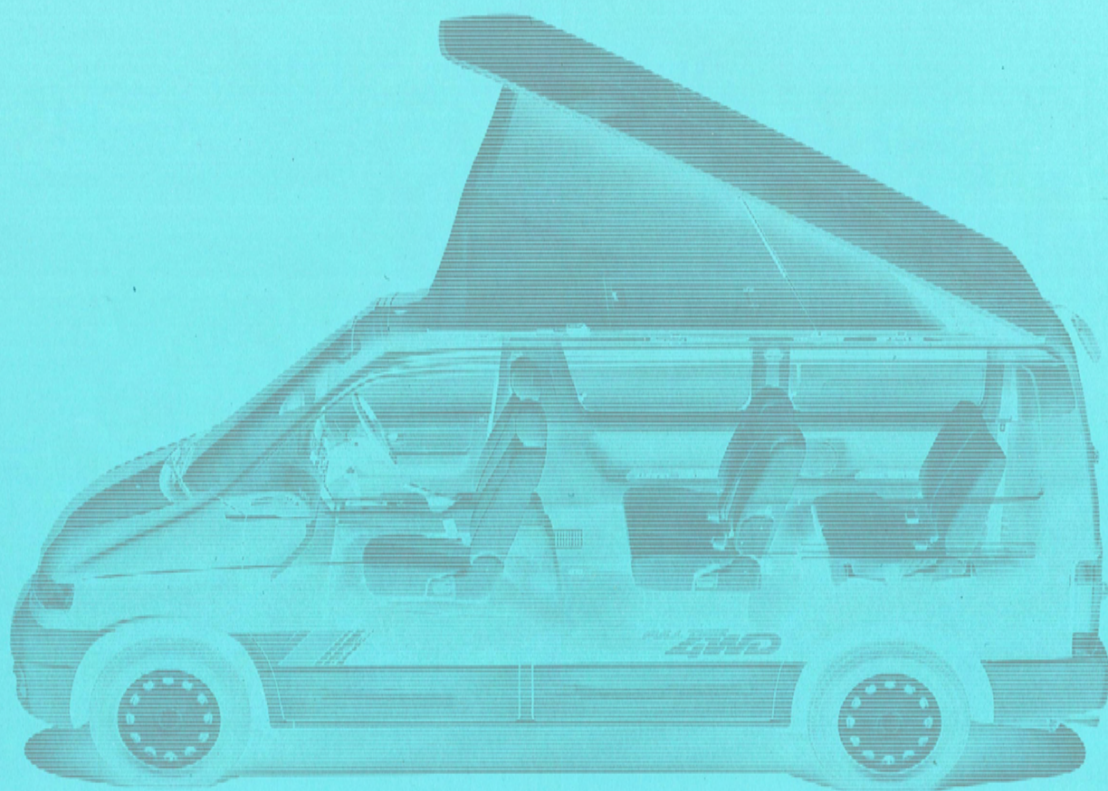


マツダ技報

Mazda Technical Review

1996 No. **14**



mazda

表紙の説明

新型ボンゴフレンディの透視図です。量産車としては世界初の電動開閉式オートフリートップは、家族や仲間のためのレジャー基地として、RVの価値を向上させる新鮮かつ魅力的な装備です。

マツダ技報

Mazda Technical Review

1996 No. **14**

マツダ技報 No.14 (1996)

目 次

巻頭言

| | |
|-----------------------|-------------|
| 魅力ある自動車開発への新たな挑戦..... | 吉村重剛..... 1 |
|-----------------------|-------------|

小特集『センティア』

| | |
|----------------------------------|---|
| 1. 新型センティアの紹介..... | 鍋島勝志, 長本義仁, 横山光弘..... 3 |
| 2. 新型センティアのトラクションコントロールシステム... | 景山文雄, 立畑哲也, 下西康晴..... 9 益 啓純, 川村 誠, 平尾知之 |
| 3. 新型センティアのオートエアコン制御システム..... | 辻 頼一, 山口秀夫, 浮田英治.....16 麻生博史, 遠野安広, 大坪善徳 |
| 4. 新型センティアのAVセンター及びナビゲーション | 大江良二, 平佐美明, 森重直城.....21 濱田 康, 竹岡富彦, 中島隆志 |
| 5. ラジオ/テレビ兼用アンプレスガラスアンテナの開発... | 重田一生, 谷口龍昭, 久保田健治.....27 竹岡富彦, 森重直城, 飯島 浩 |
| 6. 新型センティアの多重伝送システム..... | 中嶋仁志, 坂本裕昭, 寺山孝二.....34 谷田晴紀, 竹重 学 |
| 7. インテリジェントPT総合制御の開発 | 志谷有司, 原田真悟, 客野哲也.....39 一環境対応AT変速知能制御ー 高羽徹郎, 井上秋夫 |

小特集『ボンゴフレンディ』

| | |
|------------------------------------|---|
| 8. 新型ボンゴフレンディの紹介..... | 中江照司, 前田英男.....44 |
| 9. 新型ボンゴフレンディのオートフリートップ..... | 中川吉晴, 松延知昭, 中村誠之.....49 |
| 10. 新型ボンゴフレンディ用2.5L WL-T型ディーゼルエンジン | 光原 孝, 安田浩明, 阿部良治.....55 山内道広, 豊田一雄, 白橋尚俊 |
| 11. 新型ボンゴフレンディの衝突安全性能開発..... | 福島正信, 三島隆志.....62 |

論文・解説

| | |
|--|---------------------------------------|
| 12. 居住性総合指数化手法の開発..... | 時岡雅明.....67 |
| 13. 空力に関する初期商品開発手法の研究..... | 大坪智範, 神本一郎.....74 |
| 14. マルチブロック法を用いたエンジン冷却および空力性能 予測のための数値シミュレーション手法の開発 | 上田 健, 農沢隆秀, 渡辺博之.....81 久我秀功, 上岡孝志 |

| | |
|---|--|
| 15. 点火時期遅角による触媒早期活性化手法…………… | 梅原 健, 立石哲也, 中角忠孝 ……88 西村博文, 三角正法 |
| 16. ガソリン機関の燃焼特性におよぼす層状混合気の影響… | 田端道彦, 片岡一司, 山本寿英 ……96 乃生芳尚 |
| 17. タービントルク推定値に基づくエンジン・AT総合制御… | 栗山 実, 佐々木和夫, 上野隆司 …106 西里鉄也 |
| 18. ABSソレノイドの動作解析手法の開発 …………… | 岡田厚信, 八塚誠司, 西嶋孝祥 …113 |
| 19. シリンダブロックボアのライナレス化の実現…………… —液中高周波焼入れの実用化— | 西森康夫, 永井克和, 魚崎 博 …118 網井義浩 |
| 20. はすば歯車装置の振動シミュレーションの開発…………… | 藤井 猛 ……………124 |
| 21. 車両組立領域におけるシミュレーションの展開…………… | 前西博昭 ……………132 |
| 22. 衝突回避システムを搭載した「ASV研究車」の紹介…………… | 奥田憲一, 佛圓哲朗, 土井 歩 …137 新部忠幸, 疋田尚之, 池田利文 |
| 23. ASV開発へのドライビング・シミュレータの応用…………… | 末富隆雅, 木戸孝二 ……………142 |
| 24. コンセプトカー「CU-X」の紹介 …………… | 水島善夫, 香川八洲男, 守田知史 …149 高椋健治, 上村裕樹, 多田真治 |
| 25. 水素自動車の開発…………… | 森本賢治, 高椋健治, 今田道宏 …154 水島善夫, 清水 勉, 間宮清孝 |
| 社外への発表論文一覧 …………… | 162 |

CONTENTS

| | |
|----------------|--------------|
| Foreword | S. Yoshimura |
|----------------|--------------|

Special Edition for SENTIA

| | |
|--|----|
| 1. Introduction of New SENTIA (K. Nabeshima, Y. Nagamoto, M. Yokoyama) | 3 |
| 2. Development of a Traction Control System for New SENTIA (F. Kageyama, T. Tachihata, Y. Shimonishi, H. Eki, M. Kawamura, T. Hirao) | 9 |
| 3. Auto Air-conditioning Control System for New SENTIA (Y. Tsuji, H. Yamaguchi, E. Ukita, H. Asou, Y. Enno, Y. Ohtsubo) | 16 |
| 4. AV (Audio and Visual) Center and Navigation for New SENTIA (R. Ohe, Y. Hirasa, N. Morishige, Y. Hamada, T. Takeoka, T. Nakashima) | 21 |
| 5. Development of Dual Radio and TV Window Antenna without Antenna Boosters (K. Shigeta, T. Taniguchi, K. Kubota, T. Takeoka, N. Morishige, H. Iijima) | 27 |
| 6. Multiplexing System for New SENTIA (H. Nakashima, H. Sakamoto, K. Terayama, S. Tanida, M. Takeshige) | 34 |
| 7. Intelligent PT Management System ~Development of AT Intelligent Shift Control Adapted to Driving Environment (Y. Shitani, S. Harada, T. Kyakuno, T. Takaba, A. Inoue) | 39 |

Special Edition for BONGO FRIENDEE

| | |
|---|----|
| 8. Introduction of New BONGO FRIENDEE (T. Nakae, H. Maeda) | 44 |
| 9. Development of Auto Freetop for BONGO FRIENDEE (Y. Nakagawa, T. Matsunobu, S. Nakamura) | 49 |
| 10. WL-T (2.5L) IDI Diesel Engine for BONGO FRIENDEE (T. Mitsuhashi, H. Yasuda, R. Abe, M. Yamauchi, K. Toyoda, N. Shirahashi) | 55 |
| 11. Development of Passive Safety for BONGO FRIENDEE (M. Fukushima, T. Mishima) | 62 |

Technical Reports

| | |
|---|----|
| 12. Development of Method for Evaluating Interior Roominess of Vehicle (M. Tokioka) | 67 |
| 13. Study of Early-stage Product Development Method for Aerodynamic Performance (T. Ohtsubo, I. Kamimoto) | 74 |
| 14. Development of Numerical Simulation of Vehicle Aerodynamics and Engine Cooling Performance Using Multi-Block Method (T. Ueda, T. Nouzawa, H. Watanabe, Y. Kuga, T. Kamioka) | 81 |

| | |
|---|-----|
| 15. Improvement on Catalyst Warm-up by Ignition Retarding (<i>K. Umehara, T. Tateishi, T. Nakazumi, H. Nishimura, M. Misumi</i>) | 88 |
| 16. Influence of Mixture Stratification on Combustion Characteristics in SI Engine (<i>M. Tabata, M. Kataoka, T. Yamamoto, Y. Noh</i>) | 96 |
| 17. Engine and Automatic Transmission Control System based on Estimated Turbine Torque (<i>M. Kuriyama, K. Sasaki, T. Ueno, T. Nishizato</i>) | 106 |
| 18. Development of Movement Analysis for ABS Solenoid (<i>A. Okada, S. Yatsuka, T. Nishijima</i>) | 113 |
| 19. Realization of Linerless Cylinder Bore Block —Application of Submerged Induction Hardening— (<i>Y. Nishimori, Y. Nagai, H. Uosaki, Y. Amii</i>) | 118 |
| 20. The Development of Simulation of the Gearbox Vibration (<i>T. Fujii</i>) | 124 |
| 21. Vision of Simulation Systems in Automobile Final Assembly Shop (<i>H. Maenishi</i>) | 132 |
| 22. Introduction to an Advanced Safety Vehicle with Accident Avoidance Systems (<i>K. Okuda, T. Butsuen, A. Doi, T. Niibe, N. Hikida, T. Ikeda</i>) | 137 |
| 23. Application of a Driving Simulator to the Development of an Advanced Safety Vehicle (<i>T. Suetomi, K. Kido</i>) | 142 |
| 24. The Concept Vehicle "CU-X" (<i>Y. Mizushima, Y. Kagawa, T. Morita, K. Takamuku, H. Uemura, S. Tada</i>) | 149 |
| 25. Development of Hydrogen-fueled Vehicle (<i>K. Morimoto, K. Takamuku, M. Imada, Y. Mizushima, T. Shimizu, K. Mamiya</i>) | 154 |

巻 頭 言

「魅力ある自動車開発への新たな挑戦」



取締役 吉村 重剛

20世紀の百年間に自動車は類稀な利便性を備えるに至り、また製造に関わる技術者の努力による入手可能な価格実現と相まって、我々の生活になくてはならない存在になりつつあります。一方その自動車の開発及び製造に関わる技術者から見ると、宇宙ロケットのように遠すぎる訳でなく、又鉄道のように専門家だけの操作という限定性もなく、自身の夢の実現の場としての可能性を持った創造と革新の道場として、情熱を傾けられる場であったということができると思われます。

ところが最近その様相は大きく変わりつつあります。バブル崩壊後の価格破壊の波、急速な円高による輸出競争力の低下などにより、日本の自動車産業全体が大きな構造変換を迫られていることであります。又、安全問題や地球規模の環境問題、資源エネルギー問題や廃車処理問題に見られるように、大きくなりすぎた自動車産業が更に発展するために社会や地球に還元すべき諸問題の解決を迫られていることを自覚せざるをえない状況に置かれています。そういう意味では高度成長期における自動車の開発が比較的のびのびと自由な雰囲気の中でできたことを思うと、今の開発は多くの制限の中で連立解の模索に苦勞しているように写るかもしれないとさえ感じられます。

このような諸々の制限、特にコストの問題が今技術者に大きくのしかかり、そして何とか社会的要請にも応えられる連立解を見い出したとしてもそれは当然のことであり、その先に多様化したお客様の厳しい選択眼と競合の世界が待っている訳です。従ってその連立解はありきたりの解で良い筈もなく、それはお客様の要求にびたりと合った最適解でなければならないことは明らかです。この競合を勝ち抜く強い商品力を備えることは、お客様の立場からは魅力ある商品として選択し購入することに値することになります。この商品力に対するこだわりこそが我々に強く求められていることを自覚しなければなりません。

さて、自動車に関わる技術者の考えるべき要素群が地球規模の大きさに拡大し、かつ社会的な要請も極めて高度化した中で、経営上の要求も会社の存続をかけた厳しいものとなった今日、個々の技術者にかかる負担が非常に大きくなっていることは否めません。そしてその負担の拡大を緩和するための方策として自動車各社は組織の専門化を進め、又コンピュータによるシステム化などを図

ってきました。マツダもCADは当然としてCAE/CAT化を積極的に推進し高度な専門技術を蓄積した機能グループの組織化を図って参りました。これらの施策が大きな力を発揮していることは事実です。しかしながら高度に専門化された組織の中で、そしてコンピュータからの情報で整然と動く集団が生み出す成果は、間違いない連立解ではあっても最適解であったか疑問が残ります。

この活動の中に人間臭の強いお客様の生きた要求がきちんと取り込まれていたかという疑問です。確かに安全で低公害で燃費も良くリサイクルに対しても配慮がなされ、また一般的な商品力としては静かで走りも良く、必要な装備を備える等は考えられているでしょう。しかしお客様の多様化した要求はそれだけでは満足されないところに来ていると考えられます。その新たな要求にきちんと応えた車のみが魅力ある商品としてお客様の選択肢に残るでしょう。

お客様の価値観は変化したといわれています。金や物よりも心を大切に、家族を大切に考えるようになっていわれています。このことは一般的で定性的には理解されるとしても、その人々に愛される車の要件を具体的に定義するには余りにも曖昧であるといわざるをえません。また多様化の時代に通りの解釈や定義で判ったとすることは浅薄すぎるでしょう。それぞれの車の基本コンセプトに対応したターゲットユーザーの深い人間研究とその人になり切って車を使ってみた時に気付く思いの数々、そしてその気付きをハードとして実現させる技術力と執念などがお客様の共感を得る唯一の道と考えます。

折しもマツダはセンティアとボンゴフレンディを新開発し市場に導入しました。これらの車は従来の体制から大きく脱皮した商品センター制のもとで開発されました。システム重視の組織から商品への思い入れを大切にするために生まれた商品センターの努力が結集されたものです。具体的にはこれらの車の開発に当たっては、社会的な要請にはきちんと応えながら、一方でお客様に喜んで頂けるあらゆる場面を想定しつつ意欲的な車創りに挑戦した積もりであります。これらの車が競合の世界を逞しく生き抜いてくれること、そしてお客様に愛され続けることを願ってやみません。

多くの社会的要件を満足させつつお客様の要求にびたりと合わせること、更にその要求を越えてお客様をリードできる真に商品力のある魅力的な自動車を開発すること、このことは日本の自動車が世界の競合の中で堂々と生き抜くためにはどうしても必要なことであり、その実現に向かって更なる新たな挑戦を誓いあいたいものと願っています。

小特集：センティア

1

新型センティアの紹介
Introduction of New SENTIA鍋 島 勝 志*¹ 長 本 義 仁*² 横 山 光 弘*³
Katsushi Nabeshima Yoshihito Nagamoto Mitsuhiro Yokoyama

要 旨

本稿は、今回初めてモデルチェンジを行い、二代目となったセンティアを紹介するものである。初代センティアは、マツダとして初めて中型車市場に投入した商品であり、従来にない美しい流麗なデザインによって、多くのお客様の支持を得てきた。新型センティアは、車格感と個性的な美しさの両立、室内の快適性や車の取り扱い易さといった機能的要件、また昨今注目を浴びている安全面の充実など、すべてにおいて中型車としての、またマツダの最高級車としての要件を満たした商品である。

Abstract

This paper introduces the second-generation SENTIA, which recently has experienced its first full model change. The first-generation SENTIA was the Mazda's first entry into the luxury car segment, and its unprecedentedly attractive, sweeping styling gained a broad support from the market. The New SENTIA, the Mazda's flagship, embodies the classiness combined with the unique beauty, high functional qualities including the comfortable interior and the easy use, as well as the safety features which are drawing public attention particularly in recent days.

1. はじめに

初代センティアは、1991年5月にマツダとして初めて中型車市場に投入した商品である。

「パーソナル高級セダンの実現」を商品コンセプトとして、美しく流麗なデザインで市場に鮮烈な個性をアピールしてきた。



写真1 新型センティア フロントビュー

二代目センティアは、初代センティアの美しさを更に深めながら、お客様が誇りに思えるプレステージ性を高め、また、中型セダンとしての機能性を向上させた。

以下、新型センティアの開発の狙いと商品概要について紹介する。

2. 開発の狙い

中型セダンとしての機能の充実と、マツダとしての最高級車の開発を狙いとして、新型センティアの開発コンセプトを「センティアの昇華」とした。これは「中型セダンとしての機能とマツダらしい個性的な美しさを、もう一段高い次元で融合させた真の高級車への挑戦」を意味している。

新型センティアのコンセプトを具現化する開発活動の成果として、次の5項目をあげることができる。また、これらの項目は、開発段階で狙いと

* 1 国内マーケティング部 * 2, 3 第1商品センター

したところでもある。

- (1) 風格のある美しいスタイル
- (2) 温もりと安らぎを感じる室内快適性
- (3) クラス最高水準の安全性能
- (4) 卓越した実用的な機能
- (5) 高級車にふさわしい上質な走り

3. 車種構成と主要諸元

ボデータイプは、4ドアハードトップ、エンジンは3LのDOHCとSOHCの2本立てとした。

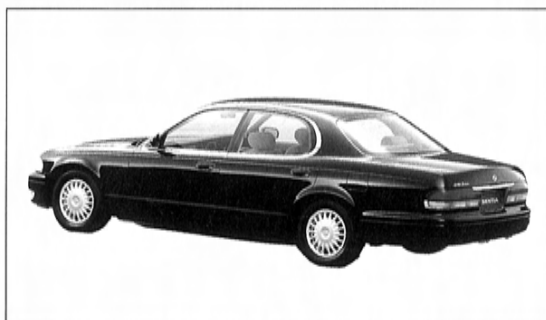


写真2 新型センティア リアビュー



写真3 インテリア

4. 商品の特徴

4.1 風格のある美しいスタイル

初代センティアの流麗な美しさに、新世代の高級車としての風格を融合させることをデザインのテーマとした。

外観上の主な特徴は以下の四点である。

- (1) ロングホイールベース、ショートノーズ、ロングリアデッキによる、伸びやかで流れるようなプロポーション
- (2) 車格感を表す立体的な大型フロントグリルとヘッドランプ
- (3) 垂直方向に立てた各ピラー、絞り込みを緩和したフロント先端及びリア後端による幅広感、重量感のあるボデー
- (4) 個性的でエレガントさを表現したリアピラー形状

4.2 温もりと安らぎを感じる室内快適性

4.2.1 デザイン

日本の高級車ニーズに焦点を当て、日本人の感性にマッチするよう、落ち着きと工芸感を演出するデザインとした。主なポイントは以下の三点である。

- (1) 直線を基調にした造形で統一し折り目正しさを表現した全体のデザイン
- (2) 艶やかな楡の木目調パネルをふんだんに採用し工芸感を演出したインパネ、センターコンソール
- (3) 夜間のスイッチ操作を助け、柔らかな光で温もりを演出するドアトリム設置の間接照明特に、インパネおよびシフトレバー回りの木目調パネルには、本木の写真を樹脂部品成形時に同

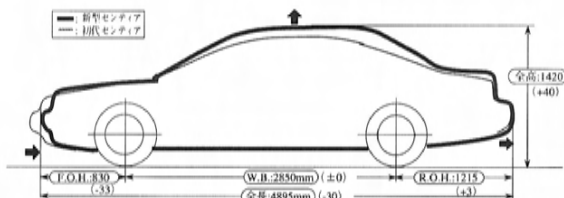


図1 外観寸法比較図

グレードは、シンプルに4本立てとし、ベースにLIMITED、量販にLIMITED G、上級にEX-CLUSIVEを設定、最高級グレードとして後席VIPをターゲットとしたROYAL CLASSICを設定した。

ボデーは全長を30mm短縮し4895mm、全高は40mm高め1420mmとした。全幅は1795mmで従来車と同じである。(図1)

室内長は、全長を短縮したにもかかわらず5mm拡大し、室内高は30mm拡大して1165mmとした。室内幅は従来車と同じである。

時転写するサーモジェット工法を採用し、木目の再現性を飛躍的に向上させた。

4.2.2 居住性／乗降性

各ピラーを立て、ルーフを高くすることで、こ



写真4 インstrumentパネル

のクラス最大の居住空間を実現した。(表1)

ヒップポイントを前席で+5mm、後席で+25mm高くし、楽な着座姿勢と前方視界の向上を図った。

上級2グレードには、跳ね上げ機構を備えたプリセット付電動チルトステアリングを採用し、乗降を楽にしている。

フロントシートは、クッション形状、硬度を見直し、座り心地、サポート性、乗降性に優れたシートに仕上げた。

リアシートは、新に振動吸収性に優れたオールウレタンシートを採用した(除く、パワーシート)。ヒップポイントの高さ、座面や背もたれの形状、硬度を最適化することにより長時間乗っても疲れない快適なシートを開発した。ROYAL CLASSICに採用した6:4分割のリアパワーシートは、従来車で実績のある機構に加え座り心地を追求し、形状、硬度を見直した。最高級グレードにふさわしいシートに仕上げた。

表皮材も上質な素材を採用し、上品な色調と相まって落ち着いた雰囲気醸し出している。

4.2.3 もてなしの後席

新型センティアでは、前席同様、後席も大切に開発してきた。実際に後席をお使いになるユーザーの声を聞き、高級車に求められる後席の要件を改めて設定した。単なるスペースの広さだけでなく、心からくつろぐことのできる居住空間を提供できるよう尽力した。

表1 居住性寸法比較表

| | 新型 センティア | 初代 センティア | A車 | B車 |
|--------|--------------------|-------------|------|------|
| 前 席 | ヘッドルーム | 988 | 974 | 994 |
| | レッグルーム [MAX] | 1082 | 1072 | 1056 |
| | ショルダールーム | 1440 | 1422 | 1405 |
| | フロア～Hpt.高 | 220 | 215 | 263 |
| | Hpt.地上高 (空車) | 491 | 475 | 506 |
| 後 席 | ヘッドルーム | 945 | 933 | 942 |
| | レッグルーム [前席SAE95%時] | 910 | 902 | 856 |
| | ショルダールーム | 1420 | 1395 | 1411 |
| | フロア～Hpt.高 | 306 | 281 | 312 |
| | Hpt.地上高 (空車) | 515 | 479 | 533 |

主なポイントは以下の四点である。

- (1)シートの位置を高くし、楽な着座姿勢と乗降時の足の出し入れ性を改善
- (2)リアドア開口部、特にリアピラー上端を拡大し乗降時の頭の通り易さを改善
- (3)ルーフを高くし頭部スペースを拡大
- (4)ルーフパネルを約120mm後方に延長し頭部への日射を防止

また、ROYAL CLASSICには、後席専用として以下の装備を設定した。

- (1)助手席パワーシートショルダースイッチ
- (2)フロントシートバックグリップ
- (3)リアベンチレーション
- (4)リアセンターアームレストボックス
- (5)リアアームレスト内臓オーディオ、エアコンコントロールスイッチ

4.2.4 静粛性と乗心地

快適な室内空間を実現するため、静粛性と乗心地についても十分な配慮を行った。

静粛性については、騒音の発生源を抑えるとともに、徹底した遮音対策を施すことにより、特に中間周波数および高周波数領域の音を低減した。

主な織り込み項目は以下の通りである。

- (1)気筒別点火進角制御→エンジン音の低減
- (2)低騒音タイヤ→ロードノイズの低減
- (3)ダッシュ、フロア、パッケージ、ルーフ各パネルの遮音材追加 (図2)

また、乗心地については、サスペンションのダンパ、テンションロッドブッシュ、リアサブフレームマウント等の特性をきめ細かく分析することにより、振動吸収の早いフラットな乗心地を実現した。

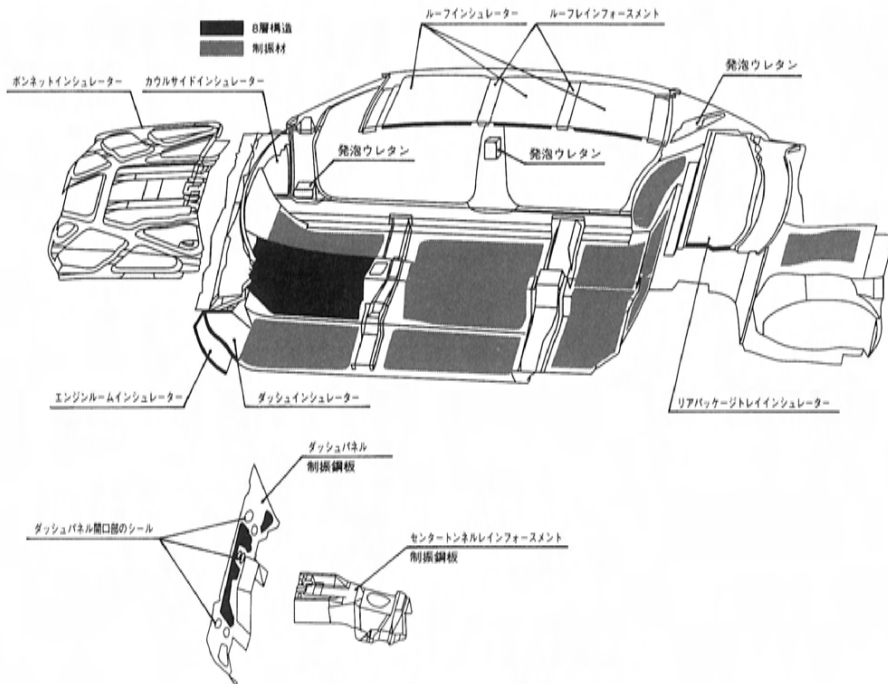


図2 ボデー関係遮音対策図

4.2.5 空調性能

空調性能は、170ccに容量アップしたコンプレッサや、ダクト通風抵抗の低減、インパネ中央部に配置した大口径の吹き出し口等により、大幅に向上させた。

4.3 クラス最高水準の安全性能

運転席／助手席エアバッグの全車標準装着、ABSにトラクションコントロールシステム（以下TCS）をセットでほぼ全車に装着する等、安全面の充実を行った。

4.3.1 運転席／助手席エアバッグ

最新の電子技術を使用したシングルポイント式（SAS）で、運転席60L、助手席170Lの大容量フルエアバッグを採用した。助手席エアバッグは、トップマウント方式をマツダとしては初めて採用した。

4.3.2 トラクションコントロールシステム

滑りやすい路面での発進時やコーナリング時、余分な駆動力でタイヤがスリップして発進がもたついたり、車が横滑りしたりすることを防止するTCSを採用、ABSとのセットで装着展開を行った。

新型センティアのTCSはマツダとしては初めて、エンジン制御に加え、後輪ブレーキを左右独立に制御する方式のものを採用した。

4.3.3 その他の安全対策

アクティブセーフティでは、種々の場面で不安を感じさせない操安性、視界／視認性、操作性を確保している。

特徴としては以下の四点である。

- (1)サスペンションのチューニングと空力改善による直進安定性の向上
- (2)4WSによる卓越した安定性と緊急回避性能
- (3)従来車比1.7倍の明るいヘッドランプ
- (4)夜間の交差点等での視認性を向上させるコーナリングランプ

パッシブセーフティでは、万が一の衝突から乗員を守るボデー構造を実現している。

特徴的なものは以下の三点である。

- (1)衝撃吸収構造に守られた居住空間
- (2)側面衝突やオフセット衝突に配慮をした高い乗員保護性能
- (3)車室外のリアアクスル上に配置した燃料タンク

4.4 卓越した実用的な機能

4.4.1 取り回しの良さ

車の大きさを感じさせない取り扱い易さが新型センティアの特徴である。

主なポイントは次の三点である。

- (1) フロントオーバーハングの30mm短縮化
- (2) 4WSによる小型車並の最小回転半径
- (3) 立体的なボンネット形状による先端部の視認性向上

4.4.2 トランク容量

トランクスペースは長さ、幅、高さともに大幅な改善を行った。容量は約100L増大させ486L(VDA)としクラス最大級を確保した。(表2)

床面を後方に約100mm延長し、9インチのゴルフバック3個をフロアに並べることができ、更にその上にゴルフバック1個とスポーツバック4個をつむことが可能である。

4.5 高級車にふさわしい上質な走り

全機種にV6の3.0Lエンジンとホールドモード付電子制御4速ATを採用し、エンジン/ATの統合制御により高級車にふさわしい滑らかな走りを実現した。

4.5.1 JE-ZE (DOHC) 型エンジン

ハイグレードエンジンとして3.0LのDOHCを採用した。従来エンジンをベースに出力、実用燃費、NVHを改善した。

主要織り込み技術は以下の通りである。

- (1) ホットレジスタ式エアフローメータ採用
- (2) 気筒別ノック制御
- (3) 気筒別進角制御

4.5.2 JE-E (SOHC) 型エンジン

ベースグレードエンジンとしては、MPVに搭載している3.0LのSOHCエンジンをベースに、以下の変更を行った。

- (1) セミデュアルタイプ
排気系採用
→ 中・低速トルクの大幅向上 (図3)
- (2) ホットレジスタ式
エアフローメータ採用
- (3) 気筒別進角制御採用

表2 トランクルーム容量比較

| | 新型 センティア | 初代 センティア | A車 | B車 |
|----------|-------------|-------------|------|------|
| 荷室長<最大値> | 723 | 625 | 702 | 690 |
| 荷室高 | 537 | 503 | 465 | 501 |
| 荷室最大巾 | 1693 | 1500 | 1675 | 1665 |
| VDA (L) | 486 | 387 | 392 | 415 |

- (4) VRS (Vibration Reducing Stiffner ;
JE-ZEに採用のシリンダブロックとミッションケースを結合する部材) 採用
→ パワープラント曲げ振動を低減

4.5.3 トランスミッション

ATは、高効率のRA4-EL型をベースに制御系に以下二つの新技術を採用し、滑らかなシフトクオリティを実現した。

(1) エンジン・AT総合制御

外気温、標高差といった環境変化やドライバの操作に左右されないベストなシフトクオリティを提供する新技術である。

従来のアクセル開度をもとにシフトチェンジする方式に換え、新型センティアではリアルタイムでエンジントルクとクラッチ圧を最適に制御するシステムを採用し、飛躍的にシフトクオリティを向上させた。

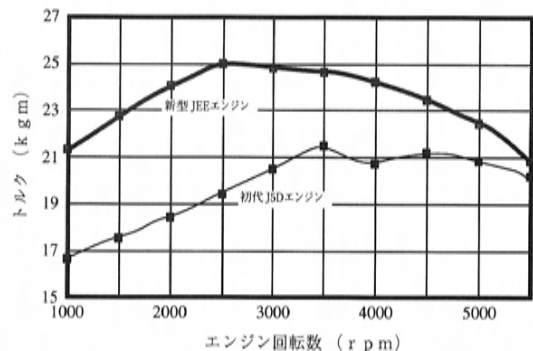


図3 JE-Eエンジントルク曲線

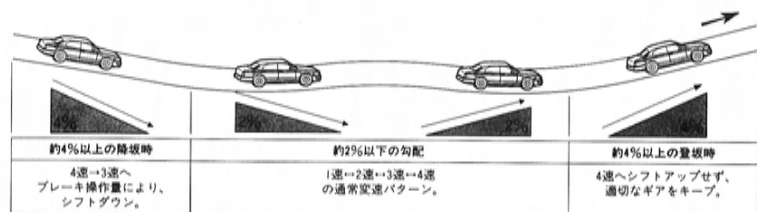


図4 スロープコントロール概念図

(2)スロープコントロール

坂道の勾配を検出し、それが約4%以上になると自動的に3速へホールドするシステムを新たに採用した。登坂路でのシフトビジー感、降坂路でのブレーキ使用回数を低減することで、安全で滑らかな走行を可能にするとともに、燃費向上にも貢献するものである。(図4)

4.5.4 シャシー

シャシーは、高いポテンシャルをもつ4輪マルチリンクサスペンションを継承し、ブッシュやダンパの特性をチューニングし、上質な走りを更に進化させた。

4WSについては、新型センティアの車両感覚と自然にマッチするよう、後輪最大舵角を7°から6°に変更した。最小回転半径は5.0mである。

ブレーキは、マスターバグの倍率を6.0から6.5にアップし、ペダルフィールを向上させた。また、パッドの摩擦係数をあげて、より余裕のある制動性能を確保した。

5. おわりに

以上、新型センティアの開発の狙いと商品概要を紹介した。

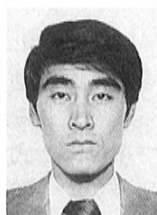
新型センティアの開発に携わった私達開発メンバーの願いは、「マツダの一番大切なお客様に、喜んで買っていただき、満足して使っていただくこと」である。

今後も引き続きお客様の声を重視し、マツダにとってのフラッグシップカーにふさわしい商品となるよう、更に尽力していく所存である。

■著 者■



鍋島勝志



長本義仁



横山光弘

小特集：センチア

2

新型センチアのトラクションコントロールシステム Development of a Traction Control System for New SENTIA

景 山 文 雄^{*1} 立 畑 哲 也^{*2} 下 西 康 晴^{*3}
Fumio Kageyama Tetsuya Tachihata Yasuharu Shimonishi
益 啓 純^{*4} 川 村 誠^{*5} 平 尾 知 之^{*6}
Hirozumi Eki Makoto Kawamura Tomoyuki Hirao

要 旨

本稿は、新型センチア用として新開発した当社初のFR車用エンジン制御+ブレーキ制御トラクションコントロールシステムについて、開発の狙い、構造、特徴及びその効果について紹介したものである。

トラクションコントロールシステムは、雪道などの滑りやすい路面での加速時、駆動輪のスリップを防止して、安定した走行性と安全性を提供する。今回開発した、EGI制御方式のエンジン制御とABSユニット一体型加圧ピストン方式のブレーキ制御を組み合わせたシステムは、非常にシンプルで軽量コンパクトなものである。

Abstract

This paper Presents the aims, structure, characteristics, and effectiveness of the company's first traction control system employing engine management and brake intervention for front-engine/rear-drive vehicles, and which was developed specially for the new SENTIA. Traction control systems provide stable driveability and safety by preventing the slippage of the driving wheel during acceleration on snowy roads and other slippery road surfaces. Combining engine management using an EGI control method and brake intervention with an ABS integrated pressure piston, the system developed here is very simple and thus could be made light and compact.

1. はじめに

最近の安全向上技術の普及はめざましく、とりわけ、エアバッグ、ABSの標準装備化への急激な動きは周知の通りである。

また、滑りやすい路面でのアクセル操作性の向上による、走行安定性、安全性を向上させる技術としてのトラクションコントロールシステム（以下TCS）も、注目を集め始めている。

本稿では、このような状況を踏まえて新開発した新型センチア用TCSの開発のねらい、構造、特徴、及びその効果について紹介する。

2. トラクションコントロールの基本概念

タイヤが路面に伝えることが出来る力（駆動力）は、タイヤ～路面間の摩擦係数と駆動輪にかかる荷重によって決まる。

一方、駆動輪に加えられる力はドライバのアクセル操作に基づくエンジン出力によって決まる。このことより、タイヤの回転運動方程式として(1)式のように与えられる。

$$I \dot{\omega} = k \cdot i \cdot T - \mu \cdot W_r \cdot R \quad (1)$$

I ：回転慣性 T ：エンジントルク
 ω ：タイヤ回転角速度 μ ：摩擦係数
 k ：T/M伝達効率 W_r ：駆動輪荷重
 i ：ギヤ比 R ：タイヤ動半径

したがって、ドライバのアクセル操作によって、路面への伝達限度を越えた駆動力を発生させた場合、駆動輪はスリップを生じる。

この時のスリップ率は、(2)式で表される。

$$S = (V_w - V) / V_w \cdot 100 \quad (2)$$

S ：スリップ率 (%)

V_w ：駆動輪回転速度 V ：車両速度

次に、旋回中のタイヤに駆動力を加え、タイヤ

* 1, 2 技術開発部 * 3 第1車両設計部 * 4, 5 電子技術開発部 * 6 第1車両実研部

がスリップした場合の、タイヤに発生する力と車両に及ぼす影響について述べる。

タイヤは、前後方向の駆動力と横方向の横力を発生するが、これらをスリップ率との関係で示すと、図1のような特性を持つ。

したがって、車輪の過剰なスリップは、駆動力の低下と横力の大幅低下を招く。FR車のコーナリング中での加速を考えた場合、後輪の横力の低下によりオーバーステア方向のヨーモーメントが増大し、限界を超えると車両スピンにいたる。(図2)

以上のような車両特性に対し、TCSは駆動輪のスリップを適切な領域に維持し、車輪と路面間の駆動力及び横力をバランス良く確保しようとするものである。

すなわち、TCSは車両速度を表す従動輪(FR車では前輪)と駆動輪の速度を比較し、スリップを判断し、目標のスリップとなるよう駆動力の低減、調整を行う技術である。(図3)

この様な基本概念のもと、現在各社で商品化されているトラクションコントロールシステムのシステム構成状況を表1に示す。

これら、システム構成だけを見ても、エンジン制御の方法、ブレーキ制御の方法など、車両の特質、コンセプトの違いからさまざまな対応方式が存在する。

3. システム選定

3.1 開発前提条件

新型センティアのTCS開発にあたって、「実用性能を重視した、シンプル且つ、低コストで全車装着が可能なシステム」を目標に独自のシステム選定を目指した。

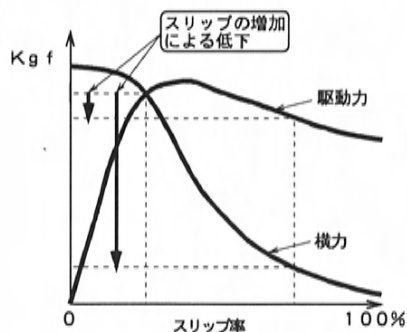


図1 スリップ率と横力&駆動力

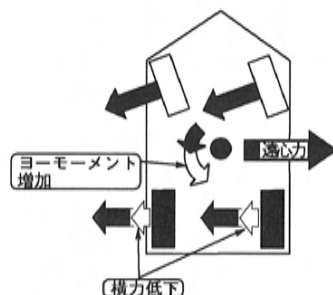


図2 横力と車両挙動

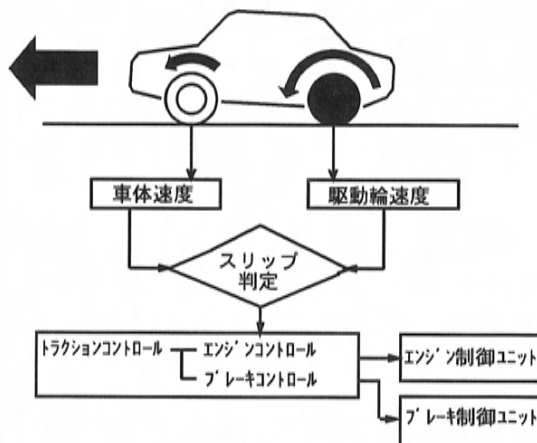


図3 TCS制御概念

表1 各社のシステム構成例

| 駆動方式 | 制御方式 | | | | | | |
|------|-------|----|---------|----------|----------|------|----------|
| | エンジン系 | | | ブレーキ系 | | 駆動系 | |
| | FR | FF | スロットル | EGI | 過給圧 | 左右統合 | 左右独立 |
| | | | サブスロットル | メインスロットル | 燃料カット/点火 | 過給圧 | アクチュムレタ付 |
| | | | | | | | アクチュムレタ付 |
| | | | | | | | 無 |
| | | | | | | | AT変速 |
| | | | | | | | デフ |
| | | | | | | | LSD組み合わせ |
| A | ○ | | | | ○ | ○ | |
| B | ○ | | | ○ | ○ | | |
| C | ○ | | ○ | | | ○ | |
| D | ○ | | | ○ | ○ | | ○ |
| E | ○ | | ○ | | ○ | | |
| F | ○ | | | ○ | ○ | | ○ |
| G | ○ | | ○ | | | | ○ |
| H | | ○ | | ○ | | | |
| I | | ○ | | ○ | | | ○ |
| J | | ○ | | | | | ○ |
| K | | ○ | | ○ | | | ○ |
| L | | ○ | | ○ | ○ | | |
| M | ○ | | ○ | | ○ | | ○ |
| N | ○ | | ○ | | ○ | ○ | |
| O | | ○ | | | ○ | | ○ |
| P | | ○ | | | ○ | | |

表2 TCS用エンジン制御主要方式

| TCS用エンジン制御方式 | | 主な構成 | 制御性 | MTF | 重量 |
|--------------|------------------|--|-----|-----|----|
| TCS | スロットル制御 | 2弁式 (87.28r/min) | ○ | ○△ | △ |
| | 1弁式 (47.78r/min) | 77mm-ボム付き | ○ | ○ | ○△ |
| | 77mm-ボム無し | 77mm-ボム無し | ○△ | △ | ○△ |
| | 77mm-ボム無し | 77mm-ボム無し | ○ | △ | ○ |
| EGI制御 | 燃料噴射/点火時期制御式 | 燃料噴射の電圧制御 点火時期の電圧制御 点火時期の電圧制御 点火時期の電圧制御 | ○△ | ◎ | ◎ |
| | 燃料噴射/点火時期制御式 | 燃料噴射の電圧制御 点火時期の電圧制御 点火時期の電圧制御 点火時期の電圧制御 | ○△ | ◎ | ◎ |
| 過給圧制御 | 過給圧リリーフ式 | ターボチャージャー 過給圧リリーフ式 過給圧リリーフ式 過給圧リリーフ式 | △ | ○ | ◎ |
| | 過給圧リリーフ式 | ターボチャージャー 過給圧リリーフ式 過給圧リリーフ式 過給圧リリーフ式 | △ | ○ | ◎ |

背景としては、TCSを単に上級グレード車用の高価な安全性訴求技術としてではなく、FR車の低μ路実用走行性、安全性向上技術の通常装備として、標準装着が可能な価格設定（つまり、従来のABSの値段でTCSも付加）が出来、より多くのお客様に提供したいと考えたことが上げられる。

一方、従来型センティアからの大幅な部品共用化を進める目標もあり、パッケージング上大きな変更を出来るだけ少なくする必要性も開発の前提条件であった。

以上のことを踏まえ、マツダ独自の「FR車用エンジン制御+ブレーキ制御」方式によるトラクションコントロールシステムを選定した。

以下にシステム選定にあたって考慮した主要項目について述べる。

3.2 エンジン制御方式の選定

エンジン制御方式には多様な方式があり、それぞれ得失がある。（表2）その中で、追加デバイスの一切不要なEGI制御方式がコスト、レイアウト面で非常に有利であり、この方式を選択した。

この方式での課題は、信頼性への影響が大きい排気系温度の変化に対し、信頼性を確保しつつTCSの制御性を両立させることであった。

これらについて、開発初期から冬季の北海道テストで、TCS作動時のエンジン使用回転域の頻度解析を進めながら、エンジン制御のセッティングを行うことで、信頼性と商品性の両立を計った。

頻度解析の一例として、図4にTCS作動時のエンジン回転数頻度を、図5にTCS作動時のアクセ

ルペダル開度頻度を示す。このようなデータを基に、排気系温度の変化など重視すべき領域を把握し、適切な目標設定を行ないながら開発を進めた。

3.3 ブレーキ制御方式の選定

現在、TCSブレーキ制御用液圧発生方法として、知られている主な方式を表3に示す。

このように多様な方式がある中で、今回マツダ独自アイデアの“アキュムレータレス、ABSユニット一体型加圧ピストン方式”での油圧ユニットを開発した。

FR車のTCSにおける、ブレーキ制御は応答性

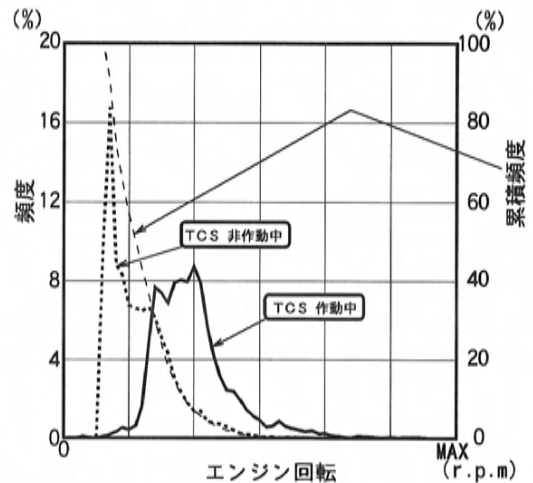


図4 TCS作動時のエンジン回転数頻度

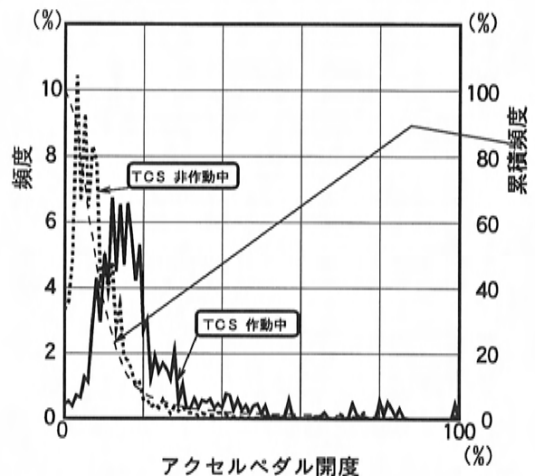


図5 TCS作動時のアクセルペダル開度頻度

が重要であり、その応答性確保のためにアクムレータを持つものが多い。

しかし、専用のアクムレータ&パワーソース（モータ、ポンプ等）の搭載は、コスト/重量/パッケージング面からインパクトが大きい。

このような点を踏まえ、方式選定に当たって、まず、実用性能達成のために必要な応答性と、達成方法の検証を行った。

図6にその検討の一例として、圧雪路旋回加速時（車速80km/h、半径200m）の、ブレーキ応答性と安定性の評価例を示す。ブレーキの増圧方式ごとに、遅れ時間と昇圧速度が異なり、それに応じて駆動輪のスリップ量に差が生じ、安定性の評価指標であるヨーレイトに有意差が現れているのが分かる。このような検討を重ね、目標性能とコストその他の前提条件とのバランス取りを行い、前述の、アクムレータレス、ABSユニット一体型加圧ピストン方式を選定した。

4. システム構成

4.1 構造と特徴

図7にシステム構成を示し、以下に機能及び特徴を説明する。

(1)コントロールユニット

車輪速情報から、駆動輪のスリップ状態を計算しエンジンコントロールユニットへトルクダウン要求信号と、ブレーキ油圧ユニットにブレーキ制御信号を出力する。

ユニットはABSコントロールユニットと一体化し、コンパクト化と低コスト化を実現した。

図8に示すECU内部のCPUは、制御用16bitマイコ

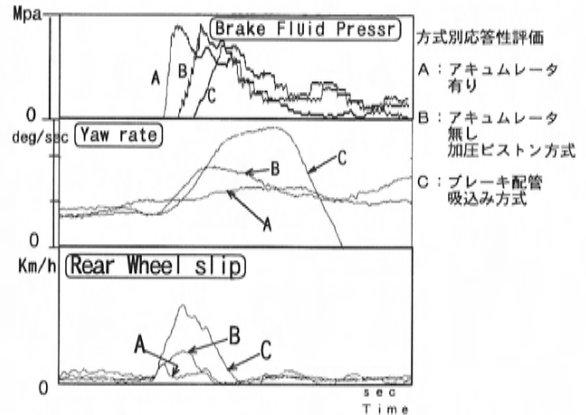


図6 ブレーキ応答性と安定性の評価

ンと監視用4bitマイコンで構成している。更に故障自己診断結果を記憶する不揮発性メモリ（EEPROM）を持ち、故障発生時の診断作業も容易になっている。

(2)エンジンコントロールユニット

通常のエンジン制御に加え、TCS側からのエンジントルクダウン要求信号をうけて、燃料制御（以下F/C）、点火時期制御を行っている。

また、TCS側へスロットル開度（アクセル開度）、エンジン制御状態信号等を出力する。

(3)ブレーキ油圧ユニット

コントロールユニットからの制御信号を受けて、後輪（駆動輪）の、ブレーキ制御を行う。ユニットはABS制御部分との共用化を図りながら一体化構造とすることで、コンパクト化と低コスト化を実現した。（図9）

ユニット上部のブロックがTCS用ブレーキ液圧発生機構であり、加圧ピストン、リザーバ、ソレノイドバルブ等を内蔵している。

下部のブロックは、ABSと共有するブレーキ液圧調整機構で、4輪の増圧・減圧用ソレノイド、減圧リザーバ、ポンプ、モータ等からなる。下部のブロックでTCS用に新たに対応したのは、TCS用ポンプ（3rdポンプ）を付加したこと及び、後輪の制御チャネルを左右独立としたことである。

(図10)

(4)TCSスイッチ・ランプ

ドライバのニーズに応じてON/OFFの切り換え可能なスイッチとOFF状態を表示するOFFランプを設けた。更に、TCS作動状態を知らせるイ

表3 TCS用ブレーキ液圧発生方式

| TCS用ブレーキ液圧発生方式 | | 主な構成 | 応答性 | レイアウト | 重量 |
|----------------|--------------|--------------|-----|-------|----|
| TCS用ブレーキ液圧発生方式 | TCS用ポンプ式 | M/V式 | ○△ | ○△ | ○ |
| | | プランジャ式 | △ | △ | △ |
| | ポンプ式 | ABS共用モーター一体式 | ○ | ○ | ○△ |
| | | 別体専用モーター式 | ○ | △ | △△ |
| | ABS共用ポンプ式 | ハイドロブースター一体式 | ◎ | ○△ | △△ |
| | | ポンプモーターアドオン式 | ◎ | △ | △△ |
| | クローズドサーキット式 | ブレーキ配管吸込み式 | △ | ○△ | ○ |
| | | 補助リザーバ配管吸込み式 | ○△ | ○ | ○△ |
| | セミオープンサーキット式 | リザーバ吸込み式 | ○ | △ | ○ |
| | | リザーバ付ポンプ式 | ○ | △ | ○ |

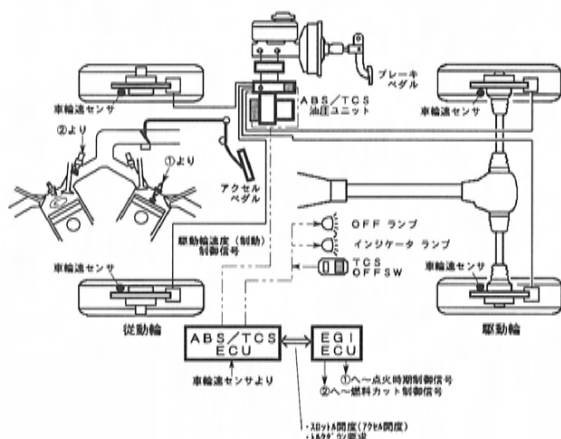


図7 システム構成

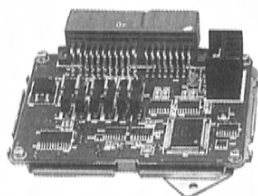


図8 ECU外観写真

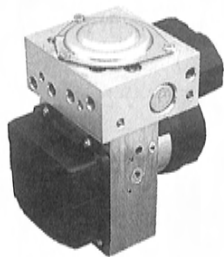


図9 油圧ユニット外観写真

インジケータランプを設けた。

4.2 制御概要

制御ブロック図を図11に示す。まず、4輪の車輪速度情報及びドライバ操作情報（スロットル開度信号）等から、車両の走行状態を把握し、その状況に合わせた制御目標値、すなわち制御開始スリップ値及びスリップ目標値を設定する。

次に、駆動輪のスリップ量が、設定された制御開始値を越えるとスリップ判定がなされ、TCS制御を開始する。そして、スリップ目標値に対して

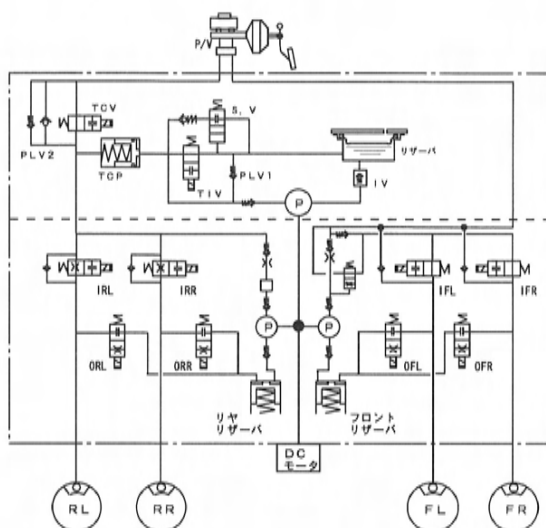


図10 油圧ユニット内部回路

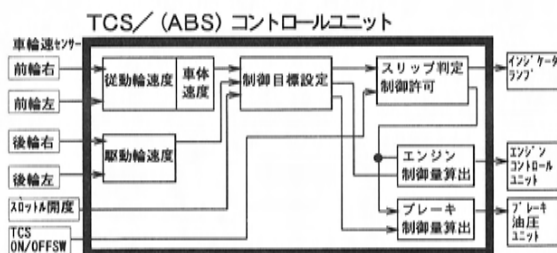


図11 制御ブロック図

駆動輪スリップ量の偏差，変化量に応じたエンジンのトルクダウン量，及びブレーキ制御量の算出を行う。

こうして、算出した制御量はエンジンに対する、トルクダウン要求信号として、エンジンコントロールユニットへ送信される。エンジンコントロールユニットは、その要求レベルに応じ、F/C気筒数及び点火時期制御量を決定し、トルクダウン制御を実行する。

一方、ブレーキ制御は駆動輪に制動（負の駆動力と考えることができる）を掛け、スリップを素早く収束させる。

更に、片輪が低 μ 路面、他方が高 μ 路面をまたいで走行する場合（スプリット μ 路）、低 μ 路面側の車輪だけがスリップし、エンジン制御だけでは十

分に対応出来ない。ところが、左右独立のブレーキ制御はスリップしている車輪だけに制動を掛けることができる。つまり、低 μ 路面側のスリップを押さえデファレンシャルの差動制限を行い、高 μ 路面側で得られる駆動力により、スムーズな発進加速が可能となる。

以上が制御の概要であるが、実際は走行状態、路面環境は変化に富んでおり、それらの環境にきめ細かく対応するよう、各種の判定、補正を組合せ全体の制御を構築している。

5. 効果

冬用タイヤがスパイクタイヤからスタッドレスタイヤに移行してきた近年、特に、交差点等の停止・発進の繰り返されるような場所では、アイスバーン以上のアイスバーンと言われる「ミラーバーン」が出現し、ますます走行環境は厳しくなっている。こうした環境は、雪国では日常的に遭遇するシーンである。

以下に、制御効果の体感し易い低 μ 路面でのTCS ON/OFFの効果について述べる。

5.1 安定性

図12は圧雪、アイスバーン路面の交差点での発進からコーナリングにかけての安定性確保の効果を表し、コーナリング中にアクセルペダルを少しラフに操作した時の様子である。TCS ONではほぼ狙い通りの軌跡で旋回できるのに対し、TCS OFFでは一瞬でオーバーステア状態となり、ベテラ

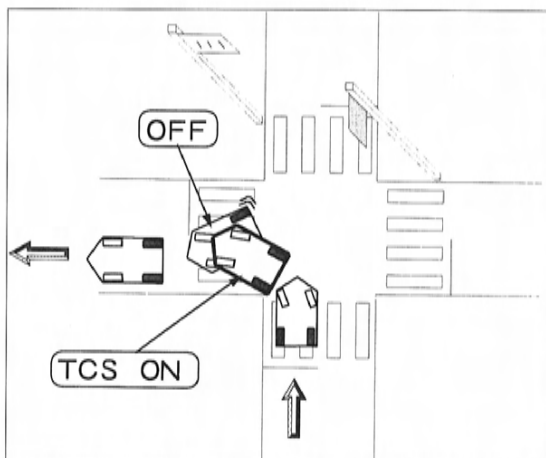


図12 交差点コーナリングイメージ

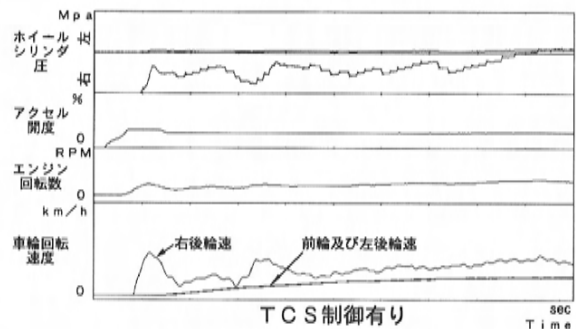
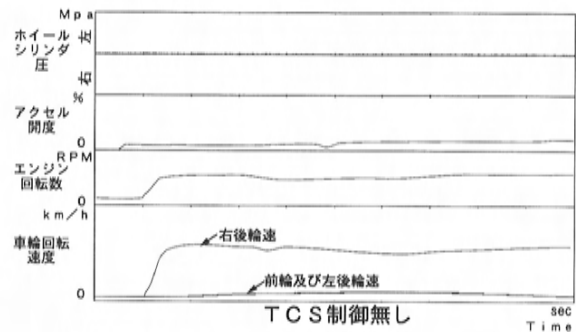


図13 スプリット μ 路発進加速

ンドライバの上手なハンドル修正操作（カウンタステア）とアクセル操作が無ければ、容易に車両スピンを発生する。

5.2 加速性

図13は、やや登り勾配のあるスプリット μ 路での発進加速を比較したものである。TCS ONではブレーキ独立制御により、空転している車輪にブレーキを掛け、高 μ 側車輪に駆動力を伝え発進加速出来ている。一方、TCS OFFでは慎重なアクセル操作を行っても、低 μ 側の車輪が空転を始め、デファレンシャルの差動により、高 μ 側の車輪に駆動力が伝えられず、この評価例のように、路面状態によっては発進加速出来ないことがある。

この様に、TCSの採用により、滑り易い路面での発進/加速時のアクセル操作性と安定性が大幅に向上し、ドライバがアクセル操作に対し、過度に神経を使うことなく、安全性の向上につながる事ができた。

6. おわりに

以上、新型センティアのTCSの概要について述べてきたが、当初目標にした「実用性能を重視し

た、シンプル且つ低コストのシステム・・・」を開発するという目標を達成出来たと思っている。これは、先行開発の時から、社内外関係者の協力により達成したものであり、この場をかりて深く感謝致します。

また、この領域の性能向上はまだまだ続いていくことと思いますので、今後も微力ながら開発に尽力していく所存です。

■ 著 者 ■



景山文雄



立畑哲也



下西康晴



益 啓純



川村 誠



平尾知之

小特集：センティア

3

新型センティアのオートエアコン制御システム Auto Air-conditioning Control System for New SENTIA

辻 頼 一^{*1} 山口 秀 夫^{*2} 浮 田 英 治^{*3}
Yorikazu Tsuji Hideo Yamaguchi Eiji Ukita
麻 生 博 史^{*4} 遠 野 安 広^{*5} 大 坪 善 徳^{*6}
Hiroshi Asou Yasuhiro Enno Yoshinori Ohtsubo

要 旨

新型センティアのオートエアコン制御は、多重伝送システムを採用し信頼性の向上を図るとともに、特に乗員の快適性確保に重点をおいた新規制御ロジックを採用している。また、サービス性の向上のためにフェイルセーフ機能・故障診断機能の改善も行っている。

本稿では、新型センティアに搭載したオートエアコン制御システムについて、その構成と、制御の特徴・性能を中心に紹介する。

Abstract

The auto air-conditioning control system brought into new SENTIA introduced the multiplexing system to improve the reliability, and the new control logic system to assure the passenger comfort. In addition, failsafe and failure diagnostic functions were improved for the better serviceability.

This paper presents the design structure, features and performance of the auto air-conditioning control system.

1. はじめに

自動車のオートエアコン制御には、単に車室内の温度維持といった車室内環境を一定状態に制御する機能に留まらず、その過程においても乗員に違和感・不快感を抱かせることなく、常に乗員の快適性を保つように温度、気流等を制御する機能が要求されている。

「乗る人すべてに、快適な室内環境を提供する」ことを目指し、新型センティアに搭載したオートエアコン制御システムでは、多重伝送システムの採用やセンサ類の改善といったハード面での信頼性・性能の向上を行うとともに、ソフト面において、新規に開発した制御ロジックを採用し、乗員の快適性確保に特に重点をおいた制御を実現している。

ここでは、オートエアコン制御システムの構成

および制御の特徴・性能について紹介する。

2. 開発の狙い

従来のオートエアコン制御では、まず車室内外の状況により吹出温度を決定し、室温維持に必要な吹出風量を決定温度に合わせ込むといった、室温維持に主眼をおいた制御方法をとっている。このため、快適性は、付加的にパターンを補正するといった方法により実現するように構成されており、状況により必ずしも十分な快適性が実現できない面があった。

また、エアコン作動時の燃費低減の観点からも、冷房性能確保とエアコンシステム省動力化のマッチングが図り切れていない面があった。

このような課題に対し、制御ロジックの開発においては、「室温維持と快適性の両立の実現」を基本思想とし、

* 1, 2 第1車両設計部 * 3 *技術開発部 * 4 車両技術実研部 * 5, 6 電子技術開発部

(1)車室内を目標の設定温度に維持するための必要熱量の管理機能と、乗員を快適にするための吹出温度と吹出風量の決定機能を同時に満足する制御の実現

(2)冷房性能を損なうことのないエアコンシステムの省動力化制御の改善を開発の主な狙いとした。

更に、品質・サービス性向上の面から、

(3)フェイルセーフ機能と故障診断機能の充実を図っている。

ハード面では、多重伝送システムの機能活用と、センサ類の改善による、

(4)通信信頼性の向上

(5)制御性能の向上

を開発の狙いとした。

3. 制御システム構成

3.1 全体構成

図1にオートエアコン制御に関わる各種信号の入出力を含めて、制御システムの全体構成を示す。

制御システムの核となるヒータコントロールユニットとTWS 2 (Total Wiring System 2) ユニットは、TWS 1ユニットとともに多重伝送システムを構成しており、オートエアコンの制御機能に加え、ドアロックやオートライトコントロール等の個別車両制御機能も、各ユニットが分散して有している。

オートエアコンの基本制御機能はTWS 2ユニットが有しており、水温センサ、外気温センサ、

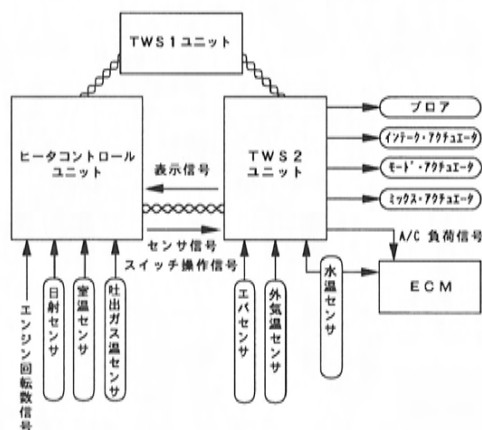


図1 システム構成

エバセンサの信号検出、プロア及び各アクチュエータの駆動制御等を行っている。ヒータコントロールユニットは、各スイッチ操作・制御状態の表示機能に加え、室温センサ、日射センサ、吐出ガス温度センサの信号検出を行っており、スイッチ操作信号、表示信号、センサ信号のやりとりを多重通信で行っている。

ヒータコントロールユニットは、更に、エンジン回転数信号を取り込んでおり、この信号も多重通信によりTWS 2ユニットに伝送し、オートエアコン用の制御信号として活用している。

3.2 センサ

新規開発の制御ロジックでは、センサ検出値を快適性のファクタとして活用しており（詳細後述）、特に、日射センサ・室温センサでは検出感度に主眼をおいた改善を図っている。

日射センサは、乗員への直射日光が快適性に及ぼす影響を制御に反映させるために、日射センサの指向特性を改善し、図2に示すように、従来品と比較して、乗員に直接日射が当たる状態である低入射角（高度20～30°）での相対感度を高くしている。

また、この日射センサは、フィルタ特性・電気特性の改良により、オートライトセンサとしての機能も有しており、オートライトコントロール制御にも用いている。

室温センサでは、取付位置をヒータ風の影響を受けにくい上方部位にするとともに、従来タイプに比べ、熱時定数が小さく応答性の良いセンサを採用し、空調の作動状態に応じて制御側で検出値の補正を行って、実室温との相関性を高めている。

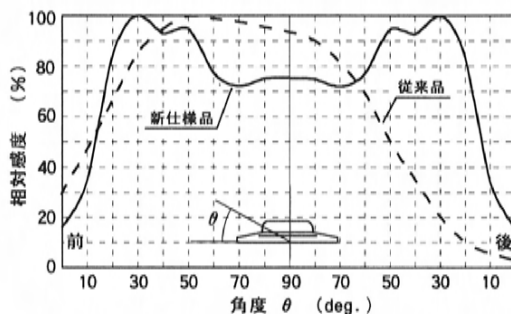


図2 日射センサ指向特性

4. 制御の特徴・性能

4.1 快適性向上

(1) 温熱感の快適性

ある状態の車室内の温度を所定の温度に調整し、あるいは維持するためには、車室内外の温度差による伝導熱・輻射熱・車両内部の発生熱・その他の熱の総和である車両熱負荷 Q を相殺する熱量を、空調ユニットにより車室内に供給すればよい。空調ユニットから車室内に吹き出される空気の温度を T 、風量を V とし、同量の空気が温度 Tr として車室外に放出されたとすると、 Q は次式で表すことができる。

$$Q = C_p \cdot \gamma \cdot V (Tr - T)$$

ここで、 C_p は空気の比熱、 γ は空気の比重、 Tr は車室内温度である。

つまり、必要とする熱量に対する吹出風量と吹出温度の組み合わせは、図3に例示した曲線 Q のように、幾通りも成立する。

一方、乗員が空調から受ける快適感、単に暑さ・寒さを感じさせないことだけではなく、例えば、暑さや日射が変化した時などには、顔に受ける吹出気流が心地良きとなる場合もある。吹出風量と吹出温度の組み合わせを決定する際には、この快適感を考慮する必要がある。

暑い・暖かい・涼しい・寒いといった、乗員が車両という周囲環境から感じる感覚（温熱感）は、主に図4に示すような要因によるものである。

新型センティアのオートエアコン制御では、図4の内、※印で示した要因を元にして、それぞれ

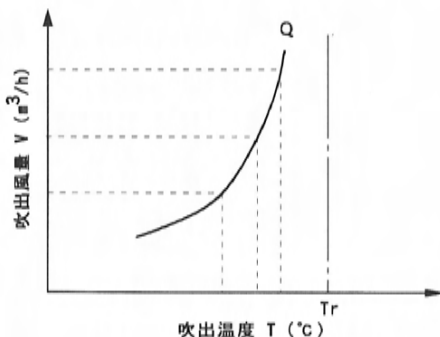


図3 必要供給熱量曲線例

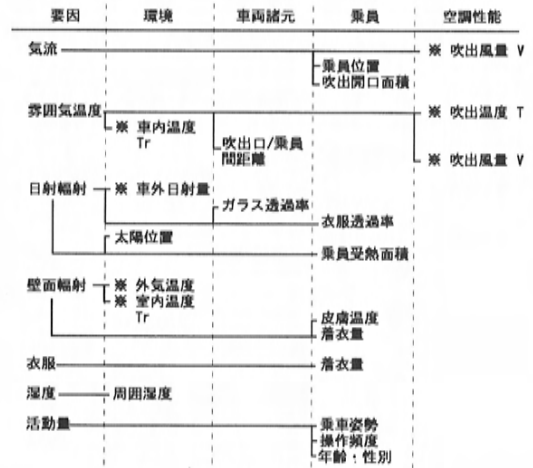


図4 温熱感影響要因

の要因が快適感に及ぼす影響度合いを実験的に求め、乗員が感じるであろう快適感の程度予測値 F を上記要因の関数として定量化し、 F が最も快適な値となる吹出風量・吹出温度の組み合わせを、必要供給熱量曲線 Q 上から選択するように制御を行っている。

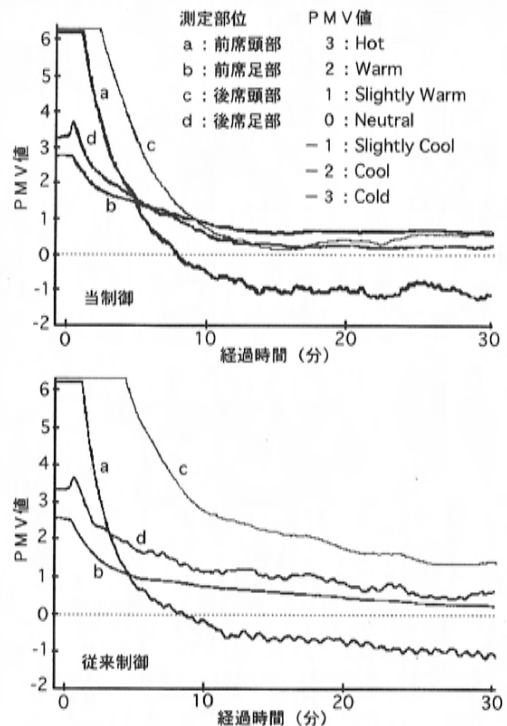


図5 PMV値測定結果比較

図5は、外気温度30℃、湿度75%、炎天下放置後にエアコンをオート起動した場合の、乗員の各部位の快適性の変化を、適度な温度環境の指標であるPMV (Predicted Mean Vote) ⁽¹⁾により測定した例を示したものである。前席の頭部が涼風を感じる -1 (Slightly Cool) に、その他の部位が中立状態である 0 (Neutral) に収束するまでに、従来制御 (下図) では30分以上要しているのに対し、当制御 (上図) では、約10分で収束しており、快適な環境を確保するという面の性能が向上している。

(2)起動時の快適性

温熱に関する快適性の程度予測値Fは、エアコン起動時のウォームアップやクールダウン制御においても用いている。起動時の風量上昇をFに基づいて制御することで、例えば暖房起動時に、まだ暖まっていない冷風が吹き出すことにより快適性を損ねるといったことなく、速やかに快適性を確保するようにしている。

図6は、ウォームアップ初期の運転席足元のPMV変化を測定した結果である。水温の上昇に応じブロー風量を制御する従来制御に比較して、当制御は、暖かい温度環境へ早期に移行している。

(3)音感の快適性

ブローに起因する音に関して、乗員が感じる音感の快適程度を予測値として定量化し、制御に取り入れている。これによって、特にクールダウンといった過渡期に、音による快適性低下を招かないように制御を行っている。

また、当制御では、吹出風量を制御指標とし、

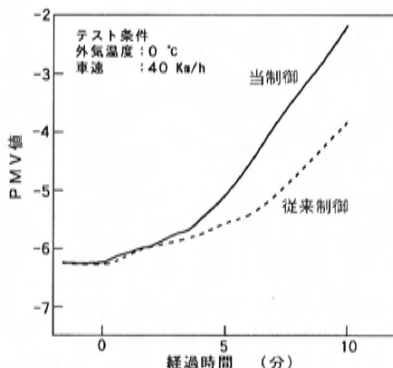


図6 起動時のPMV値測定結果

吸込口や吹出口の選択状況に関わらず必要な吹出風量が得られるようにブローを制御しており、吸込口や吹出口の切替に伴う騒音変化はほとんど感じられないようにしている。

図7・図8は空調騒音とブロー電圧、空調騒音と吹出風量の関係を示したものである。

図7で明らかのように、同じブロー電圧では、吸込口が外気導入 (Fresh) の時に比べ内気循環 (Rec) 時には、空調騒音値が6 dB程度上昇する。これは、外気導入時と内気循環時とでは、主に、通風抵抗の差により発生するブロー風量が異なるために生じるものである。従来制御では、ブロー

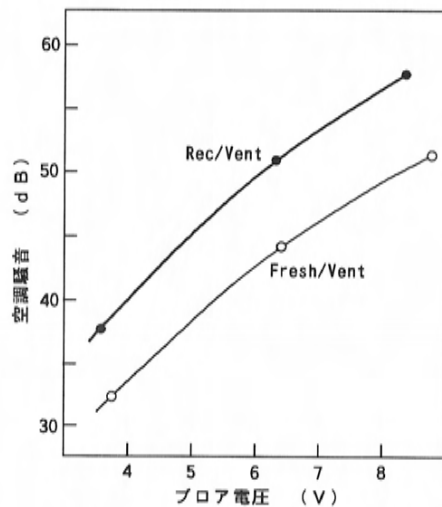


図7 空調騒音—ブロー電圧特性

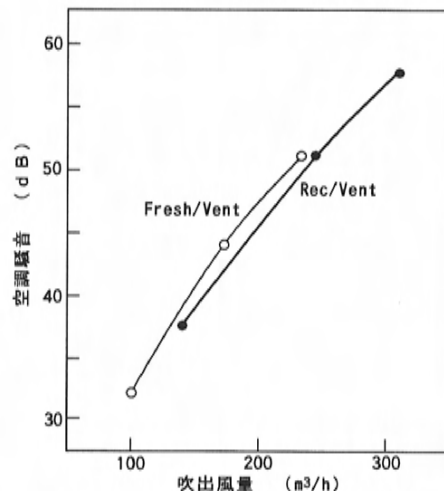


図8 空調騒音—吹出風量特性

電圧を指標として風量制御を行っているため、内外気切替時にもブロア電圧は基本的に変化せず、内気循環に切替わる際には騒音悪化を引き起こしていた。これに対し、当制御では、吹出風量を制御指標とすることで、吸込口や吹出口の切替に伴う風量変化が基本的に無く、切替時の騒音変化を防止している。(図8参照)

4.2 省動力

新型センティアのオートエアコン制御では、車両熱負荷値を厳密に求めるようにし、その値に基づいて制御を行うことで、従来以上に冷房性能確保と省動力化の両立を図っている。

その一例として、内外気切替制御には、窓の曇り防止を考慮した上で、車内と車外の車両熱負荷に基づき省動力側を選択する制御ロジックを採用している。表1に、この制御の省動力効果を、従来制御と比較した例を示す。外気温度20~30℃の条件下で、コンプレッサの稼働率、コンプレッサ作動時の消費トルクは、共に従来制御よりも低減しており、エアコン作動による燃料消費量はほぼ半減している。

また、当制御では、コンプレッサの作動トルクに相応したエアコン負荷量を随時算出し、その結果をエアコン負荷信号としてECM (Engine Control Module) に送出しており、エアコンの負荷状態に応じた細かなエンジン制御補正を、ECM側で行うことができるようにしている。

4.3 故障対策の充実

以上の特徴に加え、このオートエアコン制御では、例えば、暖房が必要な状態でエバセンサが故障した場合には、故障のために熱風が吹き出すといった不具合を防止するだけでなく、暖房快適性が損なわれないように他のセンサ値で補ってエ

ミックス制御を行うように構成する等、フェイルセーフ機能の全面見直しを行っており、各センサ・アクチュエータあるいはユニットに万が一故障が発生した場合においても、機能低下が最小限に抑えられるようにしている。

また、多重伝送システムを生かし、ヒータコントロールユニットのスイッチ類の故障診断機能を追加するなど、従来に比べ故障診断機能を充実させて、サービス性の大幅な向上も図った。

5. おわりに

以上、新型センティアのオートエアコン制御システムについて紹介した。

この制御システムでは、乗員の快適性向上、省動力に特徴を持たせているが、今後、市場での評価・ニーズを反映させ、空調システムとして更なる改善・進化を図って行きたいと考えている。

最後に、開発にあたり多大なるご協力をいただいたナルデック㈱に深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) ISO-7730: Moderate thermal environment -Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 1984

■ 著 者 ■



辻 頼一



山口秀夫



浮田英治



麻生博史



遠野安広



大坪善徳

表1 省動力効果比較

| | | 従来制御 | 当制御 |
|-------------------|-------|--------|--------|
| コンプレッサ稼働率 | | 96 % | 59 % |
| コンプレッサ作動時の平均消費トルク | アイドル時 | 1.8 Nm | 1.4 Nm |
| | 走行時 | 1.2 Nm | 1.0 Nm |
| エアコン作動による燃料消費量比較* | | 1.00 | 0.53 |

* 従来制御でのエアコン作動による燃料消費量を 1.00 として比較

小特集：センティア

4

新型センティアのAVセンター及びナビゲーション AV(Audio and Visual)Center and Navigation for New SENTIA

大江良二^{*1} 平佐美明^{*2} 森重直城^{*3}
 Ryoji Ohe Yoshiaki Hirasa Naoki Morishige
 濱田 康^{*4} 竹岡富彦^{*5} 中島隆志^{*6}
 Yasushi Hamada Tomihiko Takeoka Takashi Nakashima

要 旨

近年、ナビゲーションシステムやカーテレビの普及が進み、更に今春からはVICSによる道路交通情報サービスが開始され、本格的なカーAV時代を迎えようとしている。本稿はこうした時代の要請に答えるべく開発し、新型センティアに搭載したAVセンターとナビゲーションシステムの概要と、これらの特長・機能を紹介したものである。

Abstract

In recent years, Navigation system & car TV have been spread. Further more, VICS will start its road traffic information service in this spring. Age of Audio-Visualization for automobile is going to come.

In this paper, we will present the summary, features, and functions of the AV center & Navigation system for new SENTIA.

1. はじめに

より快適な車室内空間を求めるお客様に應えて、我々は様々な新技術を開発してきました。そして、車におけるAV (Audio and Visual)においても同様で、より高いニーズを満たすために進化発展に努めている。

昨今のカーオーディオの状況を見ると、CDが順調に拡大しており、ビジュアル系では、ナビゲーションの普及も手伝ってカーテレビがここ数年で急激な伸長を見せ、本格的なカーAV時代の到来を予感させる。特に、ビジュアル系(テレビやナビゲーション)は今後のカーライフにおける重要なファクターとなっている。

これから紹介するAVセンター及びナビゲーションは、このような時代の要請に答えるものであり、マツダ標準オーディオのAVの核として位置

付けられるものである。



図1 AVセンターの外観写真

* 1 ~ 6 電子技術開発部

2. AVセンターの機能概要

AVセンターの外観写真を図1に示す。

AVセンターは、5インチTFT液晶ディスプレイにて下記機能の表示、及びその周辺に配した操作ボタンによる機能の操作が可能である。

- (a) テレビ（4本アンテナダイバシティ機能、音声多重機能付き）
- (b) AM/FMラジオ（ダイバシティ機能）
- (c) ロジックコントロールカセットデッキ
- (d) サウンドコントロール
- (e) ナビゲーションコントロール
- (f) CDチェンジャコントロール
- (g) 外部AV機器の再生（映像/音声）
- (h) 道路交通情報受信
- (i) 時計

また25W×4chのハイパワーアンプを内蔵している。

表示内容に関しては、シンプルかつ見やすい画面を追求した。そのAV画面表示例を図2に示す。

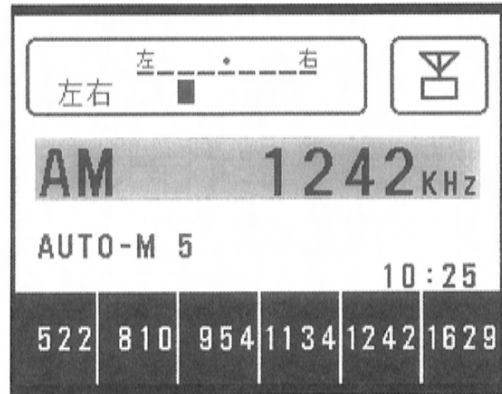


図2 AV画面表示例

3. AVセンターのユニット開発

AVセンターの内部構成の概略ブロック図を図3に示す。

3.1 ディスプレイユニット

本ディスプレイは、74、880画素（960×234ドット× $\frac{1}{3}$ ）という高画素で目に優しい低反射型高輝度5インチTFT・LCDを採用し、OSD(On Screen

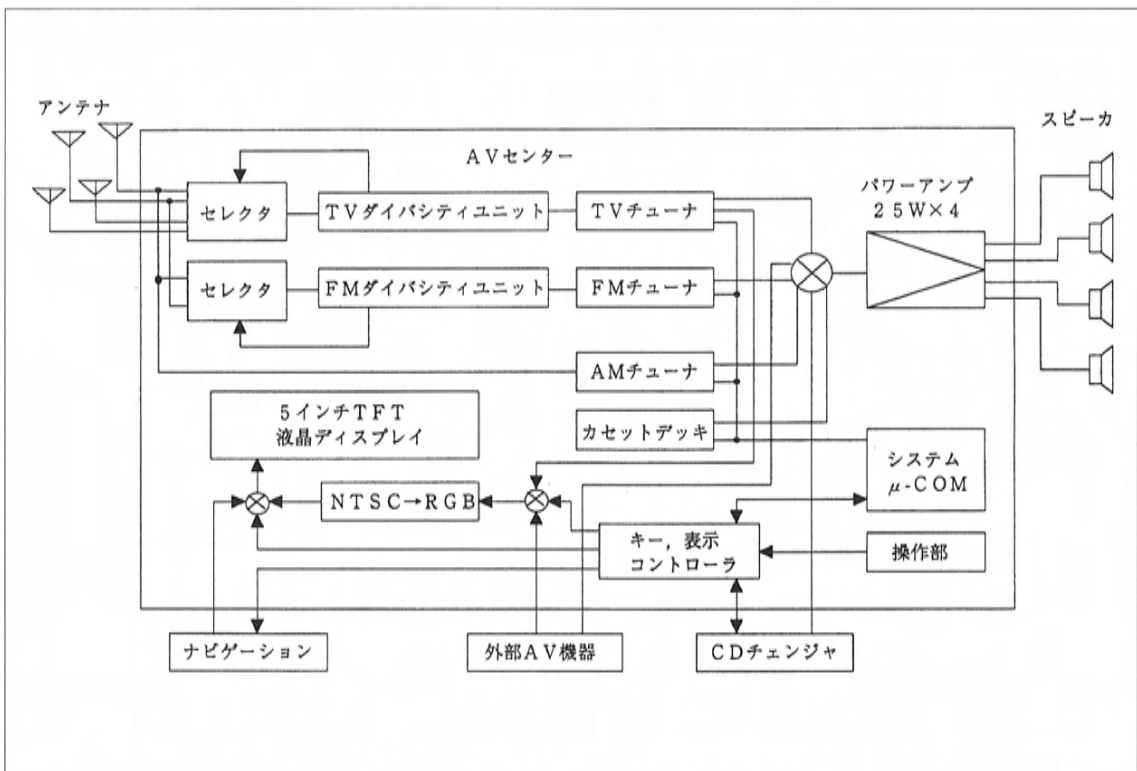


図3 AVセンターの構成ブロック図

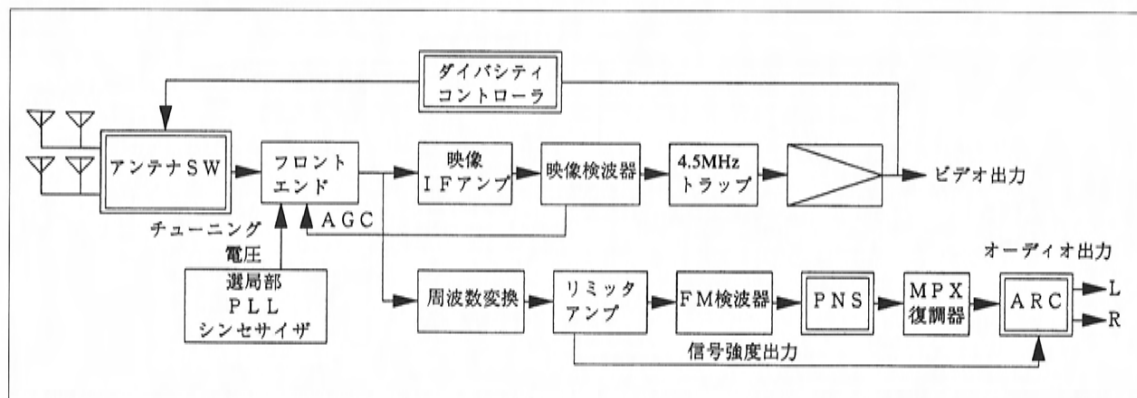


図4 AVセンターのTVチューナの構成

Display) 機能と共に視認性、操作性に十分配慮した設計を行った。カセットテープ挿排のために小型モータによるディスプレイの電動開閉機構を採用した。

また、安全性への配慮からディスプレイのフロントガラスへの写り込み防止のため、ライトコントロールフィルム (LCF) と呼ばれる特殊フィルムをディスプレイ前面に配置した。このフィルムは、外部光に対し視認性の向上にも効果がある。

3.2 TVチューナ

一般的なTVチューナはインターキャリア方式と呼ばれ、家庭用TVの多くがこの方式を採用している。この方式はSIF信号 (4.5MHz) を得るのに専用の局部発信器を持っておらず、映像信号のキャリアを利用して4.5MHzの信号を作り出す方式である。この方式だと回路の簡略化及び安定度で利点を持つが車載用としては次のような問題を持つ。

(a) 音声のS/Nが悪い

SIF信号作成に映像キャリアを利用しており映像信号の影響を受けるため、ノイズ等が出やすい。

(b) 音声の感度が悪い

弱入力時、映像キャリアのC/Nが悪化するため、音声の感度が悪化する。

(c) マルチパスノイズが大きい

映像キャリアと音声キャリアのそれぞれにマルチパスの干渉があるため、相互に影響を受ける。

上記説明した問題を全て解決するためAVセンターのTVチューナは、セパレートキャリア方式

(図4) を採用している。この方式は映像キャリアと音声キャリアを分離処理するもので、音声の復調処理に映像キャリアを利用していないため映像信号の影響が無くなり高S/Nが実現できた。更に、音声キャリアのみを処理するのはFMチューナと同じ方式であり、感度もほぼFMなみの高感度が実現できた。また、マルチパスの影響も音声キャリア波への干渉のみが問題となり、これもモノラル時は、ほぼFM放送に近い影響に抑えることができた。加えて、今回PNS (パルスノイズサプレッサ)、MPX復調、ARC (自動受信制御) の機能を1チップに構成した新開発ICを採用し高性能化と小型化を図った。

4. ナビゲーションの機能概要

ナビゲーションユニットのハードウェア構成及びソフトウェア構成を図5及び図6に示す。

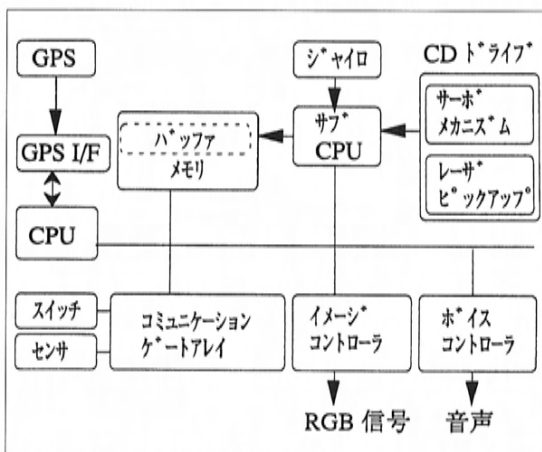


図5 ハードウェア構成

本ユニットは、ヒューマンインターフェース機能、位置検出機能、推奨ルート自動探索機能を実行する16ビットCPU (V53A) を中心とした制御部と、車両回転角センサの振動ジャイロやGPS受信機等からなる位置検出部と、CD-ROMドライブ等で構成され以下の機能を有する。

(a)ヒューマンインターフェース(地図表示)機能

ディスプレイ上への道路地図、自車位置、推奨ルート等の表示、及びカーソルキー操作により地図画面をスクロールする機能。

(b)ヒューマンインターフェース(メニュー操作)機能

キー操作によるメニュー操作や各種オプション機能の選択、設定、及び目的地、登録地を様々な施設(住所、駅、ゴルフ場等)から検索し設定する機能。

(c)位置検出機能

各種センサによる推測航法とGPSとを併用したハイブリッド位置検出機能から得た自車位置をもとに道路形状データとのマップマ

ッチングを行い、正確な自車位置を検出する機能。

(d)推奨ルート検索機能

CD-ROMに収納された道路ネットワークデータに基づき、現在地から目的地までの最短時間の走行ルートを自動的に検索する機能。また、推奨経路逸脱時には、もとの推奨経路に戻るような経路を自動的に再計算するオートリルート機能。

(e)音声案内機能

推奨ルート上を走行中、右左折する交差点に近づいた時に、曲がる方向や交差点までの距離を音声により案内する機能。

(f)システムの拡張機能

VICS等将来機能へ対応する機能。

(g)観光案内CD-ROM対応機能

専用の地図CD-ROMとは別に、特定の案内情報を充実させたCD-ROMに対応する機能。

以下の項では、これらの機能のなかで特徴的な機能を詳しく紹介する。

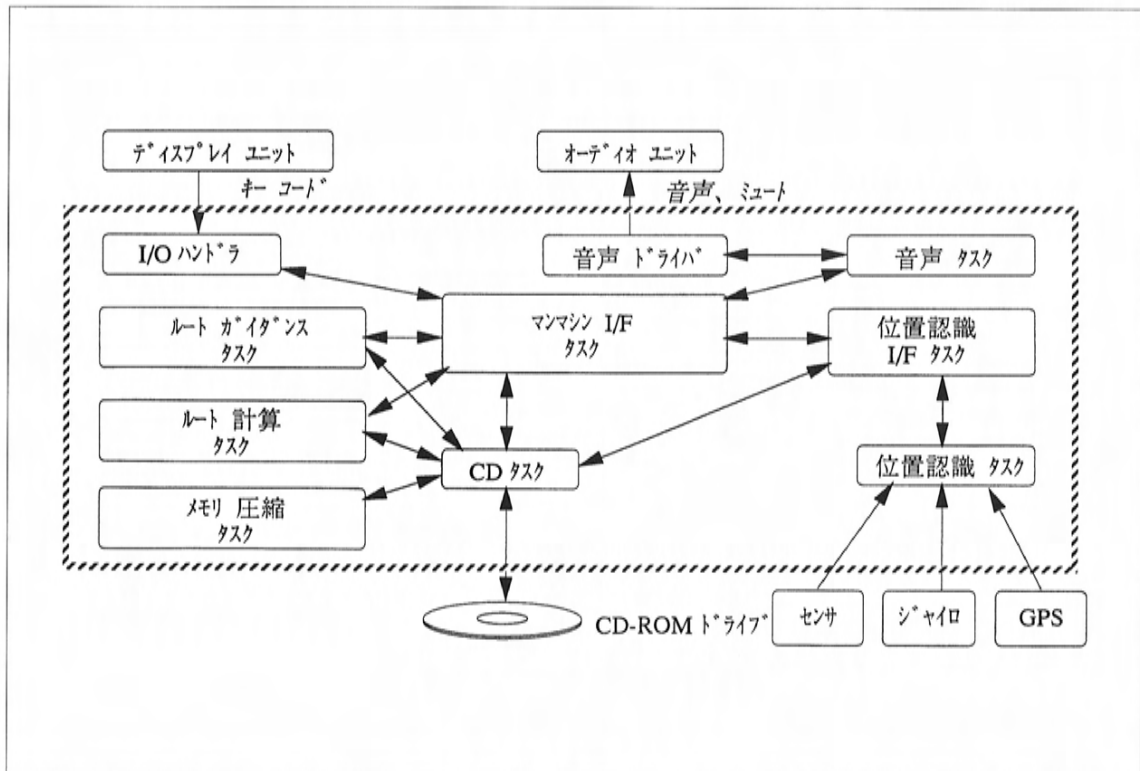


図6 ソフトウェア構成

5. ナビゲーションの機能詳細

5.1 ヒューマンインターフェース(地図表示)機能

(1)地図表示

より見やすい地図を表示するため、車両の進行方向を上にした表示(ヘディングアップモード)と北方向を上にした表示(ノースアップモード)との切り替えを可能とし、ヘディングアップモード時には、地図の回転する角度を90度、45度、30度、無段階から任意に選択できる。また、地図表示色は昼間表示色/夜間表示色がそれぞれ4種類から任意に選択できる。更に、以下のような機能を有する。

- (a)メニュー操作により自車位置をディスプレイ中央に表示するノーマル表示と、進行方向前方を広く表示し、運転者に必要なエリアを広く見せるフロントワイド表示の選択が可能。
- (b)推奨ルート走行中(経路案内時)は目的地までの残走行距離(道のり)を表示し、通常走行時は目的地までの直線距離を表示。
- (c)推奨ルートに選ばれた高速道路と一般道路の表示を、推奨ルート外の道路と区別して表示。本ナビゲーションシステムの地図表示例を図7に示す。

(2)ウインドウ表示

ディスプレイ上に別途設けるウインドウ内に自車位置付近の地図を約1/6000のスケールで拡大表示する機能。その表示例を図8に示す。

5.2 推奨ルート検索機能

本ナビゲーションシステムで実現される推奨ルート自動検索機能は、旧型センチア搭載ナビゲーションシステムに比べ経路計算時間の短縮が図られており、20km以内の近距離で15秒以内、20km以上でも30秒以内と非常に高速となっている。また、推奨経路逸脱時のオートリルート計算所要時間は数秒と更に高速になっている。更に最大3ヵ所までの経由地を設定した経路計算も可能である。

5.3 音声案内機能

音声案内機能は、高精度な位置検出機能と推奨ルート自動検索機能の上に成り立っている。正確な自車位置、走行中の道路種別・形状、交差点の

位置・形状、交差点への進行方向、交差点からの退出方向を正しく認識することによって、交差点までの距離、右左折の方向、高速道路の出入口などの案内を可能にしている。

運転者に分かりやすい案内を行うために、以下のように交差点案内の案内基準を設けている。

(1)高速道路上

- (a)本線同士の分岐である場合は、退出方向にかかわらず案内をする。
- (b)本線からランプへの進入は、退出方向にかかわらず案内をする。
- (c)退出方向以外の道路がランプまたはSA・PA行きの道路の場合は案内をしない。
- (d)高速道路から一般道路へ連絡する分岐点では、一般道路の案内基準に従う。
- (e)合流の場合は、案内をしない。

(2)一般道路上の案内

- (a)高速道路への入り口の場合は、退出方向にかかわらず案内をする。
- (b)進行方向±22.5度以内に複数の道路が存在し、その内の一つに退出する場合、退出道路とその他の道路の種別と幅員から、案内する/しないの判断を行う。

5.4 システムの拡張性

拡張メモリボードを追加することにより、ナビゲーションシステムのソフトのバージョンアップが行え、今後実施が予定されている交通情報(VICS)機能への対応等も可能なようにシステムの拡張性を持たせている。



図7 地図表示例

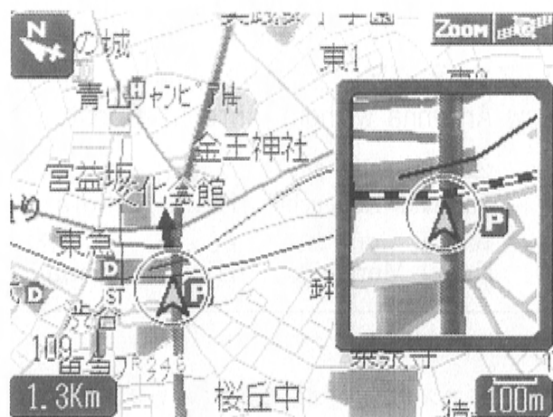


図8 ウィンドウ表示例

6. おわりに

今後は、'96年春にサービス開始されるVICSに対応し、ナビゲーション画面上に様々な交通情報（渋滞・規制等）を表示するとともに、リアルタイム交通情報を利用したダイナミックルートガイダンス等の次世代ナビゲーションシステムの開発を行っていく必要がある。

最後に、開発にあたって多大なご協力をいただいたパイオニア㈱、住友電気工業㈱その他、社内外の方々に感謝の意を表します。

■ 著 者 ■



大江良二



平佐美明



森重直城



濱田 康



竹岡富彦



中島隆志

小特集：センチア

5

ラジオ／テレビ兼用アンプレスガラスアンテナの開発 Development of Dual Radio and TV Window Antenna without Antenna Boosters

重 田 一 生^{*1} 谷 口 龍 昭^{*2} 久保田 健 治^{*3}
Kazuo Shigeta Tatsuaki Taniguchi Kenji Kubota
竹 岡 富 彦^{*4} 森 重 直 城^{*5} 飯 島 浩^{*6}
Tomihiko Takeoka Naoki Morishige Hiroshi Iijima

要 旨

マツダは、独自の容量装荷型ガラスアンテナの技術を進化させ、アンテナアンプを必要としないラジオ／テレビ兼用ガラスアンテナを設計する技術を開発し、世界で初めて商品化することに成功した。この新しいガラスアンテナの開発により、従来のガラスアンテナシステムと比較して2本のアンテナ数の削減（6本→4本）、6個のアンテナアンプの廃止、開発期間の短縮（従来比の1/3に短縮）を可能にした。

本稿は、この新しく開発したラジオ／テレビ兼用アンプレスガラスアンテナの設計方法と新型センチアへの採用事例について報告したものである。

Abstract

We improved our original capacitance-loaded window antenna technology and developed a technology for designing a dual radio and TV antenna that does not require antenna boosters, and then became the first in the world to apply this antenna to production vehicles. These new technologies for window antennas make it possible to reduce the number of antennas by two, to abolish the use of 6 antenna boosters, and to reduce the time required for development by two-thirds. This paper reports on the radio and TV window antenna design methodology and its application in the production of the new SENTIA.

1. はじめに

近年、車載テレビが増加し、1996年のVICS商用化を契機に一段と装着台数が伸びると予測されている。

一般に、車載テレビにはポールアンテナもしくはガラスアンテナが用いられている。

ポールアンテナは、受信性能は良いが、車載時の見映えが良くない／風切り音の発生／折れ曲がり等の問題があり、テレビ用アンテナとして標準装備されている例は稀である。

一方、ガラスアンテナには、これらポールアンテナの抱える問題はなく、標準装備品として数多くの実績がある。しかし、受信性能を確保するためにアンテナアンプを必要とし、さらにアンテナ設計も極めて複雑である。このため、アンテナアンプ使用によるコストアップや混信等の弊害を余

儀なくされるとともに、多くの開発期間を要するという課題を抱えている。

そこで、マツダは、アンテナアンプを用いないで従来のアンプ付きガラスアンテナと同等の受信性能を有するアンテナを実現することを目標に、高感度で受信帯域の広いガラスアンテナの開発と設計方法の確立に取り組んできた。その結果、当社独自の容量装荷型ガラスアンテナ設計技術の改良によって、ラジオ／テレビ兼用アンプレスガラスアンテナの開発に成功し、世界で初めて商品化することができた。

この新しいガラスアンテナの開発により、従来のガラスアンテナシステムと比較して、高水準の受信性能を確保しながら、2本のアンテナ数の削減（6本→4本）、6個のアンテナアンプの廃止（ラジオ用2個、テレビ用4個）、開発期間を約1/3に短縮させる等の大きな成果を上げることができた。

*1, 2, 4, 5 電子技術開発部 *3 技術開発部 *6 日本板硝子株式会社

本稿では、この新しく開発したラジオ／テレビ兼用アンプレスガラスアンテナの設計方法と新型センチアへの採用事例について報告する。

2. 新型ガラスアンテナの設計方法

新型ガラスアンテナの設計方法は、次の二つの方法が柱となる。一つ目は、アンテナ線の途中に容量を装荷することによりデフォッカの電氣的影響を排除し、かつアンテナ長を任意に調整する方法である。二つ目は、アンテナ素子の一部を棒状にすることにより受信帯域を拡大する方法である。以下に、これらの方法について詳説する。

2.1 容量装荷型ガラスアンテナの設計方法

ガラスアンテナは、米国のFMラジオ放送のような垂直偏波が支配的な電波環境下において性能の優劣が顕著に現れる。そこで、本節では新しいアンテナ設計方法について、米国のFMラジオ放送周波数帯における垂直偏波下でのアンテナ受信性能データを用いて説明する。

2.1.1 従来のガラスアンテナの性能水準

図1は、アンテナアンプやマッチング回路を付加していない従来型ガラスアンテナとポールアンテナの米国FM帯域での受信特性を比較した例である。これからわかるように、従来型ガラスアンテナはポールアンテナと比較して受信感度で最大8 dB、帯域平均で約4 dB劣っている。

2.1.2 理想的なガラスアンテナ

図2に示すように、エレメントがガラスの垂直方向に伸びたアンテナ（以下モノポール型アンテナと称す）は、素子長 L_x を電波の波長に合わせて適宜調節することにより、図3に示すようにポールアンテナと同等の受信性能を有し、性能面、構造面からみて理想的なガラスアンテナといえる。

2.1.3 理想的なガラスアンテナをリヤガラス面上に構成する際の課題

モノポール型アンテナをリヤガラス面上に構成し、図3に示す性能が得られれば、これをポールアンテナの代わりに用いることが可能となる。しかし、リヤガラス面上には通常デフォッカ線が存在

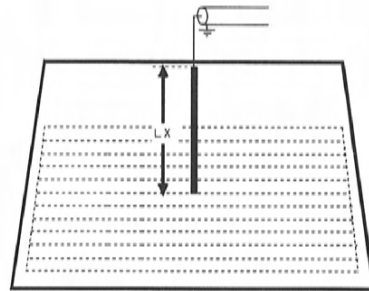


図2 モノポール型アンテナ

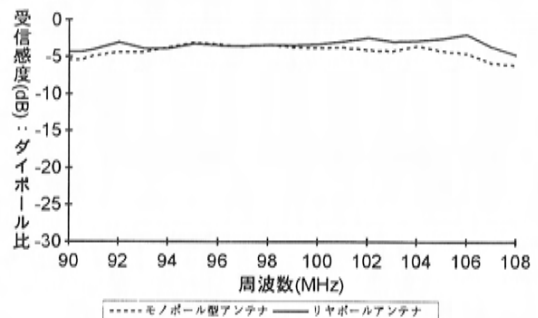


図3 モノポール型アンテナとリヤポールアンテナのFM受信感度特性比較

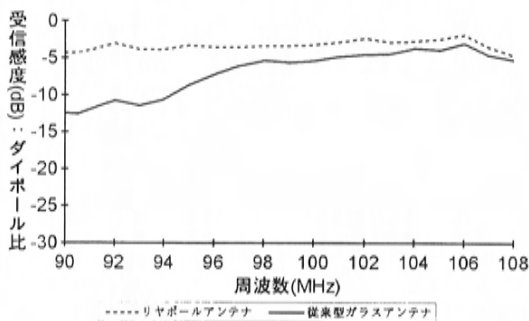


図1 アンテナアンプ等を用いない従来型ガラスアンテナとリヤポールアンテナのFM受信感度特性比較

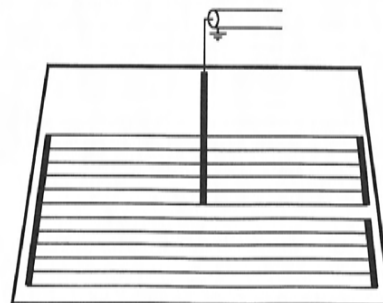


図4 デフォッカ串刺し型アンテナ

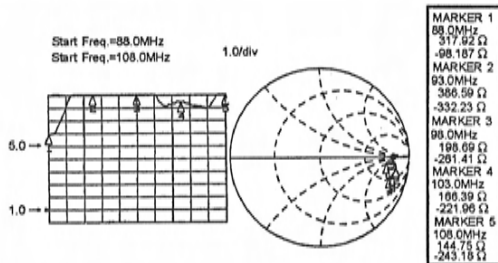


図5 デフォッガ串刺し型アンテナのVSWRとインピーダンス特性

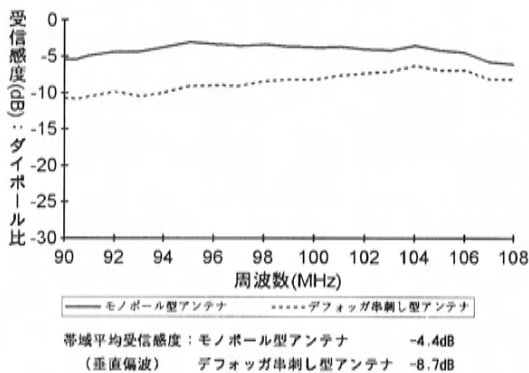


図6 モノポール型アンテナとデフォッガ串刺し型アンテナのFM受信感度特性比較

在し、モノポール型アンテナとデフォッガとを直接結合した場合 (図4)、図5に示すようにデフォッガ線の影響を受けてアンテナの入力インピーダンスが高くなる。その結果、給電線とのインピーダンスの不整合を生じ、図6に示すとおり受信感度の低下を招く。すなわち、図4のアンテナ (以下、デフォッガ串刺し型アンテナと称す) からデフォッガ線の影響を排除する方法を見いだすことが技術課題となる。

2.1.4 デフォッガの影響の排除方法

デフォッガ線と窓枠とはほぼ平行に位置していることから、デフォッガ線と周囲の窓枠は一種の伝送線路を形成しており、しかもデフォッガの左右のパスバーは容量結合によりボディ枠に設置されている。また、一端が設置された伝送線路は、長さが1/4波長になると入力インピーダンスが無限大になる性質を持つ。

そこで、図7のように線路短縮コンデンサを用い、(1)式を満たすように、コンデンサ容量の大き

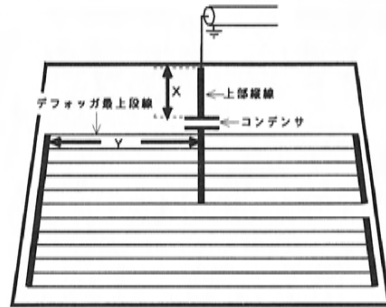


図7 容量装荷串刺し型アンテナ

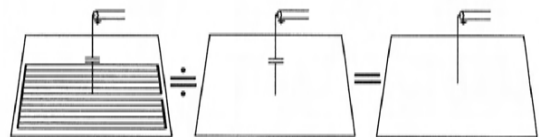


図8 容量装荷串刺し型アンテナの動作原理

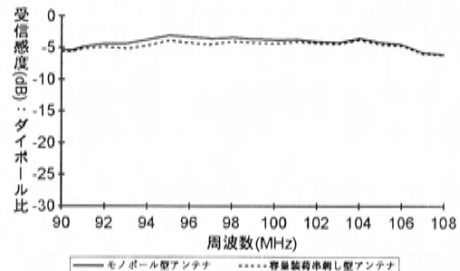


図9 モノポール型アンテナと容量装荷串刺し型アンテナとのFM受信感度特性比較

さにより定まる線路短縮率 α を選択すれば、デフォッガ線の入力インピーダンスが非常に高くなり、図8に示すようにデフォッガ線がモノポール型アンテナから等価的に切り離された状態になると予測できる。

$$X + \alpha Y = \lambda / 4 \quad (1)$$

ここで、X：デフォッガ上部縦線の長さ

Y：デフォッガ最上段線の半分の長さ

λ ：線路上の波長

図9は、デフォッガ上部縦線とデフォッガ最上段線との間に挿入したコンデンサの効果を実験的に確認した結果である。この図から、容量を装荷したデフォッガ串刺し型アンテナは、モノポール型アンテナと同等の性能を有し、デフォッガ串刺し型アンテナからデフォッガ線の電氣的影響が排

除されたモノポール型アンテナと等価なアンテナとして動作しているといえる。

つまり、前節に述べた技術課題を解決する方法として、図7に示すデフォッグ上部縦線とデフォッグ最上段線とをコンデンサで結合する方法が有効であることを明らかにした。

2.1.5 容量装荷型ガラスアンテナの構成方法

前項の検討で用いた線路短縮コンデンサ素子を実車のガラス面上に設置することは、製造方法や美観の点で問題がある。そこで、図10のように、例えば逆T型の素子をデフォッグの上部に構成し、デフォッグ最上段線と容量結合させることでコンデンサ素子と同様の効果を得ることができる。この方法により従来のガラスアンテナと全く同じ製造方法（プリント印刷）を用いることができる。

既に述べたように、新しく開発したアンテナは、アンテナ線の途中に容量が装荷されたアンテナで、デフォッグ上部素子とデフォッグ内部の縦線とにより構成される。この容量装荷型モノポールアンテナのガラス面上でのアンテナ長 L は次式により定まる。

$$L = X + \alpha \times Z \quad (2)$$

ここで、 X ：デフォッグ上部素子の高さ

α ：デフォッグ上部素子幅及び上部素子とデフォッグとの隙間で作られる結合容量により定まる線路短縮率

Z ：デフォッグ内部縦線長

この L を図2の構成における最適アンテナ長に等しくすれば、最適な Z が求まる。なお、 X と α は前述の(1)式が成り立つように設定する。これらの寸法を適宜変更することにより、各受信周波数帯に最適な特性が容易に得られる。

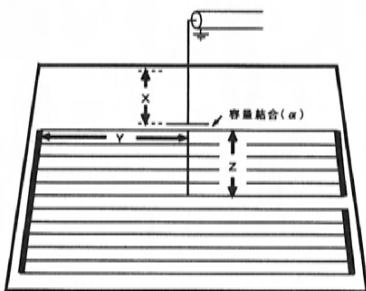


図10 容量装荷型ガラスアンテナの構成

2.2 棒状素子による受信帯域を拡大する方法

一般に、線状アンテナの帯域は、共振周波数の数%程度と言われ、実際に車両に搭載されている受信専用アンテナにおいてもせいぜい30MHz程度の周波数範囲で使用されているのが実状である。そのため、ポールアンテナや従来のガラスアンテナを使用する場合には、ラジオ用、テレビ用にそれぞれ専用のアンテナを設ける必要がある。つまり、通常のラジオ／テレビ用ガラスアンテナには、ラジオ用2本、テレビ用4本の合計6本のアンテナが組み込まれて使用されている。

この状況において、仮にラジオの周波数からテレビの周波数まで広い周波数帯域に渡って良好な受信特性を有するアンテナを実現できれば、アンテナ数／フィード数の削減による大きなコスト低減や開発期間の短縮が効果として期待できる。

そこで、本節ではガラスアンテナを広帯域化し、FMラジオ用アンテナとテレビ（VHF帯）用アンテナの兼用化を行う方法について述べる。

ポールアンテナの径を太くすると受信帯域が広がることは、理論的に知られている。しかし、外観上許されるアンテナ径には限界があり、性能改善量と外観のバランスから実際にこの考え方を取り入れたポールアンテナは知られていない。

一方、ガラスアンテナにはガラス面上に幅を持って構成しても外観を乱さないという特徴がある。そこで、この特徴に着目し、アンテナの一部を棒状素子で構成することにより、ポールアンテナの径を太くすることと同じ効果が得られると予測した。

図12は、図10のような逆T型素子を用いて構成したアンテナの入力インピーダンス（VSWR特性）

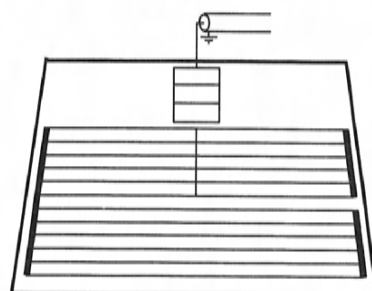


図11 棒状素子による構成

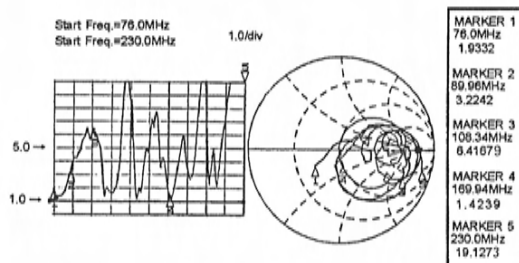


図12 インピーダンス特性 (図10のアンテナ)

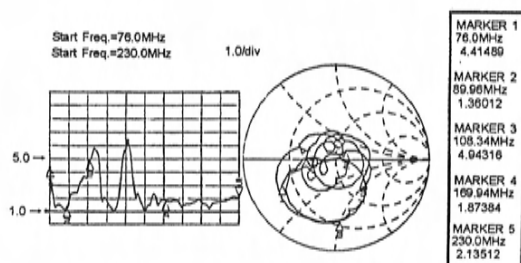


図13 インピーダンス特性 (図11のアンテナ)

である。△1から△2がFMラジオの帯域を示し、△2から△3及び△4から△5がテレビのVHFの帯域を示す。図12からわかるように、FMラジオの帯域では良好なインピーダンス特性が得られるが、テレビの帯域ではインピーダンス特性が悪化し、テレビ用アンテナとして良好な受信特性を得ることはできない。

図13は、図11に示すデフォッグ上部素子を棒状の構成としたアンテナの入力インピーダンス特性である。この図と図12を比較すると、デフォッグ上部を棒状にすることにより、受信帯域を約4倍 (VSWR: 3以下) に拡大できることがわかる。また、このアンテナは、非常に広帯域にわたって良好なインピーダンス特性を持ち、FMラジオとテレビ (VHF帯) の両方の周波数帯域で実用可能な水準にあるといえる。

以上のことから、一つのアンテナをFMラジオ用とテレビ用 (VHF帯) に兼用するためにアンテナを広帯域化する方法として、デフォッグ上部の素子を棒状にすることが有効であることを新しく見いだすことができた。

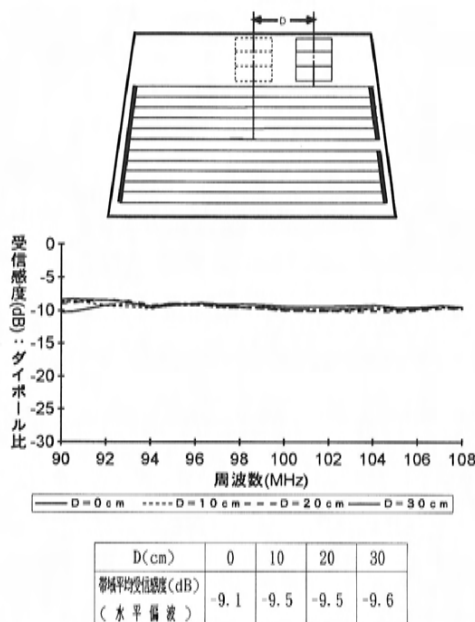


図14 棒状素子の位置とアンテナ特性との関係

3. ダイバシティへの応用

車においてFMラジオ放送やテレビ放送を安定的に受信するためには、複数のアンテナのうち常に受信状態の良好なアンテナを選択するダイバシティ受信が有効である。新型ガラスアンテナは、このダイバシティアンテナの構成を容易にする次の二つの特徴を有している。

- ①アンテナ素子が占める領域が小さい
- ②棒状素子とデフォッグとの結合容量を一定にすれば、アンテナ性能を保持したまま棒状素子をガラス中央から横方向へ移動できる (図14にVHF帯 (1~3ch) における関係を示す)。

この二つの特徴を利用して二つの棒状素子をデフォッグ上部に配置することにより、ダイバシティアンテナを容易に構成することが可能である。

4. 新型センティアに採用した世界初のテレビ/ラジオ兼用アンプレスガラスアンテナ

4.1 アンテナシステム構成

テレビのチャンネル周波数はVHF (90~222MHz) からUHF (470~770MHz) まで非常に広い帯域にまたがり、新しく開発したアンテナをもってして

も1本のアンテナで全帯域をカバーすることは不可能である。

そこで、新型センチアのアンテナシステムを次のような考え方で構成した。

- ①VHF帯の電波を良好に受信するアンテナとUHF帯の電波を良好に受信するアンテナの二つを使い分け、それぞれ専用のアンテナを配置。
- ②車が走るあらゆる電波環境において安定的に電波が受信できるようにするためにダイバシティアンテナ方式を採用。
- ③FMラジオ用アンテナは、新型アンテナの広帯域性を利用して、VHF帯用アンテナと兼用。
- ④各アンテナの受信感度が高いため、アンテナアンプは使用しない。

つまり、高品質にラジオ／テレビ放送を受信するためにFM／テレビ(VHF)帯兼用に2本、UHF帯用に2本、合計4本のアンテナによるシステム構成を採用した。

従来のガラスアンテナシステムでは、図15の左図のようにアンテナ及びフィーダが6本、アンテナアンプが6個必要であった。

しかし、新型センチアにおいては、図15の右図に示すような極めてシンプルなシステムが実現でき、従来システムに比べてアンテナ及びフィーダ本数の削減、アンテナアンプの廃止等によりシステムの大幅なコスト削減を可能とした。また、アンテナアンプを採用しないことにより強電界地域における混信等の弊害も解消できた。さらに、前述の理論的な設計手法により開発期間を従来の1/3に削減できた。

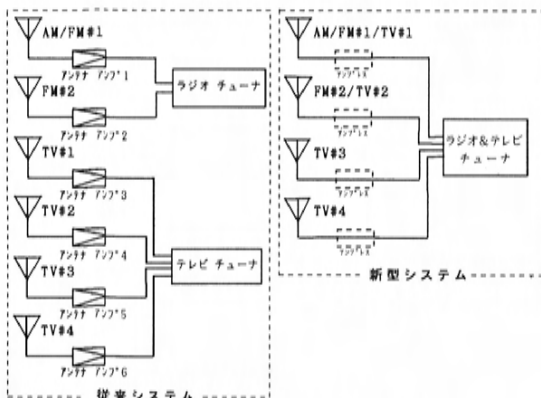


図15 システム構成の比較

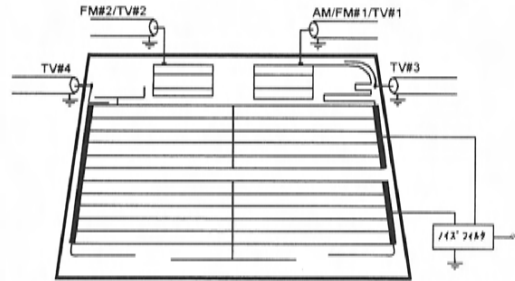


図16 新型センチア用ガラスアンテナ

4.2 アンテナパターン

図16に新型センチアに採用したアンテナパターンを示す。デフォッガ上部の中央に二つのラジオ／テレビ(VHF帯)兼用アンテナを構成し、その両側にテレビ(UHF帯)専用アンテナを配している。ここで、UHF帯用は波長が短く、ガラス面上で必要なアンテナ長を確保できることから、棒形状をとらなくとも良好な受信感度が得られるため線状アンテナの形式を採用した。

なお、AMラジオ用アンテナとしては、デフォッガをアンテナとして用いるため、棒状素子とデフォッガをAMラジオ帯域を通過させ、FMラジオの周波数帯を素子するスタップパターンを介して接続した。

4.3 受信感度特性

図17に新型センチアで採用したアンテナシステムの受信感度特性を示す。周波数は国内のラジオ、テレビの帯域、偏波は水平偏波である。

従来型ガラスアンテナシステムの平均受信感度は、FM帯で-15~-12dB、VHFの1~3chで-15~-13dB、VHFの4~12chで-15dB、UHF帯で-18~-20dB程度が一般的であり、新型アンテナシステムの平均受信感度特性(ダイバシティ処理後)は、全帯域にわたって良好なアンテナ性能を有しているといえる。

5. まとめ

われわれは独自の容量装荷型ガラスアンテナの技術を進化させ、ラジオ／テレビ兼用アンブレスガラスアンテナを短期に設計する技術を開発し、世界で初めて新型センチアで商品化することに成功した。この新型アンテナシステムは、品質、コスト、性能のバランス取りと開発期間の短縮を

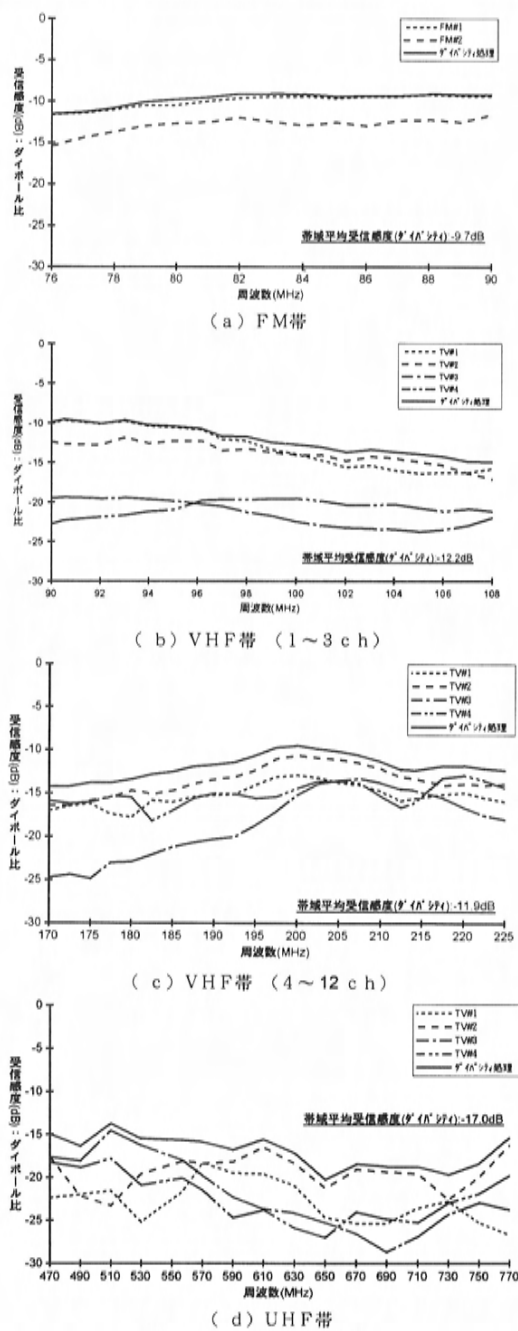


図17 受信感度特性

技術をベースにした基礎研究による通信用アンテナの特性解明と狭いリヤガラススペースへの複合アンテナの構築がキーとなり、今後のガラスアンテナの新たな展開をもたらすものとする。

最後に、本開発を行うにあたり多大なご協力を頂いた関係各位の皆様方に感謝の意を表します。

■ 著 者 ■



重田一生



谷口龍昭



久保田健治



竹岡富彦



森重直城



飯島 浩

同時に満足するものであり、他の車両にも展開できる汎用性も有している。

今後は、FM多重ページャ、電波式ICカード等の新しいメディアが登場し、新たな通信用アンテナが車に要求されてくる。これらの要求を満たすためには、当社独自の容量装荷型ガラスアンテナ

小特集：センティア

6

新型センティアの多重伝送システム Multiplexing System for New SENTIA

中 嶋 仁 志^{*1} 坂 本 裕 昭^{*2} 寺 山 孝 二^{*3}
Hitoshi Nakashima Hiroaki Sakamoto Koji Terayama
谷 田 晴 紀^{*4} 竹 重 学^{*5}
Seiki Tanida Manabu Takeshige

要 旨

新型センティアでは、新開発のマイクロコンピュータ体型多重通信コントローラを搭載し、多重伝送システムを実現した。このシステムは、多重通信コントローラを搭載した三つの電子制御ユニット間をネットワーク化し、エアコン制御、オートライト制御、ドアロック制御などさまざまな制御系をコントロールしている。

本稿では、この多重伝送システムの概要を紹介する。

Abstract

The new SENTIA is equipped with Multiplexing system controlled by new communication ICs with microcomputer. This Multiplexing system, which is structured with networked three ECUs build-in an communication IC, controls air-conditioning system, auto-lighting system and door-lock system, etc.

This paper outlines the Multiplexing system on the new SENTIA.

1. はじめに

カーエレクトロニクスの急速な進展に伴い、電装システムは複雑化し、電装部品間を接続するワイヤーハーネス（電線の束）は肥大化が進んでいる。これに伴い、市場サービス性の悪化、信頼性の低下、生産性の低下、そして新システムを導入する為のレイアウトスペースの制限などの問題を招きつつある。マツダでは、これらの問題を解決する多重伝送システムの開発に他社に先駆け、1989年に多重通信コントローラPALMNET (Protocol for Automotive Low and Medium Speed Network)を開発し、1990年にユーノスコスモ、そして1993年にはセンティアに実用化してきた。

新型センティアでは、新開発の多重通信コントローラを搭載し、多重伝送システムを実現している。

本稿では、この多重伝送システムの概要を紹介する。

2. 開発の狙い

多重伝送システムの開発にあたり、新開発多重通信コントローラの伝送効率を生かし、多重化対象範囲の拡張による徹底的なコスト低減を目標とし、且つ以下の3点の更なる向上を狙った。

- ・サービス性の向上
- ・システム信頼性の向上
- ・生産性の向上

3. 多重通信コントローラ

新型センティアに使用している多重通信コントローラの多重伝送方式とその特長を述べる。

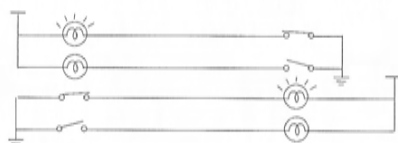
3.1 多重とは

多重伝送とは、多重通信コントローラを搭載し

* 1 ~ 5 電子技術開発部

た電子制御ユニット(以下多重化ユニットと略す)間で複数の車両状態情報(例えば、ドアの開閉情報)を時分割の電気的信号に置き換えて、2本の信号線(以下多重ハーネスと略す)を媒体として、その情報のやりとりを行うシステムである。つまり図1に示すように、従来一つの車両状態情報に1本の信号線が必要であったのに対し、多重

【従来】一つの信号に対し、一本の信号線



【多重】多数の信号に対し、二本の信号線



図1 多重とは

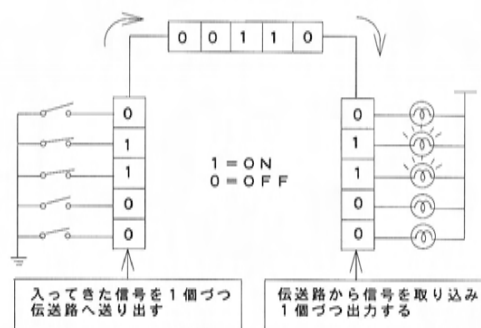


図2 多重伝送の原理

表1 多重通信コントローラの特長

| 項目 | ユーノスコスモ | 新型センティア |
|--------------------------|--|---|
| アクセス方式 | CSMA/CD | ← |
| 優先度制御 | 非破壊調停 | ← |
| データ長 | 4バイト | ← |
| 同期方式 | PWMによる自己同期式 | 調歩同期式 |
| 符号方式 | PWM | NRZ |
| 伝送速度 | 20Kbps | ~125Kbps |
| ISOで規定されたハーネス故障に対する許用モード | 1. バスAオープン 2. バスBオープン 3. バスAバッテリーショート 4. バスBバッテリーショート 5. バスAグラウンドショート 6. バスBグラウンドショート 7. 終端抵抗はずれ | 1. バスAオープン 2. バスBオープン 3. バスAバッテリーショート 4. バスBバッテリーショート 5. バスAグラウンドショート 6. バスBグラウンドショート 7. バスA-B間ショート 8. 両バスオープン 9. 終端抵抗はずれ |

伝送システムでは複数の車両状態情報をグループ化し、そのグループをひとくくりとして伝達するシステムである(図2参照)。

3.2 多重通信コントローラの特長

新型センティアに採用した多重通信コントローラは、1994年に開発した3タイプのAdvanced PALMNET (Protocol for Automotive Local Area Multiplexing Network)方式の一つであるBasic ICである。このICは、非破壊調停型優先制御による衝突検知機構付きキャリアセンス多重アクセス方式(CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)方式)を採用した分散制御型多重通信コントローラである。すなわち、多重化ユニットの各々の制御タイミングでの電気的信号の伝達が可能であり、且つその電気的信号が衝突した場合でも破壊されることなく、優先順位に応じた伝達を可能としている。

ユーノスコスモの場合に比べて伝送効率が約10倍向上しており、センサ情報などのアナログ情報も多重化している。また、多重ハーネス故障に対しては、ISOで規定された九つの故障モード発生時でも、通信機能が阻害されない。このコントローラの特長を表1に示す。

4. システム構成とその効果

4.1 システム構成

新型センティアの多重伝送システムを図3に示す。

このシステムは、インパネ部のワイヤーハーネス削減によるコスト効果に着眼し、インパネの中央及び左右サイド(車両ハーネス側)にレイアウトされた、ヒータコントロールユニット、TWS1ユニット、TWS2ユニットの3ユニットに多重通信コントローラを一個ずつ使用し、これら多重化ユニットを多重ハーネスで接続し、ネットワークを構成している(図4参照)。スイッチ、アクチュエータなどの補器は、近傍の多重化ユニットに接続し、ネットワークによる車両状態情報の共有を行っている。従って、近傍の多重化ユニットにスイッチ、アクチュエータなどの補器の接続を行うため、例えばドアロック制御などの個別システムは省線化した構成でシステムが成立する。新型センティアでは、このシステムの分散化の考え方を

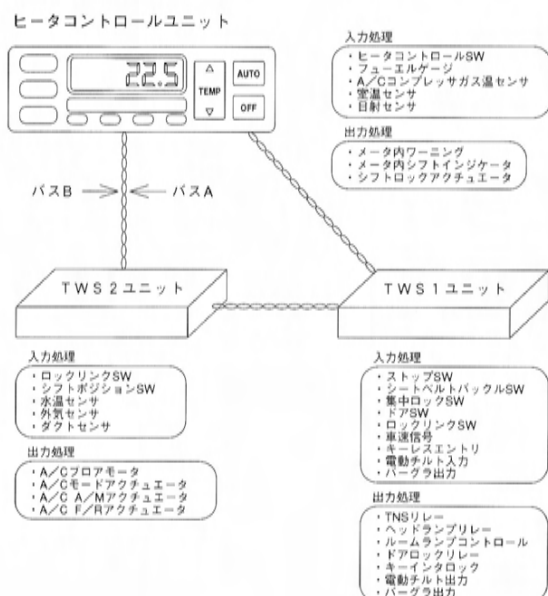


図3 多重伝送システム

積極的に採用し、最もハーネス削減効果の高いシステムを構成とした。機能分散形態を図5に示す。

4.2 システム効果

4.2.1 サービス性の向上

多重伝送システムでは、ランプ点灯という一つの機能に対して、電気的信号の伝達の過程に、汎用テストで検査不能な電気的信号が仲介するため、従来行われていた導通チェックなどの市場サービスでは、不具合箇所の特定、すなわち、適切な修理が困難である。新型センティアの多重伝送システムでは、このような問題を解決するため、オンボード（自己診断機能、及び表示機能を車両に搭載）でのシミュレート故障診断機能を新たに開発し、多重伝送システムを構成する全個別機能に対して採用した。この診断機能は、通常の制御信号の流れとは異なる系をつくり、故障部位を特定するものである。出力系の診断については、出力補機接続ユニットが故障診断モードに従って動

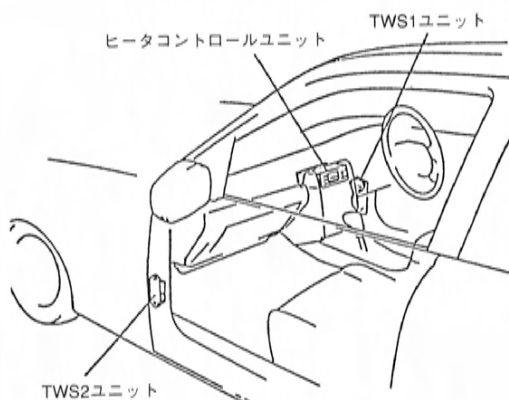


図4 多重化ユニットのレイアウト

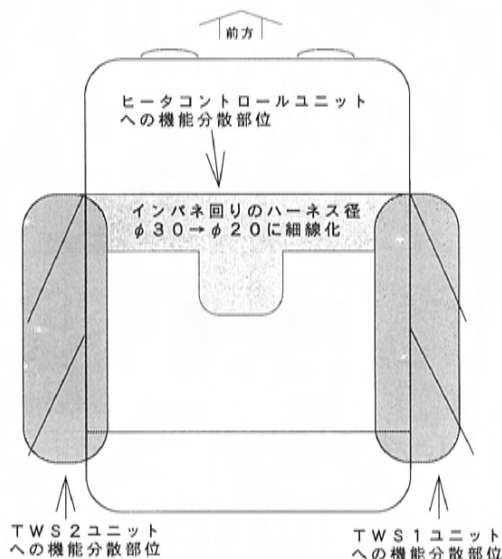


図5 機能分散の形態

作させ、また一方入力系はスイッチやセンサデータをヒータコントロールユニット表示部に出力させ、故障有無が確認できるようにした。このオンボード診断のモード遷移図を図6に示す。また市場サービス手順は、以下の3ステップで行う。

- ① 多重化ユニット、及び多重ハーネスの故障を診断する。(故障診断モードIで判定)
- ② 出力(入力)系補器の故障を診断する。(故障診断モードII～IVで判定)
- ③ 入力(出力)系補器を確認する。

ステップ②で出力系／入力系のどちらを診断するかは、その診断対象となっている個別システムの機能分散の形態により、ケースバイケースとしてある。シートベルトワーニングシステムでの診断の例を図7で示す。

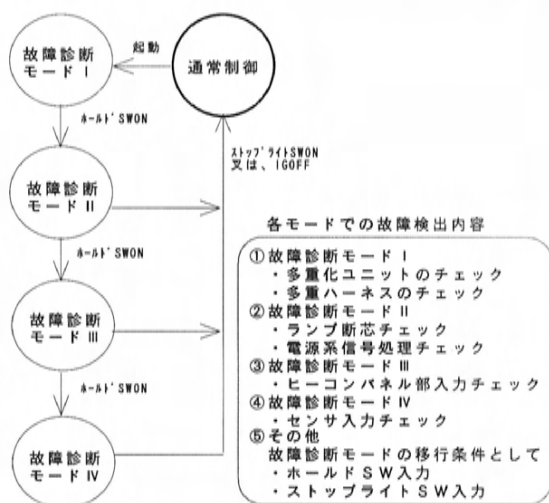


図6 オンボード診断のモード遷移図

上述したように、従来システムに比べて故障診断対象範囲を拡張した。このため、サービス時間の短縮が可能となる。これは、多重伝送システムの採用によりもたらされる大きな特長で、スイッチ、アクチュエータの制御を多重化ユニットで実行していることが、実現を容易にしています。

4.2.2 システム信頼性の向上

多重伝送システムの採用によりシステムを簡素化した結果、信頼性が故障率換算で従来システム比22%向上した。

①ワイヤーハーネスの削減：インパネ部ワイヤーハーネスを中心として22%の削減をした。

②センサの削減：類似した車両環境をセンシングしていたセンサを2部品廃止した。

・フューエル残量ワーニングセンサの廃止

フューエル残量ゲージ表示への入力情報として用いていたフューエルゲージ信号をマイコンに入力し、フューエル残量ワーニングランプ点灯タイミングを制御した。また、マイコンにより入力情報を加重平均法により適正化することで、これまで車両の傾斜状態などによって発生していたちらつきを防止した。

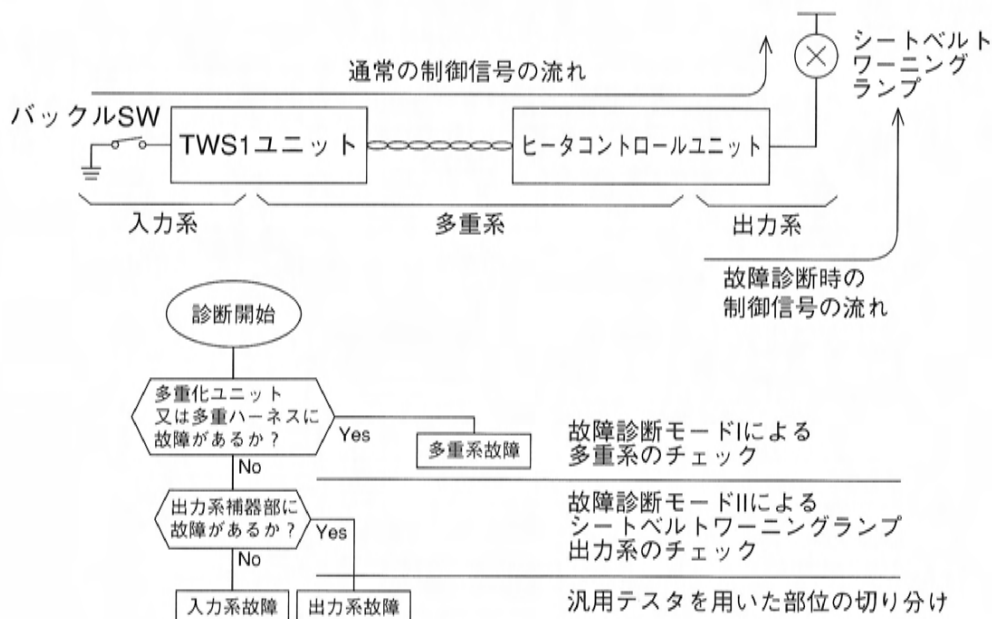


図7 市場サービス手順

・オートライトセンサの廃止

エアコン日射センサのフィルタ特性・電気特性を変更し、オートエアコン制御とオートライト制御用のセンサを共用した。

4.2.3 生産性の向上

インパネ部ワイヤーハーネスの削減、及び多重化ユニットのレイアウトの最適化により以下の2点で生産性を向上した。

①インパネ組み付け性の向上

車両ハーネスとインパネ部ハーネス間の信号伝達に多重伝送システムを使用し、インパネ搭載時のコネクタ組み付け数を9個から5個へ削減した。

②ヒータユニット組み付け性の向上

TWS2ユニットを車両ハーネスにレイアウトし、インパネ非搭載時にヒータユニットの組み付けができるようにした。

5. おわりに

多重伝送システムは次世代安全車など車両の高機能化に伴い、必須の技術となる。今回の開発においても、通信制御用ソフトウェアを独自開発するなど技術蓄積ができた。今後、これら培った技術と開発手順をさらに発展させていく所存である。

最後に、本開発に多大な御協力を頂いたアルプス電気(株)、古河電工(株)、日本電気(株)、ナルデック(株)及び社内関係部門の方々に深く感謝致します。

参考文献

- 井上他：“Protocol for Automotive Local Area Network(PALNET)-A Newly Developed In-vehicle Communication System Based on SAE J1850”, SAE Paper 890535
- 武田他：“ユーノスコスモのエレクトロニクス技術”，マツダ技報，No.8
- 檜皮他：“次世代多重通信コントローラの開発”，マツダ技報，No.12

■ 著 者 ■



中嶋仁志



坂本裕昭



寺山孝二



谷田晴紀



竹重 学

小特集：センティア

7

インテリジェントPT総合制御の開発—環境対応AT変速知能制御— Intelligent PT Management System —Development of AT Intelligent Shift Control Adapted to Driving Environment—

志 谷 有 司^{*1} 原 田 真 悟^{*2} 客 野 哲 也^{*3}
Yuji Shitani Shingo Harada Tetsuya Kyakuno
高 羽 徹 郎^{*4} 井 上 秋 夫^{*5}
Tetsuro Takaba Akio Inoue

要 旨

ドライブレンジの実用性を向上させ、着実に進化を図ったAT車をめざし、走行環境に適應したAT変速制御を開発した。パワートレイン系、ドライバ系を総合的にモデル化し、理論的に走行路面勾配とドライバ意志を推定している。この高精度なモデルとシフトスケジュールの普遍的な要求からシステム構築することで、様々な状況において快適で安全な運転性能を実現することができた。本稿では、制御概要とともに、実走行での効果を報告する。

Abstract

We have developed a new automatic transmission shift control method that is adapted to driving environment to improve practicability of the driving shift position and aim to evolve total driving performance.

Our method estimate road grade and driver intention in theory based on synthetical powertrain and driver model. This system provide comfortable and safety driving performance under various conditions from these models and universality of shift schedule requests. This paper presents the summary of this system and its effects.

1. はじめに

近年の自動変速機(AT)の進化は目覚ましく、特に電子制御化により燃費・動力性能の向上や変速ショック低減等、大きく性能向上がはかられている。一方、運転操作性の面では山岳路走行や雪道走行等で最適な変速段を得るためにマニュアル操作が必要な場面があり、さらに快適な運転を実現するために高度な変速制御法の実現が望まれている。⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

今回、路面勾配・運転者の意志を判断し、登降坂路走行に違和感なく適應する変速制御法を開発した。ここではその制御システム概要と、実車での性能効果について紹介する。

2. 開発のねらいとシステム概要

2.1 開発のねらい

従来、AT車のシフト制御は、ドライブレンジ(Dレンジ)に加え、様々な走行シーンに適應すべくHOLDモードシステム等を導入し、マニュアル操作感覚による車を操る楽しみも含め、運転操作性向上を実現している。一方新規に開発した当システムでは、基本となるDレンジそのものの実用性を向上させ、イーゼードライブ化へ向け着実に進化をはかったシステムとすべく、走行環境に自動的に適應する変速制御を狙っている。以下にシステム構築上の注力ポイントを述べる。

- (1)登降坂路でのシフトビジーの低減、エンジンブレーキ性能の向上、運転者のアクセル・ブレーキ操作量の低減を図る。
- (2)運転操作性に加え、燃費性能の向上を図る。
- (3)ドライバに制御の違和感を感じさせない、極めてナチュラルな性能とする。
- (4)新規のセンサ等付加することなく、高いコス

* 1～3 パワートレイン実研部 * 4 パワートレイン設計部 * 5 第1車両実研部

トパフォーマンスを実現する。

2.2 システム概要

図1に制御システムの概要をブロック図として示すが、エンジン(ENG)とATの制御部を統合し、パワートレイン(PT)を総合的にマネジメントするシステムとしている。環境/意志推定モジュールで走行路面勾配とドライバの意志を推定し、この両者を用い、シフトスケジュール制御モジュールで環境対応AT変速知能制御(SLOPEコントロール)を行う構成になっている。入力として用いる信号は、吸入空気量、エンジン回転数、ブレーキ信号等、従来システムで実績のあるものを流用し、信頼性の高い、コストアップのないシステムとしている。

当システムの特徴は次の2点にある。

- (1)環境モデル+ドライバモデルに基づく総合制御により、ナチュラルで違和感のないシステムの実現
- (2)PT(ENG/AT)総合制御による高精度なモデル推定

これにより完成度の高いシステムを実現することが可能となった。

3. 環境/意志推定方法

3.1 走行路面勾配推定

(1)走行路面勾配推定法

一般的に車両走行時の駆動力と走行抵抗のパラメータは以下の基礎式(1)で与えられ、駆動力と走行抵抗の模式図を図2に示す。

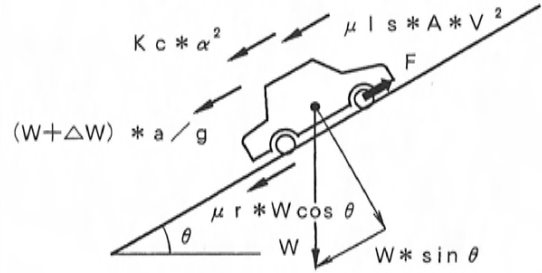


図2 駆動力と走行抵抗の模式図

$$F = R_r + R_l + R_a + R_s + R_c \quad (1)$$

$$R_r = \mu_r \times W \times \cos \theta \quad (\text{転動抵抗})$$

$$R_a = (W + \Delta W) \times a / g \quad (\text{加速抵抗})$$

$$R_l = \mu_l s \times A \times V^2 \quad (\text{空気抵抗})$$

$$R_s = W \times \sin \theta \quad (\text{勾配抵抗})$$

$$R_c = K_c \times \alpha^2 \quad (\text{コーナリング抵抗})$$

$$\Delta W = I \times g / r^2$$

$$I = \{ (I_E + I_F) \times i_t + I_S \} \times i_f^2 + I_A$$

各記号の定義を以下に示す

F : 発生駆動力 a : 車両加速度

g : 重力加速度 W : 車両重量

ΔW : 回転部分の等価慣性重量

μ_r : 転動抵抗係数 $\mu_l s$: 空気抵抗係数

A : 全面投影面積 θ : 路面勾配

r : タイヤ有効半径 α : 蛇角

KC : コーナリング抵抗係数

i_t : ミッションギア比

i_f : ファイナルギア比

I_A : アクスルシャフト部イナーシャ

I_F : プライマリシャフト部イナーシャ

I_S : セカンダリシャフト部イナーシャ

I_E : エンジン回転部イナーシャ

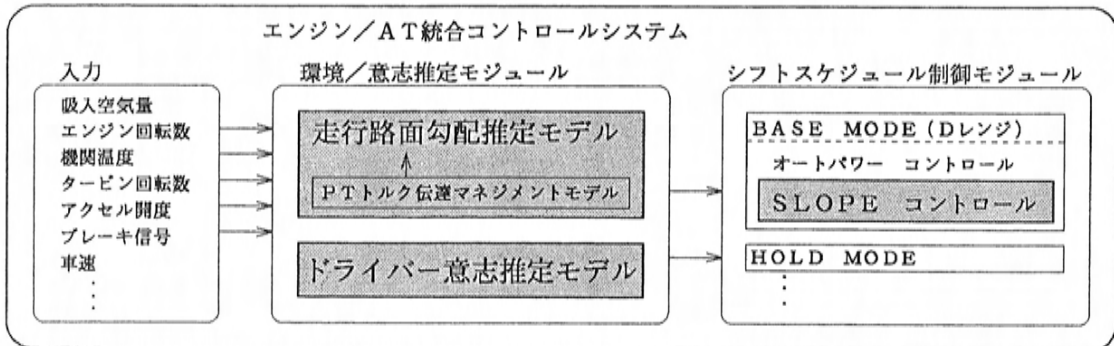


図1 制御システムブロック図

基礎式(1)を用い、走行路面勾配は式(2)より得る。

$$\theta = \sin^{-1} \{ F - \mu l s \times A \times V^2 - \Delta W \times a / g - Kc \times \alpha^2 / W - (\mu r + a / g) \} \quad (2)$$

ここで、推定精度上最も重要となるのが、発生駆動力 (F) の演算精度である。当システムではパワートレイントルク伝達マネジメントモデルによりENG/ATの状態、大気条件・各制御状態等を総合的に判断し、リアルタイムに高精度で車両発生駆動力を演算する事を可能としている。これにより、加減速等の運転状態、暖機状態、他の関連制御状態に関わらず、路面勾配もリアルタイムに高精度で推定できるシステムを実現させた。図3にトルク伝達/勾配演算のシステム図を示す。

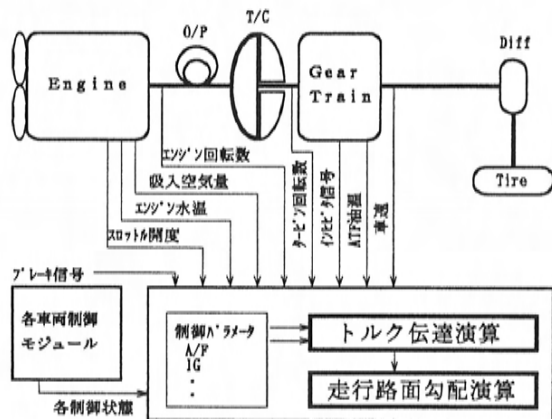


図3 トルク伝達/勾配演算システム図

(2)ばらつき要因の影響度検証

勾配推定の精度は、当変速制御を行う上で違和感の発生等非常に重要なポイントとなる。実際の車の使われ方を考えると、推定式に扱われるパラメータはばらつき等の変動要因となり、システム構築上、その変動の影響を考慮した上で保証する必要がある。当推定方法は明確なモデル式から成り立っており、パラメータ変動の影響も机上で理論推定する事が可能である。従って、変動要因全てのパラメータの影響を机上推定し代表ポイントについて実機検証することで、あらゆる使われ方を保証したシステムの検証を行うことが出来る。主な変動要因による演算精度影響度の代表例を図

4に示すが(5%勾配の路面走行時)、問題となるレベルの推定誤差は生じないことが検証できた。

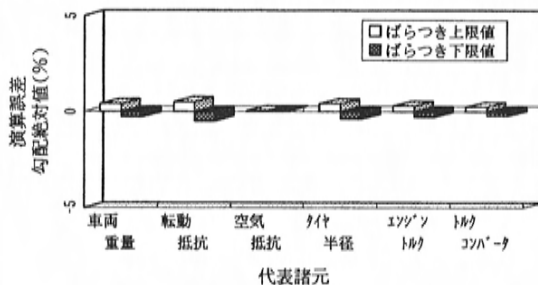


図4 諸元変動要因の演算精度影響度

3.2 ドライバ意志推定

変速点を制御する場合には、運転者への違和感の問題を考慮する必要がある。ここでは、様々な場面で意にあったシステムとなるよう、制御実行/基本制御への復帰等、制御状態遷移に対応した運転者意志判定を行っている。運転者の意志は、状況によって様々に異なるあいまいな性質も持つが、基本的考え方は環境モデル同様普遍性のある物理特性モデルとして明確に構造化することが重要である。モデルの概念図を図5に示す。基本的にはアクセル、ブレーキ等のドライバ操作をもとに走り意志度合い、減速意志度合いを判断しているが、運転者の操作には、走行環境から引き起こされる必然的操作と、目的意志により生じる能動的な操作が関連しており、両者を層別して取り扱う必要がある。当システムでは、路面勾配変化により生じる理論的操作量変化を推定し、環境変化により必然的に生じる操作と、意志による操作を分離して推定を行うことで普遍性のあるモデルとして構築している。

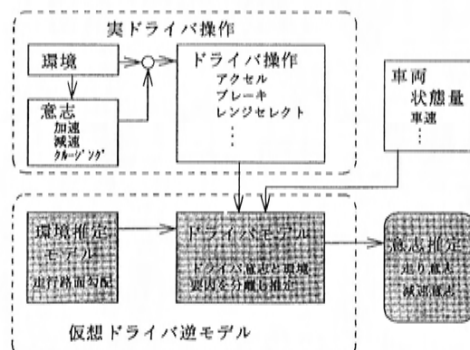


図5 ドライバ意志推定モデル概念図

4. シフトスケジュール制御法

4.1 登坂時変速制御

登坂路走行時のシフトビジーには大きく2つの要因がある。第1は、走行時の要求駆動力が特定ギアの略上限にあり駆動力不足でダウンシフトが繰り返される点。第2は、コーナー入り口等でアクセルを戻すことで一時的に走行時の要求駆動力ギアより高いギア位置へシフトアップし、その後、再度要求位置へのダウンシフトが繰り返される点である。いずれの場合も、登坂路走行時の駆動力要求が重要となり、屈曲路等でのアクセル戻しも考慮し、駆動力収支のバランスを最適にする制御実行勾配値、変速スケジュールを設定した。また、制御変更時には、駆動力収支、走り意志度合を総合的に判断し、様々な条件下でドライバの意に合うシステムとした。

4.2 降坂時変速制御

降坂時のエンブレキ性能にも大きく2つの要求がある。第1は、下り坂での負の勾配抵抗により減速度が小さくなることに対応する点。第2は、下り坂及び屈曲路での安全意識が増大する点である。第1の点については、駆動力収支を基に平坦路との比較で減速度が最適になる様、制御実行勾配値、変速スケジュールを設定した。第2の点については、主に減速意志を判断して対応している。また、制御変更時には登坂時同様、駆動力収支、減速意志度合いを総合的に判断し、様々な条件下でドライバの意に合うシステムとした。

4.3 変速点変化に対するシフトクオリティの安定性

従来の変速制御では変速ポイントが制御マップ上で規定されているため特定ポイントに対応したAT/ENGの性能適合でよいが、当制御では上記シフト制御により様々なポイントで変速が生じることになる。一般的には、変速ポイントが規定ポイントからずれると変速時のショックが悪化し、スムーズな運転性に悪影響を及ぼす。ここでは、基本のAT制御自体にも一段進化した概念(タービントルク推定値に基づくエンジン・AT総合制御)⁽⁴⁾を導入することにより、様々なポイントで変速が生じても運転性に影響を与えないシステムとすることを可能とした。

5. 実機検証

5.1 走行路面推定方法の実機精度検証

図6に代表的登降坂路走行時の実路面勾配と演算路面勾配との比較を示す。実路面勾配はジャイロメータを用いリアルタイムで計測している。アクセル変化等運転状態の変化に係わらず、実路面勾配と演算路面勾配とは良く一致しており、当推定方法によりリアルタイムで路面勾配の推定が可能であることが検証できた。

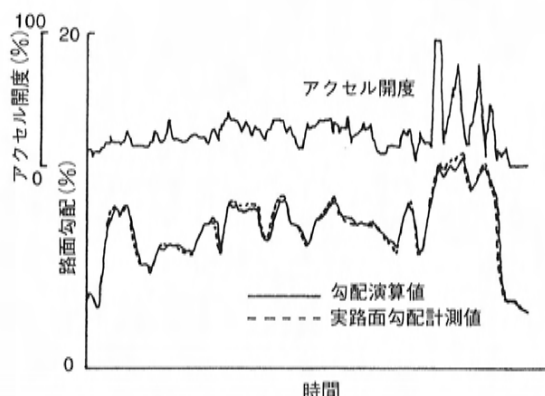


図6 勾配演算検証データ

5.2 シフトスケジュール制御の実車効果

図7に代表的登降坂路(3~8%勾配, 約8km)を実際に走行した場合の制御有無での変速回数、ブレーキ操作量の定量値を示す。それぞれ、変速回数で約80%低減、ブレーキ操作量で約30%低減する事が確認できた。さらに走行時のアクセル操作の分布の比較を図8に示す。制御実行により開度分布の分散が略1/2になり、運転操作性も大幅に向上していることが確認できる。一方、燃料消費量の比較を図9に示す。制御実行により約5%低減し、燃費に対しても効果が大きいことが実証できた。これは、登坂時にT/C効率の高い領域を使うことに加え、不要なアクセルの動きがなくなったことと、降坂時に低速ギアを使うことで燃料カット時間が拡大されたことによるものである。

また、変速点を制御する場合、運転者の違和感の問題が重要であることは前述したが、様々なパネラーによる実車走行評価結果から、ナチュラル

で走りやすいという結果が安定して得られ、運転者の感性に対しても幅広く適応出来ていることが検証できた。

6. まとめ

AT車のシフト制御に走行環境推定／運転者意志推定をベースとして走行状態に最適なシフトスケジュールを実行するシステムを開発した。特に環境／意志推定を論理的なモデルをベースとして構築することにより極めてナチュラルな性能を実現することが出来、ドライブレンジの基本特性としての進化を遂げることが出来た。今後も着実にシステムを発展させ、理想のPT、車両制御システムを追求していく所存です。

最後に、本開発にご協力いただいた内外の関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- (1)坂口他：ファジィインテリジェントAT制御，自動車技術，vol. 46，No.4，1992
- (2)星屋他：道路環境対応シフト制御の開発，自動車技術会学術講演会，9436477，1994
- (3)近藤他：ニューラルネットワークを活用したA/Tのシフトパターン制御，自動車技術会学術講演会，9436611，1994
- (4)栗山他：タービントルク推定値に基づくエンジン・AT総合制御，自動車技術，vol.49，No.10，1995

著 者



志谷有司



原田真悟



客野哲也



高羽徹郎



井上秋夫

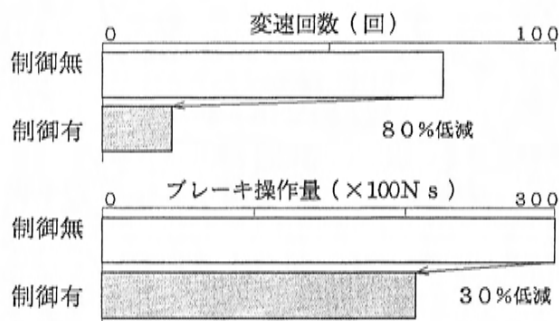


図7 実走行での変速回数／ブレーキ操作低減効果

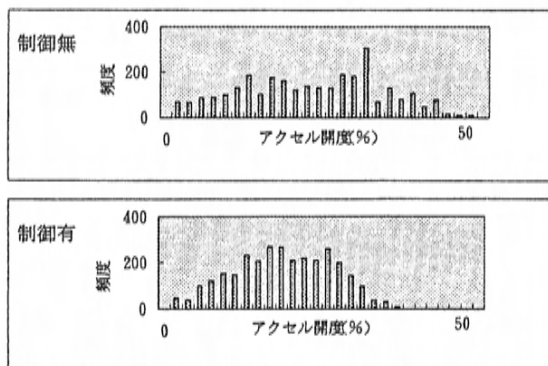


図8 実走行でのアクセル操作低減効果

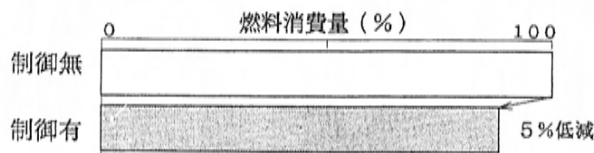


図9 実走行での燃料消費量低減効果

小特集：ボンゴフレンディ

8

新型ボンゴフレンディの紹介 Introduction of New BONGO FRIENDEE

中 江 照 司*¹ 前 田 英 男*²
Terushi Nakae Hideo Maeda

要 旨

本稿はボンゴフレンディの開発思想、商品概要を紹介するものである。ボンゴフレンディは「家族や仲間の為のレジャー基地」という開発コンセプトのもとに、これからの時代に求められる新しいワゴンとして開発した商品である。そのため、乗用ワゴンに必要な基本性能を確保した上で、新しいワゴンにふさわしい機能・合理性の追求、使い方の工夫で夢を広げる新しい装備の提案を行っている。これからの様々なレジャーに最適なワゴンとして満足いただけるものと思う。

Abstract

This is to introduce development idea and product outline of BONGO FRIENDEE.

BONGO FRIENDEE is the product developed as a new wagon which is wanted for future based on the development concept "Leisure Base for family and friends"

We guarantee basic performance requested for passenger wagon pursue suitable function and rationality for new wagon and propose new accessory whose usage contrivance expands dreams. It's a vehicle that satisfies people as most appropriate wagon for various kinds of leisure in the future.

1. はじめに

ボンゴフレンディの開発にあたり、私達はワゴンの歴史を振り返りながら、これからの新しいワゴンを提案したいと考えた。同時に、'90年代後半の社会状況を予測し、キーワードを「余暇」「家族」「自然」として、車に求められる機能・性能・装備品等について検討し、様々なレジャーに最適な車とすることに注力した。

2. 開発のねらい、商品コンセプト

開発コンセプトは「家族や仲間のためのレジャー基地」とし、ワゴンを多人数の移動車的な使い方から進化させ、色々なレジャーシーンにおける基地としての機能を追求した。そのため、まず基本となる広い室内空間を確保するため、ロングホイールベースを採用すると共に、1.3ボックスで立

方体を基調とした新しいデザインを採用した。そして、操縦安定性、乗り心地、静粛性、安全性などクルマの基本性能をきっちりと造りこんだ。また、街中での取り回し性や日常性にも十分配慮し、小型車サイズとした。その上でオートフリートップ、ハイパースライドシート、ロールカーテ



* 1, 2 第2商品センター

ンなど使い方の工夫で夢を広げることのできる新しい装備を付加し、室内空間の機能をさらに高めた。この結果、安全かつ快適に移動できるだけでなく、様々なレジャーの基地として使用いただける新しいワゴンを提案できたと考えている。

3. 機種構成と主要諸元

3.1 機種構成

ボデー形式は、ノーマルルーフ、サンルーフ、オートフリートップの3タイプであり、エンジンはガソリン直列4気筒2.0L、ガソリンV型6気筒2.5L、ディーゼル直列4気筒2.5Lの3タイプを設定した。また、幅広いユーザーの要望に応えるため、装備による3つのグレード（RS-V、RF-V、LTD）を設定している。（表1）

3.2 主要諸元

ボデーサイズは、日常での取扱いの容易さを考え、全長4585mm、全巾1690mm、全高1960mm（ノーマルルーフ車）、2090mm（オートフリートップ車）とした。ホイールベースはクラス最大の2920mmであるが、最小回転半径を5.5mとし取り回しが容易になるようにしている。（表2）

4. 開発のポイント及び特長

ボンゴフレンドの開発のポイント及び特長は次の通りである。

表2 主要諸元表

| ルーフタイプ | | ノーマルルーフ サンルーフ | オートフリートップ |
|-----------|------|------------------|-----------|
| 全 | 長mm | 4585 | |
| 全 | 巾mm | 1690 | |
| 全 | 高mm | 1960 | 2090 |
| ホイールベースmm | | 2920 | |
| トレッド | F mm | 1465 | |
| | R mm | 1440 | |

4.1 広い室内空間の実現

(1)安全性と快適性の高い1.3ボックススタイル
従来、前席下にあったフロントタイヤの位置を約940mm前進させ、1.3ボックススタイルを採用した。これによりフロント部分にクラッシュアブルゾーンを設け、前面の衝突安全性を高めた。また、フロントドア開口部とステップの幅を広くとって、前席の乗降性を向上させている。エンジンは前席下のフロントミッドに搭載することにより、室内長を最大限に確保した。

(2)クラストップのロングホイールベース

ホイールベースをクラス最大の2920mmとし、広い室内空間を実現した。

(3)広い室内空間を作る新しいエクステリアデザイン

表1 機種構成

| 駆動方式 | 2WD | | | | | 2WD及び4WD | | | | | | |
|--------------|-------------------|------|---------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|---------------|
| エンジン | FE型 直4・2.0ガソリン | | J5型 V6・2.5Lガソリン | | | WL型 直4・2.5ディーゼル(インタークーラー付ターボ) | | | | | | |
| ミッション | 4EAT | | 4EAT | | | 5MT及び4EAT | | | | | | |
| ルーフタイプ | ノーマルルーフ | | ノーマルルーフ | サンルーフ | | ノーマルルーフ | サンルーフ | | オートフリートップ | | | |
| リヤシート タイプ | ハイパー スライドシート | | ハイパー スライド シート | パーソナル セパレート シート | ハイパー スライド シート | ハイパー スライドシート | パーソナル セパレート シート | ハイパー スライド シート | 横はね 上げ シート | ハイパー スライド シート | 横はね 上げ シート | |
| 乗員定員(人) | 5 | 8 | 8 | 7 | 8 | 5 | 8 | 7 | 8 | 8 | 5 | 6 |
| グレード | RS-V | RS-V | RF-V | RF-V | LTD | RS-V | RS-V RF-V | RF-V | LTD | RF-V | RS-V | RF-V キャンパー |

エクステリアデザインは、室内の広さを最大限に確保するため空間効率の優れた立方体基調とした。このことにより、前後、左右方向ともに室内空間を大きくすることができた。ボデー上部の絞り込みを小さくし、頭のまわりの空間に広々感を演出している。

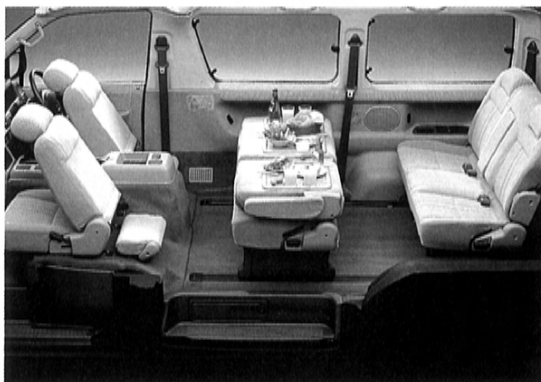
4.2 使い方の工夫で夢を広げる新装備

(1)オートフリートップ

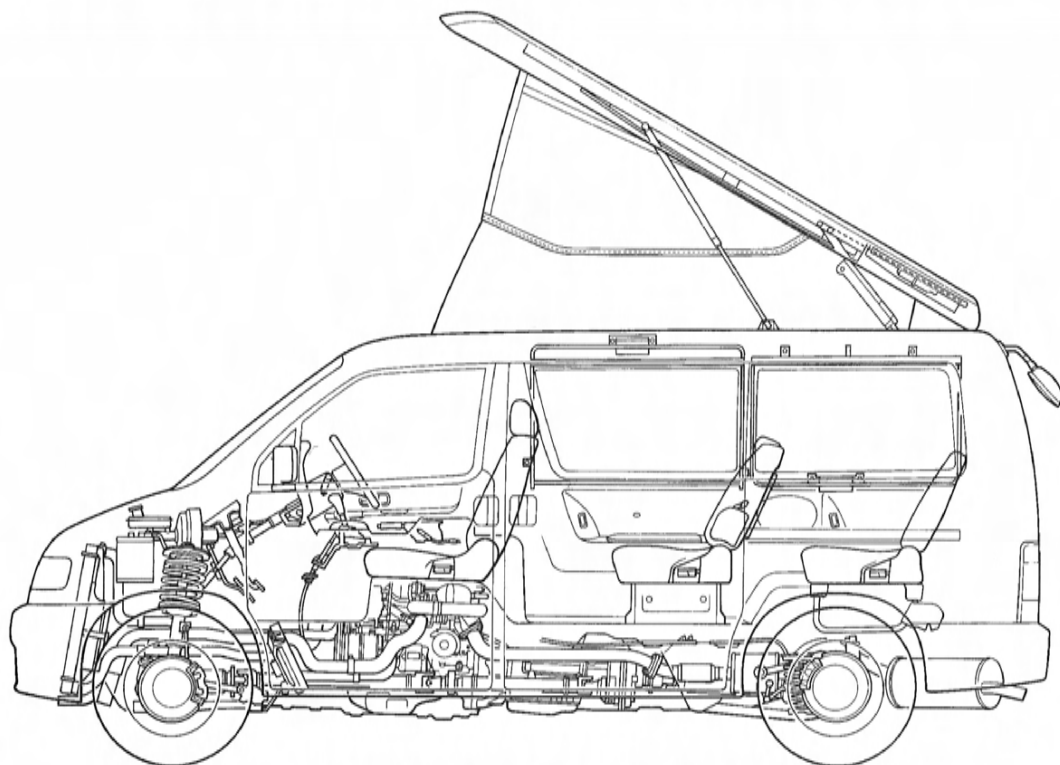
私達は、まず「レジャー基地」としての機能を充実させ、吹き抜け感覚の広い室内空間を実現したいと考えた。屋根の上部を電動で上下に開閉するオートフリートップを発想し、さらに大人2人が寝ることができるベッドとしての機能を追加した。

このオートフリートップは屋根、テント、床から構成される。屋根は軽くて強いSMC (Sheet Molding Compound) を採用、スライド式サンシェードの付いたサンルーフを設けた。テントは、耐久性と防水性の高いオープンカーの幌と同じ材質のものを採用した。また、上部には虫よけネット

を二重に設定し、上下二分割構造とした。床 (ルーフボード) は二分割構造で、フロント側は固定式、リヤ側はダンパー付きの開閉構造を採用した。リヤ側のルーフボードには開閉式の乗降口を設けると共に、ベッドとして使用する時、上下間の会話や小物の受け渡しが可能のようにコミュニケーションホールを設けた。



ハイパースライドシート



車両透視図 4WD 2.5ℓディーゼルトーボ オートフリートップ車



ロールカーテン

(2)多彩なシートアレンジメント

ボンゴフレンディの後席には、多彩なシートアレンジメントを可能にするハイパスライドシート、はね上げシート、パーソナルセパレートシートを各々の機種に設定した。

①ハイパスライドシート

5人乗り及び8人乗り（ノーマルルーフ車、サンルーフ車）の後席にハイパスライドシートを設定した。後席2列目と3列目のシートが約2mのシートレールの上を前後に移動できるもので、シートのロック位置によりいろいろな使い方ができるようにした。

②横はね上げシート

オートフリートップ車の後席3列目のシートは左右外側にはね上げることにより、広いラゲージルームとして使用できるようにした。

③パーソナルセパレートシート

後席1列目をセパレートシート（1人掛け×2）とし、ホールド性、居住性の高いシート形状とした機種を設定した。

④オットマン

後席2列目シートの足元に、左右一つずつオットマンを設定した。走行時は足置きとして使用し、目的地（停車時）では、オットマンを裏返して座部に、フロントシートは背もたれとして対面着座できるようにした。

(3)ロールカーテン（電動／手動）

電動または手動で昇降するロールカーテンを、後席サイドウィンドウに全車標準装備した。レー

ルはピラートリム内に設置し、カーテン巻き取り構造もウインド上部のトリムに内蔵しているため、使用時も収納時もスッキリとした室内を実現した。

4.3 基本性能の充実

乗用ワゴンとしての基本性能についても十分に配慮した。

(1)パワートレイン

①新開発2.5Lディーゼルターボエンジン

出力、排気ガス特性、燃費を高いレベルでバランスさせると共に静粛性、信頼性を高めた新型ディーゼルエンジンを開発した。主な特徴は、

- a 吸排気効率を高める1気筒当たり3バルブの採用
 - b 均一な燃焼を実現する燃焼室形状の最適化
 - c 応答性を高める斜流ターボチャージャーの採用
 - d 静粛性を高めるバランスシャフトの採用
- ②クラス初2.5L V型6気筒DOHCガソリンエンジン

センティアに搭載している2.5L V型6気筒エンジンを基本に吸・排気系を変更した。V6らしい静粛性とスムーズな回転特性、DOHC24バルブがもたらす余裕のパワーで上質な走りを実現できた。

③実用的な2.0L直列4気筒ガソリンエンジン
ボンゴワゴンFE型エンジンを基本にEGI化し、出力、トルク共に大幅に向上させている。

④フルタイム4WDシステム

4WDシステムはセンタービスカスカップリングを採用したフルタイム方式とした。雪道やぬかるみなど滑りやすい路面では、前後輪の駆動力配分が0:100~50:50の範囲で自動的に変化し、最適の駆動力が得られるようにしている。

(2)シャシー

乗員に安心感を与える操縦安定性及び高い制動性能を確保した。

①サスペンション

フロントはマクファーソンストラット式、リヤは5リンク式とし、サスペンションストロークを大きくとって、ゆったりとした乗り心地を実現した。スタビライザはフロント、リヤ共にトーションバー式を採用した。

②ブレーキ

ブレーキは、全車種に4輪ベンチレーテッドディスクブレーキを採用した。フロント、リヤ共15インチサイズで、フロントは2ポットキャリパを採用し、安定した制動力が維持できるようにした。また、4W-ABSをメーカーオプションとして設定している。

(3)ボデー

振り剛性、曲げ剛性を共に高めた高剛性ボデーとした。骨格にあたるフレームやメンバーなど主要部の断面を大きくとり、剛性を確保した。さらに、高張力鋼板の使用により、強度を確保しつつ軽量化も図った。

4.4 安全性及び環境問題

ボンゴフレンディは高い操縦安定性と制動性能、良好な視界などにより、事故を未然に防止するアクティブセーフティの向上を第一に考えた。その上で、万一の事故に備えたパッシブセーフティの強化を図った。また、樹脂部品のリサイクルへの取り組みなど環境問題についても配慮した。

(1)アクティブセーフティ

①走行安全性

- a 高い操縦安定性
- b 高い制動性能
 - 4輪ベンチレーテッドディスクブレーキ
(全車標準装備)
 - 4W-ABSの設定
- c その他
 - フルタイム4WDシステム、リアLSDの設定

②知覚安全

- a 良好な視界の確保

(2)パッシブセーフティ

- a 1.3ボックス クラッシュアブルボデー
- b サイドインパクトバー
フロントドア、スライドドア内部に設置
- c 燃料タンクレイアウト
強固なフレーム内側に搭載
- d 運転席SRSエアバッグシステム
- e 衝撃吸収式ステアリングホイール

(3)環境問題

- a リサイクルへの取り組み
樹脂部品の約85%に再利用しやすい熱可

塑性樹脂の採用及び材質の表示

リサイクル材の使用

b 特定フロンの廃止

特定フロンの使用を廃止した。

5. おわりに

以上、ボンゴフレンディの開発のねらい、商品概要を紹介した。ボンゴフレンディは、日常の使用はもとより、様々なレジャーの基地としても楽しくお使いいただけるものと考えている。最後に、この開発にご尽力いただいた社内外の多くの関係者の方に、この紙面を借りて深く感謝の意を表したい。

■ 著 者 ■



中江照司



前田英男

小特集：ボンゴフレンディ

9

新型ボンゴフレンディのオートフリーストップ Development of Auto Freetop for BONGO FRIENDEE

中 川 吉 晴^{*1} 松 延 知 昭^{*2} 中 村 誠 之^{*3}
Yoshiharu Nakagawa Tomoaki Matsunobu Seishi Nakamura

要 旨

近年のアウトドアレジャーブームの中、オートフリーストップは「誰でも手軽にもう一つの居住空間（2階部屋）を出現させることが出来、車を単なる移動手段としてのあり方から住居感覚にまで価値を広げていけること」を条件に量産開発したものである。本稿では、ボンゴフレンディに装備したオートフリーストップの開発のねらい、構造上の特徴、および主要技術について紹介する。

Abstract

In view of an outdoorleisure-boom in recent years, this Auto Freetop was developed under the necessary conditions that anyone can readily own another space(second floor)and that a car can be used not only as a travelling instrument but also as a room, that is, increase in value has been pursued.

This is to introduce development concepts, structural features and major technologies that pertain only to this Auto Freetop mounted on BONGO FRIENDEE.

1. はじめに

オートフリーストップに類するものは、従来、市販車を改造し市場に提供されている。しかしながら、改造による制約から、使い勝手、品質、価格、見栄え等で満足できるものとは言いがたい。

今回開発したオートフリーストップは量産車として満足できるようルーフを電動開閉式とし、更にテント、ベットを装備することにより、オートキャンプを含め使用価値の広がる商品を実現化している。

以下にオートフリーストップの開発のねらい、構造上の特徴、および主要技術について紹介する。

2. 開発のねらい

オートフリーストップはオートキャンプに代表されるレジャーベースワゴンとなりうるための代表

的な装備である。この装備をマニア的な領域から大衆化の領域にふさわしいものとするを必須条件とし、以下を開発のねらいとした。

(1)誰でも手軽に使用できること。

(2)大人2人がゆったりと安心して横になれる居住空間が実現でき、かつ通常の使用では違和感のないこと。

上記(1)については、スイッチのみで誰でも操作できる世界初ルーフ開閉の電動化およびテント収納の自動化を実現した。次に(2)の居住空間については、図1に示すように、ユニットスペースと室内スペースを確保しながら、特に全高については大型立体駐車場に入庫できるよう2100mm以下を実現した。

3. 構造上の特徴および主要技術

オートフリーストップは、簡単なスイッチ操作に

* 1, 2 第2車両設計部 * 3 第2車両実研部

より、車室内にもう一つの新しい空間（2階部屋）を出現させることができ、更に、ルーフボードを手動で開ければ、ふきぬけ感ある広い居住空間をつくりだすことができる。まさにレジャーベースワゴン“ボンゴフレンディ”にぴったりの高い商品性をもった装備である。図1にオートフリーストップの概略図を示す。

3.1 操作方式

(1)可動ルーフ開閉操作方式

ルーフの開閉は、操作スイッチおよびロックキャンセルスイッチを操作することにより、容易に行える。ただし、安全性を優先させるため、ワンタッチオート機構は設けず、操作スイッチから手を放せば直ちに作動を停止する機構とした。同じく安全面からオートフリーストップ作動中（全開全閉以外の状態）は、警告ブザーおよびインパネ内に設置した警告灯によりユーザに警告をうながすシステムとした。また、オートフリーストップが走行中に展開できないようにするため、

①車両が停止状態であること。

②サイドブレーキを引いていること。

の二つの条件を満たさないと作動しないシステムとした。

オープン操作は操作スイッチのみで行え、操作スイッチのオープン側を約20秒押し続けることで、全開状態になる。クローズ操作は、誤操作を

防止するため、可動ルーフ内に設置したロックキャンセルスイッチをワンプッシュし、その後操作スイッチのクローズ側を押す2アクション操作としている。オートフリーストップが開いた状態では、テント内と車室内はルーフボードにより二分され、車室内からテント内の状態が分かりにくい。そこで、ロックキャンセルスイッチを可動ルーフ内に設置し、クローズ操作の最初にこのスイッチを押すことでユーザに、テント内にのりだしテント内に人や物が残されていないことを確認することをうながし、挟み込みを防止した。これにより子供のいたずら等で誤って操作スイッチを押して突然ルーフが閉まることも防止している。

(2)ルーフボード開閉方式

ルーフボードは前後二分割にしており、リヤ側のボードはヒンジ部とステーダンパを用いて、手動開閉可能にしている。ステーダンパのサポート力により、操作力は非常に軽く、開いた状態で保持することができる構造にしている。

(3)テント開閉方式

テントは、上半分がテント材とネット材の二重構造になっており、それぞれ開放が可能な構造にしている。図2に、テントの状態を示す。上側テントには、雨天時等の換気用の小窓も設置している。そして各部の開閉部はすべてファスナ構造で、簡単に開閉することができる。

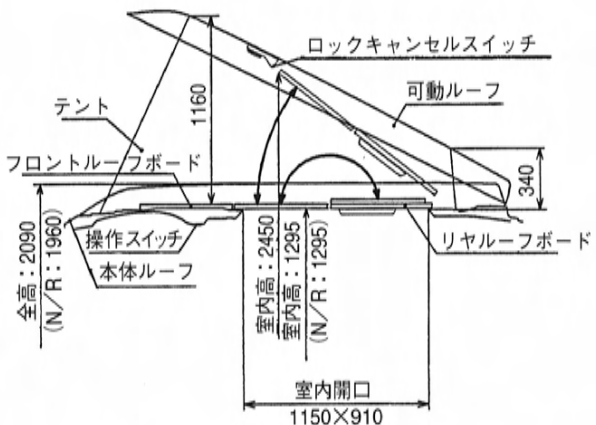


図1 オートフリーストップ概略図

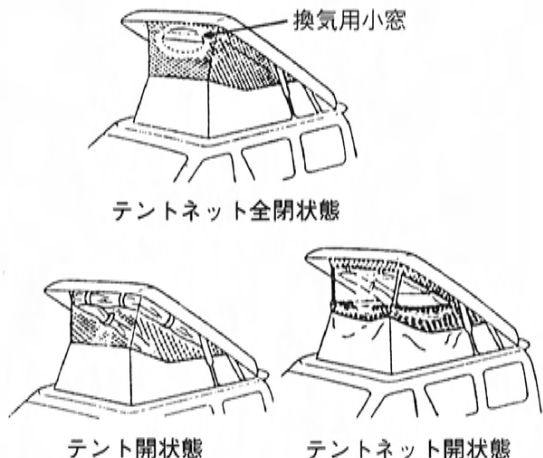


図2 テント開放状態

3.2 ユニット構造

(1) 可動ルーフ

可動ルーフは、SMC（シート・モールディング・コンパウンド）製で、比較的成形性が良く、解析や実車テストの結果を基に、適切なリブおよび補強を入れることで軽量かつ高い剛性をもったルーフとしている。図3にルーフの強度解析の一例を示す。

(2) 駆動メカニズム

図4に駆動メカニズムのレイアウトを示す。

駆動メカニズムは、サンルーフ基本構造を応用したリンク機構で、動力源にサンルーフモータを使用している。ただし、サンルーフに比べ可動部の重量がかなり大きいため、モータを2個使用し作動力のサポートとしてステアダンパを2本設定している。モータ等ほとんどの駆動メカニズムを可動ルーフのテントの外側にレイアウトすることで車室内およびテント内への突き出しを少なくし、広い室内空間を確保している。また、駆動メカニズムをシンプルにすることでユニット全体を薄くし、車両全高もノーマルルーフ比で約130mmアップに抑えることができた。

(3) ルーフボード

ルーフボードは、フロント、リヤの二分割構造になっており、リヤ側にテント内への出入口となる扉を備えている。また、リヤルーフボード全体が開閉できる。扉を閉めてしまうと、テント内と車室内は完全に遮断されるが、この場合にも会話

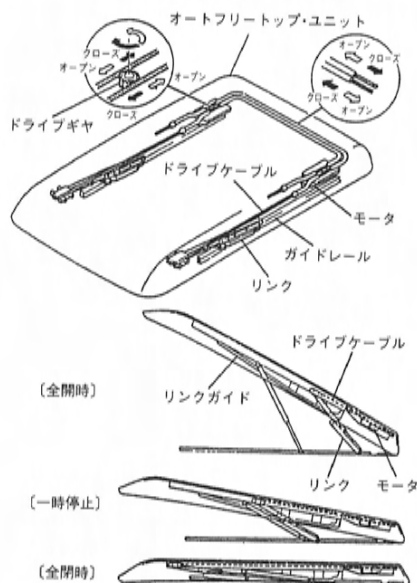


図4 駆動メカニズムレイアウト

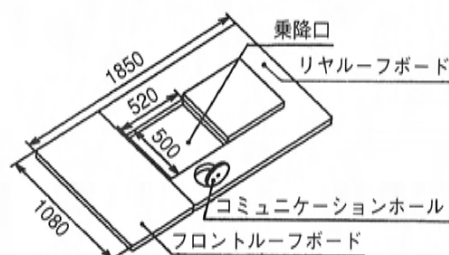


図5 ルーフボード構造

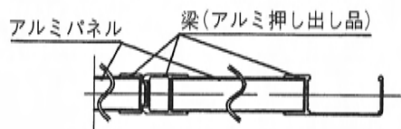


図6 断面図

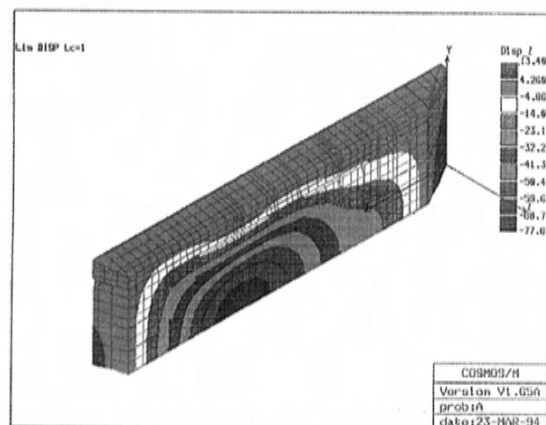


図3 可動ルーフの強度解析

やちょっとした物の受け渡しができるようにコミュニケーションホールを設定した。ルーフボードはテント内での床の役目をするので、十分な強度をもたせる必要がある。そこで、図5に示すようなアルミ製のパネルと梁、特に梁は精密押し出し加工の信頼性の高いものを組み合わせた構造にし、大人二人が安心してくつろげるようにしている。更に、ルーフボード上面は全面布ばりにして、商品性の向上を図った。

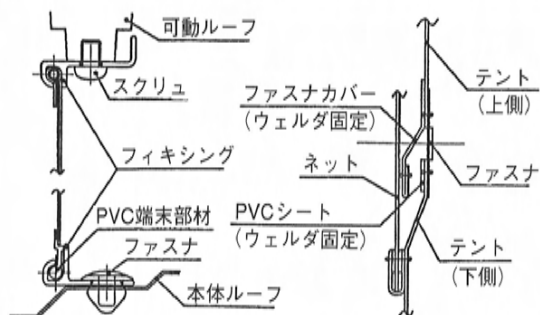


図7 テント取付構造 図8 テントファスナ部断面

(4) テント

テント材には、オープンカーの幌等で実績のある、丈夫で防火性に優れた塩ビレザーを使用し、室内側は、結露を防止するため、布張りにしている。

テント取付構造を図7に示す。可動ルーフおよび本体ルーフに取り付けるためにアルミ製のフィキシングを設け、確実な締結を行った。フィキシングは、取り外しを簡単にするため、可動ルーフ側にはスクリュ、本体ルーフ側にはファスナで固定している。

オートフリートップは本体ルーフ上にあるため、テントの下側部分は開閉できない構造にして転落防止などの安全性を図っている。また、雨天時などの使用の際、水が室内に侵入しないようにテントの縫製部や、テント分割用のファスナ部は外側に露出しないようにしている。また、本体ルーフ側のフィキシングとの締結部にはビニール製の端部材を設定し、水のしみ込みを防いでいる。図8にテントファスナ部の断面を示す。

3.3 開閉機構

(1) 駆動機構

開閉作動は、可動ルーフ側のガイドレールに対して、リンクガイドのレール部が傾斜しており、リンクのローラがそれぞれのレール部を通ることで、リンクが後方に動けば可動ルーフをもち上げる力 f を発生させる。リンクの位置つまり力の作用点が可動ルーフがもち上がるにつれて後方へ移動していくと、ルーフをもち上げる力が弱くなるので、ステアダンパのサポート力 f' にサポートされる構造としている。開閉作動の原理および作動力配分を図9に示す。また、左右のリンクを同期させるために、左右それぞれのドライブケーブル

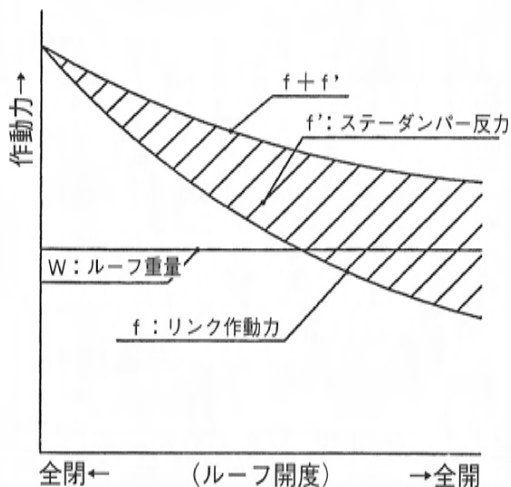
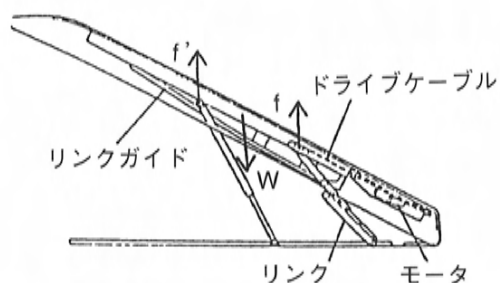


図9 開閉作動原理

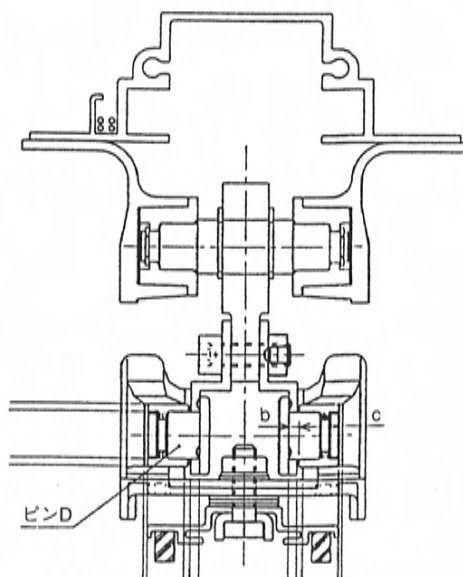


図10 ガイドレールとリンク部

のアイドル側を反対側のモータに連結させている。ケーブルが摺動するガイドレールはアルミ精密押し出し加工品で耐久性と信頼性を確保している。(図10参照)

(2)ロック構造

可動ルーフを全閉にした時のロック機構を図11に示す。クローズ作動にしてリンクが前方に動いてくると、リンクに設けたロック用のローラが本体ルーフ側のガイドレール前側にあるロックに入っていく、全閉状態では、完全にロック内に入る。このロック機構により、可動ルーフの閉状態での上方向への位置規制を行っている。またローラがロックに入る時可動ルーフを下側に引き込み、本体ルーフ側に押しつけることで、走行中の負圧による可動ルーフの浮き上がり現象の発生を確実に防止している。

(3)シール構造

オートフリーストップのシール構造を、図12に示す。基本的には、可動ルーフ側全周に設定している大型断面のウエザーストリップによりシールする構造とした。また、高速走行時のシール切れを防ぐため、ロック機構に加え可動ルーフ前側中央部にリーンフォースメントを設定することで、負圧によりルーフ上面がもち上げられるとA点を支点としてルーフ先端部が押し下げられるシーソー構造にした。この構造により、本来シールにとって不利な負圧を利用し、逆に高速走行中のシール性の向上をしている。

(4)テント収納構造

オートフリーストップを手軽に電動開閉する時に考慮すべき事は、テントの収納方法である。可動

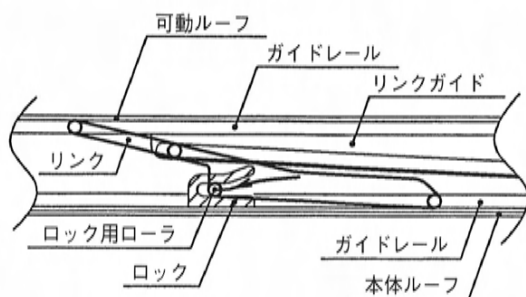


図11 ロック構造

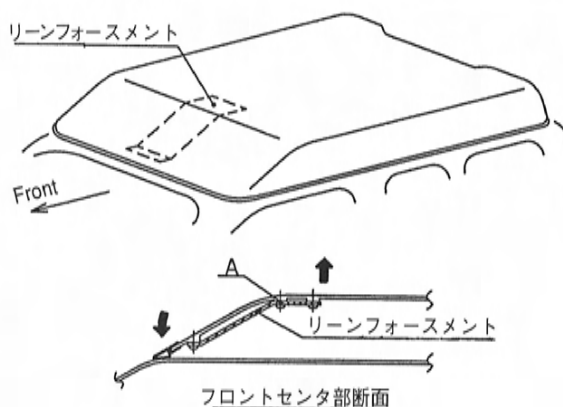


図12 シール構造

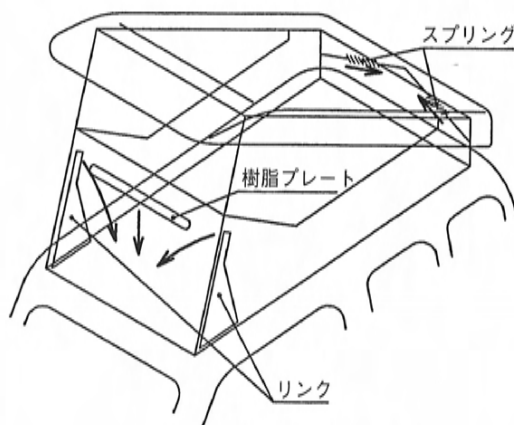


図13 テント収納構造

ルーフが閉じてゆくと、テントは外側にふくらむ傾向にあり、更に風などの影響でどちらかに片寄ってはみ出そうとする。この点を解決したのが図13に示すテント収納構造である。テントをきちんと可動ルーフ内に収納するために、テントフロント側コーナーにテントを内側に引き込むリンクを設け、テントリヤ側コーナーにも引き込みスプリングを設定することで、ルーフが閉まる時テントのサイド面をうまく畳み込んで収納できるようにした。更に、前面テント中央部に樹脂プレートを入れることにより、前面テントが前側にはみ出すのを防止している。この構造を採用することで、テント収納もワンタッチで行えるようになった。

4. おわりに

以上、ボンゴフレンディのオートフリートップについて紹介した。現在、アウトドアレジャーが急速に大衆化してきている状況の中、「車を単なる移動手段としてではなく、目的地についてからのレジャー基地として使いたい」「もっと手軽にオートキャンプを楽しみたい」という発想から生まれてきたオートフリートップは、車を使う楽しさを無限に広げてくれる全く新しい装備と考えている。生まれたばかりの装備ではあるが、多くのユーザーに新しい楽しさを提供してくれることを願うとともに、ユーザーの期待に応えるべく今後さらなる育成を実施してゆく所存である。

末尾ながら、オートフリートップの開発にあたって多大なご支援をいただいた社内外の方々に深く感謝の意を表したい。

■ 著 者 ■



中川吉晴



松延知昭



中村誠之

小特集：ボンゴフレンディ

10

新型ボンゴフレンディ用2.5L WL-T型ディーゼルエンジン WL-T(2.5L)IDI Diesel Engine for BONGO FRIENDEE

光 原 孝^{*1} 安 田 浩 明^{*2} 阿 部 良 治^{*3}
Takashi Mitsuhashi Hiroaki Yasuda Ryoji Abe
山 内 道 広^{*4} 豊 田 一 雄^{*5} 白 橋 尚 俊^{*6}
Michihiro Yamauchi Kazuo Toyoda Naotoshi Shirahashi

要 旨

新型ボンゴフレンディ用に開発したWL-T型ディーゼルエンジンは、クリーンで低燃費、豊富な出力、トルクを初め、卓越した静粛性をも実現した次代をリードする商品性の高いエンジンである。

ディーゼルでは国内初のSOHC、3弁化を初め、多くの新技術を採用するとともに、燃焼室・噴射系、主構造系、回転系他構造の最適化により、ねらい通りのエンジンに仕上げる事ができた。

本稿ではこのWL-T型ディーゼルエンジンの特徴、構造、採用技術について解説する。

Abstract

This paper introduces the characteristics, structure, and applied technologies of WL-T engine developed for new Bongo Friendee. The engine has obtained a high marketability by realizing high performance including low emission, low fuel consumption, abundant torque, and high power output along with superior quietness and durability. All these development objectives have been achieved due to adoption of the SOHC 3-valve mechanism which is the first as a diesel engine in domestic market, incorporation of the new technologies into combustion and injection systems, and optimization of each structure/system such as engine frame structure and rotating system.

1. はじめに

昨今、自然環境保護に関する認識が急速に高まる中、低燃費と排気ガス浄化の観点から自動車メーカーは技術開発に懸命に取り組んでいる。

一方、国内におけるRV市場は成長の一途をたどり、ディーゼルエンジンはこのトレンドにのって脚光を浴び、ユーザからのディーゼルエンジンに対する要求はますます高くなっている。このような背景の中、これらの新しい時代の流れに充分対応が可能な、高い商品力を有するRV用基軸エンジンの誕生が強く望まれていた。

WL-T型エンジンはこのような要望に応え、新開発車ボンゴフレンディ他、当社RV車の主力エンジンとして、ディーゼルでは国内初のSOHC、1気筒当たり3弁を採用するとともに、多くの新技術の折り込みにより、クリーンと高性能を高次元

で両立させたエンジンである。

本稿ではこのWL-T型エンジンの特徴、及び採用技術などについて紹介する。

2. 開発のねらい

将来に渡っての基軸エンジンとして高いポテンシャルを実現すべく、開発のねらいとして下記のように設定した。

- (1)国内外の排気ガス規制強化に対し、将来とも適合できる基本設計とする。
また、実用領域でのスモークの低減を図り、ほぼゼロB.U.レベルに育成する。
- (2)ディーゼルエンジン本来の燃費の良さをクラストップで実現する。
- (3)快適な走りを実現するクラストップの高出力性能と、吹き上がりの良さが実感できる高トルク特性及び加速レスポンスを達成する。

* 1～4 パワートレイン設計部 * 5, 6 第2車両実研部

- (4)乗用RV用としてディーゼルエンジン特有の燃焼騒音を感じさせない低振動、低騒音を達成する。
- (5)長寿命化の要求に応えるべく、従来エンジンから一段と耐久信頼性を向上させ、メンテナンスフリー化を図る。

3. 主要諸元とエンジンの特徴

WL-T型エンジンは、車体への搭載条件をはじめとして、(1)出力性能、(2)燃費、(3)排気ガス特性を考慮して、最適なボア・ストロークなど、主要諸元の選定を行った。

主要諸元を表1に、性能曲線を図1に示す。

図2・3にエンジン断面図、図4に採用技術をまとめた。

表1 主要諸元

| 項 目 | W L - T |
|----------------|---|
| エ ン ジ ン | ディーゼル、直列4気筒 |
| 過 給 機 | インタークーラー付ターボチャージャー |
| 燃 焼 形 式 | 渦 流 室 式 |
| バルブ機構 | SOHC 3バルブ |
| 総排気量(cc) | 2499 |
| ボア×ストローク(mm) | 93×92 |
| 圧 縮 比 | 19.8 |
| 最大出力(kW/rpm) | 92 / 4000 (NET) |
| 最大トルク(Nm/rpm) | 294 / 2000 (NET) |
| 最小燃料消費率(g/kWh) | 258 / 2000 |
| バルブ タイミング | 吸気側 I. O 10° BTDC / I. C 24° ABDC 排気側 E. O 61° BBDC / E. C 9° ATDC |

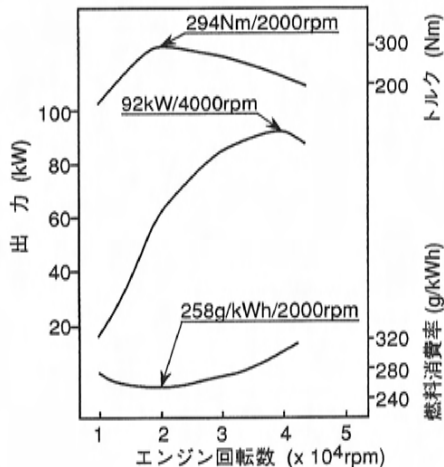


図1 性能曲線

3.1 出力性能と排気ガス特性

1気筒当たり吸気2弁の採用をはじめ、燃焼室や噴射系の最適化、電子制御式EGRの採用により、クラストップの出力性能を排気ガス特性と最適にバランスさせた上で実現することができた。図5に排気量当たりの出力比較を行う。

また、排気ガス規制に適合することは勿論、スモークについても通常の走行領域においては、ほぼゼロB. U.レベルを実現しており、従来のディーゼル車の排気特性を大幅に改善している。

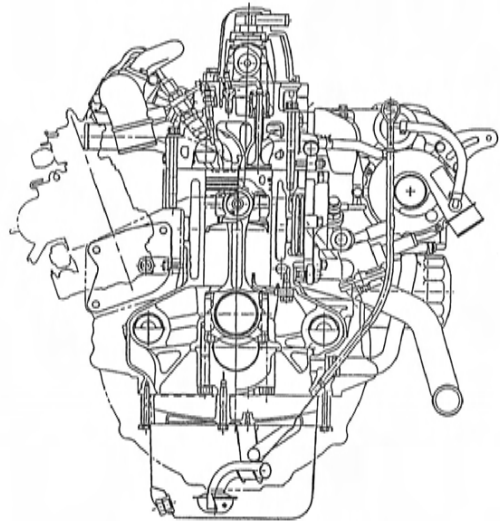


図2 エンジン断面図

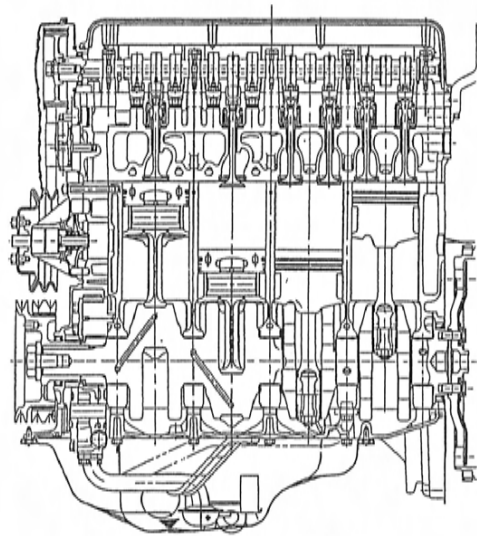


図3 エンジン断面図

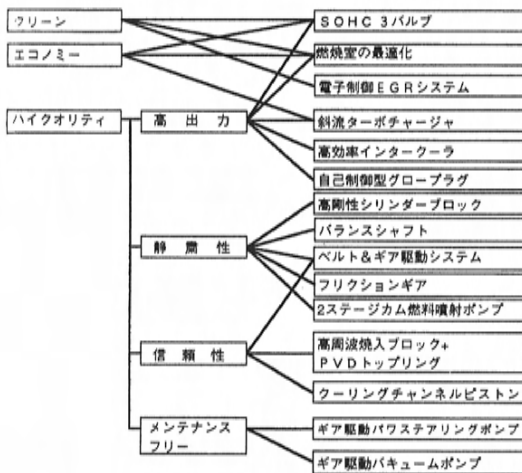


図4 主要採用技術

(1) 動弁系の最適化

国内初の1気筒当たり吸気2弁、排気1弁の3弁構造を採用し、吸気閉弁時期の早期化、低圧縮比化を実現させることにより、最高燃焼圧を抑制した上で充填効率を向上させ、出力、始動性、耐久信頼性の全特性を高次元でバランスさせている。図6に技術ねらいの相関図を示す。

特に吸排気系及び動弁系の仕様選定に当たっては、シミュレーションの有効活用により最適化を図った。図7にその例を示す。

(2) 燃焼室・噴射系の最適化

燃焼室は従来エンジンで実績のある、リカルドコメットV型を基本形状とした。

高出力、低スモークを達成するため、燃焼室容積比、噴口面積比、グロープラグ突出し量など、統計的解析手法を用い、総合的な検討を行うことで高いポテンシャルを実現している。

また、主室のキャビティ形状においては、キャビティ径、深さをパラメータとして解析を行い、空気利用率を最大化することで従来比約2.5B.U.のスモーク低減を得ることができた。図8にスモーク特性を示す。

(3) 新過給システムの採用

高出力化と加速応答性改善の要求から、クラス初の斜流ターボチャージャーを採用した。図9にその構造を示す。

排気ガスのタービンインペラへの流入方向を適正化し、スムーズな流れを形成することで大幅に

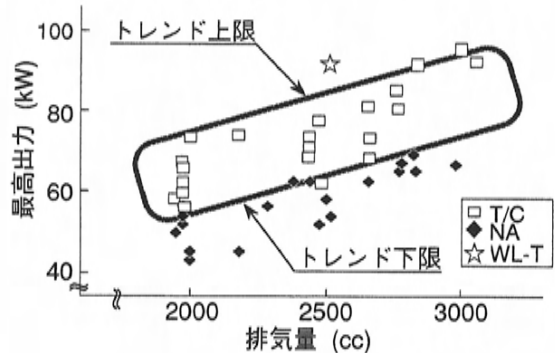


図5 出力比較

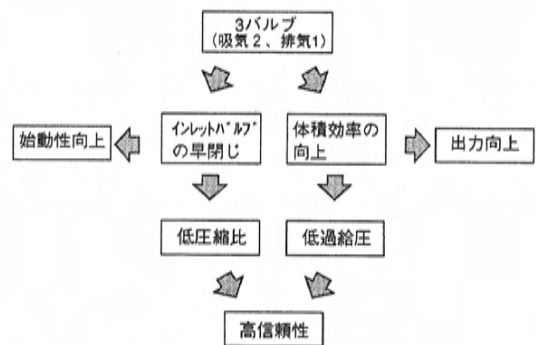


図6 3弁/気筒のねらい

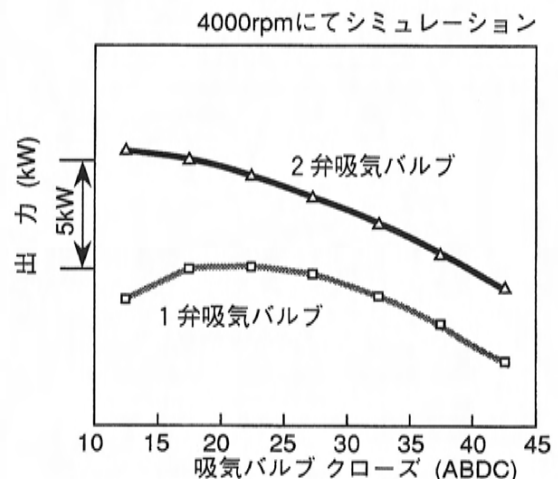


図7 吸気バルブ数と出力との関係

効率が向上している。そのためタービン容量当たりの外径を小さくでき、従来比約40%慣性モーメントの低減が可能となった。

これらにより低回転、低負荷域からの高い過給圧とともに、軽快なレスポンスも実現することができた。図10に発進加速性改善効果を示す。

(4)電子制御式EGR

よりクリーンな排気ガス特性を達成するため、電子制御フィードバック式EGRシステムを採用した。

リフトセンサにより実EGRバルブリフト量を検知し、エンジン回転数とアクセル開度により決定される目標リフト量に対するフィードバックを行うことで車の要求特性に合致したより緻密で正確な判断が可能となり、前述の燃焼室・噴射系とともにクリーン、高出力の実現に大きく貢献している。図11にEGRシステム配管図を示す。

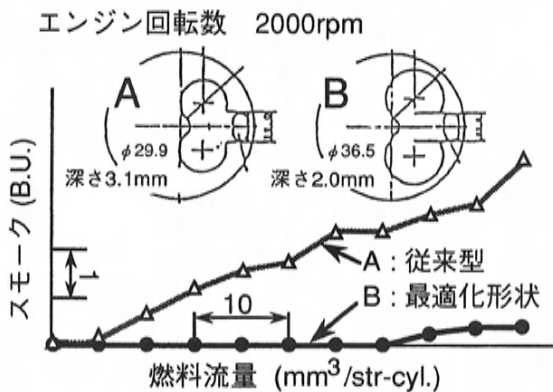


図8 スモーク特性

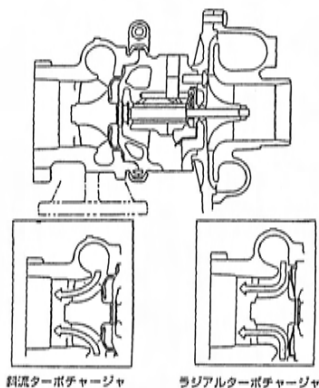


図9 斜流ターボチャージャ構造

3.2 振動・騒音特性

乗用RV用としての低振動・騒音を確立するため、バランスシャフト、2ステージカム噴射ポンプなど、加振領域の低減をはじめとし、シリンダブロック、タイミングカバー、オイルポンプなどの放射・伝達系も細部に渡り剛性を高め、高次元の静粛性を実現した。

特に国内市場ではアイドル域での使用頻度が多く、この領域での騒音レベル、音質改善の作り込みに開発の重点を置いた。

(1)本体構造体系

FEM解析、アコースシス解析などの検証手法の有効活用を図り、シリンダブロック隔壁部など、各部に渡り検討を行い、高剛性と軽量化を両立させた。図12にアコースシス解析モデル例を示す。

また、パワープラントベンディングに関してはベアリングキャップ、ミッションケースとの一体

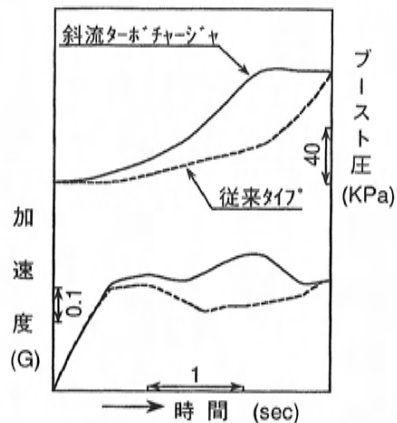


図10 発進加速G比較

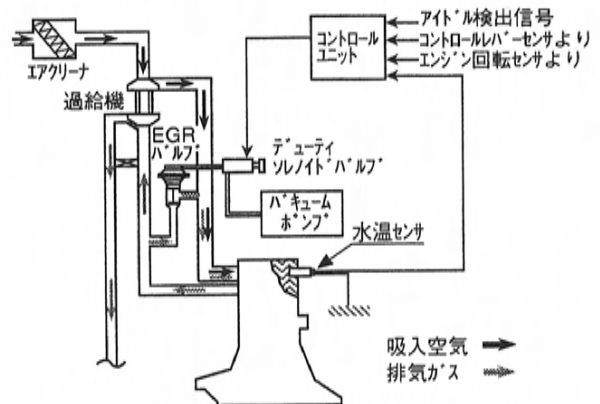


図11 EGRシステム配管図

締結により十分な結合剛性を持たせ、エンジン音を全回転域に渡って低減すべくVRAS(Vibration Reducing Aluminum Stiffner)構造を採用している。図13にVRAS構造を示す。

一方、シリンダブロックには左右一対でのバランスシャフトを設け、直列4気筒エンジン特有の現象である二次振動成分の低減を図り、こもり音領域の大幅な低減を行った。図14にバランスシャフトの効果を示す。

(2)動弁系

バルブクリアランス、カムプロフィール、カムリフト特性などの最適化、シリンダヘッドの剛性アップなどにより、1気筒当たり3弁採用によるバルブ着座音の低減を図った。

また、放射音領域ではシリンダヘッドカバーのフルフローティング化をはじめ、カバー肉厚を十分に確保し、大幅な低減を図っている。

(3)タイミングトレース

耐久信頼性、静粛性の両立を図り、タイミングトレース系としてギアとベルトの併用構造を採用した。図15にタイミングトレース系を示す。

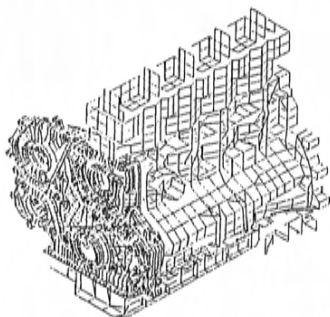


図12 アコースシス解析モデル

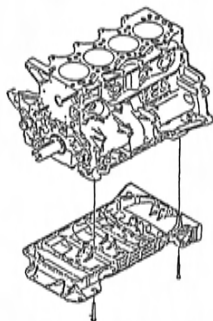


図13 VRAS構造

ギア歯打ち音に関しては、材質、熱処理の見直しにより、ギア単体での部品精度を向上させるとともに、軸間公差の縮小を図り、バックラッシュの低減を徹底的に追求した。結果として従来比約65%のバックラッシュ低減を実現している。

また、クランク、噴射ポンプ、バランスシャフトの各部分にフリクションギアを配置し、ギア歯面同志の衝突エネルギーの緩和を図っている。

一方、ギア噛み合い音に関してはギア単体での歯形など部品精度の向上を図るとともに、シミュレーションを活用し、相手ギアとのスムーズな噛み合いを実現する最適な歯面性状を作り込むことにより、対応を行っている。

さらにはタイミングケースカバーの材質、肉厚をチューニングし、放射系に関しても最適化を図るとともにギアねじれ方向に関してもねじれにより燃料噴射ポンプ駆動軸部に働くスラスト力の方向がポンプ内部から作用する力の方向と一致するよう選定することで駆動軸の動きを安定させ、スラスト打音を低減している。図16にギアねじれ方向の騒音レベルへの影響を示す。

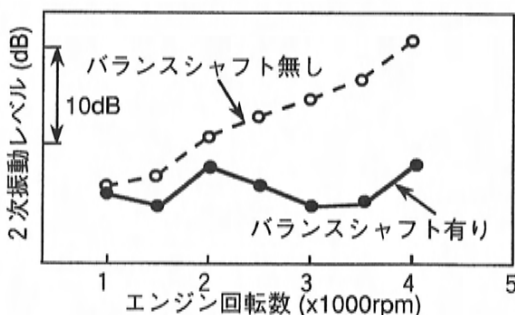


図14 バランスシャフト効果

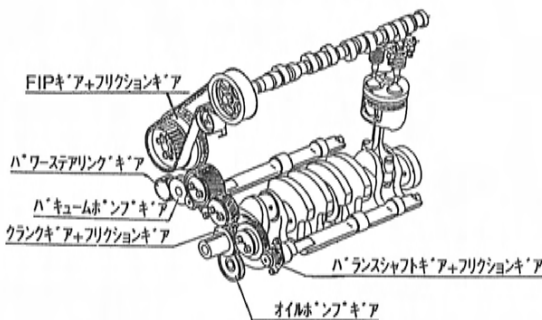


図15 タイミングトレース系

(4)燃焼系・制御系

2ステージカム燃料噴射ポンプの採用により、軽負荷時での着火遅れ期間中の燃料噴射量の低減と噴射タイミングの最適化により、急な圧力上昇によるアイドリング時の燃焼騒音を改善した。特に冷間始動から半暖機におけるディーゼルノック音を低レベルで抑え込んでいる。図17に燃料噴射率特性を示す。

また、グローシステムにはそれ自身の温度に対し、自己制御を行う、自己制御型グロープラグを採用し、水温・回転数及び負荷に対する学習システムを組むことで安定した始動と冷間から半暖機時のノック音の改善を図っている。

以上のような技術の採用により、特にアイドル回転域においてディーゼルエンジンに特有の騒音を低減させ、優れた静粛性を得ることができた。図18にアイドル騒音を示す。

3.3 耐久信頼性・メンテナンスフリー

高出力化にともなう熱負荷、機械的負荷の増加に対応するため、主構造体他、徹底した信頼性検証を行い、商用車への採用までを考慮したポテンシャルを持たせた。

(1)シリンダヘッド

シリンダヘッドは軽量化からアルミ合金とし、シリンダヘッドボルトを1気筒当たり6本設け、塑性域締めを採用している。加えてシリンダヘッドガスケットにスチールラミネートを採用することでガスシール性の安定化を図っている。

また、水流観察により、吸・排気バルブ、クロスドリルのレイアウトをスムーズな水流を確保すべく形成するとともに熱、応力FEM解析を実施し、温度低減、応力低減を図り、十分な耐久信頼性を確立した。図19にFEM解析モデルを示す。

(2)シリンダブロック

シリンダブロックは鋳鉄製であり、ライナ構成は4連サイアミーズ構造とし、クロスドリルを設定するとともに、シリンダヘッドと同様に冷却水流れを最適化することで温度低減を図っている。

また、シリンダボア内面には高周波焼入れを施し、シリンダライナを廃止しているが、新開発のPVD (Physical Vapor Deposition) トップリングと組合せることにより、従来のシリンダライナ仕様以上の高い耐摩耗性を実現し、良好なオイル

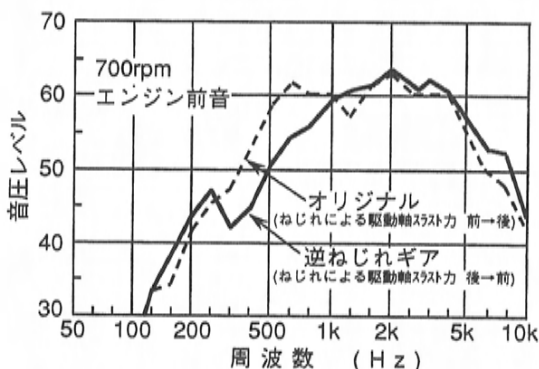


図16 ギアねじれ方向の騒音への影響

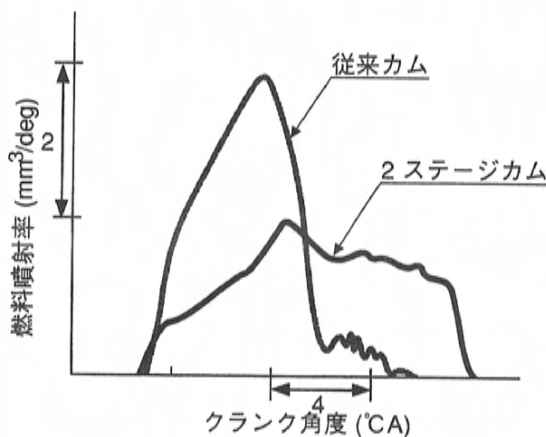


図17 燃料噴射率特性

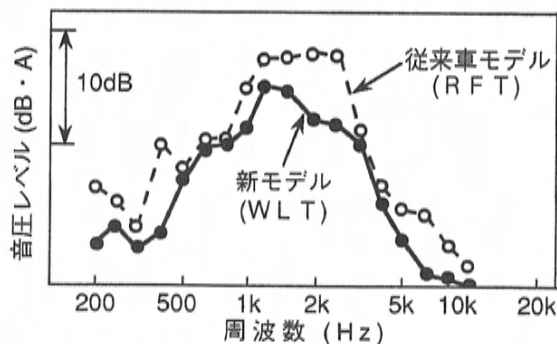


図18 アイドル騒音

消費レベルを達成している。図20にトップリングとシリンダの摩耗量の実験結果を示す。

(3) タイミングトレイン

各ギアは表面に窒化処理を施し、耐摩耗性を向上させている。また、歯のねじれ角とモジュールを最適化することでギアスラストプレート摩耗、歯元強度などの耐久信頼性面とギア噛み合い音の両立を図った。

また、メンテナンスフリー化をねらい、パワーステアリングポンプとバキュームポンプはギア駆動を採用している。

一方、タイミングベルトは燃料噴射ポンプギアと同軸上に設けられたプーリを介して負荷の軽いカムシャフトのみを駆動し、ピッチサイズを大きくすることで、耐久信頼性を確保している。

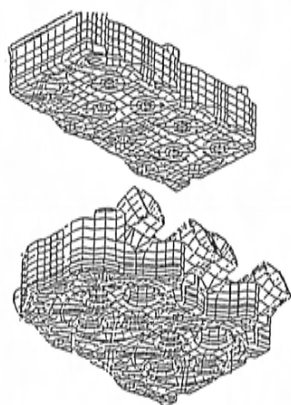


図19 FEM解析モデル

4. おわりに

以上WL-T型エンジンの特徴、採用技術などについて紹介した。本エンジンは次代を担うエンジンとして、自信を持って世の中に送り出せるレベルに仕上がったと自負している。

今後とも市場の声に耳を傾け、さらに改良を加え、継続的にポテンシャルアップを図っていく所存である。

最後に開発に際してご協力とご支援を賜った社内関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

■ 著 者 ■



光原 孝



安田 浩明



阿部 良治



山内 道広



豊田 一雄



白橋 尚俊

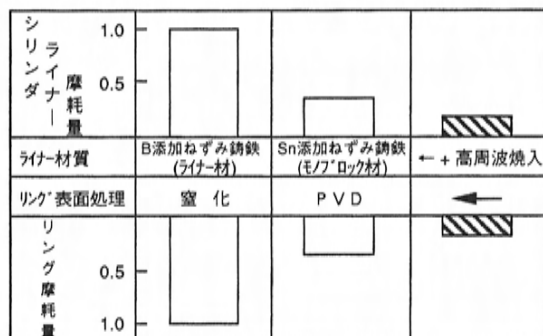


図20 トップリングとシリンダの摩耗量

小特集：ボンゴフレンディ

11

新型ボンゴフレンディの衝突安全性能開発 Development of Passive Safety for BONGO FRIENDEE

福島 正 信*¹ 三 島 隆 志*²
Masanobu Fukushima Takashi Mishima

要 旨

ボンゴフレンディは、優れた空間効率の実現とともに衝突安全性を重視したワゴンである。

正面衝突をはじめさまざまな衝突における乗員の保護のために、新型の1.3BOXスタイルのモノコックボディの開発に取り組み、開発初期段階よりシミュレーション解析を駆使することで、強固なキャビンと最適な衝撃吸収構造を追及した。本稿では、ボンゴフレンディで取り組んだ衝突安全性能開発の中から代表的なものを取り上げて紹介する。

Abstract

The BONGO FRIENDEE is the wagon with an emphasis on passive safety performance as well as the realization of advanced space utility. We have developed the new 1.3Box styling monocoque body for the purpose of the occupant protection at frontal crash and some other various crash. For the occupant protection, we focused our efforts on designing the strong cabin and the energy absorbable structure by the analysis using a simulation technology during earlier development phase. This paper introduces the representative of passive safety development for the BONGO FRIENDEE.

1. はじめに

ボンゴフレンディは、“家族”をキーワードに掲げ、レイアウトにおいて広い室内空間を造り込んだワゴンである。同時に、家族にとって万一の時の衝突安全性能を充実させるために、ボンネットの付いた1.3BOXスタイルの車を新たに開発した。特に、高効率のクラッシュブル特性の実現と軽量化など他性能との両立を図るために、開発の初期段階からCAE (Computer Aided Engineering) による徹底した衝突性能解析に取り組んだ。そして、解析と実車を使ったさまざまな衝突実験を組み合わせることで効率的な検証を行い、目標の衝突安全性能を実現した。

以下に、ボンゴフレンディの衝突安全性能について、車体開発での取り組みを中心に紹介する。

2. 開発のねらい

衝突安全性能は、万一の事故の際に乗員を保護する性能であり、国内外において種々の安全法規基準も制定されている。この乗員保護のための基本要件は次の三つである。

- (1)衝突時の車体衝撃により乗員に加わる衝撃および二次的衝突を緩和させるための車体および内装品の衝撃吸収構造。
- (2)衝突時に乗員の生存空間を確保し、乗員の脱出や救護を阻害しない強固なキャビン強度。
- (3)火災防止のための燃料漏れ防止構造。

これらの基本要件を満たす最適な車体構造の開発を目標に、車両の前部や後部などに衝突時のエネルギー吸収に最適なクラッシュブルスペースと強度を、キャビンには変形を極力抑える強度をそれぞれ確保することに注力した。また、燃料系はク

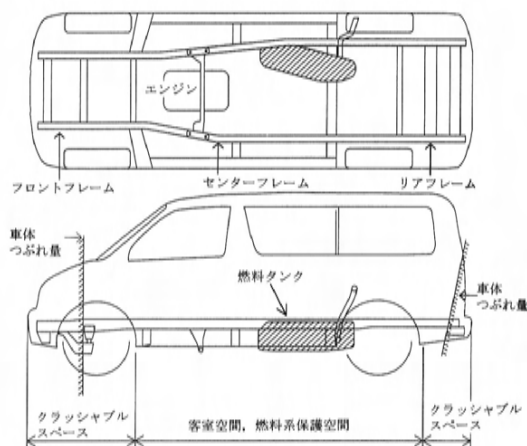


図1 車両レイアウトとクラッシュアブルスペース

クラッシュアブルスペースよりも内側にレイアウトする配慮をした。図1に、車両のレイアウトと衝突時のクラッシュアブルスペースについて概要を示す。図のようにボンゴフレンドィは、エンジンが前席下にレイアウトされたキャブオーバータイプのワゴンである。また車体構造は、側面から見るとストレートで、平面から見ると中央部でオフセットしたフレームを基本骨格としている。

3. 正面衝突性能開発

3.1 車体前部の衝撃エネルギー吸収特性

正面衝突は最も頻度の高い事故の形態で、その時乗員に加わる衝撃も大きい。

一般に、正面衝突時に乗員は慣性力によって前方に移動するが、その時乗員のエネルギーは大きく分けて車体のつぶれと内装系の拘束装置（シートベルトやエアバックなど）により吸収され、その際のエネルギー吸収特性が、乗員へ加わる衝撃の緩和に大きく影響する。また、乗員へ加わる衝撃の限界値が乗員傷害値基準として定められている。

乗員へ加わる衝撃の低減を考えた場合、乗員のエネルギーが車体系で吸収される割合（ライドダウン効果）が高いほど、乗員への衝撃低減効果の良い車体の衝撃エネルギー吸収特性と言える。仮に車体のつぶれ量が同じ場合にライドダウン効果を高めるには、乗員（ダミー）の内装系での拘束を早めれば良い。そのためには車体の初期の減速を大きくし、キャビン内での乗員の移動開始を早め、

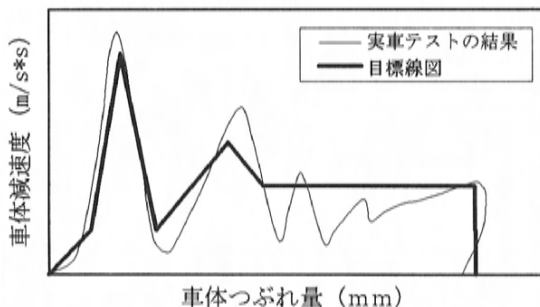


図2 車体減速度-車体つぶれ量線図

拘束装置を早く効かせることが有効である。

そこで、ボンゴフレンドィでは、車体つぶれの初期に高い車体減速度を発生させ、ライドダウン効果の高いエネルギー吸収特性を目標とした。図2に、目標の車体つぶれ量と衝突時に車体にかかる減速度の関係の台形近似線図を示す。この関係は、乗員へ加わる衝撃を低減させるために決めた値であり、乗員への衝撃値をシミュレーションして求めた。従って、この目標の衝撃エネルギー吸収特性を得られる車体を構造化することが非常に重要である。

一方、キャビンの変形を防止するために、図1のクラッシュアブルスペース内で車体のつぶれ量を確保しなければならない。その中で効率よく車体をつぶすために、サスペンションクロスメンバの一部を変形させる衝撃吸収構造も採用している。

3.2 フロントフレームの構造

目標の減速度とつぶれ量を実現するには、車体各部の変形強度を適正にしなければならない。車体の減速度と変形強度の関係については、非線形のパネ特性と質点で車体各部をモデル化した、非線形パネ-マスモデルを用いて検討し、車体減速度に対する変形強度の目標値を車体各部位ごとに設定した。その中でも特にフロントフレームの強度が、正面衝突時のエネルギー吸収特性には非常に重要である。

フロントフレームの変形強度は、その構造の中でも主に、断面形状・板厚・材料特性に依存している。まず断面形状を選定する検討手段として、FEM解析（PAM-CRASH）を用いた。数種類の断面形状の候補の中から、サスペンションや補器類などの取り付けスペースとの両立のために、図3に示す縦横寸法が同一の二種類の断面形状に絞

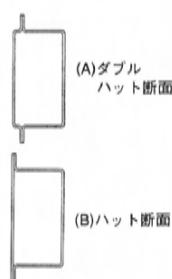


図3 フロント
フレーム断面

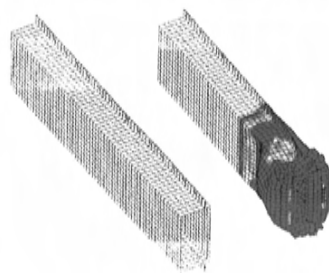


図4 フレーム変形
解析結果

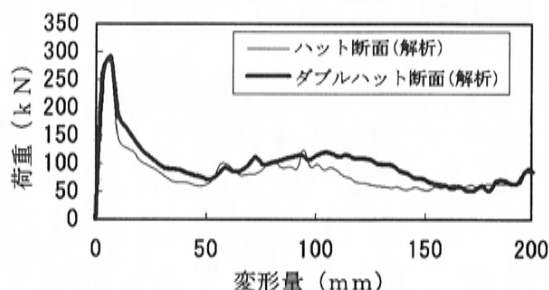


図5 フレーム変形荷重の比較 (解析)

って検討を進めた。図4にダブルハット断面でのフレーム変形のFEMシミュレーション解析結果を示す。図5は、シミュレーションにおけるダブルハット断面とハット断面の変形荷重の比較である。ダブルハット断面は、平均荷重で約18%高い変形荷重となった。また、同様の断面での動的フレーム部材圧縮テストを行った結果でも、ダブルハット断面が平均荷重で約15%高い値を示し、シミュレーションと同じ傾向であった。これはダブルハット形状にすることで、フレームの稜線が増えたことが最大の原因である。変形荷重・変形量および変形モードなどを検討した結果、ダブルハット形状をフレームの基本断面に採用した。またこのような断面形状での最適構造の検討により、板厚・材質を変更することなく変形強度を高めることができ、さらには目標の車体変形強度の条件に対し板厚を下げることもでき、基本設計段階でのフレームの軽量化を実現した。

基本断面決定後は、実車での詳細なフレーム形状に加え、サスペンション部品などを取り付けたユニット条件でのシミュレーションを繰り返し、非線形バネ-マスモデルで設定した目標の強度となる板厚、材質および折れビードの位置などのス

タディを行った。それをもとに、適正なエネルギー吸収特性を得られるフロントオーバーハングなどの車両レイアウトも決定した。

3.3 実車正面衝突性能

次にフロントフレーム部に続いて、車体全体での衝突性能の評価のためにフルモデルでのシミュレーションを行い細部の構造を検討し最適化を図った。

図1に示す車体構造において、センターフレームはフロントフレームを確実に変形させ、またキャビンの変形を抑止させるための支えとなる部材として、適正な強度にする必要がある。従って、モデリングではこれらの構造を考慮する必要がある。

フルモデル化で配慮した点として、例えば、フレームは車体後部までFEMのメッシュを細分化することで、センターフレームの左右方向への変形を防止する強度を的確に予測できるようにした。またエンジンは集中マスとし、エンジンメンバーとビーム要素で結合することで慣性マスがセンターフレームに加わる影響をモデル化した。このように、フルモデルでは約300点の大小の部品につい

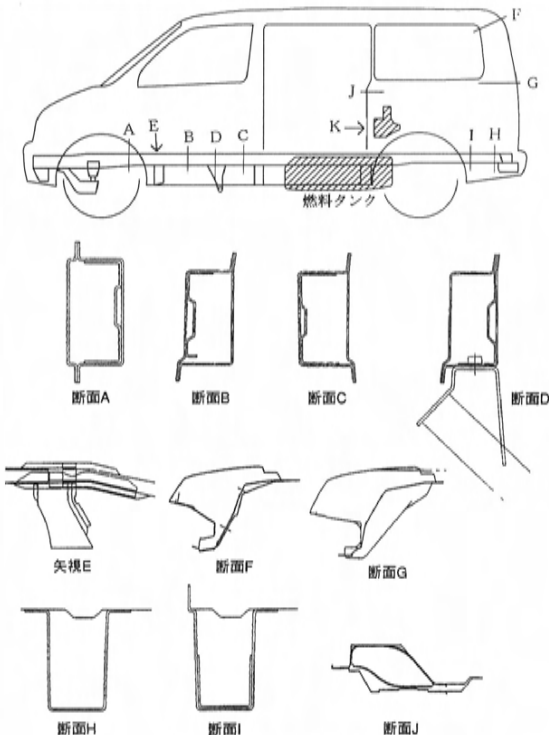


図6 車両構造図

て3万強のメッシュを作成し、予測精度を向上させている。

そして、シミュレーションの結果によって主に図6のA～Eに示す箇所で、初期構造での強度上の改善必要箇所を発見し、以下に挙げる強化対策を決定した。

- (1)フロントおよびセンターフレームのレインフォースメントの設定範囲、形状、板厚および各フレームとの結合箇所などの適正化。

(断面A～C)

- (2)エンジンメンバーの取り付け部を利用した構造によるセンターフレーム補強。(断面D)

- (3)No.1トルクボックス部分での各フレームの結合強化。(矢視E)

図7は、これらの対策を入れたフルモデルでのシミュレーション結果で、目標とした車体の変形となる仕様である。図8に、50km/hで固定壁に正面衝突させたシミュレーションで検討した仕様の実車実験の結果を示す。衝突によるエネルギーを車体前部のクラッシュアブルスペース内で吸収し、キャビンの乗員生存空間を確保し、乗員の救出脱出のためのドアの開放性能も満足させることを検証できた。同時に、乗員の保護に適正な車体の減速度も目標を実現し(図2)、乗員傷害値要件についても国内の乗用車での規制相当を満たすことがで

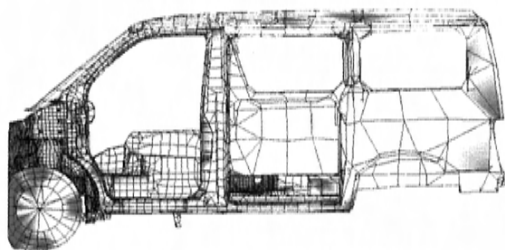


図7 フルモデル正面衝突解析結果



図8 実車正面衝突結果

きた。また、燃料系はキャビンで保護されるように配慮しており、燃料漏れ防止に対し安全性を確保している。

以上のシミュレーションを用いた検討とそれを反映させた試作車での衝突実験による検証によって、フレーム強度改善の構造決定を効率的に行えた。また、通常フレームの強度アップでは重量の増加やコストアップを伴うが、CAEによる徹底した初期フレーム構造への対策検討によって、逆に軽量化を実現しながら強度アップすることができた。

4. 後面衝突性能開発

4.1 後面衝突での取り組み

後面衝突も、頻度の高い事故形態の一つである。乗員への衝撃は正面衝突に対し比較的小さい傾向にある。ハッチバックのワゴン車の後面衝突の場合では、特に三列目シートの乗員の安全性として、生存空間の確保や乗員の脱出・救出のために衝突後のスライドドアの開放性に注力した。そのため、速度50km/hで台車を衝突させる後面衝突の実験では、図1に示す生存空間を確保できる車体変形量とすることを目標とした。

後面衝突の場合、エネルギーは主にリアフレームとリアピラーの変形により吸収される。よって、車体後部の限られたクラッシュアブルスペースで生存空間を残した車体変形とし、衝突台車のエネルギーを適正に吸収する強度を持った車体後部を構造化する必要がある。また、スライドドアの開放性には、センターピラーの変形を防止する強度の確保が、重要なポイントとなる。

4.2 実車後面衝突性能

以上の構造化の検討には、後面衝突のフルモデルのシミュレーション(図9)と実車衝突テストを繰り返した。それにより主に図6のF～Kに示す以下の対応で車体を強化した。

- (1)リアピラーの変形を抑えキャビンのヘッドクリアランスを確保するとともに、スライドドアレール等の突っ張りによるセンターピラーの変形を防止するために、リアピラー上部とピラー全体にレインフォースメントを設定し強化した。(断面F, G)
- (2)リアフレームに対して、安定した変形によるエネルギー吸収部(断面H)と、キャビンの変

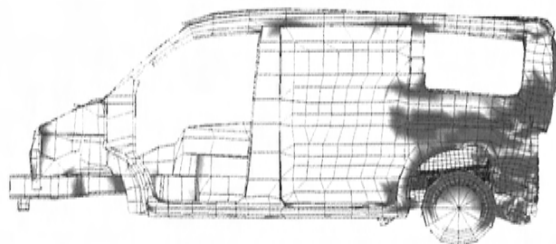


図9 フルモデル後面衝突解析結果



図10 実車後面衝突結果

形を抑える強化部をレインフォースメントの設定により最適化した。(断面I)

- (3)スライドドアの開放性能を確保するために、センターピラーのベルトライン部に2ヶ所のガセットを設定しピラーの断面崩れを防止した。(断面J)
- (4)センターピラー下部インナーパネルへ大型レインフォースメントを設定し、センターピラー下部の変形防止の強化をした。(図6、斜線部K) これらの強化対策により、図10の実車衝突テスト結果に示すように、乗員の生存空間を確保し、スライドドアもテスト後に安定した開放性能を確保できた。また燃料系についても、燃料フィルター系を含めてクラッシュアブルスペース以外にレイアウトすることで安全性を確保している。

5. その他の性能開発での取り組み

側面衝突での燃料漏れの防止のために、燃料フィルター系をサスペンション周りの側面強度の高いところへ、燃料タンクをセンターフレームの内側にそれぞれレイアウトすることで衝突による変形から保護している。車体の変形を抑えるために、各ドアに高張力鋼管のインパクトバーを設定しドアロック強度を高めている他、各ピラーやトルク

ボックスの強化を行い車体全体の強度を高めた。

また、シートベルトの補助システムとしてエアバックを設定している。市場でのさまざまな衝突形態を考慮したセンサーの衝突識別性能についてテストを行い、軽微衝突での不動作および低速衝突、ポール衝突、斜め衝突などにおける安定した作動の確認を行った。

6. おわりに

以上、ボンゴフレンディの衝突安全性能開発では、シミュレーション解析を駆使することで、コンセプトや他性能との両立を果たしながら目標の性能を確保した。よって、ショートフロントオーバーハングとクラストップのロングホイールベースなどを実現できた。

最後に、本開発にあたって多大なるご支援を頂いた関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

■ 著 者 ■



福島正信



三島隆志

論文・解説

12

居住性総合指数化手法の開発
Development of Method for Evaluating Interior Roominess of Vehicle時 岡 雅 明*¹
Masaaki Tokioka

要 旨

自動車の居住性は、頭上空間や膝元空間などの寸法諸元から成り立っている。居住性の優れた車を開発する過程において、個々の寸法諸元を最適化すると同時に、居住性全体の実力を把握しデザインや他の機能との整合をとることが必要である。しかし、一般的に居住性全体の実力はインテリアモデルを作成し、官能評価をおこなうまで明確にしにくい。そこで今回、個々の寸法諸元を基にこれらの重み付け平均を算出することによって、図面段階から居住性全体の実力を把握できる指数化手法を開発した。

Abstract

The roominess of the passenger car consists of some kinds of dimensions, for example the head clearance, the knee space and so on. In the process of developing a good roominess, it is needed not only to make each dimension suitable but to determine a specification that allows well the exterior design, the roominess and the other functions, by making the level of the roominess clear. Generally, we can only evaluate the roominess synthetically in the stage of the interior model. At that stage, however, it's too late to improve the specification. So we have developed the method for evaluating the roominess with the weighted average of each dimension's rating in the stage of the design.

1. はじめに

人を乗せて運ぶことが目的の自動車にとって、居住性が重要な機能であることは言うまでもない。たとえば、人が快適に移動するためには、心理的、物理的に十分な空間や疲れにくい姿勢を確保すること、あるいは乗り降りしやすいことなどが不可欠であろう。しかし、居住性に優れた自動車を開発していくことは容易な作業ではない。基本的には頭上空間や膝元空間などの個々の寸法諸元を最適化すればいいが、内外装のデザイン、空力特性、走行性能など他の性能との整合をとる必要があり、全ての寸法諸元を最適化することは難しい。

そこで、個々の寸法諸元を修正した場合、居住性全体はどうなるかを明確にし、他の性能と比較検討できるような手法が必要となる。

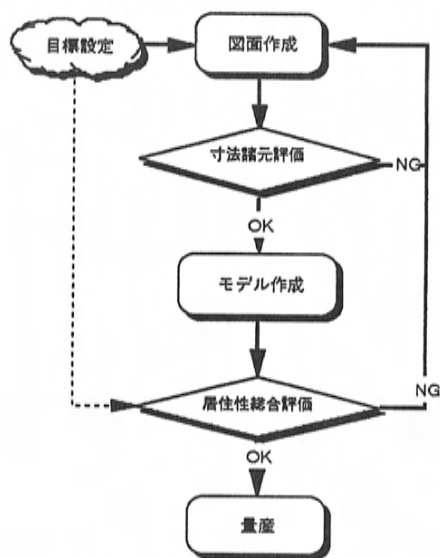


図1 居住性開発の流れ

* 1 車両技術実研部

2. 開発の現状と課題

居住性の開発はおよそ図1の様な流れにそって行われる。まず居住性全体の目標を設定する。次にこの目標を達成するために個々の寸法諸元の基準を用いて図面を作成し、寸法諸元評価を実施している。ところが、上述したように様々な制約のため全ての寸法を最適値に設定することは不可能であり、個々に妥協点を見いだすことが必要になる。この寸法諸元評価の段階で、個々の寸法諸元と居住性全体の関係が明らかでないため、居住性全体として、最初に設定した目標を達成しているかは不明である。そこで、インテリアモデルや試作車が完成し官能評価を行うことで、居住性全体が目標どおりにできているか実際に居住性総合評価を行うことになる。しかしながら、この段階で目標に対して未達であることが判明したとしても、実際には外装のデザインもほぼ固まりつつあり、図面を変更することも難しくなっている状態である。またモデル作成の場合、デザイン変更毎にモデルを作成し直す必要もあり、試行錯誤の回数も増加する。

そこで、モデル作成なしに図面の段階で個々の寸法諸元を居住性全体に対して評価する手法を、早急に確立することが望まれている。本論文では、この課題を解決するための手法について述べる。

3. 開発した居住性総合指数化手法

3.1 設計思想

今回開発した手法は、図面段階で使用することを念頭に置いた。それは単に完成した図面の居住性を評価するだけではなく、さらに上流の図面を作成する際に使用し、図面の精度を向上させることができる手法である。具体的には、各寸法諸元の重要度を明確にし、どの寸法をどの程度にすれば居住性はどうかかわるような手法にすることを設計思想とした。

ところで一般的には、今回のように複数の要素（寸法諸元）の性能からそれらの総合した性能を予測する場合には、従来重回帰分析による統計的手法が用いられる⁽¹⁾。しかし、重回帰式の偏重回帰係数は必ずしも各要素の重要度を示すものではない⁽²⁾にもかかわらず、そのように誤解されがちである

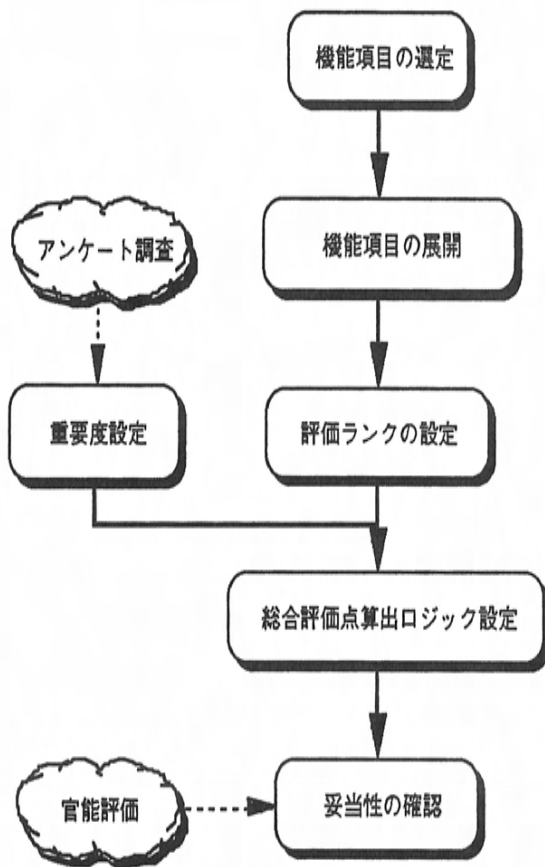


図2 居住性総合指数化手法作成手順

ため、図面を作成する際に過って使用される恐れがある。よって今回の設計思想にはそぐわないと考えた。

そこで本手法では、居住性全体を評価する際に必要な個々の寸法諸元の重要度をあえて重回帰分析を用いず、一般パネラによるアンケート調査の結果をもとに設定する方法を採用した。このことによって、重回帰分析が基本的に抱えている要素数とテスト回数の制約も無くなり、居住性を構成する寸法諸元を数多くすることで、評価要素の網羅性を高くすることも可能になった。

3.2 指数化手法の概要

本手法の概要は、居住性機能項目の寸法諸元に対して人間の官能評価によるランク付けを行い、重み付け平均することによって居住性全体の評価を試みたものである。この手法は、具体的にはコンピュータを用いてシステムを構成しており、寸

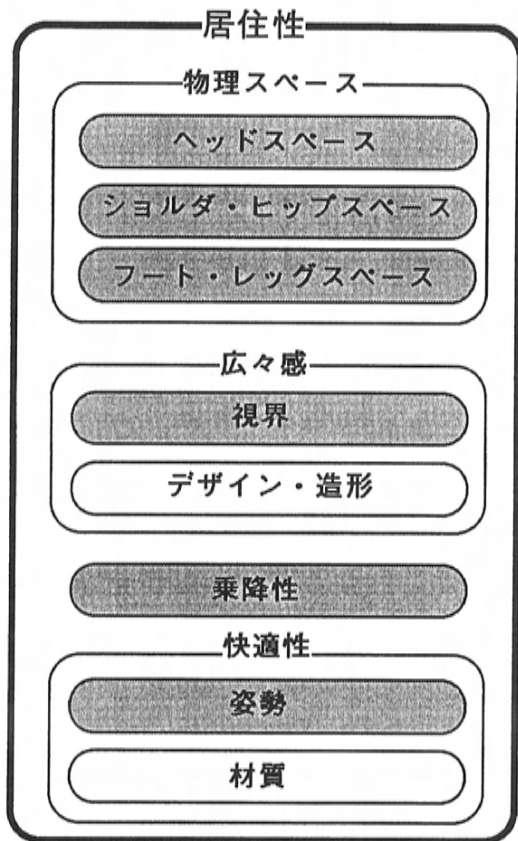


図3 居住性を構成する機能項目

法諸元データを入力すれば居住性全体の指数が算出される。本論文では、このシステムを居住性総合指数化手法と呼ぶことにする。

3.3 作成方法

居住性総合指数化手法の作成はおおよそ図2のような手順に従って行った。以下、順を追って、作成のポイントを示す。

(1)機能項目の選定

居住性と聞いてまず思い浮かべるのは、物理的なスペース、視覚的な広々感等によって代表される、いわゆる「広さ」に関する機能項目である。しかし、それ以外にも乗り降りのしやすさやシートに座った際の快適性等も居住性を構成する機能項目であると考えることができる。

このように居住性とは、一般に様々な機能項目を総合したものである。図3に本手法で定義した四つの機能項目を示す。本手法は、開発初期段階の設計を支援することを第一とするため、デザイン、造形、内装色、および内装の材質などの要素は考慮する対象からはずし、寸法やレイアウトに関するものだけを選定した。すなわち、図3のように(1)物理スペース、(2)広々感、(3)乗降性、(4)快適性の四つの機能でハッチングの項目である。実際に設計する際には、物理スペースに関連する寸法諸元が多いため、この機能項目はヘッドスペース、ショルダ・ヒップスペース、フート・レッグスペース

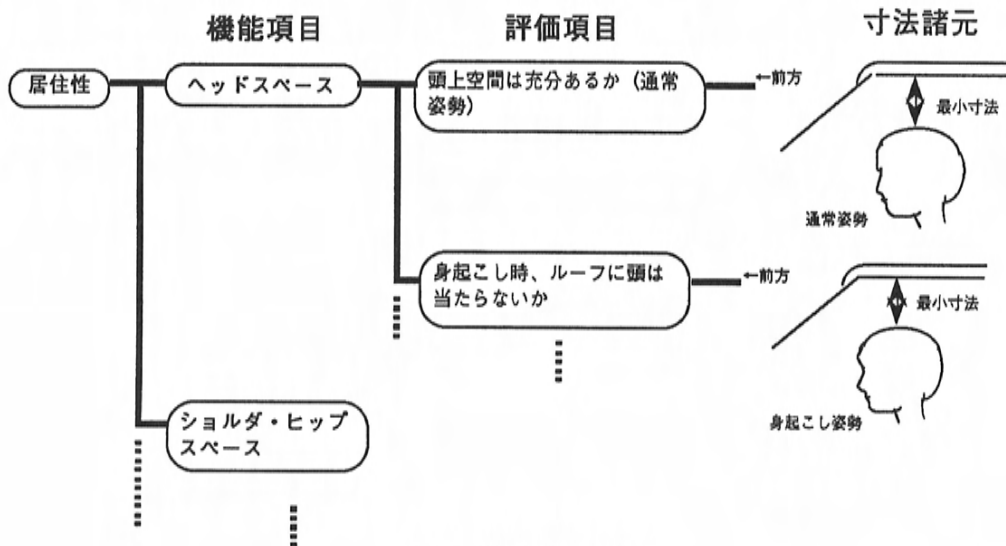


図4 機能項目の展開

ースの三つに分けて考えることにした。

(2)機能項目の展開

機能項目の選定が終わると、つぎに各々の機能項目を代表するいくつかの寸法諸元にまで展開した。以下にその考え方を示す。

図4に示すように、それぞれの機能項目をいくつかの評価項目に展開した。この評価項目は人が居住性に対して何らかの評価を下す際の単位であると定義している。たとえば、ヘッドスペースの評価項目といえば、通常姿勢での頭上空間は充分あるか？、身起し姿勢での頭上空間は充分あるか？などである。

そしてそれぞれの評価項目は、実際には図面を作成できるレベルにまで展開するため、およそ140におよぶ寸法諸元に定義した。

(3)評価ランクの設定

一般的に使用する寸法諸元は、単位が「長さ」であったり「角度」であったりする。また同じ「長さ」の単位の中でも、乗員に与える影響の度合は各部位によって様々である。そのため、これらの数値を直接比較検討して重要度を設定することには不都合がある。それは重要度の数値が単位や尺度の取り方一つによって変化するという尺度依存性が生じるためである。

そこで各寸法諸元に対する人間の官能評価を統一の尺度として用いることにより、寸法諸元を標準化することを考えた。統一の尺度を用いれば、尺度依存性を生じることなく重要度を設定するこ

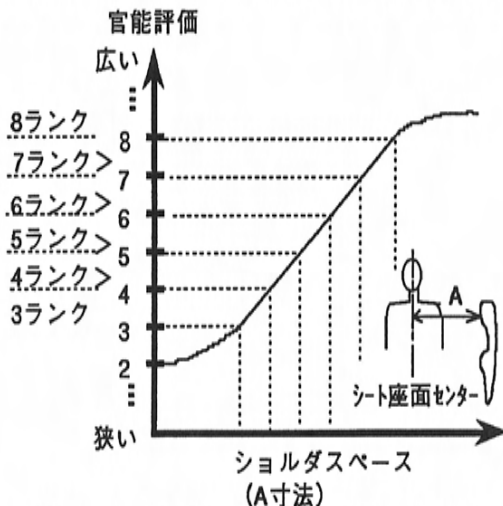


図5 ショルダースペースのランク付け

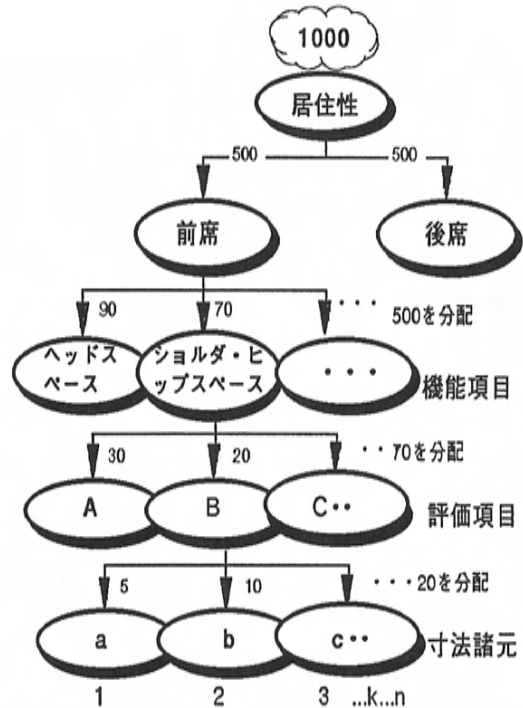


図6 重要度の設定

とができる。

図5に例として寸法諸元の一つであるショルダースペース（A寸法）と人間の官能評価の関係を示した。これは寸法諸元をさまざまに変化させたときの乗員の官能評価を10段階のSD（Semantic Differential）尺度から求めたものである。一般的にSD尺度では、評価点が0点から10点に制限されているため、寸法諸元と評価点との関係は完全に線形ではなく、ショルダースペースが大きい領域と小さい領域とでは頭打ちになる傾向にある。

実際の車を設計する際には、寸法諸元を変化させたときの官能評価の変化が大きい領域に興味があり、官能評価の変化が頭打ちとなる非線形な領域は重要ではない。そこで今回はほぼ線形と見られる3点から8点の領域に限って評価ランクを設定した。その方法は、たとえば官能評価が3点になる寸法と4点になる寸法の間を「3ランク」、4点と5点の間を「4ランク」という具合に個々のランクの上限と下限の寸法を決定した。

(4)重要度の設定

図2に示した重要度の設定の仕方として一般的に次の2種類の方法が考えられる。

①図6に示すように、はじめに居住性全体の重要度を仮設定し、これを機能項目、評価項目、寸法諸元と展開して行くにしたがって重要度を分配する方法

②①とは反対に、まず個々の寸法諸元の重要度を設定し、それらを加えた値を評価項目の重要度とし、さらに機能項目、居住性全体へと重要度を加えていく方法

それぞれの方法には一長一短がある。①の方法では、居住性を構成する機能項目、評価項目、寸法諸元が各々完全に網羅されている時に理想的な分配になるが、たとえばある評価項目Aを表すために非常に重要な寸法諸元dが抜けていた場合には、その分の重要度まで他に定義した寸法諸元a～cに分配されることになるという欠点を持つ。また、②の方法ではこのようなことはないが、たとえば、同じ重要度の評価項目AとBがあって、Aには2つの寸法諸元a、bを定義し、Bには1

つの寸法諸元aだけを定義しているようなとき、寸法諸元を多く定義している評価項目Aのほうが重要度が大きくなってしまふ。つまり、定義する寸法諸元の数に応じて評価項目の重要度が左右される。

本論文では3-1の設計思想で述べたように、必要な寸法諸元の網羅性を高めることができたと考えるため①の方法を採用することにした。具体的には、居住性全体の重要度を図6のように仮に1000とおいて下へ下へと重要度を分配していき、最終的に各寸法諸元の重要度を決定した。重要度の分配比率は、一般のパネラ50人に対してアンケート調査を行い、その結果を用いて決定した。これは、直接車の開発に従事していない人の意見を取り入れることによって、ユーザの目から見た居住性を再現することが狙いである。

(5)総合指数算出のロジックの設定

ここまでの段階で、各寸法諸元にそれぞれ「重要度」と「評価ランク」を定義した。そこで、居住性総合指数はこれらを使用して、以下の式により求めることとする。

得点=重要度×ランク

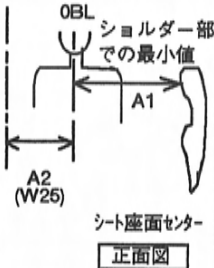
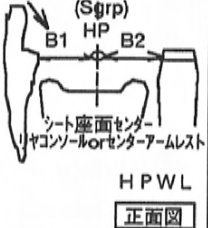
| 機能項目 | 評価項目 | 寸法諸元 | 記号 | 評価ランク | | | | | | 重要度 | データ | ランク | 得点 | |
|-------------------------|---------------------------|---|----------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|------|------|------|----|------|
| | | | | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | | | | | |
| ショルダー・ヒップスペース | ショルダー部左右スペースは十分ゆったりとしているか |  | A1 | ~ 370 | 369 ~ 350 | 349 ~ 330 | 329 ~ 310 | 309 ~ 290 | 290 ~ | 12.0 | 7.2 | 323 | 5 | 36 |
| | | | A2 (W25) | ~ 355 | 354 ~ 335 | 334 ~ 315 | 314 ~ 295 | 294 ~ 275 | 275 ~ | | 4.8 | 315 | 5 | 24 |
| ヒップ部左右スペースは十分ゆったりとしているか | ヒップ部でのmin値 |  | B1 | ~ 340 | 339 ~ 320 | 319 ~ 300 | 299 ~ 280 | 279 ~ 260 | 260 ~ | 12.0 | 6.0 | 300 | 6 | 36 |
| | | | B2 | ~ 340 | 339 ~ 320 | 319 ~ 300 | 299 ~ 280 | 279 ~ 260 | 260 ~ | | 6.0 | 310 | 6 | 36 |
| 合計 | | | | | | | | | | | 23.9 | 合計得点 | | 132 |
| | | | | | | | | | | | | 総合指数 | | 6.00 |

図7 居住性総合指数化手法例

$$\text{総合指数} = \frac{\sum_{k=1}^n (\text{重要度} \times \text{評価ランク})}{\sum_{k=1}^n (\text{重要度})}$$

ただし、kは各寸法諸元に割り当てた番号を示す

このことは個々の寸法諸元に対する評価ランクの、重要度を加味した重み付け平均を求めることを意味する。

3.4 具体的な居住性総合指数化手法

(1) 居住性総合指数化手法例

図7に指数化手法の全体図の例を示す。図の左側は居住性を機能項目から寸法諸元に展開した一覧表になっており、分かりやすいようにそれぞれの寸法を図示している。その右側にそれぞれの寸法に設定された評価ランクと実寸法の関係を示し、さらにはそれぞれの重要度を示してある。

実際には本指数化手法は大量の計算を自動化したり、寸法諸元や評価結果のデータ管理を容易に行えるようにするため、コンピュータを用いてシステムを構成した。居住性の設計者は寸法諸元のデータを入力するだけで自動的に、総合指数が算出されるようになっている。

例えば図7の右側の3列のうち、データの欄に寸法データを入力すれば、その右の2列に、その寸法が該当する評価ランクと(評価ランク)×(重要度)の値(得点)および総合指数が算出される。

(2) 居住性総合指数化手法の特徴

本指数化手法は以下の特徴を持っている。

① 絶対評価である

本指数化手法の計算式をみれば明らかであるが、総合指数を求めるために参照するのは、人間の官能評価をおき換えた個々の寸法諸元のランクとその重要度のみである。よって得られた総合指数は、「この車は大眾車にしては広い」とか「中型車にしては狭い」という相対的な判断は一切入らない絶対評価である。すなわち、時代や価値観の違いにより変化する曖昧な「車格」という概念を含まないために、将来にも通用するデータベースを作成することもできる。

② 客観的評価である

寸法諸元をもとに、総合指数を算出するため、評価者の主観に左右されない。この特徴はデータベースの作成に有利なものであり、この指数化手

法は少なくともある切り口で見たときの居住性について常に安定した評価を与えることができる。

このように本指数化手法は、評価結果や寸法諸元のデータベースを作成、管理することも容易である。データベースを充実させることは、具体的な目標設定の段階では有益な情報を得られることにつながり、図面の精度を上げることに大きく貢献する。

(3) アウトプット例

本指数化手法では居住性全体の評価以外に前後席別、機能項目別の指数を算出できるので、目的にあわせて様々な形で出力表示が可能である。本指数化手法のアウトプット例を図8、図9に示す。

図8はいくつかの車について全体の総合指数を求め、ヒストグラムにまとめたものである。各車の性能を参考に目標設定を行ったり、他銘柄車との比較など市場での競合力を判断するときに有効である。

図9は特定の車について、居住性の機能項目毎に指数を求め、他車との比較をレーダチャートにまとめたものである。各機能項目のバランスを確認できるため、評価車両の長所や短所を明らかにするときに有効であろう。

3.5 妥当性の確認

指数化手法の妥当性の確認は、次の二とおりの方法で行った。

(1) 社内にて、居住性の開発にたずさわっている人20名(男性)をパネラとし、大きさの異なる6台の車について、居住性全体および機能項目毎の総合評価をしてもらい、本指数化手法の結果と比較した。

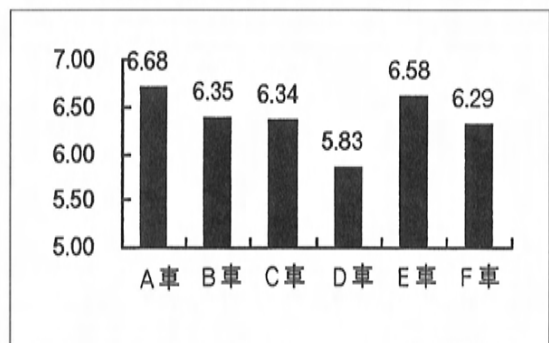


図8 車種別総合指数

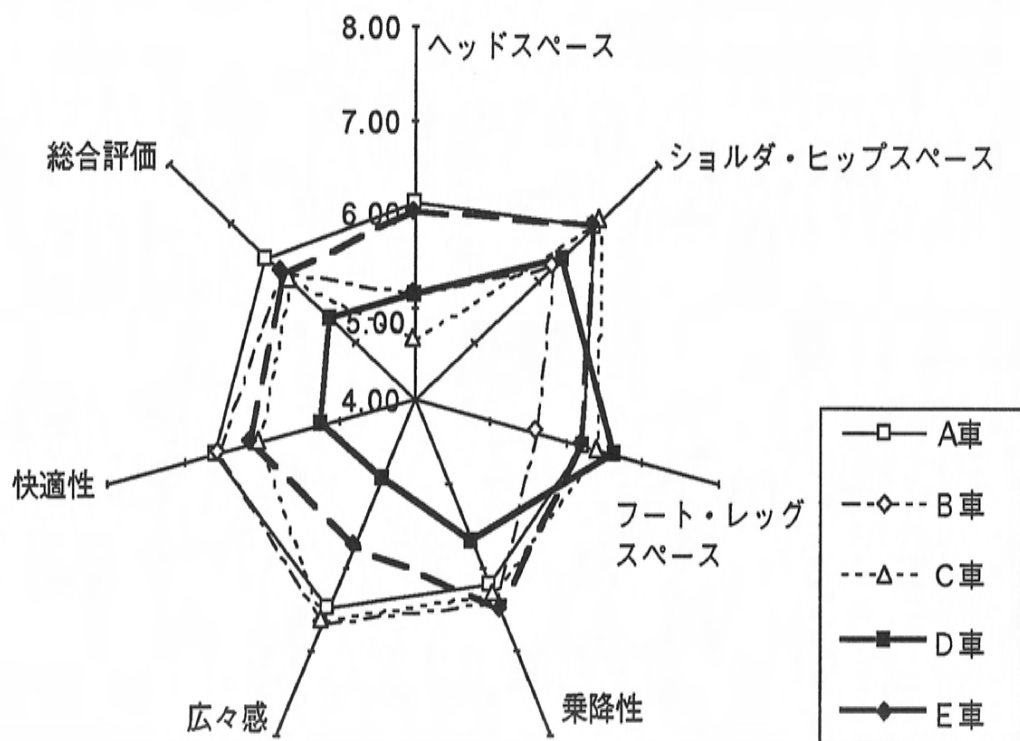


図9 機能項目別総合指数

(2)米人の一般パネラ60名（男女）で、3台の車を用いて、同様な評価を行った。

(1), (2)に共通の結果として、テストに用いた各車の評価順位は、パネラの評価と本指数化手法による評価とで一致することが確認できた。よって、本指数化手法は実用に耐えるものと判断した。

4. おわりに

今回は、居住性を寸法諸元に展開し、これらの重み付け平均を求めることによって居住性全体を図面の段階から評価できる指数化手法を開発した。このことによって、開発の初期段階から居住性全体の評価や具体的な目標設定を行えるようになった。

今後は、開発の現場で使いながら精度や網羅性を高めつつ、さらに人間が感じる居住性と本指数化手法の評価結果を一致させるために、評価項目や寸法諸元の重要度と評価ランクについて吟味を重ねていきたい。

また、本指数化手法を三次元CADシステムに組み込み、寸法諸元データの計測や入力作業を自動化し、精度、効率の向上を図っていく。

参考文献

- (1)美紀他：日産技報第33号，1993-6
- (2)奥野他：多変量解析法（改訂版），1984（日科技連）。

著者



時岡雅明

論文・解説

13

空力に関する初期商品開発手法の研究 Study of Early-stage Product Development Method for Aerodynamic Performance

大 坪 智 範^{*1} 神 本 一 朗^{*2}
Tomonori Ohtsubo Ichirou Kamimoto

要 旨

燃費改善や高速・横風安定性向上のための空力性能向上に対し、「車体形状を流線形に近づけるのではなく、車体周りの流れを流線形の流れに近づける」という視点で風洞実験を行い、車体周りの流れを最適にし得る考え方を構築した。また、当考え方から導出される最適な流れを図面に目に見える形で表現することで、「パッケージやスタイリングの変更が流れに対してどのような影響を及ぼすか、最適流れを得るためにはどの領域で対応すればよいのか」を検討できるようにした。その結果、商品開発の初期段階で、パッケージ、スタイリング及び空力性能を両立させる商品の提案が可能となった。

Abstract

This paper describes General Flow Theory, which optimizes airflow around vehicle body. This theory has been established by wind tunnel tests from a view point of making the airflow around the vehicle equivalent to one around a tear-drop shape, in order to reduce drag force (CD) for better fuel economy and to reduce yawing moment (CYM) for stability in high speed and side wind.

The theory enables package-engineers and stylists to understand an optimized airflow around a vehicle visibly on a drawing. The drawing enables them to study not only how changes of package and styling influence airflow, but also how shapes of vehicles should be changed in order to obtain the optimized airflow.

As a result, at an early stage of product development, we can propose a vehicle which harmonizes package and styling with aerodynamic performance.

1. はじめに

当社はお客様に魅力的な商品を提供するため、さまざまな分野で研究を行っている。

充分な居住空間や荷室を確保したパッケージと人を魅きつけるスタイリングは魅力的な商品創りの中で重要な要素である。また、空力性能の向上は、燃費改善や横風安定性・高速直進安定といった操安性能の向上に寄与する。両者はそれぞれ独立したものではなく、密接に関係している。

こういった中で、我々は、狙いのパッケージやスタイリングと空力性能を高次元で両立させる商品創りを目指した。

本論文では、セグンタイプの車に対し当社において新たな視点から導き出した全体流の考え方とこれを基に構築した商品化手法について述べる。

2. 「空力技術と商品化手法」の現状と課題

従来、空力開発は「車体の各部毎に最適化すればトータル性能も良くなる。」とする部分最適化手法を主流にして進められてきた。ところがこの手法では性能改善が限界に達するとともにパッケージエンジニアやデザイナーからの要求に対応できなくなっている。以下にそれらの現状と課題を具体的に述べる。

2.1 空力性能向上に向けて

燃費向上に向け低CD化への要求が高まるにつれ、部分最適化手法には限界があることが判ってきた。図1にリヤピラー部の平面絞り量とこれに伴う空力抵抗変化率(ΔCD)の関係を示す。実線と破線はそれぞれA車とB車の結果である。A車では $l/L=0.3$ で最もCDが低くなるのに対し、B車では $l/L=0.2$ で最も低くなっている。このこ

*1 企画設計部 *2 車両技術実研部

とは条件によって最も低いCDを実現する形状が変化することを示しており、部分最適化による低CD化手法だけでは必ずしもミニマムCDの形状を見出し得ないことを示している。

また、突風の横風は車体を風下側に回頭させようとするCYMを発生させ、乗員は、直進するための修正操舵を強いられる。このような状況でできるだけ回避するため空力的にCYMを低減する必要がある。しかし、CYM低減に対しては部分的な改善手法さえも明確でない。

2.2 商品化に向けて

商品の初期段階においては、通常、基本構想を練るため空気の流れを変える様なパッケージやスタイリングの大幅な修正が数多く繰り返される。しかしながら、従来の部分最適化手法は部分的な微修正に対してはある程度有効な活用が期待できるが、車体廻りの空気の流れを根本的に変えるような大幅な形状変更に対しては、限界がある。

例えば⁽¹⁾⁽²⁾、後部座席の頭上空間を確保した上で決定されるルーフ最後端部において、形状と空力の関係は水平面の角度と ΔCD で示される。ところが、パッケージエンジニアが後部乗員の配置の変更検討やデザイナーによるルーフ後端部の造形変更を行った際、その変更がルーフ上面から車両後端に流れる空気の流れを変え、側面から流れ込んでくる空気の流れまでも変えてしまう。

このような流れを大きく変えるような形状変更を伴うパッケージ変更やデザイン修正の場合には、「どう対応すればよいのか」その方向性が見い出せない。そのため、パッケージエンジニアやデザイナーが各々の検討を行いながら空力的な改善が図れない。

その結果、形状変更ごとにモデルと風洞を用いた空力検討を繰り返す、対症的な開発とならざるを得ない。

従って、狙いのパッケージやスタイリングと空力性能を高次元で両立させる商品を創り出すには、まず、新たな視点に立ち、部分最適化手法の限界を克服する空力性能開発手法を見いだす必要があった。さらに、それを基に商品開発の初期段階から、パッケージエンジニアやデザイナーが空気の流れを考慮に入れてパッケージやスタイリングの検討を行え得る手法を見いだす必要があった。

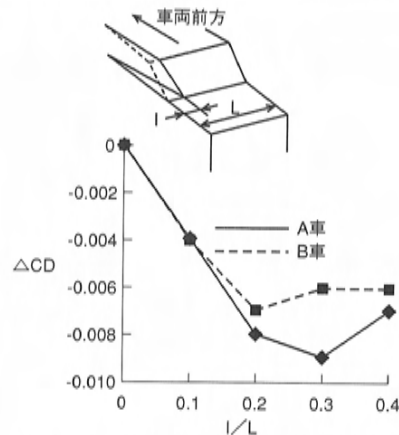


図1 リヤピラー平面傾斜角と ΔCD

3. 全体流の考え方の創出

短時間に多数の検討を行うことができる1/5モデルを用いて実験・研究を行った結果、新たな視点に立った全体流の考え方を当社として初めて導き出した。そのアプローチ、開発経緯、全体流の考え方の概要について述べる。

3.1 車両周り流れを考慮した新たなアプローチ

「車両形状の流線形化＝低CD化」という考え方で車体の空力開発を行えば、パッケージやスタイリングを犠牲にせざるを得ず、これらと空力性能が両立しない。「パッケージで規制される部位以外で何とか空力性能を改善できないか。」という観点から空力改善のアプローチを考慮した末、「パッケージを大きく包み込んだ形から、空力性能とパッケージが両立する形に削り込んでいく。」という発想の転換が生まれた。このアプローチ手法を用いて低CD実現を目的に作成したモデル(図2)では $CD < 0.10$ を実現することができた。また、CYMについては基本形状モデル(図3)周りの空気の流れとモデルの表面圧力分布の関係調査からモーメント発生要因を分析し、対策を行った。その結果、低CYMを目的に作成したモデルにおいては、図4に示すように、流れに対するヨー角(以下 θ)が6 deg以下では $CYM = 0$ 、 $\theta > 6$ degにおいても通常セダンに比べ大幅な低CYM化が実現できた。上記の低CDモデル、低CYMモデルの検討を通じて、車体の空力性能改善のためには車体周りの部分的な流れに注目するのではなく車体周りの全体的な流れ(以下、全体流)をとらえることが重要である

ことが認識でき、以下に示すような流れに対する理想のイメージを得ることができた。

①正対風時においては、低CD実現のため、車両形状を流線型に近づけるのではなく「車両周りの流れを流線形周りの流れに近づける。」ことが重要である。②横風時においては、低CYM実現のため、各車体コーナ部の形状により車体側面の流れを制御し、車体重心周りのモーメントが少なくなるよう表面圧力をバランスさせる事が重要である。

ここで得られた全体流の考え方（理想のイメージ）にもとづいた実験的な開発例を以下に示す。

3.2 車両周り全体の流れを考慮した

実験的空力開発

(1)対象モデルと前提条件、及び、空力性能目標
実験の開発の対象としては大衆セダングラスのモデルを選択した。大衆セダンは居住性、荷室の確保を優先するため、フロント・リヤともにオーバーハングを短くするのが一般的である。その結果、空力的には図5に示すようにリヤヘッダ部で剥離した流れがリヤデッキに再付着しない等の制約があるため低CD実現が難しいとされる。

今回の実験の開発の前提条件としては大衆セダンの必要諸元（居住性、荷室etc.）を確実に満足させることとした。空力性能目標は「CD目標=2000年での量産車トップレベル（予測値）」「重心周りのCYM ($\theta=10\text{deg}$ 時) 目標=現行量産車レベルの1/2」とした。

(2)開発経緯

今回の実験でも前述の低CDモデルでのアプローチと同様にパッケージ面で必要とされる諸元を完全に満たすため、これらの大きく包み込む形状、つまり、パッケージ検討の初期段階で描かれる車両中心の側面図を車幅方向に引き延ばしてつくった1/5スケールモデル（以下二次元モデル）をつくることから開発をスタートした。二次元モデルによる空力性能検討はその周りの流れが理解しやすいため改善方向の見通しがよく、前項で示した理想のイメージの折り込みが容易である。車体周りの流れを的確に観察できる油膜法（図6）による可視化を随時行い、全体流を観察しながら形状変更～風洞テストを繰り返した。

実験の開発の過程におけるCD値、CYM値の推移を図7に示す。CD低減過程では理想のイメージ

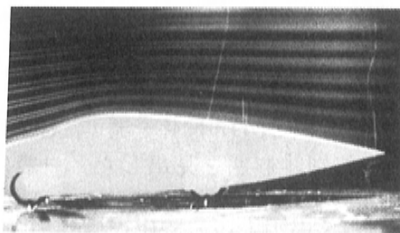


図2 CDモデル

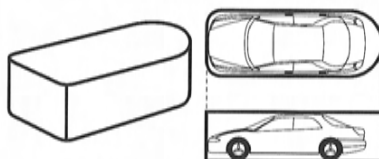


図3 低CYMモデル

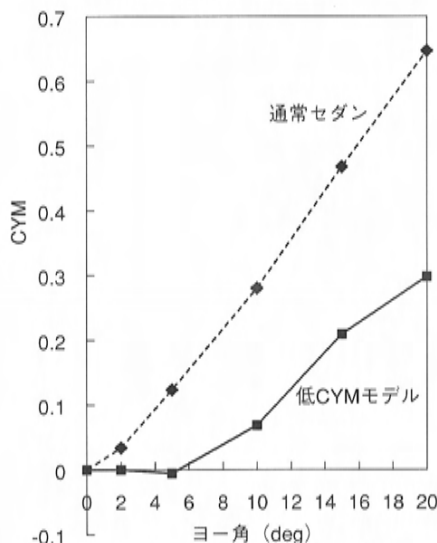


図4 低CYMモデルのCYM特性

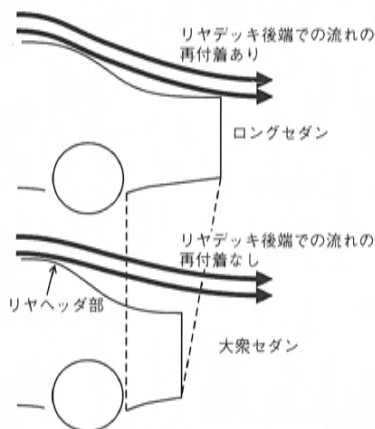


図5 リヤデッキでの流れの再付着

を実現するために先ず車体前半部での各面の流れの干渉を取り除き、次に後流で渦が発生しないようにする事を目指し、これらを実現した上で車体後方の剥離規模とCDの関係を調べ、CD最小となる車体後部剥離形態を見出した。一般にCDとCYMは相反する性能といわれるが、当過程での検討においても同様な傾向を示しCDの低減に伴いCYMは大きく悪化してしまった。続くCD, CYM両立過程では正対風時と横風時の流れの違いからCD, CYMをともに低減できる手法、及び、CD, CYMを独立に改善できる手法(もしくは相互関係が非常に小さい手法)の考案を行いモデルへ折り込んだ。これらの検討の結果合計で約400回の仕様変更を行った結果空力性能目標を達成することができた。

今回の実験的空力開発を通じて、高い空力性能の実現のためには前項に示した理想イメージの構築、流れが理解しやすい二次元モデルでのアプローチの重要性を認識した。

3.3 全体流の考え方

前述したように車体周り全体の流れの理想イメージの明確化、イメージに沿う空力先行モデルの製作、性能検証を行った。そして、我々はそこから得られた知見をマツダユニークな空力の考え方としてまとめ車両の空力開発に応用している。ここでは空力開発を効率的に進めるための全体流の考え方と、これを構成する空力改善の手法例を簡単に紹介する。

全体流の考え方とは車体周りの流れに注目した結果得られた空力性能改善手法を体系化する上での考え方であり、大きくは低CD化に向けての二次元流手法⁽³⁾と低CYM化に向けての非対称流手法とによって構成される。現時点での手法体系は図8のようにになっている。

(1) 二次元流手法

当手法は車体周りの流れのどの流跡線も二次元になるようにすることにより空気抵抗を低減しようというものである。以下の事項を実現することにより車体のCDをミニマム化できる。

① 車体前方で上面、側面の流れを明確に分けて後方に流す。

② 車体上面と側面の流れが相互に干渉しないようにする。

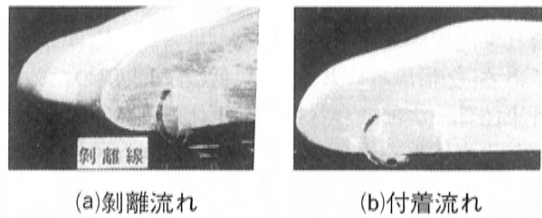


図6 油膜法による流れの可視化

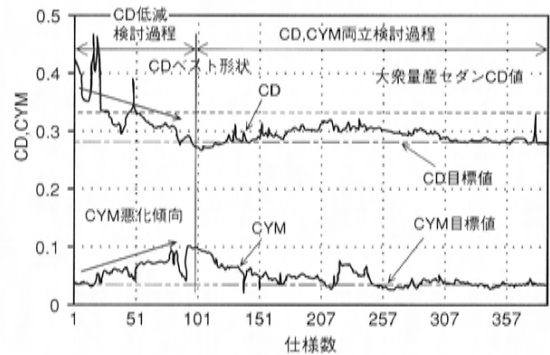


図7 実験の開発過程におけるCD, CYMの推移

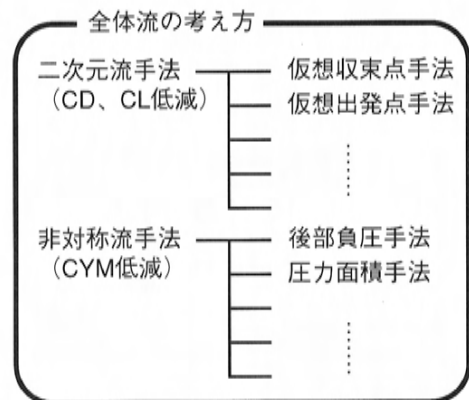


図8 全体流の考え方

③車体後方で渦を発生させないように各部の流れを合流させる。

なお、仮想収束点、出発点手法等は二次元流の考え方に基づいてリヤ周り、フロント周り等の流れをより詳述したものである。ここでは二次元流手法の一例として仮想収束点手法について説明する。リヤデッキが短い大衆セダンでは多くの場合、リヤヘッダ部での剝離した流れがリヤデッキに再付着せず、また、側面からの流れと流速差のためリヤピラー後方に一対の後引き渦が発生（開放剝離型）しCD, CLが大幅に増大する。仮想収束点手法はこのような後引き渦の発生を防止し、後流を閉鎖剝離型（図9参照）としCD, CLRの悪化を防止するための手法である。ポイントはリヤヘッダで剝離した車体上面流を水平面に対しある角度で下方に向け、かつ、上面流と側面流の流速を各面の絞りによって調節することで、同一にする点にある。

(2)非対称流手法

当手法はヨー角時の車両周りの流れに着目し、ヨーイングモーメントの発生⁽⁴⁾を迎えようというものである。以下の事項を実現することによりCYMを制御する。

- ①フロント風下側コーナ部では流れを剝離させ負圧を低減すること。
- ②リヤ風下側コーナ部では流れを付着させ積極的に負圧を発生させること。

なお、後部負圧手法、圧力面積手法はそれぞれ非対称流の考え方に基づいて平面視で捉えた場合、側面視で捉えた場合の車体表面圧力のあり方を示したものである。ここでは、非対称流手法の一例である後部負圧手法について述べる。

走行中の車両が横風を受けた場合、横風と走行風が合成され、車体周りの流れは図10に示すような流れとなり、リヤコーナ部の圧力分布の合力は車体前方を風下側に回転させようとするモーメントを助長する方向に発生する。当手法は風下側車体リヤコーナ部に大きな負圧を発生させヨーイングモーメントを打ち消そうとするもの（言い換えれば空力中心を重心に近づけるためのもの）であり、ポイントは風下側リヤフェンダ部に一対の縦渦を発生させ、側面流を図11に示すように車体表面に付着させこの部位に負圧を発生させる点にある。

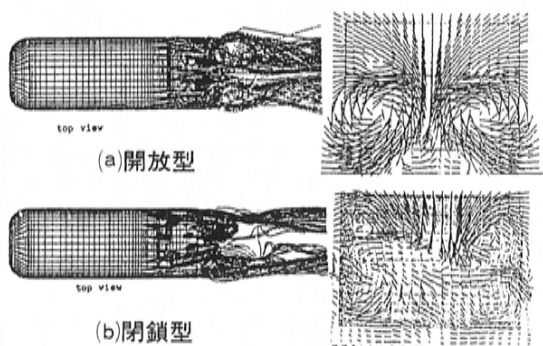


図9 解放剝離型と閉鎖剝離型

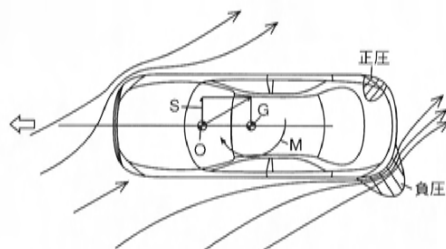


図10 通常セダン周りの風の流れ

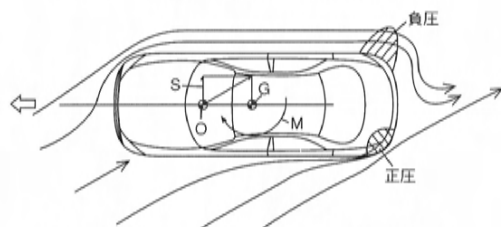


図11 後部負圧手法によるCYMの低減

4. 初期商品開発への応用

前述した全体流の考え方により、車体廻りの流れを最適にすることができるようになった。しかしながら、空力性能は、パッケージやスタイリングのあり方に影響される。

パッケージ、スタイリング及び空力性能の三者を高次元で両立させ、商品化につなげて行くには、パッケージやスタイリングの基本骨格が決まる商品開発の初期段階において、空力的な素性のよいモデルを創り出すことが重要である。

それを創り出す最良の方法は、最適な空気の流れを理解したパッケージエンジニアやデザイナーが、空気の流れとパッケージやスタイリングとの関係を考慮しながら検討を行うことと考える。しかし、空気の流れは目に見えないため、パッケー

ジエンジニアやデザイナーが、単に全体流理論を理解するだけでは、具体的なイメージを描くことや検討に利用できない。

よって、我々は、全体流の考え方から導き出された最適な空気の流れを目に見える形にしてやることが重要と考えた。そして、この最適な空気の流れを目に見えるように図面に反映させる手法を見いだした。

その結果、パッケージエンジニアやデザイナー自らが、あるパッケージやスタイリングに対して最適な空気の流れを作り出すためにどう対応すればよいかを理解できるようになった。それにより、「スタイリングやパッケージ変更が最適な空気の流れに対してどのように影響をおよぼすか、その流れを変えないようにするには、どの領域でどう対応すればよいか」を見だし得るようになった。

その一例として仮想収束点の考え方に対して図面化する方法を述べる。

1) 側面図

必要荷室容量と後方下方視界によって決定されるデッキポイントAを設定する。フロア下面Bと点Aを結ぶ直線の中点をCとする。C点に対して地上に水平な線Lを引く。後部座席の頭上空間の確保によって、決定されるDを基点にし、地上に水平な線Mに対して15°の線Nを引く。線Lと線Nの交点が、上面流と左右の側面流が車体の後方において収束する仮想収束点Fである。A点に対し、地上に水平な線Oと線Nとの交点をEとする。

2) 正面図

後部座席の頭上側方空間を確保した上で決定される点をG1、G2とする。後部座席の肩の側方空間を確保した上で決定される点をH1、H2とする。

3) 平面図

G1、G2と点Fを結ぶR1、R2を引く。点Eに対して、垂直な線Qを引く。線R1、R2と線Qとの交点をI1、I2（この2点を結ぶラインを再付着線と呼ぶ。）とする。H1とI1を結ぶ線O1を引く。H2とI2を結ぶ線O2を引く。

線R1、R2とO1、O2が図12で示されるキャビン後部を流れる最適な空気流れを示すライン図である。

パッケージやスタイリングを変更した際、例え

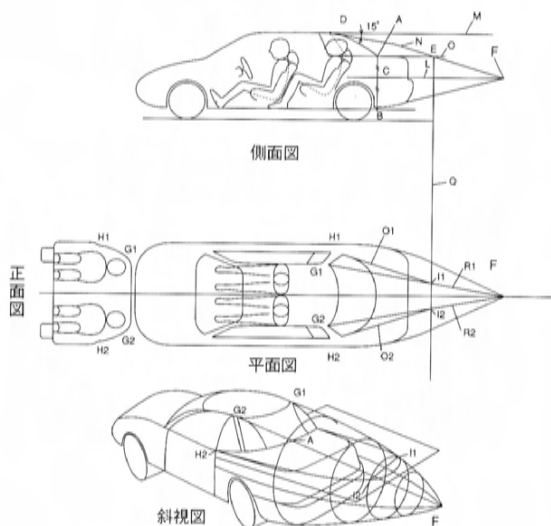


図12 仮想収束点手法の図面化例

ば後部座席頭上を盛り上げた場合は、前述の手順に沿って、仮想収束点を後方に移動させる。それに伴って、周辺の面、例えば、リヤ・フェンダ面、後部キャビン、側面を変更する。これにより最適な空気流れを変えずにパッケージやスタイリングを最適にし得る。

5. 成果と今後の取り組み

前述した手法により、商品開発の初期段階で、パッケージ、スタイリング及び空力性能の三者を両立する商品の提案が可能になった。これにより、確実な性能目標の達成と後戻りのない予測型の商品開発に貢献できると考える。

今後は、この検討をベースにボデー形態毎に、例えば、セダンより全高の高い1BOXにおいて「横風の影響を受けない空気の流れを作り出すには」といった視点での取り組みや、オープンカーにおいて「幌を開けても閉めても同じ空気の流れを作り出すには」といった視点での取り組みを行っていききたい。

最後に本研究を実施するに当たり、MRY1/5模型風洞という優れた環境を設定して下さった関係諸氏に感謝の意を表する。

また、本論文の執筆に当たり、暖かくご指導下さった諸先輩、ならびに橋口真宜氏(計算流体研)に深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1)武藤他：カースタイリング別冊／おもしろ自動車空力学，三栄書房，1985
- (2)伊藤他：自動車のスタイルと空力特性
(第2報)，TOYOTA Technical Review
Vol.41 No.2，PP. 125～134，1991
- (3)橋口他：スケールモデルによる空力開発，マッダ技報No.11，PP. 115～122，1993
- (4)神本他：箱型モデルにおけるヨーイングモーメント発生に関する実験的研究，自動車技術会學術講演会前刷集931，PP. 41～44，1993

■著 者■



大坪智範



神本一朗

論文・解説

14 マルチブロック法を用いたエンジン冷却および空力性能予測のための数値シミュレーション手法の開発 Development of Numerical Simulation of Vehicle Aerodynamics and Engine Cooling Performance Using Multi-Block Method

上 田 健^{*1} 農 沢 隆 秀^{*2} 渡 辺 博 之^{*3}
Takeshi Ueda Takahide Nouzawa Hiroyuki Watanabe
久 我 秀 功^{*4} 上 岡 孝 志^{*5}
Yoshiatsu Kuga Takashi Kamioka

要 旨

空力性能および冷却性能を予測するための流れの数値シミュレーション技術を、マルチブロック法を用いて開発した。量産開発においては、開発初期に空力性能および冷却性能の全体的傾向を同時に把握する必要がある。このためには、数値シミュレーションの適用が必要になるが精度良い結果を求めるならば格子生成に非常に時間がかかるという問題がある。エンジンルームのシンプル化など量産開発に必要な格子生成時間の短縮化を図りつつ実用性のある計算精度を確保できることを風洞実験との比較により確認した。

Abstract

Numerical simulation of vehicle aerodynamics and engine cooling was developed using multi block method for tool of development of the prototype vehicle.

It is necessary to know the outline of both aerodynamics and cooling performance simultaneously at an early stage of development. So it is important to apply the numerical simulation to develop the prototype vehicle. There is a problem that more exact result needs much time for grid generation. The period of grid generation is shortened by simplifying engine room and under-floor components. It is confirmed that this simulation has good practical use for development of the prototype vehicle in comparing simulated results with empirical results by wind tunnel test.

1. はじめに

車両の諸特性の中で空気の流れに影響される性能は、 C_D (空気抵抗係数), C_L (揚力係数), C_{YM} (ヨーイングモーメント係数) などの空力特性だけでなく、エンジン冷却性能、部品の耐熱性能、あるいは車体回りの汚れ付着さらにはピラーやアンテナ回りからの風切り音などがある。

車として考える場合、それぞれの性能に最適な空気流れを与え、かつ全体としてのバランスを整えなければならない。これらの条件に加え、さらにデザインの要素との両立をはかることが極めて重要である。

また一方で、昨今の車を取り巻く環境からお客様にタイムリーに良い商品を提供するためには、これまで以上に開発期間の短縮も要求される。

2. 開発の目的と数値計算に対する考え方

以上のような諸問題を解決していくためには、車両開発の中でデザインのイメージスケッチや1/5スケールモデルでのスタイリング検討という初期の段階において少しずつ諸特性の調整、最適化を行っていく以外に方法はない。このような観点に立って考えると初期の開発におけるスタイリングと流れに関する解析が重要となり、スケールモデルでの実験解析技術や数値シミュレーションが必要となる。

そこで当社においては、床下、エンジンルームの付いた1/5スケールモデルによる実験6分力予測技術をはじめ多くの実験的技術の構築を目指す一方で空力シミュレーション、冷却シミュレーションといった数値計算技術を確立してきた。空力性能予測については曲線座標によるH-H型計算

* 1 ~ 4 車両技術実研部 * 5 第1情報システム部

格子を用いた、なめらかなスタイリングでも精度良く計算できる手法を、冷却性能予測については直交座標系を用いて複雑なエンジンルーム内部も短時間に格子生成できる計算手法を確立してきた(1)(2)。

しかしながら上述のように、早い段階で空力付加物の影響まで加味した冷却性能と空力性能の全体的傾向を同時に把握する必要がある。このためには、エンジンルームや床下、空力付加物を再現可能なマルチブロック法が一つの方法として考えられる。

マルチブロック法は、エンジンルームなど複雑な形状の再現に適しており、床下やエンジンルーム内の部品等の細かい物まで再現することが可能である。(3)

エンジンルームを、そこまで細かく再現すれば、計算精度は向上し、精密なエンジンルーム内の流れを解析することができるが、一方で格子生成に要する時間は増大する。実際の開発の中で、しかも初期開発というデザインが何度も検討される状況を考慮すれば、この格子生成に要する時間の増大は、数値シミュレーションの実用化の大きなネックとなっている。

したがって、研究活動ではなく量産開発に適用することを考えると、エンジンルームを精密に再現することだけに注力するのではなく細かな格子生成と必要格子生成時間のバランスが重要である。エンジンルームをどの程度ラフに再現しても、実験との相関がとれるかということが重要なポイントとなる。この考えに基づき本論文ではシンプル化したエンジンルーム等を実車の小型セダンに適用し、実験結果と比較することで量産開発への適用可能性を追求した。

3. 計算方法

当社で用いている流体解析手法は(4)計算流体力学研究所にて開発された非定常非圧縮性の流体を計算する計算コードであるNAGAREをベースにしている。

3.1 基礎方程式及び計算方法

基礎方程式は以下に示す2式であり、(1)式は連続の式、(2)式はナビエ・ストークスの方程式である。

$$\operatorname{div} \mu = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} + (\mu \cdot \operatorname{grad}) \mu = -\operatorname{grad} p + \frac{1}{\operatorname{Re}} \Delta \mu \quad (2)$$

ここで μ は速度ベクトル、 p は圧力、 t は時間、 Re はReynolds数を示している。

上記2つの式に対してMAC法を用いて圧力のポアソン方程式を導き、このポアソン方程式とナビエ・ストークスの式から流速および圧力を求める。ポアソン方程式の解法には擬SOR法を用いている。

離散化については、対流項に関して三次精度風上差分(河村-桑原スキーム)、それ以外の空間微分項に関しては二次精度の中心差分、時間に関しては一次精度の陰解法を用いている。

計算は車の静止状態から加速して、 $\operatorname{Re} = 1 \times 10^6$ の流速まで達する加速出発を採用している。

時間刻みは0.001としている。計算ステップは4000ステップで、加速ステップは、種々トライを行い、計算条件を検討し300ステップに短縮した。加速時間の短縮により全体の計算時間を1/2にする事ができた。

境界条件は、速度に関しては、流入が一様流、流出が自由流出とし、物体表面はすべり無し、圧力の条件はノイマン条件とした。

3.2 格子生成法

座標系としては境界適合曲線座標系を用いている。計算空間をいくつかのブロックに分割し計算空間を作成するマルチブロック法を使用した。マルチブロック法による計算格子はH-H型に比べて格子作成は容易ではないが、物体内部に計算格子を定義できるためエンジンルーム、ドアミラーやスポイラ等を設定できる。

今回の計算は、車両の中央断面から半分をモデル化し、それを反転させて全体格子を作成した。車両は、図1の物理領域に示すように23のブロックに分割し、それぞれのブロックを計算領域のブロックに対応させている。エンジンルームは、エンジン、補機類などをそれぞれ別個に表現するのではなく1つの物体として定義した。

さらに複雑な形状変化を伴う車両フロント部やエンジンルーム、トランクルーム後端などの流れ

フロントウィンド下端から上端にかけて負圧領域が急激に立ち上がっている。ルーフからリアウィンド、トランクデッキ中央まで負圧が発生しトランクデッキ後端で正圧になっている。これに対して計算結果では、ボンネット先端の負圧がボンネット中央から正圧に転じ、フロントウィンド上端まで正圧状態になりルーフ先端から急激に発生した負圧がリアウィンド下端まで続きトランクデッキ上には正圧が生じている。

実測と計算を比較すると、ボンネット先端の負圧がボンネット中央で正圧に転じる傾向までは良く類似しているが、それより後端では全体的傾向が近似している程度である。圧力分布から実測の流れは、フロントウィンド下端のカウル部でよどみ域を発生させるが、フロントウィンドからルーフにかけて比較的スムーズに流れていると推察できる。これに対して計算ではボンネット中央からフロントウィンド上端までがよどみ域となり、ルーフ先端にボンネットからの流れが再付着している。ルーフからリアウィンドまではなめらかに流れ、トランクデッキで正圧に転じると考えられる。

細かく現象をとらえると、正圧から負圧、負圧から正圧への変化がフロントウィンドとトランクデッキで異なる状況にあるが数値シミュレーションをデザイン開発初期段階で空力特性の傾向を判断する道具とすれば、全体的な流れの傾向はその意味で一致していると考えても良い。

次に圧力分布の積分値である6分力の結果をオリジナル、アッパグリル開口部閉と比較して図4、5に示した。両図共にオリジナルを■印、アッパグリル閉を◆印で表している。実験値と計算値は C_D では11%程度の差があるが実験、計算ともアッパグリル開口を閉じた場合には、オリジナルの C_D 値に対して低減しており、その低減割合も実験2.2%、計算1.4%程度と同様の傾向を示している。 C_{LF} 、 C_{LR} についても2つの仕様において同傾向にあり、絶対値はさることながら、仕様変更にとともなう傾向が相関を持つといえる。従って車両開発において重要な車体の前後リフトバランスも計算で傾向の予測が可能である。

5.2 冷却性能比較

冷却性能は、周知の通りエンジンの発する熱量と車両搭載状態におけるラジエータからの放熱

(以下ラジエータ放熱量)のバランスによって決まる。したがって冷却性能を予測するには両者を予測すればよい。このうちエンジンの発する熱量は基本的にエンジンスペックにより決定される一義的なものである。そのため冷却性能の予測は、ラジエータ放熱量を予測することになり、結果的にはラジエータ通過風を求めればよい。

一方、最近の車の状況を観察するとエンジンルーム内の大物部品のレイアウトはほぼ固定されており、商品開発における車のモデルチェンジに際しても大物部品のレイアウトは大きく変わらない。すなわち流れ的にみるとエンジンルーム内の圧力損失は車のモデルチェンジにおいても同程度のレベルと推察することができる。これは実際の開発の初期段階において重要なことである。このことを实际的な立場に立って明確に認識すればエンジンルームの中身は一定の抵抗体と考えられ、前述の冷却性能を支配するラジエータ通過風はフロント形状に強く依存していると考えることができる。

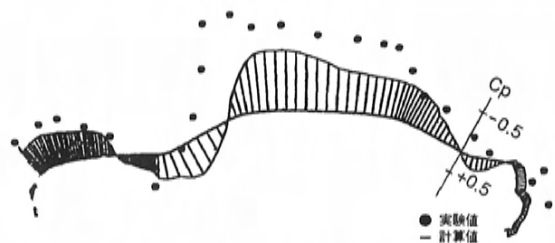


図3 車体表面圧力分布（中央断面）

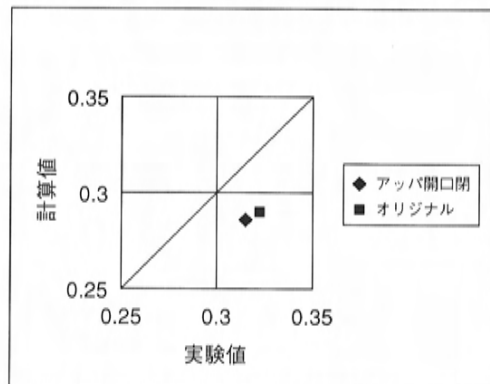
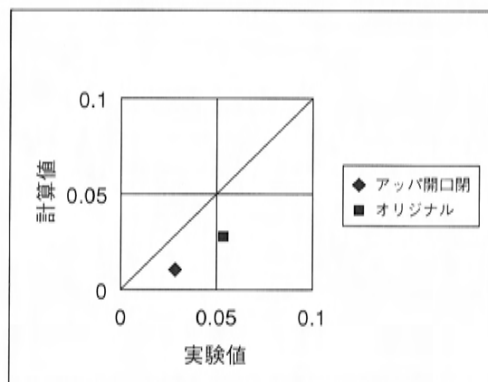


図4 C_D 値比較（実験VS計算）

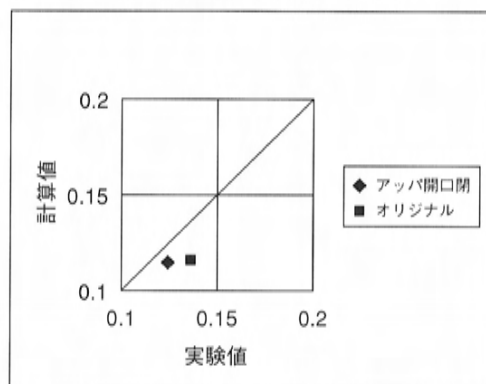
従って、冷却性能は簡易的なエンジンルームで前モデルに対して、相対的にフロント形状がラジエータ通過風に与える影響を明らかにすればよい。

この立場にたって、計算におけるエンジンルームのエンジン及び補機類を一つのブロックにして実測とどの様に差異を生じるか考察する。図6には計算におけるエンジンルームの車体中央断面での $t=0.3\sim4.0$ までを平均した流れ場での流跡線を示した。近似的には流線に近いと思われる。この結果を見るとアップグリルから流入した流れはラジエータ前面で渦を作ると共にラジエータを通過し、エンジン簡易ブロックの上部からトーボードにあたりエンジンルーム下部へ流出する。また、ロア開口からの流入もラジエータを通過しエンジン下部へ流出している。これらのパターンは物理的に推察され、特に変わった流れ現象とも考えられない。

図7にラジエータ前面の圧力分布を示す。図中の数字は、圧力を動圧で割った圧力係数である。この分布はラジエータ前後の圧力損失の値ではないので、風速値とは対応しないが通過風分布の傾向はとらえることが可能である。計算モデルは、実車のセンターステアなどの細かい部品を完全には再現していない。このことを踏まえて圧力分布を比較すると、ラジエータ下部で風速が大きく、上に向かうほど減少しラジエータ上部ではほぼ一定値を示していること、及びラジエータ両サイドで三角形の低風速域が存在する分布傾向より計算と実測が良く一致していると考えられる。これらの風速分布を基に、風洞の定熱源装置で計測したラジエータ放熱量計測結果と実験結果の比較を図8に示した。ラジエータ放熱量の計算にあたっては、以下の仮定を行った。ラジエータ表面を各領域に一つ計算格子が存在するように等面積に分割し、その単位面積内は等風速であるとした。風速から放熱量の算出はラジエータ単体の放熱量と風速の関係より算出した。図8の結果を見るとオリジナルの車両では多少計算値の方が実測値よりも放熱量が少なくなっている。これらの絶対値は計算において細かくエンジンルームのエンジンブロックサイズを変えれば、ラジエータ通過風と共に放熱量も一致させることが出来る。実用化にあたって問題となるのはフロントデザインなどの変更



(a) CLF値比較



(b) CLR値比較

図5 CL値比較(実験VS計算)

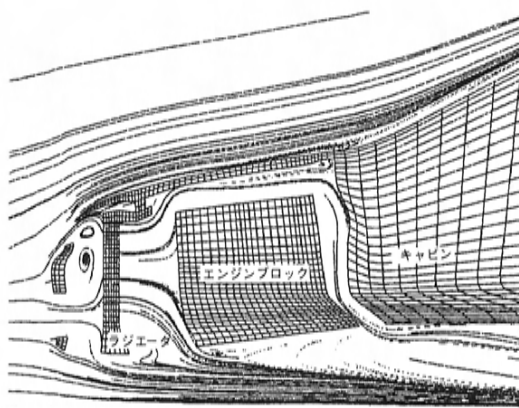


図6 作成したエンジンルームと流跡線

によって放熱量増減をどの程度予測できるかである。そこでアップグリル開口を閉じた場合の放熱量であるがこれは計算、実測共に低減の傾向を示しており、この結果では約900kcal/h程度の予実差はあるが、エンジンプロックの大きさを精度良く調整すればフロントデザインによる影響は十分予測ができる。

6. 開発への適用

数値シミュレーションを用いた車両回り、エンジンルームの解析は種々行われており、精度向上もめざましく車両内外の流れを精密に解いた例も多く見られる。

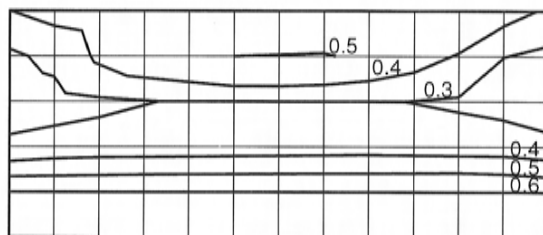
数値シミュレーションの目的には、空力性能予測、冷却性能予測、エンジンルーム内の流れ解析などがあげられるが、商品開発においては、特に空力性能および冷却性能予測が重要となる。従って、時間をかけてエンジンルームや床下を精密に再現するよりも、日に日に進んでいくデザインの開発に対応してタイムリーにアウトプットを出すことが必要である。

そこで重要となるのが、計算時間の短縮であり、この点を解決するための方法として、以下の方法を行った。

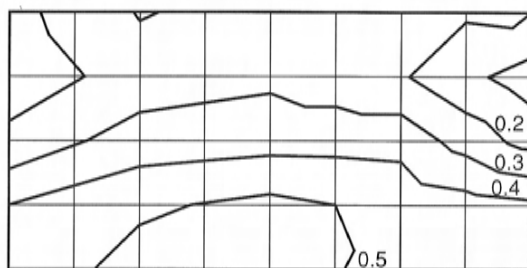
車両のエンジンルームと床下を小型、中型、大型と分類し事前に用意する事を考えた。従って計算の必要が生じる開発初期段階において、車両アップ形状の格子を発生させ、床下およびエンジンルームのアンダーボデーと結合させる。このことにより床下およびアンダーボデーの格子生成時間を省略できる。このようなやり方は、細かなエンジンルームを再現して、より精度の高い予測をしようとする数値シミュレーションそのものからするとかなり大雑把なやり方かもしれない。しかしながらこれまで述べた様に、必要な時に必要な方向をきちんと計算により示すことはできる。

以上のやり方で、通常約1ヶ月程度かかる計算格子生成時間を1週間程度に短縮する事ができた。また流れ計算のCPU時間は約40時間程度できるように境界条件や計算効率を改善してきており、これらを統合させるとかなり短い時間で計算結果を出すことができる。このタイムリーな結果が初期デザイン開発の方向決めに役立つと共に、デ

ザインを最終的に決定する実験に向けて多大なるサポートを実現している。このような姿こそが精度良く短期開発を可能にする計算、実験の融合した姿だと確信している。



(a) 計算結果



(b) 実験結果

図7 ラジエータ前面圧力分布

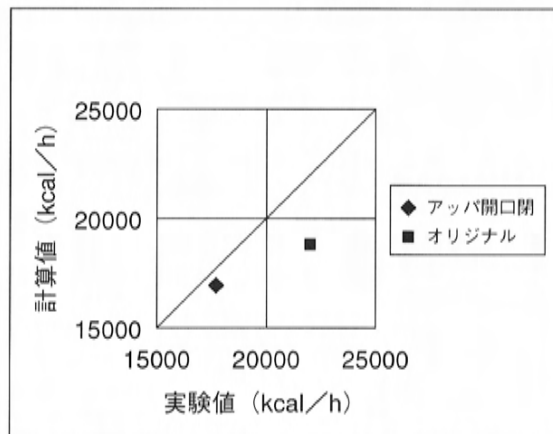


図8 ラジエータ放熱量比較 (実験VS計算)

7. まとめ

空力性能および冷却性能をトータルで予測するためマルチブロック格子発生法を用いる数値シミュレーション手法を開発した。量産開発への適用のためエンジンルームや床下形状を簡易化し、共通化する事などにより、格子生成時間を1週間という実用レベルまで短縮しその場合の計算精度も実際の開発上十分であることを明らかにした。

- (1)開発初期段階において車両中央断面の圧力分布の全体的傾向を予測できた。
- (2)空力性能に関しては、 C_d は予実差11%の精度で予測可能であり、 C_L は形状変更時の予測が可能である。
- (3)冷却性能は、900kcal/h程度の予実差で予測可能である。

参考文献

- (1)河口健二：タイヤを考慮した自動車周りの空力数値解析，第5回 数値流体力学シンポジウム講演論文集 p601-604
- (2)上田健他：エンジンルーム内流れの数値解析，マツダ技報1994 No12 p83-90
- (3)Kenji Ono, Ryutaro Himeno：Simultaneous Computation of the External Flow around a Car Body and the Internal Flow Through its Engine Compartment, SAE920342

■ 著 者 ■



上田 健



農沢隆秀



渡辺博之



久我秀功



上岡孝志

論文・解説

15

点火時期遅角による触媒早期活性化手法
Improvement of Catalyst Warm-up by Ignition Retarding

梅 原 健^{*1} 立 石 哲 也^{*2} 中 角 忠 孝^{*3}
Ken Umehara Tetsuya Tateishi Tadataka Nakazumi
西 村 博 文^{*4} 三 角 正 法^{*5}
Hirofumi Nishimura Masanori Misumi

要 旨

冷間時のHC低減には触媒加熱が有効であり、点火時期遅角により排出ガス温度を急上昇させる手法をシミュレーション、および実機を用いて検討した。その結果、点火時期を限界近傍まで遅角すれば、大幅に触媒活性時間が短縮されHC低減が可能となることがわかった。また、遅角時の燃焼安定性改善には、スワールの付加が有効であった。

Abstract

Because of its ability to rapidly increase exhaust gas temperature, ignition retarding was investigated as a means to reduce hydrocarbon emissions during cold start and warm up. The results of simulations and actual engine experiments showed that when ignition timing was retarded close to its limit, the catalyst had very quick light-off and hydrocarbon emissions were consequently reduced. The research also revealed that in-cylinder swirl was effective in improving the stability of retarded combustion.

1. はじめに

ガソリンエンジンを搭載した自動車の排気有害成分は、排気浄化触媒が活性化されていないエンジン始動直後にその大部分が排出されている⁽¹⁾。したがって、触媒浄化開始を早めることができれば排気有害成分の大幅な低減が可能となる。そのための一つの方法としては、触媒を急速に加熱することが効果的であり、例えば、電気ヒータを用いる方法⁽²⁾や、排気系にバーナを設置する方法⁽³⁾などが広く検討されている。

本研究では、触媒加熱用の熱源としてエンジンの排出ガス熱を直接利用できないかという点に着目した。点火時期を遅角することで、排出ガス温度が上昇することは一般に知られている。ここでは、この現象を最大限利用し、始動直後にエンジン自体を触媒加熱用のバーナとして作用させると

いう方法を検討した。具体的には、始動直後のアイドリング期間中に点火時期を上死点以降まで大幅に遅角することで得られる高い排出ガス温度の活用である。

点火時期の大幅遅角にあたっては、遅角燃焼時の筒内圧力、乱れの低下から、燃焼性やリーンリミットの悪化が懸念される。この対策としては、スワールの付加が有効であると考えた。そこで、点火時期を大幅に遅角した場合に、スワールが排出ガス特性、燃焼性に及ぼす影響を調べた。あわせて、点火時期遅角始動の車両への適用についても検討した。

2. エンジンシステム

表1に実験に用いたエンジン、および車両の主要諸元を示す。市販機種を基本とし、点火時期遅角始動を実現するためのエンジン制御仕様変更、

* 1 ~ 5 技術研究所

および触媒容量変更などを行っている。

排気システムを図1に示す。触媒は、排気マニホールド直下、およびオイルパン下位置とした。使用した触媒は、8万km実車走行相当の熱エージングを施している。

3. 点火時期遅角時の燃焼特性

点火時期遅角始動を車両に適用するにあたり、エンジン単体で点火時期遅角時の排出ガス特性、燃焼性などについて調査した。

点火時期を大きく遅角した場合には、燃焼時点での筒内圧力、乱れなどの低下に起因した燃焼性の悪化が問題になると考えられる。また、点火時期遅角はサイクル効率が低下するため、必要な空気量、燃料量が増加し、排出ガス流量も増大する。加えて、通常、冷間時は燃料の気化霧化が悪化するなどの理由で過濃運転されることが多いが、この場合はさらに余剰燃料が増大し、未燃成分が大量に排出されることにもつながる。したがって、点火時期遅角を触媒浄化性能向上に利用するためには、燃焼性の確保、並びに冷間時でも過濃混合比を使用しない希薄運転の実現が必要条件となる。

本研究では、これらの課題を解決する手法として、スワール付加による燃焼速度の向上と混合気分布の改善に着目し、まず基本的な特性を調べた。

なお、スワール有無の調整は、吸気独立ポートの片側に設けられたバタフライ弁を開閉することによって行った(図2参照)。エンジン運転条件については、特記する場合を除き表2に示す値に設定した。排出ガス温度の測定位置は、前段に設置された触媒の入り口である排気マニホールド集合部とした。

3.1 排出ガス温度特性

図3に点火時期と排出ガス温度の関係を示す。点火時期の遅角により排出ガス温度は上昇するが、特に上死点付近からは急上昇を示した。

また、スワールを付加した場合はスワールがない場合と比較し、同一点火時期での排出ガス温度が低下した。これは図4に示した燃焼期間の短縮が主要因として考えられる。

一方、燃焼終了時期と排出ガス温度の関係を整理すれば図5となり、スワールの有無によらず、両者は強い相関を示す。したがって、排出ガス温

表1 実験車両、エンジン仕様

| | |
|-----------|----------------------|
| エンジン型 | Z5-DEL |
| エンジン形式 | 水冷直列4気筒 DOHC |
| ボア×ストローク | φ75.3×83.6mm |
| 総排気量 | 1,489cm ³ |
| 圧縮比 | 9.4:1 |
| 車重ランク | 2,750 lb |
| トランスミッション | 手動5段変速 |

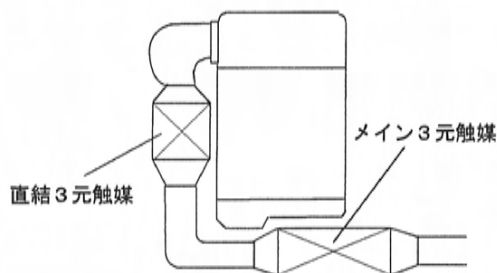


図1 排気システム

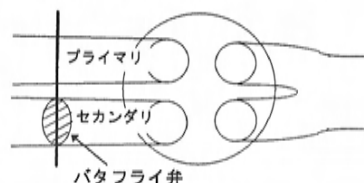


図2 吸気ポート

表2 エンジン運転条件

| | |
|---------------|------------|
| 冷却水温 | 313K |
| 冷却油温 | 313K |
| エンジン回転速度 | 1,500rpm |
| エンジン負荷 (BMEP) | 98kPa |
| 空燃比 | 14.7:1 |
| スワール比 | スワールあり 3.0 |
| | スワールなし 0.1 |

度は、燃焼終了時期により決定されることになり、燃焼期間の変化による燃焼ガス温度の違いが及ぼす影響は小さい。

3.2 燃焼特性

(1)燃焼安定性

前述の結果より、高い排出ガス温度を得るためには、スワールの有無によらず、燃焼終了時期を遅らせる必要がある。また、スワールを付加した場合、スワールなしの場合と同一温度を得るため

には、燃焼終了時期を同一にするため、さらに遅角量を増すことになる。しかし、スワールを付加した場合は、同一排出ガス温度でも、スワールなしと比較し燃焼期間が短いため、燃焼安定性の点で有利となる可能性がある。

図6に、排出ガス温度に対する燃焼安定性(図示平均有効圧力IMEPの変動率)の比較を示す。スワールを付加した場合は、同一排出ガス温度においてもスワールなしに比べ、高い安定性が得られた。

以上より、スワールの付加は、燃焼安定性を確

保しつつ、高い排出ガス温度を得る手法として、有効であるといえる。

(2)リーン性能

排出ガス昇温による触媒加熱の効果を引き出すためには、未燃炭化水素(HC)や一酸化炭素(CO)の酸化雰囲気を作る希薄燃焼が望ましいが、点火時期遅角により、リーン性能は低下すると考えられる。そこで、冷間希薄燃焼実現の可能性を調査するため、スワール、および点火時期がリーン性能に及ぼす影響を調べた。

図7にスワールの有無によるリーン性能(HCスパイク法)の比較を示す。点火時期遅角に伴い、リーン性能は低下するが、スワールなしの場合、リーン限界空燃比は理論空燃比近傍であるのに対し、スワールを付加した場合は、さらに希薄側に制御が可能である結果を得た。リーン限界が向上したのは、吸入行程で生成されたスワールにより、混合気の分布が改善したこと、圧縮・膨張行程での乱れエネルギーが向上したことが要因として考えられる。

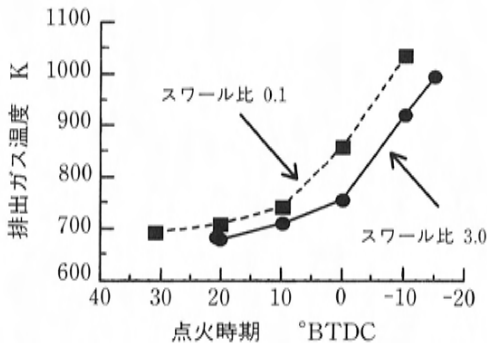


図3 点火時期が排出ガス温度に及ぼす影響

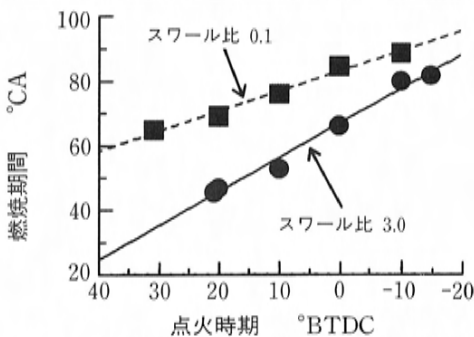


図4 スワールが燃焼期間に及ぼす影響

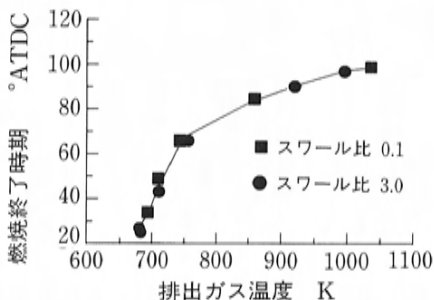


図5 燃焼終了時期が排出ガス温度に及ぼす影響

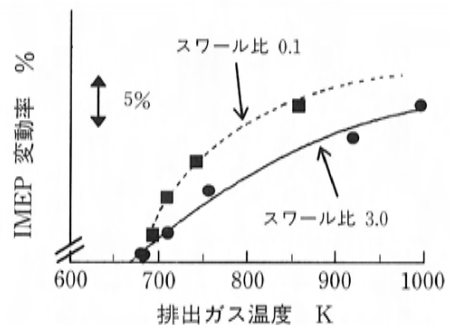


図6 スワールが燃焼安定性に及ぼす影響

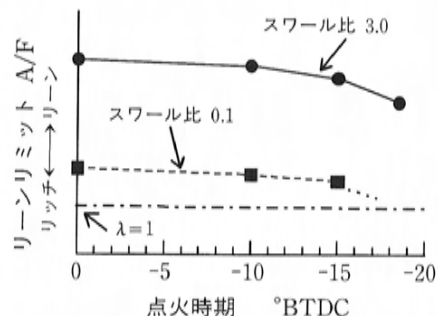


図7 スワールがリーンリミットに及ぼす影響

3.3 燃料消費量

点火時期遅角により熱効率が低下するため、図8に示すように燃料流量は増大する。これは排出ガス流量を増大させ、触媒に加える熱量を増加するという観点で有効に作用する。もちろん、燃費の面からは不利となるはずであるが、点火時期遅角の車両への適用は、始動直後のごく短い期間であり、実用燃費に及ぼす影響は極めて少ないと考えられる。

燃料流量を排出ガス温度との関係で整理すれば図9となる。排出ガス温度は、効率とトレードオフの関係にあるため、スワールの有無での明確な差は見られなかった。

3.4 排出ガス特性

(1) 未燃炭化水素 (HC)

図10に点火時期に対する排出濃度を、図11, 12に排出ガス温度に対する排出濃度、排出量を示す。HCは点火時期遅角に伴い、排出濃度、排出量とも減少する。この主要因は、膨張行程での燃焼ガス温度上昇による酸化反応の促進と考えられる。

なお、排出ガス温度の高い領域で、スワールなしのHC排出量がスワールを付加した場合に比べ増加しているが、これは点火時期遅角増大に伴い、燃焼性が悪化したことによると考えられる。

図13はHC排出濃度と燃焼終了時期の関係を示す。3.1.項で述べたように、排出ガス温度は燃焼終了時期と強い相関を示したが、HC濃度も、燃焼終了時期と強い相関を示した。

(2) 窒素酸化物 (NO_x)

図14は、点火時期遅角がNO_x排出濃度に及ぼす影響を示す。通常、NO_x濃度は、点火時期を遅角するに従い減少する。これは、点火時期遅角により燃焼が緩慢になり、燃焼ガス温度が低下するためである。しかし、さらに遅角した場合には、NO_x濃度は増加傾向を示した。これは、効率低下により発熱量が増大し、燃焼ガス温度が高くなるためと考えられる。

NO_x濃度、排出量を排出ガス温度で整理したのが図15, 16である。点火時期を大幅に遅角した場合、NO_x排出量は、排出ガス量増加により、MBTにおける排出量を若干上回った。また、スワールの付加は燃焼速度を向上させるため、NO_x排出量は増加する傾向を示した。ただし、点火時期の大

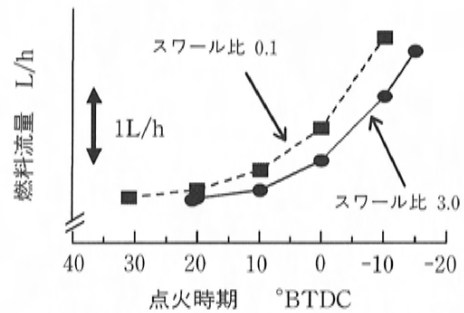


図8 点火時期が燃料流量に及ぼす影響

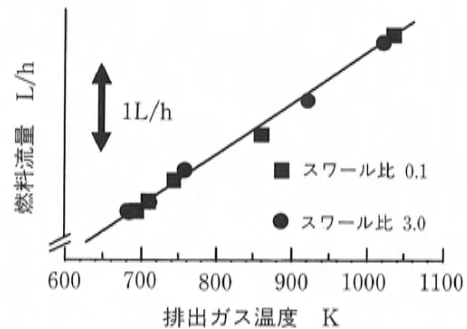


図9 排出ガス温度とスワールが燃料流量に及ぼす影響

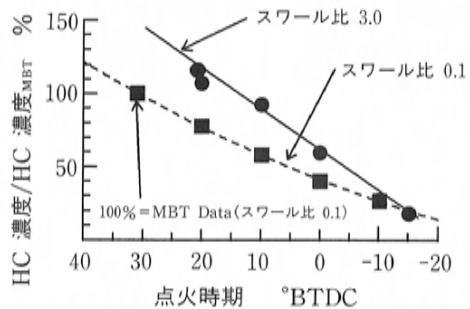


図10 点火時期とスワールがHC排出濃度に及ぼす影響

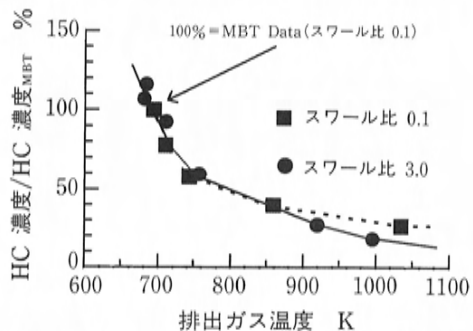


図11 排出ガス温度とスワールがHC排出濃度に及ぼす影響

幅な遅角によってその期間NO_x排出量が増加しても、触媒早期活性化の効果が得られれば、全体としては十分相殺できると考えられる。

(3)一酸化炭素 (CO)

COは空燃比に強い影響を受けるため、図17に示すように点火時期遅角によっても、排出濃度は大きく変化しない。しかし、スワールの付加は、大きな効果を示した。スワールにより混合気分布が改善されたことがその理由として考えられる。図18, 19はCO濃度に及ぼすスワールの影響を排出ガス温度に対して整理したものである。排出量は、遅角量の増大と共に増加するが、スワールを付加した場合は、大幅に点火時期を遅角しても、スワールなしのMBT相当の排出量に抑えられている。したがって、触媒の早期活性化効果により、CO排出量についても低減が可能であると考えられる。

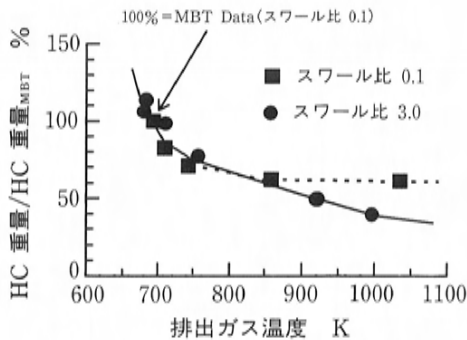


図12 排出ガス温度とスワールがHC排出重量に及ぼす影響

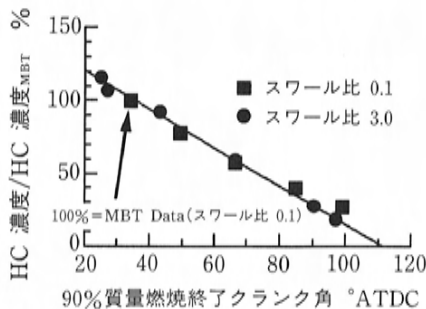


図13 燃焼終了時期がHC排出濃度に及ぼす影響

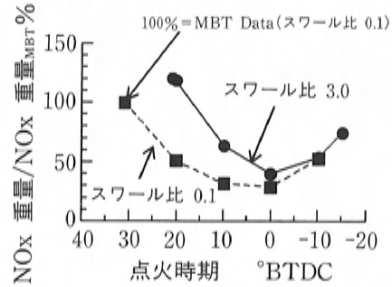


図14 点火時期とスワールがNO_x排出濃度に及ぼす影響

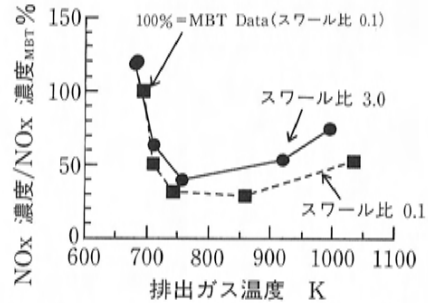


図15 排出ガス温度とスワールがNO_x排出濃度に及ぼす影響

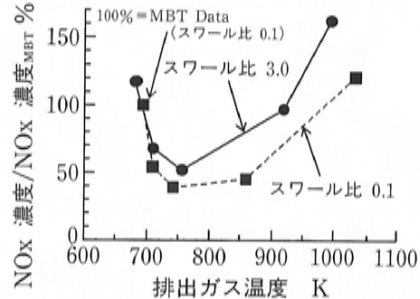


図16 排出ガス温度とスワールがNO_x排出重量に及ぼす影響

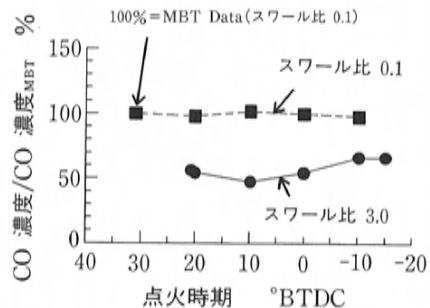


図17 点火時期とスワールがCO排出濃度に及ぼす影響

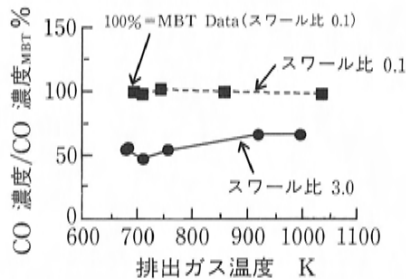


図18 排出ガス温度とスワールがCO排出濃度に及ぼす影響

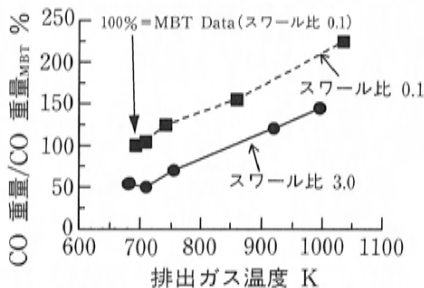


図19 排出ガス温度とスワールがCO排出重量に及ぼす影響

4. 伝熱シミュレーションによる触媒温度の予測

つぎに点火時期遅角始動を車両に適用するに際し、1次元の伝熱シミュレーションを用いて、どのような温度条件の排出ガスを流せば、要求する触媒温度が得られるかを検討した。

このシミュレーションプログラムは、吸気系から排気系までのガスの流れ方向を1次元のモデルとし、ガスと吸排気管の熱交換を熱連成解析により求めるものである。排出ガスから排気管への伝熱、排気管から大気への放熱、排出ガスから触媒への伝熱は、それぞれGnielinski, Churchill, Hausenの熱伝達式⁽⁴⁾により計算し、触媒温度の時間変化を求めた。

ここでは、始動後走行開始までに触媒を活性化させることを目標にし、触媒加熱に利用する期間は、EPA FTP75 LA-4モードを参考に、始動後のアイドル20秒間に設定した(図20参照)。エンジン始動時の雰囲気温度は298Kとした。

図21に排出ガス温度(触媒前の排気マニホールド集合部)と触媒温度(前段のモノリス中央部)の予測結果の一例を示す。図示するように、この

プログラムで始動後20秒間における排出ガス温度と触媒温度の履歴を予測することができる。

図22, 23は種々のエンジン回転速度と点火時期に対する、始動20秒後時点での温度予測結果である。触媒が活性安定化状態に達する温度を約630Kと仮定すれば、それが得られる点火時期は、2,000rpmでは上死点後15度付近、1,500rpmでは同20度付近である。また、そのときの排出ガス温度は、約930Kとなっている。

5. 車両への適用結果

上述の結果を基に始動条件を選定し、車両試験を実施した。始動後のエンジン回転速度は、2,000rpmから1,500rpm付近まで徐々に低下させるパターンとし、点火時期遅角量は、シミュレーション結果に基づき、エンジン回転速度の低下に合わせて増大させた。また、空燃比は、HC, COの良好な触媒浄化が得られるよう、理論空燃比より希薄となるように設定した。

図24は、排気マニホールド集合部における排出ガス温度の測定結果を通常始動と比較して示す。

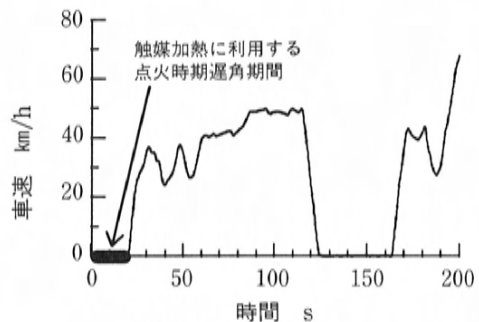


図20 LA-4モード

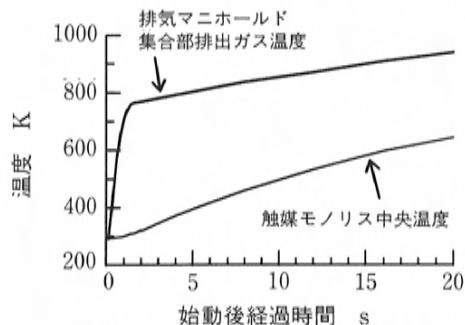


図21 伝熱シミュレーション結果

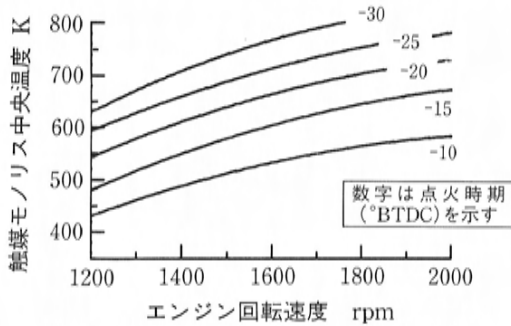
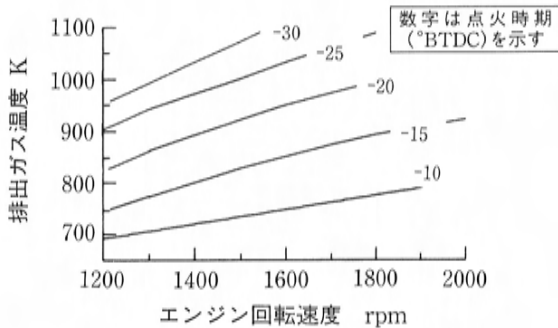


図22 触媒モノリス中央温度の予測結果

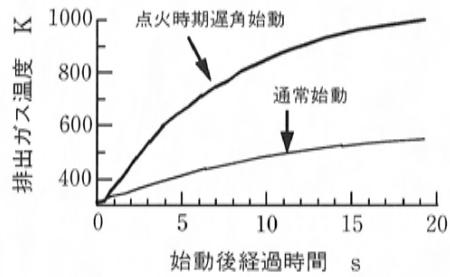
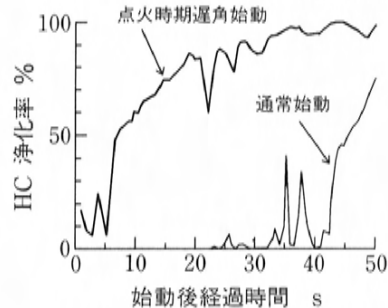
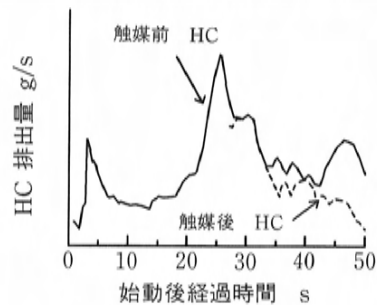
図23 排気マニホールド集合部
排出ガス温度の予測結果

始動20秒後においては、シミュレーションにより触媒活性の指標とした930K以上が得られ、通常始動と比較して大幅な温度上昇が得られている。

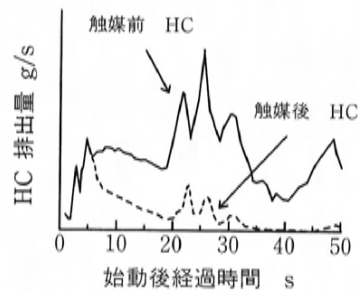
図25、26に、HCの浄化率、および触媒前後排出量を通常始動との比較で示す。CO、NO_xについては図示しないが、触媒浄化率は、3成分とも走行開始までに90%近くが得られ、通常始動と比較して大幅な触媒活性時間の短縮が図られた。その結果、冷間時のエミッション排出量は大幅に減少し、冷間過渡モードでの排出量は40～50%低減した。

6. まとめ

1. 点火時期を上死点後20度付近まで大幅に遅角することで、触媒の早期活性化に有効な高い排出ガス温度が得られた。
2. 点火時期遅角始動を車両に適用した結果、触媒の活性時間が短縮され、従来冷間始動直後に排出されていた排気有害成分の大幅な低減が可能となった。
3. 点火時期遅角時の燃焼について、以下のことを明らかにした。

図24 点火時期遅角始動による
排出ガス温度上昇効果図25 点火時期遅角始動による
触媒浄化率改善効果

(a) 通常始動



(b) 点火時期遅角始動

図26 点火時期遅角始動による
HC排出量低減効果

- (1)排出ガス温度は、燃焼終了時期により決定され、燃焼期間の変化による燃焼ガス温度の違いが及ぼす影響は小さい。
- (2)点火時期遅角により燃焼速度は低下し、燃焼安定性が悪化するが、スワールを付加することで燃焼速度が向上し、燃焼安定性は改善できる。また、スワールはリーン性能向上の点からも有効である。
- (3)HC排出濃度は、点火時期遅角と共に低減するが、これは燃焼終了時期と相関が強い。

参考文献

- (1)O. Hadded et al.: The Achievement of ULEV Emission Standards for Large High Performance Vehicles, SAE 930389
- (2)L. S. Socha, Jr. et al.: Optimization of Extruded Electrically Heated Catalysts, SAE 940468
- (3)E. Mueller et al.: Novel Emission Technologies with Emphasis on Catalyst Cold Start Improvements Status Report on VW-Pierburg Burner/Catalyst System, SAE 940747
- (4)片岡他: 伝熱工学資料 日本機械学会編, 丸善 (1986)

■著者■



梅原 健



立石 哲也



中角 忠孝



西村 博文



三角 正法

論文・解説

16

ガソリン機関の燃焼特性におよぼす層状混合気の影響

Influence of Mixture Stratification on Combustion Characteristics in SI Engine

田 端 道 彦^{*1} 片 岡 一 司^{*2}
Michihiko Tabata Motoshi Kataoka
山 本 寿 英^{*3} 乃 生 芳 尚^{*4}
Toshihide Yamamoto Yoshihisa Noh

要 旨

従来の吸気ポートと独立した混合気噴射弁を設け、吸気行程後半から圧縮行程前半に混合気を燃焼室内に噴射する混合気噴射ガソリン機関を用い、燃焼室内の混合気形成過程の制御を試みた。レーザ蛍光法や粒子画像相関法で混合気状態を計測し、混合気噴射機関では点火栓近傍に比較的濃い燃料蒸気塊が存在することが明らかとなり、その結果大幅な希薄燃焼限界の拡大と燃費改善を可能にした。またこの燃焼安定性を活用し、多量のEGRを行うことで、NOx排出量低減と燃費改善の両立が図られることを示した。

Abstract

To control mixing formation, a mixture injected SI engine was developed. The engine was equipped with a small mixture chamber and mechanically driven mixture injection valve on the cylinder head. Both liquid and vapor phase fuel distributions were obtained with exciplex fluorescence technique. Images of the in-cylinder flow field were computed by an image processing technique. The mixture was injected into the swirl center from intake stroke to compression stroke, and a high concentration region of fuel vapor was formed near the ignition plug at the end of compression stroke. The stratified mixture distribution was effective in increasing combustion stability under lean operation, and it was shown that the lean limit of A/F ratio reached up to 40. Because of the stratified mixture made possible by the new mechanism, the engine ran stably up to an EGR ratio of 48% under stoichiometric A/F ratio. The capability of introducing large amounts of recirculated exhaust gas by this system resulted in much lowered NOx emission and reduced fuel consumption.

1. はじめに

近年、地球環境や資源問題の観点からガソリン機関に対する燃焼改善の要求はますます強まってきたり、燃焼現象そのものを質的に制御する技術が必要となってきた。特に燃焼室内における燃料と空気の混合過程は、その後の燃焼や排気生成を直接支配する要因の一つであり、その制御が燃料経済性や排気ガス特性に大きな影響をおよぼす。

こうした観点から、従来よりガソリン機関の混合気形成を制御し、混合気を層状配置する層状給気機関の研究が進められてきた。また、最近ではリーンバーン機関の層状混合気供給の研究なども盛んに行われ、種々の層状給気機構が提案され研究されている。しかしながら、混合気を層状化することによりNOx排出量が増加するなど排気ガ

ス適合性の面などで解決しなければならない問題も多くあり、必ずしも燃料経済性と排気ガス特性改善が高次元で十分に両立しているとはいえないのが現状である。

本研究では、従来の吸入空気とは独立して混合気を直接燃焼室内に供給することで、燃焼室内の混合気形成過程の制御が可能な混合気噴射ガソリン機関⁽¹⁾を用い、混合気の層状化を試みた。この混合気噴射機関と従来のポート噴射機関の混合気形成過程における燃焼室内の燃料の液相、気相分布と空気流動をレーザシート光による二次元可視化手法により計測し、混合気形成過程を比較した。

また、それら混合気状態と希薄燃焼特性の関係を明らかにすることで、燃焼特性におよぼす層状混合気分布の影響を調べた。さらに層状化した混合気に対し、排気ガス再循環 (EGR) を適用し多量のEGRガスを導入した場合の燃焼特性につい

* 1 ~ 4 技術研究所

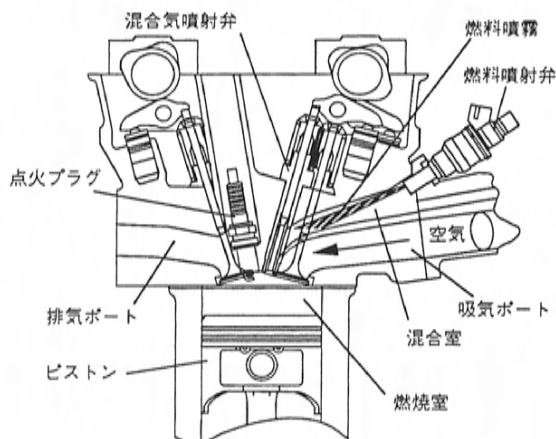


図1 混合気噴射ガソリン機関の概略

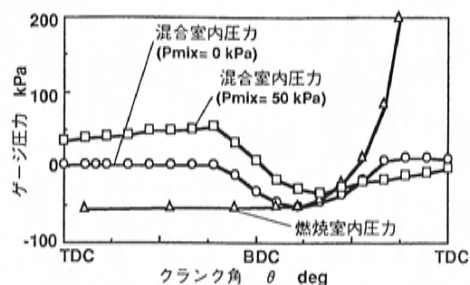


図2 燃焼室および混合室内の圧力変化

ても調べた。

2. 混合気噴射ガソリン機関

本研究に用いた混合気噴射ガソリン機関の概略を図1に、諸元を表1に示す。本機関は、従来の吸排気四弁に加え燃焼室中央部にカム駆動の混合気噴射弁を設置している。これにより、従来の吸気ポートから空気のみを、また混合気噴射弁からは混合気のみをそれぞれ独立供給することができる。この混合気供給装置により、燃焼室内の混合気形成過程を制御した。図2に混合室内の圧力と燃焼室の圧力変化を示す。燃料は混合室内に噴射され、空気と混合する。混合気噴射弁を吸気行程後半から圧縮行程にかけ作動させることで、混合室内に蓄えられた圧力により混合気が燃焼室内に噴射される。

実験では、噴射前の混合室内の圧力（混合気噴射圧力）が50kPaになるよう外部から加圧空気を

表1 混合気噴射機関の諸元

| | |
|---------------|--|
| 排気量 | 1.6 l |
| 気筒数 | 4 |
| ボア×ストローク | 78 × 83.6 mm |
| 圧縮比 | 12.2 |
| 燃焼室形状 | ベントルーフ |
| 吸気、排気、混合気噴射弁数 | 5 (IN.;2, EX.;2, M. I.;1) |
| 弁開閉タイミング | open - close |
| 吸気弁 | BTDC 13 - ABDC 43° |
| 排気弁 | BBDC 55 - ATDC 5° |
| 混合気噴射弁 | ATDC 130 - ABDC 130° (at Pmix = 0 kPa) ATDC 130 - ABDC 90° (at Pmix = 50 kPa) |
| 混合気噴射圧力 | 0, 50 kPa |
| スワール比 | 3.5 |

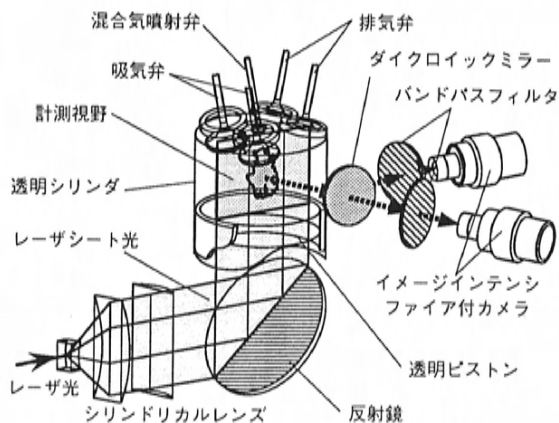


図3 混合気形成過程計測装置の概略

加えた場合と、加えない場合（0 kPa）の2条件について調べた。また空気流動は、タンジェンシャルスワールポートとシャッタバルブによりスワール比を制御した。

3. 混合気分布計測装置

混合気形成過程は、機関の一気筒を延長して透明シリンダとピストンを組み込んだ可視化機関を用い、燃焼室側方と下方から光学的に計測した。混合気分布は、エキサイプレックス蛍光法^{(1)~(5)}により筒内の液相燃料（燃料液滴）と気相燃料（燃料蒸気）の蛍光像を分光してそれぞれを同時に可視化した⁽⁶⁾⁽⁷⁾。図3に本研究で用いた実験装置の概略を示す。励起用光源としてYAGレーザを用いた。レーザ光はシリンドリカルレンズ群により厚さ約0.5mmのシート光とし、燃焼室縦断面測定時に

は、シート光をピストン下方の反射鏡を介して燃焼室中心断面に入射した。シート面上の混合気からの蛍光は、燃焼室側方から透明シリンダを通し、イメージンテンシファイア (I.I.) 式 CCD カメラにより撮影した。液相、気相蛍光の分離は、それぞれ中心波長 480nm と 400nm のバンドパスフィルタを用いた。燃焼室横断面測定時には、図 3 の光学系と撮影系の配置を交換し、レーザシート面をシリンダヘッドから 15mm 下方に設定して計測した。燃料は、n-オクタンにナフタレン 9% と n, n, n', n', Tetramethyle-p-Phenylene Diamine (TMPD) 1% を混入した混合燃料を用いた。また酸素による蛍光のクエンチングを抑制するため、吸気には窒素ガスを用いた。

筒内流動場は、粒子画像相関法 (PIV; Particle Image Velocimetry) により計測した。光源として Ar イオンレーザを用いた。レーザシート光は厚さ約 6mm にし、混合気計測と同一面上に入射した。吸気に混入させた平均粒径 $40\mu\text{m}$ のシード粒子群の散乱光画像を I.I. 式高速度ビデオに記録し、連続した二画面の二次元画像相関から測定断面の速度ベクトルを求めた^{(6)~(8)}。

なお以下に示す燃料液滴、燃料蒸気分布および筒内空気流動の計測結果は、図 4 の視野領域のものである。

4. 混合気形成過程の可視化

4.1 混合気噴射機関の混合気形成過程

図 5 に混合気噴射ガソリン機関の吸気行程から圧縮行程の筒内流動および燃料液滴、燃料蒸気分布を示す。図の結果は混合気噴射圧力 0 kPa の場合である。筒内流動は一連の同一サイクル画像から計算した速度ベクトル図で示している。また燃料液滴は典型的なサイクルの瞬間画像を、燃料蒸気は数サイクルの平均画像を示している。これらの画像は筒内の密度変化を考慮して、単位密度あたりの蛍光強度として等輝度線図で表示している。また燃料液滴および燃料蒸気の測定は理論空燃比において行った。

吸気行程初期の空気流動は、明確なスワール流動はなく、吸気弁を通して流入する吸気流動に強く支配される。吸入空気はスワールポートとシリンダ壁面の影響で、半径方向に強く曲げられなが

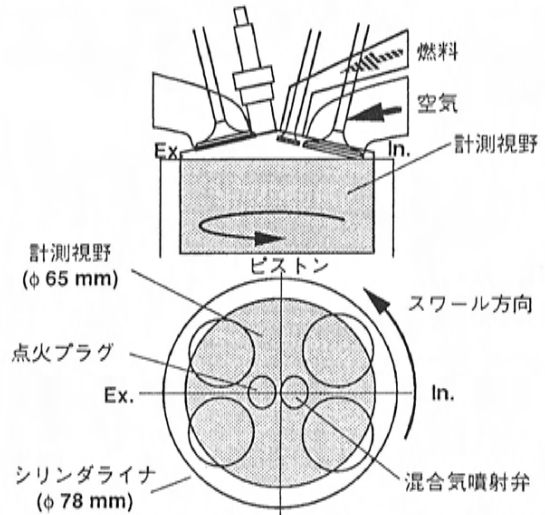


図 4 燃焼室縦断面および横断面の計測視野

ら燃焼室内に流入する。クランク角が進み、吸入空気速度の減衰にともなって筒内の空気流動が整えられる。

吸気行程後半 (ATDC130°) で混合気噴射弁が開き、燃料の一部は混合気噴射弁通過時の高速な空気流により微粒化され、燃焼室上部の中央に供給される。流入した燃料液滴はスワール流に乗って移動するが、その蒸発は比較的遅く圧縮行程後半 (BTDC60°) でも燃料液滴が残存している。スワール流に対する混合気噴射の影響は少なく、圧縮行程後半でのスワール比は、混合気噴射をしない場合と同等であった。これは混合気噴射が、スワール流動の少ないスワール中心方向に行われること、また吸気行程後半に行われるため、燃焼室下部に形成されつつあるスワール流への影響が少ないことによるものと考えられる。一方、燃料蒸気は混合気噴射時には、燃料液滴が噴出する燃焼室中央部付近に多く存在する。この燃料蒸気濃度の高い領域が、クランク角が進むにつれ、燃焼室中央部に燃料蒸気塊を形成するようになる。

圧縮行程では、クランク角が進むにつれてしだいに明確なスワール流が形成される。これは吸気行程時にピストン近くで形成されたスワール流がピストンの上昇とともに計測面上に移動してきたためと考えられる。燃料蒸気塊は、こうしたシリンダ壁面に沿ったスワール流に運ばれながら圧縮

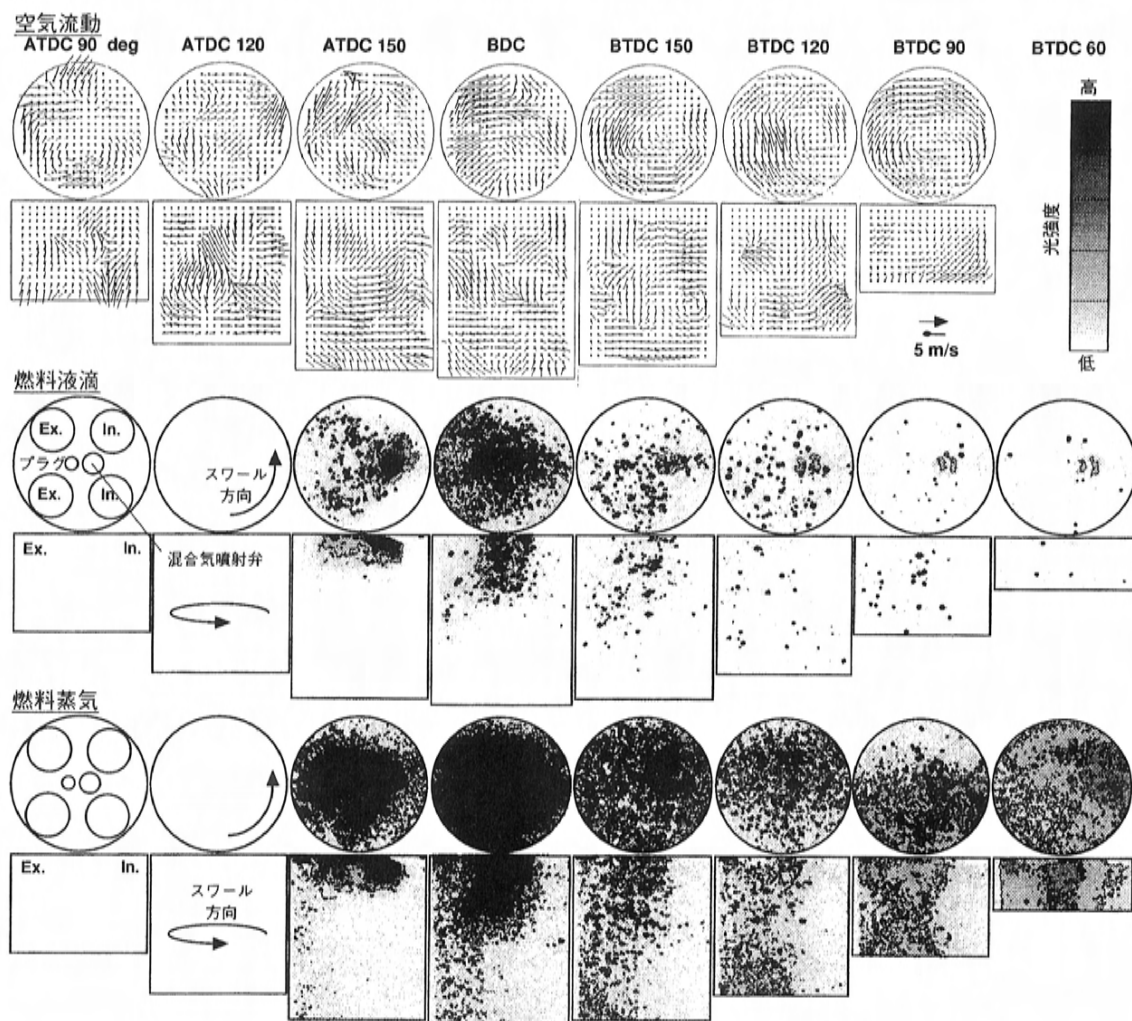


図5 混合気噴射ガソリン機関の空気流動および燃料液滴と燃料蒸気の分布状態
(混合気噴射圧力 $P_{mix}=0\text{kPa}$)

される。さらに、燃焼室内で浮遊していた小さな燃料液滴も蒸発し、しだいに燃料蒸気からの蛍光強度が強くなる。BTDC 90°~60°の横断面では、高濃度の燃料蒸気塊が燃焼室中心に対して偏心して回転移動していることが図からわかる。

4.2 混合気噴射圧力の影響

外部から加圧空気を加えた混合気噴射圧力50kPaの場合についても、同様な混合気計測を行った。図6は混合気噴射時(ATDC150°)の場合の燃料蒸気と燃料液滴の分布状態を混合気噴射圧力0kPaの場合と50kPaの場合で比較した結果である。混合気の噴射圧力が低い0kPaの場合、混合

気噴出速度が遅いために、ピストン方向への混合気の拡がりは少なく、混合気噴射弁の弁形状に沿うように、円錐状に燃焼室半径方向に混合気が拡がる。それに対して、混合気噴射圧力が50kPaの場合は、混合気の噴出速度が大きく、ピストン方向へ混合気が強く噴出し、半径方向の拡がりは少ない。

図7は圧縮行程(BTDC60°)での比較である。混合気噴射圧力0kPaの場合、燃料液滴が圧縮行程後半でも存在しており、燃料蒸気からの蛍光強度は弱い。それに対して、混合気噴射圧力50kPaの場合は、燃料液滴がほとんど存在せず、また燃料蒸気からの蛍光強度が、0kPaの場合と比較して

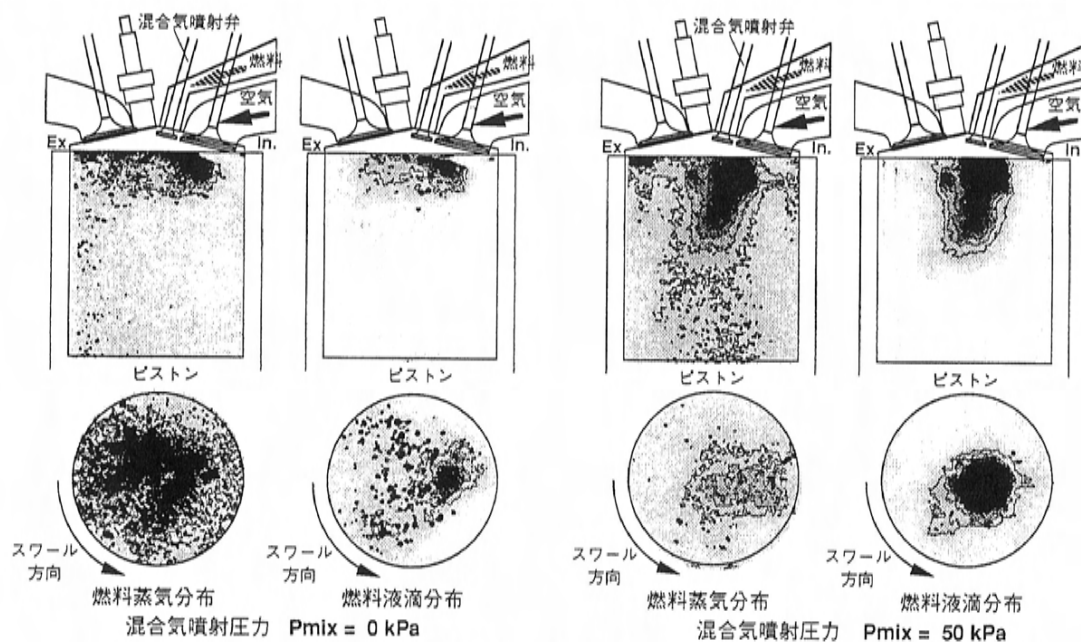


図6 混合気供給時の燃料液滴および燃料蒸気分布におよぼす混合気噴射圧力の影響
($\theta = ATDC150^\circ$, $N = 1000rpm$)

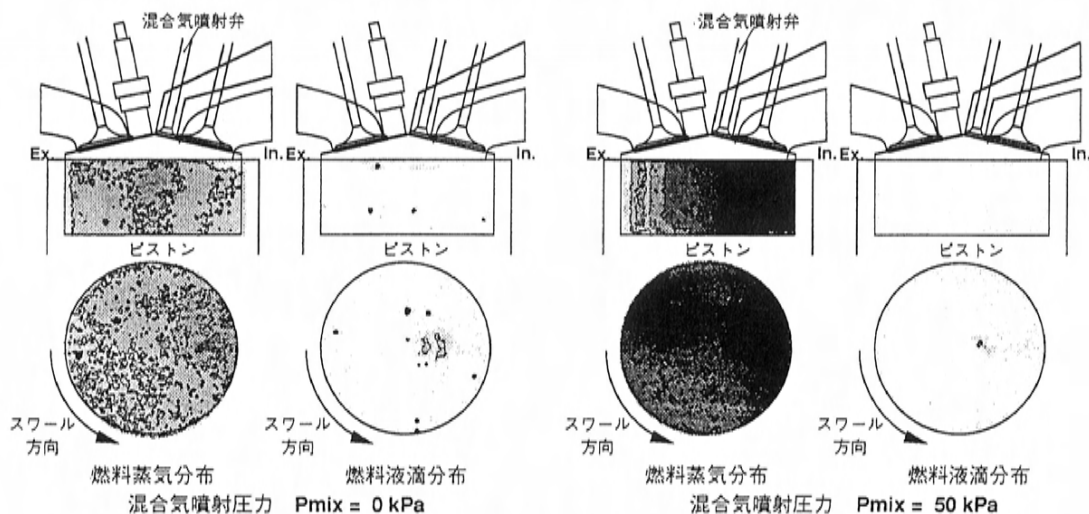


図7 圧縮行程後期での燃料液滴および燃料蒸気分布におよぼす混合気噴射圧力の影響
($\theta = BTDC60^\circ$, $N = 1000rpm$)

全体的に高くなっている。これは、混合気噴射時の噴出速度の違いによるもので、混合気噴射圧力 50kPa の場合、混合気噴出時に燃料の微粒化が進み、より細かい燃料液滴に微粒化されることによ

り、燃焼室内での燃焼液滴の蒸発が促進されたためと考えられる。混合気噴射圧力の違いにより、燃料の噴出状態や燃料蒸発に多少違いはあるが、混合気噴射圧力 50kPa の場合も、図 5 に示した混

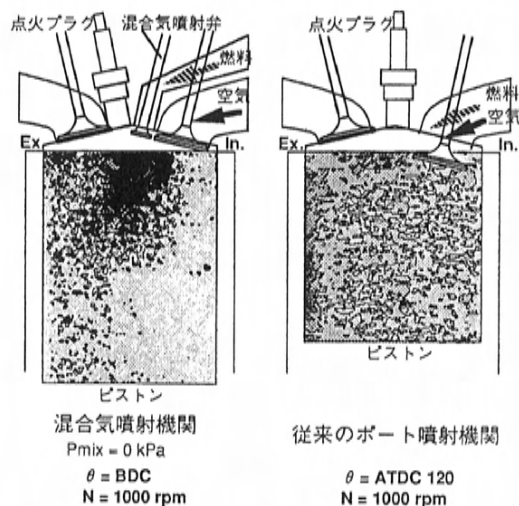


図8 従来のポート噴射と混合気噴射機関との燃料蒸気分布の比較（混合気供給時）

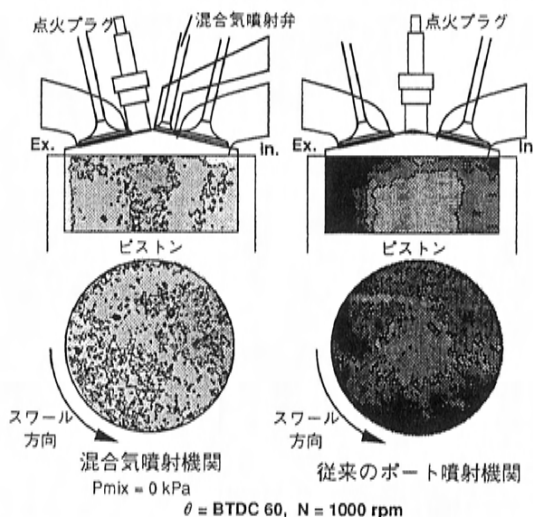


図9 従来のポート噴射と混合気噴射機関との燃料蒸気分布の比較（圧縮行程後期）

混合気噴射圧力 0 kPa の場合と同時に、圧縮行程後半に高濃度の燃料蒸気塊が燃焼室中心に対して偏心して回転移動する傾向が認められた。

4.3 従来のポート噴射との比較

混合気噴射機関と従来のポート噴射機関の混合気形成の違いを調べるため、ポート噴射機関の燃料液滴、燃料蒸気分布計測および空気流動計測を行った。比較対象としたポート噴射機関は、混合気噴射機関と同一形状のスワールポートを持ち、PIV法によるスワール流動計測でも同様の強いスワール流動を示す希薄燃焼ポート噴射機関である。

図8にポート噴射（ATDC120°）と混合気噴射（BDC）の燃料供給時の燃料蒸気分布の比較を示す。従来のポート噴射の場合、空気と燃料が同時に吸気ポートから供給されるために、燃料は吸入空気流動の影響を強く受けシリンダ壁面に衝突する。そのため、排気弁側のシリンダ壁面付近での燃料蒸気濃度が高くなる。しかしながら混合気噴射の場合は、スワール中央部に混合気を供給するため、シリンダ壁面への燃料付着は少なく、燃焼室中央部に高い蒸気濃度の領域が存在することがわかる。

図9に圧縮行程（BTDC60°）での比較を示す。ポート噴射の場合、シリンダ壁面に衝突した燃料や、スワール流による混合気の拡散により、高濃

度の燃料蒸気がシリンダ周辺部にドーナツ状に分布する。そのため燃焼室中央部に燃焼蒸気の比較的希薄な領域が形成される⁽⁶⁾⁽⁷⁾。これに対して混合気噴射の場合は、偏心しているものの燃焼室中央部の高濃度の燃料蒸気領域は、圧縮行程でも燃料蒸気塊として存在し、比較的緩慢な層状化をしていることがわかる。

また、混合気噴射の場合の方がポート噴射の場合よりも燃料蒸気の蛍光強度が低い。これは燃料供給時期が遅いために、燃焼室内での燃料蒸発が遅れているためである。図中の混合気噴射圧力 0 kPa の場合、混合気供給時の燃料液滴の微粒化状態が悪いため、その現象がさらに顕著に現れたものと考えられる。

5. 燃焼特性

5.1 希薄燃焼特性

図10に燃焼期間と平均有効圧力変動におよぼす空燃比の影響を示す。図中には混合気噴射圧力 50, 0 kPa の混合気噴射とポート噴射の結果を示す。従来のポート噴射の場合、空燃比が大きくなるにしたがって燃焼期間は長くなる。計測したポート噴射は混合気噴射機関と同等のスワールポートを持つため、希薄燃焼領域でも一般のポート噴射と比較して安定した燃焼が可能である。しかし、空

燃比25近くで燃焼安定限界を迎え、平均有効圧力の変動率は急激に増加する。

それに対して混合気噴射の場合は、ポート噴射より燃焼期間は短く、急速かつ安定した燃焼状態である。特に点火から質量燃焼割合が10%になるまでの初期燃焼期間は空燃比によらずほぼ一定である。これは図5～9に示したように、混合気噴射の場合燃焼室中央部に噴射された混合気が、点火時期近傍まで混合気塊として点火プラグ近傍に存在し、安定した初期燃焼を実現しているものと考えられる。そのため、希薄燃焼領域での燃焼が安定し、混合気噴射圧力50kPaの場合で空燃比40近く、また0kPaの場合で空燃比34まで、平均有効圧力の変動率が5%以下に抑えられる。

また、混合気噴射圧力0kPaの方が希薄燃焼限界空燃比が低いのは、50kPaの場合と比べ混合気噴射時の燃料の微粒化状態が悪く、燃焼室内での燃料の蒸発が遅れるため、希薄燃焼限界近くでその違いが顕著に現れたものと考えられる。しかしながら、燃焼期間におよぼす空燃比の影響は混合気噴射圧力によらずほぼ一定である。これは、混合気噴射の場合、その噴射圧力に関係なく混合気塊が点火時期近くまで点火プラグ近傍に存在するという混合気計測結果と対応している。

図11に燃料消費率と排気ガス特性におよぼす空燃比の影響を示す。ポート噴射、混合気噴射いずれの場合も空燃比が大きくなるにしたがい、吸気時のポンプ損失低減と熱効率改善の効果により、空燃比25前後までは燃料消費率は改善される。ポート噴射ではその後急速に燃焼が悪化し、燃料消費率が急激に増加する。それに対して、混合気噴射では、希薄燃焼領域においてポート噴射ほどの燃焼の悪化はなく、空燃比35まで燃料消費率の急激な悪化はない。

NO_xは、ポート噴射では空燃比16近くで最大となりその後減少する。混合気噴射の場合は空燃比18で最大値をとる。またその値もポート噴射と比較して低い。一方希薄燃焼領域でのNO_xの排出量はポート噴射の場合よりも多い。これは希薄燃焼領域においても、可燃混合気がプラグ近傍に存在し、燃焼が活性化している領域があるためと考えられ、典型的な層状混合気のNO_x排出特性を示している⁽⁹⁾。

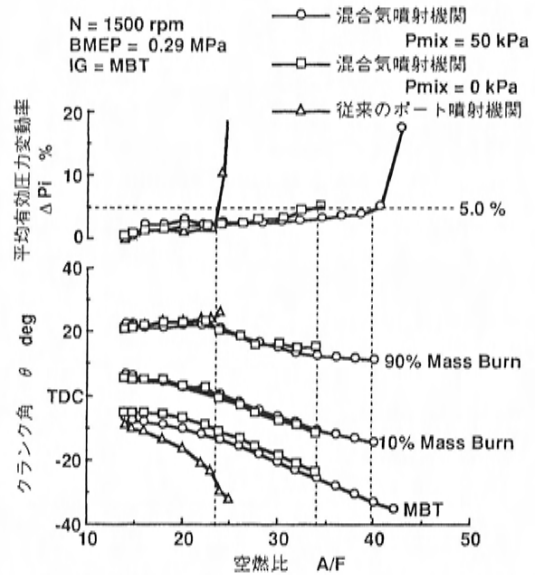


図10 燃焼期間と燃焼変動率におよぼす空燃比の影響

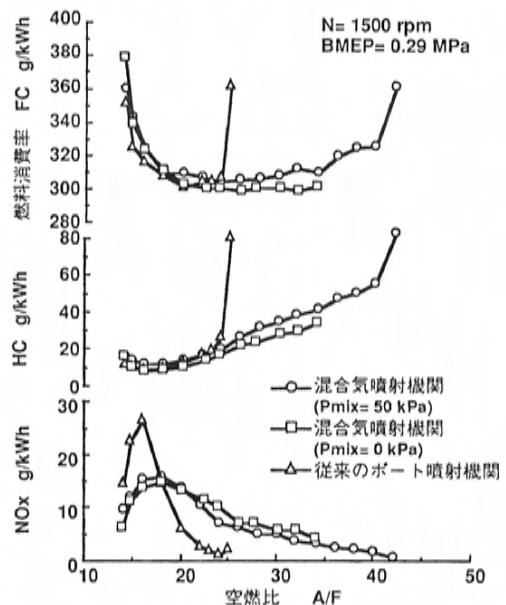


図11 燃費と排気ガス特性におよぼす空燃比の影響

理論空燃比近くでのHCの排出量にはあまり違いはないが、混合気噴射の場合燃焼安定性が高いため、希薄燃焼領域でのHCの増加率はポート噴射と比較して低い。混合気噴射圧力が0kPaと低い場合、混合気計測結果から明らかなように、燃焼室内での燃料の蒸発が遅れているにもかかわらず

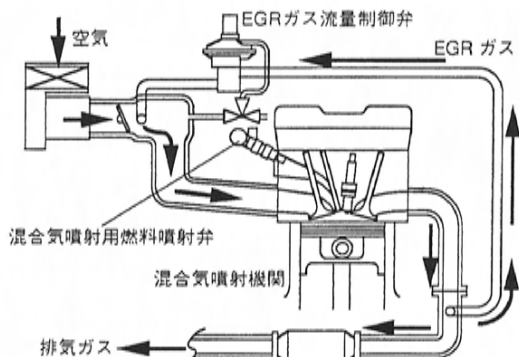


図12 EGR経路の概略

ず、HC排出量にほとんど影響していない。これは、ポート噴射の場合のような吸気時のシリンダ壁面への燃料付着がないこと、また混合気噴射圧力が50kPaの場合と比較して混合気の噴出速度が遅いため、相対的にピストン頂部への燃料付着が少なくなるためと考えられる。

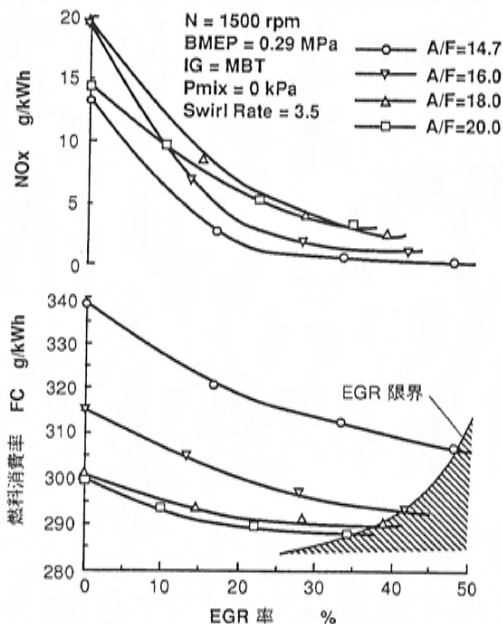
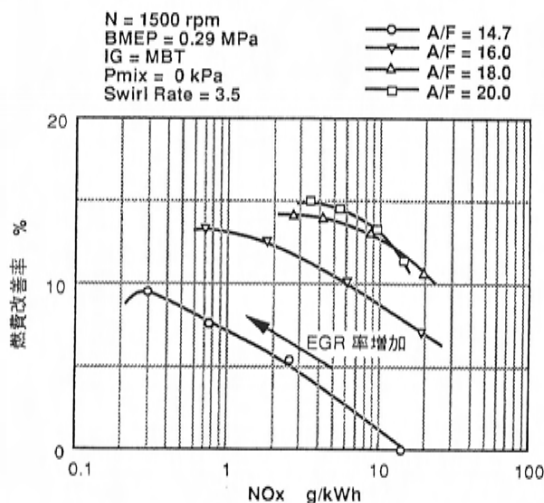
5.2 燃焼特性におよぼすEGR効果

混合気形成過程を制御することにより、混合気を層状化した場合、希薄燃焼領域での燃焼安定性は確保できるが、必然的にNO_x排出量は増加する。そこで、混合気噴射機関の希薄燃焼領域での燃焼安定性に着目し、NO_x排出量低減に有効な排気ガス再循環（EGR）の効果について調べた¹⁰⁾。

図12にEGR経路の概略を示す。EGRガスは排気マニホールド下流から、EGRガス流量制御弁を介し、吸気スロットル下流に導入した。混合気噴射機関の場合、吸気ポートと混合気供給用の混合気噴射弁が独立しているために、吸気ポートからは、空気とEGRガスのみを供給することになる。なお、EGRの実験では、外部からの加圧空気によるエネルギー供給を避けるため、混合気噴射圧力を0 kPa一定とした。

図13にEGRを行った場合の燃費とNO_x排出量を示す。機関回転速度1500rpm、正味平均有効圧力0.29MPaである。空燃比として14.7、16.0、18.0、20.0の四種類を設定し、それぞれEGR率を変化させた。

平均有効圧力の変動率 ΔP_i を5%以下に抑えるための限界EGR率は、空燃比14.7、16.0、18.0、20.0に対し、それぞれ48、42、37、34%であった。混合気噴射機関の場合、希薄燃焼時でも多量の

図13 NO_x排出量と燃費におよぼすEGR率の影響図14 燃費改善率とNO_x排出量の関係

EGRガスを導入できる。これは、混合気の独立供給により、図5などの混合気分布計測結果に示すように点火プラグの周りに可燃混合気が存在するため、多量のEGRガスを導入しても安定して燃焼するものと考えられる。

NO_x排出量は、EGR率の増加により減少し、限界EGR率の高い空燃比ほど少なくなる。燃料消費率もEGR率の増加にともない減少するが、NO_x排

出量とは逆に、空燃比が高い場合ほど燃料消費率の絶対値は低くなる。

図14は空燃比14.7, EGR率0%時の燃費に対する燃費改善率をNO_x排出量に対して示した結果である。最大燃費改善率は空燃比を大きくすることで大きくなり、空燃比20.0で約15%に達する。特に14.7から16.0にした時の燃費改善率の拡大幅は大きい。また空燃比18.0と20.0をみると最大燃費改善率はほぼ同等であり、これ以上空燃比を大きくして、EGRガスを付加しても大きな燃費改善効果は期待できないことがわかる。最大燃費改善率時のNO_x排出量を比較すると空燃比14.7が最も低く、空燃比が大きくなるにしたがって増加する。

図15と図16に、EGR率および空燃比に対する燃費改善率とNO_x排出量を示す。図15より、空燃比19~22とし、EGR率で20~35%のEGRガスを導入する条件で、高い燃費改善率が得られることがわかる。一方図16よりNO_x排出量を最小に抑えるためには、空燃比を希薄化するよりも、EGRガスを多量に導入する方が効果的であることがわかる。

したがって、高い燃費改善率を保ちつつ、NO_x排出量を抑制するためには、空燃比を16.0~18.0として、EGR率を35%以上にする必要がある。この条件では、燃費改善率は最大とならないが、それでも10%以上燃費が改善でき、かつNO_x排出量を1.0g/kWh前後に抑制できる。

6. まとめ

混合気噴射弁をもつ混合気噴射ガソリン機関の混合状態をレーザシート光による二次元可視化計測により調べ、従来のポート噴射と比較した。また、混合状態と希薄燃焼特性との関係やEGR導入時の燃焼特性について調べた結果、以下のことが明らかになった。

[1] 混合気噴射ガソリン機関では、吸気行程後半から圧縮行程前半に、混合気を流速の遅いスワール中心方向に噴射する。このことにより、燃料蒸気塊が圧縮行程後半まで存在し、これがプラグ近傍に安定した可燃混合気を形成する。

[2] ポート噴射と比較して、混合気が燃焼室中央部に存在するため、希薄燃焼領域での燃焼期間が短く、急速燃焼が可能である。

[3] 安定した混合気形成により、希薄燃焼領域で

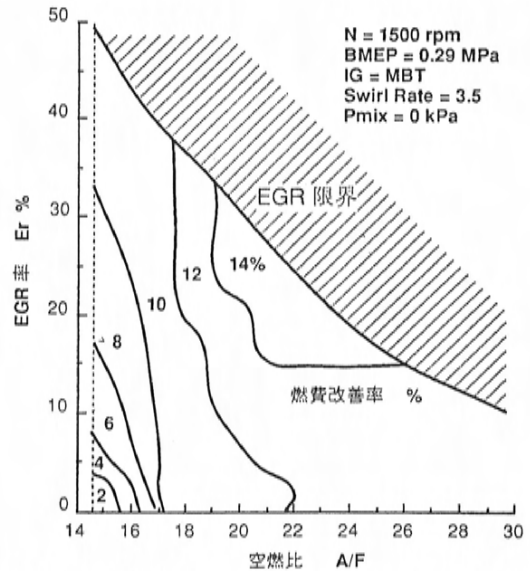


図15 燃費改善率におよぼすEGR率と空燃比の関係

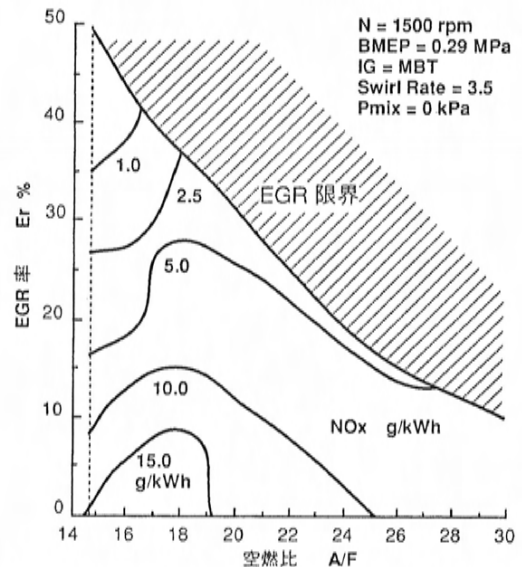


図16 NO_x排出量におよぼすEGR率と空燃比の関係

の燃焼安定性が向上し、混合気噴射圧力 0.50kPa の場合でそれぞれ希薄燃焼限界空燃比34, 40まで安定して運転可能である。

[4] 燃焼安定性の高い混合気噴射機関 (混合気噴射圧力 0 kPa) にEGRを行った場合、理論空燃比14.7で、限界EGR率48%と多量のEGRガスを導入でき、NO_x排出量を0.3g/kWhに抑制できる。

[5] また、空燃比16程度に対し、EGR率40%の

EGRを行うことにより、燃費10%以上改善し、かつNOx排出量を1.0g/kWh以下に抑えることが可能である。

燃焼室内の混合気形成を制御することで、その燃焼特性は大きく変化する。したがって、今後のガソリンエンジン燃焼では、層状給気のような混合気を質的に制御する技術が非常に重要になってくる。本研究で用いた混合気噴射は、混合気を層状化する一つの手段である。しかし、スワール流動を用いる場合、空気流速の低いスワール中心方向に、燃料あるいは混合気を噴射することが、層状混合気を形成するために有効であること、また、ガソリン燃焼特性を損なうことなく層状燃焼されるためには、空気と燃料の混合自体は促進しつつ、比較的緩慢な層状混合気を形成することが重要であることを計測結果は示しているものと考ええる。

また、混合気の層状化を行った場合、希薄燃焼により燃費の改善は可能であるが、層状化のため同時にNOxの排出量が増加する。これに対して、EGR技術は有効であり、空燃比16程度の希薄燃焼に対して、多量にEGRガスを導入することにより、燃費改善とNOx排出量低減を高次元で両立できる。こうした技術は、将来のさらに厳しいNOx規制や燃費低減の要求に対してその重要性がますます増加していくものと考ええる。

参考文献

- (1)M.Tabata, M.Kataoka, M.Fujimoto and Y.Noh : In-Cylinder Fuel Distribution, Flow Field, and Combustion Characteristics of a Mixture Injected SI Engine, SAE Paper 950104 (1995), P.33-49.
- (2)L.A.Melton : Spectrally Separated Fluorescence Emissions for Diesel Fuel Droplets and Vapor, Applied Optics, Vol.22, No.14 (1983), P.2224-2226.
- (3)L.A.Melton, and J.F.Verdieck : Vapor/Liquid Visualization in Fuel Spray, 20th Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute (1984), P.1283-1290.
- (4)M. E. A. Bardsley, P. G. Felton and F. V. Bracco : 2-D Visualization of Liquid and Vapor Fuel in I.C. Engine, SAE Paper 880521 (1988), P.1-11.
- (5)M. E. A. Bardsley, P. G. Felton and F. V. Bracco : 2-D Visualization of a Hollow-Cone Spray in a Cup-in-Head, Ported, I.C. Engine, SAE Paper 890315 (1989), P.1-11.
- (6)藤本昌彦, 田端道彦 : ガソリン機関の混合気形成におよぼすスワール流の影響—レーザシート法による混合気形成過程の可視化計測—, 自動車技術会論文集, Vol.25, No.2, 9432129 (1994), P.35-40.
- (7)M.Fujimoto and M.Tabata : Effect of Swirl Rate on Mixture Formation in a Spark Ignition Engine Based on Laser 2-D Visualization Techniques, SAE Paper 931905 (1993), P.1-12.
- (8)H.Kudou, H.Yamamoto and Y.Iida : A Study About In-Cylinder Flow and Combustion in a 4-Valve S.I. Engine, SAE Paper 920574 (1992), P.1-
- (9)R.J.Tabaczynski and E.D.Klomp : Calculated Nitric Oxide Emission of Unthrottled Spark Ignition, Stratified Charge Internal Combustion Engine, SAE Paper 741171 (1974), P.1-
- (10)M. Tabata, T. Yamamoto and T. Fukube : Improving NOx and Fuel Economy for Mixture Injected SI Engine with EGR, SAE Paper 950684 (1995), P.1-10.

著者



田端道彦



片岡一司



山本寿英



乃生芳尚

論文・解説

17

タービントルク推定値に基づくエンジン・AT総合制御

Engine and Automatic Transmission Control System based on Estimated Turbine Torque

栗 山 実^{*1} 佐々木 和 夫^{*2}
Minoru Kuriyama Kazuo Sasaki
上 野 隆 司^{*3} 西 里 鉄 也^{*4}
Takashi Ueno Tetsuya Nishizato

要 旨

従来のAT制御システムは、運転環境、操作条件の変化に対応するため、複雑な補正手段を必要としていた。そこで上記変化に対し、シンプルかつ精度良く対応させるため、タービントルク推定値に基づき変速時のエンジントルク及び締結油圧を制御する手法を開発した。本稿では、本制御の概要及び効果について紹介する。

Abstract

The present control system automatic transmission needs complicated revision steps to deal with the changes of driving condition and operating environment.

So we have developed the new control system, Engine torque and A.T. operating pressure control system based on estimated turbine torque, to adapt those changes more precisely and simply.

This study paper introduces the summary and the effect of this newly-developed control system.

1. はじめに

今日の自動車社会の熟成にともない、自動車に要求される品質はますます高まっている。その中で、自動変速機（以下ATと略記）は、電子制御やエンジントルク制御等の採用により、走り性能やシフトクオリティ等の向上を実現してきた。しかし、大気圧、気温等の運転環境、及び、シフトパターン等の操作条件の変化のそれぞれに個別に対応する制御方法であるため、複雑な条件設定が必要となり、更なる品質向上を実現するためには、制御方法の改善が必要である。そこで、今回これらの運転環境、操作条件の変動に対してシフトクオリティの高品質を実現するために「タービントルク推定値に基づくエンジン・ATの総合制御」を開発した。ここでは、その制御システムの概要と制御の効果について紹介する。

2. 開発のねらい

2.1 変速ショック発生原因

ドライバが体感する変速ショックは、シフトアップ変速の場合、変速時のATの出力軸トルクの過渡変動が車両に伝搬して発生する、図1に、シフトアップ時のATの出力軸トルクの過渡変動事例を示す。

図1.(a)の場合、イナーシャフェーズ中のATの出力軸トルクが、変速開始前よりも高くなっており加速側の出力軸トルク変動が車体に伝搬される。このような場合、ドライバは車両が後ろから突き上げられるような変速ショックを感じる。図1.(b)の場合は、イナーシャフェーズ中のATの出力軸トルクが変速終了時の出力軸トルクより低下しており、減速側のトルク変動が車体に伝搬される。この場合、ドライバは変速中に車両が失速す

*1 第1車両実研部 *2 パワートレイン設計部 *3,4 車両技術実研部

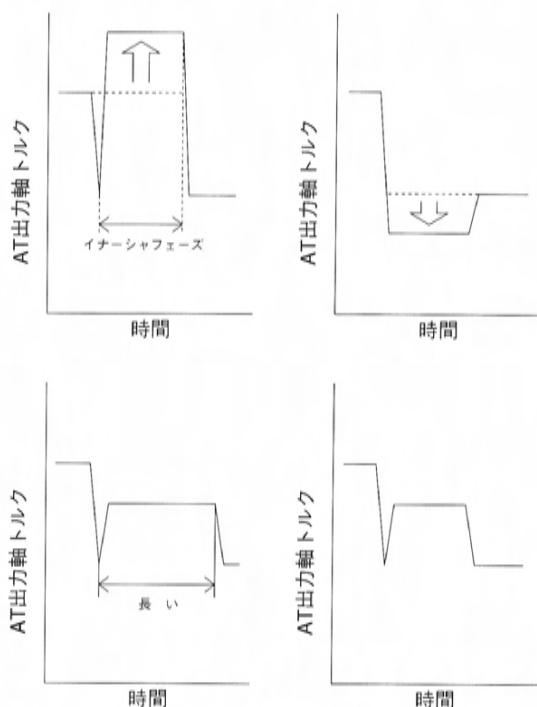


図1 シフトアップ時のAT出力軸トルク過渡変動事例

るような変速ショックを感じる。図1.(c)の場合、イナーシャフェーズ時間が長いため、ドライバは変速の間延びを感じ、この場合も変速フィーリングの悪化を招く。

ここで、ATの出力軸トルク： T_{out} とタービントルク： T_{in} と角加速度： $\Delta\omega$ の関係は、 $T_{out} = a \times T_{in} - b \times \Delta\omega$ (a, b は定数)の関係にあるので、イナーシャフェーズ時間を短くし過ぎると、変速中の負の角加速度が大きくなり、ATの出力軸トルクが増加して図1.(a)のように変速ショックを感じる。変速ショックを良好にするためには、図1.(d)に示すようにイナーシャフェーズ時間とATの出力軸トルクを変速前後のトルク特性に応じて最適な値に制御することが必要となる。

2.2 制御システムのねらい

変速前後のATの出力軸トルクは、変速開始時のタービントルクと走行状態から、推定可能である。従って、変速中のクラッチ・ブレーキ締結圧とエンジントルク制御量を、変速開始前のタービントルクと走行状態に応じて制御すれば、最適な

イナーシャフェーズ時間とATの出力軸トルクを実現することができる。

従来、一般的には、イナーシャフェーズ時間とATの出力軸トルクを最適値にするために、タービントルクの代用値としてスロットル開度信号を用い、変速時のクラッチ・ブレーキの締結圧とエンジントルク制御量を決定していた。しかし、変速点や大気圧が変化すると、スロットル開度が同一であってもエンジントルクが変化し、タービントルクも変化するため、各々の条件に応じて補正を行う必要がある。この他に、気温や補機類の負荷等でもタービントルクが変化するため、精度良く制御しようとする程、新たな補正が必要となる。その上、補正を増やせば、各補正の相互干渉の問題も発生し、種々の条件で安定した性能を得るには限界があった。今回、前記課題を解決し、合理的かつ精度良く安定したシフトクオリティを得るために、AT、エンジン各部の物理特性そのものを制御量としてマネジメントできる制御システムを開発した。

3. 制御システムの概要

3.1 制御システムの基本概念

本制御では、種々の条件で変動するエンジンの出力トルクそのものを推定し、タービントルクに変換することで、運転環境や操作条件の変化をタービントルクの推定値に集約させる。次に、イナーシャフェーズ時間とイナーシャフェーズ中のタービントルクの最適値を制御目標値として内在させる。そして、推定したタービントルクと走行条件、ATとエンジンの各々の作動モデルより制御量を決定することで、制御目標値を高精度で実現させる。その結果、例えば、気温や大気圧が変化してエンジントルクが変動しても、その変化はタービントルクに反映されて変速中の点火進角とクラッチ・ブレーキの締結油圧が適切に制御されるため、安定したシフトクオリティを実現できる。また、変速点が変化した場合でも、その変化は目標の変速時間と目標のタービントルクに反映され、変速中の点火進角とクラッチ・ブレーキの締結圧を適切に補正する。

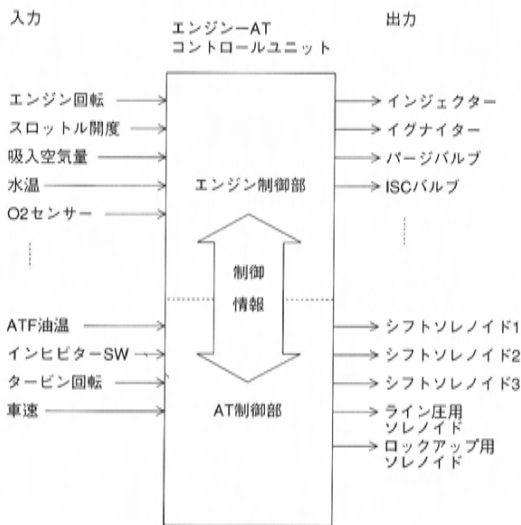


図2 制御システム構成

3.2 制御システムの構成

図2に制御システムの構成を示す。入出力系は従来のエンジン、ATの電子制御システムと大きく変わるところはないが、エンジン制御部とAT制御部は多量な制御情報を同時に処理する必要があるため、16bit-CPUを搭載した高性能のコントロール・モジュールを採用して、双方の制御部を統合化した。

図3にタービントルク推定値に基づくエンジン・AT総合制御のブロック図を示す。本制御は、タービントルクを推定するブロック、目標の変速時間を決定するブロック、目標のタービントルクを決定するブロック、目標のタービントルクをエンジン制御量に変換するブロック、目標の変速時間をATの制御量、具体的にはクラッチ・ブレーキの締結油圧に変換する各ブロックから構成される。

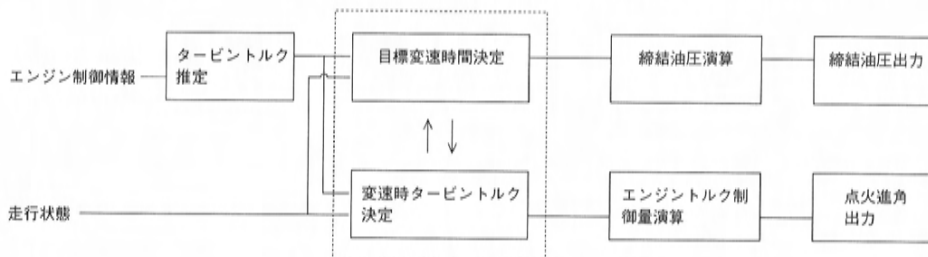


図3 制御システムブロック図

3.3 エンジン・ATの総合制御方法

3.3.1 タービントルクの推定

エンジンの作動状態に応じて、エンジンの出力軸トルクと点火進角等の図4に示すような関係をモデル化し、エンジンの出力特性を推定する。更に、トルクコンバータ特性とトルクコンバータの入出力回転速度よりエンジントルクをATのタービントルクに変換する。

3.3.2 目標変速時間の決定

本制御では、変速開始時点のタービントルクから推定した変速前後のATの出力軸トルク特性と、変速時の運転条件より、目標の変速時間を決定する。

3.3.3 目標タービントルクの決定

変速開始時点のタービントルクから推定した変速前後のATの出力軸トルク特性より、目標のタービントルクを決定する。更に、目標の変速時間と一致するよう締結油圧を制御した場合のイナーシャフェーズ中のATの出力軸トルク増減量を推定し、その影響分を補正して、最終的な目標のタービントルクを決定する。

3.3.4 エンジン制御量への変換

目標タービントルクをエンジンの制御量に変換するため、トルクコンバータ特性とトルクコンバータの入出力回転速度より、目標タービントルクをエンジントルクに変換し、更に、エンジン出力軸トルクモデルから、目標のエンジントルクを実現する点火進角値を変速中にリアルタイムに決定する。

3.3.5 AT制御量への変換

目標変速時間を実現するために、ATのクラッチ・ブレーキの締結油圧と変速時間の関係をモデル化し、このモデルから逆算することでクラッチ・ブレーキの締結油圧を決定する。

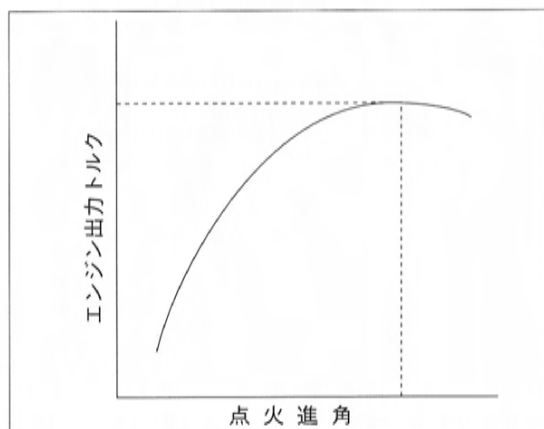


図4 エンジン出力トルク-点火進角モデル

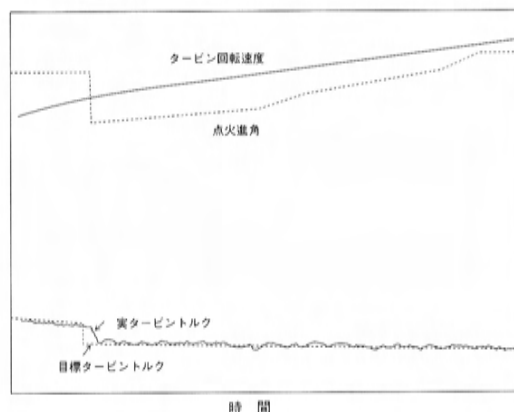


図5 タービントルクの制御性(スロットル開度30%)

4. 変速ショックの改善効果

4.1 エンジン・AT総合制御の実例

目標タービントルクと実際のタービントルクを計測した結果を図5に示す。目標タービントルクに応じて、エンジンの点火進角がリアルタイムに変化し目標値にそったタービントルクに制御されていることがわかる。次に、変速中の締結油圧とタービントルクを一定値に固定して変速させた時のATの出力軸トルクの測定結果を図6に示す。イナーシャフェーズ中のATの出力軸トルクは、ほぼ一定値を示しており、タービントルクと締結

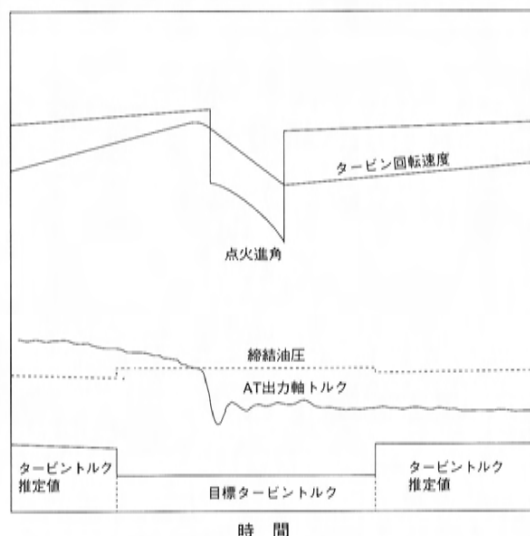


図6 1→2スケジュールアップ性能(スロットル開度50%)

油圧を一定値にした場合の理論的な作動と一致している。つまり、タービントルクと締結油圧をATの作動モデルを基に制御すれば、ATの出力軸トルクを思い通りに制御可能であることがわかる。

4.2 高度変化時の変速安定性

図7に高度0mと1650mにおけるスロットル全開1→2変速時の車体加速度変化の比較結果を示す。高度1650m時の方が変速前のタービントルクが小さくなっており、それに応じての変速時の目標タービントルクも小さくなるように補正され、かつ目標の締結油圧もタービントルクに見合った値に補正されている。車体の加速度変化でみると、高度0m時と同程度のシフトクオリティを実現している。このように、大気圧や気温に応じエンジン出力が変化してもエンジントルクと締結圧を最適値となるように制御している。

4.3 変速点変化時の変速安定性

図8に同一スロットル開度で変速車速を変更した場合の油圧の作動と車体加速度の比較結果を示す。変速車速が変わることで、エンジントルクが変化し変速前後のATの出力軸トルク差も変化するが、変速前のタービントルクと出力軸回転速度からエンジントルクと締結圧を補正して、同一のシフトクオリティを実現している。

4.4 エンジン出力変化時の変速安定性

図9にトルク特性の異なるDOHC3LエンジンとSOHC3Lエンジンで、変速制御データを同一にしてスロットル全開1→2変速時の車体加速度変化を比較した結果を示す。SOHC3Lエンジンの方

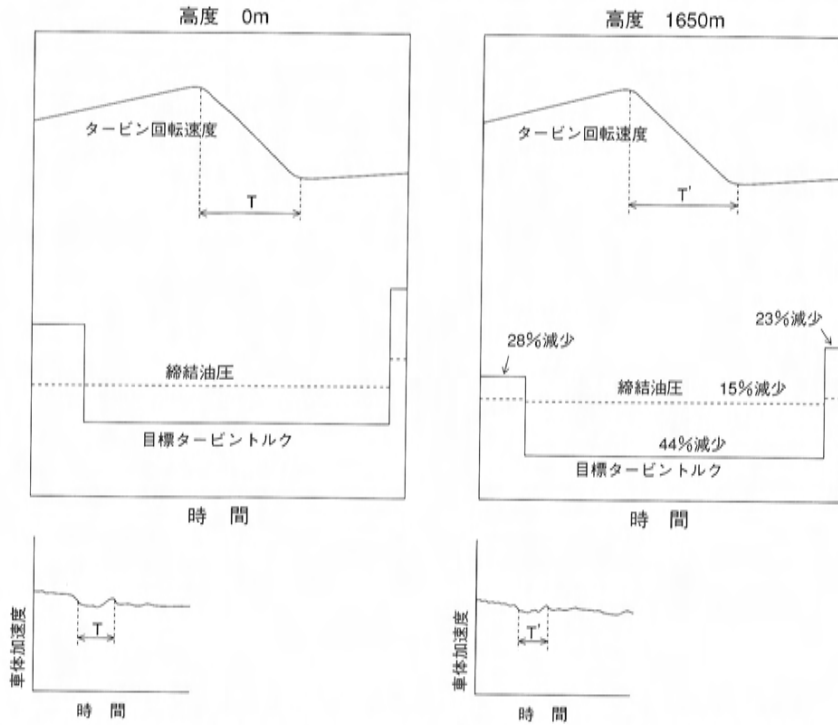


図7 高度変化による1→2シフトアップ比較 (スロットル開度100%)

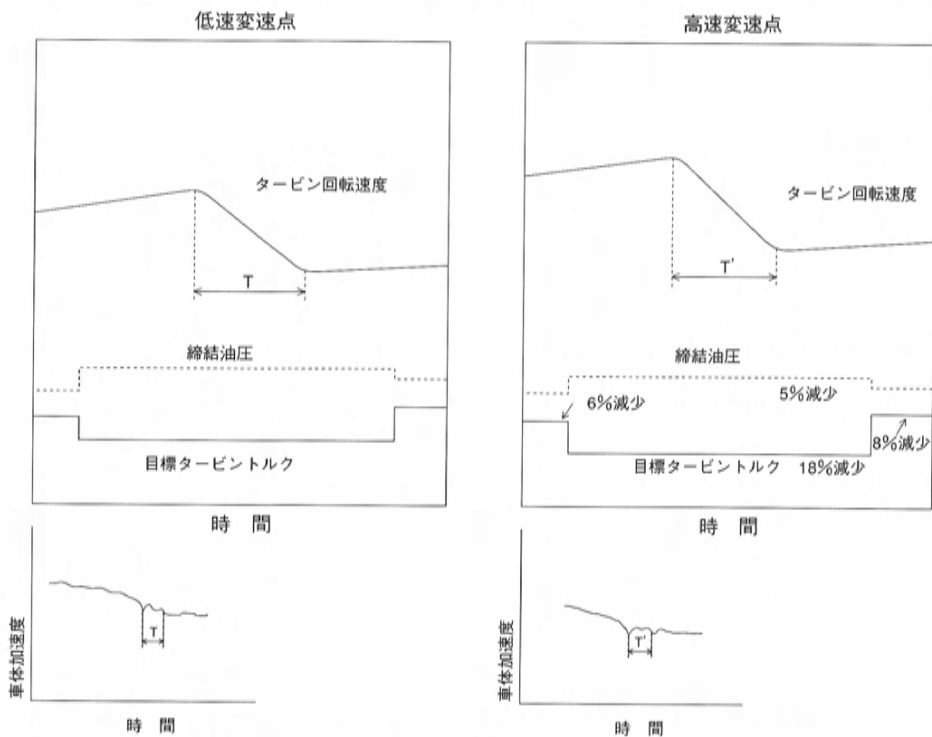


図8 変速点変化による1→2シフトアップ比較 (スロットル開度50%)

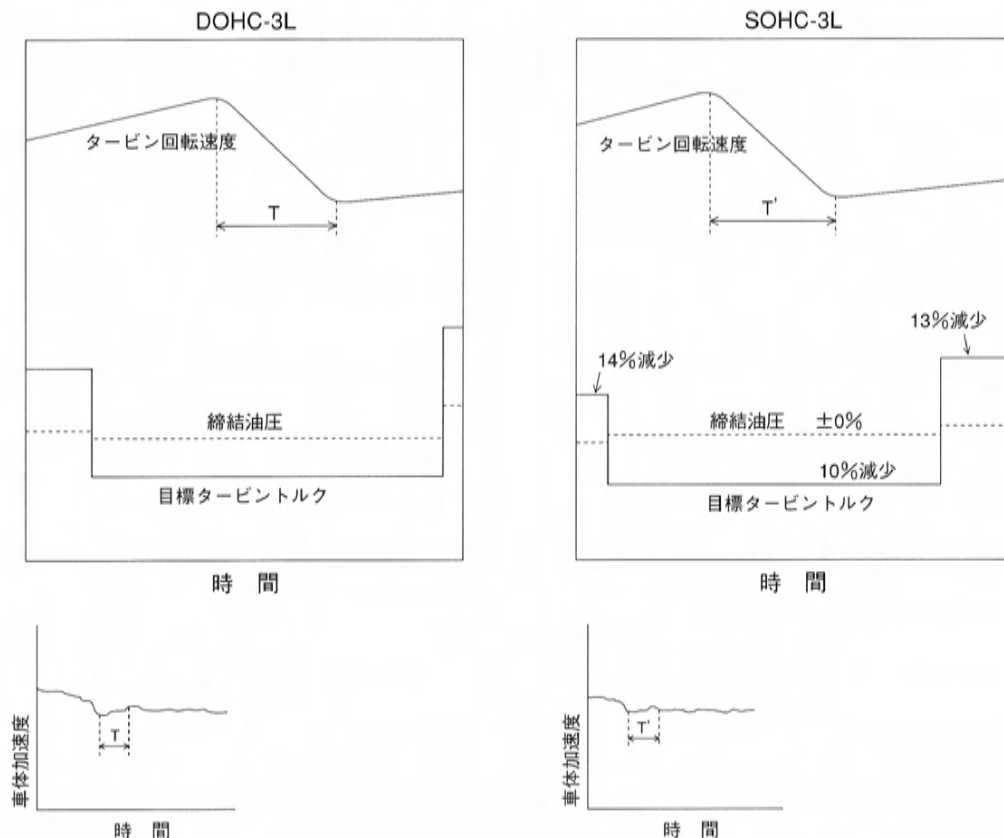


図9 エンジン出力特性の変化による1→2シフトアップ比較（スロットル開度100%）

が変速開始時のタービントルクが低下しているが、それに応じて変速時の目標タービントルクと目標圧が補正されており、車両の加速度波形よりDOHC3Lエンジンと同程度のシフトクオリティを実現している。このように、エンジン出力特性が異なるものでも同一データで制御可能であり、開発の効率化にもつながる。

4.5 従来制御との比較

図10に変速中のタービントルクが変化した場合のシフトクオリティの安定性を突き上げ率で比較した結果を示す。従来制御では、変速中のタービントルクが減少するにつれて突き上げ率が増加し、変速ショックを感じやすくなっている。それに対して、本制御では、タービントルクが減少しても、突き上げ率はほぼ一定値を示しており、エンジン出力軸トルク変動、その他の要因による変速前後の出力軸トルク差変動に対して、安定したシフトクオリティを実現している。

5. おわりに

タービントルク推定値に基づくエンジン・ATの総合制御の導入により、従来の制御のような複雑な条件設定を行うことなく運転環境や操作条件に対応した高品質のATシフトクオリティを実現することができた。また、制御データを共通にす

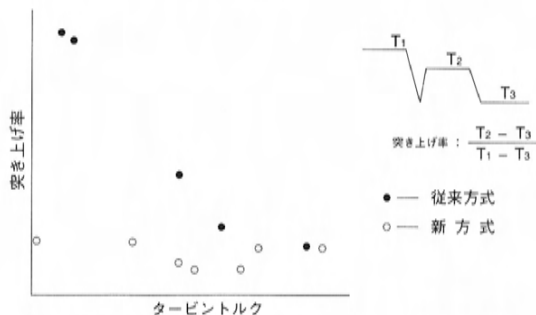


図10 タービントルク変化に対する突き上げ率の安定性

ることができ、開発の効率化が可能なることも確認できた。今後は、この制御方法を発展させ、更に高品質なAT車を開発していくつもりである。最後に、本開発に御協力頂いた内外の関係各位に深く感謝致します。

■ 著 者 ■



栗山 実



佐々木和夫



上野隆司



西里鉄也

論文・解説

18

ABSソレノイドの動作解析手法の開発
Development of Movement Analysis for ABS Solenoid岡田 厚 信*¹ 八 塚 誠 司*² 西 嶋 孝 祥*³
Atsunobu Okada Seiji Yatsuka Takayoshi Nishijima

要 旨

近年、安全に対する意識の高まりの中で、予防安全の観点からABS (ANTI-LOCK BRAKE SYSTEM) の装着が急速に進められている。従来の大型車や高級車種を中心とした装着はもとより、エンジンルームが比較的狭く、価格の安い軽自動車にも拡大する動きにあり、システムの多様化と共に小型化と低コスト化が急速に進みつつある。このような普及拡大の動きの中で、開発期間の短縮も重要な取り組み事項として進められている。

本稿では、このシステムの中核をなす油圧ユニットを新たに開発するに当たり、キーパーツであるソレノイドの設計において開発期間短縮を実現したシミュレーションソフトを開発したので紹介する。

Abstract

With the recent increase in concern over vehicle safety, ABS (Anti-lock Brake System) has rapidly taken on increased importance as an active safety technology and has become standard on most fullsize and luxury cars. As the trend expands to include inexpensive micro vehicles, which have comparatively small engine rooms, work has intensified to diversify the system, as well as to reduce its size and cost. To realize such a broad application of the system, reduction in development time is an extremely important task. This paper introduces a simulation software created during enhancement of the hydraulic unit, a core component of ABS. The software shortens the development period for the solenoid, which is a key part of the hydraulic unit.

1. はじめに

ABSシステムの開発期間短縮は、システムの中核である油圧ユニットの設計時間と設計精度が鍵を握っている。油圧ユニットはモータ、ソレノイド、ポンプ、リザーバタンクなどで構成されており、特にソレノイドは油圧ユニットの性能、コストおよび容積を決める重要な部品であるため開発に長い期間を要している。

ソレノイドの基本構造や基本的な設計手法は既にほぼ確立されているが、開発期間短縮には新たな解析ツールを作り上げる必要がある。

本稿では、マツダが新しく開発したソレノイドの動作解析ソフトについて報告する。

2. ABSソレノイドの基本構造と要求仕様

ABSソレノイドの基本構造を図1に示す。円筒

コイルの内部に可動鉄片を配置し、スプリングにより一方の端部に固定している。円筒コイルに電圧を印加することによりスプリング力に打ち勝つ磁力を発生させ、可動鉄片をもう一方の端部まで移動させる。この可動鉄片の動きを利用して油路の開閉を行っている。

試作した可動鉄片と円筒コイルを図2と図3にそれぞれ示す。

また、ABSソレノイドに要求される主な仕様は次の二つである。

① 高圧油中における開閉精度

② 高速応答性

特に②の高速応答性はABSの制動性能に直結する重要な因子である。

3. 従来の静磁場解析との関係

図4は、今回我々が開発したソレノイドの磁場

* 1～3 技術開発部

解析結果の一例である。この解析は磁束分布と磁束密度を知ることが目的であり、磁性部品の小型化や磁気飽和を検討する際に従来からよく用いられる。しかし、この解析は静磁場が前提条件であるため、ABSソレノイドに求められる前述の高速応答性の解析には直接使用できない。

そこで我々は、時間変化を伴う動磁場における解析ソフトを開発することにより、高速応答性の解析を行った。

4. 新しい解析ソフト

4.1 可動鉄片の挙動測定技術の開発

ABSソレノイドの可動鉄片は、約 $9.8 \times 10^6 \sim 19.6 \times 10^6 \text{ Pa}$ (約 $100 \sim 200 \text{ kgf/cm}^2$)の油中を高速で往復運動を行い油路を開閉している。その可動ストロークは約 0.2 mm の超短距離であり、これを約 $1.5 \sim 2 \text{ ms}$ で移動する。従って、実作動中の可動鉄片の挙動を外部から直接高精度に測定することは極めて困難である。そのため一般には、油路中に圧力センサを入れることにより、可動鉄片が動いた結果によって生じる油圧の変化量を利用して2次的に測定している。しかしこの方法では、実際の可動鉄片の動きに対して油圧に変化が生じるまでの時間に遅れが生じ、測定精度全体が落ちる。時間遅れの主な原因は、配管系の持つたわみやキャリパ部などによって発生する無効消費液量の存在である。この無効消費液量の発生はこの測定方法を採用する限り避けられない問題である。

そこで我々は、可動鉄片に機械的・電気的・磁気的な影響を全く与えず、かつ高精度に可動鉄片の挙動を測定する方法を開発した。可動鉄片の動きと共に変化する、コイル電流の変化に注目した方法である。実際には高周波応答性に優れた高精度な非接触式電流クランプ方式による測定方法を基礎に構築した。

図5にこの測定方法で実測した、当社で現在量産しているソレノイドのコイル電流波形の一例を示す。可動鉄片が動き始めてから一方の端部に衝突し、安定状態に移行するまでの波形である。以下に、この波形の説明を記す。

一般にコイル単品を流れる電流の立ち上がり特性は、滑らかな指数曲線となる。これは電流によって発生する磁束が滑らかな変化をしているから

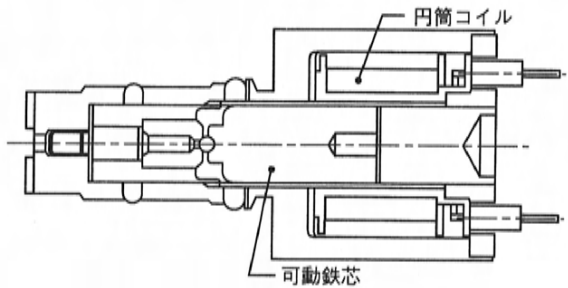


図1 ABSソレノイドの基本構造

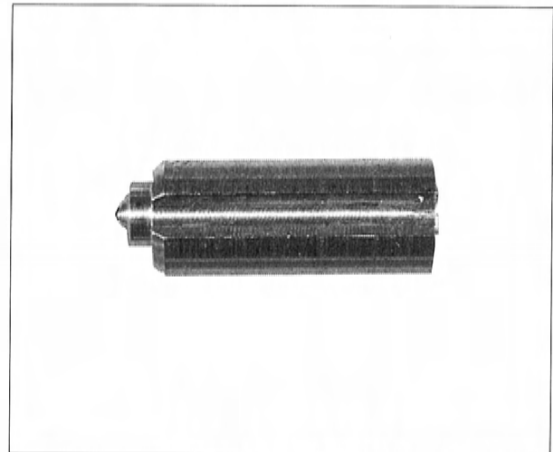


図2 試作可動鉄片

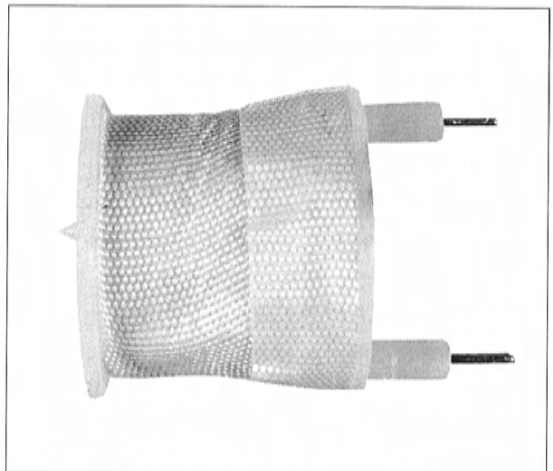


図3 試作円筒コイル

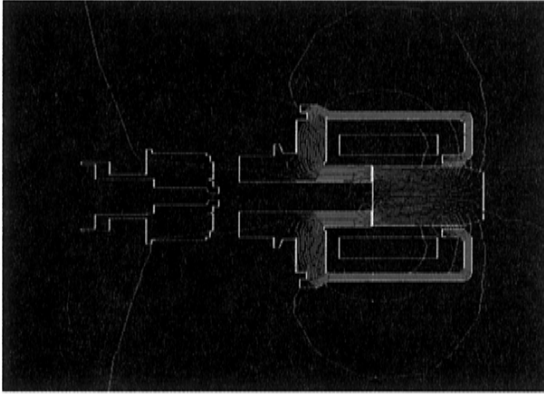


図4 磁場解析結果

である。

ABSソレノイドの場合、コイル内部に可動鉄片を有するため磁束が急激に変化し、滑らかな電流波形は図5のように二つの折れ点(a, b)を有した歪んだ波形となる。この二つの折れ点は、可動鉄片の動き始めと動き終わりを示している。

t2からt3の期間に見える数回の僅かな上下変動は、衝突後のバウンスによる磁束変化によって生じたものである。

電流波形と可動鉄片の挙動との相関を、時間ごとにまとめて以下に記す。

t0～t1：電圧印加から可動鉄片が動き始めるまでの期間

t1～t2：可動鉄片が動いている期間
逆起電力が徐々に大きくなり電流値が減少する。

t2～t3：端部に衝突してバウンスしている期間

t3～t4：バウンスが終了して安定状態に移行している期間

4.2 動作解析

コイル電流波形が可動鉄片の挙動で変化している点に注目し、逆にこの電流の過渡的变化を設計パラメータから算出して可動鉄片の挙動を解析する方法を開発した。解析は過渡電流解析、動磁場解析および運動方程式を組み合わせることにより行った。¹⁾図6に解析波形と実測波形を示す。うまく合致している様子が分かる。解析に利用した各設計パラメータの相関概要を図7に記す。

4.3 動作解析シミュレーションの特徴と効果
動作解析シミュレーションの特徴と効果をまと

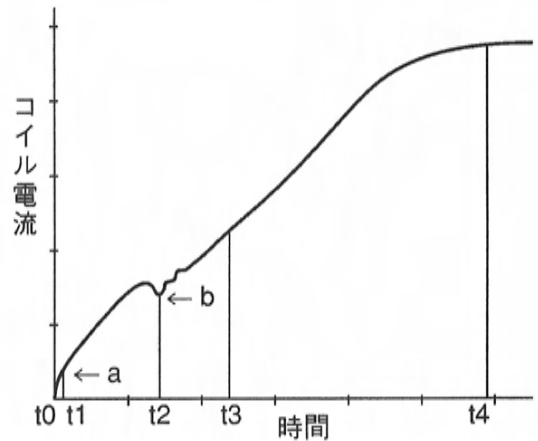


図5 コイル電流波形

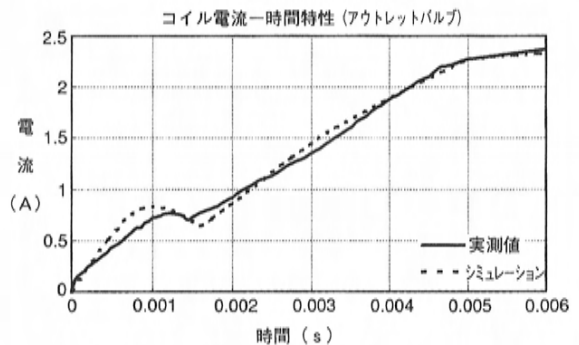


図6 解析結果と実測波形

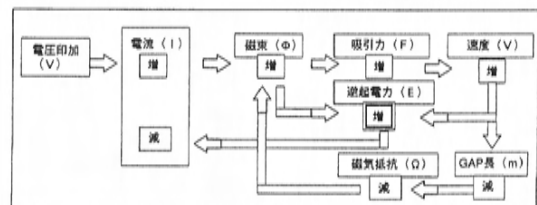


図7 設計パラメータの相関関係

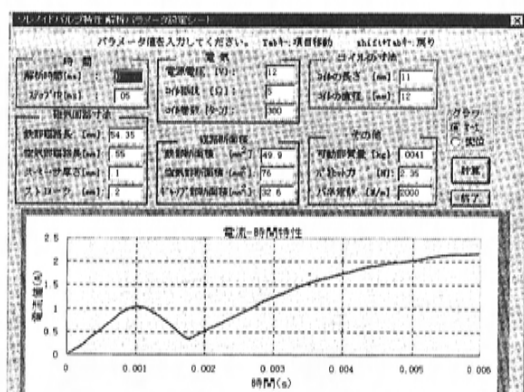


図8 解析ソフトの一画面

めると以下ようになる。

①高精度

特に重要な時間軸における解析精度が高い。

②解析結果の可視化により読み取りが容易

ポストプロセッサの機能を備え、解析結果としての電流波形を表示する。

③解析時間が短い

各設計パラメータを変更した場合の電流波形の変化が即時に反映され利用しやすい。CPU性能が486DX4 100MHzを用いて約1秒。

図8に今回開発した解析ソフトの一画面表示を記す。設計に必要な各パラメータをキーインする表示と、その結果変化する電流波形（可動鉄片の動作）が同一画面上で瞬時に表示される。

④パソコン上で動作し可搬性に優れる

従来、電磁部品の動作解析は計算の複雑さからワークステーションを利用したものが多く、装置の大きさから可搬性に劣る。そのため油圧ベンチを配置した大がかりな試験装置場では使用しにくい欠点があった。

一方で現在はパソコンの普及により、試験の制御・測定から監視までを携帯型パソコンで行っている。この同一パソコン内に今回開発した解析ソフトをインストールすることにより、テスト結果と設計値を同一画面上でリアルタイムに比較することができるようになり、設計値へのフィードバックが瞬時に可能となった。

この動作解析シミュレーションの効果は、短期間開発を可能とした点と試作回数の低減を実現し

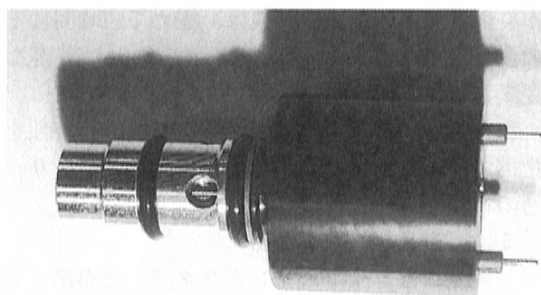


図9 試作ABSソレノイドの外形



図10 試作油圧ユニットの外形

た点である。

前述の特徴である、設計変更がもたらす動的特性の変化をリアルタイムで表示するため、設計の初期構想段階から最終の微修正段階まで活用できた。また、一回の試作ではほぼ狙い通りの性能を得ることができた。

今回試作したソレノイドと、それを用いた油圧ユニットの外形を図9と図10にそれぞれ示す。

5. 今後の取り組み

5.1 高周波領域における磁性材料の特性変化分の取り組み

電磁部品を設計する上で、磁性材料の透磁率の決定は重要な要素を持っている。一般に、電磁部品の設計に用いる磁性材料のB-H特性は、ある一定の周波数下もしくは静磁場における値が用いられている。しかし、ABSソレノイドの実使用条件は、先に述べたように動磁場で用いられるものであり、その周波数帯域は電流波形からも読み取ることができる。この周波数帯域における磁性材料

が持つ磁気スピンの応答性は、極めて短時間にその動作を終えるABSソレノイドの設計に重要な要素となる。

現在、各周波数帯域における磁性材料の特性を把握中であり、この結果を組み込むことにより一層の精度向上が期待できる。

5.2 実長岡係数の導出

長岡係数はコイルのインダクタンスを導出する際に適切な指標を与えてくれている。しかし、コイル形状を理想化しているため、実際のインダクタンス値とは幾分か違った結果をもたらす。実際のコイルは多層構造で幾列にも巻かれており、相互のインダクタンスが複数に影響し合っている。またABSソレノイドのように高周波領域における使用では、各巻き線間に存在する浮遊容量分をも考慮に入れる必要がある。

現在、これらの影響度合いを分離し、実際のコイル形状が有する真のインダクタンス値を高精度に導出する活動を行っている。

6. おわりに

今回開発した動作解析ソフトを用いることにより、ABS油圧ユニットの短期開発に見通しをつけることができた。また、試作回数の削減による開発費用の低減にも効果があることが分かった。ソレノイドはABS以外にも様々な形で搭載されており、今後は解析精度を更に向上させるとともに、ATソレノイドなどの設計にも応用展開を図っていきたい。

最後に、この開発にあたり多大なご指導とご協力を頂いた、辰栄工業株式会社殿および株式会社今仙電機製作所殿にこの紙面をお借りして深く感謝の意を表します。

参考文献

(1)中田, 伊藤, 河瀬

有限要素法による交直電磁石の設計と応用

■ 著 作 ■



岡田厚信



八塚誠司



西嶋孝祥

論文・解説

19

シリンダブロックボアのライナレス化の実現
—液中高周波焼入れの実用化—Realization of Linerless Cylinder Bore Block.
—Application of Submerged Induction Hardening—西 森 康 夫*¹ 永 井 克 和*² 魚 崎 博*³ 網 井 義 浩*⁴
Yasuo Nishimori Yoshikazu Nagai Hiroshi Uosaki Yoshihiro Amii

要 旨

ディーゼルエンジンのシリンダブロックボアのライナレス化によるコストダウンを目的として、小型乗用ディーゼルエンジンで世界ではじめて液中高周波焼入れという表面硬化方法を適用した。量産実用化に向けての技術課題は、①焼入れ品質における焼入れ形状寸法の安定化、②焼入れ変形したボアの加工技術の開発であり、解決に取り組んできた結果、①については、高精度焼入れ機の開発、②については、新しいツールを採用したホーニング加工技術を開発することで、ライナレス化を実現した。本稿では、これらの内容について述べる。

Abstract

As a cost-cutting measure, the linerless diesel engine was adopted by applying the newly developed surface hardening method so-called "submerged induction hardening". That was the first application in the area of engine for small passenger car in the world. In preparation for application to mass-production, however, the following two technical problems had to be solved: ① the stabilization of quenched patterns and ② the development of a machining technology for bores distorted in quenching. Concerning the first problem, a high-precision induction hardening machine was developed, and for the second, a honing technology was developed which involves a new type of tool. With these improvements, the linerless bore was made practicable.

1. はじめに

従来、ディーゼルエンジンはシリンダボアの耐摩耗性を必要とすることから、硬質铸铁製シリンダライナを挿入していることが多い。このシリンダライナを省略することができれば、大幅なコストダウンを実現できる。ライナレス化を図る方法として、高密度エネルギーによりボア内面に直接焼入れを行い表面硬化させる方法をいくつか検討した。⁽¹⁾ その結果、安定した焼入れ硬さ、組織が得られ、且つコストの面でも他の高密度エネルギーによる方法と比べ、優位な液中高周波焼入れを採用した。

ボンゴフレンディ搭載のWL-T型（インタークーラー付ターボ）ディーゼルエンジンに世界で初めてこの液中高周波焼入れを適用した結果、焼入れなしのものと比べ、耐摩耗性約30%向上させ

ることができ、ライナレス化を実現した。

2. 液中高周波焼入れの概要

シリンダボア内面（材質：FCH2D）に直接焼入れを施した状態を図1に示す。これはピストントップリング摺動部付近に、まだら模様の部分的な焼入れを行うものである。

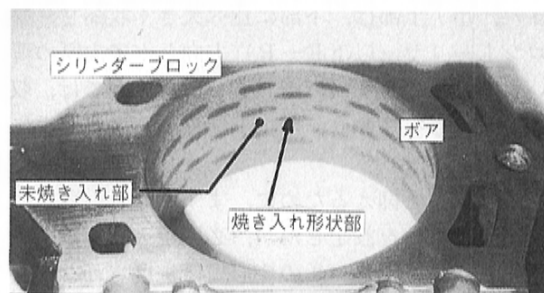


図1 焼入れ模様の状態

* 1～4 パワートレイン技術部

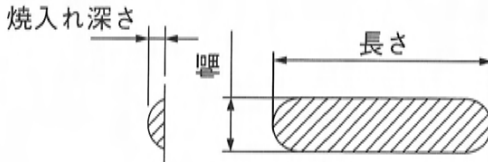


図2 焼入れ形状部

具体的には、シリンダブロックを水の中へ沈め、ボアにコイルを挿入して約0.5秒という短時間に高周波焼入れを行っている。液中で行うことにより、安定した高い冷却能力が得られ、またシリンダブロック内への熱影響を小さくすることで、焼入れ品質の安定を狙った。

3. ライナレス化の課題

液中高周波焼入れ技術を実用化するために、先行テストを実施した。その結果、次の二つの技術課題を解決する必要があることがわかった。

(1) 焼入れ形状寸法のばらつき低減

焼入れ品質には図2に示すように、①焼入れ形状寸法（長さ、幅）、②焼入れ深さ、③焼入れ硬さの三つがあるが、先行テスト段階においては②、③は目標レベルをクリアしており問題なかった。

①については、特に長さ寸法ばらつきが大きく、この要因をまず明らかにし対策を行うことにした。

(2) ボアホーニング加工技術の開発

液中高周波焼入れを施すと図3に示すように、ボアの真円度、円筒度は大きく悪化する。

焼入れ形状部では、マルテンサイト変態による体積膨張のため、約数十 μm 凸状に隆起している。また、ボア上部は、下部に比べ大きく収縮し、フロントーリヤ（以下F-R）方向とボア肉厚の薄いレフトーライト（以下、L-Ri）方向では、収縮量が異なり、ボア上部は取り代が非常に多くなる。

この変形を抑えるために、まず変形を小さくする焼入れ条件を設定したが、必要焼入れ体積を確保すれば、このレベルの変形量は避けられないことが判明した。そこで、サイクルタイム内に目標精度を確保するボアホーニング加工技術を確立することにした。

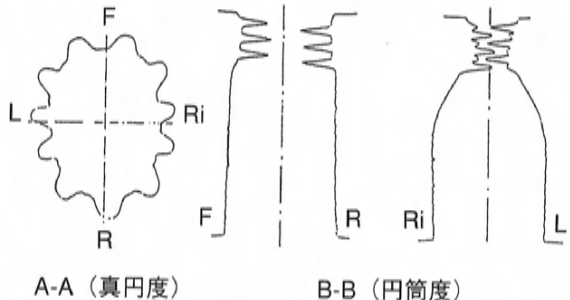
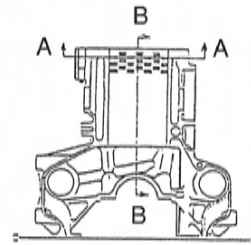


図3 ホーニング加工前（焼入れ後）のシリンダボア形状精度

4. 高精度焼入れ機の開発

4.1 高周波焼入れの原理

高周波焼入れの原理は、コイル内に流す高周波電流により生じる交番磁束を用いて、鋼材の様な強磁性体の表面近傍に誘導電流（うず電流）を生じさせ、ジュール熱として加熱する。

液中高周波では、従来の高周波に比べて、極めて短時間にA1変態点以上に加熱する高磁束密度を発生する。このためコイルとボア壁のクリアランス変化が、コイルからワークへの投入エネルギーの伝送効率に、通常の高周波焼入れ以上に影響を及ぼす。つまり、わずかなクリアランスの変化が焼入れ形状寸法に影響を与える。

そこで、クリアランス変化が焼入れ形状に与える影響を定量化し最小化すれば、投入エネルギーにより焼入れ形状寸法を安定して制御できると考えられる。

クリアランス変化に影響する要因として、コイル／ボアの芯ずれ、コイル精度があるため、これ

らの影響を最小化することにした。

4.2 実験結果及び対策

(1)コイル／ボア芯ずれの影響

図4はコイル中心とボア中心の芯ずれが焼入れ形状ばらつきに及ぼす影響を調査したものである。0.2mmでは大きくばらついているのがわかる。

量産を考慮してワーク精度や位置決め精度を検証した結果、0.15mmは最低でも芯ずれが生じることがわかった。この中で大きなウェイトを占めるのが、ボアの位置度や倒れであるが、これらはあまり改善が見込めないことから、補正機能が必要である。

図5は焼入れ装置の概要を示す。芯ずれ防止のために、コイル測定用プローブとボア測定用ゲージ双方の測定結果からコイルとボアの中心位置を割り出し、X-Yの2軸NC制御で補正を行った。その結果、ずれ量を0.01mm以下にできることを確認した。

水槽中の水はベッドの中へ排水する構造のため、焼入れ機本体の温度と水温の温度差が生じると、焼入れ機を変形させてしまう。高精度な相対位置制御を実現するためには、これらの影響を除く必要がある。このため、焼入れ水が排水時に直接マシンに触れない、水温を外気に追従するように制御し焼入れ機本体温度との温度差を縮める等の対策を行いマシンの精度に配慮した。

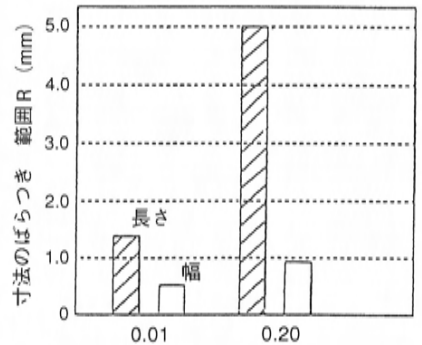
(2)コイル精度の影響

クリアランスに影響を及ぼすコイル各部位の精度については、独自のコイル製作技術により高精度化を図った。

(3)焼入れ条件の最適化

以上の対策を行った上で、投入エネルギーの焼入れ形状寸法に及ぼす影響を調査した。図6に長さにおける結果を示す。

投入エネルギーとの間には、比例関係が成り立つのがわかる。相関係数も0.9以上と高い。目標値の上下限の中央値を狙う条件で焼入れを行い、焼入れ形状長さのばらつきを調べた。ばらつきは先行テスト段階と比較して約60%低減することができ、目標をクリアした。



コイル／ボア間の相対位置のズレ量 (mm)
焼入れ形状個数：66個

図4 コイル／ボア間の芯ずれが寸法ばらつきに及ぼす影響

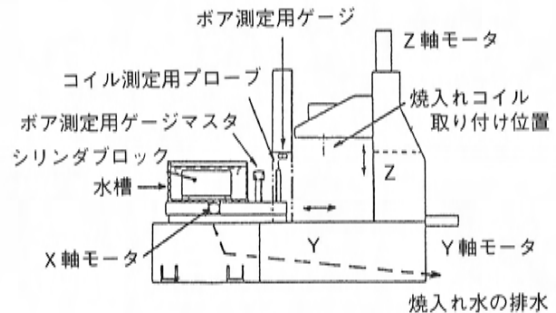


図5 液中高周波焼入れ機の概要

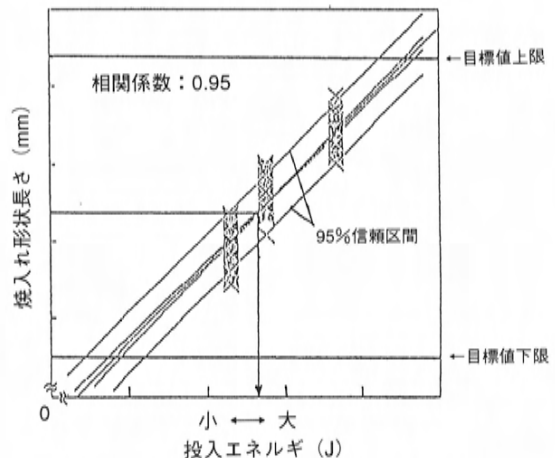


図6 投入エネルギーと形状寸法の関係

5. ホーニング加工技術の開発

5.1 従来プロセスでの検証

従来のシリンダブロックボアのホーニング加工は、ボアの仕上げボーリング加工後、中仕上げホーニングと仕上げホーニングの二工程で加工を行う。この従来プロセスで焼入れ後の変形した状態のボア形状をどこまで修正しきれるかを検討した。

(1)形状精度に及ぼす影響

前項で述べたように、取り代が非常にアンバランスであるため、図7に示すように、従来のホーニングプロセスの二工程では、真円度はほぼ修正できるものの円筒度は修正しきれず大幅に目標値をオーバーしている。

(2)サイクルタイムに及ぼす影響

中仕上げホーニング工程におけるサイクルタイム（ボア当たりの実加工時間）は、取り代の増加に伴い従来の非焼入れシリンダブロックに比べ約2.7倍にも達した。

5.2 新プロセス導入による円筒度の向上

5.1項で述べたように従来プロセスでは工程が成立しないため、新プロセスでは、従来の中仕上げ工程の前に焼入れ歪み部のみを除去する荒工程を追加し三工程とした。さらに荒ホーニング工程に新考案のホーニングツールを開発、導入した。

荒ホーニング工程の新考案ホーニングツールと従来のツールを図8に示す。

ホーニング加工では、一般にフローティング方式により前加工穴をガイドとして加工を行う。ところが、本シリンダブロックでは焼入れにより前加工穴そのものが歪んでいる。そのため、従来のホーニングツールでは正確にガイドされず芯振れや倒れが起こり、穴曲がりが発生し円筒度不良となる。

そこで、新考案ホーニングツールではダブルコーン方式とし、従来のラフ位置決めのための固定ガイドに加え定圧拡張ガイドを砥石下方に配置した。これによりホーニング加工時に焼入れ歪みのほとんどないシリンダボア下部にガイドを定圧密着させ、ツールの芯振れや倒れを抑制することを狙った。

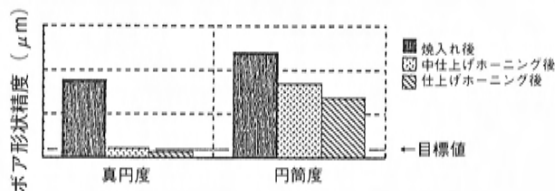


図7 ホーニング加工前シリンダボア性状がホーニング加工精度に及ぼす影響

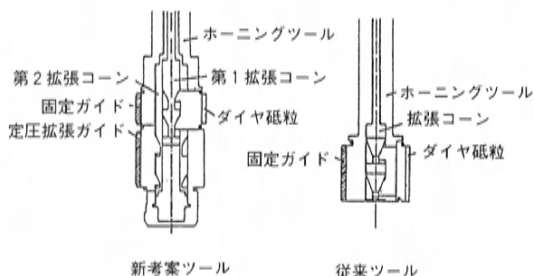


図8 新考案ホーニングツールの構造

5.3 実験結果及び対策

(1)砥石仕様の設定

荒ホーニングでは、決められたサイクルタイム内に従来の約4倍の取り代を除去しなければならないため、ホーニング砥石には高切り込み条件においても高い切り屑除去能力が要求される。そこで、単位時間当たりの切り屑除去量を目的変数に、砥石仕様、およびホーニング条件を説明変数として実験計画法を用いて加工テストを行った。⁽²⁾ その結果、砥石はダイヤモンド砥石、粒度は粗めのもので、結合度は柔らかめのものを選定した。

(2)定圧拡張ガイド仕様の設定

①ガイド材質

定圧拡張ガイドには、ホーニングツールの倒れや芯振れを抑制する能力と同時に、ボア内壁面と圧接し回転、摺動するために耐摩耗性や耐溶着性、さらには未焼入れ部（ボア下部）の形状を悪化させないように非切削性が要求される、そこで切削性の低い砥石二種（A、B）と全く切削性のない鋼製ガイド（C）一種をテストに供した。その結果を図9に示す。定圧拡張ガイドのない従来ツールと

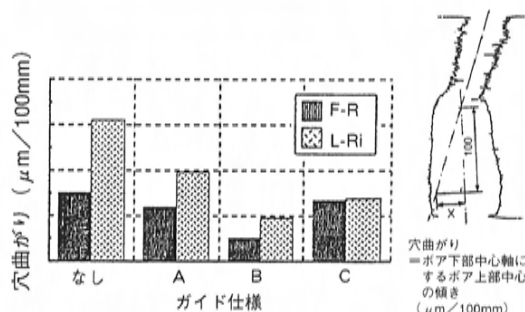


図9 加工穴の曲がりに対するガイド仕様の影響

比較すれば、いずれの材質においても穴曲がりは減少したが、目標値を満足させるには不十分であった。また、図10に示すように砥石A、Bはいずれもシリンダボア下部の形状を凹状に悪化させていた。したがって、ガイド材質としては全く切削性のない鋼製ガイド(C)が適していることがわかった。

②ガイド長さ、本数、拡張圧

鋼製ガイドを採用しても穴曲がりは残るため、これを改善する必要がある。

ガイドのホーニングツール姿勢制御能力を決定すると考えられる、ガイドの長さ、本数、拡張圧が加工穴の曲がりに及ぼす影響を調査した結果を図11に示す。図よりFの仕様のものが最も良く、ガイドを長くし、本数を増やすことで曲がりを対策することができた。

③砥石とガイドの配置

砥石と拡張ガイドの配置は円周方向に交互に配置した。またツール軸のトップ位置ではガイド上端と焼入れ歪み部が、ボトム位置でガイド下端とメインベアリング余肉部がそれぞれ干渉しないように設定した。

(3)新考案ツールの効果

前述の砥石仕様、定圧拡張ガイド仕様で、切り屑除去能力を最大にするホーニング条件を設定し、その効果を検証した。その結果、図12に示すように形状精度は目標値を満足することが確認できた。また、サイクルタイムも満足することができた。

6. 品質保証

6.1 液中高周波焼入れの品質保証

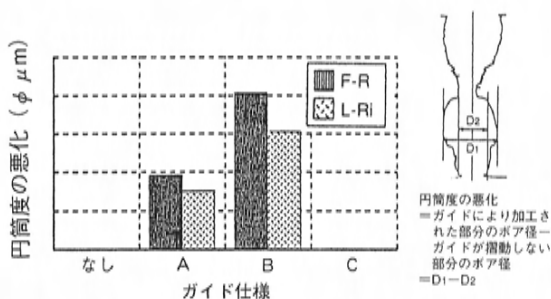


図10 ガイドによるシリンダボア下部の円筒度の悪化

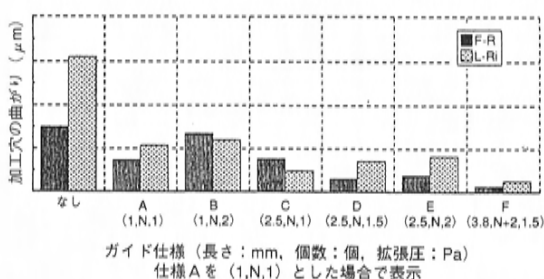


図11 加工穴の曲がりに及ぼすガイド仕様の影響

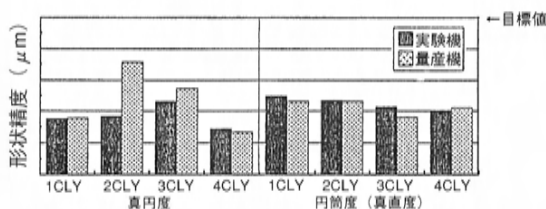


図12 量産機における形状精度検証結果

液中高周波焼入れは、短時間で品質を造り込む、特殊工程の典型であることから、量産における全数品質保証するシステムが必要である。

(1)条件管理

量産において安定した品質を確保、維持していくために、重要な焼入れ条件、焼き戻し条件に対して全数モニタリングを行い、決めた管理範囲において異常値となったとき、自動停止させることで品質保証している。

(2)完成品品質保証

焼入れ形状の寸法は画像処理技術を応用した測

定装置を開発し、深さ、硬さは非破壊で測定できるようにして定期的に検査して保証している。

6.2 ホーニング加工の品質保証

各工程間にボア計測ステーションを設置し、ボアの径、真円度、円筒度を全数測定し、その結果をフィードフォワード、フィードバックし、ホーニング加工のストロークをコントロールしている。

7. おわりに

液中高周波焼入れ自体は、既存の技術ではあるが、今回のシリンダブロックへの適用により、表面改質領域の高密度エネルギー技術として、新しい可能性を開いたと考える。今後さらにレベルアップを図り他の部品にも適用していきたい。

最後に、液中高周波焼入れの開発では高周波熱錬㈱、ホーニング加工技術の開発ではトーヨーエイトテック㈱の方々に多大なる御協力を頂いたことに深く感謝申し上げます。

参考文献

- (1)鈴木 他：エンジンシリンダボアレーザ焼入れの実用化，三菱自動車テクニカルレビュー，(1994)，No.6，p115～122
- (2)ホーニング技術協会編：ホーニングハンドブック，(1977)，ホーニング技術協会

■著 者■



西森康夫



永井克和



魚崎 博



網井義浩

論文・解説

20

はすば歯車装置の振動シミュレーションの開発 The Development of Simulation of the Gearbox Vibration

藤 井 猛*¹
Takeshi Fujii

要 旨

歯車装置の振動伝達率を改善するため、ギヤノイズの原因である歯車装置の振動を机上でシミュレーションする方法を検討した。まず、歯車のかみあい起振力を加振力とした軸系の振動応答を解析するプログラムを開発し、軸受部での応答力を計算した。次に、求めた応答力を加振力として歯車箱の振動応答解析を実行し、歯車箱の振動加速度を求めた。その結果と実験値の比較検討を行い、本手法の妥当性を確認した。また、歯車箱構造の振動への影響も明らかにした。

Abstract

For simulation of gearbox vibration, We developed the analytical computer program for geartrain vibration response of gear mesh force to excitation force. And calculate the response forces at journal in geartrain. Next give effect to frequency response analysis of gearbox, get a acceleration of gearbox. This method is propriety is confirmed to compare with calculate value and experimental value. And cleared the effect structure of gearbox to vibration.

1. はじめに

年々、車両の静粛化が進む中、トランスミッションから出るギヤノイズもそれにあわせて低減していかなければならない。歯車装置では、歯車のかみあいにより発生した振動が軸と軸受を介して歯車箱を振動させる。この振動エネルギーの大部分は、マウント部から車体へ入力され、固体伝播音としてボデーパネルに伝わり、ギヤノイズとして放射される。したがってギヤノイズ低減のためには、この振動の発生源である歯車のかみあい起振力と歯車装置の振動伝達率を低減する必要がある。そこで、歯車のかみあい起振力の大きさを歯のばね剛さの変動による係数励振の影響と歯面加工誤差の影響を考慮した総合起振力として求める手法を開発した。これにより、歯車のかみあい起振力の机上検討が可能になった。これを用いて歯車装置

の振動伝達特性も解析し、振動加速度を机上予測していく必要がある。しかし、歯車装置を構成する軸系や箱の振動特性など個々の振動伝達特性を扱った研究はあるが、歯車装置として振動加速度を検討した例は少ない⁽¹⁾。

そこで本研究では、はすば歯車装置の振動のシミュレーション手法について検討した。まず、歯車のかみあい起振力を加振力とする軸系の振動応答を解析するプログラムを作成し、歯車箱との結合部である軸受取付部の応答力を求めた。次に、求めた応答力を加振力として歯車箱の応答解析を行って歯車箱の振動加速度を求め、歯車装置を実際に運転して計測した実験値と比較検討した。実験には一対のかみあいを持つ一段歯車装置を使用し、軸受と歯車箱の壁間のオフセット量の差、テーパーラベアリングとボールベアリングの差、軸径の差が振動に及ぼす影響も明らかにした。

* 1 パワートレイン技術部

2. 解析方法

2.1 軸系の応答解析

軸系の応答解析には、区分モード合成法 (Component Mode Synthesis method) を用いた⁽²⁾。まず、系を構成する要素(以下分系と称する)ごとに解析を行う。各分系ごとに運動方程式をたて、それらの質量行列と剛性行列を他の分系との結合領域のみの行列に縮小する(グヤンの静縮小)。また各分系の運動方程式で結合領域を固定する境界条件のもとで固有値解析を行い、1次から必要な n 次までの固有値と固有モードを求めておく。

次に全体系の解析を行う。各分系ごとに縮小された質量行列と剛性行列を重ねあわせてできる全体系の質量行列と剛性行列を用いて固有値解析を行う。各分系間に生じる結合領域の変位を、この固有値解析で得られる1次から m 次までの固有モードの1次結合として表現する。また、各分系の内部領域の変位は、結合領域の変位に伴って生じる変位と各分系ごとに求めた固有モードの1次結合の和で表現する。これらを用いて各分系の固有モードを一般化座標とする全体系の運動方程式をつくり、これに加振力としてかみあい起振力を加え、軸受支持部の変位を求める。この変位に軸受のばね定数をかけて軸受部の応答力を得た。

2.2 歯車箱の応答解析

軸系の応答解析によって得られた軸受部の応答力を加振力として、歯車箱の周波数応答解析を行い、振動加速度を求めた。解析プログラムはMSC/NASTRANを用いた。

3. 歯車装置と実験方法

図1に実験に使用した動力吸収式実験機の概要を示す。動力の駆動と吸収は2台の直流モータで

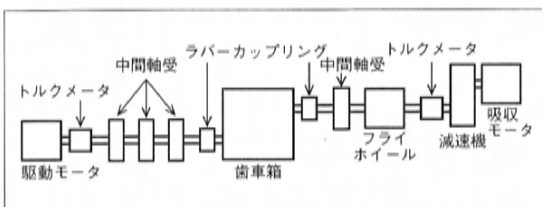


図1 回転試験装置概要

行う。駆動、吸収側と歯車箱との接続には、ラバーカップリングを使用した。歯車箱は定盤の上に固定された鋼鉄製の頑丈な架台の上にボルトで固定した。駆動トルク93Nmを一定に保ちながら、駆動軸の回転を300~2000rpmまで連続的にスイープさせ、そのときの歯車箱の振動をFFTアナライザで回転次数比分析し、歯車のかみあい1次の振動加速度を測定した。

図2に歯車箱の構造を示す。一対のかみあいを持つ箱型の一段歯車装置である。歯車箱本体は、板厚20mmの鋼板のベースに板厚6mmの鋼板を溶接し焼鈍処理している。天板は本体上部に溶接した10mm角のリブにボルトで取り付ける。軸受支持部は本体に溶接した軸受部ボスにボルトで取り付ける。歯車軸は軸受支持部に収められた二個の軸受で支持され、軸受の支持位置を歯車箱本体の壁から内側へオフセットできるようにしている。歯車はETPブッシュで軸受スパン中央に取り付けられている。使用した歯車ははすば歯車で歯面研削により歯面修正を行った。表1に歯車の諸元、表2にテスト仕様を示す。

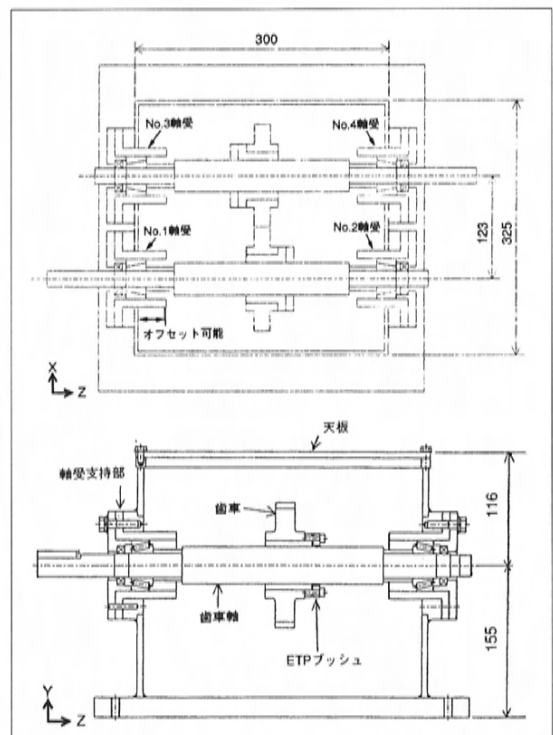


図2 1段歯車装置

表 1 試験歯車の諸元

| | |
|-------------|-----------|
| モ ジ ュ ー ル | 2.25 |
| 圧 力 角 | 14°30'00" |
| ね じ れ 角 | 26°45'00" |
| 歯 数 | 48/50 |
| 中 心 距 離 | 123mm |
| 歯 幅 | 35mm |
| 正面かみあい率 | 2.0076 |
| 重なりかみあい率 | 2.2287 |
| 全 か み あ い 率 | 4.2363 |

表 2 テスト仕様

| No. | 軸受オフセット量 | 軸受の種類 | 軸 径 |
|-----|----------|--------|------|
| 1 | 0mm | テーパローラ | 38mm |
| 2 | 20mm | テーパローラ | 38mm |
| 3 | 0mm | テーパローラ | 24mm |
| 4 | 0mm | ボール | 38mm |
| 5 | 20mm | ボール | 38mm |

4. 装置のモデル

4.1 軸系

図 3 に軸系のモデルを示す。歯車装置と駆動、吸収部は、ラバーカップリングで分離されるものとして解析モデルを簡略化し、以下のようにモデリングした。

(1)歯車軸と歯車は、6 自由度方向の振動を考慮した 2 次のはり要素で有限要素モデル化した。

(2)歯車軸と歯車の結合要素であるETPブッシュは 6 自由度のばねでモデル化した。ばね定数は以下の値を設定した。

半径方向 $k_{rad}=1.2 \times 10^9$ N/m

軸方向 $k_{axi}=1.4 \times 10^9$ N/m

傾き方向 $k_{tii}=0.7 \times 10^6$ Nm/rad

回転方向 $k_{rot}=1.1 \times 10^6$ Nm/rad

(3)駆動歯車と被駆動歯車の結合は、かみあっているすべての歯の合成ばね定数で結合した。ばね定数は、歯の曲げ、せん断変形、歯面の接触変形および歯面形状誤差を考慮して計算により求めた。

歯のばね定数 $=7.4 \times 10^7$ N/m

(4)軸受は半径方向、軸方向の並進ばねと、たおれ方向のねじりばねでモデル化する。ばね剛

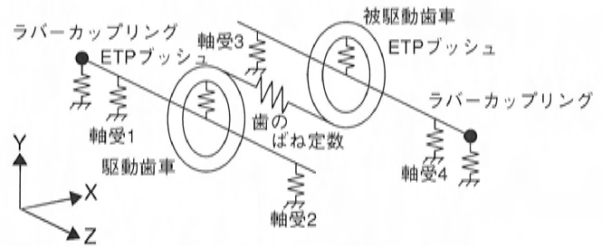


図 3 軸系の計算モデル

表 3 軸受のばね定数

| | テーパローラベアリング | | | | ボールベアリング |
|----------------|-------------|--------|--------|--------|-----------|
| | No. 1 | No. 2 | No. 3 | No. 4 | No. 1 ~ 4 |
| 半径方向 (N/m) | 2130E6 | 2200E6 | 2147E6 | 2000E6 | 156E6 |
| 軸 方 向 (N/m) | 198E6 | 212E6 | 200E6 | 176E6 | 57E6 |
| たおれ方向 (Nm/rad) | 9.1E4 | 9.9E4 | 9.4E4 | 7.6E4 | 8.4E2 |

性はヘルツの弾性接触理論およびパルムグレンの式を用いて計算により求めた⁽³⁾。その値を表 3 に示す。

(5)ラバーカップリングは、ねじりばね、集中質量および慣性モーメントでモデル化した。

(6)軸系の加振力である歯のかみあい起振力は、歯のばね剛性の変動と歯面修正量の影響を考慮して解析的に求めた。

かみあい起振力 $=29.5$ N

4.2 歯車箱

図 4 に歯車箱の有限要素モデルを示す。箱全体を 1 次の四角形シェル要素で作成した。天板と軸受支持部は、ボルト結合部で箱本体と剛結合した。このモデルの精度を確認するため、固有値解析と実験モーダル解析を行った。表 4 に固有振動数の計算値と実測値の比較を示す。○印は加振テストでイナータンスレベルが特に高かったモードであり、△印は比較的良かったモードである。○印のモードは、例えば図 5 に示すように固有振動数、モードともよく一致している。△印のモードでは固有振動数のずれは最大 22% であるが、モードは MAC (Modal Assurance Criteria Matrix) 値からも分かるように比較的よく合っている。

表 4 歯車箱固有振動数の実験値と計算値の比較

| 加振テスト 固有振動数 (Hz) | FEM解析 固有振動数 (Hz) | MAC値 | 加振テスト 固有振動数 (Hz) | FEM解析 固有振動数 (Hz) | MAC値 |
|------------------------|------------------------|------|------------------------|------------------------|------|
| △390 | 362 | .572 | △ 970 | 669 | .700 |
| ○456 | 440 | .667 | △ 973 | 924 | .676 |
| ○463 | 440 | .640 | △1049 | 1021 | .602 |
| 489 | 568 | .517 | ○1081 | 1028 | .555 |
| 541 | * | * | △1169 | 1075 | .609 |
| △559 | 456 | .408 | ○1227 | 1128 | .503 |
| 583 | * | * | ○1234 | 1197 | .560 |
| △595 | 568 | .489 | △1293 | 1134 | .514 |
| ○622 | 563 | .633 | ○1375 | 1290 | .776 |
| △651 | 568 | .679 | 1407 | 1272 | .489 |
| 707 | * | * | 1413 | 1260 | .462 |
| 724 | * | * | △1427 | 1317 | .638 |
| * | 614 | * | 1510 | 1333 | .356 |
| 935 | 791 | .458 | 1524 | 1394 | .468 |

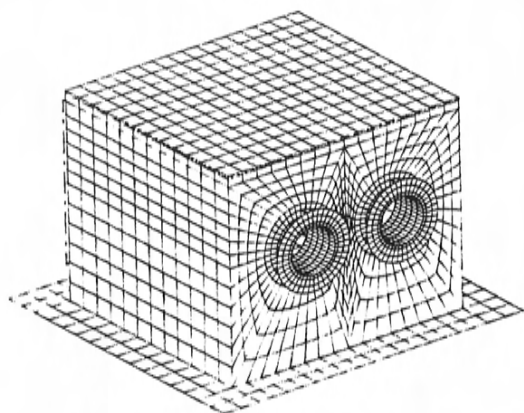
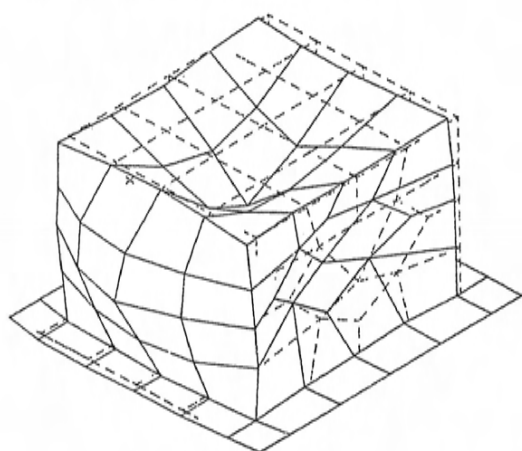
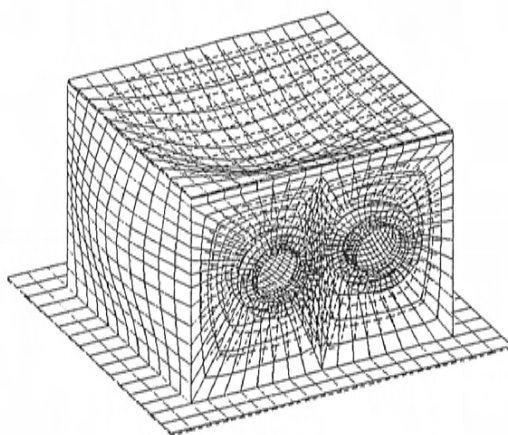


図 4 歯車箱の有限要素モデル



加振テストのモード (463Hz)



固有値解析のモード (440Hz)

図 5 歯車箱振動モードの加振テストと固有値解析の比較

このモデルを用いて振動応答解析を行った。図 6 に示すように、加振力は 1 つの軸受に対し歯車箱の 4 つの節点に振り分けて入力した。X, Y 方向 (ラジアル方向) にはそれぞれ 2 点に 1/2 ずつ, Z 方向 (スラスト方向) には 4 点に 1/4 の加振力を均等に振り分けた。

5. 結果

5.1 計算値と実測値の比較

図 7, 8 に軸系の解析で求めた No. 1 軸受の X 方向, Y 方向の応答力を示す。また, 図 9, 10 に面直方向となる歯車箱側板の X 方向, 天板の Y 方向

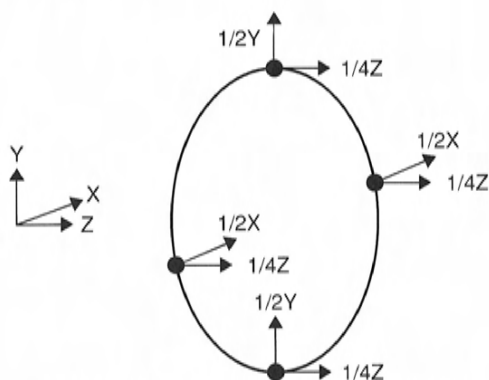


図 6 軸受部への加振力の振り分け方

振動の計算値と実験値の比較を示す。図7, 8の応答力ピーク周波数は、図9, 10の振動ピーク値とはほぼ一致している。また、図11~18に示した仕様の場合の側板X方向、天板Y方向の振動

の計算値と実験値の比較を示す。計算値は実験値と比較的良好に合っており、今回行ったシミュレーション手法は妥当と言える。

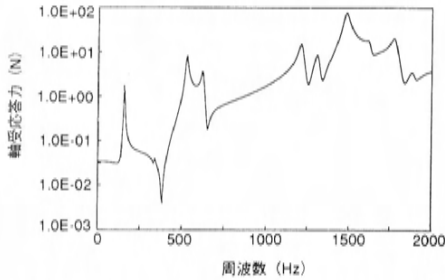


図7 No.1軸受X方向応答力(計算値)
(テーパローラベアリング, 軸径38mm, オフセット0mm)

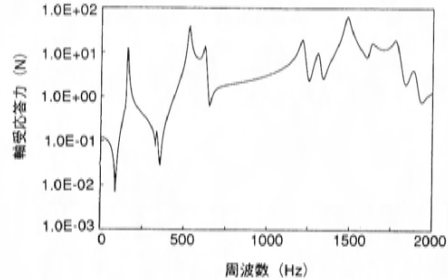


図8 No.1軸受Y方向応答力(計算値)
(テーパローラベアリング, 軸径38mm, オフセット0mm)

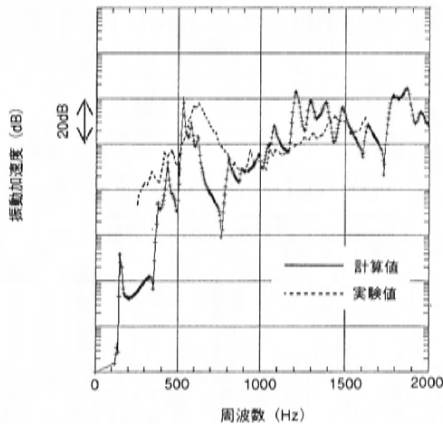


図9 歯車箱側板X方向振動の計算と実測の比較
(テーパローラベアリング, 軸径38mm, オフセット0mm)

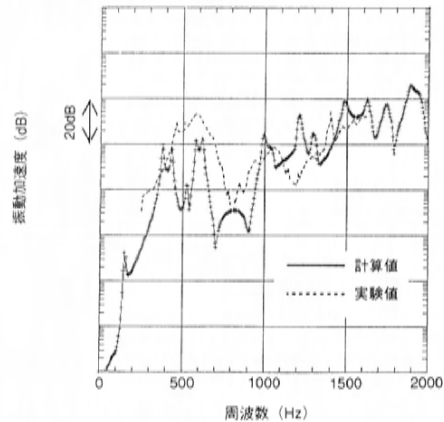


図10 歯車箱天板Y方向振動の計算と実測の比較
(テーパローラベアリング, 軸径38mm, オフセット0mm)

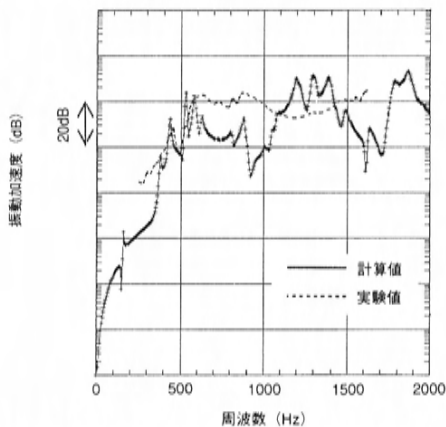


図11 歯車箱側板X方向振動の計算と実測の比較
(テーパローラベアリング, 軸径38mm, オフセット20mm)

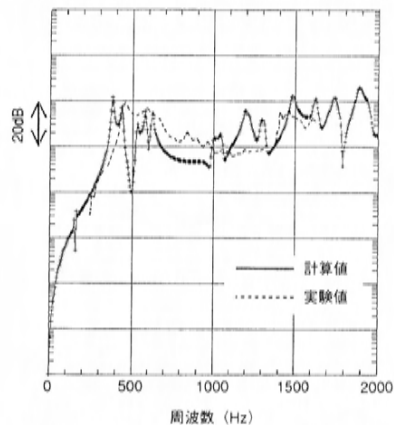


図12 歯車箱天板Y方向振動の計算と実測の比較
(テーパローラベアリング, 軸径38mm, オフセット20mm)

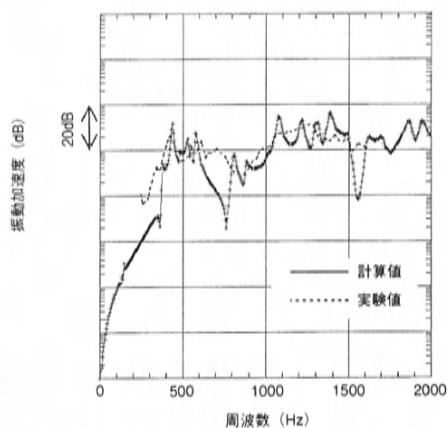


図13 歯車箱側板X方向振動の計算と実測の比較
(テーパローラベアリング, 軸径24mm, オフセット0mm)

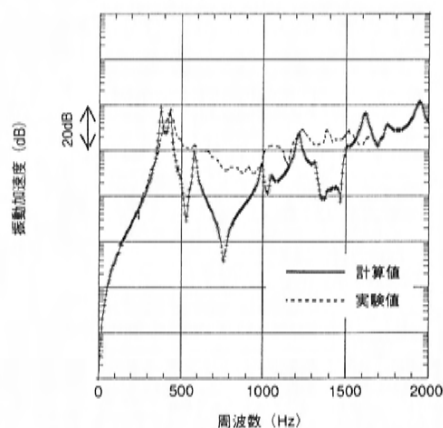


図14 歯車箱天板Y方向振動の計算と実測の比較
(テーパローラベアリング, 軸径24mm, オフセット0mm)

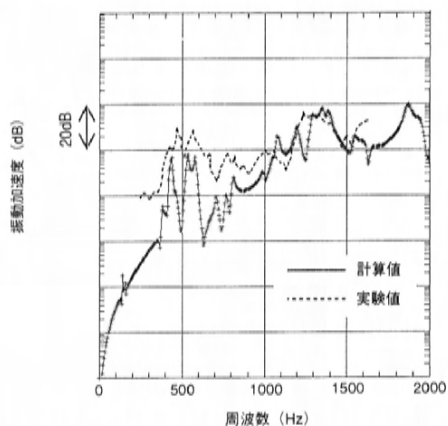


図15 歯車箱側板X方向振動の計算と実測の比較
(ボールベアリング, 軸径38mm, オフセット0mm)

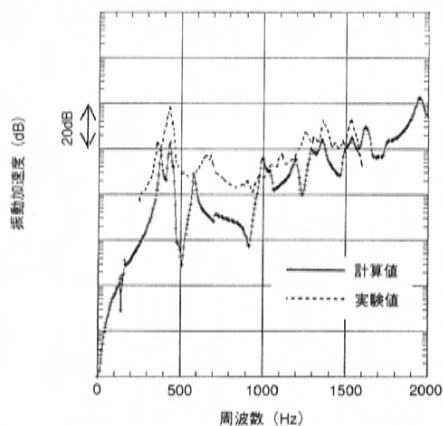


図16 歯車箱天板Y方向振動の計算と実測の比較
(ボールベアリング, 軸径38mm, オフセット0mm)

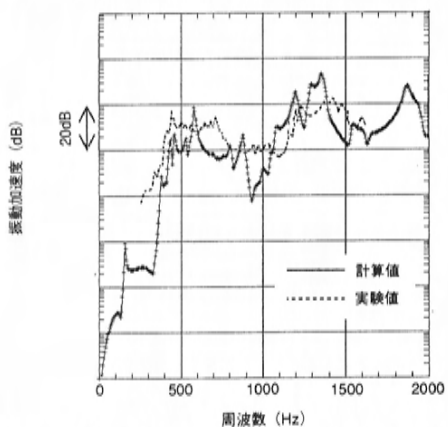


図17 歯車箱側板X方向振動の計算と実測の比較
(ボールベアリング, 軸径38mm, オフセット20mm)

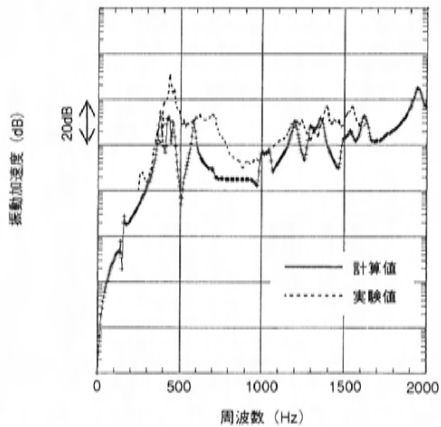


図18 歯車箱天板Y方向振動の計算と実測の比較
(ボールベアリング, 軸径38mm, オフセット20mm)

5.2 軸受のオフセット量の影響

図19, 20, 21, 22にテーパローラベアリング及びボールベアリングのときの、軸受オフセット量0, 20mmでの側板X方向, 天板Y方向実測振動の比較を示す。どちらのベアリングでも、オフセット20mmの方が振動加速度が大きくなっている。これは20mmオフセットが有ると、軸受からの加振力に加えて曲げモーメントも加わり、歯車箱の振動が大きくなるためと考えられる。

5.3 軸受の違いによる影響

図23, 24にテーパローラベアリングとボールベアリングのときの側板X方向, 天板Y方向の実測

振動の比較を示す。テーパローラベアリングのほうがボールベアリングよりピークの周波数が100~200Hz高くなっている。これは表3で示した様にテーパローラベアリングの方がばね定数が大きいので、軸系の固有振動数が高くなったためと考えられる。

5.4 軸径の影響

図25, 26に軸径38mmと24mmのときの側板X方向, 天板Y方向の実測振動の比較を示す。この場合も軸受の違いと同様にピーク周波数がずれている。これも軸径38mmの方が軸剛性が高いため軸系の固有振動数が高くなったためと考えられる。

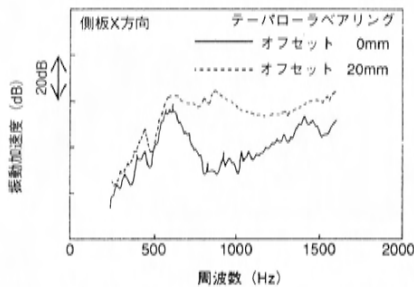


図19 オフセット量の影響 (実験値)
(テーパローラベアリング, 側板X方向)

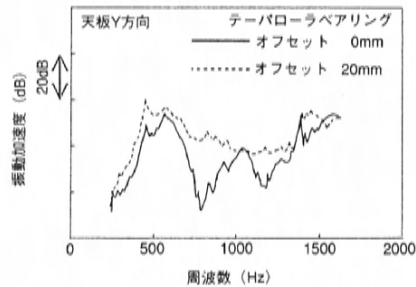


図20 オフセット量の影響 (実験値)
(テーパローラベアリング, 天板Y方向)

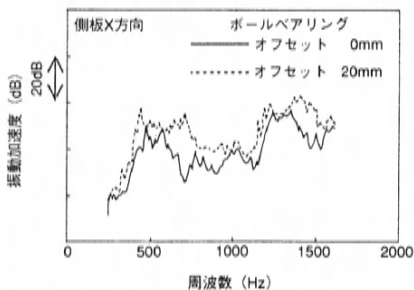


図21 オフセット量の影響 (実験値)
(ボールベアリング, 側板X方向)

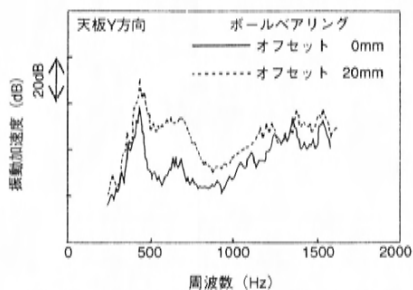


図22 オフセット量の影響 (実験値)
(ボールベアリング, 天板Y方向)

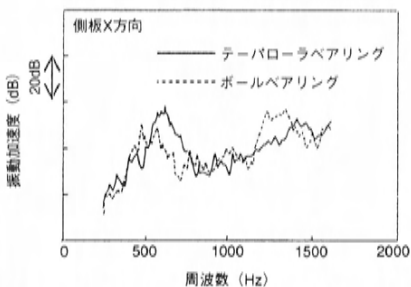


図23 軸受の影響 (側板X方向: 実験値)

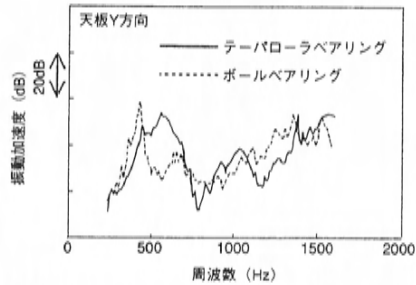


図24 軸受の影響 (天板Y方向: 実験値)

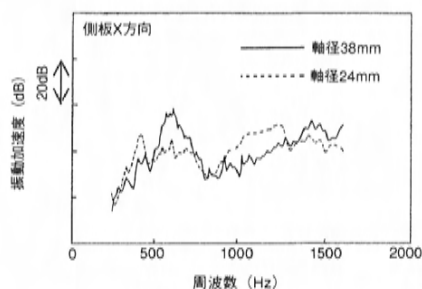


図25 軸径の影響（側板X方向）

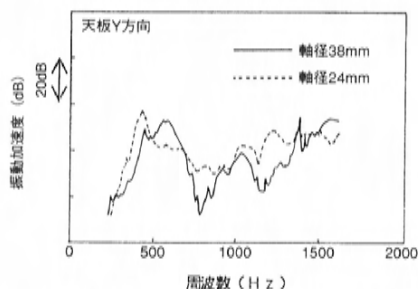


図26 軸径の影響（天板Y方向）

6. まとめ

1対のかみあいを持つ1段歯車装置を用いた実験，シミュレーションを行った結果，以下の結論を得た。

(1)歯車振動の伝達系を軸系と歯車箱に分け，区分モード法を用いて軸系の振動応答解析を行い，その結果を用いて歯車箱の振動応答解析を行い，歯車装置の振動をシミュレーションする手法の妥当性を確認した。

(2)歯車箱構造において，軸受のオフセット量，軸受の種類，軸径は歯車装置の振動に大きく影響し，特に軸受のオフセット量は，0と20mmの場合を比較すると，0の方が振動が小さい。

今後は，トランスミッション等複雑な歯車装置の振動解析を本手法で行い，ギヤノイズを低減していくとともに，解析精度の向上を図っていく。

最後に，本研究を進めるにあたり，PT開発部には歯車箱の振動応答解析方法について御指導を頂いた。また，第1車両実研部には実験の便宜を図って頂いた。この場を借りて深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1)高津，加藤他：BBAによる一段歯車装置の振動応答解析，日本機械学会論文集（C編），57巻538号，1991-6
- (2)長松昭男：モード解析，培風館，1985
- (3)岡本，角田，転がり軸受—その特性と実用設計—，幸書房，1992

■ 著 者 ■



藤井 猛

論文・解説

21

車両組立領域におけるシミュレーションの展開 Vision of Simulation Systems in Automobile Final Assembly Shop

前 西 博 昭*1
Hiroaki Maenishi

要 旨

マツダの車両組立工場は多車種混流の生産形態をとっており、新型車の量産準備のための設備改造、ロボットティーチングは休日や連休で行っているが、近年の自動化、ロボット化の進展によりティーチング作業が多く、対応が困難となりつつある。

そこで、我々はロボットシミュレーションを核とするOLP (Off-Line Programming) システムを構築し、加えて特定用途向けの自動プログラミングの仕組みを開発した。

本稿ではこのシステムの概要及び今後の車両組立領域で求められるシミュレーションシステムの将来展望について述べる。

Abstract

In MAZDA case, many different car-models are produced in each final assembly line by many robots. Before mass production of new car, we make programs of all robots in very often, but in these years, number of robots grew up and it becomes difficult to make all programs on shop floor.

So we developed OLP(Off-Line Programming)System, based on 3D computer graphics, for final assembly shop. This system is constituted with Simulation(it is on the market), Robot Models, Auto-Programming Module.

Robot Models include Mechanical, Kinematic and Control Information. And first release of Auto-Programming Module is only for Applying Applications like an adhesive agent.

This Paper describes about these implementation and Future Vision of Simulation System for Final Assembly.

1. はじめに

近年自動車製造各社の最終組立工程(以下組立)においても積極的に自動化が進められてきた。しかし当社のような多車種混流生産では、新型車へのモデルチェンジのためのロボットのティーチング作業が次第に困難となってきた。一方、急速なコンピュータの進歩により、三次元グラフィックスを活用したロボットシミュレーション&オフラインプログラミングシステム(以下OLP)も実用的なアプリケーションとして市販されるようになってきた。

当社では市販OLPをベースシステムとして導入、ロボットモデル及び特定作業向け自動プログラミングモジュールを開発し、実ライン適用を開始した。

本稿では今回のOLP開発の結果及び今後の方

向性について述べる。

2. 多車種混流の車両組立工程

当社の組立ラインは1ラインあたり4~7車種の混流生産を行っている。各ラインとも数カ月に一度はモデルチェンジ等の新型車導入があり、そのため新型車対応の設備改造、ロボットティーチング等の量産準備工事を頻繁に行っている。

このロボットのティーチングは、数多くある車種の仕様ごとに試作車を生産ラインに持ち込んで生産の合間に行うため、1工程あたり数週間を必要とする。このことが、今後組立自動化を進める上での大きなネックとなっている。

また、ティーチング作業は安全を確認しつつ進めるとともに製品品質に直接影響するため高いスキルを持った技術者が必要であり、昨今の人材不足の中では迅速な対応が難しくなりつつある。

*1 車両技術部

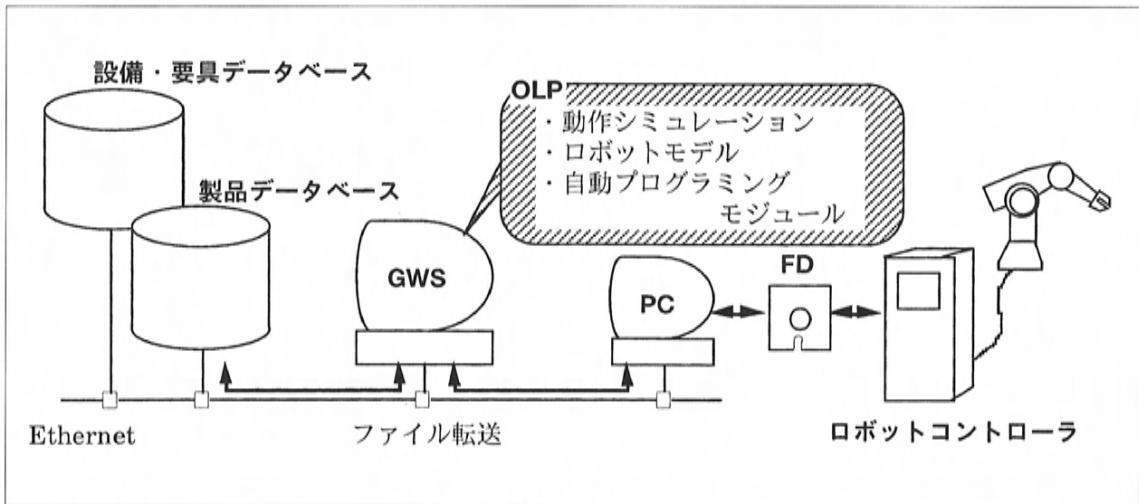


図1 OLPシステム構成

3. OLP

近年ロボットシミュレーションシステムが数多く市販されるようになり、溶接工程、機械組立工程を中心に事前検討のツールとして普及しつつある。

ソフトウェアベンダ製品にはROBCAD (Tecnomatix社)、CimStation (Silma社)、IGRIP (Deneb社)、ロボットベンダ製品にはRoset (川崎重工)、Fast (ファナック) 等がある。

ロボットベンダ製品は他社ロボット対応が不可能でありかつモデリング、干渉チェック機能も不十分で組立での適用検討には不向きである。一方、ソフトウェアベンダ製品はモデリング、干渉チェック等適用検討のための機能は豊富だがサポートしているロボット、インストラクションともに十分ではない。

溶接工程、機械組立工程では適用検討をユーザーが行いティーチングはロボットベンダが行ってきたが、組立工程では既設ロボットの適用検討とティーチングを全てユーザーが行わなければならないため、市販のシステムのままでは要求機能は満足できない。

そこで、この市販ロボットシミュレーションシステムをベースにロボットモデル（機構、運動、制御モデル）及びプログラミング支援ツールを組み込み、実用的なOLPを構築、実用展開することとした。

今回導入したシステムの全体構成を図1に示す。

4. 開発目標

OLP開発の目標を以下に挙げる。

1. 位置決め精度 $\pm 1 \text{ mm}$ 以内
2. 実機での作業時間 従来の70%削減
3. ティーチングスキル 初心者でも対応可能
4. サイクルタイム精度 $\pm 5 \%$ 以内

5. ロボットモデル

これまでに以下のモデルを作成した。

1. 川崎重工 Aコントローラ
(ロボット 1機種)
2. 安川電機 ERCコントローラ
(ロボット 6機種)
3. ファナック R-Jコントローラ
(ロボット 2機種)

ロボットモデルの開発は基本的にはソフトウェアベンダの開発委託の形をとり、当社では仕様設定及びデバッグ作業を行った。

ロボットモデルは上記のほかにソフトウェアベンダが独自に開発したものとして安川MRC、不二越AM、AP、AR、コマツ等がある。

このロボットモデルの特徴は、各ロボットメーカーの制御言語をインプリメントしており、それぞれの言語で操作、プログラミングできる点にある。

従来のOLPシステムでは、冗長なOLPシステム

固有言語でプログラミングした後に各ロボット言語にトランスレートしていたため新たに言語を習得する必要があり、かつシミュレーションと実機動作の不一致が発生する。

これに対して、今回の手法では個々のロボットの操作に馴染んだオペレータがすぐにOLPの操作ができるようになるとともに、シミュレーション結果と実機動作の高い一致性が確保できる。

6. 自動プログラミングモジュール

当社の組立自動化はライン毎に差があるが、ウインドシールドガラスへのプライマ液及びウレタン接着剤の塗布については全ラインでロボット化されている。また、ホットブチル塗布、シーラ塗布といった類似作業も多く応用効果も高いことから接着剤塗布作業に特化した自動プログラミングモジュールの開発を行った。

6.1 接着剤塗布作業

三次元自由曲面に成形されたウインドシールドガラスへの接着剤塗布は図2に示すように厳しい塗布精度が要求されている。(図3にこの工程のシミュレーション画面を示す)

その作業結果が製品品質(水漏れ等)に大きな影響を与えるため、品質確保のため早くからロボット化を進め、当社においては全ラインでロボット化を実現している。しかし、自由曲面に対しての塗布ガンの位置、角度を全動作軌跡で一定に保たなければならないため、ティーチングに非常に高いスキルと多くの時間が必要となる。

6.2 自動プログラミング

接着剤塗布作業では、ガラス面に対して一定角度で且つダムの輪郭線に沿ってなめらかな軌跡を生成する必要がある。CRT画面上で目視によって角度、位置ズレ等を確認するのは困難であり、CADデータから教示点を自動生成する機能が必要となる。

本モジュールでは、ダムの輪郭線とガラス面をマウスピックするだけで教示点、動作パス、ロボットプログラムに至るまで自動生成する。

6.3 教示点生成

教示点が多ければ位置精度が向上するが動作時間が遅くなり、教示点が少なければその逆となる。従って品質、サイクルタイム両面から最適な教示

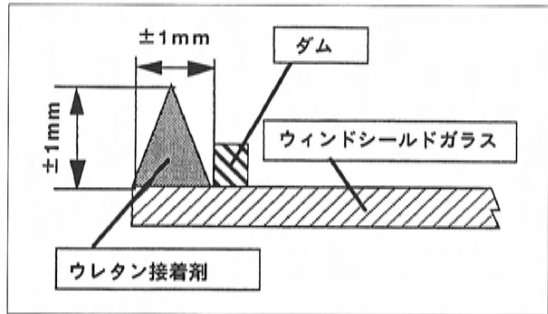


図2 接着剤塗布

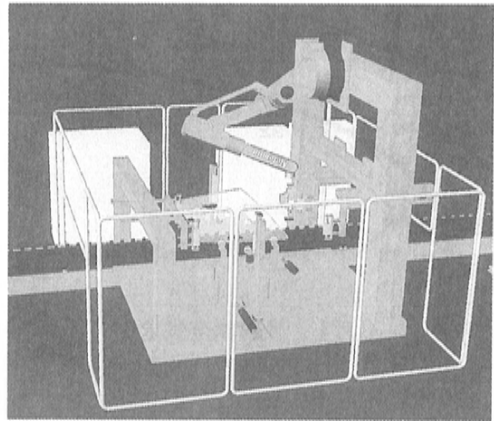


図3 OLP画面

点を生成しなければならない。

そこで、後述のようなロジックでダム輪郭線の曲率にあわせてピッチを変えながら教示点を生成する。

ダム輪郭線は多くのセグメントで構成されている。図4に示すようにセグメント1の始点a1と終点a2を結んだ直線a1a2とセグメント1の距離xを直線a1a2の midpoint cで計算し、あらかじめ設定されたTolerance Tと比較する。そして、

$x < T$ ならば直線a1a2とc'の距離x'を

$x > T$ ならば直線a1cとc'の距離x''を計算し、Tを越えない最大の距離xとなる点cに教示点を生成する。

この教示点の姿勢角は、図5のようにデフォルトではガラス面直方向にツールフレームのZ軸、ダム輪郭線法線方向にX軸をとるが、環境設定の変更により軸方向、チルト、オフセット等が設定できる。

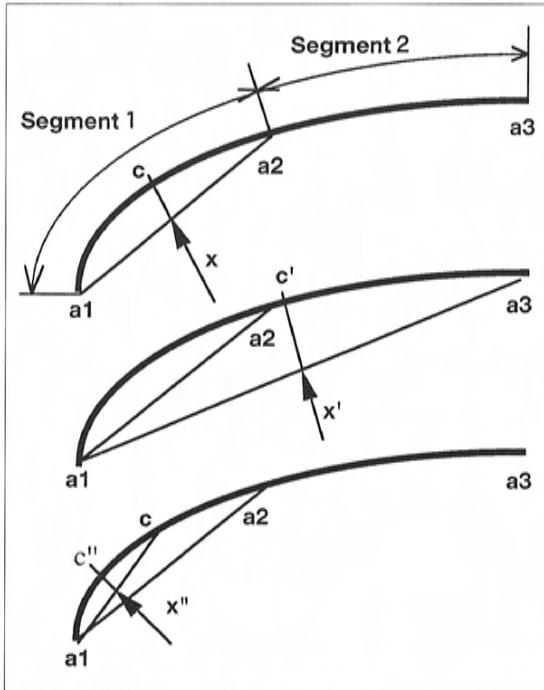


図4 軌跡精度設定

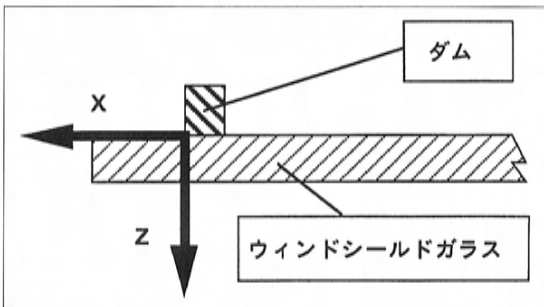


図5 角度調整

6.4 プログラム生成

前項で生成された教示点を生成順に動作パスとしてグルーピングし、ロボット制御言語に変換する。(図6参照)

エディットメニューでは、パスの分割、教示点の追加、姿勢角の調整等がマウスピックできるようにしてあり、調整、シミュレーション、ロボット制御言語の再生成を繰り返し、ロボットプログラムを作成する。

7. 結果と課題

最初のライントライアル以来徐々にライン適応

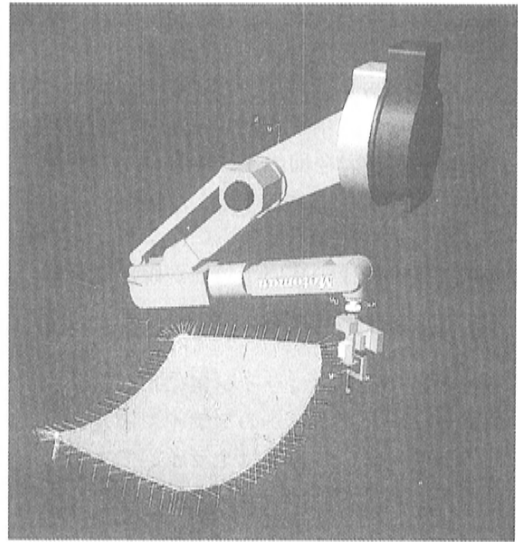


図6 教示点生成

を行ってきた。当初の狙いであった“初心者でもティーチングできる”という点はほぼ達成され、今ではロボット操作の経験のない新入社員でもすぐに量産用のティーチングを行うことができるようになっている。

また、これまでの実績としては全てラインで行っていたときに比べて作業時間も30%~40%の削減を実現することができた。

ただし、当初の狙いの70%削減は達成されておらず、その最大の原因は位置精度の悪さにある。

CADデータから生成したシミュレーションと実機の間には製作誤差、据えつけ誤差等の誤差要因がある。現状のキャリブレーションアルゴリズム(3点補正等)では3~5mm程度が限界であり、新たなキャリブレーション手法を開発する必要がある。

8. 将来展望

今回は組立領域へのOLP適用の第1段階として本稿の取り組みを行った。無論これだけでは十分ではなく、今後はより一般的な組立作業であるハンドリングの自動プログラミング、すなわち干渉回避アルゴリズムによる動作経路自動生成が必要となる。

また、ロボットモデルについても、これまでのように各機種毎に制御モデルを時間をかけてイン

プリメントするのではなく、ロボットコントローラ、シミュレータ間の標準中間インターフェースでの対応も必要である。

この他にも、マルチベンダ環境での複数ロボットによるマルチタスクの実現等課題も多く、ユーザの立場から重点思考で開発を継続する。

これまでの自動機、ロボットに限定したシステムの適用範囲は、組立作業のわずか5～10%程度であり、残りの90～95%はまだ人手作業である。

近年の流動的な市場動向、多様な価値観に対応する機動的な新車展開を可能とするためには、人手作業に関するシミュレーション手法の開発が不可欠となる。

これまで培ってきたロボットシミュレーション技術とエルゴノミクスを融合させたより柔軟なシミュレーションシステムによって、従来試作車の組立を通じて行ってきた車両構造、組み付け性といった評価活動を可能とするVirtual Prototyping Systemの登場が望まれる。

■ 著 者 ■



前西博昭

論文・解説

22

衝突回避システムを搭載した「ASV研究車」の紹介 Introduction to an Advanced Safety Vehicle with Accident Avoidance Systems

奥田 憲一^{*1} 佛圓 哲朗^{*2} 土井 歩^{*3}
Ken-ichi Okuda Tetsuro Butsuen Ayumu Doi
新部 忠幸^{*4} 疋田 尚之^{*5} 池田 利文^{*6}
Tadayuki Niibe Naoyuki Hikida Toshifumi Ikeda

要 旨

事故の予防を狙った安全技術の開発において、運輸省、学識経験者および自動車メーカ（9社）により、先進のエレクトロニクス技術を応用した先進安全自動車（ASV, Advanced Safety Vehicle）の研究開発が進められている。マツダでは、ドライバの「うっかりミス」に着目し、万一ドライバがミスを行っても危険な状況を未然に防ぐ衝突回避技術を織り込んだマツダASV研究車の開発を行ってきた。本論文では、事故予防の考え方と今回開発したマツダASV研究車に搭載している衝突回避技術について紹介する。

Abstract

To help prevent traffic accidents, a group of auto manufacturers, research institutes and the Ministry of Transport has been studying an advanced safety vehicle (ASV) which employs rapidly improved electronic control technology. As part of this endeavor, we have developed a Mazda ASV taking into careless mental lapses made by drivers. This paper introduces the concept of accident prevention and the accident avoidance technologies we developed and installed on Mazda ASV.

1. はじめに

自動車は日常生活に欠かせない必需品になってきたが、その反面、自動車事故の増加や渋滞による交通効率の低下などを引き起こしている。特に、国内では交通事故による死者が昭和63年以降連続して1万人を越えており、車の安全性に対する要求が高まるとともに安全技術の向上が自動車メーカの社会的な責務となっている。当社においても衝突エネルギー吸収構造やエアバッグなど「安全な車作り」に積極的に取り組んできた。一方、運輸省、学識経験者および自動車メーカ（9社）により、先進のエレクトロニクス技術を応用した先進安全自動車（ASV, Advanced Safety Vehicle）の研究開発⁽¹⁾が進められている。

マツダでは、万一の事故に備える衝突安全性を追求する一方、交通事故の主要原因であるドライバ



図1 マツダASV研究車

の「うっかりミス」に着目した「人間を中心とした予防安全技術」の追求に、乗員だけでなく歩行者保護の観点も合わせて注力している。この具体例として、事故防止に貢献する衝突回避技術を織り込んだマツダASV研究車（図1）の開発を行ってきた。これらの技術は、人間のうっかりミスによる事故を防止するために警報を発したり、状況

* 1～5 技術研究所 * 6 電子技術開発部

によっては車両を自動的に制御するものである。インフラ整備を含めたこれらの技術を全ての車両に搭載することが出来れば、事故を大幅に減少できると考えている。

以下に今回開発したマツダASV研究車に搭載している衝突回避技術の概要とその基本となる事故予防の考え方について紹介する。

2. 事故予防の基本的な考え方

今日の車においては、万一事故を起こした場合でも乗員の被害ができるだけ小さくなるように車側で衝突のエネルギーを吸収したり、シートベルトやエアバッグなどによって乗員を保護することが一般的になってきた。これらの効果は非常に大きいですが、これらで解決できない問題もある。一つは事故の数が減らないこと、二つ目は基本的に大きい車と小さい車、更には歩行者のような交通弱者との間で本来平等であるべき安全が不平等になっていることである。つまり、本質的に事故をなくしていくためには、事故の起きる前から何らかの手を打っていく事故予防が重要になる。

事故調査によるとその要因の約70%はドライバの認知・判断ミス、つまり「うっかりミス」によって起こっている。(図2) これに対して、我々は車とドライバが協調してミスをさせない(予防安全)、あるいはミスをした後もバックアップする(衝突回避)ことによる事故予防を目指している。

また、交通事故死亡者のほぼ四人に一人は道路横断中の歩行者であり、そのうち約7割は夜間に発生している。欧米先進諸国に比べ歩行者死亡事故が多いという日本の道路交通問題の特徴を考慮して、乗員保護だけでなく歩行者保護に注力している。

3. マツダASV研究車に搭載した衝突回避システムの概要と特徴

横断中の歩行者との衝突、車相互の出会い頭の衝突や正面衝突、道路構造物への衝突は、ドライバがもう少し早く歩行者に気づいたり車線からはみ出したりしなければ、あるいは交差点やコーナをもう少し早く認識しスピードを落としていたら防げるものである。マツダではこれまでに、交通事故分析の結果から、図3に示すようにこれらの事故の状況を4つに分類し、それぞれの状況に対

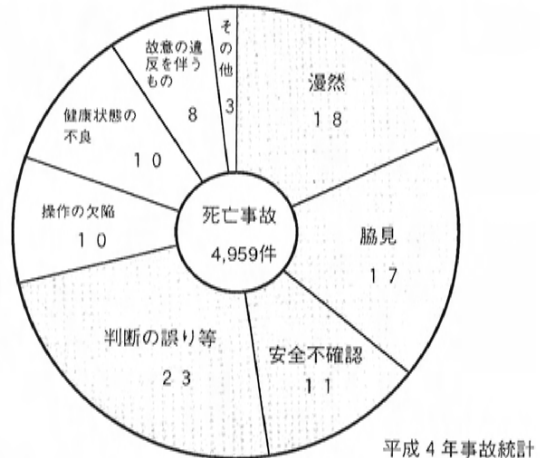
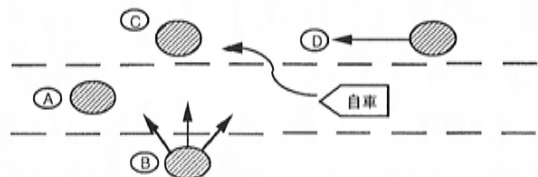


図2 ドライバの事故要因の分析結果

応した衝突回避システムを提案してきた。(2)~(5)

マツダASV研究車には図4で示すように、走行環境情報を検出するセンサ、車両情報を読み取るセンサ、これらセンサからの情報をもとに衝突の危険を判断するコントロールユニット、危険をドライバに知らせる警報装置そして危険を回避するためのブレーキ、スロットルやステアリングのアクチュエータを搭載している。またコントロールユニット間の情報伝達には、当社が1994年に開発した多重通信用カスタムIC⁽⁶⁾(Advanced PALM-NET方式)を用いた高速車内LANを採用している。これにより、ワイヤハーネスを削減しシステムの搭載性を向上させるとともに、フェイルセーフ/



| 衝突パターン | 対応システム |
|-----------------|---------------------------------|
| (A) 走行路上障害物への衝突 | ・路上障害物衝突防止システム ・横断中歩行者警報システム |
| (B) 側方接近物への衝突 | ・交差点停止システム |
| (C) 走行路逸脱による衝突 | ・キーブレーンシステム ・コーナ進入減速システム |
| (D) 後側方接近物への衝突 | ・後側方警報システム |

図3 事故形態の分類と対応システム

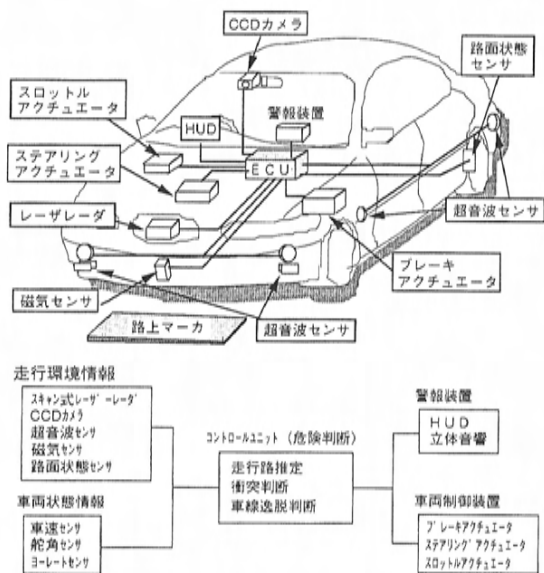


図4 マツダASV研究車のシステム構成

故障診断機能を充実させ信頼性の向上を図っている。インフラ整備に関しては、コーナを通過する際の安全速度及びコーナや交差点までの距離情報を車両側が検知できるようにするための路上マーカの設置を提案している。

マツダASV研究車に搭載している技術の特徴は、第一に「人間中心の考え方」に基づき、乗員保護のみならず歩行者保護に注力して開発に取り組んでいることである。図5に示すように夜間において黒っぽい服を着た歩行者は、ロービームのヘッドライトでは車両前方32m位までの範囲でしか視認することができない。これに対して、車両が60km/hで走行していると路面がウェットの状態であれば、自動的に制動しても停止距離が45m必要である。(路面摩擦係数:0.4, 認識処理時間:0.5秒と仮定)そこで、このような車両と歩行者の衝突事故を可能な限り未然に防ぐために、45m以上先の歩行者を検出できる高性能スキャン式レーザーレーダーと横断中の歩行者の存在を認識する技術を開発した。このシステムは走行路上の物体への衝突だけでなく、走行路に進入しつつある横断中の歩行者に対する事故まで防止することに特徴がある。

第二は、実際の交通流におけるドライバの運転挙動の解析⁽⁸⁾やドライビングシミュレータを用い

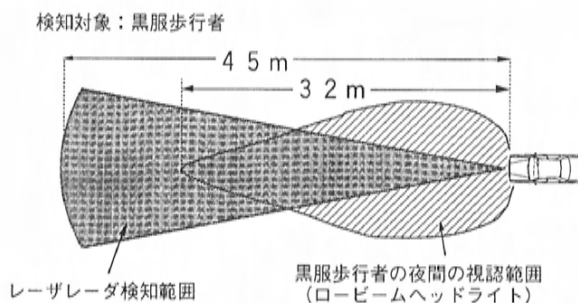


図5 歩行者に対する検知性能

て交通事故時の状況を再現⁽⁹⁾し、人-車-環境における事故メカニズムの究明と事故を防止するシステムの効果検証などを行っていることである。「うっかりミス」により危険な状態になったことをできるだけ早くドライバに知らせ、ドライバ自らがあわてることなく、事故回避操作に移るための車と人の接点であるヒューマンインターフェースの研究を行い、立体的方向性を持った音による警報を提案している。例えば、車線変更開始時に後方からのクラクションと同様の音を発するなど、ドライバが自らの経験を基に反射的に反応できるようにヒューマンインターフェースの設計を行っている。

4. 個別搭載システムの概要

4.1 路上障害物衝突防止システム (図6)

走行路上の前方車両や歩行者を検知し、衝突を防止することを狙ったシステムであり、直線路だけでなく、曲線路を走行中でも確実に路上の障害物が検知できる特徴を持っている。車両状態量による走行路推定に加え、CCDカメラで前方の走行路を認識し、スキャン式レーザーレーダーで走行路上の車両や歩行者との距離を測定する。前方車両や歩行者に近づき衝突の危険が生じると警報で注意を促し、ドライバが減速しない場合は自動的にブレーキが作動する。このシステムには、走行路上に移動してくる歩行者の存在を推定する認識技術を付加している。その結果、走行路に進入しつつある横断歩行者についても対応でき、歩行者事故の低減を図ることができる。

4.2 横断中歩行者警報システム (図7)

交差点において右左折を行う際、横断中の歩行

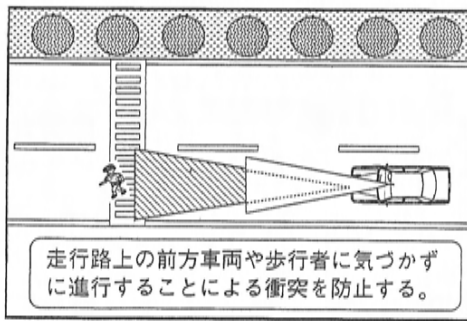


図6 路上障害物衝突防止システム

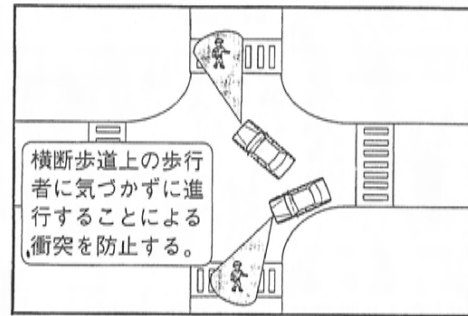


図7 横断中歩行者警報システム

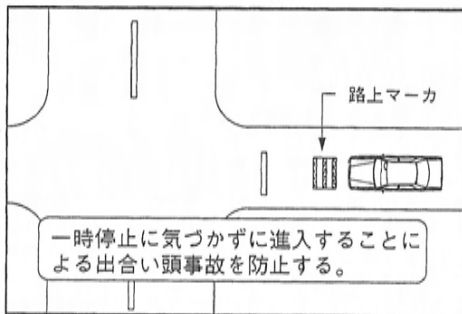


図8 交差点停止システム

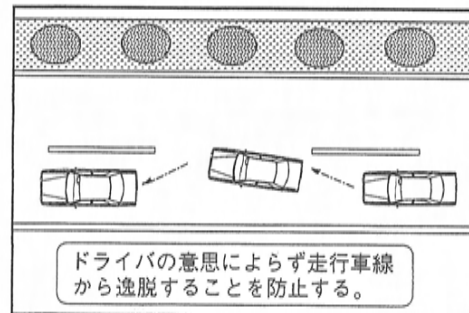


図9 キープレーンシステム

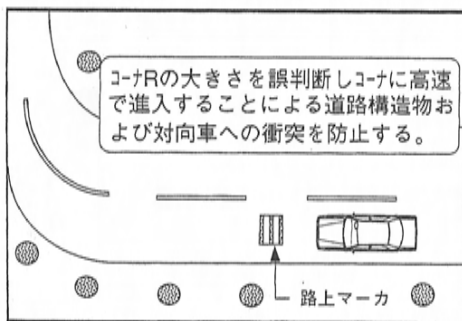


図10 コーナ進入減速システム

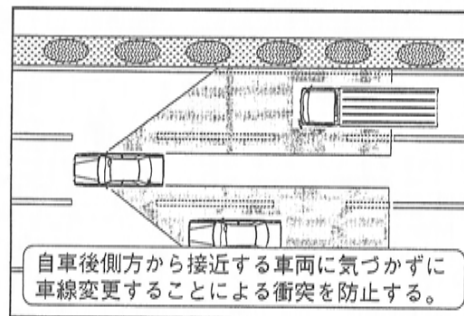


図11 後側方警報システム

者や自転車との衝突事故を防止することを目的としている。交差点の右左折時に、フロントバンパに埋め込んだ超音波センサが、車両前方の歩行者及び自転車を検知すると音声による警報で注意を促す機能を有している。

4.3 交差点停止システム (図8)

信号がなく一時停止を指示されている交差点で、車両が停止せずに交差点内に進入することを防止することを目的としている。磁気センサで路上マーカから停止線までの距離を読み取り、ドライバーが停止せずに交差点内に進入しようとする音声による警報で注意を促す。もしドライバーが停

止しない場合は自動的にブレーキが作動して停止する機能を有している。

4.4 キープレーンシステム (図9)

車両がドライバーの意思によらず走行路から逸脱しそうな場合、自動的に操舵を行い逸脱を防止することを目的としている。CCDカメラで走行路の白線を認識し、ドライバーが方向指示器を出さずに車線から逸脱しようとする擬音 (ゴトゴト音) による警報でドライバーに素早い回避操作を促す。ドライバーがもとの車線に車両を戻さない場合は、自動的に操舵し逸脱を防止する機能を有している。このシステムにより、対向車及び道路構造物

への衝突を防ぐとともにドライバの居眠り運転防止にも効果があることが確認できた。

4.5 コーナ進入減速システム (図10)

コーナでのスピードの出し過ぎによる道路構造物及び対向車への衝突を防止することを目的としている。車両がコーナに接近するときに、路上マーカーからコーナを通過するための安全速度及びコーナ開始点までの距離を読み取り、車速が安全速度を越えている場合には音声による警報で注意を促す。もしドライバが減速しない場合には自動的にブレーキが作動し、安全にコーナに進入できる速度まで減速できる機能を有している。

4.6 後側方警報システム (図11)

車線変更時の衝突や左折時の巻き込みを防止することを目的としている。車体側面に組み込んだ超音波センサが後側方の車両を検知し、ドライバが車両に気づかずに、車線変更または右左折を行うとして方向指示器を操作すると、クラクションの擬音を用いた警報でドライバに素早い回避操作を促す機能を有している。

5. おわりに

マツダは「人間は本来ミスをするものだ」ということを前提とした「人間を中心とした先進の事故予防技術」の追求を行い、マツダASV研究車を開発した。

この研究車に搭載した技術を実用化していくためには認識・判断技術やシステムの信頼性の向上、人-車の相互干渉、低コスト化といった技術課題だけでなく、インフラの整備、技術の標準化、ユーザーアクセプタンス、など社会的な課題も多い。しかし、警報システムなど今回開発したシステムの一部はすでに実用化段階に入っており、急ピッチでこれらの技術を実用化していくことが自動車メーカーに課せられた責務である。

今後、これらの技術を順次実用化していきながら、更に車と人間そして道路環境と人間の接点であるヒューマンインターフェースを充実させる研究を行い、「安全で安心」な車作りを目指していく。

参考文献

- (1)中島：21世紀に向けた先進安全自動車 (ASV) 研究開発の推進，自動車技術，Vol.47, No.12,

(1993)

- (2)石川他：追突防止用自動ブレーキシステムの開発，マツダ技報，No.12 (1994)
- (3)Doi, et. al, 'Development of a Rear-end Collision Avoidance System with Automatic Brake Control' JSAE Review Vol.15 No.4 (1994), p.335-340
- (4)Butsuen, et. al, 'Development of a Collision Avoidance System with Automatic Brake Control' First World Congress on ATT & IVHS (1994)
- (5)新部他：自動車の車線逸脱防止システム，自技会前刷集953 (1995), p.53-56
- (6)檜皮他：次世代多重通信コントローラの開発，マツダ技報，No.12 (1994)
- (7)Adachi, et. al, 'Application of Real Time Simulation to the Lane-Keeping System' VNIS '94
- (8)山本他：レーザレーダデータを用いた進行路推定アルゴリズムの開発，自技会前刷集 955 (1995), p.65-68
- (9)末富他：ドライビング・シミュレータにおける運動システムの緊急回避操作再現への効果，自技会前刷集955 (1995), p.1-4

■ 著 者 ■



奥田 憲一



佛圓 哲朗



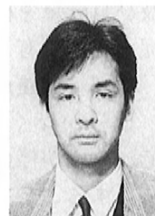
土井 歩



新部 忠幸



正田 尚之



池田 利文

論文・解説

23

ASV開発へのドライビング・シミュレータの応用 Application of a Driving Simulator to the Development of an Advanced Safety Vehicle

末 富 隆 雅*¹ 木 戸 孝 二*²
Takamasa Suetomi Koji Kido

要 旨

ASV衝突回避技術の開発においては、事故の発生状況に近い条件での運転者の事故回避操作を評価しなければならず、このような危険を伴う実車での実施が困難なテストをするのにドライビング・シミュレータの活用が期待されている。本稿では、大振幅の並動装置を持つ運動装置により模擬される減速感により、実交通と同様のブレーキ操作の再現が可能になることを検証し、次に、このシミュレータを用いて、ASVプロジェクトで開発中の路上障害物衝突防止システムとキープレーンシステムによる事故予防の効果を評価した。

Abstract

To develop accident avoidance systems for an Advanced Safety Vehicle(ASV), driver's collision avoidance behavior should be investigated under conditions that are similar to those of actual accidents. Because such experiments are difficult to actually conduct, however, driving simulators are considered to be an essential testing method. In this research, it was first validated that a driving simulator with a long stroke of longitudinal motion is effective in reproducing driver's emergency braking behavior. Next, simulator experiments were carried out to estimate the accident reduction effects of a collision warning system and a lane keeping system which are being developed in an ASV project.

1. はじめに

年間1万人以上の交通事故死亡者が発生しており、運輸省主導の下に先進安全自動車(ASV)の開発が行われている。ASVは、事故を未然に防ぐ予防安全技術と衝突回避技術、衝突時の被害軽減技術、衝突後の被害拡大防止技術からなっている。このうち、衝突回避技術は、センサによる周囲の危険状況を検知することで、運転者がうっかり・ぼんやりにより適切な操作を行わなかった時に、警報を発生して運転者に適切な回避操作を促し、更に、運転者による事故回避が不可能なときは自動的にブレーキやステアリングを制御し、事故を回避するものである。この中で警報システムの開発においては、障害物等の周囲の状況を検知し危険を判断するセンシング技術とともに、運転者に適切な回避操作を促すヒューマン・インタフェ

ース技術が重要である。警報ヒューマン・インタフェースの最適化のためには図1に示すように、(1)事故の低減効果(警報システムにより直接的に防ぐことが可能な事故の量)、(2)運転行動の変化(警報システムがあることによって運転者が過度に安心

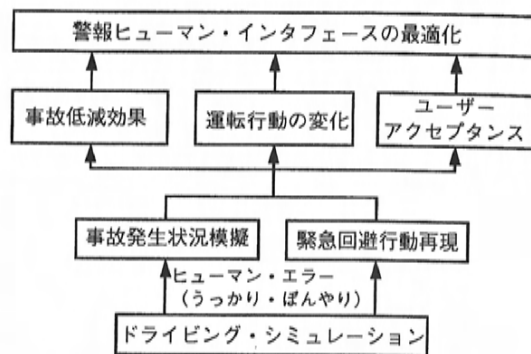


図1 ASV開発へのシミュレータの応用

* 1, 2 技術研究所

し、油断したり、かえって危険な運転をすることがないか)、(3)ユーザー・アクセプタンス(警報音が煩わしくて、運転者が使用しなくなる等の問題がなく、運転者が積極的に使うシステムになっているか)、を評価する必要がある。

このような評価により、最適な警報ヒューマン・インタフェースを開発するためには、運転者のうっかり・ぼんやりミスなどの危険状況下で、運転者が危険を回避する反応を調べる必要があり、このように危険で実路ではテストするのが困難な実験にドライビング・シミュレータの活用が期待されている。

しかし、従来のシミュレータでは危険状況での切迫感や緊急操作の再現性にまだ課題があり、マツダでは、大規模モーション・システムを持つドライビング・シミュレータを開発し⁽¹⁾⁽²⁾、この課題の解決を検討してきた。

本稿では、マツダ・ドライビング・シミュレータの概要と、これを用いてのASVプロジェクトでの、うっかり時の路上障害物衝突防止システムによる事故回避の反応評価とぼんやり時のキープレーンシステムによる事故回避効果について報告する。

2. ドライビング・シミュレータ

2.1 ドライビング・シミュレータの構成

ドライビング・シミュレータは、図2に示すように、車両の運動や運転シナリオを計算するコンピュータ、運動感覚を発生させる大振幅の運動装置、

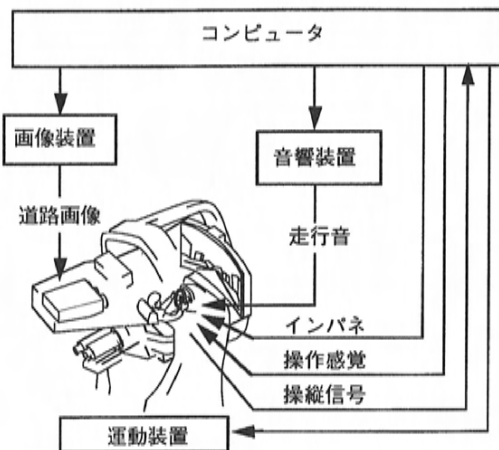


図2 ドライビング・シミュレータの構成

道路画像を生成する画像装置、走行音を発生させる音響装置と可動運転席からなる。ハンドル、アクセル、ブレーキ等の運転者の操縦信号は、コンピュータに入力され車両運動がリアルタイムに計算される。そして、運転シナリオの計算を行い、運動装置、画像装置、音響装置、操作感覚の各サブシステムが運転感覚を模擬する。

2.2 運動装置

図3にマツダ・ドライビング・シミュレータの4自由度運動の構造を示す。可動運転席のロール、ピッチ、ヨーの3軸の回転を制御する回転機構と運転席の水平方向の動きを制御する並動機構からなり、表1に示すような可動範囲を有している。ロール、ピッチは40度まで運転席を傾けることが可能で、0.64Gの疑似加速度を発生させられる。ヨー軸は160度回転できるので、図3に示すような運転者の前後方向か、横方向に水平加速度を発生させることができる。並動のストロークは7.2mで、0.8Gまでの加速度を発生できる。

前後加速度は、図4に示すように、初期の加速度を並動で発生させた後、定常的加速度はピッチを傾けることにより重力を用いて模擬的に与える。

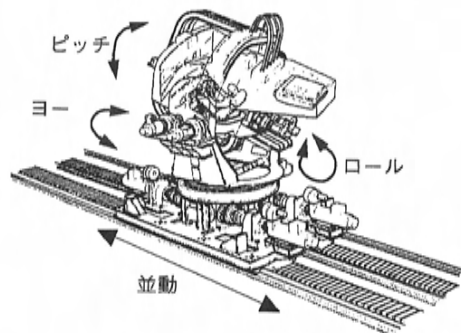


図3 運動装置の構造

表1 運動装置の可動範囲

| 運動軸 | 可動範囲 |
|-----|----------|
| ロール | +/- 40° |
| ピッチ | +/- 40° |
| ヨー | +/- 160° |
| 並動 | +/- 3.6m |

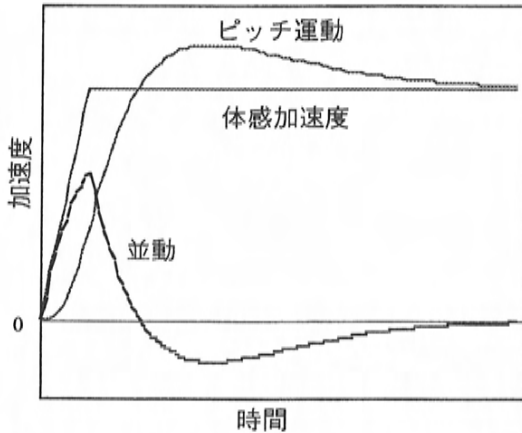


図4 並動とピッチを用いての前後加速度の模擬

2.3 画像装置

道路画像は運転者の前方1.2mの位置に設置された80インチのスクリーンに投影される。運転者の視点からの視野は水平が68度、垂直が上方に20度、下方に14度である。図5に示すようなテクスチャ処理を施した道路や周辺環境がフルカラーで20ミリ秒毎に更新される。

画像装置は、高速での追従走行を模擬するために道路の線形設計や他の車両の制御を行うことができる。路面や車両のテクスチャにより、運転者は距離感や速度感がつかみやすくなる。また、前方を走る車のブレーキランプの点灯も可能である。背景の山や空も車両の動きに従って回転する。霧を発生させることも可能であり、霧の色を変えることにより、夜間走行も模擬することができる。

2.4 音響装置

速度や加速度を感じるのに聴覚再現は重要であり、音響環境を模擬するために、実路で収録したエンジン、道路、風切り音等の走行音をエンジン

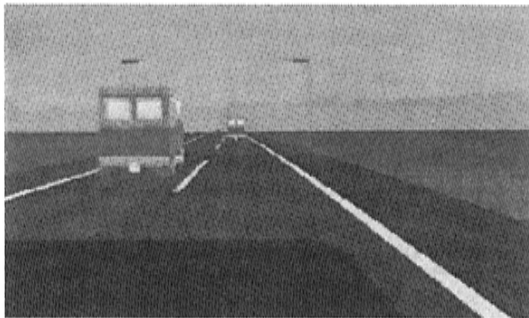


図5 道路画像

回転数、車速等の車両走行状態に応じて加工して再生する。また、様々な警報音を発生させることもできる。

3. シミュレータでの減速挙動の検証

まず最初に、シミュレータでの緊急操作再現性の課題解決として、大振幅4自由度運動装置により、運転者の行う減速操作が実路と同様になされていることを検証した結果を示す⁽³⁾。

3.1 運動模擬自由度と運転者の減速挙動

運動模擬を忠実にすることで、運転者の安定な減速操作が行えることを検証する実験を行った。運転者は、80km/hで走行中に、前方に停止している車両に気づき、衝突しないように停止する。100mまで近づいた時に車両を発見することができるよう道路画像には霧を発生させた。運転者はこの走行を、運動模擬なし、ロール、ピッチ、ヨーの3自由度のみの運動模擬、前後の並動を加えた4自由度の3つの運動模擬条件で、それぞれ10回行った。一般的には可動範囲の制限から、加速度を模擬するのに、計算上の加速度の30~40%を発生させることが行われているが、ここでは、このスケールファクタは100%とした。

ブレーキ時には、小さい減速度で一定に減速することで車両を安定に保つことができるので、発生減速度の大きさとその変化で運動感覚のフィードバックの効果を比較する。図6に、それぞれの運動条件で、ブレーキ踏み始めを起点として10回の走行での減速度を平均したものを示す。運動のないときは、運転者はブレーキを踏んだ段階では減速度が適切かどうか分からず、接近してから不足に気づいて踏み増すことになり、過度の減速操作を行っている。次に、3自由度ではピッチだけ

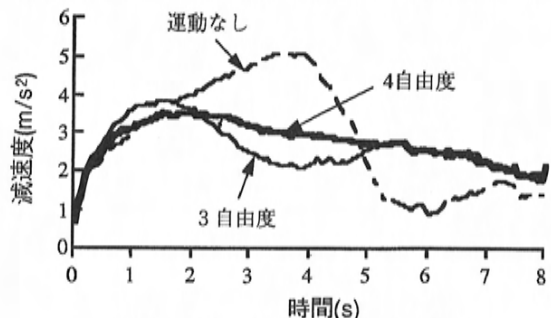


図6 運動模擬条件と減速挙動

での模擬では遅れて加速度を感じるために、大きめに減速した後、減速度を体感してから緩めるオーバーシュートの傾向を示す。最後に、4自由度ではブレーキを踏むと直ぐに減速の大きさを知ることが可能となるので、一定の減速度で停止することができ、発生する減速度も小さい。このように、大振幅の並動とピッチを合わせて前後加速度を模擬することで、安定した減速操作の再現が可能になったことが検証できた。

3.2 ブレーキ操作タイミングの実事との比較

次に、このように並動を用いて減速度を模擬することによって、実走行と同じ減速挙動が行われることを追従走行時のブレーキ操作タイミングで検証する。図7に、ブレーキ操作を行った車間距離を、20km/h毎に車速で区切って平均して、シミュレータ走行と首都高走行とテストコース走行で比較する。図に示すように、実走行と同様に車速が大きくなるに従って、ブレーキを踏む車間距離も大きくなっており、高速ではよく一致している。低速では短く、中速では長くなっているが、これは周囲の交通流の影響と考えられる。このように、並動を用いた加速度模擬により実走行と同じ減速挙動が再現できていることが確認できた。

4. 路上障害物衝突防止システム に対する反応の評価

4.1 路上障害物衝突防止システム

事故総件数の24%を追突事故が占めており、これを防止するために、レーザレーダを用いて前方

を走行する車両との車間距離を検出し、車間距離が短いときに警報を発生させて運転者に注意を促す車間距離警報装置や障害物警報装置が市販されているが、事故発生状況で、このシステムが警報を発したときの運転者の反応や、事故の低減の効果については十分に検討されていない。そこで、シミュレータで追突事故発生状況を再現し、運転者の反応を調べた。

4.2 実験方法

実交通での追突事故の多くは、運転者の脇見やぼんやりが原因となっており、標識やスイッチの操作に気を取られている間に、前方を走行している車両が偶発的に急に減速を行ったときに事故が発生している。そこで、障害物警報システムの衝突回避に及ぼす効果を調べるシミュレータ実験では、運転中に脇見を誘発させるようなスイッチ操作を行わせる副次タスクを被験者に課し、これと同期して先行車を減速させることで、追突事故発生状況を再現した。ここでの副次タスクとしては、インパネの5ヶ所に設置したLEDランプが点灯したときに、そのランプを即座に押すように指示した。運転者は、2車線道路を、80km/h～100km/hで走行する車両に追従して走行する。

最初に、シミュレータでの走行や車両特性に慣れるために約10分間走行したあとで、LEDランプの点灯による脇見の誘導に同期して、前車の急減速や隣車線からの割込が行われる。

被験者は、19才から26才までの運転免許を有する45名の男性である。

この実験で用いた障害物警報は、下記の式で示す警報車間距離 L_0 よりも実際の車間距離が小さくなったときに警報が発生する。

$$L_0 = \frac{V_f^2}{2\alpha_f} - \frac{V_l^2}{2\alpha_l} + V_f \cdot t_1$$

ここで、

V_f ：自車車速

V_l ：前車車速

であり、パラメータは、

α_f ：想定自車減速度（＝0.6G）

α_l ：想定前車減速度（＝0.8G）

t_1 ：余裕時間（＝1.0s）

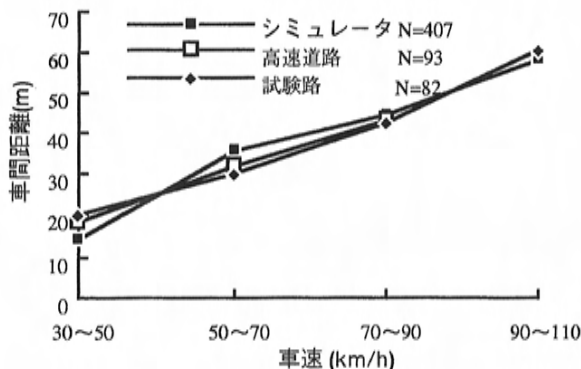


図7 ブレーキ操作タイミングの実事との比較

と設定した。

4.3 実験結果

(1) ブレーキ反応

被験者が脇見をすると同時に、前車が100km/hから30km/hまで0.8Gで減速した時に、衝突を回避しようとした被験者のブレーキ挙動の例を図8に示す。この例では、前車の減速から約2秒遅れてフルブレーキをしているが、車間距離が40mと接近して走行していたため、間に合わずに衝突している。

前車が減速を開始してから被験者がブレーキを

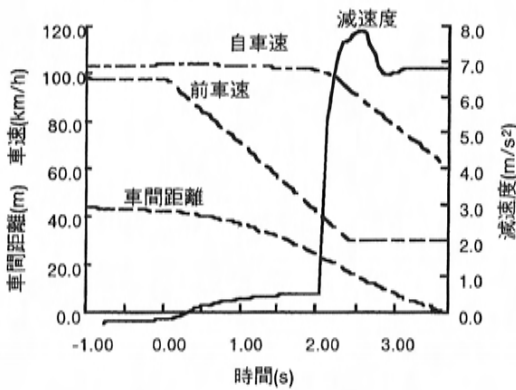


図8 急減速に対するブレーキ反応

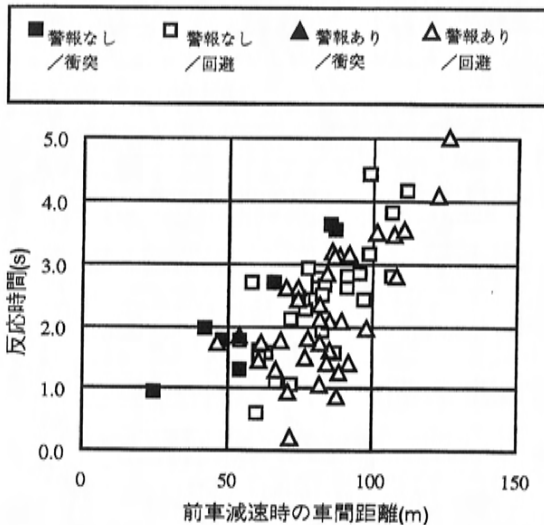


図9 ブレーキ反応時間
(初速度100km/h, 前車減速度0.8G)

踏み始めるまでの反応時間を、前車が減速を開始したときの車間距離に対して、図9に示す。ここでは、ブレーキ操作を行わずにステアリングで回避した場合や、ブレーキより先にステアリング操作した場合を除いている。前車減速時の車間距離が短く、反応が遅いときに衝突している。そして、警報のある時には、反応時間が短くなり、衝突した数も少なくなっている。

ここで、警報のない場合とある場合でブレーキの反応遅れ時間の平均値を比較すると、図10に示すように、警報があると警報がない場合に較べて、反応時間が平均で0.5秒早くなっており、これは99%の信頼度で有意な差である。なお、図中のエラーバーは標準偏差を表す。

(2) 衝突回数

警報のない場合とある場合で、前車に衝突した

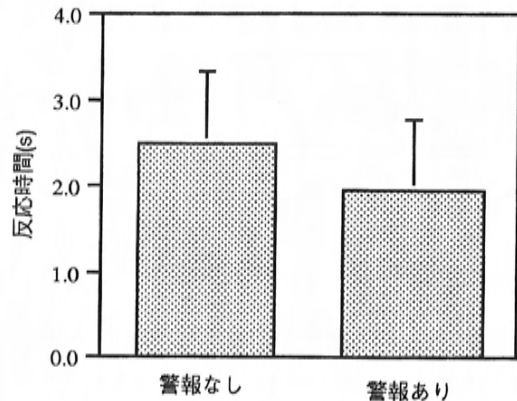


図10 平均ブレーキ反応時間

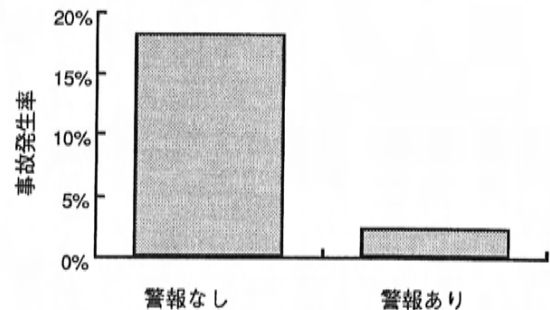


図11 衝突発生回数
(初速度100km/h, 前車減速度0.8G)

被験者の割合を比較して図11に示す。脇見という運転者の不安全行動と急減速という危険状況を同時に起こすことで、警報がないときには、18%もの被験者が衝突している。一方、警報がある場合では、衝突を起こした被験者はわずか2%に減っており、障害物警報は追突事故の回避に十分な効果があることが確認できた。(信頼度95%)。

5. キープレーンシステムの効果検証

5.1 キープレーンシステム

高速自動車国道における事故の4割は、走行車線を逸脱することによる防護柵や中央分離帯への衝突といった車両単独事故であり、このような事故を防止するためのキープレーンシステムの開発を行っている⁽⁴⁾。このシステムはCCDカメラで車両前方の白線を検出し、その白線と車両の位置関係から危険判断を行い、運転者が車線変更等の意識なしに車線を逸脱しようとしていると判断したときに警報を発し、注意を促す。さらに運転者の対応がないときには自動操舵アクチュエータにより車両を車線中心に戻すことで危険回避を行うものである。

このシステムの効果を確かめるためには居眠り、ぼんやりといった覚醒低下状態で高速運転を行わなければならない。実走行でのテストは困難であることから、ドライビング・シミュレータを用いて覚醒低下状態を誘発して、キープレーンシステムの有効性の検証を行った。

5.2 低覚醒運転の誘導

まず、短時間の実験で運転者の覚醒度を低下させ、キープレーンシステムの効果が検証できるように、ドライビング・シミュレータでの覚醒低下状態の誘導を試みた。夜間、単調な運転を長時間行っていると居眠りしやすいと言われており、シ

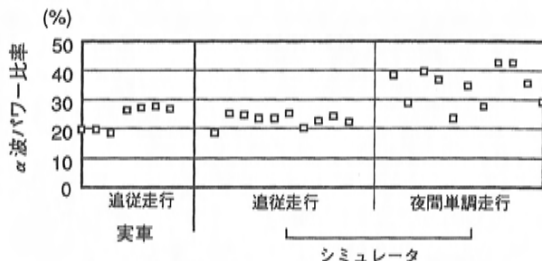


図12 走行条件と覚醒度

ミュレータでも、夜間の単調な道路画像とし、周囲の交通もない状況でのオートクルーズを用いた100km/hの連続走行を行った。図12に脳波の α 波帯域(8~13Hz)の周波数パワーの割合でシミュレータでの走行条件と覚醒度(α 波パワー比率が大きいと覚醒度が低下したことを示す。)を比較する。夜間単調走行では、 α 波パワー比率は20~45%であるが、一方、車速を変化させる先行車に追従する走行では、20~30%であった。実際に高速道路を走行した場合も20~30%であり、今回設定した夜間単調走行の条件が覚醒度低下を促進していることが確認できた。

5.3 システムの有効性

運転中に覚醒低下した場合に、キープレーンシステムによる警報が事故防止に有効であることを、前述の低覚醒に誘導する夜間単調走行を60分間行って検証した。被験者は15名である。まず、警報による覚醒維持効果を検討する。走行中の α 波パワー比率の分布を警報なしと警報ありに分けて図13に示す。このように、警報があるときは警報がないときに比べて、 α 波パワー比率が小さくなっており、覚醒度が維持されていることが分かる。

また、図14には警報のない場合とある場合で60分間の走行中に車線を逸脱した回数を示す。タイヤが白線を踏む車輪逸脱と、車両中心が白線を越える重心逸脱について示す。車輪逸脱で67%、重心逸脱で81%の逸脱の低減効果が確認できた。

このように、現実の居眠り逸脱事故を模擬した実験において、キープレーンシステムの車線逸脱警報により逸脱が大幅に低減できることが検証できた。

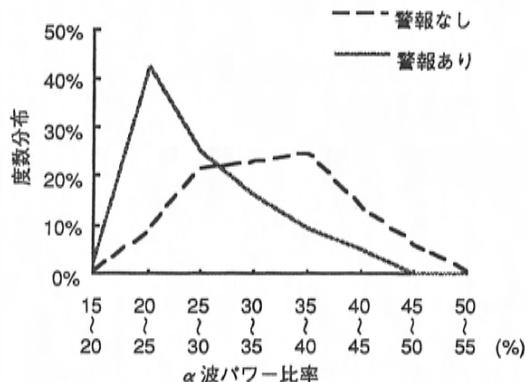


図13 警報による覚醒度維持の効果

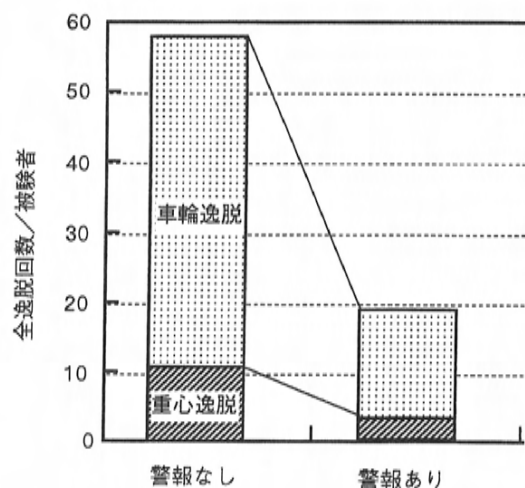


図14 車線逸脱警報の評価

6. おわりに

以上述べてきたように、ドライビング・シミュレータを用いることで事故発生を前提とした走行テストでの一般運転者の事故回避反応の評価が可能になった。今回評価した障害物警報システム、キープレーンシステムとも、運転者の注意が向けられていないときでも警報が発生することで、運転者が適切に反応し事故を回避する可能性が高くなることが確認された。

警報システムは、予期していない運転者が警報を聞いたときに、即座に適切な操作を行える警報である必要がある。特に、ASVのように複数の警報装置が同時に装着されているときには、発生する危険状況と警報音との関連づけが重要となる。また、早い反応を促す一方で耳に煩わしくない音源、音質、音量である必要があり、今後もヒューマン・インタフェースの研究を進めることで、より安全な警報システムの開発を行っていきたいと考えている。

参考文献

- (1)末富他：大振幅モーション・システムをもつドライビング・シミュレータ，自技会前刷集 902 (1990)，p.2.253-2.256
- (2)末富他：ドライビング・シミュレータの運動模擬手法，自技会前刷集 931 (1993)，p.65-68

(3)末富他：ドライビング・シミュレータにおける運動システムの緊急回避操作再現への効果，自技会前刷集 955 (1995)，p.1-4

(4)新部他：自動車の車線逸脱防止システム，自技会前刷集 953 (1995)，p.53-56

■ 著 者 ■



末富隆雅



木戸孝二

論文・解説

24

コンセプトカー「CU-X」の紹介
The Concept Vehicle "CU-X"

水 島 善 夫*¹ 香 川 八洲男*² 守 田 知 史*³
Yoshio Mizushima Yasuo Kagawa Tomofumi Morita
高 棕 健 治*⁴ 上 村 裕 樹*⁵ 多 田 真 治*⁶
Kenji Takamuku Hiroki Uemura Shinji Tada

要 旨

次世代ファミリーカーとしてコンパクトな車体の中に「安心」、「快適」を実現するコンセプトカー「CU-X」を'95モーターショーで提案した。この車は家族4人が種々の局面で快適に使えるユーティリティに富んだパッケージを有し、先進の安全技術を搭載している。本稿では車両の概要、乗降性と着座姿勢を中心とした後席居住空間及び「人間のうっかりミス」による事故を未然に防止する予防安全技術について概説する。

Abstract

At '95 Motor Show, Mazda proposed the CU-X concept vehicle, which was developed as a next generation family car offering security and comfort in a compact body. The vehicle has ample interior space for a comfortable ride for a family of 4 in multiple seating and cargo arrangements, and also features advanced safety technologies for a secure ride. This paper describes an overview of the vehicle, the rear seat space, especially ingress/egress and seating postures, as well as precautionary safety technologies that help prevent traffic accidents caused by driver's attention lapses.

1. はじめに

近年、車社会では「環境保全」、「省資源」への対応が求められ、エンジンの高効率化、低公害化とともに車両のコンパクト化が必要となっている。一方では「快適」、「安全」が車に求められ、これらを両立させる必要がある。この課題に対し、「人間中心の考え方」をもとに開発した車が次世代ファミリーカー「CU-X」である。ここではコンパクトな車体の中に織り込んだ「快適なパッケージ」と「予防安全技術のためのヒューマンインターフェース」を中心にその概要を紹介する。

2. 車両概要

2.1 開発のねらい

車のコンセプトは「安心で快適なスペースユーティリティを有するコンパクトファミリーセン

ン」である。コンパクトな車体の中で通勤、買物等、日常ユースにおける実用性は勿論、長距離移動を伴うレジャー等においても家族4人の快適なユーティリティ空間を有し、また、万一の事故に備えながらもう一方で事故を未然に防ぐ先進の安全技術を搭載している。(表1)

表1 先進安全技術

| | |
|--------------|--|
| 予防安全技術 | リヤ／サイドビューモニターシステム 音声対話ナビゲーションシステム 注意力維持オーディオ インテリジェントクルーズコントロールシステム タイヤ空気圧警報システム |
| 衝突回避技術 | 路上障害物衝突防止システム 後側方警報システム キープレーンシステム コーナー減速システム 交差点停止システム 横断中歩行者警報システム |
| 衝突時の被害軽減技術 | サイドエアバッグシステム |
| 衝突後の災害拡大防止技術 | 自動緊急通報システム |

* 1～5 技術研究所 * 6 デザイン部

表2 主要諸元

| | | |
|-------------|-------------------|----|
| 全長 | 4150 | mm |
| 全幅 | 1695 | mm |
| 全高 | 1530 | mm |
| ホイールベース | 2650 | mm |
| トレッド | 1500/1500 | mm |
| エンジン形式 | ZD-DEL型改直列4気筒DOHC | |
| エンジン出力 | 73.5KW/5500RPM | |
| ミッション | 4EAT | |
| フロントサスペンション | ストラット | |
| リヤサスペンション | ストラット | |
| タイヤ | 165SR15 | |

2.2 主要諸元とデザイン

エンジンは高効率な1.5Lリーンバーンエンジンを搭載、スペース効率の高いFF方式を採用した。主要諸元を表2に示す。



図1 エクステリア



図2 インテリア

エクステリアは機能を優先させながら活動的で若々しさを感じさせるデザインとし、ボンネットからルーフに至るまで連続して流れるようなラインをもつ空気力学的に有利で広い居住空間とユーティリティを実現するワンモーションシルエットを採用した。(図1) インテリアは快適居住空間を表現するためシートクッションやシートバックの

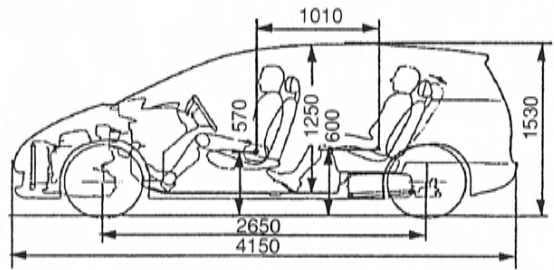


図3 パッケージレイアウト

角を丸くした他、メーターフードを浮かせてメーターパネルに自然光を取り入れる等のデザインにより広々感を実現した。また、緊急度、確認頻度の高いディスプレイ、モニタ類は視線移動の少ないインパネ上部に配置し、安全性を考慮している。(図2)

3. 快適なパッケージ

従来のセダンはスタイリング他から車高を低く抑えているため地面に対する着座位置が低く乗降性は必ずしも良いレベルにあるとはいえない。また荷物の積載性を考慮して後席は前席ほど広くなく家族4人が快適に移動する空間を備えているとはいえない。よってCU-Xでは以下の三つのねらいでパッケージングを行った。(図3)

- (1)乗降性…車側の高さの制約を外したときの最も乗降しやすい着座高さを求め車に反映させる。
- (2)後席居住空間…身長180cmの大人が長距離移動時に疲れない快適な着座姿勢をとることのできる空間を実現する。
- (3)ユーティリティ装備と荷室…家族が種々の局

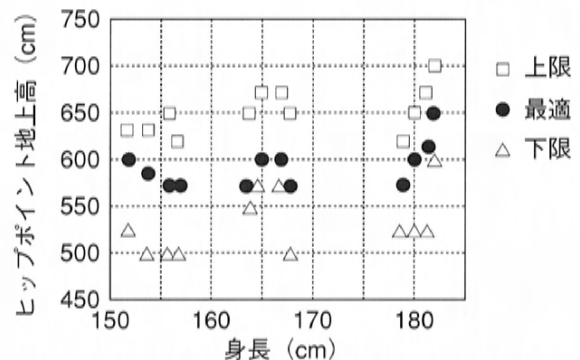


図4 乗降性官能評価 (ヒップポイント地上高)

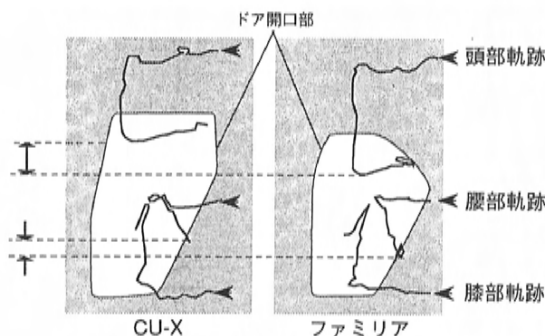


図5 乗降性比較 (人体各部の比較)

面で快適に使えるユーティリティと十分な荷室空間を確保する。

3.1 乗降性

乗降性に最も影響を及ぼす要因は地面に対する着座高であり身長152cmから182cmのパネラによる官能評価によって最適着座高を求めた。評価結果を図4に示す。これからヒップポイント地上高は前席570mm、後席600mmとした。従来のセダンとの乗降性の動態比較を図5に示す。この図より従来のセダンと比較してCU-Xは頭、腰部の変位量が小さく乗降時の体の負担が少なく乗降性がよいことがわかる。また、室内高を1250mm、前後シート間寸法を400mm確保することで楽なサイドスルー(乗り降り)性を実現した。

3.2 後席居住空間

限られた車両寸法のなかで前席(助手席)と同様の快適な後席居住空間を実現するため、ホイールベースを2650mmと大きくとり車体の四隅にタイヤを配置するとともに、図6に示すようにフロアからの着座位置をファミリアに対して約100mm高くし立ち気味の姿勢とすることで前後空間を増やした。これにより、図7に示すような休息姿勢が

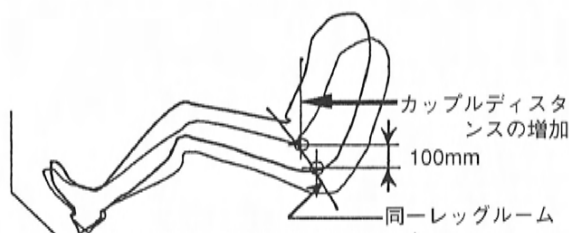


図6 着座高と前後空間の増加

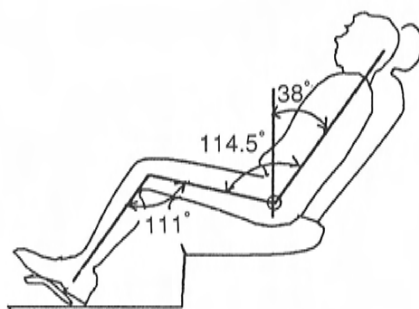


図7 後席休息姿勢

とれるだけの十分に広い後席居住空間を確保した。また、後席は左右独立の二座席とし体格の異なる乗員が個々に最適な着座姿勢をとれるようにリヤシートスライド(110mm)、リクライニング機構及び前後位置調整可能なフットレストを装備した。更に、リクライニング角は仮眠のしやすさも考慮し官能評価及び入眠時間等生理的知見も踏まえて最大38°まで傾斜できるようにした。これにより、新幹線席並の休息姿勢を実現した。また、ニークリアランスは疲労対処行動の一つである足組みが楽にできる寸法として130mmを確保した。

3.3 ユーティリティ装備と荷室

(1)回転対座シート

運転席と助手席に停車時に180°回転する回転対座シートを組み込み、レジャー目的地での語らいを可能にした。回転対座時の乗員間寸法はヒップポイント間寸法で運転席940mm、助手席1065mmでありほぼ新幹線対面シート並の広さを確保している。(図8)

また、チャイルドシートを回転可能な助手席に組み込み、後ろ向きで使用するにより首の座っていない幼児でも安全に座らせることができる

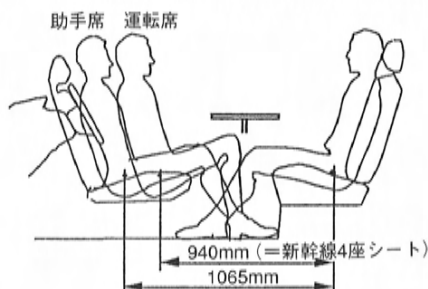


図8 回転対座シート

ようにした。(シート回転時にはエアバックは作動しないようにした。)

(2)フレキシブルな荷室空間

ダブルホールディングリアシートを採用し、二名乗車時には床面長1350mmの広い荷室を実現し、大型組立家具等も搭載可能にした。また、4人乗車時でもリヤシートの前方スライドによる荷室の拡大、センターアームレスト部を倒しトランクスルーにすることによる長い荷物の搭載他フレキシブルな荷室空間を実現している。

4. 予防安全のためのヒューマンインターフェイス

CU-Xでは安全で安心なクルマの実現を目指して、ドライバが犯した『うっかりミス』をバックアップする衝突回避技術とともに、ドライバに『うっかりミス』を犯させない予防安全技術にも特に注力して開発を進めた。予防安全性能の向上のため、ドライバが危険を認知しやすいだけでなく、視認・操作負担が少なく、しかも注意力を維持できるようなヒューマンインターフェースを搭載している。このようなヒューマンインターフェースは、実交通流下でのドライバの運転挙動の解析のみならず、ドライビングシミュレータを活用して

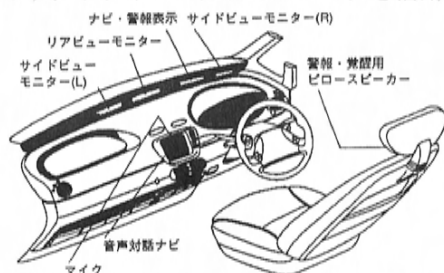


図9 予防安全ヒューマンインターフェイス

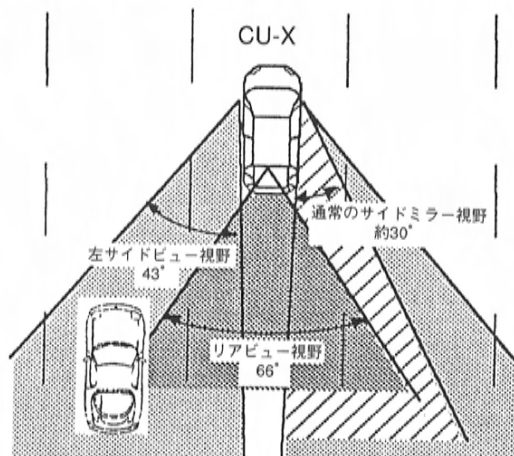


図11 リア/サイドビューモニタの視野

実車では実施が困難なような危険状況下での評価実験も行い、最適化を図った。

図9にCU-Xで提案する代表的な予防安全ヒューマンインターフェースを示す。

4.1 リア/サイドビューモニタシステム

後側方の確認の負担を軽減するためにリア/サイドビューモニタシステムを搭載した。左右のドアおよびリアゲート上部に設置したCCDカメラにより後側方および後方を撮像して、インパネに設置した3台の液晶ディスプレイに表示する。(図10)図11に示すように、通常のミラーと比較して広い後側方視界を確保している。また各ディスプレイは、ドライバへの視認負担を考慮して、視線移動が少なくしかも煩わしくない適切な位置へ配置した。

夜間に関しては、リアコンビネーションランプ内に設けた近赤外光投光器から後方を投光するとともに、可視光から近赤外光領域(0.8~1.2 μ m)ま



図10 ディスプレイ表示

でをカバーするCCDカメラで撮像することにより、夜間の視認性を向上させている。近赤外光は人間に感知できないため、後側方を走行している車両のドライバを眩惑させることはない。

更に、後退時には、リアビューカメラを自動的に下方に向け車両後方直近を撮像し、死角を低減した映像をリアビューモニタに表示することにより、安全確認を補助する。

4.2 マルチモーダル警報インターフェース

ドライバへの警報情報の提供は、より素早く的確に危険を認知し適切な回避行動をとれるよう、視覚と聴覚を複合化したマルチモーダルインターフェースで行っている。視覚情報としては、インパネ上部に設置したマルチディスプレイまたはサイドビューモニタに警報表示を行い、聴覚情報としては、危険の存在する方向や危険の種類が認知しやすい立体音響警報を用いている。マルチディスプレイには前方の障害物に対する危険度に応じて変化する車間距離モニタや各種ワーニング情報などが集中表示される。

立体音響による警報音や警報表示のデザインは、ドライビングシミュレータによる種々の評価実験を通じて最適化を図った。例えば、車線変更時および右左折時に後側方から接近する車両に対する危険を警報する後側方警報では、車両近接方向からのクラクション音による立体音響とともに、対応する車線側のサイドビューモニタを点滅表示させる。

4.3 音声対話ナビゲーションシステム

これは運転中にもドライバが視線を前方に向けたままステアリングから手を離すことなく安心してナビゲーション情報の入手や電装機器の操作が行えるよう、音声による操作を可能としたナビゲーションシステムである。音声認識には、自然な日常会話にありがちな『えーと』などの不要語が含まれた自由発話音声にも対応できるよう、キーワードのみを認識するワードスポッティング手法を用いている。ナビゲーションシステムからの情報提示も、ドライバの視認負担を最小限にするため、マルチディスプレイへの簡易表示と音声応答により行われる。

また、停車時には、タッチパネルと音声入力を相補的に併用して操作することにより、駐車場情

報検索のような複雑な情報検索もより簡単にできるマルチモーダル型音声対話インターフェースを採用している。例えば、地図上に表示された駐車場アイコンをタッチしながら、『待ち時間は?』と発話すれば、その駐車場の待ち時間情報を返答してくれる。

4.4 注意力維持オーディオシステム

単調な運転を長時間続けることによってもたらされる注意力の低下を未然に防止することを狙ったオーディオシステムで、『断続的な音響刺激は大腦活動の慣れを防ぎ、注意力低下を軽減する効果がある』という知見を応用したものである。このシステムでは、インパネに設置したスイッチを押すと、30秒間音楽を流した後に30秒間無音が続き、さらにその後再び音楽を流すという周期を繰り返す注意力維持効果のある断続的な音楽を聴くことができる。これにより運転中の注意力を維持させ、居眠り・ぼんやりによる反応遅れや誤操作を低減することが可能となる。

5. おわりに

以上、コンセプトカー「CU-X」の車両概要を紹介した。将来のファミリーカーとしてのキーワードは「安心」及び「快適」ととらえ、今後とも人間を中心とした車を実現するよう努力していきたい。

■ 著 者 ■



水島 善夫



香川 八洲男



守田 知史



高橋 健治



上村 裕樹



多田 真治

論文・解説

25

水素自動車の開発
Development of Hydrogen-fueled Vehicle

森 本 賢 治*¹ 高 椋 健 治*² 今 田 道 宏*³
Kenji Morimoto Kenji Takamuku Michihiro Imada
水 島 善 夫*⁴ 清 水 勉*⁵ 間 宮 清 孝*⁶
Yoshio Mizushima Tsutomu Shimizu Kiyotaka Mamiya

要 旨

地球温暖化や石油系エネルギーの枯渇問題から、水素は自動車燃料として21世紀には重要な役割を果たすと考えられる。そこで、水素でも高出力が得られるロータリエンジンと安全性に優れる水素収蔵合金タンクをベースとした水素自動車の開発を行った。エンジンへの水素の供給方式として予混合方式と直噴方式を使い分け、更に触媒を組み合わせ出力、熱効率、排気ガス性能の最適化を図った。燃料タンクの吸蔵量、耐久性の向上を図ると同時に、安全な水素燃料システムを開発した。本開発の水素自動車は運輸省の大臣認定が得られ、一般公道での実用性評価試験が可能となった。

Abstract

Owing to such problems as oil crises and global warming, hydrogen is considered to be a promising energy to fuel vehicles in the 21st century. The hydrogen-fueled vehicle developed in this research employs a rotary engine, which attains high output using hydrogen as fuel, and a fuel tank made of metal hydride, which is an effective material for storing hydrogen safely. Output, thermal efficiency, and exhaust emissions were optimized by using both premixed and direct injection fuel supply systems in combination with a catalytic converter. The capacity and durability of metal hydride fuel tank were also improved, while a safety system was developed for the fuel system. The resulting hydrogen-fueled vehicle was certified by the Ministry of Transportation to permit fleet testing in Japan.

1. はじめに

地球環境問題や石油系エネルギーの枯渇問題から様々な代替エネルギーが検討され、その実用化の可能性について研究開発が行われている。中でも水素は、水と太陽エネルギー等の自然エネルギーから生成でき、燃焼物は水であるため無尽蔵かつクリーンな21世紀の有望エネルギーとして期待され、自動車用燃料としても重要な役割を果たすといわれている。水素を自動車用燃料として実現するためには、車両開発と同時に公道走行を主体とした水素自動車の実証的研究が必要であり、海外においては既に一部実施されている⁽¹⁾が国内においてははまだ実施されたことがない。公道を走行させるためには、まず安全性確保が必須であり、加えて低公害性、実用走行性を有することがその必要条件である。そこで我々は安全に水素を車載できる貯

蔵システムの開発、水素を効率良く低公害で燃焼させるエンジンシステムの開発、水素に適した安全システムの開発並びに技術基準の整備を行い、これらの条件を満足する水素自動車を開発した。本水素自動車は大臣認定を受け一般公道での実用性評価試験が可能となった。以下に開発のねらい、要素技術の開発、車両の開発について述べる。

2. 開発のねらい

本研究の目的は、安全かつ低公害で実用的な水素を燃料とする自動車を開発することである。そのために、以下の基本方針により開発した。

- (1)実用走行性を確保するために、水素燃料適用時においてもガソリン並みの出力が得られる水素ロータリエンジン⁽²⁾(以下RE)の採用を基本とし、さらに出力、熱効率、排気ガス性能を高度にバランスさせる。

* 1～6 技術研究所

表1 水素REの主要諸元

| | | | |
|-----------------|----|--------------------------|------------------|
| エンジン型式 | | 1 3 B型 | |
| 種類 | | 水素・U-クビ [®] ストン | |
| 総排気量 (cc) | | 6 5 4 × 2 | |
| 圧縮比 | | 9 . 7 | |
| 燃焼室形状 | | バスタブ型 | |
| 燃料供給方法 | | 直噴/予混切替 | |
| 燃料供給装置型式 | | 電子式，機械式 | |
| 直噴噴射圧力 (MPa) | | 最大 0 . 7 | |
| 弁又は ポート開閉時期 | 吸気 | 開 (° ATDC) | P/S-3 2 ,AUX-4 5 |
| | | 閉 (° ABDC) | P/S-2 0 ,AUX-8 0 |
| | 排気 | 開 (° BBDC) | 7 5 |
| | | 閉 (° ATDC) | 4 8 |
| | 水素 | 開 (° ABDC) | 8 0 |
| | | 閉 (° ABDC) | 1 7 0 |
| 最高出力 (Kw/rpm) | | 9 2 / 6 0 0 0 | |
| 最高トルク (N・m/rpm) | | 1 7 6 / 5 0 0 0 | |

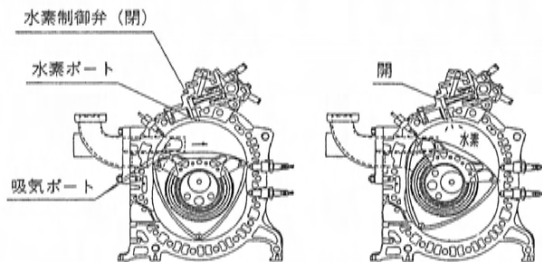


図1 直噴式水素REの構造と作動

- (2)安全に水素を貯蔵できる水素吸蔵合金タンクを基本とし、さらに取り扱い性と安全性が高まり、高圧ガス取締法に係わらない低圧ガス仕様を前提に、吸蔵性能の向上、耐久性の確保を行う。
- (3)万一の水素漏洩等に対応した安全システムを確立する。
- (4)道路運送車両の保安基準では規定されていない水素特有の安全に関わる項目については新たに安全自主基準を策定し、満足させる。

3. 要素技術の開発

3.1 水素エンジンの開発

(1)主要諸元と構造

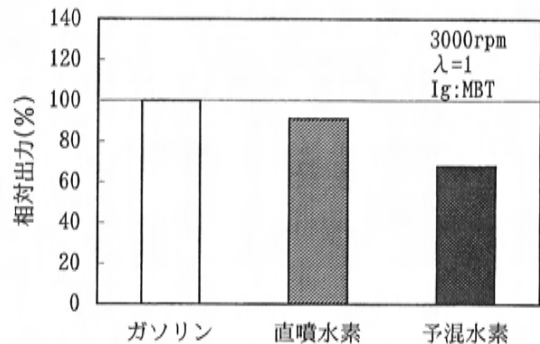


図2 直噴化の効果

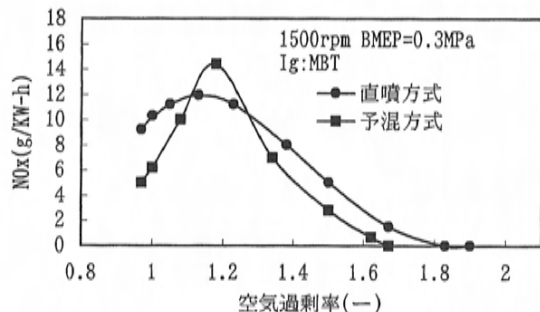


図3 窒素酸化物の排出特性

REは水素との適合性に優れ、レシプロエンジンに水素を使用した時に課題となる異常燃焼の回避に有利であり理論空燃比で運転できること、並びに直噴システムの採用により出力が大幅に向上することを報告している⁽²⁾。

供試エンジンの主要諸元を表1に示す。ベースエンジンは自然吸気マツダ13B型REである。吸気系にはベースエンジンと同様に可変吸気タイミングを採用し、4000rpm以上の高速域ではオグジュアリポートが開く。水素供給系には、予混合方式と筒内直噴方式を採用し運転領域により使い分けを行っている。図1に水素直噴システムの構造と作動を示す。吸気室の壁面に開口する水素ポートの上流にカム軸で駆動されるポペット式の水素制御弁があり、これにより、吸気ポートから空気が吸入終了した直後からエンジン出力軸角度90度の間、水素が作動室内に噴射される。

(2)直噴化による出力向上

理論空燃比において混合気中の28vol%を水素が占めるため、予混合方式では空気の体積効率が

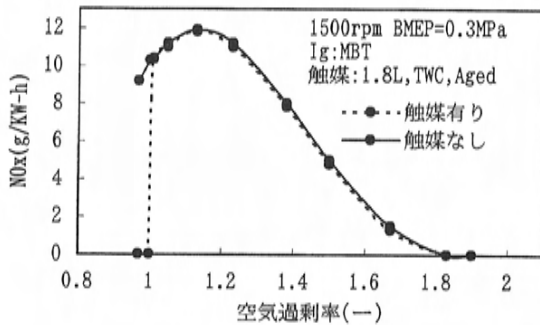


図4 触媒の効果

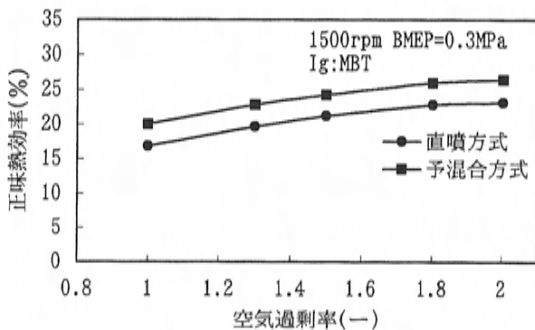


図5 熱効率特性

低下し出力が大幅に低下する。そこで前述の直噴システムを用いれば吸入空気の体積効率を犠牲にすることなく作動室内に水素を供給することが出来る。図2にガソリンエンジンの出力に対する相対出力の比較を示す。予混合方式の水素REはガソリン比68%に留まるのに対して直噴方式の水素REは、ガソリン比90%以上の出力が得られている。したがって、水素エンジンで問題であった吸入空気の体積効率の低下は直噴システムの採用で大幅に改善できることが分かった。

(3) エミッション低減と燃料供給方式の最適化

排気ガス特性として水素は二酸化炭素を生成しないが、燃焼により空気中の酸素と窒素が反応してできるNOxの低減が課題である。図3にNOxの排出特性を示す。空気過剰率(λ) 2.0以上ではほとんど排出されず、理論空燃比付近では多量に発生することが分かる。そこで、三元触媒によるNOxの浄化を試みた。その結果を図4に示す。ガソリンエンジンに用いられている三元触媒により大幅に低減が図られることが分かった。このこと

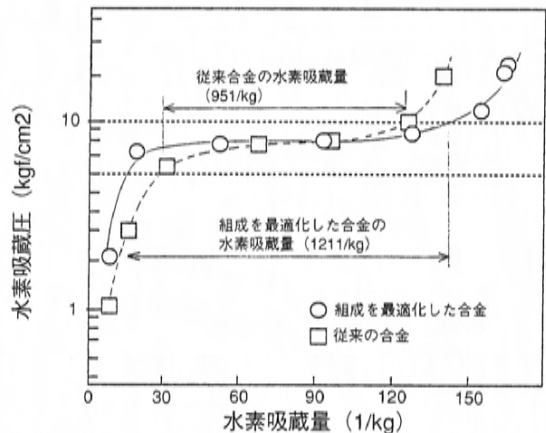


図6 水素吸蔵合金の平衡水素圧—組成等温線図 (ミッシュメタル系合金)

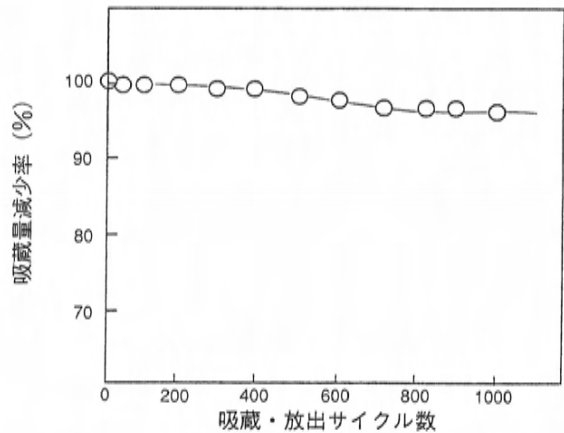


図7 吸蔵量の変化

は理論空燃比で運転可能な水素REであるが故に可能であり、高出力化と低NOxが同時に達成できる。一方図5は予混合方式と直噴方式の熱効率を比較したものである。全域の空燃比にわたり、予混合方式の方が高い熱効率を示す。これは、直噴の場合ミキシング不良による燃焼の悪化が生じているものと考えられる。

以上の結果から、出力向上、NOx低減、熱効率向上を高度にバランスさせる方法として、高負荷域では直噴方式に三元触媒を組み合わせ出力向上とNOx低減を達成し、軽、中負荷域では希薄燃焼予混合方式により熱効率向上とNOx低減を達成させる方法が有効であることが明らかになった。

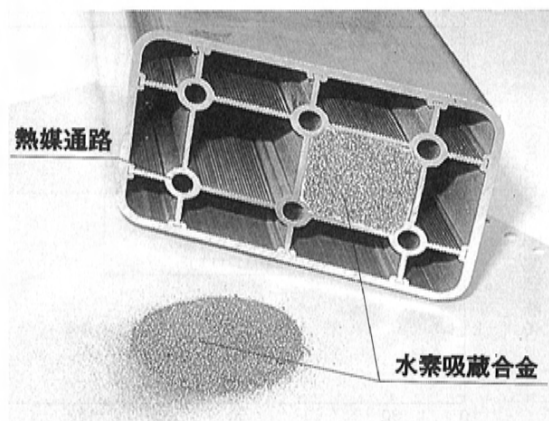


写真1 分割型水素吸蔵合金

3.2 水素吸蔵合金及び燃料タンクの開発

自動車の燃料容器に求められる機能は、安全性、耐久性を有し、かつ高い水素吸蔵能力を有することである。水素吸蔵合金は水素放出時には吸熱反応であることから交通事故等によりタンク、配管等が破損した場合、熱源の供給停止により水素の発生が自然に止まる。加えて水素吸蔵合金が大気に触れると被毒され同じく水素の発生が止まる方向に働くという特性を持つため、安全な水素貯蔵手段であるといえる。そこで、水素吸蔵合金を前提にしてさらに取り扱いが容易で安全性を確保しやすい低圧の0.98MPa以下での貯蔵を目的とし、この条件下での水素吸蔵性能の向上、並びに耐久性の向上に取り組んだ。

(1)水素吸蔵性能の向上

航続距離向上のためには水素吸蔵能力の高い合金が必要である。一般に水素吸蔵合金の水素吸蔵特性は、図6で示すような平衡水素圧-組成等温線図で示され、合金の水素吸蔵量は最大吸蔵量で示される。しかし低圧ガスを前提とする自動車では水素圧力を0.98MPa未満としなければならず、しかもエンジンの要求噴射圧以上の圧力が必要である。したがって、低圧ガス水素自動車に用いる水素吸蔵合金は、これらの間の圧力で、できるだけ吸蔵量を多くすることが望ましい。そのためにはプラトー領域の幅が広く、その傾きの小さい合金の開発が求められていた。そこで本研究では、ミッシュメタル系において水素吸蔵合金の合金組成を最適化することにより、プラトー性の改善を試みた。図6は希土類の組成を最適化した合金と

従来合金の平衡水素圧-組成等温線を示す。この結果、プラトー領域の幅が拡大し、その傾きの小さい合金が得られ、従来合金に比較して約30%の水素吸蔵量の増加が得られた。

水素吸蔵合金は、水素の吸蔵、放出に伴い微粉化を起こして水素吸蔵量が低下するという懸念がある。そこで、この合金を用いて水素吸蔵、放出の繰り返し試験を実施した。図7は耐久試験結果を示す。この図から吸蔵、放出1000サイクル後においても、初期水素吸蔵量の95%以上を確保していることが分かる。一回の充填で100km走行した場合1000サイクルでは10万kmの走行距離に相当するため、燃料タンクとしてのポテンシャルは充分あると考えられる。

(2)合金タンク

上記水素吸蔵合金を収納する燃料タンクの開発に際しては、①水素吸蔵合金自体が金属水素化物として水素を貯蔵するため安全であるという特徴を有するものの、衝突時に周囲に放散する水素を最小限に抑えることによるさらなる安全性の確保、②低圧水素ガスを用いることにより軽量コンパクトな容器構造として搭載性を向上させる、などを目的としてアルミ製の分割型タンクとした。写真1にその断面写真を示す。内部構造はチューブ及びフィンで構成され、チューブ内に熱媒、フィン間にミッシュメタル系水素吸蔵合金を封入している。実車には本タンクを20本搭載している。

4. 車両の開発

開発車両は、7人乗りマツダカペラカーゴ・ステーションワゴンをベースとして前述の水素RE並びに水素吸蔵合金タンクを搭載し、さらに燃料供給システム、安全システムを開発し搭載した。これらの部品、システムを搭載した車両は、新たに設定した「低圧水素ガス自動車の安全自主基準」に適合させた。

4.1 低圧水素ガス自動車の安全自主基準

試験自動車を一般公道で走行試験させるためには道路運送車両の保安基準第56条第4項の規定により認定を受けるいわゆる大臣認定による方法がある。この大臣認定を取得するためには安全性の確保が必須である。そこで新たに低圧水素ガス自動車の安全自主基準を策定した。これは水素自動



写真2 車両外観



写真4 燃料タンク

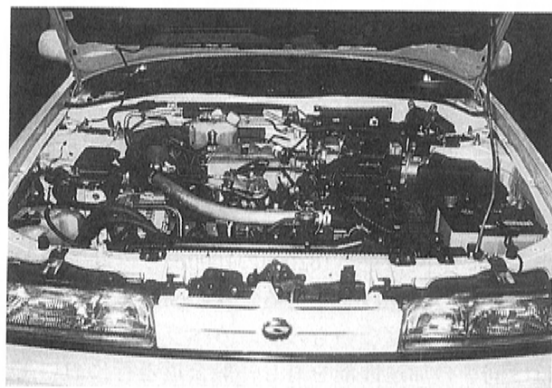


写真3 エンジンルーム

車特有の構造、規格、安全性について定めたものであり、安全関係、公害関係、規格関係の各領域で以下の項目について自主基準を定めた。

(1)安全関係

- ①燃料装置の構造、材質、機能、固定方法、接合方法等
- ②安全装置の種類として過流防止弁、緊急遮断弁、充填配管遮断弁、エンジン停止時燃料遮断弁、圧力保護弁、圧力上昇防止機構、引火防止構造、過充填防止構造、衝突時の衝撃に対する燃料装置の構造等

(2)公害関係

- ①排気ガス試験、(10・15モード)

(3)規格関係

- ①燃料容器の規格として、耐圧、衝撃、気密、共振、ゆるみ、疲れ試験等

4.2 車両主要諸元

写真2, 3, 4はそれぞれ開発車両の外観、エンジンルーム、荷室の下に配置してある燃料タンクである。エンジンルーム中央には水素REをFF横置きに搭載している。燃料タンクは10本ずつ2段合計20本設置している。表2に主要諸元をベース車両と比較して示す。図8にベース車両からの主要変更点を示す。水素吸蔵合金タンク搭載に伴う約400kgの重量増加に対応するため、サスペンション系及びブレーキ系統を強化し、走行安全性と制動性能を確保した。エンジンは水素直噴REを搭載し最大出力、最大トルクともにベース車より向上させた。水素吸蔵合金にはミッシュメタル系を採用し、40Nm³の水素貯蔵量を確保した。

4.3 安全システム

安全対応の考え方として以下の3点を基本として水素燃料の安全システムを構築した。

- (1)「水素吸蔵合金を利用した安全な水素の貯蔵」
- (2)「0.98MPa未満の低圧水素ガスの使用」
- (3)「水素漏れ時の安全性確保」

図9に対応技術を示す。万が一の水素漏れ時の安全性を確保する手段として①燃料システムの車室外配置②漏洩水素が滞留しない構造③水素センサーによる警報機能④水素配管破損時の自動遮断システム⑤緊急遮断弁の設置などを新たに設けた。なお、水素センサーは、500ppmに達すると検知する熱線式半導体センサーを用いている。

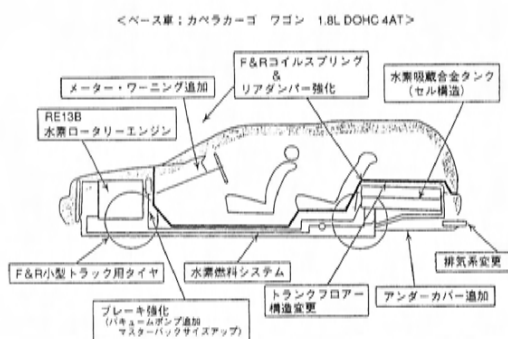


図8 ベース車からの主要変更箇所

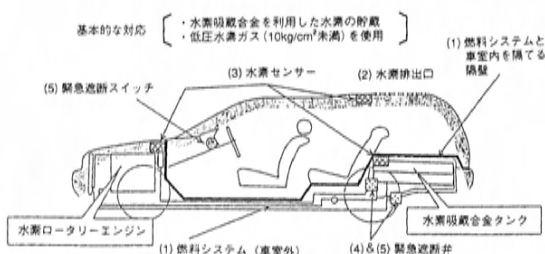


図9 水素燃料システムの安全対応

4.4 燃料供給システム

図10にシステム図を示す。水素吸蔵合金から水素が放出する過程は吸熱反応であるため、水素吸蔵合金タンクを加熱する必要がある。本システムではエンジン冷却水を熱源として用いている。安定した水素量をエンジンに供給するため、冷却水量は、コンピュータにより制御している。放出された水素は、各バルブを経由し、エンジンルームに導かれ、そこで吸気管に供給する予混合系とエンジン内に直接供給する直噴系に分けられ、運転条件に応じてエンジンに供給される。水素供給については、まずアクセル開度から必要空気量を求めエレキスロットル開度を定め、次に実際に吸入された空気量を計測し、その空気量に応じた水素が水素制御弁により供給される。さらに、リニアO₂センサーによりF/Bを行う。

4.5 車両性能

図11に最高速度並びに0-400m全開発進加速の性能をベースのカペラカーゴ車を100%とした相対値で示す。業務使用の代表例の一つとしての出力53kW車両総重量1620kgの1600ccガソリンカペラバン車とも比較している。この図からカペラカーゴ車には及ばないものの、カペラバン車とは、ほぼ同等の加速性能を有し一般公道走行において実用上十分なポテンシャルがあると云える。

表2 水素自動車の主要緒元

| | 項目 | 水素自動車 | ベース車 |
|-------|-------------------|--------------------------------|-----------------|
| 寸法 | 全長×全幅×ホイールベース | 4 5 9 0 × 1 6 9 0 × 2 6 7 5 mm | |
| 重量 | 車両重量 (kg) | 1 8 4 0 | 1 3 1 0 |
| | 乗車定員 (名) | 5 | 7 |
| エンジン | エンジン型式 | 1 3 B 型 | F 8 型 |
| | 総排気量 (cc) | 6 5 4 × 2 | 1 7 8 9 |
| | 最高出力 (Kw / rpm) | 9 2 / 6 0 0 0 | 8 5 / 5 0 0 0 |
| | 最大トルク (N・m / rpm) | 1 7 6 / 5 0 0 0 | 1 5 7 / 6 0 0 0 |
| | 燃料供給装置 | 直噴 / 予混切替 | E G I |
| 燃料タンク | 燃料タンク形式 | 水素吸蔵合金 (ミッシュメタル系) | ガソリンタンク |
| | 燃料タンク容量 | 水素ガス 4 0 N m ³ | ガソリン 6 0 リットル |
| | 燃料タンク重量 | 2 0 kg × 2 0 本 | 6 0 kg |

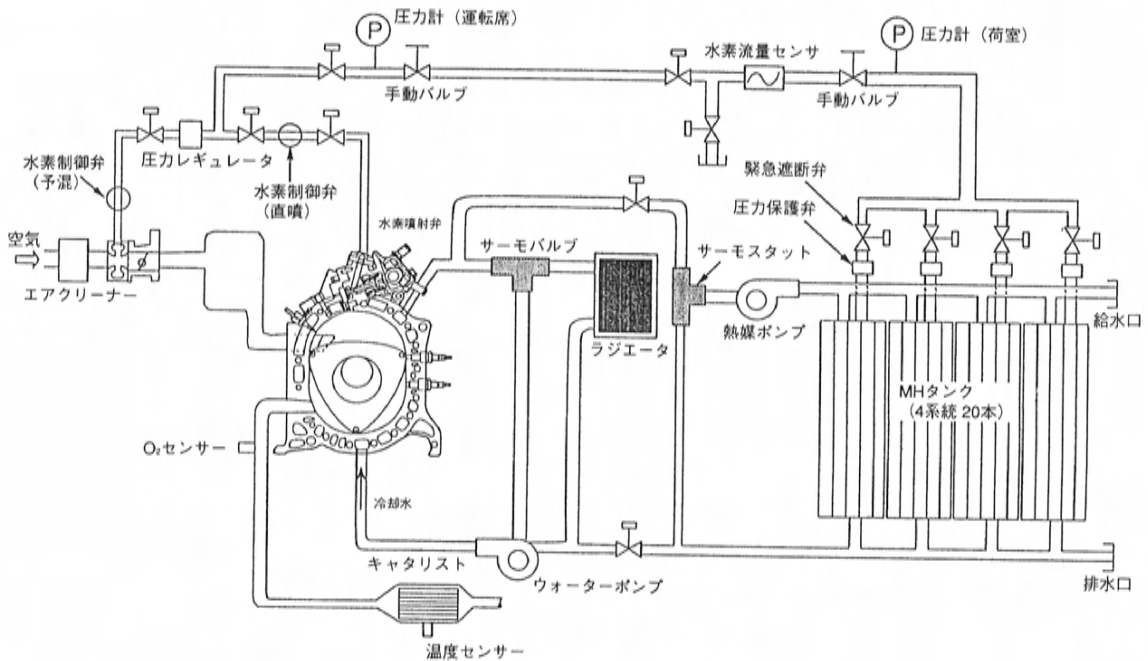


図10 水素自動車のシステム図

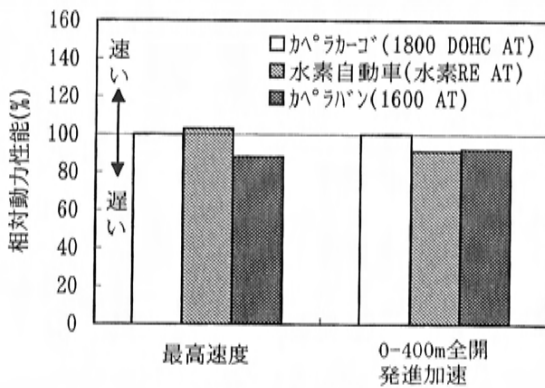


図11 動力性能

表3 水素自動車の排気ガス性能
(国内10・15モード)

| | HC (g/km) | CO (g/km) | NOx (g/km) |
|-----|--------------|--------------|---------------|
| 規制値 | 0.25 | 2.1 | 0.25 |
| 測定値 | 0.01 | 0.06 | 0.08 |

航続距離は、実用走行条件下で約100kmであり従来のガソリン車に比較して劣るものの水素製造事業所等の限定された使用を考えれば実用上問題なく運用が可能である。

表3に10・15モードの排気ガス性能を示す。HC、COはいずれも規制値に比較し大幅に低く、NOxも約1/3以下と、十分に低い値である。

5. まとめ

安全かつ低公害で実用性を有する水素を燃料とする自動車の実現を目標として開発を行った結果、以下の結論が得られた。

- (1)水素との適合性に優れるREをベースとして予混合、直噴両燃料供給システムを最適に切換え使用することにより、出力を損なわずに、熱効率の向上、低エミッションを実現した。その結果実用走行性と低公害性を両立できた。
- (2)安全に水素を吸蔵、使用できる水素吸蔵合金システム並びに安全システムを構築した。

さらにミッシュメタル系合金組成を最適化することにより、高い水素吸蔵特性と耐久性を有する合金を開発した。

- (3)低圧水素ガス自動車の自主基準を新規に策定し、それに適合する安全な水素自動車を開発した。

以上安全性、動力性能、排気ガス性能において、充分な実用性を持ち一般公道走行において実用性の評価が可能なポテンシャルを有する水素自動車が開発できた。

なお、本水素自動車2台が平成7年4月に大臣認定を受け、同年7月より新日本製鐵(株)広畑製鐵所においてモニターテストを実施中である。これは、2年間、走行距離約2万kmを目標に、連絡運搬業務等に使用するものである。

最後にモニターテストに多大なるご協力を頂いている新日本製鐵(株)に感謝の意を表します。

参考文献

- (1)Feucht k., et al : Hydrogen Drive for Road Vehicle-Results from the Fleet Test Run in Berlin, Proc. 6th WHEC (1986), p1079
(2)T. Teramoto et al : Hydrogen-fueled rotary engine, IMechE 925011 (1992)

■著者■



森本賢治



高椋健治



今田道宏



水島善夫



清水 勉



間宮清孝

社外への発表論文一覧表（平成7年1月～12月）

1. 社 外 発 表（国際）

※所属は原則発表時点を示す

| 大会名 | 日程 | 主催 | 題 目 | 執 筆 者 | 所 属 |
|---|----------|----------------------------|---|--|--|
| Int. Symp. Hydrogen and Clean Energy Symp. '95 | 2.6-8 | NEDO | The Development of the Hydrogen Vehicle | 森 下 強 | 技 術 研 究 所 |
| 1995 SAE International Congress and Exposition | 2.27-3.2 | SAE | 950180 Development of Capacitance-Loaded Window Antenna for AM/FM Car Radios | 谷 口 龍 昭 重 田 一 生 久 保 田 健 治 | 電子技術開発部 同 上 技 術 開 発 部 |
| | | | 950104 In-Cylinder Fuel Distribution, Flow Field, and Combustion Characteristics of a Mixture Injected SI Engine | 田 端 道 彦 片 岡 一 司 藤 本 昌 彦 乃 生 芳 尚 | 技 術 研 究 所 同 上 同 上 同 上 |
| | | | 950684 Improving NOx and Fuel Economy for Mixture Injected SI Engine with EGR | 田 端 道 彦 山 本 寿 英 服 平 次 男 | 技 術 研 究 所 同 上 同 上 |
| | | | 950422 Development of Magnesium Forged Road Wheel | 山 本 幸 男 藤 田 誠 坂 手 宣 夫 平 原 庄 司 | 技 術 研 究 所 同 上 同 上 同 上 |
| | | | 950746 Development of Lean Burn Catalyst | 高 見 明 秀 竹 本 崇 岩 国 秀 治 國 府 田 由 紀 齋 藤 史 彦 小 松 一 也 | 技 術 研 究 所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 187th Electrochemical Society Meeting | 5.10 | Electrochemical Society | Electrochemical Impedance Spectroscopy Study in Proton Exchange Membrane Fuel Cells | 平 野 伸 一 S.Srinivasan S.Lee | 技 術 研 究 所 テキサスA&M大学 同 上 |
| Recycle '95 Davos Global Forum and Exposition | 5.15-19 | Maack Business Services | Mazda's Activities for Recycling of Automotive Materials | 藤 和 久 北 島 優 竹 内 元 佐 藤 達 哉 | 欧州R&D事務所 同 上 技 術 企 画 部 同 上 |

| 大会名 | 日程 | 主催 | 題目 | 執筆者 | 所属 |
|--|----------|---|---|--|-------------------------------------|
| Plasticity '95 The 5th Int. Symp. on Plasticity and its Current Applications | 7.17-21 | Plasticity '95 Organizing Committee | Press Formability of Aluminum Alloy Sheets in Warm Forming. | 天野浩平 石田恭聡 | 技術研究所 同上 |
| Present and Future Engines for Automobiles IV | 9.24-28 | Engineering Foundation | Application of Laser- Induced Fluorescence to OH Imaging in SI Engine. | 田端道彦 | 技術研究所 |
| 1995 SAE Fuels and Lubricants Meeting | 10.16-19 | SAE | 952412 Influence of Mixture Stratification Pattern on Combustion Characteristics in a Constant-Volume Combustion Chamber. | 藤本昌彦 西田恵哉 廣安博之 田端道彦 | 広島大学 同上 同上 技術研究所 |
| Int. Forum on Environmental Catalysis '95 (IFEC'95) | 10.25-27 | Environmental Catalyst Forum, Japan | Research on NOx Reduction over Precious Metal Catalyst in Oxygen-rich Exhaust | 高見明秀 竹本 崇 岩国秀治 山田啓司 重津雅彦 小松一也 | 技術研究所 同上 同上 同上 同上 同上 |
| IBEC'95 | 11.2 | SAE | New Concept of Painting Process Harmony of Environment, Cost and Quality | 片山真司 | 車体技術部 |
| The 8th Int. Pacific Conf. on Automotive Engineering (IPC-8) | 11.4-9 | JSAE | Development of the "CALDERA" Stable Combustion Method in DI Gasoline Engines | 河野誠公 | 技術研究所 |
| | | | Maintaining Driver's Arousal for Preventive Safety | 石田健二 堀口明伯 岡本宜久 畑 秀二 | 技術研究所 同上 同上 同上 |
| | | | Special Sessions : Development of an Automatic Brake Actuator | 石川敏弘 高木 毅 吉岡 透 疋田尚之 | 技術研究所 同上 同上 同上 |

| 大会名 | 日程 | 主催 | 題目 | 執筆者 | 所属 |
|--|---------|--------|--|--|---|
| The 8th Int. Pacific Conf. on Automotive Engineering (IPC-8) | 11.4-9 | JSAE | Development of a New 1.5L 4-Valve DOHC Lean Burn Engine with the Wider Air/Fuel Range Three Way Catalyst | 岡 憲 児 藤 本 操 藤 川 朋 久 水戸部典朗 清 水 功 長 尾 彰 士 | パワートレイン実研部 パワートレイン開発部 パワートレイン実研部 パワートレイン設計部 同 上 パワートレイン実研部 |
| | | | Integrated Dynamic Simulation Model of Crankshaft and EHL Journal Bearings | 藤 井 浩 司 | パワートレイン開発部 |
| The 2nd World Congr. on Intelligent Transport Systems (ITS '95) | 11.9-11 | VERTIS | A Study of Collision Warning System Using a Moving-Base Driving Simulator | 末 富 隆 雅 木 戸 孝 二 山 本 由 紀 | 技 術 研 究 所 同 上 同 上 |
| | | | Development of a Lane- Keeping System for Lane Departure Avoidance | 磯 本 和 典 新 部 忠 幸 末 富 隆 雅 佛 圓 哲 朗 | 技 術 研 究 所 同 上 同 上 同 上 |

2. 社 外 発 表 (国内)

※所属は原則発表時点を示す

| 大 会 名 | 日 程 | 主 催 | 題 目 | 執 筆 者 | 所 属 |
|---|---------|------------------------------------|---|--|------------------------------------|
| 第44回 応用力学 連合会講演会 | 2.1 | 日本学会会議 | 縦渦と物体の干渉による空力 騒音の発生機構に関する研究 | 尾 川 茂 | 車両技術実研部 |
| EVフォーラム'95 | 2.9-10 | 財日本電動 車両協会 | ロードスターEVの開発 | 吉 野 道 夫 | 技 術 研 究 所 |
| 東京大学博士論文 講演会 | 3.6 | 東京大学 | 縦渦による剝離・再付着を伴 う空力騒音に関する研究 | 尾 川 茂 | 車両技術実研部 |
| 伝動装置の設計・ 製造における 最適化に関する 調査研究分科会 第11回分科会 | 3.17 | 日本機械学会 | トランスミッション ギヤノイズに関するサイマル テイニクスエンジニアリング への取り組み | 益 田 和 成 | パワートレイン技術部 |
| 腐食防食技術 研究発表会 | 3.17 | 財中国技術振興 センター 腐食防食協会 中四国支部 | アルミ・銅板同時化成 処理技術の開発 | 宮 崎 直 治 岡 崎 健 | 技 術 研 究 所 同 上 |
| 他産業の動向及び 最新の科学技術を 勉強する会 | 3.23 | 高分子同友会 | リサイクル適正素材としての LCP複合材 | 佐々木圭太 | 技 術 研 究 所 |
| 日本鉄鋼協会 第129回 春季講演大会 | 4.4 | 日本鉄鋼協会 | 浸炭＋高周波焼入による デフギヤの高強度化 | 織 田 和 幸 無 田 上 章 正 木 隆 有 見 幸 夫 | パワートレイン技術部 同 上 同 上 同 上 |
| 日本金属学会 春期大会 | 4.4-6 | 日本金属学会 | TiMn _{1.3} Ti _{0.2} /Mgにおける MgH ₂ の低温生成 (T:3d遷移金属) | 山 本 研 一 對 尾 良 則 折 茂 慎 一 藤 井 博 信 | 技 術 研 究 所 同 上 広 島 大 学 同 上 |
| 自動車技術会 春季大会 学術講演会 | 5.16-18 | 自動車技術会 | 最適パワー吸収装置による 能動制振技術の開発 ～第一報：理論的考察～ | 平 見 尚 隆 | パワートレイン設計部 |

| 大会名 | 日程 | 主催 | 題目 | 執筆者 | 所属 |
|-------------------------|---------|--------|---|------------------------------|---------------------------------|
| 自動車技術会 春季大会 学術講演会 | 5.16-18 | 自動車技術会 | ミラーサイクル過給エンジン のポテンシャル向上と将来性 について ～吸気動的効果がミラーサイ クルに及ぼす影響と利用法、 及びその将来の熱効率改善ポ テンシャルについて～ | 岩田典之 宮腰勝信 中谷茂樹 人見光夫 | パワートレイン開発部 同 上 同 上 同 上 |
| | | | 燃料挙動が冷間時HC エミッションに及ぼす影響 | 山口浩一 | 技術研究所 |
| | | | 覚醒低下軽減手法の開発 | 岡本宜久 堀口明伯 石田健二 畑 秀二 | 技術研究所 同 上 同 上 同 上 |
| | | | 追従走行時の操作負担の 定量的評価 | 木戸孝二 末富隆雅 | 技術研究所 同 上 |
| | | | 自動車の車線逸脱防止 システムの開発 | 新部忠幸 磯本和典 末富隆雅 佛圓哲朗 | 技術研究所 同 上 同 上 同 上 |
| | | | 機械過給式エンジンの 過渡性能に関する研究 －スロットル全開加速時の 充填量変化に影響を及ぼす 要因の分析－ | 矢野康英 中川 正 幸徳正信 | 技術研究所 同 上 第1車両実研部 |
| | | | 低コスト、高精度な ギヤホーニング法の開発 | 寺本義広 中谷達行 | パワートレイン技術部 トーヨーエイテック㈱ |
| | | | フロントビラー周りの風騒音 の発生機構 | 尾川 茂 | 車両技術実研部 |
| | | | 空力騒音は流れの数値計算 (CFD) を使ってどこまで 予測できるか | 尾川 茂 | 車両技術実研部 |

| 大会名 | 日程 | 主催 | 題目 | 執筆者 | 所属 |
|---|---------|-------------------------|--|-------------------------|--------------------------------|
| 第164回塑性加工 シンポジウム | 5.18 | 日本塑性加工 学会 日本機械学会 | プレス金型設計のためのFEM シミュレーションシステム | 小川孝行 | 車体技術部 |
| '95 腐食防食 講演大会 | 5.22 | 社腐食防食協会 | マグネシウム合金の耐食性に 及ぼす諸因子の影響 | 宮崎直治 平原庄司 山本幸男 | 技術研究所 同上 同上 |
| シンポジウム アルミニウム合金 のレーザ溶接 | 5.30 | 社軽金属溶接 構造協会 | 自動車ボンネットへのYAG レーザ溶接の適用 | 高橋雄二 | 車体技術部 |
| 1995年度通常総会 及び第1回例会 | 6.9 | 自動車技術会 関西支部 | パネルディスカッション 「次世代自動車の燃料と動力」 ーエネルギー・環境問題への アプローチー「水素エンジン」 | 高森勇治 | 技術研究所 |
| 第3回品質工学 研究発表大会 | 6.15 | 日本規格協会 品質工学 フォーラム | ドア開口部におけるプレス成 形技術の確立 | 阿賀弘晃 | 車体技術部 |
| | | | シリンダーブロックの硬さや 組織に及ぼす成分バラツキの 影響 | 梶川 寿 斉藤己由 | パワートレイン技術部 同上 |
| No.9506 シンポジウム 「エミッションの 環境適合をめざして」 | 6.23 | 自動車技術会 | リーンバーンエンジン用触媒 | 小松一也 | 技術研究所 |
| VS Tech'95 振動・音響新技術 シンポジウム | 6.29-30 | 日本機械学会 | 吸収パワー最大化原理を用い た能動制振制御 ～第一報：理論的考察～ | 平見尚隆 フォーカス ウィリアムス | パワートレイン設計部 ケンブリッジ大学 |
| | | | 部分構造合成法における加振 力を用いない応答計算 | 森田 茂 | 技術研究所 |
| | | | 次数別制御アルゴリズムによ る自動車車内エンジン騒音制 御の安定性向上策 | 小泉 陽 内田博志 中尾憲彦 | 技術研究所 同上 同上 |
| 第12回内燃機関 シンポジウム | 7.18-20 | 自動車技術会 日本機械学会 | クランクピン軸受部への潤滑 油供給の解析 | 栗栖 徹 藤井浩司 神田靖典 | パワートレイン開発部 同上 パワートレイン実研部 |

| 大会名 | 日程 | 主催 | 題目 | 執筆者 | 所属 |
|--|---------|------------------------|--|-------------------------------------|--|
| 第12回内燃機関 シンポジウム | 7.18-20 | 自動車技術会 日本機械学会 | ガス混合気噴射による 定容燃焼器内層状混合気の 燃焼排気特性 | 藤本昌彦 西田恵哉 廣安博之 田端道彦 | 広島大学 同上 同上 技術研究所 |
| 「ヒューマンエラー と品質保証」 STEP 2 | 9.21 | 中国地区 品質管理協会 | 予防安全技術の向上に向けて | 佛圓哲朗 | 技術研究所 |
| 自動車技術会 秋季大会 学術講演会 | 9.26-28 | 自動車技術会 | クランク軸・パワープラント 連成振動の解析法について | 新畑耕一 加賀谷浩 堀川浩司 | パワートレイン開発部 同上 同上 |
| | | | 新2.5L直4ターボディーゼル エンジンの開発 | 児玉宏志 湊則男 宮谷紀雄 細本強 | パワートレイン設計部 同上 第3車両実研部 車両技術実研部 |
| | | | ドライビング・シミュレータ における運動システムの緊急 回避操作再現への効果 | 末富隆雅 木戸孝二 | 技術研究所 同上 |
| | | | 冷間HC低減システム 一点火時期遅角による触媒早 期活性化手法の検討ー | 梅原健 森政敬信 立石哲也 西村博文 三角正法 | 技術研究所 同上 同上 同上 同上 |
| | | | レーザレダからの 物体データを用いた進行路 推定アルゴリズムの開発 | 山本康典 土井歩 吉岡透 足立智彦 | 技術研究所 同上 同上 同上 |
| 第21回省エネルギー 推進全国大会 省エネルギー実施 事例発表 中国地区大会 | 9.29 | 財省エネルギー センタ | 工場暖房熱源改善による エネルギーコスト低減 | 久野義昌 小林聡 | プラント技術部 同上 |
| 戦略的地域技術 形成研修事業研修会 | 10.4 | 広島県立 西部工業技術 センター | 自動車用材料の動向 「高分子系」「金属系」 | 幸田忠士 山本幸男 | 技術研究所 同上 |

| 大会名 | 日程 | 主催 | 題目 | 執筆者 | 所属 |
|--|--------|------------------|-------------------------------------|--|---|
| 平成7年度 触媒研究発表会・ 第76回触媒討論会 | 10.7-8 | 触媒学会・ 日本化学会 | 高耐熱性複合貴金属担持 ゼオライト触媒による NOxの除去 | 岩国秀治 京極 誠 岡本謙治 黒川貴弘 高見明秀 高藤 勝 小松一也 | 技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上 |
| 品質工学による 技術開発と 品質保証の 新しい動き | 11.10 | 日本機械学会 中国四国支部 | 溶接技術への品質工学の適用 | 深堀 貢 寺岡茂樹 | 技術研究所 デルタ工業(株) |
| No.9512 シンポジウム 「CAEによる自動 車のコストダウン を目指して」 | 12.5 | 自動車技術会 | 設計支援システム“WISE” の紹介 | 江頭裕二 渡辺剛三 砂田 実 | C A E 部 同 上 同 上 |
| 人間工学会 関東支部25回大会 | 12.17 | 人間工学会 関東支部 | 覚醒度モニター装置の開発 | 石橋基範 石田健二 山崎好幸 岡本宜久 畑 秀二 | 技術研究所 同 上 同 上 同 上 同 上 |

3. 社 外 寄 稿

※所属は原則発表時点を示す

| 寄 稿 誌 名 | 題 目 | 執 筆 者 | 所 属 |
|-------------------------|---|--|---|
| JSAE Review Vol.16 No.3 | Development of Magnesium Forged Road Wheel | 藤 田 誠 坂 手 宣 夫 平 原 庄 司 山 本 幸 男 | 技 術 研 究 所 同 上 同 上 同 上 |
| No.4 | A study on the Formation of Vertical Vortex in the cylinder of an I.C. engine using CFD : Effect of intake valve closing timing | 藤 本 英 史 中 川 正 工 藤 秀 俊 嶋 本 讓 脇 坂 知 行 | 技 術 研 究 所 同 上 同 上 京 都 大 学 同 上 |
| 自動車技術会論文集 Vol.26 No.1 | リーンバーンエンジン用新三元触媒 | 高 見 明 秀 竹 本 崇 市 川 智 士 斎 藤 史 彦 小 松 一 也 | 技 術 研 究 所 同 上 同 上 同 上 同 上 |
| No.4 | 希薄燃焼時のNOx低減に関する研究 | 山 本 博 之 稲 目 力 太 田 統 之 工 藤 秀 俊 | 技 術 研 究 所 同 上 同 上 同 上 |
| | 新型1.5L希薄燃焼ガソリンの開発 | 水 戸 部 典 朗 清 水 功 長 尾 彰 士 藤 川 朋 久 藤 本 操 本 田 泰 夫 | パワートレイン設計部 同 上 パワートレイン実研部 同 上 パワートレイン開発部 第1車両設計部 |
| | 混合気噴射ガソリン機関に関する研究 第1報：混合気形成過程と希薄燃焼特性 | 田 端 道 彦 乃 生 芳 尚 丸 原 正 志 松 本 正 和 | 技 術 研 究 所 同 上 同 上 同 上 |
| 自動車技術 Vol.49 No.3 | リアルタイムシミュレータの開発について | 足 立 智 彦 佛 圓 哲 朗 上 山 繁 | 技 術 研 究 所 同 上 同 上 |
| No.7 | 容量装荷型ガラスアンテナの開発とFMダイバシティ受信への応用 | 谷 口 龍 昭 重 田 一 生 久 保 田 健 治 | 電 子 技 術 開 発 部 同 上 技 術 開 発 部 |

| 寄稿誌名 | 題 目 | 執筆者 | 所 属 |
|---|--|---|--|
| 自動車技術 Vol.49 No.10 | エンジンのクランク軸受の潤滑解析技術について | 藤井 浩 司 栗栖 徹 宗 藤 孝 慈 香川 忠 温 小泉 昌 弘 神田 靖 典 | パワートレイン開発部 同 上 同 上 同 上 同 上 パワートレイン実研部 |
| | タービントルク推定値に基づく エンジンAT総合制御 | 栗山 実 佐々木和夫 上野 隆 司 西里 鉄 也 | 第1車両実研部 パワートレイン設計部 パワートレイン実研部 同 上 |
| 自動車技術会 関西支部ニュース 第7号 | エネルギー特集号「水素エンジンの研究」 | 高森 勇 治 | 技 術 研 究 所 |
| 日本機械学会論文集 Vol.61 No.581 B編 C編 | サイドポート給気方式ロータリエンジン 作動室内の三次元渦挙動 | 濱井 祐 治 | 技 術 研 究 所 |
| | 切削状態予測のためのモデルベース 切削加工シミュレーションシステム | 山崎 好 幸 高田 祥 三 | 技 術 研 究 所 早 稲 田 大 学 |
| | シート制御による車両の乗心地改善の研究 | 竹原 伸 則次 俊 郎 | 技 術 開 発 部 岡 山 大 学 |
| Vol.61 No.590 B編 | ミラーサイクルガソリンエンジンの 平均有効圧の増加に関する研究 | 大江 博 海 人見 光 夫 畑村 耕 一 | パワートレイン開発部 同 上 同 上 |
| 日本ロボット学会誌Vol.13 No.4 | 自動車リサイクルの推進 | 竹内 元 佐藤 達 哉 | 技 術 企 画 部 同 上 |
| 国際経済研究 第171号 | マツダ㈱における地球環境保全への 取り組み | 竹内 元 | 技 術 企 画 部 |
| 防錆管理Vol.39 No.4 | 自動車用アルミ板の防食と腐食試験方法 | 中務 幹 郎 | 技 術 開 発 部 |
| Theoretical and Applied Mechanics Vol.44 | Generation Mechanism of Aerodynamic Noise by Interference between Longitudinal Vortex and Body | 尾川 茂 | 車両技術実研部 |
| 実践教育機械系ジャーナル Vol.10 No.1 | 車両開発における 空力シミュレーションの活用 | 上田 健 農沢 隆 秀 | 車両技術実研部 同 上 |

| 寄稿誌名 | 題 目 | 執筆者 | 所 属 |
|-------------------------------------|---|---|---|
| プレス技術 Vol.33 No.6 | 成形したシミュレーションを利用した自動車ボディ部品の金型設計・製作 | 小川 孝 行 | 車 体 技 術 部 |
| 潤滑経済 3月号 | 微生物を利用した切削油の腐敗防止剤 | 北野洋一郎 | プラント技術部 |
| Automotive Technology International | High Performance Active Noise Control System for Automotive Interior Engine Noise | 内田 博 志 | 技 術 研 究 所 |
| 電子情報通信学会論文誌 A Vol.J78-A No.6 | VLSIによる実現に適したグラフ2分割並列アルゴリズム | 磯 本 和 典 若 林 真 一 小 出 哲 士 吉 田 典 可 | 技 術 研 究 所 広 島 大 学 同 上 同 上 |
| プラス チックス | プラスチック部品のリサイクル | 幸田 忠 士 | 技 術 研 究 所 |
| 日本金属学会誌「まてりあ」第34巻第4号 | マグネシウム鍛造ホイールの開発 | 藤 田 誠 坂 手 宣 夫 平 原 庄 司 宮 崎 直 治 山 本 幸 男 | 技 術 研 究 所 同 上 同 上 同 上 同 上 |
| 品質工学 Vol.3 No.2 | ヘリ継手溶接におけるレーザ溶接パラメータ設計 | 深 堀 貢 | 技 術 研 究 所 |
| 季刊「環境研究」 | リーンバーンエンジン用三元触媒の開発 | 小 松 一 也 重 津 雅 彦 高 見 明 秀 斎 藤 史 彦 竹 本 崇 清 水 多 恵 子 市 川 智 士 京 極 誠 磯 辺 正 | 技 術 研 究 所 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上 同 上 |

編集後記

マツダ技報第14号を無事刊行できました。

当社は現在かつてない厳しい状況にありますが21世紀に向けてお客様に満足して頂けるクルマを提供し、存在感のある企業へと飛躍していくよう全社一丸となって邁進しております。今回の小特集では、'95に発売しました「センティア」「ボンゴフレンディ」をとりあげました。ライフスタイルの多様化により、クルマへの要求も変化する中それを商品として実現した技術を紹介しております。おかげをもちまして、市場でも好評を博しております。

“新しいマツダ始めます”の合言葉のもとこうした新技術や基礎技術研究を積み重ね、光り輝く21世紀のマツダ(Brilliant Enterprise MAZDA21)を目指す我々への一層の御支援を頂ければ幸いです。

(居倉)

編集委員会

| | | | |
|-----|--------|--------|--|
| 委員長 | 竹内 元 | | |
| 委員 | 中野 伸一 | 近藤 敏郎 | |
| | 尾川 茂 | 畑村 耕一 | |
| | 上垣内 良三 | 古島 剛 | |
| | 居倉 伸次 | 浅井 裕史 | |
| | 部谷 雅幸 | | |
| 幹事 | 山田 晃正 | | |
| 事務局 | 世良 和美 | 森 矢比呂子 | |

マツダ技報 第14号

| | |
|-----|---|
| 印刷 | 平成8年3月25日 |
| 発行 | 平成8年3月31日 |
| 発行人 | 滝口 忠彦 |
| 編集人 | 竹内 元 |
| 発行所 | マツダ株式会社 商品企画本部 〒730-91 広島県安芸郡府中町新地3番1号 |
| 印刷所 | マツダエース株式会社 〒735 広島県安芸郡府中町新地3番1号 |

©禁無断転載

