化させながら，アスレチックで革新的なスタイルによる「エモーショナルバリュー」をも提供することが求められた。そこでデザインはパッケージ＆プロポーションの革新から取り組み，快適な人間の乗せ方と適切な空間の定義付けからスタートした。その上でマツダらしいスポーティ表現とターゲットカスタマーの趣向にかなった上質感のあるデザインテイストを融合し，スポーティで存在感のあるエクステリアと，見識のある大人の期待値に応える上質なインテリアデザインの実現を図った。

Summary

Filling up a final slot of Zoom-Zoom lineup, all new MPV took up a task of providing “emotional value” with its athletic and innovative styling while maintaining “functional value” such as interior space and ease of use that is unique to mini van. Design team started from package & proportion innovation, defining comfortable occupant’s position and appropriate space for them. Combining Mazda-like sporty expression and customer-oriented high quality design taste, we created prominent sporty exterior and high quality interior that can live up to sensible adult’s expectations.

1．はじめに

ミニバンというカテゴリが日本市場の中で拡大定着する一方で，多くのミニバンユーザが「家族の満足」のためにという理由で「運転の楽しさ」や「所有することの誇り」等，クルマ本来の喜びを忘れつつあるのではないか。

Zoom-Zoomラインナップの完成形となる新型MPVのデザイン開発にあたって，家族のためだけに購入する広さと機能のみの道具的なミニバンではなく，そのような基本機能を押さえながらも「オーナー自身が所有することを誇れる存在感のある車作り」にチャレンジした。

2．デザインの狙い

デザイナーは車のデザインを「プロポーション」と「テイスト」という2つの側面に分けて考えることが多い。筋トレやダイエットによる理想の体型を作り（プロポーション），どのようなファッションを身にまとうか（テイスト）という我々の日常の行為にたとえると理解していただきやすいかと思う。

新型MPVのデザイン開発も

(1)　商用バン的なイメージから脱却した次世代MPVにふさわしい新しいプロポーション作り

(2)　先代MPVよりもより高品質であり，時代とターゲットカスタマーの趣向に即したデザインテイスト表現

という2つの側面で進めた。

2.1　パッケージ＆プロポーション

俗に「スタイルのよい人は何を着ても似合う」といわれるように，グッドデザインの基本はグッドプロポーションにある。革新的なプロポーションを作るために，ただ単に「バランスがいい」というのではなく，理想的な乗員の乗せ方（＝パッケージ）からデザイン作業はスタートした。

乗り降りしやすい「低いフロア」をベースに，乗り心地

*1　デザイン戦略スタジオ
Design Strategic Studio

を考慮して「前輪と後輪の間」に3列6人を「快適な着座姿勢」でレイアウト。それを先代MPV並の室内高をキープした「伸びやか」なキャビンに包み込むことで，次世代ミニバンと呼べる革新的なプロポーションが見えてきた。

ロングホイールベース＆ショートオーバハング。タイヤをボデーの4隅に配置した，安定感と伸びやかさのある美しいプロポーションにより，快適な室内空間と視覚的な存在感を高度に両立した。ロングホイールベースはデザイン的効果だけでなく，大開口スライドドアとセットで3rd席へのダイレクトアクセスを可能にした（Fig.1）。

「たくさん荷物を積める」というような単純な広さではなく，「まず人を快適に着座でき，その上で適切な空間を与える」という発想から作られたパッケージ＆プロポーション。これがデザインの出発点になっている。

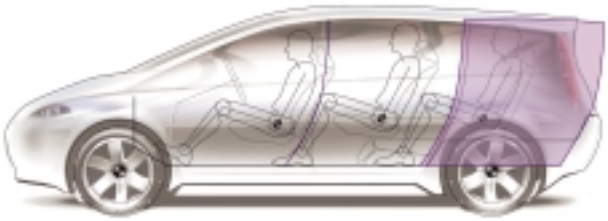


Fig.1　Package & Proportion Image

2.2　デザインテイスト

メインとなるデザインテイストは，マツダのデザインDNAであるAthletic Designをベースに，オトナの趣向＆時代性を考慮したシンプル，クリーン＆モダンテイストを加味したものに設定した。更に，カスタマーに対して魅力あるデザインテイストを提供するために「デザインテイストサーベイ」を実施した。これは「ホームオーディオ」「ソファ」「自転車」「靴」等の日常品において，それぞれデザインテイストの異なる複数案の中からターゲットカスタマー（30代男性）がどれを好むかを調査することにより，彼らの趣向の傾向を知るものである。その調査の結果，「シンプルで上質」と「スタイリッシュでスポーティ」の2つの方向性をカスタマーが欲していることが見えてきた。

そこでパーツやカラー＆トリムでは「上質」と「スポーティ」をキーワードに2種類の異なるデザインテイストを展開することで，一方的なテイストの押し付けではなく，カスタマーの趣向に沿って好みのテイストを選んでいただけるよう配慮した。

3．エクステリアデザイン

前述したように，単なる広さではなく乗員の快適性から生まれた新しいプロポーションに，モダナイズされたAthletic表現をアレンジしたエクステリアデザイン。伸びやかなキャビンと力強いボデーから作られた美しく存在感のあるプロポーションと，厚みのあるフロントフェイスとダイナミックな縦型ヘッドランプから構成される「威風堂々」たるフロントフェイスが最大の特徴である（Fig.2）。

Fig.2　Front View

走りを予感させる力強いホイールアーチによりマツダらしさを明確にアピール。リヤホイールアーチの外側にオーバハングするスライドドアを採用しながらここまで大きなホイールフレアを実現するためには，ドアのスイング量の増大とドアトリムの適切な厚みの吟味など，インテリアデザインにまで検討範囲を広げることが要求された（Fig.3）。

Fig.3　Side View

リヤビューは商用バン的なイメージからの脱却を狙っている。横長リヤコンビランプとリヤバンパと連続感のあるガーニッシュをリフトゲートに追加することで，ワイド感にあふれ，バンパとの段差のないすっきりと引き締まったリヤビューを実現することができた（Fig.4）。

Fig.4　Rear View

ランプのディテールデザインは，従来のような円形モチ

ーフとは異なる新しい構成にチャレンジした。

フロントヘッドランプは長方形と半円形から構成されたユニークな灯体を上下2段に前後位相差を加えてレイアウトした立体的でダイナミックなデザインとしている。

リヤコンビランプにはヘッドランプ同様の造形モチーフを用い，透明インナレンズの表裏両面に造形処理を施した。これによってジュエリーのような立体感とクリスタル感を表現している。いずれもハイテク感とモダンさが融合された質感の高い仕上がりになっている（Fig.5）。

Fig.5　Head Lamp（LH）& Rear Combination Lamp（RH）

デザインテイストサーベイの調査結果に基づき，エクステリアデザインには，上質でモダンなたたずまいの「Modern Appearance Package」とマツダのZoom-Zoomを表現したアクティブでスポーティな「Sports Appearance Package」の2種を設定。Lowグレード，Highグレードという概念を超えた2つのアピアランスをカスタマーに提供している。

3.1　Modern Appearance Package

まずModern Appearance Packageは，光沢のあるブロックパターンのフロントグリルにメッキパーツを組み合わせ，上質でモダンなフロントフェイスを作り出している。

サイドシルなどボデー下端部全周をブラックアウトすることでボデー全般をスリムに見せ，全体的に軽快な印象を作り上げた。リヤコンビには赤色インナレンズとメッキのコントラストを強調し上質感を強調した（Fig.6）。

Fig.6　Modern Appearance Package

3.2　Sports Appearance Package

一方Sports Appearance Package（以下SAP）は，フロントグリルはハニカムメッシュ＋スリット付き横バーをモチーフにし，より立体的なバンパデザインと力強く大きなバンパロア開口で，アグレッシブかつスポーティなフロントフェイスを実現している。

サイドシルガーニッシュなど，ボデー下端をボデーカラー化することで低重心感と安定感を強調。フォグランプと同じメッキ調サイドシルモールディングは先代MPVのSAPが築いた強烈なイメージを，質感を上げながら継承した。

リヤルーフスポイラを装着することで，空力効果はもちろんプロポーションの伸びやかさをも強調した。リヤコンビランプもSAPではクリアタイプに変更し，ハイテク感とスポーティさを強調している（Fig.7）。

Fig.7　Sports Appearance Package

3.3　ホイールデザイン

3種類の新デザインアルミホイールは，マツダらしい5本スポークをモチーフにしながら，ボデーのボリュームに負けないよう大きく見えるデザインを採用。なおかつそれぞれが明確なテイストの差を表現している。

(1)　18インチ：ライトウェイトイメージと力強さが融合したアグレッシブでスポーティなデザイン。ボデーのリヤピラー形状と共通のモチーフを採用したスポーク付け根の処理は，車全体の中で心地よいアクセントとなっている。

(2)　17インチ：細めのスポークに柔らかな面変化を加味して，上質でエレガントな印象に仕上げた。

(3)　16インチ：太さの違う2種のスポークを立体的に交差させることにより，スポーティさとモダンさを融合。

またフルキャップのデザインも，無機的なテイストで構成し，力強さとモダンな新しさを狙った（Fig.8）。

Fig.8　Alloy Wheel & Full Cap Design

4．インテリアデザイン

デザインコンセプトは，商用バン的な単なる広さではない「上質で快適な室内空間造り」である。更には従来的な汗臭いスポーティではなく，オトナの上質なスポーティドライブをサポートするインテリアデザインを目指した。使用シーンのイメージとして「試合を終えたアスリートがスーツに着替えてドライブ」を合言葉にし，開発メンバ全員が共通認識を持てるようにした（Fig.9）。

Fig.9　Interior Image Sketch

限られた空間の中で,「マツダらしいスポーティなドライバズシート」と「MPVとしての開放感」という，一見相反するようなこの要素を両立するために，パーツを軽く見せるフローティングイメージ処理を効果的に配し，スポーティな緊張感と，心地よい開放感の両立した室内空間を実現している。

インストルメントパネル（以下インパネ）のデザインは水平基調で広さ感を強調。更にインパネアッパ部を独立してフローティングしている「ウイング」に見立て，その下を空気が抜けていく…，というような開放的で風通しの良さを感じさせる「Airyな空間」をターゲットイメージとした（Fig.10）。

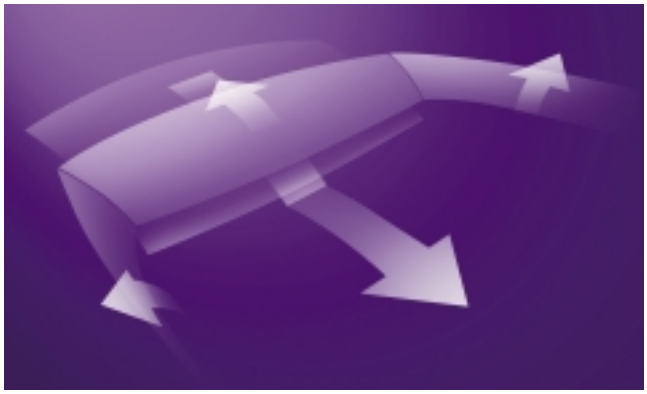


Fig.10　Instrument Panel Image Sketch

フローティングイメージを物理的に表現するのが困難な部位には，造形表現に加えて視覚的に表現するため「光による立体表現」という手法を採用している。

ウイング下部にLEDと導光棒による間接照明を仕込み，夜間はウイングがあたかも浮かんでいるような見せる効果を実現した。また3Dブラックアウトメータと称した新構造のメータは，虚像を使ってメータ指針＆文字盤も3次元的に浮かんでいるように見せている（Fig.11）。

これらはいずれも単なるギミックではなく，すべて圧迫感のない「Airyな空間」を視覚的に実現するためのものである。

Fig.11　3D Blackout Meter

ミニバンにおける装着比率が増大しつつあるナビゲーションシステム類は，ドライバから見やすくタッチパネル操作も容易にできる位置にレイアウトすることはデザイン開発の早い段階で決定した。このように操作性を重視する一方で，直線と円だけで構成されたモダンなデザインの空調パネルは，開放的なダッシュボードデザインの中における新鮮なアクセントとなっている（Fig.12）。

Fig.12　Instrument Panel（Virtual Model）

一部の機種には部分的にウッド風パネルを採用。ウッドも従来の「木目」ではなく「シンプル＆モダン」をコンセプトとしてセレクトした。またウッド風パネルの横には必ずメタル調素材をコーディネート。「ウッド＆メタル」という素材のコンビネーションにこだわり，モダンリビングのような上質感を再現している（Fig.13）。

Fig.13　Wood & Metal Combination

インテリアもエクステリア同様2つのデザインテイストで，より広いカスタマーの嗜好に対応している。

「上質＆洗練」を訴求する「High Style」と，マツダらしいSporty Drivingを演出する「Sports Style」の2種で，いずれも専用のシート形状とカラー＆トリムを設定している。

4.1　High Style

単なる「豪華」「高級」という概念ではなく，見識ある大人のための洗練された上質なインテリアがHigh Styleの狙いである。インパネアッパとフロアには新色の「ダークブラウン」と，インパネロアに「サンドベージュ」を配した2トーンの内装色により，コントラストのある質感の高い空間を演出。更に上級グレードの加飾には従来に見られるトラッドな柄ではなく，シンプルながら繊細な柄の茶木目を採用し，新しい上質さを表現した（Fig.14）。

Fig.14　High Style Interior

シートは縦基調のデザインにモダンな柄と上質な触感のファブリックを採用し，シートはあえて薄く見える座面と背面の2トーンのトリムパターンを採用。フロアマットのダークブラウン色とあいまってモダンで快適な薄型シートが，あたかも室内に浮かんでいるような雰囲気を作り出す。これもまた「Airyな空間」作りに貢献している（Fig.15）。

Fig.15　High Style Seat Design

4.2　Sports Style

Sports Styleは，ブラック内装色とシルバーパーツのコントラストでスポーティさと上質さを合わせ持つ空間を演出した。シートはサイドボルスターを強調しホールド性を高めたスポーツタイプシート。カーボンファイバーをイメージさせる立体的で力強い柄のファブリックで，洗練されたスポーティテイストを表現している（Fig.16）。

Fig.16　Sports Style Interior

5．ボデーカラー

「上質」と「スポーティ」の2つのテイストへのこだわりはボデーカラーパレットにも反映されている。

「上質～High Style」イメージを表現するのは新色のコスミックブラックマイカに代表される4色（Fig.17）。

「スポーティ～Sports Style」は大人のためのレッドともいえるカッパーレッドマイカを含む3色（Fig.18）。

上記に白・シルバーという定番のニュートラルカラー2色（Fig.19）を加えた全9色で，ターゲットカスタマーの幅広い趣向に対応している。

特にコスミックブラックマイカとHigh Style内装のコンビネーションは，「所有することを誇れる存在感のある車」というメッセージを最も表現している象徴的なカラーコーディネーションといえる。

Fig.17　Modern Image Colors

Fig.18　Sporty Image Colors

Fig.19　Neutral Colors

6．おわりに

ミニバンの基本要件である室内スペースや使い勝手の良さと，マツダならではのアスレチックでスポーティなデザイン。一見相反するような2つのニーズをひとつに纏め上げることができたのも，Zoom-Zoomスピリットのもと「マツダのミニバンはこうあるべきだ」という明確なイメージが開発メンバ全員の中に宿っていたからではないか。

ミニバンブームの中で家族の満足のみを重視しすぎるあまり，忘れかけていた「車を所有することの喜び」や「運転することの楽しさ」。これらをこの新型MPVで今一度思い出していただきたいと思う。もちろん家族の幸せを失うことなく，である。

■著　者■

大矢隆一

特集：新型MPV

21

新型MPVのパッケージング
Packaging, All-New MPV

渡　辺　康　和*1
Yasukazu Watanabe

要　約

新型MPVは，1988年の第1世代，1999年の第2世代を経て，今回が2度目のフルモデルチェンジとなる。新型の基本設計にあたり，MPVの財産である，ゆとりのある空間，当社のクルマ創りの基本戦略であるZoom-Zoom，商品コンセプト“Mazda DNAを体現した次世代ピープルムーバー”の3つを高次元で調和させることに注力した。

Summary

The all-new MPV is the third generation, following the first gen. in 1989 and the second gen. in 1999. We have designed the packaging so that three of the following would be harmonized at higher order：

- ample space as the asset of MPV,
- Zoom-Zoom,
- product concept “The Next Generation People Mover”.

1．はじめに

新型MPVでは，歴代MPVが培ってきた革新パッケージを更に進化させた。MPVの強みである機能性・多人数性を進化，発展させつつ，Mazda DNAの代表格であるデザイン／走行性能の2大要素を飛躍的に高めることを狙って開発した。

いわゆる車両のパッケージングは，デザインに直接的には影響しない車台部分～プラットホーム（Fig.1赤枠内）と，シーティングパッケージ，トランクルームパッケージと呼ばれる，居住性・荷室の空間設計領域で，デザインへ直に影響する部分（Fig.1青枠内）からなる。

第2章“パッケージの考え方”では，パッケージ全般について紹介する。

第3章“パッケージの特長”では，室内空間にフォーカスして紹介する。ただし，空間系がプラットホームとクロスオーバする部分において，プラットホームの工夫で特長を生み出したところは，随時，言及する。

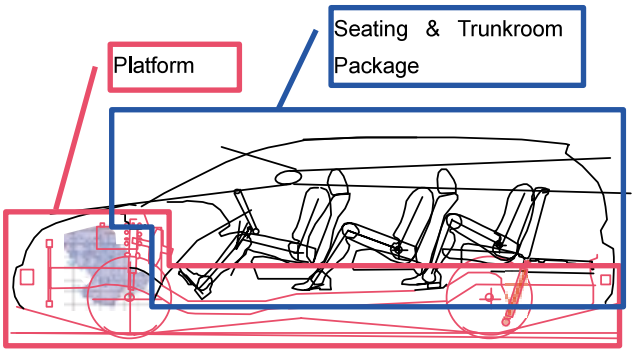


Fig.1　Package Classification

2．パッケージの考え方

2.1　先代MPVの弱点の解消

先代MPVはMazda初のFWD※1プラットホームをもつミニバンとして企画・開発され，全世界で販売・好評され，特に国内では大好評を博した。

新型モデルの企画に当たり，先代の長所，短所を把握し，長所は伸ばし，短所は大幅に改善してゆくことを基本的考えとした。お客様の声を分析した結果，パッケージ関連で

*1　企画設計部
Basic Design Dept.

改善すべき弱点として以下を挙げた。

・高速走行時や荒れた路面での乗り心地／静粛性
・屈曲路での安定性
・さまざまな車速における保舵力

ドライビングダイナミクスのてこ入れを，サスペンションの形式選定やボデーフレームワークまで遡らねばならず，プラットホームの変更が必要となった。今回もプラットホームは完全新設である。

快適性・利便性，シート領域は先代の強みであることから，リピーターの方にもご満足戴けるものへと，更に強化してゆく方向とした。

※1　FWD：前輪駆動方式

2.2　商品コンセプト

論文“新型MPVの紹介”方に詳しいが，新型では，ミニバンリピーターの方々に照準を合わせた。

商品コンセプト：Mazda DNAを体現した次世代ピープルムーバー

従来ミニバンが犠牲にしてきた，ドライビングダイナミクスを乗用車に近いレベルで実現するとともに，パッケージの力点をユーティリティから，より乗用車的な快適性の確保へ移した。典型的なシーンを，“大人6名が長距離・長時間を快適に移動できる”ことと規定した。移動の速さは新幹線や旅客航空機に敵わないが，快適性においては，これらを凌駕すべく，高い志をもって，企画・開発を進めた。

2.3　パッケージプライオリティ

当社のブランド戦略においてDNAとして規定された商品属性プライオリティをパッケージ開発においてもフルサポートした。

(1)　デザイン

デザインの基本となる，グッドプロポーションを実現すべく，ロングホイールベースとショートオーバハング，低全高を追求した。

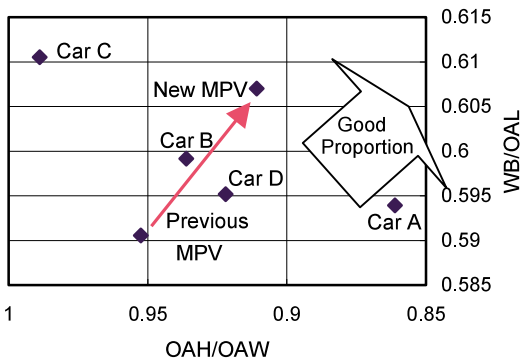


Fig.2　Comparison, Proportion Ratio

(2)　ステアリング&ハンドリング

先代のダイナミクスの弱点払拭とMazda DNA体現のため，サスペンション形式は，フロントはストラットのままで，6点マウント付きペリメータフレーム付きへ変更した。

6点化は，サスペンション横剛性と乗り心地，ロードノイズの両立，更に衝突エネルギの効率的吸収を狙っている。

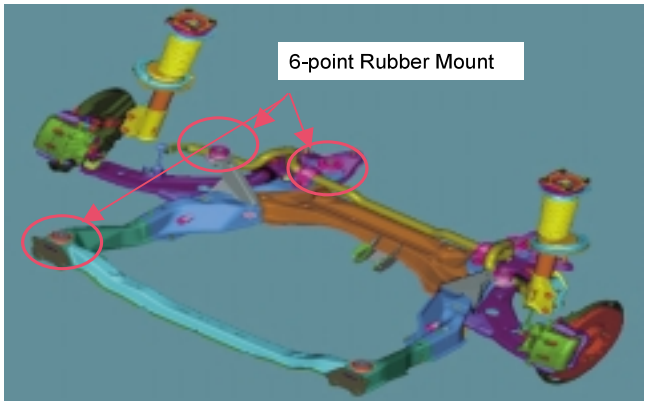


Fig.3　Suspension, Front

リヤは，操縦安定性と乗り心地の高次なバランスを狙い，トーションビームタイプから，アテンザと同じアーキテクチャである，E型マルチリンクサスペンションへ変更した。ダンパのレバー比を大きくとって，効きを改善するためにダンパを直立した。トレーリングアームの車体への取り付け点を高くとり，微小ストロークでのダンパの効きを改善した。

ボデー構造はメインフレームを前後に連続して通したオフセットの少ないフルラダーフレームとし，車体剛性，NVHに有利なものとした。また，車両挙動改善のため，低床フロアとし，車両重心高を下げた。

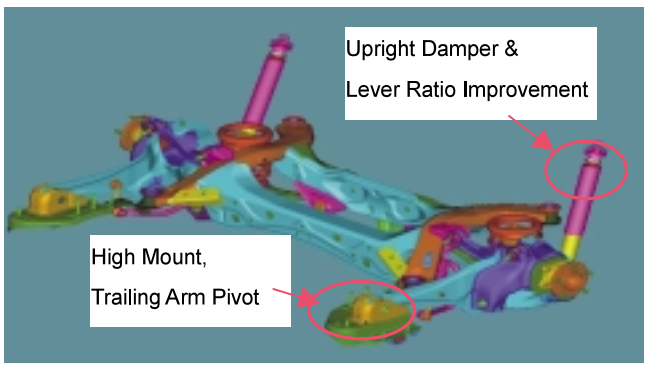


Fig.4　Suspension, Rear

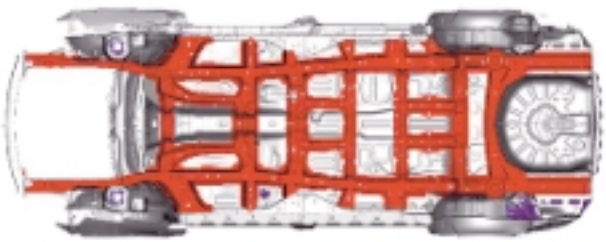


Fig.5　Full Ladder Frame

(3)　インテリアスペース

大人6名が長距離，長時間ドライブを快適に過ごせるよう，後席のレッグルームとシートサイズを，室内高はキープしつつ，大幅に改善した。

2列目シートに関しては，先代で評価の高かった，キャプテン，ベンチシート両方のよさを味わえる横スライドを踏襲しつつ，ロングホイールベースを活かし，縦方向のスライド長を大幅に伸ばした。2列目はシート拡幅によりベンチモード時は法規上，3人掛けが可能なサイズとした。

“旅客機，新幹線よりも快適”の志の展開として，安楽に特化したフィーチャー，“スーパーリラックスシート”を企画した。リヤシートエンターテインメントシステムとの組み合わせにより，非常に快適な移動の実現を狙った。

2000年4月に実施されたCRS※2の着用義務づけを契機に，2列目へのCRS装着増加に伴い，大人が3列目に着座する頻度が増えたことから，2列目のみならず3列目の居住性改善も重視した。

運転席のヒップポイント高さについては，ミニバンの特長であるコマンドポジションを守りながら，2005年1月から実施中の保安基準～直接前方視界，直前直左視界に適合できる高さまで下げた。また，ドライバ席の保証範囲もより幅広く満足のいくレベルへと改善した。

シートアレンジを含む操作系は，リーチが近く，操作が軽く，節度のあることは当然として，一歩進んで，短時間で操作完了できることをプライオリティとした。

※2　CRS：チャイルドシート

(4)　荷室

旧型の3列目シート格納用の掘り込み荷室は，それまでのミニバンの弱点であった，狭い荷室を解消する優れたフィーチャーであった。しかしながら，実際には，常備品の収納場所として占有されるケースが多く（Fig.6），いざシートを格納しようとすると，荷物を取り出す手間がいった。それで，いったんどちらかの位置にセットすると，不本意ながら何ヶ月もそのままの状態に放置される不便があった。格納パンの形状から，シートバック長にも制約があった。新型は，掘り込みを踏襲しつつ，BIC※3の荷室容量確保を目指した。3列目のシートアレンジを見直しし，掘り込みに物があろうがなかろうが，格納・復帰可能なものとした。

Fig.6　Actual Usage of Trunk, Previous MPV

スペアタイヤは，日本におけるパンク頻度やデミオe 4WD（スペアタイヤレス標準）の受容性を分析，スペアタイヤレスとした。スペアタイヤを要望されるお客様のために，テンポラリースペアを用品設定した。

※3　BIC：ベストインクラス

(5)　乗降性

旧モデルの市場評価，デザインの低車高要求から，フロア高さは，先代から大幅な改善が必要であった。

2世帯が利用することの多いミニバンでは，シニアが後席に乗り込む際にまず問題となるのが，乗り込み第1歩目のフロア高さである。新設計プラットホームにより低床化を図った。スライドドアの開口幅はBICとするとともに，2列目横スライドにより，3列目への乗降性は，ダイレクトスルー，センタースルー，いずれのアクセスも可能とした。

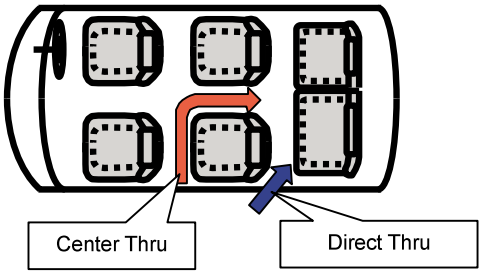


Fig.7　Access to 3rd Row Seat

3．パッケージの特長

基本諸元設定に触れた後，注力した順に，部品あるいは，商品属性のくくりで，特長，工夫した点を紹介する。

3.1　ゆとりのある車両諸元

旧モデルからのスペース改善，デザイン要望のプロポーションの実現から，国内のインフラストラクチャで許容される最大のサイズとして，全長4,860mm（エアロ仕様は4,870mm）×全幅1,850mm×全高1,685mmを設定した。クラストップのロングホイールベース2,950mmにより，広い室内空間を生む，ゆとりのあるボデーサイズとした。

旧モデルに較べ，全長で＋50mm，全幅で＋20mm，全高で－60mm，WBで＋110mmである。全長を抑えながらWBを伸ばすために，オーバハング長を短縮した。全高を下げるために，フロア面は3列目足元にキックアップのある段付きフロアとした。4WDは2WDと同一の車高とした。

取り回し性については，最小回転半径はワイドトレッドにして舵角を増すことで，ロングホイールベースにも関わらず，旧モデルと同じ5.7mである。ドアミラー間隔は逆に5mm短縮し，取り回しに配慮した。大きなボデー故に運転に不安を感じられるお客様に配慮し，先進の駐車支援システムを設定した。

3.2　Newカラクリシート

(1)　2列目シート

前後スライド長を195→330mm（ロックフリー部含む）と大幅に延長した。2列目最後端位置でのレッグルームは旧型から90mmも長くした（Fig.8）。縦スライドの方を横方向より長くすることで，フロア付けとし，横スライドの方をシート付けとした（Fig.11）。これにより，シート後方下部に足入れスペースを生み出し，3列目のレッグルームを100mmも改善した。

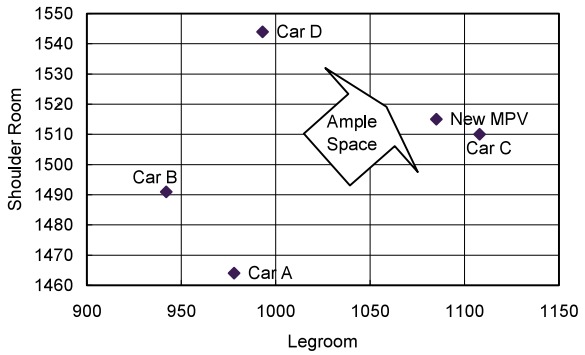


Fig.8　2nd Row Space at Rear Most Position

アンダーフロア側のフューエルタンク上面は，車体クロスメンバに相対する部分を凹ますことで，単純に部品を積み重ねるよりも全体の上下高さを低くし，縦スライドレールのフロアからの突出を最小限に抑えている。

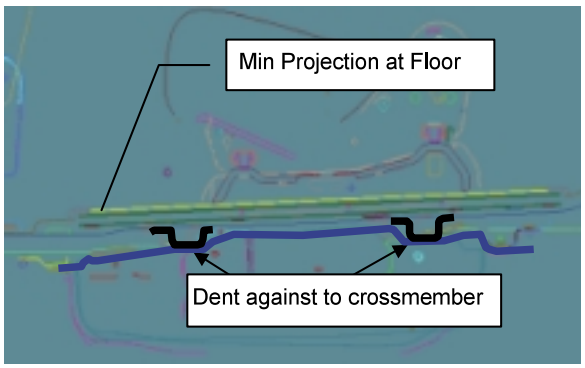


Fig.9　Longitudinal Rail Sec., 2nd Row Seat

シートサイズは，クッション長（495mm），クッション幅（600mm），バック長（605mm）ともにBICである。ベンチシートモードで1,200mmのシート幅とし，3人掛け可能とした。

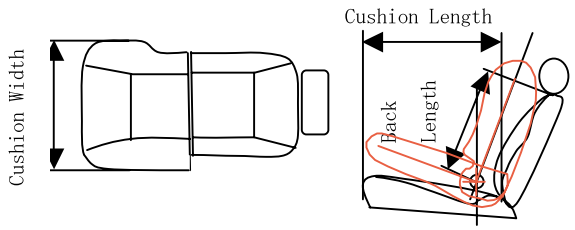


Fig.10　Seat Dimension Explanation

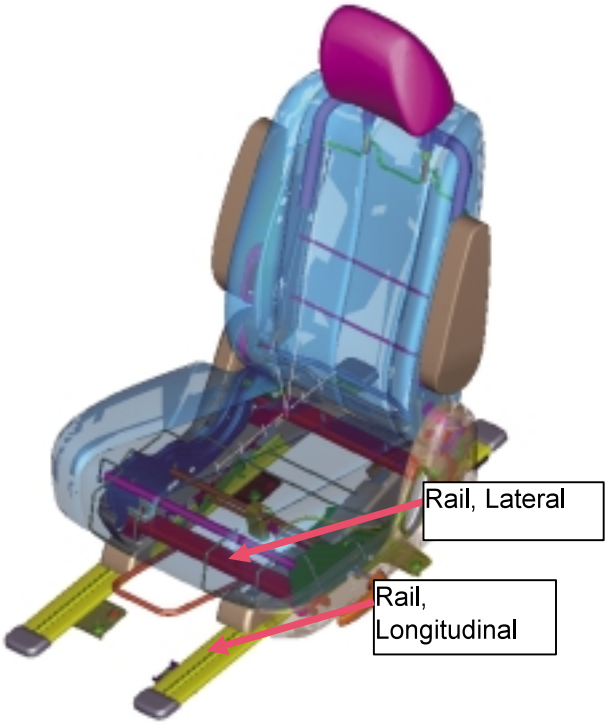


Fig.11　Perspective, 2nd Row Seat

(2)　2列目シート－スーパーリラックスシート

前後にゆったりとしたスペースを活用し，更にくつろげるシートとして企画した。

Fig.12　Concept Sketch, Super Relax Seat

競合ベンチマークや，異業種のシート，たとえば，旅客機のビジネスクラスシートなどを参考にしながら，シートバックをリクラインしたときに，頸部を支持することと，傾げた頭がヘッドレストレイントから外れないようにする機構を発想した。ロングトリップで，普段，座ることのない2列目シートに乗り込み，仮説を検証後，シート開発担当部門に引き継いだ。当部門は，人間工学の見地から，安楽にするためには，更に全身の筋脱力と血流の促進が重要とし，頸部支持と側頭部の支持を兼ね合わせたスイング式ヘッドレストレイントに加え，オットマン，座角調整式クッションなどの設定を提案した。企画と開発のコラボレーションにより，総合的に“安楽”を捉えることができ，強

力なフィーチャーとすることができた。

詳細は，論文“新型MPVのシート開発”参照。

Fig.13　Outlook, Seats

(3)　3列目シート

3列目シートは先代の反転格納タイプから6：4分割沈み込みフォールドへ方式変更した（Fig.14）。今回の方式～アテンザと同じ沈み込みフォールド～では，後部掘り込みへ常備品を入れたまま，3列目シートを格納可能である。シートバック長についても約50mm長い550mmとした。中央にアームレストを設定し，くつろげる空間とした。これで，6名乗車時なら，すべての乗員がアームレスト可能となった。シートアレンジにおいて，操作力が重く，リーチや姿勢に負荷がかかる復帰方向のみを電動とする装備を設定した。格納方向は手動の方がワンタッチで素早く動作できることから，あえて手動のままとしている。

3.3　荷室

荷室は，パンクタイヤの応急修理キットを設定することで，スペアタイヤレスとし，深い掘り込み荷室を踏襲した。掘り込み部分の容量は109Lあり，旅行用スーツケース1個がすっぽり入る大きさである。トランクボード下はサブトランクとして趣味の道具や常備品を納めることができる。トランクボード上には，旅行用スーツケースを3個積載できる。BICの荷室長と相まって，357L（DIN方式）の大容量を確保した。乗り心地改善からMUSTである直立ダンパは，3列目シート幅や，ゴルフバッグやスーツケースへ影響しないよう，3列目シートよりも後方で，かつ荷室前方へレイアウトした。

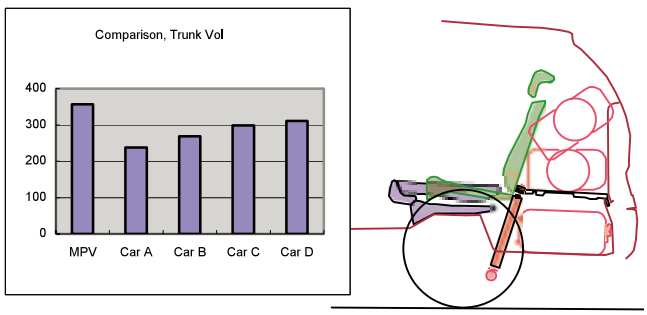


Fig.14　Trunk Vol. & Side View

トランクサイドトリム内は，リヤ空調ユニット，空調ダクト，ベルトアンカレッジ，スピーカに加え，新たに，リヤドアの自動給電モータユニット，カーテンエアバッグインフレータ，更に，車体剛性に効果の高いボックスレインフォースメント（リヤフロアサイドを前後につなぐ部材）などで非常に混雑したが，新設のリヤ空調ユニット形状を最適化するとともに，反対側のサイドトリムを凹ませることで，空調性能を犠牲にすることなく，短いオーバハング内にすべてのユニットをコンパクトに収めることができ，かつ，ゴルフバッグ2個横積みを達成した。

3.4　乗降性

後席への乗車第1歩目となる，リヤスカッフプレートの高さを新設計プラットホームにより，旧モデル比，50mm下げた。スライドドアの開口幅をホイールベース延長，Cピラー位置後退により620→785mmとBICを確保した。2列目シートは横スライドに加えて，ウォークイン機構により，3列目へのダイレクトスルーをより容易にした（Fig.15）。

CRSは，ドライバが対角で子どもの面倒を見やすいよう，2列目左側へ装着し，シートを最前端，最内側へスライドさせる使い方が多い。ISOFIXタイプのCRSであれば，シートベルトをかいくぐることなく，左側（歩道側）から3列目へダイレクトスルーできる。そのときのアクセス幅もBICを確保している。

Fig.15　Direct Thru Width

3.5　小物入れ

お客さまアンケートに基づき，室内持込みTop 50の小物アイテムを選定し，このうち90%の収容率を確保した。旧モデルで不満のあった小物のうち，①CD，②ティッシュボックスを収納可能とした（Fig.16）。

細かな配慮による使い勝手の向上として，③オーナーズマニュアルの専用置場，④ミニ缶保持に役立つフラップ付きカップホルダ，⑤ドライバの手の届きやすい場所へ携帯電話，コンパクトカメラ，財布などが入るオープントレー，⑥スポーツサングラスに対応したサングラスホルダ等を追加設定した（Fig.17～19）。

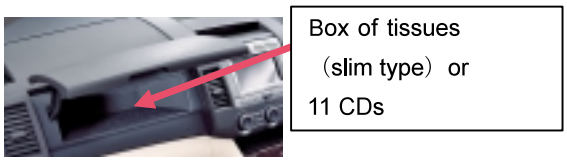


Fig.16　Glove Box

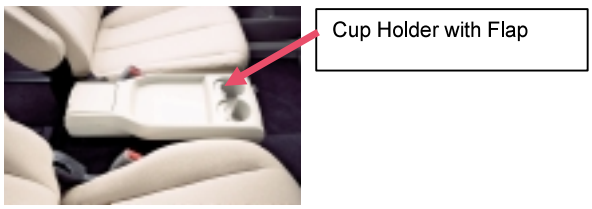


Fig.17　Side Table with Cup Holder

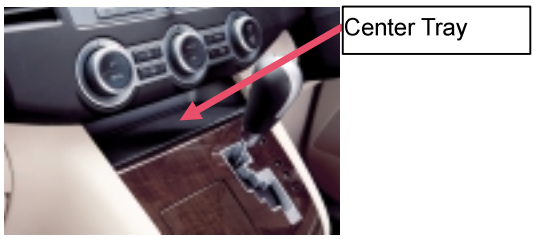


Fig.18　Instrument Panel Center Tray

Fig.19　Sunglasses Holder

3.6　視界・視認性

ドライバ視界については，伝統的な美点であるワイドなAピラー見開き角の踏襲に加え，三角窓追加により，交差点等での取り回しを大幅に改善した。

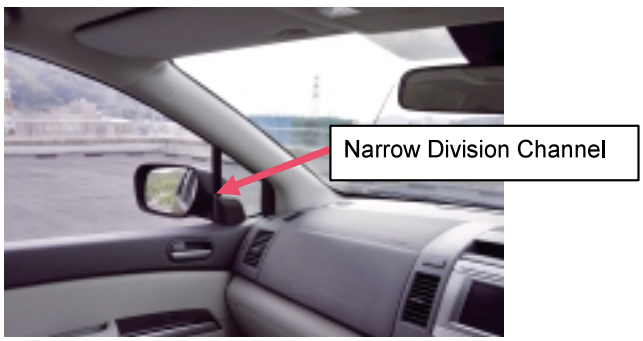


Fig.20　Triangle Window and Division Channel

車体の大きさを感じさせない取り回しの良さを実現させるため，駐車支援システムを設定した。バックガイドモニタにより，後方視界の補完，並列／縦列駐車支援を，フロントガイドモニタにより，バンパ付近の死角補完，接触／脱輪の防止を，サイドガイドモニタにより，助手席前輪付近の視界補完，巻き込み確認／脱輪の防止を図ることができる。バックカメラはリフトゲートのライセンスランプ横，フロントカメラはラジエータグリルのエンブレム内，サイドカメラは左側ドアミラー内へ配置した。

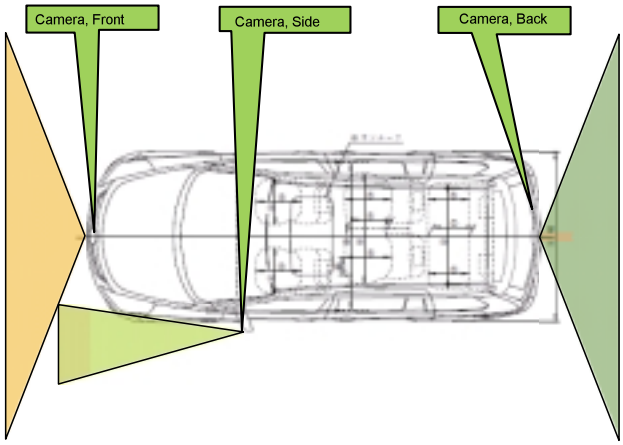


Fig.21　Parking Assist System

計器類については，集中ディスプレイやナビゲーションを高い配置とし，視認性を改善した。空調コントロールについても，好評を得ているアテンザ同様，操作部と表示部を分けることで，操作性と視認性の両立を図った。

4．おわりに

新型MPVは，お陰さまで，サプライヤの皆様を始め，数多くの方々の強力なサポートを得て，当初の狙い通りのパッケージングを実現することができました。本誌面をお借りして，厚くお礼申し上げます。

2代目MPVも担当した筆者にとって，大きく方向を変えたパッケージとすることは相当な葛藤がありました。が，先代モデルのお客様の使われ方を深掘りすることで，考え方のレベルで，一歩先をゆくパッケージングとすることができました。今後ますます，お客様に喜んで戴ける商品創り，パッケージ開発に取り組んでいく所存です。

■著　者■

渡辺康和

特集：新型MPV

22

新型MPVの駆動力（変速）制御技術の紹介
All-New MPV Shift Control System of AT Shifting

國分弥則*1　宮脇俊一郎*2　渡辺洋史*3
Hironori Kokubu　Shunichiro Miyawaki　Yoji Watanabe
今石成昭*4　佐々木和夫*5　大久保智広*6
Shigeaki Imaishi　Kazuo Sasaki　Tomohiro Okubo

要　約

新型MPVはミニバンカテゴリとして日常ユースの扱いやすさや燃費を重要視する中で，お客様にマツダの“Zoom-Zoom”も感じていただきたいとの開発陣の想いをこめ，エレキスロットル，変速制御など，パワートレインの駆動力制御技術を駆使している。今回，マツダで代表的な駆動力（変速）制御技術であるAT（Automatic Transmission）のActive Adaptive Shift Systemについて，新型MPVでの適用事例を紹介する。

Summary

In addition to the user-friendliness and fuel economy as a vehicle in the Minivan category, the new MPV has made full use of powertrain driving force technologies such as electric throttle and shift control so that users can feel Mazda's“Zoom-Zoom”driving. This paper describes AT Active Adaptive Shift System, our representative powertrain shift control technology applied to the new MPV.

1．はじめに

マツダではRX-8に，AT Active Shiftを採用している。この変速制御は，加速度とアクセルペダル開度情報から運転者の走行意図を推定する。AT Active Shiftは，アクセルペダルの動きを主体としてモード切替の判定をする旧制御よりも，加減速が必要とされるシーンを高い精度で検出することができる。また，屈曲路をアグレッシブに走行するシーンでは，屈曲路前の減速から屈曲路後の加速にかけて同一ギヤ段で走行でき，滑らかな駆動力のつながりと応答性の良さの実現を可能にしている（Fig.1）。

このつながりと加減速応答性のテイストは，マツダのPerformance Feel DNAの目指す方向性（Fig.2）であり，乗用車系でもこの味を受け継いでいかなくてはならない。しかし，走りの味つけについてアグレッシブなテイストが求められるスポーツカーと，日常での利便性が重視される乗用車では，ドライバの変速タイミングに対する期待の差から設定の方向性が異なる。

高速道路の進入シーンを例にあげると，スポーツカーは俊敏な応答性を重視し本線合流前に低ギヤ段位をキープする設定が求められるのに対して，乗用車でスポーツカー同様の設定を行うと，シフトアップ遅れや変速違和感を感じさせることもある。

新型MPVではRX-8のAT Active Shiftをベースに新しくActive Adaptive Shift System（以下AAS）を開発した。

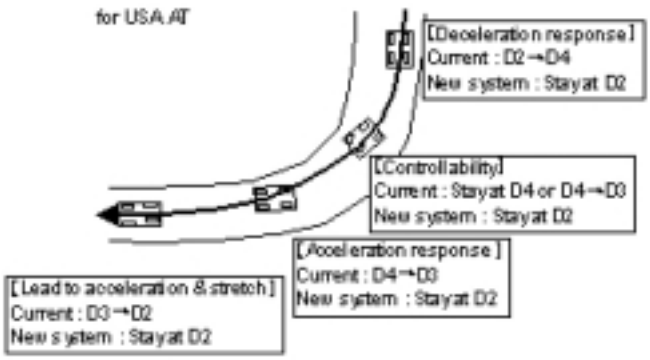


Fig.1　Representative Example of Improvement

＊1～4　車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.
＊5，6　ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

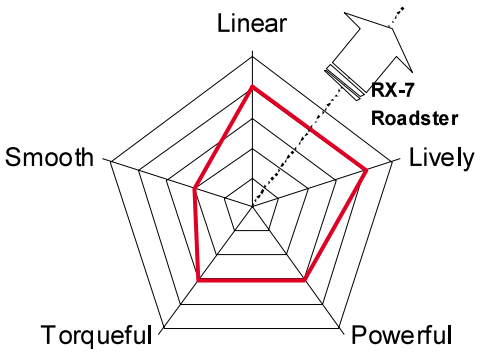


Fig.2 “ Performance Feel ”5 Axes

各軸の定義

「Lively」：軽快な

アクセル操作に対する車の挙動が，機敏で快活なこと

「Linear」：リニアな

アクセル操作に対する車の挙動がリニアなこと

「Torqueful」：余裕のある

アクセル操作に対して，走りの余裕を感じること

「Powerful」：爆発力のある

アグレッシブな走行で，躍動感，爆発力を感じること

「Smooth」：滑らかな

アクセル操作に対する車の挙動が，滑らかなこと

2．狙い

ミニバンクラスでは，車両重量の増加により走行性能（走り感）や燃費性能の悪化を招いている。一般的に，走行性能の改善にはエンジンの大排気量化によるトルクUPや，ギヤ比の低速化が効果的であるのに対し，燃費性能の改善には小排気量化や，ギヤ比の高速化が効果的である。新型MPVでは，この相反する要求を両立するために,小排気量ながら高トルクを発生するMZR 2.3 DISI Turboエンジンを採用するとともに，ATの6速化を行い走行時の使用ギヤに幅を持たせることで走行性能と燃費性能の両立を目指した。

しかし，ATの6速化は，駆動力選択の幅をもたらす一方で，ドライバが必要とする駆動力を的確に提供しないと，選択ギヤ段に対して違和感（下記，①，②）を与える可能性がある。

① 多段化による頻繁なアップ／ダウン変速が発生してスムーズな走りを阻害

② 変速応答遅れに加え,ターボ特有のラグによる違和感，コントロール性不良

これらの懸念を解決するためには，運転状態を正確に把握し，最適なギヤ段を選定する必要があり，今回RX-8で採用したAT Active Shiftをベースに制御パラメータを増やし，よりきめ細かな状況判別を行い，日常的なシーンにおいて違和感なく作動することを制御開発の狙いとした。

3．達成性能

3.1 達成手段

(1) 運転状態の把握

変速段を決定する上で，ドライバの意図を(A)加速要求，(B)シフトアップ要求　の2種類に分けて各々の要求度を把握し，更に(C)走行の状態を詳細に把握して，変速段を決定する上での運転状態の基礎情報を収集する。それぞれの検出内容の概要を以下に示す。

(A) ドライバの加減速要求度の把握

ドライバのアクセル操作や加速度の履歴を用いて，加減速を重視した運転を行っているか判別している。

(B) ドライバのシフトアップ要求度の把握

ドライバのアクセル操作や加減速の履歴，更に使用しているエンジントルクの領域情報を用いて，燃費を重視した走行を行っているか判別している。

(C) 走行状態の把握

路面勾配，屈曲路の走行，更にこれらの走行履歴に応じて，走行路の特徴を把握している。

(2) 変速段の決定

次に，変速段は，上記(A)，(B)，(C)の情報に基づいてあらかじめ用意された運転状態に適合するかリアルタイムに判断しながら変速段を決定している。

例えば，屈曲が強い走行路を加減速を繰り返しながら走行する場合は，より駆動力が得やすいように低速段を維持する。一方，屈曲が少ない路面を一定速で走行する場合は，速やかに高速段に切り替えるように判定する。

(3) AASの特徴

RX-8で採用したAT Active Shiftでは，これらの判定の結果で，全体の変速パターンを変更して変速段を決定していた。しかし，6速ATのようにギヤの選択範囲がより広いATの場合は，全体の変速パターンそのものを変更してしまうと，不要に低速段を維持したり，逆に高速段になりすぎる問題が発生しやすい。そこで，今回開発したAASでは，上記(A)，(B)，(C)に基づいて，①シフトアップを実行すべきか，②シフトダウンを実行すべきか，③現状のギヤ段を維持すべきか，ギヤ段ごとに設定された運転状態の基準値に基づき，判断を繰り返し実行することで，常に変化する走行環境とドライバの要求に対して最適な変速段を選定可能とした。

また，各ギヤ段ごとに基準値を設けたことで，AASの機能をスポーツ性に特化させたり，スムーズさと静粛性，燃費の両立を図ったりと車の個性に応じた味付けができるようになった。

3.2 達成性能

具体的には以下に示す3つのシーンを想定し，制御開発を行うことで走行シーンごとに適切なギヤ段を選択し，最適な駆動力を容易にコントロールすることを可能にした。

① 山岳路を走行するシーン
② 高速道路へ進入を行うシーン
③ 下り坂を走行するシーン

(1) 山岳路を走行するシーン

山岳路を走行する場合，屈曲路や勾配角，前を走る車両との間隔など，走行環境は刻々と変化している。このような状況下では，ドライバの要求に対し常に最適な駆動力を確保することが難しく，意図に反した変速を行った場合変速による駆動力の変化によりスムーズな走行を阻害し不快感を与えてしまう。

そこで，勾配角や加減速度，ステアリング舵角等から走行状態を判定し最適なギヤ段を選定することで，登坂路を走行する時の不必要なシフトアップ＆ダウンを抑制しシフトビジー感を回避している。特に①屈曲路進入時は事前にシフトダウンを行い再加速時のレスポンス向上を図り，（Livelyの向上に貢献）②屈曲路走行中はシフトアップを禁止することでコントロール性の向上を図っている（Linearの向上に貢献）（Fig.3）。

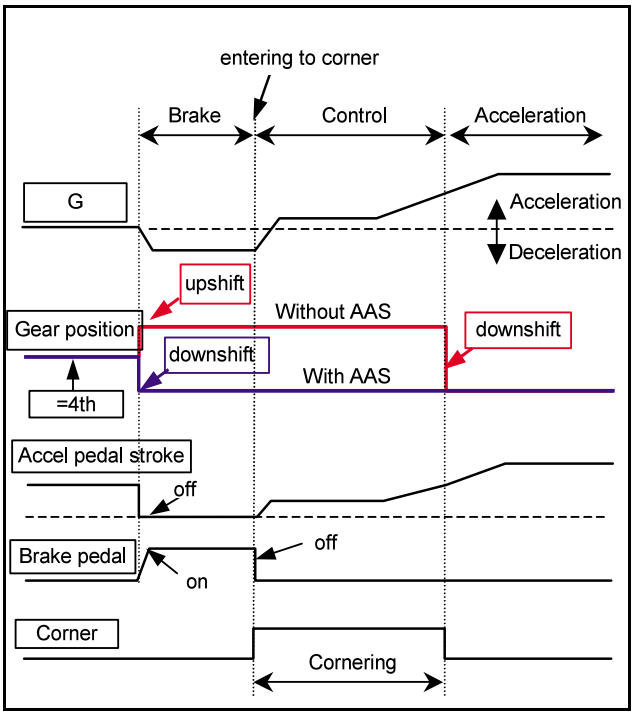


Fig.3　Improvement of Cornering Scene

(2) 高速道路へ進入を行うシーン

交通量の多い高速道路へ進入する場合，予備車線から加速⇒本線合流のための車速コントロール（緩加速／定常／減速など）⇒本線合流⇒ファーストレーンへ移行，などの厳しい場面が存在する。この走行状況に対しても安全に適応させるためには，加減速応答性の確保が最も重要である。応答性を確保するためには無駄なシフトアップ＆ダウン変速を回避し，走行シーンにマッチしたギヤ段の選択が要求されるが，前述したように低ギヤ段キープによる違和感を回避しなくてはならない。

新型MPVでは，ドライバのシフトアップ要求をアクセル操作や，加減速度の履歴から判断することで，相反する加減速応答性と違和感回避の要求を同一シーンで満足している（Lively，Linearの向上に貢献）（Fig.4）。

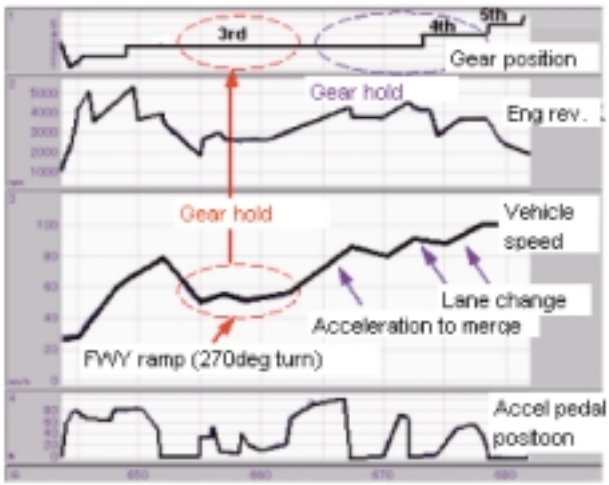


Fig.4　Representative Example of Freeway Merging

(3) 下り坂を走行するシーン

勾配のきつい下り坂を走行する場合，前走車との車間に配慮しながら車速をコントロールするためにブレーキの操作が頻繁に発生し，ドライバに負担を与えるとともに，Gの変動により同乗者に不快感を与える。

このような現象を抑制するため，勾配角や減速度等からドライバの減速の意思を汲み取り最適なギヤ段にシフトダウンすることで減速度（エンジンブレーキ）を発生させ，頻繁なブレーキングによる車速コントロールの負担を低減し，安定した走行をサポートしている。

しかし，必要以上な介入は再加速時のシフトアップ遅れや，エンジン回転数の上昇による違和感を招く恐れがある。

そこで，勾配角やアクセル操作等の履歴からシフトアップを行うことでよりドライバの意思に沿った変速制御を行っている。

3.3　まとめ（新型MPVが実現したPerformance Feel）

AASを採用することで，走行シーンやドライバの意図を判定してギヤ段を選択することで無駄な変速を抑制し，最適な駆動力コントロールをサポートしている。このことで，山岳路走行など従来では変速を繰り返しスムーズな走行を阻害していたシーンにおいて，ドライバが意のままに走行することを可能とした。また，市場での使用頻度が高い市街／郊外を走行する場面では，燃費性能を重視した変速タイミングを選択することで，燃費性能と走行性能の両立を実現している。この結果，走り感を示す社内指標であるPerformance Feel評価では，AAS採用の有無でLinear，

Livelyの評価が向上した（Fig.5）。

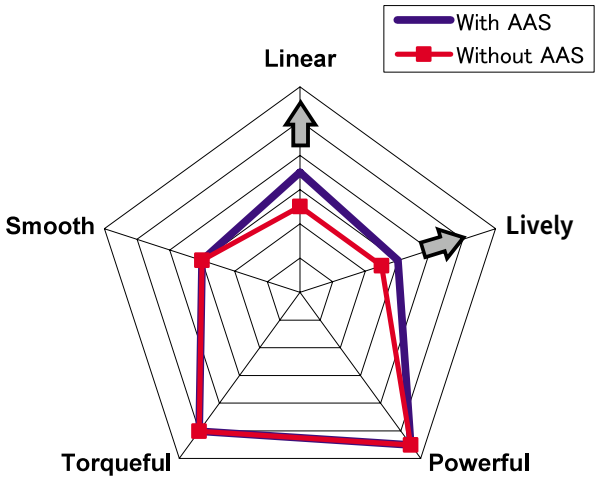


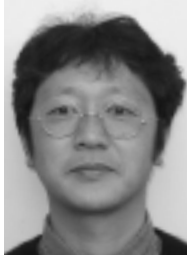
Fig.5　Performance Feel Lader Chart

4．最後に

ユニットの集合体としてではなく，車として性能を仕上げていく中で，自動変速機の特性は車全体の味付けを大きく左右し，その方向性を決定づけることも可能である。多様性のあるお客様の嗜好や走行シーンにおいて高性能を追求するほど，走行意図を汲み取る緻密さ，シーンで異なる変速要求間のバランスの高度化が求められる。今回，新型MPVは自動変速機への多様な性能要求を満たしつつ，マツダ プロダクトDNA「反応の優れたハンドリングと性能」をお客様にたっぷりと体感していただける車創りを目指し，ここにその一部分ではあるが紹介することができた。今後，更に研究を進め，マツダ車を購入するお客様一人一人が感動していただける商品が実現できるよう，進化を続けていく。

■著　者■

宮脇俊一郎


渡辺洋史

今石成昭

佐々木和夫

大久保智広

特集：新型MPV

23

新型MPV　パワートレインの紹介
Introduction of All-New MPV Powertrain

青木　基*1 Motoi Aoki　末国栄之介*2 Einosuke Suekuni　室谷満幸*3 Mitsuyuki Murotani　藤川朋久*4 Tomohisa Fujikawa
藤原卓治*5 Takuji Fujiwara　佐々木和夫*6 Kazuo Sasaki　河野裕人*7 Hiroto Kawano

要　約

新型MPVのコンセプトは，『MAZDA DNAを具現化した次世代ピープルムーバ（Multi passenger functional sports tourer）』であり，パワートレインは，このコンセプトをサポートするキーバリューである『Dynamic Performance Innovation』の実現と，欠かすことのできない環境性能を高次元で両立させるべく，パワートレインの選定から開発まで一貫して妥協のない活動を実施してきた。

Summary

The design concept of the all-new MPV is "Next-generation People Mover, multi passenger functional sports tourer, with MAZDA DNA". We have maintained consistent development attitude from powertrain selection to development completion without making any compromise in order to achieve a good balance between "Dynamic Performance Innovation" which is the key to accomplishing this concept and "excellent fuel economy and clean gas" which is imperative for environmental protection.

1．はじめに

先代の2代目MPVは高い機能性と快適で広いスペースを持ったミニバンとして好評を博している。

新型MPVは先代の良さを継承しながら，デザインや走りの性能といったエモーショナルな価値を持った新しいピープルムーバの提案を目指し開発を進めてきた。

本稿では新型MPVのエモーショナルな走りを支えるパワートレインについて紹介する。

2．パワートレイン概要

我々がパワートレイン開発の前提としたのは，エモーショナルな走りと同時に高次元な環境性能の実現である。

ミニバンとして単に走りの向上のみを追うのであれば，排気量を大きくすることで達成することはできる。しかしながら，排気量の増大は同時に燃費の悪化ももたらすことから，我々の考える環境性能とは合致しなかった。

こうした考えから，我々は2代目MPVでも定評のMZR 2.3Lエンジンを更に進化させたのに加え，ハイパワーユニットとして，圧倒的な加速性能と低燃費を両立させた2.3L DISI（Direct Injection Spark Ignition）ターボエンジンを選定した。このユニットはいたずらに高出力を追うのではなく，ミニバンに相応しい低速のレスポンス，トルクを得るよう専用のチューニングを施した。

そしてこれに組み合せるトランスミッションとして，MZR 2.3L-FFには，2代目MPVから更に熟成させた軽量で燃費にも優れた4速ATを，2.3L DISIターボにはハイパワーを受け止める新開発の6速ATを採用した。

4WDはMZR 2.3Lと2.3L DISIターボの双方に設定し，それぞれのキャラクターに相応しいチューニングを施した。特に2.3L DISIターボ車にはLSD（Limited Slip Differential）を採用し，エモーショナルな走りを実現させる重要なアイテムとなっている。

Table 1にパワートレインラインナップを示す。

＊1　パワートレイン開発推進部
Powertrain Development Promotion Dept.
＊2，3　第1エンジン開発部
Engine Development Dept. No.1
＊4　第3エンジン開発部
Engine Development Dept. No.3
＊5～7　ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

Table 1　Powertrain Line-up

Engine \ Transmission		4AT	6AT	Emission level	Fuel economy 10.15mode ※1	※2 Green tax
MZR 2.3L	FF	○		SULEV	12.2km/l	Applicable
	4WD		○	SULEV	10.4km/l	Applicable
2.3L DISI T/C	FF		○	SULEV	10.2km/l	Applicable
	4WD		○	SULEV	9.4km/l	Applicable

※1　2ton rank: 11.2km/l
※2　As of 2006.03

3．エンジン

Fig.1にMZR 2.3L，Fig.2に2.3L DISIターボのエンジン外観図を，Table 2にエンジンの主要諸元を示す。

Fig.1　MZR2.3L Engine Appearance

Fig.2　2.3L DISI T/C Engine Appearance

Table 2　Engine Major Specifications

Engine		MZR 2.3L	2.3L DISI T/C
Cylinder		In-Line 4-Cylinder	In-Line 4-Cylinder
Bore X Stroke (mm)		87.5 X 94	87.5 X 94
Displacement (cm^3)		2260	2260
Compression Ratio		9.7	9.5
Valvetrain		DOHC 4 Valves	DOHC 4 Valves
Number of Valves		4 per cylinder	4 per cylinder
Valve diametr (mm)	In.	35	35
	Ex.	30	30
Fuel supply system		Electric Fuel Injection	Electric Fuel Injection
Max. Power (kW/rpm)		120 / 6500	180 / 5000
Max. Torque (Nm/rpm)		210 / 4000	350 / 2500

3.1　MZR 2.3Lエンジン

高出力，低燃費，静粛性で定評のあった2代目MPVのMZR 2.3Lエンジンを更に進化させるため，①動弁系の吸気S-VT（Sequential Valve Timing）追加によるトルクの向上，②電子制御スロットル採用によってドライバビリティと環境性能を両立させている。

触媒はフロア下に加え，エギゾーストマニフォールド直下にも設定し，SULEVの低排出ガス認定を得ている。

また，オルタネータの電流制御やLEDランプ採用による省電力化などにより燃費も大幅に向上させている。

(1)　S-VT追加によるトルクの向上

高出力と低燃費を両立させるためS-VT機構を採用した（Fig.3）。S-VTは，基本作動はすでに量産しているアテンザのものと同じインテークカムの位相可変タイプで，厚さ33mmという世界最小レベルのアクチュエータと，カムキャップと一体化したコンパクトな油圧回路を採用している。また，シリンダヘッドの吸気ポートを吸気抵抗の少ないハイフローポートとし，新カムプロフィール設計法で開弁面積を拡大し，S-VTの効果を引き出している。その結果，エンジンルームレイアウトへの影響を与えることなくS-VTによる高出力・低燃費化を実現することができた。

Fig 4はS-VTの出力への効果を表している。

Fig.3　Structure of S-VT

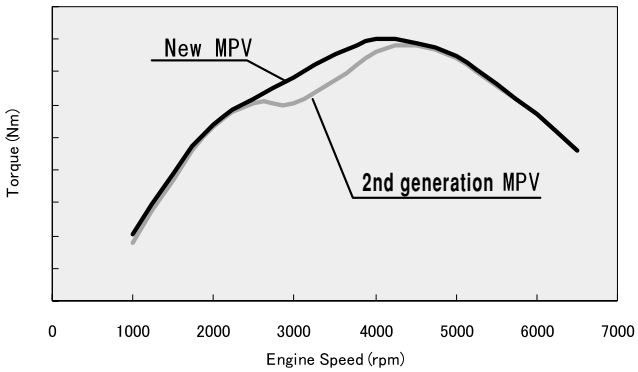


Fig.4　Engine Output Performance

(2)　電子制御スロットル

アクセル操作をPCMからの信号に変換してアクチュエ

ータでスロットルバルブを開閉することで，全エンジン回転領域で精密な吸入空気制御を可能にした。この電子制御スロットルによってアクセル操作にリニアに反応しながらも，加速Gのバラツキを抑えることで，ドライバビリティと排出ガス低減を両立させている。

3.2　2.3L DISI ターボ エンジン

V6 3Lエンジン比，大幅な出力と燃費向上を両立するユニットとして，マツダスピードアテンザ（MSA）に搭載し，好評を博している2.3L DISIターボエンジンをベースに開発をした。ミニバン搭載による車重の増加とAT化に合せ，ターボチャージャ仕様の最適化を行い，かつ電子制御スロットル特性やATコンバータの最適化も行い，低速域から高速域まで，卓越したパフォーマンスフィールを実現した。

MSAからの主な変更内容は，①タービンケースA/Rの小型化 ②コンプレッサインペラの小型化である（Fig.5）。

これらにより，低速域でのトルク増大と，高速域での出力を①による低ガス流量時のタービン回転アップと，②による低ガス流量時のコンプレッサ効率向上のため，低速域での過給圧を大幅に向上させることができた（Fig.6）。これにより，低速トルクの増大（MSA比＋22%／2,000rpm）によるローンチフィール改善を実現するとともに（Fig.7, 8），ミニバンとして圧倒的な高速域の走りを実現する最高出力（245PS／5,000rpm）も確保した。

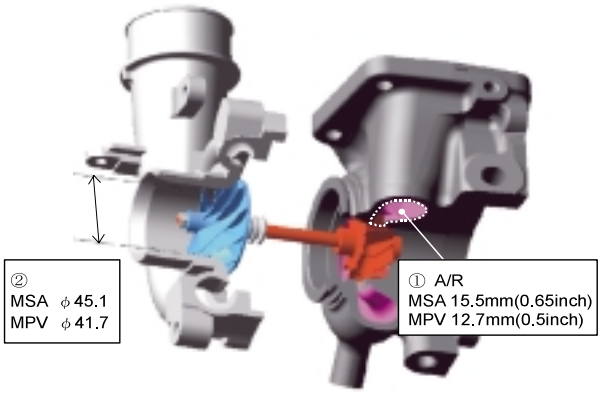


Fig.5　Change Design from MSA

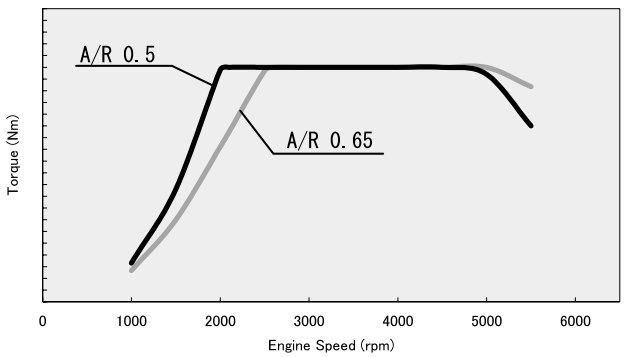


Fig.6　Engine Output Performance

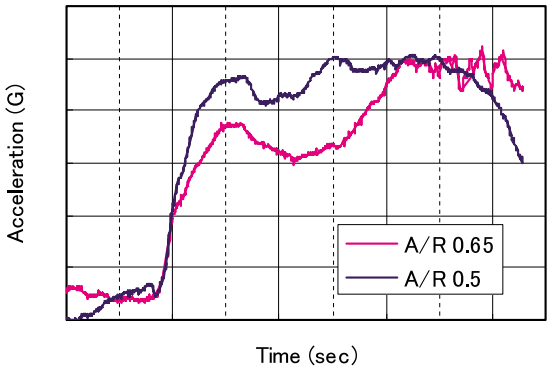


Fig.7　Acceleration at Start-up（Launch Feel）

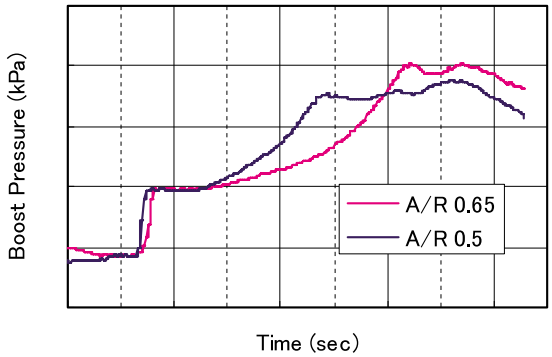


Fig.8　Boost Pressure at Start-up

一方小型化の弊害としては，(1)タービンケースへの熱負荷増による寿命低下，(2)タービン回転の上昇によるタービン翼の寿命低下が考えられる。これらの課題に対しては，それぞれ次のように解決した。

(1)　型の精度管理まで踏み込んだ品質育成を行い，10年24万kmの寿命を確保した。

(2)　吸気温度，大気圧，そしてギヤ段等の運転状況に応じたきめ細やかな過給圧制御により，走行性能を損なうことなくタービン翼の信頼性も確保した。

4．トランスミッション

Table 3にトランスミッションの主要諸元を示す。

Table 3　Transmission Major Specifications

		MZR 2.3L (FF)	MZR 2.3L (4WD)	2.3L DISI T/C (FF/4WD)
Total length(mm)		380.0	392.0	←
Center distance(mm)		183.0	207.0	←
Gear ratio	1st	2.816	4.148	←
	2nd	1.553	2.370	←
	3rd	1.000	1.555	←
	4th	0.695	1.154	←
	5th	—	0.859	←
	6th	—	0.685	←
	Rev	2.279	3.393	←
	F.G.R.	4.416	3.749	3.464

4.1　4速AT

新型MPV用FFの4速ATは，2代目MPVに採用した小型軽量FN4A-ELをベースに，新規車体に合せたチューニングを施したものである。

ベースATで確立した小型軽量でかつ高トルクに対応したギヤトレイン部を継承し，小気味良い変速応答性と高品質なシフトクオリティを両立させることで，高品質な走り感を実現した。

ギヤトレイン部の断面図をFig.9に示す。

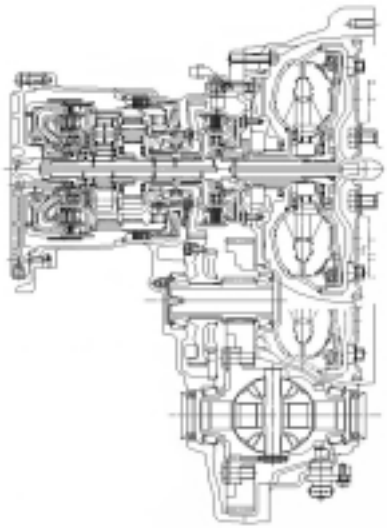


Fig.9　Section View of 4EAT

4.2　6速AT

新型MPVの2.3L DISIターボエンジン（FF/4WD）とMZR2.3Lエンジン（4WD）と組み合せるトランスミッションとして 6速ATを採用した。FF 6速ATはV6エンジンとの組み合せでMazda 6 で北米市場に導入しているが，今回MPVに搭載し国内に導入するにあたり更に進化させた。この新型トランスミッションの詳細と採用した技術を以下に紹介する。

(1)　6速ATの開発の狙い

走りと燃費を高次元で両立させ，マイルドなシフトクオリティの実現と静粛性の向上を目的に，前モデルのV6エンジンとの組み合せの5速ATに対し，更に多段化した6速ATを採用した。新開発のFF 6速ATの各訴求点と織り込み技術をTable 4に示す。

Table 4　Target Point and Adopted Technology

Target point	Adopted technology
(1)Performance feel	Active adaptive shift.(AAS)
(2)Fuel economy	Neutral idle control and slipping control.
(3)Shift quality	Real time and best hydraulic pressure control on the basis of the engine torque signal and the rotation signal.
(4)NVH	Power plant bending modification, Improvement of gear noise.
(5)Shift feel	Instrument panel change lever.(Former model is colum change lever) Optimization of shift feel.

AW6A-ELの構造をFig.10に示す。

この6速ATのスケルトンはLepelletier方式を採用し，従来機種の5速ATに対し，重量・全長ともほぼ同等で6速化を達成した。その特徴を以下に示す。

① 最少の締結要素（クラッチ3，ブレーキ2）で前進6段を形成。

② プラネタリギアはシングルプラネタリギアとラビニヨ式プラネタリギア各1セットの組み合せ。

③ 2/6ブレーキに小径高容量のバンドタイプ（巻き付き角700°）を採用。

また，2.3L DISIターボ及びMZR 2.3Lエンジンとの組み合せに対し，それぞれの出力特性に最適なトルクコンバータ性能及びファイナルギアレシオを選定し，街中での走行性と高速での静粛性・燃費向上に貢献した。

4WDへの対応については，PTU（Power Transfer Unit）とのインターフェイスである「デフサイドギヤ」等の仕様差で対応し，トランスミッションケース，コンバータハウジングをはじめほとんどの部品をFFと共通化した。

Fig.10　Sectional View of 6EAT

(2)　制御システム

1)　トルクフル＆リニアな走りの実現

―アクティブ・アダプティブ・シフト（AAS）の採用―

ミニバンクラスとして，高い快適性とマツダ車らしい走りを両立させるために，従来から採用する路面勾配よって変速段を切り替えるスロープコントロールシステムに加えて，AASを新たに採用した。

AASは，RX-8に採用したドライバの加速要求度と走行状態履歴より変速段を切り替えるアクティブ・シフトを更に進化させたものである。進化した点は，①ドライバのアクセル操作や車両加減速度の履歴からドライバの加速要求度を推定するシステムと，②平坦路や登降坂路，直線路や屈曲路等の履歴から走行環境を推定するシステムを持たせたことである。これら①加速要求度と②走行環境の組み合せから変速段を最適化することにより，従来よりも更に走行

フィーリングが向上した。具体的には，ドライバの加速要求が強い場合は，余裕駆動力を重視する変速段を選択し，ドライバの加速要求が低い場合は，燃費や静粛性を重視する変速段を選択することを基本とした。更に走行環境によって加速要求度で求める変速段を補正し，屈曲路では不要な変速を抑制するなど，ドライバの意志を変速段に反映しつつ，走行路の状態からより走りやすい変速段を判断するシステムとした。

これらのシステムによって通常走行中は主に4～6速を使ってエンジン回転を低回転に保ちながらスムーズで快適な走行を，そして，登坂路やアグレッシブな走行をする場合は，3～5速を主体にトルクフルでコントロール性の良い走りを実現することができた。

2）　燃費の向上

これらの変速制御に加え，この6速ATでは，ロックアップコンバータのすべり損失を低減するスリップ制御を，加速時，減速時にともに採用した。スリップ制御を行うことにより，トルクコンバータのトルク伝達ロスを低減するとともに，減速時のエンジンフューエルカット時間を拡大して燃費を向上させた。更に，停車中はDレンジでもブレーキの操作状態によって自動的にニュートラル状態に切り替えるニュートラルアイドル制御も導入し，停車時のトルクコンバータによる損失を低減して，更に燃費を向上させた。

3）　上質なシフトクオリティの実現

ミニバンクラスとしての上質なシフトクオリティを実現するために，高精度の油圧制御システム及びエンジンとの協調制御システムが必要となる。そのため，この6速ATでは，6個のリニアソレノイドと2個のON/OFFソレノイドを搭載する油圧システムを採用し，各変速種毎に締結及び開放するクラッチ・ブレーキ圧を各々独立して精密に制御できるようにした。

更に，エンジンとの協調制御システムでは，変速時に適切なトルクダウン量とその切り替え応答を高次元で両立することが必要である。今回，高出力のターボエンジンでこれを実現するために，スロットルバルブと点火進角を同時に変更するトルクダウンシステムを新たに開発し，適切なトルクダウン量を確保するとともに，トルクダウン開始時や終了時に素早く狙いのトルクとする高応答性の両立を実現した。加えて，環境変化によるエンジン出力変化に対して適切に対応するために，ATコントロールユニットは大容量のユニット間通信システム（CAN通信）を用いて詳細なエンジンの運転状態をリアルタイムで把握している。この情報に基づきトルクダウン量を補正するシステムも新たに採用した。これにより，あらゆる環境条件に対してミニバンクラスにふさわしい上質なシフトクオリティを安定して達成することができた。

(3)　NVH性能の向上

静粛性の向上のため，モーダル解析結果によるコンバータハウジングの基本形状やリブ配置，肉厚を最適化した。これにより高トルクエンジンとの組み合せにもかかわらずPPB（Power Plant Bending）性能を向上させ，高い静粛性を確保した。PPB性能向上のための解析の例をFig.11に示す。

また，ギヤノイズ性能についてはベースユニット（Mazda 6へ搭載）に対し更なる改善を行うため，Rrプラネタリギヤセットのロングピニオンギヤ，ショートピニオンギヤ，サンギヤの特性の最適化を行った。

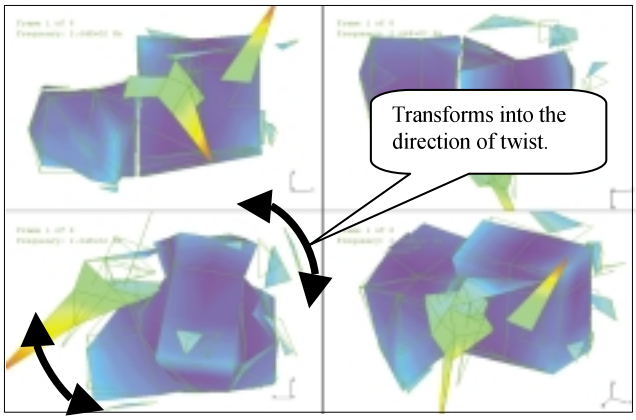


Fig.11　Example of Modal Analysis

(4)　チェンジ操作性の向上

操作性向上のため前モデルのコラム式チェンジをインパネチェンジ（Fig.12）に変更した。

インパネチェンジに対応するため，AT内部のマニュアルプレートを新設し最適な操作力特性を実現した。

Mazda6に対しては

① N-D間ストロークの短縮

② N-D操作力低減及び操作力バランスの最適化

を行い更に操作フィーリングを向上させた（Fig.13）。

Fig.12　Instrument Panel Change Lever

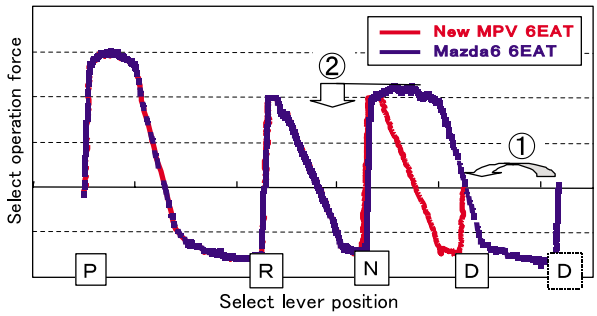


Fig.13　Shift Operation Force Characteristics

5．4WDシステム

新型MPVでは，MSA及びプレマシーに採用された4WDシステムをベースとして，「雪道などの滑りやすい路面での安定した走行及び雪上走破性の向上」に加え，新たに直進安定性向上の観点から「舗装路を含めたあらゆる走行シーンでの4WDミニバンらしい操縦安定性能の実現」を目指した。

5.1　4WDシステムの構成

新型MPV 4WDでは，MZR 2.3Lと2.3L DISIターボの2種類のエンジン搭載車を設定している。

新開発の4WDシステムでは，上述の目標を実現するため，4WD制御ロジックを進化させキャリブレーションを車両特性に合せ最適化した。

本4WDのシステム構成をFig.14に示す。ハイパワーエンジンの2.3L DISIターボ搭載モデルは，MSAの4WDシステムをベースとし，操縦安定性確保のためRDUにトルク感応型LSDを設定した。実用性重視のMZR 2.3L搭載モデルでは，新型プレマシのシステムをベースとしたシンプルな4WDシステムとしている。

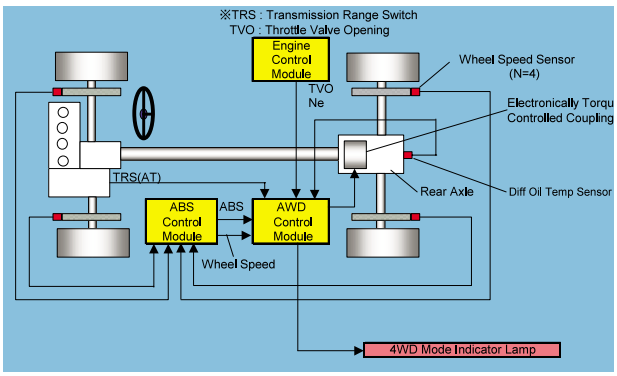


Fig.14　4WD System

(1)　PTU＆RDU（Rear Differential Unit）

PTU及びRDUは，高出力エンジンに適用することを前提としてマツダスピードアテンザ用に開発した軽量・コンパクト・高トルク容量のユニットを採用した。

2.3L DISIターボ搭載モデルのPTUには強制水冷クーラーを採用した。これにより，高速・高負荷運転条件下でも油温の上昇を抑え必要十分なトルクを後輪へ伝達することを可能とした。

(2)　トルク感応型LSD

2.3L DISIターボ搭載モデルでは，ハイパワー車に相応しい操縦安定性能を確保するためRDU内にLSDを採用した。

本LSDは，RX-8やロードスター，マツダスピードアテンザでも採用しているトルク感応型のLSDである。

5.2　4WD制御

本4WD制御では，センサからの信号により車両状態を判定し，Fig.15に示す状態遷移に基づいて，各走行に応じて最適なリヤトルク量を決定する。

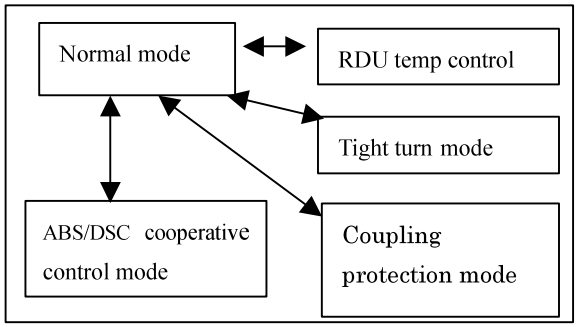


Fig.15　Transition Diagram

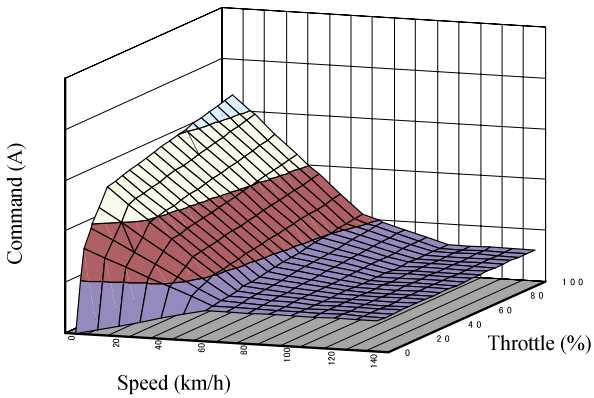


Fig.16　Feedforward Map (Example)

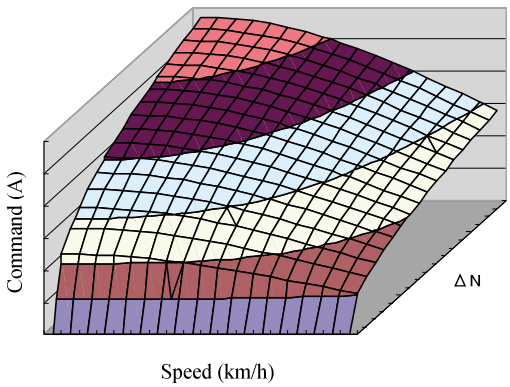


Fig.17　Feedback Map (Example)

目標リヤ伝達トルクは，スロットル開度（TVO）と従動輪車速（VSP）に基づき決定されるプリトルク（Fig.16）と，前後輪回転差（ΔN）に応じて決定される補正トルク（Fig.17）の合計トルクである。この目標指令トルクは，刻々と変化する路面状態・運転条件下では常に変化しているが，4WD-ECU内でその時々の運転状態に最適なプリトルクと補正トルクのデータデータへの最適化処理をし，滑らかな制御指令トルクに変換することで，穏やかな車両挙動変化を実現している。このことにより「雪道で安心して走行できる4WD制御」を実現することができた。

この4WDシステムによって得られる効果は以下の通りである。

【滑りやすい雪道での安定した発進／登坂性能】

路面μが一定でない状態においても，安定した発進及び登坂性能を実現することを目指し，前輪スリップを抑えた制御ロジック及びキャリブレーションとした。スタッドレスタイヤ装着状態であれば，25%勾配の雪道登坂路を安定して発進できる高い4WD性能を実現することができた。

【あらゆる路面を安心して走行可能な操縦安定性能】

4WDミニバンとして，フル乗車・積車状態でも滑りやすい雪道及びウエットな高速道路を安心して走れる操縦安定性能を実現すると同時に，乾燥した舗装路でも不快な振動騒音がなく，安定した走行が可能となるようスロットル開度と4輪車輪速信号に基づき車両の旋回／直進状態を検知し，走行状態に応じた最適なリヤ伝達トルクに制御している。これらにより，あらゆる路面において安心で快適な走行を実現した。

【燃費改善】

雪のない郊外路や高速道路で車両が安定定常走行している状態では後輪伝達トルクを必要最小限まで制限し，実用燃費の向上を図った。特にMZR 2.3Lモデルでは市街地での走行でも実用燃費低減効果を狙った制御マップとしている。しかし，一旦加減速などでわずかでも車輪がスリップすると，瞬時に必要十分なリヤ伝達トルクに復帰させる制御とすることで実用燃費と4WD性能／操縦安定性の両立を実現した。

6．おわりに

新型MPV用パワートレインは，サプライヤの方々を含め，数多くの方の強力なサポートのおかげで，非常に高い目標を達成した上で，高品質／高性能の商品に完成させることができました。

この誌面をお借りして，厚くお礼申し上げます。

■著　者■

青木　基

末国栄之介

室谷満幸

藤川朋久

藤原卓治

佐々木和夫

河野裕人

特集：新型MPV

24

新型MPVのシートの開発
Seats for All-New MPV

中　矢　耕　一*1　宮　原　民　夫*2
Kouichi Nakaya　Tamio Miyahara

要　約

新型MPVのパッケージング革新を特徴づける2列目，3列目シートの特徴について説明する。まず，2列目のスーパーリラックスシートに採用している乗員をリラックスさせるための7つの装備から，新開発の3アイテム，すなわち「サイド／ネックサポート付スイングヘッドレスト」「大傾角クッションチルト機構」「ワンアクション・オットマン」について，人間工学的な開発の狙いや設計上のポイントを説明した。続いて3列目シートでは，使い勝手のよさを追求した「KARAKURIフォールド」「電動復帰機構」について，同じく開発の狙いや設計上のポイントを説明した。

Summary

The packaging of the all-new MPV has been revised with new equipment of the second and third row seats, and this paper is focused on the aim of development and engineering focal points of the equipment from the perspective of ergonomics.The description starts with the new 3 functional items out of 7 ;“ Swing headrest with side/neck support ”,“ Large inclination cushion tilt mechanism ”, and “ One action Ottoman ” adopted for the second row seats called “ Super Relax Seats ” to make all occupants feel relaxed. And then, an outline of “ KARAKURI Fold ” and “ Electric return mechanism ” adopted for the third row seats to pursue “ user friendliness ” is explained.

1．はじめに

シート開発において，マツダでは，従来よりDNAである「反応の優れたハンドリングと性能」をサポートするシートのホールド性能を満足させつつ，同時に，長時間運転でも疲れにくい運転姿勢を実現する人間工学的設計を目指してきた。また，後席においては，革新的パッケージの中核をなす様々なタイプのシート方式を世の中に送り出してきた。新型MPVのコンセプトは，「乗る人すべてが快適にくつろげるファーストクラスパッケージ」「歴代MPVが培った卓越した機能性の更なる革新」である。

本稿では，特に新型MPVを特徴づける主要な装備である2列目シートと3列目シートについて，人間工学的な開発の狙いや設計上のポイントを紹介する。

2．スーパーリラックスシート（2列目）

2.1　装備の選定

走行中の車両用シートに求められる快適性能は，「疲れにくい姿勢の支持」「乗り心地が良い」「コーナリング時のホールド性が良い」などである。一方，後席乗員が運転手と大きく違うのは，運転をしないので姿勢の固定や精神的緊張が不要なことである。そのことから，後席に求められる快適性を実現する上では，「車室内という限られた空間でリラックスできる姿勢，すなわち筋脱力を促す姿勢」を作り出すことが重要である。

そこで，新型MPVの2列目シートでは，人間工学的手法を取り入れ，以下の装備を組み合わせることで，その姿勢の維持を実現した（Fig.1，2）。

＊1，2　装備開発部
Interior Components Development Dept.

① シートバックリクライニング
② サイド／ネックサポートヘッドレスト（無段階式）…新開発
③ 角度調整式アームレスト
（45 °リクライニングでも水平維持可能）
④ 大傾角クッションチルト機構（無段階式）…新開発
⑤ ワンアクション・オットマン（無段階式）…新開発
⑥ ロングスライド（330mm）
⑦ 左右スライド（160mm）

次に，この中から新開発の3アイテムの特徴を紹介する。

2.2 サイド／ネックサポート付スイングヘッドレスト

乗員が，リラックス姿勢を作り出すためにとる手段は，まずシートバックをリクライニングさせ，上体を後方に倒すことである。体重をシートバックに預けることにより，背筋の脱力が可能になる。従って，2列目シートにおいては，シートバックを大きく後傾させた姿勢を想定し設計を進めた。しかしながら，ここで問題となるのは，リクライニングさせればさせるほど頭の重心が後にずれ，首への負担が増加する。また，コーナリング時に横方向に頭がずれることも首への負担が増す要因である。

そこで我々は，通常のヘッドレストのように後頭部を支えるだけでなく，首の付け根（ネックサポート）と側部の支え（サイドサポート）を装備したヘッドレストを開発した。また，当ヘッドレストは，通常使用状態とリラックス状態の双方を1つのユニットで実現可能にするためにスイング方式とし，また，様々な頭部形状にフィットできるよう無段階調整式とした。

2.3 大傾角クッションチルト機構

リラックス姿勢を作り出すためにとる手段は，まずシートバックをリクライニングさせると先に述べたが，この状態のままでは，体の重心が後に移動するため，尻部の前ズレが起きやすい状態となる。また，この尻部の前ズレは，猫背傾向を助長する。その結果，身体がこの状態を防ぐように働くため，余分な腹筋や腰部の筋肉を使ってしまう。

そこで，理想的なリラックス姿勢を保つのに必要なクッションチルト角を体格ごとに検討し，クッションチルト調整量を決定した。その結果，一般的な運転席のクッションチルト調整量は，3.5 °程度であるのに対し，当スーパーリラックスシートでは，6 °のクッションチルト調整量をもたせた。

また，リラックスを阻害させない別の因子として，操作方式にもこだわった。つまり，「着座状態で簡単に操作できること」「様々な体格の乗員が，多様な使用シーンでもフィットする」を命題として，複数の方式を構想した中からダイヤル式の無段階調整方式を採用した。

Fig.1　Super Relax Seat

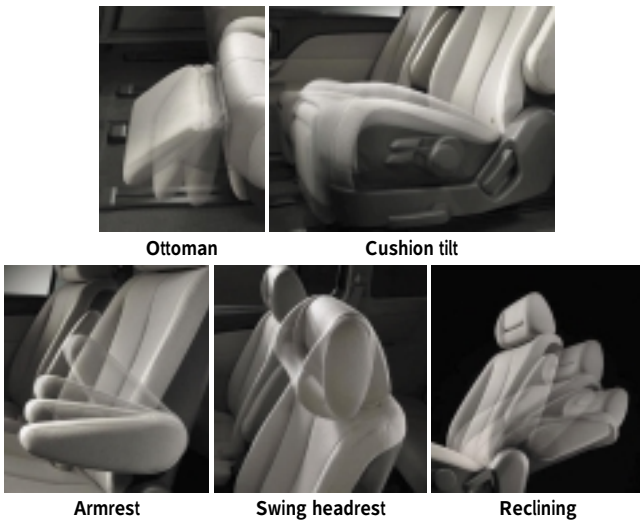


Fig.2　Relaxation Equipment

2.4 ワンアクション・オットマン

さて，今まで上体の筋肉の脱力を促進する手段を述べてきたが，ここで一つ弊害が出てきた。それは，クッションを大きく後傾させることにより「フロアから足までの距離が延長され足の支えがなくなり膝下の重さが直接大腿部にかかること」「膝の角度が減少する」ことにより膝裏が圧迫され，足先の血流が悪くなることである。

従って，クッション傾斜角の変化に伴い，膝下を支える機能を合わせて考える必要があった。その手段の一つとしてオットマンを搭載することとした。オットマンの大きさ，上下位置，前後位置や形状の設定には，各体格の統計的マネキンを使って仮説を立て，パネラー（JF50～JM95の7名）を使った基礎検証を行った。

その機構の実現には，様々な制約条件があった。すなわち，「どのような体格の乗員であってもリラックスできる下肢の位置を保証できること」「スムーズに作動して乗員の要求位置にセット，及び格納できること」「限られたスペースに機構をレイアウトしなければならないこと」である。

その課題を解決するために，試行錯誤しながら取り組ん

だ結果，幅広い体格の組み合わせ（Fig.3）でオットマンを使用することが可能になった。

また，駆動方式には，電動よりもスピーディ，かつ身体に当たれば止まるという点で安全でもあるガスダンパを採用し（Fig.4），コンパクトに収めることができ，かつワンアクションで操作できるものとした。

スーパーリラックスシートのリラックス度合いの定量的な効果の把握には，まずJF50からJM95までの男女9名（男性6名／女性3名）によるラボテストを行い，更に同体格レンジの男女11名（男性7名／女性4名）によるテストコースでの実走評価を行った。その結果，このシートにより，乗員のリラックス状態に大きな改善効果を認めた。

1st-row Seat		2nd-row Seat (Ottoman in use)
Front-most	⇨	AM95
JM50	⇨	AM50
AM50	⇨	JM50
Rear-most	⇨	JF05

Fig.3　Possible Combination

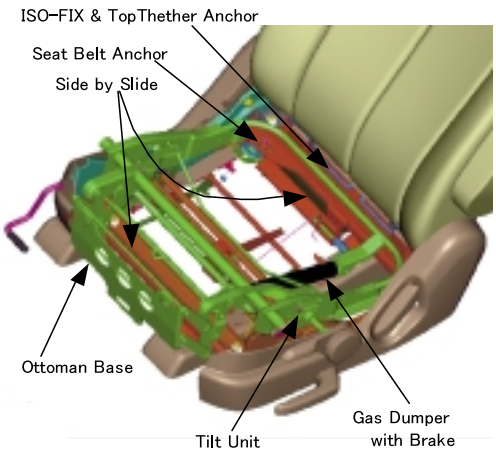


Fig.4　Cushion Frame of 2nd-row Seat

2.5　レバー配置

使い勝手の向上の観点から，リラックス装備の各操作レバーの形状や配置にも配慮した。特に，左右スライド付シートでは，操作レバー類の数は，6つにもなる。

そこで認知度，使用頻度，及び，操作の連続性を考慮しながら配置するとともに，操作のしやすさからFig.5のような形状と配置にした。

すなわち，認知度の高い前後スライドレバーやリクライニングレバーは，従来の位置や形状とし，横スライドレバーは，機構の動く方向や使用頻度からクッションサイドの下方にした。また，大傾角クッションチルト用のダイヤルとワンアクション・オットマン用のレバーは，操作の連続性から同じ位置にまとめた。

Fig.5　Lever＆Dial Layout of 2nd-row Seat

3．多機能で使いやすい3列目シート

3.1　方式の選定

シートの格納方式の選定にあたり，まずミニバンユーザの「荷室の使い方調査」「3列目シートの改善要望調査」からスタートとした。その結果，多かった指摘項目として以下があげられる。

- 3列目シート後ろの床下ラゲッジスペースには，洗車道具等の日用品や停止表示板などが車載されているケースが，極めて多い。
- 格納や復帰に要するアクション数が多いと，操作方法がわかりづらい。
- 3列目シートの快適性が不満である。
- 中央席側によりかかることができないため，疲れる。
- リクライニング機構がないと，長距離移動でリラックスできない。
- 荷室状態からシート状態に戻す作業が重い。

それらを解決する手段として，新型MPVの3列目シートでは，以下の方式を組み合わせることでその解決を図り，使いやすさの向上を図った。

① KARAKURIフォールド
② シート復帰用アシストスプリング
③ 電動復帰機構（オプション）

次に，これらの3アイテムを紹介する。

3.2　KARAKURIフォールド

床下ラゲッジスペースにシートを格納するタイプの場合，格納時に荷物の載せ降ろしが必要であるため面倒である。この荷物を車外に持ち出すことなくシートが格納できれば，より使い勝手を向上させることができる。

これを解決する格納方式として，ワンアクションでシー

ト全体が前下方に沈み込みながらシートバックが前方に倒れるKARAKURIフォールドを採用した（Fig.6）。これにより後ろに積んだ荷物の有無に関わらずシートを格納することが可能になった（Fig.7）。

快適性の向上については，特にシートの大型化に注力して改善した。KARAKURIフォールドの採用により，床下ラゲッジスペース内にシートを収める必要がなくなり，シートの大型化が可能になった。

更に，快適性向上アイテムとして，全車にアームレストと，3列目でクラス最小の2°ピッチのリクライニング（最大後傾角39°）を採用した。

また，6：4分割タイプとすることにより，乗員や荷物に合わせて，従来よりも様々なシートアレンジが可能になった。

Fig.6　KARAKURI Fold 6:4 Splitted 3rd-row Seat

Fig.7　Boot Space

3.3　シート復帰用アシストスプリング

“荷室状態からシート状態に戻す作業が重い”という不満を解決する手段としてアシストスプリングを採用し，荷室状態からシート状態へ復帰する作業の負担を軽減した。

3.4　電動復帰機構

シート復帰用として，オプションで電動復帰機構を用意し，より非力な子供でも操作ができるようにした。

一方，シートを格納する際は，KARAKURIフォールドの良さを生かし，シート自重ですばやく倒れるよう手動とした。

上記の，シート復帰（電動）とシート格納（手動）を一つのシステムとして両立させるために，クラッチ機構（Fig.8）にて切り替えを自動で行うこととし，安全性を保証しながら，シート格納で1秒以下，シートへの復帰で5秒以下を実現した（世界最速）。

それらの動きを実現する方法としては，機械式のKARAKURI機構を新開発し，作動レバー上にプーリー（Fig.9），モータ内にサーキットブレーカー，及びシートバックフレーム上にリクライニングギア連動リミッター（Fig.10）を採用し，電子式コントローラを不要な構造とした。

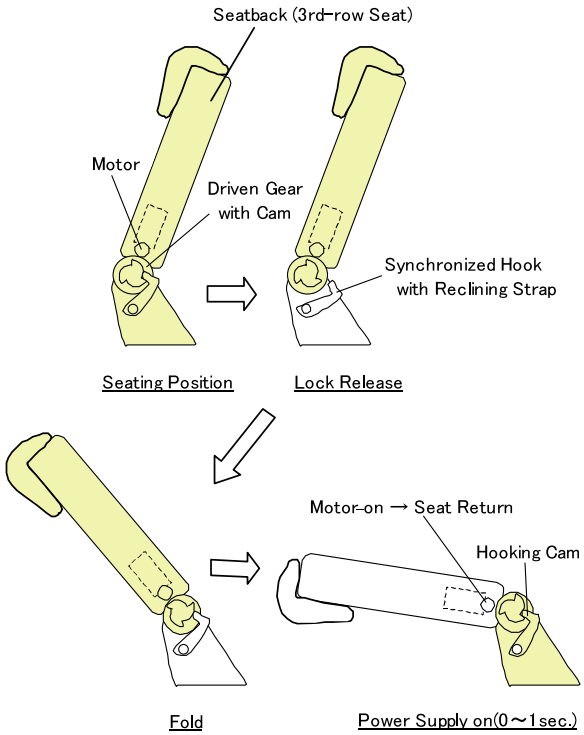


Fig.8　Clutch Mechanisms

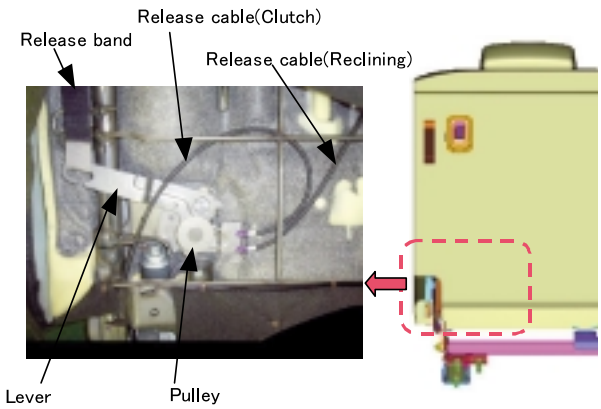


Fig.9　Pulley Mechanisms

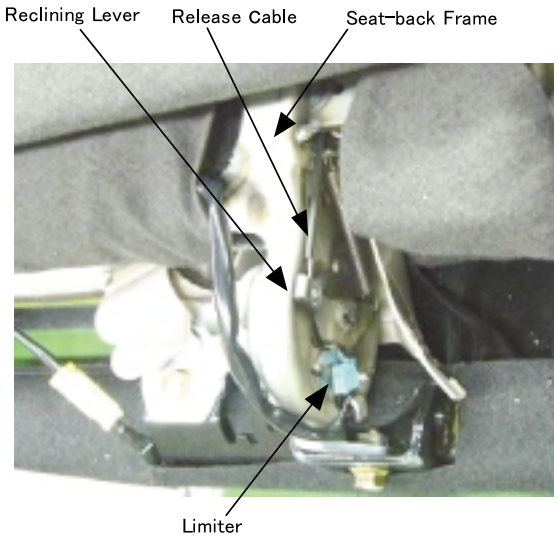


Fig.10　Synchronized Limiter with Reclining-gear

4．おわりに

近年，ミニバンからミニバンへの乗り換えが増加している。お客様も既にミニバンの良い点／不十分な点を熟知した“プロのミニバンユーザ”の比率が高まってきており，満足していただくのは容易ではない。

我々は，新型MPVのシート開発において，お客様の声を聞き，その要望に応え，更に「スーパーリラックスシート」「電動復帰シート」等の新しい提案を行うことができた。新型MPVを所有したお客様に十分に満足いただける性能／仕上がりとすべく，持てる力の全てを注ぎ込んだことを付け加えておきたい。

終わりに，本開発に尽力いただいた㈱東洋シート殿，並びに関係者各位に心より感謝いたします。

■著　者■

宮原民夫

論文・解説

25

RX-8ハイドロジェンREの紹介
Introduction of RX-8 HYDROGEN RE

柏　木　章　宏*1　後　藤　昌　志*2
Akihiro Kashiwagi　Masashi Goto

要　約

RX-8ハイドロジェンREは，国内リース販売用に開発した，世界初のデュアルフューエルシステムの水素ロータリエンジンを搭載した車両である。水素を燃焼させ，水蒸気を排出するクリーンな車両であると同時に，水素インフラが少ない現状での利便性を考慮して，ガソリンでも走ることができるようにした。

本稿では，その開発の狙いと特徴について，水素ロータリエンジンを中心に紹介する。

Summary

RX-8 HYDROGEN Rotary Engine（RE）has been developed for a lease vehicle in the Japanese market. This is the world's first vehicle powered by a hydrogen rotary engine and equipped with a dual fuel system. The RX-8 HYDROGEN RE as a clean emission vehicle, exhausts the water vapor produced by hydrogen combustion. Moreover, it works on gasoline as well for the convenience even under such a current condition that hydrogen stations are not in good service.

This paper introduces the aims and features of this vehicle with a focus on the hydrogen rotary engine.

1．はじめに

エネルギを発生する段階で，水しか排出しない究極のクリーン性能を持つ水素は，現在多くの分野でその実用化に向けた開発が進められている。長年にわたって，排ガスと二酸化炭素の排出量軽減を追求してきた自動車にとっても，そのクリーン性能は究極の姿といえる。その代表的な車が水素を燃料とする燃料電池車であり，将来のクリーンカーの有力な候補として世界的に注目を集めている。

一方，水素を燃料とした内燃機関は，一般的に燃料電池に比べてエネルギ効率が劣るといわれているが，燃料電池に近いクリーン性能を実現することが可能であり，加えて燃料電池にはない幾つかの優れた特徴を持っている。

本稿では水素内燃機関と，それを搭載した車両を紹介する。

2．開発の狙い

マツダは長年にわたり，水素ロータリエンジン（以下，RE）と燃料電池の両方の水素エネルギ技術の研究に取り組んできた（Table 1）。その豊富な経験に基づき開発した“RX-8ハイドロジェンRE”の狙いと，動力源に水素REを選んだ理由を以下に述べる。

燃料電池車は究極のクリーン性能を備えているが，現時点ではコスト，耐久性，利便性といった解決しなければならない多くの課題があり，それらが普及の進まない原因になっている。

一方，水素REは従来の内燃機関の技術や部品を流用できるため，コストが安く，耐久性の課題解決も容易である。

更に，一つのエンジンで水素とガソリンの併用が可能なデュアルフューエルシステムとすることが容易となる。これは，市場に水素ステーションの数が少ないことによる利便性の悪さを解決する有力な手段になる。

加えて，モータ駆動の燃料電池車に対し，慣れ親しんだ内燃機関の走行感覚で走ることができる水素REは，地球に優しく，しかも運転する楽しみ（Zoom-Zoom感覚）は

＊1，2　第3プログラム開発推進室
Program Management Office No.3

そのままに，というマツダブランドが目指す方向とも一致した。

Table 1　Mazda's History of Hydrogen-car Development

1991	Mazda develops its first hydrogen-fuelled rotary-engine car, the HR-X.
1992	Mazda test-operates a fuel-cell golf cart.
1993	Mazda develops its second hydrogen-fuelled rotary-engine car, the HR-X2, and develops an experimental MX-5 roadster powered by a hydrogen rotary engine.
1995	Mazda conducts Japan's first on-road tests of a car powered by a hydrogen rotary engine (a special version of the Capella Cargo).
1997	Mazda develops the Demio FC-EV (an electric car powered by a direct-hydrogen fuel cell).
2001	Mazda develops and conducts Japan's first on-road tests of an electric car powered by a methanol-reforming fuel cell (the Premacy FC-EV).
2003	Mazda unveils the RX-8 Hydrogen RE (an RX-8 with a hydrogen rotary engine).
2004	Mazda conducts the world's first on-road tests of an RX-8 powered by a hydrogen rotary engine with dual-fuel (hydrogen and gasoline) capability.

3．水素REの特徴

3.1　水素RE

Fig.1　Hydrogen RE

(1)　水素燃焼に適したREの特徴

水素内燃機関（Fig.1）の実用化においては，水素がエンジン内の高温部に触れることにより発生する，水素の過早着火（バックファイヤ）の回避が課題となる。レシプロエンジンでは吸気，圧縮，膨張（燃焼），排気をシリンダ内の同じ場所で行うため，燃焼時の熱により点火プラグや排気バルブが高温になり，吸気行程中でバックファイヤが起きやすい。一方，REは構造的に吸排気バルブを持たず，かつ吸気と膨張を行う場所が分かれているため，比較的低温の吸気室に水素を吸入することが可能であり，バックファイヤの回避が容易である（Fig.2）。

更に，REはレシプロエンジンに比べて混合気の流動が強く，かつ1行程当たりの時間が長いため，水素と空気の十分なミキシングが可能である。

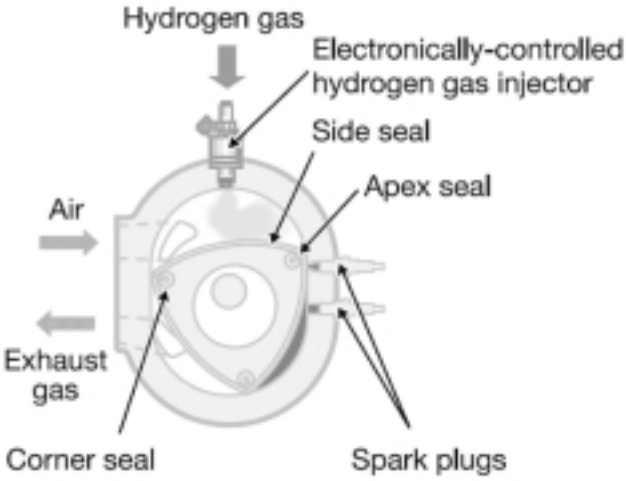


Fig.2　Schematic of Hydrogen RE

(2)　直接噴射と予混合の併用

水素走行での高出力化を狙って，ロータハウジング上方に電子制御式水素ガスインジェクタを設置し，直接噴射方式（以下，直噴）とした。REは構造上，インジェクタのレイアウト自由度が高く，直噴の採用に適している。

更に，予混合用の水素ガスインジェクタを吸気管部に設け，走行状況に応じて直噴，予混合を併用可能として，最適な水素燃焼を実現した。

なお，ガソリン走行時はベースエンジンと同じガソリンインジェクタから燃料が供給される。

(3)　希薄燃焼とEGRの採用

NOx低減のため，希薄燃焼とEGRを採用した。主に低負荷域は希薄燃焼により，高負荷域はEGRと三元触媒によりNOxを低減した。三元触媒はベース車のガソリン用をそのまま使用している。

希薄燃焼とEGRの最適な使い分けにより，出力とエミッション性能の高次元での両立を実現した。NOx排出量は平成17年基準レベルに対し約90%低減した。

3.2　デュアルフューエルシステム

(1)　狙い

現在，日本における水素ステーションの数は十数ヶ所にとどまっており，当面は急激な増加はないと予想される。このため，水素エネルギ車は常に水素燃料切れの不安を抱えて走行しなければならず，結果として移動範囲は水素ステーションから一定の範囲内に限られてしまう。

しかし，燃料としてガソリンも使用可能となれば，万一水素燃料が切れてもガソリンで走行でき，燃料切れの懸念がなくなる。その結果，水素ステーションの未整備地域への移動も可能となり，水素インフラの過渡期において特に高い利便性を発揮する。

(2)　燃料切り替え

水素走行中に水素燃料がなくなると，自動的にガソリン走行に切り替わるシステムとした。走行中に切り替えが行われても，違和感なく燃料が切り替わる。また，水素燃料が残っている場合でも，運転席右側の燃料切り替えスイッチ（Fig.3）で，任意に水素からガソリンへ切り替え可能とした。

一方，ガソリンから水素への切り替えは，車両停止時のみ可能とした。

Fig.3　Fuel Selection Switch

(3)　ドライバインターフェース

水素残量計，使用燃料インジケータ，警告灯などを運転席正面のメータパネル内に集中させ，視認性を高めた(Fig.4)。

走行中は常に水素，ガソリンいずれかの燃料インジケータが点灯し，使用している燃料を表示する。燃料切り替えスイッチは，水素走行時にのみ点灯する。

また，燃料切り替えの前後にはチャイムが鳴動し，ドライバへ知らせる。

Fig.4　Meter

4．RX-8 HYDROGEN REの特徴

4.1　デザインとパッケージング

デザインはRX-8をベースに，ひと目見て水素RE車と認識でき，かつクリーンなイメージを目指した。

車体基本色は，ホワイトパールマイカとブルーのツートンカラーとし，水素REを表現したデカールとエンブレムを貼付した（Fig.5，6）。

パッケージングは，ベース車と同じく大人4人の居住空間を確保し，水素タンクを荷室に搭載した（Fig.7）。水素タンク圧力は，現在の国内での水素ステーションの標準的な圧力である35Mpaを選択し，荷室内に2本搭載した。ガソリンタンクは，ベース車のRX-8用のものを流用した。

水素充填口は，燃料電池車に広く使われているものと同タイプのレセプタクルを採用し，ベース車のガソリン給燃口と左右対称の位置に設けた。

Fig.5　Front Exterior Styling

Fig.6　Rear Exterior Styling

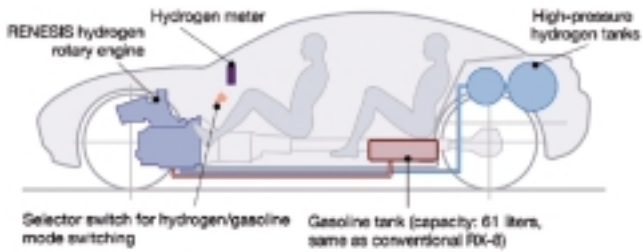


Fig.7　RX-8 HYDROGEN RE Layout

4.2　車両諸元

車両諸元をTable 2に示す。RX-8のスタンダード仕様をベースとし，トランスミッションは市場での使い勝手を考慮して4ATを選択した。

水素走行時における最高出力は80kWで，市街地等での一般走行において十分なレベルを達成した。しかし，ガソリン走行時の最高出力に対しては約50%であり，今後更なる改善を行いたい。

また，航続距離は水素走行時100km（10-15モード），ガソリンを含めて649km（10-15モード）とした。デュアルフューエルシステムを採用しているため，燃料切れの不安なく走行が可能である。今後は，水素での航続距離の更なる延長にむけて，水素搭載量の拡大やエネルギ効率の改善が課題と考える。

Table 2　Vehicle Specifications

Model	Mazda RX-8 Hydrogen RE	
Body and chassis	Overall length	4,435mm
	Overall width	1,770mm
	Overall height	1,340mm
	Wheelbase	2,700mm
	Seating capacity	4 persons
	Tires (front and rear)	225/55R16
Engine	Type	RENESIS hydrogen rotary engine with dual-fuel system
	Fuels	Hydrogen and gasoline
	Maximum output	Hydrogen mode: 80kW (109PS) Gasoline mode: 154kW (210PS)
	Maximum torque	Hydrogen mode: 140Nm (14.3kgm) Gasoline mode: 222Nm (22.6kgm)
Transmission	4AT	
Driving range (10-15 mode)	Hydrogen mode: 100km Gasoline mode: 549km	

5．おわりに

水素エネルギ車を開発する時，いつも聞かれるのは燃料の水素をどのようにして製造するのが最適か，という問いである。これは昔からの課題だが，残念ながら現在でもその問いに対する明確な答えは見つかっていない。

これ以外にも，水素社会を実現するためには，水素の運搬，貯蔵，管理等多くの分野で解決しなくてはならない課題がある。

水素の利用（消費）段階の製品を開発する者として，現在の水素インフラの状況を考慮し，よりお客様に使いやすい製品を，よりリーズナブルな対価で提供することが，結果的には水素社会の実現に貢献することと信じる。

水素社会の実現を目指し，それぞれの分野で課題解決に取り組まれている多くの水素エネルギ技術研究者とともに，今後もよりよい製品の開発に努力していきたい。

参考文献

(1)　森本ほか：RX-8ハイドロジェンREの紹介，マツダ技報，No.22，p.132-138（2004）

■著　者■

柏木章宏

後藤昌志

論文・解説

26 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
Development of RX-8 HYDROGEN RE Dual-Fuel System

齊　藤　智　明*1　松　下　正　典*2　三津木　宏　明*3
Tomoaki Saito　Masanori Matsushita　Hiroaki Mitsugi
上　田　貴　之*4
Takayuki Ueda

要　約

RX-8ハイドロジェン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。この車には，高圧水素安全システム，水素RE制御システム，燃料自動切替えシステムなど新たに開発して採用した。

デュアルフューエルシステムを実現する上で，電子制御システム及び制御用組込みソフトウェアの果たす役割が重要である。このことから，電子制御システムとほとんどのソフトウェアを社内開発した。

本稿では，新開発した電子制御システムとソフトウェア開発技術について紹介する。

Summary

The RX-8 Hydrogen RE features the dual-fuel system that enables driving with either hydrogen or gasoline as fuel. New systems for high pressure hydrogen safety, hydrogen RE control, and automatic fuel switching have been developed and adopted into the RX-8 Hydrogen RE.

A newly developed electronic control system and software programs for control have a key role in implementing a dual fuel system. Therefore, the electronic control system and most of the software programs were developed in-house for their importance.

This paper introduces the electronic control system and software development technology.

1．はじめに

RX-8ハイドロジェンRE（Fig.1）は，ガソリン，水素のどちらの燃料でも走行可能なデュアルフューエルシステムを採用している[1]。更に，走行中でも安全に水素燃料からガソリンへの切替えが可能であるという特長を持つ。

Fig.1　RX-8 Hydrogen RE

エンジン本体のハード構成（Fig.2）としては水素インジェクタの追加以外は量産のRX-8のエンジンとほぼ共通している。

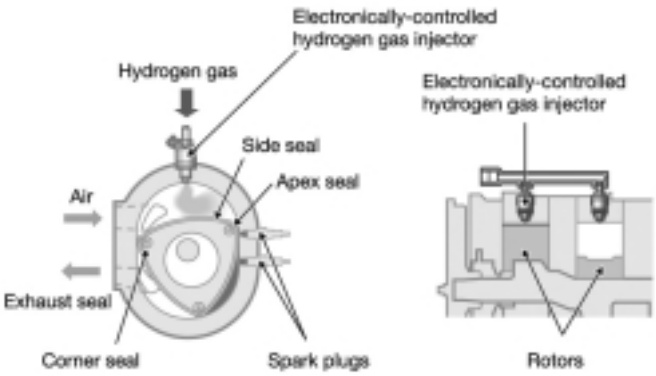


Fig.2　Hydrogen RE System

一方で，車両全体の制御システムとしては，以下の3つの制御システムとソフトウェアを新規開発した。

＊1～4　技術研究所
Technical Research Center

① 高圧水素安全システム
② 水素RE制御システム
③ 自動燃料切替えシステム

2．高圧水素安全システム

高圧水素安全システムとして，大きく分けてハード系（タンクの配置，漏洩水素が滞留しない構造など）と，電子制御系（水素センサに漏洩水素の検出，電磁バルブによる水素燃料供給路の遮断など）を開発した。このシステムは，2005年3月に国交省で制定された「圧縮水素ガスを燃料とする自動車の燃料装置の技術基準」を満足している。

ここでは，電子制御系について解説する。

2.1 安全システムの電子制御系の課題

水素燃料使用中に，万が一異常が起きても安全に走行にするため，車両全体の安全システムとエンジン制御システムが高度な連携を保つ必要がある。

このため，水素燃料システムに関わる部品の故障や異常を検出し，安全を確保するフェールセーフ機能の採用が必要となる。

2.2 安全電子制御システム

安全電子制御システム（Fig.3）の機能として，

① 部品の故障などの異常を検出する機能
② 異常検出時に高圧タンクの元弁を遮断する機能
③ 燃料自動切替え機能（水素系の異常が起きた場合に，自動的にガソリンに切替える）

を開発した。

水素ガスセンサを車体内の6ヶ所に設置し，基準以上の濃度を検出した場合には，0.5秒以内に高圧水素タンクの元弁を閉弁して安全を確保する。閉弁と同時に，ガソリン運転に自動的に切替えることで，走行安全性も損なわないシステムを開発した。

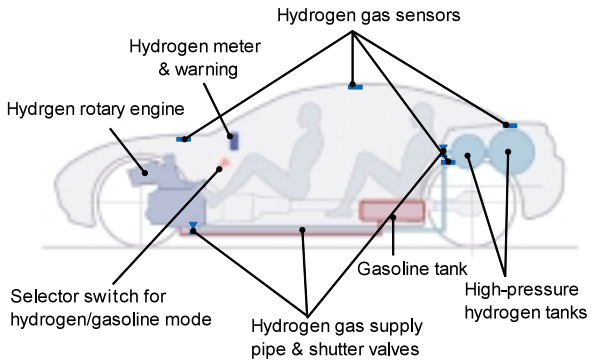


Fig.3 High Pressure Hydrogen Safety Electric Control System

3．水素RE制御システム

走り（Zoom-Zoom）とクリーン化を両立するため，水素REシステムを新たに開発した。

3.1 水素RE制御システムの開発課題

(1) エンジンシステムの課題

水素ガスを内燃機関で燃焼させる場合，以下の3つの特徴がある。

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。

これらの特徴を踏まえて，音，出力，エミッションの改善を行うため，ロータ内への直接噴射だけでなく，ポート噴射とEGR（排気ガス還流）を追加した新しいエンジンシステム（Fig.4）を開発した。

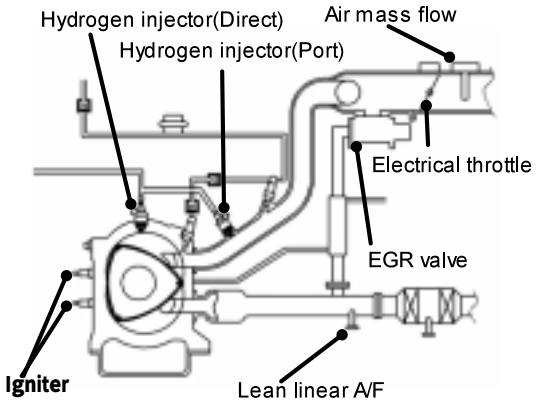


Fig.4 Hydrogen RE System

このエンジンシステムによって，3,000rpmまでの高出力領域では，空気過剰率λを1にすることで，出力向上した。そして，窒素酸化物（NOx）を触媒で浄化する後処理制御と，大量EGRガス導入によって水素ノック音を解消する燃焼制御を開発した。

また，3,000rpm以上の高出力領域では，リーン運転＋ポート噴射による混合ガスのミキシングを促進することで出力を改善しつつ，NOx発生を低減する燃焼制御を開発した。

更に，上記の異なる燃焼制御をエンジンの運転領域（Fig.5）に応じて切替える制御技術を開発した。

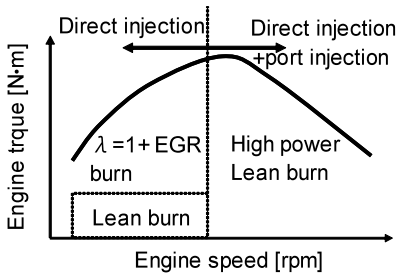


Fig.5 Hydrogen Burn Control

(2)　燃焼切替え制御の課題

各々の運転領域（Fig.5）では，空燃比，点火タイミング，出力トルクが異なる。切替えをスムーズにするために，以下のような制御を開発した。

①　エンジン出力のトルクベース制御

②　目標空燃比の変化に対応した噴射，点火，噴射タイミングの制御

3.2　水素RE電子制御

Fig.6に水素REの燃焼制御の制御ブロック図を示す。

水素RE特有としては，トルクベースの制御機能の追加と空燃比制御機能の改善である。

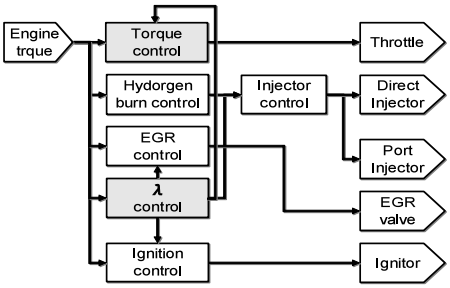


Fig.6　Hydrogen RE Control System Diagram

(1)　トルクベース制御

運転領域によって空燃比やEGRの有無が異なるため，同一スロットル開度でも出力が大きく異なる。このため，従来のトルクベースの制御では，燃焼移行時にトルクショックが生じる。

そこで，エンジンの出力トルクを精密に管理し，最終的にトルクからスロットル開度に変換することでエンジンをコントロールするトルクベース制御を開発した（Fig.7）。

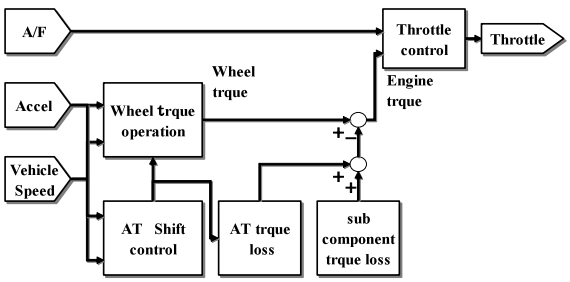


Fig.7　Torque Control（Model Driven Control）

Fig.7に示すように，走行に必要なトルク（Wheel torque）をまず演算する。並行して，自動変速機やエアコンなどの補機類での損失トルク（sub component loss torque）を演算する。この2つのトルクから最終的にエンジンが発生すべきトルク（Engine torque）を演算する。

次に，エンジン要求トルクに必要なスロットル開度を演算する。

最後に，制御コントローラが電子スロットルの開度を制御する。これにより，運転領域が変化し，燃焼移行した時でも，トルクショックの少ないスムーズな運転を実現した。

(2)　空燃比制御

運転領域によってEGR量を大きく変化させたり，空燃比を変化させる必要がある。

そこで，EGR量の変化に応じ，必要な燃料を演算する機能を追加し，目標空燃比が変化したときの応答性を向上させる機能を改善した制御アルゴリズムを開発した。

EGR量の変化に応じ，エンジン内部の酸素量を演算するために，新たに吸気管負圧センサを追加した。

水素REの空燃比制御では，燃料噴射量演算の基本となる充填量をエンジン回転数，吸気流量，吸気管負圧などのセンサ信号を使って演算している。

また，目標λの変化に実λを追従させる場合，実際の排気λの検出の応答性が問題になる。特にリーン領域では，酸素濃度が高いため応答性が悪化している。

そこで，燃焼室のλを推定し，このλを使って燃料噴射量を補正することで，実λを目標λに追従させるモデル駆動制御を採用した（Fig.8）。

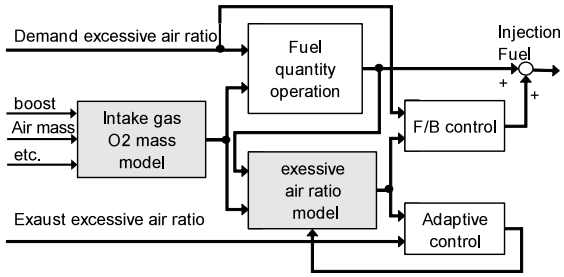


Fig.8　λ Control（Model Driven Control）

4．自動燃料切替えシステム

水素燃料が切れたときや水素運転関連の部品に故障が起きた場合には，ガソリン燃料に自動的に切替え，走行安全性を確保した。また，運転者が手動で燃料を水素→ガソリン，ガソリン→水素に切替えることを可能にし，お客様の利便性を損なわないようにした。

4.1　自動燃料切替えシステムの開発課題

水素からガソリンへの自動切替えでは以下の2つの課題がある。

①　乗員の安全を確保するために，重大な異常を検出した場合には，瞬時に水素燃料噴射を停止するとともに，高圧水素タンクを閉じる必要がある。

②　水素燃焼とガソリン燃焼では，要求点火タイミング，要求空燃比に大きな差がある。その結果，切替え時に，燃焼音やトルクの差が生じるため，この補正が必要である。

これらの課題を解決するため，燃焼のサイクル毎に燃料噴射，点火タイミング，補機類などの駆動を個別に切替える制御を開発した。

この結果，1ロータずつ噴射弁を異なる燃料に切替えながら，スロットルと燃料噴射量をトルク制御することで，

切替え時のトルクショックを解消した。

4.2　デュアルCPU型の電子制御ユニットの開発

自動燃料切替えだけでなく，ガソリン運転の性能及び機能をそのままに，水素運転を可能にするため，CPUを追加したデュアルCPU型の電子制御ユニットを新規に開発した（Fig.9）。

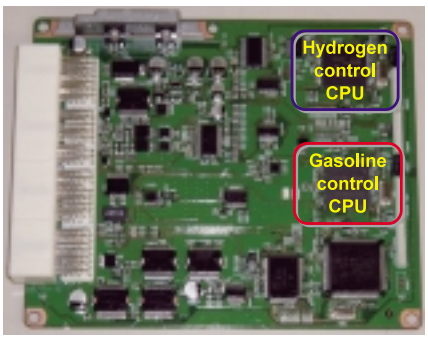


Fig.9　Hydrogen Electric Control Unit

ガソリンと水素の制御を別々のCPUで演算することで，水素制御ソフトウェアの開発をガソリン制御ソフトウェアと独立させ，効率化した。

4.3　自動燃料切替え電子制御

Fig.10に新しく開発した電子制御コントローラのソフトウェア処理概要を示す。

ガソリンと水素で共通の部品（点火プラグ，スロットルなど）を制御するために，別々のCPUからの制御信号を適切なタイミングで切替えるソフトウェアを新たに開発した。

ガソリンCPU側では，

① ガソリン運転制御ソフトウェア

② 共通部品（点火プラグ，スロットルなど）への制御信号を切替えるソフトウェア

を開発した。

一方で，水素CPU側では，

① 水素燃料で運転をするための制御ソフトウェア

② 水素固有の電子部品（水素ガスセンサ，水素インジェクタなど）の入力・出力信号演算ソフトウェア

③ 水素とガソリン燃料の切替えを判断するソフトウェア

を開発した。

更に，ガソリンCPUと水素CPUは上記の処理を同時並行で実行する必要がある。このため，切替えのタイミングやセンサ情報の通信・同期処理を開発した。

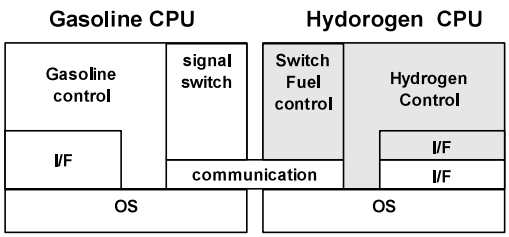


Fig.10　Dual CPU Processing

5．ソフトウェア開発技術

前述に用いたシステム設計技術とソフトウェア設計技術について述べる。

5.1　システム設計

(1)　Matlab上での設計と評価（機能設計）

システム設計上の漏れのリスクを低減するため，FMEA（Failure Mode＆Effects Analysis，故障モード影響解析），FTA（Fault Tree Analysis，欠陥ツリー解析）活動での机上設計だけでなく，Matlabを使って，設計したシステムを計算機上で評価した（Fig.11）。

まず，評価の対象になるシステムの機能をMatlabでモデル化した。次に，システムのモデルに対するコントロール機能をMatlab上で設計し，コントロールモデルとした。

このシステムモデルとコントロールモデルを使って，システム挙動のシミュレーションをMatlab上で行った。さまざまなシミュレーション条件で，システムとコントロールモデルを評価し，システム設計を修正した。

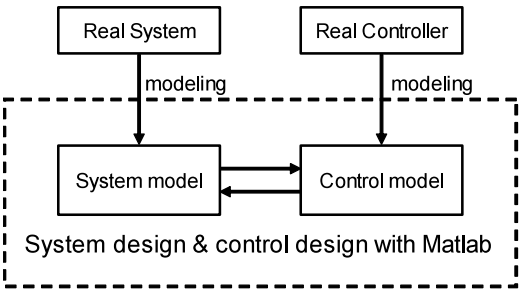


Fig.11　System Design with Matlab

(2)　実機を使った設計の評価（システム設計）

Matlab上での評価後は，実際のセンサ，アクチュエータの精度，駆動力などの制約を考慮したシステム設計を行った。

このため，実際のエンジンや車両を使った試作システムとMatlabで設計したコントロールモデルを評価した。評価を行うには，主に①部品の入出力回路の試作，②コントロール＆評価用ソフトの試作が必要になる。

今回は新たに開発したラピッドプロトコントローラで入出力回路の試作期間を短期化し，評価用ソフトの試作期間をMatlabで短期化した（Fig.12）。

5.2　ソフトウェア設計

(1)　ソフトウェア設計上の課題

システム設計が終了し，電子制御コントローラを開発した後に，Matlabで詳細ロジックの設計を行った。

詳細ロジックでは，複数の機能を詳細に設計し動作確認を行う。このとき，詳細ロジックの設計よりも，機能同士を接続して，実際の電子制御コントローラ上での動作検証工程に時間がかかっている。

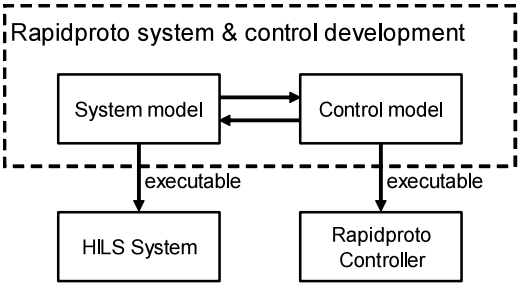


Fig.12　Rapidproto System Development

(2)　組込みソフトウェア設計工程の自動化

そこで，動作検証工程のうち，共通の工程である組込みソフトウェアの設計工程の自動化を行った。

このために，詳細ロジックを電子制御コントローラの組込みソフトウェアに自動的に変換するツールDME（Direct Matlab model to Embedded code system）を新しく開発した（Fig.13）。

5.3　自動ソフトウェア生成ツール

Fig.13に開発した自動組込みソフトウェア生成ツール（DME）の機能を示す。

① Matlabの設計データから処理周期や機能毎にソフトウェア部品としてC言語を自動生成する機能

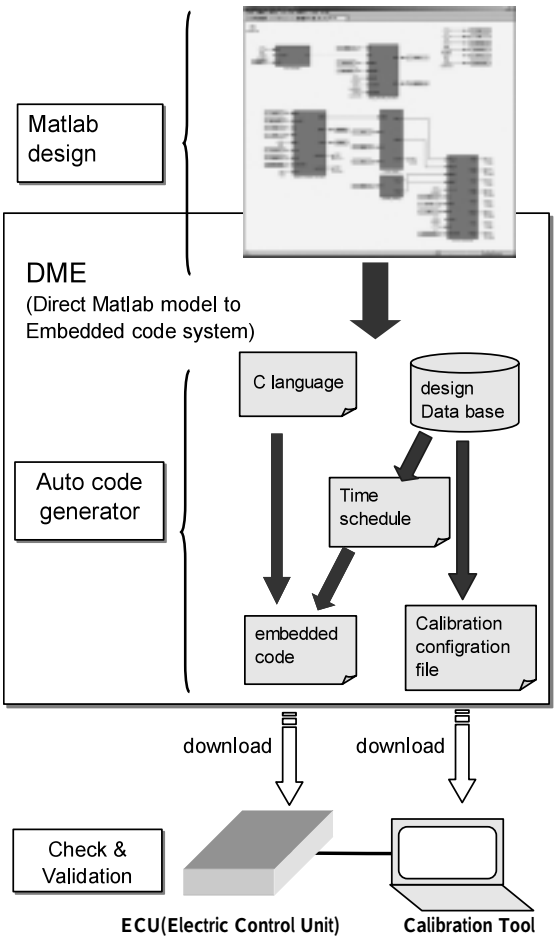


Fig.13　Process of Embedded Code Generation

② 生成したソフトウェア部品をMatlabで設計指示した処理周期，実行順序通りに，電子制御コントローラのOS上に組み込む機能

③ キャリブレーションツール用の設定ファイルを自動生成する機能

の3つから構成される。

この組込みソフトウェアツール（DME）を使うことで，組込みソフトウェア設計の自動化を実現した。

この結果，ソフトウェアの検証サイクル時間を大幅に短縮した。

6．おわりに

本稿では，RX-8ハイドロジェンREのデュアルフューエルの電子制御システムとソフトウェア開発技術を紹介した。

実際に組込みソフトウェアを内製した結果，短期間に高度なデュアルフューエル制御システムを開発することができた。また，この経験を通じ，商品性の向上及び品質を確保する上で組込みソフトウェアが果たす役割は非常に大きいことを経験できた。

最後に，電子制御コントローラの製作に関して，多大な協力を頂いた㈱デンソー殿をはじめ，社内の関係者の皆様に深くお礼を申し上げます。

参考文献

(1)　森本ほか：RX-8ハイドロジェンREの紹介，マツダ技報，No.22，p.132-138（2004）

■著　者■

齊藤智明

松下正典

上田貴之

論文・解説

27

車対車側面衝突における大型車の加害性低減構造
Aggressivity-Reducing Structure of Large Vehicles in Vehicle-to-Vehicle Side Crash

安部晶子*1 Akiko Abe　福島正信*2 Masanobu Fukushima　尾川茂*3 Shigeru Ogawa
砂川孝之*4 Takayuki Sunakawa

要約

LTV（Light Truck and Van）のような車高が高い大型車が，車高の低いセダン型乗用車に側面衝突した場合，米国では乗用車側の運転者の死亡率が乗用車同士の側面衝突に比べ3倍以上と高く，車対車側突におけるLTVの加害性が大きな問題になっている。この不均衡な状態の改善には，乗用車側の側突保護性能を向上させるだけではなく，LTVの加害性低減も不可欠である。LTVに側突された乗用車は，その衝突荷重の多くをBピラーで受けるため，Bピラーの変形は大きくなり，クラッシュスペースの少ない側面衝突では乗員傷害の悪化につながる。そこで，乗用車のBピラーが受ける集中荷重を他の構造部材に分散させ，Bピラー変形を抑えて乗員傷害の低減につながるLTV側の加害性低減構造を検討した結果，サブフレームを前方に延長し，ロッカーへ荷重を分散させることが効果的であることがわかった。

Summary

If a large and higher height LTV（Light Truck and Van）like an SUV strikes on the side of a lower height sedan-type passenger vehicle, it gives a higher risk to an occupant in the struck passenger vehicle than such a risk that the same class passenger vehicle gives. In order to correct such an incompatible situation, it is important not only to improve self-protection of small passenger vehicles but to reduce aggressivity of LTVs. Concentrated crash force is transmitted to the B-pillar of the passenger vehicle if it is struck on the side by an LTV. The concentrated force cause a large B-pillar deformation that worsens occupant injury because of limited crush stroke in that area. This study, therefore, discusses the aggressivity-reducing structure of LTVs that realizes force dissipation to other structural components than B-pillar. Forward-extended sub-frame that transmits force to the rocker area was found to be effective in reducing B-pillar deformation, thus reducing aggressivity of LTVs.

1．はじめに

衝突安全性は近年，各国の法規制やNCAPの強化により大幅に向上している。ただし，市場事故においては，小型車と大型車が衝突した場合に，小型車の乗員の死亡率が大型車のそれを大きく上回っている問題が依然として存在しており，中でも小型車の側面に大型車が衝突した場合に顕著である[1]。このような大きさの異なる車両同士が衝突した場合の両車の保護性能（コンパティビリティ）の改善が今後の課題といえる。

Fig.1は，2001年のFARS（米国死亡事故）データのうち，車両総重量4,536kg以下の小型車の乗員死亡事故件数を示したものである。死亡事故の内，43%が車対車衝突によるもので，衝突形態別では側突が最も多く38%を占めている。更に車対車側突の死亡事故の相手車両をタイプ別に見ると，47%がLTVでほぼ半数を占めている[2]。

LTVのコンパティビリティ性能は，これまで主に前突時の加害性問題が指摘されており，米国では規制化も検討されている。また，フロントサイドメンバより低い位置に乗用車が潜り込むことを防止する車体構造の採用など，前突

＊1～3　衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.
＊4　CAE部
CAE Dept.

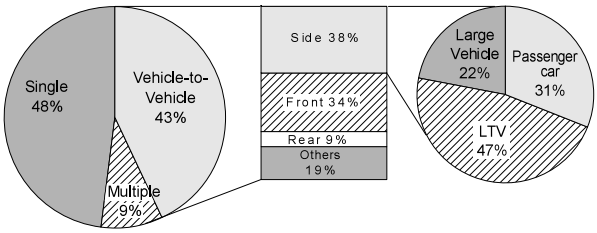


Fig.1　Fatality by Crash Type(Left),
Vehicle-to-Vehicle Crash Fatality by Impact Direction(Center),
Vehicle-to-Vehicle Side Crashes by Struck Vehicle(Right)

コンパティビリティ対策を織り込んだLTVが既に商品化されている。しかし，この事故データから側突におけるLTVの加害性も重要な問題であることは明らかである。

LTVが関与する側突事故の問題はこれまで多くの研究機関が研究し，米国ではIIHSがLTVを模擬したハニカムバリアを用いて側突性能を評価している。また，同じく米国では，業界の自主規制として独自の評価を検討している。しかし，これらは全てLTVに側突される被側突車両の保護性能の向上を促すもので，側突する大型車側の加害性低減を要求するものではない。そこで本報告では，LTVの車体前面構造に着目し，実現性の高い加害性低減構造を見出し，その効果を側突FEM解析で検証した。

2．側突加害性低減コンセプト

2.1　側突傷害発生メカニズム

側突における乗員の傷害は，被側突車の車体側面が乗員に向かって変形することで発生し，変形が大きいほど乗員傷害が大きくなる傾向にある。一般的に車体側面は，車体と乗員間に十分なスペースがなく，強度も低い傾向にある。そのため，側突する車両（側突車）がLTVのように車高が高く車体前面強度も高い車の場合，側突される車両（被側突車）の車体変形は全体的に大きく，かつ，車高差によって，頭部・胸部付近での変形が大きくなると考えられる。従って，被側突車の乗員傷害を低減させるためには，被側突車の車体変形量を低減し，生存空間を確保することが重要である。特に，死亡重傷率の高い頭部や胸部の傷害発生を抑えるためには，頭部・胸部エリアの生存空間を確保することが重要である。

2.2　衝突荷重分担

まず，LTVが被側突車の車体変形に与える影響を衝突荷重の分担比較で確認した。荷重分担は，LTVの前面特性を模擬したIIHS側突ハニカムバリアと乗用車の前面特性を模擬したECE R95ハニカムバリア，FMVSS214ハニカムバリアの3タイプを用いて，車体側面を静的に負荷する試験を行い，車体側面の各部位への荷重を計測し求めた。

この荷重計測試験では，Fig.2に示すように，車両総重量約1,600kgの乗用車の側面カットボデーと固定壁の間に荷重計を取りつけ，車体を3種類のハニカムバリアで静圧縮し，各部の荷重を計測した。計測部位はFig.3に示す側突における車体側の荷重伝達経路のうち，太矢印の伝達部位である。

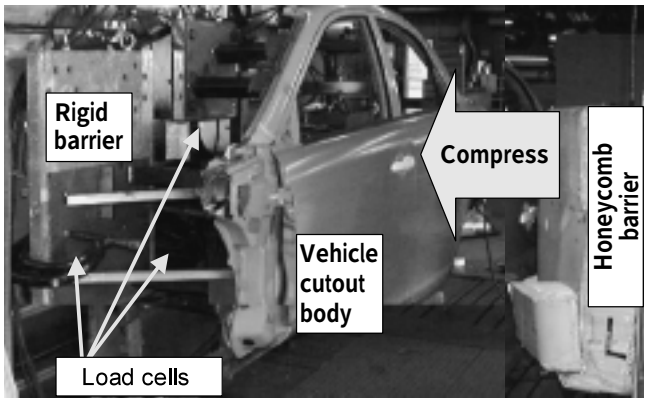


Fig.2　Component Test for Force Share Study

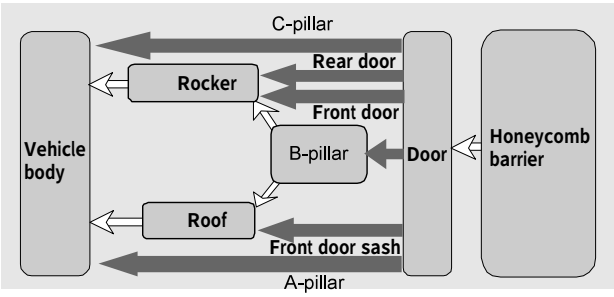


Fig.3　Load Path in Side Impact Component Test

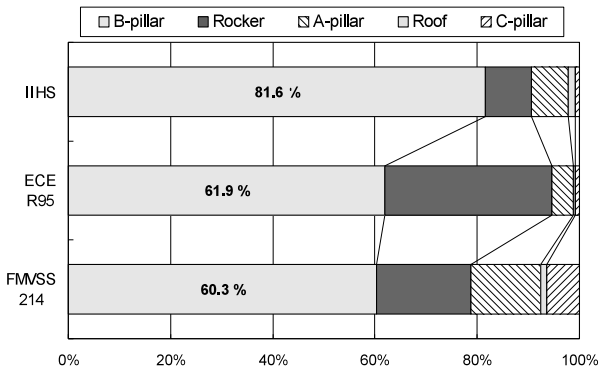


Fig.4　Force Share Comparison

Fig.4は，静圧縮試験における各部品の荷重分担割合を比較したものである。この結果より，LTVを模擬したIIHSバリアは，Bピラーへの荷重分担が80%と高いことがわかった。これは乗用車を模擬した他のバリアに比べ負荷位置が高いためである。また，ロッカー側への入力荷重は全体の9%，前後側のAピラーとCピラーへは8%，アッパー側のルーフへは1%と極端に少ないことがわかった。これは，IIHSバリアが，ロッカーやAピラー，Cピラーとラップしない形状であるためで，IIHSハニカムバリアによる荷重分担は偏っていることがわかる。

2.3　衝突荷重分担とBピラー変形の関係

次に，IIHS側突バリアのように，荷重がBピラーに集中した場合と，ロッカーなどBピラー以外の車体側面の構造に荷重が分散入力した場合の車体変形への影響をFEMで解析した。

FEM解析は，車両総重量1,600kgの乗用車モデルの側面に，同一乗用車モデルを角度90度，50km/hで衝突させる形態で行い，これをFig.5に示す2ケースの側突車の高さで実施した。

ケース1は，側突車のサイドメンバが被側突車のロッカーに接触しないLTVの車高に合わせた高い位置にあり，ロッカーに荷重分散しない。ケース2では，ロッカーに荷重分散するよう側突車のサイドメンバを被側突車のロッカー位置まで下げた。

解析の結果，Fig.5に示すように，被側突車のBピラー変形量は，ロッカーへの荷重分散があると，胸部で123mm，腰部で84mmの低減効果があった。

また，この時の運転席に搭載したSIDⅡsダミーの傷害値を比較すると，荷重分散のあるケース2が，荷重分散のないケース1より良い結果となった（Fig.6）。

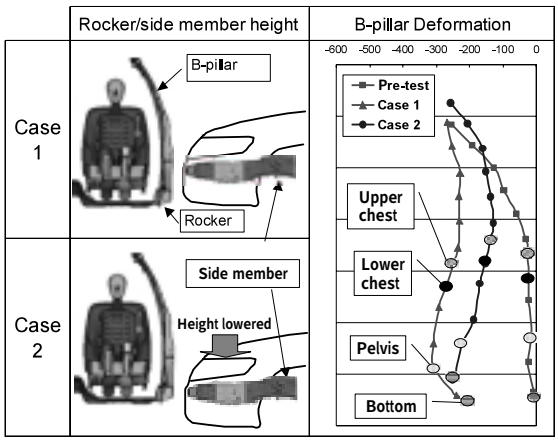


Fig.5　Simulation Matrix and B-pillar Deformation

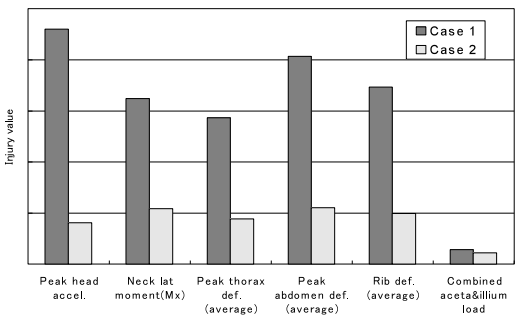


Fig.6　Occupant Injury Comparison

2.4　Bピラー変形と乗員傷害の関係

前述のように，側突車の高さがLTVのような場合，被側突車が受ける荷重は，Bピラーに集中し，Bピラーの変形が大きくなることが確認できた。次にBピラーの変形量および変形位置と前席乗員傷害値の関係を更に解析で求めた。

解析では，SIDⅡsダミーを運転席に搭載した同一の被側突車に，前面構造，車高，剛性を種々に変化させた側突車を50km/hで衝突させた。この時，Fig.7に示すBピラー変形の計測ポイントはダミー傷害値計測部に近接している5ヶ所を設定した。

この結果，Fig.8～10に示すように，胸部や腰部のダミー傷害程度はその部位に近い高さにあるBピラーの変形量と相関があることがわかった。頭部に関してはウィンドウシルやガラスなど車室内やバリアへの二次衝突による影響があり，Bピラーの変形量と明確な相関はみられなかった。

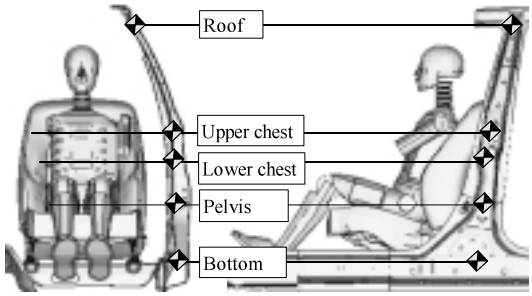


Fig.7　B-pillar Deformation Measurement Points

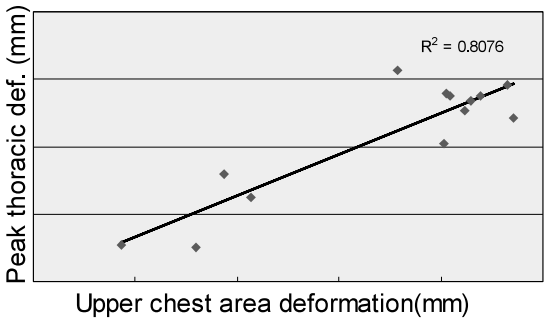


Fig.8　Deformation vs Injury（Upper Chest）

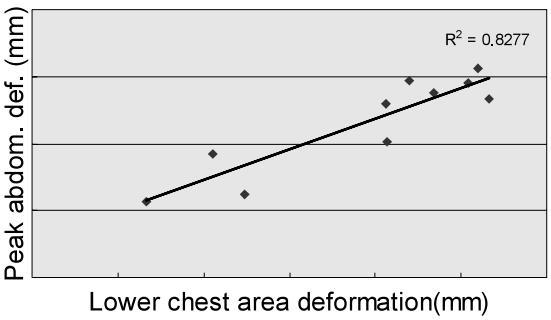


Fig.9　Deformation vs Injury（Lower Chest）

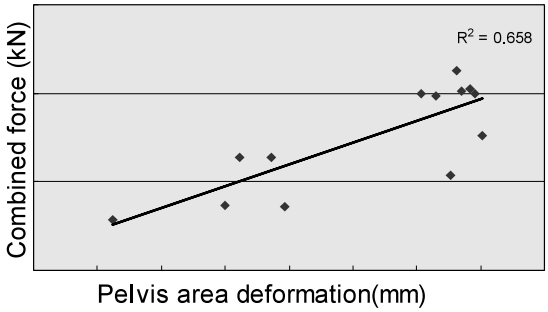


Fig.10　Deformation vs Injury（Pelvis）

2.5　側突加害性低減コンセプト

以上の解析結果より，側突時の乗員傷害低減には，被側突車のBピラー変形の抑制が必要で，Bピラーへ集中する荷重をBピラー以外の構造部材に分散伝達することが有効な手段であることがわかった。特に，ロッカーおよびロッカーからクロスメンバ，フロア全体など車体アンダー側への荷重分散が効果が高いことがわかった。

アンダー以外の荷重分散可能な構造部材として，AおよびCピラー，ルーフがある。しかし，AおよびCピラーといった車の前後方向への荷重分散は，衝突する側突車側の車幅を広げないと無理であり，またルーフへの荷重伝達は，頭部に近いBピラー上部の変形が増え頭部傷害を増大させる可能性があることから，賢明な対策ではない。そこでLTVの側突加害性低減のコンセプトとして，LTV側に被側突車のロッカーへ荷重を入力させる構造を設けることを検討した。

3．対策構造

市場における平均的なセダン型乗用車のロッカー地上高は，LTV系大型車両の前面構造部材であるバンパレインやサイドメンバより低い位置にあるため，LTV系大型車が乗用車に側面衝突した場合，ロッカーに荷重伝達しにくい。

そこで，側突加害性低減コンセプトを具体化する構造として，Bピラーへ荷重が集中する前の衝突初期にロッカーに荷重伝達させることを可能にするLTV側の対策構造として3ケースの効果をCAE解析により検証した。

3.1　CAE解析方法

解析は，Fig.11に示す角度90度の50km/h側突モードで，被側突車のBピラー各部の変形および入力荷重を比較評価した。

被側突車は，車両総重量1,600kgの乗用車でロッカー下面地上高が187mm，Fig.12に示す側突車のベースは，車両総重量2,000kgのサブフレーム付きLTVタイプモデルでサイドメンバ下面地上高は415mmである。そして，ベース車に対しFig.12に示す3ケースの解析を実施した。

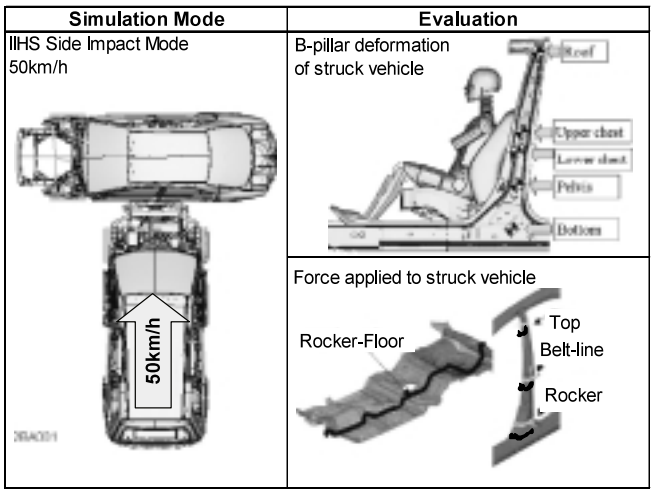


Fig.11　Case Study Simulation Mode

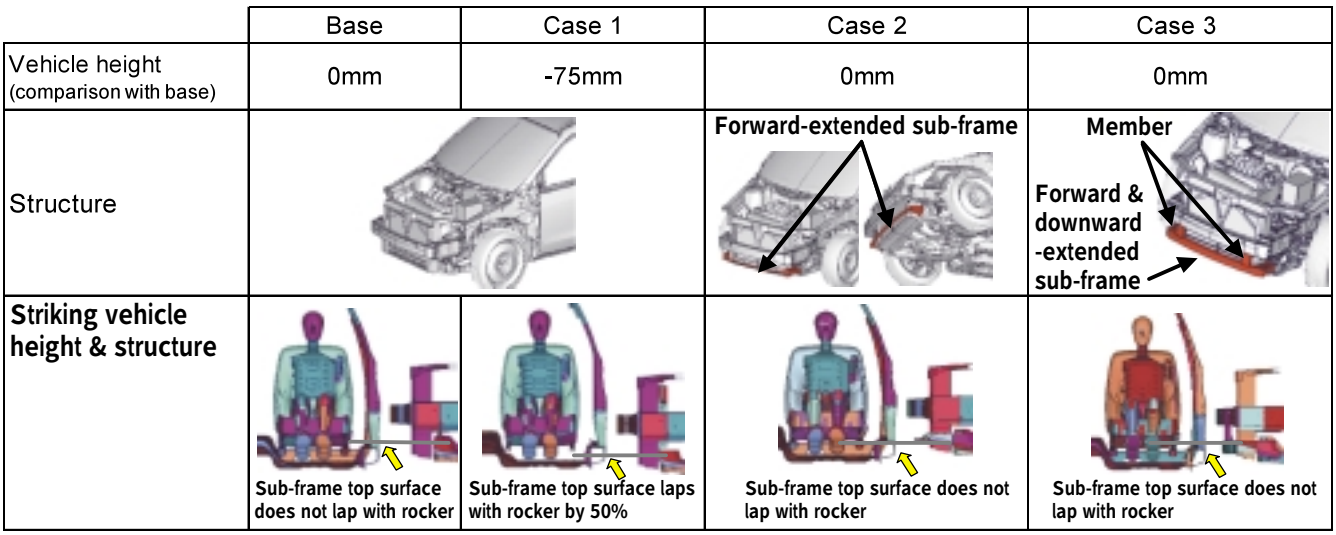


Fig.12　LTV-Car Side Impact Simulation Matrix

3.2　ロッカーへの荷重入力の効果

ケース1は，ロッカーへ荷重が直接伝達することを狙い，被側突車のロッカーにサブフレームの先端が50%ラップするように，車高をベースから約75mm下げた。

ケース2は，車高は下げず，サブフレームの先端をバンパレイン前端と同じ前方位置まで延長したものである。この延長サブフレームが，より早いタイミングで被側突車のロッカー部に荷重入力することで，Bピラーへの荷重を分散させることを狙いとした構造である。

Fig.13は，被側突車のロッカー（Bピラー下端）および胸下部付近のBピラーに入力した荷重と変形量について，ベースとケース1の結果を比較したものである。車高を低くしたケース1はベースに比べ，ロッカー部への荷重が増え，Bピラーの荷重が減り，荷重が分散している。その結果，被側突車のBピラー変形量は抑制できている。

しかし，ケース1は意図的に車高を下げた仕様のため，現実的な構造とはならない。

Fig.14は，ケース2とベースの結果比較である。ケース2では，ロッカーへの入力が減少し，被側突車のBピラー変形の抑制効果は得られなかった。この原因は，Fig.15に示すように，ケース2の延長サブフレームが，ロッカーを回転変形させ，サブフレーム自体も上方に変形しながらロッカー上面に滑り上がり，荷重がロッカーおよびフロアへ十分伝達されなかったためである。またこの滑り上がった延長サブフレームがサイドメンバと同じ位置まで上方へ変形したため，これら二つの構造部材が同時に被側突車のBピラー下部に集中的に荷重を伝え，Bピラー胸部の変形がベースよりも大きくなった。このように，側突車側の構造は，被衝突車のロッカーの変形挙動も考慮する必要があることがわかる。

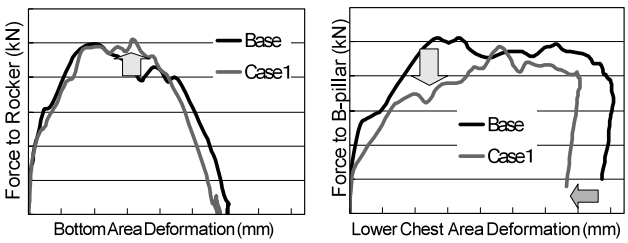


Fig.13　Force vs. Deformation for Case 1

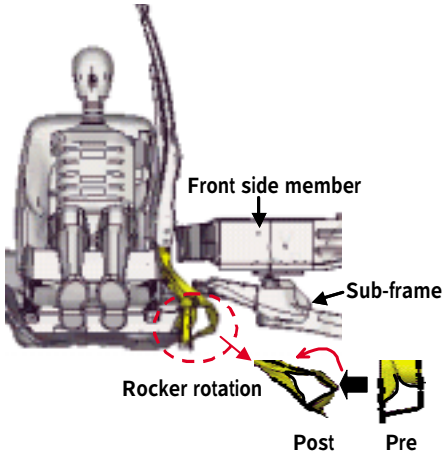


Fig.15　Rocker Rotation in Case 2

そこでFig.12のケース3では，車高は下げず，被側突車のロッカーとの接触面を広げロッカーの回転変形を抑える狙いで，サブフレーム前端の断面高さ20mmを下方に100mmまで拡大した。更にサブフレームの上方変形を抑え，ロッカーへの乗り上げを防止することを狙った縦メンバを，延長サブフレーム前端部とバンパビーム間に左右各1個追加した。

ケース3の結果，Fig.16および17に示すように，縦メンバにより，サイドメンバとサブフレームの上下間隔が維持でき，ケース2のようなサブフレームの上方変形がなくなった。これにより，ロッカー部への荷重入力が高くなり，Bピラーへの荷重が軽減できた。

Fig.18は，被側突車のBピラー各ポイントの変形量増減をベース比で示したもので，ベースより変形が少ない場合をマイナスで示している。ケース1および3は，ベースに比べBピラー変形が，特に胸部で減少している。ケース3ではロッカーとのラップ量が増えBピラー下部の変形は増加したものの，サイドメンバ高が高いままだったため，ケース1ほど胸部高さ位置でのBピラー変形の低減効果はなかったが，車高を維持しつつ改善効果を得られた。

以上のように，側突におけるLTVの加害性低減構造は衝突荷重をBピラー以外の構造部材，特にロッカーへ分散入力できる構造が効果的で，構造インタラクションの改善が重要である。

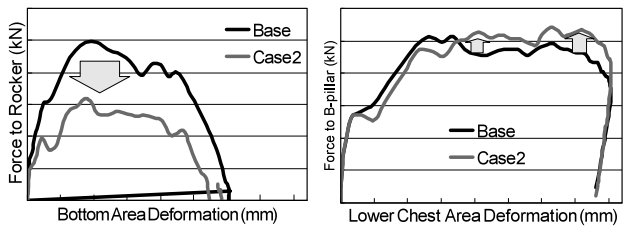


Fig.14　Force vs. Deformation for Case 2

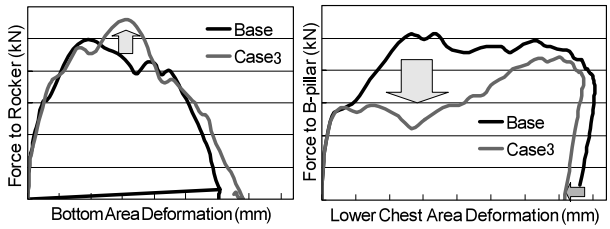


Fig.16　Force vs. Deformation for Case 3

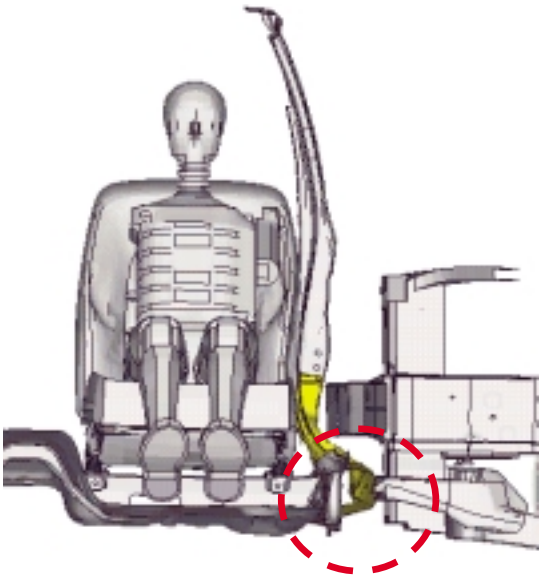


Fig.17　Axial Energy Transmission to Rocker for Case 4

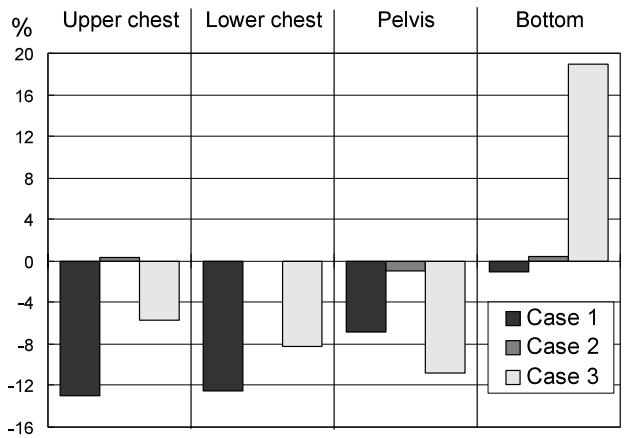


Fig.18　B-pillar Deformation in Comparison with the Base

4．まとめ

側突におけるLTVの加害性を低減するためには，衝突荷重を分散させBピラーの変形を抑制することが重要で，特にロッカーへの荷重分散が効果的である。衝突荷重を分散させるためには，LTVの車高を大幅に下げることも有効であるが，これはアプローチアングルなどから現実的な対策方向にはなり得ない場合がある。今回，車高を下げず，低い位置に構造部材を配置する構造として，被側突車のロッカー上面への乗り上げ防止を施したサブフレームの前方延長が効果的であることがわかった。

5．おわりに

以上，側突におけるLTVの加害性低減について述べてきたが，コンパティビリティの問題は，加害性低減と自車保護性向上が同時に実現できて大きく改善されるものである。マツダはこれからも，市場事故での死傷者低減を目指した，安全技術開発に取り組み，商品化を目指していく。

参考文献

(1) Summers et al. : NHTSA's Research Program for Vehicle Aggressivity and Fleet Compatibility, ESV2001 Paper No.249(2001)

(2) NHTSA : Initiatives to Address Vehicle Compatibility, NHTSA Report, June 2003(2003)

■著　者■

安部晶子

福島正信

尾川　茂

砂川孝之

論文・解説

28

マツダ・プリクラッシュ・セーフティ・システムの開発
Development of Mazda Pre-Crash Safety System

西鍛治　聡*1　福　島　正　信*2　山　本　康　典*3
Satoshi Nishikaji　Masanobu Fukushima　Yasunori Yamamoto

要　約

ここ数年間，衝突事故による死亡者数が減少してきているが，負傷事故発生件数は増加傾向である。この状況を打破するため，今までのアクティブ・セーフティ技術とパッシブ・セーフティ技術の概念を超えるプリクラッシュ・セーフティ技術の開発を各自動車メーカが推進している。マツダでは今回の新型MPVにマツダ初となるこのプリクラッシュ技術を織り込んだマツダ・プリクラッシュ・セーフティ・システムを搭載した。マツダ・プリクラッシュ・セーフティ・システムは，衝突事故を予測して警報やブレーキ制御を行うプリクラッシュ・ブレーキシステムと衝突事故前にシートベルトを巻取るプリクラッシュ・シートベルトシステムの2つのシステムで構成している。本稿では，今回開発したマツダ・プリクラッシュ・セーフティ・システムの概要について紹介する。

Summary

In the recent years, the number of fatalities due to collision accidents is on the decrease, while the number of injury accident accidents is on the increase. Each automobile company has been promoting development of the Pre-Crash safety technology that surpasses conventional active and passive safety technology to overcome the existing situations. Mazda has installed its first “Mazda Pre-Crash Safety System” which enfolds the above-mentioned Pre-Crash safety technology in the all-new MPV. Mazda Pre-Crash Safety System consists of two systems：the Pre-Crash Brake System that predicts a collision accident and warns a driver or controls braking, and the Pre-Crash Seatbelt System that retracts a seatbelt before a collision accident. This paper introduces the outline of the “Mazda Pre-Crash Safety System”.

1．はじめに

近年の安全技術の向上により，ここ数年間は衝突事故における死亡者数は減少傾向にあるが，逆に負傷事故発生件数は増加を続けている[1]。その対応の一つとして，国土交通省が推進するASV（Advanced Safety Vehicle）推進計画に従って，産・官・学が協力し，安全な車両の開発・量産化・普及化に取り組んでいる。今回の新型MPVでは，ASV技術の一つであるプリクラッシュ・セーフティ・システムの開発・量産化を行ったので，その技術について紹介する。

2．衝突事故の現状

衝突事故の発生要因のほとんどは，運転者の認知・判断・操作におけるミスで，このうち約75%は前方不注意や安全不確認による認知ミスである（Fig.1）[2]。

この結果より，衝突事故を予防するには，衝突の可能性がある場合に運転者へ危険を知らせ，認知ミスを防ぐことが効果的な手段の一つといえる。

また，万一衝突事故が発生した際でも，衝突速度が低い方が乗員への衝撃を小さくできる。しかし，Fig.2[2]に示すように，事故の際，ブレーキや操舵による回避操作ができていないケースが約38%と多く，ブレーキを踏んだ場合で

＊1　車両システム開発部
Vehicle System Development Dept.
＊2　衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.
＊3　技術研究所
Technical Research Center

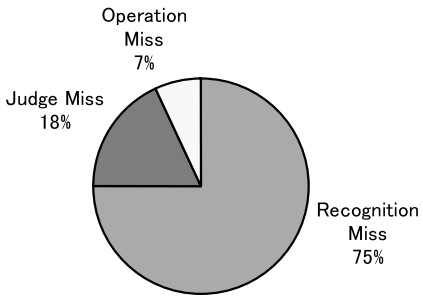


Fig.1　Cause of Collision

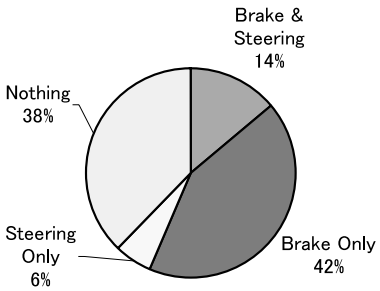


Fig.2　Driver's Crash Avoidance Operation

も約60%が十分な制動を出せていない。よって，衝突事故が予測される場合には，自動的にブレーキを作動させ衝突速度を低下することが乗員の傷害低減に効果的といえる。更に衝突前にシートベルトのたるみを取ることで，より乗員の保護性能を高めることができる。

3．プリクラッシュ・セーフティ・システムの概要

安全に関する技術には，交通事故の発生を予防するアクティブ・セーフティ技術と，衝突事故発生時の被害を軽減するパッシブ・セーフティ技術がある。そして，近年の技術進歩によりこれら2つの技術を融合した新しい概念の安全技術としてプリクラッシュ・セーフティ技術がここ数年注目されている。この技術は，衝突事故が発生する前に事故を予測し，事前の対応を行う技術である。マツダは独自にこのプリクラッシュ・セーフティ技術を開発し，マツダ・プリクラッシュ・セーフティ・システムとして商品化し，新型MPVに搭載した。

今回のマツダ・プリクラッシュ・セーフティ・システムは，運転者に衝突事故が発生する可能性を事前に警報する機能と自動的に衝突速度を低減する制動機能を持つプリクラッシュ・ブレーキシステムと，衝突前にシートベルトを巻取り，乗員の保護性能を向上する機能を持つプリクラッシュ・シートベルトシステムで構成しており（Fig.3），車両の衝突速度の低減と衝突時の乗員保護性能向上の両面から被害低減を行うシステムである。

3.1　構成部品

(1)　プリクラッシュ・セーフティ制御ECU

車両前方の障害物を検出するミリ波レーダからの情報と，他の車両情報を基に衝突事故の可能性を予測する。衝

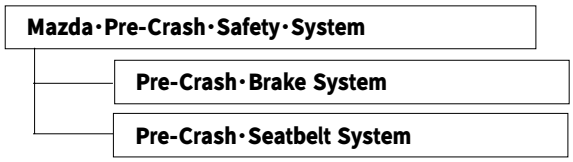


Fig.3　Configuration of Pre-Crash Safety System

突の可能性に応じて，警報・制動やシートベルトの制御の指示を行う。この制御ECUと後述のミリ波レーダは，MRCC（Mazda Radar Cruise Control）のものと共用している。

(2)　ミリ波レーダ

フロントバンパ内に設置し，前方の障害物の状態を検出する（Fig.4，5，6）。

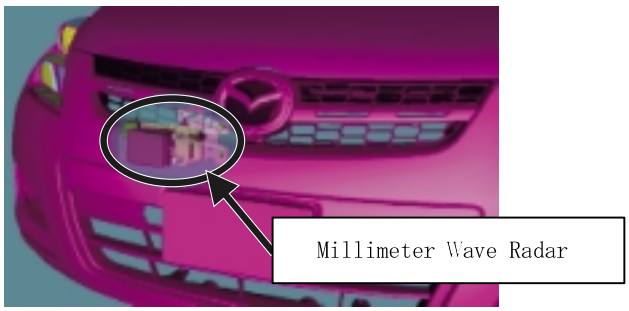


Fig.4　Position of Millimeter Wave Radar

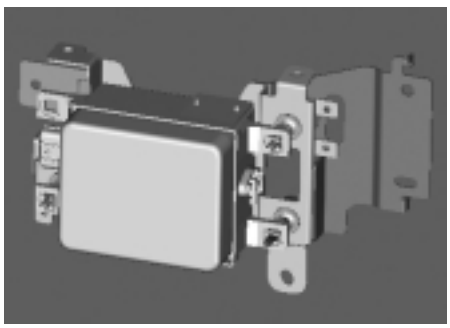


Fig.5　Millimeter Wave Radar

Fig.6　Image of Millimeter Wave

障害物の検出のため，ミリ波（76GHz）を車両前方に照射し障害物に反射して帰ってくる電波を受信し，送受信の時間差やドップラー効果等から障害物との相対速度及び距離を判断する。また，ミリ波の照射方向を左右にスキャニングさせることで障害物の方向も同時に判断する。

ミリ波レーダはレーザセンサよりも天候による性能低下が少なく，悪天候（雨・霧・雪等）時の障害物の検出性能が低下しにくい特徴があり，信頼性が高い。

(3)　DSC制御ECU

通常のDSC制御（Dynamic Stability Control）に加え，プリクラッシュ・セーフティ制御ECUからの作動指示に従い，衝突前に制動制御を行う機能を追加した。

(4)　警報装置

メータ内に警報のための表示装置としてディスプレイを装備した。このディスプレイとメータのチャイムで運転者に対して衝突の可能性を警報する（Fig.7）。

Fig.7　Warning Indicator of Display

(5)　モータ・プリテンショナ制御ECU

プリクラッシュ・セーフティ制御ECUのモータ・プリテンショナ作動指示やブレーキアシスト作動信号・DSC作動信号等から，モータ・プリテンショナの作動要否を総合的に判断する。モータ・プリテンショナ作動が必要と判断した際には，モータ・プリテンショナに作動電流を供給する。

(6)　モータ・プリテンショナ

前席シートベルトのリトラクタ部に，衝突前にウエビングをモータで巻取るプリテンショナを今まで装備していたパイロ（火薬）式プリテンショナに加えて装備した。

これは，衝突予測後に衝突が回避でき，衝突事故が発生しなかった場合を考慮し，複数回使用することを前提に可逆性のあるモータ式のプリテンショナとした（Fig.8）。

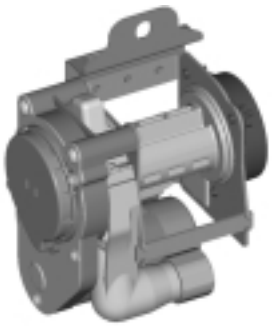


Fig.8　Motor Pretensioner

3.2　機能

(1)　プリクラッシュ・ブレーキシステムの機能

本システムは，ミリ波レーダで車両前方の障害物を検出し，障害物との相対距離や相対速度の情報と自車の速度や操舵角，ヨーレート等の自車両情報を総合的に判断し，数秒後の自車両と障害物の相対位置を予測する。この予測結果から衝突の可能性の度合いを判定し，この度合いに応じて警報及び制動を作動させ，衝突事故の回避動作を運転者に促したり，実際の衝突事故発生時の被害を軽減したりするシステムである。

①　警報

衝突の可能性があると判断した場合は，運転者に対してブレーキ操作を促すため警報装置を作動させる。警報は衝突が発生する可能性の度合いに応じて運転者の視覚・聴覚・触覚に働きかける効果的な警報としている。視覚に働きかける警報は，メータ内のディスプレイに「BRAKE」の文字を橙色で点滅表示し警告性を高めている。聴覚に働きかける警報はメータからのチャイム（断続音）によって行う。触覚に働きかける警報は軽制動により車両に減速度を発生させて行う（Fig.9）。

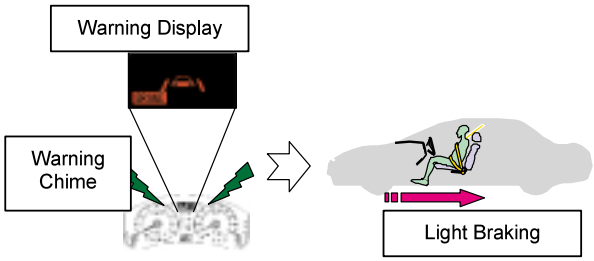


Fig.9　Transition of Warning

②　制動

衝突の可能性が更に高まり，衝突を回避できないと判断した場合には，減速度が約5.1m/s²以上の制動を作動させ，衝突時の自車両の速度を低減させる。ただし，この制動は衝突が回避できないと判断した時点で作動させるため，衝突を回避する機能は有していない。

(2)　プリクラッシュ・シートベルトシステムの機能

プリクラッシュ・ブレーキシステムと同様にミリ波レーダを使用して車両前方の障害物との衝突の可能性を判断し，衝突前にモータ・プリテンショナを作動させウエビングのたるみを巻取ることで，衝突時の乗員保護性能を向上させる（Fig.10）。

また，レーダによる作動以外に，ブレーキアシストの作動や車両が横滑りを起こしてDSCが作動するような自車両の状態から衝突の可能性を判断した場合にも，このモータ・プリテンショナを作動させる。

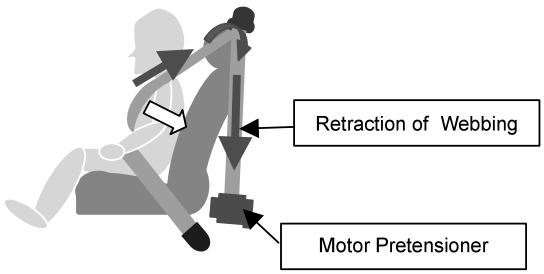


Fig.10　Operation of Pre-Crash Seatbelt

4．プリクラッシュ・セーフティ・システムの性能

4.1　プリクラッシュ・ブレーキシステムの性能

(1)　警報

前方障害物との相対速度と，その相対速度の場合に衝突

回避動作を行わなければ衝突が回避できなくなる限界の相対距離との関係を示したものがFig.11に示す衝突判断ライン（Collision judgment line）である。

警報表示及び警報音は，この衝突回避できなくなる衝突判断ラインより手前で，衝突予測時間の約2秒前の時点で作動する。これは，運転者の反応時間を約0.8秒とすると，この時点で運転者が衝突回避操作を開始すると衝突事故の回避が可能なタイミングである。また，運転者が警報表示及び警報音に応じた回避動作を行わず衝突事故の可能性が更に高くなった場合には，軽制動による体感できる警報が作動する。この軽制動による警報は，衝突判断ラインより手前で，衝突予測タイミングの約1秒前の時点で作動させる（Fig.11）。この時点で，運転者が急な衝突回避操作を行えば，まだ衝突を回避できる可能性がある。

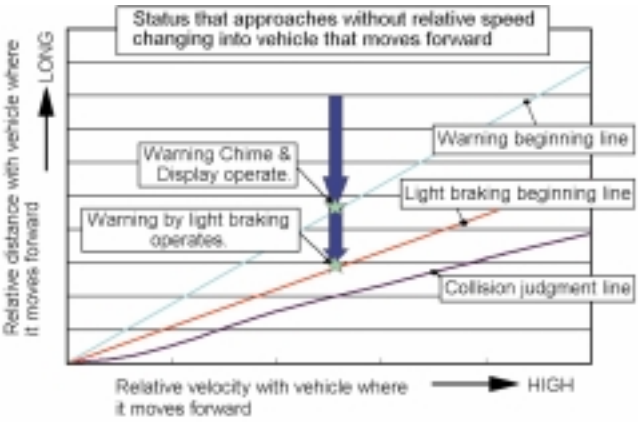


Fig.11　Graph of Warning

(2)　制動

制動は，実際に衝突が回避できないと判断した時点，Fig.12に示す衝突判断ラインを下回った時点で作動する。

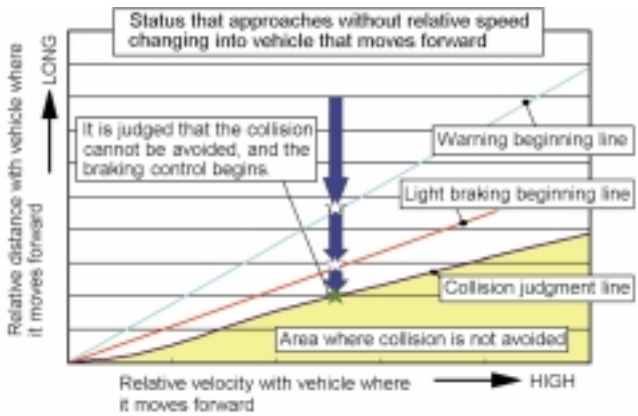


Fig.12　Graph of Braking

衝突判断ラインを下回った時点で制動を開始するため，この制御では衝突事故の発生を回避しないが，衝突時の車両速度を低減することで，衝突事故時の被害軽減を可能としている。例えば，自車速50km/hの走行時に相手車両に衝突する場合，このシステムが作動し，衝突速度を約12km/h下げることができれば，自車両の運動エネルギを約42%低減することになり，衝突時の衝撃を大幅に低減できる。

4.2　プリクラッシュ・シートベルトシステムの性能

(1)　ミリ波レーダの情報で作動する場合

約0.5秒後に衝突が発生すると判断した場合にモータ・プリテンショナを作動させる。作動判定タイミングは，シートベルトを巻取る時間を考慮しており，衝突時にはほぼシートベルトを巻取っている。この状態で実際に衝突事故が発生すれば，シートベルトの初期拘束が向上しているため，衝突初期の車両のつぶれを利用して乗員の運動エネルギが吸収でき，乗員保護性能を向上できる。

(2)　ブレーキアシスト等の情報で作動する場合

一般的にブレーキアシストが作動する場合は，運転者が実際の交通状況から衝突事故が発生する危険性があると判断した急なブレーキ操作であるといえる。また，車両が横滑りしてDSCが作動するような場合では，車両は姿勢制御の限界付近の状態である。これらの場合はいずれも衝突事故につながる可能性が高いため，モータ・プリテンショナを作動させ，万一の衝突事故に備えるようになっている。

5．おわりに

このプリクラッシュ・セーフティ・システムにより，お客様の衝突事故時の被害が軽減できるものと確信している。今後はこの技術を更に進化させる技術開発を行い，より高度な性能をお客様に提供できるように活動していく。

また，今回のプリクラッシュ・セーフティ・システムの開発においては，今までにない概念の性能評価が必要になったこともあり，社内の開発・評価体制の確立が必要となった。商品化を実現するにあたりご協力いただいた関連部門の方々に深く感謝いたします。

参考文献

(1)　警察庁交通局：平成16年中の交通事故の発生状況（2005）

(2)　交通事故総合分析センター：交通事故例調査・分析報告書－平成15年度報告書－（2004）

■著　者■

西鍛治聡

福島正信

山本康典

論文・解説

29

マツダ・レーダ・クルーズ・コントロール・システムの開発
Development of Mazda Radar Cruise Control System

山本康典*1　寺野隆志*2　中上　隆*3
Yasunori Yamamoto　Takashi Terano　Takashi Nakagami

要　約

交通事故件数と負傷者数は年々増加傾向にあり，年間交通事故死者数は依然7千人強で推移している。

このような状況下において，マツダでは，交通事故を未然に防ぐとともに，万一の事故による被害を軽減する技術の開発が急務の課題と捉え，国土交通省が推進する先進安全自動車（ASV：Advanced Safety Vehicle）推進検討会に積極的に参画して研究開発[(1)(2)(3)]を進めている。このASV技術の中でドライバの負担軽減を目的とした車間距離制御機能付定速走行装置（ACC：Adaptive Cruise Control）や事故被害軽減を目的とした衝突防止支援システム等が提案・研究され，一部は既に実用化[(4)(5)]されている。今回，我々は日本市場での適合性を考慮してミリ波レーダを用いたマツダ・レーダ・クルーズ・コントロール・システム（MRCC：Mazda Radar Cruise Control System）を開発し，新型MPVで量産したので，ここに報告する。

Summary

The number of traffic accidents and injuries is increasing yearly, and annual traffic fatalities remain at over 7,000.

Under this situation, we consider our urgent task is to develop technology which mitigates damage from car accidents as well as to prevent accidents. We have been proactively taking part in the study group of Advanced Safety Vehicle (ASV), promoted by the Japanese Ministry of Transport, and conducting ASV research and development. In the study group, various safety technologies are proposed and studied and some of them, such as Adaptive Cruise Control and Pre-crash Safety System, have been already put to practical use. This report introduces Mazda Rader Cruise Control system (MRCC), for which we used the millimeter radar by considering the Japanese driving environment, incorporated into the new MPV.

1．はじめに

近年，交通事故件数と負傷者数は年々増加傾向にあり，運転支援・予防安全技術への期待が高まっている。その中で従来からあるオート・スピード・コントロールに対し，ドライバの運転負担軽減を目的とした車間距離制御機能付定速走行装置（ACC）が提案されている。本論文では新型MPVに搭載したマツダ初のレーダ・クルーズ・コントロール・システム（MRCC）について，量産化したシステム及びその技術を紹介する。

2．システム概要

MRCCの基本動作をFig.1に示す。

(1)　先行車がいない，もしくは先行車との車間距離が大きい場合には，ドライバが設定した車速で定速走行制御を行う。

(2)　自車より遅い先行車を検出すると，先行車の速度に応じて，スロットルによる減速を行い，減速度が足りない場合にはブレーキによる減速制御を行う。

(3)　先行車に追従時は，ドライバが設定した車間時間（自車速に比例した車間距離）になるようスロットル，ブ

*1　技術研究所
Technical Research Center

*2，3　車両システム開発部
Vehicle Engineering Development Dept.

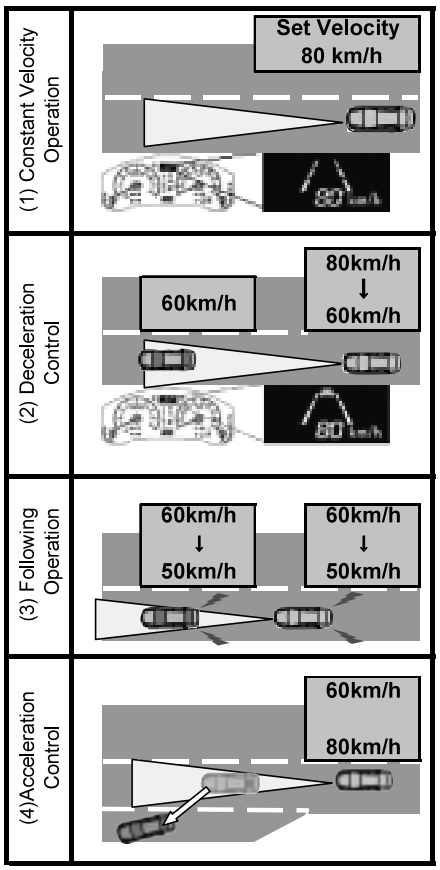


Fig.1　Typical State of MRCC

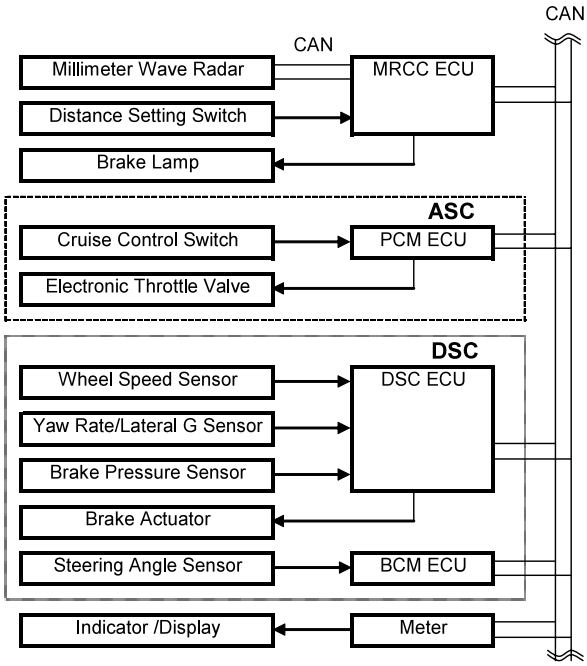


Fig.2　System Configuration

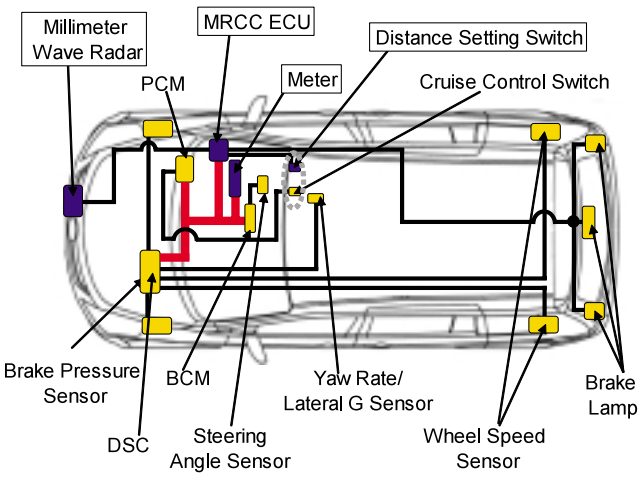


Fig.3　Unit Layout in MRCC

レーキ制御を行う。

(4)　先行車が車線変更等によりいなくなった場合は，ドライバが設定した車速まで加速し，定速走行に戻る。なお，十分な減速ができていない状態で先行車に接近した場合には警報ブザーと表示により，ドライバに回避操作（ブレーキ等）を促すようにした。

3．システム構成

Fig.2に示すように，本システムのハードウェア構成は，既存のオート・スピード・コントロール（ASC），ダイナミック・スタビリティ・コントロール（DSC）に，車両前方の物体を検出するミリ波レーダ，エンジンやブレーキの制御要求値を演算するMRCC ECU（Electrical Control Unit），ドライバが追従車間時間を設定するための車間距離設定スイッチ，制御状態をドライバに報知するためにメータ内に設置されたディスプレイ，インジケータからなる（部品配置：Fig.3）。ブレーキ制御は既存のDSCのブレーキアクチュエータの機能を拡大し，MRCCの要求減速度を実現するようにフィードバック制御を行う。エンジン制御についても，既存のASCの車速制御部に対してMRCCから目標車速を与え，追従時の車速を制御している。

各ECU間はCAN（Control Area Network：車載LAN）により繋がれており，車輪速センサ，ヨーレイト／横Gセンサは DSC ECUが，一方，車速を設定するセットスイッチ等の操作系のスイッチの出力はPCM ECUがそれぞれ読み込み，CANを経由してMRCC ECUに送信される。ミリ波レーダとMRCC間の物体情報の通信もローカルのCANを用いて行っている。

また，ブレーキ制御を行っている時には，ブレーキペダルスイッチとブレーキランプの間に設置されたリレーをMRCCが切り替えることで，ブレーキランプの点灯も行う。

上記のように，エンジン／ブレーキのアクチュエータ制御を新たに開発するのではなく，既存のシステムに機能を拡張することでシステム開発を効率的に行うことを可能にした。

4．ミリ波レーダ

本システムに用いるミリ波レーダ（プリクラッシュ・セーフティ・システムと共通）の概観をFig.4に示す。

本システムで採用したレーダは76-77GHzミリ波レーダで，FMCW方式を採用しており，物体との距離，相対速度を同時に高精度で計測可能である。水平方向の角度検出方式としては，アンテナとミリ波送受信器をモータで左右揺動させるメカニカルスキャン方式を採用し，比較的高い角度分解能を実現した。また，メカニカルスキャン方式でありながら厚さ70mmに抑えることでバンパ内に搭載することが可能となった。本ミリ波レーダのセンサ仕様をTable 1に示す。

5．MRCC ECU

MRCC ECUは，ミリ波レーダから送られてきた複数の物体情報（距離，相対速度）から追従すべき先行車を抽出する。次にドライバが設定した車間時間，先行車との車間距離と，相対速度から，目標車速と目標加減速度を算出し，PCM ECUやDSC ECUに制御要求値を送信することで車両加減速度を制御している。

5.1　先行車選定

ミリ波レーダから送られてくる物体の相対速度と自車速情報から移動物または静止物かの判定を行い，次に現在の車両状態量，すなわち車速・舵角・ヨーレートデータに基づき推定される自車の進行路との物体の相対位置関係を基に，自車線上の先行車を決定する。

進行路は単一の旋回半径を仮定しているため，カーブの入り口や出口で先行車の見失いが発生してしまう。そこで進行路との位置関係だけでなく，先行車との時系列的な連続性や距離情報を考慮し，安定して先行車を補足できるようにした（Fig.5）。図中の緑線が推定した進行路で路側のリフレクタや隣接車両等が混在している中で確実に先行車を捕捉していることがわかる。

5.2　車間制御

ドライバが設定した車間時間と先行車との車間距離及び自車速から目標加減速度／車速を生成し，その目標値と現在車速偏差により車速制御を行うことで，緩やかに目標車間距離に収束する制御を実現した。目標加減速はドライバの期待と乖離しないようにするため，ドライバが通常加減速するタイミングでドライバが減速，加速を感じる加減速度を設定している。本システムの制御ブロックをFig.6に，60km/hで定速走行している先行車両に85km/hで接近した時の制御結果をFig.7に示す。ドライバ操作とほぼ同等

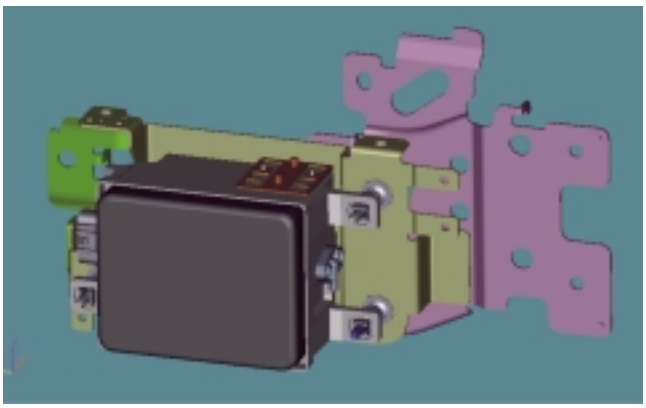


Fig.4　Millimeter Wave Radar

Table 1　Performances of Millimeter Wave Radar

Detection Range	Max	150m
	Min	2m
	Resolution	0.1m
Range Rate	Max	200km/h
	Min	-200km/h
	Resolution	0.36km/h
Azimuth Angle	Area	±7.5deg
	Resolution	0.1deg
Data Rate		100msec

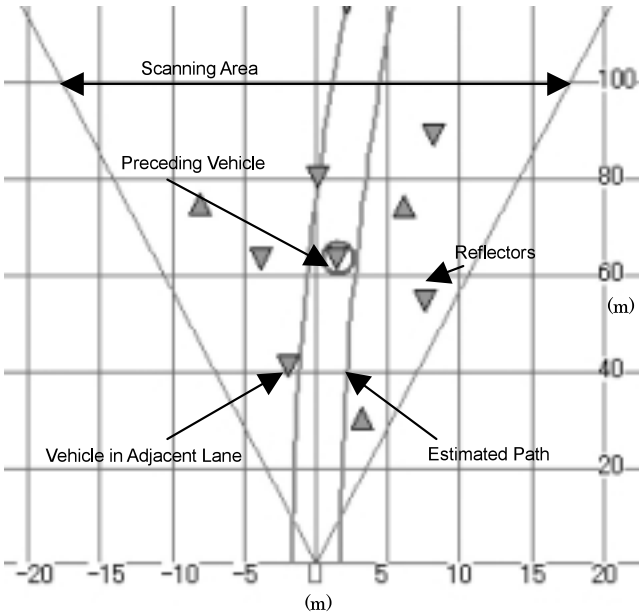


Fig.5　Example of Obstacle Detection and Path Estimation

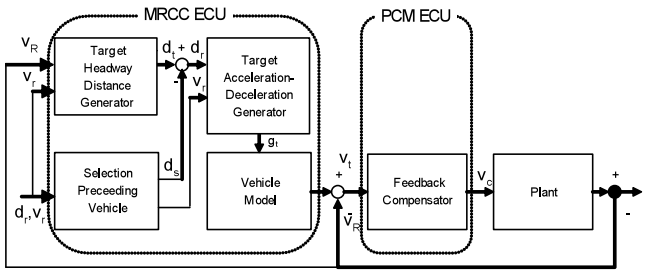


Fig.6　Block of MRCC Logic

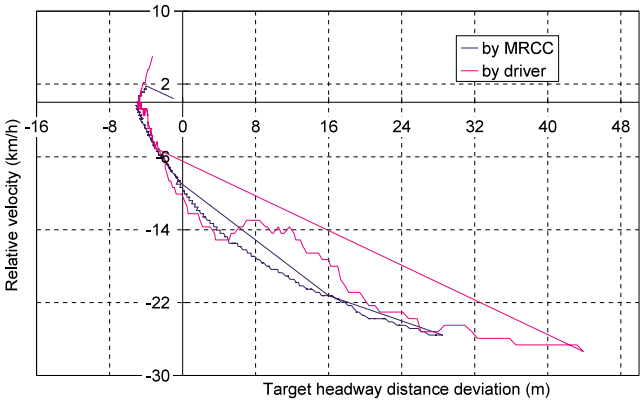


Fig.7　Result of Driving Test

の結果が得られていることがわかる。

5.3　車間時間設定

適切な車間距離はドライバの個人差や体調，走行環境等によって異なる。そこで高速道路や自動車専用道[6]における車間時間の調査結果とドライバの反応時間からMRCCの車間時間を1.3，1.8，2.3secの3段階設定できるようにした。また，ドライバの意図しない短い車間時間で走行することを防止するため，エンジン始動直後は最長の2.3secにすることにした。

5.4　加減速度設定

(1)　加減速設定

安全性と実用性を両立させるため，カーブ等，比較的先行車ロストが発生しやすい状況では，車速や横加速度等に応じて前後加速度を抑えることでドライバの望まない加速を抑制した。

(2)　減速度設定

主に使用すると想定される高速道路での減速度の大きさと，ドライバのシステム依存に対する危険性を考慮し，最大約2m/s²までの緩ブレーキを採用した。これにより，低速車や下り坂等，エンジンブレーキでの発生減速度が小さい場合や先行車のブレーキ操作に対して安定的な減速が得られる。

5.5　警報タイミング

警報は，先行車への急接近や衝突の恐れがある場合と目標車間距離を維持するのに必要な減速度が，システムが発生しうる最大減速度（約2m/s²）を超えた場合に行う。先行車への急接近時における警報タイミングは，人間が知覚しやすい衝突余裕時間をもとに設定することで，ドライバに早めの回避操作を促す設定とした。

6．警報／操作系（ヒューマンインターフェース）

6.1　メータ表示／警報ブザー

設定車間距離や設定速度などの状態を表示するディスプレイをドライバの視線移動量の極力少ないメータ内中央上部に配置し，速度表示を大きく取るなどの工夫で視認性の向上を図った（Fig.8）。また，限られたスペースの中で先行車表示を設定車間：長・中・短に合わせて前後で大きさを変化させ，ドライバの車間イメージに合ったものとした。なお，先行車が急制動を行った時など十分な減速ができない状態で接近した場合は，表示部をホワイトからアンバー色に変化させ，かつBRAKE警告をフラッシングさせることでドライバにすみやかにブレーキを踏むように促すこととした。

警報ブザーは，警告性・重要度から先行車接近警報を警告度の最も高い警報と位置付け，周波数・吹鳴周期・繰り返し回数・吹鳴率などからドライバが認知しやすい設定とした。更に先行車を検知／不検知時のブザーは鳴らさないなど極力不要なブザー吹鳴をなくし，煩わしさを低減した。

6.2　スイッチ操作系

ステアリングスイッチをFig.9に示す。MRCCメインスイッチ，CANCEL，SET/RES，DISTANCE各スイッチをステアリング右側に集中配置し，走行中もステアリングから手を離すことなく安全にブラインド操作できる工夫をした。また，SET/RESスイッチは上下可倒スイッチタイプとし，車速設定時には上方向に操作すると車速アップ，下方向でダウンとドライバの感覚に合ったものとした。

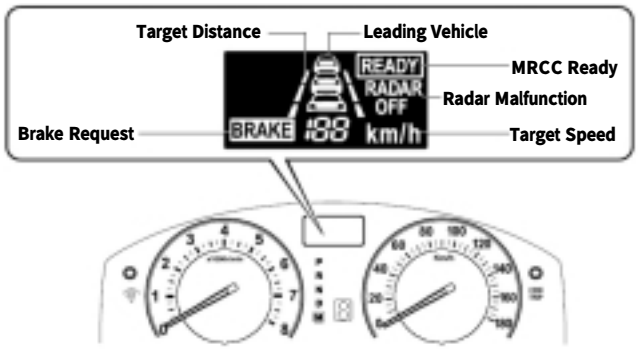


Fig.8　Display

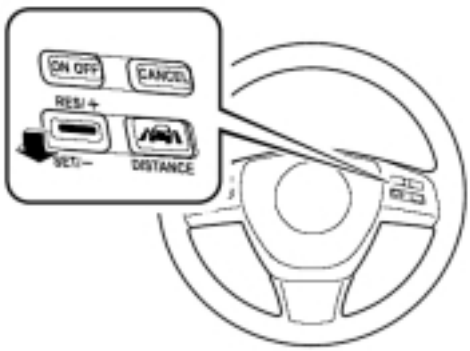


Fig.9　Steering Switch

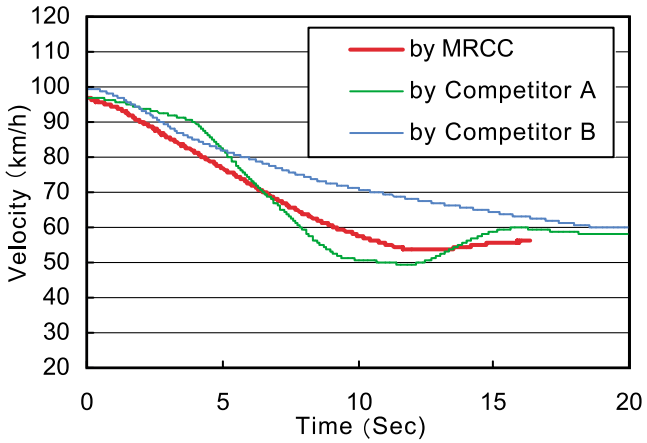


Fig.10　Result of Deceleration Profile Test

7．システム評価

先行車の捕捉性能は，ミリ波レーダ単品性能の育成と物体識別ロジック・進行路推定ロジックなどの先行車の判定ロジックを駆使することによって，急カーブが連続する山間部の高速道路や多車線で交通量の多い都市高速道路でも安定した追従走行が行える等，業界他社同等以上の捕捉性能を確保できた。

先行車の追従性能のフィーリングを左右する加速・減速性能に関して，追従中のレーンチェンジや先行車が速度を上げた場合の加速性能は，MZR2.3リッターDISIターボエンジン本来の優れたエンジンレスポンスを活かし，応答遅れの少ない滑らかな加速感を実現した。一方で，先行車に追いついた場合などの減速性能に関しては，DSC側のブレーキフィーリングの改善と目標加減速度の細かなチューニングによりリニアでスムーズな安心感のある減速感を実現している。MRCCの先行車追いつき時の減速特性を国産競合車のそれと比較した結果をFig.10に示す。MRCCの加速度変化が最も少なくかつ滑らかな特性となっていることがわかる。

この加速／減速特性，車間維持安定性等全体バランスを考慮した最適チューニングによりドライバの感性にフィットする追従性能を実現した。

以上のようにMRCCの基本性能である先行車の捕捉性能，追従性能，加速／減速性能を高次元で実現させ安心感のあるシステムを提供することにより，ステアリング操作に集中でき，アクセル，ブレーキ操作のための肉体的な負荷が大幅に軽減できている。

8．おわりに

ミリ波レーダを用いたマツダ・レーダ・クルーズ・コントロール・システムを開発し，ドライバのスイッチやブレーキ操作回数を低減することにより，ドライバの負担が軽減され，快適性を向上させることができた。

今後は先行車選定や車間制御仕様等の更なる熟成を図っていくとともに，制御範囲の拡大や他の予防安全システム，エンジン制御などと協調させることで，より利便性／快適性／環境性を向上させたシステムへの拡張を検討していきたい。

参考文献

(1) 山本ほか：マツダASV2の開発，マツダ技報，No.19，p.64-72（2001）
(2) 山本ほか：多段式ラインCCDセンサを用いた後側方車両の検知技術，自動車技術会，Vol.56（2002）
(3) Fujise et al：Study on Driver's Operational Characteristics for Distance Control in Low Speed Car Following, ITS Japan 11th（2004）
(4) 藤田ほか：プリクラッシュセーフティの開発，トヨタ・テクニカル・レビュー，Vol.53，p.70-75（2004）
(5) 戸畑ほか：緊急ブレーキ感応型プリクラッシュシートベルトシステム，日産技報，No.54，p.30-33（2004）
(6) 車間距離（車頭時間）分布計測H8年度中間報告，日本自動車研究所（1996）

■著　者■

山本康典

寺野隆志

中上　隆

論文・解説

30

デジタル／アナログテレビ兼用フィルムアンテナの開発
Development of Dual Analog and Digital TV Film Antenna

重田一生*1　谷口龍昭*2　牛尾將雄*3
Kazuo Shigeta　Tatsuaki Taniguchi　Masao Ushio
諸橋敏将*4
Toshiyuki Morohashi

要　約

地上デジタルテレビ放送は2003年末より三大都市圏を中心にサービスが開始され，2006年末には全国の主要都市で受信が可能となる。車載用デジタルテレビは，従来の車載用アナログテレビの課題であった移動受信時の映像の乱れやゴーストを解消できるため，新たな車載エンターテイメントシステムとして期待されている。しかしながら，アナログ放送が停止される2011年7月までは，デジタル放送のサービスエリアは段階的に整備される計画であり，引き続きアナログテレビ放送受信のニーズも存在する。このため，当面車載用テレビはデジタルとアナログ両方のテレビ放送の受信に対応する必要がある。

このような状況を鑑み，我々は従来のアナログテレビ用フィルムアンテナを進化させ，アナログテレビ放送受信に対応可能な広帯域性を維持しつつ，デジタルテレビ放送受信専用アンテナと同等以上のUHF帯の受信性能を有するデジタル／アナログテレビ兼用フィルムアンテナを新たに開発した。

Summary

Terrestrial digital television broadcasting has been in service, centering on three major metropolitan areas since the end of 2003, and will be available in main cities all over the country at the end of 2006. An in-vehicle digital television can eliminate a symptom: a ghost or disorder of an image inevitably occurs with a mobile terminal, which is a problem in a conventional in-vehicle analog television, and is expected as a new in-vehicle entertainment system. However, till July 2011 when analog broadcasting will be stopped, the service areas of digital broadcasting are scheduled to have gradual improvements, and needs of analog television reception also continue to exist. For this reason, the in-vehicle television needs to accommodate broadcasting reception in digital and analog modes for the time being.

In view of such a situation, by evolving a conventional film antenna for analog television reception, we newly developed a digital analog combination film antenna, which provides receiving performance of a UHF band at a level equivalent to or higher than a dedicated antenna for digital broadcasting reception while maintaining the broadband characteristics compatible with analog broadcasting reception.

1．はじめに

2003年より三大都市圏を中心にサービスが開始された地上デジタルテレビ放送は，高効率な画像符号化技術，情報の多重化技術，雑音やマルチパスに強いデジタル変調方式，強力な誤り訂正技術の採用により(1)高い放送品質（ハイビジョン画質，CD並の音質），(2)映像，音声，データを一元的に取り扱った新しい情報サービスの提供，(3)移動受信時で

＊1～3　電子開発部
Electrical & Electronics Development Dept.
＊4　原田工業㈱
Harada Industry Co.,ltd.

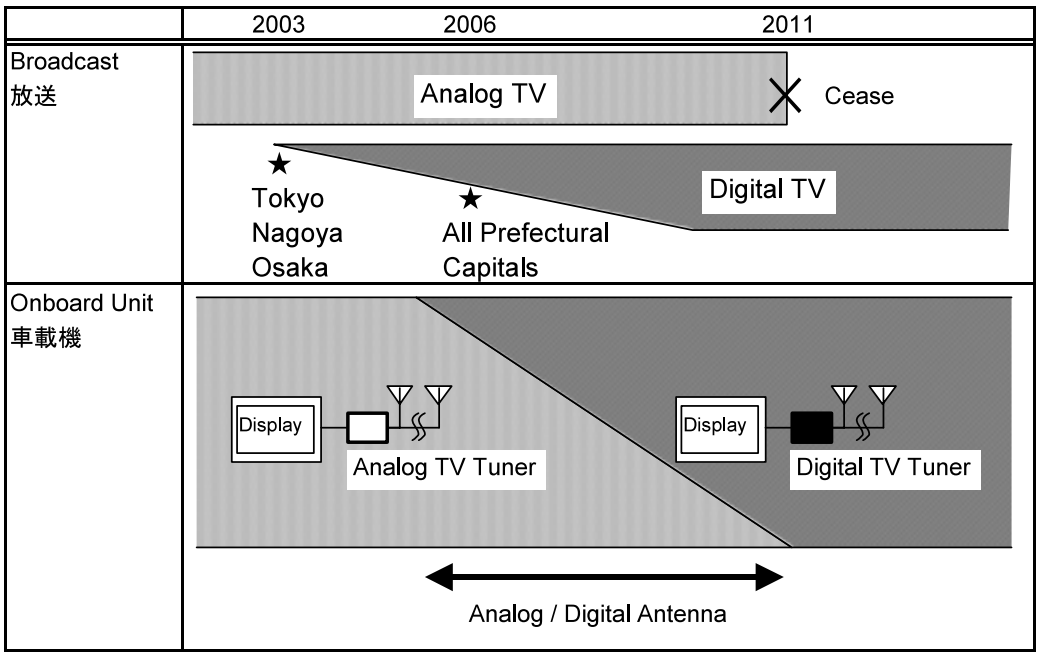


Fig.1　Transition from Terrestrial Analog to Digital TV in Japan

もゴーストや乱れのない安定的な受信が可能，等従来のアナログ放送にはない優れた特徴を有している[1]。これらのメリットを享受できる車載用地上デジタルテレビは，新たな車載情報通信機器として今後の普及が期待されている。

Fig.1は地上テレビ放送のデジタル化に向けての放送インフラと車載機の対応状況について示したものである。この図に示すように，2011年までデジタル放送のインフラは段階的に整備されるため，それまでに市場導入される車載機はアナログテレビ受信とデジタルテレビ受信の両方に対応する必要がある。これに対して，現状の車載AV機器はアナログテレビ受信を基本機能の一つとして備えており，デジタルテレビ受信機能については専用チューナとアンテナを追加するという仕様が一般的のようである。

ところで，デジタル放送ならではのクリアな映像と音声を少しでも広いエリアで楽しむために，デジタルテレビ用アンテナにはアナログテレビ用以上に高い性能が求められており，デジタルテレビ放送が使用するUHF帯に最適化された専用アンテナが設定されている場合が多い。このため，アナログからデジタルへ移行する際，ユーザはアンテナの追加購入が必要となる。

このような状況を鑑み，従来のアナログテレビ用アンテナが有する広帯域性を維持しながら，デジタルテレビ専用アンテナと同等にUHF帯の受信性能を向上させることにより，アナログテレビからデジタルテレビの移行期に柔軟に使用できるデジタル／アナログテレビ兼用フィルムアンテナを開発したので，その内容について報告する。

2．現状のフィルムアンテナとその問題点

マツダは，アナログテレビ用フィルムアンテナを他社に先駆けて開発し，純正用品として市場導入している。このアンテナは，Fig.2に示すようにフロントガラスの上面室内側に貼り付けるタイプで，独自に設計したアンテナパターンを透明フィルム上に印刷したアンテナ素子と容量結合アース機能を持つアンテナケーブルで構成され，純正ガラスアンテナと同等以上の高い受信性能を実現している。更に，従来用品アンテナとして一般的であったポールアンテナの弱点である見映え，取り付け性，使い勝手などを克服し，用品アンテナに求められる要素を高い次元でバランスさせた製品とすることができた。

地上デジタルテレビ放送においては，アナログ放送の一部で使用されているUHF帯の電波が使用されている（Table 1）。このため，現在商品化されているデジタルテレビチューナにはUHF帯に最適化されたデジタル専用アンテナが用意されていることが多い。これは，デジタル放送特有の「クリフ効果」と呼ばれる弱電界で急激に受信品質が劣化するという欠点を補うためである。我々が目指す

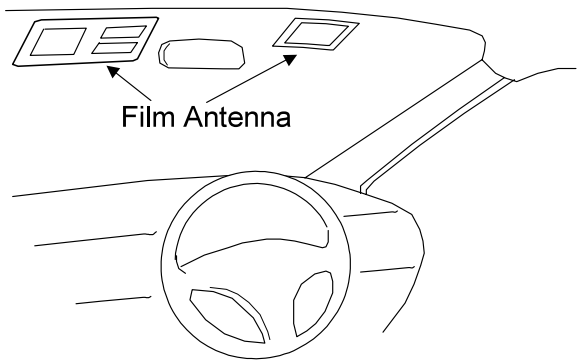


Fig.2　Film Antenna Layout Image

Table 1　Comparison Digital TV with Analog TV

	Digital TV	Analog TV
Frequency Band (MHz) 周波数帯	UHF(470-770)	VHF-low（90-108） VHF-high（170-222） UHF(470-770)
Normal area 通常地域	Clear screen image (Robust for Multipath) 鮮明な映像	Ghost / Noise (Effect by multipath) ゴースト/ノイズ
Weak Signal area 弱電界地域	“Cliff Effect” No reception "クリフ効果"受信不能	Distorted screen image 乱れた映像

デジタル／アナログ兼用フィルムアンテナの開発においては，従来のフィルムアンテナの特徴を維持しながら，アナログ放送の広い周波数に対応するとともに，デジタル放送に対応するためにUHF帯の受信性能を強化することで，アナログテレビ放送受信用とデジタルテレビ放送受信との兼用化が可能な，より使い勝手の優れたアンテナを実現することを目指した。

3．開発

3.1　基本コンセプト

Table 1に示す通り，アナログテレビ放送はVHF帯及びUHF帯からなる広い周波数帯域を用いている。この周波数帯を一つのアンテナ素子で全てカバーすることは困難であるため，従来のフィルムアンテナにおいては，TV1，TV2，TV3の３個のアンテナ素子で受信帯域を分担させている。新アンテナにおいてもアナログテレビ用アンテナを構成する際には，この考え方を踏襲した。分担イメージをTable 2に示す。すなわち，VHF-LOW帯はアンテナの比較的丸い指向性を活かして一本で対応する。VHF-HIGH帯以上の周波数帯では，利得が同レベルのアンテナ２系統を空間的に互いに離間して配置し，ダイバーシティの機能を持たせる。一方，デジタル放送受信に対しては，現状のデジタルテレビチューナが，アンテナ２系統の入力を前提とした製品が主流であることを考慮し，UHF帯の利得が良好な二つのアンテナ素子からなるダイバーシティアンテナとして使用することを想定した。

Table 2　Each Antenna 's Reception Frequency

Antenna	Frequency		
	VHF-LOW	VHF-HIGH	UHF
TV1	▨		
TV2		▨	▨
TV3		▨	▨

以上の狙いを実現するために，開発した技術の詳細について以下に述べる。

3.2　アンテナ方式の選定

基本的なアンテナ方式として，モノポールアンテナ（接地型アンテナ）とダイポールアンテナ（非接地型アンテナ）の二つがある。前者は，後付けする際に，車体へアースするための追加工事が必要となるが，車体をアンテナの一部として利用できるため，VHF帯等の比較的低い周波数における特性が得やすい。一方，後者は，同一寸法の素子対からなり，VHF-LOWのような低い周波数帯においてはアンテナの大型化を招くため採用が難しいが，デジタル放送のようにUHF帯等の高い周波数で使用する場合は，素子寸法の小型化が可能なため，簡素な給電構造のため取り付けが簡単かつ特性の確保がしやすいという利点がある。従来のフィルムアンテナにおいては，広い周波数帯での性能確保に重点をおき，接地型を採用したが，上述のように非接地型にはUHF帯における性能向上の可能性があるため，

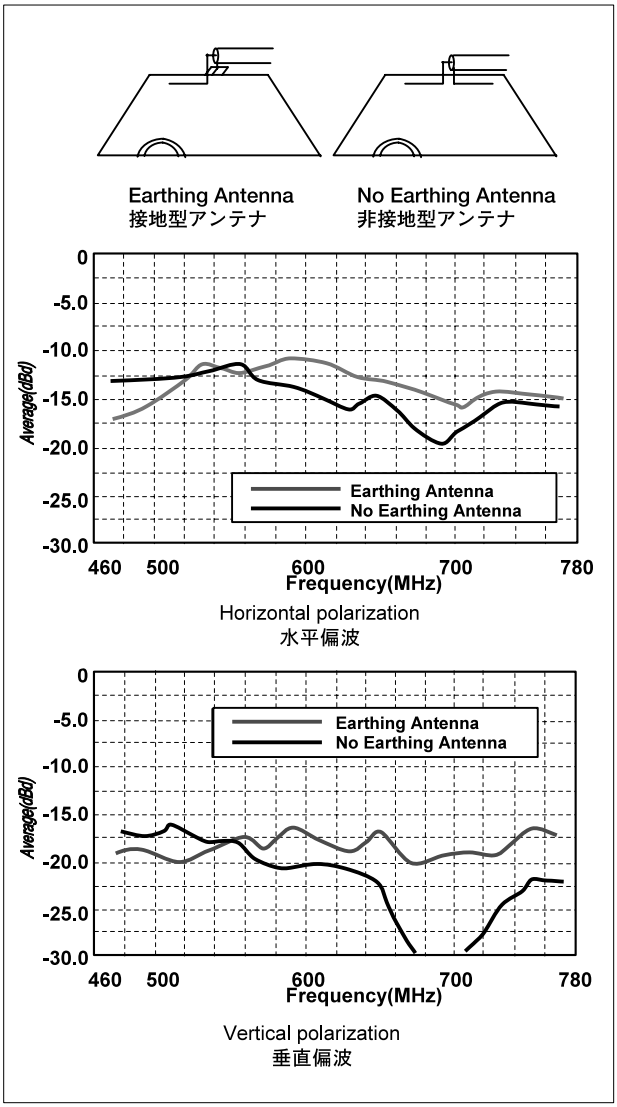


Fig.3　Comparison Earthing Antenna with No Earthing Antenna

後者の採用も視野に入れて検討した。現実的な取り付け位置を考慮し，フロントガラス上辺に各々の方式のアンテナをUHF帯に最適化した状態に設置し，性能を比較した。Fig.3に結果を示す。図に示すようにUHF帯においても，水平偏波，垂直偏波ともに接地型アンテナの方が優れていることがわかった。よって，新しいフィルムアンテナは，従来のフィルムアンテナと同様に，接地型アンテナを基本構造として検討を進めることとした。

3.3　アース構造の見直し

従来の構造においては，アンテナを後付けする上での組み付けやすさを優先し，ケーブルやアース線の寸法に余裕を持たせていた。この冗長部分がボデーと並走することで，特にVHF-HIGH帯以上の周波数帯において特性の劣化を招いていた。これを改善するため，組み付けやすさを維持しつつ，性能を確保できる構造を検討した。検討の結果，従来のマグネット式のアース板構造に対し，シール付き金属箔をボデーに貼り付け，この上にアース端子を両面テープで接着する方法を新たに開発した。これにより，アースを屋根の縁の部分へ設置でき，アースとアンテナパターンを近接させることにより，従来並みの組み付け性を確保しつつ，VHF-HIGH帯以上の高い周波数帯での特性改善を実現した。

3.4　枠形状素子の採用

アナログテレビ放送受信とデジタルテレビ放送受信を兼用化するためには，UHF帯及びVHF-HIGH帯の二つの帯域で使用できるアンテナ素子が２個以上必要となる。これを実現するため，枠形状素子の広帯域性に着目し，机上シミュレーションと実験を繰り返した結果，前述のアース構造と縦65×横150（mm）の方形枠のアンテナ素子を組み合わせることで，VHF-HIGH帯とUHF帯の二つの帯域内において利得のピークを持たせることに成功した。

Fig.4は，従来のフィルムアンテナにおいて最も特性の良いアンテナ素子と今回開発した枠形状素子とをVHF-HIGH帯及びUHF帯において特性を比較した例である。帯域内平均利得において，従来に比べてVHF-HIGH帯で2dB，UHF帯で5dB以上の特性改善が実現できている。

3.5　アンテナアンプの採用

従来の車載用アンテナアンプは大型で雑音指数が高いものが多く，使用しても十分な感度改善効果が得られず，逆に耐ノイズ性の悪化や，強電界下の悪影響を招いていた。このため，従来のフィルムアンテナでは効果は少ないと判断し，採用を見送っていた。ところが，近年の技術の進歩により小型で性能の良いアンテナアンプが低価格で入手できるようになってきている。また，現在市販されている車載用デジタルテレビ受信用アンテナには全てアンテナアンプが使用されており，競合上も必要と判断した。試作品による検討結果からもUHF帯での感度改善効果が確認できたため，新アンテナはアンテナアンプを採用することとした。

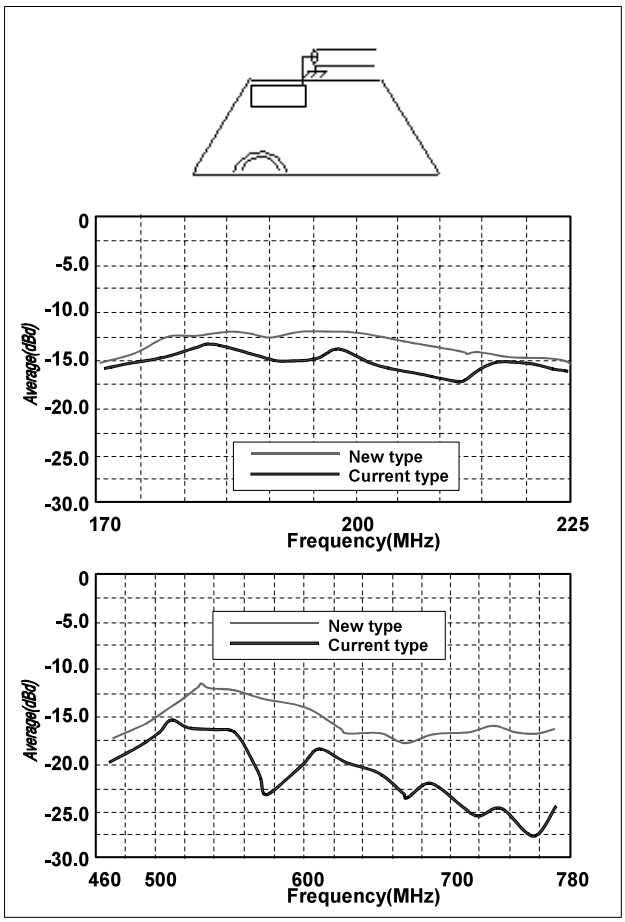


Fig.4　Characteristic of Square Type Antenna

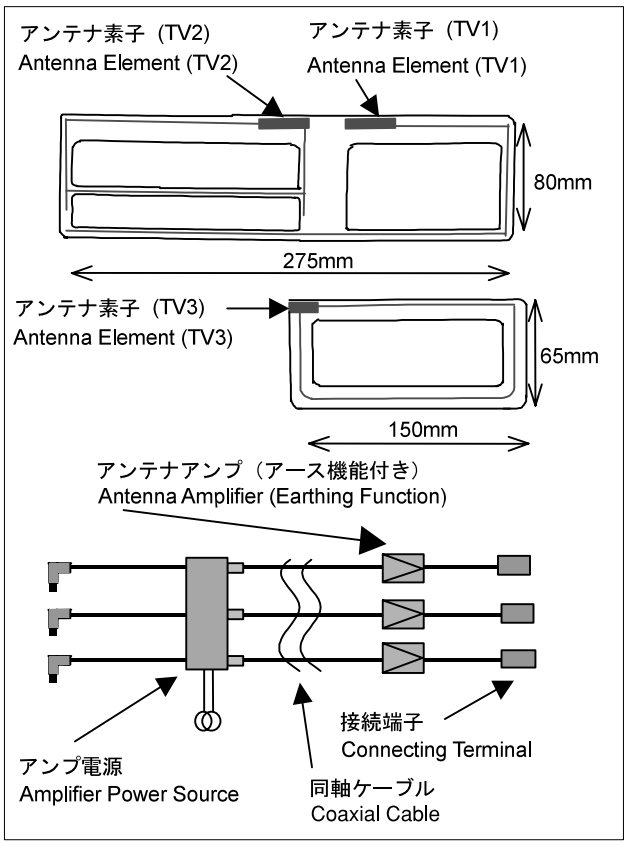


Fig.5　New Antenna & Antenna Cable

4．開発品の概要

4.1　新開発アンテナ構成

新開発アンテナの概要をFig.5に示す。従来と同様に透明フィルム上にパターンを印刷する方式を採用した。アンテナ素子は三つの素子からなる。TV1はモノポール型素子を採用し，VHF-LOW帯を担当させる。TV2，TV3はその広帯域性を利用し，VHF-HIGH帯とUHF帯の両方を担当する。また，小型化と部品点数削減のため，三つのパターンのうちモノポール型素子と枠形状素子一つを同一フィルム面上にまとめて構成した。ダイバーシティ効果を得るため，TV2とTV3の素子は独立させ，離間して設置する。

アンテナアンプの感度改善効果を最大限に引き出すためにはアンテナ素子近傍へ設置する必要がある。これを実現するため，アンプ回路と電源回路を分離し，信号線経由で電源供給する方式を採用し，アンプ本体を大幅に小型化した。また，アンプケース自体に車体への接地機能を持たせ，前述のボデーに貼り付けた金属箔の上に貼り付け固定する構造とし，組み付けの容易さと受信性能を両立させた。

4.2　新開発アンテナの性能

新開発アンテナの受信性能について述べる。まず，アナログテレビ放送受信用アンテナとして，従来のフィルムアンテナと比較した結果をFig.6に示す。数値はアンテナとテレビを搭載したテスト車両で放送波を受けながら，サービスエリア境界付近の電界強度下で360度回転させ，その間に映像をカラーで表示できた時間割合を示している。これに示すように，新アンテナは，各帯域で従来のフィルムアンテナを凌ぐ受信性能を有している。

次に，デジタルテレビ放送受信用アンテナとしての性能について示す。評価手法はアナログと同様であるが，ブロックノイズや音声の途切れがなく正しく受信できている時間の割合で評価している。比較対象は市販のデジタルテレビ専用アンテナである。Fig.7に示すように，新開発アンテナは，評価した全てのチャネルにおいて市販のアンテナと同等かそれ以上の受信性能を有している。

以上の結果より，新開発アンテナは，アナログテレビ放送受信用として従来のフィルムアンテナと同等かつデジタルテレビ放送受信用としても市場競合力のある受信性能を有しており，アナログ／デジタルテレビ兼用アンテナとして狙い通りの性能が実現できていることが確認できた。

5．おわりに

車載用テレビがアナログからデジタルへ移行する時期にユーザニーズに柔軟に対応できるデジタル／アナログテレビ兼用フィルムアンテナを開発した。なおテレビ放送がデジタルへ完全に以降した後もVHF帯はデジタル音声放送に使用される計画であり，引き続き本技術は有用と考える。

最後に，本開発を進めるに当りご尽力いただいた原田工業㈱初め関係者の方に心より感謝いたします。

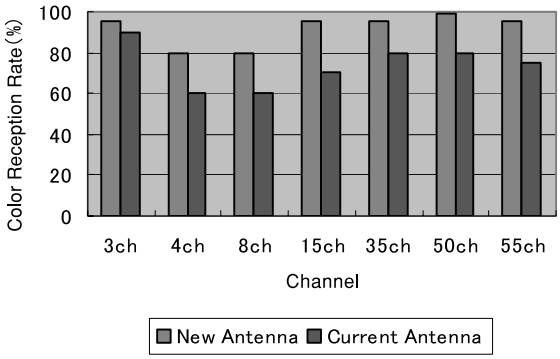


Fig.6　Reception Performance for Analog TV

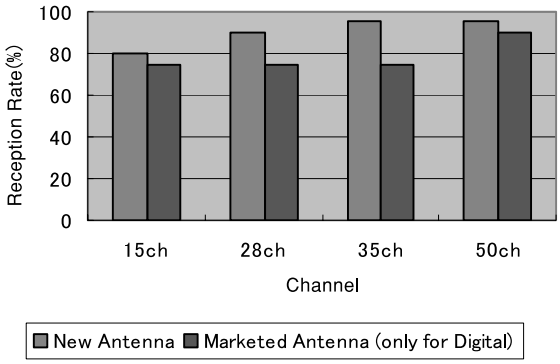


Fig.7　Reception Performance for Digital TV

参考文献

(1)　山田　宰：デジタル放送ハンドブック，社団法人映像情報メディア学会，オーム社（2003）

■著　者■

重田一生

谷口龍昭

牛尾將雄

諸橋敏将

論文・解説

31 直噴ディーゼル・エンジンにおけるモデルベース キャリブレーションの適用
Model Based Calibration for Common Rail Diesel Engine

吉田元則*1　山田　薫*2　奥田恒久*3
Motonori Yoshida　Kaoru Yamada　Tsunehisa Okuda
原田真悟*4
Shingo Harada

要　約

今後，エンジン制御はますます複雑高度化することが予想される。そのため制御パラメータのキャリブレーションの効率化が要求されており，解決策の一端として実験データを元に作成した統計モデルを用いる適合手法（MBC）が主流となりつつある。本論で，当社の直噴ディーゼル・エンジンにおけるMBC適用事例の紹介と，本手法の今後の課題について報告する。

Summary

The calibration method with a statistical model based on experimental data has been recently become mainstream in calibrating parameters in ECU of a complicated and high-level engine system. This paper reports introduction of MBC for a direct-injection diesel engine and future MBC issues.

1．はじめに

排気ガスやOBDなどの規制強化，安全性や燃費の向上に対応するために，近年自動車用エンジン制御は複雑高度化の一途をたどっており，エンジン制御用ECU（Electronic Control Unit）内部の制御パラメータ数は，増加傾向にある。全ての制御パラメータの組み合わせを実機確認し，最適な組み合わせを選択するという従来の適合手法では，商品開発の定められた期間内に対応することは，近い将来困難となることは明らかである。

この解決のために，テストベンチで採取した必要最小限のデータから統計モデルを作成し，このモデルを元にキャリブレーションを行う手法（Model Based Calibration；以下MBC）が，自動車製造各社で広く用いられはじめた。またこの手法をサポートするツールが，様々なツールメーカから提供されている。[(1)(2)]

今回，当社では，本手法を直噴コモンレール・ディーゼルエンジン（以下DI-DE）開発に適用し，多次元パラメータのキャリブレーションにおいて，効率および品質向上両面でその有効性を確認できた。この事例から得られた知見の紹介と，本手法の今後の課題について以下に述べる。

2．MBCの概要とDI-DEへの適用状況

2.1　MBCのプロセス

MBCのプロセスは，一般的にFig.1のような4つの工程からなる。データ採取ポイントを決定するDOE（実験計画法）の工程，データ採取の工程，実験データから統計モデルを作成するモデル化の工程，およびモデルから最適値を抽出する最適化の工程である。

これらの工程に移行する前の準備作業として，制御対象の入力パラメータと出力パラメータを決定し，出力パラメータを目的性能と制約条件に分けることも重要である。

Table 1　Engine Specification

Displacement	2.5L, 3.0L
Turbocharger Type	VGT (Variable Geometry Turbo)
Injection Pattern	1 or 2 Pilot Injection(s) 1 Main Injection
EGR	With EGR
Other Features	Swirl Control Valve, Shutter Valve

＊1，3，4　第3エンジン開発部
Engine Development Dept. No.3

＊2　第2エンジン開発部
Engine Development Dept. No.2

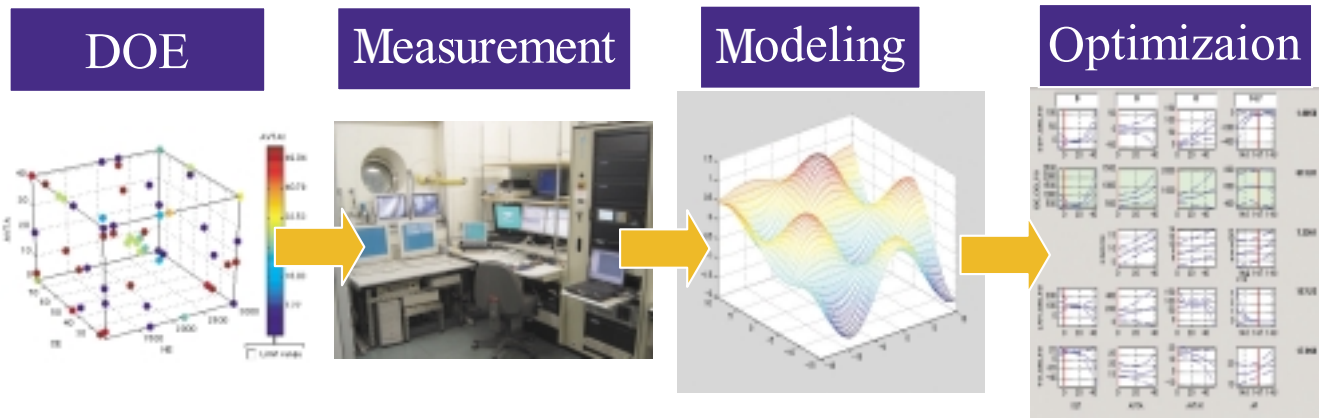


Fig.1　Calibration Flow with MBC

今回適用対象としたDI-DEの概略仕様を，Table 1に示す。入力パラメータは2回の燃料噴射量と2回の噴射開始時期・燃料圧力・EGR率・VGT開度・エンジン回転数等合計8個とした。出力パラメータは，目的性能とするパラメータを燃費（BSFC）・NOx，制約条件となるパラメータを，エミッション規制からスモーク，エンジンの信頼性確保から最大筒内圧（Pmax）・排気ガス温度，燃焼音の代用特性としてCPL（Cylinder Pressure Level）とした。

2.2　DOE（実験計画法）

要求精度を満足するモデルを作成するため，必要最小限のデータ採取ポイントを効率的に決定する工程である。

実際にDOEを実施するに当たっては，いくつかの項目を仮決定する必要がある。対象エンジンの運転可能領域の特定と，その領域をカバーする入力パラメータの配置範囲。事前の対象エンジンの特性把握に基づいた，おおよそのモデルタイプ。更に，DOEで採取すべきデータ数である。これらの仮決定項目は，相互関係があり，モデル精度に大きく影響するため大変苦慮する項目である。DOEからモデル化までを何度か試行錯誤を重ね，場合によってはモデル精度確保のために，エンジン回転・負荷の領域をいくつかの領域に分割するなどの工夫も必要である。

データ採取ポイントの配置は，各種のDOE手法を用いる。一般的に想定モデルが線形の多項式関数モデルの場合には，D-OPTIMAL（D－最適）などがよく使われ[3]，モデルタイプが非線形な場合には，SPACE FILLING（空間充填法）が用いられる[4]。Fig.2にSPACE FILLINGとD-OPTIMALにて，データ採取ポイントを数十点発生させた例を示す。図中右側のD-OPTIMALでは，例えば2次モデルを想定すれば特性に合致した発生ポイントが得られる反面，事前にモデルタイプが既知であるべきことが欠点である。一方，SPACE FILLINGは，モデルが未知であっても，ある程度のデータ数を確保すればモデル精度の向上が可能である。

当社では，特性把握時や通常のモデル化時にはSPACE FILLINGを採用し，データ採取数を極限まで減少させる要求がある時のみ，D-OPTIMALでのDOEを利用している。また，モデルタイプは，不安定領域を含めると非線形特性となり複雑なものが必要であるが，安定領域だけに絞り2次モデルと仮決定した。採取するデータ数は，Fig.3に示すようなデータばらつきを考慮したシミュレーション結果のグラフから，要求精度を例えばRMSE（モデル誤差の標準偏差値）5%とし，1領域当たり500個以上となるよう仮決定した。

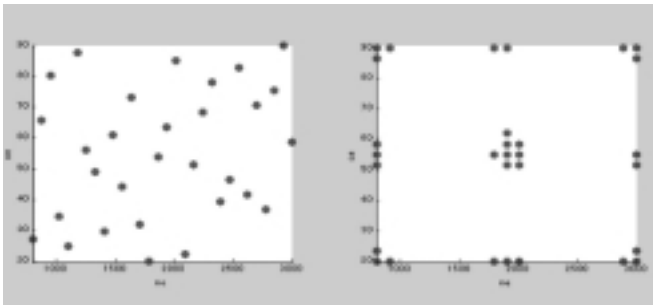


Fig.2　SPACE FILLING and D-OPTIMAL

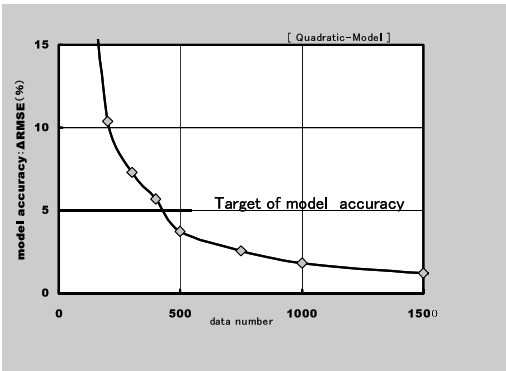


Fig.3　Model Accuracy with Data Number

2.3　Measurement（データ採取）

多次元の入力パラメータを与えて，実験データを採取する工程である。キャリブレーションに費やすかなりの時間はこの工程が占めるといっても過言ではない。このため，手動のベンチではデータ計測に多くの時間を要し，ベンチ担当者の負担が大きい。そこでデータ採取時間の短縮と，ベンチ担当者の負担低減のために，当社で内製しているキャリブレーションツールにDOEで求めたデータ採取ポイントのファイルを読み込み，自動でパラメータを変更する機能を追加した。これにより，計測時間を従来の方法に対し約3分の1に短縮でき，データ採取時間を大幅に低減することができた。

2.4　Modeling（モデル化）

採取した実験データから統計的モデルを作成する工程である。モデル化に当たっては，実験データの精査，入出力パラメータの関数変換, モデルの再構築などが必要である。

実験データの精査とは，計測上の問題や環境条件の変化により影響を受けたデータを除外するなど，データの品質確保を行う作業である。また，今回のモデルは線形領域のみのモデルを想定しているため，非線形特性を示す不安定領域のデータも併せて除外している。

入出力パラメータの関数変換とは，例えばエンジントルクのモデル作成時に，スロットルバルブ開度を角度のまま入力するのではなく，開口面積に変換するなど，入出力パラメータを物理特性に合わせて変換する作業である。

モデルの再構築とは，作成した統計モデルと理論式を利用し，より有効なモデルを構築することである。例えば，BSFCのモデルは，本来非線形特性であり統計モデルでの精度向上が難しいため，燃料消費量とエンジン出力のモデルから演算する手法を用いた。

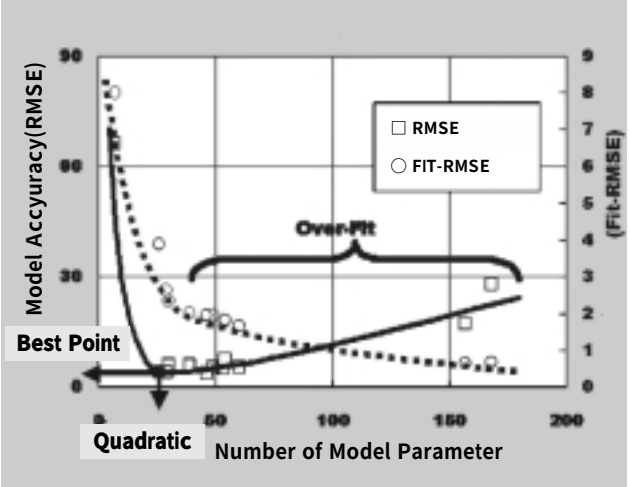


Fig.4　Model Accuracy with Number of Model Parameter

このようにモデル化の工程の中でも，精度確保のためには試行錯誤せざるを得ない。

また，作成したモデルの精度検証を有効に行うために，検証用データを別途採取しておくことが重要である。その検証用データを用いて，いくつかのモデルタイプでモデルを作成し，どのモデルタイプが最適であるかを検証する。

DI-DEへの適用では，モデルタイプは2次モデルが最良であることの検証をFig.4のように行った。点線に示すように，モデルの自由度を表す係数を増やすことによりモデ

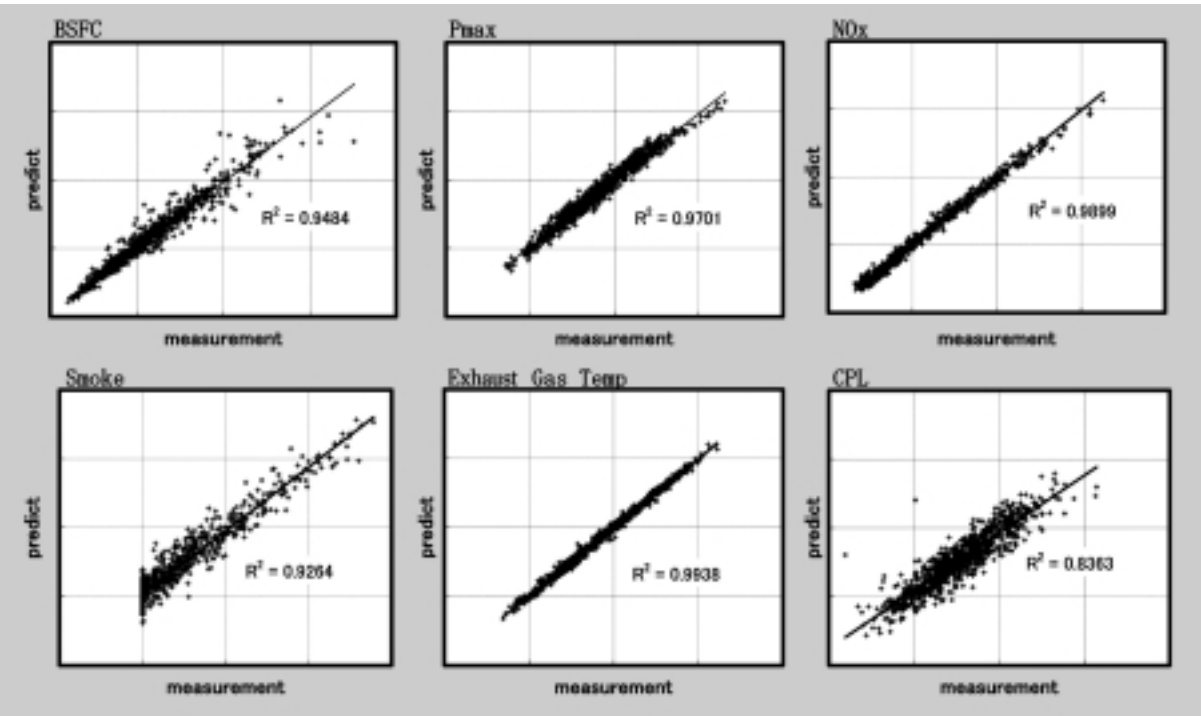


Fig.5　Model Accuracy

ル精度（RMSE）は向上するが，検証用データを用いた精度は実線のように，2次モデルのところで最高精度を示した後は悪化する。

Fig.5に作成したモデルの精度検証結果の一例を示す。スモークやCPLは計測精度が悪いため，モデル精度は他のモデルに比べて良くないが，全体的にはRMSE5%の要求精度を満足したモデルを作成することができた。

2.5　Optimization（最適化）

作成した統計モデルを元に，ある制約条件下において複数の入力パラメータをうまくバランス取りし，目的とする出力パラメータを最適値にする工程である。

最適化を行うにはいくつかの手法があり，対象となるモデルの山が1つのみ（単峰性）か，複数存在する（多峰性）かによって異なる。単峰性の場合には最急降下法やSQP（逐次二次計画法）[5]，多峰性の場合は，GA（遺伝的手法）が用いられる[6]。更に目的が複数の場合にはMOGA（多目的遺伝的手法）が適している[7]。

DI-DEへの適用では，2つの目的性能を複数の制約条件下で最適化する必要があるためMOGAを採用した。MOGAは，遺伝的手法を用いて最適値の候補を複数求めるもので，その候補点を結んだラインがいわゆるトレードオフラインとなる。MOGAでの遺伝的手法による世代の進み方をFig.6に示す。入力パラメータをランダムに発生させた時の出力パラメータ群（燃費・NOx）を1世代目として，求めたいトレードオフラインに近いものから順位をつけ（評価－Evaluation），優先順位の高いもの同士を親と見立てその近くに子を追加し（交配－Crossing），優先順位の低いものを削除していく（淘汰－Selection）。この評価・交配・淘汰の一巡は世代と呼ばれ，繰り返し行われる。

MOGAによって，エンジン回転数・負荷の1運転領域での最適化を行うことができる。更に当社ではキャリブレーション作業を簡素化するために，複数の運転領域を市場での走行頻度で重み付けし，対象とする全ての運転領域での燃費・NOxを最適にするトレードオフラインを求められるように改善した。Fig.7に1世代目，10世代目，および50世代目の最適化結果を示す。50世代目で燃費・NOxのトレードオフラインが明確になることがわかる。このトレードオフライン上の1点を選択することで，対象とする全ての運転領域の回転と負荷の格子（以下MAP）が一意的に求まる。

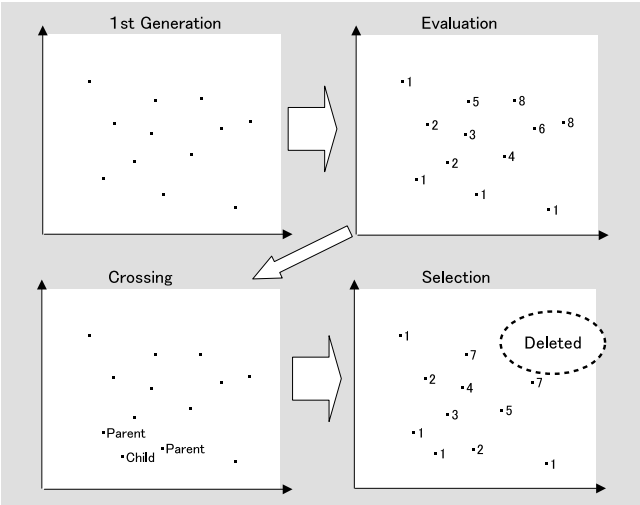


Fig.6　Flow of MOGA

実際に最適化を実施するに当たって，制約条件が厳しすぎると最適解が得られない場合があり，制約条件を緩和し再度最適化するなど試行錯誤せざるを得ない。この問題に対して当社では，緩和可能な制約条件を明確にし，その制約条件を目的関数に変更し，再度MOGAを行う手順を追加した。これにより，制約条件を含むトレードオフラインを得ることができ，試行錯誤を減らすことができた。

また，最適化で求めたMAPは格子点毎の値が凸凹になり，走行フィーリングが悪化するなどの問題が生じるケースがある。この対応としてMAPのスムージングが必要である。現在は部分的に手動でスムージング調整を行っているが，本領域の自動化は重要な残技術課題といえる。

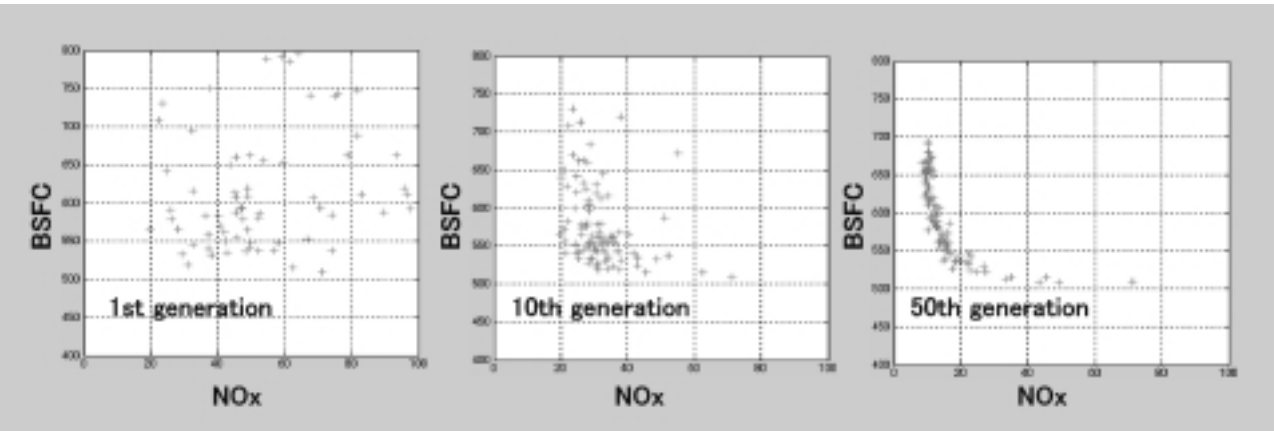


Fig.7　Display of Tradeoff Line with MOGA

3．今後の課題

以上述べてきたように，MBCを実際に適用する際には，未だ試行錯誤に頼らざるを得ない領域が多く残っている。MBCは極めて優秀な手法であるが，現実問題として本格展開上のリスクとなっている。現手法の改善ポイントは，これらの試行錯誤の削減にあるといえる。本領域の主な残課題としては，2項目が挙がる。まず，対象エンジンの運転可能領域の探索とプレテスト手法の開発が必要である。その際，エンジン運転の安定領域と不安定領域の限界点を含む，非線形なモデル記述方法の確立もあわせて必要となる。更には，前項で述べたMAPの自動スムージング最適化手法の確立が不可欠で，実用性向上のキー技術と考えている。

その他，対象領域の拡大という観点で2つの中期課題があるととらえている。そのひとつが過渡モデルへの応用である。統計モデルだけでなく理論モデルとの融合などを図り，システム全体の同定を行うなどエンジニアリング的なアプローチが必要である。例えば，入力パラメータを時系列的にランダムに変化させ過渡モデルを同定する手法も紹介されている[8]。

もうひとつが，エンジン制御ECUパラメータのみならず，ハードウェアのパラメータを含めた最適化手法である。CAE技術との連携がキーとなる。ピストンTOPの形状決定にDOEを用いて形状変化させ，CFDモデルによりシミュレーション計算し，作成したトルクモデルから最適なピストン形状を決定する手法などが紹介されている。[9]

4．おわりに

複雑高度化するエンジン制御の多次元パラメータのキャリブレーションは，もはや人智の及ばない領域に達しようとしている。これに対応するには，MBC手法以外のアプローチはないといっても過言ではない。まだまだ熟成成長段階の手法だが，夢の実現にむけて邁進したいと考えている。最大のポイントは，当社のみならず，おそらく同業他社においてもそうであるように，技術者育成にある。非常に多岐にわたる領域の固有技術とスキルが必要であるだけに，組織を挙げた取り組みが，今まさに要求されている。

参考文献

(1) Mathworks UKによるMBCホームページ http://www.mathworks.co.uk/products/mbc/

(2) R.Leithgoeb et al.：Optimization of New Advanced Combustion Systems Using Real-Time Combustion Control, SAE Paper, 2003-01-1053（2003）

(3) 柳井晴夫：多変量解析実例ハンドブック，東京，朝倉書店，p.40-49（2002）

(4) M.Guerrier et al.：The Development of Model Based Methodologies for Gasoline IC Engine Calibration, SAE Paper, 2004-01-1466（2004）

(5) 立命館大学集積機械知能研究室：数理工学，http://www.ritsumei.ac.jp/~hirai/

(6) 静岡理工科大学情報システム学科：システムエンジニアの基礎知識，http://www.sist.jp/~suganuma/kougi/other_lecture/SE/SE.html

(7) 同志社大学知的システムデザイン研究室：多目的遺伝的アルゴリズム，http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/research/mop_ga/

(8) K.Ropke：Design of Experiments（DoE）in Engine DevelopmentⅡ, Germany, expert verlag, p.66-76（2005）

(9) K.Ropke：Design of Experiments（DoE）in Engine Development Ⅱ, Germany, expert verlag, p.77-93（2005）

■著　者■

吉田元則

山田　薫

奥田恒久

原田真悟

論文・解説

32

動弁系及びタイミングチェーンの機構運動解析
Multi-Body Dynamics Simulation of Valve Train and Timing Chain Drive

小　泉　昌　弘*1　宮　内　勇　馬*2　近　藤　真希夫*3
Masahiro Koizumi　Yuma Miyauchi　Makio Kondou

要　約

近年，多くの自動車用エンジンのカムシャフト駆動には，耐久性向上のためタイミングチェーンが採用されている。タイミングチェーンは，カムシャフトの駆動トルク，クランク軸角速度変動，オートテンショナの特性等の影響でチェーン張力が変動し，チェーンノイズの増大や，チェーン破損及びカムノーズ折損等の信頼性問題を引き起すことがある。そこで，それらの問題を早期に予測可能な機構解析手法を開発したので，その計算モデルの概要と，予測精度の検証結果について報告する。

Summary

Recently timing chains have been used for camshafts in many car engines for durability purpose. The timing chain tension, however, may fluctuate due to driving torque of the camshaft, torsional vibration of the crankshaft, characteristics of an auto tensioner or the like, thus causing increased chain noise；or breakage of the chain or a cam nose. To address these problems, a multi-body dynamics simulation model of the timing chain and valve train was developed. There was a good correlation between analytical results and experimental results. This model also shows that the chain tension might be excessively high due to camshaft driving torque, which is caused by camshaft resonance.

1．はじめに

低コストで高品質な商品を短期間で開発するためには，机上予測技術が極めて重要であり，タイミングチェーンシステムにおいても，開発初期に振動，騒音や信頼性問題を予測可能な机上予測技術が求められている。

そこでタイミングチェーン及び動弁機構を連成させた高精度機構解析手法を開発したので，その計算モデルの概要と，チェーン張力予測精度の検証結果について報告する。

2．計算モデル

解析に用いたエンジンは，排気量2.3リットルの直列4気筒ガソリンエンジンである。動弁機構は，吸気，排気それぞれのカムシャフトがタペットを介してバルブを開閉する直打式動弁系であり，タイミングチェーンにより，それぞれのカムシャフトをクランク軸と同期して駆動している。また，チェーンの挙動はガイド及びレバーによって抑制されており，レバーの揺動を規制する油圧式オートテンショナにより，チェーン張力を適正化している。

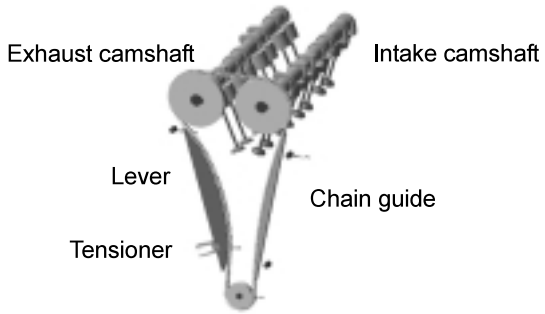


Fig.1　Timing Chain Multi Body Dynamic Model

2.1　動弁機構モデル化手法

動弁系の機構モデルは，Fig.1に示すように吸気側，排気側それぞれ，カムシャフト，タペット，バルブ，バルブスプリングで構成されている。以下に各部品のモデル化手法について説明する。

＊1，2　パワートレイン先行開発部
Powertrain Advance Development Dept.
＊3　第3エンジン開発部
Engine Development Dept. No.3

(1)　タペット，バルブ

質量，慣性モーメントを持つ剛体要素で定義しており，その弾性変形の影響を考慮するため，要素間に線形ばね及び減衰要素を定義した。

(2)　バルブスプリング

サージングの影響を考慮可能とするため，ばね，減衰要素を持つ5質点でモデル化している。

(3)　カムシャフト

ねじり共振の影響を考慮可能とするため有限要素モデルとし，ねじり振動がカムシャフト単体加振実験結果と相関が高いことを確認の上モデル化している。このモデル図と加振実験結果との相関をFig.2に示す。また，機構モデルSuper-element法による動的縮退を行っている。

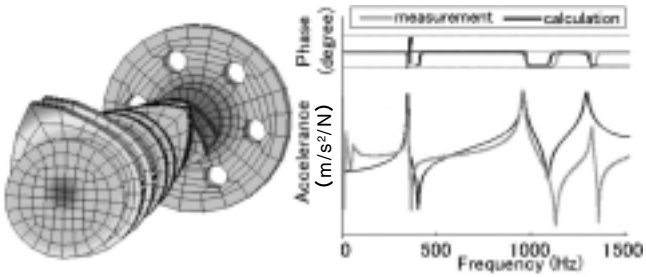


Fig.2　Camshaft FE Model and Torsional Resonance

2.2　タイミングチェーンモデル化手法

タイミングチェーン機構モデルはチェーンリンク，スプロケット，ガイド，レバー，油圧式オートテンショナで構成されている。以下各モデル化手法について説明する。

(1)　スプロケット，ガイド，レバー

吸気側，排気側カム及びクランクの各スプロケット，ガイド及びレバーは，それぞれ質量，慣性モーメントを持つ剛体要素として定義している。また，それぞれの部品はその形状を忠実に再現している。

(2)　チェーンリンク

タイミングチェーンの進行方向及び直交方向の挙動を予測可能とするため，チェーンを構成する各リンクをそれぞれ質量，慣性モーメントを有した剛体要素として定義している。また，弾性伸びを考慮可能とするため，それぞれのリンク間にばね及び減衰要素を定義した。

(3)　油圧式オートテンショナ

油圧式オートテンショナはハウジング，プランジャ及びチェックボールにより構成されている。油圧式オートテンショナはレバーからの荷重をプランジャスプリングとテンショナ内油圧によって受ける機構であるため，チェックボール挙動に伴うオイルの出入り及び，プランジャとハウジング間のオイルリークを考慮して，テンショナ内油圧変動を計算可能なモデルとした。式①にテンショナ内油圧変動の計算式を示す。

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{\beta}{V}\left(\frac{dV}{dt} - Q_{in} + Q_{out}\right) \qquad ①$$

P　：テンショナ内圧力

β　：体積弾性係数

V　：高圧室体積

Q_{in}　：流入流量

Q_{out}：流出流量

(4)　接触定義

カムとタペット間，リンクと各スプロケット，ガイド，レバー間にはFig.3に示す非線形ばね，減衰要素による接触定義を行った。また，各接触部位での接触荷重からクーロン摩擦力の算出も同時に行っている。

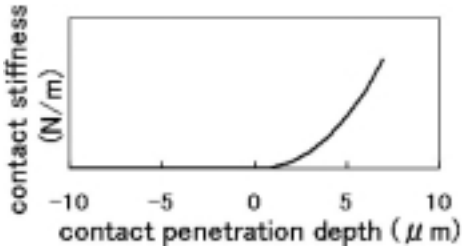


Fig.3　Non-linear Contact Stiffness

(5)　クランク軸入力

機構モデルの入力は，クランク軸に角速度変動を伴う強制回転変位を与えている。

3．各構成部品計算モデルの妥当性検証

計算モデルの妥当性を検証するため，カム荷重，カムシャフト駆動トルクについて実機計測結果との比較を行った。以下の検証結果から，いずれも高い相関が得られたため計算モデルは妥当であると考える。

3.1　カム荷重計算結果の検証

チェーン張力変動の要因として考えられるカムシャフト駆動トルクを正しく予測するため，カムシャフトの加振力であるカム荷重の実測データとの比較を行った。その結果をFig.4に示す。上段は3,000rpm，下段は6,800rpmである

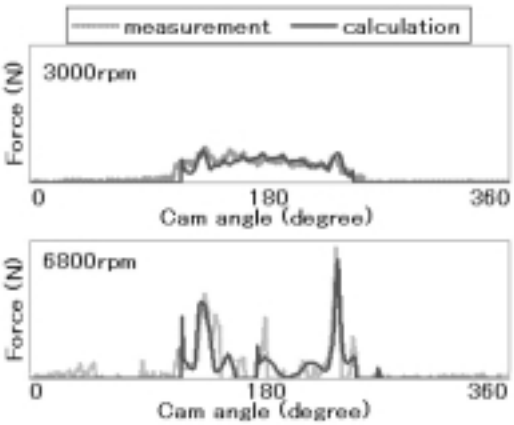


Fig.4　Cam Force（Exhaust Cam）

が，エンジン回転数の上昇に伴う動弁系慣性力増大の傾向と高い相関が見られる。

3.2　カムシャフト駆動トルク計算結果の検証

Fig.5にカムシャフトの駆動トルクの計算波形と実機計測波形との比較を示す。各回転ともに実測波形と高い相関が見られる。

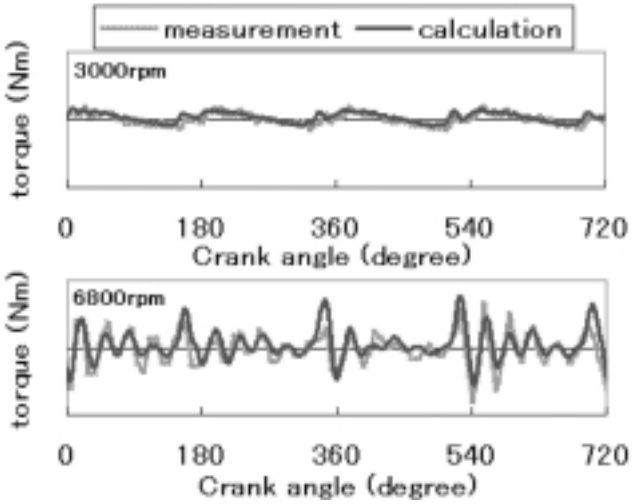


Fig.5　Camshaft Driving Torque（Exhaust Camshaft）

4．チェーン及びカムシャフトの強度評価手法

4.1　チェーン動的張力の評価手法

チェーン破損及びカムノーズ折損等の信頼性問題の一要因はチェーンの動的発生張力が過大となることである。ここでは，破損の問題を評価する代用特性としてチェーン張力を採用した。チェーン破損については動的発生張力の振幅と平均値から安全率を導き，カムシャフトノーズねじりについてはTension-sideとSlack-sideの動的張力の差とカム加振力からねじりトルクを算出して安全率評価を実施した。この評価概念をFig.6に示す。またFig.7にエンジン負荷が無負荷，全負荷時のチェーン張力の計算結果と，実機計測結果との比較を示す。各エンジン回転数ともに高い相関が得られ，チェーンやカムノーズの強度を評価するためのチェーン張力の評価が可能であることが確認できた。

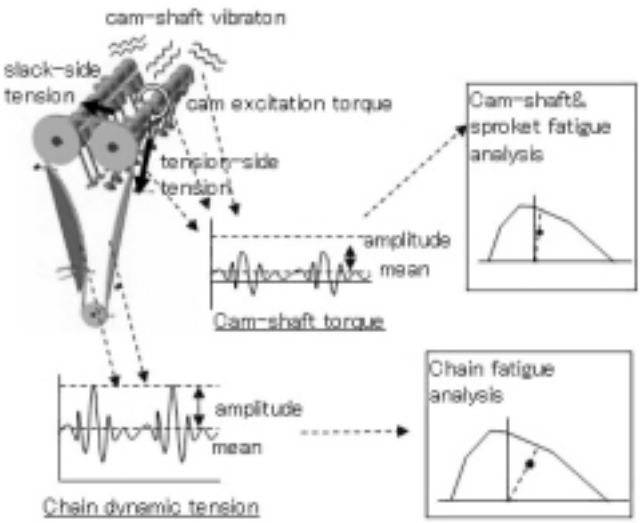


Fig.6　Fatigue Analysis Flow

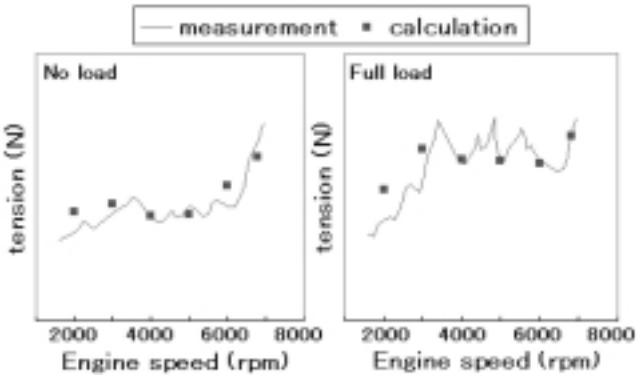


Fig.7　Chain Tension

4.2　チェーン張力変動増大メカニズムの分析

チェーン張力変動の一要因であるカムシャフト駆動トルク変動は，Fig.8に示す起振力の流れによって発生する。タペット中心から外れた位置Lでカムと接触することによりカムねじり加振力Fcが発生する。また同時に，カムリフトYの位置で，カム－タペット間の摩擦力によりカムねじり加振力Ffが発生する。これらの加振力がカムシャフトねじり共振φを経由することにより，カムシャフト駆動トルクTが増大する。更に，カムシャフト駆動トルクはFig.9に示すようにエンジン高回転側において増大する傾向にある。これはFig.10に示すように，エンジン高回転時には，動弁系慣性力の増加によって増幅されたカムシャフト加振トルクの高次成分がカムシャフトの共振を励起するためである。これはFig.11に示す実機測定カムシャフト駆動トルクを周波数分析したキャンベル線図からも確認できる。

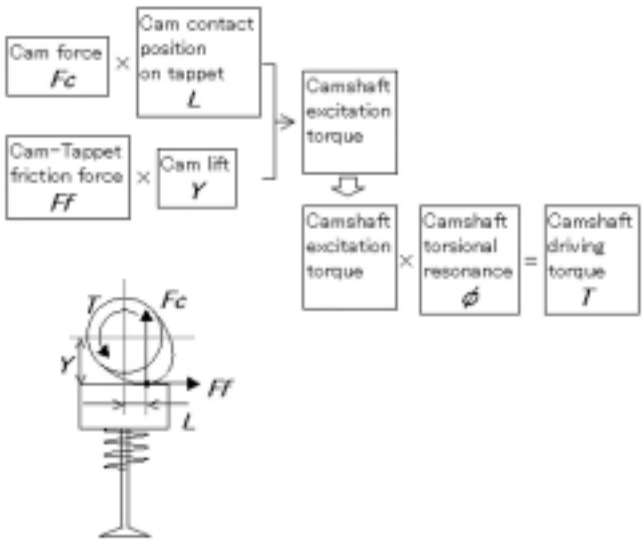


Fig.8　Camshaft Driving Torque Mechanism

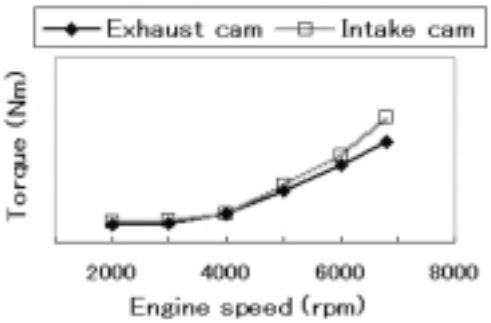


Fig.9　Camshaft Driving Torque Amplitude

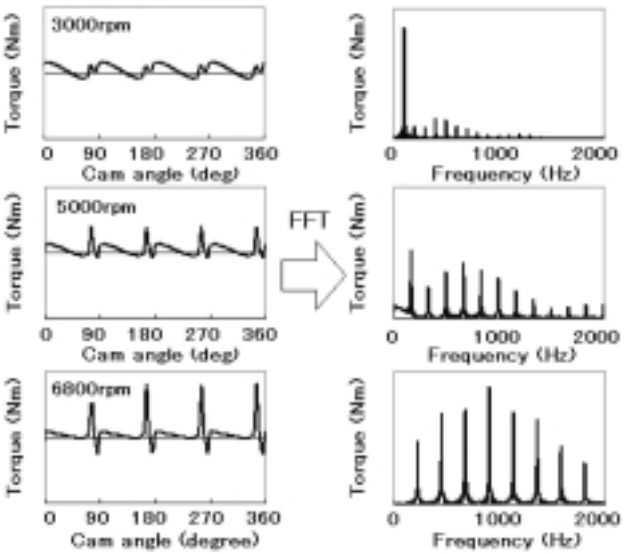


Fig.10　Camshaft Excitation Torque（Exhaust Cam）

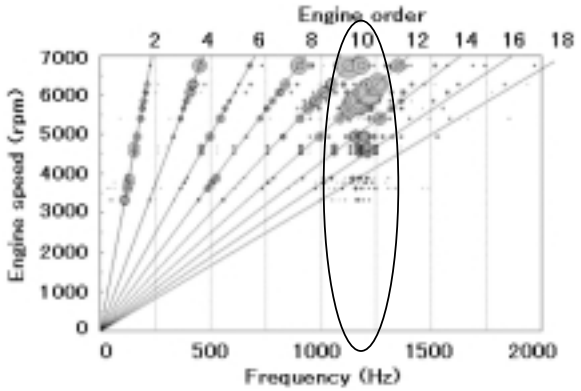


Fig.11　Camshaft Driving Torque FFT（Exhaust Camshaft）

カムシャフトの共振がチェーン張力に与える影響を確認するため，カムシャフトに剛体及び弾性体モデルをそれぞれ用いた際のチェーン張力の比較を行った。比較結果をFig.12に示す。無負荷，全負荷ともにエンジン低回転側では張力に差がないが，高回転域においては弾性体カムシャフトモデルの方が，チェーン張力が増大していることが分かる。このように，カムシャフトの共振によるカムシャフト駆動トルク増加によって，チェーン張力が増大することが分かった。

以上の結果から，本解析手法がチェーンとカムノーズの強度評価および現象分析に有効であることが検証できた。

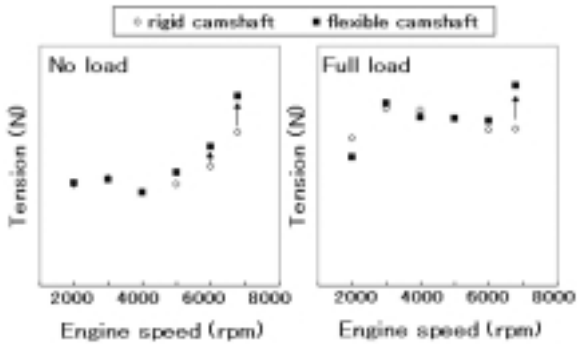


Fig.12　Chain Tension w/rigid Shaft and w/flexible Shaft

5．まとめ

タイミングチェーンと動弁系機構を連成させた機構解析モデルを開発し，チェーン張力において，本解析モデルと実機計測との相関取りを実施した。この結果から，チェーンやカムノーズの強度を評価するために十分な予測精度を有していることを確認した。更に，本解析手法によってチェーン張力増大のメカニズムを分析した結果，カム荷重を加振トルクとするカムシャフト共振が一要因であることが分かった。

今後，本解析手法を用いて，お客様に喜ばれる低コストで高品質な商品開発に貢献していく所存である。

参考文献

(1) Yeongching Lin et al.：The dynamic Analysis of an Automotive Timing Chain System, European ADAMS User Conference（1996）

(2) C.Weber et al.：Experimental Investigation Into the Dynamic Engine Timing Chain Behaviour, SAE Paper, No.980840（1998）

(3) 鈴木恭ほか：タイミングチェーンシステムの動的解析技術の開発，自動車技術会学術講演会前刷集No.64-00 P17-20（2000）

(4) Martin Sopouch et al.：Simulation of Engine's Structure Borne Noise Excitaion Due to the Timing Chain Drive, SAE Paper, No.2002-01-0451（2002）

■著　者■

小泉昌弘

宮内勇馬

近藤真希夫

論文・解説

33

シリンダヘッドの熱疲労寿命予測
Prediction of Cylinder Head Thermal Fatigue Life

宮　嵜　隆　男*1　加賀谷　　浩*2　天　野　浩　平*3　平　本　健　治*4
Takao Miyazaki　Hiroshi Kagaya　Kouhei Amano　Kenji Hiramoto
村　上　展　堂*5　鳥　越　祐　児*6　池　田　雅　博*7
Nobutaka Murakami　Yuji Torigoe　Masahiro Ikeda

要　約

出力性能向上に伴い，熱負荷，燃焼圧力等の使用条件はますます厳しくなっており，エンジン構造部品の中で，シリンダヘッドの耐久信頼性確保はエンジン開発における最重要課題の一つであるが，その開発プロセスは実機テストによる試行錯誤が中心であった。

そこで耐久テストモードを想定した解析結果から，熱疲労寿命を求めるCAE技術を開発し，実際のエンジン開発に適用可能なレベルまで育成を図った。これにより，これまでの試行錯誤型の開発プロセスから，設計段階から問題を予測し，事前に対策を講じる未然防止型の開発プロセスへと変革を実現した。これにより，開発期間の大幅短縮が可能となり，市場のニーズに応じた商品を早期に提供することが可能となった。

Summary

In order to achieve high engine performance, high capabilities of heat load and pressure load are now in increasing demand. The thermal fatigue of a cylinder head under actual operating conditions is one of important issues.

We have implemented CAE technology that can predict the thermal fatigue life of the cylinder head. This technology enables highly accurate prediction of low cycle-high cycle-creep combined fatigue life . We had applied this to new engine development for mass production and have achieved a satisfactory result.

1．はじめに

ガソリンエンジン，ディーゼルエンジンともに出力性能の向上に伴い，熱負荷，燃焼圧力等の使用条件はますます厳しくなっており，エンジン構造部品はより高い信頼性が求められている。その中で，シリンダヘッドの耐久信頼性確保はエンジン開発における最重要課題の一つであるが，その開発プロセスは実機テストによる試行錯誤が中心であった。

シリンダヘッドは，耐久テスト中の熱負荷に起因する低サイクル疲労，爆発荷重に起因する高サイクル疲労，高温保持に起因するクリープの三つが複合して破壊に至ることが分かっている[1]。そこで我々は，耐久テストモードを再現させた熱弾塑性解析結果から熱疲労寿命を求めるCAE技術を開発し，実際のエンジン開発に適用可能なレベルまで育成を図ったので，本報ではその適用事例を交え報告する。

2．熱疲労寿命予測技術の概要

2.1　冷熱サイクル耐久テストと破損因子

シリンダヘッドの耐久評価モードである冷熱サイクル耐久テスト中には，下記に示すように三つの破損因子が同時に作用している。詳細はFig.1に示す。

① Low cycle fatigue …冷熱の繰返しによる疲労
② High cycle fatigue…爆発荷重の繰返しによる疲労
③ Creep　　…高温保持による塑性変形

我々が開発した技術は，この三つの破損因子を総合的に考慮して，冷熱サイクル耐久テストに対する熱疲労寿命を予測するものである。

＊1，2　パワートレイン先行開発部　Powertrain Advance Development Dept.
＊3，4　技術研究所　Technical Research Center
＊5～7　㈱マツダE&T　Mazda Engineering & Technology Co.,Ltd.

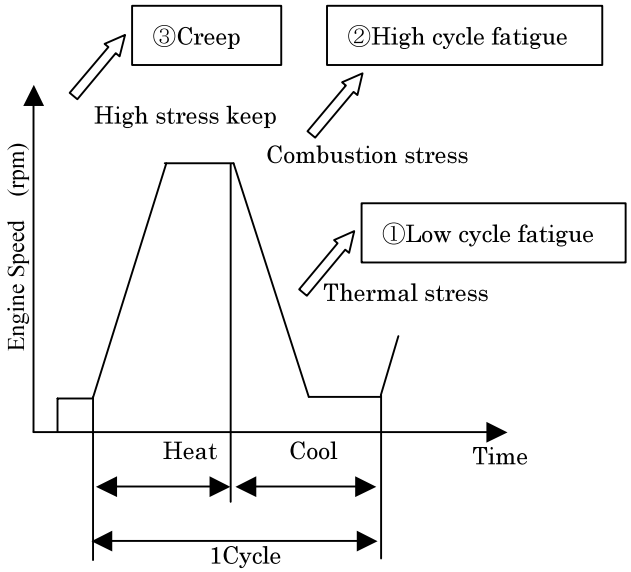


Fig.1　Thermal Durability Mode

2.2　熱疲労寿命の算出方法

シリンダヘッドの熱疲労寿命はFig.2の低サイクルS-N線図，Fig.3の高サイクルS-N線図，及びFig.4のクリープ線図から各因子毎の疲労寿命を求め，マイナー則[2]をベースに我々独自の改良を加えて寿命を算出している。

これは単にマイナー則に基づいた場合，トータルの疲労損傷量（寿命の逆数）は各因子毎の線形加算となるが，各

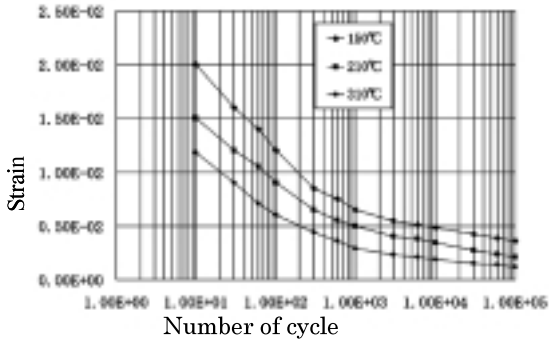


Fig.2　Low-cycle Fatigue Life

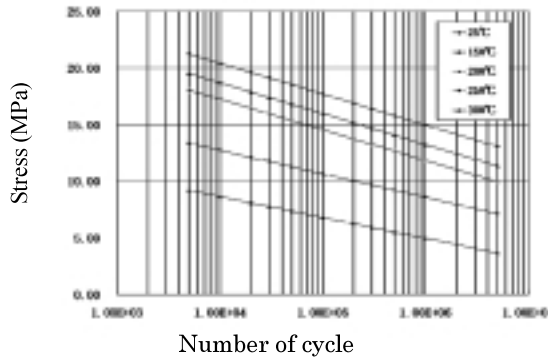


Fig.3　High-cycle Fatigue Life

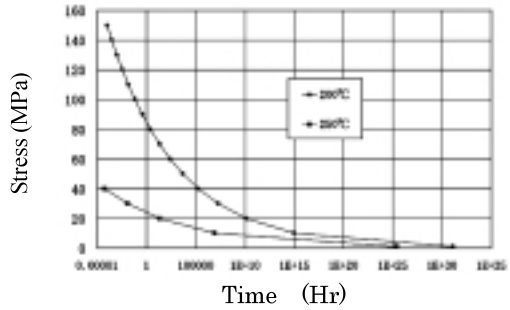


Fig.4　Creep Fatigue Life

因子が同時に作用した場合，線形加算の寿命と一致しない現象が起きることから，式1の如く，補正係数を考慮して損傷量を求めている[1]。この補正係数はテストピースによる複合疲労試験結果から実験的に求めたものである。

Dtotal：総疲労損傷量

$$D_{total} = \alpha\,\phi Lf + \beta\,\phi Hf + \gamma\,\phi C > 1 \text{で破壊} \quad \cdots\text{式1}$$

ΦLf ：低サイクル疲労損傷量α：補正係数
ΦHf ：高サイクル疲労損傷量β：補正係数
ΦC ：クリープ損傷量γ　　：補正係数

3．解析のプロセス

3.1　熱疲労寿命算出までのフロー

Fig.5に解析モデル作成から熱疲労寿命算出までのフローを示す。まず，3次元CADデータから熱境界条件を予測するためのCFD（Computational Fluid Dynamics）モデルと，応力解析を行うためのFEMモデルを作成する。

その後Step1では，CFD解析から求めた熱境界条件を設定し熱伝導解析を行い，耐久テスト中の温度変化を求める。Step2では，Step1で求めた温度条件下での熱応力解析を行う。Step3では爆発荷重に対する応力解析を行う。そして，最終のStep4において熱疲労寿命を算出する。

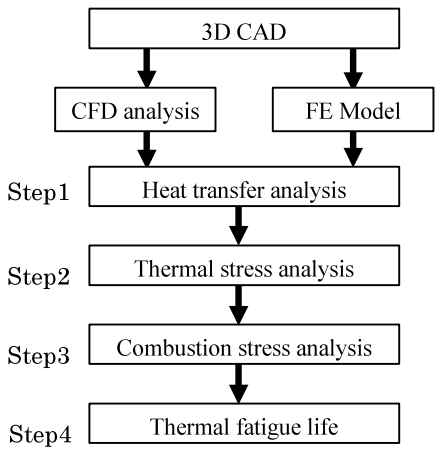


Fig.5　Procedure of Thermal Fatigue Prediction

3.2　熱伝導解析

Fig.6にStep1の熱伝導解析の概要を示す。熱伝導解析に必要な冷却水通路，及び燃焼室面の熱境界条件はCFD解析より算出し，専用に開発したMappingプログラムにてFEMモデル側に設定する。その後耐久テストモードを想定した時間毎の温度履歴を算出する。

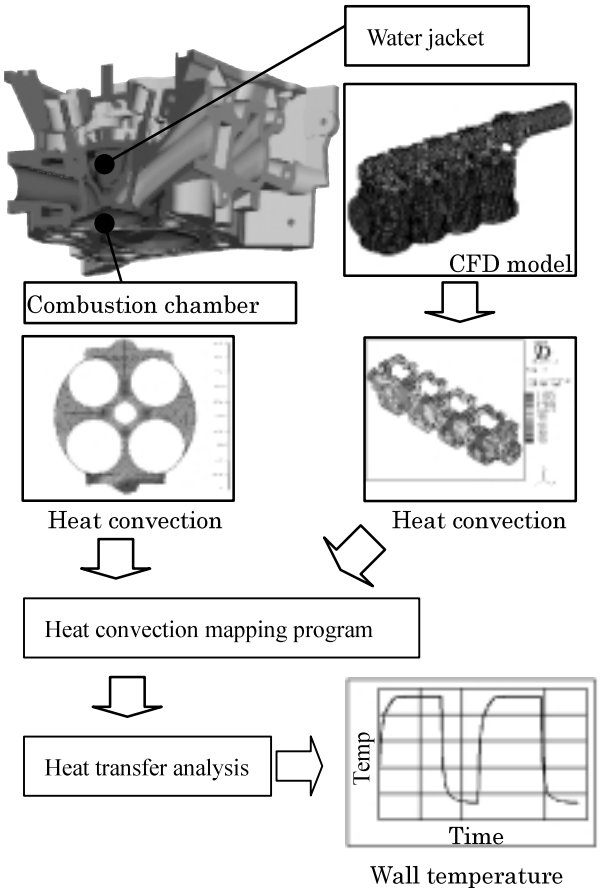


Fig.6　Procedure of Heat Transfer Analysis

3.3　応力解析

Step2の熱応力解析の入力データを以下に示す。

① 材料の応力－歪線図
② ヘッドボルト締付軸力
③ ヘッドガスケットバネ特性
④ Step1の温度結果

次に，Step3の爆発応力解析の入力データは，

① 材料の応力－歪線図
② 爆発荷重
③ Step1の温度結果

解析ソルバーはABAQUSを使用した。

尚，応力解析に用いるシリンダヘッドの応力－歪線図は温度依存性を考慮している。また，圧縮側の応力特性は引張り側と対称であると想定して解析を行った。

4．適用事例

4.1　解析モデル

Fig.7に機種開発に適用したモデル全体の概観とシリンダヘッド単体モデルを示す。解析時間の効率化のため，2気筒の範囲をモデル化した。

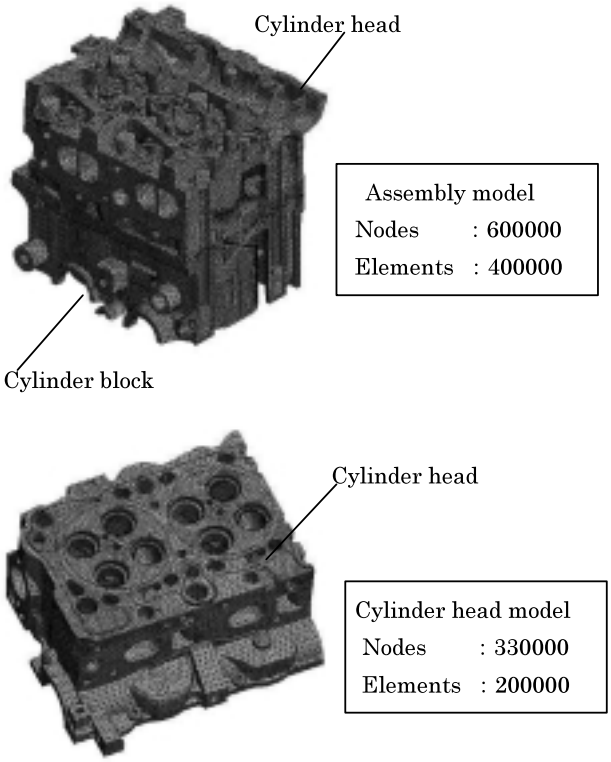


Fig.7　Finite Element Model

4.2　予実差の検証

(1)　熱伝導解析結果の予実差検証

機種開発への適用に当たり，解析結果の精度検証を併せて実施した。Fig.8に燃焼室各部位の最高温度の測定値と解析値の比較を示す。

本結果を見ると，測定値と解析値は良く一致していることが確認できる。

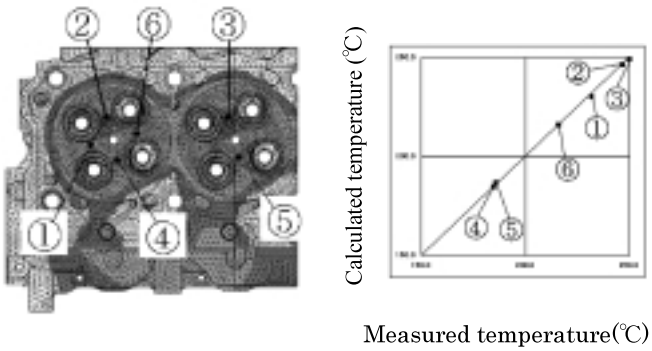


Fig.8　Comparison of Calculated and Measured Max Temperature

次にFig.9に温度条件が最も高いグロープラグ先端部（③）におけるテストモード中の温度変化について，測定値と解析値の比較を示す。これを見ると昇温時，及び降温時の温度変化のスピードに若干の食違いはあるものの，定常状態における最高温度は良く一致しており，実用できるレベルの精度であることが確認できた。

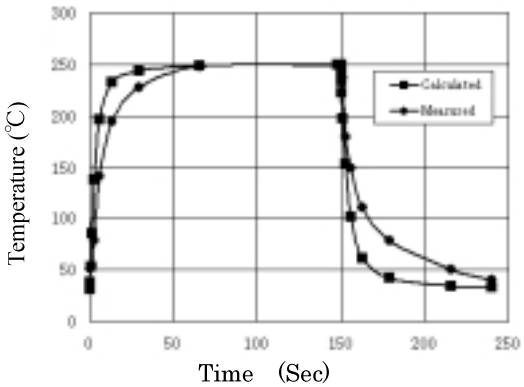
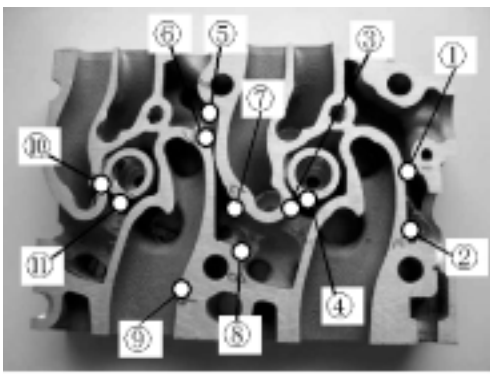


Fig.9　Comparison of Calculated and Measured Temperature

(2)　応力解析結果の予実差検証

Fig.10に実機での応力測定を行った部位を示す。ウォータジャケット内部の合計12ヶ所について，シリンダヘッド組付け時，及び燃焼圧力作用時の応力を計測した。



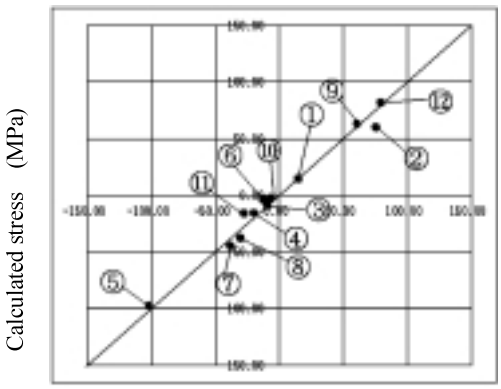
Water jacket low deck side

Water jacket upper deck side

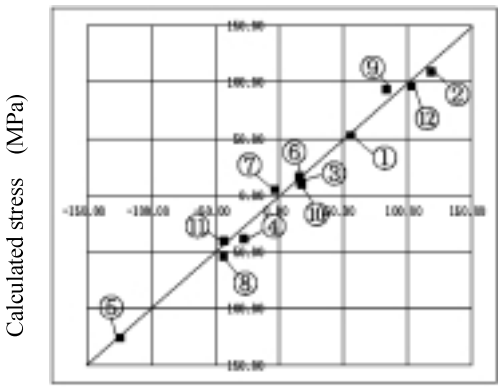
Fig.10　Stress Measured Points of Cylinder Head

Fig.11にシリンダヘッド締付時，及び燃焼圧力作用時の測定値と解析値の比較を示す。

本結果から，応力解析の結果も測定値と解析値は相関が高く，実用できるレベルの精度であることが確認できた。



Stress at head bolt tightening



Stress at head bolt tightening and combustion pressure

Fig.11　Comparison of Calculated and Measured Stress

4.3　熱疲労寿命予測手法の有効性の検証

冷熱サイクル耐久テストにおける破損不具合を例に，本手法の有効性について検証を行った。

Fig.12にクラック発生部位の詳細を示す。

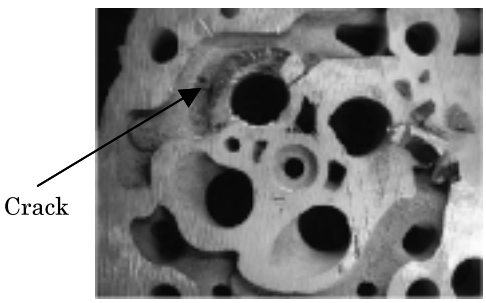


Fig.12　Thermal Fatigue Crack

本部位は排気ポートとシリンダヘッドロアデッキが繋がる部位である。

Fig.13に対策前の熱疲労寿命予測の結果を示す。解析の結果，クラック発生部位の熱疲労寿命はDtotal＝1.3となった。これは，この部位が耐久テスト終了前に疲労寿命に至ることを意味し，耐久テスト途中でクラックに至った実機の結果と一致していることを確認できた。

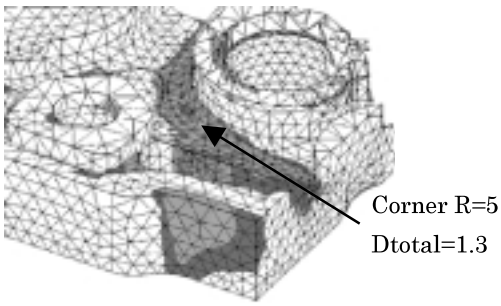


Fig.13　Calculated Damage before Improved

これに対し，対策としてコーナRを5mmから10mmに拡大した時の解析結果をFig.14に示す。解析の結果，対策後の熱疲労寿命はDtotal＝0.84となった。これは，耐久テスト中には疲労寿命に達しないことを意味し，コーナRの拡大が対策として有効である結果が得られた。

本結果を受けて，実機の耐久テストにおいて効果を確認したところ，対策形状のシリンダヘッドでは耐久テスト終了までクラックの発生はなく，熱疲労寿命予測手法が有効であることを確認できた。

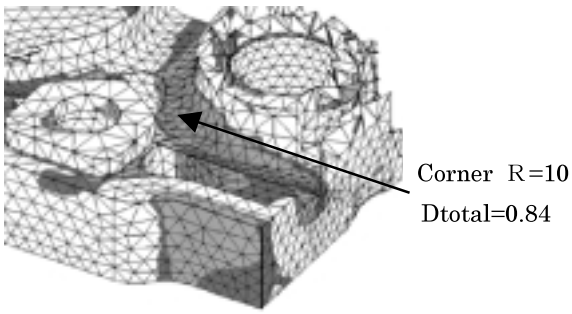


Fig.14　Calculated Damage after Improved

5．まとめ

(1) シリンダヘッドボルト締付時，及び燃焼圧力作用時の解析結果は実機測定値とよく一致しており，応力解析の結果は十分な精度が確保されていることを確認できた。また，冷熱サイクル耐久テストに対するシリンダヘッドの熱疲労寿命の予測結果も実機のテスト結果とよく一致しており，熱疲労寿命を机上で精度良く予測可能であることを確認できた。

(2) シリンダヘッドの開発プロセスについて，これまでの試行錯誤型の開発プロセスから，設計段階から問題を予測し，事前に対策を講じる未然防止型の開発プロセスへと変革を実現した。

(3) 未然防止型開発の実現により，開発期間の大幅短縮が可能となり，市場のニーズに応じた商品を早期に提供することが可能となった。

参考文献

(1) 天野浩平ほか：新しい破壊クライテリアを用いたピストン・シリンダヘッドの破壊予測技術，自動車技術会学術講演会前刷集，No.88-02，p.5-8（2002）

(2) 佐藤文夫：金属材料疲労強度の設計資料Ⅰ，日本機械学会，p.5（1991）

■著　者■

宮嵜隆男

加賀谷浩

天野浩平

村上展堂

鳥越祐児

池田雅博

論文・解説

34

触媒担持型DPFの開発
Development of the Catalyzed DPF

藤田弘輝*1　原田浩一郎*2　對尾良則*3
Hiroki Fujita　Koichiro Harada　Yoshinori Tsushio
高見明秀*4
Akihide Takami

要　約

近年ディーゼル車の排出ガス中に含まれているパティキュレート（PM）の大幅低減が必要とされている。マツダでは，小型商用車に搭載可能なコンパクトサイズで，自動車NOx・PM法に適合する触媒担持型シリコンカーバイト（SiC）製ディーゼルパティキュレートフィルタ（DPF）の実用化を目的に，DPF担体仕様および触媒仕様の検討を行った。その結果，低い背圧と優れたPM燃焼性能および高い耐久性を併せ持つ触媒担持型DPFを開発することができ，2004年より，小型商用車に搭載した。本稿では，そこで用いた触媒担持型DPFについて報告する。

Summary

There is now a crying need for development of technologies for significantly reducing particulate emission（PM）from a diesel engine. To put catalyzed SiC-DPF, which meets Automobile NOx / PM Law, to practical use for first-in-class small commercial vehicles, Mazda investigated DPF substrate and catalyst specifications. Consequently, the catalyzed DPF which has low back pressure, excellent soot oxidation performance and high durability had been developed, and has been installed in a small commercial vehicle since 2004. This paper reports this newly developed catalyzed DPF.

1．はじめに

近年，ディーゼルエンジン（DE）から排出されるパティキュレート（PM）による大気汚染が問題となっており，PM排出量低減が要求されている。DE排出ガス中に含まれるPMの大幅低減のためには，PMを捕集可能なディーゼルパティキュレートフィルタ（DPF）が必須である。DPFにトラップされたPMを燃焼するためには，燃料添加剤方式やDPFに触媒を担持した触媒担持型DPF方式等が提案されている[1]。マツダでは2004年に，新短期規制，自動車NOx・PM法と首都圏ディーゼル車運行規制のすべてに対応できる触媒担持型DPFを用いたエミッション浄化システムを開発し，小型商用車クラスで実用化した[2]。本稿では，そこで用いた触媒担持型DPFに関する技術内容について紹介する。

2．触媒担持型DPFの概要

触媒担持型DPFは，Fig.1に示すように，前段の酸化触媒と一体になったケースに収めた“1コンテナ2ベッド構造”からなるDPFユニットに装着される。

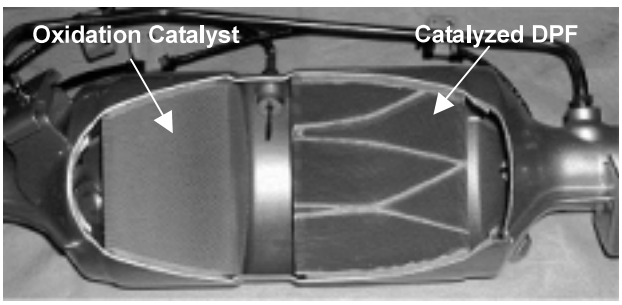


Fig.1　Cut Model of DPF Unit[2]

酸化触媒は，コージェライト製担体を使用し，従来と同様に一酸化炭素，未燃炭化水素または可溶性有機成分（SOF）を低減するとともに，DPF の自動再生時に排出ガス中に供給された未燃燃料を酸化反応させ，DPF入口のガス温度を上昇させる役割を持たせている。

＊1～4　技術研究所
Technical Research Center

触媒担持型DPFは，Fig.2に示すように，従来から使用されている排出ガス浄化触媒用セラミック担体と同様に，壁厚が0.3mm程度，一辺が1mm程度の細い通路（セル）に分けられており，セルの端面が交互に目封じされている（ウォールスルータイプ）。セル間の壁の内部には直径が数μm～数十μmの気孔が3次元的に無数に連通した構造になっている。上流側が開口されたセルの入口から流入した排出ガスは，セル間の壁内部の気孔を通り，下流側が開口された隣のセルから排出されるが，PMは気孔に捕集され，壁に堆積していく（Fig.3）。このメカニズムにより，触媒担持型DPFはエンジンから排出されるPM分の約90%を捕集および低減することが可能である。

触媒担持型DPFには，ⅰ）PM捕集，ⅱ）PM燃焼およびガス浄化性能，ⅲ）圧力損失，ⅳ）耐久信頼性，について優れた特性が求められる。このうち，ⅰ），ⅳ）の観点から，コージェライトよりも耐熱性の高く，気孔率が小さいシリコンカーバイド（SiC）製DPF担体（日本ガイシ㈱製）の活用を検討した。ⅱ），ⅲ）については，DPF担体仕様を含めて種々検討し，実用面からも優れた特性を有する材料仕様を選定した。触媒担持型DPFのPM燃焼およびガス浄化性能は，担体壁内を通過するガス流れや触媒との反応表面積等の影響を受けるため，本稿では，DPF担体のセル密度，気孔率および触媒特性などの検討結果について述べる。

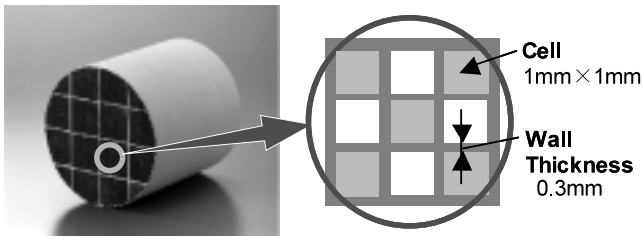


Fig.2　Outer View of DPF[2]

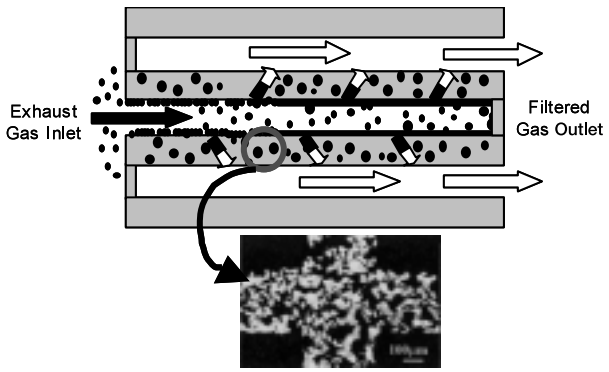


Fig.3　Mechanism of PM Trap on DPF[2]

3．実験方法

各SiC製DPF担体仕様に触媒をコーティングした後，触媒の評価および解析を行った。

(1)　触媒性能評価方法

触媒の基礎的なPM燃焼性能評価には，熱重量分析／示差熱分析（TG/DTA）装置を用いて実施した。TGは，温度を変化させた状態で生じる粉末状のサンプルの重量変化を熱天秤により測定する手法で，重量変化した温度からPM燃焼性能を比較する。DTAは，重量変化に伴う現象が吸熱または発熱のいずれの反応であるかを測定する手法で，PMが燃焼した際の発熱ピークからPM燃焼性能を比較する。測定条件は，10%O_2（N_2バランス）雰囲気下，10℃/minの加熱速度で800℃まで行った。

実車を模擬した条件でのPM燃焼性能を評価するため，モデルガス流通装置を用いて測定を行った。カーボンブラックを10g/L堆積させたサンプルを装置に装着して，モデルガスを流しながら昇温し，DPF内部のカーボンの燃焼によって発生するCO，CO_2濃度を測定してカーボン燃焼速度を算出し，PM燃焼性能として評価した。

(2)　連続PM燃焼特性評価

担体仕様の圧力損失とPM燃焼に及ぼす影響の評価には，バランスポイント法を用いた。実機にてサンプルに一定量のPMを堆積させた後，平均有効圧（Pe）で10分保持した時の，DPF前の圧力を測定し，DPF前の温度を低温から高温に変化させた時のPM燃焼による圧力低下を測定した。サンプルとしては，セル密度を変えた担体および気孔率の異なる担体に触媒を担持したものを用いた。

(3)　ガス浄化性能

ガス（COおよびHC）浄化性能は，サンプルをモデルガス流通装置に装着後，モデルガスを流しながら昇温し，DPFに流れ込むガス濃度に対するDPF後方に出てくるガス濃度からCOおよびHC浄化率を測定した。

(4)　触媒担持状態解析

触媒担持型DPF内部の触媒担持状態を解析するため，触媒担持ありなしの場合の，DPF担体の気孔径分布を水銀圧入式細孔分布測定法で，触媒担持状態を電子線マイクロアナライザ（EPMA）により観察を行った。

4．結果と考察

4.1　PM燃焼性能に及ぼす触媒担持効果

SiC製DPF担体におけるPM燃焼性能に及ぼす触媒担持の効果をTG/DTA装置を用いて検討を行った。評価サンプルは，白金（Pt）系触媒を担持したSiC製DPFを粉砕した粉末とカーボンを8：2の重量比で混合したサンプルAと，SiC製DPFだけの粉末とカーボンを8：2の重量比で混合したサンプルBを用いた。Fig.4に，温度と重量変化の結果を示す。触媒担持を行ったサンプルAのカーボンが50%減少

する温度は，サンプルBと比較し約50℃低かった。また，カーボン燃焼による発熱反応に起因するDTAピークは，サンプルAの場合は，621℃であるが，サンプルBの場合は，671℃であり，TGと同様に，50℃低かった。以上の結果から，SiC製DPF担体への触媒コートは，PM燃焼の低温度化に効果があることがわかった。

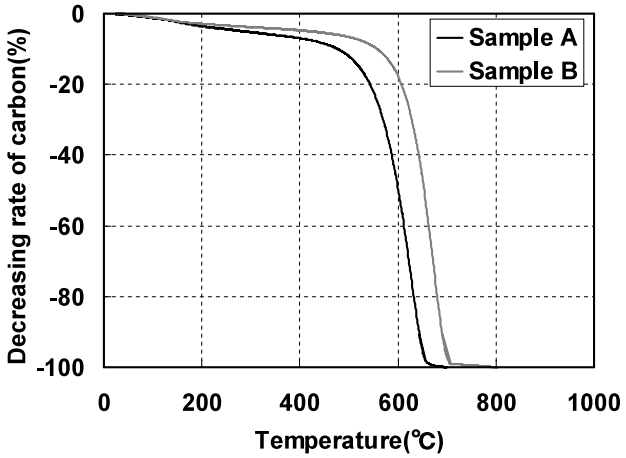


Fig.4　TG Curves of PM Combustion
Rate:10℃/min　10%O_2（N_2 balance）
Carbon:Catalyst=2:8（Weight Ratio）

ついては，4.7×10^5cell/m^{2}は3.1×10^5cell/m^{2}に比較し，PMの堆積していない初期には高い傾向を示したが，PM堆積後ではむしろ低くなった。これは，PM堆積量が同じであれば，反応表面積の大きい方が堆積厚さは小さくなるため，ガス流れに対する抵抗が小さくなるためと考える。

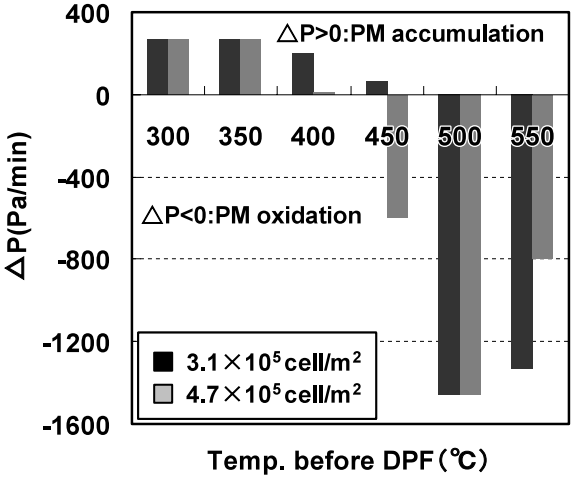


Fig.5　Continuous Regeneration Properties of $3.1\times10^5$and 4.7×10^5cell/m^2
2L Engine rev. 2,500rpm, 10min Keep at Each Temp.

4.2　DPF担体仕様（セル密度および気孔率）について

DPF担体のセル密度および気孔率は，排出ガスの流れ，各浄化特性およびPM捕集率に大きな影響を与える因子である。

一般に，セル密度が大きいと排出ガスと触媒の反応表面積が大きくなるため，触媒反応性向上においてはセル密度の大きい方が有利である。一方，大きなセル密度は，開口面積を低下させることとなり，ガスが流れにくくなるため，圧力損失が高くなるという特性がある。気孔率については，触媒担持のしやすさという面と圧力損失を小さくしたいという面からは，大きい方が良いが，担体の機械的強度という点では，気孔率が大きいことは不利な条件となる。そこで，これらの因子について検討した。

(1)　PM燃焼に及ぼすセル密度の影響

セル密度が，3.1×10^5cell/m^{2}と4.7×10^5cell/m^{2}の担体にそれぞれ触媒担持した担体を用い，バランスポイント法を用いてセル密度のPM燃焼に及ぼす影響について調査を行った。Fig.5に，評価結果を示す。3.1×10^5cell/m^{2}のDPF担体を用いた場合，約450℃以上でPM燃焼による圧力の低下が起こるのに対し，4.7×10^5cell/m^{2}の場合は約400℃～450℃で圧力の低下が起こる。このことから，セル密度が高い方がPMの燃焼開始温度は低いことがわかった。このPM燃焼開始温度については，4.7×10^5cell/m^{2}のDPF担体は触媒反応面積が大きいことで，触媒反応活性点が増加し，PM燃焼反応が促進したためと考える。また，圧力損失に

(2)　PM燃焼およびガス浄化性能に及ぼす気孔率の影響

気孔率の影響を調査するため，担体の壁厚を0.3mm，セル密度を4.7×10^5cell/m^{2}の一定として，異なる2種類の気孔率を有する担体C（気孔率約52%）と担体D（約58%）に触媒を担持し，ガス浄化性能およびPM燃焼性能を測定した。

測定に用いた担体は，800℃×24h大気中でエージングを行った。

Fig.6に，PM燃焼性能の評価結果を示す。PM燃焼性能については，DPF担体の気孔率によらずほとんど同じであった。

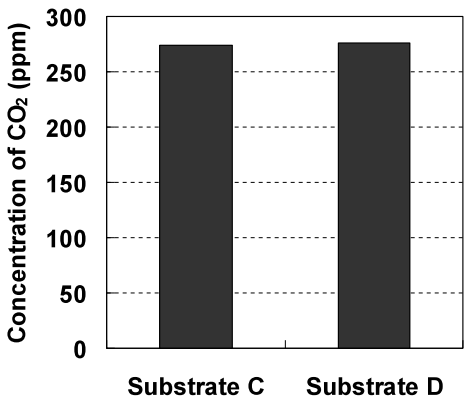


Fig.6　Dependency of Porosity Rate on PM Oxidation Performance
A/F=28 SV:80,000/h Carbon Amount:10g/L

次に，Fig.7にガス浄化性能の評価結果を示す。400℃時のCOおよびHC浄化率（C400）と浄化率が50%になる時の温度（T50）についても，両者の差はほとんどなかった。以上の結果より，本触媒担持条件においては，PM燃焼およびガス浄化性能への気孔率の与える影響は，ほとんど認められなかった。原因として気孔率6%の差では，カーボンと触媒の接触状態および触媒とガスとの接触反応機会には，ほとんど影響しないことが考えられた。従って，機械的信頼性の面から，アイソスタティック強度の高い担体A（気孔率52%）を選定した。

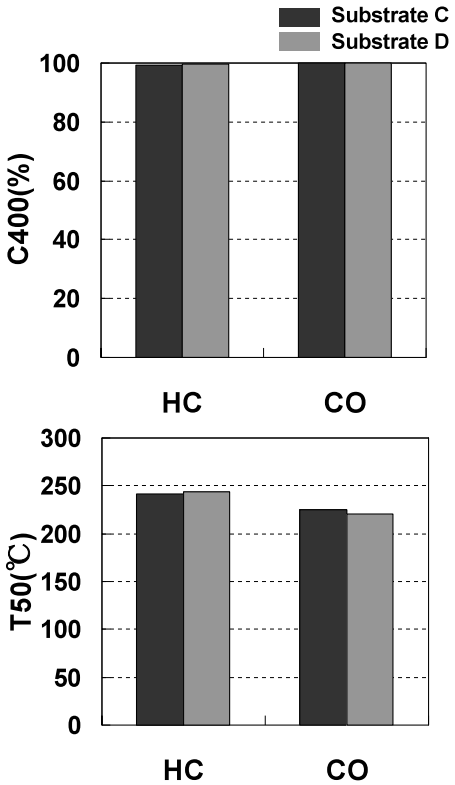


Fig.7　Dependency of Porosity Rate on Conversion Performance
A/F:28　SV:50,000/h

4.3　触媒特性評価結果

(1)　PM燃焼・ガス浄化性能に対する熱エージングの影響

燃費悪化抑制の面から，DPFに堆積したPMを燃焼するために実施する自動再生頻度を少なくしようとすると，1回当たりのPM燃焼量は多くなる。そのため，堆積したPMを燃焼する場合，燃焼熱により，触媒温度は800℃程度まで上昇する。そこで，触媒担持型DPF用として，耐熱性に優れる触媒材料の検討を行った。Fig.8，9に，触媒担持型SiC製DPFの大気中，800℃，900℃および1,000℃エージング後のPM燃焼性能およびガス浄化性能を示す。Fig.8に示すPM燃焼性能は，800℃エージング後で高い浄化性能を維持するとともに，1,000℃エージング後についても，初期の約70%のPM燃焼性能を維持している。

また，Fig9に示すガス浄化性能では，800℃および900℃エージング後においても，COおよびHC浄化率（C400）の低下がほとんどなく，1,000℃エージング後においても95%以上の浄化率を示した。以上の結果から，本触媒担持型DPFは，耐熱性に優れることを確認した。

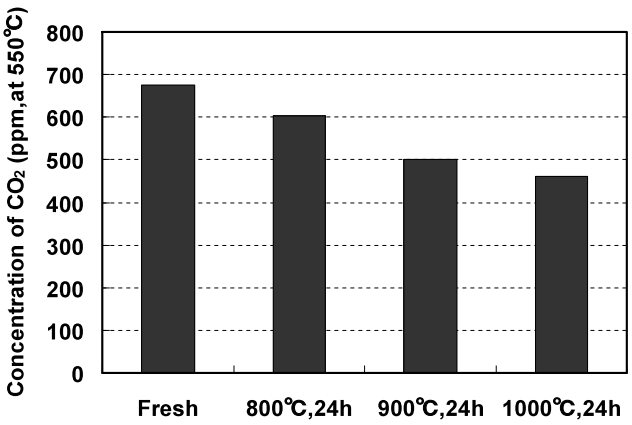


Fig.8　PM Oxidation Performance
A/F:28 SV:80,000/h Carbon Amount:10g/L

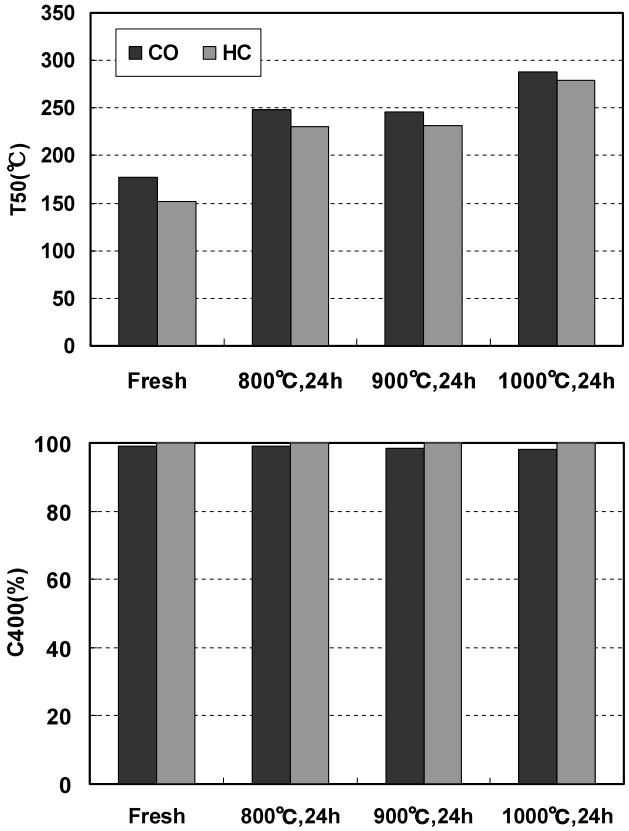
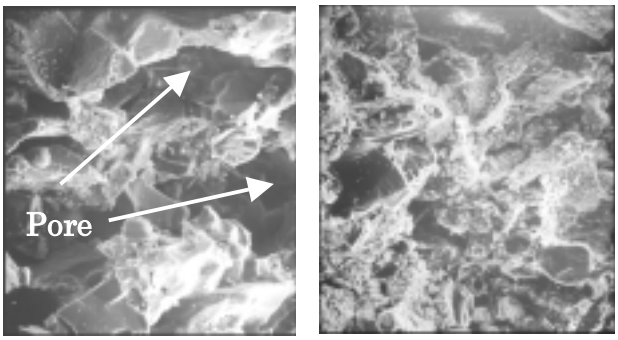


Fig.9　Gas Conversion Properties
A/F:28　SV:50,000/h

(2)　圧力損失およびPM燃焼性能に対する触媒担持量の影響

浄化性能を向上させるためには，触媒担持量を増やせば良いことがわかっている。しかし，Fig.10のSEM写真に示すように触媒担持量を増やしすぎると，触媒材料により気

孔（(a)の矢印部）が閉塞する(b)。その結果，触媒担持型DPFの圧力損失が著しく増大し，背圧が高くなる。そこで，DPF担体への触媒担持量には，適正な範囲があると考える。触媒担持量の検討を行うために，触媒担持量を変えて，圧力損失やPM燃焼性能等を評価した。その結果を，Fig.11に示す。PM燃焼性能を示す550℃におけるCO_2濃度は，触媒担持量によらず，ほぼ一定であった。この時，PM燃焼時にCOも排出され，その排出量は，触媒担持量が少なくなるほど多くなった。圧力損失については，触媒担持量が増加するにつれて高くなり，今回採用した触媒担持量（標準量）の50%増の場合で，標準量の場合の1.5倍となった。以上のことから，圧力損失が低く，かつ高いPM燃焼性能およびガス浄化性能が得られる触媒担持量として，70～125%が最適範囲であり，製造時のばらつきを考慮して開発触媒の担持量を決定した。



(a)Standard loaded of wash coat　(b)Two times loaded of wash coat

Fig.10　SEM Images of Catalyzed DPF Cross Section

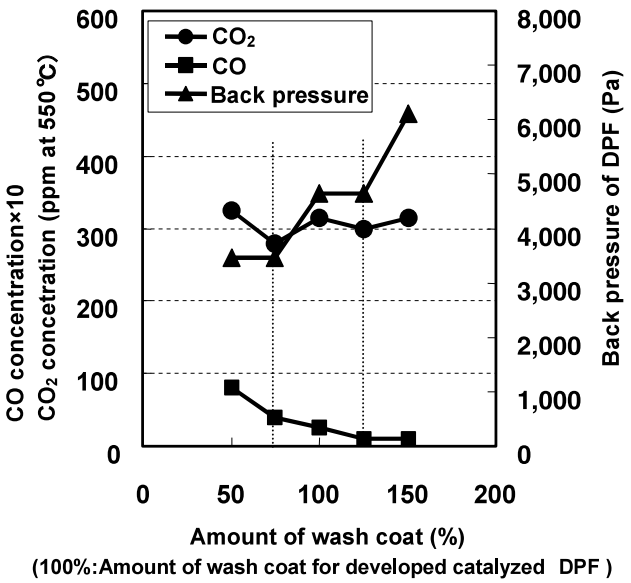


Fig.11　Relationship between the Amount of Wash Coat Loading and Back Pressure, PM Oxidation Performance

次に触媒担持型DPFおよびDPF担体のみの気孔径分布をFig.12に示す。触媒担持前後で比較すると，気孔径分布に差はなく，触媒が担体細孔内部に良好に担持されており，大きな気孔の閉塞を生じていないことが推測された。

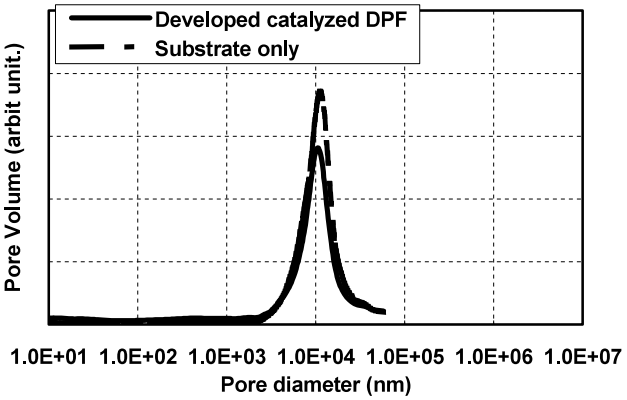


Fig.12　Pore Radius Distribution of Developed Catalyzed DPF

Fig.13に，触媒担持型DPF内部の触媒担持状態を解析するために，触媒担持型DPFの壁断面のEPMA分析結果を示す。分析を実施した元素Eおよび元素Fは，偏析や担持されていない箇所等はなく，壁の気孔内に均一に分散しているとともに，気孔の閉塞は見られなかった。以上のことから，触媒の担持状態は良好であることを確認した。

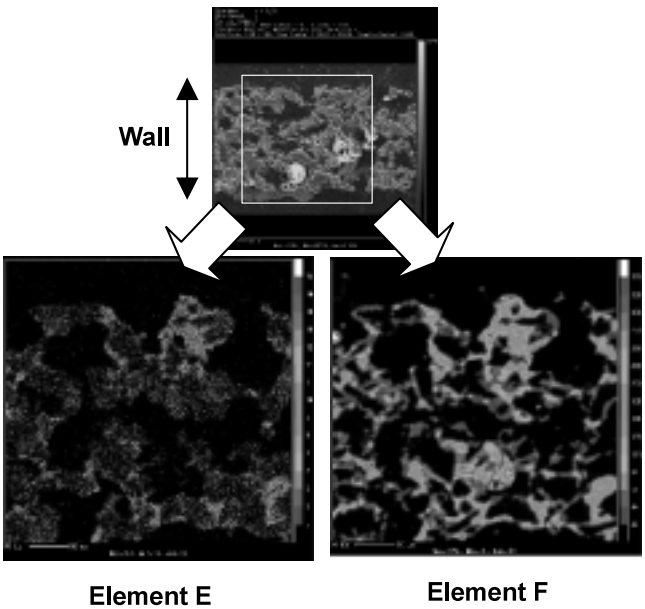


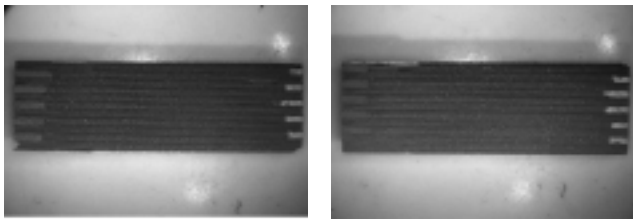
Fig.13　EPMA Results of Catalyzed DPF Cross Section

4.4　担体耐久性

今回採用したSiC製DPF担体は，SiCと金属Siの複合体からなり，SiC結晶はSiにより結合されている。このDPFは，少ないO_2濃度のガス雰囲気では，SiCおよびSiが酸化され，

SiOガスが生成し，これが酸化され，ファイバー状のSiO_2が形成される。この現象が開始する温度は，触媒担持されている場合は，されていない場合に比較し，約100℃低下すると報告されている[3]。

そこで，カーボン堆積量，酸素濃度および温度を変化させた時の担体の状態変化について検討した。評価は，開発した触媒担持型DPFに10g/Lのカーボンを堆積させたサンプルをガス流通床内に設置し，温度と酸素濃度を変化させて行った。Fig.14に触媒担持型DPF壁断面の試験前後の外観を示す。その結果，実使用を想定した条件において，担体の反応による変化等は起きていないことが確認できた。



(a)Fresh　(b)After evaluation

Fig.14　Photographs of Catalyzed DPF Cross Section

4.5　実機でのPM燃焼評価結果

前述した仕様で検討した触媒担持型SiC製DPF担体の実車耐久前後の実機でのPM燃焼性能の評価を行った[2]。その結果を，Fig.15に示す。80,000km耐久後においても90%以上のPMを低減しており，触媒および担体に問題ないことが確認できた。

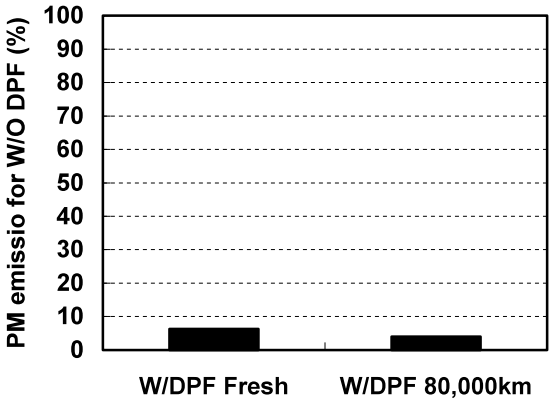


Fig.15　Exhaust PM Emission After Durability Test

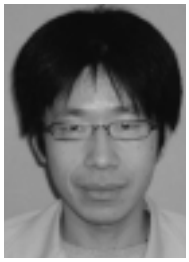
5．まとめ

小型商用車に搭載可能なコンパクトサイズで，自動車NOx・PM法に適合する触媒担持型SiC製DPFの実用化を目的に，DPF担体仕様および触媒仕様を検討した。その結果，低い背圧と優れたPM燃焼性能および高い耐久性を有する触媒担持型DPFを開発することができた。

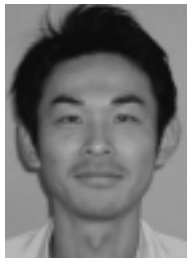
参考文献

(1)　岩本正和監修：環境触媒ハンドブック，東京，エヌ・ティー・エス，p.495（2001）
(2)　松江浩太ほか：新型ボンゴ用触媒担持型DPFシステムの開発，自動車技術会，学術講演会前刷集No.22-04 20045107，p.13-16（2004）
(3)　S. Ichikawa, et al. : Durability Study on Si-SiC Material for DPF(2), SAE paper, 2004-01-0951（2004）

■著　者■



藤田弘輝



原田浩一郎

對尾良則

高見明秀

論文・解説

35

手戻りのない新技術開発プロセスの構築
Development of Welding Technology Engineering Process without Re-working

橋本　晃*1　奥村信弥*2　山本真司*3
Akira Hashimoto　Shinya Okumura　Shinji Yamamoto

要　約

高機能で信頼性の高い商品を低コストで生産できる技術を，スピーディにロスなく量産化できる開発プロセスを構築することは，競争力のある強い企業を造る上で重要な課題である。

これまで，QE（Quality Engineering：品質工学手法）および様々なSQC（Statistical Quality Control：統計的品質管理手法）を柱とした開発活動により，開発期間短縮等，大きな成果を上げてきた。しかし，量産直前で予期せぬ変動要因の影響を受け，設計変更や設備仕様変更等の手戻りを発生させたものがあることも事実であり，更なるプロセス革新への取り組みが必要である。

今回，オートマチックトランスミッション部品の新接合技術開発において，技術開発段階でこれら変動要因を全て予測し，確実に事前評価できるプロセスへと変革するために，従来の技術開発プロセスの問題点を分析，製品の機能設計から量産運営まで，ものづくり全体を対象としたシステム設計を行った。その商品に要求される本質（機能）の徹底追究と，実験方法の工夫により，システム全体の変動要因に対しロバストな量産条件（良品条件）を抽出し，これら条件の妥当性を検証した。そして，量産最悪状態を想定したトライアル生産により，最終決定した良品条件が正しいことを確認し，手戻りなく量産化を達成することができた。現在まで，全品質特性を満足している。

Summary

An important issue in realizing a competitive manufacturing company is to develop an engineering process to enable production technology for promptly and efficiently producing products with high performance and high reliability at low cost.

Currently, unpredictable variable factors, cause much re-work in product design or machine specifications just before a launch, despite use of Quality Engineering（Taguchi Method）and various SQC methods. We therefore analyzed the flaws of conventional engineering processes and designed a total production system from product function engineering to production operation, to develop a robust process which predicts the variable factors and also verified the quality for automatic transmission parts.

Essential Quality（Function）of products was deeply pursued through this analysis, and Quality Conditions were determined and verified by an ingenious experimental method. A tryout using the worst production equivalent conditions confirmed that the final Quality Conditions are accurate. This technology has been successfully applied without any defect in all quality items until now.

＊1～3　パワートレイン技術部
Powertrain Production Engineering Dept.

1．はじめに

競争力ある商品を低コストで早く開発するためには，設計段階／生産準備段階で起こる不具合要因を予測し，量産段階で設計変更等の手戻りを起こさない技術開発が必要である。マツダは，不具合要因に対する機能のロバスト性を評価する品質工学を，開発の体質強化の柱として位置付けており，その中で，エンジン，トランスミッション等のパワートレイン領域では，年間30テーマに取り組み，継続的利益への貢献に大きく寄与している。

しかしながら，品質工学を用いたにもかかわらず，量産直前に，予期せぬ変動要因の影響を受け，製品図面，設備仕様を変更するという手戻りを発生させたものがあることも事実である。

今後，更なる体質強化を図り，企業の競争力向上を達成するためには，手戻りゼロの技術開発プロセスの構築が必須であり，品質工学をこれまでのように，限られた領域の課題解決に活用するのではなく，製品設計ー生産設計ー量産という，物づくりのライフサイクルを通じ，そのロバストネスを高め，技術開発プロセスのQCD（Quality Cost Delivery）を大幅に向上させる必要がある。

今回，5速オートマチックトランスミッション（以下AT）部品：ダイレクトクラッチドラムを対象とした新型抵抗溶接技術開発において，品質工学を核とした，新技術開発プロセスを実践し，手戻りなく量産化を達成した。

本稿では，その方法と新しい技術開発プロセスのあり方について述べる。

2．従来プロセスの問題点

従来も品質工学を用いて，革新的な技術開発プロセス展開を行ってきた。

以前取り組んだ新ろう付け工法の技術開発[1]も，非常に短期間で強度向上とばらつきを低減し，世界ではじめて量産化を達成した。しかしながらFig.1に示すように，品質工学を製品設計段階：限られた領域でのみ適用したため，部分的な最適条件となった。そのため，後段階になり設備系要因等の影響を受け，強度がばらつき，量産直前には図面変更および設備改造を行うという手戻りを発生させた。

3．技術開発プロセスのあるべき姿

手戻りをなくすためには，製品設計段階から量産まで，物づくり全体を対象としたシステムの変動要因を全て予測し，確実に事前評価できるプロセスへと変革する必要がある。品質工学をこれまでのように戦術的に活用するのではなく，戦略的に活用し，システム全体のロバストネスを向上させなければならない。具体的には，最初からシステム内の全ての変動要因を考慮に入れた上で，製品形状の決定，設備／治具仕様の決定，実機検証，量産という各技術開発ステップで品質工学による最適化を試み，ロバスト条件を，図面，設備仕様，工程図（管理項目）にタイミング良く織込んで行く取り組みが必要である。この技術開発プロセス（あるべき姿）をFig.2に示す。

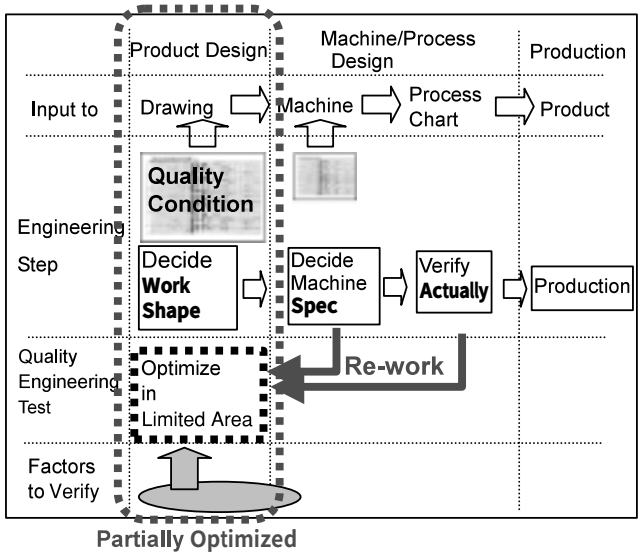


Fig.1　Conventional Engineering Process

4．課題と変革ポイント

プロセスのあるべき姿を達成するためには，下記課題を解決する必要があり，解決のための変革点を以下に記す。

課題１　生産システム全体を見通した，設備／量産変動要因の洗出し

・単独部門の要因の洗出しから，開発部門，量産準備部門，製造部門の全関係者による，システム全体を見通した変

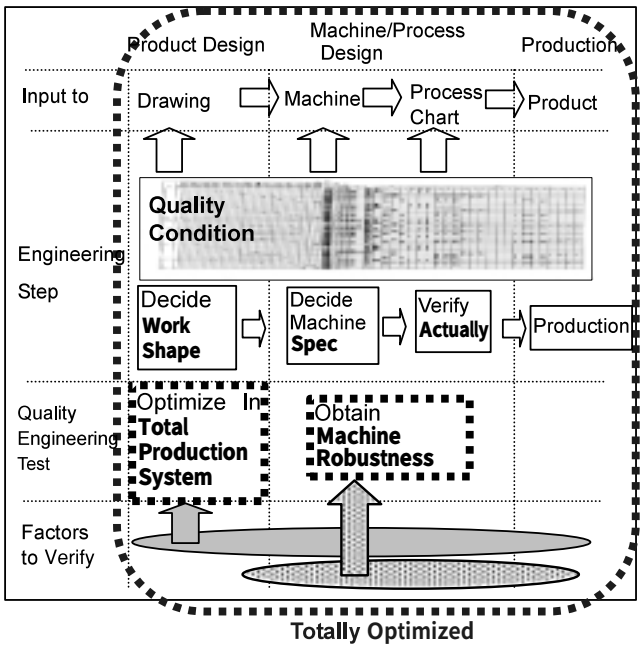


Fig.2　Ideal Engineering Process

動要因の洗出しへの変革

課題２　技術開発ツールの構築

・全品質特性と影響要因の関係を明確にすることができ，品質工学実験結果を素早くフィードバックして，決めるべきことがそのタイミングで決められているのかを，逐次見直し可能なツールを用いた技術開発への変革

課題３　品質工学による製品／設備／量産（生産システム全体）の最適化の追究

・強度だけといった単機能評価から，強度／精度／硬さ等，多機能評価への変革

・早い段階で現実の技術レベルの限界を知り（失敗し），次回実験に生かしながらロバスト性を向上させていく実験プロセスへの変革

・生産システム全体の設計・変動要因を，始めから織込んだ実験への変革

・不具合現象の対策から，制御因子でのチューニングによる対策への変革

5．課題解決の具体的取り組み

課題１　生産システム全体の要因の洗出し

これまでの単独部門だけの技術開発では，限られた要因での評価となり，品質工学実験で得られた最適条件を図面に織込んでも，後で設備変動要因，量産変動要因が明らかになってくると，その影響を回避するため，その都度，最適条件を変更していた。このような悪循環を断ち切るためには，始めから生産システム全体を見通した要因の洗出しが不可欠である。

そこで，開発部門，量産準備部門，製造部門と一体となったコンカレント体制により，開発初期段階から量産を想定した変動要因の洗出しを行った。これにより，電極の劣化，治具磨耗等の多くの設備／量産変動要因を誤差因子として始めから実験に織込むことができ，全ての変動要因に対しロバストな製品形状,設備仕様を最初から決定できた。また，量産管理項目，点検項目が明確となり，システム全体のロバストネスを向上させることができた。

課題２　技術開発ツールの構築

上記コンカレント活動を円滑に推進するためには，技術開発の進捗，残課題等を共有する必要がある。また，手戻りを発生させないために，品質工学実験の是非，および技術開発プロセスの確からしさを常に確認でき，万一手戻りが発生した場合でも，どこが悪かったのかのを見直せるしくみが必要である。

これら課題を解決するために，技術開発ツールとして良品条件表を作成した（Fig.3）。

良品条件表は，網羅した製品／設備／量産の全要因と，全品質特性の関連を明確にして，FMEAによりその影響度を順序付けている。このため，優先順位をつけた事前検証テストが可能となり，効率的に制御因子，誤差因子を決定することができる。また，抽出した最適条件および量産管理基準等を良品条件（歯止め）として，図面，設備仕様，

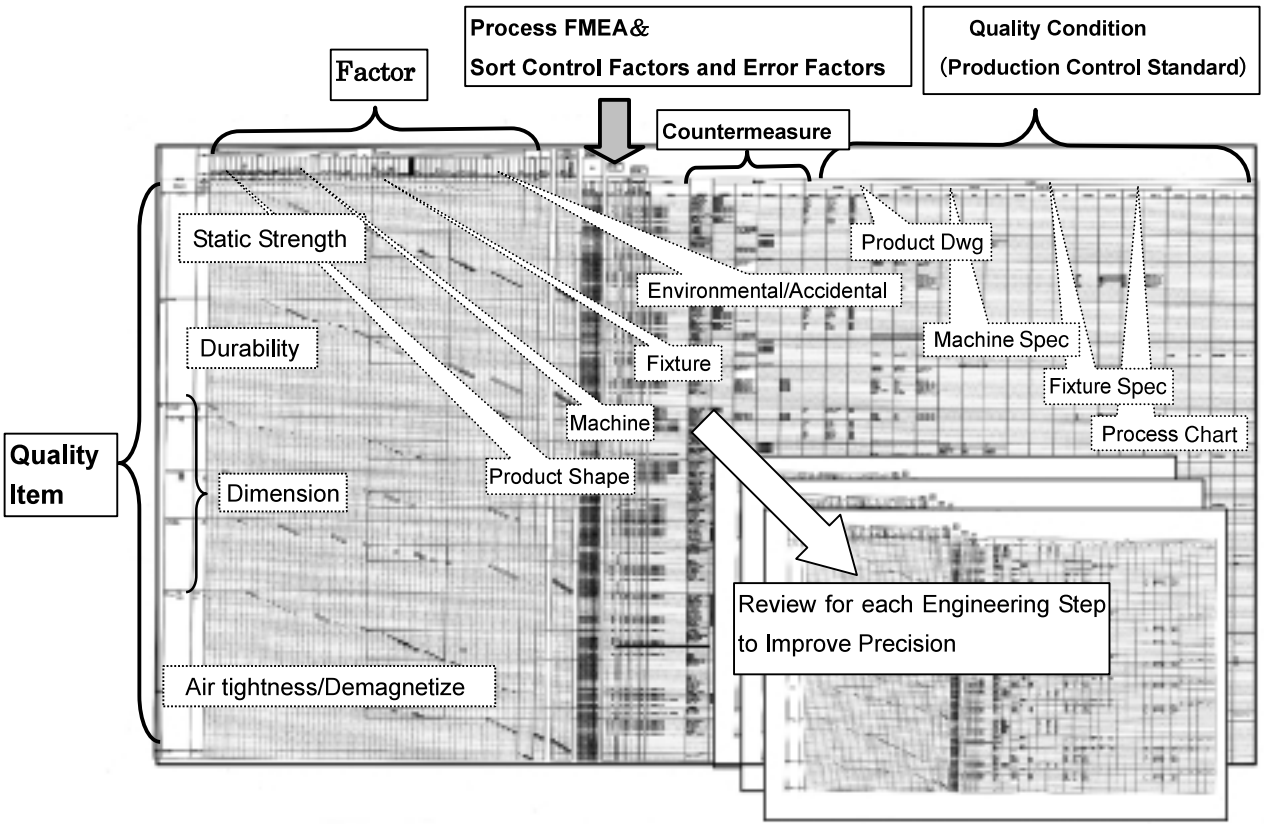


Fig.3　Quality Condition Chart

工程図等に反映できるため，技術開発ステップにおいて，決めるべきことが決められているかを明確にできる。

課題３　品質工学による製品／設備／量産（生産システム全体）の最適化の追究

製品をお客様に安心してご利用頂くためには，それを産み出す，生産システム全体のロバストネスを追究しなければならない。

以下に，全変動要因を織込み，それらに対するロバスト性を評価した品質工学の取り組みを記す。

(1)　新型抵抗溶接工法概要

従来，AT，CVTのクラッチドラムやキャリアに代表されるプレス品と軸物の接合には，電子ビーム溶接（Electron Beam Welding ；以下EBW）による接合が主流であったが，近年，コンデンサの大容量化に伴い，電気抵抗発熱を利用した，通電拡散接合工法が注目されてきた[2]。

本工法は，EBW工法に見るような，脱脂洗浄，乾燥，圧入，スパッタ除去の付随工程を削減できるだけでなく（Fig.4），接合に要するサイクルタイムを飛躍的に短縮でき，大幅なコスト削減，生産性向上を達成できる。

今回，5速AT部品であるダイレクトクラッチドラム（Fig.5）をターゲットに技術開発を行った。

(2)　基本機能の設定

基本機能とは，製品の持っている基本的な働きであり，品質工学ではこの働きの安定性を評価する。しかし，製品のあるべき姿を誰の立場で考えるかによって，基本機能は大きく異なってくる。

新ろう付け工法開発では，開発者が，破断までの過程の安定化が重要と考え，荷重と変位の0点比例式を基本機能とし，高い再現性を得た。しかし，これは強度のみを重視した基本機能であり，精度ばらつきという不具合を発生させた。

今回対象としたAT部品のあるべき姿を，お客様の立場で考えると，燃費が良く，スムースに回転しながら確実に動力を伝え，決して壊れないものである。つまり，軽量／コンパクト，高強度／高精度でなければならない。

これら特性を全て満足する理想の姿は，機械加工で精度良く加工した一体型であり，接合したものがこの一体型の特性を再現すれば，理想の接合体だと考えられる。

よって，一体型の破断までの母材特性（荷重と変位）を目標値とした品質工学実験を行った。

剛性の弱い側の材質で一体型を製作し，抜き荷重と変位曲線を求め，この曲線を標準条件として解析した。

(3)　実験上の工夫

新技術の開発は量産設備がない状態で，しかも新技術ゆえに不測の要因もあり，始めから最適な条件を抽出することはできない。その中で手戻りをなくすためには，できるだけ早い段階で現実の技術レベルの限界を知り（失敗し），次回実験に生かしながらロバスト性を向上させていく実験プロセスが必要である。以下に留意し実験を行った。

- 予備実験段階で，基本機能の妥当性がない場合や，影響要因が選定できない，また確認テストで再現性が得られない等，実験がうまく行かない場合，基本機能に立ち返り，即再実験を実施しなければならない。それには，入手性のよい市販材をテストピースとするのが望ましい。よって市販材を用いても所望の基本機能，および要因効果を十分評価できるように，テストピース形状のみならず，接合電極構造，強度テスト治具等，総合的に設計した。
- 多数の要因から影響要因を見つけるために，要因を多く割り付けられるL12直交表を用い，効率的に要因効果の大きいものを抽出した。
- 誤差因子は，良品条件表から，設備系，量産変動系，使用状況系を選定し（Table 1），例えば，電流密度の不均一性はテストピースに溝を設ける等の工夫を織込んだ。テストピース形状をFig.6に示す。

(4)　確認テスト結果

制御因子は，予備実験で得られた，材料系，形状系，設備系要因を設定し，要因効果が明確に現れるように水準を大きく振らしてL18実験を実施した。

最適条件により，確認実験を行った結果，推定値15.72dbに比べ，22.24dbと推定値を上回る利得が得られた。また，最適条件の一次係数β1，二次係数β2を計算し[3]，合せ込みの検討を行った。水準変更により，β1，β2をチューニングできる制御因子がわかり，このことにより，万が一不具合が発生しても，どの制御因子を調整して目標値に合せればよいかが明確になった。

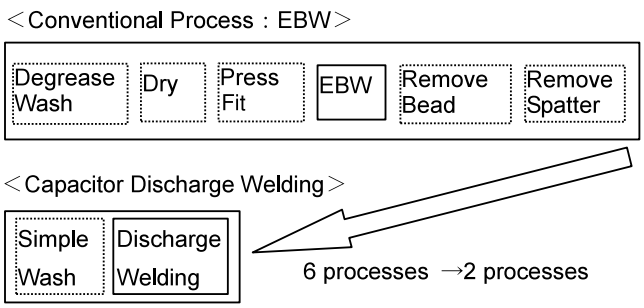


Fig.4　Process Comparison

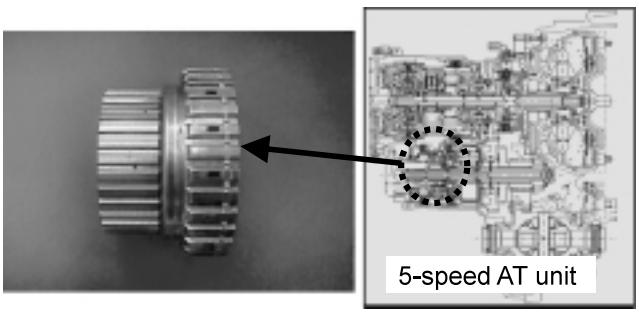


Fig.5　Target Part:：Direct Clutch Drum

Table 1　Error Factor

Factor	N1	N2
①Electrode support gap/Rigidity	Short	Long
②Inconsistent electric current	No notch	Notch
③Deterioration（Press after welding）	No press	Press
④Electrode material conductivity	Low	High

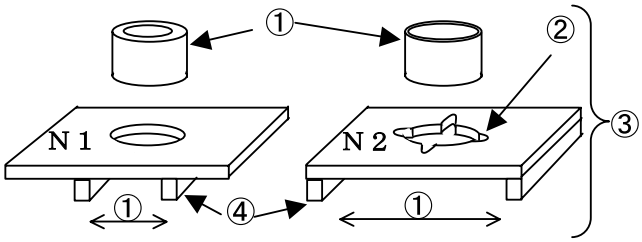


Fig.6　Error Factors and TP Shape（Cylinder/Plate）

(5)　実ワークでの検証

今回得られた最適条件を実ワークへ適用し，品質特性の一つであるねじり強度を測定した結果，初期条件と比較し，ばらつきの低減，強度ともに向上していることがわかった（Fig.7）。同様に他の品質特性についても調査した結果，規格を満足し，最適条件の有効性を確認した。

以上により，システム全体の変動要因に対し，ロバストな形状を図面に織込むことができ，また安定品質を継続生産できる設備の仕様を決定することができた。

(6)　設備のロバスト性確認

決定した仕様を満足する設備を構築し，そのロバスト性を確認するため，量産での変動要因（環境系，寿命系，突発系）を振らした，設備の機能性評価実験を実施した。

誤差因子として，電極の劣化，ワーク錆び，ワーク温度，オイル洗浄液付着，切粉噛み込み，打痕を設定（N2条件）し，設備の基本機能である電圧－電流特性を検証した。その結果をFig.8に示す。多くの誤差を与えたにもかかわらず，N1，N2に差がなく，これら変動要因に対しロバストであることを確認した。

6．実操業での確認（1万ショットトライ）

今回行った新技術開発プロセスの妥当性を確認するために，実操業の最も厳しい状態（フル残業，工場オペレータ，ワーク寸法変動，錆び，洗浄液最悪状態等）で1万ショットトライを実施した。

その結果，量産までに品質系（強度，精度等），および設備系（電圧，電流，圧力，設備温度等）の全ての管理特性が安定していることを確認し，プロセスの妥当性を検証でき，良品条件表への織込み率100%を達成することができた。量産開始から現在まで全品質特性を満足している。

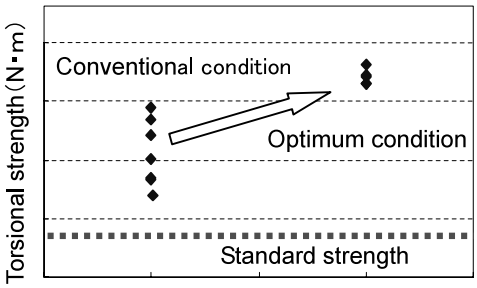


Fig.7　Torsional Strength of Actual Workpiece

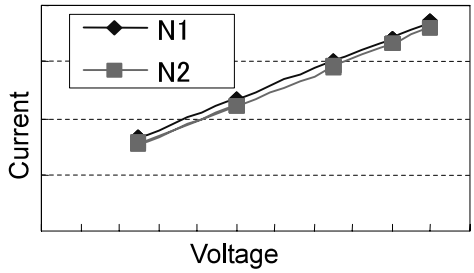


Fig.8　Relation between Voltage and Current

7．まとめ

- コンカレント活動の中で，品質工学を核とした，技術開発プロセスを実践し，手戻りなく量産を継続中である。
- 実験で得られた条件を，技術開発ステップ毎に織込むことにより，量産変動要因に対し，ロバストな製品形状の決定と量産設備を構築することができた。
- 1万ショットトライで本技術開発プロセスの妥当性が検証でき，手戻りのない新技術開発プロセスとして他部品へ展開中である。
- 従来比80%のコスト低減，および技術開発期間半減を達成することができた。

参考文献

(1)　橋本　晃：分割型ギヤのろう付け条件の最適化，品質工学，Vol.5，No.3，p.47（1997）

(2)　岡田吉弘：オートマチックトランスミッション部品用大型リングプロジェクション溶接装置，Origin Technical Jouranal，No.62，p.53（1996）

(3)　田口玄一：機能設計（合せ込み，チューニング）の方法，品質工学，Vol.9，No.3，p.10（2001）

■著　者■

奥村信弥

山本真司

論文・解説

36

次世代ナレッジデータベースの開発
Development of Next Generation Knowledge Database

岡　田　厚　信　　角　　光　真
Atsunobu Okada　　Mitsumasa Kado

要　約

近年，文書作成や表作成などを始めとした多種の電子ツールが出そろい，電子メールやワークフローなども普及した。しかし，便利さを覚えるのは情報の作成・送受・保管の手軽さであり，情報を検索する作業においては紙文化時代と同様の煩わしさを覚える場合が多い。また，共有サーバ内やネット上の有益な資料や情報を職場の資産や教育として活用できる便利な電子ツールは未だなく，私たちは電子時代から供与されるべき多くの恩恵や更なる発展の可能性を十分に活かしきれていない。

本稿は,新しい概念の電子ファイル管理ツールと日常業務で有益な緒情報を手軽に登録管理活用できる機能を,データベースとブラウザを用いたWebアプリケーションとして開発し，開発実業務の中で運用を開始したので紹介する。

Summary

With document/table processing tools, various types of electronic tools have been developed. In recent years, use of e-mails and workflows has become widely spread. Convenience is, however, found only in information creation, transmission, reception or storage, and inconvenience in information search remains as it was in the paper age. Moreover, no convenient electronic tools have been established yet to organize materials in shared servers and useful information on the net to be utilized as shared resources or training materials. What this means is that we have not been making use of many benefits to be given from the electronic age or possibility for further development.

In view of the above points, we have developed, as a web application using database and browser technology, a new concept-based electronic file management tool and functions which allow easy registration, management and utilization of useful information in routine work. We have already started using those in our development work. This paper introduces the details.

1．はじめに

一般の人がパソコンの中に電子ファイルを保管し始めて四半世紀を迎えようとしている。しかし保管した電子ファイルを探し出す行為の主体は紙ファイル時代と同様に人間側であることに変わりはない。記憶や人からの情報を頼りにパソコンの中を探しまわっているのである。

本来，電子時代の「検索」という行為は人が行うものではなく，人のニーズに基づいてパソコン側が能動的に検索し表示すべきものである。なぜなら，コンピュータとは受動的な情報処理機器ではなく，人の様々なニーズに能動的に呼応する「担い手」であるべきだからである。そしてこの理念に立った情報管理ツールを手にした時，人は初めて電子時代の恩恵を享受できる入り口に立つと考える。

今回，電子ファイルを扱う次世代情報管理ツールを開発するに当たり，私達は長年ツールとして親しまれている辞

典と昨今の電子メールに目をやり，次のように言い表してその特長と問題を探った。

『引き出しの国語辞典は気軽に利用するが，棚の広辞苑はめったに見ない。しかし，電子手帳に入った広辞苑は子供でも頻繁に利用している。一方で，同じ電子形態情報でもメール添付資料は探し出すのに苦労する…なぜ?』

この素朴な疑問をもとに，前述の「担い手」としてのツールが具備すべき特徴を次のような言葉に置き換えた。

① 手元にあり，すぐに使える
② 人の自然な思考に沿った操作で早く情報が得られる
③ 情報の網羅性がある
④ 情報の信頼性が高く，かつ詳しい

そして，この特徴を開発理念として，新しい情報管理ツールには日常業務の分析結果から次の機能を組み込んだ。

① 電子ファイル管理ツール機能
② フリーフォルダ機能
③ スケジュール管理機能
④ 技術資料管理ツール機能
⑤ データベースの登録・変更機能

また，「手元にありすぐに使える」を実現するため，社内イントラネット上で動くWebアプリケーションの形をとり，Oracle Databaseを用いて構成した（Fig.1）。

次項から本ツールの具体的な説明を行う。

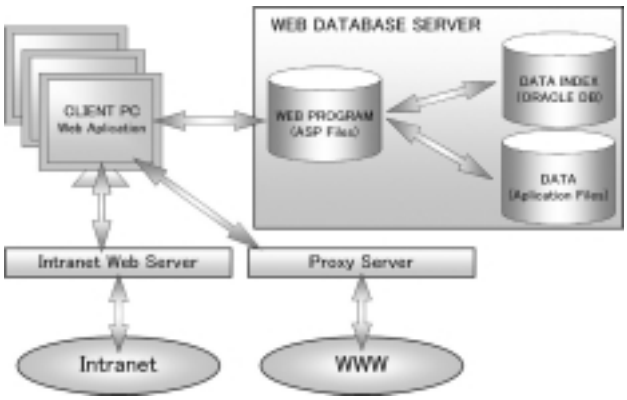


Fig.1　System Block Diagram

2．新しい電子ファイル管理ツール

2.1　現在の管理概念と問題

近年，各職場にサーバを設置して電子資料を職場の共有資産として保管する活動が行われてきたが，大量に保管される資料の前にサーバの中で眠る資料が急増し，その目的が果たせなくなっている。

保管した電子資料が有効に活用できない問題の主因は，一義的には検索機能の低さにあるが，その根底には紙ファイルの保管方式である「ファイル背表紙による保管場所の区分け」という，『場所』の概念を電子資料の保管に継承したことにある。その顕著な例はフォルダと呼ばれる保管場所をツリー階層構造で管理している方式などに見られる。

その結果この継承が逆に制約となり，パソコンの中に保管した資料を検索する際，フォルダ名やファイル名を人が記憶していることが前提条件となった。

つまり，保管が「主」で検索が「従」のため，検索に前提条件が付随したのである。しかし，人の記憶は時間が経るにつれて曖昧になり，やがては資料を作成した事柄に関する用語の断片や時期，季節などしか出てこなくなる。しかもやっかいなことに，時が経った時点での検索になるほど，探し出したいファイル数は一つの場合よりも関連する全て資料の場合が多い傾向にある。

このような場合，正確な記憶を手がかりに検索するシステムでは極めて効率が悪く，存在すら知らない他人が保管した資料ともなると探し出すのは困難である。

2.2　電子ファイル管理の新しい概念

電子ファイルは実在しない。実在しない資料の保管には，場所も区分けの概念も必要とせず，当然，保管要件に検索機能が制約される必要もない。閲覧したい資料が自動検索される機能を最優先にしたシステムを構築すればよく，保管はこの自動検索を実現する緒情報を事前入力できる機能だけでよい。

つまり，検索が「主」であり保管が「従」である。この主従関係が電子ファイル管理の本来の姿であり，紙ファイルのそれとは逆転させた点が本ツールの新しい管理概念である。

2.3　データベースの活用

私達はこの管理概念を実現するため，電子資料保管から階層や区分けの概念を廃止し，各ファイルを無区分で同格に配置したデータベースを構築した（Fig.2）。

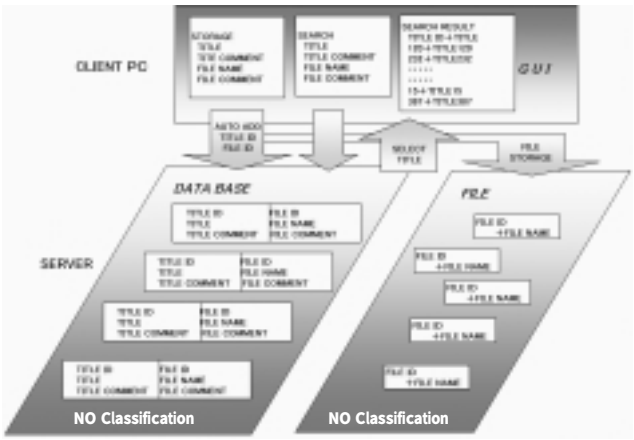


Fig.2　File Management Database Outline

無階層・無区分の構造はプログラムの中で複雑なパスを必要とせず，様々な属性も容易に付加できるため，検索を「主」とする概念を実現する上で自由度が増す。また同時に，電子資料が本来保有する優れた特質を最大限に活用できる。

例えば，人の曖昧な記憶を補完する断片用語検索を始め，付加した属性による様々な切り口での検索機能を実現した。

また，違和感のない操作や閲覧を実現するため，複雑な条件を付けた並び替えや抽出機能，および複数のデータを結合した分かりやすい表示なども可能となった。

データベースの活用と新しい管理概念は，「担い手」としてのツールを実現する上で重要な要素となった。

2.4　表示の構成と検索対象

⑴　事柄を短文で記したタイトル文の表示

検索結果として最初に表示するのは保管している資料（電子ファイル）ではなく，保管時に自由に登録するタイトル文とした。タイトルには業務内容などを短文で記述する。関係用語の羅列でも良い。これは人の記憶は正確なファイル名ではなく業務に関する用語で行われていることへの配慮である。また，関連するファイルの検索ごとに同じ操作を繰り返す煩わしさをなくすために，一つのタイトル文に対して複数の資料を同格に連結するデータ構造とした。選択したタイトル文をクリックすると関連する全ての資料を一度に表示する。なお，最初に表示されるタイトル文の数は指定した検索条件によって変わる。

このタイトル文中の文字列と各資料名が2.3項の断片用語検索の対象の一つとなっている。

⑵　説明文の付加機能

タイトル文と各資料には説明文の付加機能を設けた。

一般にどの資料にも留意事項があり保管目的もある。それらを説明文にして付加することで，資料は一保管者の単なる記録物の域を脱し職場の資産となり得る。例えば，新人育成の場において資料の要点を独学で容易に把握でき，他人が保管した資料もその背景や経緯を理解できるようになる。業務の伝達や引継ぎ時にも役立つ。

この説明文の中の文字列も前述の断片用語検索の対象としているため，他人が保管した資料も検索される（Fig.3）。

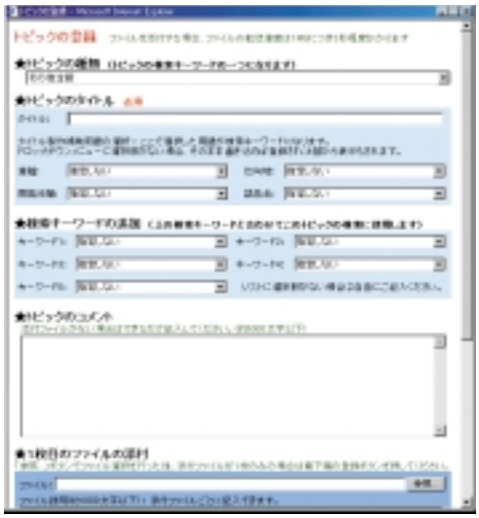


Fig.3　Registration Screen with Explanatory Text Entry Box

2.5　検索機能における新しい管理概念の効果

新しい概念で作成した電子ファイル管理ツールの検索機能の効果を把握するため，弊社で稼動している開発資料管理ツールと比較した。

その結果，断片用語検索機能を使用した場合，本ツールは操作を始めてほぼ10秒以内で所望した全資料を一括で探し出した。一方で開発資料管理ツールは一資料ずつ検索手続きを入力する設計のため，一資料当たりの検索だけで約45秒程度の時間を要した。

また，現在広く普及している既存のツリー階層フォルダ構造方式と比較すると，保管場所とファイル名は知らないが存在が判明している他人が保管した資料の検索比較では，本ツールは10秒以内で探し出したが，ツリー階層フォルダ構造では5分経過しても探し出せない場合があった。

存在を知らない資料の場合では，本ツールでは所望する検索条件に合致した資料を含むタイトル文が10秒以内に全て表示された。既存のツリー階層フォルダ構造方式では，キーワード検索機能を用いて2個以上の検索条件で探すと何も検索されず，1個の検索条件では大量に検索されて実用的ではなかった。

検索時間の早さ以外にも，本ツールでは所望の業務に関する資料を一度の操作で全て得られるの対し，既存のツールは各資料ごとに同じ検索操作を繰り返す必要があり，ユーザストレスの度合いにも差が出た。

この結果からも，「人の自然な思考に沿った操作で早く情報が得られる」という特徴を持った検索が完成した。

3．人の自然な思考に沿った操作と表示

3.1　担い手としてのツール

本ツール開発の中で最も時間を割き注力した点が，人の自然な思考に能動的に呼応するシステムの実現である。

私達は「能動的な呼応」を操作回数に帰着させ，全ての機能において1クリック操作で結果が表示されるツールの構築を目指した。

例えば，Web上でユーザが入力した情報を読み込み，あらかじめ定められた条件に沿ってOracleを動かし，結果を同一ページ上に表示する場合，プログラム的には「入力情報の確定・実行・画面更新」の3つのプロセスを経る。多くのツールでは各プロセスに実行ボタンを設けてプログラムを単純化するが，操作回数が多いだけ時間も掛かる上，特に繰り返し操作はユーザに与える心理的なストレスは多い。

本ツールではこの場合，プログラムを構成するファイル間の変数送受を中心にして，一連のプロセスを一つのボタンで実行させた。特に上述のファイル検索機能ではボタン操作も必要なく，テキストボックスに入力した用語を確定させるだけでよい。その結果，ユーザは「あの資料が見たい」と思う気持ちから浮かぶ用語の断片を一回入力するだけで，Web上に所望の情報が全て表示される。

もちろん，検索条件として入力する情報と表示して欲しい情報の決定が最も重要であるが，現場が開発するツールの強みがその決定に際して発揮された。

GUI的にも新しい画面を次々と不必要に発生させず，ユーザが情報を閲覧した後で不要となった画面を消す煩わしさにも配慮した。また，マウス操作とキーボード操作の混在を極力避け，同一操作の流れでプロセスが進むシステムを実現した。

ツール側がユーザに煩わしい操作を何度も要求するのではなく，ユーザの要望だけを短く受け取って能動的にユーザの感性に合う形で応える。プログラムは複雑になるが，この工夫と理念を全ての機能に入れることで使いやすさを生み出し，「担い手」としてのツールを実現した。

3.2　工夫した主な配慮機能の説明

(1)　並び替え機能による資料集化

関連する全資料を無造作に一度に表示すると，資料の並び順によって読みづらさが生じた。これは各資料に説明文を付加できる本ツールの特徴からくるものであり，説明文を読む順番は書籍と同様に非常に重要な要素であることが分かった。そこで，資料を並べ替える機能を設けて序論－本論－結論などに該当する順にすると，それまで無機質な個々の存在にしか過ぎなかった各資料が，一つのタイトル文をもとにまとまった資料集として機能を始めた。

資料をWeb上で自由に並び替えできるツールはほとんどなく，データベースの活用によって初めて実現できたこの機能は本ツールが持つ大きな特徴である（Fig.4-a)。

(a)　(b)

Fig.4　Two Type of Sorting Screen

(2)　「一時保存」と「最新版」の表示機能

実際の開発現場で使用するツールには開発者の実状に合った細かい配慮が求められる。その一つが一時保存機能である。煩雑な日常の業務においては保管途中で作業を中断せざるを得ない場合があり，そのような状況に対応した。

また，ユーザからの要望で保管資料に「最新版」のマークを付ける機能を設けた。車の開発では試作段階から量産段階に至るまでに，同一部品を幾度に渡って改造する。従って，部品仕様書には時系列的な管理と表示が必要となる。

このように，資料の属性を特定の条件下で自在に変えられる機能の実現もデータベースを用いた管理の利点である（Fig.5)。

(3)　画像の直接表示機能

技術資料には測定波形や写真などの画像データも多いため，保管資料の拡張子を自動判別して画像資料はサムネイル表示させた。サムネイル画像をクリックすると拡大する。

本ツールでは上述した説明文付加機能があるため，画像に関する詳細な説明を付加して保管することができる。また，前述の並び替え機能を用いて会議資料や教育資料としての作りこみができ，画像資料をそのまま分かりやすいプレゼンテーション資料として活用できる（Fig.5)。

Fig.5　Screenshot Showing Temporal Storage, Latest Version and Thumbnail Image

(4)　画像と説明文の一覧表作成機能

本ツールのユーザの要望から，上述のサムネイル画像と説明文を，エクセルファイル上に一覧表として自動創出する機能を設けた。保管画像資料をまとめてメール添付資料として送信するためである。この一括一覧表作成機能により画像資料の活用の場が広がるとともに表の作成効率が高まった（Fig.6)。

Fig.6　List Automatically Generated from the Browser to Excel

(5)　保管後の自在な追加，修正，削除機能

短期開発を目指した車の量産開発で扱う情報は時々刻々と変化しており，保管した情報も変化に対応できる必要がある。従って保管したタイトル文およびそれに連結する全資料および説明文は，全てに渡って自在に追加，修正，削除できる。

特に実用上からは説明文をリアルタイムに更新することで，本ツールの情報発信機能面において効果を発揮している。

(6)　保管した情報の保護機能とタイトルの共有化機能

上述した追加，修正，削除の権限は情報保護の観点から保管者本人だけに限定している。しかし，情報によっては一つのタイトルを複数の人と共有したい場合がある。例えばある突発事態が発生し，複数部門の関係者同士が各々の担当領域の資料をリアルタイムで展開したい場合である。このような実際に生きた現場で活用できる機能を備えている点も本ツールの特徴である。

具体的には「共有」と名づけたタグに保管者がタイトル文のみを移動することで，閲覧者もそのタイトルに関連するファイルの追加と各コメント文へのアクセスが自動的に可能となる。また，共有する必要が消滅した場合，保管者によってもとの権限範囲に戻せる機能も備えた。この機能は新車立ち上がり時など，短時間に複数の部門が協力して一命題に取り組むときなどに利便性を発揮している。

4．フリーフォルダ機能

3章で紹介したファイル管理ツールで保管する資料は情報保護の観点から閲覧のみを許可している。従って保管したファイルはブラウザの中で開き上書きはできない。しかし，一つのファイルを部門を越えて複数の人と共有して自由に変更したい場合がある。このようなニーズに対応した機能をフリーフォルダと称して本ツールに組み込んだ。

例えば部品の開発状況は日々刻々と変化するため，担当者も管理者も進捗管理ファイルには日々の進捗状況や指示，承認結果を自在に書き込めることが重要となる。関連部門も気づいた留意点等を自由に書き込める要件が必要となる。

そのような場合このフリーフォルダにファイルを保管することで，誰もがアクセス権が与えられたアプリケーションの中でファイルを開き書き込みや変更が可能となる。

3章の閲覧専用の管理ツールとこのフリーフォルダ機能とを合わせて，電子ファイルの管理と利用に関する新しいツールとして運用を開始している。

5．スケジュール管理機能

日常業務において日程管理ツールは必需品である。しかし身の回りにはメモ感覚で記入や削除ができる感性に合ったものがないため，本ツールにデータベースを用いた日程管理機能を組み入れた。

特長は開発現場の担当者が自在に利用できる点であり，使いやすさを最優先にして表示と操作性を高めた。

また，本ツールはメカトロ領域の開発ツールとして，メカ系部門とエレキ系部門との情報共有ツールの役目を担って開発したものであるが，このメモ機能でWeb上に複数の部門の人が活動日程を公開できることから，公開イベント予定を見て他の部門が教育目的で新人を参加させる計画を立てられるなど，今までできなかった情報交換の場や教育の情報を提供するツールともなった。

更に，本日程管理機能はデータベースと連係して管理しているので，今後はデータの統計的処理を行うことにより開発過程の分析にも応用できる要素を含んでいる（Fig.7）。

Fig.7　Shared Note Tool Screen and Pop-up Entry Screen

6．技術資料管理ツール

日常業務の中で閲覧頻度の高い技術標準や新人の教育に役立つ技術情報にリンクを張り，手元で効率よく閲覧できる機能を組み込んだ（Fig.8）。

具体的には次の情報閲覧機能を設けた。

・インターネット上の技術情報

・イントラネット上の技術標準情報および法規情報

以下に主な特徴を紹介する。

Fig.8　Front Page of the Technical Information

6.1　登録機能と並び替え機能

自分が担当する技術領域の情報をWeb上にページに分けて系として自由に確保できる。系の中は大項目－小項目に分けて登録と削除ができる。

小項目は登録時に所望のサイトのURLと表示名をインプットすれば自動的にリンクが張られ，表示名をクリックすれば所望のサイトが立ち上がる。

大項目と小項目には並び替えができる機能を持たせた。この機能によって専門書籍のようなストーリ性を持った技術資料をユーザが任意に構築することができる（Fig.4-b）。

6.2　法規の逆引き機能

車の開発では各国の法規を確認するため法規書を見る必要がある。新人の場合，条文自体の存在や条文が記されている法規書が分からない時があり，ベテランでも見つけにくい場合がある。法規情報を探し出すには法規書の名前とそれに含まれる条文を知っていることが前提条件であり，現在は業務経験の長さによって左右されている。

そこで新人でも法規が調べられるように法規の逆引き機能を設け，データベース管理の利点を活かして各職場に必要な内容で自由にこの逆引き辞書を作れる機能を入れた。

例えば「窓ガラスの挟み込み」と記された項に目をやってクリックすると，条文の存在を知らなくても逆引き機能で関係法規が表示される。

7．メンテナンスフリー化

利用者の利便性とホームページ管理者の負担の軽減とを考え，データベースの基本テーブル全項のデータを，利用者が自由に追加，修正，削除できる環境にした。

もちろん，基本テーブルのアクセス権を一般ユーザに開放することは運用に支障が出る懸念があり検討を要する。しかし，ユーザのモラルとパソコン知識がある水準以上に保たれている職場内での運用のため，運用を開始して1年間を見る限りにおいては特に問題は発生していない。むしろ当初の狙い通りの利便性向上による効果が得られている（Fig.9）。

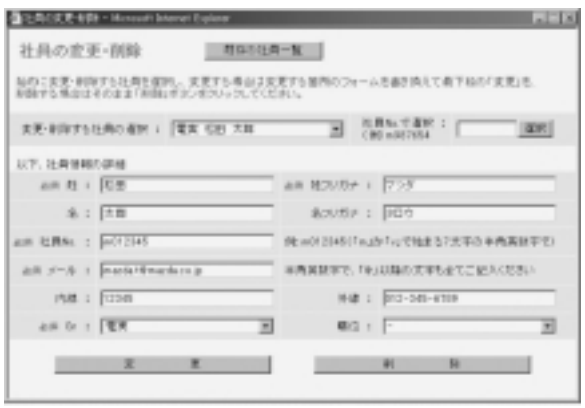


Fig.9　Registrant Data Change Screen

8．Daily通信講座の開講

本Webサーバには多くの業務上の資料が説明文を付加された資料集として蓄積されつつあり，検索機能を用いて閲覧も可能である。しかし，これら資料集は教育的な観点から呼び出される機能を付加されていない。そのため，業務が一段落するに伴いやがては眠ってしまうのが常である。

そこで，これらの貴重な蓄積資料集を職場の資産として活用するために，Webの利点を活かして技術者育成を目的に技術講座を開講した。具体的には蓄積資料を参照した出題と解説を毎日一問ずつ自動更新掲載している。参照先の資料集は理解しやすく受講者にも好評であり，データベースからの知識の発見が新鮮さを与えている。

この講座により蓄積資料が単なる一担当者の一時的な業務資料としての使命で終わらず，基礎技術やノウハウなどの普遍的な観点から多くの人に読み返されるようになり，活きた教材となった。

9．まとめ

「担い手」の理念のもとに開発を行った本ツールは，Web上で手軽に使用できる辞書のような情報管理ツールという形でその目標を達成できたと考える。加えて，データベースと連結させたことによって随所に工夫や発想を具現化させることができ，教育ツールやプレゼンテーションツールとしても利用できる特質を有して完成したことは特筆できる点と思う。

今後の方向性としてはメーラとの融合であり，電子資料の送受機能と本管理ツールとを結ぶことで更なる利便性の向上が可能となる。

また，本ツールの基本設計は一般事務でも通用する概念となっている。その意味においても将来の情報管理ツールとしての一つの方向性を示せた。

最後に本ツールを開発するに当たりご指導ご協力を賜った，関係各位に深く感謝の意を表します。

論文・解説

37

3D金型設計拡大に向けたEngineering HUBシステムの開発
Development of Engineering HUB System for 3D Die Design Expansion

脊　戸　睦　男*1　松　田　　武*2
Mutsuo Seto　Takeshi Matsuda

要　約

プレス量産準備において，3Dモデルを活用することにより金型生産能力を大幅にアップしてきた。しかし，昨今の新車開発スピードは更に加速し，3Dモデルを核とした3Dプロセス金型造りの拡大・定着が必須となり，2Dから3D金型設計への移行が急務となった。従来のCAD統一による3D設計拡大よりも，設計拠点それぞれで所有しているCADの有効利用による3D設計拡大が，3D化促進の早道である。そこで，設計拠点やCADの制約を必要としないマルチCAD環境において，一つの3Dモデルにより設計から検証・製作まで一気通貫のプロセスを実現するための器と仕組みの開発に取り組んでいる。

本稿では，ロケーションフリーを目指したマルチCAD環境におけるEngineering HUBシステム開発について紹介する。

Summary

3D model utilization in Stamping Die preparation had much improved capability of Die manufacturing. However, recent development of a new vehicle has needed increasingly short lead-time. Therefore, it is very necessary to extend and establish die manufacture through a process using 3D models, which has accelerated a shift of die design from 2D to 3D. In order to accommodate such an acceleration, it is a better way to make efficient use of CAD systems possessed by each of external design centers than to standardize the CAD systems between them. Now we have worked for developments of CAD application tools and systems to achieve consistent die manufacture in a multi-CAD environment free from the constraints of the design centers and CAD systems.

This paper presents development of a free-location Engineering HUB system.

1．はじめに

国内の自動車メーカは過去に例を見ない速さでグローバル化を推進しており，生き残るためには劇的な品質・効率性の向上が必至である。そのためにもプレス量産準備においては，3Dモデルを核とした3Dプロセス金型造りを拡大・定着させることが絶対必要である。これまで3D金型設計を社内適用し，3Dモデルを活用した金型製作により金型生産能力を大幅にアップした。しかし，昨今の新車開発スピードは更に加速しており，社内外を問わず2Dから3D金型設計への移行が急務となった。そこで3D金型設計を拡大するために広島地場から日本国内，更には海外へとロケーションを選ばない設計環境の構築を進めている（Fig.1）。本稿では，ロケーションフリーを目指したマルチCAD環境におけるEngineering HUBシステム開発について紹介する。

Fig.1　Global 3D Die Design Network

＊1，2　車体技術部
Body Production Engineering Dept.

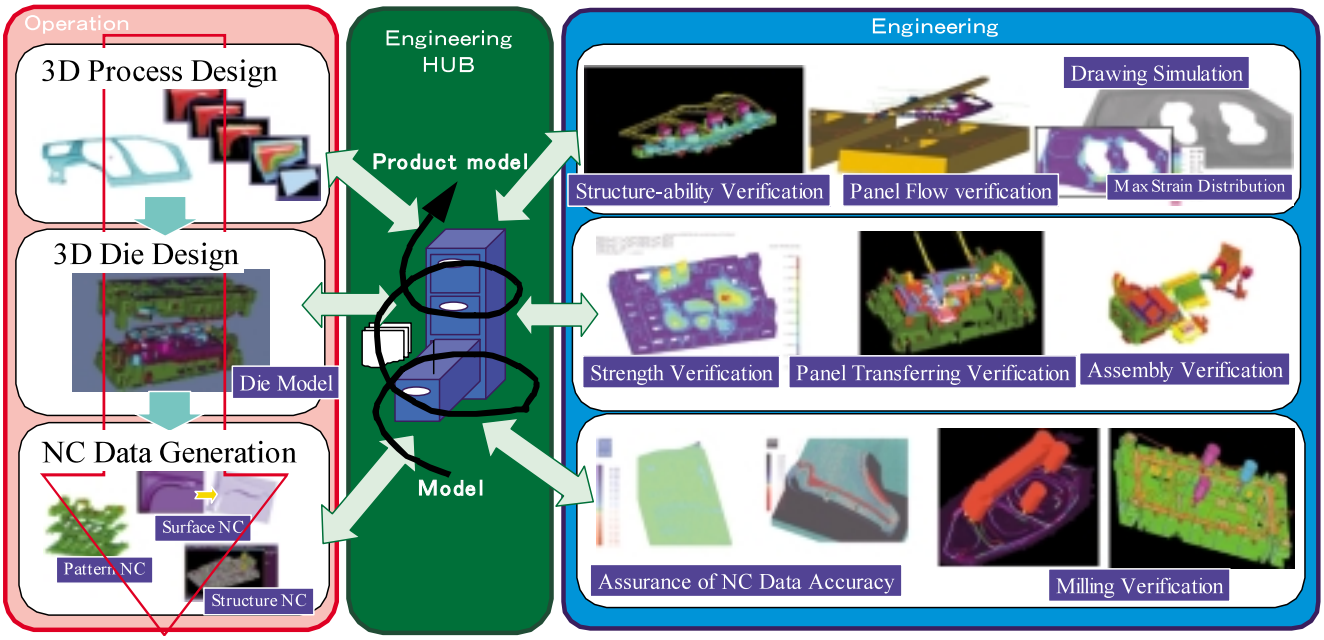


Fig.2　Engineering Process Integrated and Streamlined by 3D Data

2．金型設計のねらいの姿と課題

これまでは，プレス工程設計，金型設計やNC作成など領域ごと，個々に必要情報を取り扱っていた。これからは，各々の領域で必要な要求品質を一つの3Dモデルに作りこみ進化・育成させ，すべての領域で活用する一気通貫プロセスを構築する必要がある（Fig.2）。

それには，3Dプロセス金型造りにおける3D金型設計にて，3Dモデルによるモノの形（ジオメトリ，トポロジ）だけでなく，モノを作るための製作情報（仕上げ方法，材質など）をいかに付加し，活用できるようにするかがキーとなる。

また，3D金型設計の拡大展開に向けては，道具（CAD）の統一よりも，CADの制約を設けず，3Dプロセス金型造りを可能とする方式を取るのが得策である。つまり，設計拠点それぞれで所有しているCADを有効利用することで，更なる3D化促進が加速できる。そのためには，マルチCAD環境の構築が必要であった。

しかし，マルチCAD環境において一気通貫プロセスを実現するには，形状と製作情報から構成される3Dモデルをプロダクトモデルと定義し，様々なCAE・CAD・CAMで活用するための一元管理ができるようにすること。また，異種CADデータを同一CADデータのごとく，簡単に扱えるようにすることが必要である。

そこで，このプロダクトモデルの管理・育成・伝達を行うための器と仕組み（Engineering HUBシステム）の開発に取り組んだ。

3．Engineering HUBシステムの開発

3.1　システムの要件

異種CAD間におけるデータ共有には，一般にIGESやSTEPなどのデータ変換を必要とする。しかし，こうしたデータ変換を使用すると，形状の抜けや製作情報のモレといった設計情報の欠落が起きている。

Engineering HUBシステムの構築を実現するため，形状・製作情報・アセンブリ構造など様々なCADデータの形式を包括する中間ファイルの定義が必要である。更にこれをマザーデータとして管理していくことで，マルチCAD環境を前提とした，双方向のN対Nのデータ活用が実現できる（Fig.3）。Engineering HUB システム開発にあたり，以下の4点を要件設定した。

- 3Dモデルの形状，製作情報及び，アセンブリ構造を失わないこと。
- CADシステムに依存せず，双方向での運用が可能なこと。
- 過去に設計された3Dモデルなどの情報資源の活用ができること。
- データ変換時間は，IGESやSTEPなど一般データ変換ツールによる変換時間以下であること。

3.2　システムの選定

前述の要件を有するシステムを調査し，検証を開始した。量産金型の3Dモデルでトライアルを行ったところ，CADシステムに依存しないこと，過去の情報資源の活用ができることが確認できた。また，3Dモデル形状やアセンブリ構造も問題なく活用できるため，導入可能と判断した。

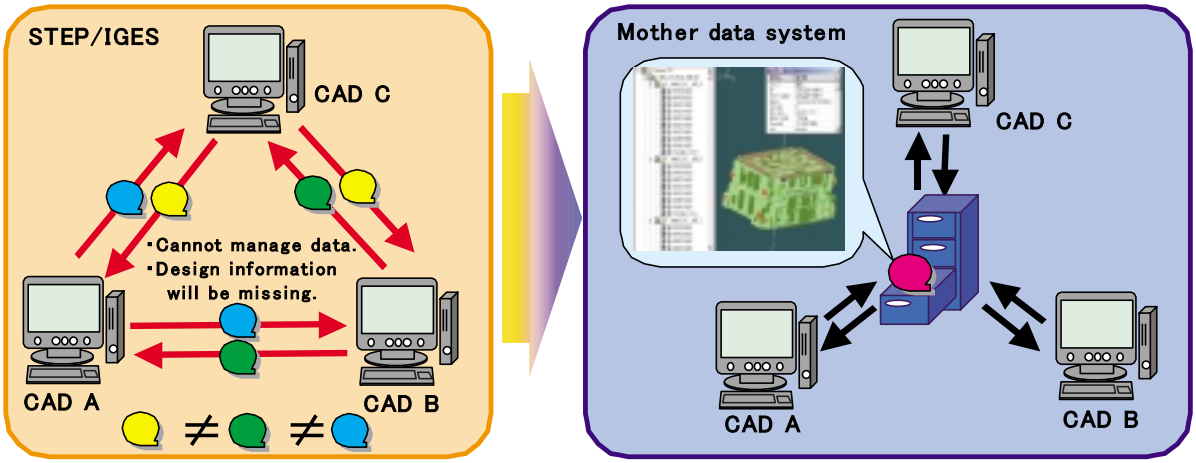


Fig.3　Mother Data Management System

しかし，業務への適用を考えると，一部製作情報の伝達が不十分であるため，後工程において大きな手戻りが発生する。また，データ変換処理時間も長く，一気通貫プロセスにおいては後工程を停滞させる原因になることがわかった。そこで，製作情報の受け渡しを確実にする，データ変換処理時間を削減する，という二つの問題に取り組んだ。

4．問題解決

4.1　製作情報の受け渡しロスゼロー品質の作りこみ

(1)　加工属性

加工属性は，製作でのねらいの形・表面粗さを指示する加工工程と切削手順の組み合わせをモデル表面の色で表わしたものである。

CADの種類により，決められた色（パレット）から選択するものとRGBの値により自由に色を作れるものがある。このようなCAD間でデータを往復させると，元の色を再現できない場合がある（Fig.4）。

そこで，加工属性の種類を網羅するパレット色の数を基準とし，すべてのパレット色に対する入出力のRGB値を調べた。またRGB値でも，それぞれの色を100階調・256階調で表現するものがあり，同様に入出力値を調べた。入出力のRGB値が異なるものについて，RGB値が同じになるよう変換機能を強化し，加工属性を一対一で対応させる仕組みを開発した。

更に，3D金型設計時の加工指示間違いや指示漏れをCADに戻り，CAD操作で修正することなく，Engineering HUBシステム内で加工属性を簡便に追加・変更する機能を開発した（Fig.5）。

(2)　部品属性

部品属性は部品番号，部品名称，サイズなど特徴を表したもので，形状データとは別に文字の形で付随情報として作成される。

CADシステムにおいて前述の付随情報を記載する部分のデータ構造の詳細を公開しないものもあり，部品属性の

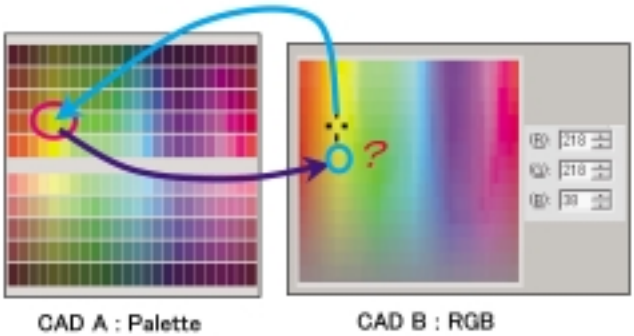


Fig.4　Mis-conversion of Colors as Processing Attributes

Fig.5　Function to Add Processing Attributes

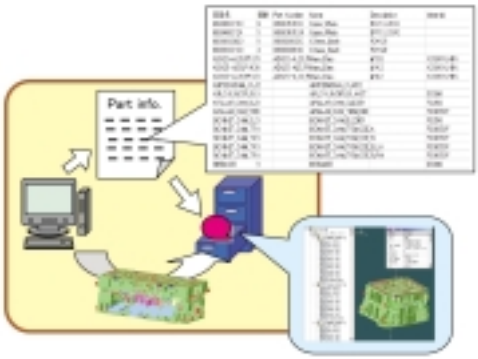


Fig.6　Function to Add Part Attributes

受け渡しができず，Engineering HUBシステムに実装できないものがあった。そこで，CAD機能から部品表をテキストとして抽出し，このテキスト情報を基にEngineering HUBシステム内でモデルに部品属性として合成する仕組みを開発した（Fig.6）。

4.2　データ変換時間の削減

異なる車種において，同規模の部品・加工工程の金型3Dモデルであっても，取り込み・書き出しの処理時間に大きな違いがあった。

(1)　大規模アセンブリでの処理時間増加

データ変換時間は，データ量に比例して増加するものであるが，Fig.7に示すように予想時間の4倍以上かかるものがあった。データ量が同程度でもアセンブリ構成を比較すると部品数に違いがあり，この部品数の差によって処理時間が大きく変化することを突き止めた。

はじめにシステム側の対策として，3Dモデルから部品データを取り込む部分及びデータ変換処理を行う部分を高速化するプログラム開発を行った。

次に，モデル部品数を削減するため，複数部品で構成されていたユニットを一つの部品で表現するモデリング手法を開発した。Fig.8にガススプリングの例で説明する。従来，ストローク部分が押し縮められた状態（ベースパート）と最大まで伸びた状態（ストロークパート）からガススプリングアセンブリを作成していた。これを縮んだ状態と伸びた状態をあわせ持ったガススプリングパートとして定義することで，部品数を削減するともにアセンブリ構造を廃止した。

(2)　曲面形状処理時間の増大

車体製品形状のような複雑な曲面を受け渡す際，曲面と曲面のつながり具合を滑らかに調整するヒーリング処理に時間がかかる（Fig.9）。CADの特徴にあわせてヒーリング処理を行うが，特定のCADデータにおいては専用ヒーリング処理に加え汎用ヒーリング処理を組合せて行っている。

そこで，二つのヒーリング処理を起動する条件や設定値の見直しを行うとともに，モデリング側からもヒーリング処理そのものを削減する対策を行った。金型設計（鋳物製作）に必要なモデル精度を維持し，形状面を簡略面化し構成面数を極小化できるモデリング機能を開発した。Fig.10の例では4,200面を49面で定義している。

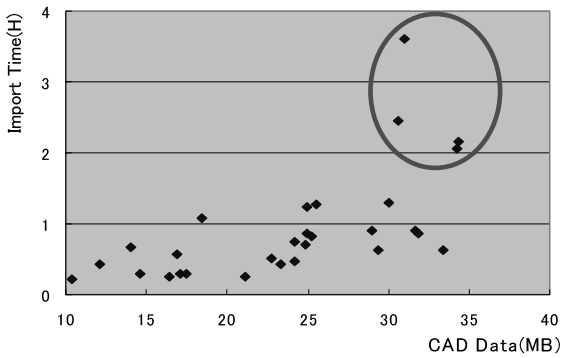


Fig.7　Abnormal Values of Import Time in Assembly

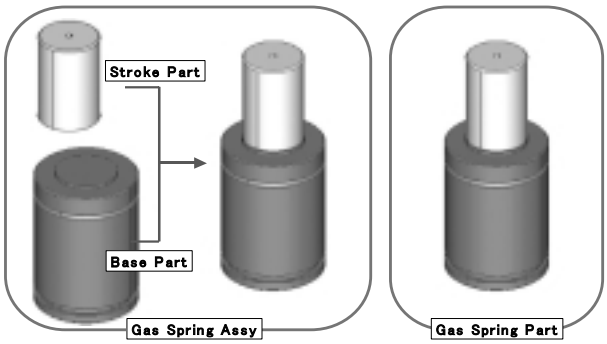


Fig.8　To Combine Parts for Reducing the Amount of Model Elements

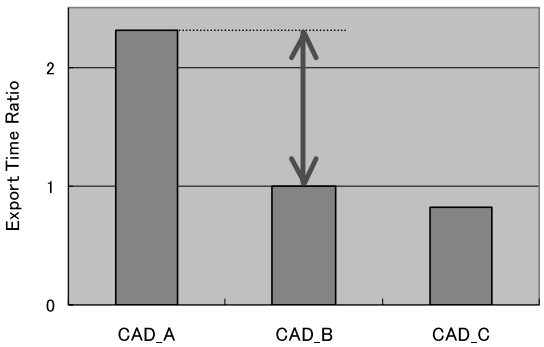


Fig.9　Export Time Ratios in Each CAD

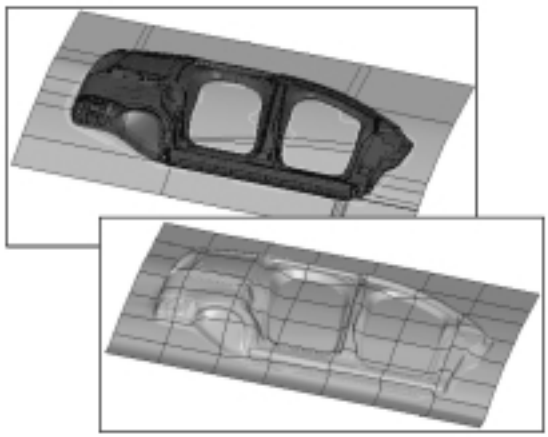


Fig.10　Simplified Surface

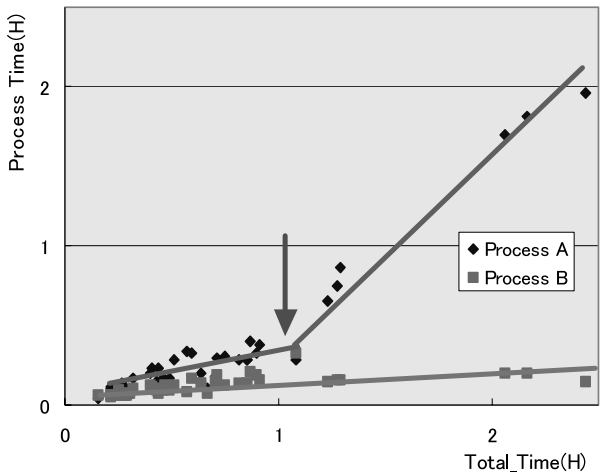


Fig.11　A Distribution Chart of Process Time - Total Time

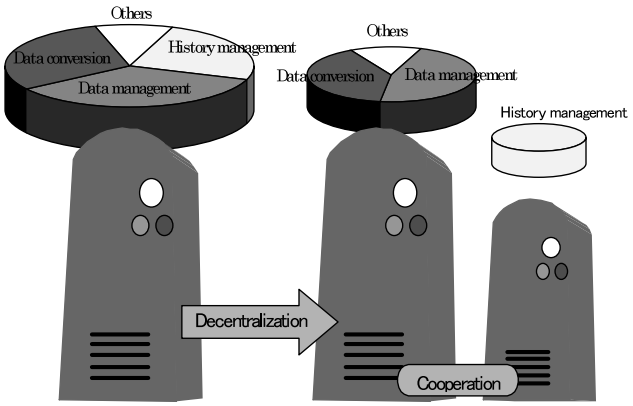


Fig.12　Server Decentralization

(3)　データベース登録時間の増加

Fig.11は，データ処理時間に対する内部処理時間の分布を示す。内部処理は処理Aと処理Bから構成されている。処理Bはデータ量の増加にかかわらずほぼ一定であったが，処理Aはあるポイントを境に，グラフの傾きが3倍に変化していることがわかった。

処理Bは操作端末上で，CADデータからマザーデータ（中間ファイル形式）を作成する部分である。処理Aはサーバ上で，履歴やデータ管理情報を加えデータベースへ登録する部分であり，サーバへの負荷増加にともない，処理時間も増加していた。

サーバ処理を分析すると，複数の役割を行っていることが判明した。そこで，Fig.12に示すように別の端末に分散処理させることで，サーバ負荷を軽減できデータ処理時間を短縮した。

5．成果

マザーデータに製作情報を欠落なく保持・伝達することで，異種CAD間のスムーズなデータ変換を可能にした。

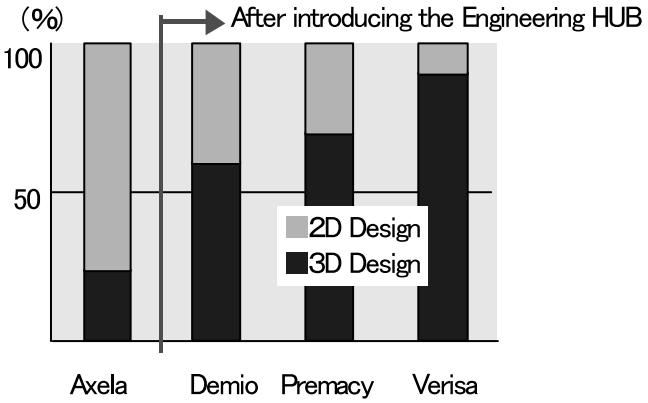


Fig.13　Transition of Ratio between 2D Design and 3D Design

更に，データ変換時間削減対策により，処理時間を1型あたり40%削減でき，大規模アセンブリ構造を持つサイドフレームクラスのデータへの業務適用を実現した。

以上のように，Engineering HUBシステムを核とした大規模3Dモデルを様々なCADで活用できるマルチCAD環境を構築したことで，3D金型設計の拡大に貢献でき，従来比3倍まで増加させることができた（Fig.13）。

6．まとめ

業務適用開始から今日まで，Engineering HUBシステムの実用性と信頼性の高さを実感した。私たちの目指すグローバル3D設計ネットワーク実現へ向けて，これからもCADシステム依存など垣根のない設計環境の拡大や遠隔地設計コミュニケーション技術開発などへ取り組んでいく。

■著　者■

脊戸睦男

松田　武

論文・解説

38

環境にやさしい高付き回り電着塗料の開発
Development of Environmental-friendly High Throwing Power E-Coat

重　永　　勉*1　山　田　光　夫*2
Tsutomu Shigenaga　Mitsuo Yamada

要　約

自動車の下塗り塗装には，防錆の目的で電着塗装が一般的に使用されている。電着塗装は，塗料中に車体を浸漬し電気を流して塗料を付着させるが，従来の電着塗料は，電気の流れやすい車体内部と流れにくい外部で塗装膜厚差ができ，また内部には均一な塗装膜が形成されにくかった。

今回，電着塗料の析出特性を改良し付き回り性を改善することで，電気が流れにくい車体内部にも均一な塗装膜を形成できた。また，必要以上に塗料が付着していた外部では膜厚を適正レベルに抑制し塗料使用量を削減できた。この塗料使用量削減により，塗料に含まれる揮発性有機化合物（Volatile Organic Compounds：以下VOC）の削減，及び塗料製造時のエネルギ消費で発生するCO_2の削減も可能になった。

Summary

Electrodepositon coating（E-coat）is generally adopted as the undercoat of an automotive body for the purpose of anti-corrosion. E-coat is a process that the automotive body is coated by electricity, where it is immersed into an E-coat paint bath. A conventional E-coat technology tends to have a film thickness discrepancy between inner and outer surfaces due to a difference in electricity quantity to be flowed. Furthermore, it tends to have a film thickness discrepancy even within the inner surfaces.

This new E-coat technology has made it possible to obtain a uniform film thickness within an inner surface which electric current is hard to reach, by modifying paint deposition characteristics, thus having improved throwing power properties. Paint consumption has been also reduced by optimizing the film thickness of an outer surface which had conventionally been wastefully coated more than necessary. Furthermore, this can reduce Volatile Organic Compounds（VOC）contained in paint and CO_2 emission during the paint manufacturing process.

1．はじめに

現在，マツダの塗装は，Fig.1に示す通り，化成処理，下塗り塗装，3ウエットオン塗装の工程で実施している。この3ウエットオン塗装はマツダが世界に先駆けて開発し，国内の全工場に展開しており，VOCとCO_2の排出低減に大きな効果をあげている。今回開発した塗料は，その前工程の下塗り工程で，環境負荷物質の低減，及び防錆性能の向上を狙いとしたものである。

下塗り塗料は，電気を使って塗装しているため，電着塗料と呼ばれている。従来の電着塗料では車体内部と外部への電気の流れ方の差により塗装膜厚差ができる。その結果，車体内部の塗装薄膜部は防錆上の弱点となり，外部の厚膜部は余剰塗膜となるため膜厚差の低減が望まれている。この膜厚差の低減は塗料使用量の削減につながり，塗料中に含まれるVOCや塗料製造時のエネルギ消費で発生するCO_2

＊1　技術研究所
Technical Research Center

＊2　日本ペイント㈱
Nippon Paint Co., Ltd.

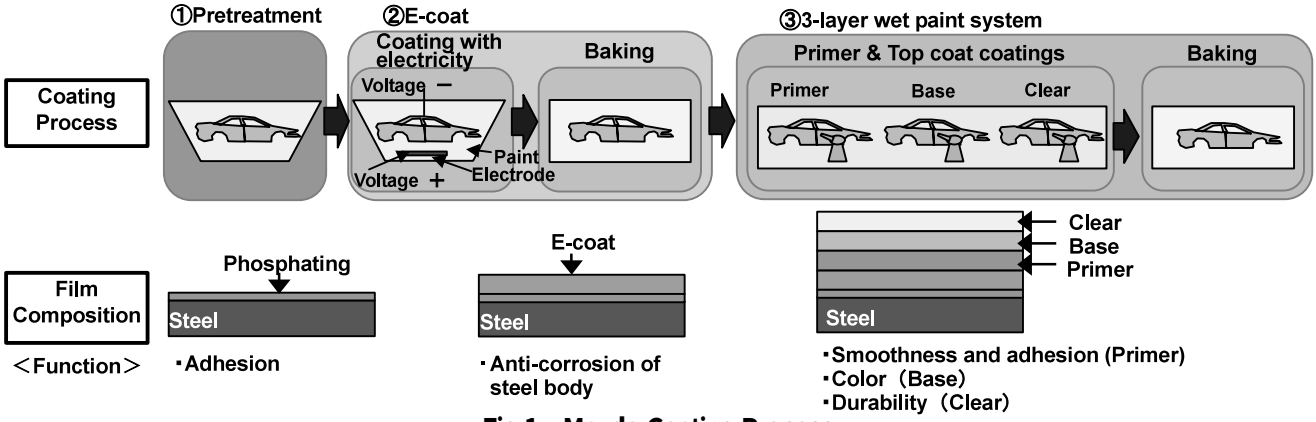


Fig.1　Mazda Coating Process

排出量の削減効果もある。

今回，電着塗料の特性を改良し，車体内部と外部の塗装膜厚差を大幅に低減可能な塗装付き回り性に優れる電着塗料を開発したので，この技術内容を紹介する。

2．現状の問題点

電着塗料の塗装方法は，塗料中に車体を浸漬し，電気を流すことで塗料を付着させている（Fig.2）。従来の電着塗料では，電極との距離が近い車体の外部には電気が流れやすく，距離が遠い袋構造の内部などには電気が流れにくいため，車体内部と外部の塗装膜厚が不均一になる特性がある。

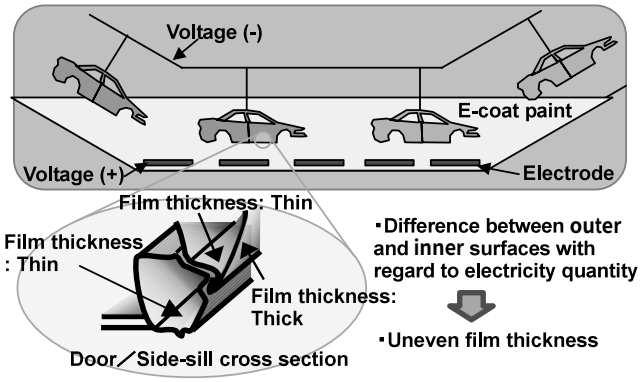


Fig.2　E-coat Process

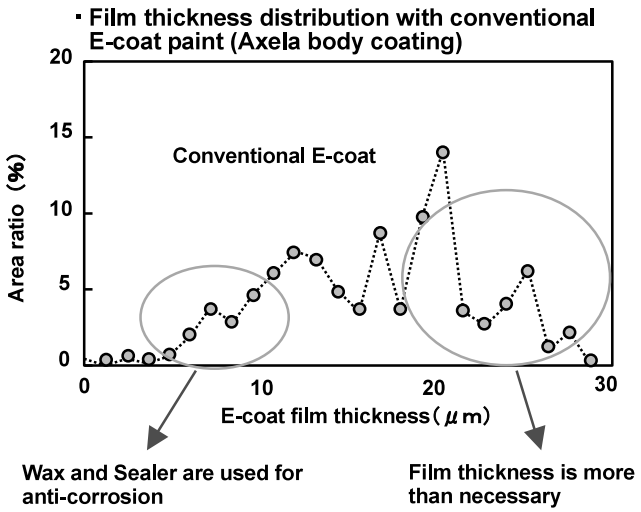


Fig.3　E-coat Film Thickness Distribution（Axela Body）

Fig.3は，実車（アクセラ）の車体を塗装後分解し，全部品の膜厚を測定して膜厚ごとの面積率を示した図である。車体には膜厚が薄い部位があり，この部位の耐食性の低下をカバーするためにワックスやシーラ等を適用している。一方，必要以上に塗装が付着している部位もあり，車両全体としては無駄な塗料が多くなる。結果として塗料に含まれるVOCや塗料製造時のエネルギ消費で発生するCO_2の排出量が多くなる。

3．開発の狙いとアプローチ

開発の狙いと今回開発した技術の関係をFig.4に示す。電着塗料の開発の狙いは，塗料の使用量削減，CO_2，及びVOCの排出量削減による環境対応と防錆性能向上である。

この対応技術は次の3つである。

第1に，課題であった膜厚のばらつきを低減する膜厚均一化により，塗料使用量削減，CO_2削減，VOC削減に対応する。

第2に，塗料中の溶剤をあらかじめ減らして塗料設計することで更にVOC排出量削減を行う。

第3は，塗膜の性能向上による防錆性能の向上である。

このうち主要技術である膜厚の均一化について詳細を述べる。

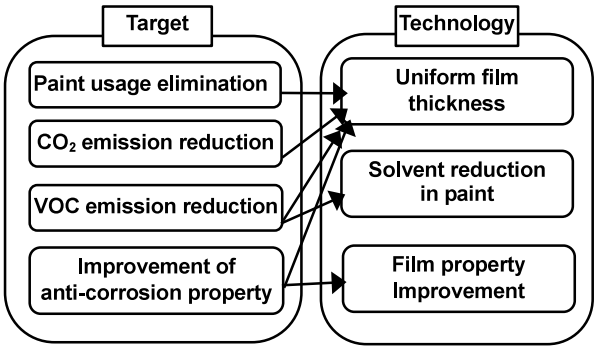


Fig.4　Development Target and Technology

4．膜厚の均一化

4.1　膜厚均一化の考え方

電着塗料は，電着槽の電極に近い車体外板から塗料が析出し，析出塗膜によって車体外板の電気抵抗が上昇して，相対的に電気抵抗が低くなった内板部に塗膜が析出して車体内部まで塗装できる（Fig.5）。そこで，車体内部の電着膜厚を増加させるためと外板部への必要以上の析出を抑制するために析出膜の電気抵抗値を高くすることにした。また，電気の到達しにくい内板部で十分な析出膜厚を得るためには少ない電気量でも析出させる必要がある。したがって，電気量の少ない塗装初期の析出性（析出速度）を改善させることにした（Fig.6）。

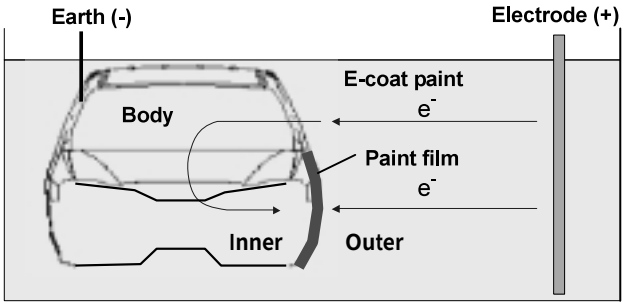


Fig.5　Deposition Mechanism

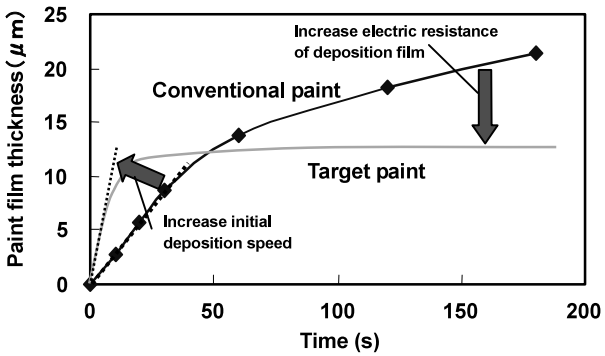


Fig.6　Deposition Characteristic of Target Paint

4.2　初期析出性の改善

電着塗料の樹脂は，塗料中の酸と結合することで液中に分散している。電気を流すと車体の鋼板近傍で水が電気分解しOH^-が発生する。このOH^-が塗料中の酸と中和することで電着樹脂は水中に浮遊できなくなり，鋼板上へ析出する（Fig.7）。そこで，少ない電気量で析出させるために塗料中の酸量を削減することにした（Fig.8）。

析出性の検証は，微量定電流で塗装した時の塗料樹脂析出開始時間より，樹脂の析出に必要な塗料中のOH濃度（最小析出pH）を算出して行った[1]。また，析出の開始時期は，塗装時の電圧変化点とした。

初期析出性の試験結果をFig.9に示す。塗料中の酸量の低減により，樹脂の析出開始が始まるpHは低くなり，初期析出性の改善に塗料中の酸量の低減が有効であることが検証できた。塗料中の酸量の低減は塗料の浴安定性（分散性）に悪影響を与えるが，新たな樹脂を採用することでこの問題を解決し，初期析出性の改善と浴安定性を両立することができた。

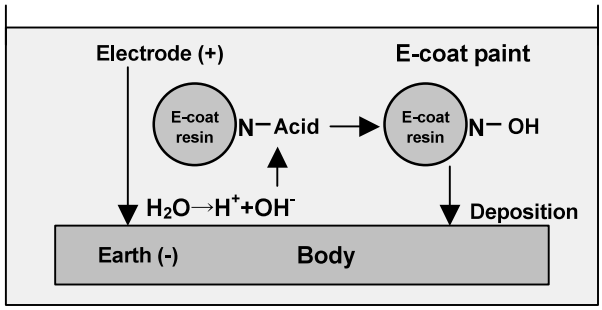


Fig.7　Deposition Mechanism of Paint

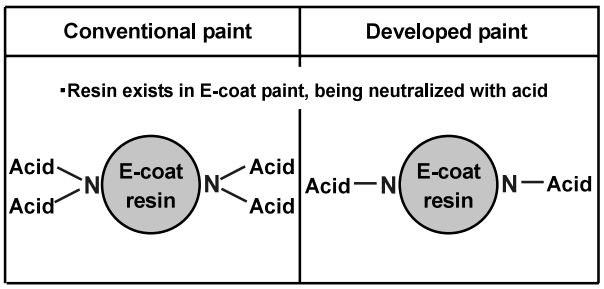


Fig.8　Configuration of Resin

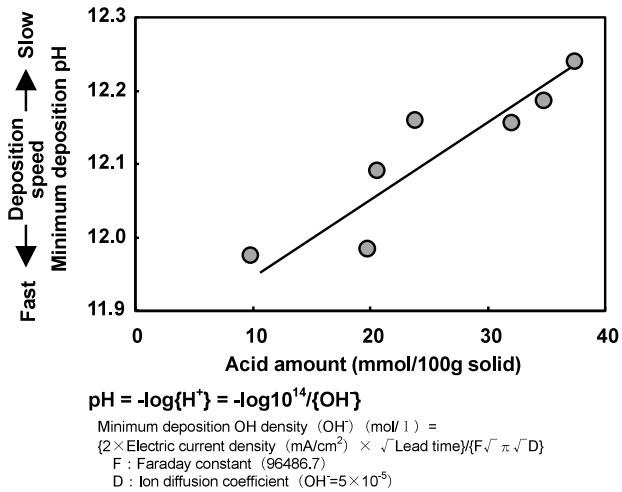


Fig.9　Deposition Start pH of Resin

4.3　析出膜の電気抵抗値の改善

電着塗料の樹脂は絶縁性物質であるが，析出膜の膜厚が一定膜厚以上にならないと樹脂の析出反応を抑制する電気抵抗膜として機能しない。この原因は電着塗料樹脂の粘度（硬さ）にあると考えた。

電着塗料の樹脂は，Fig.10に示すように粒子状に鋼板上へ析出する。しかし，従来の樹脂は粘度が高く，粒子が何層にも積層しないと粒子間の隙間を塞ぐことができず，電気が流れ続けていると推測される。そこで，樹脂粘度を低

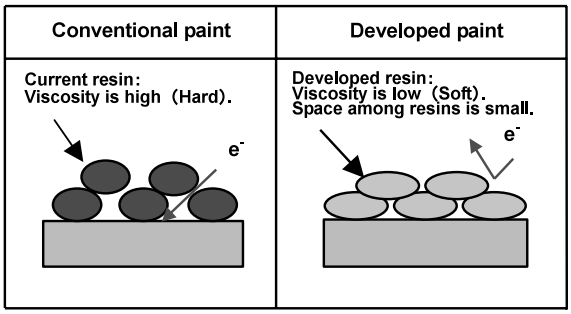
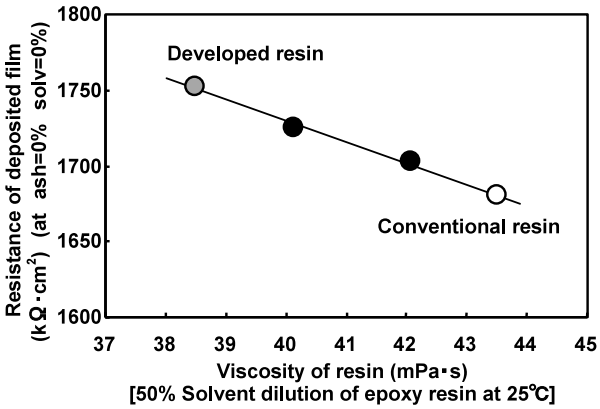


Fig.10　Insulation Mechanism of Paint



$$\text{Resistance of deposited film } (k\Omega \cdot cm^2) = \frac{\text{Voltage (V)} \times \text{Coating area } (cm^2)}{\text{Final electrical current (A)}}$$

Fig.11　Epoxy Resin Viscosity and Resistance of Deposited Film

くすることで個々の樹脂が粒子間の隙間を塞ぐように変形するため，少ない積層（薄膜）で電気が流れないようにできると考え，樹脂の分子鎖の末端に疎水性ソフトセグメントを有する化合物を付加し，樹脂粘度を低下させた。その結果，析出膜の電気抵抗値を高めることができた（Fig.11）。

4.4　塗装付き回り性評価結果

初期析出性と析出膜の電気抵抗値を改善した塗料を製造し，この開発塗料と従来塗料の付き回り性を以下の方法で比較検証した。

(1)　平板の塗装付き回り性

平板試験片を電着塗装した結果をFig.12に示す。狙い通り塗装初期の電気量が少ない領域の膜析出性が改善され，最終析出膜厚も抑制されることが確認できた。

(2)　パイプの塗装付き回り性

車体と同様に外部と内部で電気の流れやすさに違いがあるパイプを用い開発塗料の析出性を検証した。試験はFig.13に示す通り，パイプを塗料中に半浸漬させて電着塗装を施し，塗料中に浸漬したパイプの入り口からの塗装距離とパイプ内面の塗装膜厚を評価した。

パイプ内面の塗装状況をFig.14に示すが，開発塗料のパイプ内面の塗装距離は，従来塗料に比べ約1.6倍改善している。電気が届きにくいパイプ内面において塗装された領域が増加していることから，初期析出性と析出膜の電気抵

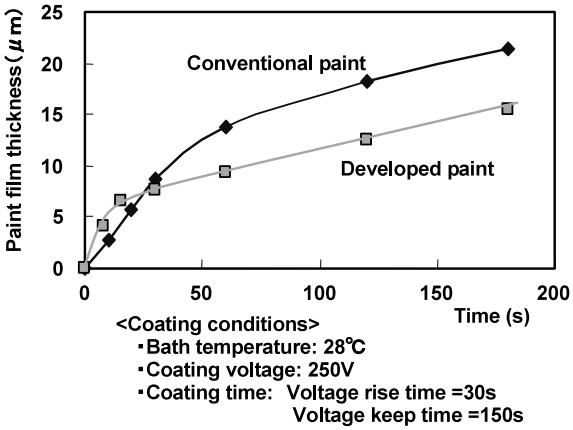


Fig.12　Deposition Characteristic of Developed Paint

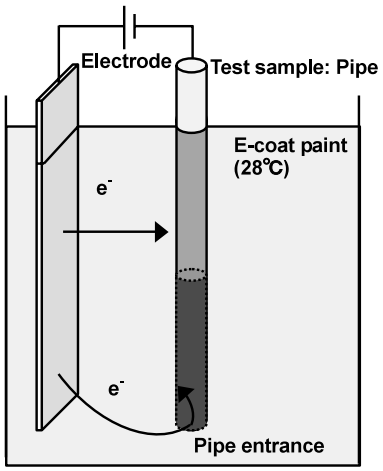


Fig.13　Pipe Method

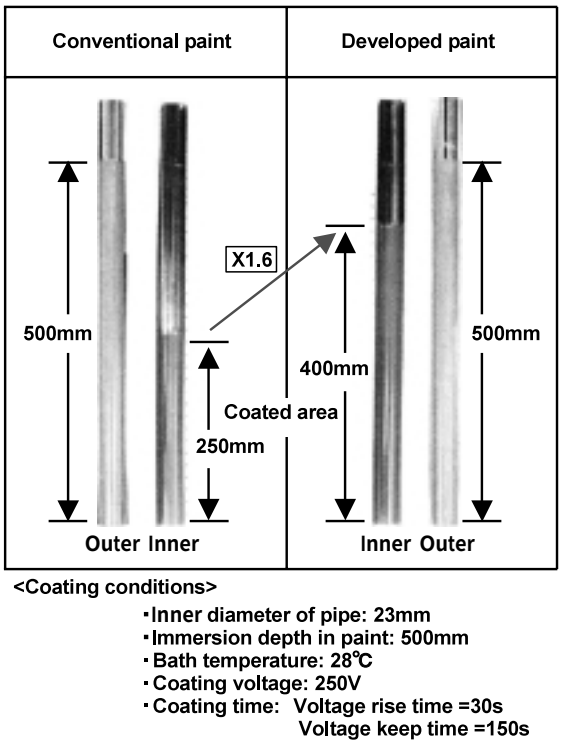
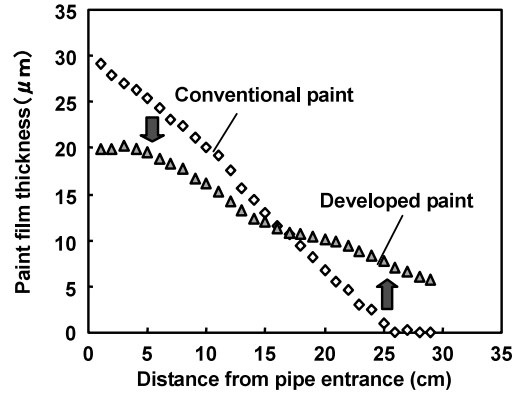


Fig.14　Coating Level of Inner Pipe



<Coating conditions>
- Inner diameter of pipe: 17.5mm
- Immersion depth in paint: 300mm
- Bath temperature: 28℃
- Coating voltage: 250V
- Coating time: Voltage rise time =30s
  Voltage keep time =150s

Fig.15　Film Thickness of Inner Pipe

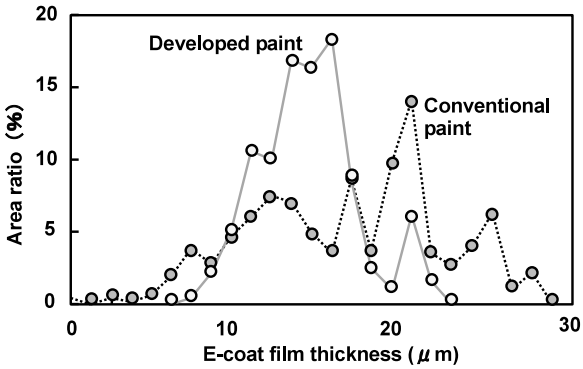


Fig.16　E-coat Film Thickness Distribution (Axela Body)

抗値の改善の有効性を検証できた。

塗装したパイプ内面の塗装膜厚分布をFig.15に示す。この結果でも電気の流れやすいパイプ入り口から離れた部位の膜厚が増加し，電気の流れにくい入り口部分の膜厚が減少しており，膜厚均一化の効果が確認できる。

(3)　実車塗装付き回り性

車体（アクセラ）での膜厚ごとの面積率をFig.16に示す。開発塗料は，従来塗料に比べ膜厚の薄い部位，及び厚い部位が減っており，膜厚が均一化されたことが分かる。

また，膜厚と面積より塗料使用量を計算した結果，開発塗料の使用量は，従来塗料に比べ，10%以上少なくなることを確認できた。

5．塗料中の溶剤量削減

電着塗料には，樹脂合成や塗装焼付け時の仕上がり性を制御するためにVOCの発生源である溶剤を混入してある。そこで製造工程の見直しと塗料樹脂のフロー特性の改良により，塗料中に含まれるVOC量を半減した。また溶剤は，塗装時に析出樹脂へ浸透し樹脂の電気抵抗値を下げる働きもあるため，削減により初期析出性の向上にも寄与した。

6．塗膜の耐食性向上

開発した塗料は，従来塗料に比べ，塗装の付き回り性に加えて耐食性にも優れている。樹脂の架橋密度を高くし腐食成分の透過を抑えることで，耐食性は従来塗料に比べ，膜厚換算で約1.4倍向上した（Fig.17）。この塗料を使用することで薄膜部の耐食性を向上させることができるため，車体内部の防錆品質をより向上させることが可能となる。

また，付着性やチッピング性などのその他の塗膜品質，及び塗装作業性は，従来塗料と同等である。

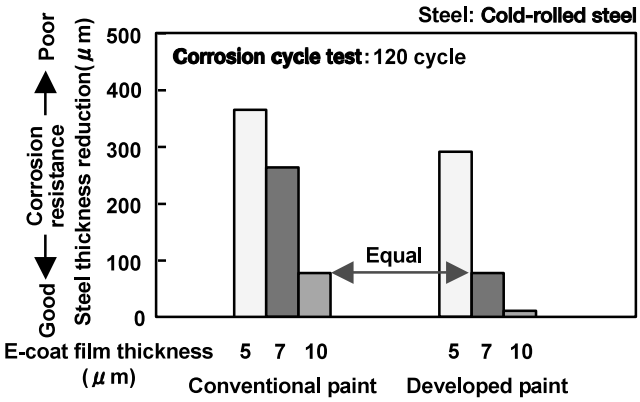


Fig.17　Result of Corrosion Test

7．まとめ

環境にやさしい高付き回り電着塗料を開発し，2005年12月に国内全工場への導入を完了した。導入の効果（国内4工場導入時）を以下に示す。

① 電着塗装工程におけるVOC排出量　年間32トン削減
② 塗料製造工程におけるCO_2排出量　年間8.8トン削減
③ 電着塗料使用量　従来比10%以上削減
④ 車体内部の防錆性能の向上

参考文献

(1)　児島：電着塗料の高付き回り性制御技術，TECHNO-COSMOS，Vol.16，p.26-31（2003）

■著　者■

重永　勉

山田光夫

論文・解説

39

中上塗り塗装工程内品質保証技術の開発
Development of Quality Assurance Technology in Primer and Topcoat Process

山本充億*1　掛　正喜*2　世良和也*3
Mitsuyasu Yamamoto　Masaki Kake　Kazuya Sera
岩尾　剛*4
Tsuyoshi Iwao

要　約

マツダは，環境にやさしい新塗装技術として，中塗り（プライマ）工程を上塗り（ベース／クリア）工程に集約した3ウェットオン塗装を開発し，2002年に世界で初めて自動車の塗装工場に導入した[1]。現在では，マツダの標準塗装システムとして国内の全工場に展開している。同システムでは，塗装ブース内へのゴミの持込みの排除やバラツキのない安定した塗装品質を確保するため，ロボットで塗装する無人化工程を実現している。無人の塗装工程では，設備不具合等で塗装不良が発生した場合，最終の検査工程まで不良を発見する機会がないため，最悪の場合，数十台の不良が連続して発生する可能性がある。従って，設備の異状をその場で発見し，不具合発生を未然に防ぐことが重要課題であった。本稿では，塗装品質に影響を与える設備の管理項目とその基準値を明らかにし，それを常時監視することで，塗装品質を保証する（工程内品質保証）技術について紹介する。

Summary

Mazda developed Three-Layer Wet Paint System created by integrating primer process with topcoat process as an environment-friendly new coating technology, which was introduced into a painting factory for the first time in the world in 2002. At the present, it has been developed to all domestic factories as a standard paint system of Mazda. In order to eliminate carrying dust into a paint booth and to assure high quality, a fully-automated process with robots has been adopted. If paint failure occurs due to any bad production facilities, the fully-automated process has no opportunity to discover it until the process reaches the last process of inspection. In the worst case, dozens of sets of product defects may flow continuously, and the critical issue to be addressed in this process was to find facilities defect and to take immediate measures for prevention of any possible production line problem. This paper describes quality assurance technology to realize the fully-automated system.

1．はじめに

自動車の塗装工場は一般に，錆／防音等の機能品質を保証する脱脂／電着／シーラ工程および，外観品質を保証する中塗り／上塗り工程，そして最終的に品質を保証する検査／修正工程で構成されている。地球環境保全への取り組みが進む中，マツダでは，揮発性有機化合物やCO_2の排出量を削減するために，中塗りと上塗りを集約した3ウェットオン塗装を開発し，国内の全工場に展開してきた[1]。

本塗装方式では，塗装ブース内へのゴミの持込みの排除，バラツキのない安定した高品質／高効率の確保のため，全工程をロボットで塗装する無人化工程を実現している。この方式では，防錆処理された後，プライマ／ベース／クリアの各塗料の塗布から乾燥まで一切人の手を介さず，短工程で塗装することができる。その反面，稼働中に，機器の経年変化等に起因する突発の設備不具合で適正に塗装が行われなかった場合，数十台の品質不良が連続して発生する可能性がある。この問題を解決するためには，監視員を配置し，常時塗装状態を確認しておくことで不具合を検知するという手段がある。しかし，現実的には塗色数が約30色，ロボットが約40台あり，人に頼ったチェックでは膨大な要員が必要となる。そこで，塗装設備自体が自動的に不具合を検知し，設備を停止させる技術と，不具合を事前に検知して自動的に補正する技術を開発し，塗装不良を次工程に

＊1～4　車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

送らない工程内品質保証に取り組んだ。

2．開発目標とアプローチ

まず，中／上塗り塗装システムの構成と原理の概略を説明する。中／上塗り塗装の方式は，静電ベル塗装と呼ばれ，塗料をベルで微粒化し，印加電圧によりボデーに付着させる方式である。ベルはエアモータによって高回転で回転しており，設定量の塗料がギアポンプから供給され，回転遠心力で塗料を微粒化している（Fig.1）。

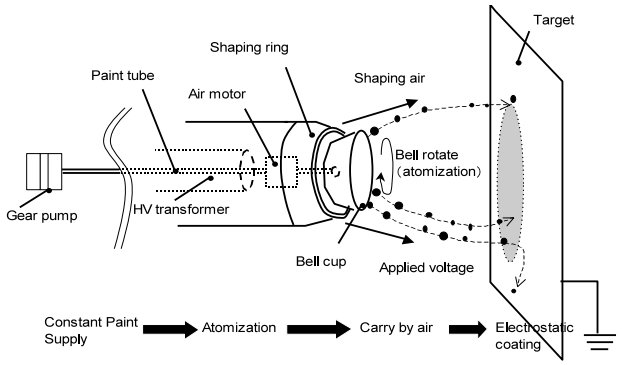


Fig.1　Electrostatic Coating

中／上塗りの塗装品質を左右する塗装条件には，塗料の微粒化条件，塗装効率，外部条件が挙げられ，以下にそれらの構成因子を示す。

(1)　微粒化条件

①　塗料の吐出量

②　エアモータの回転数

③　シェーピングエア流量

（吹き出し面積を形成するためのエア流量）

(2)　塗着効率

①　塗装距離（ベルと塗装面との距離，ロボットの軌跡）

②　塗装速度（ロボットの動作速度，コンベア搬送速度）

③　印加電圧（塗料を付着させるための電圧）

(3)　外部条件

①　ブース温・湿度

Table 1に，塗装品質，塗装条件およびそれらに影響を与える設備構成要素の関係を示す。

この表を基に品質保証に必要な要件を整理し，取り組む課題を抽出した。

これらの内，塗装効率（塗装距離，塗装速度，印加電圧）はロボットと搬送設備，印加電圧発生器の各コントローラ，外部条件はブース制御装置によって制御されており，状態は常に監視されている。しかし，微粒化条件の塗料吐出量・エアモータ回転数およびシェーピングエア流量については，状態の監視ができていなかった。この領域は，検出器を取り付けること自体が品質に悪影響を及ぼす可能性があることや，検出器の価格やメンテナンス費用が高く，コスト負担が大きいということが阻害要因となっていた。

Table 1　Relationship between Paint Quality and Component Parts of Facilities

→ Administrative requirement

Quality: Coating thickness	Smoother surface	Gloss	Color matching	Factors: Coating factors		Control factors	Painting facilities to control: Electropneumatic converter for air motor	Gear pump	SQLV	Electropneumatic converter for shaping air	Applied high voltage	Robot	Booth	Conveyor
○	○	○	○	Atomization condition		Amount of exhaust		○	○					
						Rotating speed	○							
						Shaping			○	○				
○	○	○	○	Coating efficiency	Adhesion condition	High voltage					●			
○	○	○	○		Painting distance	Operation accuracy						●		●
						Trajectory of bell						●		●
○	○	○	○		Painting speed	Conveyance accuracy						●		●
						Trajectory of bell						●		●
○	○	○	○		Painting pitch	Trajectory of bell						●		●
						Cycle time of robots						●		●
○			○		Spray cut	Trajectory of bell						●		●
						Cycle time of robots						●		●
○	○	○	○	Others	External condition	Temperature							●	
						Humidity							●	

Fluctuation factors ↓

●: The factors constantly monitored.

そこで，課題として，

①　塗料の吐出状態保証

②　エアモータ回転数・シェーピングエア流量保証

の二つを取り上げ，微粒化条件を保障するための安価で品質に影響を与えない検出方法を開発し，吐出状態については不具合検知，エアモータ回転数・シェーピングエア流量については自動補正を行うことで，工程内で品質を保証することを目標に取り組んだ。

3．開発内容

今回開発する部位をFig.2の概略フロー図に示す。

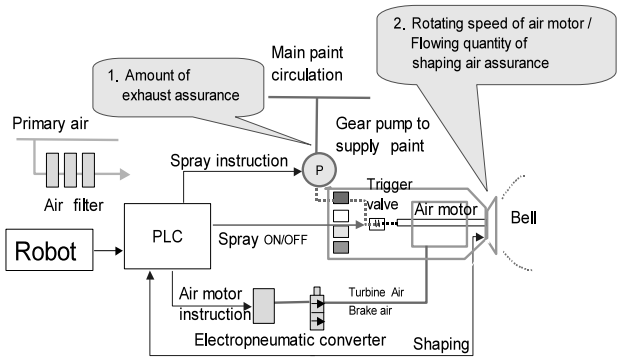


Fig.2　General Flow

3.1　塗料の吐出状態保証（不具合検知技術）

塗料は，ギアポンプによって定量吐出される仕組みであり，この吐出量を保証するためには，塗料の流量を直接計測するのが一般的である。しかし，塗装色は約30色あり，塗色ごとに流量計を取り付ければ，イニシャルコストが増大し，共通部分に取り付ければ洗浄ロスに伴うランニングコストの増加につながる。そこで，流量を直接計るのではなく，吐出量をばらつかせる主要因を検出するシステムの開発に取り組んだ。その主要因とは，トリガバルブの不良，ギアへの塗料の噛込み，クラッチのつながり具合の異常である。ギアポンプは，サーボモータにより一定速度で回転

制御されるが，それらの異常が発生するとトルク負荷が増大することに着眼して，その負荷量を常時監視することで吐出量を保証するシステムとした。

負荷の計測（Fig.3）には，アナログメモリーハイコーダ計測器を用い，サーボモータコントロール用のアンプに入力されるフィードバックトルク電圧と回転速度指令電圧を計測した。回転速度指令電圧は，PLC（Programmable Logic Controller）からD/A（デジタル→アナログ）変換器を経由してサーボアンプに出力している。

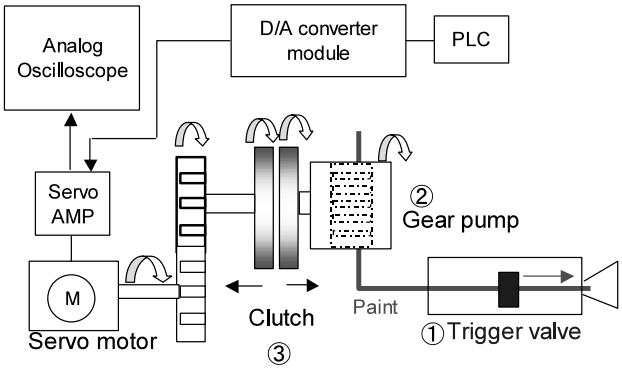


Fig.3　Measurement of Gear Pump Load

このトルク電圧（負荷量）は，ギアの回転速度指令電圧と線形関係にあれば，トルク電圧を監視することにより，正常状態と異常状態に区分けして吐出量を保証する方式が可能となる（Fig.4）。

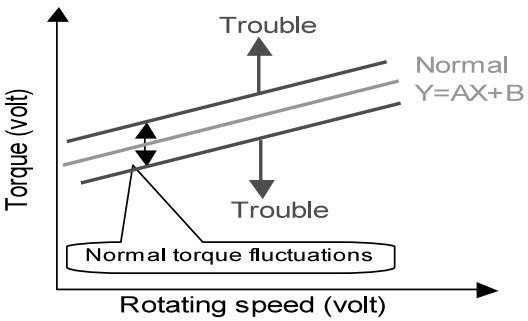


Fig.4　Concept of Trouble Detecting System by Torque

実験は，正常時の状態と以下の三つの異常状態をつくり実施した。

① バルブ不良……トリガバルブの強制閉
② 塗料噛込み不良……ギアポンプへの外部負荷
③ クラッチ不良……クラッチの強制開

Fig.5は正常時のトルク電圧波形である。

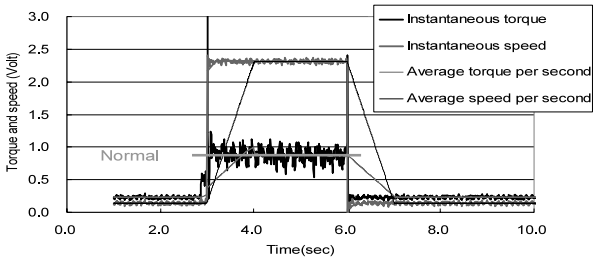


Fig.5　Normal Waveform of Torque

① バルブ不良

トリガバルブを閉じて，吐出動作させトルク電圧波形を計測した。その結果，Fig.6のように回転速度指令電圧は正常時と比べて大差ないが，トルク値の平均値が0.9Vから1.4Vとなり，1.5倍に上昇した（Fig.6）。

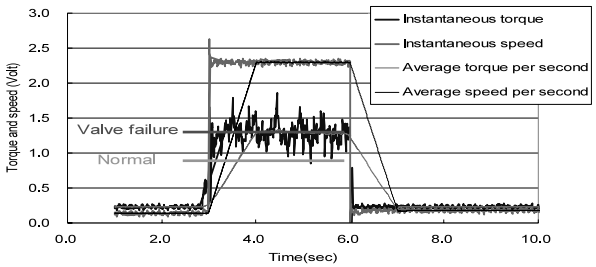


Fig.6　Waveform of Valve Failure

② 塗料噛込み不良

塗料噛込み不良状態を想定し，ギアポンプに外部から負荷をかけてトルク電圧波形を計測した。その結果，バルブ不良時と同様に異常時は，トルク瞬時値・平均値ともに正常時とは異なった波形を示した（Fig.7）。

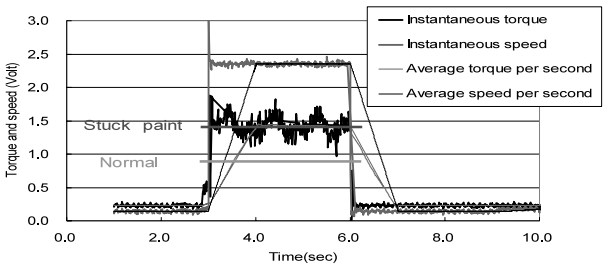


Fig.7　Waveform of Stuck Paint

③ クラッチ不良

クラッチすべり不良状態を想定し，クラッチを強制的に開放してトルク電圧波形を計測した。その結果，トルク瞬時値は振幅周期が波打っている傾向があり，トルク平均値

は正常時とほとんど同様の波形を示した（Fig.8）。

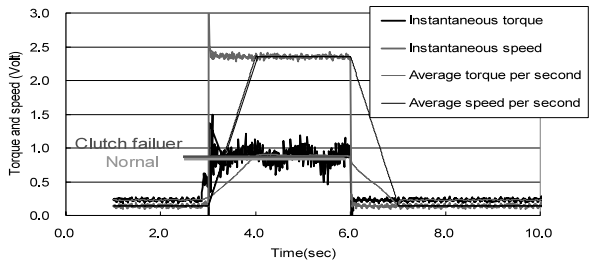


Fig.8　Waveform of Clutch Failure

次に，塗料の種類や塗色による粘度差がトルク電圧に与える影響を加味し，正常時と異常時の差異を確認するために，塗料の種類によるトルク平均値のバラツキ，回転速度指令電圧とトルク平均値の関係について実験を行った。

塗料の種類2種（ソリッド，メタリック），塗色15色による正常時のトルク電圧を計測し，粘度が最もトルク電圧に影響するように使用範囲内での最高吐出量を設定した。その結果，トルク電圧は，約0.3Vのバラツキがあるが，トルク電圧は異常電圧以下であることが確認でき，正常時と異常時の判別ができることが分かった。また，トルク電圧と回転速度指令電圧の関係は比例関係にあることも確認できた。Fig.9に，負荷の大きい代表色の結果を示す。

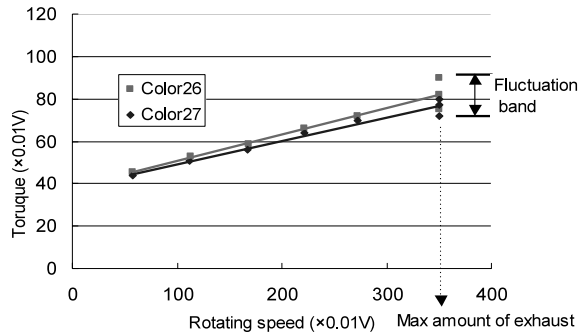


Fig.9　Relationship between Torque and Rotating Speed

以上の結果から，バルブ不良と塗料噛込みに対してはトルク平均値を監視し，正常時のトルク平均値と比較することで吐出状態が保証できる。また，吐出量の使用範囲内では，正常時のトルク平均値は，異常時（トリガバルブの不良や塗料噛込み不良）のトルク平均値には到達せず，固定の閾値で判別でき，Fig.10のように，トルク平均値が閾値（一定値）以上になれば，回転速度指令電圧によらず異常を検出できるシステムとした。また，システムの誤判断を防止するために，立ち上がり時（吐出開始時）の突入電流によるピークを無視し，トルク平均値の精度を向上させるため，不感帯を設定した（Fig.11）。また，クラッチ不良については，平均値では判別できないことが分かり，波形の形状特性による判別システムを現在開発中である。

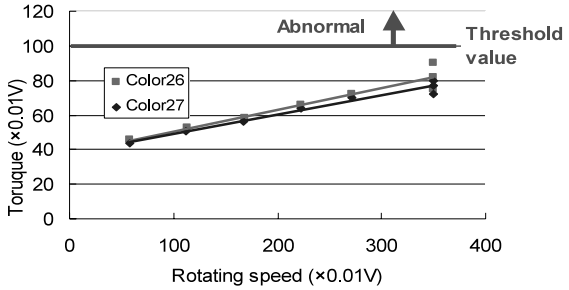


Fig.10　Relationship between Normal Torque and Abnormal One

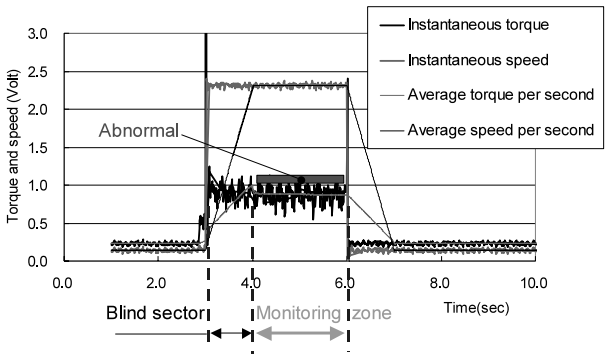


Fig.11　Monitoring Zone

3.2　エアモータ回転数・シェーピングエア流量保証（自動補正技術）

当社では，塗装の最適化を狙い，塗装パターン，吐出量および吐出のオン，オフなどの細分化を展開している。その中で，ベルを回転させるエアモータの回転が変動すると塗料の微粒化状態がばらつき，肌や色合いなどの品質が確保できなくなる。そこで，従来のPID（Proportional Integral Derivative）制御に加えて，追従性を高めたエアモータの回転を安定させるシステム開発に取り組んだ。

従来のエアモータの回転は，次に挙げるフローでPID制御している（Fig.12）。

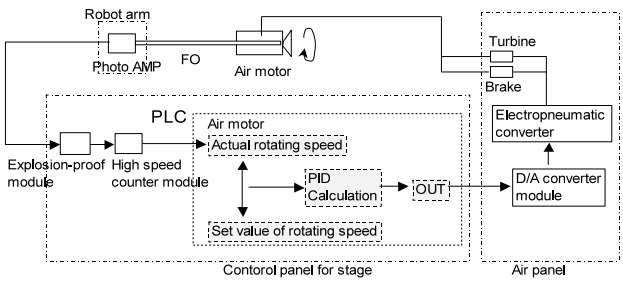


Fig.12　Previous Control Flow

① 実回転数を光アンプで検出（パルス信号）
② 回転パルス信号を高速カウンタに取り込む
③ 設定回転数と実回転数を比較しPID演算
④ 出力値を決定し，電空変換器に出力
⑤ タービンエア，ブレーキエア流量を制御

塗料を吐出していない時は，安定した回転数で制御しているが，吐出している状態では，回転数が下降してしまう。また，吐出状態から塗料カット状態に切り替わる時は，回転数が上昇する。一旦下降した回転数は，PID制御で設定回転数に戻そうと制御するが，回転数が安定する前に吐出がオン・オフされると，狙いどおりに回転数が変化せず安定しなくなる。つまり，吐出開始時の立ち上がり遅れや吐出オン・オフによって回転数のオーバシュート，アンダーシュートが発生し，安定した回転状態とならない（Fig.13）。

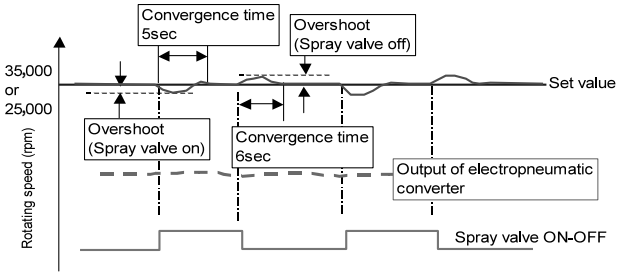


Fig.13　Previous Response of Rotating Speed of Air Motor

回転数の変動は，塗料の吐出状態が変化する時に発生するため，この時にエアモータに何らかの抵抗がかかっていると考えた。この抵抗を発生させる要因としては，塗料の種類（粘度）と吐出量が挙げられ，回転数と塗料粘度，吐出量の関係を調べるために，既存の回転数モニタシステムを活用し実験を行った。塗料の粘度に対して3水準（大，中，小），吐出量に対して3水準（大，中，小）の回転数のバラツキを計測した。

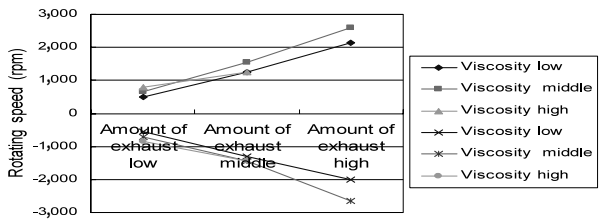


Fig.14　Relationship between Amount of Exhaust and Variation of Rotating Speed

その結果，Fig.14に示すように，粘度，吐出量ともに大きいほど，回転数のバラツキが大きくなり，その中で吐出量の影響度が大きいことが分かった。

そこで，吐出オン時には，回転数が低下しないようにエア出力量を増加させ，吐出オフ時には，回転数を増加させないようにエア出力量を減少させるコントロールロジック（フィードフォワード制御）を開発した。

吐出量を3段階（0～150cc，150～300cc，300cc以上）に分割し，吐出時の設定回転数に対して増減させる割合（α：吐出オン時，β：吐出オフ時）を吐出量ごとに設定可能なシステムとした。この割合を吐出オン，オフ時の出力値に掛けて電空変換器に出力し，回転数を安定させるロジックである（Fig.15）。この補正出力時間は，オーバシュート量，アンダーシュート量とそれらの収束時間を最小限に抑えることができる1スキャン（0.1sec）と定めた。

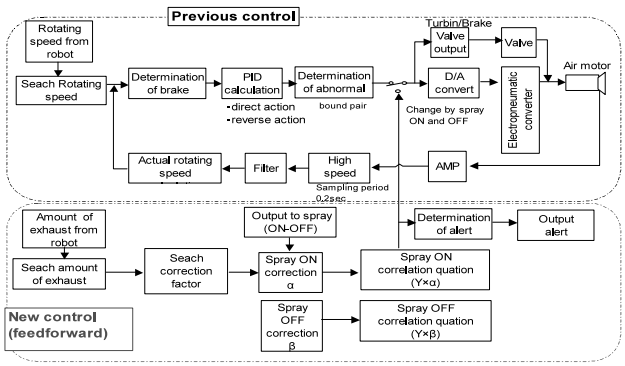


Fig.15　New Feedforward Control Flow

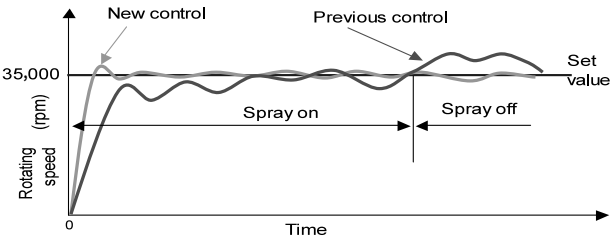


Fig.16　Response of Feedforward Control

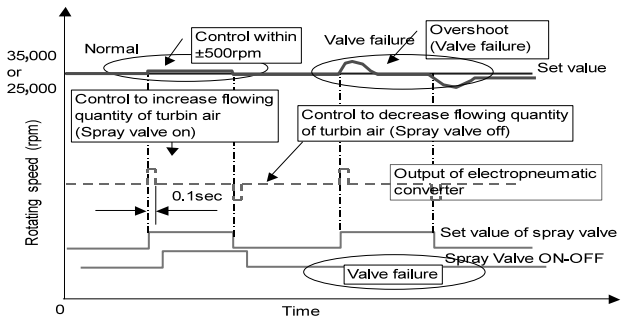


Fig.17　New Response of Rotating Speed of Air Motor by Feedforward Control

Fig.16，17は，フィードフォワード制御による状態を示したものである。実際の使用回転数の範囲でオーバシュートする回転数のバラツキを±2,200rpmから±500rpmに抑えることができた。また，エアバルブが動作不良をおこし

た場合には，回転数のオーバシュートが大きくなり異常として検出している。

シェーピングエア流量は，流量センサでエア流量を直接計測しているが，エアホースの長さや径によって応答性が変化する。塗装途中に搬送設備が一旦停止すると，塗装機は，その場で塗装を中断し待ち状態となる。塗装再開時には，塗料の使用量を最小にするため，その場から塗装を開始する動作をする。このため，塗装再開と同時に塗装面積を形成するシェーピングエアの応答性は重要である。この応答性を高めるために，実流量にキャリブレーションをかけて電空変換器に出力するフィードフォワード制御を採用し，常に安定した流量を確保できるシステムとした（Fig.18，19）。

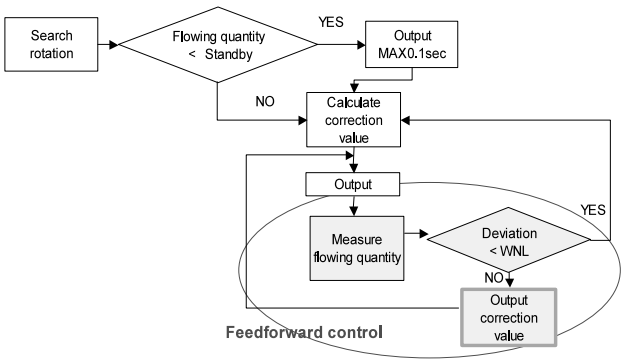


Fig.18　New Logic Flow of Flowing Quantity of S/A

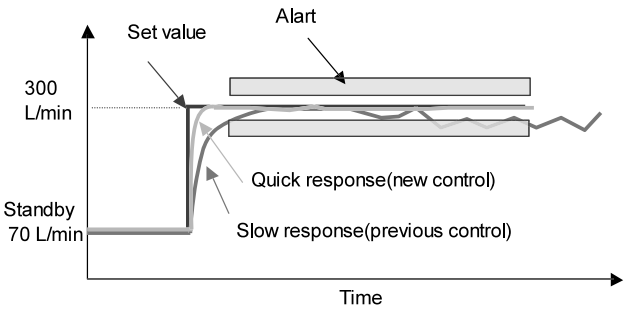


Fig.19　New Response of Flowing Quantity of S/A

4．導入効果

2003年11月に本技術を防府工場に導入した。導入前は塗装不良件数が2ヶ月間で12件発生していたが，導入後は，0件と完全に次工程への品質不良流出を防止している。現在は，国内の全工場に本技術を展開済みである。

更に当技術導入の付随効果として，不良流出による手直し・再塗装の塗料使用量を排除できるため，VOC（Volatile Organic Compounds）排出量削減が可能である。また，塗装機器の劣化などによる設備不具合の要因追求を早期に行うことができ，品質の安定化が図れた。

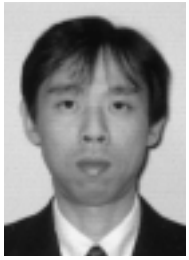
5．おわりに

常にお客様に満足して頂ける車を提供していくことが我々の使命である。そのために，自動車を造る各工程内できっちりとした品質を造り込み保証していくことが重要である。従来の方式にとらわれず，品質を保証すると同時に，ロスをミニマム化できるシステム開発に取り組むことで，お客様が満足する品質を低コストで提供できるようにしていきたい。

参考文献

(1)　小笠原敏文ほか：環境にやさしい新塗装技術の開発，マツダ技報，No.21，p.205-210（2003）

■著　者■


山本充億

掛　正喜

世良和也

岩尾　剛

特許紹介

車両用走行誘導装置

特許第2764809号（登録日　1998年04月03日）

発　明　者　　正路　　太，柿原　正樹，鈴木　清美

発明の実績　　特許紛争解決　2006年社内発明表彰（登録実績上位級）受賞

〈発明の背景〉

自動車に搭載されたナビゲーションシステムは，現在位置や走行軌跡等の走行誘導に必要な情報を地図とともに表示して，ドライバがあらかじめ設定した目的地へ誘導するものである。

従来のナビゲーションシステムでは単に現在位置や走行軌跡しか表示していないので，これにしたがって走行している場合，交通渋滞等に巻き込まれてしまうことがある。

そこで，交通情報を受信し，混雑度合を地図上に例えばカラー表示するようにしているが，回避経路（迂回路）の選択を運転者が地図表示を見ながら行うことは困難である。これに加え，迂回しようと地図上から選んだ迂回路が場合によっては進入禁止等で走行できないケースも生じ，この面での課題を解消することが要請されている。

この発明は，この課題を解決するもので，渋滞がある場合には望ましい回避経路(迂回路)を運転者が知ることができ，更に，回避経路が設定できない場合でも運転者が渋滞路を含む走行経路を視認することにより運転者が安心して走行経路上を走行することができるようにしたものである。

〈発明の概要〉

構造：

目的地までの走行経路を設定し車両をこの目的地まで誘導する車両用走行誘導装置において，

(1)　道路地図情報を記憶する記憶手段を設ける。

(2)　渋滞路及び渋滞方向を認識する渋滞認識手段を設ける。

(3)　道路地図及び走行経路を表示する表示手段を設ける。

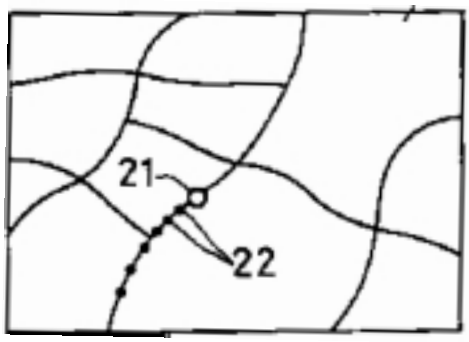
(4)　渋滞認識手段により認識された渋滞路のうち走行経路上にある渋滞路を回避する回避経路を設定する回避経路設定手段を設ける。

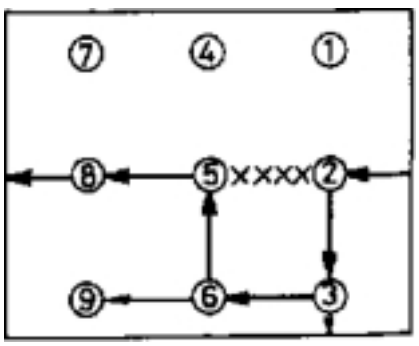
(5)　この回避経路設定手段により回避経路が設定されたときはこの回避経路を道路地図上に表示し，一方，回避経路が設定されなかったときは渋滞路を含む走行経路を道路地図上に表示する表示制御手段を設ける。

この構成で，回避経路が設定されたときはこの回避経路を道路地図上に表示し，一方，回避経路が設定されなかったときは渋滞路を含む走行経路を道路地図上に表示する。

効果：

運転者は，渋滞がある場合には望ましい回避経路（迂回路）を知ることができ，更に，回避経路が設定できない場合でも渋滞路を含む走行経路を視認することができるので，安心して走行経路上を走行することができる。





特許紹介

エンジン及び自動変速機の制御装置

特許第3536344号（登録日　2004年03月26日）
発　明　者　　栗山　　実，佐々木和夫，上野　隆司，西里　鉄也，高羽　徹郎
発明の実績　　社内実施（FNシリーズAT）
　　2006年社内発明表彰（登録実績上位級）受賞

〈発明の背景〉

この種の自動変速機においては，変速機構の摩擦要素を締結するためのライン圧を生成する油圧制御回路が備えられている。その場合に，この油圧制御回路によって生成されるライン圧が摩擦要素への入力トルクに対して低すぎると，該摩擦要素のトルク伝達容量が不足して，所要のトルクを確実に伝達できなくなる。逆に，ライン圧が高すぎると，変速時に過大な変速ショックを生じさせるばかりでなく，燃費性能を悪化させることにもなる。

そのため従来より，入力トルクに基づいてライン圧を設定するとともに，変速に際して変速動作が開始する直前に所定の値に固定してライン圧を制御し，良好な変速特性を得るようにしている。

しかしながら，従来のものでは変速時にエンジンの出力トルクを調整する場合，変速ショックを効果的に抑制できない問題がある。

この発明は，この問題を解決するもので，エンジンと自動変速機とを組み合わせて制御し，変速ショックを効果的に抑制するようにしたものである。

〈発明の概要〉

構造：

エンジン及び自動変速機の制御装置において，

(1)　自動変速機に入力される入力トルクと変速機構の回転の変化に伴うイナーシャトルクとに基づいて変速時の目標入力トルクを設定する。

(2)　設定された目標入力トルクとイナーシャトルクとに基づいて変速時の摩擦要素締結用作動油圧の目標油圧を設定する。

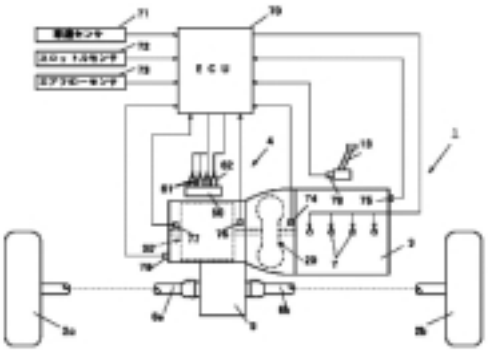
(3)　変速中に入力トルクが目標入力トルクとなるようにエンジントルクを低下させる。

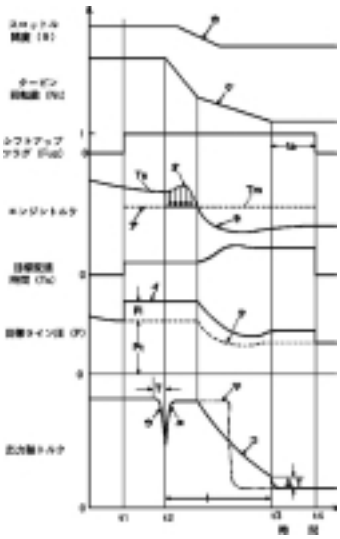
(4)　変速中の摩擦要素締結用作動油圧が目標油圧となるように制御するとともに，実入力トルクが目標入力トルクよりも小さくなったときは，実入力トルクとイナーシャトルクとに基づいて設定した値に制御する。

この構成で，変速中にスロットル操作が行われて実入力トルクが目標入力トルクより変化したとしても，それに伴って摩擦要素の作動油圧も変化する。

効果：

トルクダウンを行いつつ作動油圧を摩擦要素の要求油圧に適切に対応させることが可能となって，変速ショック，特に変速終了時のトルクショックが効果的に抑制されることになる。





特許紹介

自動変速機の変速ショック低減装置

特許第3508204号（登録日　2004年01月09日）
発　明　者　　栗山　　実，佐々木和夫，上野　隆司，西里　鉄也，高羽　徹郎
発明の実績　　社内実施（FNシリーズAT）
　　2006年社内発明表彰（登録実績上位級）受賞

〈発明の背景〉

この種の自動変速機においては，変速マップに照らし合わせて変速するか否かを判定して，その判定結果に応じて変速段が実現されるように，各摩擦要素の締結状態が切り替えられる。その場合に，変速過程で不快な変速ショックが発生する。

従来，このようなショックに対しては，変速時にエンジン出力を一時的に低下することにより変速機構の入力トルクを低下させるようにしたものがある。これによれば，入力トルクが低下した分だけ変速ショックが低減されることになる。

しかしながら，従来においては，変速時のトルク低下量が一律に行われていたため，変速中にアクセル操作が行われると自動変速機への入力トルクが変動することになって，変速ショックを効果的に抑制できない問題がある。

この発明は，この問題を解決するもので，変速時に入力トルクを低下させる際，変速ショックを安定して抑制するようにしたものである。

〈発明の概要〉

構造：

自動変速機の変速ショック低減装置は以下のように構成されている。

(1)　タービントルクと変速時のタービン回転変化量とに基づいてエンジンの変速時目標トルクを設定する。

(2)　変速時目標トルクが実現するようにエンジンの出力トルクを低減（トルクダウン）させる。

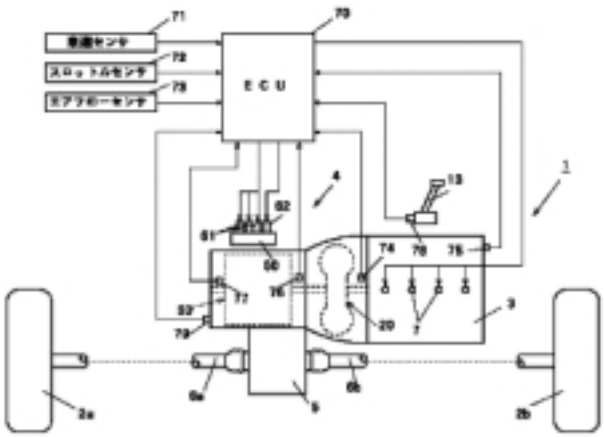
(3)　変速時目標トルクとタービン回転変化量とに基づいて変速時目標ライン圧を算出する。

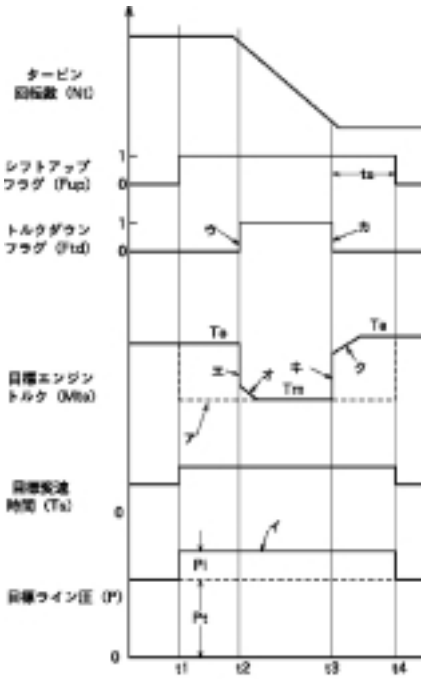
(4)　変速時目標ライン圧が実現するようにライン圧を制御する。

この構成で，変速時目標入力トルクと一致するように実際の入力トルクが調整される。

効果：

変速時目標入力トルクが精度良く設定されることになり，変速ショックを安定して抑制することができる。





特許紹介

自動変速機の油圧制御装置

特許第3561979号（登録日　2004年06月11日）
発　明　者　　澤　　研司，沢崎　朝生，篠塚　　浩，鎌田　真也
発明の実績　　社内実施（FNシリーズAT）
　　2006年社内発明表彰（登録実績上位級）受賞

〈発明の背景〉

一般に，自動変速機は，それぞれの摩擦要素に対する作動圧の給排を制御する油圧制御回路により自動的に変速するように構成されている。

この油圧制御回路には，油圧を制御するための各種のバルブが設けられている。近年，摩擦要素の油圧室に供給される作動圧の生成，調整，排出等の制御は，デューティソレノイドバルブ等の油圧制御手段を用いて電気的に行われている。

従来，それぞれのデューティソレノイドバルブにより作動圧を適切に調整，特に変速時における作動圧の給排のタイミングを緻密に制御することにより，変速ショックの低減等，変速フィーリングの向上を図っていた。

しかしながら，複数の摩擦要素に対する作動圧の制御に加えロックアップの制御もあわせてデューティソレノイドバルブで行う場合，その数が多くなり，油圧制御回路が複雑化する問題が発生する。

この発明は，この問題を解決するもので，動力伝達切り替え，ロックアップ制御を，デューティソレノイドバルブへの接続関係を切り替えるようにして実現したものである。

〈発明の概要〉

構造：

(1)　変速歯車機構の動力伝達経路を切り替える第1摩擦要素（第1の変速にのみ関与），第2摩擦要素（第1，第2の変速に関与）及び第3摩擦要素（第2の変速にのみ関与）を有する。

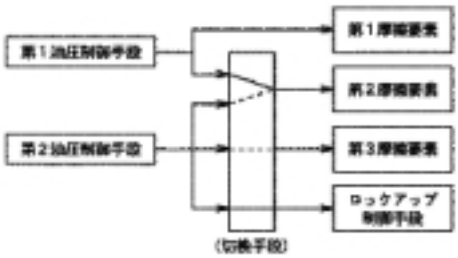
(2)　油圧制御回路に，第1摩擦要素，第2摩擦要素に供給される作動圧を制御する第1デューティソレノイドバルブと，第2摩擦要素，第3摩擦要素に供給される作動圧を制御する第2デューティソレノイドバルブとが設けられている。

(3)　ロックアップクラッチは油圧室に供給される作動圧で制御される。

(4)　第1の変速時には，第1摩擦要素，第2摩擦要素の油圧室を連通させてこれらを第1デューティソレノイドバルブに接続する第1位置に，第2の変速時には，第2摩擦要素，第3摩擦要素の油圧室を連通させてこれらを第2デューティソレノイドバルブに接続する第2位置にそれぞれ接続位置関係が切り替えられる切換手段を設け，かつ，上記第1位置において，第2デューティソレノイドバルブによりロックアップ制御手段を制御可能なように，これらを接続する。

効果：

少数のデューティソレノイドバルブ等の油圧制御手段によって多数の摩擦要素やロックアップの制御が可能となり，この種の自動変速機の油圧制御回路が簡素化されることになる。



特許紹介

自動車のドア構造

特許第3521452号（登録日　2004年02月20日）
発　明　者　　大段　清二，奥田　勇人，石神　邦明
発明の実績　　社内実施（乗用自動車）
　　2006年社内発明表彰（登録実績上位級）受賞

〈発明の背景〉

一般に自動車のドアは，インナパネルとアウタパネルとで構成され，その空間内に側面衝突時の衝撃荷重をインナパネル側に変形移動して吸収するようにしたインパクトバーを設けている。

従来，インパクトバーは，ドア内に昇降自在に収納されるドアガラスとの干渉を回避するためにアウタパネル寄りの配置となる。そのため，側面衝突時インパクトバーが乗員に対して直接的に当接することを防ぐよう衝撃荷重吸収部材をインナパネルの車室側に設けている。

ところが，衝撃荷重吸収部材が車室側に設けられているため，この衝撃荷重吸収部材によって車室内の居住性が悪化する問題が発生することになる。

この発明は，この問題を解決するもので，衝撃荷重吸収部材を側面衝突時にのみ乗員に弾性当接させて，車室内の居住性を向上させるものである。

〈発明の概要〉

構造：

インナパネルとアウタパネルとウインドガラスとを有する自動車のドア構造において，

(1)　側面衝突時に乗員に作用する側突衝撃荷重を吸収するため，ドア空間内でウインドガラスよりも車幅方向外側の位置に弾性変形可能な衝撃荷重吸収部材を配設する。

(2)　側突衝撃荷重によって少なくとも衝撃荷重吸収部材の一部分がドア空間から車両の乗員室に向かって移動することを可能とするようインナパネルに開口を設ける。

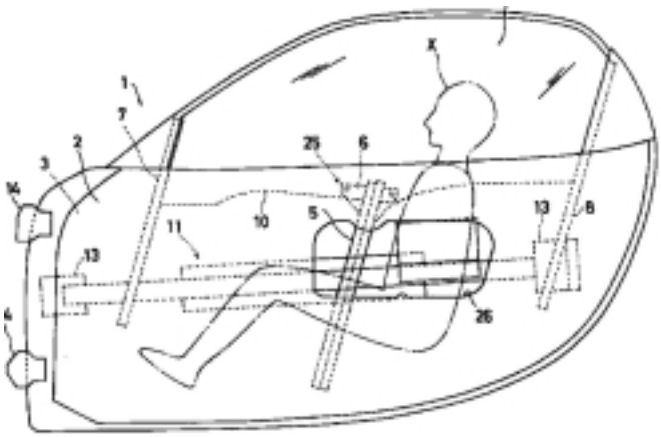
(3)　衝撃荷重吸収部材を支持するため，ドア内に該ドア内のアウタパネル寄りを車体前後方向へ延びるようにインパクトバーを配設する。

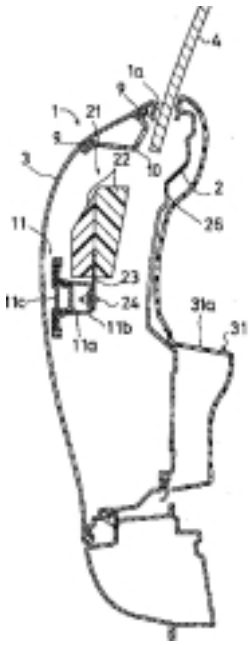
(4)　インナパネルの乗員室側にトリム部材を配設する。

この構成で，側面衝突時衝撃荷重吸収部材が開口を介して乗員室に向かって移動し，トリム部材に接するようにされている。

効果：

ドア内に収納された衝撃荷重吸収部材でもって側面衝突時の乗員に対する衝撃荷重を緩和吸収でき，車室側の衝撃荷重吸収部材を不要にして，車室内の空間を拡大し居住性の向上を図ることができる。





社外への発表論文一覧表（2005年１月～12月）

１．社外講演（海外）

＊所属は原則発表時点を示す

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
SAE 2005 World Congress	2005.4.11-14	SAE	2005-01-1006 Seat Lateral Support Evaluation with SAE Manikin	沖山　浩 道田奈々江 松橋　和裕	装備開発部 同　上 同　上
			2005-01-1007 Seat Lumbar Support Evaluation with ASPECT Manikin	道田奈々江 沖山　浩 松橋　和裕	装備開発部 同　上 同　上
			2005-01-1355 Aggressivity-reducing Structure of Large Vehicles in Side Vehicle-to-Vehicle Crash	安部　晶子 福島　正信 尾川　茂 砂川　孝之	衝突性能開発部 同　上 同　上 CAE部
SAE 2005 Noise and Vibration Conference and Exhibition	2005.5.16-19	SAE	2005-01-2288 Experimental Transfer Path Analysis of Gear Whine	神田　靖典	ドライブトレイン開発部
			2005-01-2304 Analysis of High Frequency Gear Whine Noise by Using an Inverse Boundary Element Method	安藤　甲一	ドライブトレイン開発部
International Conference on Intelligent Robots and System	2005.8.2-6	Institute of Electrical and Electronic Engineers	Manipulability Analysis of Human Movements during the Operation of a Variable-Impedance Controlled Robot	田中　良幸 辻　敏夫 山田　直樹 正守　一郎 西川　一男	広島大学 同　上 技術研究所 同　上 車両実研部
Macau Motor Vehicle Technical Seminar	2005.9.15	Macau Urban Council of the Macau Government	New Mazda MZR 2.0/2.3L Engine	室谷　満幸	第1エンジン開発部
ASI Robust Engineering Symposium	2005.9.19-21	American Supplier Institute	Optimal Design of Engine Mounting System Based on Quality Engineering	内田　博志 長尾　邦昭 三輪出洋巳 田中　孝彦 高田　直人	技術研究所 同　上 シャシー開発部 NVH性能開発部 操安性能開発部
Aachener Kolloquium Fahrzeng- und Motorentechnik 2005	2005.10.5-6	Aachener Kolloquium	The New 2.3L Direct Injection Turbo Gasoline Engine from Mazda	西田　正美 磯部利太郎 後藤　剛 榛澤　哲也 相賀　正一	パワートレイン先行開発部 パワートレイン開発推進部 第1エンジン開発部 第3エンジン開発部 同　上
第1回Global Digital Engineering Conference	2005.11.18	㈱電通国際情報サービス	マツダのデジタル革新MDIと次期計画	岡村　一徳	エンジニアリングシステム部

2．社外講演（国内）

＊所属は原則発表時点を示す

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
自動車技術会九州支部講演会	2005.2.8	自動車技術会	ガソリンHCCI燃焼技術と燃焼センシング	田端　道彦	技術研究所
省エネルギー実施事例発表全国大会	2005.2.9-10（東京） 2005.2.17-18（大阪）	省エネルギーセンター	3ウェットオン塗装による省エネルギー自動車塗装ラインの実現	木村　稔 世良　和也 亀迫　裕介	車両技術部 同　上 同　上
近畿大学工学部産学官連携推進協力会　特別講演会	2005.2.24	近畿大学	自動車産業の今後の技術開発	山本　順一	技術研究所
2004年度技術者懇談会	2005.3.4	自動車技術会関西支部	ディーゼル関連技術はどこまで進んでいるか	寺沢　保幸	技術研究所
第217回中国EAC例会	2005.3.4	中国設計管理研究会	3D CADツール＆データの活用について	加留部栄一	車両レイアウト・CAD部
			設計情報のデジタル化・システム化について	近藤　敏郎 佐々木幸博	車両レイアウト・CAD部 同　上
			Mazda Digital Innovationの紹介	河内　正行	MDI・MPDS企画推進部
第145回内燃機関懇話会	2005.3.9	機械学会関西支部	マツダロータリエンジンについて	松岡　孟	技術研究所
「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」第1回公開シンポジウム	2005.3.23	文部科学省	着座接触圧力に基づく疲労度評価	古郡　了	技術研究所
日本鉄鋼協会春季講演大会シンポジウム	2005.3.30	日本鉄鋼協会	自動車における耐熱ステンレス鋼の活用	武重　伸秀 天野　浩平 平本　健治	技術研究所 同　上 同　上
2005モータ技術シンポジウム	2005.4.20	日本能率協会	Zoom-Zoomな実用ｅ-4WD	瀬尾　宣英	技術研究所
精密工学会中国四国支部	2005.4.21	精密工学会	高精度・高強度歯車熱処理技術の開発	川上　稔夫 有見　幸夫 中村　尚生	パワートレイン技術部 同　上 第2工務技術部
日本鋳造技術協会平成17年度春季大会	2005.5.12	日本鋳造技術協会	自動車部品へのアルミ適用事例	大塚　真	パワートレイン技術部

大 会 名	日 程	主 催	題 目	発表者	所 属
2005年春季大会　学術講演会	2005.5.18-20	自動車技術会	スポット溶接部の破断に関する解析技術の調査・研究（第2報）	寺口　毅	CAE部
				前野　朋之	㈱トヨタコミュニケーションシステム
				六車　傑	関東自動車㈱
				金森　亮	アイシン精機㈱
				小柳　公人	トヨタ車体㈱
				林　賢司	三菱自動車工業㈱
				山本　道明	日野自動車㈱
				小林　卓哉	㈱メカニカルデザイン
				里中　忍	熊本大学
			自動車降車時の足出し動作負担の予測モデル	吉澤　公理	技術研究所
				末冨　隆雄	同　上
			小型DE用触媒担持型DPFの開発	對尾　良則	技術研究所
				原田浩一郎	同　上
				高見　明秀	同　上
2005年春季大会 フォーラム「国内各社のガソリンエンジン技術戦略」	2005.5.19	自動車技術会	マツダのパワートレインの方向とガソリンエンジンの将来課題	松岡　孟	技術研究所
技術経営交流研究会	2005.5.24	関西生産性本部	Mazda Digital Innovationの紹介	木谷　昭博	MDI・MPDS企画推進部
NetApp Focus 2005	2005.5.26	日本ネットワーク・アプライアンス㈱	自動車開発のデジタル化とストレージ	岡村　一徳	エンジニアリングシステム部
第16回プラスチック成形加工学会年次大会	2005.6.8	プラスチック成形加工学会	バンパーリサイクル技術 ～新しい塗膜除去技術の開発～	森脇　健二	技術研究所
				藤　和久	同　上
				田中　宣孝	車両技術部
				中村浩一郎	ボデー開発部
				相澤　誠	同　上
ロボテックス・メカトロニクス講演会2005	2005.6.9-11	日本機械学会	ステアリング動作における人間の手先のインピーダンス特性の解析	神田　龍馬	広島大学
				田中　良幸	同　上
				福庭　一志	技術研究所
				山田　直樹	同　上
				正守　一郎	同　上
			ステアリング動作における手先力操作特性の解析	吉岡　潤	広島大学
				田中　良幸	同　上
				辻　敏夫	同　上
				山田　直樹	技術研究所
				正守　一郎	同　上

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
			可変インピーダンス制御に基づく仮想シフトレバー装置の開発	田中　良幸 辻　敏夫 山田　直樹 正守　一郎 西川　一男 河手　巧	広島大学 同　上 技術研究所 同　上 車両実研部 同　上
第7回中部CAE懇話会	2005.6.17	CAE懇話会	自動車用パワートレインの機構挙動解析による高性能化	栗栖　徹	パワートレイン先行開発部
第13回品質工学研究発表大会	2005.6.20-21	品質工学会	品質工学を用いた新接合技術開発プロセスの構築	橋本　晃 奥村　信弥	パワートレイン技術部 同　上
			品質工学に基づくエンジンマウント系の最適設計	内田　博志 長尾　邦昭 三輪出洋巳 田中　孝彦 高田　直人	技術研究所 同　上 シャシー開発部 NVH性能開発部 操安性能開発部
			非接触計測における計測条件の最適化	川越　義隆	パワートレイン技術部
第13回 産業用バーチャルリアリティ展	2005.6.22-24	リードエグジビションジャパン㈱	マツダにおけるデジタルモックアップの構築と活用	田中　賢二	車両レイアウト・CAD部
第16回設計・製造ソリューション展	2005.6.22-24	リードエグジビションジャパン㈱	マツダ「ベリーサ」の試作車レス開発にみる製品開発の革新～CAE活用の現状と将来展開への取組み～	安藤　誠一	CAE部
高張力鋼板研究委員会公開セミナー（第2回）「高張力鋼板の自動車車体への適用技術」	2005.6.24	日本塑性加工学会高張力鋼板研究委員会	自動車車体への高強度鋼板適用例と成形技術	片桐　泰伸 中原　孝善	車体技術部 同　上
生産システム部門講演会2005講演	2005.6.25	日本機械学会	自動車車体組立における溶接品質検査システムの開発	加藤喜久生	車体技術部
第11回創発システム・シンポジウム	2005.8.19-21	計測自動制御学会	能動・受動運転時における緊急時反応時間特性	綾元　宏 河内山隆紀 呉　景龍 山本　康則 松岡　悟	香川大学 同　上 同　上 技術研究所 同　上
日本機械学会　V_baseフォーラム	2005.8.23	日本機械学会	車体パネルの放射音低減形状	加村　孝信	技術研究所
第10回ガソリン機関部門委員会	2005.8.31	自動車技術会	デュアルフューエル水素ロータリーエンジンの開発	三角　正法	技術研究所

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
PLMコングレス2005	2005.9.12	日経ものづくり	マツダのデジタル革新MDIと次期計画	滝口　哲郎	エンジニアリングシステム部
日本機械学会2005年度年次大会	2005.9.19-22	日本機械学会	DISC-HCCI ハイブリッド燃焼エンジンの特性	山川　正尚	パワートレイン先行開発部
				林　好徳	同　上
				西本　敏朗	同　上
				人見　光夫	同　上
			渦の干渉による空力騒音の発生メカニズムについて	李　曄	車両実研部
				笠木　直彦	同　上
				中村　貴樹	同　上
				農沢　隆秀	同　上
			歯毎に歯面形状精度が異なるはすば歯車のかみあい伝達誤差解析	西野　隆之	パワートレイン先行開発部
				藤井　猛	パワートレイン技術部
				寺本　義広	同　上
第96回触媒討論会	2005.9.20-23	触媒学会	Ce複合酸化物のSoot燃焼性能について	原田浩一郎	技術研究所
				對尾　良則	同　上
				高見　明秀	同　上
第14回日本交通医学工学研究会学術総会	2005.9.23	日本交通医学工学研究会	ドライバ特性としての運転スタイル・運転負担感受性	石橋　基範	技術研究所
2005年秋季大会 学術講演会	2005.9.28-30	自動車技術会	DISC-HCCI ハイブリッド燃焼エンジンの解析	西本　敏朗	パワートレイン先行開発部
				林　好徳	同　上
				山川　正尚	同　上
				藤川　竜也	同　上
				人見　光夫	同　上
			アルミニウム合金の摩擦点接合	玄道　俊行	技術研究所
				江口　法考	㈱神戸製鋼所
			シリンダヘッドの熱疲労寿命予測	宮嵜　隆男	パワートレイン先行開発部
				加賀谷　浩	同　上
				村上　展堂	㈱マツダE&T
				鳥越　祐児	同　上
				池田　雅博	同　上
			ドライバー特性の地域による特徴に寄与する道路交通環境の検討	佐藤　稔久	産業技術総合研究所
				赤松　幹之	同　上
				石橋　基範	技術研究所
				熊倉　佐恵	三菱自動車工業㈱
			マルチホールインジェクタを用いたスプレーガイド直噴エンジン	瀬戸　祐利	技術研究所
				山下　洋行	同　上
				太田　紀之	同　上
				村上　庸	同　上
				吉田　浩之	同　上

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
			自動車乗降動作における身体的負担推定手法の提案とその評価	小竹　元基 吉澤　公理 末冨　隆雅 鎌田　　実 末永　真一	東京大学 技術研究所 同　上 東京大学 同　上
			動弁系及びタイミングチェーンの機構運動解析	小泉　昌弘 宮内　勇馬 近藤真希夫	パワートレイン先行開発部 同　上 第3エンジン開発部
			本革製ステアリングホイールの触感向上技術	田中　　力 京極　　誠 牧野　耕樹 宮濱　芳文	技術研究所 同　上 シャシー開発部 車両実研部
			老人体験シミュレータの高齢者模擬特性に関する考察	新部　忠幸 米澤　泰延 岡本　宣久	技術研究所 同　上 同　上
塑性加工技術フォーラム「最新の精密板金プレス技術セミナー」	2005.9.30	日本塑性加工学会中国四国支部	自動車ボデー用プレス成形アルミ部品の新接合技術	庄司　庸平	車体技術部
LMSコンファレンス	2005.10.11	LMSジャパン㈱	MazdaのVirtual開発への取り組み	木谷　昭博	MDI・MPDS企画推進部
第9回関西設計・製造ソリューション展	2005.10.12-14	リードエグジビションジャパン㈱	マツダ「ベリーサ」の試作車レス開発にみる製品開発の革新～CAE活用の現状と将来展開への取組み～	安藤　誠一	CAE部
CTC西日本ITトレンドセミナー「仮想化によるシステム統合」	2005.10.13	伊藤忠テクノサイエンス㈱	自動車開発とストレージ	岡村　一徳	エンジニアリングシステム部
第6回秋季技術交流フォーラム	2005.10.15	日本機械学会関西支部	自動車用エンジンの先進燃焼技術（多段噴射ディーゼル）	寺沢　保幸	技術研究所
第9回経営者懇談会	2005.10.21	品質工学会	品質工学を用いた新接合技術開発プロセスの構築	橋本　　晃	パワートレイン技術部
第50回VS研究会	2005.10.21-22	機械学会VS研究会	品質工学に基づくエンジンマウント系の最適設計	内田　博志 長尾　邦昭 三輪出洋巳 田中　孝彦 高田　直人	技術研究所 同　上 シャシー開発部 NVH性能開発部 操安性能開発部
No.09-05 シンポジウム 将来のガス燃料エンジン	2005.10.26	自動車技術会	水素ロータリエンジン	森本　賢治 寺本　隆文	技術研究所 同　上

大 会 名	日 程	主 催	題 目	発表者	所 属
平成17年度 省エネルギー普及指導員 養成研修会	2005.10.27	省エネルギーセンター中国支部	自家用車と省エネルギー	和田 隆志	車両実研部
2005年日本航空宇宙学会西部支部講演会	2005.10.28-29	日本航空宇宙学会西部支部	自動車ドアミラーから発生する空力騒音のメカニズムについて	李 曄	車両実研部
				笠木 直彦	同 上
				中村 貴樹	同 上
				農沢 隆秀	同 上
平成17年度鋳造技術研修講座「鋳鉄の生産技術」	2005.11.7	素形材センター	キュポラ溶解の実際	田中 裕一	パワートレイン技術部
			中子造型法と砂	堀 雄二	パワートレイン技術部
2005 Virtual Product Development Conference	2005.11.7-8	エムエスシーソフトウェア㈱	車両ロードノイズ低減のためのCAE技術	小畑 聡	CAE部
				中野 伸一	同 上
PAM Users' Conference in Asia 2005	2005.11.10-11	日本ESI㈱	Analysis of High Frequency Gear Noise by Using IBEM	神田 靖典	ドライブトレイン開発部
				安藤 甲一	同 上
			The performance evaluation of DMP and Direct method by PAM-STAMP2G	酒井 明	車体技術部
				阿賀 弘晃	同 上
No.10-05 シンポジウム 動力伝達系の最新技術2005	2005.11.10	自動車技術会	AT制御系開発におけるHILSの活用	仲岸 優	ドライブトレイン開発部
平成17年度 省エネルギー普及指導員 養成研修会	2005.11.10	省エネルギーセンター四国支部	交通と省エネルギー	宮脇俊一郎	車両実研部
モールドフロー西日本セミナー2005	2005.11.19	モールドフロージャパン㈱	Moldflow等CAEを活用した自動車部品の開発	西山 剛史	車両技術部
第14回微粒化シンポジウム	2005.11.17-18	日本液体微粒化学会	直噴ガソリン機関用スワールノズルとホールノズルの混合気形成過程の比較	佐藤 圭峰	パワートレイン先行開発部
				神崎 淳	スズキ㈱
				山川 正尚	パワートレイン先行開発部
				西田 恵哉	広島大学
第13回プラスチック成形加工学会秋季大会	2005.11.24-25	プラスチック成形加工学会	高触感熱可塑性エラストマー内装材の開発～チェンジノブへの適用～	大西 正明	技術研究所
				中島 之典	同 上
				田中 力	同 上
			炭酸カルシウムを添加した芳香族ポリアミド樹脂の力学特性	藤原 純平	山形大学
				石川 優	同 上
				岡本 和夫	技術研究所
				吉田 邦彦	同 上
				松田 祐之	同 上

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
日本SGIソリューション・キュービック・フォーラム2006	2005.11.29-30	日本SGI㈱	MDI（マツダ・デジタル・イノベーション）の取り組み事例－CAE業務フローの自動化	滝口　哲郎	エンジニアリングシステム部
第38回　日本人間工学会中国・四国支部大会	2005.12.3	日本人間工学会　中国・四国支部	感性工学を用いた質感分析－自動車内装の表面質感向上への応用－	中西　典子 佐賀　尚人 福井　信行	車両実研部 同　上 同　上
			走り感の研究	黒田　真也 高原　勇樹 宮脇俊一郎	車両実研部 同　上 同　上
			自動車シフト操作における人間動作の分析	三浦　泰彦 山田　直樹	技術研究所 同　上
熱処理技術協会　中四国支部　窒化分科会	2005.12.5	熱処理技術協会	浸炭窒化，窒化の自動車への適用	庄賀　英雄	パワートレイン技術部
第43回燃焼シンポジウム	2005.12.5-7	日本燃焼学会	予混合圧縮着火機関におけるイオン電流	吉山　定見 冨田　栄二 山下　勝士 田中　達也 田端　道彦	岡山大学 同　上 同　上 技術研究所 同　上
No.13-05 シンポジウム 進化を続けるガソリンエンジン	2005.12.13	自動車技術会	デュアルフューエル水素ロータリーエンジンの開発	三角　正法	技術研究所
No.14-05 シンポジウム 自動車の振動騒音問題とうまくつきあう方法	2005.12.15	自動車技術会	フルビークル機構解析モデルによるNVH解析－等速ジョイントが発進時横揺れ振動に与える影響－	藤川　智士	パワートレイン先行開発部
交通のバリアフリー化・シームレス化に関する研究会	2005.12.20	日本機械学会交通・物流部門	自動車降車時の足出し動作負担の予測	吉澤　公理	技術研究所

３．社外寄稿

＊所属は原則発表時点を示す

寄稿誌名	題目	発表者	所属
Journal of Alloys and Compounds Vol.393, p.147-153	The Study on Binary Mg-Co Hydrogen Storage Alloys with BCC Phase	張　耀 對尾　良則 秋葉　悦男 榎　浩利	キャリアセンター中国 技術研究所 産業技術総合研究所 同　上
Journal of Alloys and Compounds Vol.393, p.185-193	The Hydrogen Absorption-Desorption Performances of Mg-Co-X Ternary Alloys with BCC Structure	張　耀 對尾　良則 秋葉　悦男 榎　浩利	キャリアセンター中国 技術研究所 産業技術総合研究所 同　上
Journal of the Japan Petroleum Institute　第48巻　第4号	Pt担持セリア系酸化物におけるカーボン微粒子燃焼の低温化	原田浩一郎 對尾　良則 高見　明秀	技術研究所 同　上 同　上
Materials Science Forum Vols.475-479 (2005) p.2453-2456	Hydrogenation Properties of Mg-Co and its Related Alloys	張　耀 對尾　良則 榎　浩利 秋葉　悦男	キャリアセンター中国 技術研究所 産業技術総合研究所 同　上
Polymer Engineering & Science	The Effect of the Volume Fraction of Dispersed Phase on Toughness of Injection Molded Polypropylene Blended with SEBS, SEPS and SEP	松田　祐之 原　正雄 真野　剛 岡本　健三 石川　優	技術研究所 同　上 山形大学 同　上 同　上
Review of Automotive Engineering Vol.26, No.1, p.53-58	Estimation of Driver Fatigue by Pressure Distribution on Seat in Long Term Driving	古郡　了 吉澤　広理 稲目　力 三浦　泰彦	技術研究所 同　上 同　上 同　上
Review of Automotive Engineering Vol.26, No.3, p.285-290	Prediction of Exhaust Manifold Thermal Fatigue Life	玉里　裕孝 加賀谷　浩 西野　隆之 冨永　和也	パワートレイン先行開発部 同　上 同　上 ㈱ユーメックス
Review of Automotive Engineering Vol.26, No.4, p.461-468	Introduction to NVH Virtual Testing	安藤　正登 小具　洋一 中野　伸一 砂田　実	NVH性能開発部 同　上 CAE部 同　上
Value Engineering No.231, p.49-52	MDI（Mazda Digital Innovation）の紹介	木谷　昭博 河内　正行 大地　正樹 上岡　孝志	MDI・MPDS企画推進部 同　上 同　上 同　上

寄稿誌名	題目	発表者	所属
機械と工具 Vol.49, No.10, p.10-16	切削油技術研究会専門委員会報告～機械加工技術の50年の変遷	宇田　進彦	パワートレイン技術部
機械と工具 Vol.49, No.10, p.44-48	ロータリエンジン用ロータハウジングのトロコイドフォーム研削加工技術	増田　雅彦 片山　正志 岩井　利光	パワートレイン技術部 トーヨーエイテック㈱ 同　上
高分子論文集 Vol.62, No.3, p.117-123	分散相の構造がブロックポリプロピレンのタフネスに及ぼす影響	松田　祐之 原　正雄 美才治倫彦 岡本　健三 石川　優	技術研究所 同　上 山形大学 同　上 同　上
高分子論文集 Vol.62, No.9, p.414-418	ポリプロピレンの添加がSEPSをブレンドしたブロックポリプロピレンの延性に及ぼす影響	松田　祐之 原　正雄 石川　優	技術研究所 同　上 山形大学
自動車技術 Vol.59, No.1, p.30-35	新型ロータリエンジンの開発	田島　誠司 神原　伸司 清水　律治 楠木　喜三	第2エンジン開発部 同　上 同　上 同　上
自動車技術 Vol.59, No.12, p.39-43	歩行者頭部保護性能の開発	黒田　晋	衝突性能開発部
自動車技術 Vol.59, No.12, p.62-67	台上試験装置を用いた側面衝突安全性能開発	元木　正紀	衝突性能開発部
自動車技術 Vol.59, No.12, p.121-122	バーチャル開発技術を商品開発に適用	木谷　昭博 河内　正行 上岡　孝志	MDI・MPDS企画推進部 同　上 同　上
自動車技術論文集 Vol.36, No.1, p33-38	ガソリン機関における筒内タンブル流動と燃焼特性に及ぼすバルブリフトの影響	岩井　浩平 楢原　和晃 藤本　昌彦 田端　道彦	技術研究所 同　上 同　上 同　上
自動車技術論文集 Vol.36, No.1, p139-144	新開発ロータリエンジンにおけるアイドル燃費改善とその要素技術	植木　信也 香川　良二 橋口　匡	第2エンジン開発部 技術研究所 第2エンジン開発部
モータリンク No.21	RX-7～RX-8の変遷 マツダスポーツカーDNAの追求	任田　功	企画設計部
省エネルギー Vol.57, 2月号 p.46-50	3ウェットオン塗装による省エネルギー自動車塗装ラインの実現	車両技術部	車両技術部
溶接技術　Vol.53, 2月号, p.70-73	Virtual Testingについて－試作レスで自動車製造－	木谷　昭博 河内　正行 大地　正樹 上岡　孝志	MDI・MPDS企画推進部 同　上 同　上 同　上

寄稿誌名	題目	発表者	所属
塑性と加工 第46巻 第534号 p.41-45	自動車車体への高強度鋼板適用例と成形技術	中原　孝善	車体技術部
ロボット 165号	環境対応スリー・ウエットオン塗装技術の開発	山根　貴和 重永　　勉 神田　祐介 小笠原敏文 掛　　正喜	技術研究所 同　上 車両技術部 同　上 同　上
日本鋳造工学会中国四国支部会報「こしき」2005 Vol.28，p.11	コスワースプロセスの開発	大塚　　真 大島　久和 宮原　史卓	パワートレイン技術部 同　上 同　上
水素・燃料電池ハンドブック 17.1.2 水素自動車(2)	ロータリエンジン	森本　賢治	技術研究所
「明日のものづくり」，日経BP社，p.68-77	バーチャルとフィジカルを融合させた高効率な商品開発の実現	河内　正行 大地　正樹 上岡　孝志	MDI・MPDS企画推進部 同　上 同　上

編　集　後　記

マツダはここ数年，1999年に策定された“Zoom-Zoom”のブランドメッセージをもつ車を世に送り出してきました。これらの車はヨーロッパを始め各国での受賞という形でみなさまに評価されており，昨年登場した新型ロードスターは「2005-2006日本カー・オブ・ザ・イヤー」をマツダ車としては23年ぶりに獲得することさえ出来ました。マツダ技報第24号はこの“Zoom-Zoom”集大成というべき新型ロードスターと，このメッセージをミニバンにも展開した新型MPVの特集となっています。

これまでは常にベンチマークする側であり，一心不乱に車創りに取り組んでさえいれば結果につながる追う立場でした。今後は自ら道を切り開き，新しい提案をみなさまにお送り続けることを期待される立場に変わりつつあります。闇雲に邁進するだけでなく，10年後，20年後をしっかりと見据え，本技報にも紹介されているような技術の種を一つずつ確実にものにしながら地に足のついた車創りを行い，次世代の“Zoom-Zoom”を提案していきたいと思います。ご期待ください。

最後に，このマツダ技報執筆時期は例年のことながら車の量産立ち上がり時期と重なり，執筆者のみなさんには大変なご苦労の中でご協力をいただきました。この場を借りて謝意を表したいと思います。

（倉田）

編　集　委　員　会

委員長	喜田　達也	技術企画部
委　員	堀　　智博	企画設計部
	伊藤　　司	CAE 部
	倉田　直樹	シャシー開発部
	工藤　秀俊	第3エンジン開発部
	坂本　和夫	技術研究所
	菅　　康之	車両技術部
幹　事	佐々木圭太	技術企画部
	田坂　寿康	技術企画部
事務局	馬郡　雄二	技術研究所
	伊東加奈子	技術企画部

マツダ技報　第24号

発　行　平成18年4月
発行人　金井　誠太
編集人　喜田　達也
発行所　マツダ株式会社
商品企画ビジネス戦略本部技術企画部
〒730-8670
広島県安芸郡府中町新地３番１号
電話　082(287)4106
印刷所　マツダエース株式会社
広島県安芸郡府中町新地３番１号

Mazda Technical Review No.24

April 2006
Publisher　Seita Kanai
Editor　Tatsuya Kita
Distributor　Technology Planning Dept.
Product Planning & Business
Strategy Div.
Mazda Motor Corp.
3-1 Shinchi, Fuchu-cho Aki-gun,
Hiroshima 730-8670, Japan

©2006マツダ株式会社（禁無断転載）