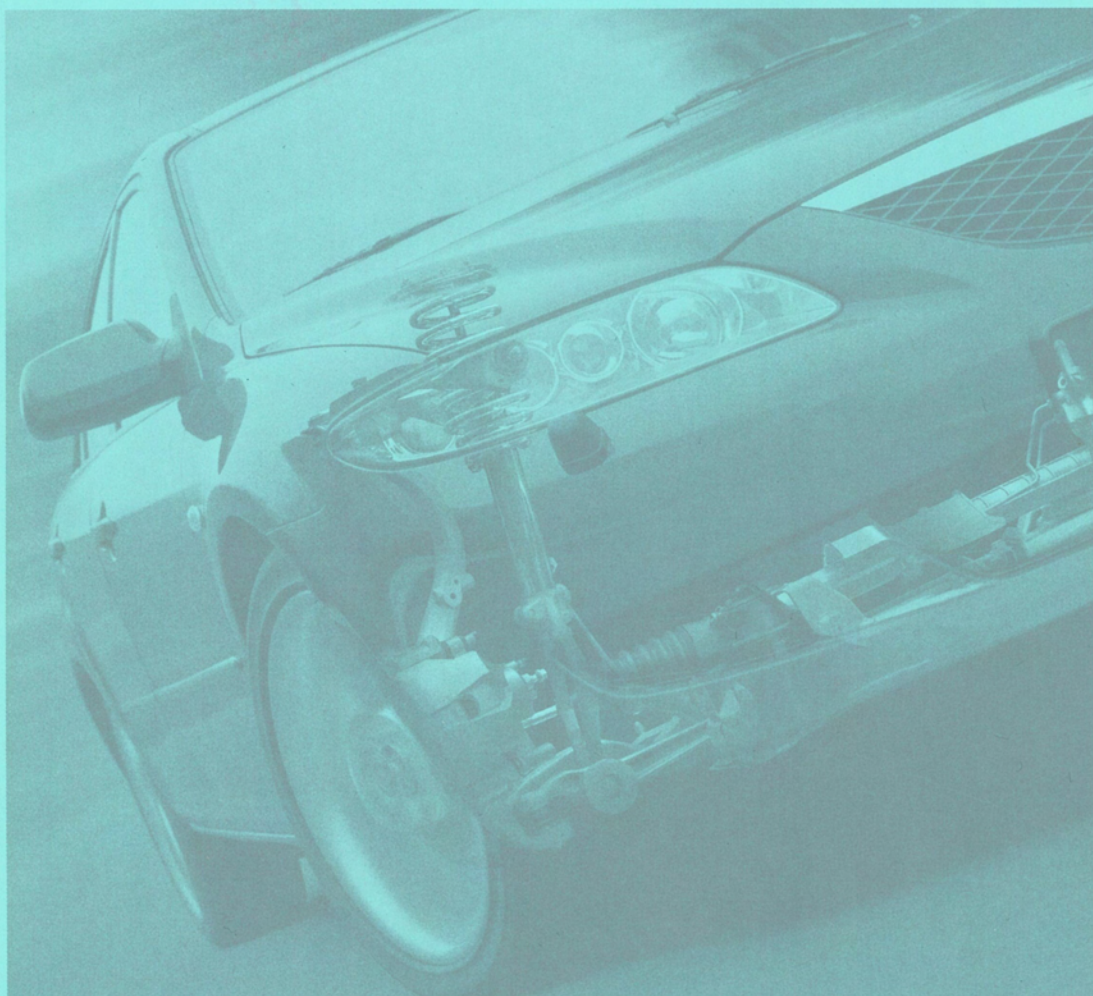


# マツダ技報

Mazda Technical Review

2002 No. **20**



**mazda**





# マツダ技報

Mazda Technical Review

2002 No. **20**

# マツダ技報 NO.20 (2002)

## 目 次

巻頭言 .....	フィリップ・R・マーテンス.....	1
<b>特集：アテンザ</b>		
<b>I：商品紹介・デザイン・パッケージング</b>		
1. アテンザの紹介.....	大本誠一, 前田俊和.....	3
2. アテンザのデザイン.....	小泉 巖.....	8
3. アテンザのパッケージング.....	堀 智博, 廣川正人.....	19
<b>II：車両技術</b>		
4. アテンザのダイナミクス.....	山本忠信, 松田純一, 柴田昭雄, 松本浩幸, 加村孝信, 宇都宮昭則.....	25
5. アテンザのセーフティー／セキュリティ.....	柴崎宏武, 石倉一孝, 渡辺 努, 大塚正志, 川本 親, 高邊靖弘.....	35
6. アテンザの多重通信システム.....	梶山 浩, 坂本裕昭, 山下哲弘, 上原茂幸, 二宮 洋, 田川 裕..... 吉村 倫, 増田義弘.....	44
7. アテンザのクラフトマンシップ.....	福井信行, 川本法男, 平尾幸樹..... 中村誠之, 内田博志.....	50
<b>III：パワートレイン技術</b>		
8. アテンザのパワートレイン.....	猿渡健一郎.....	56
9. 新型MZR I4 エンジン .....	谷口雅昭, 井口 勇, 田端伸章..... 橋本裕信.....	60
10. コモンレール方式直噴 ディーゼルエンジンMZR-CD .....	中井英二, 佐原正憲, 片岡一司..... 中尾正美, 森 恒寛, 児玉宏志.....	68
11. アテンザの駆動系.....	森 工, 久米章友, 藤川昌道, 溝部龍利, 沢 研司, 嶋田克利..... 河野裕人, 麓 寿男.....	75
<b>IV：生産・設計・材料・計測技術</b>		
12. New I4エンジン工場の紹介.....	宮中弘志, 市本秀則, 鳥居 元.....	86
13. コスワースプロセスの開発.....	宮原史卓, 大島久和, 大塚 真.....	97
14. ドアモジュールの開発.....	吉田元喜, 庄野 昇, 田中 力..... 小川健一, 栃岡孝宏, 川本 親.....	103

15. 射出成形による樹脂製モジュールキャリアの開発……	枋岡孝宏, 田中高廣, 杉本健一郎... 金子満晴, 森脇健二	108
16. 車体フレームの剛性に対する充填材の効果……	深堀 貢, 石田恭聡, 近藤貴久..... 古谷茂樹	115
17. 陰影感が優れるベース塗料の開発……	古賀一陽, 高橋敏貴, 山根貴和..... 阿部一敏	122
18. GPSによる車体姿勢計測技術……	福庭一志, 足立智彦, 吉岡 透……	130

## 論文・解説

19. 衝突性能開発におけるバーチャルテストの技術開発…	伊東紀明, 築地 裕, 河口健二..... 渡辺通成, 岩本竜彦, 尾川 茂	139
20. 車両の耐久強度解析手法の開発……	田村秀二, 津村信一……	146
21. シート快適性の追求……	沖山 浩, 道田奈々江, 西川一男... 農沢隆秀	154
22. リア・シート・エンターテイメント・システムの開発…	長谷川勉, 西 康一, 山本栄一..... 中峯慎一, 長嶺晋路	163
23. マツダテレマティックス携帯電話サイトの紹介……	大村博志, 細田浩司, 池田健一……	169
24. 新小型・高品質コネクタ及び端子の開発……	福山龍夫, 稲垣成行……	175
25. 次世代FR-MTの紹介……	本坊正和, 関谷裕三, 濱野正利……	183
26. 三元触媒の酸素吸蔵量と パータベーション制御の最適化	宮本浩二, 竹林広行, 石原隆久..... 城戸博行, 畑村耕一	188
27. ポータブル式非接触光学三次元測定機の開発……	山本俊介, 妹尾 卓, 佐伯克彦..... 藤永孝生, 橋本朋幸, 木谷昭博	197
28. デファレンシャル歯車の高強度化技術開発……	織田和幸, 藤川智士, 有見幸夫……	204
29. フローフォーミング工法における素材板金化開発…	森弘真司, 井上直己, 中浜義訓……	212
30. 低圧成形技術によるバンパ・メッシュの一体成形化…	渡部孝道, 谷澤浩樹, 谷本治生..... 井上斉樹, 前田博志	218
31. 新電着工法の開発……	安藤宏泰……	224

社外への発表論文一覧表	232
-------------	-----



# CONTENTS

Foreword.....	Philip. R. Martens
---------------	--------------------

## Special Edition for ATENZA

### I : Introduction of Product • Design • Package

1 . Introduction of ATENZA ( <i>S.Ohmoto, T.Maeda</i> ) .....	3
2 . Design of ATENZA ( <i>I.Koizumi</i> ) .....	8
3 . Package of ATENZA ( <i>T.Hori, M.Hirokawa</i> ) .....	19

### II : Vehicle Technology

4 . Dynamics of ATENZA ( <i>T.Yamamoto, J.Matsuda, A.Shibata, H.Matsumoto, T.Kamura, M.Utsunomiya</i> ) .....	25
5 . Safety and Security of ATENZA ( <i>H.Shibasaki, K.Ishikura, T.Watanabe, M.Ohtsuka, C.Kawamoto, Y.Takabe</i> ) .....	35
6 . Multiplex Communication System of ATENZA ( <i>H.Kajiyama, H.Sakamoto, T.Yamashita, S.Uehara, H.Ninomiya, H.Tagawa, H.Yoshimura, Y.Masuda</i> ) .....	44
7 . Craftsmanship of ATENZA ( <i>N.Fukui, N.Kawamoto, K.Hirao, S.Nakamura, H.Uchida</i> ) .....	50

### III : Powertrain Technology

8 . Powertrain of ATENZA ( <i>K.Saruwatari</i> ) .....	56
9 . New MZR I4 Engines ( <i>M.Taniguchi, I.Iguchi, N.Tabata, H.Hashimoto</i> ) .....	60
10. New MZR-CD Common Rail DI diesel engine ( <i>E.Nakai, M.Sahara, M.Kataoka, M.Nakao, T.Mori, H.Kodama</i> ) .....	68
11. Drivetrain of ATENZA ( <i>T.Mori, A.Kume, M.Fujikawa, T.Mizobe, K.Sawa, K.Shimada, H.Kawano, H.Fumoto</i> ) ...	75

### IV : Production • Design • Material • Measurement Technologies

12. New I4 Engine Plant ( <i>H.Miyanaka, H.Ichimoto, H.Torii</i> ) .....	86
13. Development of Cosworth Process ( <i>F.Miyahara, H.Ohshima, M.Ohtsuka</i> ) .....	97
14. Development of Door Module ( <i>M.Yoshida, N.Shouno, C.Tanaka, K.Ogawa, T.Tochioka, C.Kawamoto</i> ) .....	103
15. Development of Plastics Module Carriers by Injection Molding ( <i>T.Tochioka, T.Tanaka, K.Sugimoto, M.Kaneko, K.Moriwaki</i> ) .....	108

16. Effect of Structural Foam to Rigidity in Body Frame ( <i>M.Fukahori, K.Ishida, T.Kondou, S.Furutani</i> )	115
17. Development of High Flip-flop Base Coating ( <i>K.Koga, T.Takahashi, T.Yamane, K.Abe</i> )	122
18. Vehicle Attitude Measurement Method with GPS ( <i>H.Fukuba, T.Adachi, T.Yoshioka</i> )	130

## Technical Reports

19. Virtual Test Technology in Crash Safety Performance Development ( <i>N.Ito, Y.Tsukiji, K.Kawaguchi, M.Watanabe, T.Iwamoto, S.Ogawa</i> )	139
20. Development of Full Vehicle Durability Analysis Method ( <i>S.Tamura, S.Tsumura</i> )	146
21. Pursuit of Seating Comfort ( <i>H.Okiyama, N.Michida, K.Nishikawa, T.Nouzawa</i> )	154
22. Development of Rear Seat Entertainment System ( <i>T.Hasegawa, K.Nishi, E.Yamamoto, S.Nakamine, S.Nagamine</i> )	163
23. Introduction of Mazda Telematics Service for Mobile Phone's site ( <i>H.Ohmura, K.Hosoda, K.Ikeda</i> )	169
24. Development of new small size, high-quality connector and terminal ( <i>T.Fukuyama, N.Inagaki</i> )	175
25. Introduction of Next Generation FR-MT ( <i>M.Hombo, H.Sekiya, M.Hamano</i> )	183
26. Oxygen Storage Capacity of Three-way Catalyst and Optimization of A/F Perturbation Control ( <i>K.Miyamoto, H.Takebayashi, T.Ishihara, H.Kido, K.Hatamura</i> )	188
27. Development of Portable Optical 3D Non-Contact Former Measurement Machine ( <i>S.Yamamoto, T.Senoo, K.Saeki, T.Fujinaga, T.Hashimoto, A.Kidani</i> )	197
28. Development of Manufacturing Technology for High-Strength Differential Gears ( <i>K.Orita, S.Fujikawa, Y.Arimi</i> )	204
29. Development of Material Change to Stamped Sheet Part for Flow Forming Process ( <i>M.Morihiro, N.Inoue, Y.Nakahama</i> )	212
30. Integrated Bumper Fascia Development by Low Pressure Injection Molding ( <i>T.Watanabe, H.Tanizawa, H.Tanimoto, M.Inoue, H.Maeda</i> )	218
31. Development of new E-coat Process ( <i>H.Andou</i> )	224
List of reports published in 2001	232

## Foreword

### The New Dawn

— My words to Mazda engineers —



Previous managing director

Philip.R.Martens

We have finished the first year of the new millennium and are well on the way to a product led transformation of the Mazda Motor Company. As the initial results of the Mazda Atenza are being reviewed we can feel a sense of satisfaction that the efforts of the last three years are beginning to be appreciated by our customers. But, as we all know this is only the beginning of the journey we have embarked on and success requires constant attention to detail, discipline to remain focused on achieving the goals we have established, and, the flexibility to respond to ever changing external factors that are re-shaping our industry.

Today society expects us to provide them with the answers to many of the questions that are raised throughout everyday life. Individuals are both confused and worried all at the same time with regard to their prosperity and the overall well-being of society in general. Addressing these concerns has become a central theme in governmental bodies throughout the world and it is our responsibility to translate these concerns into solutions. This is an incredible challenge and opportunity all at the same time. The engineer who is able to internalize this as a central theme will be an invaluable asset to not only our company but to society as a whole.

This translation of societal needs and corporate goals into a final solution that positively embraces both is the essence of product development. When we reflect back on the past three years we have undertaken one of the most challenging transformations of a corporate business model and a product development system in automotive history. All of our work to date has been focused on re-establishment of the Mazda Brand and what this means in the eyes of our customers. They are now beginning to see the greatness of our new products, which is the result of the Mazda Challenging spirit, but we have to realize that this is only the dawn of the new millennium and much of what we need to accomplish is ahead.

Our new platforms, power-trains, IT tools, and processes are all key enablers to succeed in the future, but, the minds and, more importantly, the hearts of our employees are what will determine our long term success. We are all aware of the increasing environmental regulations for fuel economy, emissions, and end of life recycling and we need to embrace these regulations the same way we have embraced the Mazda Brand DNA and Product Philosophy. How we combine these external needs and internal desires will be the next critical phase in our product led transformation. This is our challenge and our opportunity.



Understanding this challenge and opportunity clarifies the need to drive forward on select technologies focused on the ability to deliver unique solutions into the marketplace. Being focused is critical given our size and available resources. Key areas of technological advancement needed include combustion chamber design, overall power-train system efficiencies, material selection and use, expressive design, overall vehicle quietness, and, of course innovation in driving dynamics and interior solutions.

When considered individually each of these items is understandable and the potential opportunity is easy to see. When considered as an entity resulting in a total vehicle, the complexity of the challenge we face becomes clear. Combining these into an efficient work stream requires all of us to be fully aligned with the needs of society and our company and to internalize how these have to be balanced to achieve prosperity. Adding to this challenge is the stagnation in the global economy and the deflationary pricing pressures that are part of every day life here in Japan. Not only is the consumer demanding that we solve the societal issues they face but they are also requesting us to assist them in improving the quality of their lives by making our goods and services more affordable.

This aspect of the new millennium requires that we look at all aspects of our cost structure and rapidly move to lower cost solutions wherever possible. This challenge is being partially addressed with the opportunity of pursuing lower cost sources for our parts and needed materials. How fast we can address this on a real-time basis has become one of the core initiatives recently launched by the company. It is critical that we view this as a core part of our thought processes as we look to answer the challenges presented to us.

As an individual engineer, technologist, analyst, or manager, we all collectively have to realize that the dawn of the new millennium is really questioning our ability to become lifetime learners at an increasingly rapid pace. Just like the computing industry, which has seen microprocessor clock speed increase by almost 8 times over the past decade, our internal clock speeds must also increase at a non-linear rate. If we understand this and embrace the ever changing landscape that is in front of us I have no doubt that Mazda will be more admired and successful than ever imagined. This has to be our dream.

We have already made significant progress in rebuilding our business and it is clear that Mazda is the most effective product developer in the Ford Enterprise. This achievement was a goal for 2003 and due to the efforts of the entire R&D team it has been achieved one year earlier than our initial thoughts. This is evidence that we are ready to increase our internal clock speed in a non-linear rate, now the challenge is to take advantage of this and realize the opportunity to become a true leader of innovation in the automotive industry.

Society is counting on us to do so.

特集：アテンザ

1

## アテンザの紹介 Introduction of ATENZA

大 本 誠 一\*<sup>1</sup> 前 田 俊 和\*<sup>2</sup>  
Seiichi Ohmoto Toshikazu Maeda

### 要 約

アテンザは、新たなブランド戦略に基づき、マツダブランドDNAを初めてフルスケールで体现した商品として、ミディウムクラスカーの「新しいグローバルスタンダード」を目指した。

そのため、①他のどれとも似ていない、個性のかつ魅力的なスタイリング、②欧州の代表的なミディウムクラスカーを凌駕するダイナミック性能、③真のユーザーベネフィットを提供するパッケージ革新、④細部にまでこだわるクラフトマンシップ、⑤世界トップクラスのセーフティといった、ブランドDNAに基づく5つのプロダクトフィロソフィーの実現を目標とした。開発目標を具体化するにあたり、多様なライフスタイルや価値観を軸とするターゲットカスタマーの規定とニーズ分析を徹底的に行った。さらに、代表的なミディウムクラスカーや欧州プレミアムカーの詳細な研究、世界規模のクリニックによる、カスタマー視点の商品性検証プロセスを繰り返した。

アテンザは、これらの成果をベースに、新開発のプラットフォームや、ボディ構造からサスペンション、パワートレインに至るまで全てを新設計し、デザイン、ダイナミック性能、パッケージ、クラフトマンシップ、セーフティのあらゆる面において、プロダクトフィロソフィー目標を実現している。

### Summary

Atenza is the product, which realizes Mazda brand DNA in full scale based on the new brand strategy, and we have aimed a "new global standard" for medium class car.

We have concretely aimed to realize 5 big product philosophies of the brand DNA, "①Unique and attractive styling which differs from competitors," "②Dynamic performance surpassing the representative medium class cars in Europe," "③Package innovation providing true user benefit," "④Craftsmanship to detail," and "⑤World top class safety." We have set target customer based on various life styles and sense of values, and have conducted the needs analysis in detail. We have also examined the representative medium class cars and Europe premium cars thoroughly, and have repeatedly followed the product competitiveness examination process from customers' points of view at various worldwide clinics.

We have developed all new platform from body structure to suspension and powertrain for Atenza, based on these results. Product philosophy is realized in every area including design, dynamic performance, packaging, craftsmanship, and safety.

\* 1 第2プラットフォーム・プログラム開発推進室  
Platform & Program Management Office No.2

\* 2 商品企画部  
Product Planning Dept.

## 1. はじめに

アテンザは、マツダが1999年から推進してきた新たなブランド戦略に基づき、「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DNAを初めてフルスケールで体現した商品である。

世界的にはスペースワゴンやSUVといった、多機能・多積載・多人数乗用のレジャービークルの成長が著しい。一方、伝統的なセダンやステーションワゴンとは新たな顧客価値を提示しきれず、相対的にその存在感を失いつつある。こうした状況の中、アテンザは、新生マツダの見識、アイディア、そしてイノベーションを余すところなく折込み、ミディアムクラスのセダンやステーションワゴンの価値を再定義すると同時に、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

アテンザが目指したのは、「ミディアムクラスの新しいグローバルスタンダード」となることであり、具体的には以下の5大プロダクトフィロソフィーを実現することである。

- ・他のどれとも似ていない、個性的かつ魅力的なスタイリング
- ・ヨーロッパの代表的なミディアムクラスカーを凌駕するダイナミック性能
- ・真のユーザーベネフィットを提供するパッケージ革新
- ・細部にまでこだわるクラフトマンシップ
- ・世界トップクラスのセーフティ

これらプロダクトフィロソフィーを設定するにあたっては、まず多様なライフスタイルや価値観を軸に、カスタマーを規定し、その上で、メインターゲットを「車好きファミリー」とした。

彼らは、熱中できる趣味や家族と過ごす時間を大切にする一方で、常に自分らしいスタイルを貫き、自己表現に努めている。車に対しても「家族と積極的に安心して生活を楽しむことのできるパッケージや安全性」と「情熱的で若々しい自分を表現できるスタイリングや運動性能」を、高いレベルで両立させることを求めている。

アテンザでは、このようなカスタマーニーズを

満足させるべく、マツダブランドDNAをベースに前述の5大プロダクトフィロソフィーを設定した。

開発にあたっては、世界の主要マーケットにおける代表的なミッドサイズカーに加え、欧州のプレミアムカーまでも徹底的に研究した。また、世界中のカスタマーを集めてデザインはもとより、パッケージやダイナミック領域に至るまで様々なクリニックを行い、カスタマーの視点から商品性を検証するプロセスを繰り返した。

アテンザは、これらの成果をベースに、新開発のプラットフォームや、ボディ構造からサスペンション、パワートレインに至るまで全てを新設計し、デザイン、ダイナミック性能、パッケージ、クラフトマンシップ、セーフティのあらゆる面において、プロダクトフィロソフィー目標を実現している。

## 3. 車種構成と主要諸元

### 3.1 ボディタイプ

ボディタイプは、4ドアセダン、5ドアスポーツ、ステーションワゴンの3種類を設定した。

### 3.2 パワートレインラインナップ

エンジンは、マツダが新開発した2.0L及びS-VT<sup>\*1</sup>付き2.3L直列4気筒エンジンを搭載した。

駆動方式は、前輪駆動に加え、ワゴンの2.3L車には四輪駆動も設定した。前輪駆動車には電子制御式4速オートマチックトランスミッション、4輪駆動車には新開発の電子制御式5速オートマチックトランスミッションを組み合わせている。また、2.3L車は、積極的にマニュアル操作を楽しめるアクティブマチックも搭載している。(Fig.1)

### 3.3 主要諸元

グローバルに通用する室内空間とスタイリングを両立させるため、車幅を1,780mmとした。

駆動	エンジン	トランスミッション	セダン	5ドアスポーツ	ステーションワゴン
FWD	2.0L	4E-AT	○	○	○
	2.3L	4E-AT (アクティブマチックII)	○	○	○
AWD	2.3L	5E-AT (アクティブマチックII)	—	—	○

Fig.1 Powertrain Line-up

\*1 シーケンシャル・バルブ・タイミング



一方、全長は5ナンバー枠の4.7m以下に抑え、またコーナー部を絞り込むことで、既存の5ナンバーミディアムカーと同等の取り回し性も確保している。(Fig.2)

## 4. アテンザの特徴

### 4.1 デザイン

デザインテーマは“アスレティック (=洗練された動き)”である。「リズム」「スピード」「テン

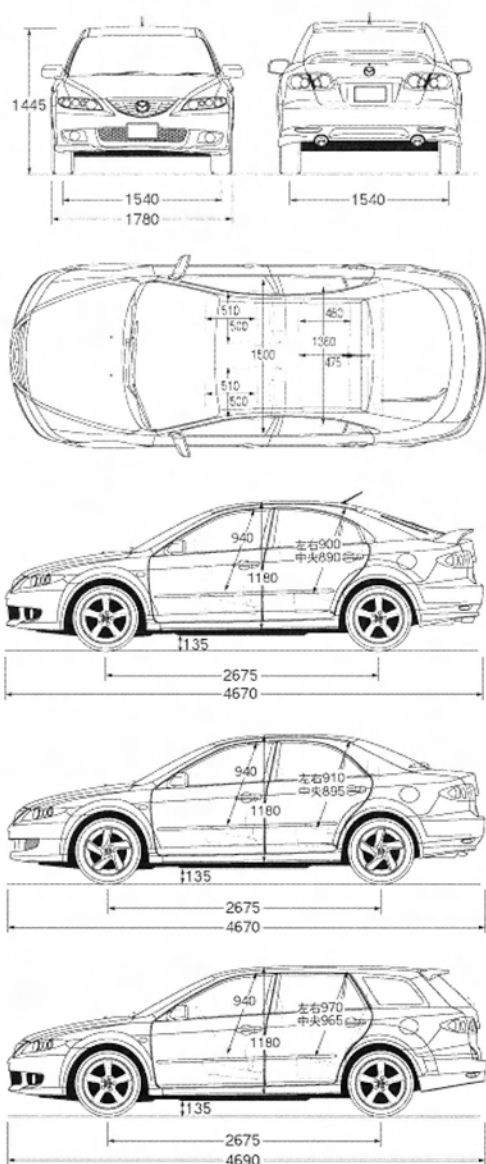


Fig.2 Exterior & Interior dimension

ション」,そして「連続性」といった要素と、動的なバランスに主眼を置いた。また、カタチだけでは無く、優れたダイナミックパフォーマンスや驚く程の室内スペースを共存させて、総合的に“アスレティック”というテーマを実現した。

エクステリアは、アスリートの持つ、引き締まった雰囲気を表現するため、足元に適度なボリュームを持たせ、ショルダーを明確にし、コーナー部を削ぎ落とすことで、視覚的な重量をタイヤの内側に収めるようにした。

インテリアは、“インテグレーション”をキーワードに、部品、機能、デザイン要素を統合し、ドライバーには運転して楽しく、パッセンジャーにはくつろげる空間構成を実現した。また、素材・カラーコーディネーションはもとより、スイッチやノブ類のタッチ感にまでこだわった。

### 4.2 ダイナミック性能

#### (1) シャシーダイナミクス

アテンザの操安性で注力したポイントは、「舵の正確さ」と「車両応答のしっとり感」である。これを実現するため、フロントには新開発のハイ



Fig.3 Exterior



Fig.4 Interior

マウントダブルウィッシュボーンサスペンションを採用した。ロアーアームとアクスルをダブルピボットで結合することで、キングピン軸とホイールセンターのオフセット量を最小化、路面からのネガティブな情報を最低限に抑えた。さらに、ジオメトリの最適化やラバーマウントされた高剛性ペリメータフレームの採用等により、リニアで正確なステアリングフィールと優れた直進安定性を実現した。リアは、マツダ独自のE型マルチリンクサスペンションを新たに開発した。コンパクトな設計とする事で、荷室容量の拡大と同時に、ホイール・ストローク量も上下で210mmを確保し、リヤグリップを高めている。また、ワゴンの一部モデルには、積載量に応じて最適な車高に調整するセルフレベルリング・ダンパーを採用した。

ブレーキは、クラス最短の制動停止距離に加え、絶対の安心感を与えるリニアで剛性感のあるフィーリングを目指した。そこで、膨張率を従来の1/2に抑えたホース材料を新開発する等、地道なロス低減に取り組んだ。EBD付ABSは全車標準装着とし、2.3LモデルにはDSC（ダイナミック・スタビリティ・コントロール）も用意している。

#### (2)ボディダイナミクス

アテンザは、一般的にはトレードオフの関係にあるといわれている「操安性」と「快適性」を、飛躍的に高いレベルで両立することを目指した。両者の性能を同時に引き上げるため、これまでもボデー剛性を高めることに注力してきたが、あるレベルを超えると、従来の“静ねじり剛性”、“曲げ剛性”等のボデー全体の剛性を上げるだけでは不十分であり、ボデー全体ではなく局部的な剛性を強化することが重要であることが分かった。そこで、走行時の車体の瞬間的な挙動を正確に測定出来る技術を新たに開発し、百数十個所にも及ぶ様々な部分の局部剛性を測定し、その中で操安性と相関の高い個所を一つ一つ特定し強化していった。この結果、操安性と快適性のバランスという点で評価の高い、欧州車にも優る局部剛性を実現している。

また、マツダが独自に開発した「モードコントロールパネル」や「2ピース構造ブッシュ」等を採用し、操安性を犠牲にすることなく、効果的にNVHを遮断している。

#### (3)パワートレイン

アテンザに搭載される2.0Lと2.3Lエンジンで最も注力したポイントは、「誰もが意のままに扱える、レスポンスの優れたパフォーマンス」と「運転にリズムを与える心地よいサウンド」である。

これを実現するため、両エンジンとも1,750rpm～6,000rpmという幅広い回転域で最大トルクの90%以上を発生させることを目指した。基本ポテンシャルを高めるため、カムシャフトの駆動をベルトからチェーンに変更し、バルブリフト量を拡大している。また、可変ダクト付きエアクリナーを採用し、高回転での出力アップとスポーティなサウンドを実現した。さらに2.3Lエンジンは、中低速トルクと高出力の両立を狙い、可変バルブタイミングや可変慣性過給システム、4-2-1エキゾースト・マニホールド、デュアル・サイレンサーを採用した。これらの結果、街中から高速走行まで、あらゆるシーンで気持ちの良い走りを味わうことができる。

エンジン音は、可視化技術によって入念なチューニングが可能となり、4気筒エンジンらしい澄んだ音と滑らかな回転フィールを実現した。

また、2.0L、2.3Lエンジンとも「2000年基準排出ガス50%低減レベル」を達成した。さらに、2.0Lエンジンは「2010年燃費基準」も達成している。

#### 4.3 パッケージング

アテンザの室内空間は、“顧客の視点に立った、新しいグローバルスタンダード”を目指した。

運転席は、体型や運転姿勢の好みを問わず、あらゆるドライバーが積極的に運転を楽しめる最適な運転姿勢を提供するため、シートのスライド量とリフト量をセグメントトップレベルまで拡大、さらに、ラチェット式リフターレバーの採用等、小柄な人や力の弱い人でも容易に調整出来るよう配慮した。ショルダールームも1,425mmを確保し、大柄な人でも自然なハンドル操作を可能にした。

荷室については、容量の拡大だけでなく使い勝手にも工夫し、ハッチバックとワゴンには世界初の“KARAKURIフォールド”を採用した。この機構は、荷室内のレバーを引くだけでリアシートバックが倒れ、同時に座面が下に沈み込むことで、容易にフラットで広大な荷室を作ることができ

る。セダンにも、レバーを引くだけでシートバックが倒れる機構を採用している。また、セダンのトランクリッド・ヒンジをダブルリンクとすることで、荷室内への張り出しも無くした。その他、収納スペースは、“スマートストレージ”をコンセプトに、容量や使い勝手の向上に加えて、グローブボックスやフロントカップホルダーにダンパー付きのリッドを採用する等、操作感や見た目の品質感にも気を配った。

#### 4.4 クラフトマンシップ

アテンザは、「クラフトマンシップ」という従来の概念を更に進めて、徹底的な「造り込み」に加えて、使いやすさとデザインを統合した「機能美」にこだわった。基本的な部品同士の合沿いや見映え、仕上げに加えて、ドアやスイッチ等の操作性や操作感等も対象とした。例えば、チタン調の表面処理が特徴的なセンターパネルは、オーディオとヒーターコントロールを一体化し、分割ラインの無いシンプルで美しいデザインを実現しただけでなく、オーディオやエアコン等の情報を、センターパネル上方の大型ディスプレイに集中表示する事で視認性も改善している。同時に、オーディオとヒーターコントロール部からディスプレイをなくす事で、スイッチ類の大型化が可能となり、操作性も改善した。この他、ヘッドランプや外板等の隙間の縮小、内装材の表面質感、エンジンルームの見映え、ドアの開閉音や開閉フィーリング、グローブボックスやアシストハンドルなどの操作フィーリング、疲労のメカニズムを解明して造り込んだシート等、見て、触わって、操作する全ての領域にこだわって開発した。

#### 4.5 安全と環境への配慮

アテンザは、「乗員の安心感、社会との調和に配慮したFun to driveの提供」を目指し、安全・環境性能の向上に取り組んだ。

前面衝突に対しては、フロントフレームの強化に加えて、ペリメータフレームの変形モードをコントロールする構造を採用した。これにより、フルラップ衝突では車体をつぶれ易くして衝撃を吸収、オフセット衝突では車体を固くしてキャビンの変形を抑えることを可能にした。側面衝突には、従来より進化したトリプルH構造で対応、また、大型断面リアフレームをストレートに通し、アメ

リカで2003年9月から法規制化される、80km/h オフセット後面衝突にも対応している。さらに、「デュアルステージ・エアバック」、「カーテンエアバック」、「後退防止ブレーキペダル」、「鞭打ち低減シート」等、様々な安全装備を採用した。アクティブセーフティの領域は、ABSやDSCに加えて、昼夜・天候を問わず良好な視界を確保するHIDヘッドランプや撥水ウィンドシールドも採用した。

環境への対応は、「パワートレインのエミッション対応」「リサイクル率の向上」「環境負荷物質の排除」「再生材の利用促進」の4つの角度から対応した。「環境負荷物質」「リサイクル」については、それぞれ2003年/2005年から適用される欧州ELV指令を先取りした。また、熱可塑性樹脂を積極的に採用するだけでなく、回収したバンパーのリサイクル材の再利用も積極的に実施している。

### 5. おわりに

以上、アテンザの開発の狙いと商品概要について簡単に紹介した。詳細な内容については、各専門分野の別稿を参照頂ければ幸いである。

21世紀、マツダが最初に出す新車アテンザは、エンジニアが永年蓄積研究してきた最新の技術を全て余すこと無く描き切った、自信の新車である。3年間の開発期間は、従来の車開発の常識を打ち破ったチャレンジの連続であった。その結果、卓越したダイナミクス性能/スタイリッシュなデザイン/広くてユーティリティ性に富んだ室内空間の全てを全く妥協を許さないハイバランスで実現できた。エンジニアがチャレンジしたその情熱の大きさは、開発/生産/販売・サービス、そしてユーザーのだれもが喜びと誇りを持てる名車として、永遠に受け継がれることを予感する。

#### ■ 著 者 ■



大本誠一



前田俊和



特集：アテンザ

2

アテンザのデザイン  
Design of ATENZA小 泉 巖\*1  
Iwao Koizumi

## 要 約

マツダの新しいブランド戦略のもとに開発された最初の車がこのアテンザである。

アテンザのデザイン開発に於いて私たちは顧客満足の向上とブランド強化を同時に実現するという目的に添ったデザイン開発を行った。

デザインの目標は以下に示す3点である。

- i. グローバルにターゲットカスタマーの共感を得る。
- ii. 一目でマツダとわかる、マツダらしさを体現する。
- iii. 上記 i, ii, と同時に卓越したドライビングダイナミクスとパッケージ、そして市場の競合関係の中での魅力的な価格といった機能的且つ経済的な要求を満たす。

これらの目標を達成する為に、デザインの狙いを明確化し、客観的な価値評価軸を織り込んだデザイン開発プロセスによる創作活動と検証活動を行った。以下に示すのはそのコンテンツである。

- i. ターゲットカスタマーの意識調査, ii. 具体的なデザインの狙いの設定,
- iii. デザインDNAの規定, iv. プロポーションスタディ,
- v. インパネ進化のヒストリースタディ, vi. インターフェイススタディ,
- vii. クリニックによる検証とリファイン,

## Summary

Throughout Atenza (Mazda6) development, we tackled new challenges how to run complicate activities which require objectivity in various perspectives as an organization while we are mainly involved in producing design that is subjective expression. We do not have enough space to explain collaboratoin we spent much time and effort like MDI (Mazda Digital Innovation), PCI (Product Complexity Innitiatives) and accessory business. I hope our experiences will be effectively used in future products.

\* 1 デザイン本部  
Design Div.

## 1. はじめに

ブランド戦略に於いて最も重要なのはブランドと顧客の間の精神的な絆であることはいうまでも無い。そしてその絆の構築のためにデザインの果たす役割は非常に大きい。しかしどのようにしたらうまく狙い通りのブランドイメージを確立し、ビジネスとして展開できるかといった方法論が確立されているわけではな

い。ブランド戦略の下で開発される最初のプロダクトであるアテンザ (Mazda6) のデザイン開発は、市場に於ける競合環境を知ることから始まった。

## 2. ターゲット顧客の意識調査

私たちはまず、私たちが参入しようとしているCDセグメントのターゲット顧客の嗜好の調査、分析を行った。この調査でCDセグメント

のターゲット顧客は伝統的な価値を重んじるということが解った。つまり、彼らはセダンはセダンらしく、ワゴンはワゴンらしく、そして5HBは5HBらしく在ってほしいという期待感を持っていた。しかし一方で新たな価値提案又は表現がなされていなければ市場における競争優位性は確保できない、そこで彼らが高く評価しているコンペティターの持つイメージを分析しCDセグメントに於ける進化の方向性を模索した。結果的にスポーティ&ダイナミックといった動的なイメージと、エレガント&プレステジラスといったステータス性を兼ね備えた車格が求められていることがわかった。(Fig.1参照)

### SUMMARY of the "EX.design concept"

#### 1.Aim 狙い

- ★Reflection of the brand image to products and get support of a customer.  
ブランドイメージのプロダクトへの反映と顧客の支持を得る事の両立。

#### 2.Customer profile 顧客特性

- ★Enthusiast & Utilitarian (from the name plate brand positioning)  
車好きと実利主義者 (ネームプレートポジショニングより)

- ★Comparison of the demographic between current model.  
現行車との顧客属性の比較

Target customer of J56 becomes younger, and a ratio of Single increases.  
アテンザターゲット顧客は、全体に若返り、Singleの割合が増えている。

JAPAN SDN (J56)		Current J56	Target J56	Market Average	GERMANY SDN (J56)		Current J56	Target J56	Market Average
Age	Single	18-24	25-34	35-44	Age	Single	18-24	25-34	35-44
18-24	10	15	10	10	18-24	10	15	10	10
25-34	20	25	20	20	25-34	20	25	20	20
35-44	30	35	30	30	35-44	30	35	30	30
45-54	40	45	40	40	45-54	40	45	40	40
55-64	50	55	50	50	55-64	50	55	50	50
65+	60	65	60	60	65+	60	65	60	60
Female	10	10	10	10	Female	10	10	10	10
Male	90	90	90	90	Male	90	90	90	90
Average Age group value	1.5	1.5	1.5	1.5	Average Age group value	1.5	1.5	1.5	1.5

JAPAN STW (J56)		Current J56	Target J56	Market Average	GERMANY STW (J56)		Current J56	Target J56	Market Average
Age	Single	18-24	25-34	35-44	Age	Single	18-24	25-34	35-44
18-24	10	15	10	10	18-24	10	15	10	10
25-34	20	25	20	20	25-34	20	25	20	20
35-44	30	35	30	30	35-44	30	35	30	30
45-54	40	45	40	40	45-54	40	45	40	40
55-64	50	55	50	50	55-64	50	55	50	50
65+	60	65	60	60	65+	60	65	60	60
Female	10	10	10	10	Female	10	10	10	10
Male	90	90	90	90	Male	90	90	90	90
Average Age group value	1.5	1.5	1.5	1.5	Average Age group value	1.5	1.5	1.5	1.5

#### 3.Value of styling from customer's point of view 顧客にとってのスタイリングにおける価値

- ★They like a traditional and well balanced body type.  
伝統的なボディタイプを好む傾向にある。(コンセプトクリニクより)



#### 4.Advantage of our proposal from competitors 競合車に対する優位点

- ★Keeping traditional comfort, challenge to innovate conventional recognition.  
伝統的な心地よさを残しながら因習に縛られた意識を革新する。

Fig.1

### 3. デザインの狙い

次に私たちは、ターゲットカスタマーのウォンツに応え、ブランド強化を果たす為のデザインの狙いを定めた。意識調査からわかったカスタマーと共有すべき価値としての“伝統と革新”を意識しながら、自動車の本質的な魅力はドライビングダイナミクスにあり、動くことへの感動を呼び起こすデザインをしたいという私たちマツダデザイン

の心意気から、“アスレティック”なデザインを狙うこととした。そしてポジショニングマップ (Fig.2) により競合車との相対的な位置関係を計りながら複数のデザイン案 (Fig.3) を創作した。更に下記に示す各種スタディやクリニックによる検証により客観的な価値として具現化することに成功した。最終的なアスレティックの表現手段として私たちが選んだのはエクステリア、インテリアそれぞれ次項で示すデザインDNAに集約できる。

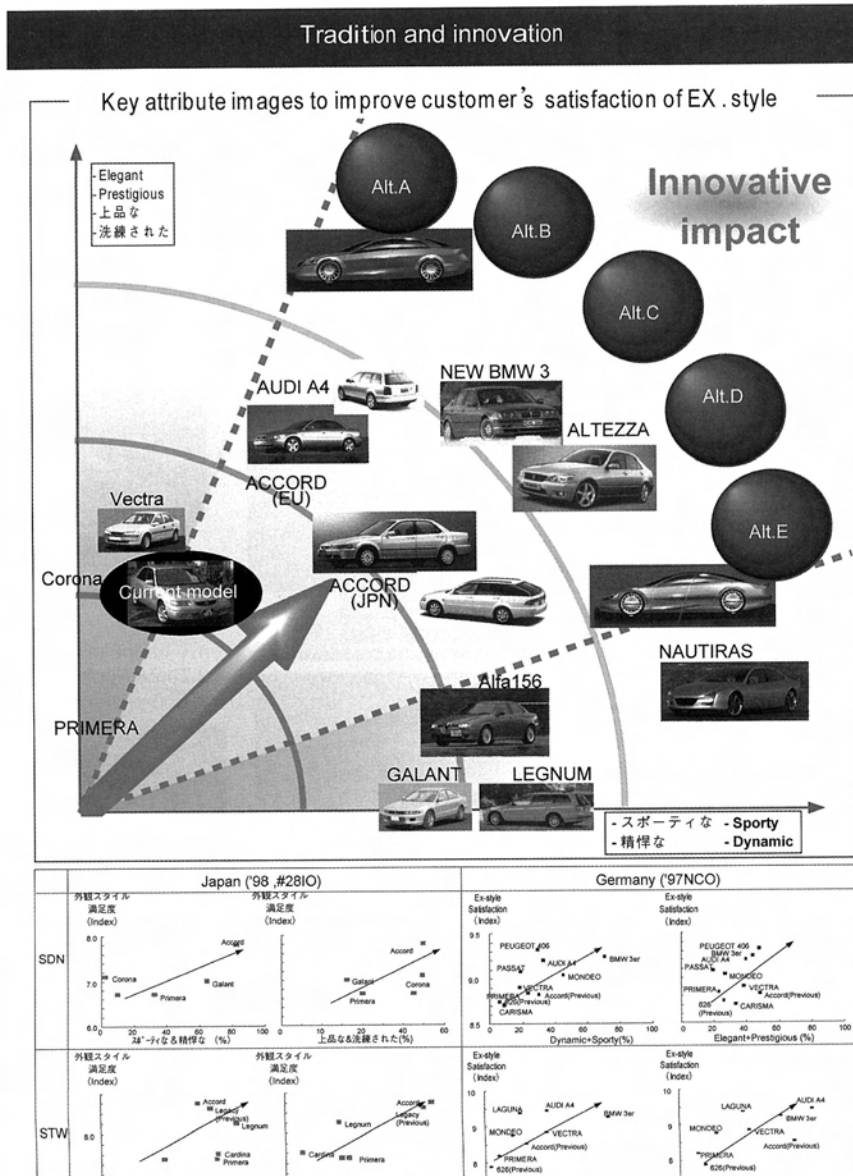


Fig.2

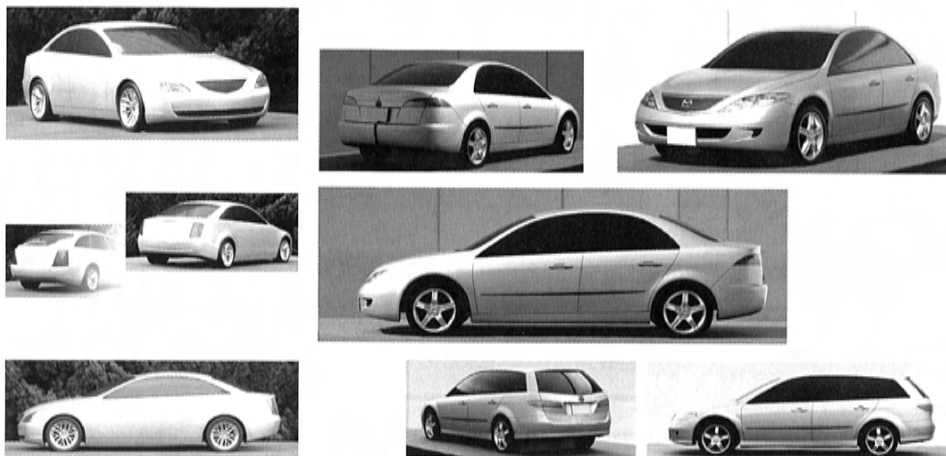


Fig.3

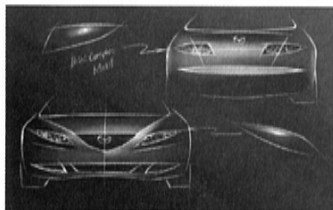
#### 4. デザインDNAの規定

ブランド構築の要は独自性と一貫性と継続性である。それらを満たしたとき初めてそのブランドの“らしさ”が出来上がる。私たちはアテンザのデザイン開発を通してマツダデザインの歴史を振り返り、過去の遺産とその価値を確認し、独自性があり且つ継承するに値するアスレティックなデザイン要素をマツダらしさを表現するデザインDNAとして規定した。(Fig.4) 更にエクステリアでは、アスレティックな存在感を示す3Dモデル (Fig.5) を作成した。それはデザインDNAをより立体的に把握しようという試みだった。この時私たちが意識したのは、一目でマツダとわかるようなアスリートの持つ引き締まった雰囲気を出すため視覚的な重量を4つのタイヤの内側に収めるようにすることだった。また、リズム、スピード、テンション、そして連続性といった動きに関連のある要素と動的なバランスに主眼を置いて自動車の本質的な魅力を表現することを心がけた。

### Design D.N.A for Athletic Presence EX.

#### 1. Advanced Family Face

Center Focusing Element.  
Five Pointed sculpted Grill.



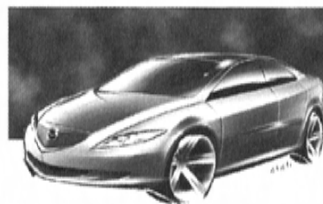
#### 3. Agile Rear Attitude

High mounted horizontal Rr. Combination lamp.



#### 2. Visual Weight between wheels

Defined shoulder.  
Defined tires & wheels.  
Reduce visual weight on corner.



#### IN.

1. T Shape Instrument Panel.
2. Three Spokes Steering wheel.
3. Round theme elements.

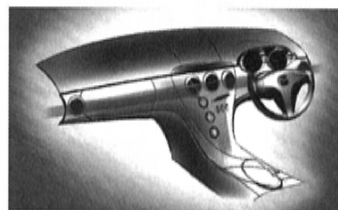


Fig.4



Design D.N.A model.

Fig.5

## 5. プロポーションスタディ

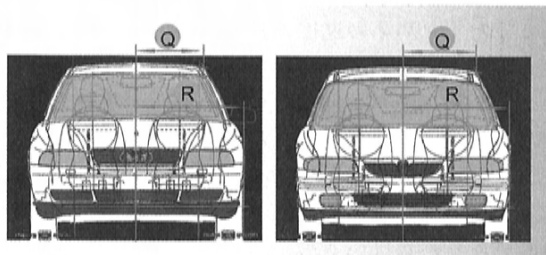
狙ったアスレティックなイメージと、卓越したダイナミックパフォーマンス及びに効率的でフレキシブルなパッケージといった機能要件を共存させる為に有効だったのが、プロポーションスタディである。プロポーションに於いては空間効率や

タイヤサイズといったエンジニアリング要素を含めたデザイン要素の相互関係を定量的に扱うので、社会動向や技術の進歩に伴うデザインの進化の方向と度合いを測ることが出来るからである。当然競合車との関係も把握できるので、戦略的な計画が可能となる。アテンザ（Mazda6）では、主にFig.6に示したポイントにフォーカスし、こ

### Proportion study 2

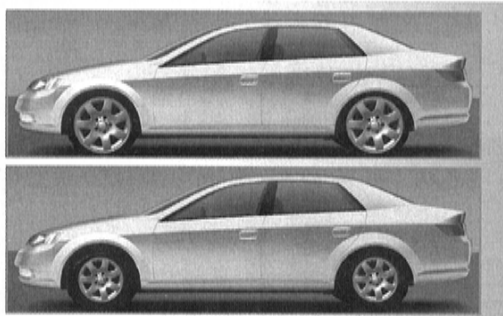
#### Point-1 $Q/R \times 100$

A ratio of roof width for the W/C most outside width of a tire.



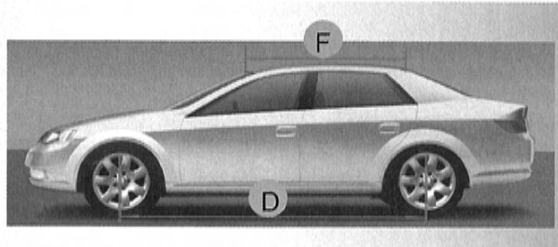
#### Point-2 $L/E \times 100$

A ratio of wheel area for the side whole area.



#### Point-3 $F/D \times 100$

A ratio of roof length for wheel base.



#### Point-4 Short looking: $P/Fr.O.H \times 100$

A ratio of plane camber for overhang.

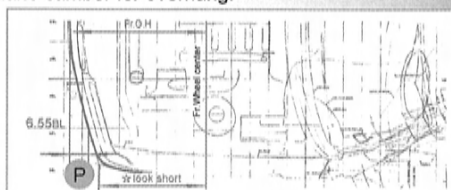


Fig.6

これらの視点を関係者と共有することにより互いの立場を超えた共通のビジョンを共有できた。結果的にアテンザ（Mazda6）のプロポーショナル（17inch装着車）はCDセグメントの中でも最もスポーティと評されている欧州の競合車と同等以上のアスレチックなものとする事ができた。

## 6. インパネ進化のヒストリースタディ

インテリアに於いても私たちはデザインの根拠を掘り下げて、後に伝統となり得る革新の創造にチャレンジした。Fig.7に示すのは自動車が発明されてから今日までのインパネの進化の歴史を年表にしたものである。このスタディでわかったことは、機能的な革新が起きた当時はその対応の為デザイン要素は増えるが、時間が経ちそれが一般化するにつれてインテグレートされ、次の機能革新を呼ぶということであった。更に100年を超える自動車の歴史の中でインパネはいくつかのインテグレーションのパターンに分類することが出来た。そこで我々は、“インテグレーション”がデザイン革新のキーワードであると考え、部品と機

能、そしてデザイン要素の統合を根本的に考え、運転して楽しく、パッセンジャーにはくつろげる空間構成を創作した。インパネはカスタマーが最もアスレチックと認識しやすいT型（デザインDNAでもある）とし、室内のコーナーを拡大しながらもドアトリムとの連続感を保つことで、広々感と実質的な広さを確保した。(Fig.8)
























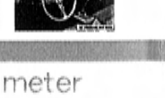






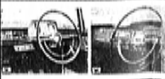
## 7. インターフェイススタディ

アテンザ（Mazda6）のインテリアデザインのもう一つの革新が機能レイアウトの見直しによるインターフェイスの最適化である。Fig.9に見られるように視覚情報系と操作機系を分離し、それぞれに最適なポジションを与えることで、視線移動や操作に要するドライバーの負担を軽減しながら、何よりも見た目に美しいプロポーショナルを実現した。また機能を象徴するスイッチ類、メーター類そしてルーバーには丸型のモチーフを与え、質感にもこだわり、使いやすいだけではなく使って楽しく、所有することに喜びを感じられるようなデザインとした。好例として、カスタマー



Fig.8



		1960
	<div>Operation by steering wheel 1900 内蔵ステアリングで操作</div> <div>Wood and leather Wood IP, leather seat Ford model T 1909 木と革 木製IPと革SEAT</div> <div> <div>RADIO '20~'30</div> <div>HEATER The middle of '30</div> <div>COOLER The second half of '40</div> <div>Green color meter illumination The second half of '30</div> <div>QUALITY STYLING</div> <div>SOFT PAD The second half of '50</div> <div>Storage space</div> </div> <div>       </div>	<div>Concentrated combination SW The first half of '60</div> <div>  </div>
	<div>Flat IP</div> <div>Large meter hood ▷ Large meter</div> <div>         </div> <div> <div>Cylinder meter ▷ small</div> <div>Center meter</div> </div> <div>      </div>	<div>  </div> <div>    </div> <div>  </div>
MAZDA		
TOYOTA CROWN		
NISSAN CEDRIC		
TOYOTA CORONA		
NISSAN BLUE BIRD		



	1970	1980	1990
<p>A/C The middle of '60</p>	<p>Digital meter '78 CHEVROLET</p>	<p>DRIVER A/B '81 M B</p> <p>TV '85 SOARER</p> <p>PASSENGER A/B '88 M B</p> <p>HANDS FREE TEL '86 DEBONAIR V</p>	<p>NAVI '90 COSMO</p> <p>RECYCLE '20~'30</p>
<p>meter cluster ▷ Integrated IP</p>	<p>all meter hood ▷ Integrated IP</p>	<p>▷ slant IP</p>	
<p>IP with shelf</p>			

Fig.7

		1990	2000	
<div>TV '85 SOARER</div> <div>PASSENGER A/B '88 M B</div> <div>HANDS FREE TEL '86 DEBONAIR V</div>		<div>NAVI '90 COSMO</div> <div>RECYCLE '20~'30</div>	<div>Module • FSS The middle of '90</div> <div>MASIC audio The second half of '90</div> <div>Modularization (Light weight,G/R) 2000</div>	<div>INTERFACE (HUMAN ENGINEERING) (ASSEMBLY)</div>
<div>Large meter hood &amp; slant IP</div>		<div>COMFORT (ENTERTAINMENT) (COMFORT)</div>		
<div>Small meter hood</div>		<div>QUALITY (CRAFTSMAN SHIP)</div>		
<div>Small meter hood &amp; slant IP</div>		<div>STORAGE SPACE SPACE FLEXIBILITY</div>		
<div>slant IP</div>		<div>RECYCLE (ASSEMBLY)</div>		
<div>Floating motif</div>		<div>SAFETY (ASSEMBLY)</div>		
<div>10% of TOYOTA cars</div>		<div>MAZDA DNA</div>		
<div>Current MC line up</div>				

## 。 HMI

## 1.方針

ドライビングプレジャーをサポートする情報／操作機器のレイアウトを実現する。  
(情報系と操作性の分離、最適レイアウト)

## ・ 視覚情報系

○読み取り情報

## ・ 操作機系

- ・ 運転に必要な操作・ブラインドタッチ・ドライバーオリエンテッド
- ・ パッセンジャーと共有する操作・インテグレートされたシンプルなモノ

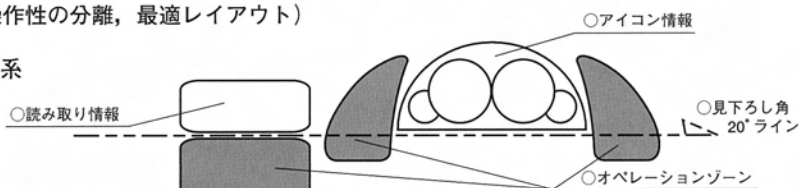


Fig.9

の最も興味関心の高いセンターパネル周りを挙げることが出来る。(Fig.10) 上部にポップアップ式の液晶ディスプレイと固定式の集中ディスプレイを置き、情報は全て見下ろし角20°以内で見られるようにした。また情報系を上部に集中させたことによるスペースの余裕を生かしスイッチ類を大型化し、操作性と操作フィードバックを改善した。更に通常のオーディオユニットはDINサイズに分割され、平面を基本とするデザインとされてきたが、アテンザ（Mazda6）ではフラッシュサーフェス化し、パーティングを無くすことにより、すっきりとして高い質感を実現した。パネルの表面仕上げはチタン調とし、ヒューコンダイアルのフロスト

素材とのコンビネーションにより、現代的な美しさを演出した。

## 8. デザインクリニックによる検証

これまで紹介してきたアテンザ（Mazda6）のデザインについてはデザインクリニックや各種調査においてわれわれの狙いが確実に具現化され、ターゲットカスタマーの共感を得られることが検証されている。Fig.11に示したのは、フルサイズモデルのデザインクリニック時のクラスター分析の結果である。グラフに見られるように我々がターゲットとしたクラスターの支持が高い事が解る。



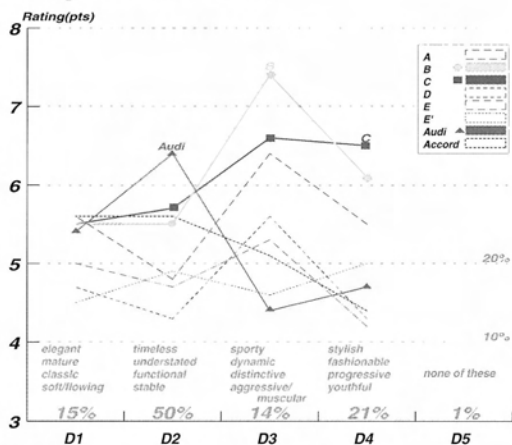
Fig.10

## Cluster analysis

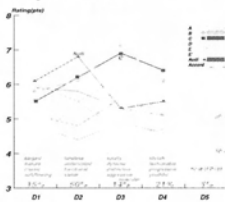
1998/12/18

## SDN

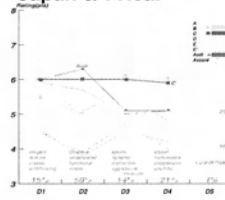
## Japan 3/4 Front



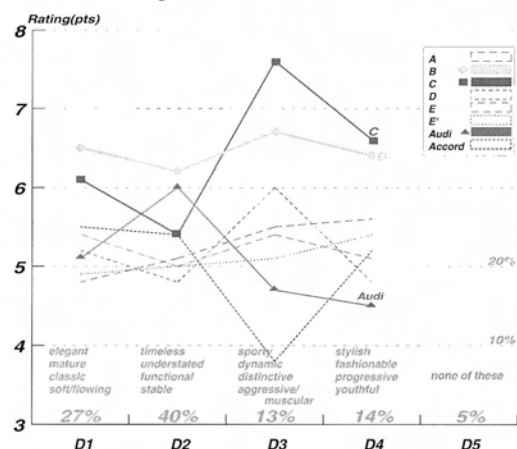
## Japan Side



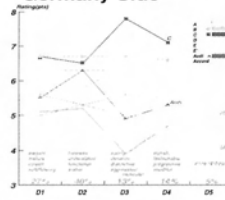
## Japan 3/4 Rear



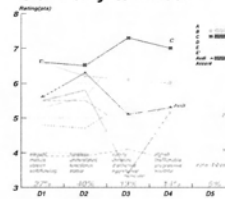
## Germany 3/4 Front



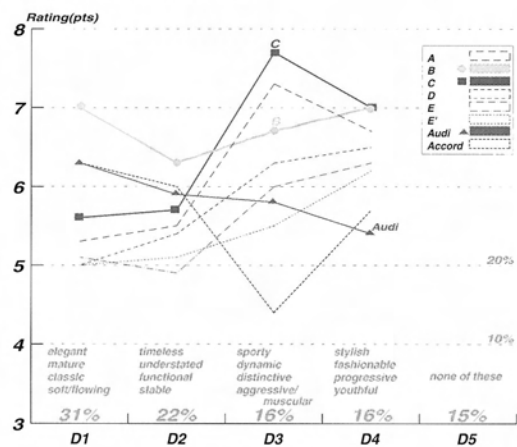
## Germany Side



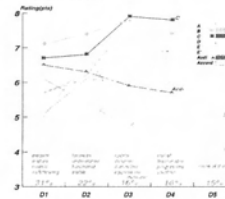
## Germany 3/4 Rear



## UK 3/4 Front



## UK Side



## UK 3/4 Rear

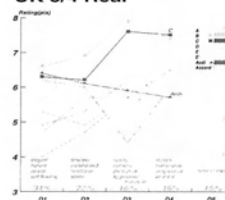


Fig.11

## 9. まとめ

私たちはこのアテンザ（Mazda6）のデザイン開発を通して、デザインという主観的な表現を主体としながらも複雑かつ多様な側面からの客観性を求められる行為を組織的に運営するための新たな挑戦をし、一般化してきた。紙面の都合で紹介できなかったが、このほかにMDI（マツダデジタルイノベーション）や、PCI（コンプレキシティ削減活動）、アクセサリーブジネスとの連携にも多大な時間と労力を費やした。これらの経験が後のプロジェクトやプロダクトに有効に生かされる事を望む。

### ■著 者■



小泉 巖

特集：アテンザ

3

## アテンザのパッケージング Package of ATENZA

堀 智 博\*<sup>1</sup> 廣 川 正 人\*<sup>2</sup>  
Tomohiro Hori Masato Hirokawa

### 要 約

アテンザのパッケージは、日本、欧州、北米いずれの仕向けにおいても、マツダのブランドDNAの一つである“抜群の機能性”をアピールする事を目指した。これを達成するには、アテンザのターゲットカスタマーが真にありがたみを感じる空間や機能に焦点が絞られた、全く新しいグローバルスタンダードとなるパッケージを創出する必要がある。

そこで、かつてない規模でVOC（ボイスオブカスタマー）を調査し、その結果を基に従来の評価基準の見直しや空間設計のプライオリティの明確化を行った。そして、All Newのプラットフォーム開発と一体となった具現化活動を行った。

以下にパッケージの具体的な特徴を記す。

1. 世界中のお客様の多様な体格、好みに応えることができるドライビングポジションの提供。  
→競合トップのシート、ステアリング調整量。広さ感に最も寄与する幅方向の空間拡大。
2. 世界中のお客様の多様な使い方に応えるフレキシビリティを備えた荷室空間。  
→サスタワレストイヤハウス等の工夫による、使いやすくすっきりとしたスクエアな荷室。  
→簡単操作でフラットフロアが登場する“KARAKURIフォールド”の採用。

本稿では、これらの特徴について紹介する。

### Summary

The goal of package development for new Atenza was set to emphasize one of Mazda's brand DNAs of "Exceptional Functionality" in all of JPN, EU, and US markets. This required us to create an entirely new global standard with focuses on the spaces and functions customers can truly appreciate.

In order to achieve above goal, we revised some evaluation indexes and set priorities in package development by implementing closer examination on VOC (Voice Of Customer) than ever before. Then we closely connected our activities with the all-new platform development.

Details are as follows:

1. A driving position is designed to meet diverse preferences and physical constitutions of customers all over the world.  
→ Attained best seat and steering travels among competitors, and took a most effective measure for space expansion by increasing lateral width.
2. Flexibility of cargo room is so high as to meet various usage of world customers.  
→ Materialized simple and functional square cargo room through the modification in suspension tower-less tire house, etc.  
→ Adopted "Karakuri fold" which can make a flat floor by simple operations.

Hereinafter, further details are described.

\* 1 コンセプト・プラットフォーム基本設計部  
Concept/Pre-Program Platform & Program  
Engineering Dept.

\* 2 装備開発部  
Interior Components Development Dept.

## 1. はじめに

近年のMPVやSUVの台頭によって、セダン（以下SDN）、5ドアハッチバック（以下5HB）、ステーションワゴン（以下STW）には、その特質を活かした高速機動性がより強く求められるようになった。パッケージにおいても、機動性に応える上質な居住空間や、使用実態に沿った効率的な空間がクローズアップされている。

アテンザ/Mazda6のパッケージ開発は、こういった近年の市場動向を把握し、従来の開発プロセス、評価基準を見直す事から始めた。そして、日欧米3仕向けに求められる要件を織り込んだ、新しいグローバルスタンダードとなる空間を実現する事を目標に開発を進めた。

## 2. パッケージの狙いの構築

アテンザの属するミドルクラスに求められる上質で効率的な空間を実現するために2つのテーマを掲げた。

ひとつは、世界中のお客様の多様な体格、好みに応える空間とすること。2つ目は、世界中のお客様の多様な使い方に応えられるフレキシビリティを備えることである。

これを具体的な目標に置きかえるために、マーケティング戦略で規定されたターゲットカスタマーを対象に、Fig.1に示す様な、これまでにない規模でVOC（ボイスオブカスタマー）の収集、解析を行った。

コンセプトクリニックは、全体空間、基本骨格に関わる領域でのターゲットカスタマーの感度を知るために実施した。プロパティとしてパネルによる車両側面ビュー等を準備し、質問では5No.枠に対する感度等を調査した。

クリニックの種類	目的	プロパティ・質問
コンセプトクリニック	全体パッケージの方向づけ	側面パッケージ図 5No枠への感度
パッケージクリニック	居住空間の評価	競合車/評価用モデル 広さ、運転姿勢の調査
フィーチャークリニック	便利機能 アイデアの感度調査	パネル（マンガ） シーンや期待効用の質問

Fig.1 Category of “Voice of Customers” investigation

パッケージクリニックは、パネラーに競合車や試作モデルに実際に着座してもらい、広さ、運転のしやすさに関する評価、体格や性別による嗜好等を収集し、広さに関する生の声を調査した。

フィーチャークリニックは、便利機能、シートアレンジのアイデア等をパネルに示し、感度を探った。また単なる好みのフィーチャーの選択だけではなく、お客様がどのような効用を期待しているかという視点で質問や分析を加え、ニューフィーチャー発掘の一助とした。

これらのクリニックの成果は、以下の章で個別に紹介する。

## 3. 外観諸元

外観諸元は、広い室内、荷室空間を実現しながら取り回し性をまったく犠牲にしない事を目指した。

取り回し性については、各仕向け地の使用状況から、後退駐車/狭路コーナ/縦列駐車/前進駐車などを抽出した。そして、外観諸元の構成要素がこれらの取り回しのシーンにどのように影響しているのかを分析した。Fig.2は一例として、一般的なミドルクラスの車両（図中“Base”）について、個々の外観諸元を変更したときに、縦列駐車と後退駐車などのしやすさがどのように変わるかを示したものである。この例では、ホイールベースとキャンバーは良く似た傾向を示す事がわかる。このことから、例えばホイールベースを拡大した場

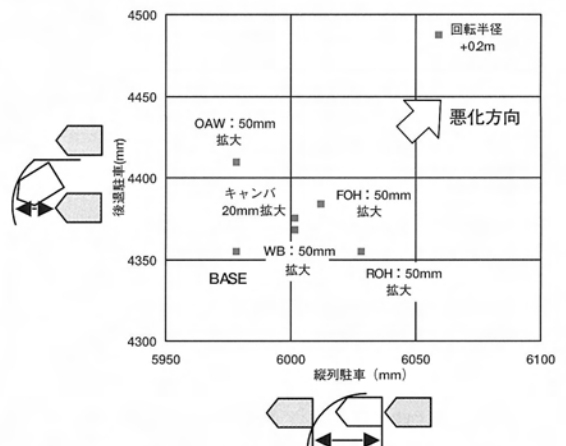


Fig.2 Influence of chassis dimensions on minimum parking space



合はキャンパーを縮小すれば取り回し性は補完できる事がわかる。

このような取り回しの分析と、空間要件、舵角要件、デザイン要件を照らし合わせ、それぞれが最も効率的に達成できる様な諸元を設定した。

全幅について、国内のターゲットユーザーは5No.を超えることそのものには抵抗が殆どないことがコンセプトクリニックによってわかった。そこで全幅を1,780mmとし、後述する幅方向の空間拡大を実現した。ただし、取り回し性を犠牲にしないためドアミラー幅は5No.車と同等レベルに抑えた。(Fig.3)

ホイールベースの拡大は、居住空間の拡大をもたらすが、反面、荷室の減少や、先の取り回しが悪化する。そこで、後席の乗り降りに支障のないギリギリの寸法を狙い、2,675mmとした。

#### 4. 乗員／荷室空間の考え方

乗員／荷室空間については、まず前席、後席、荷室に分け、コンセプトクリニックにより重視度を評価した。その結果、総合的には前席＞荷室＞後席の順に重要ということがわかった。(Fig.4) この結果を踏まえて前席／荷室を重視した空間を

	ドアミラー 間寸法	Atenza /Mazda6 との差	全巾	Atenza /Mazda6 との差
Atenza/Mazda6	1958mm	Base	1780mm	Base
5No.枠競合車				
Legacy	1965mm	+7mm	1695mm	-85mm
Accord	1938mm	-20mm	1695mm	-85mm
参考：3No.車				
Primera	2016mm	+58mm	1760mm	-20mm
Mark2	1992mm	+34mm	1760mm	-20mm

Fig.3 Vehicle width including door mirror

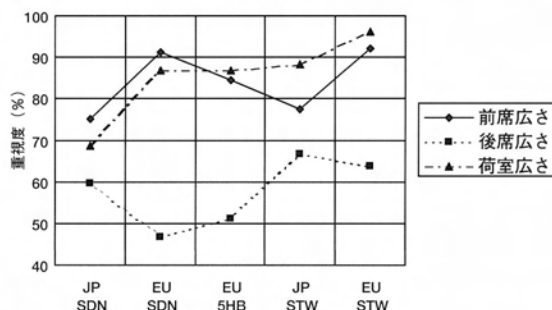


Fig.4 Importance of front space, rear space and luggage space resulted from the concept clinic

構築した。

次章以降に領域別の具体的手段を記述する。

#### 5. 前席空間

お客様の重視度が高い前席は、あらゆる体格、好みに応えられるよう妥協のない空間設計を行った。ドライビングポジションについて競合車を分析したところ、欧州車は小柄な人が、日本車は大柄な人が自然な姿勢がとりにくい事がわかった。またパッケージクリニックによって、ドライバーの好みは実に多様であり、身長170cm台という平均的な体格の人でも、シートスライド方向で200mm、上下方向で50mmものばらつきが見られた (Fig.5)。

これらのクリニック結果よりアテンザ／Mazda6では以下の様な対応を行った。

##### 5.1 競合トップのシート調整範囲の実現

スライド量で260mm、リフトで55mmのトラベル量を実現した。このリフト量を実現するため、クッション／バック一体リフターを採用した。またスライド角も6°と勾配を大き目にする事で、特に小柄な人にリフト量の数値以上にドライビン

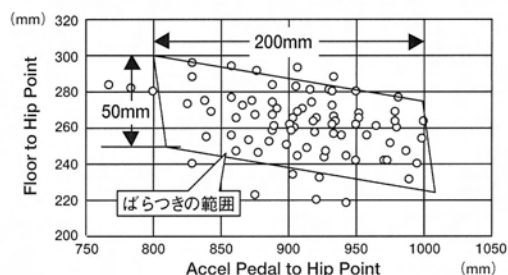


Fig.5 Hip point distribution of customer's selected seathig position customers between 170cm and 179cm



Fig.6 Pump type operation for seat lifter

グポジションを改善できた。さらに、力の弱い人でも容易に操作できるように、ラチェットタイプのリフター (Fig.6)、バータイプのスライドレバーを採用した。

### 5.2 競合トップのステアリング調整量の実現

体格の大きな人が好みの姿勢をとるにはテレスコ量を、小柄な人はチルト量を確保することが重要である。アテンザは、競合トップのチルト量45mm、テレスコ量50mmを確保した。

### 5.3 幅方向の寸法の拡大

パッケージクリニックによると、前席では幅方向の空間を最も重要視している事がわかった。特に日本では全体の幅を、欧州では肩からドアまでの空間を重視する (Fig.7)。これは、日本では広さ感、欧州では肘のワークスペースを重視している為と推定される。このため、アテンザ/Mazda6ではクラストップのショルダー룸を確保した。(Fig.7)

### 5.4 クラストップのヘッドクリアランスの確保

シートを調整しても、頭上空間に余裕がなければ好みのポジションを取る事はできない。アテンザ/Mazda6はシートリフターの調整量に見合う様、トップクラスの頭上空間を実現した。

以上の様な様々な工夫により、お客様一人一人の好みに応え、どの仕向地でも、女性の5パーセントから男性の95パーセントまでの体格の人が満足できる空間を実現した。これは概ね身長150cm～195cmの範囲に相当する。

幅方向の感度 (Single Answer %)	JPN	EU
ドアからドアまでの全体の幅	64.9	32.9
肩からドアまでの寸法	55.5	71.3
肩から助手席までの寸法	46.9	56.3

ショルダー룸比較 (mm)

Atenza /Mazda6	国内A車	国内B車	国内C車	欧州A車	欧州B車
1425	1404	1373	1422	1425	1408

Fig.7 Importance of shoulder space resulted from the package clinic (above) and shoulder space dimension (below)

## 6. 後席空間

後席は長時間に渡り快適にすごせる空間を追求した。実際の着座姿勢を分析したところ、後席では理想の一つの姿勢が取れる事に加え、自由に姿勢が崩せることが重要である事がわかった。姿勢の崩しやすさを実現するには、特に足の移動やヒップポイントの移動がしやすい空間とする事が必要である。そこで、ニークリアランスはトップクラスを確保した上で、フロントシートバックは前席のシート性能と両立させたラウンドシェイプを採用した。この結果、リクライニングといった機能を付加することなく基本性能で快適な空間を実現することができた。

## 7. 荷室空間

荷室はターゲットユーザーが前席同様に重視している項目である。そこで、空間要件や次章で述べるリヤシートアレンジメント機構を基本構想段階からAll Newのプラットフォームに織り込む事で使い勝手が良くすっきりとした荷室を実現させた。

近年、欧州車を中心にタイヤハウスを縮小し、広くてすっきりした質感の高い荷室が台頭してきている。アテンザ/Mazda6では単なるタイヤハウスの縮小だけでなく、低フロア化にも注力し、トップクラスのタイヤハウス間距離と、荷室容量を両立させた (Fig.8)。

	Atenza /Mazda6	国内A車	国内B車	欧州A車	欧州B車
サスタワ間距離 (mm)	1063	942	825	1002	1134
荷室容量 (L)	505	367	428	507	477

Fig.8 Minimum lateral dimension and volume of luggage space



Fig.9 Luggage room of 5 door hatch back

また、無駄な出っ張りを極力廃したスクエアなすっきりした荷室を実現した。同時に荷室の開口中とタイヤハウス間寸法をほぼ同等とし、長物やかさばる物を楽に収納できる様に工夫した。特に5HBでは、Dピラーレス、レインレール寸法の縮小、パッケージトレイ巾拡大等の工夫により、他車を凌駕する広さ感を実現している (Fig.9)。

## 8. リヤシートアレンジメント

フィーチャークリニックによれば、お客様がシートをたたんで荷物を積む頻度が非常に高い事がわかった。週に一度以上リヤシートを折り畳むと回答した人は、国内で約35%、ドイツで約50%にものぼった。そこで折り畳みの簡便さの向上を注力点にリヤシートを開発した。

### 8.1 SDN

トランクサイドに設定したリモートレバーを車両後方に引く操作で、リヤシートバックが自動的に折り畳まれ、荷室空間が拡大する。

具体的には、レバー操作で引かれたリモートケーブルでロックを解除させ、内蔵されたスプリングによりリヤシートバックが自動で可倒する構造とした (Fig.10)。また、リヤシートバックは6:4分割として、左右独立で荷室空間を作ることができる。

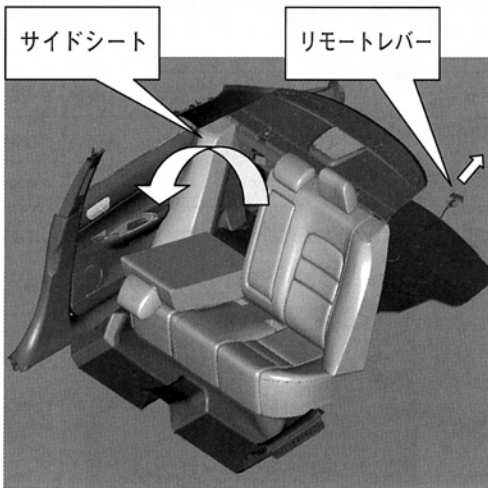


Fig.10 Rear seat mechanism of 4 door sedan

### 8.2 5HB/STW (KARAKURIフォールド)

トランクサイドに設定したリモートレバーを操作することで、リヤシートバック、クッションが自動で可倒し、フラットな荷室空間となる。この機構を“KARAKURIフォールド”と呼んでいる。

従来、フラットな荷室空間を作るためにはダブルフォールド機構を使い、

- i) リヤシートバックを跳ね上げる
- ii) リヤシートバックを可倒させる      もしくは、
- i) リヤシートバックを可倒させる
- ii) リヤシートバックとクッションを同時に跳ね上げるといふ i) ii) の2アクションが必要であった。またいずれの場合もリヤドアを開けての作業となるうえ、ヘッドレストの取り外しが必要などの面倒な作業が必要となる。そこで、荷室から1アクションでリヤシートバックとクッションを同時に動かす機構を採用した (Fig.11)。

具体的には、レバー操作で引かれたリモートケーブルでロックを解除させ、内蔵されたスプリングによりリヤシートバックが自動で可倒する。このリヤシートバックの可倒の動きに連動し、L字のリンクを介してクッションを前方 (55mm) かつ下方 (64mm) に動かす構造とした。リヤシートクッションは下方に動くため、そのスペースを確保する目的でSバネを採用した (Fig.12)。また、

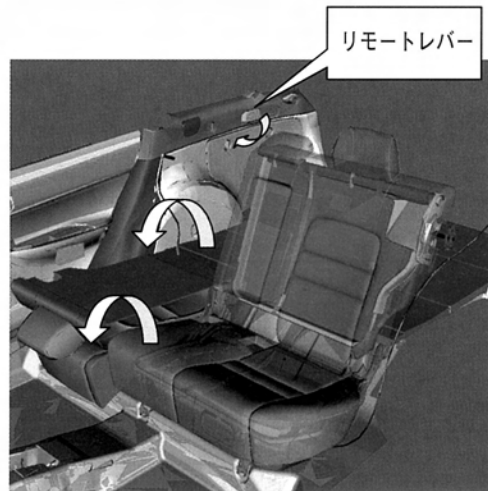


Fig.11 KARAKURI folding rear seat of 5HB and wagon

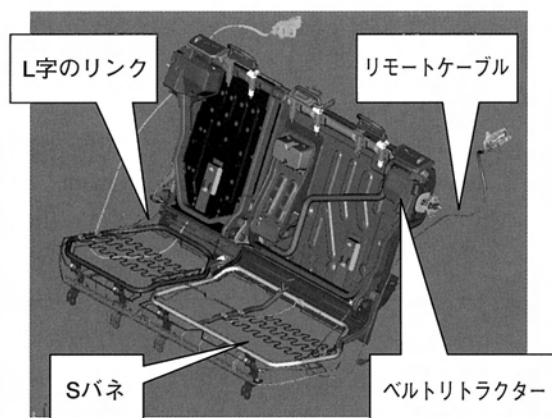


Fig.12 Structure of KARAKURI fold

リヤシートバック、クッションは6：4分割として、左右独立で荷室空間を作ることができる。

### 9.リヤシートベルトのレイアウト

従来、リヤ左右席ベルトリトラクターはボディー付けのため、シートバック全体が可倒する方式ではベルトがシートバックに引っばられ（ダブルフォールド時）、左右席のベルトウエービングが車室内を交差する状態となり、荷室空間の見映えを損ねている。特に今回のように自動でシートバックを倒す場合は可倒する毎にその状態が発生することが予測された。

そこで、5HB／STWでは左右席ベルトリトラクターをリヤシートバックに内蔵させ（Fig.12）、“KARAKURIフォールド”時の左右席のベルトウエービングの車室内での交差をなくすことで、すっきりとした荷室空間を実現させた。

SDNではサイドシートを設定しているため（Fig.10）、シートバックが可倒してもベルトがシートバックに引っばられることはなく、ベルトリトラクターはボディー（パッケージトレイ）付けとしている。

### 10. おわりに

VOCを原点に置き、プラットフォーム開発と同期して具体化してきたアテンザ／Mazda6のパッケージの魅力は、お客様に使って頂くことによって必ず実感できるものと確信している。

■ 著 者 ■



堀 智博



廣川正人

特集：アテンザ

4

## アテンザのダイナミクス Dynamics of ATENZA

山 本 忠 信\*<sup>1</sup> 松 田 純 一\*<sup>2</sup> 柴 田 昭 雄\*<sup>3</sup>  
 Tadanobu Yamamoto Junichi Matsuda Akio Shibata  
 松 本 浩 幸\*<sup>4</sup> 加 村 孝 信\*<sup>5</sup> 宇 都 宮 昭 則\*<sup>6</sup>  
 Hiroyuki Matsumoto Takanobu Kamura Masanori Utsunomiya

### 要 約

アテンザでは、マツダのDNAである「反応の優れたハンドリングと性能」の徹底的な洗練を重点課題の一つとして開発し、プラットフォーム構造の最適化を図るべくシャシー／ボデーを一新した。

操縦安定性／乗り心地を洗練するため、サスペンションには、フロントにダブルウィッシュボーン形式、リヤにE型マルチリンク形式を採用し、ジオメトリ／コンプライアンス特性を最適化すると同時に、部材の高剛性化およびボールジョイント／ショックアブソーバなどの作動部の低フリクション化を図った。

また、制動停止距離の短縮／レスポンスとリニア感に優れたブレーキフィールを洗練するため、高剛性のブレーキキャリパー、タイロッドタイプのブレーキブスター、低膨張タイプのブレーキホースを新規開発した。

ボデーについては、マツダ独自の高剛性安全ボデーコンセプト「MAGMA」をベースに、操縦安定性／乗り心地に効果的な部位の更なる高剛性化を図った。

そして、ロードノイズを低減するため、ボデーフロアの振動モードをコントロールし音響放射を低減するモードコントロールパネルを新規開発した。

これらの技術開発により、競合他車を凌駕するダイナミクス性能を実現することができた。

### Summary

We developed Atenza with completely polished "Superior Response of Handling and Performance" of Mazda DNA as one of the most important subjects. Chassis and Body were renewed to optimize the platform structure.

For polished Handling and Stability / Ride Comfort, Atenza is equipped with double wishbone in front suspension and with E type multi-link in rear suspension. This suspension system optimizes geometry / compliance characteristics, improves material stiffness, and reduces the friction of operating area like ball joint / shock absorber simultaneously.

For polished Brake Feel with shorter stopping distance and superior response and linear feeling, we developed high rigid brake caliper, tie-rod type brake buster, and low expansion type of brake hose.

For Body, we improved rigidity of the effective parts for Handling and Stability / Ride Comfort based on "MAGMA" which is Mazda original high-rigid safety-body concept.

To reduce road noise, moreover, we developed mode control panel which controls vibration mode of body floor and reduces noise radiation.

These technical developments made superior dynamics performance compared to competitors come true.

\* 1 ~ 2 シャシー開発部  
Chassis Development Dept.

\* 3 ボデー開発部  
Body Development Dept.

\* 4 NVH性能開発部  
NVH Development Dept.

\* 5 ~ 6 技術研究所  
Technical Research Center

## 1. はじめに

アテンザでは、マツダのDNAである「反応の優れたハンドリングと性能」を徹底的に洗練すべく、次の項目を開発ターゲットとして取り組んだ。

- ① 正確で剛性感あふれるステアリング・フィール
- ② フラットでしっかりした乗り心地
- ③ レスポンスとリニア感の優れたブレーキ性能
- ④ ロードノイズの大幅低減

これらを実現するため、プラットフォーム構造のあり方を一から検討し、シャシーおよびボデー仕様を一新した。

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

## 2. シャシー

### 2.1 サスペンション・ステアリング

#### (1) 開発の狙い

サスペンション・ステアリングについては、ハンドル入力に対する力の伝達効率を高めることを最大の開発テーマと位置付け、次の項目を注力ポイントとした。

- ① ジオメトリ／コンプライアンス特性の最適化
- ② ボデーも含めた部材の高剛性化
- ③ 伝達経路のばね／減衰特性の線形化
- ④ ボデーへのサスペンション入力の低減

#### (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、ジオメトリやコンプライアンス特性の最適化を図るべくハイマウント・ダブルウィッシュボーン形式 (Fig.1) を採用した。

ロアーアームとステアリングナックルの結合をダブルピボット構造とし、キングピン軸とホイールセンターとのオフセットを小さくすることでキングピン軸廻りのモーメントを低減し、駆動力によるトルクステアや路面からの不要なステアリング入力を抑制した。更に、全てのボールジョイントおよびダンパーの作動フリクションを低減することで、リニアなステアリング・フィールやサスペンション揺動を実現した。

サスペンションメンバーには、サスペンション

剛性を高めるためハイドロフォームのペリメータフレームを採用した。そして、ペリメータフレームのボデー結合部ブッシュを2ピース構造 (Fig.2) とすることで前後・左右・上下方向のばね特性を可能な限り分離設定し、目標とする剛性と振動絶縁性の両立を図った。また、ペリメータフレームの後端にはパイプ成形のトランスバースバーを設定し、ペリメータフレームとボデーの支持剛性を高めると同時にトーボードのトンネル部分を補強した。

ステアリングには、エンジン回転数感应式のパワーステアリングを採用した。ラックハウジングとピニオンハウジングをアルミ一体成形とし剛性を高めた。また、ポンプには無復帰バルブを採用し、エンジン高回転域の流量コントロールを木目細かくすることで操舵力の安定性を高めた。

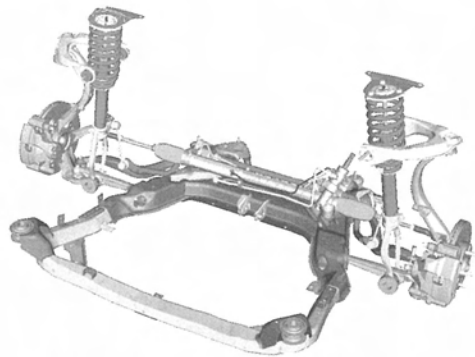


Fig.1 Front Suspension & Steering

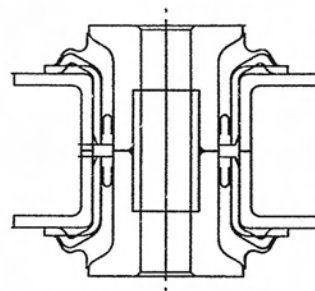


Fig.2 Bush structure



## ② リヤサスペンション

リヤサスペンションには、ジオメトリやコンプライアンス特性の最適化を図ると同時に、ロープロファイルな設計で全体を完全にフロア下に収めクラストップのラゲッジルーム・スペースとの両立を実現するため、Eタイプ・マルチリンク形式 (Fig.3) を採用した。

サスペンションメンバーの骨格部は、剛性を高めるためパイプ成形とした。サスペンションメンバーのボデー結合部ブッシュは、フロントのペリメータフレームと同様に2ピース構造とし、要求される剛性と振動絶縁性の両立を図った。

サスペンションの上下ばね特性を最適化するため、ヘルパースプリングとして働くウレタン製ストッパーと大荷重を受け持つゴム製ストッパーの2つを設定し、リニアなロールモーションを実現した。

また、積載量によらず車高を一定に保つことで、1名乗車～フルロード積載まで安定したダイナミクス性能を得るため、国内およびヨーロッパ向けの一部モデルにセルフレベルリングダンパー (Fig.4) を設定した。

## (3) 達成性能

### ① 操縦安定性

Fig.5は、レーンチェンジ時の車両応答性を評価するために当社三次自動車試験場内に設定しているコースを、車速100km/hで走行した際の操舵角、操舵力、ヨーレートの時間軸波形を示す。競合車に対しアテンザは、操舵角、操舵力、ヨーレートの位相遅れが非常に小さく、優れた車両応答性を実現している。

Fig.6は、良路を車速120km/hで直進走行した際の操舵角の時間軸波形を示す。競合車に対しアテンザは、操舵角の変化が極めて小さい。詳細分析では修正操舵の量、操舵頻度、ヨーレートのふらつきが少ない特性を有しており、優れた高速直進安定性を実現している。

Fig.7は、車速100km/h、横加速度4 m/sec、操舵周波数0.2Hzのスラローム走行時の操舵力と操舵角の関係を示す。競合車のリサージュ波形に対しアテンザは、中立付近のヒステリシスおよびトルク変化が小さく、正確でリニアな操舵フィーリングを実現している。

## ② 乗り心地

Fig.8は、車速60km/hでひび割れ路を走行した際のフロアの前後振動レベル (P.S.D.) を示す。競合車に対しアテンザは、特に20～30Hzのハーシュネス領域の振動レベルが小さく、フラットでしっかりした乗り心地を実現している。

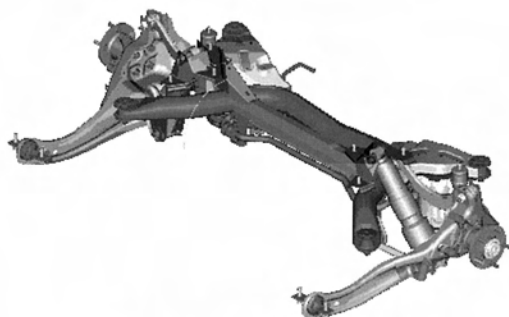


Fig.3 Rear suspension

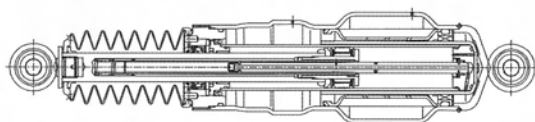


Fig.4 Self leveling damper

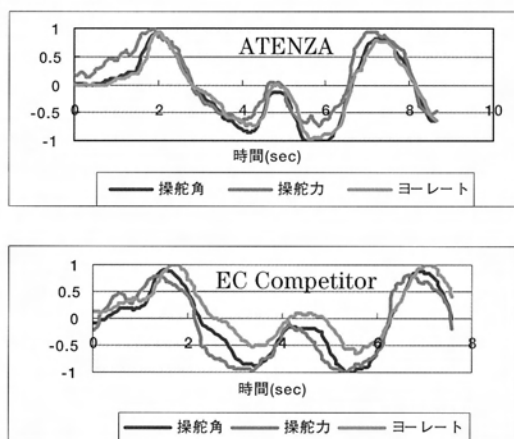


Fig.5 Vehicle Representative Characteristics



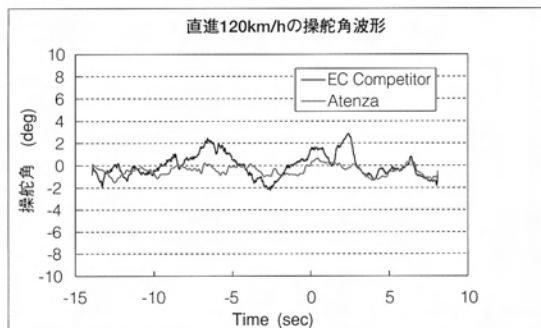


Fig.6 High-Speed Straight Driving Stability

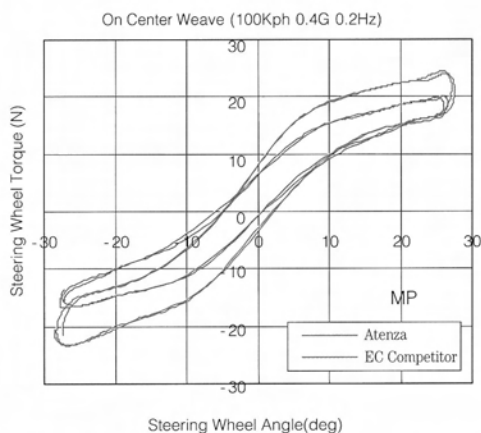


Fig.7 On Center (Steering Torque characteristics)

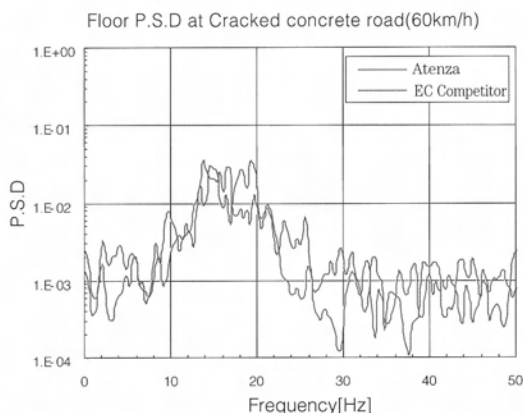


Fig.8 Floor P.S.D. at Cracked concrete road

## 2.2 ブレーキ

### (1) 開発の狙い

アテンザのブレーキは、マツダのブレーキDNA、すなわち「ペダル操作に対して素早く期待通りに反応するブレーキ」を具現化し、欧州プレ

ミアムカーにも勝るとも劣らない制動フィーリングと制動停止距離を実現することを目指した。特に踏み始めの効きのレスポンスの良さとコントロール性、そして踏み込み時のリニアリティ感の確保に注力することとし、Voice of Customer収集で、この領域において最もユーザーの支持が高かったある欧州競合車の車両特性（踏力〜減速度など）を目標として設定した。これを更にFig.9に示すシステムメカニズム図（からくりモデル）を用いてFig.10に示すような各部品特性目標にカスケードした。

### (2) 構造と特徴

#### ① ブレーキペダル／マスターシリンダ

ブレーキペダルのレバー比を2.7と低くし、マスターシリンダ内径を $\phi 20.64$ と小径化した。これにより同一ペダル踏力におけるブレーキブースター入出力を低くすることで、ダッシュパネル変形などによるペダルストロークロスを低減させた。

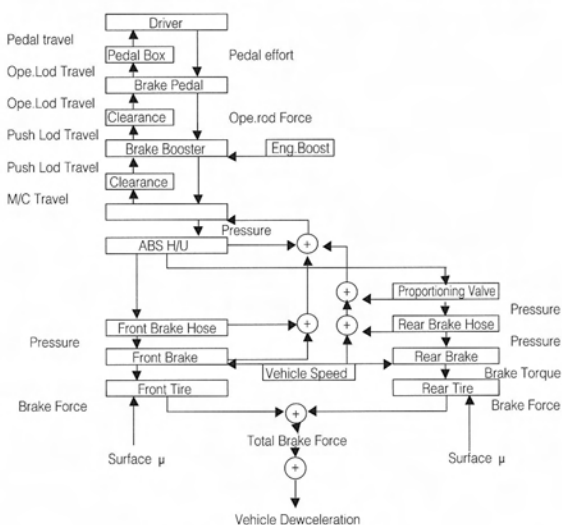


Fig.9 Karakuri model

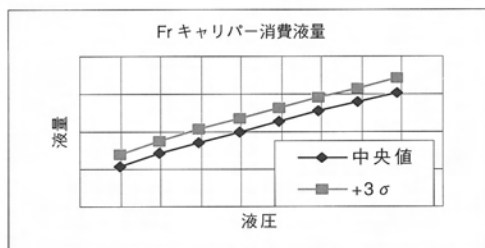


Fig.10 Parts performance target

また、低ペダル比化によりブースターなどの無効反力を増大させぬよう構造的な配慮も施した。

## ② ブレーキブースター

ブレーキブースターの弁構造を変更し、ブースターの作動開始までのロスストロークを極限まで抑え、初期無効ストロークの低減（Zero Loss Travel化）を図った（Fig.11）。また、フロントシエルとリアシエルを剛結するタイロッドを採用することでブレーキ時のブースターの変形を抑え、ペダルの剛性感を向上させた。

## ③ フロント・ブレーキ

フロント・ブレーキは、ブレーキローター径283mmと274mmの2種類の新開発ブレーキを採用した。ブレーキローターは十分な熱容量を得るために肉厚配分を最適化した。パッドは、ベース $\mu$ を従来比約10%向上させるとともに制動中の $\mu$ 変化がDNAの目標にミートするようチューニングを施した。このブレーキはいずれも15インチ・ホイール内に装着することができ、タイヤ&ホイールサイズ選択の自由度を確保した上でDNA目標を達成するポテンシャルを備えている。

## ④ リヤ・ブレーキ

リヤ・ブレーキには、ブレーキローター径280mmのビルトインタイプブレーキを採用した。このブレーキは、内部構造の改善によりパーキングブレーキ作動時のレバーストロークを低減し、レバーを引いたときの剛性感を向上させている。

## ⑤ ブレーキホース

ブレーキホースは、新開発の高剛性タイプブレーキホースを採用した。これによりブレーキホースに寄る液圧ロスを約60%改善し、ペダル剛性感の向上に貢献させている（Fig.12）。

## ⑥ ABS/EBD/タイヤ

ABSは、制御効率を向上させ制動停止距離短縮を図った。また、ABS装着車には全車EBDを採用し後輪の制動力を有効活用した。タイヤは、制動停止距離短縮に有効な $\mu$ スリップ特性の目標を定め、それを実現している。

## ⑦ DSC/BA

DSCは、ドライビングプレジャーを損ねず木目細かい制御を実現するため、マツダ独自の内蔵リザーバタイプを採用した。また、DSC装着車にはブレーキペダルの踏み込み速度を感知してブレー

キの踏力をアシストするブレーキアシストをセットで装着した。

## (3) 達成性能

### ① フィーリング性能

Fig.13は、踏力と減速度との関係、および踏力とペダルストロークの関係を示す。アテンザは、ターゲットとした欧州競合車と同等特性を達成し、優れた制動フィーリングを実現している。

### ② 制動停止距離

Fig.14は、ヨーロッパの著名な雑誌が実施している評価条件下での制動停止距離の比較を示す。アテンザは、競合車中トップクラスの停止距離を実現している。

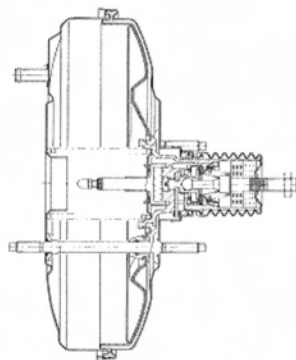


Fig.11 ZLT Tie-rod type Booster

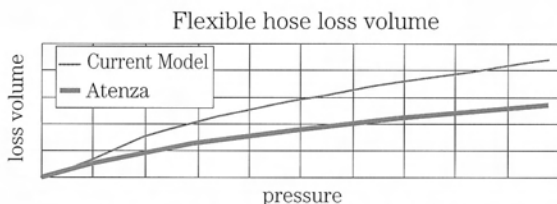


Fig.12 Low expansion Flexible hose

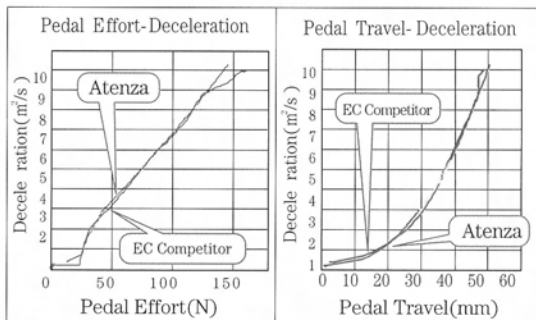


Fig.13 Feeling performance

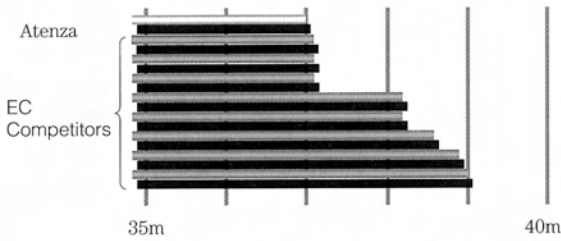


Fig.14 Stopping Distance

### 3. ボデー

#### 3.1 高剛性ボデー

##### (1) 開発の狙い

マツダのボデーシェル構造はMAGMAボデーとして安全性能に優れた構造を踏襲してきた。アテンザのボデーシェル開発ではMAGMAボデーのコンセプトを継承し、更に車両のダイナミクス性能を競合車を凌ぐものとするため、操安性・乗り心地のポテンシャルを飛躍的に向上させることの出来る高剛性ボデーの実現を開発の最重点目標として取り組んだ。

高剛性ボデーの実現に向けた最大の課題は、操安性と相関性の高いボデー剛性の開発である。従来の曲げ・ねじりの静的な全体剛性を向上させるだけでは、高剛性ボデーの実現が不可能であることは明らかであった。Fig.15に車体静剛性と操縦安定性能の関係を示す。

そこで、変位センサ・4輪多軸加振機等の最新技術を投入し、コーナリング等の実走時の車体変形を計測した。これらの測定点の中で左右のサスタワーのねじれ変位等に車体変位量と操縦安定性能の相関があることがわかった。他銘柄車の計測や車体変位量を変化させることで変位量と操縦安定性能の相関がとれるポイントを絞り込み、これら操縦安定性能と相関があるすべての車体変位量を競合車の変位量以下に抑え、操縦安定性能目標を達成できるレベルにすることをアテンザのボデー剛性の開発目標とした。Fig.16に剛性向上を図った車体変位ポイントの一部を示す。

##### (2) 構造と特徴

##### ① ボデーフレームワーク

ボデーシェル構造構築にあたってボデー剛性目標を達成するために、サイドメンバやクロスメンバの主要部材について大断面でオフセットの少な

いフレームワークを実現させた。Fig.17にアテンザのボデーフレームワークを示す。その上で下記に示すような特徴的な構造を採用することでボデー剛性目標を達成できる構造を実現することができた。

##### ② フロントボデー構造

車体のトーボードの部分に独立した4本のクロスメンバを設定した。それぞれのクロスメンバは左右のサスタワー、フロントピラー、ヒンジピラー、フロントフレームを結合するように配置されており、フロントのサスペンションからの入力に

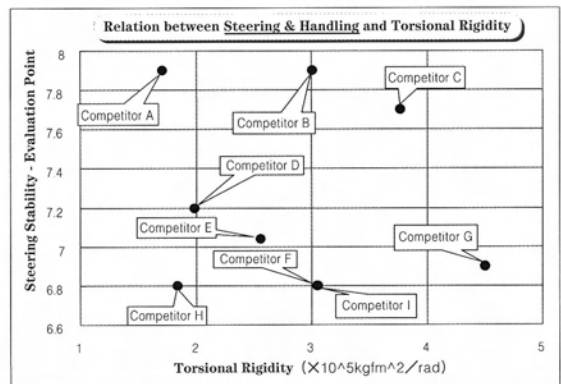


Fig.15 Relation between Steering &amp; Handling and Torsional Rigidity

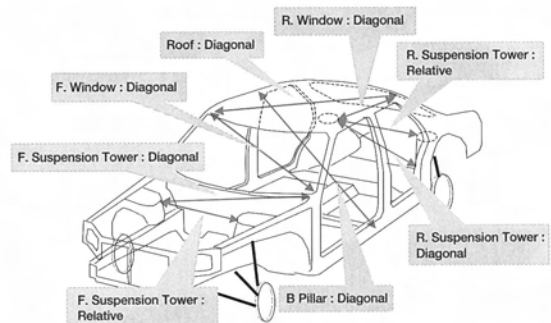


Fig.16 Target Setting Parts

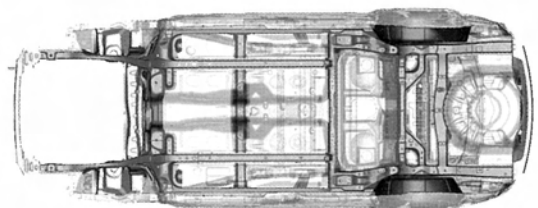


Fig.17 Frame Work

対してフロントボデーのねじれ変形やフロントボデーとキャビンの相対変位を抑える役割を果たしている (Fig.18)。

### ③ リヤボデー構造

パッケージトレイ前端に閉断面を設け左右のキャブサイドのインナーに設定された閉断面のジャンクションと連続させる。更に、このジャンクションをフロアパネル下部のクロスメンバとガセットで接合することで車体を囲う口の字型の連続した閉断面が設けられたことになる。この連続した閉断面でリヤサスペンションからの入力に対してキャビン全体の変形を抑える役割を果たしている (Fig.19)。

### (3) 達成性能

前項で述べた構造を採用することで、操縦安定性能に寄与する車体の変位量は従来のマツダ車に比較して1/2~1/10以下のレベルに抑えられ、他銘柄車と比較しても変位量は格段に小さい高剛性ボデーとなった。Fig.20にアテンザと競合車の車体変位量を示す。

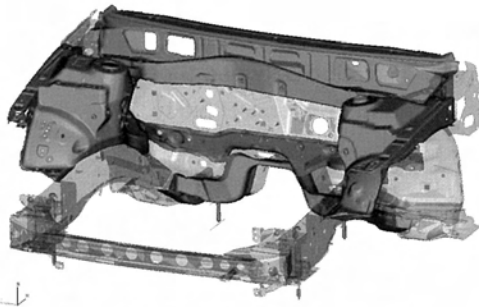


Fig.18 Front Body Structure

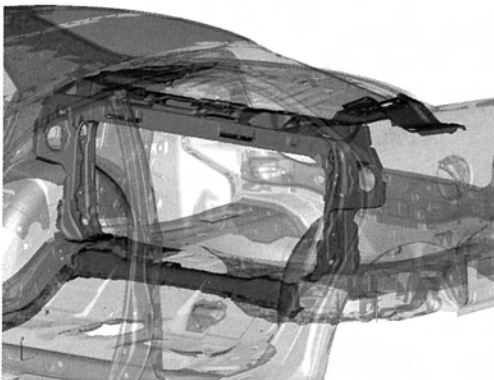


Fig.19 Rear Body Structure

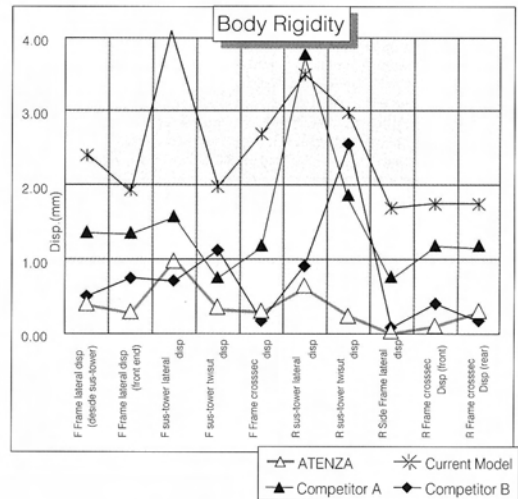


Fig.20 Body Rigidity

## 3.2 静粛ボデー

### (1) 開発の狙い

静粛性向上のために、ロードノイズは低減すべき重要な騒音の一つである。マツダではロードノイズの音源となっているパネルの音響放射パワーに注目し、パネル振動モードと音響放射の関係から、パネルの剛性、形状の適正化でロードノイズ周波数域において、効果的に音響放射パワーを低減する方法を見出した<sup>(1)</sup>。この方法をアテンザに適用することで、操縦安定性との両立を図りながら、クラストップレベルの静かさを実現した。

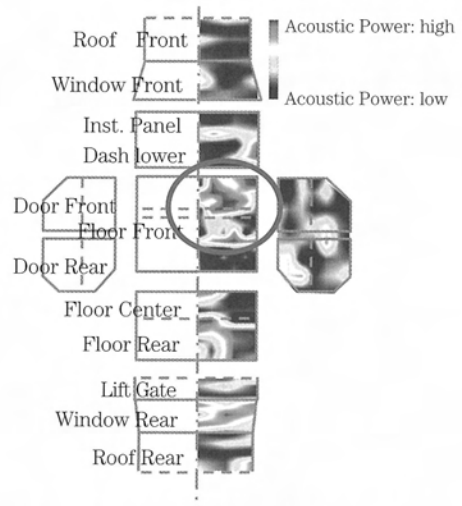


Fig.21 Acoustic Power Distribution (RH;250Hz Band)

## (2) 構造と特徴

ロードノイズでは160Hz帯域や250Hz帯域など、特定の周波数帯域でピーク値となる場合が多い。アテンザでは、タイヤの空洞共鳴により250Hz帯域にピークが発生しており、Fig.21に示す車室内パネルの振動音響解析からロードノイズへの寄与が大きいフロントフロアパネルの音響放射パワーを小さくする方法を検討した。

## ① パネルの音響放射特性

音響放射パワーの低減には、パネル振動を小さくすることと放射効率の低減が有効であり<sup>(1)</sup>、450mm×450mmの正方形パネルが周辺単純拘束、各振動モードで振動している時の放射効率はFig.22のように予測される。なお、振動モードの表記はFig.23のようにパネルの縦方向、横方向の腹の数で表す。これより、各モード間の特性を比

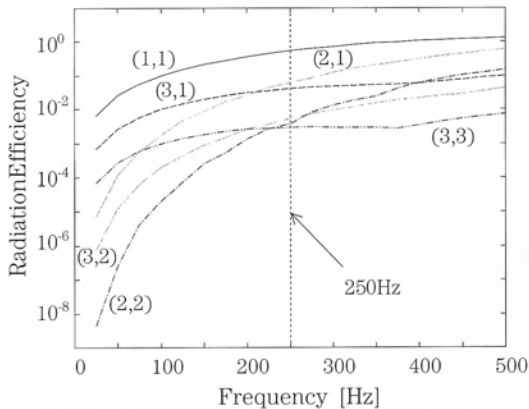


Fig.22 Simulated Radiation Efficiency of Each Modes

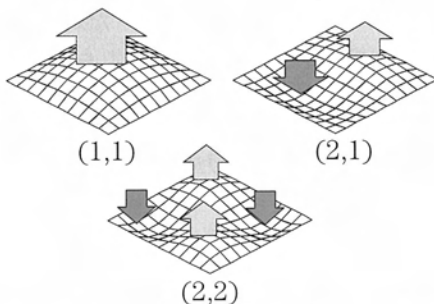


Fig.23 Vibration Modes of Square Panel

較すると、250Hzでは(2, 2)モードの放射効率は(1, 1)モードの約200分の1、(2, 1)モードでは約10分の1であり、偶数次のモードは一般に放射効率が低い。

したがってこれらの偶数次モードをロードノイズ周波数域で生じさせれば、その周波数域での放射効率を低減できると考えられる。

## ② モードコントロールパネル

アテンザでは衝突性能や車体剛性向上のため、左右フロア中央には前後方向にロアフレームが設置されている。これらのフレームで囲まれた約400×200mmの長方形パネルの場合で、生じさせることができる放射効率の低いモードとして(2, 1)モードを選択した。フラットパネルの(2, 1)モードの固有振動数は約160Hzである。このモードが250Hzで生じるようにFEMでそのパネル形状を検討した。その結果、Fig.24に示す凹形状

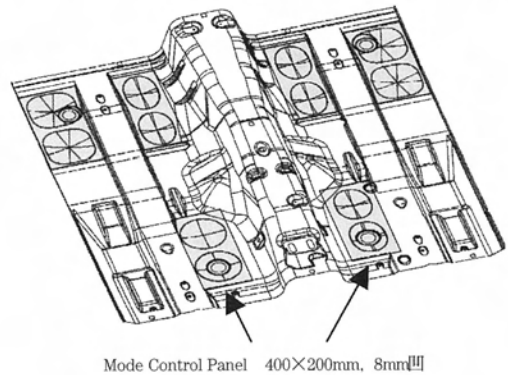


Fig.24 Floor Panel

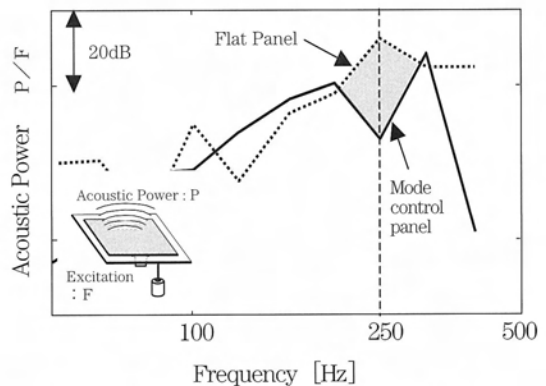


Fig.25 Acoustic Characteristics of Mode Control Panel

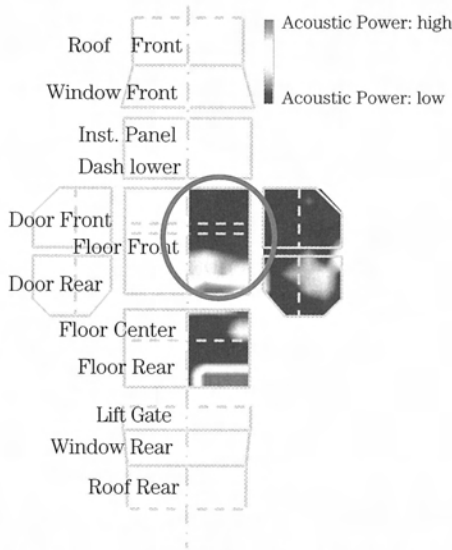


Fig.26 Acoustic Power Distribution with MCP (RH;250Hz Band)

をパネルに形成することで(2, 1)モードを250Hz帯域に生成できることが予測できた。マツダではこのパネルをモードコントロールパネル(MCP)と呼ぶ。

Fig.24の左前1/4のフロアパネル部(点線部)を切り取り、その音響放射パワーをフラットパネルと比較してFig.25に示す。モードコントロールパネルの振動モードは狙いどおり(2, 1)モードが約250Hzに生じることを確認した。その結果、モードコントロールパネルでは250Hz帯域の音響放射パワーをフラットパネルよりも大幅に低減で

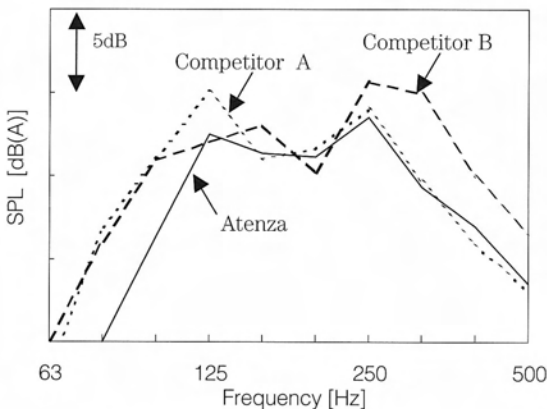


Fig.27 Road Noise Level

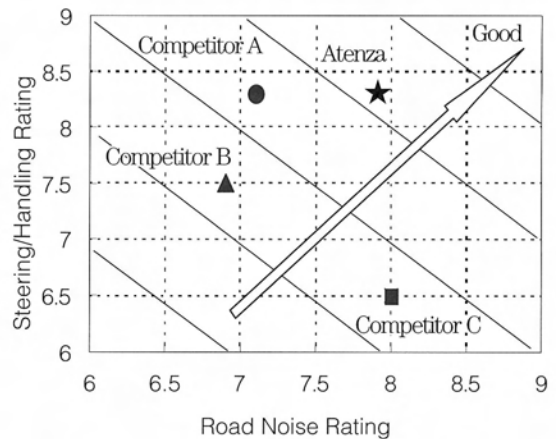


Fig.28 Compatibility between Road Noise and Steering/Handling

き、フロントフロアパネルの音響放射パワーも低減できた(Fig.26)。

### (3) 達成性能

前項までに述べたサスペンション及びボデー構造を採用することにより達成したロードノイズ性能(粗粒路定速100km/h前席)をFig.27に示す。80~500Hzの広い周波数域で音圧レベルが低く、優れたロードノイズ性能を有している。

また、Fig.28にロードノイズ性能を横軸に、操縦安定性を縦軸に示す。ロードノイズ性能と操縦安定性が高いレベルで両立できている。

## 4. おわりに

以上新型アテンザのダイナミクス性能について紹介した。新技術開発および基礎技術熟成への意欲的な取り組みにより、ユーザの期待に添える性能が実現できたと確信している。今後とも、市場環境や社会性に則しつつ、世に誇れるマツダのダイナミクス性能の開発に邁進する所存である。

最後に、開発、生産に際してご協力並びにご支援頂いた社内外の関係者の皆様に深く感謝の意を表します。



## 参考文献

- (1) 加村 他：‘パネル放射音低減によるロードノイズの改善’，自動車技術会学術講演会前刷集976 1997-10，No234，p.327-330

## ■ 著 者 ■



山本忠信



松田純一



柴田昭雄



松本浩幸



加村孝信



宇都宮昭則

特集：アテンザ

5

## アテンザのセーフティー／セキュリティ Safety and Security of ATENZA

柴 崎 宏 武<sup>\*1</sup> 石 倉 一 孝<sup>\*1</sup> 渡 辺 努<sup>\*1</sup>  
 Hiromu Shibasaki Kazutaka Ishikura Tsutomu Watanabe  
 大 塚 正 志<sup>\*2</sup> 川 本 親<sup>\*3</sup> 高 邊 靖 弘<sup>\*4</sup>  
 Masashi Ohtsuka Chikashi Kawamoto Yasuhiro Takabe

### 要 約

アテンザの開発においては、『High Quality Sports Sedan / Wagon』をコンセプトに、スポーティなスタイリング、卓越したハンドリング、快適な居住性能を高いクオリティで提供することに加え、衝突安全性や乗り心地といった基本性能をより高いレベルで達成することを目標とした。このために、高剛性でかつ強固なキャビンをもつボデーが目標達成の基本と考え、高強度、高剛性ボデー構造の実現を目指した。具体的には、各国の法規制より衝突速度の高いオフセット衝突、フルラップ衝突、側面衝突、後面衝突などの独自の厳しい衝突安全基準を満足させるとともに、NCAP (New Car Assessment Program) で世界トップクラスの性能を得ること、そして子供拘束性能や歩行者保護性能など、幅広い安全性能について目標を設定して開発を行った。そして、これまでの技術蓄積をベースに、コンピュータ解析を多角的に行い、高剛性、安全ボデーMAGMA\*を基本骨格とした新型プラットフォーム、デュアルステージエアバッグやカーテンエアバッグ、ISO-FIX対応チャイルドシートなどの乗員拘束装置、そして歩行者の安全にも配慮した高い衝突安全性能を実現した。

また、安全と同様に、車両の盗難は国内外を問わず、自動車社会の中で非常に大きな課題である。アテンザでは、世界一厳しい盗難性の基準であるサッチャム評価を取り入れて様々な配慮を行っている。

本稿では、これら衝突安全性能とセキュリティの開発概要について述べる。

\* MAGMA : Mazda Geometric Motion Absorption (マツダの全方位衝撃吸収構造ボデー)

### Summary

Atenza has been developed with the target to achieve basic performance such as crash safety and ride comfort at a higher level, in addition to the realization of sporty styling, responsive handling, and comfortable spaciousness, under its concept: "High Quality Sport Sedan/Wagon." The key to achieve the safety target was considered to lie in body structure with stiff and rigid cabin. Accordingly, the development of such a body started. Specifically, the safety target included the following: To satisfy Mazda internal crash safety standard which is more stringent than any regulation (ODB, Full-frontal, side, and rear crashes) in the world.

To achieve world top level performance in NCAP (New Car Assessment Program).

To satisfy extensive safety performance including child restraint and pedestrian protection performances.

Based on our accumulated technology, a new platform derived from the stiff safety body called MAGMA\*, dual-stage airbag, curtain airbag, and occupant protection systems including ISO-Fix child seat and pedestrian-friendly body structure, have been developed as a result of computer simulation and multiple calculation. Same as safety, vehicle theft protection has become a concern in auto-world globally. Various theft protection technologies are incorporated in the Atenza by adopting the most stringent anti-theft standard, Thatcham standards. This report summarizes crash safety performance and theft protection development overview on the new Atenza.

\*MAGMA: Mazda Geometric Motion Absorption

- \* 1 衝突性能開発部  
Crash Safety Development Dept.
- \* 3 ボデー開発部  
Body Development Dept.

- \* 2 装備開発部  
Interior Components Development Dept.
- \* 4 電子開発部  
Electrical & Electronics Development Dept.

## 1. はじめに

自動車の衝突安全性の向上は社会的にも大きな課題であり、我々は高次元での衝突安全技術の追求を行い、より安全な車の開発に取り組んでいる。

アテンザでは、万一の衝突事故に備え、乗員へのダメージを最小限に抑えるために、マツダ衝突安全ボデーMAGMA構造を基本に、世界最高水準の衝突安全性能を開発した。安全装備では、衝撃の強さに応じて展開パターンを最適化するフロントデュアルステージエアバッグやカーテンエアバッグ、ISO-FIXに対応したチャイルドシート固定専用バー、歩行者の安全にも配慮したボデー構造など様々な最新技術を取り入れ、マツダブランドの新しいスピリットに基づく幅広い安全装備の充実を実現した。

一方、衝突安全と同様に、車両の盗難は国内外を問わず、自動車社会の中で非常に大きい課題である。近年、車上荒しのみならず組織的に車両自体を盗む犯罪が相次いでいる。この様な事態に対応するために、マツダを含む各自動車メーカー、保険業界、政府等が協力して対応を協議している。

アテンザには、盗難を防止するための様々な配慮を行っており、その盗難防止性能の目標は、イギリスの保険団体であるサッチャムが車両の保険ランクを決定する際に用いている世界一厳しい盗難性の基準を採用して開発した。

本稿では、アテンザで採用した新衝突安全ボデー構造と最新安全装備、そして盗難防止への対応事例を紹介する。

## 2. 衝突安全ボデーの開発

アテンザは市場で発生し得る多様な衝突形態に対応するため、衝突時の衝撃エネルギーを車両全体に分散させ、客室の変形および衝撃を抑制する優れた衝撃吸収性能をもつ新型プラットフォーム採用により、主要各国の衝突安全アセスメントNCAPに対応すべく、世界トップクラスの衝突安全性を実現した。

### 2.1 前面衝突性能開発

前面衝突のうち、車体前面の全体で衝撃を受けるフルラップ衝突では、車体フロント部の変形量を増やして衝撃を緩やかにする必要があるが、車体前面の片側で衝撃を受けるオフセット（ODB）衝突では、車体変形が非常に大きくなるために、その変形量を減らす必要があり、反対に前面衝突時の衝撃が大きくなってしまう。アテンザは、これら2つの相反する前面衝突性能を最適なバランスで両立させている。

具体的には、Fig.1に示すように衝突初期ではフロント部分の変形荷重の立ち上がりタイミングを早め、高い荷重で効率良く衝撃エネルギーを吸収し、乗員をいち早くシートベルトなどの拘束装置で拘束する必要がある。そこで、Fig.2のようにキックアップの上下オフセット量を小さくしてフロントサイドフレームの潰れ荷重を高めるとともに、並行して衝撃を吸収するペリメータフレームを採用し、衝突初期の衝撃エネルギーをしっかりと吸収する。衝突後半は、ペリメータフレームの変形モードをコントロールし、サイドシルに加

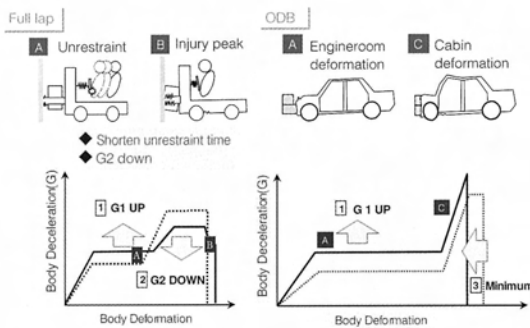


Fig.1 Body Characteristic for Frontal Impact

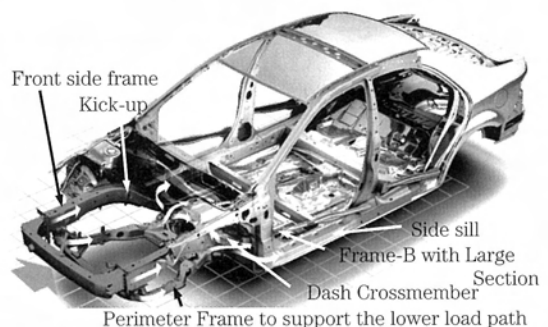


Fig.2 High Energy Absorption Body Structure

え、新たなダッシュクロスメンバーと大断面フレームBの設定による効率的な衝撃エネルギー分散により、キャビンの変形を最小限に抑えている。

ハイドロフォーム成形されたペリメータフレームは、頑丈なキャビン下部のフレームBへ衝撃エネルギーを伝える。そのペリメータの後部締結構造は、フルラップ衝突時には、車体減速を緩やかに行うためにペリメータからの衝撃エネルギーをフレームBへの伝達を避けることで衝突後半の減速度を抑制し、ODB衝突時にはペリメータからのエネルギーをクロスメンバーを介して効率的に側面へ分散させることを可能とした。これら新構造について、Fig.3に示すFEM解析を繰り返すことで最適化を行い、フルラップ衝突とODB衝突性能を両立する新型プラットフォームを実現した。

## 2.2 側面衝突性能開発

側面衝突は、ドアやトリムの限られたスペースで衝撃エネルギーを吸収する必要がある、乗員への傷害を軽減するためには、生存空間を確保することが重要である。そこで、アテンザでは従来のトリプルHボデー構造をベースに、Bピラー周りのレインフォースの板厚、各クロスメンバーの形状、サイドドアビームのレイアウト等を最適化し、側面衝突安全性能を高い次元で実現した。

具体的には、Fig.4のようにルーフとサイドシルを強固につなぐBピラー、両サイドの強固なルーフとそれを結合するルーフビーム、断面を拡大した両側のサイドシルを支える強固なクロスメンバーのトリプルH構造に加えて、Bピラー下部やホイールアーチ下部を拡大し、その拡大面にサイドドアビームをラップさせることで、衝撃エネ

ルギーをアンダーボデーに分散させて効率的に吸収することを可能とした。また、衝撃エネルギー分散の要となるBピラー内部には、異なる板厚の高張力鋼板から成るテラードブランク補強材を挿入し、衝突時にピラー下部が潰れるようにBピラーの変形をコントロールすることで、乗員傷害リスクが高くなるピラー中央部に側面からの衝撃エネルギーが伝達しないようにしている。この変形モードコントロール実現のために、車体全体を各ユニットに分割して構造を検討するユニット解析手法と、Fig.5に示す車体全体でのFEM解析を繰り返し、キャビンの変形を最小限に抑えて乗員を確実に保護する最適構造を具体化した。

## 2.3 後面衝突性能開発

後面衝突は国内法規制である50km/hフルラップ後面衝突よりも、はるかに厳しい80km/hオフセット後面衝突において、マツダ独自の基準を設定し、これをクリアする高い後面衝突安全性能を実現した。

燃料系や生存空間の確保のためには少ない車体

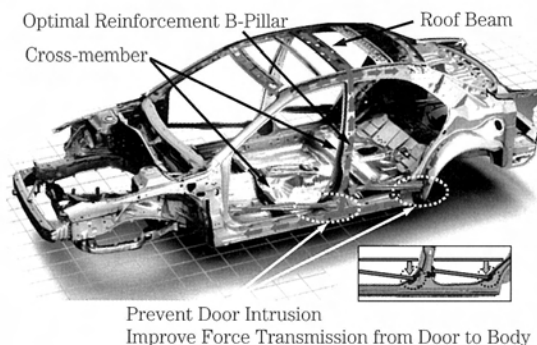


Fig.4 High Energy Absorption Body Structure

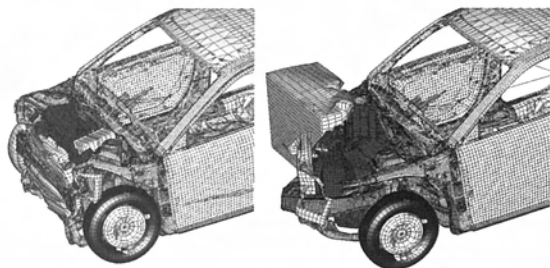


Fig.3 Front Impact Test Analysis Model

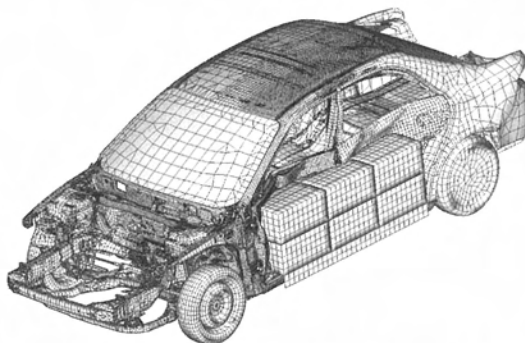


Fig.5 Side Impact Test Analysis Model

変形で衝突現象を終わらせる必要がある。そこで、アテンザでは衝突初期にリアサイドフレームを高い荷重で軸圧縮変形させて衝撃エネルギーを効率的に吸収できるように、Fig.6のようにリアサイドフレームの大断面化とストレート化を行い、キックアップの上下オフセット量を小さくするとともに、3つの高剛性クロスメンバーとサイドシルへ効率よくエネルギーを分散させる高剛性リアボデー構造とした。これら新構造について、Fig.7に示すFEM解析を繰り返すことで、燃料系の保護とキャビンの変形を最小限に抑える最適構造を具体化した。

### 3. 安全装備の開発

#### 3.1 デュアルステージエアバッグ

エアバッグ展開に起因する傷害事故がクローズアップされ、エアバッグの低圧化やバッグ形状の改良など、バッグの加害性軽減に取り組んできている。アテンザでは、加害性軽減のために、前面

衝突時の衝撃の大きさによってエアバッグ展開強さを2段階に制御して、乗員保護に最適な強さでエアバッグを作動させるシステムを開発した。

衝撃の大きさは、Fig.8に示すインストルメントパネル下のフロア面にあるエアバッグセンサー(SAS)と、シュラウド上部中央に置かれたクラッシュゾーンセンサー(CZS)によって細かく判断が行われ、その衝撃の大きさによって展開強さを決定する。

エアバッグには、インフレーターと呼ばれるガス発生装置があり、SASからのエアバッグ展開指令信号を受けることでバッグを展開させる。インフレータの内部は、Fig.9のように2つの部屋に分かれており、展開信号をそれぞれ独立して受け、エアバッグが展開する強さを制御できる構造となっている。また、エアバッグは乗員へ与える衝撃力を緩和するために放射状に開くようになっている。

これらにより、低中速衝突時でのエアバッグに

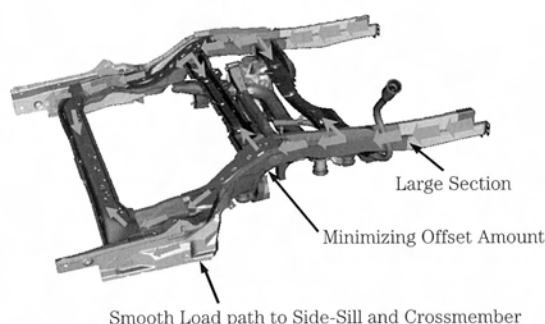


Fig.6 High Energy Absorption Body Structure



Fig.8 Location of Airbag Sensor

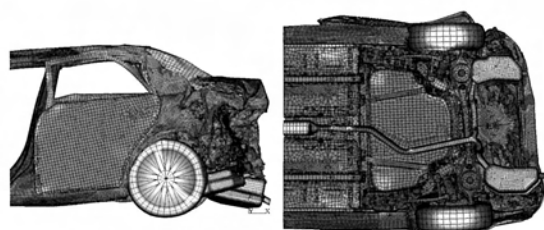


Fig.7 Rear Impact Test Analysis Model

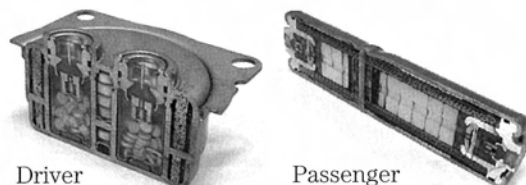


Fig.9 Section drawing of Inflator

よって受ける乗員の傷害リスクの軽減と、高速衝突の乗員保護性能の向上を両立させることが可能となった。

### 3.2 シートベルト

シートベルトには、プリテンショナーとロードリミッターが組み込まれている。プリテンショナーは、衝突直後にシートベルトを瞬時に巻き取り、乗員の初期拘束性能を高める機構であり、エアバッグセンサーからの作動指令信号を受けて作動する。一方、ロードリミッターは、シートベルトへ一定以上の力が加わらないようにすることで、乗員の胸部への衝撃力を緩和する機構である。

これらは、前述のデュアルステージエアバッグとの併用により、前面衝突における乗員の保護性能を高める役割を担っている。

### 3.3 カーテン・サイドエアバッグ

前述のSASは、Fig.8に示すBピラーの根元に置かれたサイドエアバッグセンサー（SIS）と共に、側面衝突の大きさに応じ、衝撃を受けた側だけのカーテンエアバッグとサイドエアバッグへ展開指令信号を送り、作動させる。カーテンエアバッグは、車室内のルーフサイドレール上に取り付けられて、天井トリム内に収納されている。SASからの展開信号を受けると、Fig.10のように天井トリムとウエザーストリップとの隙間からバッグが展開し、前後席乗員の頭部を保護する。更に前席シートバックの側面に内蔵されたサイドエアバッグは、カーテンエアバッグの展開信号と連動して、前席乗員の胸部を保護する。これら2つのエアバッグの採用により、側面衝突時に乗員が受ける傷

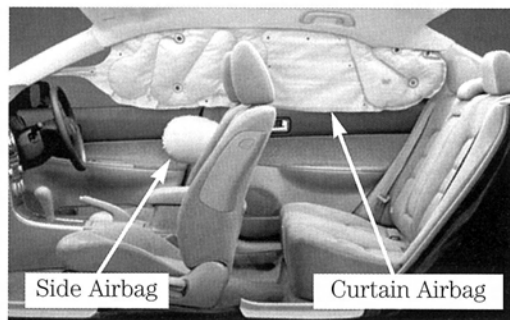


Fig.10 Curtain and Side Airbag

害を大きく軽減することが可能となった。

### 3.4 後退抑制ブレーキペダル

前面衝突時に発生する下脚部傷害は死亡の原因にはならないものの、後遺症の残る場合が多い。そこで、運転席の足下にまで衝撃が加わるほどの激しい衝突に対応するため、Fig.11に示す新たに後退抑制ブレーキペダルを採用し、ペダル取付け部のキャビン内への突出に伴って後方へのペダル移動を抑制することで、運転者の下脚傷害のリスク軽減を図った。

### 3.5 頸部衝撃緩和シート

追突された時、前席乗員のむち打ち傷害の原因となる頸部への衝撃負担を大幅軽減するために、頭部の動きをより早くしっかりと抑え、背中をより柔らかく受け止める機能をシートバックに持たせる必要がある。そこで、シートを詳細にモデル化したコンピュータ解析と実験評価により、頸部への衝撃軽減に効果の大きいシートバックのクッション剛性とヘッドレスト配置、およびヘッドレストのクッション剛性の最適化構造を実現した。

実験評価はハイブリッドⅢダミー、および最新の被追突評価用のBioRID-P3ダミーとTRIDダミーを用い、従来シートと比較して乗員の頸部負担が約20%軽減可能となった<sup>(1)</sup>。

### 3.6 子供拘束装置

後席には、Fig.12に示すチャイルドシートを確実に固定できる、国際規格ISO-FIXに対応する2個の固定用アンカーを備えた固定方法を採用している。従来のシートベルト固定式に比べ、ワンタッチで簡単確実に固定できるために取り扱いやす

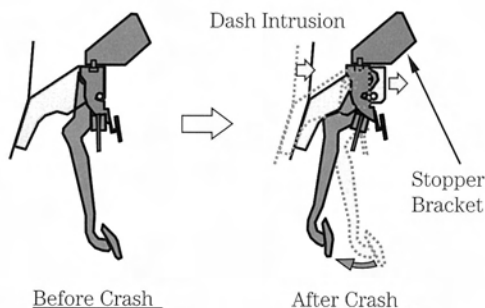


Fig.11 Crash Optimal Brake Pedal



く、チャイルドシートの効果を最大限に引き出す最適化構造を実現した。

また、ISO-FIX対応固定用アンカー採用に併せて更なる安全性を追求し、Fig.13に示す、子供の頭部の前方移動量を抑制する回転防止用トップテザーを採用した。トップテザーを装備していない場合、衝突時にシートが固定部を中心に前方回転して、子供の頭部が前方に大きく移動するのに対し、装備している場合、チャイルドシート上部をしっかりと固定することができるため、前方へのシート回転防止に高い効果を発揮し、子供の頭部の前方移動抑制により、フロントシートやピラーへの2次衝突による頭部傷害を軽減することができた。

### 3.7 荷物侵入防止後部シート

前面衝突時に荷室にある荷物の客室侵入によって後席乗員に危害を与えないように、耐大荷重後部シート構造を実現した。

荷物によるシートバックへの衝撃エネルギーを効率的に吸収するため、Fig.14に示すように、シートバックラッチ部、センターおよびサイドヒンジ等の支持部へ入力荷重を分散させるシートバック

フレーム構造と、荷重入力大きい支持部とシートバックフレームが破損することなく荷重を保ちながら伸びる構造を採用し、後部乗員のより高い安全性能確保を可能にした。

### 3.8 ソフトインテリア

衝突形態によってはその衝撃程度によって乗員が客室と二次衝突すること考えられ、その際の乗員の頭部などを保護するため、Fig.15のように、各ピラーやルーフサイド内部に衝撃エネルギー吸収リブや衝撃緩和構造を内蔵することで、乗員が二次衝突したときの頭部の衝撃緩和を実現した。

### 3.9 歩行者保護ボディ

歩行者との衝突時に頭部や脚部へのダメージを最小限に抑える必要がある。そこで、頭部傷害軽減のためにボンネット部分にエンジンルーム内部品との十分な空間を確保する衝撃吸収スペース、硬さを均一にした衝撃吸収ボンネット、および衝撃吸収スライド機構付ワイパービポットスライド、下部脚部傷害軽減のために膝部への荷重集中を軽減する衝撃吸収バンパー構造を採用し、歩行者の傷害を軽減するボデー構造を実現した。

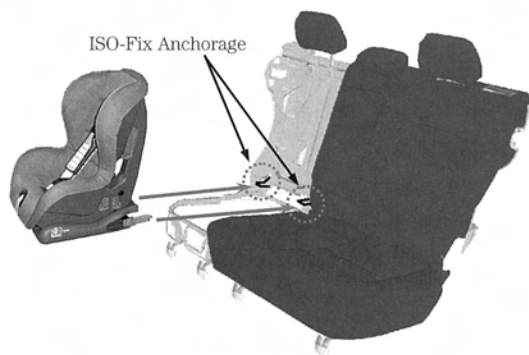


Fig.12 ISO-FIX Fixed Anchor

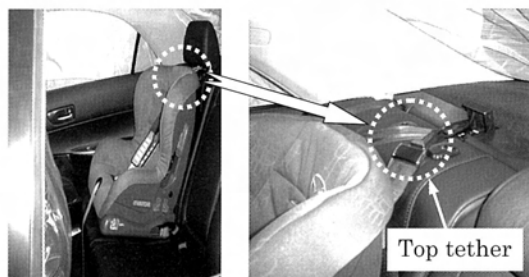


Fig.13 Top Tether

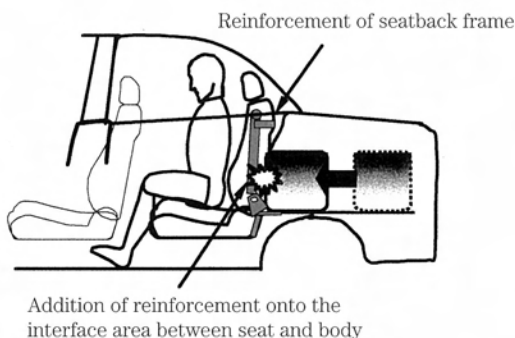
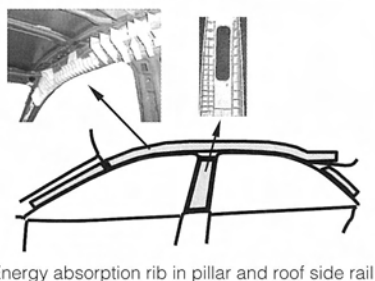


Fig.14 Protection Rear Seat



Energy absorption rib in pillar and roof side rail

Fig.15 Energy Absorb Structure

## 4. セキュリティー開発

### 4.1 サッチャムの盗難性評価とは

Table1に、サッチャムの評価項目と満点の評価点を示す。車両盗難の手口は色々あるが、サッチャムの評価は以下の点で優れており、多くの自動車メーカーはこの評価基準を採用し、保険ランク毎に設定される基準点を目標に開発を進めている。

#### (1) 評価項目

評価項目は以下の3つのカテゴリーから構成されており、車両盗難の難易度を総合的に判断する非常に合理的かつ実用的な基準である。

##### ① ボデーセキュリティシステム

まず、盗難の第一歩はドア等を開けて車両の中に侵入する事であり、ここではドア、ボンネット、トランク等を開けることが如何に難しいかをあらゆる角度から評価する。

##### ② エレキセキュリティシステム

これは、パーグラアラームシステムやイモビライザーシステムが、不正な手段でシステムを解除することが如何に難しいかを評価する。

##### ③ 車両認識システム

これは、盗難車両や犯人の早期発見が出来るように、如何に車両や部品を特定するための打刻が適正に行われているかを評価するものである。

#### (2) 評価方法

サッチャムの評価方法は、項目毎にアタックテストを実施する。実際に専門家が車両の構造を研究した上で種々の工具を用いてアタックし、盗難に要した時間から以下のように評価される。

0～ 30秒	基準ポイントの 0%
30～ 60秒	基準ポイントの25%
90～120秒	基準ポイントの75%
120秒以上	合格 (基準ポイントの100%)

この様にサッチャムの基準は、盗難防止の効果が専門家によって評価され認められなければポイントはもらえないと言う、非常に厳しい評価基準である。

Table 1 Thatcham estimate

項 目		満点
ボデーセキュリティシステム		
イグニッション/ステアリングロック		90点
キーシリンダー&ロックメカニズム		145点
追加的なセキュリティ装備の有無		10点
キーとコンポーネントの管理		20点
車室内エンターテインメント装置		20点
グレイジング:		20点
合計		305点
エレキセキュリティシステム		
電子イモビライザーシステム		400点
電子アラームシステム		200点
合計		600点
車両認識システム		
ビジブルVIN		35点
エンジンナンバー		10点
VINプレート		10点
ガラスのエッチング		10点
コンポーネントのアイデンティ		30点
合計		95点

### 4.2 アテンザの盗難防止構造

盗難防止性能を高めるため、まず開発に注力したのが、ドア、トランク、そしてボンネットなどを開錠されて車室内やバッテリーにアクセスされないようにする事である。その代表的な事例を以下に紹介する。

#### (1) ドアキーシリンダー

キーシリンダーは最もアタックされ易い部品であるが、アテンザでは①～③の様な様々な配慮を行い、キーシリンダーの盗難防止性能を飛躍的に高めた。Fig.16にその外観を示す。

- ① キーシリンダー自体の取付強度アップ及び、キーシリンダーが取り付くアウターハンドルの取付強度アップ
- ② ハードプレートとフューズキー採用による工具等による開錠防止
- ③ ピッキング防止構造の採用

#### (2) ドアロック構造

キーシリンダーに続いてドアロックも重要な部品である。アテンザではここにも①～③の様な配慮を行い、キー以外による開錠を極めて困難にした。Fig.17にその外観を示す。

- ①ドアロック本体の完全なセキュリティーシールド構造の採用
- ②インナーロックへのリンケージをロッドからケーブル構造に変更
- ③ドアモジュール構造採用による、ドアの内側へのアタック防止

#### 4.3 アテンザのセキュリティー装備

アテンザでは基本的な盗難防止構造に加え、各国の事情に合わせて種々の高性能なセキュリティー装備を装着している。以下代表的な3つの装備について紹介する。

##### (1)イモビライザーシステム

イモビライザーシステムは、キーに埋め込まれたトランスポンダーがイグニッションキーシリンダに装着されたトランシーバーのアンテナを介して車両と交信してユーザーであることを確認し、エンジンの始動等を可能にするシステムである。そのブロック図をFig.18に示す。またアテンザではチャレンジレスポンスシステムを採用しており、ユーザーIDを確認するだけでなく、車両側から乱数を発信しキーに埋め込まれたトランスポンダーが計算結果を車両に返してドライバーであることを確認する極めてセキュリティー性能の高いシステムである。

##### (2)バグアラームシステム

バグアラームシステムは、泥棒が不正な手段で車室内に侵入した事を検知して光学／音響アラームを発するシステムである。アテンザのシステムでは、以下のような機能を追加する事で、アラームシステムとしての性能を大幅に向上させた。

##### ①電波式侵入センサの採用 (Fig.19)

電波によって車室内を警戒する事により、ドアを開けずに（窓ガラス等を壊して）侵入する泥棒を検知し、アラームを発する事ができる。

##### ②バッテリーバックアップサイレンの採用 (Fig.20)

電源を内蔵したサイレンを車内に設置する事により、泥棒が車両のバッテリーを遮断しても音響アラームを発しつづけることができる。

##### (3)スーパードアロックシステム

これは、インナーロックにロックを掛けるシス

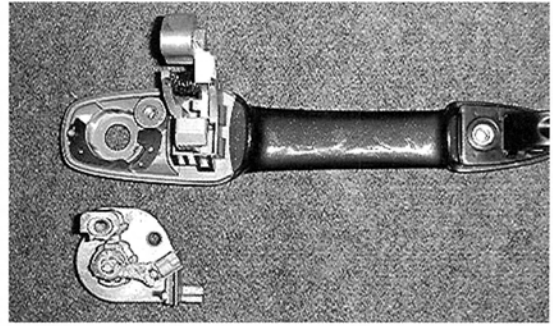


Fig.16 Key Cylinder

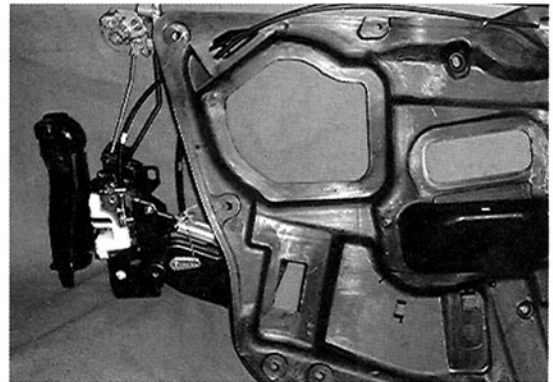


Fig.17 Door Lock System

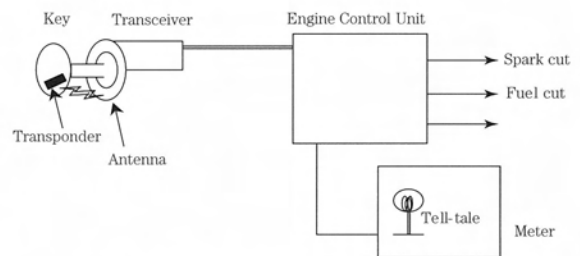


Fig.18 Block Diagram of Immobilizer

テムで、外から針金や専用工具などで、インナーロックノブやその経路にアタックされても開錠しないようにしたものである。万一ガラスを割られても、キー又はキーレスエントリー以外ではドアを開けることが出来ないため、欧州を中心に普及している装備である。また、その効果は、Table 1のキーシリンダー&ロックメカニズムの評価点に表れる。

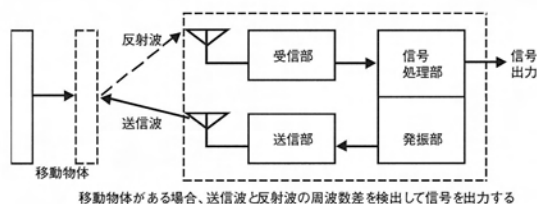


Fig.19 Intrusion Sensor

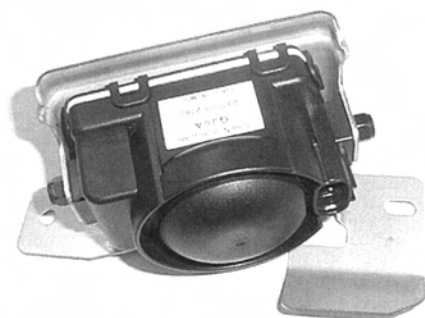


Fig.20 Battery Back Up Siren

アテンザでは、今までのスーパードアロックアクチュエーター構造を見直し、より軽量かつ安価なシステムを開発した。

## 5. 終わりに

本稿では、アテンザの衝突安全性能とセキュリティの開発概略について紹介したが、マツダの取組みと、アテンザの性能／品質の高さを感じ取って頂ければ幸いである。

最後に、これらの開発に多大な協力を頂いた多くの方々に、この紙面を借りて深く感謝の意を表す。

## 参考文献

- (1) 石川 他: “An Evaluation of Prototype seats using BIORID-P3 and Hybrid-III with TRID Neck”: The AAAM and the IRCOB, 2000.9.20-22

## ■ 著 者 ■



柴崎宏武



石倉一孝



渡辺 努



大塚正志



川本 親



高邊靖弘

特集：アテンザ

6

## アテンザの多重通信システム Multiplex Communication System of ATENZA

梶 山 浩 <sup>*1</sup>	坂 本 裕 昭 <sup>*2</sup>	山 下 哲 弘 <sup>*3</sup>	上 原 茂 幸 <sup>*4</sup>
Hiroshi Kajiyama	Hiroaki Sakamoto	Tetsuhiro Yamashita	Shigeyuki Uehara
二 宮 洋 <sup>*5</sup>	田 川 裕 <sup>*6</sup>	吉 村 倫 <sup>*7</sup>	増 田 義 弘 <sup>*8</sup>
Hiroshi Ninomiya	Hiroshi Tagawa	Hitoshi Yoshimura	Yoshihiro Masuda

### 要 約

車両電装品の発展により、電装品間を接続するワイヤーハーネス（電線の束）の肥大化が車両レイアウトスペース、重量、コスト上の問題となつて久しい。この解決策として、アテンザでは世界的な標準化が進む多重通信（CAN：Controller Area Network）を採用した。

1998年以降、通信ICが安価になってきており、多くの自動車メーカーが採用拡大へ動き出すとともに、多重通信システムの標準化を図ることで、通信ICの生産量が拡大し、更なる価格低減の動きが始まった。当社も、新しい多重通信システムの採用検討と評価を行うとともに、Fordとの共通化を積極的に進めてきており、その量産適用の第一号としてアテンザに新しい多重通信システムCANを搭載した。

当社は、通信シミュレーション用の自動変換ツールを開発し、この多重通信を電子ユニット間の通信に使用するとともに、生産ラインでの「Configuration」による部品仕様の確定や出荷検査・市場での故障診断に活用し、部品種類の削減、検査時間の短縮および高機能な故障診断を可能にした。

### Summary

It is a long time since wiring harnesses (bundles of electric cables), connecting between automobile electronic components, became an issue of layout space, weight and cost, due to the automobile electronics growth increasing volume of wiring harnesses. As a solution for that, we have applied a multiplex communication called CAN (Controller Area Network), most possible global standard, for Atenza.

Price of communication IC is becoming lower since 1998, and many automobile manufacturers are expanding the adoption of IC. The production of IC has increased, and further price reduction has been made, due to the standardization of multiplex communication system. Mazda is also studying and evaluating to adopt the system, and further promoting the system commonization with Ford. We have installed CAN, new multiplex communication system to Atenza, which is a first model to adopt it for mass production.

Mazda has developed an automatic conversion tool for communication simulation, where the multiplex communication system was used for the communication of electronic units. The system was also used to decide parts spec by "Configuration" at manufacturing line and to diagnose failure at shipment inspection and market. We have contributed to reduce parts variation, shorten inspection time, and diagnose failure in high functional level.

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

\* 6 商品サービスプログラム部  
Vehicle Service & Program Dept.

\* 8 車両技術部  
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

\* 5 パワートレインシステム設計部  
Powertrain System Engineering Dept.

\* 7 本社検査部  
Hiroshima Inspection Dept.

## 1. はじめに

当社は、車両電装品の増加に伴うワイヤーハーネスの肥大化抑制、生産のフレキシビリティ向上および市場サービス性の向上を目的としてアテンザに新しい多重通信システムを導入した。

1990年代後半に入って、半導体製造技術の進歩と多重通信システムの国際標準化や業界標準化の動きが台頭してきたことにより、多重通信に必要とされる半導体の価格が大幅に下がる気運が生じた。このため、多数の自動車メーカは独自の多重通信システムから、この標準化された多重通信システムへ急速に移行しつつあり、更なる価格低減の動きが始まった。当社は、この機を捉えるとともに、グローバル化が進む自動車産業界において、部品調達・車両生産拠点のフレキシビリティを確保することを目的に、国際標準や業界標準をベースにFordと多重通信仕様の共通化を進めてきた。その量産適用第一号として、アテンザへ新しい多重通信システムCANを搭載した。

当社は、独自の多重通信システムPALMNETを1990年に市場導入した。それ以来、ネットワーク管理手法や多重通信シミュレーション用自動変換ツールの開発等、多くの蓄積されたノウハウを引き継ぎながら、国際標準化や業界標準化が進むCANをアテンザに搭載した。

また、従来多重通信システムの採用目的はワイヤーハーネスの肥大化抑制と故障診断機能の充実であったが、昨今の自動車業界のモジュール化動向を踏まえ、部品種類削減による生産性改善や市場サービス性向上機能を追加した。自動車部品のモジュール化は、これまでシステム単位で車載していた複数の部品を統合化するため、車両メーカが組付ける部品の容積の増大と部品種類数の増大を招き、そのままでは在庫数量と在庫スペースを大幅に増加させてしまう。

これに対して、自動車部品を適切な範囲でグルーピングした上で、汎用品と多重通信を用い、部品の仕様を確定することで、部品種類の大幅な削減を図った。つまり、車両組立ライン設備や市場サービス用ツールと接続し、通信を使って最終的な部品仕様を確定することで部品種類削減を可能とし、モジュール化が抱える課題を解決した。

## 2. 車両電装品間通信への適用

アテンザに搭載した多重通信システムをFig.1に示す。CANはISOやSAEで標準化されている。特に、故障診断系においてはOBD-II規制により、2007年モデルよりパワートレイン系の故障診断は、CANへの移行が必須となる計画であり、CANが車両で使われる標準的な多重通信システムとなることが予測される。

こうした背景を踏まえ、当社はFordと通信仕様の共通化を図り、CANを使った多重通信システムの開発を行った。以下に、アテンザの多重通信システムに折込んだ技術概要を紹介する。

### 2.1 アテンザの多重トポロジー

アテンザの多重トポロジーをFig.2に示す。車種グレードに応じて、3から6個の電子ユニットを多重通信ラインに接続している。

高速CAN側は、パワートレイン制御やシャシー制御等のリアルタイム制御を行う電子ユニットを対象とした。そして、信号速度への要求を満たし、且つ多重通信ラインに安価なツイストペア線で電磁波ノイズを抑えることができる通信速度として500kbpsを使用した。

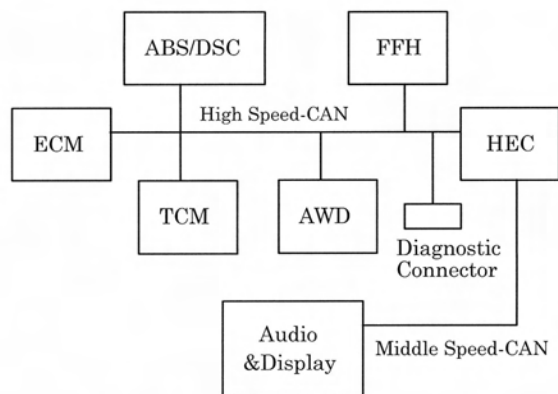
中速CAN側は、スイッチ信号や表示情報の信号伝達を行うため、低速の通信速度で対応できることから、より電磁波ノイズに有利な通信速度125kbpsを使用した。

また、「車速信号（スピードメータ）」「エンジン回転数信号（タコメータ）」「各種警告灯信号」等を多重通信でエンジン制御ユニットから受信し、「燃費」「平均車速」等の計算結果を表示部に送信するクラスターに、500kbpsのHS-CAN（High Speed-CAN）と125kbpsのMS-CAN（Middle Speed-CAN）のゲートウェイ機能を持たせた。

Object	Network	Speed
Vehicle Control	HS-CAN	500kbps
Accesery Control & Entertainment	MS-CAN	125kbps
Diagnosis	HS-CAN	500kbps
	MS-CAN	125kbps
	ISO9141	10.4kbps

Fig.1 Multiplex System





ECM : Engine Control Module  
 TCM : Transmission Control Module  
 ABS/DSC : Antilock Braking System /  
 Dynamic Stability Control System  
 AWD : All Wheel Drive Module  
 FFH : Fuel Fired Coolant Heating Module  
 HEC : Hybrid Electronic Cluster

Fig.2 Atenza Multiplex Topology

## 2.2 多重通信による省線化効果

アテンザでは、多重通信を使用したことにより、最上級グレードでトータル91回路の電線を多重化により省線化し、従来比でハーネス本数を▲10%、重量を▲1.5kgおよびハーネス径は最大で▲30%削減することができた。

## 3. 多重通信システムの開発の概要

多重通信を制御に採用する際、以下の要件に配慮し、通信制御仕様を決定しなければならない。

- ①信号遅れが発生しても機能に影響しないこと。
- ②万一、通信線が断線／ショートしても車両の挙動が不安定になったり、走行不能に陥らないこと。
- ③強電界により車両機能が誤動作したり、通信線から電磁波ノイズが発生しないこと。

そのために、信号の選定に際して、エンジン制御やABS制御等の個別システム単位では、Fig.3の通り、各システムが必要とするセンサの信号入力は従来と同様に個別システム単位で行い、同等の信頼性・安全性を確保した。その上で、個別システムの信号のうち、システム間で共有することでメリットが出せる信号を多重信号に選定した。

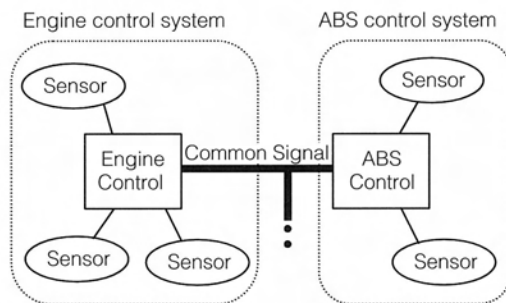


Fig.3 Multiplex communication among systems

また、通信制御は、全信号を周期的に送信させて、通信遅れや一時的な故障に対して影響が出ないようにするとともに、多重通信対象の電子ユニットに対して、通信のヘルスチェック機能を設けた。受信側電子ユニットは、本来周期的に送信される信号の受信が所定時間以内に検出できなかった場合、フェールセーフ制御に移行するとともに、通信異常の故障コードと異常が発生した電子ユニットを記録し、故障の判別を可能にした。

以上により、多重通信の故障に対する車両の安全性確保と故障診断を実現した。

加えて、強電界環境下における通信の信頼性は、上記CANプロトコルが持つエラー検出機能で対応可能なことを確認した。また、車載オーディオ機器等への電磁波ノイズの影響に関しても、ISOに準拠したCANドライバ回路と回路設計要件を採用して、ツイストペア線で当社の試験基準を満足することを確認した。

## 4. Configuration機能

アテンザでは、多重通信システムを使用し、「Configuration」を実施することにより、エンジン制御ユニット、クラスター、ABS・DSCユニットの大幅な部品種類削減を実現した。以下では、多重通信による2通りの「Configuration」実施方法とその効果を紹介する。

### 4.1 電子ユニット間通信Configuration

多重通信は、ネットワークに接続されている個々の電子ユニットが保有する様々な車両諸元の情報を相互に交換し合い、共有化することを可能にする。これにより、例えばABS・DSCユニットは、パワートレイン制御ユニットから、エンジン

機種、排気量、仕向けおよびタイヤサイズ等の情報を多重通信を通して受信し、この情報に応じた最適な制御ソフトに切替えることで、電子ユニットの部品種類数削減を実現した (Fig.4)。

4.2 生産ラインでのConfiguration

車両組立ラインにEOL (End of Line Tester) 装置 (Fig.5) を設置し、生産工程で多重通信に接続される電子ユニットと通信を行うことで、電子ユニット内部の不揮発性メモリに車両の装備情報を書き込むことを可能にした。例えば、これにより、従来のクラスターは2WDと4WDで異なるフューエルタンクに対しフューエルゲージ特性の異なる複数の部品を設定していたが、EOLを使って内部メモリにフューエルゲージ特性の切り替え信号を書き込むことで、クラスターの部品種類の増加を抑制している。

4.3 Configurationによる種類削減効果

アテンザにおけるABS・DSCユニット、クラスター、パワートレイン制御ユニットについて部品種類の低減効果を、

- ①ユニット間通信によるConfiguration実施時
- ②①に加えて生産ラインのConfiguration実施時で比較しFig.6に示す。

Configurationは、技術的には部品種類を一種類とすることが可能であるが、実際には部品の共通化による部品の付け捨てコスト増大という相反条件がある。アテンザでは部品の付け捨てコスト増大と部品メーカーおよび当社の部品管理コスト低減のバランスを図りながら、最適なConfigurationの実施内容と種類を決定した。

Elec.unit	Configuration Type	
	CAN Data	EOL
ABS/DSC	Engine type Displacement AT/MT Market Tire size	Body type Brake size Feature Information Engine type AT/MT
Cluster	TCS/DSC AT/MT 2WD/4WD	Speed characteristic Warning/Buzzer type Feature Information
Engine Control unit		Tire size

Fig.4 Configuration Items



Fig.5 End of Line Tester

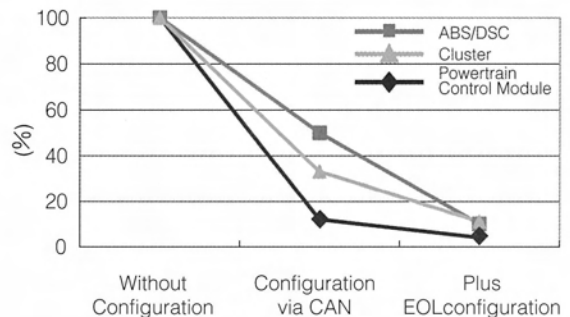


Fig.6 Reduced Parts-complexity by Configuration

4.4 Configuration通信フロー

車両組立ラインに導入したEOL装置を使用したConfigurationの通信フローをFig.7に示す。EOL装置は車両のVIN番号を読み取り、工場のホストコンピュータから車両の仕様情報を検索する。そして、電子ユニットに書き込むべきConfigurationデータを予めEOL装置内部に設定したデータテーブルにより特定する。その後、EOL装置は多重通信に接続される電子ユニットと通信を行い、Configurationデータの書き込みを行う。Configurationデータは作業者がEOL装置上で簡単に設定変更できる仕様とし、量産途中の装備追加や変更に対して、電子ユニット側の設計変更無しでフレキシブル、且つ即座に対応できるものになっている。また、アテンザではデータの設定ミスの流出を防止するため、後述する検査ラインにもEOL装置を設置し、検査部門がデータの照合チェック等を行うことでデータ書き込みの信頼性保証を行っている。

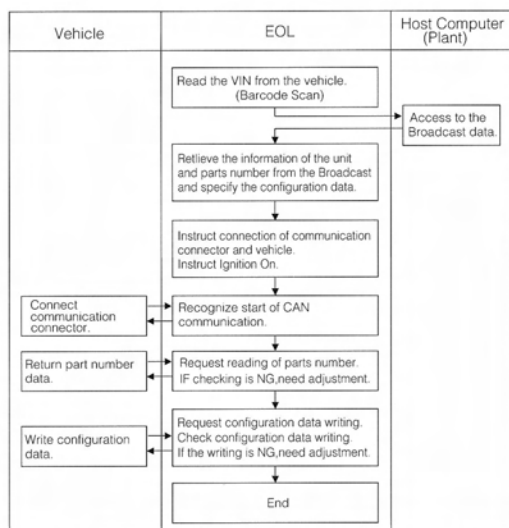


Fig.7 Configuration Flow (Assembly EOL)

## 5. 検査/調整機能～ライン検査への適用

### 5.1 部品の自動誤組付け検査

アテンザでは、検査ラインにもEOL装置を設置し、自動検査を実現した。多重通信に接続された電子ユニットには、EOL装置からの要求により、部品番号の情報が読み出せる機能を設定した。EOL装置は、工場のホストコンピュータから検索した「本来装着されるべき部品番号」と「車両の電子ユニットから読み出した部品番号」を自動的に照合し、誤組付けの発生有無を検出できるようにした。これにより、検査能力の向上を図るとともに、従来は誤組付けを検出するために実施していた種類別の端子配列変更や種類認識用ハーネス設定を廃止し、車両ハーネスの種類とコストの削減を実現した。

### 5.2 部品シリアル番号とVIN番号の記録

電子ユニットには、部品のシリアル番号を読み出せる機能もしくはEOL装置から多重通信に接続された電子ユニットにVIN番号を書き込む機能を設定した。部品のシリアル番号をVIN番号とリンクしてレコードキープすることで、部品のトレーサビリティが向上するとともに、車両のセキュリティ性評価要件に貢献した。

## 6. 故障診断機能～市場サービスへの適用

アテンザでは、当社初となるCAN通信による

故障診断機能をエンジン制御ユニット等の電子ユニットに採用した。前述したEOL装置および市場のサービススターを用いた故障診断の多重通信仕様は、全て以下に述べる通信規格を適用した。

### 6.1 故障診断の適用規格

故障診断の通信仕様は、Fig.8で示すISO規格に準拠する。これにより、2000年から適用されたCAN通信による欧州OBD要件に適用するとともに、2007年モデル以降に適用予定の米国OBD要件に対応した。

### 6.2 サービススターのサポート体制

当社は、市場サービスの更なる充実やCANによる故障診断をサポートするため、WDS (Worldwide Diagnostic System) を2000年より各サービス店舗への配備を進めている。WDSは、車両電装品の高機能化、多重通信化を踏まえて、サービス部門がFordと共通化した次世代サービススターである。以下では、このWDS機能の中で、Configuration機能に関してのみ紹介する。

### 6.3 市場でのConfigurationサポート

アテンザは、市場で交換する電子ユニットに対してもWDSを使用し、Configurationを実施することで、交換用電子ユニットの種類数削減を可能にしている。

Step1; WDSによるデータ移植

Configurationを行う電子ユニットを市場での交換時、WDSを使用し車載されている電子ユニットのConfigurationデータを新しく装着する電子ユニットへ自動的にデータを移植できる。

Step2; ホットラインサービス対応

電子ユニットからConfigurationデータが故障等により読み出せない場合、サービスマンはホットラインサービスにより書き込みデータの指示を受け、WDSを使用しデータの書き込みを実施する。また、電子ユニットには市場での不正なデータ書き込みを防止する観点からISOに準拠したセキュ

OSI layers	Enhanced diagnostics	Legislated OBD
Diagnostic application	ISO/DIS 15765-3 ISO 14230-3	ISO/FDIS 15031-5
Application layer	ISO/DIS 15765-3 ISO 14230-3	ISO/FDIS 15031-5
Network layer	ISO/DIS 15765-2	ISO/DIS 15765-4
Data link layer	ISO/DIS 11898-1	ISO/DIS 15765-4
Physical layer	ISO/DIS 11898-1	ISO/DIS 15765-4

Fig.8 Normative References

リティガードを設定した。すなわち、テスター側は電子ユニットから送られてくるセキュリティコードに対して、正しいセキュリティコードを返信しなければデータの書き込みが出来ない構造としている。この他、テスター側にはサービスマンのキー操作ミスを防ぐため、チェックデータ入力等の工夫がなされている。

## 7. 開発環境の整備

### 7.1 多重通信開発ツールの整備

CANによる多重通信の拡大とともにCAN用の計測ツールや開発支援ツールの整備が進み、車両全体の通信を机上で模擬する多重通信シミュレーションが可能になっている。アテンザの多重開発では、ネットワーク全体の仕様を把握する当社が、車両の多重通信シミュレーションソフトを作成し、サプライヤによる電子ユニット毎の納入前単品通信機能評価に活用した。サプライヤに実車を模擬したネットワーク通信環境を提供し、開発の効率化と試作品質を確保した。

また、今後の開発車種にも標準的に使用できるように通信シミュレーションソフトの自動変換ツールを開発した。Fig.9に自動変換ツールの機能概要を示す。これまでは、多重通信仕様書のドキュメントをベースに設計者が多重通信シミュレーションソフトを作成していたが、自動変換ツールでは多重通信仕様を記述したデータから多重通信シミュレーションソフトを作成することができる。自動変換ツールにより、設計者のスキルに依存することなく評価環境の効率的な整備と標準化が図れるようになった。

## 8. おわりに

当社では、今後の車種にこの多重通信システムを展開して行く計画であり、車両の中のネットワークは、今後ますます重要な位置付けとなることが予想される。情報化の進展に伴い、車外との情報のシームレス化や画像等の大きな情報量を扱うニーズが顕在化している。今後、高速・大容量の通信に用いられる多重通信システムや無線による多重通信システムの採用が進むと思われる。こうした社会動向と国際的な標準化の動向を捉えつつ、開発を継続して行く。今後とも、お客様にと

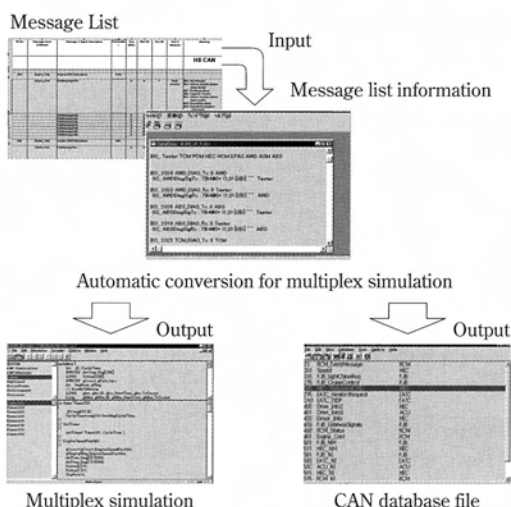


Fig.9 Multiplex Simulation Data Conversion Tool

って魅力のある商品を高品質・低コストで実現するための技術開発を積極的に行っていく。

### ■ 著 者 ■



梶山 浩



坂本裕昭



山下哲弘



上原茂幸



二宮 洋



田川 裕



吉村 倫



増田義弘

特集：アテンザ

7

## アテンザのクラフトマンシップ Craftsmanship of ATENZA

福井 信行<sup>\*1</sup> 川本 法男<sup>\*2</sup> 平尾 幸樹<sup>\*3</sup>  
 Nobuyuki Fukui Norio Kawamoto Kouki Hirao  
 中村 誠之<sup>\*4</sup> 内田 博志<sup>\*5</sup>  
 Seishi Nakamura Hiroshi Uchida

### 要 約

近年、欧州メーカー中心に内外装の質感が格段と向上してきている。このような競争の厳しい状況の中で、マツダは「クラフトマンシップ」という新しい考え方を導入し、アテンザにフォーカスした全社的な活動を実行してきた。「クラフトマンシップ」というぼんやりとした領域を、仕上げまとり、見映え、操作性などの「造り込み」と人間工学に基づいた「機能美」、この二つのキーワードでクラフトマンシップを定義し、活動のビジョンを明確にした。

マツダのクラフトマンシップは、お客様が見て、触わって、操作する全ての領域を対象にした非常に幅広い活動である。又、開発と製造の専門メンバーは、個々の部品やユニット毎に、詳細部分に至るまで、質感や操作感を深く追求した。

本稿では、マツダのクラフトマンシップ活動の基本的な考え方と、アテンザの取り組み事例として、センターパネルの機能美、ドアの閉め音について紹介する。また、アテンザでこだわってきたシートの機能美については、「シート快適性の追求」を参照下さい。

### Summary

Recently, the quality feel on both of the exterior and interior has been significantly improving to the mostly manufactures in European.

In this draconian competition, Mazda has been incorporated the "Craftsmanship" as new concept, and has been proceeded the company-wide activity that focused to ATENZA.

The "Craftsmanship" that is unclear concept, has been identified by two key words that one is "Built-in Quality" such as "Fit & Finish", "Appearance" and "Operation Performance" and second one is the "Functional Beauty" based on the ergonomics, the vision of this activity was clarified.

Mazda Craftsmanship Activity is intended very wide range for overall components as target that is the look, the touch, and the operate by customers.

Regarding to this activity, the experts of the development and the manufacturing analyzed deeply and, improved further details of the quality feel and the operation feel for each parts and unit.

In this article, it is introduced that basic concept of Mazda Craftsmanship, as the Craftsmanship activity for ATENZA, the functional beauty of center panel, the operation feel of the operation device, and the closing sound of door. Please see the "Pursuit of Seating Comfort" for the functional beauty of seat that adhered to ATENZA.

\* 1, 2 車両実研部  
Vehicle Testing & Research Dept.

\* 4 ボデー開発部  
Body Development Dept.

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

\* 5 技術研究所  
Technical Research Center

## 1. はじめに

近年、欧州メーカーを中心に、内外装の質感が格段に向上してきている。このような高いレベルでの厳しい競争の中で、マツダは、造り手のこだわりを反映した、お客様に満足いただける車造り実現を追求した。アテンザは、「クラフトマンシップ」という新しい考え方を導入し、全社的な取り組みを展開し開発して来た。

## 2. クラフトマンシップの定義

最近、日本でもクラフトマンシップという言葉が使われるようになったが、その解釈は人により異なる曖昧なものである。私達は、マツダのクラフトマンシップに対する基本的な考え方とビジョンを明確にするところから活動をスタートさせた。Fig.1は、マツダの目指すクラフトマンシップの基本的な考え方を示している。縦軸にクラフトマンシップのレベルの高さ、横軸を時間軸とし過去から将来に向けて、いかにしてクラフトマンシップを向上させていくかを表している。

活動の第1ステップとして、クラフトマンシップの基盤をしっかりと築くために、①仕上げまとも、②見映え、③基本的な操作性などの「造り込み」をしっかりと押さえて着実にレベルを向上させる取り組みを行った。アテンザでは、「造り込み」として、ヘッドランプ、バンパー、ドアヤリッド類など全ての外装部品について、取り付け構造や生産技術向上により、隙間や段差の縮小、見映えの向上を追求した。例えば、ヘッドランプとバンパーの隙を1.5mmに、ドアヤリッド周りの隙間は全て3.5mmまで縮小した。また、内装部品の表面色、艶、シボのコーディネートや合い沿いについても力を入れてきた。

第2ステップとして、クラフトマンシップをさらに向上させトップレベルを狙っていくために、「機能美」を追求した。お客様にとって、本当に使いやすいということは何か、分かりやすさや、疲れにくさとはどういうものかを人間工学的に徹底的に研究した。このような機能性とデザイン、造形を調和させることで、「機能美」実現を目指した。

このように、マツダのクラフトマンシップは、

「造り込み」と「機能美」の2つを柱としている。本稿では、アテンザのクラフトマンシップの代表的な事例二つを紹介する。

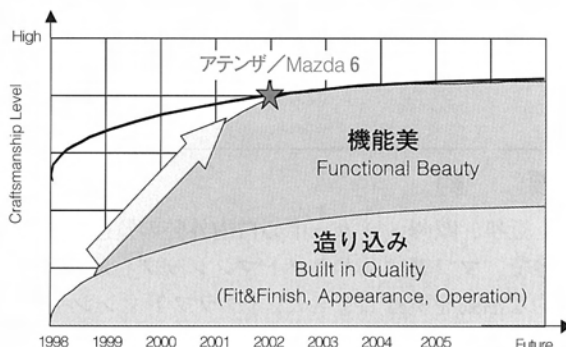


Fig.1 Concept of Craftsmanship

## 3. 機能美を追求したセンターパネル

アテンザでは、人間工学に基づいた「機能美」あふれるインストルメントパネル造形を追求した。特にこだわりを持って開発した「センターパネルまわり」について紹介する。

センターパネルは、オーディオと空調コントロールという重要な操作ユニットを含んでおり、これら2つの機能を中心に考え

- ①操作方法の判りやすさ
- ②運転中の「状態確認のしやすさ」
- ③運転中の「操作のしやすさ」
- ④華やかさ

の4つの開発評価軸を設定した。

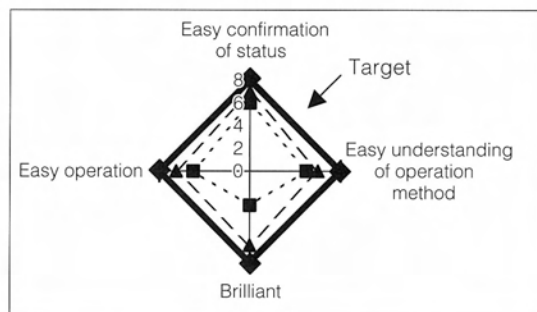


Fig.2 Vision of Center panel



### 3.1 操作方法の判りやすさ

「短時間で操作を開始できる」ことを狙いとし、以下の3つを基本的な考え方とした。

- ①スイッチを機能統合して覚えやすくすることで、視認回数を削減する。
- ②表示の位置とスイッチの位置、遷移表示と操作方向を対応させ、視認回数を削減する。
- ③使用頻度順に運転者に近い場所に配置する。

特にスイッチの数の多いオーディオに関して首都圏中心に調査を行い、音量調整、プリセット選局、ソース切替えの3つが、特に使用頻度が高いことが分かった。アテンザでは、音量スイッチを運転者側に、プリセット選曲、ソース切替えは、手の届きやすい上方に配置した。その他のスイッチ、表示についても①、②の考え方に基づいて配置した。

スイッチ配置を検証するために、試行回数ごとの操作部分の視認回数について実験を行った結果がFig.3である。アテンザは、初回の操作時の分かりやすさも優れているが、2回目以降、更に少ない視認回数で簡単に操作できることが分かる。

### 3.2 運転中の状態確認のしやすさ

「状態確認が短時間でできる」ことを狙いとし、以下の3つを基本的な考え方とした。

- ①表示を高位置に配置することで、視認時の視野角が増し、表示が大きく見える。
- ②表示を高配置にすることで、前方の視界からディスプレイに移動する視認時間が短くなる。
- ③各情報表示を集中させることで視認性能を一定に与えることが可能になる。

アテンザで採用した高配置集中ディスプレイと従来タイプのオーディオ、空調コントロールと視認時間を比較実験した結果、約0.3秒短縮でき、約35%の向上効果が確認できた (Fig.4)。

### 3.3 運転中の操作のしやすさ

「短時間の操作で、瞬時に運転姿勢へ復帰」を狙い、以下の2つを基本的な考え方とした。

- ①短時間で操作できるスイッチ方式
- ②適切なスイッチの大きさ

スイッチ方式に関しては、例えば空調のモードやオーディオのトラックスイッチのような「機能を選択」する操作は、プッシュ型のスイッチの操作時間が短いことが分かった (Fig.5)。一方、オ

ーディオの音量調整などの「量を調整する」操作については、操作時間の差はほとんど見られないものの、主観評価において、ダイヤル式のスイッチが優れている結果となった。

また、見下ろし角すなわち高さ方向の位置に応じた、スイッチの大きさの最適化も追求した。アテンザでは、スイッチ群の中で最下端に位置する空調コントロールスイッチを直径50mmに大型化することで操作のしやすさを向上させている。

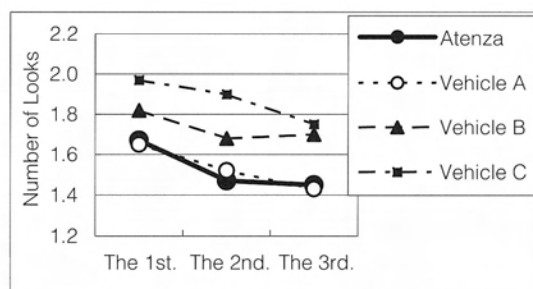


Fig.3 Number of Looks to trial frequency

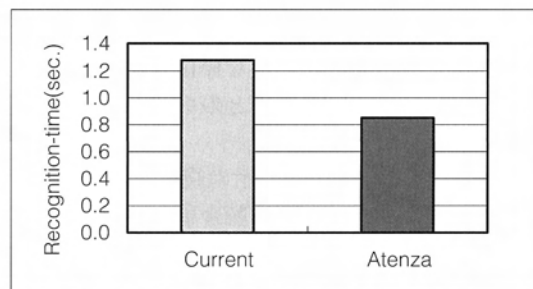


Fig.4 Recognition time by display height

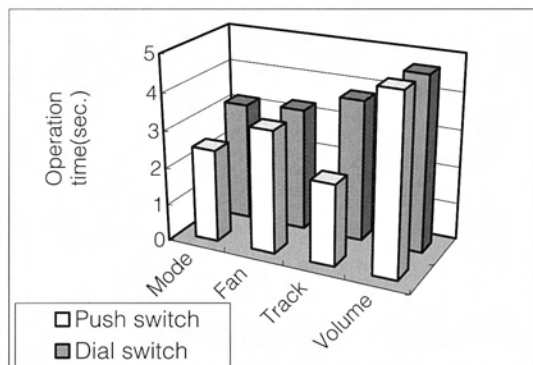


Fig.5 Operation time of each switch type

### 3.4 華やかさ

アテンザでは、集中ディスプレイ、オーディオ、空調コントロールなどを、センターパネルと一体化することで、分割ラインや段差のない、すっきりとした造形とした。

パネル表面は、チタンの質感を再現するために「明るさ」、「粒子感」、「つや」のバランス表現にこだわり、何度も試作、評価、改善を繰り返し最終仕様を決定した。同様に、夜間照明もアテンザのスポーティーなイメージを引き出すため、室内全体をアンバーレッド色に統一し、スイッチやメーターすべての照明について色ムラや輝度ムラがない均一で統一感のある夜間照明を追求した (Fig.6)。

### 3.5 視認、操作性の定量的評価

個別にユニットの実験を繰り返し操作のしやすさを追求してきたオーディオ、空調コントロールについて、ドライビングシミュレーターを用いた実車による総合的な検証実験を行った (Fig.7)。実験は、評価者に直線とコーナー (R2000m) で構成されたコースを走行する運転タスクを与えた。同時に、視認操作タスクとしてオーディオ、空調コントロールの基本的な操作を指示し、操作時間、視認時間、前走車両との車間距離などを計測した。

Fig.8に、オーディオ表示の視認時間の競合車比較を示す。アテンザは、競合車よりも視認時間が短い。これは、前述3.2に述べているように、表示部を高配置にして、各情報表示を集中させた効果が表れていると考える。

Fig.9に、オーディオの操作時間の競合車比較を示す。視認時間と同様に、アテンザが競合車よりも操作時間が短い。前述3.1、3.3で述べているように、スイッチの配置や操作方式を最適にし、スイッチを大型化することにより、短時間での操作が可能になった。

以上のように、実験データおよび、評価者の主観評価から、状態確認のしやすさや、操作のしやすさについて、狙い通りの効果が得られていることを確認した。



Fig.6 Atenza Center Panel

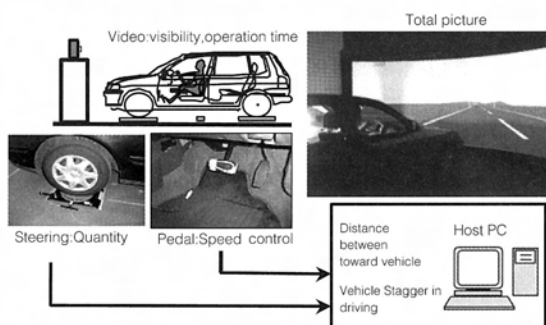


Fig.7 Driving Simulator

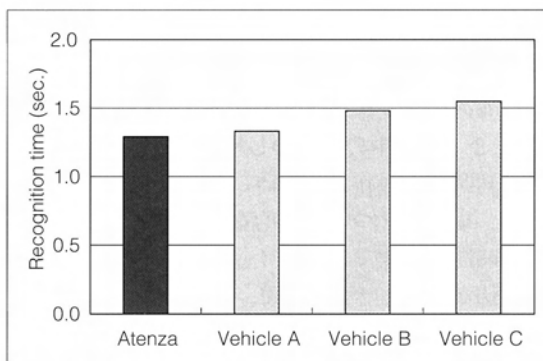


Fig.8 Comparison of audio recognition time

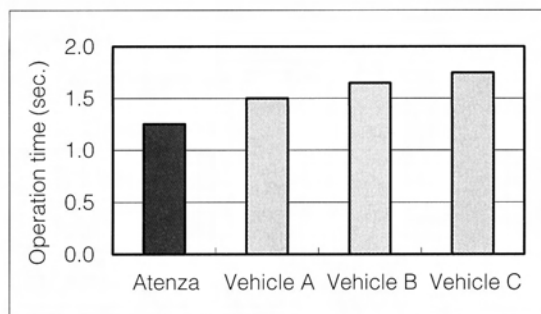


Fig.9 Comparison of audio operation time

#### 4. ドア

ドアはお客様が日常最も頻繁に使用される部位の一つであり、そのドアの魅力品質の中でも、ドア閉め音は特に重要である。閉め音の尺度として、柔らかさと重厚さがあるが、アテンザでは、重厚さの改善(低周波領域のエネルギーを適度に増す)に着目して取り組んだ。

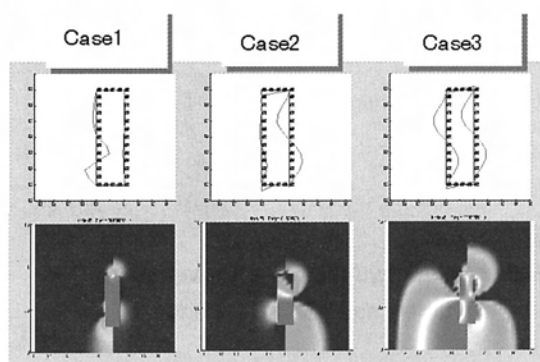
まず、重厚音発生メカニズムを解明するために、実車のドアでの実験検証とともにドア簡易モデルでの計算解析を実施した。その結果、重厚音発生要因の一つとして、ドア外板の剛性バランスが大きく影響していることが分かった。ドア外板剛性バランス変更による計算解析を行った事例を示す (Fig.10)。計算解析の結果、外板剛性を均一化すると、モード形状が整い低周波の放射音発生が大きくなるということが分かった。

そこで、低周波音の発生効率を向上させる目的で、アテンザのレインフォースメントの最適な位置を検討した。レインフォースメントの無いドアの張り剛性を計測し、極力剛性が均一になるようにレインフォースメントを配置した (Fig.11)。さらに、レインフォースメントの配置だけでなくマスチックシーラーの配置や材質にまでこだわり、極力外板剛性を均一に近づけることで、外板振れモードを大幅に向上することができた。

その効果を検証するために、レインフォースメント有無の仕様で、低周波領域における音響インテンシティによる比較を行った (Fig.12)。黄色系は、音を室外へ放射していることを示しており、外板の張り剛性を均一に近づけることにより、放射効率が大幅に向上することが分かる。

その閉め音を時系列で周波数分析すると

(Fig.13)、低周波のレベルが増加し、持続時間も向上できたことが分かる。競合車と比較しても、低周波のレベルが高く、持続時間が長いことが分かる。また、過去ドアラッチを中心に確立してきた柔らかさに関する技術も織り込むことで、アテンザのドア閉め音は、品質感の高い音性能を達成できている。



Case1: the rigidity around outer panel lower part is 1/4 of that of upper part

Case2: the rigidity around outer panel lower part is 1/2 of that of upper part

Case3: the rigidity around outer panel lower part is same with that of upper part

Fig.10 Effects of uniformization of outer panels

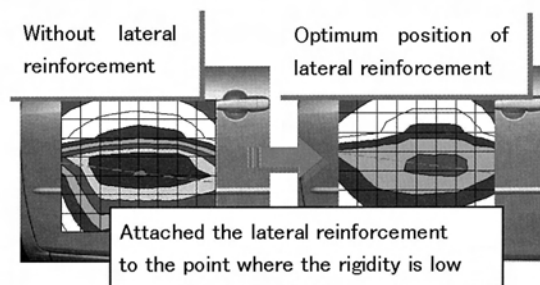


Fig.11 Tension-rigidity distribution

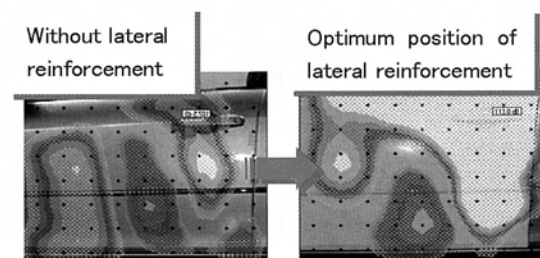


Fig.12 Effectiveness of improvement by acoustic intensity (Low frequency area)

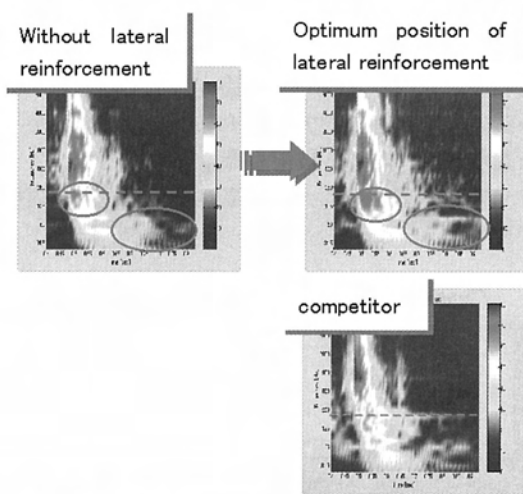


Fig.13 Effectiveness of improvement by time-analysis of frequency

■ 著 者 ■



福井信行



川本法男



平尾幸樹



中村誠之



内田博志

## 5. おわりに

クラフトマンシップという、新しい考え方をマツダ全体に浸透させるまでは、随分苦勞した。最終的にたどり着いたのは、お客様に満足していただき、喜んでもらうことを狙った「造り込み」と「機能美」だった。クラフトマンシップという共通の概念を持ち、一人一人のエンジニアが技術を磨き、こだわりを持って同じ方向性に向かって車を開発することで高い質感が実現できると考えている。

ここに紹介したのは、アテンザのクラフトマンシップの一部であり、その他にも多くのエンジニアの技術とこだわりが随所に織り込まれている。一人でも多くのお客様に、アテンザのクラフトマンシップの良さを感じて頂きたい。

## 参考文献

小嶋直哉 他：インテンシティ法を用いた乗用車外壁面における過渡振動エネルギー流れ計測 自動車技術会講演前刷集，983，1998—5，p.169-172

特集：アテンザ

8

## アテンザのパワートレイン Powertrain of ATENZA

猿 渡 健一郎\*1  
Kenichiro Saruwatari

### 要 約

アテンザに搭載されるパワートレインはマツダの新しいブランドDNA『際立つデザイン、抜群の機能性、反応の優れたハンドリングと性能』に則りこの方針に従い開発・育成されている。具体的には、燃費値や最大出力値だけを訴求するのではなく、エンジンサウンド、走り感、シフトの操作フィーリング等の人間が五感で感じる性能にまで徹底的に作り込みを行なっている。そのために、新たな評価手法の開発、細部にまで徹底的にこだわった開発を行なっており、従来のマツダのパワートレインとは一線を隔した品質を確保している。又、環境問題に対しても積極的に対応しており、北米向けは全てULEV規制に、日本向けはE-LEV規制に、欧州向けについてはガソリンエンジンマニュアルミッション車がEuro4規制、ディーゼルエンジン車がD4 (Euro3) 基準に適合している。更に、日本においては2.0Lガソリンエンジンが2010年燃費規制レベルに達しており、Green Taxに適合している。

性能・環境問題対応を含め、自信を持ってお客様に満足して頂けるパワートレインである。

### Summary

The powertrain for the new model Atenza was developed based upon Mazda's new brand DNA concept, "eye-catching design, surpassing features, responsive handling and functions". We succeeded in creating engine sounds, driving feeling and shift change feeling, which customers can enjoy during driving, as well as excellent fuel economy and max. output by adjusting details with great care. To achieve this, we established new evaluation procedures and paid attention to every detail, which contributed to inventing a higher-quality powertrain than ever before seen in the Mazda powertrain history.

In addition, we have made utmost efforts to meet emission regulations: Atenza for the North American market has complied with ULEV and one for the Japanese market has met E-LEV. The gasoline-powered MTX for the EU market has achieved Euro4. The diesel powered model for the EU market has reached the D4 (Euro3). Furthermore, the 2.0L gasoline engine for the Japanese market has attained the 2010 fuel consumption standard level and fulfilled Green Tax criteria.

We will recommend customers this powertrain equipped with state-of-the-art technologies and environmentally friendly devices, which are customers' demands, with 100% confidence.

\* 1 パワートレイン開発推進部

Powertrain Development Promotion Department

## 1. パワートレイン展開

アテンザは全世界で販売されるミディアムコンパクトサイズ的車である。Table 1に各仕向地のパワートレインの展開を示す。

### 1.1 エンジン

全部で5種類のエンジンを設定しておりMZR I4エンジンが3種類、MZI V6エンジンが1種類、及びMZR-CDディーゼルエンジンが1種類である。新開発のMZRエンジンは全仕向地へ、MZIエンジンは北米へ、又、MZR-CDエンジンは欧州に導入を行なう。

### 1.2 トランスミッション

全部で4種類のトランスミッションを設定しており、マニュアルトランスミッション（以下MT）が2種類、オートマチックトランスミッション（以下AT）が2種類である。MTについては、エンジンの最大トルク値よりMZRエンジンとMZIエンジン、MZR-CDでトランスミッションタイプを分けており共に5段変速としている。ATについては4段変速と5段変速のトランスミッションを設定しており、4WD及びMZIエンジンに5段変速を採用している。

### 1.3 4WD

マツダ初の電子制御4WDをMZR 2.3LエンジンのAT車に設定しており、日本及び欧州に導入する。

## 2. エンジン開発の狙い

エンジンはZoom-Zoomに表現される車を操る楽しさを訴求する為にすべて新開発或いは改良を行なっている。Zoom-Zoomをエンジンの特性にブレークダウンする指標として、エンジンサウン

ドと走り感の2つを取り上げた。

### 2.1 エンジンサウンド

今回あえてサウンドという言葉を使って開発を行った訳は、目標とした方向が図書館のような無響音室の状態ではなく、コンサート会場の様に人を感動させる空間をアテンザで実現したいという狙いがあったためである。その為には、人間が不快と感じる音を極力低減し、エンジンそのものの持つ音を際立たせる事を狙いとして開発を行ってきた。I4エンジンでいえば基本次数は2次、4次、6次という2の倍数の次数である。この基本次数を、これら次数の中間次数に対しはっきり聞かせる事で、エンジンサウンドが澄んだ軽やかな音質となる事はサウンドシミュレータを使った評価で明確になっている。そのために、中間次数の低減を徹底的に行なった。その際我々が効果の検証に使用したものがFig.1に示すエンジンサウンドを可視化したものである。

### 2.2 走り感

低回転から力強い伸びのある走りを実現するために、低回転から高回転まで高いエンジントルクを発生させることを全てのエンジンの目標として開発を行った。具体的に2,000rpm以下の回転数から最大トルクの90%を発生させることである（Fig.2）。これらの実現のために、MZR 2.3LエンジンとMZIエンジンには可変エアクリーナ、吸気側S-VT、デュアルサイレンサー等を採用し低回転から高いトルクを発生している。

Table 1 Powertrain application

			JPN	EC	USA
FF	MZR 1.8L	5MT		●	
	MZR 2.0L	5MT		●	
		4AT	●	●	
	MZR 2.3L	5MT		●	●
		4AT	●		●
	MZI 3.0L	5MT			●
		5AT			●
4WD	MZR-CD 2.0L	5MT		●	
	MZR 2.3L	4AT	●	●	

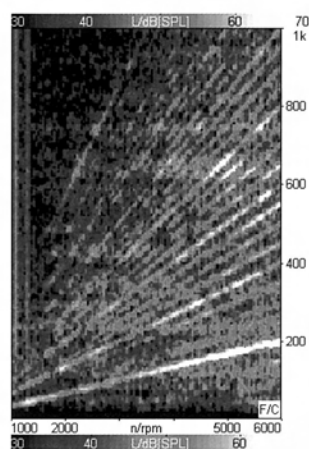


Fig.1 Visualized engine sound



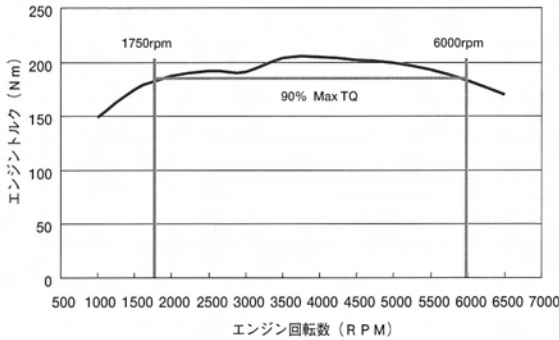


Fig.2 EU MZR 2.3L engine torque curve

### 3. 各エンジンの特徴

#### 3.1 新型MZRエンジン

1.8L~2.3Lをカバーする新設計のアルミブロック製エンジンである (Fig.3)。このエンジンは今後世界の4工場で生産され規模は年間150万台となる見込みである。アルミブロックを採用する事で当社従来エンジン比10%の軽量化を実現している。又、カムシャフトをチェーンで駆動する事により、バルブリフト量、ピストン形状の自由度を高め、高出力、低燃費、低EMを実現している。全てのエンジンにはTSCV (タンブル・スワール・コントロール・バルブ) が吸気系に設定されており、燃料と空気のみキシングを効果的に行ない、4-2-1タイプのデュアルエグゾーストマニホー

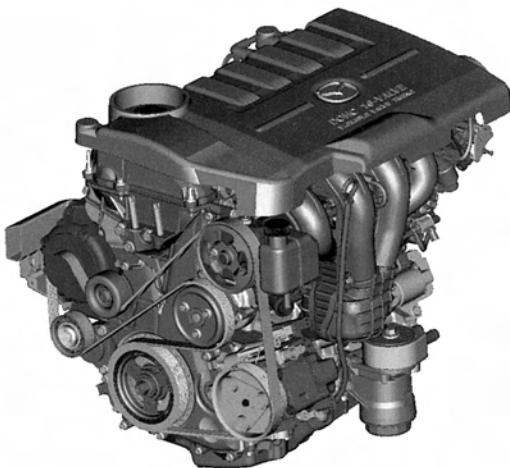


Fig.3 MZR 2.3L engine

ルドを採用する事で排気脈動効果増進及び排気抵抗の低減を実現しており全回転域でトルクを向上させている。更に2.3Lには吸気にS-VT、可変慣性過給システム、可変エアクリーナを採用し131kW/6,500rpm, 215Nm/4,000rpm (日本仕様) 低速から高速まで力強い加速を実現させている。

#### 3.2 MZIエンジン

トリビュートに搭載している3.0Lエンジンをベースに出力とNVHを大幅に改善を行っている (Fig.4)。吸気にはS-VTを採用し、可変エアクリーナ、デュアルサイレンサーを採用する事で、最大出力163kW/6,300rpm, 最大トルク260Nm/5,000rpmを発生する。NVH対策としては、マグネシウムヘッドカバー、デュアルマスダンパーブリー、オルタネータ直付けを行い、エンジン振動、放射音を大幅に改善した。

#### 3.3 MZR-CDエンジン

出力、燃費、NVHの大幅改善と欧州のD4 (Euro3) 基準対応の両立を主眼に開発を行ってきた新世代のディーゼルエンジンである (Fig.5)。これらの実現のためにコモンレールシステム、高圧燃料噴射 (180Mpa)、多段階燃料噴射等の技術を採用している。特に多段階燃料噴射は非常に短い燃焼の間に数回に分け燃料を噴射する技術であり、低EM、低燃費、静粛性を両立させる事ができた重要な技術である。この結果、最大出力で

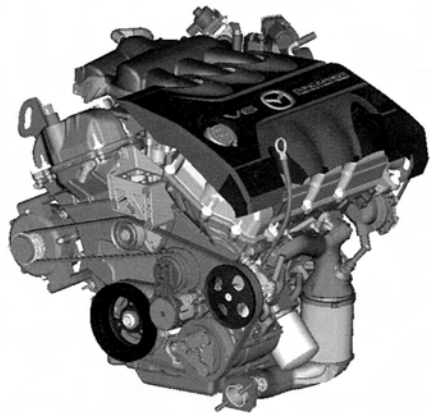


Fig.4 MZI engine

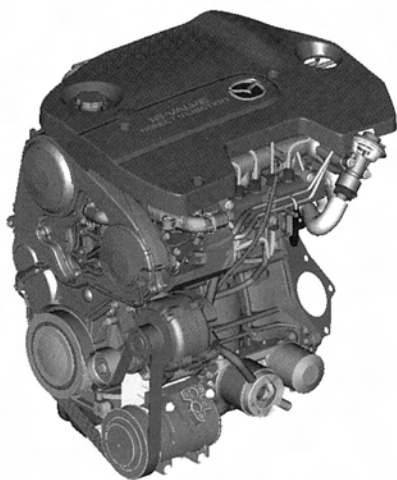


Fig.5 MZR-CD 2.0L engine

100kW/3,500rpm, 最大トルクで310Nm/2,000rpmという非常に高い出力性能とガソリン車並みの静粛性を実現した。

#### 4. トランスミッション開発の狙い

トランスミッションについても、走り感向上のために、MTについてはシフトフィール改善を、ATについてはシフトクオリティおよびレスポンスの改善を行った。又、MZIエンジンには5段変速のトランスミッションを採用した。

##### 4.1 MT

MZRエンジンと組み合わせられるトランスミッションについては1速, 2速にデュアルコーンシンクロナイザーを, 3速, 4速にはカーボンシンクロナイザーを採用している。又, MZIエンジンとDEに組み合わせるトランスミッションについては, 1速デュアルコーンシンクロナイザーを, 2速にトリプルコーンシンクロナイザーを採用しており徹底した操作力の改善を行っている。

##### 4.2 AT

前輪駆動のMZRエンジンに組み合わせるトランスミッションは非常に低抵抗の従来から採用しているトランスミッションであるが, 油圧スイッチを追加する事で使用頻度の高い4速から2速へのシフトダウン時間を30%も短縮させている。又, 4WDとMZIエンジンに組み合わせられる5段変速のミッションはワイドな変速レンジを持ち低速か

らの力強い加速性能と高速走行時の燃費を大幅に向上させている。なお, 全てのATはアクセルの踏み込み量により変速パターンが変わるオートパワーモードと登降坂路時にシフトビジーを軽減するスロープコントロールが設定されている。

#### 5. 環境問題対応

アテンザでは環境問題にも積極的に取り組んでいる。北米では全てのエンジンがULEVを, 欧州ではガソリンマニュアルトランスミッション車がEuro4規制に, 日本では全ての車種がE-LEV(優・低公害車)に適合している。又, 日本の2.0L車は2010年燃費規制レベルをクリアしておりGreen Tax適合車種となっている。

#### 6. 終わりに

冒頭で述べたように, アテンザはマツダの新しいDNAに基づいて開発をされた初めての車である。そのために, 従来基準にとらわれることなくお客様基準で徹底的に性能レベルを論議し評価育成を行っており, 自信を持って世に出せるものとなっている。尚, 各々のユニットに対する詳しい説明は後述の稿で紹介していますので参照下さい。

■著者■



猿渡健一郎

特集：アテンザ

9

## 新型MZR I4エンジン New MZR I4 Engines

谷 口 雅 昭\*<sup>1</sup> 井 口 勇\*<sup>2</sup> 田 端 伸 章\*<sup>3</sup>  
Masaaki Taniguchi Isamu Iguchi Nobuaki Tabata  
橋 本 裕 信\*<sup>4</sup>  
Hironobu Hashimoto

### 要 約

アテンザに搭載されるMZR Lシリーズエンジンは、フォードグループの大型直列4気筒エンジン開発の中核（GCE：グローバルセンタオブエクセレンス）であるマツダエンジン開発チームが、全世界のフォードグループに供給するために新規開発した直列4気筒エンジンである。

MZR Lシリーズエンジンは世界のあらゆるユーザニーズに対応するために、高出力、低燃費、静粛性、軽量コンパクト、卓越した耐久性など高いレベルの要求を高次元でバランスさせている。

MZR Lシリーズエンジンの1.8L/2.0Lエンジンは一昨年よりフォードモンデオに搭載されているが、アテンザでは2.3L S-VT（シーケンシャルバルブタイミング）& バランスシャフト付きエンジンを新たにラインアップに加える他、ブランドDNAを実現するために様々な新技術を追加開発して導入した。

本稿では、アテンザに搭載されたLシリーズエンジンの特徴、構造、採用技術について紹介する。

### Summary

The MZR L-series engines installed in Atenza are new in-line four-cylinder engines (New I4 engines) designed to serve Ford group worldwide. The L-series engines were developed by Mazda Engine Development Team, which acts as a core of large four-cylinder engine development (GCE: Global Center of Excellence) in Ford group.

The MZR L-series engines are well-balanced, highly-advanced engines that achieved rigorous requirements to be high-power, fuel efficient, quiet, lightweight and compact, and outstandingly durable engines to meet every need of users around the globe.

Of the MZR L-series engines, 1.8L/2.0L engines have been introduced to Ford Mondeo since the year before last. With Atenza, the 2.3L engine with S-VT & balance shaft was added to the lineup, and a variety of new technologies are incorporated to realize the brand DNA.

This article introduces L-series engine's characteristics, architecture, and the technologies incorporated that the Atenza has.

\* 1 パワートレイン開発推進部

Powertrain Development Promotion Department

\* 2 第1エンジン設計部

Engine Development Department No.1

\* 3, 4 パワートレインシステム設計部

Powertrain System Development Department

## 1. 開発のねらい

本エンジンを搭載する新型ミッドサイズカー「アテンザ」の開発コンセプトである「車を操る楽しさ」を実現するため、エンジンサウンドと走り感の向上を開発のねらいとした。

開発の具体的な目標は以下の通りである。

- (1) エンジンの力強さを際立たせるため、中間次数（基本偶数次以外の次数成分）を徹底的に低減する。
- (2) 2,000rpmから6,000rpmの回転数で最大トルクの90%以上を発生させる。
- (3) BIC（ベストインクラス）の質量とするため、当社従来エンジン比10%の軽量化を実現する。

## 2. エンジンの概要と主要諸元

Table1に主要諸元、Table2に開発目標を達成するための採用技術を示す。

中間周波数低減と軽量化を両立させるための、ディープスカートアルミシリンダーブロックにアルミベアリングビームとアルミオイルパンを組み合わせる構造とした。また、振動に大きな影響を与えるオルタネーター、パワーステアリングポンプ等のアルセサリードライブはシリンダーブロック直付け構造とし、それらを含めた緻密な振動解析を行うことで、リブや肉厚の最適化を行った。更に、ランナー長さを4気筒共同にし、吸気音の中間周波数を低減するELT（Equal Length Tract）Plastic Intake Manifold（等長樹脂吸気管）、サイレントチェーン、バランスシャフトなどを採用し、エンジントータルとして、心地よいエンジンサウンドを実現した。2,000rpmから6,000rpmの広い範囲で高トルクを実現するため、シリンダーヘッドの吸気ポートを吸気抵抗の少ないハイフローポートとした。また、低速時の吸気流速向上と高速時の吸気流量確保を両立させるため、本来燃焼安定性改善技術であるTSCV（タンブルスクールコントロールバルブ）をインテークマニホールド根元に配置、更に各回転域で最大限吸気脈動を利用して吸入空気量を増加させる為、VIS（可変吸気システム）を付加した。排気には、抵抗低減と触媒の早期活性化を両立させる構造の二重管エキゾーストマニホールドを採用し、吸気系の改

善と合わせて高効率の吸排気システムを実現した。低速のノッキングと高速の異常燃焼を改善する為、ピストンクーリングジェットを採用、引き上げられたノッキング限界ギリギリまで点火時期を早め、高いトルクを引き出す為、フルレンジノックコントロールシステムを採用した。2.3Lエン

Table 1 Engine Specification

Engine	L8D	LFD	L3V
Cylinder Configuration	In-Line 4-Cylinder	←	←
Bore X Stroke (mm)	83 X 83.1	87.5 X 83.1	87.5 X 94
Displacement (cm <sup>3</sup> )	1798	1998	2260
Compression Ratio (EC)	10.8	10.0 (JPN)	10.6 (JPN)
Valvetrain	DOHC 4 Valves	←	←
Number of valves	4 per cylinder	←	←
Valve diameter Intake (mm) Exhaust (mm)	32.5 28	35 30	←
Fuel supply system	Electric Fuel Injection	←	←
Ignition system	D-DLI	←	←
Max. power (kw/rpm) (EC)	88/5500	110/6000 (JPN)	131/6500 (JPN)
Max. torque (Nm/rpm) (EC)	165/4300	182/4500 (JPN)	215/4000 (JPN)

Table 2 Technologies

Technologies	NVH Imp.	Torque Imp.	Weight Red.
Deep skirt aluminum cyl. Block with opt. feature	○		○
Piston cooling jet		○	
Aluminum Bearing beam	○		
Aluminum oil pan	○		
High flow port cyl. head		○	
Molibdenium Coated Piston	○		
Powder metal Cracked con.rod	○		○
Shim less mecha. Bucket tappet		○	○
Silent chain	○		
ELT plastic In.Mani.	○	○	○
θ double wall Exhaust manifold		○	
Sequential valve timing control		○	
Balance shaft	○		
Plastic throttle body			○
Full range knock Control system		○	
Direct mount Accessory drive	○		○

ジンでは、これらにシーケンシャルバルブタイミング機構を組み合わせ、圧倒的なトルクパフォーマンスを得た。

### 3. コスワースプロセスを採用したアルミ製シリンダーブロック

シリンダーブロックはアルミニウム合金を用いて軽量化を図るとともに、新しいキャスティング工法（コスワースプロセス）を採用することにより、鑄造巣が少ない高剛性ボディと高い寸法精度を実現している。また、高精度な中子を用いて造形自由度を向上させ、軽量コンパクトなデザインを実現した。(Fig.1)

ブロックの構造は、クローズドトップデッキ+ディープスカート構造を採用しており、シリンダーヘッド面のシール性向上及び補機類の取り付け剛性向上を図った。また、ヘッドからのオイルリターン通路をオイルパン合わせ面まで延長することにより、クランク系部品のオイル攪拌によるパワーロスやオイルかき上げを防止した。

シリンダーは薄肉の鋳鉄ライナーを鑄込んだ構造を採用し、剛性、耐摩耗性の向上を図った。加えて、ウォータージャケットの高さをストローク長の70%に抑えることにより、冷却水の低減とエ

ンジン暖気時間の短縮、燃費向上を図った。

クランクシャフトの軸受けは、7種類の厚みの軸受けメタルを用い、クランクシャフトとシリンダーブロック軸受け径の組み合わせと併せて13種類の組み合わせで最適なクリアランスを保てるようにした。

また、軸受け部にピストンクーリングジェットを内蔵し、低コストで信頼性、耐ノック性の向上を実現した。

### 4. ベアリングビームとアルミオイルパンによる高剛性PPB構造

シリンダーブロックは、前後に走るオイルギャラリと、上下に走るオイルリターン通路、およびFEM解析によって最適に設計した多数の表面リブの相乗効果で、高いブロック剛性を実現した。

さらに、車両の振動、騒音に大きな影響を与えるパワープラント剛性を高めるため、本エンジンではベアリングビームとアルミオイルパンによるPPB (Power Plant Bending) 補強構造を採用した。(Fig.2)

また、各補機類はブラケットを介さず、ディープスカート構造のシリンダーブロックに直接締結する構造とした。これにより、2.0Lで27.5kgというクラストップレベルの軽量シリンダーブロックでありながら、300Hzを超えるクラストップレベルのパワープラント固有振動数を実現した。

### 5. 高効率・高出力を生み出すシリンダーヘッド

シリンダーヘッドは高強度アルミニウム合金製で、LPSPM (Low Pressure Semi-Permanent Mold) 低圧鑄造の後、均質化と強度向上のため熱処理 (Modified T7) を施す。(Fig.3)

バルブはさみ角は排気 $20^{\circ}$  吸気 $19^{\circ}$  の組み合わせ

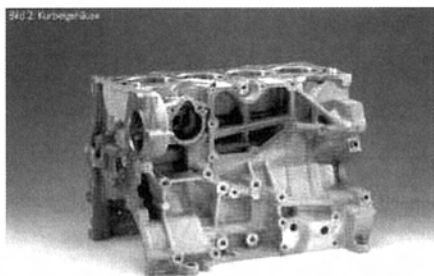


Fig.1 Cylinder Block

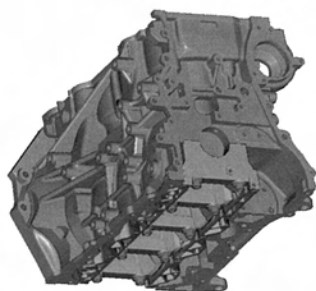


Fig.2 Bearing Beam Structure

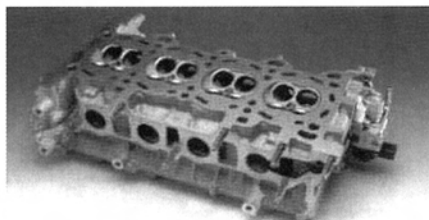


Fig.3 Cylinder Head

せで、ヘッド内インジェクターポート構造や2.3Lで採用のハイフローポートと合わせて、高圧縮比高出力を実現した。

また、EGR通路をシリンダーヘッド内に内蔵することにより、コンパクトで低コストな電子制御水冷式排ガス再循環 (EGR) システムを実現した。

シリンダーヘッドガスケットは0.5mmという極薄肉を実現するため2.5層構造とした。シールビードを持つ上下のステンレス銅板とその間にボア部ストッパーをレーザー溶接している。

## 6. 低燃費・低NVHを実現するクランク回転系

ダクタイル鋳鉄製のクランクシャフトは、1.8Lと2.0L用には軽量のハーフカウンターウェイトを、2.3L SVTエンジン用には高回転高出力に対応したフルカウンターウェイトを採用した。また、バランス率を最適化する事によりクランク軸を小径に抑え、機械抵抗低減と低NVHを両立した。

ピストンは高強度アルミニウム合金製で、高信頼性・耐久性を確保するためトップリング溝には硬質アルマイト処理を、また、燃費向上・NVH低減のためスカート部にはモリブデンコーティングを施している。ピストンリングセットはトップ

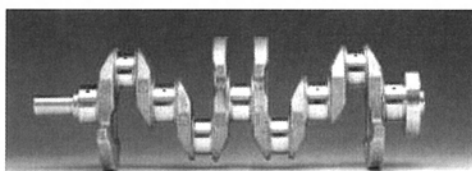


Fig.4 Crank Shaft



Fig.5 Piston & Connecting-rod

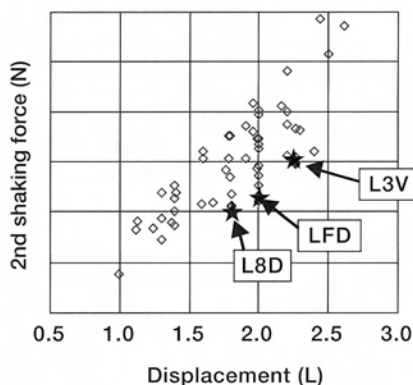


Fig.6 Second Shaking Force

1.2mm, セカンド1.2mm, オイル2.5mmの薄幅とし、張力低減による抵抗低減と燃費向上を図った。

コネクティングロッドは高精度の焼結鍛造品を採用し、組み付け時のコネクティングロッド重量選択を不要とした。また、大端部は破断分裂式 (クラッキングプロセス) を採用し、大端軸受けの“ぐいち”を基本的に無くすることにより高信頼性、低NVH、抵抗低減を図った。さらにノックピンなどの位置決め構造を廃止し軽量コンパクトなデザインを実現した。

これら回転系の軽量デザインにより、NVHに大きな影響をもつエンジン回転系の二次加振力は図6のようにクラストップレベルを実現した。

## 7. メンテナンスフリーを実現した動弁系とサイレントチェーンによるカム駆動

バルブタペットは、軽量で高回転・高出力を実現することのできるシムレスパケットを採用した。また、Beehive (はちの巣) 型バルブスプリングの採用による動弁系の軽量設計、並びに、従来の硬質粒子+固体潤滑材の添加に加えてベースにバナジウムを追加した新開発のバルブシート材の採用などにより耐摩耗性を著しく向上させた。(Fig.7)

これにより車両ライフサイクル内でのバルブクリアランス調整を不要とし、市場でのメンテナンスフリーを実現した。

また、カム駆動はメンテナンスフリーの油圧テンショナー付きチェーン駆動を選択し、低NVHを実現するためサイレントチェーンを採用した。(Fig.8)



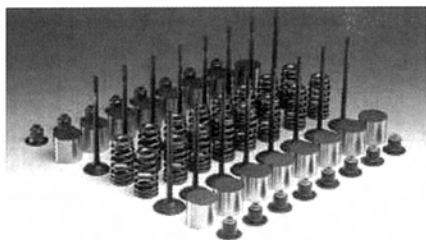


Fig.7 Valve Train

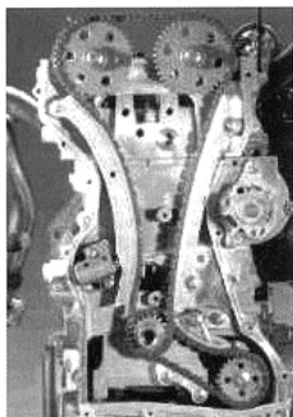


Fig.8 Cam-shaft Drive

## 8. コンパクトなオイルポンプとエコオイルフィルター

オイルポンプは高効率のトロコイドギアタイプを用い、エンジン全長を短縮するためにシリンダーブロックに内蔵し、カムとは別のサイレントチェーンで駆動した。

オイルフィルターは、従来のカートリッジ交換タイプではなく、内部エレメントのみを交換するタイプとした。しかも、交換エレメントにはスチール部品を用いず、可燃却の樹脂と不織布でできた“エコオイルフィルター”を採用。地球環境に優しいデザインとした。(Fig.9)

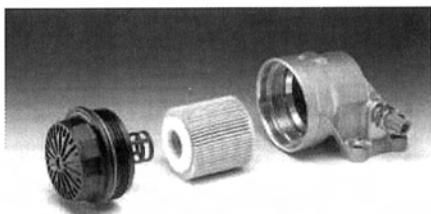


Fig.9 Eco-Oil Filter

## 9. TSCV・VISシステム内蔵のプラスチック製ELTインテークマニホールド

ELT (Equal Length Tract) 構造を採用したインテークマニホールド (Fig.10) によって、出力への悪影響を及ぼすことなく、吸気音の中の耳障りな「奇数次成分」、「ハーフ次成分」と言われる音の大幅低減に成功した。

ボディ材質はリサイクル可能な熱可塑性プラスチックを用いており、アルミ製に比べ約40%もの軽量化を実現すると共に、吸気抵抗の低減により回転数全域にわたって出力向上効果を得た。

また、全エンジンにTSCV (Tumble Swirl Control Valve) システム、および2.3LにVIS (Variable Induction System) を内蔵し、全域で最適な燃焼状態を実現させる混合気流動および吸気脈動をコントロールしている。

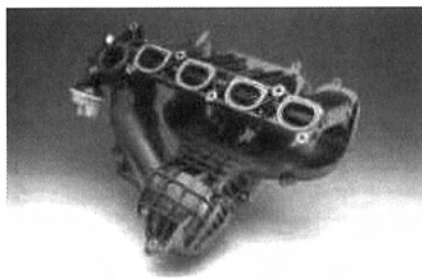


Fig.10 Intake Manifold

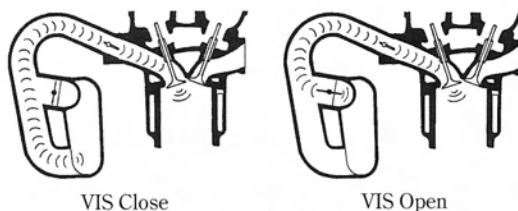


Fig.11 VIS Action

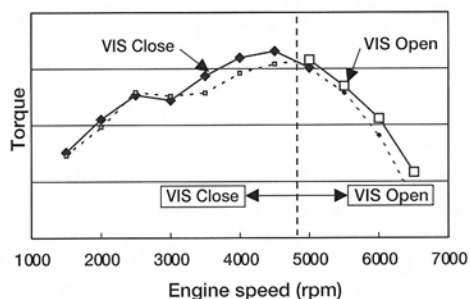


Fig.12 Effect of VIS

## 10. 4-2集合, $\theta$ 二重構造鋼管 エキゾーストマニホールド

エンジン始動後、キャタリストをできるだけ早く活性化させるためには、放熱の少ない4-1集合エキゾーストマニホールドが有利である。一方、出力面からは4-2排気集合とし、排気脈動を有効利用したい。この二つを両立させるため、Lシリーズエンジンでは新開発の $\theta$ 二重構造管を採用した。

各気筒から延びる4本のポート部鋼管は集合部にて1つの管に集合されるが、内部を $\theta$ 型に仕切る鋼板を中央に溶接し、最小の放熱面積で4-2排気集合を実現している。(Fig.13) また、集合部の鋼管を二重管構造として間に保温層を設けることで、より一層の放熱抑制を図り、キャタリストの活性早期化を促進した。(Fig.14)

## 11. コンパクト設計のS-VT位相可変 バルブタイミング機構

2.3Lには、高出力と低燃費を両立させるためS-

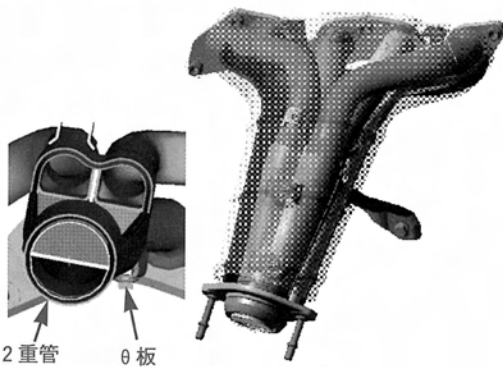


Fig.13 4-2  $\theta$  Double-wall Steel Pipe Exhaust Manifold

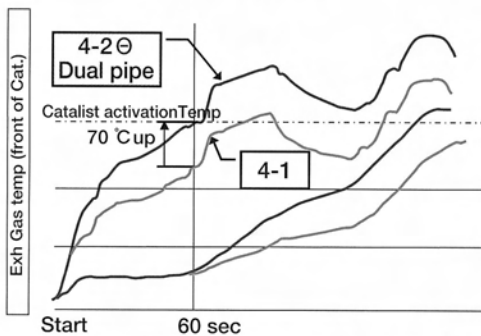


Fig.14 Temperature of Exhaust Gas

VT (Sequential Valve Timing) 機構を採用した。

新開発のS-VTは、基本作動はすでに量産しているファミリアのものと同一インテークカム位相可変タイプであるが、厚さ33mmという世界最小レベルのアクチュエータと、カムキャップと一体化したコンパクトな油圧回路を採用している。(Fig.15) その結果、エンジンルームレイアウトへの影響を与えることなくS-VTによる高出力化・低燃費化を実現することができた。

## 12. カセット式二次バランスシャフト

2.3Lには、エンジンの二次振動を吸収するバランスシャフトを採用している。エンジンの基本構造への影響を最小限とし、多様なエンジンバリエーションへの展開を容易とするためカセット式を採用し、シリンダーブロックの下、オイルパンに内蔵した。

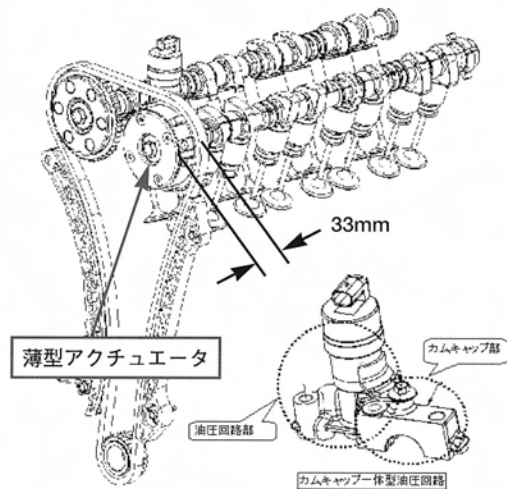


Fig.15 S-VT Structure

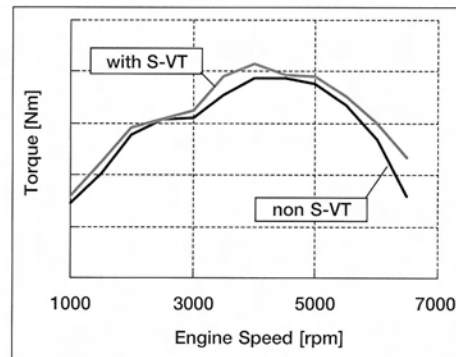


Fig.16 S-VT Effect

図17のように、クランクカウンターウェイト部に圧入されたドライブギアがカセット内に内蔵されたバランスシャフトのドリブンギアを駆動し、二軸のシャフトに取り付けられたバランスウェイトが、エンジン回転の2倍の速さで回転し二次振動を打ち消す構造となっている。これにより、図18に示すようにクラストップの車内音レベルを実現した。

### 13. 樹脂製スロットルボディ

スロットルボディは、樹脂製ハウジングを採用することにより、従来のアルミ製に対して約50%の軽量化を実現している。

また、スロットル開度変化に対する吸入空気量変化率を最適チューニングできる「球状ボア」(progressive bore) 構造を採用した。(Fig.19) この構造の採用により、低開度域ではボア径  $\phi 35$  相当品での優れた操作性と、 $\phi 60$  程度の出力特性を両立させながら、アクセルの最後の一踏みまでリ

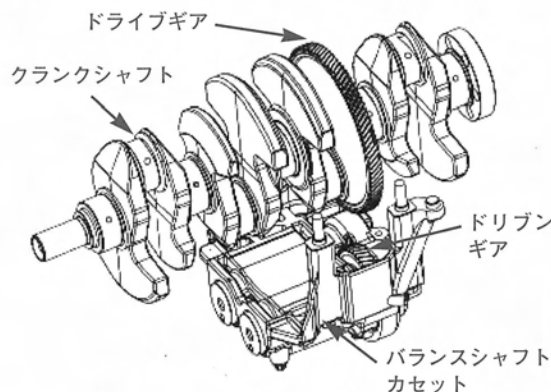


Fig.17 Balance Shaft Structure

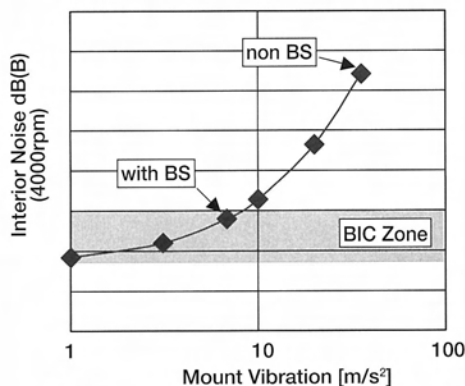


Fig.18 Interior Noise vs Mt. Vibration

ニアリティのある吹け・伸び感を確保している。(Fig.20)

### 14. 可変ダクト内蔵エアクリーナーモジュール

低回転域の車内音低減と高回転域での出力増加を両立させる為に、2系統（プライマリー／セカンダリー）の吸気通路を使分ける切替えバルブ付き可変ダクトを内蔵したエアクリーナーを採用した。(Fig.21, 22)

低回転域では小径で消音特性に優れたプライマリーダクトを用いることにより、ダクト先端から放出される吸気源音を低減した。

一方、高回転域ではアクチュエーターにて駆動する切替えバルブを開き、プライマリー／セカンダリー双方のダクトから空気を吸込む事により通気抵抗を低減し、出力向上に寄与した。(Fig.23, 24)

又、2系統の切替えに必要な構成部品群（双方

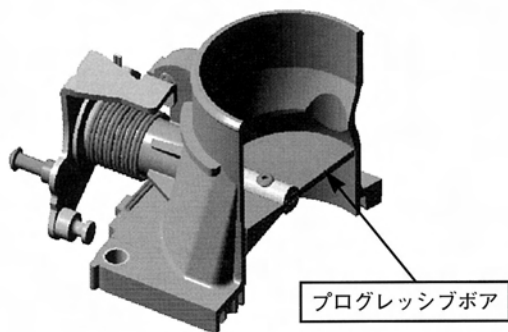


Fig.19 Section of Throttle Body

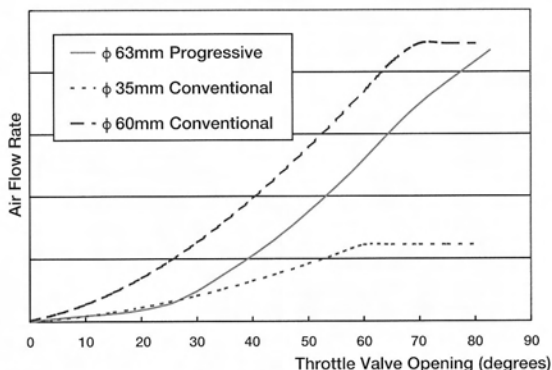


Fig.20 Throttle Opening vs. Air Flow Characteristics

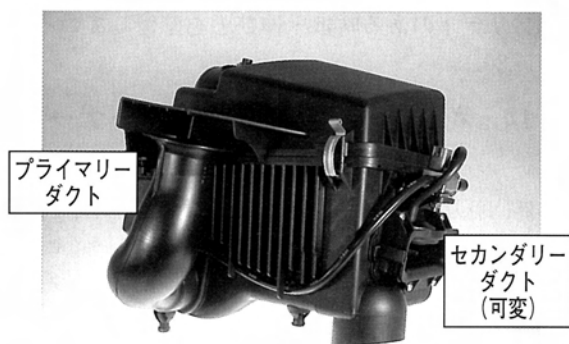


Fig.21

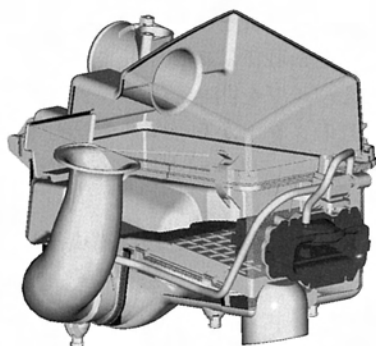


Fig.22

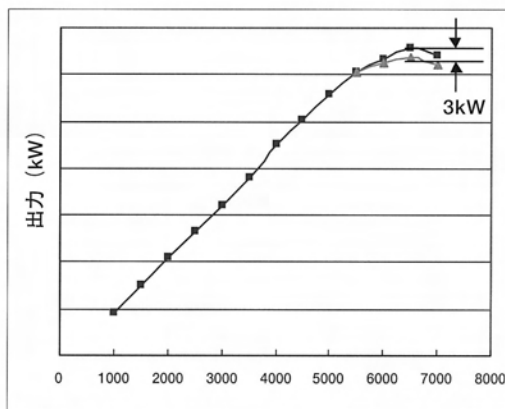
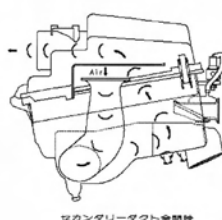
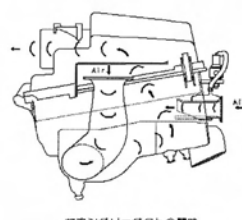


Fig.23



セカンダリーダクト全開時



セカンダリーダクト全閉時

Fig.24

ダクト、パキュームチャンバー、ソレノイドetc.)をバラバラの部品群としてではなくエアクリーナーに一体化し、1つのモジュールとしてコンパクトに仕上げることで、部品点数削減や組付け性改善にも寄与している。

## 15. おわりに

全世界のFordグループのプログラム要求を満たしつつマツダのZoom-Zoomコンセプトを具現化するために、汎用性ある技術を開発することができた。

本エンジンは、今後多くのマツダ車に搭載されていく次世代基幹エンジンである。

刻々と変化していく時代の要求に答えられるよう、今後更なる改善を重ね、常にグローバルスタンダードたるエンジンであり続けるよう努力していきたい。

開発に際しご協力頂いた関係各位にこの場をお借りして感謝申し上げます。

## ■ 著 者 ■



谷口雅昭



井口 勇



田端伸章



橋本裕信

特集：アテンザ

10

## コモンレール方式直噴ディーゼルエンジンMZR-CD New MZR-CD Common Rail DI diesel engine

中 井 英 二 <sup>*1</sup>	佐 原 正 憲 <sup>*2</sup>	片 岡 一 司 <sup>*3</sup>
Eiji Nakai	Masanori Sahara	Motoshi Kataoka
中 尾 正 美 <sup>*4</sup>	森 恒 寛 <sup>*5</sup>	児 玉 宏 志 <sup>*6</sup>
Masami Nakao	Tsunehiro Mori	Hiroshi Kodama

### 要 約

Mazda6は、今後のミディアムクラスの在るべき姿を具現化すべく、“Zoom-Zoom”をキーワードに、圧倒的なダイナミック性能の実現と静粛性を兼ね備えると共に最新の環境規制に適合させる事を基本方針に掲げた。これを達成すべく、Mazda6のパワーユニットの一つとして革新的な新世代のディーゼルエンジンMZR-CDを開発した。

この2リッター4気筒エンジンは乗用車用直噴ディーゼルエンジンとして、高剛性のエンジン本体、コモンレール式噴射系（高圧噴射及び多段噴射）などの新技術を採用している。これらの新技術を基に、ベストインクラスの最高出力100kW／3,500rpm，最大トルク310Nm／2,000rpmの出力性能を実現。さらに最新のエミッション基準であるD4に適合させた上で、優れたNVH性能を実現させている。（一部車種はEuro3）

本稿では、エンジンの諸性能と、この性能を実現するための技術構成について紹介する。

### Summary

The basic policy for Mazda6 is not only to realize the dynamic performance and quietness which medium-size vehicles should be equipped with, but also to meet the latest environmental regulations under the slogan of “Zoom-Zoom”. In order to fulfill this basic policy we have developed the new generation diesel engine, MZR-CD.

This 2L 4-cylinder engine, which is a direct injection diesel engine for passenger cars, introduces various new technologies such as: the high rigidity of the engine, common-rail fuel injection system (super high-pressure injection, multi injection system), etc.

With the development of these new technologies, the Best in Class max. output of 100 kW/3,500rpm and 310Nm /2,000rpm max. torque were realized. In addition, the engine has not only met D4, which is the latest standard, but has also achieved the excellent NVH performance. (Some models meet Euro3)

This paper will introduce to you this engine's performances and the technologies to support them.

\* 1 ～ 2 , 4 ～ 6 PT開発本部  
Powertrain development Division

\* 3 技術研究所  
Technical Research Center

## 1. 設計のねらい

乗用車用ディーゼルエンジン（以下DE）が直噴（以下DI）化に成功して以来、欧州市場には、ユーザーの要望である、走行性、燃費、静粛性、環境への配慮といった項目をガソリン車以上に高いレベルでバランスさせた車両が次々と導入され、より一層の普及を続けている。著者らは、(1)卓越した走行性能、(2)優れたNVH性能、高負荷燃費性能、(3)環境へ配慮した低排気エミッション性能、といった諸性能と、その他最新パワートレインとしての高い商品性の実現に向けた新しい次元でのDEの提案を目指した。そのために、現行RF型2リッターDIDE（DIRECO-D）に対し更なる進化を遂げた新型の次世代乗用車用DE（MZR-CD）を開発した。

## 2. 技術課題と主要導入技術

上記ねらいに対し、技術課題と導入技術は以下の通りである。

### 2.1 技術課題

- (1)全負荷出力性能向上と燃焼効率向上技術
- (2)低エミッション（PM，NO<sub>x</sub>他）化技術
- (3)燃焼，構造両面からのNVH低減技術
- (4)高い信頼性とメンテナンス性の確保

### 2.2 主要導入技術

各技術課題を解決するため、新しく技術を導入した。DIRECO-Dから継承，発展させた技術に加えて、これら主要導入技術をFig.1に示す。

Table 1 Main specification

エンジン	旧型DIRECO-D	現行モデルDIRECO-D	新型MZR-CD
排気量 (ml)	1998	←	←
ボア×ストローク (mm)	86×86	←	←
燃焼形態	直接噴射 (DI)	←	←
スワール比	2.7	2.7/5.3	2.5/4.0
可変スワール装置	N/A	有	←
吸気シャッターバルブ	N/A	有	←
圧縮比	18.8	←	18.4
バルブシステム	OHC,belt-driven 16valves	←	←
バルブ タイミング	IN	Open BTDC Close ABDC	6° 30°
	EX	Open BBDC Close ATDC	41° 8°
	mm	IN:10mm, EX:8mm	←
			←
燃料噴射システム	分配式燃料噴射システム DENSO V5	分配式燃料噴射システム DENSO V5 (改良型)	コモンレールシステム DENSO U2-P
燃料噴射圧力 (MAX)	100MPa	107MPa	180MPa
過給機	斜流ターボチャージャー IHI RHF3H	可変容量ターボチャージャー (VGT) IHI RHF4V	← + ワイドレンジVGT IHI RHF4V
インタークーラー	有	←	←
最大トルク	220Nm/2000rpm	230Nm/2000rpm	310Nm/2000rpm
最大出力	74kW/4000rpm	81kW/4000rpm	100kW/3500rpm
排ガス規制対応	Euro2	Euro3	D4 (一部Euro3)

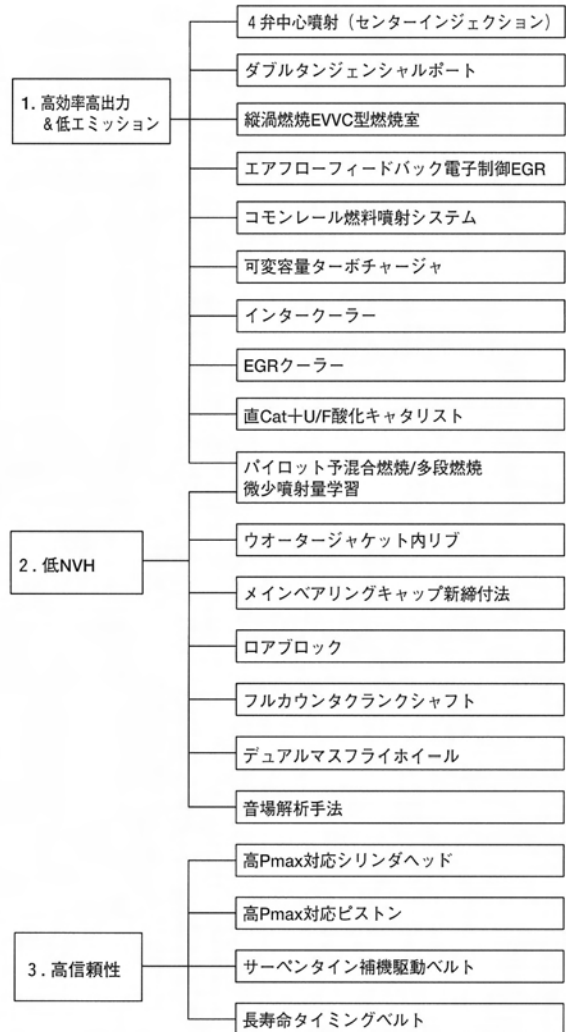


Fig.1 Main introduced techniques

## 3. 主要諸元

主要諸元（Table1）を示す。

## 4. 基本性能

以下、代表的なエンジン性能について示す。



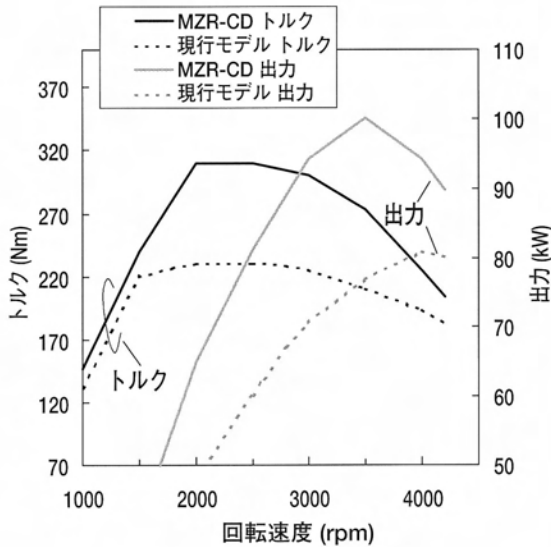


Fig. 2 Engine performance

#### 4.1 出力性能

出力性能を現行モデルと比較しFig.2に示す。

#### 4.2 排気エミッション性能

Fig.3に示す様にDIRECO-Dの1世代(旧型)はEuro2, 2世代(現行モデル)はEuro3, そして本稿で紹介する3世代目にあたるMZR-CD(新型)は, D4に対応した低排気エミッション性能を実現している。(一部Euro3)

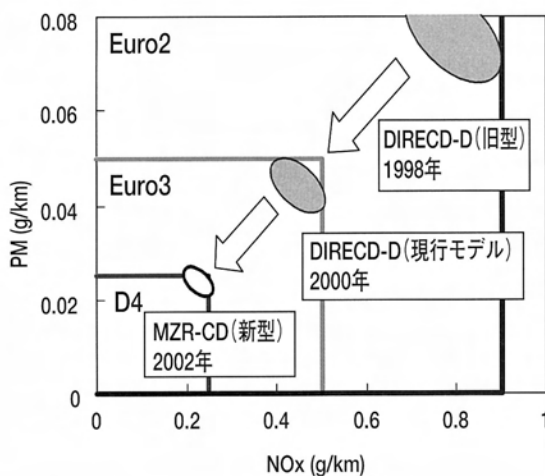


Fig.3 Exhaust emission performance

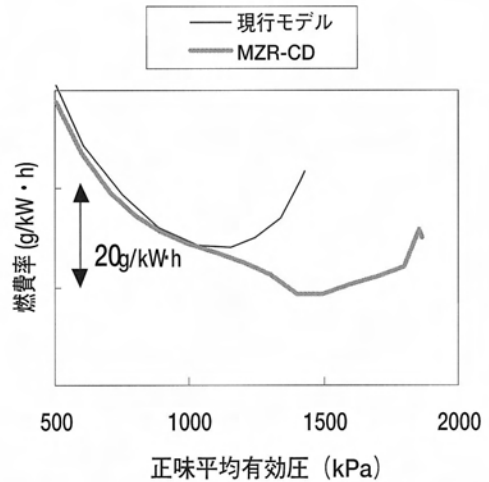


Fig. 4 3,000rpm Fuel consumption ratio

#### 4.3 燃費性能

構造系の高Pmax及び高排気ガス温度対応により, 欧州での高速走行で使用頻度が高くなる中高負荷の燃費向上を図ることができた。現行モデルとの比較をFig.4に示す。

#### 4.4 NVH性能

コモンレールの噴射自由度を活用することで, 排気エミッション性能を向上しつつ, ディーゼルノック音を軽減することができた。

Fig.5にその結果の一例を示す。

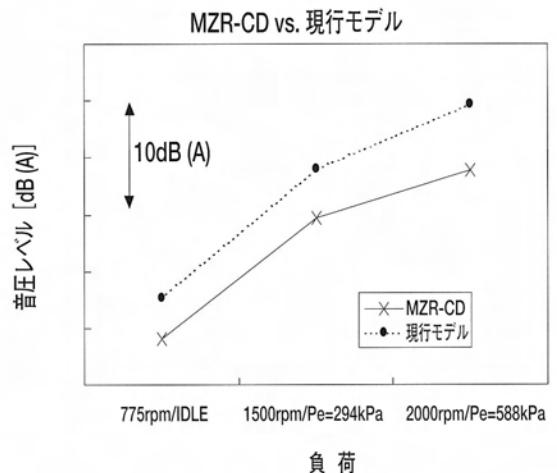


Fig.5 NVH Performance

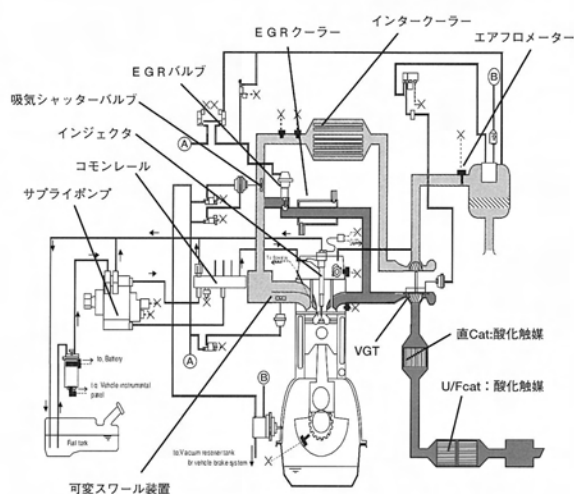


Fig.6 Engine control system diagram

## 5. エンジン基本システム

Fig.6に示すように最新の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および、吸排気システムを構築した。

コモンレールシステムにはDENSO(株)製U2-Pを装備している。最大噴射圧は、コモンレールでは超高压となる180MPaとし、ノズル噴孔とのマッチングによりエンジン性能向上に貢献している。そして多段噴射能力は、インジェクタ構造とドライバの改良により毎サイクル5回の噴射を可能にしている。Fig.7にU2-Pシステムを示す。また、過給機には、IHI(株)製RHF4Vを装備している。現

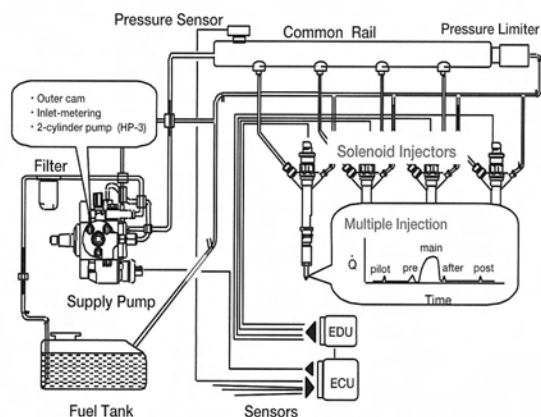


Fig.7 Common rail fuel injection system

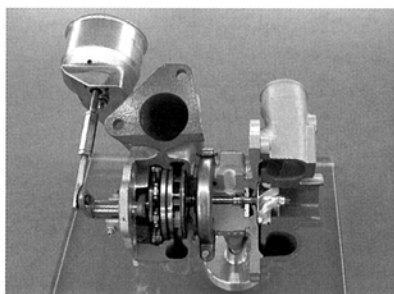


Fig.8 Variable geometry turbocharger

行モデルよりもさらにワイドレンジ化に対応したコンプレッサ性能とより高いガス温に耐えるタービン容量可変機構とすることで広範囲の運転領域で吸排気性能向上を実現した。Fig.8にカットモデルを示す。

## 6. エンジン本体構造

### 6.1 エンジン本体

DI化して3世代目となる本エンジンでは、従来のコンパクトエンジン設計を踏襲しつつ、出力改善及び効率改善のために、高Pmaxと高排気ガス温度に耐えられる本体構造を採用した。前記エンジン基本システムをベースに、スワール比と燃焼室をマッチングし、新たに技術を積み重ねて育成した。Fig.9に断面図を示す。

### 6.2 シリンダヘッド

スワール比と吸入効率を高次元で両立させたダ

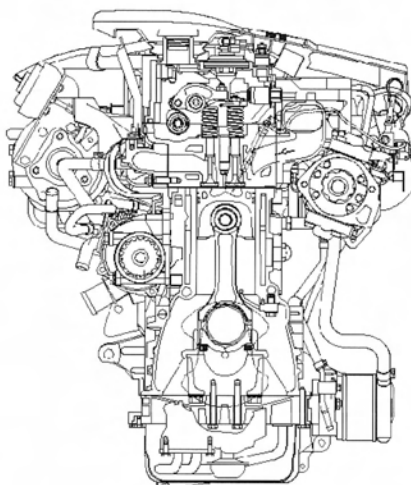


Fig.9 Engine cross section

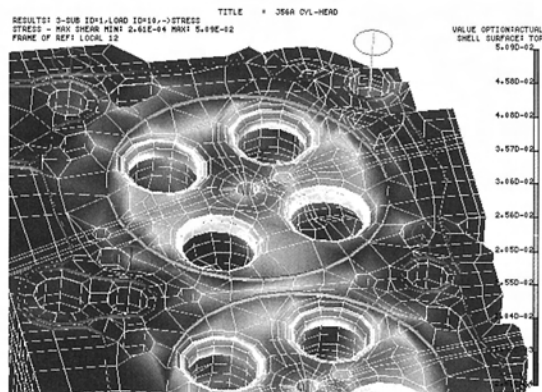
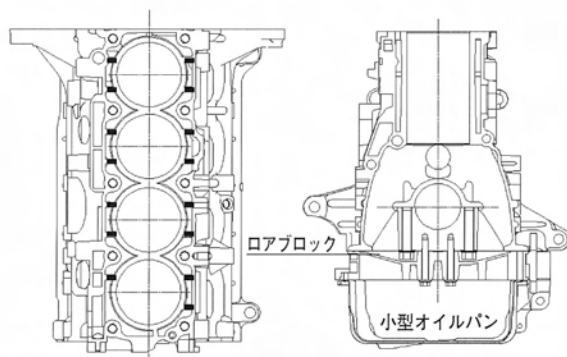


Fig.10 Cylinder head

ブルタンジェンシャルポート<sup>(1)</sup>を踏襲しながら、高圧噴射に対応した空気流動と高Pmax対応の両立を実現した。具体的には、バルブブリッジ部に十分な強度を持たせるためのスロート径縮小に対して、深いポート角度、バルブ傘形状低抵抗化等の改善を施した。Fig.10にFEM解析図を示す。

### 6.3 シリンダブロック

構造伝達経路の解析結果に基づいて構造強化を図った。Fig.11に示すようにウォータージャケット上部に貝柱状のリップを装着し、最小限の重量増で剛性を大幅に向上させた。これによりブロックの外壁膜振動を抑え、放射騒音を低減した。(Fig.12) 同時に、ボア部分の4次変形、および高周波振動も低減した。また、アルミ製ロアブロックと小型オイルパンを装着し、放射音低減を図っている。さらに、メタルクリアランスのばらつきを抑制するため締付軸力を高精度に制御するボ



■ 貝柱状リップの位置を示す  
Fig.11 Cylinder block

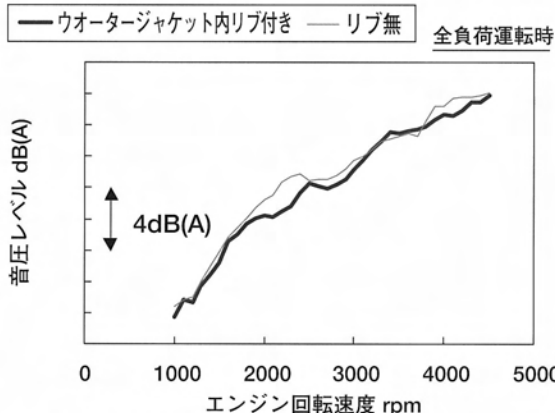


Fig.12 Sound effect of the ribs in water jackets (at 1m left side)

ルト新締付法を採用してNVHを改善している。

### 6.4 高Pmax対応ピストン

燃焼改善のために燃焼室幅方向の設計自由度を増すため、現行エンジンではトップリング溝部に鋳鉄インサートの代わりに金属多孔体を鋳込んだアルミ複合材冷却空洞ピストンを採用している。今回さらなる高負荷高Pmax対応として、金属多孔体材質の改良により耐磨耗性を改善し耐久性向上を図っている。Fig.13に断面を示す。

## 7. 燃焼改善技術

### 7.1 縦渦燃焼コンセプト

コモンレールシステムの採用に伴い、新しい燃焼方式である縦渦燃焼 (Expansive Vertical

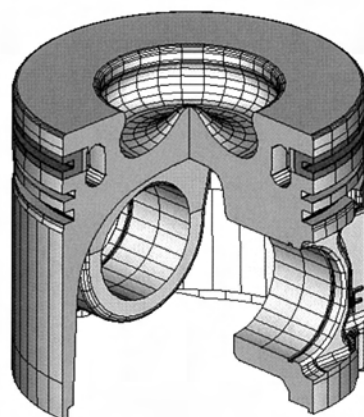


Fig.13 Aluminum composite material cooling channel piston

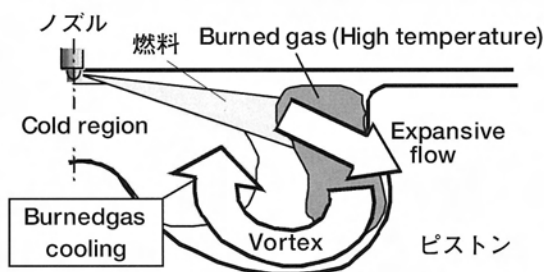


Fig.14 Principal of EVVC

Vortex Combustion)を開発し採用した。Fig.14に縦渦燃焼の原理を示す。予混合燃焼時に発生する強い流れ(燃焼膨張流)が、リエントラント燃焼室の壁面に衝突後に燃焼室下部に回り込み、縦渦が形成される。この縦渦によって燃焼ガスと燃焼室中央部に存在する低温の余剰空気が混合されて高温の燃焼ガスを素早く冷却し、NO<sub>x</sub>の生成を抑制している<sup>(2)</sup>。縦渦を強化するために、当社開発の3次元燃焼シミュレーションを用いて、燃焼室形状と噴霧諸元の最適化を行い、欧州モードで30%程度のNO<sub>x</sub>低減を達成した。

## 7.2 パイロット予混合燃焼

ディーゼルエンジンにおいて、エミッションを悪化させることなく燃焼騒音を低減することは大きな課題である。燃焼騒音の低減には主燃料噴射の直前に微少燃料を噴射するパイロット噴射が有効であるが、煤の増加を招くというデメリットがあった。本エンジンでは、パイロット噴射を早

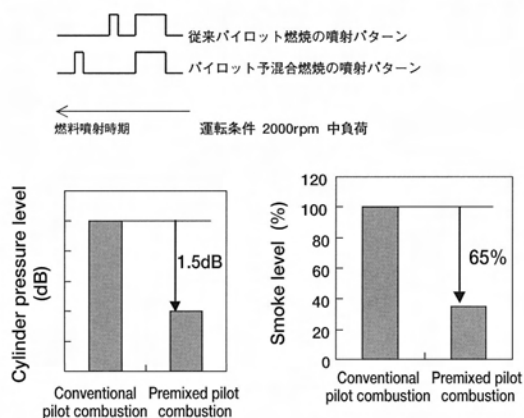


Fig.15 Improvement example of combustion noise and smoke reduction

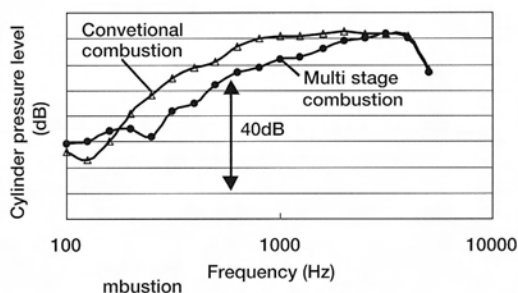


Fig.16 Improvement example of combustion noise at idling condition

期行い、予混合燃焼させてこの問題を解決した。Fig.15はその改善例である。従来のパイロット燃焼に比べ、燃焼騒音を更に低減しながら、同時に煤の排出も低減している。

## 7.3 多段燃焼

軽負荷運転領域においては、先のパイロット燃焼を更に発展させた多段噴射による多段燃焼技術を採用している。これは前述の予混合燃焼割合を拡大すると共に、多量EGRにより燃焼速度とNO<sub>x</sub>の生成を抑制し、さらに拡散燃焼を2回に分割して煤の生成抑制と再燃焼を行うものである。Fig.16に4段燃料噴射によるアイドル運転時の騒音改善例を示す。燃焼騒音を5～10dB低減すると同時にNO<sub>x</sub>・煤の排出も大幅に低減させた。

## 7.4 微少噴射量学習

パイロット噴射や多段噴射で微量の噴射をおこなう場合、インジェクタの固体差や運転状況による経時変化に対して、高い調量精度を確保する必要があった。このため、新しく噴射量の学習制御技術を開発した。Fig.17に、この技術の採用によるパティキュレート低減の一例を示す。

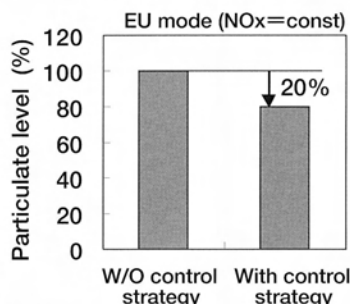
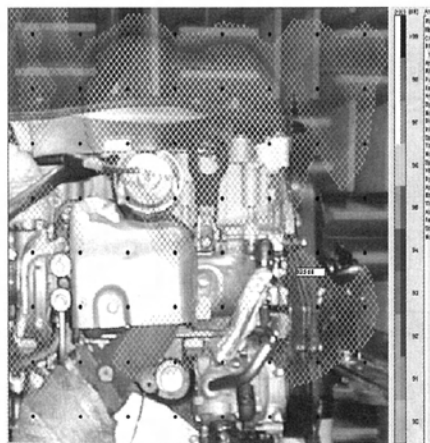


Fig.17 Improvement example of particulate reduction at EU mode



\* 音圧レベルが高い領域を色で示す

Fig. 18 Sound analysis by Spatial Transformation of Sound Field

## 8. その他適応技術

### 8.1 音場解析手法によるNVH低減

エンジン本体構造、燃焼改善に加え、音場解析装置（STSF）を用いて放射音の発生部位（Fig.18）を特定し、遮音材の最適配置を行った。車室内音に影響が大きいエンジン右音に関しては、ヘッド右壁カバー、ブロックカバー、剛性アップしたVGTアクチュエーターインシュレータを配置した。また車外音に対しては、コモンレール部カバー、クランクプリーカバーを設定し、車室内外での騒音低減対応を施した。

### 8.2 その他

最新の技術として、メンテナンスフリー対応のオートテンション付きサーペンタイン補機駆動ベルトおよび、高強度タイミングベルトを採用。あわせて、燃焼改善によりオイル劣化を抑制し、オイル交換インターバルの延長をおこなっている。

また、エンジンのトルク変動に起因した車体の振動・騒音問題を解消するため、デュアルマスフライホイールを採用した。

## 9. おわりに

MZR-CDは、これまでに蓄積したマツダ直噴ディーゼル技術をベースに、大幅なステップアップ

に成功し、次世代にふさわしい高次元でバランスのとれた十分な競争力を有するパワーユニットに仕上げる事ができた。

## 参考文献

- (1) 中井英二 他, マツダ技報No.17 (1999)
- (2) 志茂大輔, 片岡一司 他, 自動車技術会 学術講演会前刷集No.72-01 20015549

## ■ 著 者 ■



中井英二



佐原正憲



片岡一司



中尾正美



森 恒寛



児玉宏志

特集：アテンザ

11

## アテンザの駆動系 Drivetrain of ATENZA

森	工 <sup>*1</sup>	久 米 章 友 <sup>*2</sup>	藤 川 昌 道 <sup>*3</sup>	溝 部 龍 利 <sup>*4</sup>
Takumi Mori		Akitomo Kume	Masamichi Fujikawa	Tatsutoshi Mizobe
沢	研 司 <sup>*5</sup>	嶋 田 克 利 <sup>*6</sup>	河 野 裕 人 <sup>*7</sup>	麓 寿 男 <sup>*8</sup>
Kenji Sawa		Katsutoshi Shimada	Hiroto Kawano	Hisao Fumoto

### 要 約

アテンザにおける、マツダのブランドDNA『際立つデザイン、抜群の機能性、反応の優れたハンドリングと性能』を実現するため、この方針に添って、搭載する駆動系も新たに開発育成してきた。

ATENZAの駆動系は、マニュアルトランスミッション、小型4速AT、5速AT、およびこれに組み合わせる4WDシステムで構成されており、アテンザへの適用に対し、今回新たに開発した内容を中心に紹介したい。

### Summary

We have been developing the drivetrain for the new model Atenza based on the concept of Mazda brand DNA: eye-catching design, surpassing features, and responsive handling and functions.

The drivetrain for the Atenza include manual transmission, compact size 4-speed AT, 2WD 5-speed AT, and 4WD 5-speed AT.

The following describes the new developments that we made for the new model Atenza.

\* 1, 3 ~ 8    ドライブトレイン開発部  
Drivetrain Development Dept.

\* 2    パワートレイン先行開発部  
Powertrain Advanced Development Dept.



## 1. はじめに

今回のアテンザに適用するトランスミッション（以下TMと記載する）について、MTユニットとこれに組み合わせた、加減速時の制御、ATユニット、そして4WDについて採用した新技術を以下、順に紹介する。

## 2. MTについて

まず、アテンザに搭載される新型5速マニュアルトランスミッション（GCM型MT、以下GCM）本体系の技術的な特徴と、次に、今回新たに採用した、加速感の向上技術について述べる。

### 2.1 MTと採用した制御技術の開発の狙い

MTにおけるコンセプトは、「ドライバーの意のままに操作でき、小気味良いフィーリング」とし、この実現のため、クラストップレベルの操作性を目指した。

更に、チェンジレバーへのエンジン振動伝達を改善するとともに、搭載性や多機種への適合性向上のためケーブルチェンジ方式を採用し、これに重点を置き開発した。

また、今回採用した制御については、マツダの「走りのDNA」にふさわしい、アクセルレスポンスの実現を目指した。この実現にあたり、レスポンスを損なう事なく、アクセル踏み込み時のショック除去を行う事を狙いとした、トルクコントロール技術を新開発した。

### 2.2 主要諸元

GCM型MTの断面図をFig.1に、主要諸元をTable1に示す。

エンジン出力特性に合わせて、新設計のギヤを含む、2種類のギヤ比の組み合わせを今回設定している。

### 2.3 シフト&セレクト機構

MTの操作性を決定する重要な機構であり、低フリクション化、高効率化、荷重特性の最適化を行った。

#### (1)ディテントロックボール

シフトおよびセレクトの特性をロッドエンドと共に決定するのが、この部位である。

本GCMに採用するディテントボールはロッドエンド押し付けボールの背面に小径のボールを配

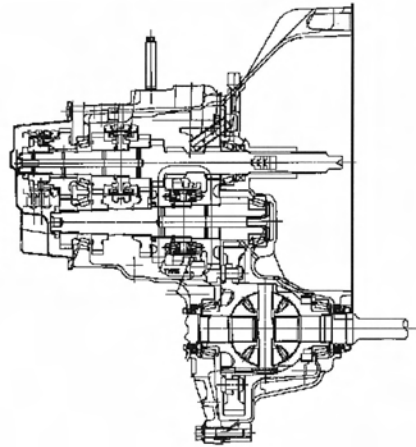


Fig.1 Sectional View of Transmission

Table 1 Specifications of Transmission

T/M Type		Manual 5 speed	
Clutch disk		$\phi 215 \times 150$	
ENG		2.3L CE	2.0L/1.8L CE
Gear Ratio	1ST	3.307	3.666
	2ND	1.842	2.059
	3RD	1.233	1.392
	4TH	0.970	0.970
	5TH	0.755	0.755
	Reverse	3.166	3.166
Final		4.388	4.388
Torque Capacity (Nm)		220 over	
Weight (kg)		40 (DRY)	

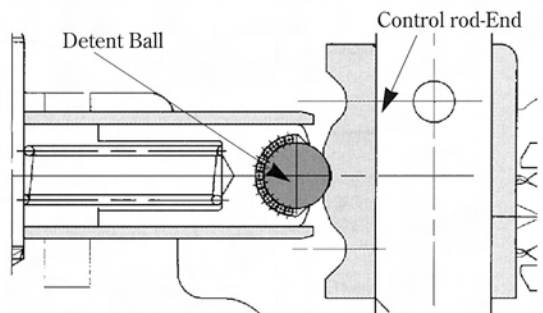


Fig.2 Detent Ball & Control rod-End

置する2重ボール構造を持ち（Fig.2）、シフト&セレクト操作時の摩擦係数を約1/2に低減する事ができる。

Fig.3の③に示すように、コントロールロッドの回転抵抗をオリジナル比、50%以上低減する事ができた。

## (2)チェンジリンク

本GCMはシフトロッド、クランクレバー、コントロールロッドの3つのリンクを持つ。このそれぞれの軸には特殊表面処理を施し、更に軸受け部は、テフロンコーティングの低 $\mu$ ブッシュを採用した。

Fig.3の②、④に示す通り、その低減効果は大きく、前述のディテントボールと合わせた最終仕様⑤では、リンク全体のフリクションをオリジナル比1/2以下に低減し、操作力伝達効率においても10%以上の改善を実現した。

また、リバースシフトリンクにおいても、支点や力点の位置を見直し、最適化する事により、荷重伝達効率のロスを抑制した。

Fig.4は、リバースアイドルギヤストロークに対する荷重効率を、従来品と比較したものである。

操作時、最も掻き分け力を必要とする、セカン

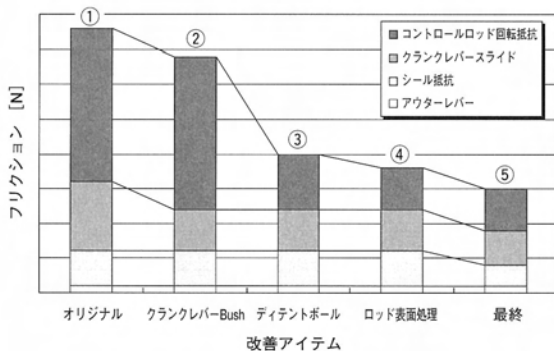


Fig.3 Process of Reducing Friction

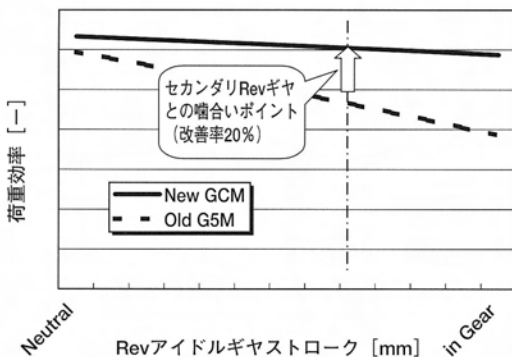


Fig.4 Efficiency of Reverse Link

ダリーギヤとの噛合いストロークにおける操作力伝達効率を現行比20%改善し、リバースシフト時の操作力を低減した。

## (3)コントロールロッドエンド

シフト&セレクトの荷重特性をコントロールするのがこの部位である。(Fig.2)

自他銘柄の徹底的なベンチマークと人間工学的なアプローチにより、荷重特性とフィーリングの相関取りを実施し、マツダが目指す理想特性を導き出した。

その節度あるフィーリングを造り込むために試作した仕様は、10種類以上にものぼり、数10 $\mu$ m単位のファインチューニングを施し、最終的な諸元を決定した。

MT本体における、シフト時の荷重特性を、Fig.5に示す。

## 2.4 シンクロ機構

ダイナミック領域の操作性にとって、最も重要なのが、シンクロ機構である。MTの変速操作力は、車格やカテゴリー、変速段位に関係無く、年々低下傾向にあり、本GCMにおいても開発当初から、ベストインクラスを目指し改善に取り組んできた。その代表的な取り組みを以下に示す。

### (1)連結ダブルコーンシンクロ

シンクロ容量を増加させる最も効果的な手段として、シンクロコーン面のマルチ化がある。本GCMにおいても、シンクロへの負荷の大きい1速、2速に連結タイプのダブルコーンシンクロを採用している。

連結タイプとする事で、シンクロチャンファの鋭角化が可能になり、素早い操作はもとより、ゆっくりした操作でも、操作力を低減している。

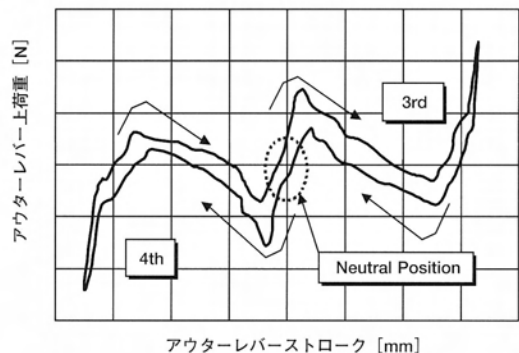


Fig.5 Characteristics of Shift Effort

## (2)カーボンシンクロ

比較的負荷は小さいが、素早い操作が多い3速、4速には高 $\mu$ カーボンシンクロを採用した。

当カーボン材は、Fig.6に示すように、従来の黄銅材に比べ、約30%高い摩擦係数が得られる。更に、耐熱性、耐摩耗性が高いという利点がある。

高 $\mu$ 、すなわち操作力低減と、耐久性を高次元で両立する、シンクロ摩擦材として非常に優れた材料であり、操作力を力積にして、15~25%の低減を達成した。

## (3)レバーシンクロ

5速、リバースには、新機構であるレバーシンクロシステムを採用した。従来のシンクロ機構に比べ、内部に「てこの原理」を用いる事により、同じ操作力で高い吸収エネルギーを発生する事が可能になる (Fig.7)。レバー比効果による操作力低減とともに、5速シンクロナイザーリングをリバースと共用する事により、部品点数の削減、0.25kgの軽量化をもたらした。

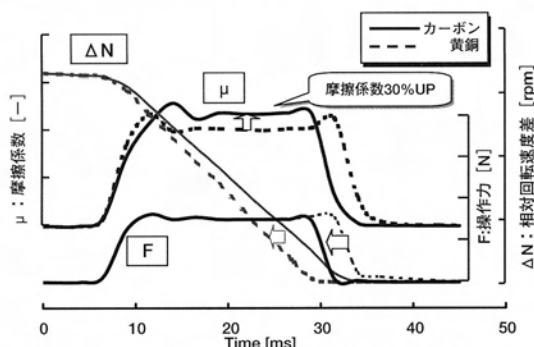


Fig.6 Frictional Character (Carbon vs Brass)

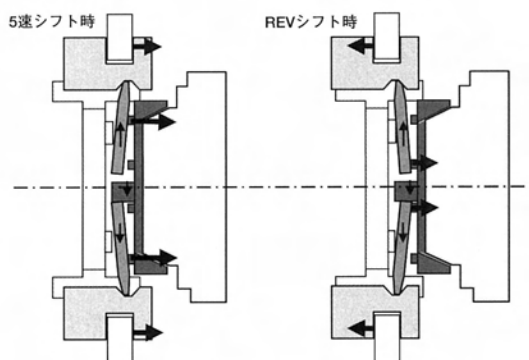


Fig.7 Lever-Synchronizer System

## 2.5 高効率ケーブルチェンジ

MTをコントロールするチェンジレバー、ケーブルにも多くの改善を施している。

チェンジレバーには、セレクトリターン機構を設けた。よりドライバに近い位置に設定する事により、センターフィール (中立感) を向上、トランスミッション側との荷重配分を最適化する事で、節度あるシフトフィールを実現している。

また、チェンジレバーを保持するベースプレート、セレクトアームの樹脂化により、低フリクション化と現行比50%という大幅な軽量化を実現した。樹脂化による懸念点であった剛性についても、FEM解析による形状の最適化により、金属製からの剛性低下を最低限に留めている。

ケーブルについても、MTへの連結部を前方位に置く事により、曲げ角度を小さくし、高効率化を可能とした。また、各連結部のガタを可能な限り低減し、ダイレクト感を維持した。

## 2.6 加速ショック低減制御

アクセル踏み込み時において、優れたレスポンスの実現と不快なショックの排除を高いレベルで両立させるため、駆動系捻り現象に着目したエンジントルク制御を開発した。

### (1)レスポンスとショックの関係

ギヤイン (クラッチ直結状態) 時にアクセルを素早く踏み込むと、急激にエンジントルクが変化し、駆動系の捻りが発生する。これにより発生する瞬間的な高い加速度ピークとその後の振動が不快なショックと感じられる。

これに対し、従来から、吸入空気量、点火時期、燃料噴射量などの制御によりエンジントルク変化速度を制限してショックを低減する技術は従来からあった。しかし、この方法ではショックを大きく低減するとレスポンスが悪くなるという欠点がある。(Fig.8)

今回開発したエンジントルク制御は、駆動系捻り現象に着目する事で、レスポンスとショックレスを両立しドライバーの意志に忠実な走りを実現するものである。

### (2)加速ショック低減制御アルゴリズム

Fig.9に本制御の概略図を示す。

レスポンスを犠牲にせずにショックを低減するフィードフォワード制御と優れた振動減衰機能を

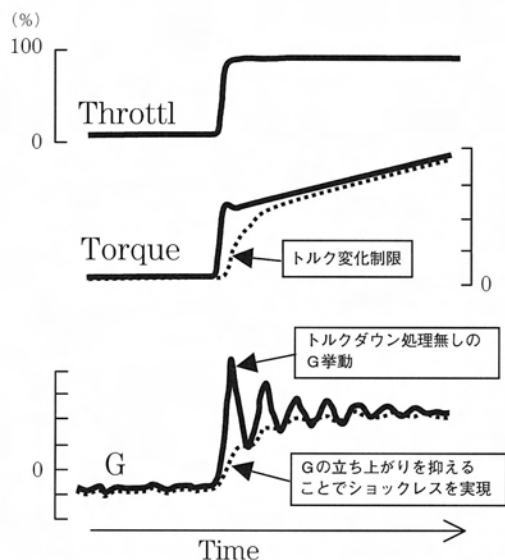


Fig.8 Conventional Countermeasure against Acceleration Shock

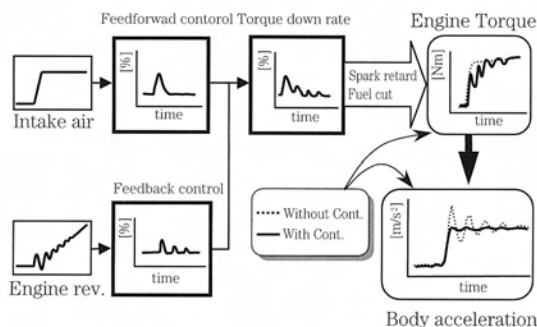


Fig.9 Control System

持つフィードバック制御を採用した。

#### ①フィードフォワード制御

アクセルON時の入力トルクから、駆動系の捻り振動の周波数（以下：駆動系共振周波数）のみを除去し、位相遅れの少ないデジタルフィルタを採用した。

振動発生源であるエンジントルクには、駆動系振動の周波数成分が含まれる。今回、吸入空気量変化をトルク変化とみなし、その入力波形から駆動系共振周波数成分のみを抽出し、トルクダウン量を演算する。これにより、車体振動の周波数成分を含まないエンジントルク変化を実現した。

#### ②フィードバック制御

トルクダウン実行手段として、点火時期と燃料噴射量を制御している。点火時期制御は応答性に

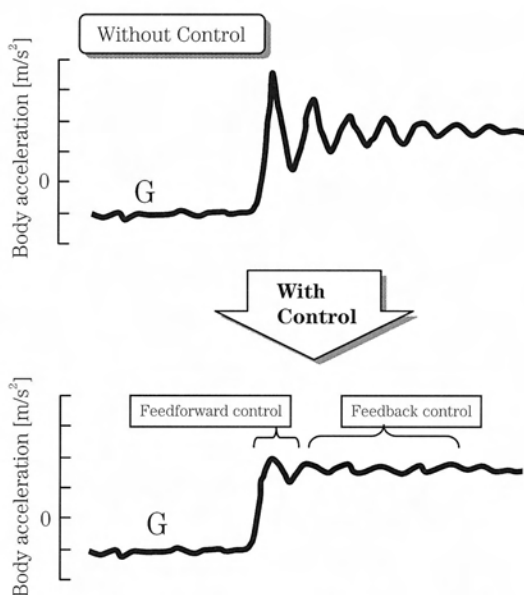


Fig.10 Effectiveness of Control System

優れる反面、トルク低減量に限界がある。一方、燃料カットは大幅にトルク低減が可能だが、燃焼までの時間遅れがあり応答性に課題がある。従って、両者を併用してもフィードフォワード制御だけでは完全に振動抑制ができない可能性がある。そこで、エンジン回転変動を検出することにより、振動を減衰させるフィードバック制御を採用した。

#### (3)効果について

Fig.10に本制御の効果を示す。

フィードフォワード制御により、加速度の立ち上がりを遅らすことなく、振動成分のみを除去することができた。

さらに、フィードバック制御により、残振動を抑制することで、フラットなG波形を実現できている。

### 3. 4速ATについて

#### 3.1 4速ATの開発の狙い

今回採用した2WDの4速ATは、'98以降ファミリーアやデミオ向けの小型軽量のFN4A-ELを強化したものである。（以下FNRと記載）

当4速ATに関しては、ベースATの特徴である、小型軽量を生じたギアトレイン各部の強化をはじめ、小気味良い変速応答性と、高品質なシフトク

オリティを安定して実現する事で、2.3Lまでの高出力エンジンへの対応と、車両としての走り感の向上に貢献する事を、開発の狙いとしている。

### 3.2 主要諸元

ギアトレイン部の断面図をFig.11に示す。

また主要諸元をTable2に示す。

### 3.3 FNRのギアトレイン部分

今回の主要開発項目として、アテンザで採用された新型エンジンとのマッチングがあり、FEM解析によりケース類の形状を最適化する事で、エンジンとATとの締結剛性を改善し、PPB性能を向上させエンジン音質の向上を図っている。

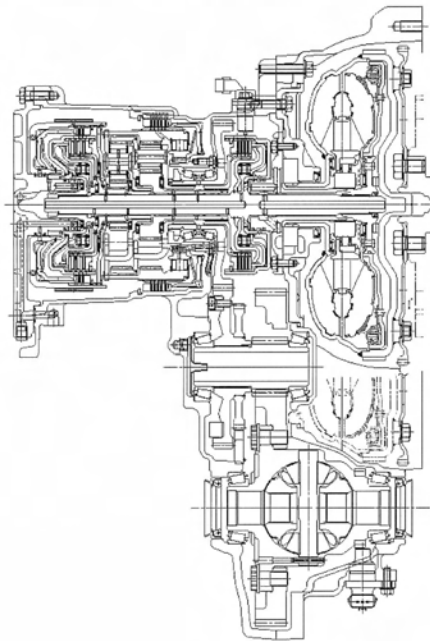


Fig.11 FNR Cross Section

Table2 4-Speed AT Specification

機種	2.0L用	2.3L用
全長	370.0mm	←
軸間距離	183.0mm	←
ギヤ比	1速	2.816
	2速	1.497
	3速	1.000
	4速	0.725
	後退	2.648
	F.G.R	3.904 ~4.416
		4.147

更に、今回は、2.3Lエンジンへの適用範囲の拡大や、2.0Lエンジン搭載車における走行性能を向上させるため、ATギアトレイン内部の各部を強化することにより、ファイナルギヤレシオの自由度を向上させることができ、従来車種と比較し、約6%の低速化を可能としている。

特に、ファイナルギヤについては、静粛性を確保すると同時に、ギヤ強度を向上させるため、歯当り解析 (Loaded Tooth Contact Analysis) によるギヤ歯面形状の最適化に加え、熱処理仕様とファイナルギヤ支持構造の改善により、ギヤ強度の向上を実現している。

このギヤ強度向上代を、Fig.12に示す。

また、前述のファイナルギヤ支持を受け持つデフ部分の構造については、ギヤとデフケース間の締結剛性の向上やピニオンギヤ熱処理の最適化により、既存の2ピニオンデフ形式としたままで、デフギヤのサイズアップする事なく、疲労強度とショック強度を両立させる事ができた。この強度向上代をFig.13に示す。

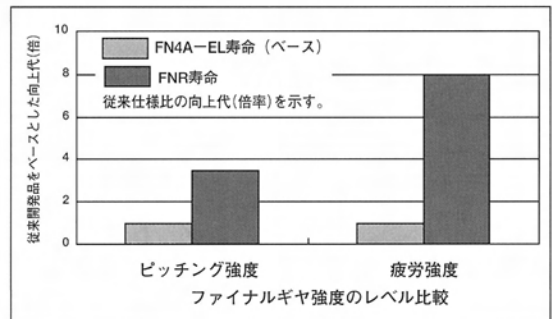


Fig.12 Reinforcement of Final Gear

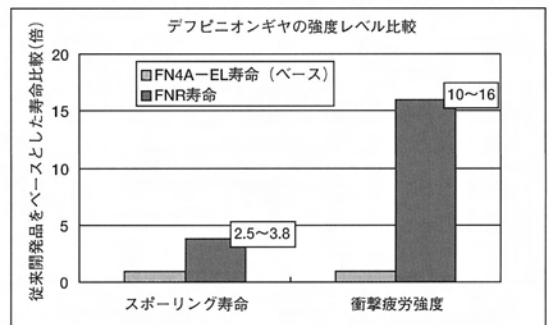


Fig.13 Reinforcement of Differential Pinion Gear

これらの強化技術の適用により、軽量コンパクトなATユニットの特徴を損なうことなく、従来比約30%のエンジントルクアップに適用する事が可能となった。

### 3.4 FNR油圧制御部

AT車では、ランプウェイから高速道路への合流や追い越し時など加速が要求されるシーンで4-2ダウンシフトが頻繁に使用されるが、この変速応答性が、加速フィーリングに大きく影響する。

FNRでは、マツダのDNAに相応しい小気味良い変速を実現するため、クラッチ圧コントロールシステムを一新し、4-2ダウンシフトの応答性改善を図った。

4-2ダウンシフトでは、ATユニット内部にある3/4クラッチを解放し、フォワードクラッチを締結することにより、変速を行っている。

従来は、これらのクラッチ切替えタイミングのバラツキを吸収させる為に、変速時に3/4クラッチとフォワードクラッチを僅かにオーバーラップさせていた。Fig.14に4-2ダウンシフト時の変速概念図を示す。

これに対して、FNRでは、フォワードクラッチの締結タイミングを、今回新規採用した油圧スイ

ッチにより、精度良く検出する事が可能となり、フォワードクラッチの締結タイミングが最適になるよう学習制御を行う事ができる。(Fig.14-①)

更に、この油圧スイッチ信号をトリガーとして、3/4クラッチを速やかに解放すること (Fig.14-②)により、前述のいわゆるオーバーラップ時間を短くして、変速時間を従来比30%削減する事が可能となった。

Fig.15に、4-2ダウンシフト時の車両加速度変化を示す。

### 3.5 FNR電子制御部

高品質なシフトクオリティを安定して実現させるため、変速中の回転変化に応じて、クラッチ油圧をリアルタイムで補正を行うフィードバック制御と、変速初期の回転変化に応じ、次の変速に備えて補正すべき量を記憶する学習制御を採用した。

その中で、特に今回開発に注力した学習補正量の拡大と学習補正量の追従性向上に関する技術を紹介する。

#### (1)学習補正量の拡大

AT内部油圧のバラツキによって発生する、変速時の過度なクラッチ滑りを防止するため、従来

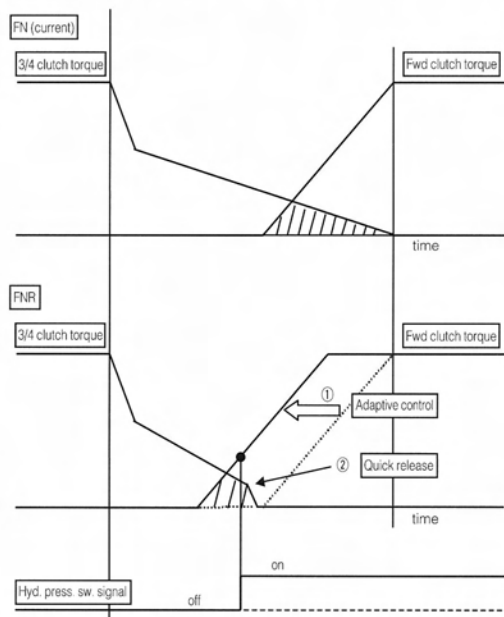


Fig.14 4-2 down shift concept diagram

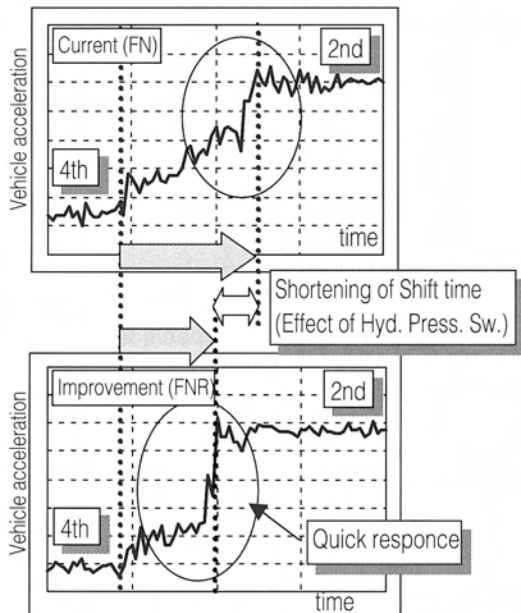


Fig.15 Comparison of vehicle acceleration During 4-2 down shift (test results)



の制御では、安全率を含んだ許容下限値 (Fig.16 のAに示す値) を設定し変速時油圧をこの値以上に制限していた。

一方、実際の変速によって求めた学習すべき補正量がAよりも更に低い油圧になるケースにおいても、上記の制限により変速時油圧をA以下にすることができず、学習によるシフトクオリティの向上幅が限定される場合があった。

そこで、FNRにおいては、変速する直前のクラッチのスリップ量を検出することで、個々のユニットで、本来は異なる変速時の油圧の許容下限値を演算する機能を開発し追加した。

これによりユニット固有の許容下限値 (Fig.16 のBに示す値) に至るまで、学習による補正を可能とする事ができた。

#### (2)学習補正量の追従性向上

従来の学習制御では、変速時の油圧レベルを複数の領域 (A, B, C, D) に分け、夫々の領域内で補正量 (a, b, c, d) を記憶する方式を採用していた。

しかし、Fig.17に示す様に、最適な補正量 (個々のユニットの油圧特性に応じて、ベストと考えられる補正量) は、ひとつの油圧レベルの領域の中で、最適な補正量に変化が有るため、補正量の追従性に向上の余地があった。

FNRでは、Fig.18に示す様に変速時の油圧と補正量の関係を2次元の座標点 ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ) で記憶する方式に改めた。

また、変速ごとに座標点を追加すると同時に、不要な座標点を削除する事で、座標点の数を一定に保ち、各座標点間の補正量は補間演算により求める方式とした。

これにより、最適な補正量に追従した学習制御に改善することができた。

### 4. 5 速AT

今回採用した4WD及び3.0Lに搭載する5速ATは、新型MPVで採用された5速ATをベースに開発したものである。(以下、FPFと記載する)

アテンザに対しては、走りと燃費を高次元で両立し、上級グレードとして高い変速品質とNVH性能の実現を狙いとして開発している。

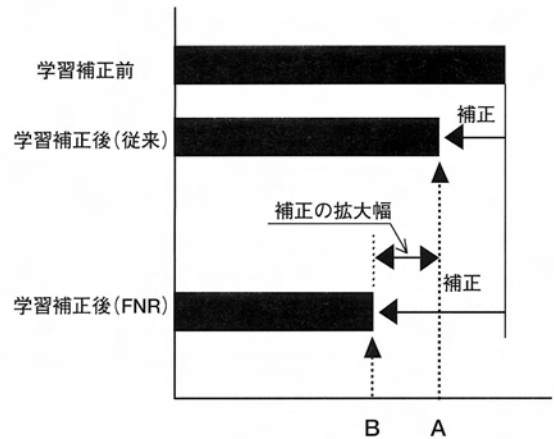


Fig.16 Increased Amount of Correction

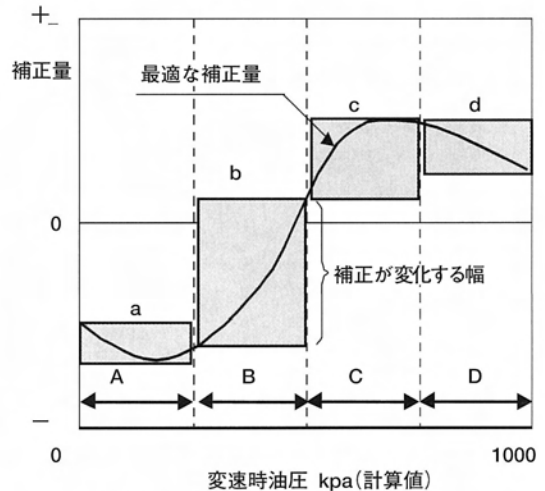


Fig.17 Conventional Learning Control

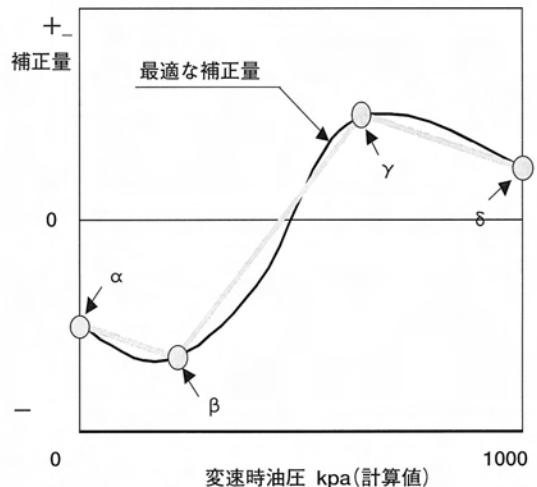


Fig.18 FNR Learning Control

#### 4.1 主要諸元

FPFの構造をFig.19に、主要諸元をTable3に示す。ギアトレイン部は、4速ATの2軸目にリダクションギヤを設定することで5速化し、4速AT並のコンパクトな全長を達成している。

#### 4.2 FPFギアトレイン部

当ATでは、高速走行時の燃費・静粛性を向上するため、ワイドギヤレシオ及び高速ファイナルギヤを採用している。

4WDについては、1速から4速のミッションギヤレシオを従来比、8～10%低速化し、動力性能を向上しながら、5速ギヤを高速に設定するこ

とで100km/h時のエンジン回転数を16%低減した。

2WDについては、ファイナルギヤレシオを4%低速化し、動力性能を向上しながら、5速ロックアップ可能車速を48km/hまで低速化する事で燃費と静粛性を両立した。

当ATでは、静粛性の向上のため、更にFEM解析によるトランスミッションケースの基本形状やリブ配置、肉厚を最適化し、高い静粛性を確保している。

#### 4.3 FPF制御部

FPFでは、以下の制御技術を採用することにより変速性能に対するバラツキ要因を吸収・抑制し、高い変速品質を確保した。

##### (1)シフトクオリティの向上

エンジントルク信号に基づく変速油圧の最適コントロールと変速時のトルクダウン制御、リアルタイムフィードバック制御、高精度な学習制御を採用した。

更に変速フェーズの細分化により変速フェーズ毎に最適油圧を設定する事でトップレベルのシフトクオリティを実現した。

##### (2)スロープコントロール制御の採用

登坂時のシフトビジー回避と降坂時のブレーキアシストを目的とし、スロープコントロール制御を採用している。

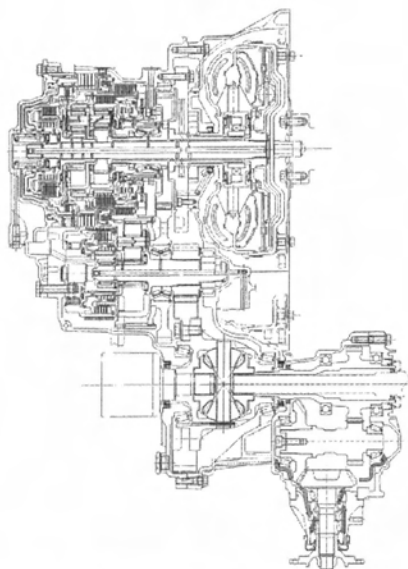


Fig.19 5-Speed AT Sectional View (4WD)

Table 3 5-Speed AT Specifications

機種		4WD	3.0L
全長		377.9mm	387.6mm
軸間距離		205.9mm	←
許容入力		220N・m	270N・m
ギヤ比	1速	3.801	←
	2速	2.131	←
	3速	1.364	←
	4速	0.935	←
	5速	0.685	←
	後退	2.970	←
	F.G.R	3.491	3.712

## 5. 電子制御式4WDシステム

アテンザのコンセプトは「高い安定性とレスポンスを両立するハンドリングの楽しさと優れた予防安全」である。

これを4WDとしても実現するため、雪道などの滑り易い路面での操縦安定性及び走破性の向上を目指し、軽量・コンパクトな電子制御式4WDシステムを新規開発した。

#### 5.1 システム構成と電子制御カップリングの作動原理及び構造

システム構成をFig.20に示す。

車速、スロットル開度などの入力信号に応じて、伝達トルクを可変制御する電子制御カップリングをリアデフ部に設けている。電子制御カップリングの作動原理及び構造を、Fig.21及びFig.22に示す。

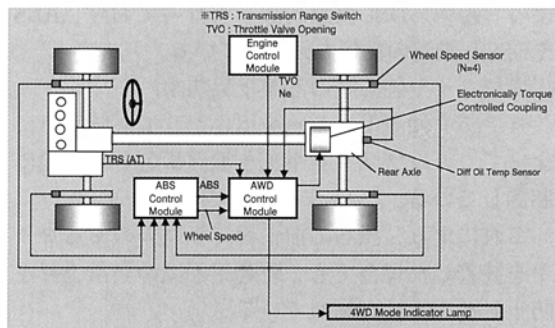


Fig.20 System Configuration



Fig.21 Working Principle

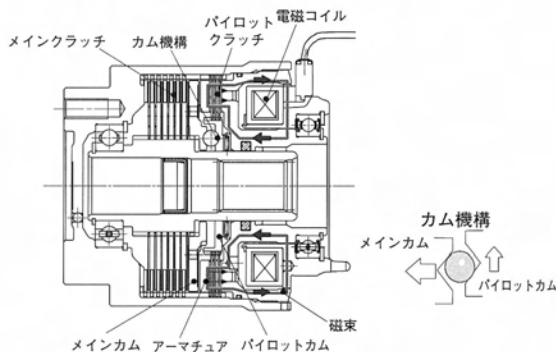


Fig.22 Structure of Electric Control Coupling

## 5.2 制御仕様と効果

当4WDシステムの制御は、センサーからの信号により車両状態を判定し、Fig.23に示す状態遷移に基づき、各状態で最適な後輪への目標伝達トルクを決定する。

例えば通常制御の場合、目標伝達トルクは、スロットル開度と車速に基づいて設定されているフィードフォワードマップと、車速と前後輪スリップ量 ( $\Delta N$ ) に応じて設定されているフィードバックマップ (Fig.24) の2つのマップにより決定している。

この目標伝達トルクに基づきカップリング電流を決定し、後輪への伝達トルクを制御している。

(1) 滑りやすい雪道での安定した発進／登坂性能

低車速領域では、スロットル開度に応じた後輪伝達トルクの最適化をはかり、フィードフォワード

ドマップによって決定される目標伝達トルクでカップリングを締結する事により、前輪スリップを未然に防いでいる。

雪上での25%登坂発進時のデータをFig.25に示すが、前輪スリップが体感できない、安定した発進／登坂を可能とした。

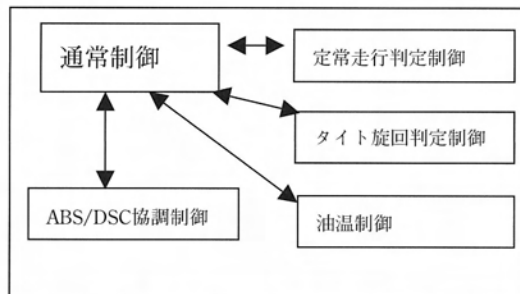


Fig.23 Transition diagram

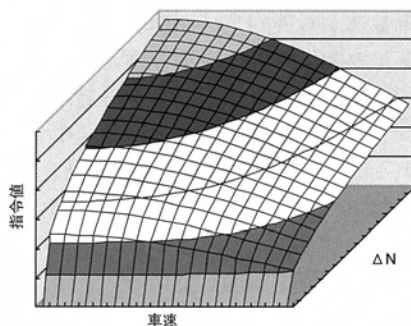


Fig.24 Feedback Map

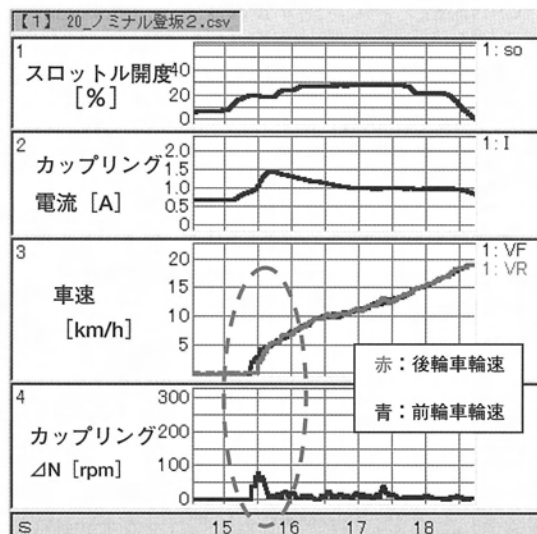


Fig.25 Take-off from Gradient of 25% on Compressed-Snow Road

## (2)滑りやすい雪道を安心して走れる操安性能

スロットル開度と4輪車輪速によって車両の状態を推定し、それぞれの状態に適した目標伝達トルクにリアルタイムで制御している。

したがって、滑りやすい雪道走行でも、通常のFF車に見られるような強いアンダーステアが抑えられており、ドライバーの運転操作に対しても素直で安心感を得られる操安性能を可能とした。

また、実用燃費の改善や駆動系の信頼性改善のため、郊外路や高速道路などで、車両が一定速度で安定した走行状態の時には、「定常走行判定制御」により後輪伝達トルクを低減するが、レーンチェンジや旋回・加減速などの操作を行った時には、瞬時にリヤ側へのトルクを増加させ、操安性能を高めている。

## (3)タイトコーナーブレーキング現象の防止

4輪車輪速から旋回半径を演算し、旋回半径に応じてトルク制御マップを切り換える「タイト旋回判定制御」により、タイトコーナー旋回時にはカップリング電流を低減し、舗装路で発生するタイトコーナーブレーキング現象を防止した。(Fig.26)

また、雪道などで車輪がスリップし易い場合には瞬時にカップリング電流を制御する事で、雪道での旋回発進性能を確保している。

## (4)ABS/DSC (ダイナミックスタビリティコントロール) との協調制御

CAN通信システムを介したリアルタイム通信に

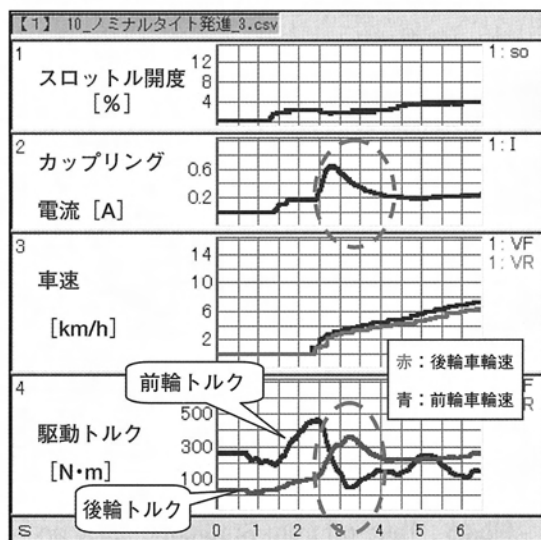


Fig.26 Tight Corner Turning on Paved Road

による「ABS/DSC協調制御」を行っており、ABSやDSC作動時の性能を確保している。

## (5)異径タイヤ装着時の油温上昇防止

リアデフ油温センサーを用いた「油温制御」によって、カップリング電流を油温に応じて最適に制御している。

これにより、誤って前後輪で半径差のあるタイヤを装着した場合でも、駆動系油温の異常上昇を防止し、安全性を高めている。

## 6. おわりに

以上、駆動系における新技術を紹介してきたが、これらの技術を織り込む事により、アテンザのポテンシャルを十分に引き出す駆動系を開発する事ができたと考える。

なお、お取引先様はじめ関係各位に対し、ここに厚く謝意を表します。

## ■ 著 者 ■



森 工



久米章友



藤川昌道



溝部龍利



沢 研司



嶋田克利



河野裕人



麓 寿男

特集：アテンザ

12

## New I4エンジン工場の紹介 New I4 Engine Plant

宮 中 弘 志<sup>\*1</sup> 市 本 秀 則<sup>\*2</sup> 鳥 居 元<sup>\*3</sup>  
Hiroshi Miyanaka Hidenori Ichimoto Hajime Torii

### 要 約

NewI4エンジン工場は、新開発のグローバルエンジンを、高効率生産とフレキシビリティをハイボリューム生産の条件下で実現することで、競争力の高いユニット生産を行うことをねらった最新鋭エンジン工場である。

本項では、機械加工、エンジン組立ラインに導入した技術を4つのカテゴリに分けて紹介する。

- ・商品力向上に寄与する高精度化技術：出力、燃費、NVH、エミッションを改善する技術の導入。
- ・ユニット機能を完全保証するシステム：工程内テスト、品質履歴&データ一元管理システムの導入。
- ・受注生産（BTO）を実現するシステム：生産工程短縮、ランダム生産を実現する工法、システムの導入。
- ・次世代エンジンに即応するシステム：フレキシブルな設備と3Dデータを用いた評価技術の導入。

上記の技術、システムの導入により、多種のエンジンパリエーションを効率的にランダム生産できる生産ラインを構築した。これにより、生産量と種類の変動に対し柔軟かつ迅速に対応することが可能となった。

### Summary

Mazda New I4 Engine Plant is the most advanced engine plant that achieved the competitive unit production of our new global engines; that is, while achieving both highly efficient production & production flexibility, it can meet the requirements for the higher production volume.

In this paragraph, we will describe our technologies introduced into the machining & engine assembly lines according to the following 4 categories.

- Technology to produce a highly marketable engine:  
Introduced technologies to improve power, fuel economy, NVH & emission performance
- The system to fully assure unit function:  
Introduced in-process test system and concentrated control system for quality history & data
- The system to achieve BTO (Build To Order):  
Introduced the system & process to shorten production process and achieve random production
- The system quickly responds to next-generation engines:  
Introduced the evaluation technology using flexible machines & 3D data

After introducing above technologies & system, we achieved the production line that can randomly produce a wide variety of engines. As a result, it became possible for us to be flexible and quickly respond to the variable production volume/models.

\* 1 ～ 3 パワートレイン技術部

Powertrain Production Engineering Dept.

## 1. NewI4エンジン工場のコンセプト

NewI4エンジンは世界4拠点で生産されるグローバルエンジンであり、マツダにとって様々な観点から大変重要なユニットである。(Fig.1)

その新ユニット生産拠点をマツダ（広島）に構築するに当たり「World Leading Plantの実現」を合言葉に掲げ取組んできた。

「World Leading Plant」とは、お客様にフォーカスし、世界No.1のパフォーマンスでリードし続ける革新的な工場と定義している。すなわち、お客様の期待に応える魅力あるエンジンを常にタイムリーに提供し続けるとともに、お客様のニーズに合せ、将来登場するであろう次世代エンジンにも迅速に対応できる革新的なエンジン工場の実現を狙ったものである。そのためには、高効率・高品質・フレキシブルといった要件をハイボリューム生産下で実現することが必要であり、今回新たに多くの革新的な技術／システムを開発し、新エンジン工場に導入した。

ここでは、それらを以下の4つの視点で層別し、その概要と一部の取組み事例を紹介する。

- ・商品力向上に寄与する高精度化技術
- ・ユニット機能を完全保証するシステム
- ・受注生産（BTO）を実現するシステム
- ・次世代エンジンに即応するシステム

## 2. 商品力向上に寄与する高精度化技術

商品力（出力・燃費・NVH・エミッション）向上においては、生産技術部門と製造部門も開発部門に協力する形で様々な活動を展開してきた。

商品力を向上させる一つの方向として、バルブタイミングの位相可変機構やターボに代表される補機ユニットを付加する手法があるが、我々が大きく貢献したのはその領域にとどまらず、エンジンの骨格をなすベースエンジン領域においてである。機械加工領域においては、個々の部品の重要特性をより高精度化し、組立領域においては、キーとなる特性をより精密に調整することで、より高いポテンシャルを持ったエンジンが実現できた。

そのために開発・導入した技術の一例を紹介する。



Fig.1 Manufacturing site of New I4 Engine

### 2.1 高精度加工技術

機能上重要な特性をいかに精度よく安定して加工できるようにするのが重要なポイントであるが、その実現のために次の二つのアプローチを行った。

一つ目は、重要特性に対し最も累積誤差が少なくなるような加工手順・加工基準を実現すること。二つ目は、重要特性を最終的に造り込む工程の加工精度そのものをより高めることである。

まず、前者の取組み事例を紹介する。

#### (1) シリンダヘッド 燃焼室基準加工

シリンダヘッドの燃焼室容積はエンジンの出力に直接寄与するだけにシリンダヘッド加工の中でも特に押さえないければならない特性の一つである。従来、燃焼室容積確保のための加工は、燃焼室と同一の素材金型により鋳造された素材基準面からシリンダブロック合せ面を加工することによって行ってきた。しかし、この方法ではどうしても燃焼室と素材基準面の間の誤差が累積する。今回は、加工工程の治具構造に工夫を加え、燃焼室そのものを加工基準とすることで累積誤差を67%削減し、より安定した燃焼室容積を確保している。

#### (2) シリンダブロック クランク穴基準加工

シリンダヘッド燃焼室と同様にシリンダブロックのシリンダ容積もエンジン出力に大きな影響を与える重要な特性である。従来、シリンダ容積確保のための加工は、加工基準として設けられた穴及び面からクランクシャフトを取付ける穴の加工とシリンダヘッド合せ面加工を行い、この二つの加工誤差が累積されたものが容積バラツキの要因となっている。今回は、直接クランク穴基準でシリンダヘッド合せ面が加工できる治具構造とすることで、累積誤差を30%削減し、より安定したシリンダ容積を確保している。

次に、後者の取組み事例を紹介する。



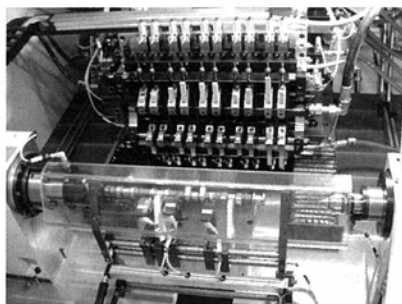


Fig.2 Camshaft Stone Finishing Machine

### (3)カム／クランクシャフト 超仕上げ加工技術

カム／クランクシャフトの回転摺動部の精度（粗さ・真円度等）は、エンジンの燃費性能・耐久性に影響する重要特性である。

今回、カムシャフト加工ラインのカムロブ面最終仕上げ工法として「ストーンフィニッシュ工法」を日本で初めて導入した。カムロブ面は従来ペーパーラップ工法（表面に砥粒を付着させたフィルムペーパーを回転しているカムロブ面へ押し当てラップし粗さを改善する工法）を採用していた。今回の工法は、角柱状の砥石を回転しているカムロブ面へ圧力をコントロールしながら押し当て、更に僅かに振幅運動を与えて表面を仕上げるといふ工法である。カムロブの研削加工後の形状誤差やうねりを矯正しながら表面粗さの改善ができると同時に、カムロブの軸方向断面を中高形状にすることができる。これは動弁系の抵抗低減と磨耗軽減に大きく寄与するものである。(Fig.2)

また、カム／クランクシャフトのジャーナル&ピン外径の超仕上げ工法（ペーパーラップ）においては、「ハードシュー工法」を採用した。シューとはフィルムペーパーを加工面へ押し当てる際にペーパーをバックアップする部位であり、従来はソフトシュー（軟らかい材質）を採用していたが、今回は、非常に硬い材質を採用し、これにより研削加工後のジャーナル&ピン部の真円度改善能力を2.5倍に向上することができた。

### (4)シリンダブロック ボア仕上げ加工技術

シリンダブロックのシリンダボアの精度（寸法、表面性状等）は、エンジンのエミッション性能（エンジンオイル消費量）に影響する重要特性である。ボアの最終仕上げ工法はホーニング加工を採用している。従来、ホーニング加工では、求め

られる表面性状を実現するためにビトリファイド砥石と油性クーラントの組み合わせを選択していたが、今回、国内自動車メーカーに先駆け、ダイヤモンド砥石と水溶性クーラントの組み合わせで、求められる表面性状を実現する技術開発に成功した。さらに表面性状以外のボア径のバラツキを半減させ、長期的により安定した精度の確保が可能になった。

## 2.2 高精度調整技術

エンジンの組立工程において機能上重要な特性をいかに精密に計測し、調整できるようにするかはエンジンの基本構造を決める上で大変重要なポイントであり、ユニットの開発初期段階より並行して取組んできた。その一例を以下で紹介する。

### (1)キー（ピン）レスタイミング調整

クランクシャフトとカムシャフトの回転タイミングを狙い通りにセットすることは、エンジンの性能上（出力、エミッション等）大変重要である。従来は、クランクシャフト／カムシャフト／スプロケットの所定の位置に溝（穴）を設け、キー（ピン）を用いて組付けていたため、組立ラインでは特に調整の必要がない特性であったが、多くの組付け部品の公差を積み重ねた結果としてタイミングを所定の数値にセットしていた。今回は、キーやピンといった部品を廃止したエンジン構造にするとともに、組立工程で直接それぞれの部品を所定の位置に割り出して固定し、その状態でスプロケットを組付け固定するというタイミング調整装置を開発・導入した。これによりバラツキ幅を42%縮小した精密なタイミング調整を実現している。

### (2)ギヤバックラッシュダイナミック測定・調整

今回、2.3リットルエンジンにはNVH（2次振動）低減を目的としたアドオンタイプのバランスシャフトが採用されている。クランクシャフトに圧入したギヤで、バランスシャフトを駆動しているが、このギヤをあらゆる運転条件下で静粛に回転させるためには、組立ラインでギヤのバックラッシュをある一定値に調整する必要がある。

今回、このバックラッシュを短時間で精密に測定する技術を開発・導入した。一方のギヤを一定方向に回転させながら、他方のギヤに付加するトルクをコントロールすると同時に、各ギヤの回転

変動を精密に読み取り、それらの結果からバックラッシュを演算するダイナミックな測定方法である。これによりギヤ全周でのバックラッシュの精密測定・調整が可能となった。

### 3. ユニット機能を完全保証するシステム

お客様の期待を裏切ることのない100%の満足をいただけるエンジンを提供する工場の実現を目指し、今回、エンジン1台1台の機能を組立ラインで全数検証することを狙ったシステムを開発・導入した。また、その検証データやエンジンの各構成部品の品質データ・製造履歴を有機的に結びつけるシステムも実現したので紹介する。

#### 3.1 組立ライン インプロセステスト

従来、エンジン機能検証は、エンジン組立ラインの最終工程にある着火運転にそのほとんどを依存していた。完成エンジンを着火運転し、一部の自動計測データと検査員の官能評価に基づく検証を行っている。今回、検証する領域の拡大と検証精度向上のために、最終工程だけでなく組立の途中工程（インプロセス）においてもモジュールごとに機能を定量的に計測・検証が可能なテスト装置を開発・導入した。ライン全体で13の機能検証ゲートを設けており、全てのゲートを通過したエンジンのみが出荷されるシステムとしている。

各ゲートでは、モータでエンジンを回転させながらクランクトルク・コンプレッション・バルブモーション・油圧／吸気圧・燃料噴射量・点火系／センサ／アクチュエータ作動等を全数自動で計測し、機能検証を実施している。(Fig.3)

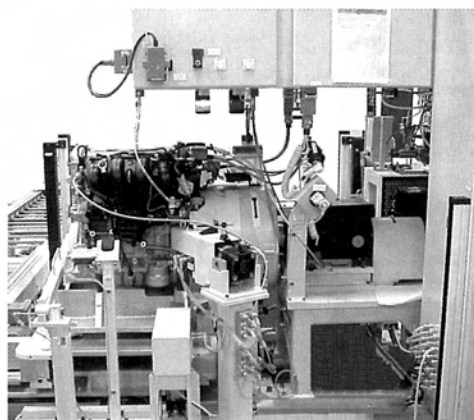


Fig.3 In-Process Test (Cold Test)

#### 3.2 品質データ一元化システム

製造ラインの品質データは、品質特性の重要度と製造ラインの工程能力との二つの要素によりその測定周期が決定されており、自動機により全数測定される特性とオペレータにより抜取検査される特性とに大別される。従来、品質データは測定作業の結果としてチェックシート（紙）に記入されるが、デジタルデータでないため記入後に積極的に活用されることはほとんどない状況にあった。

今回、機械加工ラインと組立ラインにおける検査データをデジタルデータ化し、一元管理することで有効に活用することを狙ったシステムを開発・導入した。自動機により測定されたデータ（約1800特性）はもちろんのこと、抜取検査データ（約3900特性）もその対象としている。特に抜取検査では、ゲージと近接スイッチ／フットスイッチを組み合せ、作業の効率化を図り、プラグゲージやネジゲージなどのOK/NGの2段階判定を行うゲージでの測定結果も、5段階のデジタルデータとしてタッチパネルで入力できるようにする工夫も取り入れている。このような品質データベースを構築することで、品質管理の信頼度とスピードを高めることが可能となった。

#### 3.3 ロットトレーサビリティシステム

ユニットとその構成部品の品質データを関連付けていくことで、ユニットが100%良品であることを保証するトレーサビリティシステムを開発・導入した。今回、履歴管理のレベルを大きく二つに分け実施している。

エンジンとその構成部品の製造履歴情報の収集方法をFig.4に示す。

まず、社内で加工する部品（シリンダヘッド、ブロック、カムシャフト、コンロッド、クランクシャフト）は、部品一つ一つに情報を持たせ、エンジンと一対一で関連付ける単品管理とし、組立ラインで各部品を組付けるタイミングで、製造情報を記入した2次元コードを読み取り、エンジンパレットのIDに書き込む。この情報を組立最終工程で読出し、データベースに書き込んでエンジン番号と部品の製造情報を直接関連付けている。

次に、社外サプライヤーからの納入部品は、部品納入容器単位のロット管理としており、部品容器が切り替わるタイミングでその都度現品票のバ

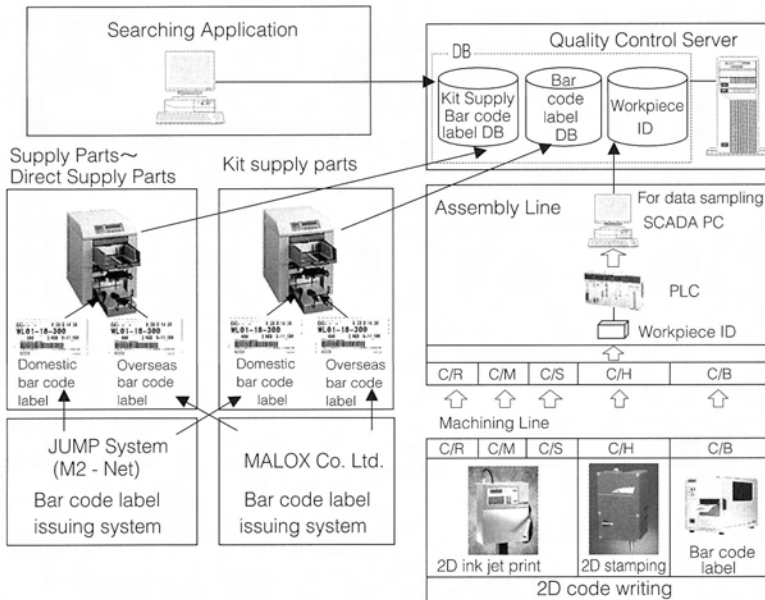


Fig.4 Data Sampling Flow of Each Part's History

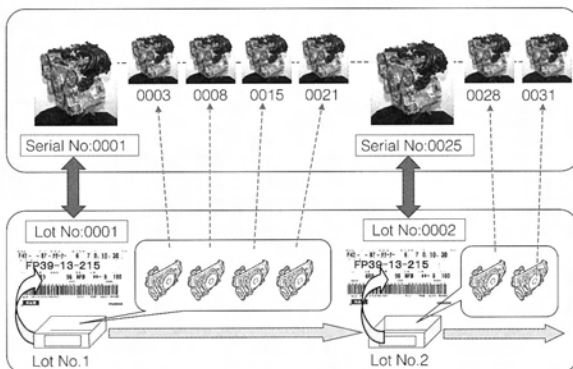


Fig.5 Linking Supply Part's Manufacturing Lot

ーコード情報を読み込み、対象エンジンの生産順序番号と関連付けることで、どのエンジンに同一ロットの部品が使用されたかが把握できるようにした。

これにより、一台一台のエンジンがどういう製造履歴の部品が組付けられているかがわかるようになった。更に、万一品質問題が発生した場合等には蓄積した製造履歴が活用できるような検索パターンについても準備を完了しており、対策対象に対する確で迅速な対応が可能となっている。ロット単位での関連付け方法のデータの流れを Fig.5に示す。

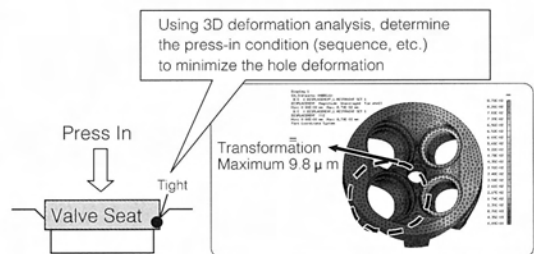


Fig.6 Ambient Assembly of Valve Seat

#### 4. 受注生産(BTO)を実現するシステム

受注生産 (BTO) の実現を目指し、エンジン工場全体の製造リードタイム短縮(仕掛け量削減)に関しても様々な活動を展開してきた。

製造リードタイムを短縮するには、製造ラインの工程数・ステーション数を削減することと、各ラインが要求される機種を要求される順番でロスなく生産できるようにすることが必要である。

そのために開発・導入した技術の一例を紹介する。

#### 4.1 生産工程短縮

##### (1) シリンダヘッド パルプシート常温圧入

工程短縮を実現する技術としてパルプシートをシリンダヘッドに常温（室温）で圧入する技術を開発した。従来は、シリンダヘッドを連続加熱炉に投入し、ある一定温度に昇温した状態でパルプシートを組付ける「焼嵌め」という工法を採用していたが、今回は、この加熱工程を完全に廃止した。圧入時にエンジン機能に影響するようなスキ・カジリ等が発生しないようにパルプシート形状や圧入順序／圧入条件を応力解析結果等に基づき決定すると同時に、圧入過程を厳密に監視する技術と波形解析システムの導入により実現したものである。(Fig.6)

##### (2) コンロッド クラッキング工法

コンロッド製造ラインの工程削減を狙い、国内自動車メーカーに先駆けてクラッキング工法を開発・導入した。これはロッド・キャップが一体成形された素材を、加工ラインにおいて破断する工法である。破断の起点となる位置をコントロールするために大端穴の所定の位置にあらかじめブローチ溝加工で切欠きを設け、その後大端穴内部に押し広げる方向に衝撃荷重を加え、脆性破壊で破断分離させるものである。品質要件としては、破断後の大端穴の変形、再組付け時の再現性、合せ面の欠け有無等があり、これらに影響を及ぼす切欠き形状、クラッキングスピード等の条件の最適値と管理幅を、SQC手法の活用による検証活動

で確立することで量産ラインへの適用を実現した。Fig.7に従来工程（ロッド・キャップ分割型）と新工程を示す。

クラッキング破断面は脆性破面を有しており、再組付けの際には、この破面の凹凸を利用して極めて正確に位置決め（再現）ができる。(Fig.8)

従って、合せ面の仕上げ、位置決め用ノックピン、リーマボルト等の加工が廃止でき、ライン全体で工程数を約50%削減している。

##### (3) カムシャフト 高速研削








カムシャフトのカムロブ研削工程に砥石周速200m/s（砥石回転数10,000min<sup>-1</sup>）の高速カム研削盤を導入した。量産ラインでの実用化は、世界に先駆けてである。これは、軽量砥石、軽量砥石台及び高追随型制御装置の開発により実現したもので、既存ラインの砥石周速80m/sの設備に対し、設備台数の約60%削減を実現すると同時に、砥石寿命においても約2倍を達成している。

#### 4.2 ランダム生産実現

##### (1) 生産指示システム

機械加工ラインにおいて、エンジン組立ラインと完全に同期した生産を効率良く実現させるために、最適な生産機種・順序を指示する生産指示システムを構築した。考え方は、組立ラインの生産計画を先読みし、それを機械加工ラインの制約条件（リードタイム・機種別生産能力・段取り替え時間等）に基づき最小限の範囲で変更を加え、ラインの素材投入装置に指示するというものである。

Current

Machining Process						
Blank Rod	Blank Cap	Rough Rod	Rough Cap	Joint Face Finish Locate Hole	Joint Face Finish Dowel pin Press In	Assy & Finish (Finished Part)
						

New I4





One Piece Blank	Rough	Grooving & Cracking	Assy & Finish (Finished Part)
			

Fig.7 Operating Procedure of Connecting Rod

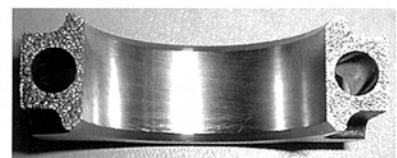


Fig.8 Picture of Fracture Surface

もちろん、ライン内の仕掛け数と完成品の在庫数は常時監視し、その結果をリアルタイムにフィードバックして素材投入指示に変更を加えることで常に一定の進捗を保つことができるようにしている。

システムは、生産実績情報管理と生産指示機能を持った生産指示サーバーと各ラインに設置している生産指示端末、素材ピッキング装置、生産実績を収集するSCADA-PCで構成している。(Fig.9)

Fig.10は、ラインサイドの生産指示画面である。

## (2)素材自動ピッキング装置

機械加工ラインの初工程には、前述の生産指示

システムの指示に沿って素材をランダムに自動投入するピッキング装置を開発・導入した。(Fig.11)

シリンダヘッド・シリンダブロック・クランクシャフト・カムシャフト・コンロッドの各部品を素材運搬荷姿の状態から自動でピッキングするために、各部品の位置を自動判定する画像処理装置や板パレット処理装置等を装備させている。

## (3)自動段取り替え機構

製造ラインが要求される機種を要求される順序でロスなく生産するためには、個々の工程・設備がサイクルタイム内で機種に合せて自動段取り替

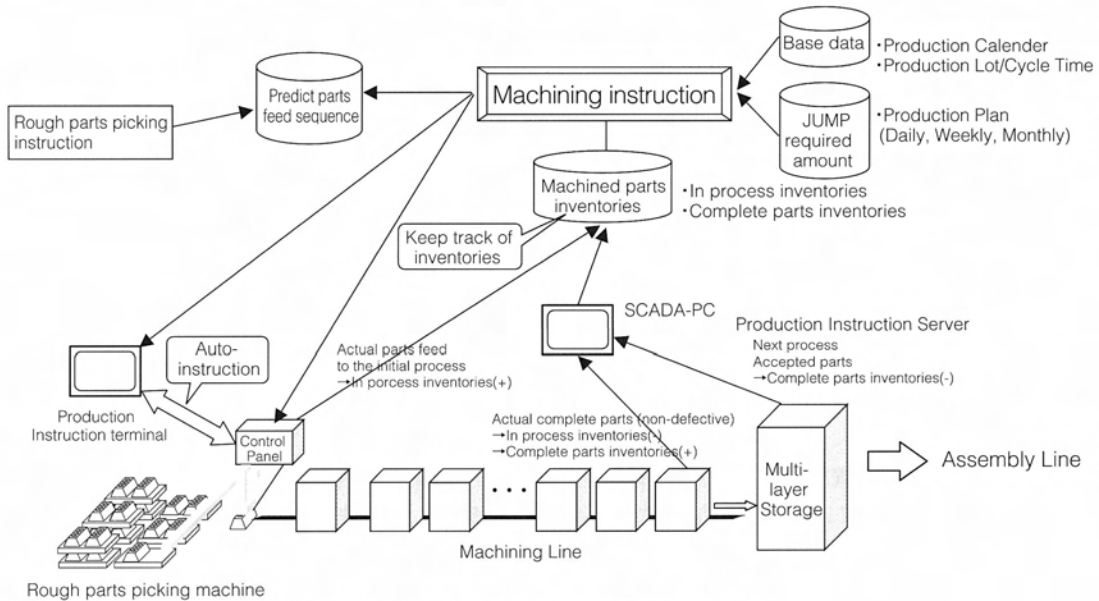


Fig.9 Production Instruction System



Fig.10 Production Instruction Screen

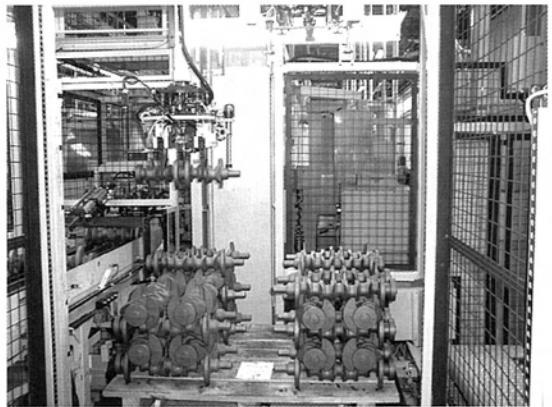


Fig.11 Automatic Crankshaft Picking Machine



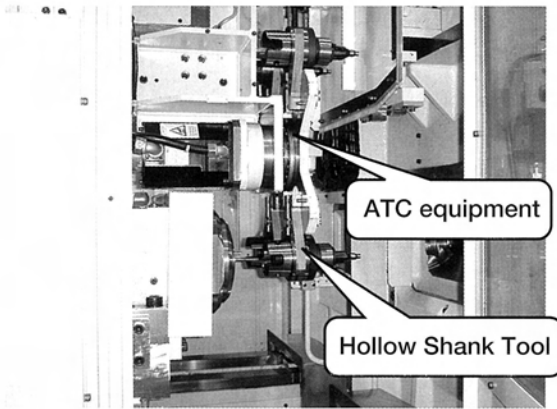


Fig.12 ATC of Valve Finishing Machine

えができる構造とする必要がある。また、その構造は、品質・稼働に悪影響を与えることがない信頼性の高いものでなければならない。設備自体は、NC装置を駆使することによりフレキシビリティと信頼性を両立することが可能であるが、ワーク（部品）に直接接する刀具については、機種に合せ交換せざるを得ないのが現状である。今回、この工具交換作業を自動で行う自動工具交換機構（ATC：Automatic Tool Change）を、高精度な加工が要求される最終仕上げ工程にも多数開発・導入している。

Fig.12は、シリンダヘッドのバルブフィニッシュ工程に導入したATC機構である。ATC機能と高精度を両立させるために、1軸NC加工機に近年採用されている2面拘束ツーリングシステムを導入している。これにより、ATC後の刀具先端振れを所定の数値内に抑え、且つツールクランプ剛性の確保が可能となり、バルブ仕様の異なる機種の

ランダム生産が可能となっている。

#### (4)工場内同期物流システム

工場内仕掛け量削減に対する取組みの一つとして購入品の在庫量削減にも取組み、中でも工場内での物流を同期化することで、不要在庫を排除するノータッチ物流システムを開発・導入した。

まず、工場内の在庫量を所定量以下にコントロールするため、購入品の受取りは全てあらかじめ定めた台車で行うこととし、この台車を部品庫の所定の位置に集約配置している。これらの台車は、AGV（無人搬送車）により自動フッキングされ、ラインサイドの必要なポイントへ必要なタイミングで自動牽引搬送されるシステムとなっている。AGVは、自動スケジューリング・自動ルート生成機能を持っており、組立ラインの進度に合せた配送が可能で、在庫の顕在化と物流の効率化を実現している。

### 5. 次世代エンジンに即応するシステム

将来の次世代エンジン追加に迅速に対応するためには、製造ラインを構成する設備をフレキシブルにする必要があり、業務プロセス革新の一環として進めているMDI（Mazda Digital Innovation）活動を更に進化させた量産準備プロセスを展開していくことも必要である。今回、それを目指して開発・導入した技術／システムの一例を紹介する。

#### 5.1 フレキシブルな設備

##### (1)1軸NC加工機

シリンダヘッド・シリンダブロックラインにおいては、種類の追加に柔軟に対応するため従来の専用機（トランスファマシン）に代わり、量産向

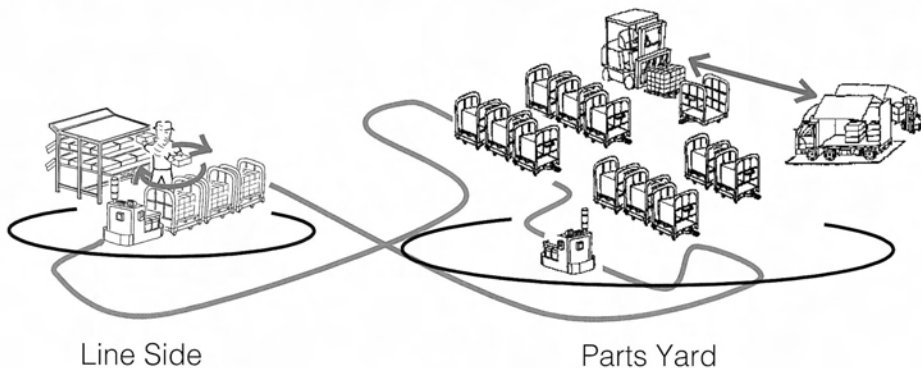


Fig.13 Scheduled Delivery &amp; No Touch AGV System



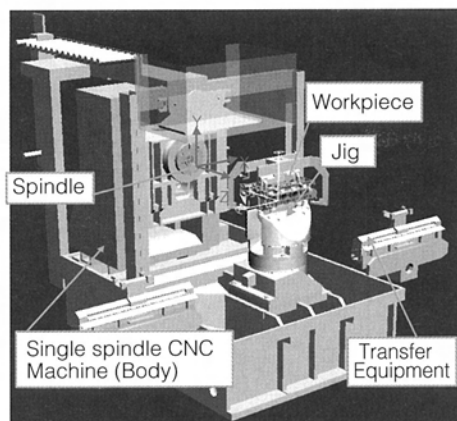


Fig.14 Single Spindle CNC Machine

けマシニングセンタ（1軸NC加工機）を本格的に多用したライン構成としている。

これには専用機の生産性／信頼性を汎用機で実現する必要があった。そのために、高加減速主軸／走行軸・高速ATC・高速搬送装置等の要素技術開発を実施するとともに、高信頼性実現のため「止まらない・壊れない・修理しやすい」の視点でのQA（Quality Assurance）設計を実施し、試作機段階から実機検証も実施してきた。その結果、専用機と同等以上の設備が実現できている。また、制御系に関しては、PLC（シーケンサ）を排除し、NCとFLネットの組み合わせとし、操作盤／NC・ラダーのメンテナンスツールの統合化、操作盤のコンパクト化、ラインネットワークへのワンタッチでの参加／離脱を実現している。これにより、追加機種対応時の変更は、ツーリングとプログラムのみとなり、週末（土日）休日での対応レベルで可能となった。（Fig.14）

## (2)モジュール式自動組立装置

組立ラインでは、品質保証及び工数削減の観点から自動組立装置を導入している。従来は、装置を専用化していたため、追加機種に柔軟に対応できないネック設備となっていた。今回、自動組立装置に対する考え方を変更し、追加機種への即応を狙った装置構成としている。装置を標準化し、門型フレーム・XYロボット・部品組付部・部品供給部・搬送・制御の6つのモジュールユニットを積み上げる装置構造とした。追加機種への対応は、組付け部品のクランパーと部品搬送パレットの変更及び制御プログラムの変更のみで可能とな

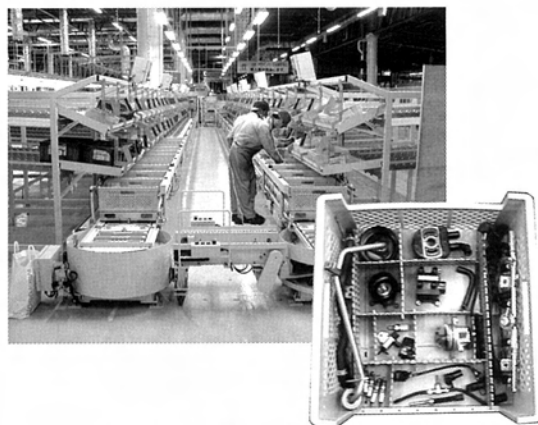


Fig.15 Kit Supply System

った。

## (3)キットサプライシステム

組立ラインの人間作業工程では、機種追加や台数変動に最小ロスで対応するために作業編成の変更を実施するが、従来のラインではラインサイドの部品棚の移動や追加が必要で、再度安定した生産を取り戻すまでにある程度の時間を要していた。

また、部品種類の増加により、部品取出しに伴う歩行ロス・部品選択作業の複雑化による判断ロスの発生や、部品棚の物理的制約のために作業編成効率が低くなる等の問題もあった。<sup>(1)</sup>

今回、これらの変動を排除する目的で開発したキットサプライシステムを導入した。これは、エンジン1台分の部品をキitting工程にてキitting箱にセットし、その箱とエンジンを一対一で同期させながら組立コンベア上を搬送させて組立作業を行うというシステムである。部品選択作業が集約されたキitting工程では、作業ロスと判断ロスを最小とするために独自の生産指示システムを構築し、センサ等による部品取出し確認システムと組み合わせて判断作業を軽減するとともに、取出しミスを100%防止している。（Fig.15）

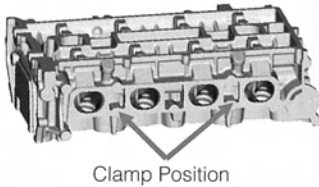
## 5.2 3Dデータ活用による事前評価

今回、NewI4エンジンの量産準備業務で実践してきた3Dデータ活用による事前評価の中から製品及びツーリングに関する領域の事例を紹介する。

### (1)MDIの活用（製品設計）

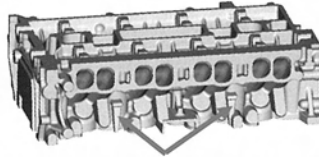
フレキシビリティ向上のためには、製品機能を

Model A



Clamp Position

Model B



Applying the common clamp position with the one for Model A, commonize the hard point

Fig.16 Example of Pre-evaluation at the Product Design Stage

Number of parts &amp; time for assemble

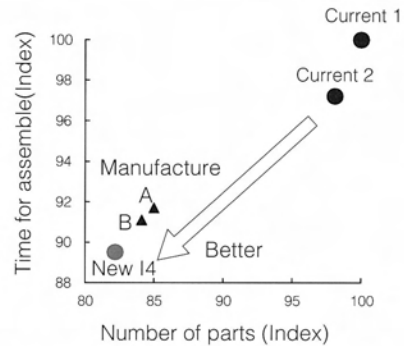


Fig.17 Result of DFA Evaluation

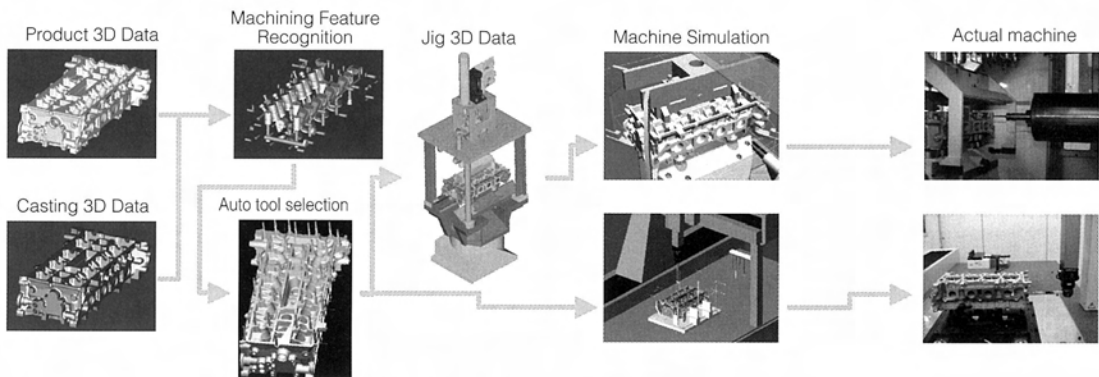


Fig.18 New Process of Machining Area

満足させながら加工基準や搬送基準等の「ハードポイント」の共通化が重要である。今回は、派生車種の構想設計初期段階で3Dデータによるハードポイント評価を行い、生産要件を織り込むことで異なる形状の車種の混流を可能にしている。(Fig.16)

また、組立性評価手法であるDFA (Design For Assembly) 評価を行い、ベンチマークによる目標設定や一体化・モジュール化等を提案し、組立てやすいエンジン構造を初期段階で実現するよう取り組んでいる。(Fig.17)

## (2)MDIの活用 (工程設計・設備設計)

製品の3Dデータ化に伴い工程設計・設備設計段階の工程データを3D化し、従来に比べ大幅な期間短縮を実現するプロセスを構築している。

(Fig.18)

具体的には、製品3Dデータと素材3Dデータからの機械加工で取除くべき部位を認識し、そのために必要な刃具を自動割付する等の工程設計、NCシミュレーションや3次元測定機のオフラインプログラムによる最適プログラムの事前準備等、物を作る前の工程・設備の完成度向上を行うことができ、投資及び現地改造期間を1/10に大幅短縮してきている。(2)

## (3)MDIの活用 (治具設計)

機械加工工程で使用する治具には、ワーククランプ/位置決めのための油圧・空圧・センサ等の機器を取付けるため、切削加工で発生する「切粉」が機器周辺に堆積しやすく、品質面・稼働面で悪影響を与える要因となっている。今回、切粉堆積

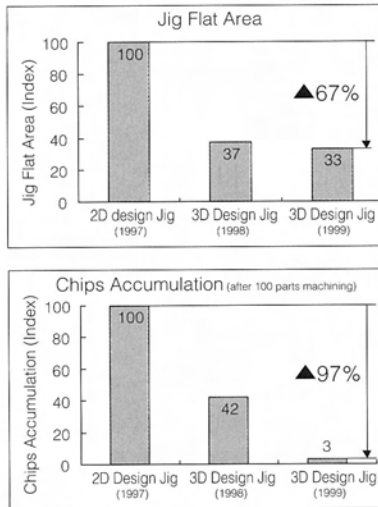


Fig.19 Jig Flat Area &amp; Chips Accumulation

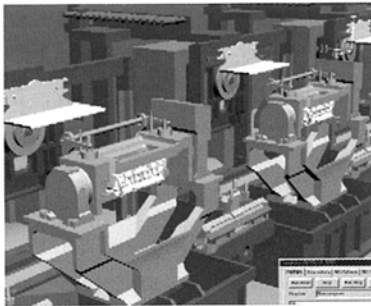


Fig.20 Tilt Type Jig Fixture

について構想段階から重点的に評価した。3Dデータに基づく治具設計を行い、切粉堆積や切削力による変形の影響のない治具構造を決定した。特に、治具平面部分の極少化や配管レスの構造による、切粉堆積部位を排除することで、治具への切粉堆積量を大幅に削減することが可能になった。(Fig.19)

また、チルト機構と搬送機構の干渉を回避しながら、ワークを逆さまに取付けることができる治具を開発し、チルト治具へのワーク自動搬送と切粉堆積部位のゼロ化を同時に実現し、ライン稼働の阻害要因を排除することができた。(Fig.20)

## 6. おわりに

NewI4エンジン工場に導入した技術／システムの紹介をしてきたが、これは我々がお届けする商

品（エンジン）にお客様がふれた時に常に“わくわく”する感情を抱いていただけることを願い開発してきたものである。そして、さらなる進化へ向け今度も引き続き努力・貢献していくことは言うまでもないことである。

最後に、NewI4エンジン工場の準備活動において我々と共に、ご協力頂いた関係各位に深謝する。

## 参考文献

- (1) 野村 他：エンジン組立ラインにおける多機種混流生産システムの開発，マツダ技報，No.19，p.100-106（2001）
- (2) 鳥居元：マツダのMDI活動～機械加工領域での取組み，「機械と工具」（工業調査会），Vol.46，2，p.35-43（2002）

## 著 者



宮中弘志



市本秀則



鳥居 元

特集：アテンザ

13

## コスワースプロセスの開発 Development of Cosworth Process

宮 原 史 卓<sup>\*1</sup> 大 島 久 和<sup>\*2</sup> 大 塚 真<sup>\*3</sup>  
Fumitaka Miyahara Hisakazu Ohshima Makoto Ohtsuka

### 要 約

マツダでは世界の各サイトとのクロス SHIPPING を可能とするため、新型I4シリンダーブロック素材の製造プロセスに初めてコスワース鑄造法を採用した。この鑄造法は、金型を用いず全ての形状を砂型で構成したサンドパッケージの中に、ポンプで溶融アルミを充填させる鑄造法である。F1レース用エンジンにも採用されているように、あらゆる形状の設計要求にも対応できる高精度かつ高密度組織が得られる鑄造法である。Fordでは約10年前からシリンダーブロック素材の量産ラインに採用し生産を行っている。そこで、Fordからこれを学び、マツダ独自の技術であるTPMを基盤とした生産技術を織り込む事で低コストかつ高品質な工法へと熟成を重ねた。

ここではコスワースプロセスを採用し開発を進めてきたアルミシリンダーブロック鑄造ラインの特徴を、課題とその対策事例を織り交ぜながら、コスワースプロセスの核を成す中子成型工程、鑄造工程、砂落とし工程を中心に解説する。

### Summary

In order to achieve cross shipment of engine parts among the plants of the world, Mazda adopted Cosworth Casting Process for New-I4 Cylinder Block casting. It was the first experience in Mazda's history.

Cosworth Casting Process uses sand package to be filled molten aluminum alloy using a nonturbulent electromagnetic pump, not metal mold to be directly filled molten metal.

Cosworth Casting Process can make any shape, which can meet any design requirements, and also achieve high integrity & density of microstructure, as it has been adopted for F1 racing engines.

Ford has been adopting Cosworth Casting Process to V6 Cylinder Block casting for almost 10 years.

We have learned the basic technology of the Cosworth Casting process from Ford and improved that to produce an higher quality product at lower cost by introducing the production technology based on Mazda's original technology of TPM.

In this paper, we will explain the characteristics of cylinder block casting line, that we developed using Cosworth Casting Process, with particular emphasis on sand core making process, casting process and sand removal process that are major process of Cosworth Casting Process. We also include each issue and countermeasure we have taken.

\* 1 ～ 3 パワートレイン技術部

Powertrain production Engineering Dept.

## 1. はじめに

アテンザに搭載する新型I4エンジンのアルミシリンダブロック (Fig.1) の製造には、日本で初めてコスワースプロセス (Cosworth Process) を採用・導入した。この工法の特徴は、いかなる形状の製品も製造でき、製造された品物については高い機械的性質が得られることである。元来この工法はF1レース用エンジンの製造に使われて来た工法で、我々はFordからこの技術を習得し、その特徴を生かしつつ、マツダ独自の技術注入することによって高生産性、低コストを両立したフルオートメーションの量産鑄造技術に発展させた。

ここではマツダにおけるコスワースプロセスについてその主だった特徴を紹介する。

## 2. 従来プロセスとコスワースプロセス

まずコスワースプロセスを、現在我々が保有する鑄造プロセスと比較して紹介する。

### 2.1 従来プロセス

これまでの量産鑄造法としてはミレニアに搭載しているV6シリンダブロックに適用したハイプレッシャーダイカスト法、シリンダヘッドに適用する低圧鑄造法があり、その特徴をTable1に示す。

ハイプレッシャーダイカスト法は溶融アルミを機械的に金型の中に高速で圧入し、凝固させて成形する工法で、生産性が高く、低コストである一

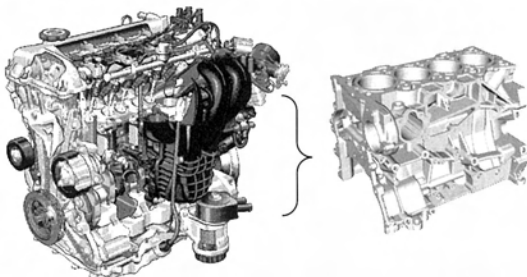


Fig.1 NewI4 Engine & Cylinder Block

Table 1 Characteristics of casting process

	生産性				製品形状の自由度 (クローストディキ)	製品機能 (剛圧性)	材料強度			部品コスト HPO比較 (%)
	サイクル (%)	注連コン ロール速度	メンテナンス	砂使用量			熱処理	引張り (%)	伸び (%)	
コスワース	0.4~0.9	○	△	△	○	○	T 6	1.0~1.3	1.0~1.6	1.4
ハイプレッシャー ダイカスト	1	×	○	使用不可	×	×	T 5	1	1	1
低圧鑄造	1.0~1.4	△	△	○	○	○	T 6	1.0~1.3	1.0~1.5	1.3

(\*) 数値はハイプレッシャーダイカストを1とした場合の比較

方で製品形状を金型だけで形成する必要があり、形状の自由度が低い。また、金型の熱変形により製品寸法変化が出やすいといった欠点を持つ。

低圧鑄造法については溶融アルミの鑄型への注入は空気圧をコントロールすることによって行われる。そのため鑄型への注入速度は遅く、層流充填が可能である。このため、固まった製品の熱処理後の機械的性質は非常に高い。また注入速度が遅いため、製品形状部に砂中子を使用できるため、形状の自由度は比較的高い。しかしながら、溶融アルミの充填後には凝固に伴う体積収縮を伴うため、製品が凝固するまでの数分間は空気圧を保持し、不足する溶融アルミを補給し続ける必要があり、製造サイクルタイムが長いという欠点を持つ。従って量産に展開する場合には複数の鑄造機を配備する必要がある。また金型を使用する場合には熱変形による寸法の変化が起こる点ではダイカスト法と同様である。

### 2.2 コスワースプロセス

一方、コスワースプロセス (Fig.2) では鑄造においては金型を一切使用せず、形状部の全てを砂型で成形するという特徴を持つ。すなわち形状の自由度は極めて高く、設計要求の高い薄肉製品や複雑形状の製品にも適応する工法である。また、溶融アルミの鑄型への充填には電磁ポンプを使用しており、より細かな流量コントロールが可能で、複雑な形状部への層流充填を可能にしている。製品は熱処理を施すことでより高い機械的性質を得ることができる。また、この工法の最大の特徴として、鑄型への充填完了直後に鑄型を上下180°反転させることがあげられる。これは溶融アルミが固まるまでの加圧に重力を利用することを可能にしており、鑄造直後に次工程に搬出できるメリ

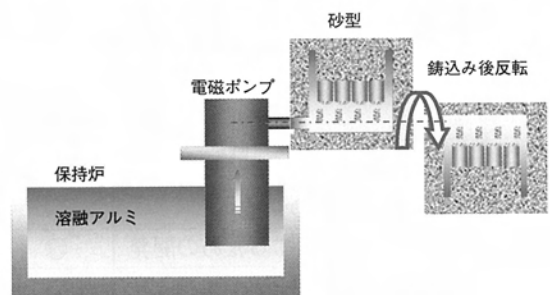


Fig.2 Cosworth casting process

ットとなる。従ってシリンダブロックのような大型製品の鋳造においても極めて高い生産性を実現できる工法である。しかしながら、この工法では鋳型の成形に大量の砂を使用することから、製造コストが高いことが欠点であった。

### 3. 生産工程の開発

#### 3.1 生産工程の概要

コスワースプロセスは「中子成型工程」「鋳造工程」「砂落とし工程」「熱処理工程」「仕上げ工程」に大別される。Fig.3に工程フローとその工程の概略を示す。

我々はこのプロセスの開発にあたり、10年前からコスワースプロセスを採用しているFordからこの工法を学び、プロセスの利点を熟知する一方で、日本で採用する場合の欠点を洗い出し、マツダ独自の技術であるTPMを基盤とした生産技術を織込むことでマツダ独自のプロセスとして開発してきた。Table2に技術開発の狙いと各工程毎の重要度を示す。鋳造工程で経験を必要とする溶融アルミの層流充填技術等といった鋳造基礎技術の熟成に力点を置いた。また、日本でこの工法を展開するにあたり、砂を大量に使用中子成型工程、砂落とし工程ではコスト世界競争に打ち勝つCR技術開発が必須条件であった。コスワースプロセス導入にあたって、以下の3工程を中心に開発した。

#### 3.2 中子成型工程の開発

この成型プロセスには、コールドボックス法

砂中子成型	Sand Core Making	製品形状部を形造る砂鋳型製作
コスワース鋳造	Cosworth Casting	鋳型への溶融金属の注入
砂落とし	Sand Removing	金属の凝固後の砂鋳型除去
熱処理	Heat Treatment	機械的性質の向上
仕上げ	Finishing	表面仕上

Fig.3 Process flow and purpose of each process

(イソキュア法)を用いている。このプロセスは、砂に2種類の樹脂を加えて混練し、その砂を金型内の空洞に吹き込む。その後触媒としてのTEA(トリエチルアミン)ガスを吹き込むことにより金型内の砂は急速に硬化し砂の成形品(中子)が完成する。このプロセスは冷間(常温)で造型することから、金型の熱歪みの影響を受けず、寸法精度が高いことが特徴である。

従来のシリンダブロックではオイル通路は後工程でドリル加工によって空けられていたが、高い寸法精度の中子を使用し、鋳造で穴形状を成形することによりオイル穴の加工工程の削減と素材重量の低減を可能にした。

このシリンダブロック用の鋳型に使用される中子は、オイル穴を形成する0.3kgの細かい中子から外殻を形成する20kgの中子まで全部で13種類の中子で構成される(Fig.4)。これらを9台の造型機と15台のロボットを用い全自動無人で生産する。

造型された個々の中子は全てイメージセンサにより形状を測定した後、順次メインコンベア上のパレットに全自動で組付けられ砂鋳型を組立てていく。Fig.5にそのイメージを示す。

これらの中子は全てロボットによりハンドリングされるが、オイル通路用の中子の様な強度が低く壊れやすい中子に対しては、初めて吸引グリップ方式を採用した。これは取出し、組付けのためのロボットハンド(グリップ)に中子形状に合わせた面を持つグリップを近づけ、面に空けられた小さな穴から中子を吸引してハンドリングする機構を採用したものである。このことにより中子にかかるグリップの圧力は緩和され、中子は破損することなく組付けることが可能となり、品質の安定化ができた。

製造コストについては、鋳型重量の影響が非常に大きく、砂費や樹脂の費用は鋳型の重量に比例

Table 2 Aim of Cosworth process

	中子成型	鋳造	砂落とし	熱処理	仕上げ
基本技術の熟成	○	◎			
日本で採用するための開発	◎		◎	○	
設計要求対応	◎	○		○	○
C R	◎		◎	○	○



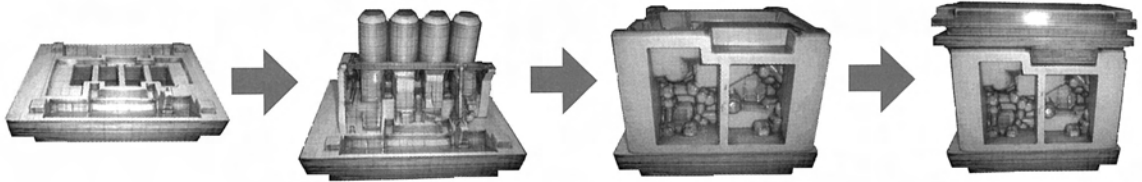


Fig.4 Sand core assembling process

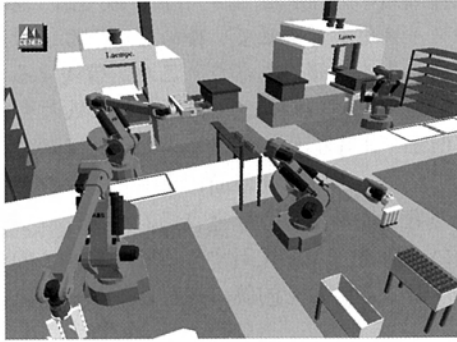


Fig.5 Image of automatic core assembling

して高くなるため、鋳型重量をいかに低くできるかが重要なポイントであった。

砂に関わる費用は、変動費の3割から4割を占め、これらの使用量を低減するため、鋳型の軽量化に取り組んだ。開発当初290kgであった鋳型重量を①高強度レジンの開発②理論鋳型肉厚の追求③砂流れ解析による金型ブロー方案の最適化により、153kg (47%減) まで低減することができた。(Fig.6)

#### ①高強度レジンの開発

コールドボックス法による中子の特性として、吸湿劣化するという問題がある。日本のような、高湿度下での中子強度低下が砂の軽量化を阻害するだけでなく、鋳造品品質にも悪影響をおよぼす。そこで、レジンメーカーとタイアップし、高湿度下でも強度劣化の少ないレジンを開発、採用した。

#### ②理論鋳型肉厚の追求

鋳型の薄肉軽量化に当たり、まず必要強度を明確にした。それぞれの鋳型に求められる強度は鋳型によって異なるが、ロボットによる取出し、組付け時にかかる応力、鋳造時の熱膨張による応力を算出し、鋳型に求められる必要強度を1.96MPaとした。これより外殻を形成する鋳型の肉厚を15mmまで薄肉化できた。

#### ③砂流れ解析による金型ブロー方案の最適化

鋳型の薄肉化に伴い、砂の充填の問題が発生す

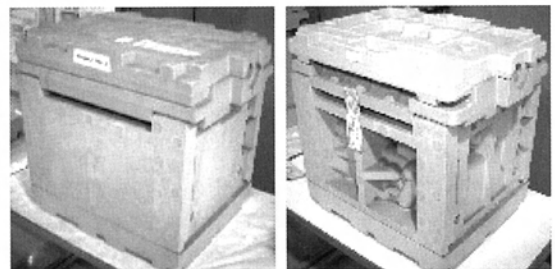
る。

本造型プロセスは、砂と樹脂を混ぜ合わせた混練砂を金型空洞部に吹込みガスによって硬化させるプロセスであり、混練砂はウェットな状態のため、砂の流れが悪い。このため、金型にはベントと呼ばれる排気用の穴が数多く設けている。砂の充填をよくするためにはこのベントを多くすることが望まれるが、一方では硬化のためのガスを吹込む際、金型内にガスが拡散せず硬化不良を引き起こす。金型のブロー方案（ブロー口、ベントレイアウト）はこのような砂の充填とガスの拡散という相反する特性を両立させ、中子品質を確保する上で非常に重要である。

我々はこのブロー方案の最適化に米国NASAとFordで共同開発した砂流れ解析（Pro-Cast）と硬化解析（Fluent）を導入し、実用化した。Fig.7に解析結果の一例を示す。

#### 3.3 鋳造工程の開発

良質なアルミ鋳物を製造するための条件としては、鋳型の下方から溶融アルミを層流充填して行くことと、製品部分のアルミが凝固するまで溶融アルミに圧力を掛け続けることが重要である。これらの理由は、溶融アルミは大気に触れると急速に酸化皮膜を形成するため、乱流によってこれが製品内に混入するのを防ぐ目的と、液体のアルミが製品として固まるまでの間に凝固収縮が起こる



Before

Current

Fig.6 Model of sand mold weight reduction

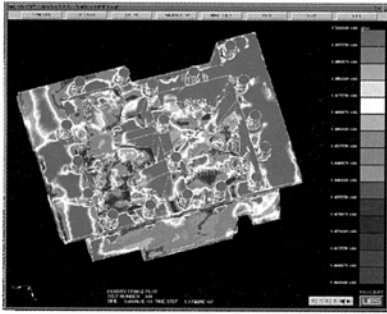


Fig.7 Sand flow analysis

ため、その体積不足分のアルミを補う必要があるためである。

コスワース鋳造機では、鋳型へのアルミ充填には電磁ポンプを使用し、保持炉から溶融アルミを吸い上げ、あらかじめ設定したプログラムによって鋳型に注入するスピードをコントロールしながら鋳型下方から層流充填している。また鋳型下方には溶融アルミを溜める部分が形成されており、アルミ充填完了直後に鋳型を上下反転させることによって型内に溜めた溶融アルミの重量を利用して製品部に圧力を掛け続ける仕組みになっている。鋳型内のアルミは次工程の砂落とし工程に搬送される間に凝固を完了し製品形状を形成する。従って鋳物の品質はこの工程までにほぼ決定される。

量産で安定した品質を確保する上で最も重要な点は、複雑な形状部を流れる溶融アルミを繰り返し精度よく層流充填することである。我々は鋳型内部の溶融アルミの充填量を監視するセンサとその情報を元に電磁ポンプの吐出量を細かくコントロールしながら充填するフィードバックコントロールシステムを備えた国内で唯一のコスワース鋳造機を開発した。Fig.8にシステムの概要を示す。

システム構成は、溶融アルミを保持炉から注入するための電磁ポンプ、その出力をコントロールするコントロールユニット、鋳型内部の溶融アルミ高さを検出するセンサ、センサアンプ等となっている。

センサには鋳型内部のアルミの高さを非接触で測定するためのアンテナプレートという大型の静電容量式湯面レベルセンサを新たに開発、導入した。静電容量式のセンサは検査対象との距離の測定等に広く使用されているが、六面を砂で覆われ

た鋳型内部の様子を非接触で測定できるような遠距離、広範囲に対応するものは市販されていない。測定原理は鋳型内部のアルミとアンテナプレートでコンデンサを形成し、その静電容量の変化を捕らえるというものである。しかし、アルミの充填に伴う静電容量の変化量は数pFであるのに対し、鋳造機周辺の外乱によるノイズは数千pFとなり、このノイズ対策と併せて、極めて微小な信号を的確に捕らえる必要があった。これを解決するためTPM活動の一環として、水を容器に入れた簡単な擬似モデルを製作し実験を重ねた。その結果アンテナプレートセンサ背面にシールドを施して測定面の方向性を出し、静電容量の測定にはノイズに強い充放電方式を採用することでアルミの充填に伴う微小な信号を的確に捕らえることに成功した。

電磁ポンプのコントロールユニットはセンサアンプから得られる鋳型内部の湯面変動とあらかじめ設定した最適な充填パターンとの差をリアルタイムに監視し、自動的にポンプ出力をコントロールしている。このシステムによって鋳型への層流充填を繰り返し精度よく実現することが可能となった。

またセンサは鋳型へのアルミの充填完了もセンシングでき、充填完了直後に砂型を反転させるための充填センサとして兼用している。鋳型内部の空気と溶融アルミを完全に置換した後に反転するため、空気の巻き込みによる欠陥を防止している。

品質保証については、製造条件と製品IDを1対1対応で自動保存しており、製造条件異常を検

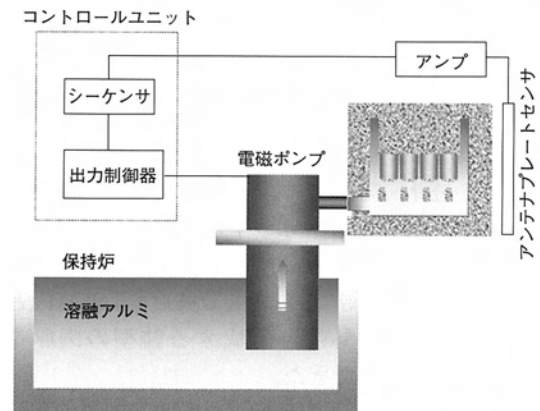


Fig.8 Image of feedback control system

出した場合には、製品は後工程で自動的にラインアウトされる仕組みになっている。

### 3.4 砂落とし工程の開発

鑄造後の鑄型は熱処理用のトレーに積載され、砂落とし工程に搬入される。砂落としには通常ふたつの方法が採用される。一つは鑄型を機械的に破壊する方法である。このような方法ではハンマリング工程を必要とするため、騒音が問題であった。もう一つはFig.9のような鑄型に高温の空気を吹き付け、砂を固めているバインダを焼いて鑄型を崩壊させ製品と分離する方法である。この方法では、落とした砂をリサイクルするための砂焼き炉を別に設ける必要があった。

今回、これらの課題を解決するための新工法としてFig.10のような流動媒焼炉（Fluidized bed）を採用した。これは当社及びメーカーが一体となり海外技術を実地調査し、社内にテスト装置を設けて評価することで、コスワース鑄造向けに独自

開発して導入したものである。

その仕組みを簡単に説明する。高温に加熱した砂を炉内に溜めておき、炉床より高圧、高温の空気を吹込む。これにより、炉内に溜められた砂は流体と同様にバブリングを始める。流体と同様になった砂の中に鑄型を静かに漬け込んでゆく。その結果、鑄型は炉内の砂による摩擦と熱により崩壊し、製品の複雑な形状部の細部にわたり砂が除去される。

この炉の最大のメリットは、砂落としの媒体が砂であるため熱効率が非常に高く、約7分間で完全に砂除去が可能であることと、落とした砂のリサイクル処理（媒焼）を同時に行えることである。砂落とし工程とリサイクル工程の2工程を1工程に集約する事を可能にしたことで従来工法比で、工程数60%減、動力費50%減を実現している。

## 4. おわりに

以上、新型I4エンジンシリンダブロックの製造法についてその主要な特徴について紹介した。ここに紹介したものは全て業界初の技術であり、これらを量産ラインに導入したことによって我々の生産技術力、製造技術力は飛躍的に向上したものとする。また、Fordグループの世界各サイトに対しても短期間でのコスワースプロセスの完成によって、World Leading Plantの立場を示す第一歩となったものとする。

### ■ 著 者 ■



宮原史卓



大島久和



大塚 真

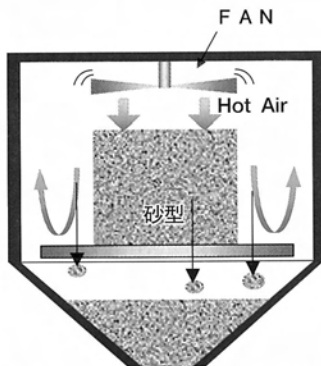


Fig.9 Sand removing system  
(Before)

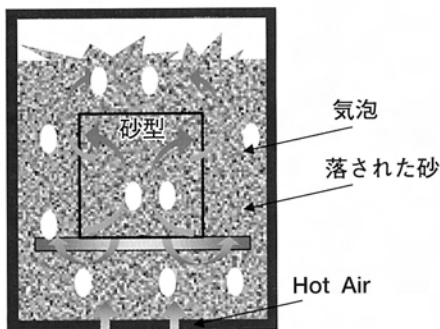


Fig.10 Sand removing system  
(Current fluidized bed type)

特集：アテンザ

14

## ドアモジュールの開発 Development of Door Module

吉 田 元 喜 <sup>*1</sup>	庄 野 昇 <sup>*2</sup>	田 中 力 <sup>*3</sup>
Motoki Yoshida	Noboru Shouno	Chikara Tanaka
小 川 健 一 <sup>*4</sup>	栃 岡 孝 宏 <sup>*5</sup>	川 本 親 <sup>*6</sup>
Kenichi Ogawa	Takahiro Tochioka	Chikashi Kawamoto

### 要 約

近年、欧米を中心としたカーメーカーで自動車部品のモジュール化、アウトソーシング化が進んでいる。この動向に対して、マツダでは既に80年代からドアをサブラインで組付ける等の「サブアッシー型モジュール」を進めてきた。

我々は、4年前からこの「サブアッシー型ドアモジュール」に代わる次世代ドアモジュールの研究を重ね、新型アテンザでその集大成として、ベースとなるキャリアプレートに日本で初めて射出成形用樹脂材料を使用した次世代ドアモジュールを開発した。

従来ドアからの大幅コストダウン、軽量化、機能／品質の大幅向上を狙って様々な部品のインテグレート化を進め、インテグレートメリットを最大限発揮する様個々の機能部品をモジュール対応として一新させた。更にドアモジュールのベースとなるキャリアプレートの材料として超薄板化且つ高剛性を狙った射出成形ガラス長繊維強化ポリプロピレンを独自に開発した。

これにより、従来の「サブアッシー型モジュール」、「アウトソーシング化」という単純な部品の集約モジュールを超越し、機能統合を高次元で進めた「機能統合型ドアモジュール」を実現した。

### Summary

In recent years, car makers mainly in Europe and America, have been carrying forward the modulation of automotive parts or outsourcing of modulation. To this mainstream, Mazda have been adopting "sub assembled module" and the like assembling door module at sub-line since 1980's.

We have been studying the next generation door module for four years, and developed the door module for which carrier plate is molded by injection for the first time in Japan with new atenza.

We revised the waterproof seal structure completely, expanded integration of components and renewed almost all components for the purpose of great cost reduction, weight reduction and improvement of function and quality. In addition, we originally developed injection molded long glass fiber reinforced polypropylene which made carrier plate to be a super-thin wall and aimed at a high rigidity and as the material originally.

As a result we have achieved to construct the "High integrated door module" as a high level function integration, which further exceeds the obsolete simple modulation such as sub assembled module, outsourcing of modulation.

\*1, 2, 4, 6 ボデー開発部

Body Development Dept.

\*3, 5 技術研究所

Technical Research Center

## 1. はじめに

近年、欧米のカーメーカーを中心として自動車部品のモジュール化が注目されている。

VW、ダイムラー・クライスラー等欧米メーカーは、ドアの構成部品をサブアッシー単位でサプライヤーに外注し、サプライヤーがこれら構成部品をモジュールとして完成させる「サブアッシー型モジュール」の「アウトソーシング化」を進めている。

これに対しマツダでは、既に80年代前半からこのドアの「サブアッシー型モジュール」を採用してきた。即ちメインラインと切り離れたドアのサブアッセンブリーラインを構成し、そのサブラインでドアユニットを完成させる方法である。欧米とはサプライヤーが組むか、内製するかの違いはあれ、既にモジュール化の第1段階にある。

我々は、4年前からこの「サブアッシー型モジュール」に代わる次世代ドアモジュールを研究開発してきた。そして今回アテンザで、その集大成として日本で初めて射出成形用樹脂材料をドアモジュールのベース材に使用し、部品を機能的にインテグレートした「機能統合型ドアモジュール」を開発した。これにより、従来の「サブアッシー型モジュール」と比べて①20%のコストダウン、②台当たり2.3kgの軽量化、③機能/品質の向上を達成した。

本稿では以下にこの「機能統合型ドアモジュール」の具体的な達成技術を紹介する。

## 2. アテンザのドアモジュール概要

従来の「サブアッシー型モジュール」ドアの組み立て方法は、サブアッシーラインでドアの構成部品であるウィンドレギュレーター、ドアラッチ、インナーハンドル、スピーカー、ハーネス等を直接ドアボデーに取り付ける方法である。

これに対し、今回の「機能統合型ドアモジュール」は、Fig.1に示すようにキャリアプレートと呼ぶベース材にこれらの構成部品をサブアッシーしたもので、最後にそのモジュールをドアボデーに組付ける方式である。

Fig.2に新型アテンザのドアモジュールの実物を示す。アテンザでは、キャリアプレート用とし

て軽量且つ高強度、高剛性を確保した射出成形用樹脂材料を新開発し、樹脂材の形状自由度を利用して構成部品の幅広いインテグレートを計った。また、キャリアプレートと機構部品の機能のインテグレート効果を最大限発揮するようウィンドレギュレーター、ドアラッチなどの機構部品を一新した。

## 3. ドアモジュールの機能統合

### 3.1 コンポーネント機能のインテグレート

前述の様にドアモジュールのキャリアプレートを樹脂材料とする最大のメリットは、鉄板製と比べて、キャリアの形状自由度が拡大することである。

我々は形状自由度を最大限生かし、コンポーネント部品の機能をキャリアプレートにインテグレートさせることでコストダウンと共に部品点数の削減に努めた。以下にその一例を示す。

(1) ドアのインナーハンドルについてFig.3のようにベース部分をキャリアプレートで一体成形し

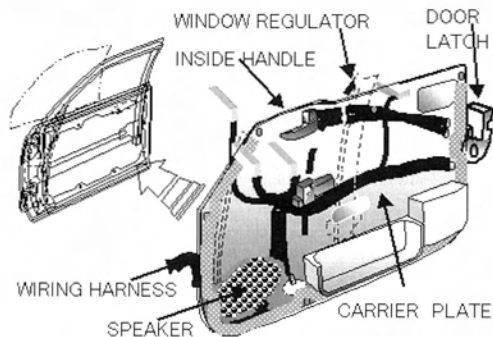


Fig.1 DOOR MODULE OUTLINE

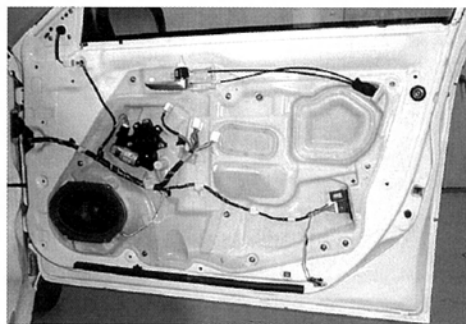


Fig.2 ATENZA DOOR MODULE



た。キャリアプレートにインナーハンドルを組付ける方法は、締結部品を使用せず組付けられる様工夫を凝らした。また、インナーハンドル駆動ケーブルの固定部もキャリアプレートで一体成形し、ケーブルブラケットを廃止した。

- (2)キャリアプレートにドアハーネスを固定する爪形状を一体成形し、ハーネスの固定に従来使用していた別クリップを不要にした。(Fig.4)
- (3)ドアトリムのリセス固定部をキャリアプレートで一体成形し、ブラケットレスにした。(Fig.5)

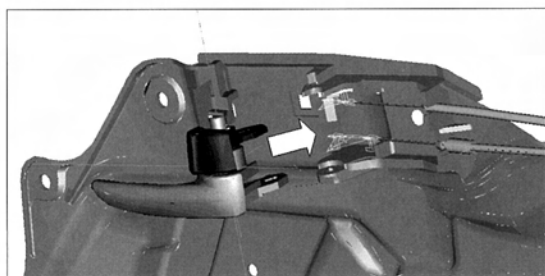


Fig.3 INTEGRATE INSIDE HANDLE BASE

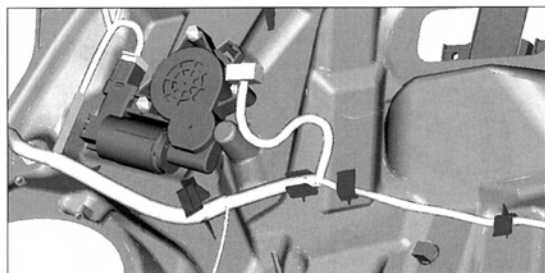


Fig.4 INTEGRATE CLIP OF WIRING HARNESS



Fig.5 INTEGRATE TRIM BRACKET

### 3.2 シール構造コンセプトの転換

従来のドア構造では、ドアの機構部品は雨水のかかるドアボデーの袋の中に配置されている為、ウィンドレギュレーターなどの電装部品には内部への水侵入を防止するシール構造が必要である。

今回のドアモジュールでは、キャリアプレートによってドアを雨水のかかるウェットサイドとかわからないドライサイドに分断可能である。これを利用して以下のように電装品の構造を刷新した。

#### (1)ウィンドレギュレーター

ウィンドレギュレーターの機構部品とモーターをモジュールキャリアでサンドイッチする構造とした。これによりモーターをドライサイドに設定可能となり、モーターの防水機構、シール構造を簡素化できた。(Fig.6)

モーターの非防水化が可能になったことでモーター自体も小型汎用モーターを使用出来る。出力確保の為2段減速とすることでトルクの不足を補い、小型軽量化を図ることが出来た。(Fig.7)

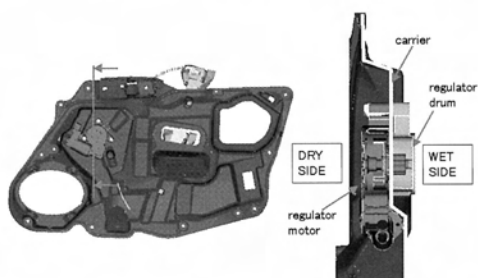


Fig.6 REGULATOR MOTOR LAYOUT

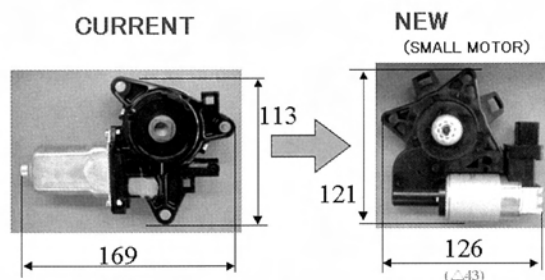


Fig.7 WINDOW REGULATOR  
NEW SMALL MOTOR



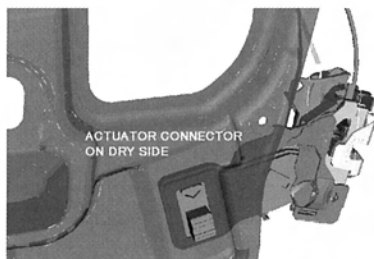


Fig.8 DOOR LATCH ACTUATOR

## (2) ドアラッチ

パワードアロックのアクチュエーターコネクタ一部をモジュールキャリアに貫通させることで、中間ハーネスを廃止し、ハーネスコネクタの防水構造を簡素化した。(Fig.8)

また、このようにドアラッチの電装品、ハーネスをキャリアの室内側に配策することは、盗難対策としても有効である。具体的にはドアのベルトラインからハーネスを狙ってドアを解除する事を防御出来、セキュリティ性も向上した。

## 4. キャリアプレートの材料開発

大幅なコストダウンや軽量化及び機能／品質の向上を狙う先進的な機能統合を可能とするモジュールキャリアには、高い形状自由度を実現する流動性の向上とボディ構造材に必要な剛性・強度の確保を両立し、且つ安価な射出成形用樹脂材料が必要である。

## 4.1 射出成形ガラス長繊維強化ポリプロピレン材料開発の狙い

鉄板プレス部品を代替し、低コストで高いインテグレート性を実現する為の高強度な射出成形ガラス長繊維強化ポリプロピレン（以下、PPLGFと略す）材料の開発を狙い、以下の3点を目標とした。

- (1) キャリアプレートの基本板厚を、従来のドアインナーパネル用の0.65mm厚の鉄板と等価剛性となる1.8mmに設定した。したがって、板厚1.8mmでも成形可能な材料の流動性を確保する事。
- (2) 更に、1.8mmの薄板成形でも反り変形の無い寸法安定性を有する事。
- (3) 材料の強度、剛性については鉄板の代替材料として市場実績のあるガラスマット強化PP材料の熱プレス成形品と同等以上とする事。

## 4.2 高流動性と高強度の両立

PPLGF材料は、大別してPP樹脂成分とガラス繊維成分に分けられる。我々は、PP樹脂成分を低分子量化（低粘度化）し、射出混練工程でガラス繊維の折損を抑制し、材料強度が向上することを見出した。しかし、目標とする薄肉成形を実現できるまで極端に低粘度化するとPP樹脂成分の脆化の影響が現われ、材料強度が逆に低下していくことがわかった。

この流動性と強度の相反する要件を両立させる事が第1の課題であった。

この課題を解決する為、PP樹脂成分を流動性を向上させる超低粘度成分と強度を保持する高結晶性成分の2成分に分け、各成分の粘度と配合量を最適化することで、流動性と強度の高い次元での両立を図った。Table1に本開発材の強度物性及び流動性を従来材との比較で示す。目標とする強度物性を実現し、流動性も30%以上改善できた。

## 4.3 寸法安定性の確保

第2の課題は寸法安定性の確保である。

板厚1.8mmの成形を実現する場合、反り変形の抑制が課題となる。

そこで、アテンザのドアキャリアプレートでは、反り変形の要因である成形時の残留応力を減らす為、成形金型をわずかに開いた状態で材料を射出し、射出完了後に金型内の射出した材料を圧縮するように成形工法を工夫した。

さらに、実験型による成形条件の最適化では、この成形工法の工夫との相乗効果により、改善前に比べ反り変形量の75%改善を確認でき、アテンザの量産工程へ適用した。

また、開発材料の高い流動性により金型内圧力を42%低減した低压成形が可能となり、成形機の必要プレス圧力も半減と一台の成形機での多数個取りが可能となり、成形加工費を大幅に削減することが出来た。

Table1 Characteristics of Developed PPLGF

Material	Flexural modulus (Gpa)	Flexural strength (Mpa)	Izod notched impact strength (KJ/m2)	Flow length (mm)
Conventional PPLGF	5.10	115	9.3	450
Developed PPLGF	5.24	126	32.5	605
Glass Mat reinforced Thermoplastic	5.30	139	29.9	-

#### 4.4 キャリアプレートのCAE解析

以上のように、我々は高流動かつ高強度なPPLGF材料を新開発した。この新開発材料をアテンザのキャリアプレートに適用するにあたり、CAE解析手法の精度向上にも注力した。

##### (1)流動解析

従来手法で流動解析を行なった場合、型内圧力において実測値との誤差が60%以上発生した。

この異常な誤差原因をつかむ為、金型各部に圧力センサーを設定し内圧を分析すると共に、ビデオカメラで金型の挙動を解析したところ、金型は射出した瞬間に樹脂圧に押され一旦開いてから次の圧縮工程に移行していることを発見した。

この挙動を解析の圧縮動作に加えて再解析した結果をFig.9とFig.10に示す。これにより、金型内圧の解析精度は8%，必要型締力の解析精度は3%と従来手法より格段に精度向上できた。

##### (2)剛性解析

剛性解析としてドアトリムのリセス部に大荷重を負荷した場合の変形量を検証した。

上記流動解析の手法をフィードバックすることでFig.11に示すように荷重200Nまでの弾性領域では、誤差2%以内の精度を実現した。また、

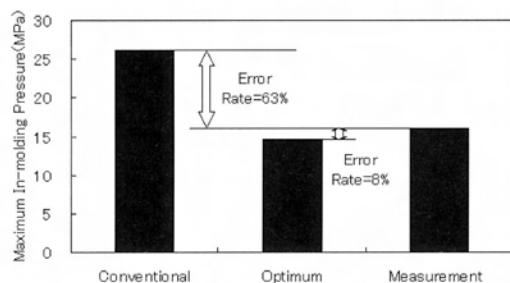


Fig.9 Result of flow analysis  
(Maximum In-molding Pressure)

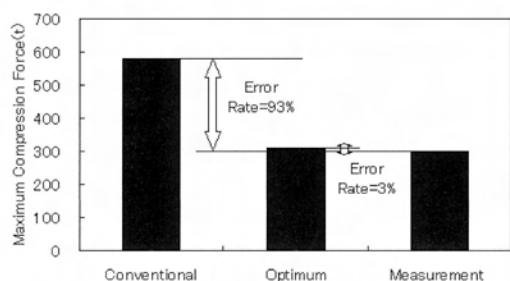


Fig.10 Result of flow analysis  
(Maximum Compression Force)

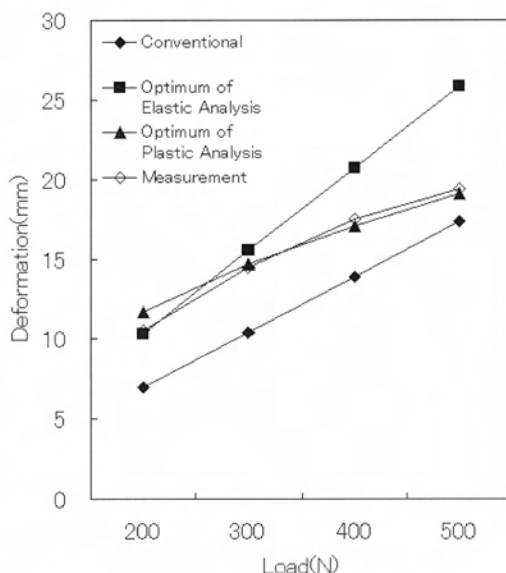


Fig.11 Result of Deformation Analysis

300N以上の塑性領域では非線形解析を用いることで3%以内の精度に収めることが出来た。

## 5. おわりに

最後に、今回のドアモジュールの開発に当たり多大なご協力をいただいた日本ケーブル・システム(株)、(株)ユーシン、南条装備工業(株)、ジー・ピー・ダイキョー(株)、チッソ(株)、(株)日本製鋼所殿に感謝の意を表します。

### 著 者



吉田元喜



庄野 昇



田中 力



小川健一



栃岡孝宏



川本 親

特集：アテンザ

15

## 射出成形による樹脂製モジュールキャリアの開発 Development of Plastics Module Carriers by Injection Molding

栃 岡 孝 宏\*<sup>1</sup> 田 中 高 廣\*<sup>2</sup> 杉 本 健 一 郎\*<sup>3</sup>  
Takahiro Tochika Takahiro Tanaka Kenichiro Sugimoto  
金 子 満 晴\*<sup>4</sup> 森 脇 健 二\*<sup>5</sup>  
Mitsuharu Kaneko Kenji Moriwaki

### 要 約

マツダでは、多種混流生産に対し安定した品質と生産性を実現するため、1980年代より本格的にモジュール化に取り組んできた。アテンザからは、さらにこれを発展させコックピットやドアなどの「機能統合型モジュール」を導入している。その一つであるフロントエンドモジュールでは、キャリアとして世界初となるガラス長繊維強化ポリプロピレンの射出成形による樹脂シュラウドパネルを開発し、コスト・重量の低減を目指した。シュラウドパネルは車体の一部を構成する部品として高い強度が要求される。射出成形は形状自由度に優れ、後加工がいらぬ反面、成形過程においてガラス繊維が折損し、強度の確保が難しい。

我々はシュラウドパネルに必要な強度を確保するため、成形過程でのガラス繊維の折損を防止する材料・工法を開発した。さらに、機能と生産性を満足する最適な形状を事前検証するCAE解析技術確立した。アテンザの樹脂シュラウドパネルでは、この技術の導入により、従来のスチール製に比べ25%のコスト削減と18%の重量削減を実現できた。

### Summary

Mazda has been promoting parts modulation in earnest since the 1980's to achieve a consistent quality and productivity for many kinds of cars which are assembled on the same line. We are further introducing "Function integrated modules" such as cockpits and doors to Atenza / Mazda6. In order to reduce the cost and weight, we developed the plastic radiator shroud panel for the front-end module. It is made from the injection molded polypropylene reinforced by long glass fibers. It is the first application in the world as a module carrier. The radiator shroud panel requires high strength to compose a part of the body. Injection molding provides the flexible shape without after processing. However the glass fibers are broken during the molding process, so that achieving strength is difficult.

We developed the material and the process, which can inhibit the breakage of the glass fibers during the molding process, in order to secure the necessary strength for a radiator shroud panel. In addition, we established CAE analysis technology by which we can verify the best shape beforehand to satisfy the function and productivity requirements. We were able to reduce the cost by 25% and the weight by 18% of the conventional steel structure by introducing this technology into the plastic radiator shroud panel of Atenza.

\* 1, 4, 5 技術研究所

Technical Research Center

\* 2, 3 車両技術部

Painting, Trim &amp; Final Assembly Engineering Dept.

## 1. はじめに

マツダでは、多種混流生産に対し安定した品質と生産性を実現するため、1980年代よりモジュール化に取組んできた。アテンザからは、さらにこれを発展させ、機能統合や部品の一体化により大幅なコスト・重量削減を狙った「機能統合型モジュール」を本格的に導入した。アテンザでは、フロントエンド、ドア、コックピット、センターパネルおよびフューエルタンクの五つのモジュールを採用している。その一つであるフロントエンドモジュールでは、キャリアに樹脂シュラウドパネルを開発し、樹脂の特徴を活かして周辺部品を一体化することで、コスト・重量の低減を目指した。

シュラウドパネルは、高い強度が求められるため、スチールからの材料置換ではガラスマット強化ポリプロピレンの加熱圧縮成形品が用いられてきた。しかし、加熱圧縮成形では、複雑な形状ができない、締結穴など開口部の二次加工が必要、成形サイクルタイムが長いといった短所があり、大幅なコスト・重量の低減が困難である。一方、これらの短所を補い、大幅な低減を狙える工法として、パンパーなどの成形に用いられる射出成形法があるが、強度の確保が難しかった。

そこで我々は、高い強度と形状自由度を両立し、大幅なコスト・重量を低減するため、成形過程でのガラス繊維の折損を最小限に抑える材料と射出成形技術を開発した。

## 2. 開発の狙い

ガラスマット強化ポリプロピレンの加熱圧縮成形は、前述した短所がある反面、材料中のガラス繊維長を維持できるため強度が確保しやすい。特に、加工ノッチ付IZOD衝撃値は、射出成形品に比べ、約3倍の数値が得られる (Table1)。射出成形では、成形過程においてガラス繊維が短く折損し、材料が本来持つ強度を維持できないためである。

そこで、射出成形品で量産実績のある加熱圧縮成形品と同等レベルの強度を確保することを目標とし、高強度を実現するガラス長繊維強化ポリプロピレンと射出成形におけるガラス繊維折損を防止する工法の開発を行なった。さらに、我々は開

Table 1 Characteristics of PPGF

Molding Method	Compression	Injection
Material	PPGF	PPLGF <sup>*1</sup>
Flexural Modulus [GPa]	5.3	5.1
Flexural Strength [MPa]	139	115
Izod Impact Strength (notched) [kJ/m <sup>2</sup> ]	29.9	9.3

\*1 PPLGF : Conventional Material

発したガラス長繊維強化ポリプロピレンの射出成形技術を、シュラウドパネルに採用するにあたり、事前に機能および成形性を評価するためCAE解析にも取組んだ。その事例を合わせて紹介する。

## 3. 材料／工法開発

### 3.1 射出成形の概要

一般的に射出成形の工程は、大きく次の三つに分けられる。

- ・可塑化工程…ホッパー内の粒状樹脂を、射出シリンダに投入し、ヒーターによる熱とスクリュの回転によるせん断力により溶融させる工程。
- ・射出・保圧工程…スクリュを前進させて溶融した樹脂をノズルから高压で金型内に射出し、充填させる工程。
- ・冷却工程…射出した樹脂を金型内で冷却し、固化させる工程。

まず、これらの工程を経る間にガラス繊維長がどのように変化するか確認を行なった (Fig.1)。成形工程中の各部位での平均ガラス繊維長を測定すると、成形前の材料では10mmあった平均ガラス繊維長が、射出シリンダーノズル先端では約3mm、さらに製品中では2mm以下になっていることが分かる。特に、スクリュによって樹脂が混練される可塑化工程での折損が大きく、樹脂に加わるせん断力により、樹脂中のガラス繊維が折損すると考えられた。

また、成形品中の平均ガラス繊維長とノッチ付IZOD衝撃強度の関係をみてみると、繊維長が4mm以下になると、繊維長の低下にともない、衝撃強度も低下することが分かった (Fig.2)。

そこで、我々は、樹脂に加わるせん断力を低減することに着眼し、ガラス繊維を折損させない材料および工法の開発を行なった。

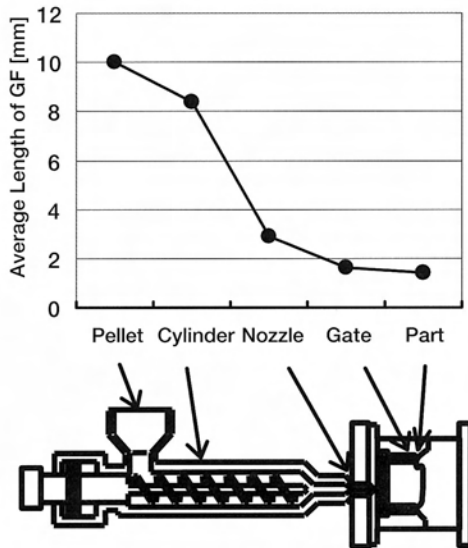
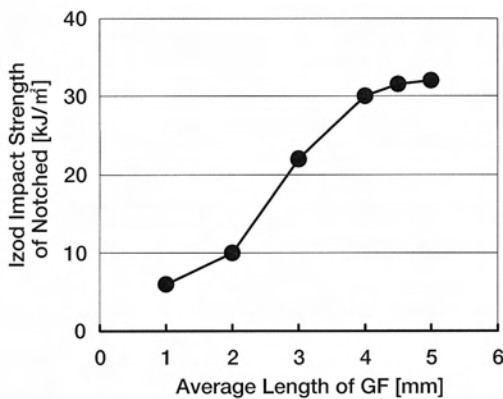


Fig. 1 Change of Average Length

Fig. 2 Relationship between Average Length and Impact Strength  
Injection Molding System

### 3.2 ガラス長繊維ポリプロピレンの開発

一般的に、ガラス長繊維ポリプロピレンの射出成形において、衝撃強度を確保するためには、ポリプロピレンを高分子量化し、樹脂の強度を向上させることが必要と考えられてきた。しかし、我々はガラス繊維を取り巻く樹脂を低粘度化することで、成形工程においてガラス繊維に加わるせん断力を低下させ、ガラス繊維の折損を抑制し、射出成形品の強度を高めることができることを見出した (Fig.3)。

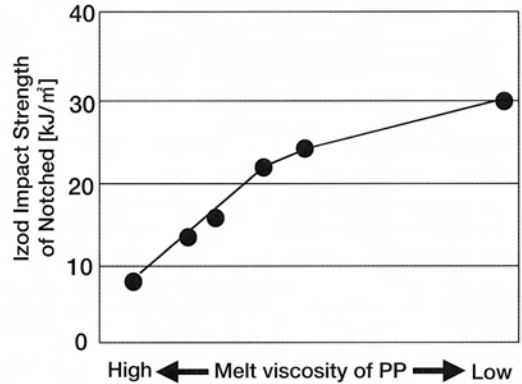


Fig.3 Relationship between Melt viscosity and Izod Impact Strength

### 3.3 射出成形用スクリュの開発

可塑化工程で樹脂に加わるせん断力を低減し、ガラス繊維の折損を抑制するために、射出成形機用スクリュの開発を行なった。開発した低せん断スクリュの概略図をFig.4に示す。このスクリュ本体およびスクリュヘッドでは、樹脂の溶融性能を満足しながら樹脂に加わるせん断力を小さくするために溝を深くし、フライト間のピッチを大きくする、樹脂経路を拡大するなど、樹脂の流れをできるだけスムーズとなるように設計した。これにより、可塑化工程において、樹脂に加わるせん断力を低減し、ガラス繊維の折損を抑制する構造とした。

開発した低せん断スクリュの効果を確認するため、スクリュから射出した樹脂中のガラス繊維長を測定した。今回開発したガラス長繊維強化ポリプロピレンを用いてテストした結果をFig.5に示す。従来のスクリュに比較し、平均ガラス繊維長が約1.7倍となり、ガラス繊維折損防止効果が確

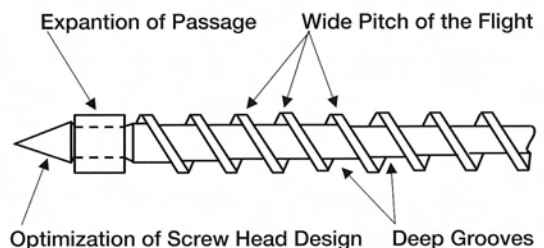


Fig.4 Design of Developed Screw

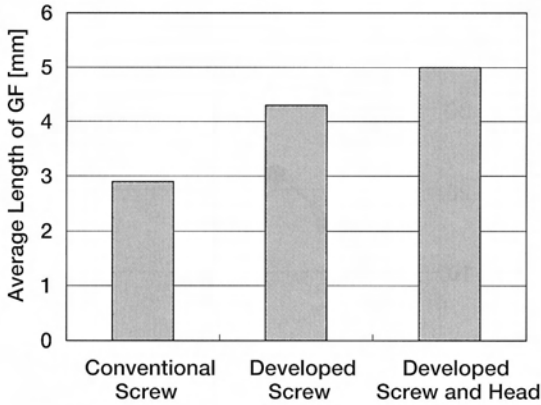


Fig.5 Effect of Developed Screw

認できた。これにより、可塑化工程において目標とする衝撃強度を達成するために必要なガラス繊維長を確保することができた。

### 3.4 射出成形条件の最適化

可塑化工程および射出・保圧工程でのガラス繊維の折損を抑制するために成形条件の最適化を行なった。まず、ガラス繊維に影響を与える因子を要因分析により抽出した (Fig.6)。その中から寄与度が高いと考えられる因子を抽出し、L27実験計画法により最適条件の検討を行なった。各因子と水準をTable2に示す。成形には、開発を行った材料と低せん断スクリューを使用し、成形機には、220ton射出成形機 (東芝製) を使用した。試験には、平板成形品から切出したテストピースを用い、ガラス繊維長の代用特性となるノッチ付IZOD衝撃試験を行なった。

Fig.7に各条件がノッチ付IZOD衝撃強度に与える影響を示す。この結果から、背圧およびスクリュー回転数が、衝撃強度に大きく寄与することが分かった。この結果をもとに、最適条件をTable3のように設定し、確認試験を行なった。確認試験では、衝撃強度が約29kJ/m<sup>2</sup>となった。この結果は予測値とほぼ一致しており、試験結果に再現性があることが確認できた (Table4)。以上のように、成形条件を最適化することで、小型成形品において、目標とした加熱圧縮成形品と同レベルの衝撃強度を確保できた。

### 3.5 大型成形品における効果の確認

次に、シュラウドパネルのような大型成形品においても、同等の効果が得られるか、確認実験を

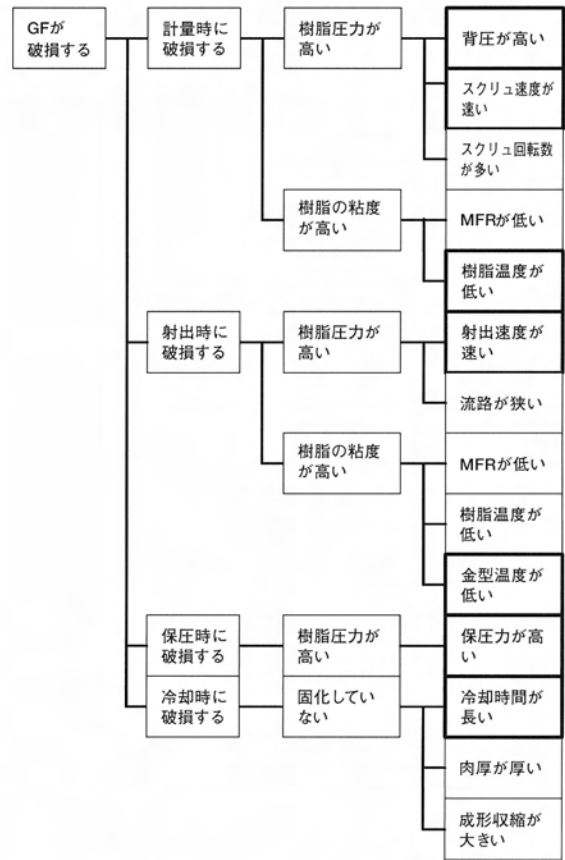


Fig.6 Attribution-analysis Figure

Table 2 Experiment Factor

Factor	Level 1	Level 2	Level 3
Regin Temperature	A1	A2	A3
Mold Temperature	B1	B2	B3
Injection Speed	C1	C2	C3
Screw Rotation	D1	D2	D3
Dwelling Pressure	E1	E2	E3
Cooling Time	F1	F2	F3
Back Pressure	G1	G2	G3

行なった。成形機には、2,200ton射出成形機 (日本製鋼所製) を、金型はシュラウドパネル実験型を使用した。成形には、今回開発を行なった材料と低せん断スクリューを使用した。成形条件は、実験計画法により抽出した最適条件を大型成形機用に補正したものとした。また、開発材料との比較として、市販されているガラス長繊維強化ポリブ



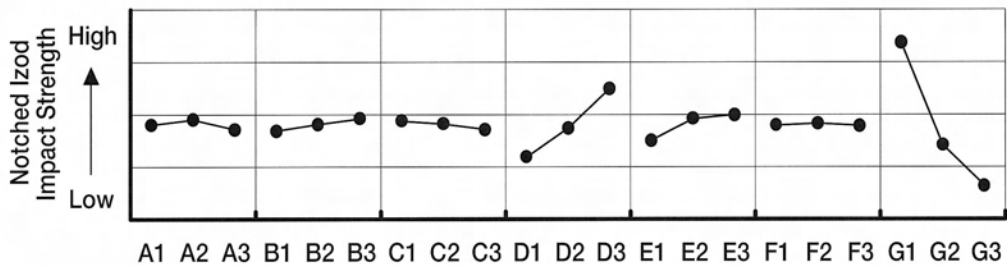


Fig.7 Effect of Each Condition

Table 3 Optimal Molding Condition

Molding Condition	
Regin Temperature	A2
Mold Temperature	B3
Injection Speed	C1
Screw Rotation	D3
Dwelling Pressure	E3
Cooling Time	F1
Back Pressure	G1

Table 4 Experiment Result

	Notched Izod Impact Strength
Expected Value	30.8 kJ/m <sup>2</sup>
Experimental Value	28.7 kJ/m <sup>2</sup>
Reappearance Ratio	93.2%

ロピレンで成形したシュラウドパネル、およびガラスマット強化ポリプロピレンの加熱圧縮成形品を用い、静圧縮荷重試験を行なった。

試験条件は、車体との締結ポイントを試験治具にボルトで固定し、シュラウドパネル中央に上方から圧子により荷重をかけた。試験結果をFig.8に示す。市販材料は、約3.3kNの荷重で初期破壊が発生したのに対し、開発材料は、約4.5kNの荷重まで破壊が発生しなかった。また、変形量が約20mmまでにおいては、加熱圧縮成形品よりエネルギー吸収量が大きいたことが確認できた。

さらに、開発材料のシュラウドパネルから切出したテストピースにおいても、ノッチ付IZOD衝撃強度などの物性において加熱圧縮成形品と同等レベルであることが確認できた (Table5)。

以上の結果から、開発した材料・工法を使用することで、大型成形品でも加熱圧縮成形品レベル

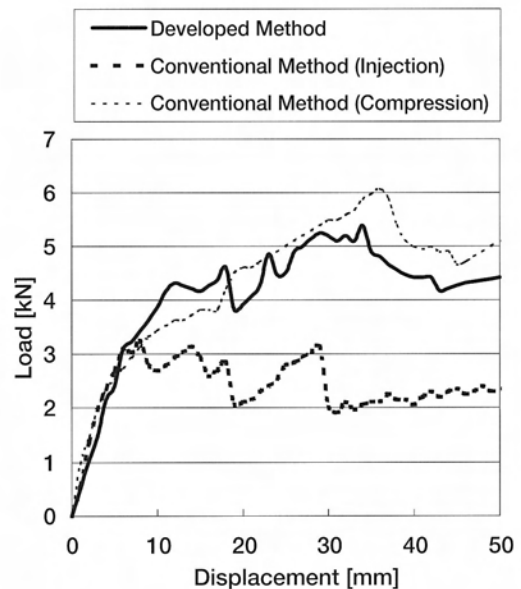


Fig.8 Relationship between Displacement and Load

Table 5 Effect of Developed Method

	Conventional Method		Developed
	Compression	Injection	Injection
Molding Method			
Material	PPGF	PPLGF <sup>1)</sup>	PPLGF
Flexural Modulus [GPa]	5.3	5.1	5.2
Flexural Strength [MPa]	139	115	126
Izod Impact Strength (notched) [kJ/m <sup>2</sup> ]	29.9	9.3	32.5
Average Length of Glass Fiber [mm]	—	1.9	4.3

の強度を得られることが確認できた。我々は、この技術を活用し、アテンザのフロントエンドモジュールのキャリアとなる樹脂シュラウドパネルを開発した。

## 4. アテンザのシュラウドパネルへの適用

### 4.1 繊維配向解析による構造検討

フロントエンドモジュールのキャリアとなるシュラウドパネルでは、ヘッドランプなど組付け製品の保持剛性の他に、車体構成部品の一部としての剛性など、多くの機能が要求される。これらの機能を満たし、コスト・重量を最適化する製品肉厚やリブなどの構造を検討するためには、CAE解析が有効である。しかし、繊維強化樹脂の場合、成形過程での樹脂の流れ方により生じる繊維配向や、ウェルドライン（樹脂が合流してできる線状のマーク）の影響により部分的な強度・剛性に差が生じる。そのために、成形工程の樹脂流動状態の影響を考慮し、構造解析を行なう必要がある。

そこで、我々はシュラウドパネルの構造検討に際し、MOLDFLOW社製繊維配向解析ソフト（MF/Fiber）および構造解析ソフト（MF/Stress）を使用した。このソフトでは、樹脂の流動過程からガラス繊維の配向を計算し、その結果から構造解析を行なうことが可能である。Fig.9に解析結果の一例を示す。まず、Fig.9aに示すような解析モデルを作成し、樹脂流動解析を行う。この結果から、樹脂の流動バランスやウェルドラインの発生位置（Fig.9b）の評価を行い、ゲート位置等を決定する。さらに、この結果を用いて構造解析を行い、荷重による変形量や発生応力（Fig.9c）を評価しながら、製品肉厚およびリブ位置を設定する手順を取った。

しかし、従来の工法と比較し、平均ガラス繊維長が長い場合、解析値と実験値の間に差が生じた。そこで、3パターンの形状と6パターンの静荷重試験を行い、解析結果と実験値の比較を行なった（Fig.10）。この結果より、解析結果と実験値は線形の関係となり、 $y=0.83x-0.13$ で表せることが解かった。そこで、解析結果を前式で補正し、90%以上の精度で製品の剛性を予測することが可能となった。

これらの解析手法により、変形量と発生応力が、許容値以下になるように製品構造を決定した。例えば、アイドリング時のステアリング振動を抑制するためには、ラジエターの振動をコントロール

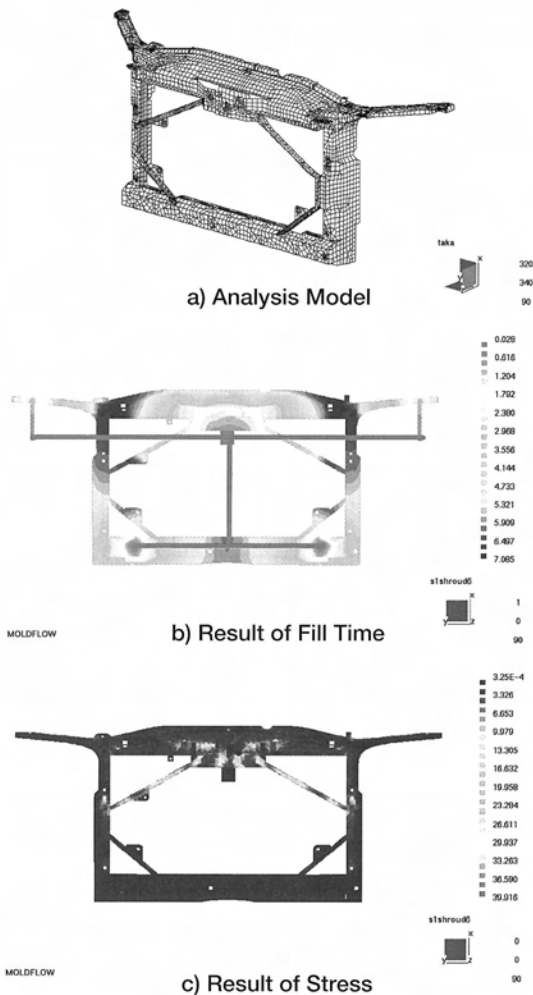


Fig.9 Analysis Result

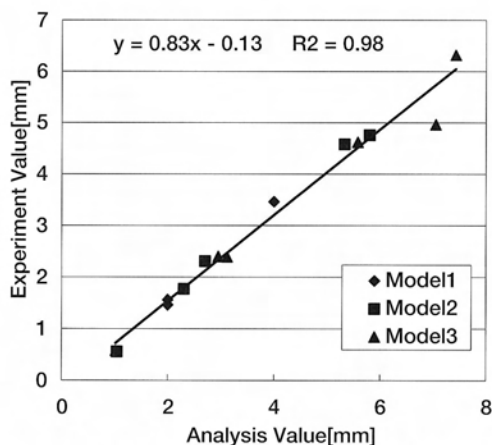


Fig.10 Relationship between Analysis Value and Experiment Value

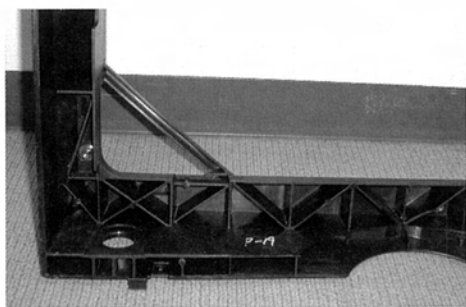


Fig. 11 Ribs structure of Plastic Shroud Panel of Atenza

することが必要となる。そのため、ラジエター取付け部周辺では、応力を分散させながら剛性を確保できるリブ形状と肉厚の設定を行った(Fig.11)。

#### 4.2 アテンザへの適用結果

車両性能を満足させるため前述したCAE解析を用い、生産性と機能を両立したシュラウドパネルの構造を決定した。その結果、車体捻り剛性試験やボンネット開閉耐久試験など、すべての性能を満足し、車両として成立することが確認できた。

また、射出成形のもつ形状自由度の高さを活かし、既存の6部品からなるスチールシュラウドパネルに加えて、ワイヤーハーネスクリップ、パンパー&ランプブラケット、ラジエター締結ブラケットおよびシールプレート樹脂シュラウドパネルに一体化し、部品点数を20点以上削減した。これにより、25%のコスト低減および18%の重量低減を達成した。

さらに、このシュラウドパネルでは、CAE解析により衝突時の破壊箇所を意図的に構造に織込むことで、衝突時にラジエターおよびコンデンサーなどの機能部品を保護する構造を実現した。これまでの車両構造では、15km/hでの衝突時に、機能部品を保護するためには、フロントフレームの補強が必要であったが、アテンザのシュラウドパネルでは、衝突時に、フロントフレームとの締結部が破断し後方へ移動することで機能部品を保護できた。この結果、フロントフレームの補強部品を廃止するなど、シュラウドパネル単体だけでなく車両構造全体に対する部品点数・重量低減に貢献できた。

## 5. まとめ

- (1) ガラス繊維強化ポリプロピレンの射出成形にて、成形過程でのガラス繊維の折損を抑え、加熱圧縮成形品レベルの強度を確保する技術が確立できた。
- (2) ガラス繊維配向を考慮した構造解析手法を確立したことで、試作型による評価回数を削減できた。
- (3) アテンザのシュラウドパネルでは、ガラス長繊維強化ポリプロピレンの射出成形を適用することで、スチール製の従来構造と比較して25%のコスト削減と18%の軽量化を達成できた。

## 6. おわりに

今回の開発により、これまで射出成形品で踏込めなかった構造部品に、ガラス長繊維ポリプロピレンの射出成形品を適用できた。今後、ガラス長繊維ポリプロピレンの射出成形技術とガラス繊維配向を組み合わせ、次期車種をはじめ、より多くの部品に展開していく。

最後に、この開発にあたり、多大なご指導とご協力を頂いた(株)日本製鋼所、チッソ(株)、およびジー・ピー・ダイキョー(株)の皆様方には、この紙面をお借りして厚く御礼申し上げます。

#### ■ 著 者 ■



梶岡孝宏



田中高廣



杉本健一郎



金子満晴



森脇健二

特集：アテンザ

16

## 車体フレームの剛性に対する充填材の効果 Effect of Structural Foam to Rigidity in Body Frame

深 堀 貢<sup>\*1</sup> 石 田 恭 聡<sup>\*2</sup> 近 藤 貴 久<sup>\*3</sup>  
Mitsugi Fukahori Kyoso Ishida Takahisa Kondou  
古 谷 茂 樹<sup>\*4</sup>  
Shigeki Furutani

### 要 約

自動車の操縦安定性の向上と車体軽量化を両立させるため、車体構造、材料および加工技術の開発が盛んに進められている。発泡樹脂の充填によるフレーム剛性の改善は、車体構造への適用性が高く重量増も小さいことから操縦安定性向上の有効な手段と考えられる。

本報では、この充填材を車体フレームに適用する場合の指針を得るため、フレーム結合部を想定したT字形状フレーム試験片 (T-shaped frame) とフレーム部を想定したストレートフレーム試験片 (Straight frame) を用い、フレーム剛性に対する充填材の改善効果を実験的に明らかにした。

その結果、充填材の適用はフレーム結合部の剛性向上に対して特に有効であることが分かった。また、充填材を用いる場合のフレーム断面構造としては、アウターパネルとレインフォースメントパネルの間に充填する外側部分充填構造が最も合理的であり、充填材を用いない場合に比べて結合部の曲げ剛性は約2倍に向上することが分かった。本知見をアテンザ (5ドアハッチバック車とワゴン車) の主要なフレーム結合部に適用し、優れた操縦安定性を実現した。

### Summary

To make the improvement of the control stability of the car united to the body lightening, the developments of the body structure, the material, and the processing technology are actively advanced. The improvement of the frame rigidity by the structural foam is thought to be an effective means to improve the steering & handling because of high applicability and minimum weight.

In this paper, we experimentally clarified the effect of the improvement on the rigidity of frames with T-shaped frame (assuming the junction of frames) and straight frame (assuming the single-frame) in order to obtain the indicator of application for body structure.

Especially, structural foam is effective to improving rigidity of a junction of frames in body. And, partial filling structure between outer-panel and reinforcement-panel is the most reasonable structure in a viewpoint. The bending rigidity of the frame with structural foam is twice compared with that of the frame without structural foam in junction of frames.

This technology has been adopted to main vehicle body joints of Atenza 5HB and wagon, and has contributed to the excellent steering & handling of these cars.

\* 1 ~ 3 技術研究所  
Technical Research Center

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

## 1. はじめに

自動車の重要な商品性能である操縦安定性を向上させるため、車体剛性を高める検討が進められている。変形の大きい部位に対する溶接点数の増加、フランジ接着、レインフォースメントの追加、断面の拡大などのこれまでの手法<sup>(1)</sup>に加え、最近では、車体のフレーム内部に発泡樹脂を充填する方法も採用されている<sup>(2)(3)</sup>。

本報では、発泡樹脂充填材（以下、充填材）を車体フレームに適用する場合の設計指針を得るため、フレームを結合部とストレート部に区分し、それらを模擬したT字形状フレーム試験片（T-shaped frame）、ストレートフレーム試験片（Straight frame）を用い、充填材による剛性改善効果を実験的に明らかにした。

## 2. 試験方法

### 2.1 T字形状フレーム試験片

車体フレームの結合部（例；Bピラーとルーフレールの結合部）を想定し、ハット型断面で構成されたT字形状の試験片を作製した。Fig.1に試験片形状を示す。材質は冷間圧延軟鋼板で、板厚は1.0mmである。レインフォースメントを取り付けた試験片とレインフォースメント無しの2仕様を作製した。なお、試験片のスポット溶接間隔は、キャブサイドを想定し、40～50mmとした。

次に、これら試験片にTable1に示す充填材A

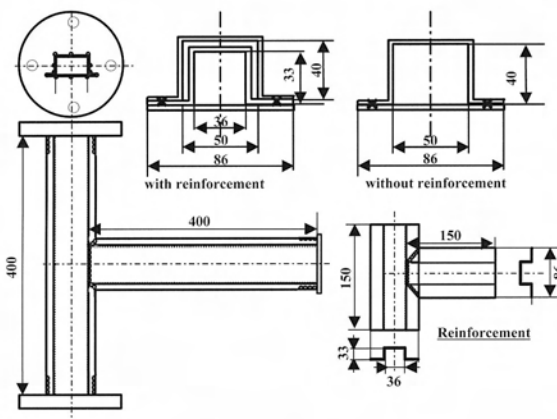


Fig.1 Specification of T-shaped frame

(Foam A) を充填し、Fig.2に示す3仕様の試験片を作製した。また、充填材の材料特性の影響を明らかにするため、Spec②の断面については充填材B（Foam B）を充填した試験片も作製した。

用いた充填材は、いずれも熱硬化型エポキシ系で、充填範囲はレインフォースメントと同一の範囲とした。

Table 1 Mechanical properties of structural foam

	Foam A	Foam B
Adhesive strength (MPa)	10	5
Average Compression (MPa)	13	6
Compression Elasticity (MPa)	900	230

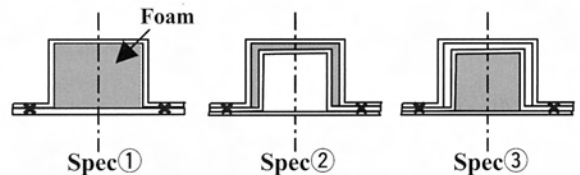


Fig.2 Filling location

### 2.2 T字形状フレームの試験方法

曲げ剛性、ねじり剛性を以下に示す方法で計測した。

#### (1) 面内および面外曲げ剛性

面内曲げ剛性 $K_{U1}$ は、Fig.3に示すように、フレームの一端を固定し、矢印の方向に荷重を負荷した時の変位を測定し、次式を用いて算出した。

$$K_{U1} = W \times L_1 \times 180 / \pi \theta \text{ (Nm/rad)}$$

$$\theta = \tan^{-1} (\delta_A / L_A - \delta_B / L_B)$$

ただし  $\delta_A$  (m)：ダイヤルゲージAの変位

$\delta_B$  (m)：ダイヤルゲージBの変位

面外曲げ剛性 $K_{U2}$ はFig.4に示す方向に荷重を負荷した時の変位を測定し、次式を用いて算出した。

$$K_{U2} = W \times L_1 \times 180 / \pi \theta \text{ (Nm/rad)}$$

$$\theta = \tan^{-1} (\delta / L_1)$$

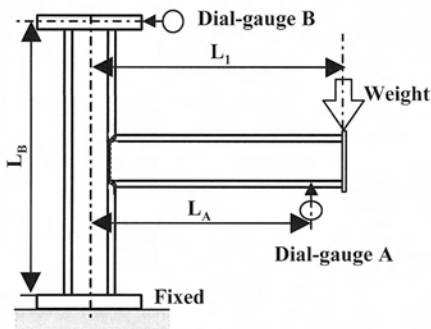


Fig.3 In-plane bending test

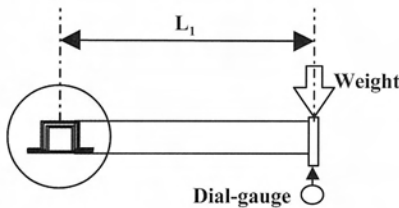


Fig.4 Out-of-plane bending test

## (2) ねじり剛性

Fig.5に示す要領でT字形形状フレームの両端を固定し、腕部分に取り付けた剛体の先端に荷重を負荷した。ねじり剛性 $T_u$ は、腕先端に取り付けた剛体の変形量 $\delta$  (m) 及び剛体先端にかけた荷重 $W$  (N) より次式を用いて算出した。

$$T_u = W \times L_c \times 180 / \pi \theta \text{ (Nm/rad)}$$

$$\theta = \tan^{-1} (\delta / L_c)$$

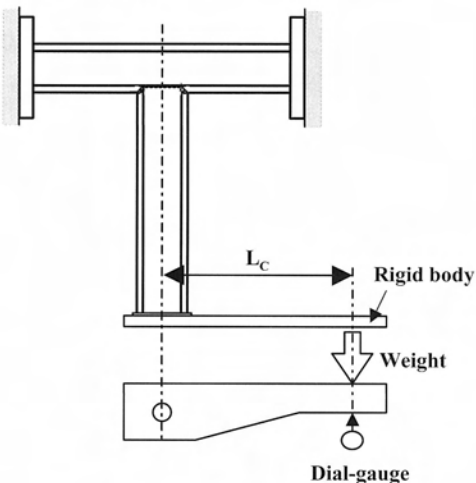


Fig.5 Torsion test

## 2.3 ストレートフレーム試験片

試験片形状をFig.6に示す。材質および板厚、断面寸法に関しては、T字形形状フレーム試験片と同じである。また、レインフォースメント有りと無しの2仕様を作製した。

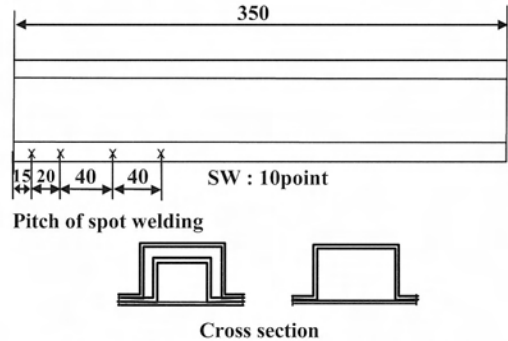


Fig.6 Specification of straight frame

これら試験片にTable2に示す3種類の充填材を充填し、Fig.7に示す3仕様の試験片を作製した。なお、充填材には大きな空間への充填が比較的容易な室温硬化型ウレタン系の注入タイプを用い、充填材の材料特性は発泡率を変更して調整した。

Table 2 Mechanical properties of structural foam

	Foam C	Foam D	Foam E
Adhesive strength (MPa)	16	9	4
Average Compression (MPa)	19	14.7	4.3
Compression Elasticity (MPa)	960	550	160

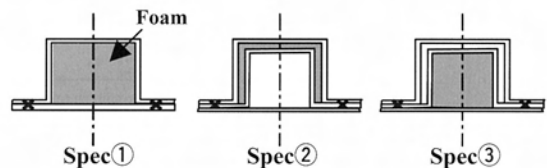


Fig.7 Filling location

## 2.4 ストレートフレームの試験方法

## (1) 面内および面外曲げ剛性

Fig.8, 9に示す方法で、荷重を負荷した時の変位を測定し、下記に示す計算方法で面内・面外曲げ剛性 $K_{s1}$ ,  $K_{s2}$ を求めた。



$$K_{S1}, K_{S2} = WL_A^3 (1 - 3L_B/2L_A + L_B^3/2L_A^3) / 3 \delta \quad (\text{Nm}^2)$$

$$\delta = \delta_B - \delta_A$$

ただし  $\delta_A$  (m) : ダイアルゲージAの変位

$\delta_B$  (m) : ダイアルゲージBの変位

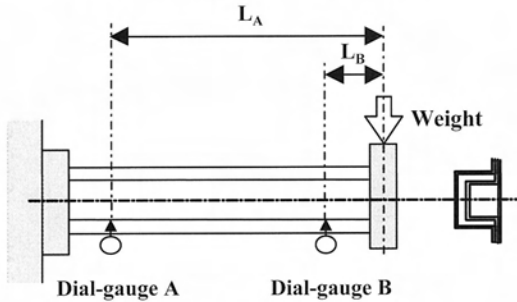


Fig.8 In-plane bending test

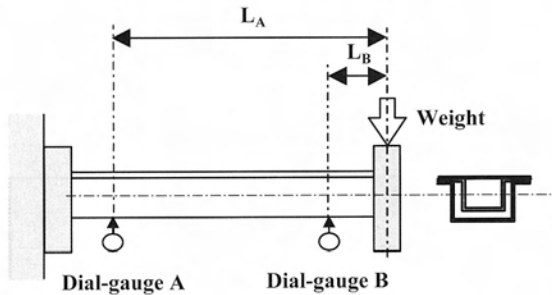


Fig.9 Out-of-plane bending test

## (2) ねじり剛性

Fig.10に示す要領で自由端の円盤に取り付けた剛体先端に荷重を負荷した。ねじり剛性 $T_s$ は、剛体の変位量及び剛体先端に負荷した荷重 $W$  (N)より、下記計算式を用いて算出した。なお、自由端は、回転方向のみ自由度を持たせた。

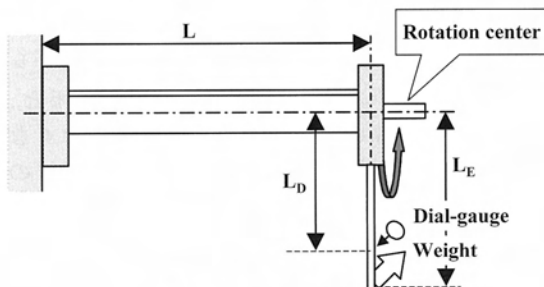


Fig.10 Torsion test

$$T_s = ML \times 180 / \pi \theta \quad (\text{Nm/rad})$$

$$M = W \times L_E$$

$$\theta = \tan^{-1} (\delta / L_D)$$

## 3. 実験結果

### 3.1 T字形形状フレームの試験結果

#### (1) 充填材の材料特性の影響

レインフォースメントの無い試験片の剛性を基準に、2種類の充填材をアウターパネル/レインフォースメント間に充填した場合 (Spec②) の剛性比をFig.11に示す。いずれの充填材でもほぼ同様の剛性比を示し、材料特性の低い充填材Bでも剛性向上に顕著な効果が見られる。

これは、充填材自体の強度は低くても接着強度がある値以上確保されていれば、アウターパネルとレインフォースメントが一体となって荷重を分担するためと考えられる。

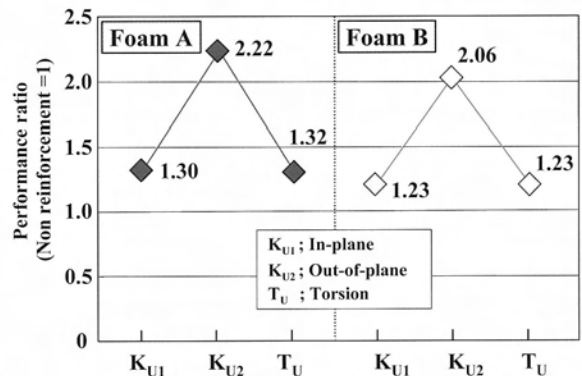


Fig.11 Effect of structural foam mechanical properties

#### (2) 充填構造の影響

充填材Aを用いて、剛性に対する充填構造の影響を調査した結果をFig.12に示す。

レインフォースメントの無い試験片の剛性を基準に充填材を充填した試験片 (Spec①, ②, ③) を比較すると、各試験片とも面外曲げ剛性が大きく向上していることが分かる。充填材の単位質量あたりの効果を考慮すると、アウターパネル/レインフォースメント間の部分充填構造 (Spec②) が最も効率的な構造と考えられる。

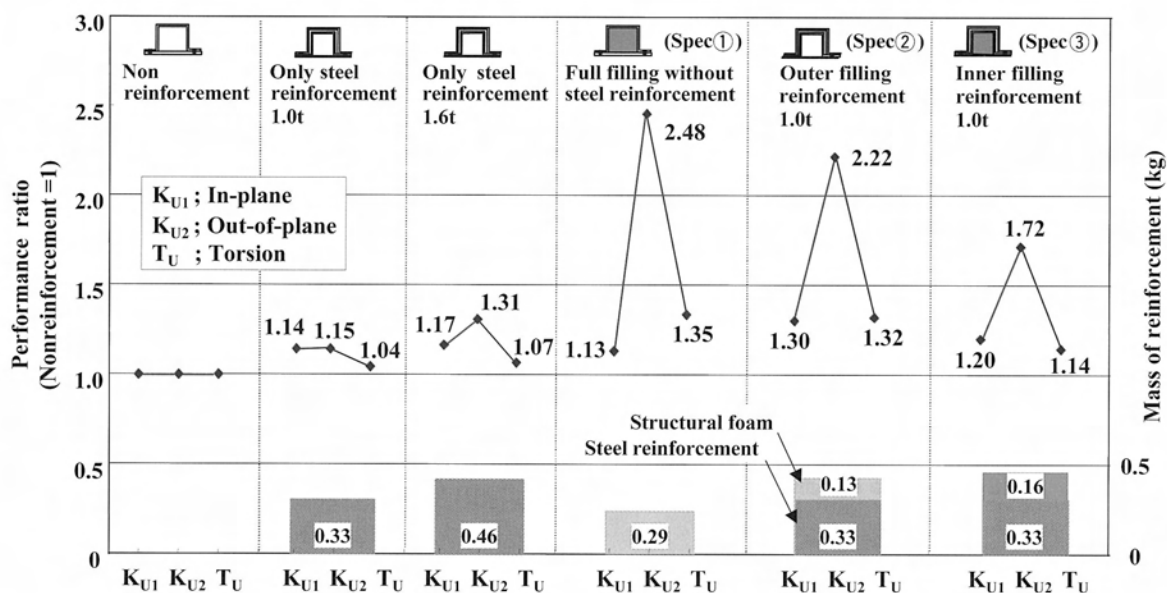


Fig.12 Effect of filling location in T-shaped frame

### 3.2 ストレートフレームの試験結果

#### (1) 充填材の材料特性の影響

レインフォースメントを取り付けた試験片の剛性を基準に、充填材をアウターパネル／レインフォースメント間に充填した場合 (Spec②) の剛性比と充填材の弾性率の関係をFig.13に示す。ストレートフレームではフレーム結合部ほどの効果が無く、充填材自体の弾性率の影響もほとんど見られない。

ストレートフレームで効果が小さい理由は、ストレートフレームがフレーム結合部ほど断面崩れが生じにくいことと、充填材の剛性が鋼板の0.5%程度 (鋼板200GPa, 充填材C960MPa) と極端に低いためと考えられる。

充填材でストレートフレームの剛性を向上させるには、繊維強化などにより充填材自体の弾性率を大幅に向上させることが必要である。

#### (2) 充填構造の影響

充填材Dを用いて、剛性に対する充填構造の影響を調査した結果をFig.14に示す。

レインフォースメントの無い試験片の剛性を基準に、充填材を充填した試験片 (Spec①, ②,

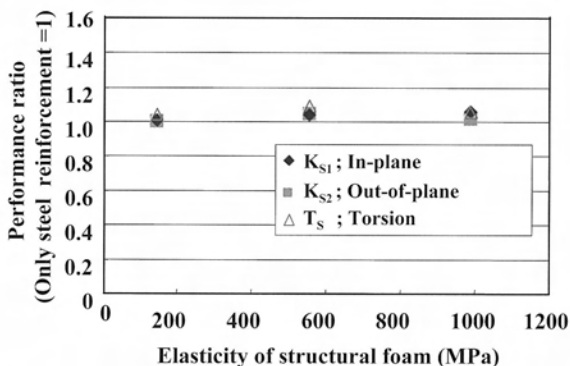


Fig.13 Effect of elasticity of structural foam for rigidity

③) を比較すると、Spec②, Spec③では、全般的に剛性が向上しているが、充填材を入れないレインフォースメント付きフレームと比較すると、ねじり剛性を除いて改善効果はさほど大きくない。フレーム全体へ充填したSpec①の試験片の結果を見ても、ねじり剛性に対する効果が比較的高いが、その向上比率は、12%程度である。

単位質量あたりの充填材の効果を考慮すると、充填構造としてはフレーム結合部同様、外側充填構造が合理的である。

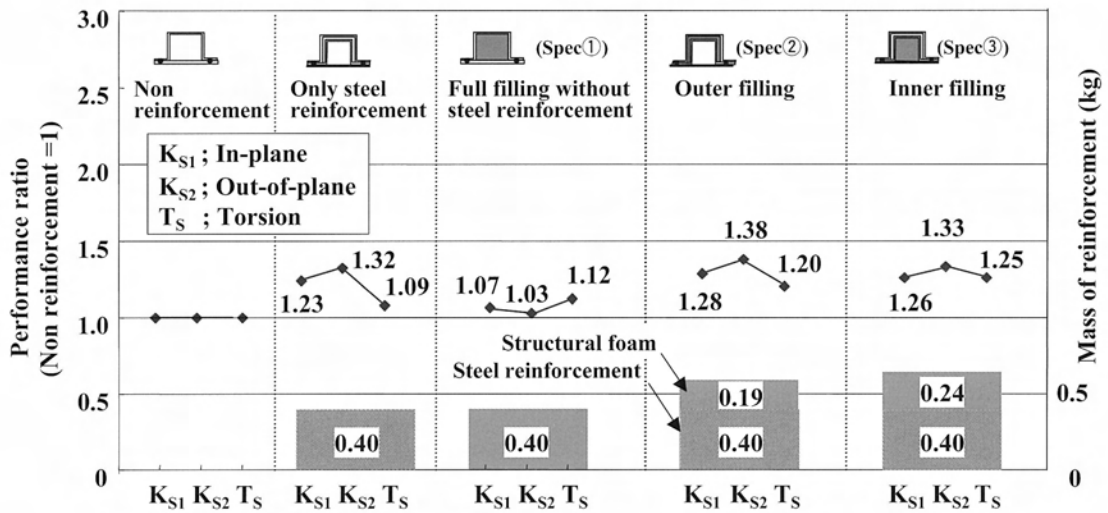


Fig.14 Effect of filling location in straight frame

#### 4. 実車による検証

試験片での評価結果をもとに、2,000ccクラス試作車両のボデーリヤ回りの結合部に充填材を適用し、効果を検証した。一例としてFig.15に、車速100km/hにおける操舵応答遅れの変化を示す。

充填材による車体後部の剛性向上により、ヨーレイト、横G両者の応答遅れが減少するとともに、ヨーレイト発生から横G発生までの相対的な時間遅れが減少し、応答性やしっくり感の改善に有効なことを確認した。

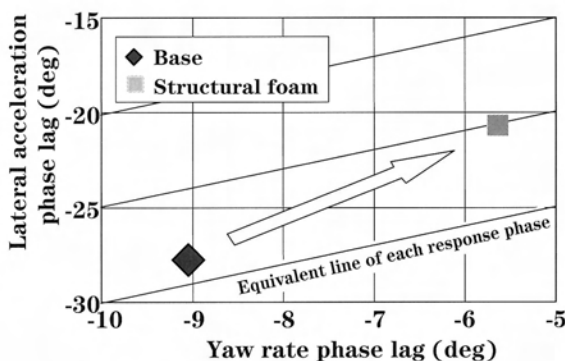


Fig.15 Response phase lag to steering  
(Sinusoidal steer at 0.6Hz / Vehicle velocity 100km/h)

#### 5. おわりに

以上の実験結果と実車での検証結果から、以下のことが分かった。

##### (1) 充填材の適用効果

充填材は、フレーム結合部の剛性向上に有効である。特に、面外曲げ剛性に対して顕著な効果があり、2倍程度の向上効果が期待できる。

ストレートフレームに関してはねじり剛性に多少の効果が見られるものの、フレーム結合部と比較すると剛性向上効果は小さい。

##### (2) 充填材材料

フレーム結合部、ストレートフレームともに剛性に対する充填材の材料特性の影響は小さい。しかし、パネルどうしが一体的に変形することが必要であり、ある程度の接着強度は必要と考えられる。

##### (3) 充填構造

フレーム結合部、ストレートフレーム部ともに外側部分充填構造が最も合理的な構造である。外側部分充填構造は、充填材の単位質量当たりの効果が全充填構造や内側部分充填構造と比較して高く、コスト、重量の点で有利である。

##### (4) 実車適用効果

実車のボデーリヤ回りの結合部に充填材を適用することによって、ヨーレイト、横G両者の

応答遅れの減少とヨーレイト発生から横G発生までの相対的な時間遅れの減少によりボデーの応答性としっかり感に大きな改善が見られた。

なお、本研究で得られた知見をもとに、充填材をアテンザ5ハッチバック車及びワゴン車のボデーリヤ回りの主要な結合部（Cピラーとルーフレールの結合部など）へ適用し、重量を犠牲にすること無くボデー剛性を向上させた。

その結果、ステアリングの手応え感／剛性感、応答のリニアリティ／収束性、リヤグリップ感に大きな効果があり、セダン並みの操縦安定性を実現した。

### 参考文献

- (1) 片山 他：車体構造における結合剛性，自動車技術会論文集，No.43（1990），p143
- (2) 渡邊 他：衝突時の安全性を高める高剛性発泡充填材，工業材料，Vol.43（1995），No.11，p35
- (3) Ishida et al：Development of a Technique to Strengthen Body Frame with Structural Foam，SAE Technical Paper，2001-01-0313

### ■ 著 者 ■



深堀 貢



石田恭聡



近藤貴久



古谷茂樹

特集：アテンザ

17

## 陰影感が優れるベース塗料の開発 Development of High Flip-flop Base Coating

古 賀 一 陽<sup>\*1</sup> 高 橋 敏 貴<sup>\*2</sup> 山 根 貴 和<sup>\*3</sup>  
Kazuhi Koga Toshiki Takahashi Takakazu Yamane  
阿 部 一 敏<sup>\*4</sup>  
Kazutoshi Abe

### 要 約

シルバーマトリック塗装の陰影感向上には、表面が平滑で粒子径が大きいアルミフレークをベース塗料に添加する方法が有効だが、鮮映性との両立が難しいため、クリア塗料の2回塗装等による厚膜塗装が必須であった。そこで、従来は、クリア塗料の2回塗装でしか得られなかった陰影感 (FI: 16以上) と鮮映性を、クリア塗料の1回塗装で実現することを目標に、溶剤排出量が比較的少ないハイソリッド型ベース塗料の開発を行った。

本開発の課題は、(1)目標達成のためのアルミフレーク特性と状態が明確でない、(2)クリア塗料を2コート1ベイク塗装すると、従来のローソリッド型ベース塗料を用いた場合に比べて陰影感が低下する、の2つであった。

(1)については、表面が平滑で粒子径が大きいアルミフレークの配向角を約3°以下にすることによって、陰影感と鮮映性の目標を達成できることがわかった。

(2)については、ベース・クリア界面の混ざりによるアルミフレークの配向性の乱れが原因であることがわかったため、混ざりの抑制を狙いに、ベース塗料の粘性制御に用いられるマイクロゲルに着目し、その特性について検討した。その結果、マイクロゲルをコアシェル構造とし、シェルの溶解性パラメータ (以後、SP) をベース塗料のアクリル樹脂のSPよりも低く、コアのSPをクリア塗料のアクリル樹脂のSPよりも高く設定することによって、ベース・クリア界面の混ざりを抑制し、目標の配向角と陰影感を達成できた。

### Summary

This report explains aluminum flake and core/shell microgel characteristics of a high solid base coating to achieve targets of flip-flop and distinctness of image with single clear coating.

Application of large and smooth aluminum flakes to base coatings is effective to improve flip-flop of silver metallic base coatings, even though the application deteriorates distinctness of image. So that thick clear coatings, such as double clear coating, are necessary to maintain distinctness of image. Therefore, a high solid base coating development was attempted to achieve targets of flip-flop (flip index is 16 or more) and distinctness of image with single clear coating, and to reduce the emission of volatile organic compounds.

In this development, there were two issues as follows; (1) aluminum flake characteristics, achieving the targets of flip-flop and distinctness of image with single clear coating, were not specified, (2) to improve flip-flop, high solid base coatings were more disadvantageous than low solid base coatings.

As a result of investigating aluminum flake characteristics, it has been found that the targets of flip-flop and distinctness of image are achieved with application of large and smooth aluminum flakes whose orientation angle is less than about 3 degree.

It has been found that flip-flop of high solid base coatings declines because their aluminum flake orientation is aggravated by clear coatings penetration into high solid base coating layers. Therefore, characteristics of microgels, which are applied to base coatings as a rheology control agent, were investigated. As a result, application of core/shell microgel, whose shell Solubility Parameter (SP) is lower than base coating acrylic polymer SP, and core SP is higher than clear coating acrylic polymer SP, has been found to be effective to prevent the clear coating penetration.

\* 1 ~ 3 技術研究所  
Technical Research Center

\* 4 日本ペイント株式会社  
Nippon Paint Co., Ltd.

## 1. はじめに

近年、シルバーメタリック系自動車塗色の割合が増加し (Fig.1), その意匠性は、商品性における重要な要素へと移行している。シルバーメタリック塗色の意匠性に最も影響が大きい特性は、陰影感であり、ベース塗膜に含まれるアルミフレークの表面で光が正反射する程、陰影感が強く感じられる。従って、陰影感向上のため、従来材より表面の平滑性が高く、粒子径が大きいアルミフレークを含むベース塗料が、自動車塗装に適用されている。しかし、このような大粒子径のアルミフレークが、ベース塗料中に大量に含まれると、アルミフレークが、ベース塗膜表面に突出して、塗装の鮮映性の悪化を引き起こすため、クリア塗料の2回塗装等による厚膜塗装が必要とされた。

そこで、現行塗装と同等以上の鮮映性確保を前提にした場合、従来技術では、クリア塗料の2回塗装による厚膜塗装でしか得られなかった高陰影感 (FI (後述) : 16以上) を、クリア塗料の1回塗装膜厚 (35  $\mu\text{m}$ ) で得ることを開発目標として、ベース塗料の開発を行った。

## 2. 開発課題とアプローチ

開発目標を達成するためには、次の2つの課題が存在した。

- (1) 陰影感と鮮映性に影響を与える要因はFig.2の通りであり、特にアルミフレーク特性と状態の影響は大きい。目標を達成するための特性と状態が、定量的に解明されていない<sup>(1)</sup>。
- (2) 環境保全の観点から、ハイソリッド型塗料を基本塗料として用いることにした。しかし、ハイソリッド型ベース塗料とクリア塗料を2コート

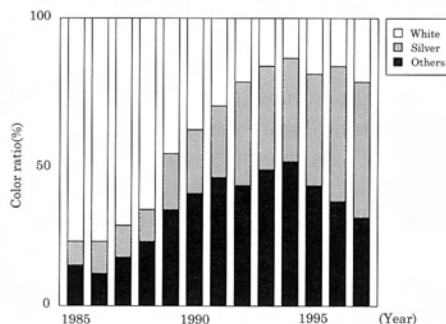


Fig.1 Trend of automotive paint color in Japan

1 ベイク塗装すると、ローソリッド型ベース塗料を用いた場合に比べて陰影感が低下する<sup>(2)</sup>。

そこで、上記課題を解決するために、次のアプローチで開発を進めた。

- (1) アルミフレーク特性と状態 (配向角、濃度、平滑性および粒子径) の、陰影感と鮮映性への影響を明確にし、目標を達成できる特性と状態を明確にする。
- (2) ハイソリッド型ベース塗料とクリア塗料を2コート1ベイク塗装した場合、ローソリッド型ベース塗料を用いた場合に比べて陰影感が低下する原因は、ベース・クリア界面の混ざり (混層) によるアルミフレークの配向性の乱れであると予測され、これを検証する。
- (3) ベース・クリアの混層は、従来、マイクロゲルによるベース塗料の粘度上昇により抑制された。そこで、今回は、従来型単層構造のマイクロゲル粒子径と、混層防止を目的として開発したコアシェル構造のマイクロゲルSPの、ベース・クリアの混層膜厚、陰影感および鮮映性への影響を明確にし、目標を達成できる特性を明確にする。

## 3. アルミフレーク特性と状態の影響

本章では、クリア塗料の影響を排除して、アルミフレーク特性と状態の、陰影感と鮮映性への影響を明確にするため、2コート2ベイク塗装を前提に、それらの影響を調査した。

また、アルミフレーク特性と状態の最適化も、2コート2ベイク塗装を前提に行った。

### 3.1 実験

#### 3.1.1 塗料組成物の準備

Table1のアクリル樹脂AP2~AP4, アルミフレー

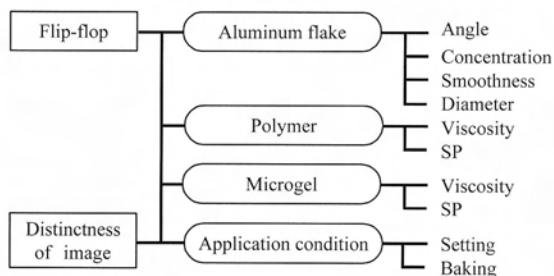


Fig.2 Relationships between film performance and base coating factors



Table 1 Characteristics of paint contents

Content		Acrylic Polymer				Aluminum Flake						Microgel										
		AP1	AP2	AP3	AP4	AF1	AF2	AF3	AF4	AF5	AF6	RC1	RC2	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9
Mn( ×1000)		4	21	3	3																	
Tg (°C)		1	29	0	10																	
Acid Value		10	15	172																		
Hydroxyl Value		60	45		126																	
Epoxy Value					126																	
SP	Total	10.5		10							10	10										
	Core												11	12	13	11	12	13	11	12	13	
	Shell													12			11			10		
Smoothness						High		Middle		Low												
Average Diameter ( μm )						17	21	14	17	21	17											
Average Particle Size ( nm )												50	170					300				

クAF1～AF6およびマイクロゲルRC1を使用した。

### 3.1.2 塗料の作製

3.1.1の塗料組成物を使用して、ローソリッド型ベース塗料（固形分：20重量%）と酸エポキシ硬化系クリア塗料（固形分：40重量%）を作製した。

### 3.1.3 塗装板の作製

3.1.2で作製したベース塗料を、乾燥膜厚が18μmになるように中塗塗装板上に塗装した。室温で10分間放置した後、140℃で20分間乾燥した。続いて、クリア塗料を、乾燥膜厚が35μmになるように塗装した。室温で10分間放置した後、140℃で20分間乾燥し、塗装板を作製した。

### 3.1.4 測定

#### (1) 陰影感の測定

変角光度計（X-Rite社製、MA68）を用いてフロップインデックス（FI）を測定し、陰影感とした。式①がFIの算出式である<sup>(3)</sup>。L\*を測定した角度を、Fig.3に示す。

$$FI = 2.69(L^*_{15^\circ} - L^*_{110^\circ})^{1.11} / L^*_{45^\circ}{}^{0.86} \quad (1)$$

#### (2) 鮮映性の測定

視感鮮明度光沢計（日本色彩研究所製、PGDⅢ）を用いて光沢度指数（Gd）を測定し、鮮映性とした。

#### (3) アルミフレーク配向角の測定

塗装板断面の拡大写真を採取し、中塗層表面に対するアルミフレークの角度を100点測定し、平均して配向角とした。

## 3.2 結果と考察

### 3.2.1 アルミフレーク特性と状態の影響

#### (1) アルミフレーク配向角の影響

アルミフレークの配向角を減少させると、FIとGdは上昇した（Fig.4）。この原因は、配向角の減

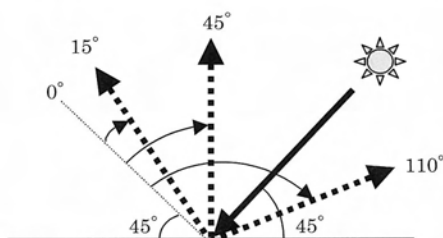


Fig.3 Angle for FI calculation

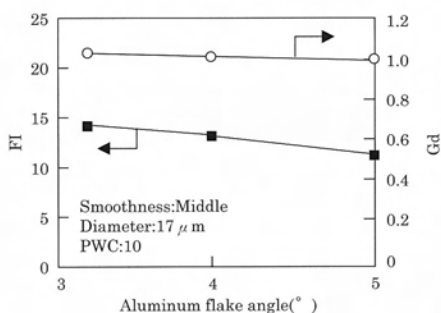


Fig.4 Effect of aluminum flake angle on FI and Gd

少に伴い、ベース層表面の凹凸が減少したためと考察する。

#### (2) アルミフレーク濃度の影響

アルミフレークの濃度（PWC）を上昇させると、PWCが13.5までは、FIは上昇したが、PWCが13.5を超えると、FIはほぼ一定となった（Fig.5）。これは、PWCが13.5を超えると、アルミフレーク相互が配向性に悪影響を与えるため、FIへの効果が増加しなくなったためと推察する。

一方、Gdは、PWCが13.5を超えると、低下した（Fig.5）。この原因は、PWCの上昇に伴って、アルミフレークのエッジ部分により、ベース層表面の凹凸が増加したためと考える。

#### (3) アルミフレーク平滑性の影響

製造条件の違いにより、平滑性（低い順にLow,

Middle, High) が異なるアルミフレークの、陰影感と鮮映性への影響を調査した。

アルミフレークの平滑性を向上させると、FIは上昇した (Fig.6)。この結果は、松藤の報告<sup>(1)</sup>に合致した。これは、平滑性の向上に伴い、アルミフレーク上での光の正反射率が上昇したためと考える。

一方、平滑性は、Gdにほとんど影響が無かった (Fig.6)。

#### (4) アルミフレーク粒子径の影響

アルミフレークの粒子径を増大させると、FIは上昇した (Fig.7)。この結果も、松藤の報告<sup>(1)</sup>に合致した。これは、粒子径の増大に伴い、アルミフレークのエッジ部分の割合が減少し、光の乱反射率が低下したためと推察する。

一方、Gdは、粒子径が $17\mu\text{m}$ を超えると低下した (Fig.7)。これは、アルミフレークがクリア層に到達し、ベース層表面の凹凸が増加したためと考察する。

#### 3.2.2 アルミフレーク特性と状態の最適化

以上の検討結果から、従来塗装並みの鮮映性

(Gd:1以上) を確保した上で、実験条件の範囲内で、最高の陰影感を得たアルミフレークの最適特性と状態を、以下に示す。

- ・ 配向角:  $3.2^\circ$
- ・ 濃度 (PWC) : 13.5
- ・ 平滑性: High
- ・ 粒子径:  $17\mu\text{m}$

そこで、粒子径が $17\mu\text{m}$ 、平滑性がHighのアルミフレークAF1を、PWCが13.5になるようにローソリッド型ベース塗料に添加した。このベース塗料を用いて、配向角が $5^\circ$  (当社現行ベース塗装のアルミフレーク配向角) と $3.2^\circ$ の塗装板を作製し、FIとGdを比較した (Fig.8)。配向角が $5^\circ$ の場合、FIは14であったが、 $3.2^\circ$ では、FIは16.5であった。Gdは何れも1であった (Fig.8)。

従って、上記アルミフレーク特性と状態の適用により、Gd:1とFI:16.5を確保し、目標の陰影感と鮮映性を達成できた。

#### 4. ハイソリッド型ベース塗料の開発

本章では、3.2.2で最適化したアルミフレー

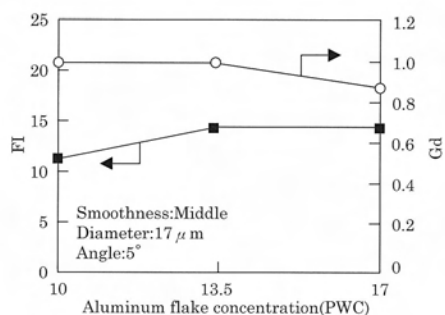


Fig.5 Effect of aluminum flake concentration on FI and Gd

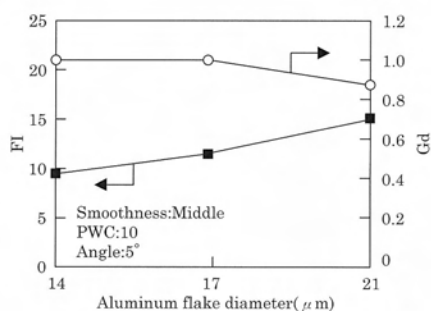


Fig.7 Effect of aluminum flake diameter on FI and Gd

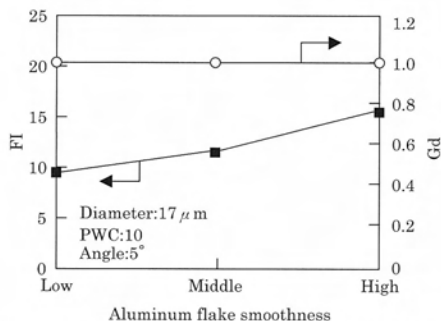


Fig.6 Effect of aluminum flake smoothness on FI and Gd

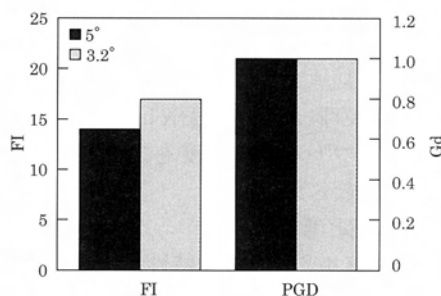


Fig.8 Comparison of FI and Gd

ク特性と状態（濃度、平滑性および粒子系）を、ベース塗料に適用した。その上で、ハイソリッド型ベース塗料とクリア塗料を2コート1ベイク塗装した場合、ローソリッド型ベース塗料を用いた場合に比べて陰影感が低下する原因は、ベース・クリアの混層によるアルミフレークの配向性の乱れであることを検証した。また、アルミフレークの配向性を向上させるため、マイクロゲル特性と濃度を最適化した。

#### 4.1 実験

##### 4.1.1 塗料組成物の準備

Table1に示すアクリル樹脂AP1~AP4, アルミフレークAF1, マイクロゲルRC1, RC2およびSC1~SC9を使用した。

##### 4.1.2 塗料の作製

4.1.1の塗料組成物を使用して、ローソリッド型ベース塗料（固形分：20重量%）、ハイソリッド型ベース塗料（固形分：30重量%）および酸エポキシ硬化系クリア塗料（固形分：40重量%）を作製した。

##### 4.1.3 塗装板の作製

4.1.2で作製したベース塗料を、乾燥膜厚が $18\mu\text{m}$ になるように中塗塗装板上に塗装した。室温で10分間放置した後、クリア塗料を、乾燥膜厚が $35\mu\text{m}$ になるように塗装した。室温で10分間放置した後、 $140^\circ\text{C}$ で20分間乾燥し、塗装板を作製した。

##### 4.1.4 測定

(1)陰影感、(2)鮮映性および(3)アルミフレーク配向角は、3.1.4の方法で測定した。

(4) ベース・クリア混層膜厚の測定

(A)赤外分光スペクトルの測定

①平面ミクロトーム（Leica社製，SM2500E）を使用して、塗装板の表面からクリア層を、 $30\mu\text{m}$ 切除去した。

②顕微全反射赤外分光装置（Nicolet社製，Avatar360）を用いて、塗装板の表面の赤外分光スペクトルを測定した。

③研磨用アルミナ粉末を用いて、塗装板に残ったクリア層表面 $1\mu\text{m}$ を研磨除去した。

④②と③を繰り返して、 $1\mu\text{m}$ ごとに、赤外分光スペクトルを測定した。

(B)ベース・クリア混層度合いの判定

トリアジン環構造に由来する $815\text{cm}^{-1}$ 付近のピ

ーク吸光度（Fig.9）の、スチレン骨格に由来する $701\text{cm}^{-1}$ 付近のピーク吸光度（Fig.9）による比を算出した。数値が0の場合はクリア単一層、0.22を超える場合はベース単一層、0以上0.22以下の場合はベース・クリアの混層と判定した。

(5) 塗料粘度の測定

4.1.2で作製したベース塗料の溶剤を除去して固形分70重量%とし、ソリキッドメーター（レオロジー社製，MR-300）にて塗料粘度を測定した。

#### 4.2 結果と考察

##### 4.2.1 ベース塗料の影響

ローソリッド型ベース塗料とハイソリッド型ベース塗料のFIとGdを比較した。その結果、ハイソリッド型ベース塗料の方が、FIとGdともに低かった（Fig.10）。この原因は、クリア塗料塗装後に、ベース・クリアが混層し、アルミフレークの配向性を低下させたためと考察する。

上記予測を検証するため、ベース・クリア界面付近の断面写真を撮影した（Fig.11）。また、アルミフレークの配向角とベース・クリア界面付近のFT-IRを比較した。その結果、配向角は、ローソリッド型ベース塗料の場合は $3.2^\circ$ であったのに対して、ハイソリッド型ベース塗料の場合は

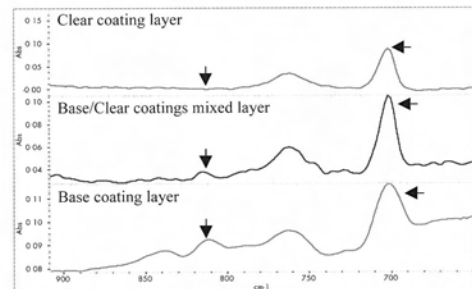


Fig.9 FT-IR spectra change

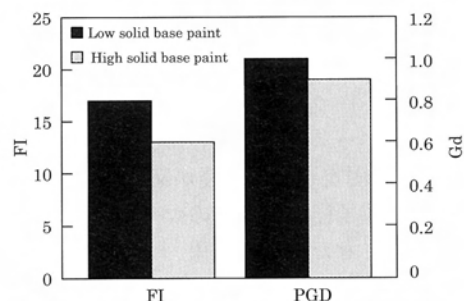


Fig.10 Effect of base paint on FI and Gd

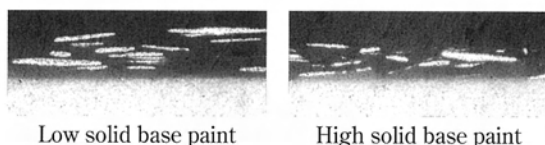


Fig.11 Photographs of base coating layers

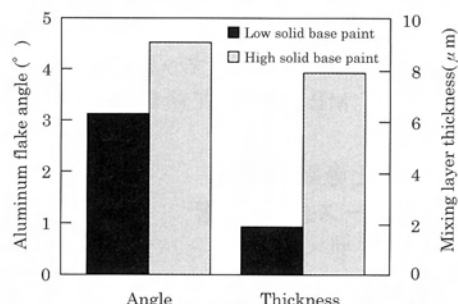


Fig.12 Effect of base paint on aluminum flake angle and base/clear coating mixing layer thickness

4.5°であった (Fig.12)。一方、ベース・クリアの混層膜厚は、ローソリッド型ベース塗料の場合は約2  $\mu\text{m}$ であったのに対して、ハイソリッド型ベース塗料の場合は約8  $\mu\text{m}$ であった。(Fig.12)。

以上の結果から、ハイソリッド型ベース塗料とクリア塗料を2コート1ベイク塗装した場合、ローソリッド型ベース塗料を用いた場合に比べて陰影感が低下する原因は、ベース・クリアの混層によるアルミフレークの配向性の乱れであることが明確になった。

#### 4.2.2 マイクロゲル特性の影響

##### (1) 単層構造のマイクロゲル粒子径の影響

2コート1ベイク塗装において、アルミフレークの配向角を減少させるためには、ベース塗料の塗装時に配向角が小さく、その配向角が塗着後も維持されることが必要である。そこで、本項では、配向角を減少させることを主目的に、マイクロゲル粒子径の、配向角への影響について調査した。

アルミフレークAF1を、PWCが13.5になるように添加したベース塗料について、マイクロゲル濃度を10phrに固定し、粒子径が50nmのマイクロゲルRC1と、粒子径が170nmのマイクロゲルRC2の比率を変化させた。その結果、マイクロゲルの比率が1/1で、FIは最大であった (Fig.13)。

一方、RC2のみの場合、Gdは低下した (Fig.13)。

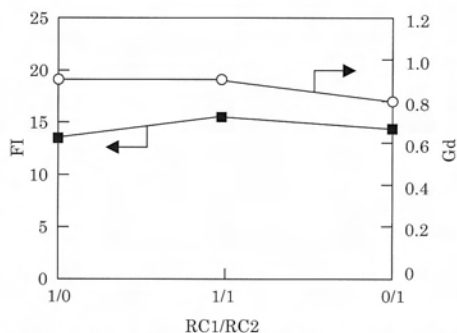


Fig.13 Effect of microgel ratio on FI and Gd

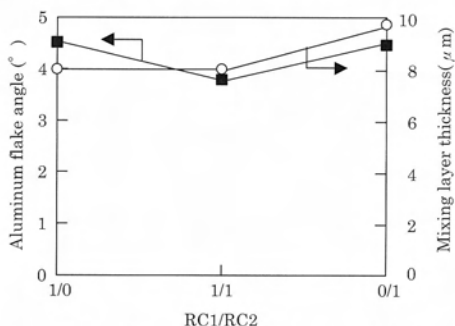


Fig.14 Effect of microgel ratio on aluminum flake angle and base/clear coating mixing layer thickness

次に、アルミフレークの配向角とベース・クリアの混層膜厚を比較すると、配向角は、マイクロゲルの比率が1/1の場合に最小であり、混層膜厚は、RC2のみの場合に最大であった (Fig.14)。

以上の結果を得た原因を、以下に考察する。

アルミフレークの配向角を減少させるためには、ベース塗料の粘度が塗装時に低く、塗着後に高いことが理想的である<sup>(4)</sup>。

塗装時を想定した高剪断速度でのベース塗料の粘度をFig.15にて比較すると、 $\text{RC1} > \text{RC1/RC2} = 1/1 > \text{RC2}$ の順であった。従って、塗装時のアルミフレークの配向角は、高剪断速度でのベース塗料の粘度と同じ順であったと推察する。

塗着後を想定した低剪断速度でのベース塗料の粘度をFig.15にて比較すると、 $\text{RC1} \approx \text{RC1/RC2} = 1/1 > \text{RC2}$ の順であった。これら3塗料の中では、RC2のみの場合の、ベース塗料の粘度が著しく低かった。従って、ベース・クリアの混層膜厚が大きくなり、塗装時のアルミフレークの配向角は塗着後に維持されず、配向角が最大であ

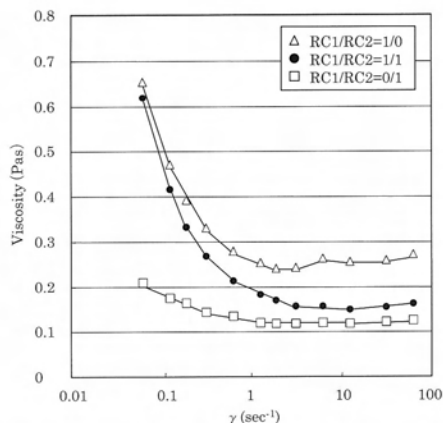


Fig.15 Effect of rheology control agents ratio on viscosity

ったと考える。RC1/RC2=1/1のベース塗料の粘度は、RC1のみの場合とほとんど同じであったため、塗装時の粘度が低い分、ベース・クリアの混層膜厚と配向角が小さかったと考察する。

一方、Gdは、RC2のみの場合に最も低かった (Fig.13)。この原因は、低剪断速度でのベース塗料の粘度は最も低いため (Fig.15)、ベース・クリアの混層膜厚が最も大きかったためと考える。

単層構造のマイクロゲルRC1とRC2の比率が1/1の場合、Gdは0.9で、FIは15を達成した。開発目標を達成するための残課題は、ベース・クリアの混層を更に抑制することであった。

#### (2) コアシェル構造のマイクロゲルSPの影響

ベース・クリアの混層を抑制するためには、ベース・クリア界面にSP差を設けることが効果的と考えられているため、従来のベース塗料のSPは、クリア塗料よりも高く設定されている。

しかし、ベース塗料のSPが高過ぎると、中塗塗装に対する濡れ性が低下するため、平滑なベース塗膜の形成が困難になる。この解決策として、コアシェル構造のマイクロゲルの適用を検討した (Fig.16)。このマイクロゲルのシェルを、ベース塗料用アクリル樹脂よりも低SPにすることによって、ベース塗料の塗装後に、マイクロゲルがベース層表面に移行し、更に、コアを、クリア塗料用樹脂よりも高SPにすることによって、クリア塗料との混層を抑制できると考えた (Fig.17)。

まず、コアシェル構造のマイクロゲルが、ベース・クリアの混層抑制に有効かどうかを、アルミ

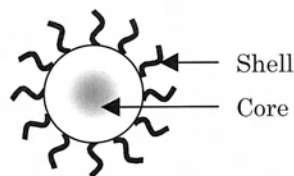


Fig.16 Structure of core/shell microgel

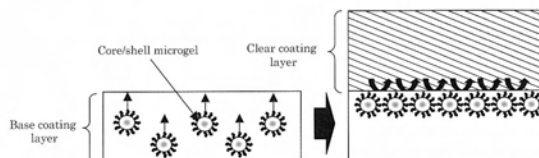


Fig.17 Behavior of core/shell microgel

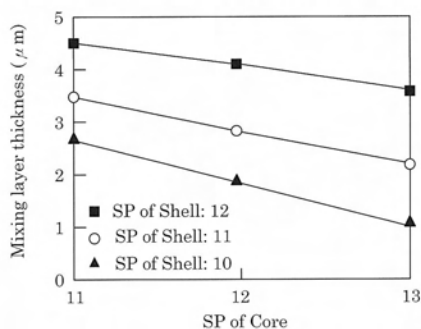


Fig.18 Effect of core/shell microgel SP on base/clear coating mixing layer thickness

フレークを含有しないベース塗料とクリア塗料を用いて検証した。ベース塗料には、単層構造のマイクロゲルRC1と、コアシェル構造のマイクロゲル (SC1~SC9の何れか1つ) を各5 phr添加した。その結果、コアのSPの上昇とシェルのSPの低下に伴い、ベース・クリアの混層膜厚が減少した (Fig.18)。これは、コアシェル構造のマイクロゲルが、構想通りに機能したためと考える。

#### 4.2.3 マイクロゲル特性と濃度の最適化

アルミフレークAF1を、PWCが13.5になるように添加したベース塗料に、RC1を5phr添加し、SC9 (コアSP: 13, シェルSP: 10) を0~10phrに変化させた。その結果、FIは、5phrまでは上昇し、5phrを超えると、変化は見られず、5phr~10phrで、FIは16.5であった (Fig.19)。

一方、Gdは、5phr~10phrで、1であった (Fig.19)。

従って、SC9が5phr~10phrで、目標の陰影感と鮮映性を達成できた。

次に、SC9のアルミフレーク配向角への影響を調査したところ、SC9濃度の増加に伴い、配向角は減少し、5phr～10phrで $3.2^{\circ}$ を実現した(Fig.20)。この角度は、Fig.21からも確認できるように、3.2.2で得た配向角の最適値と同等であった。

目標の陰影感と鮮映性を達成できたマイクロゲル特性と濃度を、以下に示す。

<単層構造のマイクロゲル>

- ・ 粒径：50nm
- ・ SP：10
- ・ 濃度：5 phr

<コアシェル構造のマイクロゲル>

- ・ 粒径：300nm

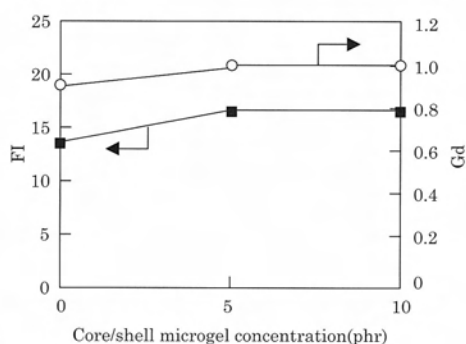


Fig.19 Effect of core/shell microgel concentration on FI and Gd

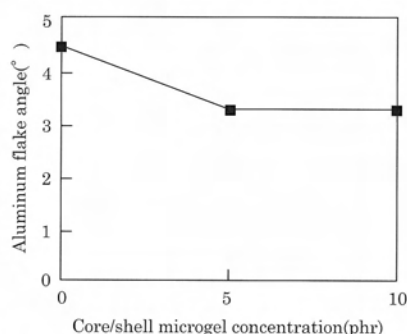


Fig.20 Effect of core/shell microgel concentration on aluminum flake angle

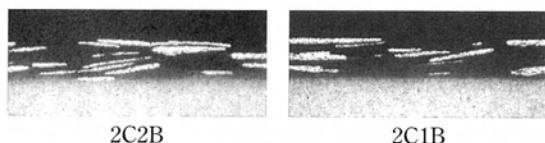


Fig.21 Photographs of base coating layers

- ・ SP (コア/シェル) : 13/10
- ・ 濃度：5 phr～10phr

## 5.おわりに

アルミフレーク特性と状態の最適化とマイクロゲル特性と濃度の変更により、現行塗装と同等以上の鮮映性を確保しながら、クリア塗料の1回塗装膜厚で、目標の陰影感を達成できるハイソリッド型ベース塗料を開発した。この開発ベース塗料は、アテンザに採用しており、その他車種への展開も予定している。

## 参考文献

- (1) 松藤隆：アルミニウム顔料の特性について、塗装工学, Vol.29 (1994), No.11, p.442-446
- (2) EPO305, 158B1 (1989)
- (3) 山本忍 他：メタリック・パール色用分光測色計, 工業塗装, No.157, p.65-67
- (4) 谷口仁：自動車用水性ベースコート技術について, PAINT & COATING BUSINESS, Vol.11 (2000), P.24-28

## 著者



古賀一陽



高橋敏貴



山根貴和



阿部一敏



特集：アテンザ

18

## GPSによる車体姿勢計測技術 Vehicle Attitude Measurement Method with GPS

福 庭 一 志<sup>\*1</sup> 足 立 智 彦<sup>\*2</sup> 吉 岡 透<sup>\*3</sup>  
Hitoshi Fukuba Tomohiko Adachi Tohru Yoshioka

### 要 約

車両の運動性能・操縦安定性の開発において、車体回転運動は商品性に大きな影響を与えるため、それを正確に把握することは重要な課題となっている。そのために、キネマティックGPSにより計測した車両上複数点の位置と3軸廻りの車体回転角速度を入力とし、2種類のプラントモデルと固定区間 smoother を持つカルマンフィルタを用い、車両の重心位置と姿勢および速度・角速度を同時に高精度で推定するシステムを開発した。このシステムは、車両位置や姿勢・速度などの車体挙動を過渡運動の解析に必要な周期で推定することが可能である。

この技術により、従来測定が困難であった車体重心の上下方向速度を含め車体各軸方向の挙動を一度に推定し、車体各部の速度成分が前後方向以外ゼロとなる点を結んだ直線として車体回転運動の回転軸を求めることを可能にした。ロールに対する主観評価の異なる車両では、回転運動中の回転軸の車体に対する傾きや時間による変化の様子が異なっており、車体回転軸を用いてロール挙動の様子を表すことが可能であると考えられる。

アテンザの開発においては、目標とする優れたロール挙動実現のために、サスペンション各部の特性変化がもたらすロール挙動の変化を、本技術により得られる回転軸を用いて解析した。

### Summary

In the development of the Steering & Handling performance, it is important to understand the vehicle roll motion, because it has a big influence on marketability. For this purpose, we have developed a system that estimates the center of gravity position, the vehicle attitude, and the time derivative of these variables precisely and simultaneously based on the vehicle rotational speeds around its three-orthogonal axis measured by gyroscopes and the positions of plural Kinematics GPS antennae on the vehicle. The system also uses the Kalman filter with two plant models and fixed interval smoother to achieve the short sampling time to analyze the detailed transient phenomena.

This technology made it possible to calculate the rotation axis of the vehicle motion. The rotation axis is obtained as a straight line on which all the velocity elements but longitudinal direction are zero. For obtaining this line, it is necessary to estimate the whole axial behaviors of the vehicle motion including the vertical velocity at the center of gravity, which has been difficult to measure.

Vehicles that have different subjective evaluations about roll motion show the different rotation axis transition in the location and inclination while turning, and it is expected that the roll motion can be characterized by the rotation axis. In the development of ATENZA, the influence of suspension characteristics on the roll motion has been analyzed by the rotation axis for excellent roll motion.

\* 1 ~ 3 技術研究所  
Technical Research Center

## 1. はじめに

車両の運動性能・操縦安定性の開発においては、車体の動きを把握するために様々な計測がなされている。その中でも過渡の車体運動状態や旋回中の車体回転運動は商品性に大きな影響を与えるため、それらを正確に把握することはシャシ開発において重要な課題となっている。

近年、キネマティック-GPS (Kinematic Global Positioning System 以下K-GPS) の性能が向上し、車両位置計測技術に活用されるようになってきた。また、GPS計測と慣性計測を組み合わせた計測周期の向上も図られている<sup>(1)(2)</sup>。一般にGPSにより移動ベクトルを計測することも可能であるが、これまでGPS計測単体での精度と周期が車体の回転挙動を解析できるほど充分で無く、そのような取り組みは報告されていない。

本稿では、K-GPSによる位置計測結果と角速度センサによる角速度計測結果を組み合わせ、車両軌跡・姿勢とそれらを時間微分した速度・角速度の各ベクトルを推定するシステムを開発し、アテンザの操縦安定性能開発に適用したので報告する。

## 2. 開発の目的

車両の操安性評価において、様々な状態の車体回転挙動が客観的・主観的に評価されている。

客観的計測評価では、操舵入力に対するヨー回転運動を角速度センサによって計測し、その大きさや応答特性が評価されてきた。特に、ヨー回転運動の解析においては、対地速度センサを用いて車両前端あるいは後端の横方向速度を合わせて計測することで、回転の中心(ヨーセンタ)も解析されている。一方、主観評価においては、操舵に対する応答の速さやリニアリティを初めとした評価や、車体回転運動の体感上のヨーセンタ、ロールするときフロントから沈み始めるのかリアから沈み始めるのか、など様々な項目が評価され開発が進められる。

この客観評価と主観評価の間の関連が明らかになれば、開発の初期段階においてシミュレーション技術を用いた主観評価の予測が可能になり、性能の向上と開発期間の短縮が実現されると予想さ

れており、マツダにおいてもMDI (Mazda Digital Innovation) の一環としてその開発に取り組んでいる。

しかし、主観評価と客観評価の関連を詳細に解明する事は多くの場合困難である。その一つの原因として、両評価における評価方法の差が考えられる。主観評価においてドライバは視界によって車体位置と姿勢を感じると同時に、車体全体の動きを前後左右上下方向の移動とヨー/ロール/ピッチングの回転運動を全て感じて評価している。一方、従来の定量的計測では車体位置の計測が不可能なのに加えて、車体各運動を個別に計測せざるを得ないため、センサ特性の違いや計測誤差によって各運動の相関を詳細に解析することが難しい。

本稿では、K-GPSによる位置計測と角速度センサ計測を組み合わせ、車両位置と車体挙動一度に推定する事を目的として車両挙動計測システムを開発した。

また推定された車両挙動を解析することで、回転運動の中心を含む車体回転運動を解析し主観評価との関係を調査した。

Table 1 Targets of Measurement Accuracy

	Position		Attitude	Speed		Angular Rate
	Horizontal	Vertical		Long.	Lat.・Vert.	
Accuracy	2(cm)	3(cm)	0.2deg	0.5km/h	0.06m/sec	0.1deg/sec

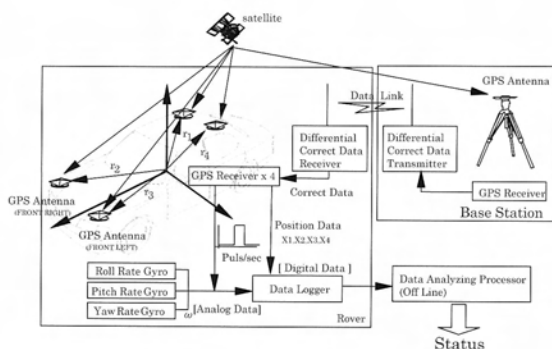


Fig.1 Measurement System

### 3. GPSを用いた車両挙動の計測

#### 3.1 概要

システムは車両上4点の位置を計測する4台のK-GPSと3軸廻りの角速度を計測する角速度センサおよびその計測結果を記録解析するコンピュータで構成される (Fig.1)。車両位置姿勢など各物理量の目標推定精度は、個別のセンサによる計測精度と同等 (Table1) とした。これによって、全ての物理量を、位置の時間微分が速度となる等の整合性を保ちながら同時に推定する。

使用したK-GPS計測の位置精度は移動速度によらず2cm ( $\sigma$ ) であるが<sup>(3)</sup>、計測したK-GPS相互の位置関係から車体前後方向やロール角度などの姿勢を求めるには、単純な幾何学計算では精度が不足している。また、K-GPSによる位置計測周期は現在20Hzであり、車両の過渡運動状態を調べるには充分でない。

従って、本稿ではK-GPSによる位置計測結果と角速度計測結果を入力とするカルマンフィルタを構成し、車両位置・姿勢およびそれらの速度を500Hzで推定可能なシステムを構成した。使用したGPSシステムと角速度センサの仕様をTable 2に示す。

#### 3.2 K-GPSによる位置計測

一般のカーナビに用いられるGPSは、複数の衛星から送信される電波に変調された時刻情報の差を用いて位置を求めており、その位置計測誤差はおおよそ20mと言われている。

これに対して、今回使用したK-GPSは、衛星電波の“搬送波”位相差 (時間差) を利用した方式で、搬送波位相測位方式による補正情報を用いたGPS (キネマティックGPS) と言われる<sup>(4)</sup>。その中で、リアルタイムに位置を計測可能な技術をリアルタイムキネマティックGPS (RTK-GPS) と言う。

RTK-GPSは、地上に固定した基準局となるGPS受信機と車載したGPS受信機で構成され、相互を無線で通信する。車載機は基準局から送信された補正情報を用いて基準局からの相対位置を20Hz毎に計測し計測時刻や誤差情報などを出力することができる。位置計測精度は2cm (東西・南北方向,  $1\sigma$ ) 3cm (上下方向,  $1\sigma$ )



Fig.2 View of Experimental Vehicle

Table 2 Characteristics of Sensors

	Range	Accuracy	Rate
K-GPS	-	$\pm 2\text{cm}(\sigma)$	20Hz
Rate Gyro	$\pm 100\text{deg/sec}(\sigma)$	0.5deg/sec	500Hz

である。

GPSのアンテナを車両ボンネット前端左右とルーフ後端左右の計4カ所に設置しその位置を計測した (Fig.2)。同時に、車両重心近傍に設置した3個の光ファイバ式角速度センサで車両3軸廻りの角速度を計測した。本システムでは、位置計測値はシリアルポートからデジタル情報として出力され、一方、角速度センサによる角速度は、アナログ電圧として出力される。

2種類の信号は信号形式とタイミングが異なるため、出力データをコンピュータに記録してテスト終了後、オフラインでデータを解析処理する。

Fig.1に示すように、出力データはGPS受信機から出力される1回/秒のパルス信号と共にコンピュータに取り込み、このパルス信号によって2つの計測結果を同期させ車両状態を推定する。

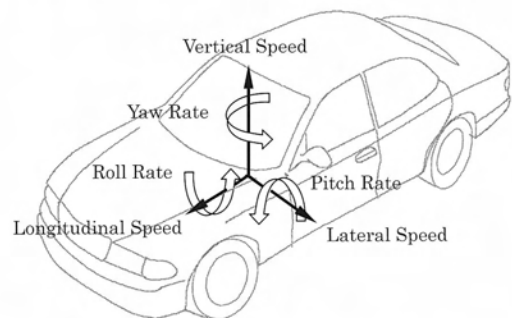


Fig.3 Values for Estimation

### 3.3 カルマンフィルタの構成

#### (1) 状態量の推定

状態量の推定には、位置と角速度を入力とする以下のカルマンフィルタを用いた。

推定する車両状態量は、車体に固定した任意の点を原点とする車体局所座標系とその座標系から地上に固定した座標系に対する位置、すなわち車両姿勢、およびそれらの時間微分である速度・角速度と加速度・角加速度とする (Fig.3)。

車体に固定した座標 (車体局所座標系) で表したアンテナ位置を  $r_i$ 、車体局所座標系の原点を  $X_g$ 、各GPSで観測される位置 (地上に固定した座標系) を  $X_i$  とする。

慣性系と一致していた車体局所座標系が、 $x$  軸・ $y$  軸・ $z$  軸の順序でその軸周りに角度 ( $\rho$ : Roll,  $\varphi$ : Pitch,  $\theta$ : Yaw) 回転して現在の状態に移ったものとする、GPS出力と車両状態量には、下記の関係が成り立つ。

$$X_i = X_g + T_\rho T_\varphi T_\theta r_i \quad (1)$$

このとき、 $T_\rho T_\varphi T_\theta$  は、

$$T_\rho T_\varphi T_\theta = \begin{bmatrix} \cos\varphi \cos\theta & \cos\varphi \sin\theta & -\sin\varphi \\ -\cos\rho \sin\theta + \sin\rho \sin\varphi \cos\theta & \cos\rho \cos\theta + \sin\rho \sin\varphi \sin\theta & \sin\rho \cos\varphi \\ \sin\rho \sin\theta + \cos\rho \sin\varphi \cos\theta & -\sin\rho \cos\theta + \cos\rho \sin\varphi \sin\theta & \cos\rho \cos\varphi \end{bmatrix} \quad (2)$$

また、逆変換行列は  $T_\rho T_\varphi T_\theta^{-1} = T_\rho T_\varphi T_\theta^T$  である。

式(1)を展開し、出力値と車両状態量の関係を明示するために、

$$\begin{aligned} \rho &\ll 1 \\ \varphi &\ll 1 \\ \theta &= \theta' + \Delta\theta, \quad \Delta\theta \ll 1 \end{aligned} \quad (3)$$

とにおいて、式(2)を線形化する。 $\theta$  は大きな値を取りうるので、現在値を基点 ( $W'$ ) とした線形化を行うと、

$$\begin{aligned} (T_\rho T_\varphi T_\theta)^T r_i &= \begin{bmatrix} \cos\theta' - \sin\theta' 0 \\ \sin\theta' & \cos\theta' 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{xi} \\ r_{yi} \\ r_{zi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_{zi} \sin\theta' r_{xi} \cos\theta' - r_{xi} \sin\theta' - r_{yi} \cos\theta' \\ -r_{xi} \cos\theta' r_{zi} \sin\theta' r_{xi} \cos\theta' - r_{yi} \sin\theta' \\ r_{yi} & -r_{xi} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho \\ \varphi \\ \Delta\theta \end{bmatrix} \\ &\equiv T_{\theta'} r_i + r_{\theta'} (W - W') \end{aligned} \quad (4)$$

となる。ここで、GPS位置と角速度を直接のシス

テムからのアウトプットとして扱うプラントモデルを考え、

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_g \\ \dot{W} \\ \dot{\nu}_g \\ \dot{\omega}_g \\ \dot{\nu}_g \\ \dot{\omega}_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & (T_\rho T_\varphi T_\theta)^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_g \\ W \\ \nu_g \\ \omega_g \\ \nu_g \\ \omega_g \end{bmatrix} \quad (5)$$

$W$ : 車体の姿勢 (ロール, ピッチ, ヨー)

$\nu_g$ : 重心の速度ベクトル

$\omega_g$ : 重心廻り角速度ベクトル

$\dot{\nu}_g$ : 重心加速度ベクトル

$\dot{\omega}_g$ : 重心廻りの角加速度ベクトル

と定義されるモデルを用いて車両状態量ベクトル

$$X^T = [X_g \quad W \quad \nu_g \quad \omega_g \quad \dot{\nu}_g \quad \dot{\omega}_g] \quad (6)$$

を推定する。

このときのプラントモデルは、ヨー角度  $\theta$  を逐次線形化近似することで次式のように定義できる。

$$\dot{X} = AX + Bu \quad (7)$$

$$Y = CX$$

$$X = \begin{bmatrix} X_g \\ W \\ \nu_g \\ \omega_g \\ \dot{\nu}_g \\ \dot{\omega}_g \end{bmatrix} \quad u = 0 \quad Y = \begin{bmatrix} X_i - T_{\theta'} r_i + T_{\theta'} W \\ \omega \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & (T_\rho T_\varphi T_\theta)^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B = 0$$

$$C = \begin{bmatrix} I & T_{\theta'} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

このプラントモデルをもとにカルマンフィルタを構成し、各時間の計測結果から車両状態量の推定値を求める。このとき、GPS計測と角速度計測とが異なった計測周期を持つため、次の2種類の

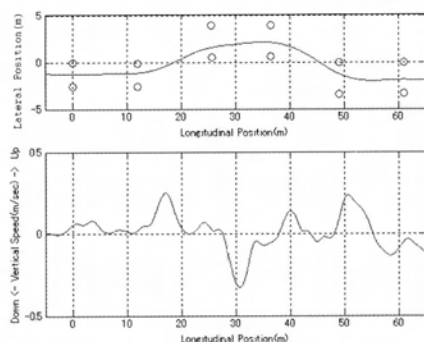


Fig.4 Vehicle Trajectory and Vertical Speed

ロジックを切り替えながら、状態を推定する。

まず、K-GPSデータと角速度データの同時には得られる20Hzの周期では、上記のK-GPS位置と角速度を入力とする式(7)のモデルを用いて車両状態量を推定する。

また、角速度データのみが得られるその他の周期では $Y = [\omega]$ とし、角速度のみを入力とした $\dot{X} = AX + Bu$   
 $Y = CX$  (8)

$$X = \begin{bmatrix} X_g \\ W \\ \nu_g \\ \omega \\ \vdots \\ \nu_g \\ \omega \end{bmatrix} \quad u = 0 \quad Y = [\omega]$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & (T_\rho T_\phi T_\theta)^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B = 0$$

$$C = [0 \ 0 \ 0 \ I \ 0 \ 0]$$

をもとにカルマンフィルタを構成し、車両状態量を推定する。

これら2つのロジックを切り替えて計算する事で500Hzの周期で車両の状態を推定した。

## (2) 固定区間スモザ

より高精度にするため、時間の増加する方向に推定をした後、時間を遡りながら再度推定をする

固定区間スモザ<sup>(5)</sup>を適用した。固定区間スモザでは以下の処理を行う。

区間 $[0, N]$ において与えられた観測データを $Y_n$ とする。カルマンフィルタによって推定値 $X_{t/t-1}$ ,  $X_{t/t}$ および $P_{t/t-1}$ ,  $P_{t/t}$ ,  $N=0, 1, \dots, N$ を計算し、それを記憶する。

次に、境界値 $X_{N-1/N}$ から出発して逆向きに $X_{N-1/N}$ ,  $\dots$ ,  $X_{0/N}$ を計算する。

このとき、

平滑推定値

$$X_{t/N} = X_{t/t} + C_t [X_{t+1/N} - X_{t+1/t}] \quad (9)$$

平滑ゲイン

$$C_t = P_{t/t} A_t^T (P_{t+1/t})^{-1} \quad (10)$$

平滑推定誤差共分散行列

$$P_{t/N} = P_{t/t} + C_t [P_{t+1/N} - P_{t+1/t}] C_t^T \quad (11)$$

で与えられる。ただし、 $t=N$ における境界条件は、 $X_{N/N}$ および、 $P_{N/N}$ とする。

推定した車両重心の軌跡と重心の上下方向速度の例をFig.4に示す。Fig.4は、VDA（ドイツ自動車工業会：Verband der Automobilindustrie e.V.）準拠のELKテスト時の重心の走行軌跡および前後位置に対する重心の上下速度である。車線移行によるロール運動に伴って、車両重心が上下方向に移動していることがわかる。

## 4. 精度の検証

### 4.1 速度推定精度の検証

車両状態量の推定精度を検証するために、推定した車両状態量を、個別に分解できる単独の計測結果と比較した。

前後および左右方向速度については、光学式車速計と比較した。光学式車速計は路面に照射した光の反射パターンの移動によって速度を計測する計測装置で、その原理上車体回転運動の影響を避けることができないため、定常状態における前後および左右速度を推定結果と比較した。10km/hから120km/hの直進走行時の前後方向速度は、標準偏差0.28km/hで計測結果と一致した。また、定常円旋回中の横速度は、Fig.5に示すように0～0.3m/sec・ヨー角速度0～25deg/secの範囲に

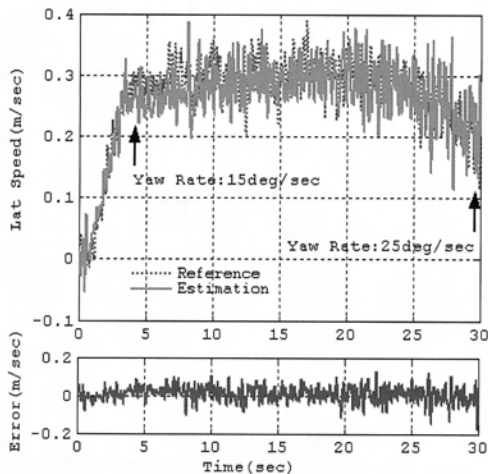


Fig.5 Comparison of Values Between Reference Sensor and Estimation

において、標準偏差0.046 m/secで一致しており、目標性能を満足していることを確認した。

#### 4.2 過渡速度の推定精度検証

上記定常状態での精度検証に加え、過渡状態の推定精度を検証するために、シミュレーションによる車両挙動計算結果を基にして模擬した車両位置計測結果と角速度計測結果を入力として、車両状態を推定し、シミュレーションによる正しい車両状態の計測結果と比較した。

車速60km/hで90度のステップ操舵を入力した時の車両挙動を汎用機構解析ソフトADAMSによって計算し、その時のGPSおよび角速度センサ出力を算出する。さらに計測誤差として、計算結果にGPS位置計測2 cm、角速度計測0.5deg/secの標準偏差を持つガウス分布誤差を加え、それを入力として本システムで車両挙動を推定した。車両重心位置および重心横速度のADAMSによる計算結果 (TRUE:点線) と本システムによる推定結果 (Estimate:実線) の比較をFig.6に示す。下の2つのグラフは計算結果と推定結果の差を示しており、システムが過渡状態においても目標精度以上の精度で車両状態を推定していることが解る。

その他の状態量についても、Table3に示す偏差で推定結果と実測結果は一致する。これらの結果から、本システムが車両の状態を適切に推定していると考えて良い。

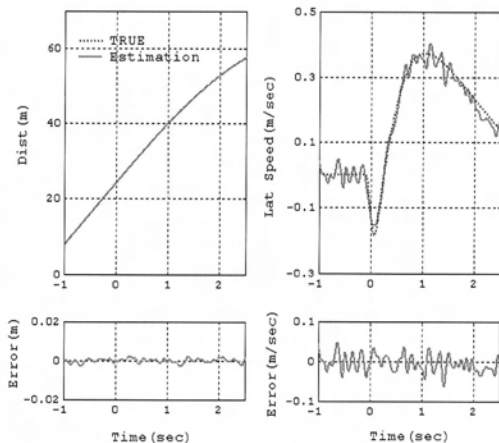


Fig.6 Comparison of Values Between TRUE and Estimation

Table 3 Estimation Accuracy

		Position		Attitude	Speed			Angular Rate
		Horizontal	Vertical		Long.	Lat. • Vert.		
Accuracy	Target	2(cm)	3(cm)	0.2deg	0.5km/h	0.06m/sec		0.1deg/sec
	Result	1.4(cm)	1.4(cm)	0.20deg	0.28km/h	0.046m/sec		0.1deg/sec

## 5. 車体回転軸を用いた運動解析

### 5.1 回転軸の定義

主観評価においては回転の大きさや変化だけではなく、車体がどこを中心に回転しているのか、すなわち回転中心位置も重要な要素として評価されている。これらは、ヨーセンタやロールセンタと言われ、ヨーセンタはヨー角速度と車体横速度から横方向速度が0となる点として、ロール運動やピッチ運動の回転中心は車高の計測から車体上下速度を求め、その速度0の点として、各軸廻りの回転運動が独立に評価されている。本稿では、この概念を3次元に拡張し、上記システムを用いて推定した車両重心の移動速度と角速度から回転状態を解析する。

車体を剛体と見なし、各瞬間において車体左右方向および上下方向の速度が0になる点の集まりを、車体回転軸とした。車両を剛体とみなすことにより、車両の状態は車両重心位置の3軸速度成分と角速度成分により記述できる。車両局所座標での重心速度を  $\dot{r} = (\dot{v}_x, \dot{v}_y, \dot{v}_z)$ 、角速度を  $\omega = (\dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\psi})$  ( $\dot{\phi}$ :Roll,  $\dot{\theta}$ :Pitch,  $\dot{\psi}$ :Yaw) とおき、局所座標の一点  $x$  の座標を  $\rho = (x_0, y_0, z_0)$



とにおいて、車体上の点  $x$  での速度は

$$\mathbf{v}|_x = \dot{\mathbf{r}} + \boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{\rho} \equiv (\mathbf{v}_x, \mathbf{v}_y, \mathbf{v}_z) \quad (12)$$

により表される。旋回軸は、この速度のうち、横方向と上下方向成分が 0 となる軸として定義する。各成分を横方向速度と上下方向速度を 0 にするのは、次式を満たす  $\rho$  である。

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_y + \dot{\xi} \mathbf{x}_0 - \dot{\phi} \mathbf{z}_0 &= 0 \\ \mathbf{v}_z + \dot{\phi} \mathbf{y}_0 - \dot{\phi} \mathbf{x}_0 &= 0 \end{aligned} \quad (13)$$

したがって推定した車両挙動に基づいて、車体旋回軸は一つの直線として定義できる式(13)を満たす回転軸を、点  $(a, b, 0)$  を通り、 $(n_x, n_y, n_z)$  に平行なベクトルとすると、 $(n_x, n_y, n_z)$  は、角速度ベクトル  $(\dot{\phi}, \dot{\phi}, \dot{\xi})$  となる。また、点  $(a, b, 0)$  は、

$$\begin{pmatrix} -\frac{\mathbf{v}_y}{\dot{\xi}} - \frac{\mathbf{v}_z}{\dot{\phi}} - \frac{\dot{\phi}\mathbf{v}_y}{\dot{\xi}\dot{\phi}} & 0 \end{pmatrix} \quad (14)$$

となる (Fig.7)。この旋回軸を、GPS計測結果から推定した車体挙動に基づいて計算した。車両が定常円旋回をしている場合、この回転軸は車両上下方向Z軸に平行で車体XZ平面内にあり、そのx軸上の位置がヨーセンタとなる。また、この回転軸を水平面に投影したものは、ロールおよびピッ

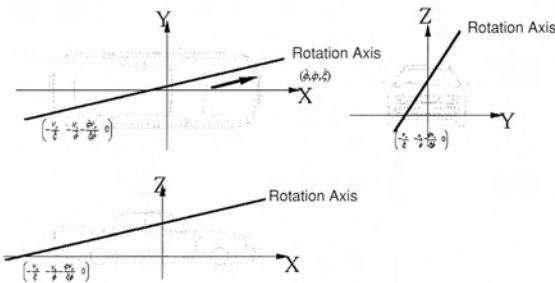
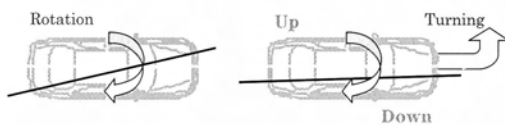


Fig.7 Rotation Axis



(a) Diagonal Roll Motion (b) Inner Rising Roll Motion

Fig.8 Subjective Description and Rotation Axis

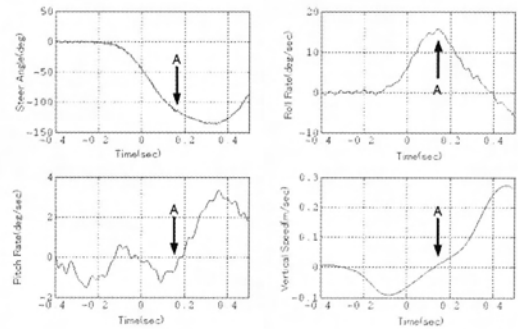


Fig.9 Estimated Values and Rotation Axis

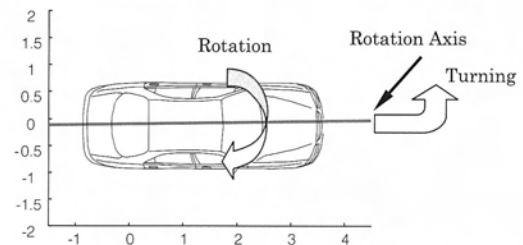


Fig.10 Comparison of Rotation Axis

チングによる車体回転運動の回転軸を表しており、その軸がFig.8(a)のように旋回の内側を向いているときロール挙動の主観評価における「ダイアゴナルロール」に、Fig.8(b)のようにXZ平面内に対して旋回の外側にあるとき「浮きロール」に相当している。

## 5.2 車両回転運動の計測結果

車両の特性変化によるこの回転軸の変化を、フロントサスペンションのロール剛性を下げロール挙動を変化させた2つの車両仕様で比較した。

Fig.9は、標準の状態（フロントスタビライザ有り）の車両において時速60km/hで直進から旋回に移行したときの操舵入力（右上）・ロール角速度（左上）・ピッチング速度（右下）・車体重心上下速度（左下）をGPSを用いたシステムで推定した結果と、その結果から解析したロール角速度

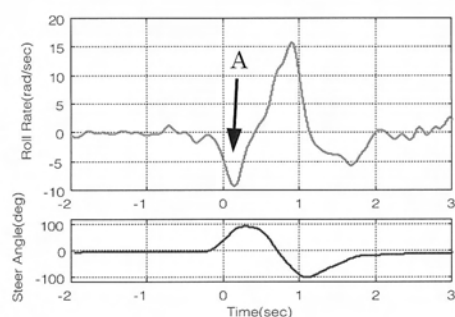


Fig.11 Rotation Axis of ATENZA

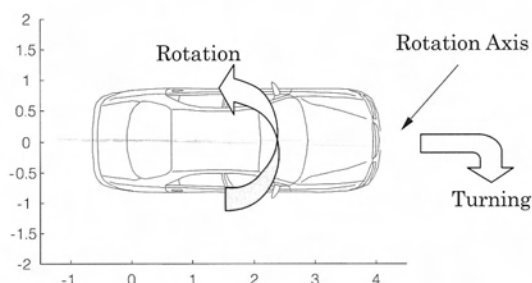
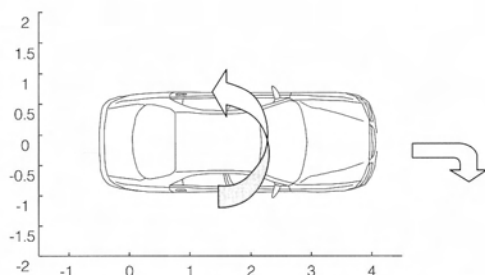


Fig.12 Rotation Axis of Competitor



最大となる時刻Aにおける車体回転軸を示している。またFig.10は、ロール剛性を下げた状態（フロントスタビライザなし）の車両において、同様に車体回転軸を解析した結果との比較を示している。

この結果から、フロントのロール剛性を下げることによってフロント旋回外輪の沈み込みが大きくなった結果、車両が“前のめり”の強いダイアゴナルなロール挙動に変化していることが回転軸の傾きとして現れることがわかる。

### 5.3 アテンザ開発への適用

アテンザは適度な弱ダイアゴナルのロール挙動

を目標として開発が行われた。開発した車両挙動計測システムを用いて車体回転挙動を解析し、その結果に基づいてダンパやコイルスプリング・ブッシュなどの特性を変更し各輪のストローク速度のバランスを最適に設定することで、目的の車体ロール挙動を実現している。

その車体挙動の例として、車線移行におけるアテンザの車体回転挙動を解析した結果を示す。Fig.11はロール角速度（上）・操舵入力（下）の計測結果と、直進から旋回へ移行する際の時刻Aを中心とする0.1秒間の車体回転軸を、0.01秒間隔で求めた結果を示す。また、Fig.12は主観評価で劣る同クラス車両の車体回転軸を解析した結果である。この図から、アテンザは車体中心からわずかに旋回内側を向いた回転軸でロール運動をしており、目標とした弱ダイアゴナルなロール挙動が実現されていることがわかる。また、この回転軸は0.1秒の間、殆ど位置を変えず、車体が安定したロール運動をしていることがわかる。

これに対して、Fig.12に示した車両は、アテンザと同様に弱ダイアゴナルなロールを示すものの、回転軸が0.1秒の間に大きく移動しており、車体回転運動が安定していないことがわかる。この挙動は、主観評価においても「不安定なロール」と評価されている。

## 6. まとめ

キネマティックGPSによる車両上複数点の位置と車体回転角速度を入力とするカルマンフィルタによって、剛体とみなした車両の重心位置と姿勢およびそれらの時間微分である速度・角速度を同時に推定するシステムを開発した。

カルマンフィルタは、計測周期の異なる2種類の計測データに対応して2種類のプラントモデルを切り替えながら車両状態を推定する。さらに、時間を反転させて再度推定を行う固定区間スモータを用いることで、推定精度の向上を図っている。

このシステムにより、従来測定が困難であった車体重心の上下方向速度を含め車体各軸方向の運動や姿勢を、500Hzの周期で全て推定することが可能なため、過渡運動状態の車体回転挙動をより詳細に解析することが可能である。

アテンザの開発においては、目標とする優れた

ロール挙動の実現のために、サスペンション各部の特性変化がもたらすロール挙動の変化を本技術で解析した。

### 参考文献

- (1) B. Scherzinger : A position and orientation postprocessing software package for inertial/GPS integration (POSProc), Proceedings of KIS97, Banff, Canada, June 3-6, (1997)
- (2) 青野 他：GPSと内界センサを用いた起伏地における移動機の位置計測，計測自動制御学会論文集，Vol.35，No.8，1004/1011 (1999)
- (3) David BETAILLE et al:SESSYL TEST REPORT-February-99, Department Roads and Bridges in Nantes, France
- (4) 土屋淳，辻宏道：改訂版 GPS測定の基礎，1999 (日本測量協会)
- (5) 片山徹：応用カルマンフィルタ，1983 (朝倉書店)

### ■ 著 者 ■



福庭一志



足立智彦



吉岡 透

## 論文・解説

19

## 衝突性能開発におけるバーチャルテストの技術開発 Virtual Test Technologies in Crash Safety Development

伊 東 紀 明 <sup>*1</sup>	築 地 裕 <sup>*2</sup>	河 口 健 二 <sup>*3</sup>
Noriaki Ito	Yutaka Tsukiji	Kenji Kawaguchi
渡 辺 通 成 <sup>*4</sup>	岩 本 竜 彦 <sup>*5</sup>	尾 川 茂 <sup>*6</sup>
Michinari Watanabe	Tatsuhiko Iwamoto	Shigeru Ogawa

### 要 約

近年、自動車の安全性能に関するユーザーニーズが高まり、安全性能が購入動機の一要因となりつつある。また、各国の法規制は増加し、より厳しい安全性能評価であるNCAP (New Car Assessment Program) も評価項目が拡大している。

こうした市場環境の変化に迅速に対応するために、当社では、実際の事故時の傷害が可能な限り軽減できるように市場事故分析に基づいた研究開発も行い、乗員の体格や姿勢に応じて最適なエアバック展開の強さが得られる先進エアバック制御システム・追突時の頸部傷害低減シート・衝突安全性能のより高い車体構造など数多くの技術開発とその商品化に取り組んでいる。

本報告では、市場における複雑な事故状況や増大する衝突形態に対して、短期間で効率的に対応できる衝突性能開発プロセスを紹介する。衝突開発プロセスを具現化する技術として、衝突波形予測技術・乗員傷害値シミュレーション・クラッシュシミュレータによるテスト技術などのバーチャルテスト技術について述べる。

### Summary

In recent years, customer needs for higher vehicle safety performance are increasing, and safety performance is becoming one of purchase motives. Furthermore, safety regulations in each country are increasing in number and more stringent safety evaluations in the market, so called NCAP (New Car Assessment Program), are expanding evaluation items.

To comply quickly with such circumstances, Mazda has focused on research and development based on accident analysis to mitigate injury as much as possible. This has led to the introduction of new safety technologies and products such as advanced airbag system which controls deployment force according to occupant physique and posture, neck injury reduction seat for a rear collision, and vehicle structures with higher crash safety performance.

This report introduces crash safety performance development process which can realize shorter development lead-time and efficient development to tackle complicated accident situations and increasing crash modes in the market. As technologies to accomplish this process, we describe virtual technologies such as crash pulse prediction technology, occupant movement analysis simulation technology, and test technology using crash simulator.

\* 1 ~ 6 衝突性能開発部

Crash Safety Development Dept.

## 1. はじめに

交通事故によって毎年多くの尊い人命が失われているが、平成13年の死者数は20年ぶりに9,000人を下回ることができ8,747人となった。Fig.1に日本の交通事故の推移を示す<sup>(1)</sup>。この低減の要因としては、警察の交通指導取締強化<sup>(2)</sup>、国土交通省等による事故多発地点対策<sup>(3)</sup>に加えて、自動車の衝突安全性能の向上等が考えられる。特に自動車の衝突安全性能向上の要因には、前面衝突、側面衝突用エアバッグ装着車の増加、高剛性の車体構造を持つ車両の増加等があげられる。

しかしながら一方で、事故件数、傷害者数は増加しており、自動車メーカーとしても今後様々な安全性能向上に取り組む必要がある。そこで当社では大きく2つの技術開発領域に取り組んでいる。1つは事故を回避するための「事故予防技術(Active Safety)」の開発とその装備の普及である。具体的にはABS(アンチロックブレーキシステム)、EBD(電子制御制動力配分システム)、ブレーキアシスト、DSC(ダイナミックスタビリティコントロール：横滑り防止機構)、衝突事前検知システム等である。2つ目は不幸にして事故が起きた場合の「事故発生時の被害を最小限に抑える衝突安全技術(Passive Safety)」である。乗員の体格やシートベルトの着用状態に応じて最適なエアバッグ展開出力が得られる先進エアバッグ制御システム(スマートエアバッグ)、追突時の頸部傷害低減シートなど数多くの技術開発を行い装

備の商品化に取り組んでいる。

また当社では、市場での事故回避や事故による傷害を低減させることに加えて安全性能を評価するNCAP(New Car Assessment Program)においても高い評価が得られるよう高速衝突の安全性能の向上にも努めている。法規やNCAP等の市場評価に対応するための衝突テスト形態数はFig.2に示すように、年々増加している。また、安全性能に関するお客様の関心が高まり、安全性能が購入動機の一要因となりつつある。

そこで本報告では、こうした市場環境の変化に短期間で、かつ高効率に対応するための衝突性能開発プロセスを紹介し、そのプロセスの具現化技術として各種のバーチャル化技術について述べる。

## 2. 衝突性能開発プロセス

衝突性能はバンパー、車体などの車体システムやエアバッグ、シートベルトなどの内装システムなど多くの部品が関与している。このために当社では衝突開発を効率的に行うための開発プロセスとして、Fig.3に示すような車両全体性能から車体システム、内装システム、さらには、部品レベルにまで要求性能をカスケードし、部品レベルで開発／育成する開発を目指している。車体系については、車体変形量等の車体全体性能をパネマスモデルによるシミュレーションを用いて、車体各部のエネルギー吸収特性の目標にブレイクダウンする。次に、車体各部の目標に対して性能を満足する具体仕様を有限要素解析やユニットテストに

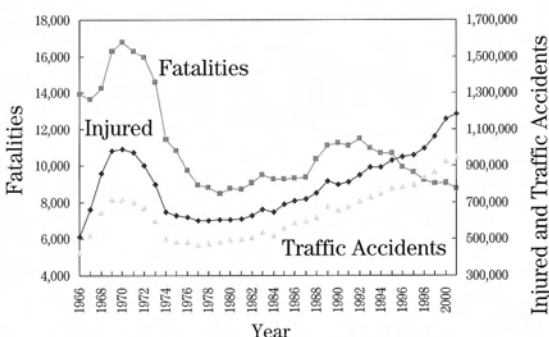


Fig.1 Transition of Traffic Accidents and Injured and Fatalities

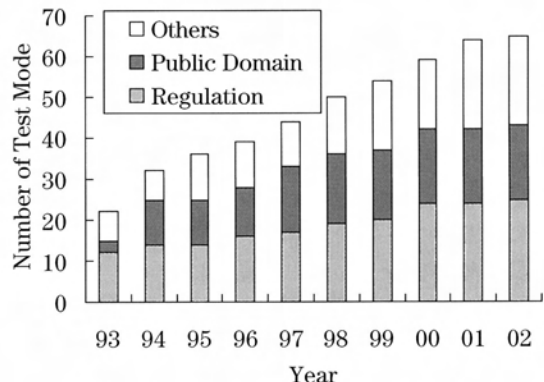


Fig.2 Increase of Test Method

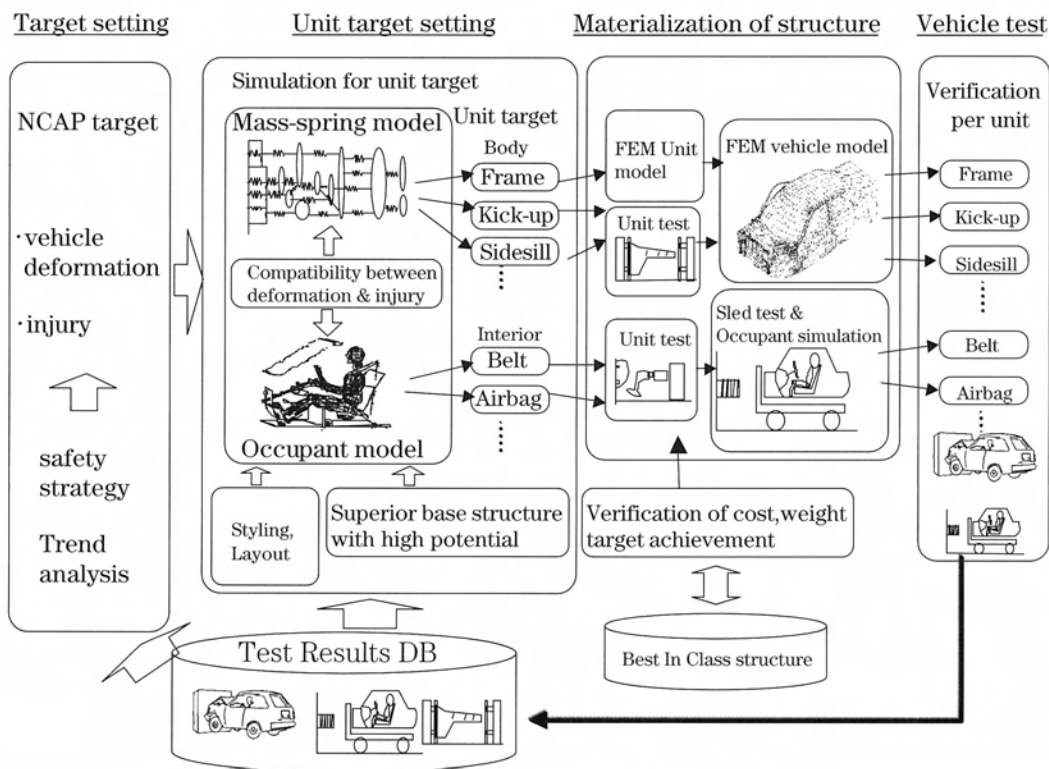


Fig.3 Development Process

より決定する。さらに全ての衝突性能が達成できることをシミュレーションやユニットテスト等のバーチャル技術で検証した後に、試作車を製作し実車テストにて性能を確認するというプロセスである。

この開発プロセスを実現するための主要技術はFig.4に示すように①衝突波形予測技術、②乗員挙動解析シミュレーション技術、③クラッシュシミュレータによるテスト技術の3つである。①衝突波形予測技術により得られた衝突波形を基に、②乗員挙動解析シミュレーションを実施し、内装各部品への要求特性を最適化していく。そこで絞り込まれた仕様について③クラッシュシミュレータによるテストで検証する。さらにその結果を②乗員挙動解析シミュレーションにフィードバックすることにより、シミュレーションの精度向上を図っている。

以下、この3つの主要技術についての詳細内容を順に紹介する。

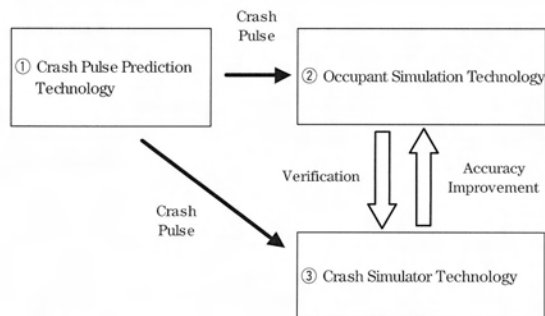


Fig.4 Relation among Three Technologies

### 3. バーチャルテストの技術開発

#### 3.1 衝突波形予測技術

評価項目が増大する要因の1つに、スマートエアバッグの導入が上げられる。Fig.5にエアバッグ展開制御のイメージ図を示す。スマートエアバッグでは、乗員の体格やシートベルトの着用状態、チャイルドシートに子供を乗せている場合等、



様々な条件において、衝突程度に応じた最適なエアバッグの展開出力になるように、非展開・低出力・高出力と3段階で制御している。そのため、各条件で非展開から低出力、また低出力から高出力に切り替わる速度での実車衝突テストが必要となり、ポール衝突やオフセット衝突など他の衝突形態を含めると評価項目と衝突テスト台数が激増することになる。

そこで、短期間かつ効率的に開発を行うために衝突波形予測技術を開発した。これはエアバッグセンサー開発、乗員傷害値開発に必要な衝突波形を、実車衝突テストの代わりにコンピューターシミュレーションで求める技術であり、衝突モーフ

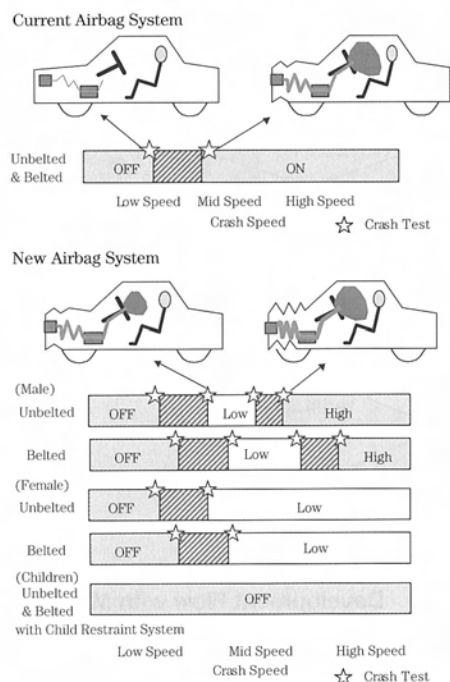


Fig.5 Airbag Systems

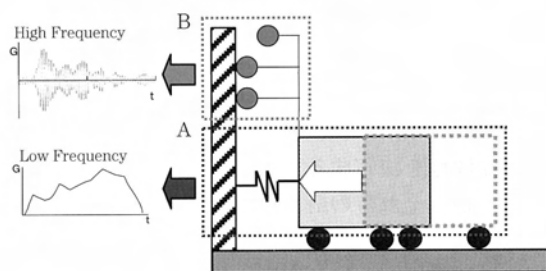


Fig.6 Crash Model

High Speed Crash Test Pulse

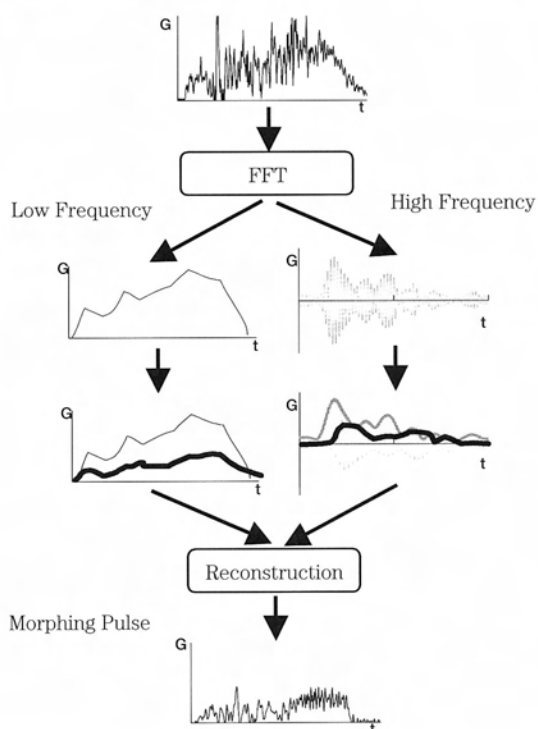


Fig.7 Algorithm of Morphing Technique

ィングと呼んでいる。衝突モーフィングは、衝突速度の異なる2つの衝突波形を基に、それらの間の速度における衝突波形を予測するものである。

Fig.6に衝突現象のモデル化を示す。これは、衝突現象を車体に変形する現象とその時に発生する振動の現象に分けて考えたものである。車体に変形する現象は、衝突波形の低周波成分に相当するもので、図中Aに示すように1つのバネとマスで単純モデル化する。また、振動の現象は、衝突波形の高周波成分に相当するもので、図中Bに示すように特定の振動を発生する振動子を車体の各部に対応させてモデル化する。

Fig.7に衝突モーフィングのアルゴリズムを示す。まず、車体に変形する現象と振動の現象を分けて考えるために、高い速度の衝突波形をFFT (Fast Fourier Transform) を用いて低周波成分と高周波成分に分解する。低周波成分は、車体のエネルギー吸収特性を求め、速度の2乗比によってエネルギーの比を計算し、低い速度の予測を行う。一方、高周波成分は、まずいくつかの周波数帯に

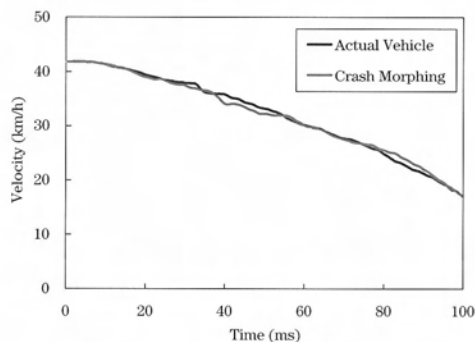


Fig.8 Result of Morphing Pulse

分解し、それぞれの実効値（RMS値）をとる。そして低周波成分の計算同様、エネルギー計算を行い、低い速度の予測を行う。最後に、両者を合成する。Fig.8に衝突モーフィングで得られた衝突波形と実車衝突テストで得られた衝突波形の速度変化を比較した結果を示す。衝突モーフィングにより実車衝突テストの衝突波形を再現させることが可能となっている。この衝突モーフィングで得られる衝突波形を次項で説明する乗員挙動解析シミュレーションやクラッシュシミュレータに適用することにより、短期間かつ効率的に開発を行うことができる。

### 3.2 乗員挙動解析シミュレーション技術

前述の衝突モーフィング技術の活用により乗員傷害予測に必要な衝突波形が得られる。その車体の衝突波形を入力として乗員傷害を最小に抑える内装部品仕様を決めるためのシミュレーション技術について述べる。衝突時に乗員の受ける傷害を低減するためには、エアバッグ・シートベルトなどの乗員拘束装置とインストルメントパネル・ステアリングなどの内装部品の衝撃吸収特性を総合的に向上させながら、バランス良くそれらを設計することが大切である。そのためには衝突中の乗員挙動解析を行い、各々の要因と傷害発生との相関について調べ、最適な仕様を決定していく必要がある。

それらを行うためのツールとしてFig.9に示す乗員挙動解析シミュレーションMADYMO-3Dモデルを使用し、正面衝突・オフセット衝突・側面衝突など様々な衝突モード、子供から大人に至る種々のダミーで発生する傷害値を計算し、仕様の最適化を行っている。これを行う場合、計算精度

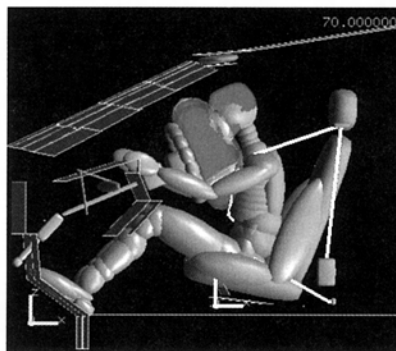


Fig.9 MADYMO Simulation Model

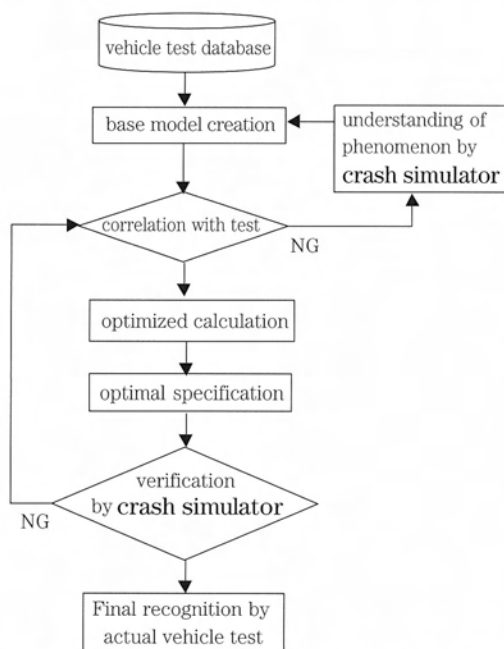


Fig.10 Development Flow with MADYMO

の高いベースモデルを作成することが非常に重要である。

そこでFig.10のフローチャートに示すように、クラッシュシミュレータで得られる実車衝突テストの再現精度の高いデータとの整合を取り、ベースモデルを作り込むことでモデルの解析精度を向上させている。次に、そのベースモデルをもとに最適な仕様を決定するためのパラメータスタディを行い、それらの計算結果から最適な仕様を選び出す。その妥当性についてはクラッシュシミュレータで検証し、検証された最終仕様を実車衝突テストに織り込むステップをとっている。

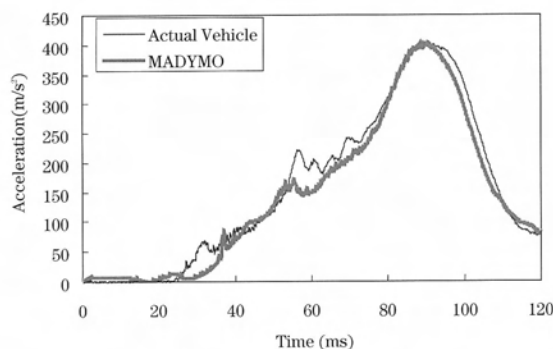


Fig.11 Head Acceleration

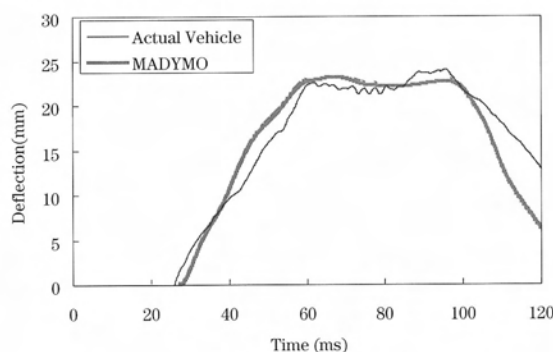


Fig.12 Chest Deflection

この手法で解析した事例について、実車衝突テストとダミーモデルによる計算予測の比較を行なった。Fig.11にダミー頭部加速度波形、Fig.12に胸部変位量の比較を示す。いずれも、実車衝突テストを高精度に予測できている。

### 3.3 クラッシュシミュレータによるテスト技術

クラッシュシミュレータは、高圧の油圧制御により、衝突波形を忠実に再現する装置である。本装置は、乗員傷害発生の現象解明による乗員挙動解析シミュレーションの精度向上と、その乗員挙動解析シミュレーションで決めた仕様の妥当性の検証に活用している。Fig.13に装置の全体像を、Table1に装置の能力を示す。Fig.14に示すように、装置は油圧源・油圧制御装置・制御用PC・速度発生機から構成されており、速度発生機内のバルブによりオイルと窒素ガスをコンピュータで高速に制御することにより衝突波形を発生させている。クラッシュシミュレータでは、Fig.15に示すように実車衝突テストの衝突波形を最大加速度

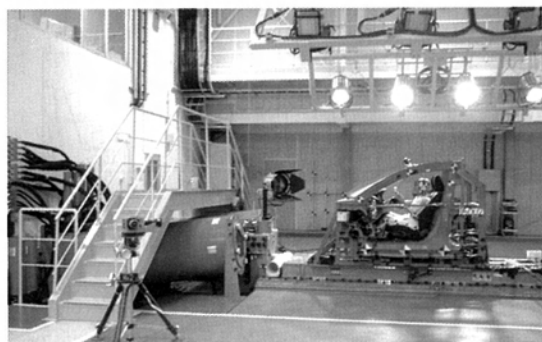


Fig.13 Crash Simulator

Table 1 Crash Simulator Specifications

Piston Stroke	1650 mm
Maximum Rate of Acceleration	78.4 ms/s <sup>3</sup>
Maximum Acceleration	735 m/s <sup>2</sup>
Maximum Velocity	81 km/h
Maximum Dynamic Response	150 Hz

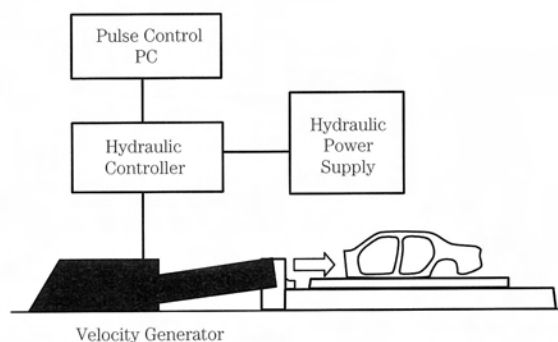


Fig.14 Configuration of Crash Simulator

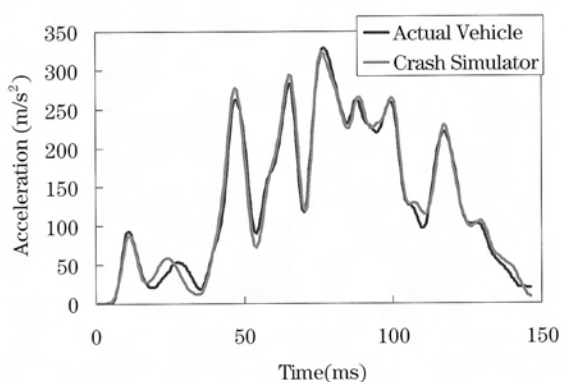


Fig.15 Crash Pulse

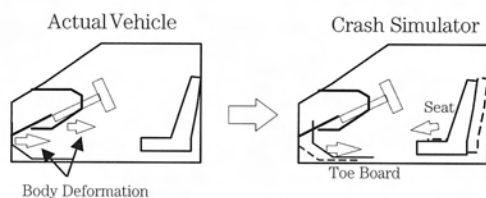


Fig.16 Adjustment of Interior

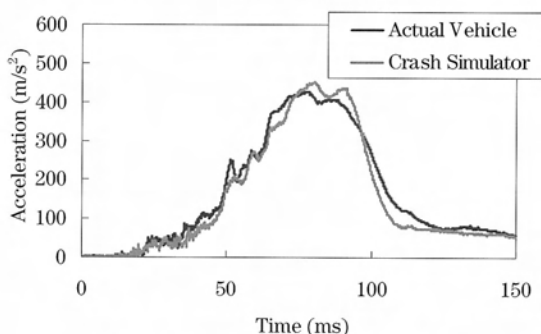


Fig.17 Head Acceleration

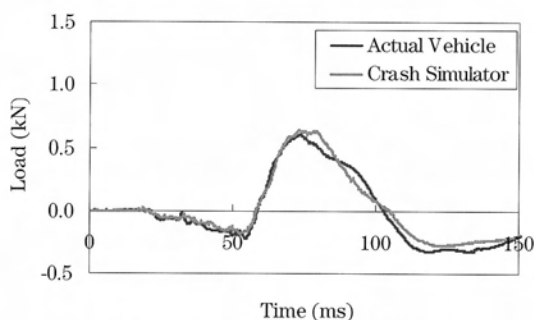


Fig.18 Neck Share Force

の±10%という高い精度で再現することが可能である。

しかしながらクラッシュシミュレータでは、車が沈み込むノーズダイブ現象、車体変形によるトーボードやインパネの後退を再現することが困難である。そこで、クラッシュシミュレータを用いたテストの際には、ダミーの拘束順や拘束タイミングを実車に合わせるために、Fig.16に示すように実車の車体挙動や変形を加味してシート、インパネ等の内装部品の位置等を調整している。Fig.17にダミー頭部加速度波形およびFig.18にダミー首節前後荷重波形を示すが、これらの工夫によりダミーに発生する傷害値も実車衝突テストの±10%以内の精度で再現することが可能である。

このようにクラッシュシミュレータを用いることにより、実車を忠実に再現できるユニットテストが可能となる。さらにはバネマスモデルや有限要素解析により計算される車体減速度や車体変形等を活用することにより、実車を用いることの無いバーチャルなユニットテストが期待できる。

#### 4. おわりに

本報告では、衝突性能開発を短期間で効率的に進めるための開発プロセスとそれを具現化するバーチャルテスト技術について述べた。今後は、市場事故分析調査にも一層力を入れてお客様に喜ばれる安全技術開発と商品化を目指していきたい。

#### 参考文献

- (1) 国土交通省自動車交通局：自動車総合安全情報 深刻化する交通事故の現状 2001年
- (2) 警察庁交通局：平成13年中の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締状況について
- (3) 国土交通省道路局：新道路整備五箇年計画（平成10年5月29日閣議決定）道路ネットワークの体系的整備による安全の確保、特定交通安全施設等整備事業七箇年計画

#### 著 者



伊東紀明



築地 裕



河口健二



渡辺通成



岩本竜彦



尾川 茂

論文・解説

20

## 車両の耐久強度解析手法の開発 Development of Full Vehicle Durability Analysis Method

田 村 秀 二<sup>\*1</sup> 津 村 信 一<sup>\*2</sup>  
Shuji Tamura Shinichi Tsumura

### 要 約

開発期間短縮や軽量化、試作車削減への要求が高まる中、耐久強度開発において、耐久走行やロードシミュレータを用いた加振耐久テストを計算機シミュレーションにより再現できるCAE評価技術が必要となっている。従来マツダでは、静的な応力解析を用いてCAE評価を行ってきた。この解析手法は、一定振幅で単軸加振のベンチテストを模擬しており、走行テストもしくは実働波入力加振テストの状態を再現しきれず、テストとの相関も低かった。このような課題を解決するため、実働波入力下での耐久強度性能を評価できるCAE評価プロセスを構築した。

本稿では、このプロセスの根幹を成す三つのCAE評価手法、①耐久路実走行時に車両各部へ伝達する力の推定手法、②実働波入力により発生する車両各部の応力の推定手法、③②の時系列応力から疲労寿命を予測する手法、について述べる。また、実車テスト結果との比較による評価手法の妥当性検証についても報告する。予測結果とテスト結果の相関は高く、耐久強度性能のCAE評価が可能であることを確認できた。

### Summary

With an increasing demand of the reduced time-to-market, weight saving effort and less prototype initiative, CAE evaluation technique in the durability development must allow the computer simulation to reproduce the actual driving over a proving ground and the laboratory test using a road simulator. Historically, static stress analysis was used to perform CAE evaluations at Mazda. The major concern of the traditional approach was an unsatisfactory correlation between CAE simulation and experiment due to the insufficient simulation for dynamic load of the actual driving test or road simulator test, as to be evaluated was the uniaxial excitation with constant amplitudes of bench test. The resolution to this issue was a construction of an all-new CAE evaluation process of directly evaluating the durability performance for the dynamic road loads.

This paper describes three CAE evaluation methodologies underlying the process; 1) Estimation of the load cascaded to each vehicle component and subsystem while actual driving over the proving ground, 2) Estimation of the dynamic stress on each vehicle component and subsystem derived from dynamic load, and 3) Fatigue life prediction from the dynamic stress time histories 2). It also verifies the validity of the evaluation methodologies by simulation-to-experiment comparisons. The validation demonstrates a high correlation with experiment and a viable CAE evaluation of the durability performance.

\* 1 ~ 2 CAE部  
CAE Dept.

## 1. はじめに

従来マツダでは、車両の耐久強度性能評価において、静的な応力解析が用いられることが一般的であった。この解析手法は、ベンチにおける一定振幅の単軸加振耐久テストを模擬しており、このテストに関する限り、解析予測の精度もまずまずであった。しかし、最終的な耐久強度性能評価となる耐久路走行テスト等、実働波入力によるテストとの相関は低く、解析予測に反してテストで不具合を生ずることが頻発していた。このような課題を解決し、かつ開発期間短縮や軽量化に貢献するため、1998年から実働波入力による車両の耐久強度性能をCAEで評価できる手法の開発に取り組んできた。本稿では、この手法について紹介するとともに、実車テスト結果との比較による手法の妥当性検証結果について報告する。

## 2. 手法全体の概要

Fig.1に、今回取り組んだ解析手法全体の流れを示す。耐久強度性能をCAEで評価する上で重要なポイントは、大きく分けて以下の3つに集約される。

- ① 耐久路実走行時に車両各部へ伝達する力をいかに精度良く推定するか。
- ② ランダムな入力により発生する車両各部の応力をどのように推定するか。
- ③ ②で得られた時系列の応力からどのように疲労寿命を予測するか。

①に関しては、ここ十数年の間に多くの取り組み事例があり<sup>(1)~(3)</sup>、機構解析ソフトを用いた入力予測手法が主流となっている。そこで、今回の取り組みにおいても、マツダで操安性評価を中心に広く用いられている機構解析ソフトADAMSを用いた検討を行い、テストとの比較により妥当性の検証を行った。②については、車両の有限要素モデルに時系列の入力をインプットした過渡応答解析により時系列の応力応答を得る方法と、時系列入力と単位入力時の応力応答を重ね合わせして時系列応力応答を得る手法の2通りが考えられる。今回の検討では、これら両方を行った上で、テスト結果との比較評価を行った。③に関しては、様々な方法が存在するが、近年、実績のあるマイ

ナー則を用いて寿命予測を行うソフトウェアが多く出ている。今回の検討においては、これらのうちMSC社のFatigueとLMS社のFALANCSを用いてパネルの亀裂発生、スポット溶接部での亀裂発生予測を行い、実車テストの結果と比較評価を行った。それぞれの詳細について、次章以降に述べる。

## 3. 入力予測解析手法

車両各部への伝達力を把握する方法として、(a)入力を直接計測する、(b)スピンドル入力のみを計測し、これを機構解析のインプットとして入力伝達を計算する、(c)タイヤを含めた車両モデルと路

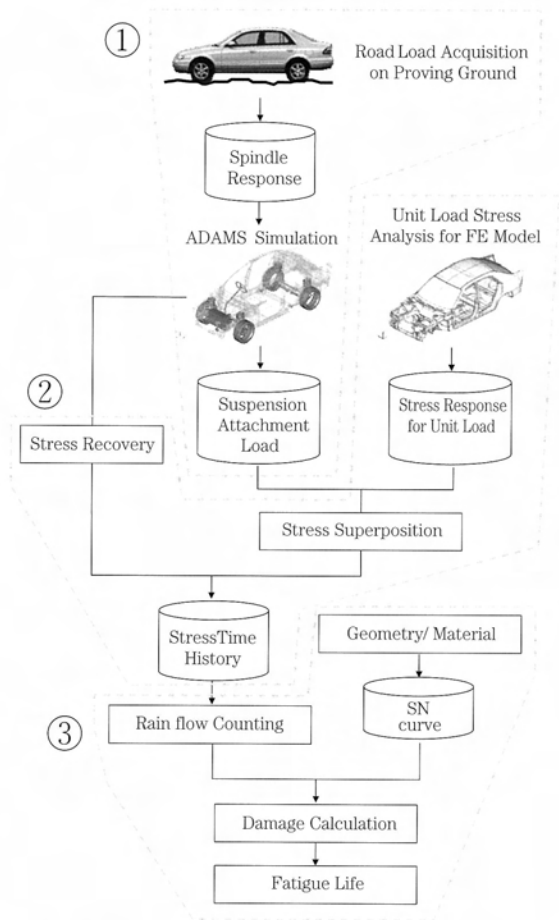


Fig.1 Durability Analysis Process



面形状を組み合わせ、計算だけで入力を求める、の3つが考えられる。しかし、(a)は計測工数が膨大であることから現実的でなく、(c)は現状では十分な精度が得られるタイヤモデルが存在しない、という問題がある。そこで、本検討では、(b)の手法を採用して入力予測を行っている。入力予測の対象は、耐久路走行状態ではなく多軸ロードシミュレータでの加振耐久テストとした。

この理由として、(1)多軸ロードシミュレータの進歩により実走状態の再現が比較的容易となった、(2)多軸ロードシミュレータ活用により、試験期間の短縮・試験項目の多岐化を図ることができ、CAE技術と連携して実走状態の現象分析に開発の重点が置かれつつある、(3)耐久路走行に比べ再現性が高くCAEの精度検証が容易、の3つが挙げられる。以下に、マツダに導入済みの多軸ロードシミュレータの活用について概説し、路面入力手法について説明する。

### 3.1 多軸ロードシミュレータの活用概要

対象とする多軸ロードシミュレータは、16チャンネル4輪多軸タイプと12チャンネル2輪多軸タイプであり、スピンドルを通じて車両のサスペンションに加わる荷重とモーメントを再現する。すなわち、16チャンネル4輪多軸タイプ (Fig.2) では各輪に対し上下・前後・左右及びブレーキ入力の再現、12チャンネル2輪多軸タイプでは各輪に対しステア、キャンバーモーメントも含めた6自由度入力が再現できる。マツダでは16チャンネル4輪多軸タイプは主にボデーを対象にした耐久試験、12チャンネル2輪多軸タイプは主にシャーシを対象にした耐久試験に活用している。

車両走行状態の再現手法には、Fig.3に示すように、ロードシミュレータ制御入力 (Drive File)



Fig.2 16 Channel Multi-Axis Road Simulator

と車両応答 (Achieved Response) の伝達特性 (H) を基に、ロードシミュレータと車両走行時の車両応答の誤差が収束基準を満足するまで、各輪の複合・ランダム入力の補正を繰り返す手法を用いている。マツダではこの手法により車両各部の荷重・歪応答を車両走行時との誤差で最大約10%に抑えている<sup>(4)</sup>。

### 3.2 入力予測解析モデルの構築と解析手法

入力予測用の機構解析モデル構築の流れをFig.4に示す。今回対象とした車両は、サスペンション形式がフロント、リヤともマクファーソンストラット式の小型乗用車である。車両モデルのうちボデーを除くサスペンション他は車両専用ADAMSモデルのプリプロセッサであるADAMS/Preを用いてモデル化した。サスペンションアーム類、ステアリングシャフト類、エンジンは剛体要素で表現し、ゴムブッシュやショックアブソーバーは非線形特性を考慮した要素で表現した (Fig.4 (1))。ボデーについては、剛性や振動特性が車両全体の挙動、強度に与えると考えられることや、後に過渡的な応力応答を導出するため、車体振動解析用の38,000節点のTrimmed Body FEモデルを使用し

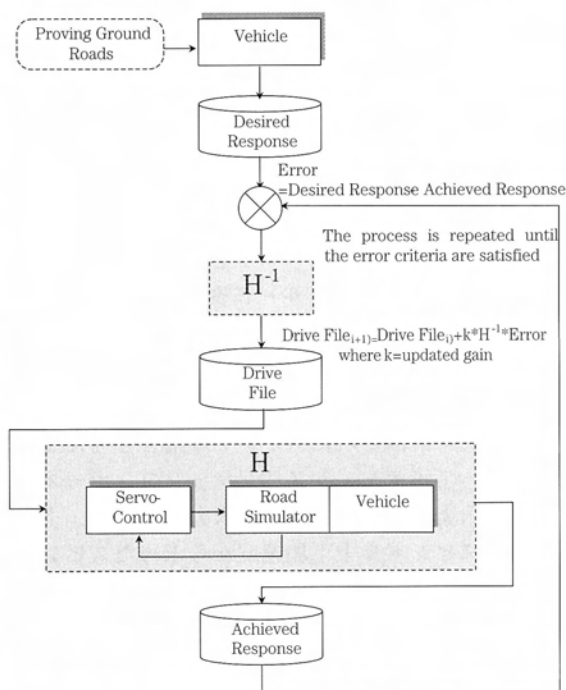


Fig.3 Drive File Generation Process of Road Simulator

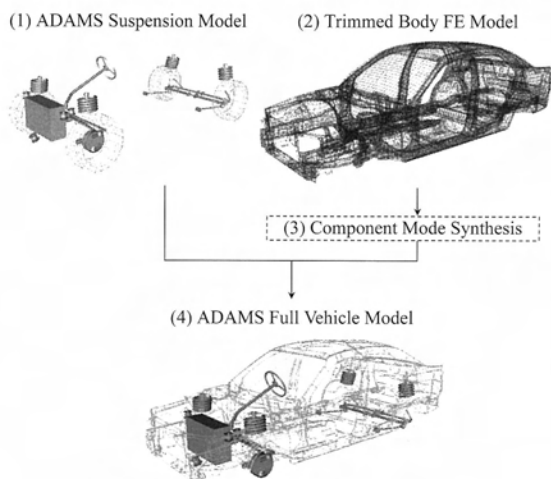


Fig.4 Full Vehicle Model Structure

た。このモデルは、フタ物、装備品等の重量物も集中マスでモデル化し、全体重量の他、静的剛性、低周波振動特性も実車と整合を取っている (Fig.4 (2))。このTrimmed Body FEモデルはこのままでは自由度が大きすぎるため、NASTRANの拘束モード法を用いた固有値解析を行い、モードパラメータにより自由度を縮約した (Fig.4 (3))。本検討ではサスペンション取り付け点、ステアリング取り付け点、エンジンマウントの計35点を外点とし、低次から20モード（共振 $f_n \sim 34.4$  (Hz)）を抽出した。従って、 $20 + 35 \times 3 = 125$  (DOF) からなるモーダルモデルを選択し、ADAMSにインポート可能なデータ（モーダルニュートラルファイル）に変換しADAMS汎用プリプロセッサADAMS/Viewを用いて、車両モデルへの組み込みを行った (Fig.4 (4))<sup>(5)</sup>。

この車両モデルのスピンドル位置にロードシミュレータで計測されたスピンドル応答を与えることによってボデー、サスペンションコンポーネントへの入力伝達を計算する。入力データは、上下方向はスピンドル上下加速度から求めたスピンドル変位、上下方向以外はロードシミュレータ上の車両のリムに装備した6分力計で計測されたスピンドル力、を用いた。上下方向入力に変位を用いた理由は、力入力の場合は、わずかな計測データの誤差や、モデル、特に慣性特性の不正確さがモ

デルと実車両の挙動に差異を生じさせるためである。

#### 4. 入力予測解析結果

ロードシミュレータのシミュレーションにより、ボデーへの入力、ボデーの変形および応力状態を計算し、テスト結果と比較して解析手法の妥当性を検証した。

##### (1)ボデーへの入力

耐久性評価の面から見ると、時々刻々の応答の再現のみならず、その頻度処理結果の再現性が重要である。そこで、Fig.5にサスタワートップへの時系列入力の結果、Fig.6にそれを頻度処理したヒストグラムの結果を示した。時系列波形、ヒストグラムとも計算結果とテスト結果の整合度合いは高く、本解析手法を用いて耐久性評価に関する入力予測が可能であることが確認できた。

##### (2)ボデーの変形状態

ボデーの変形状態において重要なことは、耐久性性能に対して支配的な変形モードを再現することである。そこで、本検討では周波数領域における

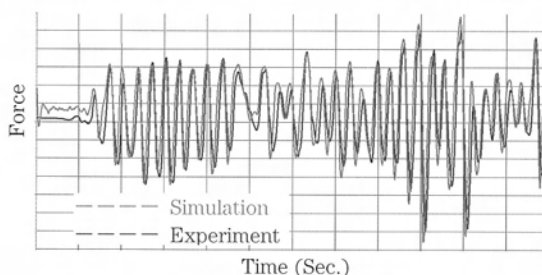


Fig.5 Sus. Tower Top Force (Time History)

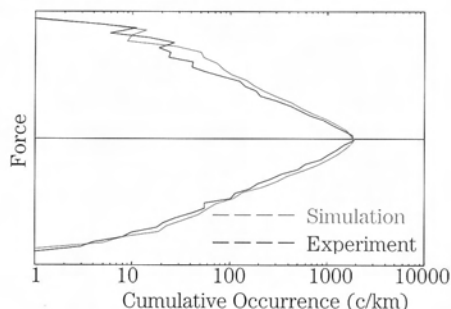


Fig.6 Sus. Tower Top Force (Cumulative Occurrence)

分析手法を用いた。まず、Fig.7にボデーの加速度評価部位で得られたx, y, z各方向の加速度のPSDを全て積算した結果を示す。加速度評価部位は片側12点、左右合わせて24点とした。PSD分析によるテスト結果と計算結果の波形パターンは良く一致しており、ピーク周波数・レベルの整合度も高いことがわかる。最初のピーク周波数f1は、バネ下共振周波数と一致しており、f2は車体2節曲げ周波数と一致している。さらに、f1, f2におけるボデーの変形モード、及びMAC (Modal

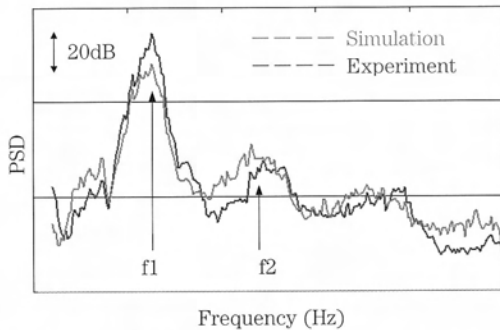


Fig.7 Integrated PSD of Body Acceleration  
Comparison of Experiment with Simulation

f1 (Hz)	Experiment	
MAC 0.68	Simulation	
f2 (Hz)	Experiment	
MAC 0.78	Simulation	

Fig.8 Body Deformation Mode and MAC value  
Comparison of Experiment with Simulation

Assurance Criteria) 値の比較をFig.8に示す。テストと計算の変形モードの相関は、一般的に相関が高いと言われる0.7程度であり整合度は高い。

### (3)ボデーの応力状態

前述のように、ADAMSモデルに弾性ボデーを組み込んだことにより、過渡的な応力をリカバリーすることが可能である。この手法で得られた応力応答をテストと計算で比較した。Fig.9にサスハウジング、サブフレームの比較部位を示す。なお、テスト時の応力ゲージは両部位とも単軸ゲージを一方のみに貼付している。各部位での比較結果を、それぞれFig.10, 11に示す。サスハウジ

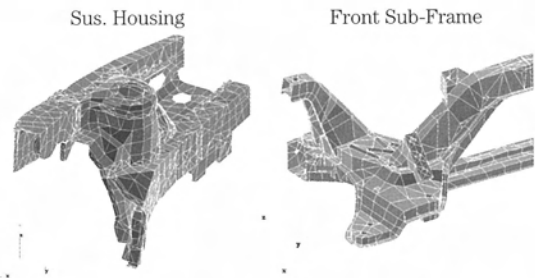


Fig.9 Stress Evaluation Location

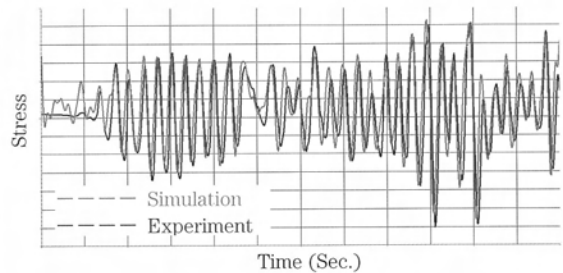


Fig.10 Stress Response Time History  
(Sus. Housing)

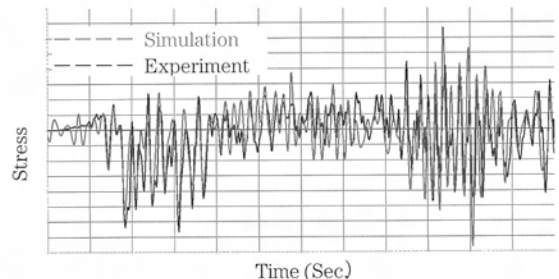


Fig.11 Stress Response Time History  
(Front Sub-Frame)

ングにおける比較結果は高い整合度を示している。一方、サブフレームでの比較結果では全体的な傾向は良く一致しているが、部分的に再現度の低い箇所が見られる。

この要因としては以下の2点が考えられる。①解析側の問題として、FEモデルのメッシュサイズが十分に詳細でない。②サブフレームでは、ロアコントロールアーム前後取り付け部からの入力、他、エンジンメンバーを介したエンジンの挙動による入力など、多くの入力経路があり、多軸応力下にある。従って、計測側の問題として、単軸ゲージのみの結果からは高い整合度を得るのは容易でない。

## 5. 疲労寿命予測

Fig.12に疲労寿命解析の流れを示す。このプロセスは、前述のようにマイナー則をベースにしている。マイナー則とは、ある一定応力振幅 $\sigma_i$ に対する寿命を $N_i$ とすると、 $\sigma_i$ が $n_i$ 回繰り返されたときの損傷率を $n_i / N_i$ と考え、これをすべての応力振幅 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots$ について線形に加算した次式により累積疲労損傷度 $D$ を求める。そして、この式において $D=1$ が寿命であるとする方法である。

$$D = \sum n_i / N_i$$

MSC社Fatigue, LMS社FALANCSはじめ、ほとんどの市販疲労寿命予測ソフトに共通した手法である。ユーザーは、疲労寿命予測の対象とする部位の応力時系列データ（実測、FEM）、および対象部材のSNデータをインプットすることにより、疲労寿命を予測することができる。今回、解析対象として、前述の入力予測と同一の小型車を用い、4輪多軸ロードシミュレータによる耐久テスト時のパネル亀裂とスポット溶接部の亀裂・抜けの再現を目的とした検討を行った。

### 5.1 応力時系列データの作成

前章に示したように、ADAMSを用いたシミュレーションにより、応力時系列を精度良く予測することが可能である。しかし、車体全体を寿命予測の対象とする場合、時系列応力データの容量が膨大となり現実的ではない。そこで、ここでは寿命予測ソフトの一機能である単一入力時の応力応答と実働入力から時系列応力を生成する手法を用いた。Fig.13に応力生成の流れを示す。今回用い

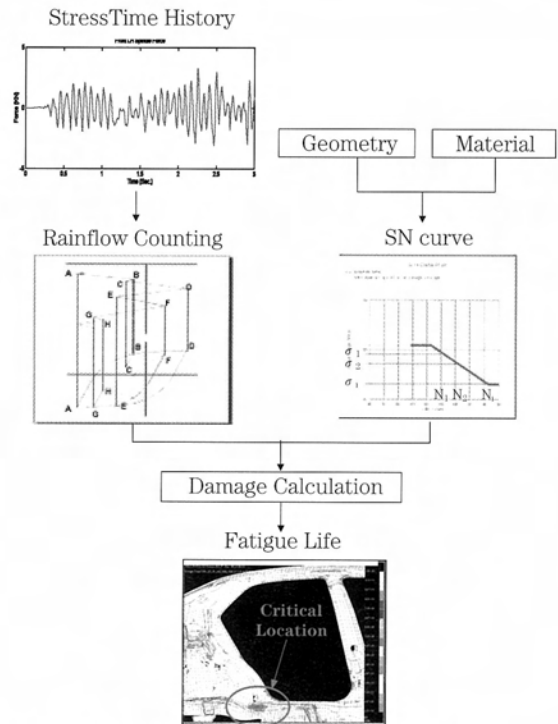


Fig.12 Fatigue Life Prediction Method

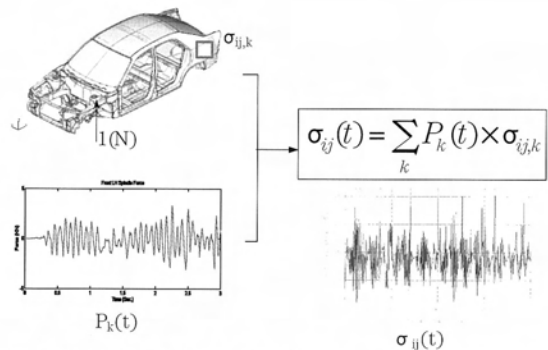


Fig.13 Quasi Static Stress Superposition Method

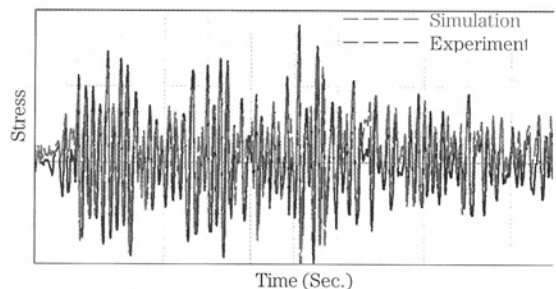


Fig.14 Stress Time History Comparison of Experiment with Simulation

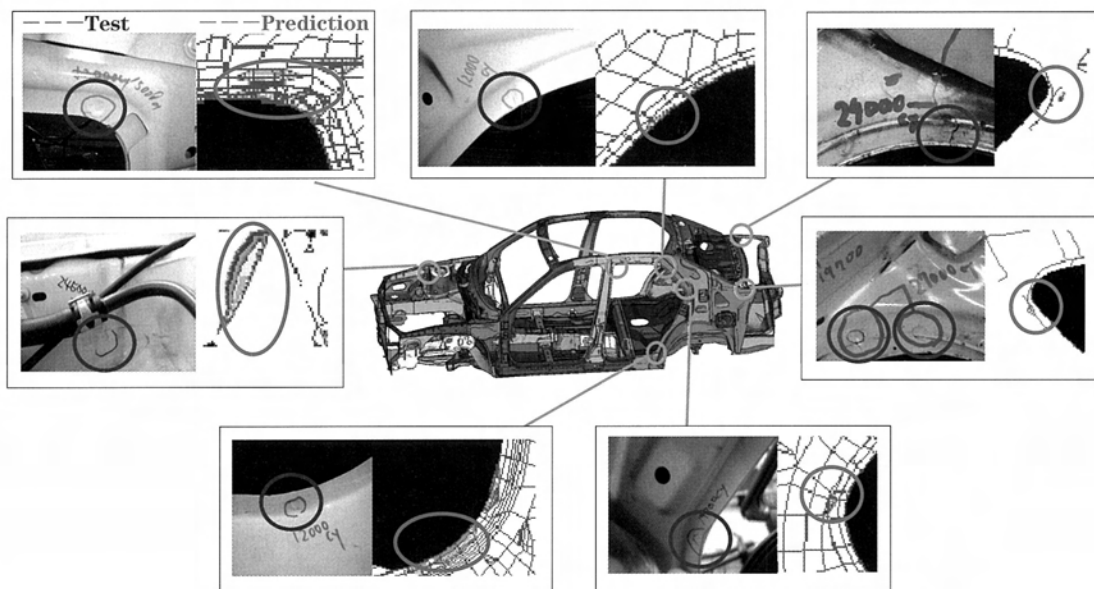


Fig.15 Critical Spot Comparison of Test with Prediction

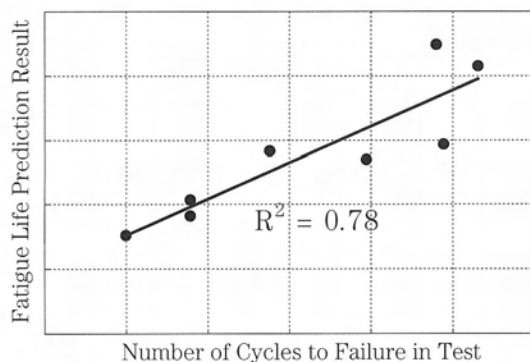


Fig.16 Sheet Metal Fatigue Life Comparison of Test with Prediction

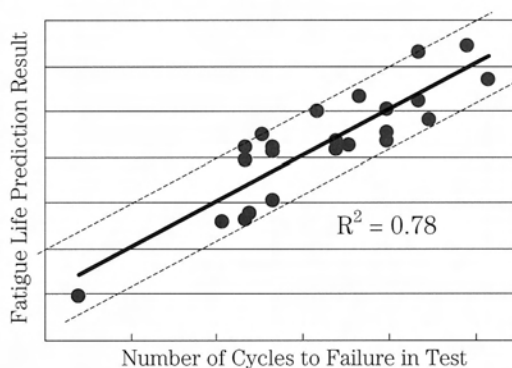


Fig.18 Spot Welds Fatigue Life Comparison of Test with Prediction

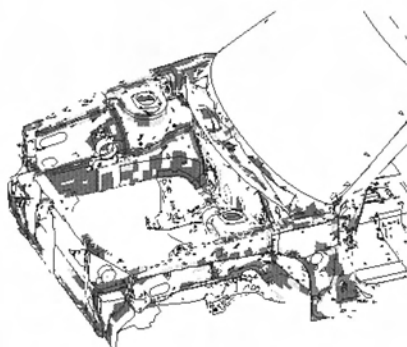


Fig.17 Contour Plot of Spot Welds Fatigue Life

た手法は、準静的な手法であり、単一入力解析にはNASTRANのInertia Relief解析を使用している。単一応力応答と前述のADAMSによる実働入力を組み合わせて得られた時系列応力応答と実測との比較結果をFig.14に示す。この結果を見ると、生成された時系列応力はテストと良く一致しており、寿命予測が可能であると判断した。

## 5.2 疲労寿命予測結果

Fig.15にパネル亀裂の予測結果とテスト結果の比較を示す。解析予測結果は寿命のコンタ図であり、赤色に近いほど寿命が短いことを示す。テストの亀裂発生部と解析でクリティカルな部位は良

く一致しており、今回の手法で亀裂発生部位の特定は可能であることがわかる。また、Fig.16にはテストでの亀裂発生回数と解析での寿命予測結果の相関を示す。今回の例では、0.78と高い相関結果となったが、サンプル数が少なすぎるため、今後のデータ蓄積が重要である。次に、スポット溶接部の亀裂・抜け予測結果の一例をFig.17に、解析予測結果とテスト結果の相関をFig.18に示す。なお、スポット溶接部の寿命予測においては、パネル亀裂予測を実施した供試車に2車種を加えた3車種分のデータを用いている。この結果を見ると、解析とテストの相関は約0.8と高く、バラツキも±20%以内に入っており、実用十分の精度と言える。

## 6. まとめ

ボデーのFEM解析とサスペンションの機構解析を統合した車両モデルを構築し、ボデーの弾性変形・弾性振動を考慮しつつ、走行時もしくは加振時のランダムな実働入力に対応できる車両耐久強度解析手法を開発した。その結果、以下の結論が得られた。

- (1) 走行時もしくは加振時に車両各部へ伝達する力、応力の時系列がテスト結果と高い整合度を示すことが確認できた。
- (2) (1)で得られた時系列応力からパネル亀裂、スポット溶接部の亀裂・抜けの部位の特定のみならず、寿命予測においてもテスト結果と高い相関性が得られることが確認できた。

今後は、データの蓄積を継続的に行い、本解析手法の信頼性を向上させて行く。また、開発初期段階での耐久強度性能評価を充実させるべく、試作車のない段階での入力予測解析手法の開発に注力する。

## 参考文献

- (1) 石津 他：実走行強度予測に関する考察，自動車技術会学術講演会前刷集 954，1995，p.41-44
- (2) 勝野 他：悪路走行時のボデー入力予測手法について，自動車技術会学術講演会前刷集 963，1996，p.105-108
- (3) 杉浦 他：操安性，乗り心地及び強度・剛

性CAE の一元化システムの開発，MAEテクニカルレポート No.8，1999，p.16-21

- (4) 飯坂 他：実験領域におけるMDIの紹介—強度信頼性開発—，マツダ技報 No.18，2000，p.36-42
- (5) 山崎 他：車体弾性特性を考慮した機構解析技術，自動車技術会講演会前刷集 973，1997，p.133-136

## ■ 著 者 ■



田村秀二



津村信一



論文・解説

21

## シート快適性の追求 Pursuit of Seating Comfort

沖 山 浩<sup>\*1</sup> 道 田 奈々江<sup>\*2</sup> 西 川 一 男<sup>\*3</sup>  
Hiroshi Okiyama Nanae Michida Kazuo Nishikawa  
農 沢 隆 秀<sup>\*4</sup>  
Takahide Nouzawa

### 要 約

近年快適性へのニーズが高まる中、自動車用シートの快適性についても、「ソフト感」、「振動乗り心地」、「ホールド性」、「疲労」等、多様な視点で研究がなされている。このうち「ソフト感」や「振動乗り心地」については、シートの物理特性や主観評価を主な研究手法として多数報告がある。一方、シートについての市場調査を見ると、長時間運転での腰の痛みや疲れを和らげて欲しいとの要望が多く見られるが、自動車用シートで、こうした身体的な負担について分析した研究例は少ない。

このため本研究では、運転者にとって身体的な負担が大きいと考えられるカーブ走行時の「ホールド性」と長距離走行での「疲労」を取り上げ、これら負担のメカニズムについて考察した。分析にあたっては主観評価に加え、運転者の姿勢・動きや筋活動などの客観的な評価手法を導入し、それらに関係づけることにより、負担が不安定な身体の動きや姿勢を解消するための筋活動に起因すると考えられる結果を得た。

### Summary

As comfort's need is focused on in recent years, seating comfort for automobile is studied from various viewpoints; 'softness feel', 'ride quality', 'lateral support' and 'fatigue'. In terms of 'softness feel' and 'ride quality', substantial number of studies by seat physical property and subjective evaluation are seen. Meanwhile, a lot of complaint of seat is reported from market survey in conjunction with lumbar pain and fatigue during long hour driving, although the study on such physical burden on driver is few.

Thus, this study dealt with 'lateral support' during cornering and 'fatigue' during long hour driving that were thought to be major burden on driver, in order to know their mechanisms. For the analysis, we introduced objective evaluation method to observe drivers' posture, motion and muscle activity in addition to subjective evaluation. Clarifying the relation among them, results were obtained in which physical burden is thought to come from the muscle activity to ease unstable body motion and posture.

\* 1, 2 装備開発部  
Component Development Department

\* 3, 4 車両実研部  
Vehicle Testing and Research Department

## 1. はじめに

自動車の快適性に関するニーズは年々高まっている。乗員に直接接する部品としてシートについても、「ソフト感」、「振動乗り心地」、「ホールド性」、「疲労」等、快適性の面で多様な視点から研究がなされている。このうち「ソフト感」は静たわみ試験<sup>(1)</sup>により、また「振動乗り心地」は振動測定<sup>(2)</sup>により、シートの物理特性を定量化し、主観評価と相関を取りながら評価を行なう手法が従来から広く用いられている。一方、シートへの要望について市場調査の結果を見ると、長時間運転での腰の痛みや疲れに関するものが多く、長時間運転の際に遭遇する厳しい走行条件や、長時間にわたる運転そのものが、シート快適性にとって重要な要素であると考えられる。これらの分析には、その条件下にある人体の状態を調べることが重要と考えられるが、自動車シートでの研究例は少ない<sup>(3)</sup>。

このため本研究では、運転者にとって身体的な負担が大きいと考えられるカーブ走行時の「ホールド性」と長距離走行での「疲労」を取り上げ、これら負担のメカニズムについて、運転者の身体の動きや筋活動などの客観的な評価方法を導入することで考察する。

## 2. カーブ走行時の「ホールド性」

### 2.1 実験方法

#### 2.1.1 被験者

予備的に行なった被験者7名による走行実験から、シートホールド性不足に敏感な3名の男性(身長161~178cm, 体重55~74kg)を選んだ。

#### 2.1.2 供試シート

シートは、市場調査会社による調査結果に基づいて、評価の良いシート(V)と良くないシート(W)を選んだ。

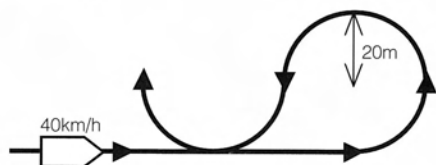


Fig.1 Driving condition for lateral support evaluation

#### 2.1.3 課題

全被験者に、一般公道で見られる最も厳しいレベルのカーブ走行課題を与えた。一定車速40km/hを保ちながら、直線走行からまず左に舵を切り、半径20mの左円旋回を行ない、4分の3周旋回したところで右に舵を切り、右円旋回を行なうものである(Fig.1)。

#### 2.1.4 計測項目

被験者の身体の動きや姿勢を知るため体圧分布を、筋活動から身体負担を検討するため表面筋電位を測定した。また車両状態量については、横方向加速度を測定した。

体圧分布については、クッション、バックレストそれぞれにフィルム型の圧力センサーシートを敷いた(Fig.2)。各センサーシートは、縦方向48個、横方向44個のセンサーが10mm間隔で配列されたものである。筋電位は、Ag-AgCl電極を用い、電極間距離を25mmとした双極導出法で測定した。測定部位は、脊柱に沿って、第5/第6頸椎間(C5-6)、第2/第3胸椎間(T2-3)、第6/第7胸椎間(T6-7)、第9/第10胸椎間(T9-10)、

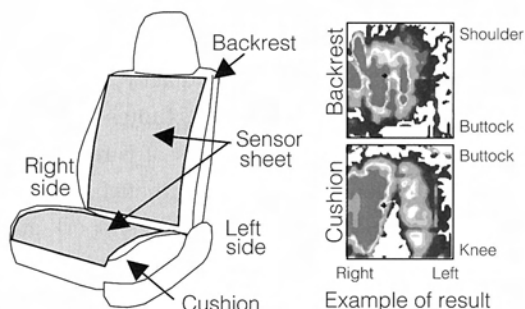


Fig.2 Seat pressure distribution measurement

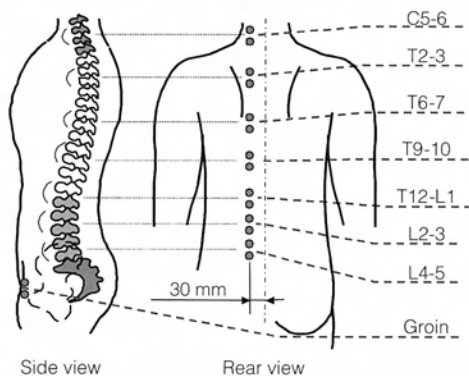


Fig.3 Location of EMG electrodes

第12胸椎／第1腰椎間 (T12-L1), 第2／第3腰椎間 (L2-3), 第4／第5腰椎間 (L4-5), の7か所であり, いずれも正中線の30mm左側に電極を貼った。また腰椎と連動する骨盤の動きを見るため, 腸腰筋にも1か所貼った (Fig.3)。車両の横方向加速度は, 車両中心線上で運転席横のコンソール上で測った。いずれの測定も, 最初の左旋回の直前から, 右旋回の終盤までを含む20秒間にわたり行なった。

## 2.2 結果と考察

### 2.2.1 身体の動きの特徴

まずカーブ走行での運転者の身体の動きについて2脚のシートでの差異の概略を調べた。Fig.4に横方向加速度が最大のときの体圧分布図を示す。各図中にこのときの体圧分布重心を菱形で, 横方向加速度が最大に至るまでの体圧分布重心軌跡を実線で合わせて示した。

このFig.4を見ると, ほとんどの場合シートWでの重心軌跡が, シートVでの重心軌跡より長い。このことから, シートW上で運転者がより大きな身体の動きを示したことが分かる。

また同図のバックレスト上で, 背中の正中線に相当する圧力の谷間に注目すると, 被験者A, BのシートW上ではこの谷間が, 背中の中ほどの高さで外側にカーブしている (点線で図示)。これは, シートW上で運転者の脊柱が横方向に曲がっていたものと考えられる。

さらにシートW上で左側から中央にかけての圧力が低めであると分かるが, 特に被験者B, Cのバックレスト左下側の圧力が下がっている。これ

は左腰部がシートから離れようとしていることを示すと考えられる。

### 2.2.2 運転者の身体の動きの経時変化

上述の身体の動きが, どのような時間経過で起きているかを調べるため, 体圧分布をシートのエリア別に分割し, 各々のエリアに掛かる体圧の時間変化を分析した。Fig.4で運転者の身体の動きが主に横方向であったことから, シートを横方向に分割し, シートの右半分だけを分析の対象とした。これはシートの右半分が, 最初の旋回で身体を支える側であり, より多くの情報を含むと考えられるためである。さらに上述の右半部分をさらに縦長に3分割し, シート中心線から外に向かい順に「内 (In)」, 「中 (Mid)」, 「外 (Out)」エリアとした (Fig.5左)。これら各エリアで, そのエリアが受けた荷重の, センサーシート全体で受けた荷重との比をエリア比率と定義した。

エリア比率 (%)

$$= \frac{\text{各エリアで受けた荷重}}{\text{センサーシート全体で受けた荷重}} \times 100$$

このエリア比率の経時変化を, 横方向加速度の経時変化と同期させ分析した。被験者A, Cの例をFig.5に示す。

ここで, 「外」および「中」のエリアを見ると, シートVではエリア比率の値が1秒程度で最大レベルに達し (図中に斜太矢印で示す), 最初の左旋回の終わりまでほぼ一定値を保っているのに対し, シートWではエリア比率の立ち上がりが遅く,

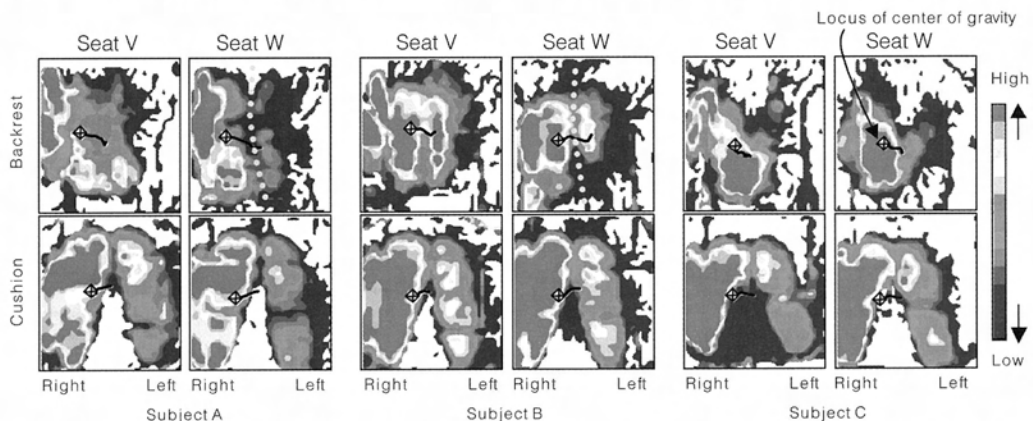


Fig.4 Seat pressure distribution of each subject at the maximum lateral acceleration

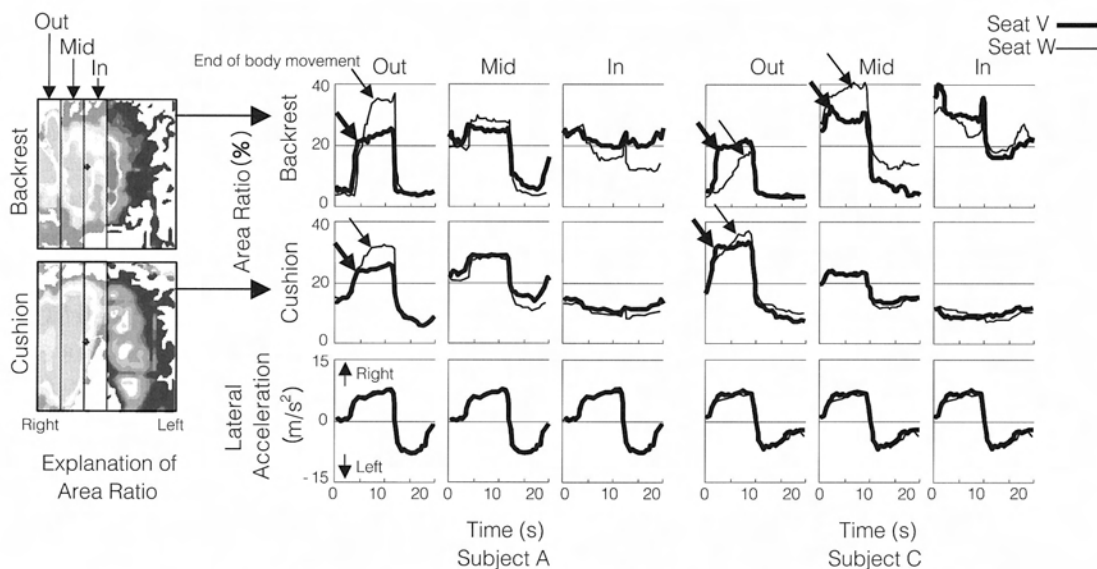


Fig.5 Changes of area ratios in each area and lateral acceleration as time past.

最大レベルに達するのに（図中に斜細矢印）数秒かかっている。この結果は、シートVでは運転者の身体の動きが瞬時に止められたのに対し、シートWではより長い時間動き続けたことを示している。また「内」エリアを見ても、シートVで旋回前後や旋回中に、比較的安定した値を維持しているのに対し、シートWではバックレストで値の変化が大きい。これは、シートVでは身体が終始安定してシートに接しているのに対し、シートWでは、身体がバックレストから離れそうになり、不安定な状態にあるためと考えられた。

### 2.2.3 運転者の身体的な負担

運転者の身体的な負担を調べるため、筋電位を分析した。まず2脚のシートの差異の概略をつかむため、筋電位の経時変化を見た。Fig.6に被験者A、Cの腸腰筋の例を示す。旋回に入る瞬間にシートVよりもシートWで大きなピークが現れていると分かる。これは突然の大きな横方向加速度的発生に対し動こうとする身体を止めるための、瞬発的な筋活動と考えられる。一方のシートVでは、筋が大きく使われる前に、身体の動きが止められたものと考えられる。

さらに、筋が大きく使われた身体部位を特定するため、身体部位ごとに筋活動の大きさを両シートで比較した。ここでは筋電波形を整流後、積分して求めるiEMGを用い、シートVに対するシー

トWの比をとることで比較した。特に大きな横方向加速度下での筋活動を見るためiEMGは、最初の左旋回中で横方向加速度が最大値の70%以上となった区間について算出した。Fig.7は被験者A、Cについて、シートV上でのiEMGに対する、シートW上でのiEMGの比を示したものである。すなわち、ここで比が1.0を超えると、シートW上での筋の使われ方が、シートV上より大きかったことを示す。被験者Aは、首（C5-6）、胸郭（T2-3、T6-7、T9-10）と腸腰筋において、また被験者Cでは、胸郭上部（T2-3、T6-7）と腰椎部（L2-3、L4-5）で、大きな筋活動が見られた。いずれの被験

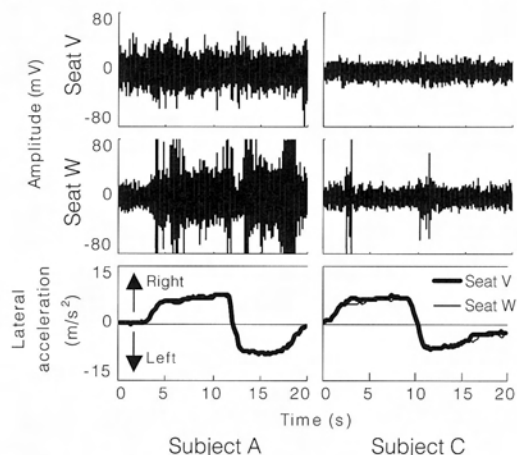


Fig.6 EMGs at groin and lateral acceleration

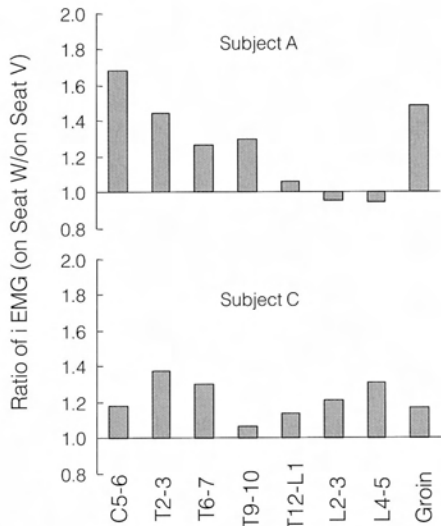


Fig.7 Ratio of iEMG level on Seat W to that on Seat V

者においてもシートWでは、胸郭上部および、腰椎または腸腰筋で、筋がよく使われていた。胸郭上部と腰椎の筋肉は曲がった脊柱を真っ直ぐにする働きに使われ、また、腸腰筋は腰がシートから離れようとする動きを引き戻そうとする働きに使われたものと考えられる。

### 2.3 ホールド性メカニズムの考察

Fig.8にこれまでの計測結果に基づき運転者の身体の動きを模式的に表わしたものを示す。ホールド性については以下のように整理できると考えられる。

- (1)「ホールド性」の低いシートの場合、カーブ走行で運転者に大きな身体の動きが生じる。その際、カーブの内側に当たる身体の半分がシートから離れようとしたり、脊柱が横方向に湾曲するといった、不安定な身体の動きが生じる。
- (2)この不安定な身体の動きは、空間的に大きいだけでなく、時間的にも長く持続する。
- (3)これらの不安定な身体の状態を解消しようとするため、筋活動が活発になり、運転者の身体的な負担が増大する。

## 3. 長距離運転での「疲労」

### 3.1 実験方法

#### 3.1.1 被験者

予備的行なった走行実験に参加した7名の中

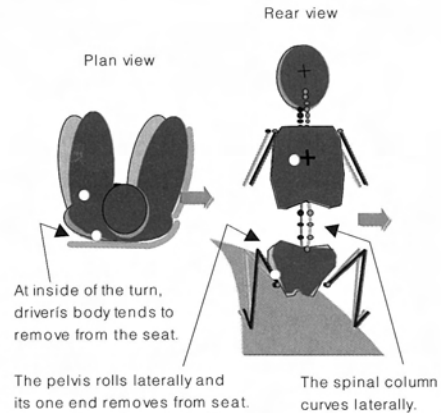


Fig.8 A schematic model of the driver's movement while cornering

から、より明瞭に疲労を訴えた3名の男性(身長161~181cm, 体重55~64kg)を選んだ。

#### 3.1.2 供試シート

予備的な走行実験で、シートの支持の特徴により疲労の度合いが大きく変わると見られたことから、シートの支持の特徴が異なるシート(X, Y1, Y2, Y3)を供試した。このうちシートXは、市場調査会社による調査結果から、最も評価の高いものを選んだ。シートY1, Y2, Y3は、被験者毎にシートの支持の特徴を変えるようシートXを改造したものである。すなわち、i) シートY1は、腰椎下部の支持を不十分とするためバックレストの腰椎下部付近の張り出しを小さくし、被験者Fに供した。ii) シートY2は、胸郭上部を圧迫するようバックレスト上端を硬く張り出させ、被験者Gに供した。iii) シートY3は、胸郭への支持を不十分にするためバックレスト上部を後方に遠ざけ、被験者Hに供した。

#### 3.1.3 課題

各被験者に、1日につき1脚ずつ1回90分間の連続走行を課した。シート以外の影響を排除するよう、周回テストコース上での一定速(時速約100km)の走行とした。長時間走行での疲労を顕著に出現させるよう、疲労を緩和する背伸びや座り直しは禁止し、運転に必要な動作以外は控えるよう予め指示を与えた。

#### 3.1.4 計測項目

主観評価を実施するとともに、体圧分布と筋電位を測定した。

主観評価は、首、肩、背中、腰の疲労感について、90分間中5分毎に、0の「全く問題ない」から10の「極めて悪い」までの11段階評価で、口頭で回答させた。体圧分布および筋電位については、ホールド性評価の際と同様の方法で測定した。ただし測定時間は90分とした。

### 3.2 結果と考察

主観評価、姿勢の変化、身体的負担をそれぞれ順に分析したのち、それら三者の関係を整理する。

#### 3.2.1 主観的疲労

主観的評価による疲労の大きさを、シートXとシートY1、Y2、Y3で比較する。このため、シートY1、Y2、Y3での疲労評定値からシートXでの疲労評定値を引いた値を縦軸に、経過時間を横軸に取り、Fig.9に示す。疲労の訴え方は個人による差が大きいため、被験者別に身体部位に注目してシートによる差を見ると、被験者Fの場合、腰椎下部の支持が不十分なシートY1で、背中や腰の疲労が早い時期から比較的大きな増加を示した。被験者Gの場合、胸郭上部が圧迫されたシートY2で、顕著な疲労が背中で報告された。被験者Hは、

胸郭支持が不十分なシートY3で、首、肩、背中

#### 3.2.2 運転者の姿勢変化

90分間の運転中の姿勢変化について、評価開始から30分おきのバックレストの体圧分布図をFig.10に示す。図の右端には、バックレストの高さ位置ごとの支持状態を見るため、横方向体圧積分値がバックレスト全体の体圧積分値に占める割合を示した。

被験者Fの場合、シートY1で意図した腰椎下部の支持不足が走行中を通じて生じている。また時間経過に伴い胸郭上部の接触面積と圧力は徐々に減少し、胸郭下部の圧力が次第に増加していることから、次第に胸郭上部はシートから離れ、胸郭下部がシートに押しつけられていったものと考えられる。これらの変化は、姿勢がいわゆる猫背になってゆく様子を示すものと考えられる。被験者Gの場合、シートY2では終始、胸郭上部の圧力が非常に強い一方、胸郭下部では比較的低い圧力を示した。また時間経過に伴って、胸郭の最下部の圧力が増加し、バックレスト下端の圧力を生じて

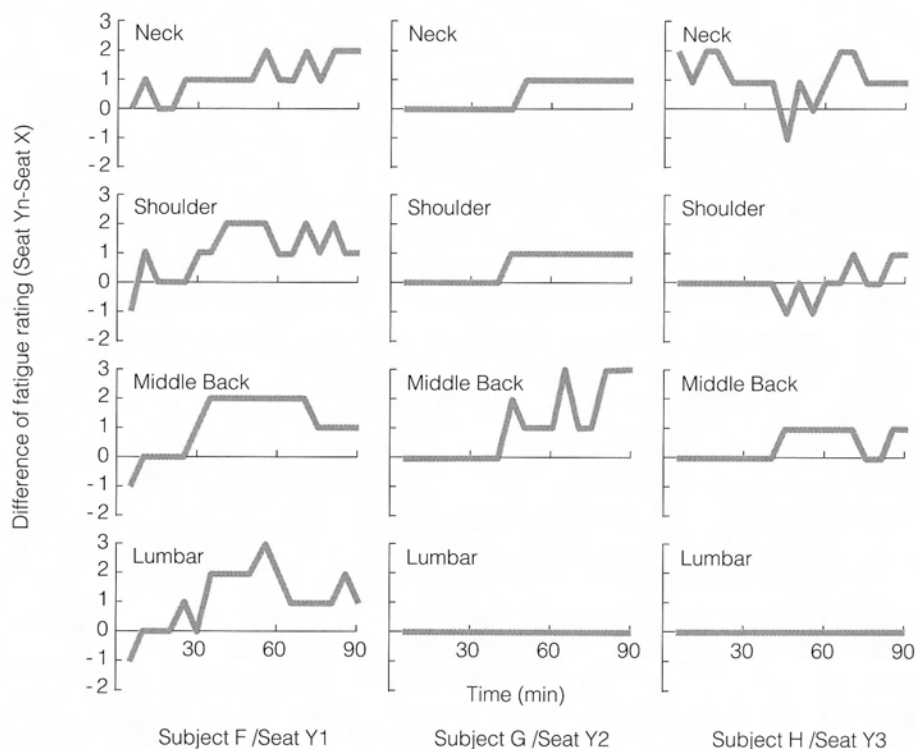


Fig.9 Difference of subjectively evaluated fatigue rating during 90 minutes



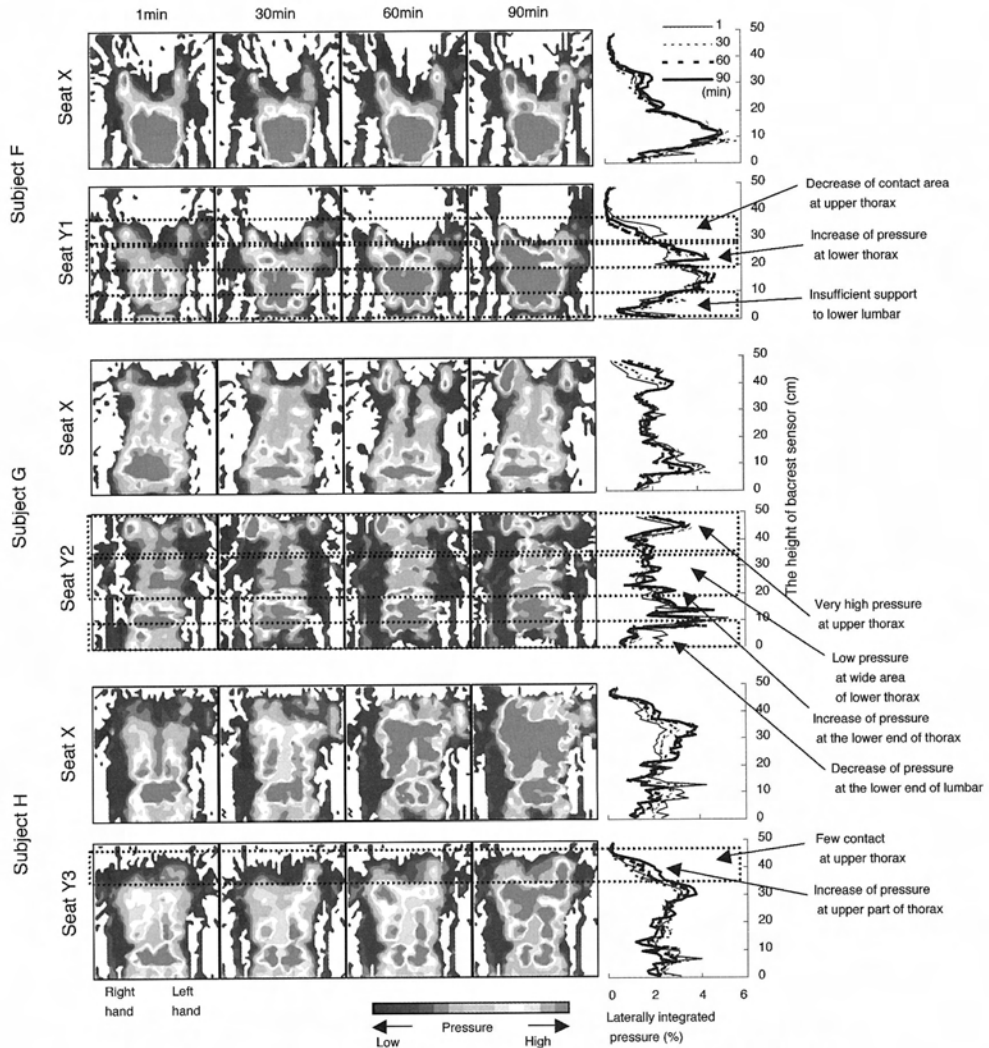


Fig.10 Change of seat pressure distribution throughout drive

いない部分が大きくなっていった。これは胸郭上部が前に押され、次第に猫背の程度が強くなり、尻の前ずれが生じてゆく様子を示すものと考えられる。被験者Hの場合、シートY3では走行中を通じ胸郭上部の接触面積が少ないが、時間経過に伴い肩の上部の圧力が増加していることが分かる。これは胸郭が十分に支持されず、徐々に反り姿勢が強まる様子を表わすものと考えられる。ここで首の付け根の圧力を見ると終始低いまであり、反り姿勢が強まっても首だけは起こしている様子がうかがえる。以上、シートY1, Y2, Y3はそれぞれの支持の特徴に応じ、シートXには観察されない猫背や反り姿勢等の特徴的な姿勢が生じてき

たと分かる。

### 3.2.3 運転者の身体的負担

次に姿勢の変化に応じ、被験者の身体的負担がどのようなであったかを知るため、筋電位を以下のように分析した。疲労がある程度蓄積された方がシート間の差が認められやすいため、走行開始60分後から80分後までのデータを分析対象とし、その間の高振幅なピークの数のカウントした。Fig.11は、シートXの高振幅ピーク数に対する、シートY1, Y2, Y3の高振幅ピーク数の比を縦軸に、横軸には身体各部位をとったグラフである。

シートY1, Y2, Y3で、シートXに比べて高振幅ピークが多かったのは、被験者F/シートY1の

場合、特に胸郭上部と胸郭下部、腰椎下部であった。被験者G/シートY2の場合、特に胸郭上部、腰椎下部と腸腰筋であった。被験者H/シートY3の場合、特に胸郭と背中であった。これら筋活動が活発に見られた部位は、体圧分布で支持が弱かったり、圧力の増加が見られたりといった、姿勢変化が見られた部位や、主観的な疲労が著しかった部位とおおむね一致していた。

### 3.2.4 シート別の疲労メカニズムの考察

以上の結果から、シートの支持のしかたによって、人間に生じる主観的疲労、姿勢変化、身体的負担が異なることが分かった。これらの人間の反応を整理し、疲労が生じるメカニズムを各シートについて考える。

#### (1) 腰椎下部の支持が不十分なシートY1

一般に着座時には骨盤が底部を基点に後転しやすいことがわかっているが<sup>(4)</sup>、腰椎下部の支持が不十分な場合、いっそう骨盤が後転し、その結果、腰椎が後彎して猫背になる。シートY1では、体圧分布で腰椎下部への支持不足から、次第に猫背になってゆく様子が観察された。猫背になると、腰椎部は疲れにくいとされる前彎状態から、後彎へと姿勢を変える。これにより椎間板内の圧力が上昇し、椎間板へ過剰な負荷が生じる。従って猫背では、時々筋力を用いて椎間板への負荷を緩和することが必要になる。これが腰部の筋活動を活発にしたと思われる。すなわち、腰椎下部の支持が足りないシートY1では、猫背が生じ、椎間板への負荷を緩和する必要から、背中や腰が疲れたものと考えられる。

#### (2) 胸郭上部が圧迫されたシートY2

胸郭はひとかたまりで動く部分であると考えられるため、上部だけをpushされると前転してしまう。その結果、視線が下を向くため、胸郭を起こす必要がある。また同時に、腰椎の前彎の程度もゆるくなるものと考えられる。シートY2の体圧分布は、胸郭上部の支持が強く、腰の上の方が次第にシートに強く押しつけられ、腰の最下部はシートから離れていっている。ここで筋電位を見ると、胸郭や腰の筋肉が使われていた。すなわち、胸郭上部の支持が強いシートY2では、視線が下を向き、猫背が生じるという不都合を緩和する必要から筋肉を使っており、背中が疲れたものと考えら

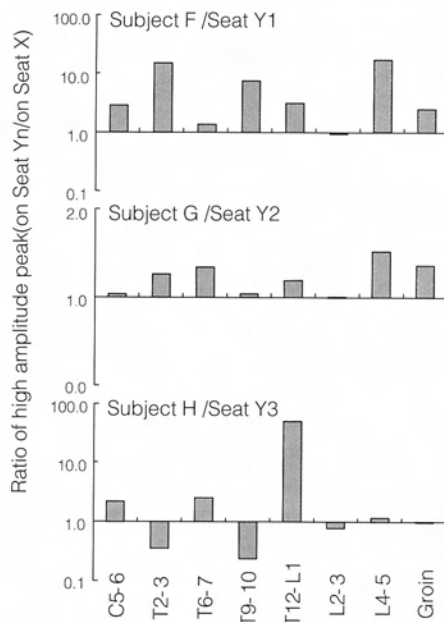


Fig.11 Ratio of high amplitude peak number

れる。

#### (3) 胸郭の支持が不十分なシートY3

胸郭は支持が不十分だと後転して、反り姿勢になる。反り姿勢になると肩がステアリングホイールから遠くなり、視線が上方に移動して、運転に支障がでる。そこで運転ができるように筋力を用いて姿勢を変化させる必要が出るものと考えられる。シートY3の体圧分布は、胸郭上部の支持が不足しており、また筋電位では首や胸郭付近の筋活動が活発に見られた。すなわち、胸郭の支持が不十分なシートY3では、視線が上を向き、ステアリングホイールが遠くなるなどの不都合を緩和する必要から首や肩の筋肉を使い、この付近が疲れたものと考えられる。

### 3.3 疲労メカニズムのまとめ

以上の計測結果より、シートの支持の特徴が引き起こす疲労メカニズムを整理すると次のように考えられる (Fig.12)。

- (1) 「腰椎下部の支持不足により骨盤が後転して、腰が疲労する。」すなわち、骨盤後転により腰椎が後彎するので、椎間板内圧を下げるために骨盤を引き起こす筋肉が使われる。このため腰を中心に主観的な疲労が報告される。
- (2) 「胸郭上部の圧迫により胸郭が前転して、背中

を中心に疲労が生じる。」胸郭上部が押されて胸郭が前転した結果、腰椎が後彎して椎間板内圧が上昇する。椎間板内圧を下げるために胸郭を引き起こす筋肉と、腰椎を前彎させる筋肉が使われ、背中を中心に主観的疲労が報告される。

- (3)「胸郭の支持不足により胸郭が後転して、首や肩に疲労が生じる。」胸郭が後転すると頭部が後方へ移動する。運転時は前方を見る必要があるため、首や肩の筋肉が使用され、首や肩を中心に主観的疲労が報告される。

#### 4. まとめ

運転者にとって身体的な負担の大きいと考えられるカーブ走行時の「ホールド性」と長距離走行での「疲労」を取り上げ、運転者の身体の動きや筋活動などの客観的な評価方法を導入することでこれらの負担のメカニズムを検討した。

その結果「ホールド性」の弱さを感じる要因は、

- (1)カーブで身体の動きが大きい、そのため脊柱が横方向に曲がるなど、身体が不安定になる
  - (2)こうした身体の動きが時間的にも比較的長く続く
  - (3)これらの不安定な身体の状態を解消しようとするため、筋活動が活発になり、運転者の身体的な負担が増大する
- と考えられた。

一方、長時間運転での「疲労」の要因は、

- (1)腰椎支持が不十分であることや胸郭支持が適度でない
- (2)そうした不快な姿勢が長時間運転で次第に顕著

になる

- (3)この不快姿勢を緩和するために筋肉を使い疲労を生じると考えられた。

#### 参考文献

- (1) W.Diebschlag et al., "Recommendation for Ergonomic and Climatic Physiological Vehicle Seat Design", SAE 880055, 1988.
- (2) K.C.Parsons et al., "Methods for Predicting Passenger Vibration Discomfort", SAE 831029, 1983.
- (3) H.Nakaya, H.Okiyama, "A Development of Statistical Human Back Contour Model for Backrest Comfort Evaluation", SAE 930114, 1993.
- (4) Anderson et al., "Lumbar Disc Pressure and Myoelectric Back Muscle Activity during Sitting. —I. Studies on an experimental chair", Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine, Vol.6, Pp.104—114, 1974.

#### ■ 著 者 ■



沖山 浩



道田 奈々江



西川 一男



荒澤 隆秀

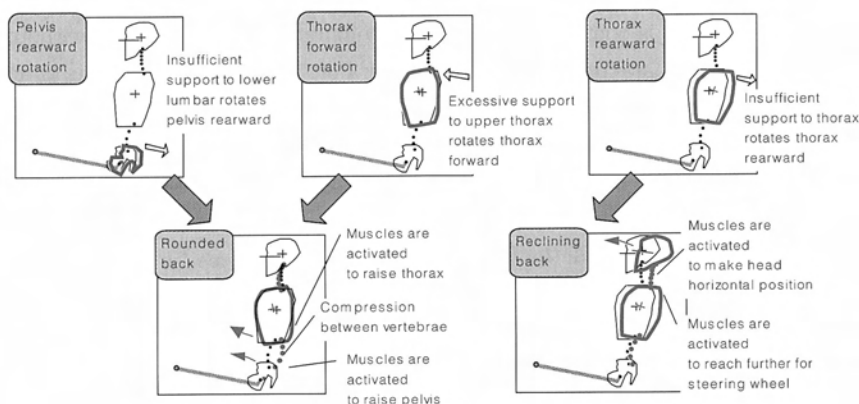


Fig.12 Scheme to generate discomfort postures

## 論文・解説

**22****リア・シート・エンターテインメント・システムの開発  
Development of Rear Seat Entertainment System**

長谷川 勉<sup>\*1</sup> 西 康 一<sup>\*2</sup> 山 本 栄 一<sup>\*3</sup>  
 Tsutomu Hasegawa Kouichi Nishi Eiichi Yamamoto  
 中 峯 慎 一<sup>\*4</sup> 長 嶺 晋 路<sup>\*5</sup>  
 Shinichi Nakamine Shinji Nagamine

**要 約**

日本経済の停滞が続く中、自動車販売で唯一拡大傾向にあるミニバン需要に主眼を置き、各社ともミニバンの魅力商品展開に凌ぎを削っている。その激戦区にある「MPV」、「プレマシー」、「ボンゴ・フレンディ」へ、ファミリーユースに焦点を当てた、快適なドライビング空間を演出するリア・シート・エンターテインメント・システム（RSES）を開発した。このシステムでは、近年ホームオーディオで需要が拡大してきたDVD再生ビデオデッキと7インチ液晶ディスプレイの一体構造を採用した。（OEM世界初）

このRSESには2つのタイプがあり「MPV」／「プレマシー」用には、ミニバンの特性である「ウォークスルー」機能を損なうことなく、セカンドシート前方天井部にコンパクトにレイアウトするタイプを設定した。また、「ボンゴ・フレンディ」用は、この車の魅力商品の1つである、「オートフリーストップ」機構と共存すべく、天井部へのレイアウトではなく、大型リアコンソール部へ搭載するタイプである。これにより、各車両の個別機能は活かしたままで、更には、既存周辺部品的大幅なデザイン形状変更をすることなく商品化を実現した。

本稿では、そのRSESのシステム概要と共に、RSESの将来展開に関しても紹介する。

**Summary**

During the stagnation of Japanese economy, each car company aim at the minivan demand because this category is only tending to the expansion of car sales, and focus to develop the charm commodity development of minivan. Rear Seat Entertainment System (RSES) which applied the focus to the family youth, and produced the pleasant driving space offer to "MPV", "Premacy" and "Bongo Frendee" was developed. This system adopted on the whole the structure of the DVD deck which demand had expanded by home audio in recent years and 7inch LCD. (first in the world for OEM) Two types were prepared for this RSES. For "MPV"/ "Premacy", This type is compactly laid out t at ceiling forward to 2nd seat without ruining "Walk through" function which is characteristic of minivan for. For "Bongo Frendee", this is an installed type to a large-scale rear console not the layout t the ceiling because to coexist with "Auto Free Top" mechanism it is one of the charm commodities of this car. As a result, an individual function of each vehicle existing while had made the best use of, and achieved commercialization without furthermore great design changing of parts.

This paper describes the outline of the RSES and in the future of RSES.

\* 1 ～ 5 電子開発部

Electrical & Electronics Development Department

## 1. はじめに

ミニバン需要が拡大する中、ミニバンに求められる機能も多様化してきている。特に長距離移動の機会が多い北米市場でユーザーの感度が高く、90年代後半にVHSビデオを中心としたリアシートエンターテイメントシステム(RSES)が市販市場で登場した。その後、カーメーカの純正用品としても採用され、最近ではライン装着品も登場してきている。一方、日本市場では、地上波テレビ放送を見ることが出来るRSESが90年代後半に登場し、ライン装着品としては主流である。

しかし近年、家庭用ゲーム機で、DVDビデオも再生できるシステムが販売されたことをきっかけに、ホームエンターテイメントシステムとしてのDVDの需要が大幅に伸びてきている。そのため車載機にも、DVDメディアの再生要求が高まり、市販ナビゲーションを中心にDVDビデオ再生が出来るモデルが登場してきている。

このような市場の流れを受け、2001年夏に発売したMPV/プレマシー/ボンゴフレンディーに、DVDデッキを一体化したRSESを開発し搭載したので、以下にその概要を紹介する。

## 2. 開発のねらい

### 2.1 市場動向と課題

日本市場におけるRSESライン装着は、テレビ放送や前席のナビゲーション画面をリア席前方に設置した液晶画面に表示するものが中心であった。また当社においては、用品装着品で、MPVにテレビ放送に加え、VHSビデオデッキを搭載したシステムを設定していた。これらのシステムの多くは、ナビゲーションとセットの場合でしか選択できない高価格なものであったり、また音声信号を、FM電波変換器を使用して既存のオーディオシステムと接続されるため、高音質が望めないものもあった。そのため、顧客満足度は決して高いものではなかった。

### 2.2 開発の基本方針

顧客満足度を高めるべく、新たなシステムを開発するために下記項目を基本方針として本システムの開発に着手した。

- (1) 高画質/高音質メディアのDVDビデオデッ

キを採用する

- (2) 既存エンターテイメントシステム(ナビゲーションや前席オーディオ)に制約されずRSESを接続可能とする
- (3) 市場動向からディスプレイサイズは7インチ以上とする
- (4) 車両の魅力となっている機構(例えばウォークスルー機構)を損なわずにRSESを楽しむことができる

これらの方針を達成するため、我々は、以下の特徴を持つシステムを開発した。

## 3. RSESの特徴

### 3.1 ディスプレイとDVDビデオデッキの一体化

本システムの中核を形成するディスプレイとDVDビデオデッキの構造および設置位置を決定する上で、下記条件を満たせるよう検討した。

- (1) リア席乗員が容易にDVDソフトの交換が可能なこと
- (2) 開発の基本方針である車両魅力機構を損なわないようにすること
- (3) ディスプレイはリア乗員視線上方に設置すること

これらの条件を満たすためには、極力コンパクトな構造にする必要があり、7インチディスプレイとDVDビデオデッキの一体化構造を採用した。そのユニットを、MPV・プレマシーにおいては、セカンドシート前方の天井部分にレイアウトした。また、運転者の後方視界の妨げとならない様に突出量を抑えるため、ディスプレイ開閉時にDVDデッキ部が可動するリトラクタブル機構を採用した。(Fig.1)

しかしながら、フレンディーは当車両の魅力機構であるオートフリーストップとの共存を重視し、天井ではなく、運転席と助手席の中央にあるコンソール後部にレイアウトした。この際にも、長時間の下方凝視は車酔いになり易いということから、極力リア乗員の視線を下げないように、コンソール上部へディスプレイがフリップアップする構造とした。(Fig.2)

以上の様に天井タイプとコンソールタイプで外観上大幅に異なる様に見えるが、制御基板やディ

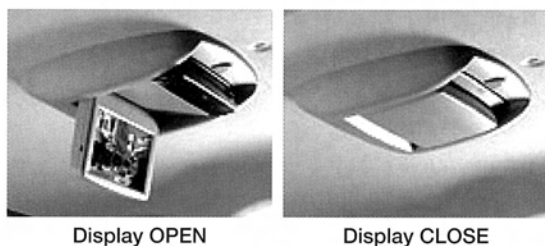


Fig.1 Ceiling Layout Type for MPV, PREMACY

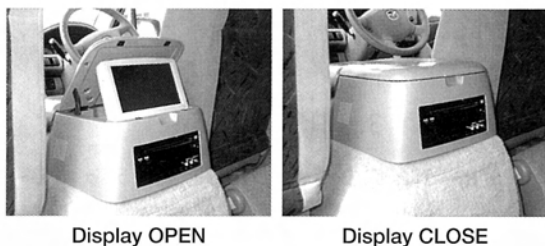


Fig.2 Console installed Type for BONGO FRIENDEE

スプレイ、回転メカニズム等の骨格部分は極力共用することで、開発工数／投資を圧縮した。(Fig.3, 4ハッチング部)

### 3.2 オーディオ装着車への対応

本システムでは安価にRSESを楽しめるよう、ナビゲーションが装着されていない車にも装着できるシステム構成を採用した。具体的には、オーディオユニットとRSES間に、接続ユニットを設定した。この接続ユニットは、RSESの音声を車両のスピーカから再生させるために、オーディオユニットへ音声信号を取込む機能を有するものである。

オーディオ側は接続ユニットを介しRSES本体の接続確認信号を処理し、RSESの有無を判定している。RSESが接続されている時に外部入力切替えを行なうと、オーディオディスプレイ上に「RSES」と表示しDVDを再生する。

## 4. RSES構成部品とその仕様

今回搭載した3車種とも、前席エンターテイメントシステムの(1)AVナビゲーションユニット(以下AVN) (2)オーディオユニットとRSESの組み合わせが可能である。(Fig.7) それぞれの構成部品について述べる。

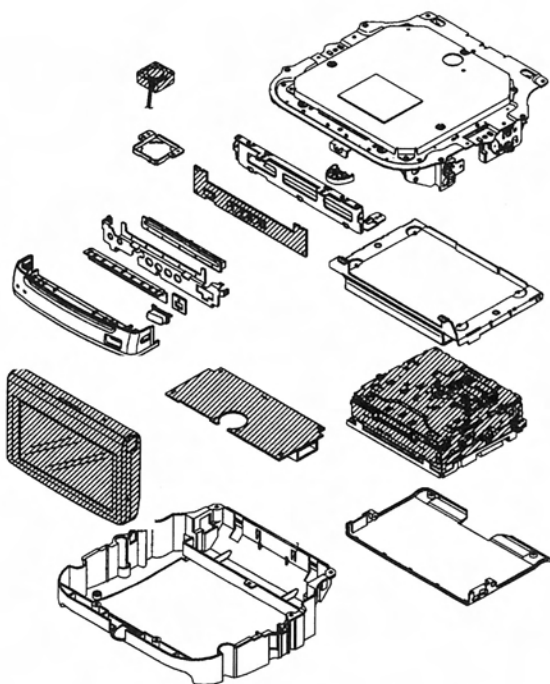


Fig.3 Components of Ceiling Layout Type

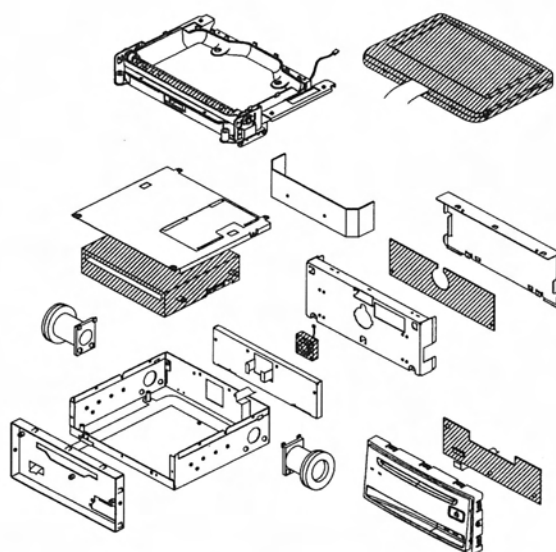


Fig.4 Components of Console Installed Type



#### 4.1 AVナビゲーションシステム時

AVNの場合、以下の部品で構成される。

##### ①7インチLCD+DVDビデオデッキ一体RSES

MPV/プレマシーは天井装着型、ボンゴフレンドリーはリアコンソール装着型である。DVDデッキで再生可能なディスクとしてDVD-VIDEOディスク、CD-DAディスク、VIDEO-CDディスクがある。

##### ②音声&映像入力端子ユニット (Fig.5)

市販のゲーム機やビデオカメラ等を本ユニットに接続することにより、これらの映像および音声を楽しむことができる。

##### ③赤外線式リモコン (Fig.6)

赤外線タイプのリモコンを採用した。DVDなどの操作は勿論のこと、RSES用テレビチューナー（用品設定）を接続した場合、このテレビ操作も行うことができる。



Fig.5 Interface Box

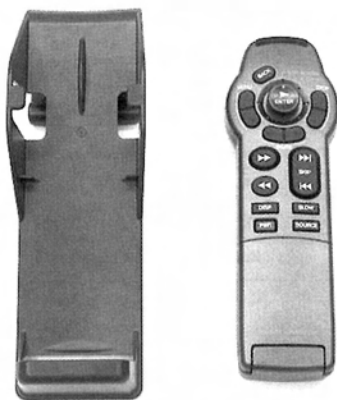


Fig.6 Remote-controller and Holder

##### ④AVN

ナビゲーション基本機能に加えて、RSESで表示中の画像をAVN画面に表示することができる。（テレビモードのVTR入力画面）勿論、車両スピーカーより音声を出力することができる。

##### ⑤テレビチューナー

当テレビチューナーは、VTR入力（外部入力）を有しており、この入力を利用し、RSESの画像/音声を楽しむ仕様とした。

#### 4.2 オーディオシステム時

オーディオシステムの場合、上述の①～③は共用し、部品共通化を図っている。ユニーク部品は以下の通り。

##### ⑥オーディオユニット

ラジオ等の基本機能に加え、接続ユニットを経由してRSESの音声信号を取込み車両のスピーカーで再生できる。

##### ⑦接続ユニット

オーディオユニットの外部入力へRSESの音声信号を取込む為の音声信号切替えユニットでこれを使用することで、既存のオーディオユニットの改造を最小限に留め、RSESを設定しないオーディオユニットとの共用を実現した。

#### 4.3 用品設定部品

以下の部品を用品設定し、RSESのエンターテインメント性を向上させている。

##### ⑧赤外線式ワイヤレスヘッドホン

DVDビデオデッキ前面に設定している赤外線送信部からの音声信号を受信し、車両のスピーカーからは独立して、RSESの音声を楽しむことができる。

##### ⑨RSES用テレビチューナー

RSES専用のテレビチューナーを装着することにより、AVN用のテレビ番組とは異なった放送を楽しむことができる。

## 5. 開発上の問題点と改善内容

当RSESの開発は、車両のモデルチェンジタイミングとは同期せずに、開発を開始しており、その為、企画から量産まで約10ヶ月という短期開発となった。一般的なエンターテインメント開発で行うプロセスとは異なり、開発手法に工夫を要することも散見された。以下にその工夫点等を述べる。

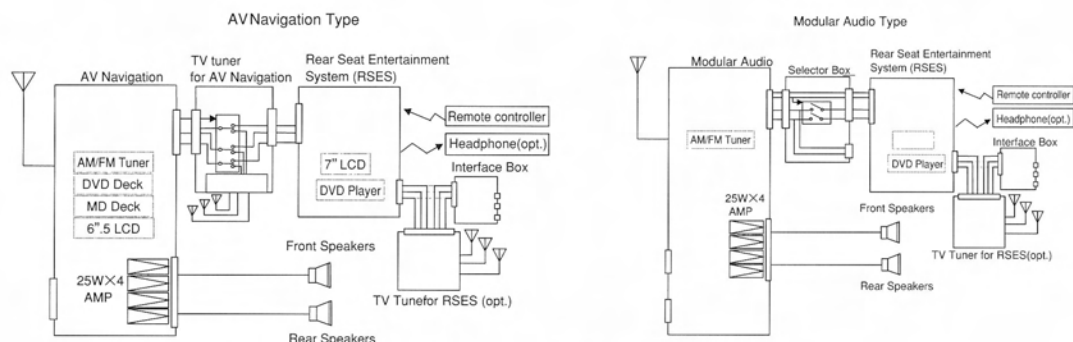


Fig.7 System Diagram

### 5.1 電氣的なノイズへの対応

新しい電気システムを構築する際、他の電装品からのノイズの影響や、自身からのノイズ放射が問題になる。それら問題を回避する為の基本は電源系の安定化である。特に、アース系には十分配慮すべきである。ルーフ装着タイプではルーフブラケットへ直にボルト締めするためアースを容易に確保することができるが、コンソール装着タイプは、エンジンルームのサービス時に脱着する必要があり、RSES本体のアース方法に工夫を必要とした。

RSES本体から金属性のアースプレートを出し、コンソールを車体に留めるブラケットとはさみ込むようにプレートをコンソール側に固定した。これにより、コンソールを車両に固定する際には、車体ブラケットにアースプレートが接触し、アースが確保可能となった。アースプレートには爪を設け、コンソールを搭載時に、車体ブラケットへ食込ませる構造とし、点&面接触で信頼性を高めている。

### 5.2 耐熱性の確保

天井へレイアウトする構造では、ルーフへの日射による温度上昇、一方、コンソールタイプではエンジンやトランスミッションからの放射熱によるユニット内の温度上昇が予測された。既量産車の各部位の測温を行い、ユニットには冷却ファンを設けた。さらにコンソールタイプでは、効率的な空気循環をさせるためのエアダクトを机上検討段階で追加し冷却性能を高めた。(Fig.8)

### 5.3 ルーフ装着時のボディ強度確認

これまで、約3.0kgの重量物をルーフ部に装着

した例はなく、車両衝突時にユニットが飛散する可能性やルーフ変形が懸念された。

そこで実験確認車両へ重量同等品を折り込み、車体および乗員への影響が無いことを確認し、取付ブラケット形状を決定した。

### 5.4 音声・映像の瞬断への対応

車体側の強度不足による音飛び・映像の瞬断について検証が必要であった。そこで、それぞれの部位に設置した重量サンプルユニットの車両Gデータを測定し、単体データとの机上検証を行ない取付剛性仕様を決定した。試作品が完成後、実際に動作ユニットで実車評価を行い、問題ないことを確認した。

### 5.5 サービス時のハーネス信頼性

コンソール装着タイプのフレンドィは、オイル交換等のエンジンルームサービス毎に、コンソール脱着する必要がある。この作業のたびにRSESの接続コネクタを脱着することは、コネクタの信

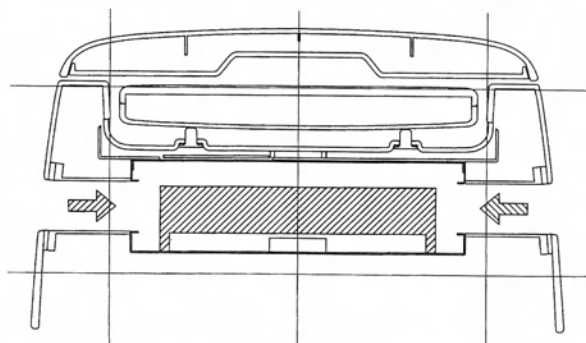


Fig.8 Section of Console installed Type for Cooling

頼性を大幅に悪化させることになる。よって、コネクタを脱着させることなく、サービスできるような構造を机上検討し、生産性も悪化させることのないコードリール方式を採用した。

## 6. 将来展開

RSESの将来構想は、ユーザ嗜好や技術動向により様々な展開が想定できる。現システムに対しては下記機能追加が考えられる。

### 6.1 サラウンド対応

DVDユニットを搭載し、ホームシアター等でおなじみのドルビー5.1chサラウンドシステムや、DTS (Digital Theater System) といったデコーダを搭載したシステムが、アフターマーケット品や、一部工場装着車でも登場してきている。

OEM初のDVDデッキを内蔵した本システムの特徴を活かして、これらデコーダを搭載し、サラウンドシステムを実現するのは比較的容易に出来る。幸い多くの車載オーディオシステムは、4つ以上のスピーカを搭載しており、サラウンドシステムへの拡張には、センタースピーカとサブウーファが搭載できればシステム上は成立することになる。

一方、車の中では、サラウンドシステムにおける理想的リスニングポジション (各スピーカの中心に座る) での試聴は難しいが、車両のシートポジションを決めてしまえば、車両個別のチューニングで良質なサラウンド効果を得ることは、さほど難しいことではない。

今後は個々の音響チューニングされたサラウンドシステム搭載車が多く登場するであろう。今までのオーディオシステムでは味わえなかった迫力のある、臨場感あふれる劇場音響やライブ音楽を車室内で楽しむことが出来るようになる。

### 6.2 リア席専用チューナ設定

リア席専用ラジオチューナを設定するにより、リア席で楽しめるソースを拡充する。また、現在用品設定しているテレビチューナも上記チューナに内蔵し、省スペース化・低価格で実現できる。

### 6.3 アンテナシステム統合

ナビゲーション用とRSES用それぞれにテレビアンテナを装着しており非効率である。4.2で述べたシステムに、分配器や増幅器を設け、アン

テナシステムの統合化が可能となる。

## 7. おわりに

RSES搭載車両を2001年東京モータショウへ出品し、その反応から、改めてRSESのユーザニーズが高い事を実感した。更なる快適空間を提供すべく、このシステムをより進化させ、次世代RSESの開発で顧客の要望に迅速に応えていきたい。

最後に、このシステムの量産化に、多大なるご協力をいただいた、三菱電機(株)殿をはじめ関係各位に深く感謝の意を表す。

### ■ 著 者 ■



長谷川 勉



西 康一



山本 栄一



中 峯 慎 一



長 嶺 晋 路

論文・解説

23

## マツダテレマティックス携帯電話サイトの紹介 Introduction of Mazda Telematics Service for Mobile Phone's site

大 村 博 志\*<sup>1</sup>   細 田 浩 司\*<sup>2</sup>   池 田 健 一\*<sup>3</sup>  
Hiroshi Ohmura   Koji Hosoda   Kenichi Ikeda

### 要 約

マツダテレマティックスは、2001年10月より、従来のカーナビゲーションおよびPC向けのサービスに加えて、新たに携帯電話の公式サイト（i-modeおよびJ-SKY）でサービスを開始した。

このサービスでは、店舗や観光地、イベントなどの地点情報検索、天気予報や日々のニュースをタイムリーに発信したり、車のメンテナンス情報を提供している。なかでもドライブの最適なルートを検索する「ドライブナビ」は、携帯電話サイトとしては世界で初めてのサービスである。「ドライブナビ」は、出発地から複数の地点を経由して、目的地まで最適な経路順でルート検索を行うもので、日本全国の道路網をカバーしている。検索結果は、ルートの全行程表示から、交差点の詳細な地図表示まで4段階の表示を備えている。

本稿では、特に携帯電話「ドライブナビ」を中心に、マツダテレマティックス携帯電話サイトについて紹介する。

### Summary

Mazda Telematics service started as official site for mobile phone (i-mode and J-SKY) from Oct. 2001, in addition to conventional service for car-navigation system and PC.

It provides services such as information search for shops, sightseeing spots and events, info-service of daily news and weather forecast and information of car's maintenance. Especially, "Drive-navigation" is the world's first retrieval systems of driving route as official site of mobile phone. It enables to retrieve the optimum route from place of departure to destination via several places, and retrieval area covers nationwide. Results of retrieval are displayed in four types, from the general course to detailed map with every intersection.

In this article, we introduce Mazda Telematics service as mobile phone's site, especially "Drive-navigation".

\* 1 ~ 3   電子開発部

Electrical & Electronics Development Dept.

## 1. はじめに

マツダは2000年6月からドライブとカーライフに役立つ情報を提供する「マツダテレマティックスサービス」を開始した。サービス開始当初は、カーナビゲーションとPC向けのみのサービスであったが、2001年10月より新たに携帯電話の公式サイトとして、(株)NTT DoCoMoの“i-mode”およびJ-フォン(株)の“J-SKY”にてサービスを開始した。さらに2002年3月より、インターネット対応携帯電話では世界で初めてとなるドライブルート作成システム「ドライブナビ」のサービスを開始したので紹介する。

## 2. マツダテレマティックスの特徴

マツダテレマティックスは、Fig.1に示すように、テレマティックスセンターと呼ばれるインターネット上に設置された複数台のサーバーから24時間様々な情報をユーザーに提供している。

サーバーには全国1,000万件超の施設データベースなどを保有し、天気予報やニュースといった

リアルタイムな情報はコンテンツプロバイダーから随時提供されている。

マツダテレマティックスは会員制で、次のいずれかのユーザーが利用可能である。

- ①テレマティックス対応カーナビユーザー
- ②テレマティックス対応電子地図ソフト（ゼンリン社製）ユーザー
- ③ i-mode/J-SKY対応携帯電話ユーザー

通信プロトコルは、インターネット標準のTCP/IP (Transmission Control / Internet Protocol) を、同じくアプリケーションプロトコルにHTTP (Hyper Text Transfer Protocol), POP (Post Office Protocol), SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) を採用し、世界で共通して利用できるように汎用性を高めた構成となっている<sup>(1)</sup>。

## 3. サービス内容

サービスは、店舗やイベントなどの場所を検索したり、天気予報や待受け画像などの情報提供と、目的地までのルート検索などのアプリケーションに大別することができる。

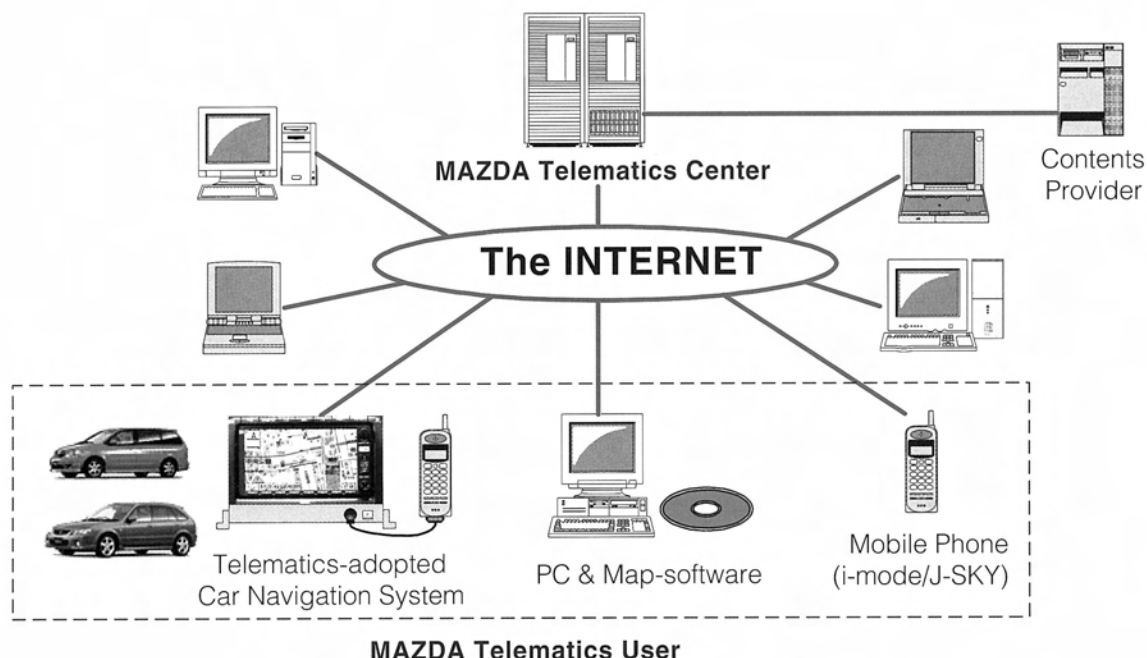


Fig.1 System configuration for Mazda Telematics service

### 3.1 ルート検索サービス (ドライブナビ)

ドライブナビは、世界で初めてインターネット対応携帯電話サイトにて、出発地から目的地までのドライブ用経路検索を行うことができるサービスである。ドライブナビには、ユーザーが任意に決定した出発地から複数の経由地を含む目的地までの経路検索を行うものと、目的地をコンピュータが自動的に決定してくれる「おまかせルート」の2つがある。

#### 3.1.1 ドライブルート検索基本機能

Fig.2にルートガイダンスシステムの概略を示す。

##### (1) 出発地/経由地/目的地の設定 (Fig.2①)

最初にユーザーは任意の出発地と目的地を「イベント情報」や「SPOT検索 (施設情報検索)」などの情報から決定する。J-SKYのJステーション機能を利用すれば、現在地周辺付近を出発地とすることが可能である。他にも最近検索に利用した施設や駅など、出発地や目的地を設定する際にユーザーにとって便利な機能がある。

経由地は目的地の周辺施設検索から、最大5ヶ所まで経由地を選択することができる。

##### (2) 地点情報の送信 (Fig.2②)

ユーザーが出発地/目的地と複数の経由地を決定すると、それぞれの地点の緯度経度を持ったPOI (Point of Interest) データが、テレマティクスサーバーからルートガイダンスサーバーに渡される。このときPOIデータや走行路条件などが、XML (Extensible Markup Language) 形式で引き渡される。

##### (3) 最適経路演算 (Fig.2③)

ルートガイダンスサーバーでは、送られてきたXMLで記述されたPOIデータをもとに、最も効率の良い経路順を演算し、最適なルートを再構成する。ユーザーは指定した順番通りに検索することも選択可能で、また有料道路/一般道路のどちらを優先するか選択できる。

##### (4) ルート表示機能

Fig.3に示すように、演算結果を表示する地図には次の4種類がある。

##### (i) ルートMap

Fig.3(i)に示すように、ルートMapはルート全行程の概要と、出発地から目的地までの経由地の

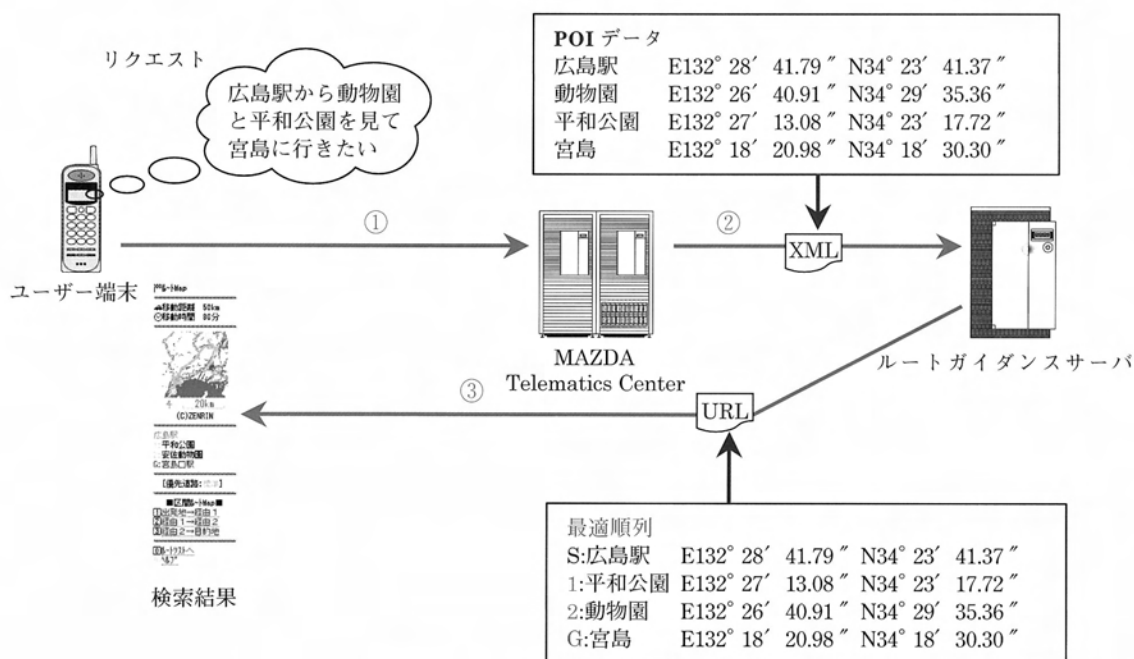


Fig.2 Route guidance System



立寄り順番、走行距離と時間を表示する。走行時間は、道路種別（高速道路／一般道路）毎に設定した平均速度データに基づいて計算している。

#### (ii)区間ルートMap

Fig.3(ii)に示すように区間ルートMapは、例えば出発地から第1経由地までの、2地点間の経路概要を表示し、区間地図と各区間の所要距離と時間を表示する。

#### (iii)区間詳細案内

Fig.3(iii)に示すように区間詳細案内は、区間ルートMapのさらに詳細なルートを表示している。ここではノードとなる交差点を4つずつ表示している。これによりユーザーは、曲がるべき交差点間の概要をより詳細に知ることができる。

#### (iv)交差点Map

Fig.3(iv)に示すように交差点Mapは、交差点のより詳細な情報を表示している。ここでは、交差

点名称や、交差点の角にあるデパートや銀行など、目印となる建物も確認することができ、表示は拡大／縮小の二通りが可能である。また曲がる方向と、次に曲がる必要のある交差点までの距離も表示している。

#### (5)ルートの保存

このように作成されたルートは、「お気に入り」（後述）に保存することができる。またそのデータを、マツダテレマティックス対応カーナビで活用できるシステムとした。

#### 3.1.2 おまかせルート

「おまかせルート」は、前述のルート検索システムに加えて、簡単なドライブコースのリcommend機能を付加したものである。

ユーザーが出発地からの移動距離（直線距離で～50km、～100km、～150km）を選択すると、サーバーが指定圏内にある施設を任意に抽出する。

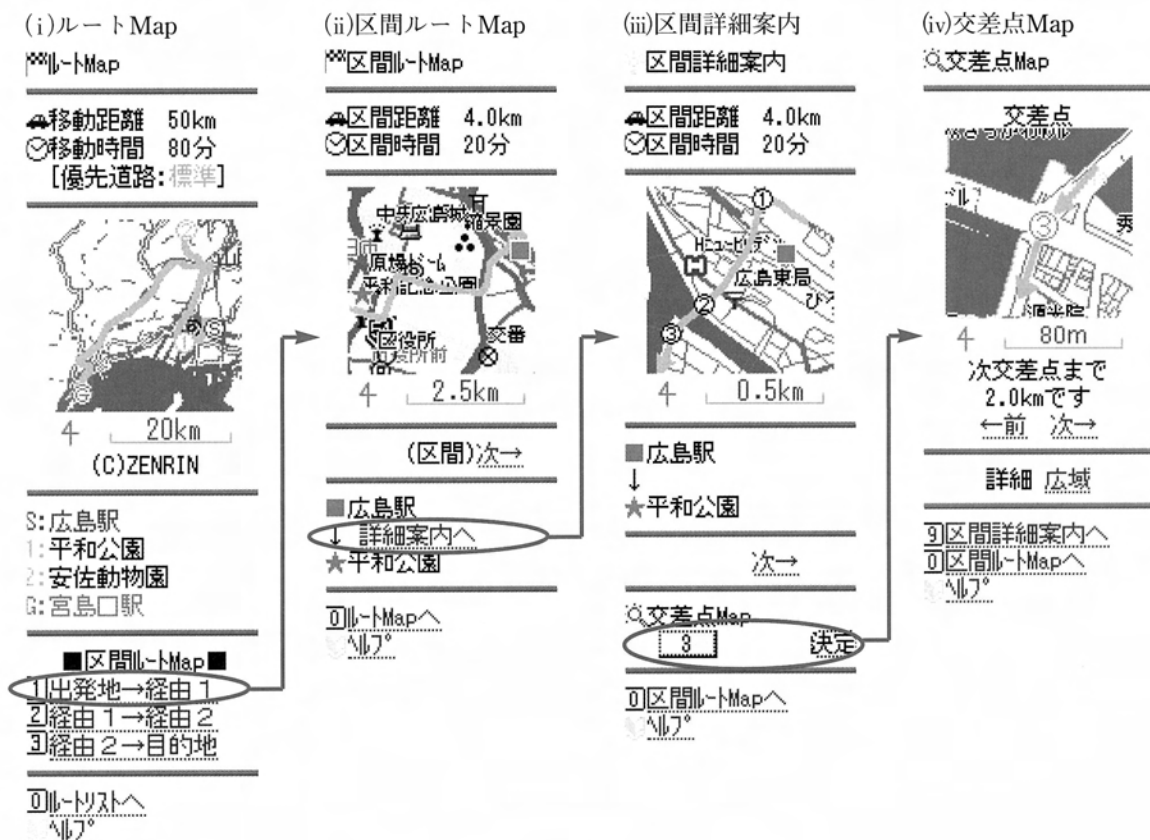


Fig.3 Maps of Route guidance

また選択されたジャンル(“自然と景観”, “アウトドア” など)から, サーバーが自動的に目的地を抽出することもできる。

ユーザーは提案された目的地が気に入るまで何度でも検索を行うことができ, さらに目的地周辺検索により複数の施設を経由地として選択することが可能である。

### 3.2 情報提供/検索サービス (Fig.4)

#### (1)ドライブ情報

全国1,000万件超の店舗や観光地などの施設検索を行う「SPOT検索」や, 年間およそ1万件の「イベント情報」, 全国850カ所の3時間毎の「天気予報」, 桜開花やゲレンデ積雪など季節に特化した「シーズン情報」, マツダ推薦の約1,000コースのドライブルートを提供する「おすすめルート」といった, ドライブに役立つ情報を提供している。

各施設には緯度経度の情報を持ったPOIデータが付いており, カーナビやPC, 他の携帯電話にメールで地点情報を送ることができる。

#### (2)ドライブ休憩

誕生月別の「今日の運勢」(日替わり)や, 政

治経済/社会/スポーツなどの「ニュース」を10分更新で提供している。またロータリーエンジンやマツダ車の開発ストーリーを掲載する「マツダ車物語」や, マツダ車の「待受け画像」なども提供している。

#### (3)マイカードクター

ディーラー/警察署/病院など, 車のトラブル時に便利な「緊急時検索」や, 簡単な質問に答えるだけで現在の車の状態が簡易的に分かる「マイカー検診」, 車のメンテナンスやマメ知識に関する情報を提供する「メンテアドバイス」「お車Q&A集」などがある。

#### (4)お気に入り

気に入ったお店やルート, 待受け画像を保存することができる。カーナビ/PC/携帯電話でそれぞれ同じデータを共有することが可能である。

## 4. おわりに

マツダテレマティックスは, 近い将来下記のようなコンテンツの充実や, UI (User Interface) の改善を図るべく, 開発に取り組んでいる。

#### (1)交通渋滞情報の提供

現在, 交通情報はカーナビ付属のVICS (Vehicle Information and Communication System) やラジオにより提供されている。これら情報をテレマティックスサイトでも提供し, 可能な限り渋滞を回避できるようユーザーに情報を提供する。

#### (2)HMI (Human Machine Interface) 向上

例えば現在のカーナビや携帯電話はボタンを押すことにより様々な操作を行っているが, 音声認識や音声合成技術を採用することで, 声による操作が可能となる。また携帯電話にGPSが搭載されることにより, 携帯電話自体がナビゲーションの機能を有することになり, ユーザーにとって現在地の特定や出発地設定が簡便になる。

#### (3)ドライブ/歩行ナビの融合

現在は, ドライブ(車)ナビと歩行ナビが区別されているが, この二つを融合させる。

例えば, “自宅を車で最寄りの駅まで出発し, そこから電車と飛行機を乗り継いで, 空港からレンタカーで目的地まで行く場合”の経路と時刻を演算/検索することができる。また1台の携帯電話で, 車で走行中の場合は車向けの経路誘導を行



Fig.4 Sample displays of Mobile Phone's site

い、車から離れている時は歩行用の経路誘導が可能となる。将来はテレマティックスを、“総合ルート検索サイト”としていきたい。

今後テレマティックスは、ユーザーのカーライフ全体をサポートするシステムへと展開し、さらに車からホームセキュリティやインターネット家電などとの連携を図り、“トータルライフサポート”システムへと進化させてゆく。

### 参考文献

- (1) 大村 他：マツダテレマティックスの紹介，マツダ技報No.19 (2001)，p.28-32

### ■著 者■



大村博志



細田浩司



池田健一

論文・解説

24

## 新小型・高品質コネクタ及び端子の開発 Development of new small size, high-quality connector and terminal

福 山 龍 夫\*<sup>1</sup> 稲 垣 成 行\*<sup>2</sup>  
Tatsuo Fukuyama Naruyuki Inagaki

### 要 約

近年、カーエレクトロニクス装備の増加により、電線本数の増大と、それに伴う接続コネクタ数の増加及びコネクタの多極化（大型化）が進んでいる。このことは、自動車メーカーの組付工程での作業性を悪化させ、未接続や途中嵌合の要因になっている。この課題解決の為、従来以上に小型化と接続信頼性の向上が必要になってくる。本研究では、コネクタサプライヤ及び、社内生産部門と共同で理論的及び各種試験データからの検証を踏まえ、新規に開発した小型・高品質コネクタ、通称025（0.64mm）の端子及びコネクタについて紹介を行う。

小型端子の開発に当たっては接触信頼性に必要な接触部の荷重（接圧）を確保して且つ、多極化が可能な低挿入力の実現を目指した。コネクタハウジングについては、途中嵌合が発生しにくいコネクタの実現の為、約2年前から取り組んできた「生産部門との結合品質向上活動」で明らかになった途中嵌合問題について、その防止に有効な手段として開発した慣性ロック（コネクタ初期の慣性力で完全嵌合に至る）機構をここで紹介する。なお、これらの技術内容を織り込んだコネクタ及び端子は、'01以降の新型車から順次採用を開始している。

### Summary

Recently, the number of electrical wiring connector is increasing and its size is getting larger due to a lot of electrical and electronics equipment demand growing. It leads low workability and could happen unconnection or half insertion at a vehicle assembly plant. Therefore, small size and connection high reliability are required for connector design. With this background, new small size and high quality 0.64mm terminal size connector was developed based on theoretical and practical investigation cooperating with manufacturing group. Small terminal development was aimed to getting low insertion force with contact reliability which needs proper contact load on it. Connector plastic housing development was aimed to get "Inertia lock" feature in order to prevent half inserted situation. This issue has discussed in "Connection quality improvement activity" since 2 years ago. New connectors implementing these technology are already launched in some new production vehicle from 2001 downward.

\* 1 ～ 2 電子開発部

Electrical & Electronics Development Dept.

## 1. はじめに

近年、カーエレクトロニクス装備の増加によりワイヤハーネス（以下ハーネス）の電線本数の増大と、それに伴う接続コネクタ数の増加及びコネクタの多極化（大型化）が進行している。この事は自動車メーカの組付工程での作業性を悪化させ、コネクタの未接続又は、途中嵌合の要因になっている。この課題解決の為、従来のコネクタ以上の小型化と接続信頼性の向上が必要になり、我々はコネクタサプライヤ及び、社内生産部門と共同で調査・研究を重ね、新規に小型・高品質コネクタを開発した。

## 2. 開発の狙い

カーエレクトロニクス装備の増加の中で、車両組み立て作業の効率を確保するためには、接続コネクタの絶対数を抑えなければならない。その為には、コネクタの多極化が必要である。しかし、コネクタの多極化は、大型化によるレイアウトスペースや作業スペースの制約を発生させ、コネクタ接続時の挿入力の増加を招き、コネクタ未接続又は途中嵌合の要因となる。この課題を解決するためには、まずコネクタの小型化を行う必要がある。あわせて、コネクタ挿入力の低減を図ると共に確実な接続ができるコネクタ構造の開発を行うことが重要である。

今回、我々は使用数量の多い小電流回路に的を絞って、こうした課題に対応した新規の小型端子と、この小型端子を用いた新しいコネクタを開発した。

## 3. 新型端子の開発経緯

従来以上の小型端子を開発するに当たっての課題は以下の3点であった。

- ①接触部の圧力（接圧）の低下による接触信頼性の確保
- ②多極化が可能な低挿入力の実現
- ③サプライヤのハーネス製造工程での端子の変形防止

端子の小型化は、端子全体及び各部の機械的強度を低下させる。必然的に接触部の機械的強度が弱くなり、接圧の低下を生ずる。接圧の低下はコネクタの電氣的接続の信頼性問題を引き起こす可能

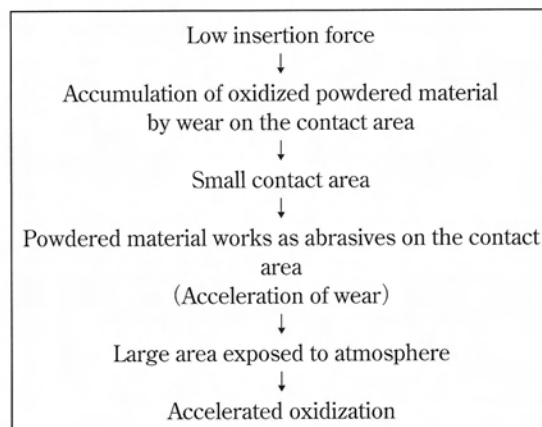
性があり、そうした問題を未然に防ぐ必要がある。

又、端子全体の機械的強度の低下は、ハーネスサプライヤの製造工程において、端子がコネクタハウジングに入っていない状態で取り扱われる為、端子変形等が発生しないよう、それに耐えうる機械的強度を持たせる必要がある。又車両組み立て工程ではハーネスの電線が引っ張られてコネクタハウジングから端子が外れて抜けることのない機械的強度が要求される。

### 3.1 端子の接触信頼性の確保

端子を小型化する上での最大の課題は「接圧の低下による接触信頼性の確保」である。接触信頼性とは、実車の使用環境下において、常に安定した電氣的導通を得ることである。端子の小型化による接圧の低下は、端子の接触において端子接触部の微摺動により、端子表面に酸化皮膜の摩耗粉を堆積させ「微摺動摩耗」を引き起こす可能性がある。以下にこの「微摺動摩耗」について簡単に説明する。

コネクタ内のオス端子とメス端子が、完全に静的な接触状態を保てれば導通の問題は起こらない。しかしコネクタは温度変化や車の振動、エンジン振動、更にはインジェクタのソレノイドなど電装部品自体から発生する振動等が加わる為、接触部はミクロ的に相対的な摺動運動が繰り返される。特に、錫の様な卑金属を接触材として用いた場合、摺動運動によって生じた摩耗粉の酸化物が多量に発生する。これを「微摺動摩耗」という。この酸化摩耗粉は、電氣的には絶縁体であり、メス端子の接触部がこの酸化摩耗粉の上に乗り上げると電氣的な接触が阻害される。このメカニズムを簡単に図解したものがFig.1である。



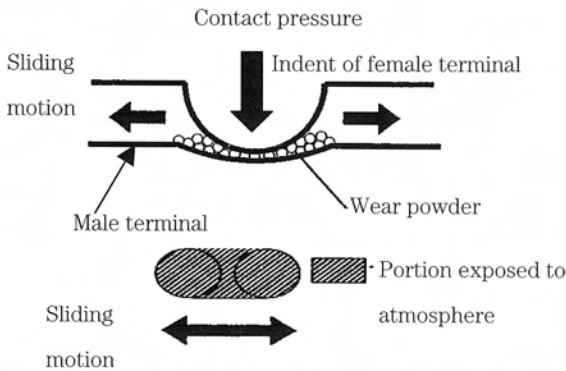


Fig.1 Fretting Corrosion in Electric Contacts

微摺動摩耗を防止する手段として以下の様なものがある。

- ①接圧を高くする。
- ②接触部の表面を金めっき処理し、酸化摩耗粉の発生を防止する。
- ③オス端子とメス端子が相対運動を起こさないように端子接触部をオス端子タブに追従させる構造をとる。

しかし、金めっきは価格が高く、部分金めっき又はフラッシュ金めっき等で省金化を図ったとしても錫めっき品に比べ、2～3倍のコストアップとなる。又、相対運動を起こさない構造は複雑となり、小型端子の場合、十分な接圧を確保する事との両立が困難である。このことより、我々は、②及び③の手段は採用せず、安価で且つ小型端子においても、信頼性上必要な接圧が確保できる構造を検討することとした。今回、我々はコネクタサプライヤと共同で次のようなアプローチにより接触信頼性を確保した小型端子を開発した。

#### (1) 摺動距離の特定

摺動摩耗による接触不良を防止するための要件を明確にする為に、市場走行過程車を回収して実際の車におけるコネクタの端子で、どの程度微摺動が発生しているかを調査した。オス端子とメス端子との摺動距離（接点移動量）をオス端子の表面に生じた摺動痕より測定した。(Fig.2)

異なる端子の市場における摺動距離測定結果を基に、接圧と摺動距離の相関をグラフに表したのがFig.3である。端子サイズ及びコネクタ構造により摺動距離は0  $\mu\text{m}$ から50  $\mu\text{m}$ と多少ばらつき

はあるが、小型端子における摺動距離最大値は、50  $\mu\text{m}$ であることが判明した。

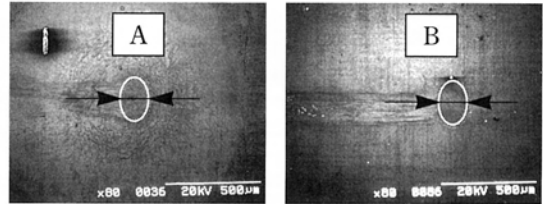
Sliding distance=B-A (Sample : 0.38  $\mu\text{m}$ )

Fig.2 SEM picture on contact area of collected terminal

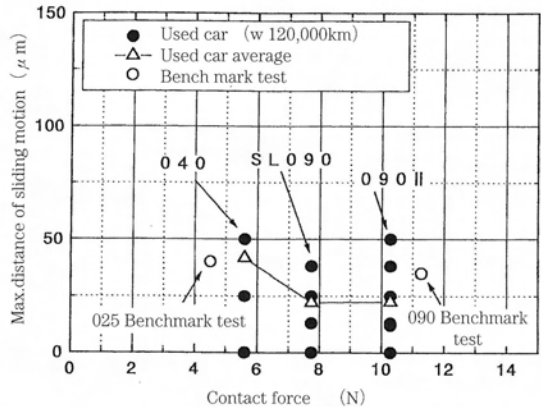


Fig.3 Relation between contact force and distance of sliding motion

#### (2) 接圧の特定

次に、ベンチ試験で、接圧と摺動距離を変数にしてテストを行い、微摺動摩耗の発生領域マップを作成した。(Fig.4) 試験方法、及び判定基準は、DIN規格に準拠した。(テスト装置をFig.5に示す) このマップより、摺動距離50  $\mu\text{m}$ で微摺動摩耗による接触抵抗が通常のエレキシステム上問題のない10～1,000m $\Omega$ の領域にするには、接点の接圧を、耐久テスト後においても3N以上確保する必要があることがわかった。

更にエアバックのような特殊システム及び社内コネクタ規格である耐久後の接触抵抗値10m $\Omega$ 以下を満足させるには耐久テスト後の接圧を4N以上確保すれば良いことが明確になった。



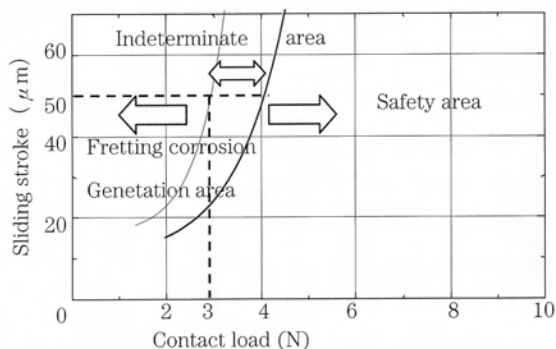


Fig.4 Map of range of occurrence of fretting corrosion

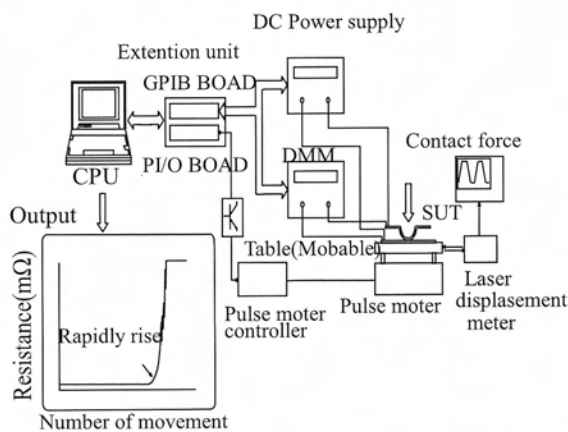


Fig.5 Testing device in laborator

以上の結果から高接触信頼性を確保するには、摺動距離 $50\mu\text{m}$ では接触荷重を $4\text{N}$ 以上確保すれば良いことが判った。

### (3)端子構造の決定

小型端子で $4\text{N}$ の接触荷重を確保することを条件に、コネクタサプライヤより端子構造を提示していただき、最終的にはFig.6の様な構造を採用した。本端子の特徴は、従来の端子が1枚のスプリングで接圧を確保していたのに対し、小型化により1枚のスプリングでは $4\text{N}$ の接圧が得られないことから別部材のサブスプリングをバックアップに使う構造にしたことである。

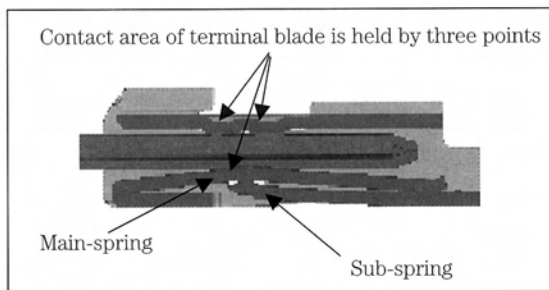


Fig.6 Structure of connector terminal

### (4)端子の性能評価

今回の開発品を、DIN規格に基づく摺動サイクル試験を実施した結果、我々の要求規格の $10\text{m}\Omega$ 以下を満足していることが確認できた。

評価に当たっては既存の端子も併行して評価し、新規端子が既存端子と同等以上の信頼性を確保していることもあわせて確認した。(Fig.7, 8)

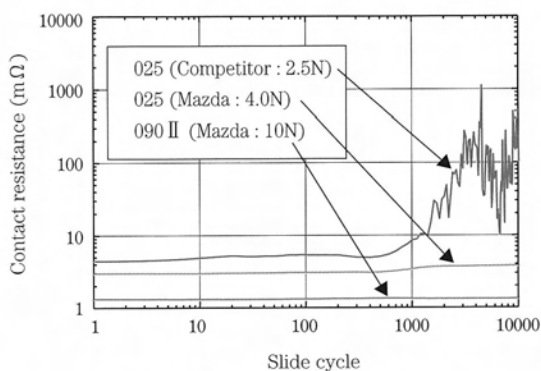


Fig.7 Fretting corrosion test results with stroke  $50\mu\text{m}$

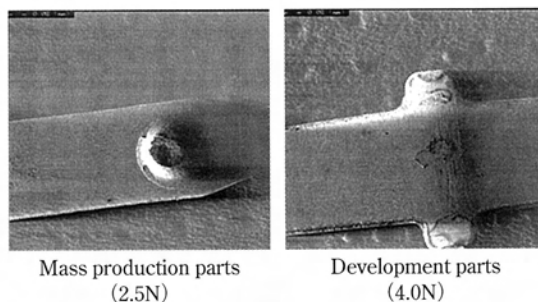
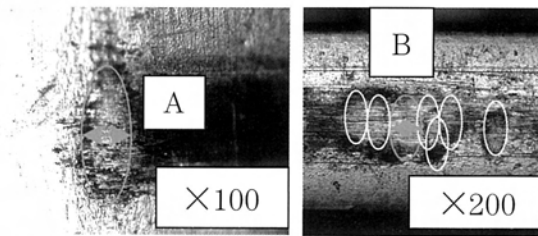


Fig.8 SEM picture on contact area after sliding cycle test

更に、実際に開発品を車両に搭載して総合耐久モード（車両のライフサイクルを想定した社内走行評価）で走らせ、耐久後、一番使用環境の厳しいエンジン上のエンジン制御ユニットコネクタの端子摺動距離と接触抵抗を測定した。結果は、上記ベンチ評価で想定した摺動距離 $50\mu\text{m}$ 以下であり接触抵抗も社内コネクタ規格を満足していることが確認できた。(Fig.9, 10)



Sliding distance = B - A (Sample :  $50\mu\text{m}$ )

Fig.9 Sliding distance after endurance

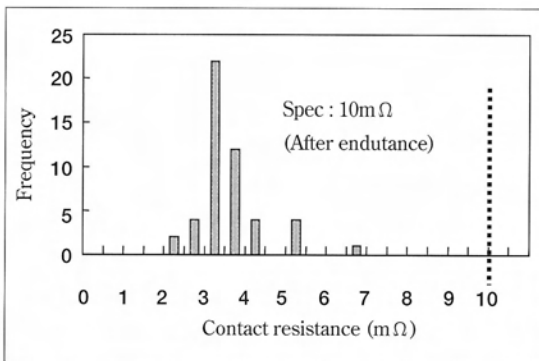


Fig.10 Distribution of contact resistance

### 3.2 端子の低挿入力化

開発部門、生産部門との共同のコネクタ結合品質改善活動の中でエルゴノミックスの観点より、コネクタの挿入力を $70\text{N}$ 以下にしなければならぬとの結論が得られている。その制約下でコネクタの多極化を図っていく為には、1端子当たりの挿入力を低下させる必要がある。従来の小型端子では1端子あたりの挿入力が約 $4\text{N}$ あり、コネクタ全体での挿入力を $70\text{N}$ 以下に制限すると最大16極までしか多極化できなかった。

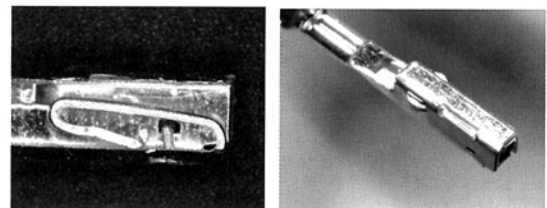
多極化の目標を決める為、カーエレクトロニクス装備を調査分類した結果、30極を通常の手作業

で接続できる目標とし、それ以上の多極コネクタはレバー等の倍力構造を設ける事として検討に着手した。従って端子1極当たりの挿入力は約 $2\text{N}$ 以下を目標とした。前述の接圧 $4\text{N}$ 確保を実現するのに従来の接点構造を用いた場合、当初の設計検討結果、端子1極当たりの挿入力が約 $2.5\text{N}$ となり、目標を大幅に超えてしまった。そこで、我々はメス端子のパネ部接点であるメインスプリングをフリー状態にし、且つあらかじめ端子の製造工程において変位を加えた状態でセットする構造を採用することにした。(Fig.11)

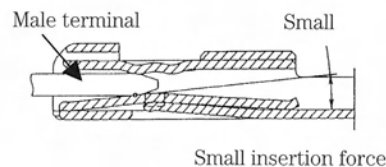
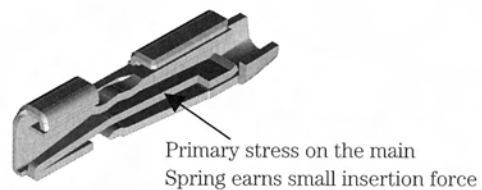
この構造にすることにより、オス端子の挿入角度が小さくなり、端子挿入初期の突き当たりを緩和させることが出来、接圧 $4\text{N}$ を確保した上で端子挿入力目標の $2\text{N}$ を可能にした。

### 3.3 端子の変形防止構造

以上の微摺動摩擦に対する接触信頼性の確保のほかに、ハーネスサプライヤでの製造作業時の端



(Existing parts)



(Development parts)

Fig.11 Structure of connector terminal

子への変形防止を考慮し端子形状を決定した。メス端子は、箱型構造をとり、外部からの力で変形しにくい構造としている。また、コネクタハウジングへの端子の係止構造は、ハウジングランス（コネクタハウジングの内側に、係止に必要な構造物を設ける）を採用することで変形しにくい構造とした。(Fig.12)

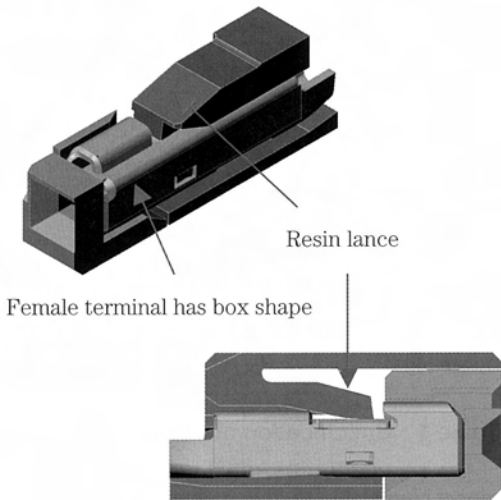


Fig.12 Structure of primary lock reinforcement

## 4. 新型コネクタハウジングの開発経緯

### 4.1 コネクタの嵌合信頼性の確保

「自動車メーカーの組立工程で途中嵌合が起こりにくいコネクタ」を実現するためには、以下の事を実現する必要がある。

- ①必要な作業スペースを確保するなど、組み立て作業者の負担を出来るだけ低減させること。
- ②コネクタの挿入力を低減させること。
- ③組み立て作業者が嵌合作業完了を認知できるコネクタの挿入フィーリングを実現すること。

このうち①と②は端子の大きさと挿入力が支配的であり、3項で述べたように端子側の設計で、初期の目的を達成できている。③についてはハウジング側の設計に依存するため、以下のように開発を行った。

#### (1)コネクタの挿入フィーリングの定量化

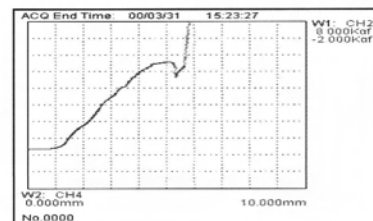
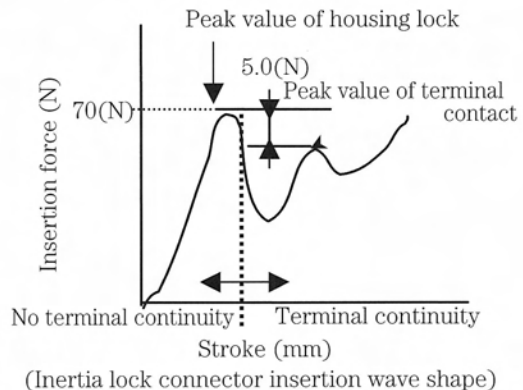
コネクタの途中嵌合を防止するためには、作業者が確実にコネクタを嵌合させたと容易に判断で

きることが肝要である。これまで、様々なロック構造のうち「慣性ロック」と呼ばれる、コネクタ初期の挿入力を比較的大きくして、節度山を乗り越える際の慣性力を利用して、一気に完全嵌合にまで至る挿入フィーリングのロック構造が途中嵌合防止に、最も効果的であることが知られていた。

しかし従来の慣性ロックコネクタは挿入力が非常に重くなりエルゴノミックスの観点から問題があった。この為生産部門と共同で検討し、作業者が確実にコネクタの嵌合を認知できるロック構造の明確化を行った。

その結果、慣性ロックをベースとするが、挿入力の上限を70Nにすること、また作業者が嵌合を感知しやすい挿入フィーリングを物理量（F-S特性）で明確にすることが出来た。

この新しい挿入力特性及び従来の挿入力特性図をFig.13に示す。従来の慣性ロックコネクタ（同じ極数）の挿入特性に比べ嵌合時の絶対値の低減と挿入波形の滑らかさが改善されている。この仕様をコネクタサプライヤに提示し、新しいロック構造を持ったコネクタを開発した。



(Former connector insertion wave shape)

Fig.13 F-S characteristic of connector

## (2)最適挿入フィーリングの実現

この挿入フィーリングを実現するためにこれまでのコネクタでは片持ちのロックアームが主流であったが、新型コネクタでは両持ちロックアームを採用することにより、小型のロックアーム形状でも慣性ロックフィーリングに必要な初期の嵌合力の確保が実現できた。(Fig.14) 更にハーネス輸送期間中にハーネスの自重がコネクタのロック部に加わり変形することを防止する為、ロックアーム部を完全にガードする構造を採用した。(Fig.15)

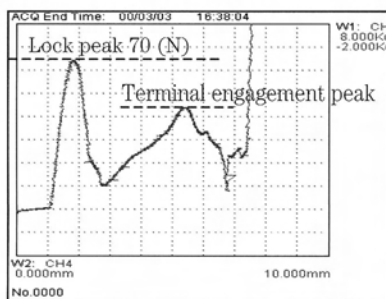


Fig.14 F-S Characteristic of inertia lock connector

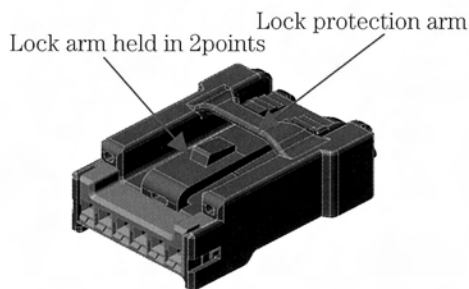


Fig.15 Structure of connector housing

## 4.2 その他ハウジング構造の特徴

更に端子の小型化によりハウジングへの端子の係止力の確保が困難になる。これについては従来から採用されている二重係止スペーサによる保持力アップを図った構造にすることで従来並の強度を確保した。また、生産、市場一ピスでの導通検査時及び端子抜き差しする時の端子接触部への変形を防ぐため、端子結合部と検査用窓口を別体化した構造を採用した。(Fig.16)

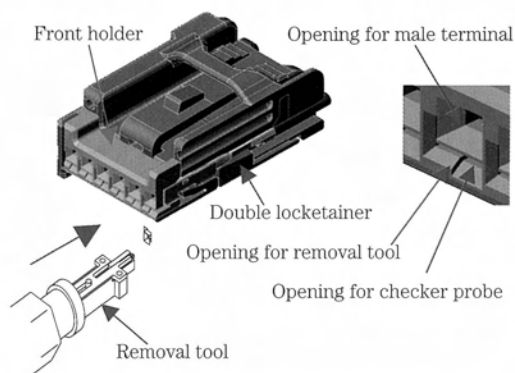


Fig.16 Structure of connector housing

## 5. 小型高品質コネクタの仕様

### 5.1 コネクタの仕様

新規開発したコネクタの仕様をTable1に示す。

Table 1 Specification of new terminal and connector housing

Compact connector structure comparison

	New type connector	Type in the past
■ Terminal comparison		
Thickness	025mm	040mm
Terminal insertion force	2 [N] min	4 [N] min
Contact force	3 [N] max	←
Current capability	5 [A] max	←
Wire size (sq mm)	0.3 ~ 0.5 [mm <sup>2</sup> ]	←
Prevention of over deflection	Wall to prevent scooping by insertion of foreign objects	←
■ Housing structure comparison		
Housing lock style	Inertial lock	Standard cantilever
Insertion force 70N max.	30way	16way
Terminal retention force	100 [N] or over	←
Terminal position assurance type	Secondary terminal lock	←
Terminal deformation prevention measures	Addition of straighten rib	←
Housing lock arm	Inertial lock feeling to detect partial mating	Protection lib
Connector pitch (WXV)	2.2 x 3.0	2.5 x 5.0

## 5.2 端子及びコネクタの外観

端子単体の外観写真及び、コネクタ外観写真(代表例)をFig.17に示す。

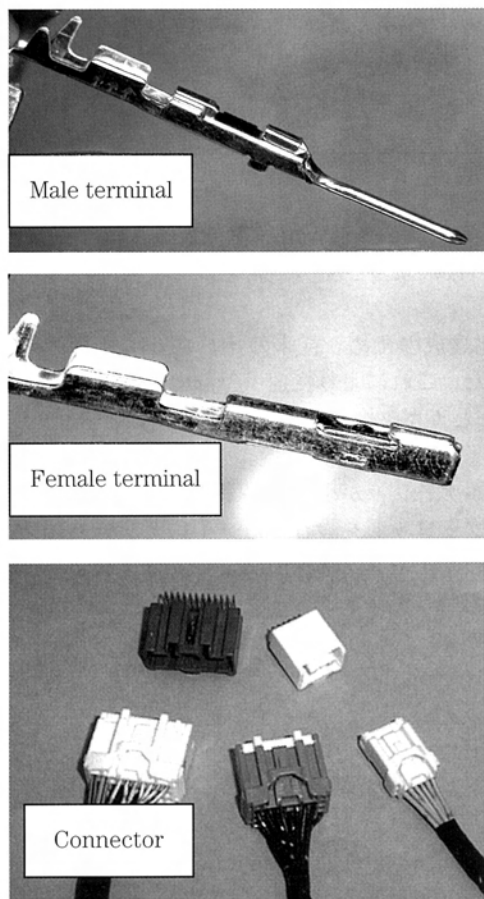


Fig.17 Appearance of connector samples

## 6. おわりに

コネクタサプライヤ及び社内生産部門との共同開発活動を通して開発した新型コネクタは、ハーネスのネックエンジニアリングの一つであるコネクタの接続品質向上に対して、大きな成果を出した。現在のところ、ハーネスには、数多くのコネクタ種類があるため、今回開発した小型・高品質のコネクタを100%採用するには至っていないが、今後の新車において、このコンセプトを展開していくと共に、他のカーメーカ、特にフォードグループ内に積極的に展開を図っていきたい。

## 参考文献

- (1) 川崎広志, 中村重樹, 松浦伸也 共著: 自動車用コネクタの加速劣化試験についての一考察 矢崎部品(株)矢崎技術レポート第21号 (1997.5)
- (2) E.M.ボック, I.H.ホイトレイ (AMP Inc.) 共著: 電気用コンタクトにおける『微摺動磨耗』現象 日本エー・エム・ピー(株)刷集

### ■著者■



福山龍夫



稲垣成行

論文・解説

25

## 次世代FR-MTの紹介 Introduction of Next Generation FR-MT

本 坊 正 和<sup>\*1</sup> 関 谷 裕 三<sup>\*2</sup> 濱 野 正 利<sup>\*3</sup>  
Masakazu Hombo Hiromitsu Sekiya Masatoshi Hamano

### 要 約

当社は2000年11月から防府工場中関地区にてライトトラック、SUV用の新型前進5段手動変速機(R4型)を生産開始した。この変速機は現量産ユニットの後継機種とすべく開発した次世代のFR-MTである。

新開発したR4型は、最大の訴求点であるコンパクト化達成のため、従来のインプットリダクション構造ではなく、アウトプットリダクション構造を採用した。これにより変速ギヤ部の伝達トルクが小さくなるため、インプットシャフト/アウトプットシャフトとカウンターシャフトの軸間距離を短くして、サイズダウンが可能となった。

アウトプットリダクション構造では、被同期側の等価イナーシャが小さく出来るのでシフト操作力も低減できる。また、トランスミッションケース上部にシフトロッドを設置したダイレクトチェンジ方式と組み合わせた反転式シフトフォークやギヤスプラインの片チャンファ採用により、シフトフィール向上を図るとともに、解析手法を駆使した静粛性向上、新開発のシフトフォークパッドの採用等による耐久性向上も図った。

### Summary

Mazda has been producing the new 5-speed Manual Transmission (R4) for light trucks and SUVs at Nakanoseki, Hofu plant, since November 2000. This next-generation FR-MT has been developed to become the successor of current production unit at Mazda.

The newly developed R4 employs an output reduction structure in place of an input reduction structure to achieve the most attractive size reduction. Compared to the conventional structure, each speed gear transmits lower torque, leading to a reduction in size, i.e. center distance between input shaft/output shaft and counter shaft.

Output reduction structure also has a smaller equivalent inertia for synchronization, so that the shift effort can be reduced. In addition to that, the new R4 has better shift feel due to the adoption of swing-type shift fork and single chamfer in combination with direct-type shift rod layout on transmission case. R4 also has reduced noise by utilizing computer simulation and has better reliability with a newly developed shift fork pad, etc.

\* 1 ~ 3 ドライブトレイン開発部  
Drivetrain Development Dept.



## 1. はじめに

当社は2000年11月から防府工場中関地区にてライトトラック、SUV用の新型前進5段手動変速機(R4型)を生産開始した。この変速機は、1987年5月から量産しているR1型、R2型の後継機種とすべく開発した次世代のFR-MTである。

本稿では、その構造、特徴及び主な採用技術について紹介する。

## 2. 開発の狙い

R4型は次世代FR-MTとして、以下を開発のねらいとした。

- (1)コンパクト化
- (2)シフトフィール向上
- (3)静粛性向上
- (4)信頼性向上

## 3. 基本構造と特長

R4型の構造をFig.1に、主要諸元をTable1に示す。

ギヤトレインは、コンパクト化達成のため従来のインプットリダクション構造ではなく、アウトプットリダクション構造を採用した。これにより、インプットシャフト／アウトプットシャフトとカウンタシャフトの軸間距離を短くして、サイズ

ダウンした。

シンクロメッシュ機構は、操作力低減と信頼性向上の両立を図るため、1速／2速と5速／リバースはカウンタ軸上に設置し、3速／4速はメイン軸上に設置した。いずれもシングルコーンでありながら、アウトプットリダクション構造、反転式シフトフォーク、ギヤスプラインの片チャンファを採用することで操作力低減、シフトフィール向上を達成できた。なお、さらなる操作力低減に効果のあるダブルコーンシンクロも開発完了している。

また、R1型、R2型と同様にリバースにもシンクロメッシュ機構を設けて容易にリバースシフト操作ができるようにした。

シフトリンケージは、トランスミッションの上部に3本のシフトロッドを設置したダイレクトチェンジ方式に反転式シフトフォークを組み合わせることにより、リンク効率改善と構造の簡素化を図り、シフト時の節度感・剛性感を高めた。

ケース構造は、クラッチハウジング、トランスミッションケース、エクステンションハウジングの三分割とした。バリエーション展開や生産ラインでのギヤトレイン／シフトリンケージ部品の組み付けの容易化にも配慮して、ケース分割位置、構造を決定するとともに、結合剛性、曲げ剛性を向上させて、ケース振動・放射音を低減させた。

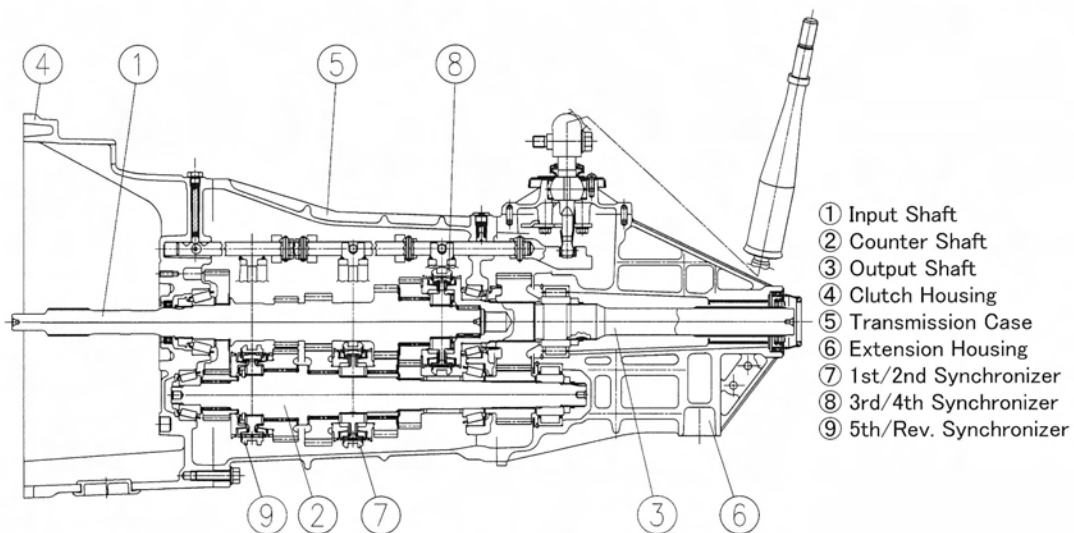


Fig.1 Sectional View of Transmission

Table 1 Specifications

Torque Capacity [N・m]	441
Gear Ratio	
1st	3.375
2nd	2.041
3rd	1.304
4th	1.000
5th	0.787
Rev	3.478
Engine Speed [rpm]	7000
G.V.W. [kg]	3850
Weight(Oil included)[kg]	approx. 52

## 4. 主な採用技術と効果

### 4.1 コンパクト化の実現

従来のインプットリダクション構造では、まず入力回転速度を減速ギヤ部で減速した後、変速ギヤ部で減速又は増速して変速比を確保する。これに対してアウトプットリダクション構造では、まず変速ギヤ部で減速又は増速した後に、減速ギヤ部で減速して変速比を確保する。Fig.2にその模式図を示す。アウトプットリダクション構造における変速ギヤ部は伝達トルクが小さいのでサイズダウンができる。このためトランスミッション全体のコンパクト化が可能となる。

アウトプットリダクション構造の採用により、Fig.3に示すようにBest in Class (BIC) のコンパクト化が実現できた。

### 4.2 シフトフィール向上

シフトフィールは、変速時の操作力、滑らかさ、節度感及び剛性感等の総合的な評価で示される。R4型では、操作力低減と滑らかさ向上に際して、変速段位間の差が小さくなるよう配慮した。また、節度感／剛性感と滑らかさを両立させるように反転式シフトフォークの採用、シフトロッドの溝角度やディテント用スプリングの最適化、シフトレバーの仕様決定を行った。ここでR4型のシフトフィール向上について代表的な達成手段を述べる。

#### (1)アウトプットリダクション構造

変速時の被同期側の等価イナーシャ（変速比の二乗に比例する）を小さくするため、アウトプットリダクション構造を採用して、操作力積低減を

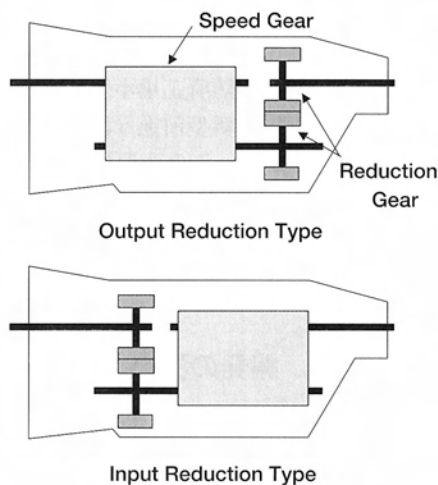


Fig.2 Gear Train Diagram

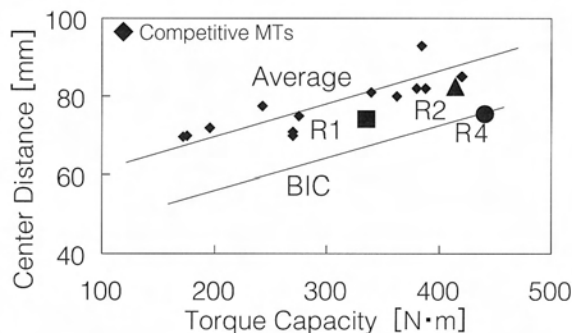
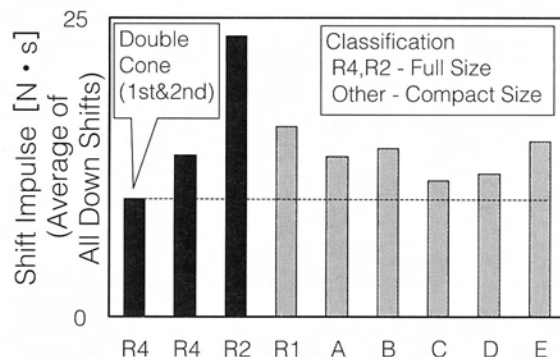


Fig.3 Comparison of MT size

Fig.4 Shift Effort  
(Light truck & SUV)

図った。当社での計測値 (Fig.4) に示すように R1型, R2型に比べ大幅な改善効果を得るとともに, ダブルコーン採用時はトップクラスの操作力積が実現できた。

#### (2)反転式シフトフォーク

シフトフォークは, シフトロッドと一体で作動する構造ではなく, トランスミッションケースに支点を持つ反転式シフトフォークを全段位に採用した。これにより, シフト操作時のシフトフォークのモーメントによるシフトロッド支持部への反力が低減でき, リンク効率を改善出来た。Fig.5に反転式シフトフォークを示す。

#### (3)片チャンファ

変速時のドラッグトルク等によりギヤスプラインのかみ合い時に発生する二段入り現象の発生頻度を低減するため, ギヤスプラインの片チャンファを2速～4速に採用した。これによりシフトアップ時にスプラインチャンファ部が衝突しないでスプラインのストレート部に噛み合う確率を高めた。Fig.6に示すようにトップクラスのDouble Bump Ratio (操作力波形から得られる, スムーズさを表す指標) が実現できた。

### 4.3 静粛性向上

#### (1)歯打ち音低減

一般的にトルク容量の大きいトランスミッションほど, ギヤ等のイナーシャが大きくなり歯打ち音が悪化するが, R4型は構想段階から歯打ち音低減をシンクロレイアウト選定の指標とし, また初回試作段階よりトランスミッション内部のギヤ挙動やケース振動のシミュレーションによる歯打ち音解析を実施した。その結果, Fig.7に示すようにR4型は現行R2型ユニットや他社競合MTより改善されていることを歯打ち音試験機で確認した。

#### (2)ギヤノイズ低減

Loaded Tooth Contact Analysis (LTCA) を活用して最適な歯面形状を決定することでギヤのかみ合いによる起振力を低減するとともに, FEM解析とモーダル解析によりケースの最適なリブ形状を決定し, 放射音も低減させた。

Fig.8にLTCAの解析結果, Fig.9にベンチでのケース振動計測結果の一例を示す。

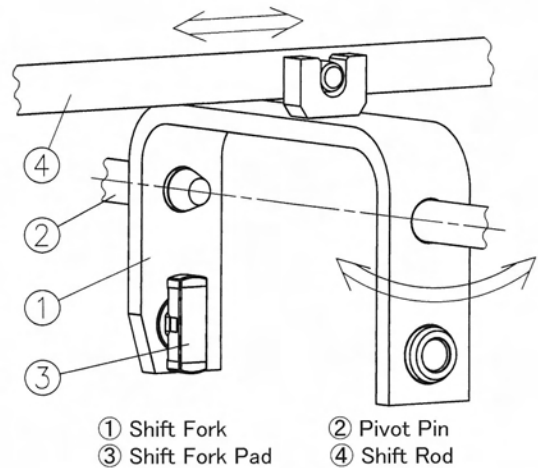


Fig.5 Swing Type Shift Fork

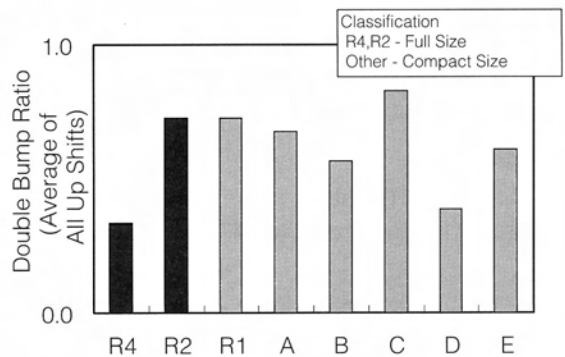


Fig.6 Smoothness of Shift  
(Light truck & SUV)

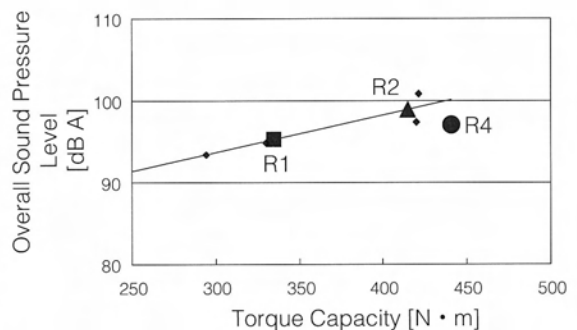


Fig.7 Gear Rattle

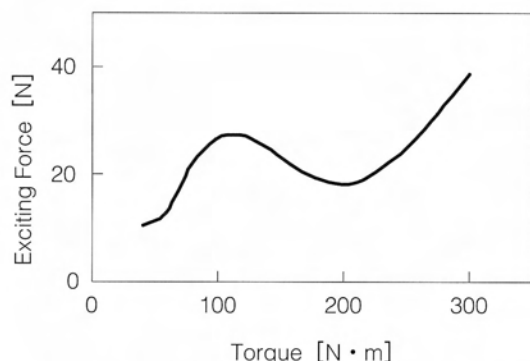


Fig.8 Exciting Force at 5th Gear Set  
(LTCA Result)

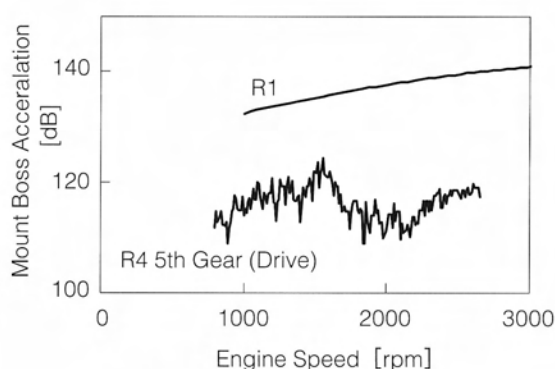


Fig.9 5th Gear Noise

### (3)こもり音改善

こもり音改善のためにケース類の剛性を改善した。上記歯打ち音改善やギヤノイズ低減対策と同時に、ケース類の急激な断面変化を抑え剛性を高めた。その上で、結合部付近の隅R拡大や、リブ高さ、厚さの最適化を図り、MT単体剛性を現行R1型より改善した。Table2にMTの固有振動数計測結果を示す。

#### 4.4 耐久性向上

特に高PV領域での耐摩耗性向上のために新開発したシフトフォークパッドや、複合材シンクロナイザーリング、ギヤへのショットピーニングなどを採用して、従来よりも厳しい耐久性目標を達成した。

## 5. おわりに

次世代FR-MTとして開発したR4型は、開発のねらいを達成させるため、ギヤスケルトン、シンクロメッシュ配置、ケース構造等、すべて白紙からの検討を行った結果、アウトプットリダクション構造がベストとの結論を導き出した。新開発の構造であるがゆえの課題は多くあったが、これを克服し量産することが出来た。

最後に、本トランスミッションの開発、生産に際し、ご協力、ご支援をいただいた社内外の関係者に深く感謝致します。

Table 2 Stiffness of Transmission Assembly  
(1st Order Natural Frequency)

	[Hz]	
	R 4	R 1
Vertical	858	881
Lateral	841	612

#### ■ 著 者 ■



本坊正和



関谷裕三



濱野正利

論文・解説

26

## 三元触媒の酸素吸蔵量とパータベーション制御の最適化 Oxygen Storage Capacity of Three-way Catalyst and Optimization of A/F Perturbation Control

宮 本 浩 二<sup>\*1</sup> 竹 林 広 行<sup>\*2</sup> 石 原 隆 久<sup>\*3</sup>  
Kouji Miyamoto Hiroyuki Takebayashi Takahisa Ishihara  
城 戸 博 行<sup>\*4</sup> 畑 村 耕 一<sup>\*5</sup>  
Hiroyuki Kido Koichi Hatamura

### 要 約

三元触媒の酸素吸蔵量を活用し、触媒浄化率を最大にする空燃比制御を開発するために、さまざまな空燃比パータベーション条件のもとで触媒浄化率を調査した。

その結果、最高の触媒浄化率は、空燃比振幅、周期、ガス流量変化によらず、排気ガスの酸素変動量が触媒酸素吸蔵量の半分のときに得られることを示した。

これらの結果にもとづき、最適な空燃比パータベーション制御アルゴリズムを開発し、全運転領域で満足のいく浄化率を得ることができた。更に、触媒劣化に伴い酸素吸蔵量に変化することに着目し、酸素変動量を一定に保ちながら触媒の故障診断を実行することで、故障診断のロバスト性をより高め、市場における誤判定のリスクを大幅に低減することができた。

### Summary

Catalyst conversion efficiency was studied with various Air Fuel ratio perturbation parameters in order to optimize the A/F perturbation control, which will maximize the catalyst conversion efficiency, by using Oxygen Storage Capacity (OSC) of three-way catalyst.

The results show that the best conversion efficiency is not affected by amplitude, period of perturbation or gas flow and is obtained when the value of perturbing oxygen quantity is about half of that of OSC.

Based on these results, optimized perturbation control algorithm has been developed, which made it possible to obtain satisfactory conversion efficiency at all the opening range. In addition, attention was given to the fact that OSC changes as catalyst deteriorates. Executing catalyst monitoring while maintaining oxygen changes constant has improved the catalyst monitoring robustness further and reduced catalyst monitoring error risk dramatically.

\* 1 ～ 4 パワートレイン開発本部  
Powertrain Development Div.

\* 5 元パワートレイン開発本部  
Former Powertrain Development Div.

## 1. はじめに

三元触媒の働きに関して、触媒の酸素吸蔵量（以下OSC）を活用して空燃比に変動を与えることで浄化率が向上することなどが知られており、OSCのモデル化についてはいろいろな考え方がある。一方、触媒のOSCの測定法に関しては、触媒入り口の空燃比をステップ状に変化させて触媒出口の空燃比応答から酸素放出量と吸蔵量を算出することが行われている。

複雑な酸素吸蔵メカニズムの研究は多く報告されているが、本論文では、三元触媒の実車使用状態におけるOSCに焦点を当て、その簡易的な測定法を構築し、OSC特性を実験的に検討した。

得られた結果を元に、最適なアルゴリズムで制御し、触媒の浄化率を最高に保つことでエミッション（以下EM）を低減したシステムを開発した。

## 2. 酸素吸蔵量（OSC）の計測

### 2.1 測定ベンチと測定装置

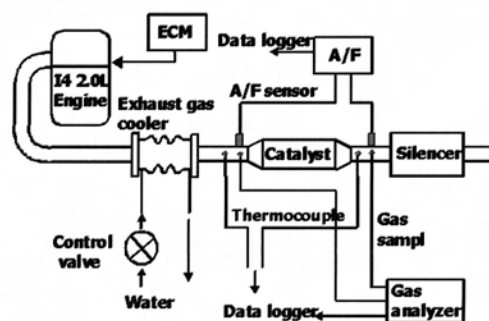
触媒の浄化性能とOSCは、触媒温度、排気ガス流量、空燃比等の条件により変化するため、これらの条件設定を安定させたうえで計測する必要がある、Fig.1のような計測設備を製作した。

直列4気筒、排気量2リットルエンジンの排気ガスを、冷却器を通じて触媒に導くことで、触媒入り口の排気ガス温度を任意に変更できる。排気ガス流量はエンジンの運転負荷により調整し、任意に空燃比を変化させるための燃料制御を行った。更に、触媒前後の排気ガス濃度、空燃比、排気ガス温度を連続的に計測した。計測値は時間的なずれを補正した後、浄化率やOSCの算出を行った。

### 2.2 OSCモデルとブレイクスルーの定義

触媒の酸素吸蔵能のモデルは数多く提案されているが、触媒後空燃比の変化を単純にモデル化したものは見当たらない。ここでは触媒内部で酸素の吸蔵と放出が行われ、触媒前空燃比変動に対して出口空燃比を理論空燃比一定に保つ機能を、単純なモデルで表すことを考えた。

Fig.2に触媒酸素吸蔵能の概念モデルを示す。このモデルは、排気ガス中の酸素量を理論空燃比からの偏差、酸素吸蔵機能を制限付きの積分器、



#### Equipment capability

Exhaust gas flow: Max 170000L/Hr @STP  
Temp range: 200 – 600°C  
A/F control: Cycle period = 0.25 – 3.0s  
Amplitude = 0 –  $\pm 5$ A/F

Fig.1 Catalyst characteristic measuring equipment

その制限量がOSCを表現している。

このモデルのシミュレーション時の応答をFig.3に示す。上の図は触媒前にパータベーションに近似した空燃比変動を与えた時の触媒後空燃比の反応である。触媒前平均空燃比が理論空燃比でない時、(A) (C) のように触媒後空燃比に変動が見られる。下の図は触媒前空燃比をステップ変化させた時の触媒後空燃比の反応である。OSCによって触媒前後で空燃比の差が生じ、その後触媒前空燃比と等しくなる。両者とも、触媒後空燃比波形は実機計測結果に近似した挙動を示しており、このモデルはほぼ妥当と考えられる。

O<sub>2</sub>センサを用いたフィードバック制御のように理論空燃比を中心とした空燃比変動が発生した時は、過剰酸素が存在する期間と、還元剤が過剰に存在する期間が交互に発生し、理論空燃比からの偏差の積分値に応じた酸素が触媒に吸蔵・放出される。このため、触媒が吸蔵する平均酸素量は理論空燃比と平均空燃比の偏差により変化する。

触媒内平均酸素量がOSCの1/2の時、OSCと等しい酸素量変動まで触媒は吸収できる。しかし触媒内平均酸素量がOSCの1/2でない場合は、OSCよりも小さな酸素量変動を吸収できない。酸素量変動を吸収できないと、触媒前空燃比変動が触媒後空燃比変動に表れるようになり、三元触媒として十分機能できなくなる。この状態がブレイクス



ルーである。

OSCとパターベーションの検討を容易にするため、触媒前平均空燃比が理論空燃比の状態にあると仮定し、空燃比変動一周期あたりの酸素量を表す指標として、Perturbing Oxygen Quantity (以下POQ) をFig.4に定義した。

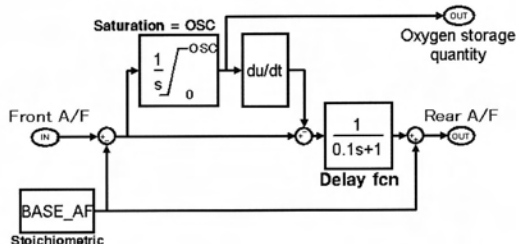
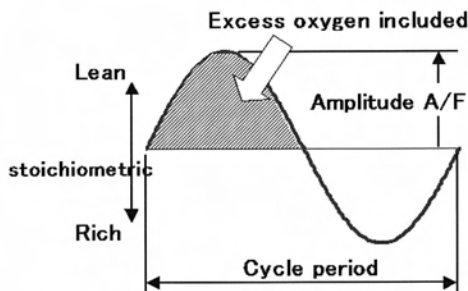


Fig.2 Concept model of catalyst OSC



$$POQ = \int_0^{\frac{T}{2}} Ka \times Aaf \times Qdt \\ = 0.00171 \times Aaf \times Ne \times \eta c \times Vh \times T$$

POQ (O<sub>2</sub>-mmol)

Ka ; constant

Aaf ; Amplitude A/F

Ne ; Engine Speed (rpm)

$\eta c$  ; Charging efficiency

Vh ; Engine displacement (L)

T ; Cycle period (s)

Fig.4 Definition of POQ

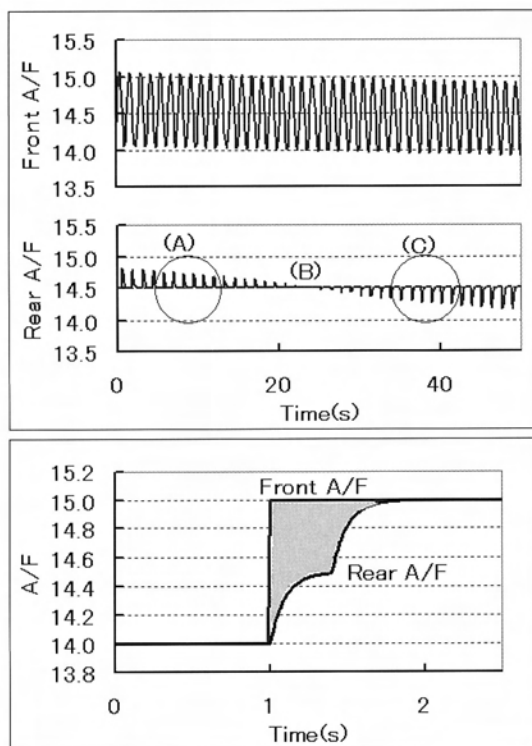


Fig.3 OSC characteristics in catalyst concept model

### 2.3 OSC測定法A；直接ブレイクスルー法

この方法は、実車使用状態に近い空燃比変動を与えた状態でOSCを計測する。触媒後のO<sub>2</sub>センサの出力変動を観測しながら、POQを少しずつ変化させ、ブレイクスルーの発生によって触媒後O<sub>2</sub>センサの出力変動が出始める直前のPOQ値を求め、その触媒のOSCa値とする。OSCaの算出はPOQの算出と同じ下式を用いる。

$$OSCa = POQ \text{ at just breakthrough} \\ = 0.00171 \times Aaf \times Ne \times \eta c \times Vh \times T \\ OSCa \text{ (O}_2\text{-mmol)}$$

実際の計測では、平均空燃比を理論空燃比に安定させるのが難しいため、平均空燃比をリーンからリッチに徐々に変化させながら理論空燃比付近の触媒後O<sub>2</sub>センサ信号を細かく計測し、触媒後O<sub>2</sub>センサ出力変動の有無を判定する。またそのときの触媒前後排気ガス濃度から浄化率を算出する。この方法は実際のパターベーションの状態に近く、その状態の浄化率も同時に測定できる。

しかし、POQを少しずつ変化させ、ブレイクスルーの有無を判定する必要があるため、計測に

時間がかかるということと、ライトオフ温度付近で触媒温度を安定させて計測するのが困難という課題がある。POQを変化させると、触媒の反応熱が変化し、触媒内部の温度が変化してしまう。特に、ライトオフ温度付近では、触媒温度に対して浄化率が急激に変化するため、触媒温度を安定させるのが困難である。

#### 2.4 OSC測定法B；応答遅れ測定法

応答遅れ測定法は、他にも多数研究されている触媒前後の空燃比ずれを計測する方法を用いた。この計測方法は、触媒前空燃比をリッチ状態からリーン状態へ切り替えると、触媒が排気ガス中の酸素を吸蔵し触媒後空燃比がほぼ理論空燃比一定となり、触媒が酸素で満たされるとブレイクスルーにより触媒後空燃比が理論空燃比からリーン側に変化するという現象を応用している。

しかし、従来の研究では、他の計測方法の計測値との関連付けは行われていなかった。ここでは、測定方法Bから測定方法Aへの換算ができるようにした。

測定方法Aは前述のようにブレイクスルー発生点の触媒後空燃比変動状態からOSCaを求めている。一方、測定方法Bにおける同じブレイクスルー発生状態は、触媒前空燃比の切り替え後、触媒後空燃比が理論空燃比を保てなくなった点に相当する。測定の便宜上、触媒後空燃比が14.6になった点をブレイクスルー発生点と定義し、下式でOSCbを求めた。

$$\begin{aligned} OSCb &= \int_0^{DT} \{Kb \times (FAF - RAF)\} \times Q dt \\ &= 0.00538 \times Ne \times \eta c \times Vh \times \int_0^{DT} (FAF - RAF) dt \end{aligned}$$

OSCb (O<sub>2</sub>-mmol)

Kb ; constant

FAF ; Front A/F

RAF ; Rear A/F

DT ; Delay Time (s)

理論空燃比よりもリッチでは空燃比センサ計測値が触媒前後で異なり、リーンからリッチへの切り替え時は信頼できる計測値が得られない。このためOSCbの計測はリッチからリーンの切り替え時で行った。Fig.5にOSCbの計測例を示す。

この計測法は、測定方法Aに対して短時間で計測ができること、温度条件設定が容易であること等の特徴がある。

#### 2.5 両測定法の相関

測定方法A、Bで得られるOSCaとOSCbの計測値の相関を調べるため、触媒の種類、触媒劣化条件、計測時の排気ガス温度を変えて計測した。その結果、Fig.6のように両者の相関はよく一致することが確認できた。

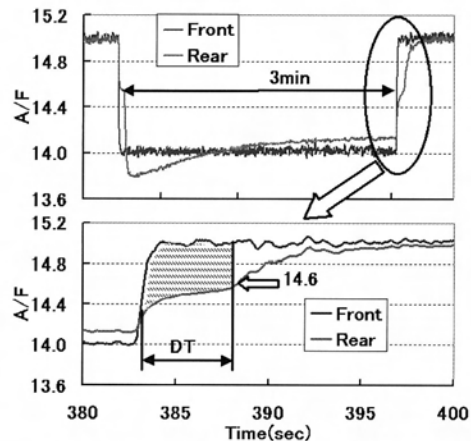


Fig.5 Example of OSCb measurement

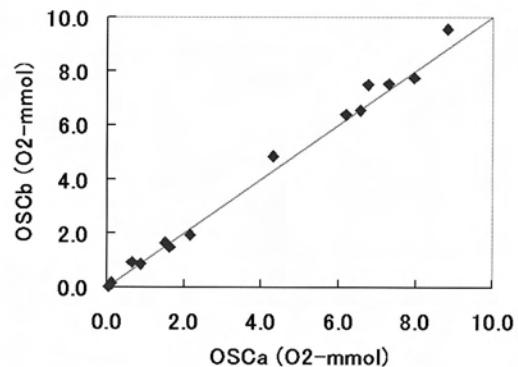


Fig.6 Correlation between OSCa and OSCb

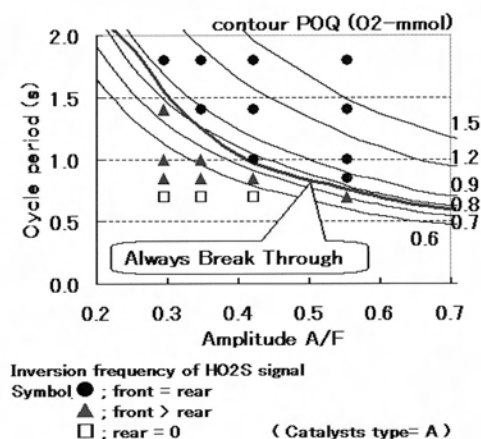


Fig.7 Characteristics of HO2S inversion frequency

### 3. OSCの特性

#### 3.1 OSCの線形性

OSCの大きさは触媒種類・劣化度合い・温度により変化する特性を持っているが、変動の大きさや変動パターンによっては大きく変化しないと考えた。仮定が正しければ同じ触媒を同じ温度に保った場合、空燃比振幅・周期・排気ガス流量に関わらず一定のPOQでブレイクスルーが発生する。これを検証するため同一触媒で、排気ガス温度を一定に保ったまま、空燃比振幅と周期を変化させたときのブレイクスルー限界を計測した結果と、等POQ特性をFig.7に示す。ブレイクスルー限界は等POQ線に沿っており、OSCは空燃比振幅と周期に対し、ほぼ線形特性を持っている。

排気ガス流量の変化に対しても評価を行い、線形特性であることを確認した。

#### 3.2 浄化率ベストのPOQ/OSCの関係

OSCa計測と同時に計測した浄化率データを用い、浄化率が最も高くなる触媒後O<sub>2</sub>センサ出力0.8V時のHCとNO<sub>x</sub>浄化率を読みとり、POQと浄化率の関係を整理したのがFig.8である。図のように、変動周期、排気ガス流量によらず、POQがOSCaの1/2の時にHC、NO<sub>x</sub>の浄化率が最大となる最適POQが存在することが分かる。更に、触媒入り口排気ガス温度 (Fig.9), 触媒種類, キャタ容量 (Fig.10) といった条件の違いによらず、常に“最適POQ=OSCa/2”の関係にある。これ

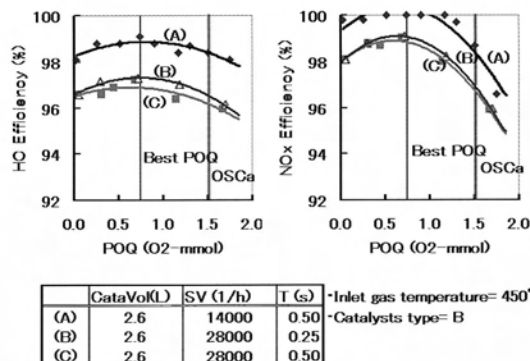


Fig.8 Conversion efficiency characteristics with respect to perturbation pattern

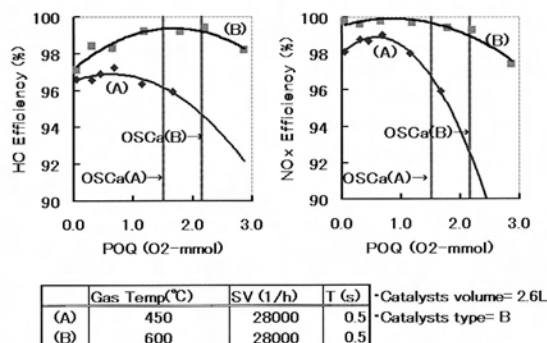


Fig.9 Conversion efficiency characteristics with respect to inlet gas temperature

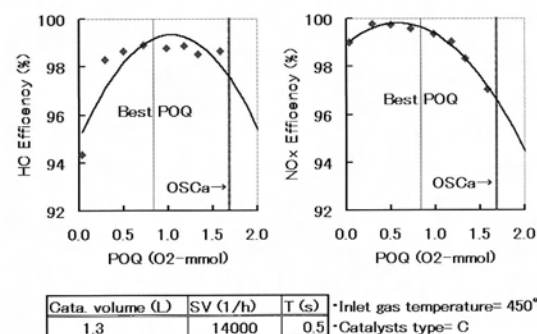


Fig.10 Conversion efficiency characteristics with respect to catalyst types

らの評価結果より、POQの指標を用い常に制御対象となる触媒のOSCの、1/2のPOQとなるようなパーターションを与えることにより、その触媒の持つ最高浄化率を引き出せることが分かる。

### 3.3 耐久条件によるOSCの劣化特性

OSCは、りんなどの被毒成分や熱により大きく低下する特性を持っている。それを確認するため、被毒・温度の影響を調査した。りん被毒の影響を調べるため、実エンジンをを用いた触媒加速劣化設備にてオイル消費量（以下LOC）のみを変更した耐久試験後のOSCbを比較した結果をFig.11に示す。この耐久試験は吸気ポートに注入するオイルの量を変更しLOCの違いを模擬した。

一方、熱による影響を見るため、条件の違う大気炉熱劣化後のOSCbをFig.12に示す。LOCよりも熱劣化の方がよりOSCに与える影響が大きいことが分かる。

OSCは実車劣化試験時の触媒位置によっても大きく異なる。Fig.13は同じ車種の直結触媒位置、床下触媒位置に取り付け複数の耐久モードで走行した同一触媒のOSCbを計測した結果である。a・b・cは耐久試験モードの違いを表し、Table1に耐久条件を示す。この結果から、同一仕様触媒、エンジンにおいても触媒配置、運転条件により耐久後のOSCは大きく変化することが分かる。

一般的に触媒劣化が進むとテールパイプEMが悪化し、同時に低下しているOSCと相関がある変化を示す。一方、触媒浄化率に着目した場合は必ずしもOSCの劣化と同じ傾向にはならず、劣化の状態によっては、触媒浄化率は高いままでOSCが大きく低下するといった状態が存在する。

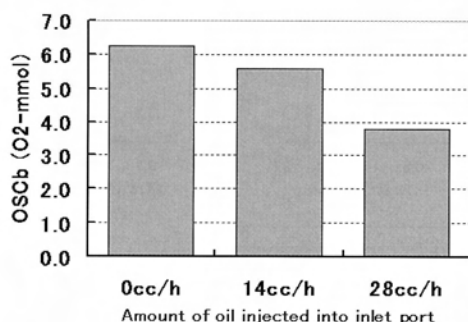


Fig.11 Phosphorus poisoning and OSCb (Catalysts type = D)

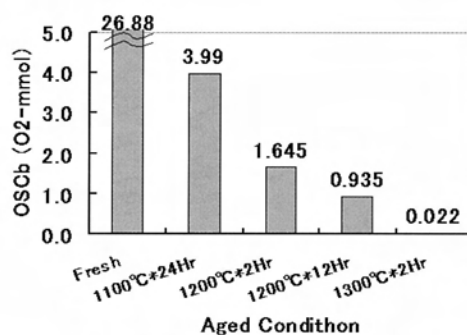


Fig.12 Heat aging and OSCb (Catalysts type = E)

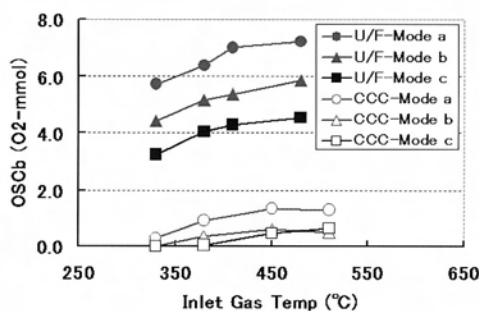


Fig.13 Durability test condition differences and OSC (Catalysts type = F)

Table 1 Durability test condition

耐久モード	平均速度 (km/h)	平均キタ温度 (°C)
Mode a	69	750
Mode b	73	800
Mode c	92	820

2種類の触媒を用い、触媒浄化率と実車EM浄化率の関係を示したのがFig.14, OSCと実車EM浄化率の関係を示したのがFig.15である。図中の点は劣化条件の違いを表している。

実車EM浄化率に対する相関をCata-FとCata-Gで比較すると、OSCの小さなCata-FはOSCに対して相関が強く、OSCの大きなCata-Fは、OSCと浄化率の両方で相関がある。

通常のフィードバック制御におけるEMモード走行中のPOQの大部分は0.5~1.0mmolである。Cata-GのようにPOQに対してOSCが大きい場合、

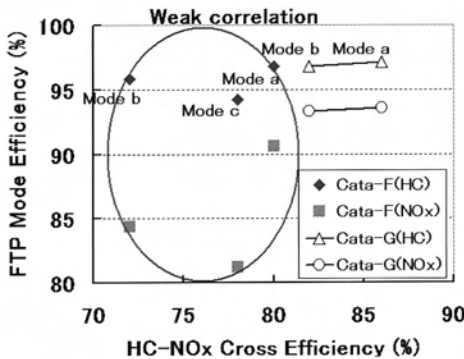


Fig.14 OSC & conversion efficiency in vehicle emission mode  
(Catalysts type = F and G)

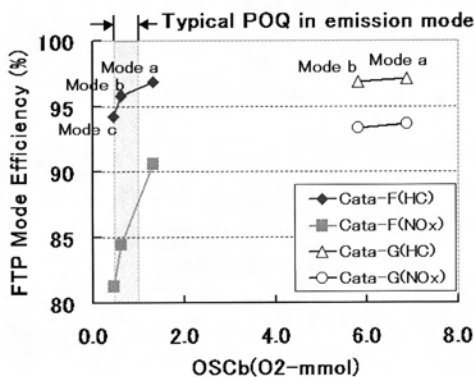


Fig.15 Conversion efficiency in vehicle emission mode & catalyst conversion efficiency in steady state at bench  
(Catalysts type = F and G)

ブレイクスルーはほとんど発生せず実車EM浄化率は触媒浄化率が支配的となる。一方、Cata-FのようにOSCが小さい場合、EMモード走行中のPOQがOSC以上の時ブレイクスルーが発生し浄化率が低下する。OSCが小さいほどブレイクスルーの頻度が高まるため、OSCと実車EM浄化率の相関が高くなる。

通常、OBDの触媒モニタを成立させるには、正常範囲で最も劣化した触媒のOSCと、故障レベルのEM値が得られる触媒のOSCを判別する必要がある。しかし、直結触媒システムのように運転時の温度が高い触媒レイアウトでは、正常劣化においてもFig.13のCCC-Mode CのようにOSCがほ

とんど零になる場合がある。そのため、OSCの減少を劣化判定に用いる触媒モニタでは、正常劣化触媒と異常劣化触媒の判別が困難となる。確実な触媒モニタを行うためには正常劣化触媒のOSCを判定可能な値以上に保つことが必要である。

## 4. 最適パータベーション制御

### 4.1 制御のねらいと目標及び制約条件

触媒の浄化率を最適化するために、あらゆる運転条件下において正常劣化触媒のOSCの1/2になるようPOQを制御することを制御の目標とする。そこで、OSCの触媒温度による変化特性と、エンジンの運転状態から推定した触媒温度を用いてOSCを算出し、それに合わせて目標POQを変化させ、常に目標状態になるようにパータベーションの周期と空燃比振幅を演算する制御を行った。

燃料を噴射量に変化してからO<sub>2</sub>センサが反応するまでの時間がフィードバック制御周期の1/2とすると、制御目標POQに対する目標空燃比振幅が一義的に求まる。実際の空燃比振幅が目標振幅になるようにフィードバック制御の比例項と積分項を決定することでPOQ一定に制御できる。この状態で、リアO<sub>2</sub>センサの信号を基に触媒内平均酸素量をOSCの1/2付近に保つことで、触媒の性能を最大限に活用した燃料制御が行える。

しかし、現実の車両では様々な要因で空燃比振幅、周期設定に制約が発生する。例えば、過大な空燃比振幅を与えた場合にエンジンのトルク変動が発生し乗り心地に悪影響を及ぼすため、空燃比振幅の上限は乗り心地の悪化がない範囲にする必要がある。

O<sub>2</sub>センサを使った燃料フィードバックシステムにおいて意図的に周期が長くなるよう制御すると、フィードバックの応答性が悪化し過渡運転時の一時的な空燃比変動でPOQが大きくなる。従って、全運転領域でPOQが触媒OSCを越えないようにするために、周期の上限は過渡のフィードバック応答性から決める。

実車のキャリブレーションに際しては、これらの制約条件の範囲内で、浄化率が最も高くなるようにPOQを制御しつつ、触媒後のO<sub>2</sub>センサフィードバック制御との組み合わせで最終定数を決める。

#### 4.2 劣化及び触媒モニタへの適用

触媒モニタは、触媒劣化に伴うOSC低下により触媒後O<sub>2</sub>センサ信号が変動することに着目し、触媒前後のO<sub>2</sub>センサ信号の反転回数比で触媒劣化状態を判定する。

触媒後O<sub>2</sub>センサ信号の変動は触媒前空燃比に影響を受けるため、運転条件の変化によって触媒内平均酸素量が理論空燃比から外れることで正常触媒においても触媒後O<sub>2</sub>センサ信号が変動しやすくなる。このため、触媒モニタの精度を上げるためにモニタ実行条件に制限をかけ、POQが一定で触媒内平均酸素量が理論空燃比となる安定的な運転条件で触媒モニタを行うのが一般的である。

新しく開発したフィードバック制御では、広い運転条件下でPOQと触媒内平均酸素量を一定に保つことが可能であり、広い運転条件で触媒モニタが実現できる。更に厳しいEM規制レベルで触媒モニタを行うには、より大きいOSCの状態を検出する必要があるが、検出すべき触媒のOSCに応じたPOQを、触媒モニタ中一定に保つ様に制御することで、触媒モニタを行うEMレベルに関わらず、触媒モニタの適合を容易に行うことができる。

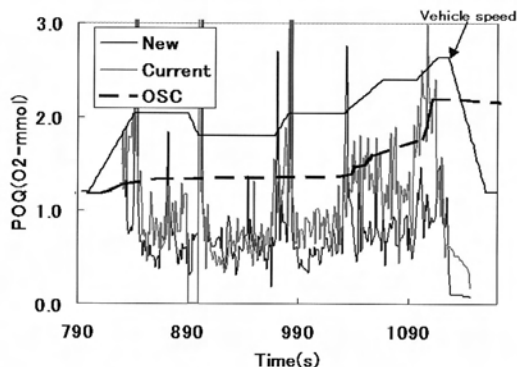


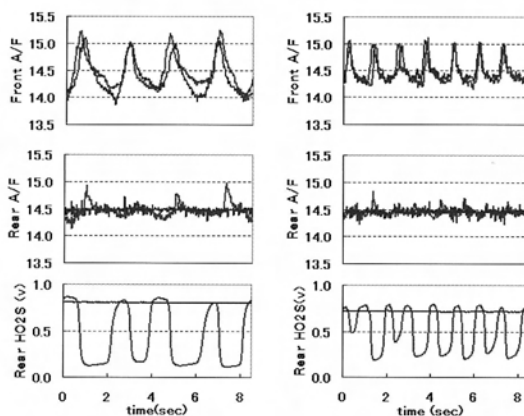
Fig.16 POQ and predicted OSCb values in EU mode drive

#### 4.3 実車での効果確認テスト結果

制御の効果を検証するため、本制御を導入したMazda6の車両を用い、従来型フィードバック制御と、新開発したフィードバック制御におけるEMテストを行った。Fig.16にEMテスト時の空燃比変動から算出したPOQ値と、触媒温度を元に推定したOSC値を比較した結果を示す。

従来制御はエンジンの運転条件によりPOQが大きく変化し、部分的にOSC以上となりブレイクスルーが発生している領域があるのに対し、新制御では運転条件によるPOQ変化が小さく、最適浄化率の得られるOSCのほぼ1/2付近で制御できている。新制御によりEU Type1 Part2テストのテールパイプEMを半減できた。

運転条件によらずPOQの比率を一定に制御することにより、OBD触媒モニタが容易になる点についても実車で確認した。Fig.17に結果を示す。触媒モニタ実行範囲内のさまざまなエンジン運転条件において、正常触媒と故障レベル触媒の判別性を評価した結果、いずれの運転条件においても、正常劣化触媒と故障判定レベルの触媒の触媒後O<sub>2</sub>センサ波形に明らかな違いが見られ、広い運転範囲で触媒モニタが容易であることが確認できた。



Engine Speed =	1500rpm	3000rpm
$\eta_c$ =	0.2	0.2
POQ =	0.849	0.903
Blue: normal catalyst OSC=1.613 @400°C		
Red: mal-function catalyst OSC=0.43 @400°C		

Fig.17 Catalyst aging monitor detection when engine operating conditions are changed



## 5. まとめ

三元触媒を使ったEMシステムにおいて、実際の運転状態に近いパータベーション下での触媒のOSC単純思考モデルを構築した。その考え方に基づいて、パータベーションにおける空燃比振幅・周期・排気ガス量の積をPOQと定義して、OSCと対比させることで以下の知見が得られ、最適なパータベーション制御のあり方を示すことができた。

- (1) ブレークスルー限界のPOQを触媒のOSCと定義するとともに、OSCをテストベンチで測定する2つの方法を開発し、両者に強い相関があることを確認した。
- (2) 実際の運転条件に近いOSC計測法で特性を測定した結果、OSCは空燃比振幅・周期・排気ガス量について線形とみなせることが分かった。
- (3) 空燃比振幅・周期・排気ガス量を変化させても、また、触媒の容量・種類・劣化状況・温度を変えた場合にも、OSCの1/2程度のPOQを持たせた場合に、最高浄化率が得られることが分かった。
- (4) 触媒の種類・温度・劣化条件の異なる触媒のOSCを測定した結果、OSCは触媒の種類で大きく異なるうえ、熱と被毒によって減少し触媒の温度によって変化することを確認した。
- (5) 触媒後O<sub>2</sub>センサ信号によるフィードバック制御で触媒内酸素量をOSCの1/2付近に保ちながらパータベーション制御を行うことで、浄化率と触媒劣化モニタの安定性を向上させることができた。

触媒を最高に活用する制御に加えて、始動と暖機中のEM低減システムを組み合わせたEMシステムをMazda 6に導入した。

### ■ 著 者 ■



宮本浩二



竹林広行



石原隆久



城戸博行



畑村耕一

論文・解説

27

## ポータブル式非接触光学三次元測定機の開発 Development of Portable Optical 3D Non-Contact Former Measurement Machine

山 本 俊 介<sup>\*1</sup> 妹 尾 卓<sup>\*2</sup> 佐 伯 克 彦<sup>\*3</sup>  
Shunsuke Yamamoto Takashi Senoo Katsuhiko Saeki  
藤 永 孝 生<sup>\*4</sup> 橋 本 朋 幸<sup>\*5</sup> 木 谷 昭 博<sup>\*6</sup>  
Takao Fujinaga Tomoyuki Hashimoto Akihiro Kidani

### 要 約

当社では、MDI (Mazda Digital Innovation) 計画の展開により、三次元CADデータに基づく商品開発が数年前から定着している。この変化に伴い、三次元CADデータをもとに製作した実際の物の品質を瞬時に把握し、設計や製作工程の不良要因の特定を迅速に行いたいという要求が増している。更なる開発期間短縮と品質向上を高い次元で両立するためには、既存の三次元測定機 (CMM: Coordinate Measurement Machine) では、測定時間/測定特性/設備費用の面で限界があり、新たな測定機の開発が必要となった。

そこでこれらの課題に対処すべく、画像測定を活用した三次元測定技術に着目し、1998年より測定機の開発に着手した。これを試作工場での自動車部品測定へと適用した結果、①車体部品の精度向上②実環境下での治具精度保証③車両組立工程での工程間変位量測定④素材型の超高速NC切削加工への応用等を実現した。本稿では開発したポータブル式非接触光学三次元測定機の開発要件、測定機の概要、性能比較、成果等について報告する。

### Summary

In Mazda, the product development based on 3D CAD data has been settled for several years by progressing the Mazda Digital Innovation (MDI) Project. The demand of grasp the quality of the actual product instantaneously based on 3D CAD data, and to elect a defective factor of the design and the manufacture process promptly. To achieve both shorten the development period and improve the quality at a high level, existing Coordinate Measurement Machine (CMM) was limited on measurement time / measurable characters / equipment cost. Therefore the development of a new measurement machine was needed.

So, we focused on the Optical 3D Measurement Technology which applied the Image Acquisition Technology to solve these problems, and we started the development of New Measurement Machine in 1998. We have applied it to the car body parts measurement in the Prototype Department factory. As a result, we achieved ①Accuracy improvement of body parts ②Guarantee the fixture accuracy in actual environment ③Deformation Measurement between stages in Vehicle Assembly Line ④Application to Higher speed NC machining for Bare Casting Mold, etc. In this article, Development Requirement, Outline, Testing Result and Effectiveness of Portable Optical 3D Non-contact Measuring Machine are reported.

\* 1 ~ 6 試作部

Prototype Fabrication Dept.

## 1. はじめに

当社では、MDI計画の展開により、三次元CADデータによる商品開発が数年前から定着している。この変化に伴い、三次元CADデータをもとに製作した実際の物の品質を瞬時に把握し、設計や製作工程の不良要因の特定を迅速に行いたいという要求が増してきた。従来三次元測定の中核はCMMであり、測定室内での点接触によるポイント測定とレーザーによる断面測定を高精度で実現することで、様々なニーズに応えてきた。しかしいずれの機能も要求を満足する十分なデータを得るには測定時間／測定特性／設備費用の面で限界があり、更なる開発期間短縮と品質向上の両立を目指し新測定ツールの開発に取り組んだ。以下にその概要と事例を報告する。

## 2. 開発のねらい

### 2.1 三次元測定機の現状

三次元測定機の課題を以下に示す。

#### (1) 面形状測定

CMMは測定ポイント数が限られており、その測定結果をもとに面形状を把握するには、経験と勘に基づいて全体の状況を推測する専門的なスキルが必要となる。ポイント数を増やすことは可能であるが、次項で述べる測定時間が莫大となり現実的ではない。そのため現状レベルの測定データでは面形状解析への適用は困難である。

#### (2) 測定時間

CMMは基本的に測定ポイントを想定した専用NCプログラムの作成が必要となる。機能上ポイント数の制約はないが、数に比例してデータ作成と測定時間が増加するため、測定効率の面から事実上制限される。また、測定前に測定用定盤、治具の準備、ワークの搬入が必要となり即時対応性が低く、測定後にはデータ処理が必要なため、タイムリーな評価に適していない。

#### (3) 実環境下での測定

温湿度が管理されているCMMの測定専用室と生産ラインでは環境が大きく異なり、ワークへの影響が懸念されるが、専用室内での状況下でしか測定が行えない。また測定室へのワーク移動が必要となるため、サイズ・重量の制約により移動・

運搬が困難なものには対応できない。

#### (4) 設備投資、維持費用

設備の初期投資と建屋の基礎工事費に加え、機械的精度維持のための相当額のメンテナンス費用が必要なため高額となる。従って測定ポイント数、測定部品数を増やすための複数導入は困難である。

以上の現状認識に基づき開発要件を決定した。

### 2.2 開発要件

前節での課題解決のため、七つの要件を掲げた。

#### (1) 三次元自由曲面測定

部品の三次元形状を把握し、原因究明・対策を実現するため、形状全面にわたって測定データを取得できること。また瞬時に視覚的に判断が可能なデータを提供できること。

#### (2) 測定時間

トータル時間を大幅に短縮し、不具合発生時に即時対応できるよう、測定前段取りを最小限にすること。

#### (3) 可搬性、ロバスト性

実環境下での測定を可能とするため、試作、また量産においても工場内での移動・測定が行え、温度変化、床面状態、障害物等の様々な制約条件をクリアできること。

#### (4) 費用

将来的に量産現場への展開を実現するため、本体、消耗品が安価であり、メンテナンスを必要としないフリーメンテナンス構造であること。

#### (5) アプリケーション

測定機に測定からアウトプット作成までの全ての機能を持たせ、更に外部システムにデータを出力できること。

#### (6) 操作性、習熟性

全工程一人作業が可能で、短期間の教育で習熟できるレベルの操作内容であること。

#### (7) 精度

CMMと同等の精度を有すること。

以上を開発要件とし、ニーズに応える新システムの開発に着手した。

## 3. 新測定機の概要と開発技術

### 3.1 開発体制

開発要件の実現にあたり、画像測定を活用した

三次元測定技術に着目し、1998年、この分野で最先端の技術を有するCogniTens社と共同開発を始めた。この技術を自動車部品の測定へ適用するため、当社より開発要件を満たす詳細仕様、測定プロセスを提示し、それをもとにCogniTens社が測定機の製作・ソフト開発を進めた。

### 3.2 測定機の概要

#### (1) 測定原理

複数の二次元デジタル画像（写真）から、三次元データを算出する測定機である。高速、高精度、高密度を可能にするアルゴリズム（トリリニア・テンソル・テクノロジー）を用いている。

まず三つのカメラで同時にワークの撮影を行い三枚の二次元画像を得る。次に各画像内の同一点を検索し、撮影時のカメラの位置関係を用いて、その点までの距離を算出する。このプロセスを撮影範囲全面にわたって繰り返し行うことで三次元像を点群データとして復元する。

#### (2) 測定機器の構成

ハンディタイプのポイント測定用高精度カメラ（以下、ハンディカメラ）（Fig.1）とワークステーション、三つの高解像度レンズを一体化したオプティカルヘッド（Fig.2）とPCを搭載したプラットフォーム（以下、光学測定機）（Fig.3）で構成する。他に寸法補正用バーやターゲットなどの付属品、校正用のボックスが必要である。

#### (3) 測定手順

ハンディカメラによりワークに貼り付けたターゲット（Fig.4）を撮影し、ワークステーション

で各ターゲットの配置（位置関係）を把握する。この作業をグローバルマッピングと呼ぶ。このグローバルマッピングデータをワークの座標系に座標変換（以下、アライメント）し、光学測定機へ入力する。光学測定機の撮影により取り込まれた点群データは、一ショット（撮影）毎に、マッピングデータをもとにCADデータと同じ座標系に自動的に配置され、CADデータと比較照合を行い、偏差量に応じたカラーマップを表示する。

またハンディカメラによるグローバルマッピング機能を応用し、車体組立治具の受け位置にセットしたターゲットを撮影することで、治具測定機として使用できる等、高精度ポイント測定機として活用が可能である。

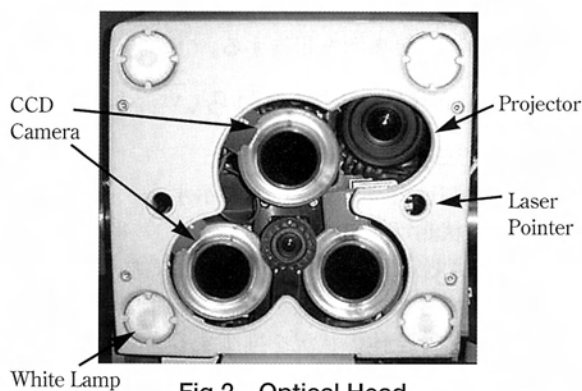


Fig.2 Optical Head

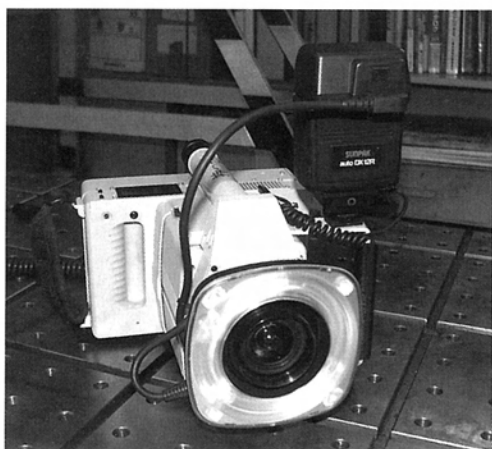


Fig.1 High-Resolution Hand-Held Digital Camera



Fig.3 Optical Measurement Machine

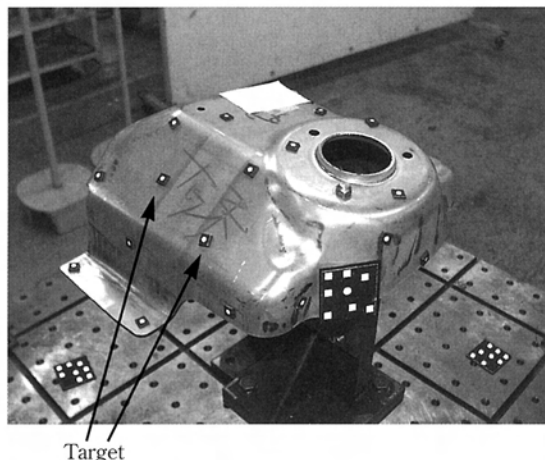


Fig.4 Targets for the parts measurement

### 3.3 測定技術開発

自動車部品へ適用するために開発した測定技術について説明する。

#### (1) プラットフォーム構造

実際の試作工場レイアウトと測定部品形状をシミュレーションしながら、①全車体部品が測定可能②現在の工場レイアウトを使用③測定対象を移動しない等の条件を満たす構造を検討し、プラットフォーム構造を決定した。

まずオプティカルヘッドの付け根部には二方向の回転機能と焦点合わせ用微調整機能を持たせ、プラットフォーム部は水平・垂直移動できるアームを基本とする水平アーム型構造とした。これにより、全車体部品の死角をなくし、測定要求部位の全面測定を実現した。また工場内の組立治具のレイアウトを考慮し、カメラとワーク間の焦点距離を600mmとした。更に計算用PCをプラットフォーム部に内蔵したことで、工場内での可搬性を向上した。

#### (2) ソフトウェア

##### ① 一人作業の実現

測定機と計算用PC、アウトプット作成用アプリケーションを統合し、一本化したことで、全工程一人作業を実現した。測定前に複雑なパスプランニング作業（ターゲット配置場所・個数、撮影位置・方向等のシミュレーション）が必要であったが、ソフト改善により廃止した。また最低限必要な作業以外は自動化を進め、作業手順を簡略化した結果、測定工数を30%低減、全工程の教育期

間を三ヶ月から二週間へと短縮した。

##### ② アウトプットデータの高度化

三次元光学測定機のアウトプットとして、解析が容易な設計値との偏差を表したカラーマップ、詳細な解析を行う際に必要となる点群データに加え、三次元面データ（STLフォーマット）出力を可能にした。ネットワークを通じてこれらのデータを社内外へと配信し、各端末を用いてマスターとなるCADデータと比較することで、形状、断面、公差外れ、寸法等の様々な情報を確認・検討できる体制を確立した。

##### (3) 測定精度

三次元光学測定機一ショット当たりの測定範囲300×450mm以上の範囲を測定するには、撮影毎に得られた各点群データ（以下、タイル）をつなぎあわせる必要がある。その方法として、①それぞれのタイルにラップを持たせ、そのラップ部のデータの誤差量が最小となるように配置する方法②予めワーク全体に配置されたターゲットの三次元座標位置データ（グローバルマッピングデータ）を作成し、それをもとに各タイルを配置する方法、の二通りが上げられる。

①のステッチング方式を採用していたプロトタイプ機での共同テストの結果、ステッチング毎に約40 $\mu$ mの誤差を生じ、タイル数の増加に伴い誤差が累積されること、各タイルにラップが必要となるため任意の面測定には制約が大きいたことが分かった。一方②では、事前にワーク全体に配置されたターゲットの座標位置関係を高精度で測定してあるため、広範囲測定においても精度が保たれること、タイル毎に即座に適切な配置が可能であるため特定の部位だけを限定した測定が可能であること、座標位置データをアライメントにも応用できること等が確認できた。以上より、②を選択し開発を進めた。

##### (4) アライメント機能

測定した点群データと設計CADデータの位置合わせを行うアライメント方法として、①測定データと設計データを、全体の誤差が最も少なくなるように位置合わせを行う方法（ベストフィット法）、②基準となるポイントを測定し、それを用いて位置合わせを行う方法（アライメント法）、の二通りがある。しかし①のベストフィット法で



は、特定の不良部分の影響が全体的に分散されてしまい、不良箇所の特定制が困難になること、位置合わせの計算に莫大な時間を要してしまうこと等により②を採用した。アライメント用の基準ポイントには、治具の取り付け基準である車体組立定盤の溝を用いることとし、専用のターゲットを設計製作した。しかし定盤には平面度、溝ピッチ等の誤差があり、その影響が懸念される。そこで計算後、基準ポイントの面精度、位置精度を計算し、設計値に近いものを選択する機能を付加したことにより高精度なアライメントを実現した。

#### (5) 治具測定機能

車体組立治具とは車体組立の際に板金部品の位置決めや固定を行うためのものであり、受け穴・面を持っている。従来のCMMによる治具測定では、測定室への移動が行えない据付定盤の治具測定、定盤の移動により生じるノイズをなくするための組立現場での治具測定、組立台数による治具変形・剛性の測定等、対応できない工程が存在した。そこで治具個々の位置や角度、定盤上への配置が設計値通りにできているかを実環境下で測定し保証するため、ハンディカメラを用いた治具測定機能を開発した。各治具の受け穴・面にセットされた専用ターゲット (Fig.5) の相互位置関係を求め、設計値と比較するための設計データ形式、計算原理、アウトプット形式などを検討し、当社のシステム部門と協力して一ワーク5～10分で測定に必要なデータを作成するアプリケーションを作成した。並行して測定専用アダプターとターゲットの設計製作を進め、繰り返し評価により仕様を決定した。

#### (6) 現場環境対応

試作工場内環境下でのトライアルにより、要対策項目を抽出し、改善を進めた。

##### ① 照明環境、温度変化

測定に光学方式を採用していることから、太陽光や照明などの影響を排除するため、薄暗い中での撮影が必要であった。そこで露出 (露光)、照度パラメータの設定機能を付加し、撮影状況に応じて、適切な設定を用いると共に、各環境下でのキャリブレーション (校正作業) を行うことで温度変化に対しても安定して点群を取得できるようにした。

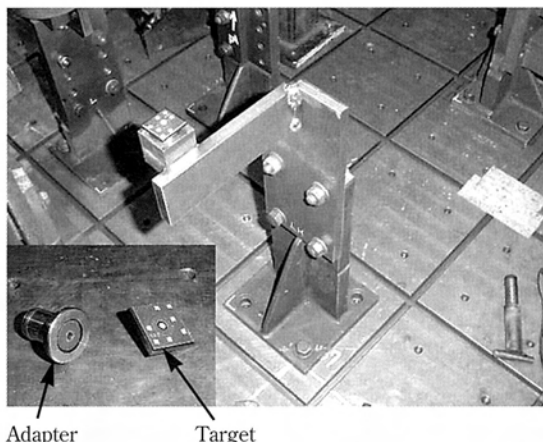


Fig.5 Target and Adapter for the fixture measurement

##### ② 振動対策

工場内では様々な振動が発生する。しかし測定には0.1～1秒の露出時間が必要であり、振動によるブレを含んだデータを取得する可能性がある。そこで撮影毎に振動チェック用の工程を設け、撮影前後の状況を比較することで振動の有無を判別し、公差外のはエラーとして扱うことで信頼性のあるデータ取得を可能にした。

##### ③ ノイズ対策

工場内では高電圧スポット作業が近隣で行われ、ノイズの発生や計算エラー、電圧降下等を生じる。このような過酷な状況下でも測定が行えるよう、データ転送用として光ケーブルを採用し、ノイズの進入を防ぐとともに転送速度を高め、更にUPSバッテリーを内蔵することで安定した電圧の供給と測定データの保護をはかった。

## 4. 測定機の性能比較

### (1) 測定時間

CMMでの測定用NCデータ作成時間の廃止、アウトプット製作時間の短縮により、測定工数、リードタイム共に大幅に削減した。Fig.6に示すセンターフロアの例では測定工数を82%低減している。更にCMMでの測定結果 (Fig.7) では断面・ポイントの数値データもとに形状分析が必要となるが、本測定機の結果 (Fig.8) では全体の形状を容易に把握することができる。必要人員についてもCMMでは延べ4～5名必要なのに対



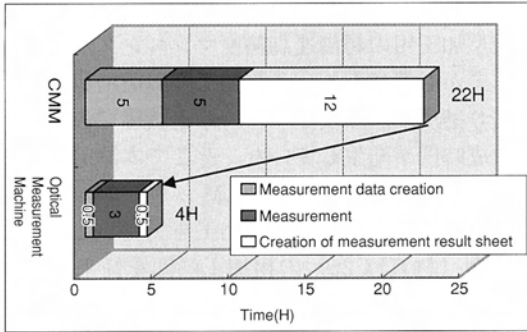


Fig.6 Measurement time of Center Floor

し、全工程一人作業を実現した。治具測定においてもデータ作成時間の減少により、従来比44%の低減をはかった。

## (2) 精度

本測定機、ステッチング方式を採用していたプロトタイプ機、CMMの測定精度をTable 1に示す。ここで、グローバル精度とは複数タイルでの測定精度のことである。CMMについては接触式とレーザープローブでの精度をそれぞれ記載した。グローバルマッピング、アライメント機能を利用したことで要求精度を満足した。

## 5. 適用事例と成果

試作工場で適用した事例と成果を述べる。

### (1) 車体部品の精度向上

車体精度は部品の接合面精度が大きく影響する。この接合面精度の改善は、プレス成形時のスプリングバックの極小化が重要となる。CMMでは、部品形状の一部の点や断面しか測定できないため、迅速な精度改善が困難だった。本測定機の適用により、全主要部品の面精度把握が短期間で容易に行えるようになった。更にその測定データを社内外の製造現場に配信し精度改善のための修正指示として活用する体制を構築した。この結果、部品精度が20%向上し、車体組立時の手直し工数を大幅に減少させることができた。

### (2) 実環境下での治具精度保証

車体組立の最終となるドック工程は、定盤が工場へ設置してありCMMによる治具精度保証は行えない。またドックに固定されたメインポールについては可搬式アナログ三次元測定機での測定を実施していたが、ドック定盤の面精度0.3～

0.5mmを含んだ測定結果しか得られず、精度に課題を残していた。そこでハンディカメラによるドック撮影を行い、メインポールの高精度測定と治具完成状態での精度保証を実現した (Fig.9)。従来CMMにより測定していた車体治具についても、実際の組立現場での精度保証へ切り替え、定盤の移動・設置に伴い生じるレベル変化 (0.25～0.67mm) をなくし、治具精度を向上させた。

### (3) 車両組立工程での工程間変位量の測定

フロントエンドモジュールへのオープンボディ

Table 1 Compare of Accuracy

	Development Machine	Prototype	CMM			
			Single Column		Double Column	
			Probe	Laser	Probe	Laser
Global Accuracy ( $\mu\text{m}$ )	100+30L (L : m)	100+120L	50+25L +140T (T : m)	70+25L	90+25L+ 110(T <sub>1</sub> +T <sub>2</sub> ) ≤250	120+25L ≤200

L : Range of measurement  
T : Length of probe

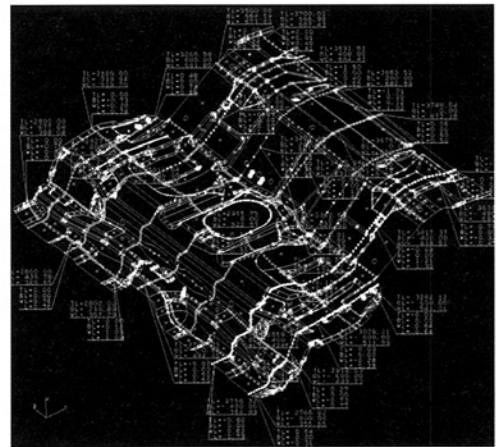


Fig.7 Result of CMM

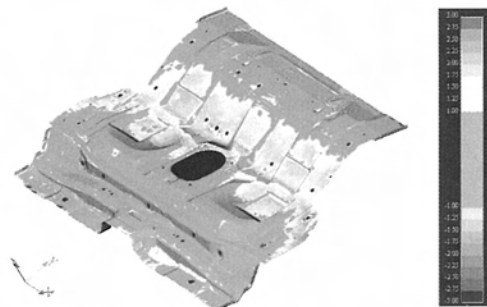


Fig.8 Result of Optical measurement

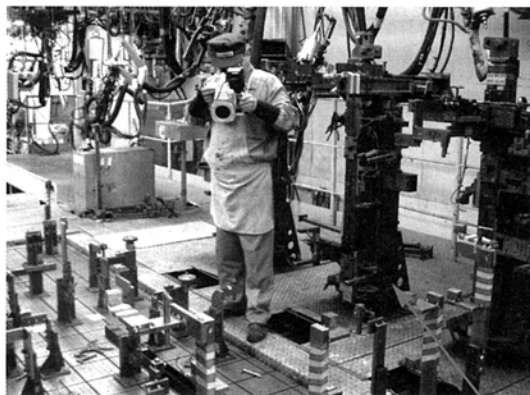


Fig.9 Dock Measurement Main Pole

構造採用可能性検証のため、試作工場の車両組立工程でバンパーレイン取外し工程・エンジン搭載工程におけるボディのフェンダー間・フレーム間ピッチの変位量を測定した。(Fig.10)

当初CMMによる測定を行っていたが、本測定機による組立工程での測定を行うことで、測定室への運搬や車両の上げ下ろしにより発生するノイズを無くし、測定結果のバラツキが約1/5に抑えられ、信頼性の高い測定結果を得る事ができた。

#### (4) 素材型の超高速NC切削加工への応用

金型製作過程のNC切削において、切削前の鋳造素材形状のバラツキによる欠肉・取り代過大の素材肉厚状態の測定が必要となる。従来はCADデータから数値図を作成し、レイアウトマシンによる100mmピッチのポイント測定を行っていたが、欠肉の見逃しや、最大で20mmを超える肉厚

も部分的な傾向でしか把握できなかった。そのため金型加工用の超高速高精度マシニング内での確認作業が必要になり、大粗加工時の切削負荷による送り速度の調節及びマシン停止状態でのパス追加作成時間が発生していた。そこで本測定機能により出力した面データをCAMシステムへ取り込み、素材面形状を把握した加工を実現し、試作プレス型(材質FC25)の粗加工時間を従来比40%短縮した。また追加パスの作成工数を廃止できた。

## 6. おわりに

実環境下での面形状測定では機能・操作性・汎用性において最先端の測定機を開発することができた。今後、①更なる測定時間の短縮②穴測定精度の向上③測定機の低コスト化④アライメント機能の充実⑤ヘッド小型化による車内測定への適用等の課題解決へ向け、引き続き開発を進める。

最後に本測定機の開発に多大なご協力をいただいた CogniTens 様(株)に深く感謝の意を表す。

### ■ 著 者 ■



山本俊介



妹尾 卓



佐伯克彦



藤永孝生



橋本朋幸



木谷昭博

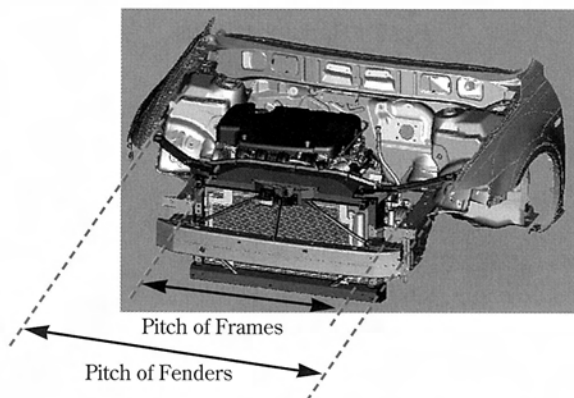


Fig.10 Pitch displacement amount measurement

論文・解説

28

## デファレンシャル歯車の高強度化技術開発 Development of Manufacturing Technology for High-Strength Differential Gears

織 田 和 幸\*<sup>1</sup> 藤 川 智 士\*<sup>2</sup> 有 見 幸 夫\*<sup>3</sup>  
Kazuyuki Orita Satoshi Fujikawa Yukio Arimi

### 要 約

自動車の駆動系に用いられる歯車には、エンジンの高出力化や軽量化ニーズを満たすため、その高強度化が強く求められている。その要求に対応するため、熱処理面からのアプローチを行い、浸炭処理と高周波焼入れという既存技術を複合した新しい歯車強化技術を開発した。その要点は、浸炭処理後の再加熱高周波焼入れ条件と鋼材成分の最適化により微細な結晶粒度を安定して確保することにある。当社において、「浸炭高周波焼入れ」と名付けられた新プロセスにより、従来の浸炭焼入れに比べ格段に高い衝撃疲労強度とスポーリング強度が得られた。また、新プロセスを採用することにより、従来の4ピニオン・タイプのデファレンシャルから2ピニオン・タイプに代替することが可能となり、デファレンシャル・ユニットの軽量化、および大幅なコスト低減を実現することができた。

### Summary

It is required for automotive drivetrain gears to be strengthened in order to meet the needs of higher engine power and weight saving. To cope with the requirement, new technology for strengthening gears has been developed which combined carburizing with induction hardening. The key point is to ensure fine austenite grain size by means of optimizing induction hardening conditions and steel compositions. New process, which mazda calls carburizing and induction hardening, made it possible to obtain impact fatigue strength and spalling strength far higher than the one obtainable by the conventional carburizing. Furthermore, by applying the new technology to differential pinions, we could replace the conventional 4-pinion type differential unit with the 2-pinion type one, and realize weight saving and drastic cost reduction.

\* 1, 3 パワートレイン技術部  
Powertrain Production Engineering Dept.

\* 2 パワートレイン先行開発部  
Powertrain Advance Development Dept.

## 1. はじめに

自動車には、動力性能向上、燃費改善のための軽量化、さらには低コスト化を狙いとしたサイズダウンによる部品共通化などが求められ、動力伝達部品であるデファレンシャル歯車においても、ますます過酷な負荷条件の下で使用されるようになってきている。このような背景から、デファレンシャル歯車の耐久性を確保しつつ、軽量・コンパクト化を図るため、その高強度化は重要な課題のひとつとなっている。

デファレンシャル歯車に要求される強度特性には、耐摩耗性、衝撃疲労強度および面圧疲労強度があり、このような特性を満たすため、一般的には浸炭焼入れが採用されている。耐摩耗性は浸炭焼入れにより十分な性能が確保されるが、通常の浸炭焼入れを施したデファレンシャル歯車では、衝撃疲労強度または面圧疲労強度によりその寿命が決定される場合が多く、材質面および熱処理面での改良が望まれている。

そこで本稿では、衝撃疲労強度と面圧疲労強度の両立を目的として開発された新しい製造プロセスについて報告する。

## 2. 開発の狙い

前述のように、デファレンシャル歯車に要求される重要な強度特性として、衝撃疲労強度と面圧疲労強度が挙げられる。衝撃疲労損傷は、自動車の急加減速などにより繰り返し衝撃荷重が歯車に作用し、比較的低サイクルで歯車の歯元表面から亀裂が発生し破壊する損傷形態である (Fig.1 (a))。一方、面圧疲労損傷は、歯車の噛み合いにより歯面に繰り返し面圧が作用し、歯面の内部 (表面下) で亀裂が発生し、かなり大きい金属片が剥離する損傷形態である (Fig.1 (b))。ここで特に、面圧疲労損傷の中でも表面亀裂起因のピッチング損傷と区別するため、内部亀裂起因の損傷はスポーリング損傷と呼ばれ、以下ではその強度特性をスポーリング強度と呼ぶことにする。

そこで、デファレンシャル歯車に要求されるこれら二つの強度特性を向上させるための方法について検討を行った。

### 2.1 開発目標

スポーリング強度を高めるには、浸炭深さを深くすればよいことが知られている<sup>(1)</sup>。しかし、浸炭深さを深くしようとすると浸炭効率を高めるため、カーボンポテンシャル (雰囲気炭素濃度) を高く設定する必要がある、必然的に表面炭素濃度が高くなる。このため浸炭層表面の粒界強度が低下し、衝撃疲労強度の低下を招く<sup>(2)</sup>。即ち、通常の浸炭焼入れを施した歯車では、衝撃疲労強度とスポーリング強度とはトレードオフの関係にあった。

そこで、スポーリング強度を確保しながら、同時に高い衝撃疲労強度を得るため、Fig.2に示すスポーリング強度と衝撃疲労強度との両立を狙いとした高強度デファレンシャル歯車の開発を目標とした。



Fig.1 Impact Fatigue Failure (a) and Spalling Failure (b)

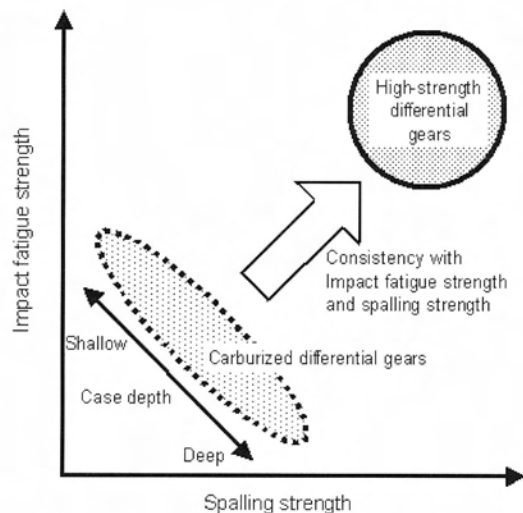


Fig.2 Target of Development

## 2.2 開発コンセプト

衝撃疲労強度を高めるには、鋼へのNiやMo添加が有効であることが知られている<sup>(3)</sup>。しかし、NiやMoの添加は材料コストを高めるばかりでなく、同時に加工性を著しく劣化させる。

そこで、スポーリング強度を確保した上で、衝撃疲労強度を向上させるため、熱処理面からのアプローチを行った。Fig.3はその開発の考え方(コンセプト)を示したものである。

まず、スポーリング強度を高めるには浸炭深さを深くする必要がある。しかし、浸炭深さを深くすると前述のように浸炭層表面の粒界強度が低下するため、何らかの方法で補わなければならない。その方法として、結晶粒の微細化を検討した。結晶粒の微細化による強化は、ホールペッチの関係として知られており、衝撃疲労強度の向上も期待できる<sup>(4)</sup>。結晶粒微細化の手段としては、浸炭後に高周波焼入れを施すことを検討した。なお、通常の表層部のみの加熱焼入れを目的とした高周波焼入れでは、熱影響により内部で焼もどしを受け、硬さが軟化するため、内部強度も必要なスポーリング強度が低下してしまう。従って、本技術における高周波焼入れでは、ワーク全体を高周波加熱し、焼入れを施すことを検討した。

以上の検討結果から、通常の浸炭用肌焼鋼を用い、浸炭処理後高周波焼入れ(以下、浸炭高周波焼入れ)を施すという新しい複合熱処理プロセスの開発に取り組んだ。

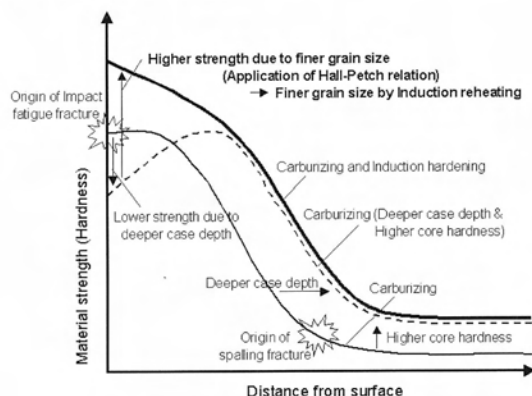


Fig.3 Basic Concept for Consistency with Impact Fatigue Strength and Spalling Strength

## 3. 浸炭高周波焼入れプロセスの最適化

### 3.1 浸炭高周波焼入れによる結晶粒の微細化

#### (1) 結晶粒度に及ぼす高周波加熱温度の影響

浸炭処理後の結晶粒度に及ぼす高周波加熱温度の影響を調査した。Fig.4に示すとおり、結晶粒度は高周波加熱温度が低いほど微細化する傾向が見られた。高周波加熱により浸炭後の組織は、Ac1変態点を越えてフェライト+パーライト組織からオーステナイト組織への逆変態が進行する。その後、オーステナイト結晶核発生とその成長が進むが、高周波加熱温度は結晶粒の成長を促す最も大きな因子である。また、高周波加熱では、急速加熱により加熱時間が短時間であるため、結晶粒の成長が抑えられ、焼入れによって微細な結晶粒を得ることができる。ただし、高周波加熱温度が850℃以下の温度では、オーステナイト化が不十分となり、未固溶フェライトが残っているのが認められる(Fig.5の白色塊状に見えるのが未固溶フェライト)。また、高周波加熱温度が1,100℃を超えると、高周波焼入れ前の浸炭処理時点での結晶粒度より大きくなってしまふことが分かる。以上のことから、結晶粒の微細化には、未固溶フェライトが残らない範囲で高周波加熱温度を低くすることが望ましい。

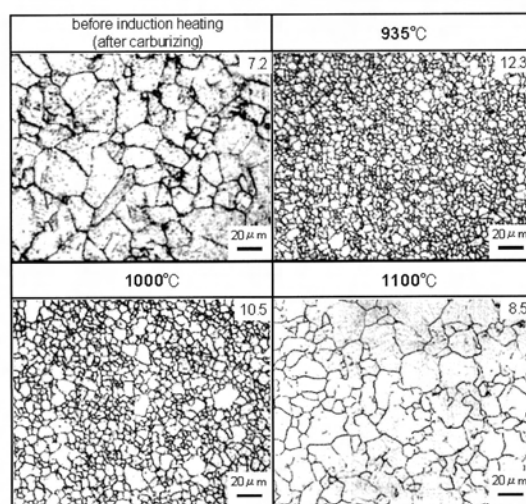


Fig.4 Relationship between Induction Heating Temperature and A.G.S. (Austenite Grain Size)



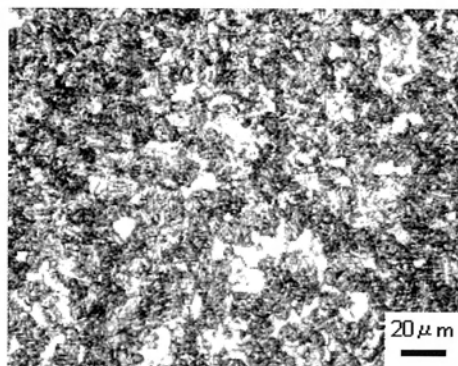


Fig.5 Undissolved Ferrite Structure (Clumpy White Region) due to Insufficient Austenitizing Temperature

## (2) 結晶粒度に及ぼすNb添加の影響

通常の肌焼き鋼にNb添加した場合の結晶粒度と高周波加熱温度との関係をFig.6に示す。この図より、Nbを添加するとNb添加しない場合に比べ、同じ高周波加熱温度でも結晶粒度が微細になることが分かる。通常、浸炭鋼へのNb添加は、結晶粒粗大化防止の目的で行われるが、浸炭高周波焼入れプロセスにおいては結晶粒の成長を大幅に抑制し微細化を促進する効果が確認された。

## (3) 温度均一性の確保

3.1(1)項で述べたように、浸炭高周波焼入れプロセスにおける結晶粒度は、高周波加熱温度で概ね決定される。従って、ワーク全体において均一に微細な結晶粒を得るためには、高周波加熱における温度均一性を確保する必要がある。そのためには、対象ワークに応じて適切な高周波加熱コイルを設計することが重要である。一例として、デファレンシャル歯車のピニオンの歯先部および歯底部における高周波加熱温度と時間との関係をFig.7に示す。高周波加熱コイルの設計や出力制御などの条件設定を最適化することにより、温度差を生じやすいピニオン各部の温度を均一にすることができた。

## 3.2 浸炭高周波焼入れ後の金属組織と硬さ特性

浸炭高周波焼入れプロセスの冶金学的特性を調査するため、浸炭高周波焼入れ後の組織観察と硬さ分布測定を行った。一例として、ピニオンのピッチ円部表面と芯部の組織、およびピッチ円部と

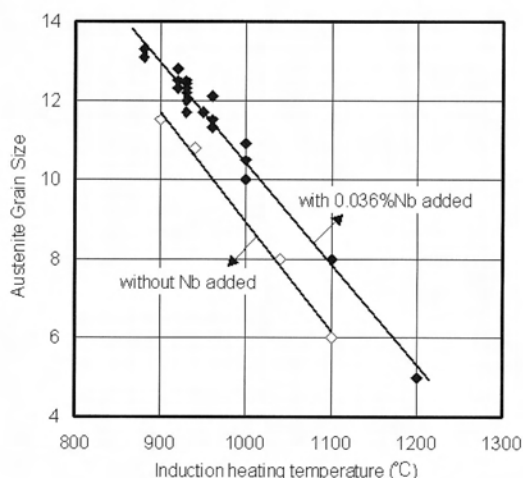


Fig.6 Effect of Induction Heating Temperature on Grain Size Number (SCM420H with / without Nb added)

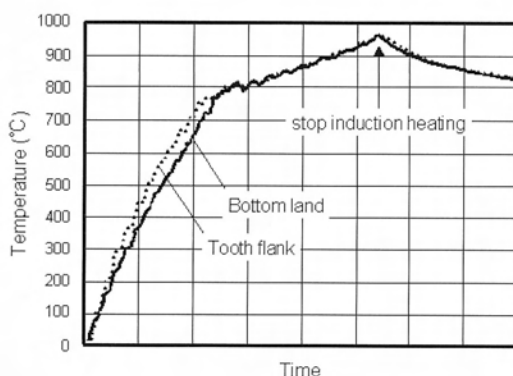


Fig.7 Heating Curves on the Surface of Tooth Flank and Bottom Land

歯元部の硬さ分布測定結果をそれぞれFig.8, Fig.9に示す。結晶粒が微細であるため、組織は非常に緻密になっている。また、芯部組織および硬さ分布からも歯車全体が焼入れされていることが分かる。このように浸炭高周波焼入れプロセスの冶金学的特性は、結晶粒が非常に微細であることを除けば、通常の浸炭焼入れと同様であることが確認された。



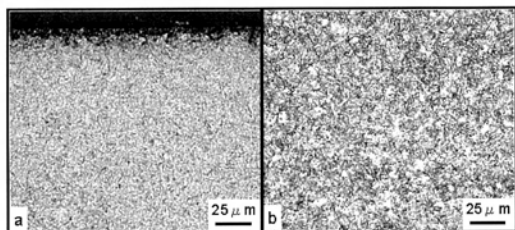


Fig.8 Microstructure on the Pitch Circle Surface (a) and the Core (b) of Carburizing and Induction Hardening

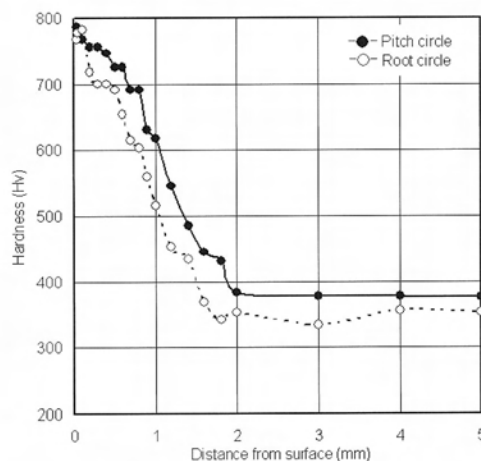


Fig.9 Hardness Properties of Carburizing and Induction Hardening

## 4. 浸炭高周波焼入れプロセスの強度特性

### 4.1 衝撃疲労強度試験結果

浸炭高周波焼入れを施したピニオンの衝撃疲労強度向上効果を確認するため、デファレンシャルユニットによる試験を行った。

試験方法はFig.10に示すように、デファレンシャルユニットをドライブシャフトで固定した上で、ギヤケース上に伸ばしたアームに重錘を落下させ、デファレンシャル歯車に衝撃荷重を与えるものである。試験は、実車で発生する衝撃荷重および歪み時間を計測し、それらを近似させた負荷条件に設定した。また、ピニオンとサイドギヤの噛み合い状態は、専用治具により一定となるように組み付け、試験結果のバラツキを抑えた。なお、衝撃疲労強度として歯車の破断寿命を評価した。

試験に供試したピニオンは、浸炭高周波焼入れを施したものと比較のため通常の浸炭焼入れを施したもので、それぞれ浸炭深さの水準を数種類変化させたものを準備した。

試験結果をFig.11に示す。ピニオンの衝撃疲労寿命は、浸炭高周波焼入れを施すことにより浸炭焼入れと比較して約10～16倍と著しく向上している。また、浸炭深さが深くなることにより、いずれの場合も寿命の低下が見られる。このことを明らかにするため、結晶粒度と浸炭深さが衝撃疲労寿命に及ぼす影響をFig.12に示す。このように、浸炭高周波焼入れによる結晶粒微細化は、ホールペッチの関係で知られる降伏強度のみならず、衝撃疲労強度においても飛躍的な向上効果を有することが確認された。この結晶粒微細化による衝撃疲労強度向上効果は、応力集中緩和作用によるものと解釈される。また、浸炭深さの増加による寿命低下は、前述のように浸炭層の粒界強度が劣化したことによるものと考えられる。

### 4.2 スポーリング強度試験結果

次に、浸炭高周波焼入れを施したピニオンのスポーリング強度向上効果を確認するため、デファレンシャルユニットによる試験を行った。

試験方法はFig.13に示すように、デファレンシャルユニットのサイドギヤに挿入された一方のドライブシャフトを固定端とし、もう一方のドライ

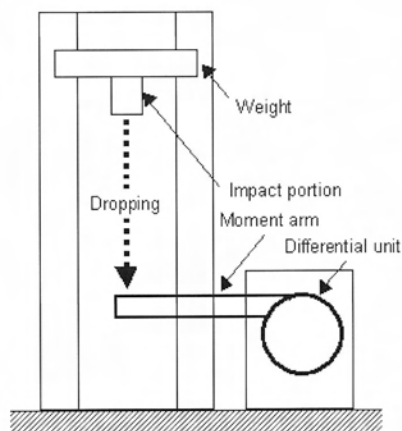


Fig.10 Schematic Illustration of Impact Fatigue Strength Tester

ブシャフトには回転トルク吸収装置を付加し、デファレンシャル歯車に差動トルクを与えることにより、歯車に繰り返し面圧を負荷するものである。また、スポーリング強度としてスポーリング損傷（歯面より金属片が剥離する損傷）の発生する寿命を評価した。

試験に供試したピニオンは、4.1節と同様に浸炭高周波焼入れを施したものと比較のため通常の浸炭焼入れを施したもので、それぞれ浸炭深さの水準を数種類変化させたものを準備した。

試験結果をFig.14に示す。ピニオンのスポーリ

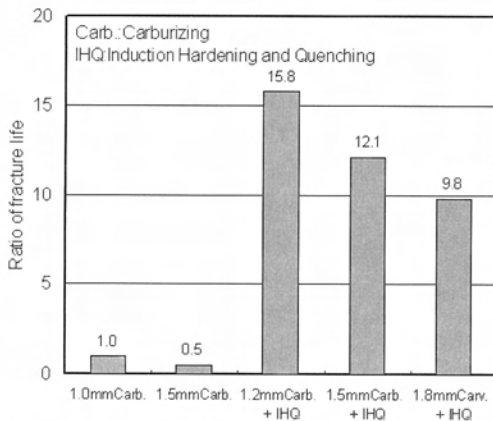


Fig.11 Impact Fatigue Strength Test Result

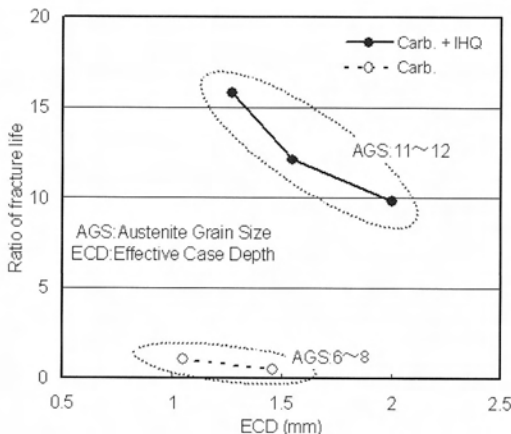


Fig.12 Effect of A.G.S. and E.C.D. on Impact Fatigue Strength

ング寿命は、浸炭高周波焼入れを施すことにより浸炭焼入れと比較して約2.5～3.8倍と向上している。また、浸炭深さが深くなることにより、いずれの場合も寿命の向上が見られる。前節と同様に、結晶粒度と浸炭深さがスポーリング寿命に及ぼす影響をFig.15に示す。このように、浸炭高周波焼入れによる結晶粒微細化は、スポーリング強度においても大幅な向上効果を有することが見出された。

ここで、スポーリング強度に対する結晶粒度の影響をもう少し詳細に調査した。Fig.16 (a)はスポーリング試験後の浸炭処理ピニオンの断面写真で、内部に発生したスポーリング亀裂が見られる。このピニオン断面を更に拡大して観察すると、Fig.16 (b)のように粗大化した結晶粒に単独のスポーリング亀裂が認められた。このことは、大きい結晶粒は小さい結晶粒に比べスポーリング亀裂の発生しやすいことを示している。即ち、歯面には繰り返し面圧により表面下で極大となる剪断応力が発生しており、微視的に見ると、発生した剪断応力は個々の結晶粒に作用し、歪みを与える。このとき、大きい結晶粒は小さい結晶粒に比べ、結晶粒を横断するすべり線に沿った転位がより多く蓄積するため、結果として応力集中の度合いが高くなり、スポーリング亀裂が発生しやすくなるものと推察される。

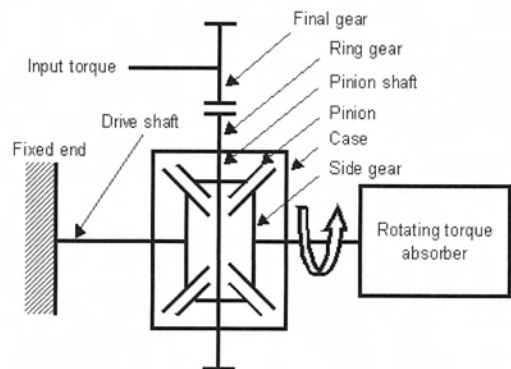


Fig.13 Schematic Illustration of Spalling Strength Tester

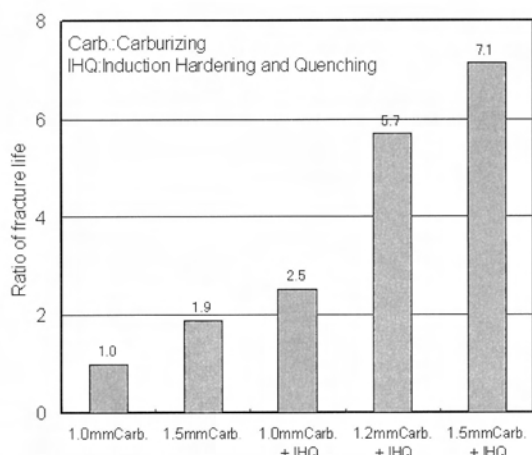


Fig.14 Spalling Strength Test Result

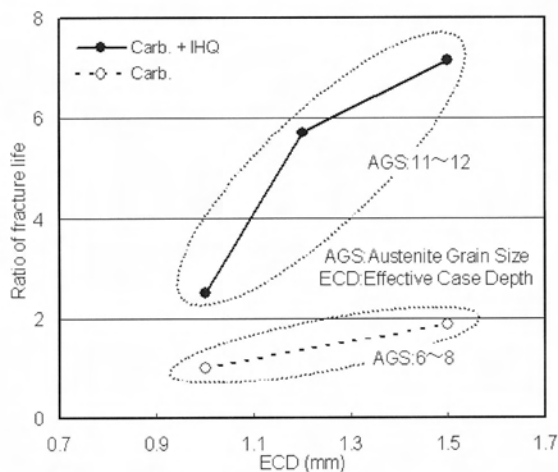


Fig.15 Effect of A.G.S. and E.C.D. on Spalling Strength

Fig.3で示した開発コンセプトでは、結晶粒微細化によるスポーリング強度向上効果は想定していない。しかし、本試験結果から結晶粒微細化はスポーリング強度も向上させることが新たに判明し、Fig.3の浸炭高周波焼入れの材料強度カーブは内部強度においても強化されていることが分かった。

また、浸炭深さの増加による寿命向上は、表面下で極大となる剪断応力に対する許容応力（材料強度）が高まったことによるものと考えられる。

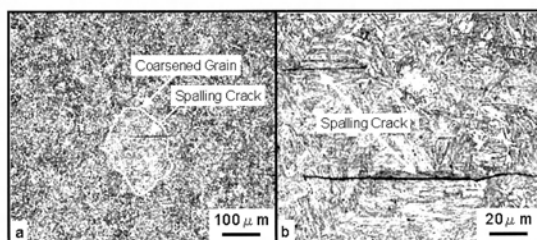


Fig.16 Coarsened Grain and Spalling Crack

## 5. 適用事例とその効果

浸炭高周波焼入れと呼ぶ新プロセスにより、デファレンシャル歯車に要求される重要な強度特性である衝撃疲労強度およびスポーリング強度を大幅に向上させることができる。この新プロセスの採用により、ピニオンへの荷重分担軽減のためピニオンを4個使用した4ピニオンタイプでなければ強度的に耐久信頼性を確保できなかったデファレンシャルユニットを2ピニオンタイプに代替することができた。その結果、ユニット重量15%軽量化、および部品点数削減によりユニットコスト40%低減を実現した。

## 6. おわりに

デファレンシャル歯車の高強度化を目的に熱処理面からの検討を行い、浸炭高周波焼入れと呼ぶ新プロセスを開発した。得られた開発成果は、以下のとおりである。

- (1) 浸炭処理後、高周波焼入れを施すことにより、従来の浸炭焼入れに比べ結晶粒度を飛躍的に微細化できることを明らかにした。結晶粒度は未固溶フェライトが残らない範囲で高周波加熱条件を低温短時間に制御することにより微細化され、また、Nbの微量添加により更に微細化が促進される。
- (2) 浸炭高周波焼入れは従来の浸炭焼入れに比べ、衝撃疲労強度とスポーリング強度を飛躍的に向上させることができる。これらの強度向上効果は、結晶粒度の微細化による応力集中緩和作用が大きく寄与していると考えられた。
- (3) 浸炭高周波焼入れプロセスを採用することに

より、従来の4ピニオンタイプのデファレンシャルユニットを2ピニオンタイプに代替可能となり、大幅な重量軽減とコスト低減を実現することができた。

最後に、本技術の開発にご協力を頂いた(株)住友金属小倉、(株)ナガトをはじめ、社内外の関係各位に感謝の意を表します。

### 参考文献

- (1) 内藤武志：浸炭焼入れの実際 第2版 — ガス浸炭と材料強化法—, 1999 (日刊工業新聞社), P.249
- (2) 織田和幸, 無田上章, 正木隆, 有見幸夫, 鎌田芳彦, 宇野光男, 高山透, 村井暢宏：デファレンシャルギヤ強化技術の開発, 自動車技術会, 動力伝達系部門委員会, No.9415シンポジウム動力伝達系の最新技術 (1994), P.18
- (3) 並木邦夫, 飯久保知人：浸炭歯車用鋼の衝撃強さに及ぼす合金元素の影響, 電気製鋼, 第59巻, 第1号 (1988), P.5
- (4) 城田良康, 長浜勝介：スーパーメタルプロジェクトの研究開発動向, 塑性と加工, 第42巻, 第483号 (2001-4), P.280

### ■ 著 者 ■



織田和幸



藤川智士



有見幸夫

論文・解説

29

## フローフォーミング工法における素材板金化開発 Development of Material Change to Stamped Sheet Part for Flow Forming Process

森 弘 真 司<sup>\*1</sup> 井 上 直 己<sup>\*2</sup> 中 浜 義 訓<sup>\*3</sup>  
Masashi Morihira Naomi Inoue Yoshinori Nakahama

### 要 約

フローフォーミング工法等の回転塑性加工技術を用いる工法は、パワートレイン系部品のような、多くの機能部位を持つ複雑形状部品の生産において、部品点数削減、部品コスト低減、および、重量低減を実現できる。

当社では、いち早くフローフォーミング工法を導入し、パイプ素材から一体成形部品を製造する技術を用いて、オートマティクトランスミッション用のクラッチ系部品にて完成させ、1998年より量産している。

今回は、更なる部品コスト低減に向け、フローフォーミング工法における素材の板金化開発に取り組んだ。

その結果、以下の成果を得た。

- ・プレス工程での増肉成形技術を開発し、ターゲット形状の板厚分布を確保できる条件設定を確立した。
- ・品質、生産性に影響を与える変動要因を明確にし、安定した品質と生産性を確保できる条件を設定した。
- ・パイプ素材との比較で、素材コストと工程数を半減した。

本稿では、適用素材を開発し、量産化した事例を紹介する。

### Summary

Rotary forming engineering, such as FLOW FORMING process, helps it possible efficiently to reduce the part cost, weight and the number of parts in the manufacturing process of the complex parts, which have many function parts, such as parts for the powertrain unit.

We have developed the engineering of FLOW FORMING process to produce the part in one-piece from TUBE MATERIAL, and then it has been still applied to the manufacturing of our clutch parts for automatic transmission since 1998.

This time, with the aim of further cost reduction, we have developed the stamped pre-form, which could be manufactured with TRANSFER STAMPING process.

We got the following results.

- ・ We have developed the engineering of thickening process in stamping process, and decided the setup of condition to secure the target shape.
- ・ We cleared the variable factors that influenced quality and productivity, and we established the condition which secures the stable quality and productivity.
- ・ In comparison with TUBE MATERIAL we reduced the material cost and the number of process in half.

This report shows how we replaced the material and then introduces development of substitution material.

\* 1 ～ 3 パワートレイン技術部

Powertrain Production Engineering Dept.

## 1. はじめに

1998年より量産を開始したオートマティックトランスミッションのクラッチ系部品において、フローフォーミング（以下FF）工法という画期的な工法を取り入れた。

この工法を用いて、接合部位の無い一体成形品の加工を実現させ、大幅な工程削減・部品コスト低減を行った。

今回の取り組みでは、さらなる原価低減を行うために、FF工法を適用している製品のコスト構造から、適用素材のコストが54%と高い割合を占めていることに目を付け、代替用素材の開発を行った。

## 2. FF工法の概要

FF工法は、Fig.1のように、複数の成形ローラによる逐次成形と、拘束具による材料流動のコントロールにより、回転させた素材を任意の形状に造り込むことができる。

従来、クラッチ系部品の製造方法は、複数部品の溶接などによる接合が一般的である。

しかし、FF工法は、塑性加工による一体成形品の製造を可能にすることから、多様な機能を必要とする複雑な形状の部品について、工程・部品点数を大幅に低減できる。

今回取り上げたクラッチ系部品では、Fig.2に示すように、パイプ（電縫管）形状の素材から、4段階の成形を1台の設備で行い、薄肉で外周を有するスプライン部と厚肉小径のスリーブ部が一体となった製品を成形していた。

## 3. 素材開発の経過

### 3.1 取り組みの概要

FF工法以外の製造工程を持つ他のクラッチ部品では、コストの安い円板形状の圧延鋼板からプレス成形した板金素材を採用している。

そこで、FF工法においても、コストの高いパイプ素材の代替として、プレス成形による板金素材の適用開発を行った。

また、原価低減の目付きから、素材コストの低減に加えて、完成までの全工程数の低減も視野に入れ、開発素材の特性を決定した。これにより、FF工程の成形ステップ数では40%、そして、全工程数では、50%の低減を行った。(Fig.3)

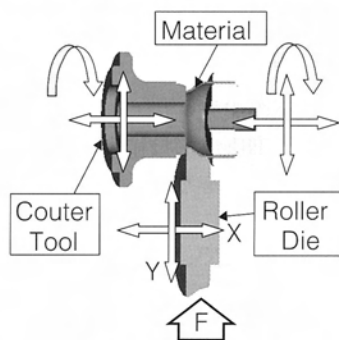


Fig.1 Flow Forming

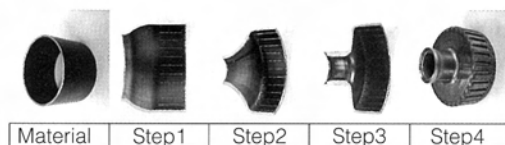


Fig.2 Process of Flow Forming

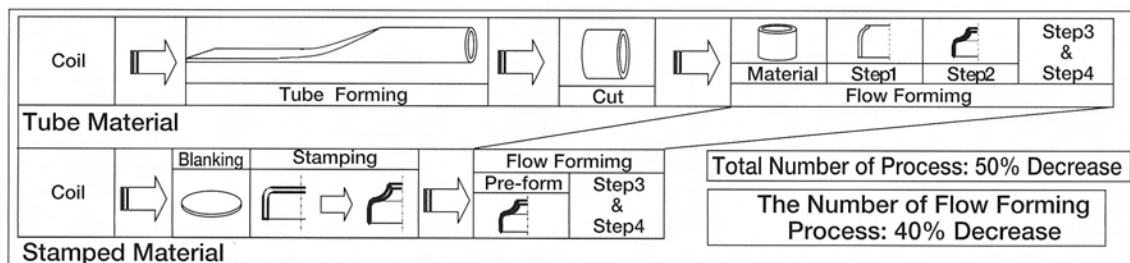


Fig.3 Comparison of Material Manufacturing Process



### 3.2 素材開発における課題

開発素材のターゲットの基本形状は、素材変更前のFF工程STEP2品とした。(Fig.4)

ここで、課題となったのは、①増肉成形技術の開発による板厚確保、②素材の要求硬度を確保する条件設定の2つであった。

#### (1)増肉成形技術の開発の狙い

従来なら、プレス成形による板の曲げ・しごきによる板厚減少を考慮し、要求最大板厚もしくはそれ以上の厚みの鋼板から、各部を要求の板厚に成形していく工程設定となる。

しかし、更なる原価低減を狙った今回の取り組みでは、要求板厚が確保できる最薄の材料から、板厚差が1.6mmある板厚分布の素材形状を、プレス成形により造り込むことを狙いとしたため、増肉成形による板厚確保が必要であった。

#### (2)素材硬度確保の必要性

FF工程の成形性と素材の硬度は相関がある。

成形性を低下させず、且つ、製品機能上必要な硬度を成形後に確保できる、素材の硬度を造り込むための条件を設定する必要がある。

### 3.3 課題解決のプロセス

#### 3.3.1 増肉成形技術の開発による板厚確保

##### (1)増肉成形の方案検討

プレスの工程設定にあたっては、既存のトランスファープレスの最大加圧力やステーション数などの制約を考慮した工程数で生産できることを条件とした。

技術的なポイントとしては以下の2点を織り込み、工程及び成形方案を設定した。

##### ①増肉するため縮み成形技術を使用すること。

(増肉要求部位の径寸法変化を大→小にすることで板厚の増加を図る)(Fig.5)

##### ②成形金型を、軸方向の材料流動を抑制できる構造とすること。(Fig.6)

##### (2)要求板厚を確保する条件設定

最も効率良く増肉でき、且つ、要求板厚が確保できる条件を求めた。

ブランク材(プレス成形素材:円板形状)の寸法及びプレス工程の条件を振らしたテストにより、ブランク材の板厚tbの時に最も効率良く増肉し(Fig.7)、ブランク材の径寸法D2にて要求板厚を確保できることを確認した。(Fig.8)

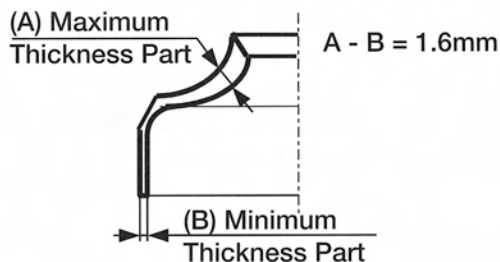


Fig.4 Target Shape of Stamped Pre-Form (Step2 on FF process)

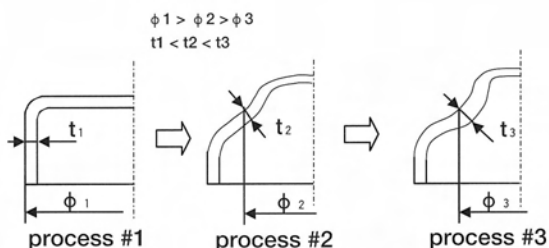


Fig.5 Thickening Process Mechanism #1

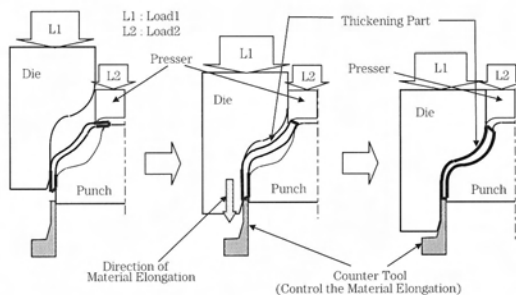


Fig.6 Thickening Process Mechanism #2

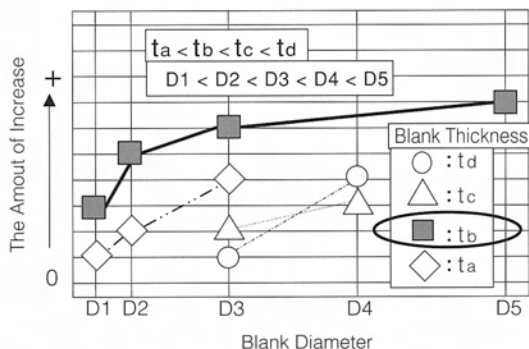


Fig.7 The amount of Increase of Thickness

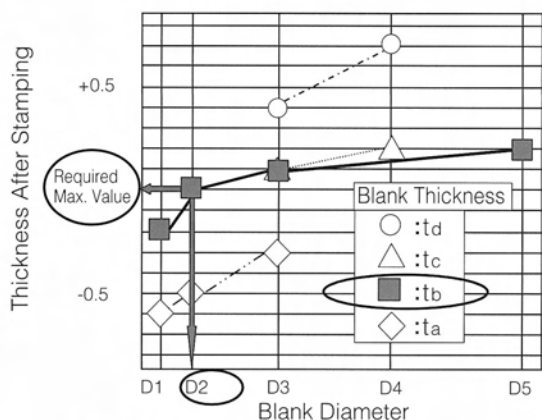


Fig.8 Thickness After Stamping

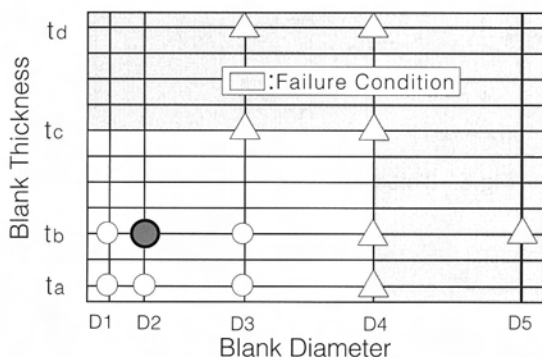


Fig.9 Failure Condition

Table 1 Required Hardness

	Required Hardness Hv	
	Before FF Process	After FF Process
Sleeve	190 and under	152 and over
Flange	144 and under	154 and over

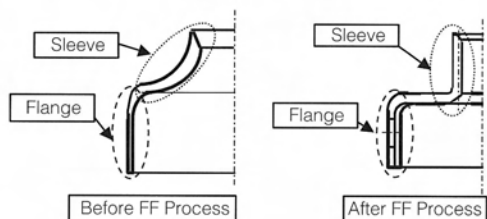


Fig.10 Shape of Before and After FF Process

また、この条件は、型具寿命を考慮した最適条件であることも、Fig.9に示すプレス工程での不具合（型具への負荷が高い時に生じるロックアウト不良や型具の焼付き発生など）が発生しない条件であることから確認できた。

### 3.3.2 要求硬度を確保する条件設定

#### (1) 素材の硬度上昇を抑える材料の検討

要求硬度はTable1, Fig.10に示したとおりであるが、板金化素材はプレス成形によりFig.11のとおりに加工硬化し、パイプ素材の硬度をはるかに上回ることを確認した。

まず、プレス成形後の硬度上昇を抑えることができる材料について検討した。

同じプレス成形条件における、各工程後の材料別硬度データをFig.12に示す。

結果としては、以下の4点より、どの材料でもプレス成形後にパイプ素材品レベル以上の硬度上昇することを確認した。

- ① 冷延材の材料2が、他の材料と比べて、最終工程成形後の硬度が最も低い。しかし、要求硬度を満足できない。
- ② どの材料もプレス初工程（工程1）での硬度上昇幅が大きい。
- ③ ②より、初工程以降の条件変更や工程数の削減・追加でも硬度上昇が発生する。
- ④ 最も硬度の低い材料（材料6）を用いて成形した結果、初工程の硬度上昇が他の材料より高いため、最終要求硬度を確保できない。

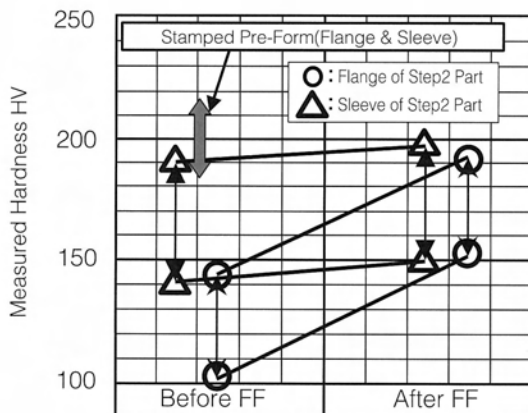


Fig.11 Hardness Comparison

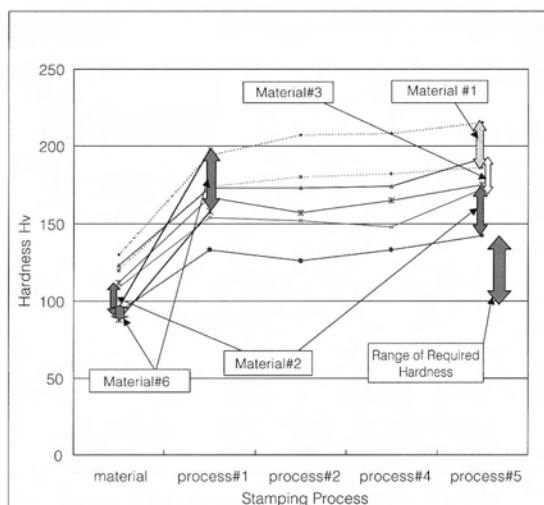


Fig.12 Material Hardness Comparison

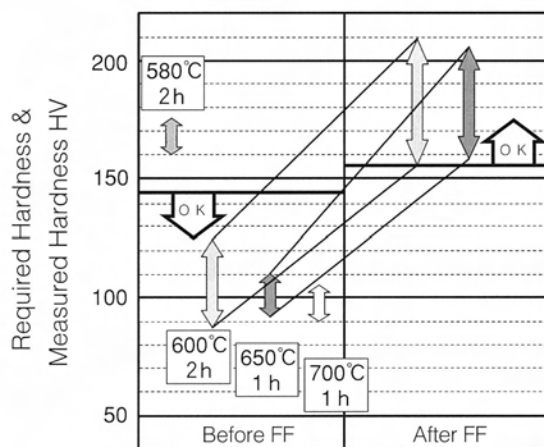


Fig.13 Hardness of Flange Part

材料は、当初、機械的性質（引張り強度）や伸び率の高さ（成形性が良い）を考慮し、材料1を選定していたが、プレス成形後の軟化処理として焼鈍工程を設定することを前提に、最も単価の安い熱延材の材料3を選定した。

#### (2) 焼鈍工程設定

焼鈍工程では、素材全体の硬度が一定になる。

FF工程での成形性を確保するためには、工程前の要求硬度が低い部位を焼鈍後の狙い値とする必要がある。

そのため、Fig.11より、要求硬度の低いフランジ部の硬度を狙いとした。

要求硬度を満足し、コストへの影響が高い焼鈍時間が短くなる条件として、Fig.13に示すフランジ部の硬度測定結果より、温度650℃、焼鈍時間1h空冷の条件を採用した。

スリーブ部についても、焼鈍後の硬度で、FF工程の成形性は問題なく、また、FF工程後の硬度は、FF成形による加工硬化により確保できることが確認できた。

## 4. 量産における良品条件設定

FF工法のように、複雑な材料流動を伴う塑性加工においては、加工前の素材特性の変化が完成品品質に大きく寄与する。そのため、量産にて安定した品質を確保するためには、完成品品質と素材特性との関係を明確にする必要があった。

また、量産においては、生産性の確保も重要な課題であり、生産性に寄与する素材特性をコントロールする必要があった。

そこで、①素材形状の管理特性の決定、②①の規格を満足させるための良品条件設定の2つを行った。

#### (1) 素材形状の管理特性の決定

完成品の品質及び生産性に影響があると考えられる要因の影響度の検証を行った。

その結果、完成品の品質ではスリーブ部の板厚や端部の盛り上り、生産性については、成形途中の余肉脱落やローディング時のワーク脱着性がそれぞれ素材の変化に影響されることが確認された。(Table2)

Table 2 Each Factor's Effect

Stamped Pre-Form Property	Finished Product Property		Productivity	
	Thickness of Sleeve Part	Raise	Burrs	Defect of Loading
Inside Dia.(sleeve)	○			○
Outside Diameter				○
Inside Diameter				○
Overall Height	○	△		○
Height of Chamfer		○		
Flange Height	○	○	△	△
Corner Thickness		○	△	
Angle of Chamfer		○		
Radius of Sleeve	△		○	△
Sleeve Thickness	○		○	
Hardness		△	○	△

テストの結果得られた影響度の高かったFig.14に示す素材特性を量産での管理特性とし、管理基準については、実験計画法を用いたテストにより決定した。

(2)要求素材形状を確保する良品条件設定

板金化素材の各管理特性へ影響すると考えられるプレス工程の条件、及び、ブランク材寸法をFMEAより抽出した。

その結果、Fig.15に示す要因が、素材特性に影響するものとし、水準振らしテストを行った。

その結果、Table3に示す4特性：フランジ高さ、全高、肩部板厚、肩面部取り部長さ、が量産でのバラツキ要因に影響を受ける特性として抽出した。

現在、①これら4特性の重回帰分析結果をもとに算出したバラツキ要因の管理値、②その他の素材特性値を決定する型具寸法・公差、の2件を良品条件として設定し、量産を行っている。

5. まとめ

フローフォーミング工法における板金素材の適用開発により、以下の成果を得た。

(1)増肉成形技術の蓄積

縮み成形技術を基本とした、プレス工程での増肉成形技術を開発し、ターゲット形状の板厚分布を確保できる条件設定を確立した。

(2)安定した品質と生産性

品質・生産性に影響を与える変動要因（板金素材の硬度・寸法など）を明確にし、安定した品質と生産性を確保できる条件にて量産している。

(3)素材コスト・工程数の削減

パイプ素材との比較で、素材コスト53%、工程数50%を削減した。

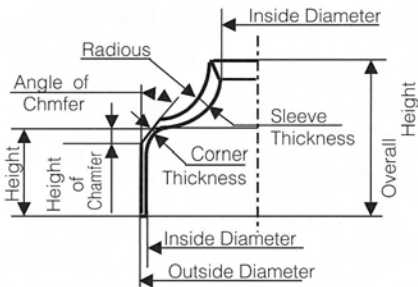


Fig.14 Stamped Pre-Form Property

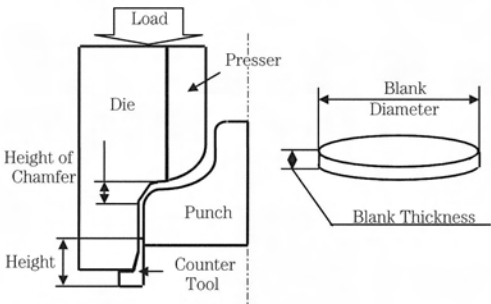


Fig.15 Variable Factor

Table 3 Test Result

Property	Range	Variance/Ave.
Flange Height	6.19	0.07
Overall Height	8.01	0.04
Corner Thickness	0.78	0.11
Chamfer Height	0.85	0.08

■ 著 者 ■



森弘真司



井上直己



中浜義訓

論文・解説

30

## 低圧成形技術によるバンパ・メッシュの一体成形化 Integrated Bumper Fascia Development by Low Pressure Injection Molding

渡 部 孝 道<sup>\*1</sup> 谷 澤 浩 樹<sup>\*2</sup> 谷 本 治 生<sup>\*3</sup>  
Takamichi Watanabe Hiroki Tanizawa Haruo Tanimoto  
井 上 斉 樹<sup>\*4</sup> 前 田 博 志<sup>\*5</sup>  
Masaki Inoue Hiroshi Maeda

### 要 約

より美しいスタイリングを目指し、プラスチックバンパは、周辺部品とのスキ・折り合い等の外観品質を向上させるため、周辺部品の一体成形を進めてきた。しかし、部品の一体成形化によってバンパは大型化し、樹脂を高圧で金型に注入する必要がある。そのため、型締め能力の高い大型成形機導入が必要である。従って、既存の成形機で大型の製品を成形するための低圧成形技術は重要な課題であった。

今回、型内への樹脂の注入口を複数にする“多点ゲート”を採用すると同時に、各々の注入口に樹脂の注入タイミングを制御する開閉機構（カスケードシーケンシャルバルブゲート）を設け、低圧成形を実現した。本技術を当社MPVのフロントバンパに織り込み、低圧成形によるバンパ、センターメッシュ、エアダムスカートの一体育成し、品質向上と製造コスト削減した。また、実成形に先立ち、CAE解析で、最適なゲート開閉のタイミングを決定するとともに、実成形との合致度を検証し、CAE解析を用いることで、低圧化の効果を机上で検証した。

### Summary

In order to achieve excellent styling, we improve quality of Plastic Bumper Fascia, such as reducing a gap between the Bumper Fascia and the other parts. In order to achieve our goal, we try to integrate the Bumper Fascia with the other parts. However, the Bumper Fascia increases in size more by the integration. It requires higher Material Injection pressure and larger clamping tonnage of Injection Molding Machines. But it requires high investment. So that “Low pressure Molding” is more key engineering for the Injection Molding process nowadays.

Multi Gate Injection with Cascade Sequential Valve Gate that is provided with hydraulic operated shut off system is introduced here to perform low-pressure molding. This system was applied for MPV front Fascias mold and enabled low-pressure molding. We integrated the Bumper Fascia with the Center Mesh and the other Aero Parts. Before the actual molding, we performed CAE analysis to consider the low-pressured system. This analysis corresponded to the products. We inspected low-pressured effect by CAE.

\* 1 ～ 5 車両技術部

Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

## 1. はじめに

バンパは自動車部品の中で最も大型のプラスチック部品である。バンパは、自動車のスタイリングの変遷とともに、エクステンションパネルなどの周辺部品を取り込んで大型化し、形状を複雑化してきた。最近では、各部品間のスキ、段差のない一体的なスタイルが主流となり、バンパに付帯するセンタメッシュ、エアダムスカート等でもスキ、折り合い品質を向上させるため、バンパと周辺部品を一体で成形する方法に取り組んでいる。

一般的に、バンパは、射出成形法で成形する。部品の一体化により大型化したバンパを成形するためには、熔融樹脂を従来以上の高压で金型に注入する必要がある。そのために型締め能力の高い大型成形機を導入して対策する手段があるが、高額な設備投資が必要になる。そこで、金型内の樹脂圧を低圧に制御する「カスケードシーケンシャルバルブゲート（以下CSVG）」を開発し、既存の成形機で大型成形品を成形することに取り組んだ。

本稿では、CAEによるCSVGの効果予測と実成形での確認、及び本工法を用いたバンパとセンタメッシュの一体化の事例を紹介する。

## 2. 開発のねらい

### 2.1 STEP1 一般的なゲート設定

Fig.1は、一般的なバンパのゲート（樹脂注入口）の設定例である。製品の中央部のゲートA、Bの2点で製品を成形する。端末まで樹脂を到達させるためには、高压で樹脂を流す必要がある。また、ゲート位置から製品端末までの距離が長くなるほど、樹脂圧は高くなり、より型締め力の

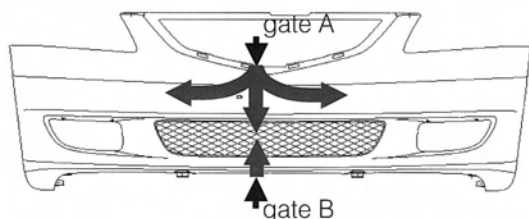


Fig.1 Common Gates Design

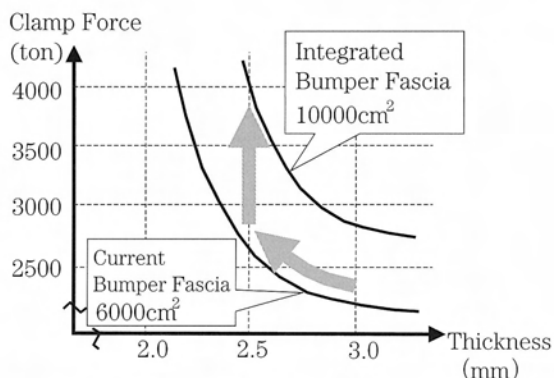


Fig.2 Comparison of the Current Bumper Fascia and the Integrated Bumper Fascia

きい成形機が必要になる。Fig.2にバンパの面積及び板厚と所要型締め力の関係を示す。従来では1,800tonで成形可能であったバンパも、一体化による大型化と薄肉化で4,000tonの型締め力が必要となることが分かる。

### 2.2 STEP2 多点ゲート

成形時の樹脂圧を下げる方法として、ゲートの点数を増やす（多点ゲート）という手法がある。Fig.3に多点ゲートの例を示す。中央部のゲート（A、B）に加えて、端末近傍に補助ゲート（C、D）をレイアウトしたものである。しかし、このレイアウトでは、ゲートAとゲートC、Dの樹脂が会合し、製品表面上にウエルドラインが発生する。ウエルドラインは外観品質の悪化と、製品強度の低下などが問題になる。

また、製品中央部では樹脂が過充填となり、樹脂圧が局所的に上昇し、充分な低圧化効果は得られない。

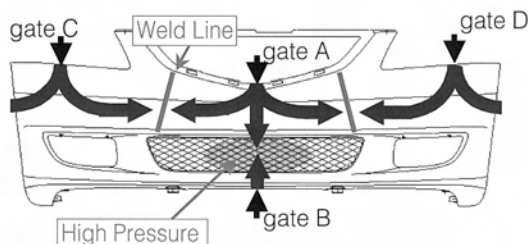


Fig.3 Problem of the Multi Point Gates



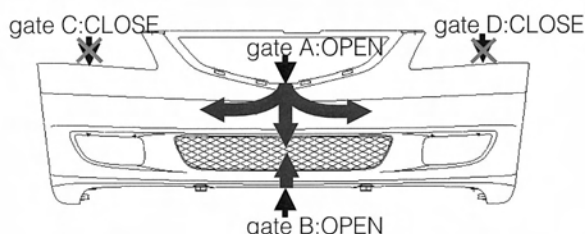


Fig.4.1 First Time of the Injection

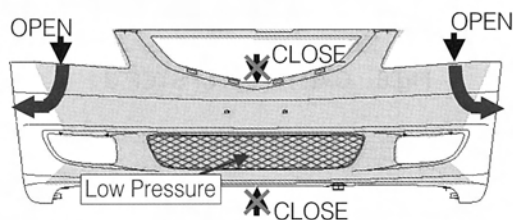


Fig.4.2 Second Time of the Injection

Fig.4 Image of the Cascade Sequential Valve Gate

### 2.3 STEP3 CSVGの概要

これら多点ゲートの課題を改善するために、樹脂の充填状況に応じて、各ゲートの開閉タイミングを個別に制御する機構を開発した。Fig.4に具体的な事例を示す。

- (1) 射出開始時は中央部のゲート (A, B) を開放し、補助ゲート (C, D) は閉じた状態で樹脂を射出する。(Fig.4.1)
- (2) 樹脂が補助ゲート (C, D) まで充填した時点で、補助ゲート (C, D) を開放し、中央部ゲート (A, B) を閉じる。(Fig.4.2)

このように、樹脂の充填、金型内の圧力の状況に応じて、任意にゲートを開閉することで、ウェルドラインを解消した上で金型中央部の樹脂圧力を低減することができる。この手法を、「カスケードシーケンシャルバルブゲート」と称し、従来より成形の低圧化が期待できる。

## 3. CAE解析による事前評価

今回、パンパとセンタメッシュ・エアダムスカートを一体で成形したMPVフロントバンパーを事例として紹介する。特にパンパとセンタメッシュを一体で成形する場合、バリが発生しやすい。

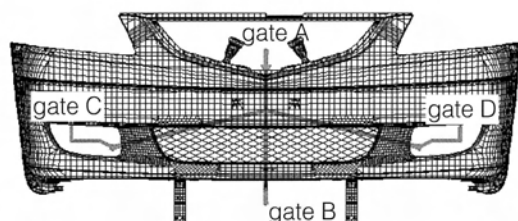


Fig.5 CAE Model of MPV(2002) Front Bumper Fascia

バリは、溶融樹脂が金型の合せ面に流れ込んで発生する板状の外観不具合である。メッシュ部のような狭い個所にバリが発生した場合、手直しが困難である。バリの発生要因は、成形機の型締め力不足と金型の弾性変形がある。特に、型内の樹脂圧が高い個所では型を開く力が大きくなり、金型の弾性変形によるバリ発生懸念があった。従って、センタメッシュを一体で成形するには、成形機の型締め能力より低い樹脂圧力にするとともに、センタメッシュ部の樹脂圧を重点的に下げる必要がある。

設備・金型の設計、製作に先立ち、樹脂流動解析システムを用いて、低圧化の効果を事前に予測し、実成形を行う上で最も効果的な開閉タイミングを決定した。解析に用いたモデルをFig.5に示す。

### 3.1 STEP1 中央部のゲートA, Bのみで成形した場合

第1ステップとして従来の方法、すなわち中央

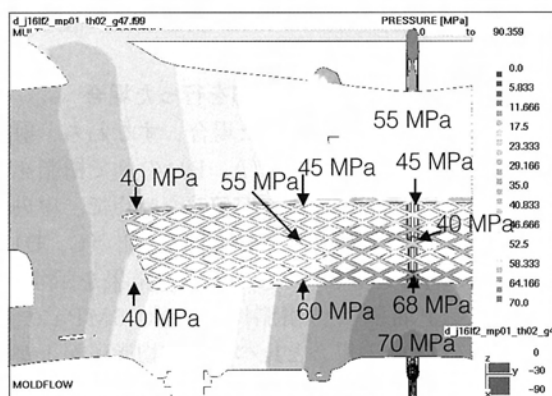


Fig.6 CAE Result of STEP 1

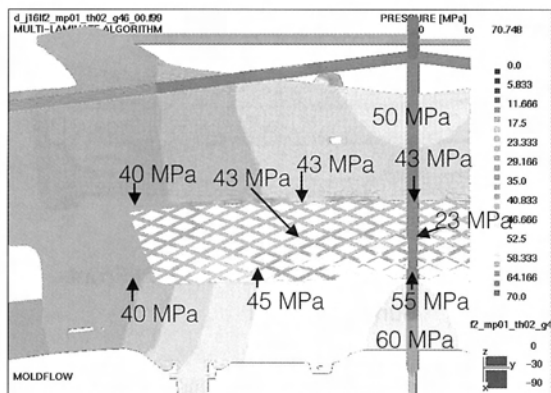


Fig.7 CAE Result of STEP 2

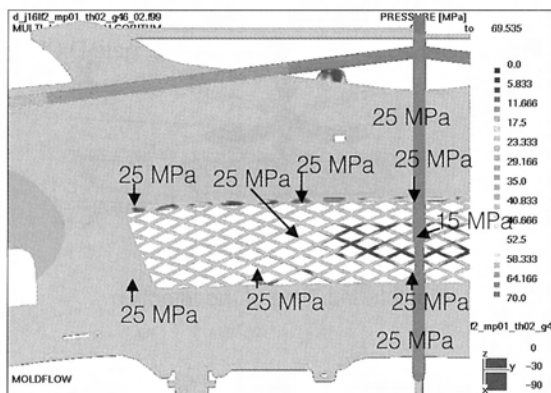


Fig.8 CAE Result of STEP 3

部のゲートA, Bのみで成形した場合のメッシュ部の最高樹脂圧と所要型締め力を計算した。Fig.6の結果に示されるように、メッシュ内の最高樹脂圧は68MPa、平均樹脂圧は55MPaと高い値を示した。また、メッシュ外側でも40から70MPaとなった。更に、バンパ上面と下面を比べると、下面の樹脂圧が高くなり、メッシュ下面側にバリが発生する可能性が高いと予測された。

また、このパターンでの所要型締め力は3,700tonであった。

### 3.2 STEP2 多点ゲートで成形した場合

第2ステップとして、ゲートA, B, C, Dを全て開いて成形した場合を解析した。この解析結果を、Fig.7に示す。メッシュ内の最高樹脂圧は55MPa、平均樹脂圧は45MPaとSTEP1と比べ低圧化の効果があつた。また、メッシュ外側でも35から60MPaとなった。また、このパターンでの所要型締め力は3,400tonであり、製品全体に低圧化の効果があつたことが分かる。

### 3.3 STEP3 CSVG制御を行った場合

最後にCSVG制御を行った場合、すなわち、射出開始時は中央部ゲート(A, B)のみで樹脂を流し、メッシュ内に樹脂が充填した時点で、中央部ゲート(A, B)を閉じ、補助ゲート(C, D)を開いた場合を解析した。Fig.8に結果を示す。メッシュ上面側は、樹脂圧は最大25MPaで、STEP1, STEP2の場合と比べ大幅に樹脂圧が下がっている。また、メッシュ周辺部位でも一様に25MPaとなった。

更に、所要型締め力も2,300tonまで低減するこ

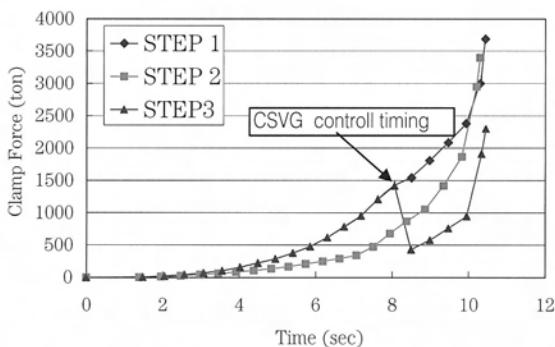


Fig.9 Comparison of the Clamp Force

とが予測できた。

Fig.9に各解析の所要型締め力の変化を示す。CAVG制御を行い、補助ゲートを開き、中央部のゲートを閉じると型締め力が下がった。その後の各パターンの型締め力上昇率が同じであるため、所要型締め力の削減はCSVGの効果によるものであることがわかる。

## 4. 実成形での効果の確認

金型完成後、上記の解析条件と同じ条件で成形トライアルを行い、バリの確認を行い、低圧成形技術の効果を確認した。

### 4.1 STEP1 中央部のゲートA, Bのみで成形した場合

3.1条件で成形した場合の結果をFig.10に示す。Fig.10に見られるようにセンタメッシュ全体にバリが発生した。また、メッシュ下面側0BL付近に大きなバリが多数発生した。これは、下面側

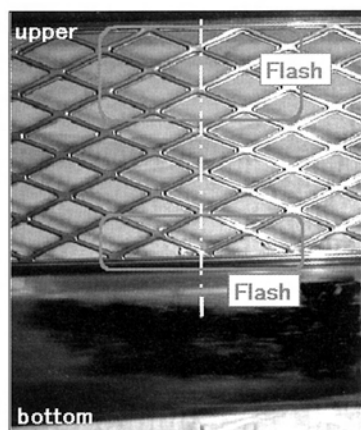


Fig.10 Center Mesh by STEP 1

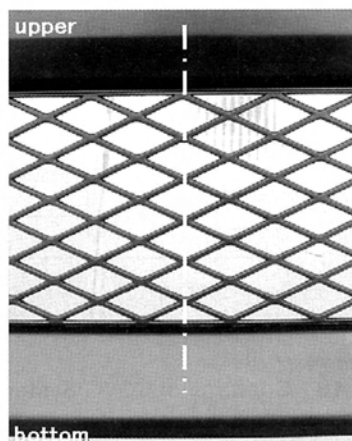


Fig.11 Center Mesh by STEP 3

が上面側よりも樹脂圧が高いことを示しており、解析結果の検証ができた。

この時の実成型締め力は、約3,500トンであった。

#### 4.2 STEP2 多点ゲートで成形した場合

次に、3.2条件で成形した。実成型締め力は、約3,300トンであり、製品全体では低圧化の効果があつた。しかし、STEP1同様に、センタメッシュ全体にバリが発生し、メッシュ内の低圧化が十分でないことが分かる。

#### 4.3 STEP3 CSVG制御を行った場合

Fig.11は、3.3条件で成形した結果である。センタメッシュ上面、下面ともにバリの発生はなく、良好な品質が確保できた。また、4.2、4.3の結果から、パンパとメッシュを一体化で成形する場合、メッシュ部の樹脂圧が25MPa以下であれば、バリが発生しないことが確認できた。

この時の、実成型締め力は、2,200トンであり、今回のトライアルの中で、最も低圧化を達成できた。

## 5. 実施例

CSVGの制御システムの構成を、Fig.12からFig.13に示す。Fig.12.1のように、合計4点のゲート（A、B、C、D）を設け、各ゲートに開閉可能なCSVG構造を織り込んである。Fig.12.2に示すように、溶融樹脂の通り道であるホットランナ内にバルブピンと油圧シリンダを設け、油圧シリ

ンダでバルブピンを動かし、ランナ先端を開閉することにより、製品内に流れる樹脂の量を制御する。

各バルブの開閉は、成形機と金型に設けた射出圧力センサ、スクリュ位置センサ、金型内樹脂圧センサの各出力に応じて制御する方式とした（Fig.13）。また、制御に適用する出力も以下の3パターンの選択方式として、多様な製品形状に対

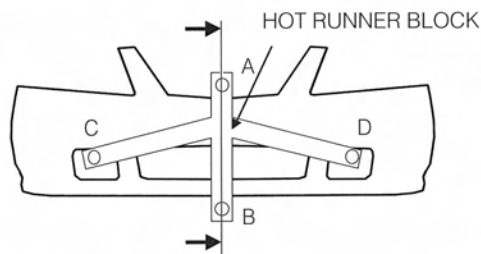


Fig.12.1 Gate Design of MPV(2002) Front Bumper Fascia

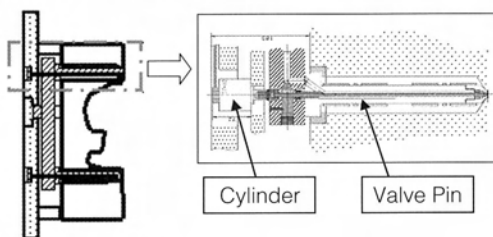


Fig.12.2 Section of Die Center

Fig.12 System of the Valve Gate

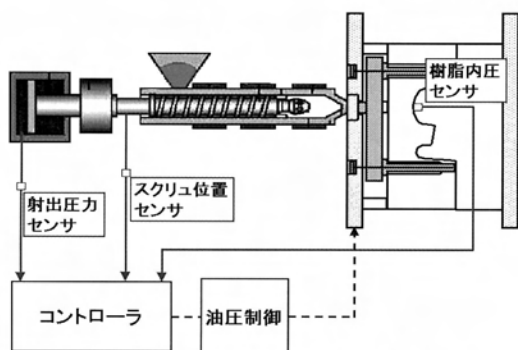


Fig.13 Control of CSVG System

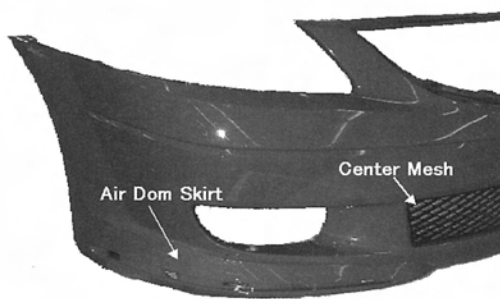


Fig.14 MPV (2002) Front Bumper Fascia

応できるようにした。

- ①スクリュウ位置
- ②スクリュウ位置＋油圧負荷圧力
- ③スクリュウ位置＋金型内部圧力

このように、センサの出力で実際の樹脂充填状態を計測し、出力に応じてバルブ開閉を制御することで、射出速度等のバラツキの影響を受けない充填制御を可能とした。

## 6. 終わりに

今回開発したCSVG技術はMPVのフロントバンパに適用し、2001年11月より量産を開始し(Fig.14)、以下の成果を得た。

### (1) 部品の一体成形による製造コストの削減

バンパとエアダムスカート、センタメッシュを一体成形することで、エアロバンパでは73%製造コストを削減した。また、今後、ラジエータグリル等の大型部品の一体成形や、小型バンパに限られていたフロントバンパ・リアバンパのセット取り成形の中大型バンパにも展開可能となった。

### (2) 成形低圧化による使用成形機の平準化

バンパの大型化に伴って、大型成形機に生産負荷が集中していたが、中型成形機でも生産できるシステムを構築した。

### (3) 机上検証技術の確立

樹脂流動解析と実成形の合致度を検証することで、CSVGを用いた時の低圧化や部品一体化の可否を机上検証できるようになった。

CSVGによる低圧成形技術は部品の一体化のみならず、製品全体のバリ低減、製品板厚の薄肉化等、応用範囲が広い。また、樹脂の流れをコント

ロールすることでウエルラインによる外観不具合を防止することもできる。今後は、本技術を最適な製品設計と生産性向上の手段として活用していく所存である。

## ■ 著 者 ■



渡部孝道



谷澤浩樹



谷本治生



井上斉樹



前田博志

論文・解説

31

## 新電着工法の開発 Development of new E-coat Process

安 藤 宏 泰<sup>\*1</sup>  
Hiroyasu Andou

### 要 約

塗装工場は、排水量が全工場からの総排水量の約7割を占める等、クリーン生産の要として抜本的な対応が求められている。塗装工場の中で最も排水の多い電着工程にはもう一方で、後工程で研ぎや手直し等の作業を必要とする電着ゴミの削減という大きな課題を持っている。

電着工程が抱えるこれら2つの課題を解決する為に、電着工程からの排水を再利用して排水量を削減するシステム（ECS：Electro deposition Closed System）、ならびに、電着槽内でのゴミの挙動を解明し、ゴミがボディに付着し難い液流方式である電着対向流を開発した。

新電着工法としてこれらECSと電着対向流を紹介する。

### Summary

The painting factory which occupies about 70% of the entire displacement is necessary to correspond drastically as clean production. In the other hand, E-coat process where a lot of drains in the painting factory has a big problem of reduction of dirt attaching to the body in E-coat tank which needs the work of repair in the post-processing.

To solve these two problems which E-coat process had, we developed system (ECS: Electro deposition Closed System) which reused drain from E-coat process and reduced the displacement, and elucidated the movement of dirt in E-coat tank and developed E-coat counter flow which was a flow that dirt did not attach easily to the body.

I would like to introduce ECS and E-coat counter flow as new E-coat process.

\* 1 車両技術部

Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

## 1. はじめに

近年、環境保全への関心が一段と高まる中で、電力・工業用水など多量の資源を消費している塗装工場は、環境負荷につながる揮発性有機溶剤やボディ洗浄水などを排出しており、クリーン生産の要として抜本的な対応が求められている。

その一方、塗装工程内では、ゴミ付着に起因した塗装不良の研ぎ・手直し作業などが存在し、これらの削減が塗装工場の課題である。これまでも工場を中心に継続的な改善活動を続けてきたが、未だ多くの工数を必要としている。

本稿では、電着塗装工程からの排水量を大幅に削減するECS (Electro deposition Closed System) と電着塗装面のゴミを大幅に削減する電着対向流の2つの新工法について紹介する。

## 2. 電着工程の概要

塗装工程は、表面処理／電着塗装、アンダーコート／シーリング、中塗塗装および上塗塗装の順で構成され、電着工程は電着塗装と多段の水洗工程で構成される。

電着塗装は塗料の入った槽にボデーを浸漬させ、電氣的に塗膜を析出させる塗装工法で、複雑な構造部にも効率良く塗装できることから、主に防錆を目的としている。洗浄工程は、ボデーに残

る未析出の塗料の洗い落とし、乾燥時に起こるタレなどの防止と洗浄水に含まれる塗料成分の回収・再利用を目的としている。Fig.1に代表的な電着工程と洗浄水の流れを示す。

この工程では、低濃度の電着塗料を含んだ大量の排水を廃水処理場で処理していること、電着塗膜に付着したゴミ除去のために、後工程で研ぎ修正作業が必要なことが大きな課題となっていた。

## 3. 排水量の削減対策

### 3.1 電着工程からの排水状況

塗装工場は他工場と比べて排水量が多く (Fig.2)、その中でも電着工程の排水量が約半分を占めており、工場全体の排水量に大きな影響を与えている (Fig.3)。電着工程の排水源は、洗浄工程をUF水洗工程と最終水洗工程に分けた時の最終水洗工程である (Fig.1)。

UF水洗工程は、電着本槽の塗料をUF (Ultra Filter) と呼ぶ専用膜 (以下、モジュールと称す; Fig.4) で塗料固形分と濾液に分離し、濾液を洗浄水として供給、電着本槽へ順次オーバーフローさせる循環系としている。また、UF装置で分離した塗料固形分は電着本槽に戻っており、系外へ排水することなく洗浄液中の塗料を回収・再利用できる仕組みとしている。

一方、最終水洗工程は、塗膜不良防止のため多

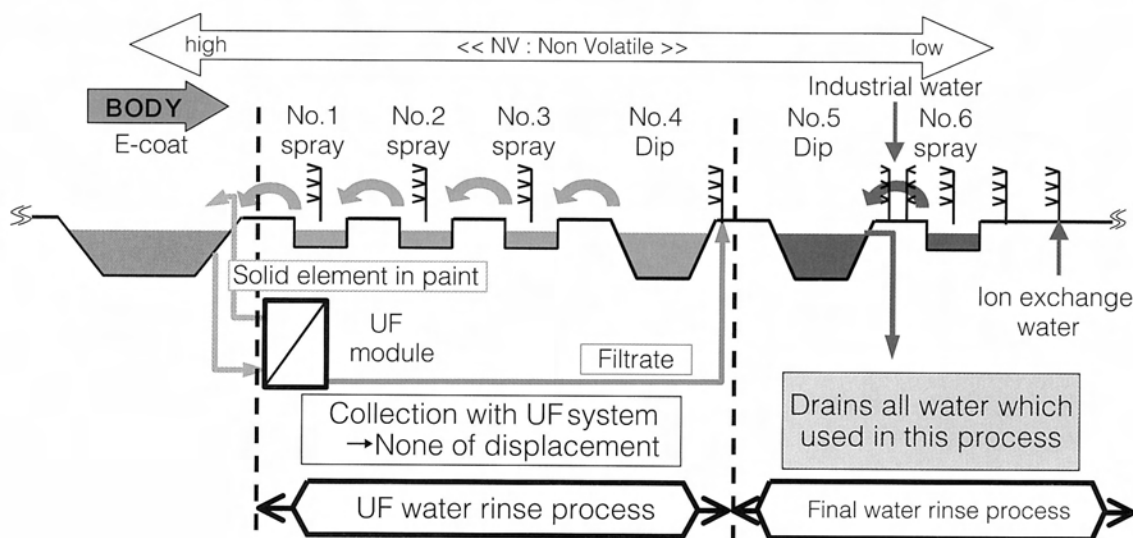


Fig.1 E-coat process



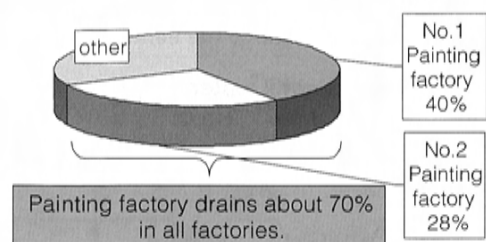


Fig.2 Displacement ratio on Nishinoura area in Houfu plant.

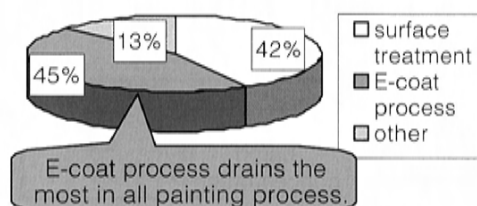


Fig.3 Displacement ratio in the painting factory

量の工業用水とイオン交換水でボデー洗浄し、全量排水している。この排水中には微量な塗料固形分が含まれており、塗料ロスにもつながっている。

従って、この排水量を削減するために、最終水洗工程において、単に排水量を削減するだけでなく、同時に塗料ロスも削減できるUF水洗工程と同様な再循環の仕組みを構築していく必要がある。この仕組みをECSと称し、開発に取り組んだ。

### 3.2 ECSの開発と導入

#### 3.2.1 ECS用モジュールの選定

ECSでは、多量の排水から極めて薄い濃度の塗料固形分(NV=0.02%, NV: Non Volatile)を効率良く分離できるモジュールが必要である。

既存のUF装置のモジュールは、電着本槽の塗料のような高濃度(NV=20%)用であり、薄い濃度のものは分離できず、濾液量も現在の最終洗浄水量と比べると少ないため、ECSのモジュールには適していなかった(Table1)。

#### 3.2.2 ECSの設計構想

Fig.5にECSの基本的な循環フローを示す。

最終水洗工程からの排水は濃縮タンクを経由し、ECSモジュールで塗料固形分と濾液を分離、濾液は工水スプレーの代わりに洗浄水として定常供給する。一方、塗料固形分は濃縮タンクを経て電着本槽へ送り、再使用する。この際、最終段のイオン交換水は、塗料を含んだ洗浄液を洗い落と

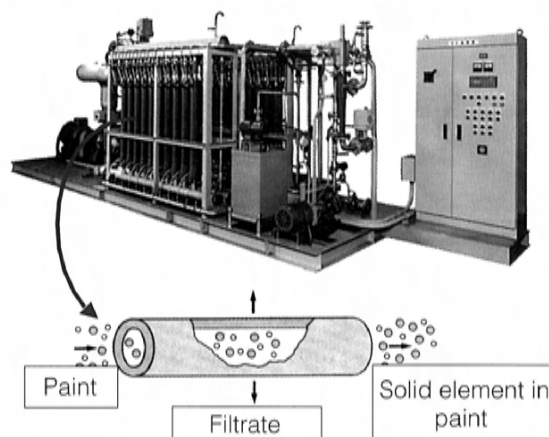


Fig.4 UFsystem and module

すことが目的で濾液を使用できないため、その供給分に相当する濾液を定常排水することにした。

#### 3.2.3 ECS設計上の課題とその対応

装置の大きさ・設置スペースおよび投資を出来るだけ小さくし、また、回収した塗料固形分を効率良く再利用するために、どのような性状にするか、などの多くの課題があり、これらの解決に向けて以下の取組みを行った。

##### (1)水洗スプレー量の削減

装置の大きさには、モジュールの本数が直接影響し、本数を少なくすると濾液量も減少する。前述の通り、濾液は洗浄スプレーとして使用するの、スプレー量の削減について検討した。

この際に着目した点は、濾液には電着塗料の有機溶剤(酢酸など)が含まれ、工水に比べて表面張力が小さく、特に洗い難いとされる銅板の合わせ目などに溜まっている未析出の塗料を洗い落とし易い性状になっているのではないか、という点である。ECSの循環フローに基づき、濾液の表面張力を実験的に求めると35dyn/cm<sup>2</sup>(水73dyn/cm<sup>2</sup>)まで低下すると予測できた。

そこで、実ラインで実験的に工水から循環水に切り替えて、低表面張力水による洗浄スプレー量

Table 1 Comparison of two type modules

	Module for UF system	New module
NV of raw water	20%	0.02%
Amount of filtrate for 20	48m <sup>3</sup> /day	154m <sup>3</sup> /day

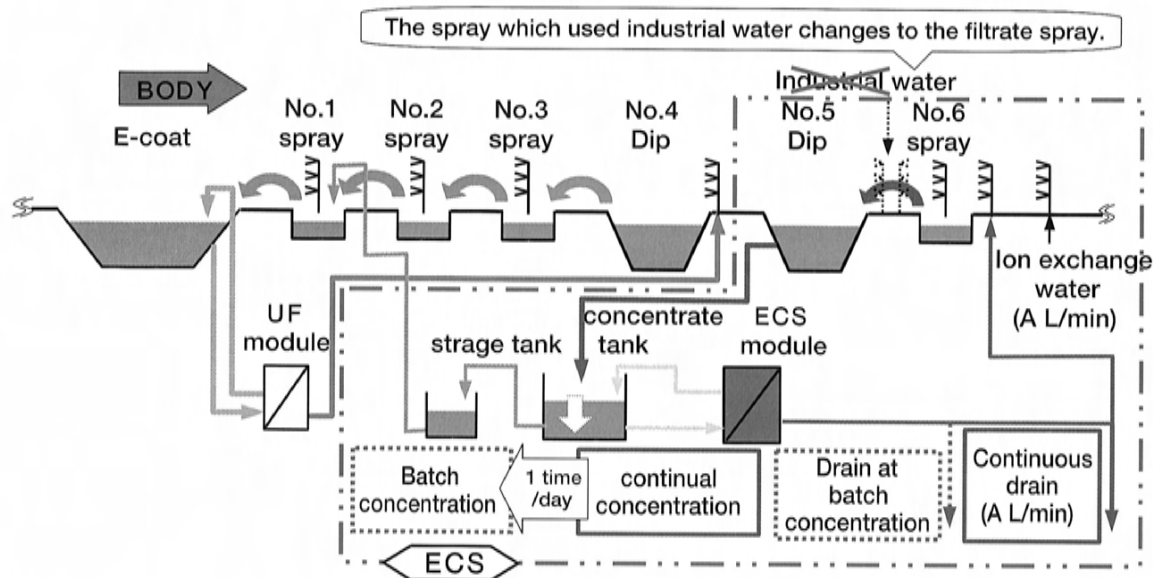


Fig.5 Concept of ECS

削減を検証した結果、既存のUF装置と同様にモジュール20本（濾液量154 $\text{m}^3$ /日）でも塗膜品質の基準を満たすことが確認できた。

#### (2)回収塗料の量・濃度の適正化 (Fig.5)

回収した塗料を電着本槽へ戻す時、量が多過ぎると槽から溢れ、濃度が薄過ぎると電着本槽内の塗料濃度も低下し、塗膜品質への悪影響が懸念される。この対応として、次の配慮を行った。

- ①ライン稼働中はモジュールから回収した塗料を濃縮タンクに戻して連続的に濃縮する。

( $NV=0.11\% \rightarrow 0.70\%$ )

- ②ライン停止後に濃縮タンク内の回収塗料をバッチ濃縮し、量を削減（約5 $\text{m}^3 \rightarrow 1\text{m}^3$ ）して濃度を上げる。（ $NV=0.70\% \rightarrow 3.5\%$ ）

- ③バッチ濃縮した回収塗料を一旦リザーブタンクに払い出し、電着本槽の液面と連動させながら間欠的に最も濃度の近い1次水洗に戻す。

#### (3)塗膜物性、排水処理性など

以上の設計により、最終水洗水の性状は、塗料濃度、有機溶剤濃度、共に上昇することが予測された。この洗浄水が電着塗膜の性能（チップング、密着、副資材のスリップ等）に与える影響について、事前実験室で問題ないことを確認した。

また、排水処理性（COD、泡など）についても、特に有機溶剤等が高濃度になるバッチ濃縮時

の排水はサブタンクに一次保管して、平均的に排水することで廃水処理場の負荷を平均化できるようにして、問題ないことを確認した。

#### 3.2.4 ECS導入と排水量削減効果

これまで述べたシステム（ECS）を導入した工場では、約90%の排水量削減を実現することができた。

### 4. 電着ゴミの削減対策

#### 4.1 電着ゴミの分析

前述の通り、電着工程のもう1つの大きな課題は電着塗装時のゴミ付着である。電着ゴミは後工程の修正研ぎだけでなく、この時の研ぎカスや見逃しによって、中途、上塗の工程内ゴミ件数にも影響し（Fig.6）、本来不要なはずの研ぎ工程や手直し人員を要しており、電着ゴミ“0”を目指した抜本的な取組みが求められている。

電着ゴミは、車体溶接時のスパッターや鉄板研磨時の金属片などの鉄粉ゴミと、電着塗料そのものが凝集した塗料凝集ブツで殆どを占めている（Fig.7）。これまでは、これらのゴミ発生源に廻りゴミを発生させない様々な工夫・改善や、前工程である表面処理工程に鉄粉除去装置を設けるなど、電着槽内にゴミを持込ませない対策が取られ、効果をあげてきたが、充分ではなかった。

一方、電着ゴミのほとんどは槽内を浮遊し、塗装時に付着すると考えられているにもかかわらず、灰色の電着塗料で槽内での動きを観察できないため、その付着メカニズムは不明であった。ここに着目し、槽内に存在する浮遊状のゴミが塗装時に付着しない工法の開発に取り組んだ。

## 4.2 電着ゴミの付着メカニズム

### 4.2.1 付着メカニズムの仮説

電着槽には、設備構成や液の流れに関してさまざまな方式があるが、今回は循環型電着槽をモデルに付着メカニズムを考えた。

電着槽は塗装用電極の他、槽内の塗料の攪拌を行うフィルターを備えた塗料循環装置等から構成されている。この槽構造と過去の電着ゴミ分析の結果から、次のことが言える。

- ①表面流はボデー進行方向と同じ向きに流れている (Fig.8)。
- ②塗料循環系フィルターの入側圧力と出側圧力との差圧が小さく、槽内の浮遊ゴミが回収されない。もし、フィルターでゴミが回収されれば、そのゴミが抵抗となって液が流れにくくなり、入側と出側の圧力に差圧が発生するは

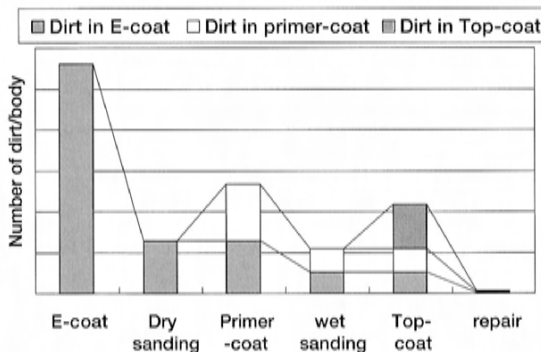


Fig.6 Number of dirt according to process

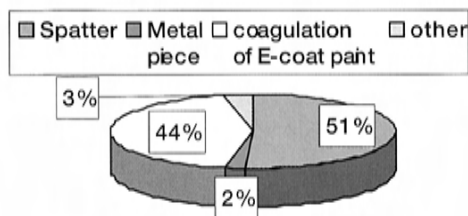


Fig.7 Analysis of dirt element

ずである。

- ③電着ゴミはドア等の垂直面より、ボンネットなどの水平面が圧倒的に多い (約8割)。

以上のことから、鉄粉や塗料凝集ブツ等のゴミは、槽内を浮遊しながら槽外へ排出されずに残っており、沈降しながらボデーに付着していることが推定できる。この浮遊ゴミの挙動を確認するため、実ラインの1/5スケールの実験装置を用いてモデル実験を行うことにした。

### 4.2.2 1/5スケールモデル実験装置

実験装置は実ラインの液の流れを再現するため、液の流れを作り出すノズルや槽の循環吸引箇所、循環量を変更できるようにした。

槽内でのゴミの挙動を可視化するために、電着液の代わりに水を用い、擬似浮遊ゴミとして、水と比重が近く目視確認できる直径6mmのプラスチック球を採用し、ゴミの排出状況の確認を行った。

この実験装置と実ラインの流速の関係は、槽内全体の流れは重力と慣性力が支配的であることから、相似計算により次のようになる。

$$V_r = \sqrt{5} \times V_m$$

( $V_r$ : 実ライン流速,  $V_m$ : 実験流速)

### 4.2.3 実験モデルでの浮遊ゴミの挙動

実験の結果、入槽側に投入された擬似ゴミは、ボデー進行方向と同じ向きの表面流に乗って槽全体に拡散し、比較的槽の高い位置で浮遊することがわかった。また、入槽部付近で反転流が生じており、巻上げによるゴミ淀み滞留が確認できた。一方、ゴミが循環装置を通して系外に排出される時間は極めて遅いことも判明した。これを実ライ

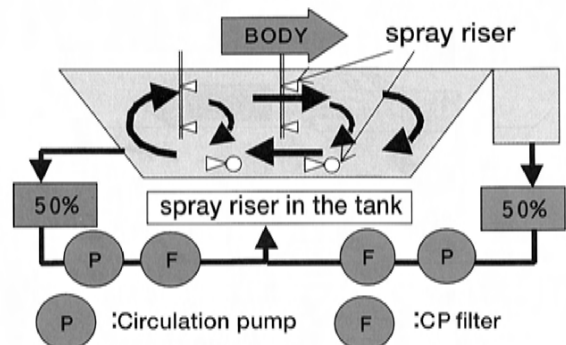


Fig.8 Circulation type of E-coat tank

ンでの仮説と重ね合わせて電着ゴミの付着メカニズムを推定すると、次のようになる (Fig.9)。

- ①ボデー入槽時にゴミが落下し、底部から表面への反転流によってゴミが巻上げられる。
- ②巻上げられたゴミは表面流に乗って槽内の比較的高い位置で拡散浮遊する。この時、流れ方向とボデーの進行方向が同じなので、ゴミとの接触機会が多くなり、付着し易い状態が作られている。
- ③入槽部付近の液の流れに着目してみると、槽底部の流れに誘引された表面から底部への流れがあり、ボデー入槽部分で浮遊ゴミの滞留が生じている。また、槽内の浮遊ゴミの量は、循環系フィルターによって除去されないで、ボデーに付着して搬出されることで安定していると考えられる。

### 4.3 対向流方式の開発

#### 4.3.1 基本構想

実験モデルでの確認の結果から、浮遊ゴミをボデーに付着させないための最適な槽内の液流として、以下のことがポイントとしてあげられる。

- 1) ゴミとボデーの接触機会を少なくするために、液流とボデー進行方向を逆にする。
- 2) 槽内の浮遊ゴミがボデーに接触しないように速やかに槽外へ排出させる。
- 3) 入槽部のゴミ巻上げ・滞留をなくすため、この付近の流れを表面から底部に向かう流れとする。

これらを実現するためには、槽内の液流方向を従来と逆にし、ゴミを吸出し易い槽形状にする必要があることから、対向流方式と称して、次の2つの基本構想を構築した。

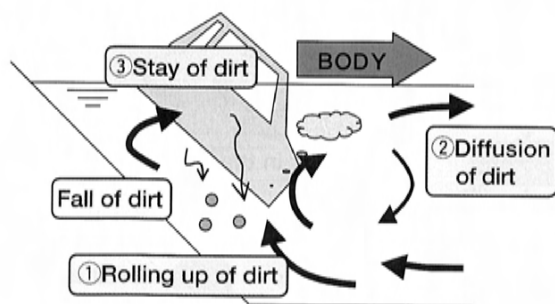


Fig.9 Behavior of dirt on circulation type

#### (1)全対向流型 (Fig.10)

槽内の全域にわたってボデー進行と逆方向から液を流す方式で、主に入槽側からフィルターを備えた塗料循環系に塗料を吸い出す方式。ボデーとゴミの接触機会が最も少ない方式と予測される。

#### (2)循環対向流型 (Fig.11)

槽内の表槽部分の流れ方向を従来と逆にして、入槽部のゴミをボデーと接触しない槽底部を通して出槽底部側から循環系に吸い出す方式。

これら2つの対向流方式について、1/5スケールモデル実験を行い、その効果を検証した。

#### 4.3.2 1/5スケールモデル実験結果

実験結果をTable2に示す。

全対向流型では、入槽部に投入した擬似浮遊ゴミが投入時にわずかに反転・拡散するものの、狙い通りスムーズに入槽側底部に設けた吸引口から槽外へ排出され、短時間でゴミは消失する。

循環対向流型は、期待通り本槽底部の流れに乗り出槽側に移動し、大半の擬似ゴミは出槽側底部に設けた吸引口より槽外に排出される。残る擬似ゴミも出槽側傾斜部を駆け上り反転するが、やがて本槽底部や出槽側サブタンクから排出されて消失する。

以上のことから、いずれの対向流型も浮遊ゴミがボデー位置に拡散浮遊することなく、底部より効果的に排出できることが確認でき、電着ゴミ削減に大きな効果が期待できることがわかった。

### 4.4 工場へのモデル導入

#### 4.4.1 対向流型の選定

対向流方式の工場への導入に際し、以下のことを検討した。

まず設備仕様として、全対向流型と循環対向流型のどちらが導入に適しているか比較した結果をTable3に示す。効果予測は実験でのゴミ消失時間をもとにした。

循環対向流型は全対向流型に比べゴミの排出面では劣るものの、槽改造規模が小さく、投資/工期/槽容量増加(塗料仕掛け量の増加, Fig.10, Fig.11)共に優れていることから、循環対向流型を採用する事とした。

#### 4.4.2 流速の設定

循環対向流型で浮遊ゴミを最も効果的に排出する流速を設定するため、1/5モデル実験において

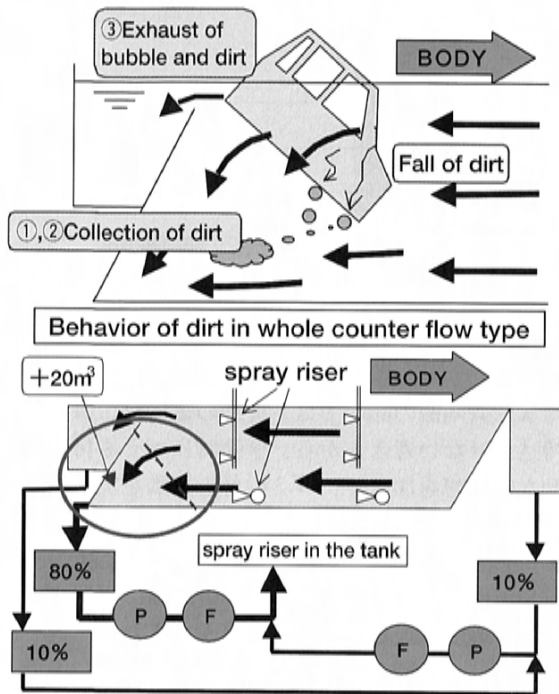


Fig.10 Whole counter flow type of E-coat tank

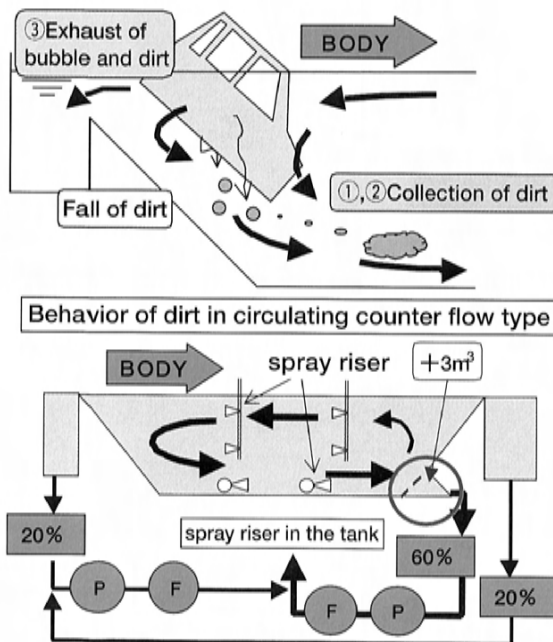


Fig.11 Circulation counter flow type of E-coat tank

Table 2 Exhaust ratio of dirt

		Exhaust ratio of dirt[%]		Position where dirt diffuses
		1 min.	3 min.	
Parallel flow type	Bottom	33.6	51.7	The position which the body passes
	Sub tank	0.0	5.4	
	total	33.6	57.1	
Whole counter flow type	Bottom	98.9	100.0	Dirt hardly diffuses.
	Sub tank	0.0	0.0	
	total	98.9	100.0	
Circulating counter flow type	Bottom	69.1	75.6	Dirt flows in the bottom.
	Sub tank	4.5	21.6	
	total	73.6	97.2	

底部ノズルにて流速を変化させて、擬似浮遊ゴミの排出率を検討した。その結果をTable4に示す。

この実験結果から平均流速が遅いと底部流速も遅くなり、出槽側で反転し漂っている擬似浮遊ゴミが吸引口へ回収される時間が長い。逆に平均流速が速いと底部流速も速くなり、反転した擬似浮遊ゴミは入槽側へ大きく流れるために、回収率が悪かった。

以上の結果から、循環対向流型の平均液流速を最もバランスのとれた0.048m/s（実ラインでは0.108m/sに相当）として設備改造仕様を決定した。

Table 3 Comparison of construction

	Investment *1	Term of works *2	in-process paint increase	Forecast of effect	Integrated evaluation
Whole counter flow type	A	longer than 8	+20m³	◎	△
Circulating counter flow type	B	less than 8	+3m³	○	◎

\*1Amount of investment : under ¥100,000,000...A

under ¥50,000,000...B

\*2Term of works : necessary consecutive number of holidays

Table 4 Flow velocity and exhaust ratio of dirt

Mean flow velocity (experimental value)	Exhaust ratio of dirt [3 min.]
0.034m/s	96.0%
0.048m/s	97.2%
0.056m/s	94.9%

#### 4.5 対向流導入と電着ゴミ削減効果

##### 4.5.1 流速測定結果

改造前後の流速測定結果をFig.12に示す。ボデーの水平面が塗装される高さの平均流速は、従来の循環方式がボデー進行方向へ0.08m/s（ボデー上の相対流速≒0m/s）に対し、改造後の流速はボデー進行と逆方向に0.11m/s（相対流速0.20m/s）となり、ほぼ目標通りの循環対向流となっていることが確認できた。

##### 4.5.2 電着ゴミ件数の推移

台あたり平均電着ゴミ件数は、改造前の28件が改造後は5件となり、大幅に削減する事ができた。（Fig.13）また、ゴミの質分析の結果からも、スパッタ等の鉄粉、ED凝集ブツなど浮遊ゴミが同程度削減しており、対向流方式での狙い通りの効果が確認できたと考える。

### 5. まとめ

電着工程の大きな課題であった最終水洗工程からの排水量の削減と、電着塗装時のゴミ付着について、ECSと対向流の2つの新工法開発によって、大きく改善を図ることが出来た。

ECSの開発では、排水中の極めて濃度の薄い電着塗料固形分と濾液を分離できる新モジュールを採用した再循環の仕組みと、その濾液が水洗水として適していることを見極め、水洗スプレー量を適正化することで、排水量を約90%削減した。

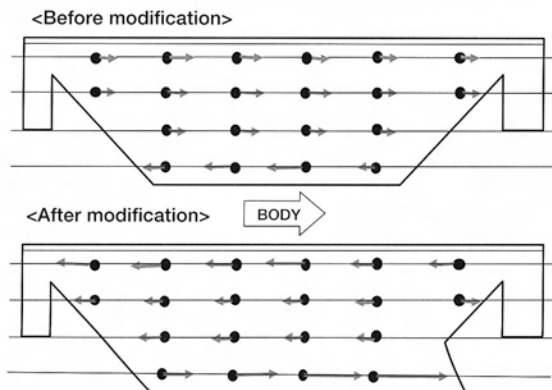


Fig.12 Measurement point of flow velocity and flow direction

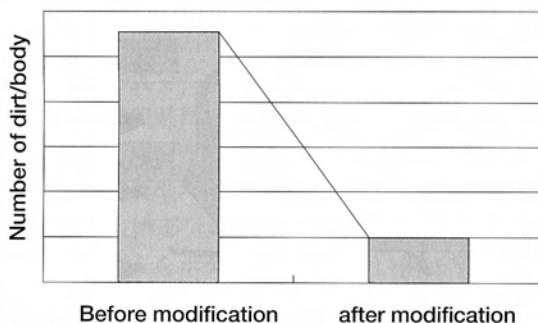


Fig.13 Number of dirt according to dirt element

また対向流の開発では、従来の電着槽にゴミを持込ませない考え方から、塗装時にゴミを付着させない発想を加えて、ゴミの付着挙動を実験的に明らかにした。この対向流方式の導入により、ボデーの水平面の電着ゴミを約1/5に、全体でも1/5以下に削減でき、それに伴い大幅に空研ぎ人員、手直し人員を削減することができた。

最後に、今回の新電着工法の開発・導入にあたり、多岐にわたり、(株)大気社、旭化成(株)、日本ペイント(株)のご協力ならびに、防府工場、プラント技術部のご指導を頂きました。紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

#### ■ 著 者 ■



安藤宏泰



## 社外への発表論文一覧表（平成13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 World congress 2001	2001.3.5-8	SAE	2001-01-0381 A study of drivers' fatigue mechanisms during long hour driving	道田奈々江 沖山 浩 西川 一男 農沢 隆秀	装備開発部 同 上 車両実研部 同 上
			2001-01-0387 Objective evaluation of seat lateral support for cornering	沖山 浩 道田奈々江 西川 一男 農沢 隆秀	装備開発部 同 上 車両実研部 同 上
			2001-01-0865 Introduction of gear noise reduction ring by mechanism analysis including FEM dynamic tuning	宮内 勇馬 藤井 浩司 西野 隆之 畑村 耕一 栗栖 徹	パワートレイン先行開発部 同 上 同 上 同 上 同 上
			2001-01-0313 Development of a technique to strengthen body frame with structural foam	石田 恭聡 深堀 貢 花川 勝則 田中 英昭 松田 健二	技術研究所 同 上 同 上 衝突性能開発部 ボデー開発部
2001 Spring Conference	2001.5.8-10	North American Valisys Users Group	Quality Innovation of MDI (Mazda Digital Innovation)	大矢 武二	経営革新プロジェクト室
6th Japan - Korea joint symposium on hydrogen energy	2001.10.17-19	Hydrogen energy systems society of Japan, Korean hydrogen energy society	The development of Ti-Al-Cu hydrogen storage alloys	崔 準哲 對尾 良則 秋葉 悦男	技術研究所 同 上 産業技術総合研究所

## 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
第11期生産技術研究部会	2001.1.31	日本能率協会 中部地域本部	MDIの背景と現状及び、今後の計画	大矢 武二	経営革新プロジェクト室
ITSフォーラム広島& システムアーキテクチャ セミナー—ITSと地 域交通—	2001.2.6	VERTIS	フォーラムの部 事例報告1「マツダ先 進安全自動車」	白石 紀明	技術研究所
2000年度省エネルギー 優秀事例発表全国大会	2001.2.7	財省エネルギ ーセンター	取鍋の放熱ロス対策による電力消費量の 低減	田中 裕一 木村利三郎	パワートレイン技術部 同 上
シンポジウム「ケータ イ・カーナビの利用性 と人間工学」	2001.2.20-21	日本人間工学 会	カーナビパネル討論「ITSにおけるパー ソナルフィット技術の期待」「自動車 の感覚的パーソナルフィット」	畑 秀二	技術研究所
平成12年度新規産業創 造型提案公募事業成果 報告会	2001.3.27	新 エ ネ ル ギ ー・産業技術 総合開発機構	ナノ領域で水素の示す協力現象	藤井 博信 折茂 慎一 沖野 稔一 高藤 勝 山本 研一 住田 弘祐 谷岡 真一 樋口 浩一 梶岡 秀 問山 秀和 本多 正英	広島大学 同 上 同 上 技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 広島県立西部工業技術センター 同 上 同 上 同 上
第87回 触媒討論会	2001.3.27-28	触媒学会	担持貴金属触媒におけるCe系複合酸化 物の影響	山田 啓司 岡本 謙治 三好 誠治 住田 弘祐 國府田由紀 高見 明秀	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上

大会名	日程	主催	題 目	発表者	所 属
2001春期大会	2001.3.28-30	日本金属学会	232 高容量ナノ複合化Mg薄膜の光透過現象発現	山本 研一 樋口 浩一 梶岡 秀 間山 秀和 本多 正英 折茂 慎一 藤井 博信	技術研究所 広島県立西部工業技術センター 同 上 同 上 同 上 広島大学 同 上
			231 低温で吸放出可能な高容量ナノ複合化Mg薄膜	樋口 浩一 梶岡 秀 間山 秀和 本多 正英 山本 研一 折茂 慎一 藤井 博信	広島県立西部工業技術センター 同 上 同 上 同 上 技術研究所 広島大学 同 上
第2回科学技術週間シンポジウム	2001.4.17	（財）東予産業創造センター、新居浜工業専門学校	クルマと環境の関わりについて	浅井 裕史	技術研究所
Sensor Expo Japan 2001 センサ・アクチュエータ・マイクロマシン／ウィーク2001 総合シンポジウム 「ニーズとシーズの出会い」	2001.4.18-20	次世代センサ協議会	マツダASV-2におけるセンサ技術の開発	山本 康典	技術研究所
第80回シンポジウム 「変革するITTQM」	2001.4.19	日本品質管理学会	MDIの背景と現状及び、今後の計画 －品質革新活動の事例－	大矢 武二	経営革新プロジェクト室
第138回全国講演大会	2001.5.13	日本鑄造工学会	コールドボックス中子金型の造型時の変形挙動	垣田 健 野村 昭二 堀 雄二	パワートレイン技術部 同 上 同 上
計測連合シンポジウム 先端計測2001	2001.5.17	日本学術会議 工学共通基盤 研究連絡委員会	先進安全自動車（ASV）への計測技術適用	白石 紀明	技術研究所

大会名	日程	主催	題 目	発表者	所 属
2001年春季大会学術講演会	2001.5.23-25	自動車技術会	GPSによる車体横滑り角計測技術の開発	福庭 一志	技術研究所
				高橋 弘行	同 上
				吉本 光洋	同 上
				吉岡 透	同 上
			複素コーナリングコンプライアンスの提案	辻 幸二	シャシー開発部
				十時 信弘	同 上
				西岡 正夫	CAE部
			予防安全システムにおける警報音が事故回避操作におよぼす影響	新部 忠幸	技術研究所
				木戸 孝二	同 上
				松岡 悟	同 上
第2期先進安全自動車推進計画の成果報告会	2001.5.23-25	先進安全自動車推進検討会、国土交通省自動車交通局	追従走行中の衝突警報に対するドライバ反応の解析	成 波	技術研究所
				橋本 昌寛	同 上
				末富 隆雅	同 上
			低汚染型塗装の開発 ―ベースコートとクリアコートのウェットオン塗装が可能な親水型塗料―	久保田 寛	技術研究所
				山根 貴和	同 上
			燃焼室形状がタンブル、スキッシュ流および燃焼パターンに及ぼす影響	藤本 昌彦	技術研究所
				岩井 浩平	同 上
				片岡 一司	同 上
				田端 道彦	同 上
			交通事故における人的要因のコード化の試行	吉田 伸一	動交通事故総合分析センター
				北村 守能	日産ディーゼル(株)
				古池 晃	日野自動車工業(株)
				田久保宣晃	科学警察研究所
				藤田 健二	技術研究所
				松尾 典義	スズキ(株)
			マツダASV-2の研究成果報告と被追突むちうち傷害低減システム報告	是 治久	技術研究所
				山本 康典	同 上

大会名	日程	主催	題 目	発表者	所 属
VS Tech2001振動・音響新技術シンポジウム	2001.6.6-8	日本機械学会, 日本音響学会	ドア閉まり音の定量評価法と閉まり音の改善について  直噴ディーゼルエンジンのアイドル振動低減について	中村 誠之 山田 勝久 内田 博志  森実 健一 熊野 昌平	ボデー開発部 同 上 技術研究所  技術研究所 同 上
第9回品質工学研究発表大会	2001.6.14-15	品質工学会	品質工学を用いた, ガラス接着ウレタン材料のパラメーター設計  機械加工ラインにおけるオンライン品質工学の展開とタクトアップ  電力と切削重量に着目したセミドライドリル加工条件の評価	鈴木 隆  井田 吉人 安達 範久  平井 泰史 福本 康博 中西 克司 安達 範久	ボデー開発部  パワートレイン技術部 同 上  パワートレイン技術部 同 上 同 上 同 上
第33回技術交流会	2001.6.15	自動車技術会	2.5リッターディーゼルエンジン用クラックシャフトの鋳鉄化	朝倉 陽治	パワートレイン技術部
「新世紀のアルミニウム合金の鋳造技術を展望する」－最新のアルミニウム合金鋳造技術－特別セミナー	2001.6.22	日刊工業新聞社 大阪支社	低圧複合化プロセスによる複合化鋳物の製造	小田 信行	技術研究所
自動車技術会九州支部講演会	2001.6.29	自動車技術会九州支部	燃料電池自動車の研究開発の現状	山本 順一	技術研究所
DMS第12回設計・製造ソリューション展	2001.7.4-6	リードエグジビジョン・ジャパン(株)	MDIの背景と現状及び, 今後の計画－品質革新活動の事例－	大矢 武二	経営革新プロジェクト室
2001年度第1回地区講演会	2001.7.6	自動車技術会中部支部	「MDIへの取り組み」－デザインから生産までを一貫させるコンセプトについて－	岡田 吉誼	経営革新プロジェクト室
研究成果発表会 2001	2001.7.10-13	動エンジニアリング振興協会	車載用水素吸蔵合金タンクの安全性試験	森本 賢治	技術研究所

大会名	日程	主催	題目	発表者	所属
第3回ARC東京フォーラム	2001.7.19	ARCジャパン	Global Collaboration Strategies	岡田 吉誼	経営革新プロジェクト室
成形加工実践講座	2001.7.27	プラスチック成形加工学会	CAEの応用と実際（自動車製品）	市川 真治	車両技術部
品質工学入門セミナー	2001.8.24	日本規格協会	工程管理の品質工学	井田 吉人	パワートレイン技術部
日本機械学会2001年度年次大会	2001.8.30	日本機械学会	凍結現象を利用した廃液処理に関する基礎研究（冷却条件の検討）	池田雄一郎 松本 浩二	パワートレイン技術部 中央大学
日本人間工学会 第42回大会	2001.9.4-6	日本人間工学会	1D16 長時間自動車運転時の体圧変動の解析	古郡 了 岡本 宜久 三浦 泰彦 畑 秀二	技術研究所 同 上 同 上 同 上
第3回 日本感性工学会大会	2001.9.13-14	日本感性工学会	顔面筋電計測によるドライバの情動変化の評価	菅原 徹 岡本 宜久 佐渡山亜兵 清水 義雄 上條 正義 細谷 聡	信州大学 技術研究所 信州大学 同 上 同 上 同 上
シンポジウム「自動車用アルミニウム合金接合技術の現状と将来動向」	2001.9.13	軽金属溶接構造協会	レーザー溶接のアルミニウム車体への適用	加藤喜久生 坂野 律男 猪 一郎	車体技術部 同 上 同 上
無段変速機専門委員会2001年度 第2回	2001.9.14	自動車技術会	マツダトロイダルCVTの開発	上田 和彦	技術研究所
第9回プラスチック成形加工学会秋季大会	2001.9.27-28	プラスチック成形加工学会	C109 機械式工法により塗膜剥離した市場回収PPバンパー再生材の物性とその適用開発  B113 各種自動車用樹脂材料の高速引張特性について	森脇 健二 中村浩一郎 藤 和久  松田 祐之 原 正雄	技術研究所 ボデー開発部 技術研究所  技術研究所 同 上
第205回塑性加工シンポジウム	2001.10.2	日本塑性加工学会	連続工程シミュレーション技術の確立と活用	小川 孝行	車体技術部



大会名	日程	主催	題 目	発表者	所 属
平成13年度第三回産学 R&D応募型研究テーマ研究会	2001.10.4	韓中国技術振 興センター	ガソリン機関の混合・燃焼現象への二次 元レーザー計測の応用	田端 道彦	技術研究所
MSCソフトウェア ソ リユーションフォーラ ム2001	2001.10.11	(株)日本MSC	車両耐久テストに対する寿命予測解析事 例の紹介	津村 信一	CAE部
第2回人間行動適合型 生活環境創出システム 技術シンポジウム	2001.10.11	HQL, NEDO	運転時疲労度に基づく運転行動適合化技 術の研究開発	古郡 了	技術研究所
日本塗装技術協会平成 13年度第2回講演会	2001.10.12	日本塗装技術 協会	CAEを活用した自動車塗装の生産準備	小笠原敏文	車両技術部
産業保健人間工学会第 6回大会	2001.10.14	産業保健人間 工学会	自動車におけるシートホルルド性の生理 学的評価	西川 一男 農沢 隆秀 沖山 浩 道田奈々江	車両実研部 同 上 装備開発部 同 上
経営工学実践研究論文 発表会	2001.10.19	経営工学会中 国四国支部	量産ライン全体の品質損失を考慮した品 質特性傾向値管理の実践	井田 吉人	パワートレイン技術部
			ロイヤリティー獲得に影響を与える要因 についての一考察	桑森 秀樹	品質保証部
鑄造工学会第139回全 国講演大会	2001.10.22-24	日本鑄造工学 会	設計から加工まで活用できる三次元デー タ活用技術 ―マツダにおけるMDI活 動と鑄造への適用事例― 鑄造の臭気を 処理できる生物脱臭装置の開発	安達 範久 長尾 勝己 長浜 博 大野 秋夫 九軒 右典	パワートレイン技術部 同 上 同 上 (株)日本製鋼所 同 上
2001年自動車技術会秋 季大会学術講演会	2001.10.23-25	自動車技術会	直噴ガソリンエンジンにおける筒内混合 気分布評価手法の検討	青木 理 山下 洋幸 藤本 英史 太田 統之 中川 正 山本 博之	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上

大会名	日程	主催	題 目	発表者	所 属
			ドライビングシミュレータを用いたエンジン加速音の官能評価	福原 千絵 加村 孝信 末富 隆雅	技術研究所 同 上 同 上
			小型直噴ディーゼル機関の燃焼改善によるNOx低減	志茂 大輔 片岡 一司 寺沢 保幸 藤本 英史 中川 正	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上
DMS第4回 関西設計・製造ソリューション展	2001.10.24-26	リードエグジビション・ジャパン	MDIの背景と現状及び、今後の計画ー品質革新活動の事例ー	大矢 武二	経営革新プロジェクト室
シート技術研究発表会	2001.10.26	日本部品工業会シート部会	自動車シートによる長時間着座での運転者疲労メカニズム	道田奈々江	装備開発部
広島中央テクノフェア 2001	2001.11.3-4	広島中央テクノポリス建設促進委員会	ITSと先進安全技術	藤瀬 一基	技術研究所
No.08-01 シンポジウム「車両軽量化技術の最前線」	2001.11.5	自動車技術会	発泡樹脂充填材による車体フレーム強化技術	石田 恭聡	技術研究所
第4回MADYMO ユーザーズ・ミーティング	2001.11.9	TNO-Automotive Japan(株)	歩行者保護研究におけるMADYMOの適用事例 ー歩行者保護用エアバッガー	石川 敏弘	技術研究所
2001年度第2回講習会	2001.11.9	自動車技術会 関西支部	固体伝播音が支配する騒音解析システムの紹介	瀬尾 淳	ドライブトレイン開発部
			車室内騒音のパネル寄与率解析事例	杉原 毅	技術研究所
PAM USER'S CONFERENCE IN ASIA '01	2001.11.15-16	日本イーエスアイ	自動車のAピラー形状変更による風騒音シミュレーションの検証 ー流れ場における実験と計算の比較ー	上岡 孝志 農沢 隆秀 中村 貴樹 岡田 義浩	第2ITソリューション推進部 車両実研部 同 上 同 上

大会名	日程	主催	題 目	発表者	所 属
The JSME International Conference on Motion and Power Transmissions	2001.11.17	日本機械学会	ANALUTICAL APPROACH OF TRANSMISSION GEAR NOISE	神田 靖典	ドライブレイン開発部
第7回国際溶接シンポジウム	2001.11.20-22	溶接学会	自動車ボディ用スポット摩擦攪拌接合ロボットシステムの開発	坂野 律男 村上 士嘉 山村浩二郎 藤本 光生 犬塚 雅之 兵江 猛宏 長尾 保栄 檜木 一	車体技術部 同 上 同 上 川崎重工業務 同 上 同 上 同 上 同 上
自動車技術会ロードシミュレーション技術交換会	2001.11.22	自動車技術会	MDI「実験革新」	西山 晟人	経営革新プロジェクト室
No.11-01 シンポジウム「動力伝達系の最新技術2001」	2001.11.28	自動車技術会	マツダトロイダルCVTの開発	延本 秀寿	技術研究所
素形材技術フォーラム	2001.11.29	（財）素形材センター	気体加圧によるディーゼルエンジンピストンの部分複合化	小田 信行	技術研究所
日本機械学会 関西支部 ウィークエンドセミナー 2001	2001.11.30	日本機械学会 関西支部	燃料電池の技術動向について	高森 勇治	技術研究所
マネジメントのための品質工学セミナー	2001.11.30	日本規格協会	生産技術における品質工学	安達 範久	パワートレイン技術部
日本人間工学会 中国・四国支部 第34回大会	2001.12.1	日本人間工学会 中国・四国支部	自動車におけるシートホールド性の生理学的評価	西川 一男 農沢 隆秀 沖山 浩 道田奈々江	車両実研部 同 上 装備開発部 同 上
ものづくりを支援するITセミナー	2001.12.3	（財）中国技術振興センター	ものづくりデジタルイノベーション	慶徳 晴司	経営革新プロジェクト室

大会名	日程	主催	題 目	発表者	所 属
No.12-01 シンポジウム「バーチャル開発はどこまで可能か？」	2001.12.4	自動車技術会	衝突解析用の材料特性試験方法とその適用精度	菊池 莊一	CAE部
第10回 交通・物流部門大会 (TRANSLOG '01)	2001.12.5-7	日本機械学会	車線逸脱防止のためのタクトイル警報システムの開発	小嶋 浩一 寺田 哲也 山本 雅史 千葉 正基 藤田 健二	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上
第10回 国際CIMシンポジウム	2001.12.19	国際CIM推進振興会	Global Collaboration Strategies	岡田 吉誼	経営革新プロジェクト室

## 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
自動車技術 Vol.55 No.3 P.28～32	直噴ガソリンエンジンの混合気形成	山本 博之 山下 洋幸 片岡 一司 青木 理	技術研究所 同 上 同 上 同 上
自動車技術 Vol.55 No.4 P.70～74	樹脂充填によるボデーフレーム強化技術の開発	石田 恭聡 深堀 貢 花川 勝則 田中 英昭 松田 健二 砂川 孝之	技術研究所 同 上 同 上 衝突性能開発部 ボデー開発部 CAE部
自動車技術Vol.55 No.12 P.22～27	エンジン組立ラインにおける多機種混流生産システムの開発	野村 直彦 山本 和司 高橋 克典 奥屋 太志 森本 達郎 松浦 恭	パワートレイン技術部 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上
JSAE Review 22 (2001) P.183～188	A Study on driver model for lane change judgement	橋本 昌寛 末富 隆雅 奥野 昭宏 上村 裕樹	技術研究所 同 上 同 上 同 上
自動車技術論文集 Vol.32, No.4 P.145～149	使用済み自動車から回収されるPPバンパのリサイクル実 用化研究	今村 寿人 大庭 敏之 横山 晋吾 伊藤 祐邦 山本 直孝 藤 和久 杉本 宏明 江頭 明彦 児玉 邦雄	富士重工業(株) 日産自動車(株) スズキ(株) (株)本田技術研究所 いすゞ自動車(株) 技術研究所 住友化学工業(株) 日本ポリケム(株) グラントポリマー(株)
日本機械学会論文集 67巻664号 (C編)	はすば歯車装置の振動応答, 第4報 移動荷重を考慮した かみあいモデルの提案	西野 隆之	パワートレイン先行開発部
日本機械学会論文集 68巻665号 (C編)	3次元歯面修整を施したはすば歯車の運転性能, 第2報 製造誤差に対するロバスト性を考慮した修整法の提案	西野 隆之	パワートレイン先行開発部

寄稿誌名	題 目	発表者	所 属
(社)軽金属学会 軽金属 第53巻 第2号 (2001), P.108-112	TiO <sub>2</sub> 粒子/AC8Aアルミニウム合金複合材の機械的性質およびTiO <sub>2</sub> と合金元素の反応の影響	藤田 誠	技術研究所
日本アルミニウム協会「アルミニウム」第8巻 第44号 P.201-205	平成12年度 日本アルミニウム協会賞(技術賞)受賞 6000系アルミニウムボデーパネル用同時化成処理技術の開発	西口 勝也 石田 恭聡	技術研究所 同 上
日本鑄造工学会中国四国支部 支部会報誌「こしき」No.24 P.36-39	技術論文 気体加圧複合化技術によるディーゼルエンジンピストンの開発	小田 信行	技術研究所
(財)中国技術振興センター ハイテクインフォメーション No.131 P.27-34	技術トピックス 先進安全自動車 マツダASV-2の開発	藤瀬 一基 山本 康典 小嶋 浩一	技術研究所 同 上 同 上
品質工学 Vol.9 No.4	カムシャフトの鑄造条件の最適化	椎野 和幸 福本 康博	パワートレイン技術部 同 上
品質工学 Vol.9 No.6	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	井田 吉人 安達 範久	パワートレイン技術部 同 上
(社)日本鑄造協会 JACTニュース 534号	鑄造領域における金型3Dモデルを核としたCAE技術の確立と将来展望	正寿 孝之 河野 一郎 安達 範久	パワートレイン技術部 同 上 同 上
(財)日本規格協会 標準化と品質管理 Vol.54 No.5	オンライン品質工学の発展	井田 吉人 安達 範久	パワートレイン技術部 同 上
(財)日本規格協会 品質工学応用講座 機械・材料・加工の技術開発	カムシャフトの鑄造条件のシミュレーションによる最適化	椎野 和幸	パワートレイン技術部
	自動車製造におけるオンライン品質工学の適用	井田 吉人 安達 範久	パワートレイン技術部 同 上
	分割ギヤのろう付け接合条件の最適化	橋本 晃	パワートレイン技術部
	鑄造用生型砂のパラメータ設計	堀 雄二	パワートレイン技術部



寄 稿 誌 名	題 目	発 表 者	所 属
型技術 Vol.16 No.5, No.6, No.7	工具送り速度可変制御によるプレス金型高速加工技術の開発	中土 信之 山口 雅 西本 光毅 大田 敦史 谷 厚司 細田 剛	車体技術部 同 上 同 上 同 上 同 上 FA技術部
素形材 Vol.42 No.1	2.5リッターディーゼルエンジン用クランクシャフト	朝倉 陽治	パワートレイン技術部
成形加工 Vol.13 No.1 2001	自動車開発におけるデジタル革新	龍田 康登	技術本部
成形加工 Vol.13 No.8 2001	射出成形バンパーのフローマーク現象と対策	田中 宣隆 藤岡 良和 谷本 治夫	車両技術部 同 上 同 上
塗装工学2001 Vol.36 No.10	自動車塗装工程における生産準備プロセスへのCAE活用	大岡 正明 野村 浩司	車両技術部 同 上

## 編集後記

当社はこの数年マツダブランドの確立を目指しました。マツダの個性である「センスの良い」「創意に富む」「はつらつとした」を具現化するために、ブランドDNAとして「際立つデザイン」「抜群の機能性」「反応の優れたハンドリングと性能」の3つのキーワードを指針として取り組んできました。

この新しいブランドを体現する商品群の第1弾となる『アテンザ/Mazda 6』は、“Zoom－Zoom”で表される「車を操る楽しさ」を皆様に提供できる全く新しい車です。

本号は20号という記念号であり、編集にあたって、このアテンザに導入・開発した技術を集大成することをねらって特集にまとめました。特集以外の論文解説を含め投稿数も30に達し、近年にない大作になりました。いずれもブランドDNAとマツダチャレンジングスピリットの実現に向けて取り組んできた技術者の成果であり、彼らの意気込みを感じるものとなっています。開発に忙しい中、執筆にご協力いただいた方々に厚く御礼を申し上げます。

今後も、更なる価値を創造し、お客様に喜びと感動を与え続ける技術を開発していきたいと考えております。当社の技術者に一層のご支援を頂ければ幸いです。

(佐々木)

## 編集委員会

委員長	喜田 達也 (技術企画部)
委員	西岡 俊文 (コンセプト・プラットフォーム基本設計部)
	田中 博志 (車両実研部)
	中村 誠之 (ボデー開発部)
	田端 秀行 (装備開発部)
	佐々木潤三 (パワートレイン先行開発部)
	山田 洋史 (技術研究所)
	三谷 和正 (プラント技術部)
幹事	山田 晃正 (技術企画部)
事務局	大森 正志 (技術企画部)
	世良 和美 (技術研究所)

## マツダ技報 第20号

発行 平成14年 5 月31日  
発行人 井巻 久一  
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

©禁無断転載

## Mazda Technical Review No.20

May 2002  
Publisher Hisakazu Imaki  
Editor Tatsuya Kita  
Distributor Technology Planning Dept.  
Product Planning & Business  
Strategy Div.  
Mazda Motor Corp.  
3-1 Shinchu, Fuchu-cho Aki-gun,  
Hiroshima 730-8670, Japan



