

Mazda Technical Review



マツダ技報

Mazda Technical Review

2005 No. **23**

マツダ技報 第23号 (2005)

目 次

巻頭言

技術開発への執念と謙虚さ	金澤啓隆	1
--------------------	------------	---

特集：新型プレマシー

1. 新型プレマシーの紹介	福永賢一, 桑田義正, 柴田恵一郎	3
2. 新型プレマシー / Mazda5のデザイン	田畑孝司	9
3. 新型プレマシーのパッケージング	柴田恵一郎, 佐谷憲司, 吉田元喜 宮濱芳文	15
4. 新型プレマシーの衝突安全性能	河野勝人, 古谷雅之, 福谷和也 角美智雄, 曾我部洋, 柴崎宏武 杉本 繁, 舟橋良治	21
5. 新型プレマシーの樹脂リフトゲートモジュール	松本浩一, 栃岡孝宏, 杉本健一郎 平野竜治, 山口浩一郎, 竹下健二	27
6. 新型プレマシーのダイナミクス性能	和田仁法, 渡邊雅哉, 熊田拡佳 塚越 均, 伊藤 肇, 小倉正直	32
7. 新型プレマシー / Mazda5のパワートレイン	馬場文章	38

特集：ベリーサ

8. ベリーサの紹介	清地秀哲, 井田健二	42
9. ベリーサのデザイン	栗栖邦彦	47
10. ベリーサ開発におけるCAE適用技術の紹介	江頭裕二, 藤川孝司, 菊池荘吉 安藤正登, 梶村勇一, 銭谷恒明 堤 克弘	53
11. ベリーサの内装のゼロプロト開発	羽場憲昭	58
12. ハードディスク内蔵オーディオの開発	大滝喜由, 平野拓男, 細谷 清	62
13. マツダアドバンストキーレスエントリー&スタートシステム	岡光 淳, 曾根 章	67

論文・解説

14. ペダル操作における人間特性の研究	西川一男, 農沢隆秀, 阿部治彦 古川浩二, 宮本克己, 宮崎 透	71
15. 鞭打ち傷害低減シートの開発	金子直樹, 福島正信, 尾川 茂	77

16．樹脂リフトゲート内蔵複合アンテナの開発	重田一生，谷口龍昭，藤原明広 長嶺晋路，諸橋敏将	83
17．設計出図データチェックシステムの開発	中本正義，川崎俊司，宮原美智子	90
18．部品構成作成支援システム（v-DESIGN）の開発	岡村征三，新中 裕，大崎理恵 川原浩江，笹倉君子，平田隆教	93
19．乗用車用直噴ディーゼルエンジンNew MZR-CDの紹介	中井英二，森永真一，廣瀬倫之 白橋尚俊，谷村兼次，志茂大輔	98
20．マツダスピードアテンザ パワートレインの紹介	猿渡健一郎，藤野宏明，西田正美 渡邊淳司，岡留泰樹，河野裕人	104
21．新型6速マニュアルトランスミッション	石井 護，桑原 亘，濱野正利 西角博和，徳永幸司	115
22．新型5速 自動変速機の紹介	丸末敏久，石山貴士，大山 一 本瓦成人，岩下典生，仲岸 優 坂木民司	119
23．バンパの塗膜除去技術の開発	森脇健二，藤 和久，田中宣隆 中村浩一郎，相澤 誠	125
24．予混合圧縮着火燃焼におけるイオン電流計測	田中達也，榎原和晃，田端道彦 吉山定見，冨田栄二	130
25．ハイポイドギヤ絶対原価の追究	田中宏明，山本真司，樋口昭彦 坂東武夫	136
26．ATユニット異音評価方法の開発	下垣内誠	142
27．セミドライ高能率加工技術の開発	平井泰史，河崎日出夫	148
28．U2組立工場新生の概要	近藤恒幸，福谷 勇，福間博文 増田義弘，久 政志	153
29．U2塗装工場新生の概要	吉岡秀久，長嶺 浩，亀迫裕介 安藤宏泰，世良和也，紙元隆行	159
30．高粘度塗料のダストレス塗布工法の開発	中村哲也，高崎秀則 福田靖英	165
31．検査具絶対原価への取組み～データ嵌合評価手法の開発	村上功一，藤岡邦彦，鈴江章弘	171
32．フレキシブル車体組立ラインの進化	向原 明，五島泰明，山口英毅	177
特許紹介		182
社外への発表論文一覧表		187

Mazda Technical Review No.23

CONTENTS

Foreword

Persistence and yet Modesty in Technology Development (<i>H.Kanazawa</i>)	1
--	---

Special Edition for New Premacy

1 . Introduction of New Premacy (<i>K.Fukunaga, Y.Kuwata, K.Shibata</i>)	3
2 . Design of New Premacy / Mazda5 (<i>K.Tabata</i>)	9
3 . Package of New Premacy (<i>K.Shibata, K.Satani, M.Yoshida, Y.Miyahama</i>)	15
4 . Passive Safety of New Premacy (<i>K.Kouno, M.Furutani, K.Fukutani, M.Kado, H.Sogabe, H.Shibasaki, S.Sugimoto, R.Funahashi</i>)	21
5 . Plastic Liftgate-module of New Premacy (<i>K.Matsumoto, T.Tochioka, K.Sugimoto, R.Hirano, K.Yamaguchi, K.Takeshita</i>)	27
6 . Dynamics of New Premacy (<i>H.Wada, M.Watanabe, H.Kumada, H.Tsukagoshi, H.Ito, M.Ogura</i>)	32
7 . Powertrain for New Premacy / Mazda5 (<i>F.Baba</i>)	38

Special Edition for VERISA

8 . Introduction of VERISA (<i>H.Seichi, K.Ida</i>)	42
9 . Design of VERISA (<i>K.Kurisu</i>)	47
10 . CAE Application Technology in VERISA Development (<i>Y.Egashira, K.Fujikawa, S.Kikuchi, M.Andou, Y.Sugimura, T.Zenitani, K.Tsutsumi</i>)	53
11 . Zero-prototype (prototypeless) Interior Development for VERISA (<i>N.Haba</i>)	58
12 . Development of the HDD Audio System (<i>K.Ohtaki, T.Hirano, K.Hosotani</i>)	62
13 . Mazda Advanced Keyless Entry & Start System (<i>A.Okamitsu, A.Sone</i>)	67

Technical Reports

14 . A Study of Human Characteristics on Pedal Operation (<i>K.Nishikawa, T.Nouzawa, H.Abe, K.Furukawa, K.Miyamoto, T.Miyazaki</i>)	71
15 . Optimum Seat Characteristics to Reduce Whiplash Injuries (<i>N.Kaneko, M.Fukushima, S.Ogawa</i>)	77
16 . Development of Integrated Antenna in Resin Liftgate-module (<i>K.Shigeta, T.Taniguchi, A.Fujihara, S.Nagamine, T.Morohashi</i>)	83

17 . Development of Engineering Release Data Validation System (<i>M.Nakamoto, S.Kawasaki, M.Miyahara</i>)	90
18 . Development of Part Structure (BOM) Creating System (<i>S.Okamura, H.Shinnaka, R.Ohsaki, H.Kawahara, K.Sasakura, T.Hirata</i>)	93
19 . Introduction of New MZR-CD, New Direct Injection Diesel Engine for Passenger Cars (<i>E.Nakai, S.Morinaga, T.Hirose, N.Shirahashi, K.Tanimura, D.Shimo</i>)	98
20 . Introduction of Mazdaspeed Atenza Powertrain (<i>K.Saruwatari, H.Fujino, M.Nishida, J.Watanabe, Y.Okadome, H.Kawano</i>)	104
21 . New 6speed Manual Transmission (<i>M.Ishii, W.Kuwahara, M.Hamano, H.Nishikado, K.Tokunaga</i>)	115
22 . Introduction of New 5-AT (<i>T.Marusue, T.Ishiyama, H.Ohyama, N.Hongawara, N.Iwashita, M.Nakagishi, M.Sakaki</i>)	119
23 . Development of the Bumper Paint Removal Technology (<i>K.Moriwaki, K.To, N.Tanaka, K.Nakamura, M.Aizawa</i>)	125
24 . Measurement of Ion Current in Homogeneous Charge Compression Ignition Combustion (<i>T.Tanaka, K.Narahara, M.Tabata, S.Yoshiyama, E.Tomita</i>)	130
25 . Process Development of Face Hobbing-Hypoid Gear (<i>H.Tanaka, S.Yamamoto, A.Higuchi, T.Bando</i>)	136
26 . Approaches to Repress AT ʼs “ Squeak and Rattle ” (<i>M.Shimokakiuchi</i>)	142
27 . Development of Efficient Near-dry Machining (<i>Y.Hirai, H.Kawasaki</i>)	148
28 . Introduction of Reborn of U2 Trim & Final Assembly Plant (<i>T.Kondo, I.Fukutani, H.Fukuma, Y.Masuda, M.Hisashi</i>).....	153
29 . Introduction of U2 Paint Shop ʼs Renewal (<i>H.Yoshioka, H.Nagamine, Y.Kamesako, H.Andou, K.Sera, T.Kamimoto</i>)	159
30 . Development of the Dust-Free Spray Method for High Viscosity Paint (<i>T.Nakamura, H.Takasaki, Y.Fukuda</i>)	165
31 . Activity for Realizing the Checking fixture the Pursuit of the Absolute - Development of the Data Plugging / Fitting Evaluation Method (<i>K.Murakami, K.Fujioka, A.Suzue</i>)	171
32 . Evolution of Flexible Body Assembly Line (<i>A.Mukouhara, Y.Goto, H.Yamaguchi</i>)	177
Introduction of patents	182
List of reports published in 2004	187

巻頭言

技術開発への執念と謙虚さ

Persistence and yet Modesty in Technology Development



執行役員 金澤啓隆

Hiroataka Kanazawa

自動車は先人達の努力によりあらゆる性能において進化を続けており、又、社会を牽引する基幹産業としてもまだまだ重要な位置付けにある。その中で、自動車の社会的責任である「環境」と「安全」への配慮・技術進化はますます重要度を増してきている。

特に、環境についてはここ数年、最重要課題になっており詳述の必要ないが、各国CO₂削減（燃費削減）、エミッション規制への対応・その先行実施、そして資源再利用についても本年1月1日よりリサイクル法が施行され、今後、リサイクルしやすい車造りが求められる。

これら「環境」「安全」への技術開発に加え、快適で魅力的な商品造りの為の諸性能向上技術、そして、これら多くの革新技术のベースとなる、軽量化、シンプル化、パッケージング、CR技術といった要素技術も含め課題が山積しており、技術者への技術開発、技術革新への期待は多大である。

こうした期待の中、マツダのエンジニアも革新技术のみならず要素技術においても自動車の進化に貢献出来る研究/開発/商品化を行うことが、技術者としての、またマツダとしての存在意義に繋がる。

私も30余年、主にシャシー領域の設計を担当してきた。又、ある時期、車両領域の新技术開発を担当してきた。その時の経験・思いを以下に記す。

20数年前、シャシー領域にも電子化の波が訪れ、ABS、可変ダンパー、電動パワーステアリング、車速感応パワーステアリング、四輪操舵、アクティブサスペンション、DSC等の新技术開発を行った。どの技術も新しい価値を提供できるとワクワクしながら開発を進めたが、一方、どの技術も商品化に向けては量産品質を確保するために多くの課題を抱え、たとえば電動パワーステアリングにおいても当時の技術では解決できず、結局、量産を断念せざるを得なかった。

反面、多くの課題を抱えながら執念を持って商品化に成功した技術もある。

四輪操舵の開発では、試作車段階で量産移行上の課題を100件以上も抱え、実現が大きく危ぶまれる状況にあった。そんな中、まさに寝ても覚めてもの取り組みで、量産化できたことを思い出す。

ところで、こうして新しい技術の商品化を進めてきたものの、現在、これらの技術の市場での普及状況を見てみると、主流となったもの（ABS、DSC）、一部の商品に採用されているもの（可変ダンパー、電動パワーステアリング）、あるいは市場から消えていったもの（四輪操舵、アクティブサスペンション）がある。開発した当時は、これら技術すべてが多くの商品に展開されるものと信じていたが、結果

として市場では受け入れられなかった。

この苦い経験から、技術者は新しい技術の開発に際し、謙虚にその技術を見つめ、将来主流となり得るか問答することが重要であると肌で感じている。

では、どんな技術が「主流技術」となり得るか。領域について言えば、過去の経験則から「安全」「イーゾードライブ」技術がそれであり、最近では「環境」技術も残る技術、求められる技術と言える。これら技術が価値を持つためには、科学に裏付けられた正しいアイデアであり、効果/コストから見た実現性が伴っている必要がある。

要は、お客様、社会にとって必要な技術か、コストに見合う技術か、とって代わる技術はないのか、をプロの意識、知識を持って最高の精度で予測をし、主流となる技術を見極めなければならない。

すなわち、技術者は「絶対にものにするんだ」という執念と、「この技術は主流となり得るか」を問う謙虚さを併せ持たなければならないというのが結論である。

ここで、もう一つ付け加えたいのが「品質」である。新技術への取り組みの基盤として、技術者にとって非常に重要であることは言うまでもない。特に新しい技術については、機能や使用環境が従来の経験範囲を越えたものとなるため、リスクを排除するための検討が求められる。すなわち、技術開発に当たっては「思いもよらないことがある」を前提にした計画が必要になる。まして、昨今の短期開発、ゼロプロト開発の中では車両開発と並行同期したシステム開発は不可能である。したがって前もってシステムを完成させておく必要があり、それを効率よく行うためにFMEA、FTAの確実な実施が必要と言える。

マツダ技報も今回第23号を発行できることとなった。今回は「ベリーサ」、「新型プレマシー」の開発を中心に、エンジニアのここ数年の成果をまとめることが出来た。今回報告の研究・開発への努力と論文投稿に感謝するとともに今年も自動車産業に貢献する技術の研究・開発を進めてほしい。

私は現在、主に商品プランを担当し、技術の採用を決定する立場であるが、今後、業界をリードできる技術の開発が行われ、社会的責任に応えるとともにZoom-Zoomな商品を出し続けていきたい。

特集：新型プレマシー

1

新型プレマシーの紹介 Introduction of New Premacy

福永賢一^{*1} 桑田義正^{*2} 柴田恵一郎
Kenichi Fukunaga Yoshimasa Kuwata Keiichiro Shibata

要約

新型プレマシーは、「コミュニケーティブ&ダイナミック」を開発コンセプトとし、このクラスのミニバンの常識を払拭する、優れた快適性や多彩な機能性、そして運転する楽しみ、スタイリッシュなデザインを高次元で融合させ、具体的に4つのキーバリューとしてお客様に提供する。

1. 楽しくコミュニケーションできる時間・空間
2. 卓越した機能性
3. マツダDNAを体現するドライビングプレジャー
4. スタイリッシュでクリーンなデザイン

特に、世界初の革新的な「6+One (シックスプラスワン)」パッケージコンセプト、大開口のスライドドア、アクセラ譲りのダイナミック性能とミニバンならではの快適性の両立、トップレベルの安全/環境性能など、乗る人すべてが快適で楽しい移動空間を満喫できる車に仕上がったと確信する。

Summary

With our vehicle development concept “communicative & dynamic”, New Premacy, featuring a superb combination of “excellent comfortableness,” versatile functionality, “driving pleasure,” and “stylish exterior design” rendering a quality of driving that surpasses the level of a typical minivan, offers customers the following 4 key values:

1. Time and space for enjoyable communication;
2. Outstanding functionality;
3. Driving pleasure embodying Mazda’s DNA; and
4. Stylish and clean design.

Through our world’s first innovative ‘6+One’ packaging concept: an extended sliding door opening, well-balanced dynamic performance of Axela and comfortableness of a minivan, top-class safety/green performance and so on, New Premacy enables every user to revel in this delightful mode of travel.

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

1. はじめに

新型プレマシーは、アテンザ以降の次世代商品群であり、グローバルに通用するミニバンとして開発した。マツダDNAである走り、スタイリッシュなデザイン (Fig.1)、大開口のサイドドア、そして従来のミニバンにはない、全く新しいパッケージコンセプトである「6+One」インテリア (Fig.2) を高い質感とともに具現化した。

本稿では、商品コンセプトおよびデザインを含む、車両全体の概要を紹介する。



Fig.1 Exterior



Fig.2 Interior

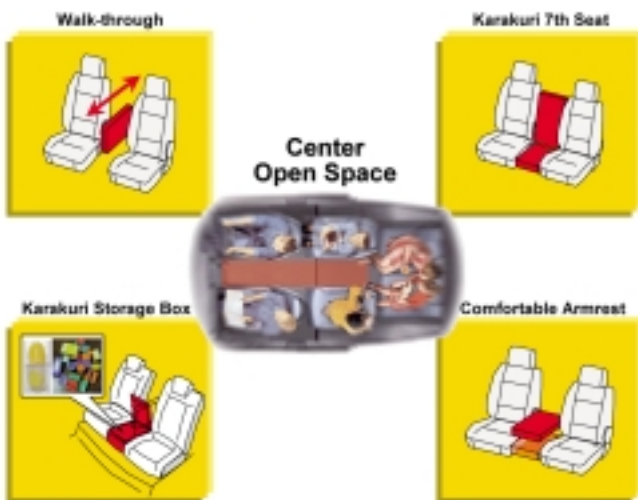


Fig.3 「6+One」 Package Concept Overview

2. 商品コンセプト

新型プレマシーの商品コンセプトは、「コミュニケーションタイプ&ダイナミック」である。「コミュニケーションタイプ」は、乗員全員が互いに心地よくコミュニケーションでき、ドライバのみでなく乗る人全員が楽しいZoom-Zoomを狙っている。また、「ダイナミック」は、ゆとりをもって走りを楽しめる加速性能やハンドリング、ブレーキ性能、スタイリッシュなデザインを意味している。

3. 新型プレマシーの特徴

3.1 パッケージング

(1) 主要諸元

全長4,505mm (23Sと20Sは4,555mm) × 全幅1,745mm × 全高1,615mm, クラストップレベルのロングホイールベース2,750mmにより、グローバルに通用する、広い室内空間を生むゆとりのボデーサイズとした。その上で、このクラスで重要な取り回し性も充分配慮し、ワイドなトレッド設定によってステアリングを大舵角化し、クラストップレベルの最小回転半径5.3mを実現した。

(2) 「6+One」パッケージングコンセプト

従来のミニバンの概念を超えた価値をお客様に提供し、クルマを積極的に使うことに喜びを感じていただけることを目指した。その中核となるのが、革新的な「6+One」パッケージングコンセプトである。これは、大人6人がゆったり乗れる絶対スペースと、2列目を左右独立の2座席とすることで生み出した室内中央のオープンスペースをベースとするもので、隣どうしはもちろん前席から3列目シートまで、よりスムーズなコミュニケーションが可能になる。更にセンターウォークスルー、カラクリ7thシート、カラクリ収納ボックスなど多彩な「+One」の価値を提供する (Fig.3)。

3.2 機能性

「6+One」パッケージングコンセプトが生み出す多彩な「+One」に加え、日常的な使い勝手のよさやドライブの楽しさをより高めるさまざまな新機能を織り込んだ。

(1) 大開口両側スライドドア (Fig.4)

700mmというクラス概念を超えた開口幅を持つスライドドアを両側に採用し、子供を抱いたまま2列目への乗り

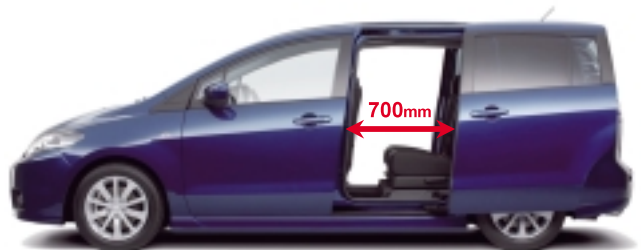


Fig.4 Wide Open Slide Door (both side)

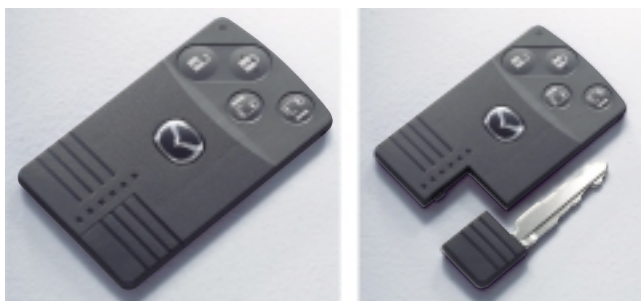


Fig.5 Advanced Keyless System



Fig.7 Music HDD Audio



Fig.6 Front CCD Camera and Steering Switch



Fig.8 Rear Entertainment System

降りもストレスなくスムーズにできる。このスライドドアは常時給電方式を採用し、電動スライドドアでは、スイッチ開閉に加え、ドアノブを引くだけで開閉が可能である。

(2) アドバンストキーレスシステム (Fig.5)

キーを使わずにロック・アンロックやエンジン始動ができるアドバンストキーレスシステムを採用した。ドアのロック・アンロックは、キーをカバンやポケットから取り出すことなく、運転席・助手席アウトハンドル、テールゲートにあるリクエストスイッチを押すだけの簡単操作により可能である。また、電動スライドドア開閉のキーレスエントリー機能も備えている。

(3) 運転支援システム (Fig.6)

フロントグリルのブランドシンボルに内蔵したCCDカメラがとらえた映像をナビゲーションディスプレイに映し出すとともに、ドライバーのステアリング操作に連動した予測進路などを線で表示する、予測進路表示付フロントモニタを、マツダで初めて採用した。また、ナビゲーションシステムは、マツダ初でボイスコントロール機能も採用している。

(4) エンターテインメント装備

約3,000曲のライブラリができるミュージックハードディスク(HDD)をクラス初で採用した(Fig.7)。更に、後席で映画や音楽が楽しめるリアエンターテインメントシステム(Fig.8)も備えるなど、新型プレマシーの全身にマツダブランドの「創意に富む」個性がフルに体现されている。

3.3 ダイナミクス

新型プレマシーは、家族や友人と楽しさを分かちあえる楽しさと同時に、従来のミニバンのイメージを超える上質で快適なドライビングプレジャーを提供する。マツダの走

りのDNAである「反応の優れたハンドリング」をしっかり継承しつつ、すべての乗員が実感できる快適さやくつろぎも提供し、走りのクオリティを追求した。すべての乗員の気持ちよさを提供する、より進化したZoom-Zoomを具現化している。

(1) パワートレイン

アクセラ、アテンザ等で高い評価を得ている2.0L、2.3LのMZRエンジンと、シフトノブを前後に操作するだけでシフトアップ/ダウンができる電子制御4速アクティブマチックを、ミニバンである新型プレマシーに最適にチューンした。2.0Lは145PS、18.5kg-m、2.3Lは165PS、21.4kg-mの出力で、「リニアな加速感」、「活発なレスポンス」、「トルクフルな加速性能」というマツダのパフォーマンスDNAを実現した。また、シフトノブは素早い動作を可能とすべく、ステアリングから手がすぐ届くように、センタースタック配置を採用した(Fig.9)。



Fig.9 Panel Shift

(2) シャシー

シャシーでは、ドライバもパッセンジャもリラックスして快適にドライブが楽しめる、高度にバランスのとれた操縦安定性と乗り心地の実現を目指した。1,615mmの全高を持ち、乗員数や荷物の積載量がさまざまに変わるミニバンとしての特性に対応して、フロント：マクファーソンストラット式 (Fig.10)、リア：マルチリンク式サスペンション (Fig.11)とも最適にチューニングした。特に3列目シートへの乗車などによってリア側の車重が大きくなることに配慮し、リアサスペンションのスプリングやブッシュの設定にこだわった。その結果、操縦安定性の領域ではロールの増幅を抑制することで、ドライバのステアリング操作に対するしっとりとおだやかな応答性や、クルマが動き始める時の滑らかなフィーリングを実現した。

ブレーキには、前輪にベンチレーテッドディスク、後輪にソリッドディスク備えた4輪ディスクブレーキシステムを全車に採用した。クラストップレベルの制動停止距離を実現するとともに、「応答性」「効き」「ペダルの踏みやすさ」などブレーキに求められるすべての性能要件を極めて高次元でバランスさせている。

ステアリングには電気モータで駆動する油圧ポンプを用

い、車速とステアリング操舵速度に応じてオイルポンプの回転数をきめ細かく電子制御している。パーキング時や街中走行時にはパワーアシスト量を増やして軽い操舵力特性とし、高速走行時にはアシスト量を少なくし、正確でしっかりした手応えを提供するなど、つねに状況に応じた自然なステアリングフィールを体感できるシステムとした。

(3) NVH性能

「すべての乗員がリラックスしてドライブを楽しめる運動性能」と「家族や友人と快適に過ごせる使い勝手のよいパッケージと機能」、相反するこの2つの価値を高次元で両立することを目指し、高いボデー剛性と優れたNVHの実現に特に力を注いだ。

大開口両側スライドドアやリアゲートを備えながら、ドライバのステアリング操作などのインプットをしっかりと受け止め、ロスなくタイヤに伝えることのできる高いボデー剛性を追求し、構造を決定した (Fig.12)。その上で、しなやかさを重視したサスペンションセッティングや、アルミ製ブロックを用いた静粛性の高いエンジンなどによって、パワートレインの振動・騒音を発生源から低減しているほか、車体側ではロードノイズの室内への侵入を抑えるためのさまざまな開発技術や独自の構造を採用している。

3.4 セーフティ

パッシブセーフティの領域では、実際の路上で発生し得るさまざまな状況での衝突事故時の人的被害を最小化することを最大の目標とし、多角的な視点から高度な衝突安全性を追求した。アクティブセーフティでは、視界や視認性をより高めることを重視するとともに、路面の状況や車の積載状態にかかわらず危険回避を可能にする車両コントロール性能を追求している。

(1) “MAGMA” ボデー構造

クラッシュブルゾーンで衝撃を吸収し、フロア/サイド/ルーフをH型構造で強固に組み合わせたトリプル構造でキャビンの変形を抑えるマツダ独自の高剛性・安全ボデー“MAGMA”をミニバンの特性に最適化し、更に進化させ

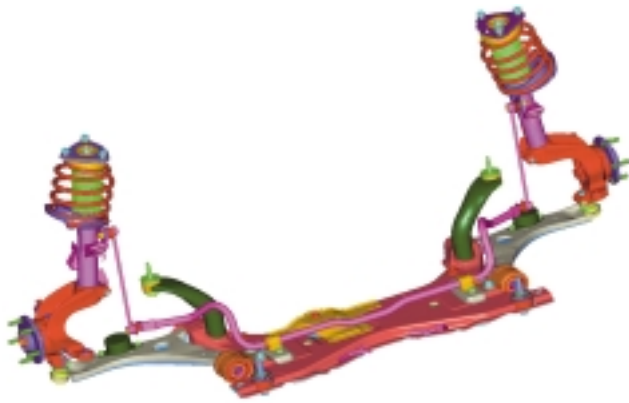


Fig.10 Front Suspension



Fig.11 Rear Suspension



Fig.12 Body Rigidity

た。新型プレマシーでは、正面・オフセット・斜め・後面オフセット衝突・ルーフクラッシュなど各国で規制適合要件とされている衝突実験について、規制より厳しい条件で実験を行うのみではなく、ポール側面衝突・ロールオーバーなど、実際に市場で発生し得るいろいろな状況を想定した衝突実験を行ってきた。

(2) 衝撃吸収ステアリングシステム

前面衝突時、乗員の頭部や胸部に一定以上の力がかからないようステアリングが車両前方へ水平に移動する水平移動式衝撃吸収ステアリングシステムを採用し、頭部や胸部への衝撃を効果的に緩和している。

(3) クラッシュブルブレーキペダル

前面衝突時にブレーキペダルがドライバーの足元から遠ざかるように移動するクラッシュブルブレーキペダル (Fig.13) により、ドライバーの下肢への傷害を軽減している。

(4) 頸部衝撃緩和フロントシート

ヘッドレストの高さと頭部の位置関係の最適化と、胸部が受ける衝撃を少なくするシートバック構造により、追突時に頸部に加わる衝撃を和らげる。

(5) 乗員頭部保護

全ピラーとルーフサイドレールに設置したエネルギー吸収リブを全車に設定するとともに、1列目から3列目までの乗員頭部を保護するカーテンエアバッグをオプションで設定 (Fig.14) した。

以上のような安全技術により、乗員への傷害の軽減を図っている。また、加害性の低減にも配慮し、マツダ初の歩行者頭部傷害低減構造を採用した。

更にチャイルドシートを簡単かつ着実に装着でき、衝突時にはチャイルドシートが前方へ回転するのを防ぐISO-



Fig.14 Curtain and Front Side Airbag

FIXアンカ&トップテザーアンカ付チャイルドシート固定装置を、2列目の左右席に標準装備している。

セキュリティ性をより高めるためイモビライザも設定した。イモビライザを内蔵したキー固有のIDコードと車両側のIDコードが一致しなければエンジン始動ができず、盗難防止に威力を発揮する。

3.5 デザイン

新型プレマシーでは、家族のさまざまなライフシーンで使われるミニバンとして、誰もが親しみやすく、しかも飽きのこないバランスのとれたデザインを基本としながら、これまでにない新しいテイストを実現することを目指した。ミニバンに求められるベーシックな機能を余すことなく備え、同時にお客様の共感を得る魅力的なデザインを創造している。そのため、「センスの良い」、「創意に富む」、「はつらつとした」というマツダブランドの個性を継承しながら、Zoom-Zoomの魅力幅広い層の人々にアピールできるデザインを開発した。

デザインコンセプトは、「スタイリッシュ&クリーン」である。これは、優れた機能性の提供を優先させながら、マツダの魅力的なDNAを受け継いだスタイリッシュなプロポーションと洗練された高い質感を追求することを示すものである。このコンセプトに基づき、造形的な誇張を避けながら、お客様のライフスタイルを素直に明快に表現するバランス感覚に優れたデザインをつくり上げた。そのうえで、お客様の異なる個性に応えるため、エクステリア、インテリアとも2つのテイストを用意している (Fig.15, 16)。

エクステリアデザインでは、「流麗なウエッジシェイプ」を基調として「引き締まった塊感」を目指した。また「6+One」の広く快適な室内空間を内包したうえで、外観からはその大きさを感じさせない「コンパクト感」を表現した。これらにより、両側にスライドドアを備えながら、まさに「スタイリッシュ&クリーン」なフォルムを実現している。

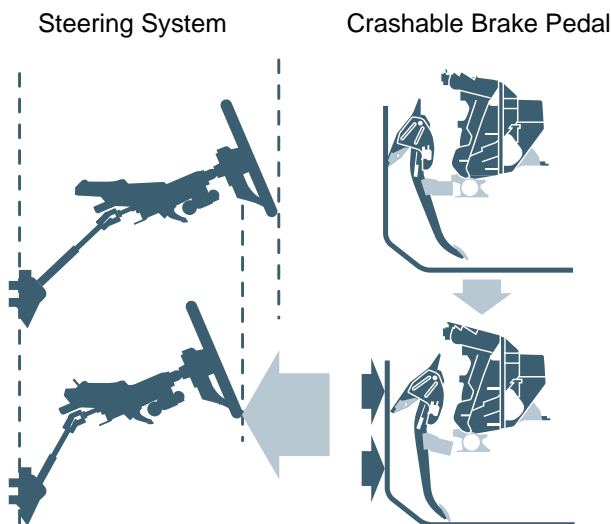


Fig.13 Steering System and Crashable Brake Pedal



Fig.15 Smart Appearance



Fig.16 Active Appearance

空力特性は、高速走行時の走行安定性や燃費性能、静粛性などに大きく関わる性能である。新型プレマシーでは、室内の基本的な快適さと新しい価値を生み出す「6+One」パッケージングコンセプトと、「スタイリッシュ&クリーン」というデザインコンセプトの両立を図りながら、最新の技術を駆使して空力特性の向上に取り組み、CD=0.30を達成した。

インテリアでは、革新的な「6+One」パッケージングコンセプトの具現化を目指し、造り込みへのこだわりを感じさせる極めて高い質感、素材・色・形がマッチした洗練されたデザイン、そして、優れた快適性と使いやすさを乗員全員に提供することに徹底的に取り組んだ。

3.6 環境

環境保全についてさまざまな取り組みを行っている。新型プレマシーでは排出ガスのクリーン化や低燃費化とともに、リサイクル可能率90%以上を実現するなど、資源保護に配慮している。更に、鉛など環境に影響を与える材料の削減も積極的に進めている。

吸排気逆転レイアウト、S-VT（シーケンシャル・バルブタイミング）などを織り込んだMZRシリーズエンジン、エンジントルク伝達効率をより高めた電子制御4速アクティブマチックなどにより、「SU-LEV」（平成17年基準排出ガス75%低減レベル）認定を取得した。2.0L車では更に、「グリーン税制」（低公害車優遇税制）に適合している。

ガソリンエンジン全車にアルミ製エンジンを採用するなど、金属部品のリサイクル対応を徹底した。樹脂製部品では、リサイクル性に優れたPP（ポリプロピレン）の適用を前後バンパに加えてインストルメントパネルやトリム類に拡大し、ISO方式に準じた材質表示によって、回収後の分別作業を容易にしているのはもちろん、フロアマットなど複合素材の分離や解体のしやすさを向上させ、業界目標

であるリサイクル可能率90%以上を達成している。更に、市場から回収した損傷バンパのリサイクル材料をリヤスブラッシュガードに再利用するなど、資源の有効活用に配慮している。環境に影響を与える材質の低減については、ガソリタンク、ハーネス、電着塗装などから鉛使用を、ボデー鋼板からクロム使用をそれぞれ廃止するなど、鉛、6価クロム、水銀、カドミウムの原則全廃を実現している。

マツダは、環境保全に向けた活動を計画的・継続的に実施、あわせて取り組みの透明性を確保するために、環境マネジメントの国際規格であるISO14001による環境マネジメントシステム構築を積極的に進めてきた。本社地区では2000年6月に認証を取得。もうひとつの国内生産拠点である防府地区では、1998年9月にすでに防府西浦地区での認証を取得し、更に1999年9月には防府中関地区の拡大審査登録を行った。これによりマツダは、国内の全開発・生産拠点でのISO14001認証取得を完了している。新型プレマシーは、このマネジメントシステムをもとに環境との調和に配慮した工場で生産される。

4. おわりに

以上、新型プレマシーの開発の狙いと商品概要について紹介した。乗る人すべてが快適で楽しい移動空間を満喫できると確信し、この新型プレマシーが大切なご家族の一員のような存在となることを願って、おわりの言葉とさせていただきます。

■ 著 者 ■



福永賢一



桑田義正



柴田恵一郎

特集：新型プレマシー

2

新型プレマシー / Mazda5のデザイン Design of New Premacy / Mazda5

田 畑 孝 司*1

Koji Tabata

要 約

マツダは、アテンザ・デミオ・RX-8そしてアクセラと“スポーティな走り”のイメージをもとに『Zoom-Zoom』をグローバルなブランド戦略として訴求を行い、高い評価を得た。そして今回の新型プレマシー / Mazda5は、新しいマツダの商品群としてより身近なファミリーユーザ向け“インサイトフル(創意に富む)”に焦点を当てたマツダブランドの次なるグローバル戦略としての車である。マツダらしいスタイリッシュなデザインとともに、使う喜び、家族や仲間に乗ることの喜びを提供するために、多くの人に受け入れられるデザインの実現を図った。

Summary

Mazda's global advertisement strategy “Zoom-Zoom” caught on with its image “sporty driving.” Under this direction, Mazda marketed Atenza, Demio, RX-8, Axela ... By contrast, New Premacy/Mazda5 was developed based on Mazda's next global strategy. Targeting the family users, it singled out “insightful” among Mazda's three catchphrases. Taking over traditional stylish appearance a la Mazda, New Premacy/Mazda5 employed a wide-appeal styling to offer “fun-to-drive” and delights to drive cars with family and friends.

1. はじめに

現在、欧州/日本において、ミニバンの市場は大きなボリュームを占めている。初代プレマシーの開発時期と比べると、日本では既に成熟期となり、欧州での市場は拡大期であり、それぞれの市場は変化を続けている。そのため新型プレマシー / Mazda5 (以下、新型プレマシー) のデザイン開発は初代プレマシーからのコンセプトやデザインの継続、ひいてはミニバンといったカテゴリにこだわらず、その市場変化と地域差のニーズを探り、新たにゼロからのスタートとして開発を行った。

また、北米においてはバンの市場は大きなものの、Cクラス級のミニバンの市場はほとんど見られない。それゆえ、新しいカテゴリとしてチャレンジした。

2. デザインダイレクション

デザイン開発のスタートにおいては、まず欧州と日本のデザインスタジオで開発を行い、各市場特性の分析をした。その結果、ミニバンに期待する商品価値、すなわち商品コンセプトとしての日常的に使用する機能や性能(プラスの乗降性能や高い機能性、多彩なシートアレンジ、収納アイテムの要求)などはほとんど同じ要求内容であるのに対し、市場からくるデザインへの要求と外観イメージにおいては両極端なものであった (Fig.1)。

欧州では、取り回しのよさや機能性の高さを表現したミニバンらしいデザインを要求され、そのプロポーションはショートでワイドなサイズでありながら、広い室内確保のための全高の高いレイアウトであった (Fig.2)。

一方日本・北米では、生活臭さを感じさせないスタイリッシュでスポーティなイメージであり、ミニバンに見えな

*1 デザイン戦略スタジオ
Design Strategic Studio

いデザインが要求され、そのプロポーショナルは、全長が長く、全高は低い5ナンバーサイズのステーションワゴンのプロポーショナルであった (Fig.3)。

詳細は後述するが、これらの市場固有の要望に対して新型プレマシーでは、マツダらしい走りの感じるイメージを継承し、基本のポデーショナルを同一としながらも2つのデザインテイストを設定した。すなわち、カスタマーのニーズ・仕向け地に合わせた外装パーツの変更により外観のデザインバランスを変えこれらの要求を実現したのである。

3. デザインコンセプト

3.1 背景

ミニバン志向のターゲットカスタマーは、シンプルで洗練されたイメージを好み、従来の走りの良さを感じるスポーツィでアグレッシブな造形表現だけでは、女性や家族が使用する車として、市場に受け入れられないことがわかった。そのため、ミニバンに求められるベーシックな機能を余すことなく搭載し、機能デザインとして洗練された造形とカスタマーの共感を得るバランスの取れた魅力的なデザインを創造することが必要であり、造形のテイストを探るため多くのアイデア展開を行った (Fig.4)。

3.2 デザインコンセプト内容

デザインコンセプトは、「スタイリッシュ&クリーン」。「センスの良い」・「創意に富む」・「はつらつとした」というマツダの個性を継承しつつ、Zoom-Zoomの魅力は今までのカスタマーだけでなく、更に幅広い層の人々にアピールできるイメージをデザインコンセプトとした。そして、新型プレマシーの独創的で優れた機能性を重視しつつ、シンプルで洗練された表現とした。

カスタマーのライフスタイルを素直に表現し、バランスに優れたデザインとすることで、男女を問わずに家族に好まれるデザインとなり、欧州と日本の市場性を越えて受け入れられる車になることを目指した。

4. エクステリアデザイン

4.1 エクステリアデザイン

エクステリアでは、「スタイリッシュ&クリーン」のコンセプトを具現化すべく、流麗なウェッジシェイプ・引き締まった塊感・クリーンな面構成・コンパクト感の4つに焦点を絞りスタイリングを仕上げた。

低いフロントノーズからボンネット・Aピラー・ルーフへと続く流麗なラインでスタイリッシュを強調、フロントからリヤにかけては、ポデーサイドに走るキャラクターラインでスライドドアのセンターレールと巧みに溶け合わせて一体化させ、ポデー全体のウェッジシェイプを強調した。また、リヤに向かっては、下方に傾斜させたルーフラインやリヤに行くほど上下幅を狭めたサイドウインド、ウェストラインから上を内側に倒し気味にしたポデーサイド造形

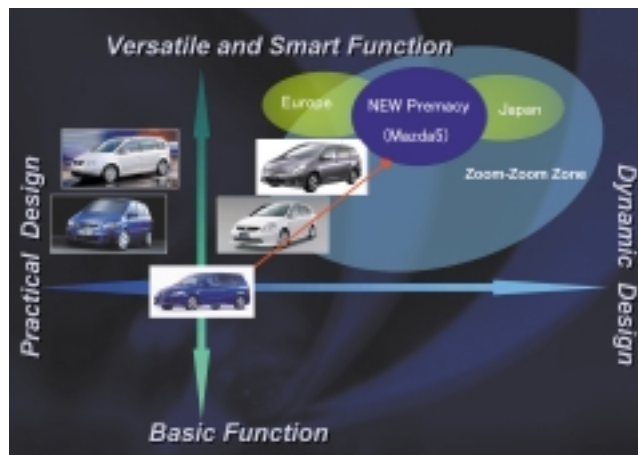


Fig.1 Direction Map



Fig.2 European Initial Proposal



Fig.3 Domestic Initial Proposal



Fig.4 Initial Sketch

や角を感じさせない曲面処理により、広い室内空間を確保しながらも引き締まった塊感、コンパクトで安定感のある佇まいを実現した (Fig.5)。

4.2 両側スライドドアとスタイリッシュデザイン

新型プレマシーの特徴は、両側スライドドアでありながらスタイリッシュ系のミニバンである点である。今までのスライドドア採用のミニバンは、そのスライドレール構造からルーフライン (シルエット) やボデーサイドのラインはあくまで直線的であり、ボデー形状は商用車の箱バン形状であった。そのため、見た目も大きく女性にとっても運転し難いイメージのものとなっていた。それに対し、各スライドレールをできる限り絞り込んで引き締まったボデーの曲面に収納し、塊感を表現することによりスライドドアのイメージを払拭した。合わせてリアコンビネーションランプをコーナーに配置することにより箱の角を見せない処理とした。そのため、スタイリッシュで今までのスライドドア車の定型である箱バン造形から脱却することができ、差別化ができた。また、狭く見えるリヤ回りも、3列目に身長185cmの大人が座れるパッケージと、CD0.30、ゼロリフトの空力性能とを両立させた (Fig.6)。

4.3 仕向け地別、最適バランスの実現

冒頭に説明したように、各市場によって異なるカスタマーのニーズに応えるため、エクステリア、インテリアともに2つのテイストを用意し両立を図った。

(1) 欧州ニーズに合わせたスマート仕様

ミニバンらしさを表現する手段として、取り回しを良くするためにフロントバンパでアクティブの仕様より50mm



Fig.5 Sports Appearance Package

全長を短く抑えると同時に、ルーフキャリアで全高を高く見せたプロポーションで機能性の高さを強調した。また、併せてフロントバンパのポリウムを厚くしてより塊感を強調した。

フロントグリルにはさりげなくクロームをあしらひ、より軽快ですっきりとした“スマートなテイスト”を表現し、ミニバンとしての質感の高さをアピールした (Fig.7)。

(2) 日本・北米ニーズに合わせたアクティブ仕様

スタイリッシュなイメージを強調するため、ボデーと一体感のあるエアロパーツを標準で設定し、低重心とスタビリティを表現することでスポーティなイメージとした。フロントノーズは、一段低いバランスとしながら精悍なイメージとした。そして、より伸びやかなウェッジシェイプを強調した。また、ダークメタル調のヘッドランプベゼル&リアコンビネーションランプベゼルを採用し、アクティブ感の際立つテイストを表現した (Fig.8)。

5. インテリアデザイン

インテリアでは「6+One」の商品提案の具現化を目指し、ただ単に、ハイクオリティな表面的な装飾だけではなくComfortable (快適な) でKinder (より親切的な) を乗員全員に提供することを目指した機能デザインの取り組みを行った。

5.1 機能デザイン&空間デザインの考え方

どの車においても、室内空間の良し悪しは重要である。特にミニバンにおいては室内空間そのものが車の価値を大きく左右する。そのため、ミニバンのインテリアデザインの空間構築そのものが重要なデザインである。

今回の新型プレマシーのインテリアデザインでは、その



Fig.6 Slide Door



Fig.7 Smart Specification



Fig.8 Active Specification

空間の考え方をあえてフロント席と後部座席（セカンド席&サード席）で分けることにより、この車の性格を明確にした。すなわち、フロント席はドライビングする楽しさのZoom-Zoomを感じる空間として、後部座席はインサイトフルなZoom-Zoomを感じる空間として取り組んだ。

(1) フロント空間

インパネ周りでは、室内空間をただ単に広く見せたミニバンデザインは行っていない。インパネ上面を乗用車感覚の広さとするため帯状のデザインで仕切った。これにより、セダンなどから乗り換えても違和感のないような広さの感覚とすることで、車との一体感が損なわれることなく、女性にとっては取り回しの良い空間デザインとした。また、メータはシンプルでスポーティなデザインながらもスピード表示を中央に配置し、メータフードも前方視界に邪魔にならないようステアリングで隠れる位置関係にもこだわって優れた視認性を実現した（Fig.9, 10）。

センターパネルにおいては、中央部をダッシュボード基本面より一段高くして、ドライバーの手の届きやすい位置に機器類を集中配置し、視認性・操作性を向上させた。

また、センターパネルやシフトパネル、ドアトリムスイッチベゼル等の機能パネルは高輝度シルバーの仕上げを施し、ハイコントラストでインテリア全体にモダンで上質な雰囲気を出した（Fig.11）。

(2) リヤ空間

6+Oneテーマを活かしつつ、マツダ車としてのハンドリングを楽しめ、Comfortableな空間とするためにシート造形は特に重要であった。フロントのシートは、乗用車的な機能造形としてドライビング時のホールド性能を重視し、サイドサポートをしっかりと取り造形を行った。セカンド&サードについてもシートファンクションの関係からも立体的な造形は難しいものの、キャブテンシートのイメージのもと、フロントシートと造形テーマを統一し、シートのホールド性能を高めた。



Fig.9 Design Theme Sketch



Fig.10 Instrument Panel

空間としては、エクステリアのデザインをスタイリッシュに見せるために後方のウィンドを小さくしたことから、3列目の開放感を演出することは難しくなった。しかし、1列・2列目よりも高いヒップポイントの効果と6+Oneのセンターオープンスペースの開放感、ベルトラインの強いウエッジにより一段高い位置から前方を見渡せる感覚となり、従来のCカーベースのミニバンとは違って閉鎖感がなく快適な空間を演出することができた (Fig.12)。



Fig.11 Interior Parts



Fig.12 Interior



Fig.13 Smart Image



Fig.14 Active Image

6. カラー&トリム

インテリアにおいても、エクステリア同様にそれぞれ2タイプのイメージに合わせたテイストを用意した。

6.1 インテリアカラー&トリム

一つは、よりミニバンライフスタイルを楽しむためのスマートなテイストのエクステリアと組み合わせられるものである。内装色は、オリーブと黒内装を設定した。

オリーブ内装仕様は、グレー内装やベージュ内装に替わる明るく若々しいファッショナブルな色である。柔らかい感触のファブリックでハイコントラストな明るい室内表現を行い、日常的に活発なライフスタイルをおくるカスタマーや、女性・ファミリーに受け入れられる仕様として設定した (Fig.13)。

もう一つは、アクティブなテイストのエクステリアにマッチさせた黒内装仕様である。黒基調の中にダークグレーの布とシルバー加飾を配し、スポーティでモダンなイメージにコーディネートした。走りにもこだわるユーザに対して、ファブリックはしっかりした着座感覚の立体的な織物をシートセンターの素材として使用した。基本色をブラックの内装とし、センターパネルなどに効かせた高輝度シルバーのアクセントをバランスよく組み合わせ、マツダらしくも、よりクールで洗練されたテイストを好むカスタマーに向けたインテリアである (Fig.14)。

6.2 ボデーカラー

ボデーカラーとしては、全部で11色 (日本は10色) を設定した。新型プレマシーのカラーパレットは、今までとは違う新しい方向で提案している。特にスポーティな表現では、今までとは異なる切り口で、知的・クールさを持つ色を選択した。色はビビットな色調を避けて一つ上の上質感のあるイメージを取り入れ、落ち着いたカラー展開で男性・女性のどちらにも好まれるカラーバリエーションとした。また、欧州・日本でもシェアの高いシルバー系の色調を多く取り入れ、シルバーの中でもカスタマーの色選択ができるようにした。

7. おわりに

新型プレマシーは、アテンザ以降初めてグローバルに展開されるミニバンとして、重要な位置を占めていることは冒頭でも述べさせていただいた。そのため、エクステリアデザイン&インテリアデザインとともに、今までの造形の考え方およびデザインモチーフにとらわれることなく新しいテイストを少なからず取り入れる必要があった。従来の造形よりカスタマーに一步近づいたテイストでマツダらしさの表現を行い、その結果マツダのユーティリティビークルとして、次世代への一石を投じることを考えながら開発を行ってきた。

今回行ったデザイン表現により、多くのユーザに対して乗る楽しみ・使う喜びが伝わることを期待しつつ、最後に、新型プレマシー担当デザイナー各位ならびに、ご協力いただいた関係者に感謝いたします。

著者



田畑孝司

特集：新型プレマシー

3

新型プレマシーのパッケージング Package of New Premacy

柴田 恵一郎 佐谷 憲司*² 吉田 元喜*³
Keiichiro Shibata Kenji Satani Motoki Yoshida
宮濱 芳文*⁴
Yoshifumi Miyahama

要 約

我々は、新型プレマシーを、従来のミニバンの概念を超えた価値をお客様に提供し、クルマを使うことに喜びを感じていただけることを目指しグローバル市場向けに開発した。その概念として結実させたのが、室内中央にオープンスペースと多彩な価値を提案する、世界初の「6+One(シックスプラスワン)」パッケージコンセプト、大開口スライドドアが提供するあらゆるシーンをサポートするアクセシビリティ、それらをスタイリッシュなデザインと両立させ、取り回しやすさやドライビングプレジャーを提供するトータルパッケージである。その実現のために、以下の5項目に注力し商品化した。

- ・グローバルパッケージとして取り扱いやすい車両サイズに大人6名のゆとりの空間の実現
- ・2列目シートを独立とすることで生み出したコミュニケーティブなセンターオープンスペースの確保
- ・センターオープンスペースに展開する、カラクリ7thシートをはじめとする多彩な「+One」の新提案
- ・大開口スライドドアと低くフラットなフロアによるアクセシビリティの良さ
- ・多彩なシートアレンジと収納性の良さ

本稿では、これらの特徴について紹介する。

Summary

New Premacy was developed toward the global market in order to offer customers great values beyond the conventional concept of a minivan for the fun-to-drive. To this end, the following 3 conceptual pillars were established:

- #1. World 's first " 6 + one " packaging - A concept that provides an open space and a variety of values in the center of a cabin;
- #2. Improved " ingress & egress " by the adoption of an extended slide door opening assuming every condition; and
- #3. Total packaging that provides driving pleasure and high maneuverability by combining the above #1 and #2 with stylish design.

In order to achieve the 3 pillars, the following 5 items were focused on:

- Spacious interior roominess for 6 adults in a vehicle size maneuverable as global packaging;
- A space in the center of the cabin provides easy communication by adopting independent second row of seats;
- A variety of " + one " creates " Karakuri seventh seat " in a central space;
- High " ingress & egress " capability by the adoption of an extended slide door opening and a low flat floor; and
- A variety of seat arrangements and high storageability.

This report introduces these distinctive features.

*2 装備開発部
Interior Components Development Dept.

*3 ボデー開発部
Body Development Dept.

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

1. はじめに

新型プレマシーは商品コンセプトである「コミュニケーション&ダイナミック」を具現化するために、革新的な「6+One」パッケージングを、取り回しやすく、かつダイナミック性能をサポートする車両サイズに凝縮した。

2. 「6+One」パッケージングコンセプト

新型プレマシーでは、従来のミニバンの概念を超えた価値をお客様に提供し、クルマを積極的に使うことに喜びを感じていただけることを目指した。その中核となるのが、革新的な「6+One」パッケージングコンセプトである (Fig.1)。これは、2列目を基本的に左右独立の2座席とすることで生み出した室内中央のオープンスペースをベースとするもので、隣どうしはもちろん前席から3列目シートまで、よりスムーズなコミュニケーションが可能になる。更にセンターウォークスルー、カラクリ7thシート、カラクリ収納ボックスなど多彩な「+One」の機能が生まれる。この「6+One」パッケージングコンセプトこそ、ミニバンの新しい世界標準を目指す新型プレマシーのパッケージのハイライトである。

2.1 センターウォークスルー

室内中央に設けたオープンスペースと、2軸で回転する2

列目大型センターアームレスト構造で、2列目と3列目の間を自由に行き来できるセンターウォークスルーを実現している。乗員間のよりスムーズなコミュニケーションが図れるのはもちろん、乗降時には2列目シートの間を通過して3列目シートへアクセスできる (Fig.2)。

2.2 カラクリ7thシート

ふだんは、2列目シート左右独立の「6人ゆったり乗車モード」でくつろぎながら、必要に応じて「7人フル乗車モード」にアレンジできる。新型プレマシーならではのこの「+One」を実現するのが、7人目の乗員のためのカラクリ7thシートであり、オープンスペースに片手で簡単に格納・設置を可能とした。その操作手順を下記に述べる (Fig.3)。

- (1) 2列目用の大型アームレストを後ろへ跳ね上げ、7thシートのシートバックとしてセットする
- (2) 2列目・助手席側シートの座面を前に跳ね上げ、中に格納されている7thシート用座面を180度回転させてセンターオープンスペース側に出す
- (3) 2列目・助手席側シートの座面を閉める

わずかこれだけの手順で2列目が3人掛けベンチシートになり、「7人フル乗車モード」に早変わりする。更に、カラクリ7thシートを引き出した後の座面下空間は約6.3Lの容量があり、収納スペースとして活用できるのも特徴である。

2.3 カラクリ収納ボックス

もう1つの「+One」は、2列目・運転席側シート内に格納されている世界初のユニークな装備、カラクリ収納ボックスである (Fig.4)。これは、カラクリ7thシートを使用していない場合に、2列目・運転席側シートの座面の中から出し、センターオープンスペース側にセットして使用する。カップホルダ2個を備えた上面のトレイは、ティッシュペーパーのボックスが置ける大型サイズである。トレイ



Fig.1 「6+One」Package Concept



Fig.2 2nd-3rd Center Walk Through



Fig.3 「Karakuri 7th Seat」



Fig.4 「Karakuri Storage Box」

は脱着リッド式で、その下にネット状のバッグが装備されているため、子供のオモチャや貴重品などを収納しておき、必要なとき容易に出し入れできる。また、トレイの4隅のフックには買い物袋などを下げておくこともできる。

これも格納・設置手順はカラクリ7thシートと全く同じであり、簡単・片手操作を可能とした。

2.4 大型センターアームレスト

カラクリ7thシートのシートバックとしても活用する2列目シートの大型センターアームレストは、240mmの幅で腕をゆったりとのせられる心地よさを提供。カップホルダ2個も備えている。室内を移動するときや使わないときは、2列目・助手席側のシートバックサイドに回転して格納できる。

3. グローバルパッケージ

「6+One」パッケージングコンセプトを、取り回しやすく、かつダイナミック性能をサポートする車両サイズに凝縮した。

3.1 ボデーサイズ

全長4,505mm (23Sと20Sは4,555mm) × 全幅1,745mm × 全高1,615mm、クラストップレベルのロングホイールベース2,750mmにより、広い室内空間を生むゆとりのボデーサイズながら、ワイドなトレッド設定によってステアリングを大舵角化し、クラストップレベルの最小回転半径5.3mを実現した。更に、ドアミラーの張り出し量を少なくして左右のドアミラー間の距離を1,988mmに抑えることなどにより、狭い駐車場や裏道などでもスムーズに運転できる優れた取り回し性を提供する。

3.2 ゆとりの室内

このボデーサイズと薄型ガソリンタンクの採用などで、室内フロアを低床フラット化し、1列目から3列目シートまで6名の大人が快適に過ごせる広々とした室内空間を実現した。また、空力特性を向上させながらリヤピラーの角度を立てることなどによって、3列目シートの乗員にもゆとりあるヘッドルームを確保している。

3.3 運転ポジション

運転席は260mmの大きな調整幅を持つシートスライドに加え、レバーを軽く操作するだけでシート高を56mm上下できるラチェットレバー式シートリフタを採用、ステアリングの位置を上下40mm、前後50mmにわたって調整できるチルト&テレスコピックステアリングも全車に装備した。これらにより、体格や性別にかかわらず適切な運転ポジションが得られる。また、小柄な女性を含む多様なドライバの実際のシフトチェンジ操作を人間工学的に解析し、センターパネルの下部に最適な角度でシフトレバーを配置したパネルシフトを実現した。

3.4 疲労の少ないシート

人間工学を駆使し、シートバックや座面にかかる体重



Fig.5 Corner Window

(体圧)の分布が均一になるよう、シート形状やクッション特性を最適化した。特に腰部のサポートを高めて圧力を効果的に分散させることにより、乗員の体格にかかわらず疲労の少ない快適な着座感と確かなホールド性を実現している。また、座面下にカラクリ7thシートやカラクリ収納ボックスを格納する2列目シートとワンタッチ格納の3列目シートは、Sパネと呼ばれるスプリングの採用などにより、クッション厚を適度に抑えながら快適な座り心地を確保している。

3.5 良好な運転席視界

運転席のシートリフタによって好みのアイポイント高を得やすいことに加え、ボンネット形状の最適化などを行い、上方18.9度、下方8.2度という良好な前方視界を実現した。更に、フロントドアウインドウに幅140mmの大きなコーナ窓 (Fig.5) を設けて側方視界を拡大し、助手席側の歩行者をより視認しやすいよう配慮している。

4. アクセシ性の良さ

4.1 大開口スライドドア

日常生活での使いやすさを実現するために、700mmというクラス概念を超えた開口幅を持つスライドドアを両側に採用した (Fig.6)。この開口幅により、2列目への、子供を抱いたままの乗り降りもストレスなくスムーズにできる。また、ワンタッチのウォークインシートとの組み合わせで、3列目への乗降もスムーズに行える。このスライドドアは常時給電方式を採用し、電動スライドドアでは、スイッチ開閉に加え、ドアノブを引くだけで開閉が可能である。



Fig.6 Wide Opening Slide Door(both side)



Fig.7 Low Height Floor

4.2 低くフラットな乗降フロア

3列目への乗降性を負担なくスムーズに行うために、低くフラットなフロアにより乗降時の足場を確保した (Fig.7)。これは従来よりも燃料タンクを薄型とし、その上面フロアをフラットな平面とすることで実現した。更に、ウォークイン状態のシートとCピラーとの十分な隙間により、スムーズに3列目へアクセスできる。

5. 多彩なシートアレンジ

2列目・3列目シートは、カラクリ7thシートやカラクリ収納ボックスの他にも、乗員の快適さやラゲッジスペースとしての使いやすさを増す多彩なアレンジ機能を備えている。

5.1 左右独立ロングスライド機構 (2列目)

2列目シートは、左右席で独立してリクライニングと前後スライドができる。特に前後スライドは270mmというゆとりの移動量を確保した。後方にスライドさせれば2列目シートの足元に、前方にすれば3列目シートの足元にそれぞれ大きなスペースが生まれる。更に2列目にチャイルドシートを装着して最前方にしておけば、そこに座る幼児を1列目から手を伸ばしてケアすることが可能である。

5.2 ダブルフォールド機構 (2列目)

2列目シートには、左右独立のダブルフォールド機構も採用している。いちいちヘッドレストを外す必要もなく、座面の後端を持ち上げ、レバーを引くツェーアクションでシートバックが前方に倒れ、前後長1,700mmの広くフラットな荷室を形成する (Fig.8)。

5.3 ワンタッチフォールドダウン (3列目)

3列目シートはワンタッチ5:5分割可倒式シートバックを採用している (Fig.9)。シートバック背面のストラップを引くだけで前へ倒れるため、小柄な女性でも簡単に片手で操作できる。また、ストラップは車外から手の届きやすい位置にあり、シートバックを引き起こすときに荷室に乗り込む必要がなく、パンパで服を汚す心配もない。

5.4 多彩なアレンジモード (組み合わせ)

基本の「6人ゆったり乗車モード」、カラクリ7thシートを使用した「7人フル乗車モード」のほか、多彩なシートアレンジの主なモードを紹介する。

(1) リヤハーフラゲッジモード (Fig.10 (a))

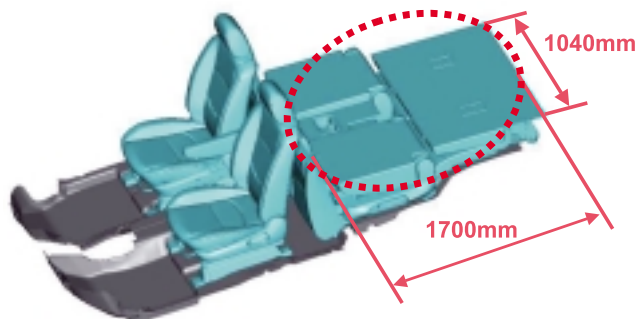


Fig.8 Flat Luggage Mode



Fig.9 Onetouch Fold 50:50 Split 3rd Seat

3列目シートバックの片方を倒してラゲッジスペースにした状態。適度な荷室と、5人または6人 (カラクリ7thシート使用時) が乗車できる。

(2) リヤラゲッジモード (Fig.10 (b))

3列目シートバックを両側とも倒した状態。4人または5人 (カラクリ7thシート使用時) 乗車で、大型トランク4個を積めるゆとりのラゲッジスペースが得られる。

(3) フルラゲッジモード (Fig.10 (c))

3列目のシートバックを両側とも倒し、2列目をダブルフォールディングした2人乗車の状態。フロアもフラットでマウンテンバイクなど大きな荷物も積み込める。

(4) ロングラゲッジモード (Fig.10 (d))

3列目のシートバックの片方を倒し、2列目の片方をダブルフォールディングした状態。4人乗車でスキー板など長い荷物を積み込むのに最適である。

(5) セミフラットモード (Fig.10 (e))

1列目と2列目のシートバックをとともにリクライニングした状態。体をゆったり伸ばせるスペースが生まれる。

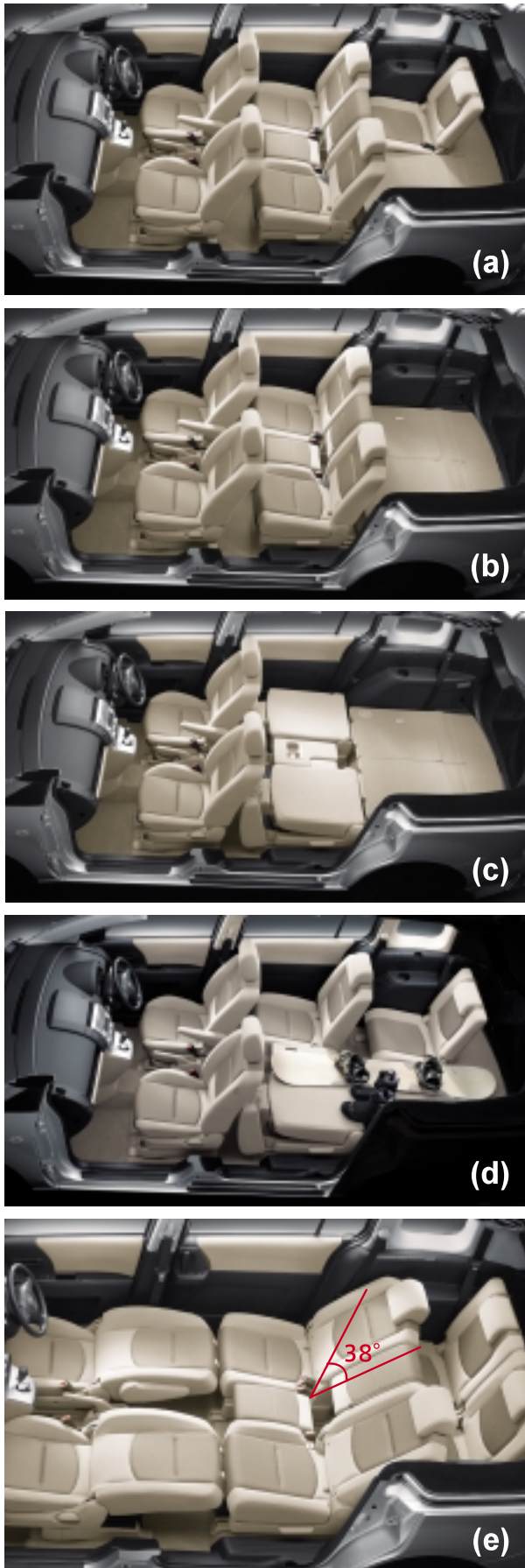


Fig.10 Seating Arrangement

6. 収納機能

特別なシートアレンジをしなくても、日常的な荷物をゆとりをもって積めるラゲッジルームを確保した。室内の随所に便利な収納スペースを用意した。新型プレマシーはふだんの使いやすさにも徹底的にこだわった。

6.1 ラゲッジルーム

3列目シートを使用している状態でも、その後方に実用的なラゲッジルームが確保されている。畳んだベビーカーを横置きにして積み込める広さで、ラゲッジルーム右側サイドパネルのリッドを取り外せば9インチの大型ゴルフバッグも積載可能とした (Fig.11)。

更にラゲッジルームの床下には容量15L (VDA方式)、深さ60~80mmのサブトランクを設置している。自立式リッドを備えているため、荷物の出し入れが容易なほか、リッドを開けたまま背の高い荷物などを積んで運ぶことも可能である (Fig.12)。サブトランクの中央には、荷物の整理や固定がしやすいようパーティションを設けている。

6.2 リヤリフトゲート

リヤリフトゲートは、荷物の積み下ろしなどがしやすい大きな開口面積を確保するとともに、身長にかかわらず快適に開閉ができる操作性を追求、リヤリフトゲートを開けた際のインナリセスハンドルの高さを、地上から約1.8m



Fig.11 Luggage Room behind 3rd Row



Fig.12 Sub-trunk Box

と約1.9mの2段階に設定した。前者は小柄な人も楽に手が届いて操作しやすい高さ、後者は背の高い人が荷物を出し入れする際にリヤリフトゲートに頭をぶつけることのないよう配慮した高さである (Fig.13)

6.3 多彩な収納スペース

新型プレマシーでは1列目から3列目まで、手の届きやすいところにさまざまな収納スペースを用意している。

- (1) グローブボックス (Fig.14 (a)): 約11Lの容量を確保。上段に車検証などを収納できるほか、リッド部には小物が入られるポケットを装備
- (2) 運転席インパネトレイ (Fig.14 (b)): ステアリングの右方に設置。ドライブで使うことの多いカード類やサングラスなどを置いておくのに便利
- (3) 助手席インパネトレイ (Fig.14 (c)): 身の回りのちょっとした小物などを入れておける、グローブボックス上のトレイ

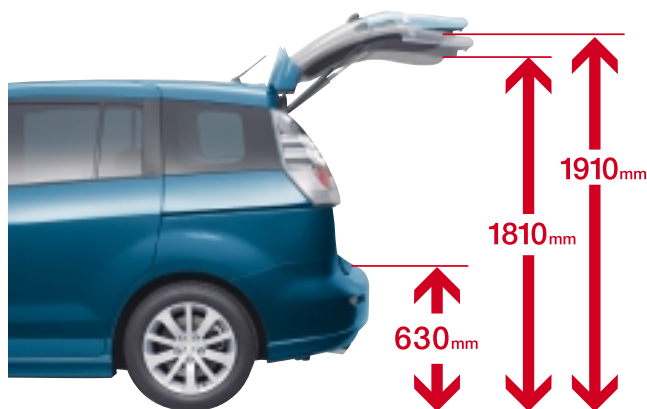


Fig.13 2 Stage Lift Gate Opening Height

- (4) ボトルホルダ付ドアポケット (フロント×2) (Fig.14 (d)): ロードマップなどが入る大型のフロントドアポケットに、500mLペットボトルを収納できるホルダを装備
- (5) 1列目カップホルダ (Fig.14 (e)): 助手席側に装備され、必要とき運転席との間にセットできる便利な格納式
- (6) 2列目カップホルダ (Fig.14 (f)): シートアレンジに応じて使い分けられるよう、大型センターアームレストとカラクリ収納ボックスにそれぞれ2個ずつ装備
- (7) 3列目ボトルホルダ (Fig.14 (g)): 500mLペットボトルを収納可能。左右のサイドトリム部に装備

7. おわりに

以上、「6+One」という全く新しい概念、大開口スライドドア、取り回しやすい車両サイズ等、と新型プレマシーが具備する魅力を紹介した。これらの魅力により、TPOに応じた生活シーンの中で、お客様に感動と驚きを与えるクルマに仕上げることができた。ぜひ一度体感していただきたい。

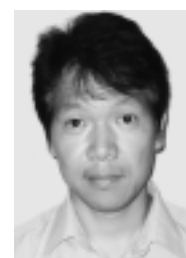
著者



柴田 恵一郎



佐谷 憲司



吉田 元喜



宮濱 芳文



Fig.14 Storage Space

特集：新型プレマシー

4

新型プレマシーの衝突安全性能 Passive Safety of New Premacy

河野 勝人*¹ 古谷 雅之*² 福谷 和也*³ 角 美智雄*⁴
 Katsuhito Kouno Masayuki Furutani Kazuya Fukutani Michio Kado
 曽我部 洋*⁵ 柴崎 宏武*⁶ 杉本 繁*⁷ 舟橋 良治*⁸
 Hiroshi Sogabe Hiromu Shibasaki Shigeru Sugimoto Ryoji Funahashi

要 約

新型プレマシーは、各国の衝突安全法規制をクリアするだけでなく、更に高いレベルの衝突安全性能を目指し、衝突安全アセスメント（New Car Assessment Program）で世界トップレベルの性能評価を得ることを目標に開発を行った。このため、まずマツダ独自の衝突安全ボデーMAGMA を効率的に進化させた。高剛性で強固なキャビンとエネルギー吸収率の高い骨格は、開発において、コンピュータ解析技術（CAE）を活用することで実現できた。その上で、安全装備においても、側面衝突時に前席から3列目シートまでの広いエリアで乗員傷害を抑制するカーテンエアバッグ、歩行者頭部保護対応ボンネットなど最新の技術・装備を織り込むことで、高い目標をクリアできた。

本稿では、これら新型プレマシーに織り込んだ衝突安全性能技術について説明する。

MAGMA：マツダの全方位衝撃吸収ボデー

Summary

New Premacy aimed at the global top-notch performance in the New Car Assessment Program, let alone meeting the safety regulation of each market. To this end, we effectively upgraded Mazda's crash safety body the so called "MAGMA ." The body increased its rigidity and improved its energy-absorbing performance making good use of CAE, a Mazda's virtual simulation technique. Besides, the incorporation of the latest safety technologies enabled to achieve challenging targets, such as Curtain-Air-Bag, Bonnet reducing pedestrians' head injury, etc. Curtain-Air-Bag covered a wide area to protect occupants from the side impact from the front seats to the third row of seats.

This paper explains our crash safety technologies incorporated into new Premacy.

MAGMA：Mazda Geometric Motion Absorption

1. はじめに

近年の衝突安全性能に対する市場の関心の高まりから、更なる安全性能の向上が求められている。そこで、マツダでは高次元の衝突安全技術の追求を行い、有限要素法（Finite Element Method、以下FEM）に基づくコンピュータシミュレーション（CAE）とユニットレベルの試作品を

組み合わせて、検証することで、世界トップレベルの安全な車の開発に取り組んでいる。

新型プレマシーは、万一の衝突事故発生時の乗員へのダメージを最小限に抑えるため、MAGMAを基本に進化させた新型プラットフォームを採用することで、世界トップレベルの衝突安全性能を目指した。安全装備では、側面衝突時に前席から3列目シートまでの広いエリアで乗員傷害リ

*1, 7 CAE部
CAE Dept.

*8 装備開発部
Interior Components Development Dept.

*2~6 衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.

スクを抑制するカーテンエアバッグを採用，その他にも，ISOFIX対応チャイルドシート固定用アンカレッジ，歩行者保護に対応したボンネットなど，さまざまな最新技術を取り入れ幅広い安全性能を実現した。

2. 全方位衝突安全性能開発

2.1 前面衝突性能開発

前面衝突では，前方からの衝突エネルギーをバンパとエンジンルーム部分で確実に吸収し，客室部への衝撃を車体全体に分散させることで，客室部の変形を抑えることが重要である。

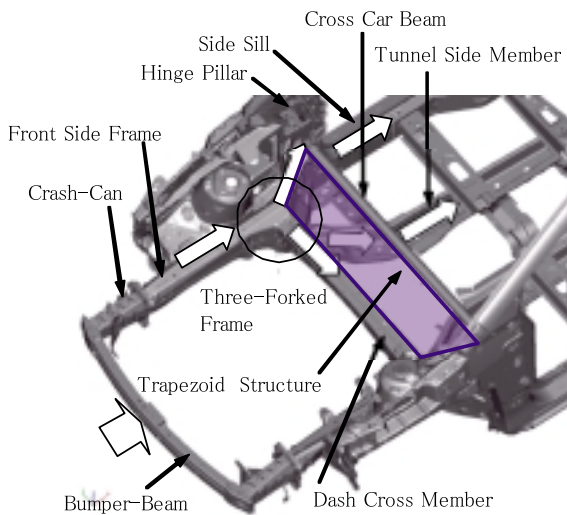


Fig.1 Body Structure for Frontal Impact & Energy Dispersion Body Structure

新型プレマシーの前部車体構造はアクセラの基本構造をベースに，CAEを活用し，車体耐力強化，並びに，軽量化を行った。Fig.1に新型プレマシーの前部車体構造を示す。車両最前端にあるバンパビームには閉断面構造，1,000MPa級の超高張力鋼板，クラッシュカンなどの構成部品には590MPa級の高張力鋼板を採用し，バンパ部でのエネルギー吸収性能を高めている。フロントサイドフレームは八角形のダブルハット型の大断面ストレート構造とし，440MPa級の高張力鋼板との組み合わせで，エネルギー吸収を効率よく行う構造としている。

客室部へ入力される衝撃エネルギーを分散させるため，フロントサイドフレーム後部は断面を保持したままダッシュパネルを貫通させ，ヒンジピラーとサイドシル部へ結合した。

Fig.1に示すように，フレームからの入力荷重は，①フレーム後部を通してヒンジピラーとサイドシル部，②左右のフレームを結合するダッシュクロスメンバ，③フロア下のトンネルサイドメンバ，の3方向に分散させる三叉構造とした。

そして，客室内にはフレームと同じ高さに左右のヒンジピラーを結合するクロスカービームを設定し，フレーム後

部，ダッシュクロスメンバ，クロスカービームで形成される台形骨格により，衝突時に発生するヒンジピラーの外開きを抑え，客室の変形を最小限に抑えている。これらの構造は，Fig.2に示すようなCAEにより最適化を行った。

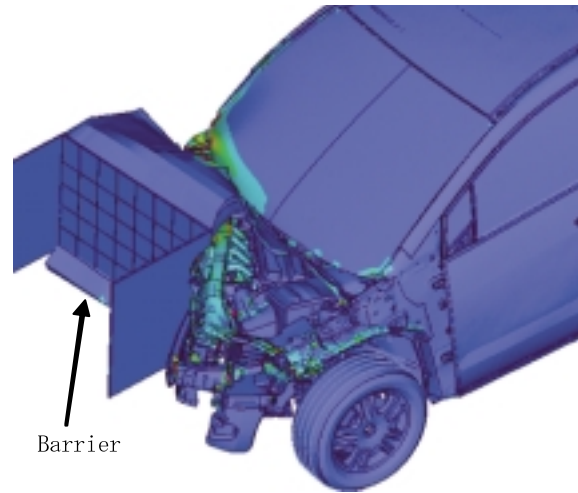


Fig.2 Frontal Impact Analysis Model

2.2 側面衝突性能開発

側面衝突性能は，車体システムと内装システムをコントロールすることにより成り立っている。従来より，高い側面衝突性能を実現させるため，車両全体性能目標を車体システム，内装システム性能目標へとカスケードした上で，部品レベルで育成を行い，最終的に，実車テストで性能を確認するといったプロセスをとっている。このプロセスにおいて，FEMを中心としたユニットCAEと実車試験をシミュレートしたフルカーCAE，および，試作品を用いたユニットテストを組み合わせることで，より効率的に側面衝突性能の開発を行った。その側面衝突性能を構成する4つの重要ポイントについて，以下に説明する。

(1) 高耐力ポデー

側面衝突は，ドアアウトから乗員までの小さなスペースでエネルギーを吸収しなければならない。そこで，側面衝突初期に，衝撃を受け止めるセンターピラーの耐力を上げることで衝突エネルギー吸収を増加させるように従来から採用してきたトリプルH構造を進化させた。具体的には，センターピラーの稜線をスムーズにすることで弱点部をなくした上で，590MPa級や780MPa級の高張力鋼板を採用することで，効率的に耐力を向上させた。また，高い耐力を持たせたセンターピラーをしっかりと支えるため，フロアには大断面の3本のクロスメンバ，ルーフには，大断面の補強材を設定した。この車体構造をFig.3に示す。この車体の育成には，Fig.4に示すようなユニットCAEを用い，車体各部の耐力のチューニングを行った上で，フルカーCAEにより更に詳細に検討することで，車体全体で最適な耐力バランスの実現と耐力強化に伴う重量の増加を抑制した。

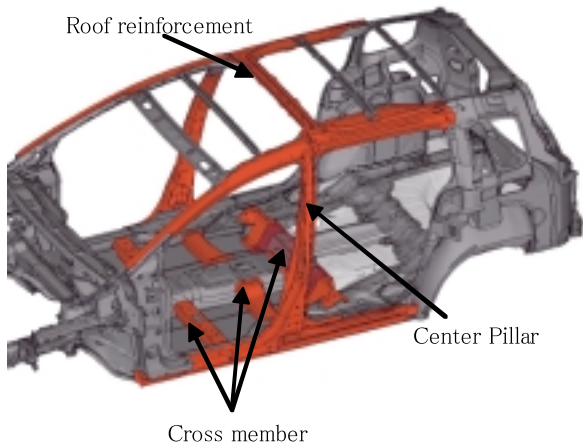


Fig.3 Triple H Body Structure for Side Impact

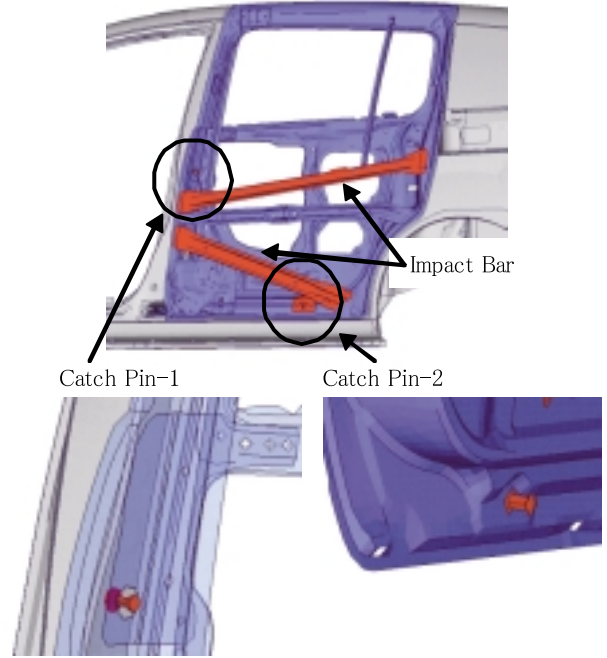


Fig.5 Rear Slide Door Structure for Side Impact

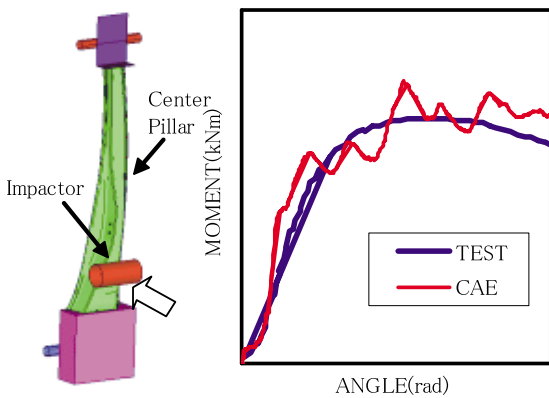


Fig.4 Body Strength Simulation Result

至るまで、構造の工夫を行うことで、展開速度を速めることができた。これにより、側面衝突時に乗員が受ける傷害リスクを大きく軽減することが可能となった。そのサイドエアバッグをFig.6に示す。

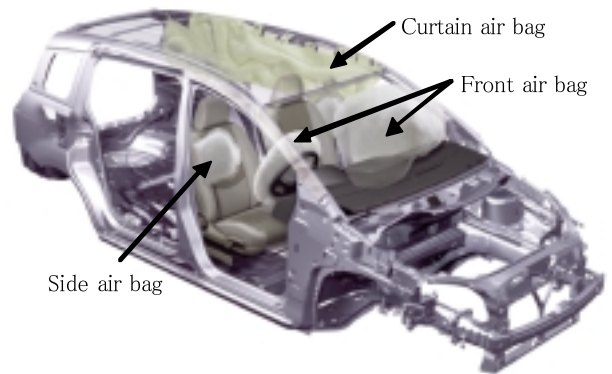


Fig.6 Side Air Bag for Side Impact

(2) 高耐カスライドドア

後席乗員を保護するためには、リアドアの室内への侵入を抑える必要がある。新型プレマシーは、後席への乗降性を高めるために、大型リヤスライドドアを採用した。大きな開口部のため、一般にドア侵入量が大きくなる傾向にある。そこで、目標とする衝突性能を実現するために、Fig.5に示すように、2つのキャッチャーピンを設定した。そして、更に、2本のサイドインパクトバーで衝撃をフロア部、センターピラー部に分散させることで効率的にドアに加わった衝撃を受け止め、ドア侵入量を低減した。

(3) サイドエアバッグ

側面衝突時、大人から子供までさまざまな体格の乗員の胸部、腹部を広範囲で保護するために、大型のサイドエアバッグを開発した。サイドエアバッグを大型化すると、従来のエアバッグと比較し、展開速度が遅れる懸念がある。この対応として、センターピラーの下部に置かれたサイドエアバッグセンサの取り付け方法や制御技術、バッグを展開するためのガス発生装置、最適なバッグの素材およびバッグの最適な量み方やシートへのエアバッグの収納方法に

(4) 衝撃抑制アームレスト

側面衝突で、乗員を保護するためには、車体構造だけでなくドアトリムのような内装部品で衝撃エネルギーを吸収することも大変重要である。そこで、Fig.7に示すようなユニットテストとCAEを用いて、アームレストの潰れ荷重特性を最適化し、構造検討を行うことで、前席乗員の腹部への衝撃を抑制できる構造をアームレストに織り込んだ。そのアームレストをFig.8に示す。アームレストカバーとドアトリムにスリット、穴を設定することで、衝撃エネルギーを吸収できる構造を実現した。

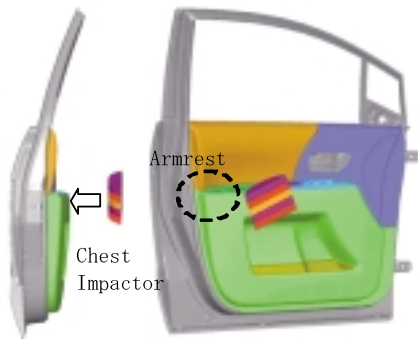


Fig.7 Door Impact Test

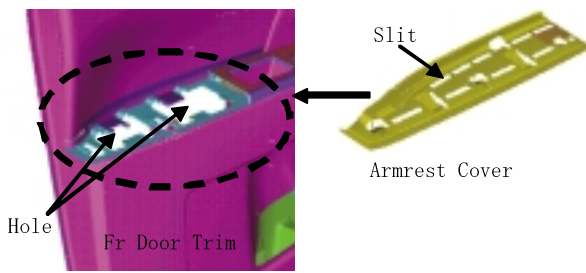


Fig.8 Armrest Structure for Side Impact

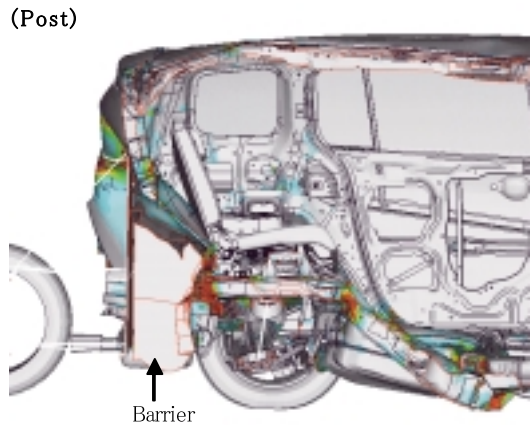
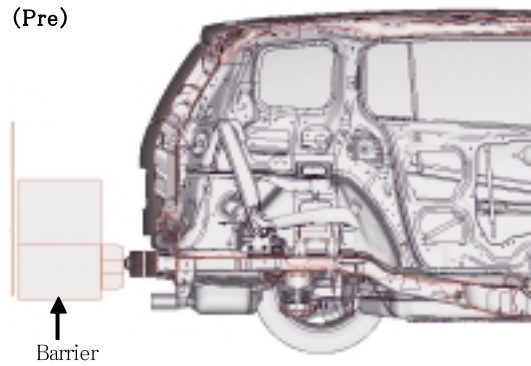


Fig.9 Body Structure for Rear Impact

2.3 後面衝突性能開発

後面衝突では、特に後席乗員の生存空間の確保と後輪車軸付近に配置された燃料タンクの保護が重要である。そのためには、高い荷重でリヤサイドフレームを潰すことで衝撃エネルギーを吸収し、燃料タンクが配置されている位置から前方はエネルギーを効率的に分散させる構造を採用した。リヤサイドフレームは590MPa級の高張力鋼板で、2種類の板厚の異なる鋼板を組み合わせたテーラードブランク材を使用した。また、フレーム断面の大型化とストレート化を行い、燃料タンクが配置されている部分は、衝突時の変形を抑えるために、前後左右を高強度のメンバで囲む構造とした。これらにより、日本の法規である50km/h後面衝突での燃料系の保護はもちろん、マツダが独自に定めたより厳しい180km/hのオフセット後面衝突でも、Fig.9に示すように3列目旅客室の変形を抑制しながら、衝突時の衝撃を吸収できる高い後面衝突安全性能を実現した。

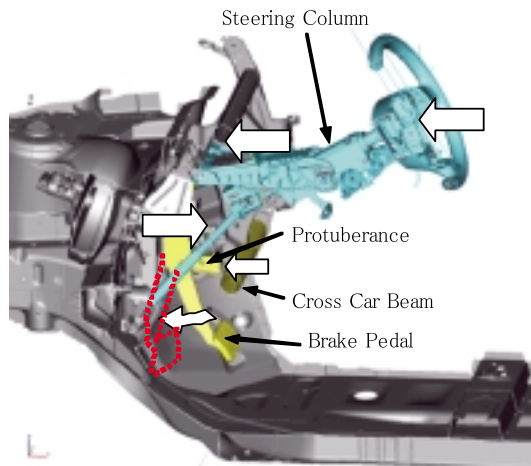


Fig.10 Brake Pedal & Steering Column Mechanism

3. 安全装備

(1) ブレーキペダル後退抑制機構

前面衝突時に、ダッシュパネルとともにブレーキペダルが乗員側に後退することで生じる下肢傷害低減のため、Fig.10に示すようにブレーキペダルアームから突出させた構造物をクロスカービームで支えることで、ダッシュパネル後退時のブレーキペダル後退を抑制している。

(2) ステアリング水平移動機構

前面衝突時に、乗員の前方移動によるステアリング干渉で生じる傷害低減のため、Fig.10に示すようにステアリングを車両前方へ水平移動させ、乗員の頭部や胸部への傷害を低減させた。

(3) カーテンエアバッグ

ルーフマウントカーテンエアバッグとシートマウントサイドエアバッグは、センターピラー下部の外板内側面に配置されたエアバッグセンサから展開指令信号を受け、作動する。新型プレマシーは3列目のシートを装備しており、全席の乗員の頭部を保護するには、拡大したエアバッグが必要となる。バッグの拡大で展開遅れが起きないように、エアバッグ気室形状と膨張ガス流入技術の開発を行い、バッグの大型化と展開速さを両立させ、側面衝突時に、前席から最後列シート全ての乗員の頭部エリアを保護できるようにした。更に、前席シートバックに内蔵されたサイドエアバッグが、カーテンエアバッグの展開信号と連動して展開し、前席乗員の胸部も保護している。Fig.6にカーテンエアバッグとサイドエアバッグの展開状況を示す。

これら2つのエアバッグにより、側面衝突時に乗員が受ける傷害を大幅に軽減できた。

(4) ISOFIX対応チャイルドシート固定用アンカレッジ

後席2列目の左右席には、Fig.11に示すISOFIX対応チャイルドシート固定用アンカレッジとトップテザーアンカレッジを採用した。ISOFIX対応チャイルドシート固定用アンカレッジは、チャイルドシートを簡便かつ確実に取り付けることが可能となり、チャイルドシートの効果を最大限に引き出すことができる。また、同時にトップテザーの使用により衝突時のチャイルドシートの前方回転を抑制することで、子供頭部のフロントシートやピラーへの二次衝突による傷害を軽減する構造としている。



Fig.11 ISOFIX Child Seat

(5) 荷物侵入防止後部シート

前面衝突時に、荷物が客室に侵入することで発生する乗員への傷害低減のためFig.12に示すように、後席2列目シートに荷物侵入防止構造を採用した。荷物がシートへ衝突する際のエネルギーを効率的に吸収するため、シートバックフレームを強固にするとともに、シートバックフレームをしっかり支えるため、シートバックリクライニング、リクライニングブラケット、ポデー取り付け部、およびポデー

を強化した。これらの構造を採用することで、欧州法規制にも対応できる高い安全性を確保した。

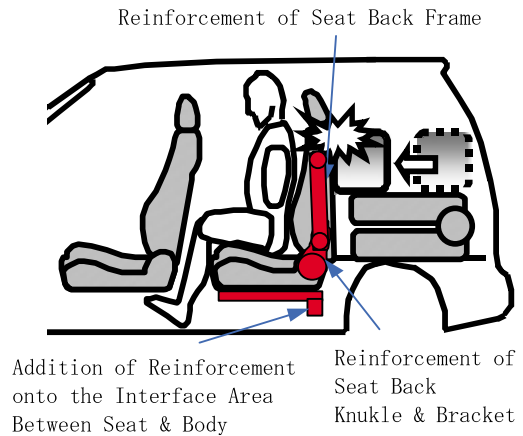


Fig.12 Cargo Retention

(6) 歩行者保護

万一の対人事故の際、歩行者の頭部がボンネットに衝突して生じる傷害を低減するため、Fig.13に示すようにボンネットとエンジンなどの間に十分な空間を確保したことに加え、カウルクロスメンバを薄板化し、傾斜させることで衝撃吸収効率を高めている。

また、車両下部への脚部の潜り込みを抑制するため、フロントバンパ下部の剛性の最適化を行った。

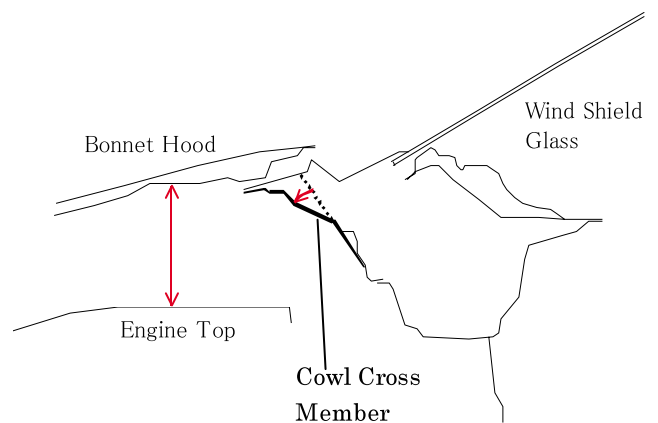


Fig.13 Cross Section of Cowl Cross Member

(7) ソフトインテリア

衝突の際に乗員の頭部が二次的に内装部品に当たって受ける傷害を緩和するため、Fig.14に示すように客室の各ピラーとルーフサイドのトリム内に衝撃吸収リップを設定している。

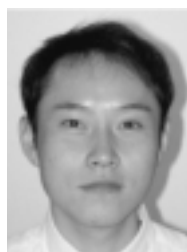


Fig.14 Energy Absorb Structure of Pillars

4. おわりに

本稿では、新型プレマシーの衝突安全性能の開発概略について紹介した。スタイリングや環境性能など車に求められるニーズが更に多様化する中、衝突安全性能に対する市場のニーズにも十分に応えられるよう、新型プレマシーの成果を基に、高い性能目標を掲げ、更なる技術開発を今後進めていく。

著者



河野勝人



古谷雅之



福谷和也



角美智雄



曾我部洋



柴崎宏武



杉本 繁



舟橋良治

特集：新型プレマシー

5

新型プレマシーの樹脂リフトゲートモジュール Plastic Liftgate-module of New Premacy

松本浩一^{*1} 栃岡孝宏^{*2} 杉本健一郎^{*3}
Koichi Matsumoto Takahiro Tochioka Kenichiro Sugimoto
平野竜治^{*4} 山口浩一郎^{*5} 竹下健二^{*6}
Ryuji Hirano Koichiro Yamaguchi Kenji Takeshita

要約

マツダでは軽量化，コストダウンおよび生産効率化等を目的として，「機能統合型モジュール」の開発に重点を置いてきた。このような中，更に機能統合を進化させた新世代モジュールとして，パネル全体を樹脂に置換した上で内装部品，外装部品および機能部品をインテグレートしたリフトゲートモジュールの開発を進めてきた。材料開発や試作評価を経て，業界に先がけてインナパネルを樹脂射出成形法としたリフトゲートモジュールの技術確立を行った。これらにより，従来の鉄板製リフトゲートに比べ，16%（3.2kg）の軽量化，スタイリッシュなデザイン，リペアビリティ向上などを実現し，新型プレマシーにおいて商品化に成功した。本稿ではこのリフトゲートモジュールの商品化を実現した技術を紹介する。

Summary

Mazda has been putting emphasis on the “functional integrated modules” to reduce weight and trim cost. In this activity, we've grappled with the next generation functional integration module with an attempt to build an entire plastic Liftgate-panel integrating ambient inner and outer components and functional parts. Going through the material development and the prototype evaluation, we established the industry-first Liftgate-module technology which produces inner panel by way of injection molding. Compared to the conventional steel-made Liftgate-panels, the technology cut weight by 16% (3.2kg). Besides, not only was the repairability improved, it widened the design flexibility. The technology was successfully commercialized at new Premacy. This paper introduces the technologies that enabled the commercialization of Liftgate-module.

1. はじめに

マツダでは軽量化，コストダウン，生産効率化および受注生産への対応を目的として，モジュール化に注力してきた。この中でも，モジュール化の効果が大きい「機能統合型モジュール」に重点を置くことを第一の戦略としている。2002年に発表したアテンザにおいては，フロントエンド，ドア，コックピット，センターパネル，フューエルタンクの5部品において，モジュールを採用した。また，フロントエンド，ドアモジュールにおいては，射出成形法でありながら加熱圧縮成形品レベルの強度を確保したガラス長織

維強化ポリプロピレン（以下GF-PP）を開発し，形状自由度拡大によるインテグレート部品の拡大および剛性，強度の確保を可能とした。

ドアモジュール以降，機能統合を更に進化させた新世代モジュールとして，リフトゲートモジュールの開発に取り組み，基本構造の決定，樹脂材料・接着剤の開発，先行試作品の製作・性能評価を行った。そして，自動車業界でも先がけてインナパネルの成形を形状自由度の高い射出成形法で行うリフトゲートモジュールの技術確立させ，新型プレマシーにおける商品化を目指した。

*1, 5, 6 ボデー開発部
Body Development Dept.

*3, 4 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

*2 技術研究所
Technical Research Center

2. 基本構造と材料開発

2.1 基本構造の決定

新型プレマシーに採用したリフトゲートモジュールはインナパネルの一部をモジュール化したドアモジュールのコンセプトを進化させ、アウト、インナパネル全体を樹脂に置換した。加えて、構造最適化により、大幅な軽量化とそれに伴う開閉操作フィーリングの向上、インテグレート部品の拡大、スタイリッシュなデザインの実現および軽衝突時のリペアビリティ向上を可能とした。上記メリットを最大限得るため、各樹脂パネルの成形は形状自由度の高い射出成形法とし、ウレタン系接着剤により接合した (Fig.1)。

生産効率化を図るため、各パネルとバックウインドガラスの接着、機能部品の組付けをすべてサプライヤ内にて行い、リフトゲートアセンブリとして、各機能を保証した上で車両組み立てラインへ搬入するシステムとした。

インナパネルの樹脂化により、リフトゲートトリム、リセスを一体成形とすることが可能となったため、従来構造におけるトリムの継ぎ目の折合い育成の問題を解消することができた。機能部品の統合については、アウトハンドルベースおよび盗難防止カバーの一体成形、リブ固定によるハーネス固定クリップの廃止等が可能となった。



Fig.1 Basic Structure of Liftgate Module



Fig.2 Integrated Interior and Exterior Parts

また、外装部品では、リヤルーフスポイラおよびリフトゲートガーニッシュをアウトパネル一体成形とした (Fig.2)。

2.2 樹脂材料の開発

樹脂への材質置換においては、既存の樹脂材料を転用するのではなく、リフトゲートに求められる性能を考慮し、材料を新たに開発した。

(1) アウトパネル材料

リフトゲートでは耐衝撃性を確保しながら、外郭精度向上、耐熱性能向上が必要となる。そこで、耐衝撃性に優れたアクリロニトリルブタジエンスチレン (以下ABS) に耐熱性能向上に有効なフィラーを高含有率に配合できる技術を開発した。更に、成形時の流動性を考慮した上で、耐熱強度・剛性・耐衝撃性に有利なポリカーボネート (以下PC) との最適配合を見出した。

これにより、他車アウトパネルに採用されているナイロン/PPE (ポリフェニレンエーテル) に比べ、熱線膨張係数が約1/2、耐衝撃性は常温下から -30℃ においても約6倍の向上を果たした (Fig.3)。

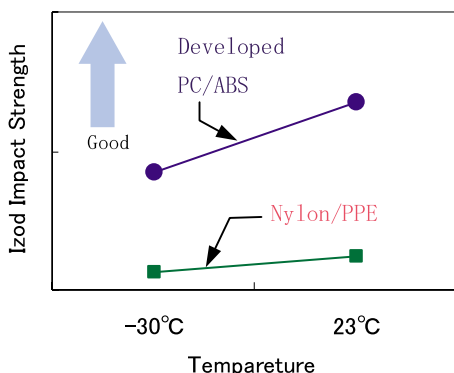


Fig.3 Comparison Between Nylon/PPE and Developed Outer Material of Impact Strength

(2) インナパネル材料

フロントエンドモジュールおよびドアモジュールキャリアで実績のあるGF-PPをベースに新たな材料配合とし、性能を向上させた。

衝突時の衝撃吸収と破片の飛散を抑えるため、特殊エラストマーを配合するとともに、ゴム成分配合率の最適化を行い、耐衝撃性を約3倍に向上させながら、従来のGF-PPと同等の剛性を確保した (Fig.4)。また、剛性に対し重要な要素であるガラス繊維含有率の最適化を行った。

インナパネルは内装トリムを兼ねているため、前述の材料配合に加え、シボ形状、深さ、金型のプラスト処理条件を最適化することにより、無塗装で高品質なインナ内装外観を実現した。

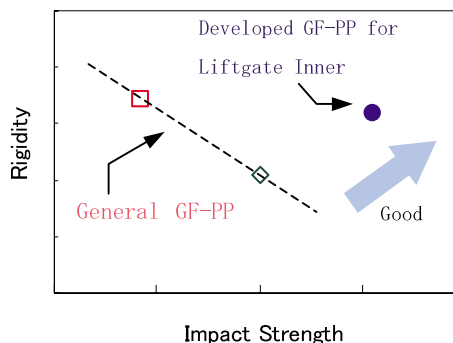


Fig.4 Comparison Between General and Developed GF-PP Characteristics of Impact Strength - Rigidity

3. 新型プレマシーにおける商品化開発

3.1 軽量化

新型プレマシーでは前述の材料置換、インテグレートおよび構造最適化を行い、鉄板製リフトゲートに対し、約16% (3.2kg) (材料置換、インテグレート、構造最適化による純粋な重量軽減効果) の軽量化を達成した。また、その結果として、燃費の改善、リフトゲートの開閉操作フィーリング向上にも寄与している。

3.2 スタイリッシュなデザインの実現

新型プレマシーにおいては、アウトパネルの樹脂化により、リフトゲートガーニッシュ、リヤルーフスポイラを一体成形とした。特に、リヤスポイラにおいては、通常のアドオンタイプとは異なり、パーティングのないスムーズな形状としており、Cd値の改善にも貢献している。

また、ヘッド周り、ライセンスプレート周りの成形Rのミニマム化を行い、スタイリッシュなデザインを実現した。

3.3 剛性確保

(1) インナパネル形状

インナパネルは他車ですでに採用されているプレス成形法のガラスマット強化PPに比べ形状自由度の高い射出成形法のGF-PPを採用した。インナパネルに必要な剛性を確保するため、材料面の改良に加え、剛性解析結果より応力が集中する部位については、形状自由度を活かし補強リブ追加や最適肉厚設定を行った。解析の結果、ヒンジ取り付け部から外側にかけて応力集中が見られたため、基本板厚アップおよび補強リブの追加にて対応した (Fig.5)。

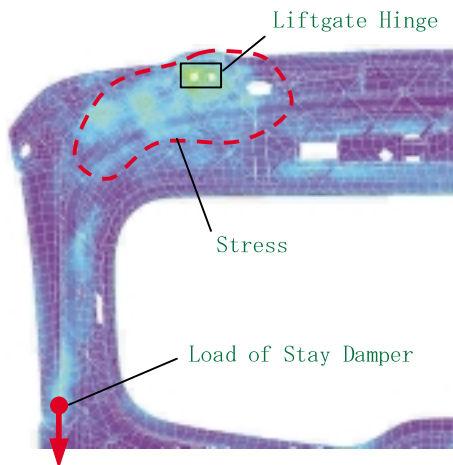


Fig.5 Result of Liftgate Rigidity Analysis

(2) ガラス繊維配向

GF-PPは成形後のガラス繊維配向が縦向きであるとより剛性が高くなることがわかっており、特に剛性が必要な部位については、意図的に配向をコントロールする必要がある。そこで、流動解析を用いてガラス繊維配向をシミュレーションし、剛性が必要なヒンジ取り付け部周辺において理想的な配向となるよう、射出ゲート位置・点数、射出タイミングおよび型温度などの成形条件を設定した (Fig.6)。

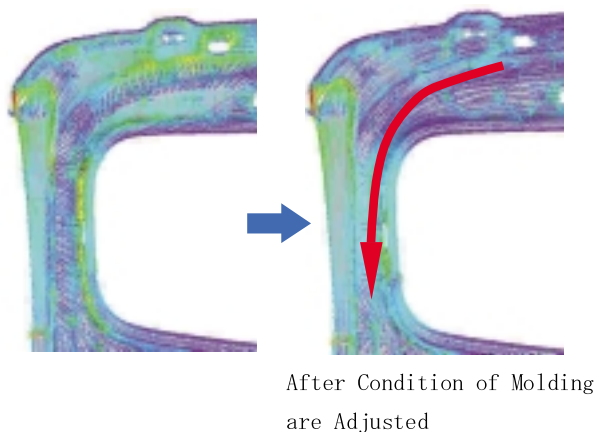


Fig.6 Result of Liftgate Inner Panel Flow Analysis

(3) 成形工程管理

インナパネルは、成形における量産バラツキを考慮した上で剛性を保証する必要がある。テスト段階で成形各工程におけるバラツキ上限、下限品を試作し、かつ網羅的にテストを実施することで、量産バラツキ範囲内で十分な剛性が確保できていることを確認し、各工程の管理値を決定した。

3.4 外郭精度の確保

一般的に樹脂は鉄板と比較し、温度の影響や成形条件に

よる外郭精度確保が難しい。しかし、商品化する上では従来車並みの外郭精度を確保する必要がある。

(1) パネル単品精度の確保

アウトパネルには前述の成形寸法安定性を向上させた熱線膨張係数の低いPC-ABSを採用した。

インナパネルにおいては、ガラス繊維配向によるそりが課題となる。剛性を確保しつつ、そり変形を抑える成形条件を導き出し、成形条件が精度に与える影響を明確化し、成形工程の管理値を決定した。

(2) アッセンブリ精度の確保

アウト、インナパネルは接着する構造を採用しているが、接着後の外郭精度確保のため、接着時にアッセンブリ精度を育成・調整する構造・治具を開発した。また、バックウインドガラスについては、従来のピン位置決めによる搭載の代わりに、治具による外郭基準での搭載方法を採用した。

以上の技術開発を行い、従来の鉄板製並みの外郭精度とすることができた。

3.5 衝突安全性の確保

アウト、インナパネルを樹脂化しているため、追突された場合、場合によっては上下で分断される懸念がある。乗員保護の観点より、新型プレマシーのリフトゲートでは前述の材料面での耐衝撃性改善に加え、リフトゲートが破壊され、万が一上下で分断された場合も開放しないよう、上下部をワイヤストラップで結合する構造的な配慮を行った。

3.6 軽衝突時のリペアビリティ向上

軽衝突とは時速15km/h程度の軽微な衝突のことを指し、このときに発生する車両へのダメージに対するリペアビリティの向上（補修費用額の低減）が求められている。

アウトパネルには前述の耐衝撃性に優れたPC-ABSを採用しており、ユニットテストにおいて、衝突物が約30mm侵入した場合でも復元する性能を確保した。鉄板製において、この侵入量は通常リフトゲート全体の交換が必要となるレベルである。新型プレマシーでは、日常使用におけるパネルのへこみ難さを大幅に向上させている。

3.7 温度変化に対する信頼性確保

今回開発したリフトゲートモジュールは、鉄板製に比べ熱の影響を受けやすい樹脂を材料としているため、特に耐熱、耐寒時の信頼性を確保・検証する必要がある。

アウトパネル材料は前述の材料配合最適化による、熱変形温度の向上および熱線膨張係数の低減を行い、インナパネルは樹脂材料の粘度、背圧等の成形条件調整により、製品内のガラス繊維折損を抑制し、耐熱性を向上させた。構造においては熱伸びに対して効果的な位置への補強鉄板の配置、熱収縮を考慮したラッチ噛合い隙および外観見切り隙の設定を行った。

耐熱・耐寒性の検証は、テスト条件を世界で有数の酷暑地域、寒冷地域を想定したものとし、かつ、市場における

あらゆる使用状況を考慮する設定とした。耐熱性は酷暑地域における最高温度下での放置テストおよび熱間中の変形、開閉耐久評価を実施した。寒冷下地域においては材料の耐衝撃性低下の検証として、最低温度下における内外板面ハンマリングテスト、また、閉め時にラゲッジスペースの荷物が干渉する状態を再現した誤動作試験を実施した。

結果として、上記耐熱・耐寒の条件を含めた各試験において従来の鉄板製同等もしくはそれ以上の信頼性を有することが確認できた。

4. まとめ

今回、リフトゲートに求められる商品性、信頼性を確保した上で、スタイリッシュなデザイン、軽量化およびリペアビリティ向上等のメリットを実現し、新型プレマシーにおいて商品化した。

今後の車種への展開にあたっては今回得られた技術のフィードバックを開発初期段階から行い、ノウハウを最大限に活かし、デザインメリットの拡大、インテグレート進化、更なるコストダウン、軽量化を図っていきたい。

5. おわりに

今回のリフトゲートモジュールの商品化においては、性能開発領域のみならず、部品供給、車体搭載方法、検査手法、物流形態など多岐にわたる新規検証も必要となった。商品化を実現するにあたり協力いただいた関連部門の方々に深く感謝いたします。

最後にこの開発にあたり、多大なご協力をいただいた、ジー・ピー・ダイキョー(株)殿、ダイキョーニシカワ(株)殿、(株)石崎本店殿、アスモ(株)殿、スタンレー電気(株)殿、(株)ユーシン殿、(株)アンセイ殿、原田工業(株)殿に、この誌面をお借りし、厚く御礼を申し上げます。

著者



松本浩一



柘岡孝宏



杉本健一郎



平野竜治



山口浩一郎



竹下健二

特集：新型プレマシー

6

新型プレマシーのダイナミクス性能 Dynamics of New Premacy

和田 仁 法*1 渡 邊 雅 哉*2 熊 田 拓 佳*3
 Hitonori Wada Masaya Watanabe Hiroyoshi Kumada
 塚 越 均*4 伊 藤 肇*5 小 倉 正 直*6
 Hitoshi Tsukagoshi Hajime Ito Masanao Ogura

要 約

マツダが目指すDNAを具現化した、卓越したダイナミクスを実現するシャシー（サスペンション、ステアリング、ブレーキ）とボデーを開発した。

サスペンションは、フロントをマクファーソンストラット式、リヤをE型マルチリンク式とし、クラスの基準を超える仕様を採用した。更に、フロントクロスメンバの4点ラバーマウント化、液体封入式ブッシュの採用など、操縦安定性と乗り心地、振動・騒音を高度にバランスさせた。ステアリングには、優れたステアフィールと低燃費を両立する電動ポンプ式油圧パワーステアリングを採用している。ブレーキでは大径ブレーキの採用やブレーキペダルの低ペダル比化とマスタシリンダの小径化によるペダルロストラベルの低減などにより、クラストップレベルの制動距離と優れたフィーリングを実現した。

ボデーは、フレームやクロスメンバの大断面化、ストレート化などにより、ボデー全体の静的な曲げ剛性やねじり剛性を高めるとともに、局部剛性の向上にも取り組んだ。走行中の局部的なボデーの変形を抑える工夫を随所に取り入れることで、クラスを超えた高剛性ボデーを実現した。

Summary

We developed chassis (suspension, steering, brake) and body of new Premacy incarnating preeminent dynamics defined in the Mazda's DNA.

In order to strike a balance among " handling, " " ride comfort, " " vibration, " and " noise " in a high level, Premacy's suspension adopted upmarket specifications, namely MacPherson Strut for the front, E-type Multi-link suspension for the rear, four-point rubber mount for front-crossmember, and liquid-filled bushings, etc. Steering adopted power assist-steering system complete with an electric motor pump to achieve excellent steering feel and the high fuel efficiency. Brake achieved the best-in-class braking distance and the superior brake feeling by reducing travel-loss of brake-pedal. This was enabled by the adoption of diameter-increased ventilated disc, the lowered pedal ratio, and the diameter-reduced master cylinder.

Body achieved the beyond-the-class rigidity. The static bending and torsional rigidity was increased by widening cross-sections and straightening the architecture of crossmember. The local body rigidity was also beefed up by incorporating a set of twists to hinder local body deformations during the driving.

*1, 2 操安性能開発部
 Chassis Dynamics Development Dept.
 *6 ボデー開発部
 Body Development Dept.

*3, 4 シャシー開発部
 Chassis Development Dept.

*5 NVH性能開発部
 NVH Development Dept.

1. はじめに

新型プレマシーでは、コンパクトユーティリティの常識を超える「運転する楽しみ」を提供するため、次のターゲットに取り組んだ。

- ① 操縦安定性
 - ・リニアで俊敏な操縦性
 - ・高速までドライバが安心して運転できる安定性
- ② 乗り心地
 - ・剛性感のある、不快なゴツゴツ感を抑えた乗り心地
- ③ 制動性能
 - ・応答性が良く、リニアなブレーキ
 - ・抜群の安心感とコントロール性を持つブレーキ
- ④ 静粛性
 - ・ロードノイズの大幅な低減

これらを実現するため、クラスを超えたプラットフォームを開発した。

本稿では開発したシャシーとボデーに関する、開発の狙い、構造と特徴、達成性能について紹介する。

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、ハンドル操作に対するリニアで俊敏な車両の応答を達成しつつ、快適で優れた安定性を実現するため、次の項目に注力した。

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

(2) 構造と特徴

① フロントサスペンション・ステアリング

フロントサスペンションには、マクファーソンストラット式サスペンションを採用した (Fig.1)。ラバーブッシュを介してクロスメンバをボデーに締結することで、高いサスペンション支持剛性と、騒音・振動の抑制を両立した。更に、サスペンションからの振動入力をより効果的に遮断するため、ロアアームの後側には1クラス上の車で使用される液体封入式ブッシュを採用した (Fig.2)。このブッシュでは、二つの油室の間を低抵抗の長い流路でつなぐことにより、安定した振動吸収性を確保するとともに、油室間に設置したラバー弁が高周波・大振幅の入力の際にオイルを逃がすことにより、過大な荷重がボデーに伝わらないようにした。これにより、操縦安定性と乗り心地、騒音・振動を高次元でバランスさせた。

個々の部品の特性、構造、配置にも気を配った。まず、サスペンションマウントを入力分離式にしてダンパの効きを上げたほか、ダンパとスプリングをオフセットして配置することでダンパにかかる横力を減らし、ダンパのフリク

ションを抑えた。また、フロント・リヤダンパともにリバウンドスプリングを内蔵させ、接地感のある安定したロールとフラットな車体の動きを実現した。更に、スタビライザのクロスメンバへの取付スパンも可能な限り広げ、スタビライザの効きを上げた。そして、ステアリングギアを通常よりも100mm程度低い位置に配置してタイロッド長を長く取ることで、ロール時のタイヤの接地性を維持しながら、タイヤのトー角がリニアに変化するようにした。これらにより、乗り心地や安定性を向上させながら、微小なハンドル操作に対する車両応答を大きく改善した。

ステアリングには、油圧システムと電動システムの長所を兼ね合わせた電動ポンプ式油圧パワーステアリングシステムを採用している (Fig.3)。油圧ポンプを従来のエンジン駆動式から電動ポンプに変更することにより、車速と操舵速度に応じて適切に油圧をコントロールできるようになった。これにより、正確でしっかりとしたステアリングフ



Fig.1 Front Suspension

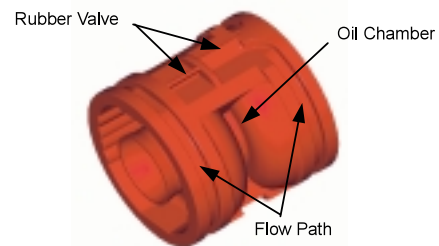


Fig.2 Liquid-filled Bushing

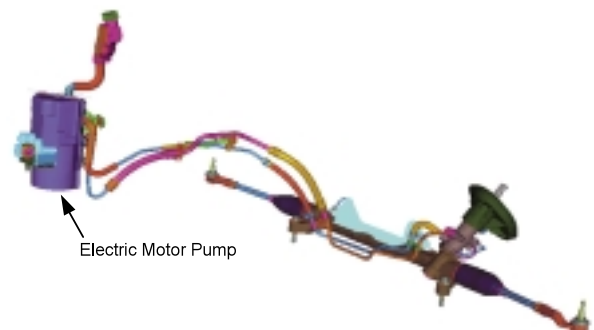


Fig.3 Electric Hydraulic Power Steering System

イールを実現するとともに、車両が直進している時には電動ポンプの回転を下げてエネルギー消費を抑えることにより1 - 1.5%程度の低燃費化にも貢献している。

② リヤサスペンション

リヤサスペンションには、E型マルチリンク式サスペンションを採用した (Fig.4)。これは、1クラス上のアテンザと同じ形式のサスペンションであり、次の4つの特徴を備えている。



Fig.4 Rear Suspension

1) ジオメトリ特性の最適化

このクラスで使われる他のサスペンション形式とは異なり、本サスペンションは走行時の車体姿勢や、外力変化に対するタイヤの動きを適切に設定できる。たとえば、タイヤと車体を前後につなぐトレーリングリンクの車体側取付点をタイヤ中心よりも18mm高い位置に置くことで、制動時の車体のノーズダイブを小さく抑えている。また、サスペンションの前後剛性を抑えながら、キャンパ・トー方向の剛性を高め、ロールセンター軸を最適化することで、優れた乗り心地と直進安定性・ロードホールディングを実現した。

2) サスペンション部品の高剛性化

走行中の荷重入力方向と大きさを考慮してクロスメンバ各部の剛性を引き上げた。また、トレーリングリンクのダンパ取付部もダンパ入力に合わせて高剛性化し、ハブベアリングには高剛性の第3世代ハブを採用した。このように、サスペンション各部に必要な剛性を持たせることで、ポテンシャルの高いサスペンションを実現した。

3) プッシュ容量の拡大

フロント・リヤサスペンションのプッシュ容量をクラス最大級とすることで、プッシュが余裕を持って各リンクからの入力を吸収できるようにした。これにより、底つき感のないスムーズなサスペンションの動きが実現でき、リニアな車両応答に貢献した。

4) ダンパとコイルスプリングの分離

スプリングをダンパと分離して床下に置いた。これにより、荷室の横幅の拡大に加え、ダンパのフリクションが減り、よりスムーズに減衰力が発生するようになった。

(3) 達成性能

① 操縦安定性

評価結果をFig.5に示す。全体として新型プレマシーのポテンシャルの高さがわかる。特に開発の目標である、正確で剛性感のある、安定性に優れた車両応答が実現できている。

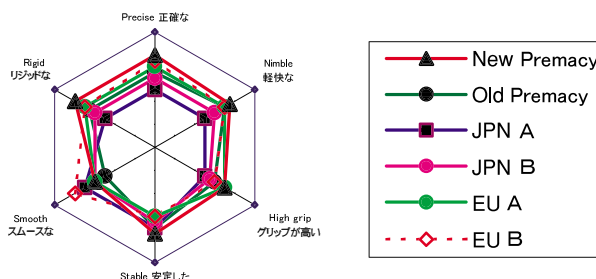


Fig.5 Steering & Handling Evaluation

ヨー共振周波数とヨーレイトゲインを比較した結果をFig.6に示す。新型プレマシーは競合車と比べてヨー共振周波数、ヨーレイトゲインがともに大きく、高いリヤグリップによる優れた安定性と俊敏な応答を両立できた。

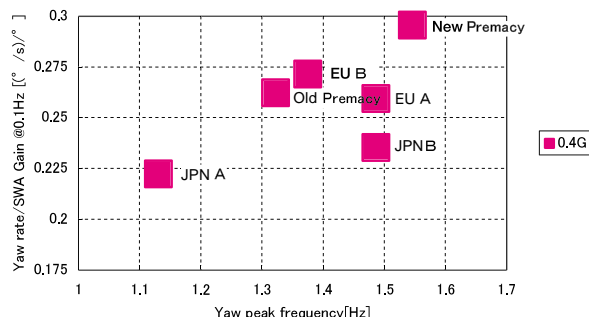


Fig.6 Comparison of Yaw Rate Response

② 乗り心地

評価結果をFig.7に示す。路面からの突き上げなどに対する車体の動きが小さく抑えられ、減衰に優れた特性であることがわかる。開発の目標である、剛性感があり、不快なゴツゴツ感を抑えた乗り心地が実現できている。

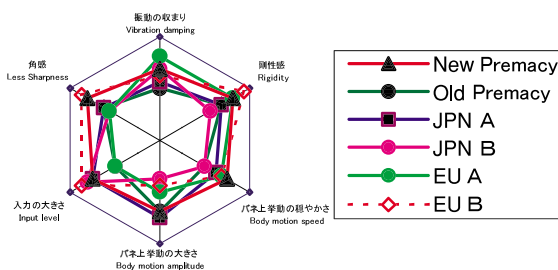


Fig.7 Ride Comfort Evaluation

荒れた路面を走行中の車体振動の大きさを比較した結果をFig.8に示す。新型プレマシーは人間が特に感じやすい10-30Hzの周波数帯域での振動レベルが競合車よりも小さく、しっかりとした質感の高い乗り心地となった。

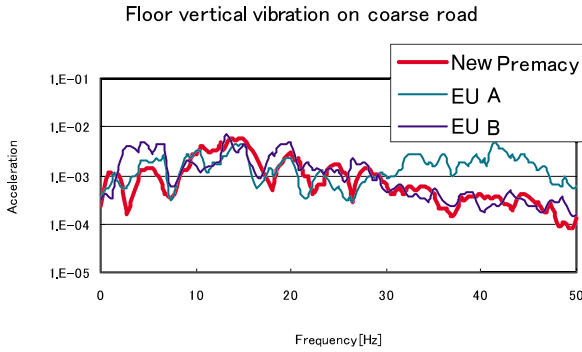


Fig.8 Comparison of Vibration Level

③ ロードノイズ

時速100kmで荒れた路面を走行した際の運転席でのロードノイズの比較結果をFig.9に示す。新型プレマシーが優れた静粛性を備えていることがわかる。

フロントクロスメンバの高剛性化、タイヤの低ロードノイズ化やポデーパネルの工夫により、路面からの振動が音になりにくい構造を実現した。これにより、荒れた路面を走行した際の、低周波の“ゴー”という音が減り、路面変化による車室内の音の変化を抑えることに成功した。

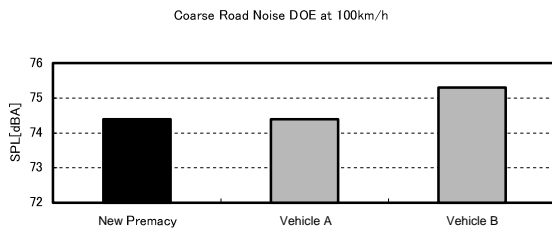


Fig.9 Comparison of Road Noise OA

2.2 ブレーキ

(1) 開発の狙い

ブレーキについては、「応答性が良くリニアなブレーキ」、「抜群の安心感とコントロール性を持つブレーキ」を実現するため、次の項目に注力した。

- ① ペダル踏力とストローク・減速度のバランスの最適化
- ② しっかりしたブレーキの効きと高いペダル剛性感
- (2) 構造と特徴

① ブレーキペダルの低ペダル比化

ペダルストロークの短縮化のため、ペダル比を2.8とし、ポデーパネルへの入力を小さくすることで、ポデーパネル

の変形量を抑えた。また、マスタシリンダ内径を22.2mmとした。これらにより、ペダルの剛性感を高め、コントロールしやすいブレーキ特性を実現した。更に、ペダル配置を最適化し、踏みやすさを向上させた。

② ブースタ

ブースタは、大径シングル10インチサイズのバキュームブースタを採用し、高いサーボ限界を確保した。

③ フロントブレーキ

ロータを大径化し、2.3Lエンジン搭載車はクラストップの300mm、その他の車両も278mmのロータを採用した。

④ リヤブレーキ

全車リヤディスクブレーキを採用し、ロータ径は、2.3Lエンジン搭載車は302mm、その他の車両は265mmの大径ロータを採用した。

⑤ DSC・EBD・ABS・BA

新型プレマシーではDSC（横滑り防止機構）をオプション設定した。またEBD（電子制御制動力配分システム）、ABS（4輪アンチロックブレーキシステム）とBA（ブレーキアシスト）を全車標準装備とし、制動停止距離の短縮と車両安定性を両立させた。特にBAはペダルの踏み込み速度と踏力に応じたアシストを可能にする機構を備えた機械式BAを採用し、信頼性が高く、スポーツ走行を妨げないアシストシステムを実現した（Fig.10）。

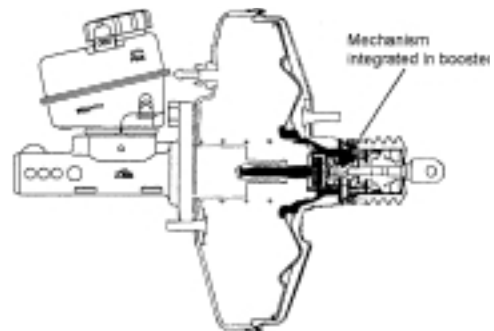


Fig.10 Example of Mechanical Brake Assist

(3) 達成性能

① ブレーキフィーリング

評価結果をFig.11に示す。開発の目標である、リニアで応答性に優れたブレーキが実現できている。

踏力と減速度、ペダルストロークと減速度の比較結果をFig.12に示す。新型プレマシーは踏力に対して減速度がリニアに立ち上がるほか、微小なペダルストロークに対してもしっかりと減速度が立ち上がり、コントロールしやすいブレーキ特性となっている。

② 制動停止距離

日本国内で行われている自動車事故対策機構によるJ-NCAP制動停止距離評価での比較結果をFig.13に示す（新

型プレマシーは、開発期間中に社内で測定した値)。新型プレマシーが、比較車両中トップクラスの制動停止距離であることがわかる。

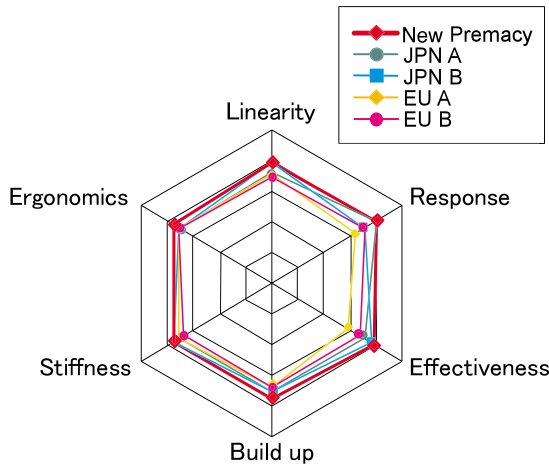


Fig.11 Brake Evaluation

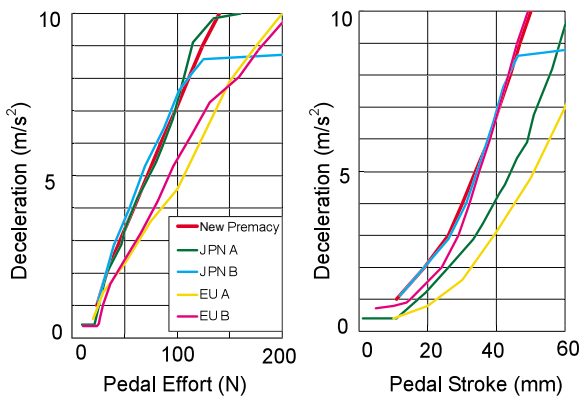


Fig.12 Comparisons of Brake Performance

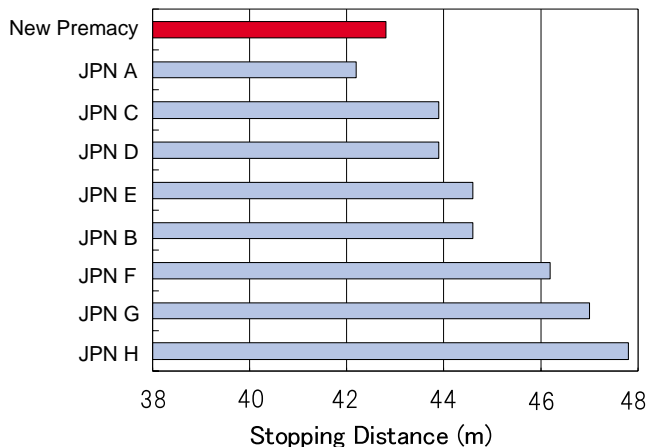


Fig.13 Comparison of Stopping Distance

3. ボデー

(1) 開発の狙い

新型プレマシーのキーバリューである「操る楽しさを感じさせるドライビング性能」と「家族や友人と快適に過ごせる使い勝手のよいパッケージと機能」とを実現できるしっかりとしたボデーを造りあげること、これを目標に開発に取り組んだ。その中でも特に、操縦安定性能に有効な局部剛性の向上、NVH性能に有効な動剛性の向上、剛性面で不利なスライドドア構造におけるねじり剛性の確保の3点に注力し、CAE解析等を駆使して取り組んだ。

(2) 構造と特徴

① ボデーフレームワーク

アンダーボデーのフレームワークをFig.14に示す。

フロントサイドフレーム、サイドシル、リヤサイドフレームといった前後方向の各主要フレームや、これら左右のフレームを結合する各クロスメンバの大型化、ストレート化により車体全体の曲げ、及びねじれ剛性を向上することができた。

フロントフロアトンネル部は縦壁立上がり部にフレームを設定、更にトンネル部フロア下には3本のクロスメンバを設定し、操舵時のトンネル廻りの局部的なねじれ変形を抑制することで、特に操安フィーリングや応答性を向上させた。また、リヤサイドフレームとサイドシルとの結合部はラップ代の拡大、かつ大断面で結合することで結合部剛性を高めるとともに、後突時の車体潰れを軽減し後席乗員の安全性を確保している。

更に、#3クロスメンバと#4クロスメンバとをつなぐフロアメンバを設定し、後席フラットフロア化で起こりやすくなる車体の上下振動による後席乗り心地の悪化を改善した。

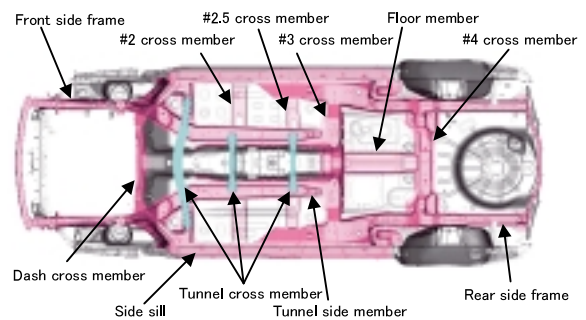


Fig.14 Body Frame Work

② フロントボデー構造

フロントボデー構造をFig.15に示す。

一体型のサスペンションタワーハウジングを、ダッシュクロスメンバで左右を結合されたフロントサイドフレーム及び閉断面のエプロンレインへ結合した。このサスペンションハウジングには、より優れたダンパの減衰特性を得るため、カウルガセットとカウルクロスメンバを設定し、前後・左右・上下方向の局部剛性を高めた。

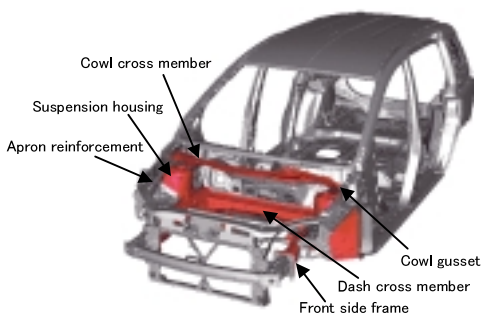


Fig.15 Front Body Structure

③ キャブサイド構造

後席乗降性向上のため大開口スライドドアを採用し、更にロアレールをサイドシル内へ格納することにより、サイドシル高さを低減させた。また、これらによるねじり剛性の低下をリカバーするため、スライドドア開口の各コーナー部やスライドレール廻りの補強を施した。

④ リヤボデー構造

リヤボデー構造をFig.16に示す。

ワゴン系の車においてはリヤボデーの剛性は最も重要であり、特にその開発に注力した。

リヤサイドフレームからリヤサスペンショントップにかけては厚板の補強部材で結合し、更にダンパ取付部は車室内よりガセットを重ねるとともに、リヤサスペンションタワーとフロア間にフロアガセットを追加することにより局部剛性を高めた。また、リフトゲート開口部には閉断面構造を通し開口部剛性を高めるとともに、この開口部とリヤ

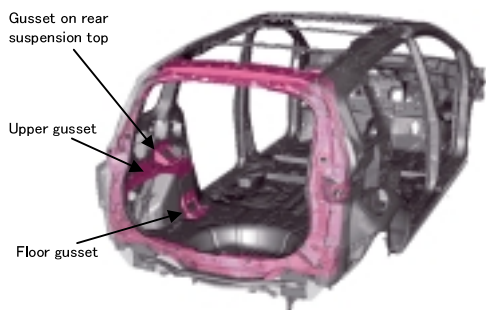


Fig.16 Rear Body Structure (5Door)

サスペンションタワーとを結合するアッパーガセットを設けることによりボデー剛性を向上させた。

(3) 達成性能

上記構造を採用することで、高い局部剛性と、スライドドア車でありながらヒンジドア車並みのねじり剛性を達成することができた (Fig.17)。そしてこれらにより、新型プレマシーは、Zoom-Zoomなダイナミクス性能を達成できる高剛性ボデーを実現できている。

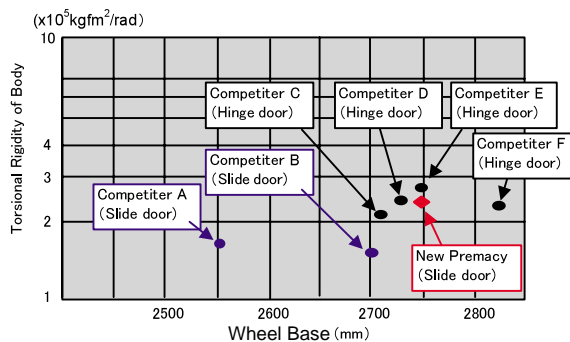


Fig.17 Torsional Rigidity

4. おわりに

以上、新型プレマシーのダイナミクス性能を支えるシャーシとボデーについて、開発の狙い、構造と特徴、達成性能を簡単に紹介した。

アテンザ、RX-8、デミオ、アクセラの開発を通じて培った技術と知見をもとに、マツダのDNAをコンパクトカーで実現すべく、基本を押さえながら細部へのこだわりを追求した。その結果、クラスを超えた操縦安定性、乗り心地、制動性能と静粛性を持つプラットフォームを実現できた。

著者



和田仁法



渡邊雅哉



熊田 拓佳



塚越 均



伊藤 肇



小倉 正直

特集：新型プレマシー

7

新型プレマシー / Mazda5のパワートレイン
Powertrain for New Premacy / Mazda5

馬場文章*2
Fumiaki Baba

要約

新型プレマシー / Mazda5では、ゆとりのパワーと優れた環境性能の両立を目指し、日本、欧州、北米等の各仕向けのライフスタイルに合わせ、MZRエンジンシリーズ2.0L/2.3Lを、欧州向けでは、MZRシリーズ1.8L/2.0Lに加え、2.0L新型ディーゼルトーボエンジン（MZR-CD）を搭載した。本稿では、日本向けのMZRエンジンと欧州向けの新開発MZR-CDエンジンを中心に紹介する。

Summary

New Premacy/Mazda5 aimed at achieving both the ample power and the environmental performance. "MZR engine family 2.3L and 2.0L" was developed to meet the life style of Japan, Europe, and the U.S. For the European market, in addition to "MZR engine family 2.0L and 1.8L," "MZR-CD 2.0L diesel engine" was developed. This paper introduced "MZR engine family" developed for the Japanese market and "MZR-CD diesel engine" developed for the European market.

1. はじめに

新型プレマシー / Mazda5では、ゆとりのパワーと優れた環境性能の両立を目指し、パワートレインラインアップを選定、新型プレマシーの特性に最適チューンを施した。

2. 新型プレマシーのパワートレイン

マツダブランドDNAとミニバンのイメージを超えるわくわく感のあるドライビングとを実現するために、マツダの走りのDNAである以下のエンジンパフォーマンスを追究した。

- ①リニア：アクセルの踏み方に応じた「リニアな加速感」
- ②ライブリー：アクセル操作に即座に車両が反応する「活発なレスポンス」
- ③トルクフル：市街地での軽いアクセル操作時、郊外でのアクセル操作時等の様々なシーンでの「力強い加速感」

2.1 パワートレインラインアップ

日本、欧州、北米等の各仕向けのライフスタイルに適合させるため、Table 1に示すラインアップを設定した。日本向けでは、既にアテンザ、アクセラにて好評を得ているMZRエンジンシリーズ2.0L/2.3Lを、欧州向けでは、MZRシリーズ1.8L/2.0Lに加え、2.0L新型ディーゼルトーボエンジン（MZR-CD）を搭載した。本稿では、日本向けのMZRエンジンと欧州向けの新開発MZR-CDエンジンを中心に紹介する。

Table 1 Powertrain Line-Up

Eng.Vol. (L)	T/M	Japan	EU	North America	Other Countries
1.8	5MT		●		
2.0	5MT		●		●
	4AT	●			●
2.3	5MT			●	
	4AT	●		●	
2.0DE	Low Power		●		
	High Power		●		

All 4ATs have active matics.

*1, 2 パワートレイン開発推進部
Powertrain Development Promotion Dept.

3. MZRエンジン

新型プレマシーでは、アテンザ/アクセラのパフォーマンスDNA、パワートレインNVH性能を踏襲しつつ、クリーンエミッションの両立を実現した。排出ガスでは、平成17年基準排出ガス規制値の75%以下までに低減させた「SU-LEV」認定に適合している。2.0L車では、更に「グリーン税制」(低公害車優遇税制)に適合している (Fig.1)。

3.1 エンジン出力性能

MZRエンジンでは、可変吸気システム(Variable Induction System, 以下VIS)を採用している。これは吸気マニフォールド内のVISバルブの開閉をエンジンスピードに応じて制御し、吸気マニフォールドの長さを変えるシステムである。中低速域と高速域のそれぞれで充填効率を最適化し、広い回転域でより高いトルクが得られる。

更に2.3Lエンジンでは、シーケンシャルバルブタイミングシステム(S-VT)を採用した。吸気バルブの作動タイミングを運転状況に応じて制御し、広い回転域でより高い充填効率を達成した。広い回転域でのトルクフルな走りを実現するとともに、燃費改善にも寄与している。

排気系では、ステンレス製の等長ロングブランチ排気マニフォールドの採用により、排気干渉を低減して出力とトルクを向上している。

3.2 NVH性能

MZRエンジンでは、軽量で振動特性に優れたアルミ合金製のシリンダブロックとロアブロックを採用している。また、エンジンとトランスミッションの結合剛性を高めるとともに軽量のピストンおよびコンロッドを採用している。高いクランク支持剛性を実現したことで、振動を低減し、不快なゴロゴロ音や音量・音質のピークをその発生源から抑制することに成功した。これらにより、快適でリニアなドライブフィールを実現している。

3.3 燃費、エミッション性能

エンジンルーム前方から吸気し後方に排気するレイアウトを採用している。吸/排気ポートの位置をこれまでと逆転させることにより、排気ポートから触媒までの距離を短縮、また冷機時の暖気性改善により、触媒の早期活性化性能を改善した。更に触媒担体の薄壁化、触媒コーティング材等の改善により、浄化性能を大幅に向上させた。

新型プレマシーでは、運転状態に応じて冷却ファンの作動、オルタネータの発電量、パワーステアリング駆動ポンプ等の消費電流を最適に制御した。またアイドル回転数の低回転化も進め、無駄なエネルギー、排気ガスの排出を極力抑えた。これらの技術の導入により、2.0L/2.3L車では「SU-LEV」認定に、更に2.0L車では「グリーン税制」に適合している。

3.4 電子制御4速AT

新型プレマシーでは、アクセラと共通の4速Activematicトランスミッションを採用した。シフトパターンや変速レスポンスの良いこのトランスミッションは、スローブコントロール機能を装備し、坂道の上り下りでのフットブレーキの頻繁な操作をなくして、ドライバの感性にあったスムーズなシフトコントロールを実現した。

更に新型プレマシーでは走りの軽快さにこだわり、トルクコンバータ特性を変更した。また2ndのギア比をアクセラよりも低速化して、市街地でのきびきび感を、また4thのギア比を高速化して、高速クルージングでの燃費性能を改善している。

2.0Lモデルでは、スリップコントロールを採用、先代プレマシーに対してロックアップ領域を拡大した。こもり振動を回避するロングトラベルダンパを採用して、ロックアップ領域を前モデルよりも低車速まで拡大させ、新たに減速時にもロックアップ制御を適用した。これらの技術の採用により、燃費改善とCO₂の低減を行った。



Fig.1 MZR Engine (Gasoline 2.0L)

4. 新開発MZR-CDエンジン

新開発の2.0LディーゼルターボエンジンMZR-CDは、わくわく感のある走りを生むトルクフルなエンジン性能に加え、快適にドライブを楽しむことのできるクリーンエミッションと低NVHを実現した。ディーゼルエンジン車の普及率とカスタマーの感度がともに高い欧州市場向けに、ハイパワー・ローパワーの2つの出力設定で導入した (Fig.2, 3)。

4.1 エンジン出力性能

エンジンの広い回転域でのトルク改善を狙って可変ノズルターボチャージャー (VGT: Variable Geometry Turbo-Charger) を採用し、特に低速トルクを改善している。更にレスポンスを改善するため、タービンサイズを縮小、タ



Fig.2 MZR-CD Engine (Diesel Turbo 2.0L)

ーピンの慣性モーメントを14%低減した。またターボの排気ガス入り口断面積の最小部面積をA、タービンシャフト中心からAの面積中心までの距離をRとしたときの比率：A/R比を15から13に変更し、更にレスポンスを改善した。これらの改善により、スムーズな加速性能を実現すると同時に、従来型エンジン比、最高出力、最大トルクともに10%以上の向上を達成した。

4.2 NVH性能

高圧 (180MPa) での燃料噴射を行うコモンレールシステムに、より応答性の高いインジェクタを採用した。アクセル開度やエンジン回転数などの運転条件に応じて、燃料の噴射量、噴射回数、噴射タイミングを最適に制御し、1燃焼サイクルにつき複数回噴射する。通常は毎サイクル5回、最大で毎サイクル9回まで、細かく分けて噴射する「近接分割燃料噴射」を精密に行うことで、高度に微粒化された噴霧を実現し、クリーンで静粛性に優れた燃焼を実現した。

「近接分割燃料噴射」は、着火性を向上させるとともに緩やかな燃焼を実現し、急速燃焼によるシリンダ内の急激な圧力上昇を抑制することで、騒音や振動の低減にも大きく寄与している。

また吸気シャッター弁による吸気絞りにより、アイドル時の吸気量が適正化され、シリンダ内圧力を従来比、約25%低下したことも、ディーゼルエンジン特有のアイドル時ノッキング音を解消することに寄与している。

こうした新技術とアイドル時の回転数抑制により、アイドル時騒音レベルは従来比2dB低減と大きく改善した (Fig.4)

4.3 燃費、エミッション性能

ポンピングロス低減と出力改善のため、 $\epsilon = 16.7$ の低圧縮比を採用した。一般的には、圧縮比が低いと軽負荷域の熱効率が低下するが、MZR-CDでは燃料噴射の圧力、多段噴射の回数とタイミングを最適化し、良好な燃焼状態を保つことにより、この領域の熱効率の悪化を抑制した。この

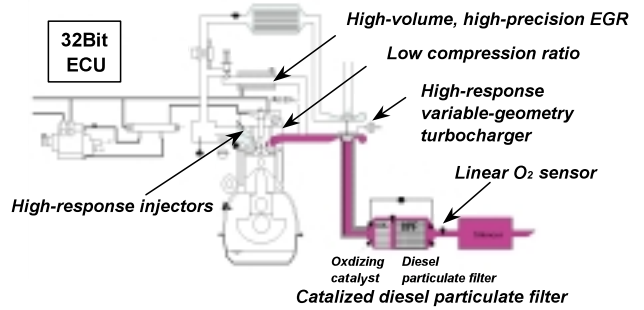


Fig.3 System for MZR-CD

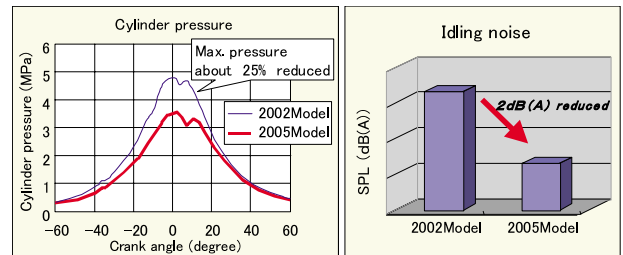


Fig.4 NVH Improvement at Idle

ような新技術の採用と、トルクアップに応じたギア比の高速化などにより、後述する新型DPF (Diesel Particulate Filter) 採用による若干の燃費悪化分を補い、エンジン全体で総合的に燃費性能を向上させた。

低圧縮比の採用はまた、低温予混合燃焼領域を拡大し、低い温度でゆっくりと燃焼を進めるパイロット予混合燃焼を可能にした。精密な噴射制御とあいまって、シリンダ内でピストンが最高点に到達する前に適切な量の燃料を均一に噴射することで燃焼効率を高め、きれいに燃やし切るので、燃料の燃え残りである煤 (Particulate Matter, 以下PM) の発生を抑えることができる。更に、燃焼温度が高いほど多く生成されるNOxの排出を低減することにも寄与している。

またO₂センサーで排気中の残存酸素を検知して、32-bit CPUによる迅速な情報処理に基づき空燃比をモデル制御することで、常に最適な混合率を維持し、NOxを低減した。

MZR-CDでは直結触媒 (Closed Coupling Converter) を廃止し、酸化触媒と一体になった連続再生式DPFを採用している。これはセラミックス製フィルタによりPMを捕獲し、フィルタに規定量のPMが堆積すると、PMを燃焼・除去するシステムである。フィルタの自動再生は、吸気量を減少させた状態で膨張行程に微量の燃料を数回に分けて噴射し、所定の排気温度まで急速に上昇させて行う。正確に吸気量を制御するため、ハイレスポンスの吸気シャッター弁を採用した。この新しいDPFシステムにより、MZR-

CDはPMの排出量を大幅に低減でき、欧州D-5規制をクリアするクリーン性能を達成した。

4.4 6速マニュアルトランスミッション

ハイパワー・ローパワーいずれのバージョンにも、新開発の6速マニュアルトランスミッションを搭載している。ハイパワーバージョンで360Nmという高いトルクに対応させるため、1st, 2nd, 3rdギアにはトリプルシンクロコーンを採用、また4thギアにもデュアルシンクロコーンを採用し大きな同期容量を与えることにより、高い操作性を実現している。

5. おわりに

アテンザ、アクセラにて好評を得ていますMZRシリーズと新開発MZR-CDエンジンにより、各仕向けのライフスタイルに適合させたワクワク感のあるドライビングを実現し、ゆとりのパワーと優れた環境性能の両立を追究しました。新型プレマシーの走りを是非体感いただければ幸いです。

著 者



馬場文章

特集：ベリー

8

ベリーの紹介 Introduction of VERISA

清地 秀哲*¹ 井田 健二*²
Hideaki Seichi Kenji Ida

要約

ベリーは、今までのコンパクトカーにはなかったシンプルで、ハイクオリティな日本専用モデルとして、『上質なライフスタイルを素敵に演出してくれる、本物感のある大人のコンパクトカー』を目指した。その具現化に向け、「シンプル、クオリティ、コンパクト」をキーワードとして、(1)こだわりの内外装デザイン、(2)上質さを直感でき、スマートに使いこなせる機能性、(3)クラスの概念を超えた静粛性、(4)マツダのスポーツDNAが息づく運動性能といった、マツダDNAに基づく4つのキーバリューの実現を目標とした。開発革新プロセスであるマツダ・デジタル・イノベーション (MDI) とエンジニアの熱い思い、果敢なチャレンジにより、4つのキーバリュー目標を実現した。デジタル技術と人間の感性を高い次元で融合させたベリーは、今後のマツダの新たなチャレンジを期待させる商品であると確信している。

Summary

Mazda Verisa is an unparalleled high-quality and simple compact car built exclusively for the Japanese market. Its slogan is “to be a genuine compact car earmarked for adults choreographing quality life-style” with tag lines “simple,” “quality,” and “compact.” In order to incarnate the slogan, Verisa tried to embody the following four values, (1) Finicky to the interior and exterior styling-design, (2) Quality-focused and easy-to-manuever functionality, (3) Beyond-the-class quietness, and (4) Dynamic performance providing Mazda’s sports DNA. These four values were realized by the combination of Mazda’s virtual development system called Mazda Digital Innovation (MDI), Mazda’s engineer’s enthusiasm, and unremitting challenges. Mazda Verisa is fusion of Mazda’s digital technology and human’s sensitivity, and we believe that it is a product evoking Mazda’s future challenges.

1. はじめに

ベリーは、新世代商品群4車種 (アテンザ、デミオ、RX-8、アクセラ) で高い評価を得たマツダならではの走りの良さを継承しながら、マツダブランドの個性のひとつである「センスの良い」の領域に特に焦点を当て、シックで上質な個性を楽しむワクワク感を包含する、シンプルで、ハイクオリティな日本専用モデルである。また、デザイン開発から、設計、実験、生産準備までをデジタルデータで結び、機能性と生産性の設計を同時並行的に行うことで開

発期間を短縮、バーチャル検証と実車テストの組み合わせにより、品質と精度の向上を実現した。お客様のニーズに応え、細部にもこだわって完成したベリーは、マツダの新たなチャレンジの賜物であると同時に、今後のマツダの方向性を明確に打ち出している。

2. 商品コンセプト

ベリーが目指したのは、『上質なライフスタイルを素敵に演出してくれる本物感のある大人のコンパクトカー』である。その具現化に向け、「シンプル、クオリティ、コ

*1, 2 第4プログラム開発推進室
Program Management Office No.4

ンパクト」をキーワードとして、従来のコンパクトカーイメージを越える、上質で新たな顧客価値を創造した。

その特長は、次の4つである。

(1) こだわりの内外装デザイン

クラスレスの新しい上質感を表現し、スマートなライフスタイルを感じさせるエクステリア。直線と円の組み合わせ等で、端正でコントラストのきいた心地良いインテリア。

(2) 上質さを直感でき、スマートに使いこなせる機能性

約3,000曲を保存できるハードディスク(HDD)内蔵オーディオ、女性のニーズを反映させたメイクアップミラーなど、使いやすさに加えスマートかつエレガントに使いこなす心地よさを提供する装備や機能性。

(3) クラスの概念を超えた静粛性

高速走行時にもリラックスして音楽や会話を楽しめるクラスの概念を超えた静粛性。

(4) マツダのスポーツDNAが息づく運動性能

マツダ最新のMZR 1.5Lエンジンが実現する扱いやすく力強い走り。

3. 車種構成と主要諸元

3.1 車種構成

ボデータイプはステーションワゴンのみで、これに直列4気筒1.5L MZRエンジンを搭載している。駆動方式は、前輪駆動及び電動4輪駆動(e-4WD)を設定、ともに電子制御4速オートマチックを採用している(Table 1)。

Table 1 Powertrain Line-up

Engine	Drive	Transmission
1.5L	2WD	4EC-AT
	e-4WD	4EC-AT

3.2 主要諸元

タワーパーキングに入る、全高1,530mmのディメンジョンにするとともに、2,490mmのロングホイールベースでありながらコンパクトな最小回転半径4.9mを実現し、優雅なスタイリングを生かしながら街中での扱いやすさを実現した(Table 2)。

Table 2 Key Dimensions

Length (mm)	3975
Width (mm)	1695
Height (mm)	1530
Wheelbase (mm)	2490
Min. Turning Circle Radius (m)	4.9

4. ベリーサの特徴

4.1 エクステリアデザイン

「シック、モダン、ハイクオリティ」をキーワードとして伸びやかな優雅さを実現するラウンドシェイプを基調としながら、張りのある面と柔らかいラインにより、クラスレスで上質なたたずまいを実現した(Fig.1)。

フロントビューは、クリアレンズの大型4灯式/プロジェクタヘッドランプをとりいれ、周りがリング状に発光するポジションランプを採用、上質な個性を際立たせた。

サイドビューは、ピラーとサイドウィンドウのサッシュをブラックとし、ガラスエリアの一体感を強調した。

リヤビューは、フロントのデザインと呼応するリヤコンビノアンダーグリルで個性を強調、外装色は、深みのあるシックな9色のボデーカラーを揃えた。



Fig.1 Exterior Style

4.2 インテリアデザイン

エクステリアと共通するラウンドシェイプを採り入れ、インストルメントパネルやシートは端正で、仕立ての良さにこだわり、見た瞬間や乗り込んだ瞬間に上質さが直感でき、クラスを超えたくつろぎを感じられる室内空間を実現した(Fig.2)。

インテリアカラーは、ボデーカラーとのマッチングを図り上品なオリーブ色を設定、トリム造形によって、インストルメントパネルからドア方向へ連続感を表現、いっそうの広がりたくつろぎ感をもたらした。インストルメントパネル上面は、継ぎ目のないパネルで構成し、両端にエアコン吹き出し口とツイーターグリルを縦に並べたシンメトリな



Fig.2 Interior Style

レイアウト採用，端正で心地よいデザインを実現した。

コンパクトなメータパネルは，文字のフォントにまでこだわったブラックアウトメータを装備し，読みやすさとシックな雰囲気を實現した。

シートは，ゆったりとした快適な座り心地と確かなホールдностьや，造り込みへのこだわりを直感させる仕立てのよさで，洗練された上質な雰囲気を實現した。

4.3 機能性

中途半端な「機能の多様化」を追求するのではなく，本当に必要とされる装備をより使いやすくすることに徹し，お客様がクルマをよりスマートに気持ちよく使いこなせるよう配慮した。

(1) スマートに使いこなせる機能性

① メイクアップミラーを備えたグローブボックス

女性の声を生かし，車外の人視線を気にせずお化粧直しができるメイクアップミラーと照明を内蔵したアップグローブボックスを設定した (Fig.3)。ミラーは角度調節可能なフリーストップヒンジの可倒式を採用，フラットなプッシュオープンタイプのリッドは水平に開き，化粧品などが置けるテーブルトレイとして活用できるようにした。

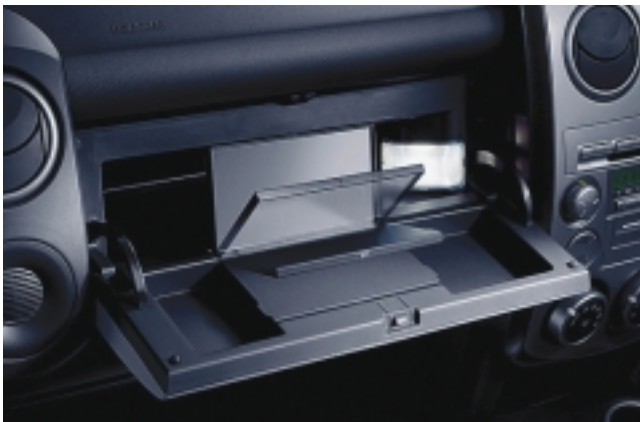


Fig.3 Makeup Mirror

② ワンタッチで倒せるリヤシートバック

背面のストラップを引っ張るだけで倒れる，ワンタッチフォールドダウンシートバックを採用 (Fig.4)，ストラップは左右分割部分に設けており，1アクションで左右同時



Fig.4 One Touch Fold Down Rear Seat

に倒すことを可能とした。また，シートバックを水平位置まで倒れるようにし，フルフラットな荷室スペースフロアを実現した。

(2) クルマとの毎日をより楽しくする新機能

ドライブの楽しさや安心感を大幅に高める新機能として，約3,000曲を収録できるミュージックHDD，カード式のアドバンストキーレスシステム，そして，DVDナビゲーションシステムに内蔵したガイドライン機能付きのバックモニタを装備した。

① 20GBのHDDを搭載したミュージックHDD (Fig.5)

20GBのHDDに楽曲を収録し再生できる「ミュージックHDD」をメーカーオプションとして設定，CDから最大約3,000曲をアルバム単位・曲単位で収録でき，エンジンを止めて車を離れている間もCD1枚分を収録可能である。またHDD上の楽曲は，ボタン操作ひとつで下記の4通りの再生モードに切替が可能である。

- ・全曲連続再生モード：300～500曲連奏CDチェンジャのように楽しめる
- ・カテゴリモード：自分であらかじめ設定した5つのカテゴリ（家族別，ジャンル別等）で検索/再生が可能
- ・アーティストモード：歌手，演奏者，等に分けて任意のネーミングをつけておくことで，聴きたいアーティストの曲が楽しめる
- ・お気に入りモード：自分であらかじめ設定した4つのお気に入りシリーズから，聴きたいシリーズの選択が可能



Fig.5 Music HDD

② アドバンストキーレスシステム (標準装備)

携帯しているだけでドアやリヤゲートの開閉，エンジンの始動が行えるカードタイプのアドバンストキーを2枚付で標準装備，さまざまなシーンで楽に，そしてスマートな車へのアクセスを実現した。

不適切な操作は，ランプやブザーで警告，キー閉じ込めや再始動不可などのトラブルを未然に防止し，電池切れの際には，カードに内蔵されたメカニカルな補助キーで車の

操作をすべて行えるようにしている。また、従来タイプのキーレスユニットの機能も備え、離れた場所からの開閉を可能にするとともに、車から離れるだけでドアロックさせる等、カスタマイズも充実させた。

③ ガイドライン機能付バックモニタ内蔵のDVDナビゲーションシステム

7インチの大型ポップアップディスプレイをインストールメントパネル上面中央に配置したDVDナビゲーションをオプション設定。このDVDナビゲーションには、ガイドライン機能付きバックモニタを内蔵、ステアリング操作に連動して、予測進路のラインを表示し的確な運転操作を可能とした。

(3) ゆとりの室内とスマートに使える荷室

① ゆとりの室内

ロングホイールベースとゆとりの全幅を生かし、クラストップレベルの広い室内空間を追求した。立体駐車場に入る1,530mm全高の中で、Aピラーやドアウインドを立て気味にし広がりのあるヘッドルームを確保するとともに、大型シートフレームを採用したゆったりと座れるフロントシートと、クッションを110mmと厚くし快適な座り心地のリアシートによって、クラスを超えた広がりとおくつろぎ感を実現した。また、身長150cmから190cm程度のさまざまな体格のドライバーが最適な運転姿勢を取れるようクラストップレベルのシートスライド&ステアリングの調整幅を実現、上下調整幅45mmのチルトステアリングも標準装備とした。

② スマートに使える荷室

タイヤの張り出しの少ない高効率レイアウトのサスペンションなどにより、無駄のない荷室スペースを実現、フレキシブルボードの設定で、スペースの更なる有効活用を追求した (Fig.6)。ボードは上下2段階のセットを可能とし、上段はリアシート後ろの手の届きやすい高さに棚ができ、室内で使用する小物類/上着などを置けるようにした。また、ボードの下側は大きな荷物など収納でき、プライバシーも守れる空間を確保した。下段にセットすれば、ボード上部に大きな荷物を積めるほか、下部スペースは大きなシークレットスペースとして様々な活用できる空間とした。

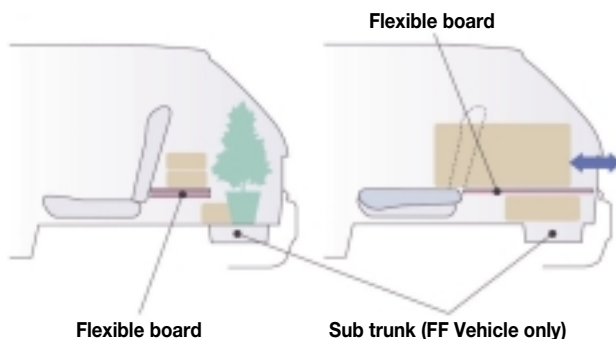


Fig.6 Luggage Boot

更に、ボードの後ろ半分を前方に折り畳めるようにし、上段にセットしたままでも容易に荷物の出し入れができるようにした。

4.4 静粛性

クラスを超えた室内空間の上質さを目指し、走行時の静かさにも注力、高速走行時でもリラックして音楽を聴いたり、会話を楽しんだりできる快適空間を実現した。

(1) ロードノイズの低減

荒れた路面を走行したときの「ゴー」という低周波音を、高剛性サスペンションや各フロアパネルへの制振材の最適配置などで大幅に低減し、クラストップレベルの静粛性を実現した。

(2) 風騒音など、室内に侵入するノイズの低減

ドアとボデー間のシールを全周2重シール構造とし (Fig.7)、外部からの耳障りな騒音を大幅に低減、ドアガラスに1クラス上の4.0mm厚を採用、騒音の室内への透過も抑制した。

また、ピラーの最適断面形状や空力デザインのドアミラーを採用し、風切り音/騒々しさの原因となる気流の乱れを低減するとともに、各ピラーの内部に発泡遮音材を設置、ピラーの部品取り付け穴から洩れる高周波音の室内侵入も抑制した。



Fig.7 Double Seal

4.5 運動性能

(1) エンジン

マツダ最新のMZR 1.5Lエンジンを搭載。吸排気逆転レイアウト、新形状ピストンなど多岐にわたるエンジンテクノロジーによる、扱いやすく力強いエンジンパフォーマンスと同時に、優れた環境性能を実現し全車ともグリーン税制 (低公害車優遇税制) に適合させている。

変速機は熟成した電子制御4速ATを採用、スローブコントロール機能と変速応答の最適チューニングにより、小気味よいシフトフィーリングとはつらつとしたドライバーの感

性にフィットする走りを実現した。

(2) シャシー

高剛性サスクロスメンバを採用したマクファーソンストラット式フロントサスペンションと、高剛性U字断面ビーム及びパイプ製のトレーリングアームを採用したトーションビーム式リヤサスペンションにより、従来のコンパクトカーの水準を上回る性能と上質感を追求した。

ダンパのスムーズな作動を妨げない入力分離タイプのサスペンションマウント、大容量のブッシュ及び専用の車サスペンションチューニング、リヤサスペンションへのモノチューブダンパ採用などにより、クラスを超えた快適な乗り心地と操縦安定性を実現した。

(3) 空力性能

最適なピラーの形状やルーフエンド部分の傾斜を水平化してポデーエンドに発生する気流を最適化、更にはバンパ下端のエッジ化したエアダム形状や空力特性を追求した形状のドアミラーの採用により、空気抵抗を低減し、高速走行時の安定性を高めた。

(4) e-4WD

4WD車には、専用ジェネレーターで発電し後輪をモーターで駆動するe-4WDを採用した。滑りやすい路面での発進や、坂道などでの走破性に優れている上、機械式4WDにくらべて4輪走行時の燃費への影響を低く抑えている。

4.6 安全と環境への配慮

安全性能は、パッシブセーフティとしてフロア/サイド/ルーフを強固に組み合わせたトリプルH構造でキャビンの変形を抑える、マツダ独自の衝突安全ポデー“MAGMA”を採用した。正面からの衝突に対し、「衝撃分散三叉構造」による乗員足元位置での変形抑制と、大幅に強化したキャビンにより高い安全性を確保した。また側面からの衝突にはサイドインパクトバーの配置を最適化、後方からの衝突には、大断面リヤフレームを採用するとともに、燃料タンク周辺ポデーの強化で優れた衝撃エネルギー吸収性能を実現した。

また、人身事故の際の歩行者に対する加害性を低減するために、フロントフェンダ取り付け部のかさ上げによって、ボンネット/エンジン間のスキを拡大し、衝突時のエネルギー吸収効率を高める構造も採用した。

気持ちよい走りを支えるアクティブブレーキシステムにより、高速やフル積載時の連続制動においても優れた制動力と耐フェード性を発揮、クラストップレベルの制動停止距離を実現している。その他、プリテンショナー&ロードリミッター機構付きフロントシートベルト、頸部衝撃緩和フロントシート、ISO-FIXアンカー&トップテザーアンカー付きチャイルドシート固定機構などを採用している。

積極的な環境保全へ取り組んだベリーサは、全車グリーン税制(低公害車優遇税制)に適合、更に吸排気逆転レイアウト、新形状ピストンなどの技術を織り込んだ最新の

MZR 1.5Lエンジンやスリップ/ロックアウト制御を備えた電子制御4速ATなどにより、SU-LEV(平成17年基準排出ガス75%低減レベル)認定取得及び「平成22年度燃費基準+5%」達成(FF車)という優れた環境性能を実現している。

また、リサイクルしやすい熱可塑性樹脂を積極的に採用するだけでなく、回収したバンパのリサイクル材料をスブラッシュガードに再利用するなど、資源の有効活用を積極的に実施している。

5. おわりに

以上、ベリーサの開発の狙いと商品概要について簡単に紹介した。詳細については、各専門分野の別稿を参照いただければ幸いである。

ベリーサは、デザインや質感から静粛性などの領域で、従来のコンパクトカーイメージを越えた、マツダのスポーツDNAが脈打つ運動性能を継承しながら、洗練された上質さや、スマートに使いこなせる機能性を、革新的開発プロセスであるMDIと、エンジニアの熱い思いと果敢なチャレンジにより実現した。

デジタル技術と人間の感性を高い次元で融合させたベリーサは、今後のマツダの新たなチャレンジを期待させる商品であると確信する。

著者



清地秀哲



井田健二

特集：ベリーサ

9

ベリーサのデザイン Design of VERISA

栗栖 邦彦*1

Kunihiko Kurisu

要 約

ベリーサは国内専用モデルとして、『上質なライフスタイルを演出してくれる、大人のコンパクトカー』を目指した。デミオとは全く違った、“シック、モダン、ハイクオリティ”をデザインの統一キーワードとしている。エクステリアは“クラスレスで上質なたたずまい”を、インテリアは“仕立ての良さ、端正さ、リラックスできる空間”を、カラーは“シックで味わいのあるラインナップ”をテーマとした。アテンザからアクセラで確立した、ダイナミックスポーツデザインから違う方向を目指すことで、新しい価値の創造を行った。具現化のためにカスタマーニーズの徹底検証とデジタルを駆使した品質の向上を行い、今後のデザイン開発の基盤造りと、マツダのチャレンジを期待させるデザインを完成させた。

Summary

Verisa aimed to be a genuine compact car earmarked for adults choreographing quality life-style as the exclusive car for the Japanese market. The slogan of Verisa's styling-design made an about-face from its predecessor Demio, namely “chic,” “modern,” and “high quality.” In order to embody the slogan, Verisa clung to “the beyond-the-class and quality exterior,” “the graceful and relaxant interior,” and “the chic and zestful color lineup.” Deviated from the dynamic sporty styling established for Atenza and Axela, Verisa stuck to the creation of new value, resulted in the completion of new styling evoking Mazda's future challenges. Thoroughly verifying consumer needs as well as improving quality with the use of virtual engineering, Verisa established the foundation of Mazda's future styling-design development.

1. はじめに

ベリーサはアテンザ以降取り組んできた商品群に対し、次世代の商品群の第一弾にあたる。更なる飛躍のために、すべてに挑戦する車と位置付けられた。デザイン開発もカスタマーニーズと形状が合っているかを、常に確認するプロセスをとった。また、積極的にデジタル技術の展開を行うことで、基本要件に対するデザインの早期確認、決定を短時間で行うことを実施した。高い目標を達成するため、早い段階での生産部門の参入等、一丸となって、上質感を感じさせる、今までにないコンパクトカーを実現させた。

2. デザインコンセプト

2.1 ターゲットカスタマー

デミオは若い女性をターゲットとし、カジュアル、若々しさをコンセプトとしている。リーズナブルな価格と走り、何でもできる使い勝手の良さで好評を得ている。ベリーサは、新規カスタマーの獲得を念頭に、“シック、モダン、ハイクオリティ”をデザインコンセプトとした。お互いにしっかりとした価値観を持った30代、子育てが終わった50代の夫婦に向け、その人たちが関心の高い機能を基本に、シンプルに使える、心地良い上質なデザインを目指した。

*1 デザイン戦略スタジオ
Design Strategic Studio

2.2 ポジショニング

ベリーサは欧州車のコンパクトカーが持つ大人のしっかりとした質感を狙い、今まで国産車が踏み込んでいなかったユニークなポジショニングとした (Fig.1)。

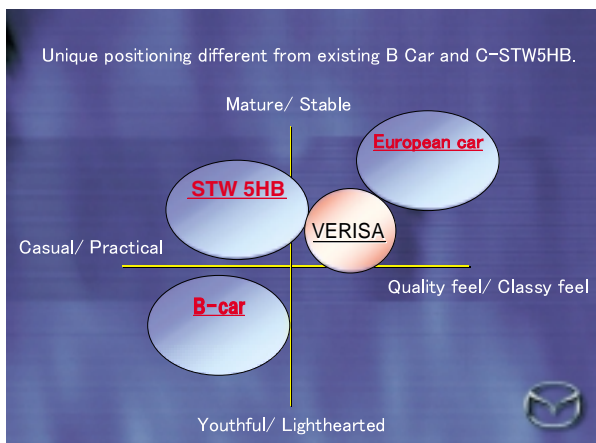


Fig.1 Design Positioning Map

2.3 デザイン要素

“シック, モダン, ハイクオリティ” をデザイン表現するために、あらゆるプロダクト製品を分析した。その中で同じデザインテーマを持っていると思われる製品 (Fig.2) の構成要素を抜き出し、以下の3点をベリーサのコンセプト実現の参考とした。

1. コントラスト (色や形に全く反対の要素を組み合わせ、お互いに緊張感を持たせること) をつけること
2. 面に張り感を与えること
3. デイテールは徹底的に造り込むこと



Fig.2 Design Image

3. エクステリアデザイン

3.1 クラスレスで上質なたたずまい

キャビンはサイドウインド周りを黒色とし、伸びやかな優雅さを実現するラウンドシェープとした。車の性格 (スポーティ等のイメージ) はDピラー (リヤコンビランプの上部のピラー) の形状で表せるが、ベリーサは、張りのある面と、柔らかいラインにより、上質感を表現した。

1,695mmの最大幅の規制に対し、サイドウインド下部に、豊かでしっかりとした塊感を感じさせる上向きの面を設けたことが、ベリーサの特徴となっている。上向きの面を前側ではヘッドランプへ、後ろ側はリヤコンビランプに収束させ、コンパクトカーを感じさせない凝縮感を出した。ボンネットとリヤゲートは特に面の張り感を出しモダンさを表現した。サイドの面はシンプルな面とし、ホイールアーチに折り返しをつけることで、ホイールアーチを寸法以上に強調し、安定感を出した (Fig.3)。

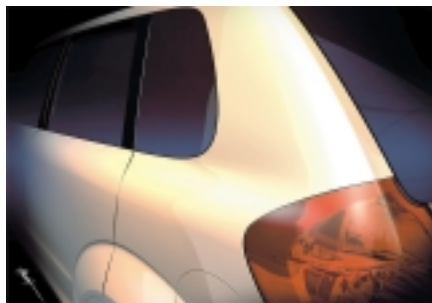


Fig.3 Body Design

3.2 デイテールの造り込み

(1) パンパデザイン

ボデー全体の下部には黒色を配し、下半身を引き締めた。パンパ下部の黒色部には、丸型のフォグランプを入れることで、ボデー色部をすっきりさせている。同様にリヤリフレクタは丸型とし、フロントとデザイン処理を合わせ、パンパのアクセントとした (Fig.4)。



Fig.4 Bumper Design

(2) ランプデザイン

ヘッドランプは縦方向に大型化し、Aピラーから前を短く見せている。構成は4燈式とした。円型のロービームとハイビームを横に並べ、グリルと連続感を持たせた横方向の柔らかいラインにより、表情豊かなフロント周りとした。ハウジングはメッキで構成し光輝感を出しているが、有機的な面とラインにより、複雑に映り込み、造り込んだ印象を与えている。ハイビーム外周は、ポジションランプの光源を使い、リフレクタ形状を工夫することで、リング状に発光させた。色も淡いブルーとすることで、爽やかな印象とした。リヤコンビランプもヘッドランプと同様に円形を2本の横ラインで挟む処理とし、前後に共通性を持たせている。

前後ランプは特にデジタル技術を駆使した。画面上でアイデアを展開し、反射面をリアリティのある形で再現することで、点灯時、非点灯時の確認の早期化が可能になり、車格を越えた完成度を出すことができた (Fig.5)



Fig.5 Lamp Design

(3) ホイールデザイン

ホイールは5本スポークをベースに、モダンかつホイールを大きく見せ、ポデーをしっかりと支えるデザインとした。更に、緩やかにセンター部に向かう曲線の断面にすることで、優雅さを出した。センター部にはメッキ化したブランドマークを配し、その外周にはダイヤモンドカットによる光輝面をリング状に出し、ベリーサ特有の上質感を出している (Fig.6)



Fig.6 15inches Alloy Wheel Design

(4) ドレスアップパッケージ

ベリーサのコンセプトをより強化するエクステリアのパッケージオプションを設定した。グリル下部、サイドドア黒色部、リヤライセンスプレート上部に細いメッキモールを配した。フロント、サイド、リヤをさりげなく引き立て、特に濃いポデー色の場合、メッキが映え、より上質に見せている。その他、フォグランプ外周にシルバーリングを、エキゾーストパイプにメッキガーニッシュを設定した。どの表現もさりげなさを持たせ、過剰表現にしていないところが、ポイントである (Fig.7)



Fig.7 Dress Up Package

4. インテリアデザイン

4.1 仕立ての良さ、端正さ

(1) インstrumentパネル、コンソールデザイン

Instrumentパネル (以下インパネ) は、直線と円の組み合わせとし、端正でコントラストのきいた心地良い造型を基本とした。サイドルーバーダクトの下側には、ツイータスピーカを配した。高音がダイレクトに耳に届き、視覚的にもホームオーディオを連想させる特徴のあるものとした。インパネ上面は継ぎ目のない張りのあるパネルで

構成し、品質感を高めた。インパネ上部のナビゲーションシステムは収納式とし、視覚的に安全で見やすい位置に設定した。オーディオは2DINサイズ（汎用品サイズ）が入る別パネルも準備し、幅広いニーズに対応できるようにした。カップホルダの前側の物入れ部には、間接照明を配し、柔らかい光により、夜間のアクセントとなっている。ベリーサのインパネ周りは機能がわかりやすく、シンプルに使いこなせることを基本とし、デザインした（Fig.8）。



Fig.8 Instrument Panel / Console Design

(2) シートデザイン

シートはインパネとデザインテーマを合わせ、直線と円弧を用いて、シンプルでモダンな形状とした。デザインの特徴であるシートバック上部の円弧は、背中へのホールド性を良くし、リヤシートからの圧迫感を軽減させることを意図している。また、上級車種のフレームを採用したシートバックや、厚みをしっかりとったクッションにより、長時間乗っても疲れにくいデザインとした。ステッチも仕立ての良さを感じさせるシングルステッチで、モダンな形状をより強調した。リヤシートは、背面にあるタグを引くだけでフラットになる構造とした。シンプルな構造にすることで、リヤシートクッションを厚くでき、座り心地に貢献している（Fig.9）。



Fig.9 Seat Design

(3) メータデザイン

メータの数字はシックで読みやすく、落ち着いた印象を与えるベリーサ専用字体とした。数字色は白色のLED照明でイグニッションオン時に黒色のベースからゆっくりと浮き上がる。大きさ、太さを照明の輝度と合わせ、目に負担のない形状とした。目盛りは、スピードが一目でわかるよう、数字を指す位置を強調した。グラデーションをかけた外周のブルーの帯はメータをより大きく見せ、奥行き感を感じさせる効果を狙った。白とブルーのコントラストにより、数字を更に浮き立たせ、外周のメッキリングにブルーが映りこむことにより、透明感と上質感を与えた（Fig.10）。



Fig.10 Meter Design

(4) メイクアップミラー

ある意味では、このアイテムがベリーサのコンセプトを端的に表している。プッシュボタンを押し、ダンパでゆっくり水平に開くアッパーグローブボックス。蓋の裏には女性の意見を基に大きさを決定したミラーを設定した。ミラーは無段階で角度調整ができ、自然な姿勢で、車外からの視線をあまり気にすることなく化粧直し等ができる。蓋の物入れ部は口紅やポケットティッシュが仮置きでき、掃除がしやすい形状にした。ボックス部は400枚入りのティッシュボックスが入るサイズとし、ボックス内部にある照明は柔らかく顔を照らし、眩しくないようにレンズカットと色を調整した。上質感の表現として、蓋を閉めた時、カチッという節度感のある音とフィールまでこだわった（Fig.11）。



Fig.11 Make-up Mirror

4.2 リラックスできる空間

インテリアも、エクステリアと共通するラウンドシェープをテーマとした。黒色の中に明るい色を帯状に配し、横方向の広がり感を強調した。また、帯状に廻した色を変える

ことにより、効果的にインテリアのイメージを変えられることを意図した。サイドガラスの角度を、デミオよりガラス上部で約20mm起こし、Aピラーも3°起こすことにより、ドライバからの斜め前方の開放感を持たせた。ベルトラインは上級車種から乗り換えても、不安感がない高さで厚み感を持たせた。ルーフ形状もフラットとし、フロント、リヤ乗員の頭上空間をしっかりと確保し、広々感とリラックスできる空間を狙った (Fig.12)。



Fig.12 Space Design

5. カラーデザイン

エクステリアとインテリアのカラーには、シックで味わいのあるラインナップを揃えた。

(1) エクステリアカラー

エクステリアのテーマカラーであるモイストシルバーマタリックは、モダンさと、今までにはない、味わい深い、温もりを出すことを狙った。高平滑、高輝度アルミを使用したシルバーマタリックと、ハイライトがゴールドに、そしてシェードはブルーに発色する特性を持った微粒子酸化チタンを使用することにより、実現することができた (Fig.13)。



Fig.13 Moist Silver Metallic

その他の8色も、他のコンパクトカーにはない、深みのあるシックな外板色を揃えた (Fig.14)。



Fig.14 Exterior Color Sample

(2) インテリアカラー

インテリアファニチャーなどで見られるオリーブを用いて、移動する時間を、心地良く和めるような空間表現にした。シート素材はワッフル調織物とすることで、立体感を出し、使う場所により、色々な表情と品質感を出すことを狙った。シートサイドとリヤ材は明るいオリーブとすることで、後部からみた時の広々感とモダンなシートを演出した (Fig.15)。



Fig.15 Fabric

(3) レザーパッケージ

エクステリアのドレスアップパッケージと同様に、コンセプトをより強化する目的で設定した。インパネに配した帯状の色をダークブルーとすることで、シックさをより強調した。シートは黒色のレザーとしたが、センター材は、滑り止めと通気性を考慮し、織物とした。シートセンター材の織物は、黒ベースに明るいブルーの縦糸を使い、緻密感を出した。レザー部のダブルステッチの糸は明るいブルーとし、センター材の縦糸とコーディネートさせている。木目は、ブルーとの相性を考慮して、深みのある赤茶とし、光沢も抑えて、高級感より上質感を目指した (Fig.16)。



Fig.16 Leather Package

6. おわりに

ベリーサは生産部門の強力なバックアップなくして成し得なかった。改めて、マツダの生産部門の力を感じた。ベリーサのデザイン開発では、プレス成形性等の要件を初期のスケッチ段階から打ち合わせていった。これほど生産部門と早い時期に一丸となって開発したことは、今までにない経験であった。デザイン開発では、色々困難な場面があり、後工程に迷惑をかけることも多々あったが、開発完了後の確認車（本型により組み立てられた車）は、狙いどおりのデザインが非常に高い品質で具現化されており、ベリーサ以降のデザイン開発、更には車造りに大きな自信になったと確信する。

著者



栗栖邦彦

特集：ベリーサ

10

ベリーサ開発におけるCAE適用技術の紹介 CAE Application Technology in VERISA Development

江頭 裕二*¹ 藤川 孝司*² 菊池 荘吉*³ 安藤 正登*⁴
 Yuji Egashira Kouji Fujikawa Soukichi Kikuchi Masato Andou
 梶村 勇一*⁵ 銭谷 恒明*⁶ 堤 克弘*⁷
 Yuichi Sugimura Tsuneaki Zenitani Katsuhiko Tsutsumi

要約

ベリーサの開発では、様々なCAE技術を駆使するとともに、車種開発におけるCAE活動の最大効果を狙った新しいCAEプロセスを適用した。構想設計段階では複数のデザイン案に対する性能への影響を推定するハードポイントスタディを強化し、初期図面のポテンシャルを格段に向上させた。また、詳細設計段階では、解析期間の短縮により設計変更 CAE評価/改善 設計変更のサイクルを加速させて構造を熟成させるとともに、バラツキによるリスク対策の徹底や構造最適化によって、品質・性能を作り込んできた。その結果、早い段階で性能目標の達成に目処をつけ、初回の実車テストでは全ての目標の達成を確認することができた。

Summary

Verisa was developed through a variety of CAE technologies. In particular, the latest CAE process was applied to maximize the impact on the actual vehicle development. In the phase of the concept design, our "hard point study" was beefed up to assess the influence of multiple styling ideas on the vehicle performance. As a result, quality of initial drawings was a whole lot improved. In the phase of the detailed design, the maturity of architectures was increased by accelerating the cycle from the ECN release, the CAE evaluation/improvements, back to the ECN release, through shortening the simulation time. At the same time, we improved quality and performance by intensifying the risk management for variations and the architectural optimization. As a consequence, we confirmed the feasibility of the performance target achievement in an early stage. It enabled us to confirm the feasibility of the achievement of all targets at the first on-vehicle test.

1. はじめに

ベリーサの開発では、1996年から取り組んできたMDI（マツダ・デジタル・イノベーション）を最大限に活用し、バーチャルで育成して、フィジカルで確認・検証するバーチャル/フィジカル融合型の効率的な開発を実施した。この中で、バーチャルでの育成段階は、開発初期の車のポテンシャルを引き上げる重要な段階で、それ以降の性能開発と開発期間へ与えるインパクトが極めて高い。そこで、従来からのCAE技術の強化に加え、車種開発への適

応性を高めた新たなCAEプロセスを開発・整備することで、開発初期のCAE活動を充実させた。本稿では、ベリーサ開発に新たに適用したCAEプロセスを紹介するとともにCAE適用技術について紹介する。

2. CAEプロセス

2.1 CAEプロセス

ベリーサは現行デミオをプラットフォームとした開発が前提となっているため、デザイン変更への対応を中心としたFig.1に示すプロセスを適用した。構想設計段階では複

*1~3 CAE部
CAE Dept.

*6 ボデー開発部
Body Development Dept.

*4 NVH性能開発部
NVH Development Dept.

*7 車両レイアウト・CAD部
Vehicle Layout Engineering & CAD Dept.

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

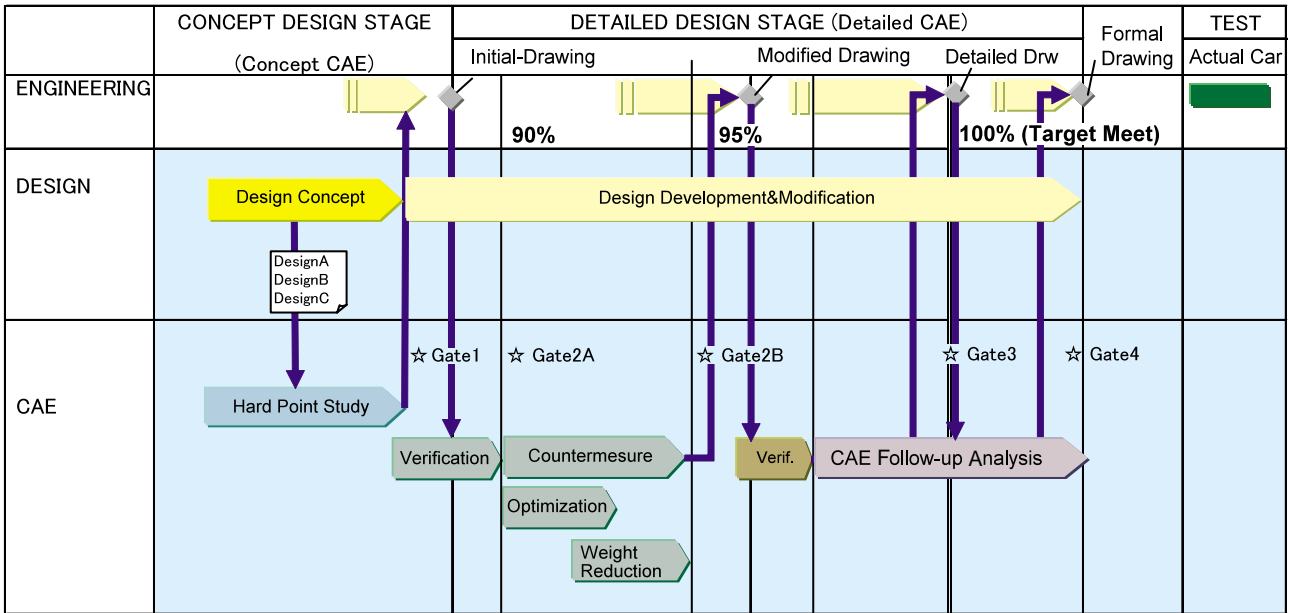


Fig.1 CAE Process

数のデザイン案に対して性能開発上の課題を推定し対策するハードポイントスタディを充実させた。また、詳細設計段階では初期図面の評価期間を短縮させて開発と解析活動との同期化を図るとともに、修正図面完成前に品質や軽量化などの十分な熟成期間を確保した。

2.2 CAEプロセスの目標

初期図面で性能検証項目の90%、修正図面で95%の目標達成、かつ目標未達は開発へ大きな影響を与えない軽微なものであること、詳細図では目標達成率100%を確保し、正式図まで100%維持を目標とした。

3. CAE適用方法

3.1 構想設計段階のCAE活動

(1) CAEの活動概要

構想設計段階のCAEは、初期図面の完成度を高めることによって、修正やり直しなどの開発の連鎖的な増加を抑制する上で重要な役割をもっている。このためCAEは以下に示す活動を実施した。

- ① 複数のデザイン案の素性を明らかにすること
- ② 各性能目標の達成シナリオを構造レベルで描くこと
- ③ 初期図面に具現化していくこと

図面がなく大規模なCAE解析が実施できないため、構想設計段階では、デザインやアサンプションの影響を推定するハードポイントスタディを行い、初期図面の性能の作り込みを行った。

(2) ハードポイントスタディ

現行デミオをベースに各諸元の変更に対する性能への感度を分析した。Fig.2は前面衝突時のフロントピラーの角度変化に対する強度との関係を示したものである。この例では角度3°の変更で5%の強度変化が認められる。このよ

うに各諸元変更に対する性能への感度を調べ、それぞれの変更量との掛け算の合計によって各デザイン案の性能を推定した (Fig.3)。基準に達しない性能は断面形状の改善や

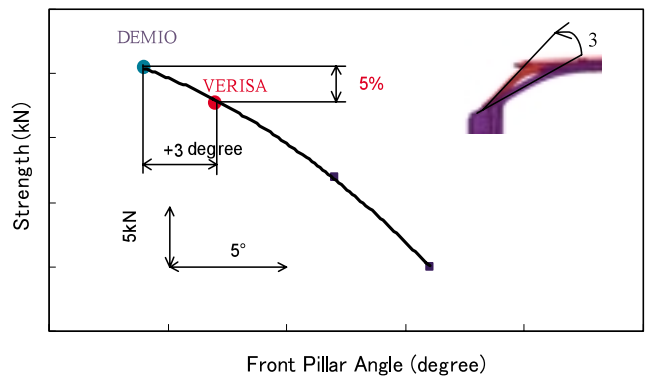
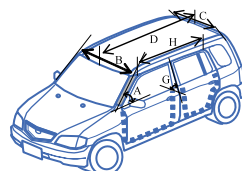


Fig.2 Front Pillar Strength

	L/D	SAFETY				BODY STIFFNESS				ROOF STRENGTH (kN)	
		VERISA	DEMIO	Apl. Str. kN	Bak. Str. kNm	Roof Str. kN	Bending (0° 5°Nm)	Torsion (5°Nm/2)	L/G Dist. mm		R.S. D. mm
A. A-pillar	deg	38.3	33.9	-4.7	0.0	0.0	-1.4	-1.0	-1.0	0.0	0.0
B. F-Header	mm	1035	967.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
G. R-Header	mm	840	961	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D. Roof	mm	1973	1765	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	394.9 28
E. D-pillar	deg	61.4	68.1	0.0	0.0	0.0	1.7	-3.8	17.1	-1.0	0.0
F. End Panel	mm	786	636	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	-9.4	0.0	0.0
Q. B-pillar	deg	76.3	73	0.0	-10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H. Roof rail	mm	1271	1345	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEMIO				48.4	7.9	12.7	56.8	20.2	4.3	0	30.0
VERISA				46.1	7.1	15.2	57.0	20.1	4.5	0.3	148.5
Ratio of target meet				95.3%	99.8%	120.0%	100.4%	99.6%	95.6%	102.4%	20.2% 24



$$Y = \sum f_i(x_i)$$

Y: Performance change rate(%)
 x_i: Design change rate(mm)
 f_i: Sensitivity to performance due to design change
 (It is based on CAE or a past analysis result.)

Fig.3 Hard Point Study of Design A

レインフォースメントの設定などを初期図面に織込んだ。この例では車両重量増の影響も加味して、現行デミオ比111%以上の強度をもつレインフォースメントを設定した。

3.2 詳細設計段階のCAE活動

(1) CAEの活動概要

詳細設計段階のCAEは、実車で起こりうる諸問題を正確に予測し、最適な構造に導く役割を担っている。このため以下の活動を実施した。

- ① 図面ベースで性能を予測し、対策を立案すること
- ② パラツキによる性能リスクを予測・対策すること
- ③ 軽量化など効率的な構造に仕上げること

この段階で注意すべき点は性能・生産など様々な情報が増加、詳細化しかつ変化する点である。その中でCAEは①開発と同期させながら予測・改善するとともに②パラツキによるリスク対応を行い、③最適な構造へ導いていく必要がある。

(2) 開発との同期化（解析期間の短縮）

日々成長する図面を性能評価するとともに改善によって図面を進化させていくためには、設計変更 CAE評価/改善 設計変更のサイクルを加速させていく必要がある。ペリーサ開発では、その重要な要因である解析期間の短縮化を進めることによって、設計活動とCAE活動を更に同期させた。

開発との同期化は最初で大規模なCAE解析を実施する初期図面の評価から同期させることが大切で、それ以降は小変更の修正のため比較的開発に追随しやすい。そこで我々はこのタイミングに二つの取り組みを実施した。

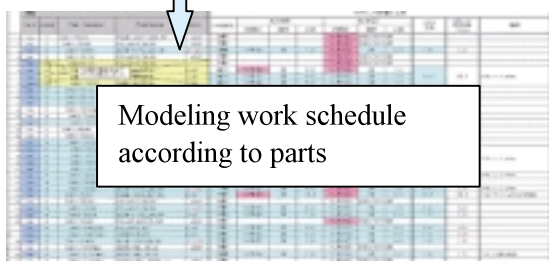
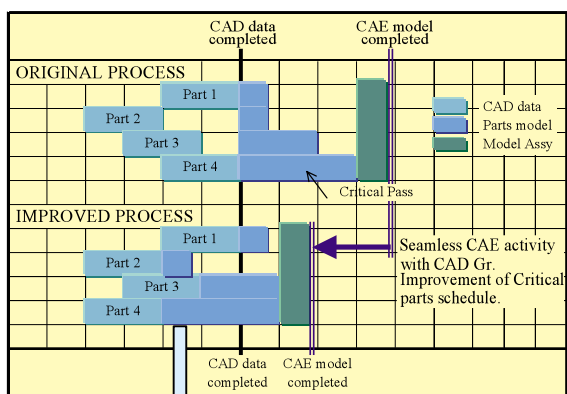


Fig.4 CAE Plan

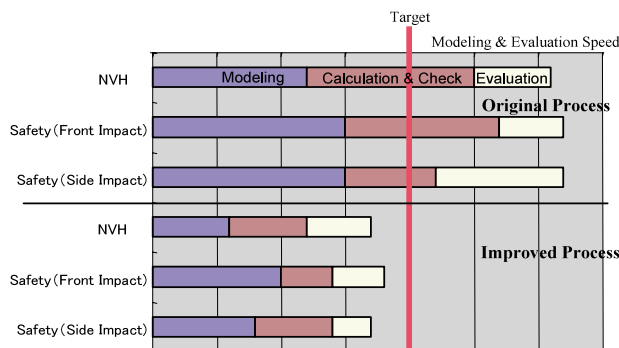


Fig.5 Short Term CAE Results (from CAD Release Completion Date to First Evaluation Completion)

第一点は、従来の出図を基点にしたCAEの計画から、CADデータの作成からCAEの評価までを一つの工程と考えた計画に変更した点である。Fig.4に示すように①各製品のCADデータの完成日をCAEモデリングの開始日に合わせ、②モデリングに時間がかかる部品については早めにCADデータを完成させた。これによりCADデータの作成からCAEの評価までの工程を最短にした。

第二点は、計算時間の短縮を図ったことである。例えばNVHの場合、ドア部品などをモダリ化し計算時間を短縮させるなどの工夫を行った。

以上の取り組みによって出図から全ての性能を評価するまでの期間を約55%に圧縮し開発との同期化を図った (Fig.5)。

(3) リスク対応

CAEの予測結果は実車の評価結果と等しくない場合がある。その要因は、解析自体の精度の問題や材質などのパラツキによるもの、またカスケードした部品目標の精度に関するものなど様々である。そこで以下に示す二つの活動を実施した。

- ① パラツキ対策：特に衝突の場合、急激に特性が変わるスポット破断や部材崩壊の有無によって予測結果が

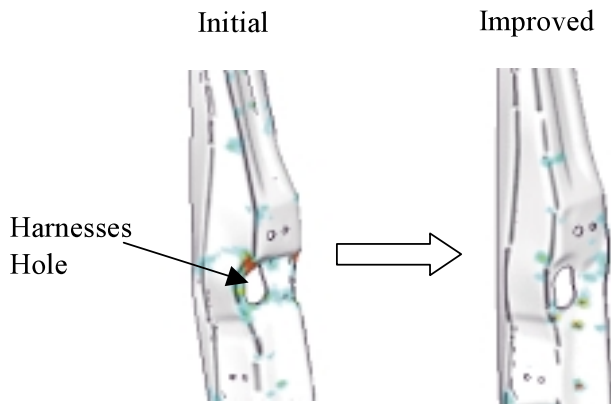


Fig.6 Plastic Strain

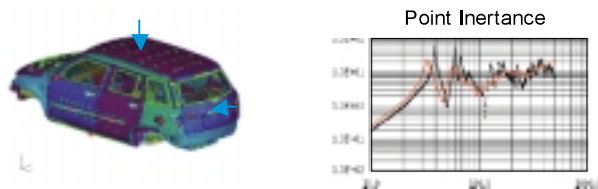
大きく変わってくる。Fig.6は側面衝突時のセンターピラーの塑性歪を示している。センターピラーは変形速度など全て目標を満足していたが、ハーネス穴周辺に大きな塑性歪が見られ、材質などのバラツキによって部材崩壊に進展する可能性がある。このような箇所を集中的に調査/分析し対策を行った。

- ② 総合評価：車両特性は多くのユニット特性から構成され、一つのユニット特性の変化が車両特性へ大きな変化をもたらす場合がある。単に車両特性の評価にとどまらずユニットレベルにおいても綿密な評価・分析を実施した。Fig.7はNVHの総合評価の例である。ポイントインータンス評価ではサスペンションなどの入力系や音に影響しやすい車室内パネルにおける新たな共振の発生や振動レベルの増幅を調査・対策し (Step1), 音響感度評価では入力系から音になるまでの伝達経路の改善を行い (Step2), 最終的にロードノイズなどの車両特性を評価した (Step3)

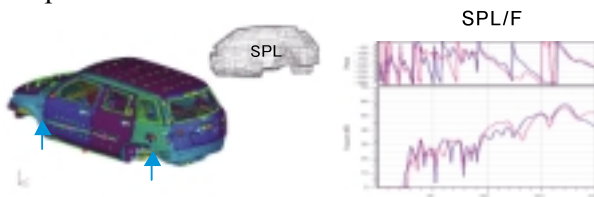
(4) 構造最適化

構造最適化を図る場合、例えば衝突を優先して衝突用部品を先に決めるなど構造を確定しやすいように構造最適化の順番を計画した。また、軽量化検討では、性能への影響が懸念される範囲全てを網羅的に検証し慎重に構造を決めていった。以下に事例を紹介する。

Step1 - Body Vibration Characteristic



Step2 - Body Acoustic Sensitivity



Step3 - Road Noise and Booming Noise

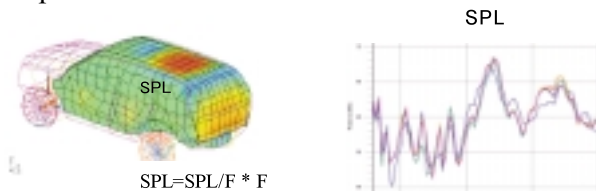
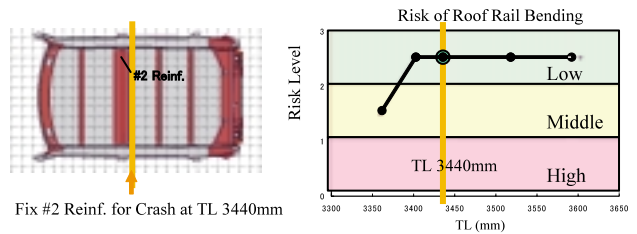


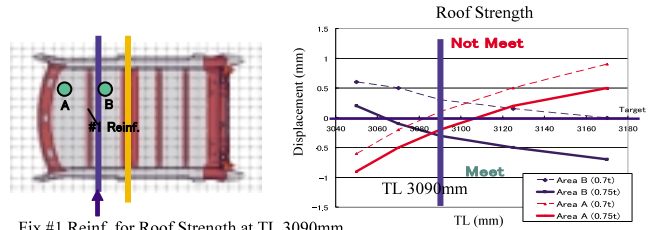
Fig.7 NVH Integrated Evaluation

Step 1 #2 Reinf. Location for Crash



Fix #2 Reinf. for Crash at TL 3440mm

Step 2 #1 Reinf. Location for Roof Strength



Fix #1 Reinf. for Roof Strength at TL 3090mm

Fig.8 Cross Functional Layout Optimization

Weight Reduction (WR) Verification List

WR Opportunity	W90%	Front Impact	Side Impact	Rear Impact	NVH	Stiffness/Strength	Recommend	
REIN-FRONT RAIL	A Area 50mm Cut	0.226	High Risk	Available	Available	Available	Low Risk	Recommend
	A Area SW 2pts Cut	0.080	Available	Available	Available	Available	Available	Recommend
	B Area Cut	0.080	High Risk	Available	Available	Available	Low Risk	Recommend
	ABE Area Cut	0.262	High Risk	Available	Available	Available	Low Risk	Recommend
REIN-FRONT RAIL	Remove	0.176	Low Risk	Available	Available	Available	Low Risk	Recommend
REIN-ROOF RAIL	Low Area 50mm Cut	0.054	Available	Available	Available	Available	Available	Recommend
REIN-B PILLAR	T 2.3 → 2.0	0.184	Available	High Risk	Available	Available	Available	Recommend
PILLAR-ROUT	T 0.9 → 0.8	0.126	Available	Available	Available	Available	Available	Recommend
REIN-CORNER	H Area 50mm Cut	0.094	Available	Available	Available	Available	Available	Recommend
	H Area 50mm Cut & T 1.6 → 1.2mm	0.486	Available	Available	Available	Low Risk	Low Risk	Recommend
REIN-B PILLAR	Flange Trim Cut	0.020	Available	Available	Available	Available	Available	Recommend
REIN-C PILLAR	T 1.2 → 0.8mm	0.220	Available	Available	Low Risk	Available	Low Risk	Recommend
PLATE-ANCHOR	T 1.6 → 1.4mm	0.086	Available	Available	Available	Available	Available	Recommend
W/R 1.35 kg								

Fig.9 Cross Functional Weight Reduction Optimization

- ① 最適配置：Fig.8はルーフレインフォースメントの最適配置の検討例である。優先度の高い側面衝突に寄与するNo.2レインフォースメントから最適位置を決定し、No.2以外のレインフォースメントはルーフレ張り剛性と積雪強度から配置を決定した。
- ② 軽量化：エネルギーや応力などの分析結果から軽量化案を抽出し、Fig.9に示すように各性能への影響を検証して軽量化を実施した。

4. CAE適用結果

Fig.10は各ゲートでの目標達成率を示している。Gate2A (初期図面の評価) では、構想段階のハードポイントスタディによって目標としていた目標達成率90%以上をほぼ満足することができた。その後、順調に達成率をあげGate3時点 (詳細図の評価) で目標達成率を100%に導くことができた。実車テストによる評価でも目標達成し、早い段階

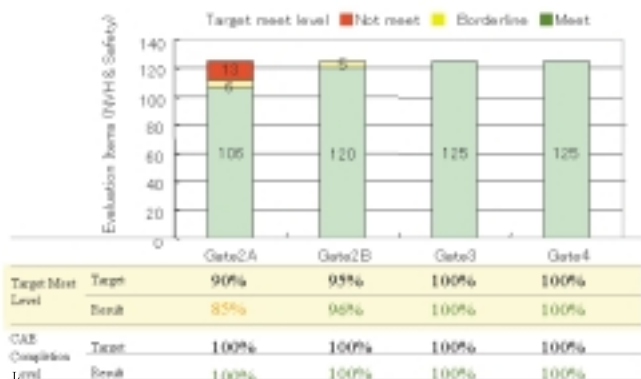


Fig.10 Result of New CAE Process

で開発を完了させることができた。

5. おわりに

ベリーサ開発において、長年取り組んできたCAE技術と新たなCAEプロセスを適用した。その結果、高い性能・品質作りに貢献するとともに、開発効率の面でも大きな成果をあげることができた。今後もCAE技術とCAEプロセスを進化させ、お客様に喜びを感じていただける車作りを目指していきたい。

著者



江頭裕二



藤川孝司



菊池荘吉



安藤正登



村村勇一



銭谷恒明



堤 克弘

特集：ベリーサ

11

ベリーサの内装のゼロプロト開発 Zero-prototype (prototypeless) Interior Development for VERISA

羽場 憲昭*1

Noriaki Haba

要 約

商品開発の期間短縮は、タイムリーな商品提供や、開発投資の削減等メリットが大きい。ベリーサでは、デザイン決定から量産までを、従来の18ヶ月から12ヶ月に短縮するために、ゼロプロト開発（試作車による検証プロセスをスキップ）を行った。

ゼロプロト開発を成功させるためには、出図時点での設計データの完成度を、従来の量産型移行レベルに引き上げる必要がある。そこで我々は、『机上検証の充実』と『関連部門との連携強化』に焦点を当てた取り組みを行い、超短期間で内装部品開発を終えることができた。

Summary

Shortening the development time greatly contributes to the time-to-market, the reduction of the development investment, etc. In the interior development for Verisa, we made a stab at the zero-prototype (prototypeless) development, that is synonymous with the development process where the prototype process is eliminated. The purpose was to shorten the time from the styling freeze to the mass production, from 18 months to 12 months.

In the zero-prototype development, the design date at the time of Drawing Release needed to become as precise as that used by the production dies. We, therefore, put our focus on the “on-paper verification” and “strengthening the alignment with related activities.” As a result, we went through with the zero-prototype development in short order.

1. はじめに

ゼロプロト開発とは、“試作型を使って製作した試作車両による検証”というプロセスをスキップすることである（Fig.1の①の部分スキップ）。

つまり、ゼロプロト開発とは、出図後すぐに量産型を製作し、開発レベルを確認するための“確認車”と呼ぶものを製作するだけであり、すべての検証は出図段階で完了しておく必要がある。

一方、量産型による“確認車”の製作や、量産準備の期間を考慮すると、図面の作成及び、その検証期間を、従来よりも1ヶ月短縮する必要があった。

我々は、この2つの課題を解決するために、机上検証の充実策と、関連部門との連携の強化を軸にした取り組みを行い、超短期間のゼロプロト開発を終えた。

以下、その取り組みについて紹介する。

2. 机上検証の充実

限られた期間内で机上検証をやりきるためには、ポイントを絞った取り組みが必要である。幸いベリーサの開発では、プラットフォームはデミオの流用で、アッパーボデーの開発に的を絞ることができた。

そして、更にポイントを絞りつつ、検証の充実を図るため、以下の2つの取り組みを行った。

2.1 変更点に注力した検証

従来の構造を踏襲した部分は、基本的に問題は起こらないはずである。

そこで、従来構造の踏襲を基本としたが、ベリーサの内装は、「上質感」がコンセプトの一つであるため、新たな構造を採用した箇所が多々あった。

*1 装備開発部
Interior Components Development Dept.

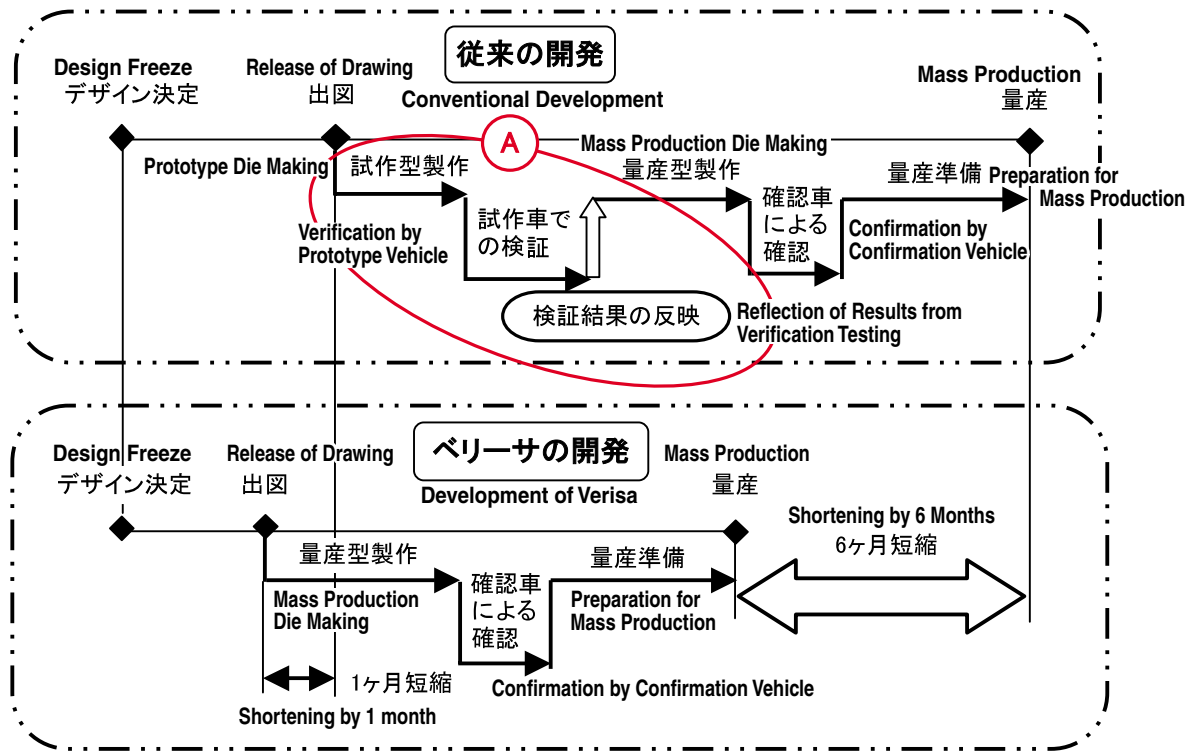


Fig.1 Development Process

また、デザインはまったく違うため、部品形状はすべて異なった。

そこで、従来構造と違う部分には、何か新しい問題があるという考え方で、従来から変えた部分に的を絞った検証を行うこととした。

構造、デザイン、材質等、従来と違う部分を抜き出し、考えられる懸念点を抽出して、1項目ごとに丹念に検証を行った。

ここでは机上検証の確かさがポイントになる。

しかし、机上検証だけではどうしても全ての品質を確認できないものがある。従来は『試作車で検証しよう』と先送りしていたものが、ベリーサでは出図までに検証を終えなければならない。この対応として、新たにラピッドプロトタイピングの活用と、CAEの適用の拡大を行った。

(1) ラピッドプロトタイピング (以下RP) の活用

現在、机上での検証技術が進歩しているが、操作感、使いやすさ等の感性領域や、材料剛性を加味して構造を成立させている樹脂部品などは、現在の机上検証技術だけでは、全ての品質を確認することが難しい領域である。

これに対しては、先行的に物で確認する手段を取った。

ベース部品の手加工で再現できない部分は、安価かつ短時間で部品形状を再現できる、RPを製作して確認した。

Fig.2は、グローブボックスの操作感と使いやすさを確認するために、RPを使用した事例である。

このように、RPの活用は、従来机上の推論で進めてい



Fig.2 RP of Glove Box

た不確かな領域を減らすことに役立ち、検証の充実につながった。

(2) CAEの活用

従来の開発では、ほとんどを試作車両による物検証に頼っていた領域に耐熱信頼性がある。

この問題は基本構造に起因するため、特に出図段階で確かな検証を行っておく必要がある。

そこで、今回は内装部品のCAEによる解析を、従来以上に適用拡大した。

ただし、超短期間で検証を終えるためには、効果的な工

数の投入が必要であるため、構造的に難易度の高い部品に絞り込んだ。

Fig.3はCピラートリムの実施例である。

このCピラートリムと天井の合わせ部は、断面剛性が低く、熱による影響の予測が困難であった。

そこで解析を行ったところ、天井との合わせ部に、隙が発生することが判明した。

この解析結果により、熱の影響を受けにくい構造の想定が可能となり、検証度の高い構造を図面に織り込むことができた。

こうして、大幅な工数を投入することなく、従来、車両検証に頼っていた耐熱信頼性領域の机上検証を充実させた。

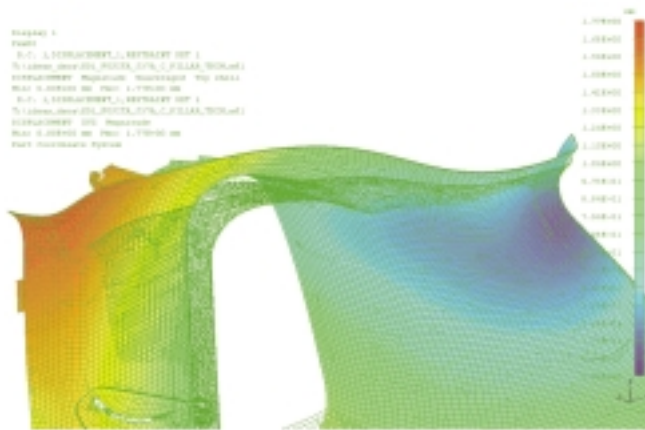


Fig.3 Heat Analysis of C Pillar Trim

2.2 エキスパートの叢智を結集

車両開発において最大の財産は、豊富な開発経験を持つエキスパートの存在である。

エキスパートの経験は、一部基準化し開発車に活用しているが、定量的な基準化が難しい領域も多い。

そして、この基準化されていない領域こそ、重点的な検証が必要であると考えた。

ここでは、エキスパートのもつ経験と知恵を活用することが、最も効果的である。

豊富な開発経験を持つエキスパートは、構造の弱点を見抜くと同時に、量産品質を頭の中に描くことができる。このエキスパートの経験を織り込むことで、設計データの完成度は格段に向上する。

この“知恵を入れる”活動として、構想段階から出図までの間で、3回にわたる中間エキスパートレビューを実施し、その結果を、すべて出図図面に織り込んだ。

また 検証時の視点洩れを防止するためのツールとして、設計時に考慮すべき視点を集めたデザインレビューチェックシート (Fig.4) を部品ごとに作成し、検証時のチェックリストとして使用した。

デザインレビューチェックシート			
リフトゲートリムLWR			
検証項目			
性能・品質	見映え	外観見映え	全体造形の見映え(連続感)
			ストライカー部見映え(取付ボルト含む)
			(実車の視角方向から見た形状のスムーズさ、R/Wハーフ部見映え
			ハマウントストッパ部見映え
			インナーロック部見映え
			リセス外周の本体形状(本体段差の連続性)
			外周ホテとの合わせラインのスムーズさ
			内倒れ時の見映え(ホテ含む)
		合い沿い品質	位置決め&固定配置の適切性
			トランクエンド/マットセット部合わせ
			トランクサイドリム部合わせ(スキの均一性&ホテ
			L/Gウエザーストリップ部との干渉
			L/Gリムサイドとの合わせ
			L/Gウインド/セラムックとの合わせ
			L/Gリセスとの合わせ
			サービスカバーとの合わせ
			トノカバー/Rrハックゲートリム部合わせ
			外周ホテとの合わせ
			サービスカバー爪のバラッキ吸収代の適切性
			サービスカバー爪のピッチの適切性
			動合相手の逃げによる動合不良による浮き

Fig.4 Design Review Check Sheet

3. 関連部門との連携強化

通常の開発においては、上流部門から順次時間軸に沿って次工程に情報が流れる、直列型の業務プロセスをとる。

ベリーサの開発では、関連部門間の連携の強化と、開発期間の短縮を狙って、各部門が同時並行で業務を行う、コンカレントな活動を目指した。

以下、その取り組みを紹介する。

3.1 大部屋活動

開発をスタートするにあたり、主査をはじめとする各部門のリーダーが、デザインクレールームの一角に集結し、コンカレントに業務を進める体制をとった。我々は、これを大部屋活動と称した。

この活動は、認識の共有化を可能とし、タスクチームとしての一体感を作り上げると同時に、以下の2つの効果を生んだ。

(1) デザイン変更への早期対応

デザインは、ユーザの車両購入動機の中で最もインパクトの高い要素である。それゆえ、クリニックでよい評価が得られるまで、何度でもデザインの変更が行われる。しかし、これが設計活動のやり直しや、検証期間の圧縮につながる要素でもある。

ベリーサの開発では、陣立てメンバがクレールームに集まることで、常にデザイン変更の様子が伺えるため、変更を完了する前に、設計や生産の要件をフィードバックすることができた。同時に、事前に変更内容がわかることで、早期に業務計画の建て直しが可能となり、タイムロスを最小限に抑えることができた。

(2) 意思決定の迅速化

多くの部門に関連する課題ほど、それぞれの課題に対する認識の違いから、意思決定のためのケーススタディが頻繁に行われる。これによる時間のロスや、タイミングのロ

スは大きい。

しかし、大部屋活動では、常にメンバが同じ事実情報を共有して認識合わせができていたため、課題発生時の迅速な意思決定が可能で、ケーススタディや、部門間のすり合わせに消費するロスを、最小限に抑えることができた。

3.2 コンカレントなデザイン開発

従来、デザイン部門は、設計部門がレイアウト完了後に作成する「デザイン条件図」を受けて作業を開始する。つまり、設計部門がデザイン制約条件をすべて明らかにしたのち、それを受けて、デザイン部門が詳細デザインを行うという、2段階の作業プロセスで行われている。

この作業プロセスの期間を短縮するために、設計部門のデザイン条件作りと並行して、デザイン部門がデザインデータを作成するという、コンカレントな活動を試みた。

しかし、この方法は、デザイン条件に変更が入った場合に、デザイン部門の工数が増大するという、大きなリスクを伴っていた。

そこで、デザイン条件の状況を常に共有化し、デザイン部門と密なやり取りを行うことで乗り越えた。

これにより、デザインデータの作成プロセスを1ヶ月短縮することができた (Fig.5)

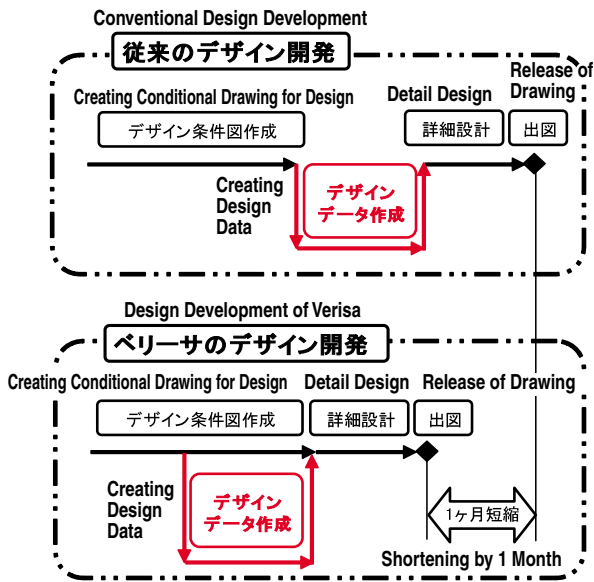


Fig.5 Design Development Process

3.3 インテリアブロック活動

多くの部門にまたがる部品間のインターフェース領域は、検討洩れや、重複検討によるロスが生じやすい。

そこで、インテリアを中心としたインターフェース領域を、洩れなく、かつ効率よく整合取りするために、インテリアブロック活動を立ち上げた。

これは、インテリア部品を中心にして、周辺インターフェースとのレイアウトの整合を取りながら、その適切性を検証する活動である。

この際、検証状況の進捗は、設計者のみでなく、実研部門、生産部門も参画し、それぞれの責任領域についての進捗を確認しあう形をとった。

具体的には、全体の進捗が視覚化できるよう、ヘルスチャートを作成し運用した。

Fig.6はそのイメージ図である。

このように、それぞれの責任部門が、同時並行でレイアウトの整合性を確認することにより、検証期間を短縮すると同時に、検討のやり直しによるタイムロスを防いだ。

部品名	評価項目							
	a	b	c	d	e	f	g	h
メーターフード	○	●	●	◎	◎	△	◎	◎
コラムカバー	○	●	●	◎	◎	△	◎	◎
グローブBOX	○	●	●	◎	◎	△	◎	◎
インパネ	○	●	●	◎	◎	△	◎	◎
メンバー	○	●	●	◎	◎	△	◎	◎
SEAT-F,RH	○	●	◎	○	◎	○	●	◎
SEAT-F,LH	○	●	◎	○	◎	○	●	◎
CURTAIN-A/B	○	●	●	○	○	○	◎	◎
AE ラトリム	○	△	●	◎	△	◎	●	◎
BE ラトリム・アッパー	○	△	●	◎	△	◎	●	◎
CE ラトリム	○	△	●	x	△	◎	●	◎
ヘッドインパクトPAD	○	△	●	◎	△	◎	◎	◎
トップシーリング	◎	△	●	◎	△	◎	◎	◎
アシストハンドル	○	△	●	◎	△	◎	◎	◎

Fig.6 Health Chart

4. おわりに

ベリーサの開発で、机上検証の充実を図ったが、これは特別なことをしたとは考えていない。

従来から、設計データの完成度を上げるために有効と考えられていたことを、確実に成し遂げるために、その仕組みと環境を整えて、全員で実行したのである。

現時点、このプロセス抜きにして、内装の設計データの完成度を上げることは困難であろう。

また、ベリーサの開発で経験した、関連部門間の素晴らしい連携プレーは、今後の開発短期化に向けた、開発プロセスの鍵になるといえる。

著者



羽場憲昭

特集：ベリサ

12

ハードディスク内蔵オーディオの開発 Development of the HDD Audio System

大 滝 喜 由^{*1} 平 野 拓 男^{*2} 細 谷 清
Kiyoshi Ohtaki Takuo Hirano Kiyoshi Hosotani

要 約

近年、デジタル放送に代表されるように様々なデジタル音楽コンテンツが身近となってきた。これらコンテンツの普及とともに一般ユーザが扱うデータ量も増加傾向にあり、ハードディスク(HDD)を用いたオーディオ・ビデオは現在普及期に入りつつある。2004年夏に発売したベリサではこのハードディスクを内蔵した純正カーオーディオ(商品名:ミュージックHDD)をライン設定として初めて市場導入した。このミュージックHDDでは3,000曲もの大量の音楽データを取り扱うため、目的の楽曲にたどり着くまでの検索が複雑になる懸念があった。また運転中という限られた時間内での録音も課題であった。そのためシンプルな操作で検索を完了できるヒューマン・マシン インターフェース(HMI)の開発と新たな録音方法の実現を開発の狙いとし取り組んだ。HMI実現にあたっては、アルバム単位の検索機能と曲単位のプレイリスト作成機能を設けた。録音方法としては運転中にCD1枚分の録音ができなかった場合のことを考慮してエンジンオフ後でも録音を完了する仕組みを新たに考えた。

一方、信頼性面においても耐温度、耐振動、電源変動・瞬断時など車載環境を考慮しHDDへの書き込みエラーを防ぐ対策を行った。

Summary

In recent years, an assortment of digital music contents is prevalent in the market as represented by the digital broadcasting. Accordingly, users have grown to deal with increasing amount of data, and HDD (Hard Disk Drive) equipped with Audio/Video is being pervasive. We marketed our HDD built-in brand-name Car-Audio (product name: Music HDD) for the first time in summer of 2004 timed to the launch of Verisa as the original equipment (OE). Since "Music HDD" has the storage capacity of 3,000 songs, there was a concern that users had difficulty retrieving songs they wanted to listen to. In addition, recordings needed to be completed while cars were being driven. So, our challenge was to develop "Human-Machine-Interface (HMI)" to enable drivers to retrieve songs with simpler operations, as well as to establish a new recording method. In the development of HMI, we set up functions to retrieve songs per album and to create the play-list per song. With regard to the recording method, we built a function to continue recordings even after the engine-off for fear that recordings can't be completed while cars are being driven.

On the reliability front, we built measures to prevent erroneous writings into HDD caused by temperature, vibration, power source fluctuation, and intermittent power loss.

*1, 2 電子開発部
Electrical & Electronics Development Dept.

1. はじめに

近年、各家庭に急速に高速インターネットが定着するとともに、デジタル放送が普及期に入り音楽コンテンツ配信サービス等が発達してきている。

ハードディスク(HDD)を使用したビデオ録画機などは2004年出荷台数を見ても前月比120%の伸びを維持するなど急速に市場に浸透している。このようなマーケットトレンドを背景としてiPOD等に代表されるポータブルHDDオーディオが大ヒットしている。これは大容量メディアに大量の音楽を録音して屋外で聞くという新たな生活スタイルが急速に浸透し始めていることを示している。

一方、カーナビゲーションにおいてもほぼ全てのメーカーがHDD内蔵タイプのナビゲーションを揃えカーナビゲーション出荷台数中25%の割合を占め現在も拡大の傾向にある。これはHDDナビゲーションの機能向上に加え、空いたディスクエリアにナビゲーション用データ以外の音楽データを記録して使用するミュージックサーバ機能が好評を博しているからと思われる。これら市場動向を鑑みHDDを内蔵した純正カーオーディオを日本のカーメーカーとして初めてマツダ純正オーディオラインアップとして開発し市場導入した。

本システムを2004年夏に発売したベリーサ以降の新型車に順次搭載する予定で、以下にそのHDDオーディオ(商品名:ミュージックHDD)概要を紹介する。

2. ミュージックHDDの概要

2.1 開発の狙い

純正車載用オーディオとして顧客満足度の向上に結びつき、車輦全体の商品力アップに貢献するため、以下の点に留意してミュージックHDDの開発を行った。

- (1) シンプルで運転操作を考慮した使いやすい操作性を持ちスマートにユーザのカーライフをサポートできるカーオーディオとする。
- (2) 市販モデルにはないマツダ純正オーディオ独自のHMI(Human-Machine Interface)を継承・発展させ、誰でも簡単に使えるカーオーディオとする。
- (3) 内機のハードウェアを共通化し、これまで車種ユニークであった仕様の差をソフトウェアで吸収できる構造として、ハードウェア・ソフトウェア品質の確保・開発工数及び部品種類数の大幅削減を行う。
- (4) 短期開発でリーズナブルな価格を実現する。

2.2 ミュージックHDDの特長

車載HDDオーディオとして必要とされる機能を抽出し、使用頻度や操作性寄与等に点数付けを行った後、真に必要とされる機能を中心に商品仕様を決めた。

主な特長を下記に挙げる。

- (1) 20GBのHDD採用
約3,000曲の音楽を録音・再生可能とする。
- (2) 簡単録音・簡単再生
運転操作を前提にした簡単録音/再生操作を実現。
ALL・CATEGORY・ARTIST・FAVORITEの多彩なモードを持つ。各モード内容は以下のとおりである。
ALL:録音した曲全体を録音順に再生する機能
CATEGORY:録音アルバム単位を4つのカテゴリ(整理箱に相当)に分類する機能
ARTIST:録音アルバム単位で同じアーティスト名のアルバムを録音順序に関係なく一つの括りとして選択・再生させることができる機能
FAVORITE:曲単位で自分の好みの楽曲を再生リスト化して再生することができる機能(4つまで作成可能)
- (3) アクセサリー電源オフ時録音機能
自動車を離れていてもCD1枚分の録音が可能である。
- (4) 操作ダイヤルと赤外線リモコンの両立
ロータリエンコーダによる快適な本体操作とリモコンによる全席操作を提供する。

2.3 ミュージックHDDの構成

Fig.1にベリーサでの装着例を示す。

- ①は他の機能と共通のオーディオモード操作ボタン、
- ②はCD(1枚)挿入口、
- ③は表示部、
- ④はMENUボタンとの組み合わせで各種設定操作を行うダイヤル、
- ⑤の部分にミュージックHDD固有の機能ボタンを集め、パネルと機能ボタンが分離可能な構造とし他グレードのオーディオパネルと共通化した。
ここにはCATEGORY, ARTIST, FAVORITE, REC, MENUボタンや赤外線受光部等を集めた。
⑥は赤外線リモコン。



Fig.1 Example of Attaching on VERISA

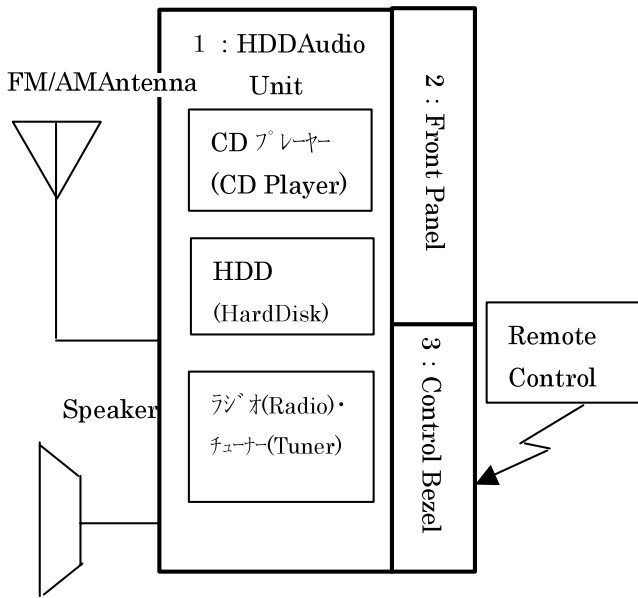


Fig.2 System Composition of Music HDD

Fig.2にミュージックHDDの構成を示す。

- 1: “ラジオ・CD・HDDを内蔵したHDD Audio Unit”,
- 2: “表示部と共通操作ボタンからなるフロントパネル”,
- 3: “HDD操作に特化した操作ボタン&リモコン受光部パッチ部”で構成される。

操作パネルと内機Audio Unitインターフェースについては各車種で共通とし、内機とパネルを分離できるモジュール構造としている。また、この構造はマツダ車全て共通となっており、今後ベリサだけでなく他車種へもミュージックHDDを展開することが容易となる。

3. ミュージックHDDオーディオの開発

3.1 ミュージックHDDのハードウェア

(1) システム構成

ハードウェア構成をFig.3に示す。

HDD Audio Unitは音量調整やLCD表示制御、チューナ制御など従来のカーオーディオを拡張したラジオチューナ部と、主にCDとHDDを制御するデジタル部とから構成される。メイン部は、両ブロック間を接続しているUART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) を用いたコマンド通信によってデジタル部を制御する。

デジタル部の内部制御は、低コスト実現のために、DSP (Digital Signal Processor) 以外の一般的に使用する周辺回路素子を使用せず処理を行うこととした。DSPにはMP3エンコーダ/デコーダが内蔵されている。

CD音源をHDDに録音する際には、CD-ROMドライブより読み出した音声信号を、リアルタイムでMP3圧縮を行いながらHDDに暗号化し記録している。

HDDを再生する場合はHDDより読み出した暗号化MP3ファイルを復号した後、伸張してDAC (Digital Analog

Converter) に出力している。

(2) 電源瞬断対策

HDDからの、読み出しや書き込みの動作中に、エンジンスタート等による電源瞬断が発生すると、ヘッドが退避位置に強制移動される。これによる、アクセス中のファイル処理の異常中断を防ぐため、電源バックアップ用コンデンサを追加し、瞬断発生後もデジタル基板内部で退避処理に必要な電源が保持されるようにした。また、セクタ書き込みに必要な時間を基に、電源瞬断が発生した後も書き込み中のセクタ単位で正常に書き込みが完了できることも配慮し電圧保持時間を設定した。

(3) ノイズ対策

DSP及びIDE (Integrated Drive Electronics) バス周辺からの不要輻射、あるいはDC-DCコンバータのスイッチングノイズがチューナのAM帯域に及ぼす影響を最小限に抑えるため、ノイズ対策には細心の注意を払った。特にデジタル部の基板は電源層とGround層を挟んだ4層基板を使い、アドレスバスやデータバスなどの配線経路が最短となるような部品レイアウトとし、回路ブロックごとの電源フィルタ設置、モータ系Groundの独立化など、パターン設計を最適化した。

基板内にはノイズ対策部品も数多く使用し、CD-ROMへ接続するFFC (Flexible Flat Cable) はシールドタイプとして輻射するノイズを抑えた。

また、CD/HDD動作時以外はDSPを停止するようにしている。

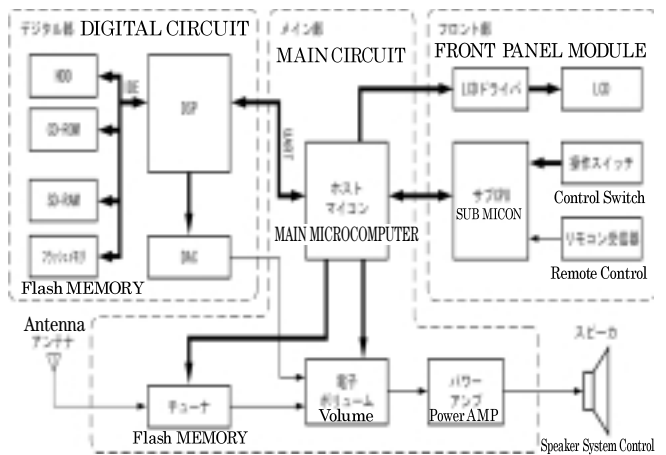


Fig.3 Hardware Structure of Music HDD

3.2 ミュージックHDDのソフトウェア

(1) ソフトウェア構成

ソフトウェア構成をFig.4に示す。

ホストマイコンのソフトウェアは、オーディオ部品全体を管理するシステム管理部と、状態モード管理を行うホストマイコンアプリケーション部、アクセサリ電源/バッテリー電源の電源瞬断を監視する電源監視部、及び各デバイス

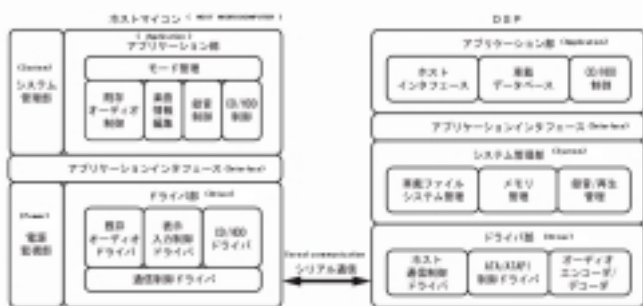


Fig.4 Software Structure of Music HDD

制御を行うドライバ部で構成されている。

次に音楽データ処理などを行うデジタル部のDSPソフトウェアについて解説する。

DSPのアプリケーション部は、ホストマイコンとのインターフェース、HDDに書き込まれた音楽ファイルと楽曲情報などの車載データベースの管理を行う。またCD/HDD制御も行う。システム管理部は車載ファイルシステムを利用してファイルの読み書きを行う。またメモリバッファを最適化するメモリ管理やCD/HDDの録音再生の管理を行う。ドライバ部はホストマイコン通信、CD/HDDとのATA/ATAPI通信、そしてオーディオデータのエンコード/デコードなどを行う。

(2) 電源瞬断対策

エンジンスタート時等、書き込み中に電源瞬断が発生しデータ管理ファイルが破壊された場合は、破壊されたセクタ以降のファイルやディレクトリが読み書きできなくなる可能性がある。

一般にファイルシステムの信頼性向上のため、パソコンではext3、JFSなどのジャーナリングファイルシステムが開発されているが、処理負荷が重く、そのままでは車載機器には適さない。このため、我々はファイルシステムに影響のある領域を更新する場合にのみ、更新内容のバックアップ履歴を記録した。ファイルシステム更新中に電源瞬断が発生した場合は、次に起動処理する時にジャーナルデータを電源瞬断前の状態に自動で修復を行う処理を行っている。このように本ファイルシステムは、管理領域のバックアップを作成しておき、いずれかが破損していても他方にアクセスすることで常時安定した動作が可能になるようにした。

次に、上記の管理領域のバックアップ保存ファイルシステム自身を更新する時に電源瞬断があった場合の対策を考える。

ファイルを管理するデータベース(DB)を更新する時に電源が瞬断した場合、DBの更新処理が中断されるため、DBのファイルが正常に更新処理されない状態となり、DB

内の楽曲リストと実際の楽曲ファイルが不整合となるケースが考えられる。そのため、DBなどのシステムファイルを多重化するとともに処理内容を記録しておくことで、電源瞬断時にファイル更新処理が中断された時でも次回起動時に復活処理を行えるようにした。

(3) 振動対策

パソコンなど据付使用を前提としたHDDに比べ車載環境は振動を受ける環境条件が厳しくなる。振動対策はHDDでは最も大きな課題である。それに対しHDDを振動に強くするためにトラックの記録密度を低く設定するなどハード使用面での対策を実施した。

(4) 温度保護

HDDは磁気記録メディアであり、高温環境下において長時間使用することは磁気データの損失などの危険性を伴い、低温環境下においてはデータを読み出すことはできない場合が生じる。そこで本システムでは、HDDに内蔵している温度センサを利用して動作環境の温度管理を行うこととした。

低温時、高温時にはホストマイコンがユーザに注意を促すメッセージを表示した後、HDDの動作を停止する。その後エアコンや換気などにより温度が使用適用範囲内に復帰した場合に停止を解除する仕様とした。

また、高温への対策として、電動ファンをHDD後方に配置するとともに、温度情報のフィードバックの結果によりファン制御を行うこととした。

3.3 HDD部の機構

走行中の振動からHDDを保護するため、HDDはシャーシとの共振を抑えて強固に固定し、HDDに接続するケーブルはフローティング構造として他からの機構的なストレスがかからない構造とした。

また、機構的ノイズ対策として、Fig.5に示すようにノイズ源であるデジタル基板全体を独立したシャーシにてシールドする構造とした。

3.4 HMI

HMIについてもマツダ純正オーディオの思想を受け継いでおり市販オーディオにはない使いやすさを実現している。

市販のHDDオーディオを分析するとボタンの大きさや、目的の曲にたどり着くまでのプロセスについて、運転しながらの操作という観点では非常に多くの問題点があることが分かった。この問題点を克服するためにまず、純正オーディオとして運転に支障をきたさない操作で目的曲にたどり着けること、また、各操作ボタンを大きくとり一目で目的の認識ができる構造とすることを主眼に開発を進めた。

走行中の操作頻度及び操作のしやすさを加算して全体の機能を整理した。その結果、ダイレクトボタン操作とロータリエンコーダメニュー操作の2つの方式に割り振った。タイトル付け等複雑な操作は全てMENUモードの中に入れ、走行中は安全上操作を制限している。

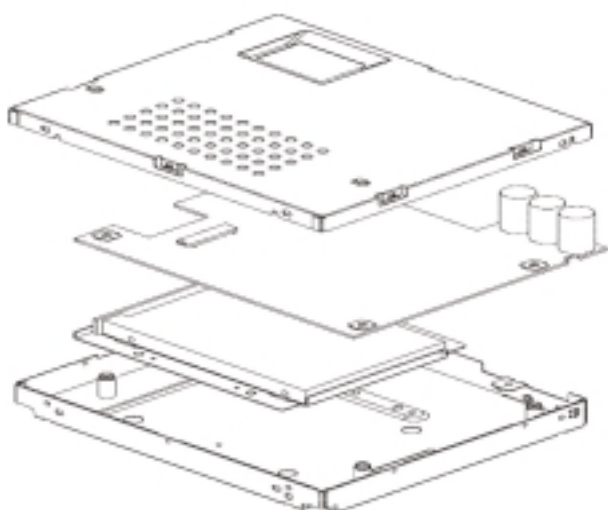


Fig.5 Shield for Digital Block

一回の録音を一単位とし、1枚のCDアルバムとして定義した。このことにより録音した順にCDチェンジャ操作と同じ方法でアルバムチェンジができる操作方式とし、従来のオーディオ操作に慣れた人にも使いやすくなるよう配慮した。

大量録音した際のデメリットともなる検索の難しさを克服するためカテゴリ別検索機能、アーティスト別検索機能、曲単位でお気に入りプレイリストを作成できる機能を装備した。

また、運転中録音する場合は交通情報など他のモードに移りたい場合でも録音動作に拘束され操作できない。そのため操作自由度に制限をかけてしまうことから、車輛を使用しない時間帯を利用した録音システムを導入した。これは駐車してアクセサリ電源をオフにして施錠した状態でも録音できるようにする方法で、バッテリー上がりの懸念を検証した上で導入した自動車メーカーオリジナルの機能といえる。

また、赤外線リモコンを標準装備し、全席からのオーディオ操作を実現した。更にアーティスト名等の文字入力もこのリモコンを使用することで簡単に行える。

4. おわりに

HDDを搭載する純正オーディオを国内の自動車メーカーとして初めて開発し市場投入した。

開発にあたってはHDDの強みをいかに強化するか、弱点をいかにカバーするかに腐心した。結果エンジンオフ後の録音機能、電源変動・瞬断対応等新しい技術アイデアを導入し、従来にない自動車メーカー純正ならではのオーディオを生み出すことができたと自負している。

また、HDDの特徴を生かした例としてベリーサ販売初

期の音楽プリインストール企画など販売面においてもお客様の購買意欲を訴求する新しいビジネスモデルのアイデアも実現した。

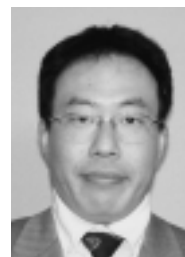
今後も様々な新しい技術を使ったオーディオが提案されると予想できるが、今回の経験を踏まえ、車載のあるべき姿を追求した新商品を開発していきたい。

最後に、本オーディオ開発にあたり、多大なご協力を頂いたSANYO Automeia Sdn. Bhd.殿、三洋電機(株)殿、松下電器産業(株)殿をはじめ関係各位に深く感謝の意を表す。

著者



大滝喜由



平野拓男

特集：ベリサ

13

マツダアドバンストキーレスエントリー&スタートシステム Mazda Advanced Keyless Entry & Start System

岡 光 淳*¹ 曾 根 章*²
Atsushi Okamitsu Akira Sone

要 約

キーレスエントリーシステムの装着率は年々高くなってきており、国内市場においてはほぼ100%になってきている。更なる利便性向上を目指して、カードタイプの電子キー（アドバンストキー）をポケットやバッグの中に携帯しているだけで、ドアおよびリヤゲートのロック/アンロック、エンジンの始動を行えるマツダアドバンストキーレスエントリー&スタートシステム（カードタイプ）を開発し、マツダ車として初めてベリサに搭載したので紹介する。

Summary

The installation ratio of "Keyless Entry System" has been increasing year by year, and reached nearly 100% in Japan. To further improve the convenience, we developed "Mazda Advanced Keyless Entry & Start System (card-type)". Only by carrying the card key in your pockets or bags, you can lock/unlock doors and rear gate, and start engine (without taking it out from your pockets or bags). This paper introduces this new system adopted by Verisa.

1. はじめに

ドアのロック/アンロックを離れたところから操作することができるキーレスエントリーは導入初期の高級車への採用にはじまり、近年では100%に近い普及率となっている。更なる利便性向上のために、カードタイプの電子キー（アドバンストキー）をポケットやバッグの中に携帯しているだけで、ドア等のロック/アンロック、およびエンジンの始動をすることができるシステムを開発し、マツダ車として初めてベリサに搭載したので紹介する。

2. アドバンストキーレスのねらい

2.1 メカニカルキー

以前は、ドアをロック/アンロックするためには、ドアのキーシリンダへキーを挿入し、回す必要があった。同様にエンジン始動のためにも、ステアリングロック部のイグ

ニッション（以下、IG）キーシリンダへキーを挿入し、回さねばならなかった。メカニカルキーでは、車を運転するまでには、①キーをポケット等から取り出す、②キーをドアキーシリンダに挿入する、③キーを回す、④キーをIGキーシリンダに挿入する、⑤キーを回す、という大変わずらわしい動作が必要であった。特に②、④のキーシリンダへキーを挿入する作業は暗い時などは、操作性は低いものであった。

2.2 キーレスエントリー

キーレスエントリーによって、ドアのロック/アンロック時にはキーシリンダへキーを挿入する必要はなく、トランスミットのスイッチを押すだけとなった。上述の②キーをドアキーシリンダに挿入する、という動作を不要にし、③キーを回す、という動作の代わりにスイッチを押す、という動作に簡素化された。しかし、エンジン始動時には以前と同様であった。

*1, 2 電子開発部
Electrical & Electronics Development Dept.

2.3 アドバンストキーレス

アドバンストキーレスは、前述の①から⑤までの動作をできるだけ簡素にすることを目的としている。今回、ベリサに搭載したシステムでは①②④を不要にした。ドアアウトハンドルのリクエストスイッチを押し、ステアリングロック部分のスタートノブを回すだけである。メカニカルキー、キーレスエントリー、アドバンストキーの操作回数・操作のわずらわしさ(負荷)を整理したものをFig.1に示す。操作が大幅に簡素化されていることが分かる。

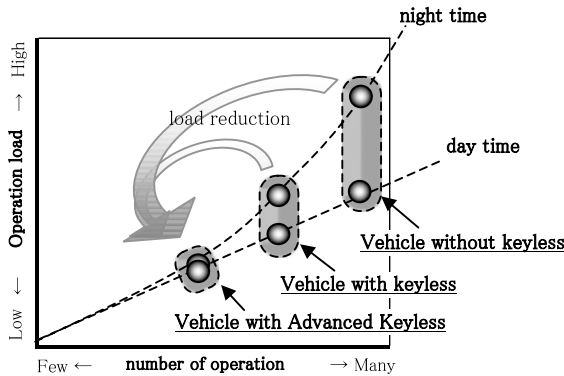


Fig.1 Operation Load

3. マツダアドバンストキーレスシステムの特徴

3.1 薄型カードタイプの電子キー

携帯性を考慮し、薄型カードタイプの電子キー(アドバンストキー)を採用した(83mm×50mm×4.7mm, Fig.2)。アドバンストキーには、電池切れや万一の故障時になくてはならないメカニカルキーや、使用シーンが多いと思われる従来のリモートキーレスエントリー用のボタンスイッチなど、ユーザの視点で、必要と思われる機能を全て搭載しているが、これらの機能を全て搭載したキーとしては、業界で最も薄く、小さい形状を実現した。

また、ズボンの後ろポケットに入れて座っても、洗濯機に入れてしまっても簡単には故障することがないよう強度・防水構造面で工夫するなど、キーを手を持たない、キーを携帯している意識が低いゆえについやってしまいそうな使い方にも配慮をした。

3.2 優れたセキュリティ性

アドバンストキーレスECUとアドバンストキーには、それぞれ固有のIDが割付けられている。その種類数は1千万通り以上で、互いに相手のIDを登録している。また、アドバンストキーレスECUとアドバンストキーとの間の通信は、1千万通り以上の乱数と、更に膨大な数の組み合わせをもつ暗号キーで高度に暗号化されている。

このため、ドアのロック/アンロックや、ステアリングロックの解除、イモビライザの解除などの機能が、他車のアドバンストキーで動作してしまうことは皆無に近い。ま

た、通信が傍受されても、その内容を解読することは現実的には不可能であり、正規のアドバンストキーを模造するなど悪用される可能性は極めて低い(Fig.3)。



Fig.2 Advanced Key

① Vehicle transmits its ID and challenge data.

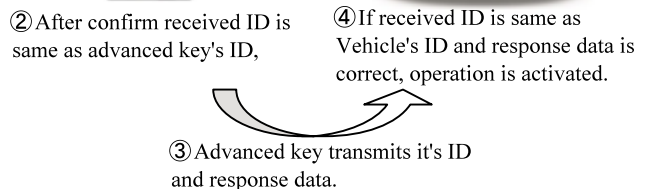


Fig.3 ID Confirmation

3.3 ドア内へのLFアンテナ配置

運転席/助手席のドア車外の通信エリアを形成するために、LFアンテナ(LF: low frequency, 132kHzの送信アンテナ)をドアトリム内に配置した。他社ではドアアウトハンドル内に内蔵する方式も採用されているが、この方式で通信エリアを確保するためには、アウトハンドルを全面めっきすることができない等デザイン上の制約を生ずる(磁界の形成ができないため)。ベリサでは、ドアトリム内にLFアンテナを配置することでアウトハンドルの全面めっきを採用できた。

4. アドバンストキーレスの機能

4.1 アドバンストエントリー

アドバンストキーを携帯していれば、アウトハンドルのリクエストスイッチを押すだけで、ポケットやバッグからキーを取り出すことなく、ドアのロック/アンロックが行える。キーを取り出す手間が省け、利便性を向上させている。

4.2 アドバンストスタート

アドバンストキーを携帯しているだけで、ポケットや、バッグからキーを取り出してIGキーシリンダに差し込むことなく、エンジンの始動、停止が行える。車に乗り込んだ後で、鞆やポケットからキーを取り出すわずらわしさを軽減している。

4.3 キーレスエントリー

アドバンストキーにあるボタンスイッチを操作することで、従来のキーレスエントリーと同様、ドアのロック/アンロックの遠隔操作が行える。

4.4 エマージェンシー機能

電池切れやシステムが故障してアドバンストキーレスが作動しない場合でも、アドバンストキーに内蔵してあるメカニカルキーを使うことで、ドアのロック/アンロックおよびエンジンの始動ができる (Fig.4)

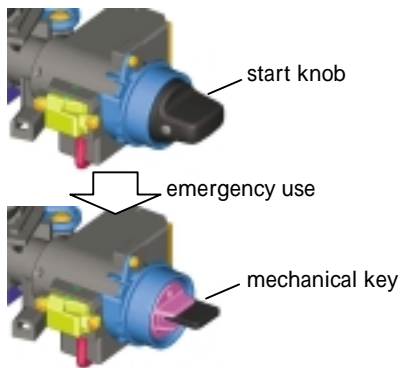


Fig.4 Emergency Engine Start

4.5 フールプルーフ機能

間違った使い方をして、システムがそれを検出して、メータ内のランプやブザー、あるいは車外用のブザーで警報してくれるので、以下のようなトラブルの発生を未然に防ぐことができる。

- ① アドバンストキーの車内閉じ込め
- ② スタートノブ戻し忘れ (車両盗難防止のため)
- ③ アドバンストキー車外持ち出し (エンジン再始動不可防止のため), など

4.6 カスタマイズ機能

車の使用環境や使用方法など、ニーズに合わせてシステムの動作を変更することが可能である (いずれもWDS (Worldwide Diagnostic System) 故障診断ツールを使用する)

- ① ドアのロック/アンロック時に作動確認として車外ブザーを吹鳴している。この車外ブザーの吹鳴を停止することができる。
- ② 通常は、ドアをロックする際は、ドアアウトハンドルのリクエストスイッチを押す必要がある。これを、アドバンストキーを携帯する人が車から離れると自動的にロックするように切り替えることができる。通勤等一人で車を運転するケースが多い人には便利である。

5. システム構成

5.1 システムブロック図

システムを構成する部品のブロック図をFig.5に示す。

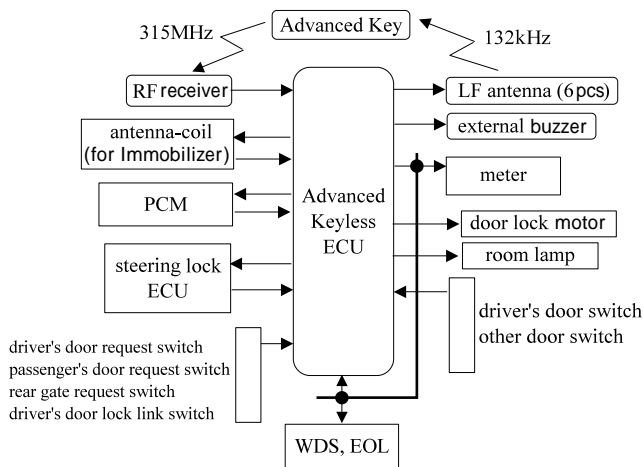


Fig.5 System Diagram

5.2 構成部品のレイアウト

各部品の配置図をFig.6に示す。

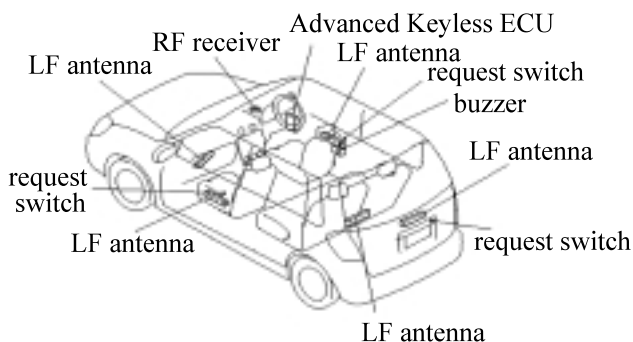


Fig.6 Parts Layout

6. 作動メカニズム

6.1 アドバンストエントリー

①運転席ドアのアウトハンドルに設けているリクエストスイッチを押すと、②車両のLFアンテナから132kHzの搬送波によってアドバンストキーにチャレンジデータ信号が送られる。③これをアドバンストキーが受信すると、315MHzの搬送波を用いて車両側へレスポンスデータを返信する。④アドバンストキーレスECUが送られてきたデータを解析し、正しいと判断すればドアをアンロックする。車両側の送信LFアンテナは磁界の生成方向は一軸であるが、アドバンストキーの受信LFアンテナは三軸備えてい

る。これによってアドバンストキーがどの方向を向いていても車両からのLF送信を受信することができる。

Fig.7に作動のタイミングチャートを示す。

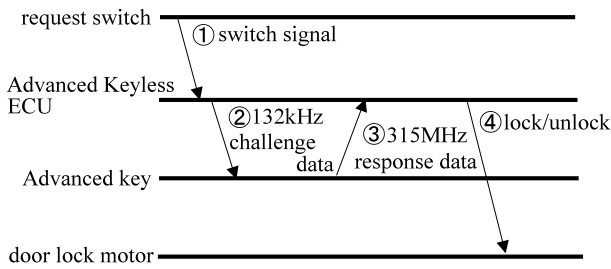


Fig.7 Timing Chart of Door Lock

運転席のほか助手席、リヤゲートにもLFアンテナとリクエストスイッチを設けてあり、Fig.8に示す通信エリア内からドアをロック/アンロックできる。

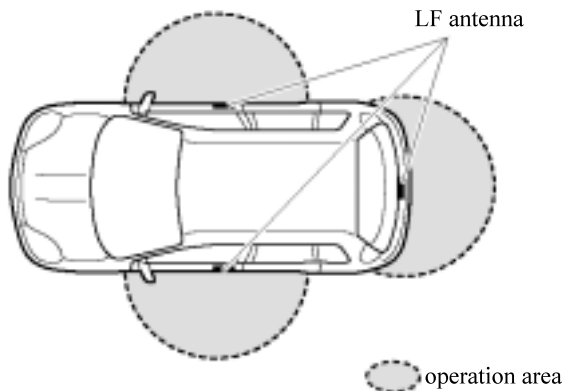


Fig.8 Operation Area (lock/unlock)

6.2 アドバンストスタート

①ステアリングロック部のスタートノブを押すと、前述のドアロックの解除時と同様に②車両のLFアンテナからチャレンジデータが送信され、③アドバンストキーからレスポンスデータが返信される。④アドバンストキーレスECUでレスポンスデータが正しいと判断されれば、ステアリングロックECUに解除信号を送る。⑤ステアリングロックECUは受信した解除信号が正しいければ、ソレノイドを駆動しスタートノブの回動を許可する。これによりドライバはスタートノブを回すことができ、エンジンがかかる。なお、⑥エンジン始動前にはアドバンストキーレスECUはPCM (Powertrain Control Module; エンジン制御ECU) と通信を行い、イモビライザを解除している。

Fig.9に作動のタイミングチャートを示す。

6.3 エマージェンシー機能

アドバンストキーの電池切れ等の対応として、メカニカルキーをアドバンストキーに内蔵している。運転席ドアアウトハンドル部には従来車と同様にキーシリンダを備えており、これによってドアのロック/アンロックができる。

ステアリングロックには従来車と同様にキーシリンダを内蔵しているため、メカニカルキーを挿入することで、エンジン始動が可能になる(ステアリングロックの解除とIGスイッチの操作は、6.2節のソレノイド駆動による方法とキーシリンダの方法の2通りを備えている)。また、メカニカルキーにはトランスポンダを内蔵しており(Fig.10)、トランスポンダとの通信によってイモビライザを解除している。以上により、エマージェンシー時の耐盗難性も従来のイモビライザ装着車と同等の性能を確保している。

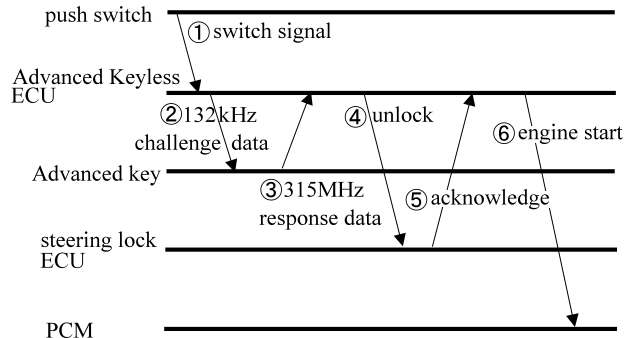


Fig.9 Timing Chart of Engine Start

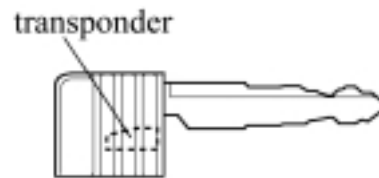


Fig.10 Emergency Key

7. おわりに

アドバンストキーレスによる利便性向上は、従来のキーレスエントリーによる利便性向上を大きく上回るものと考えている(一度その利便性を体験するとなくてはならないシステムだという声をよく聞く)。これからも利便性と耐盗難性のバランスを取りながら、このシステムを熟成させていきたい。

著者



岡光 淳



曽根 章

論文・解説

14

ペダル操作における人間特性の研究 A Study of Human Characteristics on Pedal Operation

西川 一 男*¹ 農 沢 隆 秀*² 阿 部 治 彦*³
 Kazuo Nishikawa Takahide Nouzawa Haruhiko Abe
 古 川 浩 二*⁴ 宮 本 克 己*⁵ 宮 崎 透*⁶
 Kouji Furukawa Katsumi Miyamoto Tooru Miyazaki

要 約

人間は腕や脚の筋を収縮・弛緩させることによって筋力を制御し、その結果関節トルクを発生させ、手脚の硬さや柔らかさなどの機械インピーダンス特性を巧みに調整し、操作機器を操っている。車の操作機器を設計する場合は、人間側の特性と、ペダルやシフト操作に代表される機械側の特性とをマッチングさせることが重要になる。この考え方をインピーダンスマッチングと呼んでいる⁽¹⁾⁽²⁾。本研究では、足先で踏む、脚で踏む、脚を踏み変える動作を、自動車のアクセルペダル、クラッチペダル、アクセルからブレーキへの踏み変えを例として、まず、足先力のような人間特性を明らかにした。そして、この人間特性とペダルの機械特性とのマッチングによるペダルの操作性向上を試みた。今回の研究により、人間の特性や踏みやすさの要因を解明し、機械側特性を人間に対応させることで、操作性を最適化するという機械と人間のインピーダンスマッチングの考え方が重要であることを明らかにした。

Summary

Humans control their physical muscle forces by contracting and relaxing muscles of arms and legs, and generate physical joint torque, and operate devices, adjusting the characteristics of “machine-impedance” such as hardness, softness. So, it is important to harmonize the human characteristics and the mechanical characteristics when we design vehicular devices. We call this concept “Impedance Matching.” This study cleared up the human characteristics at first, citing the moves from acceleration-pedal, clutch-pedal, through to brake-pedal. Second, the study attempted to improve the “operation comfort” in the pedal operation by harmonizing the human characteristics and the pedal’s mechanical characteristics. Finally, the study concluded that focusing on “Impedance Matching” is important to optimize the operational efforts by adapting the mechanical characteristics to the human characteristics.

1. はじめに

人間は作業を行う環境や目的に応じて、身体の各部位の力や速度を適切に調節し、多様性と柔軟性を兼ね備えた巧みな運動を実現している。詳細に見ると、人間は、腕や脚の筋を収縮させることによって筋力を制御し、その結果関節トルクを発生させ、手足の硬さや柔らかさなどのインピーダンス特性を巧みに調整し、操作機器を操っている。

車の操作機器を設計するためには、人間の身体的特徴を

的確に捉えた人間側の特性と、ペダルやシフト操作に代表される機械側の特性とをマッチングさせることが重要になる。この考え方をインピーダンスマッチングと呼んでいる⁽¹⁾。ペダルの操作性を考えると脚の動きとして、「足先で踏む」、「脚で踏む」、「脚を踏み変える」動作に大別できる。

本研究では、自動車のアクセルペダル、クラッチペダル、アクセルからブレーキへの踏み変えを例として、足先で踏む、脚で踏む、脚を踏み変えるという3つの動作における足の人間特性を明らかにした上で、ペダルの機械特性との

*1, 2, 4~6 車両実研部
Vehicle Testing & Reserch Dept.

*3 マツダモーターヨーロッパ(MME) フランクフルト
Mazda Motor Europe Frankfurt

インピーダンスマッチングによるペダルの操作性向上を試みた。

2. 実験方法

ペダル操作性に関わる「足先で踏む」、「脚で踏む」、「脚を踏み変える」の人間特性を明らかにするために、以下の方法により人の生体反応、動作、機械側の特性を計測した。

2.1 足先で踏む動作

人間特性の計測として、4車種（セダン系2台、RV系2台）におけるアクセル操作性の官能評価と同時に脚の筋電位（EMG:Electromyogram）、シートクッション体圧分布（S.P.D.:Seat Pressure Distribution）、及び右脚の位置の測定を行った。

次に、機械特性としてアクセルの荷重とストローク特性を明らかにし、2車種については、踏力を変えたアクセルペダルも用意した。

上記の詳細な測定を行った被験者は、身長160～175cm、体重60～70kgの男性4名であり、それぞれの測定においては、1周4.3kmの周回路を50km/h、120km/hの一定車速で各2周ずつ走行している。なお、シートポジション、ステアリング位置は被験者の最適位置にセットした。

シートクッション体圧分布、及び、右脚の位置の測定には、10mm間隔に置かれた48×44個の感圧点で構成されたセンサシートをクッション、運転席フロア及びアクセルペダルに装着した。

筋電位計測には表面双極子を用い、一対の電極を25mm間隔に装着した。4組の電極位置は、Fig.1に示すように、アクセル操作時に使用されると考えられる代表的な脚の筋肉①前頸骨筋、②腓腹筋（外側頭）、③大腿直筋、④恥骨筋とした。

2.2 脚で踏む動作

人間特性は、クラッチペダル踏み込み時の多関節運動時の足先力を計測した。被験者は、22～24歳の男子大学生3人と50歳男性の4人である。足先力の計測システムは、関節トルク計測部、EMG計測部、被験者に計測結果をフィードバックするディスプレイから構成される。トルク計測

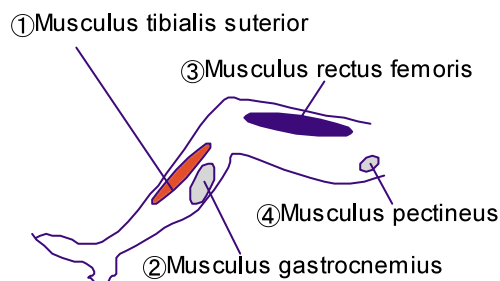


Fig.1 The Location of EMG Electrodes

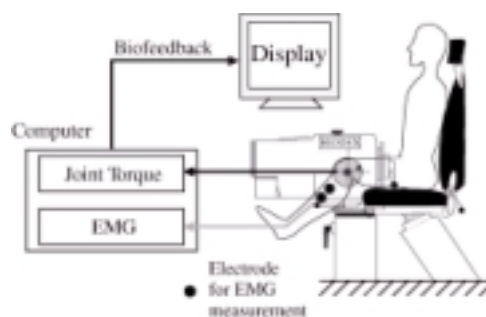


Fig.2 Measurement Systems of Ankle Joint Torque



Fig.3 Measurement Devices of Ankle Joint Torque

部は、BIODEX-SYSTEM-2APを用いた（Fig.2～4）。

機械特性は、クラッチペダルの踏力とストロークの特性を計測した。ペダル表面にロードセルと変位計を装着し、ペダルを踏み込み側と戻し側の全ストローク作動させた時の踏力とストロークを同時に計測した。

2.3 脚を踏み変える動作

アクセルからブレーキペダルへの踏み変えには、ペダル間の距離と段差が大きく影響する。段差による人間の操作のしやすさを調べるためにアクセルペダルとブレーキペダルの段差を0～55mmまで変化させ、それぞれの段差毎に、ペダルを踏み変えた時の前頸骨筋と大腿直筋の筋電位を計測した。また、ペダルの間隔による踏み変え操作の正確さ



Fig.4 Measurement Scene of Ankle Joint Torque

を調べるために、アクセルペダルと身体の中心の距離を50～240mmまで変化させ、ペダルを踏み変えた時のブレーキペダル中心と足裏の中心のズレ量を計測した。被験者は、身長153～180cmの男性7人と女性3人とした。

3. 結果と考察

3.1 足先で踏む動作

4車種の測定データと市場評価を比較したところ、アクセル操作性が良い車、悪い車にはそれぞれ共通した特徴があることがわかった。ここでは、代表的な2車種（良い車：A車/アクセル踏力25N、悪い車：B車/アクセル踏力20N）のある被験者の結果について説明する。まず、Fig.5に筋電位の測定結果を示す。A車では、全体的に筋電位が小さいのに対し、B車では筋電位が高く、特に前頭骨筋の反応が大きいことがわかる。

次に、シートクッション体圧分布と右足の位置の測定結果をFig.6に示す。筋電位が小さいA車では、臀部全体、左右大腿部裏にも均等な圧力がシートクッションからかかっており、下半身をしっかりとサポートした理想的な圧力分布になっている。一方、筋電位が大きいB車では、A車に比べ、臀部全体の圧力が非対称で局所的であり、下半身をシートクッションが十分サポートしていないことがわかる。この状態での長時間走行は、下半身の疲労がより強くなると推察される。

右足の位置は、A車に比べ、B車ではかかとがブレーキ側に寄っており、右足を斜めにし、開足角度を大きくしてアクセルを操作しているといえる。

これらの結果から、アクセル操作性は、アクセルの特性により、使用する筋力の大きさや右足の位置、更には下半身のシートクッション体圧分布まで影響を及ぼしていることが明らかになった。アクセルを踏むという簡単な動作でも、様々な人間特性に影響を及ぼしている。そこで、人間特性として、次の3点の人間の動きに着目し、足先で踏む動作に対する人体への影響のメカニズムを解明することを試みた。

(1) 足首の動き（前頭骨筋反応のメカニズム）

今回の走行状態が定常走行なので、ここではアクセルを踏む縦方向の動きに着目する。この足首の縦の動き（底屈・背屈）と筋活動とを考察する。

人間がアクセルを戻す時は、足の自重に反しながら、前頭骨筋等の弱い筋肉を使用している。踏力が重いA車は、ペダルに足を乗せておくことができるのに対し、B車は踏力が軽いので、ペダルに足を乗せておくと、足の自重により無意識に踏み込んでしまう。よって、それを防ぐため、前頭骨筋を多用し、足首を常に引上げなくてはならない状況が発生していることを筋電位の結果は示している。

(2) 右足の位置（右足かかと位置変化のメカニズム）

アクセル踏力を15N、25Nに変えた時のシートクッショ

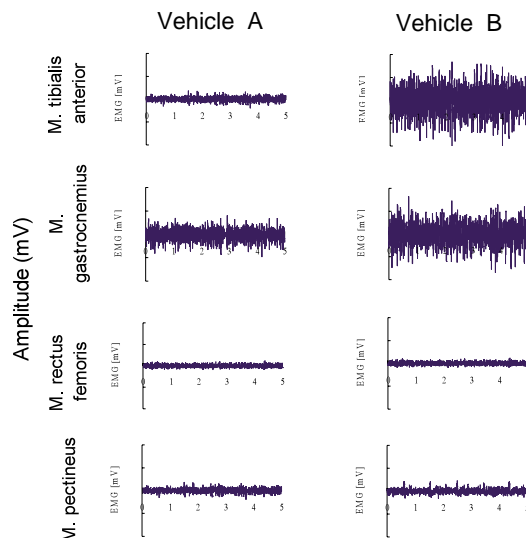


Fig.5 EMG Measurement Result (in 50km/h vehicle speed)

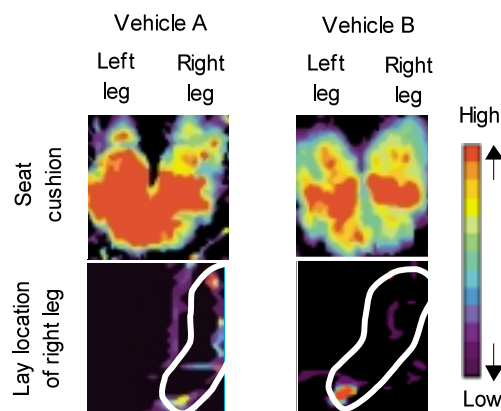


Fig.6 Measurement Result of S.P.D. and the Pressure Distribution in the Right Foot Position (in 50km/h vehicle speed)

ン体圧分布及び右足の位置をFig.7に示す。踏力15Nでは、25Nに比べ、臀部全体、左右大腿部裏に圧力が十分かかっていないことがわかる。右足の置き方に関しても、踏力15Nでは、25Nに比べ、かかとをブレーキ側に寄せて、右足を斜めにして操作をしている。このシートクッション体圧分布と右足のかかとの置き方の結果は、Fig.6のアクセル踏力が重いA車、及び、軽いB車での測定結果と類似している。すなわち、人間はアクセル踏力に応じた筋力を使うため、かかとの位置と足の置き方を変え、機械特性に対して人の特性を使い分けていると推察できる。しかしながら、Fig.7の結果から、アクセルの踏みやすさでは、人間の足と機械特性が一致しているものの、シートクッション体圧分布は、理想と考えられる左右均等の圧力分布と異なる

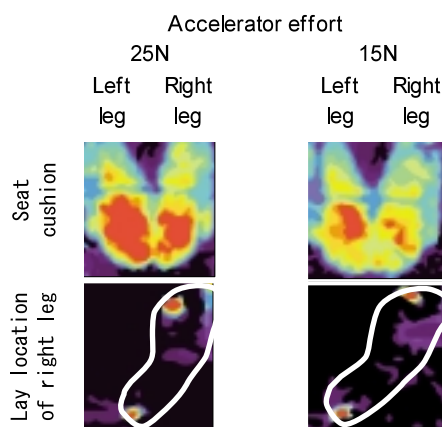


Fig.7 Relationship among Accelerator Pedal Efforts, S.P.D. and the Right Leg Position (in 50km/h vehicle speed)

るため、シートの座り心地等に悪影響を及ぼしていることも考えられる。

(3) 大腿部の動き (S.P.D. 変化のメカニズム)

右足の置き方は、大腿部の動きと連動しシートクッション体圧分布に影響しているため、逆に、シートクッション体圧分布が左右均等になる場合の人の特性に着目する。そこで、シートクッション体圧分布と膝から開いた時の開足角度の関係を測定した。その結果をFig.8に示す。開足角度23度では、臀部右側の圧力が小さく、左右不均等になっているのに対し、徐々に開足角度を狭めていったところ、15度以下では左右均等な体圧分布になることがわかった。この現象は、開足角度が小さくなるにつれ、右足の膝が立つので、臀部右側の前部分と大腿部右側裏の圧力が、臀部の坐骨結節に移動するためと推察される。

このように、アクセルペダル踏力を軽くすると、アクセル操作において前頸骨筋を多用させるため、操作性が悪くなるばかりでなく、シートクッション体圧分布が左右不均等になり、下半身への疲労も及ぼすことがわかった。よって、アクセルペダルの踏みやすさのみではなく、戻しやすさやシートクッション体圧分布から考えると、脚の開足角

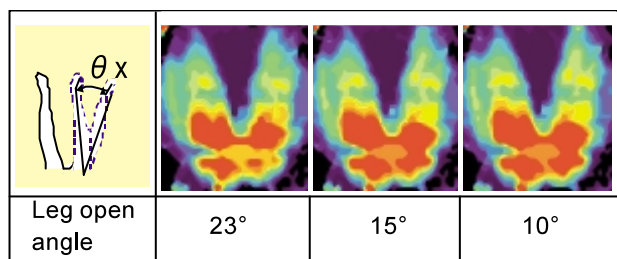


Fig.8 Relationship between Leg Open Angle and S.P.D

度は小さくする必要があり、そのような人間特性をトータルで考えたアクセル踏力の設定が必要である。

3.2 脚で踏む動作

クラッチペダルの操作は、他のペダルと違い脚全体を持ち上げて、クラッチをつなぐ。つなぐ時、クラッチペダルの機械特性と脚の踏力をマッチングさせる必要がある。Fig.9に、機械特性としてクラッチペダルの踏力とストロークの線図を示す。図は、クラッチの踏み始めから踏み終わりまで脚を踏み込んで戻すヒステリシス特性をもっている。また図で太く示した部分が、クラッチをつなぐ領域である。Fig.9から、A車のクラッチをつなぐ部分は、踏力が一定で、全ストロークの中心付近にあるのに対し、B車のつなぐ部分は、踏力が増加傾向で変化している領域にあり、しかも、人体から遠めに設定されている。

一方、このようなクラッチをつなぐ脚の操作における人間の特性として、Fig.4に示したように被験者4人それぞれの脚の位置と脚の踏力を計測した。その測定値をFig.10に示す。図中の○はつま先での、○はかかとでの踏力で、こ

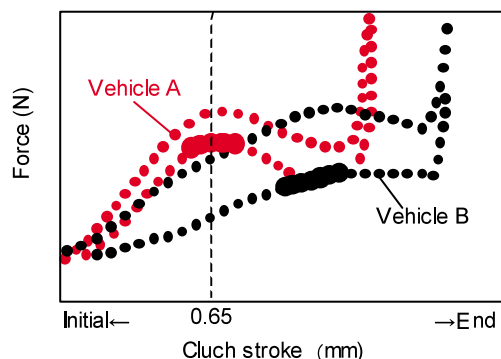


Fig.9 Clutch Pedal Force Stroke Characteristic

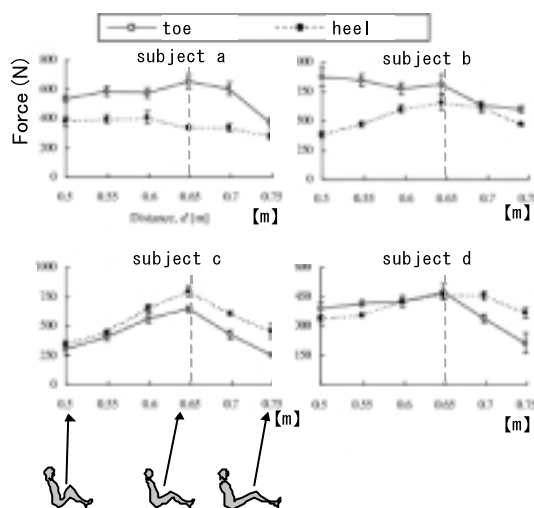


Fig.10 Foot Force on Step

これらの結果を見ると、脚を伸ばした状態からつま先を100mm程度縮めた状態 (d 0.65) で、平均的に踏力が最も大きいことがわかる。

Fig.9とFig.10の人と機械の特性結果からクラッチペダルの操作を解析すると、A車は脚の力が最も大きく、ペダルの踏力が一定のところからクラッチミート操作ができるのに対し、B車は脚の力が弱いところで、しかも、ペダルの踏力が増大している特性の領域でペダル操作を強いられている。この状況では、B車は明らかに人間側に力の調整を強いられており、快適な操作とは言い難い。ペダルを踏むという動作においては、A車のように機械特性を設定することでマッチングすることができる。

3.3 脚を踏み変える動作

(1) アクセルとブレーキペダルの段差による操作性

車を発進させる時は、アクセルペダルを踏み、止まる時は、アクセルペダルからブレーキペダルへ踏み変える。車の運転はこの操作を繰り返すが、この時アクセルペダルとブレーキペダルの段差が大き過ぎると足首の角度が窮屈になり、ペダル操作が難しくなる。

ペダル段差による人間への影響を調べるため、ペダルの段差によるペダル踏み変え時の脚の負担度を測定し、その踏み変えの現象を解析した。Fig.11に、ペダル段差毎の踏み変え時の脚の筋電位を最大筋電位との比として示す。Fig.11を見ると、ペダルの段差が低い時、筋電位は小さいが、ペダル段差がある値 (破線の段差) で、脚の筋電位が急増する変曲点が生じている。このことは、ある段差を超えると、脚の負担度が急激に増大することを示している。この時の様子を観察すると、脚の挙動は、Fig.12の模式図のようであった。段差が小さい場合は、スムーズに踏み替えできるが、変曲点を超えたような脚の負担度が大きな段差では、図のように複雑な動きを示した。この操作は、人にとって難しい操作になると考えられる。人間にとっては

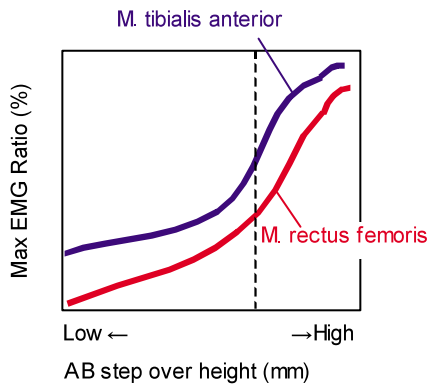


Fig.11 EMG on the Height between Accelerator Pedal and Brake Pedal

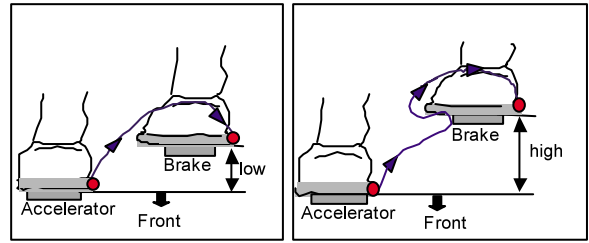


Fig.12 Movement of Foot on the Height between Accelerator Pedal and Brake Pedal

変曲点を超えない段差にすると踏み変えが容易になる。

(2) アクセルとブレーキペダルの距離による操作性

車を運転中に、緊急で車を止めたい時は、アクセルペダルからブレーキペダルへ正確に素早く踏み変える必要がある。この時、ペダルの配置が適切でない場合、ブレーキペダルの中心付近を踏むことができず、的確なブレーキ操作は難しくなる。

踏み変える時の足の動きの正確さを明らかにするため、アクセルペダルと人体の中心の距離によるペダル踏み変え時のズレ量 (ブレーキペダル中心と靴中心の距離) を測定した。Fig.13にアクセルペダルの位置毎のブレーキペダルの足裏中心のズレ量を示す。

図中の値はバラツキ上下限值である。Fig.13の結果から、踏み変えのズレ量が0近傍になるアクセルペダル位置が存在することが明らかになった。つまり、アクセルペダルが人体から遠過ぎたり近過ぎたりすると、踏み変えのズレ量が増大し、ブレーキペダルの中心を踏むことが難しいことがわかる。正確さという観点でも、人の操作性を向上できるマッチングが可能である。

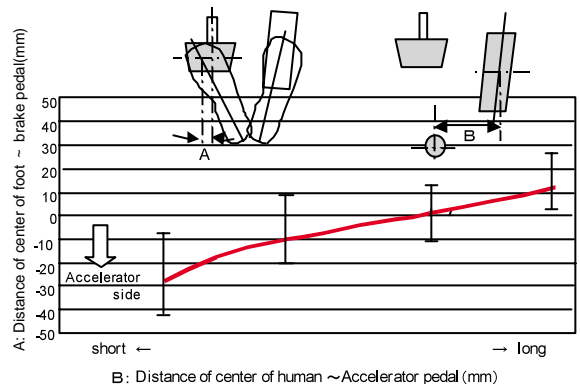


Fig.13 Distance from Center of Foot to Brake Pedal in Each Accelerator Pedal

4. まとめ

アクセルペダルのように足先で踏む操作は、下半身への疲労に強く影響するので、強い力で操作できる場合は、ペダルの操作力をそれ相応に強く、弱い力でしか操作できない場合は、ペダルの操作力を弱くし、人間の出せる力を考慮し、人間特性をトータルで考えたアクセル踏力の設定が必要である。

クラッチペダルのように脚で踏む操作は、脚の踏力が最も大きく、踏力が一定のところクラッチミート操作するのが、足に負担が少なく操作がしやすい。

アクセルからブレーキペダルへ脚を踏み変える操作では、ペダル段差が少なく、アクセルペダル位置が人体から遠過ぎず近過ぎない場合に、正確な操作ができる。

このように、脚を使った動作におけるペダルの操作性を向上するためには、本研究のように、脚の人間特性を明らかにして、機械側の特性を設定することが重要であることがわかった。そして、人間の特性や要因を理解し、機械側特性に対応させることで、操作性を最適化するという機械と人間のインピーダンスマッチングの考え方が重要であることが確認できた。

最後に、本研究の機械インピーダンスマッチングの考え方、脚の踏力測定は、広島大学辻敏夫教授、広島県立保健福祉大学大塚彰教授の協力に基づくもので、ご教授に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 辻 敏夫：姿勢維持中の人間の手先インピーダンスの推定，計測自動制御学会論文集，Vol.30，No.3，p.319-327（1994）
- (2) 辻 敏夫：等尺性筋収縮における人間の手先インピーダンスの解析，計測自動制御学会論文集，第32巻，2号，p.271-280（1996）

著 者



西川一男



農沢隆秀



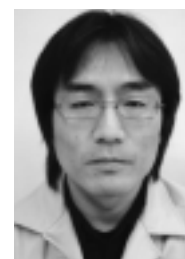
阿部治彦



古川浩二



宮本克己



宮崎 透

論文・解説

15

鞭打ち傷害低減シートの開発 Optimum Seat Characteristics to Reduce Whiplash Injuries

金子直樹*¹ 福島正信*² 尾川茂*³
Naoki Kaneko Masanobu Fukushima Shigeru Ogawa

要約

被追突時の鞭打ち傷害を低減する技術は、衝突安全の中でも重要な項目の一つである。本稿では、鞭打ち傷害値指標NIC (Neck Injury Criteria) 発生メカニズムと鞭打ち傷害を低減できる最適なシート特性について紹介する。まず乗員挙動シミュレーションMADYMOとスレッドテストを用いて、数ある鞭打ち傷害値指標の中から代表的な指標NICの発生メカニズムを明確にした。次に鞭打ち傷害値指標NIC発生に対するシート特性のパラメータスタディを行った結果、ヘッドレストの初期位置とシートバッククッション特性の寄与度が高いことを見出した。最後にそれらの結果を総合して、NICが現状比42%まで低減できる最適なシート特性を導き出した。

Summary

Development of anti-whiplash technology is one of the hottest issues in the automotive safety field. This paper describes the mechanism causing Neck Injury Criteria or NIC and the optimum seat characteristics to reduce whiplash injuries. First, we made it clear the mechanism of typical NIC using MADYMO model and the sled tests. Next, as a result of the parametric study, we found that the seat characteristics are influenced by the initial location of Headrest and the characteristics of Seatback-cushion. Ultimately, we found optimum seat characteristics that can reduce NIC by 42%.

1. はじめに

近年、鞭打ち傷害を低減するための研究やそのためのシートの商品化が目まぐるしく注目されている。^{(財)交通事故総合分析センター}によると、日本の2002年における衝突事故の約30%が追突事故で、最も多い事故形態の一つである。そのうち99%が軽傷でそのほとんどが鞭打ちである。また米国IIHS (Insurance Institute Highway Safety) によれば1997年における保険料の66%が首傷害によるもので、その金額は約70億ドルで非常に多い⁽¹⁾。鞭打ち症状は直接生命を脅かすものではないが、この傷害を負う乗員が非常に多いことが社会的に問題となっている。

これらの状況を改善するために、鞭打ちの発生メカニズムの解明に関する多くの研究が行われている。この解明手段として、ボランティアによる人体実験や、鞭打ち傷害を評価するために開発された後突用ダミー、BioRID II や

RID II などを用いた衝突実験、また乗員挙動シミュレーション解析などがある⁽²⁾⁽³⁾。

現在、一般的に理解されている鞭打ちの発生原因は、Fig.1に示す頸椎の相対的な動きから発生する歪曲(c)と後屈(d)によるものといわれている⁽⁴⁾。そして鞭打ちを評価するための指標には、NIC⁽⁵⁾、Nkm、LNL-Index、NDCなどがあるが、今回の報告では歪曲挙動(c)により発生する傷害値指標NICの低減を検討した。そしてBioRID IIを用いたスレッドテストとMADYMOを用いて、NICを低減するための最適なシート特性を導き出した。

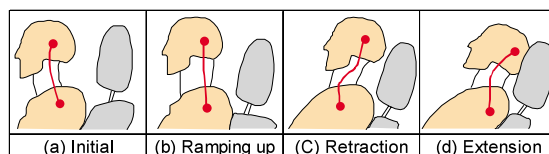


Fig.1 Whiplash Movement

*1~3 衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.

2. 鞭打ち傷害値指標NIC発生メカニズム

2.1 NICについて

NICは、鞭打ち傷害が脊椎の圧縮により頸部神経節が傷害を受け発生するとの仮定に基づいて算出される頸部傷害値指標である。BioRID IIでは、頭部と第一胸椎（以下T1）の相対加速度と相対速度差から下式により求められる正の最大値である。

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

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

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

ここで

$A_x^{T1}(t)$: T1 x-acceleration (m/s²)

$A_x^{Head}(t)$: Head x-acceleration (m/s²)

$V_x^{T1}(t)$: T1 x-velocity (m/s)

$V_x^{Head}(t)$: Head x-velocity (m/s)

2.2 テスト方法

鞭打ち傷害値指標であるNICの発生メカニズムを解明するために、BioRID IIを用いた後突鞭打ち評価スレッドテストを実施した。テストはFig.2に示す衝突パルスを再現できるクラッシュシミュレータを活用した。衝突パルスは、Fig.3に示すIIHSが鞭打ち評価で規定しているものでVが16km/hに相当する。シートは、鞭打ちの現象を把握するために、鞭打ち傷害を低減するための構造を特に織り込んでいないものを用いた。ダミーの傷害値計測はBioRID IIの場合、Fig.4に示すように頸椎や胸椎、腰椎、脚部などに計測ポイントがあり、本研究では頭部やT1など11ヶ所で加速度や荷重を計測した。



Fig.2 Crash Simulator

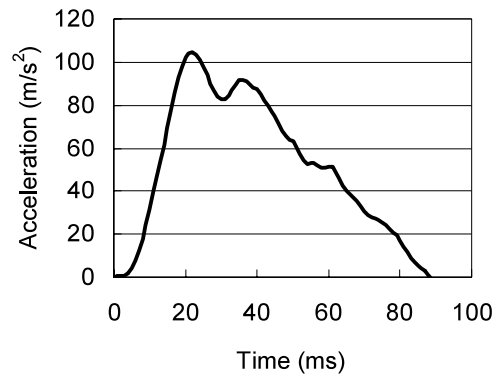


Fig.3 Crash Pulse

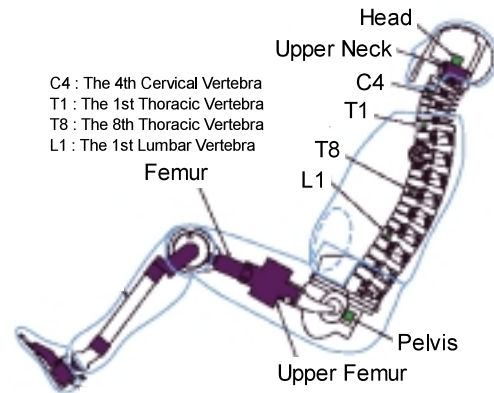


Fig.4 BioRID II Measurement

2.3 スレッドテスト結果とNIC発生メカニズム

Fig.5は、スレッドテストにおけるNIC波形で、NICは図中の破線で示すように96.5msに最大18m²/s²となった。NICは、頭部とT1の相対加速度と相対速度から算出されるため、今回のテスト結果をもとにNICの発生メカニズムをFig.6~9に示すように頭部とT1の加速度と速度について分析した。

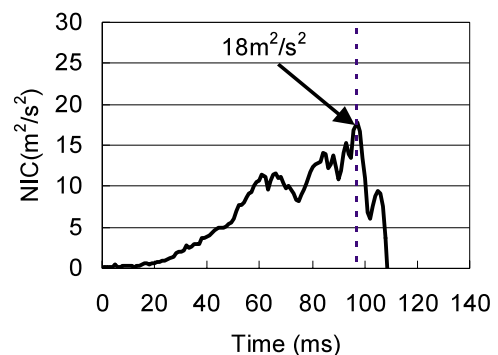


Fig.5 NIC Pulse

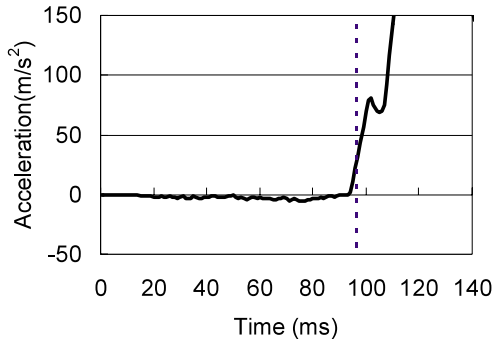


Fig.6 Head Acceleration Pulse

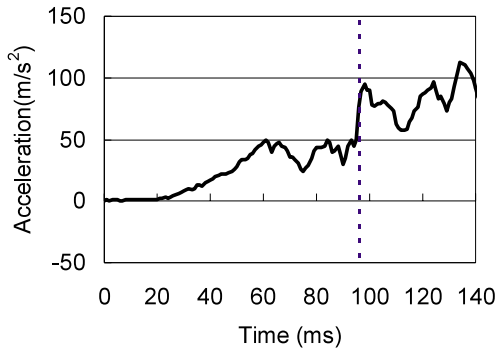


Fig.7 T1 Acceleration Pulse

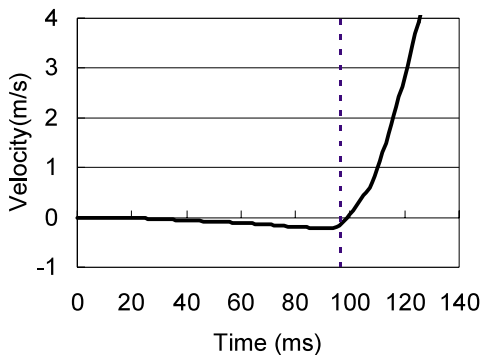


Fig.8 Head Velocity

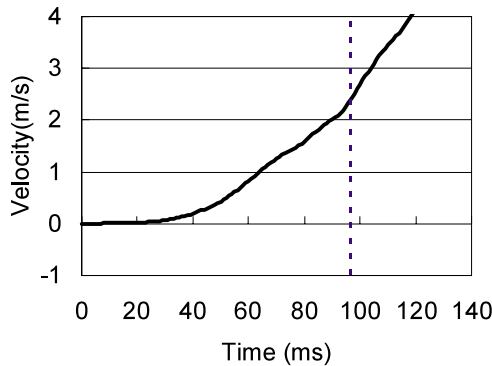


Fig.9 T1 Velocity

Fig.6~9より、T1では加速度、速度ともに早期から発生するが、頭部はNIC発生のタイミングにほとんど加速されていない。つまりT1のある胸椎はシートバックにより早期から加速され前方に移動するのに対し、頭部はヘッドレストとの隙間があり空走するため加速せず前方移動しない。このため、頭部と頸椎では歪曲する挙動となる。また、Table 1に示す相対加速度 ($A_{rel}(t)$) と相対速度 ($V_{rel}(t)$) を比較すると、相対加速度の方が全体に対する比率が大きくなりNICに影響が大きいことがわかる。このようにNICは、頭部とT1の相対加速度差が大きくなり、首の後屈挙動が起こることで発生する。このメカニズムをまとめるとFig.10のようになる。

Table 1 NIC Detail Results at 96.5ms

	A_x^{Head}	A_x^{T1}	V_x^{Head}	V_x^{T1}
	26.4m/s ²	87.7m/s ²	-0.2m/s	2.3m/s
$A_{rel}(t), V_{rel}(t)$	61.3m/s ²		2.5m/s	
Ratio	68%		32%	

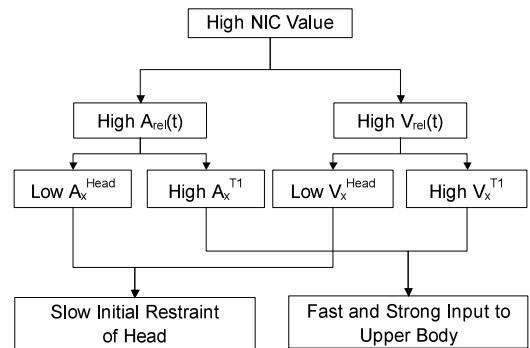


Fig.10 NIC Injury Mechanism

3. 傷害低減へのアプローチ

NICを低減させるアプローチをFig.11に示す。NICを低減するには、頭部とT1の相対加速度を減少させる必要があり、頭部は拘束を早め、T1は加速度を小さくすることが効果的である。頭部の初期拘束を早めるにはヘッドレストと頭部の距離が寄与し、T1への入力を低減するにはシート特性が影響する。そしてNIC低減の最適化検討は、MADYMOでBioRID IIを搭載した後突モデルを作成し、スタディを行った。

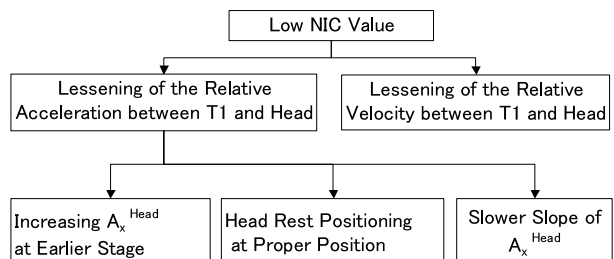


Fig.11 Approach to Injury Reduction

4. MADYMOでの最適化検討

4.1 ダミーとシート間の荷重伝達

MADYMOモデル作成にあたり、ダミーの脊椎挙動に重要なダミーとシート間の荷重伝達を把握するために、Fig.12に示す荷重計を取り付けた剛体シートでのスレッドテストを行った。荷重計はFig.13に示すようにダミーの背中に合わせて#1～#9まで9個配置した。このテストの結果、Fig.14～16に示すように、#2や#5、#8の荷重が高くBioRID IIの脊椎部に荷重が集中する一方で、肩部は荷重が小さく立ち上がりも遅いことがわかる。

この結果を元に、シート中央部から脊椎に入力する部位のシートコンポーネントテストなどを行い、MADYMO用シート特性を得た。



Fig.12 Sled Test with Steel Rigid Seat

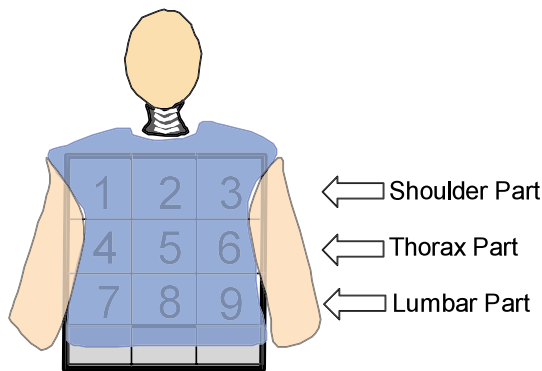


Fig.13 Steel Plate Division

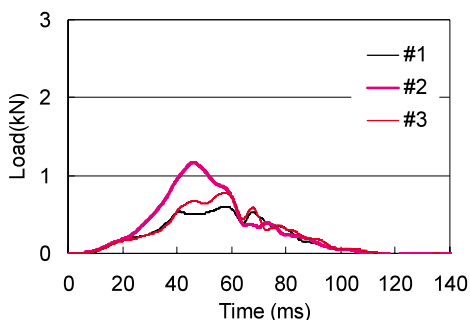


Fig.14 1-3 Load Distribution

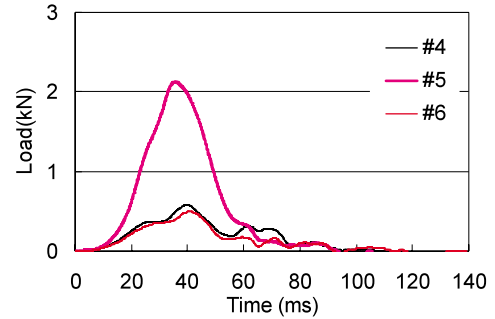


Fig.15 4-6 Load Distribution

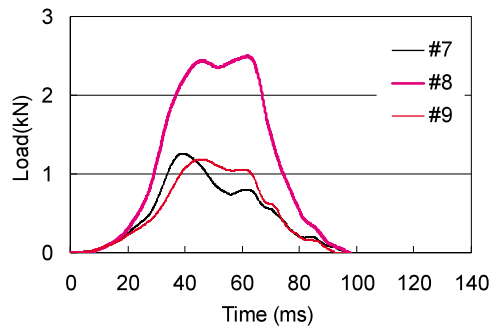


Fig.16 7-9 Load Distribution

4.2 MADYMOモデル

BioRID IIのMADYMOモデルをFig.17に示す。シートモデルは、すべてマルチボデーで作成し、前述したシートコンポーネントテストから得られた特性を入力した。このモデルのコリレーション結果をFig.18～21に示す。NICは正しい値で評価されるため特に100msまでの再現性に注力した。これらの波形から、パラメータスタディができるレベルでテストとのコリレーション取りができたと考えられる。



Fig.17 BioRID II MADYMO Model

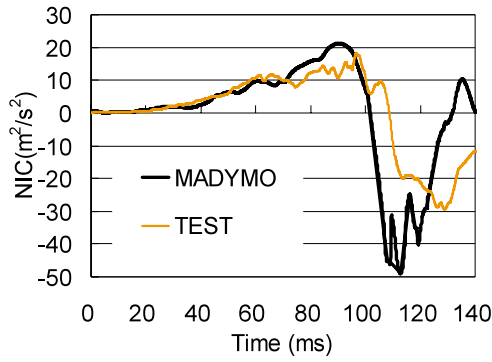


Fig.18 BioRID II NIC Pulse

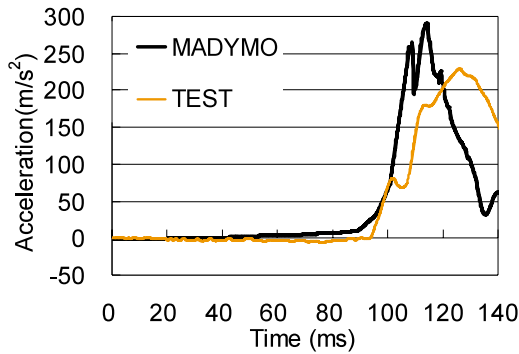


Fig.19 BioRID II Head Pulse

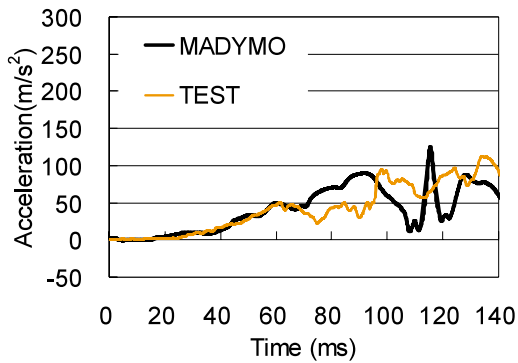


Fig.20 BioRID II T1 Pulse

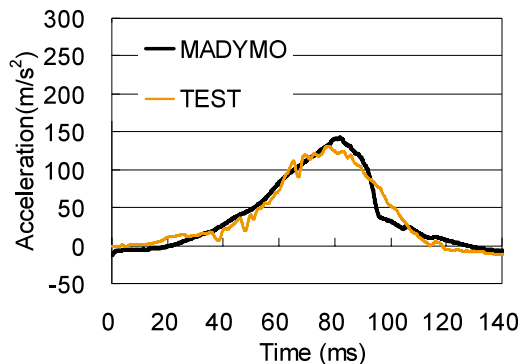


Fig.21 BioRID II Pelvis Pulse

4.3 シート特性パラメータ

MADYMOモデルでのシート特性の最適化スタディでは、少ない計算回数で効果的にパラメータの寄与度を算出できる実験計画法を用いて行った。パラメータは、Table 2とFig.22に示すNICに影響があると考えられる8項目を選出した。各パラメータの特性は、パラメータAを除きすべて3水準で設定した。その際、水準2をパラメータが持つ固有の特性Mとし、水準1は低い又は弱い特性L、水準3を硬い特性Hとした。

Table 2 Parameter Matrix

Parameter	Level		
	1	2	3
A Head Rest Height	H	M	H
B Head Rest Backset	L	M	H
C Seatback High Stiffness	L	M	H
D Seatback Middle Stiffness	L	M	H
E Seatback Low Stiffness	L	M	H
F Seat Frame Stiffness	L	M	H
G Seat Bracket Stiffness	L	M	H
H Seat Cushion Stiffness	L	M	H

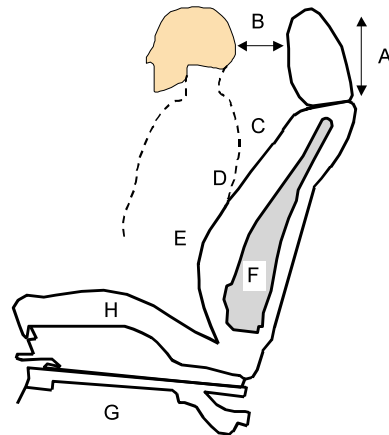


Fig.22 Driver Seat

4.4 パラメータスタディ結果

L8の直交表を用いて18通りの計算を行った結果、Fig.23に示すようなパラメータの感度要因効果図を算出できた。そして、ヘッドレストの隙とシートバック特性についてNICに対する寄与が大きいという結果が得られ、Fig.11に示したNIC低減のアプローチとも一致した。シートバックの特性を弱めることは、シートバックへのダミー進入量を増やし、ダミー脊椎への入力を小さくできるのでT1の加速の立ち上がりを遅らせることに効果的である。

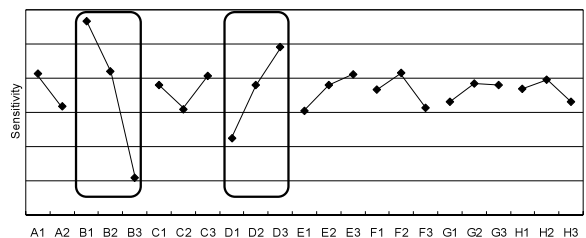


Fig.23 Sensitivity of Parameters

最も傷害を低減できるシート特性の組み合わせをTable 3に示す。また、そのときのシートバックの中部特性はFig.24に示すように現状比約50%弱めている。これを織り込んで計算した結果、T1の加速度は35%低減し、相対加速度も30%低減した結果、Fig.25に示すようにNICを現状比42%まで低減できることがわかった。また、Fig.26に示すようにシートバック中部特性とNICの関係を見ると、50%以上特性を弱めてもほとんど効果がない結果を得た。従ってこの特性が妥当であると判断できる。

Table 3 Optimized Level of Parameter Study

パラメータ	最適水準
A	A2
B	B3
C	C1
D	D1
E	E1
F	F1
G	G1
H	H2

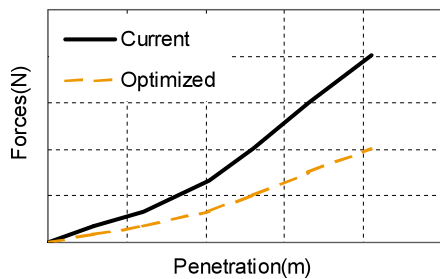


Fig.24 Seatback Middle Stiffness

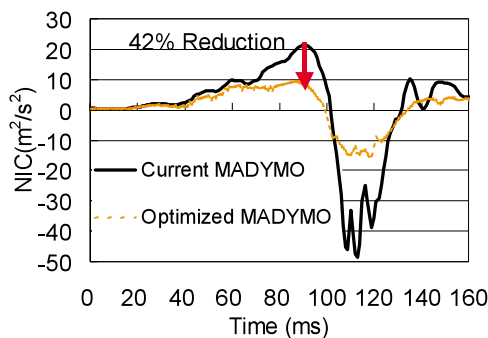


Fig.25 NIC Pulse

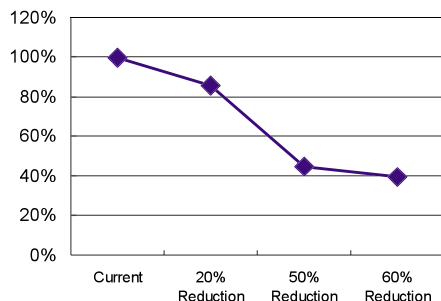


Fig.26 NIC - Seat Stiffness Relations

5. 結論

今回の研究の目的はBioRID IIを用いNICの発生メカニズムを明確にし、その傷害値を最小にするための最適なシート特性を導き出すことである。以下に結論を示す。

- (1) NICの発生メカニズムを明確にした。頭部の初期拘束の遅れとT1への入力が多いことがNICを悪化させる主要因である。
- (2) 実験計画法を適用したパラメータスタディの結果、NICに対してヘッドレストと頭部の隙、及びシートバッククッション上部の特性の寄与度が多いことが明確になった。
- (3) MADYMOを用いたシミュレーションを行い、NICを現状比42%まで低減できた。

6. おわりに

今回の研究は、これまでMADYMOの適用例が少ないBioRID IIでのシミュレーションでNICのみに注力した基礎的なものである。今後、シート性能との両立と鞭打ち傷害全般の低減を目指して更なる研究を行い、お客様に喜ばれる技術の商品化を目指していきたい。

参考文献

- (1) Insurance Institute For Highway Safety : Status Report, Volume 34, No.5 (1999)
- (2) Kim et al.: A Biofidelity Evaluation of the BioRID II, Hybrid III and RID2 for Use in Rear Impacts, Stapp Crash Journal, Volume 47 (2003)
- (3) Heitplatz et al.: An Evaluation of Existing and Proposed Injury Criteria with Various Dummies to Determine Their Ability to Predict the Levels of Soft Tissue Neck Injury Seen in Real World, 18th ESV Conference, Paper Number 504 (2003)
- (4) Muser et al.: Biomechanical Significance of the Rebound Phase in Low Speed Rear End Impact, International IRCOBI Conference (2000)
- (5) Bostrom et al.: A new neck injury criterion candidate based on injury findings in the cervical spinal ganglia after experimental neck extension trauma, IRCOBI Conference (1996)

著者



金子直樹



福島正信



尾川 茂

論文・解説

16

樹脂リフトゲート内蔵複合アンテナの開発 Development of Integrated Antenna in Resin Liftgate-module

重田 一生^{*1} 谷口 龍昭^{*2} 藤原 明広^{*3}
Kazuo Shigeta Tatsuaki Taniguchi Akihiro Fujihara
長 嶺 晋路^{*4} 諸 橋 敏 将^{*5}
Shinji Nagamine Toshiyuki Morohashi

要 約

新型プレマシーは、樹脂リフトゲートを新しく採用した。そのため、テレビやFM-VICS用アンテナとして、金属製窓枠をアンテナアースとして用いるガラスアンテナが採用できなくなり、新しいアンテナの開発が必要となった。そこで、電波を透過させるという樹脂の特徴に着目し、接地型アンテナと非接地型アンテナを組み合わせた新しいアンテナ構造を考案して樹脂リフトゲートに内蔵することにより、従来のガラスアンテナと同等以上の性能を有するアンテナを実現した。このアンテナは、テレビ用三本、FM-VICS用一本の合計四本のアンテナを複合したアンプを用いない高性能なアンテナである。

本稿では、本アンテナの技術的内容と新型プレマシーでの適用事例について報告する。

Summary

Conventionally, glass built-in TV/FM-VICS antennas were grounded to metal Liftgate-panels. However, new Premacy employed newly developed Liftgate-module made of resin, and we needed to develop new antennas. We developed new antennas combining conventional grounded-type antennas and non-grounded antennas laying eyes on the resin's characteristics of being able to penetrate radio wave. The new antenna is capable enough to cover the role of three TV antennas and a FM-VICS antenna and showed better-than-the-same performance in comparison with conventional glass antennas without using an amplifier.

This paper reports the technologies of this new antenna and its application into new Premacy.

1. はじめに

車載用ナビゲーションやテレビが普及している。これらの装備を実現するためには、VICS交通情報用のFM-VICSアンテナやテレビアンテナが複数必要である。車の外観デザインを損なうことなく、これらのアンテナを車に搭載する手法としては、ガラスアンテナが一般的である。

ガラスアンテナは、リヤ及びサイドの複数のガラス上にアンテナパターンを形成した上で、ガラス周囲の金属部分にアースを設置し、これらの間を同軸ケーブルで給電するものであるが、上記の装備を実現するには、テレビ用としてダイバーシティ機能を備えて三本、FM-VICS用に一本、合計で四本のアンテナが必要となる。リヤガラスの面積が

大きくガラス面の傾斜が緩やかなセダン系の車種ではリヤガラスのみでアンテナを形成している例が多いが、ミニバン系の車種はリヤガラスの傾斜がきつく面積が狭いことからリヤガラスとサイドクウォータガラス二枚、合計三枚のガラスを用いるのが一般的である (Fig.1)。

しかし、新型プレマシーはミニバン系の車種であるが、サイドクウォータガラスの面積が狭いデザインになっている。加えて、リフトゲートの素材として従来の金属ではなく樹脂を採用している。この二点が通常のアンテナ開発と異なるために、従来のガラスアンテナの開発手法をそのまま適用できないという状況にあった。一方、樹脂には電波を透過する性質がある。我々は、この点に着目し、樹脂製リフトゲートの内部空間にアンテナパターンを設け、従来

*1~4 電子開発部 Electrical & Electronics Development Dept.

*5 原田工業(株) Harada Industry Co.,Ltd

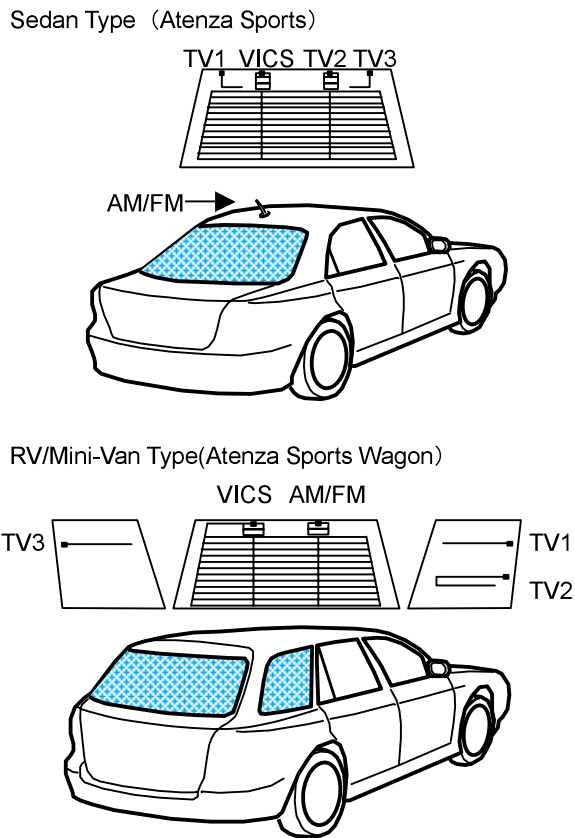


Fig.1 Window Glass Antenna

三枚のガラスを用いていたアンテナシステムを一つの部品に集約し、かつガラスアンテナと同等の性能を持つ新しいアンテナシステムを実現することを発想した。

以上の観点から開発を進め、リフトゲート上部の内部空間に内蔵するプリント基板を用いた新しいアンテナの開発に成功し、受信性能、見栄え、コストを高い次元でバランスさせたアンテナシステムを新型プレマシーに搭載することができた。本論文では、今回開発に成功したアンテナシステムを開発した背景、課題、仕様の具体化、および開発結果について報告する。

2. 問題点と開発の方向性

新型プレマシーでは、樹脂リフトゲートを採用している。これは、軽量化および機能統合によるコストメリットの創出を狙ったものである。従来のガラスアンテナの場合はガラス近傍の金属部にアースを設置している。しかし、樹脂リフトゲートの場合には、ガラス近傍に金属部がないため、アースはリフトゲート部ではなく金属製のボデー本体に取らざるを得ず、アンテナフィーダ用同軸ケーブルの内部導体とアンテナパターンとを繋ぐ線（ホット線）にある程度の長さが要求される。一般的にホット線の線長は短い方が

性能面で有利であるが、今回の場合、ケーブル配策用のグロメットを経由してボデー本体にアースを取ると、ホット線の長さが400mm程度必要となり、これでは、VHF-HIGH帯（170-220MHz）やUHF帯（470-770MHz）などの高い周波数での性能確保が困難であるという問題がある。一方、サイドのクォータガラスは従来に比べて面積が小さいものが採用され、これをガラスアンテナとして活用すると、FM帯（76-90MHz）やVHF-LOW帯（90-108MHz）等低い周波数での性能確保が困難であるという問題もある。

しかし一方で、樹脂が電波を良く通す性質を持つことがアンテナ開発にとってメリットになる可能性もある。Fig.2は樹脂の受信特性への影響を調べた結果であり、FM帯用L型モノポールアンテナをリフトゲート試作品の上部インナパネル上に配置し、それを樹脂アウトパネル（塗装済み、アンテナ素子との最短距離は約5mm）で覆った場合と取り去った場合との受信性能の差を示している。樹脂パネルで覆うとこれが誘電体として働くため波長短縮効果が生じ周波数特性が若干低い方にシフトするが、受信性能の劣化は少ないといえる。従って、この波長短縮効果を考慮にいた上で設計することにより、樹脂リフトゲートの内部空間にアンテナを隠すことは可能であると考えられる。また、アンテナを隠すことができれば、ガラスアンテナの設計に比べて、アンテナパターンの設計自由度を確保することもできる。従来のガラスアンテナではガラス面上の給電端子を見栄えの観点からガラス上端に設けるといった制約があった。しかしアンテナを内蔵できれば、その制約を取り除き、給電端子をアンテナ部品の端だけでなく、部品内部にも設定することが可能になる。

更に、従来、リヤとサイドの複数のガラスを用いて実現していた四本のアンテナをこの内蔵アンテナ一つに統合できる可能性も出てくる。

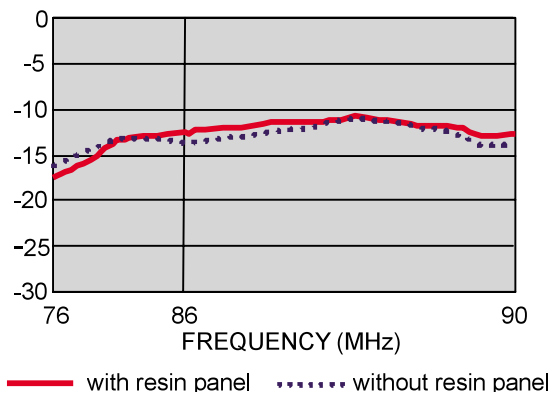


Fig.2 Effect of Resin Panel on Antenna Performance

以上の観点から、我々は、従来と同等の性能を有する樹脂リフトゲート内蔵の複合アンテナの実現に向けて開発を進めた。具体的には、アースポイントをボデー本体に設置することを前提に、リフトゲート上部の横520×縦120×高さ10(mm)の空間内にアンテナ本体をレイアウトすることを想定した。その搭載イメージをFig.3に示す。これは、以下の点を考慮した結果である。①一般的にアンテナは高い位置にレイアウトすることが性能上有利であるが、金属製ルーフのアンテナ特性への寄与についても考慮し、ルーフと同等の高さとする。②テレビ放送波とFM放送波は日本ではおおむね水平偏波であり、アンテナ部品を水平方向に装着する。③ナビゲーション装備の有無を考慮し、FM-VICS / テレビ用アンテナを単独搭載できる構造とする。④他の樹脂リフトゲート採用車種への技術展開を考慮したコンパクトなサイズとする。

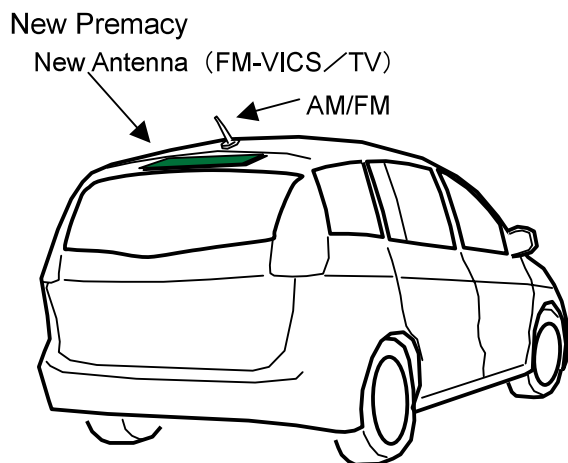


Fig.3 New Antenna Layout

3. 新アンテナの開発課題

樹脂リフトゲートにFM-VICS / テレビ用アンテナを設置する上での課題について以下に述べる。

(1) アースをアンテナ近傍に設定できないことによる課題

従来のラジオやテレビ用の車載アンテナはモノポールアンテナと呼ばれる接地型のアンテナである。これは、アンテナ素子近傍の車体金属部に給電用の同軸ケーブル外部導体を接地(アース)し、同軸ケーブルの内部導体とアンテナ素子とをホット線で結ぶ構造を持つ。ホット線の長さは、短い方が性能面で有利であり、通常、棒状アンテナで数mm、ガラスアンテナでも100mm未満である。もし、今回の樹脂製リフトゲートに内蔵する新開発アンテナを従来同様の接地型で作ると、アースをリフトゲート内ではなくボデー本体に設けることとなるため、ホット線はアンテナパターンからグロメット内を経由した400mm程度の長さが

必要になってしまい、性能面で不利な状況になる。更に、複数のアンテナのアースポイントを一つにまとめてしまうと、原理的に各々のアンテナの指向性(電波が到来する方向とアンテナ利得の関係)が同様なものになり、次に述べるダイバーシティ性能を引き出す上でも不利な状況になる。このため、アースの取り方とホット線長の影響を考慮して設計することが第一の課題になる。

(2) ダイバーシティ性能上の課題

移動する車において放送電波を安定受信するため、複数のアンテナの中から最良の受信状態のものを選択して使用するダイバーシティ受信システムが開発されている。車載テレビの場合、アンテナは三本以上からなり、加えてダイバーシティ受信の効果を得るためにはアンテナ同士を空間的に離す、異なる指向性のアンテナを組み合わせる等の工夫が必要となる。そのため、従来のガラスアンテナでは、異なるガラスにアンテナを振り分ける方法や、同一ガラス面上で上下や左右にアンテナを分離して配置する方法を採用している。新開発アンテナは、従来複数のガラスを用いて実現していたものを前述の狭いスペース内に統合化しようとするもので、ダイバーシティ性能を最大限引き出すことが第二の課題になる。

(3) アンテナ間の干渉低減の課題

アンテナ同士を近接させると、互いの特性に影響を与え、単独の場合に比べて受信性能が悪化する場合がある。新開発アンテナにおいては従来に比べて狭いスペース内においても干渉を低減させなければならないという課題がある。

これらの課題は、互いに関連性を持っており、バランスの取れた性能を成立させることが最大の課題である。

4. 新アンテナの開発

4.1 基本方針

マツダでは従来からアンテナアンプを用いずにAM / FMラジオ用およびFM-VICS / テレビ用ガラスアンテナを開発、商品化している。これは、アンテナアンプを用いると部品点数が増加しコストアップにつながるだけでなく、強電界における混信等の弊害を抑えるための開発が必要となり短期開発に向かないためである。新アンテナの開発においても、これを踏襲し、アンテナアンプを用いないことを前提とした。

4.2 アンテナ構造の選定

アンテナの構造としては、①薄くフレキシブルなフィルム上にアンテナパターンを構成しリフトゲート内面に貼り付けるフィルムアンテナ、②金属板を型で抜いてできたアンテナをリフトゲート内部に固定する金属素子アンテナ、③プリント基板上の回路パターンでアンテナを構成し、リフトゲート内部に固定するプリント基板アンテナなどを検討した。各々のアンテナの特質をTable1に示す。フィルムタイプは後付けガラスアンテナとして実績はあるが、樹脂

Table1 Comparison of Antenna Type

Antenna type Evaluation items	Antenna type		
	①Film	②Die-cut metal element	③Circuit board
Heat resistance	○	○	○
Vibration resistance	△	○	○
Squeak and rattle	△	○	○
Development efficiency	○	△	○
Easiness of assembling	×	×	○
Easiness of integrating multiple antennas	○	×	○
Total evaluation	△	△	○

○ : very good △ : good × : bad

パネルとの相性を考慮すると、振動に因る剥がれや異音が懸念される。型物金属素子は形状変更がしにくく、また、他に比べて部品点数が増えることから、組み付けに手間がかかり、複合化も困難である。

以上の検討結果を基にアンテナの試作に要する時間が短いために開発効率が良く、組み付け作業に時間がかからず、複合化も容易なプリント基板タイプを用いることとした。

4.3 アンテナ毎の受信帯域の分担

FM-VICS / テレビは、76 ~ 770MHzの極めて広い周波数帯域を使用している。一つのアンテナでこの帯域全てをカバーすることは困難で、通常ガラスアンテナを設計する際は、四本のアンテナで受信帯域を分担させている。新開発アンテナもこの考えを踏襲し、VICS用FM帯を主に担当するVICSアンテナ、VHF-LOW帯とVHF-HIGH帯を主に担当するTV1アンテナ、VHF-HIGH帯とUHF帯を主に担当するTV2アンテナ、UHF帯を担当するTV3アンテナとした。その分担イメージをTable2に示す。

4.4 接地方式と基本仕様

前述した通り、従来のガラスアンテナはモノポールアンテナと呼ばれる接地型のアンテナで、そのホット線は通常100mm未満である。FM-VICS / テレビの帯域におけるホット線長と受信性能の関係をTable3に示す。この図が示す通り、低い周波数 (FMおよびVHF-LOW) ではホット線長の影響は少ないが、高い周波数 (VHF-HIGHおよびUHF) では線長の影響を如実に受ける傾向にある。接地型のアンテナに対して、ダイポールアンテナのように車体アースを必要としない非接地型アンテナがある。これは一般に家庭用テレビなどのアンテナに用いられている方式である。こ

Table2 Each Antenna's Reception Frequency Band

Antenna	Frequency band			
	FM	VHF-LOW	VHF-HIGH	UHF
VICS	■			
TV1		■	■	
TV2			■	■
TV3				■

Table3 Relation between Length of Hot Line and Frequency Band on Monopole Antenna

Length of Hot line (mm)	Frequency band			
	FM	VHF-LOW	VHF-HIGH	UHF
Approx. 100mm	○	○	× ~ △	× ~ △
Approx. 400mm	○	△	×	×
Approx. 800mm	○	△ ~ ×	×	×

○ : very good △ : good × : bad

Grounded Antenna (Monopole Antenna)

Non-grounded Antenna (Dipole Antenna)

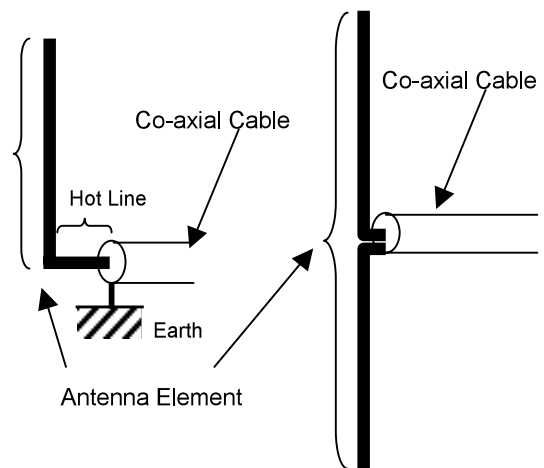


Fig.4 Monopole Antenna and Dipole Antenna

の方式の特徴は、アンテナと受信機を結ぶケーブルレイアウトに制約が少ないことである。一方、接地型に比べてアンテナ素子長が二倍必要であり、車載用のFM-VICS/テレビ用ガラスアンテナとしては一般的ではない (Fig.4)。

我々は、新アンテナの開発において、上記の二つの方式の特徴に着目し、低い周波数 (FMおよびVHF-LOW) を接地型、高い周波数 (VHF-HIGHおよびUHF) を非接地型とし、接地型と非接地型を一つのアンテナの中に混在させることを考えた。そして、四本のアンテナの基本仕様を以下の通りとした。

- ① VICS : 接地型でアンテナ長800mm程度
 - ② TV1 : 接地型でアンテナ長600mm程度
 - ③ TV2 : 非接地型でアンテナ長700mm程度
 - ④ TV3 : 非接地型でアンテナ長300mm程度
- (①②のパターン長はホット線長を含む)

4.5 アンテナパターンの基本レイアウト

限られた狭いスペースの中で個々のアンテナの基本性能を確保した上で、ダイバーシティアンテナとして十分に機能させるため、同じ周波数帯を受け持つアンテナ同士を可能な限り離す/異なる指向性を持たせることを考え、アンテナパターンの基本レイアウトを以下のように決定した。

まずホット線長の制約を受けるTV1を基板中央に直線的に配置し、ホット線との接続点をグロメット側に設けた。次に、TV2の給電部をTV1の対極に設け、次にTV3の給電部をTV1側に設けた。VICSは他のアンテナとの干渉を考慮し、基板中央に間隔をおいて設定し、TV1と同様にホット線との接続点をグロメット側に設けた。

以上を基に設計した基本パターンをFig.5に示す。

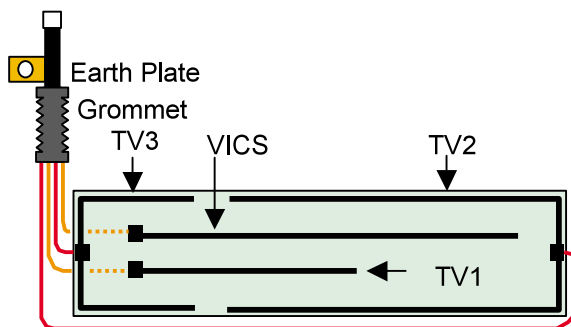


Fig.5 Basic Antenna Pattern

5. 開発結果

5.1 開発した新アンテナの概要

上記のアンテナパターンを基本として、新型プレマシー向けに専用設計を行い完成したアンテナをFig.6に示す。基本パターンと比較して大きな変更点は、TV1および

VICSをボデーから離す方向で移動させた点で、特にTV1は基板端まで移動させている。これは、基本パターンのままではボデーからの影響を大きく受け、十分な特性が得られなかったためである。また、性能面以外では、基板の取り付け方法について配慮し、あらかじめ樹脂パネル (インナパネル) 成形時に設けられた十ヶ所のリブを使用した溶着固定を採用するなど、樹脂パネルの特徴を活用し、部品点数を削減することができた (Fig.7)。

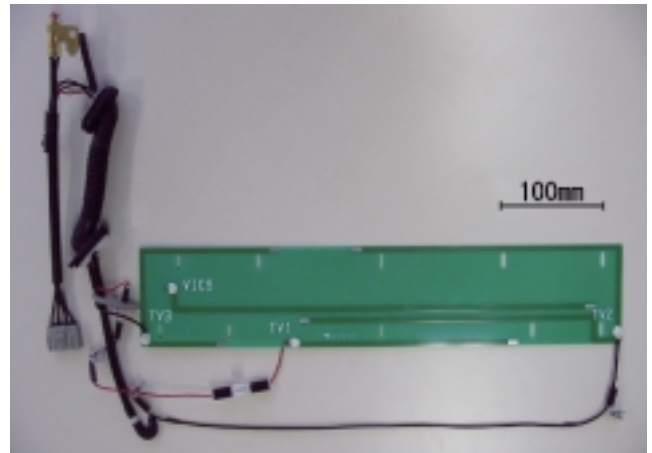
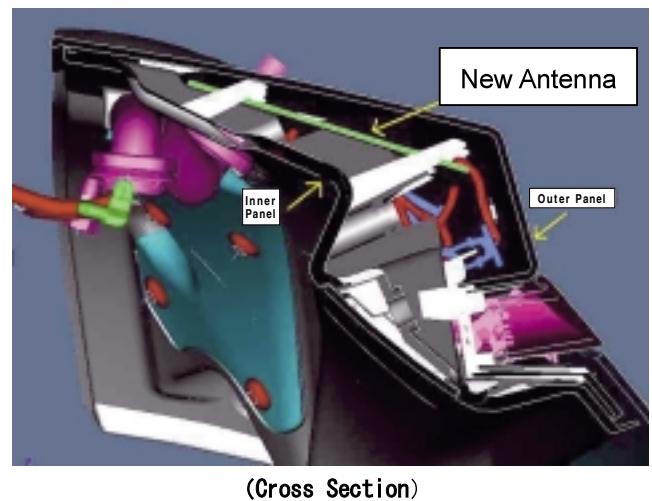
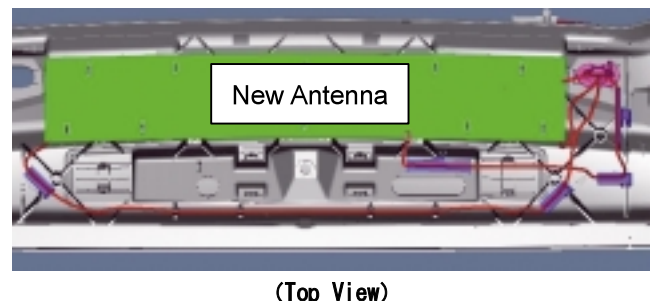


Fig.6 New Antenna



(Cross Section)



(Top View)

Fig.7 Structure of NEW Antenna Integrated in Resin Lift-Gate

5.2 新開発アンテナの性能

次に新開発アンテナの受信性能について述べる。

まず、Fig.8にFM-VICSおよびテレビの各周波数帯における各アンテナの指向性の一例（車両を中心に水平面内各方向から到来する電波に対する受信感度）を示す。テレビの周波数帯の中でVHF-LOW帯においてはTV1の感度が最も良く、無指向性に近い特性が得られている。VHF-HIGH帯とUHF帯においては、各テレビアンテナが指向性を補完しており、指向性ダイバーシティ機能を発揮することで無指向性に近い特性が得られている。

次にFig.9にアンテナ利得の周波数特性を示す。値は周波数毎に水平面内360度方向全ての利得の平均値をダイバーシティ処理後を示している。テレビ用アンテナについては、指向性ダイバーシティの動作を想定し、三つのアンテナのうち利得が最も高いアンテナを選択した場合の利得（ダイバーシティ処理：DIV）を併記している。グラフに示すように、FM-VICS、テレビとも全帯域においてダイバーシティ処理後の利得が-20dBd以上を確保しており、良好な受信性能が確保できているといえる。更に、車両に搭載したテレビと組み合わせた総合的な性能評価においても、従来のガラスアンテナを用いた受信システムと同等またはそれ以上の性能を有することを確認している。

以上の結果より、当初の狙い通り新開発アンテナはアンテナアンプを用いずにガラスアンテナと同等以上の受信性能を実現できているといえる。

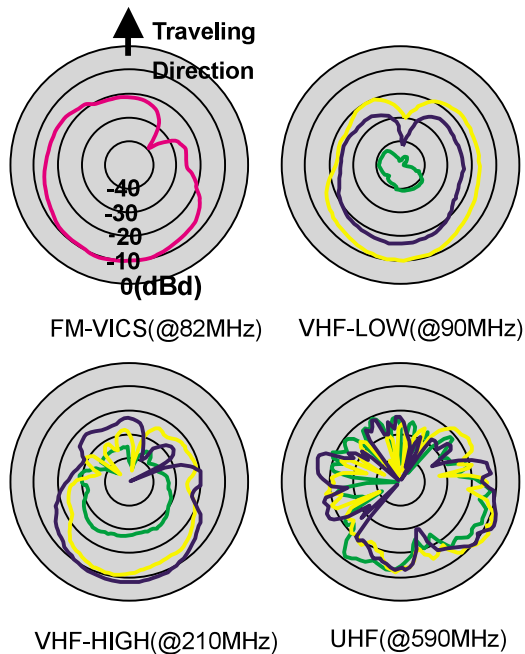


Fig.8 Directional Pattern

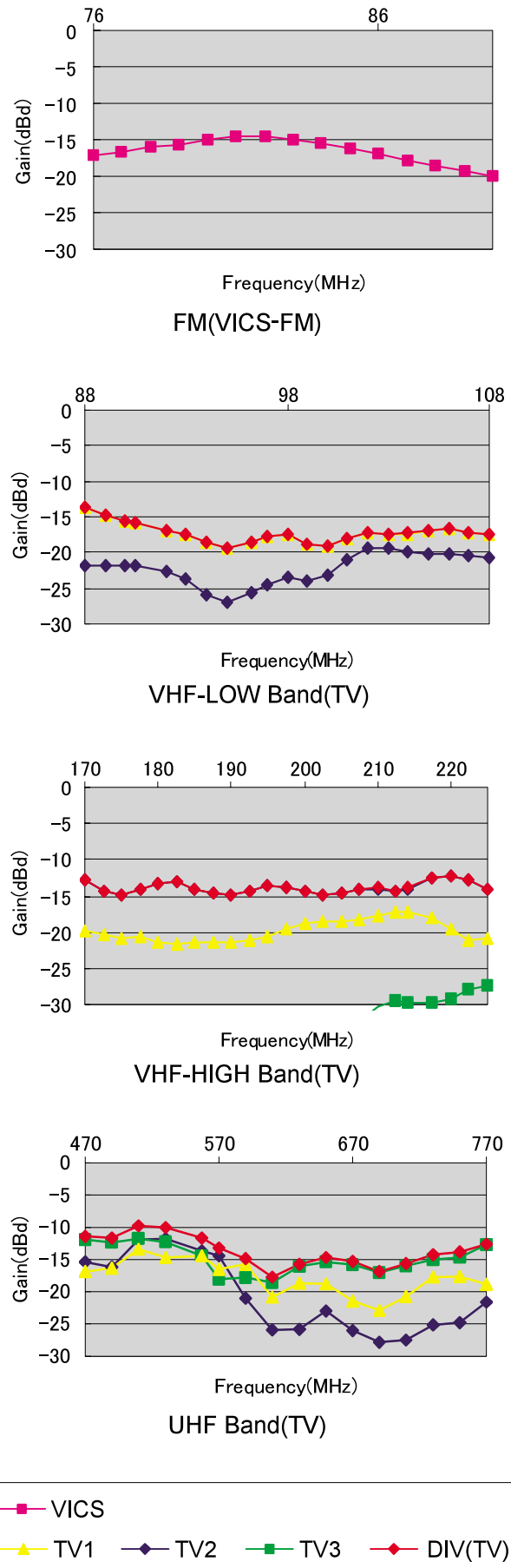


Fig.9 Reception Performance (Gain)

6. おわりに

高性能のアンテナを樹脂リフトゲート内に集約化できるFM-VICS / テレビ用アンテナを開発し、新型プレマシーに採用した。この開発を通じて、樹脂リフトゲート内蔵アンテナの技術の蓄積ができた。これにより他車種で採用する場合に短期間で効率的なアンテナ開発が可能になると考えている。現在、更にAM / FMラジオアンテナまで統合したアンテナシステムの開発にも取り組んでいるが、AM帯でのノイズを抑制するための技術のブレイクスルーが必要であると認識している。また、一方でGPSや衛星放送等天頂方向からの電波を受信するアンテナも内蔵が可能であり多くの更なるアンテナ集約化の可能性も秘めており、取り組みの幅を広げていきたいと考えている。

終わりに、本開発に尽力いただきましたダイキョウニシカワ(株)、原田工業(株)及び関係者の方に心より感謝いたします。

著者



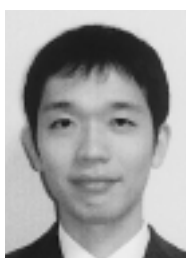
重田一生



谷口龍昭



藤原明広



長嶺晋路



諸橋敏将

論文・解説

17

設計出図データチェックシステムの開発

Development of Engineering Release Data Validation System

中本正義*1 川崎俊司*2 宮原美智子
Masayoshi Nakamoto Shunji Kawasaki Michiko Miyahara

要約

設計出図情報の精度を維持するため出図担当者がデータをチェックする必要があり、出図処理の効率に大きな影響を与えていた。今回、電子出図システムの一機能として出図情報の自動チェックシステムを開発、ベテラン出図担当者の出図情報チェックノウハウをルールとして文書化・定式化し、その定式化したチェックルールを解析・評価するチェックエンジンを開発した。設計出図データチェックの自動化が可能になり、出図期間の短縮・出図情報の精度向上に寄与するのみでなく、チェックルールとチェックエンジンとを分離したことにより、ルールの変更・追加に柔軟に対応可能になった。本稿では、電子出図システムの一機能として開発した設計出図データチェックシステムについて、その概要を紹介する。

Summary

Conventionally, engineering release data, such as parts structures known as “Bill of Material,” was checked by people in charge to maintain the accuracy of data. We improved the efficiency of this operation by newly developing an automatic check system as a chain of electric & electronics engineering release system. We documented human knowhow as rule, and developed a check-engine to evaluate/analyze the rules. The automatic check of engineering release data contributed to reduce the time and improve the accuracy of engineering release. Together, the division of the check rule and the check engine made it easy to add/revise rules. This paper introduces the outline of newly developed engineering release check system.

1. はじめに

一般に、設計出図時には図面以外に部品構成・部品情報・使用条件等さまざまな情報が出図される。従来、紙による出図を行っていた時には、提出された紙情報を出図管理部門のベテラン担当者がチェックし、出図情報の整合性や入力ミス等を発見し設計者にフィードバックすることで、出図情報の精度が保たれていた。

開発期間短縮を目的にデジタル化が進み、出図情報も大幅に変化・対応している中、チェック時間や発見したミスを修正する、いわゆる手戻りの時間損失が浮き彫りになってきた。そこで、出図情報のチェックを設計者が情報を作成・保存する時や提出する時に、自動で行うことができれば、ミスの早期発見・修正が可能になり、出図の早期化と

品質精度向上が期待できると考えた。

今回、出図管理部門のベテランのデータチェックノウハウをまず言葉でルール化し、それをコンピュータで処理できる形に再構成して、ルールDB(データベース)として登録した。次にそれらのルールを解析し、出図データに適用して結果をフィードバックするエンジンを開発することで、設計出図データの自動チェックシステムとして適用した。

2. システム構成

2.1 電子出図システムとの関連

電子出図システムは、設計者の出図情報デジタル作成支援を行い、上司承認を経て出図管理部門に提出する基本のWebベースシステムである。

設計出図データチェックシステムは、電子出図システム

*1, 2 車両レイアウト・CAD部
Vehicle Layout Engineering & CAD Dept.

の一機能として追加され、作成・提出される出図情報の整合性・入力ミスのチェック等を行って、出図期間短縮・出図情報の品質向上に寄与している。

2.2 データチェックシステムのシステム構成

Fig.1に本システムの構成概要を示す。データチェックエンジンと呼んでいる部分が、データチェックルールの解析・出図データへのルールの適用の主要部分を占めている。

電子出図システム以外のシステムからの利用も可能になるよう設計しているため、チェック用の出図情報をデータチェックシステム内に一時保持する形になっている。

外部比較DBは、弊社の場合、MIDASと呼ばれる設計情報を生産情報としてホストコンピュータ上に保存しているデータを使用している。

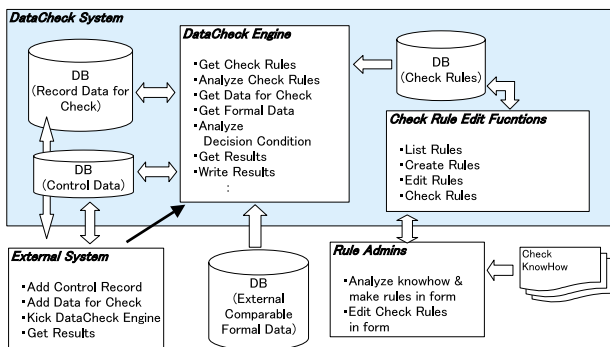


Fig.1 DataCheck System Structure Outline

3. データチェック処理

3.1 データチェック処理の流れ

(1) チェック対象データの格納

複数のシステムから利用できることを考慮し、チェック対象データはシステム内に一時保存する。ただし、エラー発生時、元データにもエラー情報が反映できるように必要な元データ情報もあわせて保持する。

また、複数のチェック要求が、並行して発生する可能性があるため、制御用の管理DBのレコードも作成する。

(2) データチェックエンジンの起動

チェックしたいデータ量に応じてオンライン処理とオフライン処理とを選択起動できる。簡単な少数の入力チェックの場合を除いて、データチェック処理に時間がかかるため、基本的にはオフライン処理を行う方が良い。

データチェック結果は基本的に対象レコードごとに記録されるとともに、全体として不適合の件数情報を記録する。

3.2 データチェック処理結果の取得

(1) オンライン処理

オンライン処理では、Webベース処理になる。そのため処理結果は、該当データの該当レコードに記録されるとともに、Web上にも結果が表示され、整合性や入力チェックの結果がすぐ得られることになる。

(2) オフライン処理

オフライン処理では、Webベース処理から一旦離れ、サーバ上で独立して処理される。ユーザには処理終了時、あらかじめ登録されたメールアドレスに、処理終了および処理結果の通知メールが発信される。ユーザは、そのメールを待つか、Web上で進捗チェックの機能を用いて、処理完了かどうかおよび、エラーの有無を確認できる。

出図情報の提出時のチェックの場合には、エラーがなければそのまま提出処理を継続し、ユーザがあらためて提出処理を行う必要はない。エラーがある場合は、ユーザにその旨のメールが届き、ユーザが修正後、再提出を行う。

4. データチェックルールの表現

4.1 データチェックルールの定形表現

データチェックルールのコンピュータで解析できる形にいかにか定式化するかということが、一番大きな課題である。このシステムでは一部の例外を除き、主として次の基本要素を組み合わせることで、ルールの表現を実現している。

(1) 設計出図情報の取得 (複数レコード可)

検索条件を指定して、部品構成・部品情報等の設計作成情報を取得する。

(2) 参照情報の取得 (複数レコード可)

検索条件を指定して、登録済み情報等を取得する。

(3) 繰り返し制御

あまり複雑な制御は行わず、(1)(2)等で得られた複数の情報に対して、以下を繰り返す制御を行う。

(4) 演算式

得られた情報に対して、エラーとどうかの判定を行う式を記述する。演算で使用できる記号、演算子および関数は次の通りである。

(,) , = , < , > , < = , > = , < > , IN , AND , OR , NOT , + , - , * , /

CDate , CInt , Mid , Right , Left

例えば、あるデータD1~D4についてD1とD2が一致しかつD3とD4が一致しない時エラーにしたい場合には、次のように記述し、式の値がTrueになった時エラーとする。

(D1 = D2) AND (D3 <> D4)

4.2 データチェックルールの例

実際にどのようにチェックが行われるか、具体的な事例で説明する。以下の例は、設計者が部品を新設し、部品番号を設定した時、その部品番号が既に使用されたものであれば、他の部品との部品番号のダブリになるためエラーを発生させ、部品番号の変更を促す状況を想定している。

(1) 文章によるルールの表現例

ルールを文章化すれば、次のように表現される。

「新設と宣言された部品番号が、登録済み情報に存在すればエラー」

(2) ルールの定型表現の例 (ここでは、文章で表現)

- 1) 新設部品として設定されている情報を抽出
実際には、あらかじめ登録されている出図情報一覧から抽出したい情報（例では部品番号）を選択し、抽出条件として新設であることを設定する。
- 2) 指定された部品番号を登録済み情報の中で検索
あらかじめ登録されている、登録済み情報一覧から検索すべき情報（例では部品番号）を選択し、抽出条件として1)で取得した情報を設定する。
- 3) 登録済み情報が存在すればエラー
2)の検索結果で部品が存在すればエラーとする。
演算式で書けば、2)の検索結果をD2として
D2<>"
と表現され、式の値を評価してTrueであればエラーとする。

5. データチェックルールの解析と式の評価

データを取得する部分は、テーブル・フィールド・検索条件を設定すれば取得できる。演算式の評価は、構文解析を行って要素に分解した後で、行う。

5.1 構文解析

構文解析には、演算子順位構文解析法を使用した。使用した演算子順位表をTable 1に示す。

式の文字列から値や演算子等の要素を切り出し、演算子順位表を基に構文解析して、一つずつの要素に分離するとともに順位付けを行う。構文解析の詳細は、インターネット上にも情報が多いので、そちらに譲ることとする。

Table 1 Order of Operators

	&	=	+	-	*	/	()
&	G	L	L	L	L	L	L	G
=	G	G	L	L	L	L	L	G
+	G	G	G	G	L	L	L	G
-	G	G	G	G	L	L	L	G
*	G	G	G	G	G	G	L	G
/	G	G	G	G	G	G	L	G
(L	L	L	L	L	L	L	E
)	G	G	G	G	G	G	E	G

&: AND, OR, IN

G: Greater than, L: Less than, E: Equal

5.2 式の評価

構文解析の結果は、逆ポーランド記法（演算子を非演算子の後に記述する方法）になっている。逆ポーランド記法では、計算にスタックを用いるのが一般的である。スタックとは、LIFO（後入れ先出し）式のデータ形式で、データは最初から積み重ねられていき、取り出す時は一番最後に入れられたデータから順に取り出される。式の値を評価するには、単純に構文解析の結果に従って実際の値をスタックに貯めていき、演算子が来たらスタックから値を取り

出して演算し、結果をスタックに貯めるという操作を繰り返せばよい。

5.3 構文解析と式の評価の例

例えば、4.1であげた次式の場合

$$(D1 = D2) \text{ AND } (D3 <> D4)$$

構文解析結果は次のようになる。

D1, D2, =, D3, D4, <>, AND

式の評価は、次のようなステップで行う。

- (1) D1をスタックに入れる
- (2) D2をスタックに入れる
- (3) =なのでスタックから値を取り出し（この場合、D1, D2）、評価結果をスタックに入れる（R1）
- (4) D3をスタックに入れる
- (5) D4をスタックに入れる
- (6) <>なのでスタックから値を取り出し（この場合、D3, D4）、評価結果をスタックに入れる（R2）
- (7) ANDなのでスタックから値を取り出し（この場合、R1, R2）、評価結果をスタックに入れる
- (8) 最後の値が式の値となる

6. まとめ

ベテランのチェックノウハウを文書化し、更に、定式化して解析適用可能な形に発展させ、設計出図情報の自動チェックに道を開くことができたことを確信している。今回の定式化の手法だけでは、結果的に大変長いルール記述になって表現困難になるケースもある。そのようなケースには、専用の解析関数を用意して適用するという手法も取り入れている。この場合、関数化してしまった部分のルールの変更は困難になってしまうという問題があり、今後、ユーザ定義関数を用意することが必要になると考えている。

また、今回の開発では、情報システム部門ではなく、出図管理部門に在籍するシステム開発チームが開発を担当した。オンサイト開発（ユーザ部門に常駐での開発）という形により、業務担当者とシステム開発担当者との間で密なコミュニケーションが取れ、システム開発が大幅に効率化されたことを確信している。基幹システム以外のシステム開発の一つの形として、オンサイト開発という方向もあるのではないかと考えている。

著者



中本正義



川崎俊司

論文・解説

18

部品構成作成支援システム(v-DESIGN)の開発 Development of Part Structure(BOM)Creating System

岡村 征三*¹ 新中 裕*² 大崎 理恵*³
Seisou Okamura Hiroshi Shinnaka Rie Ohsaki
川原 浩江*⁴ 笹倉 君子*⁵ 平田 隆教*⁶
Hiroe Kawahara Kimiko Sasakura Takanori Hirata

要約

自動車の部品構成を作成するための設計支援システムとして、商品性から要求される車種仕様、装備仕様、選択仕様および部品固有の設計要件をもとに、車種バリエーションに応じた部品種類数を自動算出しつつ、部品構成表を自動作成して電子データ出図を行う仕組みを開発し、設計業務への実務適用を開始した。

本稿では、この部品構成作成支援システムの概要を紹介するとともに、ワイヤーハーネス設計への適用事例、および部品構成出図データとマツダ基幹部品構成データベースとの連携を紹介する。

Summary

We developed a new design support system. Based on the design requirements such as specifications of models, features, options, the newly developed system automatically sets parts variations based on the model variations and creates parts structure(Bill of Material). This system has already been incorporated in the actual work.

This report describes the outline of the new system named v-DESIGN, introducing the examples in the Wiring-harness development. It also indicates the correlation of the " parts structure data release " and Mazda's " mainframe BOM database. "

1. はじめに

マツダでは、お客様ニーズの多様化や商品開発期間の短縮化などの期待に応えつつ、確実な商品品質の作り込みを行うことが開発部門に求められている。そのためCAE、CADなどのコンピュータ技術をフル活用し、バーチャルに自動車の開発/検証/評価を行うことで、試作車の台数を大幅に削減する段階になってきている。

これら自動車開発技術の進歩の反面、自動車を生産する上で必須となる部品構成の作成領域においては、設計者の個人差、担当部品の特異性、部品構成データベースの企業固有差がネックとなり、業務用の市販ソフトは存在せず、コンピュータの利用は部品構成表を記入する上での作業効率化に留まっていた。

そこで、この設計結果を書き示すものとされる部品構成の作成作業を、部品設計の前段階である部品種類数/部品構成の検討から最終結果である部品構成表作成までの一貫

業務へと発展させ、これを支援するシステムを開発した。

本稿では、この部品構成作成支援システム(以下v-DESIGN)の概要とその適用事例を紹介する。

2. 部品構成作成業務の概要

2.1 部品構成の記載様式

マツダでは車の部品構成を部品構成表と使用条件情報という2種類の様式で表現している。

(1) 部品構成表

車1台をエンジン、ミッション、ボデー、シート、ワイヤーハーネスなど約70種類の機能グループに大別して、そのグループ単位に下位構成部品をツリー状に表したものが「部品構成表」である(後述 Fig.11)。

(2) 使用条件情報

グレードの差などでオプション装備に選択肢がある場合、例えばオートエアコンとマニュアルエアコンの2種類の部品を選択仕様として用意する必要がある場合に、これ

*1~3 車両レイアウト・CAD部
Vehicle Layout Engineering & CAD Dept.

*6 (株)アライドエンジニアリング
Allied Engineering Corporation

*4, 5 電子開発部
Electrical & Electronics Development Dept.

らの部品の使い分けを「使用条件情報」という特殊な形式で表現している(後述 Fig.12)

2.2 従来の部品構成作成

部品構成作成はベテラン設計者が頭の中で素早く計算して解を求めていることも含め、部品構成表と使用条件情報の記載は人間系作業の固まりである。出図指示書に示される商品性要求の解釈から、レイアウト情報などの設計要件の収集、部品種類数削減のための共通化計画などと判断基準は多岐に渡り、結果として部品構成作成から人間系ミスを除くには膨大な努力が必要であった(Fig.1)

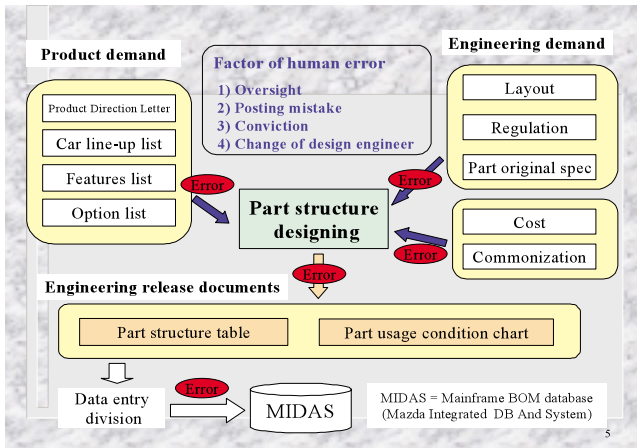


Fig.1 Part Structure Designing Operations

2.3 v-DESIGNによる部品構成作成

部品構成作成の自動化を狙ったシステムがv-DESIGNであり、商品性要求と設計要求をデータ化して、これを標準部品構成に掛け合わせるにより、車種バリエーションに応じた部品構成表と使用条件情報を自動作成するものである。現在はこれに部品コストと部品管理費を加味して、部品種類数の最適化へと発展させている段階にある。

v-DESIGNの基本機能フローをFig.2に示す。

これらをコンピュータ処理する上では、組み合わせ計算を高速処理する技術が必要不可欠であり、数学的論理面では東京工業大学と広島大学、実装面では(株)アライドエンジニアリングとの共同研究を進めたものである。

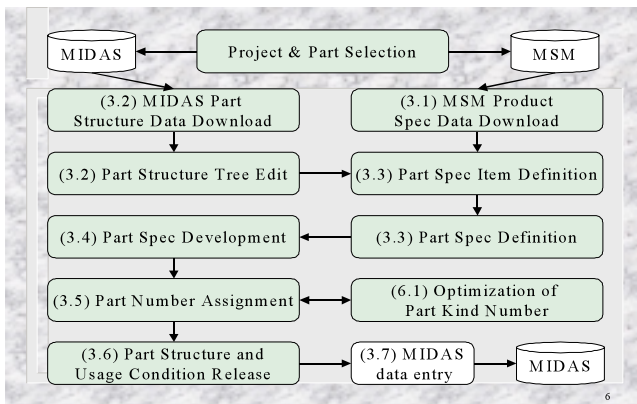


Fig.2 v-DESIGN Process Flow

3. v-DESIGNの個別機能

3.1 商品仕様データの定義

車の車種仕様および装備仕様は、マーケティング部門および主査部門によって規定される。これらの商品性要求はMSM (Mazda Specification Management system) と呼ばれる商品仕様管理システムを通してFig.3に示す帳票形式で設計部門に配布される。

v-DESIGNはこの商品仕様データを直接利用して、各部品に必要な商品要件を抽出して車ごとの装備仕様を求め。更にマニュアルエアコンの時はパワーウインドの有無を選択できるが、オートエアコンではパワーウインドのみといった選択仕様と制約条件を自動的に解釈する。

Fig.3 Product Marketability Demand Document

3.2 基本部品構成ツリーの定義

部品構成ツリーの基本形を定義するには、標準部品構成の転用、v-DESIGNの既存データの転用、又は既存のMIDAS (Mazda Integrated Database and Application System) データを転用する方法がある(Fig.4)

MIDASとは、マツダ車生産のための基幹部品構成データベースであり、ここに部品構成表と使用条件情報を入力することがv-DESIGNの目的のひとつである。これらのデータ転用により、部品番号、ツリー構造、員数などを効率



Fig.4 Part Structure Download Screen

良く再利用できる (Fig.5)

従来の人間系での構成作成に比べてv-DESIGNの大きな特徴となるのは、車ごとに何種類かの部品が必要となる場合は後述の定義によってその種類数が自動算出され、その種類数に応じて上位構成部品の種類数も自動算出されていくという連鎖性を持っている点である。



Fig.5 Part Structure Tree Edit Screen

3.3 部品仕様の定義

車ごとに何種類かのバリエーションを持つ部品に対して、その部品のバリエーションを生み出す要件を部品仕様として定義する。例えば、フロントエアコンはマニュアル式とオート式があり、リアエアコンはボデータイプによって区別されると個別に要件を定義する (Fig.6,7)

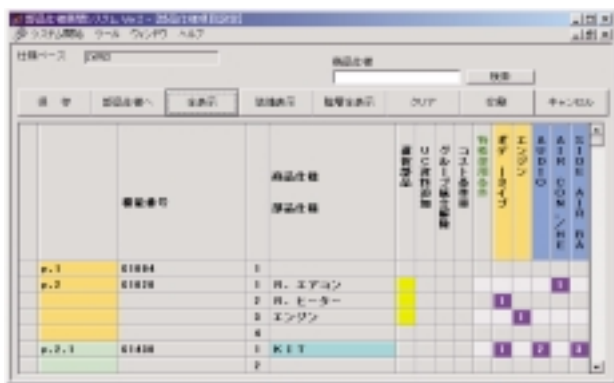


Fig.6 Part Specs Item Definition Screen



Fig.7 Part Specs Definition Screen

3.4 部品仕様展開の実行

部品仕様展開とは、前項で定義した部品仕様に基づき、部品バリエーションを自動算出する機能であり、ここに組

み合わせ計算の高速処理ロジックが組み込まれている。

この計算処理により、フロントおよびリアエアコンの種類数と車ごとの使い分けが求められる。その過程で、オートエアコンの時はパワーウィンドのみといった商品仕様上の制約を加えた条件分岐ツリー探索を効率的に行い、数万通りのオプション組み合わせの中から、数百通りの実在すべき車に対する部品種類数へと絞り込まれる。更に、フロントとリアを合わせた上位のエアコングループとしての種類数と部品構成も算出される (Fig.8)

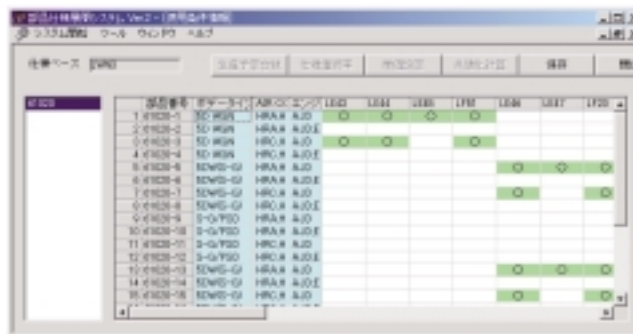


Fig.8 Part Spec Development Result Screen

3.5 部品番号の採番

前項の部品仕様展開の結果はFig.9の部品相違表の形式に出力される。部品番号欄にはその部品が適用される車種コードに基づく推奨番号が記載されているが、設計者が部品ごとの仕様差と使い分けを加味して、最終的な部品番号をv-DESIGNに入力する。



Fig.9 Part Difference Table Screen

3.6 出図資料の出力

部品番号を決定した後、最終確認用に設計者用の部品構成表と出図用の使用条件情報と部品構成表を出力する。

ここまでで定義した各種データは公開データとなり再利用が可能になると同時に、実際の出図データとしてMIDASのインプットデータへと繋がり、設計者にとっての出図作業が完了する。

(1) 設計者用の部品構成表

Fig.10に設計者用の部品構成表を示す。これはどの部品をどの車に何個使い、その部品の仕様差は何かといった形の部品一覧表であり、従来から設計者が手作りで作成し、

個人情報としてのバイブル的存在であったものである。

Fig.10 Part Structure Table for Engineer

Fig.12 Part Usage Condition Chart for Release

(2) 出図用の部品構成表

Fig.11は出図用の部品構成表である。部品構成の親子関係をツリー表現しており、MIDASの入力情報となる。

Fig.11 Part Structure Table for Release

Part usage condition chart (Fig.12 Form)		Sedan(22)				Wagon(24)			
		L8	LF	←	L2	LF	←	L2	
Part No.	Option codes	5MT	5MT	4AT	4AT	5MT	4AT	4AT	
A001-6701Z	ADA+PSA	○	○			○	○	○	
	ADB	○	○	○	○	○	○	○	
A002-6701Z	ADA+PSB	○	○						
A003-6701Z	ADA+PSB			○	○	○			

MIDAS DATA		Cording and MIDAS input	
Part No.	Option codes	Applied model spec	
A001-6701Z	ADA+PSA	22-L8-5, 22-LF-5, 24-all	
	ADB	all	
A002-6701Z	ADA+PSB	22-L8-5, 22-LF-5	
A003-6701Z	ADA+PSB	22-LF-4, 22-L2, 24-LF-5	

Fig.13 Part Usage Condition Chart vs. MIDAS Data

(3) 出図用の使用条件情報

Fig.12は出図用の使用条件情報である。ひとつの車で複数の部品を使い分ける場合の差別化方法を示しており、これもMIDASへの入力情報となる。

3.7 部品構成出図データのMIDAS登録

設計者が出図した部品構成資料 (Fig.11,12) を受けて、部品構成データ管理部門ではMIDASへのデータ入力が行われる。使用条件情報は表形式であり人間には理解しやすいが、オプション部品の車への使い分けを規定するデータ化入力は煩雑で、ここでも人間系のミスは回避できなかった (Fig.13)。

v-DESIGNの稼動に合わせて、Fig.12の使用条件情報を解読してMIDASへと自動登録するシステムも運用を開始した。その結果、MIDASデータの精度が100%保証されたと同時に、データ入力作業の時間も日単位から分単位へと大幅に短縮できている。

4. ワイヤーハーネス設計への適用事例

4.1 ワイヤーハーネスとは

ワイヤーハーネス (以下ハーネス) とはFig.14に示すように車両の電装品間を繋いだ電線の束である。近年エンジンや車両装備はほとんどが電気制御されており、新しい電気システムも次々に開発されている。こうした状況下でハーネスの仕様組み合わせは複雑化し、更に部品共通化とコスト/重量との狭間で種類数の検討は困難を極めている。

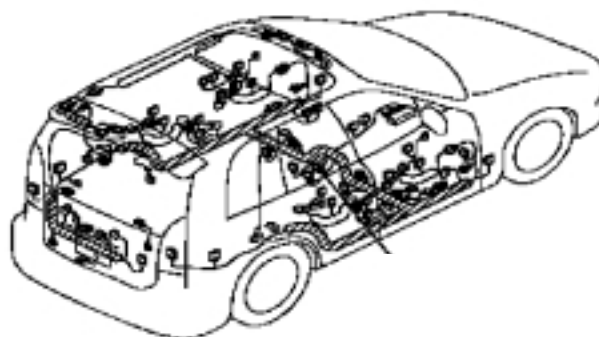


Fig.14 Wire Harness Layout

4.2 ハーネスの構成作成

ハーネスの仕様組み合わせ表作成や仕様と部品種類数を最適化する計算は複雑で膨大な工数がかかる上に、人間系ミスが絶えない状況にあった。ミス防止のためにFig.15のようなハーネス仕様と部品番号の関連を網羅した複雑な部品構成表を作って管理する工夫や、チェック回数を増やすなどの努力を重ねてきたが限界があった。

Fig.15 Wire Harness Part Structure Table

4.3 ハーネスへのv-DESIGN適用

v-DESIGNは次の操作で構成作成作業が完了する。①ハーネス構成ツリー作成、②ハーネスに必要な仕様項目および仕様組み合わせ条件設定（例えばパワーウィンドとドアロックはどちらかが装着されれば、ハーネスは両方の回路を組み込んで共用化）、③自動算出された部品に部品番号を設定。この結果、車ごとの部品構成が自動計算されFig.10～12の設計用と出図用資料が一括出力される。

このようにハーネス特有の関連仕様がいくつもあり、かつその仕様が複雑に組み合わさっているハーネス構成作成が単純な作業で完成できる。

4.4 ハーネスにおけるv-DESIGN適用効果

2001年から順次新規開発車に適用した結果、v-DESIGN適用車種では人間系のミス発生は現在までゼロであり、構成作成工数も約40%削減され、v-DESIGNの効果が確認されている。

5. v-DESIGNの拡大機能と課題

5.1 部品種類数の最適化⁽¹⁾

部品の共通化および部品種類数の最適化は、部品設計上の大切な要素でもある。v-DESIGNでは部品仕様をデータベース化したことにより共通化/流用化を支援すると同時に、部品コストと部品管理費の面から部品を何種類にするのが最適であるかを自動算出する機能を持っている。

この部品種類数の最適化は、計画生産台数とオプション仕様の装着率から基本仕様の部品を上級仕様の部品へと代替換することで、代替による損失コスト増と部品数削減

による管理費減の中庸を求めることにある。

この最適化ロジックは車を何種類にするか、オプションをどんな仕様で何種類にするかという商品性の最適化にも利用できるため、オプション装着率など前提データの整備を社内で進めているところである。

5.2 全世界レベルでの部品検討

現在のマツダでは、国内、北米、欧州など主要市場の単体で出図活動を行っている。部品設計上はこれらの市場を包含して全世界レベルで考慮する必要があるが、現在のv-DESIGNは、その元となる商品仕様を定義したMSMに準じて、市場単位の部品構成作成に留まっている。

これを全世界向けに拡大することが課題であり、その時には設計活動の初期段階/構想段階へと前倒し利用できる検討用ツールとしての価値が生まれてくるものとなる。

6. おわりに

v-DESIGNの狙いのひとつに、このシステムを利用することによる構成作成業務の標準化と設計ノウハウの継承という視点がある。そのためには、実際の利用実態を常にウォッチすると同時に、ユーザの声は神の声と考えて貴重な要望やクレームを糧に機能の拡大/発展を図っていきたい。

また、(株)アライドエンジニアリングより製品として市販されるに至ったv-DESIGNであり、マツダ以外のユーザ各社とも連携をとって、より良いものにしていきたいと考えている。

参考文献

- (1) 二神ほか：商品の多様化対応における最適化問題，広島大学経済論叢，第19巻，第3・4号別刷（1996）

著者



岡村 征三



新中 裕



大崎 理恵



川原 浩江



笹倉 君子



平田 隆教

論文・解説

19

乗用車用直噴ディーゼルエンジンNew MZR-CDの紹介

Introduction of New MZR-CD, New Direct Injection Diesel Engine for Passenger Cars

中井英二*1 森永真一*2 廣瀬倫之*3
Eiji Nakai Shinichi Morinaga Tomoyuki Hirose
白橋尚俊*4 谷村兼次*5 志茂大輔*6
Naotoshi Shirahashi Kenji Tanimura Daisuke Shimo

要約

欧州市場のディーゼルエンジン（以下DE）乗用車は、常に新しいモデルへのユーザの期待が高く、競争が激しい。マツダは2002年にコモンレール方式直噴DE（MZR-CD）をMazda6（日本名：アテンザ）、MPVに搭載して欧州市場導入し、2004年にディーゼルパティキュレートフィルタ（以下DPF）をボンゴで国内市場へ導入した。これらの経験を基に、環境性能、出力性能、燃費、NVH性能を、更に高い次元で両立できる、競争力のある乗用車用DEを設計開発した。本稿ではMazda5（日本名：新型プレマシー）、Mazda6用に開発量産化したDEの技術コンセプトについて紹介する。

Summary

The diesel engine competition in Europe is ferocious since the customers are sensitive to the new diesel engine technologies. In 2002, Mazda launched "Common rail type Direct Injection Diesel Engine(MZR-CD)" in Europe, laded on Mazda6 and MPV. In 2004, Mazda brought "Diesel Particulate Filter(DPF)" to the domestic market, laded on Bongo. Based on these experiences, we developed more capable diesel engines heading to Mazda5 and Mazda6, further evolving the output, the environmental performance, NVH performance, and the fuel economy.

1. はじめに

乗用車用ディーゼルエンジン（以下DE）にコモンレール方式が普及して以来、欧州市場のディーゼル乗用車は、

ユーザの要望である、走行性、燃費、静粛性、環境への配慮といった項目が飛躍的に向上し、普及を続けている。

マツダでは、市場導入しているコモンレール方式DE（MZR-CD）の一層の改善を狙いとし、1）走行性能、NVH性能、燃費性能、ドライバビリティ性能の高次元で

Table 1 Main Specification

Engine	MZR-CD	New MZR-CD	
Displacement (ml)	1998	←	
Bore×Stroke (mm)	86×86	←	
Combustion type	Direct injection	←	
Swirl ratio	2.5/4.0	2.5	
Variable swirl system	with	N/A	
Intake shutter valve	DIAPHRAGM	DC MOTOR	
EGR valve	DIAPHRAGM	DC MOTOR	
EGR cooler	with	High efficiency	
Compression ratio	18.4	16.7	
Valve driving system	OHC, belt-driven 16valves	←	
Valve Timing	IN	Open BTDC	6°
		Close ABDC	30°
	EX	Open BBDC	41°
		Close ATDC	8°
Valve lift (mm)	IN:10mm, EX:8mm	←	
Fuel injection system	Common rail system DENSO U2-P	Common rail system DENSO U2-P (improved)	
Fuel pressure (MAX)	180MPa	←	
Supercharger system	Variable geometry turbocharger IHI RHF4V	← + High rpm & efficiency Low Inertia IHI RHF4V	
Inter-cooler	with	←	
Max. torque	310Nm/2000rpm	360Nm/2000rpm	
Max. power	100kW/3500rpm	105kW/3500rpm	
Diesel Particulate Filter	N/A	With	
A/F sensor	N/A	With	
EU exhaust gas emission level	D4(Some model/Stage3)	Stage4	

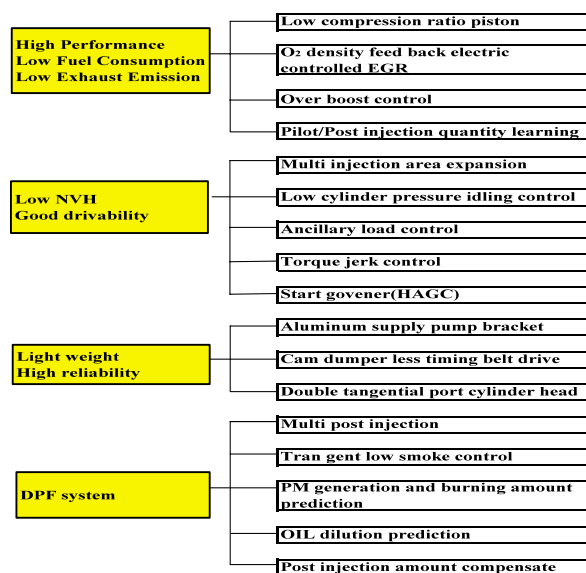


Fig.1 Main Introduced Technology

*1~3 第2エンジン開発部
Engine Development Dept. No.2

*4, 5 第3エンジン開発部
Engine Development Dept. No.3

*6 技術研究所
Technical Research Center

の両立, 2) PM排出を更に低減するDPFの装着, を具現化するシステムを設計し, 更なる進化を遂げた新型の乗用車用DE (New MZR-CD) を開発した (Table 1)

2. 技術課題と主要導入技術

前述の狙いに対し, 技術課題は以下の通りである。

- 1) 高出力低燃費及び低エミッション
- 2) 低NVH化制御及びドライバビリティ向上
- 3) エンジン本体の軽量化と高い信頼性
- 4) DPFによる低PM化

これら技術課題を解決するため, MZR-CDから継承発展させた技術と, 新しく導入した技術をFig.1に示す。

3. 基本性能

3.1 燃費性能

DE車両の燃費性能に対するお客様の期待は高く, それに応えるべく進化を遂げている。まず, 低圧縮比化ピストンを採用してポンプ損失低減と燃焼温度の低減を図った。そして, 燃焼温度の低減に伴い, EGR量と燃料噴射圧力・タイミングを最適化して燃焼効率を改善するとともに, サプライポンプ駆動時の損失を抑えた。これら施策により現行比5~8%のエンジン単体燃費を改善した。また, 車両燃費性能は, 通常, DPFにトラップしたPMの再生に使用する燃料分だけユニット燃費から目減りするが, ①O₂濃度ベースのEGR制御及び燃料噴射制御の導入で過渡時のRawPM排出量を抑えてPM再生回数を低減, ②PM再生運転時の燃料噴射制御を高効率化, ③車両抵抗低減, によりDPF非装着の現行比において欧州モード燃費 (NEFC) で7%の車両燃費改善を実現している (Fig.2)。

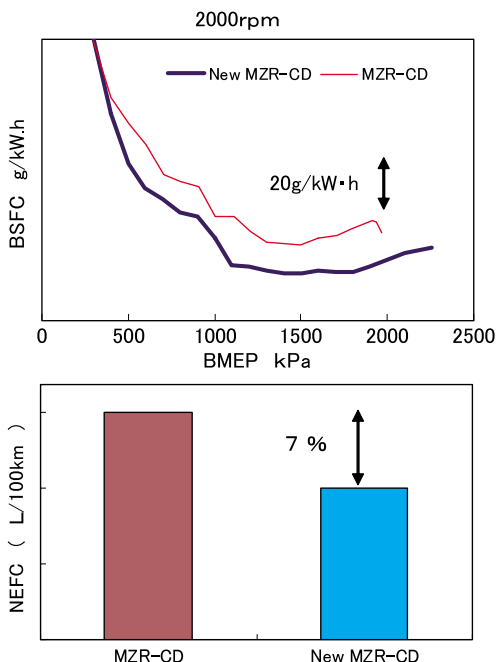


Fig.2 Fuel Consumption Performance

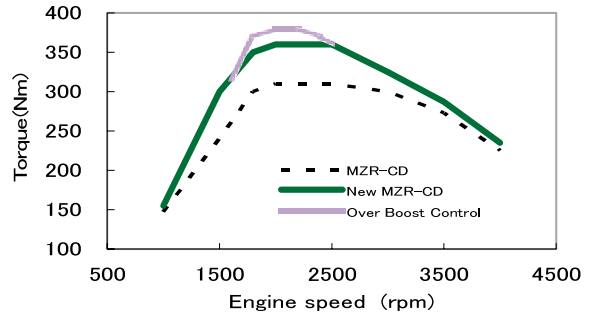


Fig.3 Output Performance

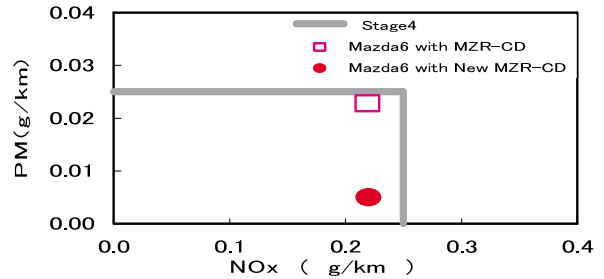


Fig.4 Exhaust Emission Performance

3.2 出力性能

出力性能の現行との比較をFig.3に示す。低圧縮比化と構造系の高剛性化による燃焼効率改善と, 特に低回転域での過給機効率改善が相まって, 大幅なトルク特性改善を実現している。また過渡時には, 一時的に過給圧を増加させトルクを向上するオーバーブースト制御を用いて, 車両の過渡レスポンス改善に貢献している。

3.3 排気エミッション性能

現行はEuro4 (一部Euro3) に対応した低排気エミッション性能を実現していた。このエンジンをベースとして①低圧縮比化によりベース燃焼が低NOxを実現できること, ②DPF導入により, PMの排出をほとんど0にすることができることにより, Fig.4に示すように十分な低排気エミッション性能を実現している。

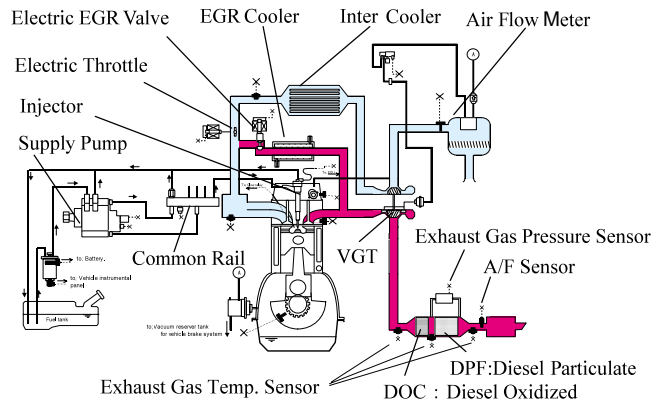


Fig.5 Engine Control System Diagram

4. エンジンシステム

Fig.5に示すようにDPFシステム及びコモンレールシステムと、可変容量ターボチャージャによりエンジン制御システム及び、吸排気システムを構築した。

A/Fセンサは、DPF後に設置し、煤からの汚損を回避している。このセンサを用いて、シリンダ近傍の酸素濃度をモデルで推定し、目標の酸素濃度になるようにEGR量を制御することでEGR量と燃料噴射量ばらつきに起因した走行時のエミッションばらつきを抑制している (Fig.6)。また、Fig.7に示すように、過渡性能においても、酸素濃度を推定して最適な噴射パラメータを設定することで、狙いの低PM性能を得ることができている。DPFシステムは、国内商用車で採用している構成を基本的に流用しており、最新のコモンレールシステム (株デンソー製U2-P) と電子スロットル、各センサ類と1.9Lの酸化触媒と2.5LのDPFの組合せでPM堆積量を推定し再生するシステムを構築している。静粛性のための多段噴射に加えて、PM再生のためのポスト噴射の必要性から、コモンレールシステムは、PCMの32bit化を伴って、毎サイクル7回の多段噴射を実現している。また、過給機には、現行よりも更に高回転、ハイレスポンス化したIHI(株)製RHV4を装備し、車両レスポンス改善を図った。

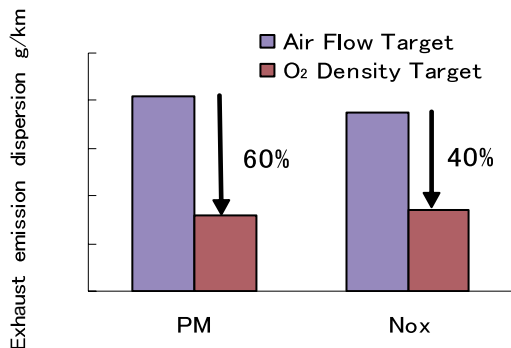


Fig.6 Effect of O₂ Model F/B EGR Control (W/O DPF)

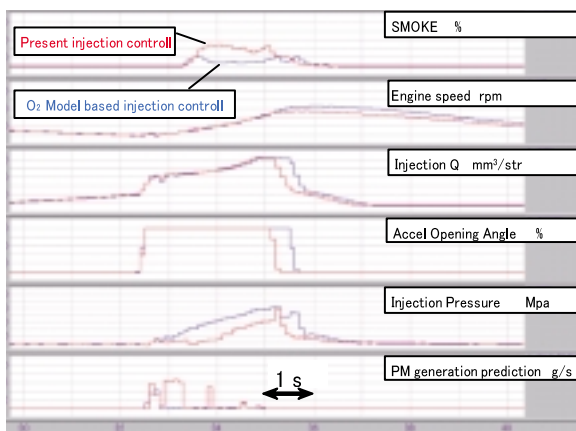


Fig.7 Smoke Reduction Effect of O₂ Model Based Injection Control

5. エンジン本体構造

5.1 軽量化

New MZR-CDエンジンでは従来の剛性&強度を維持しつつ本体系の軽量化に取り組み、それぞれ従来比、シリンダブロック系：3%、潤滑系：7%、タイミングベルト系：20%、ポンプブラケット：47%の軽量化を行った。これらはCAEの活用や負荷分析、レイアウトの最適化を含めた活動の成果である。

5.2 シリンダヘッド、ピストン

シリンダヘッドは、スワール比と吸入効率を高次元で両立させたダブルタンジェンシャルポート⁽¹⁾を踏襲しながら、燃焼圧力の増加に対応するべく、応力解析による検討を重ねた。Fig.8にFEM解析図を示す。

ピストンは従来構造をベースに燃焼改善を目的として低圧縮比化を図った。具体的には、燃焼室直径を大きくする方向で燃焼室容積と形状を変更した。その際、冷却空洞形状に制約が発生するため、冷却性能を損なわず、応力集中を避ける形状に改善することで、更なる信頼性向上を図った。また、トップリング溝部は従来の金属多孔体に対し、耐摩耗性の向上とコスト低減を狙ったセラミック繊維成形体を新たに開発した。

Fig.9にピストンカット図を示す。

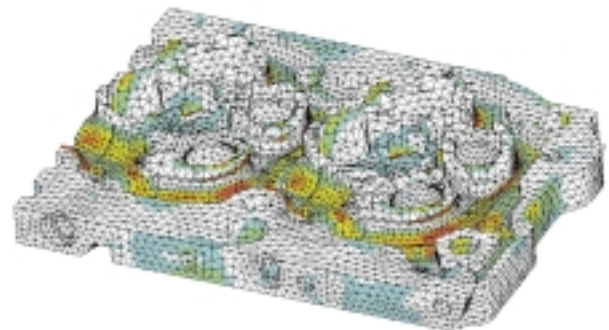


Fig.8 Cylinder Head FEM Analysis

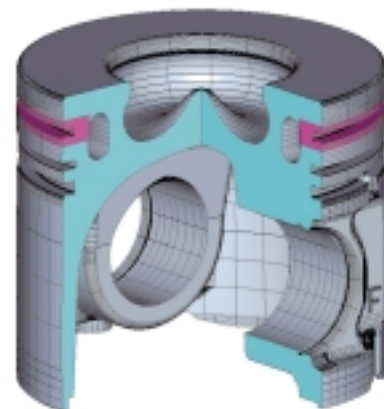


Fig.9 Low Compression EVVC Piston (EVVC: Expansive Vertical Vortex Combustion)

6. PM排出量予測技術

6.1 PM発生量予測

エンジンより排出されるPM発生量は、主に空気過剰率（以下、 λ ）、噴霧の状態、筒内温度、噴射パターン等々の因子に影響される。このように、DEの場合には燃焼に起因する多くのパラメータが存在しているため、正確にPM発生量を見積もることは困難である。そのため、比較的影響度の高いパラメータについて実験値をもとにPM発生量を算出するモデルを構築した。特に大きく影響しているのは噴射パターンと λ の影響である。Fig.10に示すように、多段噴射回数が増えれば過渡時の低 λ 時には多くの煤が発生する。それをモデルにするとFig.11のような排出ガス重量中の煤密度特性になる。このような特性を領域毎に作成し、噴射圧力、温度、EGR量によって補正することで、Fig.12に示す高精度なPM発生量モデルとして実用化している。

6.2 差圧による堆積量予測

DPF内に堆積しているPM量の推定には、国内ポンゴで採用している「DPFへのPM捕集パターンのモデル化によりDPF前後の差圧から高精度に捕集量を算出するシステム⁽²⁾」を踏襲している。

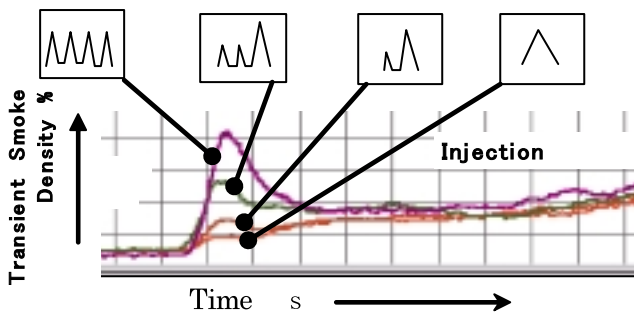


Fig.10 Multi Injection Transient Smoke Characteristic

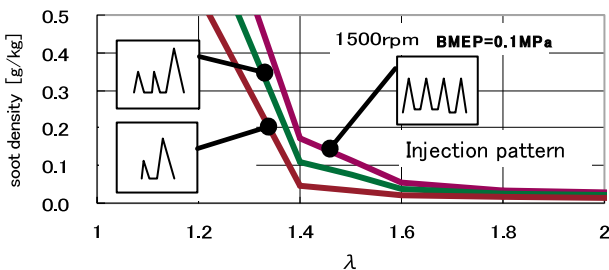


Fig.11 Multi Injection Smoke Density Characteristic

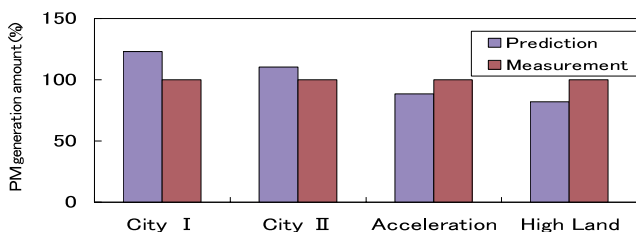


Fig.12 Accuracy of PM Generation Amount Prediction

7. DPF再生技術

7.1 燃料によるオイル希釈量推定

DPFに堆積したPMの燃焼（再生）には、DPFの温度をPMの自己発火温度（約550℃）以上に保持する必要がある。一定量のPMが堆積するとDPF再生のため膨張行程噴射（ポスト噴射）を行ってDPF入口の排出ガス温度を上昇させている。しかしポスト噴射は、ピストンが下降途中に燃料を噴射するため、蒸発せずにシリンダライナーに衝突した燃料はエンジンオイルに混入してオイルを希釈する。このオイル希釈量は、DPF再生中の車両の走行状態によって異なるため、本システムはこの希釈量を推定している。

希釈量推定にあたり、種々の走行条件においてシリンダライナーに燃料が衝突する割合の計算をCFD燃焼シミュレーション（GTT code⁽³⁾）を用いて行った（Fig.13）。Fig.14は膨張行程中盤でポスト噴射した燃料液滴がシリンダライナーへ衝突する割合と筒内温度と筒内圧力の関係を計算で求めたものである。円の大きさは各走行条件での燃料の衝突割合を示しており、筒内温度と筒内圧力が高いほど衝突割合は低下する傾向がある。この結果を使って算出したDPF再生中のオイル希釈の推定値と実測値は良好な相関が得られた。Mazda5/Mazda6は、オイル希釈量推定値が所定の値を越えた場合にDPF再生を中止するとともに、DPFランプを点滅させてドライバに販社でのオイル交換を知らせるシステムとしている。

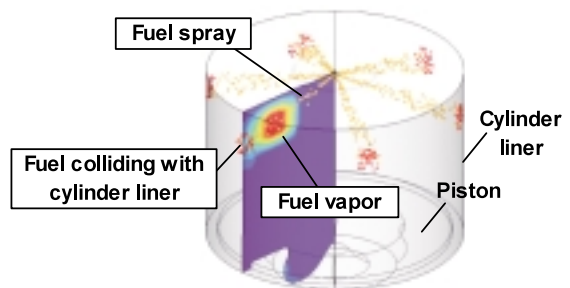


Fig.13 Post Injection Analysis with CFD

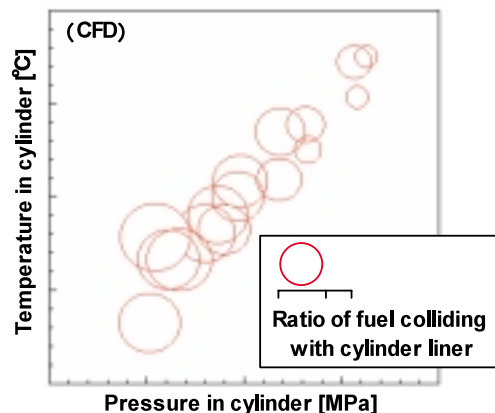


Fig.14 Effect of Temperature and Pressure in Cylinder on the Ratio of Fuel Colliding with Cylinder Liner in Post Injection

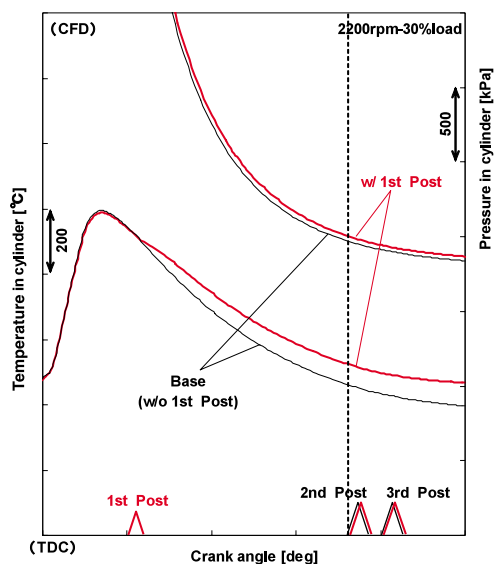


Fig.15 1st Post Injection Effect on Temperature and Pressure at 2nd and 3rd Post Injection Period

7.2 多段ポスト噴射

本システムは、エンジンオイル交換推奨距離の延長のため、DPF再生時に行うポスト噴射によるオイル希釈を抑制する多段噴射（多段ポスト噴射）を行っている。DPF再生中は、上述のCFDを用いたオイル希釈量推定技術を使い、最大3回にポスト噴射回数を分割して、燃料のシリンダライナーへの衝突を抑制している。エンジン負荷が低い走行条件においては、筒内温度と筒内圧力が低く、ポスト噴射した燃料がシリンダライナーへ衝突する割合が多くなる。この割合を抑えるため、圧縮上死点に近い噴射タイミングで近接ポスト噴射を行い、筒内温度を高めた後に、後半のポスト噴射を行っている（Fig.15）。後半のポスト噴射は、DPF上流にある酸化触媒へ燃料を供給し、酸化触媒で燃料を反応させた反応熱でDPF入口の排出ガス温度を上昇させるものである。軽負荷ではこの後半のポスト噴射も分割し、噴霧の到達距離を短縮してライナー衝突を抑制している。

8. 低NVH化技術

8.1 噴射適合による低NVH化

MZR-CDでは通常のDEで問題になるノッキング音を大幅に改善したがごく一部の領域では依然課題が残っていた。加えて、大幅なNVH向上を実現している他社最新車両との競争力を維持するために更なる改善が求められた。そのため、NVH（ノッキング）と排出ガスエミッション（NOx, PM）を高次元で両立させながら多段噴射領域（4段や3段噴射）を大幅に拡大して対応した（Fig.16）。高負荷領域に関しては、スモークを抑えてかつ、ノッキング音も低減できる予混合パイロット燃焼¹⁾を採用した。また排出ガス、燃費、NVH性能が両立できる高回転領域では、パイロット噴射やシングル噴射を採用している。これらに

より、Fig.17に示すように全領域で現行比ノッキング音を大幅に改善できた。

また、エンジントルクアップに伴い、DMF（Dual Mass Flywheel）の影響で全負荷時の角速度変動が大きくなり、補機ベルトの異音が発生する問題に対して、従来のテンションチューニングに加え、補機に任意の負荷を与えることでベルト共振をコントロールして異音を抑える技術を採用している。

8.2 低燃焼圧アイドルリング

欧州ではアイドルストップなどの活動が進んでいるが、依然、お客様がアイドルの音、振動を耳にする機会が多い。車が停車している状態であり、周囲からの音も低いので、エンジンのノッキング音や振動伝達音、異音が目立つ傾向にある。現行でもアイドルノッキング音の少ないエンジンは好評であったが、新型では電子スロットルを活用して大幅なNVH改善を行った。アイドル時は通常時と比べ燃焼圧力を1.5Mpa下げる程度に吸気を絞り、エンジン回転数も25rpm低下させることで、エンジン音を2dB低減することができた。また、DMFの採用により、エンジン側の角速度変動が大きくなってギヤの歯打音などの異音が発生する問題やエンジン振動に対しても、燃焼圧力を抑え、角速度変動を約2rad/sec低減することで異音を大幅に低減し、DEとしてはベストインクラスの快適なアイドルリングNVHを実現している（Fig.18）。

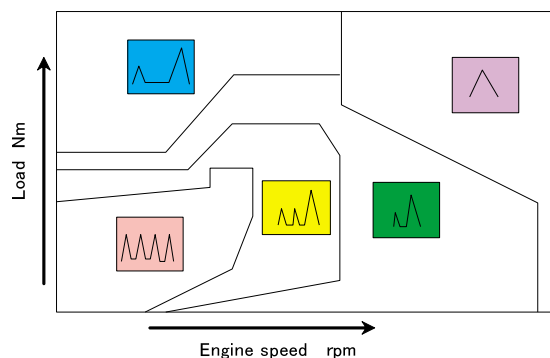


Fig.16 Multi Injection Pattern Map

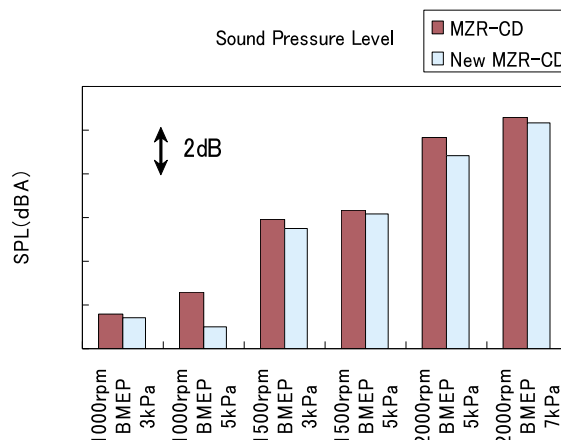


Fig.17 Effect of NVH Improvement

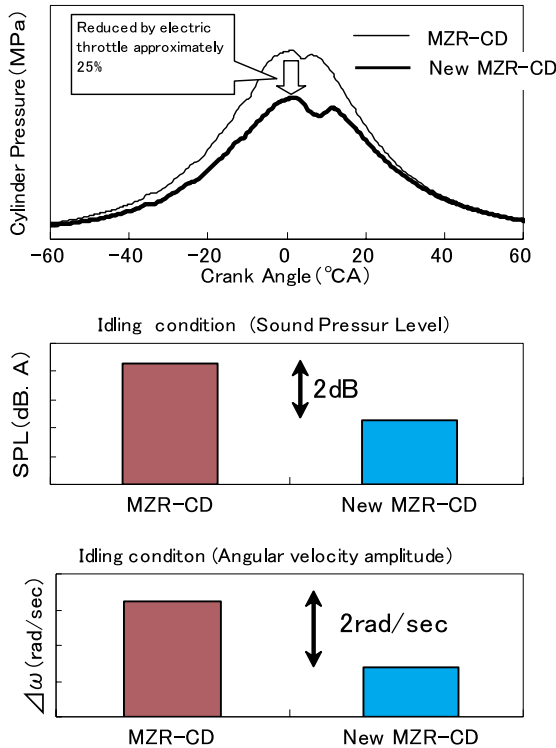


Fig.18 Effect of Low Pressure Idling Technology

9. ドライバビリティ改善技術

多段噴射コモンレールシステムのドライバビリティ改善は、排出ガスエミッション性能、NVH性能、DPF再生性能といった、相反する噴射制御要求の中で、それらの性能を両立せねばならず、コモンレール適合技術の中で最も難易度の高い技術の一つである。本モデルから、トルク制御技術を導入することで、より一層のレベルアップを図っている。

9.1 サージ対策

現行から耐ジャーク性向上を狙い、トルクジャークフィードバック制御を追加した。各ギヤ毎にジャーク振動系の固有周波数、減衰係数を定義し、逆位相の燃料噴射をすることで車体振動を早く減衰させている (Fig.19)。

9.2 発進ガバナ (HAGC)

ギヤ比が高速化するDE車の発進性を改善するためには

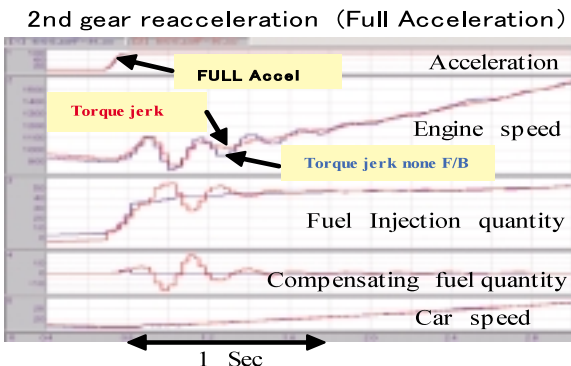


Fig.19 Effect of Torque Jerk Control

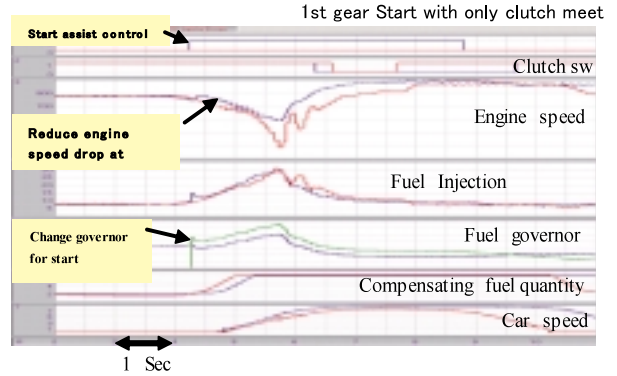


Fig.20 Effect of HAGC

アイドル回転速度付近での噴射量を持上げる必要がある。但し単純にガバナパターンを持上げてしまうと、アイドル回転付近でのアクセル全閉走行時の車体振動やアイドルハンチングなどの弊害が発生する。そのため、Fig.20に示すように、発進を判定した際は専用のガバナに切り替えることで弊害をなくした。また 発進後のガバナ切り替え(戻し)方も走行状態によって変えることで違和感を低減している。

10. おわりに

次世代ユニットとして導入したMZR-CDをベースにDPFシステムを構成要素に加えながら欧州乗用車トレンドをリードできるパワーユニットに進化させることができた。今後ともお客様に喜ばれる技術を育成していく所存である。

参考文献

- (1) 中井 他：コモンレール式直噴ディーゼルエンジン MZR-CD，自動車技術会学術講演会前刷集 No.44-02，p.1-4 (2002)
- (2) 松江 他：ポンゴ用触媒担持型DPFシステムの開発，マツダ技報，No.22，p.126-131 (2004)
- (3) Wakisaka, T. et al., COMODIA2001, p.426 (2001)

著者



中井英二



森永真一



廣瀬倫之



白橋尚俊



谷村兼次



志茂大輔

論文・解説

20

マツダスピードアテンザ パワートレインの紹介 Introduction of Mazdaspeed Atenza Powertrain

猿 渡 健一郎*1 藤 野 宏 明*2 西 田 正 美*3
Kenichiro Saruwatari Hiroaki Fujino Masami Nishida
渡 邊 淳 司*4 岡 留 泰 樹*5 河 野 裕 人*6
Junji Watanabe Yasuki Okadome Hiroto Kawano

要 約

マツダスピードアテンザは『究極のZoom-Zoom Sedan』と位置づけ、『Sophisticated Hi-Performance Sedan』をコンセプトに開発を行ってきた。パワートレインは全て新開発とし、絶対的な加速力に加え、車を操る楽しさを極めるために、特にリニアな特性、良好なレスポンスにも注力した開発を行っている。

Summary

Positioned as "ultimate Zoom-Zoom Sedan," New Mazdaspeed Atenza was developed under the concept "sophisticated hi-performance sedan." Entire powertrains were redesigned in quest for the absolute acceleration performance, focusing on the linear characteristics and the good response to embody the fun-to-drive.

1. はじめに

エンジンはMZR2.3Lエンジンに直噴システム (Direct Injection System, 以下DI) とターボチャージャ (T/C) を組み合わせることで、『究極のZoom-Zoom Sedan』として十分な加速性能と、『Sophisticated Hi-Performance Sedan』としてのリニアな加速特性、良好なレスポンスの両立を実現、更に燃費/排出ガスに代表される環境問題への積極的な対応を行うことで、次世代ハイパフォーマンスユニットとして相応しいものとした (Fig.1)。

新開発の6速マニュアルトランスミッション (6MT) は、高トルク対応に加え、ギヤ比のエンジン性能との最適化、シフト操作力低減、シフトストロークの短縮、剛性感/節度感のある操作フィーリング実現に注力している。



Fig.1 Engine Appearance

4WDシステムについては、基本システムこそアテンザワゴンを踏襲しているが、トルクアップに伴う各部の強度アップに加え、スポーツ走行時における操縦安定性能向上のためにリヤへ伝達するトルク量を大幅に見直している。そのために、パワートランスファーユニット (PTU) への水冷のオイルクーラの設定、リヤデファレンシャルユニット (RDU) にスーパーLSDを採用している。

2. MZR2.3L 直噴ターボエンジン

2.1 開発の狙い

マツダのハイパワーユニットとして位置づけ、高トルク/高出力/良好なレスポンスと、低エミッション/低燃費を両立させることを狙いに開発を行っている。

2.2 エンジンの概要と特徴

Table 1に主要諸元を示す。

【特徴 - 1】

DIとT/Cの組み合わせにより、従来はT/Cの弱点とされていた、以下の領域を訴求点に変えることができた。

- ① 低中速領域のトルクアップ
- ② 優れたエンジンレスポンス
- ③ シングルターボで全速度域をカバー

*1, 2 パワートレイン開発推進部
Powertrain Development Promotion Dept.

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

*3 第1エンジン開発部
Engine Development Dept. No.1

*5, 6 ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

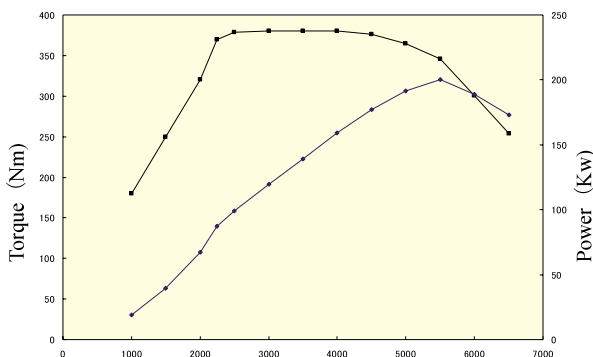


Fig.2 Engine output Performance (Japan spec)

④ 触媒の早期活性化

⑤ 低燃費に貢献する高圧縮比

これらの領域について各々紹介する。

① 低中速領域のトルクアップ

最大11.5MPaの高圧で霧状の燃料を筒内噴射する際の気化潜熱により燃焼室の温度が下がり（筒内冷却効果）、混合気の充填効率が向上する。これにより、3,000rpm付近を中心にトルクを最大で約10%高め、低中速域の扱いやすさを実現させた。

② 優れたエンジンレスポンス

筒内冷却効果により初期加速の充填量がアップすることでT/Cのタービン/コンプレッサ回転速度が素早くリニアに上昇する。これにより、2,500rpmという低回転からT/Cの過給効果を大幅に向上させ、良好なエンジンレスポンスを実現している。

③ シングルターボで全速度域をカバー

直噴による上記のメリットにより、シンプルな構造の軽量シングルスクロールターボチャージャで、低速から高速まで効率的な過給を実現できた。これにより排気系の熱容量が大幅に低減されるため、排出ガス温度の低下を最小に抑えることができ、厳しいエミッション規制への適合を可

Table 1 Engine Main Specifications

Engine		L3T
Cylinder		In-Line 4-Cylinder
Bore X Stroke (mm)		87.5 X 94
Displacement (cm ³)		2260
Compression Ratio		9.5
Valvetrain		DOHC 4 Valves
Number of Valves		4 per cylinder
Valve Diameter (mm)	In.	35
	Ex.	30
Fuel Supply System		Electric Fuel Injection
Fuel Injection		4 - 11.5
Max. Power (kW/rpm)		200/5500 (JPN)
Max. Torque (Nm/rpm)		380/3000 (JPN)

Table 2 Technologies for Improved Machine Strength and Heat Resistance of Engine Body System

Aims	Engine parts	Technologies adopted / Spec change contents
Machine strength improvement	Cylinder head	Adoption of new cast method
	Piston system	Crown thickness increase, Piston diameter increase, Full float structure
	Con rod	Adoption of high strength steel
	Cylinder block	New Die Casting, High strength liner
	Crank shaft	Pin diameter increase, High frequency quenching, Deep roll
	Intake manifold	Aluminum
Heat resistance improvement	Cylinder head	Drilled hole addition between exhaust valve bridge, Expansion of water passage of exhaust port bottom face
	Exhaust valve	Adoption of high heat resistance material (Valve tulip; nickel alloy/shank; heat resistance steel)
	Cylinder block	Drilled hole addition between bore
	Exhaust manifold	Bellow coupling structure, Adoption of high heat resistance material (Ferrite cast steel)

能にした。

④ 触媒の早期活性化

筒内に霧状の燃料を直接噴射することでプラグまわりに非常に良好な混合気形成され、耐失火性が向上するため、失火を伴うことなく点火時期を遅らせることが可能になり、排出ガス温度が上昇しやすくなる。これによってエンジン始動直後でも触媒をより早く活性化温度まで高めることができ、厳しいエミッション規制への適合を可能にした。

⑤ 低燃費に貢献する高圧縮比

筒内冷却効果により耐ノック性が向上し、高い圧縮比でも低速トルクを損なうことなくエンジン単体燃費を向上できた。この効果により、MZR 2.3 DISI Turboはターボエンジンとして高圧縮比の9.5を実現し、低燃費化に貢献した。

【特徴 - 2】

T/Cとアルミ製シリンダヘッド及びシリンダブロックの組み合わせで、軽量/コンパクトでかつ高出力の高効率エンジンを実現するために、高出力化に伴う高負荷、耐熱性対応として各 부품の形状、材質の最適化を行った。

Table 2にそれらの採用技術を示す。

(1) ダイレクトインジェクション システム

1) インジェクタ

磁気回路の効率化や可動部重量の軽量化により、これまでの直噴インジェクタに対しダイナミックレンジを1.3倍に向上、高出力と低燃費の両立を実現した。

また、スワラーおよび噴孔内部形状を最適化、噴霧に適度な旋回力を与えることにより背圧下でも良好な噴霧を形成し、燃焼性の改善を実現している (Fig.3)

2) 高圧燃料ポンプ

高圧燃料ポンプは単筒の可変容量制御式プランジャポン

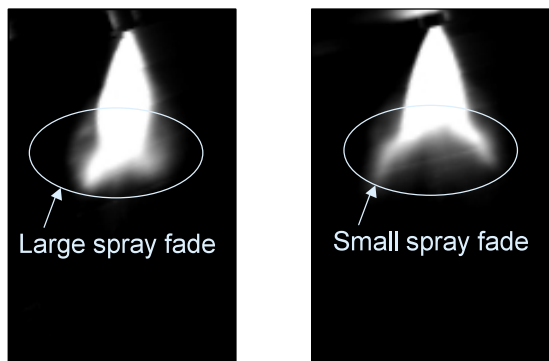


Fig.3 Comparison of Injector Spray Form

ブを採用し、小型・軽量化、高効率化を実現している。高強度アルミ鍛造ポデーを採用することで高い耐圧性と軽量化を両立させた。

ターボエンジンの大流量の燃料吐出量要求に対応するため、5.8mmの大ストロークとし単筒高圧燃料ポンプとして業界最大の理論吐出量（875mm³/rev.）を実現した。ポンプはカム駆動されるが、そのフォロアの冠面には、高面圧に耐えうる窒化クロムをイオンプレーティングした。

一方、低負荷時には小流量の吐出量コントロール性が要求されるが、その両方の要求に応えるため制御ソレノイド特性を適正化し、広いダイナミックレンジを実現した。

また構成部品は六価クロムフリー化などにより、欧州ELV（End-of-Life Vehicle）規制に対応している（Fig.4）。

3) 燃料レール

燃料レールは、金属組織を緻密化できるアルミ低圧鋳造工法の採用と、FEMによる形状の最適化により、軽量と高強度を両立した。

燃料メイン通路の大容量化とインジェクタ連通路部に設けた絞り構造により、燃料脈動を低減し、高燃圧化に伴う放射音を低減した。

燃料ポンプにニッケルリンメッキ、燃料レールに環境に優しいノンクロムのジリコニウム処理を採用し、耐腐食性を向上している。

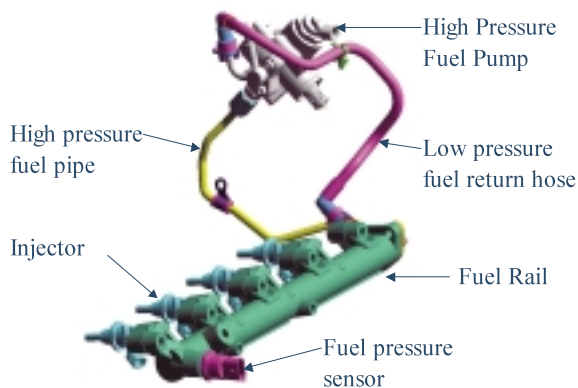


Fig.4 Direct Injection System

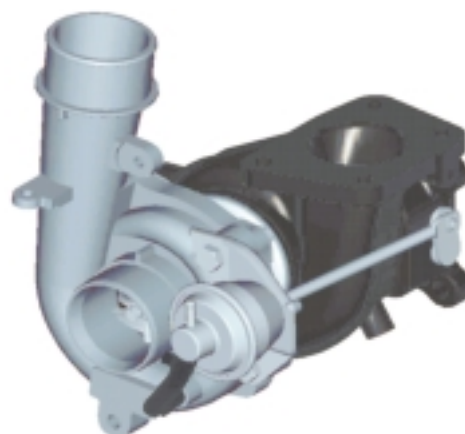


Fig.5 Appearance of Turbocharger

(2) ターボチャージャシステム

1) ターボチャージャ

エンジン概要で述べたとおり、DI化によるトルク、レスポンス改善効果を活用し、ターボチャージャシステム自身はシンプル・軽量のシングルエントリタイプを採用した（Fig.5）。

それにより、一般的に高出力ターボエンジンに使われるツインエントリターボと比較し熱容量を低減することができ、ターボの下流に配置される触媒の温度を高め、排出ガスの浄化性能を高めることができた。

2) エギゾーストマニフォールド

ターボ化による熱負荷増大に対応するために、材料を高耐熱材とし、形状を2気筒ごとのエギゾーストマニフォールドをベローズで接合する構造とした（Fig.6）。ベローズ構造とすることにより、エギゾーストマニフォールド自身の熱収縮による変形を吸収し発生応力を低減した。鋳物部の材質はフェライト系鋳鋼を採用し、高ガス温下での耐酸化性を確保した。

(3) 高出力に対応する技術

1) シリンダヘッド

シリンダヘッドは高強度アルミニウム合金製で、工法の改善により高熱と高圧が作用する燃焼室面の金属組織の緻密化を行った。

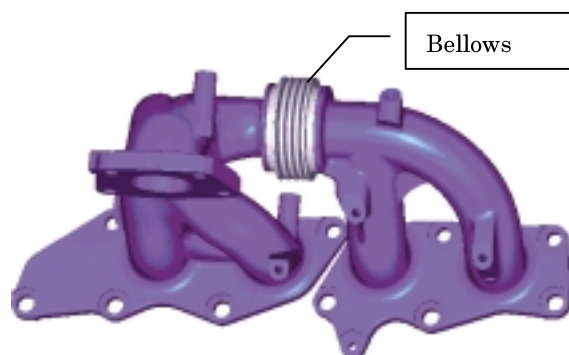


Fig.6 Appearance of Exhaust Manifold

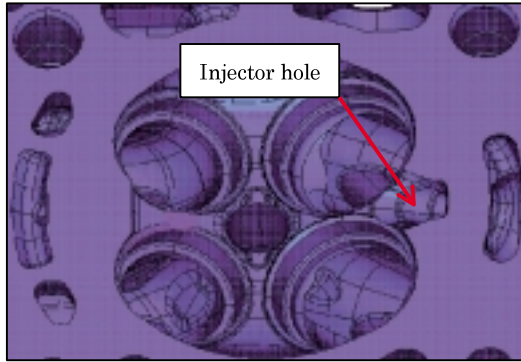


Fig.7 Combustion Chamber Appearance

DI化に伴い燃焼室へインジェクタを配置したが、レイアウトの工夫により現行機種と同じバルブ径 35を確保し高出力化に貢献した (Fig.7)

発生熱量増大に対応するために、以下の冷却水通路の改善を行った。

冷却が困難なエキゾーストバルブシート間にドリル加工を追加し、水圧の高いシリンダブロックと連結することで、高速な水流を形成し、バルブシート温度の均一化を図った。

またエキゾーストポート下部の冷却水通路を拡大し、CAEによるバーチャルテストで水通路内の流速適正化を行い、排気ポートの最適な冷却効果を獲得した (Fig.8)

2) ヘッドガスケット

ヘッドガスケットは従来と同じく、ステンレス鋼板の多層構造を採用しているが、ターボ化に伴う燃焼圧力の増大に対応するためシリンダボア部の面圧を高めるよう各層の板厚を最適化した。

また熱膨張によるシリンダヘッド/ブロック間の擦れの増大に対応するため、2層から4層構成に変更した。一般的に多層化によりヘッドガスケット厚さが増大し、シリンダヘッド/ブロック間の隙間で生成する未燃ガスを増大させる。本エンジンではシリンダヘッドの燃焼室面の剛性を向上することで、燃焼圧によるシリンダヘッドの上下動を抑制し、ヘッドガスケットへの負荷を低減することで0.89mmの薄さを実現した。

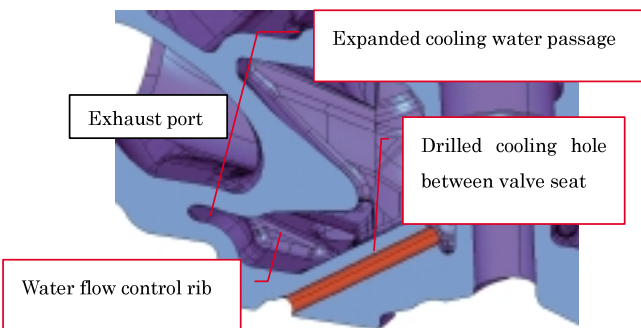


Fig.8 Changes for Cooling Passage

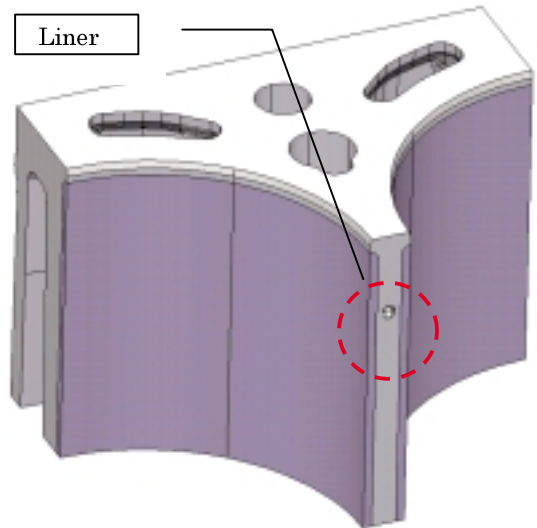
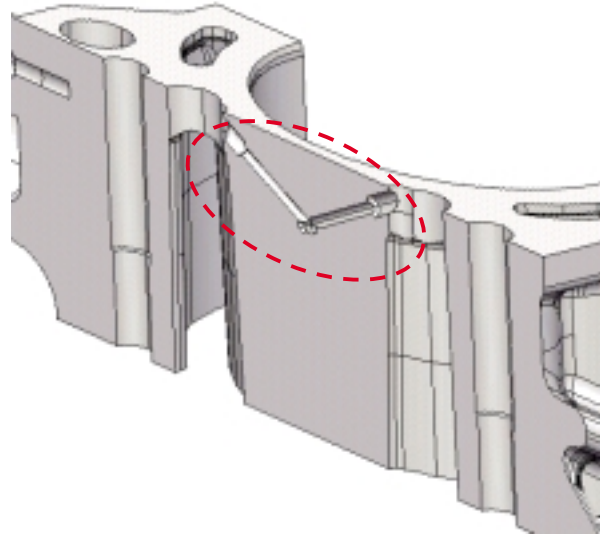


Fig.9 Drilled Cooling Hole between Cylinder Bore
Upper : Cross-section between cylinder
Lower : Center of cylinder

3) シリンダブロック

MZR I4 2.3Lシリーズで採用されたコスワース鋳造法をベースに、ターボ化による熱負荷、燃焼圧力の増大に対応するため、工法のチューニングを行い、シリンダ上部のアルミニウム金属組織を緻密化した。

その緻密化による強度向上に加え、高強度ライナーを採用することで、ディーゼルエンジン並みの高い燃焼圧力に対応した。

また、上記の金属組織の改善により、狭いシリンダボア間への冷却用ドリル穴の配置を可能とし、シリンダ冷却の均一化に貢献した (Fig.9)

これらの改善により、高強度アルミ合金製で狭いボア間距離を持つMZR 2.3Lシリーズのシリンダブロックの基本

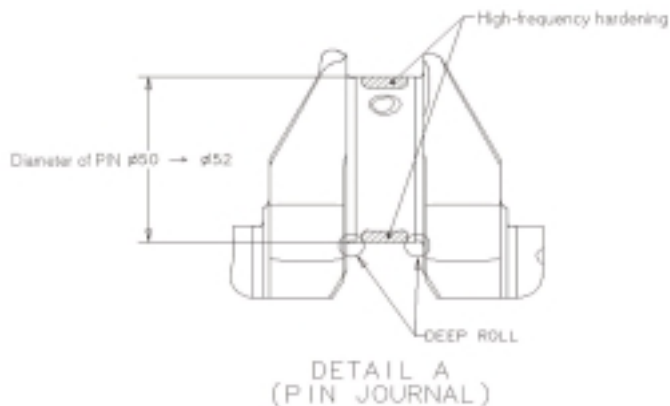
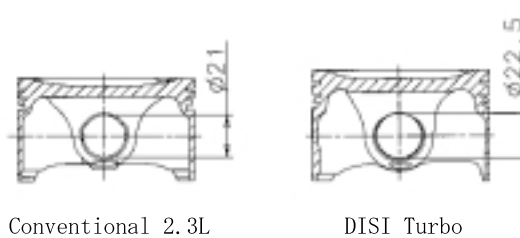


Fig.10 Changes for Crank Shaft



Conventional 2.3L DISI Turbo
Fig.13 Piston Pin Diameter Change

- ・ 鋳鉄からスチールへ材質変更
- ・ クランクピン大径化 (50から 52)
- ・ 高周波焼入れ追加
- ・ ディープロール追加

5) ピストン

ディーゼルエンジン並の高い燃焼圧力に耐えられるようピストンはクラウン部、ピンボス部等の強化を行った。更にピストンピンはピン径を拡大し耐焼き付き性の高いフルフロート構造に変更した。ピストンリングもトップ/セカンドリングとともに1.2mmから1.5mmに厚肉化し高燃焼圧によるリングの変形に対応した (Fig.12, 13)

またオイル消費量の安定性を図るため、トップリングには窒化クロムコーティング (PVD処理) を施し、オイルリングを2ピースタイプに変更した。

6) コンロッド

高い燃焼圧力と、クランクピン径大径化による周速上昇に対応するため、コンロッドベアリングにはオーバーレイ付きケルメット材を採用するとともに、オーバーレイの表面に微細な油溝を設けるポーリング加工を施し、潤滑性を向上させた。

コンロッドは慣性重量増加を抑制するために新規開発した高強度鋼を採用した (Table 3)。

7) オイルパン

車両旋回性能の向上に対応するため、オイルパン形状を見直し、旋回時のオイル供給能力を向上させた。油量も30%増量した。また高出力化に伴うエンジン放射音を抑制するため、肉厚分布、リップ形状の見直し、側面への制振鋼板追加を採用した。

8) インテークマニホールド

ターボエンジンに適したインテークマニホールドとするために、圧力損失の少ないコンパクトな構造を採用した。

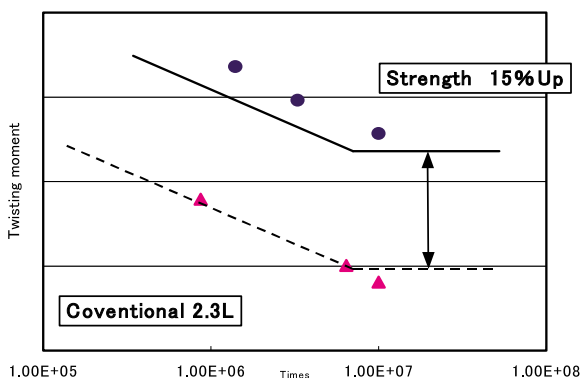


Fig.11 Effectiveness of Fatigue Strength Improvement

構成を踏襲したまま、高出力化に対応し、同クラスで最軽量クラスのコンパクトなエンジンとすることができた。

また高い燃焼圧力による振動の刺激力増大に対応するために、下記の対策を採用しNVHへの影響を抑制した。

- ① メーンベアリングキャップボルトの締付法を弾性着座点角度法で採用することで、クリアランスのばらつきを抑制。
 - ② ブロック側面のリップ配置を最適化によりパワープラントベンディングを改善。
- 4) クランクシャフト

以下の変更を行い従来MZR2.3L比強度を15%向上した (Fig.10, 11)



Fig.12 Piston Appearance

Table 3 Strength Comparison of Con 'rod Materials (Sinter forging material values are set at 100)

	Tensile strength	Yield strength	Fatigue strength
High strength cost steel	121	143	185
Steel for conventional con rod	97	92	130
Sinter forging material (Conventional 2.3L)	100	100	100

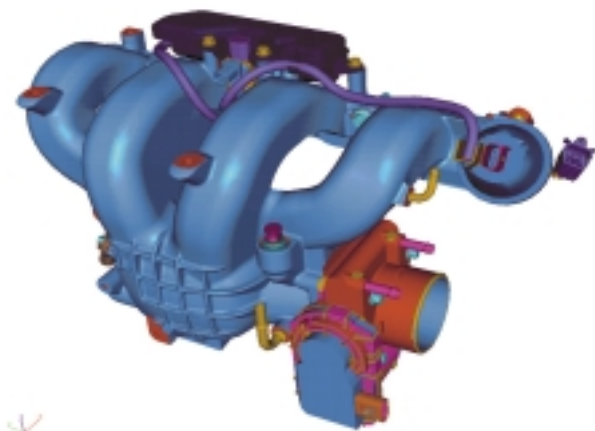


Fig.14 Intake Manifold Appearance

MZR I4 2.3Lと同様に、ELT (Equal Length Tract) 構造を採用し、吸気音中の耳障りな「奇数次成分」、「ハーフ次成分」の大幅な低減を行った。また、TSCV (Tumble Swirl Control Valve) を採用、エンジンの冷間時に作動させて燃焼状態を最適に制御し、触媒のライトオフ性能を向上させて排出ガスの浄化に貢献している (Fig.14)。

9) ベンチレーションシステムの改善

ターボエンジン化によりクランクケース内のブローバイガス発生量が增大するが、換気流量を増量することで、従来のMZRエンジンシリーズと同等の耐オイル劣化性を維持した。換気流量の増量に伴い、ブローバイガス中のオイルの分離性能を向上させる必要があるが、マツダ固有技術であるサイフォン構造を設けることで、カムカバー内の限られたスペースの中で、十分なオイル分離能力を確保した (Fig.15)。

(4) 車載吸気系

吸気システムは、出力目標達成のためインタークーラを採用した。これをエンジン直上に配置することで吸気系の簡素化を行い、通気抵抗低減、軽量化/コスト削減を実現した (Fig.16)。

これにより、質量の重いものを車両中心にレイアウトし慣性モーメントを小さくするとともに、過給気側吸気システムに加え、インタークーラシステムの他車種との共通化

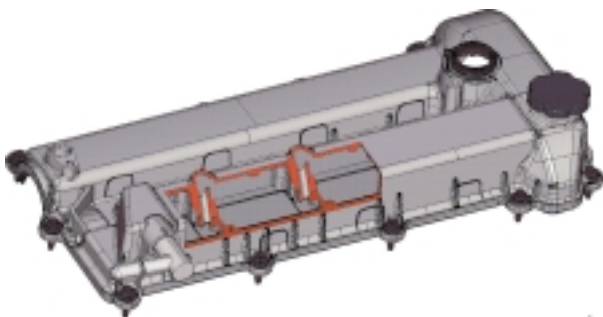


Fig.15 Siphon Structure in Oil Separation Room

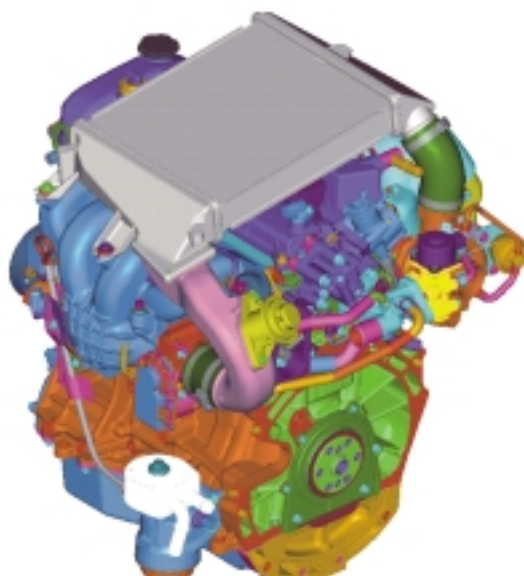


Fig.16 Cooling Duct for Inter Cooler

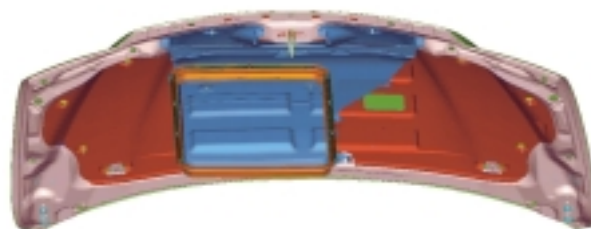


Fig.17 Air Duct behind a Hood

を実現した。これにより車種毎に行っていたエンジン制御の基本セッティング領域の共通化を可能とし、開発期間や費用の削減も実現した。また、インタークーラ冷却に必要な風量を確保出来る大型の冷却ダクトをボンネット裏面に装着した。これによりインタークーラをエンジン直上に配した従来車種の特徴でもあったボンネット中央部の吸気バルジを不要とし、すっきりとした車両デザインの成立を可能とした (Fig.17)。

(5) 冷却システム

冷却システムは、ターボ化による発熱量増加に対応し、従来のMZR2.3Lエンジンの冷却システム比約20%のポテンシャルアップを図った。具体的手段としては、ラジエータのチューブ/フィン形状の見直し (放熱量: 約10%アップ)、電動ファンモータ容量アップ (風量: 約15%アップ) 等である。これらによりエンジンを常に適切な温度に保てるようにした。更に電動ファンは、必要十分な風量を確保しつつ消費電力低減や低騒音を可能とするファン回転数制御 (PWM制御) を採用した (Fig.18)。

(6) フロントアクセサリドライブ

フロントアクセサリドライブシステムは、エンジン後面 (トランスミッション側) のデュアルマスフライホイール (DMF) 採用を実現するため、オルタネータブリーを

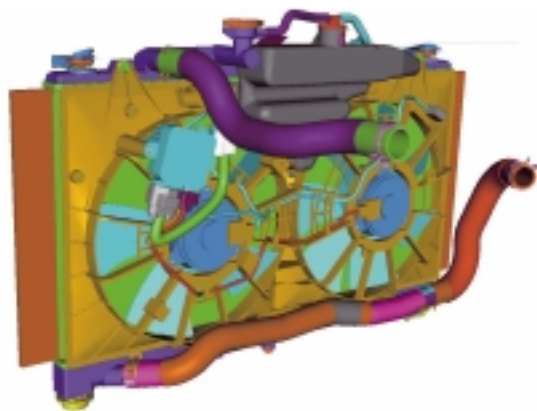


Fig.18 Radiator Module

1wayクラッチ付きプーリとした。これにより補機ベルト弦振動・ベルトスリップ異音を改善するとともに補機ベルトの信頼性も向上させている。

(7) 燃料系

車載燃料システムでは、エンジンの高出力に伴う最大燃料供給要求量の増加と制御燃圧値の上昇を成立させるため、大容量燃料ポンプモジュールを新規に開発した。更にポンプモータの回転速度を高低2段階制御することで、エンジンの低負荷領域ではポンプ回転速度を落とし、消費電力の低減による燃費改善やポンプ作動音抑制を行っている。

(8) 排気システム

厳しい排出ガス規制をクリアするために、フロア下に加えT/C直下にも触媒を設定している。また、排気抵抗を低減するために、アテンザ比排気管径をアップしている。更にスポーティなエンジンサウンドを演出するために、メインサイレンサの内部構造の見直しを行い、低回転では低周波の、高回転では澄んだ音質の排気音を実現している。

3.6速マニュアルトランスミッション

洗練された走りやZoom-Zoomな走りの演出のために、6MTをアイシン・エーアイ(株)と共同で新たに開発を行ってきた。ワイドなギヤ比を設定することで、エンジンの持つ中低速での豊かなトルクをあらゆる走行シーンで有効に使用することができ、卓越した動力性能と経済性の両立に貢献している。

3.1 開発の狙い

ハイパワーエンジンに対応した大容量な6MTを、車両搭載可能なMT全長で実現することを最優先に、以下4項目を開発の狙いとした。

- ・5MT並の全長となる大容量6MTの実現
- ・「意のままに操作でき、小気味良いシフトフィーリング」の実現
- ・静粛性の向上
- ・動力伝達効率の向上で車両燃費の向上

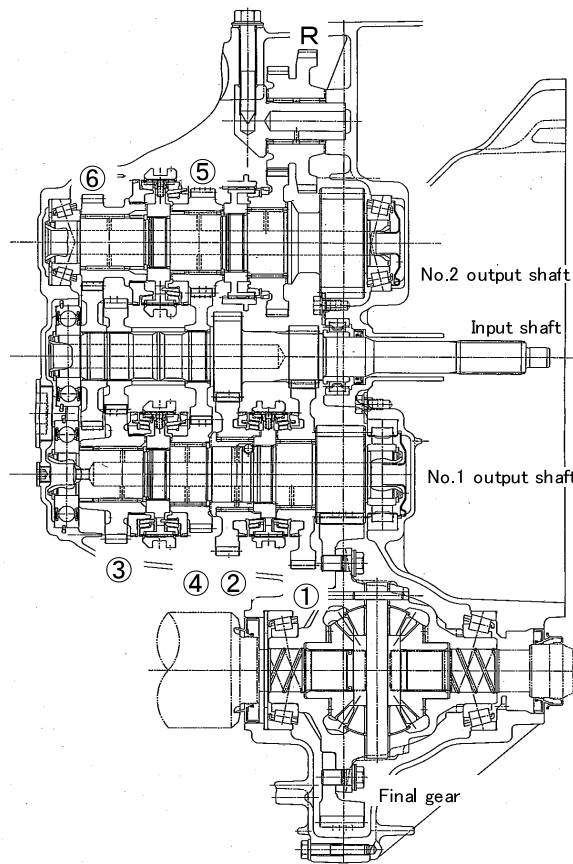


Fig.19 Transmission Cross Section

Table 4 Transmission Specification Chart

Transmission type		Manual 6 speed
Clutch size (mm)		φ 250 × 155
Gear Ratio	1st	3.538
	2nd	2.238
	3rd	1.535
	4th	1.171
	5th	1.085
	6th	0.853
	Reverse	3.831
	Final (1-4th)	3.611
Final (5-6th, Reverse)		3.095
Torque Capacity (Nm)		380 over
Weight (kg)		76 (Dry)

3.2 構造概要と特徴

構造をFig.19に、主要諸元をTable 4に示す。

ギヤトレインは、現在主流のジヤコーサ式（並行2軸式）と異なる3軸式を採用し、ギヤ、シンクロを各軸に分散、並行配置し全長短縮を実現した。また、エンジン性能を十分に引き出すため、クロスレシオとなるギヤレシオを設定した。なお、ケースはシンプルな2分割構造としている。

シンクロメッシュ機構は1速、2速、3速に大容量なトリプルコーンシンクロ（Fig.20）、4速にはダブルコーンシンクロ、後進段はレバーシンクロ機構を採用し、シフト操作力の軽減を図った。

3.3 採用技術と効果

(1) MT全長の短縮

3軸式ギヤトレイン構造の採用に加え、以下のギヤを共用することで画期的な全長短縮を実現した。

- ・1速と後進段のドライブギヤ
- ・4速と5速のドライブギヤ
- ・第2出力軸のファイナルギヤ

更に1速に深潜り込みコーンクラッチ一体冷鍛ギヤを採用 (Fig.20, 21) する等、各要素の短縮を図りBest in Classを達成した (Fig.22)。

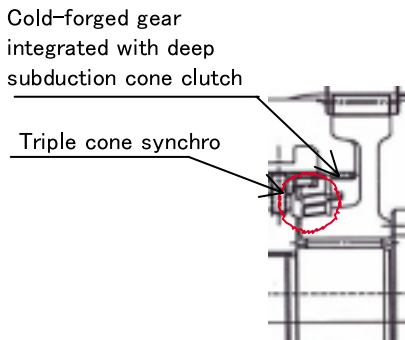


Fig.20 Triple Cone Synchro for First Gear and Cold-forged Gear Integrated with Deep Subduction Cone Clutch

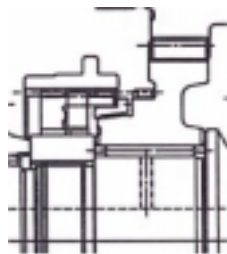


Fig.21 Lever Synchro Mechanism for Reverse Gear

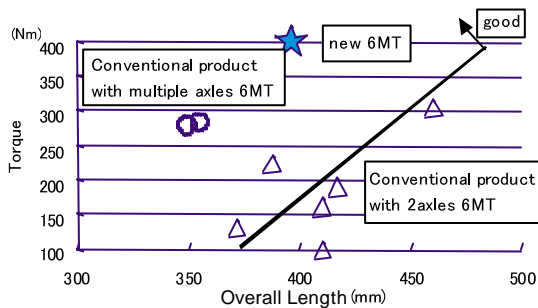


Fig.22 Comparison of Overall Length

(2) シフトフィーリングの向上

「意のままに操作でき、小気味良いシフトフィーリング」の実現のため、以下を開発した。

1) シフト操作力の軽減

前述のマルチコーンシンクロの採用に加え、シフトリンク各摺動部にスライドボールベアリング、転がり式のディテントピンを採用し、低フリクション設計とした (Fig.23)。

2) 滑らかさの向上

冷鍛2段チャンファスリーブの採用により、同期歯とギヤスプライン噛み合い歯を専用化 (Fig.24)、チャンファ角度を最適設計することで、2段モーション発生頻度の低減を図った。また、ゴツゴツ感軽減のため、シフトアウターレバーに慣性マスを設定した (Fig.25)。

(3) 静粛性の向上

ギヤノイズ低減のため高噛み率となるギヤ諸元を採用し、更に、高歯面精度の実現のためギヤホーニング加工を3速、4速、5速、6速、ファイナルギヤに実施した。また、FEM等でケース振動を解析・改良し膜振動の低減を図っ

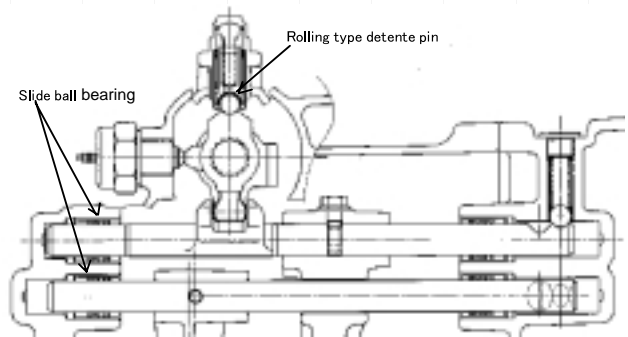


Fig.23 Rolling Type Detent Pin and Slide Ball Bearing

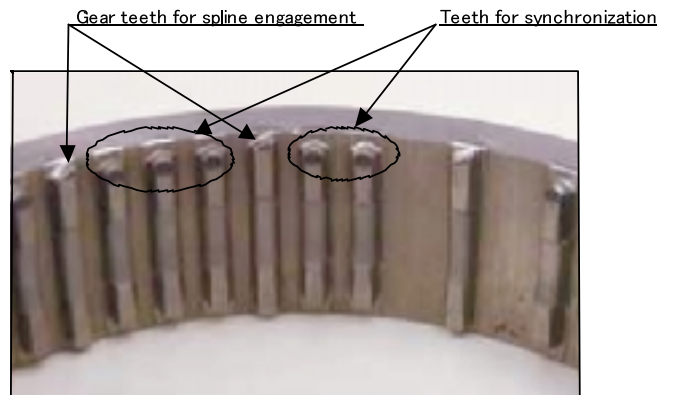


Fig.24 Cold Forged Sleeve with Two-stage Chamfer

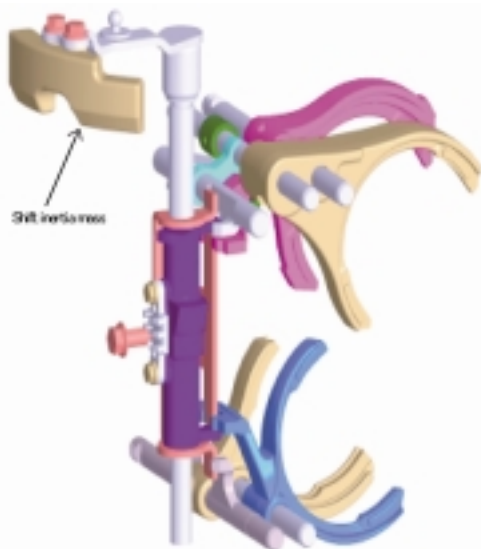


Fig.25 6MT Shift Mechanism



Fig.27 Bare Chassis



Fig.26 Case Vibration Analysis

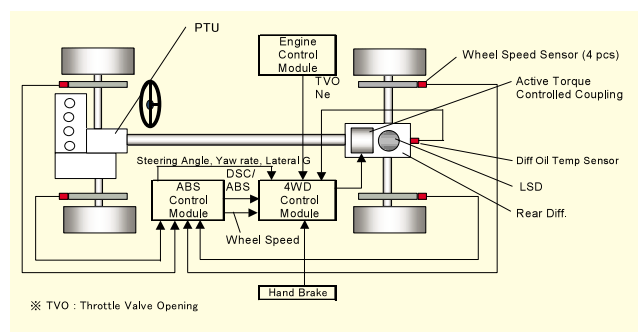


Fig.28 4WD System

た (Fig.26)。また、歯打ち音低減のため、DMFを採用した。

(4) 動力伝達効率の向上

オイルの攪拌損失低減とベアリング形式の適正化による摩擦損失の低減に取り組んだ。

1) オイルの攪拌損失低減

油浴率が高く、回転径が大きいファイナルギヤの攪拌損失低減のため、以下の対策を行った。

- ・ファイナルギヤ周辺のケース形状を絞り込み油量を低減
- ・オイル流れを阻害するケースの内側リブを廃止。剛性等はケース外側にリブを設定し対応
- ・変速ギヤ部より流入する油量を適正化するオイルセパレーターの設定

2) ベアリングの摩擦損失低減

入力軸と第1出力軸は、ボールベアリングとローラベアリングを採用し、摩擦損失の大きいテーパローラベアリングの使用箇所を最小化した。またテーパローラベアリング自体も最新の低フリクション仕様を採用した。

4. 電子制御式4WDシステム

マツダスピードアテンザでは、現行アテンザ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、新たに操縦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スポーティな操縦安定性の実現」を目指し、一段と進化したアクティブトルクコントロールカップリング4WDシステムを開発した。

4.1 4WDシステムの構成

新開発の4WDシステムでは、上記の目標を実現するため、新しい4WD制御ロジック、新ユニットを新規開発し採用した。新4WDのシステム構成をFig.28に示す。基本構成は、現行モデルを踏襲した上で、4WD制御用に新たに

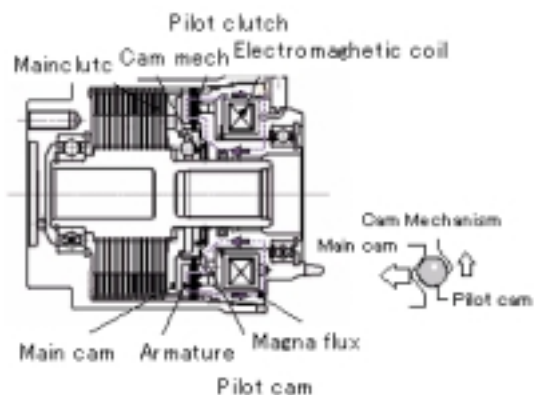


Fig.29 Structure of Electronic Control Coupling

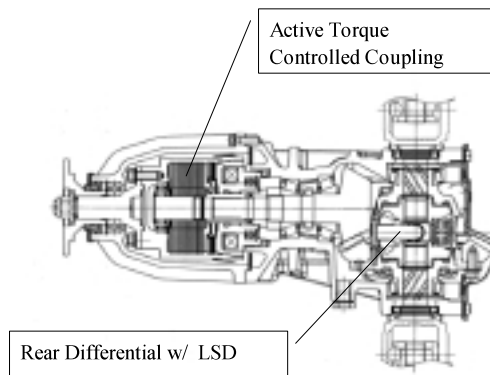


Fig.31 Newly-developed RDU

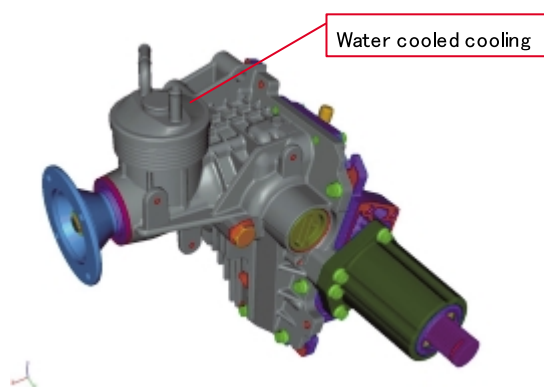


Fig.30 Newly-developed PTU

舵角、ヨーレート信号、横G信号を追加した。新ユニットとして、高トルク対応のPTU & RDUを新規開発し採用した。RDUには、操縦安定性向上のためトルク感応型LSDを採用した。

電子制御カップリングは、現行アテンザ用をベースに、メインクラッチのプレート枚数増及びパイロットクラッチのプレート表面処理変更（DLC処理）の採用によりトルク容量・耐久性を向上させ、高トルク伝達のニーズに対応した（Fig.29）。

4.2 新開発PTU & RDU

PTU及びRDUは、400Nmクラスの高出力エンジンに適用することを前提として新規に開発した軽量・コンパクト・高容量のユニットである。

PTUは入力軸をトランスミッション側出力軸と同軸上でスプライン結合するアドオン型2軸タイプの基本構造を採用した。これにより、既存FF用トランスミッションの接合部の形状変更を最小限に抑え、本PTUと組み合わせ可能とした。更に2軸タイプとすることでPTU入力軸ギヤを小型化でき、エンジンブロックとPTU間のスペースを確保した。

ギヤセットのうち、ハイポイドギヤは等高歯を採用した。ギヤノイズ低減と耐久強度アップを高次元で両立させ、高いロバスト性を実現した。高出力・高回転での運転中の潤滑油温度の上昇に対しては、強制水冷クーラーを採用した。これにより、エンジン高回転・高負荷の運転条件下でも油温上の制約を受けることなく、リヤへの必要十分なトルク伝達を可能とした（Fig.30）。

新型RDUは、現行アテンザ用RDUをベースに、ハイポイドギヤ及びベアリングのサイズアップを行い耐久強度を確保するとともに、ケース・ハウジング類は全てアルミ製とし軽量化を追求した。CAE解析を活用し机上検証を充実させ、熱変形・応力変形を考慮し鋳物形状を決定することで、軽量化と強度確保を両立させた。電子制御カップリングを収納するカップリングケースでは、必要な強度を確保した上で、一般肉厚を従来品比で30%低減に成功した。またハイポイドギヤを支持するデファレンシャルキャリアの形状選定では、必要なハウジング剛性を確保した上で除肉を行い、軽量化を達成した。同時にハイポイドギヤの歯当たり変化を最小限に抑制でき、ギヤ寿命の向上を実現した（Fig.31）。

4.3 トルク感応型LSD

左右スプリット状態でのトラクション性能と、操縦安定性アシスト性能の向上のため、RDU内にLSDを採用した。本LSDは、RX-8やロードスターでも採用しているトルク感応型のLSDである。

左右差動に対する高いトルク応答性を有し、旋回時のリニアな車両コントロール性を実現している。また、差動時の振動/異音に対するロバスト性を向上させるため、LSD差動部の表面粗さを最適化し、耐久劣化後も適正な μ -V特性を確保している。

4.4 4WDシステムと効果

(1) 4WDシステム/制御の狙い

マツダスピードアテンザは、現行アテンザ4WDシステ

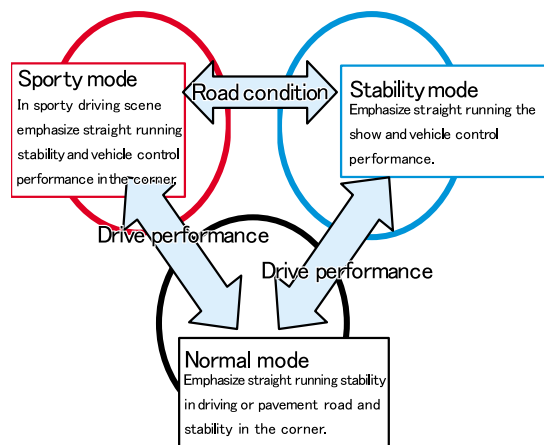


Fig.32 Condition Change Chart

ムをベースとし4WD制御ロジックを進化させた。4WD制御ロジックでは、ノーマル/スポーティ/スタビリティの3つのモードをコントロールモジュールで自動判定させ、ドライバがスイッチ操作を行うことなく常にリア伝達トルクを最適にコントロール出来るシステムとした。その結果、RDUに採用したLSDの効果を含め、現行アテンザ4WDに比べ操縦安定性能やトラクション性能を大幅に向上することができた。操縦安定性能向上に貢献した領域は、以下である。

- ①直進時の車両安定性/ステアリング手応え感
- ②旋回時の車両コントロール性能
- ③旋回脱出時の強力なトラクション性能

(2) 制御ロジック概要

新4WDシステムは、Fig.32の状態遷移チャートに示すように、各センサからの信号により車両状態を判定し、各車両運転状態が必要となる最適な後輪目標伝達トルクを決定している。4WDカップリング締結トルクは、車速/アクセル開度により規定されるプリトルクマップ(フィードフォワード制御)と、前後輪の回転差により規定されるN補正マップ(フィードバック制御)により制御される。ノーマル/スポーティ/スタビリティの各モードには、それぞれ専用のプリトルクマップを設定しており、ヨーレート、横G、舵角、エンジン回転数の各信号により運転状態及び路面状態を判定し、これを切り替えることで最適なりや伝達トルクにコントロールしている。また、NVHや駆動系信頼性向上のニーズに対応した4WD制御モードの追加、およびCAN通信を利用したDSC/ABSとの協調制御なども現行のアテンザから大きく進化させ、4WD車としての性能向上に大きく貢献している。

1) ノーマルモード

高速走行時や舗装路での一般走行時には、直進安定性やステアリング手応え感を重視したトルクマップを設定した。

2) スポーティモード

郊外のウィンディングロードをスポーティに走行するシーンを想定し、旋回中のコントロール性能と操舵の手応え感を実現できる4WD性能を目指した。そのため、旋回中はアクセル操作に対するトルクマップを最適化し、過度なアンダーステアの発生を抑えつつ、適度なステア特性とタックイン挙動が得られ、リニアな車両挙動となるセッティングを行った。また、旋回後半の加速時には、4WDカップリング締結トルクを直結相当まで増加させ、旋回脱出時の強力なトラクションを得ている。

3) スタビリティモード

このモードでは、雪道や凍結路など、低μ路での車両安定性を重視したトルクマップを設定した。低μ路では、4WDカップリング締結トルクを高くすると、急激にテールスライドにいたる懸念があるが、マツダスピードアテンザでは車速/アクセル開度に対して適切な4WDカップリング締結トルクとなるように制御しており、低μ路でも車両をコントロールしやすい操縦安定性能を実現している。

4) NVH性能や駆動系信頼性との両立

リアトルク伝達によるNVH性能や駆動系信頼性への影響が懸念される走行シーンでは、車両状態を検出して一時的に4WDカップリング締結トルクを低減させる制御を採用し、各性能との両立を図っている。

5. 最後に

マツダスピードアテンザ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、当初の目標通りの非常に高品質/高性能の商品を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



猿渡健一郎



藤野宏明



西田正美



渡邊淳司



岡留泰樹



河野裕人

論文・解説

21

新型6速マニュアルトランスミッション New 6speed Manual Transmission

石井 護^{*1} 桑原 亘^{*2} 濱野 正利^{*3}
Mamoru Ishii Wataru Kuwahara Masatoshi Hamano
西角 博和^{*4} 徳永 幸司^{*5}
Hirokazu Nishikado Kouji Tokunaga

要 約

マツダブランドDNAをより一層訴求するため、新型6速マニュアルトランスミッション（以下6MT）を開発した。特に、多段化による燃費・動力性能への貢献、シフトフィールDNAの追求、将来トレンドに対応したNVH性能の確保に重点を置いて開発し、狙いの性能を達成した。

Summary

We developed new 6-MT(6-speed manual transmission) to strongly support Mazda's DNA. In particular, we put emphasis on the improvement of the vehicle performance and the fuel economy, the pursuit of "Shift-feel DNA," and the improvement of "NVH performance" putting the future trend into perspective. We achieved our targeted performance.

1. はじめに

マツダブランドDNAをフルスケールで実現したアテンザに追加搭載される、ガソリンエンジン用新型6速マニュアルトランスミッション（以下G6M型）に採用した主要な技術とその特徴について紹介する。

2. 開発の狙い

- (1) 燃費と動力性能の向上に貢献する。
- (2) マツダシフトフィールDNAである「ドライバの意のままに操作でき、小気味良いフィーリング」を更に進化させる。
- (3) 低騒音化に対応したNVH性能（静粛性）を確保する。

3. 主要諸元

アテンザ2.3Lガソリンエンジンに適用する、G6M型の主要諸元をTable 1、シフトパターンをFig.1に示す。

後退段位置は、人間工学的検討の結果、1速段の左隣とした。

Table 1 Main Specifications of G6M

G6M Transmission Specifications		
Shift Control		Cable Type
Gear Ratio	1st	3.454
	2nd	1.842
	3rd	1.310
	4th	1.030
	5th	0.837
	6th	0.755
	Rev	3.198
	Final	4.388
Synchro Type	1st	Triple Cone
	2nd	
	3rd	
	4th	Double Cone
	5th	
	6th	Single Cone (Carbon)
Differential		2 Pinion
Weight;Wet [kg]		44



Fig.1 Shift Pattern

*1~3 ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

*4, 5 シャシー開発部
Chassis Development Dept.

4. 構造と特徴

G6M型の主断面図をFig.2に示す。

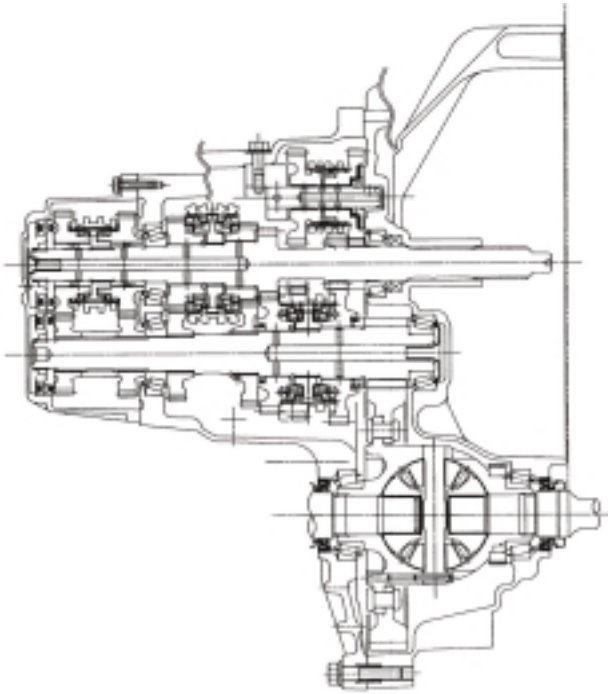


Fig.2 Main Section of G6M

ギアトレインは、並行2軸タイプの5速マニュアルトランスミッション（以下G5M型）をベースに、6速段の追加と常時噛合い式後退段への変更を行った。

4.1 6速段ギア支持構造

6速段は、入力軸と出力軸を延長し、5速段後方に配置した。また、ハウジングのアルミ化と支持ベアリングの追加により、駆動時の入出力軸の変形を抑え、ギアノイズ低減とギア信頼性の確保を両立させた。

4.2 後退段ギアトレイン構造

後退段は、操作性の優れた同期装置付き常時噛合い式を採用し、操作力を低減するとともに、シフトブロックアウトの発生頻度を大幅に低減した。

フロント側アイドルギアは、入力軸上の1速段ギアを共用するはずば歯車、リヤ側アイドルギアは、噛合率を向上させた平歯車とし、G5M型比後退時のギアノイズを大幅に低減した。

5. 変速操作性の向上

マツダシフトフィールDNAの更なる進化を実現するため、“マツダロードスター”のシフトフィールを目指して開発を行った。

シフトストロークは、スポーティ性とポジションの認知性のバランスから、G5M型比4mmショートストローク化

した50mmに設定した。

変速操作力は、車格やカテゴリ、変速段位に関係なく年々低下傾向にあり、トレンド上位を目指し、G5M型比30%低減を目標とした。

5.1 同期装置

ダイナミック領域の操作性にとって最も重要な同期装置における代表的な取り組みについて以下に述べる。

(1) 連結式トリプル/ダブルコーンシンクロナイザ機構

同期装置への負荷が大きい1速、2速には、連結式のトリプルコーンシンクロナイザ機構（以下シンクロ）、素早い操作頻度の多い3速、4速には、連結式のダブルコーンシンクロを採用することにより同期容量を拡大し、G5M型よりもショートストローク化を図りつつ、低い操作力を実現した。操作力の比較をFig.3に示す。

また、シンクロ構造を連結式とすることで、シンクロチャンファア角を鋭角化し、冷間条件下や比較的ゆっくりしたシフト操作での操作力も低減した。

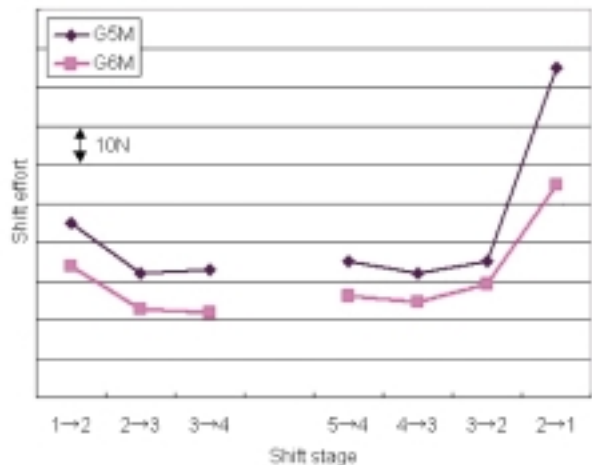


Fig.3 Shift Effort Comparison

(2) キーレスカーボンシンクロ

比較的負荷は小さいが、素早い操作頻度が高い5速、6速には、カーボンシンクロを採用した。

カーボンシンクロは、従来の黄銅シンクロに比べ、約30%摩擦係数が高くシフト力積を15~25%低減できた。更に、シンクロ装置長が従来比短いキーレス式シンクロを採用し、MT全長増を最小化した。

5.2 MT内部変速機構

G5M型の内部変速機構をベースに、6速化への対応と最適化を行った。

後退段のシフトフォーク及びガイドプレートは専用設計とし、他部品は、ベースとなったG5M型と共通化し、部品種類数の増加と生産性の低下を最低限に抑えた。Fig.4にG6M型の内部変速機構を示す。

ディテント機構の追加とガイドプレート形状の最適化により、ニュートラルポジション及び、各変速段ポジションでのノブ上のガタ縮小を行った。

また、シフト用レバーにカウンタウェイトを設定し、変速操作時のゴツゴツ感を低減し、フィーリングを向上させた。



Fig.4 Internal Change Mechanism

5.3 MT外部変速機構

外部変速機構には、大きく分けてロッドコントロールタイプと、ケーブルコントロールタイプがあるが、G6M型では、G5M型でも採用したケーブルコントロールタイプを採用した。Fig.5にG6M型の外部変速機構を示す。

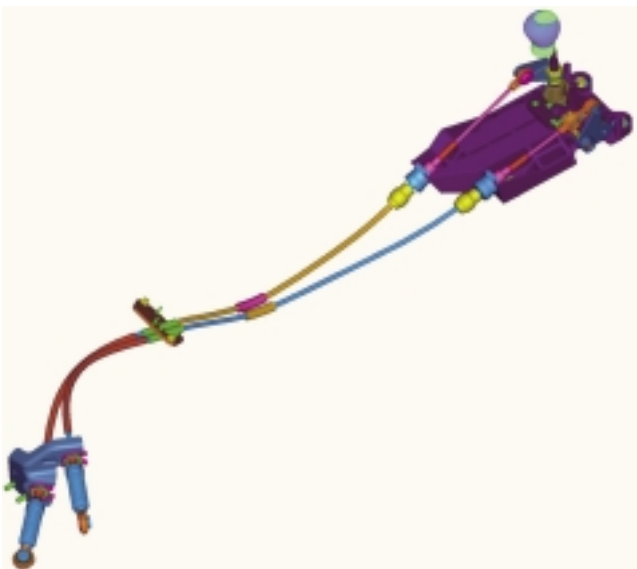


Fig.5 External Change Mechanism

ケーブルコントロールタイプは、車両のクロスメンバ等のレイアウトに影響を与えないため、車体剛性の最適化が

行いやすい。また、フロアチェンジからインパネチェンジまでフレキシブルに対応が可能である。

G6M型の外部変速機構は、ショートストローク化対応、6速化対応及び後退段ミスシフト防止機構の追加とともに、操作特性の向上を図った。

(1) シフト/セレクトストローク設定

Fig.6に示すように、乗用車クラスとしてはトップレベルのショートストローク設定とした。

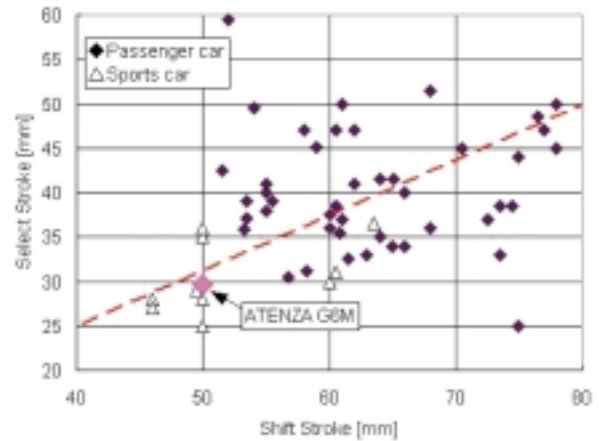


Fig.6 Shift/Select Stroke Comparison

(2) 構造とレイアウトの最適化

ショートストローク化への対応とともに、内部変速機構と外部変速機構のレバー比の関係を見直し、ケーブルの伝達損失の影響を受けにくい構造とした。

車室内レイアウトでは、シフトノブ位置を見直すことにより操作姿勢を改善し、フィーリングを向上させた。

また、プッシュ式の後退段ミスシフト防止機構を設けることにより、ミスシフト防止と操作性の両立を図った。

(3) 操作フィーリング向上

セレクトリターン機構を、よりドライバに近い外部変速機構に設定し、シフトポジションの正確性を確保した。

また、摺動抵抗の少ないシフト/セレクトケーブル配策とし、操作荷重の伝達損失を低減させた。更に、ケーブル両連結部のクリアランスを最小化するとともにインシュレーションラバー剛性の最適化により、シフトポジションの正確さと剛性感を向上させた。

6. NVH性能

乗用車では、年々車内騒音が低下傾向にあり、ギアノイズ・歯打ち音に代表されるトランスミッション騒音も、このトレンドに沿った低減を狙い開発を行った。

ギアノイズ性能では、乗員の可聴感度の高い走行域と低い走行域の音圧レベルのバランスが最適となるようにギア歯面形状の最適化を図った。

5速段での最適化事例をFig.7に示す。

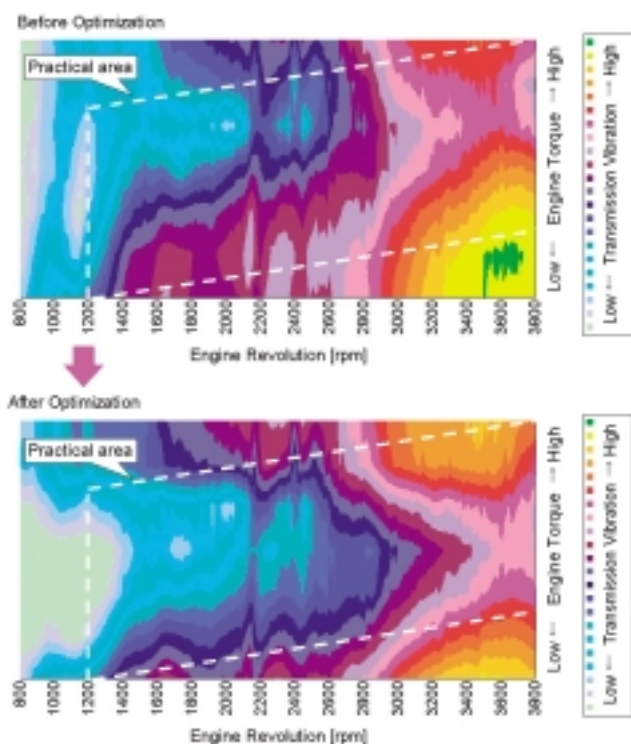


Fig.7 Optimization Case with Gear Noise

開発初期段階の最適化前 (Fig.7上図) では、駆動トルクが低い定常走行時にユニット振動が大きくギアノイズが発生した。

このため、白破線で示した実用領域における、駆動トルク・回転数の使用頻度と車内暗騒音レベルから、ユニット振動目標の重み付けを行い、低駆動トルク・低回転数領域 (図左下) から高駆動トルク・高回転数領域 (図右上) へ向かい、緩やかに上昇する振動特性を狙って最適化を行った (Fig.7下図)。

また、歯打ち音性能では、フリクションダンパの効果的な配置と適切なフリクショントルク設定により、歯打ち音性能向上とシフト操作性を両立させた。

7. 小型化・軽量化

燃費・動力性能への貢献、及び車種展開を考慮し、BIC (Best in Class) レベルの重量、Cカーへの搭載性を確保する外寸を目標に開発を行った。

キーレスタイプシンクロの採用の他、精密鍛造技術による5速段・6速段周辺レイアウトの最適化、FEM (Finite Element Method) 解析による新設アルミハウジング形状の最適化等により、G5M型比2kgの重量増と15mmの全長増に留め、開発目標であるBICレベルの重量とCカーへの搭載性確保を実現した。

8. おわりに

以上、G6M型の開発の狙いと商品概要について簡単に紹介した。

エンジンの駆動力 (トルク・回転数) を走行条件に合わせて最適に調整し、タイヤに伝えることが、トランスミッションの基本機能であるが、車両との一体感や走る楽しさを実現するためには、ドライバーの意のままに変速可能であることが最も大切であると考え、操作フィーリングに注力して開発を行った。

また、軽量化による、燃費・動力性能への貢献や静粛性の向上も走る楽しさの実現に寄与している。

G6M型では、“Zoom-Zoom” に代表される、マツダブランドDNAを体感して頂けるトランスミッションが実現できたと考えている。

是非“意のままに操作でき、小気味良いフィーリング”を体感して頂きたい。

著者



石井 護



桑原 亘



濱野 正利



西角博和



徳永幸司

論文・解説

22

新型5速 自動変速機の紹介 Introduction of New 5-AT

丸末敏久^{*1} 石山貴士^{*2} 大山 一^{*3} 本瓦成人^{*4}
 Toshihisa Marusue Takashi Ishiyama Hajime Ohyama Narihito Hongawara
 岩下典生^{*5} 仲岸 優^{*6} 坂木民司^{*7}
 Norio Iwashita Masaru Nakagishi Minji Sakaki

要 約

環境問題から社会的に燃費改善への要求が高まる一方で、マツダのブランドDNAである「反応の優れたハンドリングと性能」を体現すべく動力性能の進化も求められている。この燃費と動力性能の厳しい要求を満足させるため、新たにFS5A-EL型FF-5速自動変速機(AT)の開発を行った。

この新型ATでは、アテンザ他に搭載されているFN4A-EL型FF-4速ATをベースに、副変速機とそれを制御する油圧システムを追加して多段化することで、ワイドギヤレシオを実現して燃費と動力性能の高次元での両立を目指した。追加部品点数を最小限に抑え部品サイズの適正化を図ることで、多段化による重量増・サイズアップを抑制し、軽量・コンパクトを実現した。加えて、制御系の改善により高いシフトクオリティを達成している。また、各部品のフリクション低減を図るとともに、トルクコンバータや油圧回路を改良してスリップロックアップ制御の進化を図り、ロックアップ状態で走行可能な領域を拡大させた。これにより、多段化本来の高車速域でのエンジン低回転化による効果とともに、燃費を最大限に改善させることができた。

Summary

There is a growing need for improvement of fuel economy to deal with environmental issues. On the other hand, dynamic performance should be improved to embody the Mazda's DNA "Responsive Handling and Performance". We developed a new FS5A-EL FF 5-AT (5-speed automatic transmission) which can meet the stringent demand on fuel economy and dynamic performance.

A sub-transmission and oil-hydraulic system were added to the FN4A-EL FF 4-AT, which is currently installed in Atenza, etc.. The new 5-AT has a wider gear ratio which can lead to better fuel economy and dynamic performance. Such moves ordinarily increase weight and size, however the new 5-AT achieved "light-weight" and "compact" through the reduction of the number of parts and our efforts to repress the size-increase. The control system was also modified to improve shift quality. Moreover, the friction among parts was reduced and the lock-up slip range was widened by modifying the torque converter and oil-hydraulic circuit. All these improvements enabled to keep the low engine speed at high vehicle velocities, resulted in an improved fuel economy.

*1~6 ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

*7 技術研究所
Technical Research Center

1. はじめに

各社とも燃費や動力性能の改善のため、ATをより多段化する傾向にあるが、一般に多段化を行うことで、ワイドなギヤレシオの設定が可能となり、高車速域でのエンジン低回転化による燃費改善を実現しつつ、発進性能の改善が可能となる。しかし、単純なギヤ段追加は、重量増や抵抗増による上記改善効果の減少を招く場合がある。また、変速頻度も増加し、より高いシフトクオリティが必要となる。

新開発のFS5A-EL型5速AT(以下FNR5)は、このような多段化に伴う問題を克服し、重量、サイズ、性能において、クラストップレベルのポテンシャルを実現した。

本稿では、新型AT開発の狙い、構造、及び採用技術について紹介する。

2. 開発の狙い

多段化による効果を最大限発揮させるため、以下をFNR5開発の狙いとした。

- (1) 軽量・コンパクト化
- (2) 燃費改善技術の進化
- (3) 高シフトクオリティ

3. 構造

FNR5の構造をFig.1に示す。

FNR5では、1軸目の基本構成をFN4A-EL型4速AT⁽¹⁾(以下FNR)と同一配置としている。

1軸目のパワートレイン機構は、3組の湿式多板クラッチ(フォワード①、リバース③、3-4④)、1組の湿式多板ブレーキ(ローアンドリバース⑧)、1組のバンドブレーキ(②)、1組のワンウェイクラッチ(⑦)及び、2組のシングルプラネタリギヤ(フロント⑤、リヤ⑥)から構成されており、動力をプライマリギヤ(⑬)から、セカンダリギヤ(⑭)を介して2軸目に伝達する。

2軸目のパワートレイン機構は、1組の湿式多板クラッチ(ダイレクト⑫)、1組の湿式多板ブレーキ(リダクション⑪)、1組のワンウェイクラッチ(⑩)及び、1組のシングルプラネタリギヤ(⑨)から構成されており、セカンダリギヤ(⑭)から入力された動力は、カウンタシャフト(⑰)、アウトプットギヤ(⑯)、リングギヤ(⑮)、ディファレンシャル(⑱)を介して車軸に伝達する。

1速～4速間の変速は1軸目の主変速機で行い、今回追加した2軸目の副変速機で4速～5速の変速を行う。

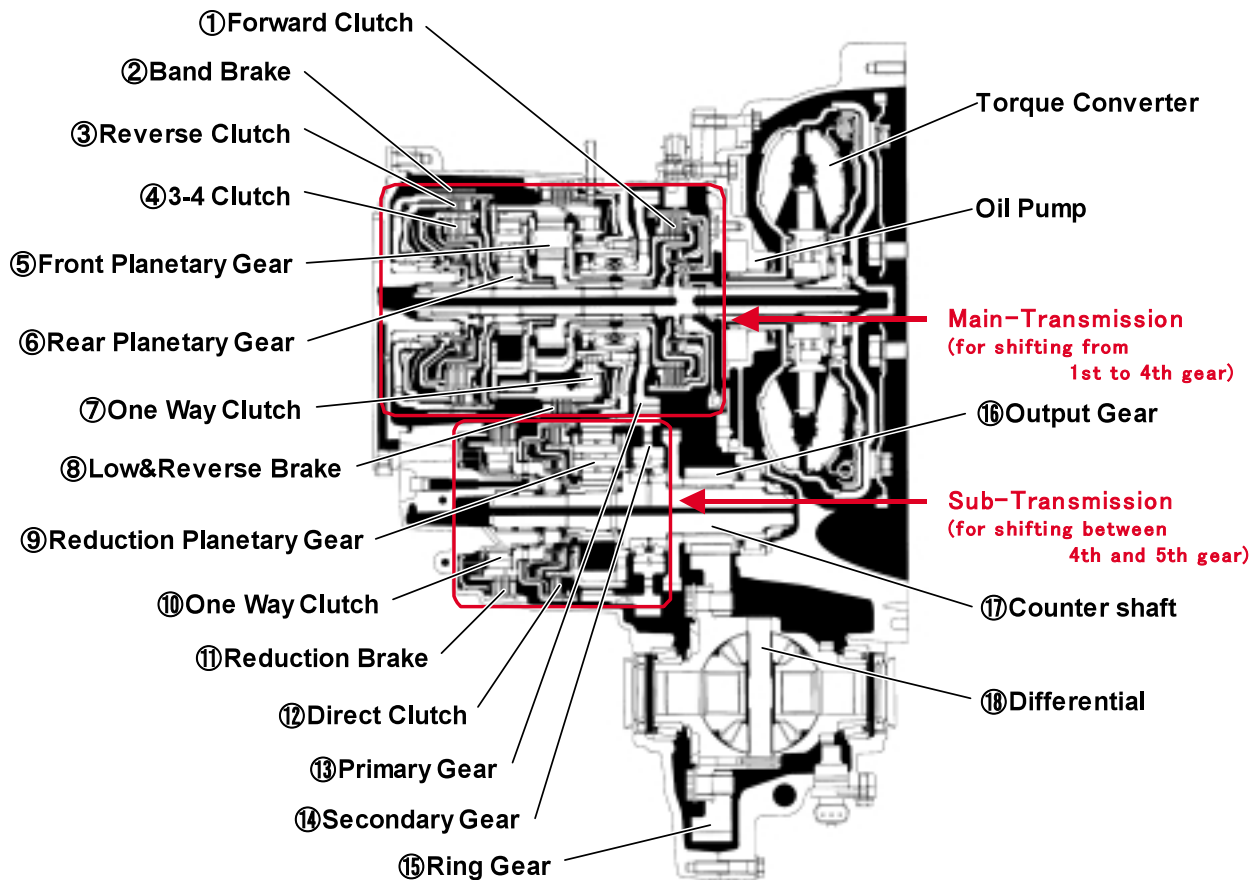


Fig.1 Sectional View of FNR5

4. 採用技術と効果

4.1 軽量・コンパクト化

副変速機の追加によるサイズアップや重量増を最小限にするため、各部品品のコンパクト化を図り、ミッション全長や3つの回転軸の各距離（軸間距離）をFNRから変更することなく5速化を実現させた。以下にその具体的な5つの内容について説明する。

(1) カウンタシャフト強度向上 (Fig.1 ⑰部)

2軸目部分のコンパクト化と強度確保を両立するため、カウンタシャフトの熱処理を浸炭焼入れとし、更にハードショットピーニングを施すことで疲労強度を高めた。また、Fig.2に示すように2軸目部分への入出力ギヤ（セカンダリギヤ、アウトプットギヤ）のレイアウトをFNRと共通化しながら、プラネタリギヤを配置した。これにより、アウトプットギヤの噛合いにより発生する曲げ荷重に対しても十分な強度を確保できるレイアウトを確立しつつ、FNRと共通の軸間距離も実現した。

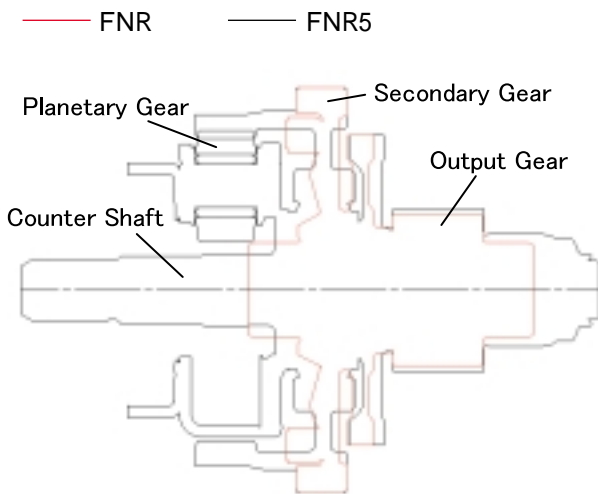


Fig.2 Counter Shaft Layout

また、通常シャフト部材の潤滑穴部分には上記の曲げ荷重により応力集中が発生するため、強度上、潤滑穴配置には制約がある場合が多いが、上記の強度向上策を織り込むことで配置の自由度を高めることができた。これにより、Fig.3に示すようにプラネタリをはじめ、最適な位置に適正な潤滑流量を分配することが可能となった。

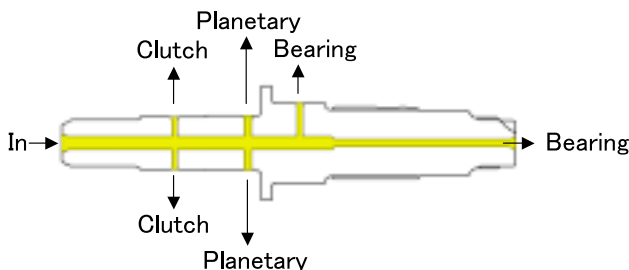


Fig.3 Counter Shaft Lubrication System

(2) ワンウェイクラッチ小径化 (Fig.1 ⑩部)

2軸目に副変速機構造を持つATでは、ワンウェイクラッチ（以下OWC）と湿式多板ブレーキを軸方向に配置する例が多い。FNR5では、FEM解析による形状の最適化を行い、OWCの容量を確保しつつ径方向の小径化を実現した。これにより、OWCとブレーキを径方向に配置することを可能とし、ミッション全長のコンパクト化を実現した。

(3) オイルポンプサイズの最適化

副変速機の油圧制御部の追加及びカウンタシャフト周辺の潤滑確保のため、従来のFNR用で実績のあるロータ形状を流用しつつ、ロータ幅を拡大することでオイルポンプ容量アップを行った。この際、ロータのクリアランス及びポート形状を最適化することでリーク量を抑えけるとともに、吐出効率を向上させることでオイルポンプ全長アップを最小限とした。また、同時に周辺部品とのレイアウトを最適化することで、ミッション全長に影響を及ぼすことなく10%の容量アップを実現した。

(4) リアプラネタリ潤滑強化 (Fig.1 ⑥部)

5速化に伴いFNRに対して1～4速までのミッションギヤ比が低速化したため、従来構造を流用しているリアプラネタリピニオンギヤの最高回転数が12%増加する。これに対して潤滑経路の改善を行うことでFNRに対して全長変更させることなく、高回転域での耐焼付き性を改善した。

(5) 副変速機の油圧制御装置のレイアウト

変速応答性を重視し油圧応答遅れを最小限にするため、副変速機の各クラッチ類をコントロールする油路が最短となるレイアウトを採用した。具体的には、Fig.4に示すように、副変速機に近接する車両後側に副変速機専用の独立した油圧制御装置を配置する独自のレイアウト構成とし、各クラッチ類と制御装置間の距離を最小とした。

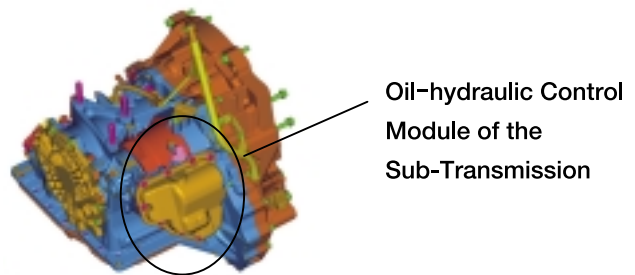


Fig.4 Externals of the Sub-Transmission

また、油圧制御の基本となるライン圧を主変速機の油圧制御装置と共用する構成とし、同時に、耐高油圧ソレノイドを採用してソレノイド用の減圧弁を削減する等、副変速機の制御に必要なバルブ類の数を最小限に抑えることで、ミッションの搭載要件を満足させるコンパクトな油圧制御装置とした。

4.2 燃費改善技術の進化

FNR5では多段化による燃費改善効果を最大限引き出すために、副変速機部分だけではなくFNRと共通部分についても抵抗低減を行った。また、スリップロックアップ制御を進化させてロックアップ状態で走行可能な領域を拡大し、燃費改善を行った。

(1) フリクション低減

(a) ローラタイプOWCの採用

OWCは空転時にドラグトルクが発生し効率低下を招くため、副変速機部のOWCを設定する上で、スプラグタイプと比較してドラグトルクが小さく高効率なローラタイプのOWCを採用した。これにより、5速走行時の効率改善を行った。Fig.5にドラグトルクの比較を示す。

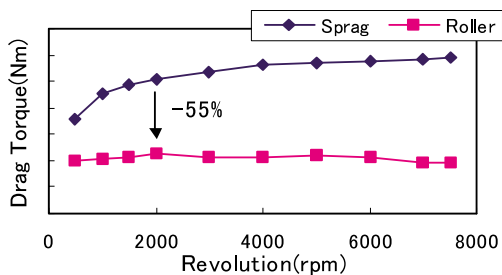


Fig.5 Drag Torque Comparison of OWC Type

(b) ディファレンシャル攪拌抵抗低減

FEMによるトランスミッションケースの強度解析を行い、Fig.6に示すようにディファレンシャル（以下デフ）周りのリブ形状の見直しと内部形状のフラット化を行った。これによりFNRと同等の剛性を確保しながら、デフとケースの間に介在するオイル量及びオイルの流れを改善し、デフ回転によるオイル攪拌抵抗を17%低減した。

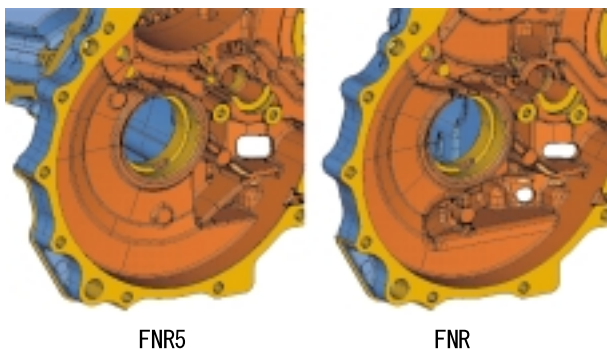


Fig.6 Transmission Case Shape Around the Differential Gear

(c) 低抵抗ベアリングの採用

デフサイドのテーパローラベアリングについて、低抵抗タイプを採用した。その抵抗比較をFig.7に示す。

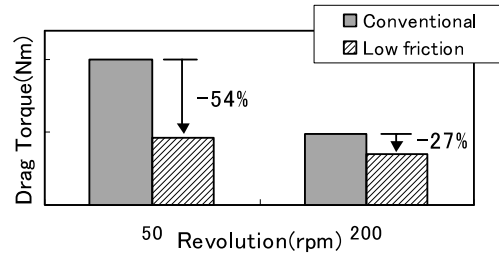


Fig.7 Drag Torque Comparison of the Taper-Roller Bearing

(d) シェル型ニードルベアリングの採用

ダイレクトクラッチアッシーの支持部に金属ブッシュに対してドラグトルクが小さく、高回転での耐焼付き性に優れたシェル型ニードルベアリングを採用した。

(e) 低抵抗クラッチフェーシング溝形状の採用

リダクションブレーキについて、フェーシング表面の溝形状を改善することでオイルの排出性を上げ、クラッチプレート間のオイルせん断力を低減した。これによりクラッチ解放時の単体のドラグトルクを従来比40%低減し、5速走行時の効率改善を行った。

以上のフリクション低減策を織り込むことで、FNR5開発初期と比較してユニット全体で17%のドラグトルクを低減し、Fig.8に示すようにFNRとほぼ同等の値を達成した。

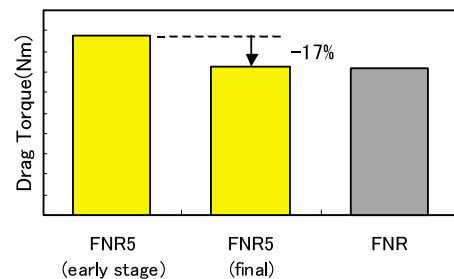


Fig.8 Drag Torque Comparison between FNR5 and FNR

(2) スリップロックアップ制御

従来のATでは、高車速時には、燃費改善のため、流体を介さずトルクを伝達するロックアップ制御を採用してきた。一方、ロックアップするとエンジン回転とAT入力回転が直結状態となるため、エンジンの回転変動がATを介して車体に伝わりやすくなり、特に低車速域において「こもり音」と呼ばれる不快なノイズや車体振動の原因となる。このため、FNRではロックアップクラッチを微小に滑らせることで振動伝達を抑制するスリップ制御を採用してきた。

FNR5では、燃費改善のためにこのロックアップ領域を更に拡大すべく、ロックアップピストンの制御性改善と制御安定性の改善（ロバスト性改善）に挑戦した。以下にその具体的な内容について説明する。

(a) ロックアップピストンの応答性改善

トルクコンバータの内部に設置されたロックアップピストンの挙動は、コンバータ内を循環するATフルードの影

響を受けるため、走行状態によっては応答性が十分ではない領域があり、ロックアップ領域拡大を困難としていた。そこで、トルクコンバータの内部流動状態を実験 (Fig.9), CFD解析 (Fig.10) の両面から明確化し、ロックアップピストンに作用する油圧挙動と応答性の関係を最適化した。

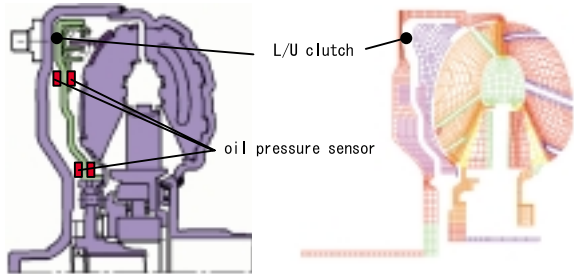


Fig.9 Oil Pressure Measurement Fig.10 CFD 3D-Model

(b) 現代制御理論の応用によるロバスト性の向上

スリップ制御では、ドライバのアクセル操作に伴う入力トルク変動に対し、スリップ量をリアルタイムに追従させてゆく必要がある。更に広い走行条件でロックアップを可能とするためには、このロバスト性改善が課題であった。そこでFNR5の電子制御では、現代制御理論 (μシセンシス) によるフィードバック制御を活用することで、スリップ制御のロバスト性を向上させ、スリップ制御領域の拡大を可能とした。Fig.11に加速時のスリップ制御の例を示す。

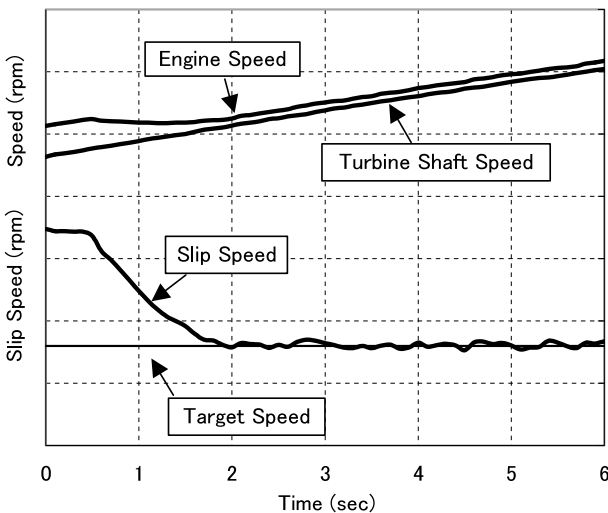


Fig.11 Slip Control

Fig.12は、国内の代表的な燃費評価モードである10-15モードにおいて、FNRとFNR5のロックアップ領域を比較したものである。前述の改善により、FNR5のロックアップ領域 (赤線) は、FNRのロックアップ領域 (青線) より拡大していることが判る。このロックアップ領域拡大により、燃費改善に大きく貢献することができた。

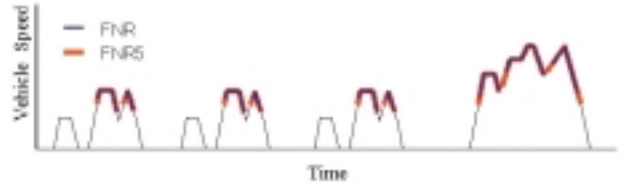


Fig.12 Comparison of the Lock Up Range

4.3 高シフトクオリティ

多段化による4-5変速を中心とした変速頻度の増加に対し、高いシフトクオリティを実現するため、副変速機の変速制御機構に制御性の高いシステムを採用するとともに、電子制御を更に進化させて対応した。

(1) 変速制御システム

主変速機の油圧制御回路構成は、FNRのDESC (Direct Electronic Shift Control) システムを流用し、1~4速までの変速については、従来の高いシフトクオリティをそのまま維持させた。今回、新たに追加された4-5変速については副変速機で制御を行うが、通常走行での変速頻度が多いことから、より高いシフトクオリティが要求され、この副変速機の油圧制御機構にも、主変速機部と同様の制御性の高いDESCシステム概念を採用し、DUTYソレノイドによるクラッチ圧の直接制御を可能とする回路構成とした。

加えて、ダイレクトクラッチには、油圧ピストン室と対抗する位置に遠心バランス室を採用した。これにより、両室の遠心油圧を相殺し、クラッチ回転数に影響されずにピストン押し力を最適状態にコントロールできる構造とし、クラッチ制御性を向上させている。Fig.13に副変速機の油圧システム概念図を示す。

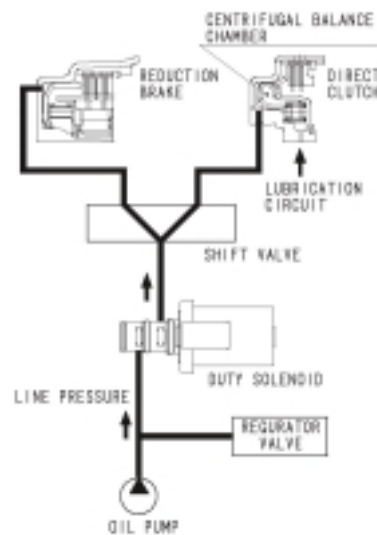


Fig.13 Hydraulic Circuit Schema Diagram

また、副変速機にはOWCを採用し、変速中の滑らかなトルク伝達を機械的に可能にしており、ばらつきの少ない高いシフトクオリティを実現している。

(2) 電子制御

FNR5の電子制御では、主変速機と副変速機を個々に変速させる基本変速制御に加えて、主変速機と副変速機を同時に変速させる主副同時変速制御で構成されている。以下に各々の制御内容について説明する。

(a) 基本変速制御

本制御では、変速ショックに影響を与えるばらつき因子の影響を吸収することで安定したシフトクオリティを実現するため、FNRでも採用されている以下の制御をベースとした開発を行った。

① モデル規範 エンジン・AT総合制御

エンジン・ATの作動モデルに則りクラッチ締結力をコントロールする制御(モデル規範制御)。エンジン出力トルク変動に対する安定性を向上。

② フィードバック制御

現代制御理論を応用したクラッチ締結力をリアルタイムに補正する制御。変速時の種々特性変動に対する安定性を向上。

③ 学習制御

経年劣化によるシフトクオリティ悪化を防止する制御。少ない学習回数で正確な補正を実施。また、誤学習を防止するため、学習条件の検出精度を改善。

(b) 主副同時変速制御

複数のギヤ段の飛び越し変速による変速応答性の悪化を発生させないため、主変速機制御ではFNRに対してシフトダウン時の応答性を重視した変速制御の改善を実施した。これに加えて主副同時変速では、シフトクオリティを悪化させることなく滑らかな変速が実現できるように主副の両変速機の油圧コントロールタイミングを最適化する制御を織り込んだ。

5 2ダウン変速の例をFig.14に示す。5 2変速では、副変速機を先にダウンシフト(5 4変速)させ、その後、主変速機をダウンシフト(4 2変速)させる必要があるが、上記の制御を行うことで、タービン回転、出力トルクともに、主副の両変速機を連続的にしかも滑らかに変速させており、応答性とシフトクオリティの両立を実現させている。

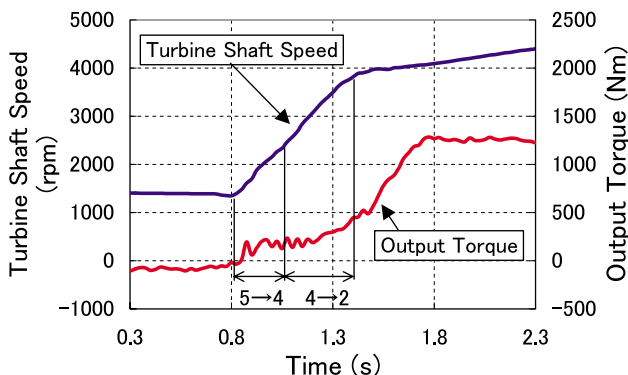


Fig.14 From 5th to 2nd Gear Down Shift

5. おわりに

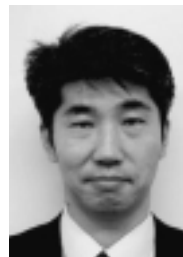
FNR5開発では、ベースとなるFNRに対する新設部分のみならず、既存部分にも緻密で数多くの改善を積み重ねている。それにより、FNRの軽量・コンパクトな特徴を生かしながら多段化を実現し、あわせてATに求められる効率やシフトクオリティといった性能面の向上も達成させている。結果として、大幅に燃費を改善しながら、なおかつ、マツダのDNAでもある走りの楽しさを存分に提供できる競合力の高いATユニットとして実現することができた。

今後、本ATユニットを搭載する車両は、ハイレベルな燃費性能や動力性能を発揮することができ、マツダブランド“Zoom-Zoom”のアピールに大きく貢献できるものと確信している。

参考文献

- (1) 土井 他：FN4A-EL型 自動変速機の紹介，マツダ技報，No.17，p.154-159（1999）

著者



丸末敏久



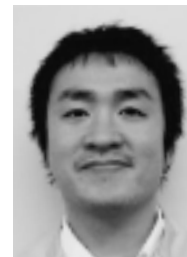
石山貴士



大山 一



本瓦成人



岩下典生



仲岸 優



坂木民司

論文・解説

23

バンパの塗膜除去技術の開発 Development of the Bumper Paint Removal Technology

森 脇 健 二^{*1} 藤 和 久^{*2} 田 中 宣 隆^{*3}
Kenji Moriwaki Kazuhisa To Nobutaka Tanaka
中 村 浩 一 郎^{*4} 相 澤 誠^{*5}
Kouichiro Nakamura Makoto Aizawa

要 約

近年の環境問題に対する関心の高まりから、各社とも市場損傷バンパを回収し、アンダーカバー等への再利用を実施している。2001年以降、マツダでは、市場から回収されたバンパ回収材の塗膜の大半を除去し、付加価値の高いバンパ補強材や、表面にシボのあるバンパへ適用拡大してきた。しかし、再生材を、シボのない表面が平滑なバンパ（以下、鏡面バンパ）へ適用するには、塗装外観を確保するために、塗膜をほぼ完全に除去する必要がある。今回、マツダは、塗膜除去率を向上させる施策として、現状のリサイクルプロセスに、塗膜のついた粉砕品を光学的に検出して選別する工法を見出し、新たに塗膜除去プロセスに織り込んだ。その結果、目標の塗膜除去率99.85%をクリアできる条件を見出した。しかし、本工程による再生材をもってしても、材料特性のバラツキ等によって同一の塗膜除去条件でも塗膜除去率の目標値を下回るものもあるため、更にプロセス改善に取り組んだ。その結果、従来のバラツキを4分の1以下に抑制すると同時に、塗膜除去率の平均値も大幅に向上し、目標の塗膜除去率を安定かつ確実にクリアすることができるようになった。

Summary

Each company is recycling collected, damaged bumpers from the marketplace to reuse the materials for undercovers, etc. due to the rise of a concern about environmental problems in recent years. From 2001, Mazda has been depainting bumpers to a high degree and reusing the materials for value added bumper reinforcements and grained bumpers. However, in order to use these materials for no-grain bumpers (standard) it is necessary to completely remove all paint from the material in order to guarantee high quality paint appearance. At this time, in order to improve the paint removal rate Mazda has incorporated a new sorting process, which optically distinguishes painted granulated pieces from non-painted pieces, into the existing process. As a result, we have achieved the target paint removal rate of 99.85%. However, even though we use this new technology, there remains some variance in the process which makes the target unattainable even under the identical paint removal conditions. Therefore we tried to additionally improve the process. As a result, we have reduced the variance to less than 1/4. At the same time, we have dramatically improved the mean of the paint removal rate and have achieved the target consistency over time.

1. はじめに

近年の環境問題、及び資源再利用に対する関心の高まりから、各社とも市場損傷バンパの回収、再利用を実施している。マツダでも1992年より、比較的要求品質の低いアンダーカバー等への適用を開始し、2001年には、機械的物性

低下の原因となる塗膜を除去してバンパ補強材等への適用を開始した⁽¹⁾。しかし、鏡面バンパへ適用するには、塗装外観を確保するため、更に塗膜除去レベルを向上させる必要がある。今回、マツダは、この鏡面バンパへ適用可能なレベルに塗膜を除去する新しいプロセスを開発したので、その内容を紹介する。

*1, 2 技術研究所
Technical Research Center

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

*4, 5 ボデー開発部
Body Development Dept.

Table 1 Applications for the Reclaimed Material from Bumpers and Requirements

Applications for the reclaimed material	Requirements	Strength Rigidity	Dimensional stability	Paint quality	
				Paint film performance	Surface appearance
Undercover. etc		△	△	×	×
Bumper reinforcement		○	○	×	×
Grain surface bumper		○	○	○	○
Bumper (without grain)		○	○	○	○

○ Full requirement △ Partial requirement × No requirement

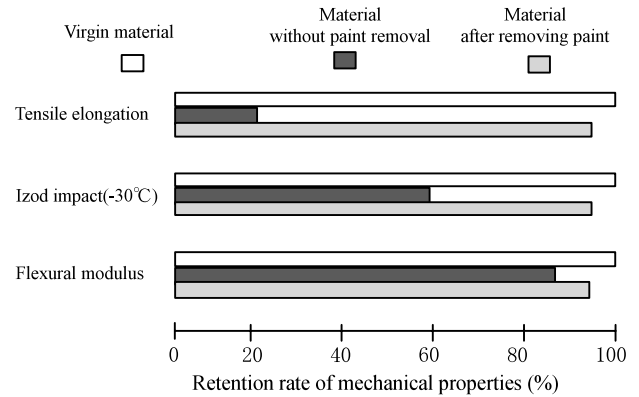


Fig.2 Mechanical Properties of the Paint Removed Material

2. リサイクルプロセスの現状

市場回収したバンパのバンパ補強材, 及びシボ面バンパへの現状のリサイクルプロセスをFig.1に示す。

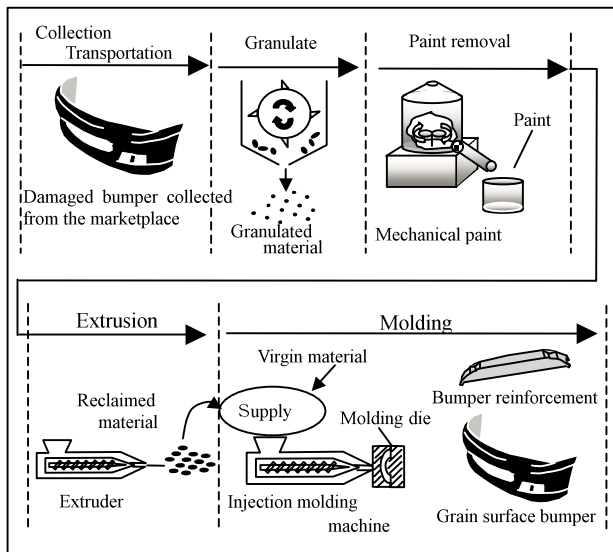


Fig.1 Bumper Recycling Process

ここでのポイントは機械式の塗膜剥離装置を用いて塗膜を除去することで、Fig.2に示すように、機械的物性を新材とほぼ同等にまで回復させたことである。本塗膜除去工程を組み込むことで、これまで再生材の機械的物性が低いことで使えなかった部品への適用が可能となった。

なお、塗膜除去の程度は、Fig.3に示すように、バンパ粉碎後に塗膜剥離処理した粉碎品について、塗装対象面全体の面積に対する残存塗膜面積の比率で表すこととし、本プロセスで塗膜除去した粉碎品の塗膜除去率は98.50%であった⁽²⁾。

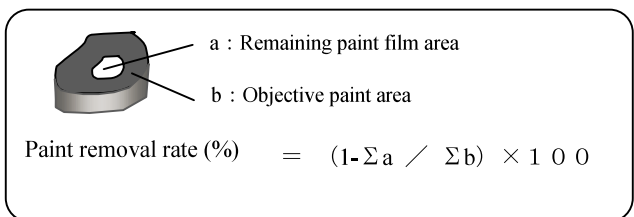


Fig.3 Calculation Method of Paint Removal Rate

3. 鏡面バンパ適用時の問題

目標とする再生材の混入率は、バンパの寸法安定性の面から限界となる30wt%となる。バンパ粉碎後に塗膜剥離、その後、押出機によりリペレット化した再生材をバンパ新材に30wt%混入し、鏡面バンパへの適用性を評価したが、塗装外観基準を満足できなかった。シボ面バンパの場合、表面にシボの凸凹があるため、表面欠陥にならなかったものが、鏡面バンパの場合、微細な凹が欠陥として観察された。Fig.4にバンパ塗装表面に発生した微細な凹、及びその断面を光学顕微鏡で観察した結果を示す。Fig.4(b)に見られるように基材表面付近には残存塗膜が認められ、これが原因で微細な凹みが生じるものと考えられる。このことから鏡面バンパへ適用するためには、更に塗膜除去率を向上させる必要があることが分かった。

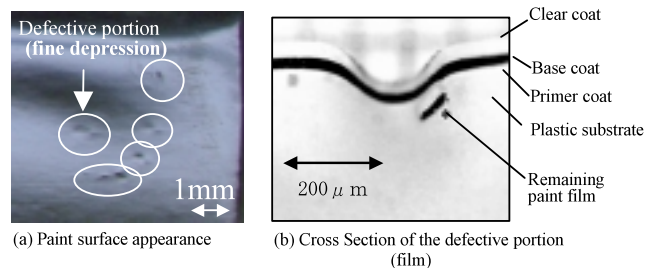


Fig.4 Paint Surface Appearance and Cross Section of the Defective Portion

4. 新しい塗膜除去プロセスの開発

今回、従来の機械式剥離工程の後に、精米機の業界で穀物選別に用いる光学選別工程を追加することで、残存塗膜の付いた粉砕品を選別除去し、結果として塗膜除去率を向上させることに成功した。更に、塗膜除去率のバラツキ改善に取り組み、これまでのバラツキを4分の1以下に抑制すると同時に、塗膜除去率の平均値も大幅に向上させ、目標の塗膜除去率を十分クリアできるようになった。以下にその内容について述べる。

(1) 塗膜除去率の目標設定

Table 2に、目標設定の考え方を示す。従来のプロセスで塗膜除去した再生材の塗膜除去率は98.50%で、塗膜の残存率は1.50%である。前述のようにこの再生材を30wt%新材に混入した場合は、塗装の外観基準を満足しなかったが、新材への再生材混入率を徐々に下げていくと、再生材混入率3wt%で塗装外観基準を満足した。再生材の混入目標を30wt%とすると、塗膜の残存率は現在の1.50%から1/10の0.15%にする必要があり、塗膜除去率は99.85%以上を目標とした。

Table 2 Setup a Target of the Paint Removal Rate

Mixing rate into virgin material (%)	Remaining paint rate (%)	
	Present	Target
1	○	
3	0.045%	○
10	●	
20	●	
30	●	0.045%
5	5	5
100	1.500%	0.150%
Paint removal rate	98.50%	99.85%

- : Paint surface appearance meets the requirement.
- : Paint surface appearance does not meet the requirement.

(2) 塗膜除去率向上のための着眼点

バンバ粉砕後に従来の塗膜除去プロセスで処理した粉砕品について、塗膜除去レベルを詳細に観察したところ、ほとんどの粉砕品に塗膜は見られず、一部の粉砕品だけに塗膜が残存していることが明らかになった。Fig.5にその観察結果を示す。このように86%には全く塗膜がなく、残りの14%の粉砕品に塗膜が確認された。このことにより、仮に10mm²以上の面積の残存塗膜が付着した粉砕品のみを選別して、除去できれば、塗膜除去率を向上させた再生材を高い収率で得ることが可能であると考えた。なお、ここでの収率は(塗膜なしとして選別された粉砕品数/全粉砕品数×100)と定義する。

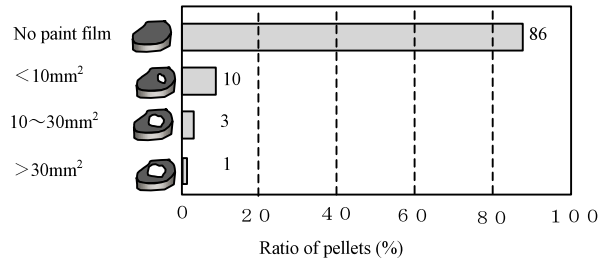


Fig.5 Remaining Paint Area on Pellets Processed for 65 Minutes in Present Paint Removal Process and Ratio of the Size

(3) 選別メカニズム

Fig.6に今回用いた選別機の選別メカニズムを示す。バンバ粉砕後に塗膜剥離処理した粉砕品を、選別機のホッパーに投入し、シューターを通過後、所定の位置で光とCCDセンサ(A)により、粉砕品を認識する。この時、粉砕品に塗膜が付いていると、その色は粉砕品(黒色)よりも強い反射強度を放出するため、これを検知し、その直後にエアエジェクター(B)により、選別・除去するものである。

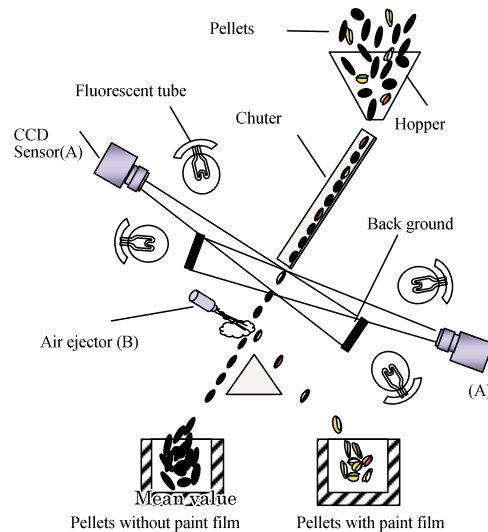


Fig.6 Schematic Drawing of the Sorting Machine

Fig.7に示すように、この選別機により処理された粉砕品の塗膜除去率の平均値は、従来の98.50%から99.85%に向上することが分かった。

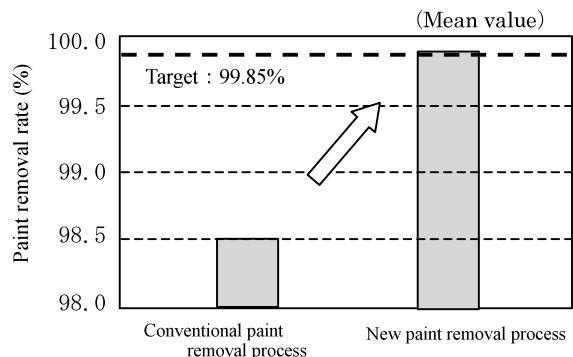


Fig.7 Paint Removal Rate Versus Paint Removal Processes

5. ロバスト性開発

しかし、市場から回収されたバンパ再生材は種々雑多な材料が混ざっており、Fig.8に示すように、同一の塗膜除去条件でも塗膜除去率はバラツキ、目標値を大幅に下回るものもある。

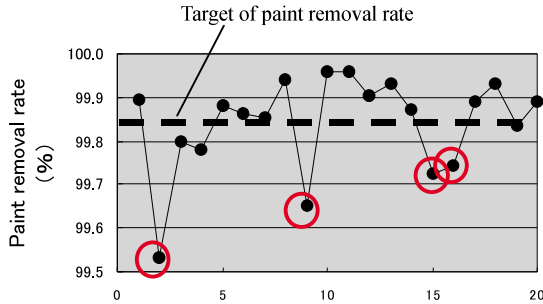
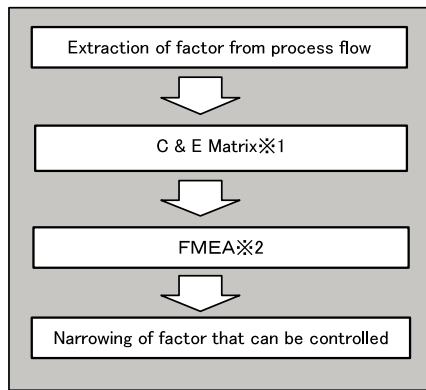


Fig.8 Paint Removal Rate (20 lots)

このため、対策としてシックスシグマ手法を用いてプロセス改善に取り組んだ。Fig.9に本取り組みのフローを示す。はじめにプロセスフローから塗膜除去率に影響を与えると思われる要因161個を抽出。その後、C&Eマトリックスにてプロセスインプットがアウトプットに及ぼす効果を評価し、スコア100以上の22個を要因として抽出した。更にFMEAにてこれらの影響度(危険度)を明らかにした後、コントロール可能な5個に絞り込み、塗膜除去率への影響度を明らかにすることとした。



※1.C & E Matrix : Cause & Effect
 ※2.FMEA : Failure Mode & Effect

Fig.9 Flow of Method of Six Sigma

(1) 目標値を下回った4ロットの分析

目標値を上回ったロットと、目標値を下回ったロットの材料形態を比較分析したところ、残存塗膜の大きさに違いがあることが分かった。Fig.10に目標値を上回った4ロットにおける粉砕品の残存塗膜面積とその比率を、Fig.11に目標値を下回った4ロットにおける粉砕品の残存塗膜面積とその比率を示す。これを見ると、目標値を上回ったロットに比べて、目標値を下回ったロットは、残存している塗膜の面積がより大きいものが存在することが分かった。

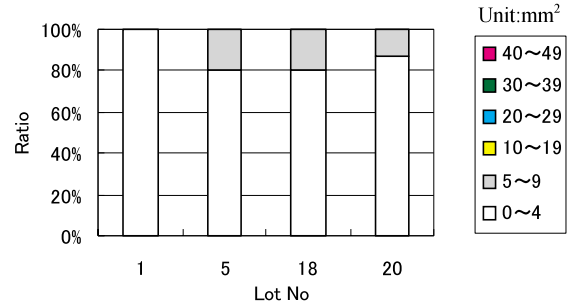


Fig.10 Remaining Paint Film Area and the Ratio of Four Lots which Met the Target

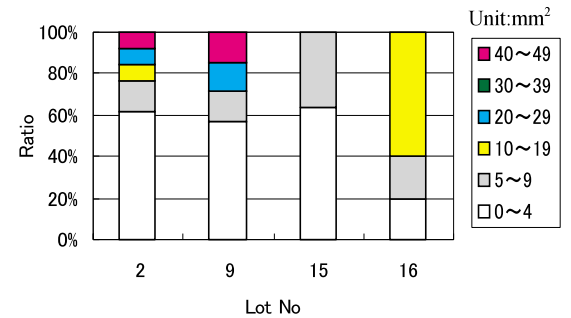


Fig.11 Remaining Paint Film Area and the Ratio of Four Lots which didn't Meet the Target

(2) 実験計画による条件の最適化

シックスシグマ手法を用いて、塗膜除去率に影響を与えると思われる要因161個から、最終的に絞り込んだ5個を設計パラメータとし、L8の直交表を使った実験計画を行った。この内、最も残存塗膜の大きさに影響を与えると思われる設計パラメータAに4水準、その他については2水準を直交表に割り付け、最適条件出しを行った。Table 3に、その際の設計パラメータと水準を、Fig.12に各設計パラメータにおける水準とSN比を示す。

Table 3 Design Parameter and Level

Design	Level	Design	Level
A	A1/A2/A3/A4	D	D1/D2
B	B1/B2	E	E1/E2
C	C1/C2		

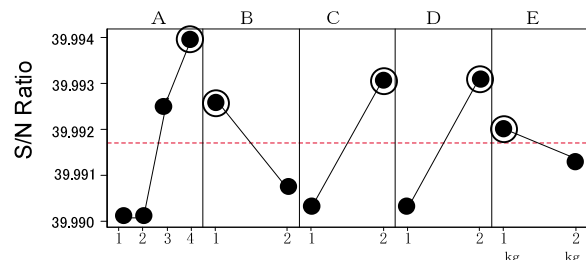


Fig.12 Level and Signal-Noise Ratio in Each Design Parameter

これにより推定される塗膜除去率は、Table 4に示すように、最適化前の条件が99.88%であるのに対して、最適化後の条件では99.98%と高く、効果が期待できることが分かった。

Table 4 Presumption Value by L8 Design of Experiment

Condition	Paint removal rate
Before optimization	99.88%
After optimization	99.98%

(3) 効果確認

実際に最適化した条件で再生材を処理し、効果を確認した。Fig.13に最適化前の条件での塗膜除去率を、Fig.14に最適化後の条件での塗膜除去率を示す。またTable 5に、これらの条件における塗膜除去率と標準偏差を示す。

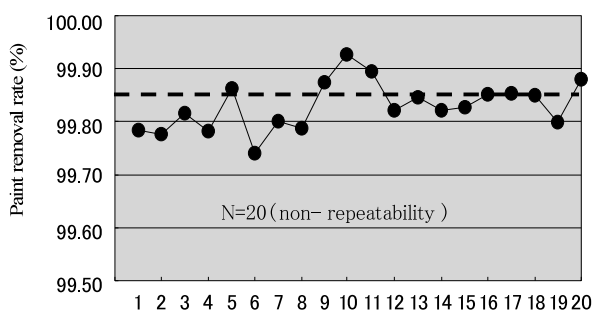


Fig.13 Paint Removal Rate Before Optimization

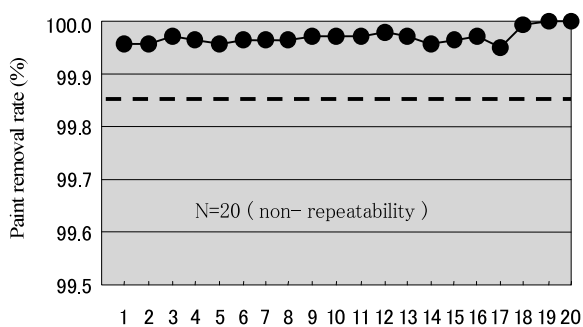


Fig.14 Paint Removal Rate After Optimization

Table 5 Measurement Value

Condition	Paint removal rate	Standard deviation
Before optimization	99.83%	0.045
After optimization	99.96%	0.012

これをみると最適化前の条件は、推定値が99.88%に対して実測値が99.82%、最適後の条件は、推定値が99.98%に対して実測値が99.96%とほぼ一致していた。また、バ

ラツキに関しては、最適化前の4分の1以下(0.045 0.012)に抑制できた。結果として、平均-3でも目標の塗膜除去率(99.85%)をかなり余裕を持ってクリアできるようになった。

6. まとめ

- ① バンパtoバンパリサイクル(30%混入)のために必要となる塗膜除去率の目標値を明らかにした。
- ② 塗膜除去率向上の施策として、現状プロセスに選別機を組合わせた新しいプロセスを見出し、目標の塗膜除去率をクリアした。
- ③ プロセス改善に取り組み、バラツキを4分の1以下に抑制すると同時に、塗膜除去率の平均値も大幅に向上し、目標の塗膜除去率を安定かつ確実にクリアできるようになった。

本技術は、市場回収材の適用範囲を大きく広げ、将来のリサイクルの加速に大きく貢献するものと確信する。最後に、本プロセス開発にあたりご協力いただいた(株)サタケ殿、高瀬合成化学(株)殿に深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 森脇, 藤, 中村: 機械式工法により塗膜剥離した市場回収PPバンパ再生材の物性とその適用開発, 成形加工シンポジア 01, p.91-92 (2001)
- (2) 森脇, 藤: プラスチックバンパの塗膜除去技術の開発, 自動車技術会学術講演会前刷集No.99-03, p.17-20 (2003)

著者



森脇健二



藤和久



田中宣隆



中村浩一郎



相澤誠

論文・解説

24

予混合圧縮着火燃焼におけるイオン電流計測 Measurement of Ion Current in Homogeneous Charge Compression Ignition Combustion

田中達也*¹ 榎原和晃*² 田端道彦*³

Tatsuya Tanaka Kazuaki Narahara Michihiko Tabata

吉山定見*⁴ 富田栄二*⁵

Sadami Yoshiyama Eiji Tomita

要約

イオン電流プローブを予混合圧縮着火 (Homogeneous Charge Compression Ignition) エンジンに装着し、燃焼センサとしての可能性を検討した。HCCI燃焼におけるイオン電流は、火花点火燃焼の場合と比較して、一つのピークを持つ単純な波形を示した。イオンは主に化学電離に基づく熱発生過程で生成されており、プローブはHCCI燃焼の反応そのものを検知している可能性が高い。イオン電流生成割合と質量燃焼割合は、運転条件に関わらず、各割合が10%から70%時期において高い相関関係を持っており、イオン電流の生成割合70%発生時期までの質量燃焼割合を推定できることがわかった。またサイクル毎の最大イオン電流時期は、サイクル毎の最大筒内圧力時期と相関があり、イオン電流情報によりサイクル毎の燃焼時期変動を検知できる可能性があることがわかった。

Summary

The feasibility of an ion current probe as a combustion sensor was investigated. The ion current probe was applied to a HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) engine. Ion current in the HCCI combustion showed one-peak simple waveform compared to that in the spark ignition combustion. It was found that ions were predominantly produced in the heat release process caused by the chemical ionization, and the ion current probe has a high possibility to detect HCCI combustion itself. There was high relation between the timing of ion current and the timing of the mass fraction burned from 10% to 70%, regardless of engine conditions, and it was found that the mass fraction burned until 70% could be presumed by detecting the generation ratio of the ion current. Also, there was high relation between the timing of maximum ion current and the timing of the maximum pressure in each cycle. Therefore, it was found that the probe has a possibility to detect the fluctuation of the combustion timing in each cycle.

1. はじめに

予混合圧縮着火 (Homogeneous Charge Compression Ignition, 以下 HCCI) は、低燃費と低NO_x排出を両立する次世代燃焼技術として期待されている。しかしながら、HCCI燃焼においては、着火時期およびその後の燃焼過程の制御が大きな課題であり、それらの制御を効率的に行うために燃焼状態を検知することが必要になっている。

イオン電流プローブ法は、燃焼反応の電気的性質を利用した燃焼診断技術の一つとしてよく知られている⁽¹⁾。イオ

ン電流プローブを用いた火炎面の検知、火炎伝ば速度の測定および火炎構造の観測は、バーナ火炎およびエンジンシリンダ内火炎においてしばしば行われてきた⁽²⁾。反応帯には多くのイオンが存在し、そのほとんどは陽イオンと電子からなる弱電離プラズマであると言われている⁽³⁾。プラズマ診断法は、ラングミュアプローブ法あるいは静電探針法として古くから利用されている⁽⁴⁾。大東らは、このラングミュアプローブ法の応用として、点火プラグ自身をプローブ (センサ) として火炎帯の検知を行い、火花点火 (SI: Spark Ignition) エンジンの着火遅れを測定する方法を提案

*1~3 技術研究所
Technical Research Center

*4, 5 岡山大学工学部
Faculty of Engineering, Okayama University

した⁽⁵⁾。この方法では点火プラグ自身がセンサであるため、新たにセンサを取り付けるための加工や燃焼室の改造等を必要とせず、極めて簡単な検知回路を付加することで燃焼状態を検知することができる。近年になって、SIエンジンの燃焼診断に用いられるようになった^{(6),(7)}。

火炎帯に現れる陽イオンは、化学電離に起因して生じることがCalcoteらによってパーナ火炎で確認されている⁽⁸⁾が、エンジンシリンダ内においては、火炎伝ばとともに燃焼室内の圧力や温度が上昇することから、化学電離以外に熱電離によるNOのイオン化が指摘されている⁽⁶⁾。このように、イオン電流の発生メカニズムには不明な点も多く、燃焼状態とイオン化反応を明確にした報告はない。

HCCI燃焼は、火花点火による火炎伝ばとは異なり、混合気の多点自己着火によって短時間の間に筒内でほぼ一斉に燃焼反応が起こると考えられている。このような火炎伝ばではない空間的にほぼ均一な燃焼を考えると、点火プラグをイオン電流プローブとして使ったとしても、HCCI燃焼の反応を総合的に検知できる可能性がある。

Strandhらは、点火プラグをイオン電流プローブとして、吸気加熱方式のHCCIエンジンにおいて、イオン電流が局所で検知されていること、筒内の圧力とイオン電流の間に相関があることを報告している⁽⁹⁾。またVressnerらは、燃焼室に7本の陽極のみのプローブを設け、イオン電流の発生時期、最大電流値は燃焼室壁温に依存するという基礎研究を行っている⁽¹⁰⁾。このようにHCCI燃焼のイオン電流の基礎的な研究は、燃料量、エンジン回転数固定のもとで、着火時期を吸気温度等で変化させることによって行われている^{(9),(10)}が、実用的なHCCIエンジンにおけるイオン電流プローブの燃焼センサとしての研究に関する報告はない。

そこで本研究では、現時点で実用に近いと考えられる高温の残留ガスを用いる方式のガソリンHCCIエンジンに、通常の点火プラグを利用したイオン電流プローブを適用し、幅広いエンジン運転条件でイオン電流の特性を調査し、HCCI燃焼経過とイオン電流波形との関係を明らかにすることによって、イオン電流プローブのHCCI燃焼センサとしての可能性を検討した。

Table 1 Test Engine Specifications

Number of Cylinders (-)	1
Bore x Stroke (mm)	78.0 x 78.4
Piston Swept Volume (cm ³)	375
Compression Ratio (-)	12.0:1
Fuel Supply	Port Fuel Injection
Fuel	Gasoline RON:91
Number of Valves (-)	4 (In.:2, Ex.:2)
Combustion-Chamber Shape	Pentroof

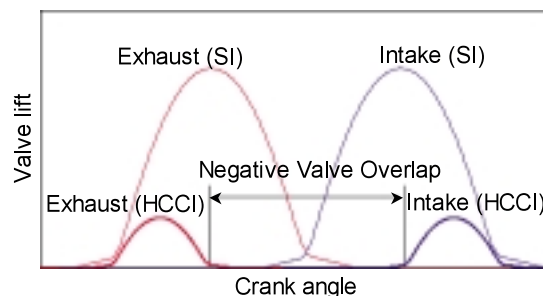


Fig.1 Schematic of the Negative Valve Overlap for HCCI Combustion

2. 実験装置および実験方法

2.1 ガソリンHCCIエンジン

Table 1に実験に供試したエンジンの基本諸元を示す。供試エンジンは、量産エンジンをベースとした1気筒あたり吸排気バルブを各2個もつ排気量375cm³の単気筒エンジンである。ボアおよびストロークは、それぞれ78mmと78.4mmである。圧縮比は12.0:1、燃料供給方式は量産エンジンと同じポート噴射方式であり、供試燃料にはリサーチオクタン価が91のガソリンを使用した。本HCCI方式は、前サイクルの高温の残留ガスを用いて混合気の圧縮自己着火を実現するものである⁽¹¹⁾。この方式は、Fig.1に示すように、前サイクルの高温の燃焼ガスを筒内に持ち越すために、排気バルブの早期閉時期と吸気バルブの遅い開時期を組み合わせた、いわゆる「ネガティブバルブオーバーラップ」という機構として特徴づけられる。点火プラグは、燃焼室の中央に設置している。また圧力計測用のピエゾ素子をもつ燃焼圧力センサをエンジンヘッドに取り付けている。エンジンのクランクシャフトは直流式電気動力計に連結されており、モータリングおよび燃焼時の回転数の調整や負荷の測定が行える。実験は様々なエンジン運転条件で行った。エンジンの運転条件をTable 2に示す。吸気温度と湿度は空調機によりそれぞれ300K、60%一定になるようにした。

2.2 イオン電流検知装置

Fig.2にイオン電流検知回路の概略を示す。イオン電流プローブの位置がイオン電流信号に及ぼす影響を調査するために、第二の点火プラグをシリンダヘッドの吸気側に取り付けている。点火プラグの中心電極と側方電極の間に6あるいは12ボルトの電圧を印加した。電子の移動によって

Table 2 Test Conditions

Engine Speed Ne (rpm)	1250-2500
Valve Overlap OL (CA deg.)	-140, -160, -180
Air Fuel Ratio AFR (-)	14.3-17.1
Intake Air Temperature (K)	300 fixed
Intake Air Humidity (%)	60 fixed

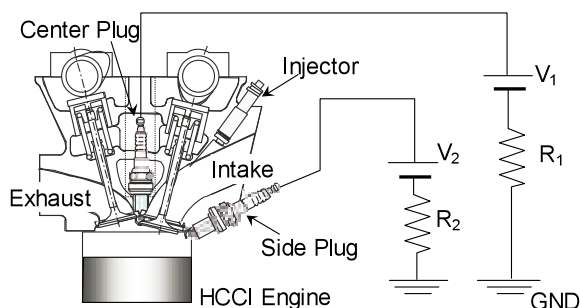


Fig.2 Schematic Diagram of the Ion Current Detection Circuit

検知回路を流れる電流は、回路中の抵抗両端の電位差を測定することにより計測した。検知回路中の抵抗 R_1 および R_2 の抵抗値は90k Ω である。筒内の圧力とイオン電流は、データ収集装置によって同時計測した。データ収集装置のサンプリング周波数は、各エンジン回転において、0.5deg.CAである。

3. 実験結果および考察

3.1 HCCI燃焼におけるイオン電流波形の特性

本節では、HCCI燃焼におけるイオン電流波形の特性について述べる。Fig.3に単一サイクルのSI燃焼におけるイオン電流と筒内の圧力信号を示す。イオン電流は燃焼室の中心に設置した点火プラグにより測定した。単一サイクルのSI燃焼のイオン電流は、複数の電流ピークを持っており、筒内の圧力信号との対応が弱いことがわかる。一方で、Fig.4の単一サイクルのHCCI燃焼におけるイオン電流は一つの電流ピークを持っており、筒内の圧力信号に良く対応している。この理由として、HCCI燃焼では、SI燃焼のような空間的に反応帯が伝ばするような燃焼が起こっておらず、燃焼室で反応が総括的に起こっているためにイオン電流信号に一つのピークのみが現れたのではないかと考えられる。

空燃比は、HCCI燃焼を制御する上で重要なパラメータである。Fig.5に、種々の空燃比におけるサイクル平均したイオン電流のクランク角度毎の信号を示す。エンジン回転数 $N_e=1,500\text{rpm}$ 、バルブオーバーラップ $OL=-160\text{deg.}$ の結果である。燃焼初期のイオン電流の立ち上がり時期は、空燃比によらずほぼ同じであり、イオン電流のピーク時期を含む燃焼後半において空燃比の影響が特に顕著に現れている。このことから、イオン電流の立ち上がり時期は、空燃比の影響をあまり受けず、立ち上がり時期以後の例えばイオン電流のピーク時期やピーク値などは空燃比などのガス組成の影響を受けているのではないかと推察される。

次に、HCCI燃焼では、空間的に均一な燃焼が起こっているのかどうかについて検討した。Fig.6に、イオン電流プローブの位置がイオン電流信号に及ぼす影響を示す。各イオン電流は、中心点火プラグと側方点火プラグにおいて

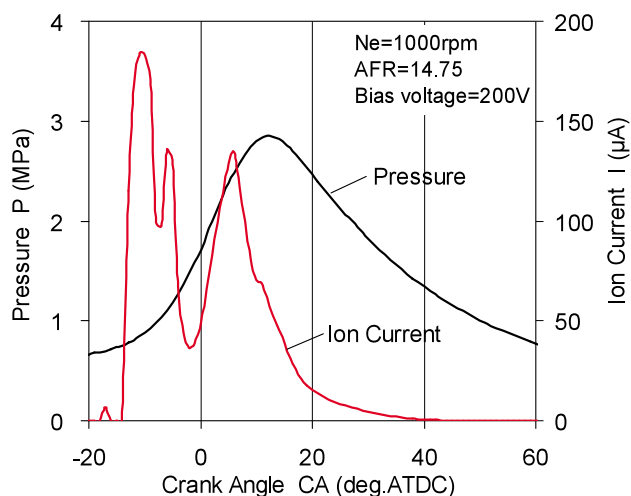


Fig.3 Ion Current and In-cylinder Pressure Signals of the SI Combustion in a Single Cycle

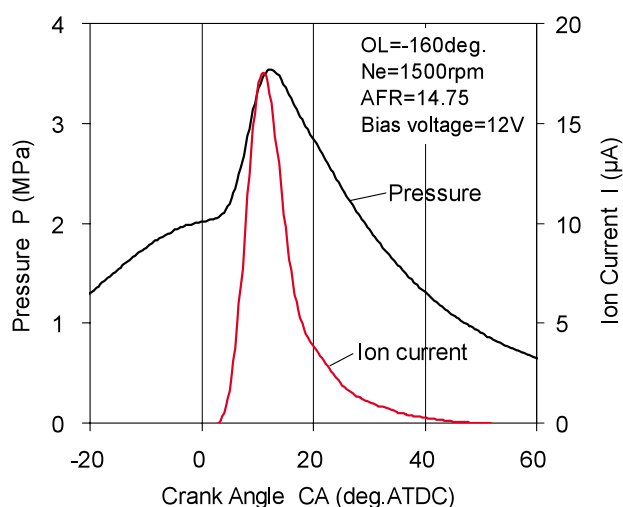


Fig.4 Ion Current and In-cylinder Pressure Signals of the HCCI Combustion in a Single Cycle

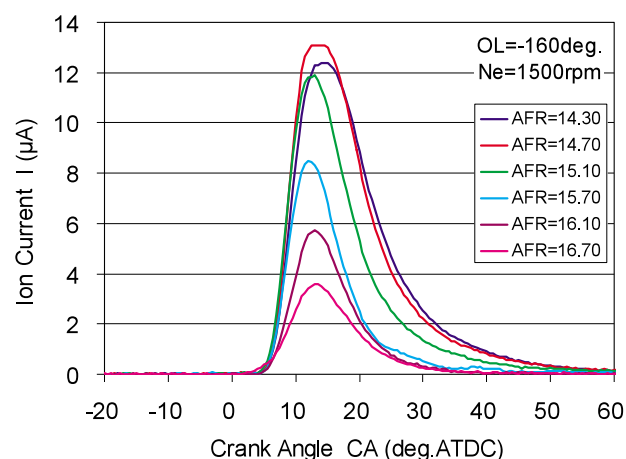


Fig.5 Effect of Air Fuel Ratio on Ion Current Signal

同時に測定した。側方点火プラグは吸気ポート側に設置している。印加電圧はそれぞれ6ボルトとした。燃焼の初期では、側方プローブにおけるイオン電流の発生時期は、中

心プローブの場合に比較して1.0deg.CA (Crank Angle) 程度遅れ、その最大値も低下している。両プローブにおけるイオン電流の発生時期および大きさの差には、燃焼室内の燃料濃度や温度分布が影響していると推察されるが、Fig.5の結果から、燃焼初期のイオン電流の立ち上がり時期は、空燃比によらずほぼ同じであることから、ここでは混合気の不均一性の影響は少ないと思われる。したがってVressnerらが報告しているように、側方プローブ近傍のガス温度が比較的低いため、イオン電流の発生時期が遅れて最大値が低下した¹⁰⁾のではないかと考えられる。燃焼後期において、イオン電流の発生時期および最大値の差はほぼなくなっている。これは、各プローブは局所の燃焼を検知しているが、燃焼後期では、燃焼が燃焼室の大部分を覆うように起こっており、その全体的な燃焼状態を検知したために、結果として局所検知の性質が薄れたと考えられる。以上のことから、HCCI燃焼では、イオン電流プローブ位置に関わらず、得られるイオン電流信号は、立ち上がり時期、ピーク値が異なるものの、それらのプロファイルは相似であることから、通常の点火プラグ位置である中心プローブにおいても、HCCI燃焼を総合的に示すイオン電流信号が得られる可能性があることを示している。

3.2 HCCI燃焼におけるイオン化反応

前節でイオン電流波形の特性を述べたが、本節では、イオン電流がHCCI燃焼のどのような情報を検知しているのかについて述べる。一般的にSI燃焼では、イオンの生成は化学電離と熱電離に影響されていると言われている。Fig.4に示したように、SI燃焼の場合のイオン電流信号は、化学電離、熱電離に対応すると考えられている複数のイオン電流ピークを持っている。

化学電離の程度を示す指標として、燃焼反応の割合を示す熱発生率がある。ゆえに化学電離は、最大熱発生率を示す時期付近で急速に進行すると考えられる。Fig.7に、エンジン運転条件を変化させた際のイオン電流が最大となる時期CA-I_{max}と熱発生率が最大となる時期CA-ROHR_{max}の関係を示す。中心プローブにおけるイオン電流が最大となる時期は、熱発生率が最大となる時期に対して一定で遅れていることがわかる。この遅れは、プローブによるイオン電流検知の局所性⁹⁾に起因しており、燃焼室内で熱発生が開始された位置とイオン電流が検知された位置が異なるために、両者が最大値を示す時期が2deg.CA程度ずれたものと考えられる。

熱電離は、イオン化エネルギーの低いNOの電離過程が代表的で、燃焼後半のサーマルNOの生成に対応した反応過程と重なっているといわれている⁶⁾。熱電離の指標の一つとして、ここでは燃焼室内の温度を選定し、熱電離は、最大温度時期付近において最も活発に起こると考えた。Fig.8に、エンジン運転条件を変化させた際のイオン電流が最大となる時期CA-I_{max}と温度が最大となる時期CA-T_{max}

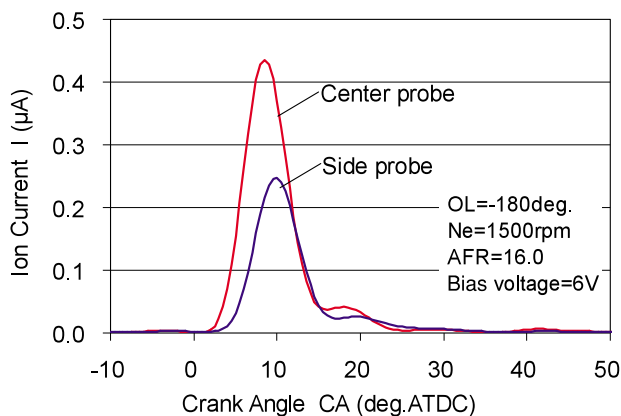


Fig.6 Effect of the Location of the Ion Current Probe on the Averaged Ion Current Signals

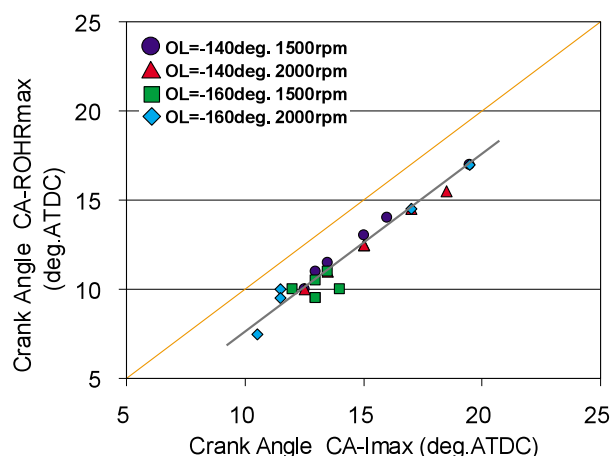


Fig.7 Relationship between the Crank Angle of the Maximum Ion Current and the Crank Angle of the Maximum Rate of Heat Release with Changing the Engine Combustion Conditions

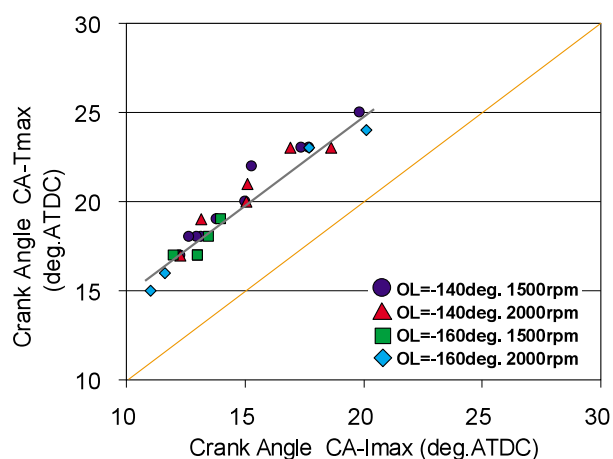


Fig.8 Relationship between the Crank Angle of the Maximum Ion Current and the Crank Angle of the Maximum Temperature with Changing the Engine Conditions

の関係を示す。エンジンの運転条件の変化にも関わらず、イオン電流が最大となる時期と圧力が最大となる時期の間

の相関関係は保たれているが、イオン電流が最大となる時期は、温度が最大となる時期に対して常に5deg.CA程度早い。

Fig.7およびFig.8から、イオンは、化学電離に基づく熱発生過程で生成されている可能性が高いことが推測されるが、これらの結果からのみで判断することはできない。そこで、燃焼後半の熱電離と関係が深いNO_x排出について述べる。このテスト条件におけるNO_xは、数ppmレベルの極めて低い排出量であることを確認している。したがって、HCCI燃焼におけるイオン電流は、HCCI燃焼の化学電離に対応した熱発生反応を主として検知している可能性が高く、サーマルNOの生成に対応した熱電離によるイオン化反応の影響は比較的少ないと考えられる。

3.3 イオン電流と熱発生時期の関係

前節において、イオン電流がHCCI燃焼の反応自体を検知している可能性が高いと説明した。HCCIの燃焼センサにとって、反応の時間経過に関する検知能力は重要である。反応量などの絶対量についてはセンサの経年劣化により検知に問題がでてくるが、時間経過であれば経年劣化の影響を受けにくく、着火時期や燃焼期間等の有効な情報が得られる。したがって本節では、イオン電流と筒内圧力信号との時間経過の関係について述べる。Fig.9に、典型的な圧

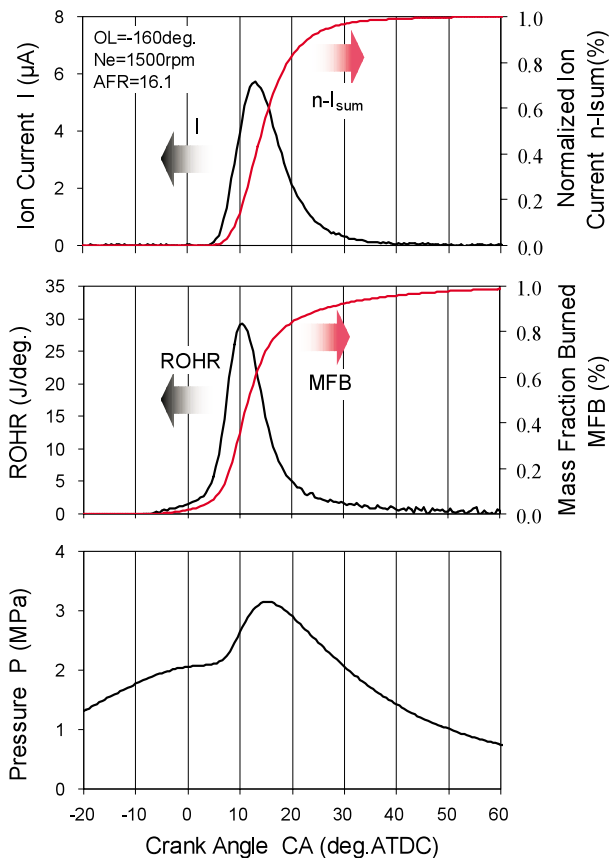


Fig.9 Typical Signals of Ion Current, Normalized Ion Current, Rate of Heat Release, Mass Fraction Burned and Pressure

力、熱発生率、質量燃焼割合、イオン電流および正規化した積算イオン電流値の時間経過を示す。正規化した積算イオン電流値はイオン電流を積算して、積算値が一定となった時期を1.0として定義した。イオン電流波形は、反応の指標である熱発生に良く対応していること、正規化した積算イオン電流値は質量燃焼割合と相似な時間経過を持っていることがわかる。

Fig.10に正規化した積算イオン電流が所定値となるCA時期と質量燃焼割合が同割合となるCA時期の関係を示す。図に示すように、10%から70%のイオン電流および熱発生時期において、正規化した積算イオン電流値の時期と熱発生率時期の間に強い相関が見られる。しかしながら、CA-80%以上では、相関が弱くなっている。この理由として、燃焼後期におけるイオン電流が、主として既反応帯におけるイオンの再結合によって流れており、前節で示した化学電離を含む熱発生への依存性が低下していること、またFig.9に示したように、燃焼後期の質量燃焼割合および積

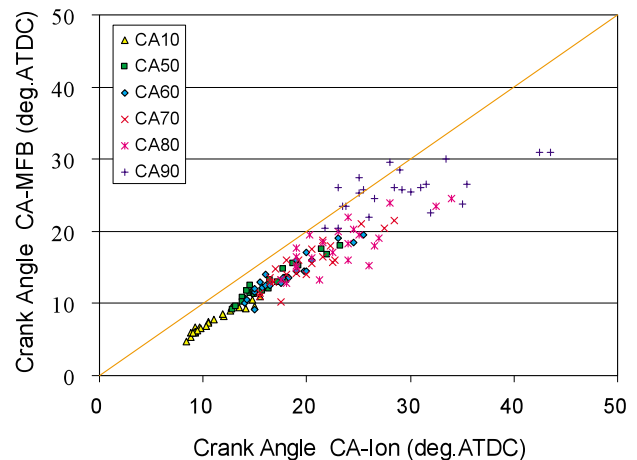


Fig.10 Relationship between the Crank Angle of the Normalized Ion Current and the Crank Angle of the Mass Fraction Burned

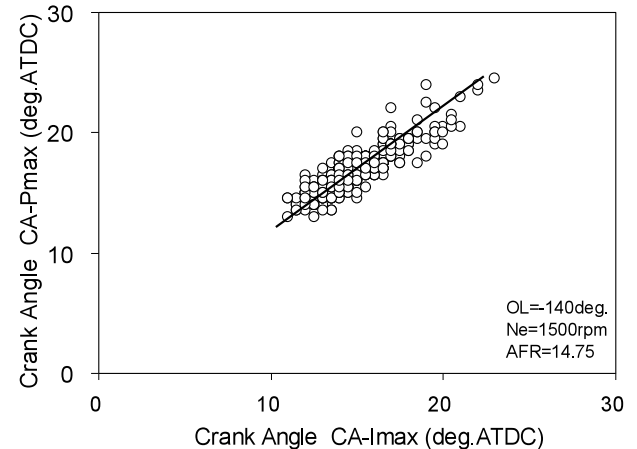


Fig.11 Relationship between the Crank Angle of the Maximum Ion Current and the Crank Angle of the Maximum Pressure with 345 Cycle Plots

算イオン電流割合の変化量が少なく、質量燃料割合および電流生成割合時期判定に誤差が載りやすいことによると考えられる。

以上の結果から、エンジン運転条件が本テストの範囲内で変化したとしても、イオン電流の時間的な発生履歴から熱発生時期を求め、70%発生時期までの質量燃焼割合を推定できることがわかった。

3.4 サイクル毎のイオン電流最大値時期

燃焼センサにとって、燃焼時期の変動検知は、燃焼の安定化を図る上で重要な課題となるため、本節では、サイクル毎のイオン電流信号について検証した。Fig.11にイオン電流が最大となる時期 $CA-I_{max}$ と筒内圧力が最大となる時期 $CA-P_{max}$ の345サイクル分の関係を示す。イオン電流が最大となる時期と筒内圧力が最大となる時期の間には相関が見られる。このことから、イオン電流が最大となる時期の情報から、HCCI燃焼のサイクル毎の燃焼時期変動を検知する手段として利用できる可能性があることがわかった。

4. まとめ

通常の点火プラグを利用したイオン電流プローブを、ネガティブバルブオーバーラップ方式のガソリンHCCIエンジンに適用し、HCCI燃焼反応におけるイオン電流の特性およびHCCI燃焼経過とイオン電流波形との関係について調査した。イオン電流プローブによりイオン電流の発生時期を検知することで、熱発生の発生時期を知ることができるなど、基礎的な部分において、イオン電流プローブがHCCI燃焼センサとしての可能性を持っていることを確認した。以下に得られた結果をまとめる。

1. HCCI燃焼における単一サイクルのイオン電流信号は、単純なプロファイルを示し、一つの最大値を持つ。
2. イオン電流プローブの位置に関わらず、得られるイオン電流信号は相似のプロファイルを持っている。
3. イオン化反応過程は、熱発生に起因する化学電離に強く影響されており、反応後半の熱電離の影響は少ないと考えられ、イオン電流プローブはHCCI燃焼の化学電離反応そのものを検知している可能性が高い。
4. イオン電流生成割合と質量燃焼割合は、エンジン運転条件に関わらず、それぞれの割合が10%から70%の時期において高い相関関係を持っており、イオン電流の生成割合から熱発生時期を求め、70%発生時期までの質量燃焼割合を推定できる。
5. サイクル毎のイオン電流が最大となる時期は、サイクル毎の筒内圧力が最大となる時期と相関があり、サイクル毎のイオン電流情報によりHCCI燃焼のサイクル毎の燃焼時期変動を検知する手段として利用できる可能性がある。

参考文献

- (1) Lawton, J., et al.: Electrical Aspects of Combustion, Clarendon Press, Oxford (1965)
- (2) Tomita, E., et al.: Turbulent Premixed Flames Under Lean Conditions Studied with Ion Current Measurement in a Homogeneous Charge Spark-Ignition Engine, SAE Paper, No. 2000-01-1940 (2000)
- (3) 金原：気体の燃焼物理，葦華房（1985）
- (4) 堤井：プラズマ基礎工学，内田老鶴園（1997）
- (5) 大東 他：ガソリン機関における点火遅れと火炎伝ば，機論（第2部），36-282，p.808-817（1970）
- (6) Saitzkoff, A., et al.: An Ionization Equilibrium Analysis of the Spark Plug as an Ionization Sensor, SAE Paper, 960337 (1996)
- (7) 浜本 他：点火電極イオンプローブによる燃焼診断，機論（B編）60-572，p.1486-1492（1994）
- (8) Calcote, H. F., et al.: Negative and Secondary Ion Formation in Low-Pressure Flames, 10th Symposium (Int.) on Combust., p.605-619 (1965)
- (9) Strandh, P., et al.: Ion Current Sensing for HCCI Combustion Feedback, SAE Paper, No.2003-01-3216 (2003)
- (10) Vressner, A., et al.: Multiple Point Ion Current Diagnostics in an HCCI Engine, SAE Paper, No.2004-01-0934 (2004)
- (11) Willand, J., et al.: The Knocking Syndrome-Its Cure and Its Potential, SAE Paper, No.982483 (1998)

著者



田中達也



楢原和晃



田端道彦



吉山定見



富田栄二

論文・解説

25

ハイポイドギヤ絶対原価の追究

Process Development of Face Hobbing-Hypoid Gear

田中宏明*1 山本真司*2 樋口昭彦*3
Hiroaki Tanaka Shinji Yamamoto Akihiko Higuchi
坂東武夫*4
Takeo Bando

要約

マツダではハイポイドギヤの歯切り方法として、これまでフェイスミル歯切り法(勾配歯)を採用してきた。今回、新しい四輪駆動システム開発にあたり、より小型で静粛性を持ったPTO(Power Take Off)の開発・生産要望があった。ユニット小型化を可能とするため、内蔵するハイポイドギヤに高強度を狙った等高歯を採用した。これはフェイスホブ加工と呼ばれる歯切り法により得られる。高強度・静粛性を確保するとともに、ハイポイドギヤ加工工程を根本的に見直すこととし、コストに対して絶対原価を追究した。

本稿では、ハイポイドギヤ生産工程をタッチ数という視点から見直し、いかに少ない工程で生産出来るかを検討した事例を紹介する。

Summary

Mazda has been doing the hypoid gear cutting by using the Face-Milling. In the new 4WD development, we were asked to develop smaller and more quiet PTO (Power Take Off). In order to reduce size, we adopted more rigid Face-Hobbed-gear for the built-in hypoid gear. Face-Hobbed-gear is produced through the so-called Face-Hobbing. In quest for high-rigidity and quietness, we thoroughly refined the hypoid gear cutting process, and made hunt for absolute cost.

This paper introduces our approaches to reduce as much process of hypoid gear cutting as possible.

1. はじめに

従来、ハイポイドギヤを内蔵するデファレンシャル(以下デフ)ユニットやPTO(Power Take Off: Fig.1)は、後輪駆動車・四輪駆動車にはなくてはならない動力伝達構造の一つとして、自動車業界においてはその開発・生産技術を重要な技術であると位置付けてきた。近年になってマツダでは世界最適調達を目指した外製ユニット購入の機会とともに、他の自動車メーカーへのユニット供給の機会も増えている。品質は“当たり前”の上に立脚した相互補完、激しいコスト競争が展開されている。デフユニットの生産は、絶対原価追究を目的に、組立工程でのフレキシブル化や部品点数削減、デフケース加工工程でのNCマシニングによるフレキシブル生産実現などにより、よりコスト競争力の

ある生産プロセスへと移行しつつある。しかし、内蔵するハイポイドギヤ加工工程においては、各社ともほぼ同じ生産方式を用いているため、品質、コストにおいて優位性を確保するのが難しい状態にある。これでは、競合力のあるユニットを生産することが出来ないだけでなく、今後のユニットビジネスの機会さえも失いかねない。そこで、従来から用いているハイポイドギヤ諸元と生産工程を絶対原価という考え方で見直し、最安のギヤ諸元と加工工程はどうであるべきかを検証し、量産に織り込んだ。以下に開発の経緯を述べる。

2. ハイポイドギヤ生産工程の概要

従来のハイポイドギヤ生産工程はFig.2に示す通りである。歯切り法はフェイスミル歯切り法と呼ばれるもので、

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

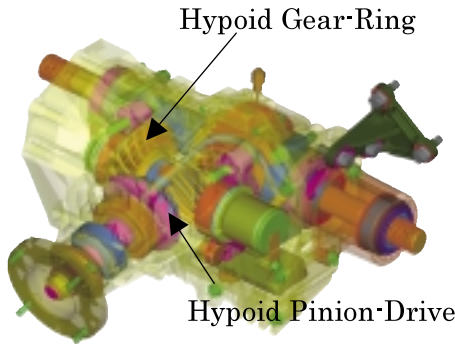


Fig.1 New PTO (Power Take-off)

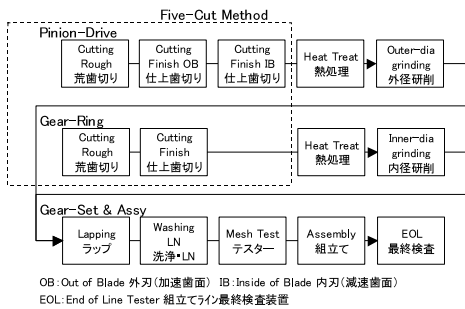


Fig.2 Process of Conventional Hypoid-Gear

ギヤとピニオン合わせて5回の歯切りを行うことから5カット方式と呼ばれる。歯切り後、それぞれ熱処理工程を経て、ピニオンは軸部外径が研削される。ギヤは同様に内径研削を行う。ラッピング工程ではそれらをセットとして、Si系の研磨剤を塗しながら歯面仕上げを行い、洗浄を経た後、表面処理を行う。対になったギヤセットをテスターで品質確認し、完成品となる。

3. 絶対原価を追究したハイポイド生産工程

3.1 ハイポイドギヤ絶対原価の考え方

絶対原価とは、製品の構造・機能・特性により決まり、製品以外の条件（台数やライン形態）に左右されない最も効率的な製造プロセスの正味製造原価のことである。ハイポイドギヤに求められる機能は、ひとつはより小型軽量で高強度を有する動力伝達と、もうひとつはその動力伝達が静粛に行われることである。これらの機能を満足する製品を必要最小限のタッチ数（刃具、治具、検査具等がワークへ接触する手数）で生産出来る工程をハイポイドギヤの絶対原価工程であると定義し、歯車諸元・生産プロセスを再構築した。

3.2 絶対原価ライン実現の課題

実現する上での検討課題は以下の通り。

- (1) 歯切り工程数削減（ワンチャック加工）
- (2) ラッピング工程廃止の可否
- (3) 当たり前としてきたファイナルギヤテスター工程の廃止
- (4) タッチ数削減と品質を成立させる良品条件（管理・点

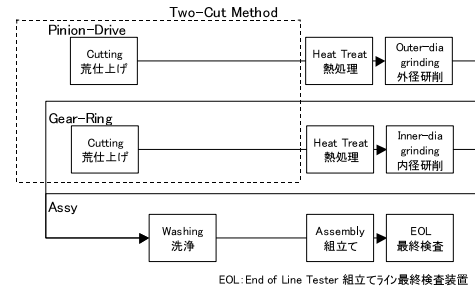


Fig.3 Process of Hypoid-Gear for Absolute Cost

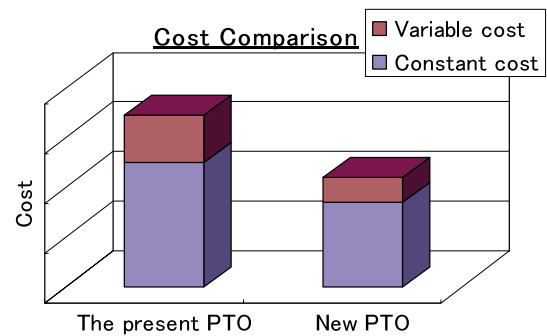


Fig.4 Merit of Hypoid-Gear for Absolute Production

検)の設定

これら多岐にわたる課題を検討する上で対応策として提案したアイテムは、机上検討と同時に各開発試作段階へ織り込み、実機にて良否を確認しながら、より信頼性の高いものとしていった。Fig.3がハイポイドギヤの絶対原価工程である。新しい工程を実現することにより、ワークへのタッチ数を122回 31回へと削減出来、ギヤセットとしては変動費及び固定費の領域で約40%のコスト削減が可能となる (Fig.4)。

以下に各工程で検証した詳細について述べる。

4. フェイスホブ歯切り法の採用

4.1 歯切り工程削減の課題

従来の創成歯切り法を代表とするフェイスミル歯切り法は、加速/減速歯面の仕上げ歯切りが別々の歯切り盤で行われ、歯当り調整の自由度が非常に高い。結果、実車ノイズに有利な歯形を得やすいという理由もあり採用している加工法だが、生産性が高いとはいえない。しかし、昨今のNC歯切り盤の導入や、3次元計測機による歯面形状測定により 加速側と減速側の同時歯面修正も容易になってきた。加えて、マツダではハイポイドギヤ噛合起振力の測定技術や、ユニットの起振力定量評価装置 (EOL; End of Line Tester) を開発し、導入してきた⁽¹⁾。これらを活用し、加速/減速歯面の同時加工に起因する起振力ばらつきを評価した結果、歯切りワンチャック加工の採用は可能であると判断した。

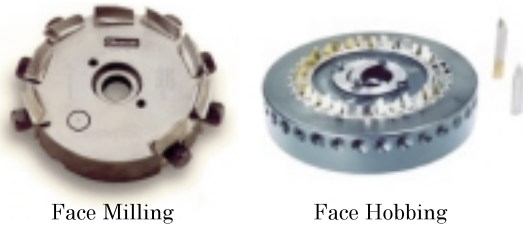


Fig.5 Cutter System of Face Hobbing and Milling



Fig.6 New Machine for Grinding of Stick Blade

今回、PTO用ハイポイドギヤの歯切りワンチャック加工法として、フェイスホブ歯切り法を採用した。この歯切り方法は前述のフェイスミル歯切り法に対し、ピニオンとギヤがそれぞれワンチャックで歯切りを完了するため、2カット方式とも呼ばれる。歯切り方法は、従来の勾配歯のような1歯割出しによる歯切りではなく、ヘリカルギヤでは一般的なホブ加工と同じ連続割出しによる歯切りとなる²⁾。割出しに要する時間が不要で、前述の工程数の違いと合わせ、勾配歯に比べ、圧倒的に単位時間・機械台数当たりの出来高に優れる。また、その連続割出しの幾何的利点から、小径のカッターが使用出来る。これにより、負荷荷重状態における歯当り荷重中心が歯面内に留まる特性から、従来の勾配歯に比べ歯筋全体で荷重を受けることが可能となり、強度面で有利となっている。

4.2 新しい刃研機の開発

フェイスホブ歯切りに必要な工具はフェイスミルに用いられるフライス状のカッターとは異なる。連続割出しを可能とするため、Fig.5右図に示すような切削方向に幅の短い棒状の刃物を使用し、そのプロファイル形状を刃研することが必要となってくる。

従来のプロファイル刃研機は高価であったため、Gleason Corporation (以下グリーソン社) に提案し、より安価な設備の共同開発を行うこととした。ベース機にはグリーソン社傘下のGleason-PFAUTER Maschinenfabrik GmbH製P60を使用することにしたものの、ベッド部が鉄板溶接構造を取るため 熱による変形や刃研精度への影響を考慮し、鋳物に変更した。また、刃物の母材が刃研精度ばらつきに影響しないチャック構造を提案し 精度を向上させながら、従来価格の約30%を低減可能とした (Fig.6)。

Table 1 The Function Required of Lapping

機能 Function	課題 Subject
初期なじみ (スコアリング防止) Initial familiarity	初期スコアリングの懸念 Concern of Initial familiarity
歯当り位置・歯形修正 (ノイズばらつき低減) Tooth Contact Position&Tooth form Correction	最適歯面形状の決定(ロバスト追求) Determination of the optimal tooth form ラップによる歯当り位置修正不可 Tooth contact position correction is impossible
カッターフラットの除去 (高周波ノイズの低減) Cutter flats removal	実車での高周波ノイズの懸念 High frequency noise in a real vehicle

5. ラッピング工程廃止の概要

5.1 ラッピングに求められる機能

ハイポイドギヤのラッピングとはピニオンとギヤを対として、Si系の研磨剤を塗しながら歯当りを歯面全体に移動させ表面仕上げを行い、歯面の面粗度を向上させる方法として一般的に知られている。

ラッピングに求められる機能とはTable 1のようなものであり、大きく3つある。(1)ギヤ信頼性の評価項目である初期なじみ(スコアリング防止)、(2)歯当り位置と歯形の修正、(3)カッターフラット除去による高周波ノイズ低減である。これらの機能に対してラッピングを実施しない場合の課題がそれぞれに挙げられるが、その課題を全てクリア出来れば、ラッピング廃止が可能といえる。

フェイスホブ歯切り法では、歯面に発生するカッターフラットと呼ばれる切削傷、うねりの方向がフェイスミル歯切り法とは異なり、それらに起因する高周波ノイズが発生しにくいとされる。このことから、通常ハイポイドギヤでは当たり前とされていたラッピング工程の廃止に着目した。

5.2 耐スコアリング性能の検証

ハイポイドギヤの場合、噛合い時の接触圧力が極めて高く、ほとんどの場合で歯面は境界潤滑下にある。そのため、金属接触部分では分担荷重が増え、そこで発熱する。スコアリングは、その発熱温度(フラッシュ温度)が高くなりすぎたときに、歯面の一部が溶融し、相手歯面に取り去られる歯面損傷のことである。このフラッシュ温度を低く抑えられれば、スコアリングは発生しにくいといえる。

耐スコアリング性能の評価は、下記のようなグリーソン社の提案している公式を用いた³⁾。

$$T_F = T_i + \Delta T_0 \dots(1)$$

T_F ...スコアリング指数

T_i ...ギヤブランク温度

T_0 ...接触歯面の温度 (T の最大値)

$$\Delta T = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot q_0 \cdot \mu \cdot v_s \left/ \left(C_1 \sqrt{\frac{v_1}{d_1}} + C_2 \sqrt{\frac{v_2}{d_2}} \right) \dots(2) \right.$$

T ...接触面の温度上昇(フラッシュ温度)

q_0 ...接触圧力

μ ...摩擦係数

v_s ...すべり速度

C_1, C_2 ...熱定数

v_1, v_2 ...速度

d_1, d_2 ...接触楕円の幅

添字の1, 2はピニオン, ギヤを指す

式(1)(2)はFig.7のような噛合いを仮定したときの式である。新設したPTO用ハイポイドギヤ(ニヤマイタ:ギヤ比が1.0に近い)と一般的な乗用車用サイズのハイポイドギヤをこの式を用いて比較した結果,同一のトルク・回転数の状況下では,圧倒的にフラッシュ温度 T は低く,ギヤ諸元的にスコアリングが発生しにくいことが分かった(Fig.8)。この結果を受け,ラッピング未実施のギヤセットについて実機でのスコアリングテストを実施し,問題のないことを確認した。

5.3 最適歯形の検討

ラッピング廃止の場合,ラッピング加工の機能の2つ目である,歯当りと歯形の調整がネックとなる。通常,ラッピングすると歯当り位置と歯形は矯正され,完成品のばらつきは減少する。しかし,ラッピングを廃止することにより,最終完成歯形が熱処理後の歯形となり,これがユニット組立後の歯当り位置ばらつきに影響するためである。そこで,品質工学を用いて,その歯当り位置ばらつきに対し

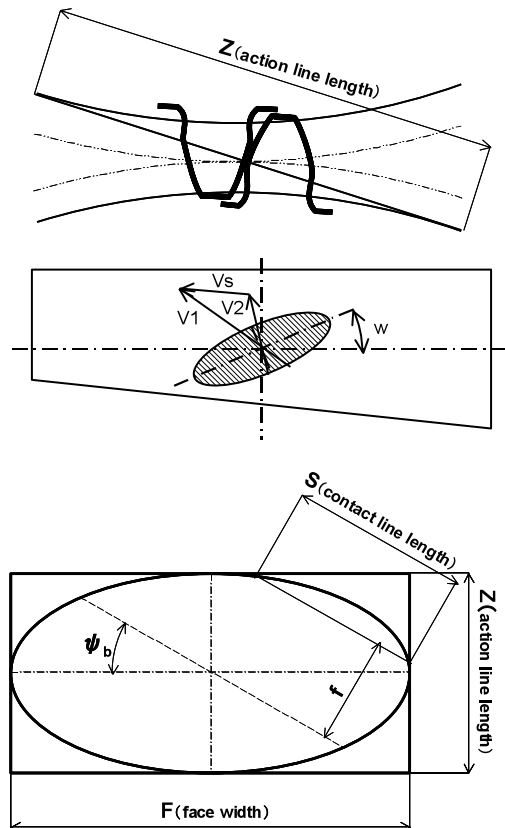


Fig.7 Hypoid-gear Meshing Model

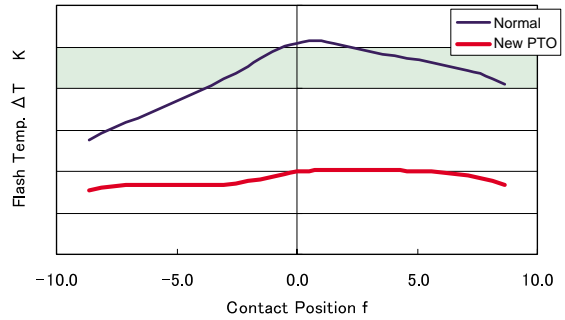


Fig.8 Verification of Scoring Index

て最もロバストな歯切り歯形を検討した⁽⁴⁾。この結果から,熱処理変形に依存する歯当りばらつきが最も少なく,ロバストな歯形を選定した。Table 2とTable 3に因子と水準を, Fig.9の赤印に,最終的に決定した各因子の条件を示す。

5.4 ロバスト性評価

マツダでは歯車諸元と歯形の狙いが有効なものであるかを最終的に評価するため,噛合伝達誤差テスターを用い,組付け時に発生する配置誤差を意図的に与えた場合の噛合伝達誤差と歯当りの評価を行う。これにより,ギヤ単体の配置誤差へのロバスト性を評価することが出来る。この方法によって,従来のフェイスミル歯切りと今回採用のフェイスホブ歯切りによるギヤセットの比較を実施した。Fig.10およびFig.11に従来のフェイスミルとフェイスホブのギヤセットの配置誤差に対する噛合伝達誤差特性を示す。フェイスホブ歯切りの方が今回設定した諸元・歯形においては平均的に伝達誤差が小さく,また平坦な特性を持っていることが分かる。これはケースの加工精度やユニット組付け誤差に対し,よりロバストな特性を持っているといえる。噛合伝達誤差テスターは軽負荷領域での計測であるため,加えてユニット全体の実車での実稼働状態で評価すべきであると考え,次のテストを実施した。

5.5 ノイズの検証

ロバストを追求した歯形に実機での量産ばらつきを与え,それをユニットに組み込むことで,ノイズの下限品テストを実施した。歯切り工程での刃具刃研寿命内加工を1

Table 2 Tooth Form Design Control Factors and Levels

	1	2	3
Heat Treatment Timing	head	middle	
Position in Heat Treatment Palette	front left	center	back right
Pattern Length Factor	0.35	0.5	0.6
Blade Curvature	50	200	0(∞)
Delta Gamma X	-1.5	0.5	2.5
Delta Psi	-0.75	-0.5	-0.25
Delta Ax	-0.015	-0.005	0.005
Cutter Radius Change	-0.005	0	0.005

Table 3 The Error Factors and Levels

	1	2
Heat Treatment Modification	small	large
Torque (Transmission Error Measurement)	low	high
Alignment (V/H)	0/0	80/120

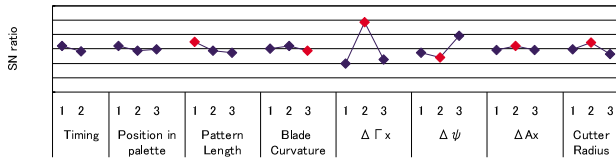


Fig.9 S/N Ratio

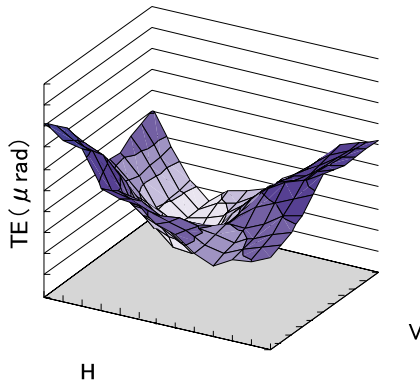


Fig.10 Transmission Error of Face-Milled Gear

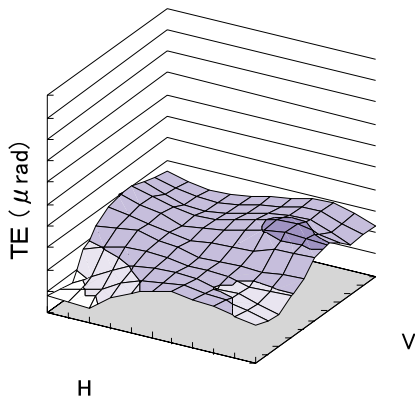


Fig.11 Transmission Error of Face-Hobbed Gear

ロットとして、連続加工の初回と最終品を取り出し、それに熱処理条件のばらつきを与えて下限品を製作した。Fig.12は個々のユニットの噛合伝達誤差を計測した結果である。車両からカスケードされたユニット目標ラインを十分に満足するレベルであることが分かった。

結果、ケース精度ばらつき、ユニット組立ばらつきを与えても、目標値を満足するノイズ性能（静粛性）を有するギヤセット性能であることを実機で確認することが出来た。

6. テスター工程廃止の概要

6.1 ギヤセットテスター工程の目的

ギヤセットテスターは、ギヤセット加工工程の最終工程であり、ギヤセットの歯当り品質と実車でのギヤノイズの原因のひとつである噛合伝達誤差の全数検査を目的としている工程である。マツダではユニット組立後にEOLテスターを導入し、ユニットとしての品質管理を実施しているが、

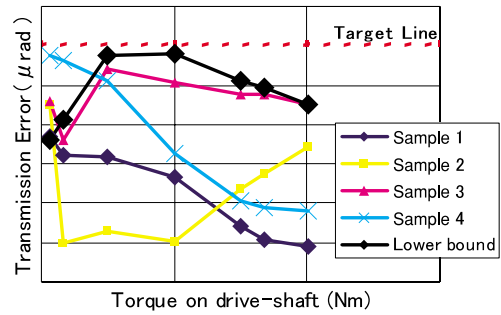


Fig.12 Transmission Error of PTO

ここで計測する特性はギヤテスターに類似している。結果として、デフユニット生産工場としては、品質の安定度とコストがバランスしていない可能性が高い。

6.2 オンライン品質工学の適用

オンライン品質工学を用いて不具合が発生した場合のロスコストと頻度を評価し、最適な管理方法を論理的に算出した。長期にわたる量産データと、新規に追加したトライアルデータなどを用い、計算を実施した⁽⁵⁾。

6.3 工場全体としての採算計算

式(3)を用いて、新規ユニット用ギヤセットと同様の工程で加工している現在量産中のギヤセットについて、ギヤセット加工とユニット組立での損失 L_0 を計算したところ、Fig.13に示す通り、総損失の内訳において、全数検査をしているギヤセットテスターと、組立ラインのEOLテスターでの計測コストの占める割合が圧倒的に高いことが分かる。

$$L_0 = \frac{B}{n_0} + \frac{C}{u_0} + \frac{A}{\Delta^2} \left[\frac{D_0^2}{3} + \left(\frac{n_0 + 1}{2} + l \right) \frac{D_0^2}{u_0^2} \right] \dots(3)$$

- L_0 : 総損失
- B : 計測コスト
- n : 現行の計測間隔
- C : 調整コスト
- u_0 : 現行の調整間隔
- A : 生産者側の損失
: 現状の許容差（規格幅）
- D_0 : 現行の調整限界
- l : タイムラグ

6.4 量産工程への反映

そこで、この量産中のギヤセットについて、ギヤセットテスターを廃止した場合に予測される損失を試算した。なお、ギヤセットテスターで見つけていたNG品についてはそれぞれNGの内容を詳細に分類し、組立工程の歯当り検査やEOLテスターで流出防止するとして予測損失を試算した。この試算から、ギヤセットテスターを廃止すれば、後工程でNGを見つけるための調整コストなどが増大するが、結果として損失は1個当たり約15%抑えられるという結果が

得られた (Fig.14)。そこで、ギヤセットテスターを廃止するトライアルを約1ヶ月間実施し、実測結果を反映して損失を再計算した結果、試算と近い値となった。トライアル結果を踏まえ、実際にこのギヤについてはギヤセットテスター工程が廃止され、また今回新設されたPTOのギヤセットについても、組立工程にEOLが設置されるため、加工工程のギヤセットテスターを廃止した。

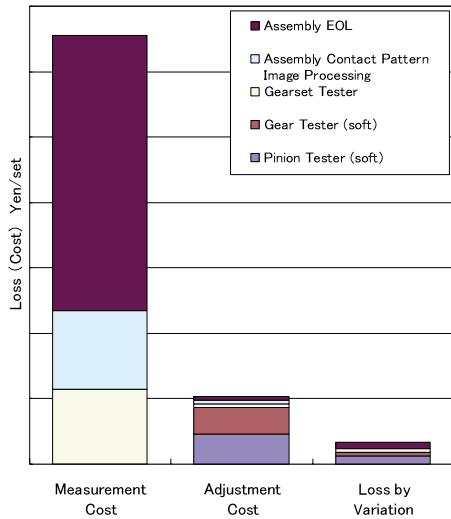


Fig.13 Items of the Quality Loss at the Current Process

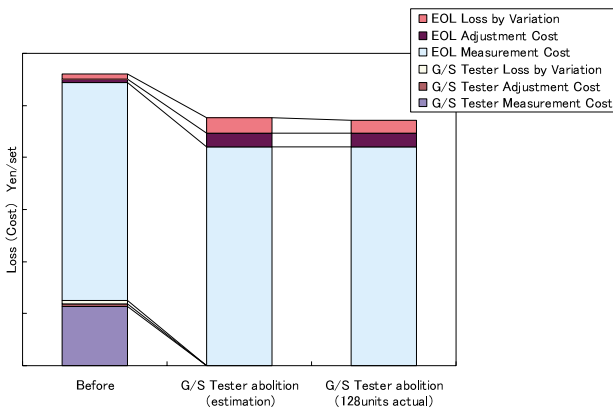


Fig.14 Comparison of the Quality Losses by the Difference in the Existence of a Tester Process

Table 4 Table of Excellent Article Conditions

INSTRUCTION SHEET FOR OPERATION						
CONTROL ITEM	SPECIFICATION	INTERVAL	CHECK ITEM	SPECIFICATION	INTERVAL	CHECK METHOD
Slot Accuracy						
#562 Actual	±0.00Amm	All	#562 Setup	Master measured	1/S	
#562 Actual	±0.00Amm	All	#562 Setup	Master measured	1/S	
Taper Drive						
Cutter Height	±0.00Amm	All	Base level of stand	±0.00Δ	1/Y	Dial Gage

Pressure angle	Nominal±0°	Cutter change	Master gear	Nominal±0°	1/M	3D Flank Measurement
Spiral angle	Nominal±0°	1	1	Nominal±0°	1	1
Tooth contact t/b: Drive	0±0mm	All	1	0±0mm	1/3M	1
Tooth contact u/d: Drive	<±2μ	1	1	<±2μ	1	1
Tooth contact t/b: Coast	0±0mm	1	1	0±0mm	1	1
Tooth contact u/d: Coast	Δμ	1	1	Δμ	1	1
V total: Drive	0±0mm	1/cutter change	1	0±0mm	1	1
H total: Drive	0±0mm	1	1	0±0mm	1	1
Blas: Drive	0±0	1	1	0±0	1	1
V total: Coast	0±0mm	1	1	0±0mm	1	1
H total: Coast	0±0mm	1	1	0±0mm	1	1

7. 良品条件表の設定

前述の活動をまとめ、現在あるいは新規の量産工程に展開するため、各工程での管理項目や点検項目、周期などの良品条件を見直し一覧にした。これまでは慣例的に用いられていた管理・点検項目も、機能面や加工原理などから必要な項目を明確にし、各工程間の関連性から検査工程の要否と周期を決定することとした (Table 4)。

8. おわりに

本活動で開発、導入してきた工程は2005年に量産開始される新しいPTOで具現化されることになる。このギヤにより我々は、最も安価なハイポイドギヤの生産プロセスが確立出来たと考えている。今後、他車種への適用を睨み、基盤技術の拡充を行いながら、世界で最も高品質・安価なハイポイドギヤ生産工程の実現に向け邁進する所存である。

参考文献

- (1) 坂東, 中田, 蒲原, 山本, 田中: デフユニット定量評価技術の開発, マツダ技報, No.18, p139-146 (2000)
- (2) 日下: ハイポイドギヤ乾式加工技術研究, SUBARU Technical Review Vol.30, p239-242 (2003)
- (3) W.Coleman: Bevel & Hypoid Gear Surface Durability: Pitting and Scuffing, Gleason Works, Rochester, N.Y., U.S.A. (1969)
- (4) L.S.Pitts, M.J.Boch: Design and Development of Bevel and Hypoid Gears using the Face Hobbing Method, The Gleason Works, Rochester, N.Y., U.S.A. (1997)
- (5) 井田, 安達: 製造現場における損失関数と計測周期のあるべき関係の明確化, 品質工学, Vol.9, No.6 p47-56 (2001)

著者



田中宏明



山本真司



樋口昭彦



坂東武夫

論文・解説

26

ATユニット異音評価方法の開発 Approaches to Repress AT's "Squeak and Rattle"

下垣内 誠*¹
Makoto Shimokakiuchi

要 約

オートマチック・トランスミッション（以下ATユニット）の品質向上のため、完成検査時ATユニットが発する振動を検出し、異常音の元となる振動の有無を自動判定する方法の開発に取り組んだ。従来、異常音は一意に特定できない等の理由で検出が困難であった。今回、品質工学のマハラノビス・タグチ・システム（以下MTシステム）とシフト不変ウェーブレットの各手法を用いて異常音を異常振動として検出できる条件を見出し、量産導入を行った。これによりギヤの打痕等による異常音の流出防止を図ることができ、ひいてはATユニットの製造品質向上に一助をなした。ここではそのプロセスを中心に紹介する。

Summary

To improve production quality of Automatic Transmission(AT), we developed a method to automatically check extraordinary vibrations that is the cause of "squeak and rattle", detecting vibrations in Automatic Transmission with final assembly check machine. Conventionally, identifying the cause of "squeak and rattle" wasn't easy due to the plural factors. The use of "Mahalanobis Taguchi System(MT system)" in the Quality Engineering and "Wavelet Transform" enabled us to find conditions to detect "squeak and rattle" as extraordinary vibrations. This helped repress "squeak and rattle" as well as improve the production quality of AT. We incorporated this approach into the actual production. This paper introduces our approaches focusing on the process improvement.

1. はじめに

エンジンのトルクを駆動輪に伝えるATユニットはその品質が車両の商品品質に直接影響を与える機能部品である。ATユニットの製造においてその品質保証方法は後追いの不具合対策から不具合の起きない製品形状、工程設定へと改善を進めている。特に開発初期段階からの開発、生産技術、製造の三位一体となったコンカレントな商品開発や各種シミュレーションによる挙動解析の結果、ATユニットは不具合の発生しない部品形状、よりロバストな構造へとその内容が進化してきている。また、製造領域でも各種の品質改善を続けてきた。こうした取り組みの中で、従来検出が困難とされていた異音についてその検出の一手法を開発し、この仕組みを量産ラインに適用した。ここでは

そのプロセスを中心に紹介する。

2. 現状の問題

2.1 異音とは

異音とは異常な音の発生を伴う不具合で、ATユニットでは異音を以下のように捉えている。

- ① ギヤ並びにベアリングの打痕に起因するカタカタ等の打音
 - ② 回転体へのコンタミネーション（部品の加工時あるいは組立時等に発生する挟雑物。以下コンタミ）付着に起因するシュルシュル等の摺動音
- などとし、ギヤノイズのヒューン音、キーン音、あるいは油圧機器からのオイルドレーン時発生するジー音、チリチリ音とは区別して扱っている。

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

2.2 異音への取り組み

ATユニットでは異音の原因となるギヤの打痕並びにコンタミの噛み込みに対しギヤの搬送ルート上での相互干渉回避、異物の混入防止等を行ってきた。しかし、ATユニット車載後の完成車検査で異音不具合は発生している。

ATユニットの完成検査は無人の自動工程であり、万一、異音の発生があっても流出防止ができない構成であった。

2.3 異音検出の阻害要因

ATユニットでは以下の理由で異音検出が困難であった。

① 騒音が車載状態に比べ大きい

異音が完成検査装置本体、あるいは周辺環境に起因する暗騒音に埋もれるため、車載状態では聴こえる異音が完成検査状態では聴き分けられない。

② 音の種類が無数にある

ATユニットには異音の原因となるギヤ、ベアリング等回転部品が多様で、打痕あるいはコンタミ等不具合状態並びに負荷状態を勘案すると異常音はその種類が無数にある。このため、特定の音を狙ってそのレベルの高さを評価する手法が適応できない。

よって異音の保証には決め手を欠いてきた。

3. 異音検出のプロセス

3.1 ハード構成

異音検出システムはFig.1に示すように、現有のギヤノイズ判別システムを一部改造し、このシステムから得られる振動波形を評価するものとした。ギヤノイズ判別システムはエンジンの代用として入力軸にモータ、車両慣性の代用としてハーフシャフト軸に発電機を配し、運転中のATユニット振動をトランスミッションケース表面に照射したレーザドップラで検出する構成であり、振動を検出するには実績のあるシステムである。本来、レーザドップラ振動計は速度出力であるが、打痕有無ユニットを用いた予備実験の結果、加速度波形には目視で明らかな波形形状差が認められたものの、速度波形では差が認められなかったため、加速度波形を評価の対象とした。

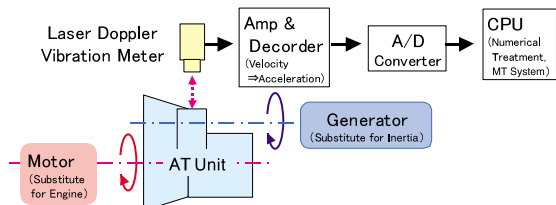


Fig.1 Abnormal Noise Detective Device Construction

3.2 振動波形

ATユニットの完成検査で得られるトランスミッションケース表面の振動波形の例をFig.2に示す。実車で異音を確認できるレベルの打痕を付けたATユニットの振動の内、例え

ば、Dレンジ4速ロックアップ状態の振動を拡大するとFig.3となり、良品との間に波形形状の差が認められる。異音を検出するにはこの振動を抽出すれば良いことになる。

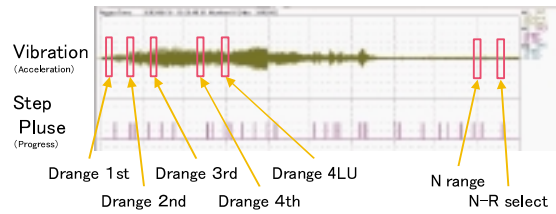


Fig.2 Vibration at Inspecting Completed AT

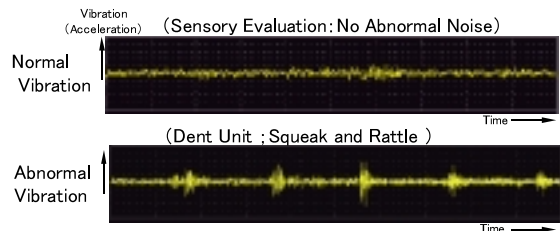


Fig.3 Enlarged View of Vibration Waveform

3.3 MTシステムによる波形形状差判別

波形の形状差を見出すには種々のパターン認識方法があるが、①異常の程度が一意に求まる、②測定精度の評価が容易に得られる、等の理由から今回、品質工学のMTシステムを用いた。MTシステムとはマハラノビス・タグチ・システムのことで、良品群からの乖離状態を多変量解析で使われるマハラノビス距離で定量的に表現するものと解釈できる。

MTシステムによる良否判定概念はFig.4である。

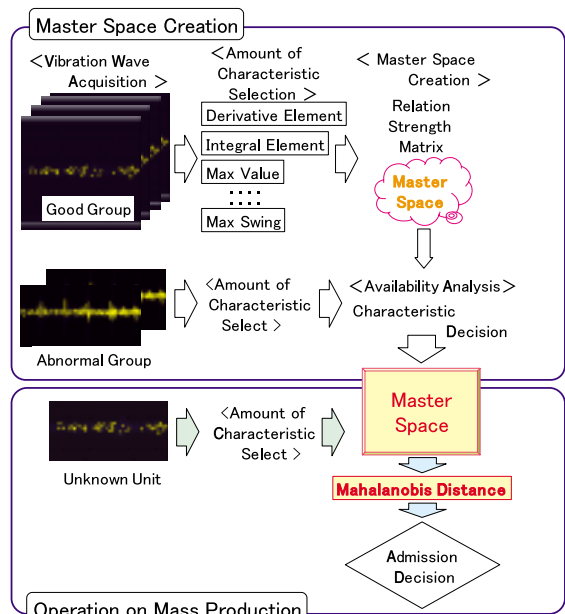


Fig.4 MT System Process

<基準空間を定義する>

- (1) 良品群, 異常品群各々の振動波形を収集する。
- (2) 収集した振動波形からこの波形を表現する特徴量を抽出する。
- (3) 良品群の特徴量と異常品群の特徴量から両者の差を最大にする特徴量を選択する(有効性解析)。
- (4) 選択された特徴量で基準空間を作成する。
- (5) 基準空間の精度を評価する。

<基準空間を用いた良否判定>

- (6) 良否が未知であるATユニットについて, 振動波形を取得する。
- (7) 収集した振動波形から(3)で選択された特徴量を抽出する。
- (8) (4)で作成した基準空間と(7)のデータ列を用いてマハラノビス距離を算出する。
- (9) マハラノビス距離に対する良否判定基準に照らし, 未知ATユニットの良否判定を行う。

4. MTシステムの実施

4.1 波形データの収集

良品, 異常品をそれぞれTable 1のように準備し, 振動データの収集を行った。データセットを2つに分け, 一方を基準空間作成用とし, 他方を基準空間の検証用とした。現時点では異音の大きさの程度を定量的に評価する手法がないため, 良品との違いが大きければ大きい程, 望ましい判別ができるとして望大特性を適用した。

Table 1 Waveform Data of MT System

・MTS Objective Units

Object Category		for Master Space	for Validation
Good		27	26
Abnormal	Dent on Sec. Gear	1	1
	Dent on Final Gear	1	1
Total		29	28

・Standing ; Thirst for Difference

4.2 特徴量抽出

検出波形を特定するため次のように特徴量を抽出した。

- ①微分成分, ②積分成分, ③最大値, ④面積 他。

ここで, 微分成分とは対象波形に等高線を引き, ある等高線が対象波形を横切った回数と定義する。Fig.5の例ではY軸0から0.4までを0.05刻みの等高線9本で区切っている。この時, 微分成分はTable 2の上表となる。

積分成分とは微分成分で使用した等高線が対象波形を下回っている横軸長の合計と定義する。Fig.5の例ではその積分成分はTable 2の下表となる。

これらFig.5の例では2種類の特徴量で一波形あたり18個の特徴量を得ることになる。

同様の方法で今回は1波形あたり103個(微分成分:49, 積分成分:49, その他面積等の特性:5)の特徴量を抽出した(Table 3)。

4.3 特徴量選択(有効性解析)

103個の特徴量の内, 異常品をより鮮明に異常と表現するために使用するべき特徴量を選択した。103個の特徴量各々に対し, (その特徴量を用いた場合のSN比の平均) - (その特徴量を用いない場合のSN比の平均)を算出し, 結果の大きいものから順に並べるとFig.6となる。この値が

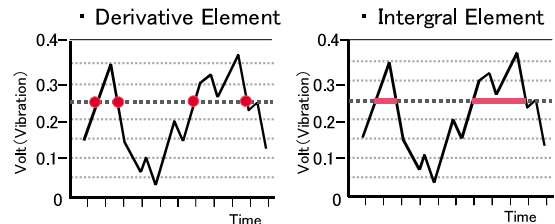


Fig.5 Image of Feature Amount

Table 2 Counted Value

Contour Value	Derivative Element								
	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
Count	0	2	4	5	6	4	6	2	0

Contour Value	Integral Element								
	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
Count	10.0	9.8	8.5	7.5	6.8	5.5	3.8	0.3	0.0

Table 3 Image of Feature Amount

Character Name& No.	← Derivative Element →					
	1	2	3	~	48	49
Good 1	0	0	0		0	0
Good 2	0	0	0		0	0
Good 3	0	0	0		0	0
..						
Good 53	0	0	0		0	0

Character Name& No.	← Integral Element →				
	50	51	~	97	98
Good 1	24999	24999		0	0
Good 2	24999	24999		0	0
Good 3	24999	24999		0	0
..					
Good 53	24999	24999		0	0

Character Name& No.	Ave.	Area	Swing	Max.	Slope
	99	100	101	102	103
Good 1	0.0178	0.0446	0.101	0.0448	0.0193
Good 2	0.0223	0.0557	0.161	0.0787	0.0182
Good 3	0.0234	0.0586	0.202	0.065	0.019
..					
Good 53	0.0351	0.0879	0.198	0.129	0.0199

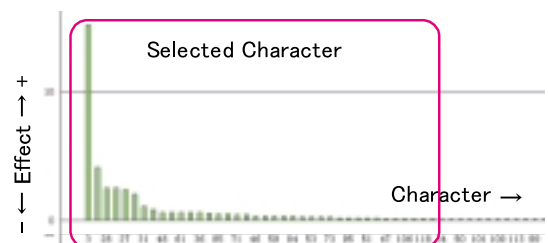


Fig.6 Feature Amount in Order of Effects

大きい特徴量程，効果が大きいことを現している。ここでは効果が+の特徴量全てを選択使用した。この結果，使用する特徴量は103個から38個へと削減された。

4.4 判別率確認

Table 1で収集した振動波形に対し，これまでのプロセスで得られた基準空間を用いてマハラノビス距離を算出した。良否判定すると，Table 4のように有効性解析に用いなかった良品波形群に誤判定があることが確認された（判定基準距離：4，誤判定率：42%）。

Table 4 Misjudgment Rate

	for Master Space	for Validation
	Waves used in Availability Analysis	Waves Not used in Availability Analysis
Abnormal	0%	0%
Good	0%	42%

5. 誤判定率改善

5.1 誤判定率改善

サンプル増しによる基準空間の信頼性向上を図るために良品群のサンプル数をそれまでの27個から60個および89個へと増加させ，同様の誤判定率を求めた。しかし，Fig.7のように誤判定率の改善は見られなかった。

収集された振動波形から抽出する特徴量の分解能を上げる目的で波形から微分成分，積分成分を抽出する際の等高線の刻み幅を0.05から0.0025（V）へと細分化した。しかし，この場合も誤判定率改善は見られなかった。

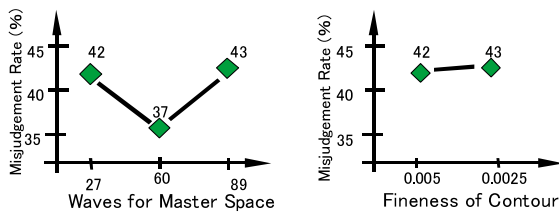


Fig.7 Changes in Misjudgment Rate

5.2 誤判定の要因

誤判定率を改善するために要因分析を行ったところ，誤判定された良品波形から次の2つの要因が出てきた。

- (1) 波形に雑音が見ることがある
- (2) 良品にも関わらず振動の大きいATユニットがある
- (1) 波形に現れる雑音

誤判定された波形にはFig.8左側のようにインパルス状の雑音が見られた。このインパルス状の雑音は周期性こそないもののパルス幅，振動周期が異常パルスに似ているため，特徴量中の微分成分を押し上げ，良品を異常品と誤判定したものと推定できる。しかし，この雑音は異常振動時のパルスと周波数帯が近い物理的なフィルタで除去す

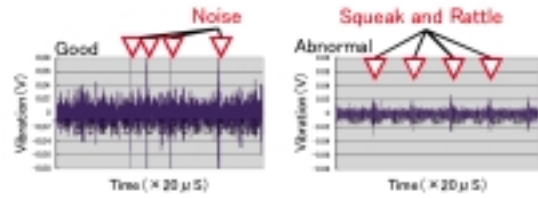


Fig.8 Impulse Noise & Abnormal Noise Waveform

ることが困難であることも判明した。

(2) 振動レベルの高い良品

良品群の振幅の中には異常品のパルス振幅以上の振幅を維持している（すなわち，良品の振幅の方が異常品のパルス振幅より大きい）波形があることも確認された（Fig.9）。この波形は常時異音品と同等のパルスが発生していると等価であり，微分成分，積分成分ともに押し上げられ，異常品と誤判定したものと考えられる。

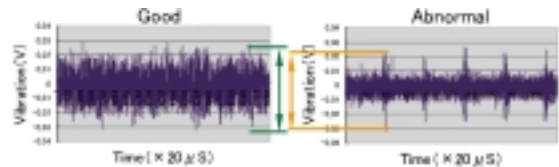


Fig.9 Good Parts with High Vibration Level & Waveform of Abnormal Noise of Failure Parts

5.3 雑音除去

インパルス状雑音の除去が可能で，周期的に発生する異音品のパルスが抽出可能であること，および波形の特徴量として積分成分の抽出が可能であること，の2つの要件を満足するためには時間軸が保全されるフィルタが必要と考え，シフト不変ウェーブレット変換を用いた。

雑音を含む振動波形と雑音のない波形各々のスケーログラム（シフト不変ウェーブレット変換結果）をFig.10に示す。雑音有無の差が最も大きく現れるスケーログラムとしてDの波形を選択した。

スケーログラムを用いたインパルス状の雑音除去手順は以下である。

- (1) 元波形をシフト不変ウェーブレット変換し，Dスケーログラムを抽出する。
- (2) このスケーログラム上で一定レベル0.1（V）以上の出力を雑音と判定し，この雑音発生点を時間軸上で特定する。
- (3) 元波形の同一時刻データを近傍の平均値で置換する（Fig.11）

異音品のDスケーログラムにはFig.12に示すように異音に起因するパルスの立ち上がりは見られない。よってDス

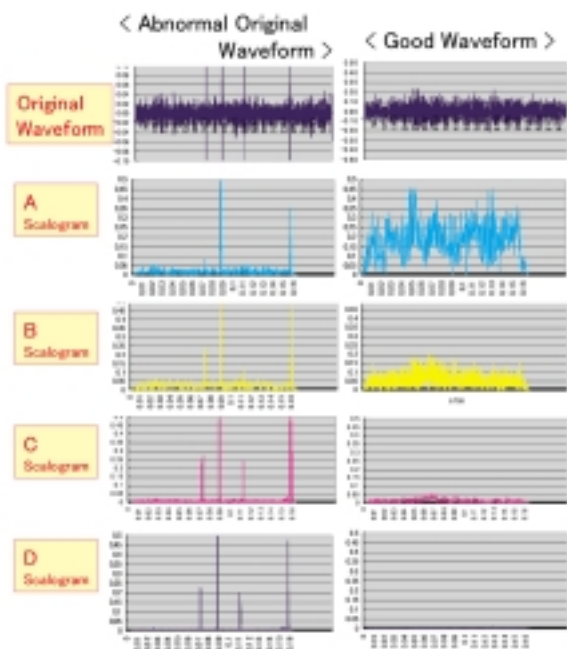


Fig.10 Scalogram of Vibration Waveform

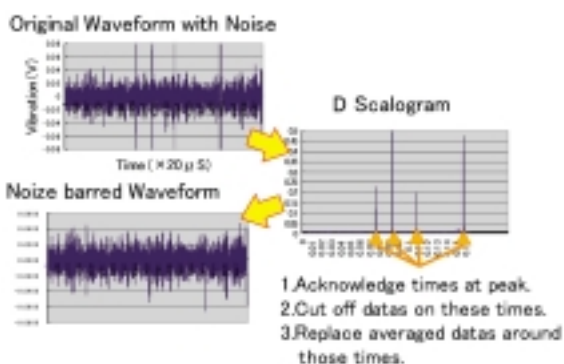


Fig.11 Noise Removal

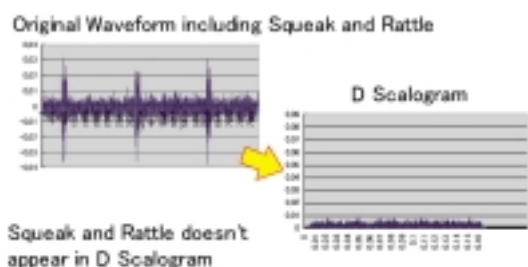


Fig.12 Not efficient to Abnormal Vibration

ケーログラムを用いても異音によるパルス除去しないことの確認もできた。これらプロセスで誤検出の原因であったインパルス状雑音のみを元波形から除去した加工波形が得られるようになった。

このようにして雑音を除去した加工波形を改めてシフト

不変ウェーブレット変換し、良品の最大値と異音品の異音パルス最低値との差が最大となる変換結果としてAスケログラムを得た (Fig.13)

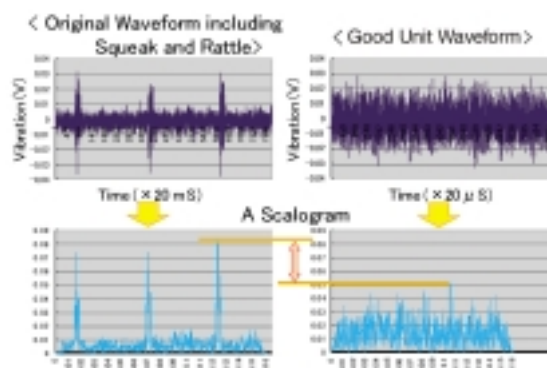


Fig.13 Emphasis of Abnormal Noise

5.4 振動レベルの高い良品への対応

Fig.13のAスケログラム上にあつては異音のパルスが強調されているため、生波形で見られた振動レベルの最大値が異音品のパルス最大値より大きいという誤判定の要因も除外されていることがわかる。

6. MTシステムの再実施

6.1 雑音除去を含むMTシステムのプロセス

雑音を含む生波形に代えて、雑音を除去し異音パルスを抽出したスケログラムに対しMTシステムを実施するためのプロセスはこれまでのテストをまとめて以下となる。

<雑音除去>

- (1) 良品群の振動波形をシフト不変ウェーブレット変換し、雑音成分のみのスケログラム抽出。
- (2) スケログラム上でスレッシュドライン以上のパルスを探しその時刻を特定。
- (3) 振動波形上の当該時刻データを補間値で置換。

<評価対象のスケログラム抽出>

- (4) (3)で求めた加工波形をシフト不変ウェーブレット変換し、異音パルスを強調するスケログラムを抽出。

<基準空間定義> , <良否判定>

- (5) (4)で抽出したスケログラムに対し3.3節で示した手順(2)~(9)実施。

6.2 MTシステムの再実施

異なるロットの良品を加え、Table 5のように良品の波形データ数を161に増やして有効性解析を行い、有効な特徴量をFig.14のように0.1db以上の32個に絞り込んだ。

6.3 基準空間の評価

こうして作成した基準空間でTable 5のデータを評価するとそのマハラノビス距離の分布はFig.15のようになる。この時、良否判別の限界値は良品群のマハラノビス距離平均+4 で4と設定した。ファイナルギヤとセカンダリギヤ

打痕の異常品はそのマハラノビス距離がそれぞれ37および50となり、良品分布から一桁離れた値を示した。

更に今回の基準空間では確認用良品を異常品とする誤判定もなくなった。

このようにして求めた基準空間の精度評価のために望大特性のSN比を求めると32.5dbとなり、当初の24.6db（誤判定率42%時）から7.9dbの改善を得た。

Table 5 Datum Space Data after Noise Removal

・Parts to be Studied

Object Category		for Master Space	for Validation
Good		161	16
Abnormal	Dent on Sec. Gear	1	1
	Dent on Final Gear	1	1
Total		163	18

・Standing ; Thirst for Difference

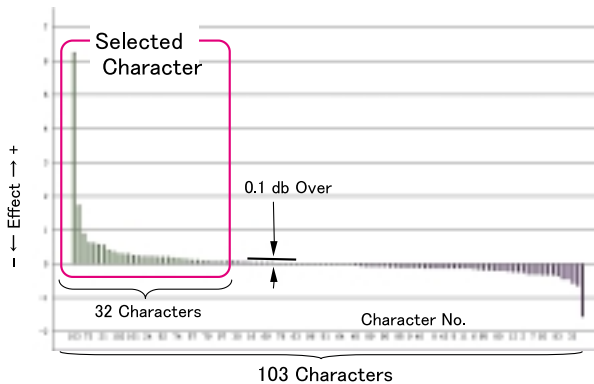


Fig.14 Selection of Feature Amount

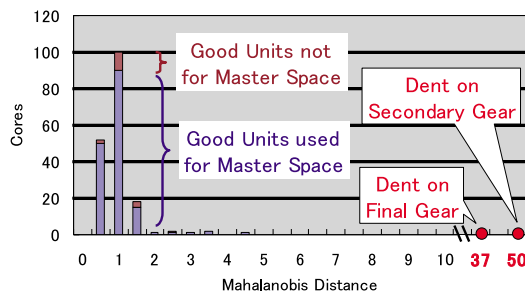


Fig.15 Distribution of Mahalanobis Distance

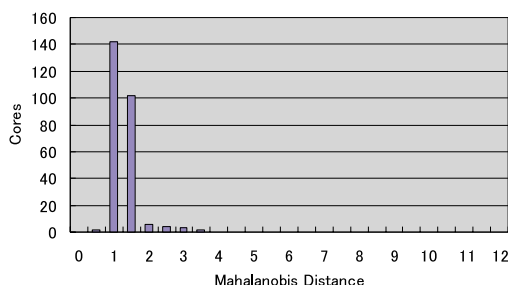


Fig.16 After Introduction into Mass-Production

量産導入後のマハラノビス距離の分布はFig.16となっており、量産導入後も実験に使用したレベルの異音は確実に判別できる状態にある。

7. まとめ

今回の活動でギヤ打痕に代表される異音の判定が量産ラインで可能になった。また、異常振動の検出を目指したことで、打痕に留まらずこれまで検出不能であった一部部品の組付不良までも異常振動として検出が可能であることが確認できた。この新たな検出特性を活用し、シュルシュル等、異常な摺動音の検出はもちろんのこと、ATユニット製造品質の更なる向上を目指す予定である。工程での品質作り込みに加え、上述の流出防止を着実に進めることで、お客様の満足度向上に貢献してゆく。

最後に、このシステムの量産化に、多大なるご協力を頂いた関係各位に深く感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 田口玄一：MTシステムにおける技術開発，日本規格協会，P.83-92（2002）

著者



下垣内誠

論文・解説

27

セミドライ高能率加工技術の開発

Development of Efficient Near-dry Machining

平井 泰史*¹ 河崎 日出夫*²
Yasushi Hirai Hideo Kawasaki

要約

マツダの環境保全への積極的な取り組みの中で、機械加工領域においては、高品質化・低コスト化と両立できる技術として、廃棄物、エネルギー消費、作業環境などの環境負荷の低減を狙いにクーラント液の代わりに微量の油で加工するセミドライ切削加工への取り組みを進めている。

本稿はクランクシャフト油穴加工において、既存のセミドライ加工に比べ送り速度が2倍となる加工条件を品質工学により見出し量産ラインに適用した事例を報告する。

Summary

We are forwarding “near-dry machining,” using particle of lubricant instead of coolant for the purpose of improving quality, reducing cost, and the environmental protection by reducing industrial wastes and energy and improving working environments. In the oil-hole-drilling operation for crankshaft, we found a machining condition to double the feeding speed according to Quality Engineering, and incorporated the approach into our the mass-production.

1. はじめに

社会の環境問題への関心の高まりとともに製造分野においても高品質化・低コスト化といった従来の要求に加えて、環境への対応技術の開発が重要となってきている。

環境問題への対応には、1) 有害物質の使用廃止、2) 廃棄物の削減、3) エネルギーの消費抑制からのアプローチがあり、機械加工領域においては、品質確保や刃具寿命向上を目的としたクーラント液の使用削減が上記の点から対応すべき大きな課題である。

クーラント液使用による環境負荷を低減する対応技術の1つとしてセミドライ加工が注目されている。これはクーラント液を大量にかける代わりに、オイルをミスト化して微量を切削点へ供給する方法である (Fig.1)。マツダにおいても高品質化・低コスト化と両立できる技術として Table 1に示すようにセミドライ加工の導入を進めている。なかでも鋼材の深穴加工であるクランクシャフトの油穴加工においては、クーラント液に比べ加工能率が大幅に改善できることも報告されており¹⁾設備投資削減の側面からも

有効な技術といえる。

本稿ではこうしたクランクシャフトの油穴加工において、セミドライ加工での加工能率の上限を見究めるべく品質工学を用いたテストを行い、量産ラインに適用した活動事例について紹介する。

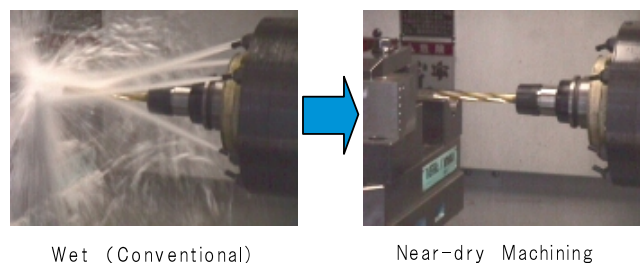


Fig.1 Wet and Near-dry Machining

*1, 2 パワートレイン技術部
Powertrain Production Engineering Dept.

Table 1 Application of Near-dry Machining

○: Applied ×: not Applied —: no Process

Parts	Materials	Process					
		Drilling	Thread Cutting	Reaming	Boring	Spot Facing	Turning
Cylinder Head	Aluminum	○	○	○	×	○	—
Cylinder Block	Aluminum	○	○	○	○	○	—
Crankshaft	Steel	○	○	○	○	○	×
Connecting Rod	Steel	○	○	○	○	○	—
Knucle	Cast Iron	○	○	○	○	○	—

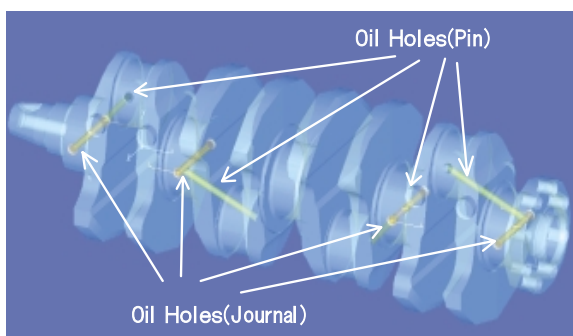


Fig.2 Crankshaft Oil Feed Holes

2. クランクシャフト油穴加工

クランクシャフトの油穴加工は加工長と穴径の比(L/D)が15以上となる深穴加工であり (Fig.2), 切屑詰まり・ドリルの曲がり・切削熱の滞留などによってドリルの折損が生じやすい工程である。そのため、従来のクーラント液を使用したラインでは、特殊な刃先形状と低送りにより微細化した切屑を高圧で大量のクーラントを噴射することで排出させるガンドリル加工か、加工途中でドリルを加工穴から抜いて切屑を排出するステップ加工で行っている。いずれの場合も加工能率が低くクランクシャフト加工のネック工程の一つである。

このネック工程を解決するための技術として、油穴加工に対するセミドライ加工の導入してきた。その結果、従来比1.5倍の加工能率が実現できた。しかし、この改善効果は専ら切削速度の高速化によるものであり、加工能率を決めるもう一方の主因子である回転あたりの送り量 (以下、送り (mm/rev)) については大きな改善はしていない。

3. 高送り化に向けた取り組み

ドリル加工において加工能率を上げるには、送り軸の速度 (以下、送り速度 (mm/min)) を早くすれば良い。送り速度は穴径・切削速度・送りの基本条件で定まるが、送りを上げるだけの単純な高能率化では、時間あたりの切屑排出量の増大による切屑詰まりや、切削負荷の増大による加工穴の曲がりといった不具合が発生する。

加工穴の曲がりや切屑詰まりに影響を与える因子とし

て、ドリル形状、前加工であるパイロット穴を含んだ加工条件、セミドライ条件があり、これらの最適化により加工能率を向上できると考えた。ドリル形状に関しては次章に述べる最適ドリルの選定を行った。次に、選定したドリルの最適条件を統計的手法に基づき策定した。手法には量産での使用環境に応じてロバスト性を確保できうる品質工学を用いた。一連のテストは社内の実験用加工機にミスト装置を取り付け実施した。

4. 高送り最適ドリルの選定

高送り可能なドリルに必要な要件には、切屑形状の微細化、切屑排出性の向上、切削抵抗低減が考えられる。これらに影響を与える因子はドリル先端の形状、溝形状、材質など非常に多く、また相互に影響を与え合う因子間の交互作用も予想される。今回の活動ではこうした因子ひとつひとつを取り上げて、新たなドリル形状を設計するのではなく、既成ドリルに対して高送り化へのポテンシャルを比較すべく実加工テストを行いその結果に基づき選定した。

テスト対象とするドリルはオイルホール付き超硬ロングドリルを製作している主要メーカーから先に述べた必要条件を満たすと思われるドリルを6種選定した。次に、テスト条件は制御可能な切削条件、すなわち切削速度と送りを9条件で変化させてその他の条件は固定とした。また、評価項目は切屑形状観察および主軸負荷電力波形とした。

結果として、9条件中の高送り領域の条件まで加工が可能であったドリルは既存ラインで使用しているドリルを含めてわずか2種であった。

Fig.3に既存ドリルと新規ドリルの切屑形状を示す。既存ドリルでは連なった切屑が見られ、切屑排出性が悪化し切屑詰まりによる折損が発生しやすいと考えられる。一方、新規ドリルでは切屑は均一な扇状であり、高送り条件においても切屑詰まりがなく安定した加工が期待できる。

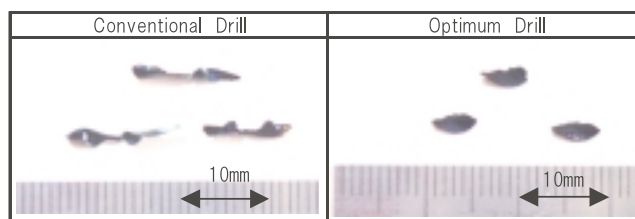


Fig.3 Chips

次にFig.4に主軸負荷電力波形を示す。この図は9条件をマトリクス形式で示したもので、右上ほど高能率な条件となる。既存ドリルでは図中の黄色で示す範囲では加工後半で主軸負荷電力が上昇する波形の乱れが生じ、図中のピンク色で示す条件では折損により加工できなかった。この波形の上昇・乱れは切屑詰まりが原因と考えられる。一方、

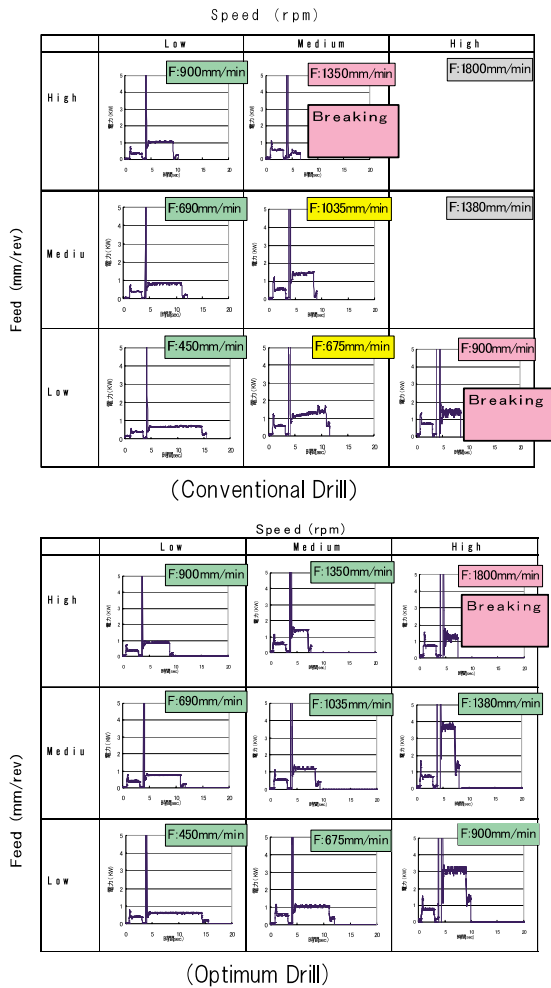


Fig.4 Spindle Power

新規ドリルでは最も高能率である右上の条件で折損した他は全加工条件で主軸負荷電力は安定している。

新規ドリルの特徴をTable 2に示す。各項目の対策には目新しいコンセプトは見られない。しかしながら、本章の冒頭にも述べた通りこうした特徴およびこれら以外の多くの因子の組合せによって高送りに最適なドリル形状が得られると考えられる。今回の評価では現状最適なドリルを選定したと考える。

なお、最適なドリル形状の設計に関しては刃具メーカーを取り込んだ活動が必要であり解決には時間・開発コストを要する。今後の課題として取り組むにはこうした費用対効果の考慮も不可欠である。

Table 2 Characteristic of Optimum Drill

Aim		Mean
Improve Chip Ejection	Large Flute section	Big Heel Chamfer
	Large Flute section	Back Taper in Flute
	Improve Flute Roughness	Lapping after Coating
	Prevent Chip Packing	Deep Web Thinning
Break Chip into Small Parts	Make Chip Round	Small Radius of Flute
Prevent Corner Edge Chipping	Optimize Corner Edge	Negative Rake

5. 品質工学手法による加工条件の最適化

5.1 深穴加工についての機能性

ドリル加工において、加工中に切屑詰まりや穴の曲がりがない状態であれば、振動や異音の発生はなく、加工に要する電力量は小さく安定していると考えられる。そのため、加工で除去される重量（以下、切削重量）に対し電力量が少なく安定する条件では、切屑詰まり等が起こらず、品質も安定であり加工能率が向上できると考え、基本機能を切削重量と累積電力 ($y = M$) とし、Fig.5の傾き（感度： β ）とばらつき（S/N比）を評価した。この基本機能では、S/N比が大きく、感度が小さい条件が最適となる。

5.2 テスト方法

誤差因子は量産ラインでは複数の穴を連続で加工することから、連続加工で全ての加工穴の主軸負荷電力が小さく安定するように、連続加工で前半/後半に分け誤差因子とした。今回のテストではFig.6に示すように6穴連続加工し、前半3穴、後半3穴に分けた。主軸負荷電力量は空転電力量を差し引き1穴から3穴までを累積し、基本機能（切削重量と主軸負荷電力量）を評価した。

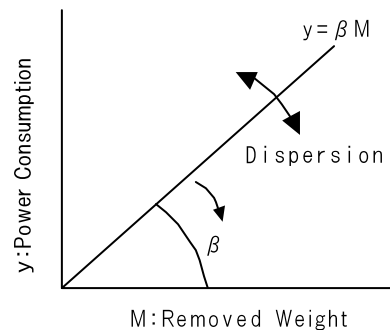


Fig.5 Generic Function

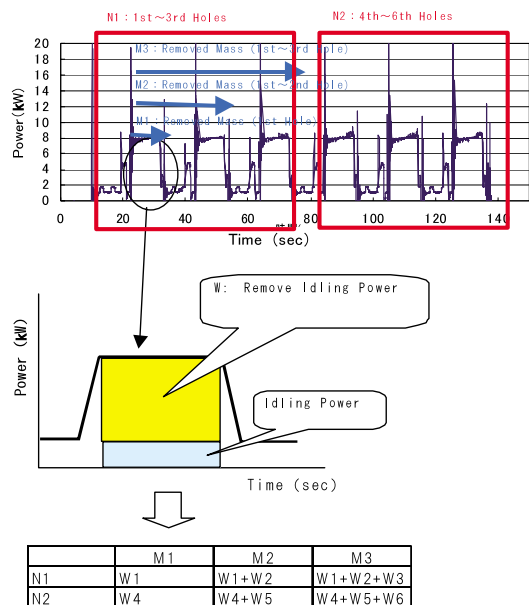


Fig.6 Noise and Signal Factors

Table 3 Control Factors and Level

Factors	1	2	3
A.No Factor	-	-	/
B.Self Pilot Depth	No Guide	Low	High
C.Pilot Hole Depth	Low	Medium	High
D.Pilot Hole Diameter	Low	Medium	High
E.Mist Pressure Gap	Low	Medium	High
F.External Mist	No Mist	Oil	Oil·Water
G.Speed(rpm)	Low	Medium	High
H.Feed(mm/rev)	Low	Medium	High

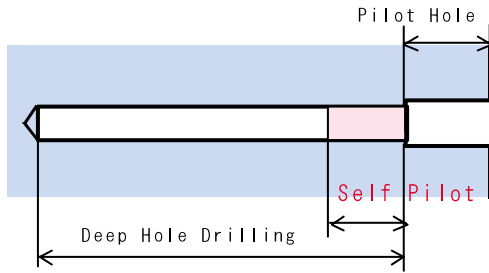


Fig.7 Self Pilot

5.3 制御因子

制御因子と水準をTable 3に示す。制御因子は7種類を選定し、L18直交表に割り付けた。B：セルフガイドはFig.7に示すように本加工での食い付きでの安定性を得るために入り口部分だけ回転数と送りを低く設定する部分であるが、今回はその深さを因子の水準として設定した。F：外部ミストは工具の側面の潤滑とドリルの冷却を狙いに因子の水準を、なし、オイルミスト（潤滑効果を狙う）、オイルミストと水ミストの併用（オイルの潤滑効果と水の冷却効果を狙う）として、因子に取り入れた。

5.4 テスト結果

Fig.8, Fig.9に本テストのS/N比と感度の要因効果を示す。要因効果図より、S/N比については、E：ミスト装置差圧、F：外部ミストの効果が大きく、オイルミストおよび水ミストにより、潤滑、冷却効果が得られ主軸負荷電力の変動が抑えられると考えられる。感度についてはG：回転数、H：送りの効果が大きく、低速・高送りの条件が主軸負荷電力の上昇を抑えられると考えられる。以上の結果からS/N比の大きい水準、感度の小さい条件を組み合わせると、Table 4に示す最適条件を選定した。

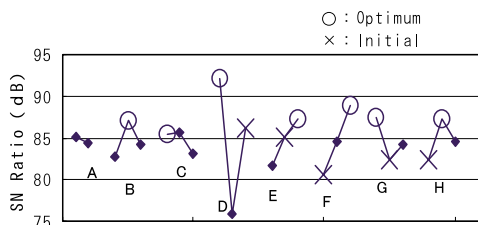


Fig.8 Factorial Effect Diagram (S/N Ratio)

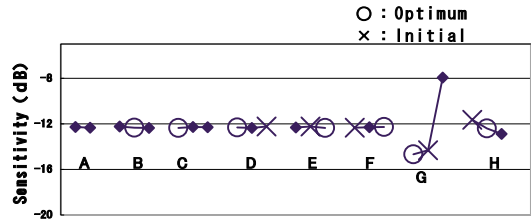


Fig.9 Factorial Effect Diagram (Sensitivity)

Table 4 Optimum and Initial Condition

	B	C	D	E	F	G	H
Optimum	Medium	Low	Low	High	Oil·Water	Low	Medium
Initial	Medium	Low	High	Medium	No Mist	Medium	Low

Table 5 Confirmation Experiment

	SN Ratio (dB)		Sensitivity (dB)	
	Estimation	Verification	Estimation	Verification
Optimum	107.34	98.68	-14.90	-14.90
Initial	80.96	95.45	-13.72	-13.54
Acquisition	26.38	3.23	-1.19	-1.36

5.5 確認実験

次に、推定した最適条件の再現性を検証するために確認実験を行った。Table 5に確認実験結果を示す。感度については再現性が得られたが、S/N比では改善効果は得られたものの推定ほどの効果は得られなかった。この原因については、要因効果図からもS/N比については山谷のある因子が多いため、再現性が悪化したと思われる。

6. 量産ラインでの効果確認

セミドライ加工を量産導入した油穴加工工程において、最適ドリル選定テストと品質工学テストで得られた条件を用いて効果確認をした。変更した因子は同ラインで変更可能であった、工具、回転数、送りで、Table 6に示した条件に変更した。

条件変更による効果として油穴の加工時間をFig.10に示すが、切削中の送りを約2倍にすることにより既存条件に比べ、切削と穴間移動などの位置決めを合わせた加工時間を20%短縮できた。切削長75.4mにおけるドリル切れ刃の状態は異常摩耗やチッピングもなく摩耗量は既存と同程度以下であった。このため、工具交換周期も既存のままとしたが、今後、刃具寿命の延長を追及してゆく。また、加工時間の短縮と主軸の低回転化により、主軸負荷電力量を24%削減することができた (Fig.11)。

Table 6 Mass Production Condition

	Tool	Speed (Index)	Feed (Index)
Conventional	Conventional Drill	1.00	1.00
Optimum	Optimum Drill	0.88	1.92

参考文献

- (1) 井上 勤：小径深穴加工を高能率に行うセミドライ加工システム，ツールエンジニアリング，第45巻，第3号，P46 (2004)

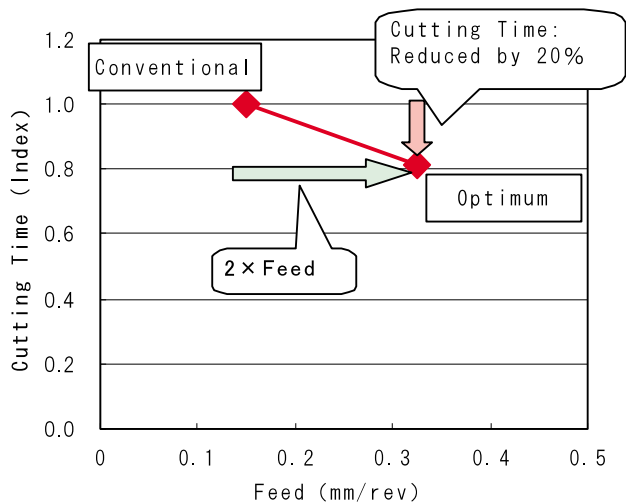


Fig.10 Cutting Time

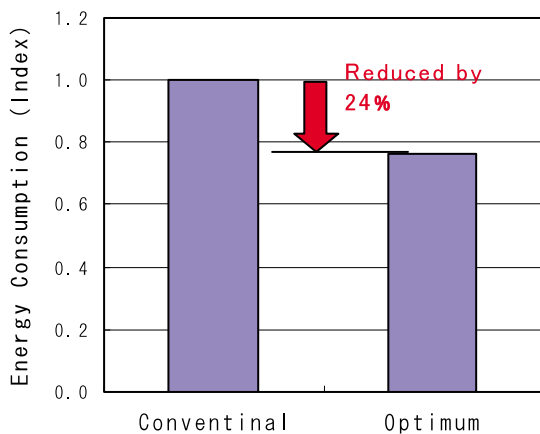


Fig.11 Energy Consumption

著者



平井泰史



河崎日出夫

7. おわりに

深穴加工の送り速度が2倍となるドリル・切削条件を策定し，量産ラインに展開することで設備投資なしでの増産対応が達成できた。今後は，織り込めなかった因子についても最適化することにより，更に高能率で環境にやさしい加工ラインを構築していく。

最後に，本取り組みにご協力を頂いた関係部門各位に誌面を借りて感謝申し上げます。

論文・解説

28

U2組立工場新生の概要

Introduction of Reborn of U2 Trim & Final Assembly Plant

近藤 恒幸*¹ 福谷 勇*² 福間 博文*³

Tsuneyuki Kondo Isamu Fukutani Hirofumi Fukuma

増田 義弘*⁴ 久 政志*⁵

Yoshihiro Masuda Masashi Hisashi

要約

宇品第2(U2)工場は、今後の新型車導入による商品主導の成長をサポートする生産体制強化の一環として、2004年5月再稼働した。

今回の再稼働は、『スリムでストレートな高品質フレキシブル同期生産ライン』への新生と位置付け、『世界中の自動車工場が目標とする技術と知恵の最先端工場“ The Bench Marking Plant in the World ”』の実現を目指した。このため、閉鎖工場を単に再稼働させるのではなく、休止工場再稼働のメリットを最大限活用した『技術ともの造りの知恵の集大成』、『選択と集中(戦略投資と既存設備の徹底活用)』を取り組み方針とし、新設ラインの約1/4の効率的投資で狙いとする車両組立ラインを新生した。

本稿では、世界中の自動車メーカーが目標とする車両組立工場へ新生させるための三つの基本コンセプト、『1. 地球環境と働く人にやさしい生産ライン』、『2. 高品質・同期生産ライン』、『3. 多機種対応フレキシブル生産ライン』の具現化について、その基本的考え方・具体的施策・特徴を紹介する。

Summary

In order to support Mazda's product-led growth, Mazda's Ujina Assembly Plant No.2 (U2) resumed production in May 2004 as an array of initiatives to reinforce production.

With its basic concept “upgrade to ‘slim,’ ‘straight,’ and ‘high-quality’ plant running flexible and synchronized production,” U2 aimed to be the “benchmark plant in the world,” or the state-of-the-art plant in technology and wisdom. It wasn't a mere resurgence of a dormant plant. U2 took full advantage of “resumption of a dormant plant,” with tag lines “full use of accumulated wisdom for technologies and product-making” and “selection and integration.” It was synonymous with the maximal use of existing facilities with strategic investments. U2 built targeted trim & final production lines with a quarter of the ordinary investment.

Now, every global automakers commonly pursue the three concepts, 1. friendly to humans and environment, 2. synchronization and high quality, 3. flexible production line for multiple models. This paper introduces our basic thought, approaches, and its characteristics to incarnate the three concepts.

1. はじめに

U2組立工場は、1972年12月に操業を開始し、主力車種であったファミリアなどを生産してきたが生産体制の再編によって2001年9月に閉鎖した。

2004年5月の操業開始は、今後の新型車導入による商品主導の成長をサポートする生産体制強化の一環である。

U2組立工場は、マツダが有する最新の生産技術と製造技術、そしてもの造りの知恵を集大成し、働く人と環境に最大限配慮しながらより高い品質/生産性を実現する、世界でトップクラスのフレキシブルな生産ラインとして新生した。

*1~4 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

*5 第2車両製造部
Vehicle Production Dept. No.2

2. 車両組立ラインの特徴と課題

2.1 労働集約型加工区

車両組立ラインは、多種多様な作業要素の集合工程であるとともに、ハーネスやホースの配線/配管といった機械に置き換えることが困難な作業が多く存在している点で極めて労働集約的な生産現場となっている。しかも、女性の職場進出・高齢層の増加・請負社員化などにより、人の質の多種多様化とその変動も進んできている。

このように人が主体で、更にはその人の質が変化している現状の組立ラインにおいて、より高い品質保証や生産性向上を実現するためには、働く人へのやさしさの追求が不可欠である。つまり、難姿勢/重筋作業などの肉体的負担・選択/判断などの精神的負担を解消し、誰もが快適で働き甲斐や達成感の実感できる生産現場、各個人の適性や能力に合わせられる生産現場を実現する必要がある。

2.2 最終加工区

次に、車両組立ラインは、お客様に最も近く、全社の生産活動の最終加工区であることが二つ目の特徴である。

従って、車両組立はもちろん、パワートレイン/車体/塗装加工区・社外メーカなどの前工程をも含めて車両品質不具合を後工程に流出させてはならない。また、その製品をお客様に最短の納期で提供できなければならない。

そのためには、完成車品質を個々の生産工程内で確実に保証し、手直しのない無欠点車両を最少工程数で生産できるようにしなければならない。

2.3 多機種混流生産

最後に、多機種混流生産であることが車両組立ラインの三つ目の特徴である。市場ニーズの多様化が進む中、安定した操業台数を維持する上で単一車種生産形態は極めて困難であり、複数の車種を一つの車両組立ラインで混流生産している。このため、作業時間差の大きい車種が混在しており、しかも、これらの車種は、生産量の変動・車種ミックスの変動・生産車のモデルチェンジと常に変動を繰り返している。

このような頻繁な生産変動下での多機種混流生産において安定した品質保証と生産性の向上を図るためには、変動に強い生産体制の構築とモデルチェンジに即応できる生産ラインの実現が不可欠である。

3. U2新生車両組立ラインのコンセプト

今回の再稼働は、『スリムでストレートな高品質フレキシブル同期生産ライン』への新生と位置付け、『世界中の自動車工場が目標とする技術と知恵の最先端工場“ The Bench Marking Plant in the World ”』の実現を目指した。このため、閉鎖工場を単に再稼働させるのではなく、『技術ともの造りの知恵の集大成』、『選択と集中(戦略投資と既存設備の徹底活用)』を取り組み方針とした。そして、

休止工場再稼働のメリットを最大限活用し、新設ラインの約1/4の効率的投資で狙いとする車両組立ラインを新生した。

社会・顧客・株主・従業員への責任を果たすべく、2章で述べた「車両組立ラインの特徴と課題」を踏まえて、以下の基本コンセプトを掲げ取り組んできた。

3.1 地球環境と働く人にやさしい生産ライン

『快適な作業環境に最大限配慮した生産ラインの実現』を第一のコンセプトとした。

快適な作業環境とは、肉体的/精神的負担がない誰にでも組立できる作業環境と考えた。肉体的負担の解消策として、難しい姿勢での作業を徹底排除できる「ジャストフィットコンベアシステムの導入」、および精神的負担の解消策として、必要な部品を作業者の手元にタイミングよく供給することにより選択/判断作業を排除できる「キットサプライシステムの導入」を主要施策の二本柱とした。

3.2 高品質・同期生産ライン

次に、『お客様に安心して頂ける品質を工程内で確実に造り込める高品質生産ライン・お客様の要求に即応できる同期生産ラインの実現』を第二のコンセプトとした。

「工程内品質保証システムの強化」による完成車品質の全数保証、および「組立オン~車両完成までの工程短縮」、「部品物流の革新」による完成車/部品のリードタイム短縮を主要施策に掲げ取り組んだ。

3.3 多機種対応フレキシブル生産ライン

最後に、『B~CD/ミニバンクラスの車がフレキシブルに対応可能な生産ラインの実現』を第三のコンセプトとした。

フレキシブルとは、生産量の変動・車種ミックスの変動・生産車のモデルチェンジに即応できる生産ラインと定義し、次の主要施策を展開した。まず、「搬送系設備の全ポデーサイズ対応・生産設備の汎用化」によりモデルチェンジへの即応化と投資の大幅削減を可能にした。次に、工数変動への対応として、メインライン工数を一定にし、サブラインで工数差を吸収する生産システム「サブライン工程革新」を実現した。更に、「MDI(マツダデジタル革新)による車両構造と生産工程の同時開発」によりフレキシビリティの継続拡大と新型車ローンチ期間の短縮化を進めてきた。

この三つのコンセプトの具現化について、その基本的考え方・具体的施策・特徴を以下に紹介する。

4. 働く人にやさしい生産ラインの実現

4.1 ジャストフィットコンベアシステムの導入

このコンベアシステム導入の狙いは、「作業者の肉体的負担の解消」である。人と設備の調和した生産ラインの実現により、作業のしやすさの飛躍的な向上を可能にした。

第一の対策は、戦略投資として昇降リフト機能を有する

コンベア台車を新たに導入した。従来のコンベアは、キャビン高さが一定、かつ作業足場が鉄製のプラットフォームであった。作業者は、自身が担当する作業に合わせて姿勢を変え、歩きながらの組立を余儀なくされていた。このため、キャビン内出入り/しゃがみ/腰曲げ/蟹歩き作業などの難しい姿勢での作業が多く存在していた (Fig.1)。

◆Exist difficult work posture

Walk in & out of cabin / Squat down / Bend down / Crablike lateral move



Fig.1 Change Work Posture (Conventional)

新生ラインでは、工程/車種ごとに作業者が自然な姿勢で作業可能なキャビン高さを任意に設定できるようにした。また、コンベア上での静止作業も可能にした。DPA (デジタルプリアッセンブリ) による作業姿勢シミュレーションに基づいて、サイドシル部の高さを50mmピッチで210mmから1,000mmの範囲で変更できるようコンベアのスペックを設定した。これにより、難しい作業姿勢を排除することで作業者の肉体的負担の解消を図るとともに、しゃがむ/曲げるなどの動作ロス・キャビン内出入りなどのロス削減による生産性向上にも大きな効果をあげている (Fig.2)。

- ◆Eliminate difficult work posture : Eliminate workers physical stress
- ◆Improve productivity : Reduce loss of motion/ walk in&out of cabin



Fig.2 Change the Height of Cabin Automatically (Reborn)

第二の対策は、トリプルスラットコンベアの導入である。従来は、タイヤ接地部分だけに敷いたダブルスラットコンベアであったため、エンジンルーム/トランク廻りなどのセンター付近の作業をする場合、どうしても前後方向で

◆Exist difficult work posture : backward walk



Fig.3 Double Slat Conveyor (Conventional)

の歩きながらの作業をせざるをえなかった (Fig.3)。

そこで、既存のダブルスラットコンベアを改造してセンター部分にもう1本コンベアを追加した。このトリプルスラットコンベア化により、後ずさりなどのながら作業を排除することが可能になった (Fig.4)。

◆Eliminate difficult work posture : Nothing backward walk



Fig.4 Triple Slat Conveyor (Reborn)

このように、戦略投資としての昇降リフト機能付きコンベア、既存のコンベアを徹底活用したトリプルスラットコンベアなどの組み合わせによる効率的投資で大きな効果をあげた点も新生組立工場の特徴の一つといえる。

第三の対策は、これまで積上げてきた現場の知恵と改善 (アイテム2,018項目) を随所に織り込んだことである。

車と人/部品/工具の同期化や近接化・定量一発取りなど現場で実際に働く人の創意工夫が活かされている。

4.2 キットサプライシステムの導入

このシステム導入の狙いは、作業者の「精神的負担の解消」である。必要な部品を作業者の手元にタイミングよく供給することによって選択/判断の排除を可能にした。

従来は、生産指示情報をブロードキャストと呼ばれる記号を印字した紙やCRT画面などから確認して、必要な部品を判断し、ラインサイドの部品棚から該当する部品を選択して組立を行っていた (Fig.5)。

◆Pick up parts from a rack at line side

1. Check assembly sequence info.
2. Select necessary parts from a rack



Fig.5 Select Parts from a Rack at Line Side (Conventional)

多機種混流生産が前提の生産ラインでは、数千種類にもおよぶ非常に多くの部品が存在している。この状況で作業者は、必要な部品を「判断/選択/取る」一連の動作をサイクルタイムごと・車の仕様ごとに間違えることなく継続する必要があり、精神的負担を強いられていた。

そこで、組立作業と選択/判断作業を分離し、作業者の精神的負担の解消と部品供給の手元化による歩行/振向きなどのロス削減を目指したキットサプライ方式を導入した。

このキットサプライ方式は、1台分の部品を容器にセットしてラインへ供給し、作業者はその容器から直に部品を取って組付ける生産方式である。人へのやさしさと高効率を両立させるとともに、ラインサイドに固定部品棚がない世界に例をみない車両組立ラインである (Fig.6)

- ◆ Set and supply parts per car to main line
No selection / judgment

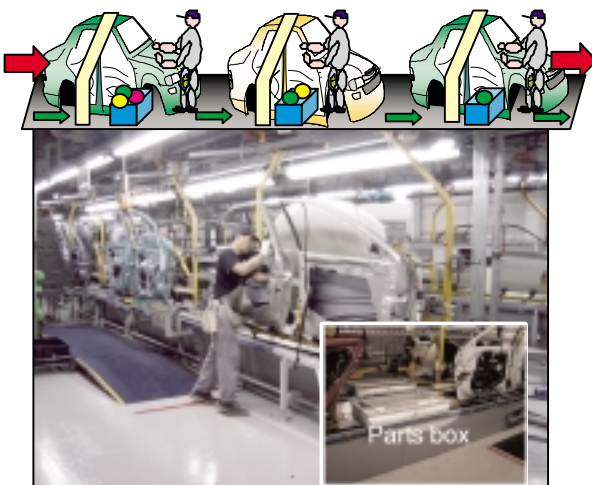


Fig.6 Kit Supply System(Reborn)

以上の主要施策による選択/判断・難姿勢・キャビン内出入り・ながら作業などの徹底排除で、三年前の閉鎖時点52%であった最適作業の比率を再稼動時点では86%まで改善した。将来的には、車両構造改善も織り込みながら最適作業の比率100%を目指す。

5. 高品質・同期生産ラインの実現

5.1 工程内品質保証の強化

この品質保証強化の狙いは、「手直しのない無欠点車両の生産」を実現することである。

そのためには、組立で保証する品質特性が各工程内で確実に保証できるシステムを構築することが必須である。

1ラインで数千種類にもおよぶ要素作業数、さらには締付・貼付け・嵌め込み・配線・配管・液体注入など多種多様な作業要素が存在する組立作業すべてにおいて、作業で保証する項目・設備で保証する項目・車両構造で保証する項目を明らかにし、それぞれの特性にあわせた工程内品質保証の強化を徹底して進めてきた (Table 1)

Table 1 Quality Assurance Item in Process

operation/process	facility	vehicle structure	Assurance Item
○			・ Quality assurance in process Drawing - Process Sheet - Assurance item - Actual work → Recheck & reconfirm compatibility
	○		・ Fastening quality → Quantitatively assured by fastening error proof system
	○		・ Application/attaching quality → Assured by all-around urethane application shape measurement technology
	○		・ Fluid filling quality → Trend monitoring by residual air measurement technology
		○	・ Connecting quality (Coupler) → Assured by inertia lock connector ("click" ness)

5.2 組立オン～車両完成までの工程短縮

この工程短縮の狙いは、「Bカーの工程数でCD/ミニバクラスの生産に対応できる生産ライン」の実現である。

前述のジャストフィットコンベアの導入による工程配置人員密度の拡大、およびモジュール化の展開拡大によるサブラインの活用などにより工程短縮を可能にした。

この結果、U2組立新生ラインは閉鎖時点に対し21%もの工程短縮を実現した。また、マツダの中で最も工程数の少ない防府第2 (H2) 組立ライン比でも11%優っている。

5.3 部品物流革新の実現

この部品物流革新の狙いは、メーカーを含めた「仕掛かり在庫・リードタイム・物流工数の改善」である。

メーカーの初工程から作業者の手元までの部品供給を直結したストレート物流、および二階建屋構造のメリットを最大限に活用した部品ダイレクト供給方式の主要施策により狙いの姿を具現化してきた。

(1) メーカーからの計画順序搬入の拡大

この計画順序搬入部品拡大の狙いは、メーカーを含めた「仕掛かり削減と部品順序付け作業廃止」である。

組立ラインでは、従来から部品種類数の多い大物部品を対象に搬入された部品を組立オンの順番に順序付けしてラインサイドへ供給している。これにより、組立作業者の選択/判断作業に伴う精神的負担や歩行ロスなどを改善してきた。しかしながらこの一方で、メーカーと組立間での仕掛かり、部品順序付け作業の追加などのロスを発生させている点も見逃してはいけない。

これらのロスを排除するためには、組立の生産順序通りに部品供給先も同期した生産を行うことが必要である。また、そのシステムを可能にするためのリードタイムの確保もしなければならない。つまり、マツダ全加工区において、工程内での品質保証を強化しながら、車体オン～塗装～組立オフ間の車の流れが、計画順序通りに滞ることなくストレートに生産できることが必須条件となる。現在、計画生産を阻害する問題を対策し、車体オン情報に基づく同期生産をメーカーと一体で進めている (Fig.7)

計画順序搬入実施アイテム数でみると、閉鎖時点8アイテムであったものを新生本格稼動時31アイテム、その後44

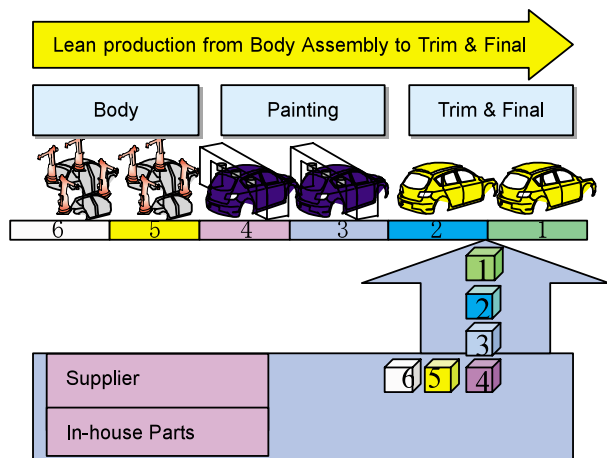


Fig.7 Image of Integrated Scheduled Delivery

アイテムへと拡大展開中である。

(2) 瓦パーチレータによる部品ダイレクト供給

この部品ダイレクト供給の狙いは、「部品供給距離の最短化と部品納品から完成車オフのリードタイム短縮」である。

従来の台車牽引方式に対して、一階部品置場・二階組立ラインという二階建屋構造メリットを最大限活用した瓦パーチレータによる一階から二階への部品供給方式を採用することにより、部品を各工程へ最短距離でダイレクトに供給することを可能にした (Fig.8)

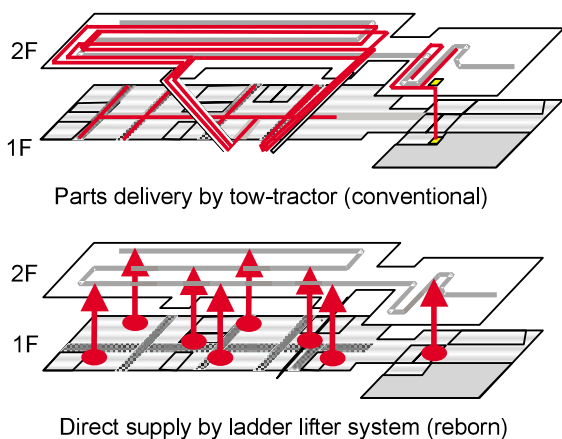


Fig.8 Parts Supply Method

瓦パーチレータとは、建築現場などで屋根に瓦をあげる時に使われる簡易的な昇降装置である。これは、従来の装置の約1/5という低コストで設置可能で、しかも実際に使用する工場での移設ができる点が特徴である。

これまで前述のキットサプライを中心に9基の瓦パーチレータを展開し、納品からラインオフまでの部品リードタイムを閉鎖時と比べて35%短縮した。

6. 多機種フレキシブル生産ラインの実現

6.1 搬送系設備の全ボデーサイズ対応

この狙いは、「将来のモデルチェンジ/新型車導入に対する即応化と搬送系設備の投資ミニマム化」である。

既存のコンベアを最大限活用しながらミニマム投資でBカーからCD/ミニバンクラスまでの生産を可能にした。重量アップ対策については、既存のパワー&フリーコンベアの徹底活用を図るためにコンベアレールへの加重分散構造などの工夫を織り込んだ。幅/高さ/長さのボデーサイズ対応では、切替式ハンガー受け具やパレット化によるフレキシビリティの拡大を実現した。

6.2 生産設備の汎用化

この汎用化の狙いは、「将来のモデルチェンジなど、新型車導入に対する生産設備の投資ミニマム化」である。

そこで、車種固有の専用部を極小化し、その他は全て汎用部にして再投資のない設備構造を追求した。Fig.9にリヤサスペンションアッセンブリ装置の例を示す。ピンクの部分が汎用部、グリーン部分がリヤサスペンション受け部となる専用部である。



Fig.9 Rear Suspension Assembly to Accommodate Multi-Models

6.3 インテリジェントセル同期生産システム

この生産システム導入の狙いは、「車種ミックス/生産量変動の吸収」である。インストルメントパネルサブアッセンブリラインを従来の分業・連続コンベアラインからインテリジェントセル同期生産方式に工程革新し変動に強いラインを実現した。

作業時間の異なる多機種混流生産において、従来のコンベア方式では、車種ミックス/生産量が変動する度に、全工程の作業編成を見直すことになる。これに伴うラインサイドの部品移動・作業者への教育/訓練も必要である。さらに、車種間での作業時間の違いによって、歩行・手待ちなどのロスも多く発生し、フレキシビリティの観点で課題を抱えた生産システムであった (Fig.10)

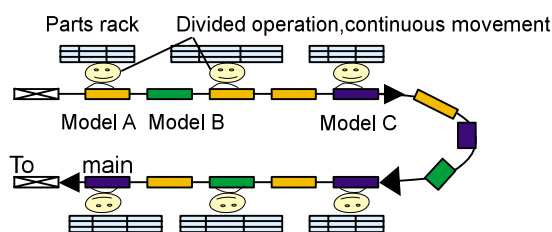


Fig.10 Conveyer Production System (Conventional)

今回導入したセル生産方式は、一人の作業者が自己完結で組立を行っている。従って、車種ミックス/生産量の変動に対しては、人の増減のみで対応できる。また、静止作

業化による歩行ロス削減・品質の安定化, 更には作業者の適性や能力に合わせた生産が可能である。これらにより, 単調作業に対し, 自己完結作業がもたらす達成感や働き甲斐などを作業者が実感できるという効果も生まれている。

しかしながら, 通常のセル方式はセル工程とメインラインの間に多くの仕掛かりプールが存在し, これによって生産順序への対応をしている (Fig.11)。

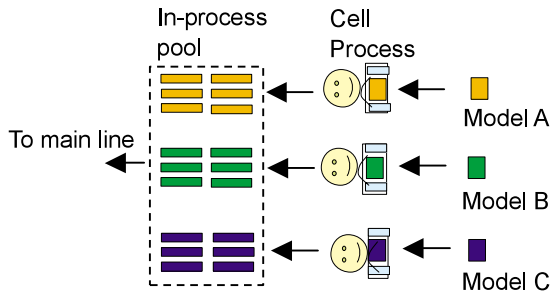


Fig.11 Regular Cell Production System (Fixed Model)

U2新生組立ラインでは, セルとメインラインを直結させながらも仕掛かりのミニマム化を実現した。セル工程で前後になった順序をメインラインの生産順序に戻す自律コントロール機能を持つ生産方式である。これをインテリジェントセル同期生産システムと名付けた (Fig.12)。

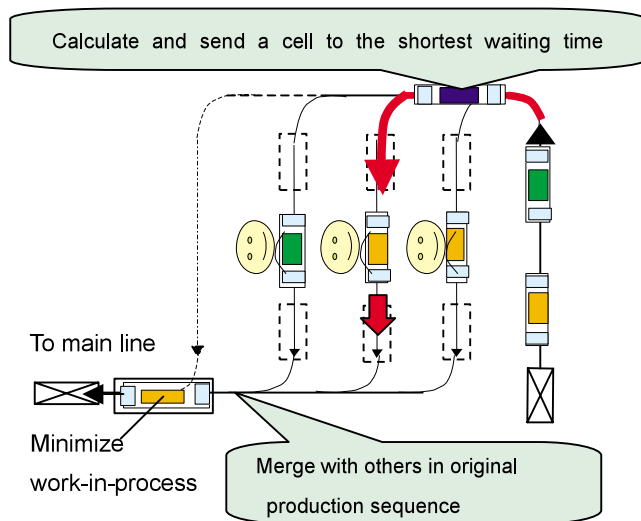


Fig.12 Synchronized Intelligent Cell Production System

6.4 MDIによる生産準備プロセス革新

この狙いは, 車両構造と生産工程の同時開発による「生産設計の早期確定によるフレキシビリティの継続拡大」である。構造標準化による作業のシンプル化・開発完了後の設計変更ゼロ化による早期品質安定などを展開し, 量産1号車からフル生産までを従来の1ヶ月から2週間へ短縮中である。

開発初期段階からシンプルな作業を徹底的に追及した事例として, 机上シミュレーションによる作業姿勢検証を Fig.13に示す。これは, 従来の車両構造検証と同時に, 今

後の新型車導入に対する昇降機能付きコンベア台車などのインフラ整備の検証も合わせて実施することにより, 将来に向けた最適な車両構造と生産工程の実現を可能にした。

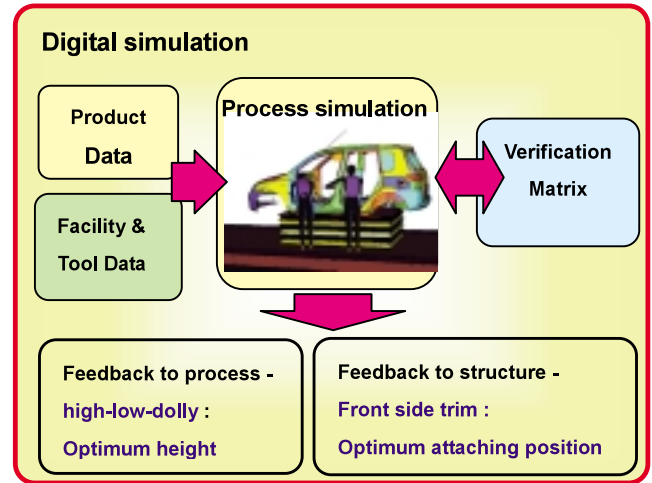


Fig.13 Work Posture Simulation

7. おわりに

今後の生産を取り巻く環境は, 中国の躍進・品質競争激化・市場ニーズの多様化などますます厳しさを増すことが予測される。劇的品質革新・絶対原価生産・開発期間短縮などを更に向上させることが必須である。

マツダの今後のもの造りを具現化するマザー工場とすべく, また他社にベンチマークされるU2組立ラインへ向けて, 立ち止まることなく, 更なる進化へ向け今後も引き続き努力・貢献して行かなければならない。

最後に, U2車両組立ライン新生においてご協力頂いた関係各位に深謝する。

著者



近藤恒幸



福谷 勇



福間博文



増田義弘



久 政志

論文・解説

29

U2塗装工場新生の概要 Introduction of U2 Paint Shop's Renewal

吉岡 秀久*1 長嶺 浩*2 亀迫 裕介*3
Hidehisa Yoshioka Hiroshi Nagamine Yusuke Kamesako
安藤 宏泰*4 世良 和也*5 紙元 隆行*6
Hiroyasu Andou Kazuya Sera Takayuki Kamimoto

要約

宇品第2(U2)塗装工場は、マツダの生産ラインの基本コンセプトである「スリムでストレートな高品質フレキシブル同期生産ライン」の実現を目指して2004年5月に再稼働を果たした。休止工場再稼働の工期メリットを活かし、既存の建屋・レイアウト・設備を最大限活用しながら、マツダのもつ最新の生産技術・製造技術、そしてものづくりの知恵を集大成することで、新設ラインと比較して大幅に投資を削減し塗装ラインの新生を図った。

本稿では、U2塗装工場新生に向けた3つのコンセプト『1. 地球環境と働く人にやさしいライン』、『2. 高品質・同期生産ライン』、『3. 多機種対応フレキシブル生産ライン』について、その基本的な考え方と施策内容について紹介する。

Summary

In May 2004, U2 paint shop resumed production aiming to realize Mazda's production line concept "slim, straight, and high-quality plant running the flexible and synchronized production". It made the maximal use of the merit "resumption of a dormant plant" with lesser production lead-up time. Using existing buildings, layout, facilities while bringing together the accumulated Mazda's latest production engineering and manufacturing wisdom, U2 paint line was rejuvenated with significantly reduced investment.

This report introduces the basic thought and the approaches to achieve three concepts, 1. friendly to humans and environment, 2. synchronization and high quality, 3. flexible production line for multiple models.

1. はじめに

U2工場は1972年12月に操業を開始して以来、マツダの小型車生産の主力工場として、ファミリアやデミオなどを生産してきたが、2001年9月に、生産体制を再編すべく工場を閉鎖した。そして、新商品導入による商品主導の成長に備えた生産体制の強化の一環として、2004年5月に操業を再開した。これは、単なる工場再開ではなく、働く人と環境に配慮しながらより高い品質と生産性を実現し、世界トップクラスのフレキシブルな生産ラインを目指してその新生を図った。本稿では、その基本コンセプトとその具現化に向けた考え方、施策内容について紹介する。

2. 塗装ラインの特徴と課題

従来の塗装ラインの基本プロセスをFig.1に示す。車体工場から送られてきたボデーは、洗浄・化成被膜処理後、防錆を目的とした電着塗装、防振・防水を目的としたシーラ・アンダーコートなどの下塗塗装、下地色隠蔽や耐チップング性等の塗装の機能を補助する中塗塗装、そしてカラーを付与するベースと耐候性等の機能を付与するクリヤから成る上塗塗装の順で塗装され、組立工場に送られる。このように塗装ラインは4つの基本工程から構成されており、それぞれの工程は、準備や検査・手直し等の付随作業や焼付け乾燥炉を備えている。

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

従って、塗装ラインは、その生産時間が8時間以上となる長い工程から構成され、また、塗装以外に充填や貼り物等の多様な作業が存在する。このような特徴を踏まえ、塗装ラインは次のような課題を持っている。

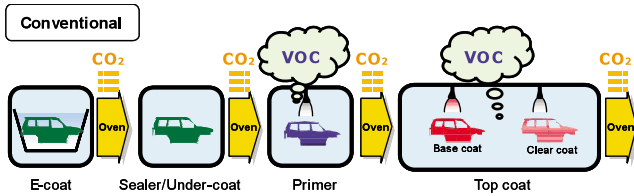


Fig.1 Basic Process of Painting Line

2.1 環境負荷物質の排出削減

塗装ラインは、塗料に含まれるトルエン・キシレン等の揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds, 以下VOC) や、塗装ブースや乾燥炉等における多量のエネルギー消費 (CO₂) など、多量の環境負荷物質を排出している。これまで、VOC排出の自主規制や省エネ活動など継続的な改善を進めているが、世界規模の環境保全への関心が高まる中で、その抜本的な取組みが急務となっている。

2.2 作業環境の改善

塗装ラインは、高温の焼付け乾燥炉を備えるため、暑熱作業環境を排除することは大きな課題である。これまでのU2塗装ラインは、作業場が乾燥炉の近くに散在するため冷房ダクト等を配するなどの対応にとどまっていた。新生に際し、暑熱環境の排除に向けた抜本的な対応が求められる。

また、吹付け作業を中心に自動化が進んだとはいえ、ボデー床裏や室内では、上向きや腰曲げなど難姿勢の作業が存在しており、大幅な改善が必要である。

2.3 無塵化ラインの実現

塗装ラインにおける第一の生産阻害要因はゴミ・ブツ不良である。これまで、その発生要因に溯った知恵と工夫で大幅な不良削減を図ってきたが、不良を作らないための準備作業や発生した不良を検出・修正する手直しなど、商品に直接価値を生まない付随作業が各工程に必要であった。

また、仕上げ工程の上塗塗装後に検出された不良は、ラインからボデーを抜き出して手直しするため生産順序を乱している。これは、生産ライン全体で進めている計画順序生産を実現する上での大きな課題となっていた。

2.4 塗装ラインの汎用化

将来を見据え、市場ニーズの多様化や変化にフレキシブルに対応していくには、ボデー形状やサイズに制約なく短期間に新型車の導入が図れ、また、生産車種数や量の変動に強い生産ラインの構築が求められる。

塗装ラインはディップ槽やブース、乾燥炉など大型の設備で構成されるため、特にボデー形状やサイズへの対応に

は塗装ライン全体としての制約があり、大幅な改造投資と工事期間を要する。この状況を踏まえ、生産準備期間の短縮に向け、設備の汎用化など量産準備プロセス革新と連携した生産ラインの構築が求められている。

3. U2塗装工場新生のコンセプト

U2塗装工場新生を、生産ライン全体のコンセプトである『スリムでストレートな高品質フレキシブル同期生産ライン』の実現と位置付け、上記で述べた課題解決を図るべく、以下の三つの基本コンセプトを掲げて取り組んだ。休止工場再稼働の工期メリットを活かし、既存の建屋・レイアウト・設備を最大限活用しながら、マツダのもつ最新の生産技術・製造技術、そしてものづくりの知恵を集大成し、新設と比較して大幅に投資を削減し塗装ライン新生を図ることとした。

3.1 地球環境と働く人にやさしい生産ライン

抜本的な環境負荷物質の削減と快適な作業環境に最大限配慮した生産ラインの実現を第一のコンセプトとし、工程集約を基本とした施策展開を図った。

環境負荷物質の削減として、VOC及びCO₂を同時に削減し、かつ、コスト低減が果たせる『3ウエットオン塗装』を展開した。また、働く人にやさしい生産ラインの実現に向けて、ダストレス塗装による難姿勢を伴う付随作業の削減や、作業工程を集約化することにより効率的で快適な作業環境の提供を図った。

3.2 高品質・同期生産ライン

お客様の期待に応える塗装品質を工程内で確実に作り込み、お客様の要求に即応して製品を提供する高品質・同期生産ラインの実現を第二のコンセプトとし、工程内不良ゼロの無塵化ラインの具現化による計画順序生産並びに同期生産の実現を目指した。

主要施策として、電着槽内のゴミ捕集率約100%を実現する電着新循環方式 (対向流) や、徹底した防塵トンネル化など現場で培ってきた知恵を活かした施策を展開した。

3.3 多機種対応フレキシブル生産ライン

今後の商品主導による成長をサポートするため、「デミオ」クラスから「MPV」クラスの車種がフレキシブルに対応できる生産ラインの実現を第三のコンセプトとした。

従来、小型車に限定されていたU2塗装ラインをRV車まで対応することを前提に、ボデー形状やサイズ、カラーなどの塗装仕様の異なる複数の車種を同一のラインで生産する多種混流で、車種数や生産量の変動に強く、かつ、新型車を短期間に導入できる生産ラインの実現を目指した。この対応として、搬送系設備を中心とした全ボデーサイズ対応を図り、設備の汎用化領域拡大による新型車導入の即応化を進めた。また、MDI (Mazda Digital Innovation) と連携した生産プロセスとし、シミュレーション環境下でのボデー構造と生産設計のコンカレント化を進めることで、手

戻りのない生産設計が可能なラインとした。

U2塗装工場新生の工程レイアウトをFig.2に示し、3つのコンセプトに対する主要施策と内容を紹介する。

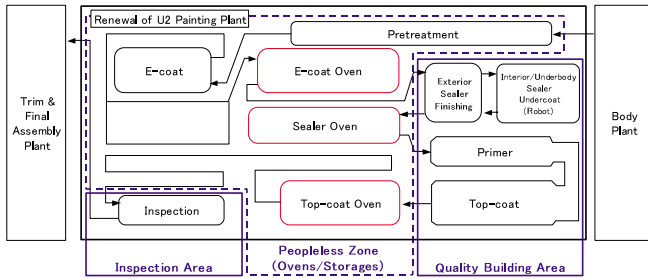


Fig.2 Process Layout of U2 Renewal Painting Line

4. 地球環境と働く人にやさしい生産ライン

4.1 3ウエットオン塗装の導入

3ウエットオン塗装は、工程短縮・集約の考えのもと、マツダで開発した最新の環境技術である。水性塗料などVOC削減を中心とした従来の環境技術に対し、VOC(50%減)とCO₂(20%減)を同時に削減し、更に、抜本的なコスト低減(20~25%減)も実現するものである。2002年に世界に先駆けて防府第1塗装工場に導入し、マツダの標準塗装としてU2塗装工場への展開を図った。

Fig.3に3ウエットオン塗装工程の概要を示した。3ウエットオン塗装は、中塗、ベース、クリアをウエット状態で連続塗装した後、一度に焼き付ける新工法で、これにより従来の中塗工程を廃止し、エネルギー消費により発生するCO₂とコストを同時に削減できる。また、塗料中に含まれるVOC含有量を減らす塗料の低溶剤化と、ロボット塗装技術による塗装効率向上や膜厚均一化など、塗料使用量自体の低減によるVOC排出削減を実現している⁽¹⁾。

U2塗装工場新生では、3ウエットオン塗装の展開のみならず、効率的な塗装ロボット配置による省スペース化を追求し、既存ラインの塗装ブースや乾燥炉などの塗装設備を踏襲しながら、新設ラインと同様に内板塗装ロボット導入や水性塗料化を可能とするレイアウトを実現できた。これにより、操業再開時点で欧州VOC排出基準である塗装面積あたり35g/m²以下を達成するだけでなく、将来に向けた環境施策の展開も可能となった。

4.2 下塗工程の集約

下塗工程は、ボデー床裏のシーラやアンダーコートなどの床裏工程と、ボデー室内外のシーラ工程に大別されている。また、マスキング材の貼り付けや剥ぎ、テーピング、仕上げや拭き取りなどの付随作業が散在し、床裏や室内作業では上向きや腰曲げの難姿勢作業が多く残っている。

下塗工程は、エルゴノミクス改善の観点から、早くから

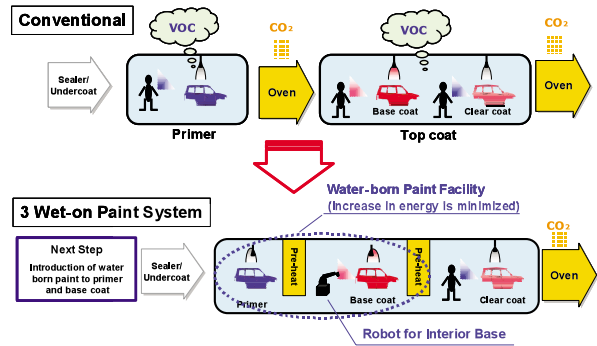


Fig.3 3 Wet-on Painting System

自動化への取組みを進めてきた工程である。しかし、これまで、床裏工程とシーラ工程を個別に捉え、それぞれを自動化することを前提としていたため、マニュアル作業以上に工程数が必要となり、スペースや投資効率の制約から既存ラインで自動化を進めることは困難と考えていた。これに対し、U2塗装工場新生では、床裏塗装と内板シーラを同一工程に集約(Fig.4)することを考え、Fig.5に示すようにロボットを二層に高密度配置することで、限られたスペースの中でこれらの自動化を実現することができた。

床裏工程のアンダーコート塗装では、一般的に高粘性塗料とエアレス塗装の組合せで塗装される。しかし、その構造上、塗料ダストが発生するため、部品取付け面には付着防止のマスキングや、付着した塗料ダストを拭き取るなど

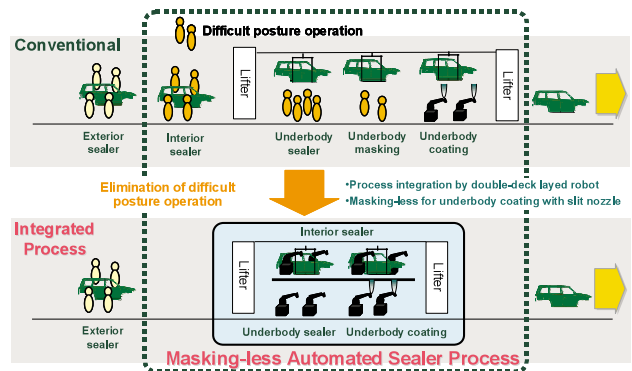


Fig.4 Process Integration of Interior Sealer/Underbody Coating



Fig.5 Double-deck Layout

の付随作業が必要であった。この下塗工程集約の中で、これらの付随作業を排除することを狙いに、その発生源である塗料ダストが発生しないスリット塗装によるダストレス工法を技術開発した。加えて、部品取付け面を正確に回避する高精度塗装と組合せ、マスクングを必要としないアンダーコート塗装の実現を図った（詳細は、「高粘度塗料のダストレス塗布工法の開発」の論文を参照）。

また、室内シーラでは、ノズルや材料の改良と塗装条件の最適化により、ロボットによるシーラ塗布精度の信頼性を大幅に向上させ、水漏れなど品質保証のために従来必要であった仕上げ作業の削減を図っている。

これらの取組みにより下塗工程での難姿勢作業を大幅に改善できた。

4.3 作業環境の改善

新設ラインにおける作業環境の改善は、1980年代に作業場と乾燥炉を分離して乾燥炉後にストレージラインを設けるなど暑熱作業に配慮したレイアウトが確立し、1990年代には作業エリアをゾーニングして効率的な空調環境が提供されるようになった。しかし、1970年代に建設されたU2塗装工場は、乾燥炉が工場の中央に位置し、その前後に作業場が散在するレイアウトとなっており、更に、乾燥炉後のストレージラインもなく、十分に冷却されていないボデーが流れてくるなど、新生に際して抜本的なレイアウト改善が必要であった。

U2塗装工場新生では、基礎工事を最少とするため既存のコンベヤ経路を踏襲しながら、前述の3ウエットオン塗装や下塗工程集約などで効率化したスペースを活用して、各乾燥炉後にストレージラインをレイアウトした。更に、これまで8つに分散していた作業エリアを4つに集約した上で、そのゾーニングと空調設備の導入を図った。これらの施策により、新設ラインと同様な快適な作業場を提供することができたと考えている。

5. 高品質・同期生産ライン

5.1 電着新循環方式（対向流）の導入

電着塗装工程の無塵化を図るため、防府工場に採用してきた電着新循環方式（対向流）をより進化させて導入した。

電着塗装は、ボデーをディップ槽に浸漬し、電気的にボデーに塗料を析出させる塗装方法である。その際、ボデーから持ち込まれる鉄粉や化成スラッジ、また、電着塗料の凝集物などのゴミが、電着塗装時にボデーに付着してブツ不良となる。これは、後工程で塗装面をペーパーで研いで修正されるが、不良の見逃しや研ぎカスが次工程でゴミの要因となり、上塗後の不良にまで影響を及ぼしていた。

新循環方式は、槽内の電着塗料の流れとゴミ捕集効率を解析することにより開発された電着ブツレス化技術である。従来の循環方式（Fig.6）は、ボデー進行と同方向に塗料は流れ、また、槽内ではよどみが生じてゴミの捕集効

率は約57%と低かった。これに対し、新循環方式（Fig.7）は、塗料の流れをボデー進行と逆方向とし、よどみのない流れにすることで、ボデーにゴミが付着せず、かつ、ゴミ捕集効率の抜本的な改善を図ることができる⁽²⁾。

今回のU2塗装工場新生への展開にあたっては、防府工場で採用した循環対向流方式よりも、更にゴミ捕集効率（100%）の高い全対向流方式を採用した。5.2で述べる無塵化プロセスに向けた取組みと合わせて、電着後の修正研ぎが不要なレベルまで電着ブツの削減ができた。

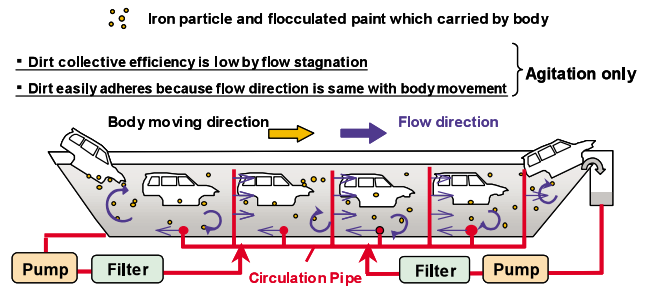


Fig.6 Conventional Type of Circulation

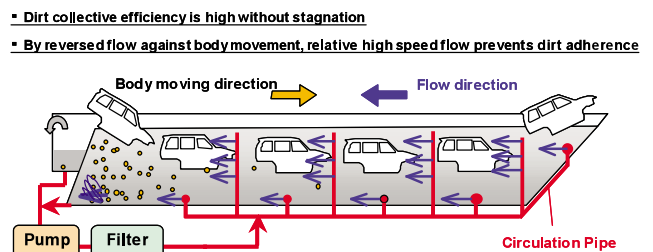


Fig.7 New Type of Circulation (Counter Flow)

5.2 無塵化ラインの実現

塗装ラインの究極の課題ともいえる無塵化ラインの実現は、“持ち込まない”、“発生させない”、“取り除く”の三原則に従い、ゴミ不良の要因系に基づく改善や管理の積み重ねが極めて重要であり、これをベースにしたレイアウト設計や技術開発が必要である。

U2塗装工場新生では、前述の3ウエットオン塗装や下塗の事例のような工程集約により、従来に比べ約36%の工程短縮が図れ、“品質の造り込みエリア”として重点管理が必要な工程を集約配置したレイアウト（Fig.2）とすることができた。また、不要となった中塗ブースや乾燥炉を活用しながら防塵トンネル化を徹底し、作業場では陽圧化を進めるなどゴミを持ち込まないレイアウトとした。

その他にも、ボデー内部を洗浄するスプレーやボデー外板を洗浄する高圧スプレーなどのボデー洗浄技術や、ボデーに付着したゴミの可視化など、これまで現場で培ってきた数千にものぼる改善を展開している（Fig.8）。これら無

塵化ラインの実現に向けた生産技術の集大成と現場で培ったものづくりの知恵を展開することにより、ゴミ不良件数を大幅に削減し、従来、85%程度であった計画遵守率を99%以上まで向上させることができ、狙い通り生産ライン全体の計画順序生産を実現することができた。

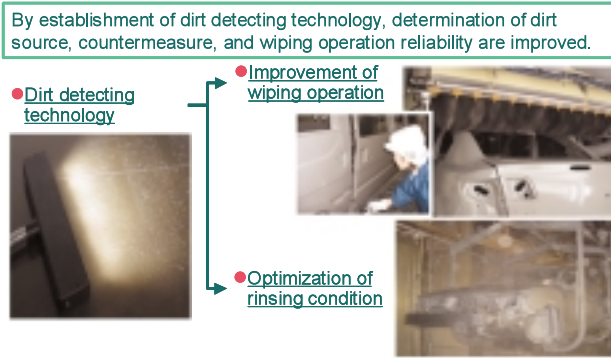


Fig.8 Dirt Detecting/Eliminating Technology

6. 多機種対応フレキシブル生産ライン

6.1 全ボデーサイズ対応

塗装ラインは、ディップ槽やブース、乾燥炉など大型の塗装設備で構成されており、工場設計時のボデーサイズを大幅に超える場合には、設備更新など大規模な設備対応が必要となる。これに対し、U2塗装工場新生では、ボデーを搬送するハンガーや台車など搬送設備を中心に、既存の塗装設備流用を前提とした全ボデーサイズ対応を図った。

ボデーをハンガーに吊り下げてディップ槽に浸漬させる表面処理・電着工程では、ハンガーの最大化や、ハンガーの揺れを防止するガイドバー設置などにより、小型車前提で設計されたディップ槽本体を流用しながら車高や車幅の拡大への対応を行った。

各乾燥炉では、ボデーサイズ拡大に伴う炉本体の延長をなくすため、高速昇温技術を取り入れた。これは、暖まりにくいボデー部位に熱風吹出し口を配置し、吹出し口をスリット形状にすることで風速をアップしてボデー昇温の速度を上げるものである。これにより、乾燥炉本体はそのままに小規模のダクト改造のみでボデーサイズ拡大に対応することができた。

これらの施策により、従来、小型車専用であったU2塗装ラインがMPVクラスまで生産可能となった。

6.2 生産設備の汎用化

新型車や車種追加に対し、投資ミニマムで即応していくには、設備の汎用化を進めることが極めて重要である。塗装ラインでは、その都度、ボデーの位置決めや搬送設備の受け部について装置追加や共用化改造を繰り返しており、その汎用化に向け次の施策を展開した。

(1) ボデー位置決め

シーラ・アンダーコート塗装の自動化工程では、より高

い塗布精度が要求されるため、フロントとリヤなどの基準穴を用いたボデーの位置決めが必要である。

この方法として、ピンを基準穴に差し込むボデー位置規制方式や、固定カメラで基準穴を検出してボデーの位置ずれを塗装軌跡側で自動補正する方法 (Table 1) が知られている。

Table 1 Conventional Method of Positioning of The Body

		Conventional method	
Applying accuracy	concept	Restrict the position of the body	Detect/Correct the position of the body
	correspond	Locator pin	Fixed camera
Generality		× 1 model/1 device	△ Commonizable if it is in view
Qualification for double-deck layout (Interference with robot)		×	△

しかし、これらは、基準穴の位置が異なる車種それぞれに専用装置を設けることになり、新型車や車種追加に合わせ装置追加や改造が必要となっていた。更に、前述の下塗ロボットを二層に集約配置する場合、これらの装置との干渉回避のため、ロボットの動作範囲に制約を受けることが大きな課題であった。

このボデー位置決めを汎用化する方式として、アンダーコートロボット自体にカメラを持たせ、車種に応じてボデー位置を検出させることを考えた (Fig.9)。この方式は、アンダーコートの塗料ダストがカメラを汚すため、誤検出や頻りにメンテナンスが必要であることから塗装工場での採用例は少なかったが、前述のダストレス工法の実現によりこれらの問題の解決が図れた。

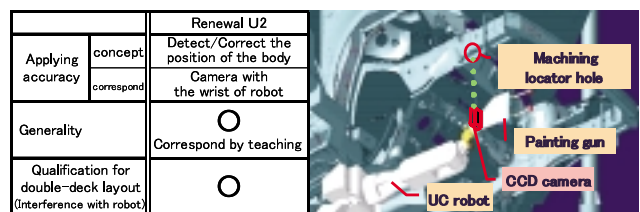


Fig.9 U2 Renewal Camera Method

(2) 搬送設備のボデー受け部

ボデーの搬送台車は、台車ベースとボデー受け部から構成され、これまで受け部を共用化改造して多機種対応を図ってきた。3Dでの設備設計が進んだとはいえ、車種導入の都度、多くの設計工数や現地改造が必要となっていた。

このボデー受けの汎用化のため、車種セグメントごとに受け部となる搬送基準や加工基準の位置や寸法を要件化し、台車では要件化された受け部を車種に応じピンを差し替えながら受けるピンチェンジ方式を開発した (Fig.10)。この開発は、開発部門との協力に加え、塗装工場固有の塗

料ダスト付着や乾燥炉での熱変形など信頼性に対する課題の解決により実現することができた。これにより、新型車や車種追加に、投資なしで即応化することが可能となった。

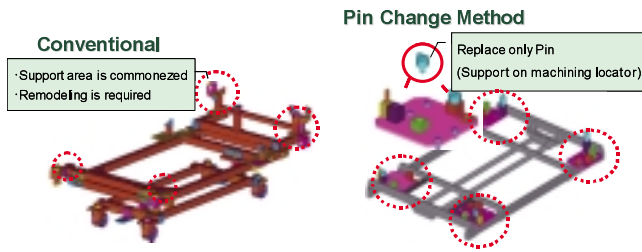


Fig.10 Generalization of Support

6.3 MDIによる生産準備プロセス革新

MDIによる生産準備プロセス革新を通じて、ボデー構造と生産工程のデータ化と併せてシミュレーション技術の開発や環境整備により、従来、実車で評価・検証していた項目を机上で評価できるようにしてきた。

3ウエットオン塗装の事例では、工程検証として、塗装ロボットのレイアウト検討のために動作範囲や干渉の評価を行い、更に、塗装効率の高い塗り方の設計や独自の膜厚シミュレーションによる品質検証など、設備設計から品質検証までの一連の塗装業務が同じ3D-CAD環境下で同時にできるようにした (Fig.11)。

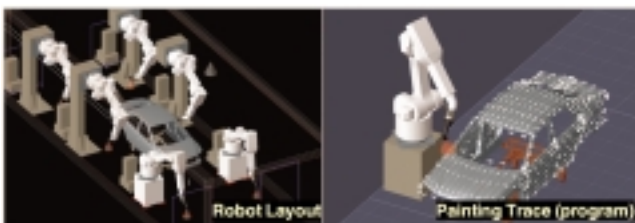


Fig.11 Robot Layout/Painting Trace Simulation

ここで検証されたロボット軌跡と塗装条件はティーチングプログラムとして直接実機にダウンロードされ、その精度は狙いの品質を手戻りなく実現できるレベルまで向上してきた。これにより、これまでの実ボデーを用いたライン塗装トライアルによる塗装条件の設定等の育成業務は不要とすることができた。

この他、ハンガー・移載機・ピンチェンジなどの搬送設備や下塗ロボット等の塗装装置など、新型車の開発や塗装品質育成が必要な設備には全て同じ環境を整え、MDIと連携した生産プロセスを実現できた。

また、設備制御領域もシミュレーションによる机上検証手法の確立を進め、ハード・ソフト両面から手戻りのないスムーズな立ち上げの実現を図った。

このように、生産設備のシミュレーション環境を整えたことで、これまで以上にボデー構造と生産設計のコンカレ

ント化を推進し、手戻りのない生産設計と量産準備期間の短縮が図れるものと確信している。

7. おわりに

U2工場新生では、世界中の自動車工場が目標とする知恵と技術の最先端工場を目指して三つの基本コンセプトを掲げ、その具現化に向けた様々な施策を導入した。本稿で詳細は触れないが、環境負荷物質や作業環境、無塵化、汎用化など塗装ラインの課題に対し、塗装工場の変革ともいえる抜本的な取組みが、品質、コスト、リードタイムなどの生産性指標の大幅な改善につながったと考えている。

しかし、更なる環境改善、コスト低減と品質向上、商品力や期間短縮などの普遍的な塗装ラインの課題に対して、U2塗装工場新生でそのスタートラインに立ったに過ぎない。U2塗装工場新生の考え方と施策を他ラインへの展開はもちろん、世界にベンチマークされ続けるモデルラインとして進化し続けるために、今後とも、R&Dと生産技術・製造が一体となった取組みを進めていきたい。

最後に、今回のU2塗装工場新生にあたって協力頂いた社内外の関係先の方々に、本誌面を借りて厚く感謝する。

参考文献

- (1) 神田輝夫，他：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）
- (2) 安藤宏泰：新電着工法の開発，マツダ技報，No.20，p.227-231（2002）

著者



吉岡秀久



長嶺 浩



亀迫裕介



世良和也



紙元隆行

論文・解説

30

高粘度塗料のダストレス塗布工法の開発 Development of the Dust-Free Spray Method for High Viscosity Paint

中村 哲也*² 高崎 秀則*³

Tetsuya Nakamura Hidenori Takasaki

福田 靖英*⁴

Yasuhide Fukuda

要 約

高粘度塗料は高圧で霧化させるエアレス塗装との組合せで広く使用され、自動車塗装ではアンダーコートなど下塗工程で採用されている。しかし、その構造上塗料ダストの発生を伴うため、マスキング作業など多様な付随作業が必要となるなど、永くその解決が求められていた。

今回、霧化を伴わない新しいダストレス塗布工法を開発し、更に高精度な塗装技術を確立して宇品第2 U2 塗装工場新生への導入を図った。本稿では、床裏塗装のアンダーコート工程を中心にその開発内容と適用事例を紹介する。

Summary

“ High-viscosity paint ” is widely used combined with “ airless spray paint, ” that atomizes paint by high pressure. In vehicle paint, it has been used for “ undercoating. ” However, since it generates paint dusts, additional works, such as doing the masking, were needed. This was a long-standing concern.

We developed a new dust-free spray method requiring no atomization. This high-precision paint technology paved the way for the rebirth of U2 's paint shop. This paper introduces details of this development and application centering the undercoat process.

1. はじめに

高粘度塗料は広くエアレス塗装との組合せで使用され、特に自動車塗装では床下塗装などの下塗工程で採用されている。しかし、その構造上、塗料の散りや跳ね返りなどの塗料ダストが発生し、下塗工程ではボデーへの付着防止のためマスキングやふき取りなどの付随作業が必要となることから、その解決が永く求められていた。

これら塗料ダストの発生は、エアレス塗装の霧化構造そのものに起因していることに着目し、霧化を伴わない高粘度塗料の塗装工法で、かつ、狙いの部位を正確に塗布できる新工法を開発し、U2塗装工場の下塗工程に導入した。

本稿では、床下塗装であるアンダーコート工程を中心にその開発内容と適用事例を紹介する。

2. 現状と開発の狙い

2.1 アンダーコート工程の現状とその課題

自動車塗装は大きく分けて電着、下塗、中塗、上塗の4つの工程からなっており、下塗工程は、シーラ、アンダーコート、制振シートなどボデーの防錆や防水、防音を目的とした付帯工程である。

この中で、床下塗装であるアンダーコートは、石跳ねによる塗膜剥がれ防止や音減衰のため、500~2,000 μm程度の厚膜塗装を行う工程である。この塗料は高粘度材が主体で、小口径のノズル(0.3~1.0mm)から高圧(6~9MPa)で塗料を噴霧するエアレス塗装との組合せで広く使用されている。

アンダーコート工程での作業は、頭上の難姿勢作業とな

*1~5 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

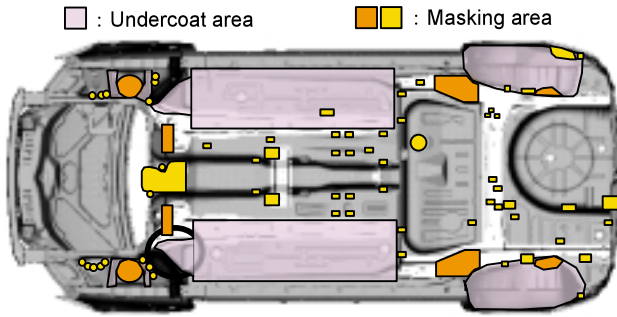


Fig.1 Lower Side of Body

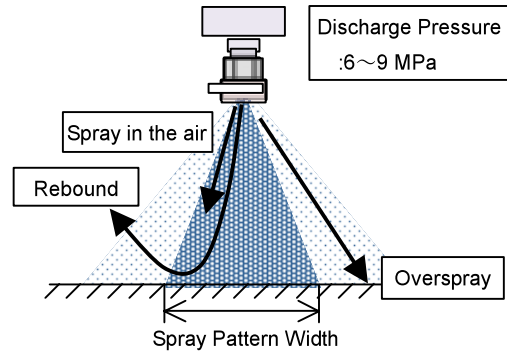


Fig.2 Paint Dust of Airless Spray

ることから、早くから自動化への取り組みが図られ、現在、主な塗布部位はロボットで塗装されている。しかし、エアレス塗装の構造上、塗料ダストの発生防止や狙いの部位を正確に塗装することは難しく、次のような課題がある。

(1) マスキングやふき取りなどの付随作業

取り付け部品の締結保証や干渉防止のため、塗料やダストを付着させないように取り付け面へのマスキング作業や、ボデー外板に付着した塗料ダストをふき取るなどの付随作業を必要としている。Fig.1に、アンダーコート工程でのマスキング部位の事例を示す。

(2) 設備メンテナンス

ボデーに付着しない塗料ダストは、塗装ブースやロボットなどの設備に付着し、稼働や品質保証のため、そのメンテナンスに多大の工数を要している。

(3) 省資源/重量軽減

アンダーコートは厚膜塗装のため、塗料使用量が多くボデー重量に占める割合も高い。この対応として、塗料に発泡材を混入し、乾燥炉内の熱で約2倍に増膜させる発泡アンダーコート塗料の適用を進めているが、発泡材を含まない従来塗料と比べ、低吐出量となり霧化促進することによって塗料ダストはより小さくなるという特徴がある。これは、ボデーに付着するダストの数を多くし、また、ダストの完全なふき取りを困難とするため、結果的に炉内で発泡してブツ不良となるという生産阻害要因になっている。

2.2 開発の狙い

U2塗装工場新生の具体的コンセプトである、

地球環境と働く人にやさしい生産ライン

高品質・同期生産ライン

多機種対応フレキシブル生産ライン

を具現化するためには、マスキングやふき取りなど難姿勢の付随作業を不要とするアンダーコート工程の実現が必要不可欠であると考えた。更に、ロボットの2層配置など下塗設備の集約化や、発泡アンダーコート適用による省資源/重量軽減など、U2塗装工場新生を下塗工程変革のモデルラインとして位置付けた。これらを達成するため、2.1で述べたアンダーコート工程の課題の本質的な要因である塗料ダストを発生させないダストレス塗装の開発と、

更に、狙いの部位に正確に塗布する塗布技術を組み合わせることによるマスキングレス化の実現を開発の狙いとした。

3. 開発課題とアプローチ

3.1 ダストレス塗装の開発

(1) エアレス塗装とスリット塗装

エアレス塗装は、小口径のノズルから塗料を高圧(6~9MPa)で押す際に生ずるせん断力で塗料を霧化させ、その圧力で被塗物まで塗料を到達させる原理である。この霧化により、膜切れのない安定した塗布パターン形状を形成することができ、ノズルの選定により作業に応じたパターン幅を選択できる。また、高圧のため、塗装距離のパラッキに対する到達性の影響も少なく作業性に優れたものである。しかし、霧化した塗料の粒径/速度/方向は確率分布するため、運動エネルギーが不足して被塗物まで到達できない場合や被塗物に付着せずに跳ね返る場合、方向がパターン外にはみ出す場合が起こる(Fig.2)。これが塗料ダストであり、確率分布が故にその制御は非常に困難である。

エアレス塗装の他に、高粘性塗料の塗布工法としてスリット塗装が知られる。エアレス塗装同様、塗料圧力のみで塗布する工法であるが、霧化することなく低圧(2~4MPa)で膜状に吐出させる工法で、1,000μmを超えるような厚膜塗布工法としてシーラ等に採用している。Fig.3, Table 1にエアレス塗装とスリット塗装の比較を示す。

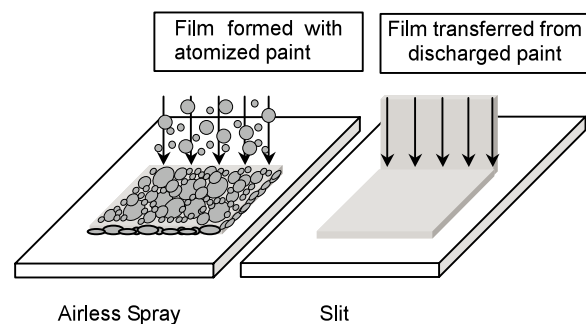




Fig.3 Film Composition Mechanism

Table 1 Comparison of Airless Spray and Slit

		Airless Spray	Slit
Discharge Paint State			
Conditions	Applied Paint	Sealer, Undercoat	Sealer
	Spray Pattern Width	50~200mm	10~30mm
	Film Thickness	0.1~1.0mm	1.0~3.0mm
	Spraying Distance	100~300mm	10~50mm
	Discharge Pressure	6~9MPa	2~4MPa
Character-istics	Generation of Paint Dust	Generated	Not Generated

(2) アンダーコートへのスリット塗装の適用

前述のとおり、霧化構造を伴うエアレス塗装でのダストレス化は困難と考え、霧化を伴わないスリット塗装を用いたダストレス塗装を開発することとした。スリット塗装は吐出時に膜を形成させて塗布する工法であり、アンダーコートへの適用には、採用実績のあるシーラ塗布条件と比較して、幅広のパターンや薄膜など塗料凝集力の弱い条件で安定した膜を形成させる必要があり、以下の開発目標を設定した。

1) 膜切れのない安定した塗布パターンが得られること

乾燥時に膜厚が約2倍となる発泡アンダーコート塗料を用いることを前提にすると、塗布時の厚さの狙い値が250~1,000 μmで、エアレス塗装と同様のパターン幅(100~200mm)が膜切れなく均一な厚さで得られることとした。

2) 塗装距離のパラツキへの追従性が確保できること

ボデーの床裏は、平面なパネルではなくフレームやホイールハウスなど凹凸や曲面形状から構成されており、アンダーコート塗装には、塗装距離のパラツキに対する塗布パターンの追従性が必要である。本開発では、塗装位置精度が保証できるロボット塗装を前提に、そのパラツキをボデー形状のみと考え、30mmの距離パラツキに追従できることとした。

3.2 高精度塗装技術の開発

エアレス塗装の場合、ボデーの床裏形状や塗布範囲に応じ、塗布パターン形状の異なるノズル口径の塗装機(2~3種類)を使い分け塗装している。しかし、ボデーと塗装機の位置精度や塗料温度/塗装圧力、また塗装機に対する信

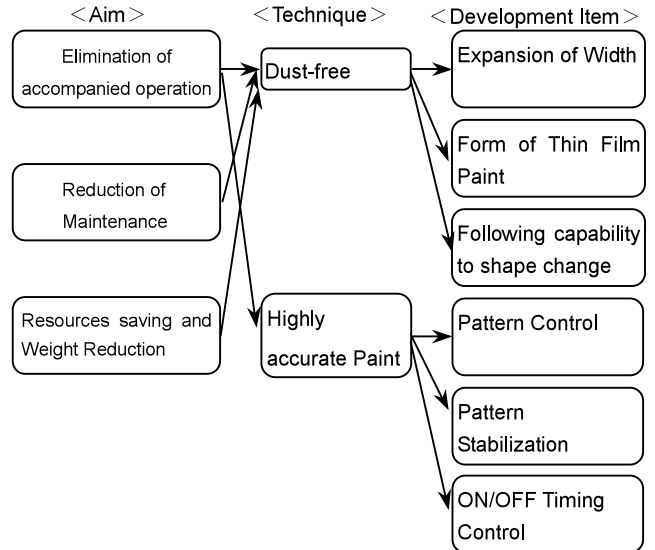


Fig.4 Approach of Development

号の応答性等のパラツキ要因によりパターン幅が変化するため、正確な塗り分けには多くの課題があった。

部品取り付け面へのマスキング作業を排除するためには、ダストレス塗装に加え、マスキング部位を正確に回避できる高精度なパターン制御の技術確立が必要であり、パターン幅に影響を与える要因を解明しながら、部品取り付け面に対し許容される未塗布範囲内で塗装制御を可能とすることを開発目標とした。

これまで述べたダストレス工法の狙いとその開発課題についてFig.4にまとめた。

4. ダストレス工法の開発

4.1 スリットノズルの開発

スリット塗装のノズルは、前述の幅の狭いシーラノズルのほか、幅の広いパターンが得られるものとして吐出角度や吐出幅を広げた大型ノズルが知られている(Fig.5)。しかし、塗料の詰まり防止のため一定(0.2mm)以上のスリット隙を確保する必要があり、これまでのスリットノズルは大吐出量となり、2mmを超えるような厚膜塗装に適用

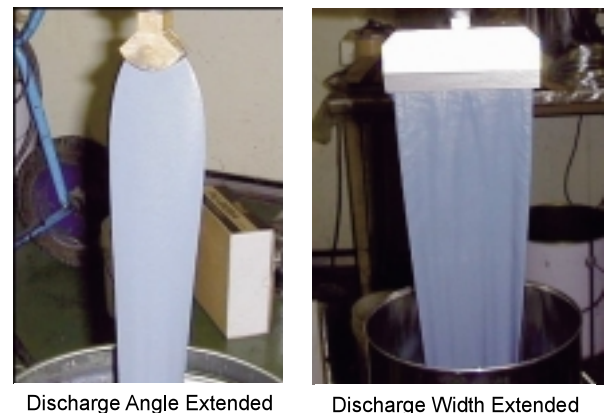


Fig.5 Extension Method of Discharged Film

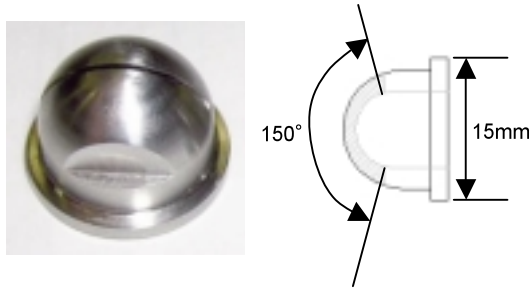


Fig.6 New Slit Nozzle

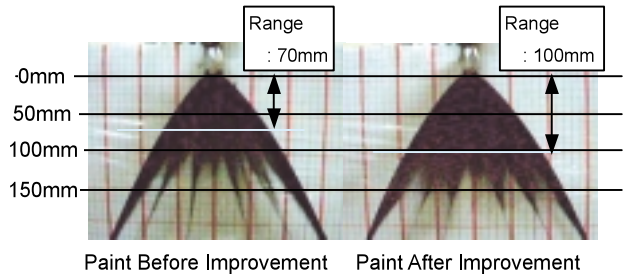


Fig.8 Effective Paint Range

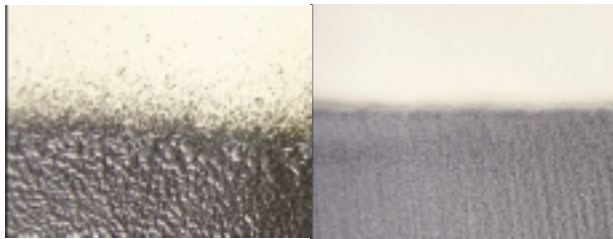


Fig.7 The Edge of Paint Pattern

が限定されていた。アンダーコートのような比較的薄膜塗装 (250 ~ 1,000 μm) では、スリット隙を確保しながら吐出膜が薄膜化できる新しいノズルの開発が必要であった。

開発したスリットノズルをFig.6に示す。これは、エアレス塗装で用いられるような小型ノズルで、その吐出角度を大きくしている。小型ノズルは、大型ノズルと比較し塗料にかかる圧力が高いため、吐出角度に対し吐出膜が大きく広がる特徴を持っている。更に、均一な吐出膜となるノズル形状を見出すことで、比較的大きなスリット隙 (0.4mm) でも、吐出膜が広がることで薄膜となるスリットノズルとした。これにより、エアレス塗装にはないダストが散らない塗装パターンを得ることができた (Fig.7)。

4.2 塗装距離のパラツキへの追従性

開発したスリットノズルを用いアンダーコート塗装すると、均一な吐出膜で塗布可能な塗装距離は約70mm程度で、それを超えると距離が離れるに従い空気抵抗等の外力の影響で膜が維持できなくなる。また、塗布可能な塗装距離が小さいと、均一な吐出膜でも塗装距離によるパターン幅のパラツキが大きくなる。ポデー床裏は凹凸や曲面形状が構成されており、塗装機と塗装面の間には塗装距離のパラツキがあり、これに追従するには塗布可能な塗装距離はより大きいことが望ましい。

この対応として、吐出後の膜凝集力に着目し、アンダーコート塗料の成分を調査し、より凝集力の強い組成に改良を図った。その結果をFig.8に示す。これにより、塗布可能な塗装距離は約40%改善の約100mmとなり、開発目標の塗装距離バラツキ30mmに対し、塗装距離を70 ± 15mmで管理するとした。

5. 高精度塗装技術の開発

狙いの塗装面と塗装回避面を確実に塗り分けるには、これまでにない高い精度の塗布制御技術が必要である。この技術確立に向け、まず、実験計画法を用いこのスリットノズルのパターン幅に影響を与える因子を調査し、この結果に基づきながらパターン制御技術やその安定化に向けた施策を折り込んだ。以下にその事例を紹介する。

5.1 パターン幅の制御

パターン幅に影響を与える因子について実験結果の事例をFig.9に示す。スリット塗装でのパターン幅制御に関して、吐出量の影響が大きいことに着目した。これは、開発したスリットノズルが吐出膜を広げるように吐出角度を大きくしており、パターン幅は塗布圧力に依存する。これに対し、吐出量は圧力で制御されていることから、同様にパターン幅に対する影響が大きいものと考えた。

吐出量による塗布パターンの変化の状態をFig.10に示す。このように、吐出膜が均一な状態で100 ~ 200mmの範囲で任意にパターン幅を吐出量で制御でき、パターン幅の異なる2 ~ 3の塗装機を使い分けていたエアレス塗装に対して、スリット塗装ではひとつのノズルで塗布形状に応じ最適なパターンを設定できるようになった。

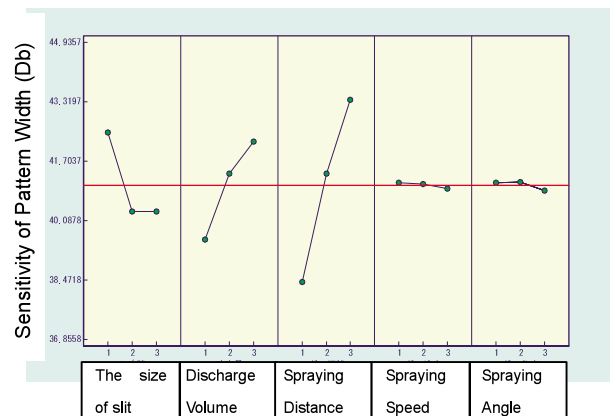


Fig.9 Relation between Pattern Width and Each Factor

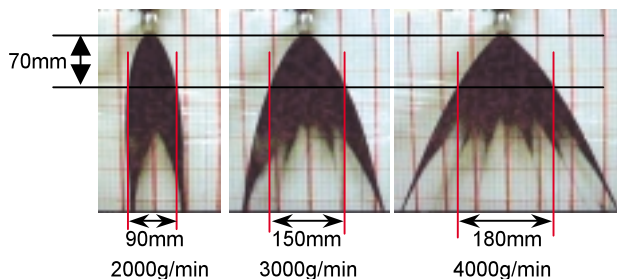


Fig.10 Pattern Width Control by Discharge Volume with Same Nozzle

5.2 パターン幅の安定化

塗布パターンを安定した状態で管理するため、パターン幅に影響の大きい因子について次の主要施策を折り込んだ。

(1) 塗装距離（塗装口ポットとボデーの位置精度）

シーラやアンダーコートなど高い位置精度が必要な塗装では、キャリアを停止させてボデーを位置決めし塗装口ポットとの相対位置精度を確保する。しかし、より正確な塗装を行うためには、キャリア上のボデー位置やキャリア製作精度等のバラツキをキャンセルさせる必要があり、ボデーの加工基準穴を直接位置検出し塗装口ポット側で位置補正した塗布軌跡にすることで、ボデーとの相対位置精度を更に向上させ、繰返し精度では実用上の塗装距離のバラツキをなくした。

(2) 吐出量

パターン制御を含め、吐出量は極めて重要な管理因子であるため、定量供給でその安定性の高い電動ブースタポンプを採用し、実用上、吐出量のバラツキをなくした。

(3) 塗料温度

塗料温度は塗料粘度を介してパターン幅と密接に関係している。Fig.11に示すように、塗料温度が高いほど塗料粘度が低下し、パターン幅は拡大する。しかし、年間を通じて塗料温度を一定に管理することは極めて困難であるため、塗料温度によるパターン幅のバラツキが部品取り付け面から未塗布範囲として許容される範囲（20mm以内）となるように、塗料温度を25℃以上で管理することとした。

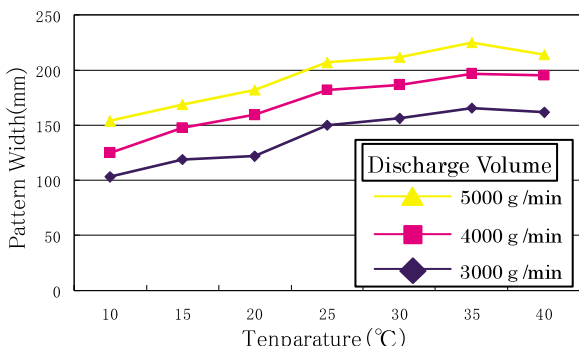


Fig.11 Relation between Temperature and Pattern Width

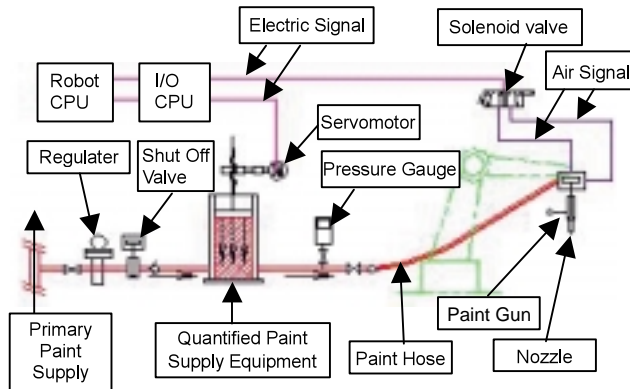


Fig.12 Paint Flow Figure

5.3 塗料ON/OFF制御

塗料供給装置の構成をFig.12に示す。塗料OFF時に塗料にかかる圧力が蓄積され、塗料ON時に瞬間的に大吐出として開放されるため、一般的に、各塗装機に備えた定量供給装置と塗装機を同時にON/OFFさせる構成となっている。しかし、これらにわずかのタイミング差があり、特にスリット塗装ではパターンの乱れが発生しやすい。部品取り付け面を正確に回避するためには、この乱れを解消する必要があり、以下の改善施策を展開した。

(1) 塗装機の応答性

塗装機が電気制御のON/OFF信号に忠実に反応するように、電磁弁を塗装機近傍に設置した。また、塗装機のニードルバルブのばね係数やニードル先端形状を針状から球状に変更するなど、その応答性を向上させた。

(2) 塗料ホースの短縮化

塗料にかかる圧力の影響因子として、塗料ホースのたわみ等による容積変化がある。従来の塗料定量供給装置は大型で塗装口ポットとは別に設置しており、動作範囲の確保のため塗料ホースは7~8mと長く、たわみ等が生じやすかった。今回、シリンダ仕様やモータ配置等を最適化し塗料定量供給装置を塗装口ポットの走行装置に設置することで、塗料ホース長を3m以下としたたわみ等による塗料ホース内の容積変化の軽減を図った。

(3) 同期精度

通常、塗料定量供給装置と塗装機のON/OFF制御はそれぞれ塗装ロボットプログラム上で設定するが、ロボット本体と外部入出力のCPUは個別に動作しているため、その信号受け渡しの際にCPUクロックのズレが発生していた。これをロボット本体のCPUから出力された一つの制御信号を外部入出力CPU内で塗装機と定量装置に分けて出力するようにした。

また、わずかに残るタイミング差はロボット制御であらかじめ補正しその同期精度を向上させ、パターンの乱れの少ない高い精度の塗料ON/OFF制御を実現した。

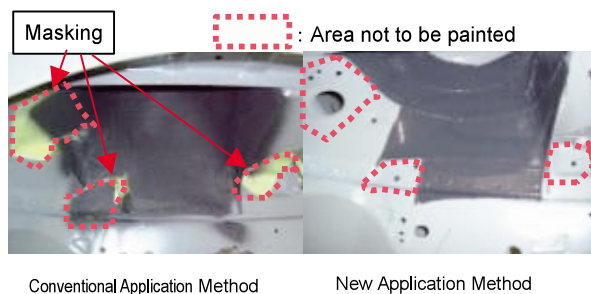


Fig.13 Comparison of the Area not to be Painted

6. 導入結果

これまで述べてきたスリット塗装によるダストレス工法と塗布パターンの制御や安定化など、高精度塗装技術をU2塗装工場の下塗工程に導入し、2004年5月の稼働開始より量産車への適用を開始した⁽¹⁾。このダストレス工法導入による効果は以下の通りである。

(1) マスキング作業の廃止

ダストレス工法によるアンダーコートの塗布事例をFig.13に示す。狙いどおり、塗料ダストの飛散なく必要な塗布範囲のみを塗装でき、マスキングなしで部品取り付け面への品質保証ができるようになった。これにより、床裏のマスキング作業を廃止し、大幅な工数(6~7分/台)低減と難姿勢作業の改善を実現できた。

(2) 設備メンテナンス等の改善

塗料ダストの発生が全くないため、従来のエアレス塗装に対し設備メンテナンスやふき取り作業等を大幅に改善できた。特に、U2塗装工場では展開したシーラとアンダーコートの塗装ロボットの2層配置に対し、塗料ダストによる品質や稼働、メンテナンス性への影響が懸念されたが、ダストレス工法の採用により、この設備集約を実現できたと考えている。

(3) 省資源/軽量化

ダストレス工法により生産阻害することなく発泡アンダーコートを導入できた。これにより、従来塗料と比較し、約35%の塗料使用量低減と軽量化が図れた。

(4) 量産準備プロセスの革新

これまで塗料ダストで汚れるため困難とされていたボデー位置検出用カメラの塗装ロボットへの設置を実現した。これにより、新車導入等でボデー加工基準の変更が伴っても、位置検出装置を改造することなく汎用的に対応できる。また、塗装ロボット等の設備データやティーチングプログラムを3DCAD上で再現することで、これまで実車で検証してきた領域を机上検証に変えることができ、今後の新型車の開発やその量産準備プロセスの変革につながっている。

7. おわりに

今回のダストレス塗装の開発を通し、塗装は“霧化させて塗装膜を形成させるもの”から“形成した塗装膜を塗布するもの”に大きな発想の転換があった。また、塗料ダストを肯定してきたこれまでの塗装プロセスに対し、塗料ダスト自体をなくすことで連鎖的に多くの塗装の課題解決が図れたと考えている。これは、今後の塗装技術開発に対する方向性を示しており、このダストレス工法を他工場へ展開すると同時に、塗布膜厚の均一化や適正化、シーラやウレタン等の他の高粘度塗料への応用、制振シートの塗布化技術の開発等、下塗工程の変革に向けていっそうの適用技術の確立を図っていく所存である。

最後に誌面を借りて、ダストレス塗装開発にご協力頂いた関係各位に感謝する。

参考文献

- (1) 吉岡秀久ほか：U2塗装工場新生の概要，マツダ技報，No.23，p.159-164 (2005)

著者



中村 哲也

論文・解説

31

検査具絶対原価への取組み～データ嵌合評価手法の開発 Activity for Realizing the Checking fixture the Pursuit of the Absolute - Development of the Data Plugging / Fitting Evaluation Method

村上 功一*¹ 藤岡 邦彦*² 鈴江 章弘*³
Koichi Murakami Kunihiko Fujioka Akihiro Suzue

要 約

車体プレス・車体アッセンブリ（以下ASSY）部品の寸法精度検保証に必要な検査具の投資削減に向けた取組みとして、CMM（Coordinate Measuring Machines：三次元測定機）対象部品の拡大，検査具統合による対策アイテム削減，流転用の拡大による新規製作削減，最安構造による新規製作分のコストダウンなどを実施し大きな成果を得てきた。しかし、これらの取組みが一段落した現在ではコストダウンのオポチュニティが枯渇してきたのも事実である。生産技術部門では、絶対原価の考え方を取り入れ部品寸法精度保証に必要な機能の再定義と手段の再構築を行い、大幅な投資削減を実現すべく取組みを開始した。

本稿では、検査具の絶対原価実現に向けた検査具レスの取組み概要を説明し、その取組みのひとつ「データ嵌合評価手法の開発」を中心に適用事例を紹介する。

Summary

To date, we've been driving a diversity of approaches to curtail cost of checking fixtures by which we control dimensions of stamping parts and body assembly parts. We've expanded the use of CMM (Coordinate measuring machines), integrated checking fixtures, re-used components of checking fixtures, and reduced the cost of new components of checking fixtures. Now that our cost reduction ideas were depleted, Mazda's Production Engineering re-defined its thought for the dimension control and introduced the concept of "absolute cost." Based on this direction, we set our activities in motion aimed at a large reduction of investments.

This paper introduces our approaches towards the realization of absolute cost and show you some examples centering the "development of data-Kango evaluation."

1. はじめに

お客様に高品質な商品を提供するためには、工程内で確実にボデー品質を作り込み、安定した寸法精度を確保することが重要である。

車体プレス部品・車体ASSY部品の寸法精度保証は、検査具による手測定およびCMMによる自動測定を行っている。車体検査具にはプレス部品用のオンリー総合検査具、車体ASSY用のASSY総合検査具、車両部品との折合いを検

査する嵌合検査具、部品育成用のPCF（Parts Coordinate Fixture）があり、ボデー形状に合わせて専用要具として設計・製作している。また、CMM測定部品についても部品拘束をする受台は、車種専用であり、一部、連続形状測定用要部による手測定部位が存在する。これまで検査具投資削減に向けた取組みとして、CMM対象部品の拡大、検査具統合による対策アイテム削減、流転用の拡大による新規製作削減、最安構造による新規製作分のコストダウンなどを実施し大きな成果を得てきた。しかし、これらの取組

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

みが一段落した現在では、コストダウンのオポチュニティが枯渇してきたのも事実である。生産技術部門では、より高い品質確保を目指すとともに、革新的な原価低減活動に取り組んでいる。これは、必要最低限のコスト発生素素“絶対原価”を追求し、それ以外の要素はロスと定義し、その排除を革新的に行うことである。検査具においてもこの絶対原価の考え方を取り入れ、部品寸法精度保証に必要な機能の再定義と手段の再構築を行い、大幅な投資削減を実現すべく取組みを開始した。本稿では、革新的絶対原価低減活動の一環として、検査具の絶対原価実現に向けた絶対原価の考え方を説明し、その取組みのひとつ「データ嵌合評価手法の開発」を中心に適用事例を紹介する。

2. 検査具絶対原価の考え方

2.1 検査具機能と原価構成要素

絶対原価定義に向けて、まず検査具の機能をコア・支援・付随に分類して再定義を行った。コア機能は人手または測定機による寸法測定および測定結果に基づく精度良否判定・解析・修正指示とし、支援機能は部品セット（位置決め、拘束）および測定動作（人、測定プログラム）とし、それ以外のワイヤーなど補助機能は付随と定義した。手測定における原価構成要素は、コア機能は測定要部やケガキピンで、支援機能については受台のロケータやクランプとなる。また、CMM測定における原価構成要素としては、コア機能はプローブや測定プログラム、また支援機能としてロケータ・クランプ・汎用測定機 [CMM] ・キャリアレーションプログラムなどとなる。

2.2 検査具の絶対原価

絶対原価の視点をゼロ化・統合化・汎用化と考え、更に検査具機能面から絶対原価のキーワードを“寸法精度測定に最低限必要な機能を専用投資ゼロで実現する”と設定し、検査具の絶対原価を以下に定義した。

“汎用受台に位置決め・拘束した部品を汎用測定機で効率良く測定し、品質判定・修正指示を即時に出力するため最低限必要な投資および準備工数”

検査具絶対原価についての考え方をFig.1に示す。

2.3 上位機能との相関

検査具絶対原価は検査具機能を決定付ける上位機能との相関に着目すると、ボデーの寸法精度保証および育成のプロセス・検査体系・管理ポイントなどによりコアの要求機能が決定され、加工基準の数・位置・クランプ有無などにより支援の要求機能が決定されている。これら上位機能の絶対原価に対しても並行して取組み要求機能の最適化を進めることで、検査具だけでなく寸法精度保証全体の絶対原価に繋げるべく、最適化に向けた活動を進めている。

本稿では、検査具絶対原価のコア機能の中核をなす汎用測定技術に着目し、汎用測定により検査具を廃止した絶対原価活動の適用事例を紹介する。

3. 汎用測定技術

3.1 汎用測定機

(1) 三次元測定機 [据付型, 多関節型]

プレス・車体領域で使用する汎用測定機（測定物の品質特性を三次元数値として得る装置）は、ティーチングプレイバック方式の自動測定機能を持つ据付型の三次元測定機と、手動操作であるが工程内など測定場所に装置を移動しての測定が可能な多関節型測定機などがある（Fig.2）。



Fig.2 CMM and Articulated-CMM

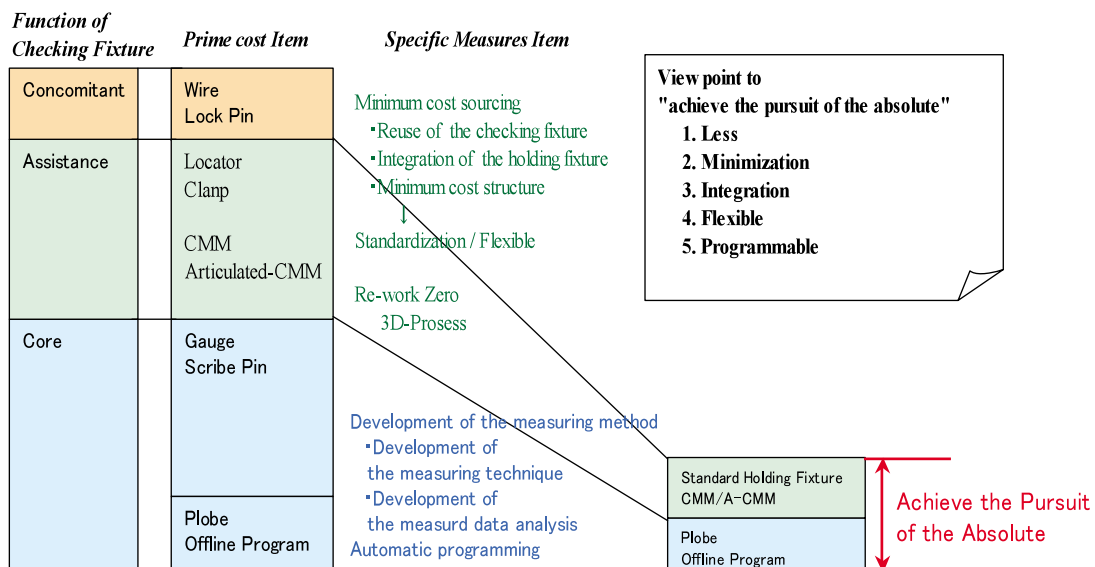


Fig.1 Concept the Pursuit of the Absolute

当社では従来、据付型CMMを主体に使用していたが、容易な操作と可搬性が特徴である多関節型CMMを導入した。

(2) 測定方法 [点測定, 面形状測定]

汎用測定機の測定方法は、点測定と点群(面形状)測定に大分できる (Fig.3)。

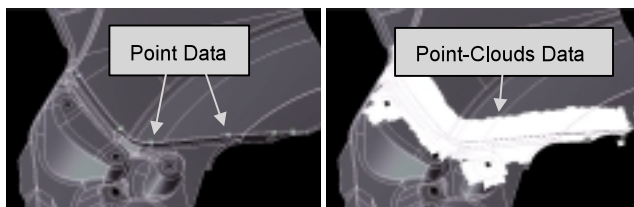


Fig.3 Point and Point-Clouds Measuring Data

点測定とはタッチ式プローブやシングルポイント式の光学三次元測定機により、1点ずつ測定し、面上点、穴やエッジ部等の品質特性を測定する方法である。これに対して面形状測定は、光学式の測定方法により、測定物の形状を数万点以上の点群データを瞬時に採取する手法である。限定された管理ポイントの検査であれば、点測定で十分であるが、複雑な形状特性を把握するためには、点測定では膨大な測定点が必要となり、測定に多くの工数を費やす。

当社でも点測定が主流であったが、昨今の測定センサの精度向上、測定機器の低価格化、インフラおよびデータ処理の高速化、商品要求品質レベルの向上により、面形状測定が拡大しつつある。

3.2 結果処理

汎用測定機で得られた測定結果データは、三次元数値(X, Y, Z)などで表される。一般的には点測定や面形状測定した結果データとCADの設計データとの誤差を算出し、品質特性に対して、その傾向や工程能力等を把握する。

誤差量に従った階調をカラーマップ表示することで、形状変化をビジュアルに概略把握するとともに、任意位置の定量誤差量もラベルにて把握が可能である (Fig.4)。

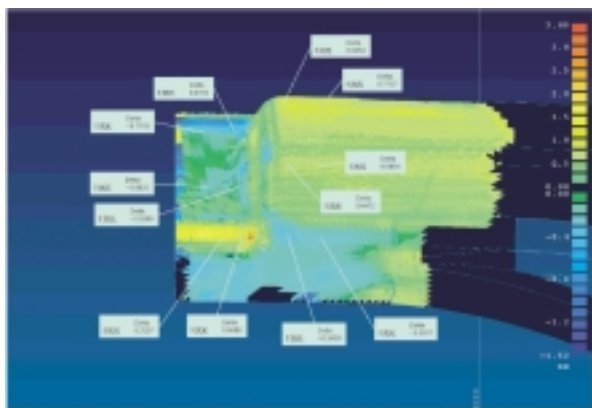


Fig.4 Difference between Point-Clouds and CAD Data

4. 取組み

以下に汎用測定装置を利用し、データ位置合わせを始めとした適用技術開発を行い、嵌合ゲージなど一部の検査具を廃止した絶対原価活動の取組みを紹介する。

4.1 データ嵌合による検査具レス

当社では、完成車の姿を車体領域で精度保証をするために、実際の車両部品と同等の基準を設定した嵌合ゲージという検査具を使用している。Fig.5は、車体ボデーと車両部品のウインドガラスとの外観折合いを車体領域で精度保証するための嵌合ゲージである。嵌合ゲージは、車種専用投資が必要であり検査具投資全体でも大きなウエートを占めている。また、測定部位はゲージ部のみに限られることにより、ゲージ部以外の状況が把握できない。更に、嵌合ゲージの種類によっては、嵌合ゲージをボデーへセットする時のセットのバラツキにより測定精度が低下し、測定結果の不明値発生の要因となる。

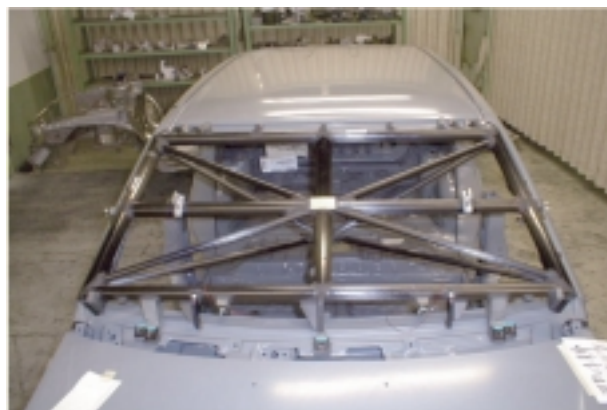


Fig.5 Plugging Gauge

この嵌合ゲージによる検査・評価を汎用測定機で行うデータ嵌合を適用することで嵌合ゲージ廃止に向け、以下の課題に取り組んできた。

なお、嵌合ゲージの可搬性を置換するために、多関節型測定機の(株)小坂研究所製ベクトロンを利用した。

(1) 汎用測定機を用いたデータ嵌合評価方法の確立

データ嵌合を適用する上で重要になる測定基準の設定は、一般的な6自由度の拘束 [six degrees of freedom: three translational (movements along x, y and z axes) and three rotational (rotations around x, y and z axes)] と車体組付けの基準の考えを踏まえ、以下の基本4パターンに分類し、汎用測定機を用いてそれぞれのパターン別に、データ嵌合の基準が設定できることを適用検証にて確認した (Fig.6)。

Type1: 3つの基準穴で座標設定

Type2: 平面+線(2つの穴)+点による座標設定

Type3: RHとLH分けて3つの基準穴で座標設定

Type4: RHとLH分けて座標設定+振分け

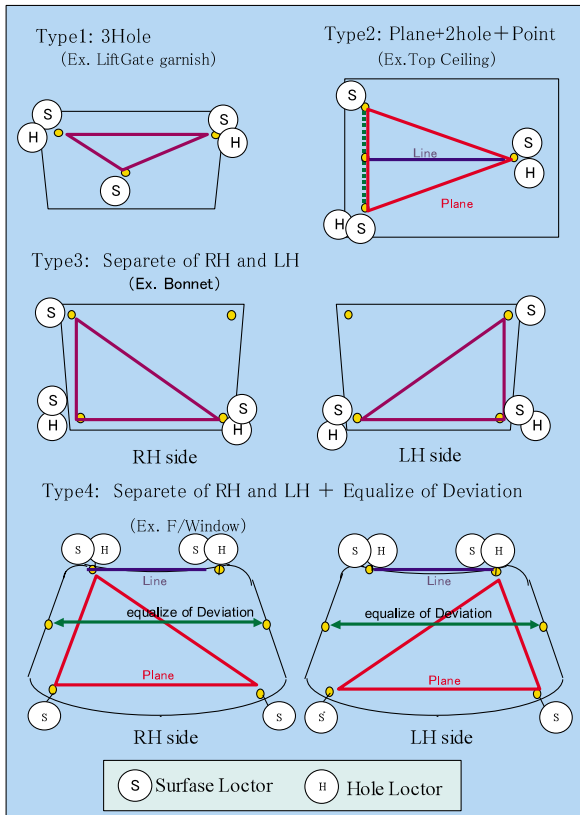


Fig.6 Alignment Pattern of Measuring Data Plugging

更に、必要に応じて面形状測定を実施することで、従来の嵌合ゲージでは評価できなかった面形状全体の誤差階調表示や断面評価を行う (Fig.9)

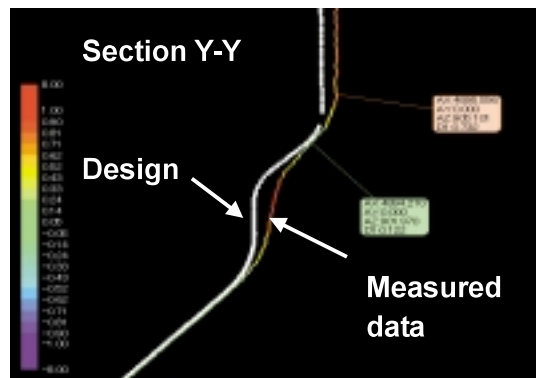
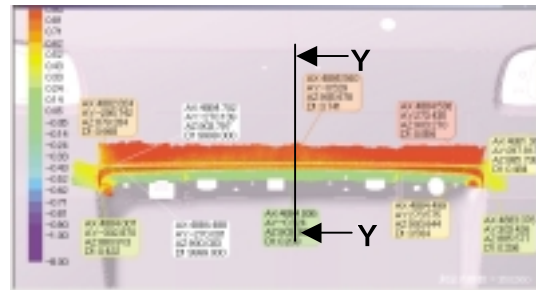


Fig.9 Color Map of Difference(Point-Clouds)

(2) データ嵌合のアウトプット形態の明確化

データ嵌合では従来の嵌合測定のアウトプットである検査データシート (Fig.7) 以外に、測定位置と結果が視覚的に把握できるように、誤差のマップを併用出力することにした (Fig.8)

INSPECTION DATASHEET										LH		RH	
CHARACTERISTICS NAME	C	MEASUREMENT POSITION	TYP	GAP	TOLERANCE		PERF	TOLERANCE		PERF			
					MAX	MIN		MAX	MIN				
1. Fender SF plBalancePartingGap	M	11.20 W	A	3	0.7	-0.1	0.1	0.7	-0.1	0.1			
	M	11.20 W	A	3	0.7	-0.1	0.1	0.7	-0.1	0.1			
	M	11.20 W	A	3	0.7	-0.1	0.1	0.7	-0.1	0.1			
2. Fender SF plBalancePartingFlush	M	11.20 W	A	3	0.7	-0.1	0.1	0.7	-0.1	0.1			
	M	11.20 W	A	3	0.7	-0.1	0.1	0.7	-0.1	0.1			
	M	11.20 W	A	3	0.7	-0.1	0.1	0.7	-0.1	0.1			
3. FWindow SF areaPartingGap	M	1.65 W	A	3	0.7	-0.1	0.1	0.7	-0.1	0.1			
	M	2.70 W	A	3	0.7	-0.1	0.1	0.7	-0.1	0.1			
	M	4.80 W	A	3	0.7	-0.1	0.1	0.7	-0.1	0.1			
	M	7.20 W	A	3	0.7	-0.1	0.1	0.7	-0.1	0.1			
	M	5.20 B	A	3	0.7	-0.1	0.1	0.7	-0.1	0.1			

Fig.7 Inspection Data Sheet

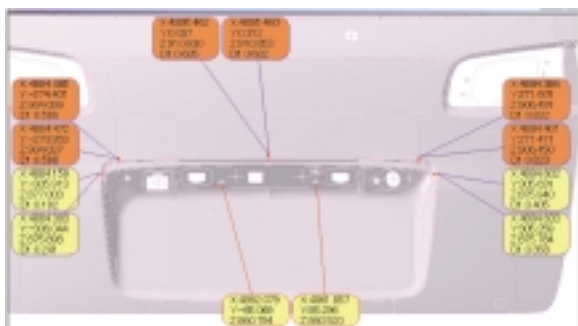


Fig.8 Deviation(Lift Gate Garnish)

(3) 嵌合ゲージとデータ嵌合の一致度検証

データ嵌合の適用性を確認するために、従来の嵌合ゲージとデータ嵌合の測定結果の一致度について検証した。

嵌合ゲージによる手測定とデータ嵌合による差異の許容値は、手測定自体の繰り返し誤差 (約0.1~0.2mm程度)、ゲージの製作精度 (0.1mm以下)、および汎用測定機の測定精度 (0.1mm以内) を踏まえて、0.3mm以下と設定した。

以下にボンネット嵌合への適用検証事例について説明する。当初は嵌合ゲージによる手測定とデータ嵌合の測定結果に0.3mm以上の差異が発生した。調査結果、この差異の要因は以下の2点であった。

- ① ボンネット嵌合をセットした場合に、嵌合ゲージの自重でシュラウド側の拘束曲面 (S面) が約0.3mm~0.5mm下がった。一方、データ嵌合では実際のモノ (この場合ボンネットもしくは嵌合ゲージ) がないため、自重による部品変形による差異として発生した。データ嵌合では部品の自重によるボデー変化量をあらかじめ把握し、変化量を基準設定時に加味することで対応することとした。
- ② ボンネット嵌合はS面4点受けのため、実際の部品同様にボデー剛性に負けて、嵌合ゲージ自体に0.8mmのねじれが発生した。ボンネットのようにRH側とLH側の相互関係が少ない対象についてのデータ嵌合は、基本パターンのType3の通り、RH側とLH側で別々の基準にて測定評価することとした (Fig.10)

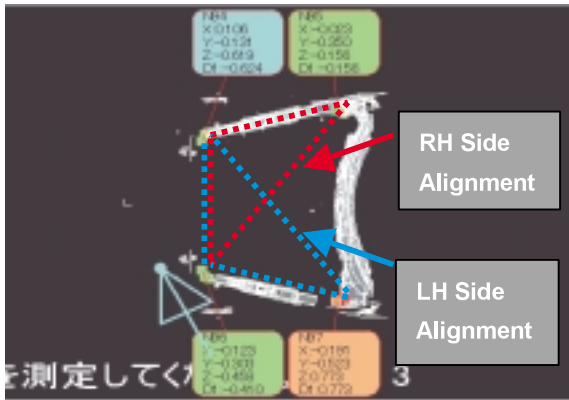


Fig.10 Measuring Data Plugging (Bonnet)

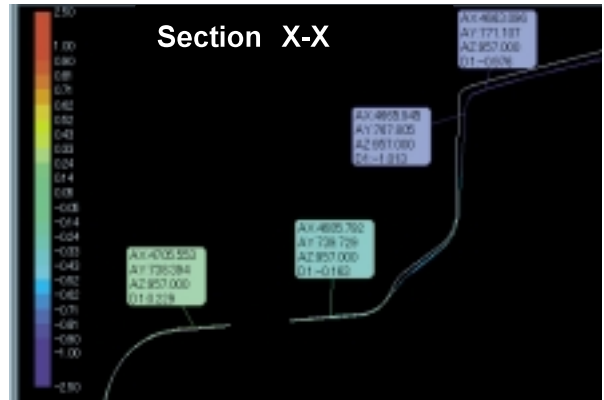


Fig.12 Difference between Measured Data and CAD Data

このように、従来の嵌合ゲージではあらかじめ決まった条件と部位のみの測定しかできないために測定結果の不明値として判断されていた要因が、汎用測定機によるデータ嵌合を適用することで、その場で比較的容易に追求できる。

その他のアイテムについても検証結果、嵌合ゲージによる手測定結果と汎用測定装置によるデータ嵌合測定結果の差異はほとんどのアイテムで0.3mm以内であることを確認した。

このような課題解決を行い、データ嵌合は従来の嵌合ゲージ同等の評価ができること以外に、ゲージで設定した測定位置以外も柔軟に測定ができるなど、データ嵌合の適用効果を確認し、データ嵌合を適用するアイテムに対しては、従来の嵌合ゲージを廃止した。

4.2 形状測定による測定要部レス

CMMの点測定による保証のみの測定結果だけでは、外観折合い見切りの流れや精度不良の範囲などの把握ができないため、測定要部(測定ゲージ)を設けている。これらを汎用測定機の面形状測定で測定ゲージを廃止した事例を紹介する。車体ボデーとバンパなど装備部品の見切り隙の外観見栄えが意匠上、特に重要視されているサイドフレームアウトとフロントフェンダのバンパ取り付け部の外郭折合いを形状測定し、断面実長など詳細に評価した。これにより従来、設けていたこの部位の測定ゲージを廃止した (Fig.11, 12)。

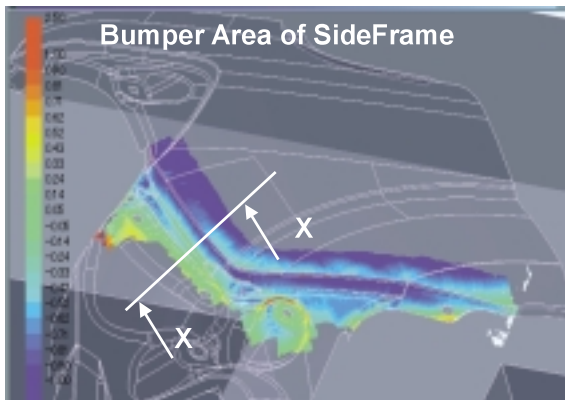


Fig.11 Difference between Measured Data and CAD Data

4.3 データ突合せ評価による修正指示

面形状測定の適用方法の一つとして、複数の部品の面形状測定データ同士を突合せすることで、実際の部品同士を付け合せることなく、部品同士の隙や干渉について、定量かつ明確な範囲を把握する。指定範囲を持つS面と基準穴(H)を任意に組合せ、部品同士の突合せが容易にできる機能を新たに追加することで、より効率的で確実な位置合わせを実現した。Bピラーレイフォースメントとサイドフレームレイフォースメントの形状測定結果データ同士を突合せ解析した結果、部品同士は干渉領域が発生し、速やか、かつ確実に部品修正を行った (Fig.13)。

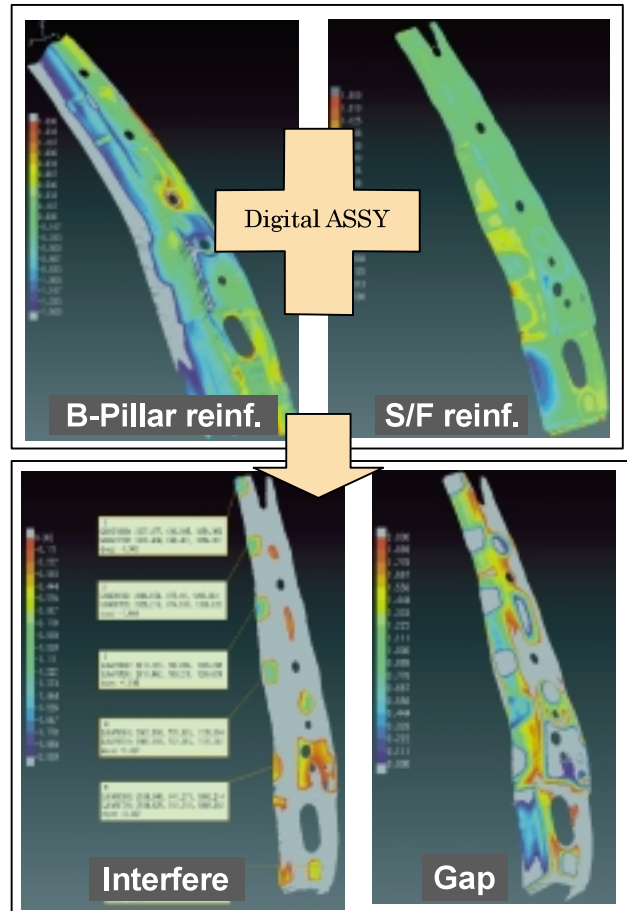


Fig.13 Interfere and Gap of Tow Measured Data

これら手法は、従来の実物同士の突合せでは評価困難であった、干渉量と範囲の定量化により、確実な部品修正指示を支援し、社内外の部品育成の早期化に繋がるとともに、突発的に発生する不具合対策に適用効果がある。

5. まとめ

本取組みにより、嵌合検査具の一部を廃止するとともに、測定ゲージについても一部廃止し、絶対原価への達成に向け、第一歩を踏み出すことができた。

今後、絶対原価に達成するためには、適用アイテムの拡大が必要である。その技術的課題としては、測定・結果処理効率化や穴・エッジ部形状測定精度向上などが必要であり、段取りの簡素化・処理自動化や測定機ハードソフト両面の機能向上などに取り組む必要がある。

一方、品質育成についても、従来の物合わせからデジタル測定データを主体とした手法へ革新することで、確実な修正指示を支援し、部品寸法精度の早期確保に寄与できた。

これらのデジタル測定データを利用することで、従来の検査具による測定結果では困難であった社内外遠隔地の部品同士の突合せ評価や、リバースエンジニアリングによる品質育成などが可能となる。こうしたデジタル測定データの特徴を活かした品質育成プロセスの実現に向けて、関連部門と共同で取り組み、今後とも効率的な検査システムを提供していく所存である。

著者



村上功一



藤岡邦彦



鈴江章弘

論文・解説

32

フレキシブル車体組立ラインの進化 Evolution of Flexible Body Assembly Line

向原 明*¹ 五島 泰明*² 山口 英毅*³
Akira Mukouhara Yasuaki Goto Hidetake Yamaguchi

要約

宇品車体工場では、2004年12月から新型プレマシーの生産を開始した。この新型プレマシー導入を機に、車体組立領域の懸案であった、アンダーボデー組立ラインのフレキシブル化技術の開発と実用化に取り組んだ。

本稿では、マツダにおける多種変量車体組立ライン開発の歴史と課題、今回実用化したロボットを中心としたフレキシブル生産システムの概要を紹介する。

Summary

Timed to the production start-up of new Premacy at Ujina-plant's body shop in December 2004, we grappled with the long-awaited application of our flexible production system into the Underbody assembly.

This paper indicates history and challenges of Mazda's "flexible body assembly line," as well as the outline of Mazda's "flexible production system," shedding lights on the industrial robots we deployed this time.

1. はじめに

かつて製造業では、大量生産、大量消費を前提とした生産システムを開発し生産活動を行ってきた。しかし、時代の移り変わりとともに、ユーザのニーズは多様化し、激しく変化する市場環境への柔軟な対応が求められるようになり、高品質で安価な多種類の商品を、タイムリーに供給できるFMS (Flexible Manufacturing System: 多種変量生産方式) の開発、実用化が、我々生産技術者の重要な任務となった。

1990年代、自動車業界各社がこの課題に取り組み、マツダでも多種変量車体組立ラインを構築し、市場の要求に応えてきた。しかし、近年、業界内の熾烈な競争に打ち勝つためには、お客様の求める車を、より短期間に低コストで開発し、市場に提供することが絶対条件となっている。

そこで、今回、車体組立ラインのフレキシビリティをより向上させることを軸に、最小限の期間と設備投資でさまざまな車種に対応できる車体組立ラインの開発に取り組んだ。

2. 車体組立ラインの現状

車体組立ラインの多種変量生産技術は、1990年前後の、いわゆるバブル経済期に、電動ロボットの性能向上と適用技術の強化に伴い飛躍的に進歩した。マツダでも、防府工場増設にあたり、多種変量車体組立システムの開発に取り組み、C-BAL (Circulation of Body Assembly Line) と称する、車格や車型に関係なく繰り返し生産できる多種変量生産ラインを構築した⁽¹⁾。

C-BALは以下のコンセプトで開発された。

① 陳腐化しない生産方式

10年以上の長期にわたって使用しても、他社との競争力を失うことのない、最高レベルの生産システムを実現する。

② ボデー構造の革新

ボデー構造を開発領域まで踏み込んで評価し、部品構成の標準化、積木構造の廃止などに取り組み、作りやすいボデー構造を実現させる。

また、C-BALで導入された代表的な多種変量生産技術には次のようなものがある。

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

① パレット台車循環方式

従来の生産ラインでは、モデルチェンジ時、溶接治具や搬送装置に大幅な改造を要したが、溶接治具を持つ車種専用パレット台車を循環させることで、パレット台車の入替のみで対応できるようにした。

② 溶接治具三面切替装置

多車種混流の溶接治具が成立しない工程では、車種ごとに専用職場を設ける必要があった。そこで、工程内に溶接治具三面切替装置を設置することで、同一職場で常時3モデルの混流生産を可能にした。モデルチェンジ時には溶接治具の入替のみで対応できる。

C-BALのコンセプトと生産システムは、その後、宇品工場やAAI (Auto Alliance International, Inc.) などにも展開され、多種変量生産技術に改善や見直しを加えながら今日に至っている。

これにより、設備投資額ベースで75%以上の汎用化が実現し、モデルチェンジ時は初期投資の40%以下で対応できるようになった。

3. 現状の課題

しかしながら、近年の自動車業界における競争の激化に伴い、次のようなC-BALの現状の問題点を解決し、現在の車体組立ラインをより競争力のあるものに進化させなくてはならない。

① 専用部の準備期間と投資

C-BALで導入した技術によって、多種変量生産が可能になった。しかし、前述したパレット循環方式や溶接治具三面切替装置は、溶接治具の段取り換えシステムであり、溶接治具本体は専用部としてモデルチェンジごとに作り変えることが必要であった。そのため、モデルチェンジ時には専用部である溶接治具の設計、製作等の調達期間が必要となり、市場投入までのリードタイム短縮の妨げとなっている。また、設備投資の60%を占める溶接治具は「使い捨て」となり、追加車種導入時の設備投資を減らせない一因にもなっている (Fig.1)。

② ラインの専用化による台当たりコストの上昇

C-BAL構想では、開発部門と生産技術部門が共同で「標準ボデー構造」の開発に取り組み、作りやすいボデー構造にすることで多種変量生産を実現させていた。中でもデザインなどの影響を受けにくい、自動車の車台にあたるアンダーボデーは、改良を加えながら2~3世代使い続けることを前提としていた。

しかし、フォードを軸としたグローバルな車種展開や、消費者の安全意識の高まりに伴い、まったく新しい構造のアンダーボデーが開発、導入されるようになった。そしてマツダの標準構造ボデーのキャリアオーバを前提に作られたアンダーボデー組立ラインは、工程の変更や搬送装置の改造、多車種生産に対応した部品供給が困難なため、追加

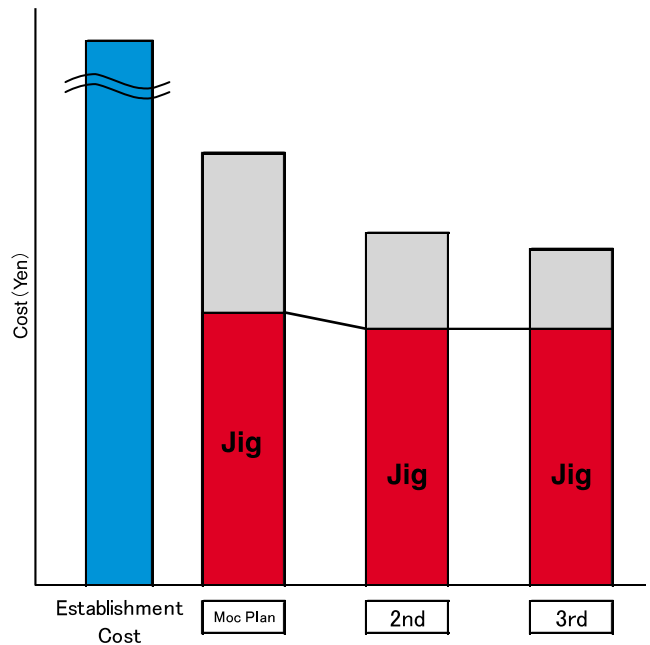


Fig.1 Transition of Model Change Cost

車種を投入することができず、生産台数が設定台数に満たない場合は、台当たりの生産コストが上昇するという問題が発生している (Fig.2)。

以上のことから、まず、車種専用ではなく、車種が変わっても使い続けることができる、フレキシビリティを持った溶接治具を開発し実用化すること。そして、アンダーボデー組立ラインにも多種変量生産の技術を導入し、さまざまな車種に即座に対応可能な車体組立ラインとすることが重要な課題である。

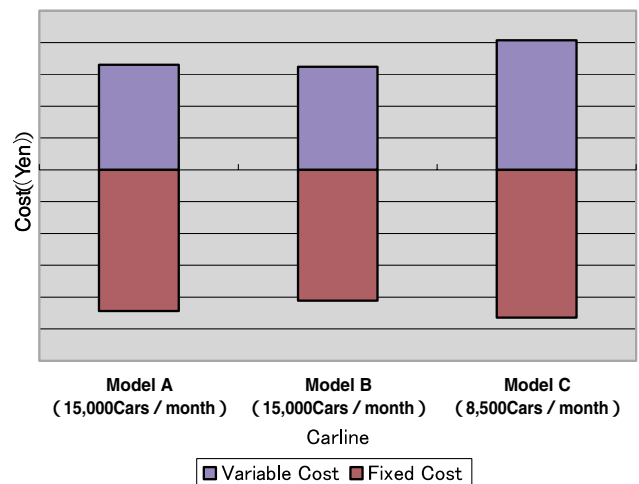


Fig.2 The Rise of Per-vehicle Cost

4. アンダーボデー組立ラインのフレキシブル化への取り組み

新型プレマシーは宇品工場で生産され、車体組立領域は第2工場第2ラインへの導入となる。このラインはC-BAL構想を具体化した多種変量組立ラインであるが、アンダーボデー組立ラインは車種専用ラインをスクラップアンドビルド方式で展開していく必要があり、モデルチェンジ時に多くの時間と多額の投資を必要としている。そこで、新型プレマシー生産にあたり、アンダーボデー組立ラインを最新の多種変量組立ラインとすることを目指し、フレキシブル化技術の開発と導入に取り組んだ。

主要な技術的検討課題は次のようなものである。

- ① 溶接治具のフレキシブル化
- ② 工程の追加、削減などの変更が可能なライン構造
- ③ 搬送装置のフレキシブル化
- ④ 多車種生産に対応した物流システム

以下、今回主に取り組んだ①②の課題への取り組みについて紹介する。

4.1 溶接治具のフレキシブル化

(1) フレキシブルロケータの導入

溶接治具とはプレス加工された複数の板金部品を高精度に位置決めする要具であり、車体組立ラインでは、部品を溶接治具で把持した状態で溶接加工を行い、ボデーを組み立てている。ここで組み付けられる部品形状は車種ごとに異なるため、溶接治具の部品把持位置も車種ごとに異なり、かつ、高い精度を要求されるため、溶接治具の多車種対応は困難とされてきた。そこで今回、溶接治具ベースにACサーボモータ駆動の多軸ロボットを用いることで、車種ごとに異なる位置への対応を可能にした。このロボットはフレキシブルロケータ (Fig.3) と称し、高精度リニアガイドを用いたX/Y/Z方向の直交3軸を持つタイプと、6軸多関節タイプを設定した。ボデーのフロア面を位置決めする比



Fig.3 Flexible Locator

較的簡素な治具形状となる部位には直交3軸タイプを、部品形状が複雑で直交3軸タイプではアクセスできないような部位には、より自由度の高い6軸多関節タイプを適用し、ほぼ全工程への導入を実現した。フレキシブルロケータ導入にあたり、次のような取り組みを行った。

① フレキシブルロケータに即した製品評価

溶接治具による部品の把持部を加工基準と呼ぶが、フレキシブルロケータによる部品把持で、従来の溶接治具の機能が満足できるように、形状や位置、数などを見直す加工基準の適正化を行った。また製品開発段階からフレキシブルロケータに対応した製品構造評価を行い、フレキシブルロケータ導入を可能にするとともに、生産要件として次期導入車種にも適用させるようにした。また、フレキシブルロケータの動作範囲は、過去のさまざまな車種の部品構成と加工基準を比較検討した上で設定し、幅広い車種に対応できるようにしている。

② フレキシブルロケータの位置精度保証

車種専用の溶接治具は、製作後、大型の3次元測定装置で精度確認してからラインに据え付けていた。しかしフレキシブルロケータを用いた溶接治具は、ライン内で自由に位置を変更できるため、据え付け後も精度確認を行う必要がある。そこで、移動式の小型3次元測定装置を導入し、ライン内で溶接治具の精度保証を行う仕組みを作った。これにより、新車種導入時フレキシブルロケータの位置を設定した際も、即座に短時間で精度確認と修正を実施することが可能となり、溶接治具の精度確認時間を、従来の方式に比べ大幅に削減することができた。

③ 3Dデータによる溶接加工作業性の確認

フレキシブルロケータの駆動部は、従来の溶接治具に比べかなり大型化しており、これがロボットによる溶接作業性を阻害する恐れがある。今回、加工基準が最も多く設定される工程では、1工程に18ユニットのフレキシブルロケータを設置するため、フレキシブルロケータの配置と溶接作業との両立が課題であった。そこで、全工程においてフレキシブルロケータを3Dデータで精密に再現し、CAD上

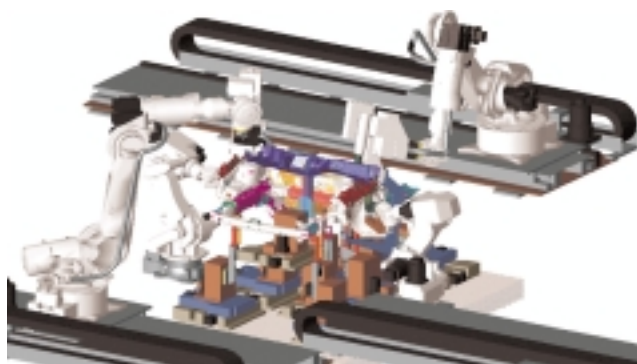


Fig.4 3D Verification by CAD

でNCロケータや溶接ロボットの設置位置、溶接ガン形状の評価を綿密に行い、フレキシブルロケータの導入と溶接加工を成立させた (Fig.4)。また、今回は、従来困難とされた溶接ロボットのケーブル類の3Dデータ化にも取り組み、より精度の高いCAD上の適用検討を行い、現地不具合の削減に大きな成果をあげている。

(2) 治具レス溶接

溶接工程のフレキシブル化を進めるにあたって、最も短期で安価、かつ自由度が高い方法は「溶接治具を使用しない」ことである。今回は加工基準の機能を属別し、フレキシブルロケータを用いない部位に、治具レス溶接を導入した。以下、治具レス溶接への取り組みについて述べる。

① 搬送マテハン上での溶接作業

アンダーボデー組立ラインでは、小型、中型部品の搬送はロボットで行っている。そこで、搬送用ロボットのマテハン (ロボットに設置している部品搬送のためのハンドリングツール) 上の部品を、もう1台の溶接ロボットが溶接する作業方式 (Fig.5) を導入した。この方式を用いることで、溶接治具内では困難な溶接作業も、部品と溶接ガン双方が姿勢を自由に換えられることから、格段に容易なものとなった。また、治具レスのため車種変更による溶接治具作り替えを必要としない上に、通常溶接ロボットにとっては待ち時間となる搬送中に溶接作業を行うため作業効率が上がる。なお、治具レス溶接であるが、部品精度を前工程の溶接治具内で凍結させることで、品質への影響を排除している。

② サーボガンによる部品位置決め

アンダーボデー組立ラインでは、溶接加工にACサーボモータを用いた電動溶接ガン (以下サーボガン) を使用している。サーボガンは電極の磨耗やガンアームのたわみに関わらず、一定のポイントを加圧、溶接できるよう制御されているが、この機能を、溶接治具のクランプユニットとして用いる、新しい部品位置決め方式を導入した。これにより、溶接治具を用いずに、さまざまな部品形状に対応で

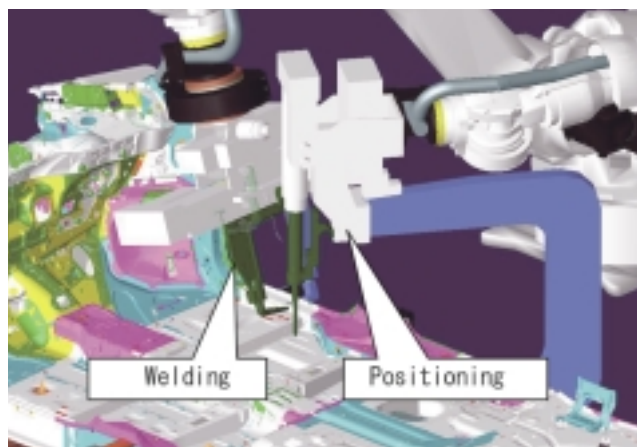


Fig.6 Positioning by Servo Gun

きる、安定した位置決めが可能となった。また、物理的に溶接治具の設置が困難な場合や、溶接治具設置により汎用性や溶接作業性が著しく妨げられるような場合でも、溶接ガンの挿入が可能であれば部品位置決めができる。今回サーボガンによる部品位置決めを実施したのは、アンダーボデー仮付工程である。アンダーボデー仮付工程は、溶接治具数が最も多い工程であるため、該当部位への溶接治具設置スペースの確保が課題であった。そこに、このサーボガンによる部品位置決めを導入することにより、溶接治具の汎用性を損なうことなく、製品品質の安定化を実現させた (Fig.6)。

4.2 ロボットによる大型部品搬送

今回のラインでは、工程の追加、削減にもフレキシブルに対応可能であること、最短の工期で生産を可能にすることを旨とし、ロボットによる部品搬送を全面的に導入した。従来、ロボットによる部品搬送は、小型、中型部品のみで行われていたが、今回は全長が4メートルを超えるような大型部品にも、ロボットによる搬送 (Fig.7) を適用し、大型部品搬送に使用してきた大型のシャトル式搬送装置を全廃した。



Fig.5 Spot Welding Without Using Jig

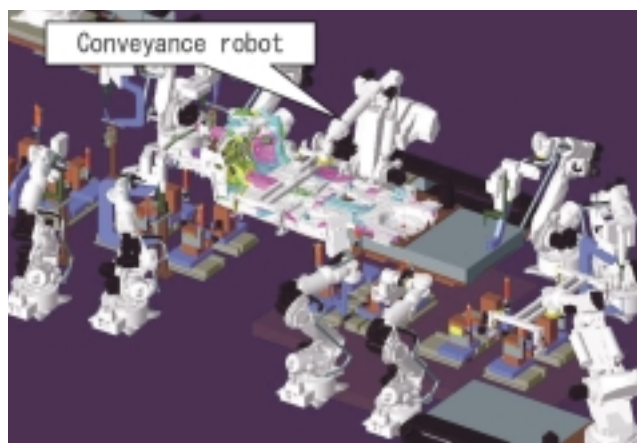


Fig.7 Large-sized Part Conveyance by Robot



Fig.8 Carrying by Robot

大型シャトル式搬送装置は、その構造上工程の追加、削減などに対応することは困難であった。また、全長が数十メートルに達するため、設備の搬入、据え付け、立ち上げに制約があり、多くの時間を必要としてきた。しかし、ロボットによる搬送を導入することにより、レイアウト変更が容易で、工程の追加、削減にもフレキシブルに対応可能なライン構造とした。また、工程変更による現地工事が容易である上、設置した工程から順次トライアルを実施することが可能となり、立ち上げ作業もスムーズに行えるようになった。

今回のアンダーボデーラインでは、工程間搬送電車にボデーを移載するためのリフタも廃止して、ロボットによる移載を実施（Fig.8）。大規模な改造工事を行うことなく工程数変更に対応可能とした上、工程間搬送電車の工期短縮も実現した。また、ロボットにライン外へのボデー搬出機能も兼用させるなど、機能性を高めている。

以上の取り組みにより、溶接治具は多車種に対するフレキシビリティを持ったものとなり、追加車種導入時の準備期間と設備投資を大幅に削減することが可能となった。また、従来のC-BAL構想における課題であったアンダーボデー組立ラインを多種変量生産に対応させることにより、追加車種導入が容易になり、生産台数減少による台当たり生産コストの上昇に対処することが可能となった。

5. 今後の課題

今回完成させたフレキシブル車体組立ラインの完成度を更に高め、より短期間、低コストでの車種導入と生産を実現するためには、今回の取り組みで具体化させるに至らなかった、以下の残課題を克服する必要がある。

① 搬送装置のフレキシブル化

a. フレキシブルマテハンの開発

溶接治具のフレキシブル化は、今回大きく前進したが、ロボットによる部品搬送に用いるマテハンには、依然、車種

ごとの改造を強いられている。ロボット搬送を全面導入したこともあり、マテハンのフレキシブル化が次の重要な課題である。

b. 搬送ロボットへの視覚センサの適用

今回ロボットによる部品取出 組付を大幅に導入したが、車種が増えるにつれ、パレット内の部品位置ずれや、パレットの精度不良に起因するライン停止の発生が懸念される。これに確実に対処するためには、車体組立工場特有の部品表面の油膜や、部品のばらつきに影響されない、より安価な視覚センサシステムを開発して、搬送ロボットに適用していく必要がある。

② 物流システムの開発

同一ラインでの多車種変量生産が実現すると、複雑になるのは部品供給システムである。特に組付部品が多いアンダーボデー組立ラインでは重要な課題である。部品の計画順序搬入を省スペースで実施するための多種混載パレットの開発、台数変動に左右されずに高い編成効率を達成できる搬送システムの開発などが求められる。

6. おわりに

今回の取り組みにより、アンダーボデーフレキシブル車体組立ラインを具現化するとともに、新型プレマシーの市場導入を計画通り成功させることができた。しかし、新規に導入した設備がその真価を発揮するのは、次期車種導入時である。より一層の改良と技術開発に取り組み、今後の状況変化にも柔軟に対応できるフレキシブルラインに進化させていく考えである。

末筆ながら、この車体組立ラインの開発、導入にあたって多大な御協力を頂いた、工場、開発部門、設備メーカー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、今後の更なる御指導、御協力をお願いする次第である。

参考文献

- (1) 前島ほか：多種変量車体組立ライン，マツダ技報，No.11，p.13-18（1993）

著者



向原 明



五島 泰明



山口 英毅

特許紹介

塗料供給装置

特許第3453790号 (登録日 2003年07月25日)

発明者 橋本 堅, 片山 眞司

発明の実績 社内実施 (防府工場) 2005年社内発明表彰 (登録実績上位級) 受賞

発明の背景

車体の塗装色は、モデルチェンジ等によりカラーチェンジする場合、今まで使用していた塗装を配管内等から抜き出して廃棄するとともに、シンナによって洗浄して、新たな塗装色の塗料の使用に備えなくてはならない。

従来の塗料供給装置では、塗装ブースの両側にそれぞれ塗料の供給および回収に使用される配管が二重に設けられるため、配管長が非常に長くなっていた。したがって全配管内の塗料容積が非常に大きなものになって、上記のカラーチェンジ時においては多量の塗料を廃棄せねばならず、塗料ロスが増大し、また洗浄に使用するシンナのロスも増え、かつカラーチェンジに要する時間が長くなって能率が悪くなる。また、上記のように配管長が増大すると、塗料供給配管の圧力損失が大きくなるため、各塗装装置に対して塗料の供給を保障するレギュレータを設ける必要が生じる。

この発明は、この課題を解決するもので、塗料の供給および回収に使用される配管の長さを大幅に短縮できるとともに、レギュレータを必要としない塗料供給装置である。

発明の概要

構造：

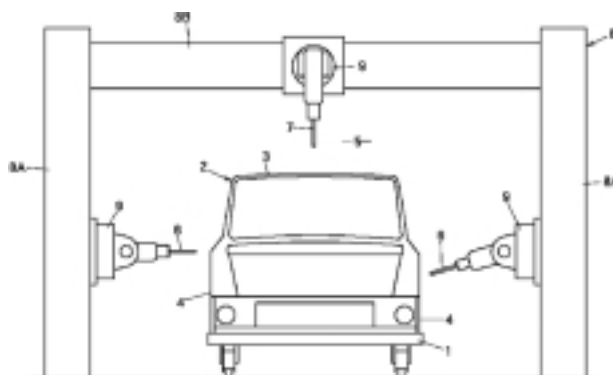
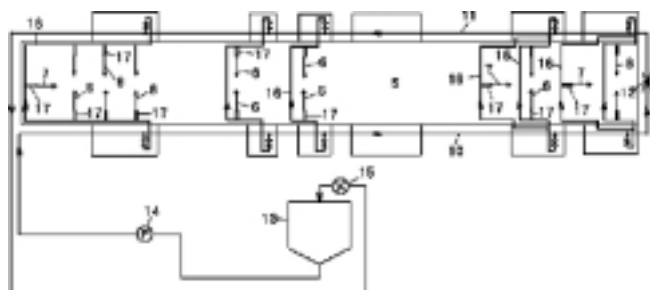
塗装ラインの両側部にそれぞれ複数の塗装装置が配置されるとともに、これらの塗装装置に塗料を供給する塗料供給配管と、塗料供給配管から余剰の塗料を回収する塗料戻し配管とが設けられている塗料供給装置において、塗装ラインの一侧部に塗料供給配管を配置する一方、その反対側に塗料戻し配管を配設する。

この塗料供給配管の下流側端と、塗料戻し配管の上流側端とは、塗装ラインエンド位置でオリフィスを介して接続して各塗装装置に塗料を供給する。

効果：

塗料供給配管および塗料戻し配管を塗装ラインの両側にわたって二重に設ける必要がなくなり、全配管長を短縮できる。このため、カラーチェンジ時における塗料のロス、洗浄用シンナのロスを低減できる。

塗料供給配管と塗料戻し配管とはオリフィスによって接続されており、塗料供給配管内の圧力が塗料戻し配管内の圧力よりも確実に高く保たれ、レギュレータを使用せずに塗装が行える。



特許紹介

鋼材の熱処理方法

特許第3369603号 (登録日 2002年11月15日)

発明者 中尾 和浩

発明の実績 社内実施 (車軸熱処理工場)

2005年社内発明表彰 (登録実績上位級) 受賞

発明の背景

通常、歯車部品は焼入れ・焼戻しを施してワーク全体の硬さを高める必要がある。しかし車軸部品であるドライブピニオン、特にネジ部を有する歯車部品は、ネジ部の遅れ破壊防止の観点で、ネジ部のみ局部的に高温の焼戻しを施すことで、その部位のみ所定の硬度まで軟化させている。

元来、鋼材ワークの焼戻しはワーク全体を加熱した後、冷却 (空冷) するといったことが多用されている。しかしその方法では熱処理時間 (加熱時間) が長くなり生産性の低下を招きかつ、局部的な焼戻しができないといった問題がある。したがって局部的な高温焼戻しには高周波、あるいはレーザービームによる加熱を行い、焼戻し時間の大幅短縮と局部焼戻しを実現している。

近年、歯車の高強度化に伴い材料成分中にモリブデンの含有率が高まってきた。モリブデンは焼戻し軟化抵抗が大きいので、これまでの鋼材よりも高温焼戻し時の加熱温度範囲が非常に狭くなり、従来の熱処理時間 (加熱時間) の設定では加熱コントロールが困難となった。また、焼戻し後の冷却過程においても鋼材ワークの組織が一部マルテンサイト化され、部分的に硬化してしまうといった問題が発生した。

本発明は、これらの問題を解決するもので、焼戻しに際して熱処理時間を短縮しつつ鋼材ワークを所定の適切な熱

処理温度範囲内に確実に入れることができ、かつ冷却初期の組織のマルテンサイト化を防止することができる鋼材の熱処理方法である。

発明の概要

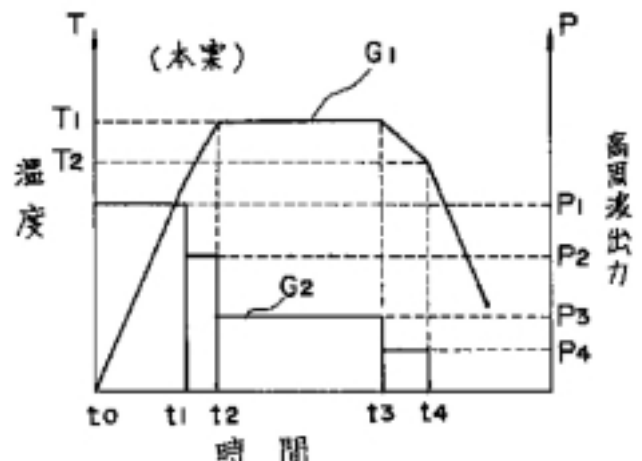
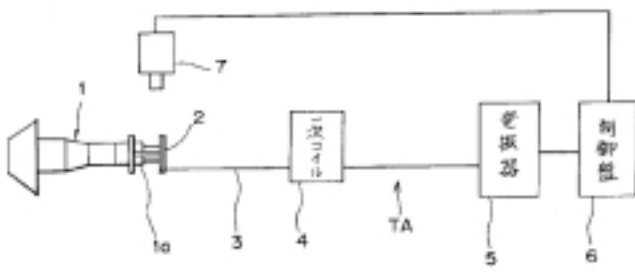
熱処理方法:

焼戻し時の加熱出力が制御できる加熱手段で鋼材を次のステップで熱処理する。

- (1) 加熱開始後、まず所定の第1の加熱出力 P_1 で鋼材を加熱する。
- (2) 加熱開始から所定時間経過した後、加熱出力を、上記第1の加熱出力 P_1 よりは小さい所定の第2の加熱出力 P_2 に設定して、鋼材をほぼ所定の熱処理温度 T_1 にする。
- (3) 所定の熱処理温度 T_1 に保持する第3の加熱出力 P_3 に設定して、鋼材を所定時間、所定の熱処理温度に均熱保持する。
- (4) 所定の熱処理時間が経過する前に、加熱出力を、上記第3の加熱出力 P_3 よりも小さい所定の第4の加熱出力 P_4 に設定して鋼材を徐冷する。

効果:

鋼材組織のマルテンサイト化 (硬化) を防止しつつ、加熱特性 (熱処理温度及び熱処理時間) を容易にかつ短時間に最適熱処理領域に入れることができ、熱処理後の鋼材の硬さを確実に規格値内に収めることができる。



特許紹介

摩擦攪拌を用いた接合方法及び装置

特許第3463671号(登録日 2003年08月22日)他

発明者 村上 士嘉

発明の実績 他社にライセンス供与あり

社内実施(RX-8) 2005年社内発明表彰(登録実績上位級)受賞

発明の背景

自動車のボンネット等は、あらかじめ所定の形状に成形された複数の板材を重ね合わせて使用している。この種の板材の接合技術としては、通電で生じる抵抗発熱による溶接、更には、接合面に突出部を回転させながら挿入及び並進させ、接合面近傍の金属組織を摩擦熱により可塑化させて結合する摩擦攪拌により接合する方法が採られている。

後者の摩擦攪拌による接合方法は、前者の溶接による接合方法に比して、抵抗発熱のための電流が不要で、大掛りな電源装置が不要になる等、接合装置(多軸ロボット)構成上有利である。その反面、この方法は、回転する接合ツールと固定された受け部材との間に板部材を重ねた状態にしておき、回転ツールを回転させながらそのピンを板部材に接触させることにより、摩擦熱でピンの周囲の板部材を軟化させて攪拌され塑性流動域を形成し、その後ピンを引き抜くことにより塑性流動していた母材が硬化し板材が結合されるものであるため、自動車のような3次元的な板材の接合確保が困難である。ツール回転数やツール押し込み量、ツール進行速度などを必要以上に高め過ぎると、接合が不完全になったり、接合部分が溶融してしまう。このため、加工時間の短縮には限界があった。

この発明は、これらの問題点を解決するもので、ロボットをコンパクトにできる摩擦攪拌による接合方法を用い

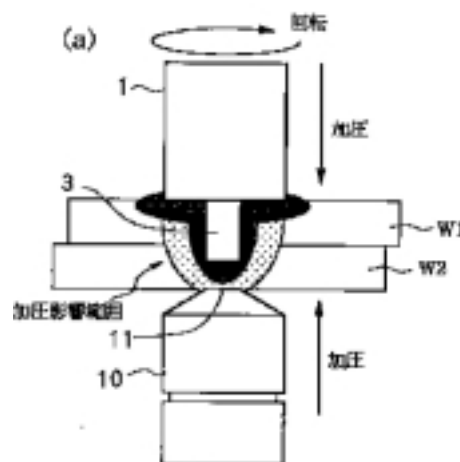
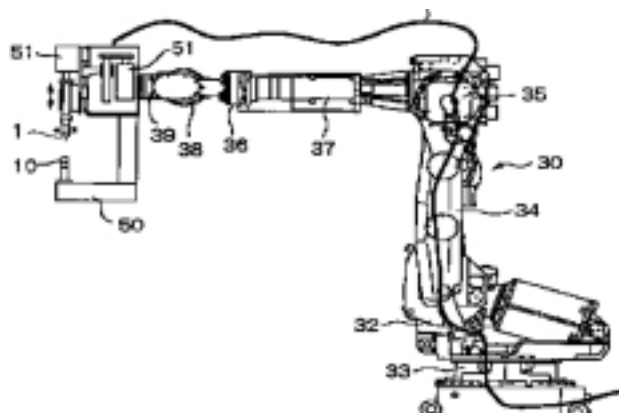
て、接合時間を短縮できるように接合部分の放熱を抑制し、蓄熱効率を高めて溶融状態を生じやすくした摩擦攪拌を用いた接合方法及び装置である。

発明の概要

接合プロセス:

先端部がピン部とされた回転ツール部を回転させて、第1部材と第2部材とを重ね合わせた接合部分を局所的に摩擦により攪拌させて接合する摩擦攪拌を用いた接合方法において、

1. 接合しようとする部材を前記回転ツールとで挟む固定ツールを設ける。この固定ツールはその先端部に、回転ツールの断面積より小さい面積の受け面とされ、回転ツールとの離間距離が可変となるように設けている。
2. 固定ツールの受け面で接合しようとする部材を受け、回転ツールを回転させた状態で、回転ツールのピン部から押圧して圧入する。
3. 回転ツールを部材内に圧入して回転させることにより、その周囲にある部材を切削する。更に、切削された部材を回転ツール部により摩擦により攪拌して溶融させるとともに、溶融させる領域の周辺部を塑性流動させて、接合しようとする部材を摩擦攪拌により接合する。
4. 接合終了後に、回転ツールを回転した状態で前記部材から退避させる。



特許紹介

自動車用インストルメントパネル

意匠登録第1181652号（登録日 2003年06月20日）

創作者 鈴木 英樹，松田 陽一，宮崎 克也，林 浩一，濱永 映一

発明の実績 社内実施（アクセラ） 2005年社内発明表彰（登録実績上位級）受賞

デザインの背景

アクセラのデザイン開発では、従来のコンパクトカーの概念にとらわれないマツダの存在感をアピールする個性的なデザインの実現を目指した。デザインコンセプトはエキサイティング&コンフォータブル。マツダのデザインDNAをフルに体現して躍動的で個性的な存在感あふれるクルマとして造形され、一眼で人を魅了する力強い存在感あふれるエクステリアデザインと、乗る人に運転する楽しさと五感に訴える心地良さを提供するインテリアデザインを実現している。

意匠の概要

インストルメントパネルのデザインは、スポーティエキサイトメントと心地良さを融和をテーマにしている。ドアを開けた瞬間に心がときめき、運転し操作するたびに歓びが沸き上がるエキサイトメントと、乗るたびに実感できる快適性と機能性を追求した。

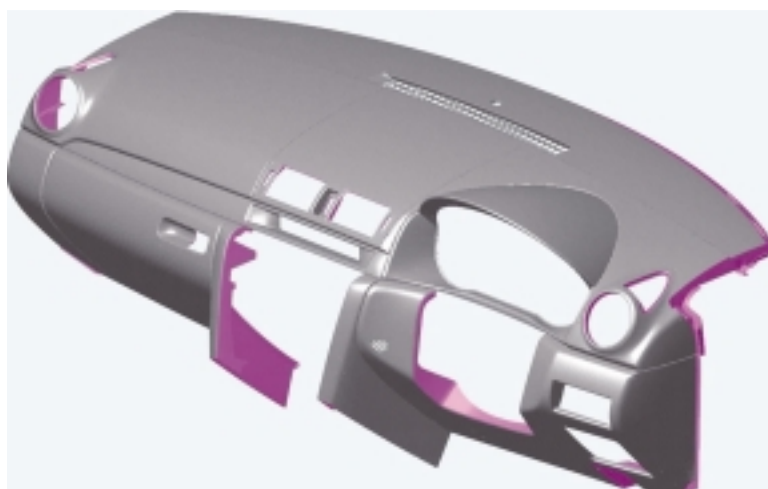
特徴：

1. 室内空間を構成する主要なインストルメントパネルは、剛性感を感じるシンプルな面構成である。
2. 全体にすっきりした印象を与えるよう各部の形、色、艶等全体のコーディネーションを図り、シンプルでクリーンな室内空間を実現している。



正面図

斜視図



特許紹介

車両用盗難防止装置

特許第2644276号(登録日 1997年05月02日)

発明者 岡田 厚信

発明の実績 他社にライセンス供与あり

2005年社内発明表彰(登録実績上位級)受賞

発明の背景

車両のドアやバックドアはキーレスエントリーシステムによってキーなしで閉状態に旋錠(キーレスロック)できるようになっている。

施錠後乗員が車両から離れた際、ドアを無理に開けて車室内の品物を持ち去る等の盗難にあうことがある。

このような盗難を防止するために、ドアをキーレスエントリーシステムによって一旦旋錠すると、警戒セット状態となり、その後そのドアやバックドアをキーなしで無理に開ける等すると警報を発するようにしている。

キーレスエントリーシステムが設けられている車両の盗難防止装置においては、盗難防止装置のセット後、キーレスエントリーシステムでドアロックが解除されるとドライバの意に反して警報がでる。すなわち、乗員が車両を警戒セット状態とした後車内の品物を取り出す等のためにキーを用いないで(キーレスエントリーシステムで)バックドア等を開けると、不意に警報が発せられ解除に手間取る。

このようなことを考慮すると、キーレスエントリーシステムが設けられている車両に対して、盗難防止装置をそのまま適用することはできない。

この発明は、この課題を解決するもので、キーレスエントリーシステムからのキーレスアンロック信号によって、車

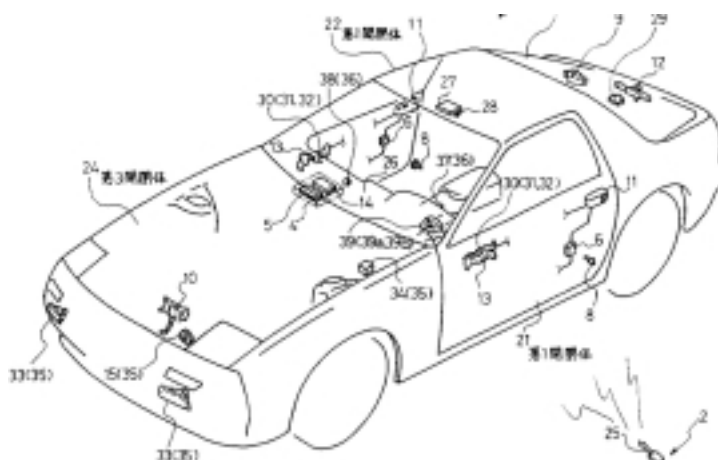
両用盗難防止装置の警戒状態とともに警報の作動状態もキャンセルできるようにしてキーレスエントリーシステムと車両用盗難防止装置とを併設できるようにしたものである。

発明の概要

構造:

キーを使用しないでドアやバックドアをキーレスでロック又はアンロック可能としたキーレスエントリーシステムが設けられた車両に装備される車両用盗難防止装置において、

1. ドア、バックドアのいずれかが開けられて車両が盗難に遭っていることを検出する盗難状態検出手段。
2. ドライバの操作によって盗難防止装置を警戒状態にセットする警戒状態セット手段。
3. 盗難防止装置の警戒状態セット下において、車両が盗難に遭っていることを検出したときに作動して警報を発する警報手段。
4. 盗難防止装置の警戒状態セット下において、キーレスエントリーシステムからキーレスアンロック信号を受信したときに盗難防止装置の警戒状態をキャンセルするセット状態解除手段。
5. 警報手段の作動時において、キーレスエントリーシステムからキーレスアンロック信号を受信したときに警報手段の作動をキャンセルする警報状態解除手段。



社外への発表論文一覧表（2004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 2004 World Congress	2004.3.8-11	SAE	2004-01-0125 Effect of Cooling of Burned Gas by Vertical Vortex on NOx Reduction in Small DI Diesel Engines	志茂 大輔	技術研究所
				片岡 一司	同 上
				藤本 英史	同 上
			2004-01-0147 Analysis of Phosphorus Poisoning on Exhaust Catalysts from Compact-Class Vehicle	住田 弘祐	技術研究所
				國府田由紀	同 上
				定井 麻子	同 上
				市川 智士	同 上
				京極 誠	同 上
				高藤 勝	同 上
				三輪 能久	同 上
			R.W.McCabe	Ford Motor Company	
			2004-01-0336 Study of BioRID II Sled Testing and MADYMO Simulation to Seek the Optimized Seat Characteristics to Reduce Whiplash Injury	金子 直樹	衝突性能開発部
若松 正之	同 上				
福島 正信	同 上				
尾川 茂	同 上				
2004-01-1163 Aggressivity-Reducing Structure for Large Vehicles in Frontal Car-to-Car Crash	藤井 真司	衝突性能開発部			
	砂川 孝之	CAE部			
	安部 晶子	衝突性能開発部			
	福島 正信	同 上			
	河口 健二	同 上			
2004-01-1668 Development of Eco-Friendly Three-Layer Wet Paint System	山根 貴和	技術研究所			
	重永 勉	同 上			
	神田 輝夫	車両技術部			
	亀迫 裕介	同 上			
	小笠原敏文	同 上			
	掛 正喜	同 上			
	渡辺 正一	日本ペイント(株)			
dSPACE User Conference 2004	2004.4.21	(株)LinX	MAZDAにおけるHILSへの取り組み	足立 智彦	技術研究所
FISITA 2004 World Automotive Congress	2004.5.23-27	FISITA	F2004F187 A Test Methodology of Side Impact Simulation with Hydraulically Powered Crash Simulator	尾川 茂	衝突性能開発部
				元木 正紀	同 上
				伊東 紀明	同 上
			F2004V270 Field Data Analysis in Japan for the Real World Safety Enhancement	河口 健二	衝突性能開発部
尾川 茂	同 上				

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
SAE 2004 Fuels and Lubricants Meeting	2004.6.8	SAE	2004-01-1949 An Insight into Effect of Split Injection on Mixture Formation and Combustion of DI Gasoline Engines	李 鉄 西田 恵哉 張 玉銀 山川 正尚 廣安 博之	近畿大学 広島大学大学院 同上 パワートレイン先行開発部 近畿大学
The 2nd International Symposium on Measurement Analysis and Modeling of Human Functions	2004.6.14-16	IMEKO (International Measurement Confederation), SICE, IEEE	Manipulability Analysis of Lower Extremities Based on Human Joint-Torque Characteristics	田中 良幸 辻 敏夫 正守 一郎 山田 直樹	広島大学大学院 同上 技術研究所 同上
15th World Hydrogen Energy Conference	2004.6.27-7.2	HESS (The Hydrogen Energy Systems Society of Japan), NEDO	The Hydrogen Properties of Mg-Co Alloy with BCC Structure	張 耀 對尾 良則	キャリアセンター中国 技術研究所
IIW International Conference: Technical Trends and Future Prospectives of Welding Technology for Transportation, Land, Sea, Air and Space	2004.7.11-16	II W (International Institute of Welding)	Spot Friction Welding to Achieve Light-Weight Automobile-Body	岩下 智伸	車体技術部
The Sixth International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion Engine	2004.8.2-5	JSAE JSME	Measurement of Ion Current in Homogeneous Charge Compression Ignition Combustion	田中 達也 檜原 和晃 田端 道彦 吉山 定見 富田 栄二	技術研究所 同上 同上 岡山大学大学院 同上
7th International Symposium on Advanced Vehicle Control	2004.8.23-27	AVEC 04 Organizing Committee	Analysis of Driving Behavior of Expert Driver in Double Lane Change by Optimization	藤岡 健彦 高下 祐介 吉岡 透 足立 智彦 福庭 一志	東京大学大学院 同上 技術研究所 同上 同上
The First Annual International Moldflow User Group Conference Japan Imug Tokyo 2004	2004.8.26-27	Moldflow Corporation	Automotive Plastic Parts Development with Moldflow and Various CAE	西山 剛史	車両技術部
The 15th Triennial Congress of the International Ergonomics Association	2004.8.27	International Ergonomics Association	Driver's Status Assessment Using Physical Measures	赤松 幹之 倉橋 哲郎 石橋 基範	産業技術総合研究所 人間生活工学研究センター 技術研究所

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
International Symposium on Metal-Hydrogen Systems (MH2004)	2004.9.5-10	MH2004 - Symposium Secretary	The Hydrogenation Properties of Mg-Co-A Alloy with BCC Structure	張 耀 秋葉 悦男 榎 浩利 對尾 良則	キャリアセンター中国 産業技術総合研究所 同上 技術研究所
11th World Congress on ITS	2004.10.18-22	ITS Japan	3088 Study on Driver's Operational Characteristics for Distance Control in Low Speed Car Following 3260 Study on Information Provision for Safety Driving Support System in Cooperation with Road Infrastructure	藤瀬 一基 山本 康典 松岡 悟 山本 雅史 為貝 仁志 千葉 正基 藤田 健二	技術研究所 同上 同上 技術研究所 同上 同上 同上
The Fifth Pacific Rim International Conference on Advanced Material and Processing	2004.11.2-5	The Chinese Society for Metals	Hydrogenation Properties of Mg-Co and its Related Alloys	張 耀 秋葉 悦男 榎 浩利 對尾 良則	キャリアセンター中国 産業技術総合研究所 同上 技術研究所

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
物流改善の進め方セミナー	2004.1.20-21	日本ロジスティックシステム協会	エンジン組立ラインにおけるフレキシブル高効率物流の実現	松浦 恭	パワートレイン技術部
日本航空宇宙学会西部支部談話会	2004.1.23	日本航空宇宙学会西部支部	自動車の空気抵抗/風騒音低減と車体周りの流れ	農沢 隆秀	車両実研部
省エネルギー実施事例発表全国大会(東京・大阪会場)	2004.2.12,19	省エネルギーセンター	摩擦熱を利用したアルミ板金部品接合技術の実現	橘 昭男 妹尾 安郎 高瀬 健治	車体技術部 同上 同上
シンポジウム(No.08-04)「CAEは開発プロセスをここまで変えた!？」	2004.2.26	自動車技術会	車体音響感度解析技術の開発	土江 伸宏	CAE部
中国四国支部第42期講演会	2004.3.6	日本機械学会	予混合圧縮着火機関の燃焼火炎におけるイオン電流計測	檜原 和晃	技術研究所
			点火電極イオンプローブ法による点火電極近傍における燃焼診断	鎌田 敬三 吉山 定見 富田 栄二 田中 達也 田端 道彦	岡山大学 同上 同上 技術研究所 同上
第93回触媒討論会	2004.3.30-31	触媒学会	貴金属担持酸化物のSoot燃焼性能について	原田浩一郎	技術研究所
2004年 春季大会 学術講演会	2004.5.19-21	自動車技術会	RENESISにおけるアイドル燃焼改善とその要素技術	植木 信也 橋口 匡 香川 良二	第2エンジン開発部 同上 技術研究所
			エンジン補機ベルトの機構運動解析	廣部 敏之 宮内 勇馬 栗栖 徹 石田 公雄	パワートレイン先行開発部 同上 同上 第3エンジン開発部
			自動車塗装工場における新塗装方法の開発	神田 輝夫	車両技術部
			情報提供適正化のための交差点右折時のドライバ発信検出アルゴリズム	為貝 仁志 山本 雅史 藤田 健二	技術研究所 同上 同上
			新型ボンゴ用触媒担持型DPFシステムの開発	松江 浩太 崎本 正嗣 林原 寛	第2エンジン開発部 同上 技術研究所

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
			ドライバを記述するための評価項目 - 共同活用を目指したフェースシートの開発 -	岩男 眞由美 赤松 幹之 石橋 基範 大桑 政幸 城戸 滋之 熊倉 佐恵 栗谷川 幸代 高田 裕史	(株)いすゞ中央研究所 産業技術総合研究所 技術研究所 (株)豊田中央研究所 トヨタ自動車(株) 三菱自動車工業(株) 日本大学 日産自動車(株)
			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横揺れ振動に与える影響 -	藤川 智士 福島 小巻 葉山 佳彦 野崎 孝志 中小路 雅文	パワートレイン先行開発部 同 上 NTN(株) 同 上 同 上
平成16年度第1回講演会「霧化を極める！スプレー技術の最先端」	2004.5.21	日本塗装技術協会	スプレー最適化への取り組み	亀迫 裕介	車両技術部
Automotive Technology Day 2004 Spring	2004.5.21	日経 Automotive Technology 日経エレクトロニクス	マツダのモジュール化と欧州動向	岩城 富士大	プロセスリエンジニアリング部
第144回全国講演大会 技術講習会	2004.5.23	日本鑄造工学会	コスワース鑄造法の開発	大塚 真	パワートレイン技術部
日本人間工学会第45回大会	2004.6.5-6	日本人間工学会	着座接触圧に基づく疲労度評価	古郡 了 三浦 泰彦	技術研究所 同 上
			ドライバ特性と運転負荷が精神疲労に及ぼす影響モデル	石橋 基範 吉田 倫幸	技術研究所 広島国際大学
第12回品質工学研究発表大会	2004.6.10	品質工学会	上塗塗装条件の最適化	山田 智也 田中 淳一 合田 靖彦 福本 康博	第1工務技術部 同 上 同 上 パワートレイン技術部
			スポット溶接電極の切削条件の最適化	松井 克真 入鹿 康生 福本 康博	第1工務技術部 同 上 パワートレイン技術部
生産システム部門講演会2004	2004.6.12	日本機械学会	エンジン組立自己完結生産システムの開発	森尾 宏基 神南 裕巳 川上 真一 上迫 博文 品川 裕史 市本 秀則	パワートレイン技術部 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
型技術者会議2004	2004.6.22-23	型技術協会	プレス成形CAEにおけるスプリングバックへの材料モデルの影響	浜口 照巳	車体技術部
			コンピュータグラフィック技術を利用したCAM処理高速化	大田 敦史 石丸 真 井筒 幸雄	車体技術部 同 上 同 上
			AVL ASTユーザーミーティング	2004.6.23	AVL-Japan
溶接技術講習会～もの作りを支える最新の接合技術	2004.6.23	溶接学会 中国支部	自動車製造における最新の接合技術	坂野 律男	車体技術部
第14回 圧縮着火燃料技術の高度化研究会	2004.7.2	日本機械学会 圧縮着火燃焼技術の高度化研究会	ガソリンHCCI燃焼へのアプローチ	山川 正尚	パワートレイン先行開発部
西日本エンジンシステム研究会 夏季シンポジウム	2004.8.28	日本機械学会 西日本エンジンシステム研究会	ガソリンHCCI燃焼へのアプローチ	佐藤 圭峰	パワートレイン先行開発部
2004年度年次大会	2004.9.6-8	日本機械学会	創成歯切り勾配歯ハイポイドギヤの運転性能シミュレーション	小森 雅晴 久保 愛三 西野 達也 竹田 龍平 西野 隆之 奥田 健司 山本 真司	京都大学 同 上 同 上 大阪精密機械(株) パワートレイン先行開発部 同 上 パワートレイン技術部
			創成歯切り勾配歯ハイポイドギヤの運転性能解析法	西野 隆之 奥田 健司 山本 真司	パワートレイン先行開発部 同 上 パワートレイン技術部
PLM kongress2004	2004.9.13	日経ものづくり	MDI-IIへと進化するマツダのPLM	滝口 哲郎	第2ITソリューション推進部
振動騒音部門委員会	2004.9.14	自動車技術会	エンジン補機ベルトの機構運動解析	廣部 敏之 宮内 勇馬 栗栖 徹 石田 公雄	パワートレイン先行開発部 同 上 同 上 第3エンジン開発部
第2回ラピッドデザイン研究会	2004.9.14	広島市産業振興センター	商品開発プロセスへのRapid Prototypingの応用	小勝負賢次 切田ゆかり	試作部 同 上

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
2004年 秋季大会 学術講演会	2004.9.15-17	精密工学会	キーノートスピーチ 金型製造におけるCAMソフトウェアの課題と研究機関への期待	大田 敦史 安達 範久	車体技術部 同 上
第7回 交通事故調査・分析 研究発表会	2004.9.16	交通事故総合分析センター	自動車乗車中事故時に乗員車外放出についての調査研究	田中 英昭	衝突性能開発部
秋季全国大会	2004.9.16-18	溶接学会	技術セッション「摩擦攪拌接合(FSW)研究の現状とその適用例」 摩擦点接合の開発と自動車部品への適用	坂野 律男	車体技術部
平成16年度省エネルギー優秀事例全国大会	2004.9.21	省エネルギーセンター 中国支部	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	車両技術部
中国四国地区企業の先駆的技術フォーラム	2004.9.24	日本塑性加工学会中国四国支部	成形シミュレーションによる板厚減少量予測の応用例	阿賀 弘晃	車体技術部
富山県産業保健特定科目専門研修会	2004.9.26	富山県医師会	自動車の運転における快適性、疲労低減の取り組み	農沢 隆秀	車両実研部
出光加工技術セミナー	2004.10.1	出光興産(株)	マツダのモジュール化と欧州動向	唐澤 正人	プロセスリエンジニアリング部
第145回全国講演大会	2004.10.13	日本鑄造工学会	鑄鉄溶解工程の省エネ事例	田中 裕一	パワートレイン技術部
産学公交流研究発表会	2004.10.21	神奈川県 産業技術総合研究所	アルミ車体技術と新接合法	岩尾 満	車体技術部
日本航空宇宙学会西部支部2004年講演会	2004.10.22	日本航空宇宙学会西部支部	Studies on Compatibility of Reducing Automobile Wind Noise And Aerodynamics Drag	李 暉 農沢 隆秀	車両実研部 同 上
2004年秋季大会 学術講演会	2004.10.27-29	自動車技術会	サイド排気ポート方式ロータリエンジン用火プラグの開発	神原 伸司 松浦 隆浩 植木 信也 鈴木 啓介 田島 誠司	第2エンジン開発部 日本特殊陶業(株) 第2エンジン開発部 日本特殊陶業(株) 第2エンジン開発部
			排気マニホールドの熱疲労寿命予測	玉里 裕孝 加賀谷 浩 西野 隆之 富永 和也	パワートレイン先行開発部 同 上 同 上 (株)ユーメックス
省エネルギー普及指導員養成研修会	2004.10.27-29	省エネルギーセンター	自家用車と省エネルギー	和田 隆志	車両実研部

大会名	日程	主催	題 目	発表者	所 属
第14回企業交流会	2004.11.8	品質工学会	パネルディスカッション 自動車産業での技術開発・製品開発の課題を探る	安達 範久	車体技術部
			CAEを用いた鋳造用鋳型設計条件の最適化	垣田 健	パワートレイン技術部
2004 MSC.Software Virtual Product Development Conference	2004.11.8-9	MSCソフトウェア(株)	耐久性開発におけるCAEシミュレーション技術の紹介	田村 秀二	操安性能開発部
高分子学会東北支部研究発表会	2004.11.18-19	高分子学会	芳香族ポリアミド樹脂の力学特性とタフネス	藤原 純平 岡本 健三 石川 優 岡本 和夫 松田 祐之	山形大学 同 上 同 上 技術研究所 同 上
成形加工シンポジウム2004	2004.11.23-24	プラスチック成形加工学会	芳香族ポリアミド樹脂の力学特性とタフネス	藤原 純平 岡本 健三 石川 優 岡本 和夫 松田 祐之	山形大学 同 上 同 上 技術研究所 同 上
第37回日本人間工学会中国・四国支部大会	2004.11.27	日本人間工学会 中国・四国支部大会	自動車用マニュアルトランスミッションシフトの最適操作性と人間特性の考察	河手 功 古川 浩二 西川 一男 農沢 隆秀	車両実研部 同 上 同 上 同 上
			自動車ドア操作における人間動作の分析	三浦 泰彦 米澤 泰延 山田 直樹 中村 誠之	技術研究所 同 上 同 上 ボデー開発部
			第一印象から受ける感性分析～自動車インテリア質感開発への適用～	宮浜 芳文 福井 信行 西川 一男 農沢 隆秀	車両実研部 同 上 同 上 同 上
シンポジウムNo.16-04「自動車の振動騒音問題とうまくつきあう方法」	2004.12.3	自動車技術会	CAE/CAT活用によるロードノイズ低減	中野 伸一	CAE部
2004感性工学シンポジウム 自動車と感性	2004.12.7	日本学術会議 第五部 人間と工学研究連絡委員会 感性工学専門委員会	マツダのクラフトマンシップ開発	農沢 隆秀	車両実研部

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
日本鑄造工学会中四国支部・技術講演会	2004.12.15	日本鑄造工学会中四国支部	中子造型における良品条件を織込んだ量産準備の追究	國松 大知	パワートレイン技術部
MDI勉強会	2004.12.20	ゴールドマン・サックス証券会社	MDI-IIへと進化するマツダのPLM	滝口 哲郎 木谷 昭博	第2ITソリューション推進部 MDIプロジェクト推進室
MTシステムセミナー	2004.12.20-21	日本規格協会	エンジン異音検査パラメータの最適化	中津 健治	パワートレイン技術部
第13回微粒化シンポジウム	2004.12.22	日本液体微粒化学会	直噴ガソリン機関用ホールノズルからの噴霧と混合気の特徴	佐藤 圭峰 山川 正尚 神崎 淳 西田 恵哉 李 鉄 張 玉銀	パワートレイン先行開発部 同上 広島大学 同上 近畿大学 広島大学

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
JSAE Review Vol.25, No.1, p.25-30	Development of Integrate Air Fuel Electrical Modules (IAFEM)	松浦 浩治 高橋 博志 横倉 恒利 西田 智宣 山田 秀樹 江角圭太郎	第1エンジン開発部 同 上 パワートレインシステム 開発部 同 上 同 上 同 上
JSAE Review Vol.25, No.1, p.111-118	Subjective Evaluation of Acceleration Performance Feeling with Driving Simulator (Quantification of "Interaction" in Evaluation of Acceleration Performance Feeling)	福原 千絵 加村 孝信 末富 隆雅	技術研究所 同 上 同 上
Review of Automotive Engineering Vol.25, No.2, p.199-204	Development of Eco-friendly Coating Technology - Paints and Coating System for Primer / Top Coat Wet-on Coating	山根 貴和 重永 勉 神田 輝夫 亀迫 裕介 小笠原敏文 掛 正喜 渡辺 正一	技術研究所 同 上 車両技術部 同 上 同 上 同 上 日本ペイント(株)
Review of Automotive Engineering Vol.25, No.2, p.211-217	Development of Manufacturing Technology for High-Strength Differential Gears	織田 和幸 有見 幸夫	パワートレイン技術部 同 上
Review of Automotive Engineering Vol.25, No.4, p.397-401	Algorithm for Detection of Right-turn Initiation at Intersections to Optimize the Content and Timing of Provided Information	為貝 仁志 山本 雅史 藤田 健二	技術研究所 同 上 同 上
TAGUCHI'S Quality Engineering HANDBOOK, Wiley-Interscience, p.858-862(2004)	Optimization of Two-Piece Gear Brazing Conditions	橋本 晃	パワートレイン技術部
TAGUCHI'S Quality Engineering HANDBOOK, Wiley-Interscience, p.1367-1375(2004)	Application of On-line Quality Engineering to the Automobile Manufacturing Process	井田 吉人 安達 範久	パワートレイン技術部 車体技術部
軽金属溶接 Vol.42, 11月号 p.530-535	摩擦点接合法 (SFW) の開発	加藤喜久生 坂野 律男	車体技術部 同 上
計測自動制御学会論文集 Vol.40, No.6, p.612-618	生体関節トルク特性を考慮した下肢操作特性の解析	田中 良幸 山田 直樹 正守 一郎 辻 敏夫	広島大学大学院 技術研究所 同 上 広島大学大学院
最新クルマづくりナビゲーション Book 2004・2005年版 ニュースダイジェスト社 p.64-69	開発から仮想試作まで～最初から良いものを - パワートレイン領域の取り組み -	鳥居 元	パワートレイン技術部

寄稿誌名	題 目	発表者	所 属
自動車技術 Vol.58, No.6, p.50-55	デザイン開発領域のMDI (Mazda Digital Innovation)	中須 忠幸	デザイン戦略スタジオ
自動車技術 Vol.58, No.7, p.109-114	圧力を用いた長時間運転時のドライバ疲労推定	古郡 了 三浦 泰彦 吉澤 公理 稲目 力	技術研究所 同 上 同 上 同 上
自動車技術 Vol.58, No.11, p.72-76	水素燃料エンジンの研究開発	森本 賢治	技術研究所
自動車技術 Vol.58, No.11, p.95	匠の技 - 金型仕上げ - 「真似びから学びへ」最後の“ つめ ” は仕上げ技能だ！	河神 光夫 池田 国夫	ツーリング製作部 同 上
自動車技術 Vol.58, No.12, p.34-39	運転スタイル・運転負荷感受性の個人特性指標と運転行動	石橋 基範 大乗 政幸 赤松 幹之	技術研究所 (株)豊田中央研究所 産業技術総合研究所
自動車技術会論文集 Vol.35, No.1, p.227-232	ドライビングシミュレータによる“ 加速感 ” の官能評価 - 線加速追従走行時の“ 加速感 ” 評価における交互作用の定量化 -	福原 千絵 加村 孝信 末富 隆雅	技術研究所 同 上 同 上
自動車技術会論文集 Vol.35, No.4, p.197-202	シート着座接触圧を用いた長時間運転時のドライバの疲労推定	古郡 了 吉澤 公理 稲目 力 三浦 泰彦	技術研究所 同 上 同 上 同 上
省エネルギー Vol.56, 2月号, p.38-43	摩擦熱を利用したアルミ板金部品接合技術の実現		車体技術部
新エネルギー・産業技術総合開発機構 平成15年度調査報告書 高効率クリーンエネルギー自動車の研究開発成果報告書 p.346-379	VI. 高効率ハイブリッドシステムの技術開発	三角 正法 瀬尾 宣英 田賀 淳一 山形 直之 若山 敬平 川田 卓二	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上
品質工学 Vol.12, No.1, p.71-80	機械加工量産ラインにおけるオンライン品質工学の実践	井田 吉人 安達 範久	パワートレイン技術部 車体技術部
品質工学 Vol.12, No.2, p.78-84	金型加工における一刀彫り加工条件の設定	細田 剛 岩岡 邦康 福本 康博 安達 範久	パワートレイン技術部 同 上 同 上 車体技術部
品質工学 Vol.12, No.6, p.45-50	CAEを用いた鋳造用鋳型設計条件の最適化	垣田 健 堀 雄二 梶川 寿 菅谷 智 永田 亮平 安達 範久	パワートレイン技術部 同 上 同 上 同 上 同 上 車体技術部

寄稿誌名	題 目	発表者	所 属
品質工学 Vol.12, No.6, p.59-65	損失関数による生産技術業務の評価と考察	井田 吉人 鳥居 元	パワートレイン技術部 同 上
プレス技術 Vol.42 6月号 p.41-45	摩擦点接合法 (SFW) の開発	岩下 智伸 加藤喜久生 坂野 律男	車体技術部 同 上 同 上
溶接技術 第52巻 2月号 p.99-103	摩擦点接合法 (SFW) の開発	加藤喜久生 坂野 律男	車体技術部 同 上
溶接ニュース 第2586号 9.14号 p.4-5	TWBにみるプラズマ溶接ラインの実現	猪 一郎 大西 渉	車体技術部 同 上

編集後記

マツダブランドDNAを体現した商品として、アテンザ、デミオ、RX-8、アクセラ、で築き上げた4車種の基本プラットフォームの中から、多様化しているお客様のニーズに対応し、世に送り出したのが新型プレマシー、ベリーサ、である。新型プレマシーはミニバンでありながらも、“Zoom-Zoom”で表される「車を操る楽しさ」を提供できるマツダならではの、の車造りを目指した。ベリーサは、激戦区であるコンパクトクラスに新風を吹き込むべく“上質”をキーワードに、“Zoom-Zoom”の新しい表現にチャレンジした。本号は、この両車に導入・開発したキー技術を集大成し、特集にまとめている。更に、ベリーサの超短期開発で威力を発揮したMDI (MAZDA Digital Innovation) の革新技術、復活を果たした宇品工場の再生内容、その他飽くなき挑戦を続けるマツダの技術開発内容、と開発・生産を取り巻くマツダの最新技術も紹介しており、内容も濃いものになったと自負している。

益々厳しくなる自動車を取り巻く環境に、真にお客様に喜んでいただける車造りを通して、マツダならではの存在感をご理解いただけるべく、本誌がその一助となれば幸いである。

(柴田)

編集委員会

委員長	喜田 達也	技術企画部
委員	柴田恵一郎	企画設計部
	河口 健二	衝突性能開発部
	高橋 達朗	電子開発部
	工藤 秀俊	第3エンジン開発部
	山田 洋史	技術研究所
	坂野 律男	車体技術部
幹事	佐々木圭太	技術企画部
	田坂 寿康	技術企画部
事務局	世良 和美	技術研究所
	伊東加奈子	技術企画部

マツダ技報 第23号

発行 平成17年6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.23

June 2005
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