

Mazda Technical Review



マツダ技報

Mazda Technical Review

2007 No. **25**

マツダ技報 第25号 (2007)

目 次

巻頭言

Mazdaブランド確立と環境対応へ向けて	池田龍司	1
----------------------------	------------	---

特集：CX-7

1. CX-7の紹介	川崎俊介, 村末 豊, 佐賀尚人	3
2. CX-7のデザイン	小泉 巖	8
3. CX-7のパッケージング	長尾治典, 上手淳二, 和原幸夫 貞野雅人, 道田奈々江	14
4. CX-7のゼロプロト開発実現に向けたCAE適用技術	杉本 繁, 上野正樹, 菊池荘吉 藤川孝司, 大原 司	20
5. iPodアダプタの開発	大滝喜由, 角岡幸治, 平野拓男 西岡勝則	26
6. インパネ表皮における新工法の開発	貞野雅人, 高岡哲也, 徳長幸穂 寺岡 晋	32

特集：CX-9

7. CX-9の紹介	竹下 仁, 土井 歩, 松本正義	36
8. CX-9のデザイン	鈴木英樹	42
9. CX-9のパッケージング	今岡直浩, 田中英樹, 河手 功 松本政憲, 高橋克征, 山際 剛	48
10. CX-9のパートレイン	市川潤一郎, 大島博文, 森宗達智 草開良治, 嶋田克利	53
11. CX-9の車体剛性開発	河野裕人	61
12. CX-9の衝突安全ボデー構造	富岡敏憲, 執行貴彦, 望月浩孝	65
13. ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグの開発	信本昇二, 福谷和也 福田貴生	69
	平田基晴, 榊田昌史, 能田裕行 戸川草代子, 徳永利道, 川村尚輝	69
	渡辺 努, 佐伯秀治	

論文・解説

14. マツダスピードアクセラの紹介	前田龍雄, 住田和哉, 田畑孝司	75
15. マツダスピードアクセラのダイナミック性能開発	谷口正明, 田村 章, 稲田伸一 光永誠介, 岡田義浩, 岡本 哲 星野彦一, 八木 淳	80
16. 車両衝突現象における内部エネルギー評価に関する研究	井上 実, 渡辺通成, 木戸啓人 伊東紀明, 尾川 茂	86

17. 全ての開発活動に活かせるデジタルモックアップ構築とその運用	飯田健次, 児玉信宏, 縄 淳二 平野誠一, 花野木寛	91
18. サスペンション設計支援ツールの開発	鐵本雄一, 倉田直樹, 武田健二 厚井省吾	96
19. フロントガラスを利用した地デジ受信アンテナの開発	重田一生, 谷口龍昭, 牛尾將雄 諸橋敏将	101
20. 電装品ロバスト性開発システム「ESPER」の紹介	岡田英之, 橋高德昭	106
21. シートリラックス装備の提案と生理学的評価	道田奈々江, 元吉菜緒子, 宮原民夫	112
22. 自動車乗降時における上半身の身体負担推定手法の提案	吉澤公理, 末富隆雅, 小竹元基 宮沢悠介, 鎌田 実	118
23. 新型MPVのAFS(Adaptive Front-lighting System)開発	大谷健二	125
24. BT-50用新型エンジンMZR-CD 2.5/3.0の開発	松江浩太, 石原 力, 岡田雄三 加藤 修, 秀衛佳裕, 池添 明	128
25. DISIエンジン噴霧モデルの最適化手法の開発	佐藤圭峰, 横畑英明, 山川正尚 西田恵哉, 大瀧康宏	134
26. DISC-HCCIハイブリッド燃焼エンジンの解析	養祖 隆, 西本敏朗, 林 好徳 藤川竜也, 山川正尚	140
27. ディーゼル機関における多量EGRと吸気冷却によるエミッション低減	藤本昌彦, 志茂大輔, 片岡一司 藤本英史, 山本博之	146
28. バッテリマネジメントによる燃費改善	西里鉄也, 平野晴洋, 稲田 潤 八雲 正, 庄司 明, 前田敏正	152
29. 自動車部品用バイオプラスチックの開発	吉田邦彦, 松田祐之, 栃岡孝宏	157
30. 振動伝達低減パネルの開発	宇都宮昭則, 中川興也, 村瀬健二 小平剛央, 加村孝信	161
31. AT用クラッチハブ・プレス一発成形技術の確立	河野弘和, 森弘真司, 中浜義訓	166
32. 品質工学を用いた鋳鉄足回り部品の量産準備期間短縮	黒谷真司, 佐川述史, 竹村幸司	170
33. プレス部品の初物外観品質向上への取り組み	酒井 明, 片桐泰伸	175
34. プライマ塗布品質保証技術の開発	木村美昭, 菅 康之, 鈴木尚文 和泉昭雄, 美本和彦	179
35. 高仕上がりベース塗料の開発	森 淳哉, 久保田寛, 重永 勉 山根貴和, 神田輝夫, 大関 武 常岡辰夫	185

社外への発表論文一覧表	190
-------------------	-----

Mazda Technical Review No.25

CONTENTS

Foreword

Next Leap Forword : Mazda Brand & Environmentalism (<i>T.Ikeda</i>)	1
--	---

Special Edition for CX-7

1 . Introduction of CX-7 (<i>S.Kawasaki, Y.Murasue, N.Saga</i>)	3
2 . Design of CX-7 (<i>I.Koizumi</i>)	8
3 . Package of CX-7 (<i>H.Nagao, J.Kamite, S.Wahara, M.Sadano, N.Michida</i>).....	14
4 . CAE Application Technology in CX-7 Development (<i>S.Sugimoto, M.Ueno, S.Kikuchi, K.Fujikawa, T.Ohara</i>)	20
5 . Development of iPod Adapter (<i>K.Ohtaki, K.Kadooka, T.Hirano, K.Nishioka</i>).....	26
6 . Development of New Methods in Instrument Panel Skin (<i>M.Sadano, T.Takaoka, Y.Tokunaga, S.Teraoka</i>)	32

Special Edition for CX-9

7 . Introduction of CX-9 (<i>H.Takeshita, A.Doii, M.Matsumoto</i>)	36
8 . Design of CX-9 (<i>H.Suzuki</i>)	42
9 . Package of CX-9 (<i>N.Imaoka, H.Tanaka, I.Kawate, M.Matsumoto, K.Takahashi, T.Yamagiwa</i>)	48
10 . Introduction of CX-9 Powertrain (<i>J.Ichikawa, H.Ohshima, K.Morimune, Y.Kusabiraki, K.Shimada, H.Kawano</i>)	53
11 . BODY Rigidity for CX-9 (<i>T.Tomioka, T.Shigyou, H.Mochizuki</i>)	61
12 . CX-9 Crash Safety Body Structure (<i>S.Nobumoto, K.Fukutani, T.Fukuda</i>)	65
13 . Development of Rollover Protection Curtain Airbag (<i>M.Hirata, M.Sakakida, H.Nouda, S.Togawa, T.Tokunaga, H.Kawamura, T.Watanabe, H.Saiki</i>)	69

Technical Reports

14 . Introduction of MAZDASPEED AXELA (<i>T.Maeda, K.Sumida, K.Tabata</i>)	75
15 . Dynamic Performance Development of MAZDASPEED AXELA (<i>M.Taniguchi, A.Tamura, S.Inata, S.Mitsunaga, Y.Okada, S.Okamoto, H.Hoshino, A.Yagi</i>)	80
16 . Investigation on the Internal Energy Assessment in the Vehicle Crash Event (<i>M.Inoue, M.Watanabe, H.Kido, N.Ito, S.Ogawa</i>)	86

17 . Construction and Operation of Digital Mock-Up to Make the Best Use of for all Development Activities (<i>K.Iida, N.Kodama, J.Nawa, S.Hirano, H.Hananoki</i>)	91
18 . Development of Suspension Design Support Tool (<i>Y.Tetsumoto, N.Kurata, K.Takeda, S.Koui</i>)	96
19 . Development of Digital Terrestrial Broadcasting Reception Antenna Using Wind-shield Glass (<i>K.Shigeta, T.Taniguchi, M.Ushio, T.Morohashi</i>)	101
20 . Introduction of Electronics Control Unit Robustness Development System“ ESPER ” (<i>H.Okada, N.Kittaka</i>)	106
21 . Proposal of Seat Relaxation Equipment and Its Physiological Evaluation (<i>N.Michida, N.Motoyoshi, T.Miyahara</i>)	112
22 . Estimated Method of Physical Workload of Human Upper-body during Ingress and Egress (<i>N.Yoshizawa, T.Suetomi, M.Shino, Y.Miyazawa, M.Kamata</i>)	118
23 . Development of AFS of All-New MPV (<i>K.Ohtani</i>)	125
24 . Development of MZR-CD 2.5/3.0 Engine for BT-50 (<i>K.Matsue, C.Ishihara, Y.Okada, O.Kato, Y.Hidehira, A.Ikezoe</i>)	128
25 . Development Optimization Techniques of Spray Model for DISI Engine (<i>K.Sato, H.Yokohata, M.Yamakawa, K.Nishida, Y.Otaki</i>)	134
26 . Analysis of Hybrid Combustion Engine using DISC and HCCI (<i>T.Youso, T.Nishimoto, T.Hayashi, T.Fujikawa, M.Yamakawa</i>)	140
27 . EM Reduction by Large Amount of EGR and Cooled Intake Gas in Diesel Engine (<i>M.Fujimoto, D.Shimo, M.Kataoka, H.Fujimoto, H.Yamamoto</i>)	146
28 . Fuel Consumption Improvement with Battery Management (<i>T.Nishizato, S.Hirano, J.Inada, T.Yagumo, A.Shoji, T.Maeda</i>)	152
29 . Development of Bioplastic for Automobile Parts (<i>K.Yoshida, Y.Matsuda, T.Tochioka</i>)	157
30 . Development of Low Vibration Transfer Panel (<i>A.Utsunomiya, K.Nakagawa, K.Murase, T.Kohira, T.Kamura</i>)	161
31 . Establishment of One Motion Stamping Spline Forming Technology for AT Clutch Hub (<i>H.Kouno, M.Morihiro, Y.Nakahama</i>)	166
32 . Reduction of Mass-production Preparation Period about Axle Parts Casting Process by Taguchi Method (<i>S.Kurotani, N.Sagawa, K.Takemura</i>)	170
33 . Improvement in Appearance Quality of First Stamping Parts (<i>A.Sakai, Y.Katagiri</i>)	175
34 . Development of Window Glass Primer Applying Quality in Process (<i>Y.Kimura, Y.Kan, N.Suzuki, A.Izumi, K.Mimoto</i>)	179
35 . Development of High Quality Appearance Basecoat (<i>J.Mori, H.Kubota, T.Shigenaga, T.Yamane, T.Kanda, T.Ohzeke, T.Tsuneoka</i>)	185
List of Reports Published in 2006	190

巻頭言

Mazdaブランド確立と環境対応へ向けて

Next Leap Forward : Mazda Brand & Environmentalism



執行役員 池田 龍司

Tatsuji Ikeda

20世紀は経済的にめざましい成長を果たしたものの、大量に生産、消費、廃棄する、いわば“飽食の時代”であった。この21世紀は再生、循環型への転換と地球規模での環境問題への対応が求められている。

これまでMazdaは、ブランド構築を目指し、2002年のアテンザ以降、デミオ、RX-8、アクセラという新モデルを導入し、プレマシー、ロードスター、MPVの刷新を図ることでMazdaのラインナップの総仕上げを行った。そして、CX-7、CX-9という上級モデルを導入してきた。

少しずつではあるが、Mazdaは「ワクワクする楽しい車を作るメーカー」であるとお客様に評価されるようになってきたように思う。これは、一貫した“Zoom-Zoom”というブランド戦略を基軸に商品主導の開発を行ってきた成果であり、社内外の多くの方の並々ならぬ挑戦と努力の賜物である。

今後の課題は、2代目となる商品群を「一貫性と継続性を持ちながら、Zoom-Zoomを飛躍的に進化」させ、「品質面でも劇的に向上させる」ことで初代以上にお客様の期待を上回り、大きな満足感（信頼）を得られるようにしなければならない。お客様がMazdaブランドを待ち望んで、喜んで購入して下さっている姿を関係者全員が実感できるようにしたい。

また、21世紀の環境社会を考えると、消費者自身が真に心豊かな生活を中心に置き、環境に優しい車を求めるようになる。自動車文化への貢献や企業としての存在価値を果たすためには、「Clean & Economy」を更に追求していかなければならない。

ご承知のように環境問題は、1997年の京都議定書以降、各国でCO₂削減が叫ばれ、欧州では2009年の自主規制を目前に控えている。日本では2015年から、2010年燃費基準比約30%の燃費向上を目指した規制化が検討されている。米国でもCAFE強化案策定など環境問題への動きが活発化しており、何もこれは先進国だけに限らず、新興国でも同様である。このため、自動車メーカー各社は生き残りをかけて中長期計画を策定し、ガソリンエンジンやディーゼルエンジン、そしてトランスミッションの性能と効率向上、HEVの普及へ向けた技術開発を強化しており、企業間提携や異業種との協業の動きも活発化しているのは周知の事実である。

Mazdaもこれまでブランド構築とともに他社に先駆けたディーゼルエンジンへのDPF装置の採用、超低排出ガス適合車の拡大と燃費の改善、新型ロータリエンジンの導入、そして水素ロータリエンジン車のリース販売など積極的に取り組んできた。今後の環境社会への貢献や到達すべき目標の高さを考えると、今まで以上の果敢な挑戦が必要である。裾野の広い自動車産業構造の中で、Mazdaも多くの企業によって支えられていることはいうまでもなく、地域社会に対しても大きな責任を担っていることを忘れてはならない。

したがって、Mazdaは「Zoom-Zoom」の進化を基軸にした上で、「環境」「安全」「品質」面の基本領域を大きく高めて、「環境に優しく、安全で、しかも、ワクワクする楽しい車」を提供し続けることができる「存在感ある企業」を目指し、社会的にも貢献しなければならない。

このような状況下、我々は何をすべきか、どのように取り組むべきか考えてみたいと思う。課題が大きければ大きいほど、関係者全員がやりたい姿を共有化し、衆知を結集し、熱意をもって実行すれば、大きな技術革新ができる。過去にも大きな試練があった。1970年代に米国で、世界で最も厳しいとされたマスキー法（排気ガス規制）が発効された。有力メーカーの実現困難という猛反対を受け、結局廃案にはなったものの、1978年には日本版マスキー法が実施された。この時は、電子技術との融合による燃料系の革新（キャブレターから燃料噴射の時代へ）や触媒技術の出現があった。厳しい排出ガス規制をクリアするばかりでなく、更にこれらの技術を進化、発展させることに注力し、性能、機能は大幅に向上させることができ、エンジン技術は飛躍的な進化を遂げて自動車文化は育ってきたように思う。Mazdaは1993年には、加工技術を駆使したリシヨルムコンプレッサという過給機を採用した環境エンジンであるミラーサイクルエンジンを発表した。そして、V6エンジンに匹敵するパワーを有しながら、クリーンで低燃費を実現した4気筒直噴ターボエンジンを他社に先駆け導入した。また、今年1月に発表した直噴エンジンを搭載したプレマシーは、走りを更に向上させて、しかも、燃費でTopクラスを達成している。

HEVの普及や将来へ向けてのPワートレインの開発は勿論のこと、ここ10年は主流となり続けるであろうガソリンやディーゼルエンジンの効率の追求とクリーン化、そして、Pワートレイン全体の効率化と車両全体での最適化はまだまだ革新すべきであり、その中核となる技術開発とその応用技術の革新を技術者はやり遂げてくれると信じている。

材料技術、加工技術の革新や電子技術の進化、融合を更に発展させることは勿論のこと、最近では化学技術が益々重要になってきたように思う。原理原則に基づいた技術革新と効率の追求、そして、異分野との融合による革新技術の追求を一層強化し、自分達が持っている専門領域は勿論のこと、もっと幅広く、融合できる技術分野を模索し、革新するという挑戦と熱意、協働が必要な時代である。これまで、先人たちが培ってきた「挑戦する心」を継承し、失敗をしないことよりも、挑戦することを大切にしていきたい。夢と責任感と熱意に裏打ちされた「挑戦する心と気」があれば、技術革新は必ず実現できる。

現在、緊急でかつ重要な課題や将来重要になる課題を常に見据えながら、

- ・思っていることが言える、聞いてもらえる、そして、関係先も全面的に協力支援してくれる。
- ・個々人が自ら目標にストレッチをかけ、その実現へ向けて知恵を出し、挑戦する。
- ・目標を達成した後も、更に次の目標に向かって挑戦していく。

「やりたい姿」を自律的に発想し、着実に実現していく。そのような明るくて、楽しく、元気の良いMazdaを社内は勿論、関連する皆様との強いパートナーシップを発揮しながら、目指していきたい。

最後に、今回の特集となっているCX-7、CX-9に関係された方々、そして技術論文を投稿された方々に心より感謝したい。

来年度も更に多くの、また一味違う技術論文が発表できることを期待している。

特集：CX-7

1

CX-7の紹介 Introduction of CX-7

川崎 俊介*¹ 村末 豊*² 佐賀 尚人*³
Shunsuke Kawasaki Yutaka Murasue Naohito Saga

要 約

CX-7は、近年増加傾向にあるクロスオーバーSUVという比較的新しいカテゴリに投入することを目的に開発を行った。クロスオーバーには、セダンとSUV、ミニバンとSUV、など様々なカテゴリとSUVの融合が考えられるが、CX-7は、スポーツカーとSUVのクロスオーバーをコンセプトとした。

Zoom-Zoomを具現化し、お客様の高い要求値を満たすため、

『先進でエモーショナルなスタイリング』

『並外れたダイナミックパフォーマンス』

という2大キーバリューを設定し、開発チームの目標とした。

商品を目見れば、そのデザインの美しさを、乗れば、そのダイナミックパフォーマンスの高さを体感していただけることができる。

Summary

CX-7 was developed for crossover category that had been become increase in these days. For example, Sedan and SUV, Minivan and SUV, there are many types of crossover in the market. The concept of CX-7 is the crossover of Sports car and SUV.

To achieve this concept and “Zoom-Zoom”, the developing team set the 2 key values for the targets as follows.

“Advanced and emotional styling”

“Dynamic performance to be uncommon”

If CX-7 can be seen, the beauty with superior design is experienced. And if it is possible to be driven, the height of the dynamic performance can be able to be experienced.

1. はじめに

CX-7は、2000年に発表したトリビュートの後継車という位置付けではなく、クロスオーバーSUVという、マツダとしては初めてのカテゴリへの取り組みである。

このカテゴリは、従来のSUVに替わって近年米国市場を中心に需要が高まってきており、お客様の要求も多様化してきている。その中でマツダとして一貫して追求してきたZoom-Zoomをお客様へ提供するために、SUVとスポーツカーの2つの価値を融合すべく開発を行った。本稿では、

そのCX-7の商品コンセプトならびにその特徴となる商品概要を紹介する。

2. 商品コンセプト

このカテゴリのクルマを検討するお客様は従来のSUVが備えている価値である「力強さ」や「実用性」のみならず、既存のものだけでは満足しきれない、新しいものを強く求める傾向がある。ここに着目し、マツダらしいクロスオーバーSUVを実現するために、『「SUV」と「スポーツカー」二つの価値を持つクルマ』という商品コンセプトを設定した。

*1~3 第4プログラム開発推進室
Program Management Office No.4

この目標を達成するために、『先進でエモーショナルなスタイリング』と『並外れたダイナミックパフォーマンス』という2大キーバリューを設定し、最高にかっこいいスタイリングとキビキビとしたハンドリングを具現化した。

3. 商品概要

3.1 デザイン

(1) エクステリアデザイン

デザインのテーマはAdvanced Frontierとし、マツダのスポーツカーが持つスピーディでアスレチックなイメージとSUVの力強さを表現した。顔つきはRX-8、マツダスピードアテンザと共通性を持たせたスポーツクロスオーバのファミリーフェイスを与えた。Aピラーからノーズトップに向かうスピード感溢れるラインや、挑戦的なロアグリル形状、左右に張り出したプロミネントフェンダなどが代表的な特徴となっている (Fig.1)

また、サイドビューは大胆にキックアップしたベルトラインと後方に向かってなだらかに傾斜していくルーフラインから、一目でCX-7と分かるウィンドウグラフィックとし、特徴付けている (Fig.2)



Fig.1 Exterior Design



Fig.2 Window Graphic

(2) インテリアデザイン

インテリアのテーマは『Relax But Sporty Cockpit』。ドライバのためのコックピットとのメータフードとインパネ全体を覆う大きな屋根のダブルルーフをモチーフとし、ドライバには運転する楽しさを、パッセンジャにはゆったり

としたくつろぎを同時に提供するためのユニークなデザインを与えた。また、シリンダタイプの3眼メータ、Roadsterと同じデザインの3本スポークステアリング、高い位置にあるシフトレバーなど、スポーティな要素を多く取り入れている (Fig.3)

マツダは初代ロードスターに採用したロングサークル (長円) モチーフをスポーツカーデザインの1つの象徴としているが、CX-7にも数多く採用することにより、スポーツカースピリットを表現している。更にシートにはユニークなセンターストライプをあしらひ、車室内外から見ても一目で分かるようにしているのが特徴である (Fig.3)



Fig.3 Interior Design

3.2 パッケージ

パッケージでは、スタイリングとパッケージを高いレベルで調和させることを目指した。そのために、最初に各空間の優先順位を定義することから始めた。そして、ターゲットユーザの代表である30代DINKSの使用実態を調査した結果、優先順位を前席空間>荷室>後席空間とした。そこに、CX-7特有のアイポイントが高い、乗降挙動が異なる、荷物の積載やロングトリップで疲れないなどの要件を満たす寸法を導き出していった。

(1) 前席空間

前席シートは、最新の米国人の体型を調査し、特に近年増加傾向にある大柄な体型にもフィットするように、やや大きめのサイズとしている。また、乗降時にサイドシルが足のふくらはぎに当たらないように、サイドシルとドア下端ガーニッシュの合わせ構造を工夫している。

ドライビングポジションは、安心感、優越感、快適性を考慮して、アイポイントをSUV特有の高めにセットしたまま、シフトレバーとステアリングの関係をスポーツカーと同等とし、素早いシフト操作やスポーツカーライクな運転を楽しめるように配慮している (Fig.4)

なお、ゆったり走りたいたのために大型アームレスト付リヤコンソールも採用した。

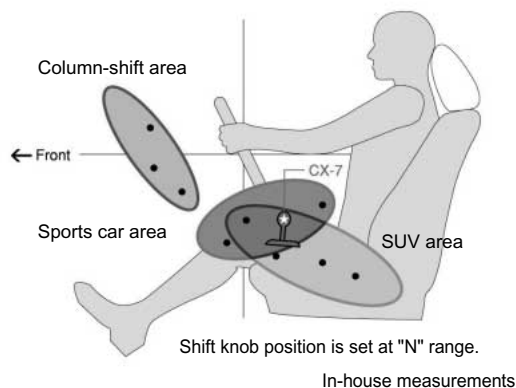


Fig.4 Driving Position

(2) 荷室

荷物をたくさん積んで楽しむことができるように、後席をホールドダウンした状態での見映えを従来のものより格段に良くすることを考慮した。まず、フロア面の凹凸や傾きを極力フラットにし、次にリヤドアトリムと荷室トリムの連続感を持たせることでひとつの部屋の雰囲気を出すようにした。また、ホールドダウンした状態でも急ブレーキをかけた際に荷室に置いた荷物が前席へ飛び出さないように、リヤシートバック前端に衝立形状を設けている。

搭載する荷物としては、レジャーで使用するサーフボードやスノーボード、スキー、自転車、ゴルフバッグを積み込むことを考慮し、特に、長さ方向をホールドダウン時最大で1,700mmと余裕を持たせている。また、ゴルフバッグはホールドダウンしなくても3個まで搭載可能とした。荷室容積は後席に乗員がいる状態で455L (DIN)、後席シートは6:4分割でワンタッチリモートホールド機能を採用している (Fig.5)。荷室ボードはリバーシブルに使用可能で、裏面は清掃性の良い樹脂材を使用している。ボード下はサブトランクとして使用できる小物入れスペースを確保した。



Fig.5 Cargo Room

3.3 クラフトマンシップ

マツダではクラフトマンシップを「造り込み」、「機能美」、

「カスタマーデライト」の3領域で構成している。「造り込み」では、デザインよさをサポートすべく、エクステリアパーツの合わせ隙のミニマム化と機能部品の見せ方の配慮を行っている。ワイパーアームとカウルグリル形状を合わせ、ウォッシャーノズルをカウルグリル内へインテグレートし、リヤウォッシャーノズルはハイマウントストップランプケース内へインテグレートした。サイドシルガーニッシュはサイドシルを隠すことで、クルマ全体をスッキリ見せるようにしている。

「機能美」においては、運転の楽しさをサポートするために好触感材料を用いたステアリングを採用し、握り感を向上。また、「カスタマーデライト」として効果的に室内にシルバー加飾を配置したほか、メータ内とシフトパネル周辺リング付近をブルー間接照明 (Fig.6) で照らし、夜間の雰囲気造りを演出している。



Fig.6 Blue Illumination

3.4 ダイナミックパフォーマンス

(1) ステアリング/ハンドリング

キーバリューである『並外れたダイナミックパフォーマンス』を実現させるための具体的な使用シーンを「Freewayでの路面に張り付いたような安定感と、思ったおりのラインをトレースできる正確さにより、優れた直進性を持ちかつ素早く安定したレーンチェンジを行える」と定義した。車体自体の応答性を適度に高くし、ロール角も小さくすることで、正確な操作が可能になるようにした。合わせて、車両の挙動変化の予見性にも注力した。



Fig.7 Suspension System (Front / Rear)

サスペンションにはフロントにマクファーソンストラット式、リヤにはマルチリンク式を採用した (Fig.7)。また、

4WDにはマツダスピードアテンザと同じアクティブトルクコントロールカップリングを採用し、いざというときの危険回避能力を視野に入れながら路面状況や走行シーンに応じてリヤ伝達駆動力をきめ細かく制御している (Fig.8)。



Fig.8 Active Torque Control Coupling

(2) ボデー剛性

優れたハンドリングの実現のために、高いボデー剛性を確保することにも注力した。直線的に配置されたメインフレームと6本からなるクロスメンバに加え、トンネル部に3本のトンネルメンバを配置した。更に局部剛性を強化することで、クラストップレベルのねじり剛性と曲げ剛性を実現している (Fig.9)。

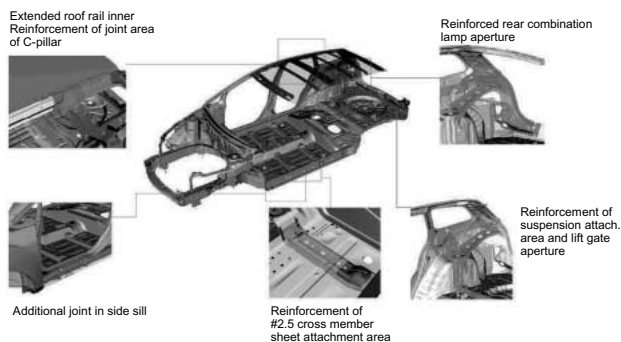


Fig.9 Body Structure

(3) ブレーキ

ブレーキには16インチベンチレーテッドディスクを採用し、TSC (トラクションコントロールシステム)、DSC (ダイナミック・スタビリティ・コントロールシステム)、4W-ABS (4輪アンチロックブレーキシステム)、BA (ブレーキ・アシスト)、EBD (電子制御制動力配分システム) を標準装備とし、統合制御することで、優れた操縦安定性を実現した。

(4) パワートレイン

エンジンはMZR 2.3L DISI TURBO (Fig.10) を採用し、スポーツモード付き6速オートマチックトランスミッションと組み合わせた。ターボチャージャーは低速型のA/R比

とコンプレッサインペラ小型化の採用により、2,000rpm以下の低回転域から過給効果を発揮させ、2,000rpmから4,500rpmまでのほぼフラットなトルク特性 (最大350N・m) と最高出力 (175kW/5,000rpm) を発生する (Fig.11)。



Fig.10 MZR 2.3L DISI TURBO

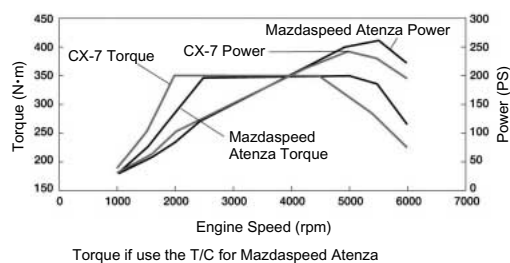


Fig.11 Engine Performance

3.5 セーフティ

CX-7のMAGMAボデー構造は、サブフレームを採用することで、車高の高いSUVに発生しやすい「相手車両への乗り上げによる加害性」の緩和をし、アメリカで2006年9月から適用となった「80km/hオフセット後面衝突」にも対応している。

安全装備としては、プリテンショナーとロードリミッター機構付きのフロントシートベルト、クラッシュブルブレーキペダル、頸部衝撃緩和フロントシート、荷物侵入防止構造リヤシート、カーテン&フロントサイドSRSエアバックシステムを採用したほか、マツダプリクラッシュセーフティシステムを採用。ミリ波レーダで前方の障害物や車両を検知し、距離を予測することで、ドライバーへのブザーでの報知、制動、シートベルトのモータプリテンショナーによる拘束を段階的に制御している (Fig.12)。

また、サイドとリヤヘカメラを置き、駐車支援システムを設定。サイドカメラは国内保安基準 (1mボール視認要件) にも適合している (Fig.13)。

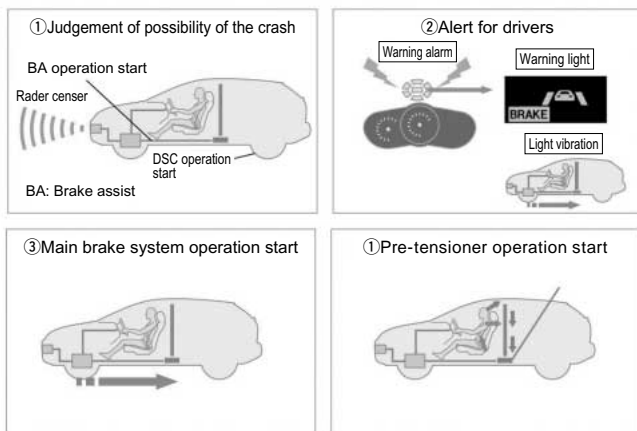


Fig.12 Pre Crush System



Fig.13 Side & Rear View Monitor

3.6 装備

(1) ユーティリティ

室内には小物入れとして、前席、後席それぞれにLカップサイズのカップホルダを2個ずつ装備。前席にはドアトリムにペットボトルホルダを設定している。また、リヤコンソールには2Lペットボトルが3本入るスペースのキーロック付きコンソールボックスを装備し、移動式の小物収納ホルダを配置、様々な用途に適用できるようにしている。

(2) ナビゲーションシステム

全車標準装備となっているMAZDA G-BOOK ALPHA対応ナビゲーションシステムは、容量30GBのHDD式を採用。タッチスイッチによる簡単な操作とし、ボイスコントロール機能も付加している。また、Bluetooth携帯とのコードレス接続によるハンズフリー機能や、音楽CDのダイレクト録音により2,800曲(12GB相当)の保存、再生が可能である。

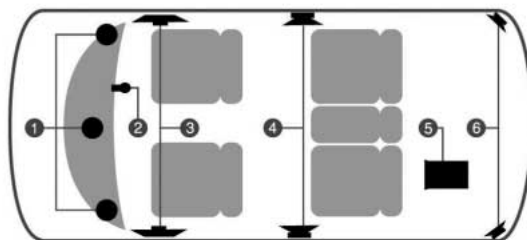
(3) レーザクルーズコントロールシステム

従来のオートクルーズ機能に加え、ミリ波レーダによる追従走行機能を追加。前走車両の速度と車間距離を計算し、ブレーキとアクセルの自動操作により一定車間距離を保ったまま前走車両に追従走行し、ドライバの疲労低減を行っている。

(4) サラウンドサウンドシステム

CX-7のサウンドシステムとして、BOSE®サウンドシステム(AUDIO PILOT付)9スピーカーを搭載している。これ

は、BOSE®社との共同開発により300ポイント以上におよぶCX-7の室内音響データを収集し、最適なチューニングを行っている(Fig.14)。



①Mid-Hi 8cm I/P side speaker ②Microphone for AUDIOPILLOT ③Woofer 23cm (Front doors) ④Mid 16.5cm speaker (Rear doors) ⑤BOSE® Multi channel amplifier with Center Point ⑥Satellite 8cm speaker

Fig.14 Surround Sound System

更にシートの表皮の違い(布/革)もチューニング項目として挙げて、内装仕様に影響を受けずに通常のCDステレオ入力(2ch)で擬似的にサラウンド・サウンド(5.1ch)を楽しめるようになっている。

4. おわりに

以上、CX-7の商品コンセプトならびに商品特徴を紹介してきた。マツダのZoom-Zoomを体現するとともに、新たなカテゴリへの提案を示したこの商品は、お客様に新たなクルマ選びの選択枝を提供するとともに、必ず豊かなカーライフの提供をし、お客様の良きパートナーとなることを信じている。

著者



川崎俊介



村末 豊



佐賀尚人

特集：CX-7

2

CX-7のデザイン Design of CX-7

小 泉 巖*1
Iwao Koizumi

要 約

CX-7は北米戦略車として北米におけるマツダのシェア拡大のため、他のマツダ車と直接競合しない新たなジャンルの構築に挑戦したプロジェクトである。その市場におけるポジショニングからデザインコンセプトにいたるまでの戦略を、パッケージ、プロポーション、デザインテーマに確実に反映した。エクステリアデザインにおいては、マツダのデザインDNAや歴代スポーツカーとの関連を強く意識し、ターゲットカスタマーの嗜好も十分に織り込みながら、ブランドの独自性、一貫性、継続性を体現している。インテリアデザインにおいては、運転する楽しさとゆったりとした寛ぎの両立を狙った。開発プロセスでは、試作レス開発に挑戦し実現したと同時に、さまざまな新しい取り組みを開発プロセスやシステムとして定着させた。

Summary

CX-7 is a North American strategic car to challenge creating a new genre which shouldn't compete with the other Mazda cars, in order to increase Mazda's share in North American market. The strategy targeting at the positioning in the market and the design concept was absolutely reflected on the package, proportion and design theme. In terms of Exterior design, we considered Mazda's design DNA and a relationship with the successive sports cars of Mazda deeply, and weaving the favorite taste of the target customer, expressed the originality, consistency and continuity of Mazda brand. In terms of Interior design, we aimed at a compatibility between driving pleasure and relaxation. On the developing process, we challenged and achieved prototype-less development, and established several new ways of development process and system.

1. はじめに

アテンザ以来、マツダではブランド戦略により基幹車種群をはじめとして、スポーツカーラインナップ、ミニバンラインナップへとZoom-Zoomの世界を拡大してきた。そして更なるビジネスの成功を北米大陸に求めてCX-7の企画に乗り出した。北米のターゲットカスタマーの生活を研究し、北米の拠点MNAO (Mazda North American Operations) と共同でコンセプトを練り上げた。また開発期間の短縮のために試作車レスの開発にチャレンジし、早期のデザインテーマ決定によりこれを実現した。マツダにとっては久々の、市場のトレンドをリードする新ジャンル

への挑戦となった。戦略構築の段階で私たちは、このジャンルをスポーツクロスオーバと名づけ、伝統的なSUVや先行する他社のクロスオーバビークルとも明確に区別し得るポジションを提案し全社的にこれを共有した。Zoom-Zoom戦略をサポートし、ターゲットカスタマーの価値観に合致する新たなネームプレートブランドとして、マツダのスポーツカーヘリティッジを色濃く反映し、SUVの力強さや実用価値を高次元で融合(クロスオーバ)することを目指した (Fig.1)。

*1 デザイン戦略スタジオ
Design Strategic Studio

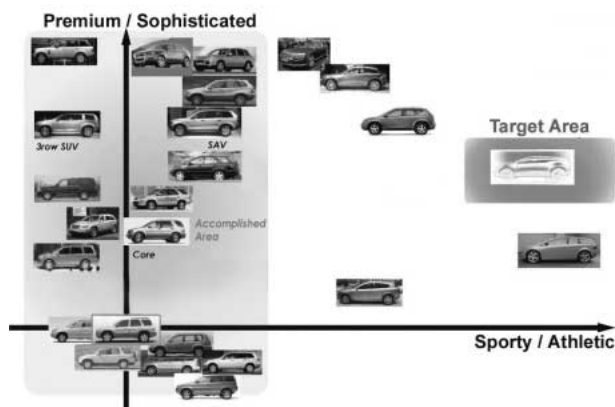


Fig.1 Positioning Map

2. デザインコンセプト

デザインコンセプトは“アドバンストフロンティア”。先進的で豊かなターゲットカスタマーのライフスタイルを想定し、新たなスポーツクロスオーバーというジャンルを切り開いてゆくという私たちの志を言葉にした (Fig.2)。エクステリアに求めたイメージは“スポーティ (速そうな/動きのある)、スターディ (力強い)、スリーク (滑らかな/流麗な)”という3つのキーワードで表した。スポーツカーのスピーディでダイナミックなイメージとSUVの力強さを融合し、更に滑らかで洗練されたエレガンスを兼ね備えた人格的な魅力を持つという意味である (Fig.3)。インテリアのキーワードは“リラックス・バット・スポーティ・コックピット”。エクステリア同様、運転する楽しさというやや緊張感を伴う価値と、ゆったりとした寛ぎという、相反すると思われる価値の両立を狙った (Fig.4)。



Fig.2 Design Concept

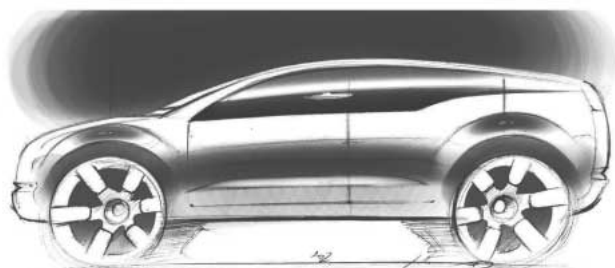


Fig.3 Exterior Image Sketch

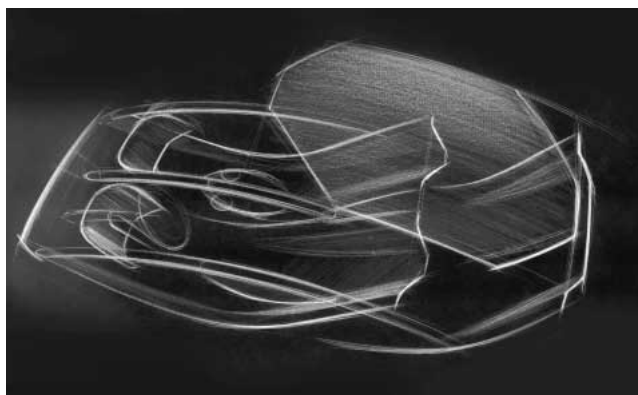


Fig.4 Interior Image Sketch

3. エクステリアデザイン

3.1 プレゼンス・パッケージ・プロポジションの構築
マツダデザインの目指す“際立つデザイン”に必要なものは、まずユニークなプレゼンス (存在感) ということが出来来る。際立つ意思是結果的に、他とは違った存在感を放つからである。CX-7のための市場調査で幾度となく北米大陸に足を運ぶうちに、私たちは北米市場におけるブランド表現の要はそのプレゼンスにあると直感するようになっていた。初期のスケッチワークをしながら、同時にプロポジションにおいて十分な競合優位性を確保するため、視覚上の要点とパッケージの整合を取るためのプロポジションスタディを行った。このスタディから、狙いに合った諸元値を割り出し、競合車に勝るスポーティさと力強さを表現すべく、そのポイントをパッケージに反映した。そしてこの主要緒元の持つ素性を目で見ても確かめるために原寸大のプレゼンスチェックモデルを制作し、大まかな立体とその存在感が狙い通りであることを北米の拠点MNAO R&Dの展示場で競合車との比較評価を行い検証した (Fig.5)。



Fig.5 Presence Check Model

3.2 エクステリアデザインテーマとマツダのデザインDNA

エクステリアデザインのキーワード、“スポーティ! スターディ! スリーク!”の実現には、マツダのデザインDNAであるアスレチック&エキゾチックに新たに力強さを加えてゆくことが課題であった。スムーズなシルエットや、4隅にタイヤを置くことでオーバーハングを軽く見せる処理、Aピラーからノーズ先端に掛けての繋がり、そして左右に張り出したフロントフェンダ等は、アテンザ以来のマツダのデザインDNAであり、車が止まっても動いているかのようなアスレチックさを表現している。これらに加えて踏ん張り感のある大径タイヤとそれを強調するフェンダの処理、ボールド(大胆)なエアインテークによるアグレッシブ(精悍)な顔つき等は、力強いクロスオーバービークルとしての個性を付加している。また、三次元的に絞り込まれたキャビンはキックアップしたベルトラインと相まってキャビンをコンパクトに見せると同時にリアフェンダの張り出しを強調し、力強さを強めている(Fig.6)。



Fig.6 Exterior Image Sketch

更に、フロント、サイド、リアビューそれぞれにアテンザやRX-8等のZoom-Zoom世代のマツダ車や、マツダの歴代スポーツカーと視覚的な繋がりを持たせることにより、マツダブランドの独自性、一貫性、そして継続性の表現とした(Fig.7)。



Fig.7 Mazda Design DNA & Sports Car Heritage

3.3 知性的で精緻なディテール

ヘッドランプやテールランプのインナ形状は、光学機器の持つ金属調の素材感やクリア素材のもつクリスタル感の複合化により、知性的で精緻な美しさを狙った。光学機器の命ともいえる光軸を連想させるシリンダ形状は、同時に自動車が進む方向と意思を連想させるものとしてマツダのデザインテーマのひとつとなっている(Fig.8)。

また、サイドウインドウグラフィックには、その個性をより一層引き立てるよう、光輝モールディングによるトリミングを施した。つややかな濃色系のボデーカラーにおいてもサイドウインドウグラフィックを埋没させることなく、精緻な輝によってその矩形を際立たせ、高い質感を感じさせるような仕上げとした。

18 ホイールはスプリットド5スポークのパターンを採用



Fig.8 Head Lamp & Tail Lamp

し、スポーク断面にも抑揚を持たせ、精緻感があり機能的でありながら、ボデーのデザインと調和する情緒を持ったデザインとした (Fig.9)



Fig.9 Side Window Graphics & Wheel

4. インテリアデザイン

4.1 デザインコンセプトと空間構成

インテリアデザインにおいて、そのキーワードである“リラックス・バット・スポーティコックピット”を具現化するために最初に着手したのが空間構成である。エクステリアの滑らかなシルエットを生かしながら、乗員には開放感と運転する楽しさを提供する快適な空間構成は、ダブルルーフと名づけた2つの屋根を持つインストルメントパネルのデザインテーマと、シルバーのデコレーションパネルとシートのセンターストライプによる前後の流れを強調したデザインテーマによって成り立っている (Fig.10)。初期のイメージスケッチに見られるように、パラソルのような丸みのある屋根の下におかれたリゾートチェアを思わせるリラックスした空間が広がっている。



Fig.10 Interior Image Sketch

4.2 エキゾチックなフローティングエレメント

更に、これらのダブルルーフやシルバーのデコレーションパネル類をフローティングエレメントとして空中に浮かせたように扱うことで、大胆で明快な意思と装飾を廃した華やかさを狙った。シートにおける2トーンカラーのコーディネートにおいても、シートバックとシートクッションの厚みを薄く見せ、軽やかな座面と背もたれが浮いたように見えるような効果を狙っている (Fig.11)。これらの特徴は、インパネ、シートやコンソール類に過剰なボリューム感を感じさせないばかりでなく、空間に心地よい奥行きと動きを与え、このインテリアを徹底的に現代的なものとしている。



Fig.11 Interior Over View

4.3 スポーティな機能レイアウト

CX-7のコックピットに座ると自然に手の届く範囲にすべての機能がさりげなく、しかしわかりやすくレイアウト

されていることが判る。それはスポーツカー並みの運転姿勢とあいまってトラック派生の従来のSUVとは無縁のスポーティで洗練された操作フィーリングを持つ。ステアリング/シフトノブのレイアウトを始め、そのディテールのひとつひとつに至るまで、ドライバが直感的に機能と操作方法をイメージしやすく、かつ操作を楽しめるよう熟考してデザインした結果である (Fig.12)。



Fig.12 Cockpit & Switches

5. カラー&マテリアル

5.1 MX-CROSSPORTとモニュメントバレー

2005年のデトロイトオートショーに出品されたMX-CROSSPORTはCX-7のティザーショーカーである。私たちはこのショーカー用に、メタルフレークとガラスフレークと染料のカラークリアを使ったショーカー専用の塗料を開発した。“赤”という通常、情熱や血液などの生命を象徴する色に、鉱物的で硬質なイメージを持たせることを狙った。その着想を得たのはモニュメントバレーやグランドキャニオンといったアメリカの大自然を目にしたときである。日本の山々の赤や黄色の鮮やかな紅葉が植物の色であるのに対して、アメリカ大陸の大地の赤は鉱物の色であり、大陸的な美意識の原風景ともいえる印象を放っていたからだ。CX-7のローンチカラーであるカッパーレッドはそのようなアメリカの大陸的な美しさをモチーフとした色である (Fig.13)。

このカッパーレッドを含め、ピビッドなオーロラブルー、若々しいホワイト&ブラック、シックなグレイトーンカラ



Fig.13 Monument Valley & MX-CROSSPORT

ー、深みのある贅沢な感じのラディエントエボニーなど、カスタマーの好みを考慮して、ボデーカラーは全9色をラインナップしている (Fig.14)。



Fig.14 9 Body Colors

5.2 クロコダイルのセンターストライプ

エキゾチックスポーティとクールエレガンスが、ブラック内装とサンドベージュ内装でそれぞれに掲げたテーマである (Fig.15)。ストイックになり過ぎない黒とナイーブ過ぎないベージュというのがその狙いである。この双方の狙いに絶妙に貢献しているのがシートのセンターストライプである。グラフィックの効果はいかに及ばず、質感においても自動車の内装材としてはとてもユニークなクロコダイル風のテクスチャを採用している (Fig.16)。ストライプの直線的な、都会的で洗練されたイメージとクロコダイルという野生的な美しさのコントラストは前例のない新しさと生活の豊かさを連想させてくれるはずである。



Fig.15 Black & Sand Beige Interior



Fig.16 Crocodile Center Stripe

プロセスにおいても新たな提案をし、開発プロセスに定着させるべく、努力してきた。CX-7のデザイン開発は企画段階から生産に至るまで車両のすべての部分で新たな挑戦の連続であった。これらの挑戦にお付き合いいただいた関係者に敬意の念をこめて御礼を申し上げたいと思う。

著者



小泉 巖

6. おわりに

開発プロセスにおいては従来の試作車を廃した試作車レスの短期開発にも挑戦した。標準日程よりも短いフィージビリティ期間で量産ステージのエクステリアデザイン開発を完了させるなどしてこれに対応した。また、マツダのデザインとしては久しぶりにエクステリアとインテリアがひとつになったデザインモデルを制作し、試作車に代えてアピランスの確認を行った。更に、DQCと命名したデザイン・クオリティ・コストの整合プロセスを提案したり、デザイン・ゲートキーパーの仕組みを提案したりと、その

特集 : CX-7

3

CX-7のパッケージング Package of CX-7

長尾 治典*1 上手 淳二*2 和原 幸夫*3
Harunori Nagao Junji Kamite Sachio Wahara
貞野 雅人*4 道田 奈々江*5
Masato Sadano Nanae Michida

要 約

CX-7は、従来のSUVとは異なるZoom-Zoomを具現化した新しい「スポーツクロスオーバーSUV」として新開発した。クロスオーバーの価値として、SUVの持つ実用的なユーティリティと、スポーツカーの持つスピーディでアスレチックなイメージ、そして運転する楽しさの融合を追求した。パッケージ領域では、以下に注力した。

1. 躍動的で力強いスタイリングの実現
2. 様々な走行シーンで思いのままに安心 / 快適な運転が楽しめること
3. 使う喜びが感じられるスマートな使い勝手

本稿では、これらの特徴について紹介する。

Summary

CX-7 was newly developed as " sport crossover SUV ", which embodied Zoom-Zoom that is different from conventional SUV. As a crossover, CX-7 has combined SUV's practical utility, sports car's speedy and athletic images, and fun of driving. For packaging, focused on followings.

1. Realize energetic and bold styling.
2. Drivers can enjoy secure and comfortable - driving in various driving scenes.
3. Smart usability, which drivers can feel joy of using.

Above features are explained in this report.

1. はじめに

CX-7は、マツダの象徴ともいえる「スポーツカースピリット」を軸に、『スポーツカーの走る楽しさ&力強いスタイリング』と『SUVの力強さ&実用性』を融合させ、Zoom-Zoomを具現化した「新しいスポーツクロスオーバーSUV」である。パッケージにおいても、「見る・運転する・使う」楽しさを提供するため、従来SUVとは一線を画した新しい価値の創造を目指した。

2. パッケージの狙い

CX-7のパッケージ開発では、躍動的で力強いスタイリングを実現するとともに、様々な走行シーンで思いのままに安心 / 快適な運転が楽しめ、スマートな使い勝手は使う

喜びが感じられるよう、多岐にわたる配慮を施した。主な訴求ポイントは以下の点とした。

- (1) 力強いスタイリングを実現する外観諸元
- (2) 思いのままに運転が楽しめるドラポジ / 操作性
- (3) 顧客使用実態に適合する車室内空間と快適性
- (4) 積載ニーズに対応した上質な荷室空間
- (5) クラフトマンシップとカスタマーデライト

3. 力強いスタイリングを実現する外観諸元

Key Valueの一つであるAdvanced Emotional Stylingをパッケージで実現するため、以下の施策を織り込んだ。

- ① 安定感のあるプロポーション
- ② タイヤ / 車体ボリューム比率の最適化
- ③ スポーツカー相当のフロントウインドウ角

*1 企画設計部
Basic Design Dept.

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

*3~5 装備開発部
Interior & Exterior Components Development Dept.

3.1 安定感のあるプロポーション

CX-7では、従来SUV的な腰高感のあるプロポーションではなく、安定感がありスポーツカーの走りを予感させるプロポーションを目指した。全高は一般的なSUVと比較して低めの1,645mm、全幅は安定感のある1,870mmとした(Fig.1)。

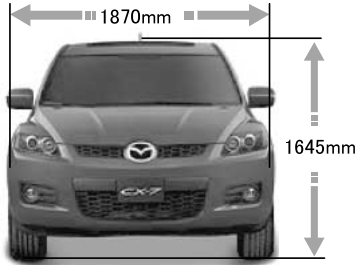


Fig.1 Exterior Dimensions

ロングホイールベースと、車幅一杯に広がったワイドトレッドにより、車体をタイヤが4隅でしっかりと支えるプロポーションを実現した(Fig.2)。



Fig.2 Wheelbase and Tread

3.2 タイヤ/車体ボリューム比率の最適化

SUVやスポーツカーでは、車両側面積に対するタイヤ面積の占める割合が他車種と比較して大きい傾向にある。CX-7では、SUV群の上位、スポーツカーに匹敵する比率を目指した。タイヤ/ホイールサイズは、SUV群でも大径サイズとなる235/60R18を採用した(Fig.3)。

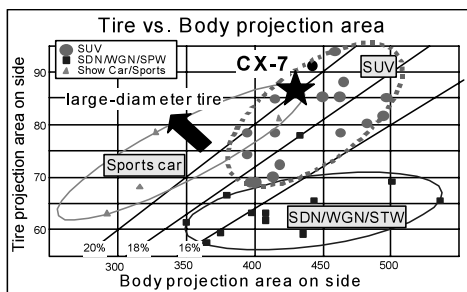


Fig.3 Tire vs. Body Volume Ratio

3.3 スポーツカー相当のフロントウインドウ角

CX-7のフロントウインドウ角は、スポーツカー以上にスラントした65.6度とした。車両後方のキャビン絞り込みと相まって、ダイナミックなスタイリングと優れた空力性能の実現に貢献している(Fig.4)。

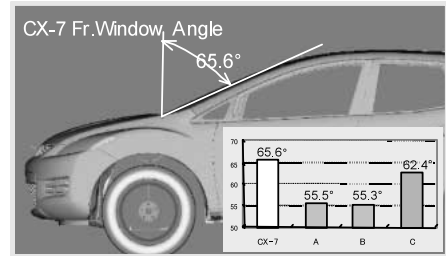


Fig.4 Front Window Angle

4. 思いのままに運転が楽しめるドラゴジ / 操作性

街乗りから長距離走行や悪天候等の様々な走行シーンで、エキサイティングなドライビング体験を提供し、疲労感なく運転できる着座姿勢と的確な運転操作機器配置の実現を目指した。そのため、SUVだけでなく、セダンやスポーツカー等の異なるカテゴリ車種に至るまでベンチマークを行い開発した。

4.1 高い視点の運転姿勢

SUV固有の価値でもある、視点が高めの運転姿勢を採用した。これにより、取り回しの良さ / 高速走行時の疲れ難さ、見晴らしの良さ / 視界から得られる安心感、視界の良さ / 優れたスタイリング、それぞれを高次元で両立させた(Fig.5)。

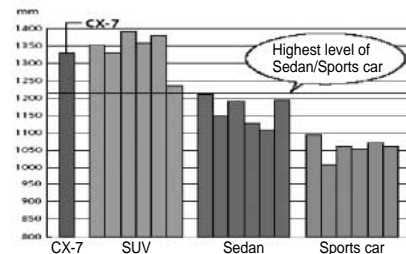


Fig.5 Eye Point Height

4.2 スポーツカーライクな操作性

運転する楽しさでは、思い通りに運転操作ができることが必須である。CX-7では、ステアリングホイールに対するシフトノブの位置関係を、スポーツカー同等位置に配置し、スポーツカーライクな運転操作を可能とした(Fig.6)。

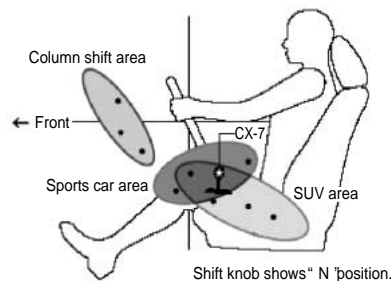


Fig.6 Steering Wheel and Shift Knob Position

4.3 シートによる姿勢保持

運転の楽しさを提供する上で、シートは重要な役割を担っている。人間工学的思想に基づいて、①ホールド性が良く操縦安定性に貢献でき、②長時間運転でも疲れにくいシートの開発に注力した。

① ホールド性の良いシート：ホールド性が良いシートとは、コーナリング中に、Fig.7に示したような脊柱の横方向への湾曲や骨盤の横方向への傾きが抑えられ、シートバックから背中が離れないという特徴を示す⁽¹⁾。このようなシート上で体の動きを防ぐため、Fig.8に示したように平均的なアメリカ人男性の人体マネキンを用いて、身体の形状にフィットするようなボルスタ形状を検討し、また横方向に荷重がかかった時に身体の移動を抑制できるボルスタ硬度を実現した。

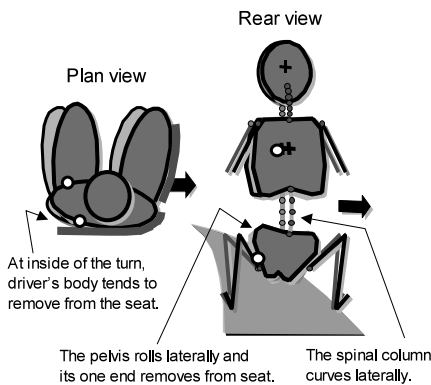


Fig.7 Schematic Model of the Driver's Movement While Cornering (Excerpted from Okiyama et al. 2001⁽¹⁾)

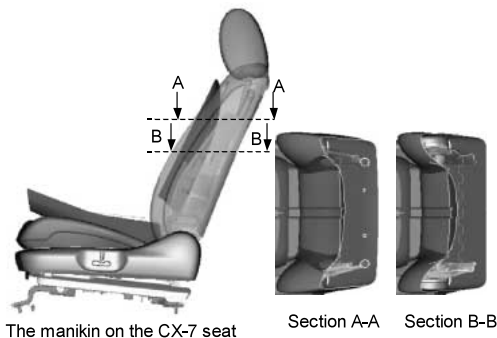


Fig.8 Relationship between Contours of the Manikin and the Seat Backrest

② 長時間運転でも疲れにくいシート：シートバックによる背中への支持バランスが悪いと、Fig.9に示したような疲れやすい姿勢の変化を招く⁽²⁾。2005年に疲労しにくい支持バランスの評価方法を確立し⁽³⁾、マネキンの体圧分布を使って、理想的な支持バランスの目標を定量的に示した。この理想的な支持バランスを実現するための標準形状を守った上で、腰椎や骨盤上部をしっかりと支えるためのバネ配置を行った。更に、パワーシートについては大型のランバープレートによる無段階調整式の腰椎支持機構を設定した。このことでCX-7のシートは、Fig.10に示したように、理想的な支持バランスに近い、良い支持バランスを実現した。

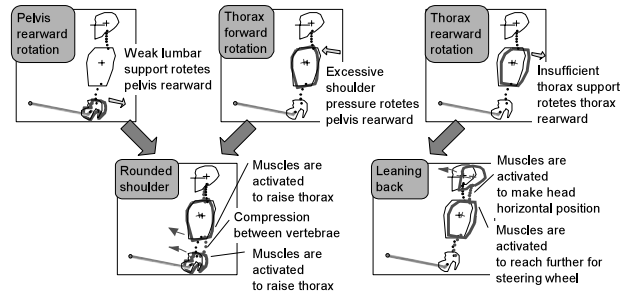


Fig.9 Relationships between the Support Condition and the Posture Change (Excerpted from Michida et al. 2001⁽²⁾)

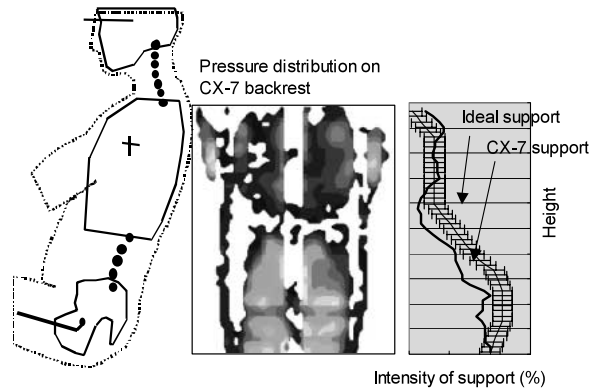


Fig.10 Proportion of Back Support Intensity at Each Height

5. 顧客使用実態に適合する車室内空間と快適性

CX-7では顧客の使用実態を徹底的に調査・分析し、顧客ニーズに適合した車室内空間と快適性を実現した。

5.1 前席居住性

運転姿勢の最適化に加え、広々感と安心感（包まれ感）とを両立する空間作りを目指した。特に、高速走行時の疲労感や安心感に配慮し、乗員からフロントウインドウやAピラー上部の見え方を最適化した。

フロントシートサイズは、近年増加傾向にある大柄な体型にもフィットするよう、やや大きめのサイズとした。

5.2 乗降性

地面からシートまでの高さを、様々な体型の乗員が自然に乗降できる位置に設定した。加えて、ドア下端がサイドシルを覆う構造を採用した。これにより、踏ん張り感のあるスタイリングを実現しつつ、サイドシルの張り出しを抑え、乗降時の地面への足つき性を改善した（Fig.11）。

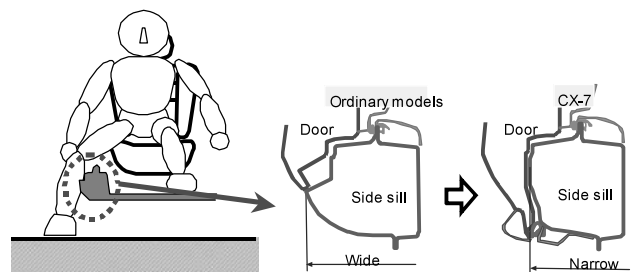


Fig.11 Sidesill Layout

5.3 後席居住性

後席は大人二人が快適に長距離移動できる空間の実現を目指した。VOC分析より、大人が乗車して広さを感じるポイントとして足元広さに着目、乗車姿勢の変化にも対応できる広さを確保した。また、頭上空間についても同様に、大人が乗車するのに十分な空間を確保した (Fig.12)。

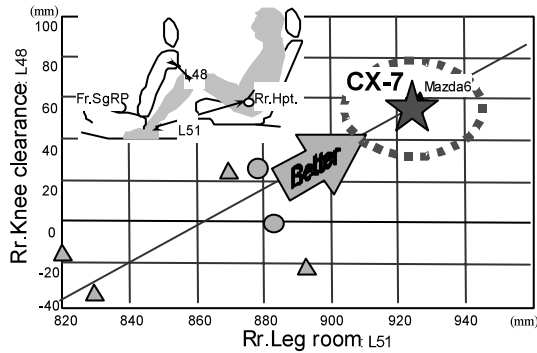


Fig.12 Rear Passenger Leg Space

リヤシートの快適性を高めるため、後席乗員の乗車姿勢に対するクッション座面角度、クッションパッド硬度、密度を最適化した。シートサイズは、競合他車シートより大きめでゆったりとしたサイズを確保した。

6. 積載ニーズに対応した上質な荷室空間

6.1 室内小物入れ収容性

顧客の持ち込み荷物を調査した結果、CD、ペットボトル、アイススクレーパー、マグカップ、コーヒーカップなどを持ち込む人が多いことが判った。CX-7では、これらの物を車内の何処に置くか決め、各場所に置きやすく工夫した (Fig.13)。

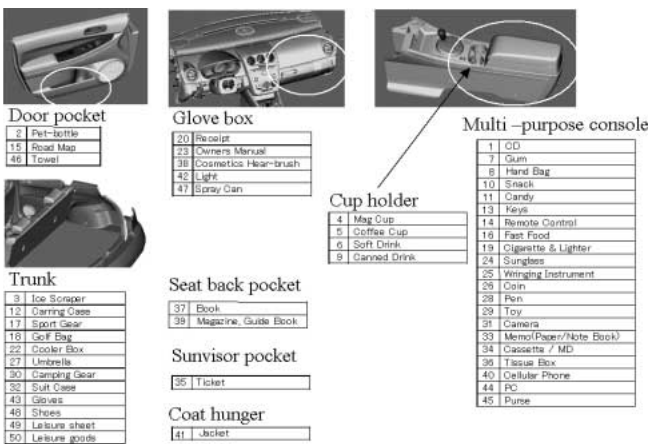


Fig.13 Storage Space and Carrying Items

CX-7では、コンソールボックスの商品性向上に注力し、大型で高機能なコンソールを目指した。

操作性から最適化されたチェンジ位置に対し、操作を阻害しない限界位置を見極め、カップホルダ2個を横方向に並列配置した。これにより、コンソールボックスの前後長さを最大化し、目標としたノートパソコンが収納できるサ

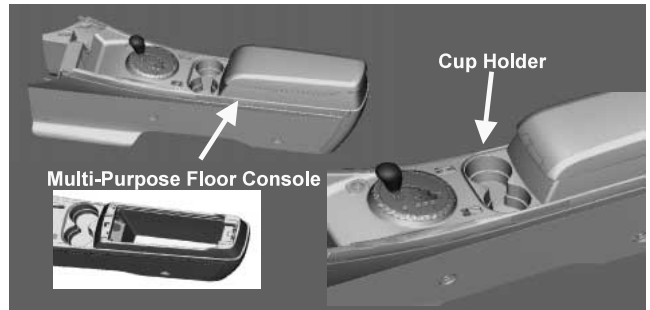


Fig.14 Rear Console Box Layout

イズと、大容量13.4Lの高い収納性を実現した (Fig.14)。

この大容量コンソールボックスには、ビデオカメラやセカンドバッグ等の貴重品も収納可能であり、キー付きとすることでセキュリティボックスとしての利便性も高めた。

更に、コンソールリッドを車両前方へ延長したことで、アームレストの使い勝手も改善した。

6.2 荷室収容性

Key valueであるAdvanced Emotional Stylingを実現し、顧客の使用実態に適合させるため、荷室では積載のしやすさ等の機能性だけでなく、上質な見栄えにも注力して開発した。

① 後席格納時のスッキリ荷室

後席シートを倒した状態では、あたかも当初よりシートなど存在しなかったかのような見栄えを目指した (Fig.15)。リヤドアトリムとトランクサイドトリムを連続感のあるデザインに統一し、シートを倒した状態でのドアトリムとの隙を縮小、トランクボードとシートバックの段差や角度差についても最小化した。更に、お客様の使い勝手を考慮し、荷室側から操作可能なシート格納レバーを設定、前倒時にシートベルトが引掛からないよう、左右席シートベルトはシート内蔵タイプを採用した。



Fig.15 Luggage Space with Folded Rear Seats

② 荷物収容性

CX-7では、シートを倒した状態で、前輪を外したマウンテンバイク2台の積載を実現した。

デザイン的にタイヤハウス後部の荷室幅を拡大し、ゴルフバッグをフロア面に置ける空間も確保している。

更に、トランクボードをリバーシブルタイプとし、裏面を使うことで汚れ物を積載しても容易に拭き取りができ、常に荷室をきれいな状態に保てる配慮を行った。

7. クラフトマンシップ

基本的な考え方「造り込み」,「機能美」,「カスタマーデライト」をベースに, SUVユニークの視点を加え, 感性領域に踏み込んだ質感向上を織り込むことで, よりステップアップしたクラフトマンシップを実現した。

7.1 SUV視点での「造り込み」

SUVはフロアが高く, 車両の横や後ろから見た時にフロア下から, サイレンサ, サイドシル, スペアタイヤパンなどの構造物が見えやすいため, 質感が低くなりがちである。

CX-7では, デザイン段階から, 乗用車並みのフロア下の見映えを目標に形状, レイアウトの配慮を織り込んだ。

サイドからの見映えは, ガーニッシュでサイドシルを隠す, 床下のカバーでプリサイレンサを隠す, タイヤハウス内のマッドフラップでメインサイレンサを隠す, 等の配慮を行った。後方からの見映えでは, パンパ下端位置をメインサイレンサやスペアタイヤパンとの相対位置に配慮しつつデザインし, 追従走行車の視線からも構造物が見えにくくした。更に, スポーツカーのこだわりである排気パイプガーニッシュのスポット痕を目立ちにくい位置に設定することで, 従来SUVにはない造り込まれたレビューを実現した。

7.2 感性領域まで踏み込んだ「機能美」

(1) 表面質感の上質感と連続感

インストルメントパネルとドアトリムは, 材質, 工法, サプライヤが異なるため, 一般的には色, 艶, シボの表面質感を一致させることが非常に難しい。CX-7では, インストルメントパネルからドアトリムにかけて, 上質感と連続感を実現することに注力した (Fig.16)。

まず, 感性工学を用いたお客様の視点分析で4つの評価要素を明確にし, 要素ごとに官能評価結果と光学特性の相関をとることで, 表面質感の定量的評価技術を構築した。

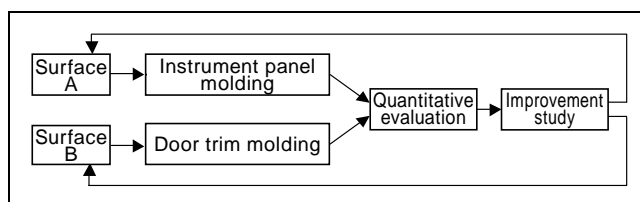


Fig.16 Development Process of the Visual High Quality Feel and the Stream Appearance

この評価技術を部品開発に適用し, 表皮の詳細仕様まで造り込みを実施した。結果, 狙いの表面質感を確保した上で, インストルメントパネルとドアトリム表面の色, 艶, シボを統一することができた (Fig.17, 18)。

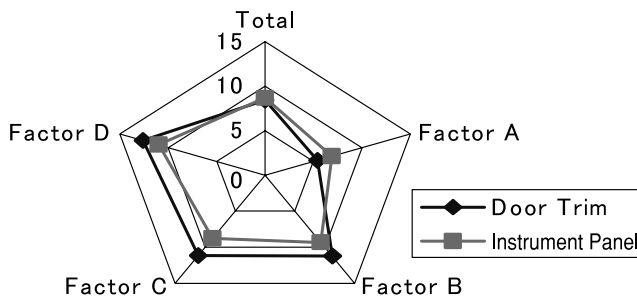


Fig.17 Harmonization of the Visual Surface Quality: Instrument Panel vs.Door

Magnification	Components	Instrument Panel	Door Trim
x50			
x175			

Fig.18 Grain Surface after Molded

(2) 加飾の本物感

シルバー系の加飾について, いかにも本物らしい「金属の感じ」, 「しっかりした感じ」を実現するかにこだわった。表面質感同様, お客様の視点分析を実施すると同時に, 金属加工メーカを訪問し金属の製法や特徴を研究することで, 「輝き感」, 「剛性感」, 「素材感」の3つの評価要素に対して, 光学特性や形状, 端末仕様などの実現手段を明確にした。センターパネル, コンソール他の加飾は, 繋ぎがなく比較的二次元的なラインで, 断面形状は中身の詰まった剛性感のある形状とした。また, 端末は樹脂特有のバリ, パーティングを見せない合わせ構造を採用し, 厳選された表面のシルバー塗装色とマッチして本物感あふれる質感を実現した (Fig.19)。



Fig.19 Application of the High Quality Silver Decoration Panel

7.3 カスタマーデライト

マツダらしいZoom-Zoomを感じる演出、もてなし、ドライビングに対する期待を高める「カスタマーデライト」を目指した。夜間シルバー加飾を引き立たせるため、室内照明のアンバーレッドとカラーコーディネートさせたブルー色間接照明で、走り进行操作するシフト廻りを照らすことでスポーティ感を演出した。照射エリアをシフト後方のカップホルダまで広げ、夜間の使い勝手を高める等、効果的な間接照明を採用した (Fig.20)。



Fig.20 Expression of Indirect Illumination

今回紹介した造り手のこだわりを反映したクラフトマンシップは一部であり、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おり、上質な仕上がりと感じて頂けると考える。

8. おわりに

素晴らしいスタイルを実現しつつ、お客様の期待にこたえるパッケージングを具現化できたと考えている。常に新しいことを探し求める人々に、まさにZoom-ZoomなマツダSUVの新提案を実感頂けるものと確信している。

参考文献

- (1) H.Okiyama et al. : Objective Evaluation of Seat Lateral Support for Cornering, SAE paper , 2001-01-0387 (2001)
- (2) N.Michida et al. : A Study of Drivers 'Fatigue Mechanisms during Long Hour Driving, SAE paper , 2001-01-0381 (2001)
- (3) N.Michida et al. : Seat Lumbar Support Evaluation with ASPECT Manikin, SAE paper , 2005-01-1007 (2005)

著者



長尾治典



上手淳二



和原幸夫



貞野雅人



道田奈々江

特集 : CX-7

4

CX-7のゼロプロト開発実現に向けたCAE適用技術 CAE Application Technology in CX-7 Development

杉本 繁*1 上野 正樹*2 菊池 荘吉*3
Shigeru Sugimoto Masaki Ueno Sokichi Kikuchi
藤川 孝司*4 大原 司*5
Kouji Fujikawa Tsukasa Ohhara

要 約

試作車両を使った育成プロセスをCAEバーチャル検証に置換するゼロプロト開発による商品開発の期間短縮は、お客様へのタイムリーな商品提供だけでなく開発投資削減をはじめメリットが大きい。しかし一方で、実車による最終評価において、狙いとした性能が確保できていない場合には大幅な量産遅らし等、抱えるリスクも大きくなる。CX-7では、様々な前提条件を設けて開発したベリサと比較し、新開発のプラットフォームの使用、デザインの自由度拡大、対米新規制対応等、難易度の高い開発に対し、最新のCAE技術を駆使することでゼロプロト開発に挑戦した。その結果、「操縦安定性、衝突安全、NVH」の主要3性能を左右する車体骨格系の構造を早期に確定することができた。

Summary

Shortening product development period through Zero Prototype by skipping prototype verification process is beneficial not only to cut down development investment but also to timely provide customers with our products. On the other hand when the targeted performance is turned out to be not secured in the last stage of physical evaluation, development will be exposed to enormous risks such as substantial delay in mass production. CX-7 was compared with Verisa, developed under varied prerequisites, and we challenged developments of high difficulty by taking advantage of the latest CAE technology ; utilizing newly developed platform, expansion of design latitude, and accommodation of new regulation for North America. As a result, body frame system which influences three main performances " Handling Stability, Cash Safety, and NVH " were able to be fixed in early stage of development.

1. はじめに

CX-7は、2004年に発売したベリサに続いてトップハットゼロプロト開発に取り組んだ車である。トップハットゼロプロト開発とは、アッパー試作車による育成というプロセス (Fig.1の①) をスキップすることである。これにより開発期間を短縮し、工数・試作費用といった開発投資を削減することができる。出図後は、「開発確認車」という車両を製作して確認を行うだけで、全ての検証は出図段階で完了しておく必要がある。この検証には、1996年から取り組んできたMDI (Mazda Digital Innovation) を最大限

に活用したCAEを軸とするバーチャルでの開発プロセスを適用した。本稿では、CX-7開発において新たに適用したCAE技術についてフォーカスしながら開発プロセスで工夫した点を紹介する。

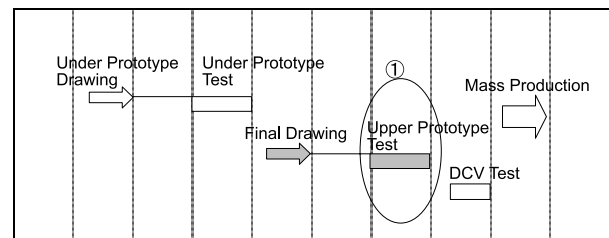


Fig.1 Development Process

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

*4, 5 NVH性能・CAE技術開発部
NVH & CAE Technology Development Dept.

2. 開発プロセス

2.1 ベリーサ開発との相違点

ベリーサ開発では、既に量産していたデミオのプラットフォームを使用し、ピラー角度や各ハードポイントといったアッパーボデーデザインへの制約を設けて開発を行った (Fig.2)。それに対し、CX-7開発では新開発のプラットフォームを使用し、アッパーボデーデザインにも一切規制を設けていない。構造的にもデザインのにも自由度を拡大したところが大きく異なる点である。これによって技術的な難易度は大幅にアップしており、ベリーサをゼロプロト第一世代とすると、このCX-7は第二世代に相当する。

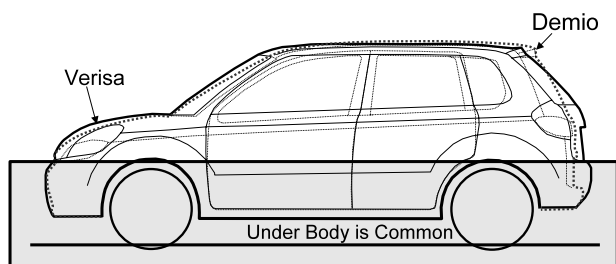


Fig.2 Demio vs Verisa

2.2 CAEプロセス

上記の難易度を克服するために開発プロセス上、以下の点を工夫した。

(1) アンダー試作車での工夫

通常、既存車種のアッパーボデーを載せるアンダー試作車に対して、CX-7ではAピラーの角度補正などを行い可能な限りシルエットを似せた試作車を作成した。この試作車とCAEのコリレーションをとることで、正式図モデルのCAE精度を大幅に向上させた (Fig.3)

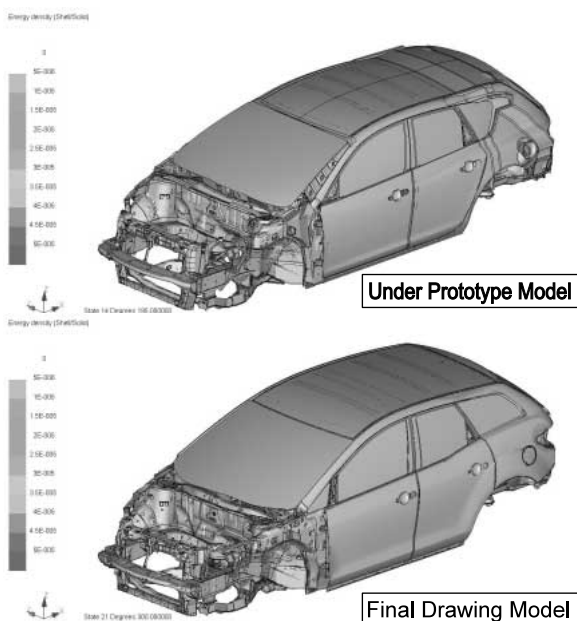


Fig.3 Under Prototype Model vs Final Drawing Model

(2) CAE検証期間の確保

正式図前にCAE評価用の検証図を出図。この図面に基づく検証期間を確保し、CAEで全ての性能を整合取った上で、正式出図を行うことで図面品質のレベルを大幅に向上させた。

(3) CAE適用項目の拡大と能力アップ

CAE適用項目は、ベリーサで125項目だったものを363項目まで拡大した。この中には仕向け地が異なるため追加される評価項目だけでなく、車種開発ではじめてトライする新技術の27項目を含んでいる (Fig.4)

CAE能力のアップは、CAEモデルを作成するために、モデル作成専属チームをつくり、モデル作成期間を4週間に短縮。倍増させたスパコン能力をフル活用することで、解析結果の処理を早めた。その評価に関しては、CAEエキスパートを一ヶ所に集め24時間集中評価活動を実施することにより、性能間の整合取り期間を大幅に短縮した。

以下の章では、各性能別にCAE適用技術について紹介する。

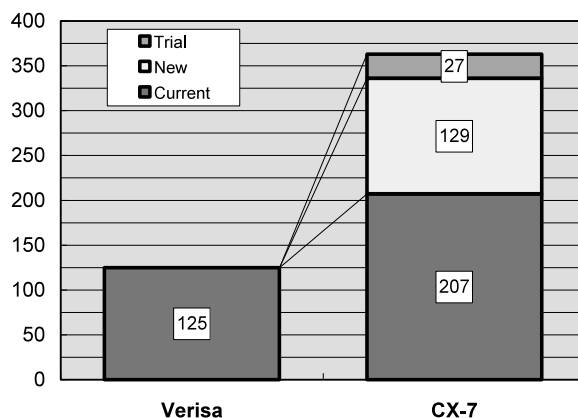


Fig.4 CAE Evaluation Items

3. CAE適用技術の紹介

3.1 車体剛性開発

(1) 局部剛性評価

車体剛性は、乗り心地・操縦安定性に大きな影響を与える。CX-7の開発では、きめ細かく車体剛性をコントロールするために、従来から指標として用いてきた曲げ・ねじりといった車体全体の剛性値に加えて、Fig.5 (注; 変位を1,000倍にして変形状況を分かりやすく表示) に示すようなキャビン部分のマッチボックス変形時の対角変位という局部的な変形量を局部剛性として新たな評価指標として追加し、開発を行った。

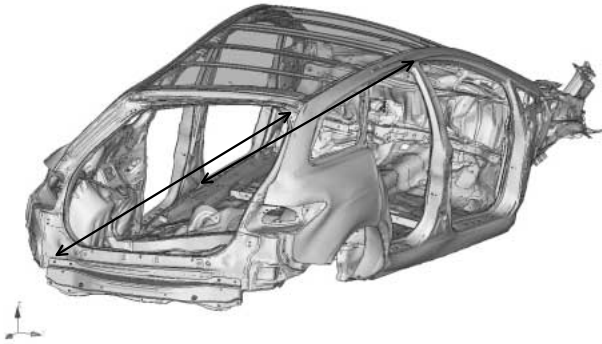


Fig.5 Diagonal Displacement

(2) 局部剛性向上ポイント

局部剛性評価によって織り込んだ内容をFig.6に記す。サイドシル部の筋やシート取付部補強など、従来の車体全体剛性評価では現れにくい箇所に着目でき、効果的な対策を織り込むことができた。

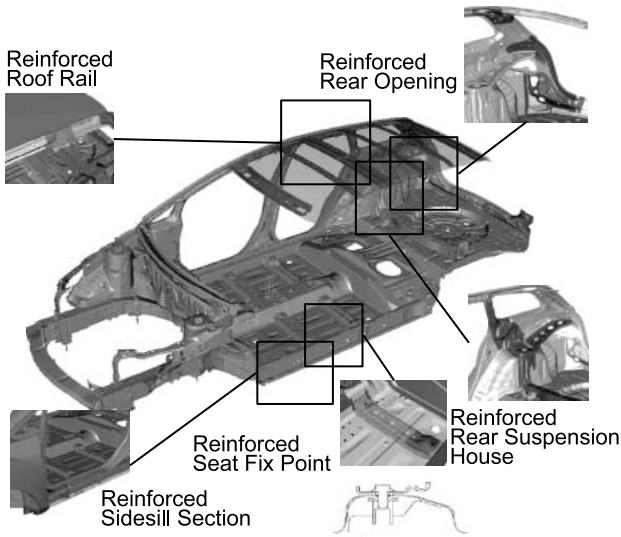


Fig.6 Rigidity Measures

3.2 NVH開発

(1) NVH開発のカスケード

CX-7では、Zoom-Zoomな走行性能と同時に、クラストップレベルのNVH性能を目標に開発を行った (Fig.7)。

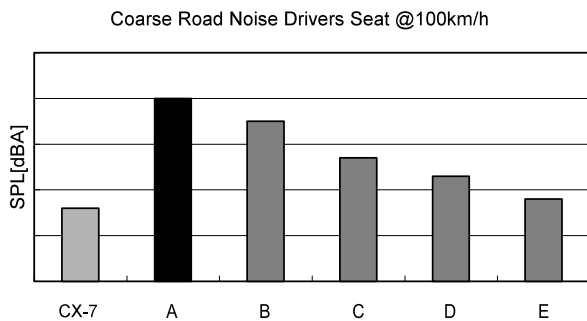


Fig.7 Road NVH Target

NVH性能は、車両全体の振動特性が影響する。特にアッパーボデーを量産金型で製作するため、図面段階でNVH性能の作りこみを行う必要があった。

CX-7では、車両システム解析を始めて車種開発に本格適用し、試作品のない図面段階で、骨格構造からパネルの制振構造 (ビードパターン) にいたるまで、車両各部の振動特性の設計を行った。

(2) 車両システム解析の概要

Fig.8に示すように、車両システム解析とは、シャシー、車体、そして車室内の空洞モデルを組み合わせたモデルであり、それに実走時相当の入力を与えて、試験路走行時の車内音を計算上で再現する手法である。この手法では、車内騒音を予測すると同時に、その悪化に対して寄与の高い入力源や放射源、その変形モードを特定することができる。

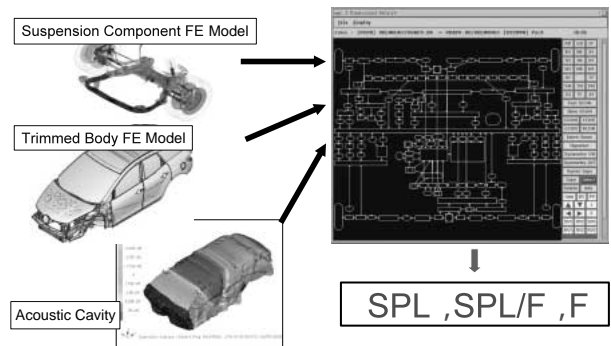


Fig.8 Vehicle System Analysis

(3) 車両システム解析の適用

本手法を実際にCX-7で活用した事例を示す。

① シャシー開発

CX-7では、リヤにマルチリンク・サスペンションを採用しているが、リヤ入力に起因する車内音のピークが認められた。リヤサブフレームの振動モードを詳細に分析した結果、Fig.9に示すように、リヤサブフレームが前後に「ゆりかご」状に振動するモードと、デファレンシャルギアを支持する屈曲部の曲げ変形が主要因であると判明した。対策として、サブフレーム本体の補強に加え、車体への支持点を増やし、7点マウントを採用した (Fig.10)。

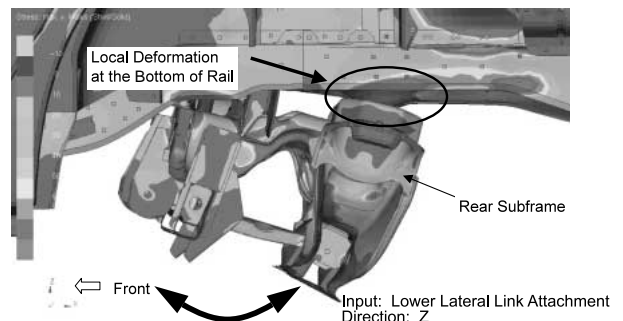


Fig.9 Forward and Back Movement of Subframe

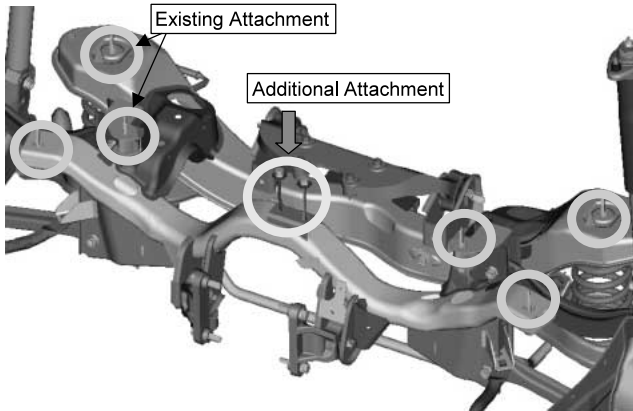


Fig.10 Seven Point Mounts

② 車体開発

CX-7では、車両システム解析を、車体骨格やパネルの詳細設計にも適用した。Fig.11はアッパーボデーの初期設計段階におけるロードノイズの解析結果である。リヤピラー部やフロアの振動が、車内音を悪化させる懸念があることが分かった。車体の振動モードを詳細に分析した結果、ホイールハウス周辺を起点として、リヤピラーが内倒れるモードと、リヤシート付近のフロアが、局部的に上下振動するモードの影響を確認した。不要な重量アップを極力排除するため、ビード形状の最適化により、ボデーパネルの共振特性をコントロールした。Fig.12に対策前後による改善効果を示す。

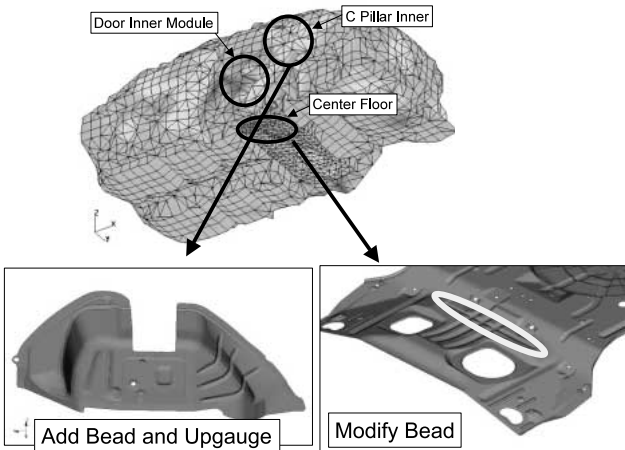


Fig.11 CAE Result and Countermeasures

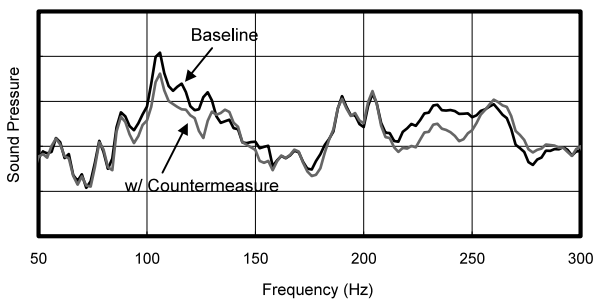


Fig.12 Improvement of Sound Pressure

3.3 衝突安全

(1) 前面衝突性能

前面衝突性能では、前方からの衝突エネルギーを客室にいたるまでに吸収または分散させ、客室へのダメージを抑えることが重要である。Fig.13にCX-7の構造を示す。ボデー全体の軽量化と高い衝突性能を実現するため、フロントサブフレームにペリメータ構造を採用し、フレーム前方でのエネルギー吸収を増やした。更にペリメータフレームとフロントフレームを6点マウントとすることで、フロントフレームの持ち上がりを抑制し、キックアップとフロントフレームでつくられるトラス構造で前方からの衝突エネルギーをしっかりと受け止める構造としている (Fig.14)。

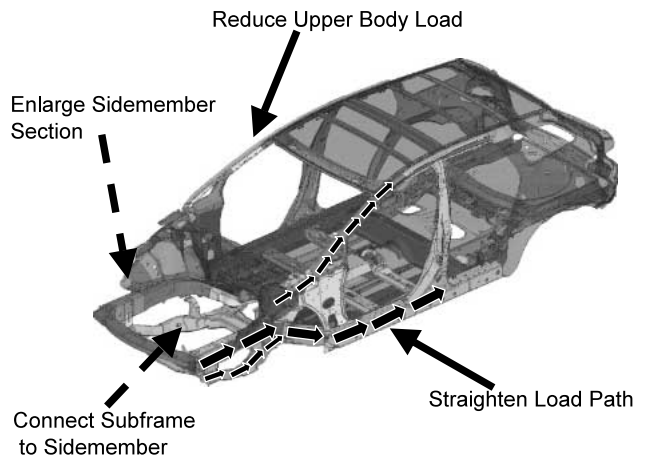


Fig.13 Front Impact Structure

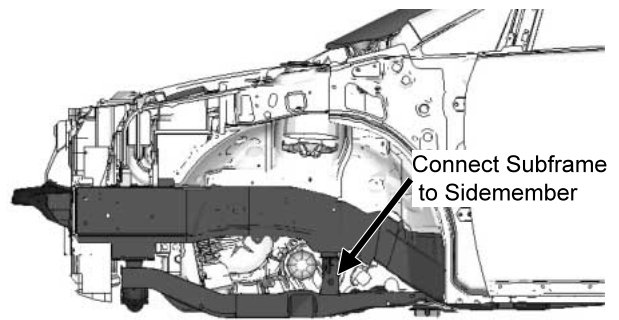


Fig.14 Front Frame Structure

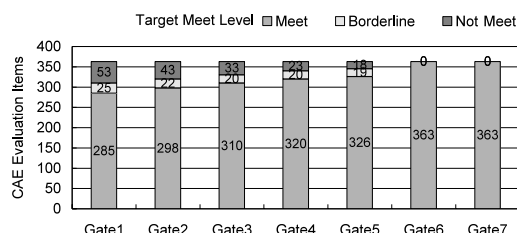
この構造により、衝突性能とショートオーバハング、軽量化ボデーの両立を実現できた。

(2) コンパチビリティ対応

車対車による衝突において、相手車両に対する加害性を緩和するために、CX-7ではペリメータフレームを適切な位置に配置し、衝突時に乗用車への乗り上げを防ぐ構造としている (Fig.15)。お互いのフレームがすれ違わない構造となっており、相手車両の変形も少ないことがわかる。

4. CAE適用結果

以上のように、車体骨格を決める上で重要な3性能について、CAEをフル活用して車体構造の構築に努めた。それぞれの性能に関して、CAEが中心となって性能の横通しを行い、正式図に至る段階的な図面（CADデータ）の更新に併せて、モデルを更新し、性能を育成し詳細設計を推進した。Fig19に示すように各更新のフェーズ毎に、CAE結果のゲートレビューを設け、最終的な正式出図までに、各性能に目標達成の見通しをつけることができた。実車テストによる評価でも目標達成確認し、早い段階でスムーズに開発を完了した。



Target Meet Level	Target	80%	80%	90%	95%	95%	100%	100%
Result		76%	82%	85%	88%	90%	100%	100%
CAE Completion Level	Target	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Result		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fig.19 Gate Status Chart

5. おわりに

ゼロプロトへの挑戦というテーマに対して、チームとして一丸となって取り組んだが、これまでの開発と比べて、特別なことをしたとは思っていない。CAEエンジニアとして、開発してきた新技術を積極的に取り入れ、CAE評価できる項目は漏れのないように実施し、詳細設計の要として、デイリーに設計/実研チームと進捗状況の情報交換を行った。結果、最終的に狙い通りの高い品質・性能を持った車が開発できたと自負している。現時点、全ての評価がCAEのみで可能となっているわけではないが、今後もCAE技術を進化させてより良い商品をお客様に提供していきたい。

参考文献

- (1) 江頭ほか：ベリーサ開発におけるCAE適用技術の紹介，マツダ技報，No.23，p.53-57（2005）

著者



杉本 繁



上野正樹



菊池 荘吉



藤川孝司



大原 司

特集 : CX-7

5

iPod アダプタの開発 Development of iPod Adapter

大 滝 喜 由^{*1} 角 岡 幸 治^{*2} 平 野 拓 男^{*3}
Kiyoshi Ohtaki Kouji Kadooka Takuo Hirano
西 岡 勝 則^{*4}
Katsunori Nishioka

要 約

iPodアダプタはグローバル市場において圧倒的な支持を受けている携帯オーディオプレーヤiPodをマツダの純正オーディオにおいて利用可能とする商品である。開発に当たってはiPodの利便性を最大限に生かしつつ、車両でも使用したいというニーズの高まりに迅速に対応し、競合力のある価格で提供することに注力した。本稿では本商品の概要と開発経緯について紹介する。

Summary

iPod adapter is an article which enables usage of mobile audio system player iPod, which enjoys overwhelming support in global markets, in Mazda's genuine audio system. To meet the recent growing need to use iPod in a vehicle, we focused to develop the iPod adapter in a prompt manner and with competitive price while maximizing convenience of iPod. This report introduces an overview of iPod adapter and its development process.

1. はじめに

近年、高速インターネット接続が広く普及し、音楽データをはじめとする各種コンテンツ配信サービスが一般化しつつある。一方、ハードディスクや半導体メモリの大容量化・小型軽量化・低価格化が急速に進んでおり、今や手の平に収まる携帯オーディオ機器にまでこれらが搭載されるようになった。特に、米アップル社が開発したiPodは2001年の発売以来、約6,000万台の出荷台数を記録しており、携帯オーディオ機器における国内シェアは約60%に達している(2006年6月時点)。このような市場動向に呼応して車両においてもiPodを使用したいという要望が高まっており、自動車メーカー・アフターマーケット向け車載オーディオメーカーともに車載オーディオのiPod対応を積極的に推し進めている。今回、マツダは純正オーディオでiPodを再生・操作可能とする純正用品「iPodアダプタ」を開発し2006年秋に日本の自動車メーカーとして初めて世界規模の市場導入を果たした。更にマツダは2007年以降に販売する全ての乗用車(軽自動車・商用車を除く)をiPod対応とする

ことを表明している。以下、iPodアダプタの概要と開発経緯を紹介する。

2. 開発方針

iPodに代表される携帯オーディオプレーヤの需要拡大に伴ってこれらを車両でも使用したいというユーザ要望が高まっており、続々と対応製品が登場している。現在、携帯オーディオプレーヤを車載オーディオで再生する方式としては下記の3方式がある。

(1) FMトランスミッタ接続方式

FMトランスミッタという装置を用いて携帯オーディオプレーヤの音声信号をFMラジオ電波に変換して送信して車載FMラジオで受信する。接続が簡単で安価であるがFMトランスミッタ自体の性能が低いものが多く、またFM周波数帯域による制約があり、外来ノイズの影響も受けやすいことから音質に不満の声が多い。

(2) 外部入力接続方式

車載オーディオの外部入力(AUX)端子に単に音声信号のみを入力する。一般にFMトランスミッタを用いる

iPodはApple Inc.の商標または登録商標である。

*1, 2 電子開発部
Electrical & Electronics Development Dept.
*4 グローバル用品マーケティング部
Global Accessories Marketing Dept.

*3 技術研究所
Technical Research Center

方式に比べて良い音質が得られるが、車載オーディオが外部入力端子を装備していることが必須条件となる。

(3) 専用アダプタ接続方式

車載オーディオに専用アダプタを介して携帯オーディオプレーヤを接続する。外部入力接続方式と同等の音質が得られることに加え、携帯オーディオプレーヤの充電を行うことができる。接続されたiPodを車載オーディオから操作できることが最大の特徴である。

(1)、(2)の方式では、運転中にiPodの画面で表示を確認しつつiPod本体の操作を行う必要があり、これは事故を誘発する可能性がある。また、車内でiPodを使用する場合、シガーソケット電源アダプタと呼ばれる装置を用いて電源供給を行うことができるが、電源ラインに混入したノイズの影響を受けやすく、音質の確保が難しいという問題がある。

一方、(3)の方式では、運転中の操作を考慮して設計されている純正オーディオ（ステアリングスイッチを含む）から操作可能であることから(1)、(2)の方式に比べて安全性の観点で望ましい。また、専用アダプタからiPodへの電源供給が可能であり、ノイズ対策も当然考慮されている。

我々はiPodを車両で利用可能とする商品の開発に当たり、操作に伴う安全性確保を必須条件とし、同時に一定の音質およびiPod充電等の利便性を実現可能な方式として専用アダプタを用いる方式(3)を選択し、下記方針の下で開発を行い顧客満足度の向上と車両の商品性向上を図った。

iPodアダプタ開発方針

- 1) ユーザ要望の高まりに迅速に応えるため、短期開発し、タイムリーに市場導入すること。
- 2) 純正オーディオを変更することなく、かつクロスオーバーラインで装着できる商品とすること。
- 3) マツダ専用品となるため、グローバル展開による数量拡大によって価格競争力を確保すること。

3. iPodアダプタの概要

iPodアダプタとは純正オーディオを搭載したマツダ車において米アップル社製の携帯オーディオプレーヤiPodを車両側のオーディオシステムで再生・操作するための装置である（Fig.1）。以下、その概要を説明する。



Fig.1 iPod Adapter

3.1 システム構成

システム構成をFig.2に示す。iPodは本アダプタを介して車載オーディオと接続される。接続したiPodはグローブボックス内に設置される。対象となる車両はオーディオユニット背面にマツダ専用外部機器接続コネクタを備え、外部CDチェンジャソフトウェアと呼ばれるソフトウェアを搭載したマツダ純正オーディオ装着車であり、ドックコネクタと呼ばれるiPod用外部接続端子を装備した第3世代以降のiPod、iPod miniおよびiPod nanoが接続可能である。スピーカ、ステアリングスイッチは純正オーディオ用に搭載されている既存品をそのまま利用する。

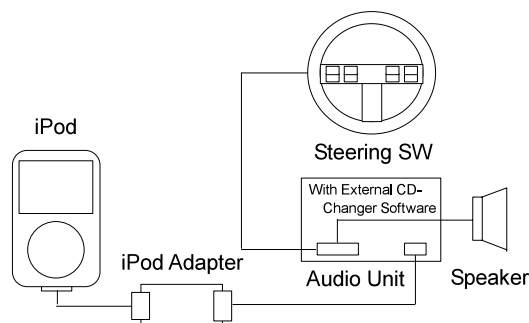


Fig.2 Audio System with iPod Adapter

3.2 特徴

主な特徴を下記に挙げる（Table 1）。

- (1) 音質を損なうことなくiPod音楽を再生可能
車載オーディオとiPodを専用アダプタを介して直接接続することにより、車両側のオーディオシステムでiPodのクリアな音質を損ねることなく再生できる。
- (2) 車載オーディオスイッチから操作が可能
曲等の各種切り替えや特殊再生モード、音量調整などを車載オーディオスイッチで操作できる。
- (3) ステアリングスイッチから操作が可能
ステアリングにオーディオコントロールスイッチを装着している車両ではハンドルから手を離すことなく音量調整や選曲が可能である。
- (4) ミュージックメニューの切り替えが可能
大量の曲を蓄積したiPodを使用する上で必要不可欠なミュージックメニューと呼ばれる階層の切り替えが可能であり、アーティスト別やジャンル別等、ユーザの好みに応じた再生を行うことができる。本機能は多くの他社が搭載しておらず、本商品の大きな優位点の1つである。
- (5) iPodを充電可能
車載オーディオでiPod再生中は自動的にiPodの充電を行う。これにより長距離ドライブ時もiPodのバッテリー残量を気にすることなく車両で音楽を楽しむことができる。
- (6) 盗難防止効果
接続したiPodはグローブボックス内に設置されるため、見栄えだけでなく盗難防止の効果もある（Fig.3）。



Fig.3 Installation Example(3rd Generation Roadstar)

Table 1 Specification of iPod Adapter

Power Voltage		DC12 V
Charge	Voltage	DC12 V
	Current	250 mA (max)
Frequency Characteristic		20 Hz ~ 20 kHz
Size		85 mm×70 mm×25 mm
Weight		170 g
Communication	iPod side	UART Communication
Interface	Audio side	M-BUS Communication
Function		<ul style="list-style-type: none"> • Music Menu Change • Title Change • Track Change • FF/REW • REPEAT • RANDOM • SCAN
Available iPod		<ul style="list-style-type: none"> • iPod (3rd generation later) • iPod mini • iPod nano
Retail Price		23,100 yen

4 . iPodアダプタの開発

本商品の3つの開発方針を満足するための要となる施策は純正オーディオに搭載される外部CDチェンジャソフトウェアの活用である。近年、オーディオユニット内部にCDチェンジャメカを持つインダッシュCDチェンジャが主流となりつつあるが、かつてはトランク等に設置した外部CDチェンジャユニットをヘッドユニットから遠隔操作するという利用方法が一般的であった。この外部CDチェンジャをヘッドユニットから遠隔操作するためのソフトウェアが外部CDチェンジャソフトウェアであり、ほぼ全てのマツダ純正オーディオに搭載されている。我々はこの点に着目し、外部CDチェンジャソフトウェアを利用することで開発期間の短縮と価格競争力の確保、既存車種への同時展開を実現した。以下、本アダプタの開発経緯をハードウェア開発とソフトウェア開発の2観点から説明する。

4.1 ハードウェア開発

iPodアダプタのハードウェア構成をFig.4に示す。動作電源はバッテリー電圧12Vから制御系5Vとオーディオ系8Vを生成する。バッテリー電圧12Vは純正オーディオから供給することで電源系回路を簡素化し本体形状の小型化を図り、本アダプタの設置に関する自由度を確保している。

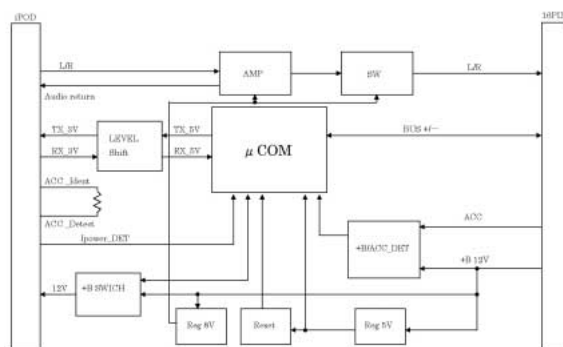


Fig.4 Hardware Structure

4.2 ソフトウェア開発

iPodアダプタのソフトウェア構成をFig.5に示す。ホストマイコンソフトウェアは下記4ブロックから構成される。

- 1) UART通信部
iPod側の通信を制御。
- 2) M-BUS通信部
車載用オーディオ側の通信を制御。
- 3) 電源管理部
アクセサリ・バッテリー電圧の監視。
- 4) システム管理部
ブロック制御 1) ~ 3)を含めiPodアダプタ全体を制御。

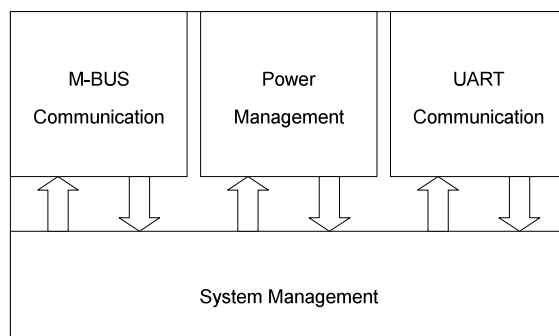


Fig.5 Software Structure

(1) HMI開発

a) 操作仕様

我々は安全性を重視する開発思想から本アダプタにiPodを接続している間はiPod本体からの操作を無効としている。そのため、必然的に車載オーディオから全ての操作を行うことになる。既存の車載オーディオに割り当て可能なiPod操作鈕は9つである。ここで、操作の認知性を考えると、操作鈕への機能割り当ては類似機能を持つCDチェンジャモードと整合させることが望ましい。iPodとCDチェ

ンジヤは基本的に類似した操作体系を有しているが、iPodではCDチェンジャに比べて圧倒的に多数の曲を扱うことから階層概念が拡張されている。すなわち、CDチェンジャは「ディスク」「トラック」の2つの切り替え階層しか持たないが、iPodでは「トラック」およびCDチェンジャの「ディスク」に類似した「タイトル」という切り替え階層に加えて「ミュージックメニュー」という計3つの切り替え階層を持っている (Fig.6)。よってiPodはCDチェンジャよりも切り替え階層が1つ多いため、CDチェンジャモードとの操作性の整合化を図ると必然的に「ミュージックメニュー」と呼ばれる階層の切り替え釦が不足する (Table

2)。

本問題に対して競合他社はミュージックメニュー切り替え機能を切り捨てることで対処している。しかし、本切り替え機能は蓄積した大量の曲に効率よくアクセスするためにiPodにとって必要不可欠な機能であると考えられる。そこで我々は本切り替え機能の存在価値を重視しこの機能を残した上で解決策を探った結果、1釦に2機能を割り当てることにした。これは操作釦の押下時間と判定閾値時間を比較し、閾値よりも押下時間が短ければ「短押し」と判定し「タイトル」と呼ばれる階層を切り替え、閾値よりも押下時間が長ければ「長押し」と判定し「ミュージックメニュー」と呼ばれる階層を切り替えるものである。これにより「ミュージックメニュー切り替え」と「タイトル切り替え」という2機能を1つの釦で操作可能とすることで、曲アクセスの利便性を確保しつつ操作釦の不足に対処した。

b) 表示仕様

マツダ純正オーディオが搭載する外部CDチェンジャソフトウェアはCD-TEXTおよびmp3圧縮オーディオに対応していないため、iPodの各種情報をテキスト表示することができない。すなわち、車載オーディオの液晶ディスプレイに表示可能な情報は基本的に数字のみとなっている。そのため、iPodの各種情報を番号により管理して表示するものとした。ここで、外部CDチェンジャソフトウェア仕様による制限としてタイトル番号は6まで、CD自体の規格による制限としてトラック番号は99までに表示可能な最大値が制限される。一方、iPodには非常に多くのタイトル・トラックが存在するため、これらの表示可能な最大値を超える場合が生じる。この対策としては表示可能な最大値を超える曲へのアクセスを制限することが考えられるが、この選択は大量の音楽データを蓄積可能なiPodの魅力が大きく損なうことになる。そこで我々はタイトル番号・トラック番号が表示可能な最大数を超えた場合、再度1より番号を振り直して表示することで対処した。すなわち、表示されるタイトル番号 N_title_disp 、トラック番号 N_track_disp は数値 X を除数 Y で割ったときの余りを求める関数MOD (X, Y) を用いて下記のように表される。

- ・タイトル番号 : $N_title_disp = \text{MOD} (N_title, 6)$
- ・トラック番号 : $N_track_disp = \text{MOD} (N_track, 99)$

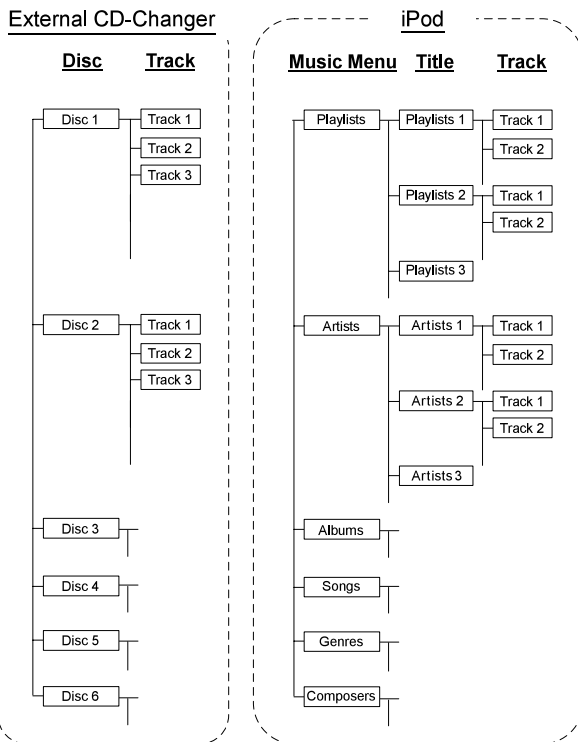


Fig.6 Hierarchy Structure Comparison of External CD-Changer and iPod

Table 2 Assignment of Operation Button

Function of iPod Adapter	Operation Button
Music menu Change	(None)
	(None)
Title Change	DISC UP
	DISC DOWN
Track Change	TRACK UP
	TRACK DOWN
Fast Forward	FF
Fast Rewind	REW
Repeat	RPT
Random	RDM
Scan	SCAN

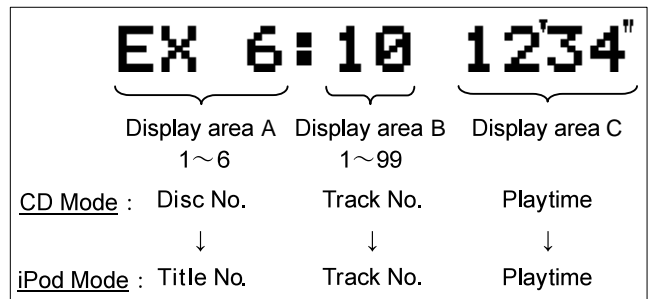


Fig.7 LCD of Car Audio

次にiPod再生時の液晶ディスプレイへの表示項目を検討した。候補となる表示項目は下記4項目である。

- 1) ミュージックメニュー
- 2) タイトル
- 3) トラック
- 4) プレイタイム

Fig.7はiPodモードにおける表示例である。CDチェンジャと共通の操作体系を踏襲したため、トラック番号とプレイタイムはiPodモードにおいても問題なく表示可能である。一方、ミュージックメニューおよびタイトルの表示については1釦に2機能を持たせたため、必然的に一方の表示が不足してしまう。この問題に対して我々はこれら2機能の操作頻度に着目した。ミュージックメニューはiPodにおける最上位の階層であり、この切り替え後はもっぱらタイトル切り替えおよびトラック切り替え操作が主になるものと考えられる。すなわち、ミュージックメニューとタイトルの表示優先順位は後者の方が高いと考え、表示領域Aにタイトル番号を表示することにした。しかし、ミュージックメニュー表示が全く行えないことは余りにも不便である。そのため、次の対応策を折り込んだ。切り替え可能な6つのミュージックメニューに番号1~6を対応させ、ミュージックメニューおよびタイトル切り替え時、プレイタイム表示部に表示することにした。これにより、ミュージックメニュー現在位置の把握を実現した (Fig.8)。

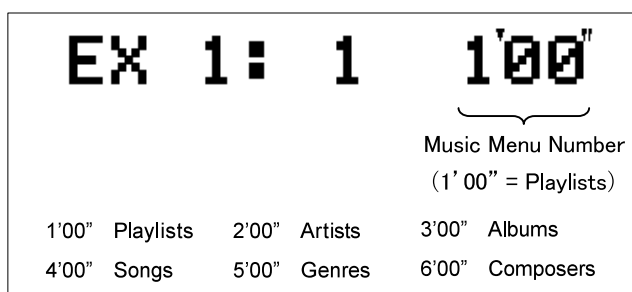


Fig.8 Display of Music Menu Number

c) その他

・スキャン機能

iPodには数百~数千にも及ぶ多数の曲が存在し、その全ての曲構成をユーザが記憶しておくことは不可能に近い。現在選択中の再生モードにどのような曲が存在するのか、実際に曲頭を順次再生することで確認できる機能が本機能である。本機能は車載オーディオでは一般的な機能であり、マツダの純正オーディオでは主に北米仕向け車両に搭載されている。しかし、本機能は他の機能と異なりiPod自体が搭載する機能ではないため、本アダプタのソフトウェアにて本機能を実現した。スキャンモード時、選択中の再生モードに存在する曲の先頭部分を10秒間ずつ再生することで曲の内容把握を可能とし、利便性を向上させた。

・レジューム機能

一般的にiPod等の携帯オーディオプレーヤには「レジューム機能」と呼ばれる機能がある。レジューム機能とは再生装置自身が記憶する前回使用時に最後に再生していた曲・位置から再生再開する機能であり、前回使用時の再生状態からシームレスに音楽再生を再開できる。特にiPodは数百~数千にも及ぶ曲が存在するため、再生再開の度に曲選択をやり直すことは非常に不便であり、本機能は携帯オーディオプレーヤにとって必須といえる。

iPodは再生停止の都度、曲状態(曲番号・時間)を記憶しているため、外から車両にiPodを持ち込んで本アダプタに接続した時、前回停止曲・位置から再生再開できる。ここで、iPodアダプタのような外部デバイスからiPodの曲切り替えを行う方式として下記の2方式がある。

1) 絶対指定方式

曲位置を完全に特定できる全ての属性情報を用いて絶対的に選曲する方式。トラック切り替え釦の連打操作を受けたときにも反応遅れや音漏れを生じることがない。

2) 相対指定方式

現在位置を基準として前方か後方かの情報をもとに曲位置を相対的に選曲する方式。トラック切り替え釦の連打操作を受けたとき、反応遅れや音漏れを生じることがある。

我々は曲切り替えが最も多用される機能の一つであると考え、その操作性を重要視し絶対指定方式を採用した。ここで、この方式は全ての属性情報を必要とするが、iPod通信仕様による制約から曲切り替えに必要な情報の一部がiPodから取得できないため、曲切り替えが行えないという問題が生じる (Fig.9)。

他社はこの問題に対して相対指定方式を採用し、曲切り替えに伴う操作性の悪化を妥協することで対処しているが、我々は曲切り替え機能の操作性を重要視し、あくまでも絶対指定方式を採用した上で独自の代替案を立案した。

本アダプタは再生停止の都度、曲切り替えに必要な全ての情報を記憶する。再生再開時、本アダプタが記憶した補足情報を利用することで絶対指定方式による曲切り替えが可能となり、曲切り替えの操作性を損なうことなくレジューム機能を成立させた。

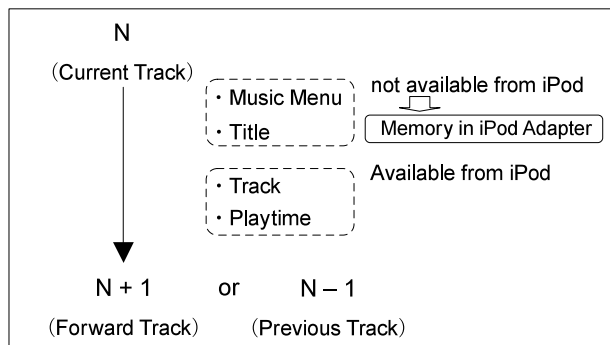


Fig.9 Problem of Track Changing

(2) 通信仕様開発

車載オーディオとiPodを仲介する本アダプタは車載オーディオから送信される通信コマンド（M-BUS通信：マツダ純正オーディオの独自通信方式）をiPodの通信コマンド（UART通信）に変換することが主な役割である（Fig.10）。

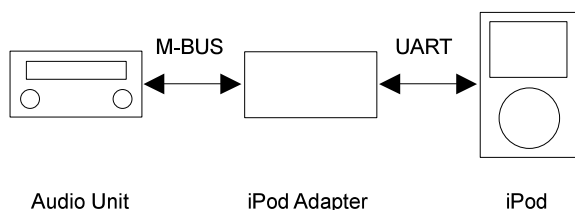


Fig.10 Communication Scheme

現在、マツダの純正オーディオは3社のサプライヤより供給されている。各社のオーディオに搭載されるM-BUS通信は基本的に仕様書で規定されているものの、実際には通信タイミング等、仕様書で規定されていない細かな差異がある。本アダプタはこれらの各社オーディオ差異を全てソフトウェア的に吸収することで車種毎に専用用品を設定することなく1台で全てのマツダ現行車種に対応した。

対策に当たってはまず外部CDチェンジャソフトウェアの種類数とそれらの差異内容を把握した。通常、外部CDチェンジャソフトウェアはモジュール化されており、車種をまたがって流用されている。これはサプライヤ毎の外部CDチェンジャソフトウェアの種類数とそれらの差異内容を把握することで、通信仕様の作り込みを必要とするオーディオ種類数を数十からわずか数種類に削減できることを意味している。この特徴を最大限に活用して短期間で通信仕様を作り込み、最終的に全ての適用車種のオーディオ実機を用いた動作検証を実施し、開発を完了した。

5. 開発結果

マツダは以上のような経緯でiPodアダプタを開発し、2006年秋のほぼ同時期に国内・北米・欧州等の主要市場で世界規模の市場導入を果たした。発表に当たっては米アップル社と共同でグローバルパブリシティを実施した。自社の純正オーディオに接続可能なiPodアダプタは海外メカを中心にいくつかの自動車メカが市場導入しているが、グローバル市場のほぼ全ての車種に同時設定したのは過去に例がなくマツダが初である。開発に当たっては純正オーディオに搭載される外部CDチェンジャソフトウェアを活用することで約半年という短期開発を実現し、これをクロスカーライン展開することで価格競争力を確保した（Table 3）。

一方、外部CDチェンジャソフトウェア仕様のもとで動作させるといふ大きな制限を受けながらもお客様の満足度

Table 3 Retail Price of iPod Adapter

		MAZDA	Company A	Company B
Retail Price		23,100 yen	31,500 yen~	37,065 yen~
Remark	Wage	Including		Including
	Tax	Including	Including	Including

を最大化できるよう十分に留意した。その結果、多数の曲を蓄積するiPodの性格上、必要不可欠となるミュージックメニュー切り替え機能を操作性の両立を図りつつ搭載したことは他社の類似製品に対する大きな優位点であり、ユーザの好評を博している。

6. おわりに

既存のマツダ純正オーディオに接続することでiPodの再生・操作を可能とするiPodアダプタを国内自動車メーカーとして初めて開発し、世界規模の市場導入を果たした。今後、マツダは2007年以降に販売する全ての乗用車（軽自動車・商用車を除く）におけるiPod対応を表明している。本商品は市場ニーズの高まりに迅速に応えるために種々の制限の下で開発を進めることになったが、今後はオーディオユニット側の対応を前提としてiPodを操作する上で最適な操作系を実現するとともに各種テキスト情報の表示を可能としiPodに完全対応した次世代のiPodアダプタを開発していく必要がある。

最後に本商品の開発に当たって多大なるご協力を頂いた三洋オートメディア(株)殿、クラリオン(株)殿、松下電器産業(株)殿をはじめとする関係各位に深く感謝の意を表す。

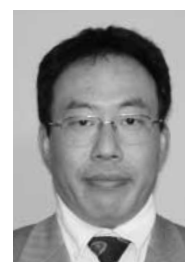
著者



大滝喜由



角岡幸治



平野拓男



西岡勝則

特集 : CX-7

6

インパネ表皮における新工法の開発

Development of New Methods in Instrument Panel Skin

貞野 雅人^{*1} 高岡 哲也^{*2} 徳長 幸穂^{*3}
Masato Sadano Tetsuya Takaoka Yukio Tokunaga
寺岡 晋^{*4}
Susumu Teraoka

要約

CX-7のインパネは表面の触感の向上および絞のコントラスト向上のため、インパネ上面に表皮を設定している。表皮貼り込み工法については従来接着により行っていたが、CX-7では表皮一体INJ工法を用いることで、大幅な工程簡素化が実現できた。

また主目的である工程簡素化による生産性向上以外にも、表皮質感UP、リサイクル性向上、低VOC化の効果を出すことができ、低コストかつ高品質の表皮設定を実現できた。

本稿では新工法の工程の違い、開発課題への対応、および表皮一体INJ工法での効果について開発経緯を紹介する。

Summary

The instrument panel of CX-7 sets the skin on the panel for the improvement of the sense of touch and of the contrast of grain on the surface. We have fixed the skin by bonding until now. New injection molding for CX-7 was able to achieve a great simplification of process.

This method was able to achieve not only the increase of productivity from the simplification of process but also the improvement of the sense of touch and recycling efficiency, the reduction of volatile organic compound. It means that we could find lower cost and higher quality IP skin than before.

It introduces the difference of the process between new injection molding and established method, the solution of development task, the background of the development about the effect of new injection molding in this text.

1. はじめに

近年インパネ表面の触感の向上および絞のコントラストをつけた意匠等の多彩な外観意匠デザインの再現性・質感向上を安価に実現するため、内装材にクッション層なしの表皮のみを設定する場合がある。CX-7においても前述の背景および連続するドアトリムとの絞感統一の目的からインパネ上面のみ表皮を設定している。

従来工法では、インジェクション (INJ) 基材への表皮の貼り込みを接着剤塗布後に真空引きにより行っていたが、CX-7においては表皮材をインジェクション型内にインサート成形することで工程の大幅簡素化を実現した。あわ

せて接着剤レスによる低VOC化 (VOC : Volatile Organic Compounds, 揮発性有機化合物)、絞の高意匠化を実現した開発経緯について報告する。

2. 開発のねらい

2.1 従来工法 (表皮接着貼込工法)

インパネ表皮における従来工法として代表的なものにPV (Press and Vacuum) 成形による表皮接着貼込工法がある。工程としてはFig.1に示すように次の6工程となる。

① INJ基材成形

表皮を貼り込む芯材を成形する

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

*2, 3 西川化成㈱
Nishikawa Kasei Co., Ltd.

*4 ダイキョーニシカワ㈱
Daikyo Nishikawa Co., Ltd.

- ② INJ基材への真空引き用穴あけ工程
真空引きによる外観意匠への影響をなくすためにエア抜き用の穴を後加工する
- ③ INJ基材のフレーム処理orプライマー処理
PP (ポリプロピレン) 基材の接着強度を上げるために基材表面を改質させる
- ④ 接着剤塗布, 乾燥
INJ基材と表皮貼り合わせ用接着剤を塗布し乾燥させる
- ⑤ 表皮貼込 (PV成形)
凸形状真空引きによりINJ基材へ表皮を貼り込む
表皮トリミング
不要部分の表皮排除し, 仕上げを行う

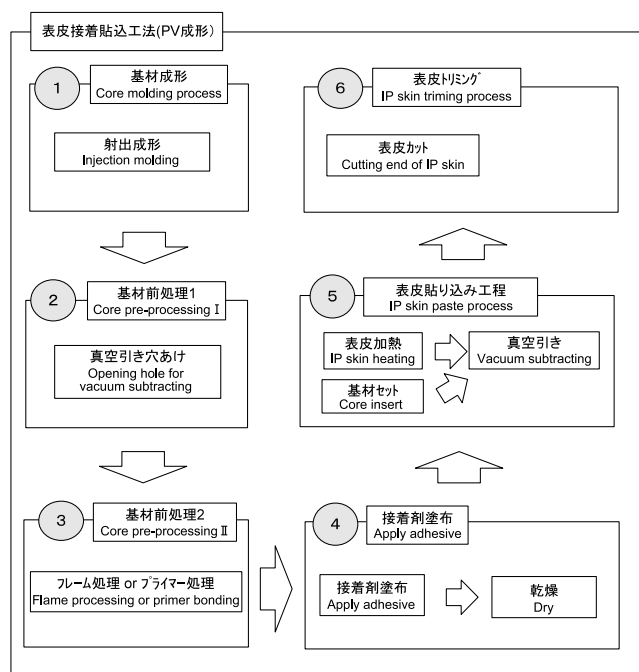


Fig.1 Old Method

工程数が多いことは、製造コストが高く、かつ生産拠点内で大きなスペースを必要とし、工程間在庫の増大、不良率UP等の生産効率低下にもつながっている。

CX-7ではコスト削減およびサプライヤでの生産性改善を主目的として新工法での対応を検討した。

2.2 新工法 (表皮一体INJ成形)

CX-7に採用した工法は、表皮をあらかじめデザイン形状に成形し、インジェクション型内にインサートし射出成形を行い表皮と基材を溶融させる工法である。工程としてはFig.2に示すように次の3工程となる。

- ① 表皮成形 (VF (Vacuum Forming) 成形)
凸形状真空引きにより表皮を成形する
- ② 表皮トリミング
不要部分の表皮を排除する

- ③ INJ基材成形
表皮をINJ金型にインサートし、INJ成形溶融樹脂の熱にて表皮を溶融させて一体化させる

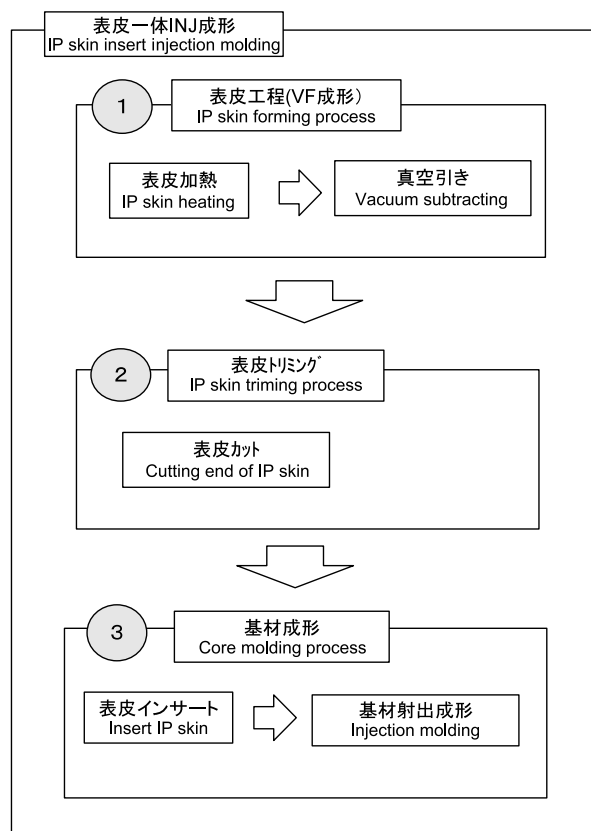


Fig.2 New Method

表皮をインジェクション型内にインサートして射出成形を行うことから、樹脂材料の成形条件 (射出温度, 流動方向, 流動長) の表皮に与える影響が課題となる。

代表的な課題としては、表皮意匠面への樹脂漏れと表皮意匠面にダメージを受けるゲートアタックがある。

3. 開発経緯

3.1 開発課題への対応 (樹脂漏れ)

樹脂漏れとは、表皮をインサート後に射出した樹脂材料が表皮裏面を流動し表皮末端部から表皮意匠面にまわり込み、意匠面に樹脂材料が付着する不具合である。

INJ金型 (キャピ型) と表皮の隙間に樹脂フローおよび樹脂圧力により樹脂がまわり込むため (Fig.3), 対策としては表皮末端部への樹脂フローを制御し成形時の樹脂圧力の影響を受けにくくすること、表皮を金型に密着させることが必要となる。

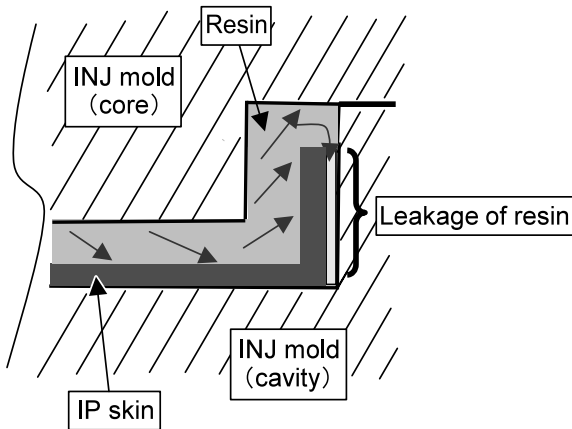


Fig.3 Leakage of Resin

INJ成形時に表皮端末へ向けて樹脂を充填していく (Fig.4) 場合は、表皮端末に向けて樹脂圧力で表皮自体が金型へ押し付けられるので表皮意匠面への樹脂のまわりこみを防止することができる。したがって樹脂流動方向が表皮端末に対して面直になるように、ゲート位置、点数、角度を設定することで特別なシール構造をとらなくても樹脂漏れを防止することができる。

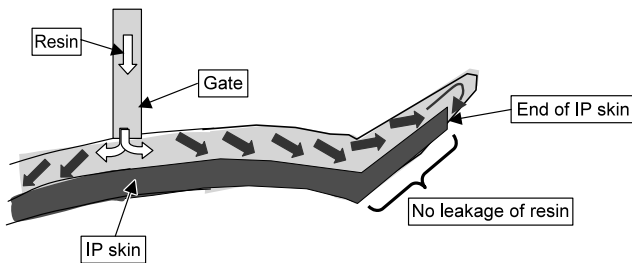


Fig.4 Plastic Filling toward the End of IP Skin

一方、樹脂流動方向が表皮端末と平行となる部位については、樹脂圧力により表皮が金型へ押さえつけられる前に樹脂が表皮意匠面に回りこんでしまう (Fig.5)。

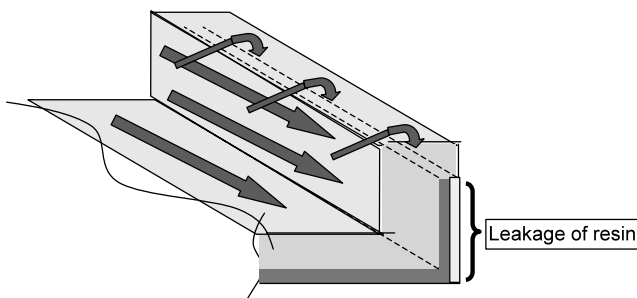


Fig.5 End of IP Skin (Before Improvement)

当部位のようにゲートの位置、角度の見直しで樹脂フローを表皮端末に面直方向になるように制御できない場合は、対策として製品端末形状にシール面を1面追加した。狙いは、①樹脂の流動する面を増やして流動方向を表皮端末に面直方向に向けること、②樹脂がまわり込んでも追加

した1面で抑えることで意匠面には影響を与えないことである (Fig.6)。

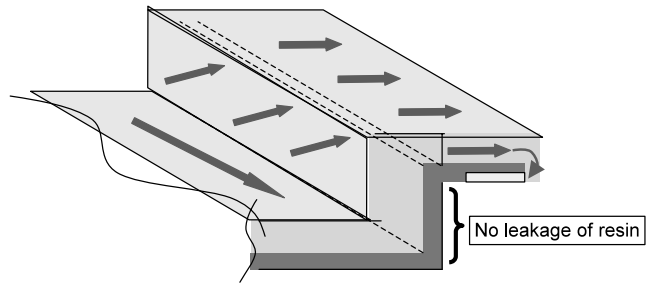


Fig.6 End of IP Skin (After Improvement)

以上の対策に加えて、表皮を金型に密着させるための造りこみを行った。その阻害要因となるのは、表皮成形時の部位ごとの展開率の違いである。展開率がデザイン形状により部位別に異なるため、表皮板厚についても部位別に異なる。この板厚の違いが表皮インサート時のスキとなるため、表皮展開率、成形後の残板厚の測定をし、VF型 (表皮成形型) の形状調整を行いINJ金型と表皮インサート時のスキをつめる対応を行った。

以上によりCX-7においては樹脂漏れを防止することができた。

3.2 開発課題への対応 (ゲートアタック)

ゲートアタックとは、表皮インサート後に樹脂材料を充填する時にゲート直下の表皮表面にツヤむらが発生することである。原因はゲート直下部の表皮が、高温、高圧の樹脂にさらされることにより表皮表面近くまで溶けるためである。

表皮材のTPO (オレフィン系熱可塑性エラストマー) はゴム質を多く含み、熱により表皮が軟化、溶融されやすい。そのため射出温度、圧力の影響により表面のツヤむら、絞だれが発生しやすい。そこで表皮構成を射出温度、圧力の影響を受けにくいPPのパッキング層を含むTPO+PPの2層構成とした (Fig.7)。

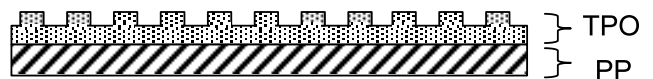


Fig.7 Skin Composition

TPOとPP層の厚みの決定については、PP層を厚くすればよりゲートアタックの影響を抑えられるが、PP層を厚くTPO表皮を薄く設定すると、表皮の触感でソフト感が得られにくい点、表皮成形 (VF成形) 時に偏肉によるラインが意匠面に出る点のデメリットが発生する。偏肉とは2層の伸び特性が異なるものを成形した時に、2層の構成間で伸び率の差によるずれが発生し表皮だまりができ、それが表面に凹凸として表れることである。CX-7ではこれらを考慮して、TPO、PPの適正な設定比率を決定した。

ゲートアタックへの対応を完全なものにするために、表皮側の対応に加えて、基材側の射出成形時の樹脂流動を分散させる対策をあわせて行った。

ゲート設定角度を表皮板厚に平行に近づけることで表皮に直接当たる部位のゲート面積を広くし、表皮意匠面へのダメージを軽減させた (Fig.8)。

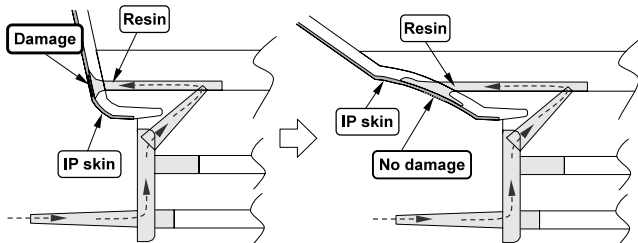


Fig.8 Set Angle of Gate

更にゲート点数を増やし射出時間を短くすること、すなわち高温、高压にさらされる時間を短くすることでゲートアタックの影響を軽減させた (Fig.9)。

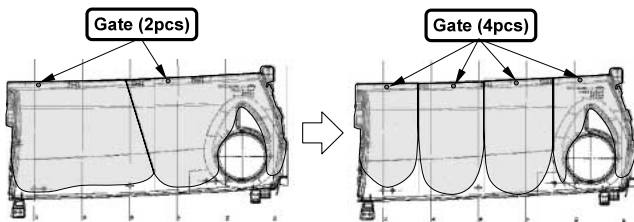


Fig.9 Number of Gate

以上により、ゲートアタックによる表皮表面への影響を抑えることが可能となった。

4. 表皮一体INJ成形による効果

4.1 新工法の効果

生産性改善、工程削減を主目的に開発を行った表皮一体INJ成形であるが、表皮質感UP、リサイクル性向上、低VOC化についても狙いどおり効果を出すことができた。

4.2 表皮質感UP

ゲートアタックの対応として表皮構成をPPパッキング層を含む2層構成とすることで、絞の再現性において質感を高めることができた。

まずは表皮加工工程の絞の転写についての効果である。表皮に絞ロールを押し付け反転させ絞を転写するが、硬質のPPがTPO表皮裏面にあることにより、表皮全体として弾性変形が抑制され表皮の反発によるもどりが発生しにくくなるために絞の転写性が向上し、より深い絞を入れることが容易になった。

次に表皮成形 (VF成形) 時の効果である。デザイン形状により表皮の展開率は部位別に異なり、部位によって絞

流れが問題となるが、伸び特性の異なるPP層を持っているため局部展開しにくく、表皮 (TPO層) の展開率を抑制できるために絞が流れにくくすることができた。

以上より製品の仕上がりを狙いの絞形状に近づけることができ、デザイン意図を忠実に再現することにより表皮質感UPに寄与できた。

4.3 リサイクル性向上

表皮の貼り込みについて接着剤を排除しINJ樹脂 (PP) と表皮材 (TPO + PP) を溶着させており、オールオレフィン化が達成できリサイクル性向上に寄与することができた。

4.4 低VOC化

従来の表皮接着貼込工法では接着剤を用いて表皮と基材の貼り付けを行っている。接着剤には指定物質のトルエン、キシレンを含んでいるが、表皮一体INJ工法にて表皮と基材を溶着させることで接着剤レスが達成でき、VOC低減に寄与することができた。

5. おわりに

CX-7では表皮一体INJ成形の実現により、インパネ上面への表皮の設定を低コストで実現できた。加えて表皮意匠面の絞の質感を上げることができ、高品質のインテリアの実現に大きく寄与することができたと確信している。

著者



貞野雅人



高岡哲也



徳長幸穂



寺岡 晋

特集 : CX-9

7

CX-9の紹介 Introduction of CX-9

竹下 仁*1 土井 歩*2 松本正義*3
Hitoshi Takeshita Ayumu Doi Masayoshi Matsumoto

要 約

CX-9は北米戦略モデルのひとつに位置づけられたマツダのフラッグシップモデルである。我々はCX-9を企画するにあたって、まず北米での3列シートSUVのトレンドやカスタマニーズを徹底的に調査・分析した。その結果、ユーザの求めているのは伝統的なSUVでもミニバンでもない、全く新しいタイプの3列シートSUVであることがわかった。そこで我々は、マツダDNAであるZoom-Zoomをベースに「エモーショナル」と「プレステージ」にフォーカスした、従来のSUVとは一線を画した7人乗りクロスオーバSUVの開発に着手した。CX-9の商品コンセプトは「Mazda DNA On-road 3 row SUV」。このコンセプト実現のためにSporty / Prestige / Versatility / Safetyの4つのキーバリューを設定、それぞれのキーバリューを満足すべく最新の技術を織り込んでいる。これよりCX-9はスタイリングや性能、機能性といったあらゆる面で非常に高い競合力を持つとともに、フラッグシップとしてマツダDNAを高いレベルで体現している。

Summary

CX-9 is the Mazda's flagship model positioned as one of the North America strategy models. We began by researching and analyzing trend of 3-row seat SUV and customer needs in North America in planning for CX-9. According to the results, we learned users were looking for all-new 3-row seat SUV, neither traditional SUV nor Mini-van. We therefore launched development of 7-seat Crossover SUV that draws a clear distinction from conventional SUV, focusing on "Emotional" and "Prestige" based on Mazda's DNA : Zoom-Zoom. "Mazda DNA ON-road 3 row SUV" is CX-9 product concept. To realize this, we established 4 key values : Sporty / Prestige / Versatility / Safety and incorporated leading-edge technologies to meet each value. This allows CX-9 to embody Mazda's DNA at high level as the flagship model, as well as to possess strong competitiveness in all aspects such as Styling, Performance, and Functionality.

1. はじめに

CX-9は、マツダモメンタムを完結させるため、北米市場のニーズに焦点をあてて、MNAO (Mazda North American Operations) メンバとともにデザイン・開発を行った北米戦略モデルである。マツダ独自の際立つデザインやすぐれたダイナミック性能に加えて、マツダのフラッグシップに相応しいトップクラスの居住空間と想像を超える多彩な機能性を実現している。本稿ではそのCX-9の商

品概要を紹介する。

2. 商品コンセプト

CX-9の商品コンセプトは、「Mazda DNA On-road 3 row SUV」。お客様がマツダブランドに対して要求する基本性能を満足する一方で、その期待を上回るエモーショナルかつ、高品質なデザイン・運動性能を提供する次世代の7人乗りクロスオーバSUVである。このコンセプトを実現するため我々は次の4つのキーバリューを設定し開発に着手した。

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

- ① Sporty : マツダDNAをフルサポートし、従来の3列SUVの常識を超えるデザインとハンドリング
- ② Prestige : プレミアムブランドと比較しても遜色ない高級感あふれるスタイリングとクラフトマンシップ
- ③ Versatility : 家族の多様かつ多忙な生活をサポートする、抜群の使い勝手
- ④ Safety : SUVを選択するカスタマの期待に応える安心感と、最新の安全性能

CX-9は先行して北米に導入されているCX-7と同様、従来のSUVとは一線を画した全く新しい存在であるが、これらキーバリューのうち“Prestige”と“Versatility”がCX-7とは異なる要素である。

3. CX-9の特徴

3.1 デザイン

CX-9のエモーションかつ高品質なデザインを実現するため、コンセプトとして次の3つの柱を掲げた。

- ① Emotional : クロスオーバーSUVとしてのZoom-Zoomなスポーティさを表現
- ② Prestige : フラッグシップに相応しい高級感を表現
- ③ Newness : 新規参入としての存在感をアピールするユニーク性と新しさを表現

これらのコンセプトを実現するエクステリア・インテリアのデザインテーマおよび特徴を以下に示す。

(1) エクステリアデザイン

エクステリアデザインのテーマは「Prestigious and Exotic Emotion」。所有することを誇れる存在感あふれるデザインを目指した。このテーマを、パッケージングとスタイリング、高級感と躍動感を高い次元でバランスさせることで実現している (Fig.1)。特徴的なのは、フロントからリヤに流れる流麗なシルエット、力強い大径のホイールとタイヤ、張り出したフェンダ、傾斜したフロントウィンドウ、独自の台形をしたクロームエグゾーストパイプ、そしてリヤコンビネーションランプなどで、彫りの深いスポーティなファイブポイントグリル、ワイドで力強いバンパはまさにマツダのファミリーフェイスを表現している。



Fig.1 Exterior Design

(2) インテリアデザイン

インテリアデザインのテーマは、「Proud and Attractive Space」。このテーマを、マツダインテリアデザインDNAであるT字型インストルメントパネル、モダンな家具をイメージするセンタパネル&ドアトリムの縦方向のアクセント、ドアトリムのフローティンググリップ、最適にレイアウトされた魅力的なスイッチ類、高品質な素材を使ったアスレチックでスタイリッシュなシートなどによって実現している (Fig.2)。



Fig.2 Interior Design

3.2 パッケージング

CX-9は、そのエクステリアデザインからは想像できないパッケージングを実現している (Fig.3)。このパッケージングのキーとなっているのは、さまざまな体格の人を満足させるドライビングポジション、快適な後席居住空間と乗降性、そして十分で高級感のある収納スペース。これらについて以下で説明する。なお、CX-9の主要諸元をTable 1, 2に示す。



Fig.3 Packaging

(1) ドライビングポジション

さまざまな体格のドライバが容易に適切な運転姿勢を得られるよう、ステアリングにはチルト&テレスコピック機構を標準装備とし、ドライバーズシートにはクラス最長のスライド量およびリフト量を誇る8wayパワーシートと、3名までのシートポジションを記憶できるメモリシートをオプション採用した。

(2) 居住空間

CX-9はそのロングホイールベースを活かし、クラス最大レベルの居住空間を創出している。2列目シートは6:4分割可倒式で、クラス最長のレッグルームとニークリアランスを誇り、3人が余裕を持って座れることはもちろん、前後ロングスライドとリクライニング機能を採用している。また、3列目シートは5:5分割可倒式で、着座姿勢の自由度とレッグルームの広さはクラストップである。

(3) 乗降性

ロングホイールベースは、居住空間だけでなく乗降性にも大きく寄与している。片手でワンアクションで2列目シートをウォークインスライドさせると3列目への大きな乗り込みスペースが確保される。このスペースは足元、腰周りともにクラス最大であり、大きく開くリヤドアと相まって卓越した乗降性を実現している。また、2列目においても、フロアと面一でかつ幅の狭いサイドシルおよびドア構造を採用することによりクラストップレベルの乗降性を確保している。

(4) 収納スペース

荷室は、3列目使用時でもクラス最大、大型セダンをも

しのぐ約487Lを実現している。リフトゲートからワンアクションで出し入れ可能な3列目をホールドダウンすると約1,370Lというスペースが確保でき、更に2列目までホールドダウンすると約2,850Lもの広大なものとなり、1.9m×1.5mの床面積を確保できる。その他、荷室下のクラス最大のサブトランクボックス、1Lサイズのペットボトルをも収納可能な蓋付きカップホルダ、CDを20枚収納可能な大型リヤコンソールボックスなど、CX-9は多彩な収納スペースを確保している。

Table 1 Exterior Dimension

	(mm)
	CX-9
Overall Length	5074
Overall Width	1936
Overall Height	1728
Wheelbase	2875

Table 2 Interior Space

		(mm)
		CX-9
Driving Position	Telescopic Steering	50
	Driver's Seat Slide	260
	Driver's Seat Lift	55
2nd Row	Leg Room	1010
	Knee Clearance	117
	Seat Slide	120
3rd Row	Leg Room	824
	Accessibility	Foot Space 225
		Hip Space 660

3.3 パワートレイン

CX-9のパワートレインは、次の4つのコンセプトをベースに開発を行った。

- ① マツダDNAのサポート
- ② パフォーマンスと燃費の両立
- ③ エミッション性能の達成
- ④ 心地よいサウンドと静粛性能の達成

これらのコンセプトを次に紹介する3つのシステムで実現した。

(1) 新V6 3.5Lエンジン

新開発のV6エンジンは、可変バルブタイミング/インテークマニホールドの最適化/ハイフローヘッドポート/CCC (Closed Coupled Catalyst) と大容量サイレンサのコンビネーションによる低排圧化により、パフォーマンス/燃費/エミッション/静粛性を高い次元でバランスさせている (Fig.4)。主要諸元をTable 3に示す。



Fig.4 New V6 3.5L Engine

Table 3 New V6 3.5L Engine Specification

		CX-9
Model Code		CYV
Engine Displacement		3,496 cc
Bore x Stroke		92.5 x 86.7 mm
Compression Ratio		10.3:1
Emission	Fed.	Tier 2/Bin5
	Calif.	ULEV II
Max Power		263HP / 6250rpm
Max Torque		249ft-lb / 4500rpm
Fuel Economy Label	2WD	18/24 mpg
	4WD	16/22 mpg
Recommended Fuel Type		87 Octane
Throttle Control		Electric
S-VT		w/
Cylinder Head & Block Material		Aluminum

(2) 6速オートマチックトランスミッション

CX-9は、新開発のV6エンジンのハイパワーをスムーズかつ効率的に伝達するため、6速オートマチックトランスミッションを採用した。このオートマチックトランスミッションはアクティブマチックを備え、高速走行時の高燃費、優れた加速性能を実現するとともに、ドライバのスポーツドライビングの要望も満足する。

(3) 電子制御アクティブトルクコントロールカップリング 4WD

CX-9は4WDもしくは2WDの二種類の駆動方式を選択できる。4WDシステムはマツダスピード6、CX-7で定評のある電子制御アクティブトルクコントロールカップリング4WDを採用している。このシステムは、車速、車輪速、エンジン制御状態から運転状況と路面状態を認識し、リヤディファレンシャル部に装着したアクティブトルクカップリングを制御することにより、前後の駆動力配分を最適にコントロールしている。

3.4 ダイナミックパフォーマンス

CX-9のダイナミックパフォーマンスの目標は、マツダDNAにミートし従来の3列SUVの常識を越えたスポーティな性能を実現することで、「Dynamic Quality (走りの質)」をコンセプトに開発を進めてきた。このコンセプト実現のため、以下の3つのキーポイントに取り組んだ。

- ① Driving Pleasure：ボデーサイズを感じさせない運転する楽しさの実現
- ② High Stability：あらゆる条件下（天候、路面、積載）でも、安心して走行できる高い安定性
- ③ Isolation Feel：ドアを閉めた瞬間から外界とは一線を隔した、高い遮音感

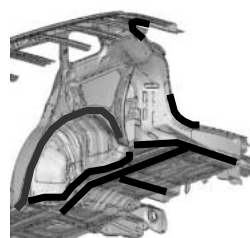
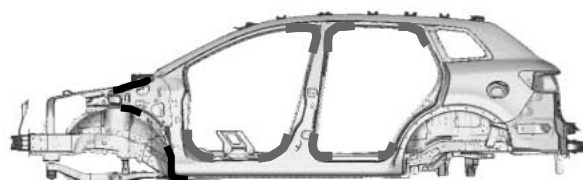
以下ではダイナミックパフォーマンスのキーとなるボデーおよびシャシーの特徴を紹介する。

(1) ボデー

安定した乗心地と機敏なハンドリングの基本となるのは高いボデー剛性である（Fig.5）。CX-9では特にステアリング&ハンドリング性能に直結している車体変形リニアリティに着目し、車体ヒス低減構造を取り入れた。具体的には、レーザ溶接（マツダ初）/ウェルドボンド/スポット溶接点数の大幅増加によってこれを実現している。各技術の適用部位をFig.6に示す。これにより従来車比30%車体変形リニアリティを向上し、乗心地および減衰感の改善に貢献している。



Fig.5 Body Rigidity



- Laser Welding
- Weld Bond
- Spot Welding: Increase Point

Fig.6 Area of Laser Weld & Weld Bond & Increase Spot Weld

(2) シャシー (Fig.7)

フロントサスペンションは、マクファーソンストラット式サスペンションを採用した。ペリメータフレームは6点ラバーマウントとすることにより、リニアで俊敏な操縦性の基本となる高いサスペンション支持剛性の確保と、騒音・振動を抑制するためのしなやかさを両立した。また、ボールタイプのストラットベアリングおよび横力コントロールスプリングの採用により、スムーズなステアリングフィールと乗心地を実現している。

リヤサスペンションは、アテンザの技術を継承したマルチリンク式リヤサスペンションおよび4点ラバーマウントを採用した。各リンクの配置は、走行時の外力に対して後輪のアライメントを常に適切にコントロールするよう最適化している。特に、ロールセンタ高さの適正化によりロールの大きさ、フィーリングを改善し、またトレーリングアーム取り付け位置を高くすることにより、ブレーキング時の浮きを小さくして安定性を高めている。タイヤはP245/50R-20とP245/60R-18をグレード展開している。



Fig.7 Suspension

3.5 クラフトマンシップ

CX-9はマツダのフラッグシップとして相応しいクラフトマンシップを実現するために、高品質・精緻な造り込み/機能美/カスタマデライトに着目した開発を行った。

(1) 高品質・精緻な造り込み

エクステリアでは高品位なヘッドランプ&リヤコンビランプ、クロム処理を多用したモールやガーニッシュ、高輝度塗装による深みのある立体感を持たせたホイールなど、

インテリアではインストルメントパネルやドアトリムのサイドに縦に走るアクセント、繊細なダブルステッチなど、細部にわたる入念な仕上げにより高品質感を実現している。

(2) 機能美

機能美は、乗員の操作しやすさや快適性を人間工学に基づき追求した。例えば、非常にやわらかく快適な仕上げとしたドアトリムアームレスト。これはロングドライブにおいても快適さをドライバに提供できるよう、さまざまな車種のForce-Stroke特性を評価し目標を設定、実現している。この他にも空調・オーディオスイッチの操作感やグローブボックスの開閉力についても同様の取り組みを行っている。

(3) カスタマデライト

マツダのフラッグシップとして相応しいカスタマデライトのアイテムのひとつとして、室内各所に間接照明を施しオプション採用した (Fig.8)。メータ、コンソール、前後のドアトリムには淡いブルーの間接照明を、オーディオパネルには操作に応じてイルミネーションが反応するアクションイルミを施しZoom-Zoomを表現している。



Fig.8 Indirect Illumination

3.6 セーフティ

CX-9は、商品コンセプトで掲げた、SUVを選択するカスタマの期待に応える安心感と最新の安全性能、を実現するため、アクティブセーフティ、パッシブセーフティともにさまざまな安全システムを採用している。

(1) アクティブセーフティ

アクティブセーフティの大きな特徴はDSC (Dynamic Stability Control) と最先端技術であるRSC (Roll Stability Control) を全車標準装備としていることである。DSCは横滑りを防止するシステムとして一般的となっているが、RSCはマツダ初のシステムで、ボデーのロール度合いと車輪速センサにより車両が修正の必要な走行状態であると判断すると、瞬間的にエンジントルクを低減し必要な車輪にブレーキをかけることで車体を水平状態に保つアクティブセーフティシステムである。

(2) パッシブセーフティ

パッシブセーフティにおいては、マツダ独自の高剛性・安全ボデー構造Mazda Advanced Impact-energy Distribution and Absorption Systemやスマートエアバッグ、サイドエアバッグの採用はもちろん、1-3列をカバーするロールオーバー検知機能付きのSRS (Supplemental Restraint System : 乗員保護補助装置) サイドカーテンエアバッグも全車標準装備とした。このカーテンエアバッグは横からの衝突時だけでなく、車体のロール角を検出することで車のロールオーバーを予測して作動、乗員の障害や外部に放出されるリスクを低減する。

3.7 装備

CX-9にはフラッグシップに相応しいさまざまな装備をオプション採用している。

(1) 電動パワーリフトゲート

インパネSW、アドバンストキーから自動で開閉でき、またリフトゲート下端に装着されたSWにより自動で閉じることができる電動パワーリフトゲートをセグメントで初めて採用した。

(2) Bluetoothハンズフリーフォン

このシステムは、Bluetooth対応携帯電話の場合、音声操作によって電話の発信、着信や通話が可能となるもので、マツダ初の採用である。ドライバはステアリングを握ったままの状態で見線移動することなく電話操作をすることができ、主に走行中の安全性を向上させている。

(3) Rear Seat Entertainment System

CX-9に採用したRSES (Rear Seat Entertainment System) は9inchの大画面BOSE®5.1chサラウンドシステム、11スピーカーを備えた後席用カーエンターテインメントシステムである。このシステムはビデオ/オーディオジャック、AC電源も備えており、車内に持ち込んだビデオゲームなどを接続し楽しむこともできる。

4. おわりに

CX-9はこれらの最新の技術が織り込まれるとともに開発陣のStylish / Insightful / Spiritedという3つの熱き思いが込められたマツダのフラッグシップモデルである。その優れたスタイリングや性能、機能性により、我々のCX-9がお客様の忙しい生活の中のオアシスとなり、そして楽しく快適なカーライフを提供することを確信している。

著者



竹下 仁



土井 歩



松本正義

特集 : CX-9

8

CX-9のデザイン Design of CX-9

鈴木 英樹*1

Hideki Suzuki

要 約

MazdaデザインのDNAであるダイナミックかつエモーショナルなスタイリングと3列シートの優れたパッケージを融合した “ Prestigious & Emotional Crossover SUV ” が今回紹介するCX-9である。北米戦略車種として、2列シートのCX-7に続き3列シートのミディアムクロスオーバーSUVセグメントに投入するニューモデルである。従来の3列シートを持つクルマたち（ミニバン、コンベンショナルSUV、など）にはない新たな価値を提供するとともに、北米市場におけるMazda商品群のトップエンドモデルとしてのクオリティの高さとZoom-Zoomを発信し、Mazdaブランドの更なる成長を図るモデルの実現を目指してデザイン開発に取り組んだ。

Summary

We introduce CX-9 here, “ Prestigious & Emotional Crossover SUV ”, a fusion of dynamic and emotional styling based on Mazda Design DNA and excellent 3rd-row seat package. This new model targeted at North American market is to be released into the segment of medium cross-over SUV with the 3rd-row seat, following on the 2nd-row seat CX-7. We took a progressive approach to design development, not only for providing a new value which the current 3rd-row seat cars (such as Minivan and Conventional SUV) do not have, but also for showing the Zoom-Zoom and its high quality as a top-end model among the Mazda products in the North American market. All these efforts have realized a model for further growth of Mazda brand.

1. はじめに

私は2000年の夏までの4年間、Mazda North American Operations (以下MNAO) のIrvineデザインスタジオに赴任しデザイン開発に参画した。この4年間の業務と現地での生活体験がCX-9デザイン開発の助けになった。当時のファミリーカーはミニバンが全盛で、私も日常生活には欠かせぬ車としてMPVを日常の足に週末のロングドライブに活用した。ファミリーの足としては最適な道具だった。ところが2000年以降ミニバンが急速に減少し始め、現在では路上やショッピングモールのパーキングでミニバンを見ることが少なくなった。3列シートを持つSUVやクロスオーバーSUVが取って代わったのである。CX-9開発当初の市場調査でもミニバンはサッカーママのクルマとかハウスワ

イフ・カーと表現され、旧来のSUVは無骨で洗練さに欠ける車種になっていることが調査結果から判明した。彼らのライフスタイルを演出する魅力が求められていることも判明した。ファミリーのための魅力的な価値を提供し、新時代の、新しいピープルムーバの創造がCX-9デザイン開発のミッションといえた。更に、早期に市場導入するべく、従来にない短期開発で商品化を実現するタスクを帯び、MNAOチームも参画したプログラムチーム一丸になった開発体制でデザイン開発を進めた。

2. デザインコンセプト

2.1 デザインコンセプト

我々はCX-9のデザインコンセプトを “ Prestigious and Emotional Crossover SUV ” とした。

*1 プロダクションデザインスタジオ
Production Design Studio

開発当初、北米カスタマーのライフスタイル等カスタマー調査を行い、チームで綿密なコンセプトを構築した。

日常の子供の送り迎えやショッピング、ホリデーのファミリードライブやアウトドアレジャー、週末の夫婦だけの演劇鑑賞や友達夫婦とのディナーなど、カスタマーの多様なカーライフをサポートし、それぞれのシーンで使用する喜びと所有する誇りを提供したいと考えた。アクティブな使用シーンにふさわしいスポーティイメージとフォーマルな使用シーンに映えるプレステージ性を兼ね備えたクルマ、そんな多様化したライフシーンをセンスよく演出したいと願うカスタマーの期待に応えるデザインを目指した (Fig.1)。



Fig.1 Image CG

2.2 コンセプトの3本柱

デザインコンセプト実現のため、我々は以下の3本柱を設定しデザイン開発に取り組んだ。

- (1) Mazdaらしい7シータクロスオーバーSUVとしてのエモーショナルスポーティ表現
- (2) 北米市場におけるMazdaのトップエンドモデルにふさわしいプレステージ性の表現
- (3) 存在感をアピールするユニーク性と新しさの表現

これらの3点を実現し、わくわくする期待感と想像以上の機能性をカスタマーに提供することをCX-9のデザインの目標とした。Mazdaが初めて投入する3列SUVセグメントでカスタマーの目を引き付ける登場感と多種多様なクルマたちが混在するフリーウェイの上やパーキングなどで見た瞬間にMazda車であることが識別できるデザインでなければならないと考えた。

3. エクステリアデザイン

3.1 エクステリアデザインテーマ

エクステリアのデザインテーマは“Prestige and Exotic Emotion”である (Fig.2)。

このクラスにカスタマーが求める期待を超えるデザインの実現にはどのようなシーンでもかもし出す上質なイメージと品質の高いデザインが重要なポイントと考えた。同時に、静止状態でも息づく動感を感じる躍動感あるプロポーションとフォルム、安定感あるスタンス等、MazdaデザインDNAを継承し、更にCX-9独自の個性的なキャラクターづくりを追求した (Fig.3, 4)。



Fig.2 Exterior Theme Sketch



Fig.3 Front Quarter View



Fig.4 Rear Quarter View

3.2 パッケージとプロポーションのベストバランス

プロポーションはデザインコンセプトを具現化する最も重要な基本フレームである。CX-9では全体のシルエット、キャビンとボデーのバランス、基本のキャラクタライン、タイヤのサイズ等、を美しいバランスで調和させ、遠目で見ても識別できる骨格を与えることに注力した。競合他車に対して室内長の長い3列シートのパッケージングを活かし、フロントからリヤにかけてスムーズに流れるシルエットを作ることで伸びやかでエレガントなCX-9独自のプロポーションが構築できた。特に上級グレードには20インチタイヤを採用し、CX-9の持ち味であるダイナミックでスポーティな印象を強調した。

リヤドアでキックアップするベルトラインはCX-7との共通性を見せるデザイン要素であり、張り出したリヤフェンダのキャラクタラインと調和し、安定感のある堂々としたたたずまいを実現した (Fig.5)。



Fig.5 Side View

3.3 フロントフェイスデザイン

“ Proud Family Face ” をフロントデザインのテーマとし、カスタマーが所有する喜びや誇りを持てる prestige性の高いデザインを目指した。

基本構成を立体的な彫りの深いスポーティな5ポイントグリルとワイドで厚みのあるバンパの構成で自信ある表情づくりを行った。また、モールディングの最適な量も吟味しながらデザイン開発を進めた。ヘッドランプ、フォグランプ、グリルバーとバンパインテーク内のバーにクローム

メッキを採用し、トップエンドモデルに相応しい上質感を表現した (Fig.6)。



Fig.6 Front Face

3.4 エクステリアディテールデザイン

ディテールデザインはクルマ全体の中できらりと光るアクセントを与え、アイキャッチとなるデザインを意図した。ランプ類は台形や平行四辺形をモチーフに外郭形状と調和した立体構成を行い、クロームメッキの仕上げで上質な印象を強調するとともに、モチーフを重ねるデザイン処理を行い立体感と動きを表現した。台形デザインを採用したエキゾーストガーニッシュはリヤデザインにアクセントを与え、遠目で見てもCX-9とわかる個性化を狙ったものである。20インチアルミホイールにはハイライトを際立って見せる高輝度シルバーカラーを採用した (Fig.7)。



Fig.7 Exterior Details

4. インテリアデザイン

4.1 インテリアデザインテーマ

インテリアデザインのテーマは “ Proudly and Attractive Space ” とした。

ドアを開けた瞬間に見るものを引きつける魅力と運転する楽しみを予感させるコックピットまわりのデザインに加え、ドライバシートに座ると心地良く包み込まれた安心感とゆとりを感じるインテリア空間を目指した。

4.2 インstrumentパネルデザイン

InstrumentパネルはMazdaインテリアデザインDNAであるTシェーブ構成を継承している。骨太でシンプル&クリーンな基本構成とワイドなコンソールを採用することで心地良い包み込まれ感とリッチな空間を演出した (Fig.8, 9)。



Fig.8 Interior Theme Sketch



Fig.9 Instrument Panel

4.3 パーティカルアクセント

縦と横に立体的に交差するキャラクターがCX-9インテリアの特徴である。センターパネル、ドアトリム、シートに採用したパーティカルアクセントでCX-9インテリアデザインの個性を際立たせた。特にセンターパネルのサイドとドアトリムの縦のアクセントに加飾を採用することでCX-9独自の記号性を強調し、モダンなインテリア空間に仕上げた (Fig.10)。



Fig.10 Vertical Accent

4.4 フローティンググリップドアトリム

ドアトリムはフローティングしたグリップを採用し、トリム空間を広く見せるとともにパーティカルアクセントのテーマを際立たせる効果を狙った。また、流れるようなカーブを描いたグラフィックと2トーンカラーにより、エレガントで上質なイメージを与えた (Fig.11)。

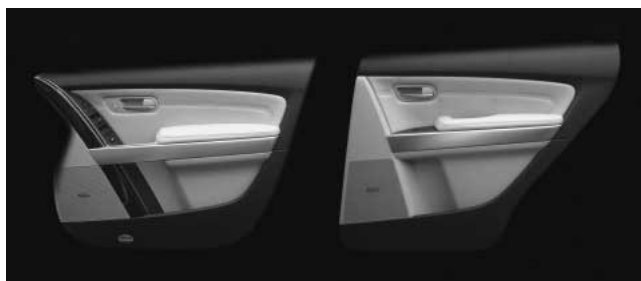


Fig.11 Door Trim

4.5 インテリアディテールデザイン

メータゲージ、オーディオノブ、空調コントロールノブにはシリンダモチーフを採用。視認性と操作性の向上とともに個々の明かな機能表現を狙った。ATインジケータにはシルバーカラーとピアノブラックの加飾のコンビネーションを施し、MazdaのDNAであるワクワクするエキサイトメントと質感の高いデザインの両立を目指した (Fig.12)。

コンソールおよびドアトリムの手や肌が触れる部分にはソフトな素材ときめ細かいステッチを採用し、タッチ感の良さや質感の高いアピランスをデザインした。

メータゲージ、スポットライト、ドアトリムにブルー間接照明を採用し、夜間、室内全体を洗練された空間に見せると同時にストレージなどを優しく照らす配慮を行った。シリンダモチーフと立体感あるメータゲージはメタルの文字盤がブルーの間接照明で浮かび上がる新世代ブラックアウトメータを採用。オーディオコントロール部には操作に反応して点灯するアクションイルミネーションを採用し、エンタテインメント性とインターフェイス機能の進化を図った (Fig.13)。



Fig.12 Interior Details



Fig.13 Blue Indirect Illuminations

4.6 アスレティック7シート

前述のとおり、CX-9は3列シートパッケージを持つが、ファミリー臭さを排除したアスレティックでスタイリッシュな空間を目指した。1stシートと2ndシートにはドット柄のレザーによるパーティカルアクセントを与え、縦の流れを強調した。2ndシートはボリューム感あるシート形状のほかにストレージとカップホルダを備えた幅の広いアームレストやリヤシート専用の空調コントロールを採用し、快適な居住空間を実現している。3rdシートは快適性を実現しながら室内全体に渡る上質でスポーティな空間づくりを追求した。3rdシートへのアクセスは2ndシートの操作性に優れたフォールディング機構と幅広いリヤドアの開口と相まって競合車を凌駕するアクセス性を実現した。ダイナミックなスタイリングからは想像できないCX-9のアドバンテージといえる (Fig.14)。

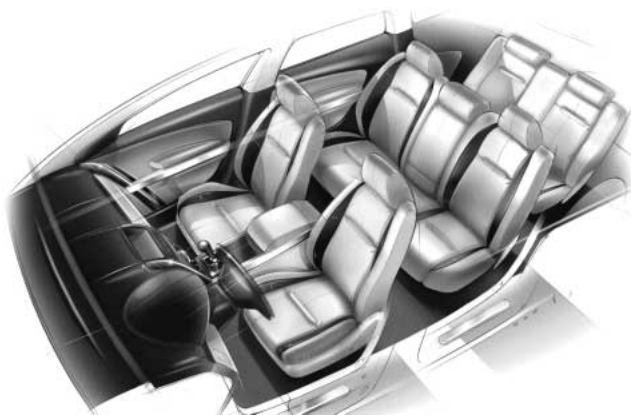


Fig.14 7 Seater Sketch

5. カラー & マテリアル

5.1 カラーデザインテーマ

カラーデザインテーマは“ Deep and Lustrous Rich ”。日本の伝統工芸である漆をイメージし、ボデーカラー、インテリアカラーともに深み感、光沢感、滑らかな質感表現を重視し、デザインした。

5.2 ボデーカラー

ボデーカラーは全8色を設定。CX-9の上質感を強調するためダーク系の色域を主体にシックなニュートラルカラー系、深みと艶のあるカラードブラック系、ブルーとレッドのキャラクタカラー系の3つのレンジで構成した。カリフォルニアの夕陽を美しく反射させる姿やロスアンジェルスやニューヨークの都会の光を映して表情を変えるリッチなボデーカラーをイメージした。深みと光沢感に加えクロームメッキモールディングが映えるStormy Blue MicaはCX-9の個性を強調するイメージカラーである (Fig.15)。



Cristal White Pearl Mica



Liquid Platinum Metallic



Brilliant Black Clearcoat



Galaxy Gray Mica



Black Cherry Mica



Sparkling Black Mica



Stormy Blue Mica



Copper Red Mica

Fig.15 Body Color Variation

5.3 インテリアカラー

インテリアカラーはサンドベージュを基調にブラックとのコンビネーションカラーのブラックで統一した2種を設定。サンドベージュは明るい色調に加えて、ブラックとのコントラストがあるエレガントなスポーティイメージを意図した。ブラックは全体の落ち着いた印象にシルバーカラーの加飾パーツのアクセントでノブールなスポーティイメージを狙った。パーティカルアクセントの加飾パネルにはレッドウッドとピアノブラックの2種を設定し、グレード展開を図った (Fig.16, 17)。



Fig.16 Sand Color Interior



Fig.17 Black Color Interior

6. おわりに

CX-9の開発をスタートして以降、他社も同じセグメントへ新商品を投入してきており、激戦が予想されるが、機能性とスタイリングを高いレベルで実現したCX-9はその競争力を発揮してカスタマーから絶対的な支持を受けることを確信している。私自身、いつかこのCX-9を駆って長年の思いであるルート66を走りながら北米大陸を横断してみたいと考えている。最後に、短期開発の中で、CX-9の商品化を実現できたのは関係者が一丸となり、終始高いモチベーションを発揮した成果である。この場をお借りして、関係者の努力に感謝したい。

著者



鈴木英樹

特集 : CX-9

9

CX-9のパッケージング Package of CX-9

今岡直浩*1 田中英樹*2 河手功*3
Naohiro Imaoka Hideki Tanaka Isao Kawate
松本政憲*4 高橋克征*5 山際剛*6
Masanori Matsumoto Katsuyuki Takahashi Tsuyoshi Yamagiwa

要約

CX-9は、今後成長が見込まれるミディアムクロスオーバー3列シートSUVセグメントにおいて、お客様の要求する基本性能を満足する一方で、マツダブランドとしての躍動的で力強いスタイリング・運動性能とフラッグシップとしての高い品質を持たせることで、独自の価値を追求した。

パッケージにおいても、狙いのスタイリングを実現したうえで、日常の使い勝手と大人7名が使える空間の実現を目指し、これを実現するために、以下に注力して開発した。

- ・快適でスポーツカーライクな運転を享受できるドライビングポジション
- ・快適な2列目、3列目の空間確保と3列目シートへの容易なアクセス性の両立
- ・所有することに誇りが持てる上質な品質感と日常での使い勝手

本稿においては、これらの特徴について紹介する。

Summary

Within medium-sized and 3rd row seat crossover SUV segment, which has future growth potential, CX-9 has pursued its unique value by satisfying customer-demanded basic performances, and developing a model with Mazda-brand dynamic and energetic styling, dynamic performance, and high-quality flagship.

Focused on following features to realize the target styling, offer daily usability, and ensure enough space for 7 adults.

- Driving position, which drivers can enjoy comfortable and sports car-like driving.
- Ensure comfortable 2nd and 3rd row space, together with easy accessibility to 3rd row seat.
- High quality, which customers are proud of owing it, and daily usability.

Above features are explained in this report.

1. はじめに

マツダ初の3列シートSUVとしてグローバルな基準で設定したワイドトレッド&ロングホイールベースにより、既存の3列シートSUVを凌駕するハンドリングと走行安定性、スポーティで高品質なスタイリング・内装デザインを目指した。パッケージにおいても、大人7名が快適に過ごせる空間と必要な荷物が積める荷室空間の確保を狙いとし、スタイリングとパッケージを両立させることで従来のSUVにはない価値を目指して開発した。

2. パッケージの狙い

CX-9の、パッケージングにおいては、躍動感ある外観のスタイルからは想像できないゆとりの空間と使い勝手を實現した。

主な訴求ポイントは以下の点とした。

- ① フラッグシップとしての存在感あるスタイルと取り回し性の両立
- ② 運転を快適に楽しめるドライビングポジション
- ③ 大人が快適にくつろぐことができる後席の空間

*1 企画設計部
Basic Design Dept.

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

*4~6 装備開発部
Interior & Exterior Components Development Dept.

- ④ フラッグシップに相応しい上質なクラフトマンシップとカスタマデライト
- ⑤ 使い勝手の良い荷室，小物収納性

3. 存在感あるスタイリングと取り回し性の両立

3.1 存在感あるスタイリング

1,936mmのワイドボデーを採用のうえ，全長も競合車中トップの5,074mmとした (Fig.1)。更に，タイヤも競合車トップの大径ワイドタイヤ245/50R20を採用することで存在感あるスタイリングを実現した (Table 1)。

3.2 取り回し性の両立

くつろげる後席空間を確保するために，ホイールベースは競合車中トップの2,875mmを確保した。そのうえで，日常の使用に適應できる取り回し性の確保を目指し，フロントで1,654mmのワイドなトレッドを採用し，最小回転半径は競合車同等の5.8mを達成した。

4. 快適に運転が楽しめるドライビングポジション

4.1 ドライビングポジション調整機構の調整量

まず，フロントヒップポイント高を高く設定し，高いアイポイントによる見晴らしの良い前方視界を確保した。調整機構としては，ステアリングには，上下に調整できるチルト機構に加え，前後にも調整できるテレスコ機能を持たせた。更にシートには，前後方向で260mmのスライドと上下で55mmのリフタによる調整幅を確保した (Table 2)。これらにより，体格差を問わず好みにあったドライビングポジションが得られるようにした。

4.2 疲れにくく，しっかりサポートするシート

CX-9のシートはロングドライブでも疲労が蓄積し難い姿勢の保持性と，ワインディング走行でもしっかり体をサポートするサポート性の両立を狙って開発した。

(1) 疲れにくい姿勢の保持性

疲れにくくするためには第一に，腰椎部の支持剛性をしっかり確保することが有効であることから，全車にランバーサポート機能を設定した。加えて，背中上部をシートバック全体で分散して支えることにより，乗員が猫背姿勢にならないようにしている。乗員の状態が後傾すると胸部後転となり，首や肩の痛みや疲労が発生しやすくなる。これを防ぐために，耐圧分布の解析結果を活用し，シートバック全体で抜けなく平滑化して支持し疲れにくい姿勢の保持を実現させた (Fig.2)。

(2) ワインディング走行時のホールド性

ホールド性の面からは横Gがかかった際の乗員の横挙動を抑制することが重要である。一方で，快適性の面から乗員がリラックスできるゆったり感を大切にしたいことから，両者の両立を狙って開発した。この実現に向けては，影響の大きいサイドボルスタの形状と剛性に着目し走行評価などを行った。この評価をもとに，サイドボルスタの形

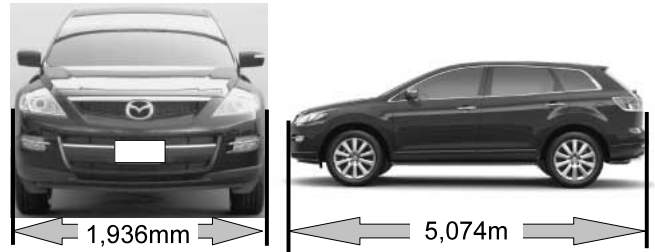


Fig.1 Exterior Dimensions

Table 1 Major Dimensions

	CX-9	A	B
Overall Length (mm)	5074	4775	4685
Overall Width (mm)	1936	1963	1825
Wheelbase (mm)	2875	2700	2715
Front Tread (mm)	1654	1684	1580
Tire Size	245/50R20	235/70R16	225/65R17
Min Turning Radius (m)	5.8	5.8	5.7

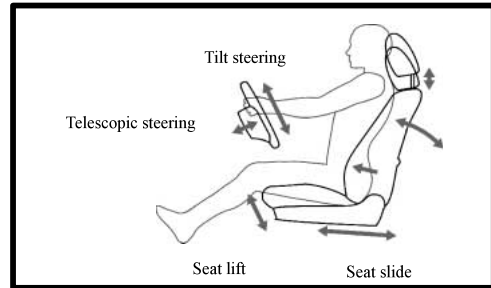


Table 2 Driving Position Adjustment

	CX-9	A	B
Seat Slide (mm)	260	242	240
Seat Lifter (mm)	55	40	43
Tilt Steering (mm)	45	36	28
Telescopic (mm)	50	-	-

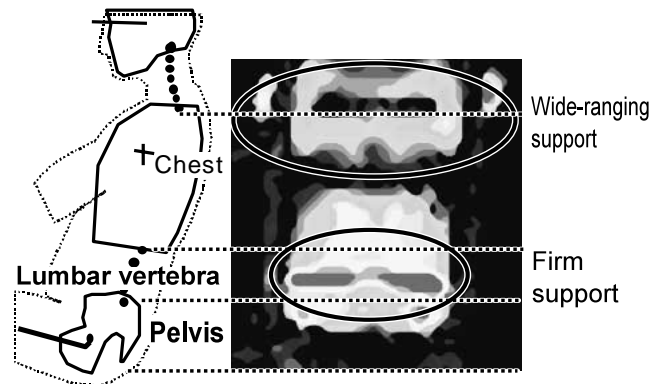


Fig.2 Front Seat Pressure Distribution

状と剛性を適切にチューニングし最適化を図ることで狙いを実現した。

5. 大人がくつろぐことができる後席の空間

5.1 広い空間と高い品質感を実感できる快適な2列目

ロングホイールベースの採用により、クラストップのレッグルームを確保できた (Fig.3)。加えて、左右のシートそれぞれにリクライニングの角度を調整できる機構と、左右乗員が同時に使用できる、幅280mmのワイドなシートセンターアームレスト (収納Box付き) を採用したことで、快適さと見た目の品質感においてもフラッグシップに相応しい品質を確保した。更に、リアコンソールには後席用の空調を配置することで前席並みの快適性を実現した。

5.2 快適性とアクセス性に配慮した3列目

ヒップポイント高を高めめに配置することにより、クラストップの着座姿勢とレッグルームスペースを確保した。加えて、アクセス性に対する配慮として、ドア開口角度でクラストップの72度を確保すると同時に、2列目の左右シートそれぞれに独立した前後305mmのロングウォークインスライドを設定した。その結果、乗り込みスペースにおいてもクラストップの660mmを確保した。これらにより、乗り降りのしやすさと快適な空間の両立という狙いを達成することができた (Fig.4)。

6. クラフトマンシップ

マツダでは、クラフトマンシップに対する基本的な考え方として、①人間工学の徹底追究とデザイン造形の調和による機能美 ②仕上げまとまり、見映え、操作性などの基本的な造り込み ③カスタマーに驚きと感動を与えるカスタマデライトの3つを定義し開発している。

CX-9においてもこの考え方を基本に、更にSUVに求められる顧客感度の高い下記視点に注力し開発を進めた。

- ・コンソール造形、アームレスト機能
- ・シルバー、メッキなどの質感
- ・メータ、オーディオの見映え等

6.1 コンソールの造り込み

SUVに求められる要素としてコンソールは重要である。そこで、日常ユースの中で安心してしっかり体が支えられるコンソールの横剛性に着目し造り込みを進めた。

Fig5は、同クラスSUV群のコンソール剛性特性の比較を示す。特にしっかり感を感じやすい膝の当たるフロント部 (d)とアームレストへ肘を置いた際のしっかり感への影響の高いリア部分 (a)において、クラストップの高いコンソール剛性を確保した。

6.2 造形と機能を融合させたアームレスト機能

240mm x 210mmの大型アームレストを採用し品質感ある造形を確保したうえで、機能面においても長距離走行で快適かつリラックスできる性能を目指した。実現に向けては、肘を置いた際のクッション特性に着目し、ドア側を含めて開発を進めた。その結果、触感の良いアームレストは、

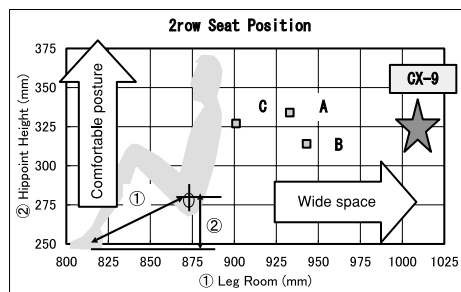


Fig.3 2nd Row Seat Position

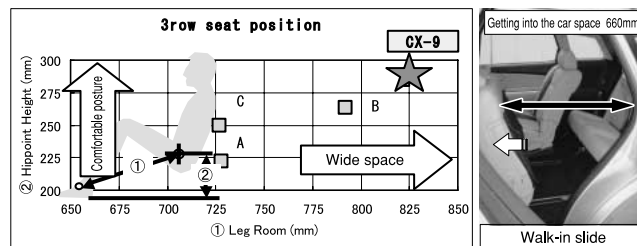


Fig.4 3rd Row Seat Position and Walk-in Space

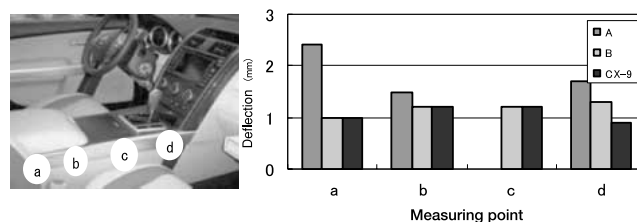


Fig.5 Comparison of Consol Lateral Stiffness

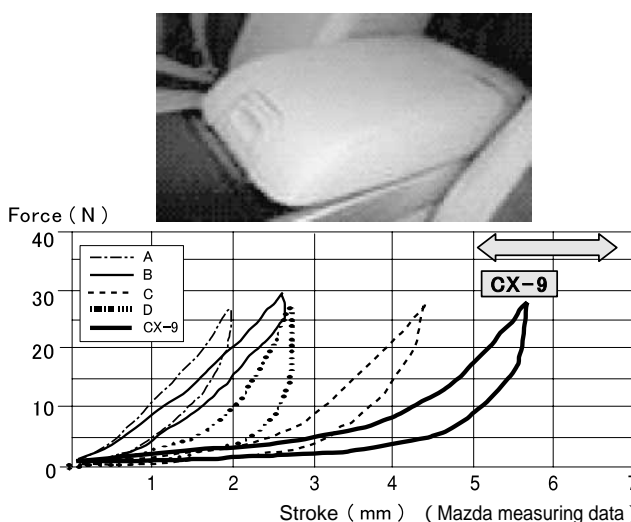


Fig.6 Deflection Variance of Armrest Cushion

底付き感がなくかつ柔らかく感じるストローク変化の大きいものが望ましいことが判った。CX-9ではコンソールをインテリアデザインの1つとして全体バランスを崩さないよう、アームレスト造形を維持しつつ快適性の高いクッション性能を実現させた (Fig.6)。

6.3 カスタマデライト

フラッグシップとしてふさわしい上質なインテリア空間を演出することを目標に、お客様に喜びと感動を与えるカスタマデライトの造り込みを行った。Fig.7にカスタマデライトの主要造り込み内容を示す。

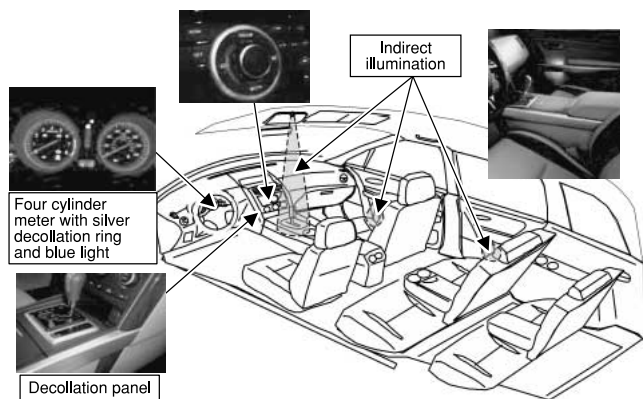


Fig.7 CX-9's Customer Delight

(1) 感動あふれるメータ

インテリアの顧客重視点の高いメータは、シルバーリング付きの4眼ブラックアウトメータを採用し、大口径のエンジン回転計、速度計には更にIG ONで時差点灯するブルーリングを設定した。お客様が運転席に座りIG ONした際、まずブルーリングを点灯させ、約2秒後に指針&文字盤を浮き上がらせることで驚きと感動を与える演出を行っている。

(2) 上質な空間を演出する間接照明

華やかな照明演出による煩わしさを避け乗員に心地良い雰囲気を提供するため、以下の場所を選定しチューニングを進めた。

① ダウンライト照明

フロントヘッダに設置したダウンライトブルー照明は、カップホルダを狙いとしてA/TシフトパネルとリヤコンソールBOX内の一部を照らすことで夜間でもぼんやり配置が認識できるよう、明るさと照射範囲をチューニングした。これにより、ホルダやBOX内へ入れた物が確認できる一方、シルバー加飾へブルー照明が当たることで暗闇の中でも加飾がほのかに浮き上がる演出も取り入れた。

② ドアトリム間接照明

各ドアに設定した間接照明については、暗闇の中でドアトリムのボトルホルダ凹面部とインナグリップ部を浮かび上がらせることを目標に、照射レンズを吟味し照射範囲と方向、明るさをチューニングすることで達成した。これにより、暗闇で放たれる光のイメージは幻想的なインテリアの雰囲気を醸し出し、他社にない独創的な演出が可能となった。

③ オーディオ音量SW周囲へのバックライト間接照明

オーディオ搭載車では音量ダイヤルSW操作で輝度が

変化するアクションイルミを織り込み乗員に驚きと感動を与える配慮も行っている。

(3) 品質感を与える加飾パネル

CX-9では高品質をより強く打ち出すために、インパネ及びドアに木目調、及びピアノブラック加飾パネルを採用した。この加飾パネルには、幅4mmのピンモールを加飾パネルに沿わせて走らせることで上質でかつ精緻感あふれる高い品質感を実現した。

7. 小物入れ

お客様の使用実態を調査し日常車内へ持ち込む頻度の高いグッズを効率的に格納できる場所とサイズを検討した。この結果、前席カップホルダ及び後席乗員の物入れに注力した。

7.1 リヤコンソールの商品力向上

後席のお客様からは、前席同様に快適な空調性能に対する要望が大きい。このため、リヤコンソールにおいては商品力向上を目指し、後席用空調の配置とコンソール容量の両立を目標に開発を行った。この実現に向けては、空調の噴出口位置の中央配置やダクトレイアウト長の適正化などの効率アップに取り組み、その結果、電源ソケットを配した4Lのコンソール容量との両立を実現することができた。更に、2個の大型1Lボトルが搭載できるカップホルダも確保し、後席をより快適にできるよう配慮したリヤコンソールを実現した (Fig.8)。

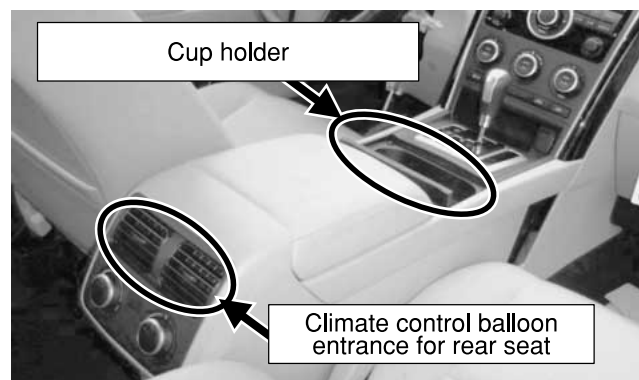


Fig.8 Around Rear Console

7.2 後席カップホルダ

(1) 2列目、3列目シート用カップホルダの確保

2列目席にはセンターアームレストへLサイズカップ2個、3列目席にはサイドトリムアームレスト部へMサイズカップと20オンスボトルサイズのカップが搭載できるスペースを確保した。これにより、室内トータルでは計12個のドリンクが置ける場所を確保している。

(2) ゲーム機も入る後席小物入れ

後席において、お客様の使用頻度が高いポータブルゲーム機は、2列目席アームレスト部及び3列目席カップホルダ部に、カップホルダの形状を工夫することで、それぞれ各種ゲーム機も収納できる配慮を行った (Fig.9)。

A = Portable game machine

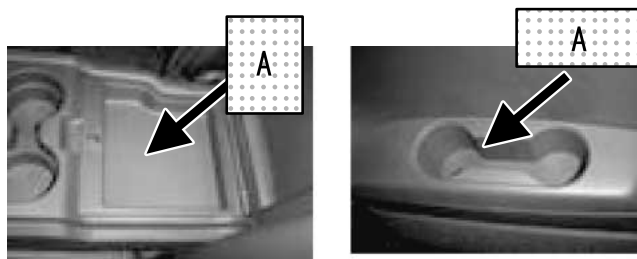


Fig.9 Ingenious Rear Cup Holder Shape

8. 荷室

CX-9では、3列目シートを使用した状態でも、日常の用途を満足できる荷室の使い勝手を確保することを狙いとして開発を行った。

(1) 見栄えに配慮した品質の造り込み

見栄えに影響を与える荷室の床面と3列目シートとの前後隙をなくすためにバタフライボードを採用した (Fig.10)。

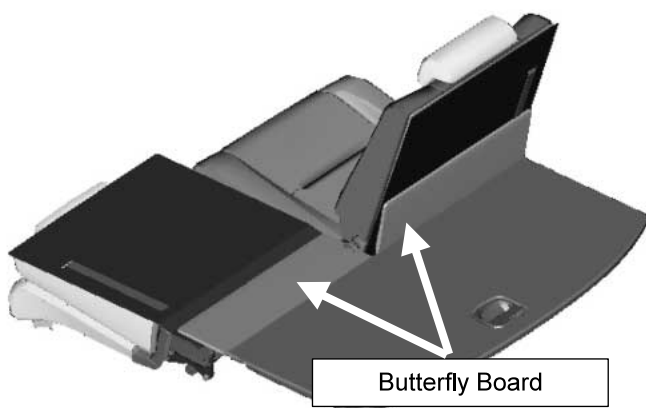


Fig.10 Butterfly Board

(2) 使い勝手への配慮

3列目シートを使用した状態でもゴルフバック2個を搭載可能な大容量を確保した。また、荷物の出し入れにも配慮し、リヤエンドは掃き出し構造とした。加えて、小物や汚れ物の搭載にも配慮し3列目シート後方の荷室床面の下に、クラストップレベルのサブトランク容量を確保した。これらにより、使い勝手の良い荷室を達成した (Fig.11)。



Fig.11 Cargo Room

9. おわりに

CX-9のパッケージは、マツダのフラッグシップに求められる、デザイン・品質とともにお客様の期待を超える快適性・使い勝手を実現できたと考えている。これらの商品魅力は、必ずお客様に実感いただけるものと確信している。

著者



今岡直浩



田中英樹



河手 功



松本政憲



高橋克征



山際 剛

特集：CX-9

10

CX-9のパワートレイン Introduction of CX-9 Powertrain

市川 潤一郎*1 大島 博文*2 森 宗 達 智*3
Junichirou Ichikawa Hirofumi Ohshima Katsunori Morimune
草 開 良 治*5 嶋 田 克 利*6 河 野 裕 人*7
Yoshiharu Kusabiraki Katsutoshi Shimada Hiroto Kawano

要 約

CX-9のコンセプトである、「満足のいく基本性能」・「エモーショナルかつ高品質な運動性能」を実現するパワートレインとして、新開発のV6 3.5Lエンジン、6速AT及び4WDシステムを選択し、これらにSportyかつPrestigeな走り、快適なP/T NVH性能、高い環境性能を実現する技術を織り込んだ。ここではその一端を紹介する。

Summary

Powertrain department has chosen newly developed V6 3.5 engine, 6th gear AT, and AWD system under our mission to materialize the CX-9 concept, 「Satisfying basic performance」・「Emotional yet high-quality dynamic performance」 and packaged engineering technique to realize Sporty and Prestige run, comfortable P/T NVH performance, and high environmental performance. A part of it is introduced here.

1. はじめに

CX-9のパワートレイン開発は、新開発のV6 3.5Lエンジンとそのパワーをスムーズかつダイナミックに伝える6速AT及びActive Torque Control Coupling (ATCC) 4WDシステムを採用することから始めた。ここではエンジンの出力性能、快適なP/T NVH性能、米国排気ガス規制ULEV2への適合技術、動力伝達システムを紹介するとともに、これらのパワートレインで実現したSportyかつPrestigeなパフォーマンスフィール性能について述べる。

2. CX-9のパワートレイン

2.1 パワートレインの目指したもの

CX-9のプロダクトコンセプトはMazda DNA On-road 3row SUV, 言い換えるとお客様の満足する基本性能とSportyかつPrestigeな運動性能を提供する次世代SUVである。これを実現するためにパワートレインは、

- (1) 高性能な新開発V6 3.5Lエンジンと6速ATの組み合わせにより、パフォーマンスフィール (P/F) 性能の領域でSportyかつPrestigeな運動性能の実現を目指した。

特に、アクセル操作に呼応するリニアで生き生きとした走りや発進や高速道路での追い抜きの加速性能の面では競合他車上位レベルを目指した。

- (2) 新開発V6 3.5Lエンジンにさまざまな低騒音・低振動技術を織り込み、クラストップのエンジン放射音の達成を目指した。加えて、エンジン回転に滑らかに追従するリニアな吸気源音と低排気音の実現にも取り組み、車格にふさわしい快適なP/T NVH性能の達成を目指した。
- (3) スムーズな排気ガス流れとCCC (Closed Coupled Catalyst) の組み合わせで米国ULEV2規制に適合する排気ガスコントロールの実現を目指した。

2.2 パワートレイン開発の体制と注力ポイント

新開発のV6 3.5LエンジンはFordが開発と製造を担当し、MazdaのCX-9を筆頭にFord車にも次々に搭載される。またCX-9はエンジンユニット以外でもいくつかの部品・システムをFord車と共用する。CX-9パワートレインの目標実現とFord車との共通化を念頭にFord開発部門と連携し協働開発を行った。そして、

- (1) CX-9の存在価値の1つである、「SportyかつPrestigeなパフォーマンスフィール」にふさわしいアクセルコント

*1 パワートレイン開発推進部
Powertrain Development Promotion Dept.
*5 パワートレインシステム開発部
Powertrain System Development Dept.

*2 エンジン設計部
Engine Engineering Dept.
*6, 7 ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

*3, 4 エンジン実研部
Engine Testing & Reserch Dept.

ロールとATシフトパターンの開発育成

- (2) すべてのP/T NVHのベースとして早い時期での見通しづけが要求されるリニアで快適なエンジン音質・吸気源音と低排気音の開発
 - (3) クロスオーバSport SUVにふさわしい高い駆動力を常に滑らかに4輪に伝えるときにも操縦安定性にも配慮した4WDコントロールの開発
 - (4) Fordとの協働体制によるP/F, 排気ガス規制, 燃費を高次元でバランスさせるエンジン及びATの制御開発
- 以上4点が開発の注力ポイントであった。

3. エンジン

以下に、開発の注力ポイントを実現するための主要採用技術を示す。

3.1 エンジン諸元

Fig.1に新開発のV6 3.5Lのエンジン外觀図, Table 1にエンジン主要諸元を示す。

3.2 高いエンジン性能と快適なP/T NVHの実現

新開発V6 3.5L エンジンのデザインコンセプトを、高出力と、リニアで快適なP/T NVHの実現と位置づけた。



Fig.1 New V6 3.5L Engine Appearance

Table 1 Engine Major Specifications

Engine	V6 3.5L Engine
Cylinder	V6-Cylinder
Bore × Stroke (mm)	92.5 × 86.7
Engine Displacement (cm ³)	3496
Compression Ratio	10.3
Valvetrain	DOHC 4 Valves
Number of Valves	4 per cylinder
Max. Power (HP/rpm)	263 / 6250 (New SAE)
Max. Torque (ft-lb/rpm)	249 / 4500 (New SAE)

(1) 高出力の実現

高出力を実現するために取り入れた主な技術はFig.2に示すように、1) アップインテークマニホールドの最適化、2) i-VCT (intake Variable Cam Timing) の採用、3) シリンドラヘッドインテークポートのハイフロ化、である。

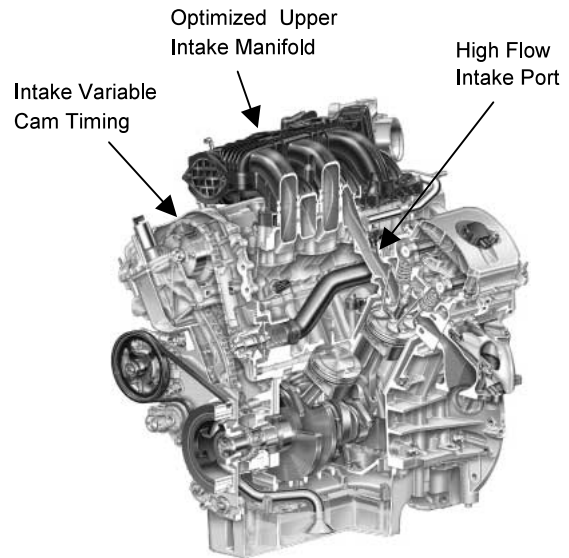


Fig.2 Major Adopted Engine Technology

1) アップインテークマニホールド

設計の初期段階で、高出力、低騒音、各気筒への混合気分配性能を高次元で最適化し、またコンパクト化、軽量化と低コストを実現するためにセンタ吸気タイプの樹脂製アップインテークマニホールドを採用した。

2) i-VCT (intake Variable Cam Timing)

油圧式ベーンタイプ40度位相のi-VCTを採用し、エンジン回転数、エンジン負荷に応じてバルブの開閉タイミングを最適に制御することで高出力を実現した。

3) ハイフロインテークポート

CAE解析と性能シミュレーションの活用により、吸気抵抗の低減と燃焼性能をバランスさせ、吸気効率の高いインテークポートを実現した。ハイフロインテークポートの効果をFig.3に示す。

これらのエンジン採用技術と後述する低排気圧の排気システムによりクラストップレベルの高出力/高トルクを実現した。

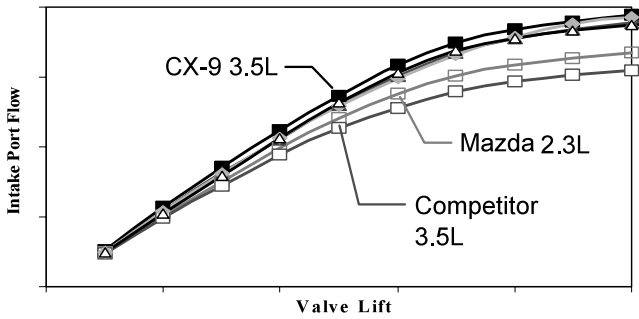


Fig.3 Outcome of High Flow Intake Port

(2) 快適なP/T NVH性能の実現

P/T NVH性能も初期段階から最終段階までFord開発部門との強い連携のもとで以下の開発を行った。

1) エンジン放射音の低減技術

開発の初期段階で、計12台のエンジン放射音を調査し、クラストップのエンジン(A社3L)を目標にした。放射音の代用特性として、主要8部品(シリンダブロック、ヘッド、クランク、オイルパン、カムカバー、フロントカバー、インテークマニホールド、エグゾーストマニホールド)の放射効率目標を設定し、構造解析とSAM (Structural Attenuation Method = 放射効率解析)を併用することで、目標を達成する仕様を見出した (Table 2)

Table 2 V6 3.5L Radiated Noise Projection

Sound Power @3,000rpm WOT (4mic. Ave.) by SAM

	A Co.'s V6 3L	CX-9 V6 3.5L	The incorporated specs and so on
	BIC Eng.	Initial D/R	
Block	78.7	76.9	The deep skirt aluminum cylinder block w. the increased stiffness
Head	76.0	76.0	-
Crank	79.1	78.0	The full counter crankshaft w. the bending force increased up to 6%
Girdle/Pan	73.7	79.0	The one-piece oil pan with the increased stiffness
Cam Cover	78.3	77.3	The aluminum isolated cam cover
Front Cover	78.0	80.0	The front cover with CLD (CLD is vibration-proofing material)
In. Mani.	77.3	84.0	The plastic intake manifold
Exh. Mani.	74.5	71.5	Fabricated Steel type to Iron type
Total	83.8	83.6	

インテークマニホールドの開発は、初期段階において、板厚とリブ形状を最適化し、コスト/重量低減と放射音低減を高次元でバランスさせた。

2) マウント付根振動の低減技術

ブロックへの振動入力低減のため、クランクシャフト曲げ応力を向上させたフルカウンタウエイトのスチールクランクシャフトを採用した。クランク支持剛性を高めるため、ベアリングキャップのサイドロック追加、全ベ

アリングキャップを連結するアルミ製Windage Trayを採用した。PPB周波数を向上させるため、シリンダブロックのディープスカート化、ミッション締結部にリブを配したアルミオイルパン、ミッションコンバータハウジングの放射状リブ構造を採用した。クランクシャフトの先端には、Dualマスダンパーリを採用することにより、280Hz帯の振動を3dB低減させている。

3) 吸気源音リニアリティ化技術

V6エンジンの基本次数音である3次成分音を高回転域までリニアに上昇させるために、センタ吸気のアッパイnteekマニホールドを採用した。車載吸気系には、小容量4個を合わせた複合レゾネータを採用した。複合レゾネータを詳細にチューニングすることにより、車載吸気系の共鳴を対策すると同時に、対策した回転領域で一旦音が消えるという違和感を生じさせることなく、4,000rpm以上においてリニアな吸気源音を実現した。

4) チェーンノイズ改善技術

チェーンノイズは、エンジンから車内音まで複数の伝達経路があり、加えてエンジン回転域毎に支配経路が異なっていたため、経路毎の寄与率分析を行い、寄与率の高い部位へTable 3施策を織り込むことで改善した。

Table 3 Improvement of the Interior Chain Whine

Eng. RPM	Root cause	Countermeasures
Entire area	Impact force when the chain gets into the sprocket	Cushion Ring Water Pump Sprocket, Load reduction in the Valve Spring
Idle	Increase in impact force by the bending resonance of the crankshaft	Dual-Mode Crankshaft Damper
1300 - 1400	Increase in vibration by the resonance of the exhaust system	.25lb Oil Pan Exhaust Bracket Mass, Exhaust Hanger Crossbar w/ .25lb Mass
1400 - 1600	Increase in vibration by the resonance of the No.1 Engine mount	No.1 Engine Mount D/D
1600 - 2000	Increase in vibration by the resonance of the No.3 Engine mount	No.3 Engine Mount Mass

これらの技術採用により、V6 3.5Lエンジンでは、クラストップのエンジン放射音 (Fig.4)、マウント付根振動 (Fig.5)を達成した。

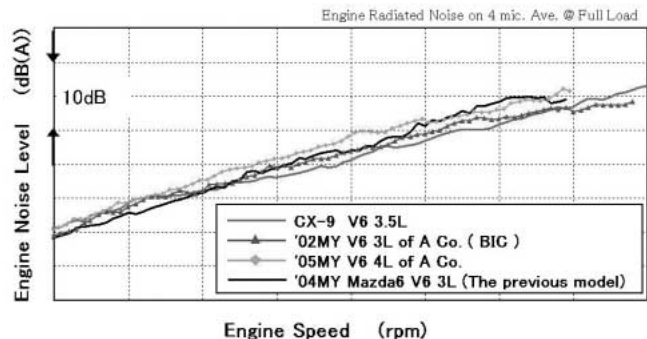


Fig.4 Engine NVH : Radiated Noise

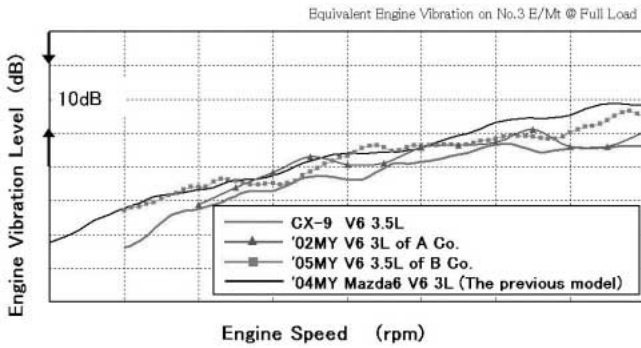


Fig.5 Engine NVH : Vibration

3.3 パフォーマンスフィール (P/F)

「SportyかつPrestigeなP/F」を実現する加速性能とリニアで生き生きとした走りは、電子制御スロットルボデーを採用した新開発V6 3.5Lエンジンと6速ATの特性を駆使して育成した。

(1) 加速性能

「お客様に満足して頂ける加速性能」を実現するため、急発進、及び市内やフリーウェイで力強く追い抜くようなシーンを想定し、全開加速性能目標を設定した。シミュレーションによる走行解析、新開発の高出力V6 3.5Lエンジンと、6速AT ギア比/シフトパターンの最適化を図った。その結果、Table 4に示すとおり十分な加速性能が得られこの目標を達成した。

Table 4 Acceleration Time (sec)

Mode	CX-9	Competitor A	Competitor B
0-60mph	10.2	10.3	11.0
30-50mph	3.9	3.9	4.4
50-80mph	10.0	10.0	10.9

(2) リニアで生き生きとした走り

「リニアで生き生きとした走り」を実現するため、市内やフリーウェイのそれぞれの走行シーンで、「良く走る、フィーリングが良い」と感じさせる走りの分析と育成を図った。また、電子制御スロットルボデーのコントロールによりアクセルの踏み込み量に対する車両の加速力がドライバの予測より少しだけ高くなるポイントを狙い、「レスポンス」と「コントロール性」が両立する開発を目指した (Fig.6)

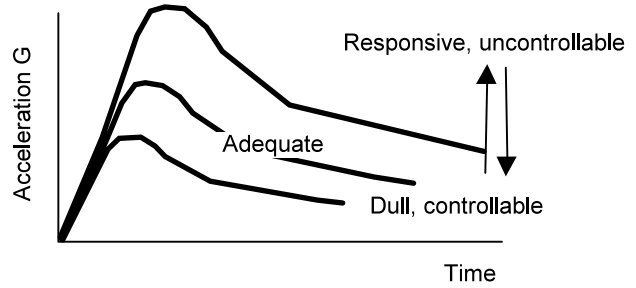


Fig.6 Acceleration G Vs. Time

1) 電子制御スロットルボデーの採用

アクセルの操作量に対するエンジンの出力を自由にコントロールするため、電子制御スロットルボデーを採用した。これによりCX-9はアクセル操作量のみならず、エンジン回転、車速の変化に対する適切なエンジン出力制御が可能となり、社内テストコース/ロスアンジェルス近郊での走行評価と解析を繰り返し、発進、市内走行、フリーウェイの走り目標性能を達成した。

2) アクセルのレスポンスとコントロール性の両立

Fig.7は、アクセル開度に対するエンジン出力である。発進時は1速ギアでタイヤの駆動力が大きいためエンジン出力を抑えた。フリーウェイ走行時は、6速ギアでタイヤの駆動力が小さいためエンジン出力を強めにした。また、例えば6速から5速にシフトダウンする前にエンジンが最大に近い出力となるよう制御することで、多段AT車に起こりがちなシフトビジーを低減した。市内走行時は、発進時とフリーウェイ走行時の中間の特性にした。

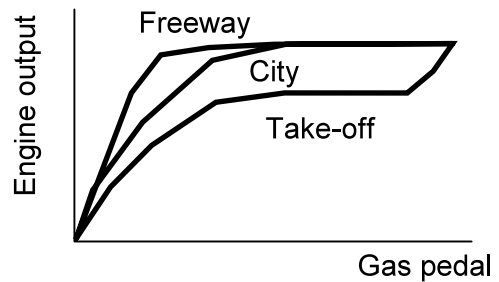


Fig.7 Engine Output Vs. Gas Pedal

3.4 排気系システムの取り組み

(1) 環境性能への取り組み

環境に優しい、クリーンなエンジンを実現すべく、米国のULEV2規制に適合できる排気エミッションシステムを開発した。通常、CCC (Closed Coupled Catalyst) とU/F CAT (Under Foot Catalyst) を併用することでクリーンな排気ガスを実現するが、本エンジンはCCCのみで規制を達成した。これは、排気ガスの流れをスムーズにして、CCCの性能を十分に発揮することで、エンジン始動直後のCCCウォームアップ性を改善し、かつ、耐久性を確保したことによる。これにより、重量、コストの低減とともに

に、排気システムの通気抵抗を抑え、高出力化を実現できた。Fig.8にCCCのレイアウトを示す。

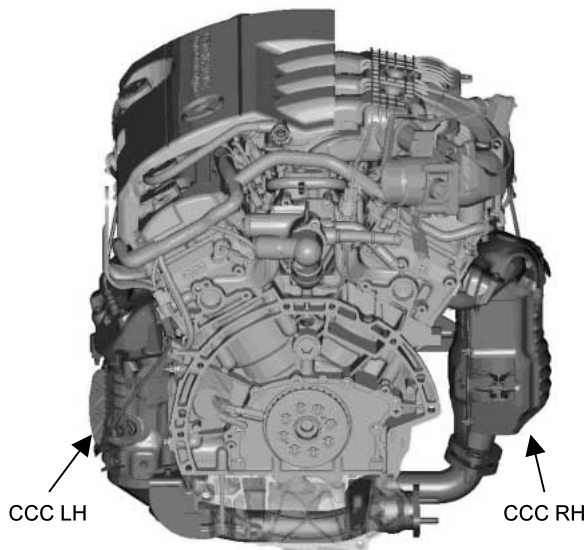


Fig.8 Layout of CCC (Closed Coupled Catalyst)

(2) 高出力とNVH性能への取り組み

本エンジンは、静粛で快適なエンジン排気音と、高出力に貢献できる低排圧排気システムを実現させた。これは、2006年に販売されたMPVの排気システムをベースに、更に改良したものである。プリサイレンサには、吸音+拡張タイプを採用し、7.8Lの大容量を床下に格納している。その下流で、排気ガスの通路を2つに分岐させて、13.3Lのメインサイレンサを左右に設置することで、低排圧のデュアル排気システムを実現させた。メインサイレンサはクラムシェルタイプにすることで、狭い床下スペースに効率良く、最大限のサイレンサボリュームを確保することができた。Fig.9に排気系システムの全体図を示す。

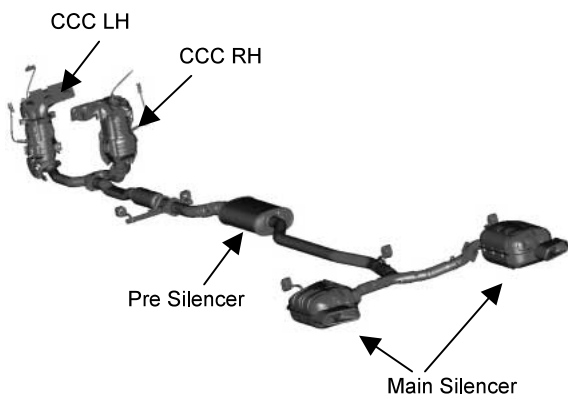


Fig.9 Exhaust System Overall View

4. トランスミッション

CX-9の新開発3.5L エンジンと組み合わせるトランスミッションとして6速ATを採用した。この6速ATはMazda 6及びCX-7で北米市場に導入しているが、今回CX-9に搭載するにあたり更に進化させた。このトランスミッションの概要と採用した技術を以下に紹介する。

4.1 6速ATの開発の狙い

CX-9の走りと燃費を高次元で両立させ、マイルドなシフトクオリティの実現と静粛性の向上を目的に導入したこの6速ATの各訴求点と織り込み技術をTable 5に示す。

Table 5 Target Point and Adopted Technology

Target point	Adopted technology
(1)Performance feel	Active adaptive shift.(AAS)
(2)Fuel economy	Slipping control
(3)Shift quality	Real time and best hydraulic pressure control on the basis of the engine torque signal and the rotation signal.
(4)NVH	Power plant bending modification. The point that ties to the engine is increased. The total length shortening.

4.2 ハードウェア

Table 6にトランスミッション（呼称AW6A-EL）の主要諸元を、Fig.10にその構造を示す。

CX-9用6速ATは、MAZDA 6及びCX-7用6速ATをベースに共通部品を使用しながら、大排気量・大トルクに対応した。その特徴を以下に示す。

新開発3.5Lエンジンとの組み合わせに対し、出力特性に最適なトルクコンバータ性能及びファイナルギアレシオを選定した。

Table 6 Transmission Major Specification

	CX-9	CX-7	MAZDA6
Total length(mm)	370.7	392.0	378.2
Gear ratio	1st	4.148	←
	2nd	2.370	←
	3rd	1.555	←
	4th	1.154	←
	5th	0.859	←
	6th	0.685	←
	Rev	3.393	←
F.G.R	3.464	3.749	3.464

ファイナルギアレシオはMAZDA 6と同一の3.464。

これにより100km/h巡航時のエンジン回転数はMAZDA 6比で13%、CX-7比で10%低減し、1,800rpm未満での走行が可能となり、大排気量SUVにふさわしい高速巡航時の静粛性と燃費性能の両立に貢献した (Fig.11)。

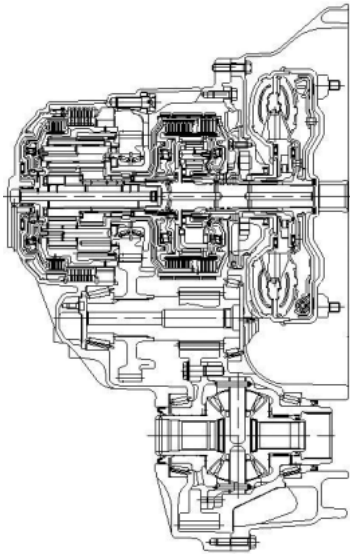


Fig.10 Sectional View of 6EAT

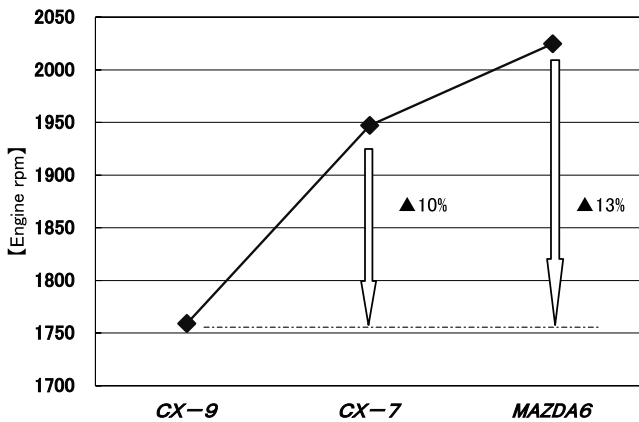


Fig.11 Engine Speed at 100 km/h

4.3 NVH性能の向上

本ATは、エンジンとの結合剛性を向上させるために、エンジンとの締結点数を増やし、トランスミッション全長を短縮した。

更にモーダル解析結果によるコンバータハウジングの基本形状やリブ配置、肉厚の最適化を実施した。これにより3.5Lの大トルクによる起振力にも対応可能なPPB (Power Plant Bending) 性能を確保し、高い静粛性を実現した。PPB性能向上のための解析の例をFig.12に示す。

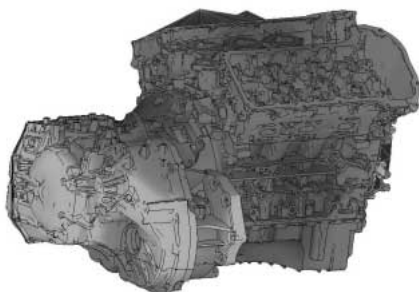


Fig.12 Example of Modal Analysis

4.4 制御システム

(1) トルクフル&リニアな走りの実現

『SportyかつPrestigeな運動性能』を提供するために、路面勾配によって変速段を切り替えるスロープコントロールシステムに加えて、アクティブ・アダプティブ・シフト(AAS)を新たに採用した。

AASは、RX-8に採用したドライバの加速要求度と走行状態履歴より変速段を切り替えるアクティブ・シフトを更に進化させたものである。進化した点は、①ドライバのアクセル操作や車両加減速度の履歴からドライバの加速要求度を推定するシステムと、②平坦路や登降坂路、直線路や屈曲路等の履歴から走行環境を推定するシステムを持たせたことである。これら①加速要求度と②走行環境の組み合わせから変速段を最適化することにより、従来よりも更に走行フィーリングが向上した。CX-9では、USA市場向けに最適なキャリブレーションを実施し、通常走行中は主に4~6速を使ってエンジン回転を低回転に保ちながらスムーズで快適な走行を、そして、登坂路やアグレッシブな走行をする場合は、3~5速を主体にトルクフルでコントロール性の良い走りを実現することができた。

AASの効果が現れる代表的な走行シーンである「フリーウェイへの進入」時の作動をFig.13に示す。

進入旋回時には3速を保持し、必要な駆動力とリニアなレスポンスを確保しながら、その後の合流加速&レーンチェンジ時のアクセルのON/OFFに対しても走行環境推定により不要な変速をせず3速 4速 5速とスムーズな加速を実現している。

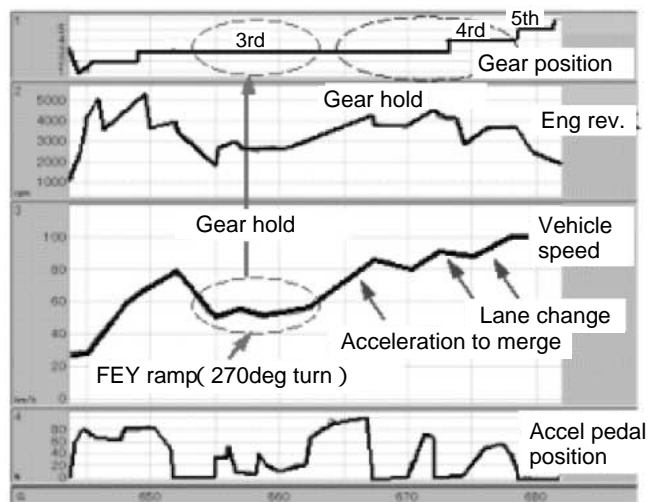


Fig.13 Representative Example Freeway Merging

(2) 燃費の向上

これらの変速制御に加え、この6速ATでは、加速時にロックアップコンバータのすべり損失を低減するスリップ制御を採用し、トルクコンバータのトルク伝達ロスを低減し、燃費を向上させた。

(3) 上質なシフトクオリティの実現

『満足のいく基本性能』として、上質なシフトクオリティを実現するために、高精度の油圧制御システム及びエンジンとの協調制御システムが必要となる。この6速ATでは、6個のリニアソレノイドと2個のON/OFFソレノイドを搭載する油圧システムを採用し、各変速種毎に締結及び開放するクラッチ・ブレーキ圧を各々独立して精密に制御できるようにした。

更に、エンジンとの協調制御システムで、変速時に適切なトルクダウン量と応答性を高次元で両立させ、上質なシフトクオリティを安定して達成することを実現した。

4.5 4WDシステム

Mazda CX-9は、Fordプログラムと共通のプラットフォームを採用することを前提として開発された。4WDシステムについても、MPV用4WDシステムをベースとしながらFord 4WDシステムとの共通化を追求しつつ共同で開発を進めてきた。

(1) 4WDシステム基本構成

CX-9用4WDシステムは、アクティブトルクコントロールカップリング方式による電子制御4WDシステムである。アテンザスポーツワゴンに採用して以来、さまざまな商品への適用を重ね進化させてきた。CX-9の4WDシステム基本構成をFig.14へ示す。

(2) 4WD制御仕様

クロスオーバーSport SUVとして、本電子制御4WDシステムの特徴である卓越した雪上走破性並びに登坂性能を確保した上で、オンロードでのドライビングパフォーマンスを追求した。そのため、雪上用制御マップ及びオンロード用制御マップのキャリブレーションを、それぞれの走行シーンで最適となるように決定した。

(3) 4WDドライブラインユニット

先に述べたように、CX-9のドライブラインは、MPVのドライブラインをベースとしている。基本コンセプトは踏襲しつつ、後輪駆動力を取り出すPTU (Power Transfer Unit) は小型・高トルク容量(出力軸1,500Nm)のユニットを新規開発した。本PTUは、Fordグループ内の各ブランドで共通使用することを前提として、両社の車両搭載要件、性能ターゲットを満足させた上で、共通仕様のユニットとなるよう、両社開発部門が共同で開発を行った。本PTUの狙いは、大出力エンジン搭載とタイトなスペース制約条件の中で小型・高トルク伝達容量のユニットとすることであった。最大の課題は、PTUとエンジンブロック間、及びPTUの右側面に配置されるCCC RHとのスペースを十分確保できないことであった。前者に対しては、PTUを3軸タイプとして、第1軸に配置されるドライブギア径を90mmに抑えつつ、高いギア増速比：2.926を実現した (Fig.15)

また後者に対しては第3軸のベアリング支持構造を工夫

することによりリングギア歯幅をアップしギア強度を確保した上で両ベアリング間距離を4mm短縮した。支持構造比較図をFig.16に示す。更に第2軸支持にはニードルベアリングを採用しコンパクト化を達成した。

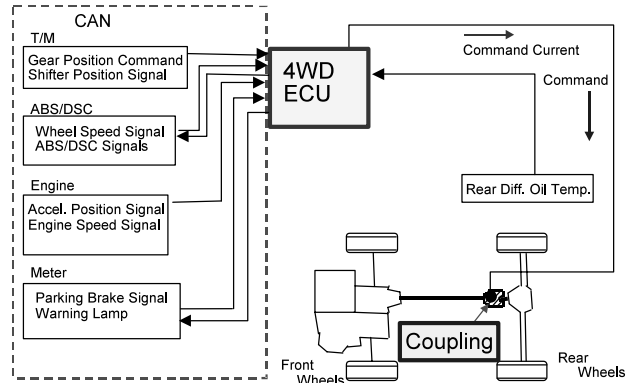


Fig.14 4WD System

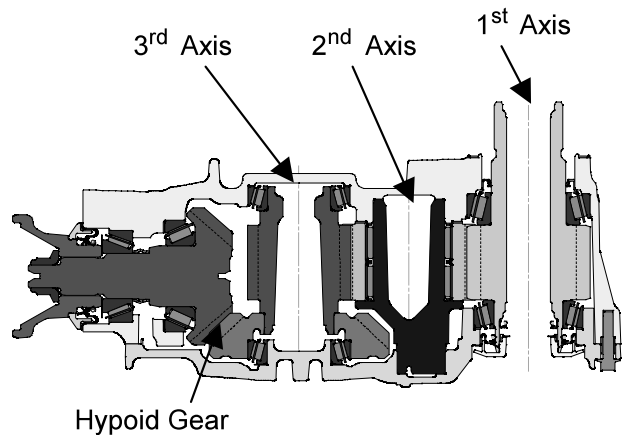


Fig.15 Sectional View of PTU

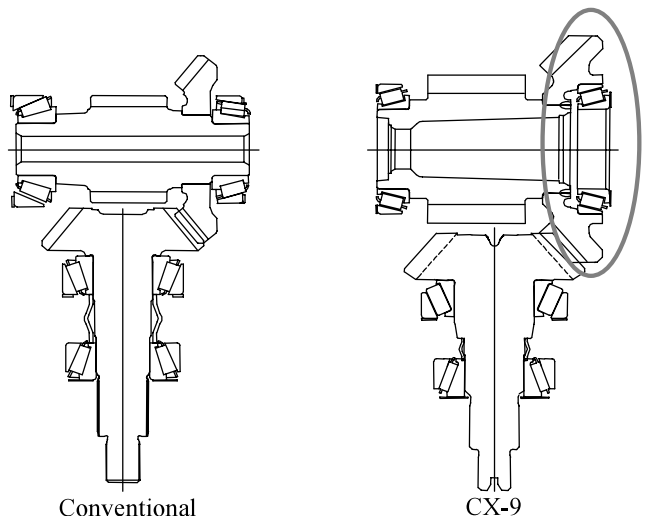


Fig.16 Supporting Structure

高トルク容量実現に向けては、ハイポイドギアに等高歯を採用し、大径リングギア（200mm）の採用とともに高いギア強度を確保した。更に疲労強度アップのためハイポイド、ヘリカル全てのギアにはショットピーニング処理を施している。リングギアをレーザ溶接後、ハイポイドギアセットのラッピングを実施、ケース剛性確保からはスクイーズキャストを採用しギア支持剛性を確保した。これによりギア歯当たり精度を高めギア強度を確保するとともにギアノイズを抑制している。

5. おわりに

以上のような開発を経て、CX-9パワートレインは、お客様に対してMazdaフラッグシップカーにふさわしい「満足のいく基本性能」・「エモーショナルかつ高品質な運動性能」を提供できたと確信している。これはFord開発部門をはじめ、生産部門/購買部門、関係サプライヤ等多くの方々の強力なサポートのおかげである。

この誌面をお借りして、厚くお礼を申し上げたい。

著者



市川潤一郎



大島博文



森宗達智



草間良治



嶋田克利



河野裕人

特集：CX-9

11

CX-9の車体剛性の開発 BODY Rigidity for CX-9

富岡 敏憲*1 執行 貴彦*2 望月 浩孝*3
Toshinori Tomioka Takahiko Shigyou Hirotaka Mochizuki

要 約

CX-9は、北米最適商品として次世代をリードする「Sporty/Prestige」をコンセプトとしたマツダのフラッグシップモデルであり、Zoom-Zoomな運動性能と高級車としての上質な乗り味を両立させたミディアムクロスオーバーSUVを実現化すべく高剛性ボデーを開発した。

ボデーの高剛性化にあたり2t級の車両重量を支え、245/50R20というこれまでにないBigサイズのタイヤからの入力を受け止めるには、これまでの乗用車の域を超える強靱な車体が必要であった。

その達成手段として、まずは既に量産化され好評を得ているMPVをベースとしたSUV車として車体剛性、NVH性能に有利なラダーフレームのプラットフォームを有効に活用しながら、アッパーボデーの開発に注力し適切な断面確保、各部位の結合構造の強化、リインホースメントの最適配置を行うことでバランスのとれた軽量かつ高剛性の車体構造を実現した。

本稿では、CX-9の車体の構造的特徴とその性能について述べる。

Summary

For CX-9, one of Mazda's flagship models, under the concept of "Sporty/Prestige" to lead the next generation N.A. product, highly-rigid body structure was developed so as to achieve "Zoom-Zoom" kinematics performance while having luxurious ride comfort for a medium crossover SUV. In order to support the vehicle weight of 2t and bear the input from unprecedentedly large tire sizing 245/50R20, a far stronger body than conventional passenger vehicles is required. To this end, based on MPV which has been produced and received well, we decided to utilize the ladder frame platform favorable for body stiffness and NVH performance. Focusing on the upper body, we developed well-balanced light weight and highly-rigid body structure by securing appropriate cross sections, strengthening individual connections, and optimizing distribution of reinforcements. In this paper, the structural characteristics and performance of CX-9 body is explained.

1. はじめに

マツダのボデーシェルはアテンザ以降、車両のダイナミック性能で競合車を凌ぐために、操縦安定性・乗り心地のポテンシャルを飛躍的に向上させるべく、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できている。

CX-9においても北米における欧州プレミアム車と互角に渡り合える性能を実現すべく、その骨格となる車体剛性

開発には特に注力した（Fig.1）

車体剛性が大きく影響する上質な乗り心地を我々は剛性感という指標に置換え欧州車をベンチマークした。上質という領域を見ていくとき、そこから感じられる特徴的な領域の、しっかり感とリニヤ感の造り込みを徹底的に追求した。その達成手段として静剛性、等価剛性、車体位相遅れという3つの特性に注力した。

しっかり感を出すためには、静剛性および等価剛性のレ

*1 ボデー開発部
Body Development Dept.

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

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

ベルアップ、そして全体の剛性バランスの最適化、リニヤ感を出すために位相遅れの低減が必要である (Fig.2)。

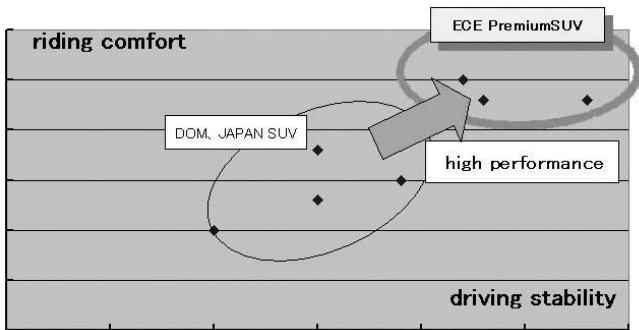


Fig.1 Riding, Driving Ratio

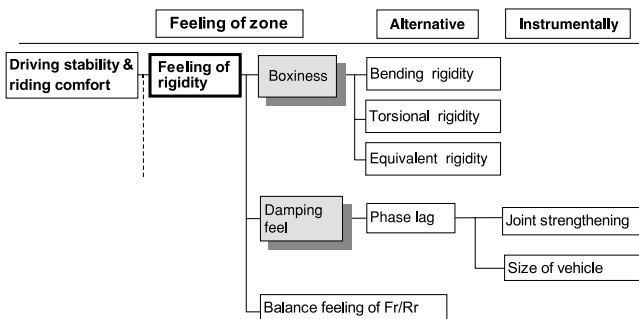


Fig.2 Feeling of Rigidity

2. あくなき剛性感の追求

2.1 車体剛性開発の取り組み

車体剛性を上げれば車はよくなるが、それが全てではない。我々が目指す車体剛性とは、商品に求められる性能と重量のバランスの取れたものでなければならない。

つまりボデーサイズに対する重量比率が小さくかつ性能が高い車を目指す必要がある。

車のサイズが大きくなれば必然的に重量は上がる。従って車体剛性をあげるには、自らの重量を抑えなければならない。そのためにCAE解析にて各製品の剛性、結合力、寄与度を分析しながら効率的な車体構造を検証した。

2.2 車体剛性(その1) 箱感

まず、車体剛性感の向上のために、箱感の向上に取り組んだ。箱感とは、サスペンションからの入力に対して車体の変形が感じられない状態を表している。この車体の変形を抑えるために、車体全体剛性とサスペンション取り付け部の局部剛性を向上させることに注力した。

車体全体剛性を曲げ、ねじりの静剛性、サスペンション取り付け部の局部剛性を等価剛性という指標で表し、以下

の構造を採用することで、これらの指標を向上させた。

① ボデーフレームワーク

CX-9は全長5,070mm、全幅1,936mmと北米市場に適したボデーサイズとなっている。この大きなサイズのボデーシエルの全体剛性を向上させるために、まず前後方向のメンバはフロントフレームからリアフレームまでストレートに連続させた。その上で、左右の前後方向メンバを結合するクロスメンバを8本配置したラダーフレーム構造を採用した (Fig.3)。

② フロントボデー構造

フロントボデーは、特にサスタワの横方向の変形を抑えるために、ボデーシエルの左右を結合するカウル部に2本のメンバを設定し、前側のメンバはサスタワと直接結合させた (Fig.4)。

③ リヤボデー構造

リアダンパからの入力に対するホイールハウスまわりの変形を抑えるために、ダンパ取り付け部の厚板化、およびCピラとフレームを結合するガセットで強化し、後側はDピラとを結合するメンバを設定した (Fig.5)。

④ キャビン構造

曲げモードにおけるサイドドア開口部の変形を抑制するため、Bピラとルーフレイルおよびサイドシル結合部、サイドシルとCピラ下部結合部に新たにリインホルスメントを設定し各断面の結合を強化した (Fig.6)。

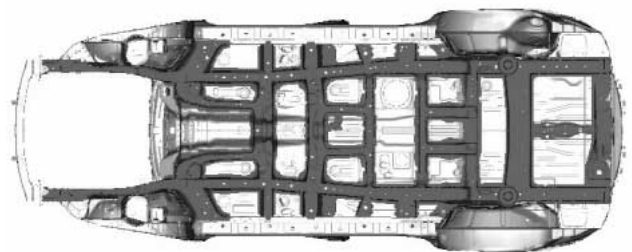


Fig.3 Full Ladder Frame



Fig.4 Cowl & Member

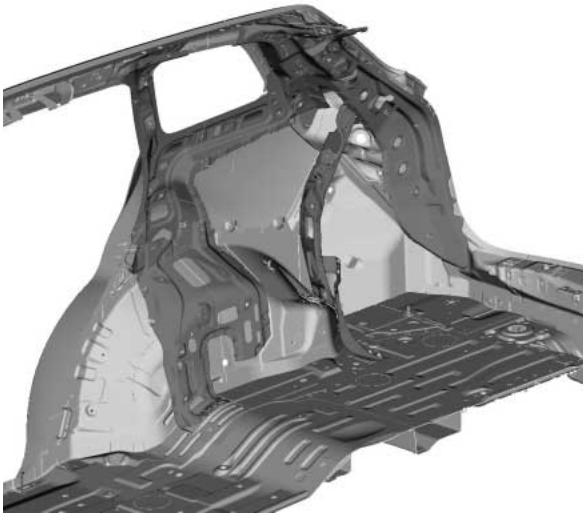


Fig.5 Rear Pillar

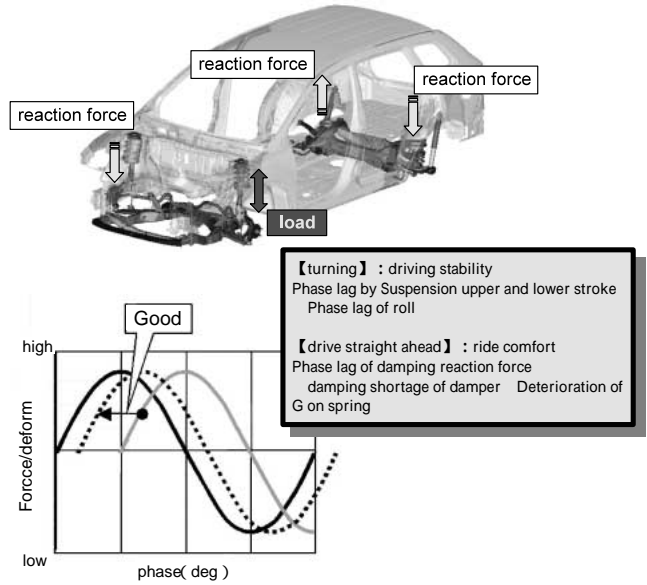


Fig.7 Body Phase Lag

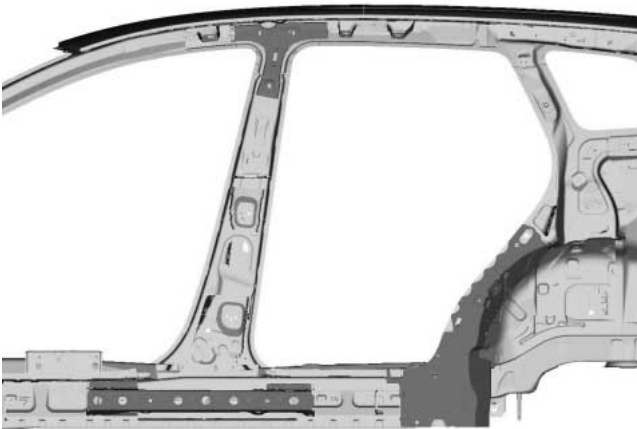


Fig.6 B Pillar & Wheel House

2.3 車体剛性感(その2)減衰感

次に取り組んだことは、減衰感の向上である。

減衰感とは、走行時の路面刺激に対して車両挙動を止めようとする力、すなわちサスペンションの減衰力自体を感じるフィーリングであり、減衰感の高い車は、重厚で質感の高い走行フィールを得ることができる。これまで日本車が欧州車に対してどうしても劣っていた性能がこの減衰感である。

減衰感を高めるためには走行時におけるサスペンションの減衰性、作動性を高める必要がある。そのために車体は路面入力をしっかりと4輪で受け止められるように入力輪で発生する入力および減衰力を残りの3輪に遅れなく伝達できなければならない。すなわち車体ねじり変形の位相遅れを低減させる必要がある (Fig.7)

これにより減衰感の向上のみならず、操舵に対するロール等車両挙動の位相遅れも低減でき、より応答性の優れた操縦安定性を得ることができるのである。このためCX-9ではマツダとして初めて車体ねじり変形の位相遅れ低減に取り組んだ。

サスペンションからの入力に対して車体ねじり変形に位相遅れが発生する要因は車体の塑性歪が支配的であり、車体の変位量を低減させるためには、特に応力集中の著しい車体接合部の応力を低減させる必要がある。この応力を低減させるためには補強を追加したり、板厚を上げるなどの重量増加につながる対策ではなく部品間の連続接合が最も効果的である。

このため応力解析において特に応力の高いサイドドア開口部、リフトゲート開口部やリヤホイールハウス部に対し、マツダでは初めてとなるレーザ溶接を始め、ウエルドボンドおよび、スポット打点ピッチ短縮を施工することで、重量増加ゼロで従来よりも大幅に接合を強化した。これにより車体位相遅れが低減し、減衰感を飛躍的に向上させることができた (Fig.8)

Fig.9にレーザ溶接の施工状態を示す。

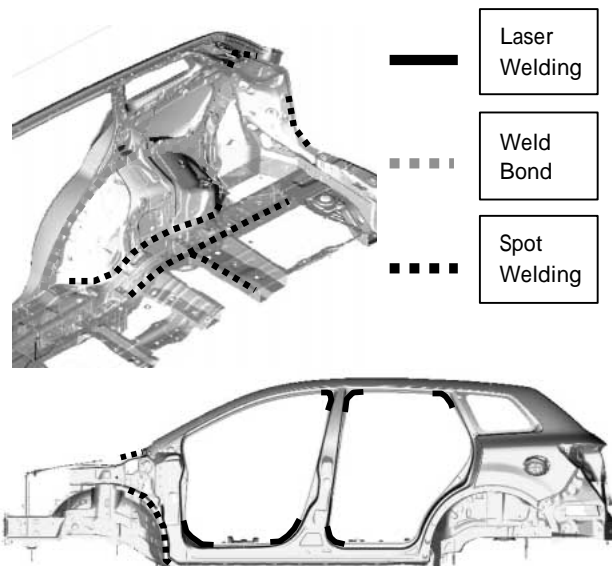


Fig.8 Body Structure

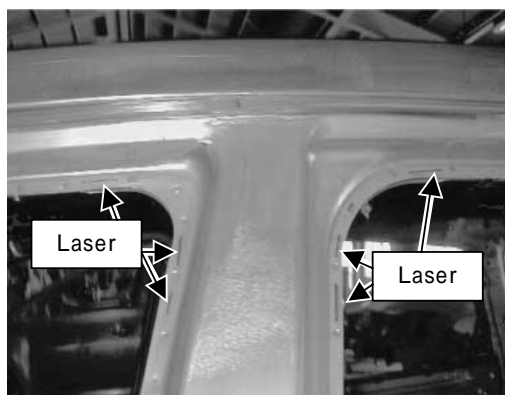


Fig.9 B Pillar

2.4 高剛性ボデーの実現

3つの指標の目標を満足したCX-9は、狙いとしていた欧州車に匹敵する車体剛性感をそなえ、Zoom-Zoomなハンドリングを実現する礎となった。

その恩恵として、2t以上あるCX-9に乗用車のような運動性能を与え、かつ20インチという大径タイヤからの入力に対して、ミディアムクロスオーバーSUVとして十分な快適性を実現することができた。

今回の開発で取り組んだ車体剛性感について、箱感や減衰感に対する指標は、車体剛性の開発において重要なファクターとなるものであり、今後の車種開発においても同様の手法を使って開発していく。

3. おわりに

本稿では、CX-9のボデー剛性について紹介した。

現在、車体剛性感についてすべてのメカニズムを解明する所までには至っていないが、今回開発の中で得られたノウハウやデータを活かして、更なるメカニズム解明に努めていきたい。そしてダイナミック性能で競合車を凌いでいける車作りを今後も行っていく。

著者



富岡敏憲



執行貴彦



望月浩孝

特集：CX-9

12

CX-9の衝突安全ボデー構造 CX-9 Crash Safety Body Structure

信本 昇二^{*1} 福谷 和也^{*2}

Shoji Nobumoto

Kazuya Fukutani

福田 貴生^{*4}

Takao Fukuda

要 約

衝突安全性能は車両の基本性能のひとつであり、車を開発する上で重要な要素となっている。衝突安全性能の基本は衝突エネルギーを客室外で吸収し、客室をしっかりと保護することにある。衝突エネルギーは車両質量に比例するため、車両質量の重い車ほど補強を必要とするが、一方で動力性能や燃費の改善などから車両の軽量化への取り組みは重要であり、高い安全性能と軽量化の両立を図ることが車両開発の大きな課題となっている。

本稿では優れたエネルギー吸収構造とすることで、空車質量で2,000kgを超える乗用車派生としてはマツダで最も重いCX-9に対応させた衝突安全ボデー構造を紹介する。

Summary

Crash Safety is one of an essential element of a vehicle performance and one of an important factor of a platform development. The basic of crash safety is to absorb the impact energy by a structure so that the cabin is protected. The impact energy is in proportion to the vehicle weight so that the measure depends on the vehicle curb weight. However, vehicle weight reduction is important for drivability or fuel efficiency so that compatibility between crash safety performance and weight reduction is an important theme of a platform development.

This paper will introduce that the crash safety body structure to applied CX-9 which is over 2,000kg curb weight and heaviest in Mazda passenger car by having superior energy absorption structure.

1. はじめに

近年の衝突安全性に対する市場の関心の高まりにより、更なる安全性能の向上が求められている。そのため、マツダでは法規だけでなく独自の高い衝突安全性能の基準を設け、より安全な車づくりに取り組んでいる。

高い衝突安全性能を達成するためには客室外で衝突エネルギーを吸収しつつ、客室はしっかりと保護することが基本である。

衝突エネルギーは車両の質量に比例するため、車両質量の大きい車ほど吸収すべきエネルギー量が多くなり、客室の強度もより強くする必要がある。このためには、車体の各部を補強する必要がある。一方で補強による車体の質量増加

は動力性能や燃費の悪化を招くことになるため、補強による質量増加を抑制し衝突安全性能と軽量化を両立させることが重要である。また、車両質量が重く、車高の高いSUVと比較的小さい乗用車が衝突した場合、SUVが乗用車に乗り上げるいわゆるオーバーライドにより乗用車への加害性が高くなるといわれている。このため、自車の安全性だけでなく相手車の安全性も両立させるコンパチビリティとして相手車への加害性低減への取り組みが重要となっている。

本稿では、高い衝突安全性能と軽量化を両立させたCX-9の衝突安全ボデーを、代表的な衝突形態である前面衝突、側面衝突、後面衝突について紹介する。

*1~4 衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.

2. 前面衝突性能開発

前面衝突の基本的な考え方は、前方からの衝撃に対し、エンジンルームをしっかりとつぶすことで衝突エネルギーを吸収し、強固な客室で乗員の生存空間を確保することである。

また、コンパチビリティにおける加害性低減の基本的な考え方は、車両前部の部材の配置により強度を均一に近づけ、荷重を分散させることで、オーバライドや局所的な侵入を防止することである。

以下にCX-9での具体構造化の取り組みを述べる。

エンジンルームにおいては、衝突安全性能と軽量化の両立のために、パンパビーム、フロントサイドフレームなどの各部材の断面を大きく取り、高張力鋼板をテールドブランクでつなぐなど個々の部材のエネルギー吸収効率を高めた。更に、サスペンションの部品であるペリメータフレームを衝突エネルギー吸収部材として活用した。特に、CX-9では2,000kgを超える車両質量に対応するために、Fig.1に示すように、ペリメータフレームの前端部にエクステンションを追加し、エネルギー吸収を高めた。これらのペリメータフレームとエクステンションは、車両前部の強度を均一に近づけ、オーバライドの防止にも役立っている。Fig.2にコンパチビリティのCAE結果を示す。SUVのペリメータフレームと小型車のフロントサイドフレームの高さが一致

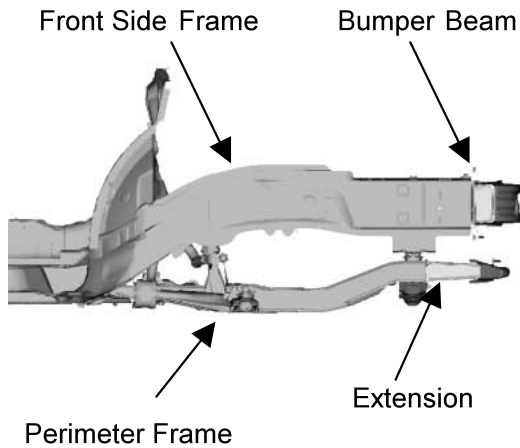


Fig.1 Front Structure with Perimeter Frame Extension

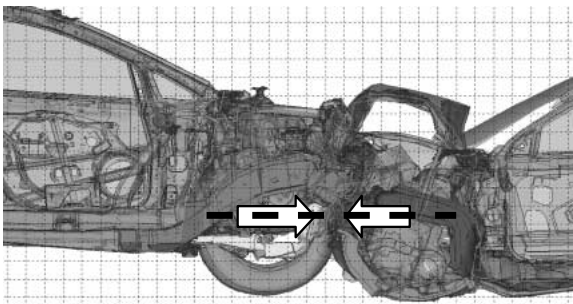


Fig.2 CAE Analysis on Compatibility

しており、オーバライドを防止している。

客室を強固にするために、フロントサイドフレームからストレートに伸びたフロア下のフレームB、サイドシルやトンネルサイドメンバの断面を大きく取り、高張力鋼板を多用した。更に、Fig.3に示すように、フロントサイドフレームをキックアップ部分でペリメータフレームと上下で結合し、前方からの入力に対し後ろ上方へ変形するフロントサイドフレームと下方に変形するペリメータフレームが引き合う構造とすることで、キックアップ部分の強度を向上させた。この結合により、補強質量増加を抑制し、トーボードの後退量を半減させる強固な客室を実現した。この結合効果を検証したCAE解析結果をFig.4に示す。

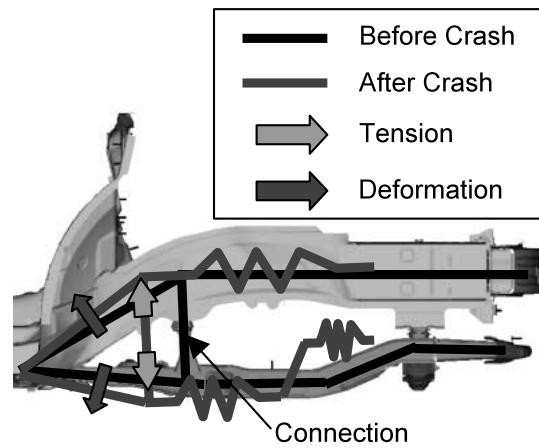


Fig.3 Effect of The Connection

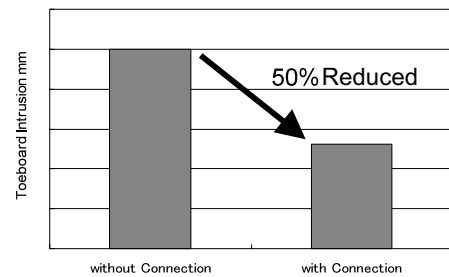
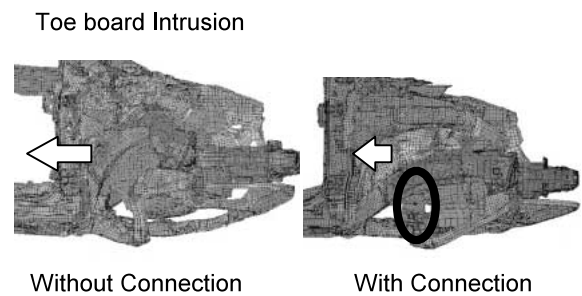


Fig.4 CAE Analysis Result

3. 側面衝突

側面衝突においては、一般的な乗用車との側面衝突以外にも、近年市場で問題となっている車高の高いSUVのような大きな車両による側面衝突時の、生存空間の確保と乗員への傷害リスク低減のために、車体の側面強度を従来車よりも大幅に高めている。具体的には、Fig.5に示すようにサイドドア内のインパクトバーを車体にオーバーラップするように配置することで、側面からの衝撃エネルギーを車体下部へ効率よく吸収、分散させている。また、車体フロア下側には、Fig.6に示すような車幅方向に梯子状に3本のストレートで大断面をもったクロスメンバを配置し、側面からの衝撃荷重の入力に対して、左右方向で強固に支え、客室の変形を最小限に抑える構造を実現した。車体側面のセンターピラーについても、大断面化と合わせ、補強部材として超高張力鋼板を採用することによって、重量増加を抑えながらも車体強度を従来車比で約30%高めている。これらの配慮により、NHTSA（米高速道路交通安全局）やIIHS（米保険協会）が実施する側面衝突安全アセスメント相当の社内評価において、最高レベルの側面衝突安全性能を実現している。

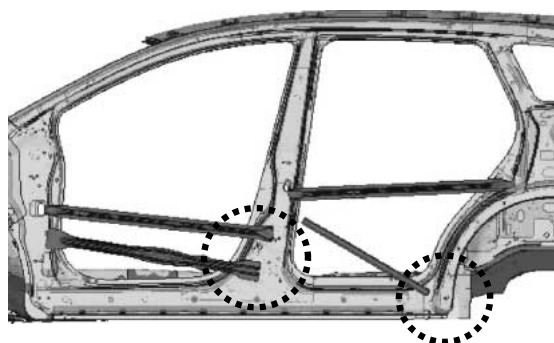


Fig.5 Layout of Side-Impact-Bar

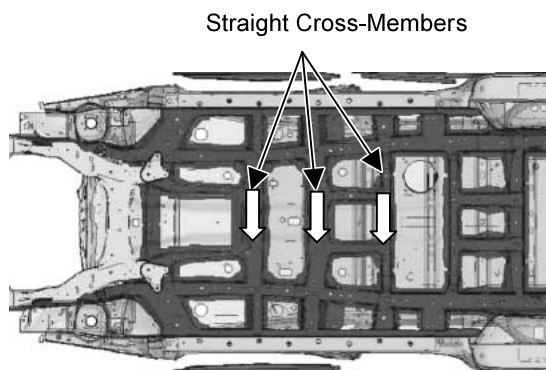


Fig.6 Cross Member of Under Floor

4. 後面衝突

後面衝突においては、追突事故発生時に、燃料タンクやパイプ破損による車両火災を防止し、後席乗員の生存空間を確保することが重要である。そのため、高い荷重でリヤサイドメンバを潰すことで衝撃エネルギーを吸収し、クロスメンバでエネルギーを効率的に分散させて燃料タンクを保護する構造とした。具体的には、Fig.7, 8のように、衝突時の衝撃エネルギーを効率的に吸収、分散させるために、リヤサイドメンバを軸方向に短いストローク、かつ高い荷重で潰す大断面構造とするとともに、エネルギーを前方へ分散できるように、ストレートメンバ構造とした。更に、リヤサイドメンバに高張力鋼板を採用することで、車体強度を従来車の約1.7倍に高めている。また、燃料タンクが配置されている部分は、車体の変形を抑制するために、リヤサイドメンバとクロスメンバで囲む強固な構造としている。こ

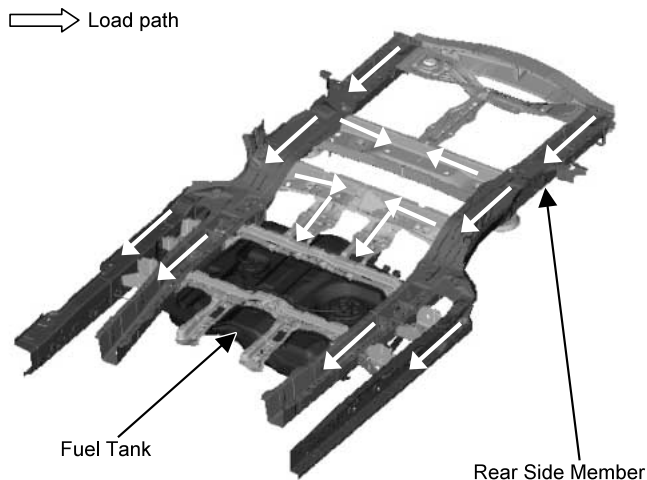


Fig.7 Rear Body Structure

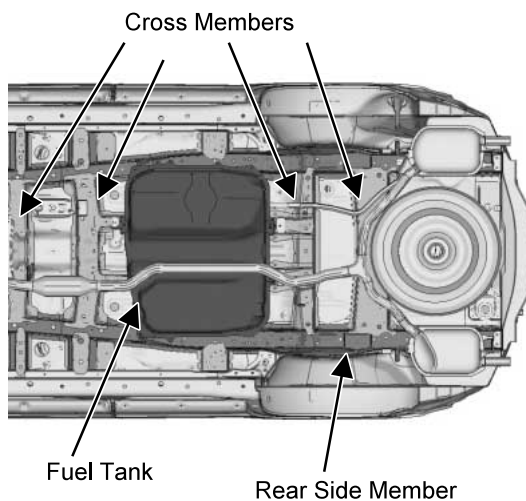


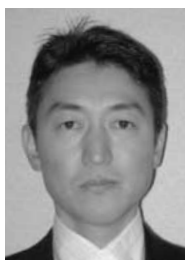
Fig.8 Under Body Structure

れらにより、世界で最も厳しい、米国80km/hオフセット後面衝突でも、客室の変形を抑制する高い後面衝突安全性能を実現した。

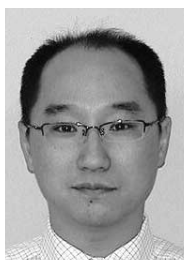
5. おわりに

今後も衝突安全性能を更に高め、なおかつ車両を軽量化していくことはますます重要になってくる。新しい材料やCAEを駆使し、更なる性能向上に取り組んでいきたい。

著者



信本昇二



福谷和也



福田貴生

特集：CX-9

13

ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグの開発 Development of Rollover Protection Curtain Airbag

平田基晴*¹ 榊田昌史*² 能田裕行*³ 戸川草代子*⁴
Motoharu Hirata Masafumi Sakakida Hiroyuki Nouda Soyoko Togawa
徳永利道*⁵ 川村尚輝*⁶ 渡辺 努*⁷ 佐伯秀治*⁸
Toshimichi Tokunaga Hisaaki Kawamura Tsutomu Watanabe Hideharu Saiki

要 約

北米において、比較的重心が高いピックアップトラックやSUV等のロールオーバー死亡事故の比率の高さが注目されている⁽¹⁾。CX-9には、ロールオーバー事故における車両の安全性を高めるための技術として、事故そのものを予防する車両姿勢制御であるDynamic Stability Control (DSC) やRoll Stability Control (RSC)、ロールオーバー事故の際に乗員への傷害を軽減するロールオーバープロテクションカーテンエアバッグの技術が折り込まれている。

ここでは、ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグと、ロールオーバー検知の技術開発について報告する。

Summary

In North America, Light Truck Vehicles like Pick-Ups or SUVs, which have relatively higher center of gravity, are paid attention for their fatal Rollover accidents⁽¹⁾. CX-9 has safety technologies for Rollover accidents. One is the vehicle stability control to reduce Rollover accidents, which are Dynamic Stability Control (DSC) and Roll Stability Control (RSC). Another is the Rollover Protection Curtain Airbag, to reduce injury risks in Rollover accidents.

We report here development of Rollover Protection Curtain Airbag and Rollover Sensing Technology.

1. はじめに

米国市場においては、その道路事情から日本と比べて、比較的重心の高いSUV等のロールオーバー（横転）事故が顕著であり、死亡・重傷に至る重大事故となる率も高い。CX-9ではロールオーバーの発生をできる限り抑制するための車両姿勢制御（DSC、RSC）に加えて、万一ロールオーバー事故が発生した際もできるだけ乗員の傷害を軽減するためのロールオーバープロテクションカーテンエアバッグを装備した。以下、ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグ技術の開発について紹介する。

2. ロールオーバー事故の実態

2.1 ロールオーバー死亡事故の発生率

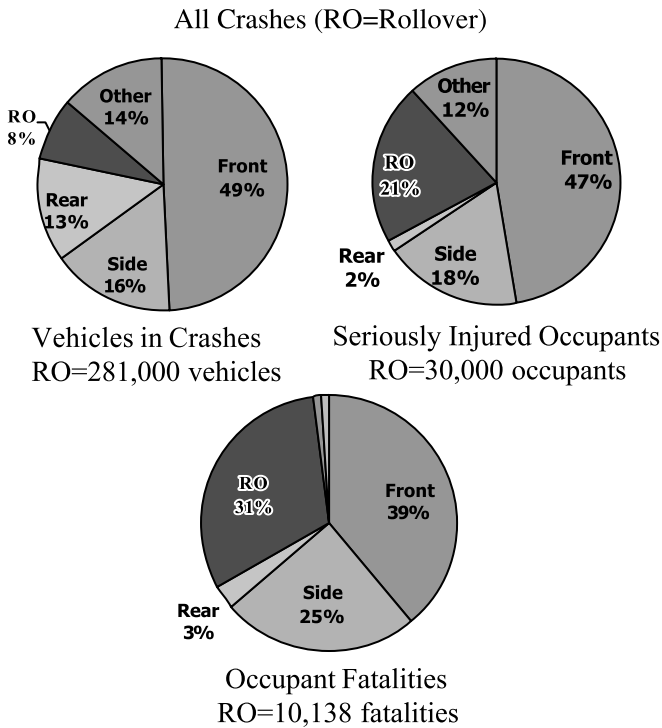
Fig.1に米国の自動車（乗用車、バン、SUV、ピクア

ップトラック）乗車中の死亡事故において各事故形態の発生・重傷者数・死者数の割合を示す⁽¹⁾。ロールオーバー事故は発生割合からいうと前面衝突、側面衝突、後面衝突に次いで4番目であるが、死者数で見ると前面衝突に次いで多く、側面衝突による死者よりも多い。

Fig.2は車両の種類別に米国での各事故形態の死者数の割合を示したものである⁽¹⁾。乗用車（Cars）では前面衝突に次いで側面衝突による死者数が多いが、SUV、ピックアップトラック、VANなど比較的重心が高くロールオーバー事故の頻度が高い車両ではロールオーバー事故による死者数が最も多い。このことからCX-9のようなSUVでは北米市場においてロールオーバー事故への対応が衝突事故死者低減において重要といえる。

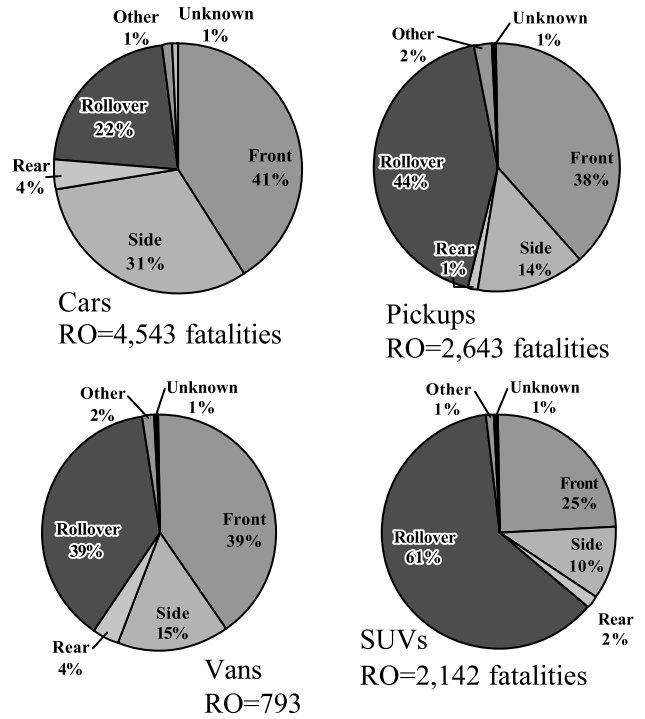
*1, 2 装備開発部
Interior & Exterior Components Development Dept.
*5, 6 車両システム開発部
Vehicle System Development Dept.

*3, 4, 7, 8 衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.



Source: 1997-2001 NASS-CDS, 2001 FARS

Fig.1 Occurrence, Injured and Fatality Rates by Accident Types⁽¹⁾



Source: FARS 2001

Fig.2 Rollover Occupant Fatalities by Vehicle Type⁽¹⁾

2.2 ロールオーバー事故の類別

Fig.3は米国市場におけるロールオーバー事故の例である (NASS-CDSから2000年のある事故例を模式化)。道路左側へのはみ出しを過度に修正したため横滑り状態となり、歩道の縁石に左側車輪が引っかかりロールオーバーした。一般的にロールオーバー事故の現象は複雑であり数多くのパターンがあるが、この例のように車が横滑り状態となり突起物に引っかかりたり路面の摩擦力が急に増大することによりロールオーバー(トリップオーバー)する事例が多い。Fig.4はロールオーバー事故の種別を分類整理し、頻度割合を示したものである(文献⁽²⁾⁽³⁾のデータをもとに作成)。これによるとトリップオーバーの事例が半数以上を占めていることがわかる。ロールオーバーセンシング方式の設計や性能評価の際にはこれらの発生状況を考慮する必要がある。

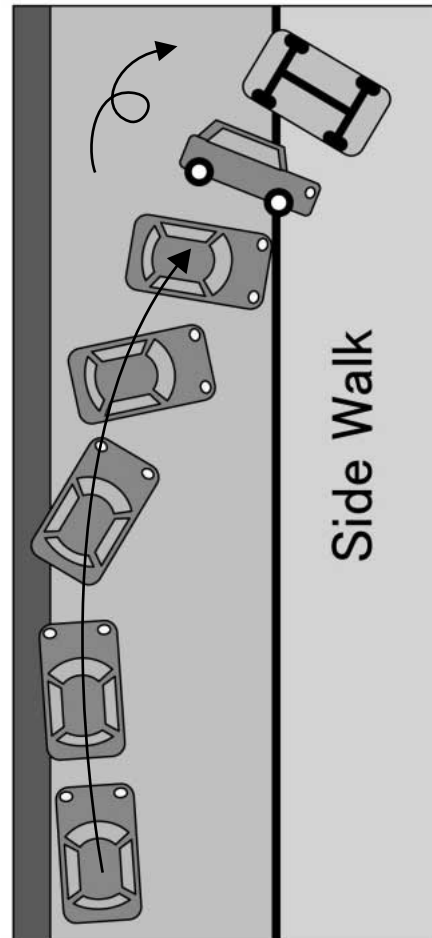


Fig.3 An Example of Rollover Accident (Sketched from NASS-CDS, 2000)

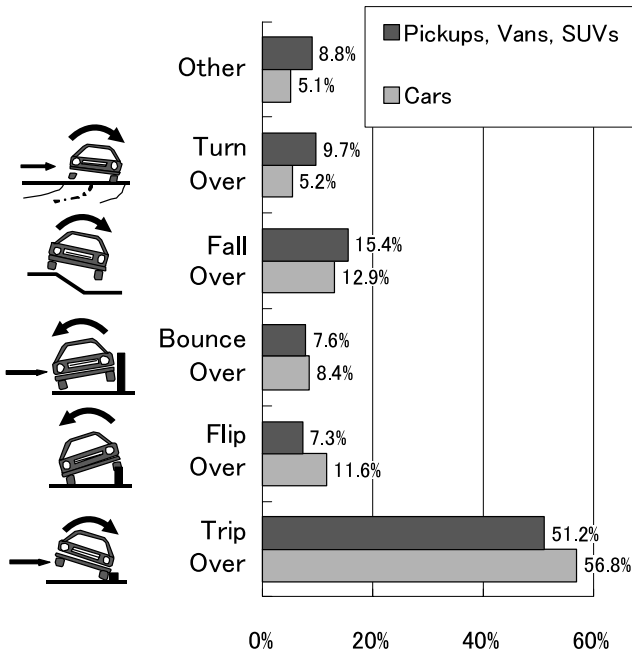
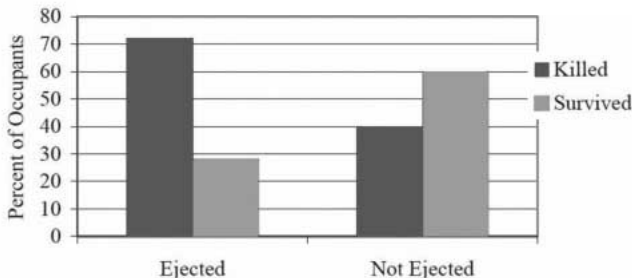


Fig.4 Occurrence Rates by Rollover Types^{(2), (3)}

2.3 ロールオーバー事故の乗員傷害発生要因

Fig.5からわかるようにロールオーバー事故においては乗員が車外に出てしまうと（Ejection = 車外放出），死亡にいたる確率が非常に高くなる⁽⁴⁾。車外放出防止にもっとも有効であるのがシートベルトであるが，シートベルトをしていても頭部などの体の一部分が車外にはみ出し路面や車外物と衝突することで重大な傷害が発生する場合がある。したがって，ロールオーバー時にカーテンエアバッグを展開させ，車両のサイドウィンドウ部分からの頭部などの車外へのはみ出しを防止し，かつ車外物と乗員の衝突を軽減することにより，傷害軽減の効果が期待できる。



Source: NCSA, NHISA, FARS 2000

Fig.5 Occupant Survival and Complete Ejection in Fatal Rollovers⁽⁴⁾

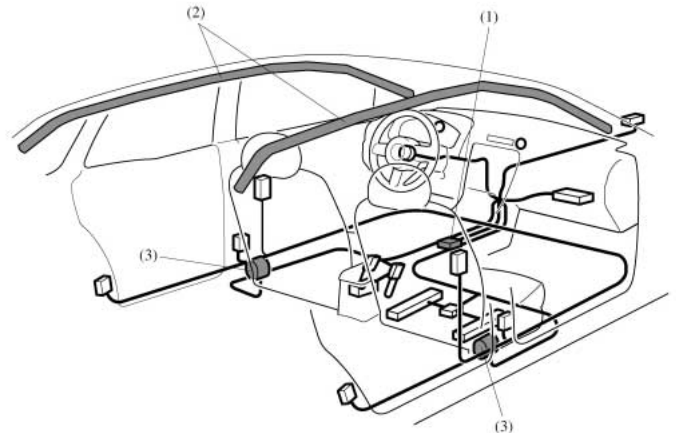
2.4 ロールオーバー事故の現象

ロールオーバー事故現象の特徴は，正面衝突や側面衝突事故などに比べて現象の時間が長いということである。衝突現象の時間は，前面衝突事故や側面衝突事故では十分の一秒のレベルであるが，ロールオーバー事故は車が傾き始めてから転覆するまでに秒単位の時間がかかる。そのため，ロールオーバーを考慮した場合，カーテンエアバッグの圧力保持時間は，側突だけを想定したものに比べて長くとる必要がある。

3. ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグ

3.1 概要・システム構成

ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグシステムは，車両のロールを検知するロールレートセンサと上下方向および横方向の加速度を検知する加速度センサを装備したエアバッグコントロールユニット，エアバッグコントロールユニットからの信号を受けて作動するカーテンエアバッグモジュール，フロントシートベルトプリテンショナー等で構成される（Fig.6）。



- (1) Airbag Control Unit
- (2) Curtain Airbag Module
- (3) Front Seat Belt Pretensioner

Fig.6 System Components

エアバッグコントロールユニットにはロールオーバーを検知する性能が要求され，カーテンエアバッグモジュールには数秒レベルの長い持続時間と，乗員頭部の車外へのはみ出しを防止するための横方向の保持力が必要となる。以下ではロールオーバー対応のため特別に配慮した部品について説明する。

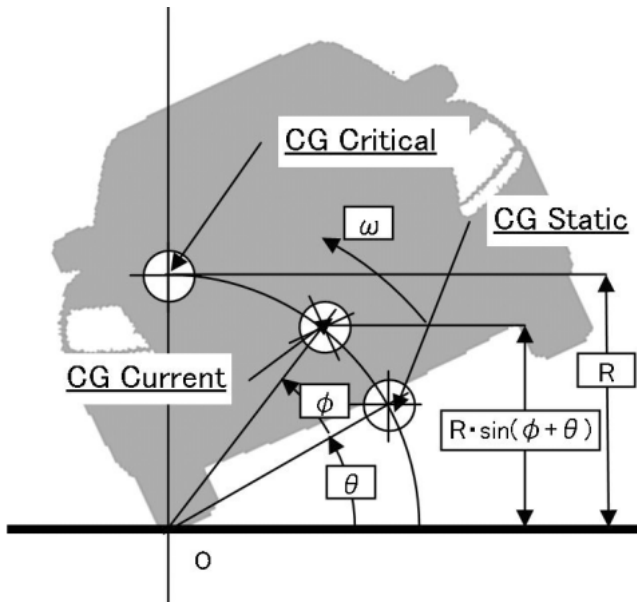
3.2 エアバッグコントロールユニット

従来のエアバッグコントロールユニットに，ロールレート（車両の前後方向軸回りの回転角速度）センサやロール

オーバー判別のためのソフトウェアを組み込んだ。

(1) ロールオーバー判定方式

ロールオーバー現象は、車両を剛体振り子とみなした単純な力学モデルとして表すことができる (Fig.7)。



- O : 回転中心 (内側タイヤの接地点)
Rotation Center (Inside wheel contact point)
- CG_Static : 通常時の重心位置
Center of Gravity (CG) at normal condition
- CG_Current : 現在時刻の重心位置
CG at current position
- CG_Critical : 臨界重心位置
CG at critical position
- ω : ロール角速度 Vehicle Roll Rate
- φ : ロール角 Vehicle Roll Angle
- θ : 通常時の重心位置の角度 Angle of Static CG
- R : 臨界重心位置の高さ = 回転半径
Height of Critical CG = Radius of rotation

Fig.7 Rollover Dynamics Model

このモデルによって、車両の前後方向軸周りの現在の回転運動エネルギーと重力による位置エネルギーの和が、臨界重心に達したときの位置エネルギーを超えたときに将来ロールオーバーに至ると判定できる。

$$E_{rot}(\omega) + E_{pot}(\phi) = MgR$$

$E_{rot}(\omega)$: 回転エネルギー

$E_{pot}(\phi)$: 位置エネルギー

g : 重力加速度

M : 車両質量

MgR : 横転限界での位置エネルギー

この式に、

$$E_{rot}(\omega) = (1/2) \cdot I \cdot \omega^2,$$

$$E_{pot}(\phi) = \sin(\phi + \theta) \cdot MgR$$

I : O回りの慣性モーメント

を代入すれば、以下の式が得られる。

$$(1/2) \cdot I \cdot \omega^2 - \{1 - \sin(\phi + \theta)\} \cdot MgR = 0$$

...式(1)

この条件式によって、φ-ω平面はロールオーバーする領域とロールオーバーしない領域とに分けられ、グラフ上にロールオーバー判定条件 (Threshold) が設定できる (Fig.8)。

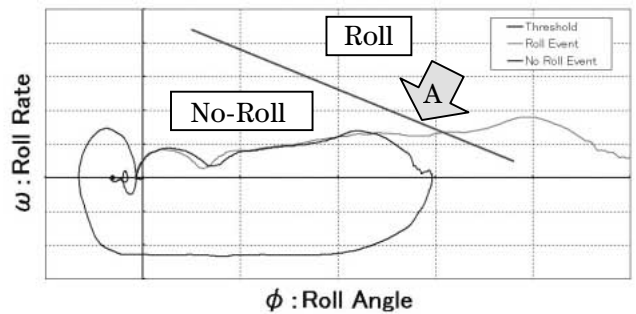


Fig.8 Threshold

(2) ロールレイトセンサ

上記条件式(1)で分かるように、回転運動エネルギーはロール角速度、車両の位置エネルギーはロール角から求められるが、ロール角はロール角速度を時間積分して求めることができる。つまりロールレイトセンサにより車両のロール角速度を計測することによって、ロールオーバーするかどうかを判別できる。ロール角は車両全体の回転運動として捉える必要があることから、車両重心付近に設置したエアバッグコントロールユニット内にロールレイトセンサを設置した。

ロールレイトセンサは、Micro Electro Mechanical System (MEMS) 技術を使用した数ミクロンのシリコン微細加工により製造されたセンサであり、中心の1点で支えられた平面方向に連続的に回転振動する振動子を持つ。この振動子が車両の回転に伴って発生するコリオリ力によって変位する際の静電容量の変化を捉えることで角速度を検出する (Fig.9, 10)。

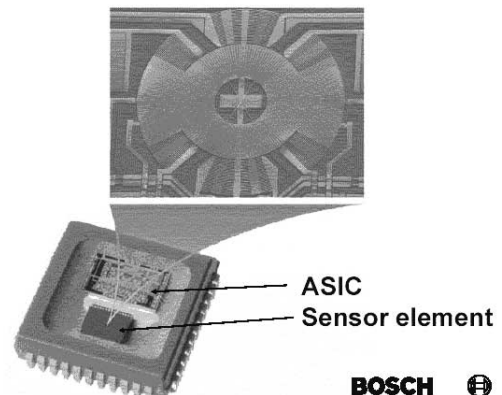


Fig.9 Roll Rate Sensor

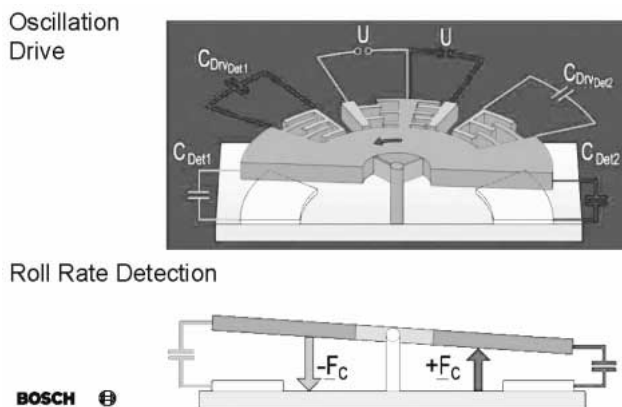


Fig.10 Roll Rate Detection



Fig.11 Tension Line

(3) 加速度センサ（上下方向，横方向）

乗員の頭部がサイドウィンドウに接触する以前にカーテンエアバッグを展開させる必要があるため、車両のロール角度が小さい初期段階で作動判断を行う必要がある。そのためエアバックコントロールユニットにはロールレートセンサに加えて、車両の上下方向や横方向の加速度を検知する加速度センサを追加し、それらの値によってロールオーバー判定条件（Threshold）を変更している（Fig.8の矢印A）。

3.3 カーテンエアバッグモジュール

ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグの基本構造は従来のカーテンエアバッグと同様に、エアバックコントロールユニットからの電気信号を受けてバッグを展開するガスを供給するインフレーター、乗員の車外へのはみ出し、放出を防ぎ、車外の路面その他への乗員の衝突を軽減するバッグ、それらを保持し車体へ取り付けのリテーナやブラケット類などから構成される。以下にロールオーバー対応で特に配慮した項目に絞って説明する。

(1) インフレーター（ガス発生装置）

長い内圧保持時間が必要なため、インフレーターはガス温度が低くガス量を多く供給することができるストアードガス（コールドガス）タイプインフレーターを使用している。ガスが室温に近い場合、冷えて圧力が低下することがなく、長時間の圧力保持が可能である。

(2) バッグ

長時間圧力を保持するために、気密性が高いバッグを使用している。また、バッグ前端および後端を各ピラーの下部に固定することで展開時に車両前後方向の張力を発生させ、バッグの前後端の固定点を結んだライン（テンションライン）を乗員の頭部重心よりも低い位置に設定することによって、乗員頭部が車外へはみ出すことを防止する効果を高めている（Fig.11）。

4. ロールオーバープロテクションカーテンエアバッグの性能・効果

4.1 車外放出防止性能

カーテンエアバッグ展開時のエネルギー吸収特性を評価するインパクト試験（Fig.12）に加えて、乗員の体の一部が車外放出することを抑制する性能を評価した。

車両形状を模擬した治具に、一定時間経過後の保持圧力に設定したカーテンエアバッグを固定し、乗員頭部を模擬した剛体球を落下させる落球試験を行い、乗員の頭部が車外放出される可能性を低減する効果があることも確認した（Fig.13）。



Fig.12 Impactor Test



Fig.13 Drop Test

4.2 ロールオーバーセンシング性能/総合性能

市場で起こり得る事故形態すべてを評価することは困難であるため、2.2項で説明した事故分類にしたがって、ADAMSなどのCAEモデルを活用しながら車両挙動の評価を実施した。その上で最も発生頻度の高い事故形態である“トリップオーバー”を主とした評価 (Fig.14) を行い、ロールオーバー事故の際に適切なタイミングでカーテンエアバッグを展開させることができることを確認した。



Fig.14 Trip Over Test

5. まとめ

ロールオーバー事故に対して効果のあるカーテンエアバッグシステムを開発しCX-9に装備することができた。このデバイスはCX-9の衝突安全性能に大きく貢献するものとする。今後も市場事故実態の把握に努め、更なる安全性の向上に努めていきたい。

本開発に当たり御協力を頂きました関係者の方々に対し、誌面を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) NHTSA : Initiatives to Address the Mitigation of Vehicle Rollover (2003) <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/vrtc/ca/capubs/IPTRolloverMitigationReport/>
- (2) Parenteau C S, et. al : Field Relevance of a Suite of Rollover Tests to Real-World Crashes and Injuries, Accident Analysis and Prevention, Vol.35, p.103-110 (2003)
- (3) Viano, D, et al. : Roll Crash Sensing and Safety Overview, SAE Paper, 2004-01-0342 (2004)
- (4) NHTSA : Characteristics of Fatal Rollover Cases, DOT HS 809 438 (2002) <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-30/NCSA/Rpts/2002/809-438.pdf>

著者



平田基晴



榊田昌史



戸川草代子



徳永利道



川村尚輝



渡辺 努



佐伯秀治

論文・解説

14

マツダスピードアクセラの紹介 Introduction of MAZDASPEED AXELA

前田 龍雄*1 住田 和哉*2 田畑 孝司*3
Tatsuo Maeda Kazuya Sumida Koji Tabata

要 約

初代アクセラの目指したものは、欧州車をはじめとする世界の競合車と互角に戦える、「真のグローバルCカー」となることであった。そのための商品コンセプトを、「期待を超えるダイナミックスポーツコンパクト」とし、その商品としてのキーバリューを次の内容として開発した。

1. ダイナミックで個性的なスタイリング
2. 上質なクオリティ/クラフトマンシップ
3. クラスを超えたダイナミックパフォーマンス

その結果、初代アクセラは世界中で高い評価を受け、従来のCカーの枠を超えたアクセラブランドを創り上げた。初代アクセラの発売から約2年半を過ぎたマイナーチェンジにあたって、我々はアクセラブランドのポジショニングをより鮮明に表現する「ハイエンド パフォーマンス コンパクト スポーツ」としてマツダスピードアクセラを追加した。

マツダスピードアクセラの商品コンセプトは、「ドライビングプレジャーを究極まで高めたときめきの車」とし、そのキーバリューを以下の3点として開発した。

1. 走る喜び
2. 所有する喜び
3. 日常での快適性

Summary

What the 1st generation Axela aimed was to be “the Real Global C-Car” that can compete with strong competitors in the world. We set the product concept as “the dynamic sports compact that exceeds your expectations.”

And we expressed the key values of concept as follows :

1. Energetic and Distinctive Design
2. High Quality Craftsmanship
3. Class-less Dynamic Performance

1st generation Axela got high estimation globally and created the new Axela brand, exceeding usual C-Car category. At the chance of minor change, passing about 2.5 years after launch of 1st generation Axela, we decided to add MAZDASPEED AXELA as “high end performance compact sports.”

We set the concept “the emotional vehicle equipping maximum driving pleasure” and expressed the key values of concept as follows :

1. The pleasure of Driving
2. The pleasure of Ownership
3. The pleasure of Enjoying Everyday Comfortability

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

*3 デザイン戦略スタジオ
Design Strategic Studio

1. はじめに

マツダスピードアクセラの使命は、アクセラシリーズのフラッグシップモデルとして、アクセラブランドをより鮮明に表現することである。マツダスピードアクセラを開発するにあたって我々が注力したのは、レースやサーキット性能を重視した単なるハイパワーモデルを作ることではなく、マツダスピードアテンザに共通する、日常の快適性を犠牲にせず高い運動性能と車を所有する喜びを高次元でバランスさせることであった。

本稿では、そのマツダスピードアクセラの商品コンセプト及びそれを実現した商品全体の概要を紹介する。

2. 商品コンセプト

マツダスピードアクセラの商品コンセプトは、“ドライビングプレジャーを究極まで高めたときめきの車”である。

アクセラが元来持っている「ダイナミックで個性的なスタイリング」「上質なクオリティ/クラフトマンシップ」「クラスを超えたダイナミックパフォーマンス」の強みをより際立たせることによって、アクセラブランドをより鮮明に表現している。

3. 走る喜び

マツダスピードアクセラには、MZR 2.3L DISIターボエンジン、6速マニュアルトランスミッション、トルクセンシング式スーパーLSDのパワートレインとロール剛性を高めたシャシー、ハード走行に耐えうる強靱なボデーを組み合わせ、走る喜びを極限まで高めることに注力した。

3.1 パワートレイン

(1) MZR 2.3L DISIターボエンジン

最高出力264ps/5,500rpm、最大トルク380N-m/3,000rpmを発揮するDISI (Direct Injection Spark Ignition) ターボエンジンを搭載した (Fig.1)。



Fig.1 MZR 2.3L DISI Turbo Engine

エンジン本体はマツダスピードアテンザと共通としながら、高出力/高トルクのエンジンがFF車に適合するよう

にユニークなトルク制御を行うなど、マツダスピードアクセラ専用のチューニングを行っている。

(2) 6速マニュアルトランスミッション

マツダスピードアテンザと共通のコンパクトな3軸式6速マニュアルトランスミッションを採用。1~3速：連結式トリプルコーンシンクロ、4速：ダブルコーンシンクロを採用し、ショートストロークで切れの良いシフトフィールを実現した (Fig.2)。

(3) トルクセンシング式スーパーLSD

新開発トルクセンシング式スーパーLSD (Limited Slip Differential) を採用。コーナリング時のトラクション性能を最適化し、安全で安定したコーナリング性能を実現した (Fig.2)。

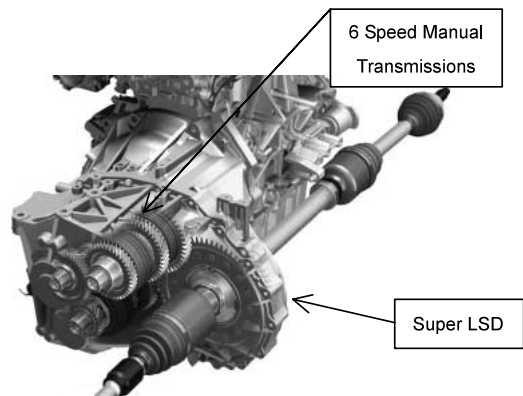


Fig.2 6 Speed Manual Transmissions with Super LSD

3.2 シャシー

サスペンション形式はベース車と同じとしながら、マツダスピードアクセラ専用にコイルスプリングバネレート、スタビライザサイズ、ダンパ減衰特性等を専用にチューニングし、ロール剛性を60% (アクセラスポーツ23S比) 高めた。

ステアリングはやや重めの味付けをしながら、思い通りに操れる正確で応答性の優れたステアリングと、安心して走れる高いグリップ性と安定性を確保した (Fig.3, 4)。

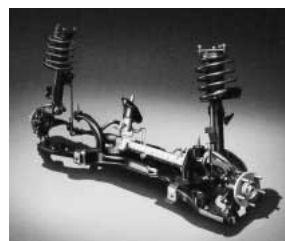


Fig.3 McPherson Strut Front Suspension



Fig.4 Multi Link Rear Suspension

ブレーキについてもマツダスピードアクセラ専用に、大径17インチフロントベンチレーティッドブレーキ (アルミ製キャリパー) を専用設計し制動性能を向上。8+9インチのタンデムブースタ、1インチ大径マスタシリンダも専用

設計し、スポーツモデルにふさわしい制動性能とブレーキペダルフィールを実現した (Fig.5, 6)



Fig.5 17" Front
Ventilated Brake



Fig.6 8 1/4" x 9" Tandem
Booster with 1" Master Cylinder

3.3 ボデー

ベースモデルのパッケージングを犠牲にすることなく、操縦安定性能に寄与するボデーの局部剛性を高める補強部材/ガセット類を効率的にレイアウトした。具体的には、「トンネル中央部ブレースの大型化&閉断面化 (Fig.7)」「左右フロントサスペンションタワーとカウルの結合 (Fig.8)」「リヤサスペンションタワー下部のガセット追加 (Fig.9)」である。

ベースモデルのポテンシャルが高いこともあり、ボデー剛性アップメニューに伴う重量増は、わずか6.8kgに抑えることができた。

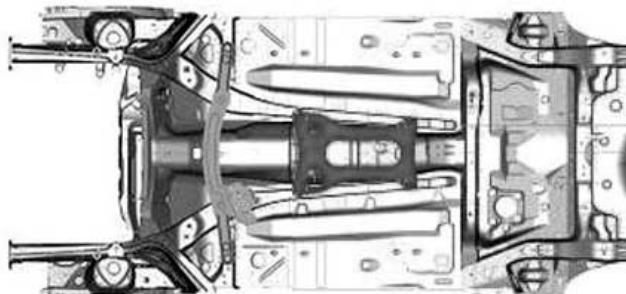


Fig.7 Cross-Members Under Floor



Fig.8 Reinforcement at
Cowl-Front



Fig.9 Reinforcement at
Suspension Tower-Rear

4. 所有する喜び

デザインコンセプトを“洗練されたフォルムと官能的なスポーツフィーリングの融合”とし、大人が所有して喜びを感じるような、落ちついた佇まいを目指した。日本製ス

ポーツカーによくみられる装飾的なハイパフォーマンスカーとは一線を隔した、ダイナミックながらも洗練された中に若々しく活発なZoom-Zoomイメージを感じさせるデザインとした。

ひと目でベース車との違いを感じる外観に加え、スピードメータやフロントシートに専用のMAZDASPEEDロゴを配する等、マツダスピードアクセラを所有する喜びを感じて頂くアイテムを満載した。

4.1 エクステリアデザイン

走りを特化させたイメージを5ハッチバック特有のポデーを生かした一体感のある造形で表現。ダイナミックなフォルムでありながら、若々しく洗練された軽快感を表現するモデルとして仕上げた (Fig.10)



Fig.10 Exterior Front Side View

(1) フロントビュー

フロントビューは、フェンダ部において全幅を20mm広げた1,765mmとし、ワイドで押し出しのあるアピランスとした。ボンネットに入るプレスラインはマツダスピードアテンザと統一したイメージで展開し、ハイパフォーマンスな機能を洗練されたデザイン処理として表現。バンパとボンネットのパーティングラインをベース車の5ハッチバックから変更することで面に一体感のある造形を取り入れた。

フロントフォグランプは異型角型のをダイナミックなフローティングデザインとし、フロントビューの特徴とした (Fig.11)



Fig.11 Comparison of Front View

専用ボンネットとインタークーラダクトは、マツダスピードアテンザと一貫性のある思想のもと、一般のターボモデルのようにボンネット上にインタークーラ冷却用スクープを設けず、膨らませたボンネット中央部にダクトを収納し、フロントグリル上段からインタークーラの冷却風を取り入れる構造とした (Fig.12)。



Fig.12 Inter Cooler Duct Structure

またフロントフェンダも膨らませ、ボンネットとのつながりと18インチタイヤを格納するためにマツダスピードアクセラ専用とした。

(2) サイドビュー

サイドビューは、大径18インチタイヤを採用しながらもホイールセンターを約10mm上げ、全高をベースモデルと同じ1,465mmに抑えている。

専用18インチアルミホイールは単にスポーティな表現ではなく、5本スポークが前後にクロスした10本スポークタイプとすることでクルマにプレミアム感をイメージさせる造形表現を加えた。ストレートなスポークの面造形は、クルマ全体にクリーンでスタイリッシュな効果が出るデザインとした (Fig.13)。



Fig.13 18" Aluminum Alloy Wheel

(3) リヤビュー

リヤビューは、バンバグラフィックをスタビリティのあるイメージでデザイン処理。走り去った際に一目でマツダスピードアクセラとわかるシンプルで軽快なリヤビューを特徴とした。

ディテールにおいては、ハイパフォーマンスを感じる101.6のマフラーエンドを設定。ルーフスポイラは大型

フローティングタイプ (LEDハイマウントストップランプ内蔵) を採用し、よりアグレッシブなイメージを演出した (Fig.14)。



Fig.14 Exterior Rear Side View

4.2 インテリアデザイン

インテリアは、質感の高いマツダスピードアクセラ専用のスポーツシートを設定。セミバケットタイプの造形に剛性感ある凹凸織物を採用し、アクセント系にはモダンな樹脂ファイバを使用した。ステアリングホイール/シフトブーツ/シートは、ブラックベースに赤をアクセントとしたステッチで処理し、スペシャルなモデルであることを示唆したダイナミックパフォーマンスを演出した (Fig.15)。



Fig.15 Interior

(1) 専用スポーツシート

スポーツ走行に不可欠なホールド性と普段での快適性、クオリティを高次元で実現するため、あえて自社開発にこだわった。

マツダスピード専用のロゴを配したシートバック部には、肩をサポートするパッド形状、サポートワイヤ追加による専用フレーム、ボルスタ部のポリウム/硬度アップ等の変更メニューを施した。シートクッション部にも、ボルスタ部のポリウム/硬度アップを施した。

以上の変更により、快適性を犠牲にすることなく、ハー

ドなスポーツ走行時でも運転操作を支えるため、ドライバーのホールド性を必要十分に確保するとともに、所有する喜びを感じて頂けるクオリティの確保ができた (Fig.16)。



Fig.16 Semi-Bucket Type Sport Seat

(2) アルミプレート付きペダルセット

アクセル/ブレーキ/クラッチペダルセットやフットレストには、RX-8やマツダスピードアテンザと同じイメージのアルミプレートを設定。Base車よりヒール&トーの操作性を改善した (Fig.17)。



Fig.17 Drivers Side Interior

5. 日常の快適性

マツダスピードアクセラの開発にあたって、我々は単なるハイパフォーマンスカーではなく、アクセラの持つ操縦安定性能/ステアリングフィール/乗り心地の良さや、日常での使い勝手を犠牲にせず、快適性とダイナミック性能を高次元でバランスさせることに注力した。

そのためフロント（運転席/助手席）シートを、快適性/乗降性を犠牲にせずホールド性を高めるセミバケットタイプとした。ステアリングのチルト&テレスコ調整機構、

シートの調整機構もベース車と同様の調整機能、調整代を確保するとともに、ステアリングオーディオコントロールスイッチやBOSE®プレミアムオーディオ/HDDミュージックサーバ等、ベース車に設定している装備は、同様に選べるようにしている。

安全装備については、SRS (Supplemental Restraint System) カーテン&サイドエアバッグの選択、リヤシートの中央3点式シートベルトやヘッドレストもベース車同様とし、5名フル乗車時の安全性を確保している。また、ベースモデルにはオプションであるDSC (ダイナミック・スタビリティ・コントロールシステム) を標準装備とし、安心してスポーツ走行を楽しんで頂けるようにした。

荷室においても、17インチスペアタイヤを収納するためサブトランクは装備しないが、補強ガセットの張り出しをこくわずかに抑え、ベースモデル (5ハッチバック: 300L) 同等の荷室容量 (290L) を確保している。

6. おわりに

以上、アクセラブランドをより鮮明に表現するため、我々は、「1. 走る喜び」「2. 所有する喜び」「3. 日常での快適性」をキーワードに、マツダスピードアクセラを開発した。これら3つのキーワードの実現には多くの難題があったが、その技術的な対応については「マツダスピードアクセラのダイナミック性能開発」の項に詳細な記述があるので参照して頂きたい。

マツダスピードアクセラは発売以来、国内のみならず、北米、欧州、豪州において大変高い評価を頂いており、開発を担当したものとして非常に喜ばしいかぎりである。

今後ともお客様の期待を超えるZoom-Zoomな商品開発に全力で取り組んでいきたい。

著者



前田龍雄



住田和哉



田畑孝司

論文・解説

15

マツダスピードアクセラのダイナミック性能開発 Dynamic Performance Development of MAZDASPEED AXELA

谷口正明*¹ 田村章*² 稲田伸一*³ 光永誠介*⁴
 Masaaki Taniguchi Akira Tamura Shinichi Inata Seisuke Mitsunaga
 岡田義浩*⁵ 岡本哲*⁶ 星野彦一*⁷ 八木淳*⁸
 Yoshihiro Okada Satoshi Okamoto Hikoichi Hoshino Atsushi Yagi

要約

アクセラのマイナーチェンジに向けて、主に欧州で盛んになっているCカークラスのFFハイパワー車市場に真っ向から勝負するため、「ハイエンド パフォーマンス コンパクト スポーツ」マツダスピードアクセラの開発に取り組んできた。このマツダスピードアクセラのダイナミック性能の命題は、「世界最速のFFであること」「単にレーシーなハイパフォーマンスカーでなく、安全で快適な車であること」「FFの特性を生かした軽快な車であること」であった。

マツダスピードアクセラのダイナミック性能開発にあたって、以上の一見相反する命題に対し、我々は主に次の3つのカテゴリにわけて開発してきたのでその概要を説明する。

1. 高出力FFの課題克服
2. FF世界最速の走り
3. 軽快なときめきの走りの実現

Summary

For carrying out the minor change in Axela, a mission was given to us to challenge the C-car FF high power vehicle market which is becoming the mainstream in Europe : "Develop MAZDASPEED AXELA which is a high-end performance compact sports car."

Followings are propositions given to us from Program Manager in terms of MAZDASPEED AXELA dynamic performance:

- "Develop the world-fastest FF vehicle."
- "Not only achieve high performance like a racing car, but also ensure safety and comfortable feeling."
- "Produce agile vehicle by making the best use of FF characteristics."

Although these seem contradictory propositions for developing dynamic performance of MAZDASPEED AXELA, we divided them into three categories and achieved with utmost efforts:

1. Overcome various concerns to achieve high power FF.
2. Develop the world-fastest vehicle.
3. Accomplish agile and exciting drive.

Followings are summary of our activities.

*1, 7 パワートレイン開発推進部
Powertrain Development Promotion Dept.
*4 NVH性能・CAE技術開発部
NVH & CAE Technology Development Dept.

*2 操安性能開発部
Chassis Dynamics Development Dept.
*5, 6 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

*3 車両開発推進部
Vehicle Development Promotion Dept.
*8 エンジン実研部
Engine Testing & Research Dept.

1. はじめに

欧州/北米で多く存在するハイパフォーマンスFFの競争車群の中でもトップクラスのハイパワーを持ったマツダスピードアクセラは、そのハイパワーゆえに日常の快適性と運動性能を高次元で両立させるには多くの課題が存在した。本稿ではこれらの課題解決のための我々の取り組みについて紹介する。

2. 高出力FFの課題の克服

マツダスピードアクセラは、MZR 2.3L DISIターボエンジンのハイパワーを、6速マニュアルトランスミッションを介してフロント2輪で駆動する。トラクション性能の物理的限界や、トルクステア、250km/h連続走行のスタビリティ、あるいはユーザのハード走行への期待などの課題に対し、ボデー/シャシー/駆動系のハード面からのポテンシャルアップに加え、エンジントルクの制御を加えるなどのソフト面の対応を織り込んでいる。

2.1 トルクステアへの取り組み

トルクステアの発生は、ドライブシャフトの左右のねじり剛性の差が大きく影響する。ドライブシャフトの左右の剛性を等しくするためにシャフト径を左右でチューニングしている (Fig.1)。また、ドライブシャフトの折れ角についても影響が大きい。そのためボデーに対するサスペンションの高さを10mm下げ、ドライブシャフトの折れ角を極小化している。

トルクステアは、発進時や低車速での走行中、急激にエンジントルクが大きくなる場合に発生しやすくなる。また、コーナリング時にハンドル舵角が大きくなるほど、左右のスクラブ半径の差が大きくなり、発生しやすくなる。これらの問題を解決するために、駆動力の大きい1速と2速ギヤで走行する場合に、エンジントルクが急激に大きくなるように、電子制御スロットルバルブとウエストゲートバルブでトルクをコントロールすることで解決した。更に、タイトコーナ進入時等、ステアリング舵角が所定値以上になった場合にも、トルクステアが発生しないようにトルクをコントロールしている (Fig.2)。これらハードとソフトの両方の対策により、走りとトルクステアの抑制を高次元でバランスさせることができた。

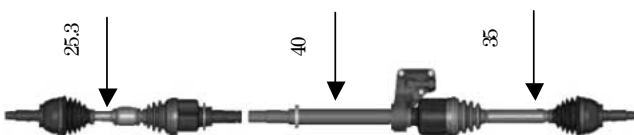


Fig.1 New Driveshaft

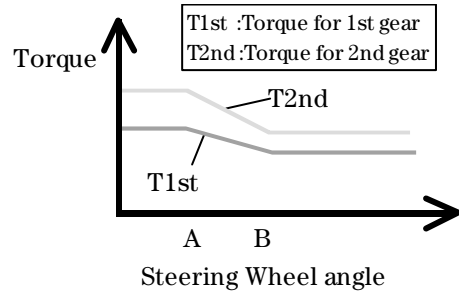


Fig.2 Engine Torque Management

2.2 コーナリング時のトラクション対策

4WDと比較して、前輪のみの駆動であるFF車の場合、コーナリング時に内輪が浮き上がり、空転すると駆動力が伝達できない。この課題を解決するために、トルクセンシング型LSDをマツダスピードアクセラ専用に新開発した (Fig.3)。これによって、ハイパワーを余すところなく使うことができ、コーナリング時のトラクション性能のみならず、操縦安定性能についても改善することができた。



Fig.3 New LSD

3. FF世界最速の走り

MZR 2.3L DISIターボのハイパワーをFF車として最大限に生かすことに注力し、FF車世界最速の走りを実現した。

大径タイヤの採用でトラクション性能を向上させ、ギヤ比を最適化することで更に加速性能を向上させている。欧州市場向け車両の最高速度についても、絶対的な数値のみならず、その高速走行を日常的に楽しめるよう、サスペンションと空力特性の改善により高速安定性能を高めることで実現した。

3.1 最高速度&動力性能

ターボエンジンのポテンシャルを、スペースの狭い車載状態で余すことなく出し切るには、インタークーラーの冷却性能を向上させることが、キーポイントとなる。

マツダスピードアクセラでは、デザインへのこだわりからボンネットスクープの採用を断念した。これと同等以上のインタークーラー冷却効率を実現するために、フロントグリル上段を開口とするインタークーラーダクトを設定し、冷却風を導入している。通気抵抗を下げるために、風

洞実験と合わせてCAEを繰り返し、最適形状を見出した。また、排気系は、排気管の内径の拡大により、排気音とともに排気効率も向上させた。これらパッケージによる出力低下の要因を排除していくことで、エンジンのポテンシャルを最大限に引き出すことができた。

既に述べたトルクステアを防ぐためのエンジントルク制御は、0-60mphの加速タイムに対して不利となるが、最終的には、トルクステアやホイールスピンを抑えながら、ベストの加速タイムとなるように最適なスペックを設定することができた。また、次に述べる空気抵抗の低減を織り込むことで、最終的にEU仕様では、最高速度250km/h、0-60mile加速タイム5.9秒（国内/USA仕様は5.7秒）を達成し、FF競合他車を圧倒し、世界最速を達成することができた（Fig.4, 5）。

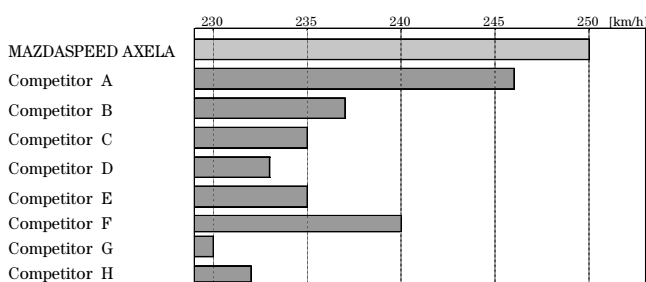


Fig.4 Maximum Vehicle Speeds

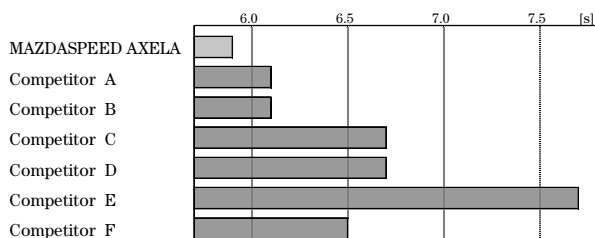


Fig.5 0-60mph Acceleration Time

3.2 空力性能

空力性能の狙いとして、1) 最高速250km/hを実現するためのCD値（空気抵抗係数）の低減、2) 250km/hに及ぶ高速域でも安定して、かつ軽快に意のままに操れる高速走行安定性の実現の2点に注力して開発を行った。

1), 2) の性能を実現するために、まず図面段階で床下の形状まで考慮した空力シミュレーションを実施し、床下/ボデーサイドにおいて効果的にCD値、CL値（揚力係数）を改善できるポイントを見出した（Fig.6）。この改善ポイントをもとに、欧州仕様5ハッチバックベース車に設定した床下パーツに加えて、マツダスピードアクセラ専用の床下パーツを追加設定した（Fig.7）。

更に、従来、風洞実験のみにより空力性能開発を行っていた試作車による育成段階において、高速での走行安定性を極限まで高めるべく、高速走行テストに空力エンジニアも参画し、サスペンションのセッティングに合わせた空力チューニ

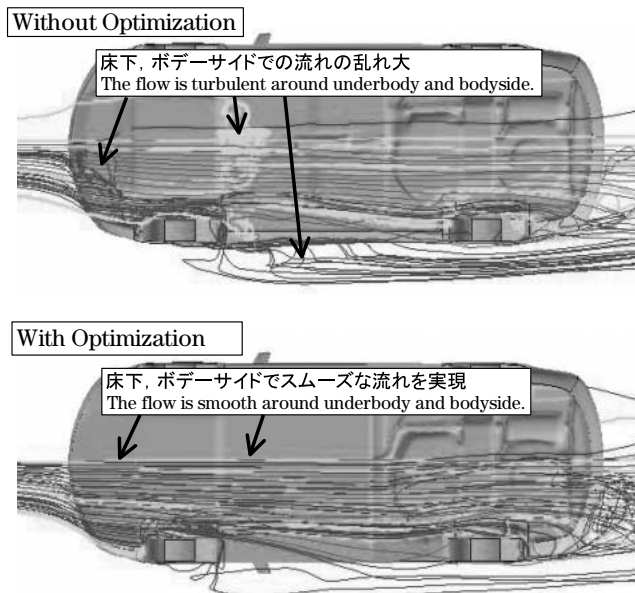
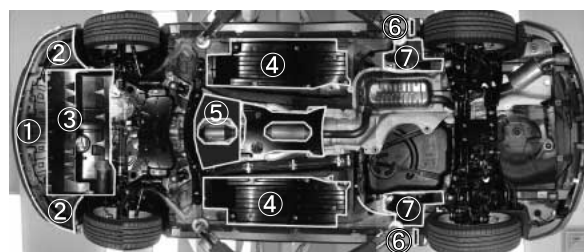


Fig.6 Aerodynamic Optimization for Underbody Using Computational Simulation



- ①Front Lip Spoiler
- ②Front Tire Deflector
- ③Engine Undercover
- ④Center Floor Undercover
- ⑤Center Tunnel Undercover
- ⑥Rear Tire Deflector
- ⑦Rear Undercover

: MAZDASPEED AXELA Specification
: Europe Specification

Fig.7 Aerodynamic Optimization Parts Installed Underbody

ングを行った。具体的には、ドイツアウトバーンでの高速走行テストにおいて、フロントタイヤデフレクタ形状の変更により、250km/hまでの高速域でも操舵時にしっかりとした手応えがあり安心して走行できる仕様を見出した。この仕様をもとに、風洞実験及びドイツのニルブルグリンクでの走行テストを重ね、ブレーキ冷却性能も考慮した上で、フロントタイヤデフレクタ形状を最適化した（Fig.8）。

以上により、CD値、CL値をそれぞれ、CクラスのFFハイパワー競合車比ではトップレベルのCD = 0.31, CLF = 0.03, CLR = 0.03にまで低減した。この空力性能の改善の結果、最高速250km/hを達成させた上、250km/hまでの高速域においても軽快かつ安心感の高い高速走行安定性を実現し、動力性能、走行安定性能の両面で「FF世界最速の走り」を実現させた。



Fig.8 Front Tire Deflector

4. 軽快なときめきの走りの演出

マツダスピードアクセラの開発にあたって、我々は単なるハイパフォーマンスカーではなく、アクセラの持つステアリングフィール、乗り心地の良さや、日常での使い勝手を犠牲にせず、快適性とダイナミック性能を高次元でバランスさせることに注力してきた。

そのために、FFならではの軽快なステアリングハンドリング、リニアなトルク感、そして刺激のかつ心地よいスポーティなサウンドなどを高次元でバランスさせ、ときめきの走りを実現した。

4.1 ステアリング/ハンドリング

(1) 狙い

マツダスピードアクセラでは、ハイパワーモデルにふさわしい“俊敏かつ正確で姿勢変化の少ない操縦安定性”と“フラットで減衰感に優れた乗心地性能”を高次元でバランスさせることを目標に掲げ開発を行った。その実現手段として次の項目に注力した。

- ① 高い運動性能を実現するためのマツダスピードアクセラ専用のサスペンションチューニング
- ② 正確なステアリング性能実現のためのステアリングギヤ支持剛性/フリクションの最適化
- ③ サスペンションからの入力を受け止めるボデー剛性の大幅な向上

(2) 構造の特徴

① 専用サスペンションのチューニング

高いコーナリング性能を実現するため215/45R18大径タイヤを採用し、ハイグリップタイヤを支える専用サスペンションを設定した。

- 1) 前後スタビライザの大径化(前 26mm,後 25mm)
- 2) 前後バネレートUP(前33N/mm,後31.8N/mm)
- 3) 専用ダンパのチューニング

② ステアリングギヤのチューニング

路面からのフィードバック感を高めるため、油圧式パワーステアリングを採用した。やや重めの味付けをしながら、ステアリングギヤマウント剛性UP(ベース車比約2倍の横剛性)、フリクションの最適化を施している。

③ ボデー剛性の向上

ベース車体から大幅な追加補強を織り込み、局部剛性とボデー剛性のバランスを向上させた。

- 1) フロントカウルメンバを補強しサスペンショントップガセットと直接結合(ストラットタワーバー効果)
- 2) リヤサスペンションタワー内倒れ低減のためロアガセット追加
- 3) アンダーフロアのトンネル部補強の大型化(#2 & #3トンネルメンバー一体化及び閉断面化)

(3) 商品性

操縦安定性能特性の一例として周波数応答特性を示す(Fig.9)。マツダスピードアクセラは競合車と比べてヨー共振周波数、ヨーレイトゲイン、ピーク定常比がすべて優位にあり、俊敏な操縦性と高いリヤグリップによる優れた安定性が両立できた。また、0.4G旋回時のロール角を競合車比較した結果を示す(Fig.10)。競合車比較では明らかに姿勢変化が少なくスポーティフィールの一助となっている。

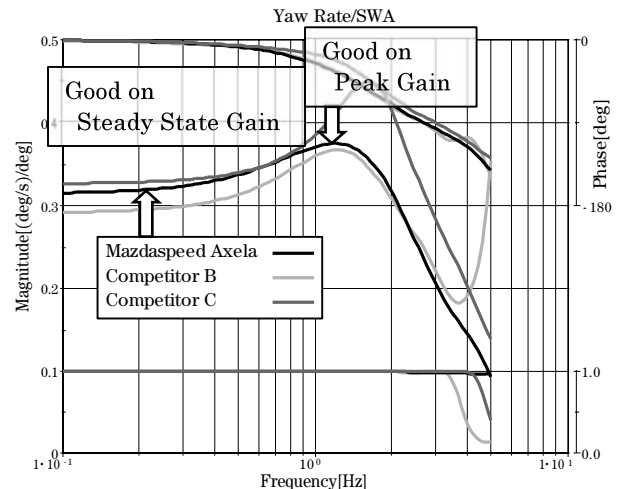


Fig.9 Frequency Response Test (120km/h)

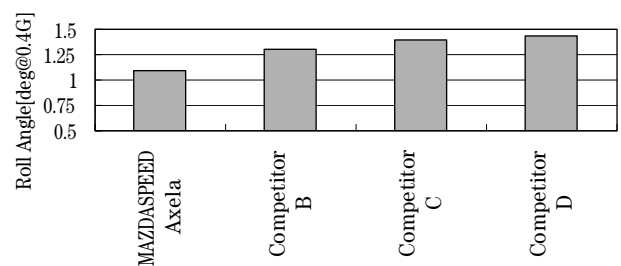


Fig.10 Roll Angle at 0.4G Cornering

4.2 スポーティサウンド

走りにふさわしいスポーティサウンドを目標とし、エキゾーストサウンドとエンジンサウンドの開発を行った。

エキゾーストサウンドについては、シミュレーションを駆使して仕様を詰め、更に細部のチューニングテストを繰り返すことで決定した。その結果、車外騒音規制と迫力あるサウンドの両立、更に心地良いサウンドを実現すること

ができた。具体的には、Fig.11に示す通りテールパイプの大幅な大径化により低周波音を強調し、サイレンサ内部構造のチューニングによりエンジン回転の4次や6次成分を強調した。これにより、始動時から迫力あるサウンドを実現し、アクセルを踏めば更にハーモニックで心地良いサウンドを実現することができた。

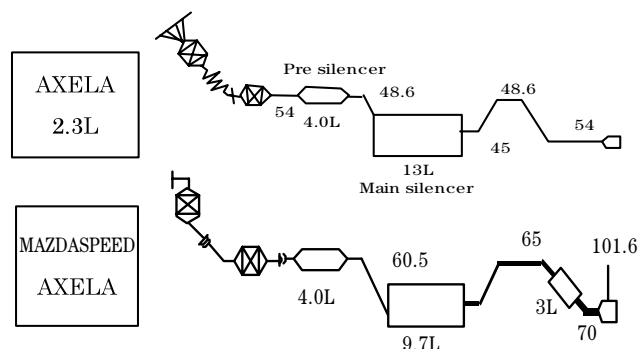


Fig.11 Specification of Exhaust System

エンジンサウンドについては、振動伝達音をチューニングした。具体的には、#3エンジンマウント部の共振を軽快な音となる周波数(300~500Hz)にチューニングし、加速時にエンジンロールすると、早く強く車内に伝わるようにマウント特性を変更した。また排気ハンガーの振動についても、ハンガーラバーの硬度アップにより狙いの周波数を、積極的に車内に入力させた。なお、これらの変更にあたっては不快な振動やこもり音などの弊害が出ないように配慮した。これにより、マツダスピードアクセラの最大の売りである“圧倒的な加速感”を味わえる場面で、軽快なエンジンサウンドを演出することができた。

Fig.12にアクセラ2.3Lとマツダスピードアクセラの全開加速時の車内音を示す。横軸はエンジン回転数、縦軸は音の周波数、色が音のレベルで、囲った部分がスポーティサウンドとして強調した2つのサウンドである。

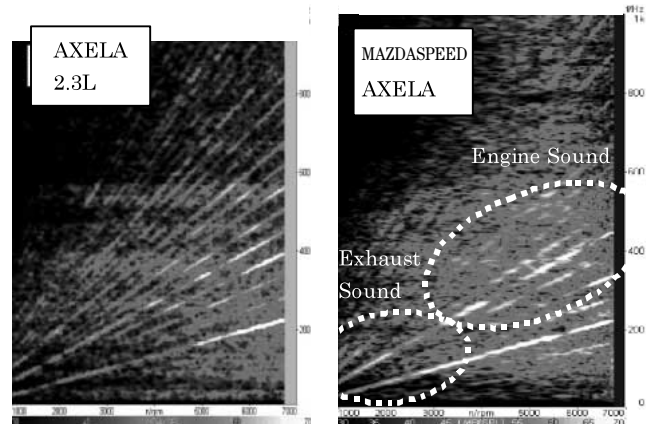


Fig.12 Sound in Car at 2nd WOT

4.3 リニア感とターボの楽しさを両立するトルク感の育成

(1) 狙い

マツダスピードアクセラでは、ドライバーが意のままに操れる「リニアな特性」と、「ターボ車としての楽しさ」を併せ持ったトルク特性を演出することを目標に開発を行った。

リニアな特性とは「エンジンの回転上昇と、ドライバーのアクセルの操作に対して、期待通りのトルクが発生すること」と定義している。

例えば、コーナ脱出時にアクセル操作に応じたトルクが発生し、思い通りに加速ができることをいう。

(2) 狙いの特性実現に向けて

① リニア感とターボらしさの両立

リニアについては、先に述べたようにある程度明確な定義があるが、“ターボ車としての楽しさ”については明確ではなかった。

私たちは全世界のターボ車を乗り比べ、チームで協議を重ねた結果、「ターボ車の楽しさは、過給によるトルクの盛り上がりを感じる加速感にある」と考えた(Fig.13のような加速度特性を表す加速感)。

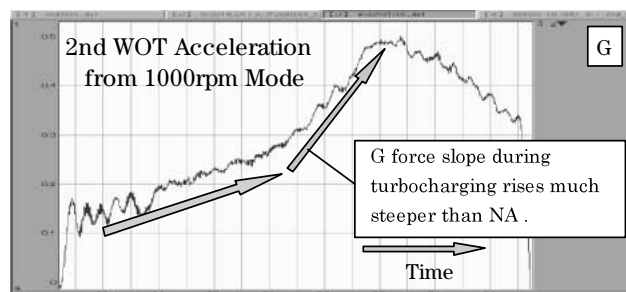


Fig.13 Conventional Turbocharger G Force

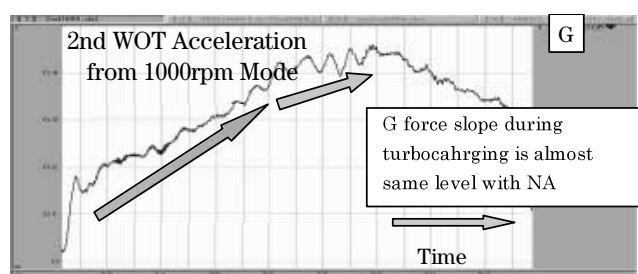


Fig.14 Linear G Force Change

しかし、このような加速度特性は扱い難しく、マツダスピードアクセラの狙いのひとつであるリニアな特性の点からは外れてしまう。逆にリニアで扱いやすさを重視したFig.14のような味付けを行った場合、ターボらしさが失われる。この相反する特性の最適値を求め、狙いの特性を実現するために、加速度の波形(G波形)からターボらしさを定量的に表現し目標設定することとした。

まず、アクセルを踏み込んだ際の過給の立ち上がり方に注目し、過給時にドライバーが受ける感覚とその時のG波形

を分析した。その結果、ドライバは4つの点から過給時の特性を判断していることが判った。その4つの視点から、“ターボらしさ”という指標を創り目標値とした。

指標に用いたポイントは下記点 (Fig.15)

- I : 過給開始時の加速度変化
- II : 過給開始から加速度が最大になるまでのG波形
- III : 加速度最大値
- IV : 過給前後のG変化

この4つの視点それぞれに目標を立て、それを達成することで、ターボらしさとリニアな特性の最適値を求めることができ、Fig.16のような狙いのトルク特性が実現できた。

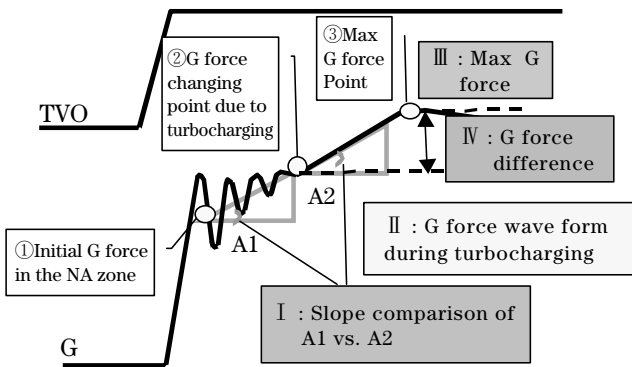


Fig.15 Definition of Turbo Engine Car G Force

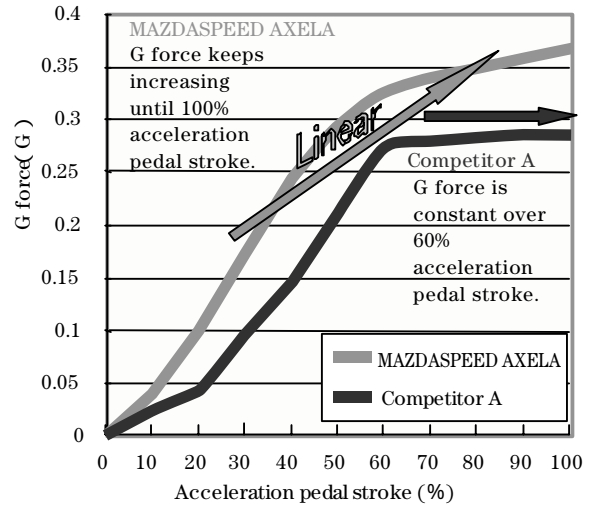


Fig.17 Correlation between Acceleration Pedal Stroke and G Force

5. おわりに

世の中にハイパワーのFF車は数多く存在するが、マツダスピードアクセラはその中でも他を圧倒するパワーを持つ。それを快適性 / 実用性を損なわずに実現させることができた。このような今までにない車を、多くの難問を解決して、世に送り出したことは我々エンジニアの大きな誇りである。

著者



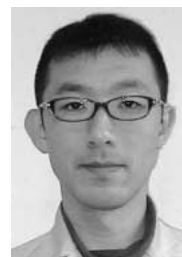
谷口 正明



稲田 伸一



光永 誠介



岡田 義浩



岡本 哲



星野 彦一



八木 淳

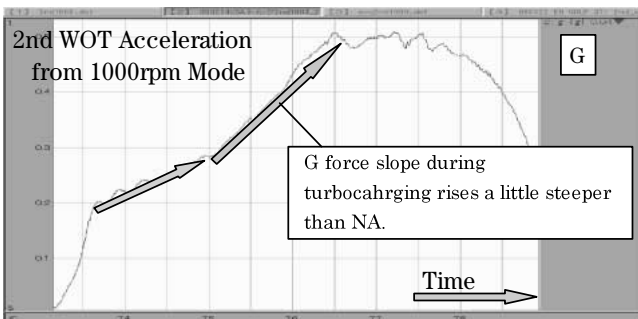


Fig.16 MAZDASPEED AXELA with Both Linear and Turbocharger-Like G Force

② アクセル操作に対するリニア感の育成

Fig.17はアクセル開度に対して発生する加速度を表した図である。

マツダスピードアクセラと競合車Aを比較したところ、競合車Aはアクセル開度60%以上から加速度の変化が見られない。マツダスピードアクセラは100%まで加速度の変化があり、どの開度からアクセルを操作しても車が反応することが判る。

マツダスピードアクセラは、ドライバのアクセル操作に対して期待通りのトルクを発生し、思い通りに加速できるリニアな特性に仕上がっており、我々の狙いを実現することができた。

論文・解説

16

車両衝突現象における内部エネルギー評価に関する研究

Investigation on the Internal Energy Assessment in the Vehicle Crash Event

井上 実*¹ 渡辺 通成 木戸 啓人*³
 Minoru Inoue Michinari Watanabe Hiroto Kido
 伊東 紀明*⁴ 尾川 茂*⁵
 Noriaki Ito Shigeru Ogawa

要約

衝突安全性能開発では、より安全な車をいかに軽量の車体構造やフレームワークで実現するかが課題となっている。近年のCAE精度の向上・モデル規模の拡大にともない、衝突時の内部エネルギーが精度よく求められるようになってきている。この論文では計算と実験の双方を用いて内部エネルギーの等価性について検討し、更に車体構造の軽量化指標として内部エネルギーの有効性を提案する。

Summary

In the vehicle safety developments, it is the eternal and continuous challenge to realize the safety vehicles with the lighter weight body structures and frameworks. The recent improvement of the model accuracies along with the extended model sizes enables us to assess the internal energies precisely in the vehicle crash events by CAE. This paper assesses on the internal energies using both testing and CAE, and proposes to use the internal energy as the index for reducing the weight of the body structures.

1. はじめに

車両の衝突現象では、衝突時の車両が持つ運動エネルギーは、車両が潰れることによる歪みエネルギーと衝突後の反発等の運動エネルギーに分けて考えることができる。この車体各部での歪みエネルギーの分布と時間履歴特性は車体構造を設計する上で重要であると考えられる。これまでに車体構造に関する研究では、荷重や変形量が評価の主要指標として用いられており、パンパやフロントサイドレールに研究が注力されてきた。近年コンピュータやその応用技術の継続的な発達により、100万要素・節点を超える有限要素法モデルが扱えるようになってきている。これらのモデルでは、車両全体が等しくモデル化されており、全ての車体部品の内部エネルギーを等しい精度で評価することが可能になっている。本論文では、CAE内部エネルギーとロードセルによって計測された実験結果から算出されるエネルギーの等価性を示す。更に内部エネルギーを用いた検討を行い、車体構造を軽量化の視点で設計する際の指標のひとつとして内部エネルギーが活用できることを示す。

2. CAE内部エネルギーの等価性の確認

CAE内部エネルギーの精度を確認するために、ハット形状の試験体を用いた落錘試験と車両のフロントフレームを用いたバリア試験の2つで等価性の確認を行った。

2.1 試験体を用いた落錘試験

Fig.1に使用した試験体を示す。試験体は板厚1.4mmの軟鋼材を用い加工硬化の影響をより少なくするために折り曲げ製作とした。この試験体を用いて、単一および試験体の積み上げ状態の2つの試験を行った。それぞれについて内部エネルギーと落錘試験で計測されるバリア荷重を積分して算出されるエネルギーを比較した。

(1) 単一試験体を用いた落錘試験

Fig.2に落錘テストとCAEの変形モードの比較を示す。しわの数など変形モードも類似している。Fig.3にこの試験における荷重 - 変位線図、Fig.4に吸収エネルギー - 変位線図を示す。またTable 1には変形量やエネルギー値の比較を示す。荷重 - 変位線図で全体の荷重レベルは非常に似通っており、吸収エネルギー - 変位線図も非常に類似している。

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

*3~5 衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.

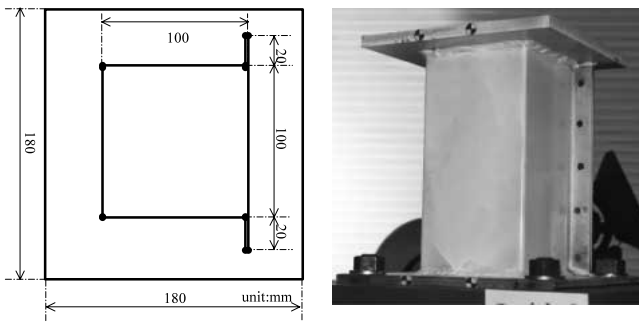
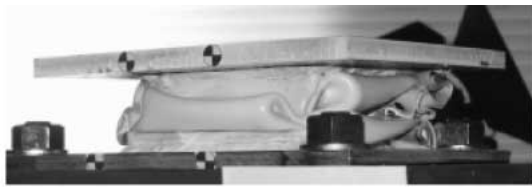
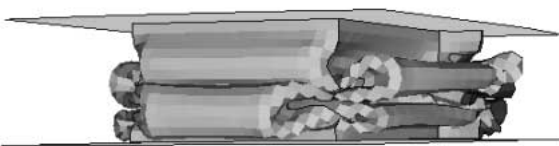


Fig.1 Test Piece (Section Shape and Actual Picture)



Drop Weight Test



CAE (B-T shell)

Fig.2 Deformation Modes : Single Test Piece

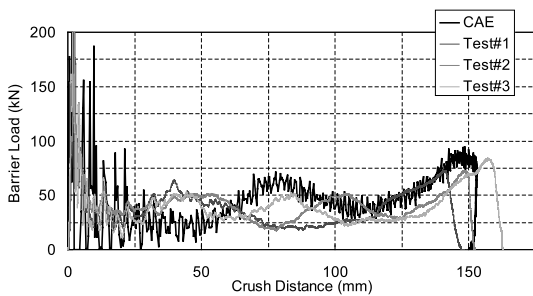


Fig.3 Load - Deflection Curves

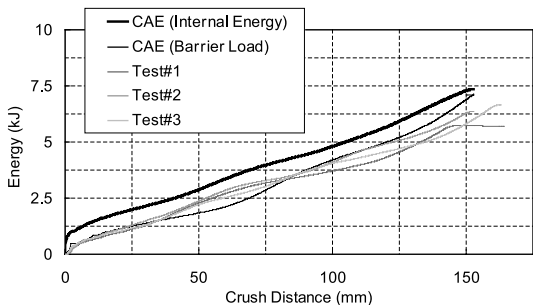


Fig.4 Energy Absorption Curve

Table 1に示すように実際の試験におけるバリア荷重から計算したエネルギー値の平均とは0.7kJの差があるが、この要因はスポット溶接破断や摩擦などと思われる。全てこれらエネルギーは十分に近い値を示しており、バリア荷重から計算したエネルギーとCAE内部エネルギーはこの単一試験体を用いた落錘試験において等価であるといえる。

(2) 2試験体積み上げ落錘試験

次に、より複雑なテスト形態として、Fig.5に示す2つの試験体を積み重ねた状態でのエネルギー比較を行った。上と下の試験体の板厚はそれぞれ1.0mmと1.4mmとし、上下いずれかの試験体を完全に潰した上でもう一方の試験体をある程度潰すエネルギーとなるように落錘試験の高さを設定した。Fig.6に試験とCAEによる変形モードをそれぞれ示す。わずかな差は認められるが、しわの数や潰れる順番など、全体の潰れモードは大変似通っている。Fig.7, 8およびTable 2にこの試験における荷重 - 変位線図, 吸収エネルギー - 変位線図, 変形量やエネルギー値の比較をそれぞれ示す。この試験では上下の試験体が同時に潰れないので、試験体のエネルギーの算出は上下の試験体がそれぞれ潰れるまでの荷重を積分して求めた。荷重 - 変位線図, 吸収エネルギー - 変位線図ともに非常に類似している。これらの結果を考えるとバリア荷重から計算したエネルギーとCAE内部エネルギーはこの2試験体積み上げ落錘試験においても等価であるといえることができる。

Table 1 Comparison of Energies

	Crush Distance	Actual Energy Applied	Energy Calculated from Barrier Load	CAE Internal Energy
Test	151mm	7.3kJ	6.4kJ	N/A
CAE	151mm	7.5kJ	7.1kJ	7.3kJ

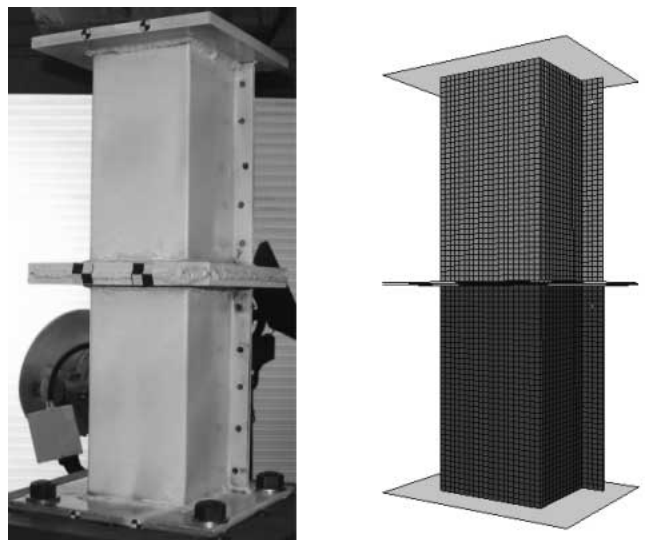
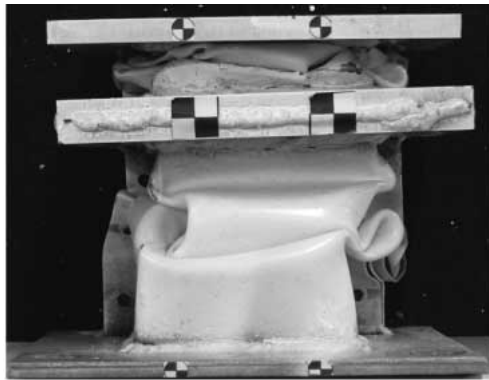
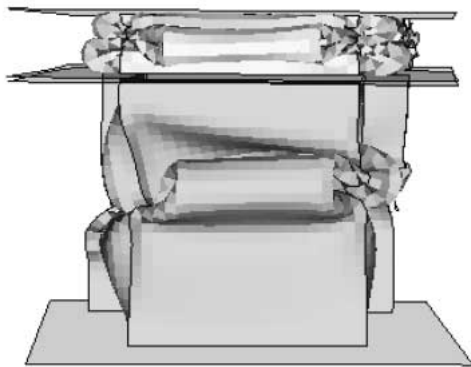


Fig.5 Drop Weight Test with Two Test Pieces Piled Up



Drop Weight Test



CAE

Fig.6 Deformation Modes : Two Test Pieces Piled Up

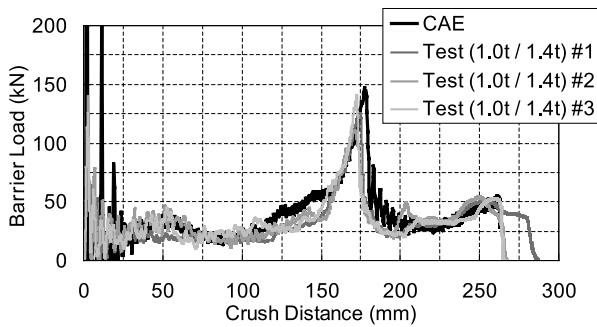


Fig.7 Load - Deflection Curves

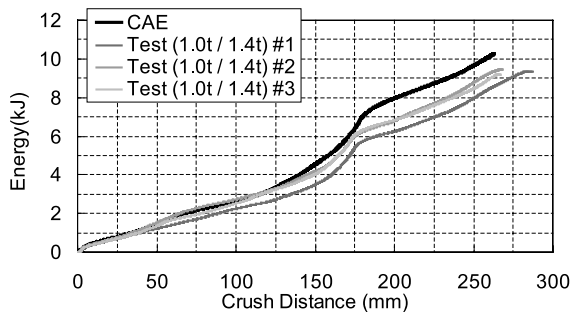


Fig.8 Energy Absorption Curve

Table 2 Comparison of Energies

	Crush Distance	Actual Energy Applied	Energy Calculated from Barrier Load	CAE Internal Energy	Upper Test Piece	Lower Test Piece
Test	266mm	10.4kJ	9.4kJ	N/A	5.4kJ	4.1kJ
CAE	263mm	10.5kJ	10.3kJ	10.3kJ	6.8kJ	3.5kJ

2.2 フロントフレームの台車試験

次に実車から切り出したフロントフレームを取り付けた台車を用いて、CAE内部エネルギーとバリアロードセルから計算したエネルギーの等価性を再度確認する。Fig.9に、台車への取り付け状態と、CAEモデルを示す。台車のテスト質量と剛壁に対する衝突速度は、それぞれ1,200kgと40km/hであり、全衝突エネルギーは74.1kJとなる。Fig.10に、テスト後のフロントフレームにおける変形モードの比較を示すが、変形モードはよく類似している。またFig.11（右側のみ）、12およびTable 3にこの試験における荷重 - 変位線図、吸収エネルギー - 変位線図、変形量やエネルギー値をそれぞれ示すが、ともに良い一致を示している。

以上述べてきた、単一、積み重ね、フロントフレーム台車試験の結果よりバリアロードから計算したエネルギーとCAEの内部エネルギーとの等価性が証明でき、CAEの内部

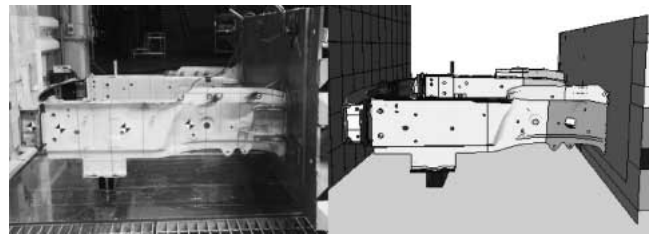


Fig.9 Cart Test of Front Frame

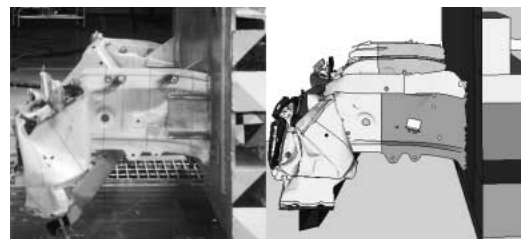


Fig.10 Deformation Modes of Front Frame

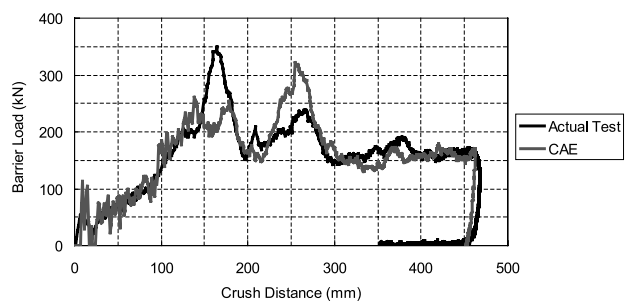


Fig.11 Load - Deflection Curves

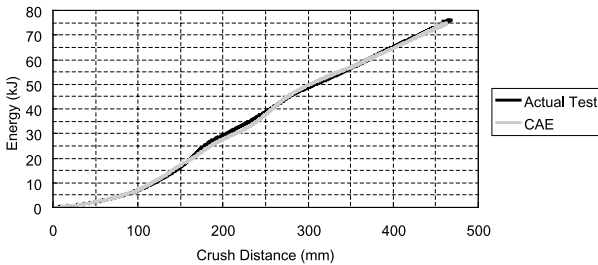


Fig.12 Energy Absorption Curve

Table 3 Comparison of Energies in Case of Cart Test

	Crush Distance	Actual Energy Applied	Energy Calculated from Barrier Load	CAE Internal Energy
Test	468mm	72.4kJ	76.1kJ	N/A
CAE	463mm	74.1kJ	74.2kJ	74.8kJ

エネルギーを衝突安全CAEに対する評価指標として使うことが可能であると考えます。

3. 内部エネルギーを用いた軽量化検討

CAE内部エネルギーを車体構造改善や軽量化活動に適用することの利点を次に述べる。Fig.13には前章で用いたフロントフレームを示す。フロントフレームはインナとアウトからなり、更にテラードブランクの境界線によってそれぞれ2つ、もしくは3つの領域に分かれている。この5つの領域の内部エネルギー分布をTable 4に示す。Table 4よりフロントフレームの半分以上のエネルギーが“ IN.Front ”で吸収されており、質量当たりのエネルギー吸収効率で見ると、“ IN.Front ”は“ OUT.Front ”や“ OUT.Mid ”の2倍のエネルギーを吸収していることが分かる。もしこれらの領域の効率が近い値あるいは同じにできれば、全ての領域が等しく働き効率的にエネルギーを吸収するといえる。

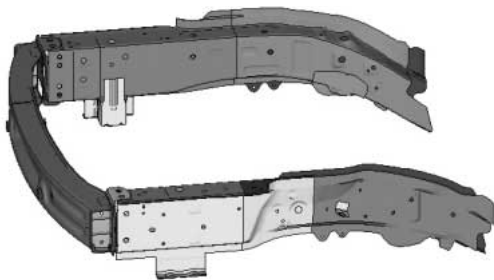


Fig.13 Front Frame

Table 4 Detailed Energy Absorption of Front Frame (Base)

	Thickness (mm)	RH			LH		
		CAE Internal Energy(kJ)	Part Mass (kg)	Efficiency (kJ/kg)	CAE Internal Energy(kJ)	Part Mass (kg)	Efficiency (kJ/kg)
Frame IN.Front	1.8	15.4	2.3	6.7	14.6	1.6	9.2
Frame IN.Rear	2.3	1.1	1.3	0.8	2.9	2.2	1.3
Frame OUT.Front	1.8	4.5	1.2	3.8	6.3	1.2	5.3
Frame OUT.Mid	2.6	2.7	0.8	3.3	1.9	0.8	2.3
Frame OUT.Rear	2.3	0.4	0.7	0.6	0.2	0.8	0.3
Each Side Total		24.1	6.3	3.8	26.0	6.5	4.0

そこでTable 5に示すように効率の高い部位の板厚を薄く、同時に効率の低い部位の板厚を厚くする組み合わせをいくつか検討した。評価に際しては質量、効率に加えて、現在の变形モード (Fig.10) および潰れ量 (Fig.11) についても比較した。Table 5に示すように、WR#3が質量、効率そして潰れ量の全てにおいて最も優れた結果を示している。WR#3における内部エネルギーの詳細をTable 6に示す。Table 6をTable 4と比較すると“ OUT.Mid ”などの部位がベースよりも機能し、多くのエネルギーを吸収していることが分かる。各部の効率値も同等で全体としての効率も向上しており、その結果、質量は5.3%の軽量化を達成した。Fig.14に質量と効率の変化、Fig.15に変形モードの変化を示す。元の変形モードは保持され、エネルギー吸収面からはFig.10に対してより軸圧壊モードとなり改善が見られる。

Table 5 Studies to Improve the Efficiency of the Energy Absorption

	Case Name	Base		W/R #1		W/R #2		W/R #3	
		RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH
Frame IN.Front	mm	1.8	1.8	1.6	1.6	1.8	1.6	1.8	1.6
Frame IN.Rear	mm	2.3	2.3	2	2	2	2	2	2
Frame OUT.Front	mm	1.8	1.8	2	2	2	2	1.8	2
Frame OUT.Mid	mm	2.6	2.6	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
Frame OUT.Rear	mm	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
Weight of Front Side Rails	kg	6.3	6.5	5.9	6.1	6.2	6.1	6.0	6.1
Weight Reduction	kg			12.80	11.99	12.25	12.12		
Internal Energy of Front Side Rails	kJ			50.1	50.9	49.8	52.0		
Efficiency of total Front Side Rails	kJ/kg			3.9	4.2	4.1	4.3		
Crush Distance	mm			463	509	488	464		

Table 6 Detailed Energy Absorption of Front Frame (WR#3)

	RH				LH			
	Thickness (mm)	CAE Internal Energy(kJ)	Part Mass (kg)	Efficiency (kJ/kg)	Thickness (mm)	CAE Internal Energy(kJ)	Part Mass (kg)	Efficiency (kJ/kg)
Frame IN.Front	1.8	16.2	2.3	7.0	1.6	11.6	1.4	8.2
Frame IN.Rear	2.0	1.3	1.1	1.2	2.0	5.3	1.9	2.8
Frame OUT.Front	1.8	4.6	1.2	3.9	2.0	6.1	1.3	4.6
Frame OUT.Mid	2.3	2.9	0.7	4.0	2.3	3.7	0.7	5.2
Frame OUT.Rear	2.3	0.2	0.7	0.3	2.3	0.1	0.8	0.1
Each Side Total		25.2	6.0	4.2		26.8	6.1	4.4

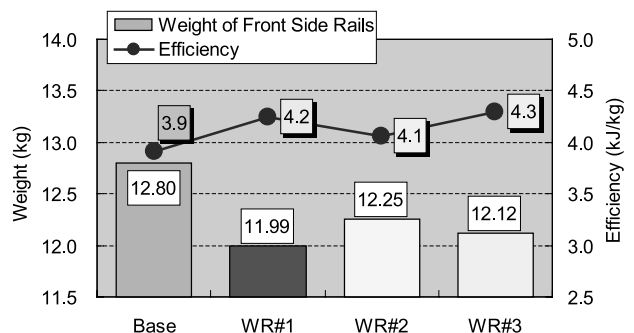


Fig.14 Studies to Improve the Efficiency

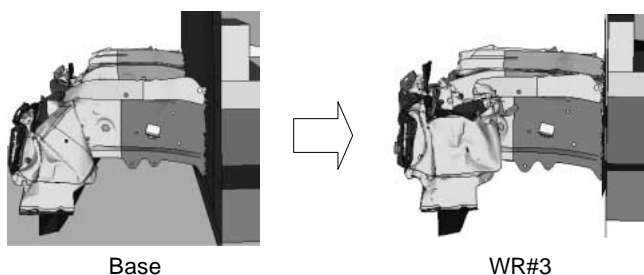


Fig.15 Deformation Modes in Case of WR#3

以上のように、変形量、加速度や力・荷重などの現在の評価指標に内部エネルギーあるいは効率という指標を加えることで軽量の車両構造を設計することが可能であるといえる。

4. おわりに

以上、CAE内部エネルギーが実験で計測される荷重から算出されるエネルギーと等価であることを示し、この内部エネルギーと効率は車両構造を軽量化の観点で設計する上での新しい評価指標とすることができ、更に効率を用いることで、構造の質量の削減が可能であることを示した。

本研究の落錘テスト実施に対し、住友金属工業(株)中澤嘉明様、田村憲司博士他同僚の方々へ感謝いたします。

著者



井上 実



木戸啓人



伊東紀明



尾川 茂

論文・解説

17

全ての開発活動に活かせるデジタルモックアップ構築とその運用 Construction and Operation of Digital Mock-Up to Make the Best Use of for all Development Activities

飯田 健次*¹ 児玉 信宏*² 縄 淳二*³
Kenji Iida Nobuhiro Kodama Junji Nawa
平野 誠一*⁴ 花野木 寛*⁵
Seiichi Hirano Hiroshi Hananoki

要 約

今日、開発期間短縮・品質向上・商品性向上・開発費削減など幅広い領域で更なる飛躍を実現するためにデジタルモックアップ (DMU: Digital Mock-Up) を活用した業務革新活動が社内外を問わず強力に推進されている。マツダでも正式出図前のレイアウト活動を中心としてDMU運用を開始し、効果を生んできた。しかし、運用を続ける中で当初のDMUでは応じきれない問題や新たなニーズが次々と発生し、DMU自身を進化させる必要性が生じてきた。そこで我々は、従来のDMU支援ツールや運用方法を抜本的に見直し「全ての開発活動に活かせるデジタルモックアップ」の構築と活用促進に取り組んだ。本稿では2001年から現在までの約5年間の取り組みについて述べる。

Summary

Recently, revolutionized development activities which center on Digital Mock-Up (DMU) have been strongly promoted in order to achieve further development in wide areas such as shortening of development period, quality and product improvement, and development cost reduction, both inside and outside of Mazda. Mazda had been promoting construction and use of DMU focusing on utilization for layout activity before final drawing release, however some problems and necessities which existing DMU could not solve occurred. Therefore, we reviewed the existing DMU supporting tools and the operation procedure, and tried to construct DMU which is available for all development activities and to promote utilization of it. This paper describes the approach activities for about five years since 2001.

1. はじめに

マツダではMDI (Mazda Digital Innovation) のもとDMU構築とその運用を1998年頃から開始した。DMUとは車1台分の部品形状をコンピュータ上に3次元モデルとして再現したものである (Fig.1)。DMUはCAEなど様々な机上検証や業務の自動化などに利用され、2001年頃にはそれまでの試作車主体の開発に比べ大幅なコスト低減と期間短縮実現に貢献した。

しかし、当初のDMUは一部の開発関係者で活用されている情報に留まっており、活用を更に拡大させるにはDMU運用そのものを抜本的に見直す必要があった。以降の本文

では、簡単ではあるがこの第2世代ともいえるDMU運用を実現した支援ツール開発や運用構築について述べる。

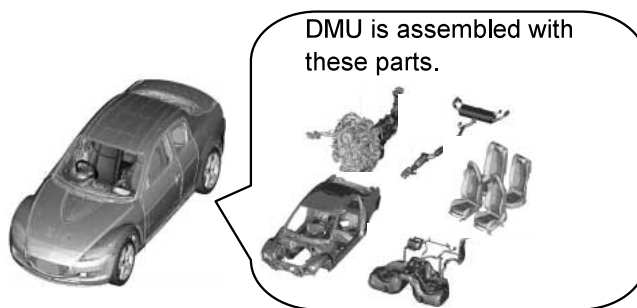


Fig.1 DMU Image

*1~3 ボデー開発部
Body Development Dept.

*4, 5 車両開発推進部
Vehicle Development Promotion Dept.

2. DMU運用と課題

DMUの運用は、新車開発で設計部門が本格的な検討を始めるレイアウト活動に展開した (Fig.2)。この活動は設計部門を中心とした開発担当者が一堂に会し、部品形状や部品仕様・生産方式を決定していく、いわゆる大部屋活動である。

また、この活動段階では日々部品の形や位置は変更されるため、最新の情報を共有することが効率的な活動を進める上で必要不可欠であり、DMUの運用は最新データの共有に焦点をおいたものであった。

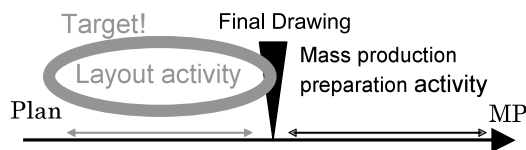


Fig.2 Target Timing

2.1 運用

周辺部品を踏まえた部品形状や部品間のスキ・干渉チェック等の検討作業を対象とした最新データのDMUの運用は、1~2年で定着し当初の狙いは達成できた (Fig.3)。しかし、その運用状況を詳細に分析すると新たな課題やニーズが表面化してきた。

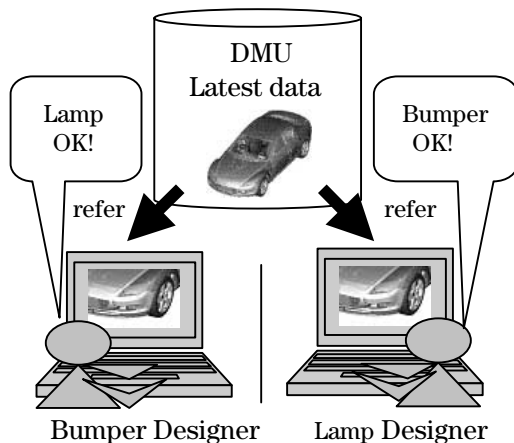


Fig.3 Latest DMU

(1) 設計部門での運用

① CAD環境・スキルが必要なDMU

当初のDMU利用にはEWSと呼ばれるCAD用高性能端末とDMU用データ管理などの専門知識が必要とされた。従って、CAD利用経験者には受け入れられたものの、CADを扱ったことのない設計者には操作習得に加え、端末確保まで強い敷居の高いものであった。自ずと専門スキルと端末を持

った“CADオペレータが操作し、設計者はその横で見ている”という光景が珍しくなかった。

すなわち、全ての設計者が“使いたいときに使える”ものではなかった。

② 容易でない部品収集

DMU利用は部品を表示させることから始まるが、数万点にも及ぶ部品間の組み合わせ「AT車にクラッチペダルは付かない」といった情報を正確に把握し、必要な部品のみ収集することはきわめて難しかった。

これをサポートするために“部品がどの仕様の車に付くか”という情報を当初のDMU支援ツール導入時から管理していたが、使い勝手が良いといえるものではなかった。更に、部品の組み合わせ情報を正確に設定するための支援機能が不十分でミスが多かった。従って、データ利用者は設計者へ直接問い合わせることも多く、非効率で人的ミスを生む要因になっていた。

また、フォードとの共同開発では共通プラットフォームにフォード用/マツダ用それぞれの情報設定が必要で、複雑な作業が設計者を悩ませることになった。1つの誤った情報がフォード内でのトラブルとなるため、情報設定と管理作業に多大な工数を割いていた。

すなわち、信頼性を欠いた“単なる3Dデータの集合体”であり、即座に車単位で利用できるものでなかった。

(2) 評価部門での運用

大部屋活動に直接参画している担当者間では、日々、個々の部品形状の変更状況をコミュニケーションにより入手し、こうした情報を踏まえて個々の最新の部品形状を使い、生産性などの検証を実施していた。しかし、大部屋活動に参画していない車全体の生産検証や性能解析等の担当者においては、変更タイミングがバラバラな各部品に対し、車として整合が取れた状況を的確につかむことが困難であった。そして、整合が取れない状況で検証を実施して結果を設計者にフィードバックしても「今変更中なので、1週間後に再度、検証してください」といった回答が返ってくる場合もあり、手戻りの多い非効率な検証となっていた。

このように、当初のDMUは、刻々と更新される最新データを用いてレイアウト検討できるメリットはあるが、検証業務においては車1台分の整合性が取れた3Dデータを特定できる状態ではなかった。結果として、検証業務毎に、担当者間で検証用の情報リストを個別に作成、伝達するなど、人間系での情報収集を繰り返している状況であった。

そのため、生産技術や実験、検査といった評価部門では、正式図前の検証を十分に実施できない業務も多くあった。

2.2 課題

前述のように当初のDMUは信頼性を欠いた“単なる3Dデータの集合体”であるため、CADユーザ中心の活用に留まるなど、特定の業務・ユーザといった狭い領域でしか活用できないものであった。

一般にDMUのことを“デジタル試作車”とも呼ぶ。実際の“試作車”は誰もが容易に車両を見て・触って・体験することができる。我々はCADユーザに留まっていたDMUを、設計者や実験者・生産技術者まで幅広く開発活動全体で活用できる第2世代のDMUへと進化させるべく、以下3つの課題に取り組んだ。

「単なる3Dデータの集合体から

デジタル試作車への進化」

- ・どこでも・誰でも簡単に使える環境づくり
- ・車としての情報設定とその活用
- ・評価部門へオフィシャルな製品情報の提供と活用

3. 課題解決への取り組みとその成果

課題解決への取り組みとして基盤システムを刷新し、この生まれ変わった支援ツールを“CDMS”(CAD Data Management System)と名付けた。

3.1 どこでも誰でも簡単に使える環境づくり

設計・実験・生産技術部門等の幅広いユーザに対して、より身近なDMU環境を提供するために3つのことを行った。

1つ目は高価なCAD用端末でのDMU閲覧の制約をなくすことに取り組み、目指す姿を「あらゆる開発現場で紙画面のように即座に広げて閲覧できる。」と描いた。この実現のためWeb経由でのデータ配信や、OA用PCへの3Dビューワ導入などを行い、社内の全ての端末でDMUを閲覧できるようにした。

2つ目はCADの専門スキルの制約をなくすことに取り組み、設計者やこれまでにCADとは全く無縁だった開発者にも幅広く受け入れられるDMUを目指した。分厚いマニュアルを読まなくても、誰もが感覚的な操作でDMU閲覧できるようにしたいと考え、とにかく複雑な操作を排除して2~3回の簡単なボタン操作で閲覧できるツールを構築した(Fig.4)。

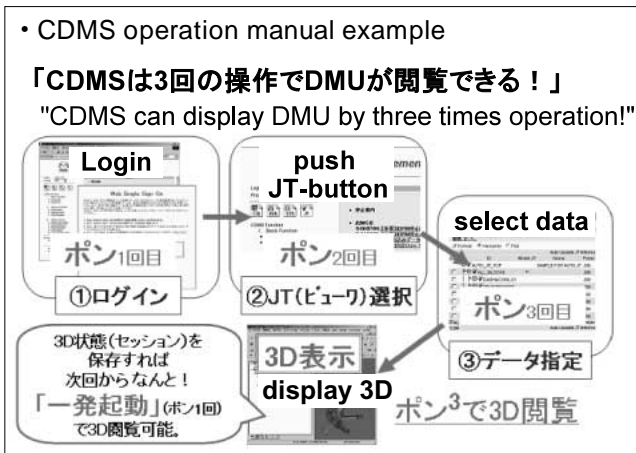
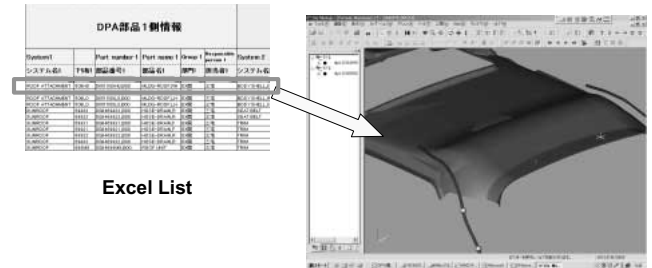


Fig.4 Easy Access to DMU

3つ目は前述したWeb化・OA用PC対応によって3Dデータと一般的な事務用ソフト(Excel)等との連携が可能となり、更に実務への浸透を図った。具体的には、部品間の隙干渉チェックリストから、マウスクリックのみで自動でビューワが起動して即座に隙干渉チェックを実施できる仕組みを構築した(Fig.5)。



Excel List

Fig.5 Easy Access from Excel to DMU

これら3つの施策を2004年から順次実施し、実務展開を促進することで、現在では日々2,500名のユーザに利用され、1日あたりのシステムログイン回数は約3,700回に達し、頻繁に利用されるようになった(Fig.6)。

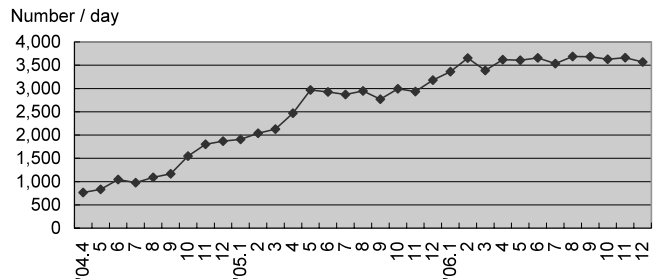


Fig.6 Number of CDMS Login

3.2 車としての情報設定とその活用

単なる3Dデータの集合体であったDMUを車単位で適切に活用できるデジタル試作車にするため、以下の施策を行った。

まず、“部品がどの仕様の車に付くか”といった部品と車を対応させる情報(車種仕様)を設定する際の支援機能強化を図った。この情報入力は2つのステップで行われる。

- ① 部品中心の視点で車種仕様を設定
- ② 車種仕様と開発対象の車種群との整合性チェック

この作業で一番の問題点は②のチェック作業であり、設計者毎で三者三様のチェックをするため、適正なチェック作業か否かは担当者次第であった。

そこで、これら2つの作業を同時かつ確実にいえるようにデータ設定機能を改善した。

また、一方では“車としてのDMU”を積極的に展開する改善も同時に行った。具体的には車種一覧リストの中か

ら見たい車種を選び、容易な操作で閲覧できるようにした (Fig.7)

このように“情報設定”と“情報活用”の両面を改善することで、データ設定時の設計者の意識も変わり、相乗効果を生んで設定ミスも激減し、車としてのDMUは安心して活用できる適正な情報になった。

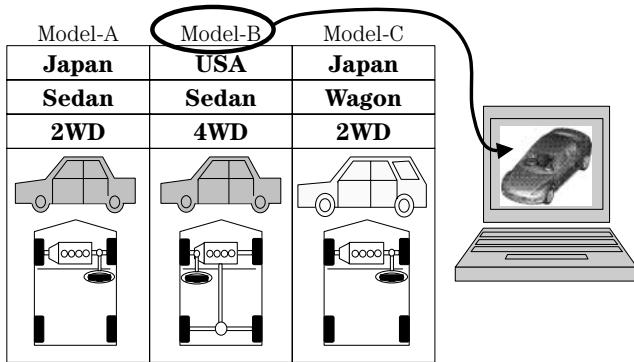


Fig.7 Start DMU from Model Selecting

「安心で・簡単に扱える“車としてのDMU”」を構築した結果、このデータへのアクセス数が飛躍的に増加した (Fig.8)。現在では日々23,000回のアクセス数に達し、利用部門は設計・実験・生産技術に留まらず、企画・マーケティングやサービスといったこれまでCADとは無縁だった部門までDMU利用は拡大した。

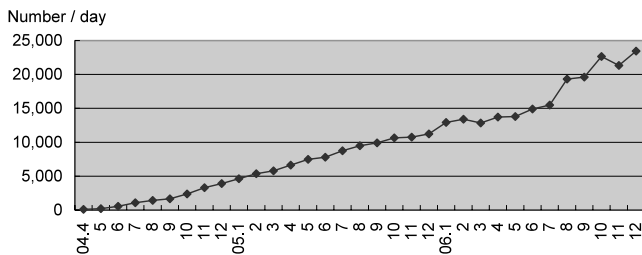


Fig.8 Number of Accesses to DMU

更に、車種仕様を適切に設定できるようになったことで、派生車やフォードとの共同開発においても効率的なデータ運用ができるようになった。

例としてマツダが主導開発し、フォードグループ内で幅広く展開するグローバルプラットフォームのケースを挙げる。従来はグローバルプラットフォームを展開する車種の数だけデータを設定・管理していた (Fig.9_Old)。これを再々データ設定することなく、それぞれの展開車種でプラットフォームを共有できるようにした (Fig.9_New)。これによってデータ設定維持管理工数を現時点で年間約1,200時間削減することができた。

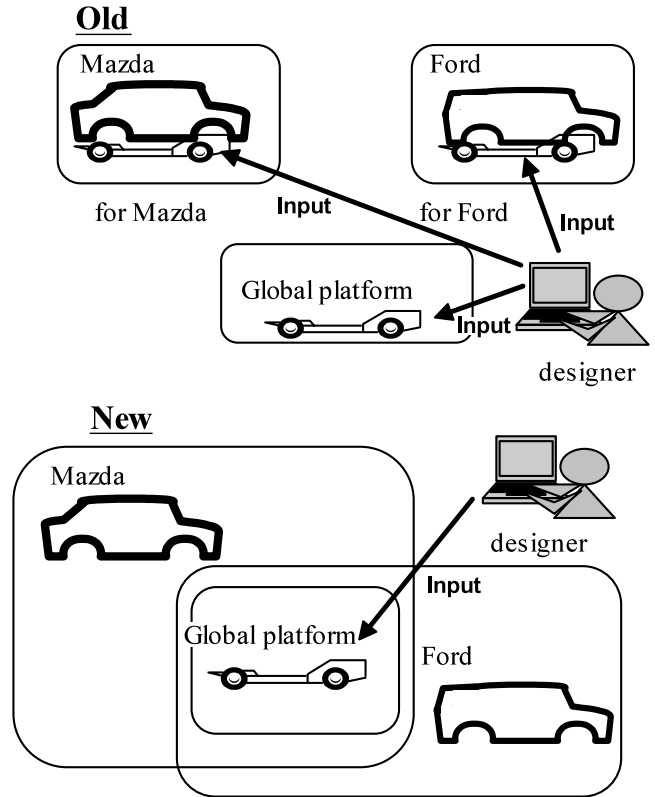


Fig.9 Case of Global Platform

3.3 評価部門へのオフィシャルな製品情報の提供と活用
 評価部門で確かな検証を実施するには、3Dデータの製品形状だけでは自ずと限界があり、構成やスペックといった製品情報も必要不可欠である。

そこで、正式出図前のレイアウト活動の節目毎に、それまでの活動結果として、関連部門に対してBOM (Bill Of Material : 部品表) と併せて3Dデータと部品スペックをオフィシャルな製品情報として提供 (リリース) し、種々の検証を一斉に実施する活動を促進してきた。また、構成やスペックといった製品情報とCADデータとの間の整合性を取ってリリースすることも重要で、提供する製品情報の品質も高めてきた。

その結果、関連部門では、個々に製品情報を収集する手間がなくなり、情報品質も向上したことで、車体領域の生産検証では約10%程度、CAE解析用のモデル作成では約40%、各々の検証作業を効率化することができた。更にこれら社内での検証に加え、社外メーカーでの生産性検証も前倒しされた。

また、車両領域では、組立工程の設定から工程毎の生産性検証にいたる一連の業務で活用され、より確かな形での生産検証が実務に全面展開された。

加えて、これまで正式出図前の検証活動に積極的に参画できていなかった車両実験や車両検査といった部門においても“デジタル試作車”を用いた検証を実施すべく、業務

とツールの両面から整備が実施され、実務展開されつつある (Fig.10)。

に実感しています。心よりお礼申し上げます。開発活動をより一層支援するDMU構築に向け、今後ともご支援賜りますよう、よろしく申し上げます。

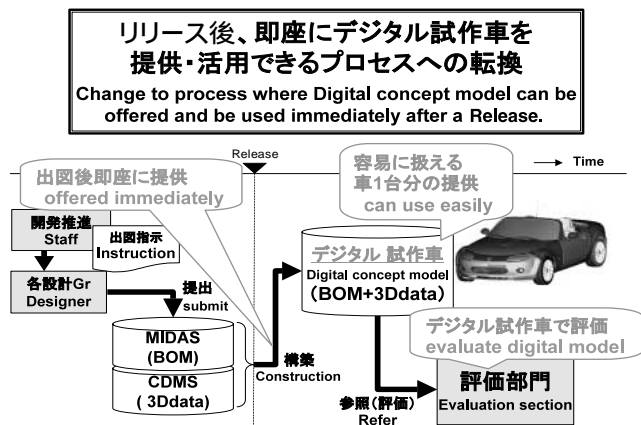


Fig.10 DMU on Release-Process

3.4 今後の対応

このように「デジタル試作車」としての第2世代のDMUの運用は、ユーザ及び業務といった両面から飛躍的に拡大されつつある。しかし、その一方で、「DMU用のデータ設定」や「BOMと連携したリリース」といった情報設定作業が早期化し、設計者の負担が増していることも事実である。このことに対して、設計構想から出図に至るまでの一貫したデータ運用プロセスやリリース作業の自動化といった整備活動を展開し、設計者の負担を軽減させていく。

また、車の開発活動に併せて新たなDMU運用を積極的に展開するとともに、実務レベルで発生する問題に対し、関連部門と協働で1つ1つ適切に対処していく。こうしてデジタル試作車を活用する業務基盤をより強固なものにし、開発活動の隅々にまで拡大させていく。

4. おわりに

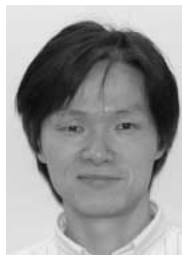
企業としての社会的責任を果たし、お客様からの期待に応える商品をタイムリーに提供していくには、高効率・高品質な開発活動への転換が、これまで以上に重要である。そして、その実現には、物や実車で実施している様々な開発活動を、いかにバーチャルな世界に持ち込めるかが極めて大きな鍵を握っていることはいうまでもない。

我々はレイアウト活動や検証活動を中心に展開してきたDMUを、更に未開拓な領域、例えば「質量やコストに関わる開発活動も睨んだDMU」へと進化させるべく、新たな技術開発と展開に取り組んでいきたいと考えている。

全ての開発活動で実車と同じこと。そして、それ以上のことができるように。「バーチャルリアリティへの挑戦」を続けていく。

最後に本稿で述べた活動は設計部門をはじめとする関係各位のご理解とご協力によって達成できたと、今更ながら

著者



飯田健次



児玉信宏



縄 淳二



平野誠一



花野木寛

論文・解説

18

サスペンション設計支援ツールの開発

Development of Suspension Design Support Tool

鐵本 雄一^{*1} 倉田 直樹^{*2} 武田 健二^{*3}
 Yuichi Tetsumoto Naoki Kurata Kenji Takeda
 厚井 省吾^{*4}
 Shogo Kouji

要約

サスペンション部品の製造寸法バラツキやジオメトリ、ブッシュ特性等は、サスペンションの特性に影響を与える重要な設計因子である。そのため、その中の影響度（感度）の高い設計因子を、厳密に管理することでサスペンション品質の向上・安定化を実現することができる。

しかし、近年のサスペンション形式の複雑化によって考慮すべき設計因子数は増加し、設計因子ごとのケーススタディによるシミュレーションでは、全ての設計因子の感度算出には膨大な回数の計算を行う必要がある。そこで、短時間で効率的にシミュレーションを行い、感度の高い設計因子を明らかにするために、現在多くの企業・教育機関で注目を集めている品質工学的手法（実験計画法、応答曲面近似モデル）や、グリッドコンピューティングといったIT技術を適用したツールを開発した。

Summary

Dimensional variation in manufacturing and geometry of suspension parts and bush hardness are important design factors that impact the suspension characteristics. Therefore, by strictly controlling design factors whose impact level (sensitivity) is high, it is possible to improve and stabilize the quality of the suspension.

However, due to suspension types becoming more complicated these years, the design factors to be taken into account are increasing, and by the case-study based simulation of each design factors, a huge amount of calculations will be required to calculate the sensitivity of all the design factors. In order to perform simulation efficiently in short periods of time and identify sensitive design factors, we have developed a tool using applied the quality engineering methodologies such as Design of Experiments, Response Surface Model and the Information Technology as the Grid Computing, which are currently drawing attention of many companies and educational institutions.

1. はじめに

サスペンション設計では、各車種のコセプトに適合する操縦安定性を実現するために、機構解析ソフト(ADAMS)により、パーツジオメトリ、ブッシュ特性などの設計因子の変更がサスペンション特性に及ぼす影響を分析している (Fig.1)。これらの設計因子は、車両の運動

性能を決める重要なファクタであり、マツダプロダクトDNAを体現するためには欠かすことができないものである。設計業務ではこれら設計因子を最適値に導くと同時に、走行安定性に関する品質（直進安定性など）といったばらつきやすい性能に対してロバスト性を確保しなくてはならない。このような設計因子の特性許容範囲（狙いの特性を得られる範囲）を明らかにし、厳密に管理することで、更

*1, 4 エンジニアリングシステム部
Engineering Systems Dept.

*3 NVH性能・CAE技術開発部
NVH & CAE Technology Development Dept.

*2 シャシー開発部
Chassis Development Dept.

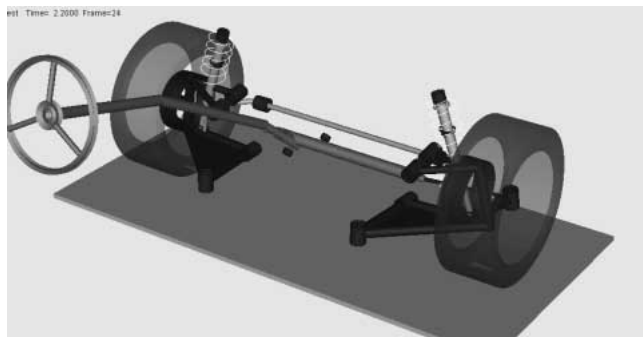


Fig.1 Analysis of the Suspension Characteristics

$$f(x, y, z) : Response \quad x, y, z : Design Factor$$

$$a_n (n = 1, 2, 3, \dots) : Sensitivity$$

$$f(x, y, z) = a_1x + a_2y + a_3z + \dots \quad (1)$$

に品質の高いサスペンション設計を実現することができる。

しかし、近年のサスペンション構造の複雑化によって、考慮すべき設計因子は増加しており、従来のシミュレーションプロセスではその検討に膨大な回数の計算が必要となる。そこで、サスペンション設計を効率的に行うことが可能なシミュレーションプロセスの確立に取り組んだ。

まず、複数の設計因子の感度を同時に算出するために、実験計画法と応答曲面近似モデルを用い、短時間でそれらの感度情報を得ることができる感度解析ツールを開発した。更にこのツールの計算時間を短縮し、より効率的にシミュレーションプロセスを実行可能にするために、グリッドコンピューティング技術を活用したシステムを構築した (Fig.2)。

2. 感度解析ツールの開発

感度解析とは、応答 (目的関数) に対して設計因子の変化がどのような影響を及ぼすか知るための解析である。このような考え方を基盤とした感度解析ツールを開発した (式(1)は設計因子と応答の関係を表したモデル式である)。

本ツールは、実験計画法と応答曲面近似手法を用いており、ケーススタディの網羅性・解析精度を維持したデータを最小のサンプリング回数で得ることが可能となっている。

また、このツールはFig.2下部に記述されている通り、①計算パラメータ設定プロセス、②解析プロセス、③応答曲面近似モデル作成プロセス、④ポスト処理 (可視化) の4つのプロセスで構成されている。このうち、①~③は最適化ソフト上で解析実行しているため (解析、応答曲面近似モデル作成については自動実行)、設計者はADAMSを意識することなく、利用することが可能となっている。

以降は、各プロセスについての説明を行う。

① 計算パラメータ設定

このプロセスでは、感度解析を実行する際に必要となる設計因子 (設計変数) と応答を設定している (Fig.3, 4)。

実際には、Table 1のような条件で解析を実施しており、例えば、タイヤの上下ストロークの解析モードに対して、サスペンションパーツの取り付け位置を設計因子、トー角を応答という形で設定している。

Table 1 Analysis Condition

Design Factor	Parts Geometry, Bushing Feature
Response	Wheel Alignment
Analysis Mode	Wheel Stroke, Compliance
Other	Sampling Number, Parameter Interval

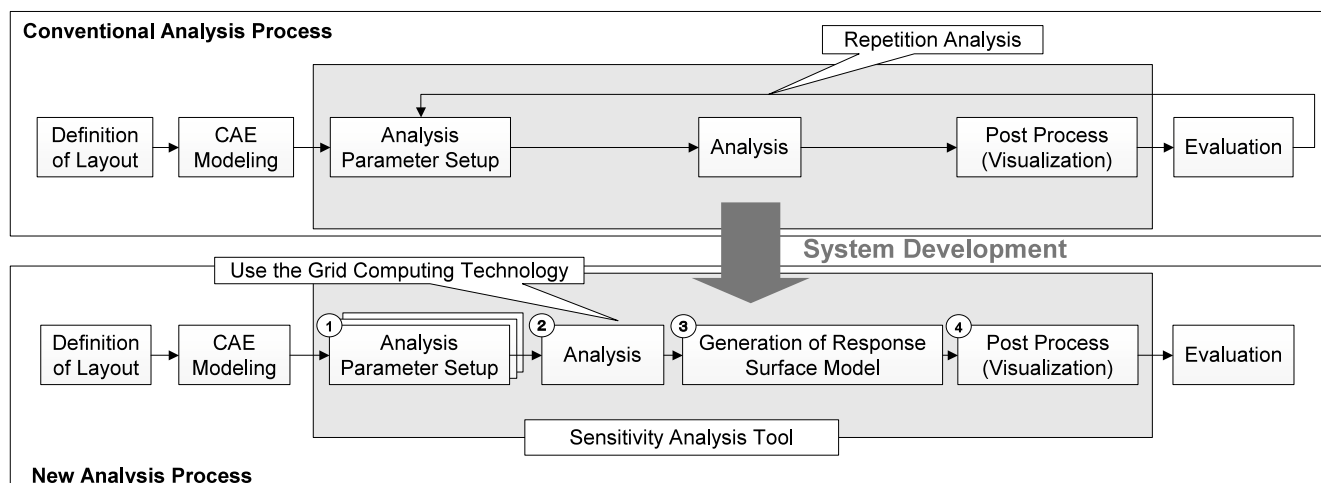


Fig.2 System Development

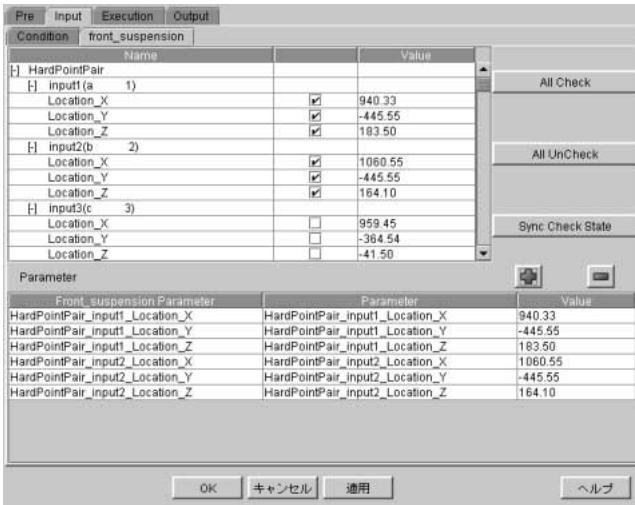


Fig.3 GUI for Choosing the Design Factor

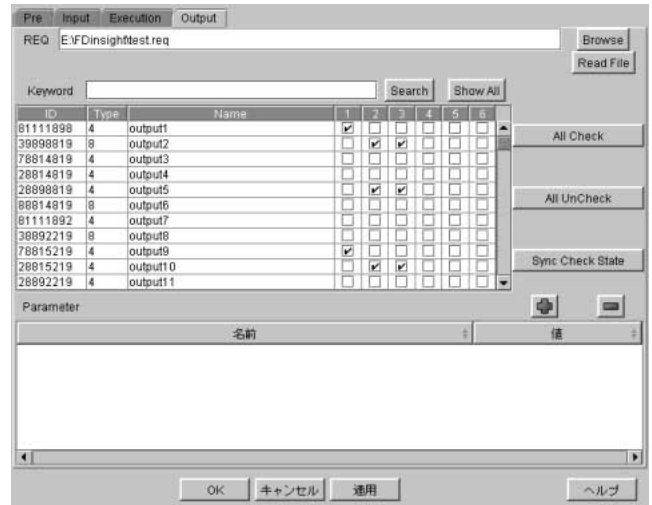


Fig.4 GUI for Choosing the Response

② 解析

このプロセスでは、応答曲面近似モデル作成のために必要な数のデータを得るため、実験計画法 (DOE) に基づいた設計因子のパラメータセットを生成し、そのパラメータに応じた計算・データサンプリングを行っている (Fig.5)

以下はそれぞれのステップで行われている処理の内容である。

1) Rewrite

ADAMSのインプットファイルで定義されている設計因子のパラメータを、実験計画法でサンプリングされた値に書き換え、新たなインプットファイルを生成する。

2) Experiment

Rewriteステップで生成されたインプットファイルで実際にADAMSを実行し、アウトプットファイルを出力する。

3) Gathering

アウトプットファイルからADAMS解析結果のうち応答として設定したパラメータの値を読み取り、データを収集する。

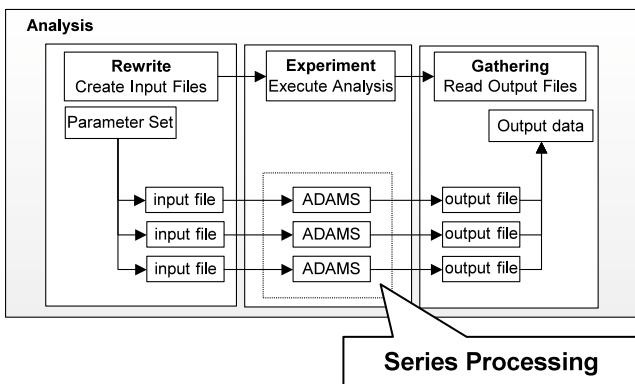


Fig.5 Analysis Process

③ 応答曲面近似モデル作成

このプロセスでは実験計画法によってサンプリングされた点におけるADAMS解析結果から応答曲面近似 (関数化) を行い、モデル化する。ここでは、式(2)で示しているような二次多項式に、設計因子の値と解析結果から得られた応答値を代入している。このような方程式をサンプリング回数分作成し、それらの連立方程式を解くことで、各変数項の係数が求められる。そのため、実験計画法で行うデータサンプリングは、連立方程式を解くために最低限必要な回数分行っておく。更に、生成される応答曲面の近似精度を高めるために、必要数よりも若干多めにデータサンプリングを行うよう工夫した。

ここで作成された近似式を合成すると、Fig.6のような応答曲面が生成される。

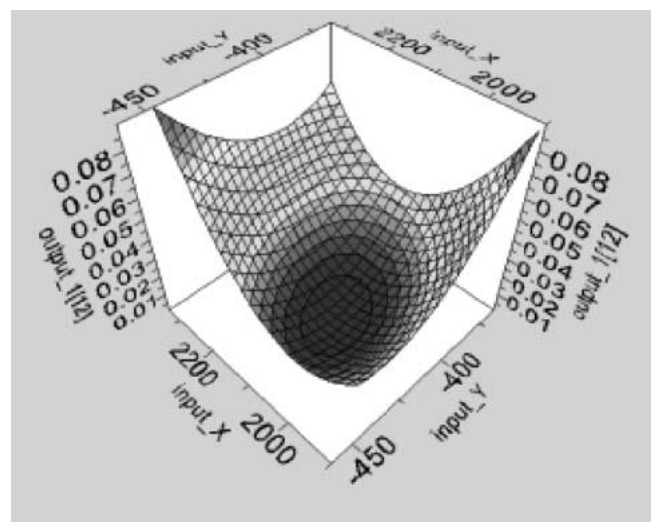


Fig.6 Response Surface Model

(In case the number of Design Factor 2)

$$f(x_1, x_2): \text{Response} \quad x_1, x_2: \text{Design Factor}$$

$$a_n (n=1,2,3, \dots, 6): \text{Sensitivity}$$

$$f(x_1, x_2) = a_1 + a_2x_1 + a_3x_2 + a_4x_1x_2 + a_5x_1^2 + a_6x_2^2 \quad (2)$$

④ ポスト処理 (可視化)

以上の3プロセスを行った時点で、設計因子と応答の関係式が生成されているが、方程式によって導かれる値や係数のみでは設計因子の感度を判別し難い。そのため、感度をユーザに把握しやすくするため可視化ツールの開発を行った。

Fig.7上部の画面は、応答曲面の変化を確認するために設計因子のパラメータを選択・変更する箇所である。ここで、設計因子のカーソルを左右にスライドして値を選択することで、前プロセスで算出された近似式にその値が代入され、即座にFig.7下部のようなグラフ (応答曲面近似モデル) を表示することができる。結果、ユーザはカーソルのスライドのみで、応答曲面の変化から容易に各設計因子の感度と特性許容範囲を読み取ることが可能である。

なお、ここで作成されたデータは、Excelファイルとして保存することで、他の設計者と共有することができ、いつでも参照することが可能となっている。

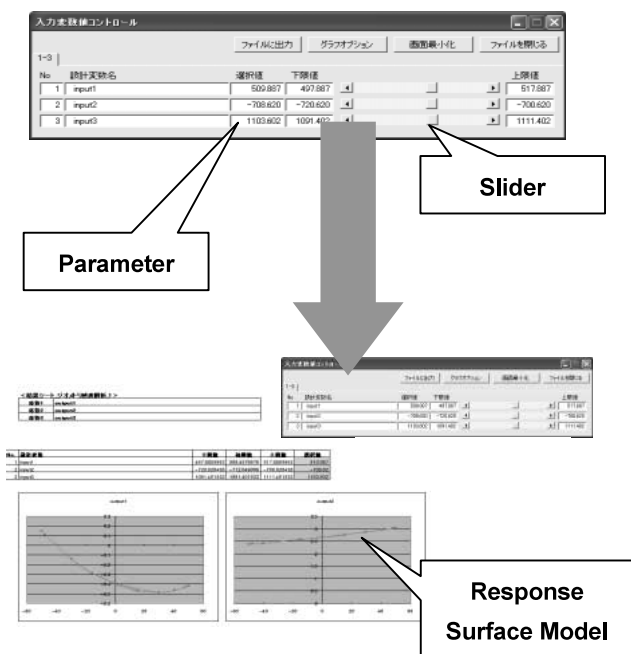


Fig.7 Post Tool

3. グリッドコンピューティング技術の活用

3.1 グリッドコンピューティング技術活用の狙い

感度解析ツールの適用により、設計因子が複雑に影響を及ぼすようなサスペンション形式に対しても、感度解析を行うことが可能になったが、設定条件によっては計算に数

時間~数日要す場合があった。そこで、グリッドコンピューティング技術を活用し、実験計画法によって生成されたサンプリング点でのADAMSによる機構解析を並列分散処理し、期間の短縮を図った。

なお、今回スーパーコンピュータではなくグリッドコンピューティングを感度解析ツールの連携対象として選択した理由は、下記の通りである。

- ・1計算がOA用端末でも対応できるほど小規模であること
 - ・遊休端末の有効利用が可能
- (ここで定義している遊休端末とは、ユーザが退席中等でログオフ状態になっている端末)

3.2 グリッドコンピューティングシステム

グリッドコンピューティングとは、ネットワーク上で関連付けられたコンピュータを、1つの計算資源として活用する仕組みである。そのため、グリッド内の端末のCPUをスーパーコンピュータのように利用することが可能である (Fig.8)

以下、User PCより計算が投入されて出力されるまでの処理について説明する。

① PCグリッドジョブ投入

解析アプリケーションのインプットファイルを準備し、User PCにインストールされているPCグリッドのジョブ投入システムを利用して、PC Grid Serverに転送

② ジョブコントロール

PC Grid Serverは、Client PCの状況を確認し、計算可能な端末 (遊休端末) にインプットファイルを転送

③ ジョブ実行

Client PCにて解析アプリケーションを実行

④ 出力ファイル転送

Client PCでの計算終了後、PC Grid Server内の結果出力フォルダに結果ファイルを転送し、解析の終了を通知

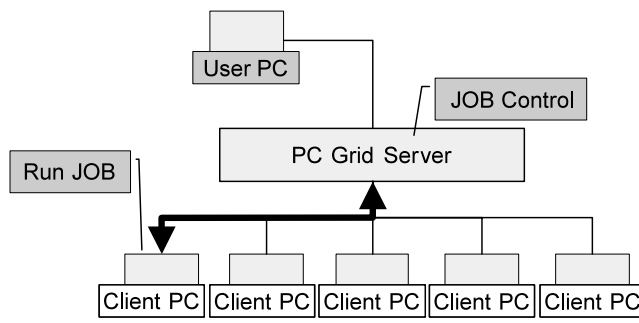


Fig.8 PC Grid Computing

3.3 グリッドコンピューティング連携とその効果

感度解析ツールにおける解析プロセスは、Fig.5で示したようにADAMSの計算をインプットファイル1つごとに実行する必要があるため、直列処理となっている。そのため、解析プロセスExperimentステップをPCグリッドジョブとして複数の遊休端末上で、並列に分散処理ができれば、

大幅な所要時間の短縮が見込める。

そこで、このステップにおいて、PCグリッド環境へ自動的にジョブを投入するシステムを開発し、また、遊休端末で実行された結果ファイルの自動取り込み機能も開発した (Fig.9)。

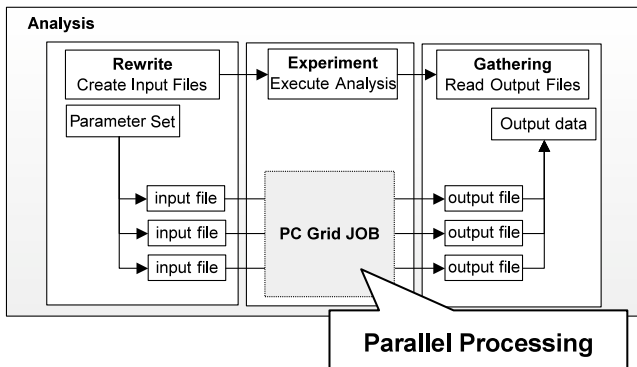


Fig.9 Analysis Process (Collaboration with Grid Computing)

以上のような機能追加を行った結果、実行端末数に比例して計算時間を短縮できており、並列処理が有効に機能することを確認した。また、システム開発のために新たな計算リソースを導入することなく、PCグリッドシステムと感度解析ツールのインタフェース整備のみで容易に実現することができた。このように、高価な計算リソースに頼ることなく、高いパフォーマンスを発揮できる点がグリッドコンピューティングのメリットであり、今回のシステム化の中で大きな効果を生んでいる。

4. 成果と今後の課題

サスペンション設計支援ツールの開発により、複数の設計因子が応答に与える影響を把握することができ、設計因子の最適化、サスペンション品質維持のために必要な特性許容範囲を算出することが可能となった。これらは、サスペンション設計を行う際の指標として設計品質の向上に貢献している。また、ADAMSによる解析やPCグリッドへのジョブ投入を、感度解析ツールのGUIによって統合しているため、ユーザは解析アプリケーションごとの煩雑な改定を行う必要がなく、手軽にツールを利用することが可能となっている。更に、通常、設計因子の感度は、熟練した設計者のノウハウや経験によって推測される領域であったが、この感度解析ツールによって、視覚的に各設計因子の寄与度傾向を明らかにすることが可能となった。そのため、設計初心者や新たなサスペンションモデルの検討を行う際の設計方向性策定を行う手助けになり、ナレッジデータベースのように知識集積という形での活用も可能である。

一方課題は、ツール使用時には計算実行端末のCPU分のADAMS、PCグリッドソフトウェアのライセンスが必要

な点で、並列計算数やユーザ数が増加した場合には、このツールのみで必要以上に大量のライセンスを使用しないようにシステムで制御する必要がある。

5. おわりに

本稿で述べたサスペンション設計支援ツールは、各種ソフトウェアと手法を駆使することで、従来は不可能であった規模の設計検討を実現でき、その結果、設計品質・効率の面で大きな成果をあげることができた。これらの技術がCAEを活用した設計に役立っていくと考えており、今後も本開発で培った知識・技術をもとに、品質の向上に積極的に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 宇野高明：車両運動性能とシャシーメカニズム，グランプリ出版，p.76-90 (2001)

著者



鐵本雄一



倉田直樹



武田健二



厚井省吾

論文・解説

19

フロントガラスを利用した地デジ受信アンテナの開発 Development of Digital Terrestrial Broadcasting Reception Antenna Using Wind-shield Glass

重田 一生*¹ 谷口 龍昭*² 牛尾 將雄*³

Kazuo Shigeta

Tatsuaki Taniguchi

Masao Ushio

諸橋 敏将*⁴

Toshiyuki Morohashi

要 約

2011年7月のアナログテレビ放送の停止に向けて、地上デジタルテレビ放送（以下地デジ）のサービスエリアの整備が進みつつある。昨年末には全国主要都市で視聴が可能となったものの、視聴エリアは未だ限定的であるため、地デジ車載機の普及はアフターマーケットを中心に進みつつあるのが現状である。しかし、今後のエリアの拡大に伴い、ライン純正化の要求が高まっていくものと予測される。

このような状況の下、我々は、地デジ車載機のライン装着を実現する上でキーとなる、地デジ受信用ガラスアンテナの検討に着手した。従来のガラスアンテナの課題を踏まえ、フロントガラス上側へのアンテナ素子の搭載を基本に、レイアウト位置、給電方法について検討した結果、ライン装着の地デジ受信用アンテナの基本構造を確立した。

Summary

Until July 2011 when analog television broadcasting will be stopped, the coverage of terrestrial digital television broadcasting has been expanding, and became available in main cities all over the country at the end of last year. The diffusion of in-vehicle terrestrial digital television is advancing in the current state around the after market because the attention area is limited. However, it is predictable when the demand for production line equipment will rise in the near future.

In a view of such a situation, we started to study the window glass antenna for the digital television broadcasting reception that put making to a production line equipment. As a result of examining a layout position and the feeding method on the basis of loading of the antenna element to a windshield top based on the problem of the conventional glass antenna, useful knowledge was acquired to design terrestrial digital television reception antenna for production line equipment.

1. はじめに

2003年より三大都市圏でサービスが開始され、2006年から全国主要都市での受信が可能となった地上デジタルテレビ放送（以下地デジ）は、高効率な画像符号化技術、情報の多重化技術、雑音やマルチパスに強いデジタル変調方式、強力な誤り訂正技術の採用により、

- (1) 高い放送品質（ハイビジョン画質，CD並の音質）
- (2) 映像，音声，データを一元的に取り扱った新しい情報サービスの提供

- (3) 移動体で受信してもゴーストや乱れのない安定した受信が可能

等、従来のアナログ放送にない優れた特徴を有している。

2011年7月のアナログ放送の停止に向けて、地デジの放送エリアの整備が進む中、市場の地デジ車載機への関心は急速に高まりつつある。現状の車載機の普及は、アフターマーケットを中心に進みつつあるが、今後はライン装着への要求が高まっていくと予測できる。

本稿では、このような状況を鑑み、地デジのライン装着に向けた地デジ受信用ガラスアンテナに関する先行開発を

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

*4 原田工業株
Harada Industry Co.,Ltd.

を行い、その基本構造を確立できたので、その内容を報告する。

2. 開発方針

2.1 車載用地デジ受信アンテナに求められるもの

Table 1はアナログテレビとデジタルテレビの特徴を比較したものである。これに示すように、地デジは電界の強いエリアでは、デジタル方式ならではの優れた受信品質が得られる。その反面、弱電界領域においては、アナログテレビは画像が劣化しても判別が可能なのに対し、地デジは電界があるレベルを下回ると画像、音声とも同時に途切れてしまうためユーザに違和感を与える可能性がある。

以上より、従来のアナログテレビと同等の受信エリアをユーザに提供するためには、地デジ受信アンテナには従来のアンテナより高い受信性能が必要と判断した。

2.2 開発方針

車のデザインにも影響を与えず、風切り音もなく、ユーザの使い勝手も満足しながら、高性能で多数のアンテナを構築することができるガラスアンテナはAM/FMラジオ、アナログテレビ、FM-VICS（交通情報）等、主に地上放送系の受信アンテナとして、これまで数多くの車に採用されてきた（Fig.1）。よって、ライン装着地デジ受信アンテナ開発を進めるにあたり、従来のガラスアンテナの技術をベースに、UHF帯により最適化する方向で開発を進めていくこととした。

Table 1 Comparison Digital TV with Analogue TV

	Digital TV	Analogue TV
Frequency Band	UHF (470-770MHz)	VHF-low(90-108MHz) VHF-high(170-222MHz) UHF(470-770MHz)
Medium or Strong Signal Strength	Free of Ghost & Noise (Robust in the Presence of Multipath)	Existence of Ghost & Noise by Multipath Effect
Weak Signal Strength	Sudden Picture and Audio Dropout ("Cliff Effect")	Mild Degradation

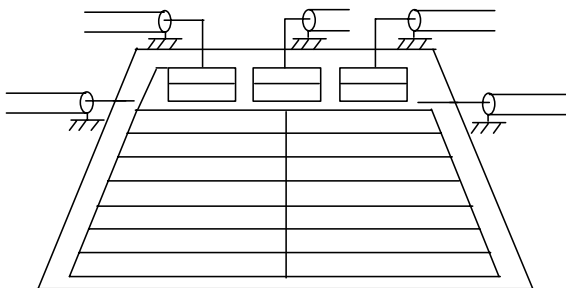


Fig.1 Current Window Glass Antenna

3. 従来課題

従来のテレビ用ガラスアンテナはVHF帯以下の低い周波数からUHF帯までの広い周波数帯域をカバーすることを前提に設計されており、地デジが使用するUHF帯の高い周波数帯の受信に対しては最適化設計がなされていない。具体的には以下の問題を抱えている。

(1) リード線長に起因する問題

給電用同軸ケーブルとガラスアンテナ素子を結ぶリード線は通常100mm以上の長さが必要である（Fig.2）。ところが、基本的なアンテナ方式である1/4モノポールアンテナ（車体とそれに対して垂直に配置したアンテナ素子を同軸ケーブルで給電、 $\lambda/4$ は電波の波長）のUHF帯における最適長である100-160mmを考慮すると、リード線自体がアンテナの一部となり、またレイアウトの際にボデーと近接するため、感度の劣化や性能バラつきが生じる。

(2) 同軸線による損失

アンテナからチューナまでの信号伝送用に一般的に使用される同軸ケーブルは周波数が高くなるにつれて伝送損失が増加する。車載用に一般的に使用される規格である1.5C-2Vでは、UHF帯（600MHz）において約0.8dB/mとなり、その損失は無視できない。

(3) 熱線や他のアンテナ素子からの電氣的干渉

アンテナ素子を構成する際、周囲に金属物があると電氣的干渉を受け、本来の性能を引き出すことができない。リヤガラスには熱線が存在するが、主にVHF帯以下の周波数で使用される従来のリヤガラスアンテナにおいては、熱線の影響を効果的に排除する技術を確立している⁽¹⁾。

ところが、地デジが使用するUHF帯用のアンテナをリヤガラスに構成する際には、本技術の適用は困難であり、熱線及び他のアンテナ素子による悪影響は不可避である。Fig.3は、フロントガラスとリヤガラスに同一形状のアンテナをほぼ同様な位置関係にレイアウトし、特性を比較し

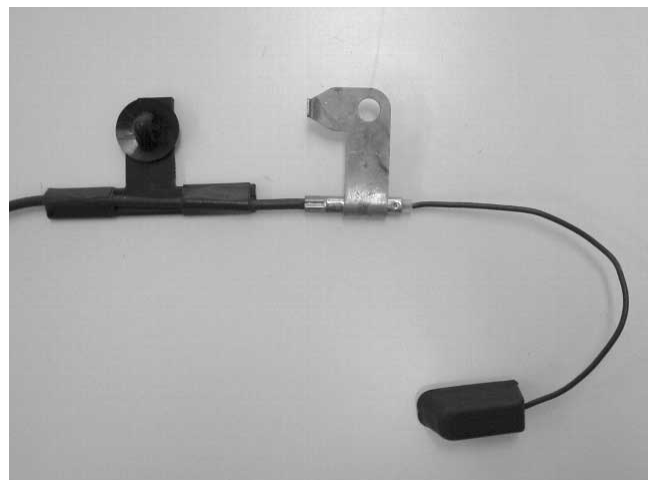


Fig.2 Feeder of Current Window Glass Antenna

たものである。この結果から、フロントガラスを使用した方が性能面で有利なことは明らかである。フロントガラスにアンテナ素子をレイアウトする場合、視界を妨げる懸念があるが、UHF帯専用が前提であれば、アンテナ素子は小型となり、視界への影響も小さい。

以上より、高性能な地デジ受信用ガラスアンテナを実現するためには、フロントガラスの利用が必須であり、かつ高周波に対応した構造要件の確立が課題となる。

4. 新構造の検討

4.1 レイアウト

アンテナの給電位置は、アンテナの指向性やインピーダンス特性等、性能を決定付ける重要な要素の一つである。

前述のモノポールアンテナをフロントガラスに設置する場合、給電方法として次の二つが考えられる。

- (1) Aピラーに接地して、ガラス上に水平方向に延伸させたアンテナ素子に給電する(Aピラー給電)
- (2) ルーフに接地して、ガラス上に垂直方向に延伸させたアンテナ素子に給電する(ルーフ給電)

100mm長のモノポール素子を用いてそれぞれの給電方法について比較検討した結果をFig.4に示す。その際、前述したリード線長の影響を極力排除するため、容量結合による接地構造を採用した。すなわち、同軸ケーブルの外部導体は、金属テープ上に接続、その金属テープをボデー端部に貼り付け固定し、車体との間に形成した擬似コンデンサにより間接的に車体に接地させている。

この結果から、Aピラー給電は指向性が前方方向に偏っているのに対し、ルーフ給電は、指向性は前方方向には若干落ち込みが現れるものの、左右方向を中心に比較的指向性の偏りが小さいことがわかる。また、現状の車載テレビは2系統以上のアンテナを使用したダイバーシティ受信が前提となっており、ルーフ給電同士を組み合わせの方が、Aピラー給電同士の組み合わせに比べてより広い方向がカバーできるため総合的な感度に優れる。更に、ルーフ給電の方がアンテナ素子が乗員の視野に入りやすく、視認性の面でも有利となる。以上より、総合的にルーフ給電の方が優れていると判断できる。

4.2 新しい給電方法の考案

前節で用いた容量結合による給電方法は、後付式のアンテナとしては採用例があるが(Fig.5)、作業時間等に制約のあるライン装着アンテナにおいて採用は難しい。

そこで、車体接地部分と等価な構造をガラス面上の素子に置き換える方法を検討した。先端開放で1/4の長さの線路はアースと同様の電気的性質を持つため、ガラス面上にホット側素子と同じ長さの素子をボデーと近接させ、かつ平行に配線すれば車体に接地するのとほぼ同等の特性が得られるとの仮説を立て、実験的に検証した。その結果、Fig.6に示すように、アース用素子とボデー端部の間隔を5mm以下にすれば、直接ボデーにアースを取るのと同様の特性が得られることを明らかにした。

4.3 アンテナアンプの採用

前述したUHF帯における同軸ケーブルによる信号の損失を補うためには、低損失の同軸ケーブルを使用することが考えられるが、線径が大きくなるため、車両への配線が困難になる等の問題がある。このためアンテナアンプの採用を検討した。従来のアンテナアンプは、大型、雑音指数が高く感度改善効果が不十分、強電界下の悪影響等の理由からマツダとして採用を見送っていた。しかしながら、近年では小型、低雑音指数、強電界特性の優れたアンプが安価に入手できるようになってきており、今回改めて評価を行った。その結果UHF帯において約5dBの改善効果を確認し、強電界下においても悪影響がないことを確認した。

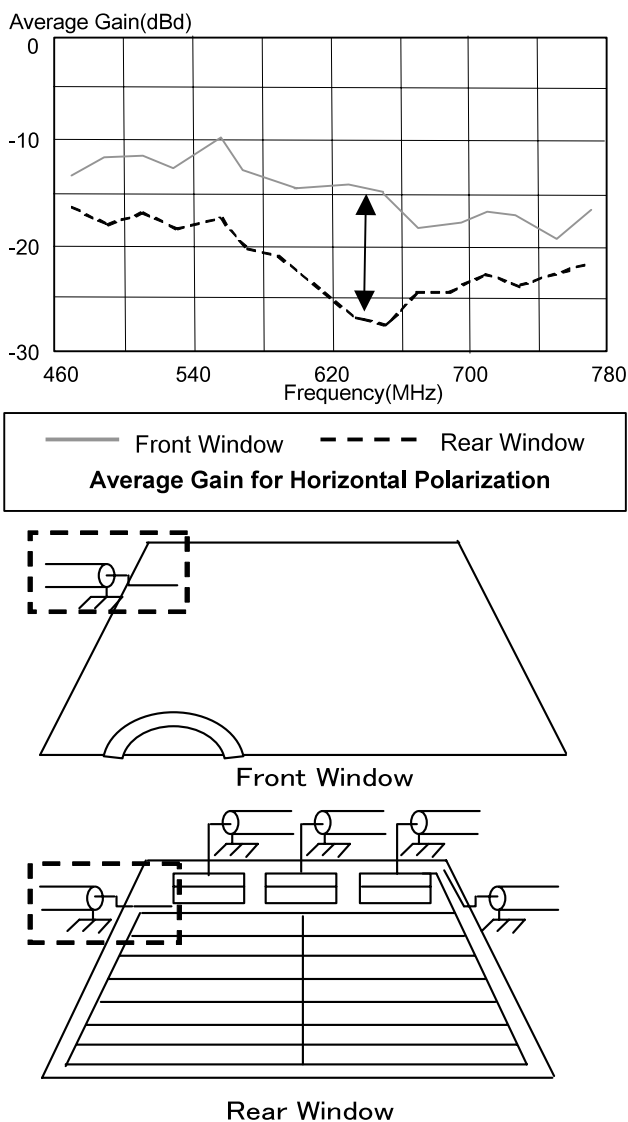


Fig.3 Antenna Gain Degradation Effect by Defogger and Other Antenna Elements

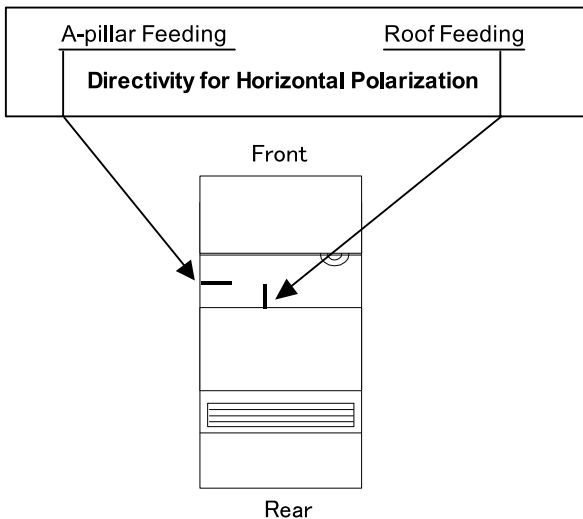
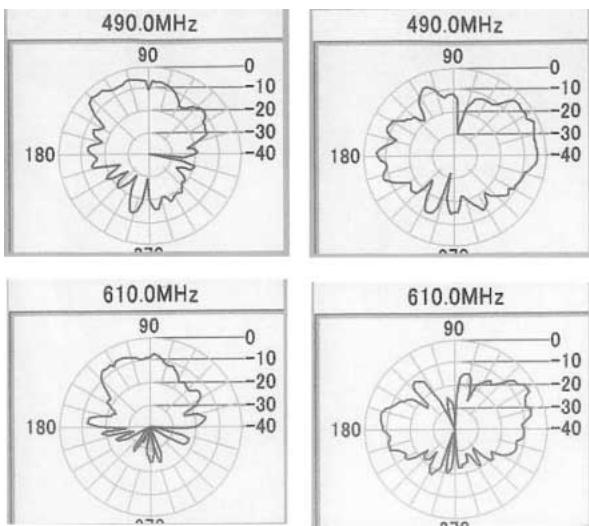
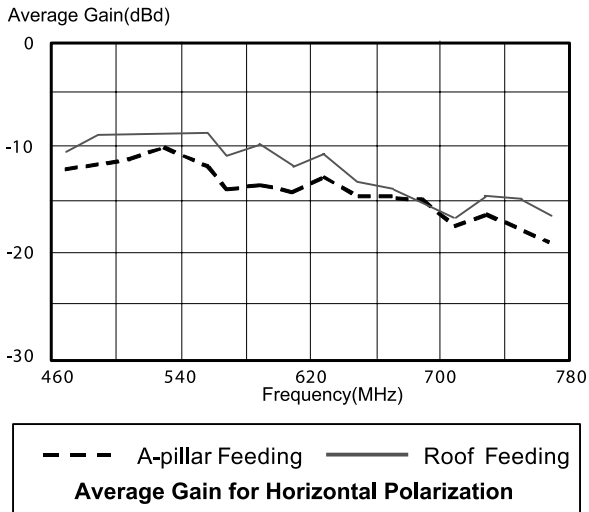


Fig.4 Comparison A-pillar Feeding with Roof Feeding

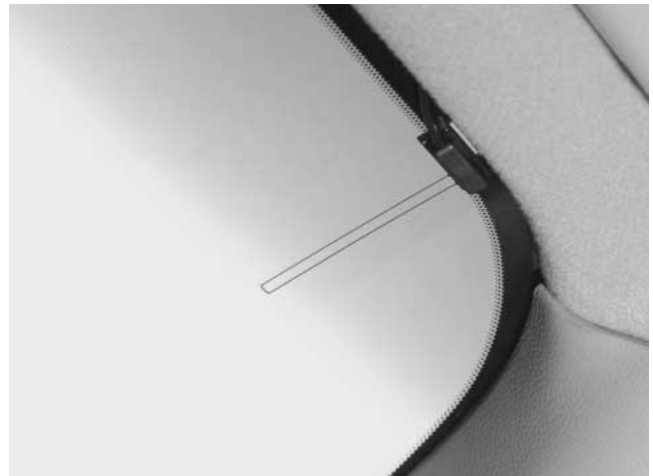


Fig.5 Production Application for Retrofit Antenna

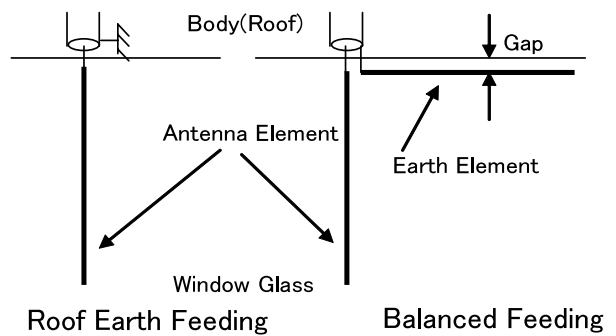
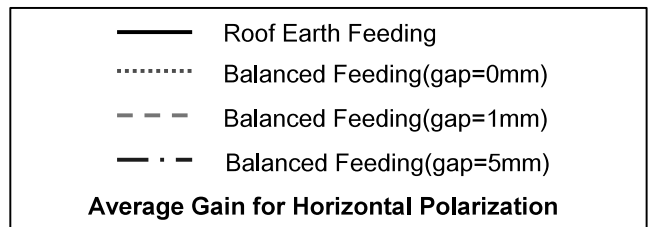
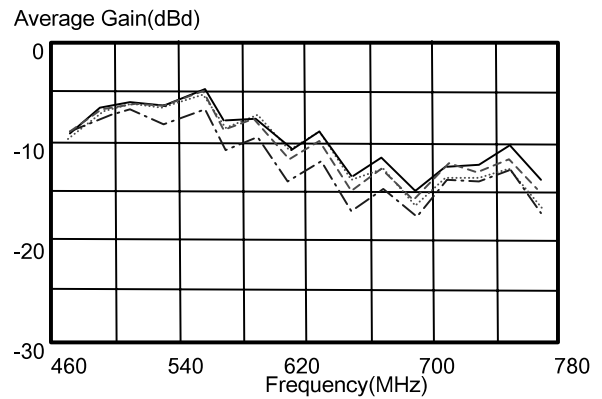


Fig.6 Study of Balanced Feed

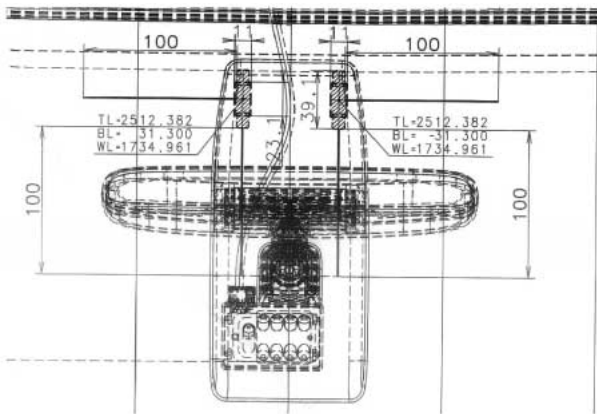


Fig.7 Antenna Layout Image

5. 適用例

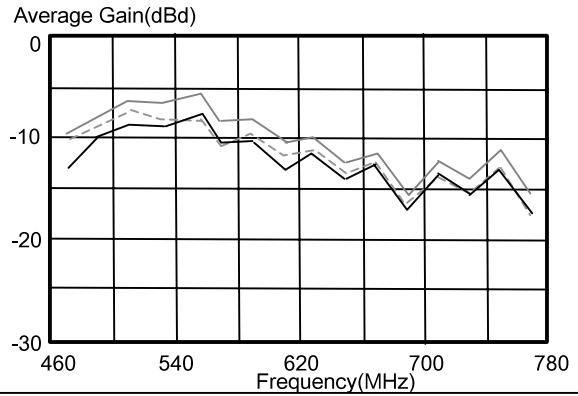
前述の検討結果を下に実際に試作した事例を示す。現在最も普及している2系統のアンテナで指向性を合成する地デジ車載機と組み合わせることを想定した。Fig.7は車室内からの見映えに考慮してオートワイパ用レーンセンサのカバー内に接続コネクタとアンテナ素子の一部を内蔵したものである。このときの特性をFig.8に示す。合成利得において帯域平均で-12dBd以上であり、同じ帯域平均が-20~-15dBdの範囲に位置する従来のガラスアンテナに比べて約5dB改善できている。

アンテナアンプについては、優れたNF（雑音指数）特性が要求されると同時にアンテナ直下に設置する必要がある。理由は、アンテナとアンテナアンプ間を長い同軸線で結んだ場合、同軸線の抵抗損失がシステム全体の感度特性を劣化させ、アンプの効果が減少するためである。このため、同軸線経由でアンプへ電源供給する方式の採用等により小型化したアンプを、同軸線とアンテナ素子とを接続するコネクタに内蔵する新しい構造を開発し、アンプの理想的なレイアウトを可能とした。

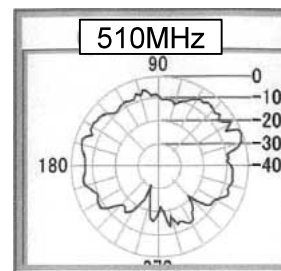
6. おわりに

地上デジタルテレビ放送はサービス開始から3年以上が経過した。サービスエリアは全国に拡大し、車載テレビのライン装着への要求も高まりつつある。このようなユーザーニーズの高まりに応え、高性能かつスタイリッシュなライン装着地デジアンテナを実現するための基本構造を確立した。アンテナ構造の最適化や高性能アンプの採用により、システムトータルで従来比約10dBの感度改善を確認した。今後は本技術を量産開発に展開し、マツダ車の商品力向上に繋げていく所存である。

最後に、今回の開発を進めるにあたり、多大なご尽力を頂いた原田工業㈱を初め、関係者の方々に心より感謝申し上げます。



— Left - - Right Hand - · - Combination
Average Gain for Horizontal Polarization



Directivity at Horizontal Polarization : Combination

Fig.8 Example of Characteristics

参考文献

- (1) 重田ほか：ラジオ/テレビ兼用アンプレスガラスアンテナの開発，マツダ技報，No.14，p.27-33（1996）
- (2) 山田：デジタル放送ハンドブック，社団法人映像情報メディア学会，オーム社，p.206-239（2003）

著者



重田一生



谷口龍昭



牛尾将雄



諸橋敏将

論文・解説

20

電装品ロバスト性開発システム「ESPER」の紹介

Introduction of Electronics Control Unit Robustness Development System “ESPER”

岡田 英之*¹ 橋 高德 昭*²
Hideyuki Okada Noriaki Kittaka

要 約

電子ユニットの増加や多重通信化に伴い、電気信号の伝達や電子ユニットの信号認識における確実性や安定性の検証および確保は、年々厳しさを増している。この度、ノイズ等の外乱影響に対するマージン評価を目的とすべく、ロバスト性検証システムである電源・信号の多機能エミュレータ「Electronics System with Perfect Robustness」(以下「ESPER」)を開発した。多機能と使い勝手の両立を図るべく、操作性や視覚デザインに使用者の意見を取り入れて内製したので、その特徴について紹介する。

Summary

As the increase of electronics unit and multiplex communication, the verification and the ensure of certainty and stability become increasingly severe for the signal communication and the signal recognition in electric units. In order to evaluate the margin against the influence of external noise, the multi-functional emulator that is called «Electronics System with Perfect Robustness (it's called “ESPER”）」 has developed as the robustness verification system. The Feature of “ESPER” is introduced that is incorporated the user demands in the easy operation and the visual-design for achieving the compatibility of multi-functions and its convenience.

1. はじめに

近年、カーエレクトロニクスの急速な発展により、車載される電子ユニットの増加・統合化および高速化が進んでいる。また、信号ラインの多重通信化も進み、信号ラインへの外来ノイズや信号のドリフトに対する安定性・安全性はモデルチェンジごとに厳しいスペックが要求される。

一方、信号ラインの安全性検証としては、ノイズや電位変動などの要件を基準化し、試作品に印加した状態で動作が正常であるかどうかを試験する方法が一般的である。この場合、OKまたはNGというデジタル的な判定結果となることが多く、どのくらいの余裕度をもってOKとなったのかという、いわゆるロバスト性を検証・確認することが難しい。

このたび、様々な電子ユニット類に対してのロバスト性検証を目的とした多機能エミュレータ「ESPER」を内製したので紹介する。

2. プラットフォーム

2.1 ハードウェアプラットフォーム

入手性・コストおよび汎用性の観点から、一般的なWindowsパーソナルコンピュータをコントローラにした。

信号入出力にはNational Instruments社製のアナログ入力・出力およびCANボードを使用し、車載電子ユニットとのインターフェイスを設けた。コスト・処理速度と評価対象となる電子ユニットを総合的に考慮し、今回はアナログ入出力各16チャンネルを設けるとともに、2チャンネルのCAN信号の入出力に対応させたが、将来的なニーズの変化を想定し、チャンネル数が拡張できるように考慮した。

ノイズその他のエミュレート信号出力には、汎用アナログ増幅機能付きの電源装置を想定し、アナログ・USBおよびGP-IBの各インターフェイスに対応させた。今回はエヌエフ回路設計ブロック社製の汎用電源および汎用アンプを使用した (Fig.1)。

*1, 2 車両システム開発部
Vehicle System Development Dept.

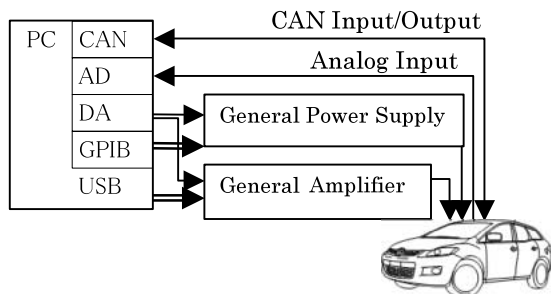


Fig.1 System Architecture

2.2 ソフトウェアプラットフォーム

この種のシステム開発を成功させるには、入手性・メンテナンス性および発展性が鍵であると考えられる。システム構築時には有意義なシステムであっても、試験対象の電子ユニットやコンピュータプラットフォームの進化についていけなくては数年のうちに陳腐化する恐れがある。

そこで以下の5点について検討した。

- ① ハードウェアとの親和性に優れていること
- ② 低コストで容易に入手できる開発環境であること
- ③ 開発者変更時メンテナンスが容易であること
- ④ 次世代ハードウェアへの対応が期待できること
- ⑤ HILS*対応等、革新的な発展が期待できること

* Hardware In the Loop Simulator

検討の結果、National Instruments社製のLabVIEWを、ソフトウェア開発環境に選定した。

3.「ESPER」の機能概要

「ESPER」の機能の中から、代表的なものを紹介する。

3.1 フロントパネルデザイン (Fig.2)

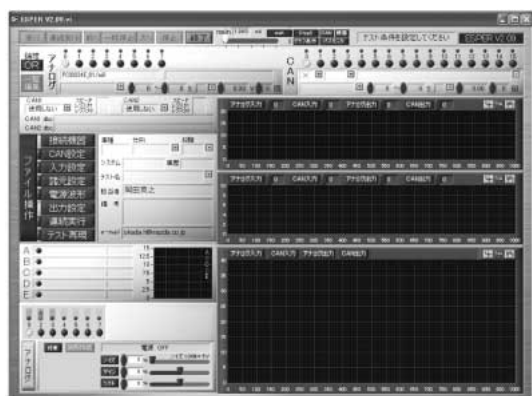


Fig.2 Front Panel View

メインメニューを左中央に集約させ、各パーツや機能ごとのバックグラウンドなどを3D化させた。入力条件・諸元・電源出力およびアナログ出力状態など、テスト中に必要な情報群が一目で確認できるようにするとともに、バックパネル上の補助情報との切り替えを可能にした。

3.2 電源エミュレート機能

電子ユニットの電源変動評価として4種類を用意した。

- エンジン始動時を模擬した始動波形
- 接触不良や時間遅れを模擬した瞬断波形
- 電力負荷の変動を模擬したリップル波形
- バッテリー上がり等を模擬した増減波形動弁

車両の電源には常時電源やアクセサリ電源など、複数の電源が存在することから、5チャンネル別々の出力が同時にコントロールできるようにした。各パラメータは数値入力またはマウス操作による増減ボタンで設定することが可能で、入力ミス防止として作成する波形がリアルタイムにグラフ表示されるようにした。チャンネル間のパラメータコピー機能を設けることで、オペレータの省力化を図った。また、初期値・最終値・変化幅を入力することにより、単一の波形のみならず、各パラメータが連続的に変化する波形を作成できるようにするとともに、変化の順序も設定・変更できるようにした (Fig.3)

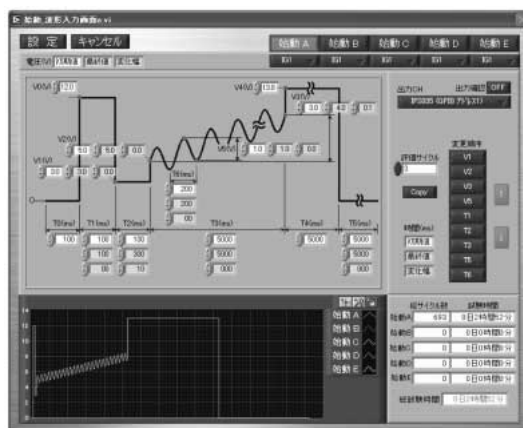


Fig.3 Power Source Wave Shape Drawing

この機能によって、実車では簡単に作り出すことのできない条件 (例えば、バッテリー上がり寸前の状態におけるエンジン始動時の電源波形や、コネクタの接触不良による電源瞬断状態など) を容易にベンチテスト・実車テストの双方で再現させることができる。

また、実車で起こりえる値よりも大きな値を設定し、それを連続変化させることで試験対象電子ユニットの弱点や、誤作動に対する限界値を知ることもできる。

3.3 リアルタイム波形加工機能

電子ユニットは入力されるセンサ信号に基づいて様々な演算を施しアクチュエータ等を制御する。また昨今は協調制御により、電子ユニット間の通信も盛んである。

これらはワイヤハーネスによって結ばれているが、流れるデジタルやアナログ信号は、伝送の過程で予期せぬ信号変化が発生することがある。

本機能は伝送される信号を読み取り、リアルタイムに波形を加工するものである。これにより入出力の信号伝送の

確実性に対する電子ユニット類の耐性を評価することが可能となる。また、3.2電源エミュレート機能で作成・出力される電源波形に対しても、本機能を適応させたことにより、実態に近い電源環境を再現することができる。

この種のシステムでは単一チャンネルのみのリアルタイム加工が一般的であるが、複合的な条件下のテストができるように、入力・出力各々16チャンネルの独立同時コントロールを可能にした。

(1) ホワイトノイズ印加機能

インピーダンスの高い伝送経路である場合や、伝送経路がノイズ源に近い場合、ノイズの影響を顕著に受ける傾向にある。本機能でノイズレベルを変化させながら、連続的に印加することで、ノイズに対するロバスト性を検証することができる (Fig.4)。

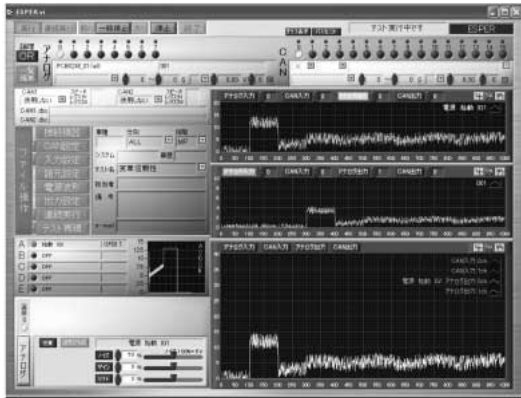


Fig.4 White Noise Injection Test

(2) ドリフトエミュレート機能

電力の大きな電装品負荷などと電源やアースが共有される場合や、1つのセンサを複数の電子ユニットで共有するような場合に信号ドリフトが発生する。本機能で電源や信号の電圧ドリフト状態を仮想的に作り出すことで、耐性を検証することができる (Fig.5)。

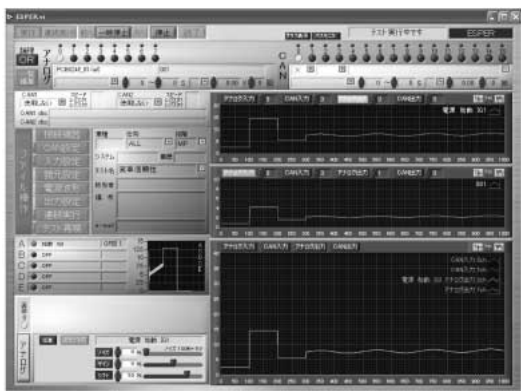


Fig.5 Voltage Drift Test

(3) ゲイン可変機能

センサと電子ユニット入力回路のインピーダンス整合が適切でない場合や、経路の途中に増幅器や抵抗があり、それらが適切でない場合、設計狙い値とは異なる値が電子ユニットに印加されることがある。本機能により仮想的にゲインを変化させることで、ゲイン変化に対する耐性が検証できる (Fig.6)。

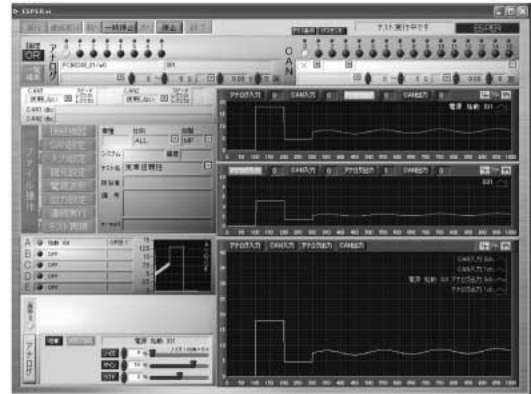


Fig.6 Gain Change Test

3.4 任意波形印加機能

評価対象の電子ユニットによっては、仮想的な走行状態や故障状態などを条件として与え、そのような状況下での評価・検証が必要な場合がある。また、ホワイトノイズのような連続的なノイズではなく、一過性のノイズによる評価・検証が必要な場合もある。本機能は本来の経路から切り離れた状態で、任意の入力条件下を作り出す機能である。

縦カーソルで範囲を決め、範囲間の波形をポイントング・ドラッグ・ドロップすることで簡単に波形が作成できるようにした (Fig.7)。

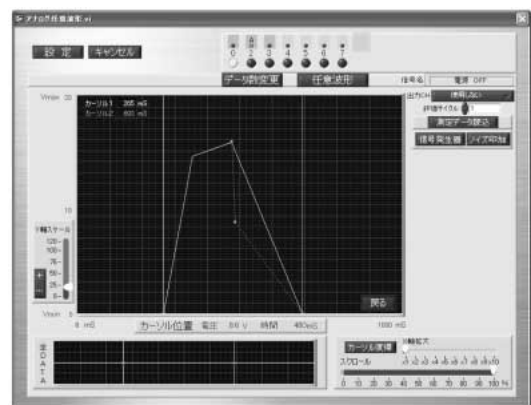


Fig.7 Arbitrary Wave Form Drawing

また、信号発生機能およびノイズ印加機能を設け、正弦波・矩形波・三角波・ノコギリ波の作成やノイズ印加波形が容易に作成できるようにした (Fig.8)。



Fig.8 Signal Generator

ベンチテストや実車試験において別ツールで記録した波形を読み込む機能を設けた。これにより実態に近い条件を与えることができる他、読み込んだ波形の部分加工や、ノイズ印加もできる (Fig.9)。

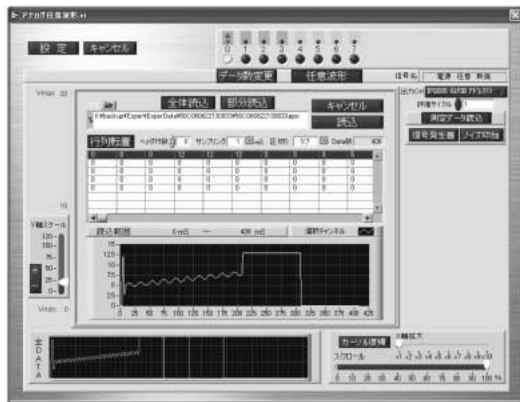


Fig.9 Wave Import Function

3.5 CAN信号処理機能

昨今の電子ユニットは、CANによる多重通信を行うものが多いため、2ポートのCANに対応させた。アナログ・デジタル系で構築したものとほぼ同等のリアルタイム波形加工処理に加え、追記型とメッセージ固定型のCANバスモニタ機能を設けた。これにより、CAN専用ツールを併用することなく、「ESPER」のみでCANバスを含めた検証が可能となった (Fig.10)。



Fig.10 CAN-bus Monitor

3.6 テスト実行時の表示機能

(1) 単独グラフ表示

2画面の単独グラフ表示部を設けた。マウスによる簡単操作で対象波形をリアルタイム表示する (Fig.11)。

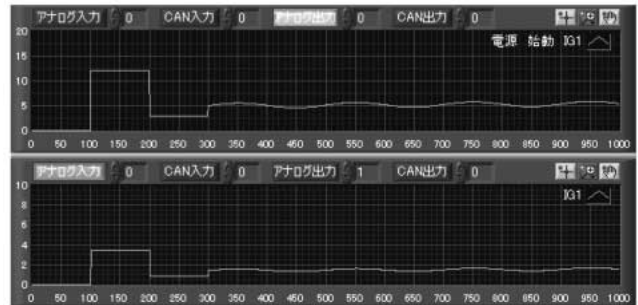


Fig.11 Single Chart

(2) 複合グラフ表示

関連する波形の時間経過をモニタする場合、グラフが重ね合わされた状態の方がわかりやすい場合が多いため、複合グラフ表示機能を設けた (Fig.12)。



Fig.12 Multiple Chart

(3) 実行状態表示

今現在どのような波形が出力され、変更中のパラメータが何であるかがわかるように、実行状態表示を設けた。

また、試験時間や残り試験時間等の情報も数値とバーグラフで表示される (Fig.13)。

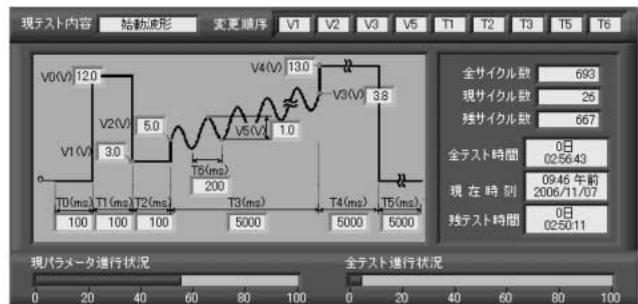


Fig.13 Running Status

3.7 異常判定処理機能

ここでいう異常とは「ESPER」の異常ではなく、評価対象の電子ユニットの動作としてあらかじめ規定した条件にマッチした状態である（例えば、エンジンコンピュータの場合、エンジンストール状態や出力低下など）。

(1) 条件設定

異常を判定するポート・電圧範囲・回数などの条件を設定する（Fig.14）。



Fig.14 Error Detection Setting

(2) テスト時に異常を判定したときの処理

① 異常判定状態表示

異常を検出した場合、設定条件表示部のバックグラウンドが赤色となり、ステータスメッセージ欄に異常チャンネルと回数が表示される（Fig.15）。

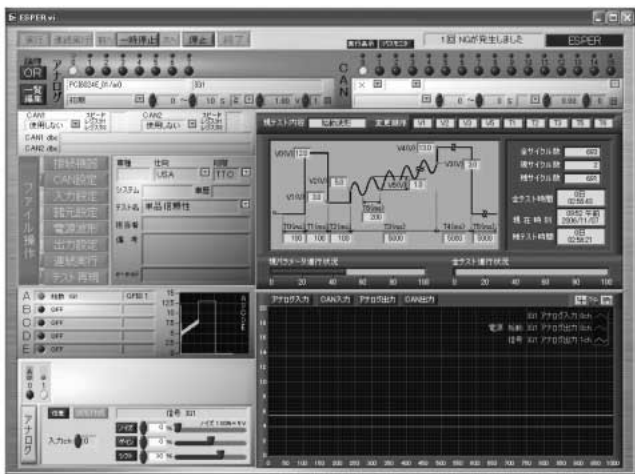


Fig.15 Error Detection

② 異常時データの自動セーブ機能

異常が発生した状態の条件や電子ユニットの出力状態は貴重なデータである。更には直前の状態も重要であることも多いため、異常を検出した場合には異常検出時点以前にさかのぼって、データを自動保存するようにした。

③ e-mail送信機能

「ESPER」による評価の性質上、評価時間が長くなるケースが多く、場合によっては数週間レベルの試験となる。その場合、異常が発生するまでテスト者がモニタすることは難しいため、異常を検出した場合、テスト者宛にメールが自動送信される機能を設けた。

3.8 その他の便利機能

(1) テスト再現機能

3.7異常判定処理機能で自動セーブされたデータをもとに、まさしくテスト状態であるかのような再現状態を作り出す機能である。ファイルを選択し実行するとテスト状態を再現してくれる他、巻き戻し・早送り・コマ送り等、ビデオを操作する感覚で操作ができる。

(2) 連続実行機能

複数の条件を設定し、一度に評価できる連続実行モードを設けた。

4. 操作性に関する工夫点

このような評価システムは機能が増えれば増えるほど、操作が複雑になり、準備に時間がかかることが多く、結果的に非効率となることもある。

「ESPER」は「使いやすさこそがシステムの本質」と捉え操作性を考慮して構築した。また、プロトタイプ完成時点において、操作の説明をしていないパネルに体験使用させるモニタリングを実施し、誤操作・操作上の戸惑いや疑問点を改善策としてシステムに反映させたので、その一例を紹介する。

(1) テスト環境設定の省力化

接続機器の設定条件・異常判定条件からテスト中の表示環境に至るまでのテスト環境の全てもしくは一部が保存・読み出しできるようにした。「ファイル操作」と称したこの機能は単なるファイル名の一覧ではなく、選択すると直ちにテスト条件が表示され、波形もグラフ表示される。また、諸元ごとに並べ替える機能も設けた（Fig.16）。

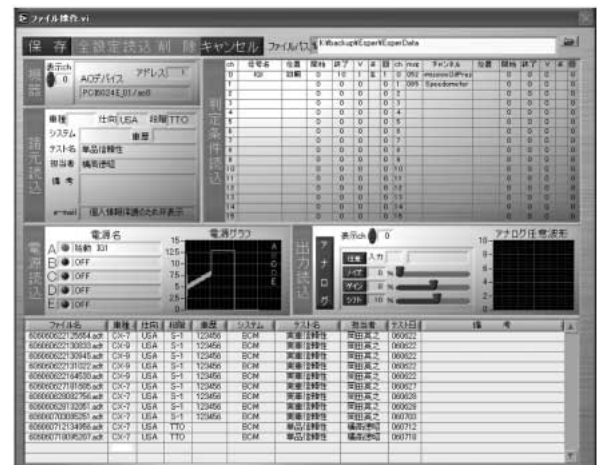


Fig.16 File Operation

この機能で条件を選択し、実行ボタンでテスト開始すれば、わずか数クリックのマウス操作でテストが開始できる。

(2) 操作のわかりやすさ

ファイル操作を使わず、全てのパラメータ設定を手動で行う場合もわかりやすさを第一に考え、以下のような工夫を行った。

① 機能ボタンに対する工夫

状態に応じて不必要な機能ボタンを非表示状態や、グレースアウト状態にすることで、誤操作やボタン数の多さから感じる煩わしさを低減させた。

② 自動ヘルプ機能

機能ボタンにマウスカーソルを移動するだけで、機能説明や使用方法の説明がポップアップされるようにした。

③ バックカラー機能

メインメニューボタンに合わせて、関連部分のバックグラウンドカラーが変色するようにしたことで、今どの機能を設定しているのかが一目でわかるようにした。

④ ステータス表示

試験開始に必要なパラメータの不足や、現在の状態をリアルタイムに表示するようにした。

⑤ 条件設定LED

メインメニュー各ボタンの隣にステータスLEDを設けたことで、設定不足が一目でわかるようにした。

5. まとめ

電子制御システムは近年高速化・複雑化している。これらに発生する予期せぬハードウェアの動作やソフトウェアバグなどを開発初期に発見するツールを切望していたが、市販ツールにマッチするものが見つからず内製の運びとなった。電子制御システム開発担当者の意見を形にした「ESPER」は、使い勝手の良いロバスト性検証ツールになったものとする。

一方、評価ツールは完成 = 終了ではないとも考えている。開発環境やコンピュータ環境は常に進化を続けており、リアルタイム波形処理の高速化・HILSシステムとのリンクによるモデルベース化、および回路系シミュレータリンクによるバーチャルテスト化などを進め、時代に沿った進化する評価ツールへと育てていきたい。

最後に、日本National Instruments社を初め、本ツールの開発にご協力いただきました方々に、心より感謝申し上げます。

論文・解説

21

シートリラックス装備の提案と生理学的評価 Proposal of Seat Relaxation Equipment and Its Physiological Evaluation

道田 奈々江*¹ 元吉 菜緒子*² 宮原 民夫*³

Nanae Michida

Naoko Motoyoshi

Tamio Miyahara

要約

運転操作が必要な運転者とは異なり、それ以外の乗員では、「リラックス」がシート着座時における快適性の重要な要素である。本研究の目的は、リラックスを導くための実用的な快適装備を提案し、その効果について生理学的に検証を行うことである。リラックスとは、身体の筋緊張を解くことができる状態であり、その状態が精神的なリラックスも促進すると考えられる。リラックスを促進するため、身体的負荷を低減する手段として、調整式ロア・サイド部ボルスタ付ヘッドレスト、クッション前側チルト、オットマンを提案した。これら各装備の具体的な効果について生理指標を用いて確認した。まず実験室実験で、ヘッドレストは首の筋活動を低減させ、クッションチルトは腰の筋活動を低減させることを確認した。また実走実験で、これら装備を使用するとリラックスした状態が深く長く維持されることを、脳波を指標として明らかにできた。いずれの実験においても、主観的にも着座中のリラックス感の増大や身体各部の疲労感の減少が認められた。

Summary

It is assumed that passengers' comfort is to be marked with the "relaxation," different from drivers'. This study aimed to propose the equipment that is beneficial to the passengers and to verify the effects on them physiologically. Relaxation is assumed as the state of relieved muscle tension, which moderate mental strain. In order to promote physical relaxation, the following equipment was chosen: the headrest with adjustable bolster, the tilt-able cushion with great degree and the ottoman. First, in a laboratory test, effects of the equipment were physiologically verified by electromyogram(EMG); the headrest lowered the neck muscle activity and the cushion lowered the back muscle activity. Next, in an on-road test, effectiveness on the mental relaxation with all the equipment was verified. The electroencephalogram(EEG) showed that the participants relaxed deeper and longer with them. The subjective evaluation in the both tests stated more relaxation feel and less physical fatigue.

1. はじめに

乗員がシートに座った際の快適性は、いくつかの要素から評価される。このとき、乗員が運転者であるかそうでないかで、求める快適性の要素には違いがあると考えられる。運転者と比較して他の乗員（以下、単に乗員と記す）は運転操作をしないため、姿勢を一定に保つ必要はなく、緊張感も必要ない。つまり身体的にも精神的にも、リラックス

した状態で座っていることが可能である。この運転者と異なる要素である「リラックス」が乗員の快適性を特徴づける鍵となると考え注目した。リラックスには身体的、精神的という二つの側面があるが、身体的なリラックスは筋発揮力の強弱の軸で、精神的なリラックスは覚醒水準の高低の軸で表現できる（Fig.1）。これらは相互に関係するため、身体の筋緊張を解くことができる状態が、精神的なリラックスを促進すると考えられる。

*1~3 装備開発部

Interior & Exterior Components Development Dept.

本研究の目的は、乗員にとって長時間快適なシートのありかたを検討し、それに基づいて提案した快適装備の効果を、脳波や筋電、血流などの生理学的指標を用いて検証することである。

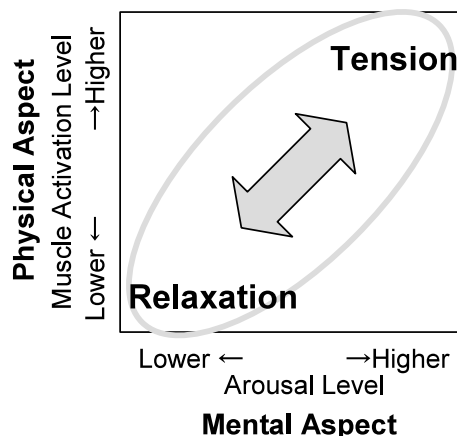


Fig.1 Relationship between Two Aspects of Relaxation

2. リラックス促進のための課題

着座した乗員が身体の筋緊張を解くための最も効果的な手段は、バックレストを利用することである。一般に、自動車シートを含む椅子に座った場合、バックレストの倒し角度を大きくすると、背中筋の筋電振幅と椎間板内圧が減少する⁽¹⁾。これはバックレストを倒すことで、上半身の体重をバックレストが支える割合が大きくなるためである。しかし、自動車室内という条件を考えると、倒し角が大きければ良いわけではなく、倒すことによる課題も生じる。まず、倒し角が大きいほど前後スペースが必要になりパッケージレイアウトの困難が生じる。また身体的にも、バックレストを倒すことで以下に述べる二つの筋負担が生じる。

まず、頸部の筋肉に負担が生じる。首は、骨格によって堅牢な形状を保つ頭部や胸郭部とは異なり、椎骨の連なりを細い筋肉で支える脆弱な構造である。Fig.2に示すようにバックレストを倒すと、頭部の重心が首と胴体の付け根より後にずれる。このとき、頭部と胸郭部を適切に支えても、首はシートから離れた状態であるため、首を筋肉の力で曲がらないようにしない限り、頭部の保持が不安定になる。よって首の筋肉に負担がかかる。

次に、バックレストを倒してもたれかかると背部の体幹起立筋の筋力は不要になるが、一方で腹筋や背筋に異なる負担が生じる。その仕組みは、以下のとおりである。バックレストを倒すことにより胴体と大腿の間の角度(ポデーアングル)が開き、臀部が前方向にずれやすくなる。またそれによって骨盤が後転して腰椎の前湾が減少し、腰部に負担が生じる⁽²⁾。よってこうした現象を防ぐために、腹筋や背筋を余分に働かせる必要がある。

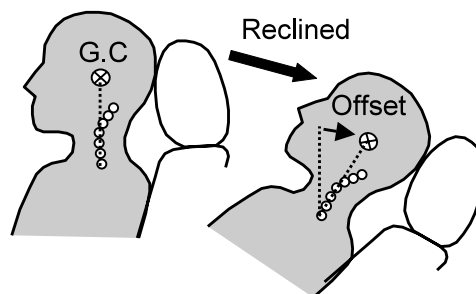


Fig.2 Relationship between Seat and Passenger

3. リラックス装備の提案

ここでは実際の乗用車を開発するにあたって、乗員が脱力してバックレストによりかかることができる利点を実現しながら、前述の課題の解決を図る装備を提案する。この装備を本稿はリラックス装備と呼ぶ。

装備の提案に先立ち、パッケージング効率を最も良くするために、身体的な効果を得るのに十分な必要最低限の倒し角について先行研究をもとに検討した。Ånderssonら⁽¹⁾は、鉛直線から後方へのバックレストの倒し角を変化させて着座時の椎間板内圧を測定した。その結果、 -10° から 20° までの間は椎間板内圧が直線的に低下するが、 20° から 40° までの間ではその低下は不明瞭になると述べている。またNicholson & Stone⁽³⁾は、飛行機での長距離移動における、乗員の快適性とスペース効率について検討した。それによると 40° 付近までバックレストを倒せば、ベッドに横になった時や 50° 付近まで倒した時と比較してやや劣るが、 20° 付近までしか倒さない時と比較して明らかに適切な睡眠が得られると述べている。これらの先行研究は、椎間板内圧を低減させ、快適性を高めるために必要なバックレストの倒し角が 40° を超えるあたりであることを示唆している。よってパッケージング効率と身体負担の双方に恩恵があり合理的と考えられる、バックレストを 45° 倒した状態をベースにリラックス装備を検討することとした。

装備内容としては、まず、頸部の筋負担を解放するため、ヘッドレストに後頭部の下部を支えるロアボルスタを提案した。更に、横Gの入力などにより動きやすい左右方向の頭部の移動を規制するため、サイドボルスタもあわせてデザインした。これにより、頭部を①コアピロー、②ロアボルスタ、③サイドボルスタの3点で支えることができる。球体に近い頭部は、このように3点で支持することにより、安定させることができる。

次に腹筋や背筋の余分な緊張を解決するために、クッションの傾き角を通常使用状態より 6° 大きく調整できる前側チルトを設定した。これにより、ポデーアングルを適切に保持し、骨盤後転に伴う腰椎前湾の減少と臀部の前ずれを防ぐことができる。ただし、これだけ大きくクッション角を上げると、フロアから膝の位置が遠くなるため、膝角

度が小さくなったり、足がフロアで支えられなくなったりして、膝裏が圧迫され、下腿の血行が悪くなる可能性がある。そこで、オットマンにより膝角度を確保し、膝裏の圧迫を除くこととした。

これらの提案したリラックス装備 (Fig.3), すなわち調整式のロア・サイド部ボルスタ付ヘッドレスト, クッション前側チルト, オットマンの効果について, 以下の二つの実験によって生理学的な検証を行った。

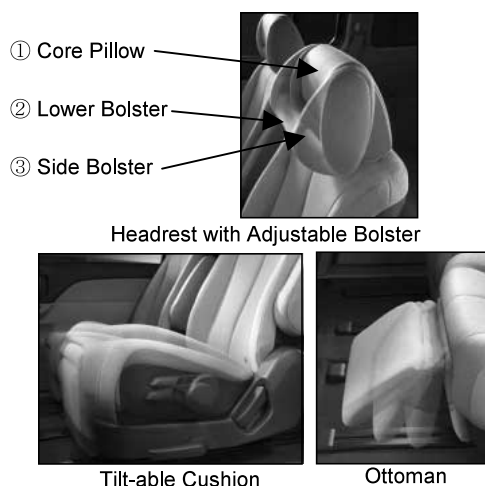


Fig.3 Equipment for Relaxation

4. 効果の検証

4.1 実験1

装備が身体的に筋脱力を促進する効果について, 実験室実験で検証した。

(1) 方法

参加者: 男性5名, 女性2名 (身長156~180cm, 体重48~85kg, 年齢23~45歳) が実験に参加した。

装置: リラックス装備を備えたシートを準備し, 筋電の計測のために生理計測装置 (Biopac systems, Inc., MP100 system) を使用した。

手続き: 各参加者は3つの装備を全て使用するリラックス条件と全く使用しないノーマル条件の両条件に参加した。両条件とも, バックレストの倒し角は45°で90分間シートに着座した。1日に1条件で, 初回とは異なる日に別の条件を実施した。条件の順序は, 被験者間でカウンタバランスを取った。実験は朝9:30~, 昼13:00~, 昼15:00~の3つの時間帯に設定し, 個々の参加者について2条件が同じ時間帯に実施されるよう計画した。各参加者に対し, 両日とも実験前日は同じ時間に就寝し, 当日は同じ時間に起床すること, 実験前日から激しい運動は控えることを教示した。

主観評価: 90分間のテスト後に, 首, 肩, 腰, 尻, 大腿, 脛脛という身体各部の痛みもしくは痺れの度合いを「全く

ない」の0から「極端に強い」の10までの11段階で評価してもらった。加えて, 全体的なリラックス感についても, 0の「非常にくつろいだ」から10の「全くくつろげなかった」で評価してもらった。

筋電: 90分間のテスト中, Ag-AgCl表面電極を用いて, 双極導出により測定した。20-200HzのバンドパスフィルタとHumカットオフフィルタを用い, 400Hzでサンプリングを行った。4対の電極を, 第5, 第6頸椎間と第2, 第3腰椎間の高さに, 体幹の正中線を挟んで左右30mm外側に貼り付けた。対となる電極間の距離は25mmであった (Fig.4)。

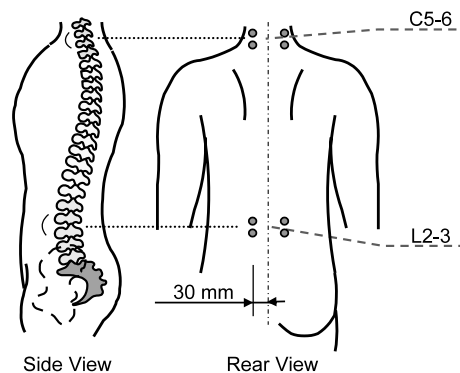


Fig.4 Placement of EMG Electrodes

筋電データ解析については, まず異なる実験日に計測した同一個人の内二条件のデータを個人内で次のように標準化した。各実験日において, テスト前に首・腰それぞれ同一負荷時の筋電を20s間計測し, そのデータの振幅の絶対値の平均振幅を算出して, それを基準振幅値とした。同一負荷を与える方法は以下のとおりであった。首については, 参加者はまずFig.5左図のように台上に胸をつけ, 背中から首にかけて水平になるような姿勢をとって両腕は自然に下におろした。そして両耳を結ぶ線上に3kgの錘をつけてベルトをかけ, 首を水平に保ったままの姿勢で保持した。腰については, Fig.5右図のように両足を揃えて立ち, 背中の前傾角度を30°にして腕を下方に自然におろした状態で, 15kgの錘を手で提げた。その際, 腕の力ではなく腰の力で支えるよう教示した。

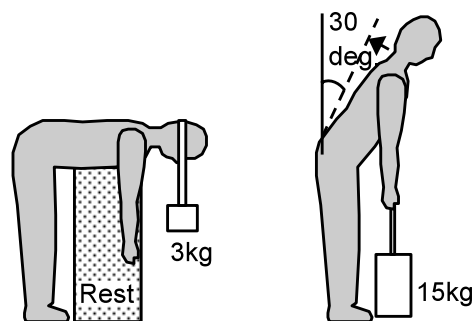


Fig.5 Postures to Measure Standard EMG Amplitude for Neck (Left) and Back (Right)

90分間着座中の全ての筋電データを、絶対値化した後、5分毎に区切ってその区間の平均振幅を求めた。個人内での標準化のため、この5分ごとのデータを基準振幅値に対する比率で表した。参加者間のばらつきの影響を排除するために、個人内で標準化したデータを、参加者ごとの両条件の全データの平均を用いて、5分ごとの系列データの平均が0、標準偏差が1になるzスコアとして標準化した。

統計検定：主観評価については、対応のある両側t検定を行った。筋電データについては、5分毎のzスコアについて実験前半45分と後半45分にわけて平均値を算出し、シート条件(2水準)×時間(2水準)の2要因分散分析を行った。いずれも有意水準はprobability(p) $<.05$ とした。

(2) 結果と考察

主観評価結果：Fig.6は身体各部位の痛みや痺れに加え、全体的なリラックス感の評価点を縦軸にとったグラフであり、低いほど良い評価であることを示す。項目ごとに条件間で評価点の比較を行ったところ、痛みや痺れの程度に関して全ての部位において、装備を使用したほうが低いことがわかった。リラックス装備を使用したほうが、使用しない場合と比較して身体的に楽であり、その結果全体的なリラックス感も高かったといえる。特に首、肩については統計的に有意な差が認められた($p<.01$)。これはヘッドレストで適切に頭を支持する重要性を示しているといえる。自力で頭を支えるために僧帽筋を使用しているため、首だけにとどまらず肩まで装備の効果が影響している。一方で、腰から脛脛にかけて、身体の下の方では、主観評価に条件間で統計的に有意な差が得られなかった。この理由として、もともと腰はバックレストを倒してもたれかかるメリットが大きい部位であるために、装備を使用しない場合でも45°までバックレストを倒すことで、倒さない場合と比較して楽であることが挙げられる。尻や大腿についても同様で、バックレストの倒し角を大きくすることがクッション上での尻下や大腿部にかかる圧力を両条件ともに減少させる。とはいえ、座角を上げることはバックレストにかかる荷重をより増加させ、尻下や大腿部にかかる圧力の更なる低下をもたらす。よって主観的にも多少の座角の効果が得られると考えられるが、それが装備を使用した方が尻や大腿部についての評価点が良い傾向($p<.10$)として表れた。脛脛に関しては、この部位に効果が期待される装備はオットマンである。しかし本実験のノーマル条件のようにクッション前側チルトを使用しない場合は、もともと膝裏の過剰な圧迫が生じていない。よって、オットマンを使用した場合の効果が、装備を使用しない場合との比較ではさほど明確にならなかったと考えられる。全体的なリラックス感についても、装備を使用したリラックス条件のほうが、有意にくつろぎ感が高いことがわかった($p<.05$)。

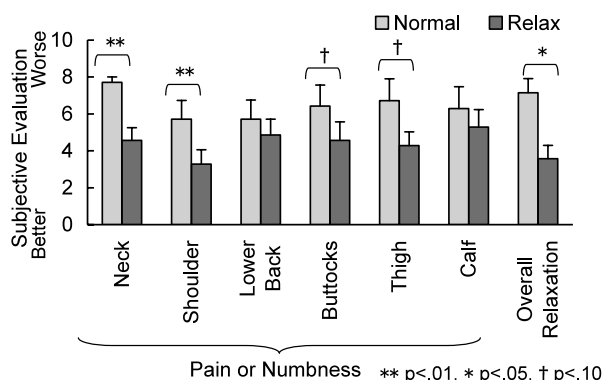


Fig.6 Subjective Evaluation Scores in Test 1

筋電結果：Fig.7は首、腰、それぞれの筋電について、標準化した振幅値の平均を縦軸にとったグラフである。統計的検定の結果、首については右側で条件の主効果が得られ(右首： $p<.05$)、装備を使用したときに筋電の振幅が低かったことが示された。バックレストを後傾させることで首の筋負担が生じることにに対し、ロア・サイド部ボルスタ付ヘッドレストが頭部を効果的に支えるため、首の筋力で支える必要がなかったことが確認されたといえる。一方、腰の筋電については、左右いずれの筋電においても、条件の主効果が得られた(左腰： $p<.01$, 右腰： $p<.01$)。装備を使用した場合に使用しなかった場合と比較して、有意に振幅が低かったことから、座角の増加が腰の筋活動を低減させたことが示された。つまりポデーアングルが大きくなることによって生じる不快な状態に対応するための腰部の筋負担が低減したといえる。

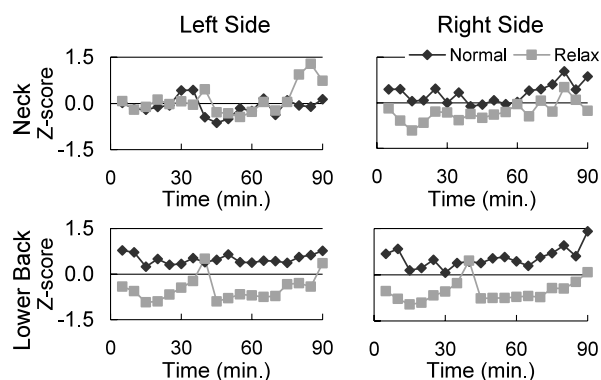


Fig.7 Average of Normalized EMG Amplitude

以上のように、主観評価結果や、筋活動の結果より、ヘッドレスト、クッション前側チルトについては、期待したとおりの効果が得られたことが確認できた。

4.2 実験2

実験2では実車走行評価において、全ての装備の使用による精神的なリラックス効果や脳波によって検証した。また、オットマンの効果を、足先の血流を測定して確

認した。

(1) 方法

参加者：男性7名，女性4名（身長156cm～180cm，体重46kg～70kg，年齢23～45歳）が実験に参加した。

装置：脳波と眼球運動の計測のために生理計測装置（Biopac systems, Inc., MP100 system）を，血流計測用にレーザドップラー式血流モニタ装置（Moor Instruments, MoorLAB）を使用した。2列目席にリラックス装備を備えたミニバンタイプの車両を使用した。

手続き：各参加者はリラックスとノーマルの両条件に参加し，1日に1条件で走行中の車両でシートに90分間着座した。朝8:00～，昼13:00～，夕方16:00～の3つの時間帯に実験を設定した。個々の参加者について，初回から1週間後の同じ曜日に，別の条件を同じ時間帯で実施した。条件の順序は，被験者間でカウンタバランスを取った。各参加者に対し，両日とも実験前日は同じ時間に就寝し，当日は同じ時間に起床すること，実験前日から激しい運動は控えることを教示した。

主観評価：90分間のテスト後に，首，腰，尻，大腿，脛脛について痛みもしくは痺れを「全くない」の0から「極端に強い」の10までで，全体的なリラックス感を「非常にくつろいだ」0から「全くくつろげなかった」10までで評価してもらった。

血流測定：血流は左足の親指と人差し指の付け根の間にセンサを貼り付けて測定した。最終的に，センサの脱落等で両条件のデータが揃わなかった4名を除いた7名を分析対象とした。血流量については個々のデータについて5分ごとにその5分間の平均値を算出した。参加者間のばらつきの影響を排除するために，参加者ごとに両条件の全データの平均を用いて，5分ごとの系列データについてzスコアを求めて標準化した。

脳波：脳波については国際10-20法に基づいて，Cz部位からA1を基準として，Oz部位からA2を基準としてAg-AgCl表面電極を用いて計測した。0.3-35.0Hzのバンドパスフィルタを用いて，400Hzでサンプリングを行った。上下左右の眼球運動についてはAg-AgCl表面電極を両眼角外10mmの場所に，左を上側，右を下側に10mmずらして双極導出した。解析に際し，Cz部位の脳波を指標として，国際睡眠段階判定基準⁹⁾に基づき30sごとに睡眠段階を判定した。参加者ごとに条件別に睡眠経過図を作成した。両条件について，入眠潜時，段階2睡眠潜時，睡眠効率，段階2睡眠率，中途覚醒数，最大睡眠持続時間という睡眠変数を参加者ごとに算出した。

(2) 結果と考察

主観評価結果：Fig.8は身体各部位の痛みや痺れと，全体的なリラックス感の評価点を縦軸にとったグラフである。首，腰，尻では装備を使用した方が有意に痛みや痺れが小さかった（ $p<.01$ ）。大腿や脛脛では主観的には統計的

に有意な差は得られなかった。全体的なリラックス感に関しては，装備を使用したほうが，有意にくつろぎ感が高いことがわかった（ $p<.01$ ）。実験1と同様に，リラックス装備を使用することにより，使用しない場合と比較して，身体的な不満が少なく，リラックス感が高かった。特徴的であったのは，実験1では5%水準で統計的に有意な差が認められなかった腰や尻についても装備の使用により痛みや痺れが有意に少なかったことである。静的な実験室の評価と比較して，実際の走行による振動や加減速Gの入力がある走行実験では，臀部の前方向へのずれも生じやすくなるため，より座角を大きくする効果が認められやすかったと考えられる。

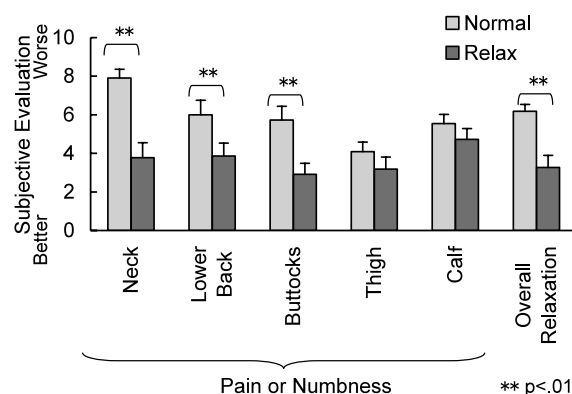


Fig.8 Subjective Evaluation Scores in Test 2

血流結果：Fig.9に5分ごとの標準化した血流量について，全参加者の平均の変化を示した。これを見ると，装備を使用したほうが，使用していない場合より実験時間全体を通じて血流量が多かった。前後半にわけて条件×時間の2要因分散分析を行った結果，条件の主効果が得られ（ $p<.05$ ），装備を使用した方が足先の血流量が有意に多かったことが示された。実験1で述べたように，座角を上げない場合は膝裏の過剰な圧迫が生じないため，オットマンの必要性があまりない。しかし一方で，オットマンを使用して膝角度をより広く保てば，足先からの血液の戻りはよくなることが期待できる。本実験の結果から，オットマン使用時には足先の血流が良くなることがわかり，期待どおりの効果が得られたことが確認できた。

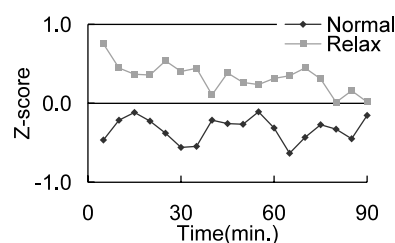


Fig.9 Average of Normalized Blood Flow

脳波分析：2名分の被験者の睡眠経過図をFig.10に例示した。いずれにおいても、装備を使用したほうが入眠潜時が短く、使用しないと特に実験時間の後半で、覚醒が頻繁に生じていることが確認できる。各睡眠変数について、Table 1に示した。いずれの変数とも、条件間に統計的に有意な差が認められた。入眠潜時、段階2潜時ともに装備を使用したほうが短く、睡眠効率、段階2出現率ともに、装備を使用したほうが高い。装備を使用したほうが、中途覚醒回数が少なく、最大睡眠持続時間も長い。この結果は以下のように説明できる。装備を使用することで筋脱力が可能になったことがリラクゼーションを促進し、脱力した後の姿勢が適切に保たれることにより、身体的な負担による痛みなどが生じないため、リラックス状態が長く維持される。

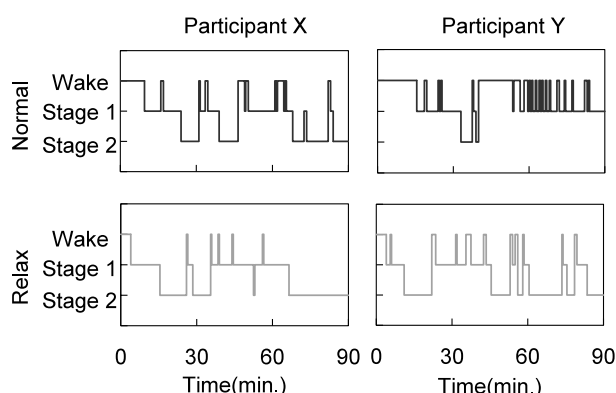


Fig.10 An Example of Hypnograms of Two Participants

Table 1 Sleep Variables

	Normal	Relax	
Sleep Onset Latency (min.)	6.5	3.8	*
Stage 2 Sleep Latency (min.)	23.0	11.8	*
Sleep Efficiency (%)	77.9	91.3	**
Stage 2 Sleep Ratio (%)	37.7	58.3	*
Sleep Interruption Frequency	10.5	5.1	**
Max. Sleep Duration (min.)	29.0	48.9	**

** p<.01, * p<.05

5. おわりに

本研究では乗員の快適性にとって重要な要素としてリラックスに着目した。筋脱力という身体的なリラクセスが精神的なリラクセスを促進すると考えて、筋脱力を可能にするための装備を提案した。更に提案した快適装備の効果について主観的な評価だけでなく、脳波や筋電、血流などの生理指標を用いて検証を行った。

実験1,2の主観的な評価結果より、装備を利用した方が、身体的な不満が小さく、リラックス感も高いことがわかった。更にそれを裏付ける客観的な実験結果を生理学的に示すことができた。リラクセスの前提条件になると考えられ

た筋脱力は、ロア・サイド部ボルスタ付ヘッドレストとクッション前側チルトを使用した場合に頸部と腰部の筋電振幅が小さいことにより示された。また、座角を大きくすることによる膝裏の圧迫は、オットマンの使用により回避されることが血流の結果によって明らかにされた。装備の使用はこのように身体的な負荷を低減させたが、精神的にも装備を使用した方が、リラックスが促進され、更にその維持も長く続いたことが脳波によって客観的に示された。つまり、最初に考えたように、装備の使用による筋脱力という身体的なリラクセスが精神的なリラクセスの程度を高めるために重要なポイントであったことが確認できた。

以上のように、本研究は乗員のリラックスした状態を助けるために提案したシート装備の生理学的な効果について明らかにすることができた。

参考文献

- (1) BJG.Åndersson et al. : Lumbar Disc Pressure and Myoelectric Back Muscle Activity during Sitting. - I. Studies on an Experimental Chair, Scand. J. Rehabil. Med., Vol.6, p.104-114 (1974)
- (2) BJG.Åndersson et al. : Lumbar Disc Pressure and Myoelectric Back Muscle Activity during Sitting. - IV. Studies on a Car Driver's Seat, Scand. J. Rehabil. Med., Vol.6, p.128-133 (1974)
- (3) AN.Nicholson et al. : Influence of back angle on the quality of sleep in seats, Ergonomics, Vol.30, p.1033-1041 (1987)
- (4) A.Rechtschaffen et al. : A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects, Washington DC, Public Health Service, U.S. Government Printing Office(1968)

著者



道田奈々江



元吉菜緒子



宮原民夫

論文・解説

22

自動車乗降時における上半身の身体負担推定手法の提案

Estimated Method of Physical Workload of Human Upper-body during Ingress and Egress

吉澤公理*1 末富隆雅*2 小竹元基*3
Norimichi Yoshizawa Takamasa Suetomi Motoki Shino
宮沢悠介*4 鎌田実*5
Yusuke Miyazawa Minoru Kamata

要約

乗降動作時の負担を定量的に評価することは、自動車の使いやすさを向上させる上で重要である。これまでに、下半身の肉体負担について筋電位を用いた評価や関節トルクによる負担推定手法を提案し、乗降動作時の下半身の定量評価を実現してきた。

今回、上半身の肉体負担に着目し、乗降動作時の筋負担評価から肉体負担に寄与する動作を抽出し、3次元の乗降動作データから負担の指標として関節トルクを推定する手法を提案した。いくつかの車両寸法に対する乗降動作時の上半身の関節トルクを推定したところ、乗降動作中の筋負担とそのときの負担感がそれぞれ一致する結果が得られ、上半身の肉体負担の定量評価の妥当性を得た。

Summary

The quantitative evaluation about ease of ingress and egress is important to improve the usability of an automobile. We have developed the quantitative evaluation about physical workload of human lower-body as using the EMG (electromyogram) or estimating the joint torque.

This time, we examined the evaluation method about the physical workload of human upper-body. We extracted the motion during the ingress and egress that influenced the physical workload by muscular evaluation, and proposed the method to estimate the workload from ingress and egress motion, assuming joint torques as the index of the physical workload. As a result of the verification test of estimating physical workload, estimated joint torque matched the EMG and the subjective evaluation well.

1. はじめに

車両タイプの多様化と高齢者や女性ユーザの増加に伴い、人間特性を考慮した自動車の使いやすさが求められている。中でも快適性の一つに上げられる乗降性は、車体構造が大きく影響するため、車両寸法の負担への影響を定量的に評価することが重要である。これまでに、下半身の肉体負担について、筋電位を用いた筋負担評価や乗降動作から推定した関節トルクによる評価を提案し、乗降動作における下半身の肉体負担の定量評価を実現してきた⁽¹⁾。しかし、上半身の負担に関して人間特性を考慮した定量評価手法はなく、現状の開発では、人間が感じる主観評価に頼っ

ている。

今回、頸部や腰部の肉体負担に着目し、車両寸法の変更に伴う負担を予測する手法について検討した。乗降時における上半身の動作の特徴から、肉体負担に寄与する頸部と腰部の動作を抽出し、頸部と腰部の関節トルクを負担の指標としてその動作から肉体負担を予測する手法を提案した⁽²⁾。更に、その手法を用いて、いくつかの車両寸法に対する乗降時の肉体負担を予測し、本評価手法の妥当性を検証した⁽³⁾。

2. 負担発生動作の抽出

2.1 実験概要

乗降動作時の上半身の負担に寄与する動作を抽出し、そ

*1, 2 技術研究所
Technical Research Center

*3~5 東京大学大学院
Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

の動作と負担との関係を把握するためにFig.1に示す乗降性評価用モックアップを用いて、上半身の負担に影響を与えと考えられる「車両フロアからルーフまでの高さ（以下、ルーフ高とする）」と「頸部と腰部の負担」の関係について検討を行った。

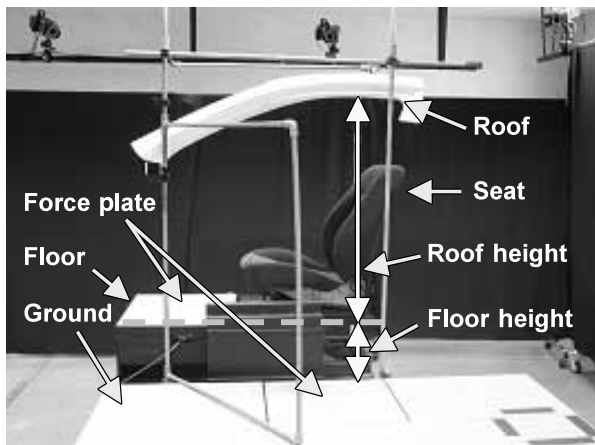


Fig.1 Mock-up for Evaluation of Ingress and Egress

2.2 実験手法

(1) 実験条件

ルーフ高の初期設定を「Base」とし、この「Base」の位置からルーフ高を+50, -10, -20, -30, -40, -50, -100mmと変化させて実験を実施した。他の車両寸法は一般的な乗用車の助手席に設定した。

(2) 被験者

被験者は、20代男性3名（被験者A：身長1,800mm，体重76kg，被験者B：身長1,840mm，体重74kg，被験者C：身長1,810mm，体重76kg）で、事前に実験内容を十分説明し、実験参加へのインフォームドコンセントを得ている。

(3) 計測と評価

条件ごとに5回の乗降動作を被験者にさせ、そのときの「3次元動作」、「筋電位」、「床反力」の計測と条件ごとに負担等に関する「主観評価」を行った。

3次元動作計測用のマーカをFig.2のように貼付し、赤外線式カメラを10台用いてサンプリング周波数60Hzで全身の乗降動作を計測した。

筋電位は頸部と腰部の動作に関係する身体の左右の「胸鎖乳突筋」、「僧帽筋」、第2-3腰椎付近の「体幹起立筋(L2-3)」を被験筋とし、1kHzで計測した（Fig.3）。計測した筋電位は、事前に計測した各被験筋の最大随意筋発揮時の振幅に対する比率：最大筋力比（%MVC）を算出し、整流処理したデータを評価に用いた。

床反力計は、モックアップで想定した地面と車室内のフロアに2枚設置し（Fig.1）、それぞれの面に足が設置するタイミングを把握するために1kHzで計測した。

主観評価は条件ごとに5回の動作後に、頸部や腰部の各部位に関する負担について、負担がない状態を「0点」と

し、最も負担が大きい状態を「3点」として評価させた。ここでは、Fig.4のように乗車を「内足入れ」「着座（シートへ腰を下ろす）」「外足入れ」、降車を「外足出し」「起立（シートから腰を上げる）」「内足出し」の6つのフェーズに分けて評価させた。なお、被験者には手を使わずに乗降するように教示し、各条件での計測直前に習熟試行を行った。



Fig.2 Marker Position

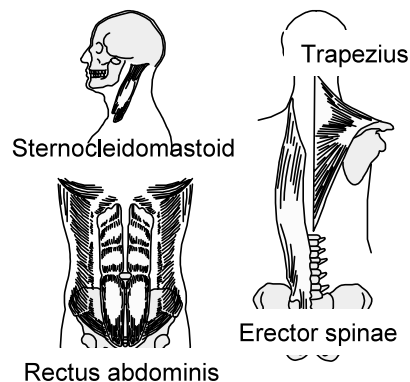


Fig.3 Measuring Points of EMG

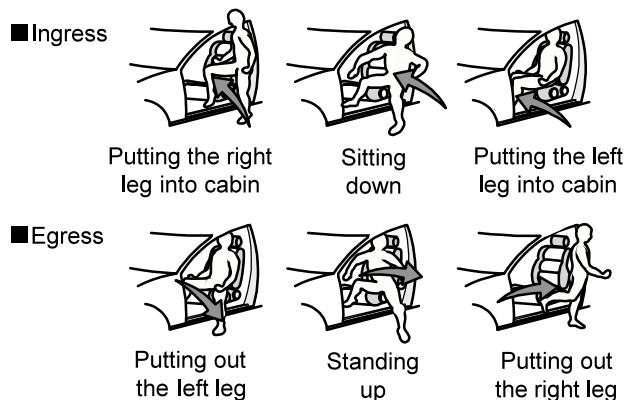


Fig.4 Motion Division of Ingress and Egress

2.3 実験結果

(1) 乗降動作と負担感の関係

Fig.5に各条件の着座と起立のフェーズ（Fig.4）における3名の腰部に関する負担感の平均値をルーフ高に対して示す。

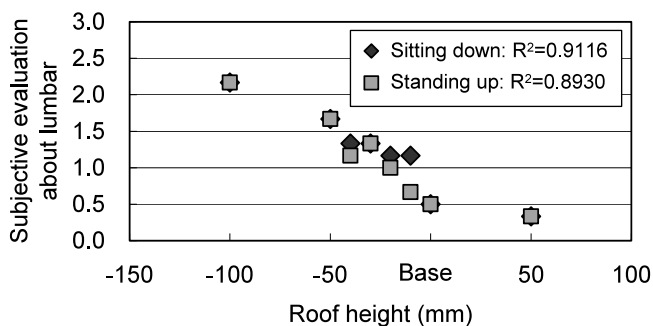


Fig.5 Relation between Roof Height and Subjective Evaluation about Lumbar

ルーフ高が低くなると腰部の負担感が増加する傾向を示した。頸部についても同様な結果を得た。また、その他のフェーズでは3名とも負担感はなく、「着座」と「起立」のフェーズで上半身の負担が発生していることが分かった。

(2) 乗降動作と筋負担の関係

被験者Cのある条件について、動作計測用マーカ（頭頂部と鳩尾に貼付）の鉛直座標と、僧帽筋と体幹起立筋（L2-3）の最大筋力比の時系列変化をFig.6に示す。頭頂部、鳩尾ともに鉛直座標が大きく変化すると、僧帽筋と体幹起立筋の最大筋力比が増加する傾向を示した。これらはルーフをよけて着座、起立するフェーズであり、他の被験者についても、他の条件についても、同様な結果が得られた。また、ルーフ高が低くなると、どの被験者も頭部と鳩尾の通過点は低くなり、着座と起立のフェーズにおける各部位の最大筋力比の時間積分値も増加する傾向を示した。これは、ルーフを避けるために頸部と腰部をそれぞれ曲げ、ルーフ高が低くなれば、その時の筋負担も増加するためと考えられる。

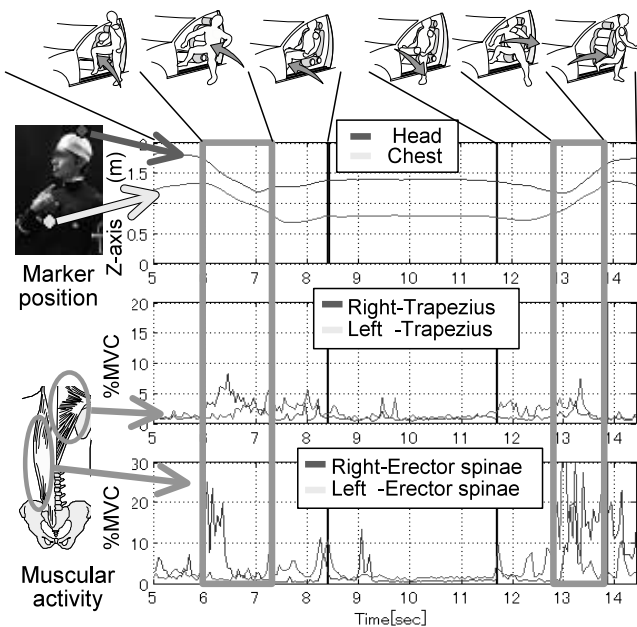


Fig.6 Relation between Motion and Muscular Activity

(3) 負担感と筋負担の関係

筋負担が負担感に影響を及ぼしていることを検証するため、着座と起立のフェーズにおける最大筋力比の時間積分値と各部位の負担に関する主観評価との対応を見た。Fig.7に被験者Cの腰部の結果を示す。両者には高い相関があり、筋負担が増加すると負担感も増加する。頸部についても他の被験者についても同様な結果が得られた。

以上のことから、ルーフ高が低くなると、これを避けるために頸部と腰部をかがめる度合いが大きくなり、この動作や姿勢を維持するための筋負担が増加し、負担感も増加することが分かった。

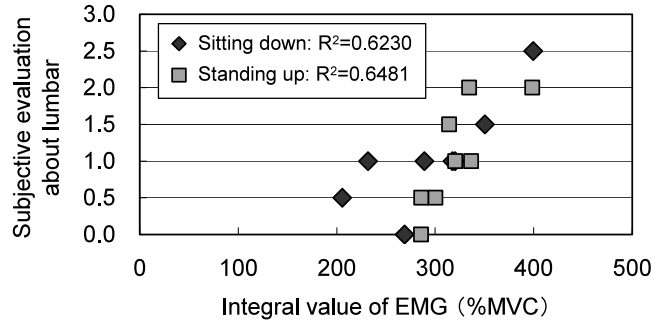


Fig.7 Relation between Muscular Activity and Subjective Evaluation about Lumbar

3. 負担推定手法の提案

3.1 モデルの概要

前章で、上半身の肉体負担は、ルーフを避ける際の頭部や胸部をかがめる動作により頸部や腰部付近の筋活動が負担として発生することを確認した。そこで、上半身を、頭部、胸部、腰部を剛体とし、頸部と腰部に関節を有する剛体リンクモデルとしてモデル化し、頸部と腰部の関節に発生する関節トルクを負担の指標とした負担推定手法を提案する。

頸部と腰部の関節は、理学療法技術ガイド⁴⁾をもとに、それぞれ屈伸（前後に倒したり、伸ばす運動）・側屈（左右に傾ける運動）・回旋（回す運動）の3自由度の運動を表現できることを考慮して決定した。頸部ジョイント位置は第七頸椎（7th cervical vertebrae）と鳩尾（Solar plexus）から正中線にそって150mm上の点との中点、腰部ジョイント位置は、左右の腸骨稜最高点（Top of iliac crest）の中点とした。また、頭部重心位置（Center of gravity of head）は左右のこめかみ（Temple）の中点、胸部重心位置（Center of gravity of chest and lumbar）は頸部と腰部のジョイントの中点とした（Fig.8）。

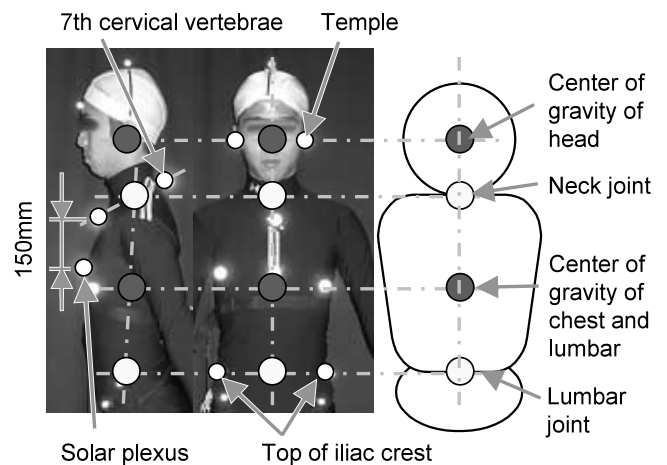


Fig.8 Joint Analytical Model

3.2 負担推定手法

頸部、腰部ジョイントの関節トルクは、3次元動作計測から得られた頭部並進加速度から頸部ジョイントに加わる関節間伝達力を算出し、それを用いて回転運動方程式から推定する。まず、Fig.9に示すようなX-Z平面で考える。

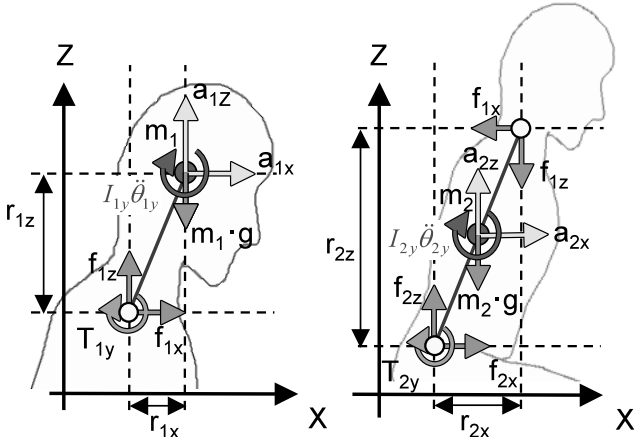


Fig.9 Joint Analytical Model

頭部重心の並進運動と回転運動より、X軸方向、Z軸方向の関節間力は、それぞれ式(1)、式(2)のように表せる。これよりX-Z平面に垂直なY軸回りの頸部の関節トルク T_{1y} は式(3)のように推定できる。

$$f_{1x} = m_1 a_{1x} \tag{1}$$

$$f_{1z} = -m_1 g + m_1 a_{1z} \tag{2}$$

$$T_{1y} = -f_{1z} r_{1x} + f_{1x} r_{1z} + I_{1y} \ddot{\theta}_{1y} \tag{3}$$

腰部に関しても頸部同様に、X軸方向、Z軸方向の関節間力はそれぞれ式(4)、式(5)となり、腰部の関節トルク T_{2y} は式(6)のように推定できる。

$$f_{2x} = m_2 a_{2x} + f_{1x} \tag{4}$$

$$f_{2z} = -m_2 g + m_2 a_{2z} + f_{1z} \tag{5}$$

$$T_{2y} = -f_{2z} r_{2x} / 2 + f_{2x} r_{2z} / 2 - f_{1z} r_{2x} / 2 + f_{1x} r_{2z} / 2 + I_{2y} \ddot{\theta}_{2y} - T_{1y} \tag{6}$$

ここで、 I_i は慣性モーメント、 m_i は質量、 a_i は並進加速度、 $\ddot{\theta}_i$ は角加速度、 g は重力加速度、 f_{ix} はiジョイントにかかるX軸方向の関節間力、 r_i はモーメントアーム長を表す。なお、添字 $i=1$ は頭部および頸部ジョイント、 $i=2$ は胸部および腰部ジョイントをそれぞれ表す。また、頭部、胸部の慣性モーメント、質量のパラメータは、体節の長さや体重から推定する手法により算出した⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

以上のモデルはX-Z平面の2次元モデルであることから、絶対座標系の直行する3平面の要素を合成したものを3次元の関節トルクと定義した。

$$T_i = \sqrt{T_{ix}^2 + T_{iy}^2 + T_{iz}^2} \tag{7}$$

ただし、 T_{ix} はiジョイントのX軸周りのトルク、 T_{iy} はiジョイントのY軸周りのトルク、 T_{iz} はiジョイントのZ軸周りのモーメント、 T_i はiジョイントのトルクで、この T_i をiジョイントの負担と定義する。また、算出したトルクの相対座標におけるY軸周りの成分を屈曲・伸展トルク、X軸周りの成分を側屈トルク、Z軸周りの成分を回旋トルクと定義した。

4. 負担推定手法の妥当性検証

4.1 検証実験の概要

提案した剛体リンクモデルの妥当性を検証するため、以下の2つの観点から実測値とモデルの推定値を比較する検証実験を行った。

- ① 姿勢を維持している状態の負担を評価できるか
- ② 動作をしている状態の負担を評価できるか

被験者は20代男性1名(被験者D:身長1,680mm,体重57kg)とし、計測項目は第2章の3次元動作と筋電位とし、筋電位の被験筋として腰部の伸展運動を考慮して腹直筋を加えた。

解剖学に基づき、頸部と腰部について屈伸、側屈の姿勢や運動をそれぞれ規定し、姿勢を維持した状態と運動中の筋負担と関節トルクをそれぞれ比較した。なお、腰部の姿勢変化に股関節の運動が混ざらないように、被験者に座位姿勢をとらせ、骨盤を座面にベルトで固定して計測した。

4.2 姿勢維持における負担の検証(静的負担の検証)

頸部と腰部について姿勢を維持している際の負担を検証するため、規定した屈伸、側屈姿勢を維持している際の最大筋力比の平均値とモデルで推定した関節トルクの平均値を比較した。頸部の屈伸は伸展角40度から屈曲角10度までとし、側屈の限界を30度とし、それぞれ10度ずつ姿勢を維持させた。腰部の屈伸は伸展角30度から屈曲角30度までとし、側屈角を35度とし、頸部同様に10度ずつ姿勢を変化させた。なお、頸部運動に起因する筋は胸鎖乳突筋と僧帽筋、腰部運動に起因する筋は腹直筋と体幹起立筋(L2-3)とした。

規定した姿勢を1秒間維持している状態での各被験筋の最大筋力比の平均値と被験筋に対応する関節トルクの平均値の相関分析を行った。Table 1に各部位の屈伸(Extension/Flection)、側屈(Leteroflection)姿勢維持に必要な各部位の筋負担と関節トルクの相関係数を示す。この結果、それぞれの姿勢維持に必要な筋負担と関節トルクに高い相関関係があり、モデルにより上半身の姿勢維持に必要な筋負担を評価できることを確認した。

Table 1 Correlation Coefficient between Joint Torque and Muscular Activity

	Extension/Flection	Leteroflection
Head&Neck	0.94	0.67
Chest&Lumbar	0.88	0.79

4.3 動作負担の検証（動的負担の検証）

動作中の負担を検証するため、頸部と腰部の能動的限界まで屈伸と側屈を繰り返す運動をそれぞれ行った。動作の統制はメトロノームを用いて0.50Hzと0.66Hzの2種類の周期で計測を行った。

腰部の屈伸運動に寄与する筋の活動（腹直筋と体幹起立筋）と、モデルより推定した腰部関節トルクの時間変化をFig.10に示す。体幹起立筋は腰部の屈曲運動の制動と伸展運動の発動を、腹直筋は伸展運動の制動と屈曲運動の発動の役割を担っており、両筋活動の時間的変化の傾向は、推定した腰部の関節トルクと対応がとれていることが分かった。腰部の側屈運動についても、頸部の屈伸運動と側屈運動についても同様の結果が得られ、本推定手法により上半身の運動に必要な筋負担を評価できることを確認した。

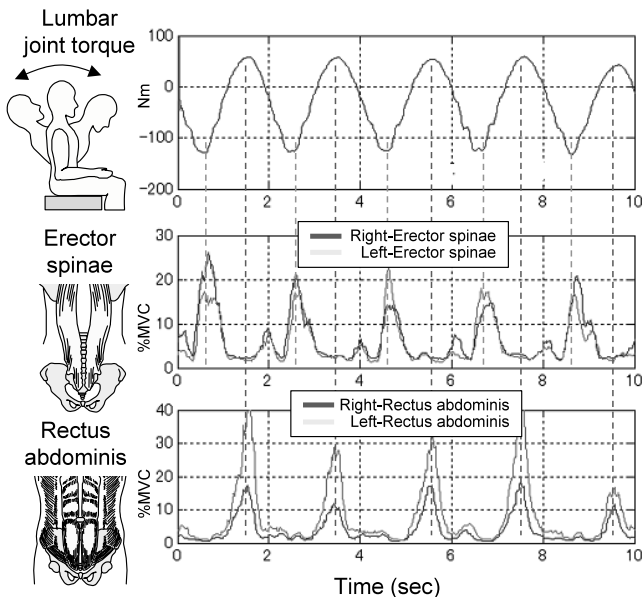


Fig.10 Relation between Lumbar Joint Torque and Muscular Activity During Extension and Flexion

5. 負担推定手法の車両評価への適用

提案したモデルで、姿勢維持と単純動作における筋活動の時間変化を評価できることを確認した。本章では、このモデルを用いて、複雑な動作となる乗降動作の上半身の負担評価が可能か車両寸法を変更して検討した。

5.1 ルーフ高を変化させた際の負担評価

第2章で計測したルーフ高を変更した際の乗降動作データをもとに、頸部と腰部の関節トルクを推定し、筋負担と負担感との比較をそれぞれ行った。Fig.11に被験者Cのある条件での頸部運動と腰部運動にそれぞれ寄与する最大筋力比の合計値（頸部：胸鎖乳突筋と僧帽筋の和、腰部：腹直筋と体幹起立筋の和）と各関節の関節トルクの時系列変化を示す。

この結果、2~3秒の着座フェーズと8~9秒の起立のフェーズにおいて、ルーフを避けるために頸部と腰部をかがめるために筋活動が増加した。これにともない頸部と腰部に対応する部位の関節トルクも増加し、両者に定性的な波形の一致を確認することができた。また、他の条件についても他の被験者についても同様な結果が得られ、本モデルで推定した関節トルクにより、乗降動作における筋活動を簡易的に評価可能であることを確認した。

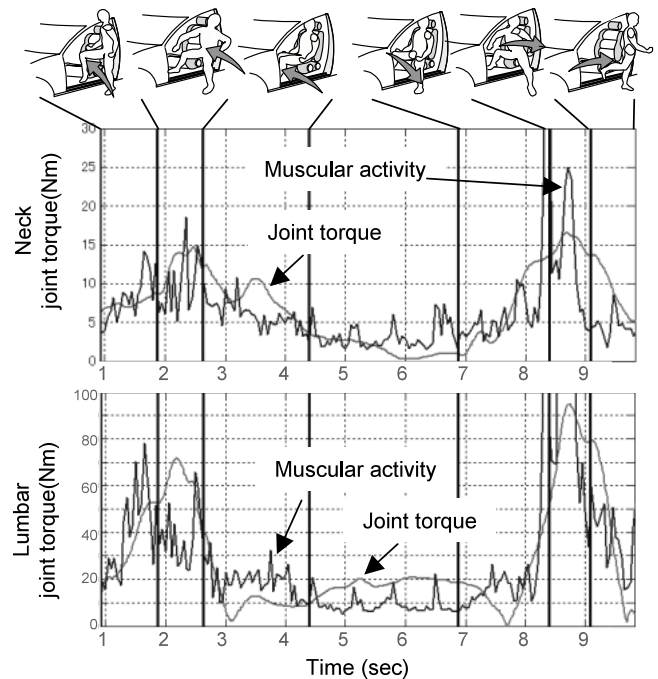


Fig.11 Relation between Joint Torque and Muscular Activity During Ingress and Egress

ルーフ高を変更したときの着座と起立のフェーズにおける被験者Cの腰部運動に寄与する被験筋の最大筋力比の時間積分値と関節トルクの時間積分値の関係をFig.12に示す。両者には高い相関関係があり、筋負担が増加すると関節トルクも増加することが分かった。頸部についても同様な結果が得られた。

関節トルクが負担感に影響を及ぼしているか確認するため、着座と起立のフェーズにおける関節トルクと負担感との対応を見た。腰部の結果をFig.13に示す。両者には高い相関関係があり、関節トルクが増加すると負担感も増加することが分かった。頸部についても他の被験者についても同様な結果が得られた。

以上のことから、ルーフ高が低くなると、これを避けるために首と腰を曲げる度合いが大きくなり、首や腰を曲げた姿勢を維持するための筋活動と同様に、関節トルクが増加し、負担感も増加するという第2章の実験で観察された現象が定量的に分析できた。

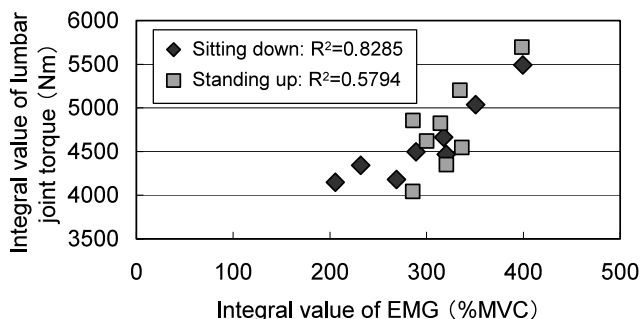


Fig.12 Relation between Muscular Load and Joint Torque about Lumbar

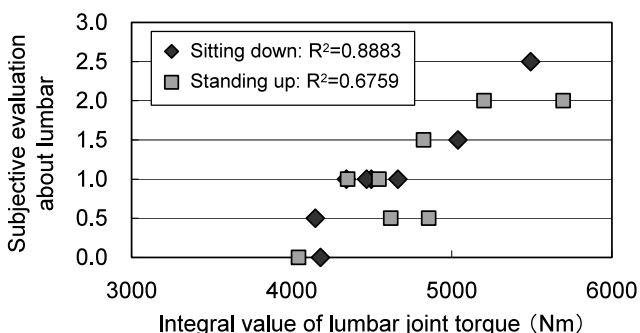


Fig.13 Relation between Joint Torque and Subjective Evaluation about Lumbar

5.2 ルーフ高とフロア高を変化させた際の負担評価

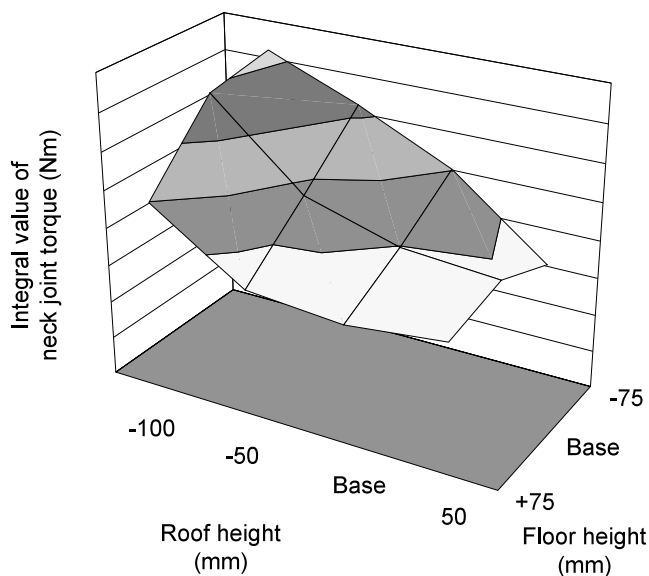
ルーフ高に加え、フロア高 (Fig.1) が上半身の負担に与える影響について検討した。実験方法は第2章の実験と同様とし、3次元動作計測から頸部と腰部の関節トルクをそれぞれ推定した。モックアップの設定は、Table 2に示すようにルーフ高：4設定とフロア高：3設定を組み合わせた12設定とした。被験者は第4章の被験者Dとした。

Table 2 Setting of Mockup (mm)

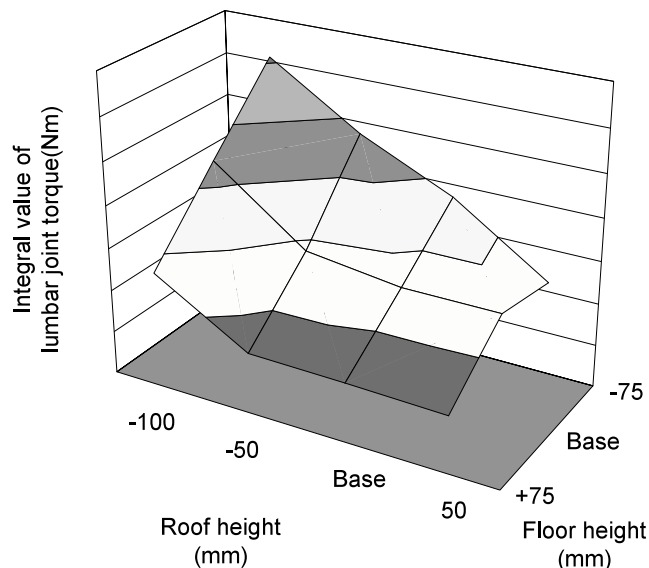
Roof height from floor	-100	-50	Base	+50
Floor height from ground	-75	Base	+75	

ルーフ高とフロア高を変えたときの着座フェーズにおける頸部と腰部の関節トルクの時間積分値の変化をそれぞれ Fig.14に示す。なお、各条件で乗降動作は3試行繰り返し、関節トルクの積分値は3試行の平均値とした。

ルーフ高が低くなると、どのフロア高でも頸部と腰部の関節トルクはそれぞれ増加した。また、フロア高が低いほど、関節トルクの増加する度合いが高い。今回の実験条件では、ルーフ高とフロア高がそれぞれ低いと、関節トルクが最も高く、逆に、ルーフ高とフロア高が高いと関節トルクは低い結果となった。起立のフェーズにおける頸部と腰部の関節トルクについても同様な傾向を示した。



(a) Neck Joint



(b) Lumbar Joint

Fig.14 Relation between Joint Torque and Vehicle Dimension

ルーフ高とフロア高が変化したときの着座動作から関節トルクの発生原因について考察する。Fig.14(a)のように、ルーフ高が低くなるとルーフを避けるために頸部や腰部を曲げて着座するため、関節トルクが増加する。更に、Fig.15(b)のようにフロア高が低くなることでシート位置も低くなり、腰部をかがめるようにして着座するため、関節トルクが増加する。それに対して、フロア高が「Base」の設定は、立位姿勢時 (Fig.15(d)) の腰部の位置とシートの高さが同程度であり、着座時に頸部や腰部を曲げる量が少なくてすむ。更に、フロア高が「+75mm」の設定では体を持ち上げるようにして着座するため、腰部の屈曲量は

小さくなる (Fig.15(c))。ルーフ高が「Base」の設定では、シート座面からルーフまでの鉛直距離が被験者の座高と同程度であり、これより高い「+50mm」の設定では、ルーフ高を避けるために頸部や腰部を曲げる必要も少なく、関節トルクの発生が小さいと考えられる。

関節トルクが負担感に影響を及ぼしていることを検証するため、着座と起立のフェーズにおける関節トルクの時間積分値と主観評価との対応を見たところ、両者には高い相関があり、関節トルクが増加すると負担感も増加することを確認した。

以上のことから、上半身の負担はルーフ高に加え、腰を曲げる動作に起因するフロア高なども影響しているといえる。

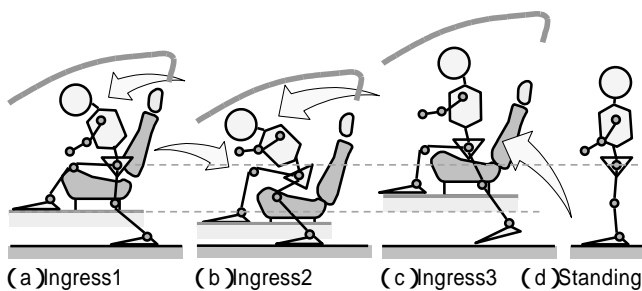


Fig.15 Relation between Vehicle Dimension and Ingress Motion

6. まとめ

乗降動作時の上半身の肉体負担を客観的にかつ定量的に評価するため、頸部と腰部の関節トルクを負担の指標として、動作から負担を推定する手法を構築した。被験者を20代男性とし、乗降動作を一意に統制して、モデルの有効性を検証した結果、以下のことが確認できた。

- ・上半身の肉体負担は、ルーフをよけて着座、起立するフェーズにおいて頸部と腰部付近に発生する。
- ・モデルより推定した頸部と腰部の関節トルクが対応する筋の筋活動とそのときの負担感とそれぞれ一致し、負担推定手法の妥当性を得た。
- ・上半身の肉体負担には、ルーフ高に加え、腰を曲げる動作に起因するフロア高なども影響している。

今後、体格の小さい女性や筋力の衰えた高齢者等の負担も評価可能とするため、体格差や動作の違いを考慮した負担評価の妥当性を検証し、本手法を誰にでも使いやすい自動車の実現に活用していく。

参考文献

- (1) 小竹ほか：自動車乗降動作における身体的負担推定手法の提案とその評価，自動車技術会学術講演会前刷集，No.130-05，p.5-10（2005）
- (2) 小竹ほか：自動車乗降時における上半身の身体負担解明とその評価手法の提案，自動車技術会学術講演会前刷集，No.100-06，p.11-16（2006）
- (3) 吉澤ほか：自動車乗降時における車両寸法と上半身の身体的負担の関係，自動車技術会学術講演会前刷集，No.100-06，p.17-20（2006）
- (4) 石川ほか：理学療法技術ガイド，文光堂，p.47-48（2001）
- (5) 日本機械学会：バイオメカニクス数値シミュレーション，コロナ社，p.190-228（1999）
- (6) 阿江ほか：日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定，バイオメカニクス，11，p.23-33（1992）
- (7) 福林ほか：動きでわかる解剖と機能，医学の日本社，p.101-133（1999）
- (8) 河合ほか：肉単，エヌ・ティ・エス，p.2-39（2004）
- (9) 河合ほか：骨単，エヌ・ティ・エス，p.2-59（2004）

著者



吉澤公理



末富隆雅



小竹元基



宮沢悠介



鎌田実

論文・解説

23

新型MPVのAFS (Adaptive Front-lighting System) 開発 Development of AFS of All-New MPV

大谷 健二*1
Kenji Ohtani

要 約

新型MPVにマツダとして初めて採用したAFS (Adaptive Front-lighting System) の開発において、我々は先行して市場導入されている競合他車を凌駕する商品性を目指した。特に『夜間の視界・視認性』と『滑らかなスイブル (照射軸を左右に回転させること)』に注力した開発を行った。夜間の視界・視認性向上のための主要な開発ポイントは、①最適な最大スイブル角度、②最適な配光設計、③最適なスイブル開始車両速度、④最適なスイブル応答性である。滑らかにスイブルするための主要な開発ポイントは、①光スジ / ムラの排除、②慣性モーメントによる影響の排除である。ここでは新型MPVのAFS開発概要について紹介する。

Summary

In the development of AFS (Adaptive Front-lighting System) for all-new MPV, we intended the superior marketability to the competitive vehicles which was introduced into the market already. Especially, we concentrated the development of ' View & Visibility at nighttime ' and ' Smooth Swivel (Rotate right and left the axis of light) '. The main development point for the visibility improvement is ①the best of Swivel max angle, ②the best of distribution light design, ③the best vehicle speed for Swivel starting and ④the best responses of Swivel angle. The main development point for smooth Swivel is ①Exclusion of optical stripe / irregularity and ②Exclusion of influence by moment of inertia. I introduces all-new MPV an outline of the AFS development.

1. はじめに

AFSとは、夜間走行中のコーナリング時、または交差点での右左折時に、ステアリングの操舵角や車速に応じてヘッドランプの配光を変化させ、ドライバーが曲がりたい方向の視界・視認性を向上させるシステムである。

このシステムは2003年の国内法規制緩和に伴い、一部高級車を中心に市場導入が始まった。ただ、これらの初期に市場導入されたシステムは、開発途上であることが否めず、本来AFSにて得られるはずの十分な夜間走行時の視界・視認性向上を果たせていなかった。そこで、マツダ初の採用となる新型MPVにおいては、他車よりも更に優れた商品を提供しなければならないという強い使命感を持ち開発をスタートさせた。

AFSの種類

AFSには、ロービームリフレクタ全体をダイレクトに左右に動かす“全体スイブルタイプ”、ロービームリフレクタの一部を左右に動かす“部分スイブルタイプ”、リフレクタを動かさず必要ときだけ追加光源を点灯させる“固定ベンディングタイプ”の3種類がある (Fig.1)。

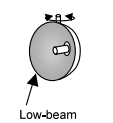
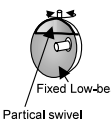
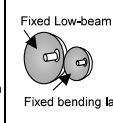


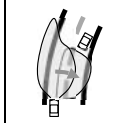
	全体スイブル Full swivel	部分スイブル Partical swivel	固定ベンディング Fixed bending lamp
構造 Structure			
配光 パターン Lighting pattern			

Fig.1 Type of AFS

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

2. 新型MPVのAFS開発

システム選定にあたり、まず机上検討にて、リフレクタの一部をスイブルさせる“部分スイブルタイプ”はコーナリング時に使用できる光量が他システムより少なく、配光制御の自由度が低いと判断し、“全体スイブルタイプ”と“固定ベンディングタイプ”に絞り込んでランプユニットを試作し実研車両を製作した。

全体スイブルタイプはロービームの光軸をダイレクトに動かすため、中高速領域の視認性が高く、お客様に対する商品のアピール性も高い。しかし、停止時には対向車への眩惑防止のため、低速域ではスイブルを制限しなければならず、固定ベンディングタイプに比べ、低速時/交差点での商品性は低い。

一方、固定ベンディングタイプは、カットオフライン(ロービームの明暗境界線)より下での照射のため、右カーブでは遠方を照射することができない。低速/交差点での商品性は高いが中高速領域では低い、ということが分かった (Fig.2)

マツダが目指すZoom-Zoomな走る喜びを、夜間走行時にも安心してお客様に楽しんで頂くために、中高速領域の視認性を重視し、最終的に我々は“全体スイブルタイプ”を選定した。

		全体スイブル Full swivel	固定ベンディング Fixed bending lamp
スクリーン上の配光パターン Lighting pattern on the screen			
		全体スイブル Full swivel	固定ベンディング: カットオフより下 Fixed bending lamp: under cutoff-line
↑ 遠く(far) ↓ 近く(near)	カーブ(大) Curve(large)	○	×
	カーブ(中) Curve(middle)	○	△
	カーブ(小) Curve(small)	△	○
	交差点通過 Passing crossroads	△	○
	交差点待ち Waiting crossroads	×	○



Fig.2 Evaluation Result of AFS

3. 開発のこだわり

業界トップの商品性を実現するために、先行して市場導入されている競合他車のベンチマークを通して、更なる夜間の視界・視認性向上と、スイブルすることにより発生す

るネガティブな要素を排除するために、以下の項目に着眼点を置き開発を進めた。

3.1 視界・視認性向上

(1) コーナリング時の更なる視界・視認性向上

Aピラー後方の窓ガラス(フロントサイドウインドウ)越しより進行方向を見るシーンでも、充分な路面照度を確保し、いち早く歩行者や障害物等を発見するために、最大スイブル角度を20度に設定した。これは、競合車の最大スイブル角15度に対して+5度で、業界トップのスイブル角である。

実現のために、スイブル時に照射光がベゼルでカットされないように、またスイブルしていない時のプロジェクタとベゼルの隙間の見栄えを配慮し、プロジェクタ回転軌跡に沿ったベゼルデザインを採用し、レイアウトとデザインの両立を図った (Fig.3)

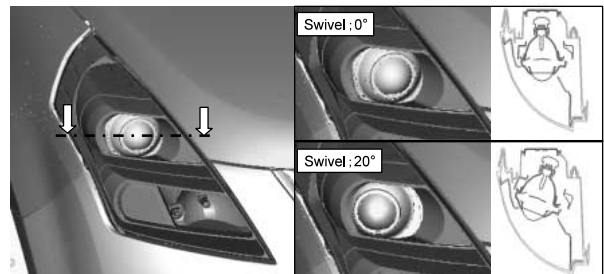


Fig.3 Bezel Design that Considers Swivel

(2) 最適な配光設計

最大スイブル角度の拡大に伴い、右コーナ時にスイブルすることにより真正面部の照射光が不足(光割れ)し視認性の悪化が発生した。これを克服するためにベース配光の横方向を広げ、スイブル時に真正面部の照度を確保できるように改善し、前方方向の視認性を確保した (Fig.4)

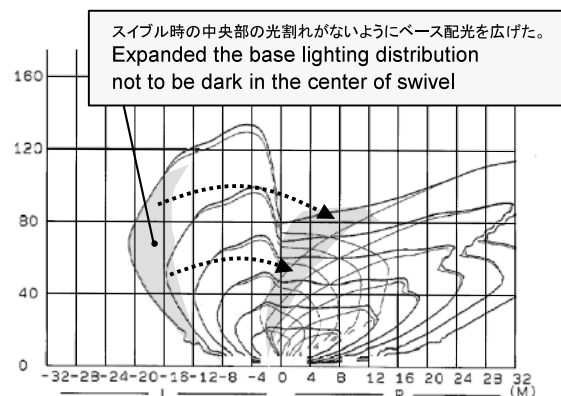


Fig.4 Lighting Distribution Simulation of Load

(3) 低速コーナでの視認性向上

全体スイブルタイプの弱点である低速運転時の視認性を改善するために、スイブル開始車両速度を可能な限り低速化させた。車両速度ゼロでスイブルしてはならないという

法規制を満足するギリギリの線を設定するために、最大スイブルさせた後に、急ブレーキで停車したときに正面まで光軸を戻せる車両速度を実車評価により設定した。これによりスイブル開始車両速度を競合車30km/hに対して、13km/hと大幅に改善した。

(4) ドライバの視点変化にตอบสนองした照射制御

車両の特性として、同じ舵角でも車両速度が上がるに連れ遠心力の影響を受けて、徐々に旋回Rが大きくなる。また、運転の特性として、車両速度が上がるに連れてドライバの視点も遠方へ変わっていく。ここに着眼し、視線と照射方向の一致精度を高めるために、車両速度及びコーナーRを変えた調整を繰り返し行い、車両速度に応じた舵角とスイブル作動角度を決定した (Fig.5)。

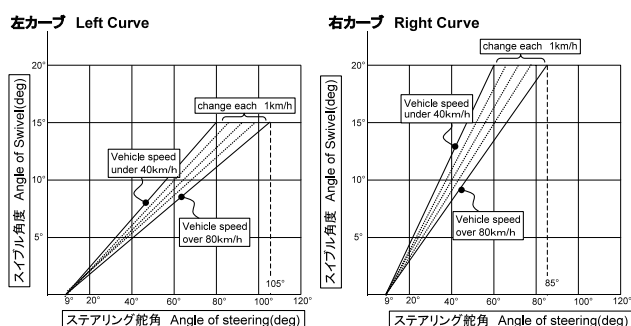


Fig.5 Steering and Swivel Angle

3.2 滑らかなスイブルの実現

(1) 光スジ/ムラの排除

競合車の評価結果、路面の光スジ/ムラがスイブルにより移動し、非常に煩わしいと感じた。これを改善するために灯体内部のシェード開口寸法の見直しにより、ベゼルに入る光をカットし、2次反射による光スジを排除した (Fig.6)。

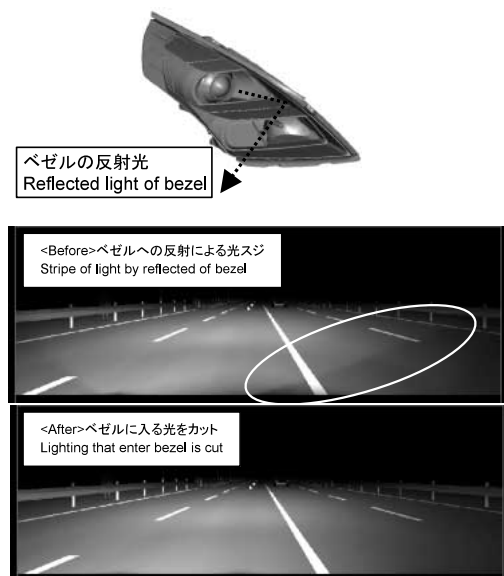
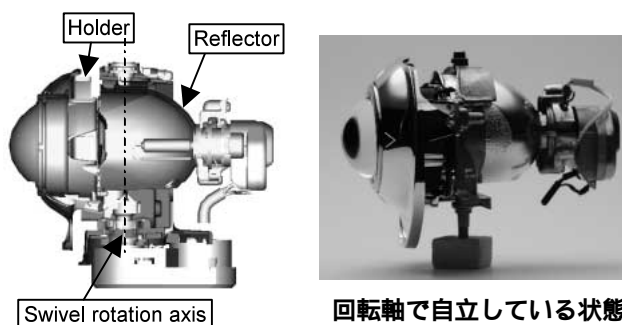


Fig.6 Lighting Simulation

また、路面の光スジ/ムラをなくすべく反射面の調整をシミュレーションと物で繰り返した。これによりスイブルしていることに違和感がないようにスムーズなスイブルが可能となった。

(2) 慣性モーメントによる影響の排除

作動精度の向上と、スイブル速度向上のために慣性モーメントによる影響を可能な限り排除した。その手段として、プロジェクタユニットのリフレクタとホルダの材質をアルミダイキャストから樹脂化することにより約100g/個の軽量化を行った。またユニットの重心上に回転軸を設定することで、より軽快なスイブルの実現を図った (Fig.7)。



回転軸で自立している状態 Standing with the swivel rotation axis

Fig.7 Projector Headlamp of AFS

4. おわりに

以上の開発を経て市場導入した新型MPVのAFSの商品性は、先行する他車のそれと比較して、より完成度の高いものであると考えている。しかし、これに満足せず、次期車両では今回のシステムをベースとして更なる安全性と商品性を向上させていく所存である。

本開発にご尽力頂いたスタンレー電気㈱殿、並びに関係者各位に心より感謝いたします。

著者



大谷健二

論文・解説

24

BT-50用新型エンジンMZR-CD 2.5/3.0の開発 Development of MZR-CD 2.5/3.0 Engine for BT-50

松 江 浩 太*¹ 石 原 力*² 岡 田 雄 三*³
 Kota Matsue Chikara Ishihara Yuzo Okada
 加 藤 修*⁴ 秀 衡 佳 裕*⁵ 池 添 明*⁶
 Osamu Kato Yoshihiro Hidehira Akira Ikezoe

要 約

オートアライアンスタイランド(AAT)で生産する新型ピックアップトラック“BT-50”に搭載するMZR-CD 2.5L(WL)3.0L(WE)エンジンは、ピックアップトラック専用エンジンとして新規に開発した直列4気筒直接噴射式(DI)コモンレール・ターボエンジンであり、2006年5月よりタイをはじめとして世界130カ国以上で販売を開始した。

“振り向いて荷台を見ない限りトラックとは思えないZoom-Zoomな心地よい走り”という車両コンセプトのもと、東南アジア生産・調達を前提として、高い信頼性の確保はもちろんのこと、世界の様々な環境や規制へ対応して、高出力/高トルク、低燃費、低騒音を実現した。特にフィーリングを重視した開発を行い、世界中のお客様に車の楽しさを体感していただけるエンジンとなっている。

Summary

The New engine MZR-CD 2.5/3.0 is designed for BT-50 made by AAT to introduce all over the world except North America and Japan from 2006/05 is inline 4 Diesel engine with Common rail type fuel injection system and Variable geometry Turbo charger. The concept of this vehicle is “The commercial vehicle but feel like Passenger car with Zoom-Zoom performance if drivers wouldn't look back to the bed.” So development team did many discussions and test to make sure suitability for several environment, regulations and reliability. And make customers feel pleasure with Zoom-Zoom feeling.

1. はじめに

MZR-CD 2.5/3.0は、動力性能の高さを売りとしたWLT(2.5L IDI)エンジンの後継機として、2006年3月よりAATで生産を開始した1トンピックアップトラック専用エンジンである。“振り向いて荷台を見ない限りトラックとは思えないZoom-Zoomな心地よい走り”という車両コンセプトに基づき、エンジンとしては次の3つをキーワードとして、開発を行った。

1.1 High Performance

- (1) 低回転から高回転までBest in Class(BIC)の高い出力/トルクを実現する。その手段には、コモンレール式燃料噴射装置を備えた4バルブDIと可変ジオメトリター

ボ(VGT)を使用した燃焼の最適化に加え、シリンダヘッドやブロックなどのエンジン本体系を強化して、筒内許容最高圧力の引き上げを図る。また、更なるHigh Performance仕様として、排気量を拡大した3L仕様を追加する。

- (2) ピックアップトラックでZoom-Zoomな走りを実現するため、実際の加速性能はもちろんのこと、レスポンスなどのフィーリングを重視したチューニングを行い、心地よさを実現する。

1.2 Clean & Economy

- (1) 最新の排出ガス(EM)規制である欧州Stage4に適合するクリーン性能を達成する。燃焼室形状や吸気ポートの最適化に加え、可変スワールやVGTの追加、EGRの

*1, 2 エンジン設計部
Engine Engineering Dept.

*3 パワートレイン先行開発部
Powertrain Advance Development Dept.

*4~6 エンジン実研部
Engine Testing & Research Dept.

制御方式変更などで、高精度な吸気量/EGR量管理による燃焼最適化とばらつきの低減を図る。

- (2) 競争力のある燃費性能を実現する。DI化を中心とした燃焼効率の改善に加え、エンジンフリクションの低減やドライブトレインのギア比見直しにより、総合的に燃費向上を行う。

1.3 Quietness

- (1) 乗用車の静かさをピックアップで実現する。ブロック剛性の見直しや遮音の追加による“徹底した”エンジン放射音の低減を行う。
- (2) コモンレール式燃料噴射システムを生かして多段噴射による燃焼音の低減を行うとともに、つながり感を感じられるリニアなチューニングを行う。

以上の3つのキーワードで開発したMZR-CD 2.5/3.0エンジンの諸元をTable 1に、外観・特徴をFig.1, 2, 出力特性をFig.3に示す。

Table 1 Specification of MZR-CD 2.5/3.0

		Present model	MZR-CD	
		WLTC	2.5	3.0
Displacement (cc)		2499	2499	2953
Bore x Stroke (mm)		93 x 92	93 x 92	96 x 102
Max Power(kW/rpm)		82/3500	105/3500	115/3200
Max Torque(Nm/rpm)		270/2000	330/1800	380/1800
Combustion type		In-Direct Injection	Direct Injection	←
Compression Ratio		19.8	18	←
Valve driving system		SOHC Gear&Belt-driven 12Valves	DOHC Gear&Belt-driven	←
Valve Timing	IN	Open BTDC	10	←
		Close ABDC	24	←
	EX	Open BBDC	61	←
		Close ATDC	9	←
Valve lift (mm)		IN 8 EX 10	IN 10.5 EX 10.4	←
Port Layout		←	Parallel port	←
Intake System		←	Variable Swirl	←
Fuel Injection Type		Elec.VE Pump (Bosch COVEC-F)	Common Rail (Bosch CRS2.1)	←
Injection Pressure		←	160MPa	←
Super charging system		Mixed Flow Turbo (IHI RHF5)	Variable Geometry Turbo with I/C (IHI RHF4V)	←
Inter cooler		with	←	←
Balancer-shaft		with	←	←
EGR System		Elec. EGR	←	←
		Cooled EGR	High Efficiency Cooled EGR	←



Fig.1 Outer View of MZR-CD 2.5/3.0

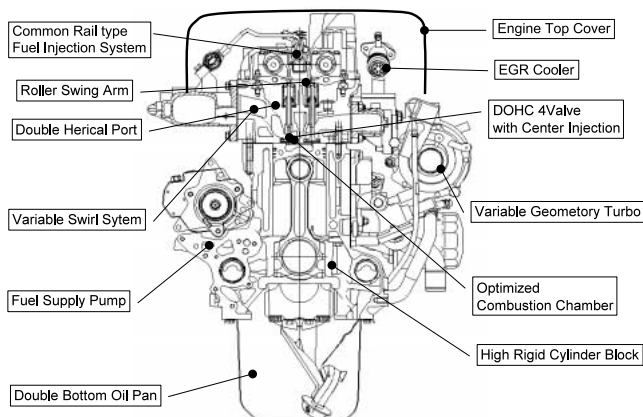


Fig.2 Features of MZR-CD 2.5/3.0

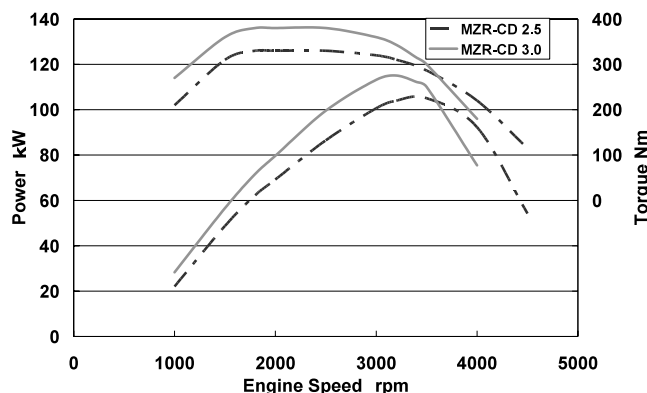


Fig.3 Performance Curve

2. エンジン本体の特徴

エンジン本体は、従来エンジンであるW9 (2.9L) をベースとして、3つのキーワードに対応するための変更を行った。

2.1 High Performance

許容筒内最高圧力の向上と最大出力向上による熱負荷の増大に対応する信頼性確保の施策を織り込んだ。

(1) ピストン

ピストン材料にはAC8Aをベースに耐熱強度をアップさせた高耐熱強度アルミニウム材料を採用した。各部の応力緩和のために、ベース機種のピストンに対して圧縮高さとしピストンピン径の拡大、ピン穴のテーパ形状化を行っている。更にピン穴部の耐焼付き性向上のために冷却空洞からのオイル供給穴を追加している。スカート部の耐スカッフ性向上のために、最適プロフィールの設定と、二硫化モリブデン樹脂コートを塗布している。また、オイル消費抑制のためCAE解析と実機評価からセカンド、サードランド高さバランス及びスカート下端プロフィール形状の最適化を行っている。概略形状をFig.4に示す。

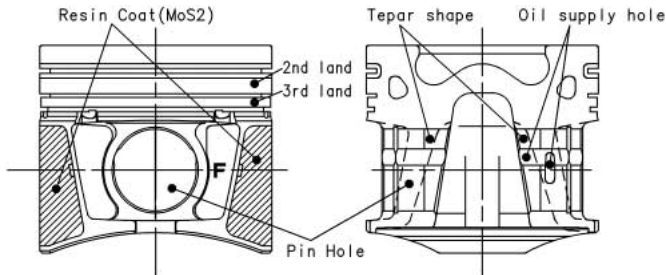


Fig.4 Piston Specification

(2) シリンダヘッド

高サイクル、低サイクル疲労・クリープなどを考慮した弾塑性熱応力解析を実施し、各部の肉厚や構造の最適化を行った。Fig.5に解析例を示す。

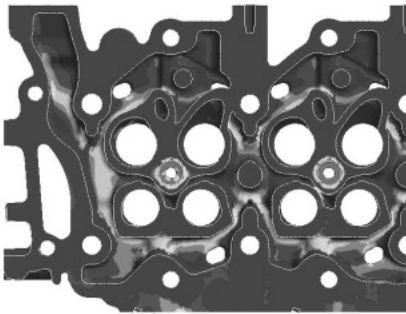


Fig.5 FEM Analysis of Cylinder Head

2.2 Clean & Economy

エンジンフリクションの低減と燃焼改善のため、以下の策を織り込んだ。

(1) ローラスイングアーム

エンジンフリクションの低減のため、動弁系にローラスイングアームを採用した。これにより、機械損失を低減し、燃費改善・出力向上を実現している。概略構造をFig.6に示す。

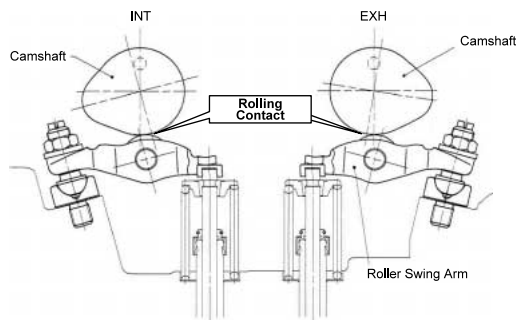


Fig.6 Roller Swing Arm

(2) ダブルヘリカルポート

燃焼改善策として、吸入空気量の増量とスワールの最適化を目的に、シリンダヘッドのインテークポートは異なるスワール比のダブルヘリカルポートとした。低スワールポート側にはスワールコントロールバルブを採用し、運転領域に応じて最適なスワールを発生させている。

2.3 Quietness

高燃焼圧化によるエンジンの振動騒音の悪化を抑制するため、CAE解析により主要な音源部位を特定し、その部位の剛性の向上や遮音の追加を行った。

(1) 高剛性シリンダブロック

高燃焼圧化によりシリンダブロックの変形が増大する。これに対し、シリンダブロックのオイルパン取付けレール部を厚肉化して剛性を向上させることで、シリンダブロック及びオイルパンの変形を抑制し、振動を低減している。

(2) 二重底オイルパン

エンジン下面（オイルパン）からの放射音を低減するために、オイルパン内部下面に鉄板プレートを溶接し二重底構造にしている。この構造により、オイルパン及び油面の振動を抑制することで放射音の低減を図っている。音圧レベル低減効果をFig.7に示す。

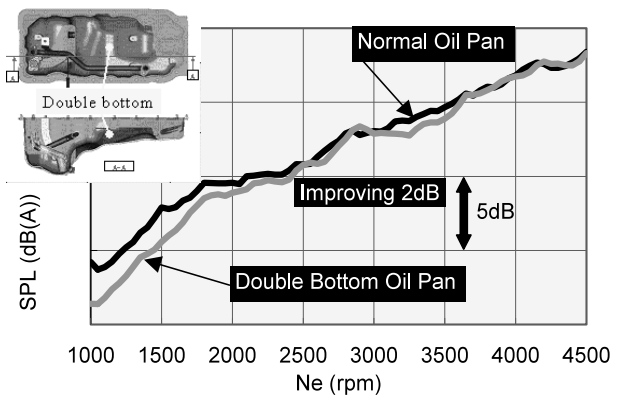


Fig.7 Sound Pressure Level of Double Bottom Oil Pan

(3) エンジントップカバー

エンジンルームデザインとエンジン上面からの放射音低減のため、エンジン上面に樹脂製のカバーを採用した。このエンジントップカバー裏面には吸音効果のあるマット材を装着し、コモンレールにより高圧化した燃料噴射の騒音やディーゼルノックに代表される燃焼騒音の更なる低減を図っている。低減効果をFig.8に示す。

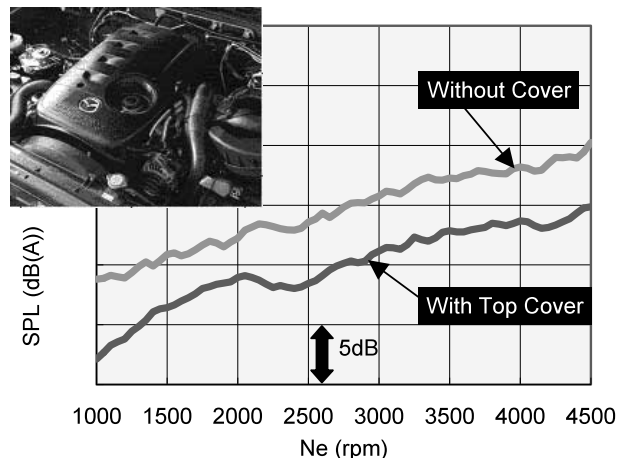


Fig.8 Sound Pressure Level of Engine Top Cover

(4) 遮音部品

エンジン前・側面からの放射音低減のためにエンジンの右側面とエンジンフロント面に吸音効果のあるグラスウールでできた遮音材を設定している。また、クランクプリー前面からの放射音低減のために、ウレタンを装着したラバー製カバーでクランクプリー中央穴部を閉塞している。一例としてクランクプリーカバーの低減効果をFig.9に示す。

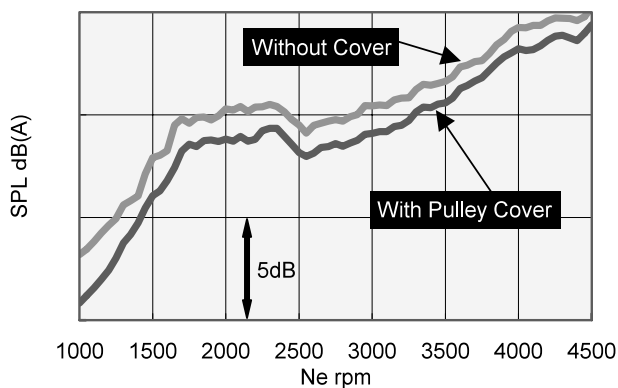


Fig.9 Effect of Crank Pulley Cover

3. 燃焼・制御系の特徴

3.1 High Performance

燃料噴射システムにはBosch製第2世代コモンレールシステムCRS2.1を採用した。サプライポンプはCP3.2+を使用し、最高燃料噴射圧力は160MPaである。インジェクタには、一行程で最高3回の多段噴射が可能な電磁ソレノイド式のCRI2.1を使用し、安定した微少噴射を可能にしている。過給機にはMZR-CD2.0エンジンでも実績のあるIHI製可変ジオメトリターボを採用し、低回転から効率的な過給を実現した。これらの組み合わせにより、低スモーク燃焼を実現し、クラストップレベルの高出力/高トルクを実現している。

3.2 Clean

Fig.10にEMシステム図を示す。大別すると、主に①PM・CO低減のデバイスと②NOx低減のためのデバイスで構成される。前者は、コモンレールシステム、スワールコントロールバルブ、酸化キャタリストで構成され、燃焼の改善と後処理による大幅なPM・COの低減を実現した。後者には、吸入空気量フィードバック式EGRシステム(高効率EGRクーラ, EGRバルブと吸気シャッターバルブ)を採用し、可変ジオメトリターボ(VGT)との協調制御により、高精度な吸入空気量とEGR量のコントロールを行っている。

これらのシステムにより、ディーゼルパティキュレートフィルタなしで最新の欧州Stage4規制に適合する低EM化を実現している。

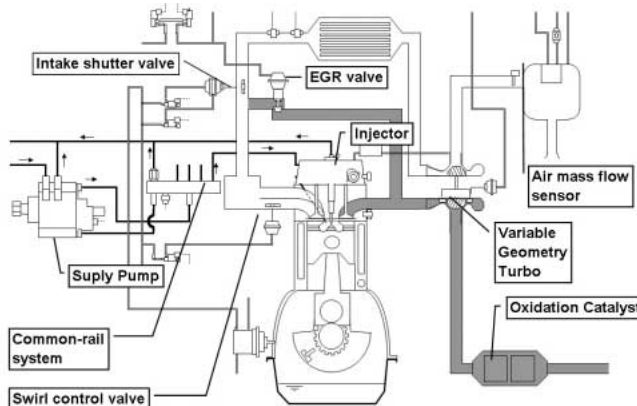


Fig.10 Emission Control System

また、BT-50を販売する130カ国以上の様々な要件に対応するため、MZR-CD 2.5/3.0ではFig.10のシステムを基本形として、各仕向け国のEM規制や燃料性状に合わせて最適なデバイスをセレクトする“モジュールシステム”を採用している。その組み合わせパターンをTable 2に示す。

Table 2 Emission Control for Each Regulation

EM Device	Emission Regulation			
	Stage4	Stage3	Stage2	Stage1
PCM Calibration	Type A	Type B	Type B	Type C
Swirl Control Valve	C	None	None	None
EGR Valve	C	C	C	None
EGR Cooler	High Efficiency	Standard	Standard	None
Intake Shutter Valve	C	None(2.5) C (3.0)	None(2.5) C (3.0)	None
After Treatment	Oxidation Catalyst	Oxidation Catalyst	None	None

C:Controlled

3.3 車両コンセプト実現に向けたセッティング

High Performance/Clean & Economy/Quietnessを両立し、車両コンセプトを実現するには、最大出力/トルク/EMとノック音やドライバビリティを両立させることが、ポイントであった。このため、本開発ではセッティング段階で、基本セッティングと官能チューニングの2つのステップにわけて進めた。

(1) 基本セッティング

Model Based Calibration (MBC) を活用し、パイロット段数/噴射量/インターバル/吸入空気量/燃料噴射タイミングなどの制御パラメータを説明変数として、実験計画法にて各物理量を解析、その後モデリングを実施した。Fig.11に各制御パラメータとNOx、ノック音の代用特性であるCPL (Cylinder Pressure Level) の関係を示している。このモデルの結果をもとにCPLの目標を制約条件として、パイロット噴射量や段数、パイロットインターバルなどのパラメータを検討し、EMとCPLという観点から制御パラメータの最適化を実施した。

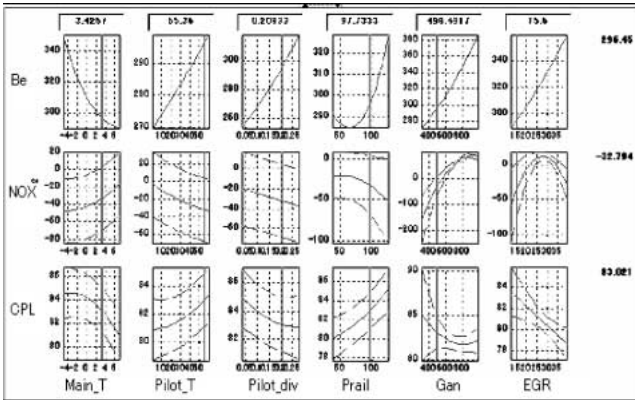


Fig.11 Parameter Optimization

(2) 官能チューニング

基本セッティングの結果を基に、実際に運転者が感じるフィーリングに合わせて官能チューニングを実施した。走り方・走行シーンに応じて、パイロット噴射の回数の異なる3種の噴射パターンやEGR量のチューニングを行い、ノック音とEM・ドライバビリティという“相反する性能”を両立した。

3.4 チューニング結果

官能チューニング実施後の結果を以下に示す。

(1) High Performance

“Zoom-Zoom Pick up Truck”としての走行性能面のポイントは“レスポンス”と“加速性向上”である。

レスポンスとしては“アクセルONに対する加速度(G)の立ち上がりのよさ”として、立ち上がりまでの時間や実際にGを感じたときの官能的なフィーリングに着目して育成を行った。結果としてFig.12に示すように、加速ショック及びブスモーク性能も満足した上で、前モデル・競合他車を上回る“気持ちのよい”レスポンスを実現している。

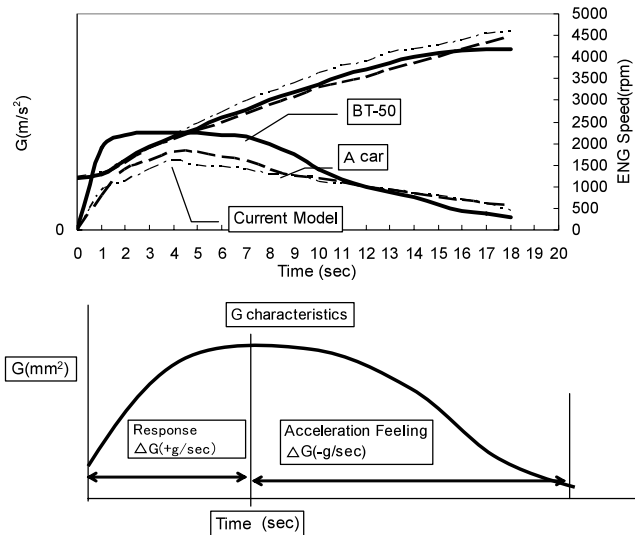


Fig.12 Characteristics of Response at Accel. Phase

一方、加速性の指標である全開加速性能も、競合他車を上回るZoom-Zoomな性能を実現している (Fig.13)

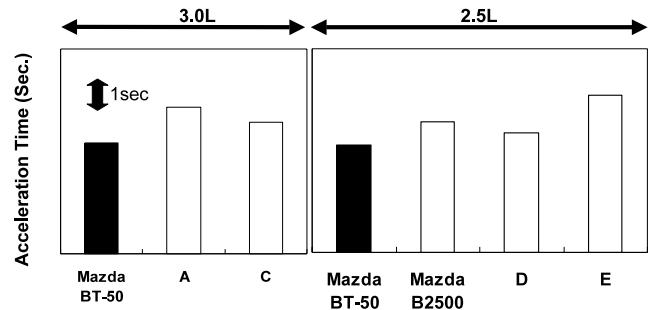


Fig.13 Acceleration Performance (3rd:60-80km/h)

(2) Economy

燃費性能はEMやノック音がBICレベルでありながら、現行車以上で他銘柄車とも競合力がある燃費を確保している (Fig.14)

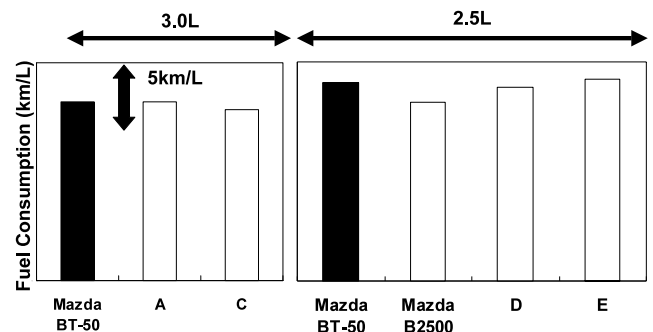


Fig.14 Characteristics of Fuel Consumption (Constant:90km/h)

(3) Quietness

Fig.15は軽負荷時のパイロット噴射回数によるエンジン音圧レベル (SPL : Sound Pressure Level) の変化である。燃焼行程において2パイロット噴射の採用により、SPLの大幅な改善が可能である。

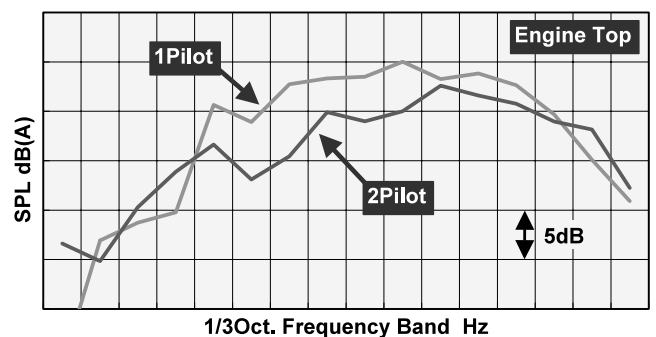


Fig.15 Improvement of Knocking Noise

このようにパイロット噴射の回数等のチューニングを実施した結果をFig.16のように、低回転から高回転までほぼ全回転数領域で、競合車に対してアドバンテージを得ている。また、エンジン回転数に対しても、リニアでフィーリングのよい特性が作りこめている。

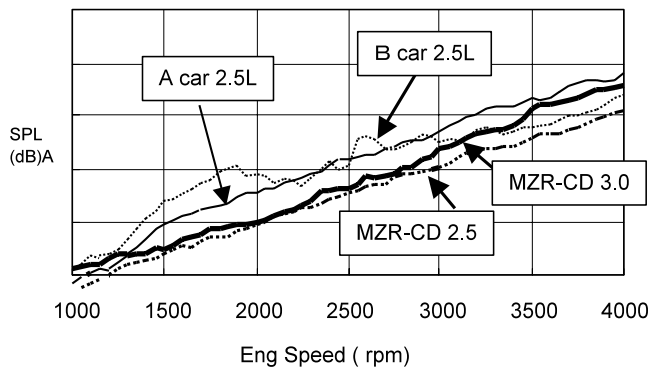


Fig.16 Sound Pressure Level at No Load Racing

4. 結 論

- (1) BT-50用として、新エンジンMZR-CD 2.5/3.0を開発し、2006年5月のタイをはじめとして販売を開始した。
- (2) 新エンジンはBICのパフォーマンス・静粛性と欧州Stage4のEM規制に適合するクリーンな性能の両立を実現した。
- (3) 特にフィーリングを重視して開発を行い、車両コンセプトを実現するエンジンとすることができた。

著 者



松江浩太



石原 力



岡田雄三



加藤 修



秀衡佳裕



池添 明

論文・解説

25

DISIエンジン噴霧モデルの最適化手法の開発

Development Optimization Techniques of Spray Model for DISI Engine

佐藤 圭峰*¹ 横畑 英明*² 山川 正尚*³
 Kiyotaka Sato Hideaki Yokohata Masahisa Yamakawa
 西田 恵哉*⁴ 大瀧 康宏*⁵
 Keiya Nishida Yasuhiro Otaki

要約

直噴エンジンの開発ではインジェクタから噴射された燃料の噴霧挙動が燃焼を左右するため、実運転条件に近い高温および高圧条件下における蒸発特性や混合気特性を精度良く予測できるかどうかが重要である。そのため、最適化技術を組み合わせた噴霧シミュレーションの計算手法を開発するとともに、蒸気量と液滴量を定量的に計測が可能な2波長レーザー吸収散乱法を用いた噴霧の可視化計測で詳細な検討を行い、効率的かつ精度良い噴霧予測が可能になった。

Summary

Because the atomization behavior of the fuel injected from the injector controls combustion, it is important whether the evaporation and the mixture properties under a high temperature and a high-pressure condition nearing to the engine operating condition can predict in accuracy in the development of the DI engine. The highly accurate and effective atomization prediction in high efficiency and accuracy became possible by the development of atomization behavior prediction techniques of 3D-CFD that combines the optimization technology and the visualization measurement of atomization using Laser Absorption Scattering technique, which is quantitative measuring method of the mass of liquid and vapor.

1. はじめに

直噴ガソリン機関のエミッション低減などを目的としたコンセプトの一つに、マルチホールインジェクタを採用した燃焼方式⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾があり、多くの研究が行われている。特に圧縮行程中に燃料を噴射する成層燃焼においては、高温および高圧雰囲気における噴霧自身の蒸発特性や混合気特性が重要である。

また、直噴ガソリンエンジン開発の効率化⁽⁵⁾⁽⁶⁾のためには、シミュレーション技術の活用が必要であり、噴霧の蒸発特性や混合気特性に関して、噴霧モデルのパラメータ最適化などによって計算精度を向上させる必要がある。

マツダでは内製の3次元噴霧シミュレーション(3D-CFD)ツールを活用し、直噴エンジンの量産開発に適用⁽⁷⁾

している。この方法は高精度ではあるが合わせ込みに時間がかかる等の問題を抱えていた。

そこで本研究では、多目的遺伝的アルゴリズムを適用した最適化ツールと3D-CFDツールを組み合わせた計算手法を開発した。高温高圧雰囲気中に噴射した蒸発噴霧の当量比分布等を計測し、その実験結果である蒸気相到達距離、液相および蒸気相質量の時間変化を目的関数とし、入力関数である噴射初期パラメータや噴霧サブモデルパラメータの最適化を行った。

2. 蒸発過程にある噴霧と混合気の測定

2.1 実験方法

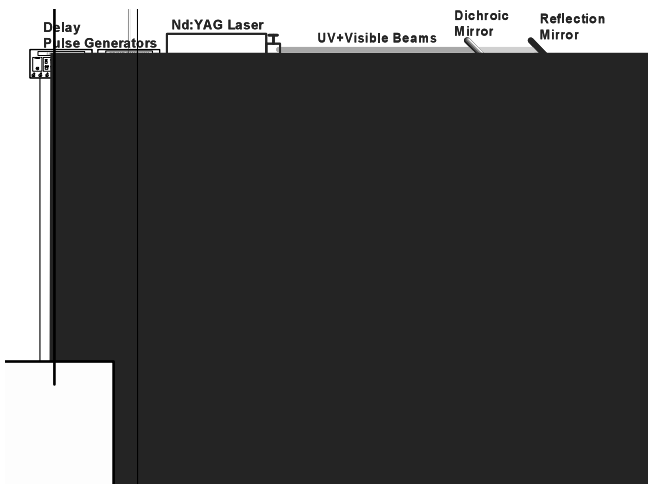
Fig.1に示すような、紫外光と可視光を光源とした透過光減衰率画像の解析により噴霧の混合気形成過程を定量的

*1~3 パワートレイン先行開発部
Powertrain Advance Development Dept.

*5 ㈱シーディーアダプコジャパン
CD-adapco JAPAN Co.,LTD.

*4 広島大学大学院
Graduate School of Engineering, Hiroshima University

に計測する2波長レーザー吸収散乱 (Laser Absorption Scattering : LAS) 法^{(8)~(12)}を用い、高温高压容器に単噴孔ホールインジェクタから噴射したガソリン噴霧の液相および蒸気相当量比分布を測定した。高温高压容器を窒素で加圧し、試験燃料には物性値がガソリンに近く、紫外光を強く吸収し、可視光を吸収しないパラキシレンを用いた。ディレイパルスジェネレータから噴射制御信号をインジェクタドライバに送り、インジェクタから燃料を高温高压容器中に噴射した。この噴霧を波長266nmの紫外光と波長532nmの可視光の2波長レーザー光で照明、噴霧中でレーザー光が減衰することによる透過光減衰画像を紫外光と可視光に分離し、CCDカメラに取り込んだ。



2.2 実験条件

Table 1に雰囲気条件と噴射条件を示す。高温高压容器内を温度500K-圧力1MPa、温度550K-圧力1.5MPaに昇温昇圧し、実際の直噴ガソリン機関の圧縮行程噴射を想定した条件を設定した。噴孔径が0.15mmの単噴孔ホールインジェクタを用い、噴射圧を15MPa、噴射量を1.6mgとした。Fig.2に噴射期間と撮影時刻のタイミングチャートを示す。実噴射終了時期を0msとした。

Table 1 Experimental Conditions

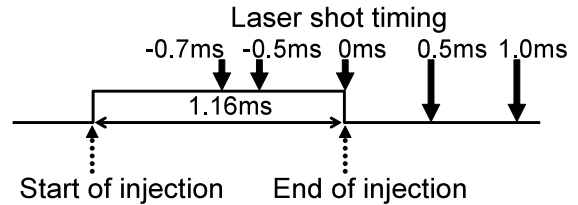


Fig.2 Relationship between Injection Duration and Laser Shot Timing

撮影時期は噴射終了後 (AEOI) $t = 0\text{ms}$ 、 0.5ms である。液相当量比分布を見ると、 $t = 0\text{ms}$ (AEOI)においてインジェクタ先端から噴霧軸方向の中央付近までは蒸発が進んでおらず、高い液相当量比 ($\phi_L > 1.5$)の領域が存在している。 $t = 0.5\text{ms}$ (AEOI)ではインジェクタ先端から噴霧軸方向の中央付近まで高い液相当量比領域が存在せず、噴霧軸方向の中央付近から噴霧先端で液相当量比 ($\phi_L < 0.5$)の領域が存在する。

一方、蒸気相当量比分布を見ると、 $t = 0\text{ms}$ (AEOI)において、噴霧軸方向の中央付近から噴霧先端近くまで、蒸気相当量比 ($0.5 < \phi_V < 1.0$)の領域が存在する。そして、 $t = 0.5\text{ms}$ (AEOI)では噴霧軸方向の中央付近に高い蒸気相当量比 ($\phi_V > 1.0$)の領域が存在する。この領域は $t = 0\text{ms}$ (AEOI)において液相当量比が高い領域であり、この領域に存在している液相が蒸発したと考えられる。

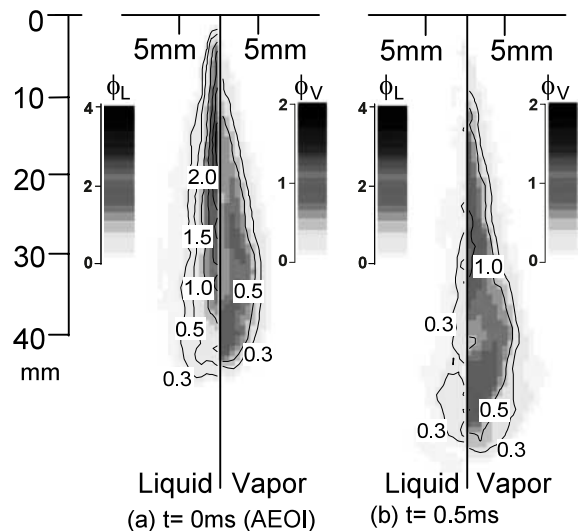


Fig.3 Liquid and Vapor Phase Equivalence Ratio Distributions in Evaporating Gasoline Spray Measured by LAS

3. 蒸発噴霧の計算手法および計算条件

3.1 計算手法

混合気に関する計算には最適化ツールとの組み合わせを考慮し汎用3D-CFDツールSTAR-CDを用いた。乱流モデルとしては標準k-εモデルを使用し、燃料噴霧は離散液滴モデルDDM (Discrete Droplet Model)に基づいて解析する。液滴代表粒子 (液滴パーセル)の挙動はラグランジェ2相

2.3 液相および蒸気相の当量比分布

Fig.3に噴霧の液相および蒸気相の当量比分布を示す。

流機能を用いて模擬する。分裂モデルにはHsiang-Faethモデル^[4]を適用した。

3.2 計算条件

本研究で用いた計算格子をFig.4に示す。計算空間はデカルト座標系で定容器を想定した75mm × 75mm × 100mmである。計算格子数は約75,000格子、格子幅2.5mm（インジェクタ近傍は1.25mm）間隔格子とした。計算条件は2章で述べたLAS法による蒸発噴霧実験を模擬したものであり、高温（500K，550K）の窒素ガスで満たされた高圧（1MPa，1.5MPa）容器内に単噴孔ホールインジェクタから噴射圧力15MPaで、パラキシレン^[5]を噴射している。

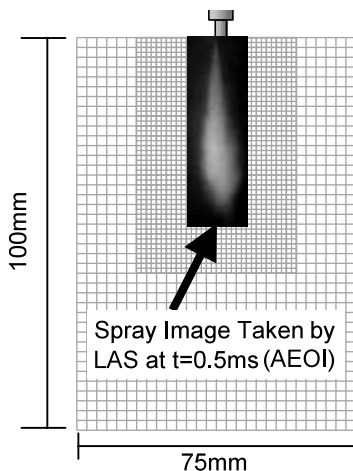


Fig.4 Computational Grid

3.3 噴霧モデルパラメータの最適化手法

解析手法としては、大幅な計算時間の効率化を考え、3D-CFDツールSTAR-CDと最適化ツールmodeFRONTIERを組み合わせ、実測結果から得られた蒸気相到達距離、液相および蒸気相質量を目的関数とし、入力変数である噴射初期パラメータや噴霧サブモデルパラメータを最適化した。最適化手法としては多目的遺伝的アルゴリズムMOGA-II^[6]を用いた。Fig.5に処理の流れを示す。

まず、初期の入力変数を設定し、初期集団を形成。与えられた変数にて3D-CFD計算を行い、目的関数と計算結果を評価する。計算結果が目的関数と一致した場合は計算が終了するが、そうでない場合は親となる2個体を選択し、交叉にて子を作る。また、ある確率で突然変異を行う。この[選択][交叉][突然変異]を繰り返し、世代交代を行い次世代の入力変数集団を決定し、再び3D-CFD計算にて評価する。

3.4 噴霧モデルパラメータおよび計算方法の概要

Table 2に入力変数、入力変数の上下限值、刻み幅を示す。具体的には単噴孔ホールインジェクタによる噴射期間中の流量の時間的変動に基づく噴射速度や平均粒径（SMD：Sauter Mean Diameter）の時間変動値、液滴分裂モデル係数である臨界We数、安定直径定数の乗数、特性

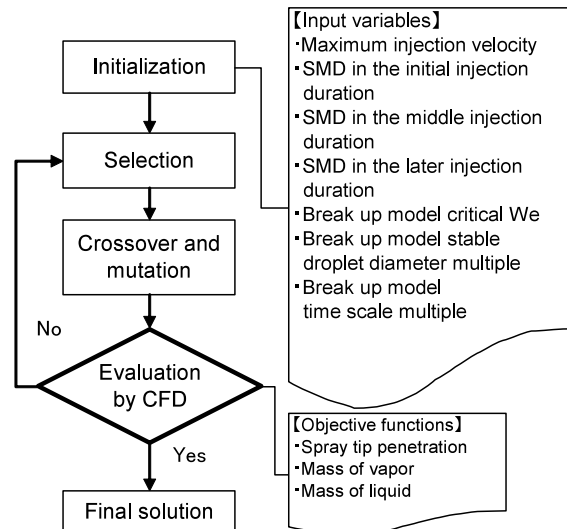


Fig.5 Flowchart of GA by modeFRONTIER

Table 2 Input Variables

Input Variables	Max. value	Min. value	Δ value
* Maximum injection velocity [m/s]	200	100	5
* SMD in the initial injection duration [mm]	150	20	5
* SMD in the middle injection duration [mm]	30	5	5
* SMD in the later injection duration [mm]	150	20	5
Break up model critical We	8	6	0.5
Break up model stable droplet diameter multiple	8	5	0.2
Break up model time scale multiple	4	1	0.5

分裂時定数の乗数を入力変数とする。

入力変数である噴射速度やSMDの時間変動値は噴射初期 - 中期 - 後期の3つの時間に分けた。このうち噴射速度は理論値を参考に噴射中期に最大噴射速度を置き、SMDは実験式^[7]を参考に下に凸の時間変動とした。噴射期間中の粒度分布には実測結果に最も近い値を示した抜山 - 柵沢の粒度分布関数^[8]を適用した。

計算方法としては、二つのパターンで行った。一つはTable 2の各入力変数を対象に最適化計算を実施した（パターン1）。もう一方は同じくTable 2の各変数を対象に最適化計算を行うが、*印の変数には流量の時間的変動に基づき、噴射速度とSMDに時間変動を与えた（パターン2）。理論的には後者で行うべきだが、計算数が膨大になるため、両パターンを比較して精度と計算時間の面から実用性を検討した。

4. 計算結果

4.1 噴霧モデルパラメータに一定値を与えた計算

Fig.6にパターン1で入力変数を最適化したt = 0ms，0.5ms（AEOI）の液相および蒸気相当量比分布を示す。液

相当量比分布をみるとインジェクタ近傍および噴霧先端で多くの液相が存在している。蒸気相当量比をみると、蒸気の発生位置が噴霧の先端領域のみとなっている。Fig.3と比較すると液相および蒸気相当量比分布が大きく異なっている。Fig.7(a)の蒸気相到達距離の時間変化とFig.7(a)の液相および蒸気相質量の時間変化から明らかなように、目的関数の一つである蒸気相到達距離を合わせようとする、液相および蒸気相質量は大きく外れる。つまり、蒸気相到達距離と液相および蒸気相質量を同時に満たす結果は得られず、パターン1では最適解を見つけることは困難であることがわかった。

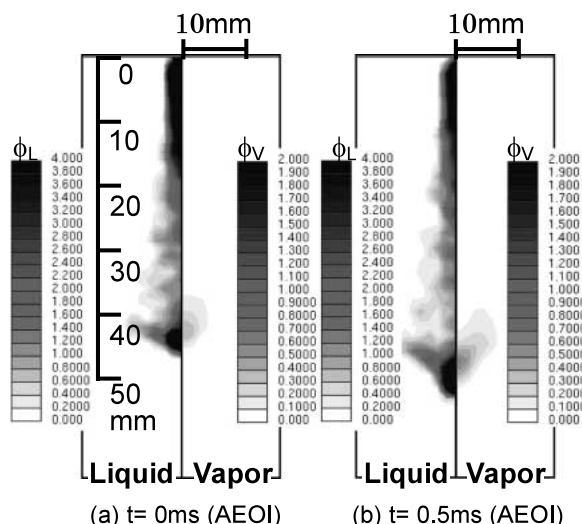


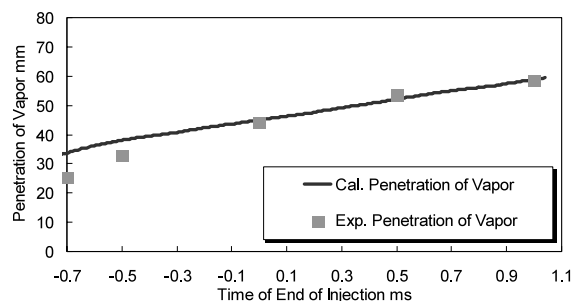
Fig.6 Liquid and Vapor Phase Equivalence Ratio Distributions in Evaporating Gasoline Spray Calculated by CFD, Pattern 1

4.2 噴霧モデルパラメータに時間的変動を与えた計算

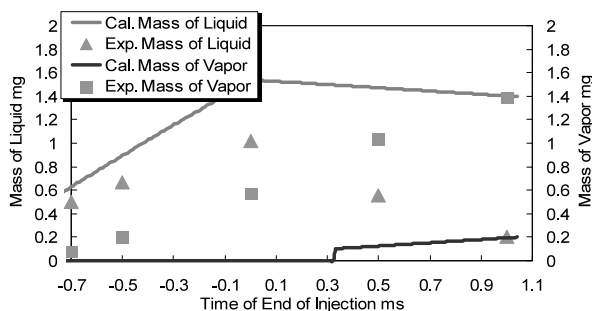
Fig.8にパターン2で入力変数を最適化した時の実験結果(目的関数)と計算結果の比較を示す。Fig.8(a)の蒸気相到達距離の時間変化とFig.8(b)の液相および蒸気相質量の時間変化はともに実験結果にほぼ合っていることがわかる。

Fig.9にt = 0ms, 0.5ms (AEOI)における液相および蒸気相当量比分布を示す。液相当量比分布を見ると、t = 0.5msではインジェクタ近傍には液相はほとんど存在していない。一方、蒸気相当量比分布を見るとインジェクタ近傍から噴霧全体で蒸気相が存在し、Fig.3の実測当量比分布に近いものとなっている。これらの結果からパターン2のパラメータを採用することで最適解を見つけることが可能であることがわかった。したがって、液相および蒸気相の当量比分布の計算結果を実験結果と一致させるためには噴射初期条件である噴射速度やSMDに時間的変動を与える必要がある。

更に、雰囲気圧力および温度を変化させた場合も検証した。Fig.10にFig.8で示した最適化した入力変数と同等の値を用いた場合の雰囲気計算結果と実験結果を示す。Fig.10

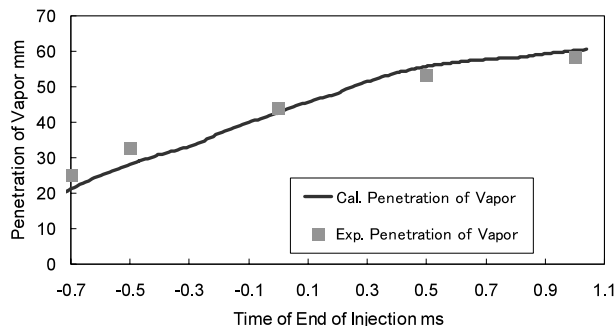


(a) Spray Tip Penetration

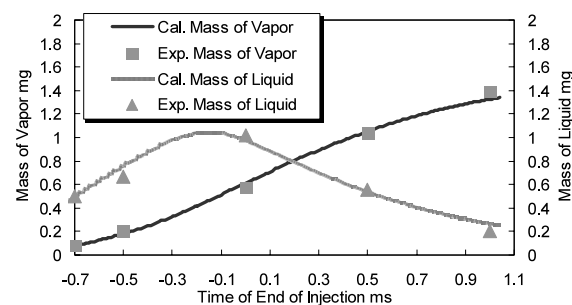


(b) Mass of Vapor and Liquid

Fig.7 Comparison of Experimental and Calculation Results Pa=1.0MPa, Ta=500K, Pattern 1



(a) Spray Tip Penetration



(b) Mass of Vapor and Liquid

Fig.8 Comparison of Experimental and Calculation Results Pa=1.0MPa, Ta=500K, Pattern 2

(a)に蒸気相到達距離の時間変化、Fig.10(b)に液相および蒸気相質量の時間変化を示す。いずれも実験結果にほぼ合っており、雰囲気温度および圧力を変更してもこの手法が適用できることがわかる。

従来、以上のような合わせ込み計算に約1か月を要した

が、今回の手法を用いることにより効率化を図ることが可能になった。総計算数130ケースでほぼ収束し、計算時間は16CPUの並列計算で10時間に短縮できた。

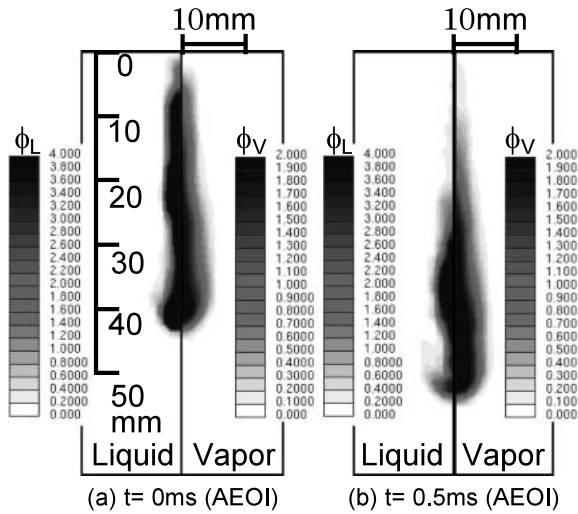
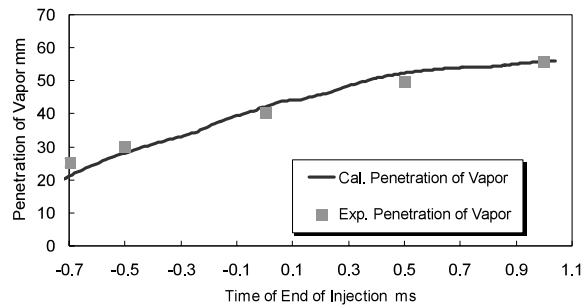
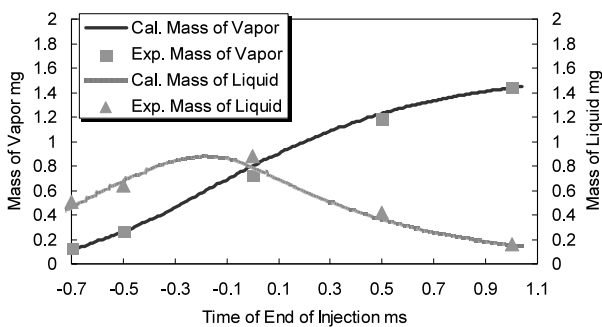


Fig.9 Liquid and Vapor Phase Equivalence Ratio Distributions in Evaporating Gasoline Spray Calculated by CFD, Pattern 2



(a) Spray Tip Penetration



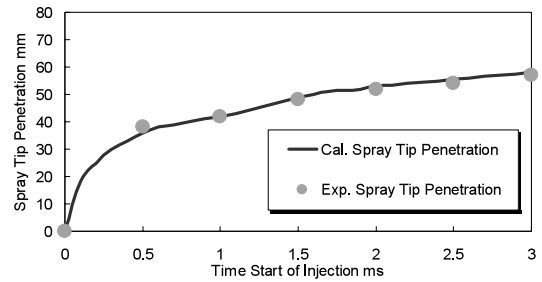
(b) Mass of Vapor and Liquid

Fig.10 Comparison of Experimental and Calculation Results $P_a=1.5\text{MPa}$, $T_a=550\text{K}$, Pattern 2

5. 実機用マルチホールインジェクタへの適用

これまで行ってきた単噴孔ホールインジェクタを実機マルチホールインジェクタに適用した。高温高圧下にて最適化を行った値を参考に、入力変数を最適化した時の実機マルチホールインジェクタの実験結果(目的関数)と計算結果の比較をFig.11に示す。Fig.11(a)にインジェクタAの液

相噴霧到達距離, Fig.11(b)に噴射開始後 (ASOI) $t=1.5\text{ms}$ における実機計測結果と計算結果を示す。実機計測結果は直接撮影写真であり、計算結果は液相粒子を示している。つぎに、噴霧レイアウトおよび噴孔数を変更したインジェクタBの結果をFig.12に示す。このインジェクタBでも良い一致を示すことが確認できた。今回の実機結果は常温高圧下であるため実機条件と厳密な比較はできないが、マルチホールインジェクタでも最適化が可能であることがわかった。実機の高圧下での検証は今後の課題とする。



(a) Spray Tip Penetration of Multi-hole Injector A

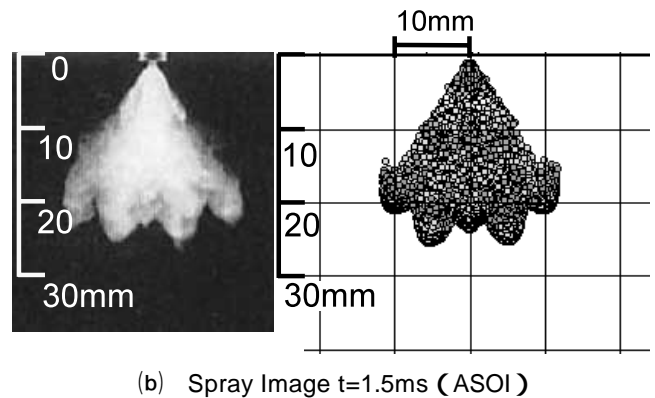


Fig.11 Comparison of Experimental and Calculation Results of Multi-hole Injector A $t=1.5\text{ms}$ (ASOI), $P_a=0.6\text{MPa}$, $T_a=300\text{K}$

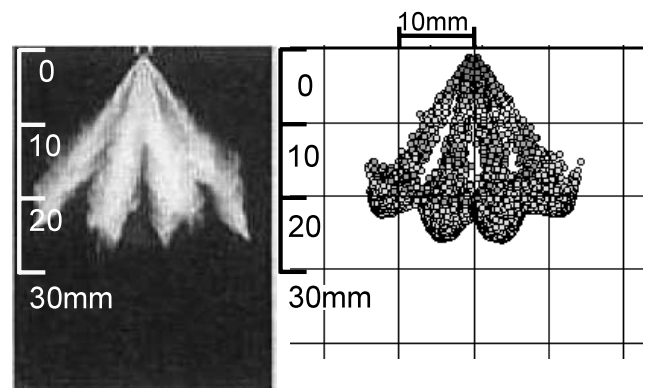


Fig.12 Comparison of Experimental and Calculation Results of Multi-hole Injector B $t=1.5\text{ms}$ (ASOI), $P_a=0.6\text{MPa}$, $T_a=300\text{K}$

6. おわりに

直噴ガソリン機関の圧縮行程噴射を想定した高温高圧条

件の雰囲気中に噴射した燃料噴霧を2波長レーザー吸収散乱 (Laser Absorption Scattering : LAS) 法によって測定した。その実験結果に基づき3D-CFDによる噴射初期および噴霧サブモデルパラメータを多目的遺伝的アルゴリズムによって最適化を行う噴霧予測手法を開発した。

得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 入力変数として噴射速度, SMD, 液滴分裂モデル係数 (臨界We数, 安定直径定数の乗数, 特性分裂時定数の乗数) を用いた。更に, 噴射速度とSMDに時間変化を加えることで液相および蒸気相の当量比分布の実験結果と計算結果が良く一致することが確認された。
- (2) 最適化技術を適用することで1週間から1か月かかっていた合わせ込みを短縮することが可能となった。実験に協力して頂いた広島大学大学院の田所正氏に深く感謝の意をあらわします。

参考文献

- (1) Skogsberg, M. et al. : Effects of Injector Parameters on Mixture Formation for Multi-Hole Nozzles in A Spray-Guided Gasoline DI Engine, SAE Paper , 2005-01-0097 , p.1-16 (2005)
- (2) Honda, T. et al. : A Study of Mixture Formation and Combustion for Spray Guided DISI, SAE Paper , 2004-01-0046 , p.1-9 (2004)
- (3) Hiraya, K. et al. : A Study of a DISI Engine with a Centrally Located High-pressure Fuel Injector, SAE Paper , 2004-01-2944 , p.1-10 (2004)
- (4) Szekely, A. G. et al. : Combustion Characteristics of a Spray-Guided Direct-Injection Stratified-Charge Engine with a High-Squish Piston, SAE Paper , 2005-01-1937 , p.1-19 (2005)
- (5) 栗山 : 開発期間短縮を目的とする戦略的CAEの展開 - パワーCAEとライトCAE - , 自動車技術 , Vol.51 , No.4 , p.79-85 (1997)
- (6) Stefan, T. et al. : The Effect of Front-Loading Problem-Solving on Product Development Performance, Journal of Product Innovation Management , vol.17 , No.2 , p.128-142 (2000)
- (7) Shimo, D. et al. : EM Reduction by a Large Amount of EGR and Excessive Cooled Intake Gas in Diesel Engines, Proceedings of 31th FISITA World Automotive Congress , No.F2006P372 (2006)
- (8) Suzuki, M. et al. : Simultaneous Concentration Measurement of Vapor and Liquid in an Evaporating Diesel Spray, SAE Paper, No930863 , p.1-23 (1993)
- (9) Zhang, Y. et al. : Imaging of Droplets and Vapor Distributions in a Diesel Fuel Spray by Means of a Laser Absorption-Scattering Technique, Applied Optics, SAE Paper , Vol.39 , No.33 , p.6221-6229 (2000)
- (10) Zhang, Y. et al. : Quantitative Measurement of Droplet and Vapor Concentration Distributions in Diesel Spray by Processing UV and Visible Images, SAE Paper , 2001-01-1294 , p.1-14 (2001)
- (11) Yamakawa, M. et al. : Quantitative Measurement of Liquid and Vapor Phase Concentration Distributions in a D.I. Gasoline Spray by the Laser Absorption Scattering (LAS) Technique, SAE Paper , 2002-01-1644 , p.1-13 (2002)
- (12) Li, T., Zhang et al. : Characterization of Mixture Formation Processes in DI Gasoline Engine Sprays with Split Injection Strategy via Laser Absorption and Scattering (LAS) Technique, SAE Trans. J. Fuels Lubricants , Vol.112 , No.4 , p.2296-2306 (2003)
- (13) 日本液体微粒化学会 : アトマイゼーション・テクノロジー , 森北出版 , p.85-87 (2001)
- (14) Hsiang, L. -P. et al. : Near-limit drop deformation and secondary breakup, Int. J. Multiphase Flow , vol.18 , No.5 , p.635-652 (1992)
- (15) Poling, B.E. et al. : The properties of gases and liquids, fifth edition, McGraw Hill, New York (2001)
- (16) Kanazaki M. et al. : Multiobjective Design Optimization of Merging ConFIGuration for an Exhaust Manifold of a Car Engine, Proceedings of PPSN, the 7th international conference on parallel problem solving from nature , p.281-287 (2002)
- (17) Hiroyasu, H. et al. : Empirical equations for the sauter mean diameter of a diesel spray, SAE Spray , 890464 , p.868-877 (1989)
- (18) 日本液体微粒化学会 : アトマイゼーション・テクノロジー , 森北出版 , p.41-43 (2001)

著者



佐藤圭峰



横畑英明



山川正尚



西田恵哉



大瀧康宏

論文・解説

26

DISC-HCCIハイブリッド燃焼エンジンの解析

Analysis of Hybrid Combustion Engine using DISC and HCCI

養 祖 隆*¹ 西 本 敏 朗*² 林 好 徳*³
Takashi Youso Toshiaki Nishimoto Takayoshi Hayashi
藤 川 竜 也*⁴ 山 川 正 尚*⁵
Tatsuya Fujikawa Masahisa Yamakawa

要 約

高温混合気場を平易に生成し、予混合圧縮着火（HCCI）燃焼を実現することで燃費の改善を図ることを目的として、直噴成層（DISC）燃焼気筒とHCCI気筒により構成されるDISC-HCCIハイブリッド燃焼システムを考案した。本システムは、DISC気筒から排出される余剰酸素を含んだ高温の燃焼ガスをHCCI気筒に吸気として導入することで高温混合気場を生成しHCCI燃焼を実現した。

そして、DISC-HCCIハイブリッド燃焼システムでHCCI燃焼が可能であることを検証し、更にスパークアシストとEGRによりHCCI運転可能領域を拡大した。また、化学反応計算によるHCCI燃焼解析によりハイブリッド燃焼システムが燃料依存性の低い燃焼システムであることを確認した。

Summary

The DISC-HCCI Hybrid Combustion System is designed to provide an easy way to deliver high temperature air-fuel mixture for HCCI. The system consists of the DISC cylinder and HCCI cylinder. DISC cylinder exhausts high temperature combustion gas with oxygen surplus, which gets aspirated by HCCI cylinder as intake air. This mechanism generates air-fuel mixture at so high temperature that enables to achieve HCCI combustion.

It was verified that DISC-HCCI Hybrid Combustion System enables HCCI combustion, and spark assist and EGR are very effective in enlarging HCCI operation area. Also, the chemical kinetic simulation proved that DISC-HCCI Hybrid Combustion System have little fuel interdependence.

1. はじめに

低燃費と低NO_xを両立する次世代燃焼技術として予混合圧縮着火（HCCI）が期待されている。このHCCI燃焼を自動車用ガソリンエンジンとして成立させるためには、自着火時期の制御、HCCI運転領域の拡大、更にはHCCI運転と火花点火（SI）運転のスムーズな切替えといった課題を解決する必要がある。これに対して吸気加熱や高圧縮比による方法、高温の残留ガスを利用する負のオーバーラップや排気弁二度開きによる方法などのアプローチがなされているが、いずれも複雑で高度な機構を必要とし、より実用的手段で解決していくことが望まれている。そこで、HCCI燃焼への新たなアプローチとして、直噴成層（DISC）燃

焼とHCCI燃焼を組み合わせたハイブリッド燃焼システムを考案し、カムプロファイルスイッチング（CPS）タペットを用いるだけで、通常のSI燃焼に切替え可能な機構とした。本稿では、このDISC-HCCIハイブリッド燃焼システムの基本的な特性について報告する。

2. DISC-HCCIハイブリッド燃焼のコンセプト

DISC-HCCIハイブリッド燃焼エンジンの軽～中負荷のDISC-HCCIハイブリッド燃焼モードにおいては、Fig.1 (a) およびFig.2に示すように新気を#1と#4気筒に吸入してDISCによる希薄燃焼を行い、そこから排気行程にて排出される高温かつ酸素余剰の燃焼ガスを、吸気行程を迎えている#2と#3気筒に直接導き、三元触媒で排出ガスが浄化で

*1～5 パワートレイン先行開発部
Powertrain Advance Development Dept.

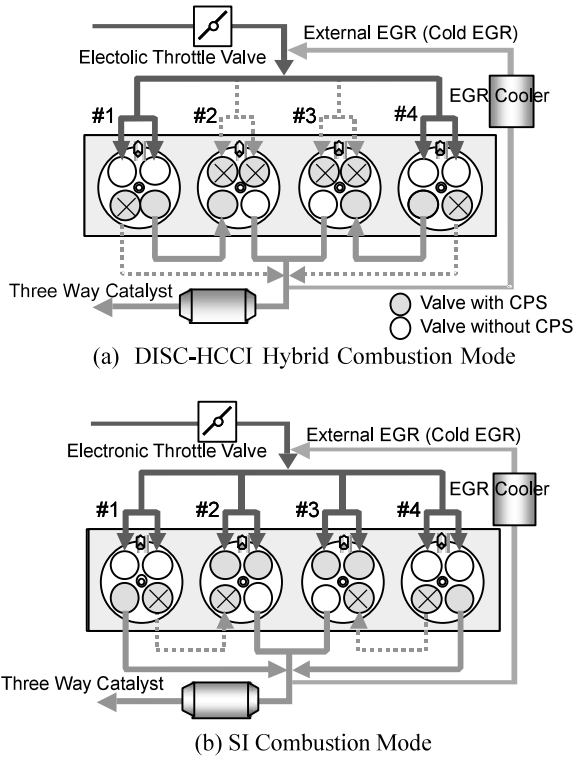


Fig.1 DISC-HCCI Hybrid Combustion Engine

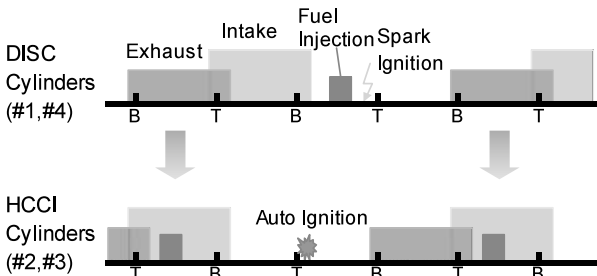


Fig.2 Timing Chart of DISC-HCCI Hybrid Combustion Mode

きるように理論混合比となる燃料量を噴射してHCCI燃焼を行う。また高負荷では、Fig.1 (b) に示すようにCPSタペットによって#1 #2気筒と#4 #3気筒へ通じる各バルブを閉じ、#2と#3気筒の吸気バルブと#1と#4気筒の三元触媒に通じる排気バルブを開き、各気筒独立した通常のSI燃焼モードに切替える。

今回検討に供試したエンジン仕様を、Table 1に示す。排気量1,998ccの直列4気筒の直噴ガソリンエンジンで、

Table 1 Engine Specifications

Engine Type	Inline 4
Bore X Stroke	87.5mm X 83.1mm
Displacement	1998cc
Compression Ratio	11.2 (#1, #4), 10.0 (#2, #3)
Swirl Ratio	5.6 (#2, #3) (DISC-HCCI Hybrid Combustion Mode)
Fuel System	Direct Injection
Fuel	Gasoline 91RON

DISC-HCCIハイブリッド燃焼モード時に使用する吸気ポートのswirl比は定常流試験で5.6、燃料はオクタン価91のガソリンを使用した。

3. 実験結果と考察

3.1 DISC気筒によるHCCI気筒の運転条件制御

DISC-HCCIハイブリッド燃焼システムでは、DISC気筒の運転条件によりHCCI気筒が吸入する混合気の状態を調整して自着火時期を制御する。

まず、DISC-HCCIハイブリッド燃焼システムの運転負荷の制御は、エンジン全体では理論混合比運転のため、DISC気筒に吸入される空気量（体積効率 η_{v-DISC} ）をスロットリングすることで行う。DISC気筒の空気過剰率 λ_{DISC} によって、DISC気筒から排出される燃焼ガス中の余剰酸素量が決まるので、HCCI気筒の燃焼に寄与する吸入空気量（体積効率 η_{v-HCCI} ）と吸気温度 $T_{IN-HCCI}$ を、DISC気筒の空気過剰率 λ_{DISC} によって制御することがこのシステムの特徴である。

Fig.3はその特徴を表したもので、1,500rpmにおけるDISC気筒の運転条件がHCCI気筒に導かれるガス状態に及ぼす影響を示している。DISC気筒の体積効率 η_{v-DISC} を一定とし空気過剰率 λ_{DISC} を変えることで、HCCI気筒の体積効率 η_{v-HCCI} と吸気温度 $T_{IN-HCCI}$ が制御されている。

3.2 HCCI気筒の運転領域

このような自着火時期の制御手段によりHCCI運転を試みた際の、HCCI運転可能な領域をFig.4に示す。Fig.4はHCCI気筒の運転条件を把握しやすくするためにFig.3をHCCI気筒の空気量と吸気温度の関係で整理しなおしたものである。通常のSI運転では大量EGRで安定した燃焼が得られないような条件にもかかわらずHCCI運転は可能であった。しかしながら、低温かつ低体積効率側は失火が発生し、高温かつ高体積効率側は激しいノッキングの制約を受け、安定したHCCI運転可能な領域は狭い範囲であった。

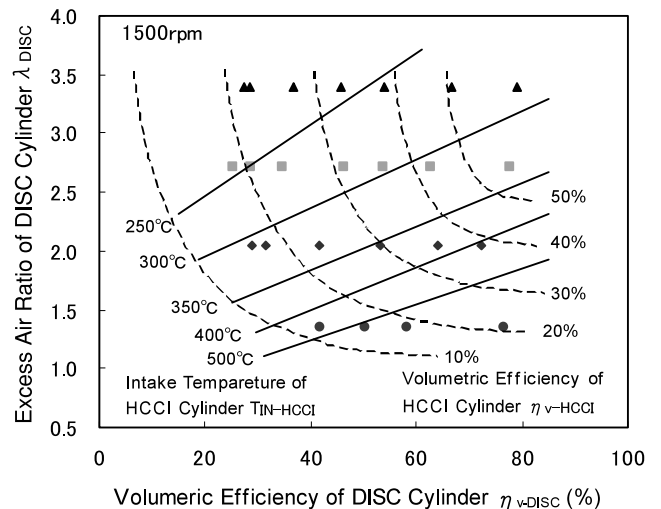


Fig.3 Condition Control of HCCI Cylinder by DISC Cylinder

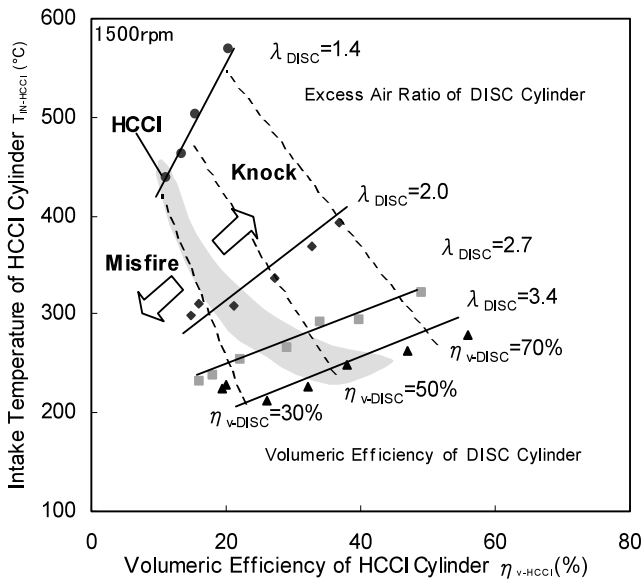


Fig.4 Condition of HCCI Cylinder and HCCI Combustion Area

3.3 スパークアシストと外部EGRによる運転領域拡大
 軽負荷ではDISC気筒の体積効率 η_{v-DISC} をスロットリングで減じるため、HCCI気筒の吸気温度 $T_{IN-HCCI}$ と体積効率 η_{v-HCCI} は低下してしまい、HCCI燃焼が困難になる。そこで、初期にSI燃焼によって筒内圧力と温度を上げて圧縮着火を誘発するスパークアシストを試みた。Fig.5に空気過剰率 $\lambda_{HCCI} = 1.0$ と空気過剰率 $\lambda_{HCCI} = 1.5$ でスパークアシストを行った結果を示す。空気過剰率 $\lambda_{HCCI} = 1.0$ では、火花点火時期の進角に応じてHCCI燃焼の着火時期が進角するが、空気過剰率 $\lambda_{HCCI} = 1.5$ では、火花点火の希薄限界付近であるため圧縮着火の誘発には至らなかった。このことはDISC-HCCIハイブリッド燃焼システムでは空気過剰率 $\lambda_{HCCI} = 1.0$ でHCCI運転を行うために、スパークアシストにより

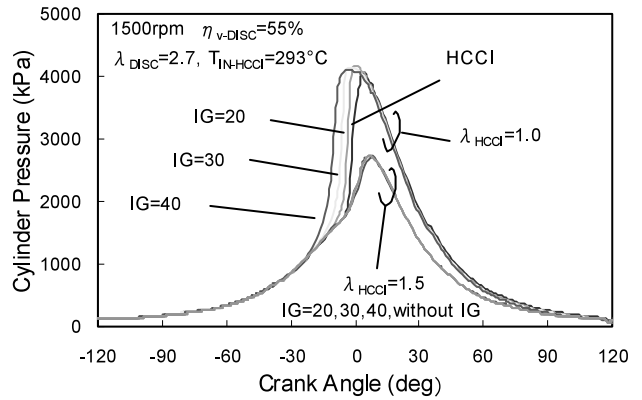


Fig.5 Effect of Spark Assist on Excess Air Ratio

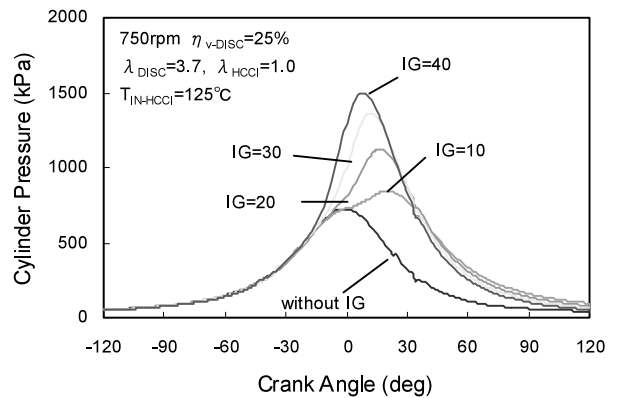
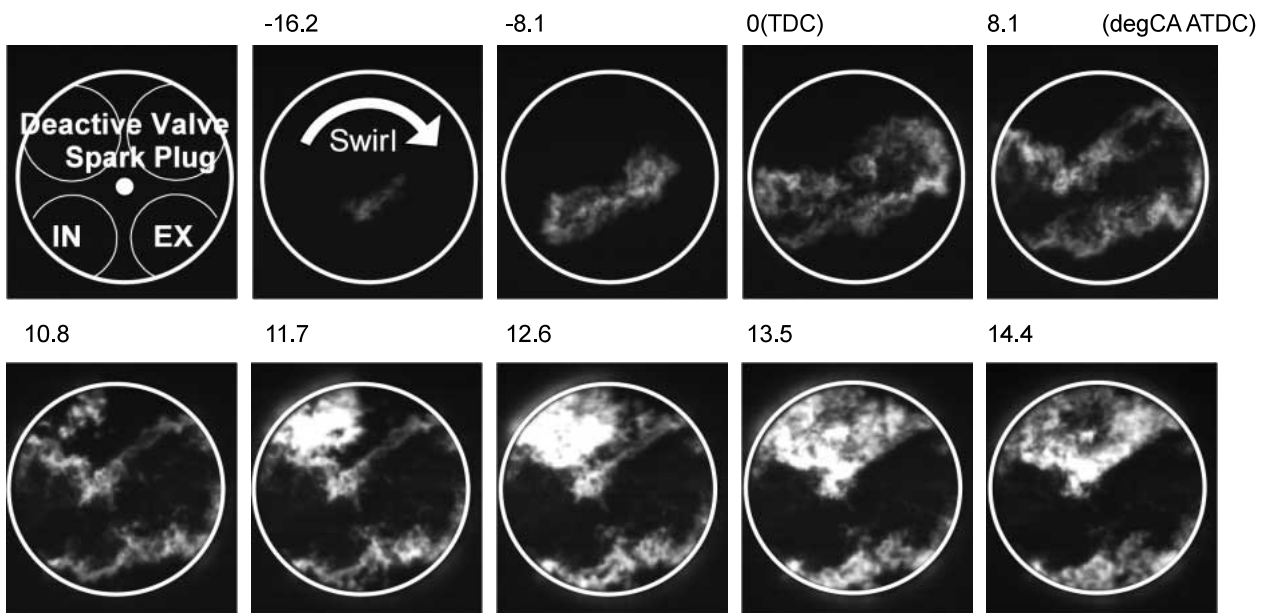


Fig.6 Effect of Spark Assist on HCCI Combustion at Idle

HCCI燃焼を誘発しやすいという特長を示している。更にFig.6にはアイドル相当の750rpm、空気過剰率 $\lambda_{HCCI} = 1.0$ の軽負荷でのスパークアシストの効果を示す。スパークアシストを行うことで圧縮着火しにくいアイドル状態でも圧縮着火を誘発し、点火時期の進角に伴う着火時期の進角も確認できた。Fig.7には可視化エンジンにおけるスパー



(750rpm, $\eta_{v-DISC} = 64\%$, $\lambda_{DISC} = 2.7$, $\lambda_{HCCI} = 1.0$, Spark Assist IG= 30degCA BTDC)

Fig.7 Photographs of HCCI Combustion with Spark Assist

クアシスト時の燃焼の自発光撮影結果を示す。8.1degCA ATDCまでは通常のSI燃焼の火炎伝播が観察されるが、10.8degCA ATDCより未燃部で圧縮着火が誘発されている。一方、高負荷側ではDISC気筒の体積効率 η_{v-DISC} と燃料量を増やすため、軽負荷側とは逆にHCCI気筒の吸気温度 $T_{IN-HCCI}$ と体積効率 η_{v-HCCI} が高くなってしまい激しいノッキングが発生する。このノッキングを抑制するため、DISC気筒上流に外部EGRを導入し、Fig.8に示すようにDISC気筒の燃焼ガス温度、すなわちHCCI気筒の吸気温度 $T_{IN-HCCI}$ を下げ、EGRの熱容量増加とあまってHCCI燃焼を緩慢化した。

以上のように、軽負荷側のスパークアシストによる圧縮着火の誘発と、高負荷側の外部EGRによるノッキング回避で、Fig.9に示すような広い運転条件下でHCCI気筒の運転を可能とした。

3.4 DISC-HCCIハイブリッド燃焼の運転範囲と性能

Fig.10にDISC-HCCIハイブリッド燃焼システムのDISC気筒とHCCI気筒の負荷の負担割合と運転範囲の特性を示す。

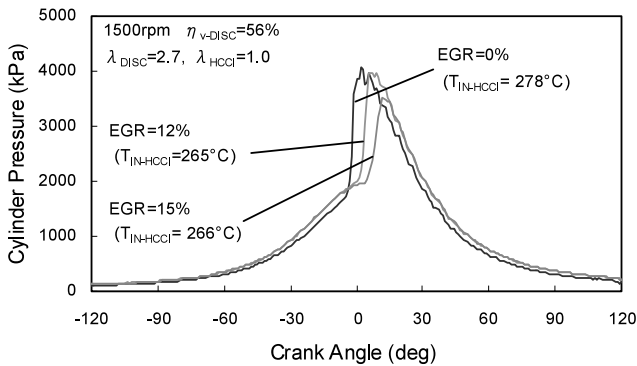


Fig.8 Effect of External EGR on Compression Ignition Timing

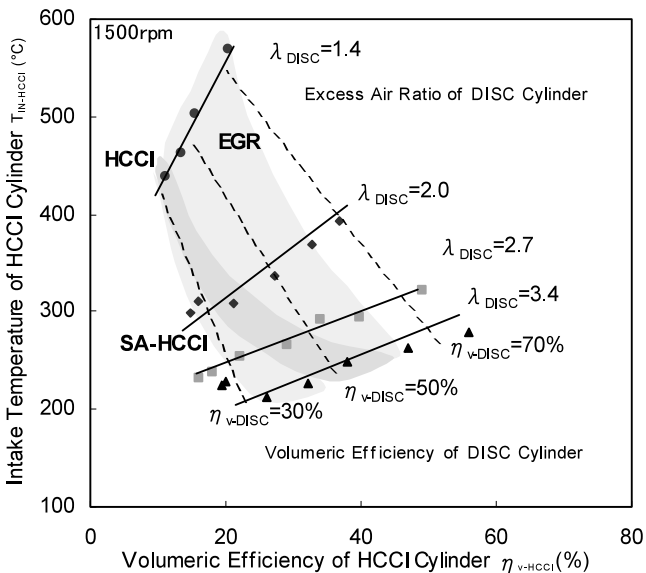


Fig.9 Effect of Spark Assist and External EGR on HCCI Combustion

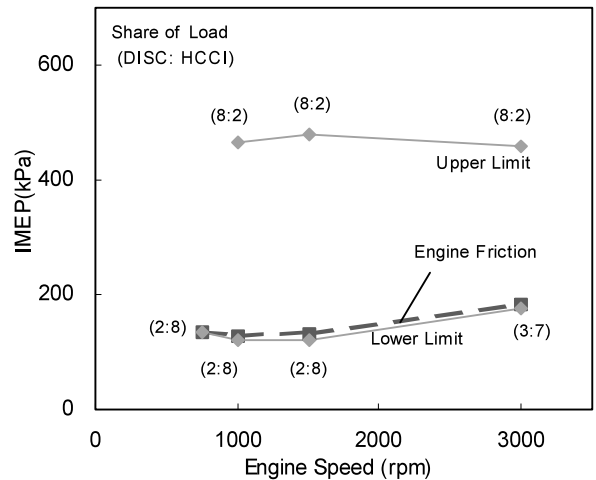


Fig.10 Operation Area of DISC-HCCI Hybrid Combustion

す。負荷が高くなると、HCCI気筒のノッキングが回避できなくなるため、HCCI気筒の負荷の負担割合を小さくしてDISC気筒の負担割合を大きくした。その結果、軽負荷側は無負荷まで、また、高負荷側はスロットル全開まで運転可能であったが、高負荷限界は新気を吸入する能力がDISC気筒の2気筒分しかないという制約を受けた。

つづいて、DISC-HCCIハイブリッド燃焼とポート噴射エンジンにおける通常のSI燃焼、ならびに直噴ガソリンエンジンにおけるDISC燃焼の燃費率とNOxをFig.11に示す。ここで、DISC-HCCIハイブリッド燃焼は、スパークアシストやEGRを使いながら、安定したHCCI燃焼が得られるようにDISC気筒の運転状態を最適にしたものである。DISC燃焼は、燃焼安定性を確保した上で燃費が最良となるようEGRと空気過剰率を設定したものである。その結果、軽負荷の燃費率はDISC燃焼と同等で、負荷が高くなるとSI燃焼の燃費率に近づいた。この燃費率の悪化は、負荷が高くなるとDISC気筒の燃焼ガス温度が上がるので、

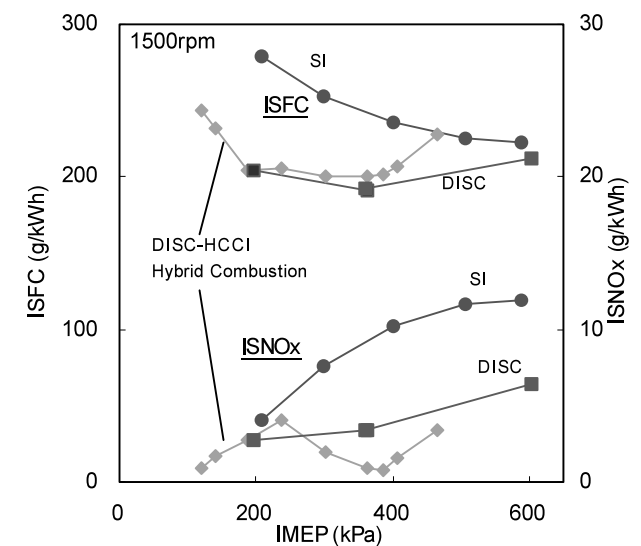


Fig.11 Comparison of Fuel Consumption and NOx among DISC-HCCI, SI and DISC

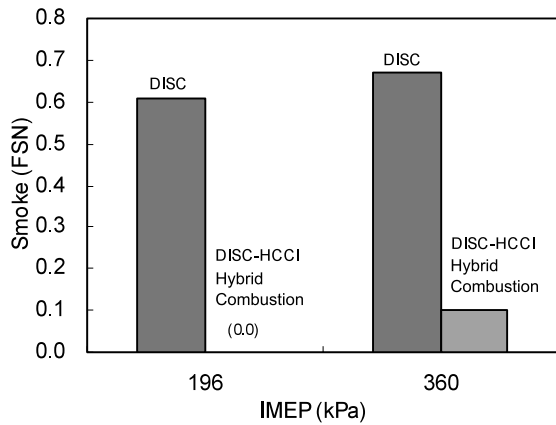


Fig.12 Comparison of Smoke between DISC-HCCI and DISC

HCCI気筒の吸気温度 $T_{IN-HCCI}$ が高くなり過ぎて過早着火するためである。なお、DISC-HCCIハイブリッド燃焼エンジンは2気筒でDISC燃焼を行うためDISC燃焼エンジンの半分程度のNO_xの排出は避けられないが、理論空燃比運転なので三元触媒により問題なく浄化できる。

また、Fig.12にDISC-HCCIハイブリッド燃焼とDISC燃焼のスモーク排出量を示す。DISC燃焼によりスモークが生成されるが、HCCI気筒に導入され再燃焼されることによりエンジンからの排出は極めて少ない量に低減される。

4. 数値計算による燃料依存性の検討

4.1 数値計算の方法

HCCI燃焼は化学反応が支配的なため、燃料性状の影響を受けやすいことが知られている⁽¹⁾。そこで、DISC-HCCIハイブリッド燃焼システムにおけるオクタン価の影響を数値計算により検討した。このDISC-HCCIハイブリッド燃焼システムはDISC気筒の空気過剰率 λ_{DISC} によって決定されるHCCI気筒のEGR率が正確に把握できるため、EGRを利用する他のHCCI燃焼方式に比べ数値計算の適用が図りやすいという利点がある。DISC-HCCIハイブリッド燃焼システムでは軽負荷側の運転領域拡大にスパークアシストが有効であり、既存のサイクルシミュレーションでのSI燃焼の火炎伝播モデルとの連携を考慮し、化学反応計算により着火遅れ時間を算出し、式(1)のLivengood-Wu積分⁽²⁾による着火時期判定を行う手法を検討した。

$$\int_{\theta_0}^{\theta_{18}} \frac{1}{\tau(\theta)} d\theta = 1 \quad (1)$$

具体的には、筒内圧力と筒内温度に対応した定常の着火遅れ時間をCHEMKIN⁽³⁾を用いた化学反応計算で求め、とLivengood-Wu積分で着火時のクランク角 θ_{18} を求めた⁽⁴⁾。

4.2 燃料依存性の検討

化学反応モデルはオクタン価を設定できるリデューストスキーム (Reduced Scheme : 化学種数32, 素反応数55)⁽⁵⁾

を用い、市場のオクタン価の状況を考慮してオクタン価80とオクタン価100に設定して行った。Table 2に計算を行った実験条件を示す。Fig.13に示すように、オクタン価の違いによる着火時期の差はほとんどない結果であった。DISC-HCCIハイブリッド燃焼システムでは自動車用ガソリンのオクタン価がHCCI燃焼の着火時期に与える影響は少ないと考えられる。

DISC-HCCIハイブリッド燃焼システムでの代表的な運転状態であるEGR率50%のID1, 2, 3でのオクタン価80とオクタン価100の着火遅れ時間と、HCCI気筒の温度と圧力の履歴をFig.14に示す。DISC-HCCIハイブリッド燃焼システムでは、HCCI気筒の温度と圧力の履歴が、オクタン価で顕著な差が出る着火遅れ時間の負の温度依存領域を通らないため、燃料の影響が小さくなったものと考えられる。自動車用エンジンとしてDISC-HCCIハイブリッド燃焼システムは、燃料依存性の低いHCCI燃焼システムであることが、この化学反応モデルによる計算で確認できた。

Table 2 Test Conditions for Calculation

ID	DISC Cylinder		HCCI Cylinder		
	λ_{DISC}	η_{V-DISC} (%)	η_{V-HCCI} (%)	EGR Rate (%)	$T_{IN-HCCI}$ (°C)
1	2.0	29	15	50	293
2	2.0	33	17	50	307
3	2.0	43	22	50	328
4	2.7	34	24	37	264
5	2.7	42	26	37	289
6	2.7	34	21	37	255

EGR rate = The mass of burnt gas / The mass of induction gas

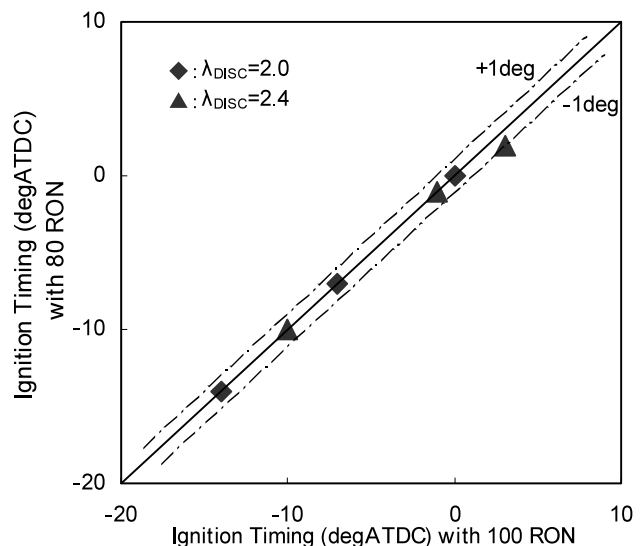


Fig.13 Comparison of Ignition Timing with Octane Number 80 and 100

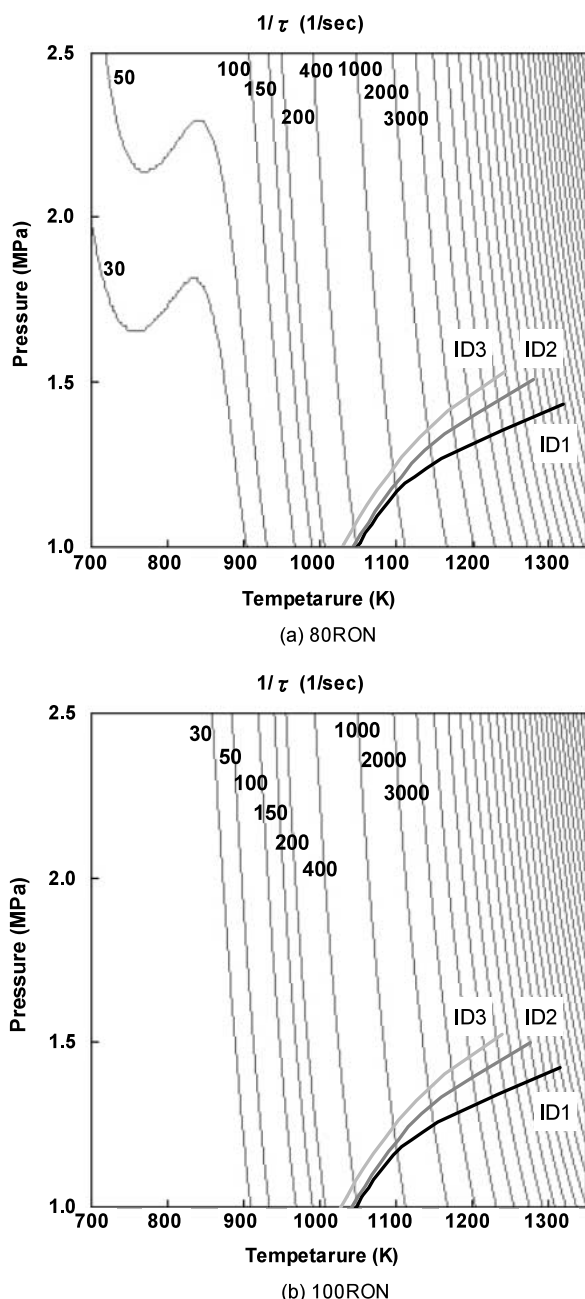


Fig.14 Comparison of Ignition Delay between Octane Number 80 and 100

5. まとめ

HCCI燃焼への新たなアプローチとしてDISC-HCCIハイブリッド燃焼システムを考案し、基本的な特性を調べるとともに、化学反応計算による解析を行った。

- (1) DISC気筒の燃焼によるHCCI気筒の吸気状態の特性を明確にし、DISC-HCCIハイブリッド燃焼システムにおけるHCCI燃焼が実際に可能であることを確認した。
- (2) HCCI気筒の運転領域拡大には、軽負荷側では理論混合比でHCCI燃焼を行うためスパークアシストが、また、高負荷側ではEGRが有効であった。しかしながら、高負荷限界は吸気がDISC運転する2気筒分の吸気量しか

い制約を受けた。

- (3) DISC-HCCIハイブリッド燃焼システムが、燃料依存性の低いHCCI燃焼システムであることを確認した。

参考文献

- (1) G. Shibata et al. : The Effect of Fuel Properties on Low and High Temperature Heat Release and Resulting Performance of an HCCI Engine, SAE paper, 2004-01-0553 (2004)
- (2) J. C. Livengood et al. : Correlation of Autoignition Phenomena in internal Combustion Engine and Rapid Compression Machines, Proceeding of 5TH Symposium (international) on Combustion , p.347-356 (1955)
- (3) R. J. Kee et al. : CHEMKIN- A Fortran Chemical Kinetics Package For The Analysis of Gas-phase Chemical Kinetics, Sandia National Laboratories Report, SAND89-8009 (1989)
- (4) K. Yoshizawa et al. : Numerical Analysis of Combustion in Gasoline Compression Ignition Engines, SAE paper, 2002-01-2865 (2002)
- (5) S. Tanaka et al. : A reduced chemical kinetic model for HCCI combustion of primary reference fuels in a rapid compression machine, Combustion and Flame, 133 , p.467-481 (2003)

著者



養祖 隆



西本敏朗



林 好徳



藤川竜也



山川正尚

論文・解説

27

ディーゼル機関における多量EGRと吸気冷却による エミッション低減

EM Reduction by Large Amount of EGR and Cooled Intake Gas in Diesel Engine

藤本昌彦^{*1} 志茂大輔^{*2} 片岡一司^{*3}

Masahiko Fujimoto

Daisuke Shimo

Motoshi Kataoka

藤本英史^{*4} 山本博之^{*5}

Hidefumi Fujimoto

Hiroyuki Yamamoto

要約

ディーゼルエンジンの大幅なエミッション低減と燃費改善を両立するため、着火制御性向上と低スモークの両立に主眼をおいた、ITIC-PCI (Intake Temperature and Injection Controlled-Premixed Compression Ignition) 燃焼法を開発した。本コンセプトは、従来の局所当量比の希薄化や燃焼温度の低温化に基づくすすの生成抑制だけに頼ったアプローチとは異なり、大幅な吸気冷却により多量EGR下でも余剰酸素量を維持することですすの酸化反応を促進するものである。本報告では、3D-CFDを用いた計算解析によりエミッション変化の理論的検証を行うことで本燃焼コンセプトの特徴を明らかにするとともに、台上性能検証によりその有効性を実証した。

Summary

ITIC-PCI (Intake Temperature and Injection Controlled - Premixed Compression Ignition) that realizes ignition control by fuel injection and low smoke was developed to improve exhaust emission and fuel consumption. Unlike the suppression of soot formation based on lean local equivalence ratio or low combustion temperature, this concept is to promote the soot oxidation by a large amount of oxygen with super cooled intake gas under heavy EGR operation. The characteristic and availability of the concept in this study was cleared to analyze the change of exhaust emission by the theoretical 3D simulation and to estimate the effect of an amount of EGR and intake gas temperature on combustion performance.

1. はじめに

ディーゼル燃焼の主要課題の一つは、本来の良好な燃費を維持したまま、今後強化が予想される排出ガス規制に適合することである。本研究では、上死点付近への着火コントロール性向上と低スモークの両立に主眼をおいた新しい燃焼コンセプトの開発を試みた。局所当量比の希薄化⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾や燃焼温度の低温化⁽⁴⁾に基づくすす(以下Soot)生成抑制だけに頼ったアプローチとは異なり、大幅な吸気冷却により多量EGR下でも余剰酸素を多く残すことでSoot酸化反応を促進するという点が、従来の低エミッション(以下EM)燃焼法にない特徴である⁽⁵⁾。本報告では3D-CFDと当量比-温度(以下 ϕ -T)マップを用いた計算解析により吸気温度がEMに及ぼす影響の理論的検証を行い、本コンセプトの

特徴について述べる。また台上検証により、その性能改善効果を明らかにする。

2. 吸気冷却によるEM低減コンセプト

2.1 目指すべき筒内ガス状態と代表的燃焼法の違い

Fig.1は ϕ -Tマップ⁽⁶⁾上に代表的な燃焼法の筒内ガス状態の概略を模式的に示したものである。神本らの高温燃焼法(A)Desirable Path⁽⁶⁾はNOx, Soot両生成領域の間隙を利用する理想的なコンセプトであるが実現手段が難しい。秋浜らの(B)無煙低温燃焼法⁽⁵⁾は、多量EGRにより極度に燃焼温度を低下させることでSoot生成領域の低温側までガス温度を低下させ、NOx, スモークの同時低減を達成するものである。しかし局所当量比がリッチな混合気の極低温燃焼はCO, HC増加⁽⁷⁾により燃費の悪化は避けられない。予混

*1~5 技術研究所
Technical Research Center

合圧縮着火 (Premixed Compression Ignition, 以下PCI) 燃焼法⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾は、多量EGRにより着火遅れを増大させ、局所当量比を希薄化することで(B)のエリアの低当量比側 (<2) を積極的に利用した燃焼法と考えられる。そのためには少なくとも着火までに全燃料を噴射させ、かつスモーク低減に十分な希薄化を実現する長い予混合期間が必要であり、燃費面で最も効率の良い上死点付近へ常に着火時期を制御することが難しい。

つまり、これまで現実的に行われてきた燃焼改善は、EGR量により低温化と希薄化をバランスさせてNOx、Soot生成領域を回避した(B)のエリアに筒内ガス状態を制御したコンセプトと理解できる。しかし多量EGRだけでは同時に空気過剰率 (酸素濃度)も低下するため、Soot酸化が期待できない。仮に多量EGR下で高を実現できれば、燃費や着火制御性の悪化につながる過度な燃焼温度低下や長い予混合期間を抑制できる可能性がある。

そこで我々は多量EGR下でを制御する手段として吸気冷却を活用することを考えた。吸気冷却により吸気密度を高くすれば、余剰酸素が多くなり、混合促進とSoot酸化、両面からスモーク低減が期待できる。-Tマップ上において(C)目指すべき燃焼はNOx生成領域 (以下NOx領域) より低温で、かつSootの酸化が活性な温度域を使わねばならない。燃焼中期 (破線) に一時的にSoot生成領域 (以下Soot領域) に入っても燃焼後期 (実線) にはこれを脱し、Soot酸化が活性な希薄域 (<1) を多く含ませ、かつCO、HCが生成しやすい低温過濃領域を回避する。すなわち秋浜らの(B)無煙低温燃焼法よりも高温希薄側に位置し、神本らの(A)Desirable Pathを多く含む領域である。

2.2 EGR, 吸気温度による筒内ガス状態の変化

本節では、3D-CFDと-Tマップを用いた計算解析によ

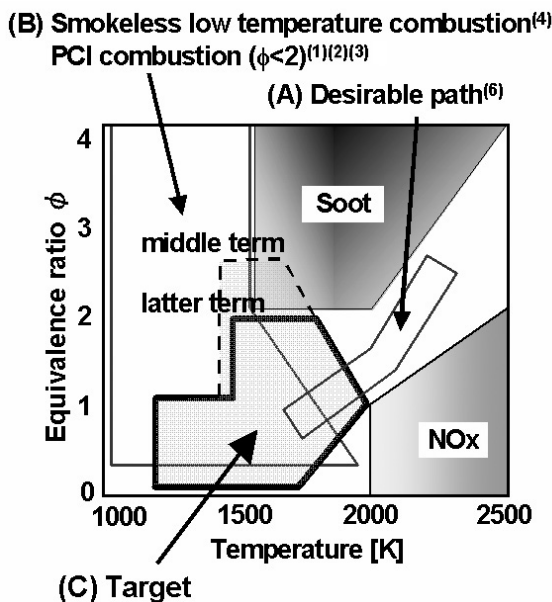


Fig.1 Combustion Target of In-Cylinder Gas Characteristics on -T Map

り、吸気温度とEGR量を変化させた特徴的な燃焼における筒内ガス状態の変化を比較することで、本燃焼コンセプトの妥当性を検証する。

3D-CFDツールには脇坂らのGTTコード⁽⁸⁾を用いた。機関主要諸元をTable 1, 計算条件をTable 2に示す。吸気温度とEGR量をパラメータに3つの燃焼を検討した。Case-1 (吸気温度In-T = 70)は通常のディーゼル燃焼でスモークが悪化しない程度にEGR付加, Case-2 (In-T = 70)は一般的なPCI燃焼を想定し、NOx、スモークが十分低減するまでEGR量を増加、最後にCase-3は吸気温度を40 まで大幅に冷却し、Case-2と同様NOx、スモークが十分低減するまでEGR量を増加した条件である。いずれも熱炎着火がTDCとなるように噴射時期を設定した。

その時の熱発生をFig.2に示す。

Fig.3に -Tマップ解析の結果を示す。-Tマップ上のコンターは計算セルの頻度であり、混合気と燃焼ガスの局所状態の分布を表している。

Case-1 (Fig.3最上段)では、燃焼中期以降で燃焼混合気がNOx領域に大きく入り込む。熱炎着火直前には <6

Table 1 Engine Specifications

Displacement (ml)	1998
Number of cylinder	4
Bore x Stroke (mm)	86 x 86
Injection system	Common rail
Combustion type	Direct injection
Valve system	4 valve
Compression ratio	16.7
Supercharger system	VGT

Table 2 Conditions of CFD Analysis

	Combustion	In-T [deg.C]	EGR [%]	λ [-]
Case-1	Diesel (High-NOx)	70	45	1.71
	Diesel (High-Smoke)	100	57	1.28
Case-2	PCI	70	63	1.14
Case-3	Target	40	61	1.41

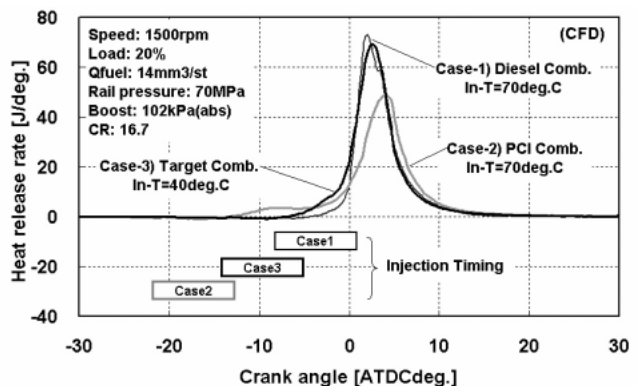


Fig.2 Comparison of Heat Release Rate by CFD

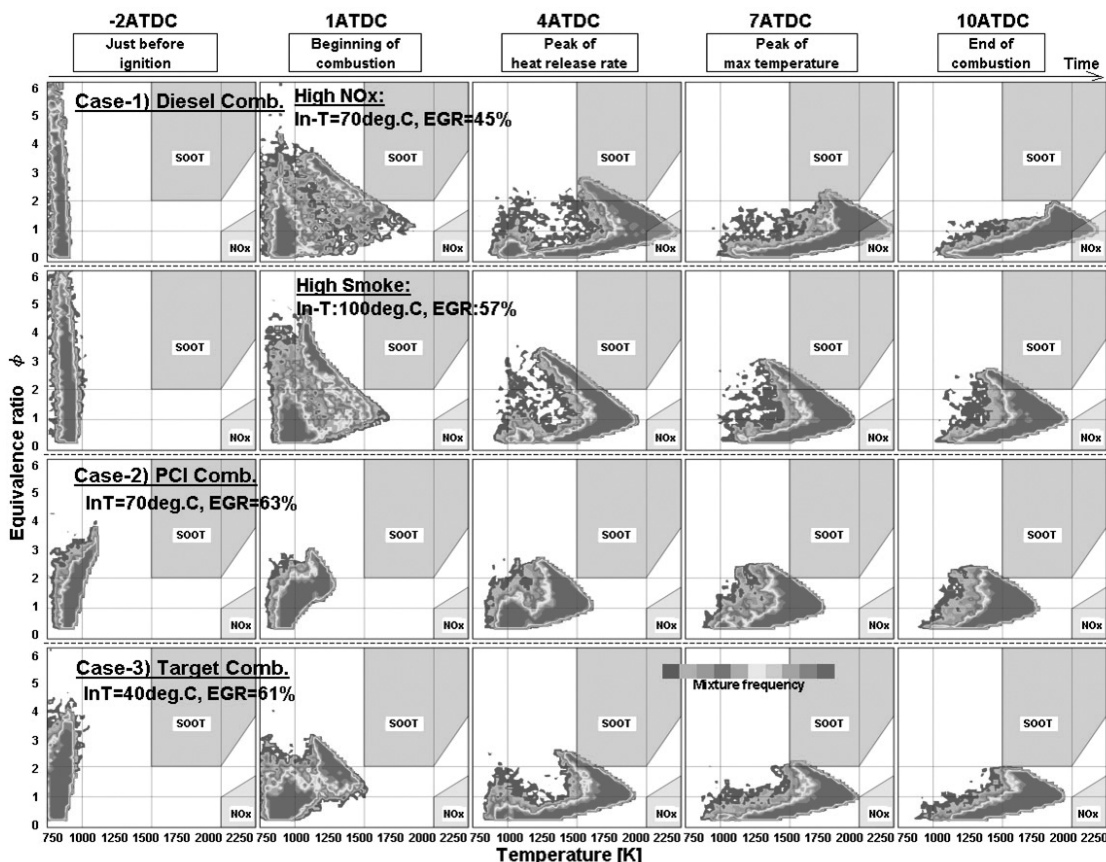


Fig.3 Effect of EGR Amount and Intake Temperature on -T Map History by CFD Analysis (Speed:1,500rpm, Q_{fuel} = 14mm³/st, Rail Pressure:70MPa, Boost:102kPa (abs.) Hot Flame Ignition: Near TDC)

程度の過濃な混合気が形成され、燃焼混合気は熱発生率ピークでSoot領域に突入して一時的に多量のSootが生成すると思われる。しかし ϕ が高く余剰酸素も多いため燃焼後半には脱し、高温領域に到達して酸化される。Fig.3中上段は、Case-1でNO_xが十分低減するまで更にEGRを増加した結果で、 ϕ が低いために過濃部の分散が進まない。熱発生ピーク時から燃焼終了時まで、燃焼混合気はSoot領域に停滞する。つまりCase-1はEGR量でNO_x、スモークがトレードオフ関係にある。

Case-2 (Fig.3中下段)では、多量EGRによる極度の低温化により、燃焼混合気は最大燃焼温度はNO_x領域から低温側に大きく分離している。一方、長い予混合期間による混合促進の効果で、熱炎着火直前の混合気は $\phi < 3$ 程度まで希薄化される。熱発生ピーク以降、Soot生成温度を超える部分はSoot領域を希薄側に、Soot生成当量比より過濃な部分はSoot領域の低温側に分布しており、PCI燃焼 (Fig.1 (B), $\phi < 2$)に類似している。

一方、Case-3 (Fig.3最下段)では、Case-2よりも短い着火遅れ期間で着火直前の混合気は $\phi < 4$ とややリッチ側に分布しており、また燃焼後期の燃焼混合気高温部は約2,000Kと比較的高い。このため熱発生ピーク時から最高燃焼温度時にかけて燃焼混合気の過濃側はSoot領域に到達するが、燃焼終了時にはSoot領域を脱しており、Case-1 (Fig.3最上

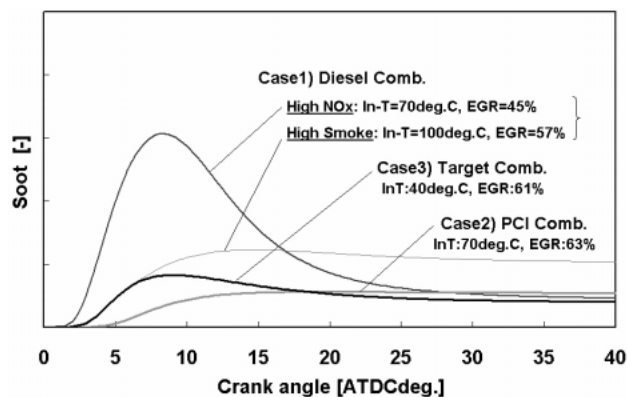


Fig.4 Comparison of Soot Amount History

段)と似たような挙動を示す。またCOとHCが生成されやすい低温過濃領域 ($T < 1,400K$, $\phi > 1$)⁷⁾がCase-2と比較して少ないことも特徴といえる。

Fig.4は廣安の簡易モデル⁹⁾によるSoot量変化を予測したものである。Case-1 (High NO_x)は一時的にSoot量が大幅に増加するが、Soot酸化反応により急速に減少に転じている。Case-2は生成量こそ最も少ないものの、Soot酸化がほとんど見られない。Case-3は一時的に増加傾向を示すがCase-1と同様にSoot酸化により減少していることがわかる。以上のように多量EGRと大幅な吸気冷却を組み合わせることで、狙い通りの筒内ガス状態 (Fig.1 (C)) が実現できると考えられる。

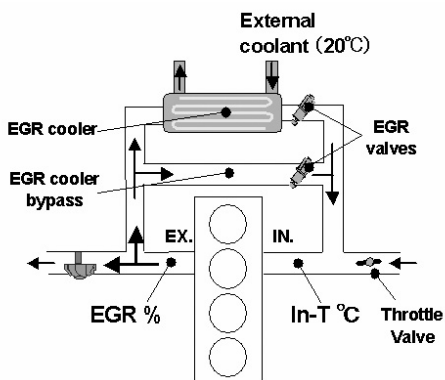


Fig.5 EGR System with Ext. Coolant

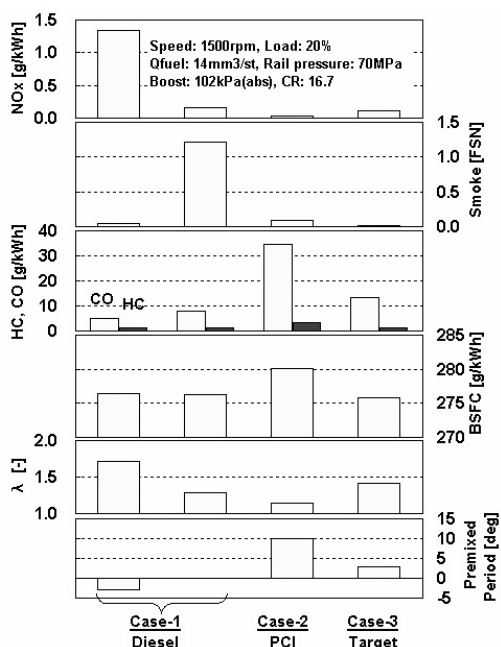


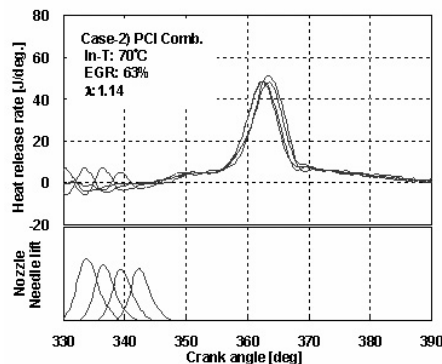
Fig.6 Combustion Performance

3. 吸気冷却による燃焼性能改善効果

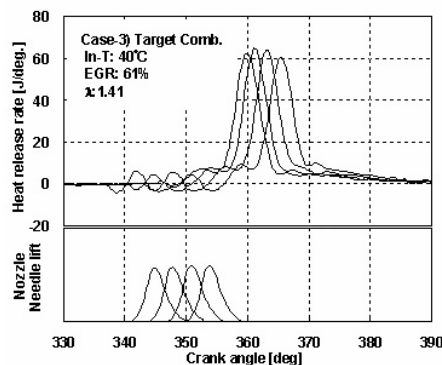
3.1 多量EGRと吸気冷却の燃焼性能の特徴

前章の解析結果を検証するため、欧州Stage4規制に適合させた量産ディーゼルエンジン (Table 1) からFig.5に示す外部冷却水と大容量EGRクーラ、およびクーラバイパスを用いてEGRガス混合後の吸気温度を任意に変更し、吸気冷却の効果を台の上にて検証した。

Fig.6は回転数1,500rpm, 負荷20%において、前章の計算解析条件 (Case-1~3) の諸性能を比較したものである。なお図中の予混合期間は、噴射終了から熱炎着火までのクランク角と定義した。噴射終了後の着火が基本コンセプトである点はPCI燃焼 (Case-2) と同様だが、吸気冷却 (In-T=40) により高い λ を維持することで短い予混合期間でも低スモークが成立する点、CO, HC悪化が少なく燃費悪化がない点がCase-3の特徴である。またFig.7は予混合期間の大きく異なるCase-2とCase-3の熱発生率と針弁リフトで、噴射時期を変化させた波形を重ねて表示している。Case-2では噴射時期を変化させても熱炎着火は同等だが、



(1) Case-2) PCI Comb.



(2) Case-3) Target Comb.

Fig.7 Ignition Controllability by Fuel Injection

予混合期間の短いCase-3では、噴射時期に対してほぼニアに熱炎着火が変化するようになり、通常のディーゼル燃焼のように燃料噴射で着火をコントロールできる。

Fig.8は (EGR) を変化させ、吸気温度 (In-T = 40, 70, 100) が諸性能へ及ぼす影響を詳細に調べたものである。いずれの吸気温度でもNOxは λ を低くすると単調に減少するが、吸気温度が低いほど、低NOx領域が高 λ 側へ拡大する。一方、スモークは吸気温度により傾向が異なる。100 λ では λ を低くするとスモークは単調に増加するが、70 λ では $\lambda = 1.3$ 付近で極大値を示し、低 λ ではほとんど排出されなくなる。これは秋浜らの低 λ 領域でスモークが減少する現象⁽⁵⁾と推察される。更に40 λ まで冷却するとに関わらずスモークはほとんど排出されない。すなわちNOx, スモークを同時低減できる λ は70 λ の時はスモークの山のリッチ側 ($\lambda = 1.1$ 以下) でしか成立しないのに対して、吸気温度を40 λ まで冷却すると高 λ 領域 ($\lambda = 1.4$ 以下) まで使えるようになる。

高 λ でNOx, スモークの同時低減が成立することは、主として2つ利点がある。1点目は燃費である。CO, HCは λ を低くすると $\lambda = 1.3$ までは緩やかに増加し、 $\lambda = 1.3$ 以下では急激に増加する。燃費も同様の傾向を示しており、 λ を高くすると未燃損失が低減され、燃費が改善すると考えられる。2点目は着火制御性である。 λ が増加すると噴射時期が遅角する傾向を示すが、熱炎着火はTDC付近としているので予混合期間が短くなるということである。こ

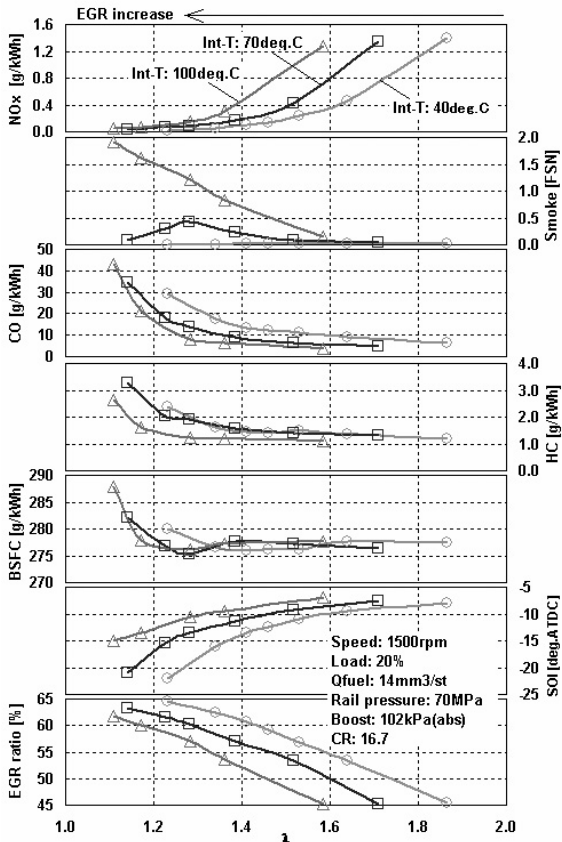


Fig.8 Effect of Excess Air Ratio (EGR) and Intake Gas Temperature on Emission Characteristics

のことは吸気温度が十分に下げれば、短い予混合期間でも低スモークとなることを示している。

以降、大幅な吸気冷却によるFig.1(C)の燃焼をITIC (Intake Temperature and Injection Controlled) -PCI燃焼と称する。

3.2 ITIC-PCI燃焼の運転領域拡大

ITIC-PCI燃焼では、多量EGRと吸気冷却による高余剰酸素下での予混合燃焼により -Tマップの高温希薄領域を利用して、Soot生成抑制と酸化促進を両立させることが重要である。しかしながら負荷が高くなると、燃料噴射量の増加にともない、 λ が低下することは否めない。

そこでITIC-PCI燃焼を中負荷でも成立させるため、時間、空間的な混合の工夫により、Soot生成抑制と酸化促進を維持できないか試みた。一つは低圧縮比化により着火遅れを延長して要求EGR量を減らし、負荷増加に対するバルクの λ 低下を抑制すること、もう一つは早期噴射とメイン噴射に分割することで、空気利用率の向上を図り、局所的な λ 低下を抑制することである。

吸気温度40℃、回転数2,000rpm、負荷40%において熱発生率と針弁リフトを比較した結果をFig.9に示す。早期噴射とメイン噴射に分割することで、熱炎着火直前の噴射終了が早くなり、単発噴射と比較して予混合期間が大きくなっている。Fig.10は噴射終了直後の当量比分布をCFDにより比較した結果で、早期噴射によりキャピティ外の空気

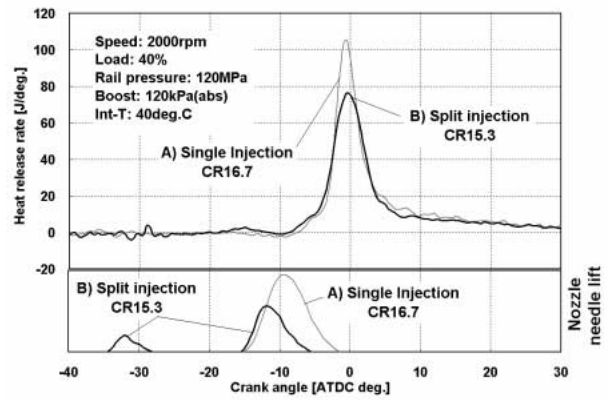


Fig.9 Effect of Split Injection on Heat Release Rate

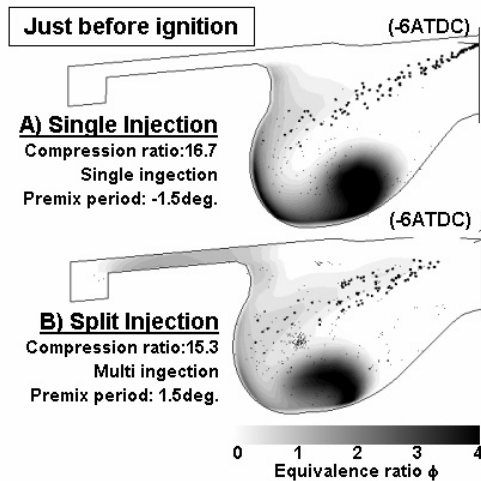


Fig.10 Mixture Distribution Just before Ignition

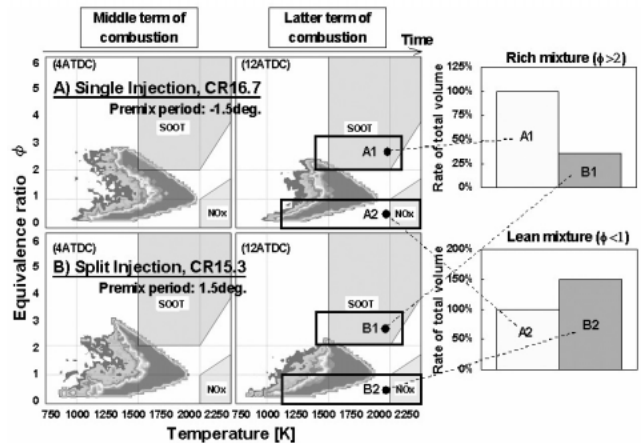


Fig.11 Effect of Low Compression Ratio and Split Injection on In-Cylinder Gas of -T Map

を有効活用するとともに、メイン噴射終了を早期化させることで、着火直前における当量比は全体的に希薄化が進んでいる。Fig.11は燃焼中盤～後半の筒内ガス状態を -Tマップで比較した結果である。 -Tマップ中の四角で囲ったエリア内の $\phi > 2$ と $\phi < 1$ の混合気体積を比較したFig.11右図から、燃焼後半 (ATDC10°) ではSoot領域にかかるリッチ燃焼混合気が減少し、酸化が促進される希薄燃焼混合気が増加することが確認できた。

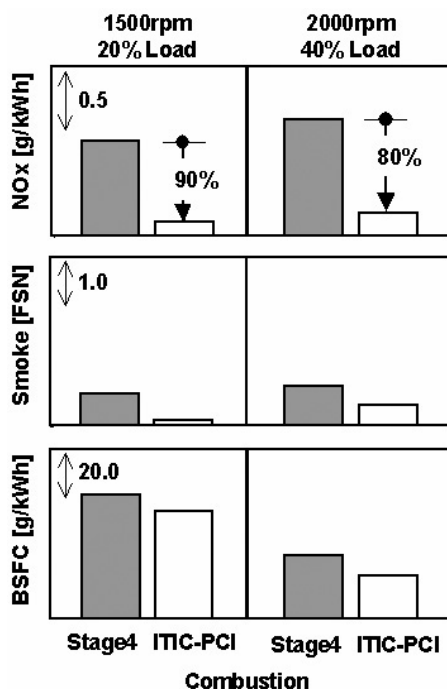


Fig.12 Comparison of Engine Performance between ITIC-PCI and Stage4 Combustion

3.3 ITIC-PCI燃焼のEM性能改善効果

Fig.12はITIC-PCI燃焼のEM性能を台上検証した結果である。Stage4適合燃焼よりもスモークを低減した上で、軽負荷で約90%，中負荷で約80%，NOx低減可能なことを確認した。またStage4適合燃焼は噴射リタードによりEMを改善しているが、ITIC-PCI燃焼ではTDC付近へ着火時期を適正化することによる燃費改善効果も確認できた。

4.まとめ

多量EGRと吸気冷却を組み合わせることで、大幅にEMを低減した上で、燃料噴射によりTDC付近へ着火制御可能で、かつ低燃費なITIC-PCI (Intake Temperature and Injection Controlled-PCI) 燃焼法を開発した。その特徴は下記の通りである。

- (1) 多量EGR下でも、の低下を抑えながら着火遅れが確保される。燃焼中期に生成されたSootを燃焼後期に酸化可能であり、スモーク低減に過度の燃焼温度の低下や予混合期間を必要としない。
- (2) 要求予混合期間が短いため、燃料噴射による着火制御が可能である。また燃焼混合気を過度に低温化せず、余剰酸素が多いことで低温過濃領域を回避し、CO，HCが抑制され、燃費悪化がない。
- (3) 低圧縮比化による着火遅れ期間拡大，および分割噴射による時間・空間的な混合促進を組み合わせ、本燃焼を中負荷まで成立可能である。

なお、本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)「次世代低公害車技術開発プログラム」⁽¹⁰⁾ 研究開発の助成の下で行った。

参考文献

- (1) 島崎ほか：上死点近傍燃料噴射による予混合ディーゼル燃焼コンセプト，自動車技術会論文集，Vol.36，No.3，p.31-36 (2005)
- (2) 村田ほか：可変バルブタイミングによる予混合ディーゼル燃焼の中速中負荷への適用，自動車技術会論文集，Vol.36，No.6，p.73-78 (2005)
- (3) 椎野：将来に向けた予混合燃焼技術，自動車技術，Vol.60，No.9，p.82-88 (2006)
- (4) Akihama, K., et al. : Mechanism of the Smokeless Rich Diesel Combustion by Reducing Temperature, SAE paper, No.2001-01-0655 (2001)
- (5) Shimo, D., et al. : EM Reduction by a Large Amount of EGR and Excessive Cooled Intake Gas in Diesel Engines, Proceedings of 31st FISITA World Automotive Congress, F2006P372 (2006)
- (6) Kamimoto, T. et al. : High Combustion Temperature for the Reduction of Particulate in Diesel Engines, SAE paper, No.880423 (1988)
- (7) Golovitchev, V., et al. : Towards A New Type of Hybrid Engine : The Two-Stroke Free-Piston Compression Ignited Engine, Proceedings of 31st FISITA World Automotive Congress, F2006P421 (2006)
- (8) 金ほか：高圧噴射2段燃焼ディーゼル機関における燃焼数値解析への遺伝的アルゴリズムの応用，自動車技術会論文集，Vol.36，No.3，p.37-43 (2005)
- (9) Hiroyasu, H., et al. : Models for Combustion and Formation of Nitric Oxide and Soot in Direct Injection Diesel Engines, SAE paper, No.760129 (1976)
- (10) 大坪ほか：NEDOクリーンディーゼルプロジェクト，自動車技術，Vol.60，No.9，p.12-21 (2006)

著者



藤本昌彦



志茂大輔



片岡一司



藤本英史



山本博之

論文・解説

28

バッテリーマネジメントによる燃費改善 Fuel Consumption Improvement with Battery Management

西里鉄也*1 平野晴洋*2 稲田潤*3
Tetsuya Nishizato Seiyo Hirano Jun Inada
八雲正*4 庄司明*5 前田敏正*6
Tadashi Yagumo Akira Shoji Toshimasa Maeda

要約

自動車の燃費改善手段の一つとして、減速エネルギー回生技術がある。本技術を有効なものにするには、高頻度でバッテリーの充電と放電を繰り返す必要があるため、バッテリーの状態を把握しながら充放電を制御するバッテリーマネジメント技術が必要である。現在量産されている自動車の大多数に搭載される鉛バッテリーのマネジメント技術を開発し、鉛バッテリー車の減速エネルギー回生技術を確立した。電源電圧の変動による各種電気デバイスへの影響、減速時の発電機駆動トルク変動などの課題も解決し、商品性を確保したうえでシステムコストと燃費効果をバランスさせ、デミオをはじめベリーサ、新型アクセラ、新型MPVへ本技術を導入したので紹介する。

Summary

Regeneration of deceleration energy is considered to be one of the technologies, which achieves automobiles' fuel economy improvement. To use this technology effectively, charging and discharging of battery should be repeated in high frequency. Thus, the technology of battery management system plays a crucial role to control charging and discharging while recognizing the battery condition accurately. The battery management system was developed for lead-acid battery, which is mounted on most of the vehicles in field today, and deceleration-energy-regeneration technology was established for automobiles with lead-acid battery. The technical issues, such as the impact of power supply voltage fluctuation on various electric devices, or fluctuation of generator-driving-torque during deceleration is resolved. Additionally, the commodification of lead-acid battery management system is ensured, and power supply system cost was well balanced with the fuel economy improvement. This technology is now widely introduced to various Mazda vehicle models as Demio, Verisa, New Axela, or New MPV.

1. はじめに

近年の自動車においては、国内のグリーン税制、欧州のCO₂削減自主規制などの指標で一般的に評価されるように、燃費向上に対するニーズが高まっている。

同時に、商品性を向上させるための各種電気部品の増加、機械式から電動式になるデバイスの増加等により、自動車が消費する全エネルギーに対し、電気エネルギーの比率は増加しており、燃費向上には効率的に発電させることが重要になっている。

この一つ的手段として、減速エネルギーを有効に利用して発電し電池に蓄える「減速エネルギー回生技術」がある。減速エネルギー回生を有効なものとするためには、電気エネルギーを蓄えるバッテリー自体の充放電特性を把握し、充放電によるバッテリー劣化状態や充電状態を把握するバッテリーマネジメント技術が必要である。

しかしながら、現在量産されている多くの自動車に搭載される鉛バッテリーは、エンジン始動性に重点をおき、常に満充電を保つという単純な使い方であったため、このようなバッテリーマネジメント技術は特に必要とされていなかった

*1, 3 パワートレイン先行開発部
Powertrain Advance Development Dept.
*5 技術研究所
Technical Research Center

*2 マツダノースアメリカンオペレーションズ
Mazda North American Operations
*6 パワートレイン開発推進部
Powertrain Development Promotion Dept.

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

た。今回、鉛バッテリーでの高頻度の充放電による劣化形態の確認や、充電状態を把握する各種技術の検討を重ね、鉛バッテリーにおけるバッテリーマネジメント技術を開発し、「減速エネルギー回生技術」を量産車へ実用化した。

2. 本技術の基本原則

2.1 減速エネルギー回生

車両の減速時は、運転者がブレーキペダルを踏み、ブレーキ摩擦材で運動エネルギーが熱エネルギーに変換され、大気中に放熱されるのでエネルギーが無駄になっている。

減速エネルギー回生技術とは、減速時の運動エネルギーの一部を発電機によって電気エネルギーに変換してバッテリーに蓄えて、その電気エネルギーを再利用するものである。減速前後における動作イメージをFig.1に示す。

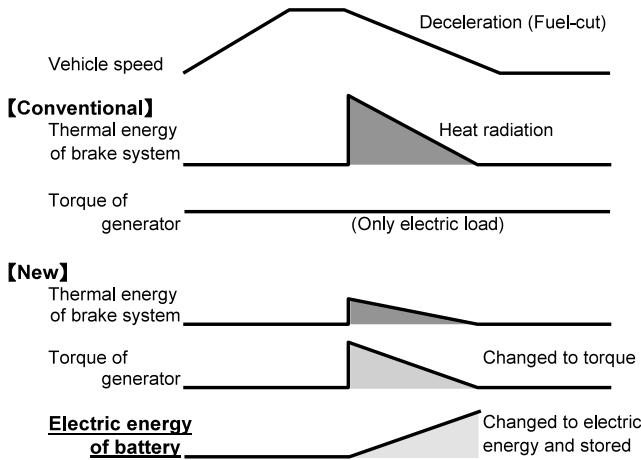


Fig.1 Image of Energy Conversion

減速時に蓄えた電気エネルギーを減速以外で再利用し、発電機駆動トルクを低減するイメージをFig.2に、電源システム上での電気の流れをFig.3に示す。

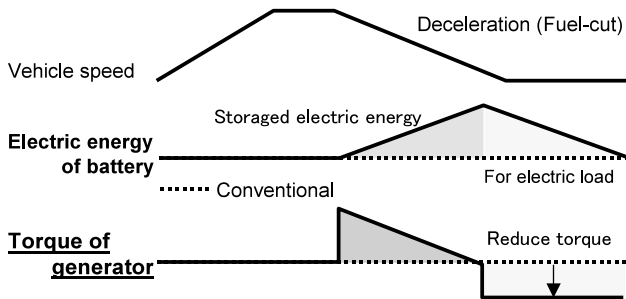
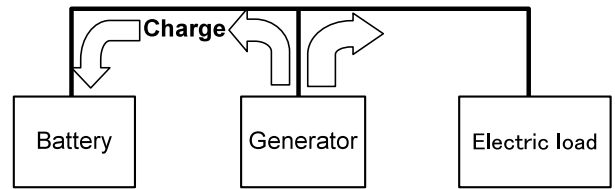


Fig.2 Image of Generator Torque Reduction

During deceleration (Fuel-cut)



Except deceleration

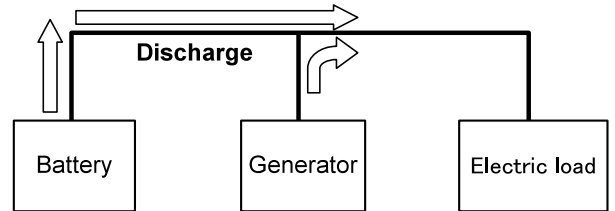


Fig.3 Flow of Electric Energy

減速時にバッテリーに充電し、それ以外では充電した電気エネルギーを放電して使うため、バッテリーの充放電頻度は従来に比べかなり大きくなる。

2.2 発電エネルギーと燃費効果

発電機の駆動トルク軽減が燃費に及ぼす影響度合いについて具体事例で示す。走行モード（燃費測定モード）および車種毎に、消費する全エネルギーに占める発電機の駆動に必要なエネルギーの比率を指標としてFig.4に示す。

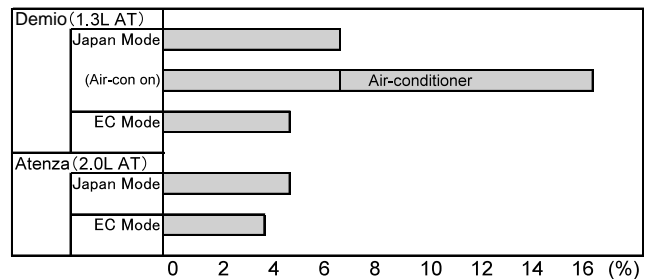


Fig.4 Energy Proportion of Kinetic to Generator

走行に必要なエネルギーは、走行モードや車両重量の違いで異なること、および、発電エネルギーは電気負荷の大小（例えばエアコンのオン/オフ）で増減することは周知の通りである。同一走行モードでも車種によってその比率が異なるのは、モード走行で使用する電気負荷や発電機の効率は車種に関係なくほぼ同一だからである。

今後、車両全体での技術革新で車両の軽量化が進み、同時に先述のように電気負荷が増加するに従って、この比率は増加する一方であり、発電機の駆動トルク低減による燃費向上効果はますます大きくなる。

減速エネルギー回生技術は、今後の燃費向上に不可欠な重要な基盤技術の一つであるといえる。

3. バッテリー状態を把握する技術

3.1 バッテリー劣化の検討

(1) 高頻度充放電による影響

減速エネルギー回生により高頻度で充放電させるという、従来とは異なった使い方をした場合のバッテリー劣化の進み方を確認する必要がある。

そこで、従来の劣化サイクル評価モード (SAE : Society of Automotive Engineers) をベースに、実走行での減速回生を考慮した高頻度充放電パターンを追加した評価モードとで比較した。その評価指標には、鉛バッテリーの代表的な物理量である「内部抵抗」と「残存容量」の二通りの指標を用いた。

その結果、従来の劣化サイクル評価モードでテストしたバッテリーでは、内部抵抗が2倍程度に増加し、残存容量が50%程度減少したのに対し、高頻度充放電での評価モードでのテスト結果では、残存容量が著しく減少したにもかかわらず、内部抵抗は30%程度の増加であった (Fig.5)。

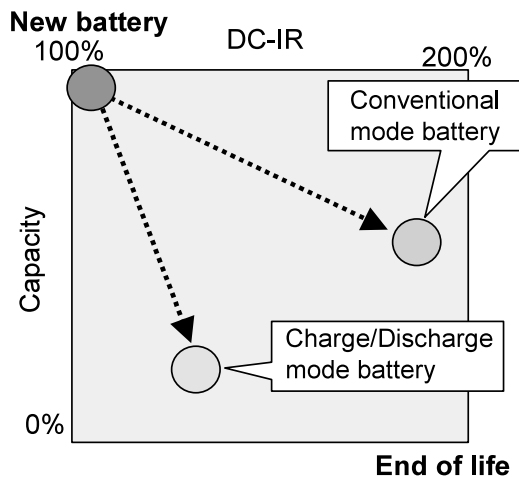


Fig.5 Battery Damage Index

従来の劣化サイクル評価モード、高頻度充放電での評価モードでテストしたバッテリーの内部変化を比較するため、バッテリーを分解して電極を観察した (Fig.6)。

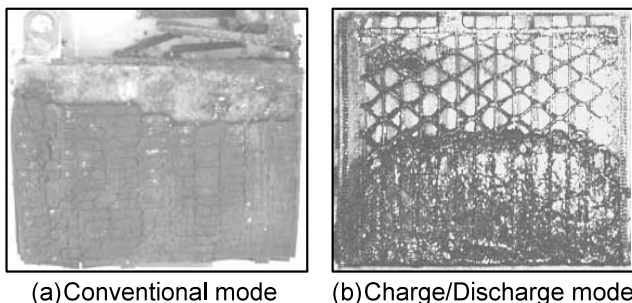


Fig.6 Positive Plate of Damaged Battery

従来モードでは、電極において集電極となる格子の上部が著しく腐食している劣化形態であった (Fig.6(a))。一方、高頻度充放電モードでは、格子腐食はほとんど見られず、従来は顕著ではなかった正極板の活物質の軟化が著しく進行して電極面積が減少するという劣化形態 (Fig.6(b)) となることが判明した。

この現象を受けて、次に正極面積と内部抵抗との関係を調べるために、正極板の上部 (or下部) 活物質を除去して電極面積を半減させたバッテリーを試作し、内部抵抗を測定した。その結果、電極面積の半減による内部抵抗増加は1m程度に留まることを確認した (Table 1)。

Table 1 Active Material vs DC-IR

	DC-IR
New battery	6.0 (mΩ)
Active material	
Upper-half only	6.2 (mΩ)
Lower-half only	7.2 (mΩ)
Upper limit of engine start	13 (mΩ)

以上より、劣化による内部抵抗の増加は、主に格子腐食による劣化に起因するものと考えられる。高頻度充放電によって、たとえ活物質が軟化・減少したとしても、格子を健全な状態を保ち続けることで、寿命末期において活物質が減少した状態でも内部抵抗増加を抑え、十分なエンジン始動性能を確保することができると考えられる。

(2) 最適なバッテリー充電状態 (SOC : State of Charge)

鉛バッテリーの劣化形態は、一般的に以下の三通りである。

- ① 格子腐食.....継続的な過充電により発生する。常時満充電に保つ従来の使い方の主な劣化形態である。
 - ② 活物質軟化.....活物質と放電反応物質である硫酸鉛との密度の違い (約3倍) によって、充放電反応毎に発生する。
 - ③ サルフェーション.....低SOC, 高温放置で発生する。
- これらの劣化形態とSOCの関係をFig.7に示す。

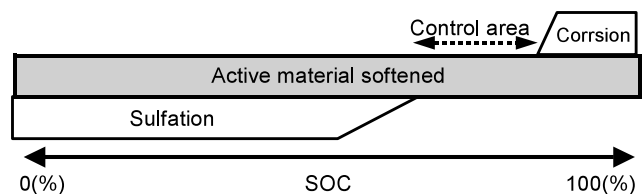


Fig.7 SOC vs Damage Mechanism

上記の各劣化メカニズムに対する考察から、満充電より若干下げた充電状態となるようにSOCを制御し、格子腐食、および、サルフェーションの劣化抑制による鉛バッテリー長寿命化の可能性を簡易評価した。寿命試験結果をFig.8に示す。

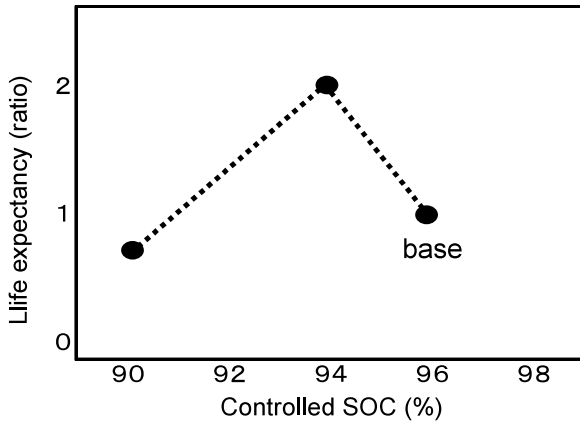


Fig.8 Total Capacity vs Controlled SOC

今回の劣化サイクル評価モード条件下においては、SOC94%程度で制御すれば寿命を最大にできる可能性があることがわかった。

この結果を参考に、一般市場での使用環境、すなわち放置時の暗電流による放電、走行条件による減速回生頻度、季節ごとの温度変化などの変動要素を総合的に検討し、燃費効果とバッテリー劣化抑制のバランスが最適と考えられるSOC値を目標に作動するよう設定した。

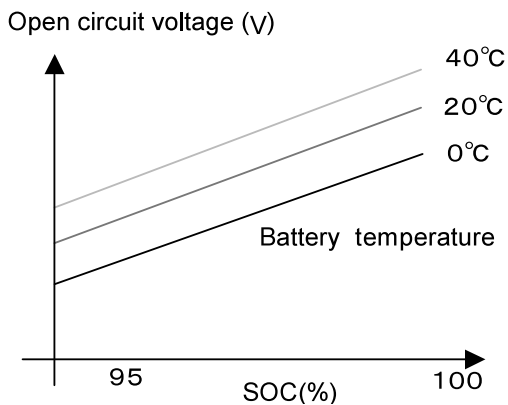
3.2 バッテリー充電状態 (SOC) 制御

(1) SOC推定方法の確立

目標のSOC値に正確に制御するために、SOC推定方法を確立する必要がある。車両上でSOCを推定する方法について、量産時のシステム保証や現実的なシステムコストなどを考慮して、以下の二通りの方法を検討した。

① バッテリー開放電圧 (Open Circuit Voltage) 計測

SOCと開放電圧が直線関係にある (Fig.9) ことを利用してSOCを推定する方法である。



Theoretical expression
 • $OVC(V) = (0.84 + \text{relative density}) \times 6$
 • $\text{Relative density} (@20^{\circ}\text{C}) = \text{Relative density}(T^{\circ}\text{C}) + 0.0007(T-20)$

Fig.9 Open Circuit Voltage vs SOC

この方法は、開放電圧の変化度合いがSOCの変化度合いに対して比較的小さいため、精度良くSOCを推定することが可能である。しかしながら、開放電圧はバッテリーが安定した状態で計測することが大前提であり、そのためには、充電電圧の影響がない車両放置中などに電圧計測する必要がある。技術的には充分可能であるが、現時点ではシステムコストと燃費効果のバランスが確保できるレベルにないと考え、量産車への採用は保留した。

② 充電電流の計測

従来のバッテリー性能評価指標の一つでもある、SOC値毎の充電電流時系列変化特性を利用してSOCを推定する方法である。充電電流とSOCの関係のイメージをFig.10に示す。

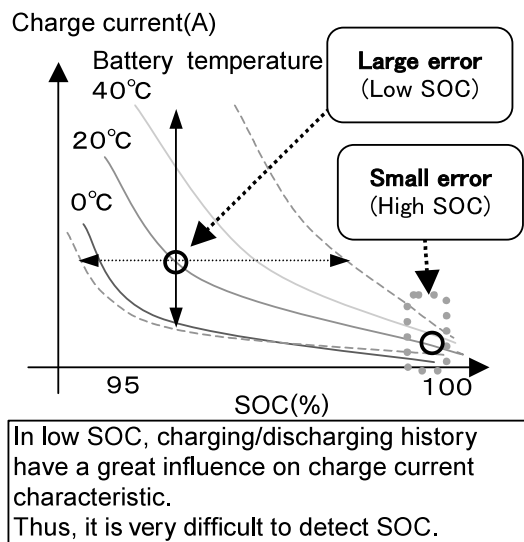


Fig.10 Charge Current vs SOC

この方法は、満充電付近では精度良くSOCを推定でき、SOC絶対値を一旦特定できれば、バッテリー充放電電流を積算することでSOCの相対変化を計測できる。バッテリー回路に電流センサを新設するだけのシンプルなシステムで実現できるため、今回、この方法を量産車へ採用した。

(2) バッテリー温度によるSOC推定精度の検討

バッテリー充電電流とSOCの関係は、バッテリー温度により大きく変化する (Fig.10) ので、正確にSOCを推定するには、バッテリー温度を正確に把握する必要がある。バッテリー温度を正確に計測するには、温度センサをバッテリー内部へ直接差し込む方法が最も精度が良いと考えられるが、この場合、バッテリー電槽の変更や温度センサ自体の信頼性が大きな問題となる。

そこで、バッテリー電圧を温度に応じて最適に保つ目的で開発した簡易的なバッテリー温度推定アルゴリズムを利用することを検討した。車両上で、バッテリー温度推定アルゴリズムによる温度、温度センサが設置可能と考えられるバ

テリ周辺部の温度,およびバッテリー内部温度(電解液温度)を様々な条件下で計測した。その一例をFig.11に示す。

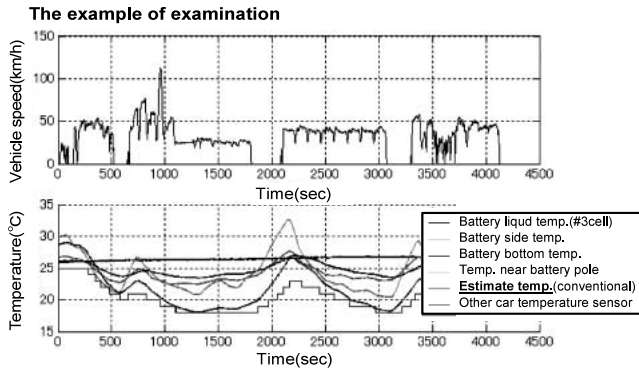


Fig.11 Accuracy of Battery Temperature Measurement Method

バッテリー内部温度に対して,いずれの方法でも10 程度の誤差を生じるが,温度推定タイミングを精度良く測定できる条件下に限定するなどの工夫をすることで,温度センサを追加することなく,従来のバッテリー温度推定アルゴリズムをベースにバッテリー温度を推定できる技術を確立した。

4. 車両適合性の確保

4.1 電源電圧変動

減速エネルギー回生の具体的な制御方法は,発電機の発電電圧を調整して行う。減速時には発電電圧を高めることでバッテリーに充電し,減速以外では発電電圧をバッテリー電圧(起電力)よりも低くして放電させる。

バッテリーの性能と信頼性をバランス良く保つため,バッテリー温度に応じて発電電圧を細かく調整する制御は従来から量産採用していたが,鉛バッテリーは熱容量が大きいため温度は急激に変化せず,発電電圧,すなわち車両全体の電源電圧が急激に変化することはなかった。

今回,減速開始時に発電電圧を急激に高くするので,車両全体の電源電圧が頻繁に変化する。電源電圧の急激な変化は車両の電気部品の機能や商品性へ影響をおよぼす可能性があるため,全ての電気部品について影響度合いを確認し,発電電圧制御方法を細かく設定した。

個別に電圧制御を設定した一例を以下に列記する。

- ・エアコン冷暖房性能との協調制御
(冷暖房性能要件を確保する)
- ・ヘッドランプ等のちらつき抑制制御
(照度変化を抑制する。バルブ寿命を確保する)
- ・ブレーキ制御時の電圧制御
(ABS作動時の安定性を確保する)

4.2 発電機駆動トルク変動

減速時には,バッテリーに充電するため発電機の発電量が

増大,つまり発電機駆動トルクが急激に増大する。

発電機駆動トルクの急激な変動は車両のNVH性能全般に影響を及ぼすため,その度合いに応じて発電電圧制御方法(駆動トルク制御方法)を細かく設定する必要があり,車両全体で総合的に評価した。

個別に電圧制御を設定した領域の一例を以下に列記する。

- ・減速瞬間のエンジン制御との協調制御
(アクセル全開操作後,燃料カットタイミングと協調し,減速瞬間のショックを抑制する)
- ・オートマチックトランスミッションのスリップロックアップ油圧制御との協調制御
(発電機駆動トルクに応じた油圧を設定し,スリップロックアップ制御の安定性を確保する)
- ・過度な減速感を感じさせない制御
(トランスミッションギア段位,発電量などに応じて発電量を抑制し適度な減速感を演出する)

5. おわりに

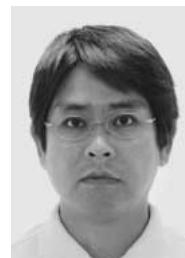
以上述べてきたように,バッテリーマネジメント技術の開発により,鉛バッテリー搭載車にも減速エネルギー回生技術が適用できるようになった。適用時の車両への悪影響についても克服して量産車への採用を実現し,燃費性能を1~2%程度向上できた。

今後も,今回得られた劣化メカニズムの解析結果をベースに,鉛バッテリーの更なる長寿命化と燃費性能を高次元でバランスさせたバッテリーマネジメント技術開発を継続していく。

著者



西里鉄也



平野晴洋



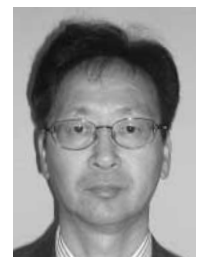
稲田潤



八雲正



庄司明



前田敏正

論文・解説

29

自動車部品用バイオプラスチックの開発 Development of Bioplastic for Automobile Parts

吉田 邦彦*¹ 松田 祐之*² 栃岡 孝宏*³
Kunihiko Yoshida Yushi Matsuda Takahiro Tochioka

要 約

バイオプラスチックは、材料製造における石油依存度低減やCO₂排出に関しカーボンニュートラルであるといった理由から、将来の自動車用樹脂材料として有望である。既存のバイオプラスチックは、自動車用樹脂材料としては耐衝撃性と耐熱性が十分でなく、また結晶化が遅いため射出成形に適していなかった。今回、広島県内の産学官共同開発を通じて、結晶化促進核剤や相容化剤の配合、および成形条件の最適化によって、材料物性の向上と成形性の改善を試みた。その結果、業界で初めて自動車内装部品に使用できる外観品質や物性を持ち、かつ射出成形が可能な材料を開発した。新開発のバイオプラスチックは、トウモロコシから製造されるポリ乳酸を主原料とし、結晶化促進核剤等も植物由来のものを原料としているため、88%と高い植物度を実現している。

Summary

Bioplastics have a great potential as future plastic materials for automobile because of the reduced amounts of fossil fuel consumption through production process and carbon neutral about CO₂ emission. Current bioplastics have a poor impact strength, a poor heat resistance for automobile and long producing time of injection molding due to the low crystallization speed. We tried to improve mechanical and thermal properties and a moldability of current bioplastics by compounding a newly-developed nucleating agent for crystallization and a compatibilizer. As a result, we have developed an improved exterior surface quality, high-strength, heat-resistant, and injection moldable bioplastic, which is able to use for automotive interior parts for the first time in the industry. This research was the result of an industry-government-academia joint research project in Hiroshima Prefecture. This new bioplastic is made of mainly corn-based polylactic acid. In addition, because part of the nucleating agent for crystallization and compatibilizer are also made of plant-derived materials, developed bioplastic has high plant-derived content (88%)

1. はじめに

近年の環境保全に対する意識の高まりから、植物などの生物資源を原料として製造されたプラスチック(バイオプラスチック)を活用しようとする動きが活発になってきている。理由は大きく3つあると考えられる。1つ目は、石油などの化石資源の節約につながることである。これはまた、化石資源の枯渇や価格高騰など供給面の脆弱性を緩和することにもつながる。2つ目は、バイオプラスチックが分解

や燃焼しても、その際発生する二酸化炭素(CO₂)は原料の植物が成長時に吸収したCO₂を放出したものであり、ライフサイクルで見ると大気中のCO₂の増減に影響を与えない性質(カーボンニュートラル)(Fig.1)であることから、地球温暖化防止に貢献できることである。3つ目は、ケミカルリサイクルが容易であり、バイオリサイクルも可能であることから、将来的にインフラが整備されれば、材料面から循環型社会システムの実現に貢献できることである。

*1~3 技術研究所
Technical Research Center

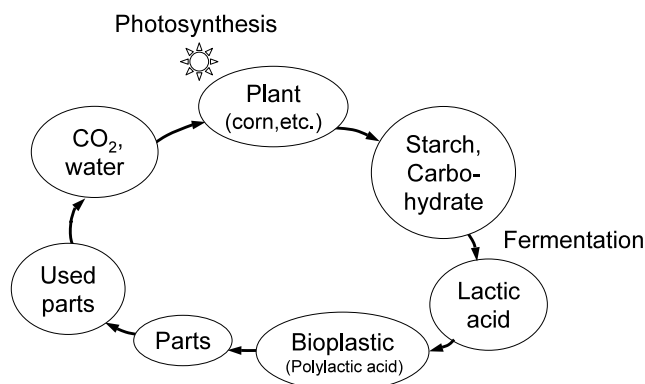


Fig.1 Carbon Cycle of Bioplastic

ポリ乳酸 (Polylactic acid, 以下PLA) (Fig.2) は代表的なバイオプラスチックであり、トウモロコシなどの植物から得られるデンプン、グルコースなどの発酵によって得られた乳酸を重合することによって製造される。

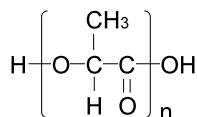


Fig.2 Chemical Structure of PLA

ガラス転移点はポリアミド6に近い約60℃、融点はポリプロピレン (以下PP) に近い約170℃、比重はポリエチレンテレフタレート並みに約1.3と高く、機械的性質はポリスチレン (以下PS) のように硬くて脆く、30~40℃程度の金型温度で成形した場合は透明となる熱可塑性プラスチックである。

2. PLAの課題

2.1 材料物性

PLAと代表的な自動車内装用PPの材料物性をTable 1に示すが、PLAは耐衝撃性と耐熱性が低く、自動車用には材料物性が不十分であることが分かる。これまでに、種々の改良が検討されているが、いずれも一長一短である。例えば、ケナフ等の天然繊維による強化では⁽¹⁾⁽²⁾、耐衝撃性を向上できる長繊維強化品は成形方法が圧縮成形法に限定されている。また、ポリカーボネート等の石油系樹脂とアロイ化した材料が電化製品に応用されているが⁽³⁾、耐熱性等が向上するものの、高い植物度 (植物由来成分の含有量) を維持するのが難しい⁽⁴⁾。

Table 1 Material Properties of Current PLA

	Current PLA	Typical PP for automobile interior
Izod impact strength (kJ/m ²)	3	5
DTUL* (°C) 0.45MPa	53	110
Tensile strength (MPa)	70	25
Flexural modulus (GPa)	3.7	1.0
Plant-derived content (%)	100	0

* Deformation temperature under load

2.2 成形性

PLAは、射出成形時に金型温度が30℃程度であれば、成形サイクルタイムは1分程度と短いですが、結晶化度が低くなるため、成形品は耐熱性が低い。一方、金型温度が100~120℃程度であれば、結晶化度は高くできるものの、結晶化速度が極めて遅いため、成形サイクルタイムが10分以上と長く、生産効率が悪い。また、成形機内での滞留時間が長くなり、PLAが劣化するという問題もある。つまり、高い結晶化度の成形品を短い成形サイクルタイムで成形することが難しい。この改良のため、結晶化を促進させる核剤としてタルク等の無機フィラーを添加している例があるが⁽⁵⁾、成形サイクルタイムは短くなるものの、材料の比重が更に高くなり、焼却後に無機フィラーが残渣として残る。

3. 開発技術

3.1 開発方針

PLAは、圧縮成形法による成形部品、あるいは石油系繊維と混合させた繊維として、既に自動車部品に採用されている。しかし、材料物性や成形性の課題から、自動車部品の生産に多用されており、形状自由度が高く寸法精度の出しやすい射出成形法による成形部品への適用はなかった。このような背景から、以下の目標を掲げて研究開発を行うこととした。

- (1) 原料調達性や投資コストを考慮して、市販PLAをベースとして添加剤を配合することで、自動車内装用樹脂材料として使えるレベルまで耐衝撃性と耐熱性を向上させる (Table 1)。
- (2) 材料、成形方法の両面から検討し、実用的なサイクルタイムで射出成形を可能にする。
- (3) 環境保全の観点から、上記(1)、(2)を達成しながら、できるだけ高い植物度を維持する。
- (4) 材料の比重をできるだけ上げないため、材料改良には無機フィラーを可能な限り使用しない。

3.2 材料開発

(1) 材料改良

脆性破壊を防いで耐衝撃性を改善するには、一般に大きく2つの方法、すなわち、クレイズ強度 (分子鎖そのものの強度) を高くする方法とひずみの拘束を解放する方法がある⁽⁶⁾。本開発では市販PLAをベースとするため、分子量分布の制御や分子構造そのものの改良が必要なクレイズ強度を高くする方法ではなく、ひずみの拘束を解放する方法を試みた。通常この方法には、柔らかい成分 (耐衝撃性改良剤) を微分散させて、応力集中を減少させる方法が用いられる。しかし、PPに対するエチレンプロピレンゴムや、PSに対するスチレンブチレンゴムのように、PLAに対して微分散する耐衝撃性改良剤は知られていない。そこで、以前から広島大学などで取り組んできた、PLAと他の樹脂の分子同士を結合させる共重合技術を活用して⁽⁷⁾、耐衝撃

性改良剤を微分散させる相容化剤を新規開発し、これを添加することで耐衝撃性を向上させた。

また、耐熱性向上には、結晶化速度を速くして、結晶化度を高めることが有効であることが知られている。しかし、無機フィラー以外の結晶化促進核剤はあまり知られていない。そこで、以前から西川ゴム工業などで取り組んできたPLAの重合技術を活用して⁽⁸⁾、核剤の効果を持つ乳酸共重合体を新規に開発した結果、3~6wt%の添加で高い結晶化促進効果を示すものが得られた。

トウモロコシ由来の市販PLAに、これらの耐衝撃性改良剤、相容化剤、並びに結晶化促進核剤を添加した材料を開発した(以下開発材)。これらの相容化剤と結晶化促進核剤は、主要部分に植物由来のものを原料としていることから、石油系樹脂とアロイ化した改良PLAに比べて、88%という高い植物度を維持している。また、無機フィラーを使用していないため、PLA単体と同程度の比重を維持することができた。

(2) 開発材の物性

開発材の物性をTable 2に示す。高い植物度を維持しながら、従来困難であった耐衝撃性と耐熱性を両立させ、内装材用PPと同等以上の物性を確保することができた。Fig.3にPLA、石油系樹脂とアロイ化した改良PLAおよび開発材の耐衝撃性と耐熱性を示す。改良PLAと比べても、耐衝撃性が約3倍、耐熱性も大幅に向上している。

Table 2 Material Properties of Developed PLA

	Developed PLA	Typical PP for automobile interior
Izod impact strength (kJ/m ²)	7	5
DTUL (°C) 0.45MPa	110	110
Tensile strength (MPa)	50	25
Flexural modulus (GPa)	2.0	1.0
Plant-derived content (%)	88	0

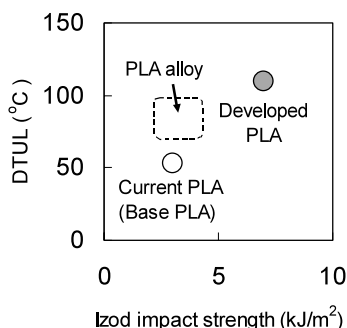


Fig.3 Izod Impact Strength and DTUL of Developed PLA

3.3 成形方法

(1) 成形条件の検討

開発材を用いて、金型温度と金型内保持時間が結晶化度に与える影響を調べた⁽⁹⁾。PLAの結晶化度が高くなる100および120 で検討したが、2.2で述べたように、これらの温度では結晶化速度が遅く弾性率が低いので、型開速度や突出速度を遅くして変形を防ぐ必要があった。そこで、金型温度を急速に加熱冷却できる温調機を用いて、金型温度を上げて射出・保圧の後、一定時間成形品を保持し、その後急速に金型温度を下げて冷却・脱型する金型急速加熱冷却工法を用いた(Fig.4)。その結果、金型温度100 および120 , 保持時間1分で、目標の結晶化度である約50%にほぼ達することがわかった(Fig.5)。これにより、開発材の成形サイクルタイムは市販PLAの約1/5となり、一般の熱可塑性樹脂と同等の成形サイクルタイムで成形できることが確認できた。

更に、温調機などの設備上の制約で金型温度が上げられない場合が考えられるため、金型温度40 の成形品に、アニール処理(熱処理)をした場合の結晶化度の変化を調べた。その結果、140 ×1分のアニール処理をすることで、同等の結晶化度50%が得られることがわかった。

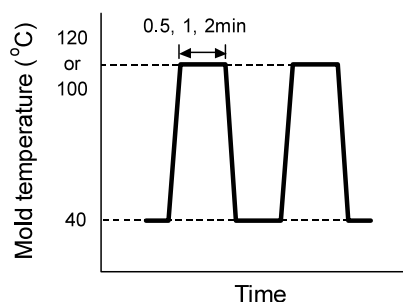


Fig.4 Mold Temperature and Holding Time

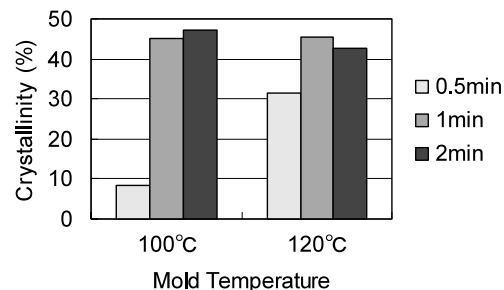


Fig.5 Effect of Mold Temperature and Holding Time on Crystallinity

(2) 部品評価

現在PPを用いて生産されているインパネアンダーカバーを、市販PLAおよび開発材を用いて試作し、成形性、部品としての信頼性を評価した。市販PLAは非常に流動性が悪く、未充填、変形、バリ、ひけ等の課題があったが、開発材は成形性が良好で、Fig.6に示すような射出成形品が得られた。また、開発材料の金型転写性が高いため、外観をPPと比較すると、より高い光沢を持つ特徴があった。この試作部品に対して、寸法変化、短期耐熱性、および長期耐熱性といった信頼性試験を行った結果、いずれも管理基準をクリアした。



Fig.6 Under Cover of Instrument Panel

3.4 適用可能部品

開発材は、今回試作したアンダーカバー以外にもFig.7に示すような部品に適用可能である。更に幅広い部品、例えば内装上部部品への適用には、耐熱性の更なる向上が必要であり、今後の課題である。

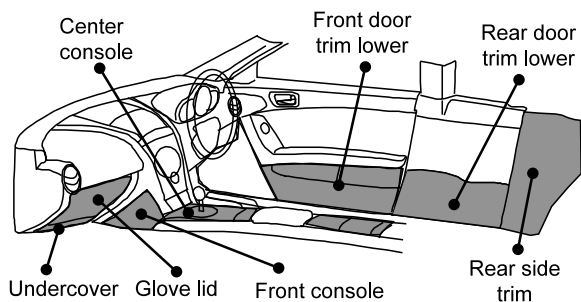


Fig.7 Applicable Parts of Developed PLA

4. まとめ

- (1) 高い植物度（88%）でありながら、耐衝撃性と耐熱性を向上させ、自動車内装樹脂材料として使える物性の材料を開発した。
- (2) 材料改良に加え、成形条件を最適化することにより、一般の熱可塑性樹脂と同等の成形サイクルタイムでの射出成形を可能とした。
- (3) 開発材で試作した内装部品は各種信頼性試験の管理基準をクリアした。

なお、本研究は2004年度および2005年度に経済産業省の

「地域新生コンソーシアム研究開発事業」による支援を受け産学官の連携で実現したものであり、プロジェクトメンバーは以下の通りである。広島大学、西川ゴム工業(株)、広島県立西部工業技術センター、ジー・ピー・ダイキョー(株)、(株)日本製鋼所、近畿大学工学部、西川化成(株)、独立行政法人酒類総合研究所、ヤスハラケミカル(株)、マナック(株)、マツダ(株)（管理法人：財団法人ひろしま産業振興機構）

参考文献

- (1) 日本電気(株)：携帯電話用にケナフ繊維強化バイオプラスチックを実用化（2006年2月6日プレスリリース）
<http://www.nec.co.jp/press/ja/0602/0603.html>
- (2) 芹澤ほか：電子機器用のケナフ繊維添加ポリ乳酸の開発，高分子論文集，Vol.62，No.4，p.177-182（2005）
- (3) 富士通(株)：携帯電話にも適用可能！耐衝撃性に優れた植物性プラスチックを開発（2006年5月16日プレスリリース）
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2006/05/16.html>
- (4) 富士通研究所：植物性プラスチック（2005）
<http://jp.fujitsu.com/group/labs/downloads/business/activities/activities-3/fujitsu-labs-envtech-004.pdf>
- (5) 広島県立西部工業技術センター：ポリ乳酸成形品の結晶化と熱的特性（2003）
<http://www.seibu-kg.pref.hiroshima.jp/seika/houkoku/2003/4619.pdf>
- (6) 石川：高分子材料の強じん化，高分子論文集，Vol.47，No.2，p.83-97（1990）
- (7) 安田ほか：Comparison of Sm complexes with Sn compounds for syntheses of copolymers composed of lactide and ϵ -caprolactone and their biodegradabilities, React. Funct. Polym., Vol.61, p.277-292（2004）
- (8) 矢野ほか：ポリ乳酸の耐熱性改良，日本化学会予稿集，3C4-49，p.327（2004）
- (9) 岡村ほか：ポリ乳酸射出成形による自動車モジュール部品の新規開発，成形加工シンポジウム06予稿集，C102，p.93-94（2006）

著者



吉田 邦彦



松田 祐之



柄岡 孝宏

論文・解説

30

振動伝達低減パネルの開発 Development of Low Vibration Transfer Panel

宇都宮 昭 則^{*1} 中 川 興 也^{*2} 村 瀬 健 二^{*3}
 Akinori Utsunomiya Kohya Nakagawa Kenji Murase
 小 平 剛 央^{*4} 加 村 孝 信^{*5}
 Takehisa Kohira Takanobu Kamura

要 約

車体の軽量化を狙い、車体フロアのパネル放射音を、より少ない制振材で効果的に低減できるパネル構造を開発した。すなわち、パネル中央の高剛性部とパネル周囲の低剛性部からなり、この低剛性部のみに制振材を貼り付けることで、フレームからパネルへの振動伝達を効果的に低減できるパネル構造を見出した。本パネル構造を、実車のフロアパネルへ適用した結果、ロードノイズや遮音性能などに影響なく制振材が削減できることを確認した。

Summary

To lighten the vehicle body, we developed the floor panel structure that reduces sound radiation from vehicle floor panel efficiently. We developed the panel structure that consists of high rigidity part in center of panel and relatively low rigidity part of the panel in outer part of the panel, and that enables to reduce vibration transfer from frame to panel efficiently by putting mastics on only its relatively low rigidity part. By applying this panel to a vehicle floor panel, we confirmed it is to reduce mastics without making road noise and sound insulation performance worse.

1. はじめに

近年の環境問題（CO₂排出規制、省エネルギー）への対応から自動車の軽量化ニーズがますます高まり、車室内騒音低減のための対策部品も軽量化が強く望まれている。その一例として、ロードノイズ低減のため、フロアパネルに施工される制振材も、使用量をより少なくすることが望まれている。これを実現していくには、パネルの放射音発生過程を見直し、制振材をより効果的に機能させることが必要である。

フロアでのパネル放射音の発生過程は、①フレームからパネルへ振動が伝達され、②パネルが振動し、③音が放射される、という段階に分けられる。Fig.1は、その発生過程を単純化したフレームとパネルのモデルで表したものである。これまでのフロアパネルの放射音低減技術は、②のパネル振動低減⁽¹⁾⁽²⁾、あるいは③のパネル放射音低減⁽³⁾に注目したものが多く、①のフレームからパネルへの振動伝達低減に注目した研究は少ない。

そこで、①に注目して制振材をより効果的に使用できる

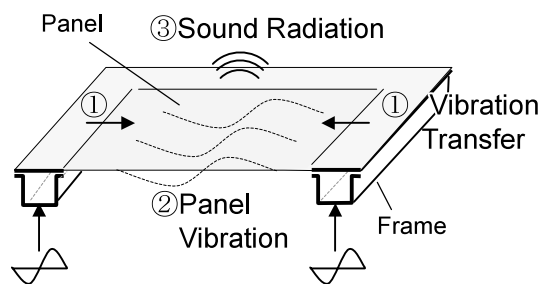


Fig.1 Panel Sound Radiation Model

車体構造の開発に取り組んだ。本稿では、その開発経過について紹介する。

2. 振動伝達低減の考え方

制振材は自身に歪みが生じることで、振動エネルギーを熱エネルギーに変換するので、振動するパネル表面の歪みが大きな部位に制振材を施工すればよい。しかし、振動するパネルの歪みは、広い周波数域の振動モードを対象とすれば、ほとんどパネル全面に分布する。一例として、Fig.2に

*1~4 技術研究所
Technical Research Center

*5 マツダモーターヨーロッパ
Mazda Motor Europe

FEMで固有振動モード解析により調べたフラットパネルの幾つかの振動モードでの歪み発生部位を示す。複数の振動モードを通じて、歪みが生じない部位はなく、ほぼ全面に歪みが生じるため、制振材は全面に施工する必要がある。

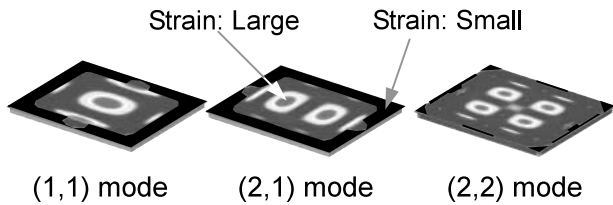


Fig.2 Strain Distribution of Flat Panel (FEM)

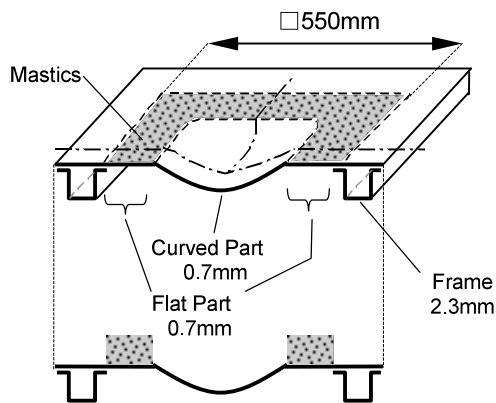


Fig.3 Panel Structure of DCP

そこで、複数のパネル振動モードで、特定の部位にのみ歪みが生じるパネル形状を検討した。すなわち、フレームからの振動がパネルへ伝達される段階で、制振材を効果的に機能させることを考えた。フレームからパネルに振動が入力されるFig.1①の部位にのみ歪みが生じるパネル形状とするため、Fig.3のようなパネル周囲にフラット部を設け、中央部を曲面として面剛性を高くする。このようなパネル形状にすれば、パネル振動による歪みは、低次の複数のパネル振動モードでパネル周囲にのみ生じ、制振材をこの部位にのみ施工すれば、効果的にパネルへの振動伝達が低減できると考えた。この考えから考案したパネル構造を、制振材の施工部位をパネル形状で特定できるようにすることから、ダンピングコントロールパネル (DCP) と呼ぶ。

3. 振動伝達低減パネルの特性

振動伝達低減パネルのテストパネルを試作し、加振実験により、フラット部への歪み集中と、この部位への制振材の施工によるフレーム部からパネル部への振動伝達の低減効果を調べた。その上で、これによる放射音低減効果と制振材削減効果も調べた。

3.1 実験方法

実験に用いるテストパネルは、乗用車のフロアパネルへの適用を考慮し、550mm×550mm、板厚はフレーム部を2.3mm、パネル部を0.7mmとした (Fig.3)。テストパネルを、音響放射特性を計測する計測装置に設置し、パネルを取り囲むフレームを電磁加振機で上下に加振した (Fig.4)。このときの歪み分布、振動伝達特性、音響放射パワーを計測した。計測する周波数範囲は、ロードノイズが問題となる100～400Hzとした。

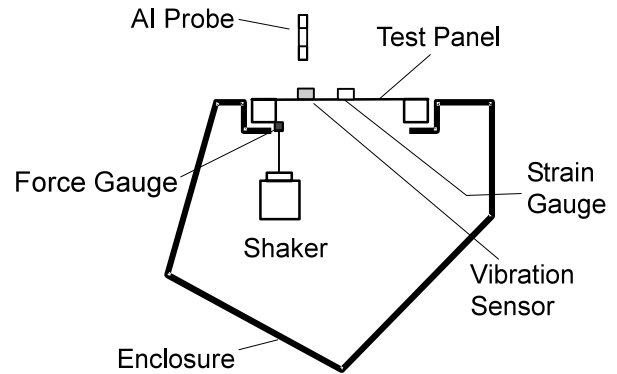


Fig.4 Measurement System

(1) 歪み分布

歪み分布は、制振材が貼られていないテストパネルについて、加振されているときの、パネル中心線上での表面歪みを歪みゲージにより計測した (Fig.5)

(2) 振動伝達特性

フレームからパネルへの振動伝達特性の計測評価法を検討した。振動伝達特性は、フレーム部を加振したときの、フレーム部とパネル部との振動エネルギーの差の評価が望ましい。ここでは、振動エネルギーを直接計測するのではなく、簡便な方法として、振動エネルギーと比例関係にある“振動速度の二乗平均”を用いた。すなわち、式①に示すフレームとパネルとの振動速度の二乗平均の比 τ_w で評価することとした。

$$\tau_w = \frac{\overline{v_p^2}}{\overline{v_f^2}} \quad \dots \quad \text{①}$$

$\overline{v_f^2}$: フレーム面の振動速度の二乗平均

$\overline{v_p^2}$: パネル面の振動速度の二乗平均

(3) 音響放射パワー

テストパネルの音響放射パワー P は、パネル垂直方向の音響インテンシティ I を各計測点 (パネルを100×100mm間隔で区切ったエリアの中心) ごとに計測し、式②で算出した。ただし、 S_i は各計測点の面積である。また、同時に計測した加振力 F から単位加振力当たりの音響放射パワー P/F^2 を算出した。

$$P = \sum_{i=1}^{25} I_i \cdot S_i \quad \dots \textcircled{2}$$

3.2 歪み分布の評価結果

Fig.5に歪みゲージによる実測結果を示す。曲面部とフラット部、あるいはフレームとフラット部との間の形状変化の影響で、歪みが大きく変化している部分があるが、低次から高次までのモードでフラット部に歪みが集中できていることを確認した。

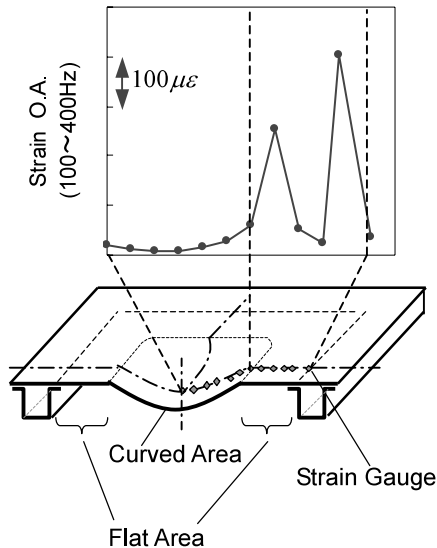


Fig.5 Strain Distribution of Low Vibration Transfer Panel (Experiment)

3.3 振動伝達特性の評価結果

振動伝達低減効果については、フラットパネルやビードパネルなどの従来のパネルでは多くの場合、制振材をパネル全面に施工してきていることから、本パネル全面に制振材を施工した場合と比較することで、その効果を確認する。すなわち、制振材をパネル周囲に施工する仕様(周辺施工)とパネル全面に施工する仕様(全面施工)を比較する。制振材の使用量の影響を調べるため、制振材板厚を段階的に増加させて、振動伝達特性の影響を調べた (Fig.6)。

Fig.7に周辺施工、全面施工における振動伝達特性を示す。縦軸に tw 、横軸に制振材の使用重量を示す。周辺施工は、全面施工に比べ、少ない制振材で振動伝達が低減できていることが分かった。特に、制振材使用量が少ない範囲でその効果が大きいことが分かる。しかし、制振材使用量が多い場合は、効果が小さくなる。その要因としては、制振材の増加による補強効果が考えられる。

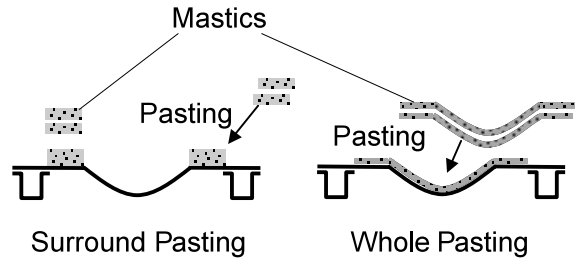


Fig.6 Pasting Pattern of Measurement Panel

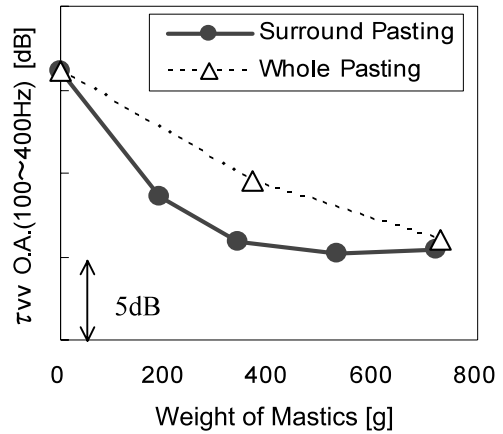


Fig.7 Vibration Transfer Characteristic (Test Panel)

3.4 音響放射パワーの評価結果

Fig.8に周辺施工、全面施工における、音響放射パワーを示す。縦軸に単位加振力当たりの音響放射パワー、横軸に制振材重量を示す。周辺施工は、全面施工に比べ、少ない制振材でパネルからの音響放射パワーを低減できていることが分かった。また、振動伝達特性と同様、制振材重量が少ない範囲でその効果が大きい。たとえば、全面施工の400gでの音響放射パワー (A) は、周辺施工では200g (B) で同等の音響放射パワーにできるので、制振材使用量は約半分にできる。

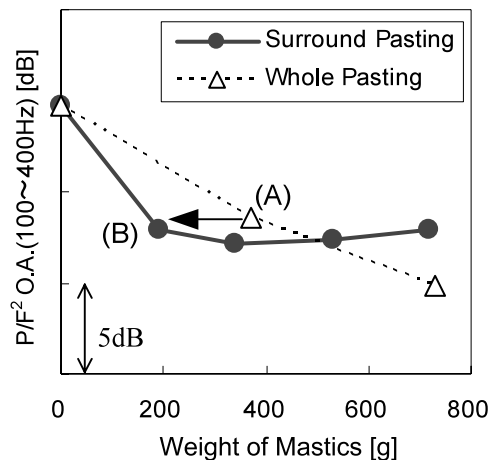


Fig.8 Acoustic Power (Test Panel)

4. 実車適用

実車のフロア構造では、前章でのテストパネルを用いた実験とは異なり、対象とするパネル周囲の構造や振動入力の状態が複雑であるため、同様の効果が得られるかは不明である。そこで、DCPを実車のフロアパネルへ適用し、制振材をフラット部のみに施工した仕様と全面に施工した仕様を比較することで、制振材削減効果を調べた。また、DCP適用による他性能（遮音性、パネル面剛性）への影響も調査した。Fig.9にDCPをフロントフロアに配置した例を示す。

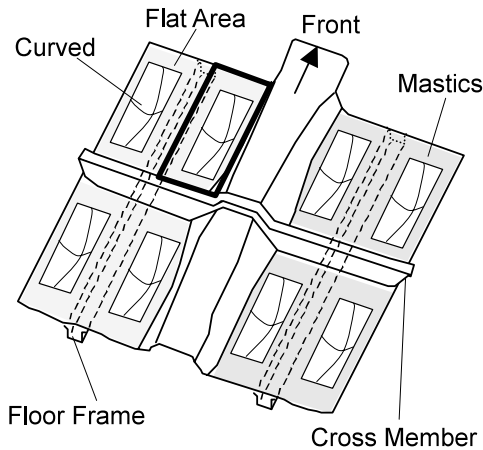


Fig.9 Application to Vehicle Floor

4.1 DCPを適用したフロアの特徴

Fig.10に周辺施工と全面施工のそれぞれについて、車体の振動入力部位であるサスペンションクロスメンバ取り付け部を加振したときのフロントフロアでの音響放射パワー P/F^2 の計測結果を示す（フロアマットなしで、フロントフロアの120点を計測した総和）。縦軸に単位加振力当たりの音響放射パワー P/F^2 (100~400HzのO.A.)、横軸に制振材重量を示す。テストパネルでの計測結果と同様に、周辺施工は、全面施工と比べ、制振材使用量が少ない範囲で、放射音が効果的に低減できており、実車においても効率良く振動伝達を低減できている。制振材使用量が多い場合、周辺施工の音響放射パワー低減効果がないのは、3.3節で述べたように、制振材が厚くなったことによる補強効果が考えられる。

そこで、制振材使用量を周辺施工で段階的に増加させた場合の、実車フロアパネルの面剛性の変化を調べた (Fig.11)。面剛性は、実車フロアのひとつの振動伝達低減パネル (Fig.9太い実線部) について、パネル中央を垂直方向に荷重をかけたときの、その点での変位量から求めた。制振材使用量が、約400gあたりから、面剛性が急激に高くなっていることが分かる。このことから、制振材の増加による補強効果によって、フラット部と曲面部の剛性差が小さくなり、その結果、振動伝達、音響放射パワーの低減効果も小さくなった、といえる。

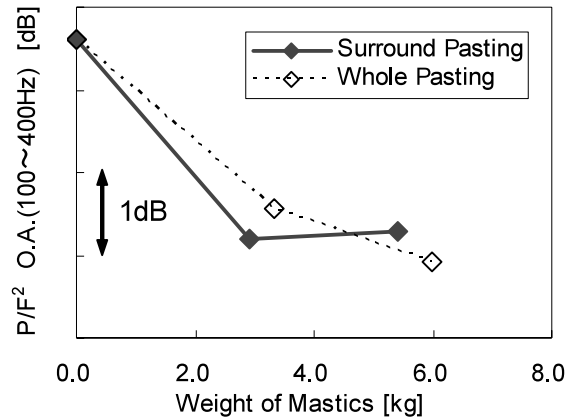


Fig.10 Relation between Weight of Mastics and Acoustic Power

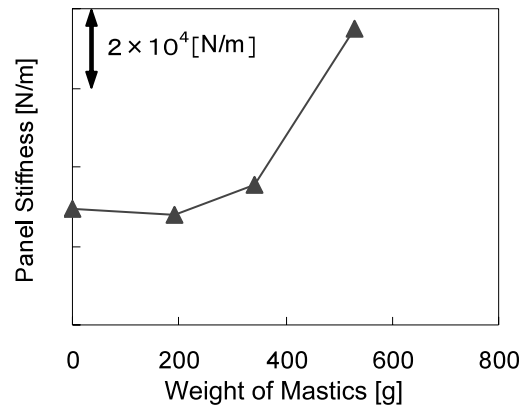


Fig.11 Relation between Weight of Mastics and Panel Stiffness (Vehicle Front Floor Panel)

4.2 DCP適用時のロードノイズ性能

実走時のロードノイズの計測結果をFig.12に示す。ここでは、制振材使用量が少ない範囲で周辺施工と全面施工を比べた。全面施工での制振材重量6.3kgに比べ、周辺施工の制振材重量は約1kg少ないが、ロードノイズは同等レベルを実現している。以上により、テストパネルで確認した少ない制振材で振動伝達を低減できることを、実車においても確認できた。

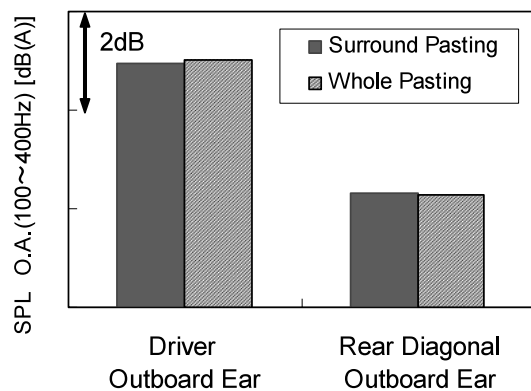


Fig.12 Influence on Road Noise

4.3 他性能への影響

(1) 遮音性能

DCPの適用により、パネル中央部の制振材を取り除いているため、従来の貼り方である全面貼付に比べ、遮音性能が悪化することが考えられる。一方、音のパネル透過は、パネル振動をともなって反対面から音を放射する現象であることから、DCPが有効な、音を放射するパネル振動と同様の現象であるので、DCPは遮音にも有効で、その悪化はないとも考えられる。そこで、エンジン、フロントタイヤ、リアタイヤ、排気音の遮音量評価を行った。Fig.13に評価結果を示す。現行車とDCP適用車の平均遮音量は同等であり、DCPをフロアに適用しても遮音性能に影響ないレベルであることが確認できた。

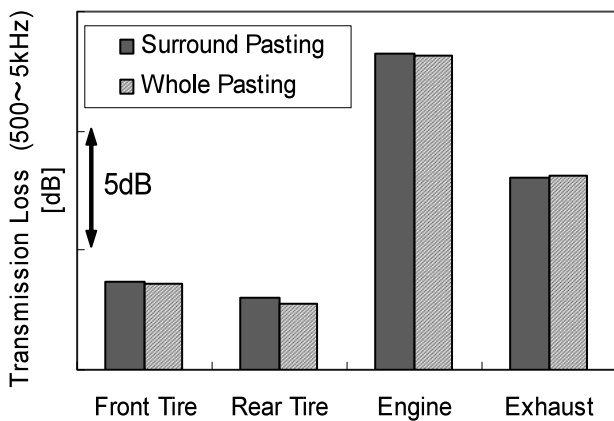


Fig.13 Transmission Loss

(2) パネル面剛性

更に、乗降時フロア変形による不快感を与えないため、DCPが実用上問題ないレベルの面剛性が確保できているかを、形状が異なる3車種のフロアの面剛性を比較した (Fig.14)。その結果、DCPは当社の量産車に適用実績のあるMCP (Mode Control Panel)³⁾の面剛性と同等以上であり、適用上問題ないことが確認できた。

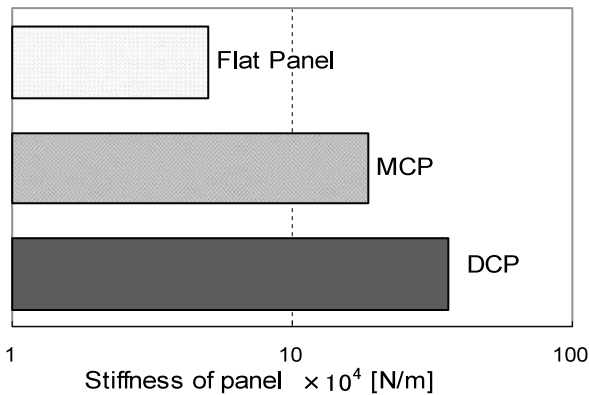


Fig.14 Comparison of Panel Stiffness (Full Vehicle)

5. まとめ

車体フレームからパネルへの振動伝達に注目した、パネル振動の基礎実験を行うことで、パネル形状と制振材の働きやパネル振動との関係を明らかにした。これにより、
 (1) パネル形状を変えて、パネル振動による歪みをパネル周囲のみに生じさせ、制振材施工もパネル周囲のみとした振動伝達低減パネル (DCP) を開発した。
 (2) 更に、この振動伝達低減パネル (DCP) を、量産車のフロアパネルに適用した結果、ロードノイズや透過音を悪化させることなく、制振材の使用量が少なくできることを確認した。

参考文献

- (1) 新田ほか：制振材の効率的な利用に関する一指針（制振材料の選定とその配置について）、自動車技術会学術講演会前刷集，No.66-99，p.17-20（1999）
- (2) 山口ほか：制振材を積層した自動車車体用パネルの減衰特性の有限要素解析（第3報，散逸エネルギーの分布を集約できるビード形状）、日本機械学会論文集（C編），70巻，699号，p.76-82（2004）
- (3) 加村ほか：パネルの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，No.976，p.327-330（1997）

著者



宇都宮昭則



村瀬健二



小平剛央



加村孝信

論文・解説

31

AT用クラッチハブ・プレス一発成形技術の確立

Establishment of One Motion Stamping Spline Forming Technology for AT Clutch Hub

河野 弘和*¹ 森 弘真 司*² 中 浜 義 訓*³

Hirokazu Kouno Masashi Morihira Yoshinori Nakahama

要 約

オートマチックトランスミッション(AT)内にある薄肉円筒形状の部品は、塑性加工(プレス成形等)を製造工法としている。クラッチハブに代表されるスプラインを有する部品は、複雑な形状をしている上に寸法の要求精度が高く、品質を満足させるために予備成形後、スプライン成形を行っている。今回、クラッチハブを1モーションで成形する技術開発に取り組み、CAEと品質工学を用いた金型形状の最適化により量産における誤差要因に対してロバストな金型を試作型レスで開発し、量産化を実現した。

Summary

Thin cylindrical parts for automatic transmission(AT) are manufactured with using plastic forming such as stamping. Parts with spline, for example clutch hub, have complex shape that requires high dimensional accuracy. The spline of this part is formed after pre-forming in order to meet the high quality demand. So we developed One Motion Stamping Spline Forming Technology for clutch hub by optimizing stamping manufacturing process. We applied CAE and Quality Engineering to decide the best stamping die design, by which we could develop and apply this technology to production successfully without any actual forming test.

1. はじめに

オートマチックトランスミッション内部には、動力の伝達とクラッチを切り換えるために外周部にスプラインを有している部品が多く組み込まれている。クラッチハブはその代表的な部品である(Fig.1)。これらの部品の生産には、機械加工と比べて歩留りが良く、生産性の高いプレス成形を採用している。しかし、プレスによるスプライン成形は成形時に材料が軸方向へ延び、コーナ部にダレが発生する。このダレを小さくし、FF用ATユニットの全長をいかに短くするかが重要である。このため従来よりトランスファプレスで予備成形後、スプライン成形を行う工程を標準工程としてきた。

ATの塑性加工領域では、成形一工程、接合一工程を理想工程と定義し、実現のため技術開発に取り組んでいる。今回、成形一工程の取り組みとしてクラッチハブの一発成形を量産化したので報告する。

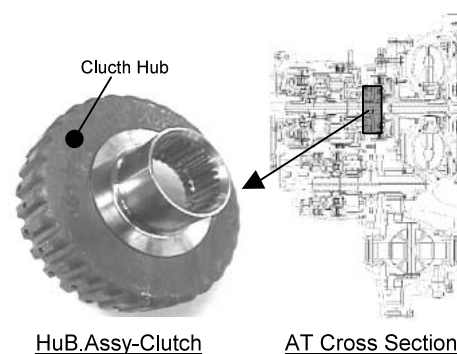


Fig.1 AT Cross Section and Target Part

2. スプライン一発成形概要

2.1 従来工程と一発成形

従来、クラッチハブは、製品品質を確保するためにFig.2のように工程を分割して成形していた(分割成形)。

*1~3 パワートレイン技術部
Powertrain Production Engineering Dept.

今回の取り組みは、Fig.3に示すように円板形状の穴空きブランクより予備成形レスでスプライン形状を一発で造り込むものである。

2.2 一発成形の技術的課題

分割成形では、円筒形状パンチでドロ成形後、スプライン形状パンチでしごき成形している。それに対し、一発成形では、スプライン形状パンチでドロ成形、およびしごき成形を行うためコーナ部の板厚減少が大きくなる (Fig.4)。分割成形のスプライン成形ダイスに導入Rを設けて、一発成形をCAEで検証を行ったところ、コーナ部の板厚減少率は60%でネッキングが発生し、破断が懸念された。この板厚減少によりFig.5に示すダレが大きくなり、スプライン有効歯面長さが不足する。従って、スプライン有効歯面長さを確保するために、この板厚減少を低減させることが技術課題となる。

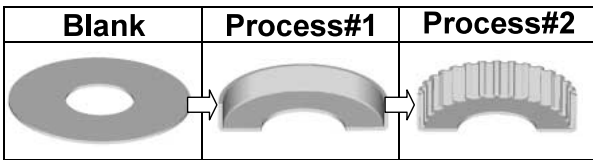


Fig.2 Conventional Manufacturing Process

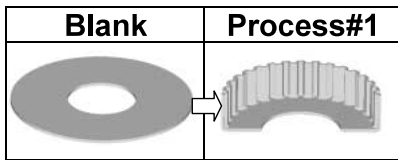


Fig.3 Innovational Manufacturing Process

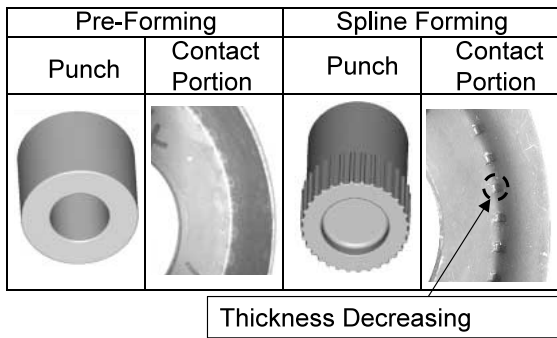


Fig.4 Comparison of Punch Contact Portion

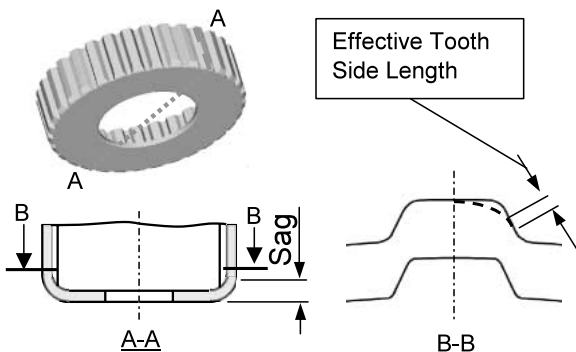


Fig.5 Sag and Effective Tooth Side Length

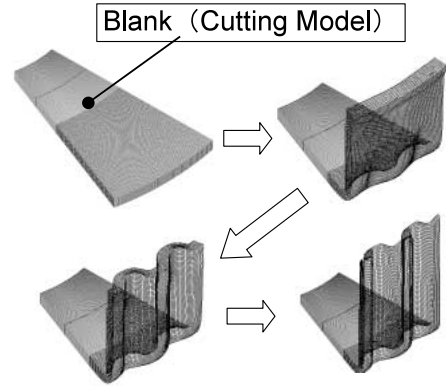


Fig.6 Clutch Hub Spline Forming Simulation

3. 取り組み方針と目標

一発成形という経験のない成形を現物によるトライ＆エラーの方法で行っては開発期間が長くなり、金型製作・修正の投資が増えてしまう。今回の取り組みでは、現物を製作せずに最短期間で開発を行うために、以下の方針で取り組んだ。

① 製品品質の机上検証

製品品質を机上で検証する成形シミュレーション技術を用いることにより、試作型レスで開発を行う (Fig.6)。

② 品質工学による金型形状の最適化

品質工学を用いることにより、多くある成形金型のディメンジョンを効率的に最適化する。

目標は、分割成形品と同等以上のコーナ部の板厚減少率30%以下とし、ダレ量を抑えスプラインの有効歯面長さを確保することとした。

4. 実験方法と実験因子

4.1 基本機能の検討

成形時の板厚減少を低減させるため、金型形状の以下の2点に着目し改善を行った。

① スプライン成形に用いる金型は多段形状になっている。この各段における成形時のワークにかかる負荷を標準化する。

② 製品コーナ部における材料の軸方向への伸びを抑える形状の採用。

品質工学で重要となる基本機能の考え方として、プレス成形 (しごき成形) では、材料が金型内に充填されるほど良いと考え、理想はダイスとパンチのクリアランスに材料が完全に充填されることとした。Fig.7に示すように製品コーナ部断面積と金型 (ダイス、パンチ) のクリアランスの面積を比較し材料充填率とし、製品の底面位置と材料充填率の関係を『基本機能』とした。Fig.8に製品の底面からの位置と材料充填率のグラフを示す。グラフより比例関係とはならないため、標準SN比に置換えて評価した¹⁾。理

想は底面から連続的に充填率100%を維持することである。製品品質精度を満足している分割成形品の材料充填を標準条件とし一発成形の最適化を行った。

4.2 制御因子

板厚減少に対する要因分析を行って36要因を抽出後、予備テストをCAEで行い、パンチ形状系2因子、ダイス形状系5因子、材料系1因子の計8因子に絞りこんだ (Table 1)。

4.3 誤差因子

量産で変動する要因として、前工程の潤滑処理の状態、金型のコーティングの劣化、摩擦がある。これらの変動要因を物理的に考えると全て金型とブランクの摩擦係数に影響を与えるものであるため、摩擦係数を誤差因子として設定した (Table 2)。

4.4 実験方法

Table 1に示す要因と水準をL18直交表に割付けCAEで材料充填率を測定した。

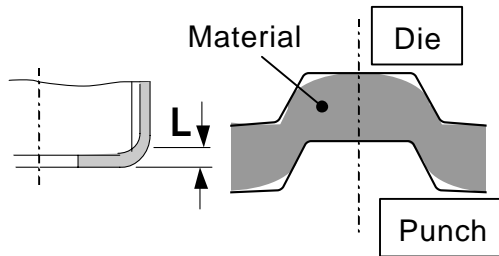


Fig.7 Amount of Material Filling at Height L

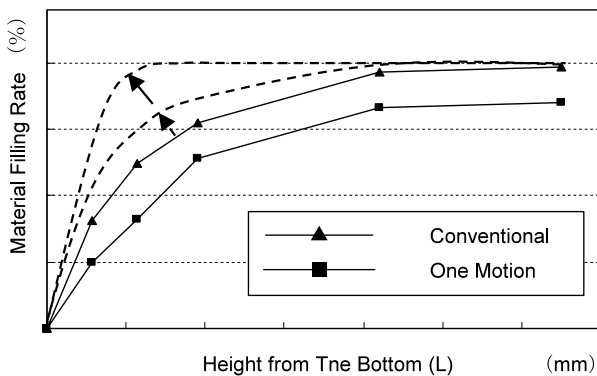


Fig.8 Material Filling Rate

Table 1 Control Factor and Level

	Control Factor	Level#1	Level#2	Level#3
Punch	A : Shape#1	Small	Large	
	B : Shape#2	Short	Medium	Long
Die	C : Shape#1	Small	Medium	Large
	D : Shape#2	Short	Medium	Long
	E : Shape#3	Small	Medium	Large
	F : Shape#4	Short	Medium	Long
	G : Shape#5	Small	Medium	Large
Material	H : Thickness	Thin	Middle	Thick

Table 2 Noise Factor

Factor	N1	N2
Coefficient of Friction	Low	High

5. 最適条件の選定および確認テスト結果

SN比の計算結果をTable 3, 要因効果図をFig.9に示す。要因効果図よりA, H以外はSN比が高い水準を最適条件として選定した。Aは初期条件と最適条件において差が微小なため初期条件と同じ条件とした。また, Hはコストと生産性の問題により初期条件を最適条件とした。

次に, 得られた最適条件で確認実験を行い, 初期条件と比較した利得を計算した。その結果を推定値と合わせてTable 4に示す。推定値と確認実験結果より再現性があることがわかった。

Fig.10にCAEで確認した最適条件 (一発成形), 分割成形の材料充填率を示す。グラフより, 最適条件の材料充填率が分割成形を上まわる結果となった。従って, 最適条件により分割成形と同等以上の品質が確保できることが確認できた。

Table 3 SN Ratio

Experiment No.	SN Ratio (dB)	Experiment No.	SN Ratio (dB)
1	-4.07	10	-8.30
2	1.93	11	-14.16
3	-9.72	12	-17.25
4	-9.24	13	-9.73
5	-11.20	14	-0.68
6	-10.04	15	2.44
7	-6.04	16	-4.00
8	-11.07	17	-15.04
9	-5.19	18	4.67

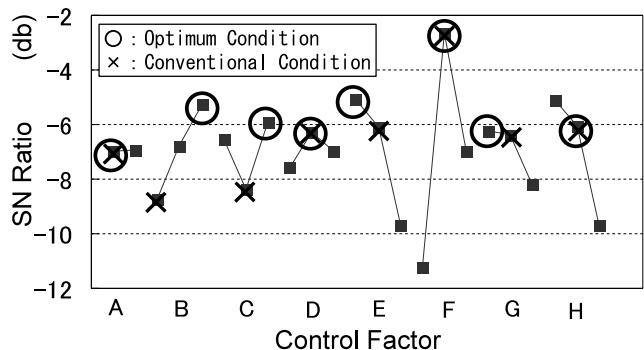


Fig.9 Factor Effect Chart of Standard SN Ratio

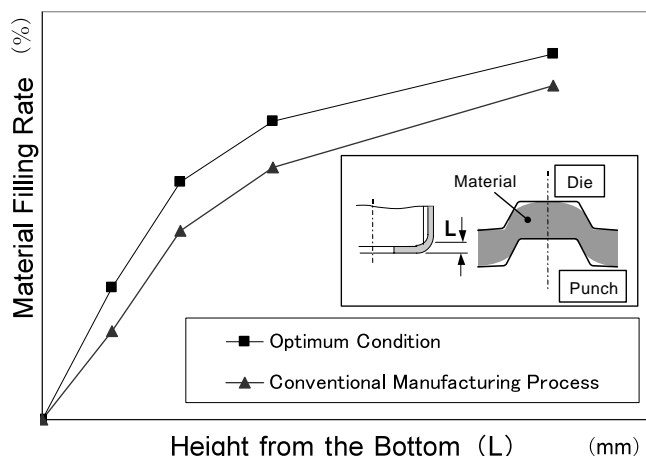


Fig.10 Comparison of Material Filling Rate

Table 4 Confirmation Test Result

	Conventional Condition	Optimum Condition	Gain
Presumption	-8.77	-1.63	7.14
Confirmation	-8.95	-2.69	6.26

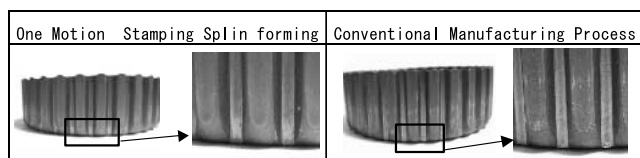


Fig.11 Picture of After Forming

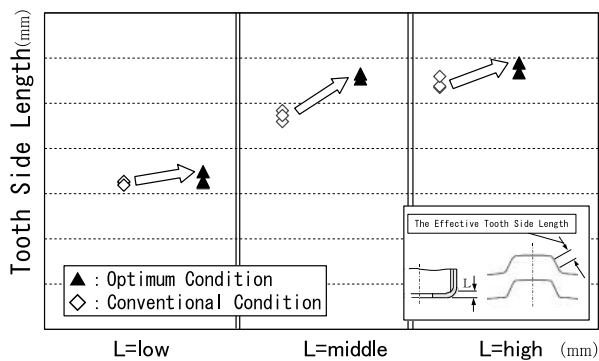


Fig.12 Effective Tooth Side Length

6. 実部品での確認

CAEで効果が確認できたので、実際に金型を製作し、品質確認を行った。板厚減少率は60%から半減以下の25%へ低減させ目標の30%以下を達成した。Fig.11に一発成形品と分割成形品の加工後の写真、Fig.12に最適条件（一発成形）と従来の分割成形品とのスプライン有効歯面長さを示す。一発成形品は従来の分割成形品と比較して、同等以上の製品品質となった。

7. まとめ

- ① 最適条件を適応することによりスプライン一発成形が可能となった。
- ② 品質工学・CAEを用いた金型形状最適化により現物テストゼロで技術開発、量産化した。
- ③ 材料充填率を基本機能として、プレス成形によるスプライン部の評価が可能であるとわかった。
(開発期間：1/4, 金型修正回数：0, コスト低減：30%)

参考文献

- (1) 田口玄一：機能設計（合わせ込み，チューニング）の方法，品質工学，Vol.9，No.3，p.10（2001）

著者



河野弘和



森弘真司



中浜義訓

論文・解説

32

品質工学を用いた鋳鉄足回り部品の量産準備期間短縮 Reduction of Mass-production Preparation Period about Axle Parts Casting Process by Taguchi Method

黒谷 真司*¹ 佐川 述史*² 竹村 幸司*³
Shinji Kurotani Norifumi Sagawa Kouji Takemura

要約

量産準備プロセスにおいて、製品品質の原理追究や開発/工場とのリアルタイムコンカレント活動に重点を置いて、製品品質の向上と量産準備期間の短縮に取り組んでいる。今回、鋳鉄足回り部品の新規車種のフロントナックルにおいて、最適設計の早期化による量産準備期間の短縮を目指し、開発/工場とのコンカレント活動を行った。原理追究と品質工学の活用により、開発段階で量産時の品質のバラツキや工程のバラツキと製品機能を両立した設計を推進し、狙い通りの製品品質を得るとともに、実体による品質の造りこみ段階での手戻りを未然に防止し量産準備期間を短縮した。

Summary

Now we are proceeding improvement in product quality and shortening of mass-production preparation period in production preparation process, focusing on the pursuit of philosophy and real-time concurrent engineering with R&D / Plant. This time, we put concurrent engineering with R&D / Plant into practice on axle parts casting process, which correspondence to new products for the purpose of shortening mass-production preparation period by early implementation of optimum design. By using the pursuit of philosophy and Taguchi Method, we achieved product quality optimization and reworks prevention, effectively we accomplished shortening mass-production preparation period.

1. はじめに

従来の量産準備プロセス、及び今回の活動による量産準備プロセスをFig.1に示す。

従来は、製品開発完了直前に品質確認（湯流れ、凝固）のためCAE解析を行い、開発へ製品形状変更の提案や、金型レイアウト及び鋳造方を決定していた。しかし、この段階での提案が、量産中の永続的な安定品質を実現できるかについて判断できていなかった。これは、今までのCAE解析はノミナル条件のみでの解析であり、量産パラツキの上下限条件評価が行えていなかったからである。この全ての条件を評価するためには、膨大な解析時間が必要である。そこで、今回この問題を解決するため品質工学を取り入れ、手戻りのない工程と品質を造りこむとともに、量産準備期

間25%減を目標として以下のような活動を行うこととした。

まず、品質問題についてテストピース等を用いた基礎テストにより原理追究を行い、メカニズムを特定し、基本機能を設定する。

次にテストピース及び前モデルを活用した制御因子の検討及び実鋳造の結果をCAEへフィードバックし、再度実鋳造による検証を行う。これにより、CAEの解析精度向上を図り、より高い予想確率を実現する。

その後、更に他の因子を振らした解析をCAE上で繰り返し行い、因子の絞り込みと最適化を行う。

この活動を今回鋳鉄足回り部品の新規フロントナックルに適用し、CAEと品質工学を活用した最適設計を行い、開発への結果の情報開示と製品形状を提案した。

*1~3 パワートレイン技術部
Powertrain Production Engineering Dept.

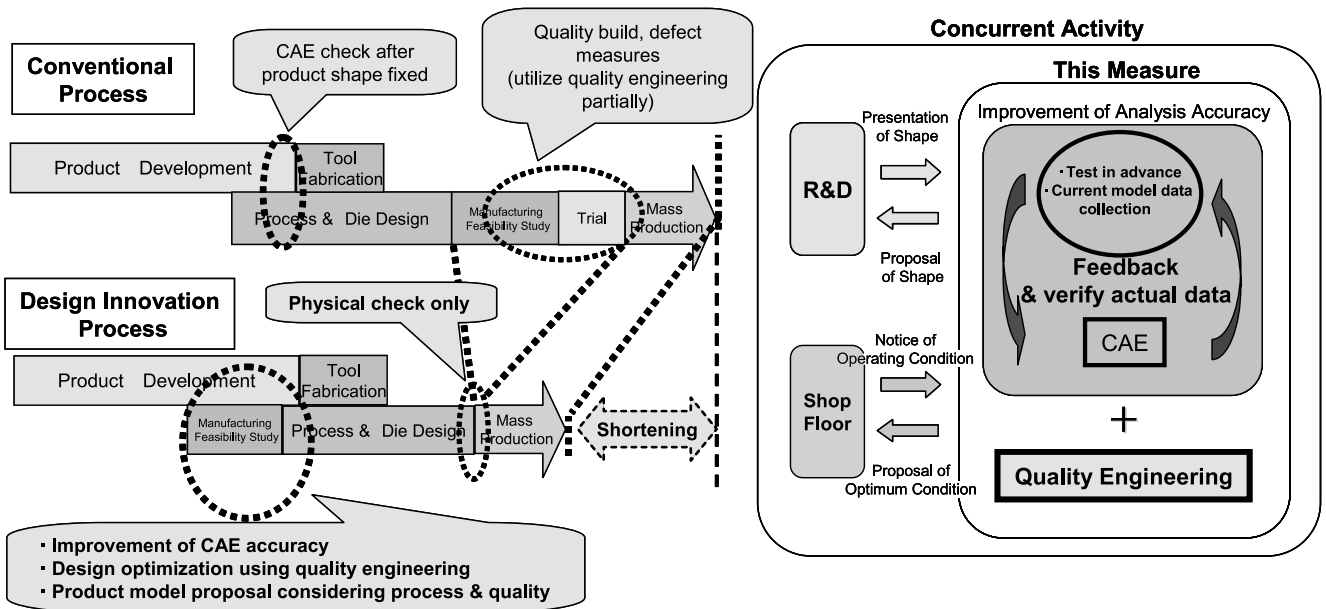


Fig.1 Outline of Activities

2. 新規フロントナックルの問題点とメカニズム

2.1 新規フロントナックルの問題点

前モデルと新モデルの形状をFig.2に示す。新モデルではアッパーアームが大型化されている。これにより、前モデルでも問題となったアーム部の内部欠陥（引け巣）の更なる増大や、大型化による鋳造時の熱量増加に伴う堰前の黒鉛球状化率の低下が懸念された。足回り部品の黒鉛球状化率は、製品の要求強度から規定されている。

2.2 内部欠陥（引け巣）の発生メカニズム

鋳鉄部品の製品内で引け巣の発生しやすい部位は、形状変動の大きい厚肉部である。これは、薄肉部が先に冷却され、厚肉部への溶湯の供給源が断たれ収縮分の補給ができないためである。Fig.3に前モデルで問題となった引け巣の発生部位と、CT撮像による引け巣画像を示す。一般的に引け巣の抑制には、発生部位近傍に堰を設け、その堰前に押し湯と呼ばれる溶湯のたまりを置く。この押し湯により指向性凝固を誘発させ、製品外に引け巣を発生させる手法をとる。

2.3 黒鉛球状化率低下のメカニズム

鋳鉄の冷却カーブをFig.4に示す。鋳型に注湯された溶湯は、冷却が進み（A）で黒鉛が晶出し始める。その後初晶黒鉛の晶出が終了すると、（B）で共晶黒鉛の晶出と成長が行われる。共晶時間が長くなり一定時間を超えると、黒鉛の異常成長により一旦丸くなった黒鉛の丸さが崩れ始め、黒鉛球状化率が低下する。黒鉛球状化率を向上させるためには、この共晶時間を一定時間内にすることが必要である。

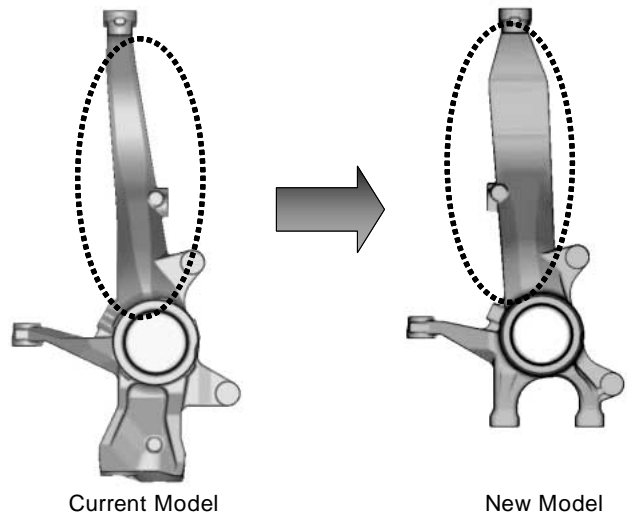


Fig.2 Product Shape Comparison



Fig.3 Shrinkage Form Section & CT Scanner Image

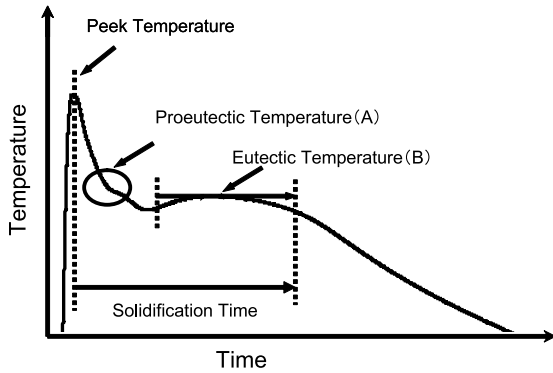


Fig.4 Cooling Curve Image

Process	Function	Primary cause	
Molding	Mold down material and optimize metal temperature in channel preparation	Mold down material Material selection	First to the melting Inventive clearance
Pouring	Match the metal level at constant temperature, and pour at a suitable rate	Keeping precise amount of molten metal Prevent temperature drop	Keep the level high Keep the metal solid Control the flow...
		Prevent gas entrainment of molten metal	Prevent molten metal
		Prevent a molten metal (at a constant speed)	Divide the Gate!
Cooling	Stabilize molten metal and cooling	Stabilization start after filling of molten metal	Keep the position in Preventing heat out Preventing heat in Divide heat output
			Keep the filling time Maximize molten metal Keep heat radiation Divide heat output
			Keep the cooling rate constant Divide heat output
Shake-Out	Separate products and gating system from molten metal	Sand stripping	Prevent sand damage
Treatment	Separate products from resin gas	Resin bonding	Use of moisture Portability position

Fig.7 Function Development

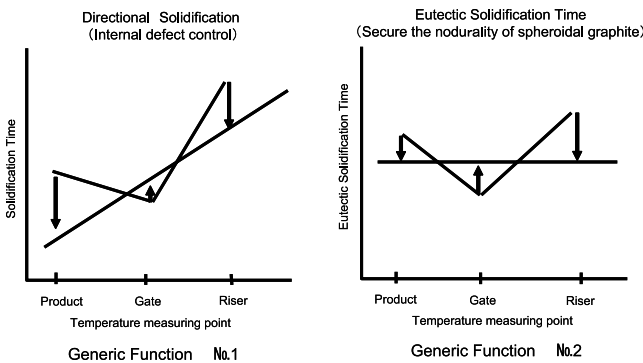


Fig.5 Generic Function

3. 品質工学を用いた実験

3.1 引け巢の抑制の基本機能

引け巢の評価方法として前述の指向性凝固を用い、製品・堰・押し湯の順で凝固すればよいので、各部位の最高到達温度から凝固完了までの凝固時間を比較した。これをFig.5の基本機能No.1とし、標準SN比で解析した。

3.2 黒鉛球状化率安定の基本機能

一般的に製品内で最も黒鉛球状化率が低くなる部位は、凝固が遅れる堰前であるが、今回は網羅的な評価を行うため、堰前を含む各部位の温度平衡時間を比較し、Fig.5の基本機能No.2として望小特性のSN比で解析した。

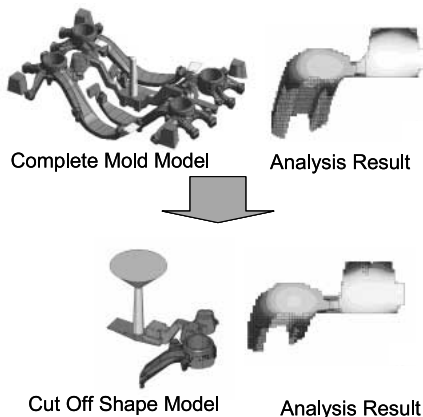


Fig.6 Analysis Model Study

3.3 実験方法の改善

今回の最適設計を実施するにあたり、凝固解析ソフトMAGMAを用いたCAEによる実験を実施した。また、フルモデルでは解析時間が18時間/条件もかかり、解析は数十回行うことになるので、この解析時間を短くするため簡易モデルの検討を行った。

1回の鋳造で4個の製品が取れる中で、引け巢・球状化に最も条件が悪い製品のみとした。また、前モデルを含め今までの解析を行った解析結果と実体評価結果から、共晶凝固完了までの時間が300秒以下の部位では引け巢の発生が見られなかったため、凝固時間が300秒以下の部位を除いた。以上のことから、フルモデルと同等の解析結果が確認できたFig.6の形状を簡易モデルとして採用した。これにより解析時間は、18時間から3時間となり83%減少した。

3.4 制御因子と水準

制御因子の選定は、有効な制御因子とするため、鋳鉄部品生産工程の機能展開 (Fig.7) を行い、Table 1に示す8因子を選定した。また、誤差因子は、製品の凝固に影響が大きく、量産ラインにおいてもバラツキが大きい注湯重量とした。制御因子に関しては引け巢と黒鉛球状化率に有効な水準を決定するため、テストピース及び前モデルによる検証を行った。

代表例として、Fig.8, 9に制御因子と引け巢・黒鉛球状化率との関係を、Fig.10に制御因子と引け巢の関係を示す。Fig.8, 9は前モデルを用いたテスト結果でFig.10は製品形状を想定し、肉厚変動が大きなテストピースを用いたテスト結果である。

Fig.8の堰位置と引け巢・黒鉛球状化率は、堰位置が製品厚肉部に近い程、引け巢量は少なくなり押し湯への指向性凝固が顕著になった。一方、黒鉛球状化率には差は見られなかった。

Fig.9の堰断面積と引け巢・黒鉛球状化率は、堰断面積が大きくなれば、押し湯への指向性凝固が顕著になり、引け巢量は少なくなった。また、黒鉛球状化率は断面積の大

きい方が、若干低下の傾向を示した。

Fig.10は溶湯成分のCE値 (C%+1/3Si%) と引け巢の関係を調査した結果である。CE値が高い程凝固時の黒鉛化が促進され、黒鉛の晶出により引け巢量が少なくなっている。これは、基地部の凝固による体積収縮を黒鉛の晶出による体積膨張で補ったためと考えられる。

Table 1 Control Factor

No.	Control Factor	1	2	3
A	Bearing Shape (Gate Shape)	Rectangle	Square	
B	Upper Arm Shape (Gate Position)	Upper Arm Shape	Root of Upper Arm	Bearing
C	Caliper Shape (Gate cross-sectional area)	Narrow	Middle	Wide
D	Riser Height	Low	Middle	High
E	Riser Position	Near	Middle	Far
F	Carbon Equivalent	Low	Middle	High
G	Riser Width	Low	Middle	High
H	Molten Metal Temperature	Low	Middle	High

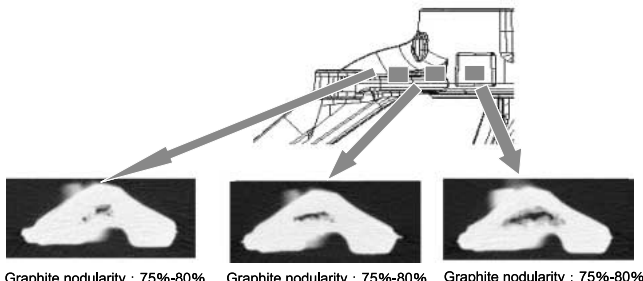


Fig.8 Gate Position Shrinkage Cavity and Graphite Nodularity

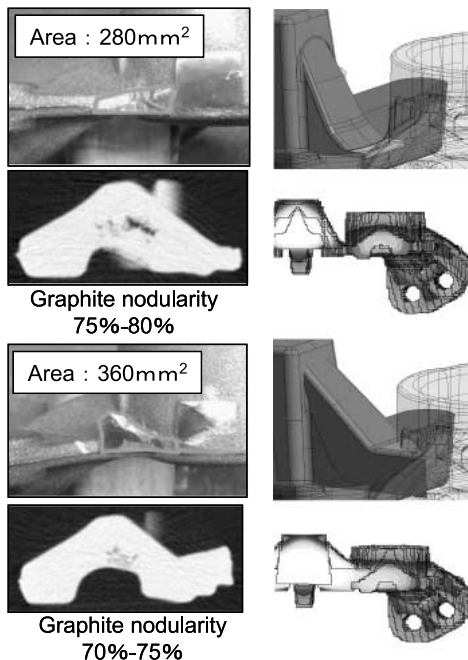


Fig.9 Gate Cross-Sectional Area, Shrinkage Cavity and Graphite Nodularity

4. 実験結果

4.1 データの解析

基本機能No.1については、標準条件N0における堰位置を信号として標準SN比の計算を行った。基本機能No.2は、3つの誤差条件下における測定部位でのデータを求め、望小特性のSN比を算出した。

4.2 最適条件の選定

得られた要因効果図 (Fig.11) から、製品に要求される機能を考慮し、最適条件を選定した。因子Bのアーム形状 (堰位置) は、従来の引け対策 (厚肉部に堰を設ける) で行われているように、大きな効果を示している。因子Eの押し湯位置は、製品と押し湯の距離を振らせた因子であり、押し湯位置が近い程引け巢に対する効果が大きい。

初期条件と最適条件をTable 2に示す。

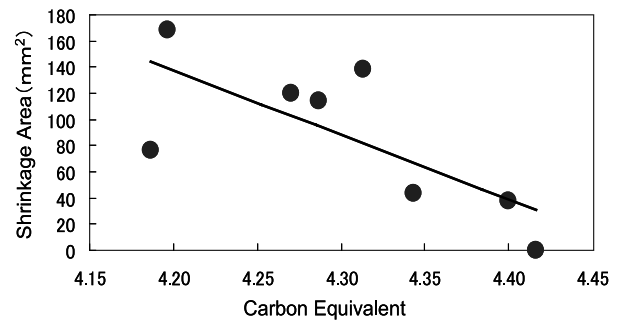
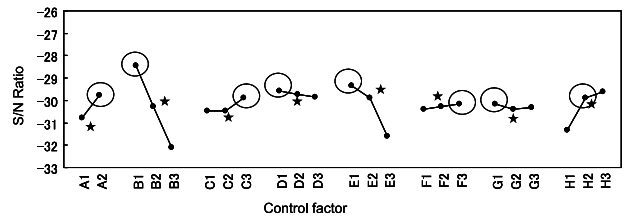


Fig.10 Relationship between Carbon Equivalent and Shrinkage Area

Generic Function No.1 ○ : Optimum Condition ★ : Initial Condition



Generic Function No.2

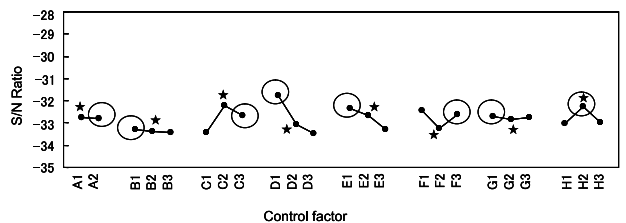


Fig.11 Graph of Factorial Effects

Table 2 Initial Condition and Optimum Condition

Optimum Condition	A2B1C3D1E1F3G1H2
Initial Condition	A1B2C2D2E2F2G2H2

Table 3 Gain Estimation

Generic Function No.1 (db)			
	Optimum Condition	Initial Condition	Gain
Estimated Quantity	-25.4	-29.7	4.4
Effect Confirmation	-23.9	-28.5	4.6

Generic Function No.2 (db)			
	Optimum Condition	Initial Condition	Gain
Estimated Quantity	-30.3	-33.1	2.7
Effect Confirmation	-31.5	-33.9	2.4

4.3 利得の推定及び確認テスト結果

利得の推定と確認テストの結果をTable 3に示す。利得の再現性も良く、十分な利得も得られており改善の方向は確認できた。

初期条件と最適条件の確認テスト結果をFig.12に示す。基本機能No.1については、右肩上がりの指向性凝固が得られ、誤差によるバラツキも小さくなった。基本機能No.2についても、各部位の共晶時間の差やバラツキは、一定時間内になることが確認できた。今回は、SN比の最適条件のみで良好な結果が得られたので、感度の合わせこみは行わないこととした。

4.4 実体での確認テスト

今回得られた最適条件を金型設計及び工程設計に織り込み実体部品による評価を実施した。引け巣の結果をFig.13に示す。引け巣の確認は、網羅性を高めるため切断による確認ではなく、CT撮像による連続撮像で評価した。その結果、引け巣は全ての部位において確認されなかった。また、黒鉛球状化率においても全ての部位で規格を満足し、問題ないことが確認できた。以上より、今回得られた条件及び結果を開発部門へ情報開示し製品形状へ織り込むため検討を依頼し、車両に組み込まれたときの他部品への干渉及び製品実体強度の検証を行った。最終的に開発部門より提示された製品設計図に基づき、金型仕様へ織り込み、以前のような実体品質確認後の金型修正(手戻り)を防いだ。

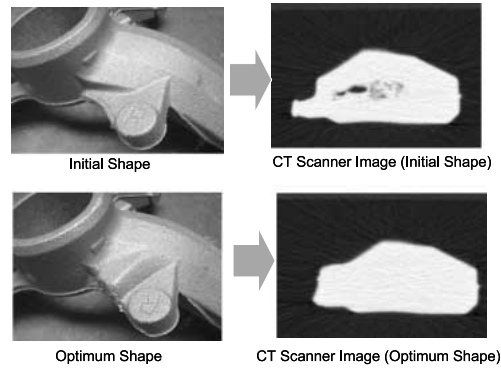


Fig.13 CT Scanner Image on Initial Condition vs Optimum Condition Check Report

5. まとめ

前述の品質系対策活動を、開発段階に開発/工場とのコンカレント活動として実施した。そのポイントは以下の通りである。

- ・ 開発段階での量産工程FMEAの実施と開発/工場との情報交換
- ・ 基礎実験、前モデルでのデータの蓄積
- ・ CAEへのデータのフィードバックによる確率の高い予測と情報開示

上記を確実に実施したことにより量産準備期間短縮が可能となった。今回量産準備期間は従来比25%減となり当初の目標が達成できた。また品質上の問題であった、引け巣・黒鉛球状化率も満足できる最適設計が実現できた。更にこの活動の中で、製品形状の変更が必要となった部位も、製品機能開発の段階で織り込むことで、機能の再評価という手戻りを未然に防ぐこともできた。

今後も新規鋳鉄部品の開発に、この評価プロセスを取り入れ、量産準備プロセスにおける製品品質の向上と量産準備期間の短縮を推進する。

参考文献

- (1) 椎野ほか：カムシャフト鋳造条件の最適化 品質工学, Vol.9, No.4, p.68-73 (2001)
- (2) 小島：CAEによる薄物Mg鋳造法の最適化, 品質工学, Vol.11, No.4, p.44-50 (2003)

著者



黒谷真司

佐川述史

竹村幸司

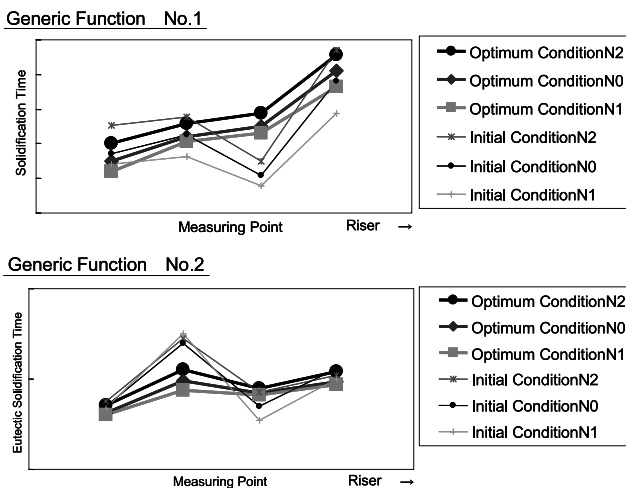


Fig.12 Check Report

論文・解説

33

プレス部品の初物外観品質向上への取り組み Improvement in Appearance Quality of First Stamping Parts

酒井 明*¹ 片桐 泰伸*²
Akira Sakai Yasunobu Katagiri

要 約

近年、新車開発競争が激化する中、プレス領域では更なる量産準備期間の短縮や低投資化の実現、ならびに品質の向上に向け、重要課題の一つであるプレス部品の初物外観品質向上に取り組んでいる。

本稿では、外観品質不具合の中でも特に苦慮している面歪みについて、どの車種でも安定的な品質が保証できる成形方案の確立を狙い、フロントフェンダのタイヤアーチ部に発生する面歪みについて、品質工学とCAEを用いた成形方案の適正化への取り組み事例について紹介する。

Summary

In recent years, new car development competition is intensifying. To achieve the shortening of a mass-production preparation period, cost reduction, and improvement in quality further, we are working to improve the appearance quality of first stamping parts.

In this paper, It is introduced the example which optimized die design by utilizing quality engineering and CAE for the purpose of realization of robustness to the distortion in front fender panel.

1. はじめに

自動車業界は新車開発競争の激化により、量産準備期間短縮、投資削減、品質向上は重要かつ急務な課題である。その中で、プレス領域はこれまで割れ、しわといった成形問題をCAE等の事前検証技術の確立により量産準備期間の短縮や投資削減などの成果を上げてきた。

しかし、面歪みや線ズレ・ショックラインなど外観品質不具合は、金型製作後の調整にたよっている。このような調整作業をなくし“金型製作後一発OK”となる金型づくりを目指して、デザイン形状の制約の中で、量産現場のさまざまなバラツキに強い金型の設計に取り組んでいる。

本稿では、フロントフェンダのタイヤアーチ部で初物パネルに毎車種発生する面歪みという不具合に対して、品質工学とCAE技術を活用し課題解決に取り組んだ事例を紹介する。

2. プレス部品における面歪みの現状

Fig.1にプレス部品における面歪みの例を示す。

面歪みは、成形後に数10 μ mレベルの微細な形状変化により車の外板面が凸凹に見える外観品質不具合であり、塗装前の状態では、熟練者でなければ見落としてしまうほどである。更に、材料物性値の変化などにも影響される非常に繊細な不具合現象である。金型製作後に発生した面歪みは、デザイン形状の制約や割れ、しわなど成形不具合への影響を考慮しながら、金型の調整を繰り返し対策している。

このような面歪みの中には、熟練技能者による微妙な調整によって、量産間近まで対策を要する場合もある。

以上のことから、金型設計段階でデザイン形状などの形状因子やしわ押さえ力などの成形条件、ならびに量産現場での変動などを考慮し、数10 μ mレベルの品質を安定的に保証できる成形方案を立案することが急務である。

*1, 2 車体技術部
Body Production Engineering Dept.

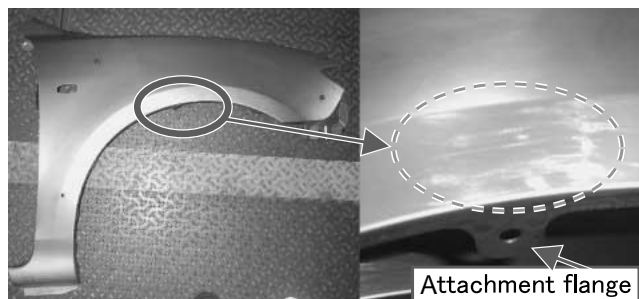


Fig.1 Surface Distortion of Stamping Parts

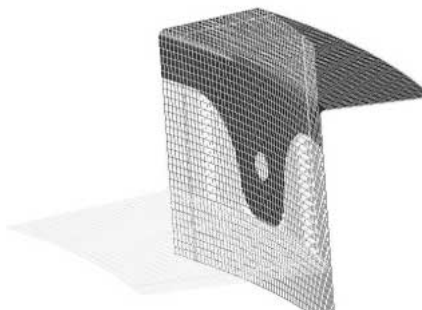


Fig.3 Verification Model

3. 品質工学を活用したプレス成形方案の最適化

3.1 曲げ加工における理想機能

Fig.1に示すように、フロントフェンダのタイヤアーチ部には、マットガード取り付けフランジ（以下、取り付けフランジ）が設置されている。今回対象とした面歪みは、外板面の材料の伸び縮みが、成形過程で一様で、かつその量も小さいことがよりよいと考えた。

そこで理想的な曲げ加工を、①各測定部位による曲げ成形過程における伸び縮みの変化量が均一、②曲げ成形過程で伸び縮み変化が小さいことと定義した。これに基づき、成形ストロークに対して出力（伸び縮み）が一定である静特性を理想機能とした。Fig.2にその関係を示す。

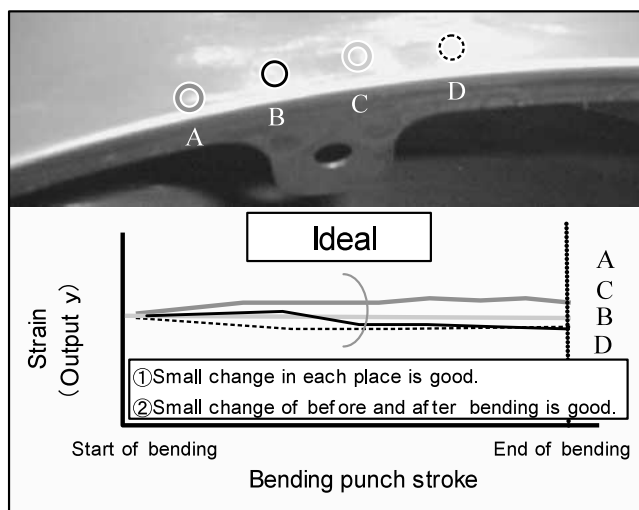


Fig.2 Generic Function

実験には成形シミュレーションを用いた。理由は、さまざまな条件やモデルが容易に設定できること、実機では困難な、成形過程での微量な伸び縮みの変化量を容易に測定できることなどである。また、実成形結果が再現でき、かつ計算時間が短縮できるよう、被加工物である材料の要素（メッシュ）サイズを製品形状の再現性を損なわない範囲で適性化した（Fig.3）。

3.2 理想機能の妥当性検証

曲げ加工における理想機能の妥当性を確認するため、面歪みが発生しないモデル（フランジ長さ一定）と、面歪みが発生するモデル（取り付けフランジあり）の二つのモデルで実験した。モデル形状と測定部位は、Fig.4の通りで、フランジ形状以外は同一条件とした。

Fig.5のように、面歪みが発生しないモデルでは、各測定部位と曲げ成形過程ともに、伸び縮みの変化量が均一で小さく理想的な状態となっている。一方、面歪みが発生するモデルでは、部位によるバラツキと変化量が大きくなっている。これらの結果から、面歪みの発生条件の違いをよく捉えており、妥当であると判断した。

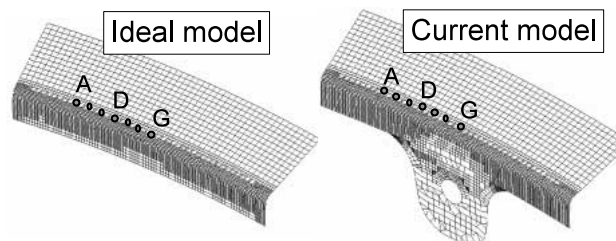


Fig.4 Measurement Position

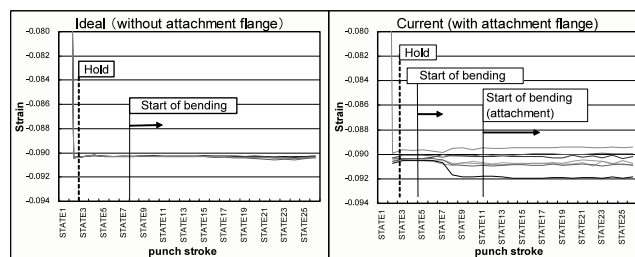


Fig.5 Result of Confirmation Run

3.3 制御因子および水準の設定

曲げ成形後に面歪みが発生する要因としては、曲げ工程単独の要因だけではないため、前工程の伸び（Fig.6）などの、プレス成形の全工程（絞り トリム 曲げ）を対象に、面歪みの発生に影響する因子を抽出した。今回設定した制御因子と水準をTable 1に示す。

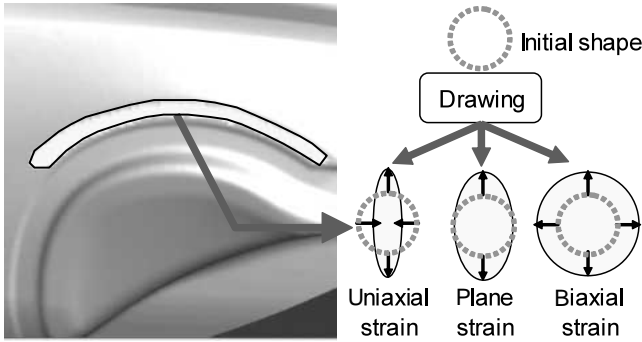


Fig.6 Strain of Previous Process

Table 1 Control Factor and Level

	Control factor	Level 1	Level 2	Level 3
A	Over-draw (previous process)	With Over-draw	Without Over-draw	
B	Sectional form of Bend Punch	TYPE A	TYPE B	TYPE C
C	Pad pressure condition	Standard value ×0.5	Standard value	Standard value ×2
D	Strain of the previous process	Biaxial strain	Plane strain	Uniaxial strain
E	Sectional form of Panle (previous process)	Deep	Shallow	Flat
F	Shape of attachment flange	TYPE A	TYPE B	TYPE C
G	Timing gap of Bend Punch (shape)	TYPE A	TYPE B	TYPE C
H	Timing gap of Bend Punch (value)	Maximum	Medium	Minimum

3.4 誤差因子の設定

誤差因子は、どの車種でも安定的な品質を保証できるように、Fig.7のデザイン形状（タイヤアーチ形状）や製品設計要件（板厚，材質，フランジ長さ左右非対称差）を織り込んだ。

これら4因子を調合し、N1（誤差最小）/ N2（誤差最大）に割り付けた（Table 2）

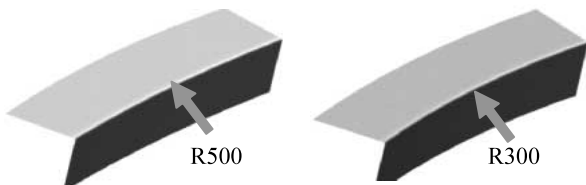


Fig.7 Example of Noise Factor (Shape of Design R)

Table 2 Noise Factor

Noise factor	Noise min: N1	Noise max: N2
Design R (plane)	R500	R300
Thickness	0.8mm	0.5mm
Material	Mild steel	High strength steel
Asymmetric of flange length	none	50%

3.5 解析結果

SN比と感度の要因効果図をFig.8に示す。SN比については、高いほど誤差因子、および部位によるバラツキが少ないことになる。今回の結果より、要因C：パッド圧、要因D：前工程の予歪み、要因F：取り付けフランジ形状、要因G：曲げパンチのタイミング差（形状）、要因H：曲げパンチのタイミング差（量）がバラツキに大きく影響していることがわかった。

感度については、低いほど成形過程で変化が少ないことになる。今回の結果より、要因B：先行パンチ、要因F：取り付けフランジ形状、要因H：曲げパンチのタイミング差（量）が感度に大きく影響していることがわかった。以上の結果から、SN比を高くし、感度を下げる最適条件は、 $A_2, B_1, C_3, D_1, E_2, F_1, G_1$ および H_3 となる。

3.6 確認実験

最適条件における利得の推定値の妥当性を確認するために、確認実験をシミュレーションで行った（Fig.9）

利得の推定と確認結果はTable 3の通りで、SN比の利得は、推定値6.5dbに対して7.57db、感度の利得は、推定値-8.77dbに対して-10.15dbと良い一致を示した。これらの結果から、効果と再現性ともに確認できた。

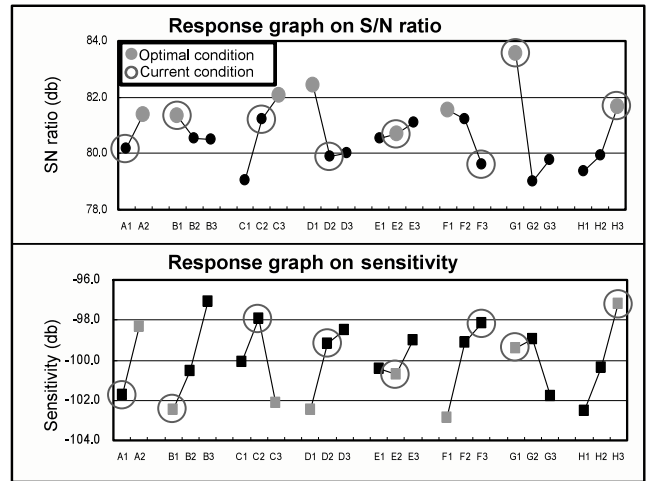


Fig.8 Response Graph

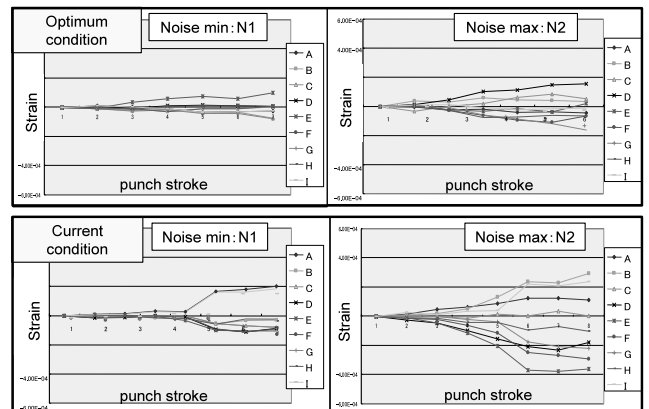


Fig.9 Result of Confirmation Run

Table 3 Comparison of Estimated Gain and Experiment Result

	S/N ratio(db)		Sensitivity(db)	
	Prediction	Confirmation	Prediction	Confirmation
Optimum condition	89.64	86.21	-105.29	-103.48
Current condition	83.14	78.64	-96.52	-93.33
Gain	6.50	7.57	-8.77	-10.15

4. 実成形部品における効果の確認

本活動と同時期に開発中であった車種において、フロントフェンダのタイヤアーチ部の曲げ成形部は、従来方法の経験に頼った金型設計を行っていたため、金型製作後、面歪みが発生した。そこで不具合対策に本活動結果を織り込み、実成形部品における効果の確認を試みた。

曲げ成形後の結果をFig.10に示す。この結果より、面歪みはなくなり、本活動の結果が実成形部品においても有効であることを確認することができた。

更に、設計段階の別の車種において、本活動で適正化した成形方案を織り込み、成形シミュレーションにて問題のないことを確認した。これらの結果を踏まえて金型を製作し、実際のパネルにおいても面歪みが発生しないことを確認した。

以上のことから、今後の車種開発において、曲げ加工に適正な製品形状とするために生産要件書を作成するとともに、金型設計標準に織り込んだ。これにより、業務プロセスによる歯止めを行った。

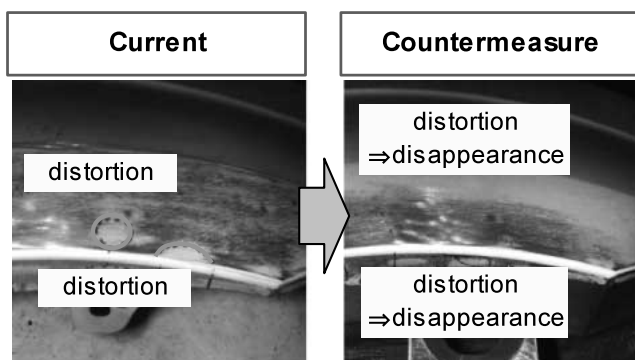


Fig.10 Result of Measures (After Bending)

5. おわりに

本稿では、フロントフェンダタイヤアーチ部の曲げ成形時に発生する面歪みをターゲットに、品質工学を活用した成形方案の適正化に取り組んだ事例を紹介した。

今回の取り組みのポイントは、不具合の発生を事前に予測できるCAE技術と、安定的な品質が保証できる設計パラ

メータを導く品質工学のアプローチを融合させたことである。これにより、非常に微細な不具合であるがゆえに、これまでに予測および対策が困難であった外観品質問題に対して、設計段階で適正な条件にすることにより、事前検証なしで良品が取得できる業務プロセスへ変革することができた。

今後、現在抱えているさまざまなネックエンジニアリングに本活動を水平展開し、“金型製作後一発OK”となる量産準備プロセスの構築に向けて邁進していく。

著者



酒井 明



片桐泰伸

論文・解説

34

プライマ塗布品質保証技術の開発 Development of Window Glass Primer Applying Quality in Process

木村美昭^{*1} 菅康之^{*2} 鈴木尚文^{*3}
Yoshiaki Kimura Yasuyuki Kan Naofumi Suzuki
和泉昭雄^{*4} 美本和彦^{*5}
Akio Izumi Kazuhiko Mimoto

要約

車両組立領域では、自工程で品質を造り込み、高いレベルで精度維持することを目指した工程内品質保証活動を進めている。その活動の中で、工程内の品質レベルを定量的に捉えることは、品質向上に取り組む上で特に重要となる。組立領域には、締付、嵌め込み、接着、充填といった作業分類があり、その中で接着剤の塗布管理は作業者の目視検査に頼っており、特にガラスへのプライマ塗布工程では、目視での検査も難しく、これまでも自動検査装置を導入してきたが、タクトやスペースの制約から部分的な運用に留まっていた。そこで、ガラス全周の塗布状態をインラインで測定し、塗布状態を識別判定する技術開発に取り組んだ。これは、プライマを塗布しながら塗布面にレーザ光を照射し、その反射光濃度を測定するもので、その波形の特徴によって良否判定を行い、後工程への不具合流出を防止するものである。本稿では、この技術開発内容を紹介する。

Summary

We proceed with activity of "the In-process quality assurance system" for stable quality. In these activities, the inspection technology for quantifying quality is one of the most important problems. As for the element work of assembling such as fastening, mounting, adhesion and filling, it is needed quality assurance. However, adhesion quality assurance depends on visual inspection mostly. Therefore quantification of quality is difficult. And automatic inspection machines are not applied positively to an adhesion process by the limitation of time and space. We developed the measuring system to quantify application quality of a primer that applied on all around the windshield glass. For this system, we can stabilize a quality by analyzing a tendency and an effect to the problem. We introduce the content of development and an instance of introduction to the factory of UJINA.

1. はじめに

マツダは顧客満足度向上を目指し、品質向上に取り組んでいる。その中で車両組立領域では、自工程での品質造り込みを目指した工程内品質保証活動を行っている。多くの品質保証項目の中で、ウインドガラスの接着工程では、ガラスへのプライマの塗布状態の良否が、接着強度、水漏れ防止を保証するために非常に重要である。そこで、自工程での品質保証を目指して、塗布時のプライマ塗布の状態を瞬時に計測する技術を開発した。これは、プライマを塗布しながらガラス全周の塗布状態を計測し、記録するものである。このシステムにより、後工程への不具合流出防止を

図るとともに、工程のネックとなるバラツキを定量的に把握、分析して品質向上に取り組む。本稿では、このシステムの開発内容と本社工場の組立ラインの適用事例を紹介する。

2. 開発のねらい

2.1 プライマ塗布について

ウインドガラスをボデーへ接着するため、Fig.1のようにガラスの周囲にはプライマ材が塗布され、その上にウレタンが塗布される。車両のデザインによってガラスの形状は大きく異なり、三次元曲面の複雑な形状であるため、図面に指定された軌跡にプライマを一定幅で塗布するのは熟練を要する作業となる。そこで、品質安定化のために以前

*1~5 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

からプライマ塗布の自動化を進めてきた。

しかし、プライマの塗布状態のチェックは主に作業者の目視確認となっている。また、Fig.2のようにガラス表面には黒色セラミック層があり、これを背景に同色のプライマの塗布状態を細かに確認するのは熟練を要する作業である。そのため、全数シャワーテストを実施して車両品質を検査し、出荷保証しているが、水漏れが発生した場合には手直し費用・工数が必要となりロスコストの発生に繋がっている。

2.2 これまでの取り組みと課題

プライマの塗布品質を保証するため、これまでも塗布状態を自動チェックする装置を導入してきた。その方法は、後工程流出防止を目指したもので、レーザ光電センサや、画像パターン認識による方法である。しかし、運用条件の狭さや、処理時間の制約でいずれもガラスの部分的な領域しか検出できないという問題があった。プライマの塗布不具合は、塗布軌跡のどこに発生するか不確定で、ガラス全周をもれなく測定することが課題であった。

3. 装置開発内容

3.1 プライマ全周検出の計測特性の候補選択

プライマの塗布品質を精度よく安定して判定するためには、どの物理特性を計測すべきか、基礎実験で検証を行った。その結果をTable 1に示す。

この結果、残念ながら市販測定器ではプライマを安定して検出ができるものがなかった。しかし、Table 1の項目

「①膜厚」のA社のレーザ変位センサにおいて、レーザ光の濃度分布の中心を検出する機能に着目した。

この機能がない場合、ワーク表面の艶の変化によってレーザ反射光の強度が変化し、レーザ反射部の大きさや反射状態が変化して測定の基準となるレーザ光の発光部の中心と違う部分を抽出してしまい、距離の誤測定を起こしてしまう。しかしこのセンサはレーザ光の濃度分布の中心を検出することによって、ワーク表面の艶状態に影響されず、高速で安定した距離計測をすることができる。

Fig.3は向かって左にセラミック面、右にプライマを塗布した状態でのレーザ光反射濃度画像を表している。この図で、セラミックのレーザ光反射画像は、発光部と背景の境がぼやけ、発光部の線幅は太くなる。

一方、プライマのレーザ光反射画像では、発光部と背景の境界は鮮明で、発光部の線幅は細くなる。このような見え方の違いをFig.4のグラフに示す。縦／横軸はそれぞれ濃度およびピクセル値である。セラミックのレーザ光反射画像の濃度分布は背景からの濃度差が緩やかで裾野が広い。またプライマのレーザ光反射画像の濃度分布は、背景からの濃度が急激に立ち上がり発光部の幅が狭い。このよ

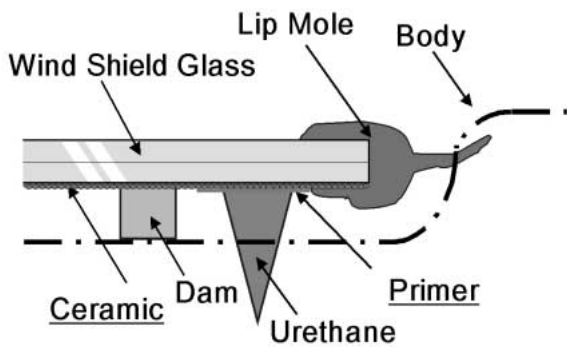


Fig.1 Glass Adhesion Structure

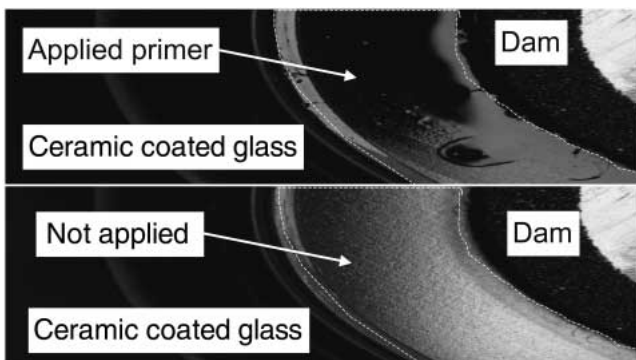


Fig.2 Difference of Surface

Table 1 Comparison of Measurement Method

evaluation item	maker	measuring instrument	detection result	Evaluation
① application primer thickness	A	Laser displacement sensor	No good	No good
② application primer thickness	B	Laser displacement sensor	No good	No good
③ density of image	C	Laser photoelectric sensor	No good	No good
④ color image	D	RGB sensor	No good	No good
⑤ Temperature	E	Thermo pile sensor	No good	No good

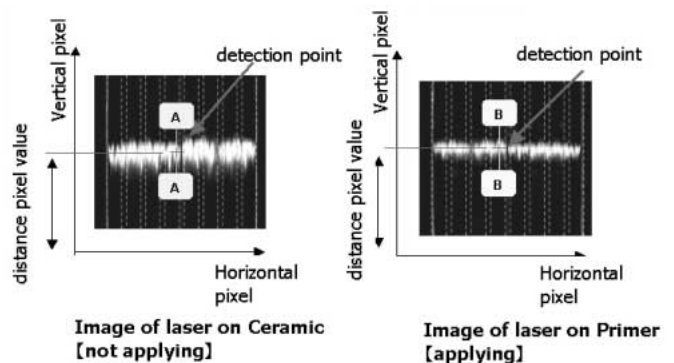


Fig.3 Difference of Image of Reflection

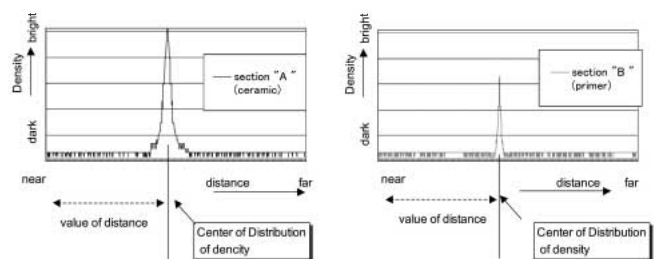


Fig.4 Difference of Laser Reflection

うな濃度分布の違いは、表面の反射状態が違うことに起因する。

ウインドガラスのプライマ塗布部の表面はセラミック粒子に覆われており細かい凹凸がある。このような微小な凹凸の表面にレーザ光を照射すると、レーザ光はFig.5内の左図のように拡散反射の状態になる。またセラミックにプライマを塗布した場合は、セラミック粒子の凸凹がプライマ液で満たされ、鏡面のような平滑面に変化し、レーザ光はFig.5の右図のように正反射の状態になる。この特性を利用して反射濃度の特性のうち、Fig.6で示すように、レーザ反射部の「濃度総和」をプライマ塗布の計測特性に採用することにした。

しかし、基礎実験においてレーザ光の反射光量で測定する方法は、レーザ光の距離や角度のパラツキで、反射濃度や反射の部の大きさなどが変化してしまい、表面粗さ起因による明るさの変化なのかどうか、判別が困難であることがわかった。そのため反射濃度を計測特性にする条件として、レーザ光の距離や角度のパラツキへの対応機能が新たに必要であることがわかった。

3.2 プライマ全周検出の測定器開発

プライマ品質保証での測定技術開発で、最も重視した点が次の二つである。一つは、処理時間である。処理時間が短いほどプライマ測定間隔が短縮でき、局所的な刷毛のかすれ現象等を検出するのに有利である。もう一つは信頼性の確保である。量産での突発的な不具合を確実に捉えるには、量産の様々なパラツキ環境で安定した検出能力を維持することが絶対条件である。これらのことを考慮して次のような開発機能考えた。

- 必要機能①；高速での濃度情報の抽出機能
- 必要機能②；位置・角度バラツキに強いレーザ光
- 必要機能③；全周塗布データの欠陥判定機能

上記必要機能項目①について、濃度情報の測定器の候補をTable 2に示すように複数あげ、候補の選定を行った。

高速性を重視した場合、A社のレーザ変位センサが最も高速である。しかし、濃度情報を持っていても、外部へ出力ができない。そこで外部出力機能を付加した新しいレーザ変位センサをメーカーと協同開発し、これを候補とした。

次に必要機能項目②について、レーザ光の反射で不安定となる要因は、ワーク位置決めや距離バラツキなどが起因している。Fig.7およびFig.8に示すようにレーザ投光部とワークの距離や、角度などが変化すると、反射光の距離や角度も基準から変化し、そのために受光部の濃度が変化する。このようにスポットレーザ光は指向性が強く、位置や角度によって反射光の方向や強度が変化しやすい。このため、プライマ検出では、Fig.9のようなライン状のスリットレーザ光とした。これは反射光を受けやすくするように、レーザ光の面積を線状に増やし、塗布検出の評価を行うこととした。

Table 2 Measurement Evaluation Result List

maker	measurement method	Sampling time(msec)	Ability for detection	communication function	Evaluation
A	Laser displacement sensor	10	Good	Unavailable	Good
B	Vision sensor	30	Good	Available	Good
C	Laser displacement sensor	30	No good	Unavailable	No good
D	Vision sensor	120	Good	Available	No good
E	Vision sensor	78	Good	Available	No good

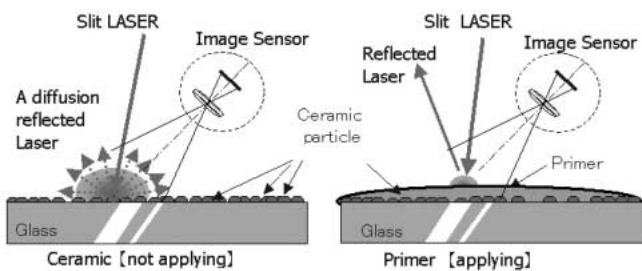


Fig.5 Optical Reflection Models

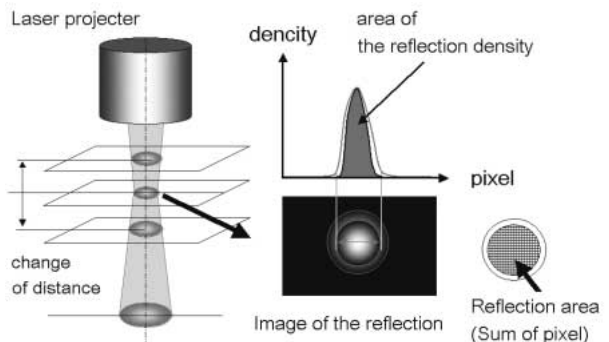


Fig.7 Size of Reflection Depends on Work Distance

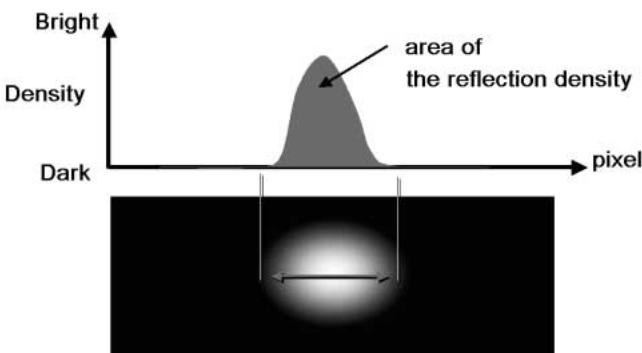


Fig.6 Measurement Characteristic

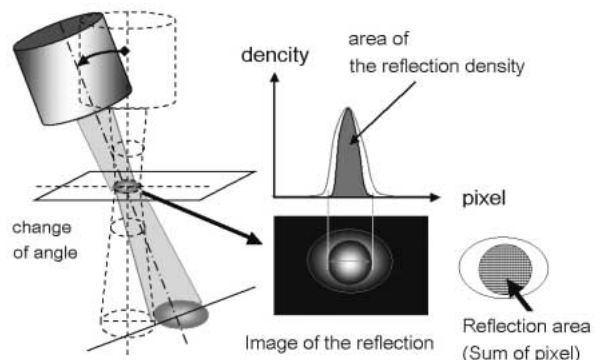


Fig.8 Shape of Reflection Depends on Laser Projection Angle

次に必要機能③の全周塗布データの欠陥判定機能については、通常はセンサが取得したデータを、センサ内部にあらかじめ設定した任意の閾値によって良否判定を行う。ガラス全周塗布では、莫大な数のデータをノイズ除去し、データ群の特徴から不具合現象を判定する機能が必要である。

特に、ガラスのピラーやコーナの部位では、微妙に異なる波形データが得られ、センサの判定機能では、全領域で一律の閾値で処理するので、ピラーやコーナ部を両立させた安定検出ができない。そこで、ガラス全周の波形データを精度よく判定させるために、内製開発した波形判定処理システムで判定を行うことにした。

これは波形データを任意数の区間に分割し、その区間内に含まれるデータの特徴（生データ値、移動平均値、FFT変換値、区間平均値、区間分散値）を使い、各区間で設定した閾値と比較し、判定を行うもので、異常検出時には外部とのインターロックにより、後工程の作業員へ警報で知らせる。このようなシステムをプライマ塗布工程で実用化するため、実際に塗布を行い、判定に必要なロジックやノイズフィルタなどの機能を抽出し、対応する処理機能を織り込んだ。

3.3 プライマ全周測定テスト概要

ライン導入に向けた課題を明確にして、対策を打っていくため、実際の使用状態での計測実力を確認するため、Fig.10のような異常判定システムを実験棟に入れ、評価テストを進めた。このシステムの構成は大きく検出部、判定部、表示部で構成されている。

またFig.11のように、複数車種に対応したガラス位置決め装置や、プライマ吐出ポンプ、ロボットハンドに塗布刷毛を設置した。レーザの反射光の濃度総和を測定するセンサはFig.12のように刷毛から塗出した直後のプライマにレーザ光を照射し検出できる位置に装着した。このように量産工程を模擬的につくった環境で、複数車種のガラスを用いてプライマ塗布しながら測定テストを行った。

3.4 プライマ塗布全周測定テスト

量産工程では、Fig.13のような様々なバラツキ要因があり、これらが変化することによって検出に影響を及ぼすこ

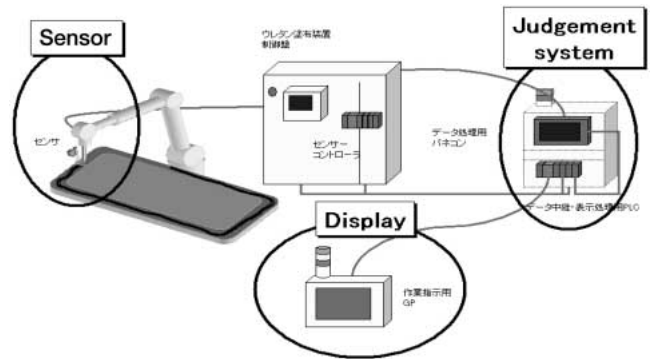


Fig.10 Judgment System Constitution

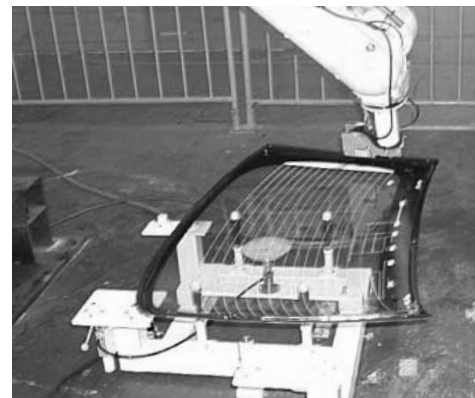


Fig.11 Primer Application Detection Experimental Device

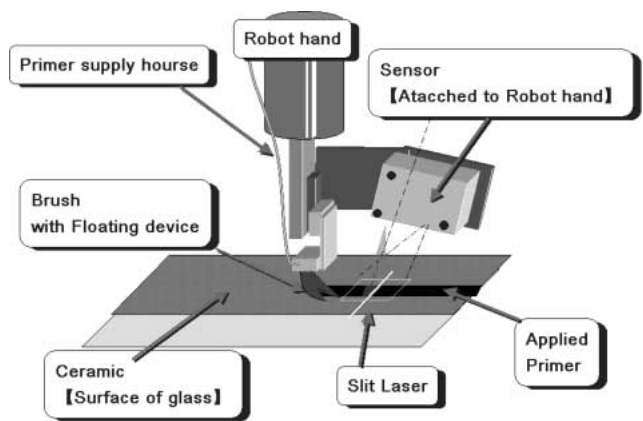


Fig.12 Attachment of a Sensor to a Primer Application Robot Hand

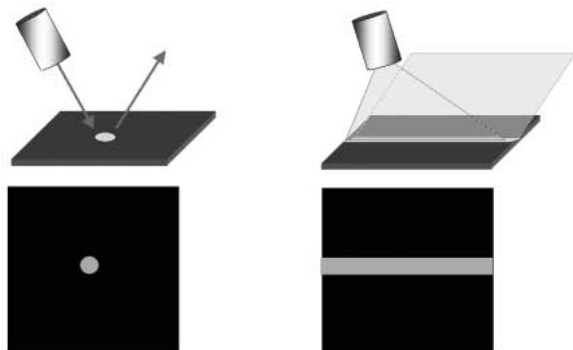
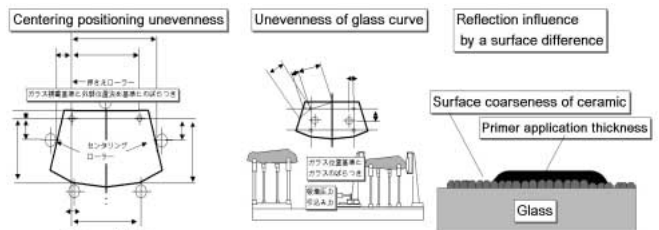


Fig.9 Pattern of Laser Projection



The repeatability of measurement by laser reflection
 The reflection influence by a position gap(X,Y,Z)
 The reflection influence by an angle gap(TX,TY,TZ)
 The reflection influence by vacuum absorption condition
 The reflection influence by a surface difference

Fig.13 Influence Factors to Ability for Detection

とが考えられる。そこで、位置決めバラツキや、ガラス自体の反り、ガラス真空吸着による反りの変化によって、プライマ塗布状態が、濃度総和測定によって安定的に検出できるかどうか実験を行った。

実験はプライマを吐出する場合と、プライマの供給ポンプを休止させた状態をつくり、塗布状態とかすれ状態を再現した。

Fig.14のグラフに検出テストの特徴的な一例を示す。グラフは縦軸に濃度総和値を、横軸は塗布開始から塗布終了の時間軸である。このグラフのように、プライマ塗布の波形は濃度総和値が小さい波形が得られ、一方のセラミックの波形は、濃度総和値が大きい波形が得られることを確認した。

このような波形の傾向が、各種のバラツキ要因が変化するとどうなるか、位置決め条件、ガラス吸着条件、生産ロットの違うガラスなどの条件を変えて濃度総和の再現性を検証した。

Fig.15のグラフは全ての実験の平均と±3 の上限下限値の波形である。縦軸に濃度総和値を、横軸は塗布開始から塗布終了の時間軸である。

実験の結果、バラツキ条件を変えても、反射表面の違いによって、プライマは正反射によって濃度総和値は小さい傾向が、またセラミックは拡散反射により濃度総和値が大きい傾向であると実験で確認できた。次にプライマとセラミックのそれぞれの濃度総和の波形で、波形判定システムが正しく判定ができるかどうか検証した。実験データから、波形データを複数区間に分け、各区間の平均値や分散値などの特徴量について、各々閾値を設定し、正常と異常を正しく検出できるかどうか検証を行った。

Fig.16はプライマを正常塗布した時のデータを、塗布正常と判定した時の画面である。塗布全周で異常がない状態を、波形上に青い点で表示した例である。

またFig.17は、プライマの吐出を止めて空塗り動作させた時の判定結果画面である。プライマ塗布異常と判定して波形上に赤い点を表示している例である。このような判定検出を、各種のバラツキ要因に対し実施し、更に全てのバラツキが最悪になる実験においても、安定した良否判定が確認できた。この実験の結果、プライマ塗布をレーザ光反射の濃度総和という代用特性で判定できる目途がたった。

4. 量産ラインへの導入対応

これらの活動の結果、基本的な検出、および判定機能の開発ができた。そして更に量産導入に向けて、データの抽出機能と、波形判定システムの不具合判定方法の造り込みを行った。

まずデータの抽出機能について、Fig.18はプライマ塗布面の濃度総和値を測定する領域を表す。この図の右は一つの領域を測定するものである。局所的な塗布異常が出た場合、領域内の一部の濃度が変化する。しかし、一つの領域

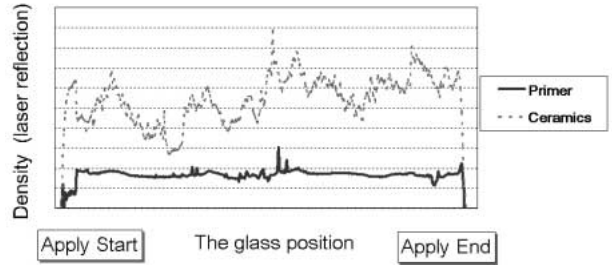


Fig.14 Difference of Laser Reflection

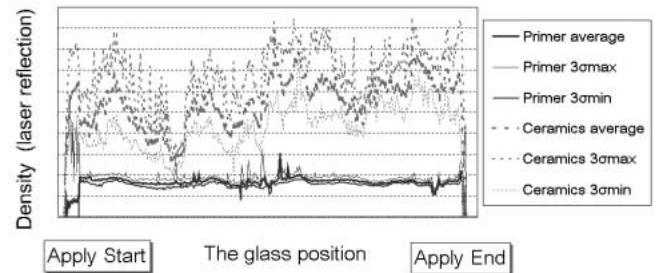


Fig.15 Difference of the Unevenness of Laser Reflection



Fig.16 Screenshot Showing the Sample of " Judgment OK "



Fig.17 Screenshot Showing the Sample of " Judgment NG "

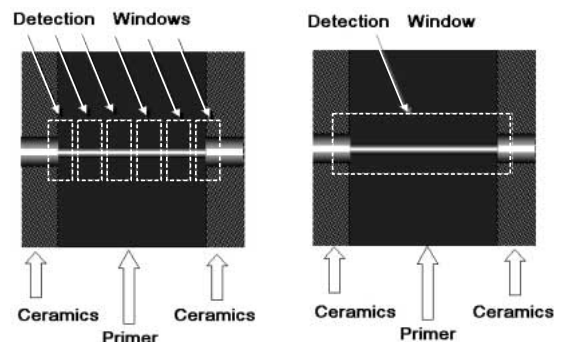


Fig.18 Difference of the Detection Method

での測定では、塗布幅全体で一つの濃度総和値しか抽出できないため、異常部位の特定できず、また異常部分が小さいと濃度総和値の変化も小さいため、不具合の安定的な検出は困難であると予想された。

そこで、Fig.18の左のように測定領域を細く複数に分割した。複数領域化によって、局所的な塗布異常であっても、領域単位で複数の濃度総和の抽出ができ、プライマの塗布幅の中で、どの部位がどれくらい変化したかが捉えられる。この領域の複数化によって通信データ数が増えるため、タクト内で処理できるように通信の高速化を併せて行った。

次に波形判定システムの不具合判定方法については、「プライマかすれ」や「吐出量大による垂れ」など不具合現象の識別ができるように、二段階に分けた判定処理とした。この判定処理の概念をFig.19に示す。

まず、ロボットでプライマを塗りながら、センサに設定した複数の測定領域でガラス全周の濃度総和値を得る。

次に、第一判定を、ガラスの部位に相当する区間単位で行う。この判定は、区間内に含まれるデータ群の平均値や分散値などの特徴量を用い、その値が良品の正規分布内かどうか、あらかじめ設定した閾値と比較して大小判定を行う。

次の第二判定では、一つの区間内で各領域の大小判定結果の組合せを抽出し、あらかじめ設定した「塗布状態別の組合せ」からと比較照合を行い、合致した組合せで塗布状態の識別を行う。この二段階の判定によって「塗布の均一さ」、「かすれムラ」、「垂れのはみ出し」など、大小判定だけでは困難な塗布状態の識別を行う。この一連の処理をガラス全周の各部位で行い、塗布状態の判定を行う。

5. 量産ラインへのテスト導入

開発したプライマ塗布検出装置機能を、量産使用条件での耐久性、および、測定データの信頼性をN増しで検証するため、工場側の協力のもと、組立ラインの既設のウインドガラスプライマ塗布装置へ本測定システムを導入している。導入に際して、塗布不具合発生要因分析につなげられるように、結果系であるプライマ全周計測センサに加え、要因系であるプライマ供給ポンプや、配管や開閉バルブに圧力センサを設置した。また塗布に使用する刷毛の交換信号や、プライマのパージ指令の実施時間も記録し、刷毛の寿命や交換頻度、またパージ回数などの要因系の情報を、結果系と紐付きで記録できるものとした。

6. 成果と今後の取り組み

今回開発した計測技術により、これまで不可能であったプライマの全周塗布検知が可能になった。本技術を活用して、まず、プライマかすれ、塗布量大による垂れ現象のような不具合を後工程に流出させないように、検出の信頼性を上げていくとともに、ポンプ運転状態や圧力状態等の各種の要因系のデータを分析し、この分析結果を工程管理基準や、設備設計基準に反映して、「後工程へ不良を流出させない」から不良を未然防止するロボスタな工程づくりにつなげ、常にお客様から信頼を得られる車づくりへ発展させたいと考えている。

参考文献

- (1) 菅ほか：接着剤塗布時の形状計測技術開発，マツダ技報，No.22，p.192-197（2004）

著者



木村美昭



菅 康之



鈴木尚文



和泉昭雄



美本和彦

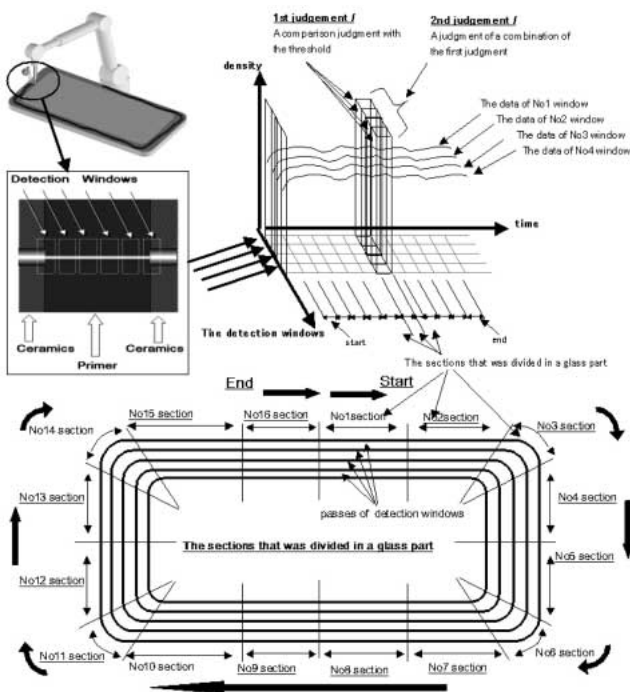


Fig.19 Judgment by Series Data of Reflection Density of All Around Glass

論文・解説

35

高仕上がりベース塗料の開発 Development of High Quality Appearance Basecoat

森 淳 哉*¹ 久保田 寛*² 重 永 勉*³ 山 根 貴 和*⁴
 Junya Mori Hiroshi Kubota Tsutomu Shigenaga Takakazu Yamane
 神 田 輝 夫*⁵ 大 関 武*⁶ 常 岡 辰 夫*⁸
 Teruo Kanda Takeshi Ohzeki Tatsuo Tsuneoka

要 約

近年、お客様の塗装仕上がり外観に対する要求が高まる中で、業界他社の塗装仕上がり外観の向上が進んでいる。そこで、マツダの標準塗装系である3ウェットオン塗装での外観品質の向上を目的として、塗装仕上がり外観に最も影響を与えるベース塗料の開発を行った。

本研究では、現行塗料での艶感・平滑性の形成メカニズムを明らかにし、それに基づいたベース塗料の改良を行うことにより、業界上位レベルの塗装仕上がり外観を達成することができた。本稿では、開発ベース塗料の技術内容や効果について報告する。

Summary

In recent years, appearance of other companies' cars has improved as customer demand for appearance has been increasing. To achieve improvement of appearance at three-layer wet paint that is Mazda's standard paint system, basecoat that has the biggest influence on appearance has been developed.

In this research, formation mechanism of current paint on gloss and smoothness was clarified, and high rank appearance in industry could be achieved by improving basecoat based on the mechanism. This paper reports technical contents and effects of newly developed basecoat.

1. はじめに

3ウェットオン塗装は、マツダが世界に先駆けて開発し、VOC（揮発性有機化合物）とCO₂の排出量低減に大きな効果をあげている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。一方で、お客様の塗装仕上がり外観に対する要求の高まりから⁽⁴⁾、3ウェットオン塗装での外観品質向上への取り組みも非常に重要なものとなっている。そこで本研究では、業界上位レベルの塗装仕上がり外観を達成するために、塗装仕上がり外観に最も影響を与えるベース塗料の開発とそれに合わせた中塗り塗料の最適化を行った。本稿では、塗装の艶感・平滑性の形成メカニズムに基づいた塗装仕上がり外観の改善手法やその効果について報告する。

2. 塗装仕上がり外観の評価方法

塗装仕上がり外観の評価は、一般に外観の測定機器として広く用いられているWAVESCAN-DOI（BYK-Gardner製）によって測定されたWa（艶感を表す）とWd（平滑性を表す）を指標として行った（Fig.1）。

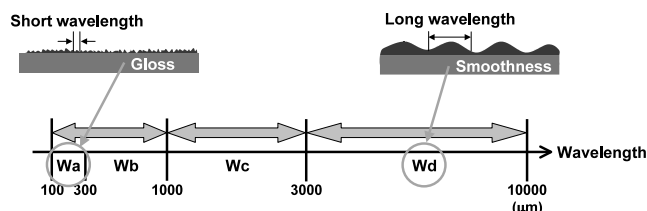


Fig.1 Indicator of Paint Appearance

*1~4 技術研究所
Technical Research Center

*5~8 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

3. 塗装仕上がり外観の形成メカニズム

3.1 艶感 (Wa) の形成メカニズム

3ウェットオン塗装開発時の知見より⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾、僅かに存在する「ベース/クリア層間の混ざり(以下、混層)」と「下層からの溶剤揮発」に着目して、Waの形成メカニズムの検証を行った。

現行系の上塗り各層(ベース塗料, クリア塗料, ベース/クリア=1/1混合塗料)の硬化挙動(温度に対する各層の粘度挙動)をソリキッドメータにより測定した。溶剤のスムーズな揮発という観点から、塗膜の理想的な硬化挙動は、[ベース層] [ベース/クリア混層] [クリア層]の順に順序良く硬化(粘度上昇)していくことである(Fig.2)。しかし、現行塗料では、[ベース/クリア混層]が最も低い温度で硬化を始め、続いて[ベース層] [クリア層]の順に硬化が進んでいることがわかった(Fig.3)。また、現行ベース塗料の溶剤組成を見ると、Table 1に示す通り、クリア層の硬化開始温度(約120℃)よりも沸点の高い溶剤が多く含まれていることがわかった。これらの結果から、現行塗料の組み合わせでは、①ベース/クリア混層の硬化により焼付初期でのベース塗料中の溶剤揮発が阻害されること、②高沸点の溶剤が多く含まれていることの2点から、[ベース層] [クリア層]の硬化過程(=それぞれの層の粘度が高くなった状態)で溶剤の揮発が進み、クリア層の肌の低下が発生していると考えられる。

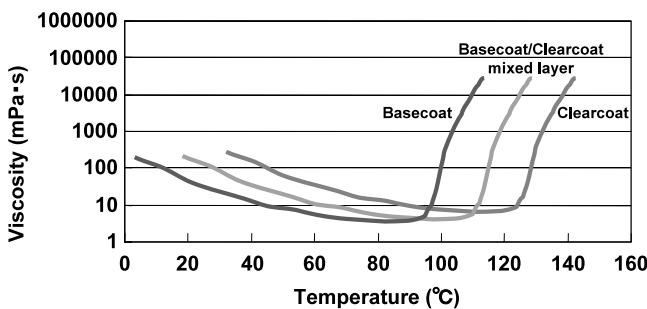


Fig.2 Ideal Curing Behavior of Top Coat Paint

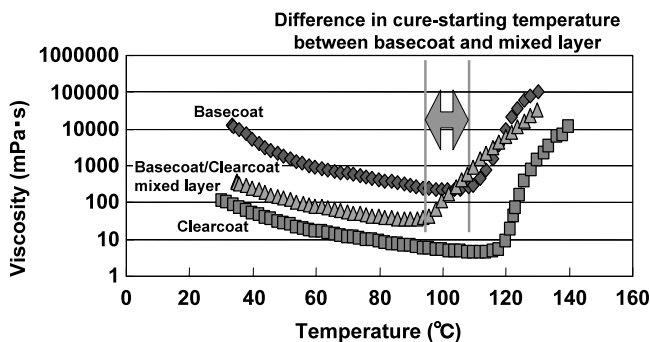


Fig.3 Curing Behavior of Current Top Coat Paint

つまり、現行塗料のWaは、ベース/クリア混層の低い温度での硬化により、ベース塗膜中の溶剤(特に高沸点溶剤)の抜けが阻害され、その残存溶剤が硬化途中の高粘度なクリア塗膜を通過して揮発する過程で形成されていることがわかった(Fig.4)。

Table 1 Solvent Composition of Current Basecoat

Solvent		Amount (wt%)	Boiling point (°C)	
Internal solvent	Aromatic hydrocarbon B	31	135~145	
	Alcohol C	7	118	
	Aromatic hydrocarbon A	6	111	
	Ester B	6	127	
	Ester A	2	77	
	Aromatic hydrocarbon G	2	159~166	
External solvent	Viscosity control solvent	Ketone C	1	115
		Aromatic hydrocarbon B	13	111
		Ester A	4	77
		Ester B	3	127
		Ketone C	3	115
	Dilution solvent	Ether K	2	170
		Aromatic hydrocarbon I	0~3	180~290
		Aromatic hydrocarbon D	0~10	285~196
		Ether K	0~3	170

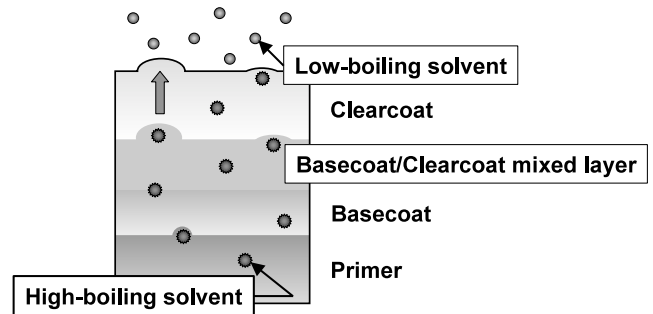


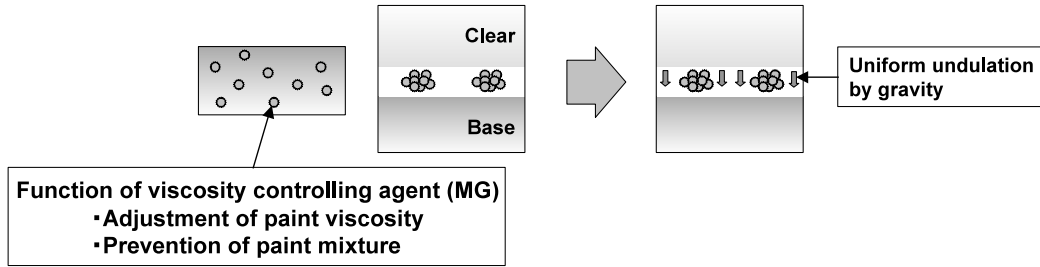
Fig.4 Formation Mechanism of Paint Gloss (Wa)

3.2 平滑性 (Wd) の形成メカニズム

Waと同様に、3ウェットオン塗装開発時の知見より⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾、Wdの形成にも「ベース/クリア混層」が大きく影響することがわかっている。それをもとに推定したWdの形成メカニズムをFig.5に示す。水平面では、縦方向に重力による均一なズレが発生するのに対して、垂直面では、凝集した高粘度の粘性制御剤(MicroGel: 以下、MG)と低粘度のベース/クリア混層部との粘度差により、縦方向にズレムラが発生していると推定される。

MGとベース/クリア混層の粘度差が垂直面のWdに影響を与えていることを明らかにするために、MGとベース/クリア混合塗料の塗料硬化時の最低溶融粘度を測定し、その結果と垂直面のWdとの関係を調べた。それぞれの結果をFig.6, 7に示す。図より、塗料混層部のMGと樹脂は粘度差が大きく(Fig.6)、MGと混合塗料の粘度差と垂直面のWdの間に相関がある(Fig.7)ことから、高粘度のMGと低粘度のベース/クリア混層部との粘度差が垂直面でのWdの形成要因であることがわかった。

【Horizontal dimension】



【Vertical dimension】

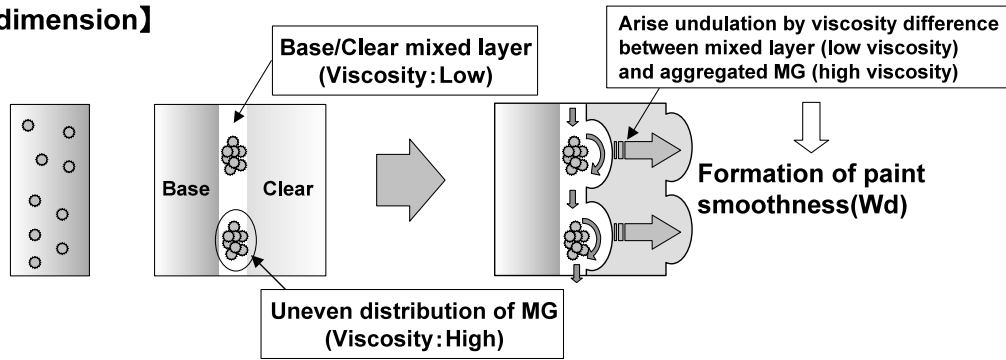


Fig.5 Formation Mechanism of Paint Smoothness (Wd)

4. 塗装仕上がり外観の改善手法

4.1 艶感 (Wa) の改善手法

Waの形成メカニズムに基づいた改善手法と具体的な対策案をFig.8に示す。まず、ベース/クリア間の混層抑制に関しては、ベース塗料中の塗料樹脂をクリア樹脂と混ぜにくいものに変更し、塗料樹脂の表面張力(以下、SP値:塗料同士のセパレート性を表す指標で、差が大きいほどセパレート性が高いことを示す)を調整することで、クリア塗料とのSP値の差を0.2拡大させた。また、混層の硬化開始前に溶剤を揮発させるために、ベース塗料中の溶剤について高沸点溶剤から低沸点溶剤への置き換えを行った (Table 2)。

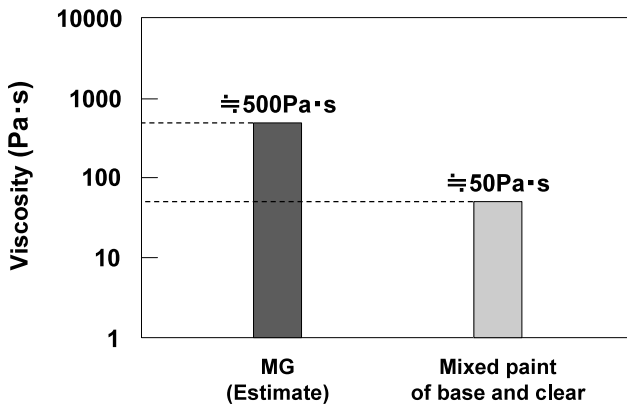


Fig.6 Viscosity Comparison between MG and Mixed Paint

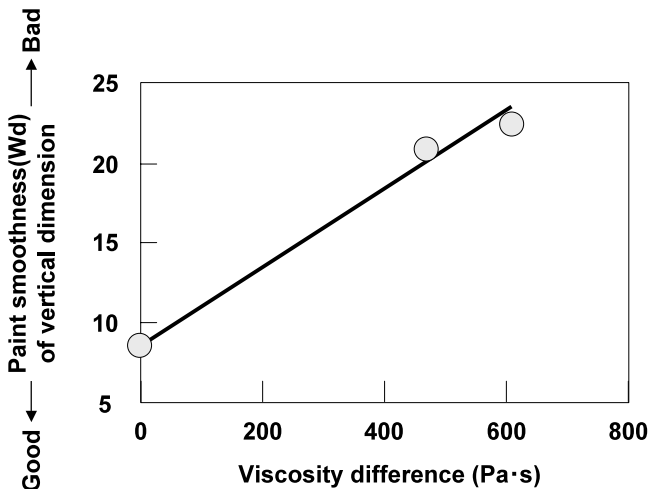


Fig.7 Relationship between Viscosity Difference of MG/Mixed Paint and Paint Smoothness(Wd) of Vertical Dimension

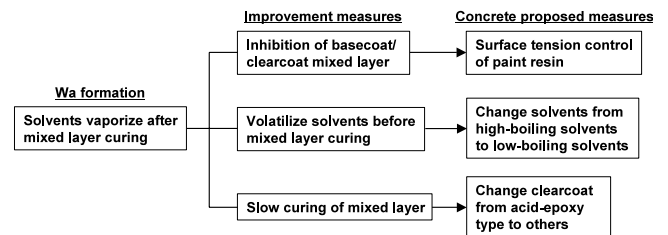


Fig.8 Improvement Measures of Paint Gloss (Wa)

Table 2 Comparison of Solvent Composition between Current Basecoat and Developed Basecoat

Solvent	Boiling point (°C)	Current basecoat (wt%)	Developed basecoat (wt%)	
Internal solvent	Aromatic hydrocarbon B	135~145	31	27
	Alcohol C	118	7	4
	Aromatic hydrocarbon A	111	6	5
	Ester B	127	6	7
	Ester A	77	2	11
	Aromatic hydrocarbon G	159~166	2	-
	Ketone C	115	1	-

4.2 平滑性 (Wd) の改善手法

Wdの形成過程では、塗料の粘度を調整し混層を抑制するために添加しているMGの凝集や粘度挙動が問題であった。MGの削減によるWdの改善を行うために、MGの代替として熔融型粘性制御剤(Non Aqueous Dispersion：以下、NAD)を導入した。NADとMGの特性の違いをTable 3に示す。また、NADの働きとWd改善のメカニズムをFig.9に示す。NADはMGに比べ粒子間の相互作用(粘度発現)が弱いため、Wd形成の要因になっている凝集が起こりにくいという特徴がある。また、Fig.9に示すように、NADは焼付時の熱で熔融フローすることで塗膜間のセパレート性が向上し、混層が抑制される。この2つの働きにより、Wdの改善を図った。

Wdの改善手法をFig.10にまとめた。また、現行ベース塗料と開発ベース塗料の粘性制御剤(MG, NAD)の配合量とSP値を比較した結果をTable 4に示す。開発塗料では、Wd形成の要因であるMGの半量をNADに置き換え、MGの凝集によるWd形成の抑制に加え、アクリル樹脂のSP値を向上させ混層を抑制することにより、Wdの改善を行った。

Table 3 Characteristic Difference between MG and NAD

	Viscosity controlling agent MG (MicroGel)	Melting viscosity controlling agent NAD (Non Aqueous Dispersion)
Application	Viscosity control of paint	
Particle form	Dispersion in solvent	
Presence of cross-linking	Presence	Absence
Particle diameter	40nm~	100nm~
Interparticle interaction	Strong (Cohesion:Strong)	Weak (Cohesion:Weak)
Particle hardness	Hard	Soft
Viscosity expression	Viscosity expression by NonVolatile(NV)	Melting and flowing by heat during paint baking

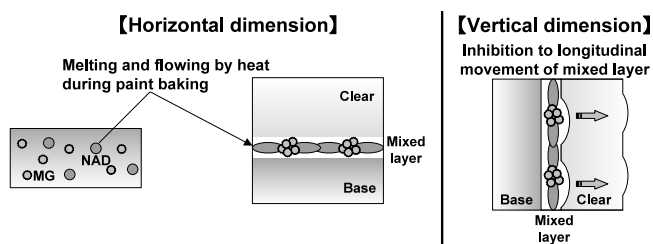


Fig.9 Function of NAD and Improvement Effect of Paint Smoothness (Wd)

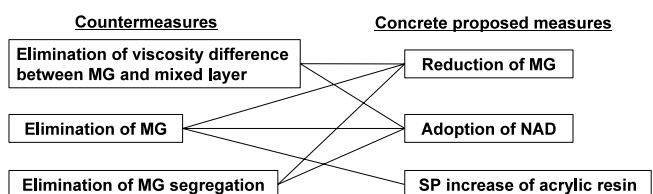


Fig.10 Improvement Measures of Paint Smoothness (Wd)

Table 4 Comparison of MG, NAD Amount and Solubility Parameter (SP) between Current Basecoat and Developed Basecoat

	Current basecoat	Developed basecoat
MG (wt%)	10	5
NAD (wt%)	0	5
SP of acrylic resin (Surface tension)	10.5	10.7

5. 耐ダスト性の向上

これまでに述べた手法で改良したベース塗料を生産ラインに導入し、高い塗装仕上がり外観レベルを確保するには、異種または同種の塗料ダストが付着した時の馴染み性(以下、耐ダスト性)を向上させる必要があった。以下にその取り組み内容を示す。

5.1 ベース塗料による改良

内板部のクリア塗料を塗布する時のダストによる外観低下を改善するために、ベース塗料の改良を検討した。塗料ダストによる外観低下の推定メカニズムをFig.11に示す。MGが塗膜表面に均一に分布すれば、ベース/クリア間のセパレート性が高まり、クリアダストの影響を小さくすることが可能となる。しかし、MGが凝集し、MGが存在しない場所が発生すると、その場所は十分な耐ダスト性を得ることができないために外観低下が発生する。

耐ダスト性の向上に対する具体的な対策として、ベース塗料中のMGの均一分散を実現するために、MG種/量の見直しや樹脂配合/種類の見直し、ベース塗料の製造方法の見直しを検討した。その中で、製造方法の変更(MGをあらかじめ樹脂に溶解したものを混合する方法から、MGを直接塗料に混合する方法に変更)が最も耐ダスト性と外観の向上に効果があることがわかった。以上のようなベース塗料の改良により、耐ダスト性および外観(WaおよびWd)を向上させることができた。

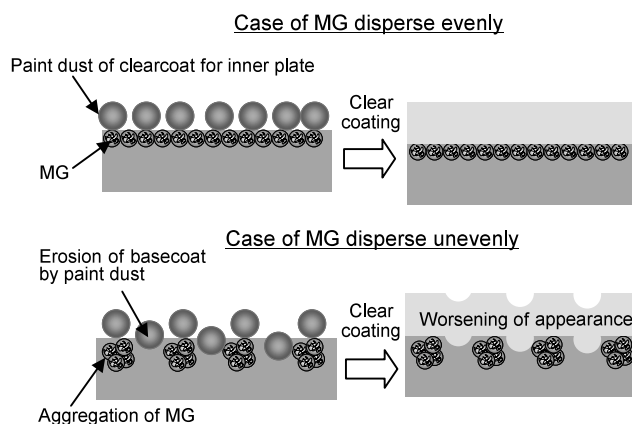


Fig.11 Estimated Mechanism of Appearance Worsening by Paint Dust

5.2 中塗り塗料による改良

更に耐ダスト性および外観を向上させるためには、ベース塗料に加え中塗り塗料の改良も実施する必要があった。生産ラインでのトライアルの結果、外板ベース塗料の塗布から内板クリア塗料塗布までのインターバルが短い(=ベースの溶剤が揮発しにくい)ラインで、ダストによる外観悪化が顕著であったことから、耐ダスト性を向上させるためにはベースの溶剤揮発が重要であることがわかった。ベースの溶剤揮発が十分でない場合は、ベース層の固形分が低い状態(=粘度が低い状態)になり、塗料ダストの影響を受けやすくなる。そこで、溶剤の揮発を阻害する要因は、中塗り層とベース層の混層と考え、混層を抑制することで、ベース中の溶剤を速やかに揮発させ、耐ダスト性を向上させることとした(Fig.12)。

中塗り/ベース間の混層を抑制するためには、中塗り塗料中のMGを均一に分散させて、セパレート性を高める必要がある。そこで、中塗り塗料の改良を行い、MGの均一分散化を図った。具体的には、中塗り塗料生産時のMG分散時間の延長と添加剤(顔料分散剤)の増量および希釈溶剤の変更(極性溶剤の添加)が有効であることがわかった。

ベース塗料と中塗り塗料の改良により、耐ダスト性が向上し、ダストによる外観(WaおよびWd)の低下を改善することができた。また、中塗り塗料を開発ベース塗料に合わせて最適化することによって、一般面(ダストなし部)の外観品質も併せて向上させることができた。

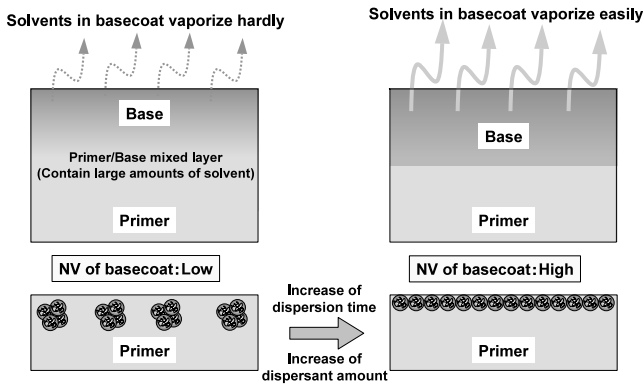


Fig.12 Improvement of Paint Dust Resistance by Primer Modification

6. まとめ

現行塗料での艶感(Wa)と平滑性(Wd)の形成メカニズムを明らかにし、それに基づいたベース塗料の改良を行うことにより、水平面、垂直面ともに現行塗料よりも大幅に塗装仕上がり外観が向上し(水平面: Wa = 14.8, Wd = 14.8 / 垂直面: Wa = 16.11, Wd = 29.19), 目標(業界上位レベル)の塗装仕上がり外観を達成することができた(Fig.13)。なお、本開発ベース塗料は、2006年8月

より量産導入を開始した。

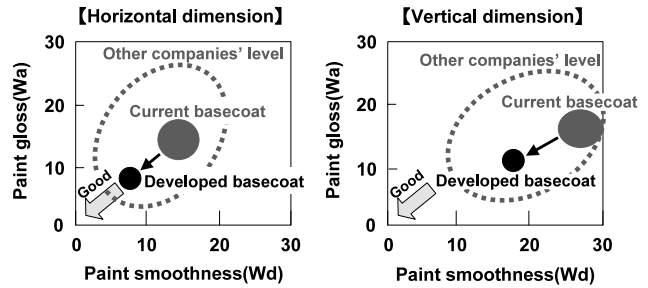


Fig.13 Improvement of Appearance by Newly Developed Basecoat

参考文献

- (1) 重永ほか: 環境にやさしい新塗装技術の開発, マツダ技報, No.21, p.205-210 (2003)
- (2) 渡邊: 溶剤型3WET塗装技術, TECHNO-COSMOS, Vol.17, p.50-51 (2004)
- (3) 山根ほか: 環境にやさしい3ウエットオン塗装技術の開発, 自動車技術, No.57, No.5, p.68-73 (2003)
- (4) 吉田: 自動車カラーの変遷と将来動向 カラーデザインと塗色設計, 自動車技術, No.57, No.5, p.4-9 (2003)

著者



森 淳哉



久保田 寛



重永 勉



山根 貴和



神田 輝夫



大関 武



常岡 辰夫

社外への発表論文一覧表（2006年1月～12月）

1. 社外講演（海外）

* 所属は原則発表時点を示す

日 程	主 催	大 会 名	題 目	発 表 者	所 属
2006.3.15-17	International Congress & Marketing	6th International Automobile Recycling Congress	Development of paint removal technology for bumper to bumper Recycling	森脇 健二 藤 和久 Christian Schultze	技術研究所 Ford Motor Company Mazda Motor Europe GmbH
2006.4.3-7	SAE	SAE 2006 World Congress	Evaluation of Wind Noise Sources Using Experimental and Computational Methods	李 暉 笠木 直彦 角田 浩行 中村 貴樹 農沢 隆秀	車両実研部 同 上 同 上 同 上 同 上
2006.5.7-10	Hewlett Packard	HP Consortium for Advanced Scientific and Technical Computing - User Group Conference 6	New Role of CAE in Mazda	田神 章一	エンジニアリングシステム部
2006.6.13-16	International Association for Hydrogen Energy	16th World Hydrogen Energy Conference	Development of Hydrogen Rotary Engine Vehicle	若山 敬平 森本 賢治 柏木 章宏 齊藤 智明	技術研究所 同 上 第4プログラム開発推進室 技術研究所
2006.6.26-29	LADOAN 13	13th International Symposium Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics	In-Situ Fuel Concentration Measurements Using an IR Spark Plug Sensor by of Laser Infrared Absorption Method -Application to a Commercial Rotary Engine-	河原 伸幸 富田 栄二 林 健太 田端 道彦 香川 良二 岩井 浩平	岡山大学 同 上 同 上 技術研究所 同 上 同 上
2006.7.10-14	International Ergonomics Association	16th World Congress on Ergonomics	Physiological Evaluation of Seat Comfort Equipment for Passengers	道田奈々江 元吉菜緒子 宮原 民夫 沖山 浩	装備開発部 同 上 同 上 同 上
2006.7.23-28	触媒学会	The Fifth Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology	Behavior of the Oxygen Species Contained in Oxide in the Carbon Combustion Reaction by Cerium Composite Oxides	原田浩一郎 對尾 良則 高見 明秀	技術研究所 同 上 同 上
2006.8.6-11	The Combustion Institute	31st International Symposium on Combustion	Cycle-Resolved Measurements of the Fuel Concentration near a Spark Plug in a Rotary Engine Using an In Situ Laser Absorption Method	河原 伸幸 富田 栄二 林 健太 田端 道彦 香川 良二 岩井 浩平	岡山大学 同 上 同 上 技術研究所 同 上 同 上

日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
2006.8.28-31	ICLASS	10th International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems	Effects of Hole Geometry and its Internal Flow on Spray and Mixture Properties of Hole-Type Injectors for a DISI Engine	佐藤 圭峰 神崎 淳 山川 正尚 西田 恵哉	パワートレイン先行開発部 同上 同上 広島大学
2006.10.10	ESI Group	EuroPAM	Improvement of Springback Prediction Accuracy in Forming Simulation by Yoshida Model	大西 直子	車体技術部
2006.10.18	Ing_Manfred Kasperowski, International Consultant Erfstadt	Auto Recycling Europa	Development of Paint Removal Technology for "Bumper to Bumper Recycling"	藤 和久 森脇 健二 Christian Schultze	Ford Motor Company 技術研究所 Mazda Motor Europe GmbH
2006.10.22-27	FISITA	FISITA 2006	Mazda Digital Innovation	金井 誠太	取締役専務執行役員
			Frontal Crash Data Analysis in Japan for the Real World Safety Enhancement	河口 健二 尾川 茂	衝突性能開発部 同上
			New MX-5 Light Weight Body Structure with High Strength Steel	木村 隆之 中山 伸之 中髪 修一 中西 利介	ボデー開発部 同上 同上 同上
			Study on Arm Manipulability Evaluation Technique for Improvement of Operation Performance	山田 直樹 正守 一郎 田中 良幸 辻 敏夫	技術研究所 同上 広島大学 同上
			Development of Hydrogen Rotary Engine with Dual-Fuel System	齊藤 智明 松下 正典 三津木宏明 上田 貴之	技術研究所 同上 同上 同上
			EM Reduction by a Large Amount of EGR and Excessive Cooled Intake Gas in Diesel Engines	志茂 大輔 片岡 一司 嵯峨根康之 藤本 英史 寺澤 保幸	技術研究所 同上 (株)マツダE&T 技術研究所 パワートレイン先行開発部
			Development of Environmental-Friendly /Uniform Film Thickness Electro-deposition Coatings	重永 勉 山田 光夫	技術研究所 日本ペイント(株)

日 程	主 催	大 会 名	題 目	発 表 者	所 属
			Investigation on the Internal Energy Assessment in the Vehicle Crash Event	井上 実 渡辺 通成 木戸 啓人 伊東 紀明 尾川 茂	装備開発部 衝突性能開発部 同 上 同 上 同 上
			Vehicle Interior Space Utilization with Seat Equipment for Occupant's Relaxation	元吉菜緒子 道田奈々江 宮原 民夫 中矢 耕一	装備開発部 同 上 同 上 同 上
2006.10.23-28	日本自動車 研究所	The 22nd International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exposition	Electrical Supercharging Technology in High Efficiency Hybrid System	山形 直之 山本 博之 三角 正法 瀬尾 宣英 中本 仁寿	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上
2006.11.3-8	International Federation of Societies for Microscopy	The 16th International Microscopy Congress	Spectroscopic Characterization of Soot Emitted from Diesel Engine	國府田由紀 定井 麻子 住田 弘祐 田辺 栄司	技術研究所 同 上 同 上 広島県立西部工業技術センター
2006.11.21-22	European Bioplastics	1st European Bioplastics Conference 2006	High-strength Heat-resistant Bioplastic for Use in Vehicle Interior Parts	松田 祐之 吉田 邦彦 栃岡 孝宏 Christian Schultze	技術研究所 同 上 同 上 Mazda Motor Europe GmbH

2. 社外講演(国内)

* 所属は原則発表時点を示す

日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
2006.1.21	日本機械学会 関西支部	第7回秋季技術交流フォーラム	ディーゼル機関における多量EGRと吸気冷却によるEM低減	志茂 大輔	技術研究所
2006.1.25	デジタルプロセス(株)	新春デジタルプロセスセミナーin Nagoya 2006	マツダのバーチャル開発への取り組み	木谷 昭博	MDI・MPDS企画推進部
2006.2.16	松本市・松本 商工会議所	中小製造業向け成功事例紹介セミナー	マツダ「ペリーサ」の試作車レス開発にみる製品開発の革新	安藤 誠一	NVH性能・CAE技術開発部
2006.2.17	日本規格協会	第2回品質工学による技術開発フォーラム	手戻り未然防止の車づくり	龍田 康登 橋本 晃	技術本部 パワートレイン技術部
2006.2.27	自動車技術会 中部支部	第16回技術交流会	ギアノイズのモデリングおよび対策の紹介	神田 靖典	ドライブトレイン開発部
2006.3.2	軽金属学会	第78回シンポジウム「自動車における究極の軽量化を目指して」	自動車の軽量化とアルミ接合技術	加藤喜久生	車体技術部
2006.3.7	自動車技術会	振動騒音委員会	高周波騒音の伝達経路寄与度解析技術	神田 靖典	ドライブトレイン開発部
2006.3.8	日本溶接協会	溶接・接合プロセス研究委員会	自動車の軽量化とアルミ接合技術	猪 一郎	車体技術部
2006.3.8	広島大学産学 連携センター	第2回テクノフォーラム	マツダにおける環境への取り組み	松岡 孟	技術研究所
2006.3.16	化学技術戦略機構	エネルギー分科会	水素ロータリーエンジンの可能性と課題	三角 正法	技術研究所
2006.3.17	広島大学放射 光センター	広島放射光国際シンポジウム	放射光を利用した自動車排ガス浄化触媒のナノ構造設計	住田 弘祐	技術研究所
2006.3.19-20	触媒学会	第97回触媒討論会	CeO ₂ 系複合酸化物のバティキュレート酸化特性	大石 哲也 松本 広重 石原 達巳 藤田 弘輝 原田浩一郎 對尾 良則 高見 明秀	九州大学大学院 同 上 同 上 技術研究所 同 上 同 上 同 上
2006.3.27-30	日本化学会	第86回春季年会	Rh担持中空アルミナによるHC酸化反応	岩国 秀治 高見 明秀	技術研究所 同 上
2006.4.12	日経ものづくり	コラボレイティブ・ものづくりデイ2006	マツダにおけるCAE適用拡大とコンカレントエンジニアリングの強化	大地 正樹	MDI・MPDS企画推進部

日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
2006.5.24-25	プラスチック成形加工学会	第17回年次大会	超臨界流体CO ₂ を注入したポリアミド6の操作条件が与える発泡挙動への影響	一原 洋平 栃岡 孝宏 田中 力 佐藤 義之 滝島 繁樹 舛岡 弘勝	技術研究所 同 上 同 上 東北大学大学院 広島大学大学院 同 上
2006.5.24-26	自動車技術会	2006年春季大会学術講演会	オープンカー幌の人間工学的考察	三浦 泰彦 山田 直樹 田上 宏紀 黒田 将仁 山田 勝久	技術研究所 同 上 ボデー開発部 同 上 同 上
			ディーゼル機関における多量EGRと吸気冷却によるEM低減	志茂 大輔 片岡 一司 嵯峨根康之 藤本 英史 寺澤 保幸	技術研究所 同 上 (株)マツダE&T 技術研究所 同 上
			鉄 - アルミニウムの摩擦点接合	玄道 俊行 西口 勝也 麻川 元康	技術研究所 同 上 同 上
			アルミシリンダブロックの残留応力解析技術	天野 浩平 武重 伸秀 John Allison Su Xuming	技術研究所 開発品質革新部 Ford Motor Company 同 上
			環境にやさしい膜厚均一化電着塗料の開発	重永 勉 山田 光夫	技術研究所 日本ペイント(株)
2006.5.29	新エネルギー・産業技術総合開発機構	革新的次世代低公害車総合技術開発(中間評価)第1回分科会	新燃焼方式の開発及び燃料の最適化	寺澤 保幸	技術研究所
			革新的後処理システムの研究開発(ナノテクノロジーを応用した高性能排ガス浄化用触媒)	高見 明秀	技術研究所
2006.5.29-30	日本機械学会	第6回基礎潤滑設計部門講演会	3次元歯面修整を施したはずば歯車の振動起振力特性	西野 隆之	パワートレイン先行開発部
2006.5.31	計測自動制御学会中国支部	中国支部グループ研究会	自動車のNVH開発	杉原 毅 中野 伸一	技術研究所 CAE部
2006.6.1-2	(株)シーディー・アダプコ・ジャパン	CDAJ ユーザーズミーティング 2006	MDI(マツダ・デジタル・イノベーション)の取り組み事例 - CAE業務フローの自動化	滝口 哲郎	エンジニアリングシステム部

日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
2006.6.2	長野県工業技術総合センター	長野県製品設計研究会	マツダ「ベリーサ」の試作車レス開発にみる製品開発の革新	安藤 誠一	NVH性能・CAE技術開発部
2006.6.16	品質工学会	第14回品質工学研究発表大会	鋳鉄足回り部品における量産準備プロセス革新	黒谷 真司 竹村 幸司 福本 康博 佐川 述史	パワートレイン技術部 同 上 同 上 同 上
			シミュレーションによるスプライン一発成形技術	河野 弘和 森弘 真司	パワートレイン技術部 同 上
2006.6.21-23	リードエグジビジョンジャパン(株)	第14回産業用バーチャリアリティ展	高品質3次元モデルの作成効率向上とバーチャリアリティ実現への取り組みについて	縄 淳二	ボデー開発部
2006.6.21-23	リードエグジビジョンジャパン(株)	第17回設計製造ソリューション展	デジタル情報の作成とその活用を中心としたデジタルエンジニアリング開発の取り組みについて	加留部栄一	ボデー開発部
2006.7.5	ひろしま産業振興機構	平成18年度 経営者サロン	マツダにおける環境への取り組み	松岡 孟	技術研究所
2006.7.19	日本塑性加工学会	第64回「接合・複合」分科会	自動車の軽量化とアルミ接合技術	加藤喜久生	車体技術部
2006.7.20	広島県立西部工業技術センター	ものづくりデジタル化研究会 平成18年度第1回研究会	マツダにおけるデジタル革新の現状と今後について	大地 正樹	MDI・MPDS企画推進部
2006.7.20-21	日本機械学会 関西支部	第284回講習会「熱流体解析の基礎と応用」	エンジン開発における燃焼計測・解析	田端 道彦	技術研究所
2006.7.28	日本音響学会	騒音・振動研究会	様々な加速シーンにおけるエンジン音質評価影響因子の比較	福原 千絵 加村 孝信 末富 隆雅 黒田 将也	技術研究所 Mazda Motor Europe GmbH 技術研究所 エンジン実研部
2006.8.4	近畿大学工学部	近畿大学工学部 寄付講演	自動車開発の最新動向 - マツダの環境技術への取り組み -	松岡 孟	技術研究所
2006.8.8	日本金属学会・日本鉄鋼協会中国四国支部	金属第46回・鉄鋼第49回中国四国支部講演大会	スポット溶接鋼板部材のねじり疲労下における強度・変形特性	渡邊 忠俊 深堀 貢	技術研究所 同 上
2006.8.25	自動車技術会 関西支部	2006年度第1回講習会	ディーゼルエンジンの排気浄化技術	林原 寛	パワートレイン先行開発部

日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
2006.8.29	軽金属溶接構造協会	自動車用アルミ接合委員会(AAW)	自動車の軽量化とアルミ接合技術	猪 一郎	車体技術部
2006.9.5	自動車技術会	第3回疲労信頼性部門委員会	鉄 - アルミニウムの摩擦点接合技術の開発	玄道 俊行	技術研究所
2006.9.14-16	日本ロボット学会	第24回学術講演会	接触拘束を考慮した人間のステアリング操作力特性の解析	堀上 正義 田中 良幸 辻 敏夫 西川 一男 河手 功 農沢 隆秀	広島大学 同 上 同 上 車両実研部 同 上 同 上
2006.9.26-29	触媒学会	第98回触媒討論会	酸素吸放出材料のSoot燃焼について	鈴木 研二 原田浩一郎 岡本 謙治 山田 啓史 高見 明秀	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上
			Ce系複合酸化物のパーティキュレート酸化特性 ⁽²⁾ 担持効果の検討	大石 哲也 松本 広重 石原 達己 藤田 弘輝 原田浩一郎 對尾 良則 高見 明秀	九州大学大学院 同 上 同 上 技術研究所 同 上 同 上 同 上
2006.9.27-29	自動車技術会	2006年秋季大会学術講演会	水素ロータリーエンジン車のモデルベース制御開発手法	三津木宏明 齊藤 智明	技術研究所 同 上
			ロードノイズ吸音技術 - 内装部材を用いた中間周波数音の低減	萬 菜穂子 福原 千絵 加村 孝信	技術研究所 同 上 Mazda Motor Europe GmbH
			振動伝達低減パネルの開発	中川 興也 宇都宮昭則 村瀬 健二 小平 剛央	技術研究所 同 上 同 上 同 上
			自動車乗車時における上半身の身体負担解明とその評価方法の提案	小竹 元基 宮沢 悠介 吉澤 公理 鎌田 実 末富 隆雅	東京大学大学院 同 上 技術研究所 東京大学大学院 技術研究所

日程	主催	大会名	題目	発表者	所属
2006.9.29	日本交通科学協議会	第35回交通安全夏期大学セミナー	自動車乗降時における車両寸法と上半身の身体的負担の関係	吉澤 公理 小竹 元基 宮沢 悠介 末富 隆雅 鎌田 実	技術研究所 東京大学大学院 同上 技術研究所 東京大学大学院
			水素ロータリエンジン車の制御システム	松下 正典 齊藤 智明	技術研究所 同上
2006.10.11-13	リードエグジビジョンジャパン(株)	第9回関西設計製造ソリューション展	デジタル情報の作成とその活用を中心としたデジタルエンジニアリング開発の取組みについて	渡部 哲士	ボデー開発部
2006.10.16	日本機械学会	P-SCD348 歯車の次世代加工技術と運転性能に関する調査研究分科会	3次元歯面修整法に関する一考察	西野 隆之	パワートレイン先行開発部
2006.10.26-27	USG PLMソリューションズ(株)	UGS CONNECTION JAPAN 2006 (東京)	デジタル情報の活用による開発の品質向上・効率化への取組みについて	辻澤 克治	ボデー開発部
2006.10.27	山口大学工学部附属ものづくり創成センター	ものづくり創成教育シンポジウム2006	企業におけるプロダクトデザインの紹介～自動車のデザインと空気力学	農沢 隆秀	車両実研部
2006.10.30	SPring-8利用推進協議会	SPring-8触媒評価研究会(第11回)	自動車用排気ガス浄化触媒の解析	住田 弘祐	技術研究所
2006.11.1	日本機械学会	とことんわかる自動車のモデリングと制御 2006	HILSを用いた ATの変速制御開発	上田 貴之 仲岸 優 平松 繁喜	技術研究所 パワートレイン先行開発部 同上
2006.11.2	日本SGI(株)	SGI CAE プロセスイノベーションセミナー	CAE自動化システム(CPAs)による In-process CAEの実現	大地 正樹	MDI・MPDS企画推進部
2006.11.6	日本アルミニウム協会	第45回アルミニウム技術研修会	鉄 - アルミニウムの摩擦点接合技術	玄道 俊行	技術研究所
2006.11.7	自動車技術会	第4回振動騒音部門委員会	振動伝達低減パネルの開発	中川 興也	技術研究所
2006.11.10	自動車技術会関西支部	2006年度 第2回講習会	車両ロードノイズ低減のためのCAE技術	小畑 聡	NVH性能・CAE技術開発部
2006.11.10	日本ESI	PAM Users Conference in Asia	成形シミュレーションにおける吉田モデルを用いたスプリングバック予測精度向上	大西 直子	車体技術部

日程	主催	大会名	題 目	発表者	所 属
2006.11.17-19	計測自動制御学会 システム・情報部門	第21回生体・生理工学シンポジウム	高速運動における人間の手先加速度特性	太田 浩司 田中 良幸 辻 敏夫 西川 一男 河手 功 農沢 隆秀	広島大学 同 上 同 上 車両実研部 同 上 同 上
2006.11.18	精密工学会	中四国支部 学術講演会	スプライン一発成形技術の確立	河野 弘和 森弘 真司	パワートレイン技術部 同 上
2006.11.18	広島国際学院大学	公開セミナー みんなで考える環境問題！	水素ロータリーエンジン車の開発状況	三角 正法	技術研究所
2006.11.20	中国経済産業局	戦略的産業活性化研究会	HEV技術	勝代 健次	技術研究所
2006.11.22-23	プラスチック成形加工学会	第14回秋季大会	ポリ乳酸射出成形による自動車モジュール部品の新規開発	岡村 雅晴 藤井 睦雄 栃岡 孝宏 松田 祐之	ダイキョーニシカワ(株) 同 上 技術研究所 同 上
2006.11.25	日本人間工学会	第39回中国・四国支部大会	視覚特性を考慮した自動車インテリアパッケージの解析・評価	堀上 正義 田中 良幸 辻 敏夫 宮崎 透 河手 功 西川 一男 農沢 隆秀	広島大学 同 上 同 上 車両実研部 同 上 同 上 同 上
			シフト操作時における手先インピーダンス特性の解析	脇田 裕之 神田 龍馬 田中 良幸 辻 敏夫 河手 功 西川 一男 農沢 隆秀	広島大学 同 上 同 上 同 上 車両実研部 同 上 同 上
			筋負担指標を用いたステアリングホイール最適角度の検討	古川 浩二 河手 功 宮崎 透 西川 一男	車両実研部 同 上 同 上 同 上
2006.11.28	日本規格協会	品質工学セミナー シミュレーションによるロバスト設計コース	品質工学におけるシミュレーションの効率化	内田 博志	技術研究所
2006.11.30-12.1	自動車技術会	シンポジウム「ドライバ評価の基礎・応用・展望」	ドライバの運転特性に基づく車両開発	末富 隆雅	技術研究所

日程	主催	大会名	題 目	発表者	所 属
			自動車人間工学における統計的分析の 実践法	石橋 基範	技術研究所
			ドライバの特徴を記述するアプローチ	石橋 基範	技術研究所
			ドライバ個人特性評価に基づく反応理解 - 生理的・行動的側面からの研究事例 -	石橋 基範	技術研究所
2006.12.1	デジタルプロ セス(株)	オートモーティブ デジタ ルプロセスセミナー2006	MDIによる業務の変化と今後の技術者 への期待	金井 誠太	取締役専務執行役員
2006.12.1	自動車技術会	関東支部講演会	水素ロータリーエンジンの開発	森本 賢治	技術研究所
2006.12.6-8	日本燃焼学会	第44回燃焼シンポジウム	予混合圧縮着火機関におけるイオン電 流の計測	吉山 定見 富田 栄二 森 雅俊 田中 達也 田端 道彦	岡山大学 同 上 同 上 技術研究所 同 上
2006.12.7	CAESEKI.com	経営に貢献するCAEセミ ナー	マツダにおけるCAEとテストの 融合について	安藤 誠一	NVH性能・CAE技術 開発部
2006.12.8	日本自動車工業会	JAMA 電子情報フォーラム	Large Scale Computation of a Full Car Aerodynamics on Japan Earth Simulator Using Pam-Flow	中村 貴樹	車両実研部
2006.12.14-17	計測自動制御 学会	第7回システムインテグ レーション部門講演会	生体運動インピーダンスに基づくステ アリング操舵特性の解析	神田 龍馬 田中 良幸 山田 直樹 福庭 一志 正守 一郎 辻 敏夫	広島大学 同 上 技術研究所 同 上 同 上 同 上 広島大学
2006.12.18-22	日本機械学会	2006年度年次大会	自動車車体周り流れの干渉渦構造の解明	岡田 義浩 農沢 隆秀 中村 貴樹 岡本 哲 大平 洋樹	車両実研部 同 上 同 上 同 上 同 上
			実験及びCFDによる自動車風騒音音源 の解明について	李 曄 笠木 直彦 角田 浩行 中村 貴樹 農沢 隆秀	車両実研部 同 上 同 上 同 上 同 上

3 . 社外寄稿

* 所属は原則発表時点を示す

寄稿誌名 巻・号・ページ	題 目	発表者	所 属
Journal of Robotics and Mechatronics Vol.18, No.2 pp.177-185	Virtual Driving Simulator for Measuring Dynamic Properties of Human Arm Movements	田中 良幸 神田 龍馬 山田 直樹 福庭 一志 正守 一郎 辻 敏夫	広島大学 同 上 技術研究所 同 上 同 上 広島大学
Polyfile Vol.43, No.510, p.28-31	自動車開発における環境対応材料とは～自動車用途バイオプラスチックの開発から～	栃岡 孝宏	技術研究所
Polymer Engineering and Science Vol. 46, No.1, p.29-38	Effect of the compatibility on toughness of injection-molded polypropylene blended with EPR and SEBS	松田 祐之 原 正雄 真野 剛 岡本 健三 石川 優	技術研究所 同 上 山形大学 同 上 同 上
クオリティマネジメント Vol.57, No.11, p.24-33	モデルブランド確立への挑戦	貴島 孝雄	第2プログラム開発推進室
軽金属溶接 Vol.44, No.12, p.20-23	摩擦熱を利用した鋼板とアルミニウム合金板の点接合技術の開発	玄道 俊行 西口 勝也 麻川 元康	技術研究所 同 上 同 上
計測自動制御学会論文集 Vol.42, No.12, p.1353-1359	ステアリング操作における人間の手先インピーダンス特性の解析	田中 良幸 神田 龍馬 山田 直樹 福庭 一志 武田 雄策 正守 一郎 辻 敏夫	広島大学大学院 同 上 技術研究所 同 上 同 上 同 上 広島大学大学院
計測と制御 Vol.45, No.3, p.216-220	Advanced Safety Vehicle(ASV)-3に見る通信を利用した運転支援システムの開発	山本 雅史	技術研究所
工場管理 Vol.52, No.12	マツダにおけるオンラインQEの適用	井田 吉人 安達 範久	パワートレイン技術部 コーポレートストラテジー部
自動車技術 Vol.60, No.12, p.28-33	スタビリティコントロールシステム(ESC)に関する動向	足立 智彦	操安性能開発部
自動車技術会論文集 Vol.37, No.1, p.179-183	ドライバ特性としての車載装置に対する知識の評価方法	石橋 基範 赤松 幹之 阿賀 正巳 岩男真由美 大桑 政幸 熊倉 佐恵 高田 裕史 富田 幸佳	技術研究所 産業技術総合研究所 トヨタ自動車(株) (株)いすゞ中央研究所 (株)豊田中央研究所 三菱自動車工業(株) 日産自動車(株) 日本大学

寄稿誌名 巻号・ページ	題 目	発表者	所 属
Vol.37, No.3, p.159-164	DISC-HCCIハイブリッド燃焼エンジンの解析	西本 敏朗 林 好徳 山川 正尚 藤川 竜也 人見 光夫	パワートレイン先行開発部 同 上 同 上 同 上 同 上
Vol.37, No.4, p.101-106	マルチホールインジェクタを用いたスプレーガイド直噴エンジン	瀬戸 祐利 山下 洋幸 太田 統之 村上 康 吉田 浩之	技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上
自動車技術会関西支部ニュース No.28, p2-3	環境にやさしい3ウェットオン塗装の開発	山根 貴和 神田 輝夫	技術研究所 車両技術部
水素エネルギーシステム Vol.31, No.1, p.2-7	水素ロータリエンジン	寺本 隆文 森本 賢治	技術研究所 同 上
成形加工 Vol.18, No.8, p.567-570	バンパからバンパへのリサイクルのための塗膜除去技術	藤 和久 森脇 健二 田中 宣隆 北 和也 高瀬 岳雄	Ford Motor Company 技術研究所 車両技術部 (株)サタケ 高瀬合成化学(株)
日本機械学会 交通・物流部門 ニュースレター No.32	水素エンジン自動車の開発	大田 篤志	技術研究所
日本金属学会誌 Vol.70, No.11, p.870-873	摩擦点接合技術の開発	玄道 俊行 西口 勝也 麻川 元康	技術研究所 同 上 同 上
品質工学 Vol.14, No.2	手戻り未然防止の車づくり	龍田 康登 橋本 晃 福本 康博	技術本部 パワートレイン技術部 同 上
Vol.14, No.6	スポット溶接電極の切削条件の最適化	松井 克真 入鹿 康生 福本 康博	第1工務技術部 同 上 パワートレイン技術部
まてりあ Vol.45, No12, p.873	TEMおよびEELSによるディーゼルエンジン排出Sootの微細結晶構造解析	國府田由紀 定井 麻子 住田 弘祐 田辺 栄司	技術研究所 同 上 同 上 広島県立西部工業技術センター
高分子論文集 Vol. 63, No.2, p.98-102	熱処理がエラストマーを含むポリプロピレンの延性に及ぼす影響	松田 祐之 原 正雄 山本 研一 國府田由紀 石川 優	技術研究所 同 上 同 上 同 上 山形大学

編集後記

小誌の編集作業は、編集方針策定、論文の募集、特集記事の選定から始まり、受付けた原稿について、我々編集委員だけでなく、専門部門や知財部門などの査読が同時進行で進められる。初稿では意味不明の論文が、脱稿時点では筋が通ってくる。また各論文に執筆者の個性が浮き出て、彼ら/彼女らの熱意のみならず仕事の様子まで窺えてしまう。開発の苦労話に熱が入った記事がある一方、門外漢では思考停止するような高度な学術論文を寄こすものもある。その中で、多くの読者に楽しんでいただける技報が出来るよう、バランスを取る苦労が編集委員の面白さでもある。

さて今号では、相次いで導入したマツダCX-7とCX-9の2つの特集を組んでみた。両車種ともマツダの新たな提案としてのクロスオーバー系の商品であり、Zoom-Zoomを体現させるための取組みを紹介している。両車の開発リーダーや担当者の思いを感じ取っていただきたい。また、論文・解説でもミニ特集的にマツダスピードアクセラを紹介したほか、ボデー、エンジンなどのコンポーネントから人間工学、材料、生産など網羅的に当社の研究開発活動を掲載した。高覧いただければ幸いである。

(正守一郎)

編集委員会

委員長	喜田 達也	技術企画部
委員	岸野 耕治	企画設計部
	李 暉	車両実研部
	藤井 宏樹	装備開発部
	迫野 隆	パワートレイン先行開発部
	正守 一郎	技術研究所
	重久 義行	プラント技術部
幹事	富山 道雄	技術企画部
	田坂 寿康	技術企画部
事務局	馬郡 雄二	技術研究所
	伊東加奈子	技術企画部

マツダ技報 第25号

発行 平成19年4月
発行人 金井 誠太
編集人 喜田 達也
発行所 マツダ株式会社
商品企画ビジネス戦略本部 技術企画部
〒730-8670
広島県安芸郡府中町新地3番1号
電話 082(287)4106
印刷所 マツダエース株式会社
広島県安芸郡府中町新地3番1号

Mazda Technical Review No.25

April 2007
Publisher Seita Kanai
Editor Tatsuya Kita
Distributor Technology Planning Dept.
Product Planning & Business
Strategy Div.
Mazda Motor Corp.
3-1 Shinchi, Fuchu-cho Aki-gun,
Hiroshima 730-8670, Japan