



マツダ技報 2017 No.34
MAZDA TECHNICAL REVIEW



ZOOM-ZOOM

マツダ技報

Mazda Technical Review

2017 No. **34**

マツダ技報 第34号 (2017)

目次

| | | |
|--|---|----|
| 巻頭言 | 松本浩幸 | 1 |
| 特集：新型CX-5 | | |
| 1. 新型CX-5の紹介 | 児玉眞也, 山田真泰, 木下勝之 鈴木淳二, 森 茂之 | 3 |
| 2. 新型CX-5のデザイン | 諫山慎一 | 9 |
| 3. 新型CX-5の軽量・高剛性ボディーシェル | 杉山 豪, 清下大介, 檜原隆志 | 15 |
| 4. 新型CX-5の静粛性開発について | 永本光一, 桂川貴弥, 栗根正浩 富士田拓也 | 20 |
| 5. 新型CX-5 BOSE プレミアムサウンドの開発 | 古瀬雄平, 西嶋孝祥, 手島由裕 佐藤大治, 若松功二, 檜谷篤史 | 25 |
| 6. SKYACTIV-D ディーゼルノック音の低減技術 | 白橋尚俊, 森 恒寛, 岩田陽明 長門清則, 菊地拓哉 | 29 |
| 7. 新型ガソリンエンジン「SKYACTIV-G 2.5気筒休止」の開発 | 野田明裕, 荒川博之, 居軒年希 山本賢宏, 本瓦成人, 西本敏朗 | 35 |
| 8. 新型SKYACTIV-G 2.5 燃焼技術の開発 | 小谷佳苗, 上村 匠, 平下茂行 西尾貴史, 野村健太郎, 平林千典 | 41 |
| 特集：ロードスターRF | | |
| 9. ロードスターRFの紹介 | 中山 雅, 山口宗則, 下村 剛 | 47 |
| 10. ロードスターRFのデザイン | 中山 雅 | 52 |
| 11. ロードスターRF リトラクタブルハードトップの開発 | 松本浩一 | 59 |
| 12. MBDと品質工学の連携による設計諸元と工程の最適化 | 徳光文広 | 64 |
| 特集：生産技術領域の進化 | | |
| 13. 「魂動」デザイン実現に向けた生産技術の取り組み紹介 | 杉山裕基, 森脇幹文, 高橋克典 | 70 |
| 14. 「魂動」デザインの再現に向けたこだわりのモノづくり | 大谷 肇, 岩田成弘, 西村良治 岡田又治 | 75 |
| 15. 「魂動」デザインの再現に向けたこだわりのモノづくり | 西本光毅, 長澄徹侍, 佐々木忠義 安楽健次, 大塚宏明 | 81 |

| | | |
|---|---|------------|
| 16. ソウルレッドクリスタルメタリックの開発 | 平野文美, 寺本浩司, 岡本圭一 野中隆治, 山根貴和 | 87 |
| 17. 「魂動」デザインを際立たせる“面の連続感”実現 の取り組み | 田中慶和, 永野恵行, 太田 凜 新宅則和 | 93 |
| 論文・解説 | | |
| 18. G-Vectoring Controlの開発 | 梅津大輔, 砂原 修, 高原康典 小川大策, 大久千華子, 菅 俊也 氏原健幸, 椎葉裕明, 加藤史律 | 99 |
| 19. CX-4の紹介 | 岡野直樹, 住田和哉, 三宮正義 | 105 |
| 20. CX-4のデザイン | 小泉 巖 | 109 |
| 21. ボデー部品間の隙・干渉チェック自動化システムの開発 | 渡部哲士, 田中雅之, 烏山義宣 徳野礼子, 川西博実, 谷口恵莉 | 116 |
| 22. ハイアルゴン溶接の技術開発 | 田中正顕, 斉藤直子, 深堀 貢 小川貴史 | 122 |
| 23. 360° ビューモニターの認知性能開発 | 大坪智範, 中村誠之, 松葉慶暁 森林俊貴, 森島茂樹, 小馬場英樹 竹内創哉 | 128 |
| 24. クリーンディーゼルエンジン 新型 SKYACTIV-D 2.2 の開発 | 山谷光隆, 平林千典, 末國栄之介 上杉康範, 辻 幸治, 松本正義 | 133 |
| 25. 自動車の窓枠形状が感性に関わる脳活動に与える影響 | 岡本宜久, 笹岡貴史, 吉田敏宏 岩瀬耕二, 千葉正基, 道田奈々江 岸 篤秀, 西川一男, 山脇成人 農沢隆秀 | 139 |
| 26. 分子動力学法によるガラス繊維強化樹脂複合材の 界面強度向上メカニズム解明 | 平本健治, 藤 和久, 小川淳一 住田弘祐, 王 存涛, 濱田泰以 | 145 |
| 27. ITSの国際標準化に向けた取り組み | 三角正法 | 151 |
| 28. マツダの先進安全技術「i-ACTIVSENSE」の進化 | 平井浩司, 古山貫一, 後藤多加志 久米孝則 | 157 |
| 29. 子どもの安心のために、子ども視点のクルマづくり | 田坂寿康, 中野隆裕 | 163 |
| 30. 高性能トーションビーム開発 | 高橋浩之, 桑子 俊, 川口秀明 中土信之 | 169 |
| 社外への発表論文一覧表 | | 176 |

Mazda Technical Review No.34

CONTENTS

Foreword

| | |
|-----------------------------|---|
| <i>(H. Matsumoto)</i> | 1 |
|-----------------------------|---|

Special Edition for New CX-5

| | |
|---|----|
| 1. Introduction of All-New CX-5 <i>(M. Kodama, M. Yamada, K. Kinoshita, J. Suzuki, S. Mori)</i> | 3 |
| 2. Design of All-New Mazda CX-5 <i>(S. Isayama)</i> | 9 |
| 3. Light-Weight · High-Rigidity Body Structure of All-New CX-5 <i>(G. Sugiyama, D. Kiyoshita, T. Narahara)</i> | 15 |
| 4. Quietness Development for All-New CX-5 <i>(K. Nagamoto, T. Katsuragawa, M. Awane, T. Fujita)</i> | 20 |
| 5. Development of BOSE Premium Sound for All-New CX-5 <i>(Y. Furuse, T. Nishijima, Y. Teshima, D. Sato, K. Wakamatsu, A. Hinokidani)</i> | 25 |
| 6. Redaction Technology of Diesel Knocking Noise for SKYACTIV-D <i>(N. Shirahashi, T. Mori, K. Iwata, K. Nagato, T. Kikuchi)</i> | 29 |
| 7. Newly Developed Gasoline Engine "SKYACTIV-G 2.5 with Cylinder Deactivation" <i>(A. Noda, H. Arakawa, T. Inoki, T. Yamamoto, N. Hongawara, T. Nishimoto)</i> | 35 |
| 8. New Gasoline Engine "SKYACTIV-G 2.5" Combustion Technology <i>(K. Kodani, T. Uemura, S. Hirashita, T. Nishio, K. Nomura, K. Hirabayashi)</i> | 41 |

Special Edition for New Roadster RF

| | |
|--|----|
| 9. Introduction of Roadster RF <i>(M. Nakayama, M. Yamaguchi, T. Shimomura)</i> | 47 |
| 10. Design of Roadster RF <i>(M. Nakayama)</i> | 52 |
| 11. Development of RHT for Roadster RF <i>(K. Matsumoto)</i> | 59 |
| 12. Proposal of Optimization for Design Parameter and Process Development with Coupling of MBD Approach and Quality-Engineering <i>(F. Tokumitsu)</i> | 64 |

Advanced Production Engineering Process

| | |
|--|----|
| 13. Introduction of Production Engineering Endeavor to Achieve "KODO" Design in Mass Production <i>(H. Sugiyama, M. Moriwaki, K. Takahashi)</i> | 70 |
| 14. Discerning Manufacturing for the Reproduction of "KODO" Design Part of Stamping Process Design <i>(H. Otani, M. Iwata, Y. Nishimura, M. Okada)</i> | 75 |
| 15. Discerning Manufacturing for Reproduction of "KODO" Design - Die Manufacturing - <i>(M. Nishimoto, T. Nagazumi, T. Sasaki, K. Anraku, H. Ohtsuka)</i> | 81 |

| | |
|--|----|
| 16. Development of Soul Red Crystal Metallic (<i>F. Hirano, K. Teramoto, K. Okamoto, R. Nonaka, T. Yamane</i>) | 87 |
| 17. Realization of Continuity Surface to Achieve “KODO” Design (<i>Y. Tanaka, Y. Nagano, R. Ota, N. Shintaku</i>) | 93 |

Technical Reports

| | |
|---|-----|
| 18. Development of G-Vectoring Control (<i>D. Umetsu, O. Sunahara, Y. Takahara, D. Ogawa, C. Ohisa, T. Kan, K. Ujihara, H. Shiiba, F. Kato</i>) | 99 |
| 19. Introduction of CX-4 (<i>N. Okano, K. Sumida, M. Sannomiya</i>) | 105 |
| 20. Design for CX-4 (<i>I. Koizumi</i>) | 109 |
| 21. Development of the System which Automated a Check of the Clearance and the Interference between the Body Parts (<i>T. Watanabe, M. Tanaka, Y. Karasuyama, R. Tokuno, H. Kawanishi, E. Taniguchi</i>) | 116 |
| 22. Development of New Welding Process in High Argon Gas (<i>M. Tanaka, N. Saito, M. Fukahori, T. Ogawa</i>) | 122 |
| 23. Development of Cognitive Performance of 360°View Monitor (<i>T. Ohtsubo, S. Nakamura, Y. Matsuba, T. Moribayashi, S. Morishima, H. Kobanba, S. Takeuchi</i>) | 128 |
| 24. Newly Developed Diesel Engine SKYACTIV-D 2.2 (<i>M. Yamaya, K. Hirabayashi, E. Suekuni, Y. Uesugi, K. Tsuji, M. Matsumoto</i>) | 133 |
| 25. Effect of the Shape of a Front Window Frame on Brain Activity Related to Kansei (<i>Y. Okamoto, T. Sasaoka, T. Yoshida, K. Iwase, M. Chiba, N. Michida, A. Kishi, K. Nishikawa, S. Yamawaki, T. Nouzawa</i>) | 139 |
| 26. Analyzing Mechanism of Increasing Interfacial Strength in Glass Fiber Reinforced Polypropylene Using Molecular Dynamics (<i>K. Hiramoto, K. To, J. Ogawa, H. Sumida, Wang. Cuntao, H. Hamada</i>) | 145 |
| 27. International Efforts towards ITS Standardization (<i>M. Misumi</i>) | 151 |
| 28. Evolution of Mazda Advanced Safety Technology “i-ACTIVSENSE” (<i>K. Hirai, K. Koyama, T. Goto, T. Kume</i>) | 157 |
| 29. Mazda Technology for Kids (<i>T. Tasaka, T. Nakano</i>) | 163 |
| 30. Development of High Performance Torsion Beam (<i>H. Takahashi, S. Kuwako, H. Kawaguchi, N. Nakado</i>) | 169 |
| List of Reports Published in 2017 | 176 |

巻頭言

人間中心の人造り

Human-Oriented Human Resources Development



執行役員

松本 浩幸

Hiroyuki Matsumoto

「人間中心」、マツダはこれまで、この考え方を「クルマ造り」の根幹・土台として大切にし、そのための技術を磨いてきた。例えばドライビングポジション。人にとって力の入らない自然な運転姿勢が、操作を素早く正確にできる基本・クルマ造りの一丁目一番地ととらえて、理想の運転姿勢を造り込んでいる。

私は、このような「クルマ造り」においてだけでなく、「人造り」「組織造り」においても「人間中心」でありたいと考えている。それは、「クルマ造り」をもっとも良く知っているのは現場のエンジニアであり、その現場の力を最大限に引き出し、十二分に発揮してもらえる活力ある風土を造り続けることが、私をはじめ多くのマネジメント層の大きな使命の一つだからである。

そのために重要なことは、「ブレない開発思想を持つこと」と「相互理解・相互支援に基づく全体最適・機能統合」であり、そして何より、「自分達のありたい姿を自ら描き、自ら目標を定め、何年かかっても、もしくは何世代かかってもそこへ行く、という強い意志を持ち続けること」である。

ブレない開発思想を持つこと：

「ブレない」という言葉が意味するところは深く重たい。なぜなら、何百人何千人のエンジニアが同時に仕事を行っている現実からすると、各自の瞬時瞬時の思考・判断に迷いがなく突き進んでいる状態こそが、この上もなく活性化された質の高いエンジニア集団を生むからである。そのために、マツダではここ10年の間に、目標設定や開発の考え方を根本的に変え、ベンチマークや他社比較ではなく（もちろん、エンジニアとして謙虚に他社を知り、優れたところを勉強することは大切にしながらも）、「理想は何だ」に象徴される理想追究・理論限界を極める思考に変革してきた。例えば、クルマは機械として、道具として、それを操る人間にとってどんな天候変化や道路環境変化でも常に扱いやすいことこそが絶対的な理想であり、普遍的な人間というものの徹底的な研究に基づいた思考・判断が、ブレを生まない肝と信じている。

相互理解・相互支援に基づく全体最適・機能統合：

これは、マツダが比較的小さな会社・組織であることをむしろ強みとした、クルマ全体レベルでの取り組みである。例えば、プラットフォームが受け持つ主な機能として、衝突／操安性／乗り心地／振動騒音など多くの性能のエネルギーを吸収・伝達・減衰する役目があるが、それぞれのエネルギーを個々

に考えるのではなく、同時に見て、全体最適の視点でコモディティー・部品への機能配分を行う。そして、全てのコモディティー機能を同時に見て、担当領域の壁を越えてコモディティーの機能を統合していく。このようにして、「いい性能を造ろう」や「いいユニットを造ろう」の世界から、「理想のクルマを造ろう」の世界へ踏み込むこと、これこそが、クルマ屋として懐の深い骨太エンジニアになるための成長を促す、スモールマツダだからこその強みと信じている。この土台となるのは、エンジニア全員が「クルマを感じる」と、さまざまな部品から部品、そして人間に至るまで何が起きているのか、エンジニア一人一人が自ら感じて理解し、全員の意識・思いが繋がってクルマを造っていくことである。この強みは開発だけにとどまらず、企画／デザイン／開発から生産／購買／物流／品質／販売／サービスまで全社が一通貫で、シリーズではなく同時につながって、理想のクルマをお客様にお届けしていく強みへと昇華させていきたい。

以上のような取り組みをとおしてイノベーションを起こし続け、常に進化し続けること、これこそがマツダの特質、いわゆる企業人格であり、お客様をはじめステークホルダーから、マツダと深い絆を築きたいと思っただけの存在理由となるものである。

そして更には、ステークホルダーと深い絆を築くための行動がとれる、すなわち、エンジニア自身が開発したものをお客様に自らの言葉で直接お伝えするまでが、マツダのエンジニアの仕事、ととらえ、積極的に外部とのコミュニケーションを取ってもらいたい。ここ数年の経験から、実はこれが最も効果的な人材育成の一つであることを実感している。

このようにして、エンジニア自らが描いたありたい姿・目標へのロードマップを、全社の仲間とともに着実に実行し、進化の節目節目でお客様からの直接のフィードバックをいただき、次なる歩みの糧としながら、自動車技術への貢献と自らの成長を実感し続けている、そのような活力あるエンジニア集団が形成できると信じている。

さて本誌では、人間の研究成果を取り込み、ドライバーだけでなく「全ての乗員にとっての走る歓びを深化」させた新型CX-5、「人がクルマを楽しむ感覚」そして「感」の世界を一段と進化させた新型ロードスターRF リトラクタブルハードトップ、更には、デザイン／開発／生産が一通貫で取り組んできたモノ造り革新の考え方とお客様提供価値向上の取り組みなど、「理想のクルマ造り」に向けたブレない着実な歩みを掲載させていただいた。「何年かかっても自分達のありたい姿へ到達する、というエンジニアの強い意志」を感じていただければ幸いである。

「意志あるところに道は開ける」、本誌に寄稿された皆様に感謝するとともに、諸先輩方から受け継いだ意志を技術進化の力とし、活力あるエンジニア集団の形成に微力ながら貢献していきたい。

特集：新型CX-5

1

新型CX-5の紹介

Introduction of All-New CX-5

児玉 眞也*1

Masaya Kodama

鈴木 淳二*4

Junji Suzuki

山田 真泰*2

Masahiro Yamada

森 茂之*5

Shigeyuki Mori

木下 勝之*3

Katsuyuki Kinoshita

要約

初代CX-5は、SKYACTIV技術と魂動デザインを採用した新世代商品の第1弾として2012年に導入した。以来、優れた環境・安全性能などを高く評価いただき、「2012-2013 日本カー・オブ・ザ・イヤー」をはじめ、世界中で多数の賞を受賞した。また、世界約120か国で140万台以上を販売し、マツダの年間販売台数の約1/4を占める基幹モデルへと成長することができた。

新型CX-5は、初代CX-5が築いた販売の規模や勢いを維持し、もう一度選んでいただくために、「走る歓びの深化」をキーワードに、お乗りいただく全てのお客様を笑顔にするSUVを目指し開発した。

Summary

The first-generation CX-5 was launched in 2012 featuring SKYACTIV technology and KODO design. Since then, its excellent environmental and safety performance has been highly acclaimed and the model has won numerous awards including “2012-2013 Car of the Year Japan”. Then, it has grown into a core model accounting for approximately 25 percent of Mazda’s annual sales. And to date, over 1.4 million units have been sold in around 120 different countries.

The All-New CX-5 was developed to maintain business momentum established by the first generation CX-5, and to encourage customers to choose our CX-5 again. To that end, with “Deepening of driving pleasure” as our keyword, we made effort to develop an SUV that can bring a smile to every customer who drives it.

1. はじめに

お乗りいただく全てのお客様を笑顔にするために、ドライバーの走る歓びと同乗者の快適性はトレードオフの関係にあるという従来の常識を覆すことに挑戦した。同乗者を含む全てのお客様に、走る歓びを提供することで、更なる「走る歓びの深化」を目指した。

2. 商品コンセプト

初代CX-5は独身、ファミリー、シニアにかかわらず幅広い年齢層のお客様にお選びいただいた。

新型CX-5では、その初代CX-5にてお付き合いの始まったお客様に、もう一度この商品を選んでいただき、より一層絆を深めたいと考えた。

初代CX-5のお客様は、運転することを楽しまれると

もに、こだわりが強く、好奇心旺盛で挑戦心がある方が多い。さまざまなことにチャレンジ・経験をされる中で、ものを見る目が養われ、より豊かで上質なライフスタイルを志向されていると考えている。また、お客様自身のライフステージも変わられ、ご結婚されたり、ご家族が増えていることも想定される。一方で、仕事においてはキャリアアップされ、一緒に働く仲間が増えることも考えられる。

こうしたお客様の成長にあわせて、新型CX-5では、クルマも成長進化させて全ての領域を初代から一段レベルを上げるとともに、ドライバーである「自分自身の走る歓び」だけでなく、「全ての乗員にとっての走る歓び」に深化させる必要があった（Fig. 1）。

*1～3 商品本部
Product Div.

*4, 5 商品企画部
Product Planning Dept.

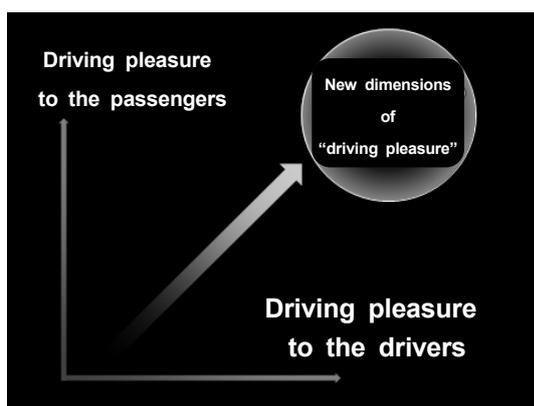


Fig. 1 New Dimensions of "driving pleasure"

3. 商品特徴

「走る喜び」の深化を実現するために、マツダが持つデザインと技術の全てを磨き上げた一台が新型CX-5である。

奇をてらい、目新しさをねらい、変化させることを追い求めるのではなく、クルマの本質である静的な質感・動的な質感を愚直に深化・熟成する道を選んだ。

そのために、「際立つデザイン」、「考え抜かれた機能」、「意のままの走り」など、マツダが新世代商品群に織り込んできた思想や技術、その全てを徹底的に磨き上げ、一段高いレベルに引き上げることを目指した。

3.1 デザイン

「Refined Toughness=洗練された力強さ」をデザインのキーワードとして、「成熟した骨格」、「品格のあるフォルム」、「仕立ての良い質感」の3つを軸に、大人の感性を刺激する美しさを表現した。

また、日本の美意識に改めて着目し、日本の伝統的なモノづくりに受け継がれている「無駄な要素を削ぎ落としたところに生まれる、シンプルで研ぎ澄まされた美しさ」を追求してデザインをつくり上げた。

加えて、「カラーも造形の一部」という思想の下、新型CX-5の造形美を質感高く際立たせるべく、生命力あふれるエネルギッシュな強さと鮮やかさ、濁りのない深みと艶感をより高い次元で両立させる新色ソウルレッドクリスタルメタリックを、マツダ独自の塗装技術「匠塗 TAKUMINURI」を更に進化させて採用した (Fig. 2)。

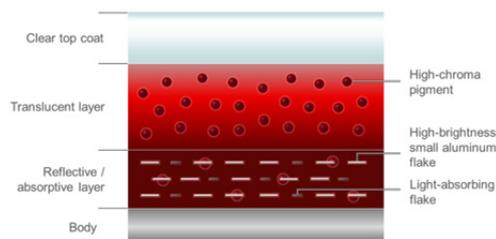


Fig. 2 Paint-coat Composition of Soul Red Crystal

(1) エクステリアデザイン

初代CX-5では、上下の強い動きを重ね、リズムによって躍動感のある造形を表現していた。それに対して新型CX-5では、フロントからリアへとボディーを前後方向に貫くひとつの大きな動きでスピードを表現した。

これによって、大人の風格と上品な艶やかさを感じさせる、精悍なエクステリアデザインを実現した (Fig. 3)。



Fig. 3 Exterior Design

(2) インテリアデザイン

心地よい緊張感とくつろぎを感じられる骨格、SUVらしい剛性感、精緻な仕上げによる高い質感など、ひとつひとつを丹念に磨き、力強さと上質さが融合した洗練された室内空間をつくり上げた (Fig. 4)。



Fig. 4 Interior Design

3.2 ダイナミクス

(1) 静粛性

高速走行時にも、全ての乗員がストレスなく会話を楽しめる快適な空間を実現した。そのため、音源から乗員の耳に届くまでの全ての領域において、ノイズの発生と

伝達メカニズムを徹底的に分析し対策を打つことで静粛性を高めた (Fig. 5)。

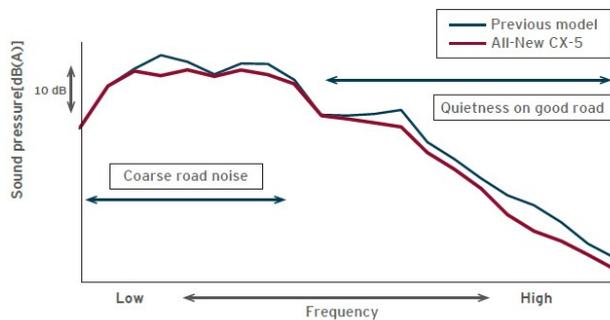


Fig. 5 Road Noise in Comparison with Previous Model

具体的には、ボディー造形そのもので空気の乱れを抑えるとともに、ワイパーをボンネットラインより低い位置に設定することや、ピラーの曲率、部品間のスキや段差を低減することで、空気の流れを乱さず風騒音の発生を抑制した。内装材の吸音特性を向上し、車室内に入り内装材に反射され質感を損ねる反射音の速やかな減衰を実現した。

(2) 操縦安定性・乗り心地

ドライバーだけでなく、助手席/後席に乗られる方も含めて全ての乗員が楽しめる空間を目指した。

そのために、人間の特性を理解し、人間の無意識な感覚・動作に寄り添ったクルマの動きを造り込んだ。その一つが、G-ベクタリングコントロールで、ハンドル操作に応じてエンジンの駆動トルクを綿密に変化させることで、横方向と前後方向の加速度を統合的にコントロールし、タイヤの接地荷重を最適化して、人間の感覚に合った自然で滑らかなクルマの動きを実現した。

また、ドライバーのインプットをより正確に、遅れなくタイヤへ伝えるために、新型CX-5ではステアリングギヤの締結をリジッド締結とした (Fig. 6)。これにより、ステアリングホイールからステアリングギヤ、タイヤまでに至るフロントサスペンションのシステム剛性を向上し、操舵入力からタイヤ実舵までの力の伝達ロスを低減した。

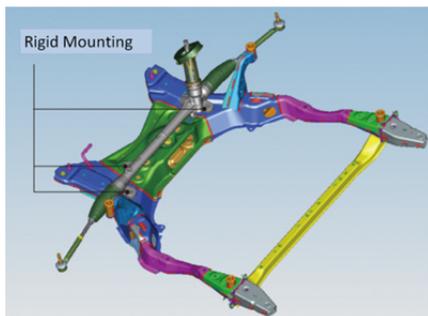


Fig. 6 Rigid Mounting

また、ボディーにおいては、最新のCAE解析を駆使した効率的な補強のほか、Aピラーやサイドシル、Bピラーに軽くて強度の高い超高張力鋼板を新採用した (Fig. 7)。これにより、初代CX-5に対してねじり剛性を約15.5%高め、操作に対する車体の応答遅れを低減し、走りの楽しさと安心感を高めた。

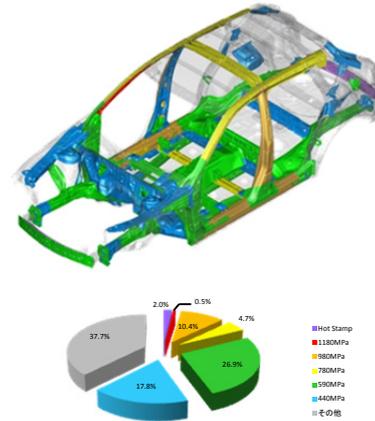


Fig. 7 Body Rigidity

(3) シート性能

新型CX-5のフロントシートは、不快な振動や揺れを抑え、しっかりと体を支えることで正しい姿勢のまま疲労を蓄積することなく正確な運転操作を続けることを目指し、初代CX-5以降磨き続けてきたシート構造を更に進化させた。人間の体を研究し、いわゆる「体幹」をしっかり支持することで、脊椎が自然なS字カーブとなるようにした (Fig. 8)。これにより、理想的な運転姿勢を維持し疲労を軽減させるシートを実現した。

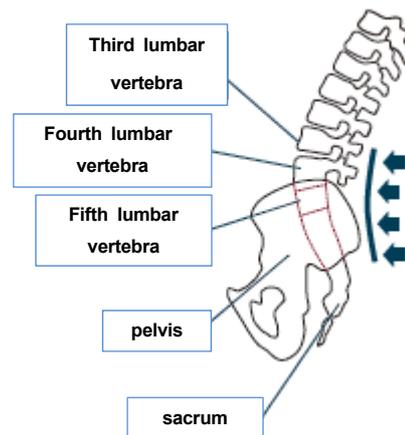
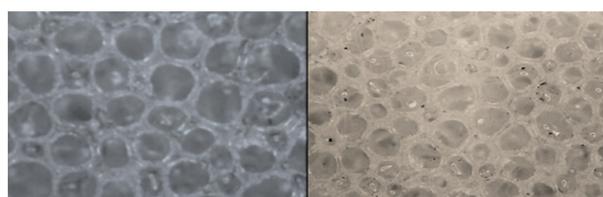


Fig. 8 Maintain Ideal Shape of Spinal lordosis

また、新開発の高減衰ウレタンを採用し、発泡セルの高密度化をさせ、前席・後席のクッションに採用し、不快な振動を低減し、上質感のある乗り心地を実現した (Fig. 9)。



Previous urethane (x175) New urethane (x175)

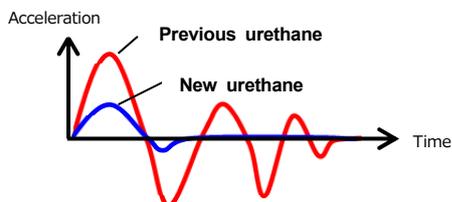


Fig. 9 High-damping Urethane

3.3 利便性その他

マツダは「人馬一体」は乗る前から始まると考え、人がドアを操作するときの動きや感覚に基づいた操作性を追求している。新型CX-5では走り出す前の高揚感と安心感をより高めるためにドア閉め音を造り込み、SUVらしい重厚感のある音質を実現した。

また降車時にドアを開く操作をよりスムーズ化するため、フロントドアのインナードアハンドルを初代モデルから約70mm後ろに配置することで、ワンモーションで開く操作を実現した (Fig. 10)。

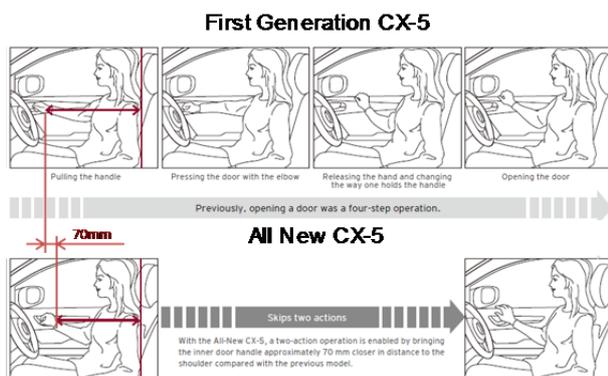


Fig. 10 Improvement of Inner Door Handle Operability

リアドアについては、開度を6° 拡大して80° とし、より大きく開くようにし、ドアトリム造形を工夫することで、大きめの荷物を持つての乗り降りや、チャイルドシートの操作などをしやすくした。

リアシートにおいては、「後席乗員にも走りの質感が高まったことを感じてほしい」という想いのもと、人間が安楽な姿勢を保てるシートのあり方を改めて検証し、シート背面の傾き角度を初代CX-5から2° 拡大し24° に

設定した。そのうえで、28° までシートバックを倒せるリクライニング機構を採用した。また、後席用のベンチレーター (エアコン吹き出し口) , リアシート左右席には座面とシートバックを暖めるシートヒーター (Fig. 11) , リッド付の収納スペースと充電用USB端子を装備し、前席と同様の快適性を確保した (Fig. 12) 。



Fig. 11 Rear Seat Heaters



Fig. 12 Air Condition Vents & Two USB Charging Ports

また、室内の収納スペース、ラゲッジルームの使い勝手を高めるとともに、パワーリフトゲートを新設定した (Fig. 13) 。



Fig. 13 Power Liftgate

(4) パフォーマンスフィール

新型CX-5では、ガソリン・ディーゼルエンジン車ともにリニアリティ、コントロール性、応答性を高め深化した「人馬一体」を実現した。その実現に向けて、あらゆるシーンで、ドライバーが使い分けるアクセル操作に対して、クルマがどれだけ素早く反応し、なおかつ意のままに動かせるかに注力した。具体的には、アクセルペダルを踏んでから車両が動き出す反応時間の改善に注力した。アクセル応答の制御を見直し、特にゆっくり踏んだ際の反応時間を早めている (Fig. 14) 。

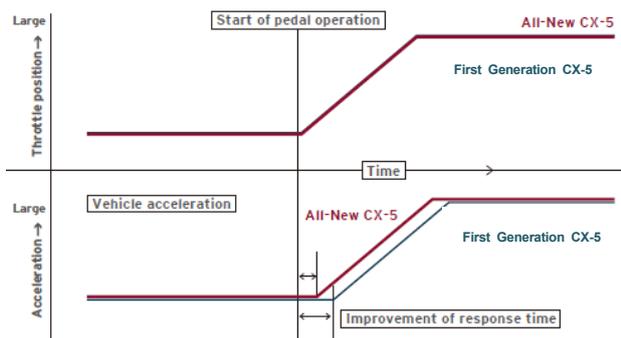


Fig. 14 Comparison of Acceleration Change

3.4 安全技術

世界トップレベルの衝突安全性能を実現し、全ての乗員の安全を守る充実した先進安全装備を幅広く採用した。まず、ドライバーが安全に運転できる状態を最大限確保するため、ドライバーが自然な姿勢で運転できるペダル配置と、ステアリングホイールからの持ち替えがよりスムーズに行えるシフトノブの配置を行い、理想的な運転環境を実現した。

また、フロントウィンドウシールドに投射するタイプのアクティブドライビングディスプレイ（Active Driving Display）を採用した（Fig. 15）。従来のコンパインタイプに比べて、より高く遠い位置に虚像を作ることにより、走行情報への視線移動を最小化するとともに、ドライバーが焦点を合わせる時間を更に短縮した。

Fig. 15 Active Driving Display
Front Window Shield Type

次に安全へのリスクが迫る際には、ドライバーに危険を気付かせ安全運転をサポートすることを目指した。レーンキープ・アシスト・システム（LAS）は、北米の道路状況や運転特性に合わせて新しく開発し、マツダとして初めて北米市場に導入する。LASはドライバーの不注意により車線逸脱リスクが高まっている場合、システムが介入し、ステアリング操作を行うことで自然な車線逸脱回避操作をサポートする。

また、マツダ・レーダー・クルーズ・コントロール（MRCC）は、追従可能な速度域の下限を初代CX-5の

30km/hから0km/hへと拡大した。先行車に追従して、自動で減速・停止・再発進を行うことで、高速道路のみならず、市街地・渋滞シーンでのドライバーの疲労を軽減する（Fig. 16）。

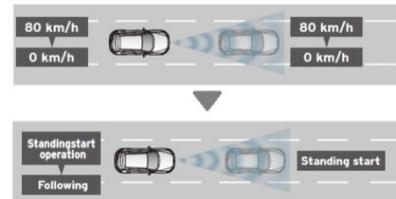


Fig. 16 Stop and Go Function

加えて、アドバンスト・スマート・シティ・ブレーキ・サポート（アドバンストSCBS）、スマート・シティ・ブレーキ・サポート【前進時/後退時】（SCBS F/R）、AT誤発進抑制制御【前進時/後退時】（PTC）、交通標識認識システム（TSR）、12分割のLEDブロックを使うアダプティブLEDヘッドライト（ALH）など、マツダの最新安全技術を導入した。

4. おわりに

新型CX-5の開発プロジェクトで目指したのは、走る喜びを更に深化させたSUVをつくることであった。つまり、CX-5と過ごす時間が笑顔で満たされるよう、ドライバーだけでなく、全ての乗員とクルマの関係を一層深めるクルマづくりをするということだった。それを実現するため、この新型CX-5に関わる全て領域のメンバーが、そのねらいと目指す理想像を深く理解することが重要と考えた。そのため、節目のたびに関連する社員が集まり、カスタマー像や、開発の考え方などについて共有化した。広島の本社では、1回1500人という規模で何度も説明会を行った。また、この取り組みは、日本のみならず海外でも行い、主要市場にエンジニアたちが出向いて、開発の考え方や商品概要を、開発の初期段階で共有化し、お客様へお届けする価値について共創を続けた。これらの活動によって、新型CX-5に関わる人々に、この商品の目指す姿とその達成に向けた課題への理解を深めた。

マツダは、クルマづくりの本質と真正面から向き合い愚直に挑戦し続ける姿勢や、何度も何度も根気強く想いを共有し共創し続ける姿勢こそマツダらしい個性であり、そこに自らの道があると信じている。

「お乗りいただく全てのお客様に走る喜びを提供し、クルマとの関係を一層深めたい」という挑戦から生まれた新型CX-5が、カーライフを通じてお客様に笑顔をお届けし人生をより豊かにする一台になる、と確信している。また、このクルマを通じて、常に挑戦し進化し続けるマツダを感じ取っていただければ、これに勝る喜びはない。

■ 著 者 ■



児玉 真也



山田 真泰



木下 勝之



鈴木 淳二



森 茂之

特集：新型CX-5

2

新型CX-5 のデザイン Design of All-New Mazda CX-5

諫山 慎一*1
Shinichi Isayama

要 約

マツダデザインでは魂動という哲学の下、クルマを単なる鉄の箱ではなく、命あるものだという思想と情熱をもってデザインを行っている。新型CX-5では、デザインで具現化する価値を更に一段引き上げるため、新たに「Car As Art」というテーマを設定した。それはまるでアート作品を見た時に心奪われ、ときめく、そんな価値をクルマのデザインで実現したい、という取り組みである。その手段として、人の手で吟味され生み出される「ぬくもり」を感じられる表現や、日本固有の美の表現「引き算の美」に着目、要素を減らし研ぎ澄ます中に造形の美しさが際立つ表現に取り組んだ。新型CX-5としてのデザインコンセプトは「Refined Toughness = 洗練された力強さ」とし、エクステリアでは、プロポーションの見直しやリフレクションのコントロールにより、クルマとしての美しさ、走りの良さを感じさせるスタイリングを作り上げ、インテリアでは、骨格、素材、形状の最適化により、所有する喜びを感じられる上質な空間を構築した。また新色ソウルレッドクリスタルメタリックを開発し、鮮やかさと深みを両立させ造形のニュアンスを繊細に表現することが可能となった。これらの取り組みの結果、全方位で一段上質な世界を感じていただけるデザインを実現した。

Summary

Under the philosophy of KODO - Soul of Motion design, Mazda designers, who regard the car as something that has life, not simply a mass of metal, are passionately engaged in car design. To elevate the KODO design language to a new level, we set a new design theme "Car As Art". This represents our commitment to embodying a value similar to that you would find when you are fascinated and fall in love with a work of art, in the form of car design. To realize such a car design, we focused on the "warmth" of a human hand in elaborate details and Japan's unique artistic expression "Subtractive aesthetics", and challenged ourselves to create an expression in which the beauty of formative design stands out in a minimum quantity of finely-honed elements. We defined the design concept for the All-New Mazda CX-5 as "Refined Toughness". For the exterior design, we produced the beauty as a car and such a styling that suggests outstanding driving performance backed by a refined proportion and more precisely-controlled light reflection. Likewise, we realized a quality interior space that conveys the pleasure of ownership by optimizing its framework, materials and shapes. A new color available for the first time on the All-New CX-5, Soul Red Crystal Metallic, was created specifically to balance vividness with depth and express a subtle nuance of its formative design. As a result of the efforts described above, we successfully developed a design that, in every direction, provides a premium and quality experience for our customers.

1. はじめに

初代CX-5はマツダにとって新世代商品の先頭バッターであり、デザインの的にも魂動の哲学を具現化した最初の商

品であった。その健康的なパッケージや若々しく躍動感あふれるスタイリングは世界中で多くのカスタマーに受け入れられ、一代でマツダの基軸車種へと成長した。新世代商品群が一巡した今、この新型CX-5は次世代商品群へつな

*1 デザイン本部
Design Div.

ぐ架け橋という重要な位置づけの商品である。

新型CX-5では、初代CX-5を選んでいただいたお客様にもう一度選んでいただくことを目標の一つに掲げている。そのために、ドライバーだけでなく、同乗者を含む全てのお客様に「走る歓びの深化」を感じていただくことを目標として開発した。デザイン領域ではこれを「美しいもの、上質なものを所有することで日々の暮らしをより豊かに感じられる歓び」ととらえ、その実現へ向けて開発した。カスタマーの人生とともに歩み、より大人の成熟した価値観にふさわしいデザインへと深化させること、それは同時にCXシリーズが3, 4, 9とレンジを広げる中で、CX-5として最適な立ち位置の見直しにもつながった。

2. デザインコンセプト

新型CX-5のデザイン開発は、マツダにとって次世代の究極のビジョンモデルの一つであるRX-VISION (2015年の東京モーターショーで初公開) と同時期に進められた。

「Car As Art」実現のために、人の手で作られた「ぬくもり」や日本の美、特に「引き算の美」へ着目していく中で、新型CX-5としても、新しいデザインを生み出すために「単に目新しい何か」を加えていく手法ではなく、初代CX-5の持つ魅力、その良さを更に磨き上げ、研ぎ澄ます中でより上質なデザインへと深化熟成を図る方向であるとねらいを定めた (Fig. 1)。



Fig. 1 RX-VISION

この考えをベースとして、新型CX-5のデザインコンセプトは「Refined Toughness = 洗練された力強さ」と設定した。世界的に見られるSUVの一般化という潮流の中で、大人の風格を感じさせる上質な世界観と、SUVらしい力強さの融合による「美しい力強さ」の表現を狙ったものである。「Refined」という言葉の「洗練された」という意味に、磨き上げ、研ぎ澄ました先に現れるマツダがイメージする「美しさ」を重ね合わせている。

3. エクステリア

上品な艶やかさと大人の風格を感じさせる、精悍なエクステリアデザイン

初代CX-5で好評を得たバランスの良いパッケージングを継承しつつ、躍動感に満ちた若々しいキャラクターを成長させ、精悍かつ堂々とした佇まいを備えた大人の風格を創出することに注力した。クルマとして美しいキャビンとボディーのバランスとスタンスの良さを強調する「プロポーション」、シンプルな造形の中にエモーショナルで美しい映り込みを手仕事でつくり込んだ「フォルム」、随所に採り入れた精緻で端正な「ディテールデザイン」により、艶めきのある精悍なエクステリアを実現した。

3.1 プロポーション・・・美しいバランス

クルマとしての走りの良さを感じていただける骨格表現を狙った。視覚的な重心位置を下げ、ボディー全体がしっかりと地面を掴んだプロポーションを表現している。前後トレッドは10mm拡大し、タイヤを限界まで外側に配置してスタンスを強化した。また、フロントタイヤ、リアタイヤがしっかりとボディーを支えて見えるようキャビンとボディーのバランス見直しを行った。キャビン前方のAピラー付け根位置を先代モデルから約35mm後退させ、フロントアックスルとAピラーの位置を適正化、ボンネット部分はグリル上端を車両先端付近まで延長、カウル部分は逆にウィンドウ側へ延長することでオーバーハングを伸ばすことなくトータルで約100mm長く見せている。また、ベルトラインは前側の高さを上げ、後ろ側を下げることでやや水平方向へアジャストし、キャビンを薄く、ボディーを厚く見せている。これらによりスポーティーで走りの良さを感じさせる、美しいプロポーションを実現した。またこれにより、交差点での前方左右見開き角や斜め後方振り向き視界の視認性向上も図った (Fig. 2)。



Fig. 2 Proportion

3.2 フロントフェイス・・・ブランド表現の進化

フロントの表情を左右する、ファミリーフェイスの考え方を進化させた。水平基調の要素を強め、上質で落ち着いた

のある表現とすると同時に、彫りの深さを強め、大人の精悍な顔つきを表現した。薄型化し低く構えたヘッドランプ、先端をヘッドランプの下側に通して左右への広がり強調したシグネチャーウイング、極細のLEDフォグランプベゼルなどで水平基調の造形を際立たせ、低くワイドな表現を強化した (Fig. 3)。



Fig. 3 Front Face

フロントグリルではシグネチャーウイングとブランドシンボルが引き立つ造形を意識した。3次元的な立体感を強めたシグネチャーウイングの造形はあたかも一つのアートピースのように感じていただける独立した形状とした。メッシュ部分は、立体的な造形の精緻なパターンを採用。遠くから見た際には黒い背景として目立たず、近づいてみるとキラキラと輝く手の込んだ立体が目に入ってくる、そのバランスを意識して造り込んだ形状である。メッシュ基本面は通常と逆のネガ形状とし、シグネチャーウイングとブランドシンボルの立体感を更に際立たせ、非常に彫りの深い、大人っぽい精悍な表情を引き立てている (Fig. 4)。



Fig. 4 Front Grill

3.3 フォルム・・・味わい深い映り込みの美しさ

シンプルな造形でありながら、味わい深く、エモーショナルなニュアンスが感じられる造形を目指した。初代CX-5の特徴であったキャラクターラインによる上下方向の抑揚的な表現を抑えながら、前後方向のスピード感をダイナミックに表現する面の造形に挑戦した。

フロントフェンダーからリアタイヤへ向けてボディーを前後方向に貫く大きな動きを軸として、繊細にコントロールされたネガ面とポジ面の変化によって映り込む光の表情を変化させている。ボディーサイドのキャラクターラインが徐々に面へと変化する際のハイライトや映り込みの変化、そのピークの位置などを徹底的に調整し、エモーショナルなフォルムであると同時にエレガンスも感じていただける柔らかなニュアンスを造り込んだ (Fig. 5, 6, 7)。

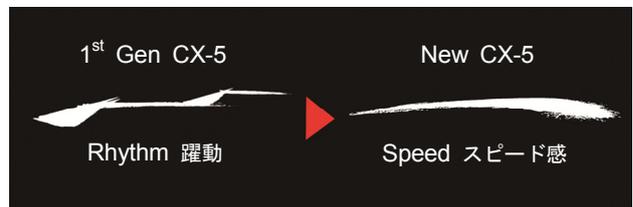


Fig. 5 Comparison of New and Old Themes

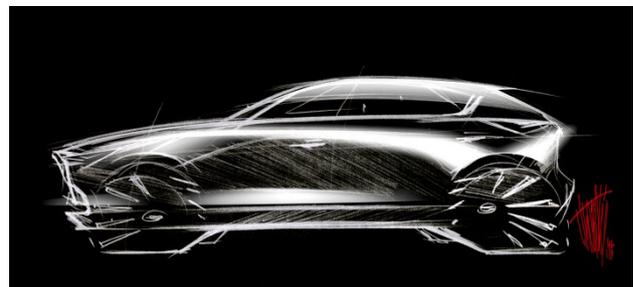


Fig. 6 Theme Sketch of "Speed"



Fig. 7 Bodyside Reflection

3.4 ディテール・・・精緻で端正な造り込み

(1) ランプデザイン

ヘッドランプデザインは全車にLEDタイプを採用することで初代CX-5比約80mm薄型化、Rrランプも約50mm薄型化した。彫りの深いランプ周りの造形を引き立てるためにランプ内機についてもグラフィカルな表現ではなく、立体感を強調する造形を行った。また、CX-5としての存在感を昼夜問わず表現するために、発光エリアが均一に光るように精緻な造り込みを行い、昼と夜の見え方にも統一感

を持たせた (Fig. 8)。



Fig. 8 Front & Rear Lamps

(2) ホイールデザイン

SUVの力強さを感じさせる大径サイズのタイヤに、19インチと17インチ2種類のアルミホイールを設定した。スポークを細く見せ、中心から外に向かって広がりを感じられるデザインを採用した。

19インチホイールには、強い立体感を表現するためにセンター部の彫りの深さとスポークの断面変化のコントロールに注力した。これに加え、スポーク断面の先端部を切削加工とすることで、ソリッドで機械的なイメージを表現し、ボディの有機的な造形表現とのコントラストを持たせ、足元を引き締めて見せている。

17インチホイールでもスポークを細く見せているが、本数を増やすことで密度を感じさせ、弱く見えないような工夫を行っている。また、ホイール色を暗めに落とすことで、ホイール単体のサイズではなく、タイヤ全体のボリュームでボディを支えるイメージを表現した (Fig. 9)。

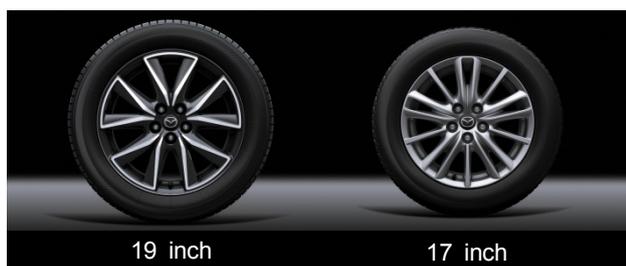


Fig. 9 Alloy Wheels

4. インテリア

人間中心に構築した空間と、高い質感を極めたインテリアデザイン

インテリアでは「空間」「質感」「フォルム」の領域を大幅に見直した。人間中心の思想の元、乗員を取り巻く構造物と素材のあり方にまで立ち戻ってデザインすることで、全ての乗員が心地よい緊張感と安心感、上質な仕立ての良さを感じられるデザインをつくり上げた。

4.1 空間・・・心地よい緊張感と安心感

ドライバーを中心に操作機器や計器類を左右対称に配置した、マツダ車に共通するドライバーとの一体感を高めるコックピットデザインを採用。その上で、ステアリングホイールのセンターからインストルメントパネル加飾、左右の空調ルーバーへと連なる要素の配置を同じ高さに揃え、ドアトリム加飾までつながる水平基調の造形とすることで、横方向へのワイドな広がりのある空間をつくり上げた。

パッセンジャー視点ではインストルメントパネルの重心位置を下げ視覚的な圧迫感を解消、広々と快適な空間に感じられるように内機のレイアウトを調整し断面のボリュームを吟味した。また、サイドデミスターやツイータースピーカーをAピラーに配置変更したほか、高さ約10mmという薄いスリットにCD/DVDプレイヤーを搭載するなど、徹底的にビジュアルノイズを排し、ドライバーが運転に集中できる、心地よい緊張感が感じられるデザインとした。

フロアコンソールは先代モデルより高くワイドなプロポーションとして、左右のアームレストと合わせ乗員の下半身をしっかりとサポート、コマンドポジションでも安心感ある上級SUVにふさわしい骨格を表現した。シフトノブの高さは人間工学的に操作が最もしやすい位置にレイアウトした。

後席においてもレイアウトの見直しを行った。座面高さを初代CX-5比で14mm低くし、シートバック角度を2°倒した。これに加えてリクライニング機構も追加し、快適性を大幅に向上した (Fig. 10, 11)。



Fig. 10 Horizontal Theme of Instrument Panel



Fig. 11 Center Console

4.2 質感・・・仕立ての良さ

インストルメントパネルやドアトリムなど、人の手が直接触れる箇所には可能な限り滑らかな手触りの素材を採用するとともに、パッドにも厚みを持たせて触感を高めた。

インストルメントパネルからリアのドアトリムに至るまで、アッパー部にはリアルなダブルステッチを採用。また素材の工法、色、シボ、艶を統一した。ステッチではあえて太めの糸と粗目のピッチを選択し、上質さとともにSUVにふさわしい強さを表現した。加飾パネル下のミドルパネルやニーパッドにもソフト素材を採用したほか、天井材やAピラーの素材、荷室側壁への不織布採用、グローブボックス内への植毛など、素材見直しによって仕立ての良さを追求し全体の質感を大きく向上した。

更に、インテリア全体でパーティングの隙や段差の減少など基本的なクラフトマンシップのレベル向上にもこだわることによって、細かな要素に至るまでデザインの意図をクリアに表現した (Fig. 12)。



Fig. 12 Door Trim

4.3 フォルム・・・剛性感と上質さ

シートや加飾部の造形では、SUVらしい力強さと上質さを融合させたフォルムを追求した。シートデザインではしっかりと厚みのある座面、立体感のあるサイドのボルスターやショルダーの造形と質感高い縫製によって、力強さと安定感、そして上質な仕立ての良さを表現した。レザーシートでは、シート全体に帯状の縁取りを持たせ、そこにステッチ色を差し入れることでモダンさを演出。ファブリックシートには緻密で滑らかな触感と立体感をもった新開発の布地を採用し、精悍さを際立たせた。

立体的な造形が特徴的な空調ルーバーはエンジンルームからつながるダクトをイメージしている。柔らかなインストルメントパネルを貫通する造形とし、SUVらしい力強いアクセントとした。

デコレーションパネルには、天然のウッドのような温かみと金属の持つ力強さを融合させた新開発の加飾フィルムを採用。7層もの印刷とコーティングを重ねることで、深

みのある表情を備えた新しい表現とした (Fig. 13, 14, 15)。



Fig. 13 Front Seat



Fig. 14 AC Duct



Fig. 15 Decoration Panel

5. カラーデザイン

5.1 ソウルレッドクリスタル

「カラーも造形の一部」という思想のもと、魂動デザインの造形美をより質感高く際立たせるために、ソウルレッドプレミアムメタリックでつくり上げた生命力にあふれたエネルギーな強さと鮮やかさ、濁りのない深みと艶感、緻密で硬質な質感を更に進化させ、高次元で両立させた。ソウルレッドプレミアムメタリックと比較して、彩度を約2割、深みを約5割増したことで、より瑞々しく艶やかな

透明感を実現している。

5.2 インテリアカラーラインナップ

ピュアホワイトまたはブラックのレザー内装、ブラックのファブリック内装の3種類を設定。そのうえで、クルマとの一体感と空間の広がりを実際立たせるため、インストルメントパネルを境にアッパー部とローワー部で色を使い分けている。

ピュアホワイト内装はアッパー部をブラック、ローワー部をホワイト基調とし、白と黒の鮮やかなコントラストで品のある華やかなインテリアを表現。アッパー部のステッチカラーをダークグレー、ローワー部とシートのステッチカラーにはベージュを採用した。ブラックレザー内装ではアッパー部のステッチカラーをダークグレー、ローワー部とシートのステッチカラーを明るいブラウンとして上質さとともにSUVの力強さを強調した。ファブリック内装はブラックを基調に、新しい布地の立体感で空間に豊かな表情を演出した (Fig. 16, 17)。



Fig. 16 Pure White Interior



Fig. 17 Black Interior

6. おわりに

今回の新型CX-5のデザイン開発では、魂動デザインの深化を図るため、マツダ独自の表現手法を探求した。その結果としてトレンドとは一線を画す、人の手のぬくもりが感じられる造形や日本の美意識という価値観を取り入れた新しい表現を行った。これらマツダデザインのこだわり

共感していただき、単なる移動手段という存在を越えて、新型CX-5と過ごす日々の暮らしをより一段豊かなものと感じていただけると幸いです。

マツダの目指す「Car As Art」の究極の姿の実現へはまだまだ道半ばである。クルマとしての美しさの探求を愚直に突き詰め、更なる深化を続けていきたい。

■ 著 者 ■



諫山 慎一

特集：新型CX-5

3

新型CX-5の軽量・高剛性ボディシェル Light-Weight・High-Rigidity Body Structure of All-New CX-5

杉山 豪*¹ 清下 大介*² 檜原 隆志*³
Go Sugiyama Daisuke Kiyoshita Takashi Narahara

要 約

新型CX-5はSKYACTIV-BODY⁽¹⁾を初めて採用した先代モデルの車体骨格を踏襲しながら、基本性能の「質」の飛躍的向上を図るべく、構造を進化させた。効率的な進化を目指し、SKYACTIV-BODYのコンセプトである、可能な限り直線で構成する「ストレート化」と各部の骨格を協調して機能させる「連続化」、入力を特定部品に集中させるのではなく、多くの部品に最適なバランスで分散させる「マルチロードパス」の視点で力学の原理原則に立ち返った再検証をし、注力すべき領域を見出した。また構造化にあたっては、最新のCAE検証技術を駆使し、寄与度の高い部品の構造最適化を行った。

細部におよぶ進化の積み重ねと同時に軽量化も行うことで、突き抜けた静粛性、ワンランク上の操縦安定性、そして世界各国の厳しい衝突テストで最高ランクを獲得する衝突性能（社内テストによる）を実現した。

Summary

In the All-New CX-5, while making use of the body structure of its predecessor who first featured the SKYACTIV-BODY technology, we thoroughly pursued significant advancement in “quality” of basic performance by further evolving the body structure. To do so efficiently, we returned to and considered the principles of mechanics that composes the concept of the SKYACTIV-BODY technology. Specifically, the body was reviewed from perspectives of 1) "Straight structure" where frames are straightened as much as possible; 2) "Continuous structure" where frames function in union and; 3) "multi load path" which disperses loads to multiple parts rather than concentrating on a specific part. Through this effort, we were able to find some areas we should mainly work on. When creating the structure, we made full use of the latest CAE verification technology, looked at the large contribution areas and optimized the structures of these parts.

By building up these meticulous evolutions, we realized ultimate quietness, one rank higher driving performance and crash performance that achieves top ratings in strict tests around the world.

1. はじめに

新型CX-5は「走る喜びの深化」を合言葉にドライバーはもちろんのこと、同乗者にも走る喜びを感じていただけるよう全ての性能を飛躍的に向上させることを目指し開発した商品である。車の屋台骨であるSKYACTIV-BODYを更に発展させるべく機性能を向上させ、飛躍的に各性能を引き上げることに成功した。開発過程において、性能間で相反する課題の解決や、性能向上させながらも軽量化することを目指し、その都度、原理原則に立ち返って検証し、

お客様にとっての価値向上を追求した。その実現を可能にした設計手法や構造について紹介する。

2. 新型CX-5のSKYACTIV-BODY

新型CX-5では、先代から導入したSKYACTIV-BODYのプラットフォームを活かしつつも、直近モデルまでに蓄積してきた技術を全て注ぎ込んだ。また、次世代モデルに適用すべく開発してきた技術も積極的に取り込むことでSKYACTIV-BODYを発展させた(Fig. 1)。次項から具体的に各性能を実現する上での考え方及び手段を紹介する。

*1~3 ボデー開発部
Body Development Dept.

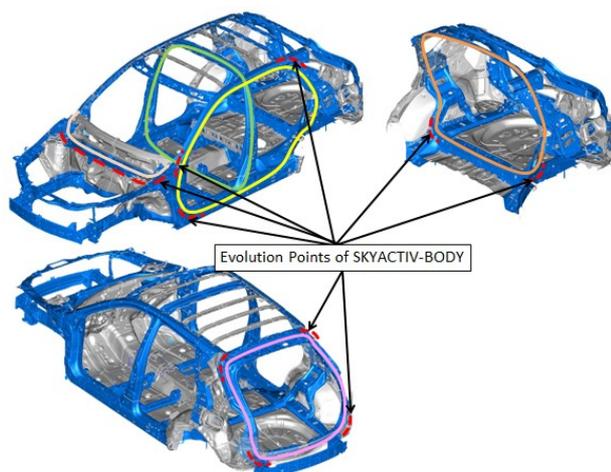


Fig. 1 Structure of New CX-5

3. NVH性能（静粛性）

新型CX-5は、ドライバーだけでなく、乗る人全てが快適に過ごせる車室内を目指し、静粛性の大幅な向上を実現した(Fig. 2)。これまでのモデルを開発してきた中で解明した「遮音のカラクリ」から「空気伝搬音の伝達経路遮断シナリオ」と、「ロードノイズ伝達メカニズム」から「最適なボディー放射音低減シナリオ」を構築し、内外装を含めた「機能量の再配分」を行った。

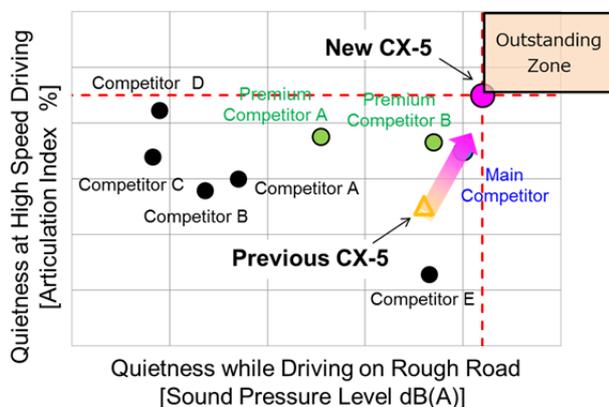


Fig. 2 Balance Chart of Quietness

3.1 音の経路遮断シナリオと機能配分

遮音のカラクリは、「音源（エンジン、タイヤ）」「伝達（車体・内外装）」の大きく2つに分けられる。その中で、伝達の着目点を音のパネル寄与度解析を用いて分析し、部位を特定して最適な個所に機能を配分し、遮音特性を向上させた。ボディー領域の一例としては、ダッシュロアーパネルの板厚アップにより遮音性能を強化し、車室内の静粛性向上を実現した。これを採用するに当たり、操縦安定性能への影響も考慮しながら構造を決定した(Fig. 3)。

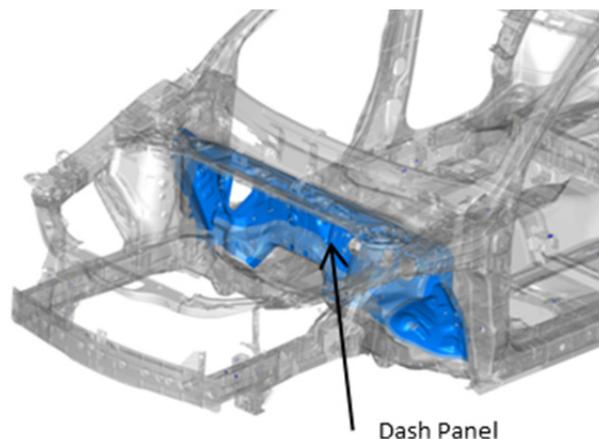


Fig. 3 Up Gauging of Panel Thickness

3.2 最適なボディー放射音低減シナリオと機能配分

走行中の車内音の要因の一つとして、タイヤを起振源にサスペンションやボディー骨格を介してボディーパネルから放射される音がある。荒れた路面でも快適に過ごすことができる車内空間の実現にむけて、この放射音を低減する活動を行った。この活動では、CX-9の開発から用いているパネル等価放射パワー(Equivalent Radiated Power)の評価指標^②で実車とCAE解析によるスタディを行い、寄与が高い経路と部品を特定し、最適な機能配分を実現した。具体的には後席足元のパネルとカウルメンバーにマスを設定し、リアフェンダーに制振機能のある制振材を付与することで、パネル振動を抑制し、音の低減を実現した(Fig. 4)。

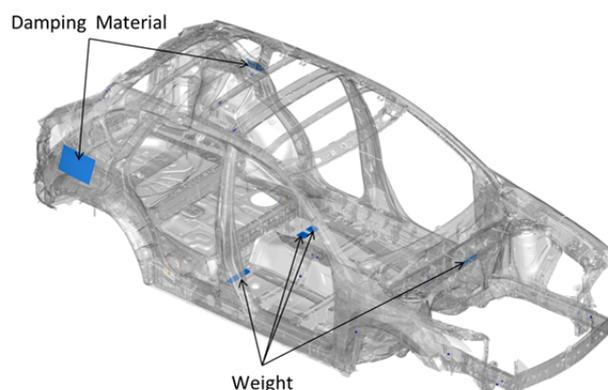


Fig. 4 Optimization of Body Panel

3.3 NVH性能と空力性能に対するボディー部品の機能統合

先代CX-5では空力性能に対する機能のみ持たせていたフロアアンダーカバーに対して、新たに吸音機能を付加した。タイヤから発生した音は、路面と車両との空間で反射を繰り返しながら伝搬する。この音が車室内へと侵入する経路としてフロア部がある。そこで、ボディーパネルとアンダーカバーの隙を縮小し、遮音性を向上させた。更に、

アンダーカバーの材質をPP材からPET繊維材に変更することで吸音特性を持たせ、車室内への音の侵入量を低減した(Fig. 5)。これにより、会話のしやすさの指標を先代に対して改善した。更に、この材質変更により2.75kgの軽量化も実現した。

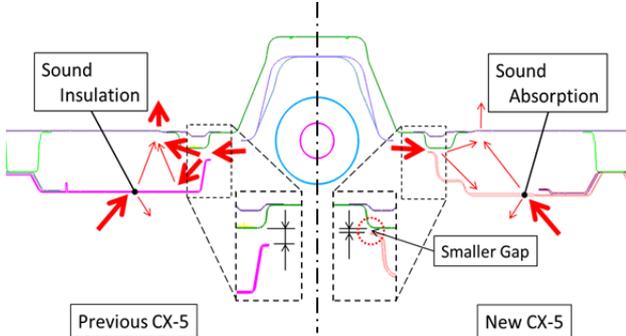


Fig. 5 Sound Absorbing and Insulating Floor Undercover

4. 操縦安定性

新型CX-5は、ドライバーだけでなく乗る人全てが移動する時間を楽しむことができる人間中心の車を目指し開発を行った。具体的には、機械的な応答を高めドライバーのインプットのみならず、車からのフィードバックを向上させることで車体のねじれによる力の伝達ロス低減をねらった。性能上寄与度の高い部位を見極め、効果的な部位に効果的な手法を織り込むことを達成シナリオとした。それを各部位へ適用することで、ねじり剛性を先代比15.5%向上させ、車を意のままに操る楽しさや、同乗して疲れにくい車両性能を実現した。本章では、その構造事例を紹介する。

4.1 フロントサスペンションタワー部の剛性向上シナリオとその達成手段

フロントサスペンションタワー部のねじり挙動から圧縮荷重が集中する部位に着目し、その圧縮荷重に耐える適正な構造を追求した。具体的には、フロントダンパートップ間をつなぐクロスメンバーの直線化やサスペンションタワーとの結合位置の適正化及びサスペンションタワーとダッシュアッパーをつなぐレインフォースメントを追加することで剛性向上を図った(Fig. 6)。

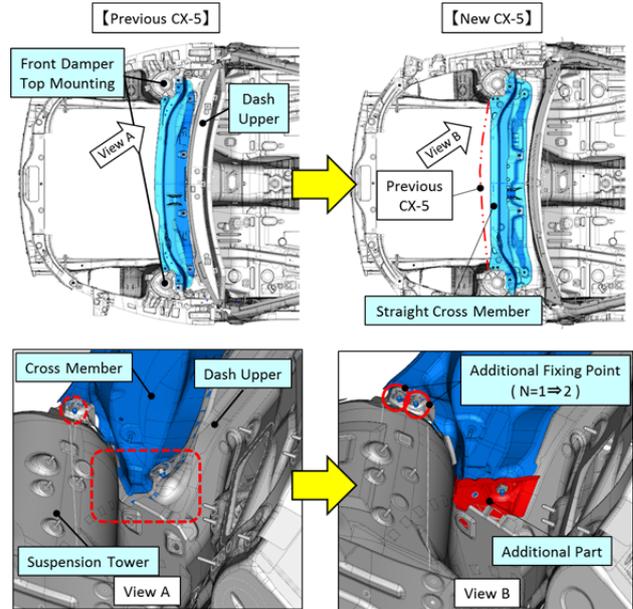


Fig. 6 Rigidity Improvement of Front Suspension Tower

4.2 リアボディのマッチ箱変形抑制シナリオとその達成手段

リアボディの基本的な構造は、先代同様SKYACTIV-BODYの特徴であるデュアル・ブレース構造やリアダンパートップ取り付け部からCピラー、ルーフサイドレインへ連続して結合する環状構造を踏襲した。その上で、フロントサスペンションタワー部と同様に、圧縮荷重が集中する部位に着目し、マッチ箱変形抑制の肝となる結合部位を見極め、Fig. 7に示す3部位へ圧縮方向の変位に大きな効果を発揮する高剛性発泡充填材を設定した。

まず、No.4クロスメンバーとデュアル・ブレースとの結合部に設定した高剛性発泡充填材は、リアダンパートップから入る荷重によってキャブサイドが車両室内側に倒れようとする挙動を抑制している。この部位を別の手段で補強すると、厚板のレインフォースメント追加による質量増加や断面拡大による室内寸法阻害の要因となってしまうが、高剛性発泡充填材追加によりそれらの問題をクリアした。更に、同じくCピラーの内倒れ抑制としての機能を持つサスハウジングガセットの負荷を減らすことができ、同部品の板厚ダウンによる軽量化も達成した。

このほかにも、車体構造上接合が困難であったルーフサイドレインの接合部や、リフトゲート開口部剛性向上に効果的なリアエンドコーナー部にも高剛性発泡充填材を設定することで力の伝達ロス低減を図った。

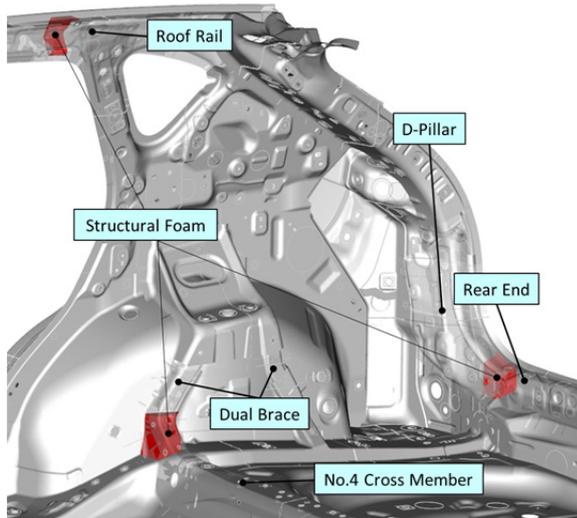


Fig. 7 Rigidity Improvement of Rear Body

4.3 リフトゲート開口部の剛性向上シナリオとその達成手段

リフトゲート開口部についても同様に、圧縮荷重が集中する部位に着目し、コーナー上下左右4カ所への補強を行った。コーナー下部は上述と同様に高剛性発泡充填材を設定することで断面崩れを抑制し、コーナー上部はDピラーとヒンジレインフォースメントとの断面のつながりを強化することで、リフトゲート開口部のマッチ箱変形を抑え剛性向上を図った(Fig. 8)。

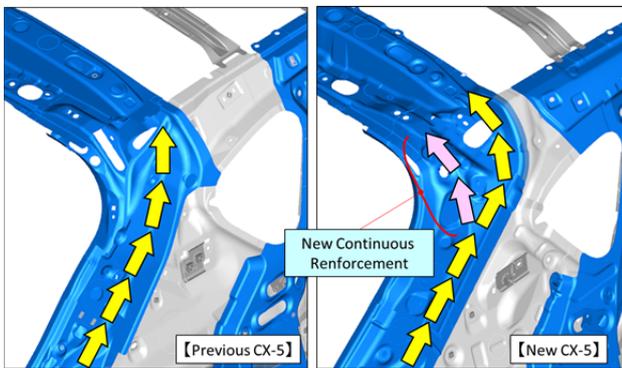


Fig. 8 Change of Rear Body Structure

5. 衝突安全性

新型CX-5は、世界各国の市場評価で最高ランク獲得を目指し開発を行った。各市場における評価基準が高くなる中で、更にSKYACTIV-BODYを進化させたフロントキャビン周りの開発事例について紹介する。

5.1 米道路安全保険協会 (IIHS) Top Safety Pick+ 獲得に向けて

先代モデルではIIHSのSmall Overlap前突のStructure評価はAcceptableであったが、これをGoodまで改善を行

った。衝突時の入力特定の部位で受けるのではなく、周辺部材へ効率よく分散させることをコンセプトとした。キャビンへの入力、バリア及びタイヤ・ホイールの2系統ある。それぞれに対して、Aピラーの結合部やサイドシルに新たなロードパスを追加し、周辺部品への荷重伝達を増やすことにより、衝突エネルギーを効率よく吸収することで、キャビン変形量を減らし、車室内空間を確保した。

5.1.1 Aピラーの結合強化

衝突時の入力エネルギーは、「サスペンションタワーからヒンジピラーへ」、「ヒンジピラーからAピラーへ」と伝達される。その時、ヒンジピラーとAピラーの結合が弱いと、応力集中により結合部で折れが発生し、エネルギーの伝達が悪化する。そこで、衝突エネルギーが主に構造体の稜線部分を通して伝わることに着目し、Aピラー接合部に新たにロードパスを追加し、前方からの入力をより広くに分散した。これによってエネルギーの吸収効率を上げた。更にAピラー付近の各部品の耐力を見直し、レインフォースメントの材質は1ランクUPした780MPa級へ、インナーの材質は2ランクUPした1180MPa級に変更することで断面耐力を向上させ、インナーの板厚1ランクダウンを実現し、質量低減を実現した。超ハイテン材の適用にあたっては、成形の難易度が高く、精度保証に課題が多かったが、生産技術部門やサプライヤー様との共創活動で得られた細かな形状工夫によって克服し、実現した(Fig. 9)。

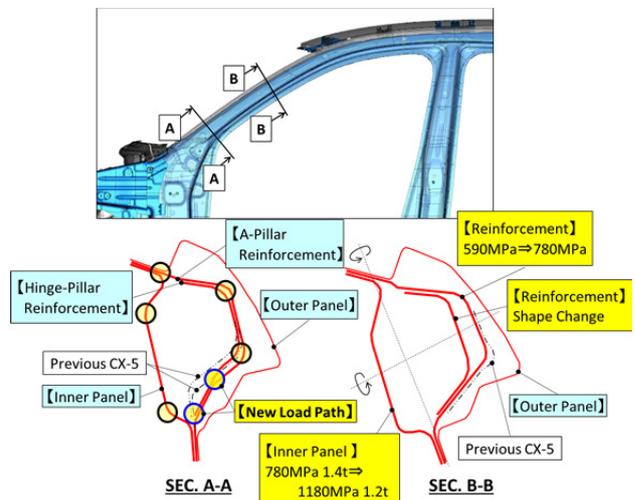


Fig. 9 A-Pillar Section

5.1.2 サイドシル構造適正化

バリアに押し込まれたタイヤ・ホイールからの入力は、「ヒンジピラーからサイドシルへ」伝達される。この伝達時のロードパスを増やすことでエネルギーを分散し、サイドシル前面部の吸収効率を高めた。これにより、サイドシルの耐力配分を減らし、サイドシルを構成する部品の板厚低減を実現した(Fig. 10)。

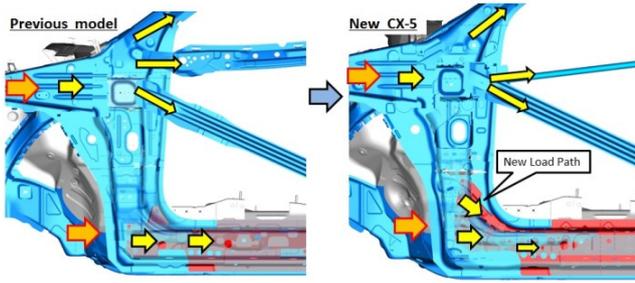


Fig. 10 Deformation Mode of Hinge Pillar

5.2 歩行者保護対応のためのカウル構造

車対歩行者の衝突時、頭部が受ける障害を更に低減するため、新型CX-5ではデミオ/CX-3以降の各モデルで採用してきた一体型のS字型カウルパネル^③を採用した。この一体型のS字カウルパネルにより、頭部インパクト時にカウルパネル自体が上方から折りたたまれる挙動を示し、頭部傷害の抑制に効果的に寄与する(Fig. 11)。

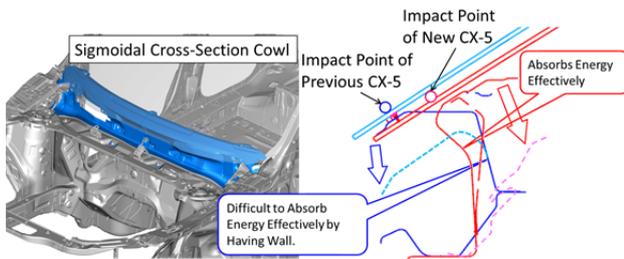


Fig. 11 Pedestrian Head Protection

6. 軽量化

新型CX-5の車体は、機能量の大幅な向上に対して先に述べたような構造適正化とハイテン展開率アップの結果(Fig.12)、質量効率を表すLight Weight Indexは先代比5%改善し、競合他車と比べてもベストインクラスの高効率軽量ボディを実現することができた(Fig.13)。

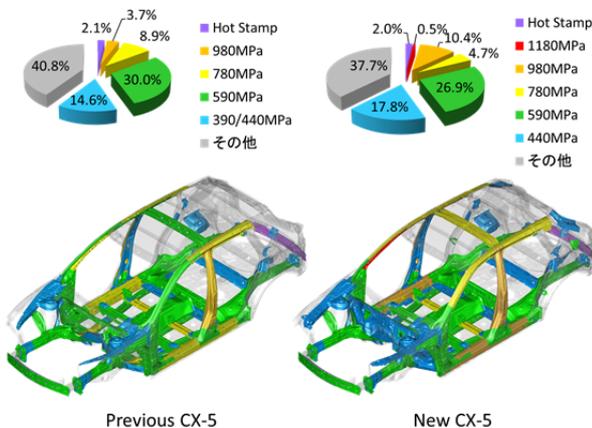


Fig. 12 Application Rate of Sheet Metal

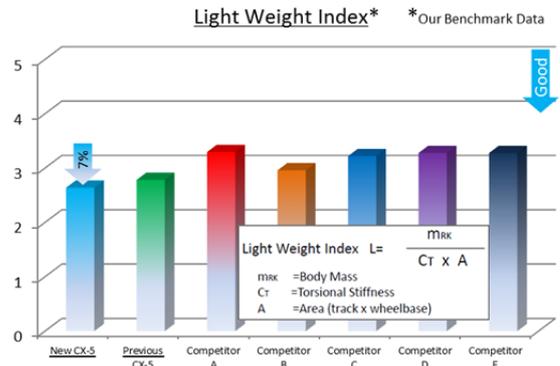


Fig. 13 Achievement of High Weight Efficiency

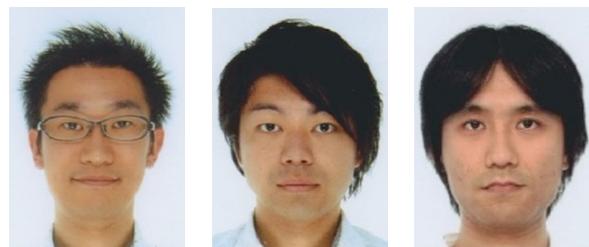
7. おわりに

新型CX-5は、先代から直近モデルまでに蓄積してきた技術を実際に反映し、更に次世代モデルに適用すべく開発してきた技術を取り入れ、各性能を飛躍的に向上することに成功した。これらの成果は、企画・デザイン・設計・実研・生産技術及び製造部門そしてサプライヤー様がOne MAZDAで活動した結果、収めることができたと思信じている。今後もお客様に喜んでいただける商品の開発に邁進する所存である。

参考文献

- (1) 木村隆之ほか：SKYACTIV-ボディ，マツダ技報，No.29, pp.61-67 (2011)
- (2) 松岡秀典ほか：新型デミオ・CX-3の軽量ボデーシェル開発，マツダ技報，No.32, pp.48-55 (2015)
- (3) 吉武晃司ほか：新型CX-9の軽量・高剛性ボデーシェル，マツダ技報，No.33, pp.44-49 (2016)

■ 著 者 ■



杉山 豪

清下 大介

檜原 隆志

特集：新型CX-5

4

新型CX-5の静粛性開発について Quietness Development for All-New CX-5

永本 光一*¹ 桂川 貴弥*² 栗根 正浩*³
Kouichi Nagamoto Takaya Katsuragawa Masahiro Awane
富士田 拓也*⁴
Takuya Fujita

要 約

新型CX-5では、「ドライバーだけでなく、乗る人すべてが快適に過ごせる車室内空間」をお届けするため、前モデルからの大幅な静粛性向上を目指した。静粛性の開発にあたり、従来からのロードノイズや風騒音の指標に加えて前席と後席の音圧差や音の減衰時間といった新しい指標を用いてそれぞれに高い目標を設定した。目標達成のため、音源の低減、音響伝達特性改善、振動伝達性能改善及び車室内音響特性改善の開発を行ったが、その開発には音の時間変化の分析や可視化などNVHのCAE解析技術や実験評価技術を駆使し、新型CX-5の上質な車室内空間を実現した。

Summary

In the quietness development of the All-New CX-5, our aim was to achieve a significant improvement from the former model to offer all occupants a comfortable cabin. We set high targets not only for conventional indices but also for new ones such as "Sound pressure gap between front and rear seats" and "Sound decay time". For the targets achievement, we developed the decrease of the sound source, the improvement of sound transmission performance, the improvement of vibration transmission performance and the sound performance improvement in the cabin. We worked on these indices making use of CAE analysis as well as testing evaluation technology which analyzes temporal variation and visualization of sound. This way, we realized a quality interior space of the All-New CX-5.

1. はじめに

新型CX-5では、「乗る人すべてが快適に過ごせる車室内空間」を目指した。静粛性において快適とは、高速道路でも普段と変わらない穏やかな声で会話が楽しめ、荒れた路面でも乗員に不快感を与えないことである。

本稿では、そのような静粛性の実現のために、お客様視点で設定した新型CX-5の開発指標と、それを具現化したNVHの開発技術について報告する。

2. 静粛性の指標

新型CX-5は、従来のお客様への提供価値である「安心／快適」に「乗る人すべてに」と「上質」を加えた静粛性の指標と定量目標を設定した。

2.1 静粛ゾーン

「安心／快適」をお客様へ提供するための基本的な静粛性指標は、2016年に北米に導入したCX-9の開発から採用している「高速走行時の静粛性」と「荒れた路面での静粛性」を用いた。

「高速走行時の静粛性」は、高速クルージング時の会話のしやすさとして、会話の明瞭度指数のAI値⁽¹⁾ (Articulation Index) を定量指標に用いた。会話明瞭度はザー／バサバサと聞こえる高周波のタイヤ騒音や風騒音を低減させることで向上し、快適な高速クルージングができるようになる。また、「荒れた路面での静粛性」は低周波の不快感なロードノイズを低減させることで向上し、路面状態が変化しても煩わしさを感じることなく、運転ができるようになる。

*1～3 NVH性能開発部
NVH Performance Development Dept.

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

それぞれの指標での会話のしやすい／不快を感じない領域を「静粛ゾーン」と定義し、新型CX-5の静粛性は「静粛ゾーン」を目指した (Fig.1)。

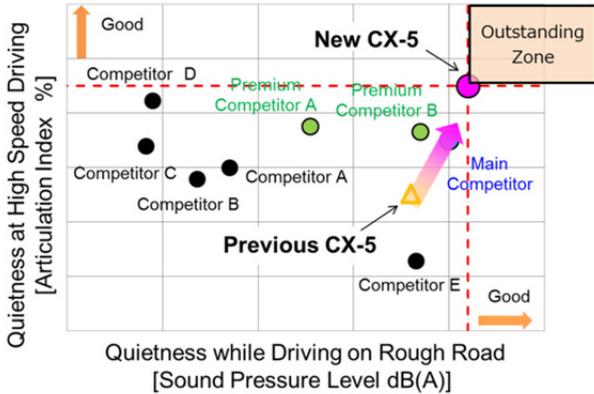


Fig. 1 Quietness Chart

2.2 前席と後席の音圧差

新型CX-5は、「乗る人すべてが快適に過ごせる車室内空間を提供する」コンセプトを実現するため、前席のみでなく、後席の静粛性にも注力して開発を行った。

前席・後席とも会話明瞭度の向上とロードノイズの低減を図りながら、前席と後席の性能差が前モデルに対して少なくなるように目標を設定した (Fig. 2)。

乗員に違和感を与え、不快と感じさせる車両後方からの侵入音を、重点的に低減することにより、会話明瞭度の大幅な向上とともに、前席と後席の会話を愉しめる快適な車室内空間の実現を目指した。

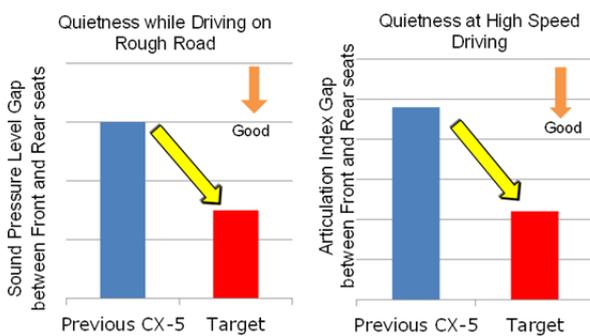


Fig. 2 Sound Pressure Gap between Front and Rear Seats

2.3 音の減衰時間

更に、会話のしやすさは、音圧レベルの低減に加え、音の過渡的な減衰特性（響きの長さ）も重要な因子である。そこで、新型CX-5は、音の響きの長さを前モデルに対して短縮することで、会話のしやすい音響空間の実現

を目指した。

その実現ため、音の響きの長さを定量的に評価する手法を開発し、車室内に単発的に発生する音の時間変化を計測してこれを評価指標とした。

3. 静粛性開発技術

3.1 会話明瞭度の向上

会話明瞭度向上のためには、車外のタイヤ騒音や風騒音の音源低減と音源から車室内への伝達特性改善（=遮音性能の向上）が必要である。

遮音性能は、フロアやドアなどの部品の音響透過損失に左右される。しかし、Fig. 3のように、面積比で僅か1%の穴・隙が部品としての透過損失を約5dB悪化させ、部品全体の遮音性能が大きく損なわれてしまう。そこで、穴・隙を縮小させて遮音性能向上を図った。

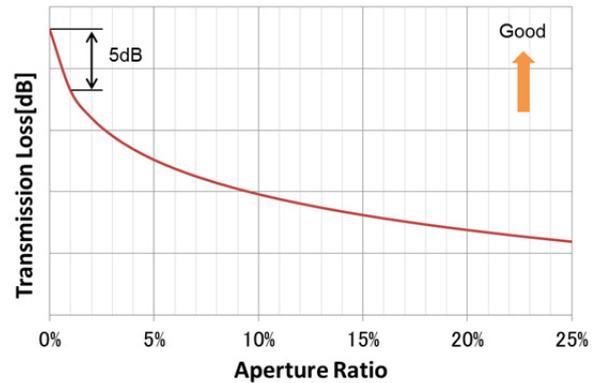


Fig. 3 Relationship between the Performance of Sound Insulation and Aperture Ratio

Fig. 4は、車室内側から音を発生させて、車両側下部のサイドシルから車外に漏れる音を可視化した結果である。図の赤い部位が音漏れの大きい部位を示しているが、実際の走行時では、この部位から音が侵入することになる。サイドシル内部には生産工程で必要な多数の穴が設定されているが、それらの穴を塞ぐことで音圧の低下を確認し、音の侵入に影響の大きい穴が特定できた。

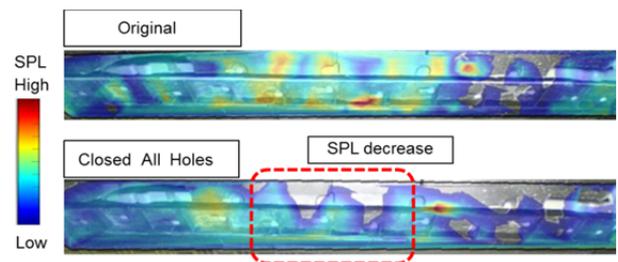


Fig. 4 Visualization of the Sound Leaking

そこで、これらの穴について、シール強化による穴塞ぎ

や塞げない穴への車室内への侵入音の吸音対策を行った。
 以上のような活動を行うことで、車両全体の穴・隙を縮小して、会話明瞭度を向上させた。

3.2 前席と後席の音圧差の縮小

前席と後席の音圧差の縮小のために、後方からの車室内侵入音を分析し改善を実施した。音の可視化分析から、車室内側の主要音源はエキストラクターから侵入するタイヤ騒音であることがわかった。

そこで、エキストラクターから侵入した音をトリム内部で効率的に低減させることで、通気経路の伝達特性の改善を図った。エキストラクターとトリムグリルの間の経路長を確保し、更に、その経路上に吸音材を配置することで、経路内の吸音面積を拡大し効果的な侵入音の低減を行った (Fig. 5)。

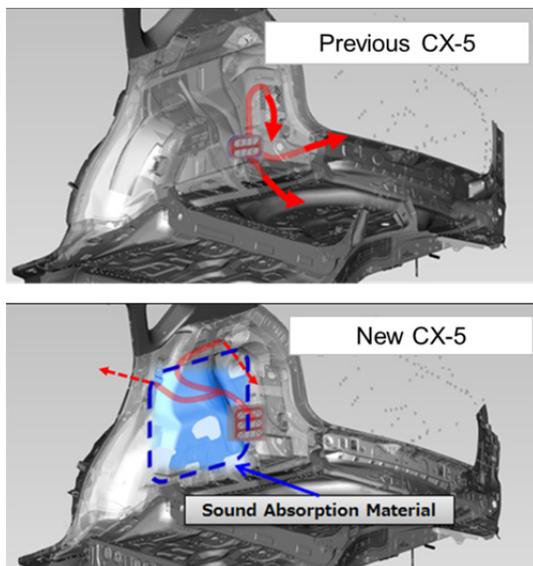


Fig. 5 Improvement Case of the Noise from Backward

その他にも、トランクボードやサブトランクと内装材との間の隙を縮小し、トノカバーと後席シートバックの間の隙を可動式フラップによって縮小するなど、音の侵入経路を塞ぐことで後方からの車室内侵入音を低減した。

3.3 風騒音の低減

風騒音とは、高速走行時に車両廻りに発生する気流の乱れで生じる音（空力騒音）が車室内へ伝搬し、乗員に聞こえる音である。風騒音を低減するためには、音源の空力騒音と音の伝搬を抑制することが必要である。

空力騒音は、気流の乱れ（剥離渦）による空気の変動によって発生するものであり、車体表面に沿って流れる風が車体から離れる部分において気流の乱れが発生するため、キャビン廻り、特にワイパー～カウル部分、Aピラー、ドアミラーなどの形状の影響が大きい。この剥離

渦の抑制が空力騒音抑制の重要なポイントであるが、気流を実験的に可視化することが難しく、CFD (Computational Fluid Dynamics) を用いて気流の把握を行った。

Fig. 6はワイパー～カウル部分中央断面のCFD検討結果を示したもので、赤い部分の剥離渦が大きく、その低減を検討した。前CX-5では気流がワイパー部分に衝突し、剥離渦がワイパー前側と後ろ側に発生していた。このワイパーへの気流の衝突を回避するために、新型CX-5はワイパーの位置をボンネット下側へレイアウトすることで、カウル部分で発生する剥離渦を抑制し、空力騒音を低減することができた。

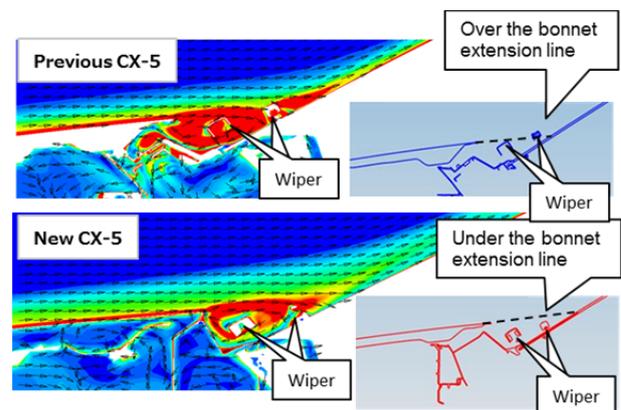


Fig. 6 Improvement of Aerodynamic Noise by Changing the Layout of Wiper and Cowl

また、Aピラー部分についても同様に、Aピラー側面で発生する渦を低減するために、Aピラー形状の検討を行った。CFDを用いて、Aピラー外板面の曲率、Aピラーとガラス面の段差の影響を流れ場解析し、Fig. 7に示すように、ピラー側面で発生する剥離渦を抑制して、走行時の耳元近くの風の音を低減した。

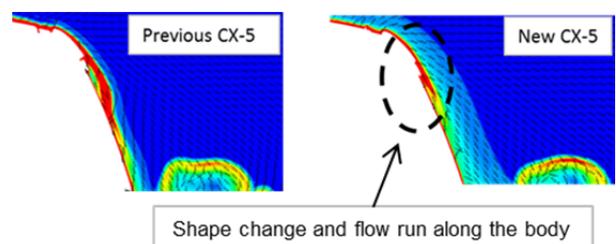


Fig. 7 Reduction of Aerodynamic Noise from A-Pillar

更に、新型CX-5から新たにドア廻りにパーティングシールを設定し、ドア廻りの段差隙により発生する細かな空力騒音を抑制した。

音の伝搬対策としては、遮音性能を高めた遮音ガラスをサイドウィンドウに採用することとした。

3.4 音の減衰時間の短縮

車室内の音の響きは、車室内に面した部品が音を反射することにより発生する。Fig. 8のように、反射する音の伝達経路は長く音源から直接耳に到達する音に対して遅れて耳に到達するため、反射音が大きくなれば音の響きは長くなる。従って、音の響きの長さを短縮するためには、車室内部品の吸音機能を向上させて音の反射を小さくする必要がある。

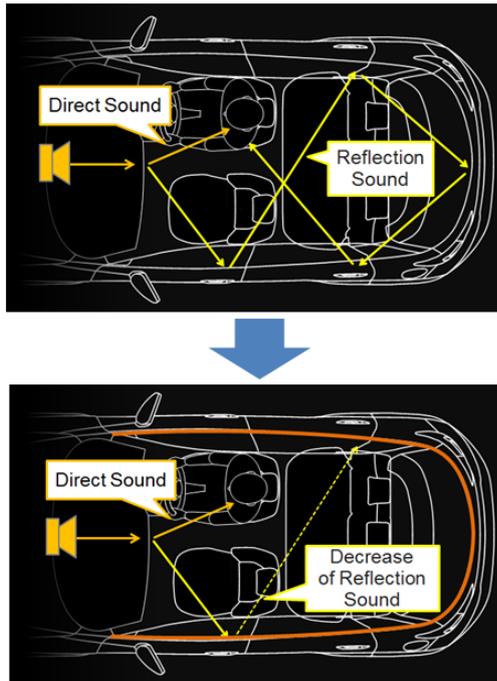


Fig. 8 Delay Caused by the Reflection Sound and the Control by Interior Sound Absorption

音の響きの長さと車室内吸音の関係は、ドア閉め音の減衰時間の計測によって把握した。更に、その結果を用いて、目標の減衰時間達成に必要な車室内吸音量を明らかにし、各内装材部品の吸音機能に配分することにより、それぞれの部品に必要な吸音特性を決定している。新型CX-5は、前モデルに対して、吸音特性の高い天井内装材を用いることで音の減衰時間を低減させた。Fig. 9は天井内装材の吸音特性を示したもので、新型CX-5は、前CX-5に対して基材の変更等によって吸音特性を向上させている。

Fig. 10にドア閉め音の減衰時間の測定結果を示す。新型CX-5は特に高周波域の減衰時間を短縮し、会話のしやすい音響空間を実現した。

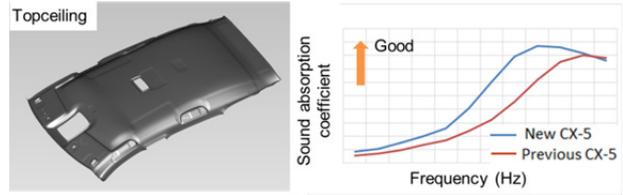


Fig. 9 Parts that Control Sound and the Sound Absorption Coefficient

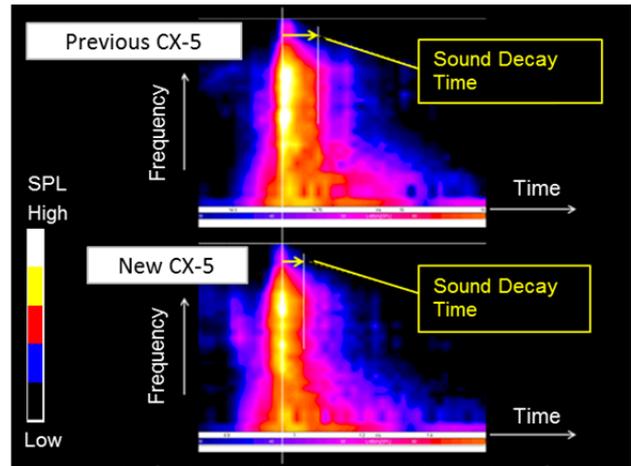


Fig. 10 Evaluation of the Sound Decay Time at the Door Closing

3.5 ロードノイズの低減

荒れた路面でのロードノイズは、タイヤが受けた路面刺激が振動となり、サスペンションや車体骨格を伝達し、車室内に面するパネルから音となって放射されて乗員耳位置まで届く現象である。

伝達特性を表す指標として、タイヤホイールから伝わる力に対し、各パネルで放射される音響パワーを示したERP^② (Equivalent Radiated Power) を用いた。

ERPの目標設定は、ロードノイズの周波数帯域まで分析が可能となった実機での音の可視化結果も考慮して設定した。Fig. 11はトップシーリングから放射される音の大きさを可視化した事例で、赤い部分からの放射音が大きく、この部位の放射音を低減することが効果的であることを示している。

ERPの低減については、入力点から放射部位までの伝達経路上に存在するサスペンションや車体の共振のうち、ERPへの寄与が大きい現象を抑制することが重要である。そこで、解析上で各共振の因子となる特性パラメータを変化させERPの変化を確認することで寄与が大きい共振現象を抽出した。

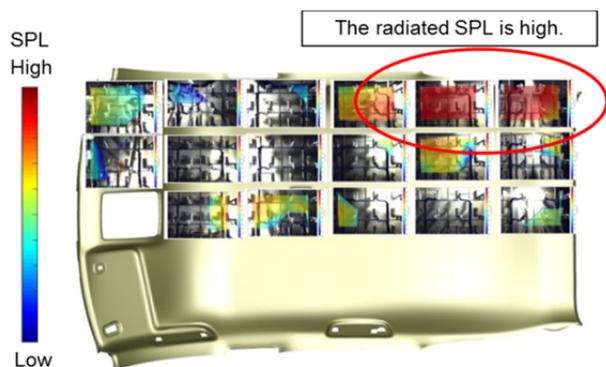


Fig. 11 Visualization of the Radiated Sound

Fig. 12は車体振動の解析結果の一例である。またサスペンションの分析から抽出した共振現象の一例として、リヤサスペンションクロスメンバーの上下方向の共振をFig. 13に示す。抽出した共振現象は、剛性や質量を変化させるなどの効率的な改善策を具体化した。上記サスペンションクロスメンバーの共振現象についても、振動抑制を狙った改善策を検討し、Fig. 14に示すようなERPの改善効果を得ることができた。

このような各部のERP低減策を積み重ねることで、新型CX-5は前席・後席ともロードノイズ性能の向上を実現した。

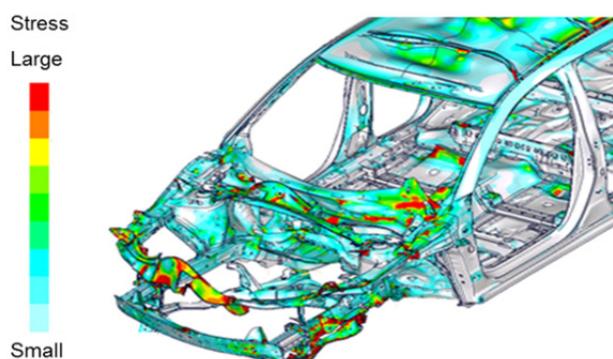


Fig. 12 Example of the Body Vibration

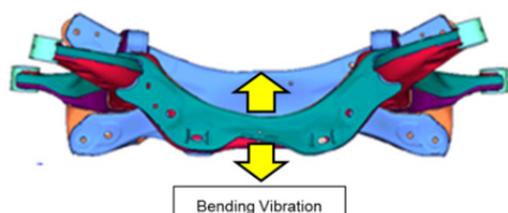


Fig. 13 Mode of Vibration at the Rear Suspension Cross Member

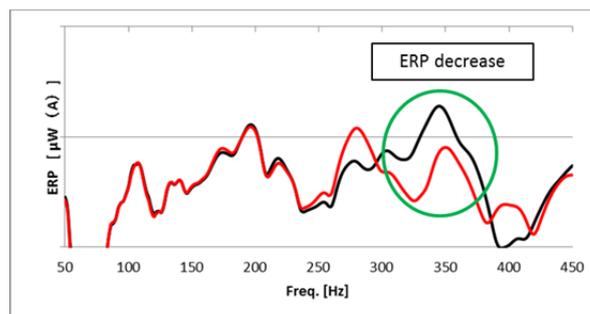


Fig. 14 Effect Confirmation of the ERP Improvement

4. おわりに

新型CX-5では、「乗る人すべてが快適に過ごせる車室内空間」をお客様に提供することができたと自負している。その快適性をマツダブランドとして認知していただくためには、今後も全てのマツダ車が期待以上の性能であり続けることが重要である。その実現に向けてNVH開発技術の更なる向上を図っていく所存である。

参考文献

- (1) ANSI: Methods for the calculation of the articulation index, ANSI S3.5-1969(1969.)
- (2) MSC Software Corporation: MSC Nastran 2010 Release Guide, pp.18-27 (2010)

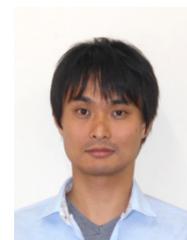
■ 著 者 ■



永本 光一



桂川 貴弥



栗根 正浩



富士田 拓也

特集：新型CX-5

5

新型CX-5 BOSE プレミアムサウンドの開発 Development of BOSE Premium Sound for All-New CX-5

| | | |
|--------------------------------------|--|---|
| 古瀬 雄平* ¹ Yuuhei Furuse | 西嶋 孝祥* ² Takayoshi Nishijima | 手島 由裕* ³ Yoshihiro Teshima |
| 佐藤 大治* ⁴ Daiji Sato | 若松 功二* ⁵ Koji Wakamatsu | 檜谷 篤史* ⁶ Atsushi Hinokidani |

要約

新型CX-5のBoseサウンドシステム開発においては、車両開発の初期段階からBose社と協働しながら最適な機能配分に基づいてシステム構成やスピーカーレイアウトを一から見直した。初代CX-5から更なる進化を遂げた10スピーカーシステムを採用することで、新世代商品群の集大成にふさわしいマツダサウンドを実現した。Aピラーには車室内の静粛性の劇的な向上を背景に、新設計のネオジウムツイーターを搭載し、乗員の耳元へ繊細な高音を届ける。内容積8リットルを備える新型CX-5専用の新設計130mmウーファー内蔵ベースボックスは車室内の隅々まで力強い重低音を響かせる。デジタル・イコライザ（以下EQ）内蔵アンプはシート材質の違いに応じてそれぞれ専用のEQパラメータを備え、AUDIOPILOT2（走行ノイズ補償システム）だけでなく、Centerpoint Surround Technologyによるバーチャルサラウンド再生にも対応する。

開発においてはBose社とのサウンドチューニングを通して、全ての席においてまるでライブコンサートのように明瞭なサウンドが広がるマツダサウンドを実現することができた。

本稿は新型CX-5に搭載したBoseサウンドシステムの概要及びその技術概略について紹介する。

Summary

The Bose sound system for all-new CX-5 features ten speakers while the previous system uses nine speakers. Collaborating with Bose from the early development phase, we overcame the issues of first generation CX-5 and realized advanced "Mazda Sound". It is achieved by optimized system configuration and speaker layout. Newly designed SilkDome tweeter on A-pillar delivers delicacy of high tone in the much quieter car cabin. The bass box, also newly designed, with 130mm woofer in 8 liter volume reproduces deep, powerful bass sound throughout the cabin. The digital equalization (EQ) amplifier provides separate EQ parameters for leather and cloth seat surfaces. It also features two very convenient features: AUDIOPILOT Noise Compensation Technology and Centerpoint Surround Technology. You can enjoy virtual surround sound with Centerpoint with most music sources.

With all these features, the system reproduces very clear sound close to live concert experience at all seats. This Mazda sound is realized by acoustic tuning with Bose engineers at development phase.

This paper introduces the main features of all-new CX-5 Bose sound system and its technology outlines.

1. はじめに

新型CX-5のBoseサウンドシステム開発においては、初代CX-5の9スピーカーシステムに対して、更に進化したマツダサウンドの実現を目標に開発をスタートした。特にステージ感の更なる改善を主眼に置いて、システムとしての機能配分を見直し、各スピーカーに求められる性

能を明確にした上で最適なスピーカーを選定した。また各スピーカーが十分に性能を発揮するための最適な位置へレイアウトし、その上で音響チューニングを通して新型CX-5専用のEQを設計することで、新世代商品群の集大成にふさわしい10スピーカーシステムを実現した。

*1~5 統合制御システム開発本部 電子開発部
Integrated Control System Development Div.
Electrical & Electronics Development Dept.

*6 ボーズ・オートモーティブ合同会社
Bose Automotive G.K.

2. システム概要

新型CX-5向けBoseサウンドシステムの搭載レイアウトをFig. 1に、構成部品の写真をFig. 2に示す。

システムは1つの80mm中高域スピーカー、2つの25mmネオジウムツイーター、2つの165mmスピーカー、2つの130mmスピーカー、2つの60mm中高域スピーカーに130mmウーファー内蔵ベースボックスを加えた合計10個のスピーカーと、7EQチャンネルデジタルアンプ、AUDIO PILOT用マイクロフォンから構成され、Mazda Connectへ接続される。

各スピーカーは車室内の音響特性を考慮し、以下に述べる機能配分に応じた最適な場所にレイアウトした。



TEN HIGH-PERFORMANCE SPEAKERS

- ① One 3.25-inch (80mm) Twiddler mid/high-range speaker in the center of the instrument panel.
- ② Two 1-inch (25mm) neodymium tweeters, one in each A-Pillar.
- ③ Two 6.5-inch (165mm) wide-range speakers, one in each front door.
- ④ Two 5.25-inch (130mm) wide-range speakers, one in each rear door.
- ⑤ Two 2.5-inch (60mm) Twiddler mid/high-range speakers, one in each D-pillar.
- ⑥ One 5.25-inch (130mm) Richbass woofer in a 8-liter (internal volume) custom-engineered enclosure, mounted in the spare tire wheel well.

SYSTEM ELECTRONICS

- ⑦ Digital amplifier mounted under the front right seat with Bose Digital Signal Processing:
 - 7 channels of customized equalization
 - AudioPilot 2 Noise Compensation Technology
 - Centerpoint 2 Surround Technology
 - SurroundStage Signal Processing
- ⑧ AudioPilot microphone mounted in the steering column.

* Twiddler, Richbass, AudioPilot, Centerpoint and SurroundStage are all registered trademarks or trademarks of Bose.

Fig. 1 Bose Sound System for New CX-5

① 80mm中高域スピーカー

ダッシュボード中央に搭載し、ボーカルイメージを中央に定位させる。

② 25mmネオジウムツイーター

Aピラーに搭載されるツイーターには、ソフトドームがシルクで構成された新設計のネオジウムツイーターを採用した。従来のツイーターに比べて高音域特性を大幅に改善し、繊細な高音域再生に寄与する。

③ 165mmスピーカー

両フロントドアに搭載され、低域から高域までのフルレンジ再生を担う。上述の25mmネオジウムツイーターと平行接続されることによりシステムのメインスピーカーとして使用される。

④ 130mmスピーカー

前席まで力強い重低音を届けるために、両リアドアに搭載され、低域から高域までの再生を担う。後席の音場を補助するだけでなく、フロントのメインスピーカーと組み合わせることで前後方向の立体感と、車両中心方向の広がり感の構築に貢献する。

⑤ 60mm中高域スピーカー

車両後方左右のDピラーに搭載され、後列席の中高音域を補完するとともにサラウンド感の演出に寄与する。

⑥ 130mmウーファー内蔵ベースボックス

車両最後方のトランクボード下に搭載され、60Hz以下の重低音再生を担う。ベースボックスは新型CX-5専用で新設計を行った。前席まで力強い重低音を届けるために、8リットルの大容積を確保しながらも、CAE音響解析技術を駆使して従来品から7mm薄型化することで、トランクの荷室容積も確保した。

⑦ 7EQチャンネルデジタルアンプ

運転席シート下に搭載されるアンプは内部にDSP (Digital Signal Processor) を搭載し、7EQチャンネルによりきめ細かい音響設計に貢献する。また車両の走行情報とマイクロフォンから取得される走行ノイズを基に音量、音色を補正するAUDIOPILOT2機能や、通常のステレオ再生に加えCenterpoint Surround Technologyによるバーチャルサラウンド再生にも対応することで、より幅広い音楽の楽しみ方を実現する。



Fig. 2 Bose Sound System Components

3. サウンドシステムの進化ポイント

3.1 初代CX-5のサウンドシステム

初代CX-5では車両から求められる軽量化とマツダサウンドを両立させるため、両フロントドアの大口径の薄型軽量化ウーファー、ダッシュボード上の3つの中高音域ス

ピーカーをメインスピーカーとして搭載し、ねらいの音響空間を実現した。具体的には全ての再生周波数を前方に集中させることで、自然で連続性のある音場を実現した。

その一方で、低音域については、フロントドアの大口径ウーファーの大出力は副次的に発生するドア振動とトレードオフとなるため、更なる高出力化が困難である。また高音域についても車両の静粛性の向上を背景に、より高性能な高音域専用スピーカーが必要になってきた。

3.2 進化に向けた取り組み

まず低音域の進化に向けては各スピーカーが担う機能の見直しを図り、ドア振動に特に影響の大きい60Hz以下の低音域再生機能を、フロントドアのウーファーから、重低音再生に特化した新設計の130mmウーファー内蔵ベースボックスに分離することで、重低音をパワフルに進化させただけでなくドア振動の更なる改善も実現した。Fig. 3は初代CX-5と新型CX-5でのフロントドア振動を比較した結果である。

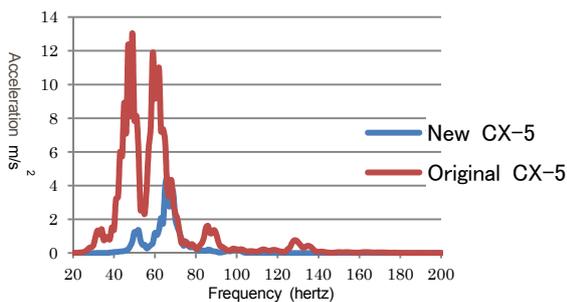


Fig. 3 Front Door Vibration

また、高音域の進化に向けては高音域再生に特化した新設計のネオジウムツイーターを採用することで、4kHz以上においても上質で緻密な高音域再生を可能にした。Fig. 4はネオジウムツイーターを基準としたときの既存ツイーターとの周波数特性比較である。更にはパッケージにおいてもツイーターをAピラーにレイアウトすることで高音域の進化に貢献している。

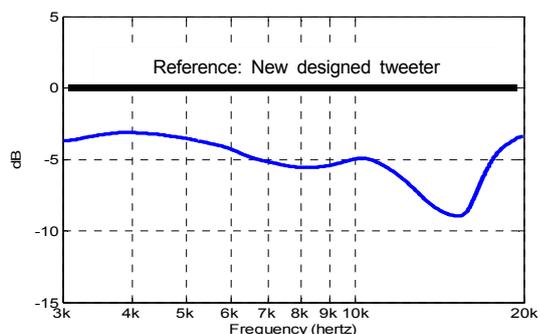


Fig. 4 Frequency Response Comparison between New Tweeter and Previous Tweeter

3.3 パッケージにおける進化点

車室内においてスピーカーから放射された音波は乗員の耳に届くまでにガラス面、樹脂部品、シートなどによる短距離での反射、吸収を繰り返すことで、非常に複雑な音響特性を示す。このため各スピーカーの再生周波数帯域に応じて適切な場所にスピーカーをレイアウトする必要がある。特にツイーターは指向性の高い高音域を担うため、スピーカーの正面軸周辺の構造により音響特性が低下してしまう。これは遮蔽による直接音の減少や、反射音との干渉による周波数特性の変化が発生するためである。

そこで新型CX-5では、Aピラーへ搭載することで周辺構造物による影響を抑え、ツイーターの性能を発揮できるレイアウトを実現した。しかしレイアウトを成立させるにあたっては、ツイーターのレイアウトスペースを確保することが課題であった。Aピラーのボディとトリムとの間には空調用ダクトやカーテンエアバック、各種ハーネスがひしめき合う構造となっており、まずは周辺部品の形状を、性能を確保しながら変更、少しずつ空間を広げていった。しかし形状変更だけで生み出せる空間には限界があったため、最終的にはツイーターおよびスピーカーグリルを回転させながら後組みするという工夫で、周辺部品を掻い潜りながら組み付けるレイアウトを成立させた。

また内装デザイン性の向上を狙ってスピーカーグリルの外周には全周シルバーの加飾を施した。装備開発部との協創活動により、リングの輝きを確保しつつ太陽光等の反射が乗員の目に入ることがないようにリングの曲面を設計、機能と質感の両立を実現した。リングに刻まれたBose社のロゴは、乗車位置から眺めて自然に見えるように工夫したマツダ専用デザインである。Fig. 5にAピラーツイーターの外観を示す。



Fig. 5 Appearance of A-Pillar Tweeter

4. サウンドチューニング

ここまで述べてきた進化点をサウンドシステムとしてまとめ、整合をとるためにチューニングを施し新型CX-5専用のEQを設計する。サウンドチューニングを実施するにあたり、まず車室内のあらゆる場所の音響データを取得し、乗員の体格の違いによる耳位置や、シート素材の差異までも考慮した分析を行うことにより、車室内の音響空間を正確に把握する。

4.1 シート材質によるEQ最適化

布シートは革シートより表面の吸音率が高いため、中高域の音圧レベルが下がる傾向にある。その一例としてFig. 6に、革シートを基準としたときのリアドアスピーカーの運転席における周波数特性比較グラフを示す。このシート素材の違いは、車室内の音の周波数特性や目の前に広がるサウンドステージの印象までも変えてしまう。今回のシステムでも布、革それぞれ専用のチューニングを施し、アンプが車両からシートの装備情報を受け取り、適切に切り替えを行う。

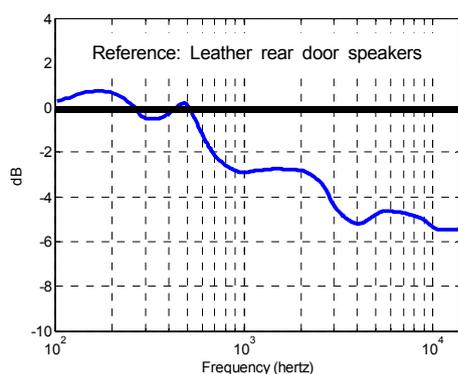


Fig. 6 Frequency Response Comparison between Cloth and Leather Seats

4.2 チューニングの結果

測定を通して得られた各スピーカーからの時間軸、周波数軸のデータやシート素材の違いによる車室内の音の周波数特性などの分析結果をもとに、チャンネルごとにEQを設計した。最終的にはマツダ及びBose社の両社による聴感評価を反映させることで、各スピーカーが性能を余すところなく発揮できる新型CX-5専用のEQを設計できた。これにより、全ての席においてまるでライブコンサートのように明瞭なサウンドが広がるマツダサウンドを実現した。

5. おわりに

このたびマツダは新型CX-5専用のBoseサウンドシステムを開発、商品化した。初代CX-5からの進化を目標に開

発をスタートし、ここまで述べてきた一連の開発を通して、ねらいどおりの高い音響性能を伴うマツダサウンドを実現できたと自負している。このマツダサウンドをマツダブランドとして認知いただくため、今後もマツダはBose社と綿密に協働し、全てのマツダ車でお客様の期待を超えるマツダサウンドを実現し、届け続ける。

注：Bose, AUDIOPILLOT, CenterpointはBoseの登録商標です。

特集：新型CX-5

6

SKYACTIV-D ディーゼルノック音の低減技術 Redaction Technology of Diesel Knocking Noise for SKYACTIV-D

白橋 尚俊*1 森 恒寛*2 岩田 陽明*3
Naotoshi Shirahashi Tsunehiro Mori Kiyooki Iwata
長門 清則*4 菊地 拓哉*5
Kiyonori Nagato Takuya Kikuchi

要 約

マツダは新世代クリーンディーゼルエンジンとして、優れた出力、燃費、エミッション（排出ガス）性能に加え、従来モデルから更にノック音性能を改良したSKYACTIV-D 2.2エンジンを開発し、新型CX-5へ搭載した。本稿では、ノック音低減技術として、燃焼加振力の低減や構造特性の最適化、エンジンから車両への伝達経路に基づいた車両全体での取り組みについて紹介する。

Summary

A new generation clean diesel engine, SKYACTIV-D 2.2, was developed and applied to the New Mazda CX-5. In addition to its excellent power, fuel economy and emission performance, the engine has less knocking noise than that of the previous diesel engine. To reduce the knocking noise, we worked on the reduction of combustion exciting force, the optimization of structure resonance and damping technology, and the engine-to-vehicle pathway of the noise. This report introduces the efforts presented above.

1. はじめに

近年の世界的な燃費志向の高まりと厳しくなるエミッション規制をクリアし、お客様に“走る喜び”を提供するため、SKYACTIV-Dエンジンを開発した。2012年以降CX-5、アテンザ、アクセラに順次導入し、クリーン、パワフル、エコノミーを高い次元で実現することで従来のディーゼルエンジンのイメージを一新させている。

一方、クリーンなエミッションや燃費低減など、環境性能を更に向上させるには、燃焼の高効率化が必要となる。そうなれば燃焼加振力が増大し、“がらがら”というディーゼルノック音が悪化する方向となる。

新型CX-5では、燃費、エミッション、走りに加え、エンジン音をステップアップさせた。これにより優れた環境性能⁽¹⁾を確保しながら、ディーゼルエンジン（以下DE）特有のノック音を大幅に低減させ、新世代クリーンディーゼル車として、静粛性を飛躍的に向上させた。

本稿では、この新世代クリーンディーゼルエンジンSKYACTIV-D 2.2に採用した、新たな燃焼技術である“ナチュラルサウンド周波数コントロール（以下周波数

制御）”，振動低減技術の“ナチュラルサウンドスモウザー（以下NSS）”や遮音、車体の振動伝播低減技術を紹介する。

2. ディーゼルノック音

2.1 ディーゼルノック音の概要

ディーゼルノック音（以下ノック音）は、燃焼と同期して発生する間欠的な変動音である。

ノック音低減には、従来から

- 燃料噴射のタイミングや噴射量の最適化など燃焼加振力を低減する手法
- エンジンの構造共振やダンピングの調整、吸遮音材設定などの伝達、放射を抑える手法がある⁽²⁾。

通常、燃焼加振力の低減は燃費性能や出力、エミッション性能と相反する関係にあり、構造系の伝達放射対応は重量やコストへの影響が大きい。これらの相反する要件をクリアし、ねらいのノック音を成立させるには、ノック音の発生メカニズムを解明し、主たる特性に適切な対応を施すことが重要である。

*1～5 エンジン性能開発部
Engine Performance Dept.

2.2 ディーゼルノック音の伝達経路と周波数特性

ノック音の発生メカニズムを明らかにするため、燃焼加振力がどこを伝わって音として放射されているのか、それを実験、及びCAEを使って主要な経路を調査した。その結果、80%以上がピストン、コンロッド、クランクを介してブロック表面から放射されていることが明らかになった。

このブロックから放射される音は、1.3kHz、1.7kHz、2.5kHz、3.5kHzの4つの周波数にピークがあり、主にこれらがドライバーに“がらがら”というノック音として聞こえていることがわかってきた (Fig. 1)。

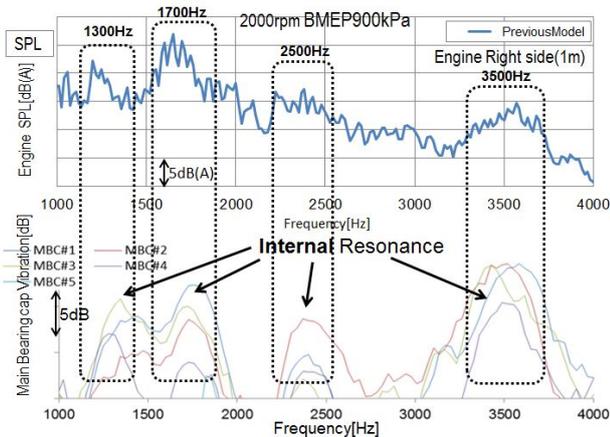


Fig. 1 Relation between Knocking Noise and Structural Resonance

これらのピークは、伝達経路となっているピストン、コンロッド、クランク等のインターナル部品の共振周波数が燃焼加振力によって励起され発生していると考えられる。そのためノック音を低減するには、これらのピークレベルを低減することが必要となる。

新型CX-5では、この4つの周波数に着目して燃焼加振力と伝達特性をコントロールすることで、大幅にノック音を低減した。これらの対応技術に関し、詳細を説明する。

3. 周波数制御による燃焼加振力の低減

3.1 燃焼加振力低減の取り組み

ノック音の燃焼加振力は、燃焼圧力をFFT処理したCylinder Pressure Level (以下 CPL) で表せ、CPLは、燃焼が急速に燃えるほどレベルが大きくなる。この燃焼の急速度合いは「熱発生率の最大傾き」と「最大高さ」で表すことができ、これらの特性をコントロールする。

一般的には噴射タイミングや噴射圧を調整し、熱発生率の傾きや高さをコントロールすることで、CPLを低減している⁽³⁾ (Fig. 2)。

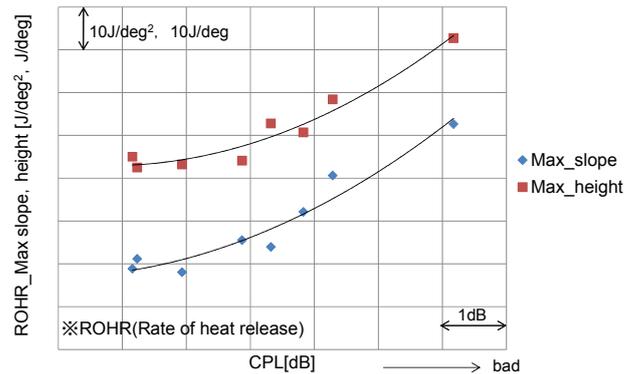


Fig. 2 Relation between CPL and ROHR

一方で、ノック音と燃費はトレードオフの関係になっており、先に述べた方法でCPLを下げると燃費の悪化を伴ってしまう。

燃費との両立には、燃費に関わらない、もしくは燃費が良くなる特性をコントロールして、CPLを低減することが必要となる。このためCPLの周波数軸に対する山や谷 (ピークやへこみ) のメカニズムをひもとき、両立化の検討に取り組んだ。

3.2 CPL周波数特性のからくり解明

CPLの周波数特性のメカニズムを明らかにするため、DE固有の噴射方法と燃焼の形態に着目した。

通常、着火燃焼を行うDEでは、メイン燃焼の他に、火種となるプリ燃焼や煤を再燃焼させるアフター燃焼など、1サイクル中に燃料を複数回噴射し、複数回の熱発生をつくるのが一般的である。この場合、各々の熱発生から圧力波が発生するが、熱発生間の時間差により圧力波に位相差が生じる。この位相差による各圧力波が波の重なりにより、増幅したり打ち消したりすることによってCPLの周波数特性を決定していると考えた⁽⁴⁾。

そこで簡易的な熱発生波形を作成し、熱発生の間隔とCPL周波数特性との関係をシミュレーションにより分析した。その結果、熱発生の間隔の変化に応じて圧力波の干渉の仕方が変化し、CPL周波数特性の山 (増幅) や谷 (減衰) が発生することがわかった。

この熱発生間隔と山や谷が起きる周波数は、波の重なりで表せ、以下の式(1)、(2)で表現できる。

nは周期的に発生する山や谷の次数 (1, 2, 3, ...) であり、 Δt はそれぞれの熱発生間の時間間隔である。

$$\text{山位置周波数 } Fn = \frac{n}{\Delta t} \times 1000 \quad (1)$$

$$\text{谷位置周波数 } Fn = \frac{n - 0.5}{\Delta t} \times 1000 \quad (2)$$

これらの関係をもとに、熱発生間隔を制御して、CPLの周波数ピークや谷をコントロールできることがわかった (Fig. 3)。

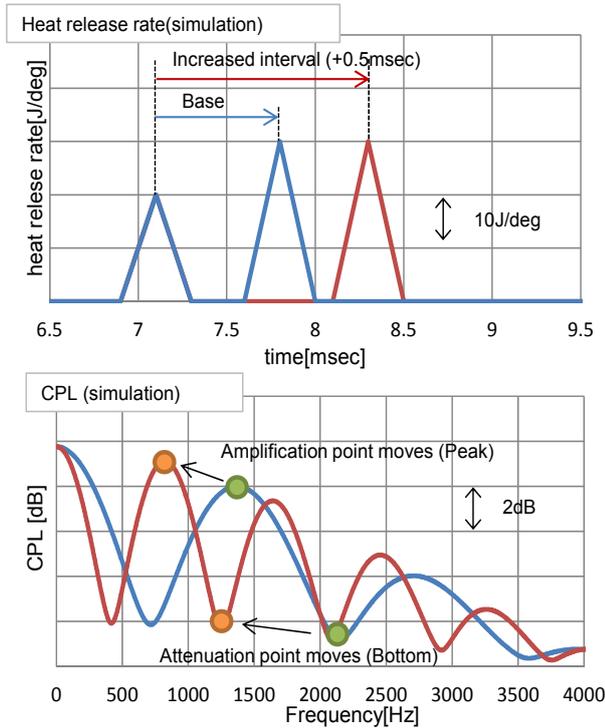


Fig. 3 Simulated of Heat Release Rate

3.3 ナチュラルサウンド周波数特性コントロール

この考えを活用してCPLの谷を作り、構造系共振に起因して発生しているノック音の低減を試みた。

DEでは、一般的にプリ燃焼、メイン燃焼、アフター燃焼の3つの熱発生を持っている。3.2節の関係式をもとに、プリとメインの熱発生間隔を調整して、1.3kHzと1.7kHzがCPLの谷になるように設定、メインとアフターの熱発生間隔で1.7kHzと2.5kHzに谷が来るように調整した。それぞれの熱発生の間隔は、パイロットやプリ噴射などの前段の噴射とアフター噴射の噴射時期や噴射量を最適化し、ねらいの間隔になるようにした。

試作エンジンにおいて、CPLの周波数制御を行った熱発生波形をFig. 4に示す。プリ燃焼やアフター燃焼位置を変えてねらいの熱発生間隔を実現し、燃費やエミッションに弊害なく、ねらいの燃焼を実現することができた。

この周波数制御によるノック音の低減効果をFig. 5に示す。構造系共振周波数に燃焼加振力の谷が重なるよう熱発生間隔をコントロールすることで、ノック音のピークが大幅に低減できることを検証した。

このナチュラルサウンド周波数コントロール技術を採用することで1.3kHz、1.7kHz、2.5kHzの加振力を低減し、ねらいどおり3つのノック音ピークを低減することができた。

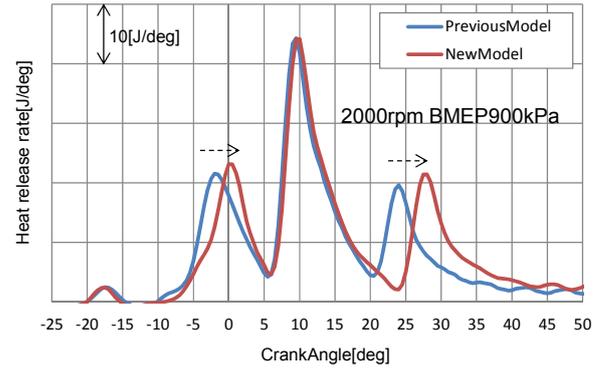


Fig. 4 Control of Heat Release Interval

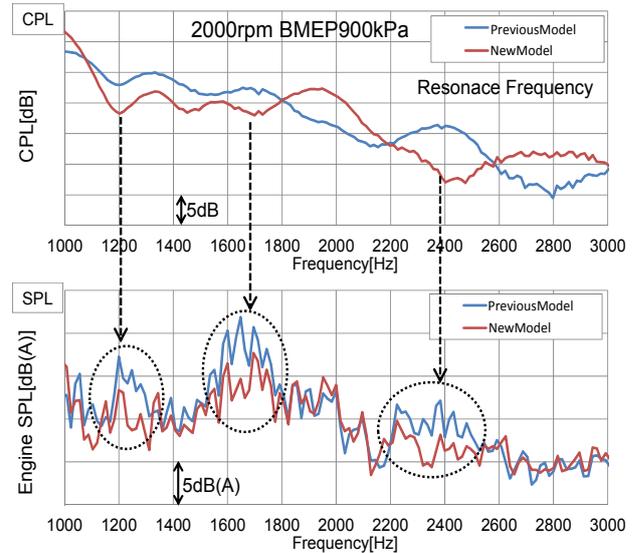


Fig. 5 Effect on the Engine Radiated Noise Due to Natural Sound Frequency Control

4. エンジン構造伝達特性の低減

4.1 NSSの最適形状検討

燃焼制御の対応に加え、ノック音のピークとして残る3.5kHzは、SKYACTIV-D 1.5 (以下1.5L) で採用したNSSをSKYACTIV-D 2.2 (以下2.2L) 用に設計して対応した。

2.2L用のNSSは1.5Lの考え方は踏襲し、ピストン重量の増加、コンロッドの伸縮特性変化を考慮して対応した (Fig. 6)。

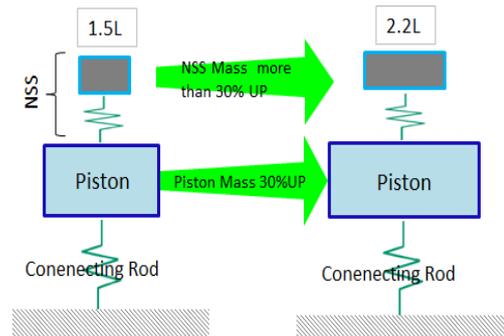


Fig. 6 Increase of Piston and NSS Mass Ratio

加えて、2.2Lはピストンやコンロッド等の主要部品は従来モデルを流用しており、NSS重量を検討する上で、レイアウトや信頼性の制約も考慮する必要がある。

そこで、振動伝達機能の代用特性であるメインベアリングキャップ（以下MBC）振動を目標の値にするために必要なピストンとNSSの重量比を検討した。

Fig. 7に示すように、NSSの重量比を大きくするほど低減効果が大きくなるが、重量比10%を超えるとその勾配は緩やかになる。これは重量比に比例してNSSで分割された反共振のレベルが増大する影響と考えられる。

このNSS重量比と効果の関係を踏まえ、最小の重量で最大効果が得られる重量比13%とした。

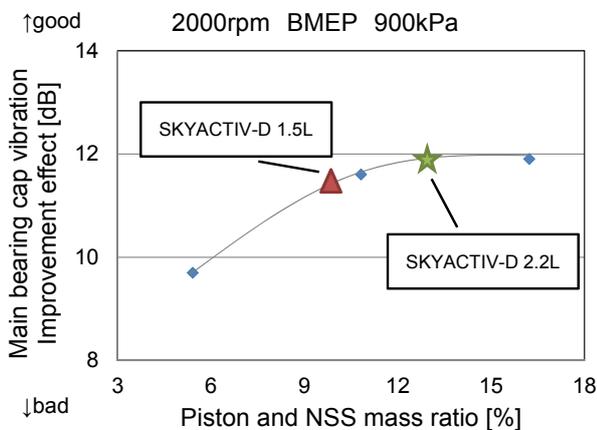


Fig. 7 Effect of Piston and NSS Mass Ratio

今回採用した、2.2LのNSSと1.5L用のNSSの比較をFig. 8に示す。1.5Lと同様に、中央部でピストンピンに圧入固定され、両端部は質量とばねの機能を備える形状としている。ボア径拡大分のスペースを活用し、マス部の長さを延長することでねらいのNSS特性を確保した。



Fig. 8 NSS of SKYACTIV-D 1.5 and 2.2

Fig. 9に試作エンジンで検証したNSS有無のMBC振動とノック音の効果を示す。

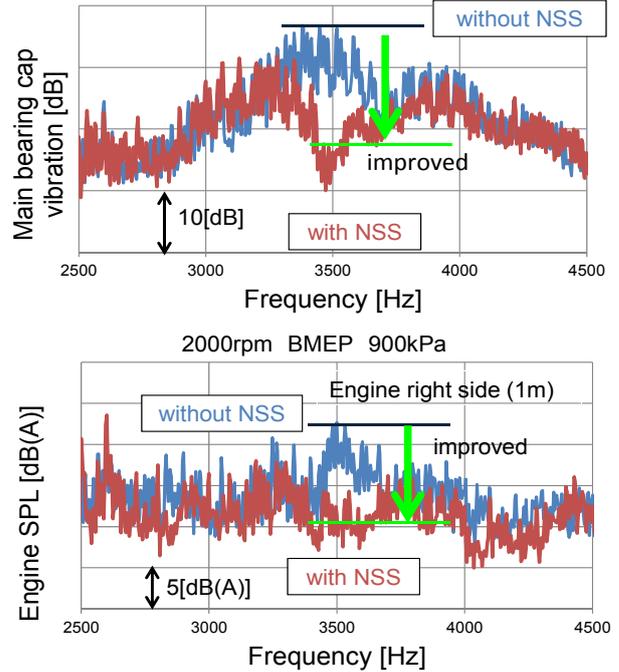


Fig. 9 Effect of NSS Vibration and SPL

3.5kHzの振動レベルと放射音レベルが共に10dB以上改善することが確認できた。2.2Lでは重量比の最適化により1.5Lの効果に対して7%の向上を実現している。

4.2 NSSの2次振動への影響

Fig. 10に、2.2Lと1.5LのNSS有無の2次振動レベルの比較を示す。NSSの設定に伴いピストン系のトータル重量は増えるが、ねらいの効果をしながら重量増加を最小限とすることで、2次振動を同等レベルに抑えている。2.2Lは balancer 装着エンジンであり、1.5Lに比べ2次振動は低いレベルにある。

このようにノック音の大幅な低減を図りつつ、こもり音も目標達成させることができている。

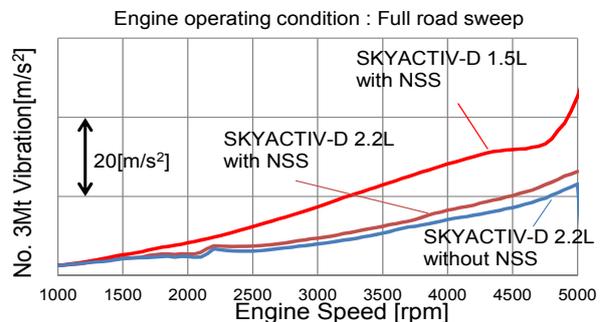


Fig. 10 Comparison of SKYACTIV-D 1.5L and 2.2L

4.3 エンジン遮音材の最適配置

燃焼と本体構造系の改善でノック音は低減しているが、まだ吸排気系などの外回り部品の共振により、音が放射されている。特に排気系はエンジンからの振動が伝わる

だけでなく、排気脈動の加振力も加わるため、放射部位として寄与が高い部品である。近年、エミッション要求から、後処理の浄化率向上をねらって排気ガス温度は高温になる傾向にあり、排気系部品が受ける圧力脈動も増大している。これらに対応するため、遮音材として耐熱性の高いシリカマットを設定し、排気系部品からの放射音を大幅に低減した。

5. 車体伝達特性の低減

5.1 車体伝達特性の対応について

新型CX-5では、エンジン本体での低減技術の織り込みに加えて、車体側での対応も行っている。これまで、ノック音などの1kHz以上の高周波音については、車体への遮音材設定などによる空気伝播の機能強化が一般的であった。昨今、車室内へ伝わるノック音は、空気伝播に加え、エンジンのノック振動が車体に伝達し、車室内に放射する振動伝達音（固体伝播）があることがわかってきた。

この振動伝達音の低減には、車体への振動伝達経路を分析し、経路に振動減衰対応や共振周波数の変更、放射特性改善などの対応を行う必要がある。

5.2 車内音場解析と振動伝達経路の特定

振動で伝わったノック音が車室内のどのエリアから出ているのか、可視化を行うことで経路の特定を行った。代表例として、車室内へ振動伝達し車内で音が発生していたインストルメントパネル（以下インパネ）のケースを紹介する。

アコースティックカメラで音の発生源を解析した結果、ノック音は主にFig. 11の①に図示しているエリアから出ていることがわかった。

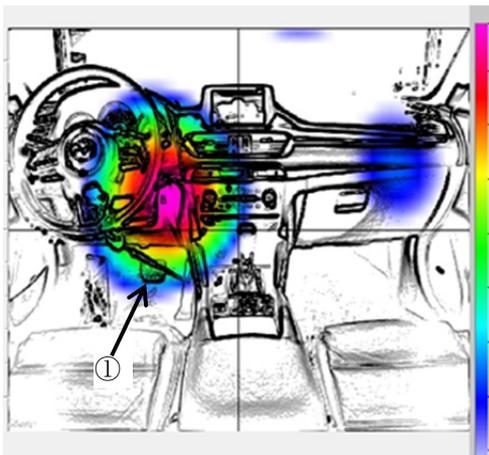


Fig. 11 Analysis of Sound Field

そこで、インパネへ至る経路を特定するために、エンジンと車体が接続されている部位をハンマリング加振し、車体への振動入力点と車室内の音の発生部位との関係を

調査した。

このハンマリング加振を行った時の音場解析結果から、Fig. 12 (a) や (b) のように、ノック音を放射しているインパネ部位と同じ場所で音が発生する経路を抽出し、分析を行った。その結果、主要経路はエンジンマウントからサスペンションを支えるクロスメンバーに伝わり、ステアリングシャフトを介して車室内のインパネから放射されていることがわかった。

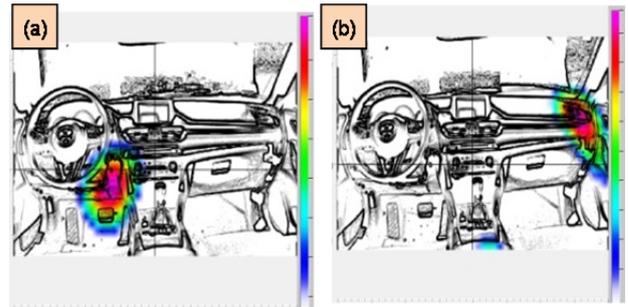


Fig. 12 Analysis of Sound Field by Excitation
(a) Consistent Path (b) Inconsistent Path

5.3 機能強化の具現化検討

車内音場解析で明らかになった伝達経路に対し、新型CX-5では、車室内でスピーカーとなって放射している部位に着目し対応を検討した。

インパネのどの部位がスピーカーとなっているのかを特定するために、インパネ内部のメンバーやブラケットなどの部品を多点振動計測し分析を行った結果、インパネメンバーのブラケット下部からノック音が放射されていることがわかった (Fig. 13)。

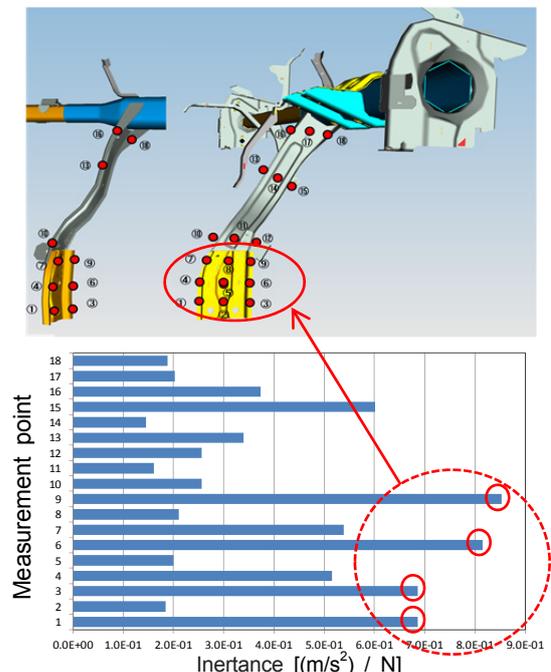


Fig. 13 Analysis of Contribution Ratio

そこで、インパネメンバーの共振モードを確認し、この共振モードを抑制する剛性部材を追加することで対応した (Fig. 14)。スピーカーとなる部位を直接制振することで、コストや重量への影響を最小限に抑えながら、振動伝達音を低減することができた。

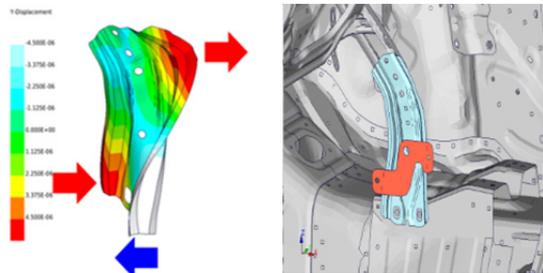


Fig. 14 Specification Study

6. まとめ

新型CX-5では、風騒音やロードノイズ改善による全体騒音低減とのバランスも考慮しながら、新技術を採用してノック音のピークを効果的に低減させることに取り組んだ。ノック音が顕在化することなく、全体の静粛性を向上させたことで、次世代クリーンディーゼル搭載車に相応しい商品に仕上げることができたと考えている。

NV性能の大幅な進化により、低速からゆっくり加速するシーンでも、リアで自然な“人馬一体”の加速フィールを実現しており、走る歓びと高い環境性能という価値を更に高い次元へ引き上げることができたと確信している。

参考文献

- (1) 森永真一ほか：SKYACTIV-Dエンジンの紹介，マツダ技報，No.30，pp.9-13 (2012)
- (2) 白橋尚俊ほか：新型1.5Lクリーンディーゼルエンジンの燃焼加振力及び構造伝達特性の最適化によるエンジン騒音・振動の低減，自動車技術会シンポジウム「自動車の振動騒音にもとめられるもの」予稿集，No.11-15 (2015)
- (3) 森恒寛ほか：ディーゼルノック音の低減技術，自動車技術，Vol.70，第7号，pp.38-43 (2016)
- (4) 冬頭孝之ほか：二段着火予混合燃焼を活用した高効率クリーンディーゼル燃焼 (第3報)，自動車技術会秋季大会前刷集，No.113-13 (2013)

■ 著 者 ■



白橋 尚俊



森 恒寛



岩田 陽明



長門 清則



菊地 拓哉

特集：新型CX-5

7 新型ガソリンエンジン「SKYACTIV-G 2.5気筒休止」の開発 Newly Developed Gasoline Engine “SKYACTIV-G 2.5 with Cylinder Deactivation”

野田 明裕*¹ 荒川 博之*² 居軒 年希*³
Akihiro Noda Hiroyuki Arakawa Toshiaki Inoki
山本 賢宏*⁴ 本瓦 成人*⁵ 西本 敏朗*⁶
Takahiro Yamamoto Narihito Hongawara Toshiaki Nishimoto

要 約

技術開発の長期ビジョン「サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言」に基づき、走る歓びと環境性能を高次元で両立させた「SKYACTIV-G」を開発し、市場で好評を得ている。一方で、他社はカタログ上の燃費と出力性能を向上させたダウンサイジングエンジンを量産し、SKYACTIV-Gの優位性をカタログ上で脅かしている。このたび、意のままの走りと実用運転での燃費の良さを追求する「ライトサイジング」の考え方を進化させた新型エンジンを開発し、新型CX-5に搭載した。新型エンジンは、SKYACTIV-Gの燃焼技術／抵抗低減技術の進化に加え、気筒休止技術を採用することで、全ての負荷領域でダウンサイジングエンジンの熱効率を上回り、走り（余裕駆動力）と低燃費を更に高次元で両立させた。本稿では、このエンジンのコンセプトと導入した新技術について、気筒休止技術を中心に紹介する。

Summary

Mazda had developed “SKYACTIV-G” based on its long-term vision, “Sustainable Zoom-Zoom”. The engine has achieved both driving dynamics that offer drivers the opportunity to celebrate driving and excellent environmental performance, and received a favorable reception from the market. On the other hand, Downsized engines mass-produced by other OEMs have become a competitive threat to SKYACTIV-G. Mazda has therefore developed a new engine based on the “Rightsizing” concept evolved to pursue highly responsive driving and good real-world fuel economy, and installed it in the All-New CX-5. The new engine, which has adopted cylinder deactivation system as well as the combustion technologies and friction-reducing technologies evolved from SKYACTIV-G, has excelled down-sized engines in thermal efficiency over the entire load range and further enhanced the balance between driving dynamics and low fuel consumption. This paper introduces the concept of the engine and the adopted technologies with a focus on cylinder deactivation system.

1. はじめに

マツダは、優れた環境性能と走行性能を高次元でバランスさせることで「サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言」を具現化した「SKYACTIV-G」を開発し、お客様に提供し好評を得てきた⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾。一方、他社からはダウンサイジングエンジンが市場投入され、競合環境が激しくなっ

ている。

この競合環境の中でSKYACTIV-Gの優位性を保つため、新型CX-5のパワーソースとして、2.5L SKYACTIV-Gの優れた基本性能をベースに更なる進化を織り込んだ新型エンジンを開発した。本稿では、新型エンジンの開発コンセプトとその実現のために導入した新技術を気筒休止技術に焦点を当てて紹介する。

*1, 6 エンジン設計部
Engine Design Engineering Dept.

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

*4 PT制御システム開発部
PT Control System Development Dept.

*2 エンジン性能開発部
Engine Performance Development Dept.

*5 ドライブトレイン開発部
Drivetrain Development Dept.

2. エンジン開発コンセプト

カタログ燃費を測定する走行モードは比較的軽負荷の使用頻度が高いが、実際のお客様の使われ方は多様で、軽負荷から高負荷、全開域まで幅広く使用する。マツダは、お客様の使われ方を想定した“実用燃費”と“意のままの走り”を両立させるため、適切な排気量を確保してきた（ライトサイジング）。しかしながら、排気量の大きさゆえに軽負荷域の燃費効率では、他社ダウンサイジングエンジンに劣る領域がある。また、冷間時にはSKYACTIV-Gの持つ高い効率を十分に発揮できず、カタログ燃費との乖離を生んでいる。

これらの現状認識を踏まえ、全てのシーンで優れた燃費と意のままの走りを実現するため、以下のコンセプトを掲げて既存エンジンを進化させた。

- ✓ 耐ノック性改善による高負荷域の更なる燃焼改善
- ✓ 高負荷域の優れた燃焼を軽負荷域でも実現することによる劇的な燃費改善
- ✓ 暖機促進による冷間時の燃費改善

加えて、高価な後処理システムに頼ることなく、今後一層の厳しさを増すエミッション規制に対応するため、SKYACTIV-Gで培ってきた筒内空気流動や燃料噴射技術の更なる進化を実現した。

3. エンジン諸元とシステム

マツダは究極の内燃機関を目指し、Fig.1に示した7つの制御因子を理想状態に近づける取り組みを進めている。

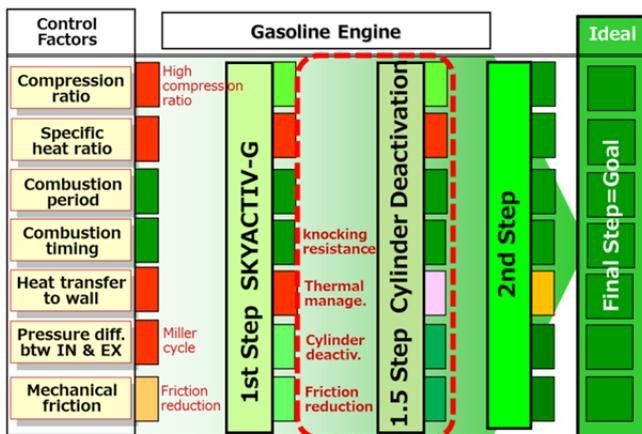


Fig. 1 Vision for Evolution of Internal Combustion Eng

新型エンジンは、このロードマップに従いFig.2に示す新技術を採用した。SKYACTIV-Gは高圧縮比化に代表される燃焼技術の革新により、燃料消費率を大幅に低減し

た。新型エンジンでは、この強みを更に進化させるべく、ポートやピストン形状の工夫により耐ノック性を向上させ、高負荷域の燃料消費率を改善した。そして、この優れた燃焼を軽負荷域でも実現させるため「気筒休止システム」を採用した。更に「非対称ピストンリング」や「可変容量オイルポンプ」により機械抵抗を低減させることで、全ての負荷領域でダウンサイジングエンジンを凌駕する燃料消費率を達成し（Fig. 3）、かつ出力性能を改善した（Fig. 4）。

また、エンジン始動直後の冷えた状態では燃料が気化しにくいため余分な燃料が必要になる。新型エンジンは、「冷却水制御バルブ」の採用により、冷却水の循環経路を適切に切り替えることでエンジン暖機を促進し、冷間時の余分な燃料を大幅に低減した。

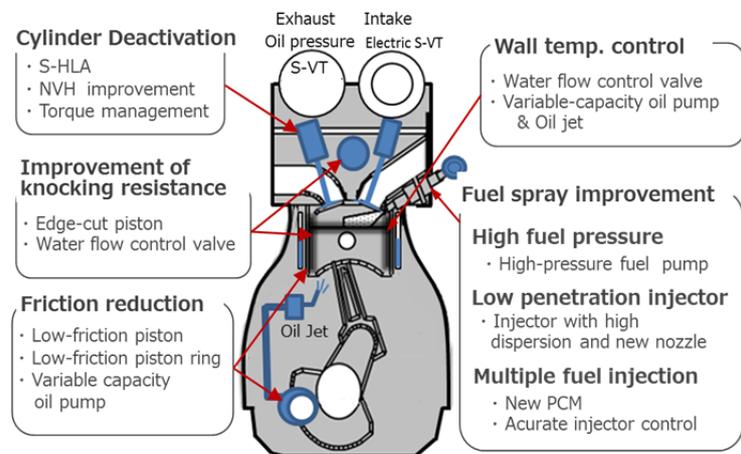


Fig. 2 SKYACTIV-G 2.5 with Cylinder Deactivation

Table 1 Specifications

| Engine | SKYACTIV-G 2.5 | SKYACTIV-G 2.5 Cylinder Deactivation |
|----------------------|--------------------------------------|--|
| Engine Type | In-Line 4 | ← |
| Displacement | 2488cm ³ | ← |
| Bore x Stroke | 89mm x 100mm | ← |
| Compression Ratio | 13 | ← |
| Fuel Injector | DI 6 holes | DI 6 holes w/short penetration |
| Fuel Pressure | 20MPa max | 30MPa max |
| Valve Train | HLA ^(*) + Roller follower | #1/4: S-HLA + Roller follower #2/3: HLA + Roller follower |
| Oil Pump | Electric control 2 stage | Electric control Variable |
| Coolant Flow Control | w/o | w/ |

*1: Hydraulic Lash Adjuster

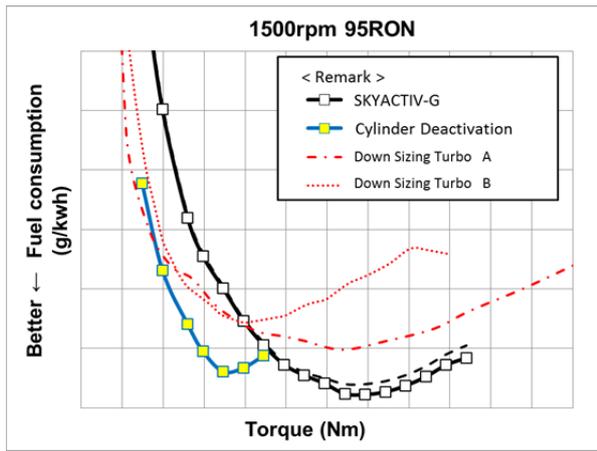


Fig. 3 Fuel Consumption Characteristics

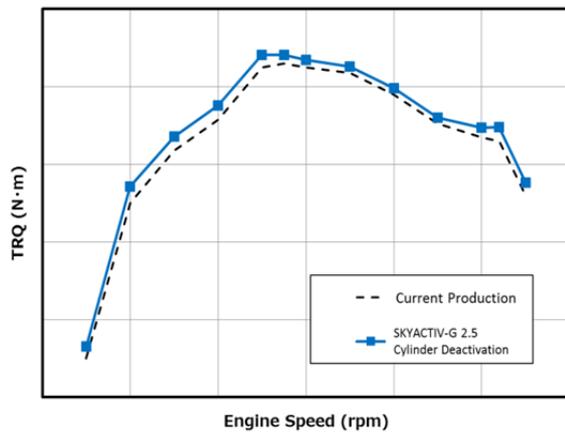


Fig. 4 Engine Performance

Fig. 5 に回転数とトルク軸での燃費率マップを示す。色が薄いほど燃費が良いことを示している。軽負荷域の燃費を改善することで、燃費同等のまま高速低負荷を使用できるため、ギア比の選択自由度が拡大する。つまり、気筒休止技術を走りの改善に活かすことができる。

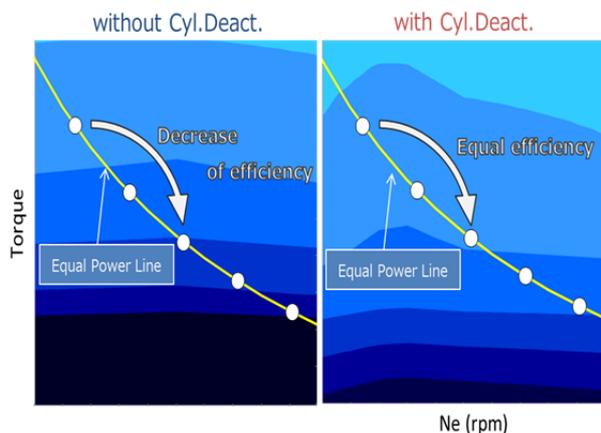


Fig. 5 Fuel Consumption Map

4. ブレークスルー技術

4.1 バルブ停止機構

吸排気バルブの作動を停止し、ガス交換をなくすことで気筒休止を実現する。動弁システムにスイッチャブル・ハイドロリック・ラッシュアジャスタ（以下 S-HLA）を採用することで、ガス交換をなくした。通常は S-HLA が支点、バルブが作用点となりバルブが作動する。これに対し、油圧により S-HLA のロックピンを解除することで、S-HLA が作用点となりバルブの作動を停止させることができる（Fig. 6, 7）。

ロックピンを速く確実に解除することが重要であり、切り替え用の油路形状を造り込むことで、オイル中に混入する空泡の影響を最小化した。

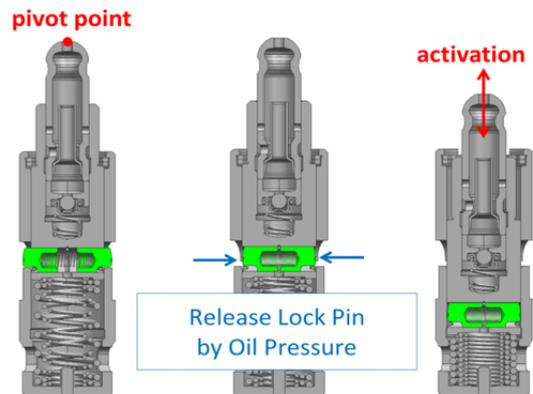


Fig. 6 S-HLA

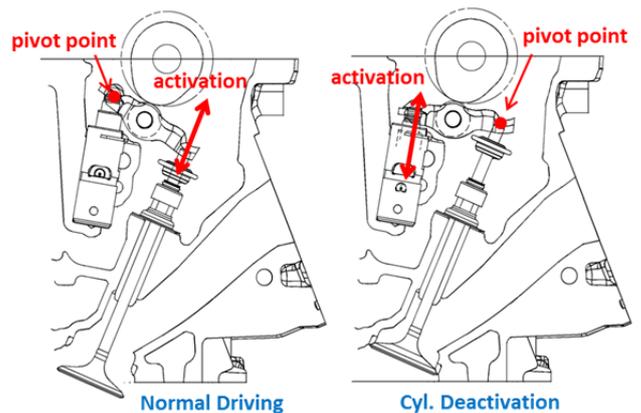


Fig. 7 Cylinder-Head with S-HLA

4.2 トルクのつなぎ

気筒休止運転をする範囲をFig. 8 に示す。Fig. 3 の燃費特性を基に2気筒運転/4気筒運転の燃費の良い方で運転している。

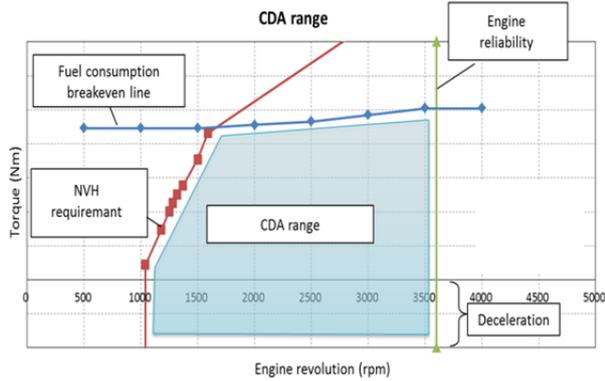


Fig. 8 Driving Area of Deactivation

切り替え制御

気筒休止状態から4気筒運転へ移行するときの制御ロジックを以下に示す。

- A) 休止していた気筒のバルブ駆動を再開するとともに燃料噴射を開始する。
 - B) 4気筒運転再開直後は空気量過多であり、適正な空気量になるよう空気量を絞っていく。また空気量過多に対し、点火時期を制御し目標トルクを維持する。
- 逆に4気筒運転から休止するときには、B) 空気量調整と点火時期調整によるトルク制御、A) バルブ作動と燃料噴射の停止、の順に制御する。

4気筒運転移行時のスムーズな切り替えの実現

休止している気筒は、筒内に閉じ込めている空気が徐々にクランクケースに抜けていくため、Fig. 9 に示すとおり気筒休止継続時間に応じて筒内圧力が下がっていく。筒内が負圧になることで4気筒移行時に排気バルブが開くと同時に大量の排気ガスを吸い込み、その結果次の吸気工程で吸い込む空気量が低下する (Fig. 10)。このメカニズムにより気筒休止中の燃焼気筒と休止気筒では4気筒運転への移行直後の筒内状態量が大きく異なる。状態量の差により Fig. 11 に示すように、点火時期遅角時の燃焼安定性を低下させ、点火時期とトルクの関係が崩れるが、トルクショックのないスムーズな切り替えを実現するため、以下の制御を織り込み、各気筒の筒内状態に応じた適正な燃焼を実現した。

(1) 休止気筒の筒内状態推定

吸入空気量と温度から気筒休止移行瞬間の初期の筒内圧を決定する。その後、気筒休止中のエンジン回転やクランクケース内の圧力などを用いて休止気筒の筒内圧をリアルタイムに推定し、この推定筒内圧と吸排気バルブタイミングやインテークマニホールド圧力などから4気筒運転移行時の休止気筒内の排気ガス量と空気量を正しく推定する。

(2) 筒内状態に応じた適切な点火時期の決定

Fig. 10 の特性をもとに、燃焼安定性限界を超えない範囲内で要求トルクを実現できる点火時期を決定する。

これらの制御を採用することで、Fig. 12 に示したようにエンジン回転数の変動を抑制するとともに車両前後方向の加速度変動を抑制することができた。

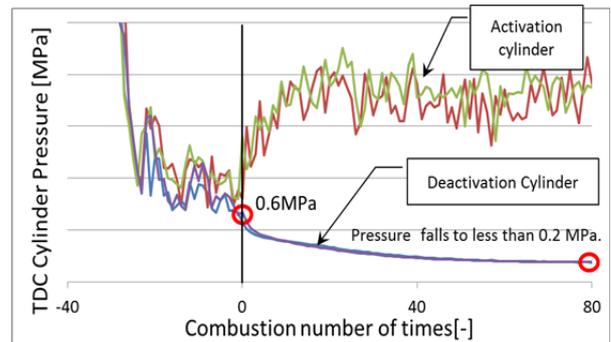


Fig. 9 Cylinder Pressure after Deactivation

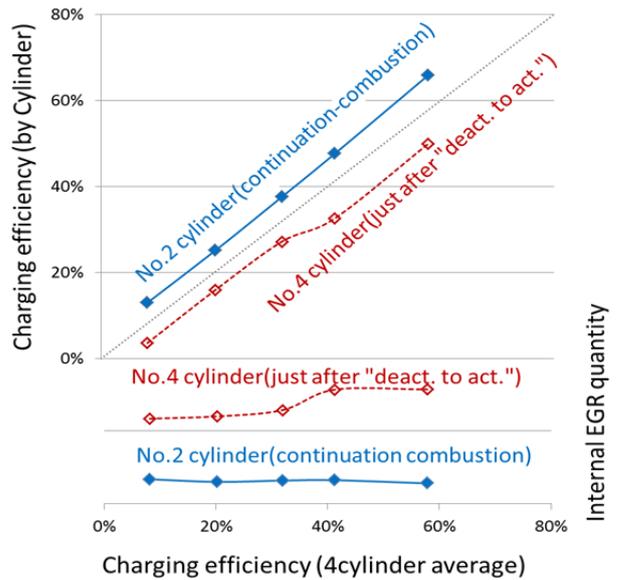


Fig. 10 Charging Efficiency at just after "Deact. to Act."

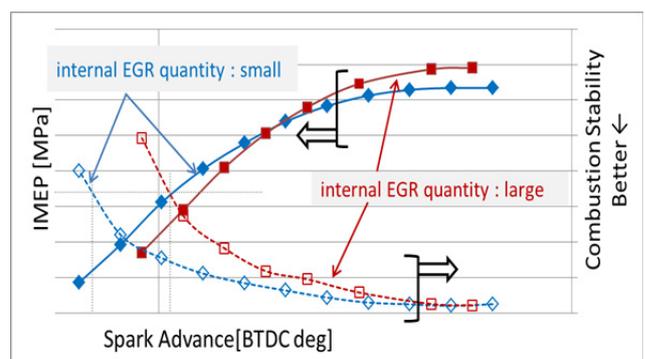


Fig. 11 EGR Influence on Combustion Characteristics

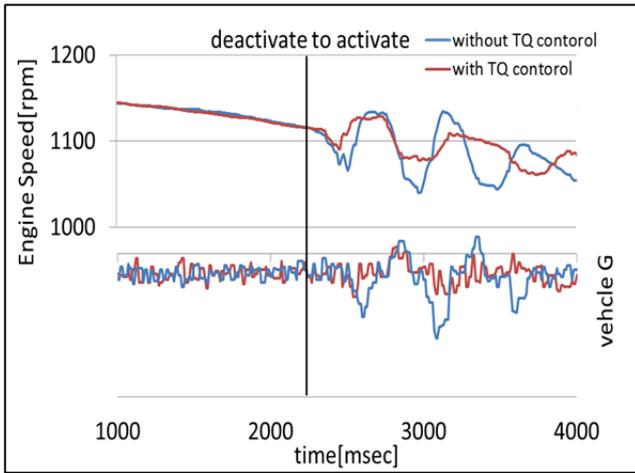


Fig. 12 Effect of Torque Control Strategy

4.3 NVHの造り込み

気筒休止運転をすることで、エンジンとしてのトルクは同じでも単気筒当たりの燃焼加振力が大きくなり、また、燃焼間隔が長くなる (Fig. 13)。それによりエンジン振動が大きくなり、車室内のフロア振動が悪化する。その悪化をリカバリーするための造り込み事例を紹介する。

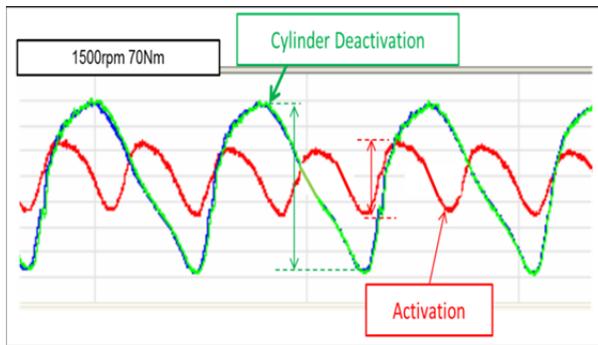


Fig. 13 Comparison of Crank Torsional Vibration

休止気筒の選定 ～1番/4番気筒休止

1番気筒はフライホイールからの距離が遠く、燃焼圧によりクランクシャフトのねじり振動が励起されやすい。更に、フライホイールに最も近い4番気筒は1番気筒とのクランクシャフトねじれ量の差が大きいため、2番/3番気筒を休止し、1番/4番気筒のみで運転すると不快なハーフ次数の振動を引き起こす。よって、新型エンジンは、1番/4番気筒を休止し、2番/3番気筒を燃焼する方式を選定した。これにより、車内こもり音の原因となるマウント振動を抑制した。

これに加え、エンジンの剛性を向上させることで、気筒休止切り替え時に発生する振動の変化を抑制し、違和感のない切り替えを実現した (Fig. 14)。

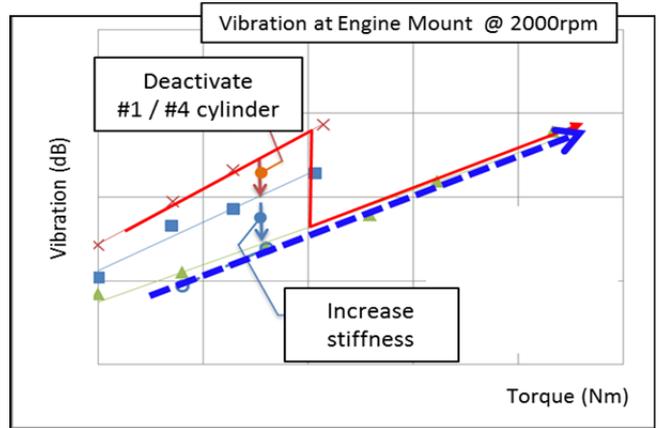
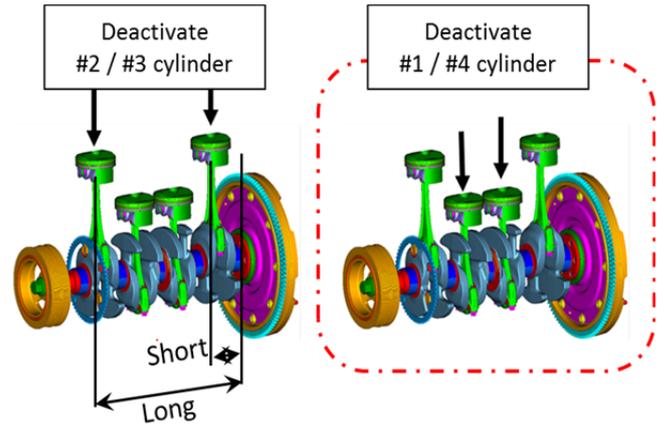


Fig. 14 Vibration Characteristics of "Deactivation to Activation"

振り子ダンパー

エンジン気筒休止時のNVH性能確保のため、トルクコンバーターに遠心振り子ダンパー (CPA : Centrifugal Pendulum Absorber) を採用した。

エンジンの燃焼によるトルク変動がトランスミッション、ドライブシャフトを通して駆動系ねじり振動として車両に入力され、こもり音やフロア振動としてドライバーに伝わることから、通常はトルクコンバーターの振りダンパーの剛性低減、またはイナーシャ追加をすることで、不快感がないレベルまで振動減衰させている (Fig. 15)。

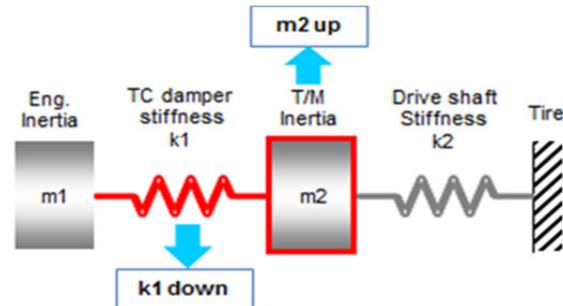


Fig.15. Torsional Vibration Model of Drivetrain

これに対して、気筒休止時は4気筒運転時と比較してト

ルク変動が大幅に増加することから、従来の剛性低減やイナーシャ追加のアプローチでは大幅な変更が必要になり、いずれもマツダの目指す走り性能（アクセル操作に対する応答性）を満足することができない。そのため振動減衰デバイスとして、エンジン振動に対して逆位相に振れることで振動を減衰する「遠心振り子ダンパー」を採用した（Fig. 16）。

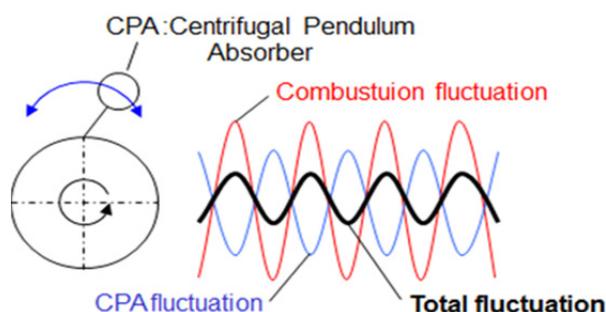


Fig.16 Damping Mechanism of CPA

遠心振り子ダンパーの採用により、固定イナーシャに対して約半分のイナーシャ追加で大幅な減衰性能改善が可能となる。これにより気筒休止の可能範囲拡大に貢献し、燃費性能、NVH性能、走り性能の全てを高いレベルで両立させることができた（Fig. 17）。

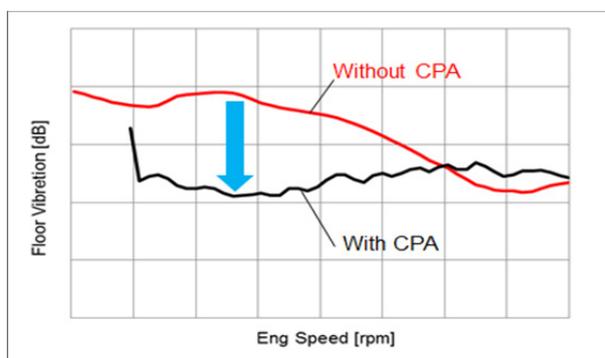


Fig.17 Vibration Improvement Effect

4.4 信頼性の造り込み

気筒休止状態で運転することで燃焼気筒と休止気筒間の温度差が拡大し、変形や熱応力が発生する。また、ピストンリングのすきまから筒内にオイルを吸い込むが、休止気筒ではそれを燃やすことができず、筒内に蓄積されていく、といった気筒休止に伴う懸念点を洗い出し、机上計算及び実機を使用し全ての課題の潰し込みを行った。

更に、万が一故障した時に重篤不具合に至る課題については、フェールセーフ制御を織り込んだ。例えば、燃焼している気筒の吸排気バルブが意図せず休止してしまうと、燃料が未燃のまま筒内に溜まりリキッドコンプレ

ッションによるエンジン破損に至る懸念がある。意図せず休止することはないことを確認しているが、万が一の場合でも、クランクの角速度変動をモニターすることで異常を察知し、燃料供給を止める制御を織り込んだ。

5. おわりに

SKYACTIV-G 2.5気筒休止エンジンの新技術について、気筒休止技術に焦点を当てて紹介した。気筒休止自体は従来からある技術だが、熱効率に優れたSKYACTIV-Gと組み合わせることで、全ての負荷領域でダウンサイジングエンジンを凌駕するエンジンに仕上げることができた。

コモンアーキテクチャ構想に基づき、本技術を排気量が異なるエンジンにも展開し、全てのお客様に優れた環境性能と走行性能をお届けしていく。

参考文献

- (1) 富澤ほか：新型デミオのエンジン技術，マツダ技報，No.29, pp.8-13 (2011)
- (2) 長谷川ほか：CX-5 SKYACTIV-Gのエンジン技術，マツダ技報，No.30, pp.3-8 (2012)
- (3) 室谷ほか：新型ガソリンターボエンジンSKYACTIV-G 2.5Tの開発，マツダ技報，No.33, pp.16-22 (2016)

■ 著 者 ■



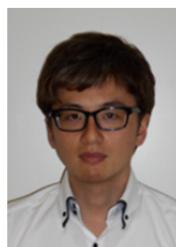
野田 明裕



荒川 博之



居軒 年希



山本 賢宏



本瓦 成人



西本 敏朗

特集：新型CX-5

8

新型 SKYACTIV-G 2.5 燃焼技術の開発 New Gasoline Engine "SKYACTIV-G 2.5" Combustion Technology

小谷 佳苗*1 上村 匠*2 平下 茂行*3
Kanae Kodani Takumi Uemura Shigeyuki Hirashita
西尾 貴史*4 野村 健太郎*5 平林 千典*6
Takafumi Nishio Kentaro Nomura Kazunori Hirabayashi

要 約

マツダの技術開発の長期ビジョン「サステイナブル“Zoom-Zoom”宣言」に基づき、走る喜びと環境性能を高次元で両立させた新シリーズガソリンエンジン「SKYACTIV-G」を開発し、市場で好評を得ている。今回、意のままの走りを可能とする出力性能、幅広い運転域での燃費の良さ、クリーン排気ガス性能の3点を更に進化させた「新型SKYACTIV-G 2.5」を開発し、新型CX-5に搭載した。なお、本エンジンは、排出ガス中の粒子状物質の個数（PN：Particle Number）の規制が追加された、欧州Euro 6d規制へ適合するポテンシャルを有する。

本稿では、PN低減のための燃焼技術に焦点を当て、新型エンジンの燃焼コンセプトとブレークスルーした新技術について紹介する。

Summary

The new gasoline engine series, "SKYACTIV-G", was developed under Mazda's long-term vision for technology development, "Sustainable Zoom-Zoom", and achieved high levels of driving pleasure and environmental performance. With these characteristics, the series has received a favorable reception from the market. Recently, Mazda has developed "New SKYACTIV-G 2.5" and installed it in the new CX-5. Features further enhanced for the new engine are output performance that enables highly responsive driving, good fuel economy over a wide operating range and clean emissions. The engine also has potential to comply with Euro 6d to which particle number (PN) standards have been added.

This paper introduces the combustion concept and new breakthrough technologies of the engine with a focus on PN-reducing combustion technologies.

1. はじめに

マツダは優れた環境性能と走行性能を、高次元でバランスさせることで「サステイナブル“Zoom-Zoom”宣言」を具現化した「SKYACTIV-G」を開発し、走る喜びをお客様に提供し好評を得てきた。引き続き、お客様の更なる期待に応えるべく、モード／実用燃費の競合力向上と、燃費／走りの改善によるお客様満足度向上を図り、かつ2017年9月から強化される欧州Euro 6d規制へも対応する「新型SKYACTIV-G 2.5」を開発し、新型CX-5のパワースourceとして織り込んだ。

本稿では、新型エンジンのPN低減のための燃焼技術に

焦点を当て、理想からのバックキャストिंगを達成するための燃焼コンセプト、及びそれを実現するために導入したブレークスルー技術について紹介する。

2. 開発コンセプトと主要諸元

2.1 開発コンセプト

マツダは究極の内燃機関をゴールとして、エンジンの効率に寄与する7つの制御因子を定め、理想状態に近づける取り組みを進めている（Fig. 1）。従来の「SKYACTIV-G」（以下、従来型）では、高圧縮比化と燃焼技術の革新、抵抗低減等により、1st Stepを達成した⁽¹⁾⁽²⁾。今回の「新型SKYACTIV-G 2.5」（以下、新型）エンジンで

*1, 5, 6 エンジン設計部
Engine Design Engineering Dept.

*4 PT制御システム開発部
PT Control System Development Dept.

*2, 3 エンジン性能開発部
Engine Performance Development Dept.

は、気筒休止や冷却水制御を主体として、更に効率改善を極める1.5Stepまで進化させることをエンジンの開発コンセプトとし、ダウンサイジングエンジンを凌駕する燃料消費率を達成し、かつ出力性能を改善した⁽³⁾。

一方、乗用車用ガソリンエンジンを取り巻く環境規制では、欧州Euro 6以降、排出ガス中の粒子状物質個数を規制するPN規制が追加される。PNは酸素が少ない燃料リッチ状態の燃焼、つまりは燃焼室壁面（ライナー、ピストン等）に付着した燃料の燃焼と、筒内の局所リッチな混合気の燃焼により、多く生成される（Fig. 2）。そのため新型では、出力、燃費、他のエミッション性能を向上しつつ、燃焼室壁面への燃料付着量低減と筒内均質性向上に注力し、PN低減にも配慮し開発した。

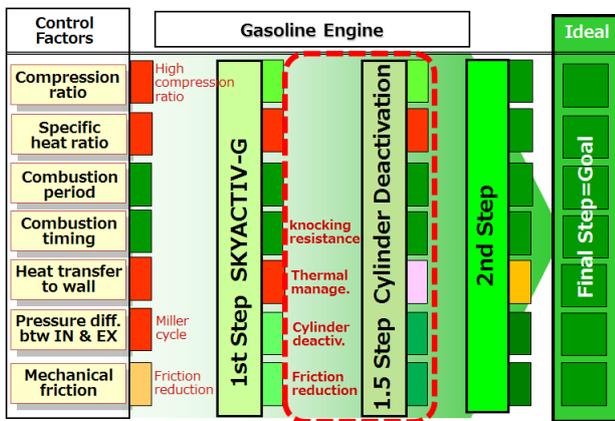


Fig. 1 Vision for Evolution of Internal Combustion

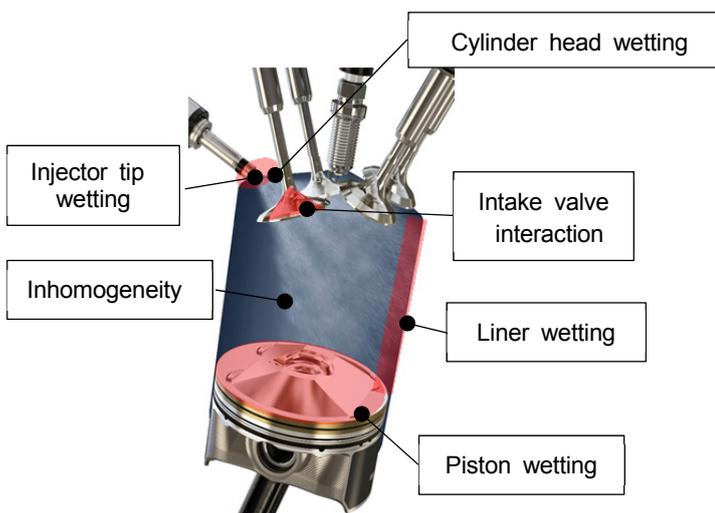


Fig. 2 PN Emission Factor

2.2 主要諸元と性能

新型の主要諸元をTable 1に示す。新型ではMode①：AWS (Accelerated Warm-up System/触媒早期暖気)，Mode②：軽負荷運転，Mode③：高負荷運転，の運転領域ごとに理想の筒内混合気分布を設計し（Fig. 3），従

来型以上のエンジン性能とPN低減を両立するためのブレイクスルー技術（詳細は後述）を新たに開発した。これらの技術により、従来比、PN排出量を大幅に低減すると同時に、他のエンジン性能においても優位な改善を確認した。Fig. 4にNEDC (New European Driving Cycle) における検証結果を示す。

Table 1 Specification

| Engine | | (PREVIOUS) SKYACTIV-G 2.5 | NEW SKYACTIV-G 2.5 |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|
| Engine Type | | In-Line 4 | |
| Displacement [cc] | | 2488 | |
| Bore x Stroke [mm] | | 89 x 100 | |
| Compression Ratio [-] | | 13 | |
| Combustion Chamber | | Pentroof | |
| Fuel Supply System | | Side Direct Injection | |
| Injection Spec | Number of holes | 6 holes | 6 holes |
| | Static Flow Rate | Base | about 30% down |
| | Fuel Pressure [MPa] | max 20 | max 30 |
| PCM (Powertrain Control Module) | Injection Pattern | max double | max triple |
| | Minimum Q | Base | Reduced |
| | Injection Timing | Base | Optimized |

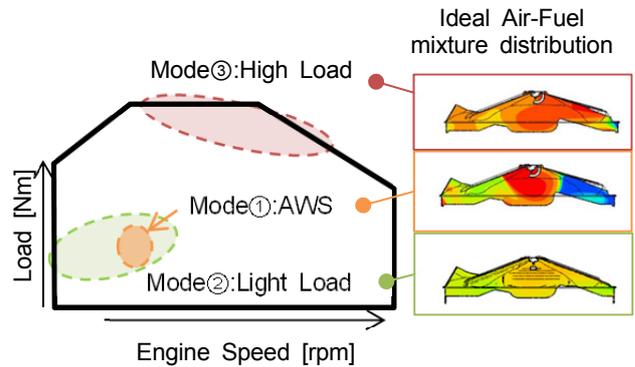


Fig. 3 Air-Fuel Mixture in Each Operation Condition

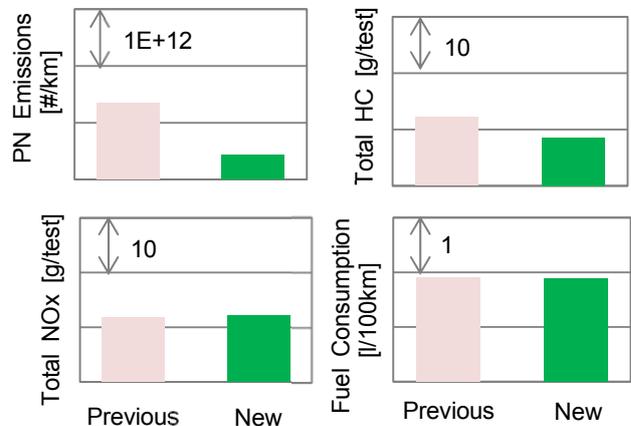


Fig. 4 Comparison of Emissions and Fuel Consumption in NEDC

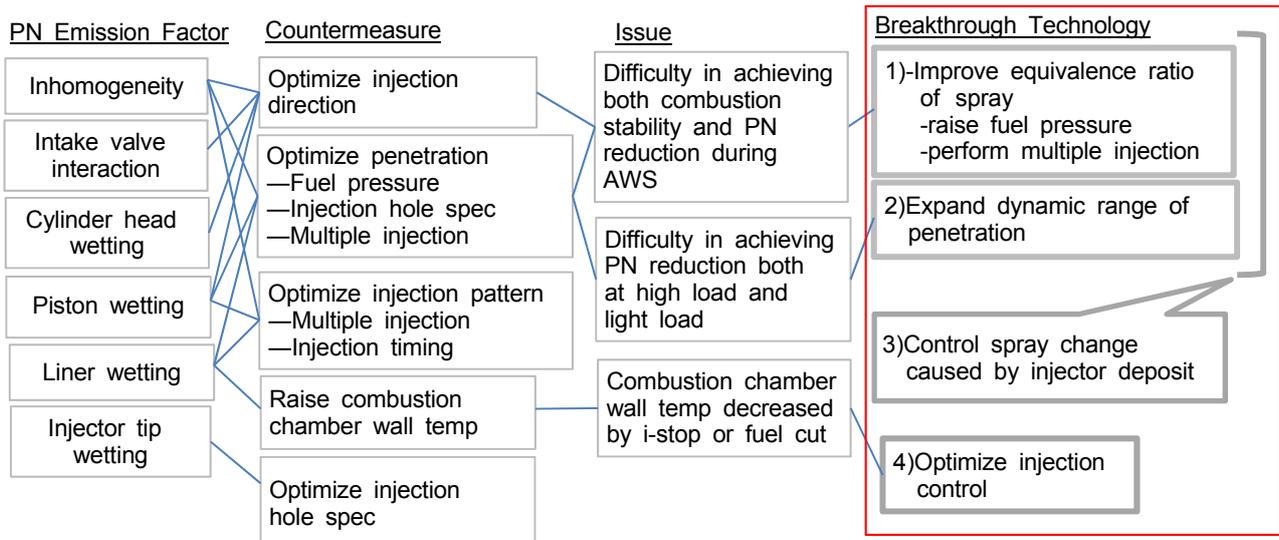


Fig. 5 Breakthrough Technologies

3. ブレークスルー技術

前述のとおり、新型ではPN低減のために、燃焼室壁面への燃料付着量の低減と筒内均質性向上に注力した。PN発生要因と対応策、それに伴う主な課題と新型で開発したブレークスルー技術の関係をFig. 5に示す。

3.1ではAWS中の燃焼安定性とPN低減の両立、3.2では高負荷運転と軽負荷運転でのPN低減の両立、3.3では1~2を劣化時でも成立させる噴霧の劣化抑制技術について、そして3.4では、(1) 噴射制御最適化のための最小噴射量低減技術と(2) 噴射タイミング最適化によるPN低減について紹介する。

3.1 AWS中の燃焼安定性とPN低減の両立

AWSでは、始動時に触媒をいち早く活性化するため、点火時期を遅角して排出ガス温度を高める制御を行っている。点火時期遅角化は、燃焼安定性に対して不利な条件となるため、ピストンキャビティーへ燃料噴霧をトラップし、スパークプラグ火花部に燃料を集め、弱成層を形成することにより、燃焼安定性を確保している⁽⁴⁾。しかしながら、ピストンキャビティーに燃料噴霧をトラップする際、ピストンへの燃料付着が、PN発生の要因となる⁽⁵⁾。

そこで新型では、従来並みのコンパクトな噴霧を維持しつつ、インジェクター噴孔諸元の最適化と加工精度の高いレーザー加工の採用により、噴霧平均当量比と噴霧長を改善した。従来型と新型のインジェクターの噴霧比較結果をFig. 6に示す。

またFig. 7~9に示すように、噴霧の改善と合わせて、燃料噴射圧の高圧化、噴射分割数の最適化により、ピス

トンへの燃料付着量を低減させつつ、従来型並みのスパークプラグ近傍のA/Fを確保した。

これらにより、Fig. 10に示すようにAWSの定常運転条件にて、PNを大幅に低減することを実現した。

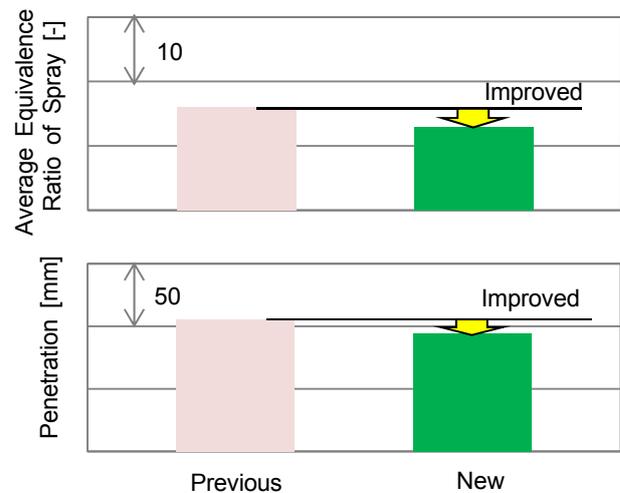
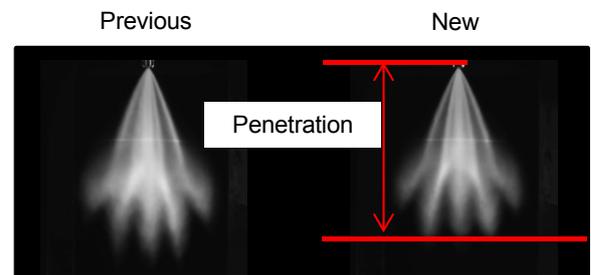


Fig. 6 Comparison of Spray Characteristic

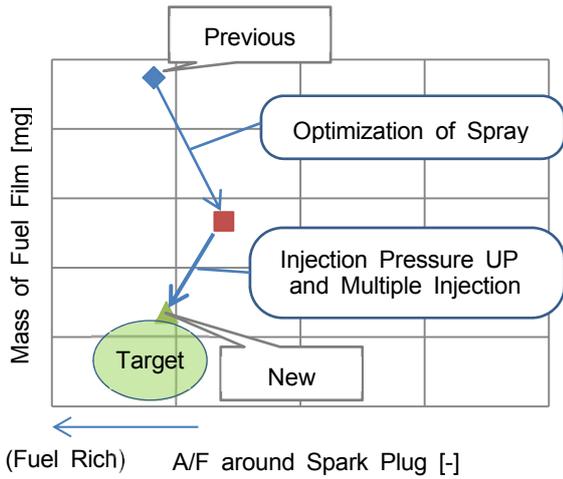


Fig. 7 Effect of Spray and Injection Strategy

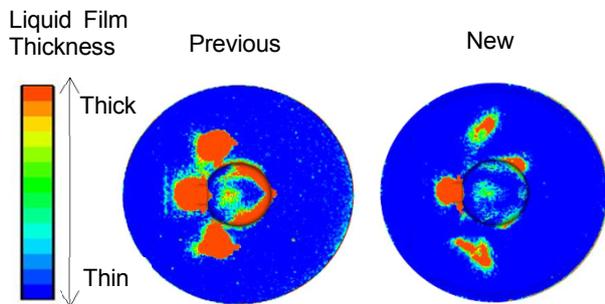


Fig. 8 Comparison of Fuel Film on Piston at AWS

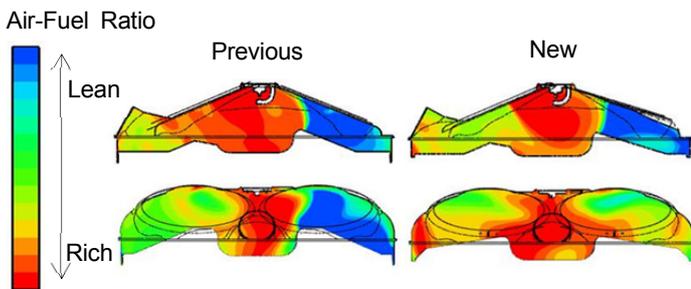


Fig. 9 Comparison of A/F in cylinder at Ignition Timing during AWS

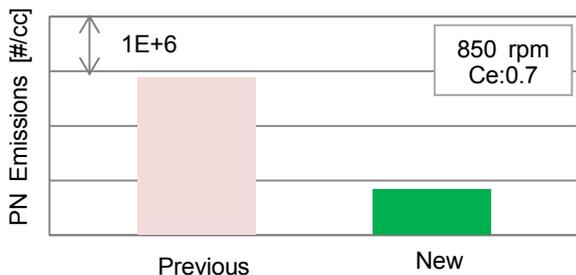


Fig. 10 Comparison of PN Emissions at AWS

3.2 高負荷運転と軽負荷運転のPN低減の両立

高負荷運転では強い流動により噴霧が流されることで、筒内に局所的なリッチ混合気形成され、PNが発生する。そのため、流動に打ち勝ち、均質度の高い混合気分布を筒内に形成するために、より強い貫徹力の噴霧を実現する必要がある。

一方、軽負荷運転では空気量が少ないため、弱い流動に噴霧が打ち勝つことにより、燃焼室内特にライナーへの燃料付着量を増加させ、PNが増加する懸念がある。そのため、燃料が付着しにくい、弱い貫徹力の噴霧が理想である。

これらを両立するために、今回新型では前述の噴霧改善に加え、燃料噴射圧の高圧化と噴射分割数最適化により、噴霧長のダイナミックレンジを拡大した (Fig. 11)。

その結果として、Fig. 12~14に示すとおり、高負荷運転域のリッチ混合気量と、軽負荷運転域の燃料付着量の両方の低減を実現した。

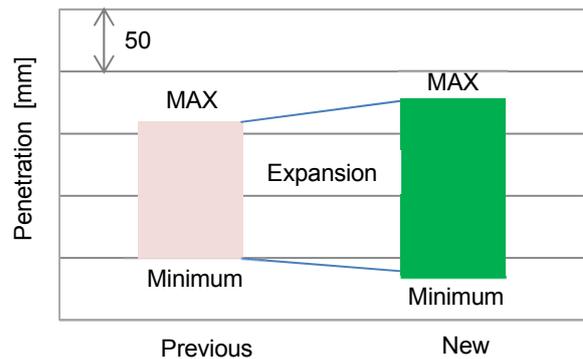


Fig. 11 Comparison of Dynamic Range of Spray Penetration

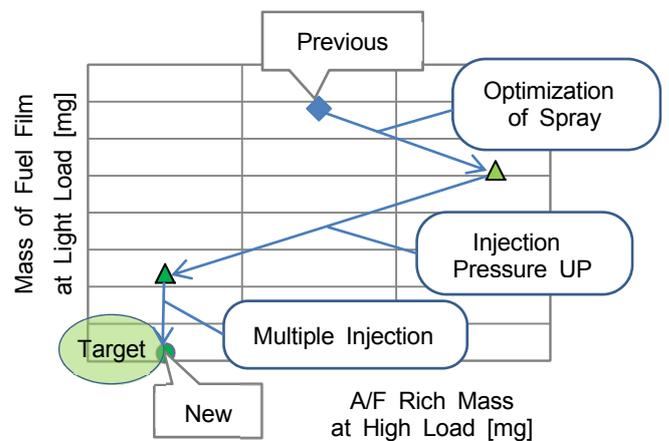


Fig. 12 Effect of Spray and Injection Strategy

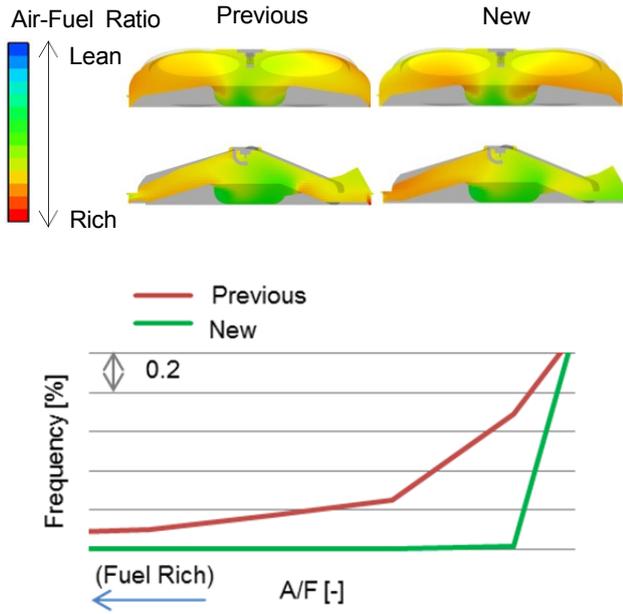


Fig.13 Comparison of A/F in cylinder at Ignition Timing during High Load

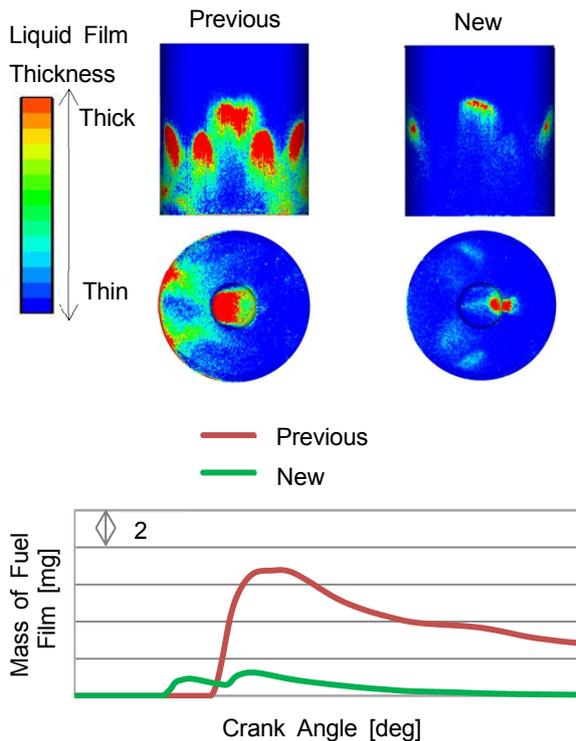


Fig. 14 Comparison of Fuel Film at Light Load

3.3 噴霧の劣化抑制

新型では、前述の噴霧の改善によるPN低減を行ったが、インジェクター先端の噴孔部にデポジットが付着すると、噴射量の低下や噴霧の変化が起こり、その結果としてPN排出量が増加する懸念がある。

このインジェクター噴孔部デポジットは、噴射した燃料がインジェクター先端に付着し、その燃料がエンジンの燃焼によって焼き固められることにより生成される。

そこで、Type AとType B、2種類の噴孔仕様のインジェクターにおいて、噴孔部にデポジットを付着させるエンジンテスト前後の噴霧を検証し (Fig. 15)、かつデポジット付着テスト前後のPN排出量を検証した (Fig. 16)。Type AはType Bと比較して、デポジットが付着した状態でも、噴霧の変化が抑えられており、その上デポジット付着テスト後のPN排出量の増加を抑制できたため、新型ではType Aを採用した。

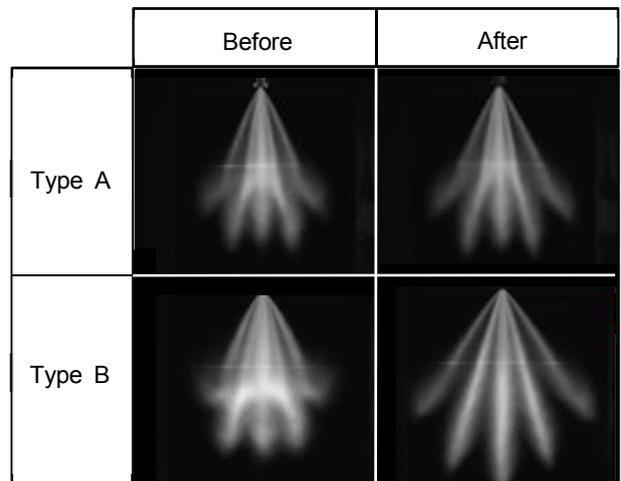


Fig. 15 Comparison of Spray Shape

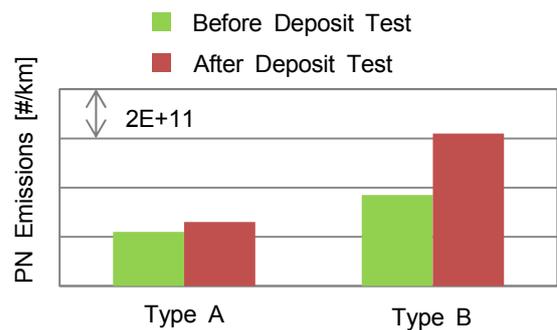


Fig. 16 Comparison of PN Emissions in NEDC

3.4 燃料噴射制御の最適化

(1) 分割噴射領域の拡大と最小噴射量低減

Fig. 17に示すように、新型では従来型の最大2分割噴射に対し、最大3分割噴射とし、更に分割噴射の運転領域を拡大した。それに伴い、運転領域ごとの異なる筒内混合気分布要求を実現する噴射量制御のイネーブラーとし

て、最小噴射量の低減をハードとソフト両面から検討した。

インジェクターは、コイルへの通電によりニードルを引き上げ、通電時間により噴射量をコントロールしている (Fig. 18)。しかしながら、ニードルが最大リフト時、コアがコネクタに衝突する衝撃によりバウンスが起これ、これが原因で噴射量のバラツキが発生し、特に噴射量が小さい領域でこのバラツキが大きくなる。

そのため新型では、バウンスを低減できる新構造インジェクターを採用するとともに、インジェクター駆動電流を各噴射圧力に応じて最適化する制御により、最小噴射量を従来型比、約16%低減した。

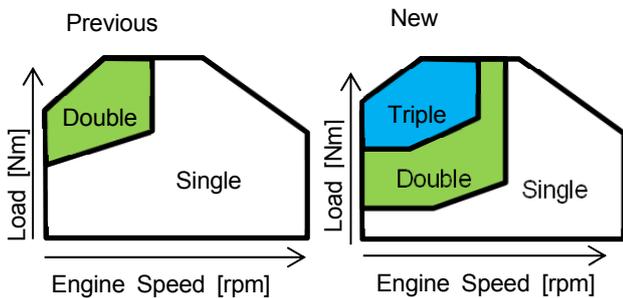


Fig. 17 Injection Strategy

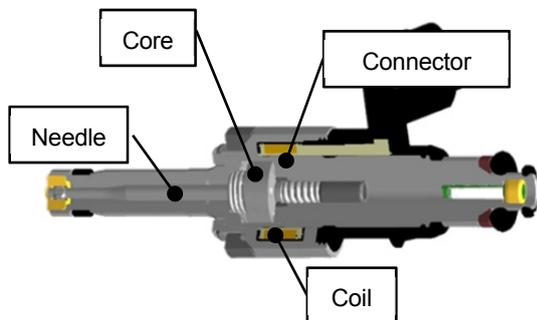


Fig. 18 New Injector Schematic

(2) 燃焼室壁温推定によるPN抑制制御

前述の噴霧等の改善に加え、更なるPN排出量低減のために、燃焼室壁温推定によるPN抑制制御を織り込んだ。

例えば、減速時の燃料カットやi-stopの制御が作動した場合、通常運転時と比較して、燃焼室内の壁面温度が低下する。そのため、壁面への燃料付着量が同一であっても燃料が気化しづらく、PN排出量増加の懸念がある。そこで、燃焼室内の温度を推定し、元々の噴射タイミングより、推定温度に応じて更に噴射タイミングを遅角させる制御によって、ピストンへの燃料付着量を抑制してPN排出量を低減した。

4. おわりに

SKYACTIV-G 2.5の進化版として、新型SKYACTIV-G 2.5の燃焼技術を紹介した。理想の内燃機関に近づけることで、環境性能の向上と意のままの走りの両立を目指した。お客様にとって、長く乗り続けることのできる一台となれば幸甚である。

今後も美しい地球を子供たちに残せるように、更なる環境性能の向上のための、究極燃焼を目指して開発を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 富澤ほか：新型デミオのエンジン技術, マツダ技報, No.29, pp.8-13(2011)
- (2) 長谷川ほか：CX-5 SKYACTIV-Gのエンジン技術, マツダ技報, No.30, pp.3-8(2012)
- (3) 野田ほか：新型ガソリンエンジン「SKYACTIV-G 2.5気筒休止」の開発, マツダ技報, No.34, pp.35-40 (2017)
- (4) 藤川ほか：高圧縮比ガソリンエンジンの掃気性改善と触媒早期暖気のための燃焼技術開発, 自動車技術会論文集, Vol.43, No.2, pp.351-356(2012)
- (5) 伊藤ほか：ガソリン直噴エンジンにおける触媒暖気時の排出微粒子数低減技術の開発, 自動車技術会学術講演会講演予稿集, No.447, pp.2450-2455, 2017 5447(2017)

■ 著 者 ■



小谷 佳苗



上村 匠



平下 茂行



西尾 貴史



野村 健太郎



平林 千典

特集：ロードスターRF

9

ロードスターRFの紹介 Introduction of Roadster RF

中山 雅*¹ 山口 宗則*² 下村 剛*³
Masashi Nakayama Munenori Yamaguchi Takeshi Shimomura

要 約

「マツダロードスターという、小さなオープンカーを通じて、もっと多くの方々と『走る喜び』による輝きに満ちた人生を共有したい」。そのような思いから、4代目ロードスターをベースとしたリトラクタブルハードトップモデル、ロードスター RFを開発した。ロードスター RFもまたロードスターであるために、「軽量・コンパクトであること」「ホイールベースを変えないこと」「荷室を犠牲にしないこと」を守った。ロードスター RFでは、「オープンカーの楽しさを身近で気軽なものにする」という思いを守りながら、

「誰もが心打たれる美しいファストバックスタイル」

「安心できる包まれ感と爽やかな開放感を両立させた新しいオープンエア感覚」

「深みのある上質な走り」と静かなキャビン」

を提供価値として、従来の考え方に捉われることなく更なる進化に挑戦した。

Summary

With this small, convertible sports car, we want to offer even more people a fun-filled life through “driving pleasure”. With the aim, we developed the Mazda MX-5 RF which is the retractable hardtop model based on 4th generation MX-5. The first decision made when preparing to develop the Mazda MX-5 RF was to retain the following three key features. It had to be lightweight and compact; it had to have the same wheelbase as the soft-top model; and it could not sacrifice trunk space. In the Mazda MX-5 RF, we have challenged toward the further evolution by thinking outside the box with the offered values such as 1) beautiful fastback styling that resonates with any car lover, 2) a new open-air sensation with a feeling of being ensconced securely in the cabin as well as a pleasing sense of freedom and 3) a quiet cabin with the relaxed feeling of quality ride comfort while retaining the aim of enabling to feel familiar with and to easily feel the pleasure of convertible sports car.

1. はじめに

ロードスターがいることで、人生がより楽しく、より濃密になる。マツダロードスターという小さなオープンカーを通じて、もっと多くの方々と「『走る喜び』による輝きに満ちた人生を共有したい」。そのような思いから、3代目ロードスターでは初めてリトラクタブルハードトップを採用した。そして、4代目のリトラクタブルハードトップモデル「マツダ ロードスター RF」では、「オープンカーの楽しさを身近で気軽なものにする」という思いを守りながら、従来の考え方にとらわれることなく

更なる進化に挑戦した。

2. ロードスターであるために

ロードスター RFもまたロードスターであるために、まず「軽量・コンパクトであること」「ホイールベースを変えないこと」「荷室を犠牲にしないこと」を決めた。

新しい発想で生んだファストバックスタイルによる、誰もが一瞬でときめく美しいデザイン。重量を感じさせず、コンパクトなボディを意のままに操る楽しさを味わえる「人馬一体」の走り。使い勝手が変わらないトランク。独創のオープンスタイルがもたらす心地よい開放

*1~3 商品本部
Product Div.

感。ロードスター RFはソフトトップモデル同様、「ロードスター」であることにこだわり抜いて、全ての領域を造り込んだ。

3. 誰もが心打たれる 美しいファストバックスタイル

ライトウェイトスポーツの楽しさを、より多くの様々な人に伝えたい。ソフトトップモデルが正統ライトウェイトスポーツとしての魅力をストイックに研ぎ澄ましたものとすれば、RFモデルは誰もが美しいと思える“小さな”スポーツカーの姿を、何ものにも捉わられることなく素直に表現したもう一つのロードスターである。

3.1 エクステリアデザイン

エクステリアデザインは、ロードスターのハードトップモデルとしてありたい姿を描き切ることを目指した。すなわち、クローズドスタイルのシルエットが際立つファストバックスタイルのキャビンの美しさと、ソフトトップモデル同等の心地よいオープンエア感を両立するまったく新しいルーフ形状を実現した (Fig. 1)。

キャビンは、リアルーフが後方へ向かってゆるやかに下がりながら内側に絞り込まれていく、理想的なティアドロップ形状とした。オープン時には、頭上の2つのルーフと後方のバックウィンドウが開放される独自のスタイルを採用した。



Fig. 1 Exterior Design

外観諸元は、ルーフとタイヤの違いによる10mmをプラスした全高1,245mmのみがソフトトップモデルからの唯一の変更箇所であり、全長3,915mm、全幅1,735mm、ホイールベース2,310mmに変更はない (Table 1)。

Table 1 Exterior Dimension

| | RF Model | Softtop Model | Difference |
|---------------------|-----------|---------------|------------|
| Overall length (mm) | 3,915 | 3,915 | ±0 |
| Overall width (mm) | 1,735 | 1,735 | ±0 |
| Overall height (mm) | 1,245 | 1,235 | 10 |
| Wheel base (mm) | 2,310 | 2,310 | ±0 |
| Tire size | 205/45R17 | 195/50R16 | - |
| Weel size | 17 x 7J | 16 x 6.5J | - |

3.2 インテリアデザイン

インテリアデザインは、ただ見るだけ、そこに座るだけで笑みがこぼれ、心が躍るコックピットを目指して、ソフトトップモデルと同じ考え方で造り込んだ。より質感高く、やわらかな触感のクロマ・タンカラーのナッパレザーを新しく採用し、落ち着いたある洗練されたインテリアを表現した (Fig. 2)。



Fig. 2 Interior Design

4. 安心できる包まれ感と爽快な開放感を 両立させた新しいオープンエア感覚

ロードスター RFは、美しく機能的なコンパクトボディと、常識にとらわれない発想でデザインした電動ハードトップを融合させることで、安心できる包まれ感と爽快な開放感を両立させた、新しいオープンエア感覚を実現した。

4.1 パワーリトラクタブルハードトップ

パワーリトラクタブルハードトップは、フロントルーフ、ミドルルーフ、リアルーフの3つのルーフとバックウィンドウで構成される構造を採用した (Fig. 3)。オー

ブン時は頭上の2つのルーフとバックウィンドウが収納され、リアルーフはボディの上に残るスタイルとした。

アウターパネルの素材は軽量化と機能性を追求し、フロントルーフにはアルミ、ミドルルーフは鉄、リアルーフはSealed Mold Compound (SMC)を採用した。また、リアルーフ部の黒いガーニッシュには、無塗装でも高い質感を実現するバイオエンジニアリングプラスチックを採用した。

ハードトップ化に必要な部品の軽量化にもこだわった結果、ソフトトップモデルに対してルーフ機構部分による重量増を約45kgに抑えた。



Fig. 3 Power Retractable Hardtop Roof

先代のハードトップモデルでは手動式だったトップロックは電動式とすることで開閉操作を簡略化し、利便性を高めた (Fig. 4)。



Fig. 4 Power Top Rock

クローズとオープンがスマートに切り替わる一連の所作の美しさにこだわり、フロントルーフ、ミドルルーフ、リアルーフ、バックウィンドウそれぞれのパーツの動きをオーバーラップさせながら動くよう制御。流れるような美しい開閉動作と、約13秒のルーフ開閉時間を実現した (Fig. 5)。またロードスター RFでは新たに、10km/h未満であれば走行中でもルーフの開閉操作ができる制御を採用した。



Fig. 5 Elegant Opening and Closing Sequence

4.2 新しいオープンエア感覚

ロードスター RFは独自のリアルーフ形状と、ルーフの作動と連動して開閉するバックウィンドウにより、安心できる包まれ感と爽快な開放感を両立させた新しいオープンエア感覚を実現した。オープン時に、バックウィンドウを開放することで、車両後方から聞こえてくる爽快な排気サウンドを楽しみながら走る、オープンカーならではの醍醐味も演出した (Fig. 6)。

オープン時に後方から巻き込んでくる風を効率的に抑えるために、リアルーフのトップ部形状を最適化するとともに、ソフトトップモデルよりも大型のエアロボードを採用した。また、エアロボードの素材には透明なアクリルを使用することで、強めの風にも対応できる剛性と後方視界の確保を両立した。



Fig. 6 New Open-air Sensation

4.3 独立したトランク

ロードスターは、初めてリトラクタブルハードトップを採用した3代目モデルから、ルーフを収納するために、トランクの実用性を犠牲にすることはしていない。ロードスター RFもルーフをキャビン側に収納することで、ルーフの開閉操作時も収納時にも、これらに全く影響を受けない独立したトランクを確保した。容量はソフトトップモデルとほぼ同等を確保し (127L/DIN方式)、550mm×400mm×220mmサイズのキャリーオンバッグ2つを積載することを可能とした。そのうえでトランク内

部に車載工具などを収納しておけるマルチボックスを設定し、使い勝手のよさを更に高めた (Fig. 7)。



Fig. 7 Independent Trunk

5. 深みのある上質な走りと静かなキャビン

ロードスター RFでは初代から追求し続けてきた「人馬一体」をより上質に、より質感高く磨き上げた。ハードトップならではの高い静粛性を持ちながら、操った瞬間から自分の体の一部のように、自分の意思でクルマを動かしているロードスターならではの感覚をより深みのある世界観で追求した。車両のレイアウトは運動性能の素性の高いソフトトップモデルを継承した (Fig. 8)。

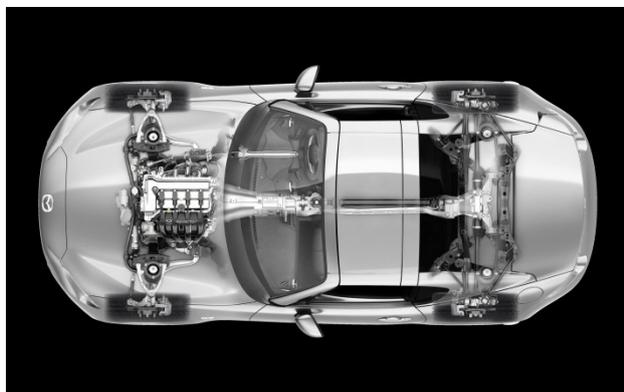


Fig. 8 Vehicle Layout

5.1 ドライビングダイナミクス

ボディはソフトトップモデルで作り上げたオープンボディ用のSKYACTIV-BODYを採用し、軽量化と安全性、高剛性を両立した。そのうえでロードスター RFでは、ハードトップの採用に合わせて車体の剛性バランスを最適化するため、最適な箇所に穴を追加したRF専用のトンネルメンバーを採用した (Fig. 9)。

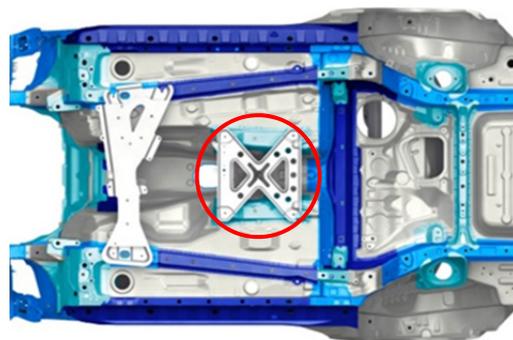


Fig. 9 Tunnel Member Dedicated for Roadster RF

サスペンションは、ソフトトップモデルで採用したダブルウィッシュボーン式 (フロント)、及びマルチリンク式 (リア) のサスペンションシステムを継承した。ハードトップ化により重量や重心高がアップし、車体の剛性が変化するが、上質でしなやかな走行フィーリングを実現するため、サスペンション部品のセッティングを妥協することなく、全てロードスター RF専用に見直した。ステアリングシステムは、ソフトトップモデルで初採用したデュアルピニオンタイプの電動パワーステアリングの基本構造を継承しつつ、専用チューニングを行い、ハンドルからの手応えを進化させ、操舵のリニアさを更に向上させた。

ブレーキシステムは、フロントにベンチレーテッドディスク、リアにソリッドディスクを採用し、ソフトトップモデル同様、荷重移動のコントロール性と制動時の安定感を追求した造り込みを行った。また、オプションとしてフロントにBrembo社と共同開発したブレーキキャリパーを設定し、高G領域での高い剛性感と効きの安定性、優れたコントロール性を実現した (Fig. 10)。



Fig. 10 Brembo Brake

5.2 NVH性能

NVH性能は、ハードトップを持つクルマに求められる静かさへの期待に応えられる性能を実現するとともに、車室内の音のバランスを整え、質感を高めることを追求

して造り込みを行った。その中でも特にクローズ時の静粛性に注力し、フロントルーフとミドルルーフの内側に、吸音性能を持ったヘッドライナーを採用、リアホイールハウスには、エンジンルームにも使用している遮音材を追加するとともに、制振材パネルを採用、また、サイドシルと連なっているリアフロア左右のボディーパネルにも遮音材を設定した。更には音漏れの原因となる穴を徹底して塞ぐなどの対策により、後方から透過してくるロードノイズを大幅に低減。これらにより、ロードスター RFの上質な走りが更に際立つ質感高いキャビン空間を実現した。

オープン走行時の風騒音を低減するために、リアルーフ内側のリップ形状を工夫して、乗員の耳元に近いBピラー上部への不快な風の巻き込みを抑制した。小さな形状の工夫で、美しいデザインを守りながら、風騒音を効果的に抑えた。

5.3 パフォーマンスフィール

ロードスター RFでは、オープンカーの世界観を抜け、より多くのお客様に対してオープンエアドライブを楽しんでいただきたいと考え、パワートレインはSKYACTIV-G 2.0の直噴ガソリンエンジンを設定した(Fig.11)。「原点回帰」をコンセプトに、ライトウェイトスポーツカーとして、「人がクルマを楽しむ感覚」を徹底追求したソフトトップモデルに対し、RFではよりトルクフルで余裕のある走りを追求した。ダイレクトレスポンス、伸び感、エンジンサウンド、そしてシフトとクラッチフィールの軽快さによる気持ちのいい走りなど、ソフトトップモデルで造り上げた「人馬一体」を追求したパフォーマンスフィールと、ロードスター RFで磨き上げた上質感とが相まって、軽快でありながらも落ち着きのある上質な走りを実現した。



Fig. 11 SKYACTIV-G 2.0

6. 安全・環境への配慮

マツダの安全思想「Mazda Proactive Safety (マツダ・プロアクティブ・セーフティ)」に基づいた造り込みにより、先進安全技術「i-ACTIVSENSE (アイ・アクティブセンス)」や優れたパッシブセーフティなど、ソフトトップモデルで実現した高い安全性能を継承している。

また、人馬一体の走りの楽しさとともに燃費性能の向上にも注力し、スムーズなストップ&スタートと低燃費を実現する「i-stop (アイ・ストップ)」と、減速時の運動エネルギーを電気として再利用して燃費の向上に貢献する「i-ELOOP (アイ・イーループ)」を設定した。

7. おわりに

私たちは、ロードスター RFは全ての造り手が高い志を持って共創し更なる進化に挑戦し続ける、マツダにしか成し得ないクルマであると自負している。これまでもこれからも、ロードスターが目指すのは、誰もがしあわせになり、誰もが楽しくなるクルマであり、大切なものを継承することへの誇りを持って、挑戦し続けていきたい。

参考文献

- (1) 山本ほか：新型ロードスターの紹介、マツダ技報、No. 32, pp.93-98 (2015)

■ 著 者 ■



中山 雅



山口 宗則



下村 剛

特集：ロードスターRF

10

ロードスターRFのデザイン
Design of Roadster RF中山 雅*¹

Masashi Nakayama

要 約

4代目ロードスターの開発にあたっては、「守るために変えていく」を開発全体の志とし、マツダの最新技術である「SKYACTIV TECHNOLOGY」の全面採用と、新デザインテーマ「魂動（こどう）」を深化させることで、世界中のロードスターファンの期待に応えるべく、初代から25年間（2014年当時）続いた歴史を継承・発展させ、後世に残すことを目標とした。その派生モデルとなるロードスターRFでは、見た瞬間に心ときめく情緒的で美しいスタイリングを更に強調しながら、室内の静粛性や快適性を想起する電動ハードトップを採用することで、オープンカーへの抵抗感を少しでも軽減させ、より多くの方にオープンエアモータリングの愉しさを提供すべく開発を行ったが、クローズ時の美しいルーフラインを保ったままスムーズにルーフを開閉させる設計は困難を極めた。本稿では、特徴的なルーフラインと開閉機構を持つこのクルマが生まれた企画の背景と、幾多の障壁を乗り越えて、デザインと設計部門が共創した開発経緯を交えながら、ロードスターRFのデザインの魅力を紹介する。

Summary

Mazda's all-new 4th-generation Roadster was developed with the aim of overall development, "Change in order to preserve". Also, its target was to inherit/evolve 25-year-long (as of 2014) heritage and pass it down to the future generations to respond to the expectations of worldwide Roadster fans by fully adopting the Mazda's latest technology, "SKYACTIV TECHNOLOGY", and deepening the new design theme "KODO". For Roadster RF, its derivative model, development was conducted to offer pleasure of open-air motoring while lowering resistance feel to a convertible car as much as possible by further emphasizing emotional, beautiful, and throbbing-at-a-sight styling and adopting electric hardtop that evokes interior quietness and comfort, however, design that opens/closes a roof keeping beautiful closing roofline was extremely difficult. In this report, background of planning of this car with distinctive roofline and open/close mechanism and attractiveness of Roadster RF design that has overcome lots of hardships with the co-creative development process by Design and Engineering Divisions are introduced.

1. はじめに

ロードスターの電動格納式ハードトップモデルは、2007年に「パワーリトラクタブルハードトップ（以下、RHT）」という呼称で、3代目ロードスター（以下、NCモデル）の派生車種として発売し、以後、ソフトトップを含めたロードスター販売台数全体の7割を超える人気モデルとなった。

NCモデルでの実績から、4代目ロードスター（以下、NDモデル）でも、企画当初からRHTの構想はあり、ビジ

ネス上なくてはならない存在と位置付けていた。しかしNDモデルの基本コンセプトは、ライトウェイトスポーツカーとしての原点回帰、特に軽量コンパクトな車体を理想主義的に創り上げることとしたため、まず、ソフトトップでベストなパッケージングを施そうと開発チームは邁進した。

かくしてNDモデルは歴代ロードスターで最も短い全長となり、NCモデルからホイールベースを20mm縮小するレイアウトを取った。この種の格納式ルーフを持つ世界のオープンカーが、ほぼ例外なく大型化するトレンドの中にあって、ロードスターはそれにあらがってコンパクト化す

*1 デザイン本部
Design Div.

る道を選んだ。

そのレイアウトは、結果的にルーフ格納スペースもコンパクト化することにつながるため、開発チームはそれまでにないルーフ格納の知恵を絞る必要があった。

さまざまな案を検討した結果、ルーフを「一部残す」決断を下した。その結果、NDモデルのRHT（以下、ロードスターRF）は、トンネルバック形状（後に詳細を説明）を持ち、かつバックウィンドウ部分が開口するという、自動車史を俯瞰しても、ユニークな車型になった。

2. レイアウトの特徴

2.1 NDモデルのパッケージ思想

前述のとおり、NDモデルは先代のNCモデルから大幅な車両のコンパクト化を行った。具体的には、ホイールベースを20mm短縮。また、ヨー慣性モーメント低減のため、乗員を車両内側に15mm寄せて配置した。

一般的には、縦置きフロントエンジンを持つ車は、トランスミッションに押し出され、ペダルを車両外側にオフセットさせる場合が多い。つまり、必ずしもドライバーの正面にペダルが配置できず、下半身だけ「外を向いたような」ポジションを強いられる。前述の理由からNDモデルでは乗員を内側に寄せているので、その傾向は更に強くなる。

しかしマツダでは、ドライバーが正面に向いたまま自然に脚を置ける、ドライバーに正対したペダル配置を基本思想にしている。NDモデルでもその思想を踏襲するべく、手段として、エンジンに対して乗員の位置を後退させた。

もともと、前後重量配分を50:50とするロードスターの伝統的なレイアウト思想を深化させるため、フロントホイール軸に対してエンジンをNCモデルよりやや後退した位置に配置しているため、上記と合わせ、フロントホイールを基準に言うと35mm、NCモデルより乗員位置を後退させた基本レイアウトとしている（Fig. 1）。

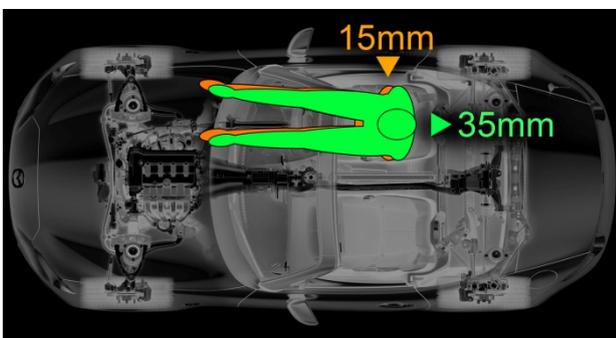


Fig. 1 Basic Layout

2.2 パッケージ思想を守ってルーフを収めるには？

上記を前提とし、かつホイールベースをNCモデルから20mm短縮しているため、乗員からリアホイールまでの距

離は55mm短くなっている。このスペースは、まさに、これまでRHTがルーフを収めていたスペースが55mm少なくなることを意味する（Fig. 2）。

歴代ロードスターは、高い運動性能を目指す以外にも、実用的かつ日常ニーズに十分に答えるクルマ作りを実現してきた。具体的には、アフォーダブルな価格、オープンカーとして高い耐候性、乗り降りのしやすさ、二人が小旅行に出掛けられる程度の荷物を収める十分なトランクスペース（Fig. 3）など。ロードスターRFでも、それらの要件はより上位に位置付けられる重要なコンセプトである。

一方、前述のレイアウトによって、ルーフを格納するスペースは少なくなっている。キャンバス幌であれば傘のように省スペースで折り畳むことができるが、ハードルーフは格納のための一定のスペースを必要とする。

ルーフを完全にボディーに収めることを目的と据えるならば、まず思いつく実現手段は二つ。一つはホイールベースを延ばしてルーフ格納スペースを広げる方法。もう一つはトランクスペースを減らす、もしくはトランク内にルーフを収める方法。しかし、いずれもロードスターとしての上位概念に抵触する。それは「ない」と決めていた。ロードスターとして「何が必要なのか？」を、研ぎ澄まして決断を下す必要に迫られた。

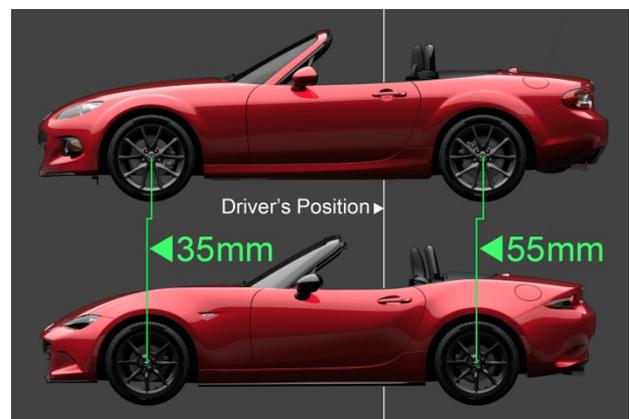


Fig. 2 Roof Storing Space



Fig. 3 Boot Space for 2 Persons

3. 逆転の発想で生んだルーフ格納

3.1 目的は「開放感」、ルーフ格納は「手段」

より上位の概念として、車両寸法の拡大やトランクスペース縮小に向かわなかったチームは、少ないスペースにいかにかルーフを畳むかの知恵出しに注力した。幌のように自在に「曲がる樹脂」の可能性追求や、一部手動による取り外し機構、8分割等の多分割構造を検討した。しかし、いずれも現実的ではなかった。

そこで案として浮上してきたのが、格納部分を思い切って小さくする案、逆に言う「残す部分」を大きくする案である (Fig. 4)。

アイデアとしてはリアリティがあったが、オープン時のスッキリ感、クローズ時のスタイルのまとまりともに、中途半端と言わざるを得ず、美しいデザインを目指す魂動デザイン (Fig. 5) への期待に応えるものには程遠いと、デザインチームの誰もが感じた。

このままでは暗礁に乗り上げると追い込まれたとき、逆転の発想に至った。何が目的で何が手段かを突き詰めて考えると、目的は開放感であり、その手段の一つがルーフの格納であったはずだと、あらためて気付くことになった。

十分な開放感が得られるのであれば、ルーフが全て格納される必要はないではないか? という逆転の発想である。



Fig. 4 Roof Study



Fig. 5 KODO Soul of Motion

3.2 閉じてても開けても美しい姿

ルーフの全てを格納しない、逆に言えば、ルーフの一部が残るとすれば、どのようなカタチが美しいのか?

ここには大きな迷いはなかった。一枚のキースケッチ (Fig. 6) を見たデザインチーム全員が一瞬で「これだ」とひらめいた。リアデッキに緩やかにつながる流線型のルーフラインを描き、それをそのまま残そうというアイデア。また、そのルーフラインがトランクスペースを犠牲にしないように、自動車のスタイリング用語で「トンネルバック」や「フライングバットレス」と呼ばれる、バックウィンドウ後ろが開放された特徴的な形状を考え付いた。

そのアイデアをすぐにより詳細な絵に起こし、その後3Dデータを作成して全体の形状確認やルーフ格納の動きについて検証を開始した (Fig. 7)。



Fig. 6 Key Sketch



Fig. 7 CG for 3D Modeling

4. デザインのねらい

ルーフを一部残すことを決断し、流線型のルーフラインを実現するという方向に舵を切ったが、実は開発にとって最大の難関だった。その開発の経緯に触れる前に、デザインのねらいについて紹介する。

4.1 流麗なルーフライン

まず特徴的なのはサイドビューのシルエットである。ルーフラインはリアに行くにしたがって緩やかに傾斜する、いわゆるファストバックと呼ばれるシルエットを描いてい

る。これが車名の由来ともなった。RFとは「Retractable（格納できる）」ルーフを持つ「Fastback（ファストバック）」スタイルの車という意味を込めて命名している（Fig. 8）。

フロントウィンドウやサイドウィンドウで形作られる立体が後方に向かってスムーズに収束する様は、見る人にエレガントな印象を与え、流麗なスタイルを訴求する多くのクルマが取っている手法でもある。

また、クォーターから見たシルエットはリアフェンダーの張り出し面とスムーズにつながり、台形の力強いスタンスを強調している（Fig. 9, 10）。



Fig. 8 Fastback Style



Fig. 9 Stance



Fig. 10 Stance

4.2 トランクスペースを確保するトンネルバック

二人分の小旅行用の荷物を積むトランクスペースが、ロードスターの必須要件の一つであることは前述した。

その前提でサイドビューでのファストバック・シルエットを持たせるために、トンネルバック（あるいはフライングバットレス）という特徴的なスタイル（Fig. 11）を採用したのだが、実はこれにはもう一つ理由があり、その方がバックウィンドウの実長を短くできるというメリットがある。



Fig. 11 Tunnel-back



Fig. 12 Long Deck

オープンカーにとっての開放感とは、頭上が開放されることで広がる視野の広さや、肌で感じる風以外にも、聴覚で感じるサラウンドな音の広がり感も大切な要素だと考えている。その場合、後ろから聞こえる心地よいエンジンの排気サウンドや周囲の音が、その演出上欠かせない要素と

なる。であれば、バックウィンドウは必ず開放されなければならない。そのためには、バックウィンドウが垂直に近く立っている方がウィンドウの上下寸法が小さく、格納に有利である。

また、短くなったバックウィンドウとは対称的に、トランクリッド面を延長するカタチになるデッキ部は反対に長くなり、全長の短い車体でありながらもたっぷりとしたデッキ長を形成する (Fig. 12)。

このような優美な表情が生まれることも、トンネルバックを採用した理由である。

4.3 美しいパーティングライン

自動車のボディー上には、ドア部のように、部品同士を接触させないための一定のクリアランス (数mm) を持たせた、パーティングラインがいくつか入っている。デザインするには、このラインの通し方を慎重に行い、スムーズで違和感なく仕上げる必要がある。通常このパーティングラインは、ドア以外にボンネット、トランクリッド、給油口周辺に存在しているが、開閉式ハードトップを持つロードスターRFでは、ルーフとボディーの境目のラインが余分に加わることになり、ライン要素が多くなる分、煩雑な印象になってしまう。

しかし、このラインを違和感なく通し、むしろボディー形状の特徴をより強調して見えるようなラインにできれば、ラインとして煩雑な印象が払拭でき、見た目にも心地よい美しさを表現できると考えた。

具体的には、もともと存在しているボンネットの開口ラインを延長し、ドア上端を流れ、そのままトランクリッド開口ラインまで滑らかにつながるラインとした (Fig. 13)。



Fig. 13 Parting Line

この一連のラインは、ボディーサイドの面がボディー

上側の面に变化する位置に沿わせている。これは、自動車のスタイリング用語で「ベルトライン」や「ショルダー」と呼ばれる部位のラインそのものであり、ボディー形状の特徴が端的に表れるラインであるため、ここにパーティングラインが通っても、見た目には違和感を覚えにくくなっている。また、水平方向を向いた面にラインがあるので、クルマを横から見たときには、スキが目立ちにくい。

しかし、このパーティングラインは、まさに部品の分割ラインであるため、実際には内部構造の小型化や、組み立て時の搭載方法に知恵を絞らないと実現できない。また、耐候性を保証するシール機能を確実に持たせることや、合い沿いを安定させる工夫が込められている。その奮闘ぶりは、本マツダ技報の「リトラクタブルハードトップの開発」編に詳細に記載されているので、そちらを参照いただきたい。

5. インテリアデザイン

5.1 上質感と気持ちの高揚を演出

インテリアは、より上質になった車格感に合わせて質感を高めるアイテムや、ルーフ開閉という操作自体を楽しむアトラクティブな演出を心掛けた。

- より触感を楽しめる柔らかい革シート (5.2項目に詳細)。
- ルーフを開ける瞬間に気持ちも「ON!」になれる開閉スイッチ。
- 後方からの風の流れをしなやかに受け止める上品なウィンドブロッカー。

まず、ルーフ開閉スイッチは、「開ける、閉める」という、それぞれ逆方向の動きをつかさどるため、スイッチ中央のノブを上下に動かす「トグル型」と呼ばれるタイプにした。これに決めた理由は、爪の長い女性などの操作に不自由を掛けたくないことと、航空機などのコックピットにあるようなトグル型にすることで、気分を盛り上げる儀式性を感じていただきたかったからである。

また、スイッチ先端の形状は、ATセレクターやスポーツモードスイッチとテイストを合わせることで、むやみにデザイン要素が増えて煩雑に見えないように考慮した (Fig. 14)。



Fig. 14 Roof Operation Switch

5.2 後方視界に配慮したウィンドブロッカー

ロードスターに限らず、多くのオープンカーはシート後方に風の巻き込みを抑えるウィンドブロッカー（風よけ）を装着している（Fig. 15）。

ソフトトップ車では穴の開いた樹脂製としたが、ロードスターRFでは透明なアクリル製とした。後方が全て開放されたソフトトップ車に対し、このクルマのように部分的にルーフが残る形状だと、室内外の気圧バランスの関係で、後方からの風の巻き込みが大きくなるのが風洞実験によって明らかとなり、ウィンドブロッカーを大型化する必要があった。単に大型化すると後方視界を妨げるため、透明にし、形状も最適化した。

中央部は面の角度を下に傾け、ルームミラーに室内の夜間照明が映りこむことを防いでいる。



Fig. 15 Wind Blocker

6. カラーデザイン

6.1 「マシーングレープレミアムメタリック」を追加

マツダでは、「カラーも造形の一部」という思想の下、魂動デザインのダイナミックかつ繊細な面構成を際立たせるカラーの開発に注力している。その一環として、機械の持つ精緻な美しさの追求をテーマに、力強い陰影のコントラストと表面の緻密さを高次元で両立することで、あたたかみも鉄のインゴットから削り出したかのようなリアルな金属質感をねらった「マシーングレープレミアムメタリック」を開発し、新型CX-9から順次導入しており、今回、ロードスターRFにも採用した（Fig. 16）。

従来こうした質感表現は、極薄のアルミフレークを含んだ塗料を熟練職人が手作業で何度も塗り重ねて仕上げるコンセプトカーなどでのみ可能なものだったが、マシーングレープレミアムメタリックでは、ソウルレッドプレミアムメタリック用に開発した塗装技術「匠塗 TAKUMINURI」を進化させることで、クリア層、反射層、カラー層からなる塗膜構成での量産化に成功した。

反射層には、極薄の高輝度アルミフレークを含んだ塗料を、均一な厚みになるように精密に塗装した後、乾燥過程で劇的に体積を収縮させる手法を開発。これにより、一般的な反射層の約4分の1である約2.5ミクロンにまで極薄化

した塗膜の中に、アルミフレークが一定間隔で平滑に並んだ状態を形成。緻密でありながら、光の当たる面全体が強く輝くリアルな金属質感を実現した。また反射層とカラー層の双方に発色の良い漆黒顔料を使用してアルミフレークの隙間から透過させることで、光の当たらない部分に鉄独特の力強い黒みを持たせ、陰影のコントラストを高めた（Fig. 17）。



Fig. 16 Machine Gray

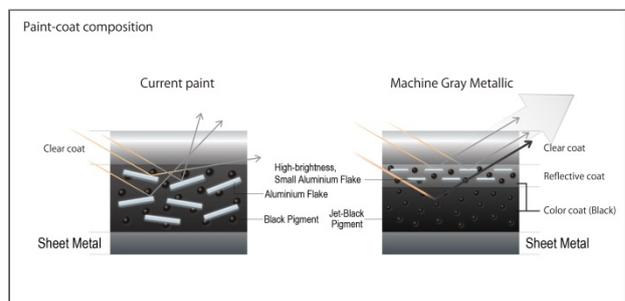


Fig. 17 Paint-coat Composition

6.2 シートにナッパレザーを追加

上級グレードには、しっとりとした滑らかな感触を持つナッパレザー（柔らかい革の総称）を採用した（Fig. 18）。

工業製品として使う通常の革の場合、一定の強度を保つために、銀面と呼ばれるもとの真皮部分をほぼ削り落とし、保護膜をつけ、シボ押しをして表面を整えている。結果、革の耐久性は高くなるが、硬い質感になったり、ごわごわした印象になる。

それに対してナッパレザーの場合、革の柔らかさを生かすために、表層の傷やシボを軽く削るくらいに留め、その上に薄い保護膜を塗布しているだけである。そのため革

が本来もつ柔らかさや風合いを感じることができる。

反面、通常よりもデリケートな革になり、お客様自身にある程度お手入れしていただく必要があるが、それもまた、よりクルマに愛着が湧き、使っている間に想いが深まっていくといった、ロードスターらしさの表現だと考えて採用した。

また、この革の特性を表現しやすい色としてオーバーンという赤褐色の色を採用した。この色は、多くの方が革の色として想起しやすい色でもあり、温かみや優雅さを感じていただくと期待している。インストルメントパネル下部も同色にすることで、ツートーンの明るいインテリアコーディネートとすることも意図した (Fig. 19)。



Fig. 18 Nappa Leather



Fig. 19 Auburn Interior

7. おわりに

28年前、初代NAロードスター（以下、NAモデル）のカタログ1ページ目には、「だれもが、しあわせになる。」との象徴的なコピーが入っている (Fig. 20)。

二人乗りのオープンカーは、購入する側にとってはハードルが高い。しかし、ほんの少しの勇気をもってこのクルマを選べば、きっと誰もが幸せになれるに違いないという想いが込められており、逆に言えば、誰をも幸せにすることが、このクルマの使命であることを宣言していると思う。

NAモデルは、本格的なスポーツカーとしての成り立ちを持ちながらも、手ごろな価格、初心者でも扱える自然な操縦性、二人分の週末旅行用の鞆が十分に入る荷室、耐候

性が高く開閉しやすい幌、一般乗用車と変わらぬ維持費等、それまでのスポーツカーの常識を覆すような「人への優しさ」を兼ね備えて生まれ、世界中のファンを魅了した。

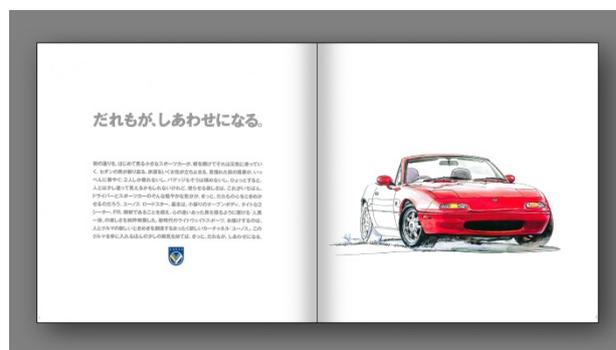


Fig. 20 Brochure of NA Model

あれから28年の歳月が経ち、クルマの利便性への要求は高まり、相対的に、二人乗りのオープンカーのハードルは高くなっていった。しかし、ロードスターが元々持っていた「誰をも幸せにする」志を継承するには、今一度、オープンカーへのハードルを下げる努力をするべきではないかと思った。そういう意味では、このロードスターRFは、「守るために変えていく」という理念を最も象徴しているかも知れない。

普通に考えれば、守ろうとすれば「変える」ことは怖い。しかし、変えなければ守れないものもある。ロードスターにとって守るものは「誰をも幸せにする」ことであり、それを大切にしたい。「屋根が全て格納されないロードスター」を創ることは怖かったが、このスタイルを見て、このオープンカーに乗ってみたいと思っただけの方が増えると思っている。そうなれば、オープンカーを敬遠する気持ちも少なくなり、素晴らしい人生の体験が加わり、より多くの方に幸せになっていただける。

その一助として、ロードスターRFが役目を果たせることを願ってやまない。

■ 著 者 ■



中山 雅

特集：ロードスターRF

11

ロードスターRF リトラクタブルハードトップの開発 Development of RHT for Roadster RF

松本 浩一*1

Koichi Matsumoto

要 約

三代目モデルより導入したリトラクタブルハードトップ（以下RHT）はロードスターのコンセプトに沿って開発し、軽量で開閉に伴う重心移動も最小、かつ、開閉時間も短く、気軽にオープンにできるシステムである。RHTモデルは販売台数の半数以上を占め、ロードスターのラインナップとして不可欠な存在となった。今回、RHTの刷新においては、先代の良さを正常進化させることを基本としながら、RHTのあるべき姿を描き、高い目標を掲げて開発に着手した。人の操作とシステムの動作が最適となるよう、ハード面から刷新し、加えて、ルーフ本来の機能であるクローズ時の静粛性と質感が大きく向上した。また、外観差別化のポイントであるファストバックスタイルのデザインはリンクの見直しやルーフ格納の効率化などによって実現した。本稿では開発のねらいと経緯、実現手段について紹介する。

Summary

The Retractable Hard Top (hereinafter called RHT) was developed under the Mazda's roadster concept and introduced to the 3rd generation roadster. The RHT is light weight, requires minimum shift in center of gravity and short time for opening/closing, which allows casual application of open roof. The RHT model accounted for more than a half of the overall roadster sales, making it an essential lineup. For the 4th generation roadster, the RHT was innovated with a high goal to realize the ideal status while proceeding the normal evolution of the positive points of the previous model. The motion of the system was improved to more fit with a person's operation, and the quietness and quality feel when the roof is closed was significantly upgraded. The fastback-style, a key for the differentiation in appearance was realized by the revision of the linkwork and the efficient way of roof retraction.

This report describes the development target and process as well as measures taken.

1. はじめに

新型ロードスターRFの開発に着手した当時、2000年以降伸びていた他社RHTモデル群の販売比率が減少傾向に転じていた（Fig. 1）。これは、ソフトトップの性能が大幅に向上し、静粛性、外観、使い勝手においてハードトップと遜色ないレベルに達してきたことが要因とみられる。また、ルーフを格納するためにエクステリアデザインを犠牲にした車種はモデルチェンジで姿を消していく傾向も見受けられた。

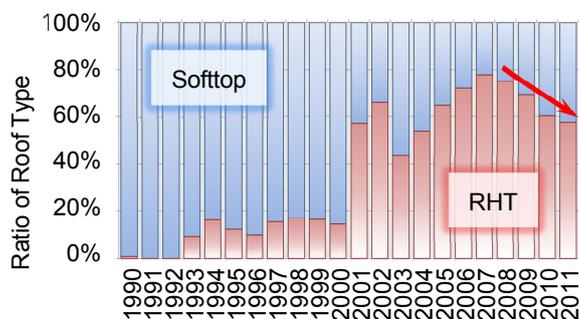


Fig. 1 Market Analysis of Roof
(Researched by Mazda)

*1 ボデー開発部
Body Development Dept.

したがって、新型ハードトップモデルの開発は先代の改良だけでは不十分であり、大きな飛躍が必要という結論に至った。そして、開発の志として目標を以下のように定義し開発に着手した。

- ① 操作のしやすさ、動作の美しさの追求
- ② クローズドボディ同等の静粛性、内装品質
- ③ 魂動デザインの実現

次に基本構造、機能(①②)、及びデザイン(③)のそれぞれの領域について、開発経緯と実現手段を述べる。

2. システムの基本構造

システム構成は前後で大きく2つに分かれる。前部はフロントルーフ、ミドルルーフ、バックウィンドウをリンクで連動させ、左右2個のモーターで駆動する。後部のリアルーフは左右の4節リンクで保持され、同じく左右2個のモーターで駆動する。前部ルーフとバックウィンドウはシート後方のスペースに格納され、先代モデル同様トランクスペースを犠牲にしないパッケージとした(Fig. 2)。

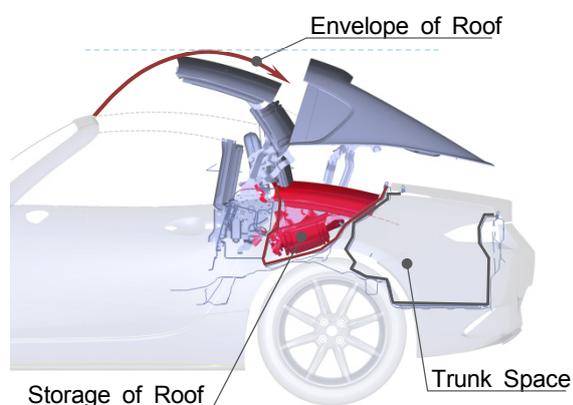
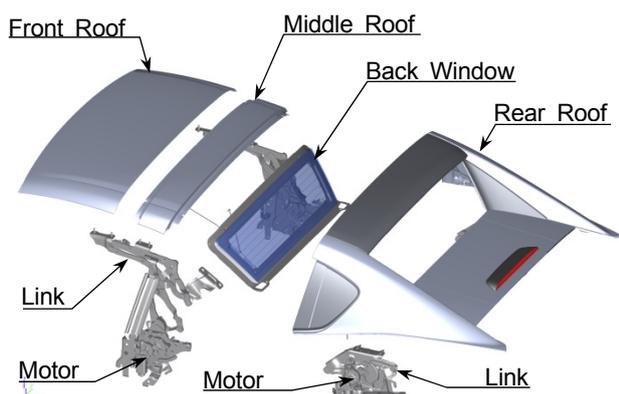


Fig. 2 Structure of Roof

3. 機能

3.1 開閉操作のねらい

信号待ちなどでも気軽にオープン/クローズを切り替えることができれば、オープン走行の機会が増え、ロードスターをより楽しむことができる。それをサポートするには開閉時間が短いだけでなく、操作、動作ともにスマートなものになりたい。そのためには“姿勢を変えずに指先のみで操作でき、コンパクトな開閉軌跡でスムーズかつ速やかに作動する”ことが必要と考えた。

次にこれを実現させた構造、制御について述べる。

3.2 トップロックの電動化

スイッチ操作のみで開閉を完了させるため、従来は手動であったトップロックを電動タイプに変更した。主要部品としてはベースプレート、フック、モーター、セクターギア、リンク、リミットスイッチで、これらをコンパクトにレイアウトしている(Fig. 3)。また、フックの作動軌跡も含め専用設計である。

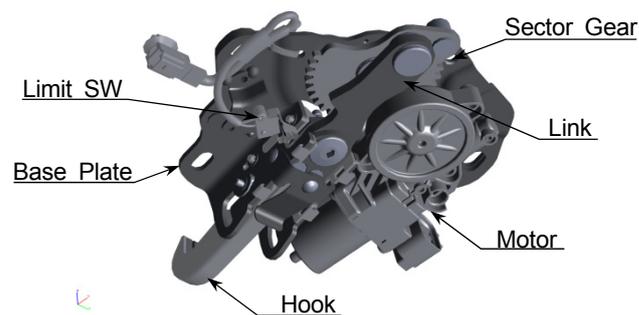


Fig. 3 Top Lock

電動化により重くなるが、低重心化を損なうルーフ部分の重量増加は避けなければならない。これは、並行して検討を進めていたルーフパネルの軽量化でカバーした。各ルーフの材質を再検証し、フロントルーフのような平板状の部品はアルミが適しているという結論に至った。成形性、外観精度など生産工程の課題を解決し、トップロックを含めたフロントルーフ部全体で2.3kgの軽量化を達成した。

また、モーター追加などにより、室内の圧迫感につながる懸念があったが、室内空間も考慮しながらモーターを配置し、トップシーリングの意匠面を工夫したことで違和感のない室内空間とすることができた。

3.3 作動許可条件の緩和と開閉速度制御

ルーフ開閉スイッチはエアコンダイヤル下のパネルに配置し、開閉状態はメーター内のマルチディスプレイで視認できる。これは、姿勢、目線を変えず操作できるだ

けでなく、ルーフの作動許可条件の緩和にもつながった。前モデルは車速0km/h、及びシフトポジションがパーキング（マニュアル車はニュートラル）であったものを車速のみの制約（10km/h以下、後退時は不可）に変更した。

ルーフの開閉速度スムーズで静かに開閉できることを優先し、開閉所要時間、危険感、動き始め・全開時のルーフ振動収束のバランスを見て最適化した。前モデルも同様の速度制御を行っているが、より早いタイミングから段階的に減速する制御に見直している。ただし、後述の作動時のリンク剛性の向上やルーフの軽量化によることも大きい。

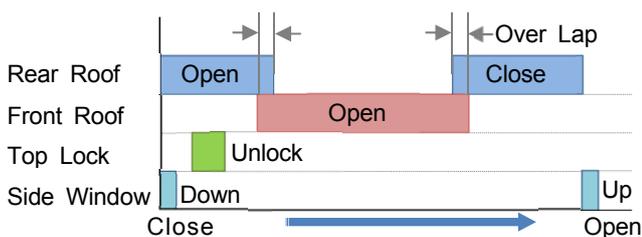
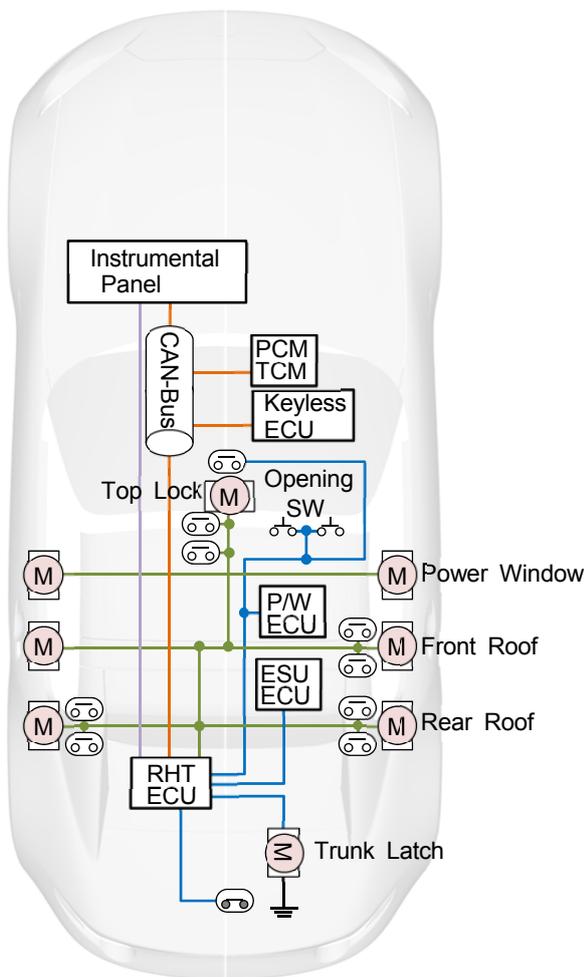


Fig. 4 System & Operation Time Chart

また、フロントルーフとリアルーフの動きを一部オーバーラップさせているが、開閉時間のロスを最小限とするだけでなく、途切れなく動かすことで、動き自体を美しく見せる効果をねらっている(Fig. 4)。加えて、開閉時のルーフ軌跡を上方向に250mm弱に抑え、リアルーフは全開時でも車両後端よりはみ出さないように配慮した。

以上により、操作も動作もスマートに行うことが可能となっており、開閉できるシーンがより広がっていくものと考えている。

3.4 パワーウィンドウ連動

パワーウィンドウ連動はよりきめ細やかな制御とした。ルーフを開閉させるためには、まずパワーウィンドウを下げる必要がある。なお、社内の調査結果では半数以上がオープン時もウィンドウを上げて走行しており、また、RHTモデルの方がその傾向が強い。パワーウィンドウを全開まで下げることも制御上は可能だが、上記より降下量は必要最小限の約40mmとし、作動完了後に元の位置に戻る設定とした（北米向けを除く）。

3.5 クローズドボディー同等性能の確保

リトラクタブルであってもクローズ時はクローズドボディー同等のルーフであることが理想である。よって、静粛性、内装質感においてもクローズドボディー並を目標とした。ルーフ分割部からのエアリークがないことが大前提となるため、シールは通気経路の徹底的な潰し込みを行った上で、高速走行時の負圧も考慮したシールラップ量とした。室内の静粛性を向上させるためにはルーフの遮音、吸音性能を上げていく必要があるが、トップシーリングの表皮・基材に吸音率に優れた素材を選定し、吸音効果を活かした設計とした。これにより、限られたスペースで質量増加を抑えながら静粛性目標を達成することができた。

トップシーリング表皮は内装質感も高く、クローズドボディーと遜色ないが、両サイドにリンクが存在することが異なる点である。各リンクには、天井面にうまく一体化するようデザインした樹脂カバーを設定した。目立たない部位であるが、作動隙を確保しながら丁寧に造り込んだ (Fig. 5)。

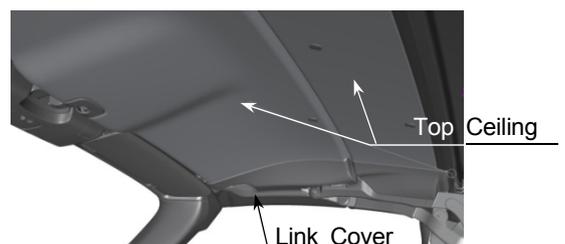


Fig. 5 Top Ceiling and Link Cover

4. 魂動デザインの実現

4.1 ルーフ開閉機構ケーススタディ

新型ロードスターは先代モデルに対し全長を105mm短縮したが、トランクスペースを犠牲にしないことが大前提のため、ルーフ格納スペース縮小が必要であった。また、リアホイールセンターの55mm前方化やシートクライニング量2°増加も格納に対し不利な方向である。したがって、ルーフ開閉機構はゼロから考え直す必要があった。

位置の制約から、メインリンクの作動角を約30°増やす必要があり、成立性に懸念があった。解析の結果、前モデルと同じ構造では、開閉途中のフロントルーフ保持剛性が不足することが分かった。リンク板厚アップによる対策は効率が悪く、大幅な質量増加を伴う。そもそもスペースの上でも余裕はなかった。そこで、フロントルーフの姿勢保持を優先したリンクジオメトリを再構築することとした。

従来のリンクはメインリンクの動きをバックウィンドウ→フロントルーフの順に伝えていく構造としているが(Fig. 7-①)、今回はメインリンク→フロントルーフ→バックウィンドウの順となるよう変更した(Fig. 7-②)。結果的にリンクを2本追加する必要があったが、リンク剛性は大幅に向上し、スムーズな開閉の実現にもつながった。

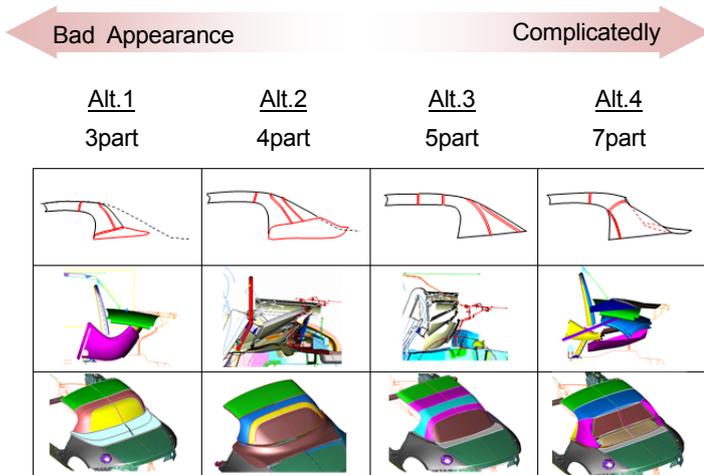


Fig. 6 Case Study of Roof Structure

格納しやすくするためには、ルーフ前後長を短くしバックウィンドウ傾斜を立てていけば良いが、デザインの方向性と逆行する (Fig. 6 Alt.1)。

従来構造の延長線上では解がないと判断し、ルーフ分割数を増やす方向で検討した。よりコンパクトにルーフを折りたためるようになったが、それでも格納スペース内に収めることは困難であった。

バックウィンドウ小型化による格納性向上をねらい、バックウィンドウ後方が開放されたトンネルバックスタイルの提案がデザインよりあった。しかし、それでも全て格納するには機構が複雑になりすぎ現実的ではない。また、分割ラインが多く外観上も問題があった (Fig. 6 Alt.4)。

この段階より、ピラーを残す方向での模索を始め、最終的には現在のファストバックスタイルへとつながっていく。オープン時も後部を残すことで、ルーフ格納スペースの問題については目途が立ったが、同時に構造上の問題も明確になってきた。

4.2 ルーフリンクの剛性不足

リンク機構は一般的に作動角が大きいほどリンク狭角が広角となり、剛性が不安定になる。今回はルーフ格納

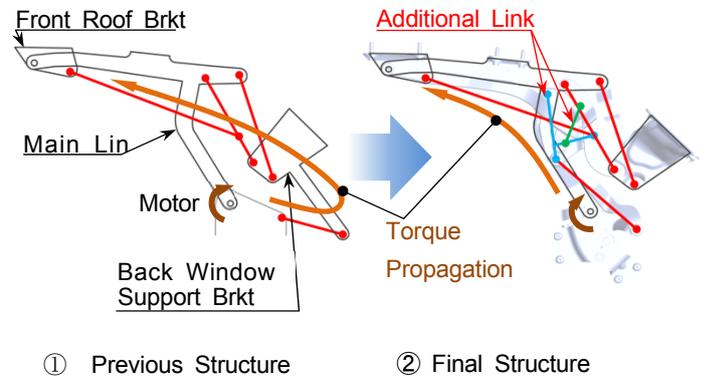


Fig. 7 Link Geometry

4.3 リアルーフの構造検討

(1) 開口ライン

リアルーフはフロントルーフ、ミドルルーフの開閉軌跡確保が目的のため、開閉だけを考えればFig.8に示すAlt.1でも成立する。しかし、リアルーフのパーティングラインはこのクルマのデザインを決定づける要素のため、美しく違和感のないラインを実現できるAlt.3とした。

しかし、従来と同じ構造ではユニット搭載時の必要隙が不足し、パーティングラインはショルダーラインより外側を通す必要があった。

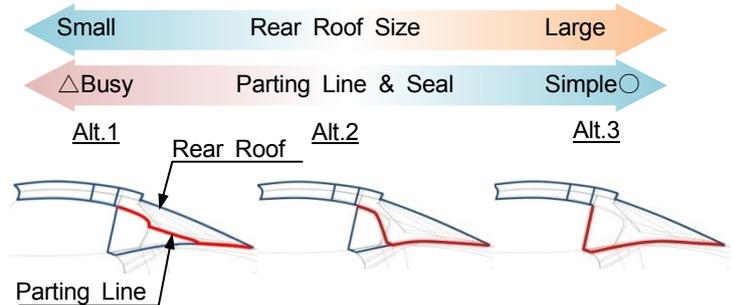


Fig. 8 Rear Roof Study

理想のライン実現のため、構造面ではモーター・ギアの配置により極限までコンパクトな機構とした。それでも足りない分は組み立てラインでの搭載軌跡の変更やガイドを設けて搭載時の振れを抑制する工夫で対処した。また、リアルーフが大型化したことによって、合い沿い保証が難しくなるが、この実現手段については後述する。

このラインは、デザイン/設計/生産の共創により、妥協なく造り上げたものと言える。

(2) Bピラーフレーム追加

Bピラー部はリアルーフ、サイドウィンドウ、ミドルルーフの3部品が重なる部位であり、シール構造の設計難易度が高い。ウェザーストリップをリアルーフ、もしくはメインリンク側に固定する構造が考えられるが(Fig. 9 Alt.1,2), 可動部品同士でシール性能を保障することは困難と判断し、ピラー内部へ固定式のフレームを追加する構造とした(Fig. 9 Alt.3)。

これにより、シール部の剛性確保と位置精度保証が可能となり、必要なシール面圧を確保することができた。また、精度を安定させるため、フレームの固定部はアジャスト機構を備え、傾きを調整できるようにした。フレーム本体は複雑な断面で、剛性も必要のため、アルミ押出し材を採用した。

(2)位置決めと量産品質維持

リアルーフはミドルルーフ、リアフェンダー、トランクの3部品に接しており、量産において、各部品間の面や隙間を揃えることの難易度は高い。しかし、外観品質上、重要な部位であるため、公差の目標は高く設定した。

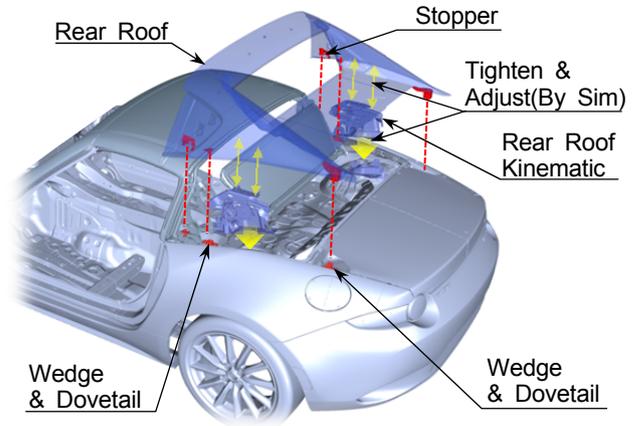


Fig. 10 Locating of Rear Roof

目標達成のため、構造的には4隅に左右方向を規制するウェッジ、上下方向を規制するストップラバーを設定した(Fig. 10)。

しかし、リアルーフの位置精度はシール反力や締結部の位置バラツキの影響も受けるため、これを解析やユニットテストで実証し、各構成部品の公差、拘束部品の仕様に反映した。

また、長期的に見た維持管理も重要である。リアルーフとフェンダーの段差など、外観上、重要な部位は工程能力有無だけではなく、中央値の変化有無も管理している。また、完成車だけでなく車体、ルーフアッセンブリなど、各工程において、継続的に管理している。

5. おわりに

量産に至るまでには、多くの困難な課題を克服する必要があったが、開発当初に掲げた目標を実現することができた。クルマの価値観が多様化する中、どのように評価されるのかを注視しつつ、そのフィードバックを基に初代から受け継いできたコンセプトをより向上させるために進化を継続させていく所存である。

■ 著 者 ■



松本 浩一

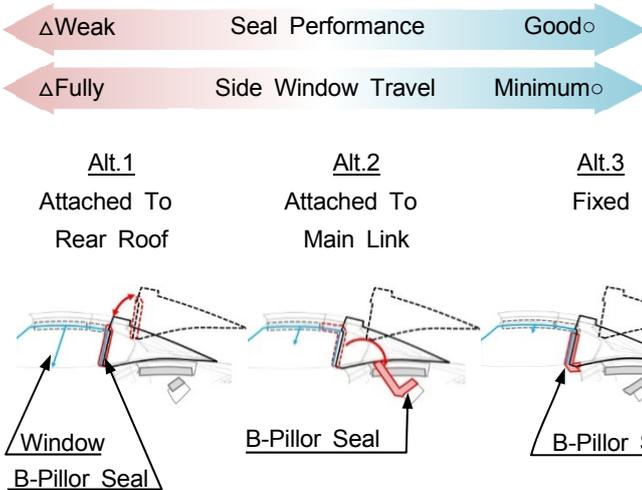


Fig. 9 Rear Roof Study

4.4 外観精度の確保

(1)調整構造

完成車の目標公差を満足させるため、各ルーフアッセンブリは高い精度が要求される。しかし、多数の部品で構成されており、それぞれの公差積み上げでは成立しない。そこで、リンク取付部、ストッパー締結部を0.5~1.0mmのシムで調整する構造とした。

調整量は自動で算出され、ラインタクト内で調整が完了するようにした。

特集：ロードスターRF

12

MBDと品質工学の連携による設計諸元と工程の最適化

Proposal of Optimization for Design Parameter and Process Development
with Coupling of MBD Approach and Quality-Engineering徳光 文広*¹

Fumihiro Tokumitsu

要 約

市場の要求性能を満足する製品を迅速かつ安価に開発することが、企業として存続する必須課題となっている。しかし飛躍的に複雑さを増す傾向にある製品開発において更なる開発期間の短縮と品質の両立は困難を極める。この中において最悪と思われる限られた範囲の評価条件によって机上評価を行う従来手法によって得られた評価結果から導出された設計諸元及び管理ポイントや基準の選定では、さまざまな市場環境下での性能の安定性を保障し得るとは言い難い。しかし実機ができた段階から網羅的な実験を行うことは、期間的かつ費用的に現実性に乏しく、モデルを用いた机上評価に頼らざるを得ないのが実情となっている。

本稿では、机上評価を行う目的と対象を明らかとした上で、目的を達成し品質を安定させるために重要な設計諸元と方向性を抽出可能とするモデル要件を導出し活用することで、設計諸元の最適化に加えて生産工程の最適化を試みた結果を紹介する。

Summary

Developing products satisfying market needs quicker and cheaper has become crucial for a company to survive. However, with product development becoming much more complex, it is extremely difficult to shorten the development period further while maintaining product quality. Under such circumstances, it is very hard to guarantee the stability of performance in various market conditions using design parameters, management variables and evaluation criteria extracted from a conventional method in which desk evaluation is conducted based only on limited evaluation criteria of assumed worst conditions. However, performing a comprehensive function test once a prototype becomes available is impractical in light of development lead time and cost, giving us no choice but to rely on theoretical evaluation.

In this paper, firstly, we clarified purpose and subject for theoretical evaluation, then, drew model conditions that enable the extraction of the design variables and directions which are important in serving the purpose and stabilizing the quality. Lastly, in addition to design parameter optimization, we also introduced trial results of production process optimization.

1. はじめに

企業は製品という価値を市場に提供し、お客様が要求する価値以上と判断された製品が選ばれ対価という形で帰ってきた利益を次世代製品の開発費用に充てる循環によって存立している。

お客様に選んでいただくためには、機能や品質は高くコストは低く抑えて相対的に価値を高める必要がある。この中で、開発費用や生産費用の多くを占める人件費を削減する手段として効率化が常に求められ、具体策として製品をユニットレベルに分割し、各ユニットを個別に生産可能とし、分割したユニットを流れ作業にて組み立

*1 統合制御システム開発本部
Integrated Control System Development Div.

てる生産スタイルが考案された。

更には、分割されたユニットは協力メーカーへ委託生産され会社レベルの分業体制へと拡大した。

この分業によって、生産効率は飛躍的に向上し、削減した生産コストは販売価格へ転化され、低価格化による競合力強化を果たした。しかし製品を分割する構造の多くは複雑となりやすく、分割されたユニットのバラツキの累積や組立再現性等により、完成した製品の機能が不安定となり市場での品質問題の要因となる弊害が発生し課題となっている。

本稿では、複数のシステムやユニットを物理量で連携したモデルを活用し、机上段階でシステムレベルから部品レベルまでを総合的に評価するModel Base Development (以下、MBD) と、機能に対する設計諸元の感度と安定性の関係を明らかにする品質工学を連携することに加え、生産工程も考慮することで、複雑な構造を持つ製品であっても、品質を高く生産コストを低く抑える試みを行った。

まず、モデル要件となる評価対象と評価方法に対する考え方について述べる。次に適用事例を示す。

2. 評価対象

一般的に、燃費はお客様が車両性能を評価する重要な指標として用いられているが、化石エネルギーや電気エネルギーから移動エネルギーへのエネルギー変換を行った結果であり品質特性である。しかし、標高や気温などによって燃費値が大きく変化するようでは安定した品質とは言えず、お客様の信頼が得られない。よって、エネルギー変換を機能と定義し、エネルギー変換の効率と安定性を評価対象とした。

加えて、生産コストには歩留まりや累積バラツキを相殺する調整工数などが含まれるため、部品単品の加工基準を兼ねた部品単品同士の組み付け基準穴位置の加工バラツキを入力とし、他のユニットを組み付ける基準位置の累積バラツキを出力とする位置エネルギー変換の感度も評価対象とした。

更に、自重によるたわみ量やシール反力による変形量を相殺する見込み値も評価対象とした。

3. 評価方法

エネルギー変換の効率と安定性、及び位置エネルギー変換の感度を効率的に評価するため、机上で直交実験を行う。

まず、共通項となる制御因子を探し出し、加法性のある制御因子の組み合わせを明らかにする。これにより、エネルギー変換の効率と安定性を最大とする設計諸元も明らかとなり、設計のセンター値を決めるパラメータ設計も可能となる。

次に、許容加工誤差を拡大した水準にて直交実験を再度行う。これにより、位置エネルギー変換の感度が明らかとなり、感度が低い因子の許容誤差拡大検討や歩留まりと累積バラツキを相殺する調整工数の配分検討が可能となり、許容差設計も可能となる。

そして、モデルを弾性体とし剛体との相対比較を行う。机上での直交実験によって、位置エネルギー変換の感度が高い制御因子は分かっているので、自重やシール反力による変形量を相殺する見込み値つまり設計のセンター値のオフセット量を効率的に抽出可能となる。

4. 適用事例

4.1 Retractable Hard Topの概要

Retractable Hard Top (以下、RHT) は、バッテリーから供給された電気エネルギーをモーターの回転エネルギーに変換し、ギアを經由して多関節リンク機構 (以下、リンク) を駆動させることで、左右対称のリンクに締結されたルーフの開閉運動を行う構成となっている。

ルーフはフロントルーフやミドルルーフやバックウィンドウに分割され、分割部に中空形状のシール材を用いることで、雨水や外気温などが車室内へ侵入することを防いでいる (Fig. 1)。

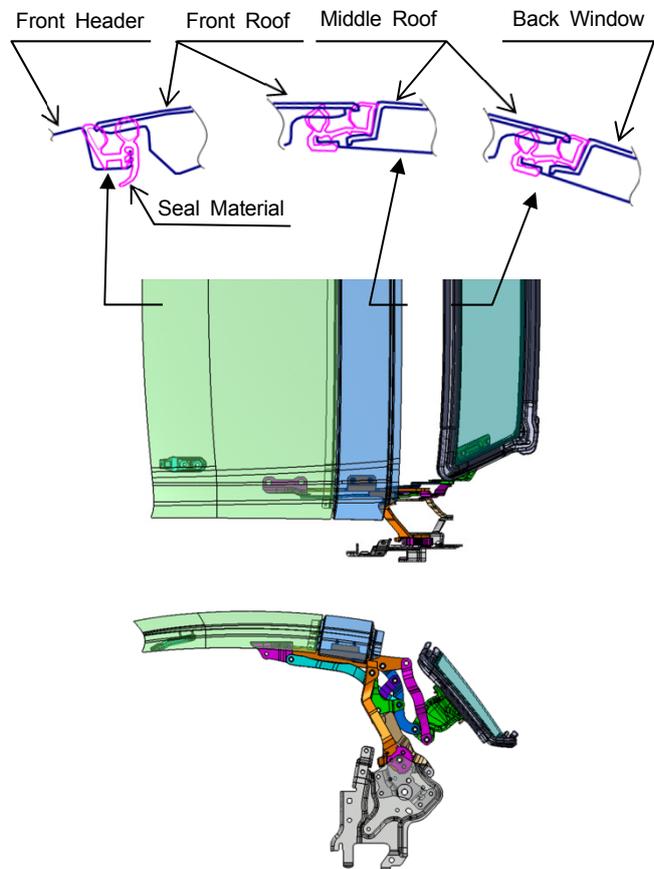


Fig. 1 RHT Configuration

RHTを構成する各ユニット (Fig. 2) は、二次サプライヤーによって生産され、一次サプライヤーによって組み立てを行いメーカーへ納品する生産スタイルとなっている。このユニットの中で、リンクはフロントルーフなど他のユニットを組み付ける土台でありながら、11個もの部品単品となるブラケットの端部に設定された組み付け基準をピポッドによって連結し、回転自由度を持たせることで、ルーフの開閉運動を可能とする複雑な構造となっている (Fig. 3)。

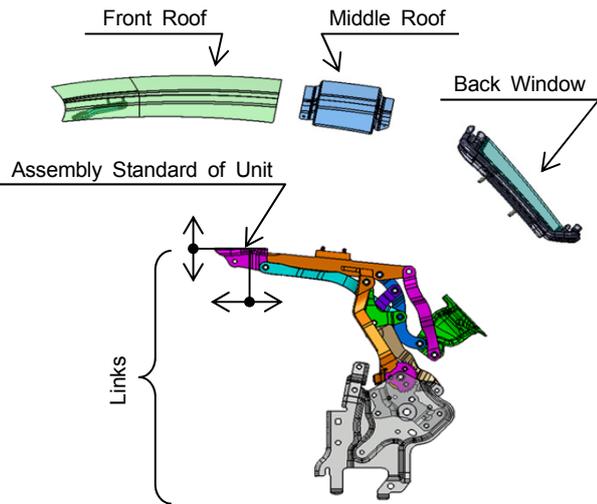


Fig. 2 Divided Units

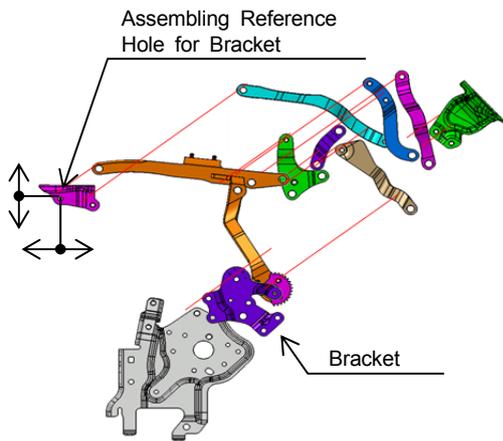


Fig. 3 Links Configuration

4.2 市場での使われ方

RHTに対するお客様のご要望つまり市場での使われ方は、解放感を得るためにルーフを適な車室内環境を得るためにルーフを開めることである。

4.3 評価対象①

ルーフの開閉は、投入した電気エネルギーによって得られるため、電気エネルギーからルーフの位置エネルギー

への変換効率と安定性を評価対象とした (Fig. 4)。

変換効率を高めると不要になった発電エネルギーを目的地までの移動エネルギーに充てられる。安定性を高めるとルーフ先端の上下振動や作動音の変化量が最小となり不快な印象も与えない。

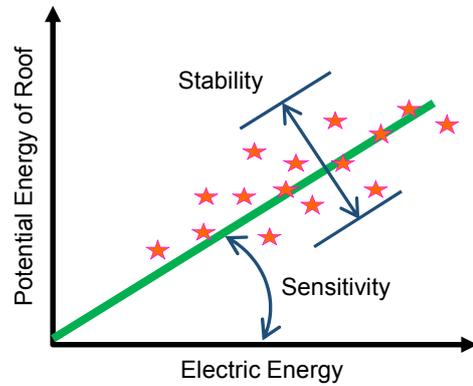


Fig. 4 Energy Conversion

4.4 評価対象②

車室内外の遮断は、分割されたルーフの相対位置により決まるシール隙によって得られるため、リンクを構成するブラケットの組み付け基準穴位置から分割されたルーフを組み付けるリンク側の組み付け基準位置への位置エネルギー変換への感度を評価対象とした (Fig. 5)。

感度の低い因子の許容加工公差を緩和すると生産コストを改善できる。感度の高い因子は重点管理特性となり歩留まりと累積バラツキを相殺する調整工数の定量的な配分検討が可能となる。

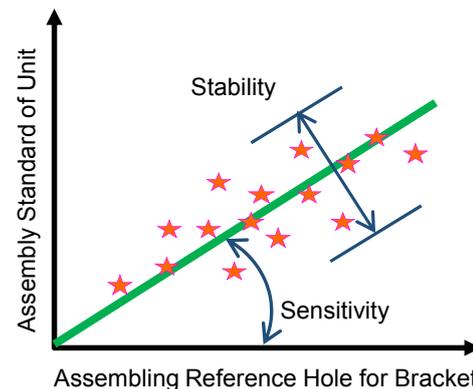


Fig. 5 Position Energy Conversion

4.5 評価対象③

シール隙は自重によるたわみ量やシール反力による変形量によって変化するため、自重やシール反力の有無によるブラケット端部の締結穴位置からシール面への位置エネルギー変換の感度の変化量も評価対象とした (Fig. 6)。

4.6 評価対象①の評価方法と評価結果

電気エネルギーからルーフの位置エネルギーへのエネルギー変換を決定する因子と、ブラケットの組み付け基準穴位置から分割されたルーフを組み付けるリンク側の組み付け基準位置への位置エネルギー変換を決定する因子の共通項となるブラケットの加工基準穴位置から組み付け基準穴位置までの距離を制御因子として設定した (Fig. 7)。

この中で、ブラケットを生産する二次サプライヤーが実測し管理可能な制御因子の中から交互作用のない組み合わせを探し出し、26因子3水準となる直交表L54に割当て、机上で直交実験を実施した (Fig. 8)。結果、電気エネルギーからルーフの位置エネルギーへのエネルギー変換は、効率を高めると安定性が損なわれることが分かった。安定性を優先したいとの設計意図があるため、要因効果図 (Fig. 8) を参考に効率の悪化率を最小限とし安定性を最大限改善できそうな組み合わせを抽出し、確認実験を行った (Fig. 9)。結果、ブラケットの加工基準穴位置から組み付け基準穴位置までの距離によって効率と安定性を配分可能であることが分かり、設計意図に準じた設計のセンター値が決定可能となった。

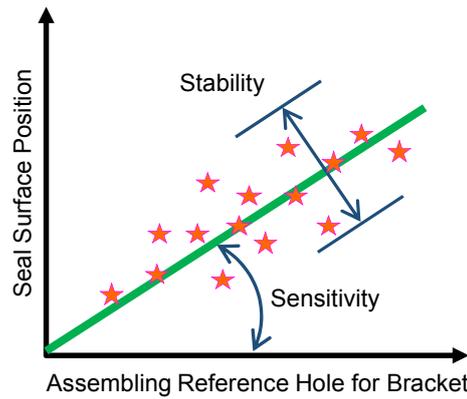


Fig. 6 Position Energy and Force Balancing

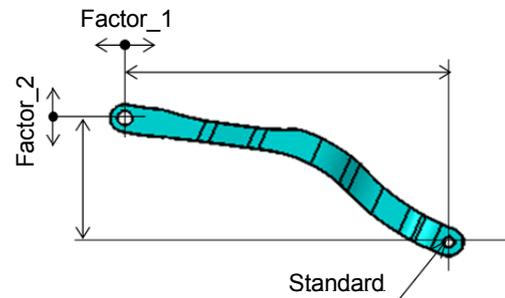


Fig. 7 Control Factor

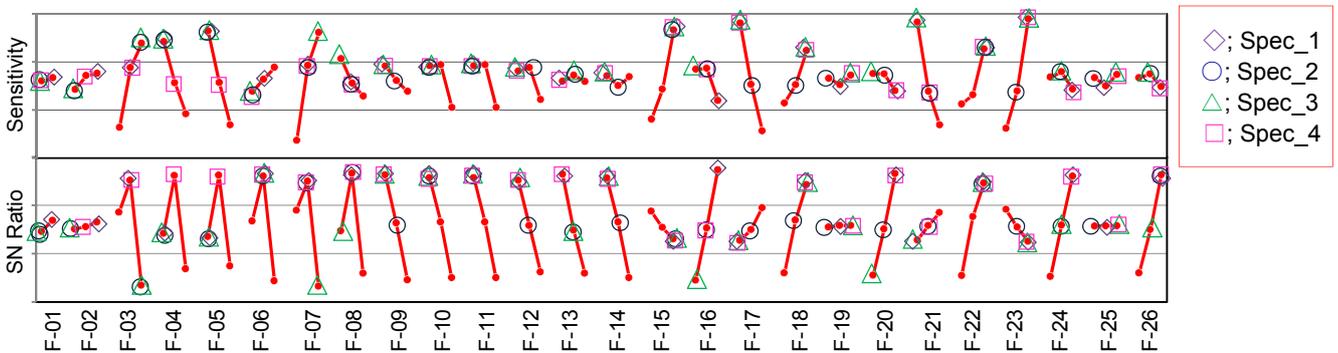


Fig. 8 Factor Effect Diagram

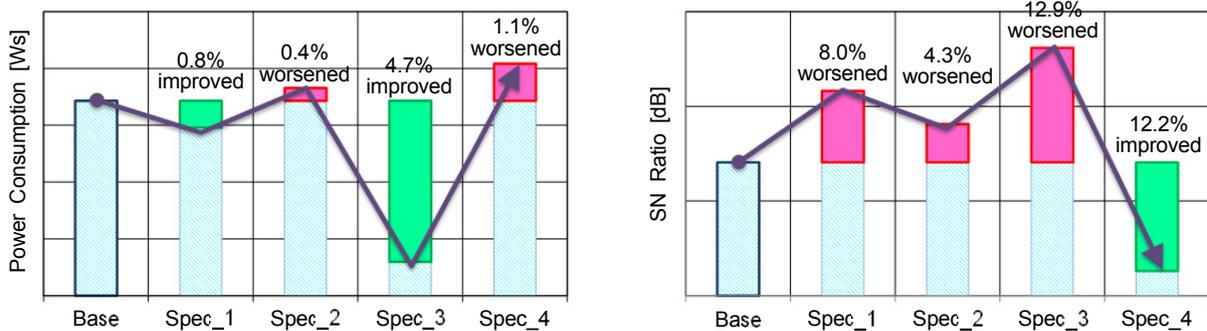


Fig. 9 Confirmation Experiment Result

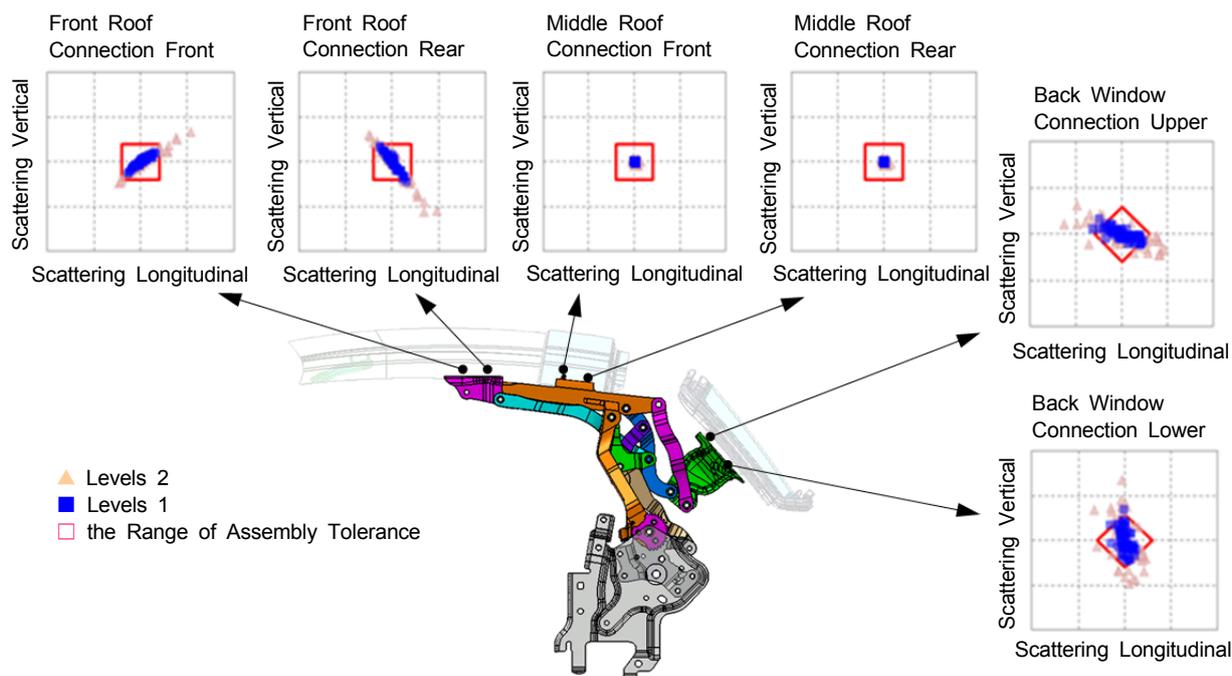


Fig. 10 Scattering at Connection Parts Like Front-Roof

4.7 評価対象②の評価方法と評価結果

許容加工公差を2倍にした水準にて直交実験を再度実施した。初回と再度実施した直交実験の結果の中から分割されたルーフを組み付けるリンク側の組み付け基準位置をグラフにプロットすることで、ブラケットの組み付け基準穴位置のバラツキに対する分割されたルーフを組み付けるリンク側の組み付け基準位置のバラツキの規模と方向性つまり感度を可視化定量化した (Fig. 10)。

これにより、感度が低い因子は許容公差を緩和して生産コストを適正化する検討が可能となり、感度が高い因子はブラケットを生産する二次サプライヤーの重点管理特性となり、リンクにフロントルーフなどのユニットを組み付ける一次サプライヤーが行う累積バラツキを相殺する調整工数や調整シム枚数など、一次サプライヤーと二次サプライヤーの生産コストのトレードオフ検討が可能となった。

4.8 評価対象③の評価方法と評価結果

自重とシール反力による変形量を評価するため、Craig-Bampton法を用いて剛体モデルを弾性体とした。自重やシール反力では降伏点を超えないことが分かって

いるブラケットなどの金属材は線形特性を用いた。圧縮率も高い中空形状のシール材は非線形特性を用いた。この弾性体モデルを用いてブラケットの組み付け基準穴位置からシール面への位置エネルギー変換を評価した。シール反力と強度剛性のつり合いの結果シール面のバラツキ幅は縮小されるため、感度の高い因子に注力することで、効率的に弾性体モデルのシール面の位置を設計のセンター値に復帰できるブラケットの組み付け基準穴位置のオフセット量を明らかとし、見込み量として設定した (Fig. 11)。

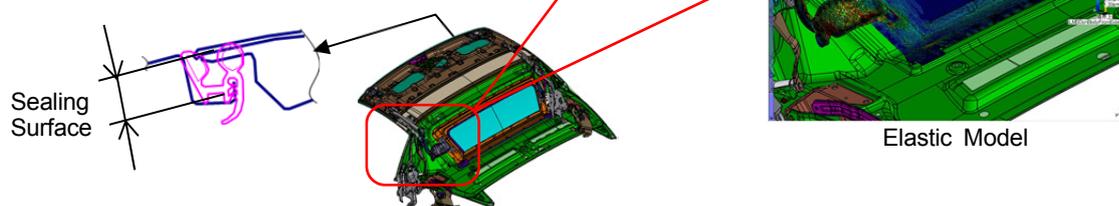


Fig. 11 Rigid Body to Elastic Body

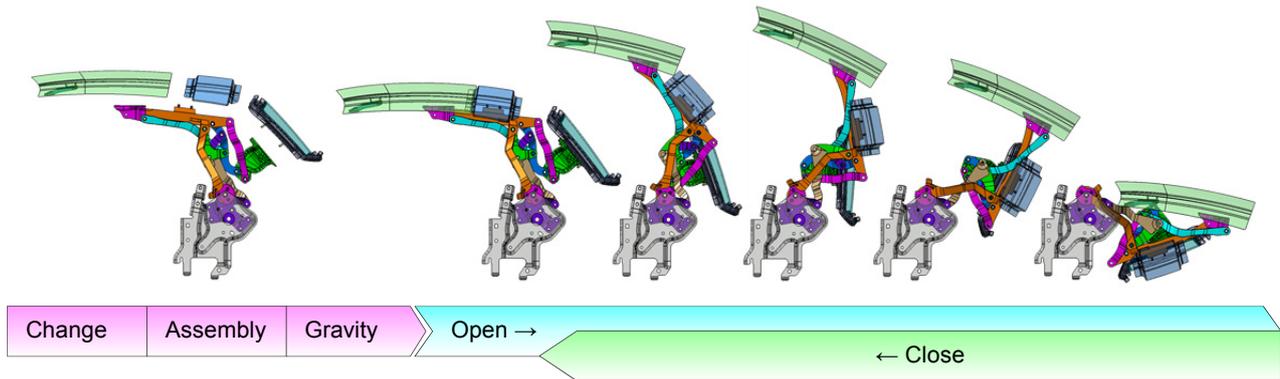


Fig. 12 Evaluation Modes

4.9 モデルの構成

これらの評価を机上で行うにあたり、3D形状に依存した領域はVirtual.Labを用いてプラントモデルを開発した。プラントモデルに力を加えた結果となる応答速度によって次のモーター軸出力トルクなどが変化するパワーフローは制御を含めてMATLAB/Simulinkにてコントロールモデルを開発した。このプラントモデルとコントロールモデルを連成させることで、ループを開閉させるモーターの負荷に応じて電圧や電流やループの開閉速度などが過渡的に変化する機構を再現した。

更に、操作ミス防止と評価効率を高めるため、直交表に準じて自動でブラケットの組み付け基準穴位置を変化させてはブラケット同士を組み付けリンクとし、リンクに分割されたループを組み付けて自重を加えた後に開閉運動を行う一連の生産工程を自動で行うモデルとした (Fig. 12)。

5. おわりに

MBDは机上段階で品質工学の目的を達成させる具体的な技術手段であり、MBDと品質工学の親和性は極めて高いといえる。本稿で紹介した適用事例では、ブラケットに設定された加工基準穴位置から組み付け基準穴位置までの距離を共通の制御因子として、設計のセンター値を決定可能とし、適正な生産コストで目標品質を達成可能とし、自重やシール反力をキャンセルする見込み値を決定可能とした。

これは設計諸元の最適化と生産工程の最適化であり、製品をユニットレベルに分割した構造として個別に生産し、流れ作業の中で分割したユニットを組み立てる生産スタイルの弊害とされる責任の所在と限界の不透明さの排除であり、市場に安定した品質の製品を提供するために必要なシナリオの具体化でもある。安定した品質は、顧客満足度にも貢献し愛着となり荒廃も減少する。つまり、限られた資源の最大有効活用であり豊かな社会の実現にもつながる。

その一方で、評価対象となる機能の本質を見極めるこ

とができれば、モデルが再現すべき機能も最小限となり簡易的なモデルで必要十分となる。今回、適用事例として選定したRHTは複雑な構造となっているため、まず詳細なモデルを用いてMBDと品質工学を連携させて機能の評価を試みた。結果として多くの知見を得ることができたが、詳細なモデルは扱う情報量も多く収集し精査する工数なども多くなり、モデルの開発効率は高いと言いがたい。

今回の試みにて得られた多くの知見を用いて機能の本質を見極め、次回は簡易的なモデルでも同等の結果が得られるようにモデル要件を整備し開発の効率を高め、より高く安定した品質を低い生産コストで市場に提供し、豊かな社会造りに貢献していきたい。

参考文献

- (1) 田口玄一：田口玄一論説集<第三巻>，日本規格協会，pp.413-438 (2012)
- (2) 長松昌男ほか：製品開発のための新しいモデル化手法（機能モデルの基本概念），日本機械学会論文集C編，64巻，622号，pp.131-138 (1998)

■ 著 者 ■



徳光 文広

特集：生産技術領域の進化

13

「魂動」デザイン実現に向けた生産技術の取り組み紹介

Introduction of Production Engineering Endeavor
to Achieve “KODO” Design in Mass Production

杉山 裕基*¹ 森脇 幹文*² 高橋 克典*³
Hiroki Sugiyama Motonori Moriwaki Katsunori Takahashi

要 約

初代CX-5を始めとする新世代商品群に採用された統一デザインテーマ「魂動」を量産車で実現するに当たり、モノ造りに関わる全てのメンバーがデザイナーの「想い」を共有し、技術力の向上と匠の技に磨きをかけ続けてきた。本稿では量産を実現する活動のベースとなった生産技術領域における「モノ造り革新」の取り組みの考え方や特徴と、「魂動」デザインの実現に向けた量産準備の具体的な取り組み事例を紹介する。

Summary

In order to realize common design theme “KODO - soul of motion” by mass production which was adopted to New-Generation models from first CX-5, all relative members who have been involved in Monotsukuri shared designer’s passion and continued to enhance technological strength and improve excellent skills of “Takumi”. We would like to introduce the concept and the characteristics of “Monotsukuri Innovation” activity on production engineering area and process innovation of mass production preparation to realize KODO design and examples of activities.

1. はじめに

近年の自動車は、地球環境への配慮や安全な社会の実現に向けた対応と、お客様の期待を上回るような魅力的な要素を兼ね備えていることが求められている。マツダは、熱烈なファンに支えられ、お客様に永く愛され続けるブランドになることを目指しており、「人間中心」という一貫した哲学のもとで、お客様に「走る喜び」をお届けできるクルマ造りを追究している。

マツダは、この「走る喜び」をお客様に感動していただける圧倒的なレベルで実現するためには、従来のモノの造り方からの変革が必要であり、デザイン・開発・生産が部門を超えてマツダの「モノ造り革新」活動に取り組んできた。

本稿では、生産部門における量産準備領域を主体に、「走る喜び」に関する提供価値の実現を可能にした、マツダの「モノ造り革新」の考え方を述べるとともに、その提供価値の一つである「魂動」デザインの実現に向けた具体事例（4例）を合わせて紹介する。

2. ブランド価値経営実現の取り組み概要

2.1 マツダのお客様提供価値

「モノ造り革新」の取り組み以前から、生産部門では「お客様の1台を大切にするクルマ造り」を追究してきた。不具合を造らない・流出させないというゼロディフェクトを実現するため、“製品凶面の再現”から、更に一歩踏み込み“バラツキ0への挑戦”を重点に取り組みを進めてきた。

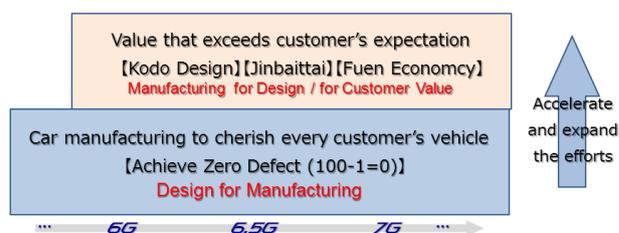


Fig. 1 Activity to Establish Brand in Production
Engineering Division

*1～3 生産企画部
Production Planning Dept.

また、初代CX-5を始めとする新世代の商品以降では、取り組みの重点が更に進化し、「お客様視点の提供価値の追究」へ、ステップアップさせてきた。そして「お客様の期待を超える価値」を実現させる要素として【「魂動」デザイン】・【人馬一体】・【燃費】の3本柱を定義し、モノ造りに関わる全ての部門（デザイン・開発部門・生産部門）が、達成すべきビジョンとターゲットを共有し、共創活動を通じてモノ造りを追究していった（Fig. 1）。

2.2 「モノ造り革新」の必要性

お客様を感動させるレベルの価値提供を実現するには、「人間中心」のクルマ造りを具現化した競争力のある多様な商品を、タイムリーに提供することが必要である。しかしその反面、スケールメリットを得ることは難しくなってしまう。「モノ造り革新」では、Fig. 2 に示すように、クルマ造りのプロセスを革新し、市場ニーズへの個別対応力とスケールメリットのトレードオフを打破することで、多様な商品の開発・生産を、単独車種の開発・生産に迫るビジネス効率で実現することを目指した。

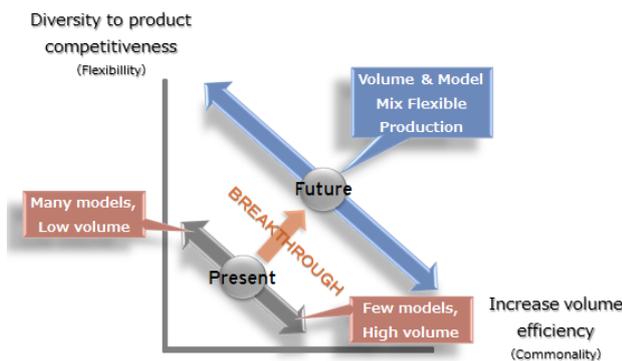


Fig. 2 “Monotsukuri Innovation”

3. 生産技術領域の「モノ造り革新」の進め方

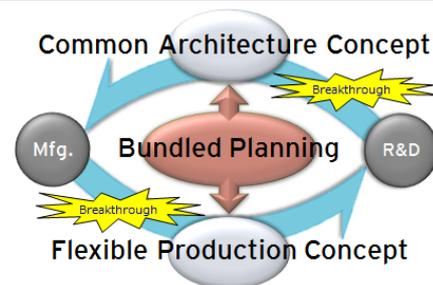
3.1 取り組みの考え方

「モノ造り革新」は、Fig. 3に示すように、製品設計に関する「コモンアーキテクチャー構想」と、生産方法に関する「フレキシブル生産構想」そして両者を結び付ける「一括企画」により構成されている。「モノ造り革新」のポイントとなるのは、「一括企画」である。「一括企画」は5～10年のスパンで、今後必要となる商品と技術を予測し、全商品をまとめて企画する独自の方法である。将来にわたる商品の全体像を把握することで、多様性と共通性を両立させる製品設計と生産方法を導き出している。

「コモンアーキテクチャー構想」は、製品に要求される性能を、各構成要素に配分して実現するための、製品

設計の基本コンセプトである。従来は、車種ごとに開発を行いそれぞれに個別最適を追究したため、構造が車種ごとに異なり結果として工程も車種ごとに異なっていた。「コモンアーキテクチャー構想」では、車格や排気量の違いを超えて各ユニットの理想を追究した基本コンセプトを共通化し、相似形のような設計とすることで、CAEによる解析を容易にして高効率な開発を実現している。

Support the production process to improve volume efficiency



Support the mix production of competitive products

Fig. 3 Purpose of “Monotsukuri Innovation”

「フレキシブル生産構想」とは、「コモンアーキテクチャー構想」に基づき設計された製品を、高効率かつ柔軟に生産する独自の生産方式である。多様な製品に対応できる混流ラインを並べ、ライン・工場間の製品移管にフレキシブル性を持たせることで、お客様ニーズや市場要求に合わせた生産車種の追加や生産量の変動及びモデルチェンジなどの変動に対して、品質・コスト・納期を満足する生産対応を可能にしている。

3.2 「モノ造り革新」の特徴

3.2.1 共創活動～構想と工程の同時開発

「モノ造り革新」の特徴のひとつは、Fig. 4に示す活動の進め方である。

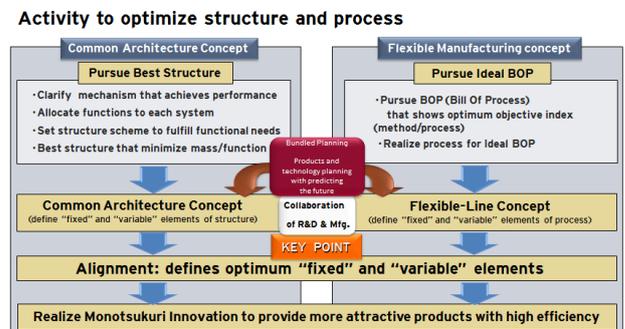


Fig. 4 Approach to “Monotsukuri Innovation”

第1に、高い競争力と展開性を長期的に兼ね備えた構造と工程を実現するために、現状を前提としない「理想構

造」と「理想工程」を追究した。

第2に、工程設計のプロセスも、従来の構造ありきで工程を考えるのではなく、構造と工程を同時に検討するプロセスに変革した。「コモンアーキテクチャー」では、構造のどこを共通化（固定）して機能を高め、どこを変えて個性を出すのか（変動）を設定している。「フレキシブル生産」では、工程のどこを共通化（固定）して効率を追究し、どこでバリエーションに対応するのか（変動）を設定している。それぞれの「固定と変動」に対して、徹底的な整合取りを実施し、従来にない画期的な構造や生産技術を提案することで、構造と工程の最適化に関する徹底的追究が可能となった。

3.2.2 ビジネス効率

もうひとつの特徴は、活動指標として「物理量を用いたビジネス効率」を使用している点である。「ビジネス効率」は「価値」÷「コスト」で定義されるが、物理的な指標で構成される「価値」と、貨幣換算指標である「コスト」は、同時に議論することが困難であった。そこで、Fig. 4に示すように、「コスト」を、「コストを決定する物理量」に置き換え計算することで、定量的かつ論理的な判断が可能になり、スピーディーに最適化することが可能となった。

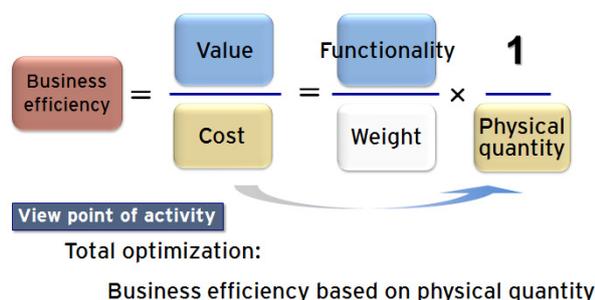


Fig. 5 Business Efficiency

3.2.3 「モノ造り革新」の成果

マツダの「モノ造り革新」を推進した結果、クルマ造りのプロセスが大幅に進化し、商品品質とコスト抑制を同時に実現することができた。具体的には、車両の軽量化やエンジンやトランスミッションの性能向上による燃費や走りの改善、開発工数や生産設備への繰り返し投資を大幅に抑制できた。

また「モノ造り革新」に関わり、デザイン／開発部門との共創活動を通して、社員一人一人が「お客様の期待を超える価値を自分自身が提供する」というマインドに変化し、自ら考え行動する風土変革が始まっている。この変革は、お客様への生産のこだわりを発信する活動にもつながっている。例えば、全国各地のサーキット会場

でのファンイベントに積極的に参加するなど、“コスト造り”へと取り組みの輪が広がっている。

4. 「魂動」デザインの実現に向けた取り組み

4.1 実現する「魂動」デザインとは

初代CX-5を始めとする新世代商品群のマツダデザインは、デザインの思想、造形、その洗練を「群で魅せる」という方法で行っている。個々のクルマを美しくするだけではなく、群として見たとき、オンリーワンでかつ一貫性のあるメッセージを持つデザイン群を創ることで、ブランドとしての存在感を高めている。また、人の手によってしか生み出すことのできない芸術的なフォルムにこだわり、それをクルマのデザインとして具現化するために、いきなりクルマのデザインにとりかかるのではなく、さまざまなフォルムの「オブジェ」をつくり、どんなカタチが人の心を打つのかを追い求め続け、目指すカタチをつくる。こうしたプロセスによって、強いメッセージ性と一貫性を作り上げている (Fig. 6)。



Fig. 6 Object of KODO Design

統一デザインテーマ「魂動」が目指したところは、「生きているものだけが持つ、豊かな表情や力強い生命力を感じられるクルマをつくる」ことであり、「そのカタチは命を宿したものだけが放つ、一瞬の動きや美しさを表現する」ことが「魂動」デザインの志である。

新型CX-5では、マツダデザインが追い求める「心を揺さぶるほどの美しさ」を更に磨き、そのレベルをアートの領域にまで高めてきた。

4.2 「魂動」デザイン実現のプロセス

本章では、「モノ造り革新」の取り組みの具体事例を、「魂動」デザインの実現の取り組みを例に紹介する。

4.2.1 デザイナーの「想い」の共有

「魂動」デザインを採用した新世代商品群以降の量産準備を開始するに当たり、デザイナーが実現したい「想い」（ビジョンやターゲット）を、モノ造りに関わる全ての生産技術メンバーが、理解・共有・浸透するための、デザインカスケードやプロジェクトごとの商品説明会を開催してきた。

この活動を始めるまでの生産技術は、商品を量産化することが主目的だったため、量産準備の中で顕在化した課題の一部は、デザイナーに部分的なデザイン変更を依頼するなど、生産上の要求がお客様価値の実現に対して制約となることがあった。

しかし、「モノ造り革新」を開始以降、これらの活動によって、生産技術部員の意識も、デザイナーがデザインを通して表現しなかった「想い」を、そのままの形で実現し、価値として提供することが、生産技術の使命である、とマインドを変革することができ、今日のマツダのクルマ造りやその商品価値の深化につながっている。

4.2.2 構造と工程の同時開発

従来の量産準備は、開発部門で承認された設計図面を生産部門が受け取り、量産準備を行う活動となっていたため、“図面品質をバラツキなく低コストで実現”することや“期間短縮”を重視した活動となっていた。

しかし、「モノ造り革新」以降は、「デザイナーの想いを忠実に実現し、お客様に価値として提供する」というビジョンを部門の壁を越えて共有し、担当部門ごとに達成すべきターゲットを設定して活動してきた。互いの専門性をぶつけ合い、構造とそれを生産する工程を同時に開発していくことで、既成概念では不可能とされていた技術課題を、ビジネス効率を高めながら克服することができた。

「魂動」デザイン実現のプロセスは以下のとおりである。

- ① デザイナーの「想い」を理解し、共有する。
- ② 提供したい価値を“人の感性のメカニズム”に直接働きかける物理特性に変換する。
- ③ 物理限界を追究し、材料・工程・ボディー構造の三位一体で量産化技術を確立する。

4.3 具体的な取り組み事例の概要紹介

以下、本特集にて紹介する4事例の概要を紹介する。

1) プレス工程設計での取り組み⁽¹⁾

プレス成型の工程設計は、材料特性等量産性を踏まえ、各工程金型の構造、及び形状CADモデルを設計する。「魂動」デザインをCADモデルで実現するには、デザイナーが発する言葉とCADモデルとの相関性を見出す必要があった。デザイナーとの対話を繰り返し、必要な知識やスキルを習得し、必要なCADモデルの補正要領をひとつひとつ積み重ねた結果、机上段階での作り込みの仕組みを確立し、金型製作部門や実機での品質保証領域など実機段階へと引き継ぐ業務プロセスへと変革した。

2) プレス金型製作での取り組み⁽²⁾

プレス金型を製作するに当たり、デザイナーの「想い」どおりの繊細な局面の連続を実現するため、機械加工においては、各種加工精度向上の取り組みにより、「魂動削り」という新工法を確立した。また仕上げ領域において、磨き作業精度向上の取り組みによって、「魂動磨き」という新たな磨き工法を確立した。これらの工法は、ツーリング製作部、及びデザイン部門のクレイモデラー、砥石メーカー様との共創活動により構築したもので、マツダ独自の磨き方法と、専用のツールの開発により実現した。

3) 塗装領域でのカラー開発の取り組み⁽³⁾

「ソウルレッド」に代表される高意匠カラーの開発では、デザイン意図を理解し、それを光学特性に置き換えて塗膜構造を設計した上で、塗料と工程をセットで開発する共創プロセスで行っている。更に新型CX-5に導入された「ソウルレッドクリスタルメタリック」の開発では、新開発の高彩度な赤色顔料を用いることで、赤色をよりピュアに発色させるとともに、光を吸収してシェードの濃さを強める「光吸収フレーク」を採用することで、従来は2層だった深みの表現を1層で実現するなどして、これによりハイライトな鮮やかさとシェードの深みを大幅に向上させると同時に、通常工程での量産化を実現した。

4) 車両領域での取り組み⁽⁴⁾

「魂動」デザインのクルマ外観表現では、金属から削り出したかのような塊感がクルマ全体で必要である。例えば、ボンネットやフェンダーと隣り合うバンパーで構成される外観も、あたかも一枚面であるような面の連続感を持つことで、「美しいリフレクション、艶やかなフォルム」を実現できると考えた。そこで、部品間の法線ベクトルのズレと映り込みの違和感の関係性を人間の視覚特性の観点から明らかにし、活動を進め、面造りのプロセスを構築した。具体的には、法線ベクトルによる定量評価に加え、ゼブラパターンによる映り込み評価を併用し、図面段階で、面を通すために必要な、ボディー・プラスチック金型構造や部品構造の作り込みを実施した。これにより、デザイン意図どおりの面の流れを、量産で実現した。

5. おわりに

「モノ造り革新」を始める以前の量産準備では、車種間で一貫した考えにもとづく、造形及びカラー開発活動が十分できていなかったが、「モノ造り革新」以降の量産準備では、「魂動」デザインという一貫したデザインテーマのもと、造形を極め、それを際立たせる色の追究を、関連部門が一丸となって取り組み、実現することができた。また、国内のマザー工場で培われたモノ造りの

技術・技能を、海外の車両生産工場へ積極的に展開しており、どのグローバルの生産拠点においても、国内と同一の品質を実現している。

お客様に愛され続けるクルマを造り続けるためには、デザインや開発、生産のみならず、関連するお取引先様や営業部門の全てが“お客様に「走る歓び」をお届けし、感動していただく”という「想い」を一つにしなが、
「モノ造り」を進化させていくことが必要と考えている。

「想い」を形にする役割を担う生産技術部門の重要性の認識を新たにし、今後もお客様の期待を超える価値の実現に向け、クルマ造りの更なる進化に取り組んでいきたい。

参考文献

- (1) 大谷ほか：「魂動」デザインの再現に向けたこだわりのモノ造り ～プレス工程設計編～、マツダ技報、No.34, pp.75-80 (2017)
- (2) 西本ほか：「魂動」デザインの再現に向けたこだわりのモノ造り ～プレス金型製作編～、マツダ技報、No.34, pp.81-86 (2017)
- (3) 平野ほか：「ソウルレッドクリスタルメタリック」の開発、マツダ技報、No.34, pp.87-92 (2017)
- (4) 田中ほか：「魂動」デザインを際立たせる“面の連続感”実現の取り組み、マツダ技報、No.34, pp.93-98 (2017)

■ 著 者 ■



杉山 裕基



森脇 幹文



高橋 克典

特集：生産技術領域の進化

14

「魂動」デザインの再現に向けたこだわりのモノづくり

～プレス工程設計編～

Discerning Manufacturing for the Reproduction of “KODO” Design
Part of Stamping Process Design

大谷 肇*1

Hajime Otani

岩田 成弘*2

Masahiro Iwata

西村 良治*3

Yoshiharu Nishimura

岡田 又治*4

Mataharu Okada

要 約

マツダの魂動デザインを具現化するには、クルマに命を与えようとする想いとモノづくりの技術力、そして匠の技による造り込みが不可欠である。エクステリアデザインの多くの部位を担うプレス成形部品においても、量産車として魂動デザインの具現化に携わる全ての人がデザイナーの想いを共有するとともに、技術力の向上と匠の技に磨きをかけ続けている。新世代商品群において魂動デザインをプレス成形部品で再現するには、キャラクターの造形では疾走する動物の筋肉を思わせるなど、生命感あふれる動きを表現するために新たなレベルの忠実な再現を必要とした。本稿ではプレス工程設計領域において、マツダの「モデルベース開発」の考えを礎とする新たな外観品質保証プロセスの構築に向けた取り組みを紹介する。

Summary

Thoughts and finishing by the manufacturing “MONOZUKURI” technology and the skill of “Takumi” to give a car a life are indispensable to embody “KODO” Design of MAZDA. In stamping molding parts taking many parts from the exterior design, all fields engaged in the embodiment of the “KODO” design as a mass production car, share the thought of the designer and continue to improve the “MONOZUKURI” technology and the skill of “Takumi”. A new level of faithful reproduction is needed to reproduce “KODO” Design with stamping molding parts in a new generation line of products, this is to express the muscle of the animal which ran at full speed by the molding of the character, and the full feeling of vitality movement. This report introduces the approach of the stamping process design field which for the construction of the new appearance guarantee of quality process to assume a thought of "the model base development" of Mazda a foundation.

1. はじめに

マツダはブランドエッセンスに「走る歓び」を掲げ、単にクルマの走行性能だけではなくマツダを選ぶことがお客様の自信と誇りにつながることを目指している。

「走る歓びをかたちにする」を念頭に、マツダならではの「ドライビングフィール」と「デザイン」を具現化するマツダの生産技術者が目指す姿のひとつは、モノづくりの技術力を圧倒的に向上させることで、デザイナー

による発想の上限を外してもらうことである。より自由に理想を追求し表現されたデザインをデザイナーと生産技術者がともに具現化を目指すことにある。

外装部品の多くはプレス成形にてかたち作られるが、プレス領域の量産準備業務では、それぞれの領域においてデザイン部門との対話を繰り返し、数々の量産モデルを経てひとつひとつの技術開発を積み重ねることで魂動デザインの進化を実現している (Fig. 1)。

*1～4 車体技術部

Body Production Engineering Dept.

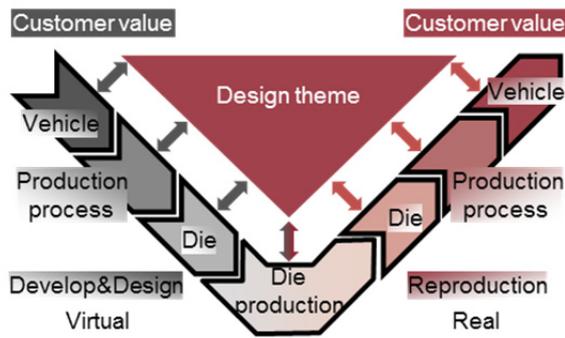


Fig. 1 V-Type of Stamping Production Readiness

2. 魂動デザイン

2.1 魂動デザイン

魂動デザインは、デザインコンセプトモデル“韌（SHINARI）”からクルマとしての具現化が始まり（Fig. 2）、新型CX-5にも採用された新世代商品群を通じてのデザインテーマである。生物が目標に向かって動き出す一瞬の強さや美しさをクルマのデザインに昇華させるとともに、クルマをただの鉄の塊ではなく、まるで生き物のように生命感を感じさせるものにしたい、それが魂動デザインである⁽¹⁾。商品群としてコアとなるデザインテーマを表現しつつ、それぞれのクルマが持つデザインキーワードをあわせて表現することで数々の商品を経ながら魂動デザインは進化を続けている。



Fig. 2 Concept Model MAZDA SHINARI

2.2 魂動デザインにおけるキャラクターの役割

魂動デザインを詳細に確認すると、際立った抑揚を持つ異なる面の集合体で形成されていることがわかる。面の抑揚には光や見る角度によってなめらかに移り変わるリフレクションの表情をボディに与えることで、見る者の感情を揺さぶる仕掛けが織り込まれている。

それぞれ異なる面の部位と部位をつなぐのがキャラクターである。魂動デザインにおけるキャラクターは単に面と面をつなぐための“R”や“ライン”ではなく、デザインを構成するひとつの面であり、隣接するそれぞれの部位の面を更に際立たせる重要な役割を担う。

3. 外観品質保証プロセスの再構築

3.1 魂動デザインにおけるキャラクターの忠実な再現

マツダのデザインは、人の心を強く動かす「動きの表現」の美しさを取り込んだクルマの造形に取り組み続け、魂動デザインでは生き物が見せる一瞬の動きの強さや美しさを「動きの表現」の究極の姿と考え、デザインテーマを大きく進化させた。

この進化に伴い、プレス成形の工程設計においても従来の考え方や工法から更なる変革が求められた。

3.2 従来までのキャラクター一部外観品質保証プロセス

従来のキャラクターの造形では、よりシャープな“R”をプレス成形により造形すると、キャラクターには以下の現象が発生しデザインの再現性が失われた（Fig. 3）。

(1) キャラクター頂上部の局所的な板厚減少

成形時に発生する板厚方向の応力により、パネルの表裏における伸び量の差が極端に大きくなり局部的に板厚が薄くなる。

(2) 幅方向における弾性回復によるR値の増大

平面的な伸び量が少ないため、パネルが曲面形状から平面形状に戻ろうとする弾性回復の影響を受けている。



Fig. 3 Point Indicated by Designer

これらのプレス成形特有の現象に対して以下の技術課題に取り組んだ。

- ① パネルの表裏形状を再現する外観品質検証技術
- ② 表裏の歪差を制御する形状凍結技術
- ③ デザイナーの感性に近づく外観品質評価技術

それぞれの技術開発から新たな外観品質を保証するプロセスへと構築し、従来のデザインで求められてきたキャラクターを具現化した。

3.3 魂動デザインの進化に呼応するプロセスの再構築

これまでのプレス領域の量産準備業務では、CAEやデザイナーとの共創を基軸とした机上段階での作り込みと金型製作以降の実機段階での品質育成によりデザインの具現化を実現してきた。しかし、前述の2.2にあるようにキャラクターは魂動デザインを忠実に再現するうえでより重要性を増した。

デザイナーが言葉として発する「キャラクターが薄い」、「沈み方が意図と異なる」などこれまでより更に細やかな意匠を正確に再現するには、外観品質保証プロセス各工程での効率化や改善の範疇だけでは実現が困難だった。そこで、外観品質保証プロセスの新たな理想に向けて、マツダの「モデルベース開発」の考え^②を組み入れることで以下のように標榜した。

- ① 机上段階で品質の作り込みを完結する
 - ② 実機段階は机上段階での作り込みの確認のみとする
 - ③ 机上と実機段階の等価性に向けたフィードバック実現
- これらの方向性を実現すべく、外観品質保証プロセスの再構築を行った。

3.4 プロセス再構築に向けた課題

外観品質保証プロセスの再構築を行うには、それぞれの段階における以下の課題解決が必要だった。

- (1) 机上段階における課題
 - a) CAEによる実機での微細な現象の再現手法確立
 - b) CAEで再現した現象の定量的評価方法の確立
 - c) デザイン意図を再現させる補正方案の作り込み
 - (2) 実機段階における課題
 - d) 金型の精巧な造り込み
 - e) 机上段階と等価を保持する品質育成要領の確立
 - f) 実機段階における b.の定量的評価方法適用
 - g) 確度向上に向けた机上段階へのフィードバック
- これらの課題を、ひとつのVサイクルプロセスとして関連付けながら解決する必要があった (Fig. 4)。

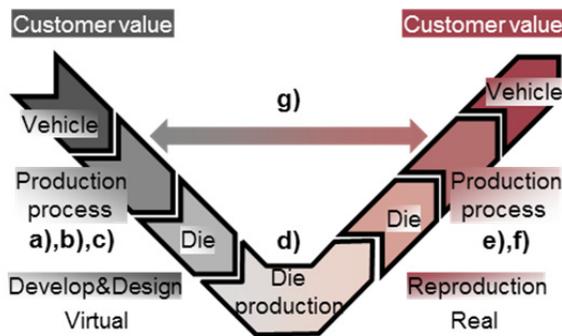


Fig. 4 Model Based V-Type Development Process

4. 机上段階の取り組み

4.1 CAEによる実機での微細な現象の再現手法確立

実機パネルにおけるキャラクターの鮮鋭さが損なわれる微細な現象をCAEにより再現するため、これまでに成形性評価を主体としたシェル要素による解析を実施した。しかし、大きく二つの課題が挙げられた。

- (1) パネル表裏それぞれの挙動再現性の限界

シェル要素では板厚方向での中立位置にのみ要素が配置され、パネルの上面・下面は仮想的に表現される。また、シェル要素では板厚の変化など板厚方向における成形過程のパネルの挙動をより正確に再現するには限界がある。

(2) 要素サイズ微細化の限界

シェル要素における最小の要素サイズは、板厚以上のサイズが望ましいとされる。主にフィレットR部などの形状において、板厚方向の曲率半径中心側へオフセットした要素の干渉による悪影響を防ぐためである (Fig. 5)。したがって、数十 μm レベルのキャラクターの変化を再現するには要素サイズの点から考えると大きな乖離がある。

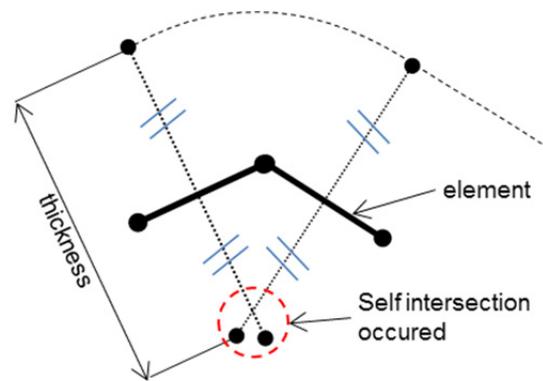


Fig. 5 Intersection Caused by Offset Elements

そこで、直接お客様の目に触れるパネルの板外側と裏側にあたる板内側のそれぞれの挙動を実要素で表現し、板厚方向の成形過程をより正確に表現することが可能なソリッド要素の適用により解決を試みた (Fig. 6)。

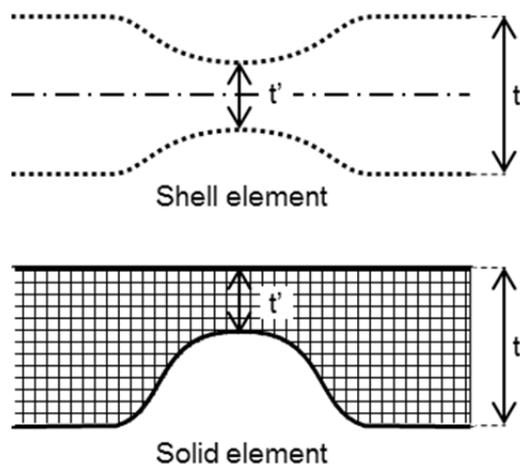


Fig. 6 The Difference of Representation by Elements

しかし、外装部品形状全体をソリッド要素で表現すると、メモリー消費量の増加や計算時間の増大など新たな課題が明らかになった。そこで、キャラクター部の評価

要領に適したソリッド要素による解析要領を以下のように構築した。

- ① 平板状態から下型接触直前までの成形過程を製品形状全体でシェル要素を用いて計算する。
- ② キャラクター部内で鮮鋭さを確認する部位を選定し、鮮鋭さを阻害する現象が評価可能な大きさと要素サイズのソリッド要素を配置する (Fig. 7)。
- ③ ①で算出した応力状態をソリッド要素に引き継ぎ、下死点までの成形完了過程を計算する。
- ④ 除荷時の応力解放によるスプリングバック現象をソリッド要素で計算する。

この解析要領により従来と同程度のリソースにより微細な現象の再現を実現し業務適用を図った。

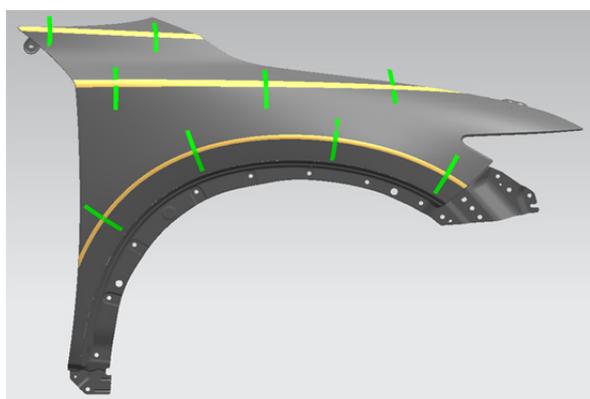


Fig. 7 Arrangement of Solid Elements

4.2 CAEで再現した現象の定量的評価方法の確立

ソリッド要素により再現した現象から、方案の良し悪しを判断するために定量的な評価要領の確立が必要となった。当初、ソリッド要素の板外側と評価平面の断面線を曲線化し、頂上部で曲線上の3点からR値を算出することで定量化を実現した。しかし、この評価要領では二つの課題が顕在化した。

(1) 頂上部のみの評価指標

魂動デザインのキャラクターは幅方向の断面線でみると、フィレットRのような一定の曲率はなく、非一様の曲率を持つ曲線としてとらえることができる。よって頂上部から算出したR値では頂上部のみの先鋭さは把握できるものの、アプローチ部の様子を評価することができないためデザイナーの想いと乖離していく可能性がある。

(2) 折れ線からの曲線化時に生じる形状のばらつき

CAEモデルと評価平面の交線は折れ線で表現される。折れ線をNURBS曲線化する際に次数やセグメント数などを与えるが、入力値の変化に対して出力曲線の形状変化がより大きくなり、妥当な値を得るには入力調整の繰り返しが必要となった (Fig. 8)。

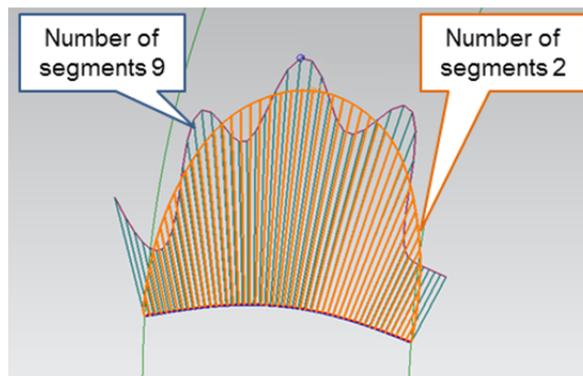


Fig. 8 Difference of Shape by the Parameter

これらの課題解決に向けて、評価領域をアプローチ部も含めたキャラクター全体とするとともに、連続的な情報への変換を必要とせずメッシュや折れ線など離散化された情報のまま扱うことを念頭に評価要領を検討し、

GOM社製ソフトウェアGOM Inspectを用いて評価手順を実現した。手順の大きな流れは以下のとおりである。

- ① 基準となる製品形状のCADモデルに対して、定義した評価平面とキャラクター部での断面線を得る。この断面線の両端を線分で結び弦とし、断面線との偏差が最小となる仮想円Aを定義する。CAEモデルについても同様に仮想円Bを定義する。
- ② 仮想円Aの弦と同じ長さ、位置になるよう仮想円Bの位置合わせを行う。この時の共通の弦における各仮想円での矢高を算出し、仮想円Aの矢高から仮想円Bの矢高を引いた値を評価指標とする (Fig. 9)。

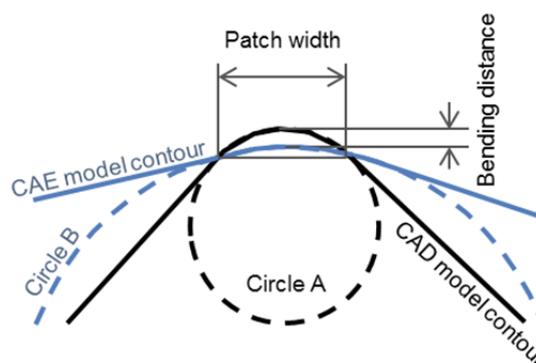


Fig. 9 The New Evaluation Index

当評価指標ではこれまでの課題の解決に加え、正の値であれば仮想円Aの半径に対して仮想円Bの半径は小さく「キャラクターがきつい」、負の値であれば仮想円Bの半径は大きく「キャラクターが薄い」という値の正負符号とデザイナーが想い発する言葉との相関性を確立する可能性を見出すことができた。当評価指標をこれからの机上段階での作り込みでの指標とした。

4.3 デザイン意図を再現させる補正方案の作り込み

CAEで明らかになった現象への対策として、成形後のパネルがデザイナーの想いどおりになるよう、金型形状のキャラクター部に補正を織り込む必要がある。

しかし、従来の金型形状面設計では意匠面を編集する作業は稀であり作業可能な設計者も限られていた。そこで、キャラクター部の補正要領を確立するべくデザイン部門に協力を得ながら、ともに取り組みを行った。

デザイン部門との会合で最初に行ったことは、デザイナーが発する言葉とCADモデルとの相関性を見出そうと、今一度、デザイナーが想うキャラクターの意図を深く理解することだった。次に、具体的な面の張り方や要点など詳細なレベルまで問いかけ、対話を繰り返すことで必要な知識やスキルを習得し、補正要領をひとつひとつ積み重ねた。キャラクター部における補正の要件は主に以下のように集約される。

(1) デザイン意匠を再現するための頂上部先鋭化

CAE結果より明らかになった成形によるデザイン意匠との違いの度合いに応じて、キャラクター頂上部をCADモデルと比較し、より先鋭になるよう、しかし、「きつすぎる」ことがないように、曲率半径の偏差を指標としながら補正を行う。

(2) キャラクター部と隣接面との連続性保持

デザインの意図を継承しながら補正を実現するには、キャラクターに隣接する面との関係を維持することが求められた。生産技術領域における通常の形状作成ではフレットR作成時のようなG1（接線）連続性までで要件を満足していた。しかし、意匠面のキャラクター部の補正ではG2（曲率）連続性が求められる。

(3) キャラクター全体のフォルム維持

隣接面との連続性保持とともに、キャラクターの面自身においても補正により大きく形を崩さないことが求められた。例えば、キャラクターの幅を広げたり、面端から頂上部に至るアプローチ部における曲率を大幅に変化させたりすることは、キャラクターとその周辺のリフレクションを崩してしまい、デザイナーの意図からかけ離れてしまう（Fig. 10）。

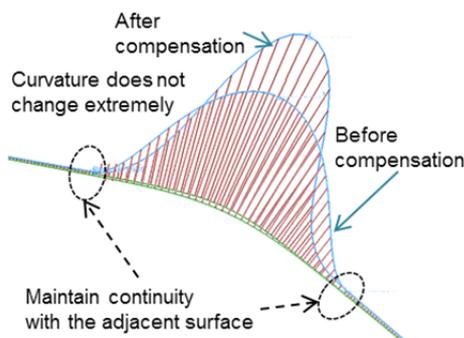


Fig. 10 Shape Correction Requirements

上記の相反する要件を全て満たした金型形状面を設計できるよう、設計者のモデリングスキル向上をはじめ補正形状作成や評価方法など一連の作業要領を整備した。

4章までの取り組み内容を含め、机上段階での作り込みを行うPDCAサイクルを確立し、金型製作部門や実機での品質保証領域など実機段階へと引き継ぐ業務プロセスへと変革した。

5. 実機段階の取り組み

5.1 机上段階との等価を保持する品質育成要領の確立

実機段階での取り組みは、金型の精巧な造り込みから始まる。4.3で述べた「補正形状」をプレス部品に反映させるには補正形状と金型が完全に一致することが必要であり、この取り組みはプレス金型製作編にて紹介する。

精巧に造り込まれた金型を用い、机上検証の完全な再現及び検証精度のスパイラルアップをねらい構成した以下の三段階のプロセスに沿って品質育成を行う。

5.2 机上検証での前提条件の具現化

机上検証結果を実機で再現するには検証において設けられた前提条件の正確な具現化（机上と実機の一致）が不可欠である。品質育成過程の節々で一致の確認と整合を行い、次節への不一致の流出を防ぐことで机上と実機的一致を保証しているが、その過程において二つの課題が明らかになった。

ひとつは、一致の確認手段は統一されているものの良否を判定する閾値がなく判断は担当者ごとの考え方により差があり、これが品質育成過程において手戻りとして現れ、都度是正するために多くの工数を費やした。

もうひとつは、机上検証の前提条件が多岐にわたるために、品質育成の限られた期間内に大小全ての一致を確認することができず、未確認の条件を残した金型が次節へ進むことがあった。

これらを解決してより正確に具現化させるため、現在は一致の確認を以下の4項目に集約し、閾値を統一した。

a. 工具（金型）寸法の一致

金型の造り込みの確認（プレス金型製作編参照）

b. 材料寸法及び材料特性の一致

特性値が量産規格の上下限に収まっていることの確認。

c. 成形条件の一致

成形前材料位置／成形後のエッジ位置／成形後の板伸縮／成形圧力の値が一致していることの確認。

d. 金型と製品の相対位置の確認

成形前後において金型と製品の相対位置にズレが生じていないことの確認。

上記項目の確認により、効率良く振れない具現化を品質育成期間内に収め、かつ机上と実機の一緻度及び再現結果の信頼性を高めることができた。

5.3 実機における現象の定量的評価

アウトプット（最終製品）の3次元測定結果を元に4.2で述べた評価指標値を算出し評価したが、評価指標値が正負ゼロであってもそれが本当にデザイナーの想いを反映した形状であるのか、自主判断できないことが課題となった。

これを解決するために評価指標値にデザイナーの主観による評価（パネルレビュー）を合わせて最終評価を行った。評価指標値とデザイナーによる評価結果に基づき再補正を繰り返す過程から、二つの評価には相関性があることが判り、公約数を評価指標値の閾値として定義することで定量的な評価方法として確立した（Fig. 11）。

今後はこの閾値の精度をより高めることで、評価指標値のみで品質育成を自己完結できるようにすることが目標である。

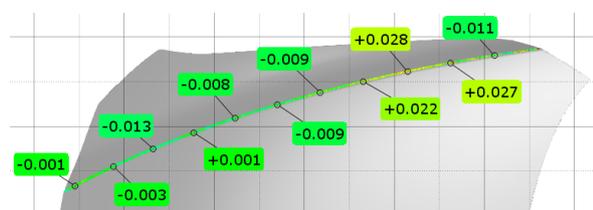


Fig. 11 Results with New Evaluation

5.4 検証精度の向上への机上段階へのフィードバック

モノづくりを机上段階で完結させるには検証精度を高度に進歩させることが必要であり、そのために実機での再現結果について以下の二つに主眼をおいてフィードバックしている。

(1) 前提条件と実機の不一致

品質育成過程において一致として扱っている前提条件であっても、実際には存在するわずかな差異とそれが及ぼす再現結果への影響。

(2) 机上検証の前提条件にない生産性ノイズ

現在一致を確認していない金型使用環境・設備環境・材料特性等の状況と再現結果との相関。

これらの情報を品質育成のPDCAを繰り返す中から抽出し机上検証の精度のスパイラルアップにつなげている。

6. おわりに

3章で述べたVサイクルにおける外観品質プロセスを回し続けるとともに、デザインをはじめとする他部門との共創活動もより高めていく。

そして、魂動デザインの進化による新たな課題、例えばキャラクターのピークへ向けたアプローチ形状再現や、ベースとなる意匠面のリフレクション再現などの解決に取り組み、お客様価値の向上を図っていく。

参考文献

- (1) 中牟田ほか：次世代デザインテーマを具現化したコンセプトモデル「靱」の開発，マツダ技報，No.29，pp.68-75 (2011)
- (2) 藤川智士：マツダの目指すモデルベース開発，マツダ技報，No.31，pp.44-47 (2013)

■ 著 者 ■



大谷 肇



岩田 成弘



西村 良治



岡田 又治

特集：生産技術領域の進化

15

「魂動」デザインの再現に向けたこだわりのモノづくり ～プレス金型製作編～

Discerning Manufacturing for Reproduction of “KODO” Design

- Die Manufacturing -

| | | |
|-------------------|------------------|------------------|
| 西本 光毅*1 | 長澄 徹侍*2 | 佐々木 忠義*3 |
| Mitsuki Nishimoto | Tetsuji Nagazumi | Tadayoshi Sasaki |
| 安楽 健次*4 | 大塚 宏明*5 | |
| Kenji Anraku | Hiroaki Ohtsuka | |

要 約

「クルマに命を与える。それがマツダのデザイン。」この言葉が表すことをお客様に感じていただくためには、単純に形を似せて造るということではなく、デザインに込められたデザイナー／モデラーのこだわりや思いまでも忠実に再現させることと考える。この「魂動」デザイン再現に向けて、マツダの金型製作部門では緻密な意匠面を高精度に加工する技術開発や磨き技能の向上、更にはデザイナーの思い／志を共有する取り組みを共創活動として進めてきた。本稿では、それら「魂動」デザイン再現のための金型製作部門における取り組みについて紹介する。

Summary

“BREATHING LIFE INTO THE CAR. THAT’S MAZDA’S DESIGN PHILOSOPHY.”

To convey the true meaning of this message to our customers, it is important to reproduce the obsession and aspiration of designers and clay modelers rather than simply sculpting a physical form. Aiming at giving shape to Mazda’s “KODO Design” language, the Tool & Die Production Dept. worked, as part of its co-creation activities, on development of a technology for high-precision milling process, improvement in handwork skills, and sharing of the designers’ vision and aspiration. This article introduces the tooling performance developed with the aim of embodying the “KODO Design” concept.

1. はじめに

マツダは、いつまでもお客様に愛され続ける One&Only のメーカーでありたいという思いから、ブランド構築を重視した「ブランド価値経営」を全社で展開している。その活動理念の根本にあるのは、「走る喜び」を通して、お客様の五感を刺激し、情感を豊かにするための商品／サービスを提供し続けるということと考えている。そして、これを実現する上で重要な「お客様への提供価値」の1つとして「魂動」デザインがある。鉄の塊であるクルマに命を与えたい、生命感を感じるデザインにしたいという志をベースにデザイナーとモデラーが妥協することなくこだわり抜いて作りあげる、いわばアー

トというべきものである。

この「魂動」の志までもしっかりとパネルへ受け継がせるため、プレス金型製作領域で取り組んでいる新たな金型造りについて紹介する。

2. デザインの想いを知る

従来は、開発部門からリリースされたデザインの CAD データが全てで、そこに込められたデザイナー／モデラーのこだわりを十分反映できていない金型製作を行っていた。これでは「魂動」の志をお客様にしっかりお伝えすることはできない。

*1～5 ツーリング製作部
Tool & Die Production Dept.

そこで、生産準備が始まる前段階で生産技術向けのデザイン説明会を開催し、デザインに込められた思い／こだわりを現場作業員一人一人にまで浸透させた(Fig. 1)。



The headlamp top-front dander peak-hipbone-rear fender peak-a sequence of shape to the rear end.



A movement of R which enters the lamp bottom from the front intake side is also a subtle change.

Fig. 1 Design Briefing Session

このデザイン説明会に参加することにより、デザインに込められたデザイナーの想いを聞き、金型造りを変えていかなければという強い思いを抱くと同時に、現在の製作方法で「魂動」デザイン再現がどこまで可能なのかという焦りも感じた。

3. デザイン再現に向けた課題抽出

「魂動」デザイン再現のため、デザイナーの思いを理解することはできたが、最終的に金型で作り込むのに必要なコア技術／技能が分からずにいた。

議論を重ねる中で、「魂動」デザインのシンボルオブジェである「ご神体」を製作することでデザイン再現のための技術/技能の課題を見いだそうと考えた。

デザイン部門が保有する「ご神体」オブジェを非接触式3次元測定機で測定し、リバースエンジニアリング技術を使ってCADデータに変換。そこから鋳物及び切削用NCデータを作成し、現状の切削/磨き条件にて「ご神体」を完成させた(Fig. 2)。

これをデザイナーに見てもらおうと、「魂動」デザインの本質である生命感が削がれているとの指摘を受けた。

加工面粗さのバラツキや加工エリア段差部の磨き調整作業により、張り出した形状部に対して形状が痩せており、更にはデザインを表現する上で重要なキャラクターRが部位によっては拡大していた。

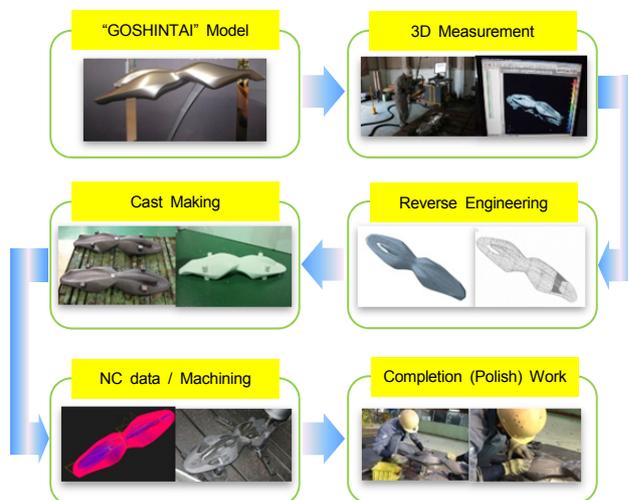


Fig. 2 “GOSHINTAI” Making

この問題を解決するには、緻密な意匠面を高品位/高精度に再現する加工技術と、これを形として崩すことなく磨く技術、デザインのこだわりを正しく評価する仕組みが重要である。(1)

4. 機械加工の課題解決

4.1 機械加工の問題点

プレス金型においてパネルを成型する自由曲面はボールエンドミルで機械加工を行っている。マツダでは長年、期間短縮に向けて、工具経路生成が簡単で並列作業が可能な、XY平面に直角な断面方向に加工する走査線加工を多用してきた(Fig. 3)。

しかしながら、走査線加工ではXY平面に対して角度をもつ3次元形状では、隣り合う断面方向の工具の移動軌跡の距離が加工部位のXY平面との角度の違いにより異なるため、ねらいの表面粗さを得ることが難しかった。

また、キャラクターラインを横切る箇所では、工具経路点列のトレランスの影響や機械制御の特性により薄いキャラクターライン表現が難しく、磨き調整作業によってキャラクターラインを通さなければならない問題を抱えていた。更に、コーナー部などの形状急変部を横切ることで切削量に変化し工具姿勢が変化することや、機械制御により送り速度の減速が多発(Fig. 4)することで、加工精度や表面粗さのバラツキが大きくなり、結果として磨き調整作業が多発していた。

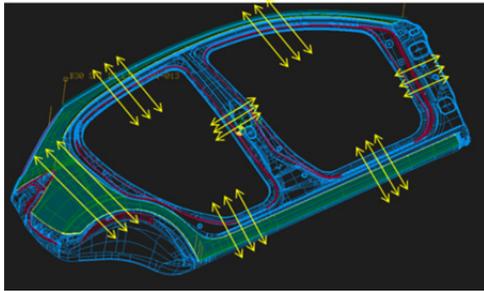
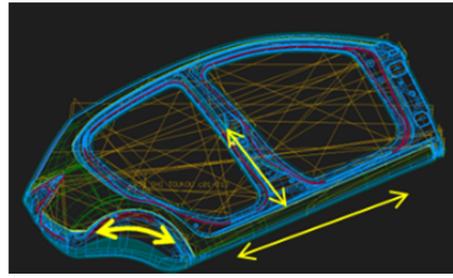


Fig. 3 Parallel Machining



Rapid Angle Shape: Z-Constant Machining

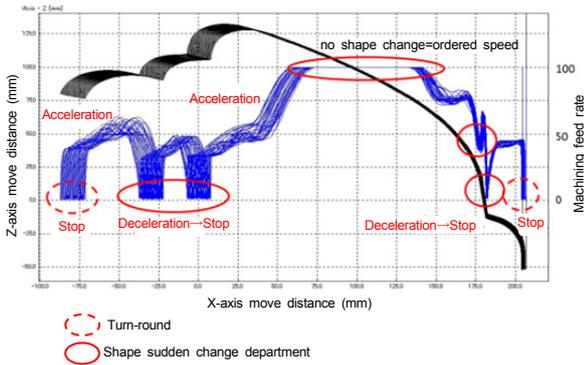
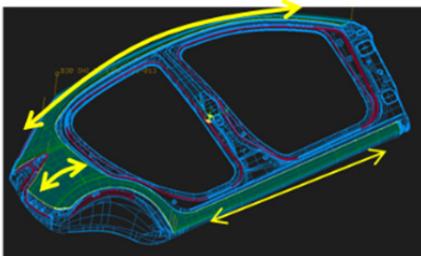


Fig. 4 Reduce Feed Rate at Shape Which Suddenly Changes

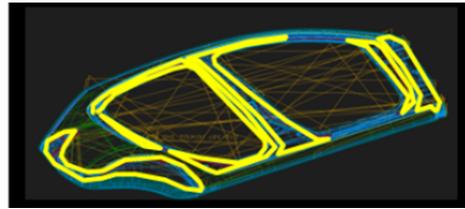
このように機械加工の問題事象を見ていくと、機械精度/工具精度よりも、削り方に起因する工具の状態変化の影響による加工精度劣化の方が多大であることが分かってきた。よって、「魂動」デザインを再現できる金型加工の高精度化と送り速度アップによる効率を両立するために、形状再現性の高い切削方法で、かつ、形状凹凸の影響を受けず工具姿勢が安定し、切削中の送り速度の減速が少ない工具経路の実現が必要と考えた。

4.2 機械加工精度の向上

形状加工では、まず再現性を高める切削方法として、形状特徴に応じた切削方法に変更した。意匠面は面沿い長手加工、意匠面以外は形状特徴に合わせて等高線加工と形状周回加工を採用した(Fig. 5)。切削用NCデータは市販のCAMを使用して作成した。



Design Shapes: Machining Along Shape



Slow Angle Shape: Concentric Machining

Fig. 5 High-Precision Machining in Accord with Shape Characteristic

この切削方法によって、切削用NCデータを作成する作業者が面の流れを意識した切削方向を設定でき、均一な質感の加工面を作りだし、消えてゆくキャラクターラインも正しく表現できるようになった。また、切削途中で凹凸を横切る回数が激減でき、工具姿勢の安定化と送り速度の減速の少ない加工につながった。更に、切削方法に合わせて1つ1つ切削条件の調整を行い、平均値のズレやバラツキを揃え、形状全体の加工精度向上を図った。

結果、加工面粗さについては $Rz=5\mu m$ まで改善することができた。旧式のNC加工機でも、機械加工後の寸法精度/面粗さの劇的な改善となり(Fig. 6)、寸法精度のバラツキである 3σ は従来と比べ44%向上できた(Fig. 7)。(2)

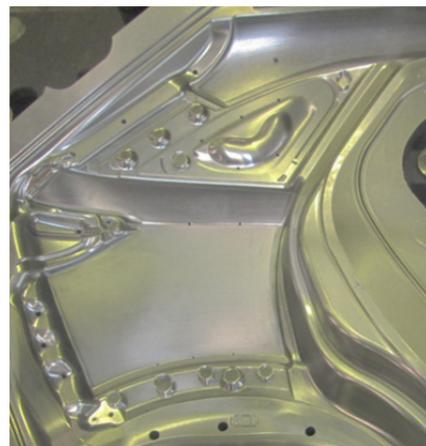


Fig. 6 Machined Shape

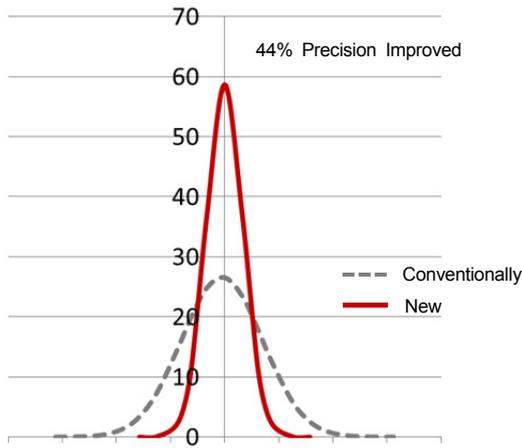


Fig. 7 Transition of Machining Precision

今回、ボディーサイドアウターでは加工の高精度化に伴い切削距離が20%増加したにもかかわらず、加工機の送り速度の減速が削減できたことで18%の加工時間短縮が可能となり、高精度化と効率化の両立が可能となった (Fig. 8)。

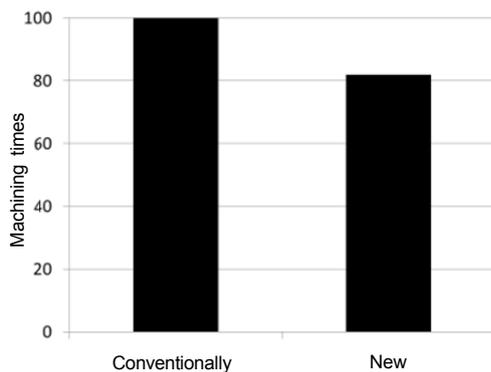


Fig. 8 Transition of Machining Times

5. 磨き作業の課題解決

5.1 磨き作業の問題点

マザーツールとなる金型の磨きにおいては、デザイン面を崩さず機械加工後の切削痕（カスプ）のみを研削する作業 (Fig. 9) と、デザイナーの想いを金型に吹き込みながら面を滑らかにするスムージング作業がある。

従来の金型磨きにおいては、キャラクターラインを基準とし、これを通しながら全面のスムージング作業をする工程が、デザインRサイズを確保しやすく効率的であった。しかし、「ご神体」の製作からキャラクターラインの調整に注力するあまり、面形状を削り過ぎ、生命感が削がれている問題が発覚した。

「魂動」デザインでは連続した陰影形状が重要で、それにより生命感を表している。そのため、キャラクター

ラインと合わせて、面の連続性も重要になる。そこで、今まで以上にデザイン意図を理解し、全ての部位で高品位／高精度に実現していくことが必要であると考えた。

5.2 磨き作業の精度向上

「ご神体」の製作を通して分かった課題から、「磨き工程の見直し」「磨きツールの開発」「若手の磨きスキルの向上」に取り掛かった。

「磨き工程の見直し」については、モデラーが「ご神体」を製作していく工程を金型のスムージング作業に活用できないか、金型磨きの匠とモデラーが一緒になって協議した。結果、「魂動」デザインの陰影形状を実現するために、造り込んだ面と面の延長でキャラクターラインをシャープにしていくスムージング作業工程（魂動磨き）にいきついた。この工程により、キャラクターラインと合わせて、面の連続性を重視した磨き工程に変革した (Fig. 10)。

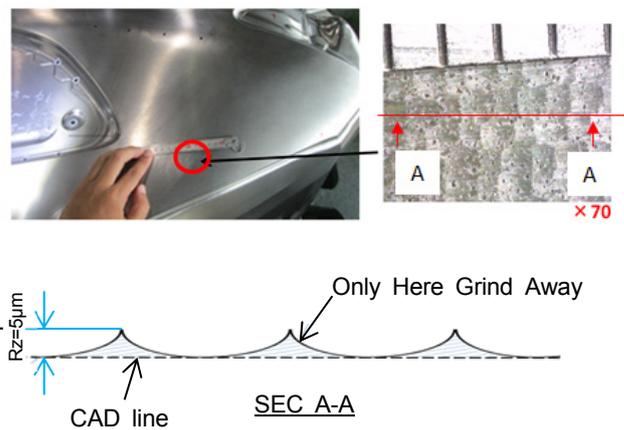
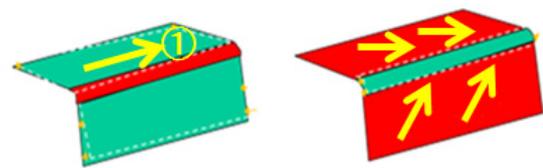


Fig. 9 Cusp & Section Image



5G: Make Character Line Priority To Design Surface

6G: Make Design Surface then Appear Character Line

Fig. 10 Grinding for Soul of Motion (KODO)

「磨きツールの開発」については、カスプの研削に砥石を使用し、面に深いキズ（約12µm以上）が斑に入ることがあった。材料の流入抵抗をなくすため、深いキズを研削する作業が発生し、部分的に必要な以上の磨きを行っていた。結果、面形状を削り過ぎ、デザイン面を傷めていた。

そこでカスプを研削した際に深いキズが入らないようにするため、砥石の切削メカニズムに立ちかえった。

砥石の構成には3要素「砥粒」「結合剤」「気孔」があり、それぞれのパラメータの組み合わせにより砥石の性能が決まる。市販品から20種を準備し、深いキズが入らず、磨き効率が落ちない砥石を3要素の切り口から検証したが、ねらいどおりに磨けるものがなく、マツダ独自の砥石開発へ移行した(Fig. 11)。

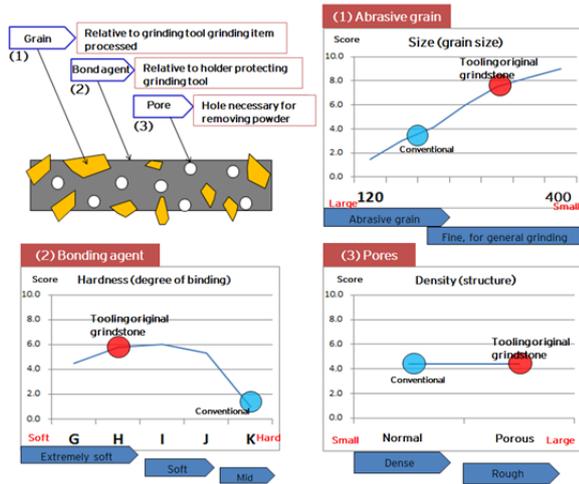


Fig. 11 Three-Element Control

市販品の砥石の主な考え方は「よい砥石＝よく削れる」だが、マツダのねらいは、「デザイン面は傷つけず、カスプを効率的に落とせる」という品質・効率を両立させるものになる。そこでマツダのデザイン重視の考えに共感いただけるメーカー様と一緒に、「良い砥石＝デザインを守る」という考えの下、共創活動を行った。

形状を守るために「研削負荷が高くなる（カスプが研削されてデザイン面に達する）と先に砥粒が脱落すること」をねらい、3要素のパラメータを変更した試作品を数種類製作した。検証を繰り返した結果、ねらいの磨き性能を発揮する砥石の開発に成功した。この砥石でスムージング作業を行うことにより、デザインのねらいどおりに光の映り込みも再現することが可能となった (Fig. 12)。

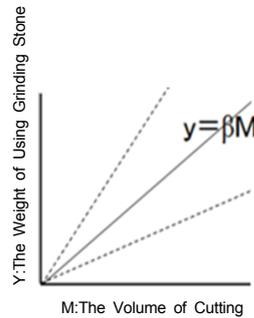


“KODO” Light's Reflection
Fig. 12 Results of Grinding for "KODO"

最後に「若手の磨きスキルの向上」については、新たに開発した砥石を用いても磨きの匠と若手作業者では、研削量のバラツキに差が出ていた。そこで品質工学を用い、若手作業者でもバラツキを抑えた研削が可能になる作業方法の確立に踏み出した。

まず、磨き作業のあるべき姿を探るため、機能系統図を用い磨き作業を機能分解した。あるべき姿を「最小の砥石使用重量で、加工後のカスプのみを全て除去する状態」とし、これから基本機能を(Fig. 13)のように設定した。

制御因子は、匠と若手作業者の磨き動作の違いに着目し8因子を選定。誤差因子は次世代デザインのネガ・ポジ形状とした。実験方法は、作業前後の砥石重量を測定し、基本機能で評価した。



| Control Factor | good | | bad |
|---------------------------|------------|----------|----------|
| | revel1 | revel2 | revel3 |
| A Direction | parallel | vertical | - |
| B Sharp (before grinding) | SharpeA | SharpeB | SharpeC |
| C Force | small | middle | large |
| D Velocity | late | middle | fast |
| E Work posture | stepladder | standing | down |
| F Dressing | many | less | none |
| G Judgment | method A | method B | method C |
| H Light | bright | normal | dark |

| Error Factor | N1 | N2 |
|----------------|----|----|
| design surface | 凸 | 凹 |

Selecting the Basic Function

Control Factor, Error Factor

Fig. 13 Selection of Basic Function & Control Factor, Error Factor

結果、磨きバラツキを抑える制御因子4つが分かり、この4つを作業手順に落とし込むことにより若手作業者の磨きバラツキを1/8へ抑え、匠と同様な磨き作業の実現と磨き技能の技術化に成功した。

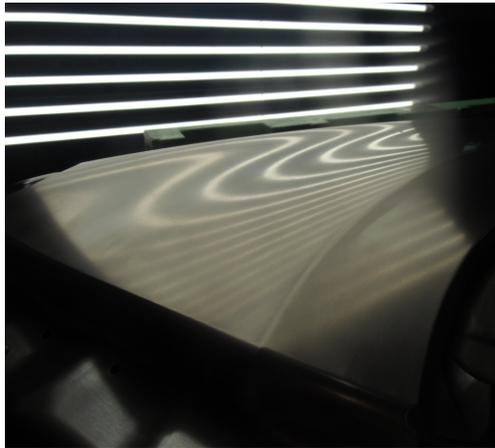
これらの対策「磨き工程の見直し」「磨きツールの開発」「若手の磨きスキルの向上」を通して「魂動」デザインを忠実に実現する技術が確立でき、今まで以上に高品位/高精度な金型が製作可能となった。(3)

6. デザイン面評価方法の変更

金型製作をこれまでのキャラクターライン重視の製作方法から、面（デザイン面）重視の製作方法に変更するとともに、自部門でのデザイン面評価方法も変更した。これまでの官能評価から、デザイナー／モデラーと同じようにリフレクションで評価することで、デザイン面の再現性を判断することにした。これにより、自分たちが仕上げたデザイン面の素性を確認できるようになり、アウトプットの評価も可能になった。また、リフレクシ

ン評価用ゼブラ投光器も自作した。

このリフレクションの評価を、金型磨き後、パネル取得後等、イベントごとにゼブラ投光器を使用して、デザインのCADデータのリフレクションと金型（パネル）のリフレクションを見比べ、確実にデザイン面どおりのリフレクションを再現できているかを確認しながら金型製作を行っている(Fig. 14)。



Die Reflection Evaluation



Panel Reflection Evaluation

Fig. 14 Reflection Evaluation with Floodlight

参考文献

- (1) 佐々木ほか：「魂動デザイン」再現に向けたこだわりのモノづくり，型技術協会講演論文集，B-5，pp.56-57 (2015)
- (2) 西本ほか：「魂動デザイン」を再現するプレス金型機械加工精度向上，型技術協会講演論文集，No.101，pp.60-61 (2015)
- (3) 長澄ほか：「魂動デザイン」を再現する金型磨き技能の技術化，型技術協会講演論文集，No.207，pp.142-143 (2016)

■ 著 者 ■



西本 光毅



長澄 徹侍



佐々木 忠義



安楽 健次



大塚 宏明

7. おわりに

これからも進化し続ける「魂動」デザイン再現のため、デザイン部門との共創活動を更に強固なものとし、デザイナー／モデラーのこだわりや想いを、忠実に再現していきたい。そのため、現状に満足せず更に高いレベルを目指し技術／技能の向上を図り、皆様へ想いの込められたクルマをお届けしていく。

特集：生産技術領域の進化

16

ソウルレッドクリスタルメタリックの開発 Development of Soul Red Crystal Metallic

平野 文美*¹ 寺本 浩司*² 岡本 圭一*³
Fumi Hirano Kouji Teramoto Keiichi Okamoto
野中 隆治*⁴ 山根 貴和*⁵
Ryuji Nonaka Takakazu Yamane

要 約

マツダは「カラーも造形の一部」という考えのもと、魂動デザインの造形をより美しく見せるための陰影表現を追求し、ブランドを象徴するカラーとしてソウルレッドプレミアムメタリック、マツダのヘリテージを表現したマシーングレープレミアムメタリックを量産化した。

発色や質感を高めようとする場合、塗膜層を増やしていく手法が主流であるが、多くの塗料と塗装工程数が必要になり、環境性能と経済性が低下する。マツダでは地球環境に優しい塗装工程を目指して、継続的に環境負荷物質の排出量低減に取り組んでいる。具体的には材料機能を高めることで塗膜の機能集約と配分を行い、工程機能を高めることで工程の集約を進め、スリーウェットオン塗装、更にはアクアテック塗装を開発してきた。そして、これまでの取り組みで積み上げてきた技術を生かすことにより、塗膜層の数を増やすことなく、高意匠カラーの開発を進めている。

今回、魂動デザインの進化した造形を更に際立てるために、ソウルレッドクリスタルメタリックを開発した。デザイン、開発、生産技術、サプライヤー様が連携した開発プロセスの中での取り組み内容を紹介する。

Summary

Mazda has developed sophisticated colors to emphasize beauty of Kodo design, under the philosophy of “color is part of design”. We pursuit expression of contrast to emphasize form, and we have introduced Soul Red Premium Metallic as brand symbol color and Machine Gray Premium Metallic as Mazda’s heritage expression color, into global market.

Sophisticated color is typically composed of multiple film layers for coloring and texture, so it increases paint usage and process length, and affects environmental/economic performance. Mazda has been establishing paint process to reduce environmental load. 3 Wet-on paint and Aqua-tech paint were developed by film function redesign and process integration with upgrading function of material and process. By applying established technologies to color development, we are developing sophisticated color without increasing film layers.

This time, we have developed Soul Red Crystal Metallic to emphasize evolution of Kodo design. We would like to introduce co-creation activities with Design, R&D, and Production engineering, and Suppliers.

1. はじめに

命あるものだけが放つ一瞬の動きや美しさを追求する魂動デザインは、2012年に国内導入した初代CX-5から順次拡大してきた。また、同時にカラー開発は造形を際立てるといった機能の特化を進めてきた。

2012年から市場導入したソウルレッドプレミアムメタリックは、マツダが歴代こだわってきた赤を「鮮やかさ」と「深み」を高いレベルで両立させて、マツダブランドを象徴するカラーとしてお客様に認知されてきた。

更に、2016年にはロータリーエンジンやスカイアクティブテクノロジーなど“マシーンの美学の追求”という

*1, 2 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

*4 ボデー開発部
Body Development Dept.

*3 デザイン本部
Design Div.

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

マツダのヘリテージの表現を目指し、機械の持つ精緻な美しさを「緻密な金属質感」と「深み」という特性で、この2つを高いレベルで両立させたマシーングレープレミアムメタリックを導入した。

2016年11月に発表した新型CX-5は、これまでのキャラクターラインを用いた造形表現から、繊細な面の変化を光と影のリフレクションで表現する方法へ進化した。「カラーも造形の一部」という考えのもと、造形とともにブランドを象徴する赤を進化させるべく、ソウルレッドクリスタルメタリック (Fig.1) の開発に着手した。



Fig. 1 Soul Red Crystal Metallic

2. マツダの塗装の取り組み⁽¹⁾

自動車塗装は、電着・シーラー・中塗・上塗などの多様な材料の塗布と乾燥を繰り返した複層膜で構成される。一般的な塗装工程はFig.2 に示すように長い工程であり、塗料に含まれるシンナーなどの揮発性有機溶剤 (以下VOC) の排出や、塗装ブースといった塗装設備で多くのエネルギー (CO₂) を消費している。マツダの車両系工場から排出するVOCの95%、CO₂の60%を塗装工場が占めており、塗装工程の環境対策はきわめて重要な課題である。

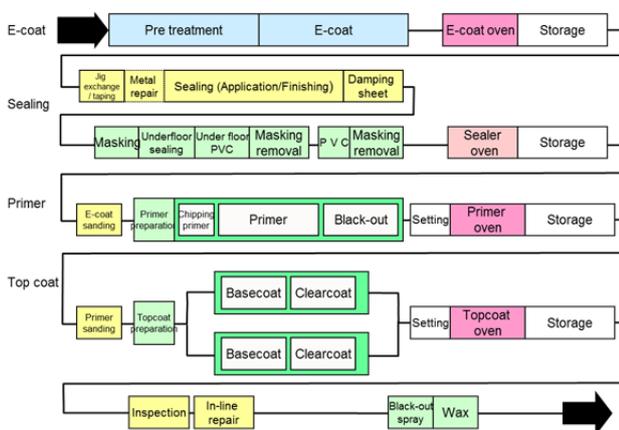


Fig. 2 Paint Process

この課題に対して、マツダでは継続的に環境対策を進めており、2002年には中塗工程を上塗工程に集約し、中

塗のブース及び乾燥工程を削減したスリーウェットオン塗装を開発した。更に2009年には、中塗の機能を上塗に統合することで中塗工程を削減し、VOCとCO₂を同時に削減した世界トップレベルの環境性能を持つアクアテック塗装を開発し、現在は各工場へ水平展開を進めている (Fig.3)。

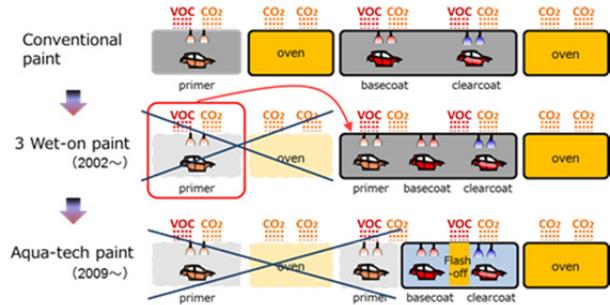


Fig. 3 Process Transition

アクアテック塗装は、大きく2つの技術的アプローチを柱にしている。1つ目は、材料の機能を高めることで塗膜に必要な機能を再構築・集約していくアプローチである。アクアテック塗装では、中塗が担っていた耐チップング性などの機能を高機能なベースコート層、高機能クリア層に分配・機能集約した (Fig.4)。

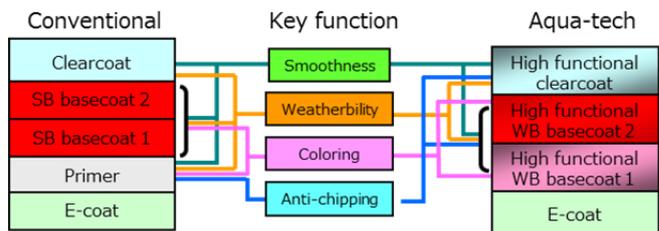


Fig. 4 Distribution of Film Function

2つ目は、工程機能を高めていくことで、省エネルギー化、省スペース化していくアプローチである。ブース、フラッシュオフ、塗装装置に求められる工程機能を物理・化学の原理に遡って解析し、機能を最大化する設備構造と制御を開発することで、省エネルギーと省スペースを追求している (Table 1)。

Table 1 Pursuit of Energy Efficiency

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

これらの取り組みによって、アクアテック塗装はFig.5 に示すようにVOCとCO₂を同時に低減してきた。

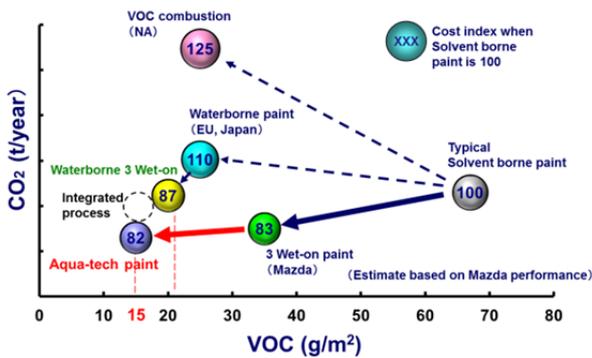


Fig. 5 Effect of Aqua-Tech

また、カラー開発においては、スリーウェットオン塗装やアクアテック塗装で培った材料設計、機能設計、塗膜設計技術を活かすことにより、一層ごとの塗膜の機能を高めていき、塗膜数を増やすことなく意匠性と環境性能を両立させてきた (Fig.6)。

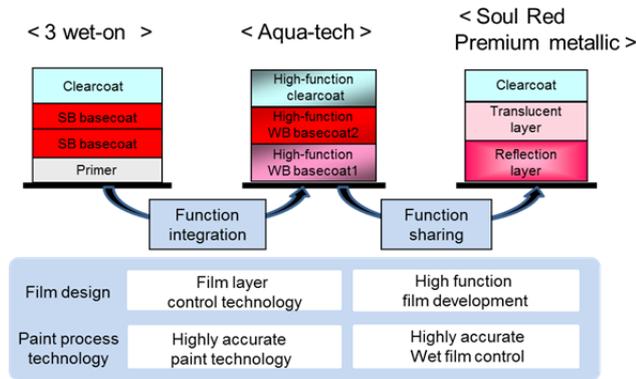


Fig. 6 Technology Expansion to Sophisticated Color

3. 開発ターゲット

“ブランドを象徴するカラーの進化”と“繊細な面の変化を光と影のリフレクションで表現する”ため、ソウルレッドプレミアムメタリックの「鮮やかさ」と「深み」の更なる進化をターゲットにした (Fig.7)。

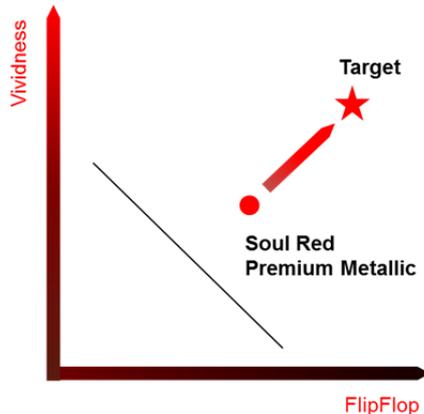


Fig. 7 Target image of Next New Red

また、“お客様が車を見たときに感じていただきたい質感表現”を以下のように定めた。

- ① 艶：宝石のような透明感と流れる水のような瑞々しい潤い感
- ② 凜：日本刀のような威厳を感じる品格と緻密で硬質な鋭い輝きを放つ金属質感
- ③ 動：マグマのような生命感あふれるエネルギッシュな躍動感

4. 実現に向けたカラー開発

4.1 カラー開発プロセスの変革

従来のカラー開発は、まずデザイナーが試行錯誤で創りあげたカラーをもとに、開発部門が耐久性などの機能を織り込む。次に生産技術が生産性を付与していく。そのバトンタッチを経ることで当初のデザイナーの意図は変化してしまう。これまでは、「商品化、量産化のためには仕方がない」と考えてきた。

圧倒的な高意匠カラーを開発していくには、デザイン意図をそのまま実用カラーに変換する必要がある。そのために社内各部門の技術者と塗料サプライヤー様が一堂に集まり、デザイン意図をエンジニアが理解して、物理特性へ変換、塗膜設計を行い、その実現のための機能開発と生産技術開発を同時に行うという新たなプロセスを導入した (Fig.8)。

これはマシーングレープレミアムメタリックの開発から本格的にスタートしたが、本カラーの開発からは更に塗料原料サプライヤー様も加わり、より広範囲な機能開発が可能な体制とした。

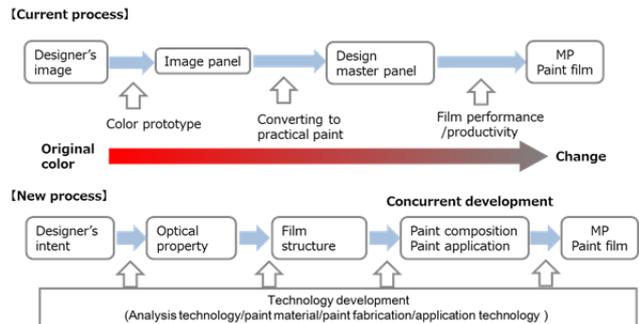


Fig. 8 Transformation of Color Development

4.2 イメージから物理特性への変換

ソウルレッドクリスタルメタリックの開発では、実現したいカラーの価値を真に理解するため、デザイナーが表現したいカラーのイメージに近い赤いクリスタルガラスを用いて「透明感ある鮮やかな赤」から「深い赤」そして「漆黒」へと変化していく様子をエンジニアとともにイメージを共有することから始めた。その共有した価

値を実際の車の繊細な面の変化として表現できるカラーとして塗膜で忠実に表現するためには、色の設計図が必要となる。そこで、人が美しいと感じる赤を追求するため、人間が色や質感を感じる仕組みを基に数値化を行った。具体的には、Fig.9で示すように表現したい価値を特性に変換し、色の設計図となる光学特性へ落とし込んだ。

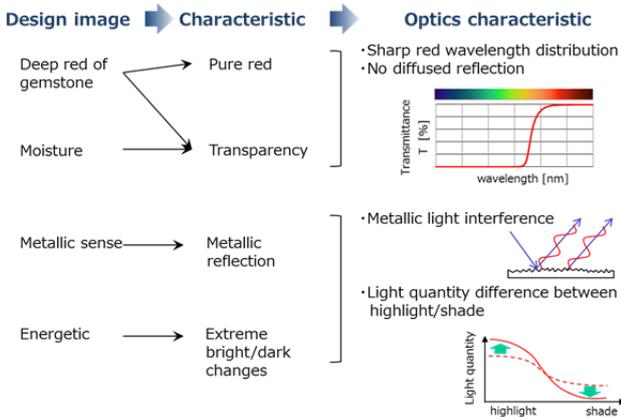


Fig. 9 Conversion to Optical Characteristics

4.3 塗膜設計

ねらいの光学特性を実現するため、塗膜内の光の経路に沿って各塗膜層の機能を設計した。まず、「シャープな赤の波長分布」を透過層に分担させた。透過層は、赤以外の波長の光を効果的に吸収させる機能に特化させる。そして、透過層の下層に「金属の反射特性」と「ハイライトとシェードの光量差」を分担させる。具体的にはマシーングレープレミアムメタリックの塗膜構造である反射層と吸収層の組み合わせで実現できると考えた。

実際に透過層、反射層、吸収層の3層構成で、既存原材料を組み合わせ試作品 (Fig.10) を作った結果、ねらいの光学特性への実現性と課題が明らかになった。

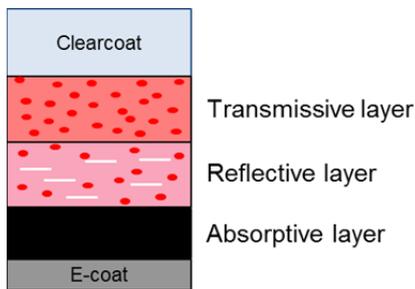


Fig. 10 Film Structure

1つ目の課題は、既存の高彩度赤顔料の組み合わせでは、目標である「透明感ある鮮やかな赤」を再現する波長特性が得られないことである。そのため、ねらいの波長特性を得るための新たな顔料の開発が必要である。

2つ目の課題は、試作品の3層構成を機能はそのままに

2層に集約することである。マツダの塗装工程で3層を塗装するには、上塗工程を2回通す必要があり、環境性能、経済性、生産台数が規制になる。

4.4 課題解決のための新規材料開発

2つの課題に対し、塗料原料に遡った技術開発により、解決していった。

(1)鮮やかな赤を実現する高彩度赤顔料

「透明感」と「濁りのない鮮やかな赤」を実現するため、人間が色を認識する目の仕組みを基に、人が「赤」を感じる理想の光のスペクトルを設計した。人間の網膜にある視細胞は外部からの「光の情報」を「電気信号」に変換する役割があり、その中の赤・緑・青の錐体細胞が、それぞれ特定の範囲の波長に反応することで色の識別をしている。このことから「透明感」と「鮮やかな赤」を感じるには、赤錐体が反応する範囲外の透過率を抑えることが必要と考え、ソウルレッドクリスタルメタリックで表現したい理想のスペクトルを定めた (Fig.11)。

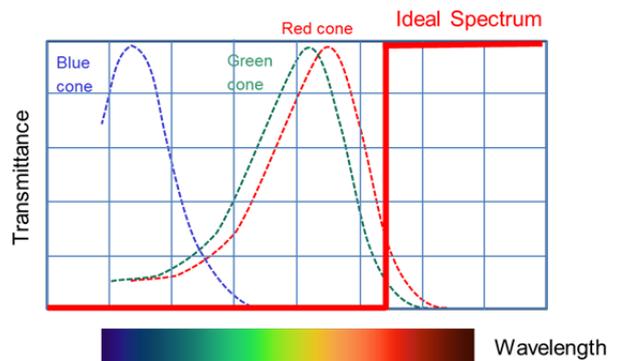


Fig. 11 Ideal Spectrum

一般的に光が顔料粒子にあたったとき、顔料の物質固有の光の吸収特性を示す。一方で、顔料表面では一部の光が乱反射する。この乱反射は入射光の波長をそのまま反射するため、太陽光において乱反射光は人の目には白く見える。そのため、顔料が持つ波長特性を十分に生かすことができない。

顔料粒子サイズが大きいとより乱反射が起こるため (Fig.12)、顔料粒子サイズを小さくして乱反射を抑えることで、シャープな波長特性を得ることができ、理想のスペクトルに近づけることができる (Fig.13)。



Fig. 12 Diffused Reflection Depend on Pigment Size

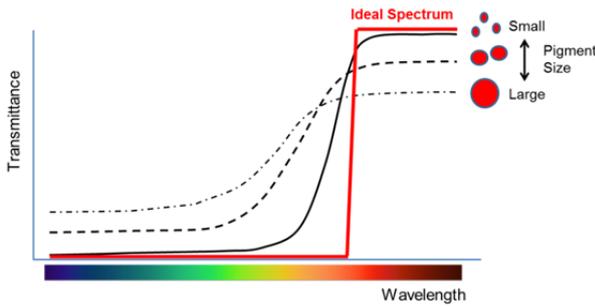


Fig. 13 Pigment Size Control

ソウルレッドクリスタルメタリックでは理想のスペクトルを実現するための顔料粒子サイズを定めた。しかし、一般的に入手可能な顔料と顔料分散方法の組み合わせでは、ねらいのサイズに到達できないことがわかった。そこで、顔料の結晶サイズから小さくしていくことに加えて、塗料中で顔料が凝集しない分散工法を開発した。分散工法においては、分散メディアのサイズ、分散時間、分散剤の種類を最適化していくことで、安定的な分散品質と生産量を確保した。

(2) 急激な明暗変化を実現する高輝度アルミフレーク

金属調反射の実現にはキラキラしたメタリック塗装固有の質感（以下、粒子感）ではなく、緻密で面で光るような特性と光が正反射するハイライト領域での強い反射が必要である。従来のアルミフレークは、表面の凸凹や外周面で光が拡散してしまい、正反射光の強度は弱まる一方で、正反射でない方向にも光が反射する。また、反射強度を高めようと大粒径のアルミフレークを選択するのが一般的であるが、視覚の分解能付近までサイズが大きくなると粒子感が強くなる。これは、目指す「凜」のイメージとは逆であり、小さくても平滑なアルミフレークで強い反射をさせることにより面で光る特性を出せないと考えた。そこで、表面が平滑で外周と面積比が最小になる円形を有し、人間の目が視覚分解できる限界サイズより小さくすることで理想の反射特性を得られるアルミフレークを開発した(Fig.14)。

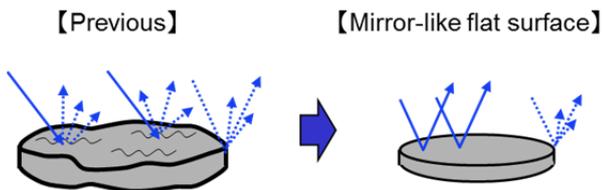


Fig. 14 New Aluminum Flake

このアルミフレークの開発にあたっては、実現したいカラーのイメージをアルミサプライヤー様と共有し、従来は製造効率やコストを優先して決めていた加工方法や

工程条件を、意匠を追求することを第一としてサプライヤー様と共同で製造技術開発を行った。

この新規高輝度アルミフレークにより、ハイライトでの輝くような明るさと粒子感のないまるで1枚の金属板のような緻密な塗膜となり、面で光る特性を得ることができた (Fig.15)。

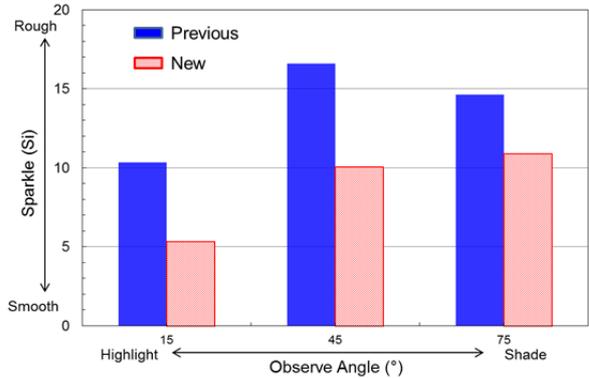


Fig. 15 Sparkle Level

(3) 急激な明暗変化を実現する光吸収フレーク

3層の機能を2層に集約する手法として、光を吸収する物質を用いて光の反射量をコントロールすることで、アルミフレークでの光の反射を阻害することなく吸収層の機能を反射層に組み込み、下の2層を1層にできないかと考えた。しかし、そのような機能を有する塗装材料は市場には存在せず、今回新規に塗料化できる光吸収フレークを開発を行った。この新規材料により、反射層と吸収層を集約でき、ハイライトからシェードにかけての急激な明度変化を実現した (Fig.16)。

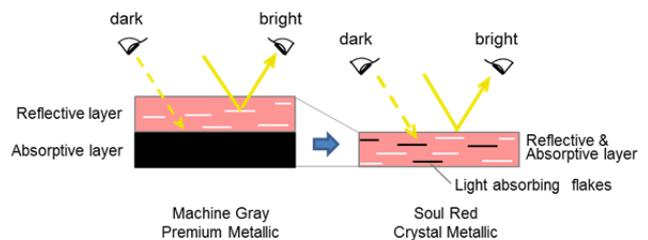


Fig. 16 Express Metallic Reflection in Single Layer

5. 魂動デザインの造り込み

5.1 下地の平滑性追求

塗膜の正反射光の強度を強くしていくには、個々のアルミで反射した光を一方向にそろえる必要がある。そのためには、塗膜内のアルミフレークを平行に並べることに加えて、塗膜そのものの平滑性が重要になる。

ソウルレッドクリスタルメタリックでは、塗膜中のアルミフレークを水平に並べるために、溶剤や水分の蒸発による体積収縮効果を通常カラーの1.5倍まで拡大した。

一方で、塗膜そのものの平滑性を上げるには、塗装下地を平滑にする方法と下地の凹凸を隠蔽できるまで厚く塗る方法がある。後者の場合、塗膜の下地に近い部分ではどうしてもアルミフレークが下地の形状に沿ってしまい反射角度への影響がでてしまう。また、厚く塗るためには多くの塗料が必要となり、環境面や経済性の面から相反する。そのため、今回は下地を平滑にする方法とした。

そこで、プレス工程でのパネルの平滑さを金型設計やプレス加工条件を適正化して向上させることに加え、電着塗膜を研ぎ加工によってさらに平滑化することにより、上塗前の下地の平滑性を約2倍に引き上げた。

5.2 一体感ある面の連続性の追求

ソウルレッドクリスタルメタリックは、光の反射角度のわずかな差で明度を大きく変化させている。そのため、フェンダーやドアといった外装パネル、バンパーやスポイラーといった樹脂部品同士の面を連続的につなげることが、カラーマッチングと造形の一体感の向上に必要である。従来は、キャラクターラインの連続性とパネル間の隙と段差寸法を指標にしてパネルの折り合いを調整してきた。今回は、部品ごとの面の精度アップに加えて、面の連続性を重視した指標と計測手法を開発することにより、一体感ある造形を実現した。

6. 開発結果

今回開発したソウルレッドクリスタルメタリックでは、赤の彩度の向上と陰影感を大幅に向上させることができた。特に、魂動デザインの繊細な面変化を陰影によって際立てるために、一般的な15度と110度を45度で割ったフリップフロップ値ではなく、5度と45度を使った新しい指標を導入した。正反射から45度にかけての面変化で明度の差を大きく出すことをねらったものである (Fig.17)。

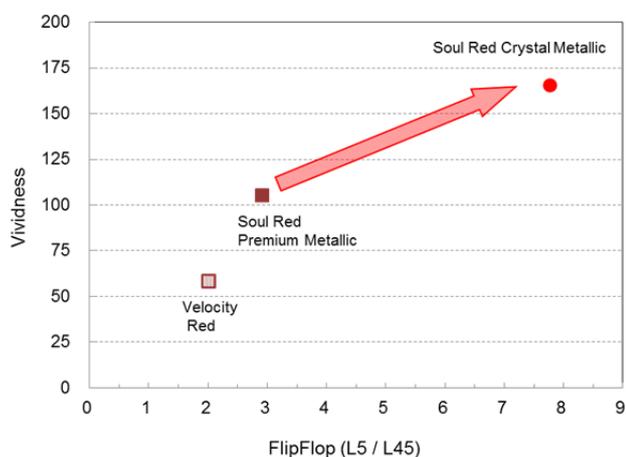


Fig. 17 Level of Soul Red Crystal Metallic

7. おわりに

デザイナーのイメージをそのまま量産化するために、開発の初期段階からサプライヤー様、社内関係部門が一体となった共創活動を行い、従来にない高い意匠性をもつカラーを高い環境性能を維持したまままで開発し、市場へ導入できた。一方で、今回のカラー開発の中で明らかになった課題もある。これらを解決して技術レベルを引き上げながら、お客様に感動していただけるカラーを継続的に開発していきたい。

最後に、ソウルレッドクリスタルメタリックの開発にご協力いただいたサプライヤー様、関係者の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 篠田雅史ほか：VOCとCO₂を同時削減する新塗装技術「アクアテック塗装」, 自動車技術, Vol.70, p.77-82 (2016)

■著者■



平野 文美



寺本 浩司



岡本 圭一



野中 隆治



山根 貴和

特集：生産技術領域の進化

17

「魂動」デザインを際立たせる“面の連続感”実現の取り組み Realization of Continuity Surface to Achieve “KODO” Design

田中 慶和*¹ 永野 恵行*² 太田 凜*³
Yoshikazu Tanaka Yasuyuki Nagano Rin Ota
新宅 則和*⁴
Norikazu Shintaku

要 約

マツダは、“人間中心のものづくり”を一貫した哲学として掲げ、クルマをただで動きを感じ、乗ってみたいくなるデザインを追求している。それらを「魂動」デザインと称し、生命のフォルムの美しさや動きの加速感を造形に取り入れ、車両外装部品においてはその「魂動」デザインの思想を忠実に再現する取り組みを行っている。マツダでは、デザイン造形のもつ生命感や加速感をお客様への提供価値と定義し、それらを実現するための車両構造設計や生産工程設計を行う「面のアーティスト」活動に取り組んできた。車両外装の隣り合う部品が、あたかも一枚面であるかのような連続感が重要であると考え、法線ベクトルという物理特性に着目した。本稿では法線ベクトルに基づくプロセス構築と、バンパー量産準備を一例に挙げ、面の連続感実現を目指した活動事例を報告する。

Summary

Under its “human-centered monotsukuri” philosophy, Mazda pursues a vehicle design that makes all who see it feel the dynamics at first glance and invites them to drive. This is what we call the “KODO Design” concept. Exterior parts are designed to express vitality, beauty and power of motion, with the aim of giving shape to Mazda’s KODO Design language. Defining the vitality and a sense of speed presented by a design as values to offer customers, we designed a vehicle structure and developed a production process to translate them into a product. This process of works was conducted via a project named “Artist for reflection of surfaces”. Attaching importance to continuity in surfaces of adjacent exterior parts, we focused on a normal vector as the key physical property. This article describes the efforts made to realize the continuity in surfaces, taking process establishment based on the normal vector and preparation for bumper mass production as examples.

1. はじめに

マツダでは構造改革ステージ2を進めており、生産技術領域の取り組みの3本柱である【魂動デザイン】【燃費】【人馬一体】の更なる進化によって、お客様に生涯顧客となっただけの事を目指している。その実現に向けて、「魂動」デザインではクルマを単なる移動手段ではなく、所有すること自体に喜びを感じていただけるアート作品のような存在となることを目指している。「魂動」デザインのねらいは、生物の持つ生命感、動きの加速感をクルマの外観で表現することであり、金属から削り出したかのような塊感がクルマ全体が必要である。塊感を量産車で実現するには、隣り合う部品が一枚面であ

るかのような面の連続感が重要と考え（Fig. 1）、お客様への提供価値としてクルマづくりを行った。本稿では、面の連続感を物理指標に落とし込み、量産工程で実現させるプロセスを構築し実践した内容を報告する。



Fig. 1 Reflection of Smoothness Surface

*1~4 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

2. 面の連続感

2.1 物理指標への変換

車両外装は、フェンダーやボンネット等の金属部品とバンパーなどの樹脂部品によって構成される (Fig. 2)。クレイモデルの塊感を量産車で実現するには、これら材質も質感も異なる部品間における面の連続感が重要である。一方で部品間には分割線が存在し、人間の視覚特性上その変化点には視線が無意識のうちに滞留する。「魂動」デザインの特徴の一つでもあるキャラクターラインを極力排した面によって塊感を実現するには、車両全体の外装面に映り込む風景が滑らかに連続することで分割線に視線を滞留させないことが求められる。これらを具現化するには、光の反射方向を左右する“法線ベクトル”をクルマ全体にわたり滑らかに連続させることで、塊感のある車両を実現できると考えた。

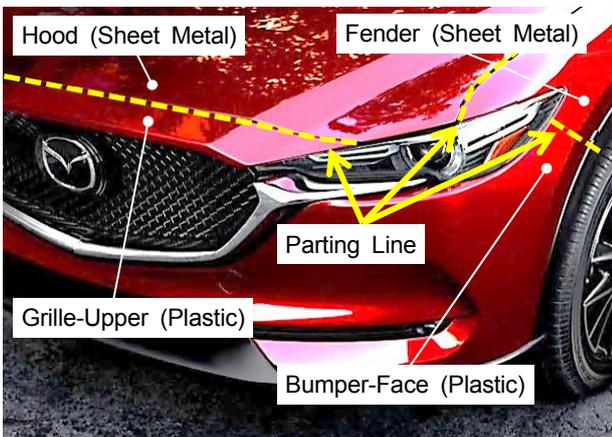


Fig. 2 Material of Vehicle Parts and Parting Line

2.2 法線ベクトルと面の連続感の関係

従来は、部品間の寸法精度の指標として、隙と段差を用いてきた。ここでは隙と段差に加えて、部品間の法線ベクトルのズレと映り込みの違和感の関係を明らかにしていく (Fig. 3)。まず、ボンネット・バンパーからなる実寸大カットモデルに蛍光灯を映り込ませ、部品の表面に映る蛍光灯ラインのズレを違和感として認識できるか官能評価を実施した (Fig. 4)。次に、実験計画法により部品間の法線ベクトルや隙・段差といった各因子を動かし、表面の形状をレーザー測定機で取得し、CADデータ上で実験モデルを再現しラインズレの距離を計測した。この時、映り込むラインズレ量と各因子の関係を整理すると式(1)になる。Sは映り込むラインズレ量(mm), $(V1-V2)/L$ は法線ベクトルの変化(°), A~Dは係数を表す。上記で得られたデータを基に各因子を説明変数、映り込むラインズレ量を目的変数として、重回帰分析によって寄与度を求めた。その結果、従来の隙・段差の因子

に比べて、寄与率96%以上で法線ベクトルがラインズレに対して影響することが確認できた。

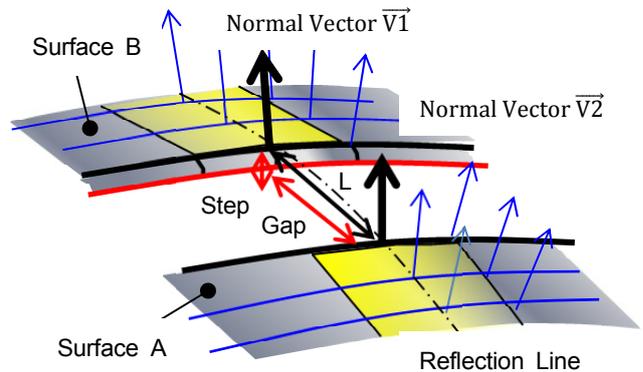


Fig. 3 Normal Vector

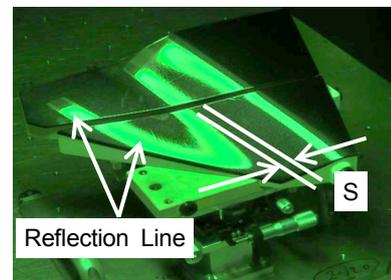


Fig. 4 Reflection Line on Solid Model

$$S = \frac{V1 - V2}{L} A + Gap * B + Step * C + D \quad (1)$$

この結果を人間工学的に考察した。人間がラインズレを識別する能力=副尺視力によると、視角3~10秒ズレが検知でき⁽¹⁾、これを角度に置き換えると約0.003°となる (Fig. 5)。車両評価を模擬した空間で理想状態の2枚の平面鏡で考えた時、段差を部品の最大許容差である2mm変化させたとしても、幾何学的にはラインズレ量は視角約0.05°である。一方の法線ベクトルではわずか1°変化させただけで視角約1.37°のズレ量となり、段差の変化に比べてはるかに視認しやすいことが分かる (Fig. 6)。このことから、車両外装において面の連続感を作り込むには法線ベクトルが重要な指標であることが確認できた。

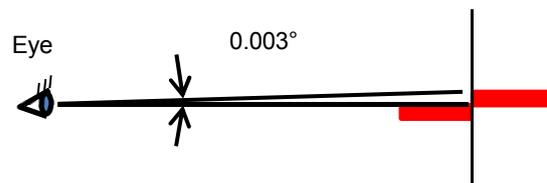


Fig. 5 Vernier Acuity

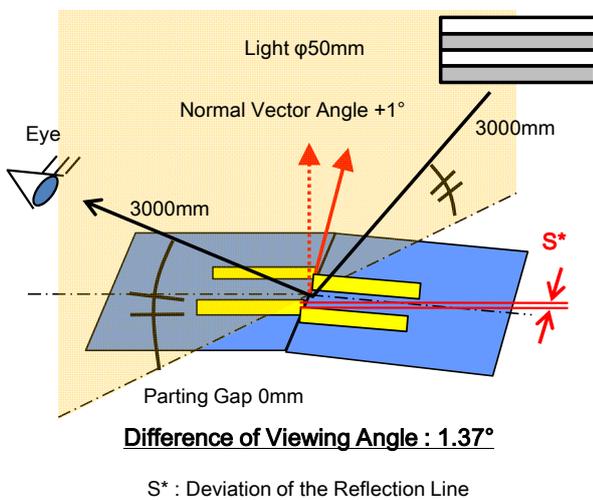
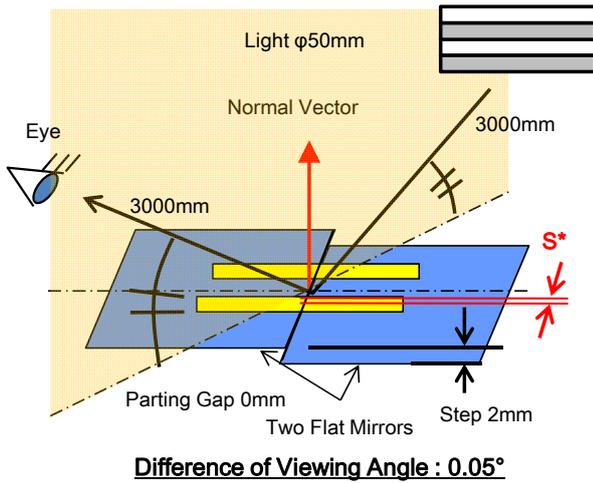


Fig. 6 Relationship between Shape and Reflection Line

2.3 法線ベクトルの評価基準策定

上記で得られた結果を車両構造設計や量産維持管理の中で運用するため、デザイン造形の曲率に対するラインズレの識別可能エリアを、副尺視力を用いてCAD上で求めた。

この結果を実車両でラインズレの違和感を覚える限界として当てはめたのがFig. 7である。グラフで表すとおり、部品間の隙ごとに違和感の限界ラインは異なり、グラフより下のエリアが違和感を覚えない領域を表す。この結果から、デザイン造形曲率の大小により違和感を覚えるエリアは変化することが確認でき、平面に近づくほど僅かな法線ベクトルのズレも視認しやすくなる。また、デザイン造形の曲率が大きく、隙間が広い程違和感の感度は下がる。これは、2面の隙間でラインが反射しない領域で、人間の脳が分離したラインを連続体として補間してとらえる“錯視現象”が強く働き、曲率変化による映り込みの急激な変化と併せて違和感の感度を下げているためだと推測される。

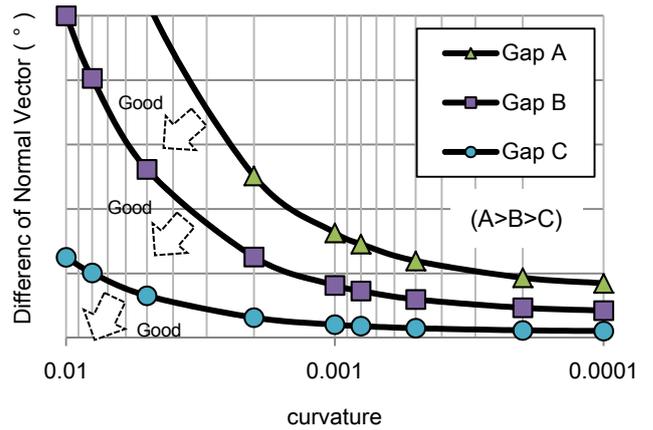


Fig. 7 Standard Normal Vector on Vehicle

2.4 法線ベクトルの評価ツール・システムの構築

法線ベクトルのズレを机上段階と実車両状態で比較検証を行うために、評価手法をメッシュモデルで統一した (Fig. 8)。これにより机上段階のFEMモデルと、形状スキャンして取得した実測STL (Stereolithography) データを同一の指標として評価できるようになる。更に、法線ベクトルのズレについては、3次元的な角度をX, Y, Zの各軸に分解し、角度情報をカラーマップで表すことで、法線ベクトルのズレが、エリア、方向、量に対して識別しやすいよう配慮した。また映り込みについても、CAD上に取り込んだ実測STLデータにレンダリング処理を施し、実車両状態の映り込みを再現させ、データ上での官能評価と法線ベクトルによる定量評価を融合させた評価手法を構築した。

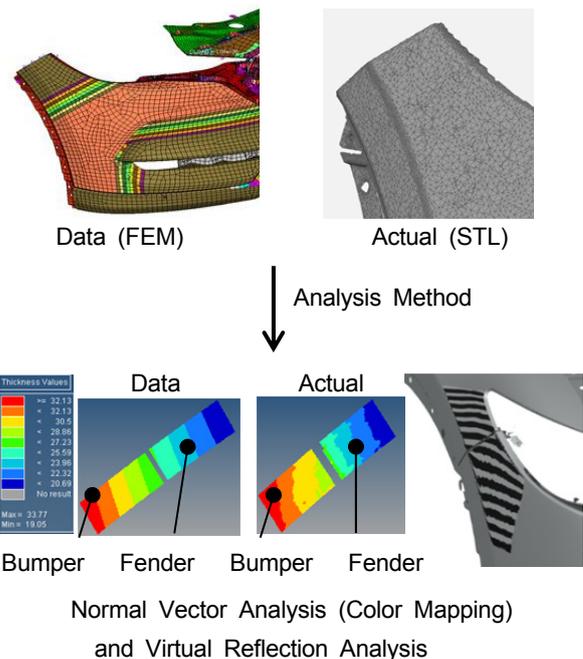


Fig. 8 Evaluation Technique of Smoothness Surface

3. 法線ベクトルに基づく車両構造／工程設計

法線ベクトルの基準と評価手法を用いて、従来のクルマづくりに加えて面の連続感を実現させるプロセスを新型CX-5で構築した。ここでは、「魂動」デザイン実現においてフロントビューやリアビューを大きく占め、樹脂部品の中でも最大で技術的にも造形実現に大きく寄与するバンパーの実例を挙げ、以下にその取り組みを紹介する。

3.1 バンパーにおける面の連続感実現への課題

バンパーは、射出成形工法によって生産され、金型内に溶融した樹脂を充填し、金型形状を転写することでねらいのデザイン造形を得ている。工法の特徴として、複雑なデザイン造形に対しても自由度が高い一方で、樹脂は熱変形や剛性による荷重変形を生じやすい。マツダではこれまでCAEと金型製作技術を融合させることで、板厚を極限まで薄肉化しつつデザイン性と製品機能性を成立させてきた。一方で、「魂動」デザインではより高い精度でボディーパネルとの面の連続感を実現する必要がある。上記に加えて面精度の向上を重点課題として取り組んだ。

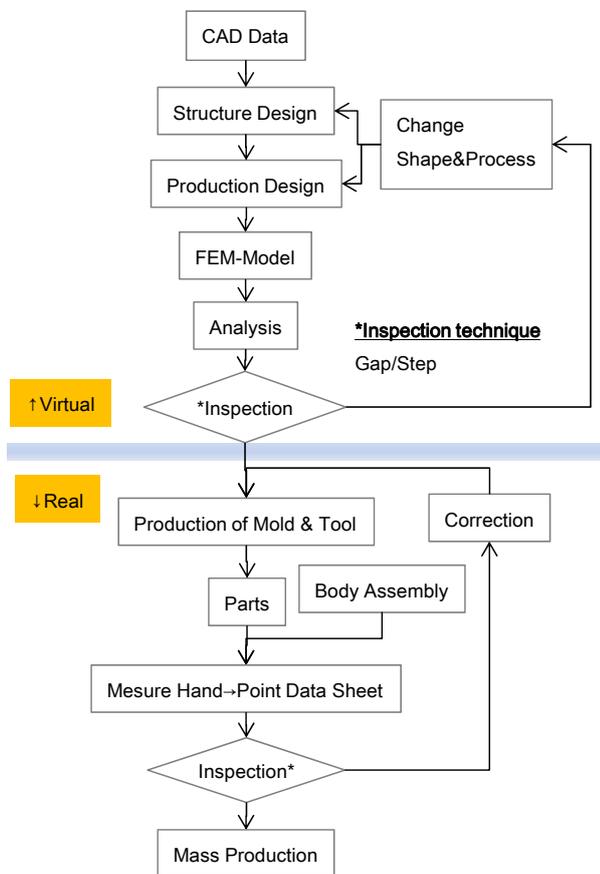


Fig. 9 Previous Process

3.2 机上評価における面の連続感実現

Fig. 9に従来の隙・段差を軸とした品質作り込みプロセスを、Fig. 10に新たに構築した面の連続感実現プロセスを示す。特徴として、車両構造設計の初期段階よりデザイン意図を理解して構造と工程をコンカレントに開発する。更にCAE技術を活用し、バンパー生産工程や重力による変形やバラつきに対して、法線ベクトルのズレが基準値以下になるまで机上で車両構造と生産工程を作り込む。これにより実部品ができた後の金型修正回数をゼロにしつつ面の連続感を実現させる。

車両構造設計においては、荷重を受ける骨格部位とデザイン造形を再現する意匠部位との機能分離を進め、構造によるロバスト性を向上させた。

生産工程設計においては、バンパー成形から完成車組み付け状態に至る全工程をCAE上で再現させる連成解析手法を構築した。これにより、面の連続感を実現するための金型や塗装治具などの工程設計を、車両構造設計の初期段階から机上で実施することが可能となった。

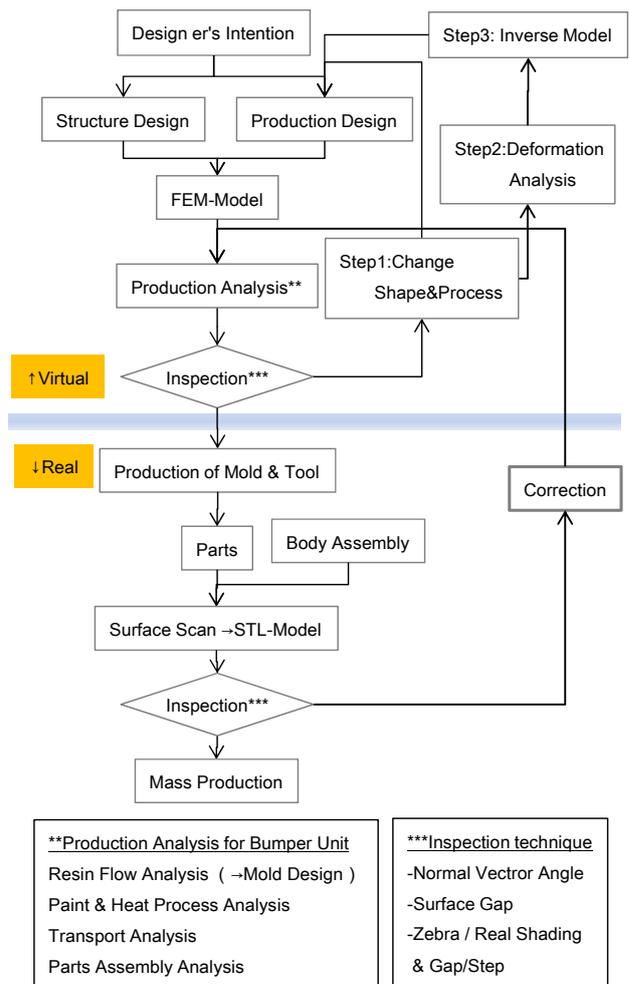


Fig. 10 New Process

ここでは、特に映り込み実現への重要度の高いバンパー金型設計について詳細を述べる。金型設計にあたっては、樹脂の持つ反り収縮メカニズムにより、変形量が最小となる板厚分布、ゲートレイアウト、流動パターンを検証し金型設計を行う。一方で、反り変形は金型内で樹脂が収縮する際に、温度や圧力に分布を持つことで発生する現象であり、成形条件では完全に解消することができない。このことはテストピースによる実験とCAEロジック構築の取り組みにより明らかになった⁽²⁾。特に、断面がL字形をした部位ではその傾向が顕著であり、工程設計だけでは面の連続感を実現できないことが机上段階で明らかになっている。そこで、CAEにより得られた反り変形量を基に、反り変形後にねらいのデザイン造形が得られるよう“逆算モデル”を作成し、この逆算モデルを使用した金型形状設計プロセスを新たに構築した。そして、逆算モデルを使用して反り変形解析などの生産工程解析を繰り返し実施し、完成車状態で法線ベクトル

が基準内に入るまで机上段階で金型データを作り込んだ。Fig. 11の上図はグリルアッパー、下図はリアバンパーへの適用事例を示す。Aの反り変形によりBのようにデザイン面の法線ベクトルが変化する。その対策として、Aの反り変形量からCの破線部の形状を逆算により導き出し、金型形状へ反映させる。その結果Dのねらいどおりの法線ベクトルとデザイン造形を得られた。

3.3 要具設計・製作における面の連続感実現

プラスチック領域では、「軽量・シンプル・高剛性なワンピース金型」を目指し技術開発を行い、新型CX-5においてもワンピース金型をフロントバンパー型に採用し、デザイン性と高い生産性を実現してきた⁽³⁾。今回、この過程で得られた解析技術を進化させ、デザイン面の更なる忠実再現を目指した。金型製作工程においては、従来の接触式測定機による定点精度保証から、金型デザイン面全体の法線ベクトルを非接触測定機により計測し、ねらいのデザイン造形を実現する高精度な金型作りに取り組んだ。Fig. 12の上図はデザインデータ、下図は金型キャビティの実測STLデータにレンダリング処理を施した結果を示す。法線ベクトルによる定量評価に加え、ゼブラパターンによる映り込み評価を併用しながら、部品内におけるデザイン意図どおりの面の流れを追及することが可能になった。

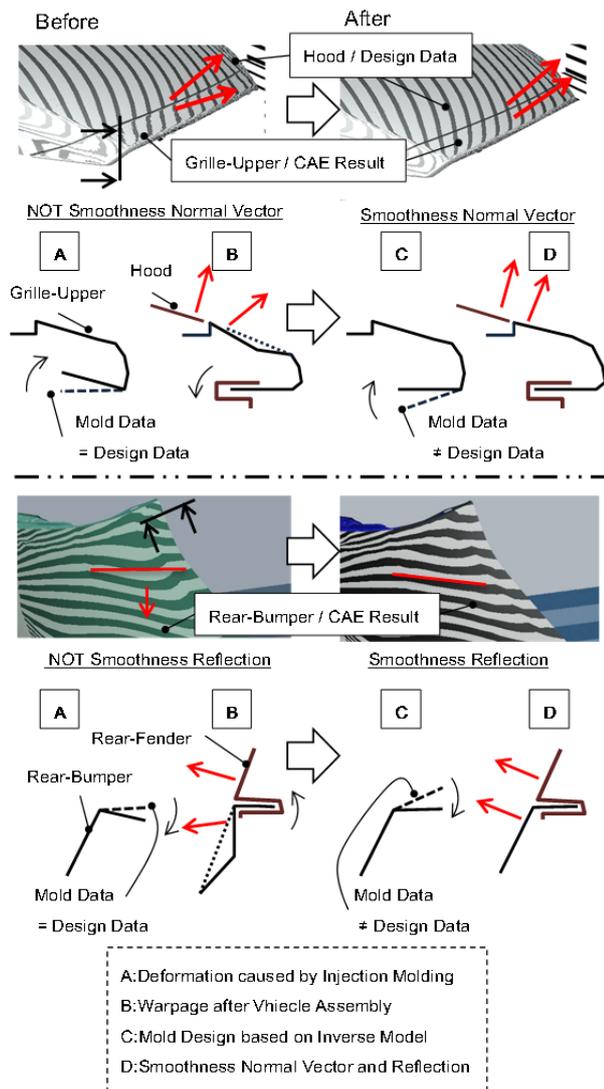


Fig. 11 Example for Mold Design on Invert Model

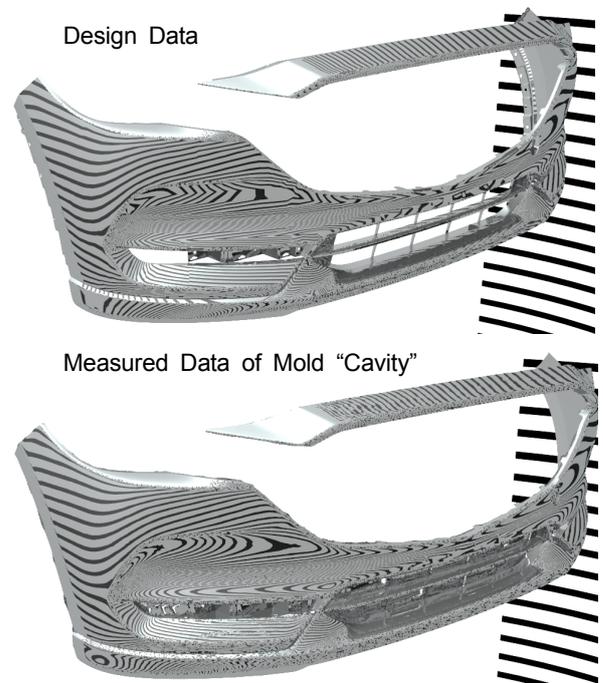


Fig. 12 Comparison of Design and Mold Cavity of Reflection Analysis

4. 映り込み品質の量産維持管理

量産工程において、面の連続感や法線ベクトルを保証された部品を安定的に生産し、完成車の映り込みを実現するために、バンパーや完成車の検査工程において外観検査ブースを新たに設置し、量産品の面の映り込みの検査工程を導入した。バンパー検査においては、CADデータ上で検査ブース内の照明ピッチ、バンパーの位置を再現させ、データ内での映り込み画像と実バンパーの映り込みの結果を比較し、安定品質のバンパー供給体制を構築した。現在は検査及び比較・合否判定を官能評価に頼っているが、今後はカメラ式の画像判別システムを構築し、定量的かつ自動判定を目指し更なる面品質向上を図る。

5. 結果と今後の課題

今回、法線ベクトルによる滑らかな映り込み実現という考えに基づき、机上段階から部品間の面の連続感を実現させる車両構造設計、生産工程設計を取り入れたクルマづくりのプロセスを構築した。Fig. 13にこのプロセスを導入した新型CX-5の映り込みの様子を示す。今回は、バンパーの事例を紹介したが、大型樹脂部品であるバンパーの変形は工程間の搬送・保管中のクリープ変形、塗

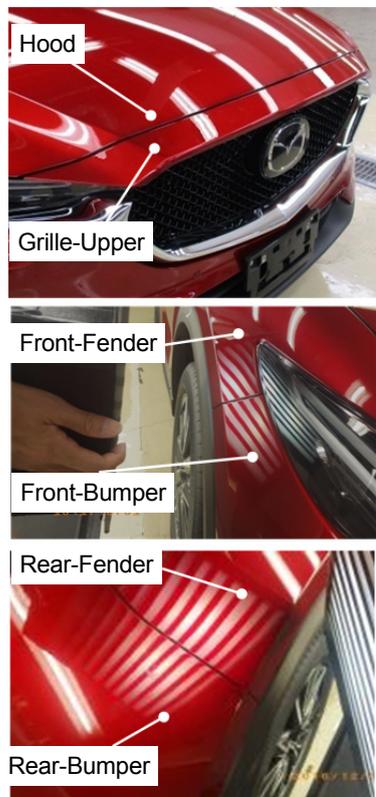


Fig. 13 Reflection of New CX-5

装乾燥時の熱変形などが複雑に関わりあった現象であり、継続した机上保証レベルの向上が必須であると考えている。また、従来の「製品図面通りの金型を作る」という考え方を、「提供価値である面の連続感を実現する金型形状はどうあるべきか」に変えて実践した。この考えを他の樹脂部品のみならず全ての部品とクルマづくりへと発展させていくことが今後の課題である。

6. おわりに

「魂動」デザインの持つ生命感や動きの加速感を量産車で忠実に再現させるため、車両外装における面の連続感の実現に取り組んだ。本稿では面の連続感や違和感といった定性的な指標を、法線ベクトルという物理指標でとらえ、曲率と隙による法線ベクトルのズレ基準値を明らかにした。更に、机上段階で面の連続感を実現させる車両構造や生産工程・要具製作プロセスの構築を行った。今後もお客様に感動を提供し続けるために、更なる技術開発を継続していく所存である。

参考文献

- (1) 三橋ほか：画像と視覚情報科学，コロナ社，pp.72 (2009)
- (2) 下野ほか：魂動デザインの実現に向けたそり変形解析技術の構築と金型づくり，型技術，Vol.31，pp.38-39 (2016)
- (3) 佐藤ほか：“魂動デザイン”を実現する金型設計技術，マツダ技報，No.32，pp.257-262 (2015)

■ 著 者 ■



田中 慶和



永野 恵行



太田 凜



新宅 則和

論文・解説

18

G-Vectoring Controlの開発 Development of G-Vectoring Control

梅津 大輔 *1

Daisuke Umetsu

砂原 修 *2

Osamu Sunahara

高原 康典 *3

Yasunori Takahara

小川 大策 *4

Daisaku Ogawa

大久 千華子 *5

Chikako Ohisa

菅 俊也 *6

Toshiya Kan

氏原 健幸 *7

Kenko Ujihara

椎葉 裕明 *8

Hiroaki Shiiba

加藤 史律 *9

Fuminori Kato

要約

高応答なSKYACTIVエンジンをを用いた世界初の車両運動制御であるG-Vectoring Control (GVC) を量産化した。本システムは車両の横加加速度に応じてわずかな前後減速度を付与することで車両運動性能を高めることができる。本稿ではGVCの基本コンセプトと量産システム構成を説明し、その制御効果を示す。

Summary

The G-Vectoring Control (GVC) using high response engine torque control has been developed for mass production. G-Vectoring system generates slight deceleration in response to lateral jerk to improve vehicle dynamics. In this paper, the basic concept of G-Vectoring is summarized first, the configuration of the new system will be described followed by subjective and objective investigations into its control effects.

1. はじめに

減速・旋回・加速という車両の各運動間の連係性、すなわち「G（加速度）のつながり」の進化が、運転の楽しさや安心感といったダイナミクス性能の質感レベルまでを論じるうえで非常に重要である。著者らはこれまで、「ダイナミクス性能の統一感」と呼ぶブレーキ・ステアリング・アクセルの複合的な性能開発に取り組み、これら運転操作系のフィードバック特性と車両Gの過渡応答特性をリニアに一貫させることで、人にとって制御しやすい車両運動特性を開発してきた (Fig. 1)。これを取り入れた車両は縦軸を前後加速度、横軸を横加速度として描いたリサージュ図であるG-Gダイアグラムにおいて、加速度遷移様態をドライバーが積極的に制御しやすい特性を有している⁽¹⁾⁽²⁾。

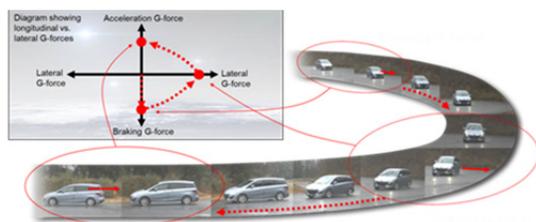


Fig. 1 Concept of "Harmonized Dynamic Feel"

しかしながら、上記のような車両においても、実際には路面のアンジュレーション等、外乱の影響による加速度変動が常に発生している。この変動に対する補正はドライバーの修正操作に委ねられるため、達成される「Gのつながり」は各ドライバーの運転操作の精緻さに依存し、そもそも人が制御できない微小な変動領域では補正そのものがなされない。今後、車両をドライバーがより快適に制御しやすいものへと進化させるためには、微小領域から限界領域に至るまで一貫して、車両自身がGのつながりを担保できるような車両運動制御が必要である。

G-Vectoring Control (以下GVC) は、ドライバーのステアリング操作によって発生する車両の横運動に対して、車両自身が前後加速度を最適に連係させる制御である⁽³⁾⁽⁴⁾。今回、マツダは一般的な走行領域において「滑らかなGのつながり」を実現し、全てのドライバーへあらゆるシーンにおける運転の楽しさと安心感を提供するため、細やかな減速度制御が可能な高応答・高精度な駆動トルク制御システムを有するSKYACTIVエンジン⁽⁵⁾⁽⁶⁾をアクチュエータとしてGVCを量産化した⁽⁷⁾。この車両では、直進時の修正操作といった微小な操舵領域から車両運動を過渡的に常時制御することができる。

本稿では、GVCの概要とシステム構成を説明し、制御による車両運動の改善効果とドライバー運転操作行動に与

*1. 9 車両開発本部
Vehicle Dev. Div.

*2-4 統合制御システム開発本部
Integrated Control System Dev. Div.

*5-8 パワートレイン開発本部
Powertrain Dev. Div.

える影響を示す。

2. G-Vectoring Controlの概要

山門らはこれまでの研究で、横運動に応じて前後運動を連係させるための基本的な制御指針として式(1)を提案した⁴⁾。これを、前後・横のGのベクトルを統合制御するという意味で「G-Vectoring Control」と呼ぶ。

$$G_{xc} = -\text{sgn}(G_y \cdot \dot{G}_y) \frac{C_{xy}}{1+T_s} |\dot{G}_y| \quad (1)$$

ここで、 G_{xc} は車両前後方向の加速度指令、 C_{xy} は制御ゲイン、 G_y は車両の横加速度を時間で1回微分した横加加速度、 T_s は時定数である。基本的に横加加速度 G_y にゲイン C_{xy} をかけた値を前後加速度目標として車両に指令するというシンプルな制御則である。

この制御の作動フローをFig. 2に示す。車両が旋回を開始するときには相対的に G_x を減らすことで前輪荷重を増やして旋回応答性を改善し、定常旋回以降は G_x を増やして後輪荷重を増やすことで旋回安定性を改善するコンセプトである。このとき、前後加速度を縦軸、横加速度を横軸にとり、車両に発生している加速度様態を示す“G-G”ダイアグラムに表すと、乗員にとって不快な加速度変動がない、滑らかな曲線状に遷移する特徴的な運動となる。

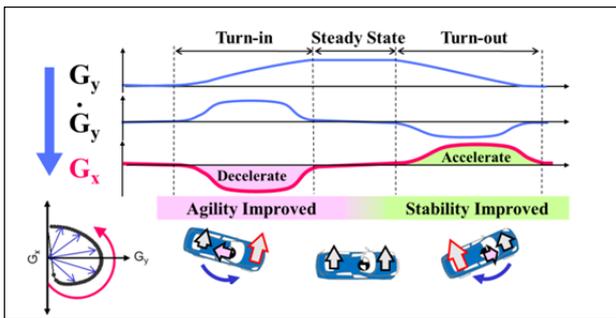


Fig. 2 Concept of G-Vectoring Control

著者らが市販車でGVC制御実装を検討する過程において、ゲイン C_{xy} の在り方や、車両のコンプライアンス特性も考慮した適合の在り方を検討してきた結果、エンジンブレーキ以下の人が気づかない程度の細密な減速度制御を行った場合には、運転の安心感ともいべき質感レベルの性能改善効果が得られることがわかってきた。具体的な効果については後述するが、一般的な走行領域においても、ドライバーにとってより制御しやすい車両へと進化させることができる。そこで、減速度制御の細密さの目標を0.01G程度と設定し、これを一般市販車両にて実現可能なアクチュエータを検討した。

3. エンジン制御によるシステム構成

GVC制御コンセプトを一般に市販する量産車両へ採用し、広く市場へ普及させるためには、現在の車両の主流パートレインであるエンジン（内燃機関）をアクチュエータとして制御を実現するのが最適な方策である。しかしながら、これまでパートレインを一般走行領域の車両横運動の制御装置として用いた事例はほとんどない。

一般的に、パートレインの制御応答性は電動パワーステアリング等のシャシー制御システムよりも遅く、実際、従来のエンジンではGVCを実現するのに十分な減速度応答と細密さが得られなかった。そこで、圧縮比の見直し等によって大幅に効率を改善し、同時に応答性と制御精度を高めた新世代のガソリンエンジンであるSKYACTIV-G及びディーゼルエンジンのSKACTIV-D⁶⁾をアクチュエータとして用いることとした。

具体的には、目標加速度からそのときの車両状態を考慮して効率的に燃焼状態を決定する駆動力制御⁶⁾の特徴を生かして、Powertrain Control Module (PCM) 内にGVCの制御ロジックを配置し、GVCの目標減速度と駆動力制御の目標加速度を調停して最終的なエンジントルクを決定する統合制御システムを開発した。制御指令 G_x を決定するための横運動状態 G_y は、ドライバーのインプット情報である操舵角と車両速度等の情報から推定される。システムの概念図をFig. 3に示す。

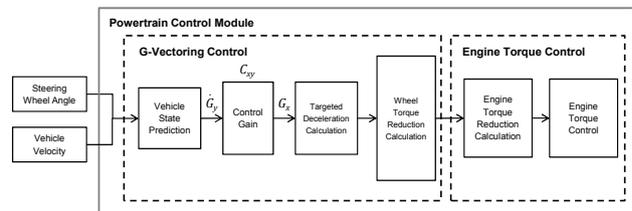


Fig. 3 GVC System Configuration

4. GVCによる車両運動性能の改善効果

4.1 実験車両

上記の量産型GVCによる車両のダイナミクス性能改善効果を、実車実験の結果から明らかにする。実験車両の諸元をTable 1に示す。車両はSKYACTIV-Dを搭載したマツダアテンザ（欧州名Mazda6）のFF車で、これに量産型GVCを実装して実験を行った（Fig. 4）。

Table 1 Test Vehicle Specifications

| | | |
|--------|------|----|
| Length | 4805 | mm |
| Width | 1840 | mm |
| Height | 1480 | mm |
| Weight | 1520 | kg |



Fig. 4 Test Vehicle

4.2 車両運動性能の改善効果

直進から旋回に至る走行を想定し、車速40km/hにて、Fig. 5に示す操舵角を自動操舵装置で与えた。

操舵入力により発生する横加加速度とGVC作動フラグの時間変化をFig. 6に示す。GVCは制御コンセプトどおりに、横加加速度の発生とほぼ同期して作動している。

この時の前内輪にかかる駆動力（タイヤ前後力）の変化をFig. 7に示す。GVC制御フラグの立ち上がりに遅れることなく、設計意図どおりに駆動力が変化している。

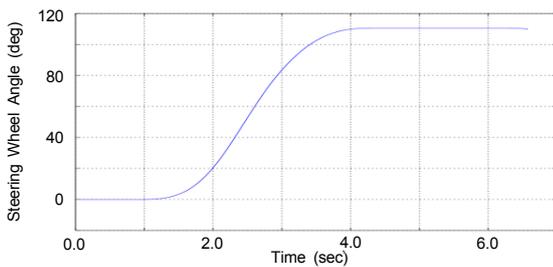


Fig. 5 Steering Input by Steer Robot

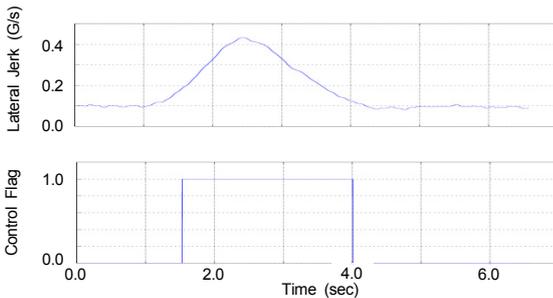


Fig. 6 Lateral Jerk and GVC Control Flag

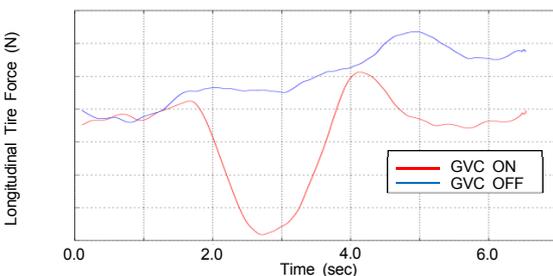


Fig. 7 Driving Force at Front Inner Wheel

制御による車両平面運動の改善効果として、G-GダイアグラムをFig. 8に示す。本システムは、旋回の初期から前後加速度と横加加速度をほぼ同期して遷移させ、ねらいどおり前後と横のGのつながりをスムーズにしている。

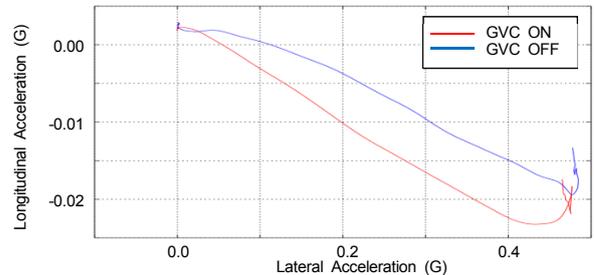


Fig. 8 G-G Diagram with/without GVC

次に、旋回中の車体姿勢改善効果として、ロールとピッチの関係がねらいどおりに制御できていることを確認する（Fig. 9）。この車両では、制御なしではロール時に過渡的にノーズがやや上がる傾向があるが、本システムはノーズダイブを伴うロール運動を実現している。

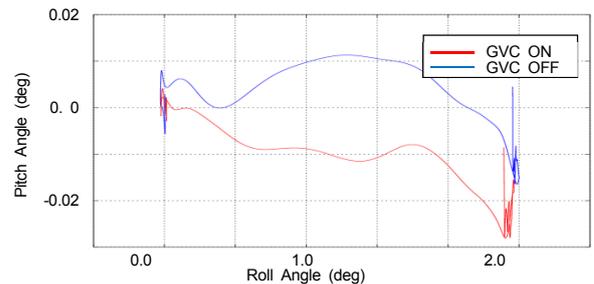


Fig. 9 Roll Angle and Pitch Angle with/without GVC

また、横加加速度0.25G時点での4輪のサスペンションストローク量をFig. 10に示す。旋回内外輪の伸長・圧縮に加え、前後輪のストロークの比較から、本システムが車両姿勢を前傾姿勢に保っていることが見て取れる。結果、ロールとピッチが同期したダイアゴナルロールが実現できている。

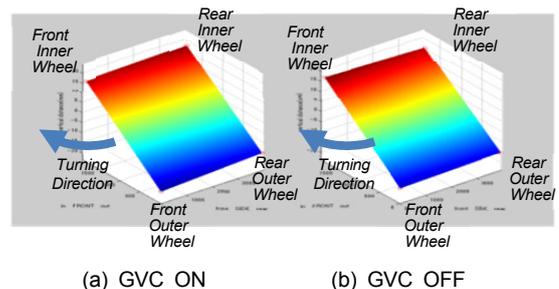


Fig. 10 Comparison of Suspension Stroke Mode

5. ドライバ運転操作の改善効果

上述のGVCによる車両運動の改善によって、実際のドライバ運転操作にどのような影響があるのかを評価した。評価方法は、同一車両でのGVC有・無の比較とし、一般道における日常のさまざまな運転シーンを想定したコースにて、制御仕様を切り替えて実験を行った (Table 2)。

Table 2 Test condition

| Test case | Test Scene | Speed |
|-----------|---------------|--------|
| 1 | Single corner | 40km/h |
| 2 | Winding | 60km/h |
| 3 | Lane Change | 60km/h |
| 4 | Straight | 80km/h |

5.1 単一コーナーでの評価

Fig. 11に示すように、コーンによって通路を規制した単一コーナーを40km/h一定速で走行した。GVCによるドライバの操舵行動の変化を、操舵角と操舵速度の時刻変化を用いてFig. 12に示す。操舵角の変移と操舵速度のピークが減少していることから、GVCによってドライバの運転操作がゆっくりと穏やかになっている。

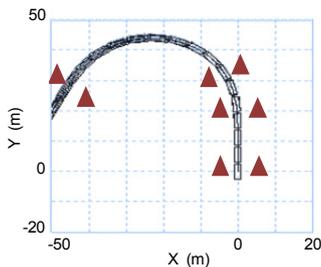


Fig. 11 Single Cornering Evaluation Course

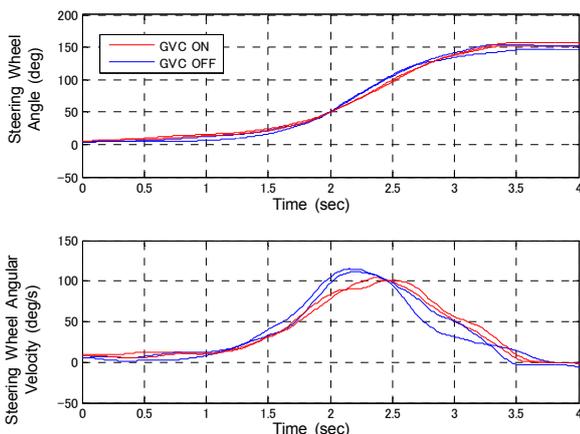


Fig. 12 Single Cornering (Steer-in) Driving Result

5.2 ワインディング走行での評価

次に、60km/hの一定速走行で、右200R, 右100R, 左100Rの連続したコーナーを経由するワインディング路で

の評価を行った。GVC有・無での操舵角と操舵速度の時刻変化をFig. 13に示す。GVC有・無のそれぞれで2周分の走行データを用いた。GVC有では、ドライバの細かい修正操舵が大幅に減少し、Fig. 12の結果と同様に、安定した操舵行動となっていることがわかる。また、同じデータに対してステアリングエントロピ (SE) 法[®]でドライバの修正操舵負担を分析した結果をFig. 14に示す。GVC無に比べて有のSEは半分程度まで小さくなっており、ドライバの負担が大幅に減少している。

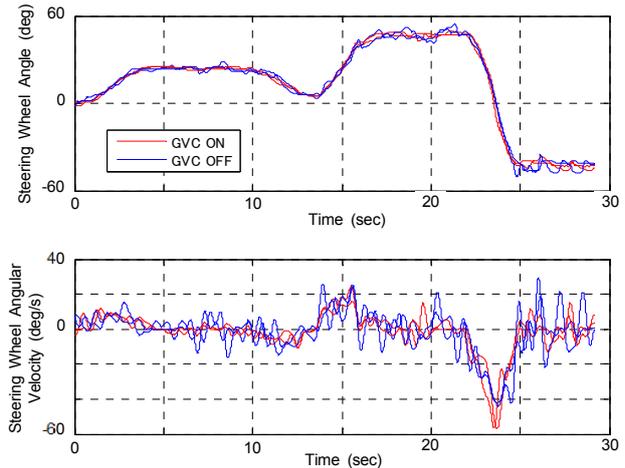


Fig. 13 Winding Course Driving Result

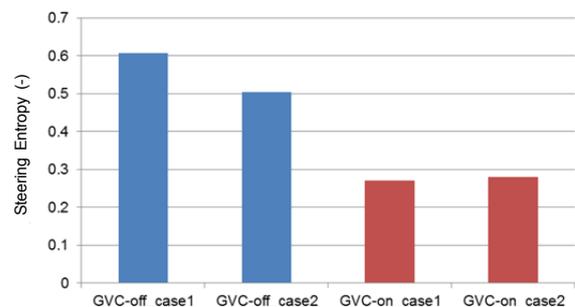


Fig. 14 Driver's Steering Workload (Steering Entropy Analysis)

5.3 レーンチェンジ走行での評価

Fig.15に示すコースを設定し、2車線道路における一般的なレーンチェンジを想定した評価を行った。車速は60 km/hの一定走行とした。

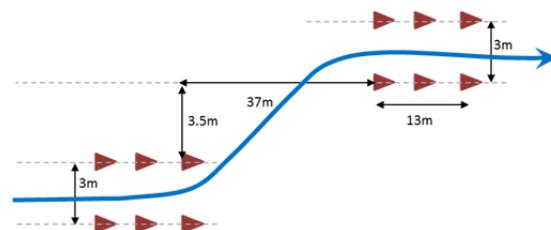


Fig. 15 Lane Change Evaluation Course

GVC有・無での操舵角，ヨーレート，横加速度の時刻変化をFig. 16に示す。ここでも，GVCによってドライバの操舵行動が安定かつ効率的に変化している。GVC無の場合には，第1操舵の切り戻しが遅れ，第2操舵に向けて急な操作となった結果，レーン移行後のヨーレート，横加速度がともに大きくオーバーシュートしている。これに対してGVC有では，ドライバによる操舵が漸進的でスムーズなものとなり，安定した操舵入力によって安定した車両挙動を導いている。ドライバ主観評価においても，特に第1操舵後半から第2操舵までの区間における切り戻し操作で大きな変化を感じており，安心して楽に運転できるというコメントを得ている。

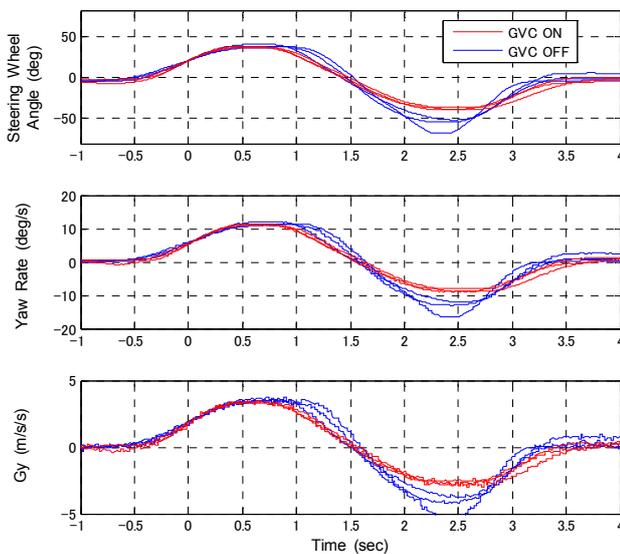


Fig. 16 Lane Change Result

5.4 高速直進走行での評価

直進走行評価は，高速道路での直進走行を模擬したものである。直進走行とはいえ，車両は路面のアンジュレーションやカント変化，あるいは風などの外乱入力を受けるため，ドライバは通常，微小な修正操舵を繰り返しながら走行することになる。そこで，Fig. 17に示すような幅4mの走行レーン内を車速80km/h一定で走行し，GV C有無でのドライバ操舵行動の変化を評価した。

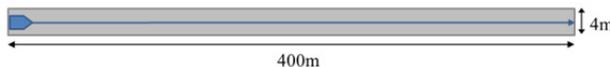


Fig. 17 Straight Evaluation Course

Fig. 18は，直進時のGVC有無での操舵角と操舵速度の時系列データの一例である。舵角ゼロ付近の微小舵角領域において，ドライバ操舵の変動幅が約半分減少している。つまり，路面外乱に起因する微小な車両挙動変化に対してドライバが行うわずかな修正操舵の領域においても，コーナーやレーンチェンジ同様のGVC効果が確認

できる。被験者からは，直進時の効果としてハンドルの据わりが良い，真っすぐ走る，リラックスして走れるといったコメントを得ており，修正操舵の減少そのものは意識していないことから，GVCはドライバが無意識下で感じているフィーリングの改善にも効果があるといえる。

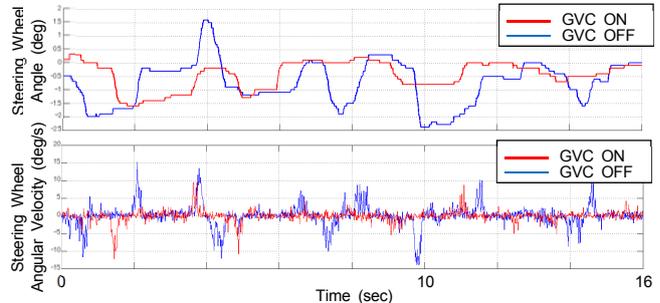


Fig. 18 Straight Driving Test Result

5.5 複数被験者での検証結果

前述したドライバ運転操作の改善効果について，その確からしさを検証するため，被験者を約70名に増やしてレーンチェンジ及び直進走行評価を実施した。

Fig. 19に，レーンチェンジにおけるドライバ操舵角の振幅（第一操舵と第二操舵のピーク間の操舵量）について，GVC無を1とした場合のGVC有の比率を示す。ほとんどの被験者が舵角の減少を示し，全体平均では7.1% (11.6deg) の減少が認められた。

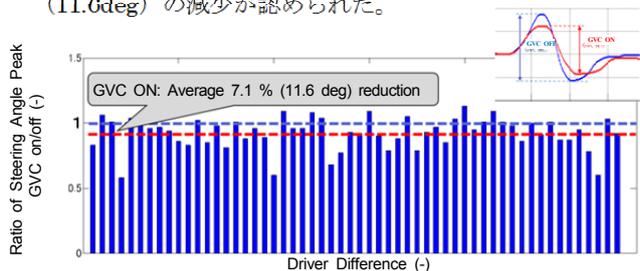


Fig. 19 Ratio of Steering Angle Operation Amount with/without GVC at Lane Change

Fig. 20には高速直進走行時のドライバ操舵角の標準偏差について，同様にGVC無に対するGVC有の比率を示す。操舵角の標準偏差によって直進中の修正操舵の大きさを表した。その結果，GVCによってドライバの修正操舵が全体平均で14.6%低減している。

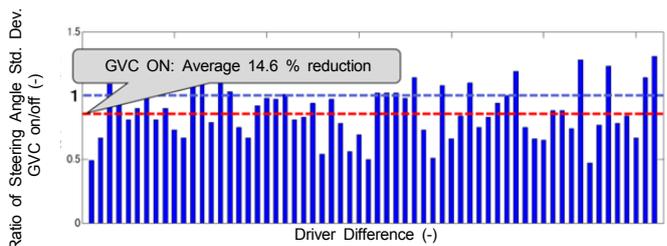


Fig. 20 Ratio of Steering Angle Standard Deviation with/without GVC at Straight Driving

以上の評価結果から、GVCはドライバー一般に対して運転操作を改善する効果があり、特に修正操舵の低減効果が高いといえる。

具体的には、GVCによって多くのドライバーが無駄な操舵をしなくなり、ゆっくりとした操舵で余裕を持った運転ができていたといえよう。また、運転中の無意識下の微小な修正操舵が少なくなることで、ドライバーの運転操作負担が低減し、結果としてダイナミクス性能のフィードバック向上につながったと考える。

6. ドライバの官能評価結果

さまざまな国籍・スキルを持つ100名以上のドライバーで、欧州の高速道路を含む一般公道にてGVC有無の比較評価を行った。効果の感じ方に差こそあれ、GVCに対するネガティブな評価は一切なく、全員がGVC有をより高く評価した。一般的に、車両運動制御による効果は「硬い・柔らかい」や「俊敏・穏やか」といったバランスの問題として扱われることが多いため、人によって好みが変わるといわれる。しかしながら、今回のGVCでは嗜好性による評価の差は全くなく、ダイナミクス性能の質感向上に関する指摘が主であった。代表的コメントを以下に示す。

- 1) 車の動きに安定感がある
- 2) 車の動きが滑らかで乗り心地が良い
- 3) 運転が楽になる
- 4) 運転が上手くなったように感じる
- 5) 安心速度が高い
- 6) 一切の制御介入感がなく自然

これらは全て主観的な評価であるが、一方、これまでに明らかにした「ドライバーの修正操舵が明確に減少する」という事実と整合しており、意識的であれ無意識であれ、ドライバー自身もそれを感じ取っているといえる。

7. まとめ

・高応答なSKYACTIV-G、SKYACTIV-Dエンジンを用いた世界初の量産型 G-Vectoring Control (GVC) を実用化した。

・GVCによる車両運動性能の改善効果として、操舵に応じて駆動力制御によるわずかな減速度を付加することで、一般走行領域での滑らかなGのつながりと車両のダイアゴナル旋回姿勢を実現した。

・GVCによるドライバー運転操作の改善効果として、さまざまな走行条件下において、無駄な操舵をせず、ゆっくりとした余裕のある運転操作ができるようになる。

今後も、人にとってより制御しやすい車両のあり方に関する研究を推進し、運転の楽しさや安心感など、ダイナミクス性能のさらなる質感向上に取り組んでいく。

参考文献

- (1) 梅津大輔ほか：新型プレマシーダイナミックフィールの統一感、マツダ技報No.28, p.13-18, 2010
- (2) 村田親ほか：SKYACTIV-シャシーのダイナミクス性能、マツダ技報No.30, p.32-36, 2012
- (3) 山門誠，安部正人：加加速度情報を用いたドライバー制御特性の新しい解釈方法，自動車技術会論文集，Vol.38, No.4, p.29-34, 2007
- (4) 山門誠，安部正人：横運動に係りして加減速を制御する車両の運動特性に関する検討，自動車技術会学術講演会前刷集，No.8-08, p.9-14, 2008
- (5) 石野勲雄ほか：新世代技術「SKYACTIV パワートレイン」，マツダ技報，No.29, p.29-35, 2011
- (6) 杉山貴則ほか：SKYACTIV-Dの電子制御システム，マツダ技報，No.30, p.14-18, 2012
- (7) 梅津大輔ほか：高応答エンジンを採用した量産型G-Vectoring制御車両の開発，自動車技術会春季学術講演会前刷集，No.54-16, p.1310-1314, 2016
- (8) 中山沖彦，二見徹，中村友一，El-win R. Boer：運転者負担定量化手法「ステアリングエントロピー法」の開発，自動車技術会学術講演会前刷集，No.45-99, p.5-8, 1999

■ 著 者 ■



梅津 大輔



砂原 修



高原 康典



小川 大策



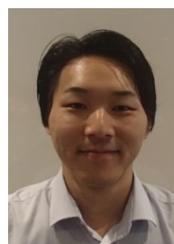
大久 千華子



菅 俊也



氏原 健幸



椎葉 裕明



加藤 史律

論文・解説

19

CX-4の紹介

Introduction of CX-4

岡野 直樹*¹
Naoki Okano住田 和哉*²
Kazuya Sumida三宮 正義*³
Masayoshi Sannomiya

要約

CX-4は、マツダが初めて世界に先がけて中国で発表する新しいカーラインナップである。同時に、現代中国を深く思考することで既成概念を越え、世界の自動車市場に新たなSUVセグメントを創造しようというマツダの挑戦を体現するクルマでもある。マツダがこのような挑戦に思い至った原動力は、何より、長い歴史を有しながらも大胆に変化していこうとする中国の人々の力強い姿にあった。

マツダは、このような中国の先進的価値観を持つ若者達に向けて、CX-4のコンセプトを創りあげ、開発を進めていった。本稿では、CX-4のターゲットカスタマー設定とコンセプト創造から、企画、開発、生産までの全体活動を紹介する。

Summary

CX-4 is an all-new model that Mazda releases in the Chinese market first in the world. This vehicle embodies our challenges of creating a new SUV segment in the global automobile market, exceeding the stereotype SUV category based on our close examinations of the contemporary Chinese market. The energy and dynamism of Chinese people who have a long history and now trying to adventurously change their lifestyle motivated our challenges.

For those young Chinese people with advanced values, we created the concept of the CX-4 and developed it following the concept. This report briefly describes the overall activities from target customer setup, concept creation, product planning and development to production.

1. はじめに

言うまでもなく、中国市場は世界で一番競合がひしめき、お客様の選択肢はどの市場よりも広い。その中で存在感を出しながら競合を凌駕するためには中国のお客様を徹底的に分析し、ターゲットカスタマーにフォーカスした「新価値の創出」への挑戦が必要であった。しかし、スモールプレイヤーであるマツダが、一から中国専用車を作ることは、大規模な投資がかかるため非常に困難であった。

そこで、マツダは新世代商品群の技術やコンポーネントを最大限使いながら、比較的小規模できるトップハット領域のデザインやパッケージで、魅力品質を造り込むことに注力した。

私たちは「One Mazda」でこの困難に挑戦することが

CX-4成功の鍵であると考え、中国現地のスタッフと一緒に中国でたくさんのお客様に出会い、その思いを企画に織り込む活動を行った。また、新世代技術「SKYACTIV TECHNOLOGY」と「魂動(こどう)デザイン」を中国の環境に更に合致するよう磨き上げるため、現地の運転環境や道路環境を私たち自身で体感し理解を深めた。

このように企画、開発、そしてマツダや中国の関連企業の様々な部門のメンバーの挑戦が、CX-4の新しい価値を生んだ過程を紹介する。

2. ターゲットカスタマーと開発コンセプト

2.1 ターゲットカスタマー

CX-4の開発に際してマツダが目にしたのは、中国の先

*1, 2 商品本部
Product Div.

*3 商品企画部
Product Planning Dept.

進的価値観を持つ若者達であった。中国の現代社会は、物や情報が飽和状態に近づきつつある。彼らはその便利さを謳歌しながらも、“真の豊かさ”は物質だけでは満たされないのでは？と疑念を覚え始めている。激動する社会に生きる彼らは、いち早く自分自身の理想を見極めようともがき、各々で異なった“真の豊かさ”の形を模索しており、マツダはこの前向きな姿勢に大きく動かされた。CX-4は、これからの中国社会を切り開こうとする高い志を持ち、時代をリードしようとする人々の頼れる相棒としてユーザーに寄り添い、クルマならではの価値によって彼らの“真の豊かさ”の探求をサポートする。これこそ、ターゲットカスタマーに伝えたいマツダの思いである。

2.2 開発コンセプト

CX-4の開発コンセプトは「Exploring-Coupe (エクスプローリング・クーペ)」とした。Exploringは「未知への冒険心」を、Coupeは「独立性、個性」を象徴している。この二つを具現化する要素として、SUVの走破性、スポーツカーの軽快な走り、そして乗用車の使い勝手を持ちながらも際立った存在感でユーザーや周囲の感情を常に鼓舞するクルマ。マツダが求めたのは、物質的な物差しから脱した現代の合理性を形にすることであった。

その開発で徹底したのは、すべての要素をゼロベースで見直し、物の価値の「本質を見極める」こと。例えば、CX-4は一般的なSUVが持つ広々とした頭上空間や、大きなボリューム感がもたらす他者への威厳を持ち合わせることを価値としていない。その代わりに、クーペのように流麗なデザインが冒険心を刺激し、より低い重心高とパーソナルな空間が、人とクルマの一体感を高めることを重要視した。つまりマツダは、人とクルマの感情的なつながりこそが彼らの求める本質的価値と考えた。

そしてもう一つ、マツダがこだわったのは常用される領域を「徹底的に造り込む」こと。クルマの評価は往々にして、最大馬力や最大荷室容量というカタログ上の数値に支配されがちであるが、マツダはあえて数値では表現しにくい特性の造り込みに注力した。アクセルをわずかに踏み増した時、あるいは愛用のスーツケースを荷室に積み込もうとした時、このクルマはどのように使い手の意思に応えるのか。マツダは普段使いの性能、機能こそが、重要な価値と考えた。こうした「見極めた本質」を「造り込む」ことの積み重ねが、“真の豊かさ”を作り出すと信じ、その最も完成された形のひとつとしてマツダが提示するのがCX-4である。

ターゲットカスタマーの価値観を踏まえ、CX-4が提供すべき最も重要な価値は「お客様の行動力を最大化し、新しいライフスタイルの経験値拡充を促すこと」であると考えた。

そして、コンセプトの実現に向けて3つのキーワードを設定し、開発活動を開始した。

(1) 際立つ存在感

- ① 感情を揺さぶる先進的プロポーション
- ② 機能で裏付けされたスタイリッシュなインテリア

(2) アクティブなライフスタイルをサポートする機能

- ① 乗りたくなる積みたくなる考え抜かれたパッケージ
- ② 道を選ばないラフロード走行性と安心サポート機能

(3) Sustainable Zoom-Zoom

- ① 爽快なダイナミック性能と走り・燃費の両立
- ② どこにでも行ける期待感を醸成する基盤技術

3. 商品特徴

3.1 際立つ存在感

クルマとの感情的なつながりを築き、心をときめかせる魂動デザインはマツダならではの独自の価値として緊張感を持った造形美を実現し、世界的に高い評価をいただいた。CX-4は魂動デザインの集大成として「SUVの機能性」と「Coupeの精悍さ」を併せ持つ新たなカテゴリーに執念を持って挑戦した。

(1) 感情を揺さぶる先進的プロポーション

生命感あふれる造形と艶やかさを特徴とする「魂動デザイン」は生き物が持つ動きの美しさを象徴している。CX-4はその進化の方向として、ため込んだ力を一気に放出する強靱な動きの表現強化を目指し「際立つ“トラクション・フォルム”」をデザインテーマとした。その表現として特に注力したのはキャビン高とタイヤ径の関係である。この比率をエキゾチックなクーペと同等とすることで、独自の世界観と新規性を訴求するプロポーションが実現した(Fig.1)。



Fig. 1 Exterior Design

また、後方から見た佇まいにおいてもウエストラインの絞り込みや、キャビンからリヤピラーへの流麗な面構成もクーペを彷彿とさせる造形とした。しかし、クーペルッキングであっても乗員空間や荷室機能を確保しながら、SUV並みの地上高と走破性を備えている。更にアクティブなSUV表現としてクラディングやルーフレール

を設定し、街中でも郊外でもCX-4の姿を見かけると思わず振り返り、見入ってしまうようなデザインを目指した(Fig.2)。



Fig. 2 Exterior Design

(2) 機能に裏付けされたスタイリッシュなインテリア

アクセラに代表されるように、マツダ車のインテリアは機能的ですべての乗員に心地良さとドライブの楽しさを提供してきた。CX-4はそれに加えて生活に活力を与えるインテリアを目指し、「先進性と豊かさの表現」をデザインテーマとした。従来は機能部品の性能を最大に引き出すことに注力して造形していたが、CX-4では更に個々の部品を連携的に捉えることで段差や隙間の最小化に注力した。また、インパネの加飾やシートは見た目の立体感や、手触り肌触りの上質感を醸し出すため、本アルミを用いたインパネ加飾パネルや、シート地の裁縫など材質や製法にまでこだわってデザインを行った。

寛ぎに包まれた室内は緊張を静め、穏やかな気持ちで人とクルマが向かい合い一体感が醸成される。そして走り出すことで活力が漲るデザイン表現とした(Fig.3)。



Fig. 3 Interior Design

3.2 アクティブなライフスタイルをサポートする機能

(1) 乗りたくなる積みたくなる考え抜かれたパッケージ

お客様の強い探究心を軽やかな行動に導くため、「日常の扱いやすさ」と「運転の楽しさ」が実感できるパッケージを目指した。前席は、セダン同様のドライビングポジションとSUV同様のロードクリアランスの組み合わせにより、良好な見晴らし視界と筋負担が少ない乗降性を確保した。

後席は、シートバックの後傾角度の最適化で自然な乗車姿勢を実現し、リアコンソールの形状工夫でサイドスルースペースを拡大。またリアベンチレーションを設定することで居心地のよい空間を実現した。

小物収納性については、中国市場で車内への持ち込み頻度が高い収納物を調査し、前後ドアトリムのポケット、カップホルダーやコンソールの収納スペース拡大を図った。

荷室は短いリアオーバーハングの外観からの予想を超える荷室長を確保し、荷室床下にも収納スペースを設けることで、多用途に使える荷室空間を実現した。

(2) 道を選ばないラフロード走行性と安心サポート機能

CX-4は低車高プロポーションながら余裕の地上高を確保しており、いつでも快適で安心な走行を可能としている。また、2.5Lエンジン搭載車はi-ACTIV AWDシステムを搭載しており、前後輪トルク配分の自動制御により季節や天候に左右されず、市街地でも郊外のワインディングやラフロードでも、道を選ばない思いのままの走りを実現している(Fig.4)。



Fig. 4 i-ACTIV AWD

また、ドライバーの快適な運転をサポートするため、全グレードにオートホールド付きElectric Parking Brake(EPB)を、上級グレードにAdvanced Blind Spot Monitoring(A-BSM)、Smart City Brake System(SCBS)などの先進安全装備を採用している。

3.3 Sustainable Zoom-Zoom

(1) 爽快なダイナミック性能と走り・燃費の両立
＜パワートレイン＞

CX-4のエンジンは、上質な走りと優れた燃費性能を実

現し、世界的に評価の高いSKYACTIV-Gと称する2.0Lと2.5Lのガソリンエンジンを搭載している。

開発メンバーは実際に中国環境でクルマの使われ方や走行シーンを調査した結果から、他の市場に対してアクセルを踏み込んだ瞬間の車両の応答性の良さに注力し、エンジンとトランスミッションを中国の環境に合わせるように設計し直した。そして試作車で実際に中国での試験走行を行い、更に最適なチューニングを行った。

エンジン音についても、加速に応じた力強いサウンドが体感できるように、エンジンマウントや排気系に中国独自のチューニングを施した。

また、2.5L Highグレード車にはi-ELOOPを装備し、良好な走行性能と実用燃費の両立を図った。

<操縦性・乗り心地・ブレーキ性能>

マツダは、クルマを意のままに操り走る喜びを「人馬一体」感として訴求している。CX-4もこの考えの基、中国の運転環境を調査する中で、低～中速の軽快でキビキビとした車両応答と、高速での直進安定性、それぞれの特徴の最適化を目指した。そしてこれらの実現のため、フロントサスペンションのロアーアーム取り付け位置をCX-4専用に設計し直した。

乗り心地については、後席の快適性に重点を置き、サスペンションストロークの確保とダンパーシール材のチューニングを施し、フラットで角感のない乗り心地を実現した。ブレーキは渋滞時から高速走行までの多岐にわたるシーンで、踏み始め初期からの程よい効きと剛性感のあるブレーキフィールを実現した。

(2) どこにでも行ける期待感を醸成する基盤技術

<空力性能>

燃費や航続距離が、ユーザーの行動制約にならないようにするため、クラストップレベルの燃費性能を目指し、空力性能改善に注力した。

通常はフルスケールの空力モデルを製作し実車風洞で空力開発を行うが、CX-4は開発初期からCAEによる流体シミュレーションを活用し、モデル製作なしで理想的な後流渦制御を目指した。シミュレーションのデータはデザイン部門と実研部門で共有化し、お互いの要求を即時に確認しあうことで造形と性能の妥協のない両立を実現した。

<安全性能>

安全を最大限に確保し、事故のリスクを最小限に抑制するマツダの安全思想「MAZDA PROACTIV SAFETY」に基づいて車体構造の開発、装備の設定を行った。

乗員を守るためには客室の変形を抑制する必要がある、衝突時の衝撃をいかに分散し、集中的に吸収するかが重要となる。この対応として前後の衝突は、車両の前後のフレームをストレートにし、キャビンとの結合部は各部

材に衝撃を分散させる構造とした。また、アッパーとアンダーのボデーを連続的につなぐ環状構造とすることで、側面衝突時の客室変形を抑えている。そして、車両の前後端のクラッシュブルスペースに十字形状のバンパー部材を設け、効率的に衝突エネルギーを吸収する構造としている。また、ボデーの強度アップの要となる部位に高張力鋼板を採用し軽量化との両立を実現した。

Human Machine Interface(HMI)領域については、コマンダーコントロール、アクティブ・ドライビング・ディスプレイなどを採用し、視線移動と姿勢変化を最小限に抑え、運転に集中できるコックピット環境とした。

また、白色光で前方を照射し夜間走行時の高い視認性を確保するLEDヘッドランプや、カメラ、レーザー、レーダーで車両の前後をセンシングし運転支援、衝突回避し安全に配慮しながら運転者の負担を軽減するデバイスを装備した。

<静粛性>

前席、後席乗員の会話が弾む静粛性を目指してロードノイズ、風騒音、こもり音の低減を行った。音源を抑えるため、エンジンの吸排気音、タイヤ音や風騒音、そして街中の喧騒まで入音経路の徹底分析を行い、遮音ガラスの採用やドアのシール性向上などの効果的な遮音を施した。

静寂な空間は、乗車した瞬間から乗員全員を安らぎに包み込み、明日への活力を湧き立たせる。

4. おわりに

このクルマの企画開発の4年間を通じ、マツダの中国に対する認識は大きく変わった。その最たる驚きは、人々の「豊かさへの強い欲求」と「変わることへの大胆さ」であった。こうした姿に後押しされ、マツダ自身も学ばせてもらい、CX-4に先進的コンセプトを与えることができたと自負している。

CX-4は2016年6月から、いよいよ中国市場での販売を開始した。次は、マツダが新しい時代を切り開こうとする中国の人々をサポートしていく段階に入ったと言える。CX-4はマツダからの彼らへの期待の象徴であり、具体的な応援方法そのものである。

■ 著 者 ■



岡野 直樹



住田 和哉



三宮 正義

論文・解説

20

CX-4のデザイン Design for CX-4

小泉 巖*¹
Iwao Koizumi

要 約

CX-4のデザインにおける挑戦は、比類のない独自の存在感を創造することであった。そして挑戦の末、ヒエラルキーやカテゴリーといった既存の枠組みを越えた新たな価値を創造し、新世代の魂動デザインラインナップの集大成に相応しい美しいデザインに帰結した。“究極のトラクションフォルム”をエクステリアのデザインテーマとし、突出したスポーティーで品格のあるプロポーション、安定感とスピード感のあるフォルム、しなやかで動きのある面、ソリッドで精緻なディテールに焦点を絞り、見る人に感動を与えるレベルに磨き上げた。インテリアは、顧客の生活に活力を与えることをテーマに、先進性と豊かさの表現を行った。快適に運転する楽しさを味わえるドライバーオリエンテッドなコックピットとインターフェイス、リラックスできる雰囲気のある室内空間、洗練された質感表現によってCX-4の独自の世界観を創造した。カラー&マテリアルは“赤を極める”をテーマに、赤の色域が持つ鮮やかさと深みによって活力と癒しを表現した。これらの独自視点からの創造的なアプローチにより、未来志向の若者を魅了するデザインが仕上がった。

Summary

Our challenge at the design of CX-4 is to create a completed unique presence. We created a new value which exceeds an accomplished framework as hierarchy and category, we realized beautiful design which can be fit a comprehensive compilation of the New Gen.'s "KODO" design line up. We set "Ultimate traction form" as the exterior design theme, and brush up the design factors to the level which impress those who to see as follows, the extreme sporty and elegant proportion, stable and speedy simple form, alluring and dynamic surface, solid and precise detail. Aiming to vitalize customer's life as interior design theme, we express the advance and rich feeling. We created CX-4's unique outlook of the world by below, driver oriented cockpit and interface which can deliver comfortable and fun to drive feel to the driver, interior space with relax atmosphere, sophisticated quality, "Ultimate red sensation" is the design theme for color and material. Based on this theme, we expressed vitality and relax by vividness and deepness of the color range of red. By this creative approach from unique view points, we could establish the design which charm young future oriented people.

1. はじめに

CX-4は初代Mazda6の中国における成功を再現すべく、全くの新規車種として企画された。初代Mazda6は中国において導入当初、当時の先進層、富裕層を虜にし、導入以来10数年を経たモデル末期でも多くの生産台数を維持していた。新規車種としてその成功を再現するためのミッション遂行には以下の4つの視点を持つことが求められた。1.マツダのブランド価値向上、2.マツダブランド

へのエントリー顧客の確保、3.最量販車種としてのビジネスと生産規模の確保、4.中国における中短期の収益性の確保である。その実現のための存在価値、つまりコンセプトが企画当初の最大の懸案であった。マツダは中国市場において将来獲得したい顧客層の価値観、競合環境、初代Mazda6の成功要因分析等の調査や緻密な検討を重ね、α案(クロスオーバーSUV)・β案(スポーティーセダン)の2つのコンセプトにたどり着いた。市場の主流がセダンであった当時、β案を選択するほうが安全にも

*1 デザイン本部
Design Div.

思えたが、マツダはより挑戦的なα案という冒険の道を選んだ。

2. 商品コンセプト

2.1 エクスプローリング・クーペ

市場調査の中で、中国の未来を牽引する若いリーダー層のマインドを調べたところ、先進諸国の豊かな社会に安住する若者との違いが見えてきた。彼等は決して現状に満足しておらず、自分たちの手で好ましい未来を作るという高い志を持ち、自らの作ろうとしている未来像は現状とは明確に異なったイメージでなければならないと認識していることが分かった。

マツダはそうした中国の若者の人生をサポートするため、彼らの冒険を支え、ともに生きていくにふさわしい名前を付けた。それが商品コンセプト“エクスプローリング・クーペ”である。その名に込められた志とは、既存の枠組みを越えた新たなカテゴリーを創出することによって、これまでにないその生き方が後の社会におけるカッコイイ生き方となり、多くの支持を集めるようになることへの挑戦を意味している。



Fig. 1 Concept Image “Exploring Coupe”

2.2 最も美しいSUVという存在価値

新しい価値の創造を通して既存の枠組みを越え、最終的には既存の枠組みの姿を変革していくのが市場をリードするというこの本質的な意味である。CX-4の場合、拡大するSUV市場において、しかも最も競合車の多く存在するCカーサイズの中で際立つことが求められていた。



Fig. 2 China Mazda Line Up

マツダのブランド価値を高め、市場における存在感を増すには、物理的、機能的な価値以外の、ライフスタイルを一新させるような新しい価値提案が必要であった。

マツダが着目したのは流行の兆しのあったSUVの、更に先にある新しい価値である。つまり、最新のSUVを乗りこなすというライフスタイルが一般となった時にSUVユーザーが憧れを抱くライフスタイル像を既存のSUVという概念の外に描き出し、それまで既存のSUVという枠組みの中で漫然とその枠組みを受け入れてきた人々にも刺激を与え、結果的にSUVという概念そのものを進化拡大させるようなインパクトを持たせることであった。マツダがそのインパクトの核としたのが美しさである。SUVの価値はいうまでもなくユーティリティと走破性を兼ね備えた自由で豊かなライフスタイル表現であるが、流麗な美しさは望めない。そこでマツダは既存のSUVにはない流麗な美しさを持つSUVを考え、既存のSUVの概念を越えた存在という意味の“越 (KOERU)”と名付け、2015年のフランクフルトモーターショーに出品した。“越 (KOERU)”が多くの賞賛を得ることで、CX-4の最も美しいSUVという存在価値は証明された。また、CX-4は新世代商品群の集大成ともいえるモデルである。新ジャンルの構築という新たな挑戦の要素を加え、魂動デザインの進化に華を添えた。



Fig. 3 “KOERU”

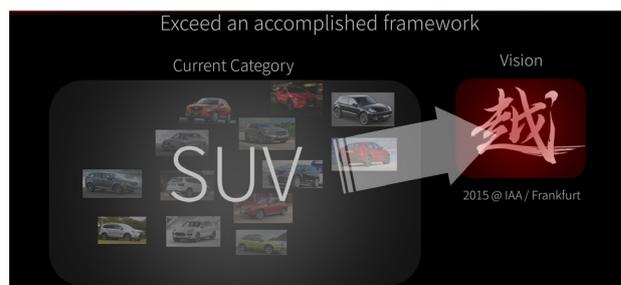


Fig. 4 Exceed an Accomplished Frame Work



Fig. 5 Evolution of SUV Category

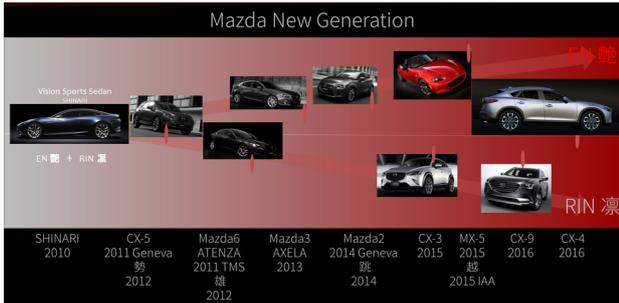


Fig. 6 Completion of New Mazda Generation Line Up

3. エクステリアデザイン

3.1 デザインテーマ

CX-4エクステリアデザインのデザインテーマは、“究極のトラクションフォルム”である。漲る力を4つのタイヤに伝え、その力が車を加速させてゆく様子をパワーの伝わる力感と加速するスピード感によって表現することを示唆している。そして以下に紹介する4つの視点からこのテーマの具現化に取り組んだ。“エクストリーム・プロポーション” “ストロング&シンプルフォルム” “ダイナミックサーフェイスストラクチャー” “ソリッド&プリサイスディテール”である。



Fig.7 Ultimate Traction Form

3.2 エクストリーム・プロポーション

最も多くの強豪がひしめくこのサイズの中でMazda6がなぜ成功出来たのか。私たちは初代Mazda6の成功要因を多方面から分析し、際立つ存在感をもつに至った理由を検証した。そしてMazda6だけがもつプロポーションを特定するに至った。通常の機能的なアプローチを離れ、本能的な魅力につながるプロポーション上の特徴を

探す中で見つけたのはキャビンとタイヤサイズの比が当時の競合車の群を抜いていたということであった。更に時代を追うごとにこの傾向は顕著になり、トレンドといえるものだった。このトレンドを睨み、経年変化のスピードを考慮して、CX-4が導入される時点においても十分なアドバンテージがある比率を与えた。マツダの新世代商品群がコモンアーキテクチャー構想によって一貫した設計思想を持っていることもその実現に一役買った。つまり、Mazda3とCX-5とMazda6で実績のある設計をうまく編集することで、新世代商品群の中で最もスポーティーで品格の高い、先進的な骨格を創り上げることができた。



Fig. 8 Extreme Proportion

3.3 ストロング&シンプルフォルム

立体の秩序によってテーマのメッセージ性を伝え、塊の強さによって強い存在感を与えるのがフォルムである。CX-4のデザインにおける立体的な秩序と塊の強さはゆるぎない自信に満ちた安定感と、前に突き進む前進感をもたらす。4つのタイヤの近傍のテンション（面の張り／緊張感）は車両中心からタイヤに向けてのパワーの伝達を表現し、CX-4のボディーに適度な抑揚と流麗なボリュームの動きを持たせている。ボディーサイドの視覚的重心を物語るボーンの動きは、直線的ながらもしなやかな抑揚を持ち芯の通った充実した塊感を出しつつ、前方へ向かう力強い加速感を表現している。Aピラーをブラックアウトしたキャビン前半部は空気抵抗の少ないカプセル状の塊を形成、後半部分はティアドロップ型に絞り込まれ、クーペの流麗さとエレガンスを表現しリアフェンダーの抑揚を強調し力感を与えている。



Fig. 9 Strong & Simple Form

3.4 ダイナミックサーフェイスストラクチャー

空間効率を最大化しやすく造形要素の少ない所謂無駄のない箱型が世の多くの車の骨格の基礎となっている。デザインの名のもとにさまざまな造形表現をするものの、それらの表現が表面的な面の抑揚にとどまり、四角い箱の骨格の上にレリーフ状の抑揚が与えられていることが多い。しかし、人が心豊かに生きてゆくためには、効率の追求だけではなく、自由で生き生きとした感情が必要である。命あるものだけが持つ“生きる”という目的意識と、その意志が生きた表情を生み出す。魂動デザインのスローガン“車に命を吹き込む”というメッセージは、命あるものだけが持つ生き生きとした表情を与えることである。CX-4の艶やかで、色気さえ感じる表情は箱の概念を超越したダイナミックで自由な面の動きによって構成されている。更に、コーナー部分は、安定感と軽快な動きを同時に表現するため前後からは安定して見え、サイドからは軽快に見える、独自の新しい面構成とし、CX-4に独自の存在感と生命感を与えている。



Fig. 10 Dynamic Surface Structure



Fig. 11 Stability & Light over Hang

3.5 ソリッド&プリサイスディテール

CX-4が品格のある本物のマシンであることを象徴的に表現しているのが無垢の金属素材を削りだしたソリッドで精緻な金属パーツと、それに準じた金属の輝きを表現したディテールである。ホイールはアルミの切削とガンメタリックをコンビネーションしたスポーティーで洗練されいながらSUVとしての力強さを感じさせる、まさ

にクロスオーバーなデザインとした。そしてマツダとしては初となる密着型ルーフレールも本物のアルミニウム素材を露出させる金属の質感表現を行った。フロントグリルもホイール同様、ガンメタリックのペイント部は輝度の高いアルミニウムの地金の質感を表現している。また、フロントグリルからヘッドランプに伸びるマツダ車を象徴するシグネチャーウィングはソリッドで強く、3次元的な奥行き表現やヘッドライトの発光パターンと連動することによって独自性を高めるよう進化させた。これらのディテールの精緻な仕上げは加工精度や性能の良さといったマツダのクラフトマンシップの質の高さをものごとたり、CX-4のマシンとしての美しさを際立たせている。

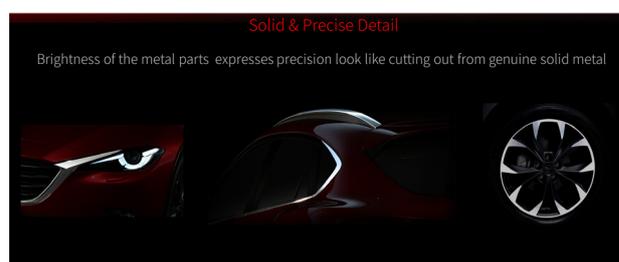


Fig. 12 Solid & Precise Detail



Fig. 13 Mazda Identifying Signature

4. インテリアデザイン

4.1 デザインテーマ

インテリアのデザインテーマは“バイタライジングインテリア”，顧客の生活に活力を与え、豊かな生活体験を提供することをねらい、先進性と豊かさを表現した。テーマの実現のために焦点を当てたのは、“スマートインターフェイス”と“リラックスアトモスフェア”，“ソフィスティケイテッドクオリティ”の3つの視点である。

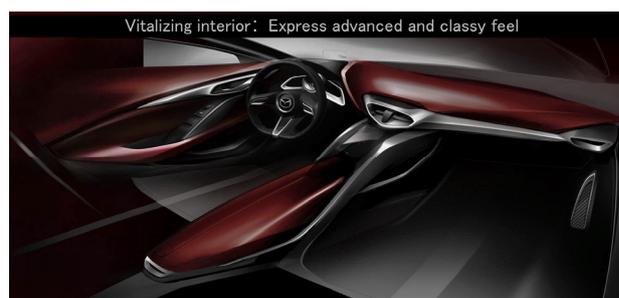


Fig. 14 Vitalizing Interior

4.2 スマートインターフェイス

コックピットはドライバーを中心としたドライバーオリエンテッドな空間とした。ドライバーはこのコックピットに身を置いた瞬間、運転に集中し運転を楽しむことをイメージする。同時に水平基調のインストルメントパネルは車両の姿勢角や車両感覚を把握しやすく、圧迫感のないシンプルな造形とした。Active Driving DisplayやCenter Displayといった先進的なデバイスによる視認系の情報表示と人間工学的に設計された操作器類は、ドライバーがストレスなく情報を捉え意志を伝えることのできる機能レイアウトとした。ドライバーズシートに代表されるシートデザインはしなやかな立体造形とホールド性を重視してデザインした。立体造形と配色を同調させることで乗員それぞれのパーソナル空間を演出した。シートセンター部は、オーセンティックな縦のソーイングパターンによるダブルプリーツとパーフォレーションをあしらい、蒸れにくい構造とした。これらの空間構成と機能レイアウト、シートのデザインにより、ドライバーは車との一体感を味わいながら快適に運転を楽しむことができる。

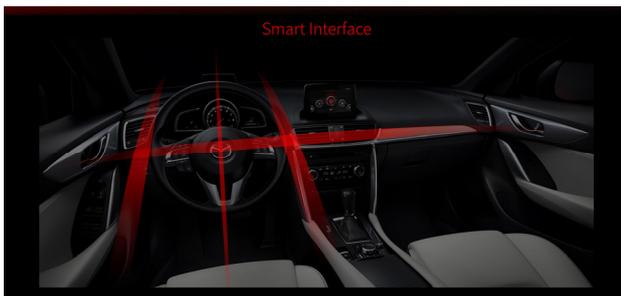


Fig.15 Smart Interface



Fig.16 Active Driving Display & Center Display



Fig.17 Driver's Seat

4.3 リラックスアトモスフェア

室内全体に目をやると、水平方向の広がりや前後方向の流れを感じ取ることができる。クルマの動きに呼応した空間の動きが乗員をさまざまなストレスから解放し、リラックスして移動を楽しめる空間とした。ドアトリムはインパネからの造形的なつながりを重視し、その空間の流れを引き継ぐような、動きのあるデザインとした。同時に、その流れを阻害せずに簡単な日用品の収納を考慮したドアポケット容量を確保した。ディープレッドの仕様はインパネとトリム上面、EPB（電動パーキングブレーキ）の採用によって段差の消えたセンターコンソールをテーマカラーでハイライトし、淀みない空間の流れを演出した。また、中国市場で特に重要といわれている後席の快適性は、シートバック角度を通常のSUVより寝かせ、後席用にベンチルーバーを装備、乗降性や左右の席移動のための足元スペースを確保する等して実現した。



Fig. 18 Relax Atmosphere



Fig. 19 Fluent Door Trim



Fig. 20 Rear Console & EPB



Fig. 21 Relax Seat Back Angle

4.4 ソフィスティケートドクオリティ

室内の質感は、革やファブリックの柔らかいテクスチャと金属質感のコントラストによって先進性と豊かさを表現した。その調和の水準の高さが洗練された雰囲気となって乗員を包み込むようコーディネートされている。ステアリングやシート等の手に触れる部分には厳選した革を配し、スムーズで快適な豊かさをメッセージしつつ、各種スイッチ、ノブ類やデザインの骨格の一部を占める構造物をサテンクロムで統一し、先進性をアピールしている。インストルメントパネルの加飾は、マツダ車としては初めてとなる本アルミを採用した。空目やヘアライン、ピアノブラック等の異素材とのコンビネーションとすることで新しいセンスを先取りし、ファッションナブルなニーズにもこたえている。



Fig.22-25 Sophisticated Quality

5. カラー&マテリアル

5.1 デザインテーマ

カラー&マテリアルのデザインテーマは“赤を極める”である。顧客の生活に活力と癒しを提供するというねらいに最もふさわしい色域として赤を選んだ。中国では伝統的に赤は縁起のいい色として珍重され、初代Mazda6も赤い“馬6”として人気を博し、新世代商品群のイメージカラーも赤であり、これ以外のテーマカラーを考える余地はなかった。鮮やかな赤は人の心に高揚感を与え、活力を呼び起こしてくれる。一方、深みのある濃い赤は人の心を落ち着かせ、癒しの感情を呼び起こしてくれる。ボディーカラーのソウルレッドは一色のペイントでありながら、そうした赤の両面を同時に表現し、CX-4のみならず、全てのマツダ車を他にはない際立つ存在にする。一方インテリアにおいては、先進性と豊かさを金属の質感とオーセンティックなディープレッドのコーディネートによって表現した。CX-4で積極的に取り入れた先進的な印象の本アルミの加飾パネルとサテンシルバーのスイッチ、ノブ、パネル類はマシンとしての美しさと緊張感を高め、ドライバーの活力と走る意思を呼び起こすとともに、コア・グレードに新たに設定した内装色のディープレッドは深い癒しをもたらす。



Fig. 26 Vitality & Relax

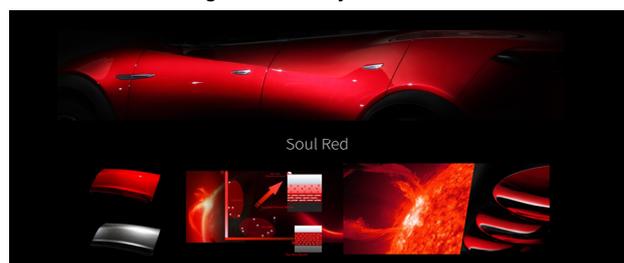


Fig. 27 EX: Soul Red Image



Fig. 28 IN: Deep Red Image

5.2 ボディーカラー・ラインナップ

テーマカラーである赤の色域からはソウルレッドを筆頭に、深みがあり初代Mazda6以来中国で根強い人気をもつラディアントエボニーを選択した。また、中国では若者の色とされる青の色域からはブルーリフレックス、最もファッションナブルな色として質感を重視したセラミックメタリックを選択した。モノトーンのラインナップでは、白、シルバー、黒の色域からそれぞれ、スノーフレイク、ソニックシルバー、ジェットブラックを取りそろえた。



Fig. 29 Body Color Line Up

5.3 インテリアカラー・ラインナップ

インテリアカラーはグレード展開と関連したラインナップで、それぞれのグレードに相応しいシートの素材と色、加飾パネルの質感を組み合わせた。HIGHはマツダブランドを象徴するピュアホワイトの本革シートと、杳目と本アルミのコンビネーション加飾を組み合わせ、どのボディーカラーを選んでも内外装の色彩や質感の調和がとれるコーディネーションとした。COREはテーマカラーである赤系のボディーカラーや最もファッションナブルなセラミックメタリック、スノーフレイクとの相性が抜群のディープレッドを本革シートのみならずインパネとドアトリム上面にも展開、加飾パネルはアルミのヘアラインとし、先進性とファッションナブルな豊かさを強調した。ENTRY+は女性を意識したグレードで、サンドの革とピアノブラックの加飾パネルを組み合わせ、外板色のブルーリフレックスとの相性をベストなものとした。ENTRYは最も若いユーザーを想定し、黒とグレーの織柄のファブリックのトラディショナルなスポーティシートとピアノブラックとアルミニウムの加飾をコーディネートし、モノトーンでまとめた。若者の好むモノトーンの外板色はもちろん、テーマカラーのソウルレッドを引き立てるベーシックでスポーティなコーディネー

ションとした。これらCX-4のインテリアコーディネーションはスポーティな中にも品格の高さを表現するため、全てのグレードの天井を黒で統一した。背景からノイズを消し去ることで、それぞれのコーディネーションの微妙な色調や、素材の質感が際立ち、それぞれのねらいがクリアなメッセージとして伝わってくる。



Fig. 30 Interior Color Line Up

6. おわりに

CX-4は2016年6月の市場導入以来、ターゲットユーザーである先進層の若者たちに受け入れられ、好調な販売を続けている。11月には名立たるプレミアムブランドのノミネート車を抑え中国のカーデザイン・オブ・ザ・イヤーを受賞し、世界で最も多くの車種が競合する中国市場で、その美しさが認められた。CX-4はまさにその美しいデザインによって際立つ存在となり、マツダのブランド価値向上と市場における存在感の強化という目的を達成しつつある。初代Mazda6の成功を再現するという使命を全うし、今後も多くの中国の方々に愛され、新しい中国の風景の一部となってくれることを切に望む。



中国カーデザイン・オブ・ザ・イヤー トロフィ

■ 著 者 ■



小泉 巖

論文・解説

21

ボディ部品間の隙・干渉チェック自動化システムの開発 Development of the System which Automated a Check of the Clearance and the Interference between the Body Parts

渡部 哲士*1 田中 雅之*2 烏山 義宣*3
Tetsuji Watanabe Masayuki Tanaka Yoshinori Karasuyama

徳野 礼子*4 川西 博実*5 谷口 恵莉*6
Reiko Tokuno Hiromi Kawanishi Eri Taniguchi

要約

マツダは、一括企画プロセスにより最適化したプラットフォームを開発し各車種へ展開している。車体構造の最適化では“多くの車種／車格”で性能評価を行うが、手戻りを防ぐため生産性などの要件を織り込んでおくことが必要になる。ただ、数百ある車体部品間の隙要件確認には膨大な時間を要するため、出図間際で車体形状変更が決まると CAD 出図の延期が常態化していた。そこで、マツダの基幹 CAD である NX では困難な隙要件測定の自動化を外部ツールとの連携で実現し期間を短縮した。

Summary

Mazda develops the platform which we optimized by a collective plan process and unfolds to each car model. We perform a performance evaluation in many car model / cars case by the optimization of the body work, but it is necessary to interweave requirements such as the productivity to prevent hand return. But the postponement of the figure of CAD release became normalization to need enormous time for the clearance requirements confirmation between the body parts which there was several hundred when a body shape change was fixed at a release brink. Therefore we realized automation of the difficult clearance requirements measurement by the cooperation with the outside tool in NX which was basic CAD of Mazda and shortened a period.

1. はじめに

“多くの車種／車格”で目標を達成させる最適構造の車体開発では、一つの車種の評価 NG による形状変更は“多くの車種／車格”で再評価が必要で最適化をやりきるために CAD データ作成は常に期間短縮が求められてきた。

一方、開発のデジタル化は拡大し、CAD データ上の部品間の干渉が CAE 評価の遅れに直結するなどデータ品質に対する要求は厳しくなっている。一括企画開発により期間短縮された量産車開発においても状況は同じである。

ボデーCADGr では、データ作成と要件の織り込み確認に NX のパラメトリック機能や自動化機能を活用して、効率化と期間短縮を実現してきた。しかし、出図間際で最も工数を費やしていた板金部品間の隙要件測定は技術的に自動化が難しく業務上のボトルネックとして残っていた。

そこで、隙測定を複雑化させるサーフェスモデルのソリ

ッド化技術を実用化し、何重もの処理で抽出する測定箇所のカスタマイズ性に優れた外部ツールを活用することで隙要件測定を自動化した。その結果を報告する。

2. IU-DPA とは

マツダでは、実車を造る前にコンピューター上で部品の 3D データを使い、実際の組み立て順序どおりに組み立てて、隙・干渉を検証する活動を DPA (Digital Pre Assembly) と呼ぶ。ボデー開発部では、車体開発の DPA の中で、車体を構成する部品間の隙・干渉を検証する活動を IU-DPA (In Unit -Digital Pre Assembly) と呼ぶ。

IU-DPA の IU とは、車体を 1 つのユニットと考え、その中をチェックするという意味で In Unit の頭文字から付けた名称である。

今回は、この IU-DPA の自動化についての報告である。

*1~4 ボデー開発部
Body Development Dept.

*5, 6 エンジニアリングシステム部
Engineering Systems Dept.

Fig. 1 に、IU-DPA の開発プロセスを示す。プロセスは 2 つある。1 つは、各自が担当する部品に対し、開発の各出図イベントに向けて形状作成の完了と同時に周辺部品との隙・干渉を検証する「造り込み IU-DPA プロセス」(以下 個別検証)である。もう 1 つは、出図イベント前後に隙・干渉を確認する期間を設けて車 1 台分を一齐に検証する「確認 IU-DPA プロセス」(以下 一括検証)である。

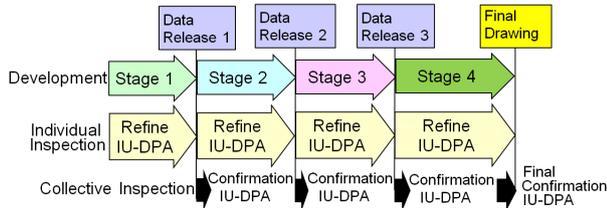


Fig. 1 IU-DPA Development Process

設計者は、個別検証及び一括検証において Fig. 2 に示すような部品間の整合を取り品質を保証して出図している。

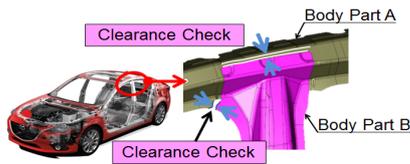


Fig. 2 IU-DPA Outline

3. IU-DPA の概要

3.1 検証内容

Fig. 3 は、車体の隙・干渉を検証する箇所を 1 つの断面に集約した絵である。検証内容は、A, B, C, D1~3, E, F の 8 項目ある。中でも青丸で囲んだ箇所は目視では探すことが難しかったり、見えにくかったりするため見逃す可能性の高い部位である。特に項目 E は、部品間の微小な三日月状の隙間のため探しにくく計測にも手間が掛かる。これらは Table 1 に示した内容を保証するために必要となる。

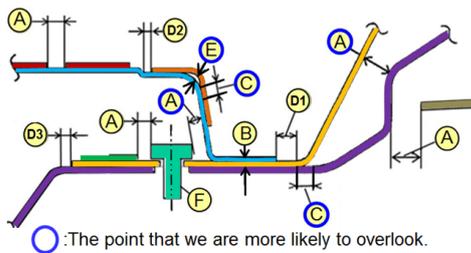


Fig. 3 IU-DPA Evaluation Contents

Table 1 は、Fig. 3 の項目 A~F の検証要件を定義した表である。2 つの視点から要件を定義している。1 つは部品

同士を組み付けた時に干渉や隙不足などの不具合を発生させないことで、項目 A~D1 と F で検証する。もう 1 つは防錆や防水に必要なシールを無駄なく効率的に塗布できる車体構造を保証することで、項目 D2, D3, E で検証する。

Table 1 IU-DPA Requirement Details

| Item | Requirement | Purpose | Confirmation Item |
|------|---|---------------|-------------------------------------|
| A | Securing of Necessary Clearance | Assembly | No Interference |
| B | Coincidence | Assembly | Spot Welding |
| C | Securing of Necessary Clearance | Assembly | Distance between R End and R End |
| D1 | Securing of Necessary Clearance | Assembly | Distance between Part End and R End |
| D2 | Securing of Necessary Clearance | Painting Seal | Distance between Part End and R End |
| D3 | Securing of Necessary Clearance (Too Tiered Doll Stand Clearance) | Painting Seal | Distance between Part End and R End |
| E | Securing of Necessary Clearance | Painting Seal | Clearance of the Crescent Moon |
| F | Axis Coincidence | Assembly | Fastening |

例えば、車体を構成する板金プレス部品は、Fig. 4 のように曲面部 (以下 R) と平面部で構成される。R と平面部の境界を R 止まり、部品の端部を部品止まりと呼ぶ。各部品の R 止まり間や、R 止まりと部品止まりが干渉しない隙や、重なる R 部の形状バラツキによる組み付け不具合とシーリング切れを発生させない隙を確保することを定義している。

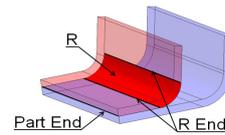


Fig. 4 Contents of the R & R Stop & Part Stop

3.2 検証プロセス

Fig. 5 は、Fig. 3 を検証するプロセスを示す。具体的には、「周辺部品選定→ソリッド化 (オフセット) →計測箇所を探す→計測→判定」である。マツダでは、ボディー部品の 3D データをサーフェスマデルで作成しており、3D モデルの面を板厚分オフセットしてから計測を行う。

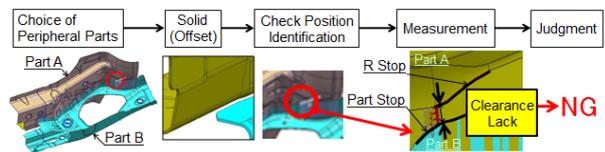


Fig. 5 IU-DPA Inspection Process

今回、この検証プロセスに対して以下 3 点の自動化技術を組み込んだシステム開発に取り組んだ。具体的には、

- 部品同士の検証項目と検証箇所を漏れなく探す技術
- 検証箇所を最短距離だけでなく網羅的に計測する技術
- 要件隙に対して OK/NG を正確に判断する技術

である。上述した技術を適用することで、これまで担当者任せとなっていた相手部品の選定や検証項目の決定、更には OK/NG の判定を自動で行う。そして Fig. 6 に示すような人による検証部品や検証項目の漏れや OK/NG の判定ミ

スを回避し品質のバラツキを払拭した。

| Target Part | Partner Part | Inspection Item | | | | | | | |
|-------------|--------------|-----------------|----|----|----|------------------------|----|----|----|
| | | A | B | C | D1 | D2 | D3 | E | F |
| 1 | 2 | | NG | OK | OK | Omission of Inspection | | | |
| | 3 | OK | | | | | | | |
| | 4 | OK | OK | OK | OK | NG | OK | OK | |
| | 5 | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |
| | 6 | OK | | | NG | OK | OK | OK | OK |
| | 7 | OK | OK | NG | OK | Misjudge | | | |
| | 8 | | | | | | | | |

Fig. 6 Inspection Result of IU-DPA

4. 開発のねらいと効果

4.1 設計品質の向上

本システムは、上述したようにこれまでの人間系による確認不足や判断ミスを払拭し、出図後に発覚していた Fig. 7 のような不具合の未然防止をねらい開発を始めた。

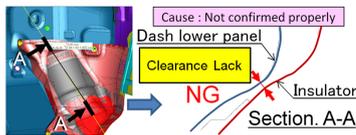


Fig. 7 Example of a Defect

また、Fig. 8 に示すように、車体の構造から部品の形状を決めるプロセスを性能解析を含めて小サイクルで回すことにより、机上検証活動を充実させ不具合の早期発見、早期修正につなげて形状確定度を高めた出図が期待できる。

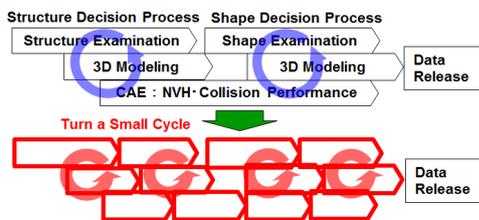


Fig. 8 Shape Decision Process

4.2 机上検証活動の効率化

効率面においても、本システムを Fig. 5 の検証プロセスに適用すれば Fig. 9 に示すような省力化が期待できる。

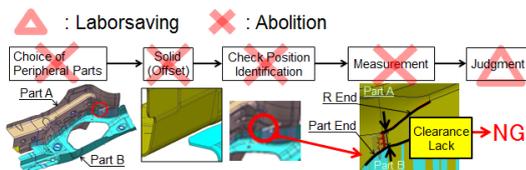


Fig. 9 Efficiency of IU-DPA Inspection Process

Fig. 9 により個別検証の省力化ができ、また、個別検証

時に同時に実施するため、出図前後に期間を設けて実施していた一括検証を廃止する (Fig. 10)。更に、波及効果として Fig. 8 による確定度の高い形状の造り込みで出図後の不具合を極小化し設計変更への対応工数を回避できる。

この効率化した工数を車体品質の更なる造り込みを活用し机上検証活動を充実させ量産品質の早期化が期待できる。

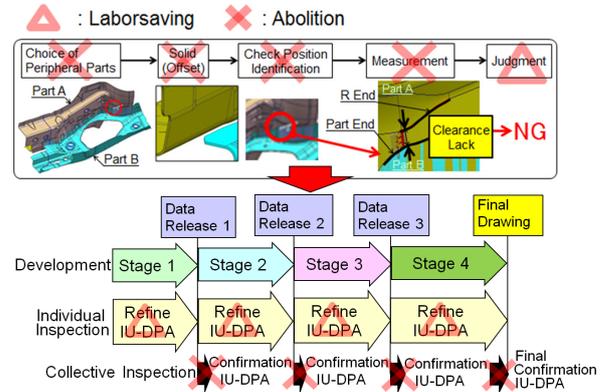


Fig. 10 Efficiency of IU-DPA Work Process

5. システム開発

5.1 IU-DPA 自動化構想の整理

まずは、システム化に向けてやりたいことの良い理想の形をユーザー目線で Fig. 11 に示す業務の流れとして整理した。目的は、実現に向けた各項目における課題の抽出と解決策検討を効率良く行うことにある。なお、赤枠部が今回自動化した業務に当たる。以下に具体的な構想を説明する。

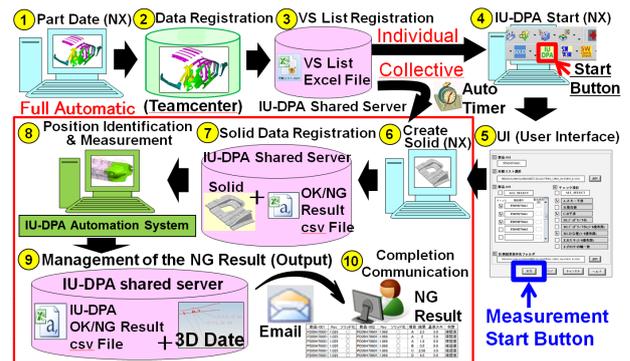


Fig.11 IU-DPA Automation Flow

(1) 事前準備 ①～③

個別検証及び一括検証ともに共通のプロセスである。具体的には、システムを起動する前に担当部品と隙・干渉チェックが必要な相手部品の 3D データ及び対戦部品の組み合わせ情報を整理した『対戦リスト』を準備する。

以降は個別検証と一括検証でプロセスが分かれる。

(2) 個別検証 ④～⑩

ねらいは、Fig. 8 で示すように各自が担当する部品に対し、形状作成を完了したと同時に周辺部品との隙・干渉をタイムリーに漏れなく検証し、不具合の早期発見、早期修正につなげ形状確定度を高めることにある。

特に⑤UI (User Interface) は、ユーザーの業務シーンを細かく分析し、検証項目や隙の基準値など自動計測に必要な情報を、ユーザーの思いどおりに入力できるように使い勝手の良さを追求した。

(3) 一括検証 ⑥～⑩

ねらいは、Fig. 10 で示すようにこれまで出図前後に期間を設けて行っていた車 1 台分の一括検証を廃止し、週末を利用したプロセスに変革することである。具体的には、週末の夜、システムに設定した自動タイマーがシステムを起動させ、休日を利用して車体全部品間の隙・干渉をチェックする。そして休み明けには結果を設計担当者へメールで配信し、NG 箇所への設計者の迅速な対応を可能にする。

5.2 計測ツール選定に向けた取り組み

Fig. 11 の実現に向けて社外メーカー3 社様の 3D 計測ツールのベンチマークを行った。Fig. 12 に、ツールの評価から決定までの流れを示す。以下に詳細を説明する。

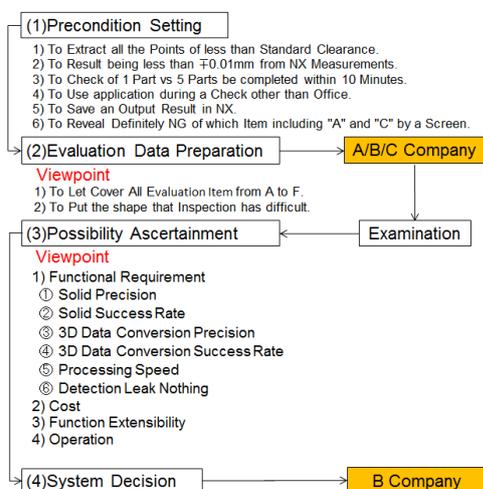


Fig. 12 Decision Process of the 3D Measurement Tool

(1) 前提条件の設定

まずシステム化に必要な条件以下 6 項目を設定した。

- ・基準値未満の箇所を全て漏れなく抽出すること
- ・結果が NX 測定値から±0.01mm 未満であること
- ・評価を行う相手部品 5 部品に対してのチェックが 10 分以内に完了すること
- ・結果を NX で保存できること
- ・チェック中に Office 等他のアプリが使用できること
- ・Table 1 のどの要件が NG か画面で明確に分かること

(2) 検討用データの準備

次に計測ツールによる自動化構想の実現性を把握するため評価用データを作成した。データは計測精度の実力を高めるため検証項目 A～F を網羅し、かつ、チェック箇所の探索や隙・干渉に時間が掛かる複雑な形状とした。

(3) 実現性の見極め

各社に対し準備した検討用データを提供して上記(1)の前提条件に対する評価を依頼した。その後、提示いただいた評価結果をもとに適用判断に向け検証活動を行った。

しかし、前提条件だけでは正確な判断が難しいため、判断に必要なより詳細な仕様を機能要件として再設定した。

5.3 自動化の仕様決定

実現性見極めに向け以下機能要件 6 項目を再設定した。また、これらの要件に加え、コストや拡張性、運用面も合わせ総合的な評価を行った。具体的には、以下である。

・検出精度 (NG の検出漏れゼロ)

最も重要な要件である。特に検証項目 A は、最短距離だけではなく網羅的に結果を出すこと。

・ソリッド化精度 (誤差 0.01mm 以下)

基準値に対して 0.01mm を超えた場合は NG と判定すること。

・ソリッド化成功率 (100%)

計測結果を正しく抜け漏れなく出力すること。

・データ変換精度 (誤差 0.01mm 以下)

基準値に対して 0.01mm を超えた場合は NG と判定すること。

・データ変換成功率 (100%)

計測結果を正しく抜け漏れなく出力すること。

・処理速度 (1 分/件)

前提条件の 1 部品対 5 部品の検証を 10 分以内で完了すること。これは車一台分のチェックを一括検証で完了するのに必要な処理速度である。

以上機能要件 6 項目に加え、コストについては、開発費用やライセンス費用、保守費用など必要な費用と投資対効果が見合うこと、また、拡張性については、計測機能や蓄積した技術がボディー以外の部品や隙・干渉チェック以外の業務への活用の可能性があること、更に運用については、Fig. 10 で示す自動化構想が実現可能なレベルであることを条件とした。そして上記の要件で評価した結果、エリジオン社製の DFM Studio を選定した。

5.4 アウトプットの仕様決定

エリジオン様とシステムの具体化に入る前にアウトプットの仕様を決めた。具体的には、以下 2 点である。

(1) 検証項目 A～F のアウトプット仕様

1) 検証項目 A について (Fig. 13)

NG 箇所を点群のカラーマップで網羅的に表示させること。なお、点群の密度やカラーについては、システムの評

値結果とユーザーニーズから適正な値と色にすること。

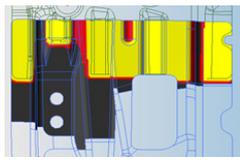


Fig. 13 Inspection Item A

2) 検証項目 B について (Fig. 14)

SW 溶接する面同士の離れと干渉を抽出すること。

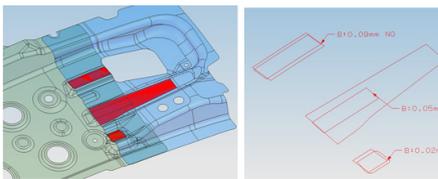


Fig. 14 Inspection Item B

3) 検証項目 C について (Fig. 15)

部品同士のチェック対象とする各面のエッジごとに R 止まりとの最小値を抽出して表示すること。

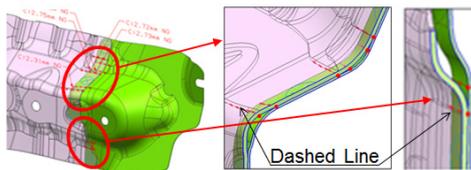


Fig. 15 Inspection Item C

4) 検証項目 D1~D3 について (Fig. 16)

部品同士のチェック対象とする各面のエッジごとに最小値を抽出して表示すること。

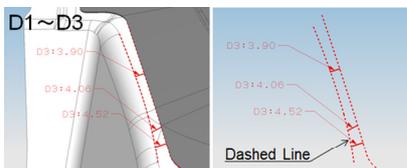


Fig. 16 Inspection Item D1~D3

5) 検証項目 E について (Fig. 17)

構造の違う 2 パターンを認識し部品同士のチェック対象とするエッジと面との最大値を抽出して表示すること。

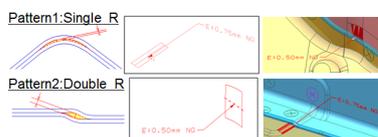


Fig. 17 Inspection Item E

6) 検証項目 F について (Fig. 18)

部品同士のチェック対象とする穴の座標軸と中心点の値を抽出し軸ズレの距離と角度を計測して表示すること。

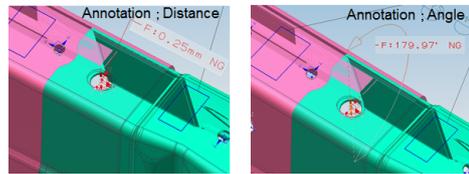


Fig. 18 Inspection Item F

(2) 計測結果のアウトプット仕様

Table 2 は、計測した NG 結果を出力したリストである。フォーマットは設計者の使い勝手を考慮し、日頃見慣れたエクセルの表形式とした。リストに出力する内容は、検証を行うにあたってのインプット情報となる検証を行う相手部品の番号、データ改暦、ソリッド化の成否結果と結果として得られた計測値、そして OK/NG 判定の根拠とする基準隙値を明記する。

Table 2 NG Result List

| Part No. | Date Rev. | Solid | Part No. | Date Rev. | Solid | InspectionItem | Result |
|----------|-----------|-------|----------|-----------|-------|----------------|--------|
| Y | 1.025 | ○ | Z | 1.068 | ○ | A | 2.5 |
| Y | 1.025 | ○ | Z | 1.068 | ○ | A | 2 |
| Y | 1.025 | ○ | Z | 1.068 | ○ | A | 1.8 |
| Y | 1.025 | ○ | Z | 1.068 | ○ | B | 0.5 |

5.5 自動化の考え方

上述したアウトプットの実現に向け、Fig. 19 に示す考え方のもと開発を進めた。その考え方とは、自動化するには、現状の業務を作業レベルで可能な限り細分化して、コンピューターでの置き換え可否を見極めることが重要であること。具体的には、まずは①人が目視や手で行う作業を見える化する。次に②見える化した作業の規則性を見出し定型化する。ここで大切なのは、想定する業務シーンに応じて全てパターン化することである。そして③全てのパターンをつなぎロボスタ性を高めたプログラムにすることである。

今回、特に悩んだのが検証部位の特定方法で、いかに漏れなく特定させるか、その仕様の決定に苦労した。次の章にて、検証部位を特定する考え方について説明する。

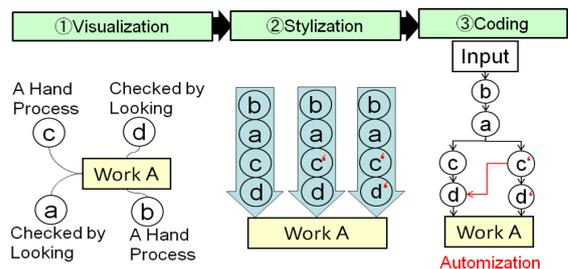


Fig. 19 Way of Thinking of the Automation

5.6 検証部位の特定方法

5.5 の考え方のもとプログラムを作成する前に、担当者が検証項目 A~F の部位をどのように探して特定しているのか調査しフロー化した (Fig. 20)。その中で赤字の L1~L10 は、特定した箇所を担当者が計測に必要な要素を、どのように見つけ出し計測しているのか、その作業を細かく見える化してロジックに落とし込んだフローになる。また、各部位を特定する作業の規則性を見出してパターン化し、それぞれを関連付けたことでロボスト性を改善した。このフローをもとにシステム的具体化を開始した。

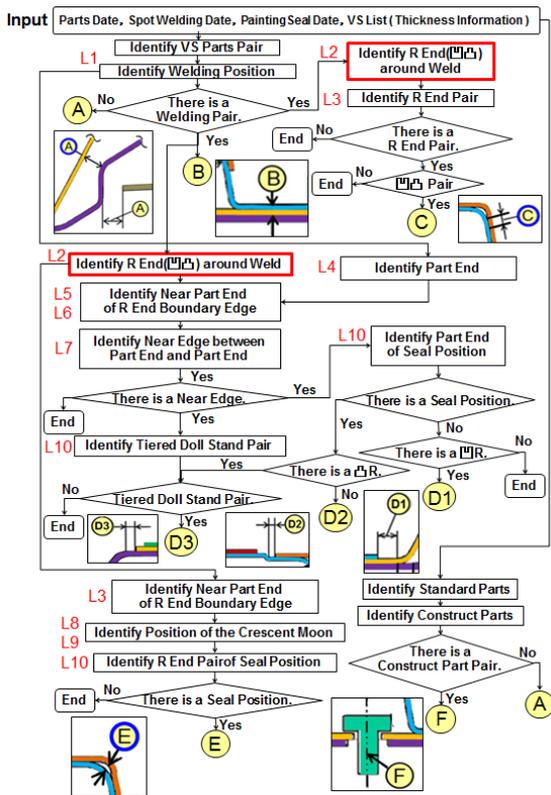


Fig. 20 Inspection Part Identification Flow

なお、Fig. 20 に示す凹凸 R の凹 R は板金を折り曲げた時の内側の R、凸 R は外側の R を意味する (Fig. 21)。

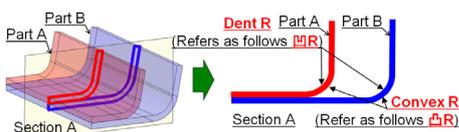


Fig. 21 Definition of 凹凸 R

今回、Fig. 20 の中でも特に頭を悩ませた部品間の R 止まりを特定するロジック L2 (赤字) を紹介する (Fig.22)。これは部品 A と B の SW 面に接する R 面をそれぞれ探し、SW 面に接するエッジを R 止まりと認識するものである。具体的には、①部品 A の SW 面に接する凸 R のエッジにサンプル点を発生させる。②サンプル点上の法線方向

と直交する方向を求める。③サンプル点を法線方向とは逆方向に一定量オフセットする。④オフセットした点から②で求めた方向に無限直線を引く。⑤無限直線と凹 R が接点を持つ場合は検証対象 R と認識する。⑥その R と SW 面に接するエッジを R 止まりと特定する。

このように人が思考したり目視で行っているプロセスから上述したような手順を見出し、プログラム化することで漏れなく検証部位を特定する技術を確認した。

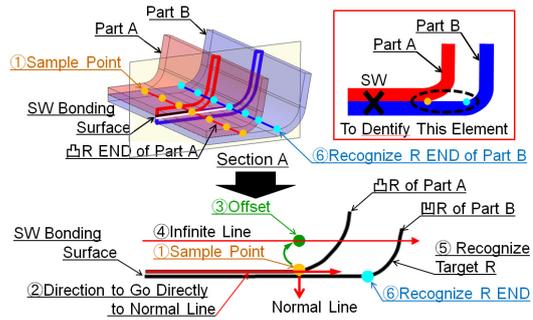


Fig. 22 Way of Thinking to Identify R END (凹凸)

6. おわりに

今回報告したボディー部品間の際・干渉チェック自動化システムの開発にあたり、社外メーカー(株)エリジオン様、(株)電通国際情報サービス様には多大なご協力をいただきました。その結果、これまで人がチェック箇所を目で探し計測して OK/NG を判断していた非効率な作業を改善することができた。特に NG 箇所を自動で漏れなくタイムリーに抽出する技術は、車体品質の造り込み活動の効率化に貢献できたと考える。今後は、実務適用する中で更なる使い勝手の良さを追求し、引き続き改善に取り組む所存である。

■ 著 者 ■



論文・解説

22

ハイアルゴン溶接の技術開発

Development of New Welding Process in High Argon Gas

田中 正顕*1 斉藤 直子*2 深堀 貢*3
Masaaki Tanaka Naoko Saito Mitsugi Fukahori
小川 貴史*4
Takashi Ogawa

要 約

マツダでは、すべてのお客様に「走る喜び」と「優れた環境・安全性能」を提供するため、ダイナミクス性能向上と環境性能の両立から、軽量化技術開発に取り組んでいる。厳しい環境下で使用される足廻りの板金部品は、溶接部近傍の錆による板厚減少の問題があり、薄板化での軽量化が難しい。一方、錆びにくい部品の実現は、お客様が車を所有する喜びにつながり、魅力性能の一つになると考える。

本技術は、アルゴン比率を増加させた溶接技術開発により、発錆原因の一つである溶接時に発生する「スラグ」を極小化することで電着塗装の密着性を向上させ、従来工法と比較して、防錆性能を劇的に向上させるものである。しかし、シールドガス中の酸素成分が極めて少ないため、従来考慮しなかったシールドガス流れのパラツキが性能に影響を及ぼす懸念がある。本稿では、ハイアルゴン溶接の開発過程と、溶接時の気体流れの解析から導出した「大気巻き込み」のメカニズムについて報告する。

Summary

With a purpose of providing "Driving pleasure" and "Excellent environmental performance" to all customers, Mazda is developing vehicle weight saving technologies which improve both vehicle dynamic and environmental performance. Stamping parts applied to suspension used under severe conditions are difficult to reduce the weight as they need material thickness to prevent rusting. As rustproof parts increase customer's satisfaction and have appealing quality, we addressed welding technology development with increased Argon ratio.

This technology minimizes the "slag", one of the causes of rusting, which is generated at welding, so that the adhesion of E-coat painting is improved, leading to the significant improvement in rustproof performance. However, as the amount of oxygen in the shield gas is significantly small in this process, causing unprecedented variations, which may affect the rustproof performance. In this article, the developmental process of High-Argon welding and the "turbulence flow" mechanism which is derived from CAE analysis of gas flow at welding to be reported.

1. はじめに

自動車に対する二酸化炭素排出量の低減、更なる燃費の向上が必要な中、より一層の車両重量の軽減が必須である。また、マツダの理想は、安心感と運転する喜びを実現し、お客様に愛される車を提供し続けることである。しかし、足廻り部品に生じる初期見栄え錆は、お客様に部品破損のイメージを想起させるとともに、軽量化に必要な薄板化を阻害する (Fig. 1)。この初期見栄え錆を抑

制することで、車を所有する喜びに貢献するとともに、穴あき錆に至る期間を延ばし軽量化を可能とする。一方、アームやサスペンションクロスメンバーに代表される自動車の足廻り部品は、高いレベルの操縦安定性・NVH性能を実現するために高い剛性が必要であり、強度・信頼性等の複数の性能を両立しなくてはならない。厳しい入力荷重を薄板で保証するため、混合ガス溶接に代表される連続溶接が効果的である。

*1 シャシー開発部
Chassis Development Dept.

*4 車体技術部

Body Production Engineering Dept.

*2, 3 技術研究所
Technical Research Center



Fig. 1 Chassis Condition after Car Corrosion Test

MAG溶接などのガスシールドアーク溶接は、アークの状態を安定化させ溶接作業性を確保する目的で、アルゴン (Ar) に二酸化炭素 (CO₂) などを加えたシールドガスを用いる。CO₂はアーク熱によって解離し、活性な酸素成分を生じる。この酸素成分と溶融金属が化学反応し、溶接スラグが生成される⁽¹⁾。溶融金属中の酸素は、靱性低下や気孔欠陥の原因となるため、溶接ワイヤ中に意図的に脱酸成分 (Si, Mn) を添加している。CO₂の比率が高くなるほど、脱酸成分を多く添加する必要があり、その分、スラグが多く発生する。

溶接ビード上に生成したスラグは、主にガラス質であり、導電性がないため電着塗料の付着を阻害し、その周辺から発錆しやす。また、スラグの多くは、溶接ビードの止端部 (Toe) に残りやすい。ビード止端部は形状による応力集中が生じやすく、スラグ近傍で生じた板厚減少は信頼性に悪影響を及ぼす懸念がある (Fig. 2)。

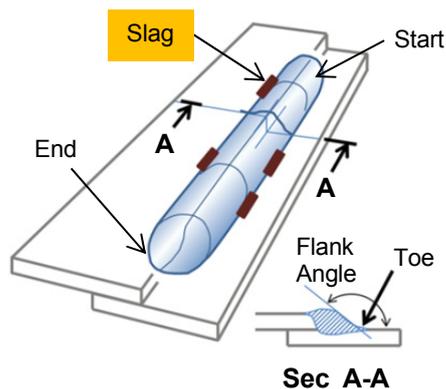


Fig. 2 Schematic of Welding Bead

ビード上のスラグ低減には、シールドガス中のCO₂量を低減することが有効である。一方で、過度なCO₂量の低減は、アークの状態を不安定にし、ビードの蛇行など溶接作業性を著しく悪化させる。また、亜鉛めっき鋼板の溶接においては、ブローホールなどの気孔欠陥を抑制する目的で、CO₂を含むことが望ましい。

従って、溶接作業性とスラグ低減を両立するためには、

脱酸成分を低減したワイヤを用いて、必要最小限のCO₂を有するシールドガス組成を決定する必要がある。本報では、開発した「ハイアルゴン溶接プロセス」について報告する⁽²⁾⁽³⁾。

2. ハイアルゴン溶接

2.1 ハイアルゴン溶接の基本プロセス

溶接部の早期発錆は電着塗装の被覆不足が原因で生じる。導電性を有さないスラグには電着塗料は析出せず、電着焼付時の樹脂の熱フローにより被覆される。溶接工法におけるスラグ量・サイズ低減が耐食性改善 (電着の被覆性改善) に有効である。ハイアルゴン溶接は、これら双方の低減を実現できることから、スラグ部の耐食性を改善することができる。

「ハイアルゴン溶接プロセス」のねらいは、以下である。

スラグ量の低減/サイズの縮小に対しては、

- ①シールドガス中の二酸化炭素量の低減
- ②溶接ワイヤ中の脱酸成分 (Si, Mn) 量の低減
- ③溶融池対流制御を用いた溶接終端部へのスラグ集中化気孔欠陥の低減に対しては、
- ④パルス制御による高アーク圧力化

である。

①により、活性な酸素量を低減した上で、②にて母材 (Fe)、溶接ワイヤ (Fe, Si, Mn等) からなる溶融金属中の脱酸成分を低減し、スラグ (SiO₂, MnO) の量とサイズの最小化を図る。③では、溶融鉄に対する表面活性元素である硫黄 (S) をワイヤから添加することで、溶融金属の表面張力を低下させている。これにより溶融金属の対流が強化され、溶接中に生成されたスラグをビード終端部に凝集させることが可能となる (Fig. 3)。

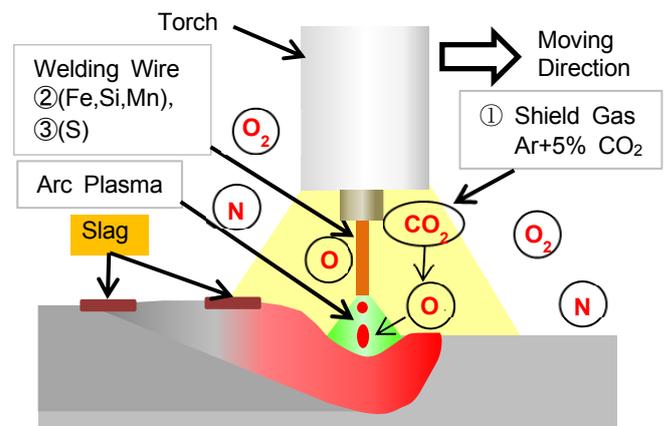


Fig. 3 Schematic of Welding Basic Process

なお、ハイアルゴン溶接プロセスでは前述のとおりシールドガス中のCO₂を低減しているため、亜鉛めっき鋼板の溶接では一般的なMAG溶接に対して耐気孔性に劣る

という課題がある。この課題の要因はシールドガス中CO₂比率の低下によるアーク圧力の低下にある。シールドガス中のCO₂はアークプラズマ中の高温環境において解離し、その際の吸熱作用によってアークを緊縮させる熱的ピンチ効果を発揮する。これによりアーク柱の電流密度が増加しアーク圧力が増大する。

ここで、シールドガス成分以外にアーク圧力を増大させる働きを持つものとして、④パルス溶接における高ピーク電流が挙げられる。Greeneの報告⁽⁴⁾では、アーク柱中における任意の点の電磁圧力は電流値の2乗に比例するとされており、パルス溶接では短絡溶接に比べて高い電磁圧力を得ることが可能であると考えられる。これらの働きを総称してアーク圧力と呼称する。

亜鉛めっき鋼板の溶接においては、表面の合金化亜鉛が鉄よりも低い沸点を有しているため、気化した合金化亜鉛によってブローホールやピットが形成されやすい。そのため、亜鉛蒸気を熔融金属外部への排出を促進することが重要となる。亜鉛蒸気排出を促進する手法が、高いアーク圧力によってアーク直下から熔融金属を押しつけるというものである⁽⁵⁾。すなわち、アークプラズマにより生成された亜鉛蒸気を、熔融金属内部に含まれる前にアーク直下で排出することで気孔欠陥の抑制が可能となる。Fig. 4に工法違いによる溶接ビード外観を示す。母材：440MPa級熔融亜鉛めっき鋼板の重ね継手を以下の条件、(A)従来工法 (Ar:CO₂=80:20, 短絡溶接)、(B)ハイアルゴン溶接 (Ar:CO₂=95:5, パルス溶接)で製作した。ハイアルゴン溶接は従来工法に比べ、スラグが約1/10に減少する。

Fig. 5に、溶接ビード断面形状を示す。本プロセスにより得られた溶接ビードは、従来プロセスのものに比べ幅広かつ平坦(大フランク角)となる。これは応力集中(疲労強度)に対し有利といえる⁽⁶⁾。

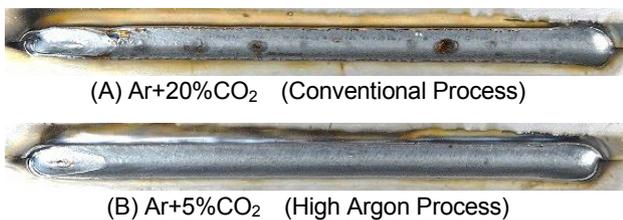


Fig. 4 Comparison of Appearance of Welding Bead both 20% CO₂ on Short Arc and 5% CO₂ on Pulse

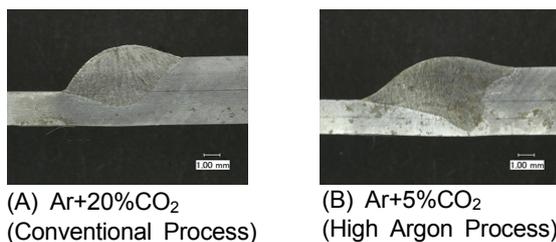


Fig. 5 Comparison of Welding Section both 20% CO₂ on Short Arc and 5% CO₂ on Pulse

2.2 ハイアルゴン溶接のシールドガス組成

シールドガス中のCO₂量のねらい値は、溶接施工性とスラグ量から決まる。前述のメカニズムに基づく実験結果から、亜鉛めっき鋼板の気孔欠陥を抑制するには、5%以上のCO₂量が必要である。初期見栄え錆の目標達成に必要なスラグ量を明確にするため、同一溶接条件(溶接電流パルス波形、開発溶接ワイヤ)にて、CO₂量を5~10%の水準で評価した(Fig. 6)。10%CO₂の場合、スラグが連続しており電着塗装の密着性から望ましくない。耐気孔欠陥性、スラグ量/大きさが適切な状態となる「5%」をCO₂量のねらいとする。

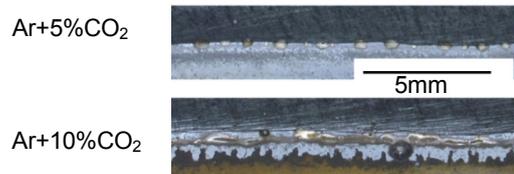


Fig. 6 Comparison of Slag by CO₂ Ratio

3. ハイアルゴン溶接の課題

本プロセスは極低CO₂量のシールドガスを用いるため、シールドガス中の酸素成分だけでなく、大気中の酸素成分の影響を受けることが懸念されるため、シールドガス流量の変化による溶接実験を実施した。

実験はシールドガス流量を変化させた場合のノズル内径違い(13mmφ, 19mmφ)でのスラグ量を調査し、Fig. 7に示す以下の結果が得られた。

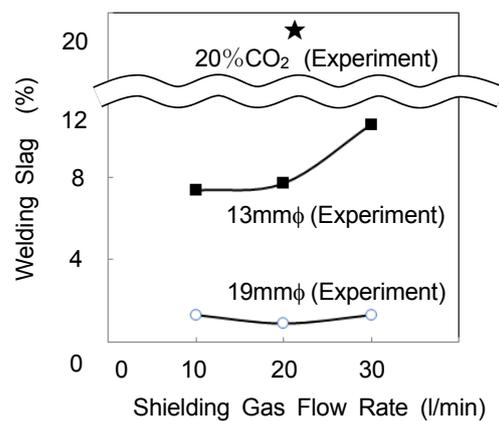


Fig. 7 Relationship between Welding Slag and Flow Rate(Experiment)

- ・細径ノズル(シールド範囲が狭い)はスラグ量が多い。
- ・細径ノズル(13mmφ)の場合、シールドガス流量の増加に伴い、スラグ量が増加する。

ノズル内径によりスラグ発生量に変化することは、性能確保の上で課題であり、その原因究明が必要である。そこで、グラフ横軸の流量を流速に換算したところ、細

径ノズルは大径ノズルに比べ、同一流量で流速が非常に大きくなっていることを確認した (Fig. 8)。

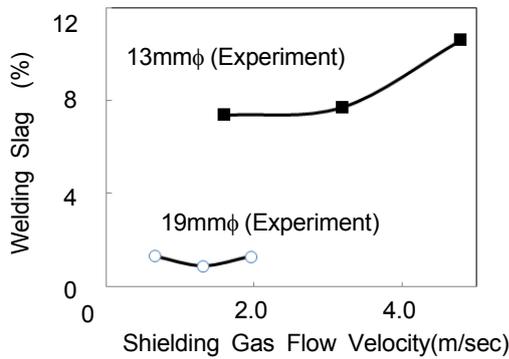


Fig. 8 Relationship between Welding Slag and Flow Velocity (Experiment)

これらの結果から以下の仮説を立てた (Fig. 9)。

- ・シールドガス流速が大きくなるほど、シールドガスと大気間に生じるせん断力によりシールドガス外部からの「大気巻き込み」が生じ、スラグが増加する。
- ・ノズル径が大きい方が、アーク中心から大気までの距離が大きく、巻き込んだ酸素成分が、アーク直下の高温で活性な溶融金属まで達しにくい。

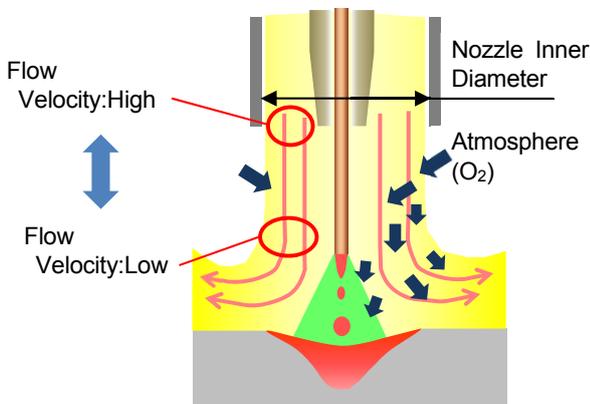


Fig. 9 Schematic of Shield Gas for Welding

4. 溶接中の気体流れ解析技術

前述のとおり、ハイアルゴン溶接におけるスラグの生成には溶接中の気体流れが関係すると推測され、その検証に有効な手段は可視化である。しかし、溶接中の気体流れは、プラズマ気流があるため可視化実験が困難である。気体流れのほか、熱輸送や電磁場などが関係する複雑な現象である溶接現象には、確立された解析手法はない。

そこで、MAG溶接のプラズマ気流の噴射に着目し、同様の現象を扱うエンジン専用熱流体解析のMAG溶接のシールドガス流れ解析への適用を検討した⁽⁷⁾。

4.1 解析方法

Fig. 10にノズル先端内径が13mmφのノズルにおける解析の概略図と解析モデルを示す。シールドガスの流速 (1~5m/s) は溶接速度 (0.01m/s) に対し非常に高いことから、気体流れに対する非定常性や電磁場の影響は非常に小さいと仮定した。溶接ワイヤ先端からアーク中のプラズマ気流を模擬した高温気体 (アークガス) が噴射される状態における気体の定常流れを、ノズル先端内径が13mmφ、及び19mmφのノズルと、10、20、30l/minのシールドガス流量について解析した。

解析は(株)IDAJ社のエンジン専用熱流体プログラム CONVERGEで行い、乱流モデルは乱流運動エネルギー k と消散率 ϵ の輸送方程式から渦粘性係数を求める $k-\epsilon$ モデルを使用した。また、アークガスはシールドガスと同種のArに5%のCO₂を混合した2元系混合ガスとし、温度、及び流速は田中の解析結果⁽⁶⁾を参考にそれぞれ15000K、及び200m/sとした。

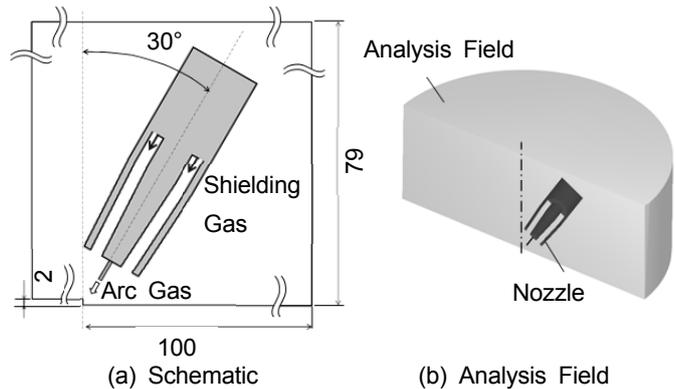


Fig. 10 Analysis Model

4.2 解析結果

(1) シールドガスの流れと酸素濃度

Fig. 11にノズル先端内径が13mmφのノズルにおける解析領域中心断面での解析結果 (流線と酸素濃度) を示す。大気はノズル先端から母材付近においてシールドガスに引き込まれている。また、酸素は溶接部近傍に発生した渦の周辺において高濃度で分布し、シールド内全体に拡散している。

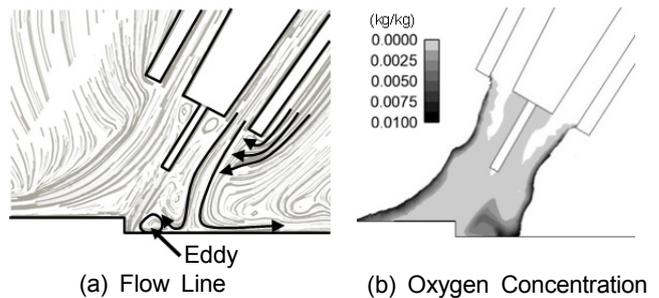


Fig. 11 Analysis Result (Shielding Gas Flow Rate:20l/min)

(2) 溶接部近傍における酸素濃度

Fig. 12に溶接部近傍における平均酸素濃度とシールドガス流量の関係を示す。酸素濃度は13mmφ, 19mmφともにシールドガス流量が多い場合で最も高くなっている。これは、酸素を多く含む大気との境界付近のシールドガスが溶接部近傍にある渦に流入するためであると考えられる。また、この溶接部近傍の酸素濃度はFig. 7のスラグ生成量と同じ傾向を示す。以上の結果から、スラグの生成にはシールド内の酸素のうち、溶接部近傍にある酸素が大きく影響すると考えられる。

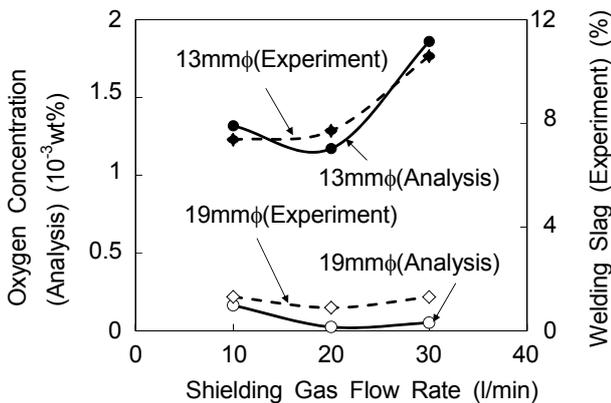


Fig. 12 Relationship between Oxygen Concentration and Shielding Gas Flow Rate

4.3 大気中酸素の溶接金属への流入メカニズムの推定

Fig. 13に 前述の結果から推定したMAG溶接部におけるスラグの生成メカニズムを示す。噴出口から噴出されたシールドガスは、流速を持ち大気に対し負圧であるため、前章で推測したとおり、大気中酸素はシールドガスと大気の境界からシールドガスに侵入し、シールドガス内に浸透する。一方、酸素を含んだシールドガスと溶接ワイヤ先端から発生したプラズマ気流は母材到達後に分流して接触し、溶接部近傍に渦が発生する。シールドガス中の酸素は、シールド内に拡散しつつ前述の渦に流入し、大気中酸素は溶融金属内に侵入、金属内のSi及びMnと反応してスラグが生成されることが考えられる。

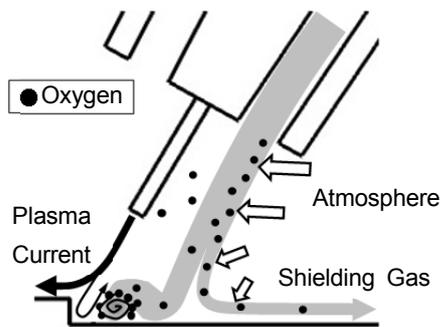


Fig. 13 Schematic of Oxygen Flow

5. 実部品への適用

前述の結果から得た溶接条件、「Ar+5%CO₂シールドガス」、「低粘性・低スラグ溶接ワイヤ」、「電流波形のパルス化」、「大径ノズル」にて、サスペンションクロスメンバーを製作し、良好な施工性 (Fig. 14) と、ねらいのスラグ量 (Fig. 15) を確認した。また、Fig. 16に、ハイアルゴン溶接で製作したテストピースに電着塗装を施した状態を示す。ねらいどおり、溶接ビード上のスラグを被覆し、スラグの露出を大幅に低減した。



Fig. 14 Appearance of Sus-Crossmember by High-Ar Welding Process



Fig. 15 Welding Bead by High-Ar Welding Process



(A) Ar+20%CO₂ (Conventional Process)



(B) Ar+5%CO₂ (High Argon Process)

Fig. 16 Welding Bead Covered by E-Coating

当初のねらいどおり溶接止端部のスラグを極小化し、小スパッタでの施工性、信頼性上有利な大きいフランク角を有す、溶接ビードが得られた。

量産に向けた課題として、

- ・ノズル大径化による狭隘部のアプローチ性悪化対策

・溶接終端のスラグだまり対応があり、継続して検討中である。

6. おわりに

錆が発生する原因の一つである溶接時に発生する「スラグ」を極小化したハイアルゴン溶接プロセスを開発し、その開発の過程で以下の知見を得た。

(1) 従来工法に対して、ハイアルゴン化、低粘性・低スラグ溶接ワイヤ、パルス化を行うことでスラグ、気孔欠陥の少ない溶接ができた。また、相対的にアークが広がり、強度耐久性に対して有利な幅広で平坦な溶接ビードが得られた。

(2) 大気中の酸素成分は、大気に対して負圧であるシールドガスに引き込まれ、溶接部近傍に発生した渦周辺で高濃度になることが分かった。また、この渦はシールドガスとワイヤ先端から発生するプラズマ気流との相互作用によって発生することが推察される。

また、本技術を適用し従来工法との比較で防錆性能が大幅に向上することを確認した。

最後に、本研究開発を進めるにあたり多大なご協力をいただいた(株)神戸製鋼所、岩谷産業(株)、(株)ワイテックの皆様にお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 河井・鈴木：自動車用鋼板のアーク溶接部における塗装性、耐腐食性の向上策，溶接学会全国大会講演概要 平成24年度春季全国大会
- (2) 宮田・田中ほか：亜鉛めっき鋼板用低スラグ溶接プロセスの開発に向けた基礎検討-第1報，溶接学会全国大会講演概要 第97集（2015），pp.444-445
- (3) 田中・深堀ほか：亜鉛めっき鋼板用低スラグ溶接プロセスの開発に向けた基礎検討-第2報：ガスシールドノズル形状と大気巻き込みに関する研究，溶接学会全国大会講演概要 第97集（2015），pp.444-445
- (4) Greene, W.J. : An Analysis of Transfer in Gas Shielded Welding Arcs, A.I.E.E. Winter General Meeting, New York (1960) (T.A.I.E.E)
- (5) 泉谷・山崎・鈴木：自動車向け亜鉛めっき鋼板用新溶接法「J-Solution™ Zn」，神戸製鋼技報/Vol. 63 No.1 (Apr. 2013) pp.54-59
- (6) 中澤・上田・池田ほか：シャシ板金溶接部品の耐食性&疲労強度向上技術の開発，自動車技術会 2016年春季大会 学術講演会 講演予稿集 文献番号：20165163 No.35-16S pp.874-876
- (7) 斉藤・深堀・田中ほか：亜鉛めっき鋼板用低スラグ溶接プロセスの開発に向けた基礎検討-第3報：エンジン筒内噴霧解析の応用によるスラグ生成メカニズム解明，溶接学会全国大会講演概要 第97集（2015），

pp.444-445

- (8) 田中ほか：溶接アークの熱的ピンチ効果に関する一考察，溶接学会論文集 第25集 第2号（2007），pp.336-342

■ 著 者 ■



田中 正顕



斉藤 直子



深堀 貢



小川 貴史

論文・解説

23

360° ビューモニターの認知性能開発 Development of Cognitive Performance of 360° View Monitor

| | | | |
|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| 大坪 智範* ¹ | 中村 誠之* ² | 松葉 慶暁* ³ | 森林 俊貴* ⁴ |
| Tomonori Ohtsubo | Seishi Nakamura | Yoshiaki Matsuba | Toshiki Moribayashi |
| 森島 茂樹* ⁵ | 小馬場 英樹* ⁶ | 竹内 創哉* ⁷ | |
| Shigeki Morishima | Hideki Kobanba | Soya Takeuchi | |

要 約

マツダは「マツダ・プロアクティブ・セーフティ」の考え方に沿ってさまざまな安全技術を展開している。今年度は低速走行時の認知支援技術として新しく開発した『360° ビューモニター』を市場導入する。開発にあたっては、運転時の情報が増えることにより利便性が向上する一方で、誤認知を引き起こすリスクが存在することに着目し、正確な認知ができる情報提供への対応が不可欠と考えた。そこで映像認知性要件を究明し、安全優先で開発した走行サポートシステムを『360° ビューモニター』と名付け、お客様に提供する。その取り組みは人間中心設計の考えに基づくものであり、低速走行時の直観的認知を可能とする画期的技術である。本システムは、2017年に導入する新型CX-8、アクセラの商品改良モデルから順次搭載を進めている。今回はその開発成果の一端を紹介する。

Summary

Mazda has been developing various safety technologies according to the concept of “Mazda Proactive Safety”. This year, we introduce a newly developed recognition support technology for low-speed driving, “360° View Monitor”. In the development, focusing on the fact that providing more information improves drivers’ conveniences while it may increase risk of misrecognition, we consider providing information that enables accurate recognition is indispensable. We have studied requirements for image recognition and reflected them into “360° View Monitor”, a driving support system we developed focusing on the safety. Our efforts based on human-centered design concept resulted in this breakthrough technology which enables intuitive recognition in low-speed driving. This system is applied to New CX-8 launched in 2017 followed by Mazda 3 and others. This paper describes a part of our development activities of this system.

1. はじめに

マツダの考える良好な視界とは、「いつでもどこでも見たいものが見える」という状態である。

運転時直接目で見える領域については、人が日常見ている状態と同様であり、自身と周辺との位置関係を理解しやすいが、直接目で見えない死角の領域は何かのデバイスをういサポート情報を得ながら運転操作する必要がある。

従来、インナーミラーやアウターミラーにより死角情報を取り入れていたが、近年では更に広範囲の死角情報を取り込むため、カメラを用いたモニターシステムが導入され始めている。NHTSAのまとめでは、アメリカ市場はバック時の事故で年間平均し210人が命を落とし、1万5000人が負傷している。死者の約3分の1は5歳未満の幼児だという。そのため法規を設け、2018年5月以降は新車にバックモニター搭載の義務化を決定、事故の抑制

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

*5~7 統合制御システム開発本部
Integrated Control System Development Div.

を図ろうとしている⁽¹⁾。

直接見えない死角領域の情報をカメラモニターで提供し安全運転をサポートするためには、モニター映像の瞬読性(直観的に認知できる)を高め、かつドライバーが迷わず判断・操作できる状態にする必要がある。

このような状態を作るため、改めてカメラモニターシステムの認知性について検討した。

2. カメラモニターの認知性要件

マツダではこれまでも独自に対象物認知要件を開発してきた。それは、経験値から設定した基準に従って部品の形状/配置を設計するスタイルであったが、今回の360°ビューモニターの開発にあたり、もう一度人間にとって理想となる死角領域情報の認知要件はどうあるべきか、を検討した。

モニター映像の認知性が重要である理由として、運転している人から本来見えない領域を見せる間接視界は、脳内で現実世界への置き換えを行うため、直接視界での認知に比べ時間を余分に要する。例えばバック駐車の際にバックカメラ映像を見て、駐車エリアはどこか、周りに障害物があればそれはどこにありどれだけ離れているのか等の情報を自身の中で情報整理した上でないと正しい運転操作ができない。また、モニター映像の情報提供が好ましくない場合、人によっては自身の中で状況がうまく整理できずに誤認知し、ヒヤリハットや事故に至る場合も考えられる。そのため、正しい情報提供と直観的に把握しやすい(瞬読性の良い)モニター映像による情報提供手法は極めて重要な課題である。

そこでマツダは、各運転シーンにおいて、人は直接見えない死角領域の何(対象)が見たいのか、そしてその対象を認知するための条件は何なのか、どのような代用特性をもって判定すれば良いのかについて究明を進めた。

視覚による空間認知性には3つの要素がある。①対象物が何かが分かること、②対象物との相対位置関係が分かること、③対象物の相対速度が分かること、である。①は対象物(人や車等)の輪郭が判別でき何が分かること、②は対象物との距離や方向が判別できること、③は対象物の相対的位置変化が判別できること、という意味を持つ。

このような考えを基にして代用特性を検討した結果、低速走行時には、1.見せる範囲、2.画質条件(ボケ、歪み)の定義付けが必要と考えた。以下にその詳細を記述する。

2.1 見せる範囲

運転者にとって走行時に必要な視覚情報とは、走行範囲に障害物が存在するかどうかである。衝突する可能性の有無を推測するための必要最小限の情報を得ることで、

運転者は正しい判断ができ適正な運転操作が可能となる。必要以上に見せる範囲の情報を与えた場合、余分な視覚情報に注意資源を使ってしまい、重要な情報に注意資源を集中できない可能性があるため、見せる範囲は必要最小限の範囲とする。具体的には、走行時に障害物を認知し、その車速からブレーキングして車両停止するまでの距離を前後方向の見せる範囲とし、左右方向については、フル舵角でハンドルを切った場合の停止距離を見せる範囲とする。

2.2 画質条件

(1) 代用特性

①ボケ

モニター映像において、前述した見せる範囲の中に見たい対象物(人や物)の存在を認知する必要がある。対象物の存在がわからなければ、そこには何もないと誤認識し、運転操作した結果、危険な状況に至る可能性がある。その原因は、視覚的に対象物の輪郭が判別できないことによる。

Fig. 1のように物体の輪郭がぼやけていると、その物体がどのような形なのか、どのような種類のものなのか、を正しく認知できない。このように、映像上の物の輪郭がぼやけている状態の程度を測る代用特性を「ボケ」とした。



Fig. 1 Blur

②歪み

対象物の存在認知とともに、自車両と対象物との相対位置関係、そして、進もうとする方向が正しく認知できるかどうか、が適切な運転操作に対し重要なポイントとなる。

対象との相対位置関係が認知できないということは、方向および距離を正しく把握できていない状態である。

Fig. 2のように、映像の歪みが発生していると、壁までの距離や物体の存在する方向を正しく把握するため、脳内で補正を行う必要がある。つまり、認知のため、直視より長い時間と注意資源が必要となる。更に誤認識をひき起こす危険性もある。

このようにモニター映像上の物体間の相対位置関係把握の正しさを測る代用特性を「歪み」とした。



Fig. 2 Distortion

(2) 目標値

次に、代用特性としたボケ、歪みの目標値について、検討した。

①ボケ

人がモニター映像に映る対象物を見た時、対象の輪郭のコントラストの度合いにより、対象が判別できるかどうかが決まる。その度合いはMTF (Modulation Transfer Function) によって求めることができる (Fig. 3)。MTFはコントラスト比と空間周波数の関数で表され、0~100%の幅を持つ。100%に近づくほどボケが少なく輪郭が鮮明に見えることを表す。

一方、同じコントラスト比でも対象の幅が狭いほどボケたように見えるという特性がある。このため、どの太さまで見せるか決定する必要がある。路面を中心に見せることを主眼とする360°ビューモニターを使用するシーンで、路面上 最も細い対象物は白線であるため保証下限を白線の太さ (幅150mm) とした。また、レイリーの理論⁽²⁾⁽³⁾を参考に、視力0.7の人がモノの輪郭を識別するために必要なコントラスト比は、30%以上であるとした。これらを照らし合わせ、ボケの目標値は、Fig. 4の左上の範囲にある状態にあること、と定めた。

②歪み

人が対象との相対距離を測るためには、日常見ている世界同様、自分のいる位置からの縦横方向の長さを確認できる必要がある。これより、三角法の要領で距離を測ることができるが、その縦横の長さに狂いが生じてしまうとそれを正確に求めることが難しくなる。したがって、この縦横の長さの比(以下縦横比)を求め、これを一定の割合以下とすることを目標とした (Fig. 5)。

目標値はドライバーが普段見ているものの歪み率を参考とする (Fig. 6)。いつも使用しているものであれば、その経験から瞬時に脳内への切り替えが可能になっているため、歪みがない状態と同等の反応ができるからである。

走行中見るものの中で歪みの大きなものとしてカーブミラーがある。このレベルは、対象の存在と進んでいる方向もおおよそ分かるが、相対距離がつかみにくい映像である。次に歪みが大きいのがドアミラーである。運転中ドアミラーを見る機会は多く、見た時の映像の脳内変換を何度も行っている。そのため一般的な慣れがあり、

このレベルの歪みであれば判断の支障は少ないと考え、一般的に採用されている曲変ミラーの歪み度30%を目標値とした。

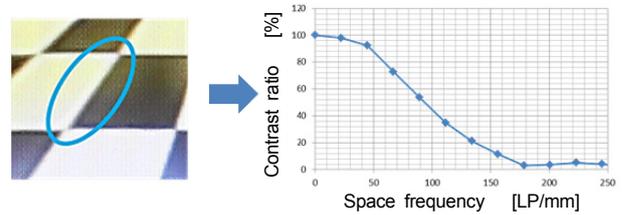


Fig. 3 MTF Evaluation⁽²⁾

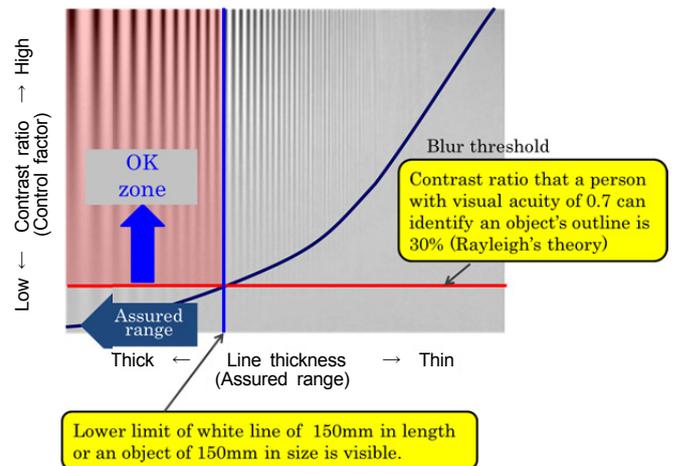


Fig. 4 Threshold of Contrast Ratio ⁽⁴⁾

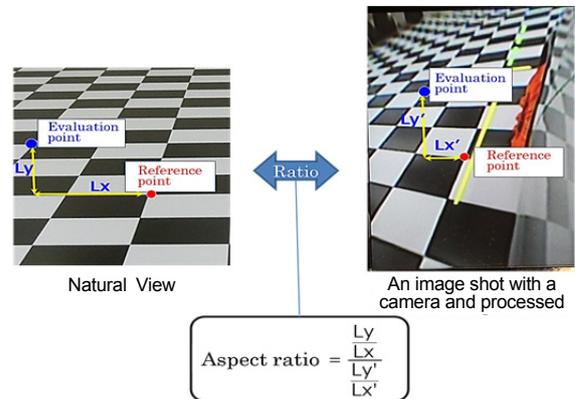


Fig. 5 Evaluation of Distortion

- ◆ Distortion of vehicle mirror (20%)
- ◆ Distortion of curvature-modified vehicle mirror (30%)
- ◆ Distortion of traffic mirror (50%)

⇒ Clarity that you can tell what an object is and its traveling direction

Fig. 6 Degree of Distortion of Mirror Used for Driving

3. 効果の検証

効果の検証にあたり、前述にて定義したボケ、歪みの双方を検証できる環境として、同寸法のマス目のあるチェス盤模様シート (Fig. 7) を評価室床面に敷き、実車で各ビューモニター映像を検証した。

結果、マツダが設定する各ビューについて、見せる範囲、画質条件をクリアする状態を実現したものが以下である。今回の検討活動で目標設定する前後での比較画像を示す (Fig. 8)。



Fig. 7 Chess Board Pattern Sheet

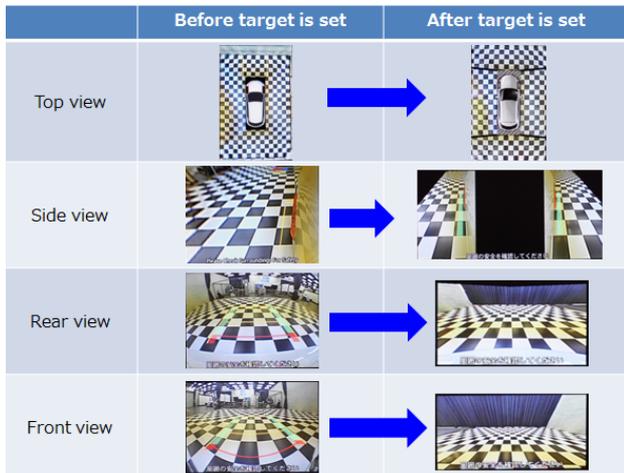


Fig. 8 Implementation of Ideal View

これにより、マツダが理想とする死角情報を提供するモニター映像となっていることが確認できた。

4. おわりに

基本的理想ビューは具現化できたが、マツダの視界性能の考え方である「いつでもどこでも見たいものが見える」という方針に対し、実際の市場においては、環境 (光環境、雨雪) による要因が、対象物認知に対し不利な影響を与える状況にある。様々な環境下で安心安全に運転していただくためには、この領域をいかに技術的にクリアしていくかが今後の課題である。

以下はそれらの環境による影響でモニター映像が乱されている状況を示す。それぞれ、① 灯火器によるハレーション、② 雨滴による画面のボケ、が生じている。いずれも見たい範囲と対象物が確認しにくい状況である (Fig. 9)。



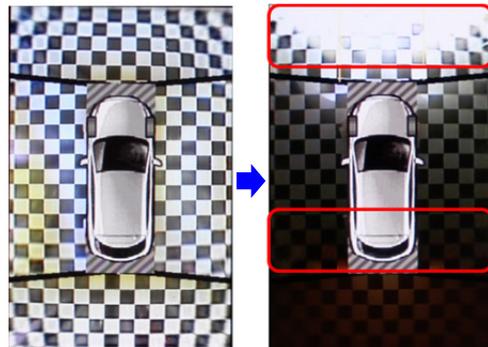
①Halation by Light Source



②Blur Caused by Raindrops

Fig. 9 Impact on Image Quality Due to Various Environments

これを実験室にて再現した映像が以下 (Fig. 10) である。このような現象については、今後市場に合わせた評価条件を求め、対象物認知、運転操作への影響度合いを検討してゆく予定である。



①Halation by Light Source



②Blur Caused by Water Droplets

Fig. 10 Reproduction Image in Laboratory

そして、このような環境外乱を制御する因子を究明し、対処することで、お客様をどんな状況においてもサポートできる価値の高い360°ビューモニターを確立する。

以上、今回新型CX-8、アクセラの商品改良モデルから採用する360°ビューモニターについて、開発の一端を紹介した。今後もマツダのクルマ創りの方針である人間中心設計に基づき技術の進化を継続し、更にお客様が安心して運転を楽しめるクルマ創りに貢献していく所存である。

参考文献

- (1) The Wall Street Journal : U.S.to Require Rear-Visibility Technology in Vehicles:<http://jp.wsj.com/articles/SB10001424052702303702904579474011952333586> (2014)
- (2) Terzis, Anestis (Ed.) : Handbook of Camera Monitor Systems, p.104 (2016)
- (3) R, Nave : HyperPhysicsLightandVision;<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>
- (4) Zhou Wang, Alan C. Bovik : Modern Image Quality Assessment, p.24 (2006)

■ 著 者 ■



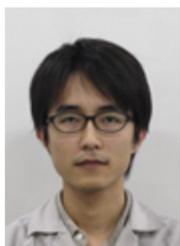
大坪 智範



中村 誠之



松葉 慶暁



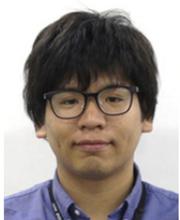
森林 俊貴



森島 茂樹



小馬場 英樹



竹内 創哉

論文・解説

24

クリーンディーゼルエンジン新型SKYACTIV-D 2.2の開発 Newly Developed Diesel Engine SKYACTIV-D 2.2

山谷 光隆*¹ 平林 千典*² 末國 栄之介*³
Mitsutaka Yamaya Kazunori Hirabayashi Einosuke Suekuni
上杉 康範*⁴ 辻 幸治*⁵ 松本 正義*⁶
Yasunori Uesugi Kouji Tsuji Masayoshi Matsumoto

要約

2012年に発売したSKYACTIV-D 2.2は、低圧縮比と高効率過給をキーイネーブラにした燃焼コンセプトによって、熱効率を支配する制御因子を理想に近づけ、トルクフルで伸びやかな加速性能、クラストップレベルの低燃費、NO_xの後処理を必要としないクリーンな排気を実現した。この価値を踏襲しながら、更なる効率改善と2017年以降に導入されるRDE (Real Driving Emissions) 規制への適合を視野に入れて、「新型SKYACTIV-D 2.2」を開発し、CX-8に搭載した。本稿では、このリニューアルした2.2Lディーゼルエンジンの開発コンセプトとその実現のため採用した新技術について紹介する。

Summary

2012 SKYACTIV-D 2.2 embodied a combustion concept with a low compression ratio and high-efficiency supercharging as key enablers and realized torqueful and smooth acceleration, class-top fuel economy and clean emissions without NO_x after-treatment systems. Maintaining these values, Mazda has developed new SKYACTIV-D 2.2 and installed on CX-8, with a view to further improve thermal efficiency and comply with the RDE (Real Driving Emissions) legislation beginning in 2017. This paper describes a development concept of and new technologies adopted to the new 2.2L diesel engine.

1. はじめに

2012年に発売したCX-5に初めて搭載した排気量2.2Lの新世代クリーンディーゼルエンジン「SKYACTIV-D 2.2」(以下従来型)は、トルクフルで伸びやかな加速性能、クラストップレベルの低燃費、NO_x後処理を必要としないクリーン性能⁽¹⁾⁽²⁾を実現した。

本稿では、どこまでも走り続けたいSKYACTIV-Dならではの加速性能と燃費性能を更に向上し、リニューアルした「新型SKYACTIV-D 2.2」(以下新型)の開発コンセプトとその実現のため採用した新技術について紹介する。

2. 開発コンセプトと主要諸元

マツダは究極の内燃機関を目指して、熱効率の制御因子の状態を理想に近づける取り組みをFig. 1に示すように、

続けている。ディーゼルエンジンにおける1st Stepは、超低圧縮比と高効率過給をキーイネーブラにして、複数の制御因子を連鎖反動的に効率化するSKYACTIV-D燃焼コンセプトを実現した。新型の開発は、同じ燃焼コンセプトを踏襲しながらも更なる効率改善と、2017年以降に欧州から世界各国に広がるのが想定されるRDE (Real Driving Emissions) 規制をクリアするクリーン燃焼の拡大をねらった。具体的には、次の3つの視点で機能向上を図った。

- ・燃料噴射の高精度・多段化による燃費向上
- ・過給能力向上による加速性能向上
- ・機械抵抗の更なる低減による燃費向上

これらの視点を実現する新たなブレークスルー技術は、概要をFig. 2に示し、詳細を後述する。新型の主要諸元をTable 1に、システム概要をFig. 3に示す。

*1~3 エンジン設計部
Engine Design Engineering Dept.

*5 パワートレイン開発本部
Powertrain Development Div.

*4 エンジン性能開発部
Engine Performance Development Dept.

*6 パワートレイン企画部
Powertrain Planning Dept.

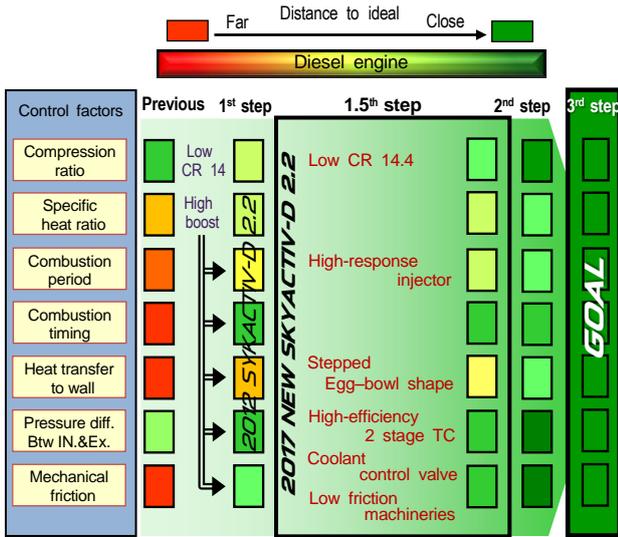


Fig. 1 Vision for Evolution of Diesel Engine

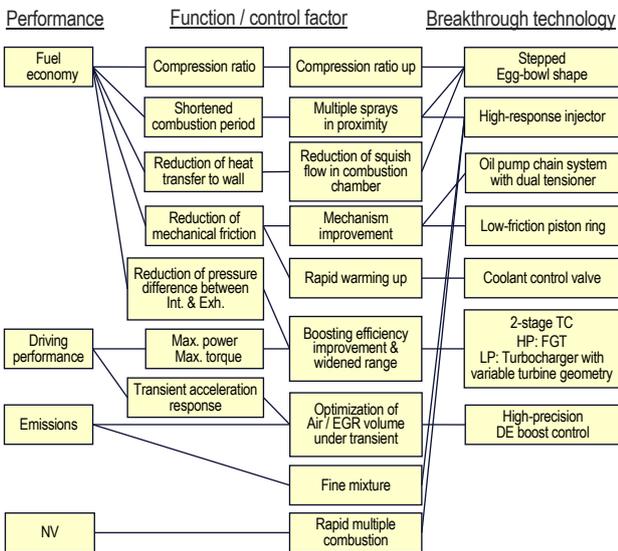


Fig. 2 Upgrading Technologies

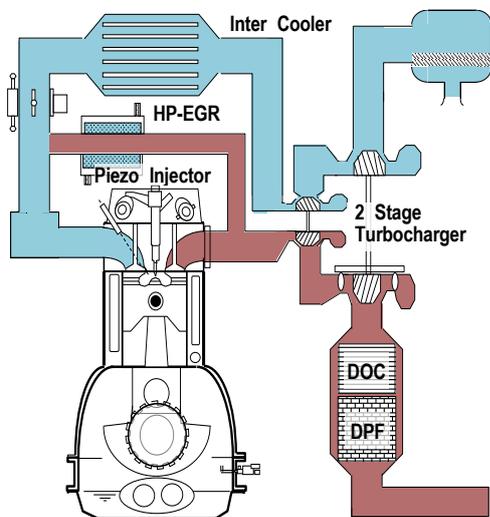


Fig. 3 Engine System

Table 1 Specifications

| Engine | 2012 SKYACTIV-D 2.2 | 2017 New SKYACTIV-D 2.2 |
|-------------------------|-----------------------------|--|
| Engine Type | In-Line 4 | ← |
| Displacement | 2188 cm ³ | ← |
| Compression ratio | 14.0 | 14.4 |
| Fuel Injection System | Common Rail System | ← |
| | G3P (Piezo) | G4P-i (Piezo w/ i-ART®*) |
| Max. Injection Pressure | 200 MPa | ← |
| Combustion Bowl Shape | Conventional Egg-Bowl Shape | Stepped Egg-Bowl Shape |
| 2 Stage Turbocharger | HP: FGT LP: FGT | HP: FGT LP: Turbocharger with variable turbine geometry |
| EGR System | HP-EGR | ← |
| After-treatment System | DOC + DPF | ← |
| Max. Torque/rpm | 420 Nm / 2000 rpm | 450 Nm / 2000 rpm |
| Max. Power/rpm | 129 kW / 4500 rpm | 140 kW / 4500 rpm |
| Emissions | JPN H21 | JPN H30 (WLTC) |

* 「i-ART®」 is a registered trademark of DENSO CORPORATION

3. 性能パフォーマンス

3.1 出力/トルク性能

新型では更なる商品性改善のため、最大出力、最大トルクの拡大を図った (Fig. 4)。最大空気量の増量と燃料噴射率の向上による燃焼期間短縮により、SKYACTIV-D 燃焼コンセプトの特徴である最高燃焼圧力13.5MPaの低Pmax燃焼を踏襲しつつ、更なる高出力・高トルク化を実現した。

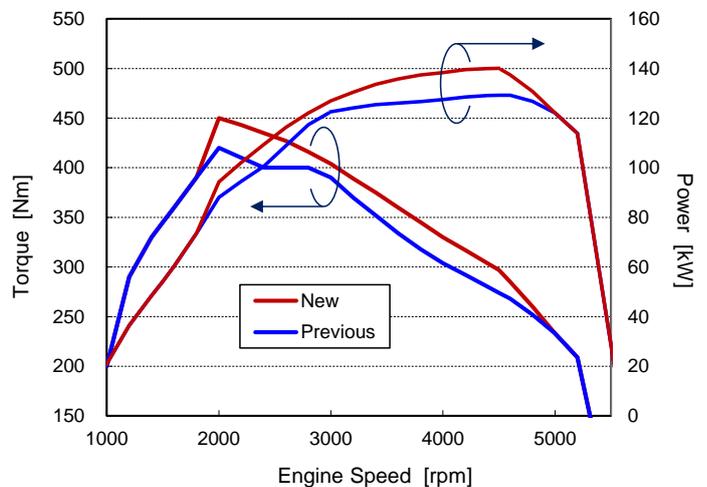


Fig. 4 Engine Performance

3.2 燃費性能

1.5Lで導入した段付きエッグシェイプ燃焼室コンセプト^③の採用により膨張行程初期の冷却損失を低減, また高応答インジェクタによる混合気形成の最適化, 後述の機械抵抗の更なる低減により, Fig. 5に示す燃費改善を実現した。更に1.5Lで導入した冷却水制御バルブの採用により, シリンダーライナ壁面, ピストンの早期暖気を実現し, 車両燃費性能の向上を図っている。

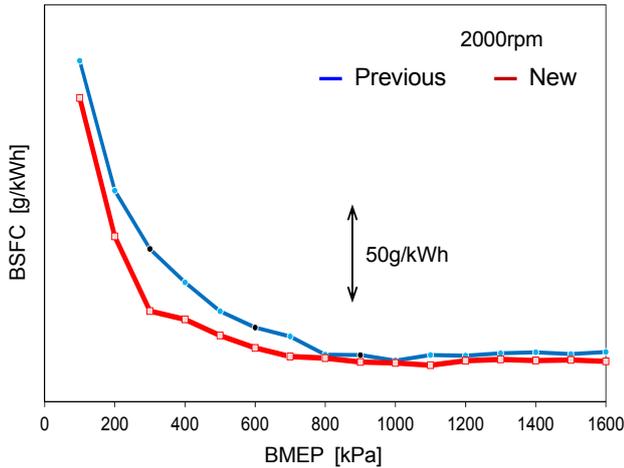


Fig. 5 Fuel Consumption

3.3 環境性能と走り性能の両立

新型は新しい規制である世界統一試験サイクル (以下WLTC), 及びRDEをクリアすることを前提として開発した。これらの新しい規制サイクルは市場での実走行との相関性を持つことを目的としている。その加速度分布はその意図どおりに市場走行シーンのそれと一致しており (Fig. 6), 今まで以上に幅広い運転領域にて走り・燃費・エミッションの両立が必要である。

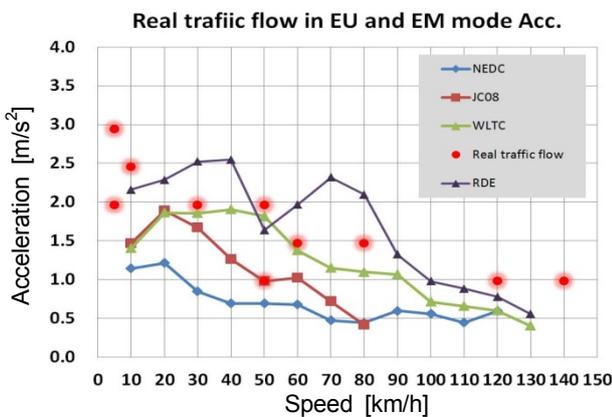


Fig. 6 Acceleration Distribution

一般的にディーゼルエンジンは, 走り・燃費・エミッションがトレードオフの関係にあり, NOx目標と走り目

標を適切に定めることが商品性向上のためには重要である。EGRを主としたNOx低減は, 過給システムの応答悪化やスモークの更なる抑制により, 日常の走り性能悪化の要因となり得る。そこで新型では, 理想とする走り性能のコンセプトを立て, 後述するDE精密過給制御により, 走りと NOx抑制の最適化を同時に実現した。

その大幅な加速性能改善結果をFig. 7に示す。

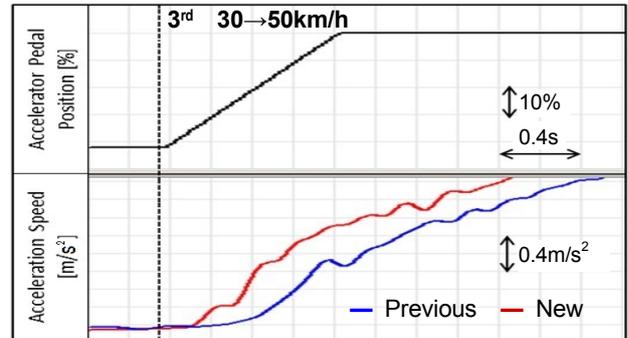


Fig. 7 Acceleration Performance

4. ブレークスルー技術

4.1 燃料噴射システム

熱効率を支配する7つの制御因子のうち, 燃焼期間の短縮をねらい, 燃料噴射量を緻密に制御する技術として, 新たな燃料噴射システム (G4P-i) を採用した。

具体的には, 各気筒のインジェクタの上部に燃圧センサーを内蔵した次世代ピエゾインジェクタに対し, 従来からのフィードフォワード制御に, インジェクタ内の燃圧変化を用いて噴射量や噴射時期をフィードバックする制御 (i-ART[®]) を追加することで, 噴射量制御機能を高め, Fig. 8に示すような多段燃料噴射による精密な燃焼制御を実現した。

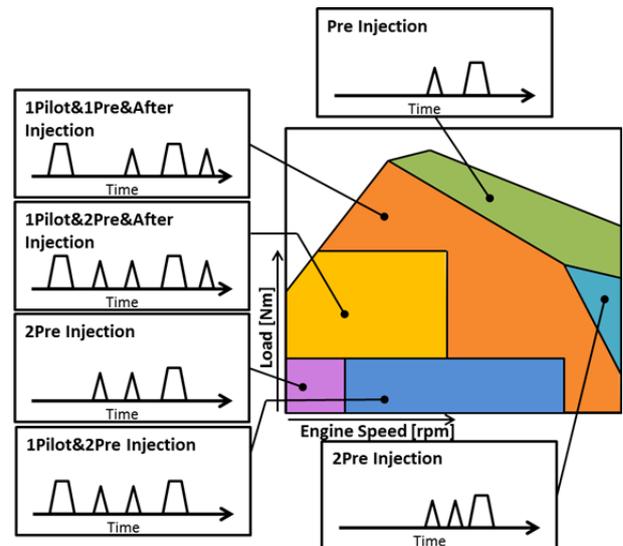


Fig. 8 Multi-Stage Injection Control Strategies

また、本システムにより、近接多段燃料噴射が実現できるため、キャビティの中に全ての燃料が噴射でき、段付きエッグシェイプ燃焼室の壁面熱伝達低減効果を最大限引き出すことを可能とした。その結果、燃焼音と排気性能への弊害なく、Fig. 9に示すように燃焼期間の短縮を図った。

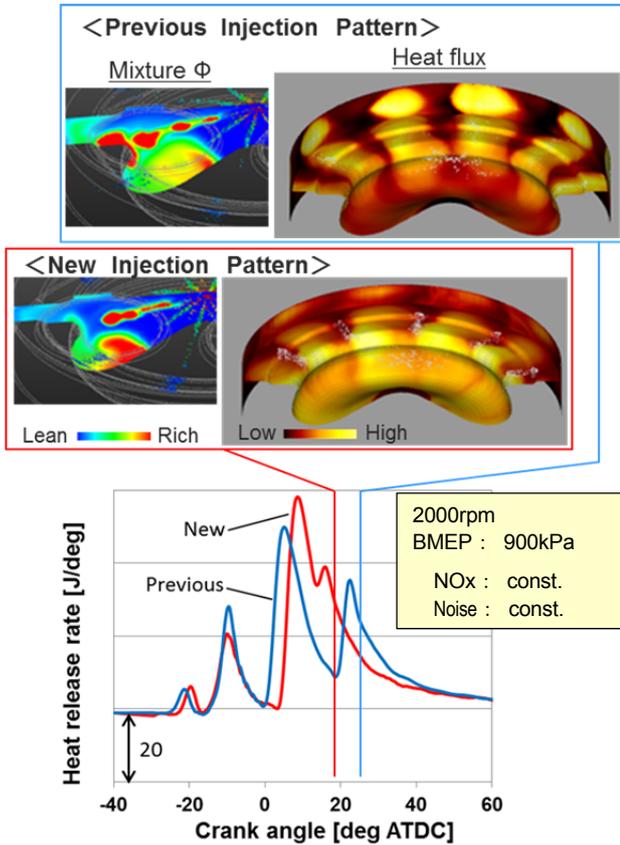


Fig. 9 Comparison of Rate of Heat Release

4.2 2ステージターボチャージャシステム

従来型で採用していた2ステージターボチャージャに対し、新型では大型ターボチャージャを固定ジオメトリターボチャージャから可変ジオメトリターボチャージャ（以下VGターボチャージャ）に変更した（Table 2, Fig. 10）。VGターボチャージャを採用したことで、小型ターボチャージャ運転領域とのつながりがスムーズになり、全域での滑らかな走りを実現した。

またVGターボチャージャを駆動するアクチュエータと、小型ターボチャージャ⇄大型ターボチャージャの切り替えを行うレギュレーティングバルブアクチュエータに電子制御式を採用することでより緻密な制御が可能になり、レスポンスが良く、かつ高効率で過給できる運転域が広がり、加速時、及び高速走行時のパワフルな走りを強化した。

Table 2 Specification Comparison

| Engine | | Previous 2.2L | New 2.2L |
|------------------|---------------------------------|---------------------|---|
| HP turbo | Turbo type | FGT | FGT |
| | Water cooled at bearing housing | with | without |
| Regulating valve | type | Butterfly type | Swing arm |
| | Control device | Vacuum Actuator | Electric Actuator |
| LP turbo | Turbo type | FGT with waste gate | Turbocharger with variable turbine geometry |
| | Control device | Vacuum Actuator | Electric Actuator |
| | Turbine housing | Cast iron | Double wall sheet metal |
| | Water cooled at bearing housing | with | without |

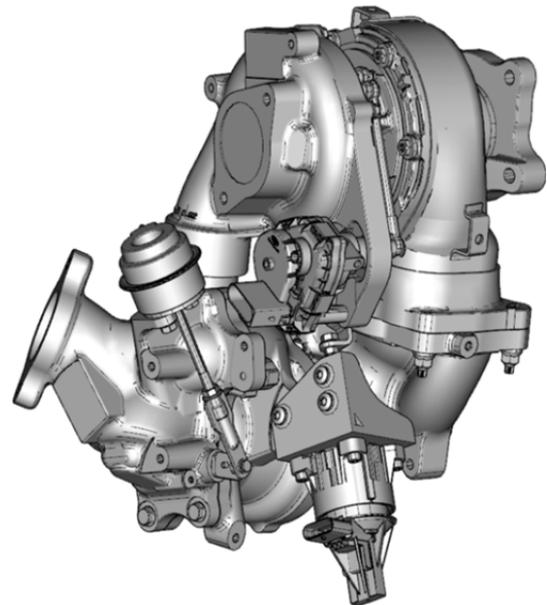


Fig. 10 2 Stage Turbocharger

一方、通常VGターボチャージャにすると、排気通路内部品の追加により質量は増加方向となるが、新型では大型側タービンハウジングを従来の鋳鉄から2重管構造に変更したこと、及び大型側のタービンハウジングの排気経路を変更したことにより、ターボチャージャトータルでの質量を約10%低減した。また2重管化による断熱効果により、排気ガス温度の低下を抑えて、DOC（Diesel Oxidation Catalyst）の早期昇温を実現した。この2重管構造は、ステンレス製プレス板とステンレス鋳物を組み合わせてTIG溶接で接合しているが、運転時の振動や熱による応力をCAEの積極活用で高精度に把握することで、各部の応力を低減させた最適形状とし、信頼性を確保している。

上記以外にも、従来型のターボチャージャに対してスペックを見直した。軸受は抵抗を従来型比約70%低減した低抵抗型を採用し、各ターボチャージャのインペラは、ねらいの過給特性に合わせたサイズ変更と最新設計の形状により高効率化を実現した。

4.3 DE精密過給制御

従来型は変速の少ない力強い加速、ガソリンエンジンのような高回転までの伸び感を実現した。しかし常用域での加速シーンでは、アクセル操作に対する加速度の応答遅れやねらい以上の加速度が発生する場合がある (Fig. 11)。

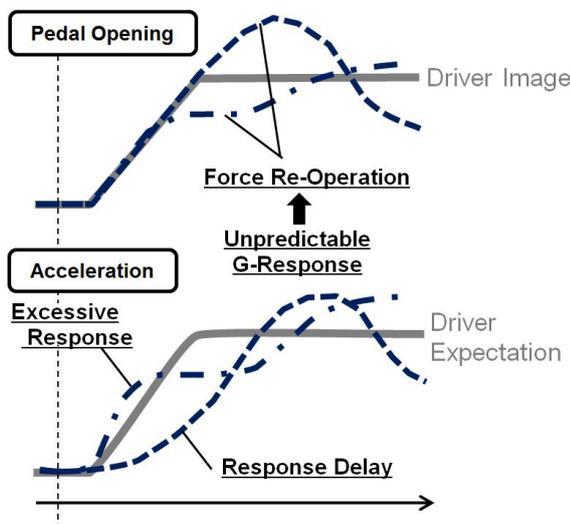


Fig. 11 Expected Acceleration

この意図しない加速度応答のために、踏み足しや踏み戻しなどの余計な操作を強いられている。そこで期待どおりの加速度応答を得る「人間中心の技術」として、過渡時のトルクコントロールを定常走行の噴射量主体から空気量主体へと変更し、以下の開発を進めた。

- ・空気量の初期応答性向上
- ・空気量のきめ細やかなコントロール

加速度の反応遅れは、気筒ごとの応答性がある噴射制御に対して反応時定数が大きく、反応が遅い過給システムに起因している。そこで、過給システムによる反応遅れをHP-EGRシステムの制御により補った。HP-EGRシステムは過給システムよりも経路が短い。また、EGRバルブを絞ることで、吸気酸素濃度と過給器へ流入する排気エネルギーを同時にすばやく増加させることができる。この特性を利用し、アクセル操作に応じたEGR制御をすることで過給初期の空気量の応答性を向上させた。

また、ひとたび過給が始まれば排気ポート後の圧力、及び流量が増大するため、加速中広範囲にわたって空気量とEGR量を同時確保することができる。そこで、アクセル

セルの操作スピード・量からドライバーの要求加速度を予測し、空気量をきめ細やかに制御することでねらいどおりの加速度を得るとともに、広範囲の運転シーンにおいてNOx抑制とスモーク低減の最適化も同時に実現した。

本制御を採用した新型と従来型の実車加速データの比較をFig. 12に示す。1) はアクセルペダル開度、2) は噴射量で、加速度・トルクを代用している。従来型では応答遅れによる過度なアクセルの踏み込みから戻しがあるのに対し、新型ではアクセル操作の修正なく、期待どおりの加速が得られている。NOxは同等、スモークは低減したうえで、「人間中心の走り」を実現した。

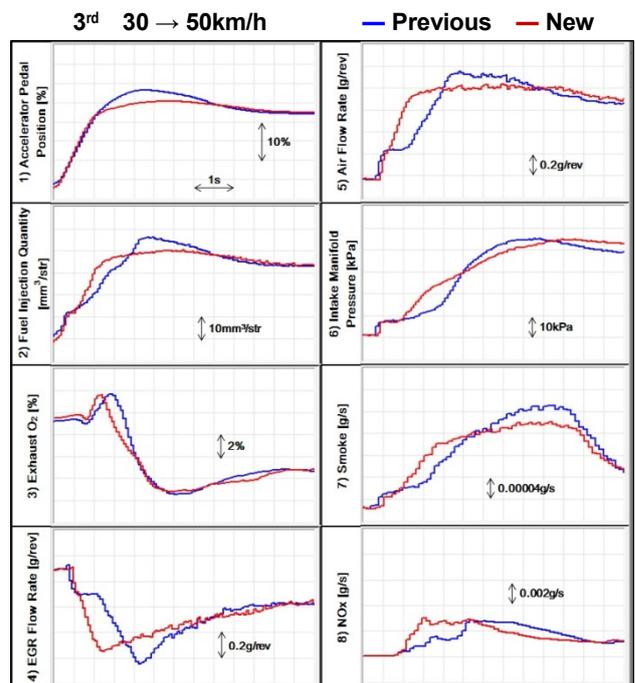


Fig. 12 Expected Acceleration

4.4 抵抗低減

(1) 冷却水制御バルブ (CCV)

新型では、Fig. 13に示す冷却水制御バルブを採用した。

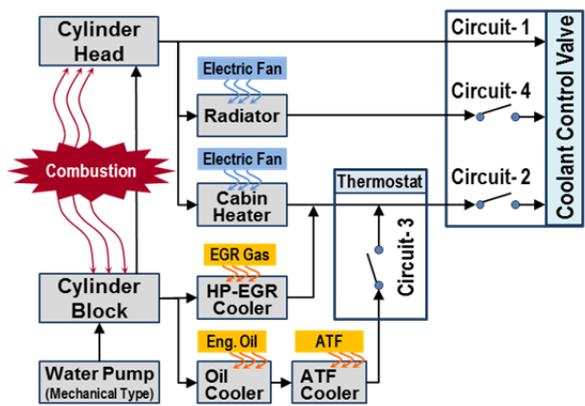


Fig. 13 Coolant Control Valve

この冷却水制御バルブは機械式ウォーターポンプ、サーモスタットとの組み合わせで、燃焼や摩擦で発生した熱を必要な場所へ必要なタイミングで送ることを可能とした。冷間始動時にシリンダーヘッド、シリンダーブロックへの水流を最小限に制御し、燃焼室近傍以外への熱拡散を抑えることで、シリンダーライナ壁（表面油膜）の昇温早期化による摩擦抵抗低減を実現した。エンジン実験での検証で冷間始動200sec後に、シリンダーライナ壁温として約7°Cの昇温効果を確認した。

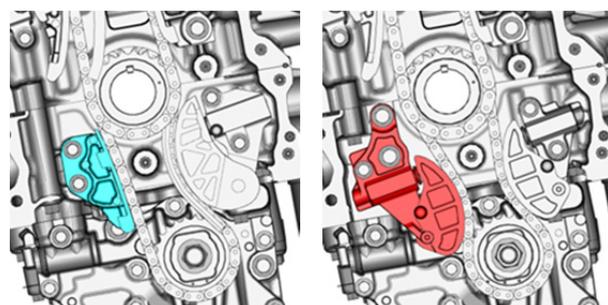
(2) ピストンリング

新型のピストンリングは、2ピースオイルリングでは世界初となる連続する二つの曲率半径からなる同方向偏心バレル形状のプロフィールを採用した。この同方向偏心バレル形状により得られるオイル消費性能の改善分を機械抵抗に機能再配分する事で、リング張力による抵抗を最大で約30%低減した。

(3) オイルポンプチェーンシステム

新型では、デュアルテンショナ式のチェーンシステムを開発した (Fig. 14)。

このチェーンシステムは、一般的な張り側のチェーンガイドを油圧テンショナにすることで、エンジンの回転変動によるチェーン張力を油圧テンショナのダンピングで緩和し、チェーン張力の大幅な低減を可能とした。これにより、最大チェーン張力を全域で約20%低減した。



Single tensioner system

Dual tensioner system

Fig. 14 Comparison of Oil-Pump Chain System

5. おわりに

「新型SKYACTIV-D 2.2」は、従来型の進化版として、熱効率を支配する各制御因子の改善と、燃焼・過給など制御技術の進化により、更なる加速レスポンスの向上、静粛性の向上を実現した。これらのハード&ソフト両面からの技術の進化により、上質で意のままのレスポンスを体感できるクリーンディーゼルエンジンとして仕上がった。

参考文献

- (1) 森永ほか：SKYACTIV-D エンジンの紹介, マツダ技報, No.30, pp.9-13 (2012)
- (2) T. Sakono, et al. : 20th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology, pp.943-965 (2011)
- (3) 平林ほか：小排気量クリーンディーゼルエンジンSKYACTIV-D 1.5 の開発, マツダ技報, No.32, pp.21-27 (2015)

■ 著 者 ■



山谷 光隆



平林 千典



末國 栄之介



上杉 康範



辻 幸治



松本 正義

論文・解説

25

自動車の窓枠形状が感性に関わる脳活動に与える影響

Effect of the Shape of a Front Window Frame
on Brain Activity Related to Kansei

| | | | | |
|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 岡本 宜久 ^{*1} | 笹岡 貴史 ^{*2} | 吉田 敏宏 ^{*3} | 岩瀬 耕二 ^{*4} | 千葉 正基 ^{*5} |
| Yoshihisa Okamoto | Takafumi Sasaoka | Toshihiro Yoshida | Kouji Iwase | Masaki Chiba |
| 道田 奈々江 ^{*6} | 岸 篤秀 ^{*7} | 西川 一男 ^{*8} | 山脇 成人 ^{*9} | 農沢 隆秀 ^{*10} |
| Nanae Michida | Atsuhide Kishi | Kazuo Nishikawa | Shigeto Yamawaki | Takahide Nouzawa |

要 約

従来、フロントウィンドウ周りのAピラー、フロントヘッダー、インパネ上端などで構成される窓枠形状の違いが運転しやすさや楽しさに影響することが知られていた。例えば、Aピラーの傾きが小さく、長方形に見える窓枠（長方形窓枠）は運転しやすく、Aピラーの傾きが大きく、逆台形に見える窓枠（逆台形窓枠）は運転しにくいとフィーリング評価されていた。

そこで、MRI（Magnetic Resonance Imaging）による脳計測で、そのメカニズムの解明を試みた。実験では、それぞれの窓枠越しに見える模擬走行環境の動画上に、ランダムなタイミングでターゲットを提示し、ターゲットが提示されたら、できるだけ早くボタンを押すタスクを課して機能的MRI計測を行うとともに、ワクワク感の主観評価を取得した。

結果、逆台形窓枠は、長方形窓枠と比べて、Aピラー近くに提示されたターゲット検出において、反応時間の増大と、注意をコントロールする機能を有する脳部位における有意な活動が見られた。またこの部位の活動は、運転経験が長い被験者群において、ワクワク感と負の相関がみられた。

以上から、長方形窓枠は、逆台形窓枠と比較して、注意コントロール負担が小さいため運転しやすく、ドライバーにワクワクする良い感性状態を提供できると考えられる。

Summary

The shape of a front window frame is formed by A-pillars, a front header, an upper surface of the instrument panel, and others. It is known to affect the ease and pleasure of driving operation; however, the underlying mechanism in the brain is unknown. Hence, in this study, we conducted experiments to elucidate this mechanism using magnetic resonance imaging (MRI).

During the experiment, targets were presented at random on a driving-simulating animation of the outside of a vehicle, viewed through two types of window frames with a differently angled A-pillar. The participants pressed a button as quickly as possible when the target appeared. In addition, they performed subjective ratings on their level of excitement.

The results showed that the reaction times to detect the target presented near the A-pillar were extended when the pillar was tilted. In relation to the increase in reaction times, the brain region, which is suggested to be involved in controlling visual attention, was activated. In addition, the activity of this region was negatively correlated with the subjective ratings of excitement in the participants who had considerable driving experience.

From the above results, adopting the “rectangle-shaped front window” as a basic policy will create good Kansei conditions that will decrease the burden of attention control and eliminate the hindrance to excitement.

*1,3,4,6~8,10 技術研究所
Technical Research Center

*5 統合制御システム開発本部
Integrated Control System Development Div.

*2,9 広島大学大学院 医歯薬保健学研究科 精神神経医科学
Graduate School of Biomedical & Health Sciences, Department of Psychiatry and Neurosciences, Hiroshima University

1. はじめに

自動車のドライバーは、フロントウィンドウ周りのAピラー、フロントヘッダー、インパネ上端などで構成される窓枠を介して、外界を見て運転している。これまで、窓枠の形状の違いが運転しやすさに影響することは、フィーリング評価によって判っていたが、なぜそのような影響が生じるのか、そのメカニズムは不明であった。

そのメカニズムが解明できれば、意のままの走りにつながる運転のしやすい窓枠周りのデザインを、人間の特性に基づいて、なぜそのようなデザインになっているかという意味的価値とともに、お客様に提供することができる。

そこで、この人間に内在する窓枠越しの外界認知メカニズムの解明に取り組んでいる。そのためには、窓枠の違いが、脳における外界の認知や注意に関わる機能に、どのような影響を与えているのかを理解する必要があるとともに、感性に関わる脳の働きを計測する必要がある。脳の働きを計測するさまざまな技術が実用化されているなかで、認知や注意、また感情や情動と関連する感性に関わる脳活動を計測するには、脳の深部までを含めた脳全体を、高い空間分解能で計測できる、MRIを用いた計測法が適切であると考えた。

MRI計測環境では、実走行は不可能であり、走行風景と窓枠を模擬した動画を、限られた画角で提示する方法を採らざるを得ない。また、実験協力者はMRI装置内に仰臥した姿勢をとる必要がある。このように、MRIを用いた脳機能計測では、実際の走行条件と差異があることは避けられない。しかし、実験協力者に走行風景と窓枠を単純化し模擬した動画を提示し、窓枠形状のみが異なる条件間において、脳の活動状態と行動の違いについて、矛盾のない解釈ができれば、窓枠形状の違いに対して、実車で生じるフィーリングの違いを説明できると考えられる。

今回は、従来のフィーリング評価により、外界が認知しやすく運転しやすいとされている、Aピラーが垂直に見え、窓枠全体として長方形に見える窓枠の特徴に注目して、以下の実験を実施した。

2. MRI実験の方法

2.1 実験デザイン

実験装置をFig. 1に示す。実験協力者に対して相対位置の変化しない枠を窓枠に見立て、それを介して見える走行中の外界の景色を模擬した動画をディスプレイに表示し、MRIスキャナに仰臥する実験協力者に提示した。

更に中心に常時固視点（黒色の十字）を表示し、固視点と同じ垂直位置で水平位置の異なる5か所に、ランダムなタイミングと順番でターゲット（赤色の円）を1秒間表示した（Fig. 2）。

実験協力者には、運転しているつもりになって、固視点から視点を動かさないようにしながら、ターゲットが出現したら出現した位置にかかわらず、右手で把持している押しボタンスイッチを、親指でできるだけ早く押すように教示を行った。

窓枠条件は、フィーリング評価の良い、外界を認知しやすい窓枠の形として、Aピラーが垂直（垂直ピラー条件；Fig. 2(a)）と、外界を認知しにくい窓枠の形として、Aピラーが斜め（斜めピラー条件 Fig. 2(b)）の2条件を設けた。これらの窓枠に対し2種類の速度条件を設け、窓枠条件（垂直・斜め）×速度条件（60km/h・160km/h）の4条件とした。1回の実験において7分10秒のセッションを、計4セッション実施した。1セッションのターゲット提示は100回（各ターゲット位置×20回）であった。

また、運転中のフィーリングの良さには、移動している感覚をポジティブに感じられるという、感性的な評価も寄与していると考えた。そこで、この感性的な評価を

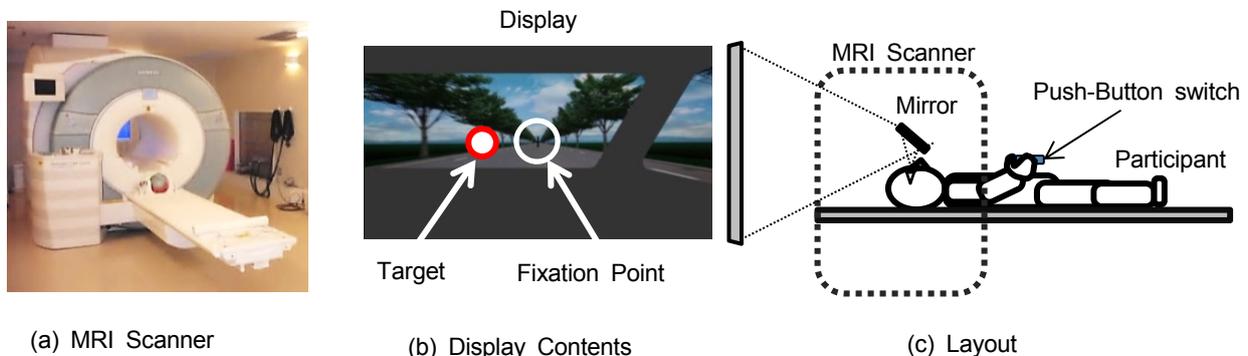


Fig. 1 Experimental Equipment

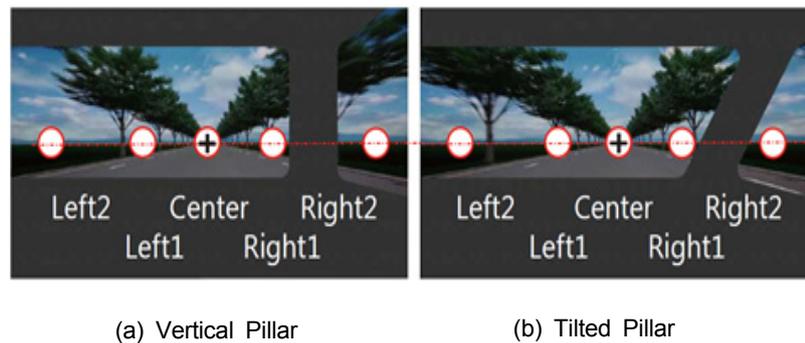


Fig. 2 Stimuli Used in the Visual Target Detection Task. Target Was a Red Circle Presented at Either of Five Different Locations (Left2, Left1, Center, Right1, and Right2). The Window Shield with a (a) Vertical or (b) Tilted A-pillar Was Superimposed on a Simulated Driving Environment

ワクワク感として計測するため、各セッションの終了後に、課題を行っている時のワクワク感の程度について、0～100で回答を求めた。

2.2 MRI計測条件

3.0T MRI装置 (Siemens MAGNETOM Verio) を用い撮像パラメータは、TR=2000ms, TE=24ms, 30slices, Slice Thickness=4mm (without gap), Voxel size=3×3×4mm, Flip angle=75°, Field of view=192mmとした。この設定によって、脳を2秒周期で水平方向に4mm厚で30スライスした画像を、セッション中連続して記録した。なお、1ボクセルの大きさ (Voxel size) は脳画像の空間分解能を示す。

2.3 実験協力者

実験協力者は年齢19～52歳、右利きの35名 (男性: 16名, 女性19名, 1名の男性を除いて右利き) であった。

大学生とマツダ社員から募集し、内訳は、大学生が18名 (男性8名, 女性10名), 平均22.3歳 (SD 2.4), 運転歴は平均0.8年 (SD 1.5) うち免許なしは4名であり、マツダ社員が17名 (男性8名, 女性9名), 平均35.9歳 (SD 6.9), 全員運転免許を保持し、運転歴は平均12.7年 (SD 8.4) であった。

なお、MRI計測精度を低下させる頭部の動きが大きかった3名 (大学生2名, マツダ社員1名, いずれも女性) を脳活動解析から除外した。

2.4 実験倫理

本実験は、広島大学及びマツダ(株)の研究倫理委員会にて承認を得て実施した。実験協力者には、インフォームドコンセントを実施し、実験参加への意志を書面にて確認した。

3. 反応時間

ターゲット検出課題の反応時間 (n=35) をFig. 3 に示す。窓枠×速度×ターゲット位置の実験協力者内3要因分散分析を行った。その結果、ターゲット位置、速度の主効果が有意 ($p < 0.005$) であり、速度60km/hは速度160km/hより反応時間が短く、ターゲット位置に関しては、修正Shaffer法による下位検定の結果、全てのターゲット位置の間に5%水準で有意な差が認められた。

また、ターゲット位置×窓枠の交互作用が有意 ($p < 0.01$) であり、ターゲット位置によって、窓枠の種類に対する反応時間の変化が異なっていることが示された。ターゲット位置Right2での窓枠の単純主効果が有意 ($p < 0.05$)、ターゲット位置Left2での窓枠の単純主効果が有意傾向 ($p = 0.066$) であった。このように、ターゲット位置Right2, Left2において、運転しやすい垂直ピラー条件では、反応時間が短くなるという行動の変化が現れた。

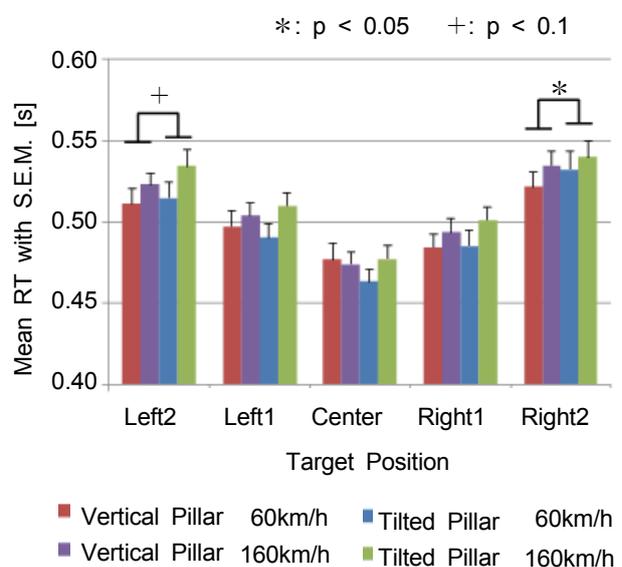


Fig. 3 Reaction Time

そこで、ターゲットの検出時に脳がどのように活動していたかを、窓枠の単純主効果が有意であった、ターゲット位置Right2に対して検討した。

4. 反応時間と脳活動

MRIにより計測したデータは、MATLAB (The MathWorks, Natick, MA) 上で動作する脳機能画像解析ソフトウェアSPM12⁽¹⁾ を用いて解析した。ターゲット位置Right2にターゲットが提示されたとき、斜めピラー条件において、垂直ピラー条件と比較して、楔前部 (precuneus) において有意に大きな活動が見られた (Fig. 4)。

Tilted Pillar > Vertical Pillar

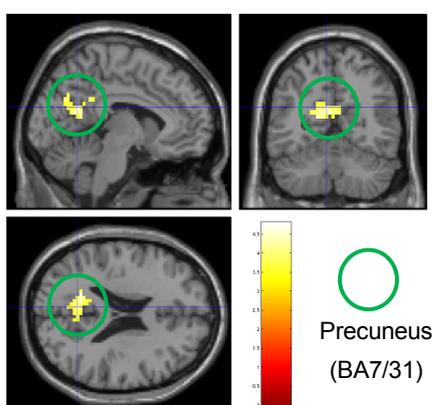


Fig. 4 Significant Brain Activities in the Tilted Pillar Condition Relative to Those in the Vertical Pillar Condition for Detection of the Target Presented at Right2 (Uncorrected $p < 0.001$ with 20 Vox. Ext.)

この楔前部は、先行研究 (例えば, Astafievら⁽²⁾ など) によると、注意のコントロールに関連する部位であることが知られている。これを考えあわせると、ターゲット位置Right2において、斜めピラー条件で反応時間が有意に長くなったことは (Fig. 3), 斜めピラー条件において、固視点からターゲットに注意を移すとともに、ボタンを押す作業に必要な注意コントロールに関わる脳活動が増大し、反応時間の増加として行動の変化に現れたと解釈できる。

以上のことから、実走場面においては、Aピラーが垂直となる、窓枠が長方形に見えるデザインでは、Aピラーを越えて注意を移動させる際に必要な認知的負荷が少ないということが考えられる。このようなメカニズムを考慮することによって、運転しやすい窓枠デザインにつながると考えられる。

5. ワクワク感と脳活動

ワクワク感の主観評定値と相関のある脳活動部位の検討を行った。運転経験低群 (大学生 $n=16$) と運転経験高群 (マツダ社員 $n=16$) に群分けすると、異なった脳部位に正の相関がみられた。

運転経験低群では、左上前頭回 (BA9), 運転経験高群では、右下前頭回 (BA45), 両側前頭眼窩野 (BA10), 両側MT野 (BA19/37) にワクワク感との正の相関がみられた (Fig. 5)。この中で、前頭眼窩野 (BA10) は情動の処理に関わっており、意思決定などその他の前頭葉機能と情動を関係づける部位であることが知られている⁽³⁾。また、MT野は運動の知覚に関わる部位であることが知られている⁽⁴⁾。このことは、運転経験高群では運転を模擬した状況に対して、ワクワク感が強く

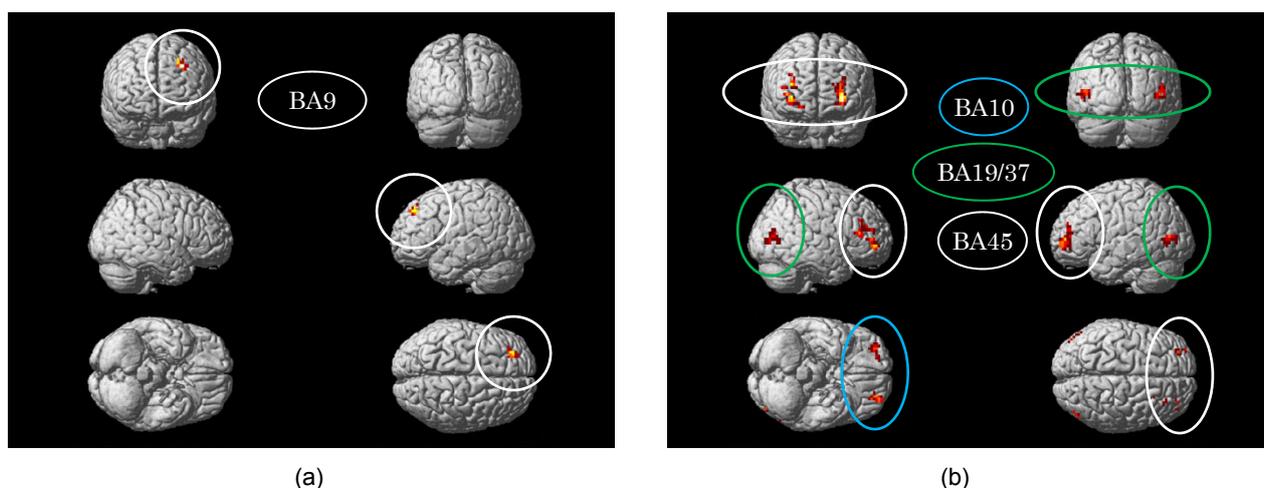


Fig. 5 Brain Activities Positively Correlated with the Subjective Ratings of a Feeling of Excitement. (Uncorrected $p < 0.001$ with 20 Vox. Ext.) (a) The Activation in the Left Superior Frontal Gyrus (BA9) Observed in the Low Driving Experience Group (University Students; $n=16$). (b) The Activation in the Inferior Frontal Gyrus (BA45), Orbitofrontal Cortex (BA10), and Middle Temporal Gyrus (BA19/37) Observed in the High Driving Experience Group (Mazda Employees; $n=16$)

感じられた実験協力者において運動知覚や情動処理の機能が働いたことが示唆される。そのため、運転経験が長いことで、実際の運転場面が想起され、ワクワク感の生起に関連していたと推定される。

一方、ワクワク感との負の相関は、運転経験低群には見られず、運転経験高群の左角回 (BA39) と楔前部 (BA7/31) に見られた (Fig. 6)。このうち楔前部は、ターゲット位置Right2において、脳が活動が、斜めピラー条件において 垂直ピラー条件よりも有意に大きくなった部位と良い一致を示す (Fig. 7)。

これらのことを考えあわせると、運転経験高群では、模擬走行場面においても運動知覚と感情に関わる脳部位がワクワク感と関連して活動し、斜めピラー条件における注意コントロールのための楔前部活動の増大が、ワクワク感を減少させていると解釈することができる。

本研究では模擬環境において運転場面のイメージの想起が比較的小さいと考えられる被験者群において、斜めピラー条件に関連した楔前部の活動とワクワク感に関連が見られなかったが、実際の運転場面では、運転経験高群と同様の現象が起こることは十分考えられる。このため、注意コントロールのための楔前部活動を増大させない垂直ピラー条件に近い長方形に見える窓枠は、全てのユーザーに対して、ワクワクするフィーリングも提供できると考えられる。

6. まとめ

これまで、窓枠形状の違いが運転しやすさに影響することが知られていたが、本研究ではこの現象に関連した人間に内在するメカニズムに迫るため、MRIによって脳活動を計測する手段で取り組んだ。

ピラーの傾きの違いに着目したところ、運転しにくい窓枠では注意コントロールに関わる脳部位 (楔前部) の活動が増加し、運転経験の長い群では、ワクワク感の減少と相関がみられた。

これらの結果から、自動車の窓枠が長方形に見える窓枠デザインは、注意コントロール負担を軽減し、ワクワク感阻害要因を排除するため、運転しやすく、楽しさにつながるというメカニズムがあると考えられる。

以上より、MRIを用いた脳活動の計測は、自動車運転に関わる認知や注意のみならず、マツダの目指すワクワク感のような感情や情動と関連する感性のメカニズム解明に有用であると考えられ、今後更に適用対象を拡大していきたい。

本研究は国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) の研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーション (COI) プログラム」の支援によって行った。

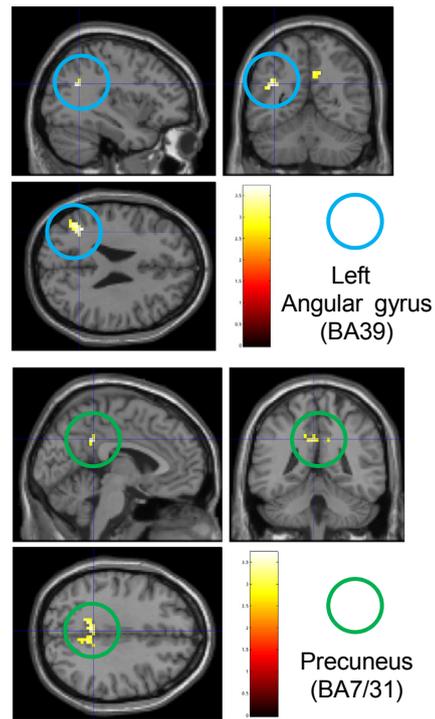


Fig. 6 Brain Activities Negatively Correlated with the Subjective Ratings of a Feeling of Excitement in the High Driving Experience Group (Mazda Employees; n=16) (Uncorrected $p < 0.005$ with 20 Vox. Ext.)

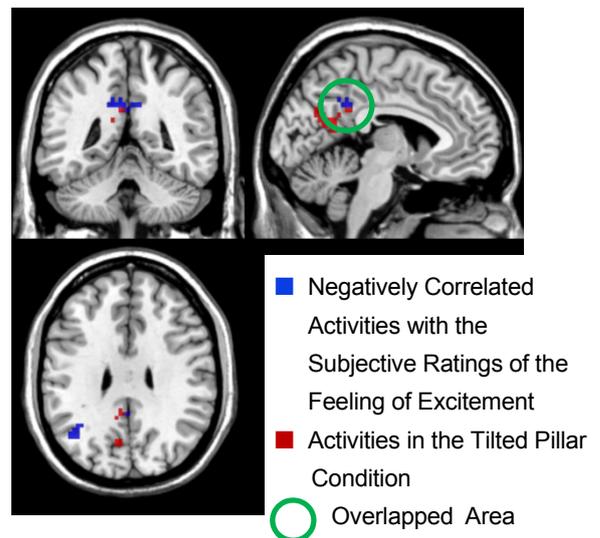


Fig. 7 The Overlapped Brain Regions between Those Negatively Correlated with the Subjective Ratings of a Feeling of Excitement and those Activated in the Tilted Pillar Condition Relative to the Vertical Pillar Condition

参考文献

- (1) Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK. [Online]. Available: www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm. Accessed on: October 21, 2014
- (2) Astafiev, V., et al. "Functional Organization of Human Intraparietal and Frontal Cortex for Attending, Looking, and Pointing." *Journal of Neuroscience* 23,11,4689-4699(2003)
- (3) 例えば, Bechara, A., et al. "Emotion, Decision Making and the Orbitofrontal Cortex." *Cerebral Cortex* 10,3,295-307(2000)
- (4) 例えば, Newsome, W.T., et al. "A Selective Impairment of Motion Perception Following Lesions of the Middle Temporal Visual Area (MT)." *Journal of Neuroscience*, 8,6,2201-2211(1988)

■ 著 者 ■



岡本 宜久



笹岡 貴史



吉田 敏宏



岩瀬 耕二



千葉 正基



道田 奈々江



岸 篤秀



西川 一男



山脇 成人



農沢 隆秀

論文・解説

26

分子動力学法によるガラス繊維強化樹脂複合材の 界面強度向上メカニズム解明

Analyzing Mechanism of Increasing Interfacial Strength in Glass Fiber Reinforced Polypropylene Using Molecular Dynamics

| | | |
|---------------------|--------------------|---------------------|
| 平本 健治* ¹ | 藤 和久* ² | 小川 淳一* ³ |
| Kenji Hiramoto | Kazuhisa To | Junichi Ogawa |
| 住田 弘祐* ⁴ | 王 存涛* ⁵ | 濱田 泰以* ⁶ |
| Hirosuke Sumida | Wang Cuntao | Hiroyuki Hamada |

要 約

自動車の軽量化のため、繊維強化樹脂複合材が注目されている。繊維強化樹脂複合材料の特性には繊維、樹脂のほか、繊維-樹脂界面の特性も大きく影響することがわかっている。そこで界面特性を予測する基礎検討としてガラス繊維強化樹脂射出成形品を対象に界面強度について分子動力学法を用いたモデル構築に取り組み⁽¹⁾、繊維-樹脂界面せん断強度が高くなるメカニズムを説明できるモデルを見出した。このモデルは、界面改質剤であるマレイン酸変性ポリプロピレンとガラス繊維の表面処理剤の分子とが共有結合したモデルであり、せん断変形時にマトリクス樹脂とマレイン酸変性ポリプロピレンとの間の強い絡み合いにより分子鎖の動きが拘束されることで界面強度が向上すると推察される。

Summary

For weight reduction of automobiles, Fiber Reinforced Plastics (FRP) is drawing attention as a promising material. Along with the characteristics of a fiber and a resin, the characteristics of a resin-fiber interface have a great influence on those of FRP. As a basic study for predicting interfacial resin-fiber characteristics property, we performed the methodology of molecular dynamics simulations was adopted to construct a models of resin-fiber interface in the injection molded glass fiber reinforced polypropylene and the model that can explain the mechanism of interface improving was found out. According to the model, it is thought that the covalent bond could be formed between maleic-anhydride-modified polypropylene (MAH-PP, interface modifier) and surface treatment agent of glass fiber, and it is because that there is the strong entanglement between matrix and MAH-PP the movement of molecular chains was constrained so that the interfacial strength was increased.

1. はじめに

繊維強化樹脂複合材料において、繊維-樹脂間の界面の特性に関しては、材料の性能に大きく影響するため、これまで数多くの研究がなされている^{(2)~(5)}。しかし、界面がどのように特性発現に影響しているかを直接扱った事例は少ない。そこで、本報告では界面特性の制御が比較的容易なガラス繊維強化ポリプロピレン（以下、GFPP）の射出成形品を用いて界面強度に対する分子動力学モデルの構築を試みた。また、実験結果との比較を

通じ界面強度向上メカニズムの検討を行った。

2. 実験方法

2.1 供試材

ホモポリプロピレン（日本ポリプロ(株)製 MA1B, 以下PP）に、繊維-樹脂界面の接着性を変化させることをねらってマレイン酸変性ポリプロピレン（以下、MAH-PP）を0wt%、5wt%、10wt%配合し、更に長さ3mm、直径13 μ mのガラス繊維（以下、GF）チョップドストランドを7wt%になるように添加して、(株)プラス

*1~5 技術研究所

Technical Research Center

*6 京都工芸繊維大学

Kyoto Institute of Technology

チック工学研究所製二軸押出機 (BT-30-S2-36-L) により、3mm長のGFPPペレットを調製した。GFは市販の表面処理の異なる2種類を用い、それぞれ処理A及び処理Bとした。これらの組み合わせによりTable 1に示す6種類の供試材を準備した。

Table 1 Material under Test

| Glass Fiber | | PP(wt%) | MAH-PP (wt%) |
|---------------|-------------------|---------|--------------|
| Content (wt%) | Surface Treatment | | |
| 7 | A | 93 | 0 |
| | | 88 | 5 |
| | | 83 | 10 |
| | B | 93 | 0 |
| | | 88 | 5 |
| | | 83 | 10 |

2.2 試験片作製方法

低せん断スクリーを装備した(株)日本製鋼所電動横型220t射出成形機 (J220AD-2M460H/30, 圧縮比:1.8) により、JIS K6921-2に準じて、熔融樹脂温度200℃、金型温度40℃、射出速度200 mm/sの条件で、引張試験用標準ISOダンベル試験片 (厚さ4mm, 長さ175mm) を成形した。

2.3 界面強度評価方法

界面強度の評価には (1) 及び (2) 式で表される Kelly-Tysonモデルを用いた⁽⁶⁾。成形品の引張強度、繊維の体積含有率、繊維長、配向などの実測値を (1) 式に代入して臨界繊維長 l_c を求め、(2) 式より界面せん断強度を算出した。

$$\sigma_{comp}^* = \eta \left\{ \sum_{l_i < l_c} \frac{l_i \cdot \tau}{2r} V_i + \sum_{l_j > l_c} \left(1 - \frac{l_c}{2l_j} \right) \sigma_f^* V_j \right\} + \sigma_m^* (1 - V_f) \quad (1)$$

$$\tau = \frac{r \cdot \sigma_f^*}{l_c} \quad (2)$$

- σ_{comp}^* : 複合材の引張強度
- σ_f^* : 繊維の引張強度
- σ_m^* : 母材樹脂の引張強度
- η : 繊維配向係数
- r : 繊維径
- τ : 繊維/樹脂界面せん断強度
- l_c : 臨界繊維長
- l_i : 長さ l_c 未満の繊維長
- l_j : 長さ l_c 以上の繊維長
- V_i : 長さ l_c 未満の繊維の体積分率
- V_j : 長さ l_c 以上の繊維の体積分率
- V_f : 全ての繊維の体積分率

以下に引張強度の測定方法及び繊維長と配向係数の導出方法を示す。

① 引張試験方法

JIS K7161に準じて、万能試験機 (インストロン製)

を用いて、チャック間距離115mm, 試験速度1mm/minで引張強度を測定した。

② 繊維長測定方法

ダンベル型試験片の一部を切り取り、電気炉を用いて625℃で4時間加熱してPPを焼き飛ばした後、1,000本のGF繊維長を測定した。

③ 配向係数導出方法

ダンベル型試験片平行部の反ゲート側端 (サイズ: 5mm×10mm×4mm) を切り取り (Fig. 1), マイクロフォーカスX線CT装置 (ヤマト科学(株)製 TDM1000H-II (2K)) を用いて、厚み方向に6μmごとに約2mmの深さまでの画像を撮影した。画像の例をFig. 2に示す。この画像を元に、ラトックシステムエンジニアリング (株) 製 TRI/3D-FBR64で基準軸 (Machine Direction) に対する繊維1本ごとの角度を測定し、(3) 式により各成形品の配向係数 η を算出した。

$$\eta = \sum_n a_n \cos^4 \varphi_n \quad (3)$$

ここで、 φ_n はn番目の繊維が基準軸となす角、 a_n は基準軸に対して φ_n の角度となる繊維の割合で $\sum a_n = 1$ である。

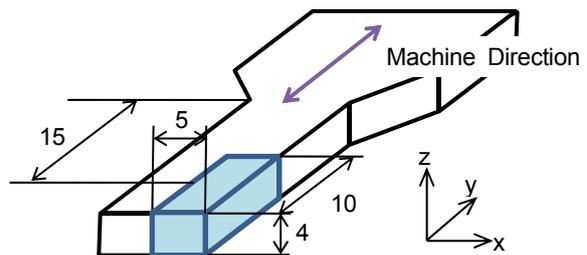


Fig. 1 Measured Part for Fiber Orientation

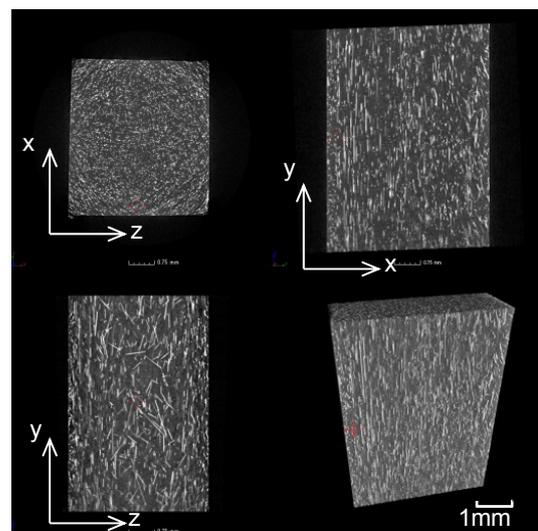


Fig. 2 Image of Micro X-Ray CT

3. 実験結果

3.1 引張試験結果

MAH-PPの添加量及びGF表面処理の異なるGFPP射出成形品の引張強度をFig. 3に示す。表面処理の違いは引張強度に影響していないが、MAH-PPを樹脂に対して5wt%添加した成形品の強度はMAH-PPを添加していない成形品に比べて約15%向上した。一方、MAH-PPを5wt%から10wt%にすると引張強度の向上は約5%であり、MAH-PPの増加に伴い引張強度の上昇率は小さくなる傾向となった。

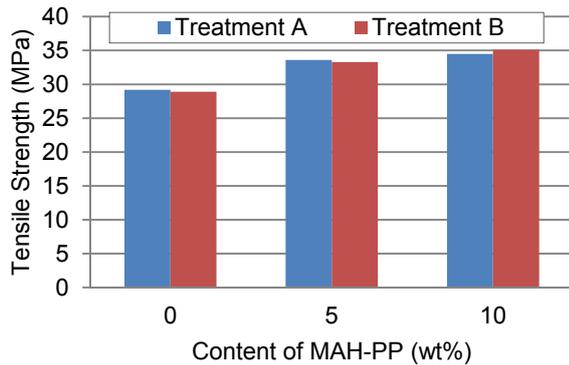


Fig. 3 Effect of MAH-PP Content and GF Surface Treatment Types on Tensile Strength

3.2 繊維長測定結果及び配向係数導出結果

Fig. 4に各成形品中の繊維長の測定結果を、Fig. 5に配向係数導出結果を示す。GF表面処理の違い、MAH-PPの添加の有無によって大きな差はないが、MAH-PPを添加することで、わずかに繊維長が短くなり、配向係数が低くなっていることが確認できた。この原因として、材料の熔融粘度の変化により混練及び射出時のせん断応力や流動が変化した影響などが推察される。

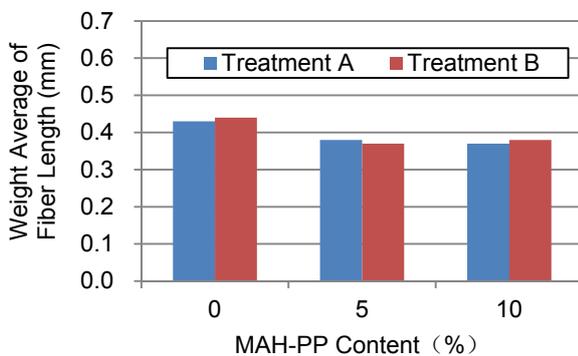


Fig. 4 Relationship between Content of MAH-PP and Weight Average of Fiber Length

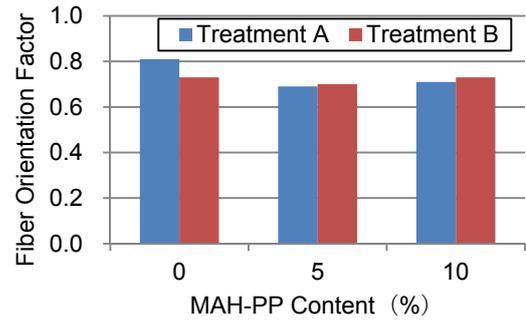


Fig. 5 Relationship between Content of MAH-PP and Fiber Orientation Factor

3.3 界面強度評価結果

Fig. 6にKelly-Tysonのモデル式を用いて求めた界面せん断強度を示す。表面処理による差はほとんどないが、MAH-PPの添加により、成形品の繊維樹脂界面せん断強度はMAH-PPを添加しないものに比べて明らかに向上しているという結果が得られた。また、MAH-PPの添加量が多くなるほど界面せん断強度が高くなる傾向となった。

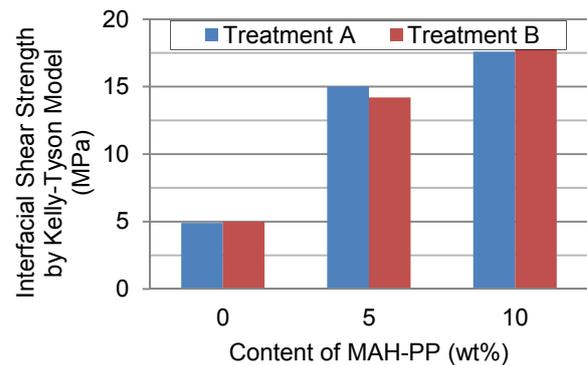


Fig. 6 Effect of MAH-PP Content on Interfacial Shear Strength Obtained by Kelly-Tyson Model

4. 計算方法

4.1 分子力学の概要

分子力学法は原子を質量 m の質点として、(4)式に示すNewtonの運動方程式で原子の運動を計算する手法である。

$$F = m\ddot{r} \quad (4)$$

2原子間に作用するポテンシャル (位置エネルギー) を $U(r)$ とすると、一方の原子が他方の原子から受ける力は(5)式で表され、(4)式に代入して方程式を解くことで、原子の座標、速度、荷重等の情報を得ることができる。

$$F = -\frac{\partial U(r)}{\partial r} \quad (5)$$

原子間に作用するポテンシャルを経験的な簡単な式で

記述する手法を古典分子動力学, 第一原理計算により求める手法を量子分子動力学と呼ぶが, 本研究では前者の古典分子動力学法を用いた。

ポテンシャルにはさまざまな形態の式が提唱されているが, ここでは主な対象が高分子材料であることから, 共有結合と非共有結合を異なる式で求め, これらの和をとる (6) 式を用いた。

$$U = U_{bond} + U_{angle} + U_{torsion} + U_{non-bonding} + U_{coulomb} \quad (6)$$

U_{bond} : 結合伸縮ポテンシャル

U_{angle} : 結合変角ポテンシャル

$U_{torsion}$: 結合2面角ポテンシャル

$U_{non-bonding}$: 非結合相互作用

$U_{coulomb}$: 静電相互作用

(6) 式で用いるパラメーターに対しては複数のデータベースが公開されているが, 今回は汎用性の高いDREIDING力場⁷⁾を用いた。

4.2 計算モデル

モデルの作成にはJ-OCTA[®]を使用した。GFを模擬したSiO₂結晶上に表面処理層を作成し, 更にその上に所定量のMAH-PP分子鎖を混ぜたPPの分子鎖集団を配置した。マトリクス樹脂は密度0.95g/cm³としてセルサイズを決定した。表面処理層の分子構造はGC-MS ((株)島津製作所製TQ8030) による分析結果から分子構造を推定した。

MAH-PP添加によるせん断強度向上の要因として, ①極性の強いMAH-PPと表面処理層官能基との間のvan der Waals相互作用やクーロン相互作用などの非結合相互作用の増加による物理吸着と②MAH-PPが表面処理層官能基と共有結合することによる化学吸着の2つが考えられることから, MAH-PPがマトリクス樹脂に均一に分散している物理吸着モデル及びMAH-PPが表面処理層と結合している化学吸着モデルの2種類のモデルを作成した (Fig. 7)。

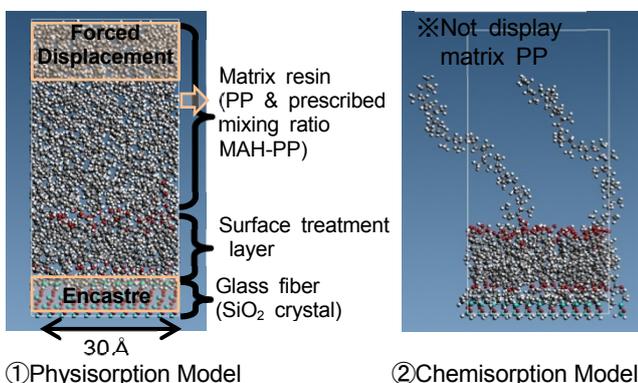


Fig. 7 Model for Molecular Dynamics Simulation

境界条件は周期境界条件下で下部の繊維原子 (SiO₂) を固定し, 上端から10%の範囲にある原子に強制変位を与えた (Fig. 7①)。温度は300Kとした。解析にはOCTA[®]の分子動力学エンジンCOGNACを用い, 富士通(株)製CELSIUS J520 (CPU: 4Core, メモリ: 8GB) 上で全原子分子動力学計算を行った。

5. 計算結果

5.1 物理吸着モデル

せん断応力の時間変化の一例をFig. 8に示す。応力が一定となる点が界面せん断強度に対応すると考え, 応力の増加が緩やかになる150psで表面処理及びMAH-PP添加量の界面せん断強度に与える影響について比較した。その結果, Fig. 9に示すように, MAH-PP添加による界面せん断強度の向上は確認できなかった。また, 実験では処理AとBでは有意差が見られなかったが, 計算では処理Bの方が界面せん断強度は高くなる結果となり, このモデルでは界面強度向上は説明できないことが分かった。

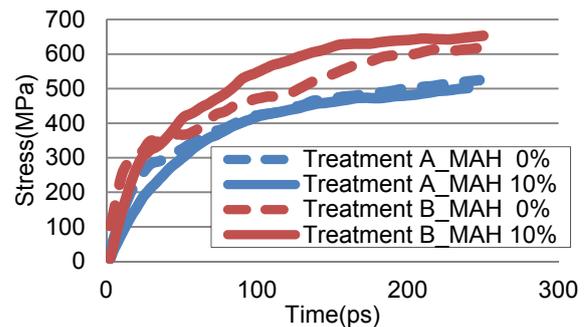


Fig. 8 Simulation Results using Molecular Dynamics Method on Interface Strengths in Physisorption Model

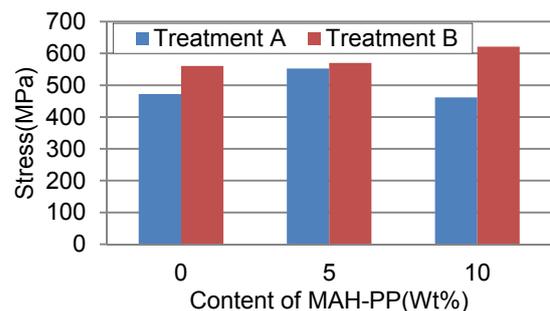


Fig. 9 Relationship between Content of MAH-PP and Simulated Interface Strengths at 150ps

5.2 化学吸着モデル

計算結果をFig. 10に示す。MAH-PP添加により界面強度が向上する様子が表されている。しかしながら, MAH-PPの増加に比例して界面強度の上昇が見られ, また, 実験では有意差のなかった表面処理による差が顕著に出ており, 実験との相関が良くない結果となっている

(Fig. 11)。

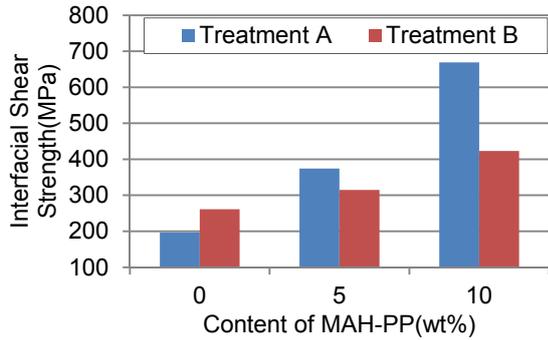


Fig. 10 Relationship between Content of MAH-PP and Simulated Interface Strengths on Chemisorption Model

計算： $2.5 \times 10^3 \text{ m/s}$ ）が影響していると考えられ、今後、時間／空間スケールを実現現象に近づけるために粗視化手法の検討を進める。

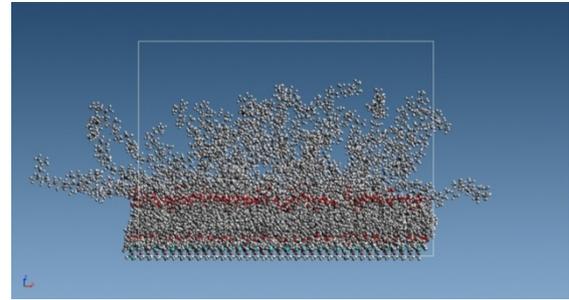


Fig. 12 Modified Chemisorption Model

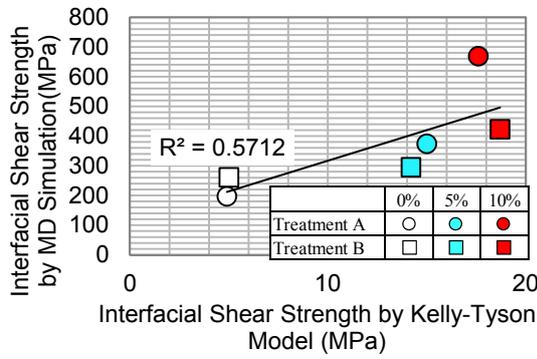


Fig. 11 Relationship between Kelly-Tyson Model and Simulated Results on Interfacial Shear Strength

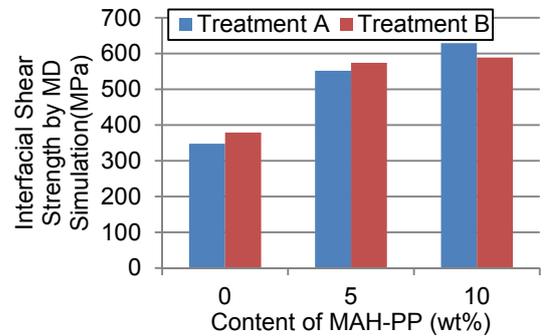


Fig. 13 Relationship between Content of MAH-PP and Simulated Interface Strengths on Modified Chemisorption Model

5.3 化学吸着モデルの改良

5.2のモデルでは、MAH-PPの配向は分子構造最適化計算結果を用いているため、表面処理の違いにより配向が異なっている。一方、同じ表面処理でも配向を変えると界面強度が変化する計算結果が得られたことから、Fig. 10で実験では見られなかった表面処理の違いによる界面強度の差が生じたのはMAH-PPの配向に起因すると考えられる。そこで、表面処理層と結合したMAH-PPがより現実に近いと考えられるランダムに配向したモデルを作成した (Fig. 12)。配向角は一様乱数により決定した。その結果をFig. 13に示す。表面処理による有意差はなく、MAH-PPの添加量が多くなるほど界面せん断強度が高くなる実験の傾向を再現しており、実験結果と比較して良い相関が得られることがわかった (Fig. 14)。このことからMAH-PPによる界面せん断強度向上は、表面処理層との吸着状態だけでなく、表面処理層と結合したMAH-PPとマトリクス樹脂との間の分子鎖の絡み合いによって分子運動が拘束されることで生じると推定される。現状では計算で得られる応力値は実験値より1桁から2桁高くなっているが、これは変形速度 (実験： $1.7 \times 10^{-5} \text{ m/s}$,

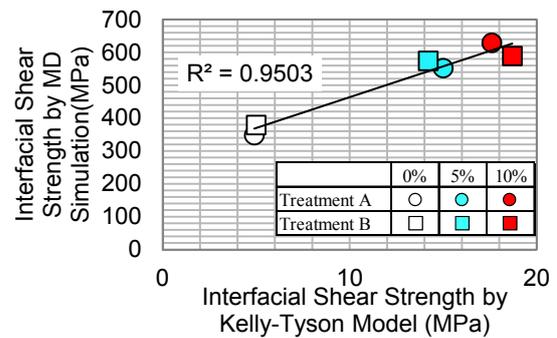


Fig. 14 Relationship between Kelly-Tyson Model and Simulated Results on Interfacial Shear Strength

6. まとめ

MAH-PPの添加によりGF/PP間の界面せん断強度を変化させた材料を用い、Kelly-Tysonモデルと分子動力学法の比較により界面せん断強度向上メカニズムの検討を行った。その結果、MAH-PPによる界面せん断強度向上は、近接する原子間のポテンシャル増加ではなく、高分子鎖の絡み合いというより大きなスケールでの分子運動の拘束によって生じると推定される。

参考文献

- (1) 藤ほか：ガラス繊維強化ポリプロピレンの界面特性評価方法に関する研究，成形加工，27巻，10号，pp 434-439 (2015)
- (2) 野村ほか：GF強化PPの衝撃強度に及ぼす繊維長及び界面強度の影響，成形加工，15巻，12号，pp.830-836 (2003)
- (3) 辻岡ほか：炭素繊維表面酸化処理およびサイジング剤処理の界面接着への影響，材料，46巻，2号，pp.163-169 (1997)
- (4) 本塚ほか：炭素繊維の表面機能化と高分子複合技術，高分子論文集，70巻，6号，pp.242-252 (2013)
- (5) 野村ほか：GF強化PPの強度に及ぼす界面特性の影響
(1) 成形加工，16巻，1号，pp.58-63 (2004)
- (6) J. Rosenthal：A Model for Determining Fiber Reinforcement Efficiencies and Fiber Orientation in Polymer Composites, POLYMER COMPOSITES, vol. 13, No. 6, p.462 (1992)
- (7) Mayo et al. : DREIDING: A Generic Force Field for Molecular Simulations, J. Phys. Chem., vol. 94, p.8897 (1990)
- (8) JSOL : J-OCTA, <http://www.j-octa.com/> (2016)
- (9) 土井ほか：OCTAホームページ，<http://octa.jp/> (2016)

■ 著 者 ■



平本 健治



藤 和久



小川 淳一



住田 弘祐



王 存涛



濱田 泰以

論文・解説

27

ITSの国際標準化に向けた取り組み International Efforts towards ITS Standardization

三角 正法*¹
Masanori Misumi

要 約

ITS（高度道路交通システム）に関する国際規格の策定は ISO/TC204 で進められている。この中のWG14は自動車の走行制御システムに係る規格開発を担当する。WG14は日本が議長国であり、自動車会社を中心として持ち回りで議長を選任し、現在はマツダが担当している。

WG14では、歩行者検知・衝突軽減ブレーキなどの先進安全運転支援システムや、自動車線変更などの自動走行システムに加え、車々間通信を用いた協調型運転支援システムに関する標準化を進めている。

予防安全システムの急速な普及や、激しさを増す自動走行システムの開発競争などの現況を踏まえ、ISO/TC204/WG14の活動を中心として、ITSの国際標準化にむけた取り組みを解説する。

Summary

ISO/TC204 is working on international standardization for ITS (Intelligent Transport Systems) technologies. ISO/TC204/WG14 is in charge of standardization for vehicle/roadway warning and control systems. The convener of WG14 has been appointed from Japanese automotive manufacturers in turns. Current convener of WG14 is Mazda.

WG14 is developing standards for advanced driver assistance systems such as the pedestrian detection and collision mitigation systems and for automated driving systems including the automated lane change system. WG14 is also developing standards for cooperative driver assistance systems that use vehicle-to-vehicle communication technologies.

This article mainly summarizes major international standardization activities in ISO/TC204/WG14 in light of recent trends such as a rapid spread of active safety systems and intensifying competition in developing automated driving systems.

1. はじめに

交通死亡事故ゼロをめざし、ITS（Intelligent Transport Systems；高度道路交通システム）技術の実用化が急速に進んでいるが、グローバルに普及させるには国際標準化が重要である。

ISO（International Organization for Standardization：国際標準化機構）の中でITSの標準化を進めるTC（Technical Committee；技術委員会）としてTC204（高度道路交通システム技術委員会）が1992年に設立され、1993年から活動が開始された。現在、12のWG（Working Group；作業部会）が活動中である。そ

の中でWG14（Vehicle/Roadway Warning and Control Systems）は、安全運転支援システムなど、車両の走行制御システムの標準化を中心とした活動を展開している。

設立当初から、日本が議長国であり、自動車会社を中心として、持ち回りで議長を務めている。筆者は2013年4月より、6代目のコンビーナ（WGの国際議長）を担当している。

本稿ではISO/TC204/WG14の活動状況を紹介するとともに世界のITSの標準化の最新の動きについて解説する。

*1 技術研究所
Technical Research Center

2. ISO /TC204の活動 ⁽¹⁾

2.1 ISO/TC204の国際組織

ISOには220を超える数のTCが設置されているが、その中のTC204ではTable 1に示すWGが設置され、ITSに関連する多方面の標準化が進められている。委員長国は米国であり、事務局はITS Americaである。

この中で、WG3、及びWG14は日本が議長国であるが、最近、急速な盛り上がりを見せる自動運転に関連する標準化を扱っており、TC204の中でも特に活発な活動が進められている。

2.2 ISO/TC204の国内対応組織

ISOでは各国で1機関のみが会員になることができ、日本では経済産業省に設置された日本工業標準調査会 (Japanese Industrial Standards Committee ; JISC) が登録されている。公益社団法人自動車技術会に設置されたITS標準化委員会が、TC204の国内審議団体として日本工業標準調査会から承認されている。ITS標準化委員会の事務局は公益社団法人自動車技術会であるが、各WGの事務局はTable 1に示す7団体で分担されている。

2.3 ISO/TC204/WG14の活動概要 ⁽²⁾

Fig. 1 にWG14で標準化の対象としている車両走行制御システムの概念図を示す。カメラやレーダーなどの車載センサーによる車両外界情報、または車々間や路車間の通信で取得できる外部情報を利用し、ドライバーへの注意喚起、あるいは、事故回避もしくは被害軽減のため、

車両を制御するシステム技術を対象としている。

Fig. 2にWG14の会議の様子を示す。

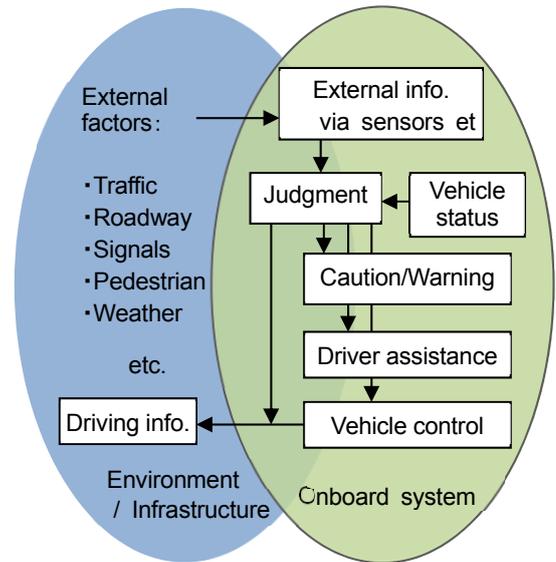


Fig. 1 Vehicle/Roadway Warning & Control System



Fig. 2 WG14 Meeting

Table 1 TC204 Structure

| WG | Title | Convener | Secretariat of local WG in Japan |
|----|--|-----------|--|
| 1 | Architecture | USA | Japan Automotive Research Institute |
| 3 | ITS database technology | Japan | Japan Digital Road Map Association |
| 4 | Automatic vehicle & equipment identification | Norway | UTMS*1 |
| 5 | Fee & toll collection | Sweden | UTMS |
| 7 | General fleet management and commercial/freight | Canada | Highway Industry Development Organization |
| 8 | Public transport /emergency | USA | Japan Institute of Constructions Engineering |
| 9 | Integrated transport Info., management & control | Australia | UTMS |
| 10 | Traveler information systems | UK | UTMS |
| 14 | Vehicle/roadway warning & control systems | Japan | Society of Automotive Engineers of Japan |
| 16 | Communications | USA | JEITA*2 |
| 17 | Nomadic devices in ITS systems | Korea | JEITA |
| 18 | Cooperative systems | German | Highway Industry Development Organization |

*1 : Universal Traffic Management Society of Japan, *2 : Japan Electronics and Information Technology Industries Association

WG14では年2回開催されるISO/TC204の総会に合わせ、3日間の国際会議を開催し、各作業項目の投票結果への対応や、下記の段階移行の可否などを協議している。

出席者は原則として各国の代表機関からISOに登録されたエキスパートであり、毎回、30~40名程度の出席がある。所属は、各国の自動車企業、部品企業、研究機関、大学、政府系機関などであり、産学官でバランスのとれた構成となっている。

通常、ISOでは以下の段階を経て規格が発行される。

| | | |
|-----|------------------------------|---------|
| PWI | Preliminary Work Item | 予備作業項目 |
| NP | New Work Item Proposal | 新作業項目提案 |
| CD | Committee Draft | 委員会原案 |
| DIS | Draft International Standard | 国際規格原案 |
| ISO | International Standard | 国際規格 |

NP, CD, DISの各段階ではISO/TC204のPメンバー国(参加国;投票義務がある)28カ国へのドラフト回覧と投票を必要とする。そのため、平均的に、規格開発着手からISO発行までは3年から4年の期間を必要とする。

Table 2 にWG14の標準化作業項目一覧を示す。No. 1~No. 15は国際規格として発行済の項目である。

2017年3月時点で、No. 16以降の9項目に関し、標準化作業を進めている。

WG14で発行済のISO規格は、日、独の自動車企業、部品メーカーを中心として、商品化済の運転支援システムの機能/性能要件や、試験法に関するものが多い。

代表的には、ISO15622 車間距離制御システム (ACC) やISO11270 車線維持支援システム (LKAS) などが挙げられる。これらのシステム規格は、部品などの規格で見られる、種別数削減や互換性確保という観点よりも、自社商品の国際展開のため、ISO化によって各国市場で

Table 2 WG14 Work items (as of March, 2017)

| Work items | No. | Contents | Lead |
|--|--------------|---|------|
| 1 車間距離制御システム (ACC) Adaptive Cruise Control Systems | ISO 15622 | 先行車との車間距離を一定に保つシステム: クラッチペダル/能動的ブレーキ有無によるクラス分け, 制御方針, ドライバによる操作介入特性などを規定 | |
| 2 前方車両追突警告システム (FVCWS) Forward Vehicle Collision Warning Systems | ISO 15623 | 先行車との車間距離が詰まったとき, 警報によりドライバに回避操作を促し, 追突を予防するシステム: 先行車両検知範囲と検知性能, 評価方法などを規定 | |
| 3 路上障害物警告システム (TIWS) Traffic Impediment Warning Systems | TS 15624 | カーブ前方の障害物を路側のセンサで認識し, 路側表示板でドライバに知らせるシステム: インフラは各国固有の要素が大きく, ISOに進まず技術仕様書として発行 | |
| 4 車両周辺障害物警報 (MALSO) Maneuvering Aids for Low Speed Operation | ISO 17386 | 低速での後退, 旋回時, ドライバに車両後方やコーナの障害物情報を提供: 警報するシステム: 検知エリアによるクラス分け, 作動条件, 試験方法などを規定 | |
| 5 車線逸脱警告システム (LDWS) Lane Departure Warning Systems | ISO 17361 | 不注意により車線を逸脱又はその可能性があるとき, ドライバに注意を促すシステム: 車線逸脱の定義, 警報発生条件, 試験方法などを規定 | |
| 6 車線変更意思決定支援システム (LCDAS) Lane Change Decision Aid Systems | ISO 17387 | 車線変更時, サイドミラーの死角を走行中の車両や後方からの接近車両の情報を提供: 警報するシステム: カバー領域によるクラス分け, 警報条件, 試験方法など | |
| 7 全車速域車間距離制御システム (FSRA) Full Speed Range Adaptive Cruise Control Systems | ISO 22179 | ACCの追従機能を, 停止制御まで拡張したシステム: 対象とする先行車両の定義, 再発進の有り方, システムの作動限界などの基本要件, 試験方法などを規定 | |
| 8 低車速追従走行システム (LSF) Low Speed Following Systems | ISO 22178 | 渋滞路等での低速追従制御を行うシステム: FSRAとの共通項目他, ターゲットが切り替わった場合の制御方法, 試験方法などを規定 | |
| 9 衝突軽減ブレーキシステム (FVCMS) Forward Vehicle Collision Mitigation Systems | ISO 22839 | 前方車両に追突する可能性があるとき, 自動的に緊急制動を行い追突被害を軽減するシステム: 作動コンセプト, システム要件, 試験方法などを検討 | |
| 10 拡張後方障害物警報システム (ERBA) Extended-range Backing Aid Systems | ISO 22840 | 比較的長い距離を後退中に, 車両後方の障害物情報を提供: 警報するシステム: MALSOと対比し, スコープ, 対象障害物, 検知エリア, システム作動条件などを規定 | |
| 11 車線維持支援システム (LKAS) Lane Keeping Assist Systems | ISO 11270 | 前方車線を認識し, 車線内の走行を維持支援するように自動的に操舵を制御するシステム: スコープ, システム定義, 要求事項などを規定 | |
| 12 交差点信号情報, 無視警報システム (CIWS) Cooperative Intersection Signal Information and Violation Warning Systems | ISO 26684 | 路車協調により, 信号現示情報を車載機に表示し, また赤信号を無視しそうなとき車載機で警報するシステム: 基本機能, 標準化項目, 情報内容などの骨格を検討 | |
| 13 カーブ速度警報システム (CSWS) Curve Speed Warning System | ISO 11067 | ナビゲーション地図情報等に基づき, カーブ進入速度が速すぎるとドライバに対して警報するシステム: スコープ, システム定義, 要求事項などを検討 | |
| 14 駐車支援システム (APS) Assisted Parking Systems | ISO 16787 | 駐車スペースを検知し, 自動的に操舵を制御することで駐車を支援するシステム: Part1 超音波式をドイツ, Part2カメラ方式を日本がリード | |
| 15 危険通知システム基本要件 (HNS) External Hazard Detection and Notification Systems | ISO 18682 | 協調システムと自律システムにおける注意喚起と警報の基本的な考え方を規定 | |
| 16 歩行者検出: 衝突軽減ブレーキシステム (PDCMS) Pedestrian Detection & Collision Mitigation Systems | DIS 19237 | 前方歩行者に衝突する可能性があるとき, 自動的に緊急制動を行い追突被害を軽減するシステム: 作動コンセプト, 性能要件, 試験方法などを規定 | |
| 17 道路境界逸脱防止システム (RBDPS) Road Boundary Departure Prevention Systems | NP 19638 | 不注意により道路境界を逸脱する可能性があるとき, コー制御, 又はコー+減速制御を行い, 道路からの飛び出しを防止するシステム: 制御条件, 試験方法などを検討 | |
| 18 協調型車間距離制御システム (CACC) Cooperative Adaptive Cruise Control Systems | CD 20035 | 通信を用いる協調システムにより, 先行車との車間距離制御の応答性: 精度を高める: スコープ, システム定義, 作動距離, 試験方法などを検討 | |
| 19 自動運転の標準化報告書 (RoVAS) Report on standardization for Vehicle Automated driving Systems. | DTR 20545 | 自動運転に関して, 標準化が必要と考えられる項目を体系的に整理・解説したテクニカルレポート: 技術開発の動向, 標準化活動の動向, 標準化領域, などを記述 | |
| 20 部分的自動駐車システム (PAPS) Partially Automated Parking Systems | NP 20900 | ドライバの監視下で, システムが認識した駐車スペースに車両を自動的に駐車するシステム: タイプ1; ドライバ乗車, タイプ2; リモートコントロール | |
| 21 緊急電子制動灯 (EEBL) Emergency Electronic Brake Light Systems | NP 20901 | 車々間通信により, 急ブレーキ使用の情報を送信し, 後続車のドライバーに注意喚起を促すシステム: 動作条件, 試験法などを検討 | |
| 22 車線内部分的自動走行システム (PADS) Partially Automated In-lane Driving Systems | NP 21717 | ドライバの負担軽減のため, 自動車専用道の同一車線内で, 操舵, 加減速, 並びに渋滞時の停止, 発進を自動化するシステム: 動作条件, 試験法などを検討 | |
| 23 部分的自動車線変更システム (PALS) Partially Automated Lane Change Systems | PWI 21202 | 車線, 及び周辺車両をセンサで認識し, 自動的に車線変更するシステム: タイプ1; ドライバ指示, タイプ2; システム提案ドライバ承認 動作条件, 試験法を検討 | |
| 24 自転車検出: 衝突軽減ブレーキシステム (BDCMS) Bicyclist Detection & Collision Mitigation Systems | PWI 22078 | 前方の自転車に衝突する可能性があるとき, 自動的に緊急制動を行い追突被害を軽減するシステム: 作動コンセプト, 性能要件, 試験方法などを検討 | |

の技術理解を促し、通商上の課題発生を未然に防止するという意味合いが大きい。

2.3.1 予防安全システムの規格

一方、ユーロNCAP (New Car Assessment Program) や各国での新車安全性評価プログラムに関係するため、下記2つの規格案は、その重要性が増している。

- ・ DIS19237 歩行者検出・衝突軽減ブレーキシステム
- ・ PWI22078 自転車検出・衝突軽減ブレーキシステム

対歩行者の予防安全システムの評価プログラムは、既に日本 (JNCAP) でも開始され、マツダ車が好成績を収めている⁽³⁾が、夜間歩行者や、対自転車の予防安全性能評価がユーロNCAPで2018年から開始される計画⁽⁴⁾となっている。このため、DIS 19237では、主に日独の間で、夜間試験法に関する最終的な意見調整を行っている。

これらの予防安全試験用の評価ダミー (歩行者ダミー、自転車ダミー) のISO規格策定はISO/TC22 (自動車) /SC33 (車両動特性とシャシー部品) /WG16 (予防安全試験装置; 議長国スウェーデン) で進められている。評価ダミーの規格はISO/TC22/SC33 /WG16, これらを使った試験法や最低性能要件の規格はISO/TC204/WG14という役割分担で、両者密接に協力しながら規格策定を進めている。

なお、一般的に各国の新車アセスメントプログラムは、対象車両の安全性能の違いをレベル分けすることを目的とした、厳しい条件での試験である。一方、ISO規格は国際的な共通要件、並びに最低性能要件を規定することを目的としている点が異なる。

WTO (World Trade Organization ; 世界貿易機関) のTBT (Technical Barriers to Trade ; 貿易の技術的障害) 協定では、加盟国に対し、その国内規格が国際規格を基礎とすることを求めている⁽⁵⁾。

ISO規格は法規とは異なる任意規格であるが、このTBT協定のため、各国の規格に対して一定の強制力を持つ。新車アセスメントプログラムにおいてもISO発行後はその参照義務が生じる。

2.3.2 自動走行システムに関する規格

一般社団法人日本自動車工業会 (以降、自工会) から、2015年11月に「自動運転ビジョン」が発表されている⁽⁶⁾。

自動運転技術が人と車、車と社会の関係に及ぼす効果などをまとめたものである。この中で、自動運転の展開シナリオが検討されているが、ISO/TC204/WG14では自工会と調整しながら「自動運転ビジョン」に示された項目を参考として、以下の規格開発に着手している。

- ・ NP 20900 部分的自動駐車システム
- ・ NP 21717 車線内部分的自動走行システム
- ・ PWI 21202 部分的自動車線変更システム

これらはいずれも一部の自動車メーカーから既に商品化されている自動走行システムに関係するものであり、適用場所を駐車場や、高速道路などの自動車専用道に限定し、ドライバーが安全監視義務を持つことを前提にしている。以下、現在の議論の状況を簡単に述べる。

(1) NP 20900 部分的自動駐車システム

車速10km/h以下で動作する自動駐車システムを標準化の対象としている。システムが自動的に駐車スペースの認識と障害物検知、並びに操舵、発進、加減速、停止を行う。タイプ1として、ドライバーが運転席に乗車することを前提とするもの、タイプ2として、スマートフォンなどで遠隔操作するものに分類している。タイプ1を日本リード、タイプ2をドイツリードという役割分担で規格化作業を進めている。

タイプ1, 2のいずれも危険回避は人間 (ドライバーまたは遠隔操作者) が責任を負うことを前提としている。

(2) NP 21717 車線内部分的自動走行システム

高速道路など自動車専用道での同一車線内での走行を自動化 (操舵、加減速、発進/停止、前車追従) するシステムである。ドライバーによるシステム監視を要件としており、例としてカメラによるドライバー監視や、ステアリングから手が離れていない状態の検知などを前提としている。車速、道路曲率、最大横加速度などのシステムの動作条件や、その試験法などの議論を進めている。この規格案の作成はドイツがリードしているが、日本も活発に議論に参加している。

(3) PWI 21202 部分的自動車線変更システム

高速道路など片側2車線以上の自動車専用道での動作を前提とし、走行中の車線変更を部分的に自動化するシステムである。Fig. 3にシステム動作の概念図を示す。

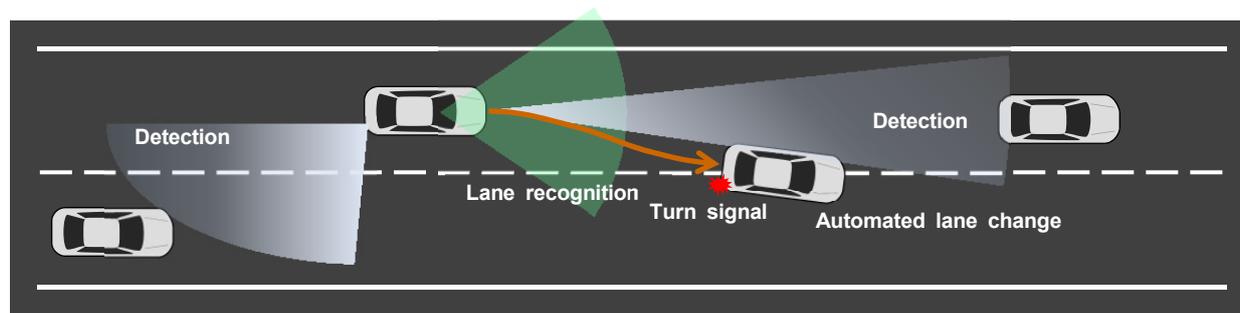


Fig. 3 ISO PWI 21202 Partially Automated Lane Change System

この中で、以下の2つのタイプを想定している。

タイプ1：ドライバーが指示した場合、システムが自動的に車線変更を行う

タイプ2：システムが車線変更を提案し、ドライバーが承認した際に自動的に車線変更を行う

標準化作業としては、まだ初期段階であるが、動作／中断／中止条件や、試験法などの議論を進めており、日本が規格案の作成をリードしている。

2.3.2.1 自動走行システムに関する基準と規格

ここで示す“基準”とは、日本の道路運送車両法に該当するUN/ECE/WP29（国際連合欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム）で制定されるもので、ISOなどの任意“規格”とは異なり、法的な強制力を持つものを意味する。

WP29のGRRF（ブレーキと走行装置の専門部会）は、国連規則R79（ステアリング装置）の中で、Automatically Commanded Steering Function（略称ACSF；自動操舵機能）の項目を設けている⁽⁷⁾。

自動走行システムの実用化を進めるため、その改訂が検討されておりTable 3の分類が示されている。前項に記載したISO PWI 21202 部分的自動車線変更システムのタイプ1及びタイプ2はそれぞれ、下表のカテゴリC及びカテゴリDに該当する。

Table 3 R79 Revision ; ACSF Category⁽⁸⁾

| Category | Function |
|----------|---|
| CSF | Objective is not to keep the lane |
| ESF | Emergency steering |
| A | Low speed automated steering (for parking etc.) |
| B1 | Lane keeping (hands on the steering wheel) |
| B2 | Lane keeping (hands off the steering wheel) |
| C | Lane change commanded by the driver |
| D | Lane change prosed by the system/ driver approval |
| E | Automated lane change without driver confirmation |

注) CSF : Corrective Steering Function

ESF : Emergency Steering Function

ACSFのカテゴリC、カテゴリDの改訂基準は最短で2018年中に発行される予定であり⁽⁸⁾、2019年のISO発行を計画しているPWI 21202部分的自動車線変更システムの検討よりも、WP29での基準改訂が先行する展開となっている。このため、ACSF基準改訂の国内検討を進める自工会と情報交換をしながら、ISO側の作業に手戻りを防ぐとともに規格開発の早期化の検討を進めている。

2.3.2.2 提案検討中の自動走行システム規格

経済産業省が進めるスマートモビリティ研究開発・実証事業（平成28年～30年）の平成28年度採択事業7項目の中に、下記、3項目の高度な自動走行システムに関する

実証事業が含まれている⁽⁹⁾。

- ・トラックの隊列走行の社会実装に向けた実証
- ・専用空間における自動走行などを活用した端末交通システムの社会実装に向けた実証
- ・一般車両による自動パーレーパーキングシステムの社会実装に向けた実証

これらの3項目について、経済産業省、自動車技術会、採択事業関係者の中で国際標準化に向けた協議が進められており、2017年中にISO/TC204/WG14の標準化作業項目としてISOに登録することが検討されている。

2.3.3 車々間通信を使う運転支援システムの規格

これまでのISO/TC204/WG14の作業項目の大半は、車載センサーによる環境認識を基本とする運転支援システムを対象としていた。しかし、近年のDSRC技術（Dedicated Short Range Communication；近距離専用通信）の普及動向などを踏まえ、車々間通信を用いるシステムとして次の2項目の規格化に着手している。

- ・CD 20035 協調型車間距離制御システム（CACC）
- ・NP 20901 緊急電子制動灯（EEBL）

前者は、通常の間距離制御システム（ACC）をベースとして、先行車の加減速情報を通信で取得し、フィードフォワード制御により応答性を高めるものである。通信範囲、最小車間、最大加・減速度などを規定する。

後者は、走行中の急ブレーキを周囲の車に通信で送信するもので、カーブの先など、後続車のドライバーからは視野外であっても急ブレーキが踏まれたことを知らせることにより、安全性を高めることをねらっている。通信範囲、減速度、車両間の相対速度、試験法などの協議を進めている。

なお、ISO/TC204/WG14では自動車の走行制御技術を規格化の対象としており、車々間通信で使われるデータの内容やそのタイミング、距離などは規定するが、通信技術そのものの規格化は取り扱っていない。

3. 米国の車々間通信規格との連携

2016年12月13日、NHTSA（National Highway Traffic Safety Administration；米国道路交通安全局）より、車々間通信機の搭載により、自動車走行の基本安全メッセージ（位置、進行方向、車速、ブレーキ状態など）の送受信を可能とすることをFMVSS（Federal Motor Vehicle Safety Standards；米国連邦自動車安全基準）の要件として提案するNPRM（Notice of Proposed Rule Making；立法案公告）が出された⁽¹⁰⁾。

原案のまま進めば、2019年に法規が発行され、2021年から小型車への適用が開始される予定となっている。

この立法案公告では、通信周波数として、5,850～5,925 MHzの75MHzの帯域が指定され、通信技術及び、プロトコルに関してはIEEE（Institute of Electrical and

Electronic Engineers ; 米国電気電子技術者協会) の 802.11p, 1609シリーズなどの規格, 車々間のデータ通信に関してはSAEのJ2735 (DSRCメッセージ辞書), J2945/1 (V2V安全通信のための車載システム要件) などが参照されている。

このNPRMでは特定の安全アプリケーションの採用を求めているが, 事故低減が期待できるものとして以下の6つが示されている⁽¹⁰⁾ :

- ・ Forward Collision Warning (FCW) : 前方衝突警告
- ・ Emergency Electronic Brake Light (EEBL) :
緊急電子制動灯
- ・ Intersection Movement Assist (IMA) :
交差点通過支援
- ・ Left Turn Assist (LTA) : 左折支援
- ・ Do Not Pass Warning (DNPW) : 追い越し危険警告
- ・ Blind Spot / Lane Change Warning (BS/LCW) :
車線変更時の死角内接近車警告

前述のように, このうち, EEBLについては, 既にISOで規格化に着手しているが, その他のアプリケーションの国際規格化については今後の検討課題である。そのため, SAEの車々間通信規格の策定作業を進めているDSRC技術委員会へは, ISO/TC204/WG14からのリエゾンとして出席を始め, 連携活動を進めている。

4. 欧州の車々間/路車間通信規格との連携

欧州では2009年10月, 欧州委員会のDG-ENTR (産業企業総局) から, 協調ITSの標準化指令 (M453) が出された。ETSI (European Telecommunication Standards Institute ; 欧州電気通信標準化機構) とCEN (European Committee for Standardization ; 欧州標準化委員会) が受諾し, 車々間, 路車間の通信に係る規格が多数発行されている。リリース1と呼ばれる初期段階のものだけでも合わせて110を超える数の規格群が存在する⁽¹¹⁾。

特にETSIで, 5.9GHz帯域の近距離専用通信を使う車々間, 路車間の通信に係る多くの規格を発行している。しかし, ここ数年は韓国系, 及び中国系企業を中心として, 携帯電話網の技術を使った車々間, 路車間通信の規格開発が活発に進められており, 欧州の実用展開でどちらが優勢になるかは不透明な状況になっている。

一方, ETSIではリリース2と呼ばれている自動運転技術を見据えた一連の規格開発が始まっている。この中には協調型車間距離制御システム (CACC) や, トラック隊列走行の規格が含まれており, ISO/TC204/WG14の作業項目にも直接関係するため, 年4回開催されるETSI/ITS技術委員会の会議に出席するなど, 密接な情報交換を行っている。

5. おわりに

自動ブレーキなど, 近年の予防安全システムの普及には目を見張るものがある。これらのITS技術の展開は, 安全で, 安心, 快適, 便利な工業製品としての自動車の完成度を, さらに洗練された高い次元のものへと発展させることができる。これらの技術の国際標準化が多少なりともその一助となることを願っている。

参考文献

- (1) (公社) 自動車技術会編 : ITSの標準化2016 pp.3-4
- (2) 三角 : ISO/TC204/WG14 (ITS走行制御システム) の国際標準化活動における日本の貢献, 自動車技術, No.69, pp.75-80 (2015)
- (3) 独立行政法人自動車事故対策機構発行 : 平成28年度 (前期) 予防安全性能評価結果 (2016)
- (4) Euro NCAP : Euro NCAP's Road Map 2020 -The next steps for Vulnerable Road User AEB assessment, www.euroncap.com (2014)
- (5) WTO : Agreement on Technical Barriers to Trade, Uruguay round agreement (1995)
- (6) 一般社団法人 日本自動車工業会 : 自動運転ビジョン, http://www.jama.or.jp/safe/automated_driving/ (2015)
- (7) United Nations : Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to steering equipment, Addendum78 : Regulation No.79 Revision 2 (2005)
- (8) 横山 : 自動運転の国際基準 及び標準化への自動車業界の活動, 自動運転基準化研究所主催「自動運転の国際的なルール作りについてのシンポジウム」資料 (2017)
- (9) 経済産業省 製造産業局 自動車課 : 平成28年度スマートモビリティシステム研究開発・実証事業に係る委託先の採択結果について (2016)
- (10) NHTSA : Federal Motor Vehicle Standards ; V2VCommunications ; Notice of Proposed Rulemaking (2016)
- (11) 一般財団法人 日本自動車研究所 : ITS協調システムの情報項目の標準化に関する分析・検証報告書 (2014)

論文・解説

28

マツダの先進安全技術「i-ACTIVSENSE」の進化 Evolution of Mazda Advanced Safety Technology "i-ACTIVSENSE"

平井 浩司*¹
Koji Hirai

古山 貫一*²
Kanichi Koyama

後藤 多加志*³
Takashi Goto

久米 孝則*⁴
Takanori Kume

要 約

マツダは、人間を中心にすえた安全技術の研究・開発に取り組み、すべてのお客さまに「走る喜び」と「優れた環境・安全性能」を持つ商品をお届けすることで、お客さまの人生をより豊かにし、お客さまとの間に特別な絆を持ったブランドになることを目指している。つまり、ドライバー尊重の安全思想『MAZDA PROACTIVE SAFETY (マツダ・プロアクティブ・セーフティ)』に基づき、運転する環境が変化しても、ドライバーが正しく認知・判断することをサポートし、「安全に安心して運転している状態」を提供すること、また、万一のドライバーのミスにも対応できるよう、事故被害を回避・軽減できるようサポートすることをねらった先進安全技術「i-ACTIVSENSE」を2012年に市場導入し、それ以降も毎年進化させ続けている。

今回、リアルワールドでの事故分析結果に基づき目標性能を見直し、新しいカメラ技術の採用等により、歩行者事故の回避や交通標識の認識等を通じて達成した新技術を、2016年に商品改良したアクセラ、アテンザより順次搭載、公的な予防安全性能評価でも高い評価を頂いた。その開発成果の一端を紹介する。

Summary

Mazda is committed to develop safety technologies focusing on drivers, and deliver products that have "driving pleasure" and "excellent environmental/safety performance" to all customers, and become a brand with a special relationship with customers by making it more rich. Based on "MAZDA PROACTIVE SAFETY" which is the safety concept respecting the driver, we introduced the advanced safety technology "i-ACTIVSENSE" in 2012, and have continued to evolve our technology every year since then. We support the driver to recognize and judge correctly even if the driving environment changes, and keep safely and securely driving conditions, and support avoidance / mitigation of accident damage even if the driver should fail.

We redesigned target performances based on results of accident analysis at the real world, and introduced new technologies solved through avoidance of pedestrian accidents and recognition of traffic signs by adopting advanced camera technology etc. in 2016 AXELA and ATENZA, which got high evaluation in public active safety performance evaluation. This paper describes those technologies.

1. はじめに

マツダは『マツダ車をご購入いただいた、すべてのお客様に「走る喜び」と「優れた環境・安全性能」を提供する』というビジョンを掲げ、ドライバーを尊重する安全思想『MAZDA PROACTIVE SAFETY (マツダ・プロアクティブ・セーフティ)』に基づき開発した先進安全技術「i-ACTIVSENSE」を2012年に市場導入した。

「i-ACTIVSENSE」は、夜間視界を向上させるアダプティブ・LED・ヘッドライト (ALH) 等の認知支援技術、差し迫った危険を知らせる車線逸脱警報システム

(LDWS) 等の警報技術、主に自動車専用道での疲労を軽減させるマツダ・レーダー・クルーズ・コントロール (MRCC)、万一の事故の際の被害を軽減させるスマート・ブレーキ・サポート (SBS) など幅広い機能を備えた概念で、その後も毎年進化を重ねている。

今回、新たにカメラ技術を用いて歩行者事故の回避をもねらった事故被害軽減技術「アドバンスト・スマート・シティ・ブレーキ・サポート (アドバンスト SCBS)」, 制限速度等の標識を認識しドライバーに伝える「交通標識認識システム (TSR)」などを開発し、2016年に商品改良したアクセラ、アテンザから市場導入

*1~3 統合制御システム開発本部
Integrated Control System Development Div.

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

した。

これらの技術内容について、以下紹介する。

2. アドバンスト・スマート・シティ・ブレーキ・サポート (アドバンストSCBS)

新開発したアドバンストSCBSは、従来の低速走行時の衝突被害軽減をサポートする「スマート・シティ・ブレーキ・サポート (SCBS)」を進化させ、「作動速度域の拡大」及び「作動対象の拡大」により、安全性能を向上させた。

2.1 事故の実態

国内の交通事故発生状況を見ると、約36%を追突事故が占める (Fig. 1) ⁽¹⁾。更に、追突事故発生時の車速を見ると、その約98%が時速60km以下の低・中速度域で発生している (Fig. 2) ⁽²⁾。

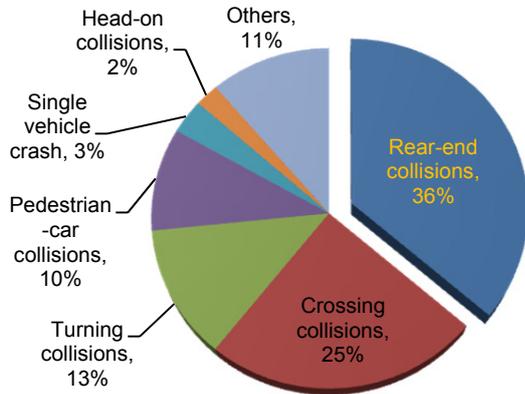


Fig. 1 Types of Traffic Accidents ⁽¹⁾

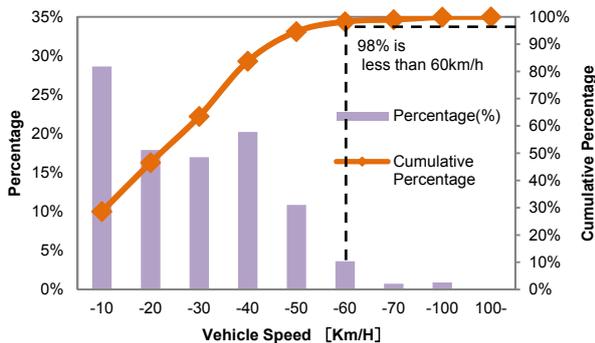


Fig. 2 Vehicle Speed in Rear-end Collision ⁽²⁾

死亡事故をみると、自動車対歩行者が35%で最も多く (Fig. 3) ⁽¹⁾、その内自動車は直進時が約79%⁽³⁾、歩行者は横断中が約73%⁽³⁾を占める。更に、歩行者死亡事故の車速分布をみると、約88%が時速60km以下の低・中速度域で発生している (Fig. 4) ⁽²⁾。また、衝突速度ごとの

致死率をみると、時速40km以下では約8%未満に留まっているが、衝突速度が上がるに従って急激に高くなる⁽³⁾。

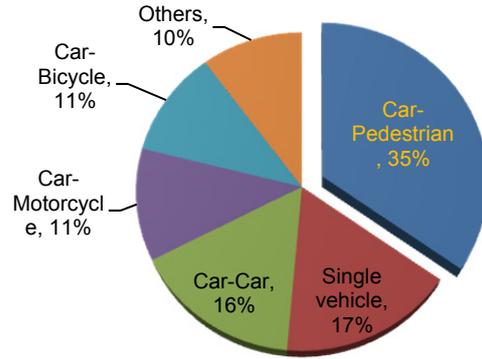


Fig. 3 Classification of Fatal Accidents ⁽¹⁾

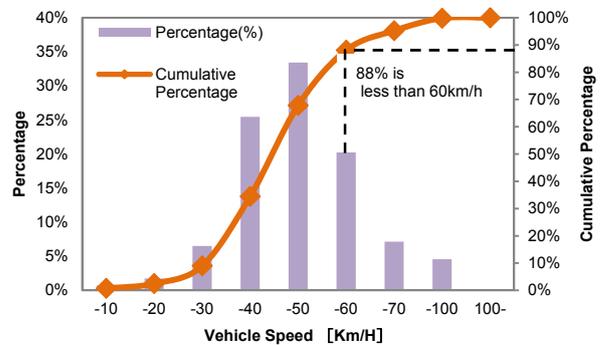


Fig. 4 Vehicle Speed in Car-Pedestrian Collisions ⁽²⁾

2.2 開発のねらい

アドバンストSCBSは、これらの事故実態を踏まえ、先行車への追突については、自車が時速60km以下での衝突回避、または衝突被害大幅軽減を、横断歩行者については、自車が時速60km以下で致死率が8%未満となる自車速40km以下への減速を目標とした。

2.3 システムの機能

衝突の危険性を常時監視し、先行車に対しては時速約4~80kmで走行時、横断歩行者に対して時速約10~80kmで走行時、衝突の危険性があると判断すると、まず音と表示により、衝突の危険が迫っていることを運転者に報知する。

次に、ブレーキの遊びを詰め、ドライバーのブレーキ操作に対して即座に制動力を発揮できるよう準備する。同時に、後続車に対してブレーキ制御を行っていることを通知するために、ストップランプを点灯させる。

更に、ドライバーによる衝突回避操作が間に合わず、衝突回避できないと判断した場合、衝突被害軽減ブレーキを作動させ、減速することで追突事故による被害を軽減する。

なお、アドバンスドSCBS によるブレーキ制御中にドライバーが回避操作（操舵やアクセル操作）を行った場合は、ドライバー操作を優先させ、アドバンスドSCBS による制御を速やかにキャンセルする。

2.4 システムの構成

新開発したフォワード・センシング・カメラ（FSC）を中心に、ダイナミック・スタビリティ・コントロール（DSC）ユニット、パワートレイン・コントロール・モジュール（PCM）、ボディー・コントロール・モジュール（BCM）、コネクティビティ・マスター・ユニット（CMU）、及びメーターで構成される。各ECU（Electronic Control Unit）はCAN（Controller Area Network）で接続され、双方向通信によって制御する（Fig. 5）。

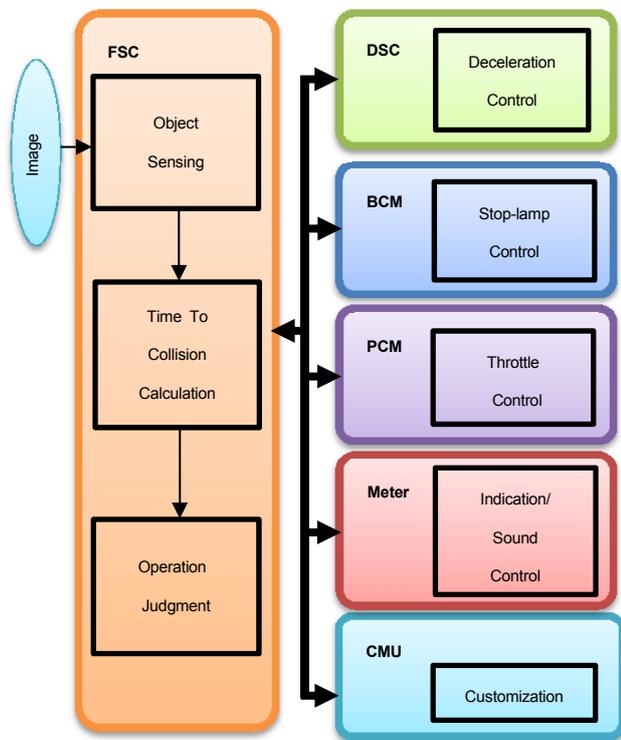


Fig. 5 System Structure

FSC（Fig. 6）はフロントガラス中央上部の車室内側に搭載しており、先行車や横断歩行者を検知する。先行車や横断歩行者の検知には、画像の特徴点から、先行車や横断歩行者の形状を判定する技術を用いた。更に、先行車や横断歩行者の動きを時系列的に監視する技術により、検知性能を大幅に向上させた。

また、横断歩行者を検知するために、水平検知範囲を従来のSCBSで採用しているレーザーセンサーの2倍の約52°に拡大した。更に、作動速度域の拡大のため、先行車の検知距離をレーザーセンサーの10倍の約100mに性能

向上させた。



Fig. 6 Sensor Appearance

2.5 システムの性能

アドバンスドSCBSの性能と走る喜びの両立を目指し、「衝突被害軽減性能の実現」と「ドライバーの通常運転に干渉しない」という相反する要件の両立をねらった。

具体的には、自車及び先行車／横断歩行者の状態（相対速度や相対位置など）に応じて、最適な制動開始タイミングと制動力となるよう、状況ごとの最適化と、実車での造り込みを行った。例えば、停止している先行車に対して、自車が時速60kmで走行している場合、衝突の約2秒前にブレーキの遊びを詰め、衝突の約1.8秒前から緩やかな制動力を発生することで、ドライバーに危険が迫っていることを伝える。更に、ドライバーの回避操作がない場合は、衝突の約1.0秒前から強い制動力を発生させるなど、状況に応じて最適な制動開始タイミング及び制動力に設定した（Fig. 7）。

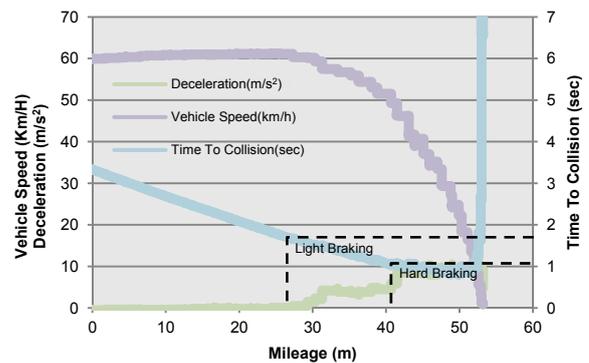


Fig. 7 Brake Timing and Deceleration

アドバンスドSCBSを搭載したアクセラは、2016年度 Japan New Car Assessment Program（JNCAP）予防安全性能評価において、最高ランク「ASV++」を獲得した。具体的には、被害軽減ブレーキ[対車両]において、自車が時速60kmまで衝突を回避できることが認められた。被害軽減ブレーキ[対歩行者]においては、自車が時速60km以下において衝突速度を時速40km以下に軽減（自車が時速50km以下においては衝突回避）できることが認

められた。

3. 交通標識認識システム (TSR)

3.1 事故の実態

交通事故全体における速度制限超過による死亡事故件数は13.9%と非常に高く、速度制限内に比べて約12倍の発生率である⁽⁴⁾。道路を安全に走行するための速度制限や、事故の発生しやすい箇所には交通標識が設けられているが、ドライバーはさまざまな交通環境の変化や車両操作に注意を向けているため交通標識の確認を見落とすことがある。死亡事故以外でも一旦停止での不停止や、進入禁止での誤進入など、交通標識に従って運転していれば防げた事故が37.3%ある⁽⁴⁾。

3.2 開発のねらい

走行中にFSCで速度制限、進入禁止、一時停止の交通標識を読み取り、その情報をアクティブ・ドライビング・ディスプレイに表示することで交通標識の見落としを防止して安心な運転を支援するTSRを開発した (Fig. 8)。ドライバーが意図せず速度制限超過している状況ではドライバーに危険が迫っていることを瞬時に理解させ、すぐに判断・操作に移れるよう速度超過警報を”表示”もしくは”表示と音”で警告する機能を選択可能とした。



Fig. 8 Traffic Sign Recognition System

交通標識は車両に対して速度制限や通行の禁止等を知らせる”規制標識”，スリップ注意など運転上細心の注意を要求する”警戒標識”，設置した標識に対して車両の種類や区間など補助情報を付加する”指示標識”に分類される。交通標識には多くの種類があり、すべてを表示することはドライバーにとって情報過多となるため、ドライバー操作の緊急性から表示する交通標識を選択した。ドライバーがブレーキ動作を伴う標識をPriority1とし、アクセルペダル操作を伴う標識をPriority2、ハンドル操作を伴う標識をPriority3と設定しアクティブ・ドライビング・ディスプレイに表示を行った (Table 1)。2016年に商品改良したアクセラ、アテンザ、CX-3のアクティブ・ドライビング・ディスプレイ装着車では”一時停止標識”，”進入禁止標識”，”速度制限標識”を表示、2017年に

商品改良したCX-5のアクティブ・ドライビング・ディスプレイ (フロントガラス照射タイプ) 装着車では、表示領域の拡大に合わせて”追い越し／はみだし禁止標識”を表示した。

Table 1 Priority of Traffic Signs

| | | |
|-----------|---|--|
| Priority1 | 規制標識 (ブレーキ操作) Regulatory sign (stepping on the brake) | |
| Priority2 | 規制標識 (アクセル操作) *指示標識を含む Driveway restriction (Limit driving on ego lane) *Included supplemental sign | |
| Priority3 | 警戒標識 (ハンドル操作) Driveway restriction (Limit driving near lane) | |

3.3 システムの構成

システムは、フォワード・センシング・カメラ (FSC)、コネクティビティー・マスター・ユニット (CMU)、アクティブ・ドライビング・ディスプレイ及びメーターで構成される (Fig. 9)。

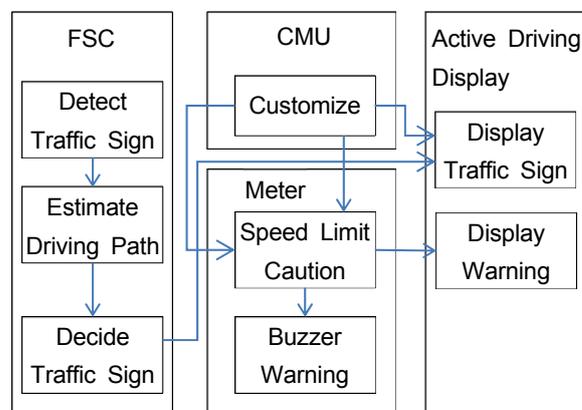


Fig. 9 System Architecture

FSCによって、道路上の交通標識を読み取り、車両の挙動から読み取った交通標識が自車に対する交通標識であるかを推定し、自車両に対する交通標識と判断した場合にアクティブ・ドライビング・ディスプレイに交通標識を表示する。

CMUのカスタマイズ設定画面で、交通標識の表示”ON”，”OFF”が選択可能である。また速度超過警報の警報パターン”OFF”，”警報表示のみ”，”警報表示+警報音”が選択できる。速度超過警報を設定した場合に、ドライバーが現在表示されている交通標識の速度制限に比較

し、設定した速度超過警報値より高い車速で走行しているとメーターが検知すると、速度標識表示の背景を危険な状況を喚起する黄色で表示、もしくは表示と音で警告する (Fig. 10)。

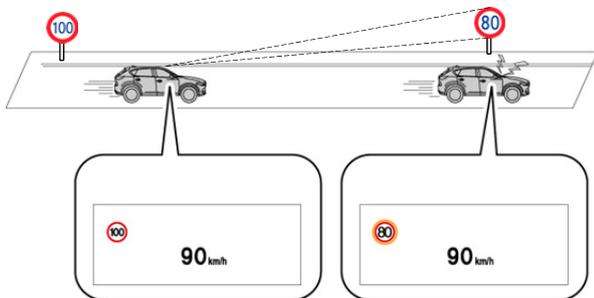


Fig. 10 Speed Limit Warning

3.4 システムの性能

道路上の速度標識は、標識位置から速度制限が切り替わるため、FSCが速度標識を認識し、自車両が標識を通過するタイミングでアクティブ・ドライビング・ディスプレイに表示を開始する。速度標識に補助情報を付加する”指示標識”がある場合は、速度標識の下に認識した補助標識を表示する。速度標識を表示してから一定距離を走行し、新たな速度標識が認識できない場合、ドライバーに誤った速度情報を表示している可能性が高いと判断し消灯する。また交差点では、右左折した先では道路種別が異なり速度制限も異なる場合が多いため、自車両のヨーレートが一定の閾値を超えた場合は、速度標識を消灯する (Fig. 11)。

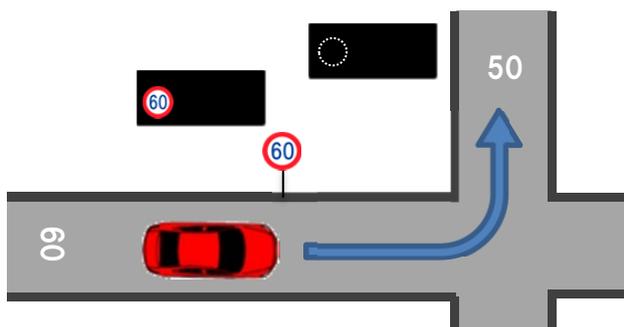


Fig. 11 Turn at Intersection

一時停止標識は、標識位置付近の停止線で停止しなければならないことを警告する標識である。ドライバーに減速動作の開始を促すため、標識認識後一時停止標識まで一定距離に近づいたときに表示を開始する。自車両が十分に低速で停止し一定の距離走行後、一時停止表示を消灯する (Fig. 12)。

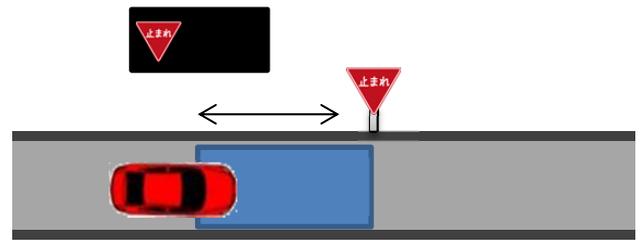


Fig. 12 Displaying of Stop Sign

3.5 アクティブ・ドライビング・ディスプレイの改善

アクティブ・ドライビング・ディスプレイは、1.5m先に虚像を表示することによって、焦点の移動を最小限かつ前方道路を見ながら走行情報も確認できる優れたHMI (Human Machine Interface) である。

アクティブ・ドライビング・ディスプレイには『刻々と変化する、走行に必要な情報を厳選して表示する』ことを目的に機能配分を行ってきた。今回の新型アクティブ・ドライビング・ディスプレイの開発に際し、従来よりも瞬読性を高めるためにドライバーへの情報を”目の前の環境の情報”と”自分の車の情報”の大きく2つに区分し表示の配置も情報種別に応じて最適な位置に表示することを徹底した。

交通標識は”目の前の環境の情報”であり、画面の上部に配置することで視線の移動を最小限に留められ、ドライバーへ常に安全に最新の交通標識情報を提供することができた。自車の車速情報も”自分の車の情報”として中央に表示されるため、道路の速度制限と自車の車速を常に視界に捉えることができ、安全な車速を維持して運転することができる。更にドライバーが正しく交通標識情報を認識できるように、表示器を従来の蛍光管からフルカラーTFTの液晶に変更し、ピクセル数を約2.5倍に増加したことで高精細な表示を可能としている。また、さまざまな明るい環境光下でも交通標識の表示を認識できるように表示輝度を従来の2倍弱に向上させている。これらによって偏光サングラスを装着しているドライバーの視認性も十分に確保することができた (Fig. 13)。

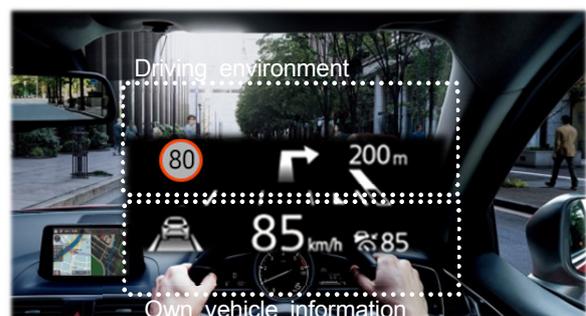


Fig. 13 Concept of Contents Layouts

4. おわりに

今回、2016年に商品改良したアクセラ、アテンザから採用した先進安全技術について紹介した。今後もマツダのドライバー尊重の安全思想に基づき、技術進化を継続させ、事故の無い社会の実現、及びドライバーが安心して運転を楽しめるクルマ造りに貢献していく考えである。

参考文献

- (1) (財)交通事故総合分析センター：交通事故統計年報 平成26年版
- (2) (財)交通事故総合分析センター：平成24年 事故統計 集計結果
- (3) (財)交通事故総合分析センター：イタルダ・インフォメーション, No.83, pp.3-5(2010)
- (4) 警察庁交通局：第3回 速度規制等ワーキンググループ、交通事故抑止に資する取締り・速度規制等の在り方に関する懇談会 第4回 資料, p.9 (2013)

■ 著 者 ■



平井 浩司



古山 貫一



後藤 多加志



久米 孝則

論文・解説

29

子どもの安心のために、子ども視点のクルマづくり Mazda Technology for Kids

田坂 寿康*1 中野 隆裕*2
Toshiyasu Tasaka Takahiro Nakano

要 約

マツダの安全思想は、「MAZDA PROACTIVE SAFETY (マツダ・プロアクティブ・セーフティ)」である。これは、ドライバーだけでなく、同乗者や他の車両や歩行者などへも寄与する安全思想である。とりわけ、子どもについては、大人に比べれば体が小さく身体も弱い、大人には想像しがたい行動をとることがある、の特性がある。子ども視点での商品づくりも重要な要素であり、TECHNOLOGY FOR KIDS に基づいた商品が不可欠である。マツダは、子ども安全への取り組み活動のユーザーへの認知向上と第3者機関による客観的な評価を目的に、キッズデザイン協議会主催のKIDS DESIGN AWARDに2014年から継続して応募している。その結果、2014年に最優秀賞、2015年～2016年にキッズデザイン賞、2017年に奨励賞を受賞するという高い評価を得ている。本稿では、KIDS DESIGN AWARDを通して、MAZDA TECHNOLOGY FOR KIDSの進化を紹介する。

Summary

Mazda's safety strategy is represented by "MAZDA PROACTIVE SAFETY". This strategy applies not only to drivers but contributes to all those involved, including passengers, of both the own car and others, and pedestrians. Children, in particular, whose bodies are relatively small and weak, sometimes behave in a way adults can hardly imagine. Recognizing that product development from a standpoint of children is essential in car manufacturing, Mazda develops vehicles based on the safety philosophy called "TECHNOLOGY FOR KIDS". Aiming at raising awareness among users and for objective evaluations by a third party, Mazda has been taking part in KIDS DESIGN AWARD competition hosted by KIDS DESIGN ASSOCIATION since 2014, thereby receiving "Most Valuable Award" in 2014, "KIDS DESIGN AWARD" in 2015 to 2016 and 2017 in Incentive Award. This article introduces how Mazda's TECHNOLOGY FOR KIDS has evolved through the participation in KIDS DESIGN AWARD.

1. はじめに

子どもを巻き込んだ事故が後を絶たない。歩行者としての事故だけでなく、子どもの年齢層にもよるが、乗車中の事故も多い。チャイルドシートの適切な着用はもちろんのこと、交通事故のリスクを最小限に抑えることが子どもを守ることになる。車両停止状態での、ドアに手や足を挟んだなどの車室内事故も見逃すことはできない。更に、子どもが快適に車内で過ごせることも大切であり、クルマ酔いなどを助長することがあってはならない。子どもが陥りやすいリスクを想定しながらクルマづくりを行うことが重要である。

本稿では、キッズデザイン協議会主催のKIDS DESIGN AWARDを通して、MAZDA TECHNOLOGY FOR KIDSの進化を紹介する。

2. マツダの安全技術への取り組み

さまざまな運転環境で、ドライバーが状況を正しく認知・判断・操作できるようにサポートし、事故のリスクを最小限に抑えることが、安心で安全な運転、そして走る喜びにつながる。

それが、マツダの安全思想「MAZDA PROACTIVE SAFETY (マツダ・プロアクティブ・セーフティ)」である (Fig. 1)。

*1, 2 技術企画部
Technology Planning Dept.

これは、ドライバーだけでなく、同乗者や他の車両や歩行者などへも寄与する安全思想である。

一方、走る喜びは、ドライバーだけが満足すれば得られるものではない。周囲に気になることがあると運転に集中できない。助手席や後席に座る同乗者の安全や快適性が守られていることが自身の安らぎとなり、走る喜びにもつながる。とりわけ、子どもについては、大人に比べれば体が小さく身体も弱い、大人には想像しがたい行動をとることがある。子ども目線での商品づくりも欠かすことができない重要な要素である。

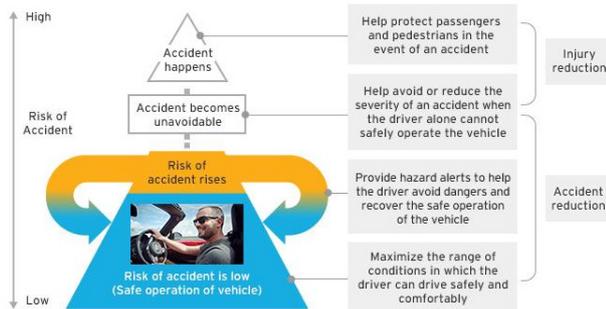


Fig. 1 MAZDA PROACTIVE SAFETY

3. 子どもに潜む危険

クルマに関する子どものリスクとして、交通事故、車室内事故（主に車両停止状態）、走行時の身体に与えるクルマ酔いなどの悪影響、お母さんのストレスが子どもに及ぼす精神的な悪影響が考えられる。

(1) 交通事故

交通手段別の交通事故死傷者数を見ると、幼児（6歳未満）では自動車乗車中と歩行中の死傷者数が多く、小学校入学以降、学年が上がるにつれて自転車の死傷者数が増えているのが分かる（Fig. 2）⁽¹⁾。

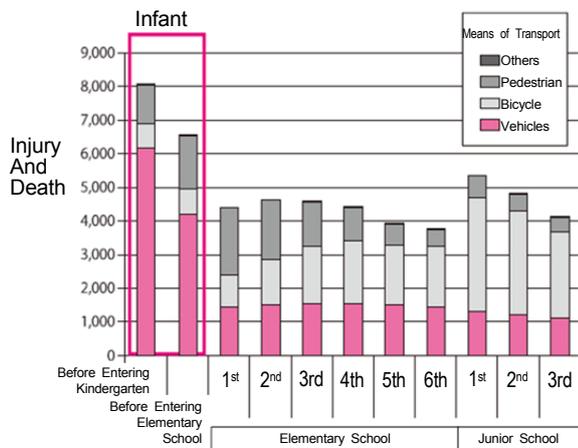


Fig. 2 Traffic Accident of Kids

乗車中の事故において、幼児（6歳未満）ではチャイルドシートの不適正使用とチャイルドシート不使用を合わせ

ると死傷者数の40%を占めている（Fig. 3）⁽¹⁾。

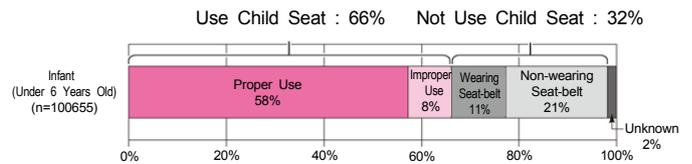


Fig. 3 Seat-Belt Usage for Kids

(2) 車室内事故

主に車両停止状態では、ドアに手や足を挟んだ、顔や体を強打した、パワーウィンドウに手・足・首などを挟んだ、で全体件数の3/4を占めている（Fig. 4）⁽²⁾。

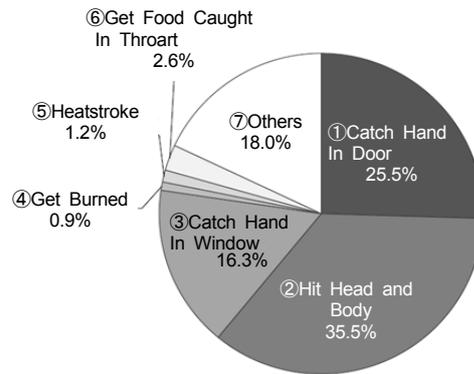


Fig. 4 Accident in Vehicle

(3) 走行時の身体に与える悪影響

主に、クルマ酔い、揺れ・音・臭いなどによる疲れや不快感が考えられる。

クルマ酔いの年齢別頻度によると、大人に比べると子どもはクルマ酔いになりやすいことが分かる。10～19歳が最も多く、その後、徐々に少なくなっている（Fig. 5）⁽³⁾。

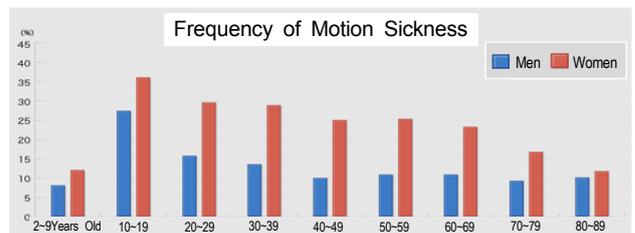


Fig. 5 Motion Sickness

(4) お母さんのストレスが子どもに及ぼす悪影響

見逃されやすいのが走行時のストレスである。運転者、主にお母さんに運転の余裕がないと、運転挙動に不自然さが生じるだけでなく、表情や行動にストレスが現れ、それが子どもに敏感に伝わって子どものストレスになると考えられる。

マツダは(1)～(4)の実態を踏まえながら、子どもやお母さんに対しても優しいクルマづくりを目指している。

4. MAZDA TECHNOLOGY FOR KIDS

マツダは1985年に発売したファミリアに、子ども安全への取り組みとして、プルタイプのパワーウィンドウスイッチを設定した。当時、開閉操作は押して使うのが一般的であったが、水平面にセットする場合、子どもの接触によって作動する危険性がある。そこで、他社に先駆けて、引く動作によって閉まる構造とした。その後も、さまざまな子ども安全への配慮 (TECHNOLOGY FOR KIDS) を商品に織り込んでいる。

また、商品だけでなく、社会貢献活動の一環として、子どもへの安全教育や創造性を育む活動も実施している。

マツダは、子ども安全への取り組み活動のユーザーへの認知向上と第三者機関による客観的な評価を目的に、2014年から継続してキッズデザイン協議会主催のKIDS DESIGN AWARDに応募している。

4.1 KIDS DESIGN AWARD

キッズデザインとは、次世代を担う子どもたちの健やかな成長発達につながる社会環境の創出のために、デザインのチカラを役立てようとする考え方であり、活動である。

キッズデザイン賞は、「子どもたちの安全・安心に貢献するデザイン」、「創造性と未来を拓くデザイン」、そして「子どもたちを産み育てやすいデザイン」というキッズデザインの理念を実現し、普及するための顕彰制度であり、受賞作品には「キッズデザインマーク」の使用が認められている⁽⁴⁾。

4.2 KIDS DESIGN AWARDへのマツダの取り組み

マツダは2014年に最優秀賞、2015年～2016年にキッズデザイン賞、2017年に「MAZDA TECHNOLOGY FOR KIDS」の進化として、奨励賞を受賞するという高い評価を得ている。

TECHNOLOGY FOR KIDSの進化とは、『新たな視点、継続と積み重ねで進化させていく』ということである。子ども視点だけではなく、お母さんの体力的・精神的なゆとりが子どもを笑顔にするという新たな視点を追加するとともに、新型CX-5に2014年～2016年までの応募技術と2017年の新たな提案を全て織り込み、継続と積み重ねを実施している (Fig. 6: 図中の年号は応募タイミング)。

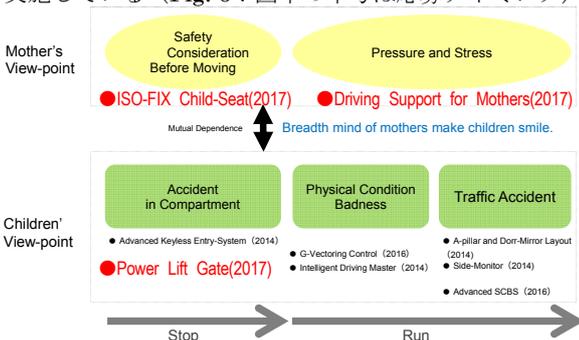


Fig. 6 Evolution of TECHNOLOGY FOR KIDS

今後も、KIDS DESIGN AWARDへの取り組みを続けるとともに、これらの技術を今後の新型車にも継続的に織り込んでいく。

(1) 2014年

「MAZDA TECHNOLOGY FOR KIDS」で、第8回キッズデザイン賞「内閣総理大臣賞」を受賞した (Fig. 7)。



Fig. 7 Kids Design Mark

構成技術は下記の4つである。

①子どもを発見しやすいAピラーとドアミラー配置

ドライバーから見ると、横断歩道を歩行中の子どもの姿はフロントガラスサイドの柱 (Aピラー) とドアミラーに隠れて見えづらく、それが事故につながるケースがある。Aピラーとドアミラーのレイアウトを適切化することで自動車左折の際、交差点を渡ろうとする子どもをより視認しやすくしている (Fig. 8: 受賞時のモデル)。



Fig. 8 Layout of A-Pillar and Door-Mirror

②子どもの巻き込み事故リスクを減らすサイドモニター

子どもを巻き込む事故リスクを減らすために、車内ディスプレイに助手席側の前方側面を映し出すサイドモニター機能を搭載した。ドライバーに対して素早く分かりやすく情報を提供し、危険の事前認知と回避を支援する (Fig. 9: 受賞時のモデル)。



Fig. 9 Side Monitor

③子どもをクルマ酔いさせにくいスムーズな運転操作

の習得をサポートするi-DM (インテリジェント・ドライブ・マスター)

同乗する子どもにクルマ酔いをさせにくいように運転操作のスキル向上を支援する技術である。運転中のアクセル、ブレーキ、ハンドル操作をリアルタイムに判定し、メーター内のランプで知らせる。クルマ酔いの原因となる不快な揺れをキャッチし、ドライバーの運転を評価することでスムーズで快適な運転操作の習得につなげる (Fig.10: 受賞時のモデル)。



Fig. 10 Intelligent Drive Master

④子どものエンジン誤始動を防ぐアドバンストキーレスエントリーシステム

保護者がキーを持ってリアゲートで作業しているとき、車内に残る子どもが誤ってエンジンを始動させるリスクを防ぐ。荷室にキーがあってリアゲートを開けている時は、操作ボタンを押してもエンジンは始動しない。

(2) 2015年

新世代ヘッドランプ技術「アダプティブ・LED・ヘッドライト」で、第9回キッズデザイン賞を受賞した。

誰もがストレスや不安を感じることなく運転を楽しめるよう、面倒な操作なしに夜でも昼間のように前方を見やすい状況をつくり出すことができる。照射範囲を自動でコントロールできるグレアフリー (防眩) ハイビーム (Fig. 11) と、より広い範囲を照射するロービーム (Fig. 12) を組み合わせることで夜間の視認性を高め、子ども歩行者へのドライバーの危険認知をサポートする。

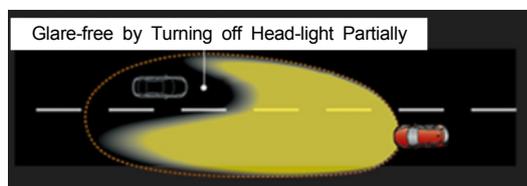


Fig. 11 Glare-Free High-Beam

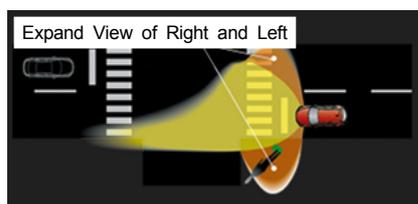


Fig. 12 Wide Light-Distribution Low-Beam

(3) 2016年

「アドバンスト・スマート・シティ・ブレーキ・サポート (アドバンストSCBS)」, 「G-ベクタリング コントロール」で、第10回キッズデザイン賞を受賞した。

①子どもに多い『飛び出し事故』に備えるアドバンストSCBS

フロントガラスに設置したカメラで、クルマや歩行者などの交通環境を捉え衝突の危険性を判断する。衝突の危険性が高い状況下では、自動的にブレーキをかけ、衝突の回避や被害の軽減をサポートする。子どもに多い交差点や駐停車車両の間からの急な飛び出しを想定し、子どもたちの事故を防ぐことを目指した (Fig. 13) (5)。

平成28年度 (前期分) の自動車アセスメント予防安全評価から新たに評価項目として加わった歩行者対応自動ブレーキ評価において、アクセラは最高得点の好成績を収めた。

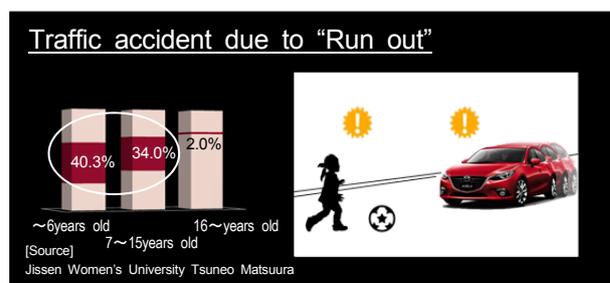


Fig. 13 Advanced Smart City Brake Support

②クルマに酔いやすい子どもに優しいG-ベクタリングコントロール

ステアリング操作に応じてエンジンの駆動トルクを変化させてクルマの4輪の接地荷重を最適化し、応答性と安定性を高める新発想の技術であり、誰が運転しても揺れが少ない走りができる。

揺れはクルマ酔いの原因のひとつでもあり、クルマに酔いやすい子どもに優しい技術である (Fig. 14)。



Fig. 14 G-Vectoring Control

(4) 2017年

「MAZDA TECHNOLOGY FOR KIDSの進化」で、第11回奨励賞 (キッズデザイン協議会会長賞) を受賞した。

子どもたちの安全・安心に貢献するデザイン部門に、下記の3つの技術構成で応募したものである(①-1~①-3)。

更に、創造性と未来を拓くデザイン部門に初めて応募し、「クルマの進化を知ろう、ものづくりの楽しさを感じよう」で、第11回キッズデザイン賞を受賞した(②)。

①-1 お母さんにも優しいチャイルドシート関連技術

リアドアの開度拡大(72→80° : Fig. 15), ドアトリム造形によるチャイルドシート取り付け時の作業スペース拡大(Fig. 16), ISO-FIXトップテザーの取り付け性の向上を図った。更に、固定ロアアンカレッジ周辺のシート表皮及びパットを切り欠くことにより、チャイルドシートをセットするまでに障害となるものが前面の表皮のみとなり、より容易に取り付けることができる構造とした(Fig. 17)。

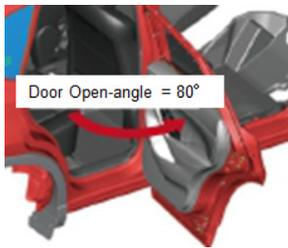


Fig. 15 Door Open-Angle

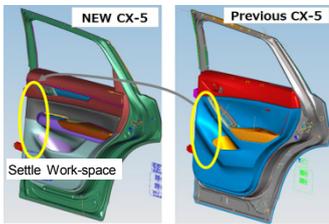


Fig. 16 Door-Trim Arrangement

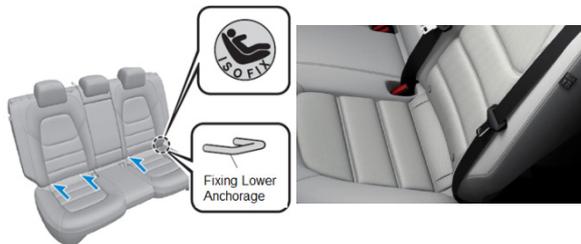


Fig. 17 ISO-FIX Child Seat

①-2 お母さんの心のゆとりを生む運転支援

お母さんの心のゆとりが子どもを笑顔にするとの思いから、理想のペダルレイアウト, AT 誤発進抑制制御(前進時&後退時), アクティブ・ドライビング・ディスプレイ, TSR(交通標識認識システム), MRCC 全車速追従機能付, を採用した(Fig. 18~21)。人間中心の設計思想と先進安全技術でお母さんをサポートする。

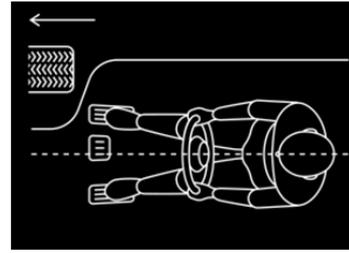


Fig. 18 Pedal Layout

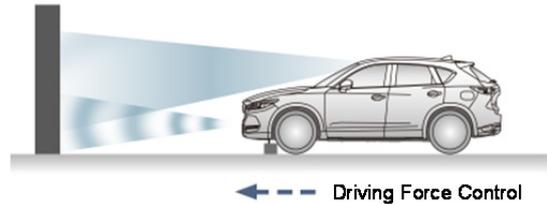


Fig. 19 Pre-Collision Throttle Control



Fig. 20 Traffic Signal Recognition System

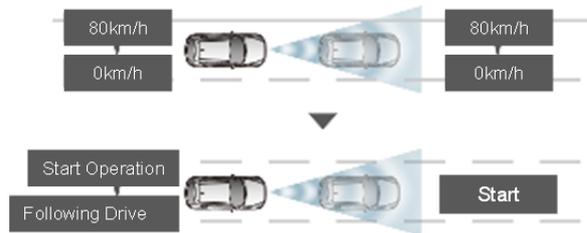


Fig. 21 MRCC

①-3 子どもを挟み込みから守るパワーリフトゲート
子どもがいることに気が付かないでパワーリフトゲートを操作した場合の挟み込み防止機構を採用した。

電動開閉中、リフトゲートに負荷がかかった際のモーター回転速度の変化、及びリフトゲート左右のタッチセンサーで接触を感知すると自動反転する(Fig. 22)。

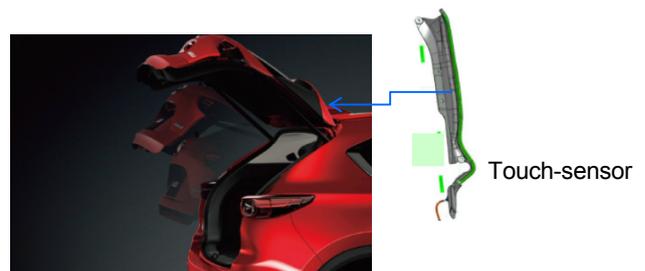


Fig. 22 Auto-Reversing Power Lift-Gate

②クルマの進化を知ろう、ものづくりの楽しさを感じよう
感性豊かで創意工夫に満ちた未来の技術者を育てる目的で、小学 3～6 年生を対象とする「比べよう！クルマの今・昔～環境・安全性能を楽しく学ぼう」を、広島県、東京都、神奈川県で実施した（総勢約 430 名の児童と保護者が参加）。今と昔のクルマを見比べた後、クルマの模型で実験を行い、環境・安全の進化について考えてもらうとともに、ペーパークラフトの製作で、ものづくりの楽しさを感じてもらった。参加者からは、万一事故が起こっても被害を軽減するように工夫していることがわかった（お父さま）、子ども目線での安全装備・デザインをされていることがわかった（保護者の方）、などのコメントがあった（Fig. 23, 24）。



Fig. 23 Program for Children



Fig. 24 Paper Craft

(5) 実践女子大学 松浦 常夫：子どもの飛び出し事故の事例分析，第14回 交通事故・調査分析研究発表会，2011

■ 著 者 ■



田坂 寿康



中野 隆裕

5. おわりに

子どもたちに、クルマの原体験である、純粋な走る喜びを感じてもらいたい。そして、事故を減らし、子どもを安心して産み育てられる社会づくりに貢献していきたい。この想いで生み出したマツダの子ども安全に対する取り組みと具体例を紹介した。KIDS DESIGN AWARDにおいても、毎年、高い評価を得ている。今後も、更なるTECHNOLOGY FOR KIDSの進化に向けた取り組みを続けていく。

参考文献

- (1) ITARDA:ITARDA INFORMATION交通事故分析レポート，No.106，2013
- (2) JAF:『子どもの車内事故に関するアンケート調査』結果，2012
- (3) 野田 哲哉：乗り物酔い研究（のだ耳鼻咽喉科内）HP
- (4) キッズデザイン協議会HP

論文・解説

30

高性能トーションビーム開発 Development of High Performance Torsion Beam

高橋 浩之*¹ 桑子 俊*² 川口 秀明*³
Hiroyuki Takahashi Shun Kuwako Hideaki Kawaguchi
中土 信之*⁴
Nobuyuki Nakado

要 約

トーションビームアクスル形式（以下TBA）のセンタービームにおいて、車両運動性能を進化させるSmart Expand Beam（以下SEB）を開発した。SEBは周長可変によりねじり剛性、質量をそのままに曲げ剛性を大幅に高めるものである。鍛造技術をプレス加工に用い、管の外周と内周の弾性回復量の偏差を極小化することで、レーザー溶接に求められる接合部の間隙の精度を確保した。それにより、板曲げ溶接成形の生産性の良さと鍛造法での品質を確保しつつ、周長可変の形状を一般的な汎用設備で生産可能な素管の成形方法を確立させた。本稿では、その取り組み内容について報告する。

Summary

On the center beam of torsion beam axle, Mazda developed "Smart Expand Beam" for improvement of the performance of vehicle dynamics. SEB increases bending stiffness of the center beam without increases of torsion rigidity and mass. Typical forging method was provided by stamping, the requirement of narrow gap for laser welding is achieved. Providing compression stress to all portions, difference of elastic removal both inside surface and outside could be minimalized. As the result, with satisfaction of high productivity by stamping, welding assembly and high quality of forging, the forming method of pipe with variable diameter was established by using popular facilities as follows.

1. はじめに

中～小型乗用車において軽量化と車両運動性能を両立させるためにTBAが広く採用されている。TBAは車両前後方向に配置され車体とタイヤをつなぐ左右のトレーリングアーム部と、車両左右方向に配置され左右のトレーリングアームをつなぐセンタービーム部からなるシンプルな構造であり軽量化に優れる。一方で、車両運動性能に対しセンタービームの剛性の寄与が大きく、センタービームをいかに設計するかで車両運動性能のポテンシャルが決まる。このTBAの運動性能進化を可能とするセンタービームの理想構造実現に向けて、開発部門、生産部門が一体となって技術開発を行った。

2. センタービーム理想構造の導出

2.1 クラッシュドパイプ式センタービーム

センタービームの主要な機能として、①タイヤを支持する機能と②車両のロール姿勢を制御する機能がある。

①の機能には曲げ剛性を高く設定することが有効なためセンタービームとトレーリングアームとの結合部断面を大きくすることが有効であり、②の機能にはねじり剛性のある適切な値とする必要があるためねらいにあわせて車両中央部の断面を決める。また車両軽量化のために最高の質量効率でこれらの機能を実現しなければならない。

センタービームは鋼板の形状及び板幅を任意に変更することで各断面を成形した中実断面からなるものと、鋼管から形状を変更することで各断面を成形した中空断面からなるクラッシュドパイプ式と呼ぶものに大別される。後者は質量軽減に有効であり、マツダでは2014年9月発売の現行デミオからこれを採用している。

2.2 高性能センタービーム

Fig. 1に現行デミオのTBAとSEBを用いたTBAの比較を示す。現行デミオのTBAに対し、SEBを用いたTBAはセンタービームとトレーリングアームとの結合部分の断

*1 シャシー開発部
Chassis Development Dept.

*2~4 技術本部
Production Engineering Div.

面前後幅を拡大している。

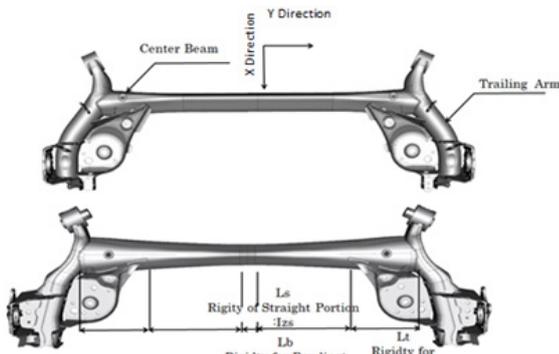


Fig. 1 Comparison of TBA between Conventional Straight and SEB

現行デミオのTBAの断面形状をFig. 2に示す。車両中央部の断面をつぶし切ること適切なねじり剛性を得ているが、使用している鋼管はその製造方法から均一周長の素管 (Straight Pipe) となるため、トレーリングアームとの結合部近傍の断面がStraight Pipeの周長で決まる形状となっている。

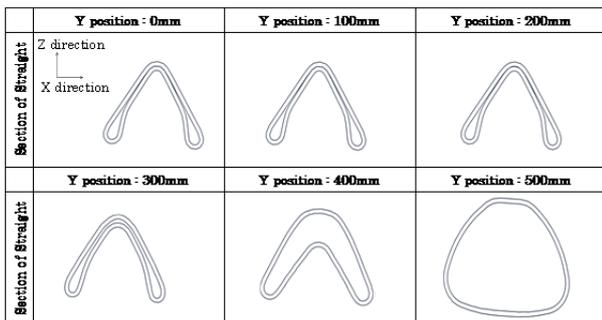


Fig. 2 Sections of Conventional Straight Beam

これに対してSEBを用いたTBAは、Fig. 3に示すように周長可変の素管によって車両中央部からトレーリングアームとの結合部の間の各部位で必要な断面を確保した形状としている。

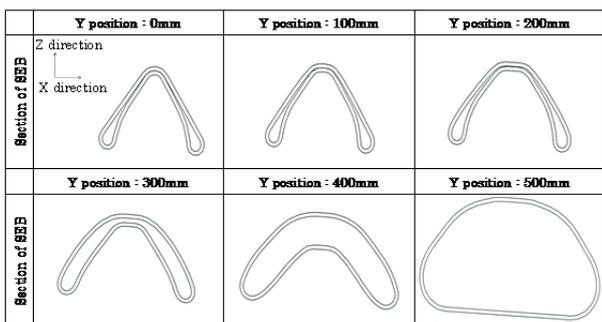


Fig. 3 Sections of SEB

Fig. 4にこれら二つのセンタービームの各部位のZ軸まわりの断面二次モーメントの比較を示す。両者はねじり剛性と、質量を同等としたものである。SEBではStraight Pipeに比して、トレーリングアームとの結合部分に向けて増加させることができている。結合部近傍ではおよそ150%増加できている。

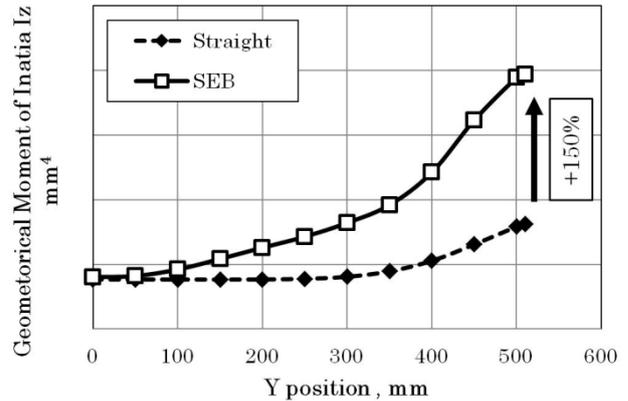


Fig. 4 Comparison of Geometric Moment of Inertia

このとおりセンタービームへ周長可変とした素管を用いることは性能及び軽量化への効果が大きく、このSEBの実現のために必要な造管技術を開発した。

3. SEBのための周長可変の素管の製法

3.1 プレス加工による鋼板からの冷間鍛造パイプ成形

パイプ成形方法は大きく分けて、穿孔法に代表される鍛造による丸棒からの成形と、電縫鋼管のような鋼板から板を筒状に曲げ、溶接及び熱変形の矯正などの工程を経て製造される板曲げ溶接成形に分類される。それぞれ長所短所を持ち、用途に応じて選択使用されている。しかし二つの工法とも、同一パイプ内で径の変化を求めるとはできない。

目指すべきは、板曲げ溶接成形の生産性の良さと鍛造法の品質を確保しつつ、周長可変の形状を一般的な汎用設備で生産可能な工法を開発し、グローバルな展開に対応することである(Fig. 5)。そのため生産設備は一般的なプレス機械であることが必要となる。

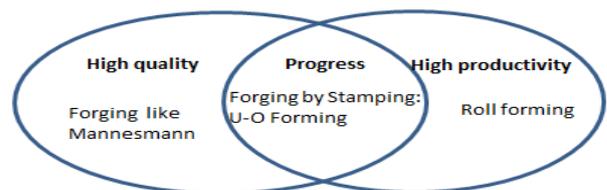


Fig. 5 Progress to Be Satisfied with Quality and Productivity

Fig. 6にロール成形の溶接前の無拘束の形状を再現した端面を示す。この状態からロールにより圧着され電気溶接されるのであるが、端面は開いており、ここを埋めるためパイプ自身を溶かしながら隙間を埋めている。これには大量の熱を必要とし、電気抵抗溶接もギャップ部分の体積補充のための入熱問題が問題となる。この大量の入熱は高張力鋼板のHAZ割れの原因となり、TiやVなどの元素の添加が必要となってくる。また凝固時の収縮により精度の変化が発生する。

そこで目指すべき溶接形態は端面完全密着と、その端面のみの溶解と凝固を可能とする溶接方法が必要である。そのため、成形は冷間鍛造の技術に、接合はレーザー溶接の技術に解を求め、端面の精度としては小野らがレーザー溶接の間隙に関して必要と述べている⁽¹⁾ 0.1mm程度以下を再現することとした。

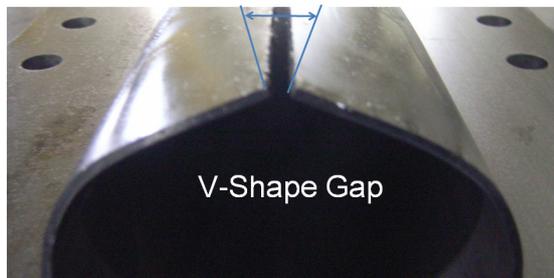


Fig. 6 V-Shape Gap of End of Pipe in Case of Roll Formed Pipe without Restraining Force

Fig. 7に一般的なパイプ成形の工程を示す。まず素板から所望の形状に切断し、その後U形状に成形する。その後、O形状の成形を施す。このプレス加工を以下、U-O成形と呼ぶ。このうち、溶接を施し素管となる。U-O成形における生産技術的に制御可能な因子は、O成形工程に至るまでの工法選択及びその形状の決定と材料寸法及び溶接方法及び条件の適正化である。

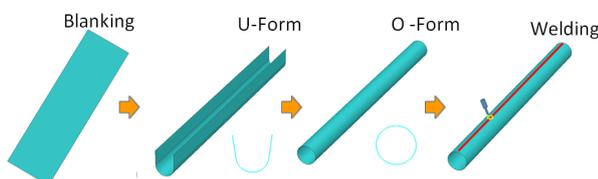


Fig. 7 Forming Process of Conventional U-O Forming

3.2 U成形後の予備曲げ成形に関して

従来の均一周長のU-O成形は単純曲げであり、U成形による弾性回復のみを考慮すればよいが、周長可変の素管の場合は弾性回復に加えて次の点を配慮する必要がある。

Fig. 8に直径の変化するU-O成形のパイプの展開形状を

示す。図中の斜線部は展開時の余肉であり、この部位が影響して変形の不均一を発生させる点。 ρ_1 , ρ_2 の曲率の変化する部位を持っている点。これら二つの要素が加わることで離形後の端部の位置は金型形状とは大きく異なる。この離形後の形状変化を制御する必要が生じる。形状制御の要件は、次のO成形のため端部がO成形工程の上型形状(=N)の内側に収まることである。これを実現するための前処理としてO成形工程の前に予備曲げ成形の工程を設ける。

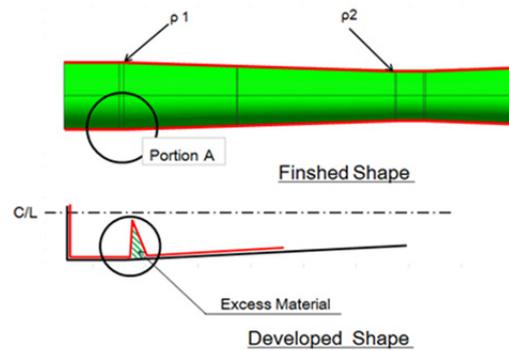


Fig. 8 Developed Shape from Pipe to Plane

3.3 冷間鍛造技術の適用によるギャップの解消

Fig. 6にロール成形の溶接前の無拘束の形状を再現した端面形状を示したが、通常の板曲げ成形でも同様な現象が発生する。Fig. 9に示すように外周部分は引張り応力が、内周部分には圧縮応力がかかる。離形後、この応力が解放されると図中、右のように弾性回復によりギャップが生じる。

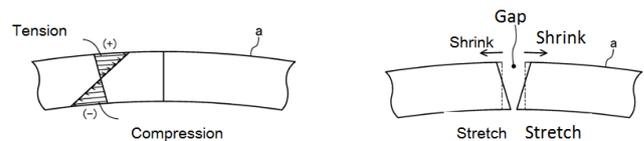


Fig. 9 Difference of Elastic Removal

ここでこのギャップのオーダーを確認する。板厚中心の直径 $2r=\phi 100$ 、板厚 $t=2.6$ として、外周のひずみは $t/2r$ で与えられ、2.6%となる。 $Y_p=600\text{MPa}$ の弾塑性体と仮定すると弾性回復のひずみは $\pm 0.29\%$ となる。すなわち外周側は周長全体ではおよそ -0.9mm となる。内周側も同様に $+0.9\text{mm}$ となり、通常の曲げ成形ではレーザー溶接に求められる 0.1mm 程度の間隙を得ることができないことを示している。

そこで塑性変形後の弾性回復によるギャップを解消する手段として冷間鍛造としての圧縮による成形に解を求めた。すなわち素管周長より長い材料で成形し全圧縮を得ることである。この割合を幾何学的圧縮率(以下GC

ratio) と呼ぶ。Fig. 10にGC ratioの定義を示す。

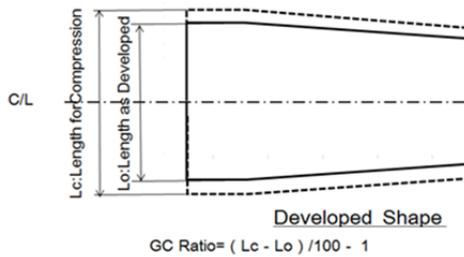


Fig. 10 Definition of Geometrical Compression Ratio

Fig. 11に全圧縮の変形経路を示す。板外側の変形は無負荷の状態から、 σ_o まで引張りとなる。これで板内側の圧縮とあわせて負荷状態での円の形状は確保される。ここまではロール成形と同様であり、ロール成形はここで加工は終了する。一方、板内側の変形は、同じく無負荷の状態から σ_i まで圧縮される。ロール成形では板外と同様、板内 σ_i で成形を完了する。全圧縮ではこれより圧縮を進め板外側では σ_{oc} に、板内側は σ_{ic} に至る。これで全圧縮の成形は完了する。

以下離形後の応力と弾性回復の挙動を述べる。全圧縮の場合とロール成形とのひずみを比較する。ロール成形において、荷重除去後の ϵ_i と ϵ_o の弾性回復が生じる。板外、板内のひずみの偏差は $\epsilon_i + \epsilon_o$ となる。これに反して全圧縮U-O成形においては板外、板内ともに圧縮がかかっており、弾性回復の偏差は $\epsilon_{ic} - \epsilon_{oc}$ となり、この偏差は少ない。すなわち離形後の端面は平行に移動する。結果として塑性変形後のギャップが無視できるオーダーとなる。

加えて、この現象を応力の視点からみる。付与された板内、板外の応力の差は全圧縮をしていない場合 σ_d となるが、全圧縮すると σ_{dc} となる。結果として残留応力(=板内板外の応力差)も大幅に抑制される。

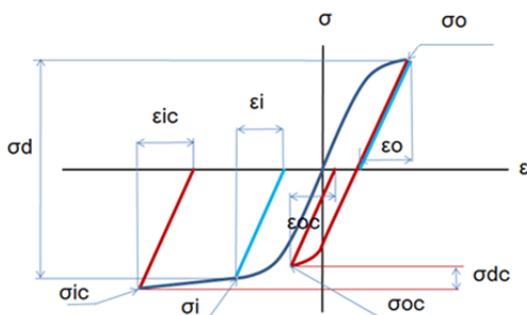


Fig. 11 Comparison of Historical Stress-Strain Curve between Pipe with and without Compression

3.4 実験・解析方法

Fig. 12に周長可変の素管形状を示す。中央部分に50mmの直線部を有し直径を拡大しつつ再び直線部へつ

ながる周長の変化を持たせた。

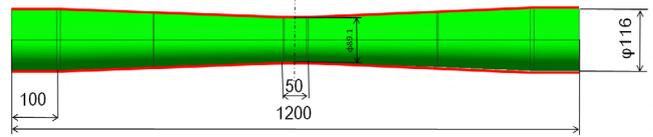


Fig. 12 Shape of Expand Pipe

Fig. 13に今回の実験の工程を示す。一般的なパイプ成形の工程に加えて3.2で述べた展開時の余肉と曲率変化部位の対策として予備曲げ成形工程をO成形工程の前に設けた。FEM解析にはPam-Stampを用いた。供試材は780MPa級高張力鋼板である。

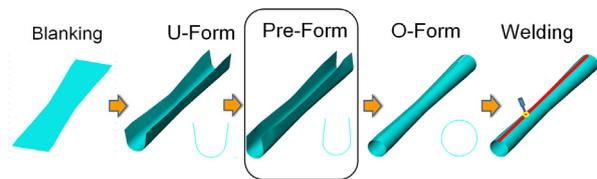


Fig. 13 Forming Process of Expand Pipe

Fig. 14にO成形の金型の下死点の状況を示す。芯金のない成形である。



Fig. 14 Shape of O-Forming Die at Bottom Position

溶接はレーザー溶接で接合部の密着を確保するため左右から加圧する治具を用いた。レーザー溶接機は、ファイバーレーザー：6kWを使い、その溶接条件は、速度：2.4m/sec, 照射径：0.6mm, 出力：4kW, アシストガス：Ar (30L/Min.)とした。

3.5 予備曲げ成形の結果

Fig. 15にU成形品と予備曲げ品の比較を示す。O成形のためにはU成形の端部の幅Aが、O成形工程の上型形状(=φ)幅Cの内側に収まる必要がある。(a)の幅Aは予備曲げ成形により、(b)の幅Bまで成形されておりO成形の要件である幅C以下の形状が得られた。本実験では780級高張力鋼板が供試材であるが、さらなる高強度材の利用と、周長変化率のより大きい周長可変の素管成形には、予備曲げ形状の精度向上が必要である。

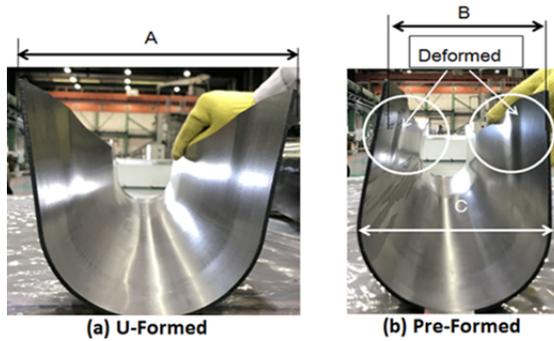


Fig. 15 Shape of U-Formed and Pre-Bended

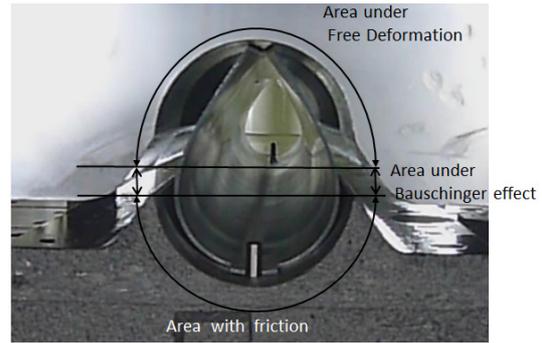


Fig. 18 Effect of Friction and Bauschinger Effect

3.6 O成形の結果

Fig. 16にパイプ成形後の板厚分布の実験とFEM解析の比較を示す。実験はGC ratio 1, 1.5, 2, 3%で行った。実験とFEM解析は良い一致を示している。

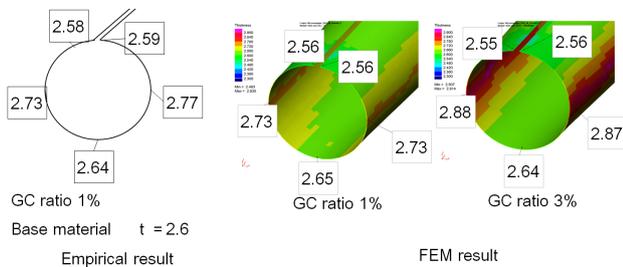


Fig. 16 Comparison of Thickness between Empirical and FEM Result

Fig. 17にGC ratio 1.5%のひずみ分布を示す。数値は主ひずみの値で、+の線長で大きさと方向を示す。

ここで上部（以下地球儀になぞらえて北極と呼ぶ。）では圧縮のひずみが周方向に発生しているが、ほぼ同等のひずみが長手方向に発生している。この部位は他の部位と境界条件が異なり長手方向への拘束は材料の接触部分の摩擦力だけであり、他の部位に比して自由に長手方向に伸びたものとする。これは塑性変形のしやすさを示し、生産技術的な形状の付与の可能性を示す。

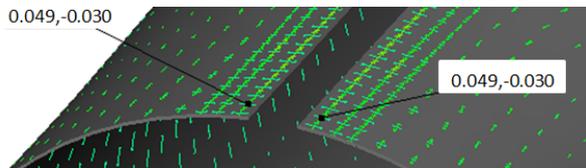


Fig. 17 Effect of Deference of Boundary Condition

また、赤道部分の板厚増加は顕著である。南半球は金型との摩擦があり北半球成形時の加圧力の法線方向の力*摩擦係数分の拘束を受け材料は変形しづらい。赤道部分はバウシinger効果の影響で変形が促進されたものとする。O開始直前の金型との接触状況をFig. 18に示す。

Table 1にGC ratioを変えた場合のひずみの比較を示す。圧縮率に比例してひずみ量は増えるが、その変化は赤道部分で最大で、主に南半球のひずみ増加となり、北半球のひずみ量はほぼ同じであることが分かる。また、780級の材料は0.3%のひずみで塑性域に入りますが、周長可変の素管形状の場合GC ratio 1%でも全域圧縮の塑性域に入っていることが分かる。これはFig. 8で示した材料の展開時の余肉を成形させたことによるものと考えられる。Fig. 18で示したように芯金のない成形であるためGC ratio 3%を超す圧縮を与えると座屈が発生した。幾何学的形状と縦弾性係数で決まる座屈強度と圧縮力で座屈発生の有無は決まる。780MPa級の高張力鋼板は引張り強さ780MPaを下限保証するものであるが、座屈に対して表裏の応力差の影響を考慮する必要がある。

Table 1 Effect of Geometrical Compression

| Portion | GC ratio | 1% | 1.5% | 2.0% |
|----------------|----------|------|-------|-------|
| The North Pole | outside | -2.9 | -2.2 | -2.2 |
| | inside | -6.1 | -5.7 | -5.9 |
| The equator | outside | -3.1 | -6.5 | -7.1 |
| | inside | -7.6 | -11.9 | -12.6 |
| The South Pole | outside | -1.5 | -1.5 | -1.5 |
| | inside | -3.3 | -4.1 | -4.3 |

Fig. 19にO成形品とロール成形品の断面の比較を示す。O成形品は人力で加圧することで密着を得ているが、ロール成形品は人力では密着を得られない。



(a) just Formed (b) Form with Compression

Fig. 19 Comparison of Shape of Rolled and Forged

Table 2に密着に必要な荷重の比較を示す。

Table 2 Compression Force to Make Ring without Gap

| | Required Compression Force to Gap 0 | Section |
|-------------------------|-------------------------------------|---|
| as Formed | 200kN/m |  |
| Formed with Compression | less than 2kN/m |  |

全圧縮の場合でも板内板外の応力差が生じるため、無拘束での完全密着は得られないが、軽微の拘束力であることの確認のために密着に要する荷重を測定した。これはGC ratio 2%の結果で、密着に必要な荷重は単に曲げたものの1/100以下であり、長さ1mあたり2kN以下の外力で型内状態の密着を再現できる。

Fig. 20に板面内の硬度分布を示す。通常の曲げ加工では中立軸である板厚中央の硬度が低く、板厚表面において硬度が上昇する。しかし全圧縮のため全ての領域で硬度が上がっており、加えて板外側の硬度が板内側に比べて低い。これは板外側が初めに曲げ加工で引張りの後、圧縮を受けたことで、板内に比べて圧縮側の硬度より低くなったと考えられFig. 11の変形経路の正しさを示す。

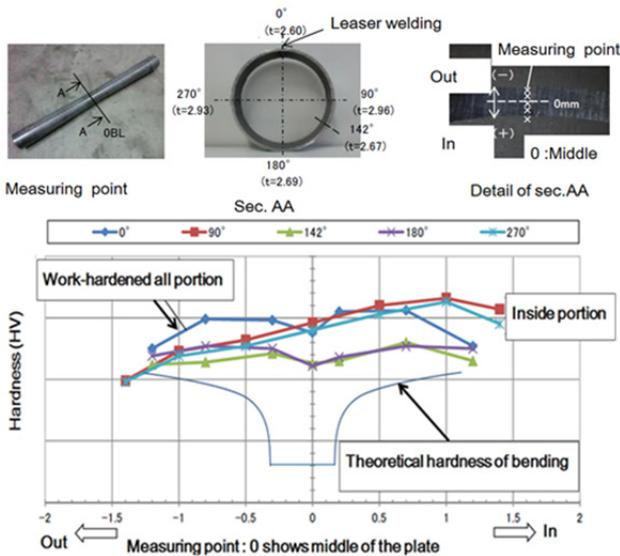


Fig. 20 Hardness Distribution

以下、型内で完全密着した周長可変の素管の溶接治具での挙動について述べる。圧縮の後、ほぼ均一に弾性回復するという事は、板の内外の応力差が少ないことである。すなわちFig. 11で示したodeが小さくなることである。切り出し法による残留応力の大きさを確認した。Fig. 21に測定部位と残留応力値を示す。ロール成形のパイプの残留応力は板内側が70MPaの圧縮、板外側が130MPaの引張りの残留応力があるのに対して、U-O成形の場合どの部位でも一桁少ない。すなわち板外板内と

も同様に弾性回復していることが分かる。Fig. 19で示したとおり人力で型内密着状態を再現できることが納得できる。

溶接治具内においても、2kN/mの拘束力を与え、型内と同じ状況が再現されていることを確認した。

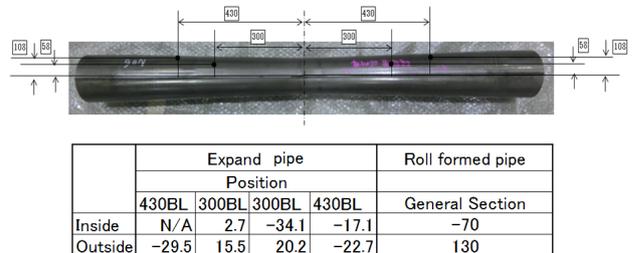


Fig. 21 Residual Stress

3.7 溶接後の精度と品質

JIS G 3445規格の直径の寸法公差によると、区分3号外径100mm以上の場合、外径の許容差は±0.5%である。両端の直径を測定すると、φ116.31mm~116.66mmであった。金型は弾性回復による圧縮応力除去後の直径の拡大は配慮せずφ116で製作した。弾性回復により直径0.3mmの拡大が確認された。弾性回復を考慮して金型製作をすれば±0.2%以下の周長可変の素管が得られることが分かった。また厚さに関しては、板の8%が許容差である。これに対してMax.2.77 mm, Min.2.59mmであった。これは±4%に相当する。素板2.56mmであったので圧縮による板厚増加を考慮した設計が必要がある。

JISでは、鋼管の試験として、曲げ試験とへん平試験を挙げている。SEBにおけるクラッシュド成形を考慮して、へん平試験とV形状に潰す試験の二つでの評価を行った。へん平試験では、接合部以外の亀裂を確認した。V形状に潰す試験では、周長可変の素管場合、亀裂は発生せず良好な結果を示した (Fig. 22)。電縫鋼管よりも優れていることが分かる。

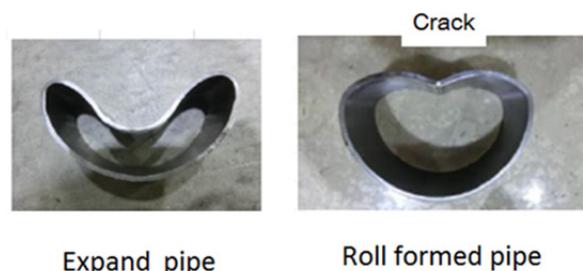
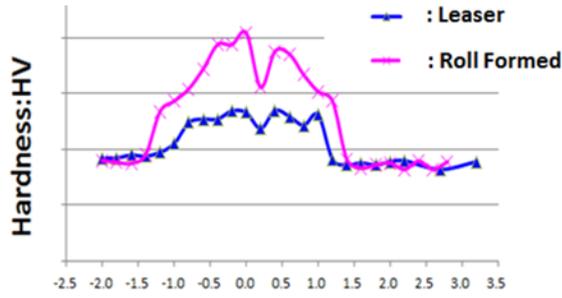


Fig. 22 Compression Test by U-Shape Tool

Fig. 23に溶接部の硬度及びその分布を示す。電縫鋼管に比してレーザー溶接は、硬度の上昇も低く、熱影響部の幅も狭い。



Measuring point:1mm inside of the outer edge

Fig. 23 Hardness Distribution of Welded Section

溶接部の組織観察をFig. 24に示す。針状のマルテンサイトの発生が観察され、その密度は電縫鋼管のほうが高い。硬度差はマルテンサイト量の違いと考えられ、エネルギー密度の高いレーザー溶接の優位性を示している。

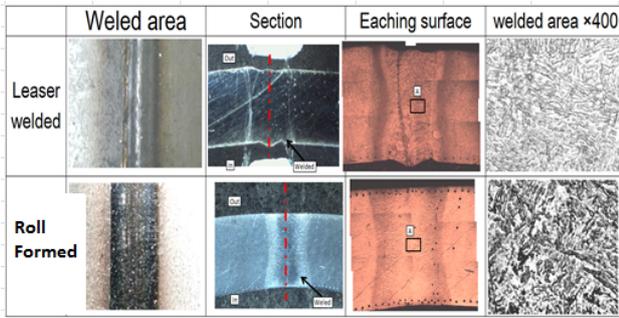


Fig. 24 Compression of Etching Surface

Fig. 25に溶接部の断面を示す。溶接部は入熱の多い場合に見られるワイングラス状ではなく、高速送りで発生するアスペクト比の高い杭形の形状を示している。これは溶接条件が適正であることを示す。



Fig. 25 Shape of Welded Section

Fig. 26は、0.1mmの間隙を設けて溶接したものである。通常のレーザー溶接ではひげが発生するが、この対策として金属をフィラーとして補う方法がある。Fig. 17で示した北極部の材料挙動を活用し、不足分を板厚増加させることで、Fig. 27の形状を得ることが可能となり0.1mmの間隙でも必要な断面を得ることができた。

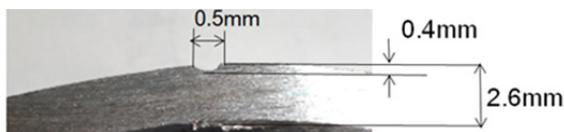


Fig. 26 Section of Intentionally 0.1mm Gap Provided

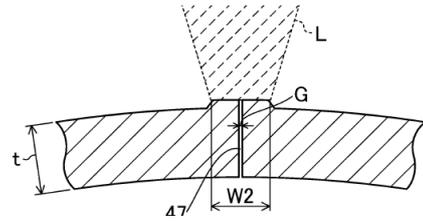


Fig. 27 Method to Provide Extra Volume of Material

4. 結論

本研究でトーションビームに供するSmart Expand Beamの性能とその生産の可能性を示した。

- 1) ねじり剛性、質量を同等としながら曲げ剛性を大幅に向上させるTBA用センタービームを実現した。
- 2) 全圧縮による型内完全密着は可能であり、離形後の弾性回復量のパイプ内外の偏差を最小化する幾何学的圧縮率を見出した。
- 3) 間隙に生ずる不足体積が溶接品質に影響を及ぼすため、安定的な溶接品質を確保するための断面形状と溶接可能な間隙を見出した。

5. おわりに

この開発にあたり試験、計測等のご協力をいただいた(株)ワイテック様に謝意を表す。

参考文献

- (1) 小野ほか：レーザー・アークハイブリッド溶接技術，NKK技報，No.176，pp.70-74 (2002.3)

■ 著 者 ■



高橋 浩之



桑子 俊



川口 秀明



中土 信之

社外への発表論文一覧表（2016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 |
|--------------|--|---|--|--|
| 2016.1.11-15 | American Institute of Physics, IEEE Magnetics Society 13th Joint MMM-Intermag Conference | Analysis of Thermal Demagnetization behavior of Nd-Fe-B Sintered Magnets using Magnetic Domain Observation | 竹澤 昌晃 池田壮一郎 森本 祐治 椛嶋 寿行 | 九州工業大学 同上 同上 技術研究所 |
| 2016.3.10-11 | 広島大学放射光科学研究センター 第20回広島放射光国際シンポジウム | An XAFS Study on the Local Changes around Titanium in the Lithium Secondary Battery during the Charge and Discharge Process | 森 啄也 三根生 晋 住田 弘祐 山田 洋史 Alvaro Munoz- Noval 田村 文香 生天目博文 早川慎二郎 | 広島大学 技術研究所 同上 同上 広島大学 同上 同上 同上 |
| 2016.4.12-14 | SAE SAE 2016 World Congress | Aerodynamics evaluation of road vehicle in dynamic maneuvering | 岡田 義浩 中島 卓司 坪倉 誠 森川 陽介 河野 良祐 岡本 哲 田中 松広 農沢 隆秀 | 車両実研部 広島大学 神戸大学 広島大学 広島大学 車両実研部 車両実研部 技術研究所 |
| 2016.4.28-29 | 37th International Vienna Motor Symposium 2016 | Mazda 2.5L SKYACTIV-G Engine with New Boosting Technology | 廣瀬 一郎 | パワートレイン開発本部 |
| 2016.5.15-19 | STLE 71St. Annual Meeting | Experimental and Numerical Analysis of Coated Specimens under EHL Point Contact for Film Thickness and Friction Characterization | Davis Pickens Zhong Liu Xingliang He 西野 隆之 Q. Jane Wang | Northwestern University 同上 同上 パワートレイン技術開発部 Northwestern University |
| 2016.5.18-21 | 日本自殺予防学会 第7回国際自殺予防学会アジア・太平 洋地域大会 | Automotive Application of Verbal Pathophysiology Analysis Technology | 岡崎 俊実 | 技術研究所 |
| 2016.5.22-27 | ICMF2016実行委員会 第9回混相流国際会議(ICMF 2016) | Synchrotron X-Ray Phase Contrast Imaging of Cavitation in Fuel Injector Nozzles with Various Sizes | 宋 明良 Rubby Prasetya 文 石洙 和田 好隆 横畑 英明 | 神戸大学 同上 産業技術総合研究所 エンジン性能開発部 同上 |
| 2016.5.23-25 | Society of Plastic Engineers' Annual Technical Conference | Effect of Degradation Caused by Water Absorption on Mechanical Properties of Injection-molded Glass Fiber Reinforced Polypropylene | 小川 淳一 安田 周平 濱田 泰以 | 技術研究所 京都工芸繊維大学 同上 |
| 2016.5.23-27 | The committee of Capacitor Technology, The Electrochemical Society of Japan 5th International Conference on Advanced Capacitors (ICAC2016) | Development of the Passenger Car's Brake Energy Regeneration System using the Capacitor | 宇都宮 隆 藤田 弘輝 三好 誠治 | 技術研究所 同上 同上 |
| 2016.6.13-17 | AIAA 34st AIAA Applied Aerodynamics Conference | Aerodynamics simulation of a sedan- type road vehicle in cornering motion with roll angle | 河野 良祐 中島 卓司 坪倉 誠 岡田 義浩 農沢 隆秀 | 広島大学 広島大学 神戸大学 車両実研部 技術研究所 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|--------------|---|--|---|--|
| 2016.6.15-17 | Ecole de technologie superieure The 4th International Digital Human Modeling Symposium | Computational Prediction Method of Subjective Sense of Force during a Steering Operation based on the Muscle Activation | 岸下 優介 竹村 和紘 山田 直樹 岸 篤秀 西川 一男 農沢 隆秀 辻 敏夫 栗田 雄一 | 広島大学 技術研究所 同上 同上 同上 同上 広島大学 同上 |
| 2016.7.10-15 | American Carbon Society International Conference on Carbon | Pore Size Optimaization of High Voltage Operrating EDLC Electrode Based on Quantitative Solid-State NMR Analysis | Keiko Ideta Chinami Morishima DooWon Kim Takashi Utsunomiya Koji Nakabayashi Jin Miyawaki Seong-Ho Yoon | 九州大学 同上 同上 技術研究所 同上 九州大学 同上 同上 |
| 2016.7.11-15 | European Society for Mathematical and Theoretical Biology, Society for Mathematical biology European Conference on Mathematical and Theoretical Biology 2016 | Acoustic Gaze Control for Obstacle- Avoidance Navigation by an Autonomous Vehicle Inspired by a Bat Bio-Sona | Yasufumi Yamada Kentaro Ito Takumi Tsuji Hitoshi Fukuba Ryo Kobayashi Shizuko Hiryu Yoshiaki Watanabe | 同志社大学 広島大学 同志社大学 技術研究所 広島大学 同志社大学 同志社大学 |
| 2016.7.12 | JSME International Seminar on the Development and Application of Chemical Kinetic Models for Combustion | Combustion Technology for a High Compression Ratio SI Engine | 山川 正尚 | パワートレイン技術開発部 |
| 2016.7.27-31 | AHFE (Applied Human Factors & Ergonomics) 2016, 7th International Conference on Applied Human Factors & Ergonomic / Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Neuroergonomics and Cognitive Engineering | Windshield Frame Shape and Awareness of the External World while Driving an Automobile | 武田 雄策 岩瀬 耕二 原 利宏 岸 篤秀 西川 一男 リチャード ヴィール 吉田 正俊 伊佐 正 農沢 隆秀 | 技術研究所 同上 同上 同上 同上 生理学研究所 同上 同上 技術研究所 |
| 2016.8.21-26 | The International Institute of Noise Control Engineering INTER-NOISE 2016 in Hamburg | Speech intelligibility under in-car distant-talking environments | 水町 光徳 詫間 翔大 大杉 郁代 浜田 康 西 康一 | 九州工業大学 同上 電子開発部 同上 同上 |
| 2016.9.4-7 | ILASS-Europe (欧州液体微粒化学 会) 第27回欧州液体微粒化学会(27th ILASS-Europe 2016) | Effects of Ambient Pressure on Cavitation in Fuel Injector Nozzle and Liquid Jet | Rubby Prasetya 笠原 巧 宋 明良 三輪 誠 和田 好隆 横畑 英明 | 神戸大学 同上 同上 同上 エンジン性能開発部 同上 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|---------------|--|---|---|--|
| 2016.9.14 | 13th International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC'16) | Development of G-Vectoring Control System Based on Engine Torque Control | 吉岡 透 高原 康典 加藤 史律 砂原 修 塚野 孝俊 武田 雄策 竹村 和紘 梅津 大輔 山門 誠 狩野 芳郎 安部 正人 高橋 紘也 | 統合制御システム開発本部 同上 操安性能開発部 統合制御システム開発本部 同上 技術研究所 同上 操安性能開発部 神奈川工科大学 同上 同上 (株)日立製作所 |
| 2016.9.14 | 13th International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC'16) | Study on Handling Quality Improvement Mechanism of G-Vectoring Controlled Vehicle | 山門 誠 安部 正人 狩野 芳郎 梅津 大輔 吉岡 透 | 神奈川工科大学 同上 同上 操安性能開発部 統合制御システム開発本部 |
| 2016.9.14 | 13th International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC'16) | Effect of Yaw-moment Control based on Lateral Jerk Information on Lane Change Task | 高橋 紘也 山門 誠 長塚敬一郎 佐藤 誠一 平賀 直樹 梅津 大輔 高原 康典 | (株)日立製作所 神奈川工科大学 Hitachi Automotive Systems Europe 日立オートモティブシステムズ(株) 同上 操安性能開発部 統合制御システム開発本部 |
| 2016.9.19-21 | Wessex Institute The 2016 International Conference on High Performance and Optimum Design of Structures and Materials | Friction Stir Spot Welding of CFRP and Aluminum Alloy with Themoplastic Adhesive | 田中 和人 寺村 拓也 片山 傳生 西口 勝也 | 同志社大学 同上 同上 技術研究所 |
| 2016.9.19-23 | ISMA 2016 International Conference on Noise and Vibration Engineering | Experimental and Numerical Analysis of Loudspeaker Induced Door Rattle | A. Van Gils I. Bosmans C. Coster D. Sacré 中島 正典 浜田 康 | Siemens Industry Software 同上 同上 同上 NVH性能開発部 電子開発部 |
| 2016.9.20 | Pacific Center of Thermal Fluids Engineering (PCTFE) The 27th International Symposium on Transport Phenomena | Experimental and numerical investigations of oil jet pattern for piston cooling in automotive engines | 中島 聖 | R & D技術管理本部(広島大学出向中) |
| 2016.9.20-23 | The 27th International Symposium on Transport Phenomena | Secondary Flow Characteristics of Pulsatile Flow in S-Shaped Exhaust Pipe of Automotive Engine | 大木 純一 池口 雅文 尾形 陽一 西田 恵哉 山本 亮 中村 和博 柳田 春菜 横畑 英明 | 広島大学 同上 同上 同上 エンジン性能開発部 同上 同上 同上 |
| 2016.10.9-12 | IEEE SMC 2016 | Dynamic Potential Model-based Feature for Lane Change Prediction | 禹ハンウル 池 勇勳 河野 仁 田村 雄介 山下 淳一 浅間 一 黒田 康秀 菅野 崇 山本 康典 | 東京大学 同上 同上 同上 同上 同上 技術研究所 同上 同上 |
| 2016.10.10-14 | ADVANTAGE AUSTRIA (オーストリア大使館商務部) 4th Dialogue for Global Innovation | What Future Vehicles Aim For – Human Centered or Machine Centered? | 原田 靖裕 | 統合制御システム開発本部 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|---------------|--|---|---|--|
| 2016.10.16-19 | ICCAS(International Conference Control, Automation, and Systems) ICCAS2016 | Lane-Change Feature Extraction using Multisensor Integration | 禹ハンウル 池 勇勳 河野 仁 田村 雄介 山下 淳一 浅間 一 黒田 康秀 菅野 崇 山本 康典 | 東京大学 同上 同上 同上 同上 同上 技術研究所 同上 同上 |
| 2016.10.16-19 | KSCM(韓国複合材料学会) The 10th Asian-Australasian Conference on Composite Materials | Development of Steel-based Composite Dispersed Short Carbon Fiber | 野口 和成 山下 浩之 杉尾健次郎 佐々木 元 竹村 幸司 河野 一郎 | 広島大学 同上 同上 同上 パワートレイン技術部 同上 |
| 2016.11.4 | EMCoS Ltd. EMCoS 15th Anniversary Users' Meeting | Radio Wave Performance Analysis for the Vehicle Electrical Equipment by the Electromagnetic Simulation Software | 浜田 康 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.11.6-9 | ILASS-Asia 2016実行委員会 第18回微粒化アジア会議(ILASS-Asia 2016) | X-Ray High-Speed Visualization of Cavitation in Fuel Injector and Discharged Liquid Jet | 宋 明良 三輪 誠 Rubby Prasetya 笠原 巧 文 石洙 和田 好隆 横畑 英明 | 神戸大学 同上 同上 同上 産業技術総合研究所 エンジン性能開発部 同上 |
| 2016.11.11-17 | The American Society of Mechanical Engineers International Mechanical Engineering Congress & Exposition 2016 | FEM Analysis on Creep Deformation and Axial Bolt Force Change in Bolted Joints at Elevated Temperature | 大宮 佑也 渡辺 忠俊 藤井 雅敏 山本 青空 | 岡山大学 技術研究所 岡山大学 同上 |
| 2016.11.13-15 | STLE Tribology Frontiers Conference 2016 | Elastohydrodynamic Lubrication Analysis of Textures for Finite Length Roller Contacts with Crowns | Zhong Liu 西野 隆之 Q. Jane Wang | Northwestern University パワートレイン技術開発部 Northwestern University |
| 2016.11.17 | 韓国自動車工学会 2016 KSAE Annual Autumn Conference and Exhibition | Development of SKYACTIV Engines from a Perspective of Environmental Improvement | 金 尚奎 | パワートレイン技術開発部 |
| 2016.11.28-29 | JSME Brake Forum in Japan 2016 | Voice of OEM : Future Brake systems | 江口 眞 | 操安性能開発部 |
| 2016.12.4-8 | AEPA2016 (13th Asia-Pacific Symposium on Engineering Plasticity and Its Application) | Effects of Stress Relaxation on Springback of Steel in Warm Forming | 斉藤 直子 深堀 貢 久野 大輔 濱崎 洋 吉田 総仁 | 技術研究所 同上 広島大学 同上 同上 |
| 2016.12.7-9 | ディスプレイ国際ワークショップ The23rd International Display Workshops in Conjunction with Asia Display 2016 | Intelligent Steering Wheel with Frequency-Scan Capacitive Touching Sensing | 小野裕太郎 森本 祐平 服部 励治 渡邊 雅之 道田奈々江 西川 一男 | 九州大学 同上 同上 技術研究所 同上 同上 |
| 2016.12.9 | ソウル大学 次世代自動車研究センター AARC International Symposium (Future Engine Technology) | Application of Three-dimensional Combustion Simulation on Development of SKYACTIV Diesel Engines | 金 尚奎 | パワートレイン技術開発部 |
| 2016.12.13-16 | アジア太平洋・信号情報処理学会 (APSIPA) APSIPA ASC 2016 | Steering Behavior Model of Drivers on Driving Simulator through Visual Information | 洲崎 智仁 久保 孝富 平岡 敏洋 中川 結翔 寺田 哲也 吉岡 透 池田 和司 | 奈良先端科学技術大学院大学 同上 京都大学 同上 統合制御システム開発本部 同上 同上 奈良先端科学技術大学院大学 |

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 |
|--------------|---|--|---------------------------------|---------------------------------|
| 2016.1.7-8 | 日本セラミックス協会 基礎科学部会 第54回セラミックス基礎科学討論会 | メンポーラス酸化物の細孔にリチウム塩を充填したナノ複合体のイオン伝導特性 | 松下 悟士 甲斐 裕之 對尾 良則 犬丸 啓 | 広島大学 技術研究所 同上 広島大学 |
| 2016.1.11 | 日本デザイン学会 デザイン理論・方法論研究会 デザイン塾 | タイムアクシスデザインの考え方に基づく価値成長モビリティの提案 | 古郡 了 | 技術研究所 |
| 2016.1.14 | 広島大学産学・地域連携センターほか 最新のプロセス・評価技術を用いたアルミニウム材料の創製 | マツダのクルマづくり ～すべてのお客様に「走る歓び」と「優れた環境安全性能」を提供するために～ | 高見 明秀 | 技術研究所 |
| 2016.1.14 | 溶射によるアルミニウム合金鋳物の耐摩耗性改善 | 小田 信行 | 技術研究所 | |
| 2016.1.25 | 広島工業大学 | SKYACTIVエンジンと今後の進化の展望 | 藤川 竜也 | パワートレイン技術開発部 |
| 2016.1.27 | インターモールド振興会 第99回インターモールド・テクニカル・セミナー | CAEを活用した自動車車体への超ハイテン部品適用の取り組み | 岡田 又治 | 車体技術部 |
| 2016.1.28 | 電気学会 放電高電圧・誘電絶縁材料合同研究会 | 電気二重層キャパシタの複合加速劣化試験による加成性の検討 | 田島 大輔 湯原 将光 宇都宮 隆 | 福岡工業大学 電駆・PT制御部品開発部 技術研究所 |
| 2016.1.29 | 広島大学「高機能難加工材の製造・先端システム開発による革新的ものづくり研究拠点(Hi-NoM)」, 広島表面処理技術研究会 表面処理・表面改質に関するマツダ技術 ニーズおよび広島大学研究シーズ | マツダにおける次世代パワートレイン技術ニーズ | 谷田 芳夫 | パワートレイン技術開発部 |
| 2016.2.12-26 | 中部産業連盟 自動車産業の未来2016 最新技術研究講座 | 燃費効率の向上に向けた取り組み | 養祖 隆 | パワートレイン技術開発部 |
| 2016.2.17-19 | 日本能率協会 2016ものづくり総合大会 | 揮発性有機化合物とCO ₂ を同時削減する新塗装技術～世界で最も環境負荷の少ない 新水性塗装技術「アクアテック塗装」～ | 篠田 雅史 | 車両技術部 |
| 2016.2.19 | 姫路技術開発研究会 | SKYACTIV技術について | 廣瀬 一郎 | パワートレイン開発本部 |
| 2016.2.26 | オートモーティブ・コンポジット研究会 第17回SAC講演会・見学会 | マツダのSKYACTIV TECHNOLOGYと今後の自動車材料開発への期待 | 藤 和久 | 技術研究所 |
| 2016.2.26 | 自動車技術会 中部支部 第6回技術講習会 | 小排気量クリーンディーゼルSKYACTIV-D 1.5の開発 | 森永 真一 | エンジン性能開発部 |
| 2016.2.26 | 自動車技術会 新開発エンジン | 新型マツダ ロードスター用SKYACTIV-G 1.5エンジン開発 | 星野 司 早川 元雄 村中 宏彰 | エンジン設計部 エンジン性能開発部 エンジン設計部 |
| 2016.2.26 | (株)電通国際情報サービス 試作レスを加速する VR技術活用セミナー | MR技術の活用による塗装量産準備プロセスの変革 | 松永 伸子 | 車両技術部 |
| 2016.3.4 | 腐食防食学会 中国・四国支部 2016年材料と環境研究発表会 | 市場での車両の腐食メカニズム | 江崎 達哉 重永 勉 | 技術研究所 同上 |
| 2016.3.4 | 腐食防食学会 中国・四国支部 2016年材料と環境研究発表会 | 電着塗膜への水の浸入挙動と耐食性に関する研究 | 浅田 照朗 重永 勉 磯本 良則 | 技術研究所 同上 広島大学 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|--------------|--|---|---|--|
| 2016.3.4 | 腐食防食学会 中国・四国支部 2016年材料と環境研究発表会 | 亜鉛めっき塗装鋼板の耐食性評価に関する研究 | 大久保 碧衣 磯本 良則 浅田 照朗 重永 勉 | 広島大学 同上 技術研究所 同上 |
| 2016.3.7 | 機械学会 関西支部 内燃機関懇話会 | 自動車用水素ロータリーエンジン | 水戸部 典朗 | 技術研究所 |
| 2016.3.8 | 日本機械学会 中国四国学生会 第46回学生会卒業研究発表講演会 | 各種CrMoめっき皮膜の摩擦・摩耗特性評価 | 杉 拓磨 曙 紘之 加藤 昌彦 菅田 淳 谷田 芳夫 | 広島大学 同上 同上 同上 パワートレイン技術開発部 |
| 2016.3.8-9 | 日本機械学会 中国四国支部 第54回総会・講演会 | ディーゼル機関の着火特性に及ぼす燃料性状の影響 | 森本 隆資 田端 道彦 斉藤 史彦 乃生 芳尚 | 近畿大学 同上 技術研究所 同上 |
| 2016.3.8-9 | 日本大学 生産工学部 自動車工学 リサーチ・センター 自動車技術に関するCAEフォーラム2016 | 自動車の静粛性向上に寄与するシミュレーション技術の開発と適用について | 山川 啓介 | 車両開発本部 |
| 2016.3.9 | 日本機械学会 中国四国支部 第54期総会・講演会 | 壁面の表面粗さ、および液滴の物性値が高速で微小な液滴の衝突挙動に及ぼす影響 | 山本 啓介 苗村 舜之輔 小田 哲也 大澤 克幸 横畑 英明 | 鳥取大学 同上 同上 同上 エンジン性能開発部 |
| 2016.3.10 | マスワークス合同会社 MathWorks Day in ISUZU | SKYACTIV-G制御システムとモデルベース開発 | 今田 道宏 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.3.11 | 自動車技術会 シンポジウム「自動車開発を支える最新の空力技術」 | マツダ・Honda 合同風洞試験とCFD解析の結果報告 (欧州車ベンチマーキング試験を基にした空力性能向上への課題) | 岡田 義浩 金子 宗嗣 | 車両実研部 (株)本田技術研究所 |
| 2016.3.14 | 化学工学会 第81年会 | SKYACTIV-Gの開発 | 山川 正尚 | パワートレイン技術開発部 |
| 2016.3.15 | 浜松地域イノベーション推進機構 先端精密技術研究会 精密工学の基礎と最先端技術 | 締付け技術の実務と最近の設計法 | 渡邊 忠俊 | 技術研究所 |
| 2016.3.16-18 | 電気学会 全国大会 | 質量分析器データに基づく要素臭を用いた車室内臭の再現 | 市川 慧 中本 高道 山田 洋史 | 東京工業大学 同上 技術研究所 |
| 2016.3.18 | 自動車技術会 シンポジウム「タイヤに関する最新の環境・安全技術」(No.21-15) | ロードノイズ性能開発のためのタイヤモデル化技術構築と走行解析手法の効率化 | 村田 紘一朗 中野 伸一 山川 啓介 高橋 宗成 梶川 直子 海老澤 弘道 須磨 達也 | 車両開発本部 同上 同上 NVH性能開発部 同上 (株)エステック 同上 |
| 2016.3.21-22 | 触媒学会 第117回触媒討論会 | ガソリンエンジン排ガス浄化用触媒における還元が及ぼすRhメタル担体への効果 | 松村 益寛 山田 啓司 国府田 由紀 川端 久也 重津 雅彦 久保田 寛 高見 明秀 | 技術研究所 同上 同上 同上 同上 同上 同上 |
| 2016.3.22 | 広島大学 インキュベーション研究拠点 広島大学革新的ものづくり研究拠点平成27年度シンポジウム | 自動車車体の軽量化に関する最新動向とマツダの取り組みについて | 本田 正徳 | 技術研究所 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|--------------|--|---|--|---|
| 2016.3.23-24 | 東京大学 生産技術研究所, 宇宙航空研究開発機構, 宇宙航空研究開発機構 第6回分野4次世代ものづくりシンポジウム-スパコン「京」がひらく科学と社会 | スパコン「京」と多数目的進化計算アルゴリズムを用いた複数車種同時最適化 | 小平 剛央 | 技術研究所 |
| | | プラズマ気流制御の自動車空力への適用検討 | 清水 圭吾 | 技術研究所 |
| | | 文科省「HPCI戦略プログラム」第6回「分野4次世代ものづくり」シンポジウム(最終成果報告会) パネルディスカッション「今後の実用化に向けて」 | 農沢 隆秀 | 技術研究所 |
| 2016.3.24 | 広島大学, 広島県, ひろしま産業振興機構, 中国経済連合会, 広島銀行 文部科学省 地域イノベーション戦略支援プログラム「ひろしま地域医工連携ものづくりイノベーション推進地域」 成果報告会 | 研究設備・機器等の共用化 事例報告Ⅱ 「視界視認性：自動車の窓枠」 | 岡本 宜久 | 技術研究所 |
| 2016.3.24-27 | 日本化学会 第96春季大会 | かご型シルセスキオキサンおよびシリケート膜の多孔性評価と気体分離特性 | 山本 一樹 大下 浄治 高下紗矢子 都留 稔了 郡司 天博 甲斐 裕之 | 広島大学 同上 同上 同上 東京理科大学 技術研究所 |
| 2016.4.22 | 都城工業高等専門学校 機械工学科 平成28年度校内研修 | SKYACTIV-D開発について | 大磯 一生 | エンジン性能開発部 |
| 2016.4.27 | 岡山大学 動力熱工学研究室 第7回GTT-WS | SKYACTIV-D 開発におけるGTTコードの活用事例 | 金 尚奎 | パワートレイン技術開発部 |
| 2016.5.2 | 福岡県立小倉工業高等学校 創立記念式典講話 | SKYACTIV-Dについて | 野崎 拓帆 | エンジン性能開発部 |
| 2016.5.9 | 金沢大学 理工学域 機械工学類 (工学部機能機械工学科)講義 | 内燃機関の技術革新 | 廣瀬 一郎 | パワートレイン開発本部 |
| 2016.5.11 | リード ジャパン(株) 組込みシステム開発技術展 | 先進車両システムの未来とは? ~マツダが目指す新たな世界~ | 原田 靖裕 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.5.18 | 日本塗料商業組合 定期総会 | 揮発性有機化合物とCO2を同時削減する新塗装技術~世界で最も環境負荷の少ない 新水性塗装技術「アクアテック塗装」~ | 篠田 雅史 | 車両技術部 |
| 2016.5.23 | (株)デンソー 新入社員向け講話 | SKYACTIV開発で大切にしてきた思い | 山川 正尚 | パワートレイン技術開発部 |
| 2016.5.23 | Modelon Modelica Conference Japan 2016 | What Model Based Development should aim for ? | 原田 靖裕 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.5.25-27 | 自動車技術会 2016年 春季大会 学術講演会 | 視野領域がカーブでの将来走行軌跡のドライバ知覚に及ぼす影響 | 佐藤 稔久 赤松 幹之 寺田 哲也 井芹 晴明 望月 浩孝 | 産業技術総合研究所 同上 統合制御システム開発本部 シャシー開発部 操安性能開発部 |
| | | 衝突形態別解析に基づく脳深部損傷機序とその評価指標の検討 | 原澤 雄貴 宮崎 祐介 上野 正樹 杉本 繁 朝日 龍介 | 東京工業大学 同上 衝突性能開発部 同上 同上 |
| | | モータ内電磁場における温度計測技術の開発 | 研井 暁 米盛 敬 瀬尾 宣英 三好 誠治 | 技術研究所 同上 同上 同上 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|--------------|---------------------|---|---|---|
| 2016.5.25-27 | 腐食防食学会 材料と環境2016 | 横風条件において空気抵抗の時間変動に影響する流れ構造 | 清水 圭吾 農沢 隆秀 岡田 義浩 平岡 武宜 中村 優佑 | 技術研究所 同上 車両実研部 技術研究所 同上 |
| | | 高遮音複層パネル構造の研究（第一報） 中間層の開放性が透過損失に及ぼす影響の調査 | 村澤 英治 波田 哲紀 萬 菜穂子 | 技術研究所 同上 同上 |
| | | 高エネルギー吸収フレームの研究 | 河村 力 本田 正徳 児玉 悠貴 元木 正紀 片岡 愉樹 亀井 丈広 若林 充 寺田 栄 | 技術研究所 同上 同上 衝突性能開発部 同上 ボデー開発部 同上 CAE開発部 |
| | | 人工ポテンシャル法による周辺車両との 関係性を考慮した車線変更推定 | 禹ハンウル 池 勇勳 河野 仁 田村 雄介 山下 淳 浅間 一 菅野 崇 黒田 康秀 | 東京大学 同上 同上 同上 同上 同上 技術研究所 同上 |
| | | 高い衝突安全と軽量化を実現した、最適 化手法による超軽量・高強度フレーム断面 技術 | 本田 正徳 河村 力 松岡 秀典 梶村 勇一 宮島 陽一 | 技術研究所 同上 ボデー開発部 衝突性能開発部 同上 |
| | | G-Vectoring制御による人が感じる車両 運動性能向上効果に関する分析 | 吉岡 透 安部 正人 山門 誠 狩野 芳郎 武田 雄策 竹村 和紘 塚野 孝俊 加藤 史律 梅津 大輔 | 統合制御システム開発本部 神奈川工科大学 同上 同上 技術研究所 同上 統合制御システム開発本部 操安性能開発部 同上 |
| | | 高応答エンジンを用いた量産型G- Vectoring制御車両の開発 | 梅津 大輔 安部 正人 山門 誠 狩野 芳郎 高原 康典 加藤 史律 吉岡 透 砂原 修 高橋 絢也 | 操安性能開発部 神奈川工科大学 同上 同上 統合制御システム開発本部 操安性能開発部 統合制御システム開発本部 同上 (株)日立製作所 |
| | | G-Vectoring制御による人が感じる車両 運動性能向上効果に関する分析 | 吉岡 透 安部 正人 山門 誠 狩野 芳郎 武田 雄策 竹村 和紘 塚野 孝俊 加藤 史律 梅津 大輔 | 統合制御システム開発本部 神奈川工科大学 同上 同上 技術研究所 同上 統合制御システム開発本部 操安性能開発部 同上 |
| | | G-Vectoring 制御による目標コース追従 性能向上メカニズムの検討 | 山門 誠 安部 正人 狩野 芳郎 梅津 大輔 | 神奈川工科大学 同上 同上 操安性能開発部 |
| | | | | 塗膜防錆機能の簡易評価技術の開発 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|--------------|---|---|---|---|
| | | 電着塗装鋼板の耐食性評価法の開発およびふくれ現象の再現、解明 | 大久保 碧衣 浅田 照朗 重永 勉 磯本 良則 | 広島大学 技術研究所 同上 広島大学 |
| | | 亜鉛合金鋼板の自己修復性評価法の開発 | 矢吹 彰広 山口 紗絵子 山根 貴和 平井 国典 | 広島大学 同上 車両実研部 (株)エヌ・シー・ゼット |
| 2016.5.27 | 広島大学 第三類化学工学プログラム 平成28年度化学工学概論 | 化学工学的思考のすすめ | 田中 力 | 技術研究所 |
| 2016.5.27-29 | 日本設計工学会 2016年度春季研究発表講演会 | 高圧縮比HCCIエンジンにおけるピストン表面温度測定手法の確立(第2報) | 須藤 智広 今駒 龍太郎 養祖 隆 草鹿 仁 | 早稲田大学 同上 パワートレイン技術開発部 早稲田大学 |
| 2016.5.28-29 | 日本材料学会 第65回学術講演会 | アルミニウム合金/CFRP異種材料間における摩擦攪拌点接合継手の疲労強度評価 | 小川 裕樹 曙 紘之 加藤 昌彦 菅田 淳 田中 耕二郎 | 広島大学 同上 同上 同上 技術研究所 |
| 2016.6.2 | (株)やまびこ 招待講演 | SKYACTIVテクノロジーの開発 開発の道のりとテクノロジーの紹介 | 山川 正尚 | パワートレイン技術開発部 |
| 2016.6.3 | dSPACE Japan(株) dSPACE User Conference 2016 | 複雑化するシステム開発への次世代モデルベース適用 | 原田 靖裕 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.6.6 | 栃木県マロニエ会 栃木県マロニエ会総会 | i-ACTIV AWDの紹介 | 八木 康 | ドライブトレイン開発部 |
| 2016.6.8 | MSC Software 2016 Users Conference | 車室内の静粛性向上に寄与するCAE技術の開発 | 山川 啓介 | 車両開発本部 |
| 2016.6.9 | 群馬県三山会 群馬県三山会総会 | i-ACTIV AWDの紹介 | 八木 康 | ドライブトレイン開発部 |
| 2016.6.10 | CAE懇話会 第1回広島CAE懇話会 | 自動車開発に貢献するCAE技術の開発と適用について | 中野 伸一 | 車両開発本部 |
| 2016.6.14 | 日本機械学会 エンジンシステム部門 第17回 自着火制御技術の高度化研究会 | 多成分燃料に対応できる簡略化反応スキームを用いたHCCI燃焼制御の検討 | 養祖 隆 | パワートレイン技術開発部 |
| 2016.6.14-15 | プラスチック成形加工学会 第27回年次大会 | 分子動力学法を用いたガラス繊維強化ポリプロピレン樹脂複合材の界面特性解析(第2報) ~界面強度向上メカニズムの解明 | 平本 健治 藤 和久 小川 淳一 森脇 健二 住田 弘祐 王 存涛 濱田 泰以 | 技術研究所 同上 同上 同上 同上 同上 京都工芸繊維大学 |
| 2016.6.15 | ダッソー・システムズ・バイオビ ア(株) BIOVIA Forum 2016 | Materials Informaticsに関するパネル ディスカッション | 大竹 恵子 | 技術研究所 |
| 2016.6.16-17 | 薄鋼板成形技術研究会 2016年度第1回研究討論会 | プレス金型設計におけるCAE技術の活用 | 丸山 秀幸 | 車体技術部 |
| 2016.6.18 | 産業技術総合研究所 ソフトウェア工学ワークショップ | 車載電子制御システムにおけるソフトウェア開発の課題 | 今田 道宏 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.6.18-19 | 日本認知心理学会 第14回大会 | 感性イノベーション創出における認知心理学研究の貢献 「基礎研究と社会実装の両輪による共創活動への挑戦」 | 道田 奈々江 | 技術研究所 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|--------------|---|---|---|---|
| 2016.6.22-23 | 型技術協会 第30回型技術者会議2016 | “人馬一体”の実現に向けた超ハイテン材適用の取り組み | 大江 哲平 田丸 真司 空久保 宏 酒井 明 | 車体技術部 同上 同上 同上 |
| | | 「魂動デザイン」を再現する金型磨き技能の技術化 | 長澄 徹侍 | ソーリング製作部 |
| | | 超大型バンパー実現への取り組み | 重松 光 佐藤 博紀 江原 達也 志水 克教 | 車両技術部 同上 同上 同上 |
| 2016.6.22-24 | リード エグジビション ジャパン(株) 第27回設計製造ソリューション展 | 車台開発のプロセス革新を起こす3D-CAD技術 | 橋本 貴則 | ボデー開発部 |
| 2016.6.23-24 | 品質工学会 第24回品質工学研究発表大会 | コアライン調整技能の技術化 | 尾浜 春樹 | ソーリング製作部 |
| | | 平面高精度加工技術の確立 | 中原 寛海 | ソーリング製作部 |
| | | 当たり判定技能の技術化 | 岡山 一洋 | ソーリング製作部 |
| | | 埋金位置決め最適化 | 上村 勝利 | ソーリング製作部 |
| | | 自動車技術におけるばらつき評価方法の検討 | 武重 伸秀 | パワートレイン開発本部 |
| 2016.6.27 | (株)JSOL EMC Studio技術交流会 | 電磁界シミュレータを用いた車載機器の電波性能解析 | 浜田 康 | 電子開発部 |
| 2016.6.28 | マスワークス合同会社 MathWorks Automotive Conference 2016 | MATLAB Distributed Computing Serverを用いた効率的なMBD運用環境の構築 | 百田 浩一 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.6.30 | 高知工科大学 システム工学群 3年次特別講義「制御工学」 | 自動車の開発と制御理論 | 清水 良 | PT制御システム開発部 |
| 2016.7.1 | (株)ライドエンジニアリング、SCSK(株) ADVENTUREClusterユーザー会2016 | ダイカスト金型設計におけるMAGMA連成解析の適用事例 | 菅谷 智 杉浦 千尋 | パワートレイン技術部 同上 |
| 2016.7.1 | 富士通(株) 第30回 経営に貢献するCAEセミナー | マツダ 新世代商品開発におけるCAE展開 | 江頭 裕二 | 車両開発本部 |
| 2016.7.6 | 龍谷大学 理工学部数理情報学科 龍谷大学特別講義 | SKYACTIV-G電子制御システムにおけるコンピュータ利用 | 今田 道宏 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.7.8 | 日本機械学会 タイムアクシスデザイン研究会 デザイン塾：タイムアクシスデザインの枠組みづくりに向けて | 価値成長モビリティシステムにおける基本アーキテクチャの導出(ポスター発表) | 旗野宗一郎 西村 光雄 上嶋 一徳 戸田 敬介 加藤 健郎 西村 秀和 松岡 由幸 古郡 了 | 慶応義塾大学 同上 同上 同上 同上 同上 同上 技術研究所 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|--------------|---|---|--|---|
| 2016.7.9-10 | 日本分析化学会 中国四国支部 第22回中国四国支部分析化学若 手セミナー | X線吸収法を用いたリチウム二次電池負 極材中チタンの局所構造解析 | 森 啄也 三根生 晋 住田 弘祐 山田 洋史 金田 敦徳 Alvaro Munoz- Noval 田村 文香 早川慎二郎 | 広島大学 技術研究所 同上 同上 広島大学 同上 同上 同上 |
| 2016.7.12 | 広島大学 工学部 応用化学概論 | “応用化学”と“ものづくり” | 甲斐 裕之 | 技術研究所 |
| 2016.7.12 | TU Automotive Autonomous Vehicle and ADAS Japan 2016 | クルマの進化に伴う電子制御システム構 築に必要な取り組み (クルマの進化とリスク対応) | 山崎 雅史 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.7.15 | ニュートンワークス(株) 第10回 System Simulation Symposium | SimulationXを活用したプラントモデル 開発と制御検証環境への適用 | 寺岡 陽一 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.7.21 | 東友会協同組合 東友会 マツダ様MBD(モデル ベース開発) 講演会 | 部品メーカー様と共創で進めるべきMB D強化構想 | 原田 靖裕 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.7.22 | 山口大学 未来を拓く地方協奏プ ラットフォーム (HIRAKU) 第3 成果報告会～HIRUKU～博士後 期課程への誘い～ 基調講演 | 人間特性の研究を基盤とした自動車の開 発 ～「人」中心の車造り～ | 西川 一男 | 技術研究所 |
| 2016.7.29 | 佐賀品質工学研究会 品質工学講演会 | マツダにおける品質工学の取り組みと SKYACTIV技術開発 | 武重 伸秀 | パワートレイン開発本部 |
| 2016.8.8 | 日本証券業協会 授業に役立つ金融経済セミナー | これからの車と新技術～快適をかなえ る車～ | 武田 雄策 | 技術研究所 |
| 2016.8.8 | 出光興産(株)講話 | エンジン開発への尽きない挑戦～ SKYACTIVの志～ | 廣瀬 一郎 | パワートレイン開発本部 |
| 2016.8.8-10 | 日本混相流学会主催 混相流シンポジウム2016 | 矩形ノズル内キャビテーションの四次元 構造 | 谷口 拓斗 宋 明良 和田 好隆 横畑 英明 | 神戸大学 同上 エンジン性能開発部 同上 |
| | | 非定常噴射過程における燃料インジェク タ内キャビテーションと液体噴流 | 笠原 巧 Rubby Prasetya 宋 明良 和田 好隆 横畑 英明 | 神戸大学 同上 同上 エンジン性能開発部 同上 |
| 2016.8.10 | (株)ファソテック Private Seminar 製造革新のための実践セミナー | マツダのものづくり 装備開発の取り組み | 井上 実 | 装備開発部 |
| 2016.8.19 | 日本鋳造協会 平成28年鋳造カレッジ中四国地 区 鋳鉄コース | 量産小物鋳鉄铸件を中心とした鋳鉄の材 質 | 黒谷 真司 | パワートレイン技術部 |
| 2016.8.23-26 | 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2016 | 動的コンプライアンスに基づく減衰材料 のトポロジー最適化 | 今田 智裕 中野 陽平 竹澤 晃弘 北村 充 中川 興也 | 広島大学 同上 同上 同上 技術研究所 |
| | | モード減衰比の向上を目的としたマルチ マテリアルトポロジー最適化 | 竹澤 晃弘 中野 陽平 中川 興也 山本 崇史 北村 充 | 広島大学 同上 技術研究所 工学院大学 広島大学 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|---------------|--|---|---|--|
| 2016.8.30-9.2 | 日本行動計量学会 第44回大会 | 自己随伴型目標関数を用いた吸音材料の トポジー最適化 | 酒井 壘 竹澤 晃弘 山本 崇史 山川 啓介 中野 伸一 北村 充 | 広島大学大学院 同上 工学院大学 CAE技術開発グループ 同上 広島大学大学院 |
| 2016.9.2 | 自動車技術会 2016年度第3回燃料潤滑油部門委員 会 | 感性ユーザーモデルの構築のためのデー タ収集方法 | 櫻井 瑛一 本村 陽一 安松 健 坂本 和夫 道田 奈々江 | 産業技術総合研究所 同上 (株)オージス総研 広島大学 技術研究所 |
| 2016.9.2 | 自動車技術会 2016年度第3回燃料潤滑油部門委員 会 | ガソリンHCCI機関における燃料特性と 自己着火に関する検討 | 養祖 隆 | パワートレイン技術開発部 |
| 2016.9.2 | 自動車技術会 第3回車室内環境技術部門委員会 (見学会) | 将来の車造りを変えていくモデルベース 開発 | 増岡 宏明 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.9.2 | 理化学研究所計算科学研究機構、 高度情報科学技術研究機構 京×産業シンポジウム | 「京」が拓いた産学連携体制による次世 代自動車空力シミュレーションの開発 | 農沢 隆秀 | 技術研究所 |
| 2016.9.5 | 自動車技術会 生産加工部門委員 会 技術交流会【艱装・組立】 | 車両組立工程におけるホイールアライメ ント造り込み技術の開発 | 福永 明 | 車両技術部 |
| 2016.9.5-6 | 電気学会 基礎・材料・共通部門 平成28年度電気学会 基礎・材 料・共通部門大会 | 磁区観察を用いたNd-Fe-B系焼結磁石の 熱減磁解析 | 池田 壯一郎 森本 祐治 竹澤 昌晃 梶 寿行 | 九州工業大学 同上 同上 技術研究所 |
| 2016.9.6-8 | 化学工学会 第48回秋季大会 | 亜鉛合金鋼板に添加する複合修復剤の炭 素鋼への防食性能 | 矢吹 彰広 綿引 将人 山根 貴和 平井 国典 | 広島大学 同上 車両実研部 (株)エヌ・シー・ゼット |
| 2016.9.7 | 自動車技術会 第2回伝熱技術部門委員会(公開委 員会) | クリーンディーゼルエンジン SKYACTIV-Dにおける伝熱技術 | 志茂 大輔 | エンジン性能開発部 |
| 2016.9.7 | 日本工学アカデミー 第182回日本工学アカデミー談話 サロン | デザインとエンジニアリング | 原田 靖裕 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.9.7-8 | 高輝度光科学研究センター、兵庫 県 第13回Spring-8産業利用報告会 | 兵庫県BLにおけるNAP-HAXPES導入 計画および産業利用 | 住田 弘祐 | 技術研究所 |
| 2016.9.7-9 | 日本セラミックス協会 第29回秋季シンポジウム | かご型シルセスキオキサンおよびシリ ケート膜の多孔性評価と気体分離特性 | 山本 一樹 大下 浄治 高下 紗矢子 都留 稔了 郡司 天博 甲斐 裕之 | 広島大学 同上 同上 同上 東京理科大学 技術研究所 |
| 2016.9.10 | 日本鑄造協会 平成28年鑄造カレッジ中四国地 区 鑄鉄コース | 量産小物鑄鉄鑄物を中心とした鑄鉄の製 造プロセス、鑄造方案 | 田中 裕一 | パワートレイン技術部 |
| 2016.9.11 | 日本機械学会 2016年度機械学会年次大会：先 端技術フォーラム | SKYACTIVエンジンの性能開発に用い たCAE | 横畑 英明 | エンジン性能開発部 |
| 2016.9.11-14 | 日本機械学会 2016年度年次大会 | 亜鉛合金鋼板の自己修復性評価法の開発 | 矢吹 彰広 山口 紗絵子 山根 貴和 平井 国典 | 広島大学 同上 車両実研部 (株)エヌ・シー・ゼット |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|--------------|--|---|--|---|
| 2016.9.13-16 | 応用物理学会 第77回応用物理学会秋季学術講演会 | 亜鉛合金鋼板に添加する複合修復剤の炭素鋼への防食性能 | 矢吹 彰広 綿引 将人 山根 貴和 平井 国典 | 広島大学 同上 車両実研部 (株)エヌ・シー・ゼット |
| | | Al合金/CFRP異材FSSW継手の疲労特性に及ぼすAl合金表面に付与した官能基の影響 | 小川 裕樹 曙 紘之 加藤 昌彦 田中耕二郎 菅田 淳 | 広島大学 同上 同上 技術研究所 広島大学 |
| | | 排気再吸入を伴うHCCIエンジンの制御モデルと制御シミュレーション | 林 卓哉 山崎 由大 金子 成彦 疋田 孝幸 水野 沙織 藤井 拓磨 | 東京大学大学院 同上 同上 パワートレイン技術開発部 同上 同上 |
| | | 車載モータ用高熱伝導率材料の研究 (I) | 中島 安理 庄司 敦 米盛 敬 瀬尾 宣英 | 広島大学 同上 技術研究所 同上 |
| | | 車載モータ用高熱伝導率材料の研究 (II) | 中島 安理 庄司 敦 米盛 敬 瀬尾 宣英 | 広島大学 同上 技術研究所 同上 |
| 2016.9.14 | 日本自動認識システム協会 第18回自動認識総合展 特別講演 | パワー半導体冷却用Si単一ペルチェ素子における過渡的熱移動 | 古林 寛 黒木伸一郎 瀬尾 宣英 米盛 敬 種平 貴文 | 広島大学 同上 技術研究所 同上 同上 |
| | | パワートレイン製造ライン 個体管理における 自動認識の活用 | 市本 秀則 | パワートレイン技術部 |
| 2016.9.14-16 | 溶接学会 平成28年度秋季全国大会 | 亜鉛めっき鋼板用低スラグ溶接プロセスの開発に向けた基礎検討 第3報: エンジン筒内噴霧解析の応用によるスラグ生成メカニズム解明の可能性検討 | 斉藤 直子 深堀 貢 田中 正顕 北原陽一郎 目良 貢 宮田 実 鈴木 励一 | 技術研究所 同上 シャシー開発部 技術研究所 同上 (株)神戸製鋼所 同上 |
| 2016.9.14-16 | 日本分析化学会 第65年会 | ポリビニルアセタール系樹脂の熱分解GC/MS分析 | 定井 麻子 浅田 里沙 石津 嘉子 三根生 晋 住田 弘祐 山田 洋史 | 技術研究所 同上 同上 同上 同上 同上 |
| 2016.9.16 | JMAAB 地方セミナー企画委員会 MBD中部カンファレンス | モデルの流通による開発効率向上への展望 | 小森 賢 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.9.20 | 熊本大学 特別講義「組込みシステム関連産業論」 | アクティブセーフティを支えるセンシング技術と制御技術 | 小嶋 浩一 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.9.22-24 | 日本機械学会 第29回計算力学部門講演会 | 大規模並列計算と多目的進化計算アルゴリズムを用いた複数車種同時設計最適化 | 小平 剛央 大山 聖 立川 智章 渡辺 毅 釧持 寛正 | 技術研究所 宇宙航空研究開発機構 東京理科大学 宇宙航空研究開発機構 技術研究所 |
| 2016.9.27,29 | ベクター・ジャパン(株) AUTOSAR Road Show 2016 | SKYACTIV-DRIVEを支えたモデルベース開発 | 三谷 明弘 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.9.30 | ひろしま産業振興機構 平成28年度モデルベース開発人材養成研修 | 制御システム開発事例 | 清水 良 | PT制御システム開発部 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|---------------|---|---|--|--|
| 2016.10.5-7 | リードエグジビション ジャパン(株) 第19回 関西 設計・製造ソリューション展 | 車台プロセス革新を実行するための3D-CAD 技術 | 皿海 慎也 | ボデー開発部 |
| 2016.10.5-7 | リードエグジビション ジャパン(株) 第4回 関西 高機能素材ワールド | マツダにおける異種材料接合技術の取り組み | 高見 明秀 | 技術研究所 |
| 2016.10.6 | 関西地区品質工学研究会 品質工学シンポジウム2016 | SKYACTIV開発への品質工学の適用 | 武重 伸秀 | パワートレイン開発本部 |
| 2016.10.7 | 鳥取県産業振興機構 平成28年度 鳥取県自動車部品研究会セミナー | マツダの目指す自動車の未来像 | 栃岡 孝宏 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.10.8-10 | 日本機械学会 M&M2016材料力学カンファレンス | Al合金/CFRP摩擦撹拌点接合継手の疲労特性に及ぼすAl合金に付与した表面処理の影響 | 熊 一達 小川 祐樹 曙 紘之 加藤 昌彦 田中耕二郎 菅田 淳 | 広島大学 同上 同上 同上 技術研究所 広島大学 |
| 2016.10.8-10 | 日本機械学会 第26回設計工学・システム部門講演会 | 価値の生起・成長モデルと価値成長モビリティシステムのタイムアクシズデザイン | 上嶋 一徳 戸田 敬介 加藤 健郎 古郡 了 西村 秀和 松岡 由幸 | 慶応義塾大学 同上 同上 技術研究所 慶応義塾大学 同上 |
| 2016.10.12 | (株)広島テクノプラザ ものづくり人材育成技術研修 | 品質管理に役立つ材料分析 | 山田 洋史 三根生 晋 石津 嘉子 | 品質本部 技術研究所 同上 |
| 2016.10.13-14 | 富山大学 第2回 先端材料研究フォーラム | マツダにおける自動車用材料技術の研究開発事例の紹介 | 坂手 宣夫 | 技術研究所 |
| 2016.10.14 | 自動車技術会 北海道支部 北海道支部講演会 | 進化する SKYACTIV-D 〜クリーンディーゼルエンジンの魅力とは | 山谷 光隆 | エンジン設計部 |
| 2016.10.19-21 | 自動車技術会 2016年 秋季大会 学術講演会 | エゼクター効果を利用した排気干渉抑制技術の検討 | 加藤 二郎 山形 直之 中村 光男 松本 隆雅 惣明 信浩 寿美 眞治 古閑 達也 田中 伸彦 | エンジン設計部 パワートレイン技術開発部 エンジン性能開発部 パワートレイン技術開発部 エンジン性能開発部 同上 エンジン設計部 同上 |
| | | 過給ガソリンエンジンの低速トルク向上に関する動圧過給技術の研究 | 山形 直之 藤井 幹公 矢野 康英 横田 和也 青木 理 檜原 和晃 山本 博之 | パワートレイン技術開発部 R&D技術管理本部 統合制御システム開発本部 技術研究所 同上 同上 同上 |
| | | 圧縮着火機関の着火・燃焼過程に及ぼす燃焼性状の影響 | 森本 隆資 田端 道彦 斉藤 史彦 乃生 芳尚 | 近畿大学 同上 技術研究所 同上 |
| | | 高遮音複層構造の研究 (第2報) | 波田 哲紀 萬 菜穂子 村澤 英治 | 技術研究所 同上 同上 |
| | | 荷重伝達Ustar (U*) 計算を用いた乗用車車体における部分構造の最適化 | 本田 正徳 秋間 聡 大宮 正毅 高橋 邦弘 櫻井 俊彰 榎 徹雄 中川 興也 | 技術研究所 慶応義塾大学大学院 慶応義塾大学 同上 東京都立大学 同上 技術研究所 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|---------------|--|--|--|---|
| | | 歩行者の走り出し予測技術の開発 | 山崎 慎也 岩本 太郎 小林 匠 西田 健次 | 技術研究所 同上 産業技術総合研究所 同上 |
| | | Virtual Sensors for the Advanced Control of Turbo-Charged Gasoline Engines | 緒方 洋介 土井 康弘 寺岡 陽一 | SIEMENS(株) 統合制御システム開発本部 同上 |
| | | 車両応答の過渡特性が操舵行動へ与える影響 (第一報) | 山田 笙平 塚野 孝俊 安部 正人 山門 誠 狩野 芳郎 | 神奈川工科大学 統合制御システム開発本部 神奈川工科大学 同上 同上 |
| | | G-Vectoring Control によるドライバの操舵特性の変化に関する分析 | 小川 大策 吉岡 透 梅津 大輔 高原 康典 加藤 史律 塚野 孝俊 安部 正人 山門 誠 | シャシー開発部 統合制御システム開発本部 操安性能開発部 シャシー開発部 操安性能開発部 統合制御システム開発本部 神奈川工科大学 同上 |
| | | 車両横加加速度に基づくヨーモーメント制御手法の検討 (第4報) -実車試験によるダブルレーンチェンジ操作に対する効果検証- | 佐藤 誠一 平賀 直樹 高橋 絢也 山門 誠 梅津 大輔 | 日立オートモティブシステムズ(株) 同上 (株)日立製作所 神奈川工科大学 操安性能開発部 |
| 2016.10.20 | 中国地区品質経営協会シンポジウム | 揮発性有機化合物とCO2を同時削減する新塗装技術～世界で最も環境負荷の少ない 新水性塗装技術「アクアテック塗装」～ | 篠田 雅史 | 車両技術部 |
| 2016.10.20 | 広島県情報産業協会(HIA) HIA情報化シンポジウム広島2016 | クルマの進化に伴う電子制御システム構築に必要な取り組み | 山崎 雅史 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.10.21 | 広島工業大学工学部機械システム工学科 キャリアデザイン I 社会人セミナー | 働くことの意義、社会で求められる能力について ～世界一のエンジニアを目指そう～ | 沼 聖司 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.10.24 | 日本塑性加工学会 ポーラス材料分科会 第6回ポーラス材料研究討論会 | 自動車用高機能発泡樹脂の開発 ～吸音機能を有するナノフィブリル発泡構造体の実現 | 小林めぐみ 金子 満晴 宮本 嗣久 大嶋 正裕 | 技術研究所 同上 京都大学 同上 |
| 2016.10.26-27 | プラスチック成形加工学会 第24回秋季大会 成形加工シンポジウム'16 | 炭素系ナノ材料の高濃度分散プロセスによる高機能性ポリマー材料の開発 | 木原 伸一 浅田 真生 佃 祐介 滝島 繁樹 米盛 敬 三好 誠治 | 広島大学 同上 同上 同上 技術研究所 同上 |
| | | 自動車用ポリプロピレン発泡体の気泡構造が物性に及ぼす影響 第3報 | 小林めぐみ 金子 満晴 宮本 嗣久 大嶋 正裕 | 技術研究所 同上 京都大学 同上 |
| 2016.10.26-28 | 日本分析化学会 X線分析研究懇談会 第52回X線分析討論会 | 充放電時のチタンK殻XAFSスペクトルの変化を利用したチタン酸リチウム負極におけるリチウムサイトの評価 | 金田 敦徳 森 啄也 三根生 晋 住田 弘祐 Alvaro Munoz- Noval 早川慎二郎 | 広島大学 同上 技術研究所 同上 広島大学 同上 |
| 2016.10.28 | 次世代音振基盤技術研究会 第3回研究会 「次世代型NV設計技術の共育と研究」 | NV性能向上のための研究開発事例の紹介 | 宇都宮昭則 | 技術研究所 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|---------------|---|---|---|---|
| 2016.10.28 | 電気化学会 九州支部 第55回工業物理化学講習会 | 自動車用電気二重層キャパシタの開発 | 藤田 弘輝 | 技術研究所 |
| 2016.10.29-30 | 中国四国心理学会 第72回大会 | 人は他人の気持ちをどのくらい正確に読み取れるのかー会話体験の共有による比較ー | 難波 修史 道田 奈々江 目良 和也 宮谷 真人 中尾 敬 | 広島大学 技術研究所 広島市立大学 広島大学 同上 |
| 2016.10.31 | 近畿大学工学部、近畿大学次世代基盤技術研究所、近畿大学大学院システム工学研究科、近畿大学工学部産学官連携推進協力会 近畿大学工学部研究公開フォーラム2016 | 高い衝突安全と軽量化を実現した最適化手法による超軽量・高強度フレーム断面技術 | 河村 力 | 技術研究所 |
| 2016.11.1 | 日本電子デバイス産業協会 電子デバイスフォーラム京都 | クルマの進化に伴う電子制御システム構築に必要な取り組み | 山崎 雅史 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.11.2 | インターモールド振興会 第104回インターモールドテクニカルセミナー | 車両の軽量化を実現する自動車部品(超薄肉軽量バンパーの開発) | 朝野 千明 | 技術研究所 |
| 2016.11.9-12 | 人工知能学会 合同研究会2016 人工知能基本問題研究会 | 行動観察と確率的グラフィカルモデリングによる顧客理解技術 ～コトづくりのための実践～ | 安松 健 本村 陽一 櫻井 瑛一 坂本 和夫 道田 奈々江 | (株)オージス総研 産業技術総合研究所 同上 広島大学 技術研究所 |
| 2016.11.9-12 | 人工知能学会 合同研究会2016 「社会におけるAI」研究会 | ビッグデータと確率モデリング技術を用いた自動車ディーラーにおける自動車ユーザモデルの構築 | 櫻井 瑛一 本村 陽一 安松 健 坂本 和夫 道田 奈々江 | 産業技術総合研究所 同上 (株)オージス総研 広島大学 技術研究所 |
| 2016.11.10 | 自動車技術会 動力伝達系の最新技術2016 -快適性と環境性能を両立する最新駆動系- | 安心安全と低燃費を両立する新型四輪駆動システムの開発 | 原澤 渉 松田 光伸 八木 康 丸谷 哲史 三戸 英治 | ドライブトレイン開発部 同上 同上 同上 同上 |
| 2016.11.12 | パワーエレクトロニクス学会 第31回 専門講習会 | マツダにおける車載用電気二重層キャパシタ (EDLC) の適用 | 湯原 将光 | 電駆・PT制御部品開発部 |
| 2016.11.12-13 | 日本機械学会 第94期 流体工学部門講演会 | S字形管内における自動車エンジン排気脈動流の圧力挙動と流動場の相関 | 池口 雅文 大木 純一 西田 恵哉 尾形 陽一 山本 亮 中村 和博 柳田 春菜 横畑 英明 | 広島大学 同上 同上 同上 エンジン性能開発部 同上 同上 同上 |
| 2016.11.14-16 | 日本化学会 高速蓄電の本命 ～キャパシタの研究開発動向～ | マツダにおけるバッテリーマネジメントシステム開発(G-ELOOP) | 吉田 勝正 | 電駆・PT制御部品開発部 |
| 2016.11.15 | 日本接着学会 構造接着研究会 第25回構造接着シンポジウム | 自動車における構造接着技術 ～車体接着の技術動向と課題、および市場劣化予測技術の開発～ | 氷室 雄也 山本 研一 麻川 元康 | 技術研究所 同上 同上 |
| 2016.11.15 | シーメンス株式会社 Simulation & Test Performance Engineering Conference 2016 | ガソリン過給エンジンへの仮想センサ適応検討 | 土井 康弘 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.11.17-18 | (株)IDAJ IDAJ CAE Solution Conference 2016 | 亜鉛めっき鋼板用低スラグ溶接プロセスの開発に向けた基礎検討～ CONVERGEの応用によるスラグ生成メカニズム解明～ | 斉藤 直子 深堀 貢 田中 正顕 北原陽一郎 目良 貢 宮田 実 鈴木 励一 | 技術研究所 同上 シャシー開発部 技術研究所 同上 (株)神戸製鋼所 同上 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|---------------|---|--|--|---|
| 2016.11.17-18 | 自動車技術会 疲労信頼性部門委員会 ロードシミュレーション技術交換会 | 路面入力予測技術の複数性能への適用 | 武田 健二 | 車両開発本部 |
| 2016.11.18 | 日本エレクトロヒートセンター 第11回エレクトロヒートシンポジウム | 揮発性有機化合物とCO2を同時削減する 新塗装技術～世界で最も環境負荷の少ない 新水性塗装技術「アクアテック塗 装」～ | 篠田 雅史 | 車両技術部 |
| 2016.11.19 | 早稲田大学理工学研究所早大モビ リティ研究会 第36回早大モビリティシンポジ ウム | SKYACTIV-G 2.5Tエンジンの過給シス テムについて | 山形 直之 | パワートレイン技術開発部 |
| 2016.11.19 | 日本鑄造協会 平成28年鑄造カレッジ中四国地 区 鑄鉄コース | 鑄鉄鑄造概論 (キュポラ溶解理論と実 際) | 田中 裕一 | パワートレイン技術部 |
| 2016.11.23-25 | 日本燃焼学会 第54回燃焼シンポジウム | 自動車用三元触媒における低温条件での 表面反応の解析 | 石本 尚基 森山 大輔 下栗 大右 王 艶雷 日隈 聡士 村上 浩 松本 有平 竹林 広行 | 広島大学 同上 同上 同上 熊本大学 走行・環境性能開発部 エンジン性能開発部 走行・環境性能開発部 |
| | | 自動車用三元触媒における未燃炭化水素 の反応に及ぼす一酸化炭素の影響 | 森山 大輔 石本 尚基 下栗 大右 王 艶雷 日隈 聡士 村上 浩 松本 有平 竹林 広行 | 広島大学 同上 同上 同上 熊本大学 走行・環境性能開発部 エンジン性能開発部 走行・環境性能開発部 |
| 2016.11.23-25 | 日本燃焼学会 第54回燃焼シンポジウム学術講 演会(ポスターセッション) | C ₉ H ₂₀ 構造異性体の化学的着火遅れ期間 に対する衝撃波管実験と数値解析 | 崎間 俊明 山田 眞平 下栗 大右 八房 智顯 遠藤 琢磨 斉藤 史彦 乃生 芳尚 | 広島大学 同上 同上 広島工業大学 広島大学 技術研究所 同上 |
| 2016.11.24 | 福井大学 「機械・システム工学科概論Ⅱ」 特別講義 | 機械・システム工学科概論Ⅱ | 清水 良 | PT制御システム開発部 |
| 2016.11.24-25 | 強化プラスチック協会 61st FRP CON-EX2016 講演会 | 高強度ガラス繊維強化複合材の物理発泡 挙動に関する研究 | 金子 満晴 宮本 嗣久 小川 淳一 藤 和久 | 技術研究所 同上 同上 同上 |
| 2016.11.24-25 | 自動車技術会 マツダ(株)広島本社 工場見学会 &技術者交流会 | 安心安全と低燃費を両立する新型四輪駆 動システムの開発 | 原澤 渉 松田 光伸 八木 康 丸谷 哲史 三戸 英治 | ドライブトレイン開発部 同上 同上 同上 同上 |
| 2016.11.25 | 機械学会 中国四国支部シニア会 平成28年度第2回講演会 | 高い衝突安全と軽量化を実現した、最適 化手法による超軽量・高強度フレーム断 面技術 | 本田 正徳 | 技術研究所 |
| 2016.11.25 | 産業技術総合研究所 人工知能研 究センター 人工知能技術コン ソーシアム, 大阪商工会議所 人工知能技術活用セミナー | 行動観察と確率的グラフィカルモデリン グによる顧客理解技術 ～コトづくりの ための実践 | 安松 健 本村 陽一 櫻井 瑛一 坂本 和夫 道田奈々江 | (株)オージス総研 産業技術総合研究所 同上 広島大学 技術研究所 |
| 2016.11.25 | 砥粒加工学会 関西地区部会 第3回研究・見学会 | マツダのモノ造り革新と最近の砥粒加工 の取り組み | 林 一哉 | パワートレイン技術部 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|---------------|---|--|--|---|
| 2016.11.25 | 日本イーエスアイ(株) PUCA2016・ESI Users' Forum Japan | 人馬一体”の実現に向けた超ハイテン材 適用の取り組み | 後藤 親盛 | 車体技術部 |
| 2016.11.28-29 | 型技術協会 型技術ワークショップ2016inな にわ | 品質工学を用いた平面高精度加工技術の 確立 魂動デザインの実現に向けたそり変形解 析技術の構築と金型造り | 中原 寛海 下野 廣太 寺内 雅典 鈴木 広之 田中 宣隆 埜 慎一 | ソーリング製作部 車両技術部 同上 同上 同上 |
| 2016.11.29 | 日本アルミニウム協会 H28年度 自動車のアルミ化技術 講習会 | 自動車のマルチマテリアル化とアルミニ ウムの適用 | 杉本 幸弘 | 技術研究所 |
| 2016.11.29 | サイバネットシステム(株) System-level Engineering Symposium 2016 | モデルベース開発の未来 | 進矢 義之 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.11.30 | 早稲田大学創造理工学部総合機械 工学科 熱エネルギー・反応工学 | 第9章：実際の企業における開発 | 養祖 隆 | パワートレイン技術開発部 |
| 2016.12.2 | 自動車技術会 シンポジウム：自動車の振動騒 音技術に求められるもの—低燃費 と車外騒音規制対応— | 車室内の静粛性向上、軽量化に寄与する CAE技術の開発 | 山川 啓介 村田紘一郎 新保晋太郎 中野 伸一 | NVH性能開発部 車両開発本部 NVH性能開発部 車両開発本部 |
| 2016.12.5-7 | 日本機械学会 第27回内燃機関シンポジウム | HCCIエンジンの制御システム設計と制 御シミュレーション 燃料成分の影響に対応するHCCI 燃焼制 御の検討 NO _x 、CO濃度が自動車用三元触媒の反 応経路に与える影響 (第二報：表面種分析に基づく高精度反 応データベースの構築) ディーゼル噴霧の蒸気相と液相のトレー サLAS計測 Internal Flow and Near-Field Spray Behavior of Multi-Hole Nozzle for Diesel Engine | 林 卓哉 山崎 由大 金子 成彦 疋田 孝幸 水野 沙織 藤井 拓磨 養祖 隆 神長 隆史 山川 正尚 村上 達也 保泉 明 渡辺 克哉 松本 有平 下栗 大右 村上 浩 王 艶雷 石本 尚基 森山 大輔 日隈 聡士 横畑 英明 本郷 均 竹林 広行 矢崎真太郎 楊 康 西田 恵哉 尾形 陽一 神崎 淳 志茂 大輔 Pengbo DONG Keiya NISHIDA Youichi OGATA Jun Kanzaki Daisuke SHIMO | 東京大学大学院 同上 同上 パワートレイン技術開発部 同上 同上 パワートレイン技術開発部 同上 同上 コスモ石油(株) 同上 同上 エンジン性能開発部 広島大学 走行・環境性能開発部 広島大学 同上 同上 熊本大学 エンジン性能開発部 同上 走行・環境性能開発部 広島大学 同上 同上 エンジン性能開発部 同上 広島大学 同上 同上 エンジン性能開発部 同上 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|---------------|---|--|--|--|
| | | 2領域簡易燃焼モデルを用いたディーゼル燃焼の熱動定解析 (第2報) | 加藤 雄大 金 尚奎 志茂 大輔 | エンジン性能開発部 同上 同上 |
| 2016.12.6 | 神戸大学 第12回協定講座シンポジウム | 詳細燃焼解析技術を使用した3次元燃焼解析 | 藤本 英史 | 技術研究所 |
| 2016.12.6-7 | 日本機械学会 第12回最適化シンポジウム2016 | 遺伝的プログラミング手法を基にしたモデル同定手法の開発 | 釧持 寛正 | 技術研究所 |
| 2016.12.6-8 | 計測自動制御学会 システム・情報部門 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2016 (SSI2016) | Steering Behavior Model of Drivers on Driving Simulator through Visual Information | 洲崎 智仁 久保 孝富 平岡 敏洋 中川 結翔 寺田 哲也 吉岡 透 池田 和司 | 奈良先端科学技術大学院大学 同上 京都大学 同上 統合制御システム開発本部 同上 奈良先端科学技術大学院大学 |
| 2016.12.8 | 自動車技術会 「次世代の自動車づくりを支える生産技術-先端技術から量産技術まで」講習会 | 魂動デザインを最高のビジネス効率で実現する金型造り | 埜 慎一 | 車両技術部 |
| 2016.12.8 | インターモールド振興会 第105回インターモールド・テクニカル・セミナー | CAEを活用した自動車車体への高ハイテン材料適用について | 大江 哲平 田丸 真司 | 車体技術部 同上 |
| 2016.12.8 | (株)堀場製作所 CONCEPT2016 | Development of G-Vectoring Control Based on Engine Torque Control | 吉岡 透 | 統合制御システム開発本部 |
| 2016.12.10 | 人間工学会 中国・四国支部 第49回人間工学会中国・四国支部大会 | 筋協調を考慮した滑らかなペダル操作の研究 | 藪中 翔 武田 雄策 高山 雅年 原 利宏 岸 篤秀 木口 量夫 | 技術研究所 同上 同上 同上 同上 九州大学 |
| 2016.12.12 | (株)広島テクノプラザ 開発技術研修 | EMC実践 | 網本 徳茂 | 電子開発部 |
| 2016.12.12-14 | 日本流体力学会 第30回数値流体力学シンポジウム | 非等方SGSモデルを導入した簡易車体形状周り流れのLarge Eddy Simulation | 島中 大輝 木原 尚 安倍 賢一 李 曄 岡本 哲 | 九州大学 同上 同上 車両実研部 同上 |
| 2016.12.13 | 日本能率協会 AI・ビッグデータ活用実践フォーラム | SKYACTIVエンジン製造におけるビッグデータ活用 | 林 一哉 | パワートレイン技術部 |
| 2016.12.15-17 | 計測自動制御学会 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 | ステアリング操舵における筋活動度推定に基づいた力知覚量設計手法の提案 | 岸下 優介 竹村 和紘 山田 直樹 岸 篤秀 西川 一男 農沢 隆秀 辻 敏夫 栗田 雄一 | 広島大学 技術研究所 同上 同上 同上 同上 広島大学 同上 |
| 2016.12.19-20 | 日本液体微粒化学会 (ILASS-Japan), 日本エネルギー学会 第25回微粒化シンポジウム | 平板壁面に衝突するガソリン噴霧の液滴径と速度の分布 | 内富真太郎 駱 洪亮 西田 恵哉 尾形 陽一 張 武 藤川 竜也 | 広島大学 同上 同上 同上 パワートレイン技術開発部 同上 |
| | | 平板壁面に衝突する燃料噴霧の液膜形成に及ぼす壁面表面粗さの影響 | 駱 洪亮 内富真太郎 西田 恵哉 尾形 陽一 張 武 藤川 竜也 | 広島大学 同上 同上 同上 パワートレイン技術開発部 同上 |

| 日程 | 主催・大会名 | 題目 | 発表者 | 所属 |
|------------|---|--|--|--|
| 2016.12.22 | 自動車技術会シンポジウム 自律（自動）運転技術でシニアドライバー問題をどこまで解決できるか？ | トレーサLAS法による直噴ディーゼル機関用多噴孔ノズル噴霧の発達と蒸発過程の計測 | 矢崎真太郎 楊 康 西田 恵哉 尾形 陽一 神崎 淳 志茂 大輔 | 広島大学 同上 同上 同上 エンジン性能開発部 同上 |
| | | 高圧雰囲気下で横風を受け平板に衝突する燃料噴霧の挙動 | 嶋崎 汀 司 占博 郭 敏 西田 恵哉 尾形 陽一 和田 好隆 | 広島大学 同上 同上 同上 同上 エンジン性能開発部 |
| | | 放射光による微小ノズル内キャビテーションの高速度撮影 | 三輪 誠 Rubby Prasetya 笠原 巧 宋 明良 文 石洙 和田 好隆 横畑 英明 | 神戸大学 同上 同上 同上 産業技術総合研究所 エンジン性能開発部 同上 |
| | | 運転を楽しむための支援システム～i-DMによる取り組み事例～ | 川原 直人 佐々木健二 | 走行・環境性能開発部 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 |
|---------------------------------|---------|--|--|--|
| 自動車技術 | | | | |
| Vol.70, No.1(2016), pp.90-97 | | 材料技術の変遷(特集 自動車技術70年—これまでそしてこれから—) | 鈴木 徹也 吉永 直樹 金子真次郎 松村 康志 吉田 英雄 下鶴瀬正史 鍋島 勝己 長谷川研二 太田 智之 藤田 雅 坂手 宣夫 | 茨城大学 新日鐵住金(株) JFE スチール(株) 大同特殊鋼(株) (株)UACJ 日本ポリプロ(株) 旭化成ケミカルズ(株) JSR(株) 日本ペイント・オートモーティブ コーティングス(株) (株)本田技術研究所 技術研究所 |
| Vol.70, No.4(2016), pp.20-23 | | 運転者の運動機能 | 松原 弘明 水谷 彰吾 | 車両実研部 同上 |
| Vol.70, No.6(2016), pp.6-7 | | 安心安全と低燃費を両立する新型四輪駆動システムの開発 | 土井 淳一 松田 光伸 八木 康 丸谷 哲史 三戸 英治 | ドライブレイン開発部 同上 同上 同上 同上 |
| Vol.70, No.6(2016), pp.77-82 | | VOCとCO2を同時削減する新塗装技術「アクアテック塗装」 | 篠田 雅史 加藤 秀和 | 車両技術部 |
| Vol.70, No7(2016), pp.2-3 | | 技術者の気概 | 廣瀬 一郎 | パワートレイン開発本部 |
| Vol.70, No.7(2016), pp.10-11 | | 高い衝突安全と軽量化を実現した、最適化手法による超軽量・高強度フレーム断面技術 | 本田 正徳 河村 力 松岡 秀典 相村 勇一 宮島 陽一 | 技術研究所 同上 ボデー開発部 衝突性能開発部 同上 |
| Vol.70, No.7(2016), pp.38-43 | | ディーゼルノック音の低減技術 | 森 恒寛 神田 靖典 平田 耕一 白橋 尚俊 住谷 章 | エンジン性能開発部 同上 エンジン設計部 エンジン性能開発部 同上 |
| Vol.70, No.9(2016), pp.51-56 | | 新型マツダ ロードスター用SKYACTIV-G 1.5エンジンの開発 | 星野 司 早川 元雄 村中 宏彰 | エンジン設計部 エンジン性能開発部 エンジン設計部 |
| Vol.70, No.12 (2016), pp. 35-41 | | ”人馬一体”を実現する基盤技術： SKYACTIV TECHNOLOGY | 吉岡 透 松岡 秀典 山本 忠信 兼品 直和 清水 良 | 統合制御システム開発本部 ボデー開発部 操安性能開発部 同上 パワートレイン開発本部 |
| 自動車技術ハンドブック | | | | |
| 第3分冊 人間工学編 | | 第3章 基本運転タスク 3-1-2 運動機能 3-2-3 運転姿勢(1) 乗用車の運転姿勢 3-2-5 車両へのアクセス性(4) トランクのアクセス性 3-4-1 直接視界(4) ガラス・ワイパ・ディフロスタ 3-6-1 ハンドリーチ 3-6-3 ペダル操作(1) ペダル配置・操作 4-4-2 車室内の空気質環境 | 松原 弘明 水谷 彰吾 大坪 智範 中村 誠之 草譯 清香 上村 裕樹 佐藤 圭一 平田 義人 市川 智士 | 車両実研部 同上 同上 同上 同上 同上 同上 同上 |
| | | 第5章 ドライバ状態 5-1-2(5) 筋活動・姿勢の指標、運動・姿勢の指標 | 古郡 了 | 技術研究所 |
| 第7分冊 設計「EV・ハイブリッド」編 | | 第3章 モーター 3-3-4 巻線切替モーター | 瀬尾 宣英 | 技術研究所 |
| 第10分冊 生産・品質編 | | 第3章 加工 3-6 プレス | 酒井 明 | 車体技術部 |

| 寄稿誌名 | 巻・号・ページ | 題目 | 発表者 | 所属 |
|---|--|---|---|--|
| | 第10分冊 生産・品質編 | 第4章 生産システム | 滝村 真也 | 車両技術部 |
| | 第10分冊 生産・品質編 | 第5章 部品・ユニット 5-1-18 ロータリーエンジン | 増田 雅彦 | パワートレイン技術部 |
| 自動車技術会関西支部ニュース | 第49号 (2016), pp.4-5 | 冷却損失低減を支える計測解析技術 | 原田 雄司 | 技術研究所 |
| 日本機械学会誌 | 2016.4 Vol.119, No.1169, p.222 | 大規模並列計算を用いた複数の車体構造の 同時設計最適化 | 小平 剛央 | 技術研究所 |
| | 2016.5 vol.119, No.1170, pp.266-267 | 路面摩擦の変化に瞬時に対応する走破性能 と燃費性能を両立する四輪駆動システムの 開発 | 土井 淳一 松田 光伸 八木 康 丸谷 哲史 三戸 英治 | ドライブトレイン開発部 同上 同上 同上 同上 |
| 日本機械学会 交通・物流部門ニュースレター | No.51 (March 20,2016) | 人間特性に基づいたドライビング・ポジ ションの開発 | 松原 弘明 | 車両実研部 |
| 応用物理学会 Japanese Journal of Applied Physics | Volume 55, Number 2 | Novel Polymer Composite Having Diamond and Boron Nitride Platelets for Thermal Management of Electric Vehicle Motors | 中島 安理 庄司 敦 瀬尾 宣英 米盛 敬 | 広島大学 同上 技術研究所 同上 |
| 第24回品質工学研究発表大会論文集 | pp.194-197 | コアライン調整技能の技術化 | 尾浜 春樹 大塚 宏明 福本 康博 木下 光雅 三山 和宏 得平 吉輝 | ツーリング製作部 同上 パワートレイン技術部 ツーリング製作部 第2パワートレイン製造部 ツーリング製作部 |
| | pp.274-277 | 平面高精度加工技術の確立 | 中原 寛海 大塚 宏明 岡山 一洋 西本 光毅 | ツーリング製作部 同上 同上 同上 |
| | pp.286-289 | 当たり判定技能の技術化 | 岡山 一洋 上村 勝利 大塚 宏明 福本 康博 木下 光雅 宮脇 真治 安楽 健次 橋本 昭 | ツーリング製作部 同上 同上 パワートレイン技術部 ツーリング製作部 同上 同上 同上 |
| | pp.290-293 | 埋金位置決め最適化 | 上村 勝利 岡山 一洋 大塚 宏明 福本 康博 長屋 修 中村 勝典 浅井 隆二 水 善朗 寺田 一輝 橋本 昭 | ツーリング製作部 同上 同上 パワートレイン技術部 ツーリング製作部 同上 同上 同上 同上 同上 |
| 腐食防食学会 第63回材料と環境討論会講演集 | pp.175-176 | 塗装部の耐食性短期評価法とその活用事例 | 浅田 照朗 重永 勉 磯本 良則 | 技術研究所 同上 広島大学 |

| 寄稿誌名 | 巻・号・ページ | 題目 | 発表者 | 所属 |
|---------------------------|---|--|---|--|
| 第30回型技術者会議2016 講演論文集 | pp.162-163 | “人馬一体”の実現に向けた超ハイテン材適用の取り組み | 大江 哲平 田丸 真司 空久保 宏 酒井 明 | 車体技術部 同上 同上 同上 |
| | pp.142-143 | 「魂動デザイン」を再現する金型磨き技能の技術化 | 長澄 徹侍 新矢 斉 中山 光一 | ツーリング製作部 同上 同上 |
| 日本シミュレーション学会誌 | Vol.35, No.4 | 京で可能になった設計探索のフロンティア | 大山 聖 渡辺 毅 立川 智章 小平 剛央 劔持 寛正 | 宇宙航空研究開発機構 同上 東京理科大学 技術研究所 同上 |
| 日本精神衛生会 心と社会 | 165号, 47巻3号 | 音声病態分析技術の自動車分野への適用例 | 岡崎 俊実 | 技術研究所 |
| 型技術ワークショップ2016inなにわ 講演論文集 | pp.82-83 | 品質工学を用いた平面高精度加工技術の確立 | 中原 寛海 西本 光毅 佐々木和彦 中野 靖之 | ツーリング製作部 同上 同上 同上 |
| エネルギー・資源 | Vol.37, No.4(2016), pp.12-16 | 自動車用新世代クリーンディーゼルエンジン | 森永 真一 | エンジン性能開発部 |
| エレクトロヒート | 2016 No.208, pp.25-30 | 揮発性有機化合物とCO2を同時削減する新塗装技術「アクアテック塗装」 | 篠田 雅史 | 車両技術部 |
| 月刊 素形材 | Vol.57 2016年7月号, pp.8-14 | 自動車へのハイテン材料の適用技術動向 | 安達 範久 安楽 健次 岡田 又治 | 技術本部 ツーリング製作部 車体技術部 |
| バイオメカニズム学会誌 | 2016, Vol.40 No.1 | 自動車内装開発への感性工学適用に関する解説 | 福井 信行 | 車両実研部 |
| ヒューマンファクターズ | Vol. 21 (2016) No. 1 ヒューマンファクターズ, pp.16-23 | 視野特性に基づいたコンバイナ型ヘッドアップディスプレイのレイアウトに関する研究 | 石橋 基範 松尾純太郎 島田 高志 森重 領介 田中 松広 | 車両実研部 同上 車両開発推進部 企画設計部 |
| プレス成形難易ハンドブック 第4版 | 第8章 | 自動車ボディ部品の張り剛性とデント特性 | 酒井 明 | 車体技術部 |
| | 第10章 | プレス成形シミュレーション | 酒井 明 | 車体技術部 |
| マツダ技術通信 | 2016年12月号, pp.54-60 | 炭素繊維強化射出成形複合材料を用いた電波遮蔽プラスチックの開発 | 宮本 嗣久 稲田 貴裕 遠藤 靖之 久常 晃裕 鶴長真里絵 | 技術研究所 統合制御システム開発本部 電子開発部 統合制御システム開発本部 同上 |
| 日経ものづくり | 2016年5月号, pp.56-57 | 1万6000回の計算で30世代進化させるデザイン性を確保し空力性能も向上させる設計 | 小平 剛央 清水 圭吾 | 技術研究所 同上 |
| | Simulation Day ～いままでにな ないデザインを実現するための最先 端シミュレーション環境 | 車体構造の開発プロセスの変革の試み ～基本構造の探索から複数車種同時多目的最適化～ | 小平 剛央 | 技術研究所 |

| 寄稿誌名 | 巻・号・ページ | 題目 | 発表者 | 所属 |
|--|----------------|---|---|---|
| 日経産業新聞 | 2016.3.17, 13面 | 技術フォーカス「摩擦熱で金属と樹脂を接合」 | 杉本 幸弘 | 技術研究所 |
| 兵庫県立大学放射光ナノテクセンター 兵庫県ビームライン年報・成果集 Vol.5 (オンライン出版) Vol.5 pp.12-14 | | Liイオン電池正極材断面のX線マイクロビームによる反応分布解析 | 三根生 晋 住田 弘祐 首藤 大器 竹田 晋吾 横山 和司 | 技術研究所 同上 兵庫県立大学放射光ナノテクセンター 同上 同上 |
| 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 HP | | 熱マネージメントの研究開発技術 | 米盛 敬 | 技術研究所 |
| AEPA2016 (13th Asia-Pacific Symposium on Engineering Plasticity and Its Application) Key Engineering Materials, Vol. 725, pp.671-676 | | Effects of Stress Relaxation on Springback of Steel in Warm Forming | 斉藤 直子 深堀 貢 久野 大輔 濱崎 洋 吉田 総仁 | 技術研究所 同上 広島大学 同上 同上 |
| Elsevier Journal of Sound and Vibration Volume 365, 17 March 2016, pp.230-243 | | Topology Optimization of Damping Material for Reducing Resonance Response based on Complex Dynamic Compliance | 竹澤 晃弘 大福 将史 中野 陽平 中川 興也 山本 崇史 北村 充 | 広島大学 同上 同上 技術研究所 工学院大学 広島大学 |
| IJAE Vol. 7 (2016) No. 2 | | Reduction of Diesel Knock Noise by Controlling Piston Vibration Characteristics | 神田 靖典 | エンジン性能開発部 |
| International Journal of Engine Research Special Issue Article | | Simultaneous improvement of exhaust emissions and fuel consumption by optimization of combustion chamber shape of a diesel engine | 金 尚奎 志茂 大輔 片岡 一司 西田 恵哉 | パワートレイン技術開発部 エンジン性能開発部 パワートレイン技術開発部 広島大学 |
| MTZ worldwide vol.77, 5/2016, pp.28-33 | | Mazda's Way to More Efficient Internal Combustion Engines | 廣瀬 一郎 人見 光夫 | パワートレイン開発本部 同上 |
| Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power Vol. 138, June(2016), Paper No. 062503, pp.1-8 | | Predicting Gas Leakage in the Rotary Engine—Part I: Apex and Corner Seals | Mathieu Picard Tian Tian 西野 隆之 | Massachusetts Institute of Technology 同上 パワートレイン技術開発部 |
| Vol. 138, June(2016), Paper No. 062504, pp.1-8 | | Predicting Gas Leakage in the Rotary Engine—Part II: Side Seals and Summary | Mathieu Picard Tian Tian 西野 隆之 | Massachusetts Institute of Technology 同上 パワートレイン技術開発部 |

編 集 委 員 会

| | | |
|------|-------|-------------------------|
| 委員長 | 本橋 真之 | 商品戦略本部 技術企画部 |
| 編集委員 | 温品 一雄 | 商品戦略本部 技術企画部 |
| | 田坂 寿康 | 商品戦略本部 技術企画部 |
| | 山川 耕平 | 商品戦略本部 技術企画部 |
| | 五味 雅彦 | 商品本部 商品企画部 |
| | 豊田 稔 | デザイン本部 デザイン開発推進部 |
| | 山川 啓介 | 車両開発本部NVH性能開発部 |
| | 菅野 裕二 | 車両開発本部シャシー開発部 |
| | 平田 栄志 | 統合制御システム開発本部 |
| | 長野 高皓 | パワートレイン開発本部パワートレイン技術開発部 |
| | 深堀 貢 | 技術研究所 |
| | 杉山 裕基 | 技術本部 生産企画部 |
| | 植月真一郎 | 広報本部 グローバル広報企画部 |
| | 柿沢 修成 | 広報本部 グローバル広報企画部 |
| 編集幹事 | 大森 正志 | 商品戦略本部 技術企画部 |

マツダ技報 第34号

発行 2017年10月
発行人 藤原 清志
編集人 本橋 真之
事務局 大森 正志
発行所 マツダ株式会社
商品戦略本部 技術企画部
〒730-8670
広島県安芸郡府中町新地3番1号
電話 082(565)2833

Mazda Technical Review No.34

October 2017
Publisher Kiyoshi Fujiwara
Editor Masayuki Motohashi
Bureau Masashi Ohmori
Publishing office Technology Planning Dept.
Product Strategy Div.
Mazda Motor Corporation
3-1 Shinchi, Fuchu-cho Akigun,
Hiroshima 730-8670, Japan

©2017 マツダ株式会社 (禁無断転載)

ISSN 2186-3490