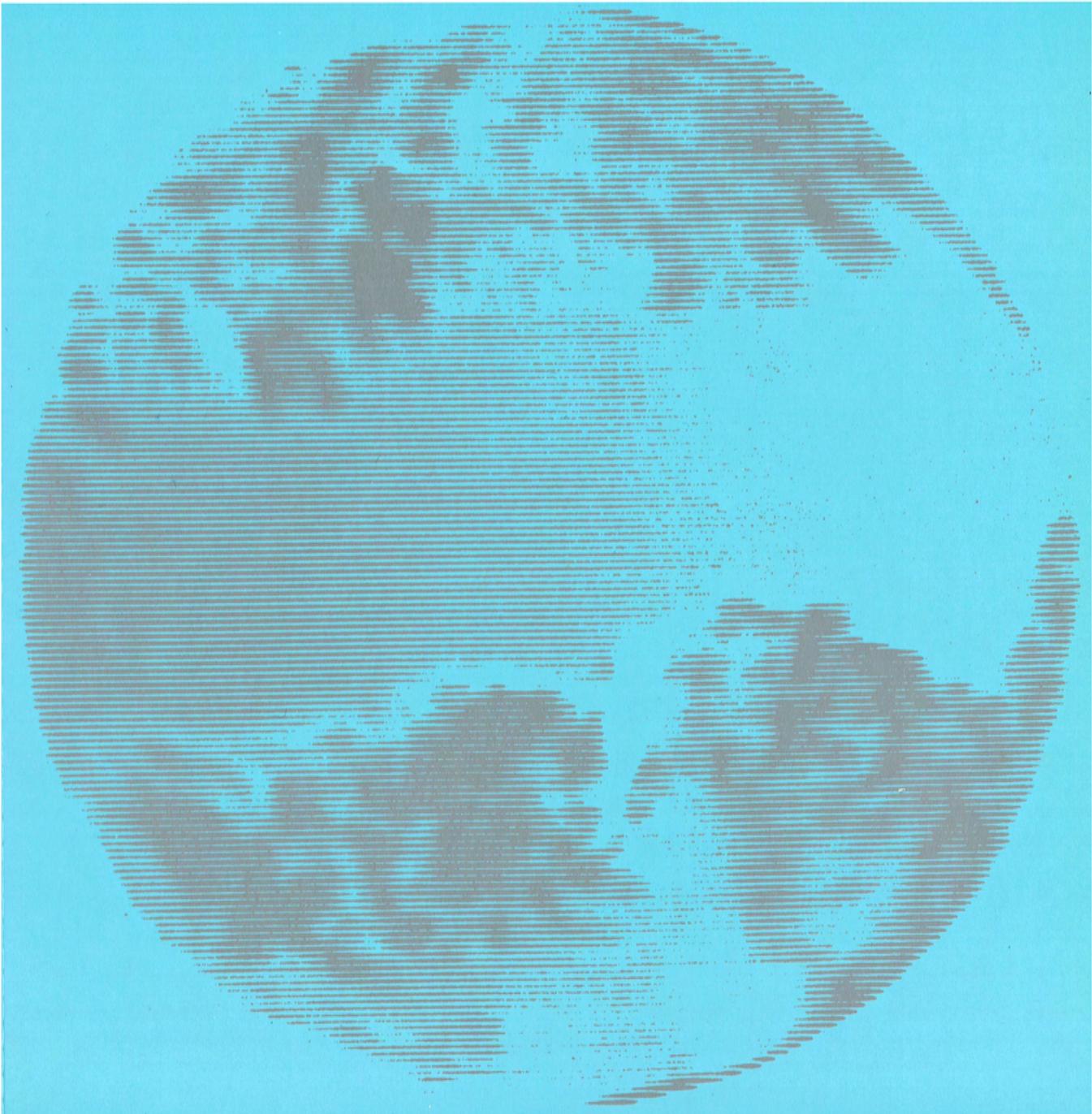


マツダ技報

Mazda Technical Review

1991 No. 9

mazda



表紙の説明

「定容燃焼容器における火炎伝播」

地球環境問題が深刻化する中、自動車の燃費や排気性能は今後一層改善されていかねばならない。そのためには、エンジンの排気を本質的にクリーンにし、かつ高効率を可能にする、燃焼面からの基礎的研究が重要である。

写真は、定容燃焼容器における火炎伝播のシュリーレン像で、火炎が燃焼室壁面から中心に向けて伝播する過程の一コマを示している。現在、横浜技術研究所では、燃焼プロセスを時間的経過の中で捉え、燃焼形態と排ガス及び熱効率との関係を解明していくことを通して、新しい燃焼形態の研究に取り組んでいる。

マツダ技報 No. 9 (1991)

目 次

巻頭言

- 2000年へ向けての技術屋の使命 滝口忠彦... 1

小特集

〈センチア〉

1. センティアの紹介 保田紀孝, 前田英男, 柴田恵一郎... 3
2. センティアのデザインについて 田中俊治... 10
3. センティアのパワートレインの紹介 本田泰夫, 中谷収一, 中村好孝... 13
山田秀樹, 安福 博, 田代裕二
4. オートクルーズへのファジー制御技術の応用 阿南義明, 安藤 悟, 村井 健... 22
久保義機, 山根武志
5. 新型マルチリンク式サスペンションと4WS 牛尾晃一, 吉岡広貴... 30
堀井慎也, 田中勇次
6. センティアの振動騒音 田中勇次, 春名 茂, 池田一夫... 44
7. センティアの安全装備 村本久雄, 真鍋敏之, 重村智子... 52
葛川 渉, 東 裕章, 後藤 博
秋山裕一, 岡田健治
8. ソーラベンチレーションシステムの紹介 梶本進士, 神野政之... 66
小浜昭一, 黒岩光利
9. センティアのスーパープレミアム
ミュージックシステム 榊原 学, 池田俊樹, 竹岡富彦... 74

〈オートザムレビュー〉

10. オートザムレビューの紹介 橋本俊博, 岩立義勝, 高地恵実... 81
11. オートザムレビューのデザインについて 進藤昌宏... 88
12. オートザムレビューのパワートレインの紹介 西田俊章, 下高敏信, 富永和雄... 92
佐々木一智, 佐々木和夫
13. 3 way キャンバストップの開発 大本誠一, 大土井耕三, 松本謙治... 98

論文・報告

14. ハイブリッドロータリエンジン 内田浩泰, 甲斐出忠良... 104
吉田裕将, 森田泰之
15. 低圧直噴層状給気エンジンの研究 三角正法... 112
16. 縦渦を含むシリンダ内流動場のLDV計測 工藤秀俊, 河野誠公, 松岡 孟... 121
17. 鋳鉄製ピストンの信頼性に関する一考察 榎本正章, 西田 工... 130
山内博文, 櫻井 茂
18. 動弁機構のジャンプ・バウンスに関する考察 栗栖 徹, 大森裕史... 138
畑村耕一, 野村一正
19. セリア担持法改良による三元触媒の高性能化 村上 浩, 井原和則... 146
大久保健治, 磯辺 正
20. 粒子分散型Moパーマロイ膜の研究 近藤二郎, 清水 勉... 154
谷岡真一, 松井恵子
21. 空力騒音の評価法に関する実験的研究 春名 茂, 神本一郎, 岡本 哲... 162
22. 新設模型風洞 橋口真宜, 三谷和正, 眞野康裕... 170
柴井宏文, 大黒雄二郎, 岸田能和

解説・紹介

23. 大型無響室の紹介 安藤正登, 野上孝雄... 180
永本光一, 甲斐聖人
24. センティア用アクスル組立ラインの紹介 武田 進, 砂田昌男, 斉藤勝巳... 186
25. 三次元測定機によるプレス部品測定・解析システムの開発 中島一晃, 二宮正和, 水野上智章... 193
26. 車載電子制御システム用の高機能故障診断 (車載ネットワークを活用した診断装置) 河添 覚, 三輪明司, 石田岳人... 199
道平 修, 平野晴洋

特許紹介 206

社外への発表論文一覧表 209

CONTENTS

ForwardT.Takiguchi

Special Edition for SENTIA and AUTOZAM Revue

SENTIA (<i>N.Yasuda, H.Maeda, K.Shibata</i>)	3
Design of SENTIA (<i>S.Tanaka</i>)	10
Powertrain for SENTIA (<i>Y.Honda, S.Nakatani, Y.Nakamura, H.Yamada, H.Yasufuku, Y.Tashiro</i>)	13
Cruise Control System with Fuzzy Control Technology (<i>Y.Anan, S.Ando, T.Murai, Y.Kubo, T.Yamane</i>)	22
A New Multi-link Suspension and 4WS (<i>K.Ushio, H.Yoshioka, S.Horii, Y.Tanaka</i>)	30
Noise and Vibration Study of SENTIA (<i>Y.Tanaka, S.Haruna, K.Ikeda</i>)	44
Safety Equipment for the SENTIA (<i>H.Muramoto, T.Manabe, T.Shigemura, W.Tsutagawa, H.Higashi, H.Goto, Y.Akiyama, K.Okada</i>)	52
Introduction of Solar Ventilation System (<i>S.Kajimoto, M.Jinno, S.Kohama, M.Kuroiwa</i>)	66
Super Premium Music System for SENTIA (<i>M.Sakakibara, T.Ikeda, T.Takeoka</i>)	74
AUTOZAM Revue (<i>T.Hashimoto, Y.Iwatate, M.Takachi</i>)	81
Design of AUTOZAM Revue (<i>M.Shindo</i>)	88
Powertrain for AUTOZAM Revue (<i>T.Nishida, T.Shimotaka, K.Tominaga, K.Sasaki, K.Sasaki</i>)	92
Development of a 3-way Canvas Top (<i>S.Omoto, K.Odoi, K.Matsumoto</i>)	98

Technical Reports

Hybrid Rotary Engine (<i>H.Uchida, T.Kaide, H.Yoshida, Y.Morita</i>)	104
An Experimental Study of a Low-Pressure Direct-Injection Stratified-Charge Engine (<i>M.Misumi</i>)	112
LDV Measurement of In-Cylinder Flow Field Including Vertical Vortex (<i>H.Kudou, S.Kono, T.Matsuoka</i>)	121
A Study on the Reliability of a Cast-Iron Piston (<i>M.Kashimoto, T.Nishida, H.Yamauchi, S.Sakurai</i>)	130
Consideration of Valve Train Jump and Bounce Motion (<i>T.Kurisu, K.Hatamura, H.Omori, K.Nomura</i>)	138
Improvement of Three-Way Catalyst Performance by Optimizing Ceria Impregnation (<i>H.Murakami, K.Ihara, K.Ohkubo, T.Isobe</i>)	146
Study of Particles Dispersed Type Mo-Parmalloy Films (<i>J.Kondo, T.Shimizu, S.Tanioka, K.Matsui</i>)	154
An Experimental Study on an Evaluation Method of Aerodynamic Noise (<i>S.Haruna, I.Kamimoto, S.Okamoto</i>)	162
Newly Constructed Wind Tunnel for Scale Models (<i>M.Hashiguchi, K.Mitani, Y.Shinno, H.Shibai, Y.Daikoku, Y.Kishida</i>)	170

Technical Explanations

Large Anechoic Room (<i>M.Ando, T.Nogami, K.Nagamoto, M.Kai</i>)	180
Introducing SENTIA's Axle Assembly Line (<i>S.Takeda, M.Sunada, K.Saito</i>)	186
Development of Stamped Parts Measurement and Analysis System Utilizing 3-D Measuring Equipment (<i>K.Nakashima, M.Ninomiya, T.Mizunoue</i>)	193
Highly-Sophisticated Diagnostics for Electronic Control Units – Diagnostic tool Utilizing On-Board Network – (<i>S.Kawasoe, A.Miwa, T.Ishida, O.Michihira, S.Hirano</i>)	199

巻頭言

「2000年へ向けての技術屋の使命」



取締役 開発本部本部長

滝口 忠彦

2000年代こそは、安定して豊かな文化的生活でありたいものと期待し、90年代に人々はグローバルな環境・資源の望ましい生態系の実現に強い感心を持ち始めている。この実現のための課題は、向上する生活や発展する社会経済活動と密接に関係し、一方では、未開発国の人口問題、最低限の生活確保の問題とからんで、その対応に現代文明や消費文化のあるべき姿や先進国としての役割が問われているように思う。

ふりかえって自動車業界は、70年代に公害や交通戦争、オイルショックなどを体験し、その都度総力をあげて技術開発に挑戦し、社会との調和を図ってきた。その後、幾多の変遷があったものの、面交通を担う移動・輸送に最も効率的な車を大量かつ安価に提供できるようになったことと相まってより豊かな生活を希求する人々に広く受け入れられ、クルマ社会が定着した。

しかるに、これまでの局地的な大気汚染に加え、地球温暖化、オゾン層破壊、リサイクル（廃棄物による汚染）といった問題がクローズアップし、更に再び交通事故死亡者が年間11,000人を越えるに至って、よりクリーンでセーフティなクルマ造りが早急に求められている。

このような背景から、「社会とクルマとの第2次調和」が期待されつつあり、そのレベルは前回の第1次調和期に比べて、私どもが越えなければならない壁は遥かに高く、解決すべきことも極めて広範囲に及ぶ。

そこで、我社は、地球環境保全と交通安全が最重要課題との認識に立ち、クルマ社会への貢献を目指して「地球に優しく、人を大切にする」技術の開発に積極的に挑戦していこうとしている。

この課題に対しては、短期的視点と長期的視点の両方で推進していくが、自動車技術全ての領域で目標の方向に全精力を傾注しつつ、構造・材料を革新し、エレクトロニクスなど先端技術を積極的に活用することが解決への鍵を握っている。

温暖化防止につながるCO₂排出抑制に対しては、新しい燃焼方式の採用や車の基本構造まで立ち返った抜本的軽量化による大幅な燃焼改善を推進するとともに、アルコール自動車、電気自動車等の代

替エネルギーの研究開発を積極的に行う必要がある。自動車のリサイクル問題では解体容易な車造りを研究しなければならない。安全性向上には衝突後のPassive Safetyの向上を図ってお客様を守る理想的な車体構造の開発にとどまらず、事故回避のための追突防止や危険回避に役立つActive Safetyの新技術の研究も急がねばならない。また、これらは車単体で取り組む問題であると同時に、自動車交通流の改善・改革を目指した路車間情報システム作りが期待され、またリサイクル問題にしても、回収・物流など社会システムとしてのインフラの整備確立を考えていかねばならない課題でもある。

このような社会要請に応えるには、技術面での革新から、産業や社会システムの在り方にまで及ぶ広い範囲で全体最適化に本格的な取り組みが求められており、その潮流は企業に大きな変革を促して、社会システムまで含めた新しい企業活動の理念をもたらそうとしている。こうした状況は新しい価値を創造し、企業展開のオリジナリティを発揮する好機でもあると思う。

また、社会環境が大きく変わろうとする今日、その社会に適合する商品とはいかなるものかを常々洞察しつつ進めていかなければならないが、更に企業活動の将来を予測し、提言していくのも、我々技術屋の役割・使命と信ずる。なるがゆえにこれからの時代は「技術先導の経済社会」とも思う。

このような中であって、我々はマツダとしての意志を鮮明にし、社会との調和を実現すると同時に真の豊かさを求めて止まないお客様のご要望に応え、互いに共感を呼ぶような商品開発、技術開発に尽力したいものである。

小特集

1

センティアの紹介

Introduction of SENTIA

保田 紀 孝*¹ 前田 英 男*² 柴 田 恵一郎*³
 Noritaka Yasuda Hideo Maeda Keiichiro Shibata

要 旨

世の中の流れは、「モノの豊かさ」から、「心の豊かさ」へと、大きな転換期を迎えている。

センティアは、この「心の豊かさ」に焦点を当てて新しい中型車像を求め、新開発した乗用車である。

駆動方式はフロントエンジン・リアドライブで3.0ℓと2.5ℓの2つのエンジンを持ち、今後の中型車クラスの中心となるポジショニングを狙った。本稿では、開発のねらい、商品特徴について紹介をしている。

Abstract

A great turning point has come in the social currents of the world, a switch from seeking affluence to enriching the mind. The SENTIA is a passenger car developed with emphasis on enriching the mind and with a view to building a new medium-sized car.

The rear wheel drive SENTIA, which will have 3.0- and 2.5-liter engine models, is positioned as a major medium class car for the future. This report introduces the aim of the SENTIA's development and its features.

1. はじめに

覇権の時代が終了し、新しい大航海時代へ。高級車の覇権主義も消滅するか？

従来の威厳はあるが、暗くて・重いもの一辺倒から、もっと別のコンセプトがあってよい。

時代がそれを要求し始めている。

ポジショニングを、中型車セクターの中心におき、「なぜセンティアは必要か？」

他の車と代替できない価値を提案したい。

それが一目で分かるレベルにまで表現され、世界の自動車好きのユーザから「中規模だが、尊敬できるメーカー」へと変わってゆくマツダを、実感してもらえるための挑戦をしたい。

そのような熱い思いで開発した。

2. 開発の背景とねらい

全く新しいセダンの名 SENTIA(センティア)はフランス語の“SENTIR(感じる)”とラテン語の“IA(場所)”を組み合わせ、「感動を呼ぶ洗練さ

れた空間」との思いを込めて命名した。

世の中の価値観は、急速に変わりつつある。

ユーザ自身が年齢や性別、職種にとらわれず、その本質を見極め、自分の感覚、ライフスタイルに本当に合うものが何であるかを見抜き、自分に最も適したものを選び出す時代になっている。

単なる機能的なモノや経済的な贅沢でなく、自己の内面的充実を求めることに価値を見いだしてきている。

これは「モノの豊かさ」から、「心の豊かさ」への大きな転換であり、これらの方々が重視している価値観は、「自由に」「人間らしく」「あるがままに」であると言える。

こうした流れのなかで、センティアは新しい価値観にターゲットをおき、「パーソナルユースに徹しきった、プレステージセダン」をコンセプトとして開発した。

そこで我々は、重点目標を

(1)一目で分かる「確かさ」をもった、クルマの「たたずまい」

* 1, * 2 商品本部 * 3 第一企画設計部

- (2)機能的で、明るく、心地よい緊張感をもたらすインテリア
 (3)しなやかでかつ優雅さを実感できる乗り味
 (4)高いレベルの総合安全性
 の4つに設定し、開発を行った。

3. エクステリア

センティアのデザインは、伝統をふまえ、基本を守りながら最新の技術を駆使して、まったく新しいセダンの創造を目指した。

それを支えているのは、マツダのデザインフィロソフィ「ときめきの世界の創造」。

この「ときめきのデザイン」は、伝統と革新、西洋と東洋、明と暗、静と動、といった相反する要素がぶつかりあう中から、乗る人見る人を理屈抜きで刺激する「驚きと楽しさに満ちたエンターテイメントの世界」を創造するものである。

そして、いろいろな要素を凝縮し簡略化していくことで、新しい様式をつくりあげる独自の文化や光と影の微妙な変化に対する鋭敏な感性など、日本特有の美意識に着目し、オリジンを求めた。

センティアのデザインにおいて、最も重視したのが一目で誰にでも分かる「確かさ」を持った「たたずまい」であった。

たたずまいの基本は、骨格とプロポーションにあり、プロポーションの特徴は

- (1)ロングホイールベースとショートオーバーハング
 (2)ロー&ワイドプロポーション



図1 センティア

- (3)平面ラウンドデザイン
 である。

そして、3ボックスセダンを踏襲しながら、プランビューの強い絞り込みやボリューム豊かな骨格により、伸びやかに低く構えた、しなやかで、かつ優雅な印象を持つ、全く新しい車格感を表現した。

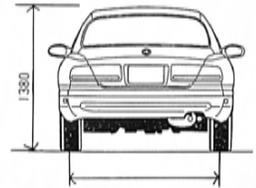
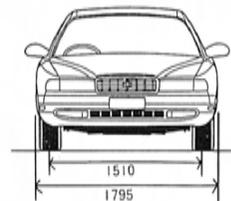
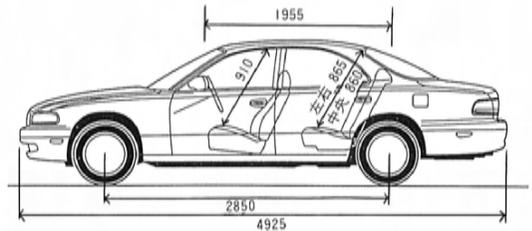
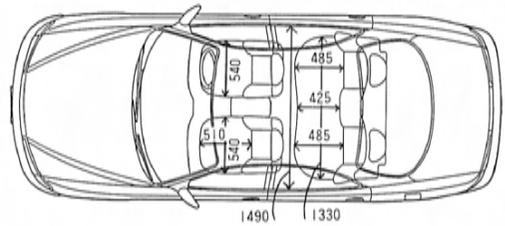


図2 外観四面図

4. インテリア

インテリアは、中型クラスセダンとして十分な居住性を確保しつつ、これまでの高級セダン像を脱し、パーソナル&スポーティをテーマとしながら、ステイタスの高さを実感できる明るいシンプルなインテリアを追求した。

室内は、低いベルトラインと大型のガラス採用によって明るく解放的な感覚を生み出し、全体の雰囲気はラウンジ感で統一されている。ラウンドデザインの天蓋キャabinは、 $CD=0.32$ の優れた空力特性を持ち、室内全体の形状レイアウトとあいまって、「こちよ緊張感」を伴った、快適な空間を表現している。

特に車室内前後長1955mmによるクラストップの前後のゆとりと、低車高にもかかわらず十分なヘッドクリアランスをもつ、室内設計は大人4人がゆったりと長距離ドライブできる楽しい会話空間を作り出している。

快適な運転操作のため、スイッチ・メータ類を全てドライバに向けた3次元メータパネルを採用し、メータ類は時計を含めてアナログで統一し、スイッチ類は数を極力少なくすることによって大型化し、使いやすい機能的なものを狙っている。

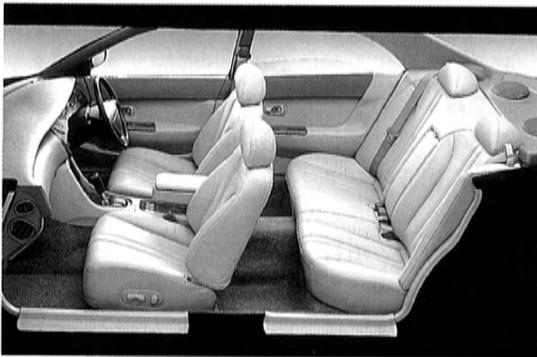


図3 インテリア

1) トランクルーム

深さを十分にとることにより、9インチゴルフバックを4個収納でき、また75型の超大型サムソナイトを2段積みできるスペースのトランクルームは中型クラスとして十分な積載量を確保している。

そのほか、使いがっの向上を図るために、トランクリッドをバンパ面まで開くとともに、ダブルヒンジ機構を採用することによって、余分な突起がトランク内にでない構造とし、更に約30ℓのサブトランクを追加している。

5. しなやかで、かつ優雅な乗り味

センティアではスタイリングから受けるイメージ「しなやかでかつ優雅」な感覚を乗り味の面でも実感していただけることを最大の目標にした。ここでいう乗り味とは

- ・なめらかな加減速
- ・しなやかな乗り心地
- ・しっとりとしたNVH
- ・かろやかで安定した操安性

が総合された感覚を指す。

この「乗り味」の実現のために

- (1) 上質な動的特性をもたらす、素性の良いレイアウト
- (2) スムースなパワートレインの造り込み
- (3) 新型4輪マルチリンクサスペンションとニュー車速感応型4WS
- (4) 高剛性で絶縁性の良いボデーと乗り心地の良いシート

が開発の重点課題であった。

5.1 レイアウト

センティアは全長4925mmと全幅1795mmの3ナンバー専用ボデーで、ロングホイールベース(2850mm)、ワイドトレッド、ショートオーバーハング、底重心の車体構造を特徴とするフロントエンジン・リアドライブ方式である。

エンジンをフロント・ミッドシップに、ガソリンタンクを後輪軸上に配置し、アルミボンネット、アルミ構造サンルーフ等の採用によって、車の運動性能に深く関わる慣性モーメントを低減し、前後52:48という理想的な重量配分を実現することにより、しなやかな乗り味の基本を造った。

5.2 パワートレイン

しなやかな走りとクリーン&エコノミの観点から、パワートレインは「中低速を最重視したトルク特性」「NVHの滑らかさ」「燃費の向上」を重点目標にして新開発した。

エンジンはV6-3.0ℓ DOHC 24バルブとV6-2.5ℓ DOHC 24バルブの2種類を用意している。

高出力とのハイバランスを狙ったV6-3.0ℓはプレミアムガソリン仕様で、最大トルク27.7kg・m/3500rpm、最高出力200ps/6000rpm、なめらかさと経済性を重視したV6-2.5ℓはレギュラー

ガソリン仕様で21.5kg・m/3500rpm, 160ps/6000rpmの出力である。

振動・騒音を低減させるために鍛造スチールクランクシャフト、メタルクリアランスの精密管理を採用するとともに、エンジン本体の剛性を高めた上で、シリンダーブロックとトランスミッションケースをアルミ製VRS (Vibration Reducing Stiffner) で一体結合している。

電子制御4速オートマチックトランスミッション(以下AT)は、エンジンとの総合制御をするシフトクオリティ制御、低車速域でのロックアップを制御するスリップコントロール制御、ノーマルモード・パワーモードを自動選択するオートパワー制御等の採用で、ドライバの期待に最適にตอบสนองしつつ機動性、燃費、使いやすさを高度に調和させた。

ドライブトレインはプロペラシャフトを一直線配置とし、チューブインチューブプロペラシャフト、構造体の高剛性を狙ったビルトインタイプデフキャリア、デフ側の等速ジョイントに低摺動抵抗タイプを採用するなど駆動系の振動防止を徹底的に行った。

燃費改善については、優れた充填効率と燃焼効率の4バルブペントルーフ型の燃焼室、抵抗低減をもたらすローラフォロア、制御精度を向上させたクランクアングルセンサ、高効率の吸排気系などを採用した。

5.3 新型4輪マルチリンク式サスペンションとニュー車速感応型4WS

開発のねらいを

- (1) ロードノイズなど路面入力騒音の低減
- (2) あらゆる路面プロフィールを、なめらかに乗り越え、素直に減衰する乗り心地
- (3) 加減速など前後加速度に対する穏やかな車体挙動
- (4) かるやかに動き、しかも安定している操安性においた。

このため、フロントおよびリアに新開発のマルチリンク式サスペンションを採用し、全車に車速感応型4WSを標準装着するなど、意欲的に新技術を採用入れた。

5.4 ボデーおよびシート

ボデーは、前後に通したきわめて剛性の高いメンバーを基本骨格にした安全性の高いもので、全世界統一構造である。

また動的剛性の向上、構造部材への制振鋼板の採用、新開発の高剛性/高ダンピングの制振材の使用により、振動・騒音の絶縁性がよく、高剛性のボデーを開発した。

これらの結果、微振動が極めて少なく、路面入力音のコモリがない、澄んだ音質の振動・騒音特性が得られた。

風騒音の低減については、風洞実験を繰り返し、車体形状・シール特性・遮音等について、広範囲な検討を加え各部の最適化を図った。

特に油点法など可視化技術によるAピラーの形状最適化、高速でのガラス保持剛性を大幅に上げたシール構造、各ピラー内へのウレタン挿入による効果的改良で、風騒音の大幅な改善ができた。

シートは、新構造のスプリング、高弾性ストレッチモノマの採用などにより、比較的ソフトなタッチ感でありながらドライビング姿勢を良く保持し、低周波のフワフワした振動領域ではダンピングが良く、高周波のゴツゴツした領域では絶縁特性が高いことを両立させた。

以上の全ての項目を総合して、「しなやかで、かつ優雅な乗り味」を実現した。

サスペンションは、低いボンネットのなかで、余裕あるストロークをもち、前後の十分なコンプライアンスときわめて高い横剛性を両立させ、タイヤの接地状態を常に最適に保つサスペンションジオメトリ、およびジオメトリ変化を理想的に実現することができた。

4WSシステムは、当社で第2世代4WSと呼ばれるもので、リアタイヤの最大舵角を7度まで拡大するとともに、制御範囲を広げて高速での安定性を更に改善し、小型軽量化を実現した。

6. ハイレベルの総合安全性

事故回避などのアクティブな安全性は

- (1) ドライバの意志通りに動く余裕の動力性能と安全で使いやすいAT変速の操作性
- (2) ドライバの意志通りに動く操縦性と高速およびコーナリングでの安定性

- (3) 全ての路面状態で確実に効く制動性
 (4) 知覚・操作安全性(視界・視認性・被視認性)の4つの向上を重点的に行った。

6.1 余裕の動力性能とAT変速の操作性

中低速トルクを最重要視したエンジン特性、オートパワーシステムによる最適のシフトセレクションを組合わせた結果、発進・追従・追い越しなどピックアップ性能は、クラスストップレベルの余裕を持たせることができた。

ATシフトロック、キーインターロック、後退警告などのAT安全対策はもちろん、ホールドモードによる機敏な加減速、雪道での安全走行などにも配慮した。

6.2 操縦性と安定性

とっさの場合の機敏な操縦性と高速道路等での安定性、これらは事故回避性能の基本である。

この性能は中型クラスセダンの常識を打ち破った優れたボデー、シャシーのディメンジョンとレイアウト、ロードホールディングの優れた4輪マルチリンクサスペンション、ニュー車速感応型4WSの組み合わせで、トップレベルに高めている。

6.3 制動性

前後15インチのベンチレーティッド・ブレーキと8インチと9インチのタンデムマスターバッグの組み合わせで、ブレーキの効きとコントロール性を向上し、4WABSは3.0ℓ車に、標準装着とするなど装着比率を大幅にアップした。

制動安定性の面では、ノーズタイプの極めて少ない新型マルチリンクサスペンションのジオメトリが役立っている。

6.4 知覚・操作安全性

視界については、低いボンネットとフロントフェンダーライン、低いドアベルトライン、細いA&Bピラー等による視界の確保、明るい大型4灯ヘッドランプ、大型フォグランプの標準装備、ステアリング連動フォグランプの採用などで、夜間走行時の視界を向上した。

このほか、太陽光による幻惑防止のためのセンターバイザー、リアガラスの熱線部分の拡大など、細かいところまで配慮した。

視認性の面では、インストルメントパネルのスイッチとメータはすべてドライバに向けるために、3次元のインストルメントパネルを採用し、極力

大型化した。

被視認性の面では、ハイマウントストップランプを装着している。

6.5 衝突時の安全性

衝突時のパッシブな安全性については、国内保安基準はもちろん米国の安全基準、社内の独自に設定した基準をクリアした全世界同一のボデー構造とした。

多種多様の衝突モードに対して、衝撃荷重を小さくして、乗員空間を保持するためのエネルギー吸収フレームと強固なキャビン構造を採用している。後車軸上の床下に置いたガソリントankレイアウト、インパクトバー付きの非常に厚いドア構造、ロールオーバーに対するルーフラッシュ強度など十分な配慮をしている。

衝突時の車室内安全性についても、ドライバ席エアバックの採用、後席3点ベルトの標準装着はもちろん、後席ベルトの腹ずれしにくい構造の採用、室内すべてソフトパッド化など細かいところまで配慮を加えた。

また火災防止の点からガソリントank内にロールオーバーバルブを採用し、車室内に難燃材を使用している。

7. 環境問題への対応

7.1 燃費の向上

車両サイズアップ・安全の向上・装備の増加など燃費に不利な要因はあったが、動力性能をアップした上で燃費向上ができた。

パワートレインについては、エンジンの抵抗低減(ピストン&コンロッドの軽量化、ローラフォロア、ピストンモリブデンコート採用など)、燃焼改善(ペントルーフのコンパクトな燃焼室、プラグクレビスポリウム低減など)、セッティング精度の向上(クランクアングルセンサによる制御精度向上、減速エア減量/燃料減量など)とATの改善(ATスリップ制御、AT自体の効率改善)が寄与している。

軽量化については、ボンネット・フロントロアアーム・各種ブラケットなどのアルミ化、高張力鋼の多用化および摩擦溶接プロペラシャフトなど数多くの部品の最適化・軽量化を行い、約90kgの軽量化を達成した。

また車両の抵抗低減については、転がり抵抗を当社の同クラス車比で25%軽減し、空気抵抗係数は、0.32を実現した。

その他、世界初のソーラサンルーフや熱反射ガラスの採用、エアコンの省エネ化などきめ細かな配慮を行った。

7.2 ノンアスベスト化

ブレーキ、クラッチ、エンジンのガスケットなどアスベストフリーを推進した。

7.3 リサイクル

将来、プラスチック部品のリサイクルにできるだけ有利なように、熱可塑性プラスチックを、バンパ、サイドガーニッシュ、リアフィニッシュなど大物のプラスチック外装部品に積極的に採用した。

また、前述のアルミの多用化は、軽量化と資源の再利用の両立を目指したものである。

8. 装備

8.1 ステアリング連動フォグランプ

新開発のステアリング連動フォグランプは、ワインディングロードなど見通しの悪い道を夜間走行する場合に、視界を確保し安全性を向上させる。3.0ℓエンジン車に標準装着(2.5ℓエンジン車はオプション)され、ステアリング操舵角に応じてフォグランプの照射範囲を随時車の進行方向に広げ、進行方向を常に明るく照らすことができる。

このシステムは、ステアリングの操舵角方向および操舵角をアングルセンサがキャッチして、フォグランプ内のサブプリフレクタの振れ角を変化させるものである。なお、ステアリングの操舵角に対するサブプリフレクタの振れ角は、センチアが4WSを備えていること、運転者の視線移動範囲が異なることを考慮し、高速走行時より低速走行時の方を早くし、右旋回時より左旋回時の方を早くするなど、運転者の視界が確保できるように最適な制御を行った。

8.2 SRS エアバックシステム

SRS (Supplemental Restraint System: 乗員保護補助装置) エアバックシステム (3.0ℓエンジンに標準装置, 2.5ℓエンジン車はオプション) は運転席に装備され、ボデー前部に取り付けられた3つのセンサのうちいずれかひとつとインパネ付

近に取り付けられたセーフィングセンサが同時に衝撃を感知することで、ステアリングのセンターパッドに収納されたエアバックが瞬間的に膨張し、顔面などをステアリングやインストルメントパネルに強打することを防ぐ。また、シートベルトとの併用でドライバーの保護力を高めることができる。

8.3 最上級車のソーラベンチレーションシステム

“EXCLUSIVE”には、世界初のソーラベンチレーションシステムがオプションで設定されている。これは、ガラスサンルーフの裏面に貼り付けられたシースルータイプの薄型のアモルファス Si 型太陽電池の働きで、トランク内の換気ファンを駆動させ車内を換気するものである。

換気ファンは外気温度によって自動的に作動し、炎天下駐車時に車内温度の上昇を緩和する。セットオプションの全面熱反射ガラスは、太陽光線(赤外線)を効率よくカットするため、ソーラベンチレーションと合わせて、スピーディな冷房を促し、快適な車両室内空間を実現させた。外気温度が低い場合には、太陽電池で発電した電力を車載バッテリーへ自動供給して充電を行う。また走行中は必要に応じてスイッチ操作により車載バッテリーの電力で換気ファンを駆動させタバコの煙などによる濁った空気を強制的に排出することもできる。

8.4 フルロジックオートエアコン

エアコンは室内を常に快適な状態に保つフルロジックオートにし全車に標準装備した。操作ノブの大型化や、作動状況を集中表示するビジュアルモニタにより、操作性を向上させている。大風量化に加え3連スイングルーバーの採用により自然な空調フィーリングを実現した。設定温度、風量、噴き出し口などの情報はビジュアルモニタで表示する。3.0ℓエンジン車にはリアベンチレータを装備。特に“EXCLUSIVE”にはエアコンの温度調整が行える後席温度コントロールも装備した。またコンプレッサやエアコンの作動音を徹底的に低減して、静粛で快適な室内空間を作り上げている。

8.5 スーパープレミアムミュージックシステム

“EXCLUSIVE”に標準装備のスーパープレミアムミュージックシステム (30LIMITED G, 25LIMITEDS にオプション設定) は、センチア専用に開発したハイグレードオーディオである。

フルロジックカセット一体型 AM / FM 電子チューナー、8チャンネルマルチドライブ300Wハイパワーアンプ(50W×4, 25W×4)、6ポジション・12スピーカー、6連奏CDオートチェンジャの組み合わせは、迫力ある高密度サウンドによる臨場感あふれる音場を再現できる。

8.6 ハンズフリーテレフォンシステム

自動車電話の普及にともなって、ハンズフリーテレフォンシステムを3.0ℓエンジン車にオプション設定した。このシステムではステアリングコラム横にマイク、右側セールガーニッシュに電話メモリースイッチを設置し、ワンタッチ短縮ダイヤルを4カ所まで設定可能としている。

8.7 セキュリティシステム

センティアでは、車両の盗難に対しても数々の対策を行った。まずキーシリンダーを破壊困難な構造としたうえでドアロック部を防御構造とした。更にイグニッションキーシリンダーを取り付けて強度を強化している。またイグニッションキーの抜き忘れ防止アラームを設けた。車の一時あずけなどの際に便利なトランクオープンキャンセル機構も採用している。

9. おわりに

以上、センティアの開発思想と商品概要を紹介した。この車の目指した新しい方向性と、マグニチュードの大きさが、多くの方々の共感呼び、中型セクターの乗用車に新風を送ることができればと願っている。

これも、社内外で関係された数多くの方々の甚大なご協力の賜であり、紙面を借りて深く感謝の意を表したい。

■ 著 者 ■



保田紀孝



前田英男



柴田恵一郎

小特集

2

センティアのデザイン Design of SENTIA

田中俊治*1
Syunji Tanaka

要 旨

“センティア”は、インダストリアルデザインの領域から脱して、“ときめきの世界の創造”というマツダデザインフィロソフィを確立した第一作目である。簡略を秘めた曲面の中に封じ込められた創り手の種々の想いや願いが陰影の微妙な変化に応じ、様々な表情となって現われてくる、まさに日本の美意識の中に独自の完成を求めたクルマである。伝統と革新、西洋と東洋という相反するもののぶつかり合いの中から新しい価値観を見だし、当社のフラッグシップとして世界に通用する高級車創りにチャレンジした。

Abstract

The SENTIA, escaping from the boundaries of industrial design, is the first creation establishing Mazda's design philosophy, "To bring forth an inspiring world". Within curves that belie its simplicity, is contained the wide range of ideals and desires of its creators, and responding to the subtle play of shadow and light there is revealed a rich variety of surface expression. A car that has successfully captured the originality embodied in the Japanese appreciation of art. Tradition and revolution, the West and the East: from such bold contrasts there has emerged a new sense of values, a challenge which this Mazda flagship model has creatively won to become a luxury automobile for use throughout the world.

1. はじめに

センティアの商品コンセプト“都会的で洗練された高級パーソナルセダン”を実現するために、デザインコンセプトの明確化に注力した。新時代の中型市場を形成するユーザの顔を思い浮かべながら、デザインコンセプトを練り、その想いを形にした。

2. デザインコンセプト

団塊世代の台頭による新しい価値観で、既存の車格感の崩壊と、外的アピールから内的充実への変化とが起きたこと、更に税制改革により日本独自の小型車枠がなくなったことを背景に、我々は今までの中型市場のユーザではなく、団塊の世代が新しいエグゼクティブとしてエントリーした人達にターゲットを合わせることにした。

我々はこの新しいターゲットユーザが社会的地位からの車格を正とせず、自らの感性で選択する高次元なセンスの持ち主であると信じて、新しい

中型市場を形成する独自のデザインを進めるといふ方向性を明確にした。

本来、中型市場は外に対して「格」を大切にす「男社会」のようなものであり、常に社会的地位を背負っている感がある。独自の中型市場の形成には、女性が美しく見える車が大切であると考へ、またこれまでのような社会的地位の誇示を、ハイセンスを誇示することに置き換えたデザインコンセプトに達した。

このデザインを進めるにあたり、デザインコンセプトのキーワードは、ユーザの顔が見えて、形がイメージできる、“Esquire Express”とした。

これは「自分の考え方をはっきり持って、自分の目で選択でき、家族を大切に、仕事もできる人達のために素晴らしいシーンを演出できる乗り物」という意味を持たせた。

今までは仕事中心社会で仕事の匂いのする高級車が多く、リゾートにおいて場違いな感を与えていたが、今、自分の時間を大切に人達が増え、家族との時間を多く取るようになってきた。そこ

*1 デザイン本部

でパーソナルな高級セダンがあっても良い、また欲しいという想いから、キーワードを“Esquire Express”とした。

3. 車のたたずまい

高級及パーソナルセダンを表現するにあたり、最も大切なのは高感度のユーザに認知してもらえるだけの独自性である。この独自性を構成するものはその車が持つ“たたずまい”である。

高級車の要件は、風格、高品質、高性能等色々あるが、我々是一目でだれにでも分かる“確かさ”を持った“車のたたずまい”が重要であると考えた。

“たたずまい”の基本は、骨格とプロポーションである。伝統的な3BOXセダンを踏襲しながら、立体の重心位置を低めに構えることによって存在感のある新しい車格感を出すことを目指した。更に従来のように単純に大きく見せるのではなく、強いプランビューの絞り込みなどボリュームあるダイナミックな骨格で車格を出す事に成功した。

造型の自由度から平面ラウンドデザインを基調とし、前後輪の間にゆったりと配置したキャビンによって安心感とゆとりを与え、短いフロントオーバーハングと三次元的に絞り込まれたフロントフェンダによって、スポーティさと国際的なデザインの方向性を示した。また、強く傾斜したフロントウインド、リアウインドに合わせたトップレベルのロングホイールベースで、流麗なプロポーションを表現した。

4. 造型テーマ

造型テーマは“しなやかで、かつ優雅”とした。

車はやわらかく、しなやかで、強靱で、打てば響くような緊張感を持ったシンプルな造型、そしてそのシンプルさの中に複雑なシャドーを移し込み、無限の変化、変貌を遂げ、見る人の心に響くカタチでありたい。

国際舞台に立ち、幅広化というデザイン自由度を得ることで、日本、また当社のオリジナリティが問われることとなった今、日本の美意識の中に独自の感性を求めた。それはモノの移り行く姿にモノの衰れを知る独特の感性を表現することである。微妙な光によって表情を変化させ、見ること

に新鮮さを放つもので、つまり自然の中に融和、また同化しながらも、きらめく存在感を持ち、簡略を秘めた曲面の中に封じ込められた創り手の種々の想いや願いが陰影の微妙な変化に応じ、様々な表情となって現われてくる。

それは感性を具象的に表現する西洋の観念とは明らかに異なる、日本特有の美意識である。

造型テーマの“しなやかで、かつ優雅”は日本特有の美意識の中から生まれたものであり、伝統を持たない高級車の新しい車格を創出するにあたり、最も大切にしたところでもある。



5. 独自の室内空間

インテリアテーマは“パーソナル&スポーティ”で、しかもステータス性のある新しい高級車の在り方を追求した。

本格国際サイズの新世代センティアは当社のデザインポリシーである“エンターテイメント”，すなわち“もてなしの心”を軸にしてクリエートした。

ボデーとマッチしたラウンドキャビンを与え、 $C_D=0.32$ の空力と、大人4人が十分に、かつ心地良く乗れる快適空間の新しいハーモナイズを試みた。

5枚のウインドガラスのパノラマは、乗った人からバランス良く見えるようにするとともに、外から乗っている人を見たときは、サイドウインド

が額縁の中の絵画となるよう配慮した。

これまでの角張ったキャビンに対して、ソフトなボデーの面構成に合わせて、ルーフもラウンドさせ、あたかも茶室を思わせるよう、狭くもなく、広くもない心地良い空間を表現した。

インストルメントパネルは、ドライブに語りかけてくるような凹面鏡型の造型で、操作機器類にも一定のリーチで同じように操作できるドライブオリエンテッドな構成とし、メータリング部は入念な細工で高級感と日本人特有の精緻さを表現した。一方、助手席にも疎外感のないよう配慮を行い、ドアトリムを連続させることにより、伸びやかで、ゆったりとしたくつろぎ感を大切にしたい。コンソール周り、ドアアームレストなどは手作り感を重視し、手縫いのステッチを用いた。

日常人の手によく触れる部分は特に留意し、機能と同時にフィーリングを大切にするため高級素材を使用した。

従来比較的に無視されてきたリアパーセルトレー周りも室内空間の一部としてリアシートとコーディネートされた造型とした。



6. ペイントクオリティ&カラー

微妙な陰影を造型と相まって演出するために、ハイレフコート塗装とし、深みを出すために全体的にダーク色を基調とした。

ライトカラーについては、マイクロチタンを使用し、明度が高くても陰影のメリハリがつくようにした。

インテリアカラーコーディネーションは、テーマを“カジュアル”としてダークスーツの高級感でなく、ジャケットの高級感を出すことを試みた。ライト系の室内にすると、明るさと解放感はある

が、高級感の演出が非常に困難であることから、多色系を多用してミックス感で深みを増す方法を取った。

7. おわりに

理屈抜きで素敵なクルマというのは、“エンターテイメント”，すなわち乗る人、見る人を刺激せずにはおかないような魅力を持っていることであり、全く独自の“ときめきの世界の創造”の確立したものである。

この車は伝統と革新、西洋と東洋、明と暗、スポーティさと格調、以上のように相反するもののぶつかりあいの中から新しい価値観を創ることに注力した。

その中からデザインコンセプトを創出するということは、ややもすると独善的となる面もあった。それにもかかわらず、このデザインの実現に燃えて、果敢なチャレンジをしてくださった関係者の皆様にお礼を申し上げるとともに、この車を“Esquire Express”のユーザの方々に乗っていただき、素晴らしいシーンを創っていただけることを願っている。

■ 著 者 ■



田中俊治

小特集

3

センティアのパワートレインの紹介

Powertrain for SENTIA

本田 泰夫*1	中谷 収 一*2	中村 好孝*3
Yasuo Honda	Shuichi Nakatani	Yoshitaka Nakamura
山田 秀樹*4	安福 博*5	田代 裕二*6
Hideki Yamada	Hiroshi Yasufuku	Yuji Tashiro

要 旨

Abstract

センティアに搭載したパワートレインは、常用域における高性能と静粛性、滑らかなシフトフィールと燃費の向上を主なねらいとして新開発した。エンジンはV6, 3ℓ DOHCとV6, 2.5ℓ DOHCとし、オートマチックトランスミッションはR4A-EL型を採用している。

本稿では、エンジン本体の低振動、低騒音技術、吸排気の性能向上技術、更にオートマチックトランスミッションのシフトフィール向上や低燃費化技術、ドライブトレインの低振動化技術について概要を紹介している。

The powertrain of the new Mazda passenger car was developed in an effort to enjoy high performance and quietness in the normal service range as well as smooth shift feel and good fuel economy: Two engines are available, the 3-liter V6 DOHC and the 2.5-liter V6 DOHC; and the automatic transmission available is the electronically-controlled R4A-EL.

This paper describes (1) technologies to reduce engine vibration and noise, (2) technologies to improve intake and exhaust performance, (3) technologies to improve shift feel and fuel efficiency of transmission and (4) technologies to reduce drive train vibration.

1. はじめに

パワートレインには、高い出力特性や低振動・低騒音といった走りの快適性の要求の高度化とともに、クリーン&エコノミといった地球環境保全への対応が求められている。センティア用パワートレインはこのような要求に高度に応えるべく新開発したものである。

エンジンはルーチェに搭載しているJシリーズをベースに、3ℓ DOHC (JE DOHC) と、2.5ℓ DOHC (J5 DOHC) を新開発した。オートマチックトランスミッション(以下AT)はユーノスコスモ用をベースに新開発したものである。

以下に、パワートレインの特徴および主要技術の概要を紹介する。

2. 開発のねらい

スポーティセダンであるセンティアのカーコンセプトを踏まえた走りの味の実現と、クリーン&

エコノミの観点から以下を開発のねらいとした。

- (1)常用域における卓越した性能とクラストップレベルの静粛性の実現
(性能については、常用域で車速につれて増大する加速感を得るために、低速から中速にかけて大きくトルクが増加するトルクカーブの実現に配慮した。)
- (2)スムーズかつハイレスポンスなシフトクオリティの実現
- (3)クラストップレベルの低燃費の実現

3. 主要諸元

JE DOHCエンジンは、従来のV6, 3ℓ DOHCエンジンと基本諸元は同一としつつ、低振動・低騒音技術や性能・燃費改善技術を採用している。エンジン断面図を図1に示す。

当社初の2.5ℓエンジンであるJ5 DOHCは、上記各種改善技術を織り込んだJE DOHCをベースに派生させた。諸元選定においてはクリーン&エコノミの観点から“燃焼効率の向上”を基

*1, *2, *3, *4, *5, *6 パワートレイン設計部

本方針として、燃焼室をコンパクト化できるボア縮小での派生とした。

主要諸元を表1に、性能曲線を図2に示す。

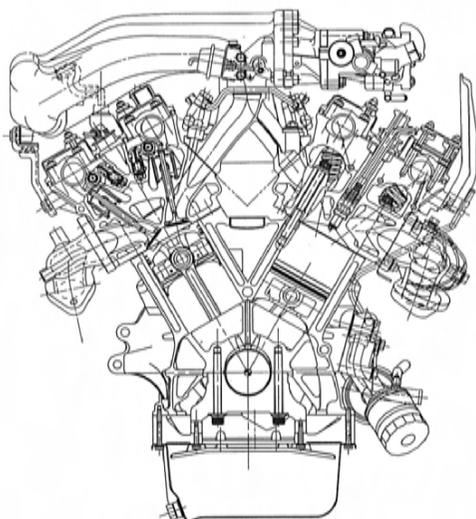


図1 JE DOHCエンジン断面図

表1 エンジン主要諸元

エンジン	JE DOHC	J5 DOHC
内径×行程 mm	90.0×77.4	82.7×77.4
総排気量 cc	2954	2494
バルブ機構	DOHC ベルト駆動	DOHC ベルト駆動
バルブ数/1気筒	4	4
燃焼室形状	ペントルーフ	ペントルーフ
圧縮比	9.5	9.0
最高出力 PS/rpm	200/6000(ネット)	160/6000(ネット)
最大トルク kg·m/rpm	27.7/3500(ネット)	21.5/3500(ネット)
使用燃料	無鉛プレミアムガソリン	無鉛レギュラガソリン

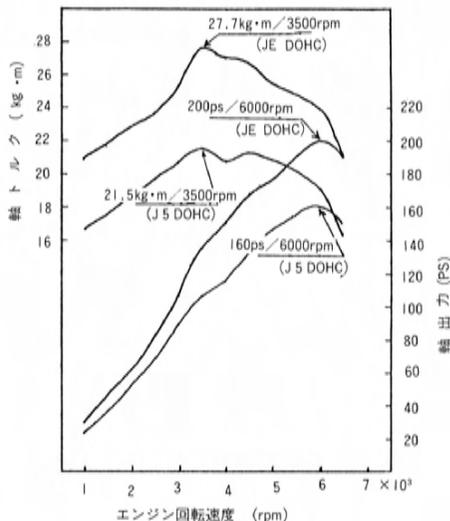


図2 エンジン性能曲線

表2 トランスミッション主要諸元

エンジン型式		JE DOHC	J5 DOHC	
トランスミッション型式		R4A-EL		
コトルバクータ	型式	3要素1段2相形		
	ストールトルク比	2.4	2.65	
呼び径		φ250		
ポイプ	型式	可変容量型ペーンポンプ		
	駆動方式	エンジン駆動		
変速機	型式	前進4段 後段1段 遊星歯車式		
	変速比	1速	2.785	
		2速	1.545	
		3速	1.000	
		4速	0.694	
	後退	2.272		
	制御要素	多板クラッチ	4組	
多板ブレーキ		1組		
ブレーキバンド		1組		
ワンウェイクラッチ		2組		
冷却方式		ラジエータ補助冷却(水冷)		

常用域の性能重視の観点から、トルクカーブについては低・中速の厚いトルクとし、最大トルク点(3500rpm)に向けて大きく増大するカーブを実現している。

AT(R4A-EL型)の主要諸元を表2に示す。基本諸元はユーノスコスモ用ATと同一としつつスリップ制御を含むロックアップ領域の拡大と緻密な制御システムを採用している。AT断面図を図3に示す。

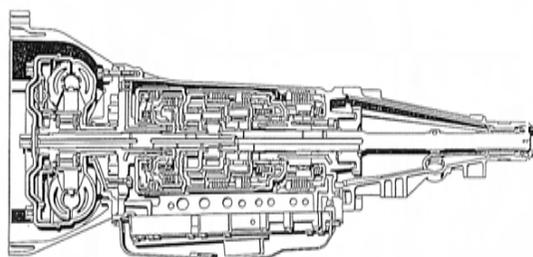


図3 AT断面図

表3 開発のねらいと主要導入技術

ねらい	主要導入技術
静粛性	アルミ製VRS ベアリングビーム スチールクランクシャフト モリブデンコートピストン ペーパーラップカムシャフト メタルクリアランス管理 チューブインチューブベラシャフト ビルトインタイプデフ 低撓動抵抗型ドライブシャフト
高性能	6連バルブ可変慣性過給システム(JE DOHC) セミデュアル排気系 可変排気システム(JE DOHC) クランク角センサ
シフトクオリティ向上	シフトスケジュールの最適制御 トルクダウン制御 ライン圧学習制御
低燃費	ベントルーフ型燃焼室 ローラーフォロア スリップロックアップ制御

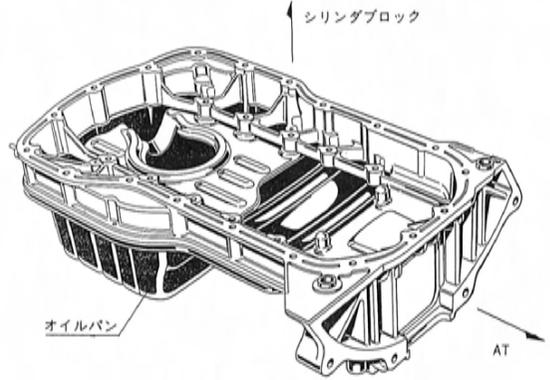


図4 アルミ製VRS

開発のねらいと主要導入技術を表3にまとめる。

4. パワートレインの主要導入技術

4.1 エンジン本体

Jシリーズエンジンは、シリンダブロックなどが高い剛性を有しているが、センティア用エンジンはより一層の低振動・騒音を実現することと、低燃費化を図ることを主たるねらいとして開発した。

低振動・低騒音化については、構造体や運動部分の高剛性化、運動部クリアランスの精密管理や軽量化の徹底を、低燃費化については燃焼改善や抵抗低減を図っている。以下に詳細を述べる。

(1) 低振動・低騒音化

①構造体や運動部分の高剛性化

・アルミ製VRS (Vibration Reducing Stiffener)

シリンダブロックのスカート部、メインベアリングビーム、トランスミッションケースの3つと一体に連結したVRS (日本初)を採用し、振動減衰性の向上と軽量化の観点からアルミ製とした(図4)。

VRSの採用により、シリンダブロックのスカート部開閉(バルジ)モード振動、メインベアリング部前後振動、AT結合部振動など、パワートレイン全体のパワープラントベントイング振動を大幅に低減し、150Hzから300Hzの最も体感しやすい

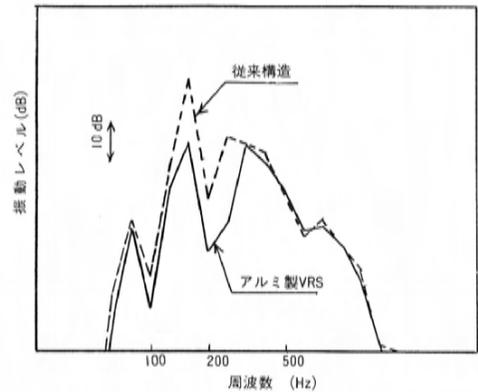


図5 アルミ製VRSの効果

い領域で大きな低減効果を得ている(図5)。

・ベアリングビーム

4つのクランクシャフトメインベアリングキャップ部を新採用の一体型ビームで連結することで、メインベアリング系の高剛性化を図り振動を低減している。

・クランク系

クランクシャフトは、従来の鋳造成形からスチール鍛造成形にすることで約25%の高剛性化が可能となり、クランク系に起因する振動を低減している。

クランクシャフト先端の補機駆動用プーリは、デュアルモードダンパプーリを採用している。曲げ、振りダンパの固有振動数を選定することにより、クランクシャフトの共振を抑えて、加振力を下げ、シリンダブロックの振動を低減している。

②運動部クリアランスや表面性状の精密管理

・クリアランスの精密管理

メインジャーナルは、1ミクロン幅の管理とし、ジャーナルクリアランスの管理幅を縮小することで、クランクシャフトとメタルの衝突エネルギーを緩和し、澄んだ加速音質を実現している。

ピストン表面には、自己潤滑作用および持続性に優れるモリブデンを主体としたコーティングを行い、摺動抵抗を増加させることなくピストンとシリンダとのクリアランスを縮小することで、ピストンの挙動を抑制し、スラップ音を低減している。

・カムシャフト表面仕上げ

カムプロフィール面は、ペーパーラップ仕上げとすることで表面粗さRaを0.4から0.2に向上しスイングアームとの摺動をスムーズにすることにより、騒音低減を図っている。

③運動部分の軽量化

・ピストン&コネクティングロッド

ピストンスカート部およびピストンピンの短縮化などにより、従来のJシリーズエンジンに比べ53gの軽量化を行った。またコネクティングロッドは、FEM解析および実機応力測定による最適形状の検討により36gの軽量化を図り、軽快な音質およびレスポンスを実現している。

(2) 低燃費化

①燃焼改善

・燃焼室

高圧縮比化による、耐ノッキング性能向上の観点から、材料面ではアルミ合金の中でも特に熱伝導率に優れたAC4D材を採用した。燃焼室は1気筒あたり4バルブのペントルーフ型とし、優れた充填効率と燃焼効率を実現している。

②抵抗低減

・ローラーフォロア

エンジンの抵抗損失のなかで、動弁系の占める割合は大きく、使用頻度の高い低回転域で特にその傾向が強い。これを低減し、実用域での燃費を改善するため、ニードルベアリングをスイングアームに装着したローラーフォロアを採用している。

4.2 吸排気・燃料点火系

低・中速域の厚いトルクとともに回転に応じてトルクが急激に増大する特性と高速域までの十分

な性能を実現することを主たるねらいとして開発を行った。そのために、充填効率向上、排気効率向上、セットロスの低減を図っている。

(1) 高性能化

①充填効率向上

・6連バルブ可変慣性過給システム(JE DOHC)

吸気慣性効果を最大限に活用し、上記ねらいのトルク特性を実現するために、サージタンクからインテークバルブ間長さをプライマリーポート540mm、セカンダリーポート285mmとする6連バルブ可変慣性過給システム(VICS)とした(図6)。

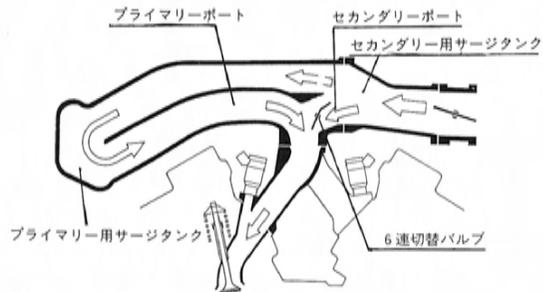


図6 吸気系構造(6連切替バルブ)

今回採用したVICSは、ポート内の流れの最適化に加え、特に6連切替バルブ周辺の設計に留意している。一般に、VICSは慣性過給の同調点を可変にすることで幅広いトルク特性を得られる反面、切替バルブ周辺のポート形状の複雑化を伴うため慣性効果を十分に活用しきれない場合があるためである。

図7、図8に示すように、切替バルブ“閉”の状態において、ボリューム“A”の有無により体積効率で3.5%の差が認められる。これらを踏まえて、6連切替バルブをプライマリーポート側へ近づけて設置(バルブ“開”時プライマリーポート内へバルブが突き出すようになる)するとともにバルブ“開”時のプライマリーポート内への切替バルブの突き出しの影響を解消するため、バルブをセカンダリーポート流線に沿った形状とした(図9(a))。更に、バルブ切替過渡時(閉→開)も

考慮してポート・バルブ形状、およびバルブ回転方向を選定する(図9(b))ことで、切替過渡時のつなぎ感を向上させている(図10)。

ロングプライマリーポートVICISの新設計にあたってサージタンクは高剛性を確保しつつ、従来設計と比較して1.5kgの軽量化を図った。更に、サージタンクの振動低減とエンジン本体からの共振入力を遮断するため、バネ定数をチューニングしたラバーと一体構造のサージタンクステーを採用している。

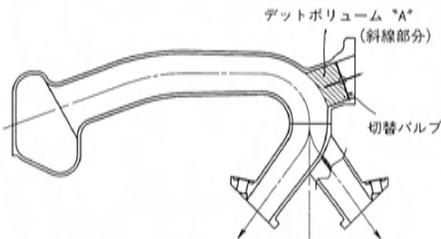


図7 VICIS 断面図 (従来構造)

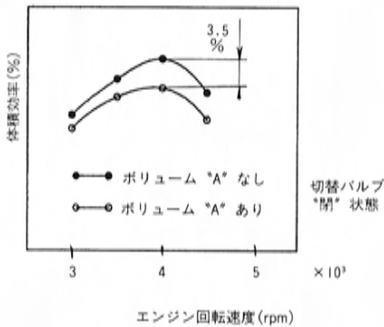


図8 吸気系体積効率比較

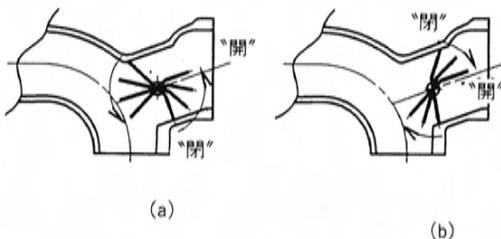


図9 切替バルブの形状と作動

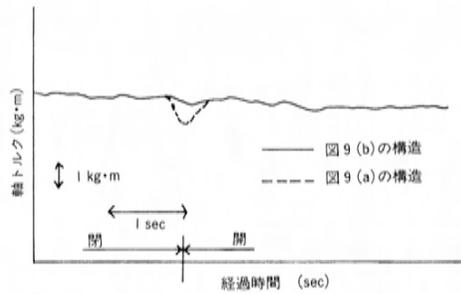


図10 VICIS 切替え時(閉→開)のトルク変動

②排気効率向上

・セミデュアル排気系

中速域の吸気充填効率を向上するため、先に述べたVICISに加えて、排気脈動による掃気効果を活用したセミデュアル排気系を採用した(図11)。

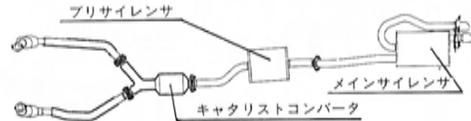


図11 セミデュアル排気系

左右バンクの排気ガスをキャタリストコンバータ前で集合させる等長タイプとし、集合部で生じる反転負圧で掃気を促進させることで、3500rpm 付近のトルクを約0.5kg・m向上している。

・可変排気システム (JE DOHC)

限られたサイレンサ容量の中で静粛性を確保しつつ高性能化を図るため、運転状態に応じて排気ガス通路を切替える可変排気システムを採用した(図12)。

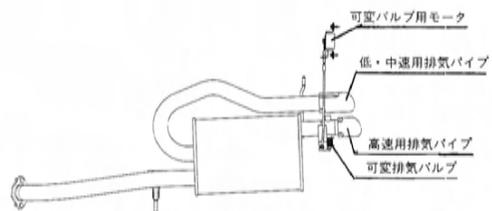


図12 可変排気システム

エンジンの回転数と吸気量を検出し、高速用排気パイプに取り付けられた切替バルブを以下のよう
に制御している。

(a) 低・中速時：静粛性が重視される低・中速走行時はバルブを閉じ、低・中速用排気パイプのみにガスを流し、十分な消音を行っている。

(b) 高速時：エンジンの高出力と気流音の低減が要求される高速走行時はバルブを開き、排気抵抗の小さい高速用排気パイプを含め2本の排気パイプにガスを流し、排気抵抗を大幅に低減している(図13)。

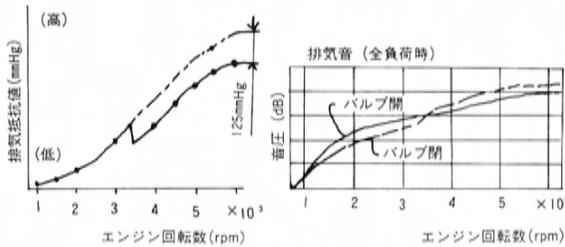


図13 可変排気システムの効果

③セットロスの低減

点火時期の設定精度を向上させるために、従来のカム軸取付ディストリビュータによるクランク角度検出に替えてクランク角度を直接検出する方法を採用し、過渡時の設定精度の向上を主体に、セットロスをミニマム化している。J E DOHCでは更にバンク別のノック検出を行い、点火時期を最適にすることにより高出力・高信頼性を実現している。

(2) その他の主要技術

熱負荷が大きいJ E DOHCでは、燃料供給をインジェクタの側面から受けるサイドフィード方式を採用し、燃料温度上昇時に発生するベーパーの排出を低減している。これにより、高速や高負荷走行後の再始動性を向上させることができた。またインジェクタ内可動部の軽量化によりレスポンスの向上と作動音の低減を行い、更に内部調量構造を採用して経時変化のない安定した噴射量特性を確保している。図14にインジェクタの内部構造を示す。



図14 内部調量型サイドフィードインジェクタ

4.3 オートマチックトランスミッション

シフトクオリティの向上と低燃費化をねらいとしてセンティア用ATを開発した。

以下に主要技術を説明する。

(1) シフトクオリティ向上

①シフトスケジュールの最適制御

センティアのシフトスケジュール制御は、ノーマルモード・パワーモードの2つのモードをアクセルを踏み込むスピードとその量によって自動選択するオートパワー制御を採用している。ドライバの期待に最適にตอบสนองしつつ、機動性、燃費、使いやすさを高度に調和できた。

ノーマルモードは通常走行用のモードで、余裕あるエンジントルクとの組み合わせにより、シフトチェンジの頻度を低減したシフトスケジュールが実現できており、使いやすさや燃費を向上させている。図15にJ E DOHCのノーマルモード、図16にパワーモードのシフトスケジュールを示す。

パワーモードは加速走行など“走り”に適したモードで、エンジントルクのポテンシャルを最大に引き出すため低速ギヤでの駆動領域を拡げ、“ハイレスポンスで力強い走り”を可能にしている。

②トルクダウン制御

加速度変化の少ないなめらかな変速を実現するために、トルクダウン制御を導入している。点火時期の遅角による制御法を採用し、変速段、スロッ

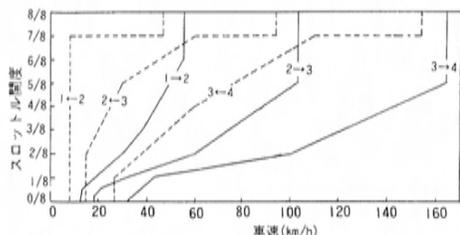


図15 シフトスケジュール (ノーマルモード)

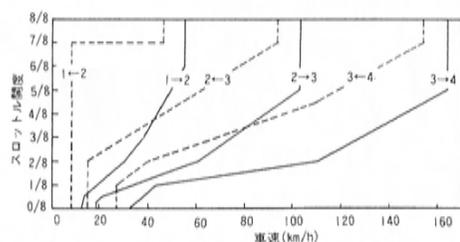


図16 シフトスケジュール (パワーモード)

トル開度、エンジン回転などの信号によってあらかじめ設定された最適な遅角量を実行している。図17にアップシフト時の効果例としてスロットル開度1/2での1→2変速時加速度波形を、図18にダウンシフト時の例として80km/hからの4→2変速時加速度波形を示す。

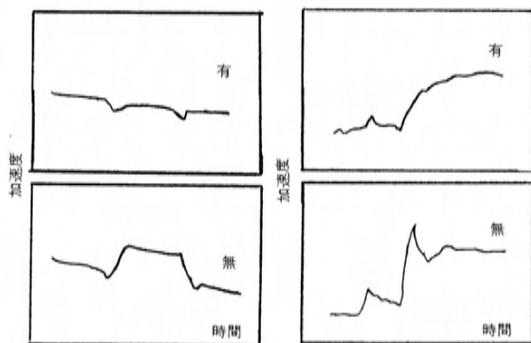


図17 アップシフトトルクダウン 有無での加速度波形 (スロットル $\frac{1}{2}$ 開度1→2)
 図18 ダウンシフトトルクダウン 有無での加速度波形 (80km/h 4→2)

③ライン圧学習制御

本制御は、エンジン・車両のバラツキによる変速時間・シフトショックのバラツキや経時変化を補正するため採用した。変速時間の目標値と実際の値を比較し、差が生じている場合ライン圧を補正することにより変速時間の均一化を図っている。

なお、変速時間の検出精度を高めるために、タービンセンサを採用した。

(2) 低燃費化

・スリップロックアップ制御

燃費の向上と機動性の両立をねらい、ロックアップに加えてスリップロックアップ制御を実施している。

ロックアップ制御時はロックアップクラッチが油圧により完全に押しつけられているために、エンジンのトルク変動が直接車体に伝わる。低回転・低車速域ではこもり音・車体振動の悪化を招きやすく、ロックアップ制御領域を比較的狭く設定する必要がある。

スリップロックアップ制御は、このロックアップ時のトルク変動をロックアップクラッチを半クラッチ状態にすることで吸収し、低車速域でもロックアップと同等の燃費効果を得られるようにしたものである。

具体的には、エンジン回転数とタービン回転数との差(スリップ量)が常に一定になるように、ロックアップデューティソレノイドの制御によってロックアップクラッチの締結力を調整している。

4.4 ドライブトレイン

ドライブトレインは、低振動・低騒音化を主たるねらいとして開発した。そのために、レイアウト面ではプロペラシャフトを一直線配列とし、更に固有振動数のチューニング、構造の高剛性化、振動絶縁性の向上などを図っている。

(1) 低振動・低騒音化

①固有振動数のチューニング(チューブインチューブプロペラシャフトの採用)

ファイナルギヤノイズの低減を目的として、2本ペラのリア側にチューブインチューブ(TIT)を採用した(図19)。TITは二重に配置されたパイプ間にラバーを接着したものであり、ラバーを介して動力伝達を行う。このラバー特性のチューニングにより、ドライブトレインの振り固有振動数を車体系曲げ共振域からはずし、ファイナルギヤの噛み合いによる起振力の増幅を抑制している。

図20にTITによる振り固有振動数のチューニング度合と、それによる音圧レベル低減効果を示す。

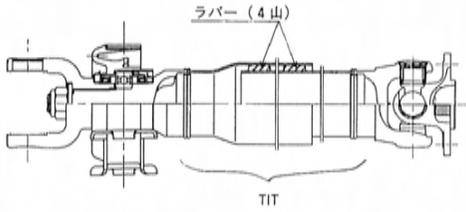


図19 プロペラシャフト構造

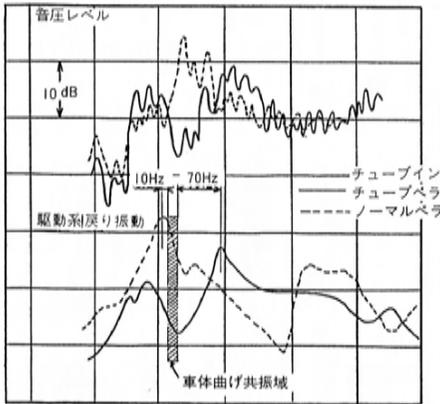


図20 チューブインチューブプロペラシャフトの効果

②構造体の高剛性化 (ビルトインタイプデフキャリアの採用)

走行時のファイナルギヤノイズとこもり音の低減を目的として、ビルトインタイプデフキャリアを採用した (図21)。

本構造は従来タイプと比較して、リングギヤの支持剛性が高いため、走行時の歯当り移動量が小さく、ねらいの歯当りの維持が容易である。これにより走行時のギヤノイズを低減している。また、デフ全幅の短縮設計を行いアウトプットシャフトのたおれ量を小さくし、走行時のこもり音を低減している。

③振動減衰性の向上 (低摺動抵抗型ドライブシャフトの採用)

走行時のこもり音低減を目的として、デフ側のDOJに低摺動抵抗型を採用した (図22)。

本タイプは従来タイプと比較して、軸方向クリアランスを大きくできるため、タイヤから車体へ

伝わる振動エネルギーを小さくできる特徴がある。

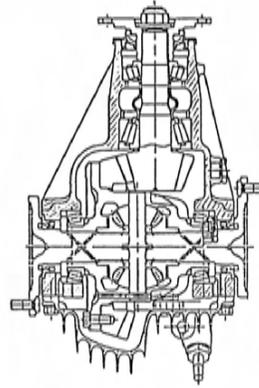


図21 デフ構造

このため車体への振動伝達量を少なくでき、こもり音を低減している。

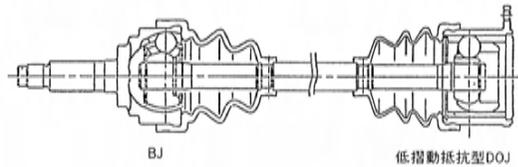


図22 ドライブシャフト構造

(2) その他の主要技術

ドライブトレインの開発にあたっては、軽量化に対しても配慮し、摩擦圧接プロペラシャフトの採用および、デフキャリアの最適設計を行っている。

プロペラシャフトはチューブとヨークの接合方法を摩擦圧接方式とし、従来タイプのプロペラシャフトと比較して1.3kgの軽量化を行っている。

デフはキャリアの肉厚と補強リブの最適設計を行い、従来設計によるビルトインタイプキャリアと比較して1.2kgの軽量化を実現している。

5. あとがき

以上、センチアに搭載したパワートレインについて紹介した。'90年代に求められる高級車用のパワートレインの要求を、いずれも高い次元で具

現化できたと自負している。パワートレインに求められる要求は、今後とも一層高まると考えられる。関係各位の助言を傾聴しつつ、更なる熟成を図っていく所存である。

終わりに、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■



本田泰夫



中谷収一



中村好孝



山田秀樹



安福 博



田代裕二

小特集

4

オートクルーズへのファジー制御技術の応用

Cruise Control System with Fuzzy Control Technology

阿南義明* ¹	安藤 悟* ²	村井 健* ³
Yoshiaki Anan	Satoru Ando	Takeshi Murai
久保義機* ⁴	山根武志* ⁵	
Yoshiki Kubo	Takeshi Yamane	

要 旨

Abstract

オーバードライブの付いた4ATが登場して以来、坂道でのオートクルーズ走行性改善のため、オートクルーズによるオーバードライブOFF制御(OD制御)が盛んに用いられるようになった。

今回、センティアのオートクルーズでOD制御の制御性改善のために、当社として初めて、量産を前提としたファジー制御の応用を試み、効果をあげることができた。

本稿ではその開発のねらい、構造、および効果について紹介する。

This paper presents a new cruise control system to which a fuzzy control technology has been applied, including its development aims and its structure and effects.

Although cruise control systems with an overdrive control function have been popular to improve cruise control performance on gradients since vehicles with 4-speed overdrive automatic transmissions were introduced into the market, their performance has not been completely satisfactory. To make the most effective use of the cruise control system, a fuzzy logic has been adopted for the first time at Mazda, and the system, which will be equipped in the new production carline SENTIA, has proved successful.

1. はじめに

フリーウェーのよく整備された米国市場では長距離ドライブをする機会が多い。このような長距離ドライブには、オートクルーズが不可欠の装備となっている。我が国でも、高速道路網の整備が進むにつれて、オートクルーズを使用する環境が増えつつあり、ユーザの要求も徐々にではあるが高まっている。

一方、オートクルーズにとっての主力市場である米国市場では、AT車の比率が非常に高い。国内市場でも最近では、AT車の比率が急速に高まっており、特にオートクルーズが装備されるような高級車では、そのほとんどがAT車となっている。したがって、オートクルーズにとって、AT車でいかに滑らかに走れるかということが重要な性能の一つとなっている。

今回の、センティアのオートクルーズの開発にあたっては、車のコンセプトに合った滑らかなオートクルーズを目指したが、特にAT車にとって

重要な「オートクルーズによるオーバードライブOFF制御(OD制御)」の滑らかさを改善するために、ファジー制御を応用することを試みた。

ファジー制御を、自動車の電子制御システムに適用する試みは各社で研究されているが、実用化した例はまだ非常に少ない。

今回のOD制御へのファジー制御の応用は、当社として初めての実用化(量産)を前提にしたものであり、以下に、この新しいOD制御機能の内容をその効果とともに紹介する。

2. ファジー制御技術とその応用状況

ここ数年、ファジーという言葉をよく耳にするようになった。新聞や雑誌にもたびたび特集が組まれ、実際にファジーを使った地下鉄、エレベータ、洗濯機なども現われている。ここではこれらの実用に至ったものも含めてファジー全般の応用状況を述べる。

ファジーといえば先に挙げた制御分野の他、人

*1, *2 車両実験研究部 *3 第1車両設計部 *4, *5 ナルデック株式会社

工知能、調査分析、経営計画など様々な分野への応用も研究されている。

その中でも制御分野は研究成果が次々に発表されており、すでに実用時期に至ったという感がある。

自動車への応用研究も活発であり、オートクルーズをはじめとしてABS、自動走行などを対象とした研究成果が紹介されている⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

中でもオートクルーズは、早くから研究が手がけられ、定速走行制御ロジックそのものにファジー制御を応用した九州工業大学の研究や⁽¹⁾、性能チューニングの手法としてファジーを用いた三菱自動車の応用例などの報告がある⁽⁸⁾。

更に最近では学習機能を持たせたファジー制御の研究例もある⁽²⁾⁽³⁾。

一方ファジーチップと呼ばれるファジー制御に適したデバイスの開発も盛んに行われている。今まで熊本大学などの研究室レベルでの試作であったが、ここにきて開発が本格化しており、一部商品化に至っている。しかし、残念ながら現時点ではまだ高価である。

3. オートクルーズとOD制御

3.1 オートクルーズのシステム説明

オートクルーズはその駆動方式、アクチュエータタイプなどによって以下のように分類される。

〔駆動方式〕

- (1) エンジン直引き (エンジンスロットルを直接引くタイプ)
- (2) アクセルペダル引き (アクセルペダルを介して間接的にエンジンスロットルを引くタイプ)
- (3) 中間リンク方式 (アクセルケーブルとオートクルーズケーブルをリンクを介して結合したタイプ)

〔アクチュエータタイプ〕

- (1) モータ式 (モータとギアを使って引くタイプ)
- (2) 負圧式 (エンジン負圧を使ってダイヤフラムにより引くタイプ)
- (3) ポンプ式 (ポンプで負圧または正圧をつくり、ダイヤフラムにより引くタイプ)

図1に今回採用したアクセルペダル引き/モータ式の構造図を示す。

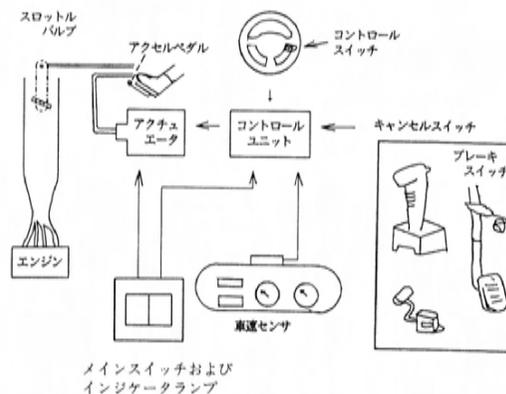


図1 アクセルペダル引きシステムの構成

〔作動説明〕

- (1) メインスイッチを入れることにより作動待機状態となる。
- (2) SETスイッチを押すことにより定速走行を開始する。
- (3) ブレーキペダルを踏んだり、異常が発生した場合にはシステムをキャンセルする。

3.2 オートクルーズとファジー

オートクルーズ制御ロジックの全体ブロック図を図2に示す。

ここで*印のある部分がファジー化の可能性がある部分であり、図中央に示すOD制御が今回実際にファジー制御を応用した箇所である。

3.3 OD制御

OD制御とは、シフトチェンジを自動的に行えるAT車のメリットを最大限に生かすトランスミッションの制御と組み合わせることによってオートクルーズの性能向上を図る制御である。

たとえば登り坂においては走行負荷が増大し車速の維持が困難になり車速が低下することがあるが、ミッションを4速(OD)から3速にシフトダウンさせることによって発生トルクを増大させ、車速を回復させることができる。また、オートクルーズスイッチの操作による加速時の加速感のチューニングや、リジューム操作時の車速回復を早める制御もOD制御に含まれる。

したがって、3速が必要な高負荷状態では確実に3速を維持し、負荷が軽くなると、速やかにODに復帰するというのが理想的なOD制御である。

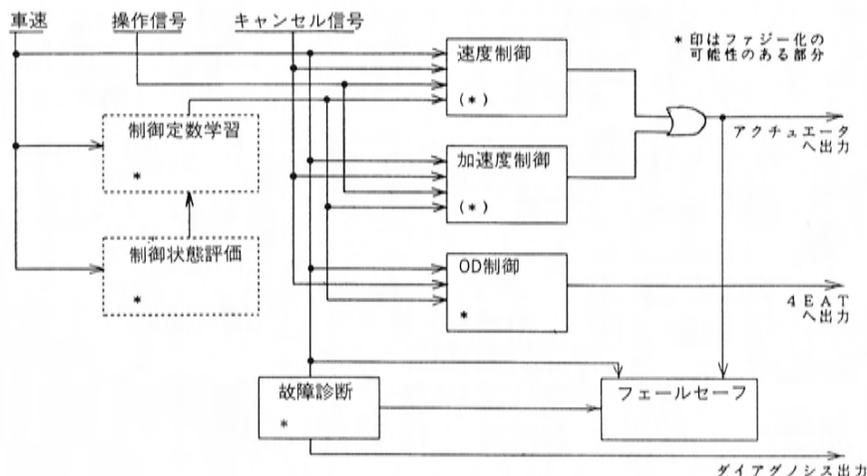


図2 オートクルーズ制御ロジック全体ブロック図

3.4 OD制御の歴史

当社におけるOD制御の採用は、'86年式RX-7に始まるがその仕様はモデルごとに改良が加えられている。主に改良した部分は図3に示す復帰タイマーであり、その変遷を表わしたのが図4である。

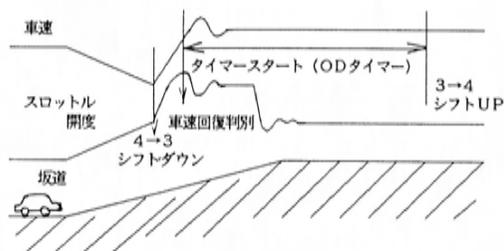


図3 復帰タイマー

3.5 現在のOD制御

OD制御は幾度かの改良を必要としたが、その原因は車両負荷状態がわからないことにある。つまり、登り坂にさしかかって3速にシフトダウンしても平地に戻ったことがわからないため、一義的に一定時間が経過すれば4速に復帰させている。その結果短い坂では長すぎるタイマーとなり平地なのになかなか4速に戻らず、長い坂では短すぎるタイマーとなり復帰後すぐにまたシフトダウンし、坂が終了するまでシフトダウンアップを繰り返す(シフトビジー)という現象を発生させてしまうのである。

各社のODシステムにおいてもほとんどがタイマー方式であり、スロットルセンサを用いた負荷推定型のものもあるが、いまだ一部に使われているだけである。

4. OD制御へのファジー応用のねらいと構想

先に述べたように、滑らかなOD制御を実現するポイントは、坂道の状態すなわちエンジンの負荷状態を知ることである。しかしその実現のためには、一般にセンサなどのハードウェアの追加が必要である。しかし、オートクルーズは、市場競争の激しい商品であり、コストアップにつながるシステムの複雑化は極力避けなければならない。

そこで今回の開発にあたっては、現在のオートクルーズシステムに対して、ハードウェアの追加

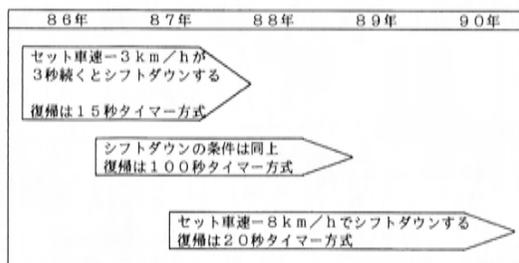


図4 OD制御復帰タイマーの開発経過

無しにこの負荷状態の推定を可能にし、坂道の状態に合ったOD制御を実現することをねらいとした。

エンジンの運転状態は、一般に吸気管負圧、エンジン回転数、スロットル開度(または空気流量)の3要素で表現される。これらの3要素は、互いに独立でないため、このうち2つを知れば良い。オートクルーズの場合には、車速とシフト位置が既知であり、これからエンジン回転は容易に推定できるため、残る吸気管負圧または、スロットル開度のどちらかををすることにより負荷状態の推定が可能となる。

ところが、OD制御が働くような走行状態、特にシフトダウン直後のような状態では、スロットル開度、吸気管負圧とも過渡的に大きく変化しており、負荷状態を判断するためにはこの過渡的な変化の影響を取り除くことが第一に必要である。

今回の新ODシステムでは、過渡的な走行状態を抜け出して定常的なクルーズ状態になったことをファジールールにより検出するという方法を用いて、過渡的なスロットル開度の変化の影響を取り除くこととした。

第二に、坂道の状態とエンジン負荷状態の関係は、車両の積載状態(車重)や標高(気圧)などによって異なるため、負荷状態の判断からこれらの影響を取り除くことも必要である。

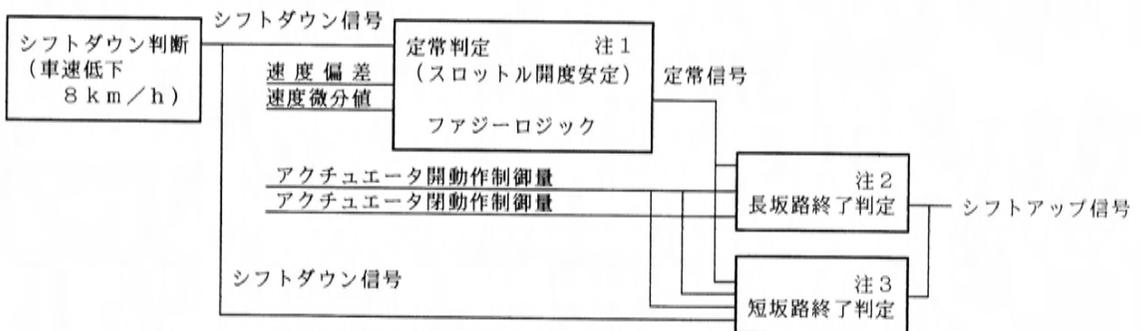
新ODシステムでは、ODでのオートクルーズによる車速の維持が困難になった状態を、高負荷状態と判断し、この状態からのエンジン負荷の相対的な低下量により低負荷に戻ったと判断するなど、判断の中から絶対値によるものを極力排除することにより、車重や気圧などの影響を取り除くこととした。

更に、スロットル開度の検出は、オートクルーズ自身の発するアクチュエータ駆動パルスの積算により行うことでスロットル開度センサの追加を不要とし、ねらい通りハードウェアの追加無しに坂道の状態に合ったODシステムを実現することができた。

5. システム説明

図5に、ファジー制御によるオートクルーズOD制御を実現する制御システムのブロック図を示す。

このシステムの特徴は、前述のように従来のオートクルーズシステムにセンサなどの部品を追加せず、ソフトウェアの変更のみで、スロットル開度を求め坂道終了判定(高負荷状態終了判定)を行っている点にある。すなわち外部からの入力(車速の信号のみ)であり、シフトダウン時期、車速偏差、加速度、アクチュエータ開閉動作制御量は、4ビットのマイコン内部で計算して求めている。



- 注1 車速偏差および加速度の入力からなる25のファジールールによって、坂に適したスロットル開度になったことを判断し定常信号を出力する。
- 注2 定常信号を受けたのち、スロットル開度が一定量閉じたことにより、坂道の終了と判断し、シフトアップ信号を出力する。
- 注3 定常信号を受けたとき、すでにスロットルが閉じている場合に、坂道の終了と判断し、シフトアップ信号を出力する。

図5 システムブロック図

使用したマイコンは、従来どおり12KバイトのROMを有する4ビットマイコンである。

このシステムの動作を以下に説明する。

① シフトダウン判断

オートクルーズ中に登坂路にさしかかり車速が低下してくると、オートクルーズシステムは設定車速を維持するためにトランスミッション制御システムに対して、シフトダウンを要求する信号を出力する。

② 定常判定

その後しばらくの間、車速を復帰させるためスロットルは大きく開いているが、車速が復帰して設定車速に近づいてくると、スロットルはその速度に応じたある開度に落ちつく。この状態になったことをファジーロジックを用いて判定する。

③ 短坂路終了判定

次に、定常判定が出たときのスロットル開度を調べ、十分にスロットルが閉じていれば、このときすでに坂が終わっていると判定する。

④ 長坂路終了判定

坂がまだ終わっていない場合、スロットルは坂道の傾斜に応じた開度になっている。定常判定時の開度に対し、所定の開度ほどスロットルが閉じたときに、坂道が終了したと判定する。

⑤ シフトアップ信号

短坂路終了判定および長坂路終了判定により、坂道が終わったところでシフトアップを行う。

定常判定で用いるファジーロジックは、25のファジールールと5つのメンバーシップ関数によって構成される。ファジールールは、例えば

車速偏差が負に非常に大きく、加速度値が負に非常に大きければ、定常度合は負に非常に大きい。

といったようなものであり、図6に示すとおり25のルールで表わされる。

メンバーシップ関数は、処理を簡単にし計算時間を短くするため、2入力、1出力を同じ関数とし、図7のような三角形の関数とした。推論はMin-Max法を用い、25のルールから合成された出力、すなわち定常度合を得る。デファジー操作は重心法を用い、定常度合の重心を求める。すなわち重

心が所定の値を越えたか否かで定常判定を行う。

		車 速 偏 差				
		NB	NS	ZO	PS	PB
加 速 度	NB	NB	NB	NB	NB	NB
	NS	NB	ZO	PS	PB	NB
	ZO	NB	PS	PB	PS	NB
	PS	NB	PB	PS	ZO	NB
	PB	PB	NB	NB	NB	NB

NB 負に非常に大きい
NS 負に少し小さい
ZO ふつう
PS 正に少し大きい
PB 正に非常に大きい

図6 ファジールール

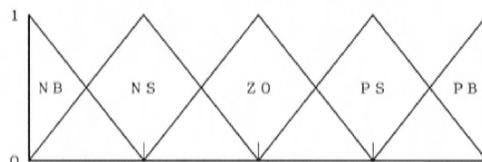


図7 メンバーシップ関数

6. 量産システム作りにあたってのポイント

実際にこのシステムを量産可能なものにするには、いくつかのポイントがあった。それは、ファジー演算ルーチン組み込みによるメモリ使用量の増大と、重心計算などの莫大な演算の処理時間である。ファジーチップを用いれば、これらは簡単に解決するのだが、コストが高く量産システムには適していないため、ここでは4ビット高機能マイコンを用いた。そこで、上記の二つのポイントを解決するために以下に述べる対策を行った。

まず、メモリ使用量を減らすためにメンバーシップ関数に三角形を採用し、かつ、2入力および1出力ともに共通の関数とした。これによりマップデータが縮小でき、本ファジー制御システム追加

によるメモリ使用量の増加を2 Kバイトに抑えることができた。

次に、演算処理時間に関しては、メンバーシップ関数の簡略化、重心演算ポイントの削減（9ポイント使用）により、300msに一回の出力（実質演算時間は約30ms）を可能とした。

7. ファジー応用新ODシステムの効果

ファジー制御によるオートクルーズOD制御の効果は、一言で言えばドライバによるシフト操作に非常に近い制御を実現し、制御による違和感を解消した点である。

坂道を登る際の最も自然なシフト操作は、4速で車速の維持が困難になったと判断した時点でシフトダウンし、坂が終わる時点でシフトアップするというものである。ところが、従来のOD制御は、これをうまく実現できていなかった。

図8は、米国の道路における代表的な長い坂で実際にオートクルーズ走行した場合の20秒タイマーODシステムとファジー制御ODシステムとの比較データである。

従来の20秒タイマーシステムでは、このような長い坂はカバーしきれず、坂道が終わるまでに3度もタイマー切れによる不要なシフトチェンジを繰り返し、フィーリングを悪化させている。

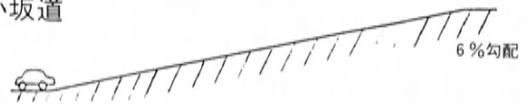
一方、ファジー制御のODシステムは、シフトダウンした後、平地にもどる手前まで3速で安定した走行を続けるという、理想的な制御を実現できていることがわかる。

また、図9は非常に短い坂における走行波形である。このような坂では20秒タイマーは逆に長過ぎ、坂道が終わっても、タイマーが切れるまで、しばらくの間、3速で走り続けることによる違和感を生み出してしまっている。

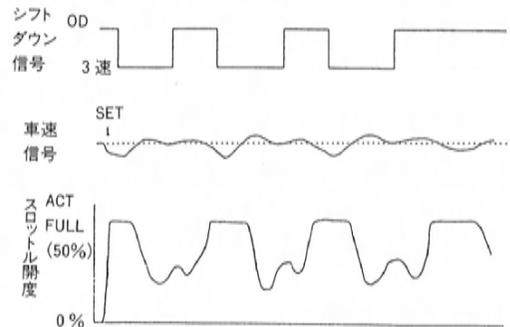
しかし、ファジー制御ODシステムは、長い坂道の時と同様、坂の終わりでODに復帰し、制御による違和感を感じさせないものとなっている。

以上、典型的な長い坂と短い坂におけるファジー制御ODシステムの効果を示したが、一般の道路に多い複合した道路勾配での比較データを、図10に示す。

長い坂道



20秒タイマーODシステム



ファジー制御新ODシステム

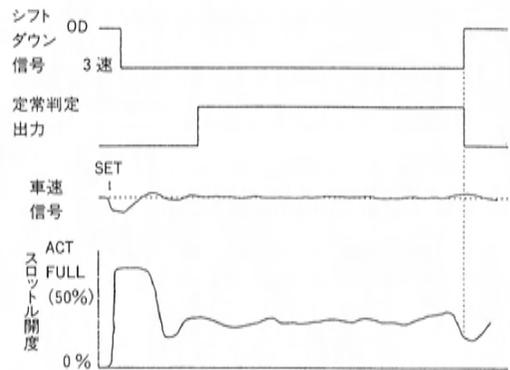


図8 長い坂走行波形

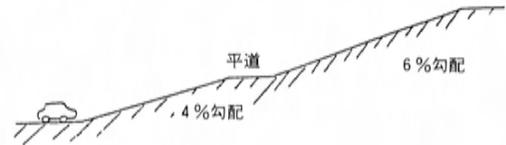
これは、登り坂から一旦平地になりそれからまた登り坂が続くというパターンであるが、このような坂道でも、勾配の変化に自然に追従しており、このシステムが、どんな道路でも違和感のない制御ができることを示している。

このように、ファジー制御ODシステムにより、従来のオートクルーズによるOD制御の違和感を解消し、坂道におけるオートクルーズの走行フィーリングの大幅な向上を実現できた。

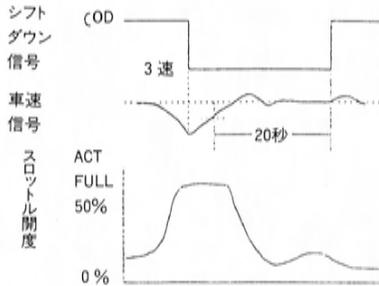
短い坂道



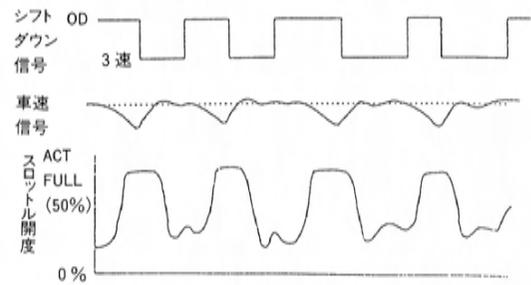
複合した坂道



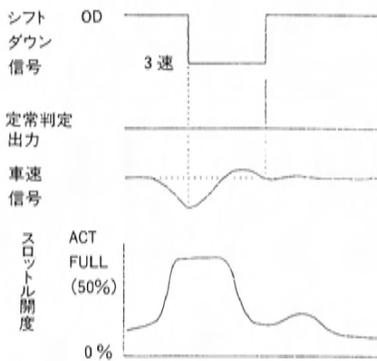
20秒タイマーODシステム



20秒タイマーODシステム



ファジー制御新ODシステム



ファジー制御新ODシステム

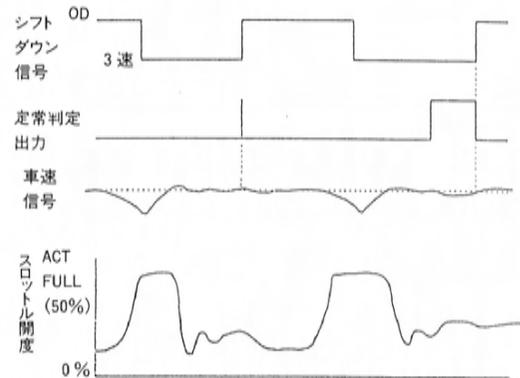


図9 短い坂道走行波形

図10 複合した坂道走行波形

8. 今後の課題

我々は、今回開発したOD制御のみならずオートクルーズ全体の制御性向上のため、ファジー制御の応用を試みている。

しかし、ファジー制御を本格的に実用化するには、次のような課題がある。

(1)車載用ファジーチップの実用化

(2)チューニング方法の簡素化

以下それぞれについて述べる。

8.1 車載用ファジーチップの実用化

本文においても述べたが、ファジー制御の実用化にあたってはメモリ容量と演算処理時間の増大が大きな問題である。

その解決は、ファジー演算専用のデバイス(ファジーチップ)を用いることで可能である。

自動車用のファジーチップは、自動車用としてのスペース、コストなどの制約を考えた場合、入力信号の数値化や出力信号の二値化などの、ファジー演算の前処理、後処理の機能も一体化させたものであることが望ましい。

更に、実用システムにおいては、今回のオートクルーズのようにファジー演算と従来のノイマン型の演算が同居する形になる可能性が非常に高い。このような点まで考えると、車載用として理想の姿は、ファジーチップと従来のノイマン型コンピュータの一体になったハイブリッドファジーチップといえることができる。

このようなファジー専用のデバイスが、適正な価格と高い信頼性を持って一日も早く実用化されることが、自動車におけるファジー技術の本格的な活用のために望まれる。

8.2 チューニング方法の簡素化

ファジーロジックの育成においてはメンバーシップ関数の決定に多くのテストを要することが問題とされている。今回の開発ではメンバーシップ関数のスケールだけをチューニングアイテムとすることによりチューニングの簡素化を図った。今後、本格的なファジー技術の応用を進めるには、学習機能の付加、ニューロ技術との結合などにより一層のチューニングの簡素化を進める必要がある。

9. おわりに

今回限られた範囲ではあるがファジー制御を量産システムに織り込むことができた。これによりファジー応用の一歩を踏み出したといえよう。今後は課題を克服しながら、更なる発展に取り組んでいきたい。

今回取り組んだオートクルーズ以外にもEGI, ABS, トラクションコントロールなど、多くの車載制御システムで、ファジー技術の応用による制御性の向上が期待できる。これらを実現するためにも、車載用ファジーチップが一日も早く実用化されることを願っている。

最後にこの開発に御協力いただいた社内外の関係者の方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 前田幹夫, 村上周太: Fuzzy Logic コントローラによる自動車の速度制御, 計測自動学会論文集, Vol.21, No.9
- (2) 前田幹夫, 村上周太: 自己調整ファジーコン

トローラ, 計測自動学会論文集, Vol.24, No.2.

- (3) 前田幹夫, 村上周太, 山崎久代: 自己調整ファジー制御装置の設計, 5TH FUZZY SYSTEM SYMPOSIUM. (KOBE, JUNE 2-3, 1989)
- (4) 前田幹夫, 村上周太, 佐藤武雄: ファジー理論による自動車の速度と操舵の制御, 4TH FUZZY SYSTEM SYMPOSIUM. (TOKYO, MAY 30-31, 1988)
- (5) 大羽勝広, 松本直樹, 倉岡宏明, 大岡直人: Fuzzy Logic を用いた路面推定, 自動車技術会, 学術講演会前刷集881, 昭和63-5
- (6) 相馬仁, 平松金雄, 岩元貞雄: ファジー推論を応用したプログラム操舵モデル, 自動車技術会, 学術講演会前刷集881, 昭和63-5
- (7) 永井正夫: ファジー理論制御と操安性, 自動車技術 Vol.42, No.3, 1988
- (8) 瓜生原信, 服部俊宏, 森出茂樹: ファジー制御を用いたオートクルーズの開発, 自動車技術, Vol.42, No.2, 1988

■著者■



阿南義明



安藤 悟



村井 健



久保義機



山根武志

小特集

5

新型マルチリンク式サスペンションと4WS

A New Multi-Link Suspension and 4WS

牛尾 晃一*1

Kouichi Ushio

田中 勇次*4

Yuji Tanaka

吉岡 広貴*2

Hiroki Yoshioka

堀井 慎也*3

Shinya Horii

要

旨

Abstract

センティアの開発にあたっては、シャシーのコンセプトである「洗練された優雅で上品な走り」と「運転時の安心感」の実現をねらい、新型のマルチリンク式サスペンションと大幅に進化させた車速感応型4WSシステムを採用した。その結果、乗心地と操縦安定性を高い次元で両立することができた。

本稿では、新型マルチリンク式サスペンションの開発のねらい、ポテンシャル、およびその効果と、車速感応型4WSシステムの構造、原理、および効果について紹介する。

In the development of the SENTIA, a new multi-link suspension and considerably evolved vehicle-speed-sensitive 4WS were adopted to realize the concepts established for the car's chassis: "an elegant run" and "a feeling of security in driving." The effect of these measures was the achievement of high-level ride comfort and handling stability. This report explains the development aim, potential and effectiveness of the suspension, as well as the structure, principle and effectiveness of the 4WS system.

1. はじめに

センティアの開発にあたって、フロントおよびリアに新型のマルチリンク式サスペンションを採用するとともに、全車に車速感応型4WSを標準装着するなど、意欲的に新技術を採用した。今回採用したサスペンションは、当社独自の新型でマツダのフラッグシップカーにふさわしい乗心地と操縦安定性を実現するものである。また4WSシステムは、FR車としては当社初採用であり、従来のシステムに比べ大幅な機能充実と軽量小型化を実現したものである。

この新型サスペンションと4WSシステムにより、操縦安定性と乗心地の高次元での両立が可能となり、シャシーのコンセプトである「洗練された優雅で上品な走り」と「運転時の安心感」が実現できた。ここでは、その新型マルチリンク式サスペンションと4WSシステムの構造と特徴、また、それによってもたらされた操縦安定性と乗心地の効果について紹介する。

2. 新型マルチリンク式サスペンション

2.1 新型サスペンションのポテンシャル

サスペンションに要求される性能とは、操縦安定性に関しては、タイヤの接地状態を常に最適に保つことであり、一方乗心地に関しては、路面刺激の車体への伝達を少なくすることである。我々はこれらの要求性能を具現化する次世代の新型サスペンションを考案するにあたり、以下の項目をポテンシャル評価の要件としてとらえ、サスペンション型式を発想した。

- ①前後コンプライアンスを大きくとれ、かつ前後力によるトー角変化を少なくできること。
- ②横力によるトー角変化を少なくできること。
- ③バンプ時のトー角変化を最適化できること。
- ④キャンバ角のコントロールが容易にできること。
- ⑤ロールセンタコントロールが容易にできること。
- ⑥ピッチングセンタコントロールが容易にできること。
- ⑦横力に対するキャンバ剛性を高くできること。

*1, *2 第1車両設計部 *3, *4 車両実験研究部

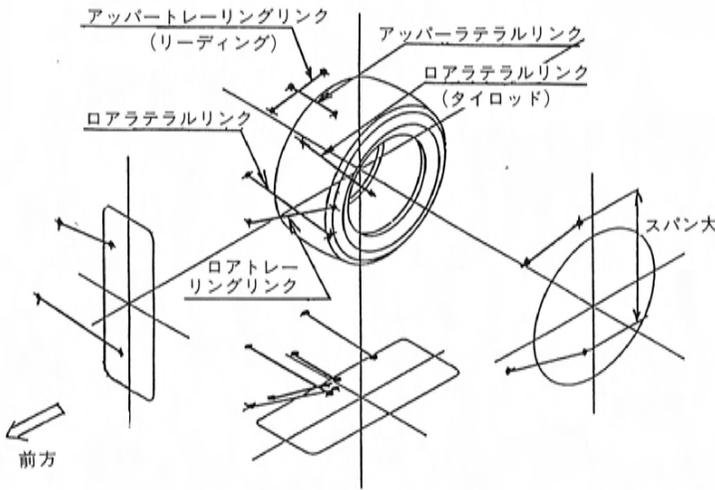


図1 新型マルチリンク式サスペンションのリンク配置

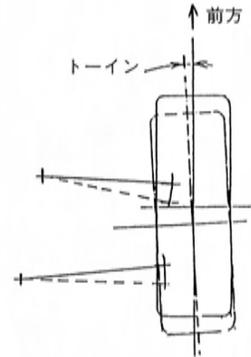


図2 台形リンク効果

⑧制動力に対するワインドアップ剛性を高くできること。

⑨4WS 対応が可能なこと。

新型マルチリンク式サスペンションが、いかにこれらの要件に合致しているか、以下に説明を加える。図1に示すように、このサスペンションは、車幅方向に配置された3本のラテラルリンクと、略車体前後方向に配置された2本のトレーリング（またはリーディング）リンクによって構成されている。他のサスペンション型式と比べ、最も特徴的なのは、タイヤ上方に配置されたトレーリング（またはリーディング）リンクである。

(1)前後コンプライアンスおよび前後力トー角変化

前後コンプライアンスを大きくとれば、サスペンションに加わる前後刺激を柔らかく吸収でき、快適な乗心地を保つことができる。一方、タイヤが前後に変位した際に大きなトー角変化を起こすと方向安定性を阻害する。新型サスペンションでは前後力を主として2本のトレーリング（またはリーディング）リンクで柔らかく受け、かつ2本のロアラテラルリンクを台形に配置することにより、前後変位によるトーアウト変化を抑制することを可能としている（図2）。

(2)横力トー角変化

タイヤに作用する横力に対し、タイヤの向きを最適に保つことは旋回時の操縦安定性を高める上で重要である。新型サスペンションでは、横力の作用する着対点に対して、2本のロアラテラルリンクのリンク配置とラバープッシュの特性のチューニングにより、横力によるトー角変化を最適化している。

(3)バンパ時のトー角変化

バンパ時のトー角変化は前後力トー角変化と同様に方向安定性の重要な要素であり、路面の凹凸によりホイールが上下にストロークした際のトー角変化を最適に保つ必要がある。これは他のサスペンション型式と同様にロアラテラルリンク（タイロッド）の車体側取付点、下反角などを最適化することにより、ねらいとするトー角変化を得ることが可能である。

(4)キャンバ角コントロール

旋回性能を高めるために旋回時の路面に対するタイヤのキャンバ角を最適に保つことが重要であり、バンパ時のキャンバ角変化をネガティブ方向にコントロールすることで大きな効果が得られる。一方、直進時の路面不整などによるホイールストロークが少ない領域では、バンパ時のキャンバ角

変化が大きいことは、直進性を阻害する要因になる。そのため、特に操舵輪に関しては、バンプ時のキャンバ角変化は適度に抑え、操舵時のキャンバ角変化によってキャンバ角の不足を補う必要がある。操舵時のキャンバ角変化は、キングピン傾角とキャスト角により決まるため、キングピン軸の設定もキャンバ角コントロールの一要素となる。

新型サスペンションでは、正面から見た2本のラテラルリンクの長さの比率、各々のリンクの傾きによりダブルウィッシュボーン式(以下DWB式と記す)サスペンションと同様に、バンプ時のキャンバ角変化をコントロールできる。更にロアラテラルリンク(タイロッド)を除く4本のリンクにより、仮想キングピン軸が決定されるので、キングピンの設定自由度も充分に高い。

(5)ロールセンタコントロール

ロールセンタコントロールは、操縦安定性の重要な要素である。ホイールが上下にストロークした際の接地面の左右への移動量をトレッド変化といい、このトレッド変化が大きいとタイヤにトー角変化が生じた場合と同様に横力が発生し、路面不整によって直進性が阻害される要因になる。このトレッド変化を小さく抑えるためには、ロールセンタを低い位置にもってこることが必要となる。

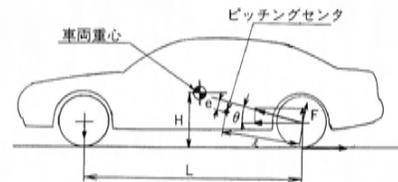
また、旋回時のロール感に対しては、ロールセンタ高の変化を適正にすることが必要である。ロールセンタ高変化が大きすぎたり、小さすぎたりすると、旋回時に車体が浮き上がるジャッキアップ現象や反対に沈み込むジャッキダウン現象を起こし、不自然なロール感になる。したがって、ロールセンタのコントロール性に関しては、初期のロールセンタ高とロールセンタ高変化の設定自由度の高さが要求される。

新型サスペンションにおいては、DWB式サスペンションと同様に、正面視でのロアラテラルリンクとアッパラテラルリンクの傾き、長さの比率により、初期のロールセンタおよび、ロールセンタ高変化をコントロールすることが可能である。

(6)ピッチングセンタコントロール

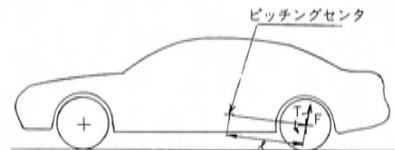
サスペンションのピッチングセンタコントロールは加速時、減速時の車体の姿勢変化を抑えるための要素である。加速時、FR車のリアサスペンションでは図3のような力が作用する。この力の作用

線とサスペンションのピッチングセンタのオフセットにより、サスペンションを沈み込ませるモーメントが発生する。したがって、加速時のスコットを小さく抑えるためには、サスペンションのピッチングセンタを、駆動による外力の作用線からオフセットが極力小さい位置に、かつホイールセンタからできるだけ遠い位置に設定することが必要である。またPレンジ、あるいはNレンジからDレンジにシフトした時にリアが沈み込むDレンジスコットに対しては、ピッチングセンタをホイールセンタからできるだけ遠い位置に設定することが必要である(図4)。



M: 車両の質量 L: ホイールベース α : 加速度
 H: 車両重心高 e: オフセット $\theta = \tan^{-1} \frac{H}{L}$
 ℓ : W/C からピッチングセンタの距離 $F = \frac{eM\alpha}{\ell \tan \theta}$

図3 加速スコット



$F = \frac{T}{\ell}$ T: トルク
 ℓ : W/C からピッチングセンタの距離

図4 Dレンジスコット

新型サスペンションでは、側面視でのアッパトレーリング(またはリーディング)リンクとロアトレーリングリンクの傾きを変えることによって、ピッチングセンタの位置をコントロールすることが可能である。

(7)キャンバ剛性

横力に対するキャンバ剛性を高くすることは、

(4)のキャンバ角コントロールと同様に、旋回時のタイヤの路面に対する角度を最適に保つための重要な要素である。

新型サスペンションでは横力を主に3本のラテラルリンクで受け持つため、ラテラルリンクのブッシュバネ定数を硬くしキャンバ剛性を高めても、乗心地を悪化させることがなく、高いキャンバ剛性を得ることが可能である。

また、アッパラテラルリンクを低い位置に配置し、車体側取付点をクロスメンバの剛性の高い部位に結合可能とすることで、更に高いキャンバ剛性を得ている。

(8) Wind Up 剛性

Wind Up 剛性を高めることは、制動時の異常振動を抑えるための必要な要素である。制動時、サスペンションに作用するトルクが、ディスクプレートの肉厚不同などにより、周期的に変動した場合、サスペンションのWind Up 固有振動数と入力の変動周波数が一致する領域で異常振動が発生する。したがって、Wind Up 剛性を高くし、固有振動数を高くしておくことが、制動時の異常振動に対するマージンを高くするために必要となる。

新型サスペンションでは、前後コンプライアンス確保のため、2本のトレーリング（またはリーディング）リンクのブッシュバネ定数を低く設定しても、上記リンクのスペンが大きいためWind Up 剛性を高く設定することが可能である。

(9) 4WS 対応

4WS 対応については、(4)で述べたようにキングピン軸の設定自由度が高く、容易に対応できる。

2.2 他のサスペンション型式との比較

近年のサスペンションに対する要求性能の高まりとともに、DWB 式やマルチリンク式のサスペンションを採用する車が増えている。新型サスペンションの特徴を他のサスペンション型式と比較し表1に示す。

この表から、新型サスペンションが他のサスペンション型式と比較してもサスペンションに要求される各種項目のコントロール性が高いことがわかる。

2.3 センティアでの注力点

前述のように高いポテンシャルをもつ新型マル

表1 新型サスペンションと他型式サスペンションの比較

	新型マルチリンク	ダブルウィップシュボーン	ハイマウントダブルウィップシュボーン	E型マルチリンク	ストラット
前後コンプライアンス	◎	△	◎	○	○
横力トー角変化	◎	◎	◎	◎	◎
バンク時のトー角変化	◎	◎	◎	◎	◎
キャンバ角コントロール	◎	◎	○	◎	△
ロールセンタコントロール	◎	◎	◎	◎	△
ピッチングセンタコントロール	◎	◎	◎	△	△
キャンバ剛性	◎	◎	○	◎	◎
Wind Up 剛性	◎	△	◎	◎	◎
4WS 対応	○	○	○	×	○

チリンク式サスペンションをセンティアに搭載するにあたっては、シャーシのコンセプト実現のため、特に前後コンプライアンスを充分にとり路面刺激の伝達を小さくすること、アンチスコットジオメトリを充分に効かし加速時の姿勢変化を抑えること、対地キャンバ角変化を最適化し、高い旋

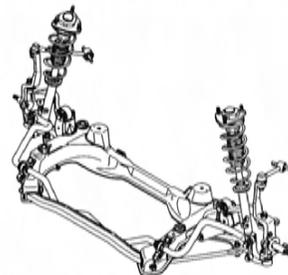


図5 フロントサスペンション

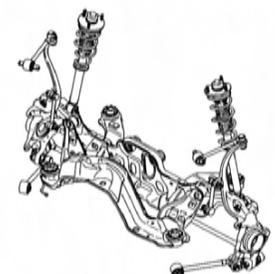


図6 リアサスペンション

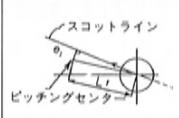
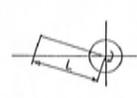
回性能を得ること、ロールセンタ高およびロールセンタ高変化を最適化し、自然なロール感を得ること、の4点に注力した。

前後コンプライアンスについては、常用域での性能を重視し、小入力時に柔らかい特性を持つ非線形ラバープッシュをフロントのテンションロッド、リアのロアトレーリングリンクに採用した。特にフロントのテンションロッドブッシュには、シミー、ジャダーなどの異常振動にも効果的な液体封入式のラバープッシュを採用した。

アンチスコットジオメトリについては、サスペンションのピッチングセンタの最適化をはかり、表2のように加速スコット、Dレンジスコットを小さく抑えたジオメトリを実現した。

キャンバ角変化については、バンプ時のキャン

表2 アンチスコットジオメトリ

	加速スコット	Dレンジスコット
概略図		
評価値	e/L (小さい程良)	L (大きい程良)
センチア	約0.13	約1550mm
当社A車	約0.25	約450mm

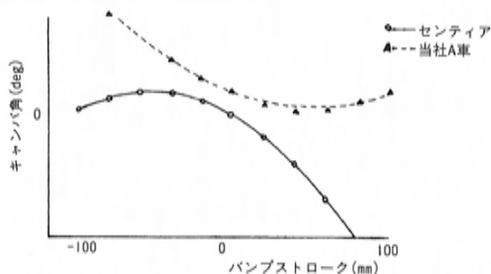


図7 バンプ～キャンバ角変化(フロント)

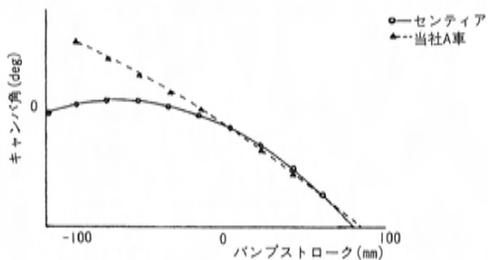


図8 バンプ～キャンバ角変化(リア)

バ角変化を図7、図8のようにホイールストロークの少ない領域での変化は少なく、比較的大きくストロークした場合には大きなネガティブキャンバが得られるような非線形特性とし、直進時の安定性と高いコーナリング性能の両立をはかった。ロールセンタ高およびロールセンタ高変化については、図9、図10のように初期値をフロント約40mm、リア約70mmと低く設定するとともに、変化を最適化し、トレッド変化を図11、図12のように小さく抑えた。

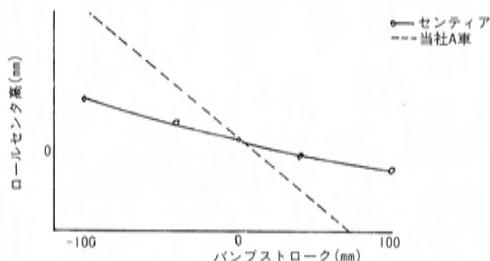


図9 ロールセンタ高変化(フロント)

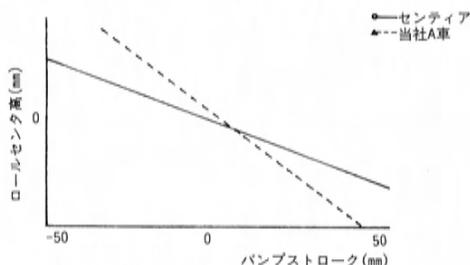


図10 ロールセンタ高変化(リア)

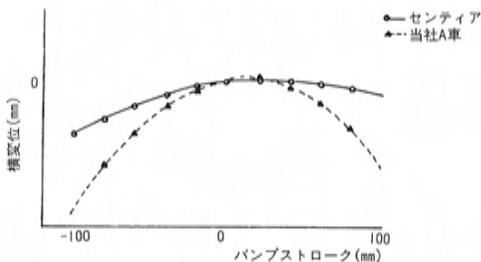


図11 トレッド変化(フロント)

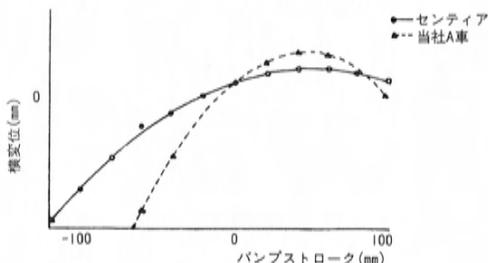


図12 トレッド変化(リア)

2.4 新型マルチリンク式サスペンションの効果

(1) 操縦安定性

本章では、実車で得られた実験データをもとに以下の3点について述べる。

- ① 車両の姿勢変化の少ない操縦性
- ② 高い旋回性能
- ③ 外乱に強い高速直進安定性

(a) 車両の姿勢変化の少ない操縦性

操縦性には、車両の姿勢変化の少なさ、ハンドルの軽快さ、手応え、なめらかさ、また、アンダーステア、オーバーステアの度合や応答のシャープさなどあらゆる性能を含むが、ここでは、コンセプト上ねらいとした車体の姿勢変化、とりわけアンチスコットとロールについて述べる。

スコットについては、図13、14に示すようにDレンジスコット、加速スコットとも他車に比較して小さく抑えることができた。

ロールについては、むやみにスタビライザを効かせすぎると不自然なロールとなるため、ロールセンタ高変化を少なく抑えることで高Gでもロール角があまり大きくならないように対処した。その結果、図15に示すように、低Gでは他車と同レベルのロール角であるが、高Gではロール角変化を他車に比べて少なくすることができた。

(b) 高い旋回性能

センティアは、高い旋回性能を得ることと同時に、限界付近でのコントローラビリティを高くすることを開発の目標とした。そのために、対地キャンバ角変化、操舵時のキャンバ角変化、トー角変化を最適化し、タイヤ性能を最大限に発揮できるようにした。その結果、図16に示すように、適度なアンダーステアと限界Gの高さを両立することができた。

(c) 高速直進安定性

ドライバがステアリングを中立に保持した状態で車が安定して直進するには、路面の不整などによってサスペンションがストロークした際に、タイヤと路面の接地状態の変化を最適化することが重要である。

センティアでは、ホイールストロークに対するキャンバ角変化、トー角変化、トレッド変化をできるだけ小さくして、直進安定性を損ねる外力成

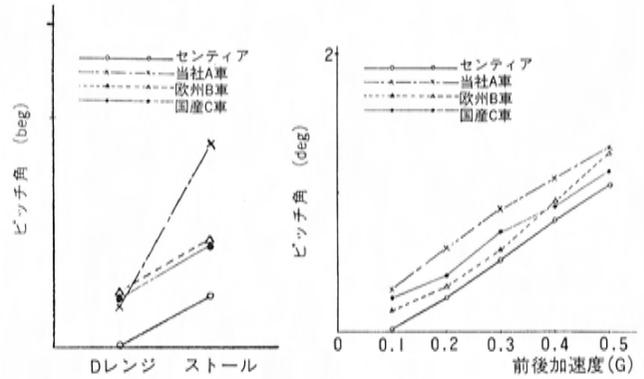


図13 Dレンジスコット 図14 加速スコット

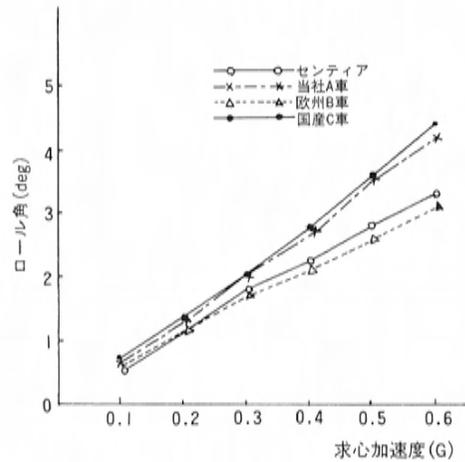


図15 ロール角

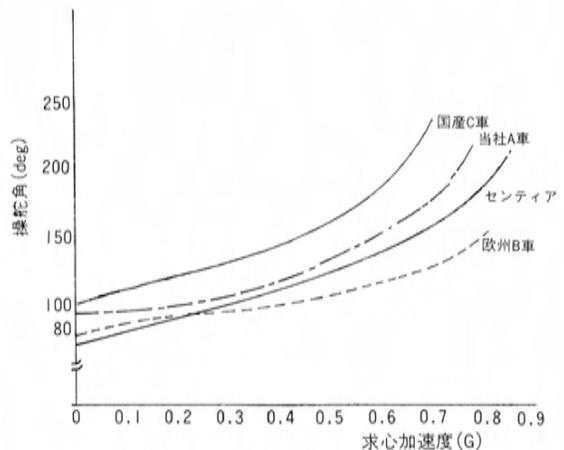


図16 旋回性能 (R=30m)

分を極小化した。その結果、100km/hから160km/hまでの高速で直進走行しようとした時の修正ハンドル操舵角とヨー角速度のr.m.s偏差では図17、18のように、ヨー角速度、ハンドル角ともに、4車中最も値が小さく、高速直進性が良いことがわかる。

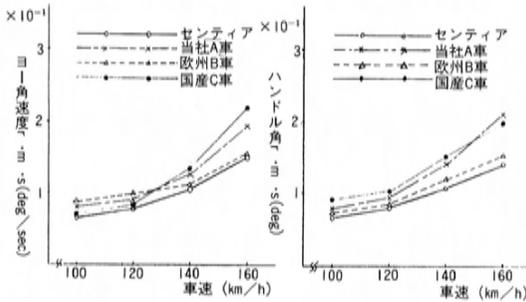


図17 直進走行時の車速とヨー角速度
図18 直進走行時の車速とハンドル角

(2) 乗心地

『洗練された優雅で上品な走り』をより具体化するために、『あらゆる路面プロフィールに素直に反応し、なめらかに減衰する車体挙動の実現』を目標とした。それは単に振動レベルの大きさだけでなく、路面刺激入力後の車両挙動変化や前後輪のショックのバランスなど、人間の感性に左右される微妙で定量化しにくい領域をも考慮したセッティングを新型マルチリンク式サスペンションに織り込んだ。以下にセンティアで指向した乗心地について述べる。

(a) 継目ショック

新型マルチリンク式サスペンションは継目ショックと相関の強い前後剛性のチューニング自由度が大きいいため、操縦安定性を犠牲にすることなく、実用域で十分な前後コンプライアンスを確保することができた。

その結果、図19に示す各車の前後剛性と継目路乗り越し時のフロア前後加速度の関係において、前輪と後輪のショックが同等レベルでかつ絶対値も低く、特に後輪のショックは他社のFR車比較で優れている。

また図20の継目路通過時のフロア前後加速度波形からもわかるように、鋭い加速度変化がなくマイルドでバランスの取れた乗心地になっている。

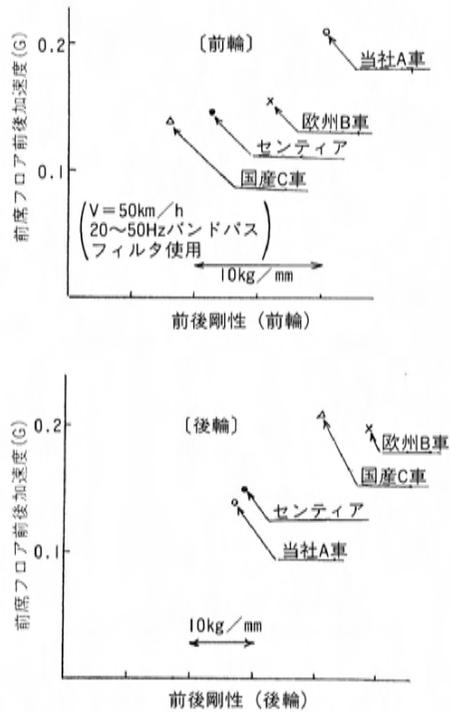


図19 各車の前後剛性とフロア前後加速度の関係

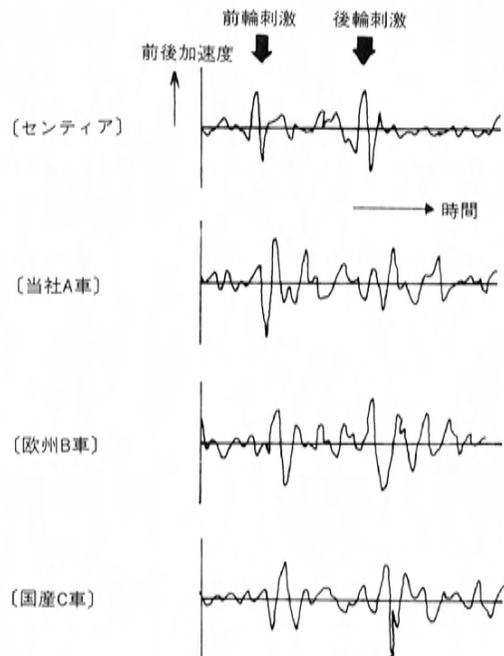


図20 継目ショック前後加速度波形

(b) 一般的な不整路面での乗心地

図21にコンクリートひび割れ路走行時のフロア上下パワースペクトル密度を示す。センチアは、1~2 Hzのピッチング、バウンス、および20 Hz以上のハーシュネスのレベルが低い。

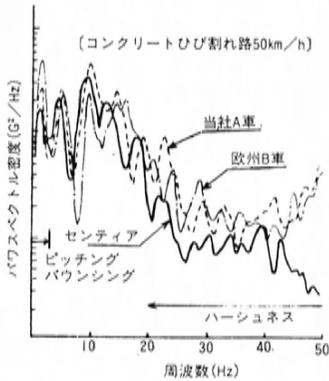


図21 前席フロア上下パワースペクトル密度

この低周波の車体挙動、すなわち、路面刺激や駆動、および制動反力による車体重心回りの回転運動を抑えるためには、特に0.1m/s以下のC/Cc(減衰率)を高めるのが一般的であるが、C/Ccを高くするとハーシュネスの悪化を招きやすい。センチアはサスペンションのピッチングセンタの最適化により、駆動、制動時の車両の姿勢変化が少なくできたこと、ロングホイールベースにより、路面刺激による車両の姿勢変化が少なくできたことにより、特にフロントのC/Ccを全領域で低く設定できた。図22に各車のC/Cc特性を示す。これによって、前述した前後コンプライアンスの確保と合わせて20Hz以上のハーシュネス低減を実現しながら、ピッチング、バウンスを小さく抑えることができた。

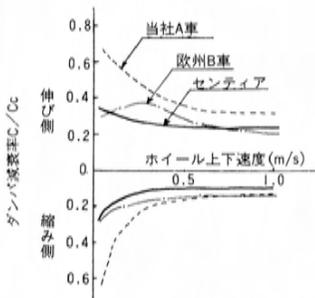


図22 各車のC/Cc特性(フロント)

(c) 大きなうねり路での乗心地

図23に示すような大きなうねり路での良好な乗心地を得るためには、ホイールストロークが重要となる。

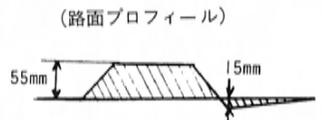


図23 うねり路プロフィール

センチアはフロント、リアともに十分なホイールストロークを確保した。特にフロントについては、図24に示すように、バンプ側ストロークを当社A車に比べ20mm拡大するとともに、つながりのゆるやかなバンプストッパーを採用した。

その結果、図25に示すように、上記うねり路通過時のバネ下の上下変位と車体上下加速度のオーバーシュートが小さく、減衰もゆるやかな、高級車にふさわしい乗心地を実現できた。

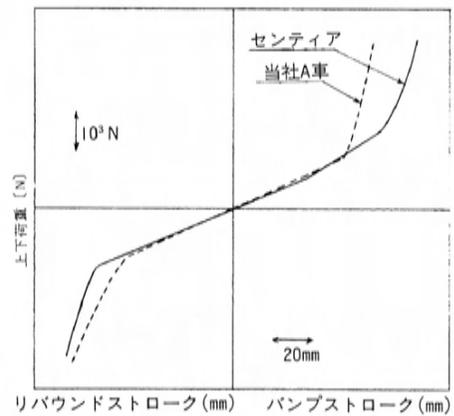
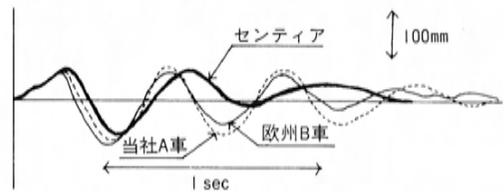


図24 ホイールトラベル(フロント)

(フロント、バネ下の上下変位)



(フロント、サスタワー上下加速度)

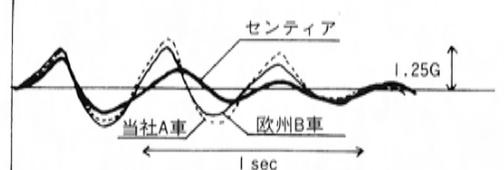


図25 うねり路通過時のバネ下変位と車体加速度

3. ニュー車速感应型4WS

センティアの足回りには、高級車として相応しい走りを実現するために、新型のマルチリンク式サスペンションに加え、FR車としては世界初のフル制御式の車速感应型4WSを採用した。以下、ニュー車速感应型4WSについて紹介する。

3.1 システム概要

センティアに採用しているニュー車速感应型4WSは、現在量産中のカペラに採用されている車速感应型4WSを基本的に踏襲しているが、その特性、装置は性能向上と軽量小型化を行うために、新設計としている。以下、現行カペラよりの改善点について述べる。

(1)リア最大舵角

現行カペラでは、リアを最大5°操舵することで、2WS車に比べて0.5m小さいクラス最小の最小回転半径4.7mを実現している。センティアは現行カペラに対して、ホイールベースで335mm、トレッドで55mm大きくなっているが、リア最大舵角を5°→7°に拡大し、2WSに比べて0.7m小さいクラス最小の最小回転半径4.9mを実現した(図26)。

(2)最大操舵比

図27に示すように、現行カペラでは最大操舵比(後輪操舵角/前輪操舵角)が0.3であり、120km/h以上で操舵比は頭打ちとなっている。ニュー4WSでは最大操舵比を0.5として、160km/hまで制御し、高速での安定性、安全性をより高めている。

(3)リバース制御

現行カペラでは、車両後退時の制御特性は前進時の制御特性と同じとしているが、ニュー4WSでは、後退時は前進時より低速で2WSとし、より安心感のある後退を実現している(図28)。

(4)省エネ化

現行カペラに比べて、

- ①ベーンポンプの吐出量を下げる
- ②リアサスペンションのキャストレールを小さくすることで、リアステアリングコントロールボックスへの入力を減らし、センタリングスプリングのセット荷重を下げる

ことで、30%以上の省エネを図っている。

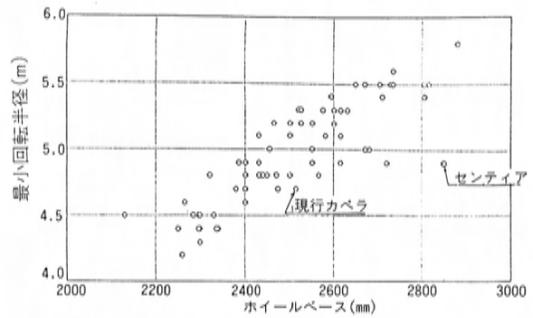


図26 ホイールベースと最小回転半径

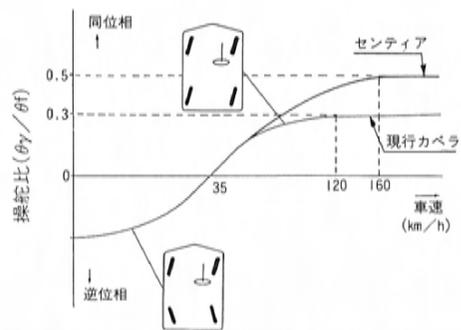


図27 車速と転舵比の関係

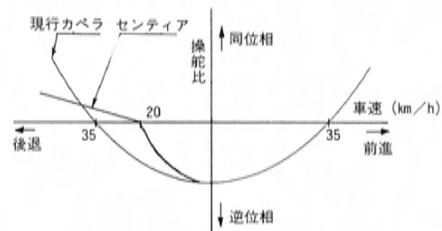


図28 前進、後退時の制御特性

(5)車速感应型パワーステアリング

現行カペラでは、エンジン回転感应型パワーステアリングを採用しているが、センティアでは、車速感应型パワーステアリングを採用して、高速での剛性感、操舵時の手応え感を向上させている。

3.2 システムの構成

ニュー4WSは、前輪を操舵する反力制御式車速感应型のフロントパワーステアリングギア、前輪の操舵角を後輪に伝えるリアステアリングシャフ

ト、前輪操舵角と車速によって後輪を操舵するリアステアリングコントロールボックス、フロント、リアともにオイルを供給するベーンポンプ、および車速センサ、4WSコントロールユニットなどで構成される。図29にシステム図を示す。現行カベラからの変更点は以下の通りである。

(1) フロントギアボックス

反力制御式車速感应型パワーステアリングギアを採用し、ステアリングホイールの回転をリアへ伝えるため、後輪駆動車にとって搭載性のよい2ラックタイプを新設計した。

(2) リアステアリングコントロールボックスの性能向上、および重量軽減のため、当社独自の十字リンク式コンパクトタイプを新設計した。

(3) ステアリングシャフト

現行カベラは4ジョイントタイプであるが、ガタを減らし不感帯を小さくするため、2ジョイント+中間ベアリングタイプを新設計した。

(4) ベーンポンプ

重量軽減のため、ハウジングを鋳鉄からアルミに変更したコンパクトタイプを新設計した。

(5) コントロールユニット

安全性を考慮し、二重系でかつ、回路構成のシンプルなダブルマイコンタイプを新設計した。

3.3 システムの作動

(1) 4WSシステムの作動

当社の4WSは、車速に応じて操舵比、および方向をコントロールすることが大きな特徴である。

4WSコントロールボックスは、車速センサから送られてきた車速信号をもとに、図27に示すような操舵比を算出し、リアステアリングコントロールボックスに装着されているステッピングモータに所定の操舵比となるよう駆動指令を出す。一方、ステアリングホイールからの操舵の方向と量は、フロントパワーステアリングギア、リアステアリングシャフトを介してリアステアリングコントロールボックスに機械的に伝えられる。この操舵の方向と量、および前述の4WSコントロールボックスからステッピングモータへの駆動指令により、リアステアリングコントロールボックスは、所定の方向に所定の量だけ、後輪を操舵する。

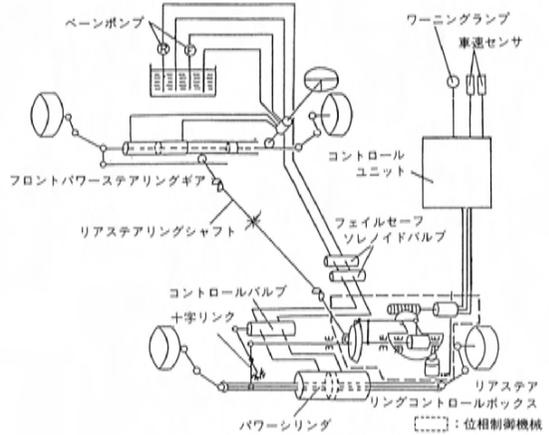


図29 システム構成図

(2) リアステアリングコントロールボックスの作動

リアステアリングコントロールボックスは、4WSコントロールユニットからの指令と、ハンドルからの操舵の方向と量により、後輪の操舵の方向と量を決める位相制御機構部と、位相制御機構部で決められた操舵の方向と量だけ後輪を操舵する油圧アシスト部で構成される。

(a) 位相制御機構部の作動原理

図30に位相制御機構部の構造、図31に作動状態を示す。位相制御機構部は、操舵比を決めるステッピングモータとコントロールヨーク、リアステアリングシャフトより操舵方向、操舵量を入力するシャフトとベベルギア、コントロールバルブを作動させるコントロールロッドから構成されており、コントロールロッドは一端がスイングアームに、中間をベベルギアに、他端が十字リンクの一端に取付けられている。

車速に対応してステッピングモータは、コントロールヨークを回転させ、コントロールロッドを左右に移動させる。一方、ベベルギアはハンドル操舵方向と量に対応して回転し、コントロールロッド

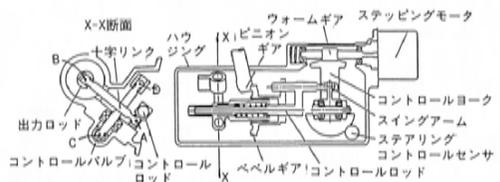


図30 位相制御機構部

ッドを左右に移動させる。このコントロールヨークの回転によるコントロールロッドの左右の移動とベベルギアの回転によるコントロールロッドの左右の移動の和が十字リンクの一端の左右移動の方向と量になる。

(b) 油圧アシスト部の作動原理

図32に油圧アシスト部の構造を示す。油圧アシスト部は、コントロールロッドの移動方向と量を入力する十字リンク、アシスト油圧を発生させるコントロールバルブ、アシスト力を発生させるパワーシリンダ、および油圧の発生していない状態で常に2WSに保持するセンタリングスプリングから構成されている。

十字リンクは、A点でコントロールロッド、B点でピストンロッド、C点でスプールとつながっており、かつ、D点でハウジングに固定されている(図30参照)。

ステアリングホイール操作により、コントロールロッドが、右または左に動くとき、コントロールロッドにつながっている十字リンクのA点が、右または左に動かされる。この時、スプールには、バルブセンタリングスプリングの負荷荷重、出力ロッドには、後輪からの負荷荷重とセンタリングスプリングの負荷荷重がかかっているが、後者に比べ前者の方が小さいため、固定点D点、および出力ロッド部のB点を支点として、コントロールロッドのA点の移動に対して、C点つまりスプールが右または左に動く。つぎに、スプールが右または左に変位すると、スリーブとの間に相対変位が生じて、パワーシリンダの左室、右室に油圧差を発生させ、出力ロッドに左または右にアシスト力を付加する。このアシスト力が、後輪からの負荷荷重とセンタリングスプリングの負荷荷重に打ち勝つと出力ロッドが左または右に移動する。そして、出力ロッドが右または左に動くことにより、CDを軸としてB点は、左または右に動き、A点の移動量に対して、スプールが負荷との釣合のとれる油圧を発生する位置で出力ロッドは止まる。

このように、スプールとスリーブの相対変位に応じた油圧が、パワーシリンダに導かれ、出力ロッドの推力となり、後輪を操舵する。

(c) 逆位相時(車速35km/h未満)の作動

車速35km/h未満では、コントロールヨークは

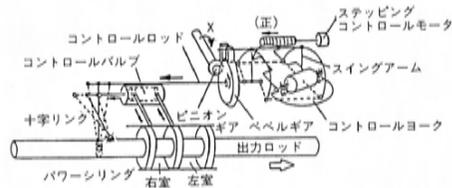


図31 位相側制御機構部の作動状態(逆位相)

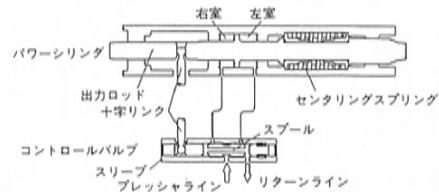


図32 油圧アシスト部

負の位置にある(図31)。この場合、ステアリングホイール右操舵に対応した回転方向Xに対してコントロールロッドは左方向に動く。コントロールロッドが左に動くことによりスプールが左に動くとき、ハウジングに固定されているスリーブと相対変位が生じ、パワーシリンダの右室へのポートが縮小し、左室へのポートは拡大する。このため、右室の油圧が高くなり、パワーピストンへの油圧アシスト力が増加する。そして、出力ロッドにかかる後輪からの負荷荷重とセンタリングスプリングの負荷荷重よりも油圧アシスト力が大きくなると、出力ロッドは左方向に移動し、後輪は右方向に操舵される。出力ロッドが左方向に移動すると、ベーンポンプより供給された油は、スリーブのポートを通り、パワーシリンダの右室に入る。一方、パワーシリンダ左室の油は、リターンポートを通りオイルリザーバタンクに戻される(左操舵はこの逆である)。

(d) 中立時(車速35km/h時)の作動

車速35km/h時では、コントロールヨークは中立の位置にある(図33)。この場合、ステアリングホイールを操舵してもコントロールロッドは左右方向に動かないため、スプールは動かず、ハウジングに固定されているスリーブとの相対変位は生じないので、パワーシリンダの左室、右室へのポートは等しくなり、左室、右室の油圧差は発生しない。よって、出力ロッドは移動せず、後輪は中立状態を保つ。ベーンポンプより供給された油はス

リーブの左右のポートを通り、リターンポートからオイルリザーバータンクに戻される。

(e) 同位相時 (車速35km/h 以上) の作動

車速35km/h より上では、コントロールヨークは正の位置にある(図34)。この場合、ステアリングホイール右操舵に対応した回転方向 X に対してコントロールロッドは右方向に動く。コントロールロッドが右に動くことによりスプールが右に動く、ハウジングに固定されているスリーブと相対変位が生じ、パワーシリンダの左室へのポートが縮小し、右室へのポートは拡大する。このため、左室の油圧が高くなり、パワーピストンへの油圧アシスト力が増加する。そして、出力ロッドにかかる後輪からの負荷荷重とセンタリングスプリングの負荷荷重よりも油圧アシスト力が大きくなると出力ロッドは右方向に移動し、後輪は左方向に操舵される。出力ロッドが右方向に移動すると、ベーンポンプより供給された油は、スリーブのポートを通り、パワーシリンダの左室に入る。一方、パワーシリンダ右室の油は、リターンポートを通りオイルリザーバータンクに戻される(左操舵はこの逆である)。

3.4 システムの安全性

安全に対する基本思想を以下に要約する。

①油圧系の失陥時には、2WS (後輪を中立固定する) を保証する。

②電気系の失陥時には、2WS を保証する。

(1) 油圧系のフェイルセーフ

油圧系の失陥時 (オイル洩れ、ポンプ不良、ベルト切れなど) には、自動的に油圧アシスト力がなくなり、リア出力ロッド軸上に設けられたセンタリングスプリングにより出力ロッドを中立に固定し2WS を保証する。

(2) 電気系のフェイルセーフ

電気系は二つのフェイルセーフモードを持っている。一つは、ステッピングモータで操舵比0 (2WS) の位置に制御しワーニングランプを点灯させるモードであり、もう一つは、フェイルセーフソレノイドバルブを OFF (リアの油圧系をリリーフさせる) しワーニングランプを点灯するモードである。電気系についてはすべて二重系で保証し、安全性を高めている。

電気系のフェイルセーフを表3に示す。

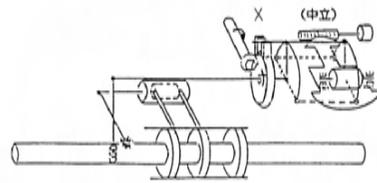


図33 位相制御機構の作動状態 (中立)

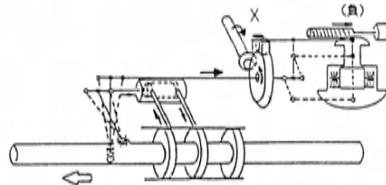
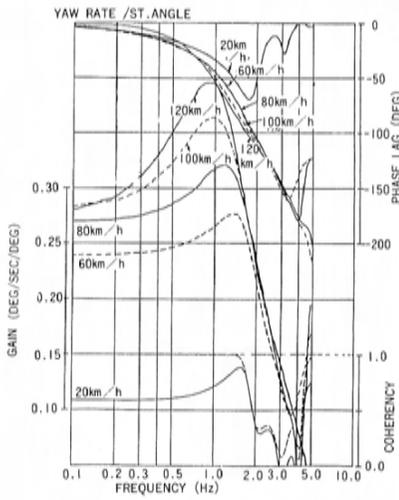


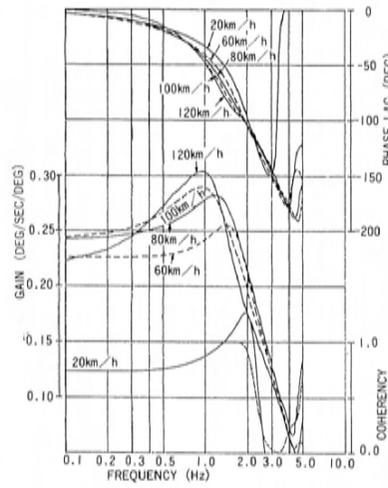
図34 位相制御機構の作動状態 (同位相)

表3 電気系におけるフェイルセーフ

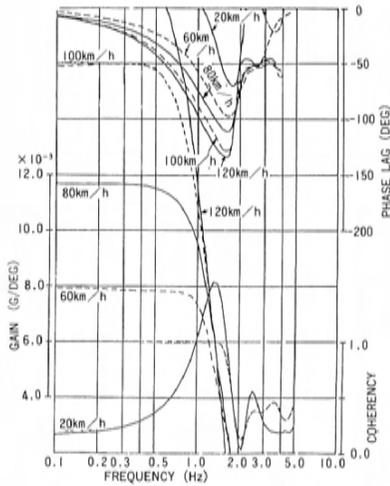
故障チェック内容		チェック方法	フェイルセーフ	
電	コントロールユニット	プログラムチェック	プログラムビット落ちを初期作動で判断	フェイルセーフソレノイド OFF で 2WS
		メモリチェック	メモリ差込み及び差込んだ内容と比較チェック	↑
		アナログ値→デジタル値変換チェック	初期に一定電圧入力し、変換値チェック	↑
		マイコン暴走チェック	ウォッチドッグ回路で判定	↑
電	車速センサ	車速センサ (2個)	2個のセンサの各出力値急変チェック (通常走行でありえない変化の時)	ステッピングコントロールモータで 2WS
		相互チェック	2個のセンサ出力値チェック (出力値が不一致した時)	↑
気	モータ	断線チェック	作動、非作動指令に対する電圧チェック	フェイルセーフソレノイド OFF で 2WS
		作動チェック	モータ作動によるヨーク角計算値とヨーク角センサ出力値比較	↑
系	センサ	出力値チェック	出力値が設定値内であるかチェック	フェイルセーフソレノイド OFF で 2WS
		基準位置チェック	基準位置が検出されるかチェック	↑
系	バルブ	断線チェック	作動、非作動指令に対する電圧チェック	ステッピングコントロールモータで 2WS
		電源	電源電圧監視	電圧が所定値以上であるかチェック



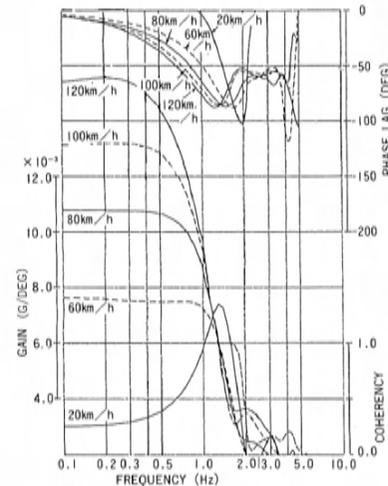
ヨーレート (2WS)



ヨーレート (4WS)



横G (2WS)



横G (4WS)

図35 周波数応答 (2WS, 4WS)

3.5 車速感応型4WSの効果

中速での回頭性と高速での安定性を評価するために、2WSと4WSのハンドル操舵に対するヨーレートゲインの周波数応答を図35に示す。ヨーレートゲインを見ると、4WSは、低速(20km/h)で2WSよりゲインが高く、高速(60km/h)ではゲインが低い。また、横Gの位相遅れをみると、4WSは低速(20km/h)で2WSより遅れが大きく、高速(60km/h以上)では遅れが小さく、当初のねらい

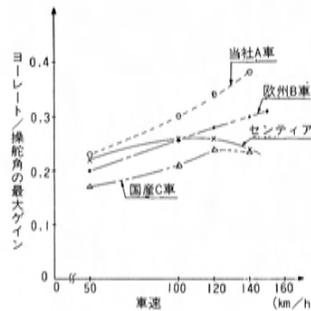


図36 車速とヨーレート/操舵角の最大ゲイン

通り小回性の向上、高速での安定性向上が達成されている。

また、各車速におけるヨーレイトの最大ゲインを取り出して他車と比較したものを図36に示す。中速では他車と同等もしくはそれ以上の回頭性を有し、かつ高速においても他車と同等もしくはそれ以上の安定性を有しているのがわかる。

4. おわりに

車は人間が操るものであるという原点に立つ単なる移動の道具だけでなく、操る人間に満足を提供するものでなければならない。サスペンションは、この満足感を操る楽しさと安全性と快適性として、具現化させることが使命である。

本稿で紹介した新型マルチリンク式サスペンションと4WSはこうした使命に叶う高いポテンシャルを有する技術の一つであると我々は自負している。その意味では、これらの技術は、今後のマツダのサスペンションの方向性を示すものであり、各車種に展開していく中で磨きをかけ、更に高い感性域へ昇華させていきたいと考えている。

■ 著 者 ■



牛尾晃一



吉岡広貴



堀井慎也



田中勇次

小特集

6

センティアの振動騒音

Noise and Vibration Study of SENTIA

田中 勇次*1
Yuji Tanaka春名 茂*2
Shigeru Haruna池田 一夫*3
Kazuo Ikeda

要 旨

Abstract

センティアはユーザーニーズの多様化が進む中で、運転そのものが楽しめる当社の最高峰に位置する車として開発された。

振動騒音の開発においては、高級車にふさわしいバランスのとれた性能を確保するために、設備、解析技術を駆使した広範囲な取り組みを行った。特に新開発マルチリンクサスペンションの採用によるロードノイズ・乗心地の質の向上と、心地良いエンジン音質の実現により、従来的高级車と一味違った運転する楽しさ、快さにつながる振動騒音品質を得ることができた。

Amid diversifying customer needs, the SENTIA was developed as Mazda's top-of-the-line car that can ensure driving pleasure. In developing noise and vibration performance for the vehicle, a wide range of approaches making the most of various facilities and analytical techniques were conducted to achieve a wellbalanced performance suitable for luxury models. Especially, a newly-developed multi-link suspension helped improve road noise and ride quality while realizing comfortable engine noise. As a result, driving pleasure and comfort different from those of existing luxury models were obtained through the improvement of noise and vibration quality.

1. はじめに

自動車の快適性への要求がますます高まっている今日、振動騒音品質は非常に重要な項目の一つになっている。

センティアは、「高級車であるとともに自分で運転して楽しむ車」というねらいから、まず高級車にふさわしい性能を実現するための基本諸元や新開発マルチリンクサスペンションをはじめとする新機構を採用した。加えて、ドライバが運転して感じる楽しさや快さといった感性の領域については、基本性能とのマッチングと最近の道路事情、車速を考慮し、特に以下の三項目に重点を置いた振動騒音開発を行った。

(1)濁りがなく、高回転域まで澄んだ加速音質の実現。

(2)路面や車速変化に相応しいレベルと自然な周波数特性を示すロードノイズ、風騒音の実現。

(3)運動性能と高い次元でバランスした、マイルドでしなやかな乗心地。

以下にセンティアの振動騒音性能の概要と車両各部に施された織り込み技術について、若干の解説を加え紹介する。

2. 車内騒音

一般的に定常走行時はロードノイズ、風騒音が支配的であるのに対し、全開加速時はエンジン音の割合が高く、また吸気音、排気音の要因も大きくなる傾向にある(図1)。

センティアの車内騒音開発は、特にこれらの要因についてレベルの低減とエンジン回転に応じたリニアで澄んだ音質の実現に注力した。

2.1 エンジン騒音

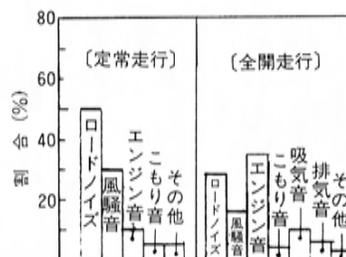


図1 車内騒音要因分析結果

* 1, * 2 車両実験研究部 * 3 第一車両設計部

(1)エンジン振動，放射音

センチアは、エンジンインターナルの起振力、およびパワープラント振動低減のため、図2に示す低減メニューを織り込み、広い周波数域での振動放射音の低減を図った。

車内音低減メニュー	周波数 (Hz)				
	200	400	800	1K	2K 10K
スチールクランク	■	■	■	■	■
メタルクリアランス縮小	■	■	■	■	■
曲げダンパブリー	■	■	■	■	■
振りダンパブリー	■	■	■	■	■
ピストン，コンロッド軽量化	■	■	■	■	■
アルミ製VRS	■	■	■	■	■
コンバータハウジング，エクステンションケース補強	■	■	■	■	■
モリブデンコートピストン	■	■	■	■	■
サージタンク放射音低減	■	■	■	■	■
オルタネータ放射音低減	■	■	■	■	■
Exh マニホールドインシュレータフローティング	■	■	■	■	■

図2 エンジン振動，放射音低減メニュー

これらの織り込み技術は、レベルの低減のみでなく心地良い音質づくりに大きく寄与している。音質の悪さは一般的に低、中速域の加速時に顕著に現われ、ゴロゴロした変動感を伴なう。

センチアはこのランプリングノイズ低減のため、スチールクランクの採用とメタルクリアランス縮小、曲げ、振りダンパブリーの最適化、ピストン、コンロッドの軽量化等、エンジンインターナルの総合的な起振力低減を図った。

更に、パワープラント共振を抑えるためにアルミ製VRS (Vibration Reducing Stiffener) の採用、トルクコンバータハウジング内側、およびエクステンションケースに適切ナリップをつけ、大幅な剛性の向上を図っている (図3)。

その結果、エンジン音の変動感の指標であるエンベロープレベル(エンジン回転0.5次と1次成分の和)が中速域で大幅に低減され、エンジン回転の上昇に対しリニアで澄んだ音質が得られた。

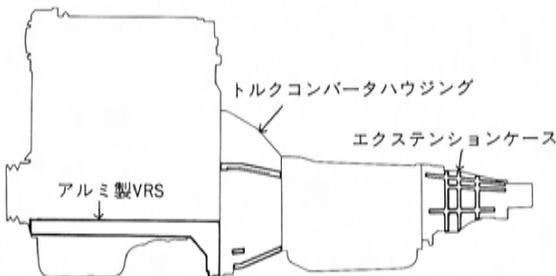


図3 エンジン，ミッション構成

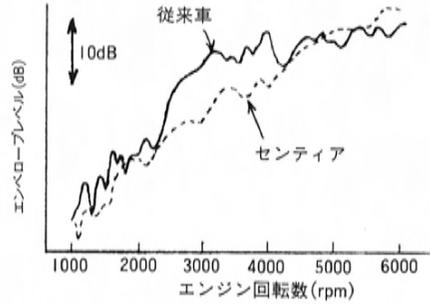


図4 エンベロープレベルの低減効果

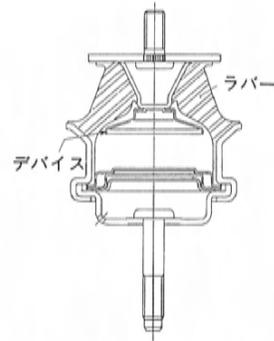


図5 エンジンマウント構造

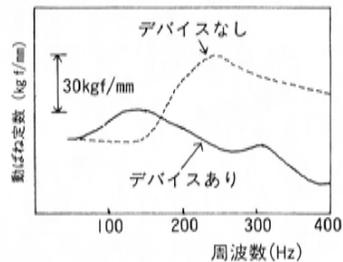


図6 液体封入エンジンマウント特性

(2)伝達系の特性

センチアのエンジンマウント系は従来車同様、高剛性アルミブラケットを採用し、中高周波の振動増幅を抑えている。加えて、デバイス機構の追加で高周波域の動ばね定数を低減し、低周波の減衰も優れた、いわゆる第三代液体封入エンジンマウントを採用して音質の向上を図った (図5、図6)。

ミッションマウント系にもアルミミッションメンバを採用し、ブラケットにはスティフナプレートおよびビードを追加し、徹底的な剛性アップを

図っている。

(3)車体の防音構造

最適な防音材配置を決定するために、各パネルの寄与度分析を行い、特に放射要因割合の高いダッシュメインパネルおよびトンネル部について新素材を適用した。

①制振鋼板の採用：ダッシュメインパネルおよびトンネル部レインフォースメントに制振鋼板を採用し、重量を最小限に抑えながら静粛性を向上させている (図7)。

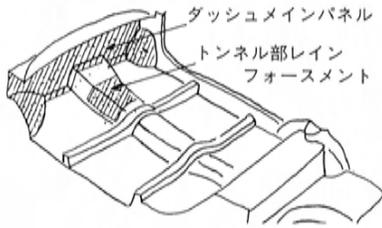


図7 制振鋼板適用部位

高い制振性、遮音量を得るために、パネルの板厚を厚くしたり、制振材を増す従来の手法では重量が著しく増加するため、センティアでは重量を最小に抑える制振構造として構造部材で制振するという手法をとった。

制振鋼板とは2枚の鋼板の間に約40μm厚の粘弾性樹脂をサンドイッチしたもので、導電粉を混入させることにより従来の鋼板と同様に溶接を可能にしている。制振鋼板の振動減衰機構は間にはさんだ樹脂の粘弾性を利用し、そのズリ変形により振動エネルギーを熱エネルギーに変換して振動減衰効果を発揮するものである。

②制振効果：通常、制振性は損失係数 η で示され、この値が大きいほど制振性が大きくなる。図8にその特性を示す。

材 料	損失係数	振動減衰波形
制振鋼板 (0.8+0.8mm)	0.35	50msec
(0.8mm) 冷延鋼板にダンピング シート(2mm)貼付	0.09	
冷延鋼板 (1.6mm)	0.0005	

図8 制振鋼板の減衰特性

センティアでは、その制振をより効果的に行うため制振性能のピーク値をダッシュメインパネルでは50℃付近に、トンネル部レインフォースメントでは常温付近でフラットな特性にチューニングしている (図9)。

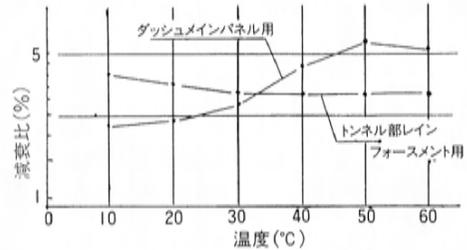


図9 温度—ダンピング特性

以上により、ダッシュメインパネルの振動特性は従来モデルに較べ約5dB イナータンスが低減し音質の改善に寄与している (図10)。

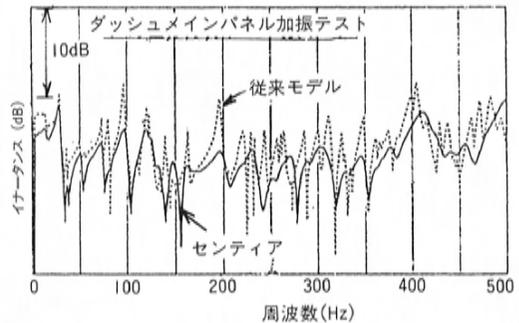


図10 ダッシュメインパネルの振動特性

2.2 ロードノイズ

エンジン音等の低騒音化が進むと、車室内におけるロードノイズの割合が上昇するため、全体騒音とのバランスをとる必要がある。

粗粒路走行時の車内音をみると、130Hz、240Hz、360Hz にピークがある (図11)。これらを低減するために刺激源であるタイヤ、振動伝達系のサスペンション、発音放射系のボデーについて検討した。以下にその概要を述べる。

(1)タイヤの振動特性

図11にタイヤの軸伝達率 (F_0/F) を示すが、75 Hz、240Hz、360Hz 付近にピークがある。これらの振動特性については、タイヤメーカーの協力を得て

以下の車両側とのマッチングを図った。

①75Hzのタイヤ周方向1次共振周波数を下げ130Hzのサスペンション共振領域の伝達率低減。

②タイヤのエンベロープ特性、および断面方向共振周波数変更による240Hzの気柱共鳴、360Hzの断面方向共振の振動伝達率低減。

(2)伝達系の特性

図11に実走時のサスペンション振動を示すが、車内音のピークと良く一致している。そこで、各入力点の寄与度分析や、サスペンション振動モード解析(図12)を行い、要因の大きい以下の部位について低減策を施した。

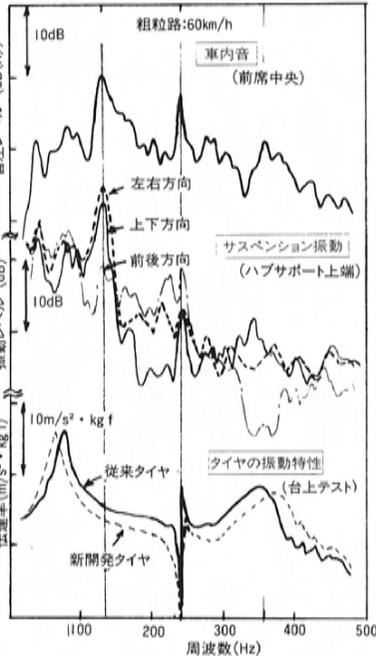


図11 車内音とサスペンションおよびタイヤの振動特性

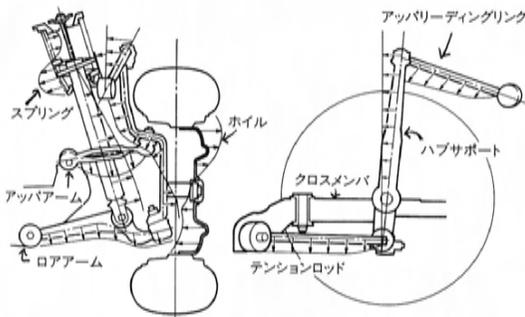


図12 サスペンション振動モード (130Hz)

①アッパリーディング入力：微小振幅領域でのチルト、および回転方向の動ばね定数低減。

②サスタワ入力：入力分離タイプのダンパマウントを採用。ダンパ入力は低動ばねダンパマウン

トラバー、スプリング入力はスプリングラバーシートのボリュームアップで、それぞれの振動絶縁性を向上させた。

③フロントサスペンションメンバ入力：従来モデル同様、4点ラバーマウントを採用し、中間周波数の振動絶縁を向上させた。

(3)車体側の対応

サスペンション取付部の剛性、車体感度の解析を行い、特に寄与度の高いアッパリーディングリンク取付部については、

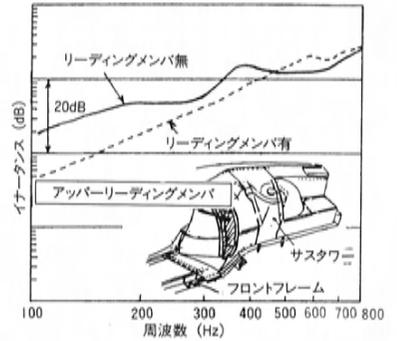


図13 アッパリーディングメンバの効果

メンバを追加し大幅なイナータンスの低減を図った。

また、アンダフロアの振動特性については、フロアパンの1次共振をサスペンション共振とタイヤ気柱共鳴周波数の中間にすべく、ビード配置と曲率の最適化を行った。更に高次共振モードについては、新素材の高ダンピングシートをフロアパン全面に施し、パネルからの放射エネルギーを低減した。

以上のように、タイヤ、サスペンション、車体の特性を解析し最適化を図ることで、特定周波数に大きなピークのない優れたレベルが得られた(図14)。

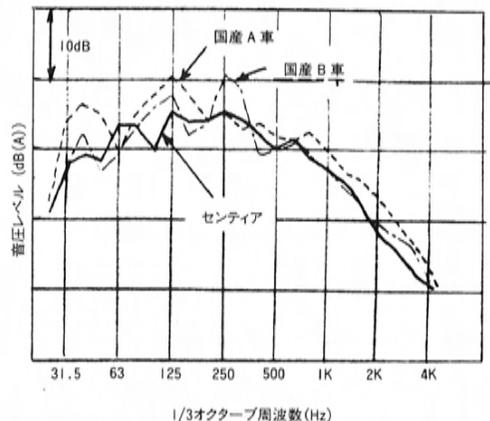


図14 ロードノイズレベル

2.3 風騒音

中・高速域の静粛性向上のため、車体形状・シール性・遮音等について、広範囲な検討を加え各部の最適化を図った。以下に、特に注力した部位と低減手法について述べる。

(1)車体形状：図15はサイドウインド（以下、S/Wと略す）周りの流れを可視化したものである。センティアではAピラー周りの形状を最適化して風騒音の発生源である剝離域を小さく抑え、風騒音の低減を図った。

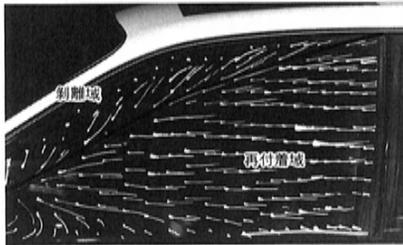


図15 S/W表面の流れの可視化（油点法）

(2)シール性能：センティアでは、高速時のドア周りのシール性能の改善にも力をいれた。図16に車速とS/Wの変位量を従来モデルと比較して示す。その変位量を従来モデルの1/3以下に抑えてガラスとラバー間のシール性能を大幅に向上させた。これはS/Wをモールでホールドする構造、およびS/Wとモール間のラバーの厚みを最適化することによって実現した(図17)。更に、ドアヒンジ部周りの隙を遮蔽板とラバーによって塞ぐ構造を採用した。これによりフロントフェンダーからの気流を遮断して風騒音の発生を抑えた。また、サイドシル周りからの風騒音およびロードノイズの侵入を抑えるためにドア下端部にシールラバーを新たに追加して3重シール構造としシール性能を高めている(図18)。

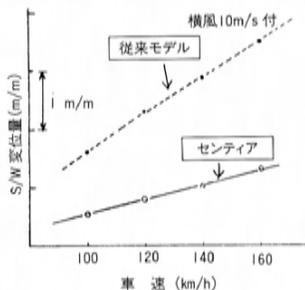


図16 S/W変位量の車速依存性

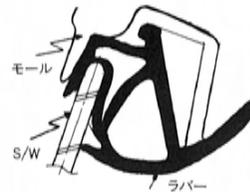


図17 S/Wのホールド構造



図18 ドア下端部の3重シール構造

(3)遮音性能：A, B, Cの各ピラー内にウレタンフォームを挿入している。これによりピラー内に発生する気流を遮断して気流による音の発生を防ぐとともに、ベルトラインより下部から入る音を遮音した。

(4) サンルーフの風騒音の低減：センティアではサンルーフ使用時の風騒音の低減にも配慮した。サンルーフ全開時では、デフレクターのヒンジ位置の最適化によって、また、チルトアップ時にはサイドデフレクターの新設により風騒音の低減を図った。

以上のような点に注力して従来モデルに比べ風騒音を大幅に低減した(図19)。

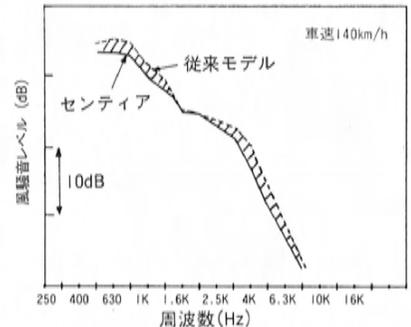


図19 風騒音低減効果

2.4 こもり音

(1)エンジン回転2次振動と補機共振の低減

V6エンジンの慣性偶力によるエンジン回転2次振動を抑えるために、パワープラントの剛性アップに加えエクステンション後端にダイナミックダンパを設定して、エンジン回転に対しリニアな振動特

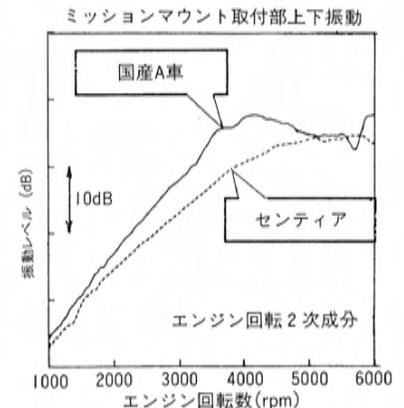


図20 パワープラント振動低減効果

性を実現している (図20)。

また、補機共振を抑えるために、エアコンコンプレッサ、オルタネータ、パワーステアリングポンプに高剛性アルミブラケットを採用し、FEM解析により剛性、取付点数の最適化を図っている。

(2)吸気音

吸・排気系の音はエンジンの燃焼に同期した周波数成分を含み、加速時の音質に影響を及ぼす。センティアではエンジン回転3次、6次成分低減のため周波数の異なるレゾネータを2つ設定しリア感のある吸気源音特性を得ている (図21)。

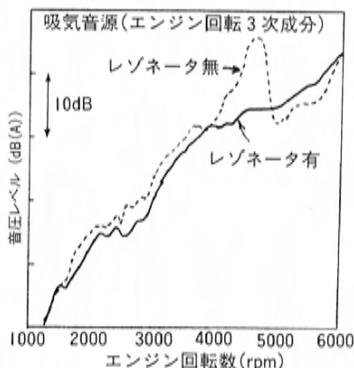


図21 吸気レゾネータの低減効果

(3)排気音

出力性能との整合を図るため排気可変バルブを採用し、低中速域のこもり音を大幅に低減した (図22)。

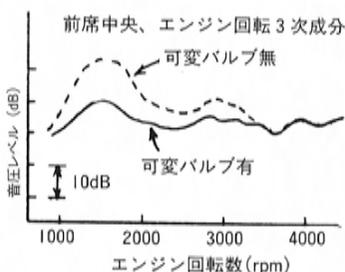


図22 排気可変バルブの効果

また、排気系ハンガーラバーはパワーステアリングおよびサブフレームに支持し、車体に伝達される振動レベルを低減している。

2.5 駆動系騒音

駆動系騒音は全体騒音に及ぼす割合は小さいが音色が純音に近いため異和感がある。センティアでは、デフマウントラバーの採用による振動絶縁とチューブインチューブペラの採用で駆動系振り共振を最適化し、デフノイズの低減を図った。

2.6 走行騒音レベル

以上に述べた織り込み技術により、前席中央の騒音レベルは100km/h 定常走行で62dB(A)を実現している (図23)。

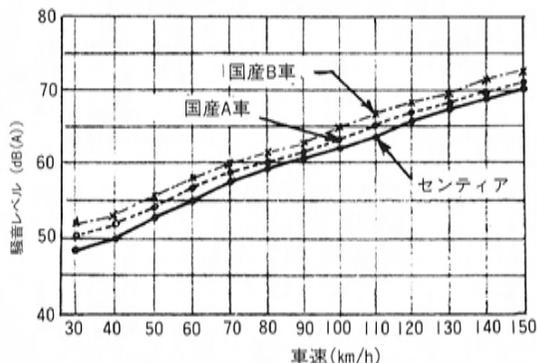


図23 前席中央、走行騒音レベル

「静かさ」を提供するためには、操縦安定性と振動乗心地のバランスが重要となる。センティアの振動乗心地向上のため、特に開発で注力した性能について以下に述べる。

(1)マイルドでしなやかな乗心地

あらゆる路面プロフィールに素直に反応し、なめらかに減衰する車体挙動の実現を目標に、新開発マルチリンクサスペンションのセッティングを行った。ここで振動乗心地の向上に寄与した性能とその特性について列記する。

- ①十分な前後コンプライアンスの確保による継目ショック、ハーシュネスの低減。
- ②ピッチングセンタ高の最適化によるスクォット、および低周波の車体挙動の減少。
- ③十分なホイールストロークが確保されたことによるボトミング性能の向上。
- ④ホイールプリントの拡大等、設定されたディメンションとサスペンション特性のマッチングによる、しなやかな減衰特性の実現。

(2)「しっかりボデー」の継承、発展。

ホイールプリントの拡大による剛性低下を補うために、①トルクボックス断面の大型化、②フレームおよびサイドシルとクロスメンバの結合強化、③アッパボデー断面の最適化を図った (図24)。

これらにより、車体の曲げ剛性、および25~40 Hzの車体振動特性(イナータンス)が向上し、荒れた粗粒路でのハンドル微振動やハーシュネスの低減に寄与している (図25)。

3. 振動乗心地

これまでの高級車と一味違った「運転する楽し

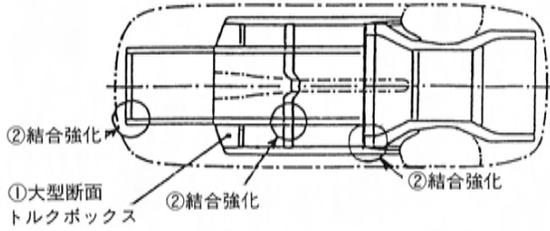


図24 ボデー補強部位

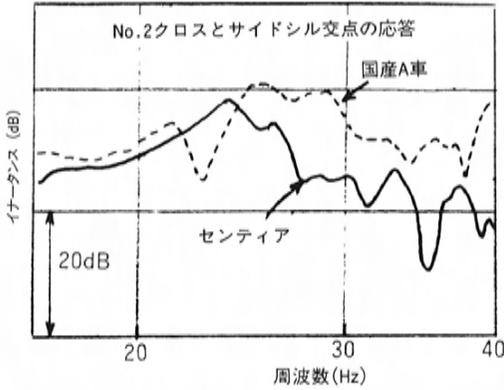


図25 車体振動特性

(3) 振動絶縁性の優れたシートの開発

運転時の楽しさや快適性向上にシートの果たす役割りは大きい。図28にセンティアのフロントシート構造を示す。

その特徴は、4分割クッションフレームに左右から4本ずつのコイルスプリングでコンターマットを吊り、クッション座面には高弾性スチレンパッドを用いている。これらでタッチ感の向上、横剛性の確保を図るとともに、ばね下共振領域の伝達率を低減してバランスのとれた特性を実現している。

以上のサスペンション、ボデー、シートへの織り込み技術により、センティアの乗心地は1~2Hzのフワフワした動きや、10~15Hzのブルブル

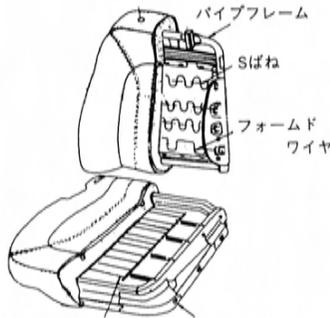


図26 フロントシート構造

感, 20Hz以上のハーシュネスが低く抑えられた高級車にふさわしい乗心地になっている (図27)。

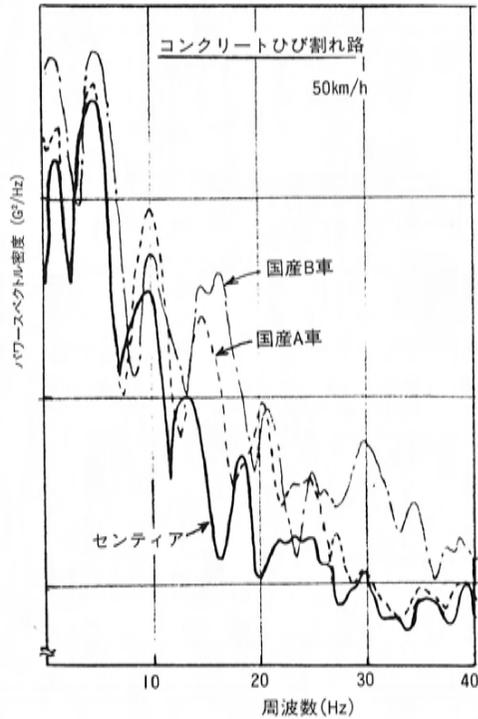


図27 前席人体上下パワースペクトル密度

4. あとがき

以上、センティアの振動、騒音開発の概要を述べてきた。この開発にあたっては、設備、解析技術を駆使して振動騒音品質と他性能の調和を図ることで、コンセプトに沿ったバランスのとれた性能を確保できた。

最後に、我々の開発活動の支えとなった関連メーカーの方々の多大な協力に感謝するとともに、更に振動、騒音の向上に努め、ますます高まる市場ニーズに対応していきたいと考える。

■ 著 者 ■



田中勇次



春名 茂



池田一夫

小特集

7

センチアの安全装備

Safety Equipment for the SENTIA

村本久雄*1
Hisao Muramoto
東裕章*5
Hiroaki Higashi

真鍋敏之*2
Toshiyuki Manabe
後藤博*6
Hiroshi Goto

重村智子*3
Tomoko Shigemura
秋山裕一*7
Yuichi Akiyama

葛川 渉*4
Wataru Tsutagawa
岡田健治*8
Kenji Okada

要 旨

Abstract

センチアは市場の高級化ニーズに応えるとともに安全性を重視した高級パーソナルカーとして開発された。全世界の安全基準に適合する車体構造をベースに種々の安全技術を採用してスタイル、走り、快適性などの特性ともバランスをとっている。

安全技術の内容については、危険予知や危険回避などの予防安全面と、衝突時の被害軽減や火災防止などの衝突安全面との両面において広範囲に最新の安全技術を採用している。

本稿では、センチアに採用した安全技術の中から代表的なものを取り上げて紹介する。

In fulfilling the highest requirements of the market, the SENTIA was developed as a premium personal car with particular emphasis on safety. Working from a vehicle structure that satisfied safety standards from around the world, a wide range of safety technologies were adopted that also struck a balance with such features as styling, running, and handling.

The safety equipment adopted covered the entire range of leading technologies for both passive and active safety. They included hazard prediction and hazard avoidance on the one hand, and damage reduction and fire protection on the other.

This paper introduces a representative sample of the safety technologies adopted for the SENTIA.

1. はじめに

交通安全の向上には、自動車、交通環境および運転者といった多方面での対応施策が重要であり、我々自動車会社としては一層安全な車両を市場に提供しなければならない。

自動車の安全には、大別すると図1に示すように予防安全(Active Safety)と衝突安全(Passive Safety)の2つがある。以下に、センチアに採用した安全技術の中から、衝突安全技術としてエアバックおよびボデー構造、予防安全技術として4輪アンチロックブレーキおよびステアリング連動フォグランプについて取り上げ紹介する。

2. エアバッグシステム

2.1 システム概要

センチアには、シートベルトを着用している運転者の頭部および顔面を保護する目的でエアバッグを採用している。エアバッグの型式はオーソドックスで安全性、信頼性の高い電気式エアバッグシ



図1 自動車の安全と関連ユニット

ステムである。

(1) 構造

①レイアウト

図2はエアバッグシステムの構成を示す。主要部品は、前方向からの衝撃を感知するセンサ(クラッシュセンサ3個、セーフィングセンサ1個)、ステアリングホイール中央部に収納されるエアバッグモジュール、各機能部品の状態を診断するダイアグノスティックモジュールとこれらをつなぐワイヤハーネスで構成される。ステアリングホイー

*1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 第一車両設計部 *8 車両実験研究部

ル部はエネルギー吸収シャフト、クロックスプリング付コンピスイッチ、ステアリングホイールで構成されている。

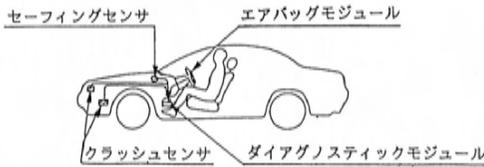
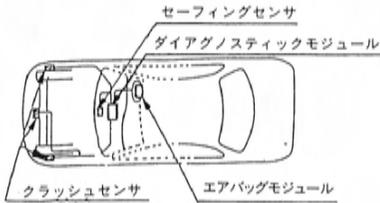


図2 システム構成図

②電気回路

図3は本システムの電気回路の概略を示す。クラッシュセンサ3個は互いに並列につながれ、クラッシュセンサとセーフティングセンサは直列につながれている。

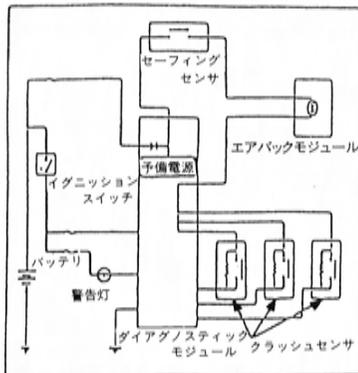


図3 電気回路

(2) システム作動

①衝突時の作動

衝突時の衝撃により、クラッシュセンサの内の少なくとも1個とセーフティングセンサが同時に作動すると、エアバッグモジュール内のインフレーターに電気信号が送られ、これが作動し窒素ガスを

発生する。窒素ガスによりバッグカバーを破りながらバッグが膨らみ、乗員の頭部、顔面を受けとめる。その後、バッグは後面のベントホールから窒素ガスを排出しながら乗員の衝撃を緩和する。

速度50km/hで固定障壁へ正面衝突という条件で、衝突後、センサが作動するまでに15~20ms、バッグが完全に膨らむまでに約50ms、バッグからガスの大半が抜けるまでの時間は約100msである。表1は上記条件でのシステムの作動タイミングをまとめたものである。

表1 システムの作動タイミング

	→時間 ms						
	0	20	40	60	80	100	120 140
車体		つぶれながら減速→		つぶれ終了		→反発→	停止
センサ		ONになる					
ダミー		シートベルトにより減速		バッグ・シートベルトにより減速		反発→停止	
バッグ		展開中		ダミーに押し上げ		ダミー拘束	
エネルギー吸収シャフト				バッグを支持		バッグ荷重によりコラプス	
シートベルト				乗員を拘束			

↑衝突

②通常時および故障発生時

ダイアグノスティックモジュールにより、各構成部品およびその部品間のワイヤハーネスの断線や短絡などの異常検出を常時行っている。いずれかの部位に異常が発生したときには、ダイアグノスティックモジュールから電気出力が出され、警

表2 主な故障診断箇所

No.	故障箇所
1	故障診断ユニット結線外れ
2	クラッシュセンサ結線外れ
3	電線故障
4	セーフティングセンサ故障
5	クラッシュセンサショート
6	エアバッグ回路動作不良
7	クラッシュセンサオープン
8	外部点滅回路オープン
9	故障診断ユニット故障

告灯が点灯して運転者に異常発生を知ると同時に、その点滅回数により異常箇所を知ることができる。センサおよびセンサ系のワイヤハーネスに短絡が発生した場合には、上記の警告を発するとともに、エアバッグの誤作動を防止するためにシステムを遮断して不動作状態にする。表2は、主な故障診断箇所を示したものである。

2.2 システムの構成部品

前節で述べたシステムの構成部品について説明する。

(1) センサ

①クラッシュセンサ

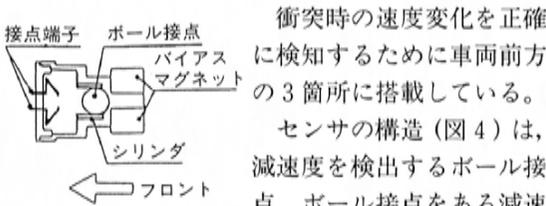


図4 クラッシュセンサの構造

衝突時の速度変化を正確に検知するために車両前方の3箇所に搭載している。センサの構造(図4)は、減速度を検出するボール接点、ボール接点のある減速度まで保持しておくためのバイアスマグネット、ボール接点の運動にエアダンパを作動させるためのシリンダおよび接点端子から構成され、衝突時に発生する減速度によりボール接点が前方へ移動し接点を閉じる。

②セーフィングセンサ

乗員に作用する一定以上の減速度を検知するために室内に1個搭載している。

センサの構造(図5)は、クラッシュセンサと異なり回転構造である。円盤状のロータとその回転中心を決めるシャフトがあり、シャフトから偏心したロータ上にマス(マスを設けている)。

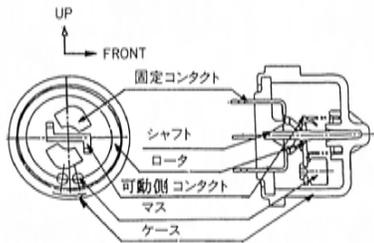


図5 セーフィングセンサの構造

衝突時の減速度により、マスの慣性力によってシャフトを中心とする回転モーメントが発生しロー

タを回転させる。ロータ上のコンタクトとケース側(固定側)のコンタクトが接して接点を閉じる。なお、一定の減速度までロータを保持しておくためにバネを設けている。

(2) エアバッグモジュール

エアバッグモジュール(図6)を構成する部品には、インフレーター、バッグ、バッグカバーがある。

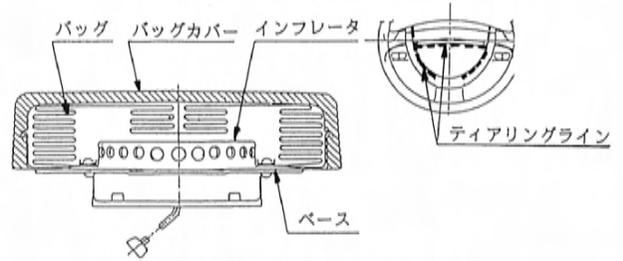


図6 エアバッグモジュールの構造

①インフレーター

図7にインフレータの断面を示す。センサからの電気信号を受けて電気点火装置が発火し、伝火剤を経て窒素ガス発生剤を燃焼させ窒素ガスを発生させる。またフィルターによって発生ガスの冷却、微小粉末の濾過を行う。伝火剤の中には自動着火剤が混入してあり、車両火災などの場合にインフレータの容器が高温によって強度低下を起こす前に自動的に着火するようにしている。

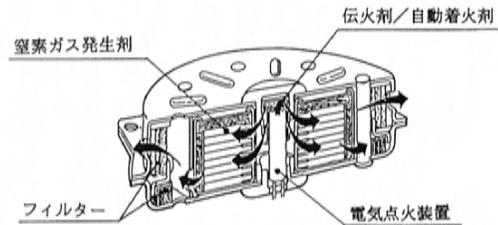


図7 インフレータの構造

②バッグ

バッグは、インフレーターから発生した窒素ガスにより膨らみ、全展開時には約60lの容量を持つ。バッグはナイロン糸で織られており、内壁は窒素ガスを外へ漏らさないようにゴムコーティングを施している。また、後面にはガス排出用のベントホールが開いており乗員の受ける衝撃を効果的に緩和する。

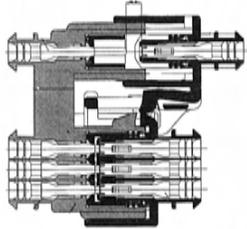
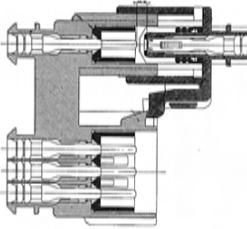
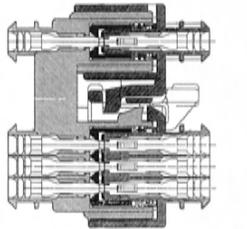
		
<p>主回路が挿入されない限り、検出回路は挿入できない。</p>	<p>主回路が途中嵌合の場合、ロックが邪魔をして検出回路は挿入できない。</p>	<p>主回路が完全に挿入完了すれば、検出回路が挿入できる。</p>

図8 嵌合不良検出可能なコネクタ構造

③ バッグカバー

エアバッグモジュールの表面を覆うカバーをバッグカバーと称している。不作動時はステアリングのセンターパッドの役割を果たす。エアバッグ作動時には、バッグの膨張に伴って、バッグカバーはティアリングライン(バッグカバーの裏面の溝)に沿って破れる。材質はウレタンで、展開時にカバーが飛散しないように中にネットを入れて成形してある。

(3) ダイアグノスティックモジュール

ダイアグノスティックモジュールは、エアバッグシステムの中のセンサ、インフレーター、ワイヤハーネス、コネクタ、クロックスプリングコネクタから成る電気回路系の異常(断線、短絡など)を常時チェックしているとともに、自己診断機能も併せ持っている。また、衝突時の電源系破壊に備えて予備電源を内蔵しており、この予備電源の電圧も常時チェックしている。上記の診断機能により異常が発見された場合は、警告灯を点灯させて運転者に異常発生を知らせる。特に起爆回路系の短絡が発見された場合は、誤作動を防止するためにシステムを遮断する機能を持たせている。

(4) ワイヤハーネス、コネクタ類

電気式エアバッグシステムにおいて、電気系の信頼性確立が重要であるためワイヤハーネス、コネクタについてはこの点に充分な検討を尽した。

ワイヤハーネスは錫メッキ電線を使用して信頼性を向上させた。また、コネクタについては製造工程における嵌合不良を検出可能なコネクタを開

発し採用した(図8にこのコネクタの構造概要を示す)。

エアバッグセンサのワイヤハーネスは衝突時の周辺部材からのダメージを軽減するため厚肉の保護チューブを持つエアバッグ専用のものとした。

(5) ステアリングホイール

ステアリングホイールは3本スポーツタイプで膨らんだバッグを効果的に支持させるためにスポークの剛性配分に特に留意した。

また、ホーンの操作性を良好にするためエアバッグモジュールをステアリングホイールに対してフローティング構造とし、エアバッグモジュール全体をホーンスイッチとした。

2.3 システムの安全性および信頼性

(1) 安全性

① 衝突時の乗員保護性能

2.1(2)①に紹介した衝突テストにおける乗員保護性能に関するデータを図9に示す。ダミーの頭部に作用する加速度に大きなピークが無く、このエアバッグシステムの本来のねらいである「シートベルト着用乗員の頭部、顔面保護効果」が充分に

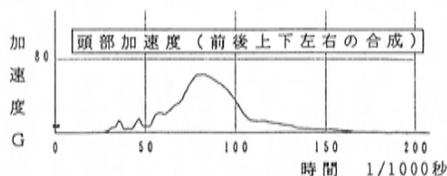


図9 衝突テストにおける乗員保護性能

発揮されていることを示している。

②センサの衝突識別性能

センサには衝突を識別するという重要な機能がある。実際の市場での衝突形態は多種多様であるが図10に示すような代表的なモードで作動A、ないし不作動Bの確認を行っている。

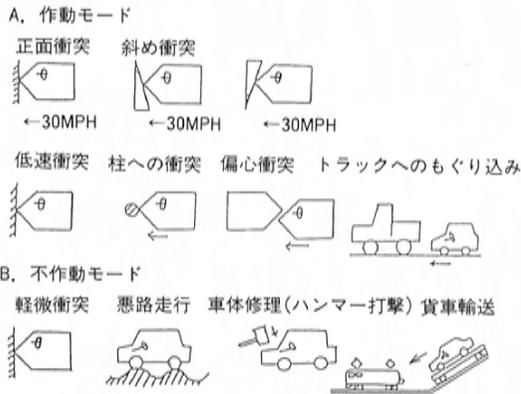


図10 代表的なセンサ確認モード

(2) 信頼性

エアバッグはシステムの性格上、極めて高度な信頼性が要求される。本システムの設計にあたっては、構造の簡素化、電気回路系の二重化などを行った。また、各ユニットごとにFMEAを行い、考えられる故障モードについて設計、実験、製造、市場指導の各分野別に充分な検討を加えた。

3. ボデー構造

スタイルと走りを重視したセンティアにふさわしい高い安全性を実現させ、安心して快適にドライブができる車に仕上げた。特に、スタイリッシュなデザインを表現する、LOW AND WIDE、ロングホイールベースのプロポーションを実現するため、限られたスペースの中でボデーのフレームワーク、燃料タンクおよびスペアタイヤの配置などレイアウトに工夫を凝らした。また、全世界の安全基準に適合させ、更に当社の実用安全基準を満足したボデー構造にした。

ボデー構造には安全性、信頼性(耐久強度)、振動(ボデー曲げ、振り剛性)、デザイン意図を実現するといった種々の要求特性があり、これらを総

合的にバランスのとれたボデー構造とするため、開発初期よりコンピュータシミュレーションの多用と実車テストとを効果的に組み合わせて開発を行った。

以下に、衝突安全に対するボデー構造開発の考え方と具体的な対応について説明する。

3.1 乗用車ボデーの衝突安全要件

乗用車の衝突形態には車両対車両、車両対障害物、車両の転覆がある。また、車両の部位でみると前部、側部、後部といった種々の衝突形態がある。

このような衝突形態に対し乗員を安全に保護することが最も重要である。乗員の安全を確保するには次のような要件をボデー構造として満足させる必要がある。

- 1) 衝突時の衝撃エネルギーをボデー構造で吸収し乗員にかかる衝撃を適正に緩和させる。
- 2) 衝突時の客室空間を確保できる客室部の強度がある。
- 3) 衝突時の乗員飛び出しを防ぐためドア類が開放しない。また、衝突後乗員を救助する際ドアが容易に開放できるように、ドア機能を阻害しないボデーおよびドアの強度がある。
- 4) 火災防止のため衝突時および衝突後、燃料やオイルが漏れない燃料タンクやパイピングのレイアウトであり、燃料タンクやパイピングに損傷を与えないボデー強度がある。

3.2 衝突安全のためのボデー構造

上記の衝突安全要件を満足したボデー構造としては、車両の前部と後部を有効かつ適切に変形させ、客室部の変形を極力押さえる構造にする。衝突時の車両の理想的な変形モードを図11に示す。

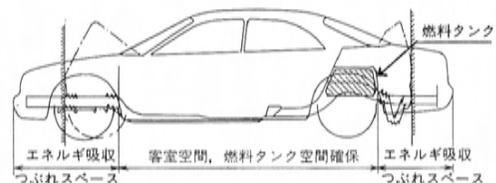


図11 衝突時の変形モード

(1) 正面衝突(斜衝突)対応

最も頻度が多く、高速での衝突により重大事故につながる衝突形態である。図11に示す理想的な変形モードを目標に、車両のつぶれ量と衝突時の衝撃(ボデー客室部にかかる加速度)の関係を図12に表わす。

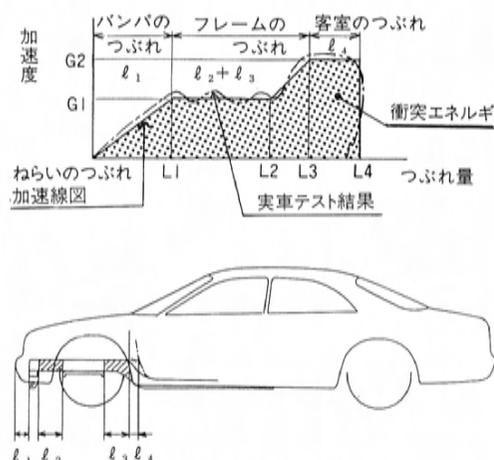


図12 つぶれ量-加速度線図

G_1 、 G_2 は乗員障害要件(乗員の安全を守るための許容基準)より決まる。それらを満足させるためには衝撃を適正にする必要がある。衝撃エネルギーを吸収させる部位の強度が強すぎても弱すぎてもならない。

$L_1 \sim L_4$ は G_1 、 G_2 を適正值にするために必要な衝撃エネルギーの吸収スペース(つぶれ量)であり車両重量、エンジンルームの設置などで決める。

以上述べてきたつぶれ量、加速度目標をボデーを構成する部材の強度に変換し詳細ボデー構造を決定する。ボデー構造決定にあたっては信頼性や車体振動特性、エンジンルームのレイアウト要件から強度・剛性の強弱の付け方でボデー構造実現手段に相反することもあり、ボデーに要求される特性を総合的に評価決定する必要がある。

最終ボデー構造を決定するまでには構造の見直しやシミュレーションによる机上検証を繰り返しボデー構造としての完成度を高めた。一方、試作車によるテストで性能目標を満足させるためのチューニングを行い、更に、安定した性能確保ができていないことを確認している。

衝突に対応したボデー構造を図13に示す。

○構造図の説明

① 衝撃エネルギーをフロントフレームで最大限吸収させるため、つぶれない補器等をフレームに取付けないレイアウトにした。

② 客室空間の変形をおさえるため、客室下部のフレームやサイドシルを強化している(断面B~D)。

③ 衝突時フレームは先端から順番につぶれ、安定したつぶれ量とつぶれ強度が確保できるフレーム断面強度にしている((断面A~C)。

(2) 追突対応

センティアはデザイン上リアデッキの高さがルーチェに比べ約70mm低い。このため、安全確保とトランクスペースを有効に活用するため燃料タンクやスペアタイヤのレイアウトを従来車より大幅に変更した。

追突時に客室部および燃料タンク部を保護するため、燃料タンク部より前部のボデー構造を強化し変形を最小限におさえた。また、燃料タンク部より後方でボデーを変形させ衝撃エネルギーを吸収させる構造にした(図13)。

○構造図の説明

① 燃料タンクを車両の後端から離れた、追突に対し変形の少ないトランクルームの前側のフロア下にレイアウトした。

② 追突時客室の変形を少なくするため客室下部は二重断面のリアフレーム構造にして強化している(断面E)。

③ 追突時燃料タンクを保護するため燃料タンク部は二階建構造のリアフレーム構造にして強化している(断面F)。

④ 追突時スペアタイヤが前方へ移動し燃料タンクを突くことを防ぐため、スペアタイヤ後側が下方に下がり、立ち上がるような挙動をさせる構造にした(断面G)。

(3) 側面衝突対応

車両の側面からの衝撃に対して客室空間を守るためドアとサイドシルを強化した(図14)。

○構造図の説明

① センティアのドアには強度アップと軽量化を目的とした150kg/mm²(1470N/mm²)級高張力鋼のパイプインパクトビームを採用している。

② サイドシルは乗降性を考慮し断面の大型化

をさせずに厚板鋼板を採用した。ピラー下部とサイドシルの結合部を強化する構造にした。

(4) 転覆時の対応

外観デザインとゆったりした居住空間、および視界の良さを実現させるため、ボデーの上部構造部材の断面が細くなっている。このため、各部材

内に厚板、高張力鋼板の大型補強部材を使用し、部材の強度向上を図ることによって転覆時の客室空間を確保した (図15)。

○構造図の説明

① A, B ピラーは視界 (視認性) を良くするため細くした。このため、ピラー内に厚板、高張力鋼板の大型補強部材を使い、ピラーを強化している (断面 A, B)。

② C ピラーは A, B ピラーに比べ大型断面であり、ボデー上部構造での役割分担が大きい。そこで、C ピラーを更に有効に活用するため補強部材内に更に補強材を設け強化している (断面 C)。

③ ルーフ周りの部材にも高張力鋼板を使い強化した (断面 D~F)。

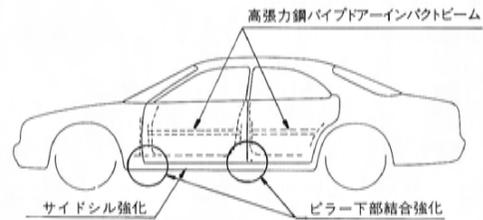
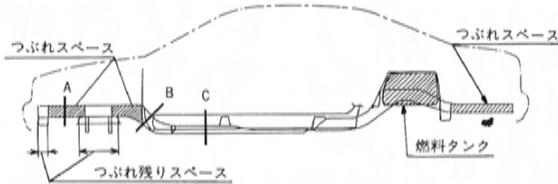
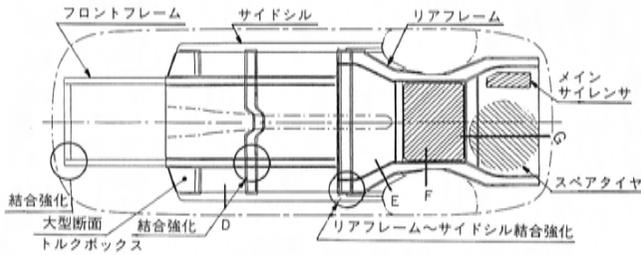


図14 ボデー側部構造

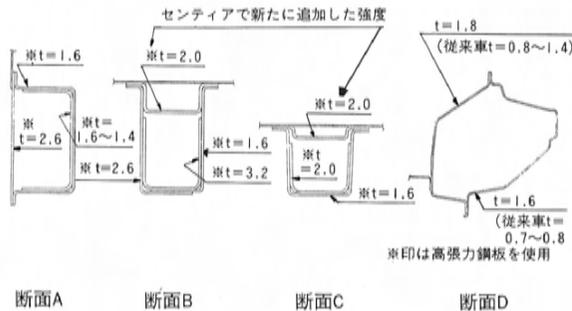


図15 ボデー上部構造

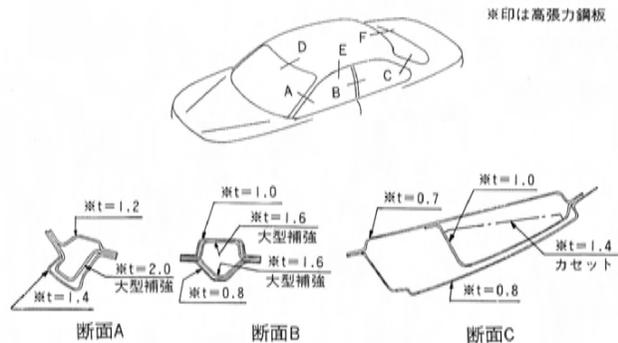
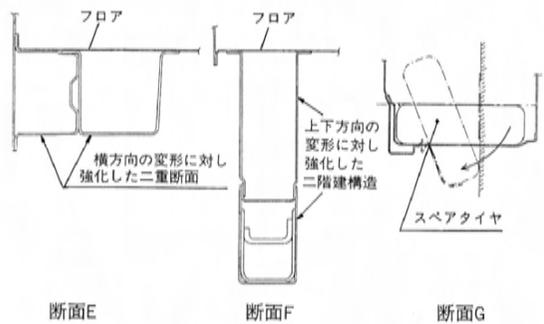


図13 ボデー下部構造

図15 ボデー上部構造

4. 4輪アンチロックブレーキ(4WABS)

車両の足まわり部位(シャシー)は大別して「走る」、「止まる」、「曲がる」の3つの機能を持っている。このうち「止まる」と「曲がる(制動時)」の性能を向上させた装置がABS(Antilock Brake System)である。

ABSは、パニック時の急制動や雪道などの滑りやすい路面でのブレーキ操作において、車輪のスリップ状況を検知し、ブレーキ液圧を電氣的にコントロールする。それによって、タイヤと路面間の摩擦力を最大に活用した最も有効なコーナリングフォース、および制動力を得る装置であり、車両の安全性を大幅に向上させる。

センチアには各車輪ごとに車輪周速度を検出し、前輪の左輪、右輪と後輪のブレーキ液圧を独立して制御する4センサ、3チャンネル制御方式の4WABS(4 Wheel Anti-lock Brake System)を採用した。

以下に、4WABSの開発のねらい、およびシステムについて述べる。

4.1 制御の概念

通常の走行では、車両速度と車輪周速度とは一致しているが、制動時には一致しない。ブレーキが操作されると、まず車輪の回転が減速され、遅れて車両速度が低下するので、車輪周速度は車両速度よりも低くなる。

このスリップの割合をスリップ率Sとして次のように表現する。

$$S(\%) = \frac{\text{車両速度} - \text{車輪周速度}}{\text{車両速度}} \times 100$$

スリップ率Sは、車輪の自由転動時(S=0%)からロック時(S=100%)の範囲で変化する。急制動時や滑りやすい路面での制動時にSが大きくなり、ロック状態に達する場合も生ずる。一般に、タイヤの前後方向の摩擦係数 μ_t 、および横方向の摩擦係数 μ_c とスリップ率Sの関係は図16のようになる。

図より μ_t はS=10~30%で最大値をとる。一方、 μ_c はS=0で最大となり、Sが増加するにつれ低下する。特に、ロック状態(S=100%)ではほぼ0、すなわち車輪、横方向のグリップがなくなり車両の方向安全性が失われる。

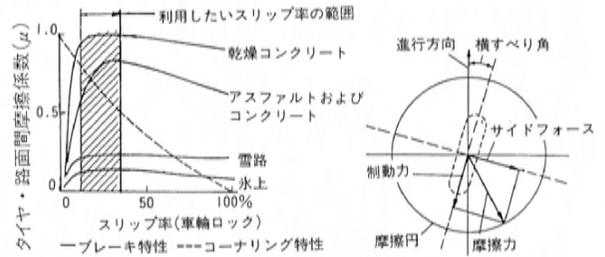


図16 タイヤ・路面間摩擦特性

4WABSは車両速度と車輪周速度からスリップ率を演算し、ブレーキ液圧を制御しながら高い μ_t と μ_c を得られる領域(図16斜線部)にSを維持させて、制動中のコーナリングフォースを確保し、かつ有効な制動力を得るシステムである。

4.2 4WABS開発のねらい

センチアの4WABSは、精度の高い、緻密な制御とABS作動時の安心感の確保を目標として開発した。

車輪のスリップ状態は車輪の受ける垂直荷重、タイヤと路面の摩擦係数によって決定されるが、制動時または旋回しながらの制動時の荷重移動、タイヤの摩耗状態、車輪の接する路面状態は各車輪ともに異なっている。

したがって前述のS=10~30%の領域にコントロールするには、各車輪の車輪周速度を検出し、個別にブレーキ液圧を制御する必要がある。

当4WABSは、各車輪ごとに車輪速センサを設置し、前輪は左、右輪別々に電磁バルブを備えて、独立に制御している。また後輪は、制動力以上に車両の方向安定性を重視して、路面の摩擦係数の高い車輪の制御を低い側の車輪に統一した制御(セレクトロー制御)を採用している。したがって、同時に3種類(前輪2種類、後輪1種類)の異なった液圧を制御する方式である。

この4センサ、3チャンネル制御方式で、次の3つのABS性能を実現した。

(1) 方向安定性の維持(図17)

パニック時の急制動、雪道などの滑りやすい路面や左右輪の摩擦係数が異なる路面での制動では車体は方向性を失ってスピンを起こしたりハンド

ルをとられる場合がある。4 WABS は各車輪を路面に応じてコントロールするため、車体をまっすぐに止めることができる。また、旋回しながらの制動では、左右輪の接地荷重が異なり、内輪側がロックしやすくなるが、4 WABS によりコーナリングフォースは確保されるためスピニングが起これにくくなっている。

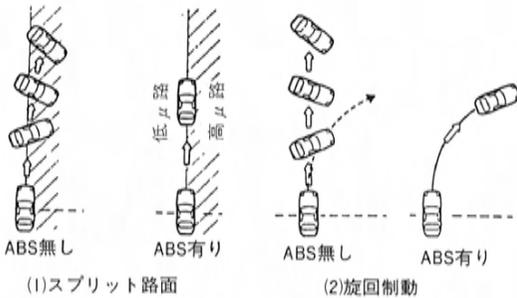


図17 4 WABS による方向安定性の維持

(2) 操舵性の確保

前輪がロックするとハンドルが効かなくなる。4 WABS により路面摩擦係数を最大に活用した操舵が可能となり、目前の危険を回避することができる。

(3) 制動距離の短縮

砂利、圧雪などの特殊な条件を除けば、4 WABS が路面に合わせた最も有効な制動力を作り出すため、それが無い場合よりも短い距離で停止することができる。

4.3 システム構成

本 4 WABS は、図18に示すように車輪速センサ、コントロールユニット、ハイドロリックユニットから構成されている。作動のフローを図19に示す。

以下に、各ユニットについて説明する。

(1) コントロールユニット

車輪速センサで検出された車輪速度から、車輪の状況を把握するとともに所定の理論に基づいて車両速度を算出し、最も有効な制動を維持できるようにハイドロリックユニット内のマグネットバルブ、モータなどを動かす信号を送る。

また、4 WABS の故障発生時は、自動的に故障を感知し、フェイルセーフ機能が作動してシステ

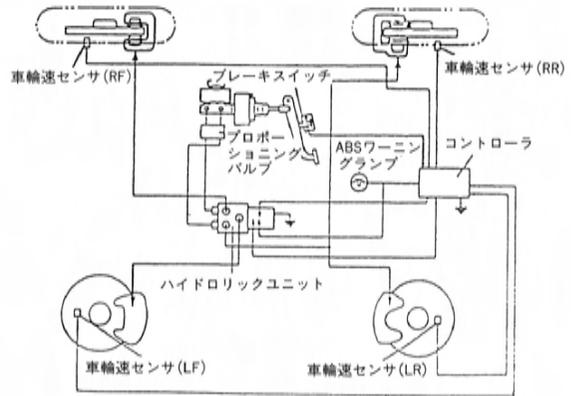
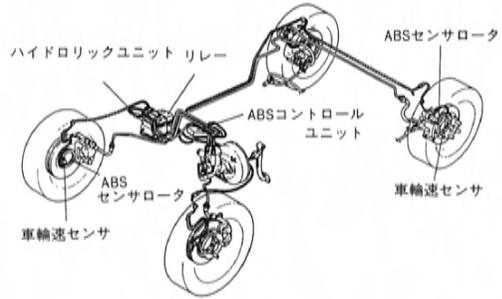


図18 4 WABS のシステム構成

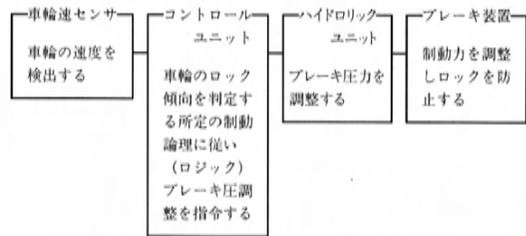


図19 4 WABS の作動概念

ムダウン (ABS 非装着車と同等の状態) となり、警告灯を点灯させる。

ユニット内に同一機能の回路を2系統内蔵しており、システム上異常があるかお互いにチェックし合う構造となっている (図20参照)。

例えば、車輪速センサ信号により速度を演算した後、制御信号を出力する。制御信号は自己のセーフティ回路に入力されるとともに一方のセーフティ回路にも入る。そこではお互いの信号を比較し2つの計算結果に違いがあれば故障と診断する。

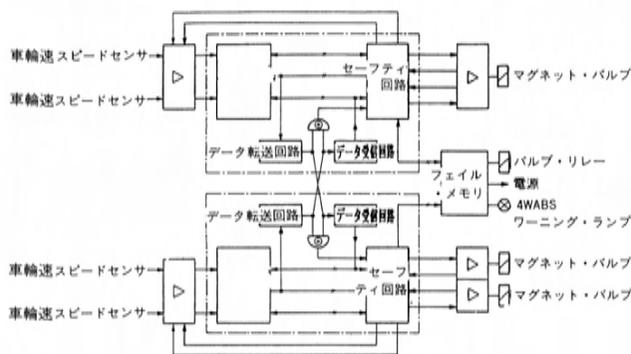


図20 コントロールユニット回路図

(2) ハイドロリックユニット

コントロールユニット信号によりブレーキ液圧を制御する。ABS 非作動時には単なるバイパスの役目しかなく通常のブレーキと同じであるが、作動時には3個の電磁バルブが独立に作動し、3種類の液圧制御(減圧, 増圧, 保持)を個別に行う。

5. ステアリング連動フォグランプ

ステアリング連動フォグランプは、夜間走行時の最適視野を確保することを目的として、車両進行方向にフォグランプの照射方向を常に連動させるシステムである。センティアで開発したフォグランプは、照射方向を車速とも連動させ、二灯とも同時制御する方式である。

以下に、開発のねらい、システム構造の特徴を紹介する。

5.1 開発のねらいと特徴

(1) 開発のねらい

1) 道路状況に適応した最適視野の確保

①照射方向

道路状況、車速、ドライバーの視点と照射方向を最適に制御することをねらいとした。具体的には、直線走行では車両進行方向とドライバーの視点は合っているが、コーナリング途中では異なっている。急コーナになるほど、ドライバーは車速を落とし、より手前に視線を移動させる。従来の照射方向が一定の固定式フロントフォグランプでは、照射方向とドライバーの視点を常に一致させることができない。この点を改善することが本ランプの第一のね

らいである。

②路面配光の最適化

路面配光(路面における光の分布)の開発要素として、主に下記の2点がある。

③主光軸と副光軸の光度(明るさ)

主光軸とは、フォグランプの全配光中最も明るいポイントを指し、その方向は固定されている。副光軸は、ステアリングと連動してサブフレクタ(図21参照)で、方向を制御される配光中最も明るいポイントを指す。主光軸については、光度と位置変化を最小限に押えることを主なねらいとした。副光軸については、主光軸の光度に影響しない範囲で、できるだけ明るくすることをねらいとした。

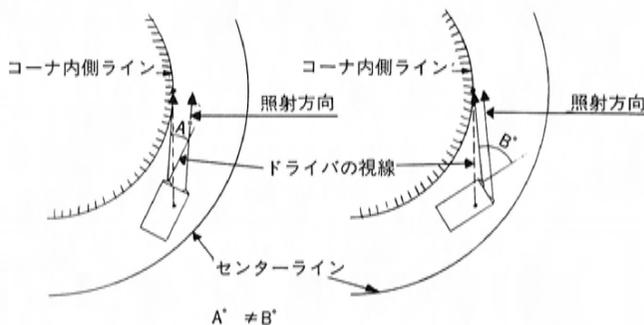


図21 車の向きとサブフレクタ作動角の関係

④副光軸の振れ角度範囲

ステアリングホイールを左いっぱいにした状態で、車両の左近傍の路肩付近の障害物や人などが十分に視認できることを目標に、最大振れ角度を30°に決定した。

2) 対向車への配慮

対向車に対して、自車の挙動の誤認や、幻惑を与えないようにすることも重要なねらいである。主光軸と副光軸の相対的な位置、光度差、サブフレクタ作動時の配光やフレクタ面積比設定時において、この点を十分検討した。

以上の開発のねらいの定量的な説明は、次項以降で行う。

(2) システムの特徴

まず、ステアリング連動フォグランプの位置付けについて説明する。コーナを照らすという観点

から考えると、いわゆる「コーナリングランプ」と「ステアリング連動フォグランプ」は同様な機能を持つランプだと言える。しかし、点灯方式や照射方向の観点から考えると、二者は全く違うランプである。点灯方式については、前者「コーナリングランプ」は、ターンランプ作動時のみ、点灯する。後者「ステアリング連動フォグランプ」は、ターンランプの作動にかかわらず、常時点灯が可能である。照射方向についても、前者が、ターン点灯側の側方のみ照射し、照射方向も固定であるのに対して、後者は、前方を照射し、かつ、ステアリングに連動する方式である。後者にも、片側のみ点灯するものと、両側（二灯）とも点灯させ、より視認性を向上させるものが考えられるが、センティアは二灯とも点灯させる方式を採用した。以上を総合的に考えると、道路および走行条件に応じて、常に最適視野を確保するねらいに対して、本方式は、理想的であると考えられる。

以下に具体的な制御方法について、コーナリング前半と後半に分けて述べる。コーナリング前半ではドライバの視点であるコーナ内側の路肩付近を照射すべきである。しかし、図21に示すように、コーナリング途中の車の向きは、車速、ステアリング操舵角によって異なるため、本システムでは、車速、ステアリング操舵角によって照射方向を変える制御とした。

一方、コーナリング後半ではドライバの視点は道の曲り方によって変化する。すなわち図22に示すようにコーナ出口より先の道が直線か逆コーナかによってドライバの視点は変化する。

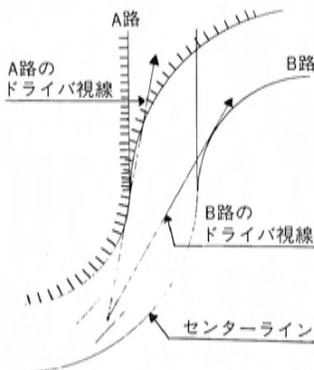


図22 コーナリング後半のドライバの視点

しかしながら、先の道の曲り方は予測できないため、本システムでは操舵角が一定値を越えた後小さくなることによって、コーナの後半を検知しいち早く照射点をセンタに戻す制御とした。コーナリング後半においても車速に応じて特性を変化させることによ

り、ドライバに違和感のない最適な制御を実現している。

5.2 システム構成と構造

(1) 部品レイアウトとランプ構造部品レイアウトは、図23、24に示すようにステアリング内にアンクルセンサ、インパネ内にスピードセンサとフォグランプスイッチを配置している。コントローラはカウルサイドに、フォグランプはバンパ内に配置してある。

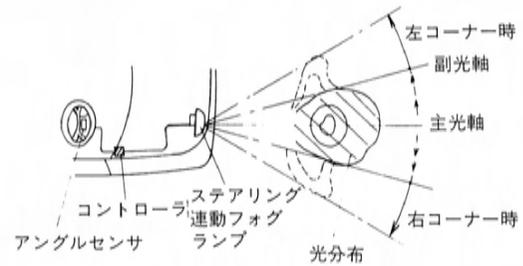


図23 フォグランプの作動

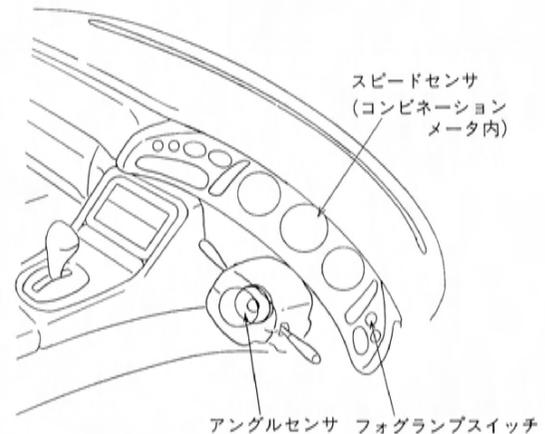


図24 部品レイアウト

フォグランプ構造は、図25のように、電球、メインとサブのリフレクタ、シェード、リフレクタモータ、リンク、回転軸、レンズとハウジングよりなる。メインリフレクタは固定された光である主光軸を、サブリフレクタはステアリングと連動して移動する副光軸を生み出す。サブリフレクタはコントローラで制御されるリフレクタモータにより、リンクと回転軸で可動する。シェードは副

光軸の光が主光軸に影響を与えないように光を遮断する働きをする。また、メインリフレクタとサブリフレクタの面積比は、8対1に設定し、サブリフレクタの挙動によってとまどわないように対向車への配慮を行っている。

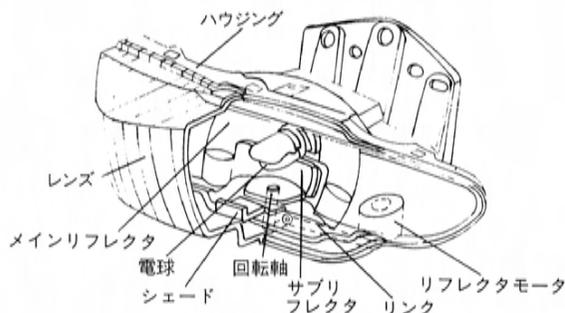


図25 フォグランプ構造

(2) システム構成

本ステアリング連動フォグランプのシステムを図26に示す。基本的な制御システムは車速、ステアリング操舵角をコントローラが判断、演算して、リフレクタモータを作動させるものであり、図27にその制御フローを示す。

5.3 システムの制御と作動

本システムでは図28に示すように、ステアリングホイールを右側へ操舵した時と左側へ操舵した時とは異なる特性をもたせている。これは右コーナで対向車に幻惑を与えないように、照射点をセンタラインより少し内側に設定しているためである。また、ステアリングホイールの小さな操舵角でフォグランプが動かないように、ステアリング中立位置から±9°の範囲に不感帯を設けている。

(1) 操舵角検知方法

センティアでは、高耐久可変抵抗式アングルセンサを採用した。これにより以下に述べるステアリングセンタ判定を確実に行うことができる。ステアリングセンタ判定とは、ステアリングホイールの操舵角と前輪舵角の関係を知るために必要な制御である。前輪が右側最大舵角から左側最大舵角まで動く間にステアリングホイールは3.17回転してしまうため、ステアリングホイール位置（ア

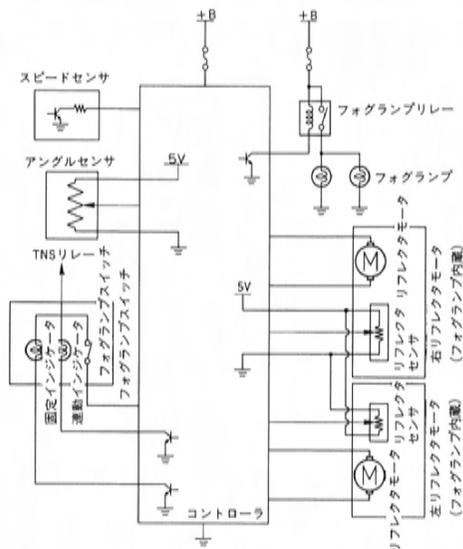


図26 システム構成

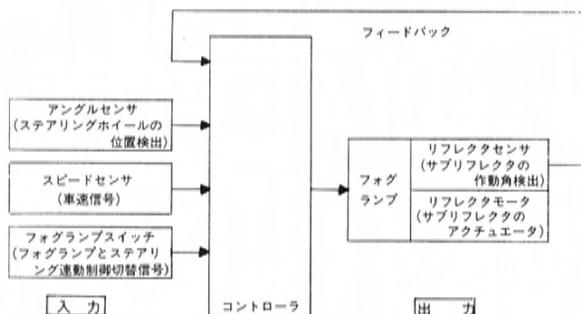


図27 制御フロー

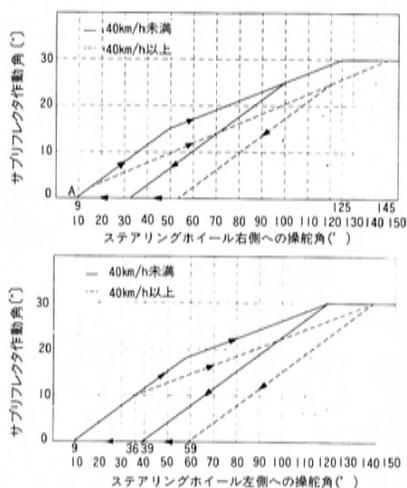


図28 制御特性

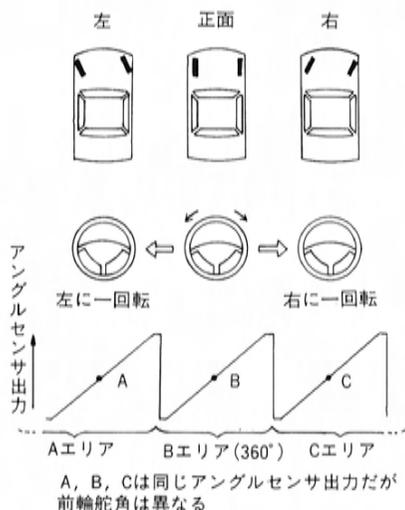


図29 ステアリングホイール位置と前輪舵角の関係

アングルセンサ出力) に対する前輪舵角は一義的に決まらない。例えば、ステアリングホイールがセンタ位置にあったとしても、前輪は右、正面、左を向いている場合がある(図29参照)。このようにステアリングホイール位置と操舵角の関係を検知する制御が、ステアリングセンタ判定である。他車例ではアングルセンサにフォトインタラプタを使用しているものもあり、電流消費が無視できない。そのようなシステムではキー挿入直後のステアリング操作に対しては必ずしも最適な制御を実現できていない。本システムでは可変抵抗式のアングルセンサを採用することにより、極微小電流でステアリング位置の信号を得ることができる。これにより常時ステアリングセンタ判定を行うことが可能になり、キーの挿入如何にかかわらず、最適な制御を継続することができる。

(2) フォグランプの路面配光

サブフレクタを最大回転角30°まで回転させた場合の、ランプの路面配光を図30に示す。横軸に車両センタからの距離を、縦軸に車両前方の距離を示す。サブフレクタにより振られた光が左右に広がった状態でも、車両方向への配光は振り角0度(直進状態)の光度を維持している。サブフレクタ角が大きくなるにつれて、手前を照らし、横方向の広がり、直進状態に比較し最大約3 m

増加することを示している。

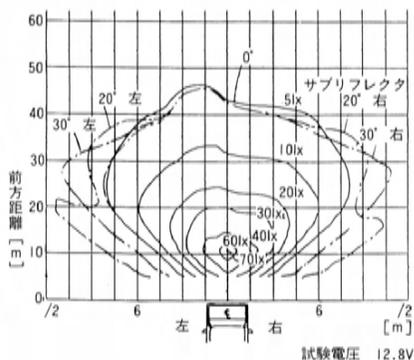


図30 路面照度分布

(3) システム制御状態の推移

モーメンタリタイプのフォグランプスイッチをプッシュするたびに、OFF状態(フォグランプ消灯状態) → AUTO状態(フォグランプ点灯かつ、ステアリング連動制御ON状態) → FIX状態(フォグランプ点灯状態かつ、ステアリング連動制御OFF状態)と3つの状態を繰返し推移する。また、スイッチにインジケータを備え、消灯→緑色→アンバーと切替えることにより、各状態をドライバが容易に認識できるようにした。図31に状態推移を示す。

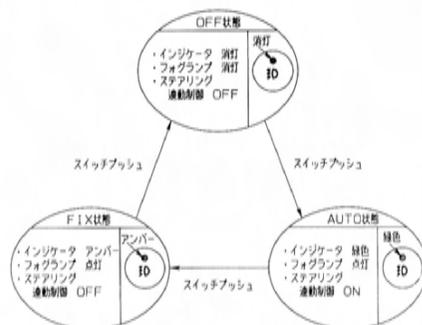


図31 状態推移

6. おわりに

この特集ではセンティアに採用した代表的な安全技術について紹介した。

今後より一層安全な車両を市場に提供するべく、更に進歩的な安全技術の開発に取り組むとともに、より多くの車両に安全技術を採用して安全

技術の普及化も進めていきたい。

■著者■



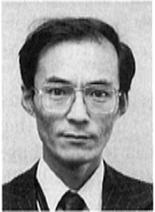
村本久雄



真鍋敏之



重村智子



蔦川 渉



東 裕章



後藤 博



秋山裕一



岡田健治

小特集

8

ソーラベンチレーションシステムの紹介

Introduction of Solar Ventilation System

梶本進士*¹ 神野政之*² 小浜昭一*³
 Shinshi Kajimoto Masayuki Jinno Syouichi Kohama
 黒岩光利*⁴
 Mitsutoshi Kuroiwa

要 旨

Abstract

炎天下駐車における乗車時の不快感を緩和するためには、室温の上昇を抑止する必要がある。

このためにセンチアでは、駐車中にファンを作動させ、室内空気を換気できるようにした。ファンの電源としては、太陽光を電気に換えるクリーンエネルギーの太陽電池を用いた。更に走行時に強制排気によって、たばこの煙を排出させたり、冬期にバッテリーの補充電ができるようにした。

本稿では、このような機能を持つソーラベンチレーションシステムについて紹介する。

To provide relief for the disagreeable feelings of getting in a car that has been sitting under the sun when parked it is necessary to stop the vehicle cabin temperature from rising.

To do this for the SENTIA, a fan operates when the car is parked which can exchange the air inside the vehicle. The energy source for the fan is a solar battery that provides clean energy by converting sun light into electricity. When the car is being driven, the system can also utilize forced exhaust gas to remove cigarette smoke and work as an auxiliary battery during winter.

This paper introduces these and other functions of the

1. はじめに

センチアの開発ねらいの一つに「人にやさしく・地球にやさしい車」がある。これをうけてクリーンエネルギーである太陽電池を用いて快適な車両空間作りの実現をめざした。

2. 開発方針

炎天下駐車中の室温は、70℃以上となる場合がある。この状態で乗車すると不快を乗り越して苦痛となる。またハンドルなども熱くなっており、運転操作に支障をきたす。

この対策には、次の方法が考えられる。

- (a) ウインドに日除けをつける。
- (b) ウインドやサンルーフを少し開けておく。

このような方法は、効果が少なく、また降雨や盗難などの危険もある。

これらの問題も考慮して、下記の開発方針を設定した。

- ① 電源には、クリーンエネルギーの日射を利用す

る（日射は室温上昇の要因であり、また無尽蔵のエネルギーでもある）。

- ② 夏季乗車時の違和感を緩和させるとともにクーラの速効性も向上させる。
 - ③ 夏季のみでなく一年中利用可能なものとする。
 - ④ 駐車時のみでなく走行中も利用可能とする。
- 上記方針により、本システムには以下の三つの機能を持たせることにした。

(1) 炎天下時の駐車換気

電源にバッテリー上がりの無い太陽電池を用いて専用のファンを作動させ、自動的に換気することで室内の温度上昇を緩和する。

(2) たばこの煙の強制排気

駐車換気用のファンを利用して、走行時にたばこの煙等を車室外に排気する。

(3) バッテリーの補充電

冬季には駐車換気が不要となる。そこで太陽電池の電力利用方法として、駐車中のバッテリーの充電機能を設定した。

この三つの機能の制御フローを図1に示す。

*1, *4 第一車両設計部 *2, *3 車両実験研究部

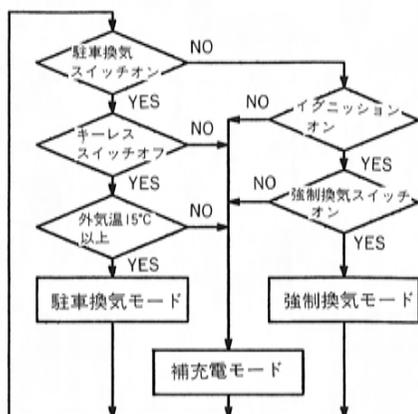


図1 制御フロー

3. 駐車換気

3.1 システムの構成と制御概要

駐車換気システムは、サンルーフガラスの裏面に張り付けた太陽電池とトランク内のエキストラクタに設置した2個のファンおよび制御ユニットにより構成されている。

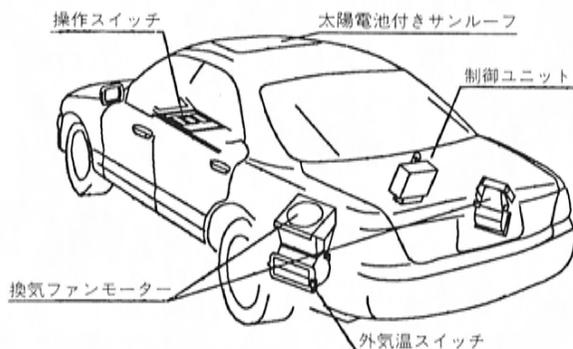


図2 システムの概略図

制御ユニットは、駐車状態であることと外気温が所定値以上であることを検知すると、駐車換気モードとしてファンを作動させる。このモードでは、日射が少ない場合は1個のファンを、多い場合は2個作動させて、換気風量を確保している。

更に、換気効果を向上させるため、自動的に外気導入へ切替える制御をオートエアコン機能に付

加している。

3.2 駐車換気時の室内温度目標

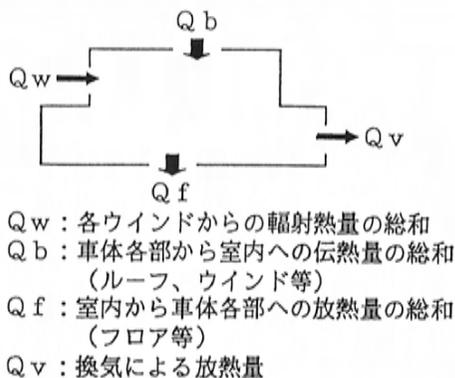
外気で車室内の換気を行うため、炎天下駐車中の室内を涼しい状態に維持することは困難である。本システムの目的は、一般的な夏の状態を想定して乗車時の違和感を少なくし、ハンドルなども十分握れて快適性を向上させることである。

そこで、炎天下駐車後の室温(頭部温度)とフィーリングの関係を調査し、目標設定を行った。調査結果では60℃以上で耐えられないほど暑い状態となるが、60℃以下になると乗車可能なレベルとなった。これにより頭部温度を60℃以下にすることを目標とした。

3.3 目標達成のための検討項目

(1)室温と換気風量の関係

駐車時の室温は、外気温と日射量によって決まる。換気を行った場合には、車内からの換気熱量により室温が下がる。車両における熱量の関係を図3に示す。



Q_w : 各ウインドからの輻射熱量の総和
 Q_b : 車体各部から室内への伝熱量の総和 (ルーフ、ウインド等)
 Q_f : 室内から車体各部への放熱量の総和 (フロア等)
 Q_v : 換気による放熱量

図3 車両における熱量の関係

この時の熱平衡は、下式による。

$$Q_w + Q_b = Q_f + Q_v$$

$$Q_w = Q_w \quad (I)$$

$$Q_b = Q_b \quad (Tr, Ta, I)$$

$$Q_f = Q_f \quad (Tr, Ta)$$

$$Q_v = Q_v \quad (Tr, Ta, V)$$

I : 日射量, Tr : 室温
 Ta : 外気温, V : 換気風量

各熱量は、室温、外気温、日射量、換気風量に

より決まるため、環境条件（外気温と日射量）を与えれば熱平衡式より換気風量と室温の関係が求められる。

例えば外気温 32°C 、日射量 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ の条件下にある換気風量と室温の関係は、図4のようになる。

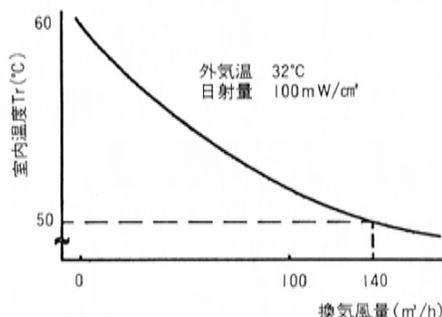


図4 換気風量と室内温度の関係

ここでいう室温とは、頭部と足元の平均温度である。頭部温度を目標の 60°C 以下にするための室温は、実車で測定値から 50°C 以下にする必要がある。したがって、目標温度を達成するためには、図4より $140\text{m}^3/\text{h}$ の換気風量が必要であることがわかった。

(2) ファンと車体通風抵抗の関係

① ファンモータ

ファンモータの選定条件には、送風能力と寿命がある。駐車換気は長時間行われ、既存の空調用ブロワモータでは、この長時間作動に耐えられない。したがって本システムでは、長寿命型のブラシレス軸流ファンモータを採用することにした。

ただし、このファンモータは、全圧が低く、通風抵抗により風量が大きく減少する特性を持っている。また太陽電池の出力は、サンルーフ面積によって制限される。したがって、必要換気風量を確保するためには、いかに通風抵抗を抑えるかが開発の課題であった。

② 車両換気経路

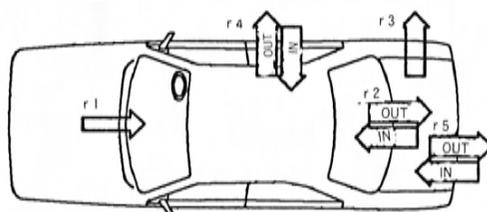
i) 換気経路の要件

最適の換気経路を選定するために、車両を一つの通風路として検討した。開発のポイントは通風抵抗の軽減であるが、センチアの特徴であるスタイリッシュなデザインや車体構造への影響も考

慮する必要がある。そこで下記要件にも配慮した。

- (a) 外気は、前席頭部付近へ吹出す。
 - (b) 導入口や排出口等でデザインを傷つけない。
 - (c) 雨、泥、風洩れや騒音の侵入がない。
 - (d) 盗難、いたずらの危険がない。
 - (e) その他車両の性能や信頼性を損なわない。
- ii) 換気経路の選定

上述の要件に基づき車体換気可能部位を抽出した。図5に主な換気可能部位の通風抵抗を示す。



- r 1 : 空調用外気導入経路の通風抵抗
- r 2 : キャビンとトランクの通風抵抗
- r 3 : エキストラクタチャンバの通風抵抗
- r 4 : キャビンの漏洩隙による通風抵抗
- r 5 : トランクの漏洩隙による通風抵抗

図5 車体換気可能部位の通風抵抗

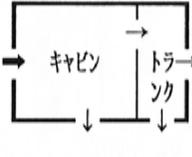
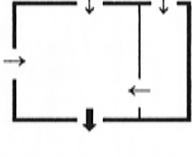
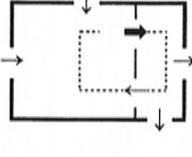
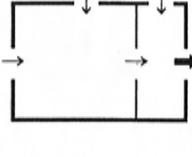
次にファンの設置位置と換気可能部位の組合せにより通風路を構成した。表1に主な通風路と評価結果を示す。

評価は、各換気部位の通風抵抗を測定して室内を換気可能か否かと車体全通風抵抗 R の大きさおよび車両への影響度で行った。

例えばA案は、空調ダクト内にファン設置を行うため、構造を複雑化させたり、また空調性能(風量等)を低下させる。B案は、キャビン面(ピラー等)へダクトを設置するため通風抵抗が大きくなる。C案はr3とr5-OUTの通風抵抗よりもr2-INの方が小さいために、風の主流がトランクとキャビンの間を循環して換気不可となる。

最終的に通風抵抗が少なく、車両への影響度も少ないD案を選んだ。D案は、空調用通路とキャビンの隙間から外気を導入し、トランクに設置したファンで内気を排出する方法である。この時のファンの必要風量は、有効換気風量($140\text{m}^3/\text{h}$)にトランク漏洩分($10\text{m}^3/\text{h}$)を加えた $150\text{m}^3/\text{h}$ となる。

表1 車体通風路案

	A案	B案	C案	D案
通風路の略図 →: ファン位置				
	空調ダクト内にファン位置	キャビン内にファン設置	キャビンとトランク間にファン設置	トランク内にファン設置
各部位の通風抵抗による換気可否	○	○	× r2-IN < {r3, r5-OUT}	○
車体全通風抵抗 R	小	大	—	小
車両への影響度	大	大	小	小

③ ファン性能と車体通風抵抗の関係
換気必要風量と車体通風抵抗からファンに対する

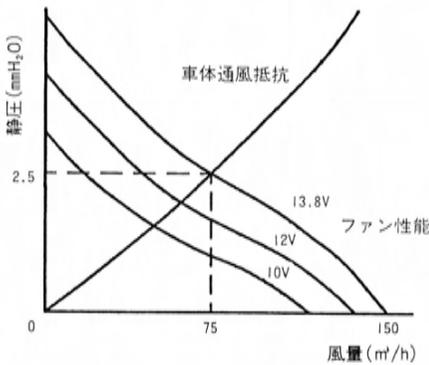


図6 風量と静圧の関係

る要求性能が得られる。この要求性能をファン1個では満足できないため、ファンを2個使用することにした。

図6に車体通風抵抗と本システムで採用したファンの関係を示す。すなわちファン1個で75m³/h以上の風量を得るためには、13.8Vの電源電圧が必要である。この電圧値とモータ電流値が、太陽電池への要求出力となる。

(3) 太陽電池特性とファン特性の関係

① 太陽電池の種類と特性

太陽電池は、日射量に応じて出力が増減し、負荷に応じて電圧-電流が変化する特性を持っている。太陽電池の主な種類を表2に示す。

本システムでは、太陽の方向に影響を受けず、また車両で最も日射があたるサンルーフに太陽電

表2 太陽電池の種類

太陽電池のタイプ	シリコン太陽電池		化合物半導体太陽電池	
	結晶系	非結晶系	ガリウム砒素系	硫化カドミウム系
変換効率	7~18%	5~11%	18~22%	8~14%
生産性	①工程が複雑 ②製造エネルギー大 ③資源が豊富 ④加工ロスが多い	①工程が簡単 ②製造エネルギー小 ③資源が豊富	①工程が簡単 ②製造エネルギー小 ③資源が少ない ④公害の問題	①工程が簡単 ②製造エネルギー大 ③資源が少ない ④公害の問題
特徴	①薄膜化が困難 ②デザイン自由度小	①薄膜化が可能 ②デザイン自由度大	①宇宙用	①薄膜化が可能 ②デザイン自由度小
コスト	高い	低コスト化が可能	非常に高い	高い

池を取付けることにした。このためには、下記のような居住性確保や見栄え向上の条件を満たす必要があった。

- (a)サンルーフガラス曲面に沿った張り付け
- (b)サンルーフの厚さを厚くしない
- (c)シースルー性を持たせる
- (d)室内に面するため見栄えを阻害しない

これらの条件を満足する太陽電池として非結晶系シリコン型を採用した。

太陽電池には、エネルギー変換効率が最大になる作動点(最大電力点)があり、図7のような特性を持っている。

②動作点のマッチング

太陽電池の最大電力点の電圧は、日射量が変わってもあまり変化しない。このために、単一の負荷では日射量大・小の両方に最大電力点をマッチングさせることができないという問題が出てくる。

本システムでは、低日射量時には片方のファンを、高日射量時には両方のファンを作動させることによって、できるだけ最大電力点に近い所でファンを作動させるようにしている。この結果、日射量 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 時のファンへの印加電圧は 13.8V となり、2つのファンを合計して目標風量を達成することができた(図8を参照)。

3.4 駐車換気の制御

太陽電池とファンを直結すると、換気が不要な冬期に作動したり、低日射時には、出力電圧が小さくファンが起動できない場合もある。そこで、以下の制御により適切な作動をさせている。

(1)作動範囲(外気温と日射量の関係)

周囲温度が体温よりも高い 40°C 以上であれば不快と感じる。日射量により室温が 40°C 以上となる外気温を前述の熱負荷計算から求めた結果、外気温が 15°C 以上で換気が必要とわかった。

したがって、外気温 15°C 以上を外気温スイッチにより検出して、ファンへの通電を行っている。これにより換気が必要な時のみファンが作動している。

また、外気温が 30°C の場合、日射量が $30\text{mW}/\text{cm}^2$ 程度でも室温が 40°C に達する。このため、 $30\text{mW}/\text{cm}^2$ 程度の低日射量でもファンが作動するよう、きめ細かな起動制御を行っている。

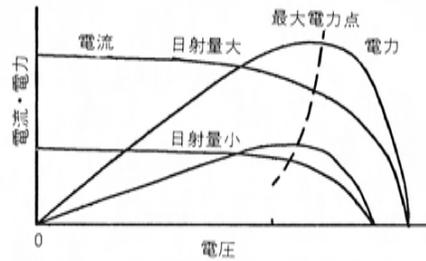


図7 太陽電池の特性

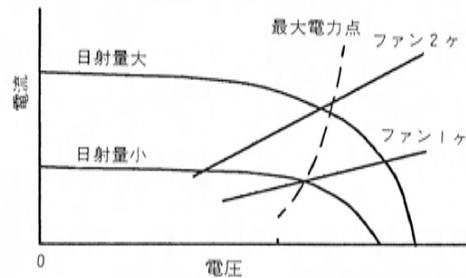


図8 太陽電池とファンのマッチング

(2)ファン制御

①ブラシレスファンの起動特性

ブラシレスファンは、通電電流を徐々に上げていった時に起動を開始する電流値に対し、ある電流値を急に(例えばスイッチで)与えると約6割の電流値で起動ができる。

以下、これらの電流値を第一ピーク電流(徐々に電流値を上げた時の起動電流)、第二ピーク電流(スイッチなどで急に電流を通電した時の起動電流)と呼ぶことにする(図9、図10を参照)。

②ファンの起動方式

太陽電池によるファンの起動方式には、大きく分けて次の2つがある。

i) ON-OFF方式

太陽電池の出力電圧を判定し、ある電圧以上の時のみ、ファンへの通電を開始する。

長所：第二ピーク電流でファンを起動させるので、小さな電流(低日射量)でファンを起動させることができる。

短所：回路・制御が複雑である。

電圧判定値や起動電流値がバラつくと、

うまく起動しないことがある。

ii) 常時通電方式

太陽電池の出力の大小にかかわらず、常にファンへ通電しておく。

長所：回路・制御が簡単。

部品のバラツキによる判定誤差がない。

短所：第一ピーク電流でファンを起動させることになるので、比較的大きな電流(高日射量)が必要になる。

複数のファンを順に通電していくようなきめ細かな制御ができない。

③太陽電池の特性

太陽電池の、同一日射量下での出力のバラツキは、短絡電流のバラツキに比べて開放電圧のバラツキが大きい(図11参照)。すなわち、太陽電池の開放電圧がある一定値に達したことを判定してファンの起動を制御しようとした場合、出力電流の不足によってファンが起動しなかったり、十分な出力電流が得られるにもかかわらず開放電圧が低いためにファンに通電しなかったりする場合が生じる。

④第一段ファンの起動制御

第一段ファンの起動制御を、常時通電方式と ON-OFF 方式とのどちらにするか選択するため、太陽電池やファンのバラツキを含めた起動性能のシミュレーションを行った。その結果、常時通電方式では日射量 $17\text{mW}/\text{cm}^2 \sim 27\text{mW}/\text{cm}^2$ で、ON-OFF方式では $13\text{mW}/\text{cm}^2 \sim 27\text{mW}/\text{cm}^2$ で起動できることがわかった。

しかし、平均すると両者の性能差は0.1%程度に過ぎないため、回路の簡単な常時通電方式を採用した。

⑤第二段ファンの起動制御

第一段ファンが起動し、更に日射量が増加すると太陽電池の出力電圧が高くなっていく。この電圧がある一定値(判定電圧)を越えると第二段ファンに通電を開始する。

判定電圧を低くし過ぎると、太陽電池の出力電圧が十分高くないのに第二段ファンを起動させてしまい、最悪第一段ファンの回転も止めてしまう。

判定電圧を高くし過ぎると、第二段ファンが十分回るのに通電しないことになり、高日射量下で第一段ファンだけでは換気性能が不足してしまう。

二つの条件を両立させ、更に判定電圧のバラツキ(部品のバラツキや周囲温度などにより発生する)も考え、判定電圧は 11.0V とした。

太陽電池、ファン、判定電圧の各バラツキを含めて起動性能をシミュレーションすると、第二段ファンの起動時の日射量は $17\text{mW}/\text{cm}^2 \sim 26\text{mW}/\text{cm}^2$ となった。

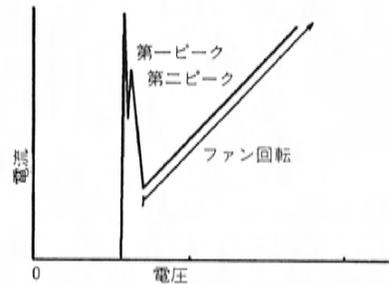


図9 ブラシレスファンのV-I特性

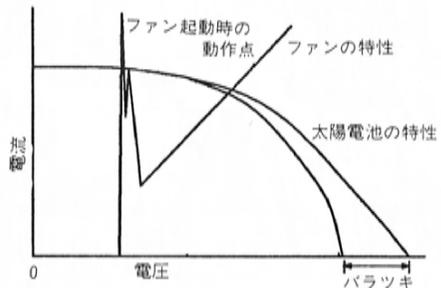


図10 ファン起動に必要な出力電流を得た時の開放電圧のバラツキ

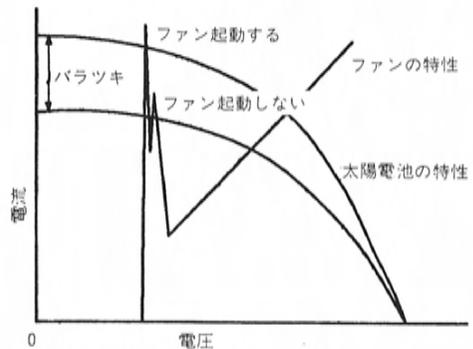


図11 開放電圧を一定にした場合の出力電流バラツキ

3.5 駐車換気の効果

以上のシステムをセンティアに搭載して、確認テストを行った結果を述べる。

(1)夏季における評価

夏季における換気の効果を図12に示す。換気無車の頭部温度75℃に対し、換気有車では58℃となり室温の上昇を抑制している。

また炎天下駐車後の冷房速効性についても、初期の室温が低いため、より短い時間で涼風感が得られる。本テストにおいて換気有車の25℃に達する時間は、換気無車の15分に比べ11分と4分も短縮できた。

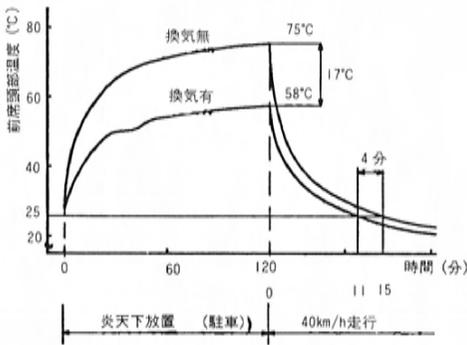


図12 駐車換気の効果

(2)中間季における評価

本システムの効果が最もよく判るのは、春や秋といった中間の季節である。この時期の気温は、20~25℃程度で過ごしやすい季節である。しかしこの季節の日射量は、夏とほとんど差がなく、室温は50℃まで上昇する。この時に本システムを作動させると30℃まで下げることができる。フィーリング的には乗車時「ムッ」としていたものが、換気することでほとんど違和感なく乗車できるようになる。外気温度と乗車時のフィーリングの関係を図13に示す。

4. 強制排気

4.1 制御の概要

エアコン作動中に車室内の汚れた空気を排気できることも、本システムの特徴のひとつである。強制排気スイッチを押すと、駐車換気用のファンが車載バッテリーにより駆動される。ファンは、10

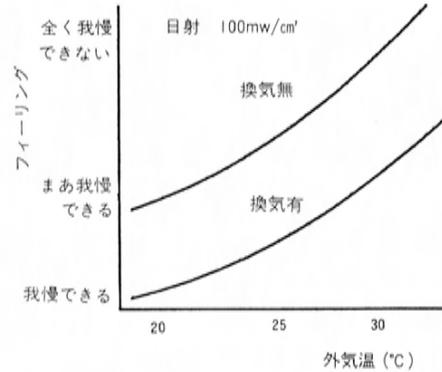


図13 外気温と乗車時のフィーリングの関係

分経過後に自動的に停止する。

4.2 強制排気的目標

現在フィルター等を備えた空気清浄器もあるが、たばこの煙に含まれるCOなどは除去不可能である。臭いや煙の官能評価結果では、CO濃度が車室内に煙充満後30%まで排気されると、違和感はほとんど無くなった。これにより強制排気的目標は、CO濃度を3分間で初期の30%まで排気できることとした。

4.3 強制排気の効果

図14に強制排気の効果を示す。内気循環モードで空気清浄器を使用した場合CO濃度の変化は小さく、COに対してはほとんど効果がない。これに比べ強制排気を行うと、排気開始から3分後には、初期の30%までCOが排気され、強制排気の効果が見られている。

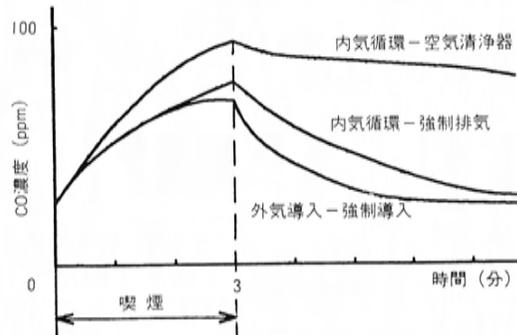


図14 強制排気の効果

5. バッテリーへの補充電

5.1 制御の概要

駐車中、駐車換気を行っていない時にはバッテリーの補充電を行う。ただし、次に述べるようにバッテリーが満充電の状態では、補充電は行わない。

5.2 充電電圧制御

満充電になったバッテリーに、更に充電を続けると電解液の電気分解が起こり、液減りや水素ガス発生といった現象が起こる。これらの現象が起こり始める電圧をガッシング電圧という。

本システムでは充電電圧がガッシング電圧を越えると充電を中止するという充電電圧制御を採用している。

5.3 シミュレーションによる補充電効果

バッテリーへの補充電の効果を見るために、シミュレーションを行った。

統計資料から、1日の時間毎の日射量(過去数年の平均)を読み取り、太陽電池の出力(電圧-電流特性)を求めた。

この出力をバッテリーへ供給した時のバッテリー残容量の変化をシミュレーションした。

なお、バッテリーには、自己放電現象(約3.75mA)があり、また、車両の暗電流による放電(最大20mA)があるため、計23.75mAは、常に放電しているものとしてシミュレーションをしている。

シミュレーション結果を図15に示す。

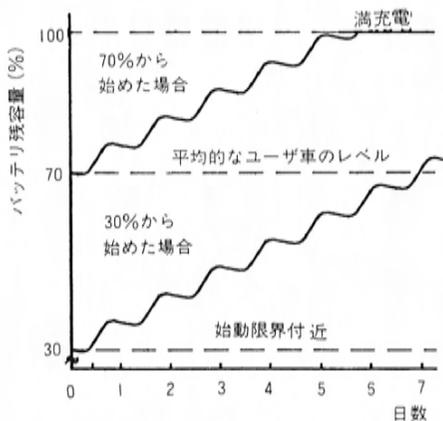


図15 東京4月での充電効果

図15は日本の平均的な例として、東京の4月における効果である。

残容量70%とは平均的なユーザのバッテリーの状態であり、残容量30%とはほぼエンジン始動限界に近いバッテリーの状態である。

図15からわかるように、エンジン始動限界に近い「始動の限界付近」バッテリーも、7日後には「平均」にまで回復するし、「平均」のバッテリーは5日後には満充電になる。

6. あとがき

以上、ソーラベンチレーションシステムについて紹介した。

クリーンエネルギーの太陽電池は、今後も多岐の分野で活用されるであろう。本システムは、車への一つの利用方法として提示できたと考える。

今後は、太陽電池の変換効率アップなどによる換気性能の向上、太陽電池の他機器への応用および低コスト化などの課題に取り組んでいく所存である。

最後に、本システムの開発にご協力いただいたナルテック(株)、三洋電機(株)および松下電器産業(株)に感謝の意を表します。

■ 著 者 ■



梶本進士



神野政之



小浜昭一



黒岩光利

小特集

9

センティアのスーパープレミアムミュージックシステム

Super Premium Music System for SENTIA

榊原 学*1
Manabu Sakakibara池田 俊樹*2
Toshiki Ikeda竹岡 富彦*3
Tomihiko Takeoka

要 旨

Abstract

近年、自動車は「移動するプライベート空間」と呼ばれ、自動車装備品の中における、車載用オーディオの地位が向上している。この市場動向のなかで、センティアという当社の最高級車にふさわしい、「低歪・高出力で臨場感のある音場」の演出を開発テーマとして、本オーディオシステムを開発した。

本システムの特徴は、従来の車載用オーディオの概念をくつがえすため、オーディオ各部品に、徹底して性能向上を図り、従来に見えない低歪率・高出力・高音質を実現した。本稿では、これらのオーディオシステムの概要を紹介する。

In recent years the automobile has become known as "private space in motion", and in line with this, car audio systems have risen to a top rank among automotive accessories. Advancing to the front of this trend, an audio system was created for the SENTIA, Mazda's top of the line model, to the development tune of "an environment of sound with a sense of presence created by low distortion and high output". The distinctive features of this system, whose audio concepts are explored in this paper, were built by revolutionizing notions about car audio systems, with a comprehensive expansion of functions that produce previously unheard of low distortion, high output, as well as pure sound quality.

1. はじめに

センティアのスーパープレミアムミュージックシステムの開発基本コンセプトは、「低歪・高出力で臨場感のある音場」である。これは、車室内においてユーザが無意識のうちに音楽に引き込まれ、高揚感と感動を覚える音場の再現を意味する。

今回、このコンセプトを満足させ、スーパープレミアムという名にふさわしいオーディオに育成するため、開発初期段階から、以下のポイントを中心に音造りを行った。

- ① 低歪でパワー感・タイト感のある低域の再生
- ② ハイエンドまでクリアに伸びる高域の再生
- ③ フラットな特性をもつ中域の再生
- ④ 音像を前方・中央に定位させ、臨場感豊かな音場の再生
- ⑤ 無歪最大音量の向上による、余裕のある音質の再生

2. 全体システムの概要

前述の音質開発ポイントの要求性能を満足させるため、当システムの構成は、図1のようにした。このシステムの特徴は、マルチチャンネルシステムとし、スピーカ・パワーアンプを、低域・中域・高域に分割し、各専用帯域で独立駆動していることである。このシステムにより、スピーカ・パワー

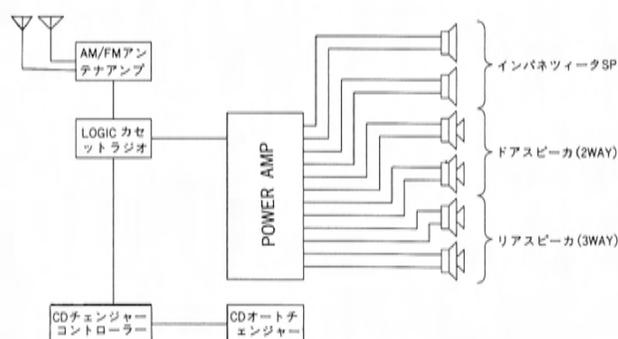


図1 オーディオシステム

* 1, * 2 第一車両設計部 * 3 車両実験研究部

アンプを専用設計でき、歪率の改善ができた。また、開発段階において発生した音質要改善点についても、各帯域ごとにチューニングができ、音質改善効果も非常に大きなものとなった。

3. システム開発

次に、システムの詳細について述べる。初めに述べたコンセプト実現の5つの開発ポイント達成のため、以下の内容に注力した。

- ①低域のタイト感・パワー感実現のため、高耐入力・大口径ウーハスピーカの開発
- ②高域のクリア感実現のため、パワーアンプの低歪率化
- ③中域特性のフラット化のため、フラットレスポンスコーカスピーカの開発
- ④音像の前方定位・臨場感豊かな音場再生のため、高効率・高耐入力ツイータスピーカの開発
- ⑤無歪最大音量向上のため、パワーアンプの低歪率化およびユニット取付構造の見直し

3.1 パワーアンプの開発

ハイグレードオーディオにふさわしいパワーアンプの姿は、低歪率・高出力である。これを実現

するため、オーディオ信号を、低域・中高域の2つの帯域に分割し、各々を独自に増幅する、パワーアンプ構成とし、歪率の低減を図った。また、高出力化に対応するため、低域用のパワーアンプは、50W パワーICを採用し、中高域用パワーアンプは、従来から音質の良さで好評であるユーノスロードスターおよびコスモで採用した25W パワーICを採用した。パワーアンプのシステムを、図2に示す。

本パワーアンプの特徴は以下に示すとおりである。

- a) 歪低減のため、低域用・中高域用のパワーICを独自に内蔵する8チャンネルパワーアンプである。また、中・高域の周波数を分割するマトリクス回路を内蔵している。
- b) ハイパワー化による、消費電流の増加に対応するため、オーディオ専用ヒューズを車両に設定し、電源ハーネスの線径を拡大（従来比8倍）し、パワーICの安定駆動を図っている。
- c) オーディオパワーONの瞬間より、高音質を確保するため、ACC状態でパワーICに、プリヒートをかける回路を内蔵している。
- d) 音響用電解コンデンサ・低雑音オペアンプ・

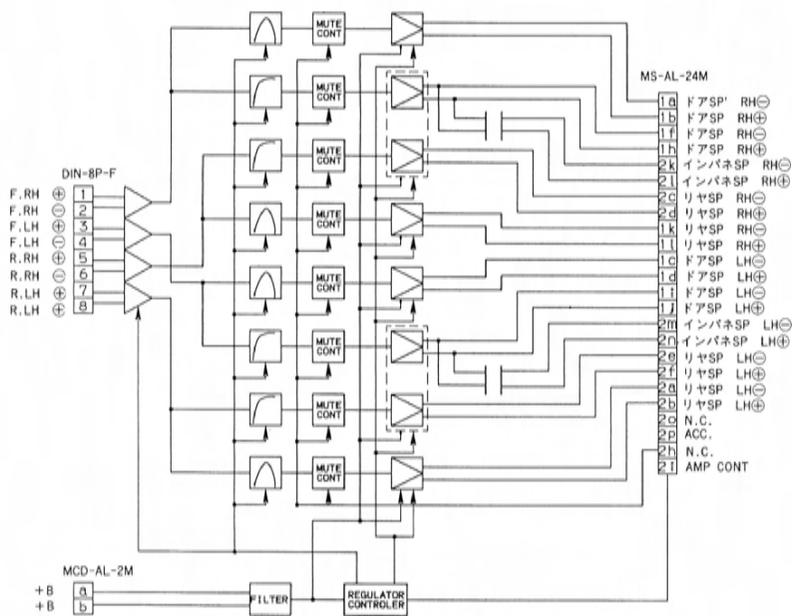


図2 パワーアンプシステム図

電源ラインノイズフィルタ・銅板アースラインの採用により、パワーアンプ自体の低歪化を図っている。

e) パワーアンプ内蔵基板のパターンラインには、パターン抵抗によるパワーロスを最小限に抑えるため、ハンダを溶着し、パターン幅を拡大させている。

f) パワーが必要とされる低域用のパワーアンプには、50W パワーIC を採用し、高出力化を図っている。

以上により、従来型のパワーアンプに比較し、全周波数帯域において歪率を大幅に改善することができた。この比較データを図3に示す。

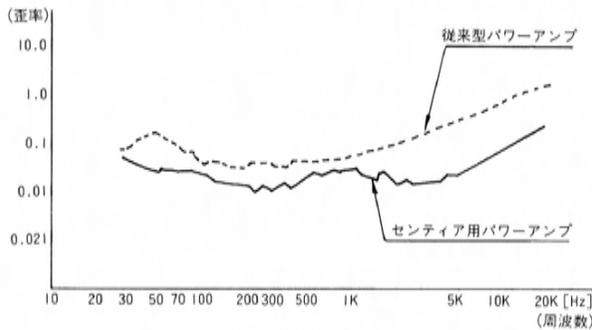


図3 パワーアンプ特性比較データ

3.2 スピーカユニットの開発

スピーカは、オーディオシステムの音質を決定する最終のユニットであり、最も重要な部品である。また、音響特性だけで表現できない「艶」・「クラリティ」・「メリハリ」・「臨場感」といった音の感性領域を左右する重要な部分でもある。

センティアでは、「低歪でタイト感のある低域」・「ハイエンドまでクリアに伸びる高域」・「フラットな特性の中域」の再生のため、インパネスピーカ、フロントドアスピーカ、リアスピーカを全て新開発し、スピーカ構成部品の一つ一つに到るまでリファインを行った。また、臨場感の向上のため、レイアウトについても検討を行い、図4に示すようなスピーカレイアウトとなった。以下に各スピーカのスペックを示す。

(1) インパネスピーカ

臨場感の再生、音像の前方定位、艶のあるクリアな高域再生のため、インパネ上面に $\phi 35$ 口径の

高域専用ツイータスピーカを左右にレイアウトした。

このスピーカの特徴は、

a) ネオジウムマグネットの採用により、小型・軽量ながら高能率を実現した。

b) 高域のクリア感・艶の実現のため、新素材のソフトドーム振動板を採用し、高域の金属音を低減できた。

c) ツイータの高耐入力・歪低減のため、磁性流体を採用している。これにより、ボイスコイル部での発熱を効率的に放熱することが可能となり従来比2倍の許容入力を実現した。

また、ボイスコイルを、ギャップ部の中央に安定させることができ、高調波歪を最小限に抑えている。

以上の特徴を、図5のスピーカ特性、図6のスピーカ断面構造で表わす。

(2) フロントドアスピーカ

迫力のある低域・クラリティのある中域実現のため、フロントドア左右に、 5.5×7.5 インチの2WAYスピーカをレイアウトした。

このスピーカは、 $\phi 60$ 口径の中域用スコーカスピーカと、 5.5×7.5 インチの低域用ウーハスピーカからなり、ウーハスピーカは $2 \Omega \cdot 50W$ 対応とした。

このスピーカの特徴を以下に示す。

a) パワーリニアリティ向上のため、 $\phi 32$ の大口径・高耐入力のアルミボビンコイルを採用している。

b) 中低域の歪率改善のため、ウーハスピーカ

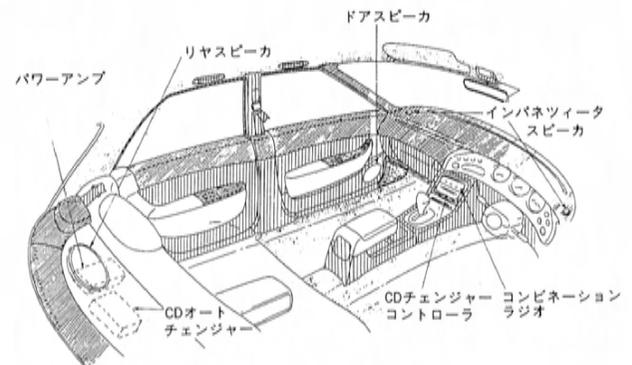


図4 センティアスピーカレイアウト図

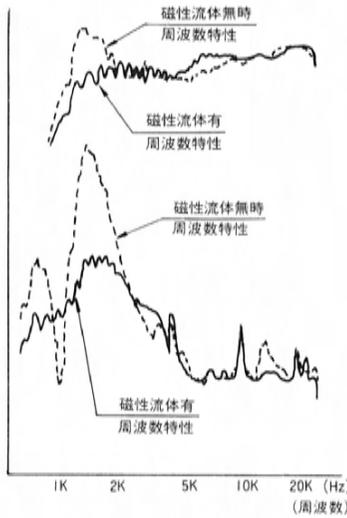


図5 インパネスピーカ特性

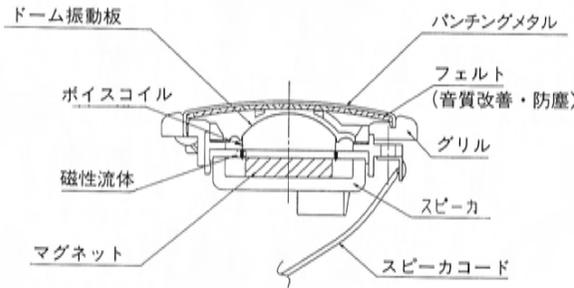


図6 インパネスピーカ構造

に、高剛性 PP コーンを採用している。また、コーンエッジ部には、モルトプレーンを採用し、ふくよかで、伸びのある低域を再生している。

以上により、小入力から大入力時まで、低歪で歯切れの良い再生音を実現した。図7にドアスピーカの歪率特性を示す。

c) 中域のクラリティ改善のため、スコークスピーカを、本体前方に突出させ、スピーカとスピーカ前方のグリルとの間に発生する前室効果を防ぐ設計とした。

d) クリア感を高めるため、スコークスピーカにフラットレスポンススピーカを採用し、中域のピーク発生を防いでいる。

図8に、従来スピーカとの音響周波数特性の違

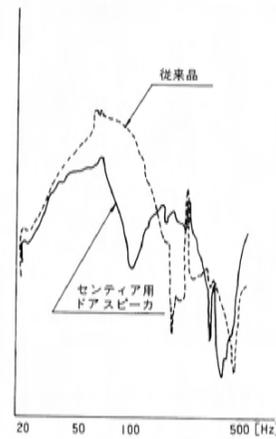


図7 ドアスピーカ (ウーハ) の歪率特性

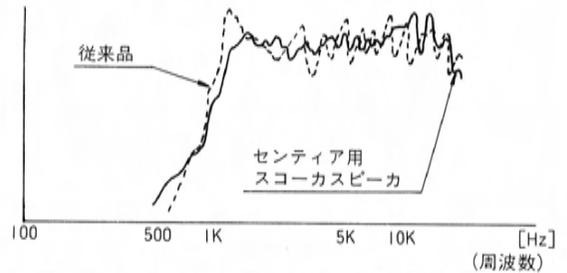


図8 スコークスピーカ周波数特性比較

いを示す。

(3)リアスピーカ

低歪・迫力のある低域の再生および、臨場感の演出、バランスのとれた車室内音場再生のため、リアパッケージトレイ左右に、6×9インチの3WAYスピーカをレイアウトした。

このスピーカは、φ35口径の高域用ツィータスピーカ、φ60口径の中域用スコークスピーカ、6×9インチの低域用ウーハスピーカの3種類のスピーカを持ち、ツィータおよびスコークスピーカとウーハスピーカを、別々のパワーアンプで独立駆動している。

ツィータスピーカ、スコークスピーカは、4Ω・25W 対応とし、スピーカユニット内部でスピーカの動作周波数を分割するマトリクス回路を構成している。

ウーハスピーカは、2Ω・50W 対応とし、ハイパワー感増大を図っている。

このスピーカは、インパネ・フロントドアスピーカで述べた特徴に加え、以下の特徴を持つ。

a) 臨場感向上のため、ツイータ・スコカスピーカの取付角度を、リアピラー側に向け、指向性の強い中高域の音を、バックウィンドやリアピラーに反射させる構造としている。

b) 6×9インチの大口径ウーハスピーカの振幅に対応するため補強ブラケットを設定し、スピーカ取付部の剛性向上と、強固な固定によりタイト感のある低音を実現した。

3.3 車室内音響特性の開発

先に述べたパワーアンプ・スピーカ各々の開発により、従来にない低歪率・高出力・高能率のオーディオシステムが実現ができた。

しかし、これらの部品を実際に車両に搭載した場合、車室内空間形状・内装材材質・乗員ヒップポイント・スピーカ取付位置などの相違により、車室内音響特性に大きな違いが生じる。そこでパワーアンプのゲインや、スピーカの最低共振周波数(f_0)などのチューニングが必要となる。このチューニングにおいて、その良否を判断するパラメータの中で、最も重要な特性が、車室内音響特性である。

センティアのオーディオコンセプトを満足させるための音響特性イメージを図9に示す。

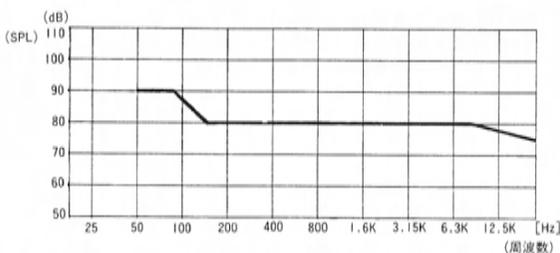


図9 センティア音響特性イメージ (1W時)

音は、低域～高域までの音圧レベルのバランスにより、迫力感の演出・クラリティの改善を行っている。センティアのコンセプトとイメージ音響特性の相関を見ると、

a) パワー感・タイト感のある低域……重低音～低域の音圧レベルを他の帯域の音圧レベルより、10dB アップさせる。

b) フラットな特性の中域……150Hz～1kHz

までを、フラットな特性とする。

c) 伸びのある高域……10kHz までフラットな特性とし、中域と同等レベルの音圧を確保することにより、マスキング効果を防ぐ。

となっている。

目標音響特性を実現するため、パワーアンプの出力レベル・スピーカ f_0 のチューニングに加え、オーディオセット内部にパラメトリックイコライザを内蔵し、チューニングを行っている。

前述のように、単に車両にスピーカを取り付けただけでは、車室内での音の吸収・反射・干渉により、音響特性にピーク・ディップが発生し、この結果、低域のこもり感・中域の音抜けなどの音質の悪化となる。このピーク・ディップを電氣的に補正をかけて、平滑化していくものがパラメトリックイコライザである。

センティアのオーディオシステムでは、8チャンネルの各チャンネルごとに2～3ポイントのイコライジングを使用し、チューニングを行っている。そして、音響特性は、図10に示すような形とした。

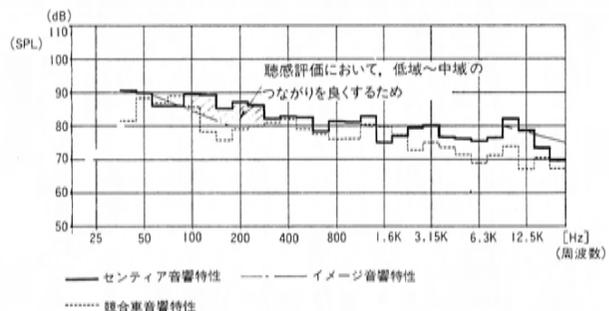


図10 センティアチューニング後の音響特性

3.4 オーディオユニット取付構造の改善

音質は、図10のようなデータで表現できない感性領域の性能も重要である。この感性領域の性能を左右するものが、ユニットの取付構造である。そこで、センティアのオーディオ開発においては、ユニットの取付構造についても次の2点に注力し、改善を行った。

a) 低域のにごり感・こもり感解消のため、スピーカの振動によるリアパッケージトレイの共振防止

b) スピーカ周辺のボデーのサービスホールか

らの音の回り込み防止のため、確実なバッフルリング構造

この2点の課題を解決するため、リアスピーカ・フロントドアスピーカの取付構造を下記のようにした。

a) リアスピーカ取付構造

図11に示すように、リアパッケージトレイの共振防止のため、リアスピーカにブラケットを設定した。更に、左右スピーカの間空気清浄器取付用の穴により、リアパッケージトレイの強度低下と、音の回り込みが発生しているため、補強ホールカバーを設定し、このカバーとスピーカのブラケットを共締めする構造とした。この構造により、左右のスピーカが強固に固定されることになり、スピーカ振動によるボデー共振を抑えることができた。また、空気清浄器を取り付けた場合は、清浄器自身が補強ホールカバーの代りとなる構造とした。

b) フロントドアスピーカ取付構造

ドアには、サービスホールが多数設定されているため、音の回り込みが最も発生しやすい。そこで各サービスホールにカバーを設定することも考えられるが、効率的に音質改善を行うため、各ホールにカバーを設定したときの音響特性変化を測定し、効果の最も高いホールに回り込み防止カバーを設定した。

以上のスピーカ取付構造を導入したことにより、図12に示すように低域の音圧レベルを増強させることができ、低域不足を解消できた。

また、音の感性領域においても、「低域のしまり感」・「中域のクリア感」といった内容において大

幅な改善効果が現われた。一般的に、音響開発は、このような感性領域の性能向上が重要であり、ドアのホールカバーにおいてもデータ上は効果が少ないように見えるが、聴感上の改善効果は、非常に大きなものがあった。

以上、低歪率・高出力・高音質を実現するため、ユニットの性能改善や、取付構造の改善を行ったが、前述の他にもハイグレードオーディオにふさわしい音造りのため、下記の改善内容を織り込んでいる。

a) FM 受信性能の改善

センティアの全グレードにFM ダイバシティシステムを採用した。昨今のFM放送局の増加と人気上昇に対応し、マルチパスノイズを低減し、音質の良いFM受信を可能とした。また、FMチューナーバックICを新開発し、特に、入力段のFETに高感度MOS-FETを採用したことにより、リニアリティが向上し、混信妨害性能が10dB向上した。

b) AM 受信性能の改善

4段ラダーフィルタを採用し、強・弱電界での信号選択度・感度を改善している。

これらオーディオユニットの細部に到るまでの改善と構造の見直しにより、開発コンセプトを満足させる音質が実現できた。

センティアのスーパープレミアムミュージックシステムは、OEMならではの、車にベストマッチした音質開発により、十分な迫力感とともに臨場感豊かな音場を再現し、パワーはあるが単に音量が大きいだけという従来のオーディオとは、一線を画すシステムに育成できた。

更に、本システムにおいては、音質だけではな

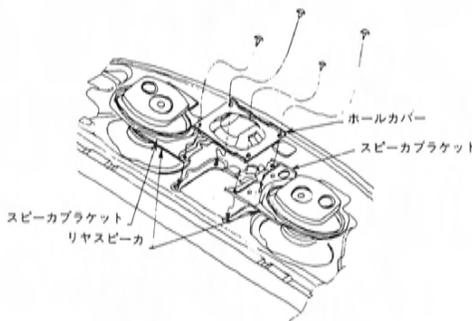


図11 リアスピーカ取付構造

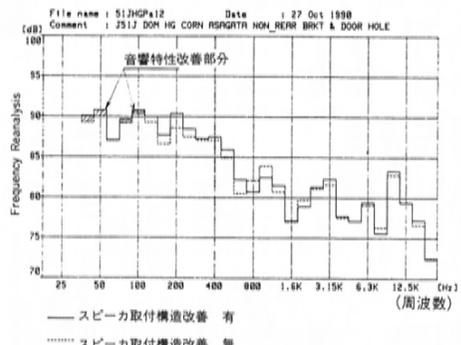


図12 スピーカ取付構造の相違による低域改善効果

く、他の機能についても充実を図った。その内容について次章で述べる。

4. 機能面の充実

本オーディオシステムは、音質性能の向上と合わせ、ユーザの使い勝手・便利機能の充実にも注力している。

①走行中のオーディオ操作の安全性を考慮し、ステアリング部に、オーディオの操作スイッチを設定した。操作スイッチは、使用頻度の高い下記の3つのスイッチを設定した。

- a) VOL UP…音量を大きくする。
- b) VOL DOWN…音量を小さくする。
- c) SELECT…ラジオ・デッキ・CDの各ソース

ごとに以下の機能を持つ。

- ラジオ時…自動選局スイッチ
- デッキ時…テープのA面、B面切り替え
- CD時…トラックアップ（次曲頭出し）

②CDプレーヤーは、操作性・安全性を考慮し6連奏のオートチェンジャータイプとした。

③ビデオ・テレビ等の接続を可能とするため、CDチェンジャーコントローラには、AUX端子を設定した。

④自動車電話機能に対応するため、電話着信時に、オーディオ音声を電話音声に切り替える自動MUTE機能を設定した。また電話システムは、ハンズフリー電話システムとし、安全性を考慮している。

⑤暗証コード方式の盗難防止機能を採用し、盗難防止効果を高めている（特定国向け）。

5. おわりに

以上、センティアのスーパープレミアムミュージックシステムについて紹介した。このシステムの開発育成を進めるなかで、いろいろな改善・新技術を織り込み、音質評価を行ったが、物理特性だけでは評価できない感性領域は、多数のパネラーによる聴感評価を行った。また、本システムが米国向けにも採用されるため、米国にて数回の米人評価も行い、市場適合性を評価した。その結果、米国でも好評を得ることができた。これは、米人の感性に、マッチした音造りができたことを意味する。

最近の自動車市場の動向は、自動車を「くつろぎ空間演出の手段」と位置づけるようになってきており、その意味からも、エンターテインメント商品のニーズは高い。そのため、ますます感性領域の性能向上が大切になってきている。

センティアのオーディオの音質開発のなかで、数々の問題がでてきたが、それらのほとんどが感性領域の問題であり、その良否を判断する方法は聴感評価であった。これからの開発車種においても聴感上の開発要件は数多く発生するであろう。今回獲得した多くのノウハウを今後の音質開発にいかして、市場の要求する音質レベルと指向を把握し、音質の「BEST IN CLASS」の実現に努力していきたい。

最後に、当システムの開発にあたり、多大な御協力をいただいた、松下通信工業㈱、松下電子部品㈱ならびに関係各社、および関係各位に紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

■著者■



榎原 学



池田俊樹



竹岡富彦

小特集

10

オートザムレビューの紹介

Introducing AUTOZAM Revue

橋本俊博*¹
Toshihiro Hashimoto岩立義勝*²
Yoshikatsu Iwatate高地恵実*³
Megumi Takachi

要 旨

レビューは、低公害で安全な車作りの思想を基本としながら、個性を重視する、感性豊かなユーザを対象に、「小さくても温もりや優しさの感じられる車」をねらいとして開発した4ドアセダンである。

本稿では開発のねらい、デザイン、パワートレイン、サスペンション、居住性&パッケージ、キャンバス・トップ、振動騒音、空調、安全、防錆に分けて紹介している。

Abstract

While the Revue's production was well-grounded on ideas for a safe, low-polluting vehicle, great attention was also paid to the Revue's individuality, so that a 4 door sedan could be created that has warm and gentle feelings in a small space. An automobile that suits the rich *kansei* of its target customers.

This paper introduces the Revue in terms of its development objectives, design, powertrain, suspension, comfortableness and packaging, canvas top, noise and vibration, air conditioning, safety, and anti-rust protection.

1. はじめに

「レビュー」は、「ハイコンパクト 2.5BOX」をコンセプトに開発された新しいタイプの小型4ドア乗用車で、ユニークなボデースタイル、広々とした室内、高い基本性能を有している。また、コンパクトカーならではの優れた経済性と使いやすさ、入念な安全対策、そして、世界初の3way電動スライド式キャンバス・トップを採用している。

レビューはハイテクやハイメカ、豪華・高級などといったことに左右されることなく、本当に便利なもの、実用的なもの、そして温もりや優しさの感じられる車である。

以下、開発のねらいと商品概要について紹介する。

2. 開発のねらい

現代の若い世代の人々にとって車は生まれた時から身近にあり、もはや特別な存在ではなくなっ

てきている。そうした人々の多くは、車の見方もサイズや見かけの立派さで評価しなくなっている。むしろ「同じ機能、同じ性能ならばサイズは小さいほうが賢い」というスタンスでモノを考える人が増えている。

一方、これからの商品で、もう一つ必要とされているのが機能に裏打ちされた遊び心や洒落っ気である。



図1 オートザムレビュー

* 1, * 2, * 3 商品本部

単に冷たい機能主義でなく、かといってオモチャっぽい悪ふざけでもない、使いやすく、しかも遊び心を失わない、真に実用的で楽しい商品が求められている。

レビューは、このような現代のユーザの期待に応える全く新しいベーシックカーを目指した。

3. セーリングフィーチャ

具体的なセーリングフィーチャは次の4点である。

- 1) 世界一短い4ドアセグンで、ユニークなプロポーション。
 - 2) 3 way キャンパス・トップを有し、広々として気持ちの良い室内。
 - 3) 街中で余裕のある走り、滑らかな乗り心地を実現する高い基本性能。
 - 4) 2.5BOX のプロポーションからは、想像もつかない大きなトランクスペース。
- 更に、充実した安全装備も大きな特徴である。

4. デザイン

4.1 デザインのねらい

世の中の動きがサイズアップ、高級化傾向にある中で、重要なキーワードは独創性である。

この車の開発にあたって一番大切にしたいことは、新しい価値の創造として、この小さな車にいかにも独創性を凝縮するかであった。

4.2 外観デザイン

このクラスの多くのクルマがエコノボックスカーとして進化する中で、レビューはパセリャカーとしてもっと道具と人のより良い関係を求め、人に優しいデザインを志としている。

低く、長くが格好いいという常識的なデザイン基準とは全く異なった基準によって造られたレビューのパッケージは、背を高くして人を大切にすることであることを重視したものである。

具体的には、大きな車のスケールダウンに見えないように、最大の注意を払い、新しい価値観の提案を試みている。

4.3 室内デザイン

ほとんどの商品は、他のものと比べてどこかど

れだけ優れているかという比較論的発想を基に競争シーンが描かれているが、レビューのインテリアは独自の判断を基に考えられている。

例えば、ヘッドクリアランスについていえば、通常、他メーカ比較や、人間工学的に何センチ必要という考え方をするが、レビューでは数値を参考にしながらも、感覚的に生きた人間の気持ちの良さで決定されている。

つまり、このレビューの考え方の基本は、常識や比較論的競争原理から抜け出した独創性を競合力とした点である。



図2 コックピット



図3 インテリア

5. パワートレイン

エンジンは1.5lと1.3lの2種類で、ファミリアの基幹エンジンとして定評のあるSOHC16バルブB5型、B3型を各性能面において熟成し、「ハイコンパクト 2.5BOX カー」に相応しい凝縮感を持たせたエンジンへと進化させた。

具体的なセーリングフィーチャは、都市型コミュータの基本要件であるキビキビ感に加え、B3型ではクラストップレベルの突出した燃費実力による経済性、B5型では余裕の排気量をベースに、低

中速域のトルク向上による滑らかな走りである。

これらのハイレベルな目標を達成するために、ローラーロッカーアームによる動弁系の機械抵抗低減、樹脂製エアクリーナ、ステンレスパイプ製エクゾーストマニホールドによる軽量化、新開発電子燃料噴射装置 (EGI-S シングルポイントインジェクション) および、電子進角装置による燃料・点火系の最適制御等の改善を図った。

この他、B 3 型は燃費向上メニューとして、燃焼室を球形に近づけて燃焼改善を図ったコンパクト燃焼室を採用し、10モードで18.8km/l(MT車)という低燃費を実現している。

また、燃費、走りとともに商品育成の主要ポイントである静粛性については、メインメタルクリアランスの縮小、クランクシャフトのウェーブ部リブ補強、トーショナルダンパパーリおよび、インテグレイテッドステイフナの採用等多彩なメニューを折り込み、軽快な音質作りを実現している。

需要の拡がりを見せているATについては、小型軽量の電子制御4速オートマチック (F 4 型 4 EAT) を両エンジンに搭載するとともに、1.5lにはアクセル踏み込みスピードによりドライバの意志を判定し、自動的にパワー/ノーマルモードを選択するオートパワー方式を当社として初めて採用した。これによりパワーモードでのキビキビした小気味よい走り、ノーマルモードでの経済走行が自動的に両立可能となった。

6. サスペンション

サスペンションは安定性を重視し、乗り心地とのハイバランスを目指して開発を進めた。

サスペンション・システムは、フロントがストラットの独立式、リアはトーションビームアクスルの半独立式である。ともにスペース効率が良く、しかも優れた操縦安定性を実現するために必要な剛性を有している。

フロントのストラットはI型ロアアームとスタビライザ兼用のテンションロッドで前後左右方向を支持している。ロアアームのボデー側ブッシュは、操縦安定性の上で重要な横方向の剛性を確保しながら、スムーズな乗り心地を得る上で必要な、前後方向のコンプライアンスとなるよう、硬度に

方向性を持たせている。

ショックアブソーバに微低速バルブを採用することにより、ピストンスピード0.05m/sの低速領域まで減衰力チューニングを行った。フロントのホイールジオメトリーにはネガティブ・キャンバ・オフセットを採用し、操舵力を軽減するとともに、制動時の方向安全性を向上している。

リアに採用しているトーションビームアクスル式サスペンションは、キャンバ変化のないビームアクスル式リジット・サスペンションと、スペース効率の良いトレーリングアーム式独立サスペンションの利点を兼ね備えている。トーションビームアクスルは、左右のトレーリングアームをクロスビームで一体化したH型のコンポーネントで、旋回中に車体が受ける荷重をそれ自体の剛性で支えるため、どのような剛性を持たせるかによって操縦安定性や走行フィーリングは大きく変わってくる。レビューでは、綿密な解析と実験の繰り返しにより、トーションビームアクスルをボデーに取り付ける左右一対のトレーリングブッシュに、前後方向に大きなコンプライアンスとなるよう横剛性を高めた上で「空洞」を入れ、良好な乗り心地と操安性のバランスを実現した。ショックアブソーバは厳しい走行条件下でも安定した減衰力を得るため低圧ガス封入式とし、フロント側と同様、微低速域まで減衰力チューニングを行っている。

騒音、特にロードノイズの対策としては、前後のスプリングシートの上下にラバーシートを採用し、ノイズの侵入を遮断している。

タイヤは、145SR13、165/70R13、175/60R14の3種類を設定している。145および165タイヤは、乗り心地と低い転がり抵抗を両立させている。

7. 居住性&パッケージ

基本コンセプトである「ハイコンパクト 2.5 BOX」に基づいて、3800mmの全長枠で世界一短い4ノッチバックとして、居住性・荷室スペースの最大限化との両立を図り、ショートノーズ&テールのユニークなプロポーションの実現を図った。

7.1 全体パッケージ

最近、商品化された4ノッチバックの中で、クラストップのホイールベースにするとともに、「トー

ルボーイスタイル」のパッケージにすることによって、十分な居住性と荷室スペースを確保した。

表1 主要諸元比較表

項 目	レビュー 4NB	ノッチバック	
		A 4NB	B 4NB
全 長(mm)	3800	3995	4075
全 幅(mm)	1655	1615	1600
全 高(mm)	1470	1385	1380
ホイールベース(mm)	2390	2340	2365
F.トレッド(mm)	1420	1385	1365
R.トレッド(mm)	1400	1365	1340
タイヤ(inch)	13	13	13
タンク容量(ℓ)	40	37	40

新開発の1.3, 1.5エンジンを収容するエンジンルームは、スペースの無駄を省いてショートノーズ化を追求した。

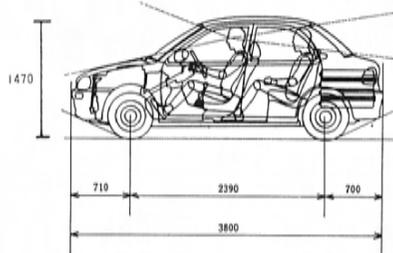


図4 全体パッケージ

7.2 居住性

「トルボーイスタイル」の立ち姿勢をとることによって、大人4人がゆったり乗れる前後スペースと、十分なヘッドクリアランスを確保している。

特に、このクラスで窮屈になりがちな後席は、十分な足元スペースを確保するとともに、余裕のあるヘッドクリアランスを得るために、ユニークなデザインプロポーシオンとの両立を図りながらヒップポイントおよび、リアヘッダー位置を検討した結果、外観からは想像もつかないほどのゆったりした居住性を得ている。また、ドアの比較的高い開口と、適切なシート地上高によって自然な姿勢での乗り降りを可能としている。

ドライビング・ポジションは、ペダルのワークスペース、踏み替え性などを十分に配慮するとともに、ホールド性の良い幅広いシートの採用、広い視界の確保などの工夫を施して、運転の容易性

を実現している。

表2 居住性諸元比較表

項 目	レビュー 4NB	ノッチバック A 4NB
H61 前席ヘッドルーム	1003	957
L34 前席レッグルーム	908(BH)	993
	1018(LH)	
W3 前席ショルダールーム	1290	1334
H63 後席ヘッドルーム	956	917
L51 後席レッグルーム	866	791
L48 後席ニースペース	-23	-57
W4 後席ショルダールーム	1290	1324

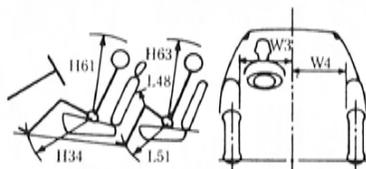


図5 居住性諸元

7.3 荷室スペース

4ドアノッチバックとして十分な荷室スペースを確保するため、荷物の種類や載せ方を十分に調査した。この結果を分析してショート&ハイデックスタイルとマッチさせた荷室配置により大容量(SAE280ℓ)のトランクルームを実現した。

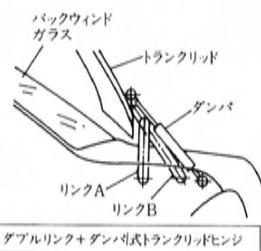


図6 トランクリッド構造

また、ダブルリンク+ダンパ式のフルオープンタイプのトランクリッドを採用し、荷物の出し入れ性を容易にした。

8. 3 way キャンバス・トップ

キャンバス・トップの楽しさをもっと追求したい、4ドアセダンによく似合うキャンバス・トップを作りたい、これが3 way キャンバス・トップ開発のはじまりである。

“4ドアセダンは、後席に乗る人のもてなしが必要だ” “後席にもキャンバス・トップが欲しい” “後ろからも、前からも開くキャンバス・トップ”。

このような考えのもと、3 way キャンバス・トップの開発コンセプトができ上がっていった。

レビューで新しく開発したキャンバス・トップは、前から後ろへオープンできるだけでなく、後ろから前へもオープンできる新構造で、更には、お気に入りの位置で折りたためる世界初の電動スライド式3 way キャンバス・トップシステムを実現した。



図7 3 way キャンバス・トップ

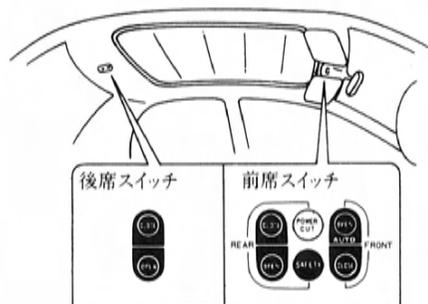


図8 操作スイッチ

操作スイッチは、前席だけでなく後席にも配置し、前側の開閉はワンタッチオートタイプとした。後側の開閉誤操作防止のため、2つのボタンを同時に押さなければ作動しないSAFETYスイッチや、後席の操作をキャンセルするPOWER CUTスイッチを装備し、安全性向上を図っている。

キャンバス部は、トップレザー、ウレタンパッド、トップシーリングの3層構造とし、シール性、遮音性、走行中の幌のバタツキに対してワンランクアップの性能を実現している。

9. 振動騒音

ハイコンパクトとは、小さいながらも高い快適性を有する室内をも意味している。中でも振動・騒音(NVH)は重要な要素であるため、レビューでは“しっとり滑らかな乗り心地”と“心地良いサウンド”を目指して開発し、クラストップのNVH性能を実現している。

しっとり滑らかな乗り心地を実現するため、サスペンションのチューニングをするにあたり、①スプリングは軟かめ、②ダンパは硬め、③ブッシュ類は小変位では軟かく、大変位では硬めを基本的な考えにおいて開発した。その中で最も苦労したのがリアサスペンション、トーションビームのブッシュである。

ブッシュは小変位時と大変位時の相反する特性を実現するため空洞を設け、その大きさ、形状を工夫することにより、非線形特性を得た。

また、スプリングおよびダンパの特性については、操安性能と高い次元で整合をとった。



図9 トーションビームのブッシュ断面図

心地良いサウンド、すなわち軽やかで滑らかなサウンドを実現するため、エンジン本体では多くのメニューを採用した。

振動伝達系ではエンジンマウント3点すべてを丸型とし、バネ定数を下げることにより、エンジン振動の伝達を抑えた。更に、エンジンマウントブラケットやメンバーの剛性も上げた。

それらにより、軽やかで滑らかなサウンドを実現した。

10. 空調

空調開発は、「基本性能の充実」に力点を置いた。具体的には、フルエアミックス方式のヒータシステムの採用と、最適な空調ダクトのレイアウトにより大風量を確保し、冷暖房&デフロスタ性能の向上および、きめの細かな室温調整を可能とした。

更に、リアダクトを全車に設定し、後席においても前席と同様の暖房感が得られるよう配慮した。また、寒冷地仕様車には、大型ヒータを設定し、厳しい気候に対応した。

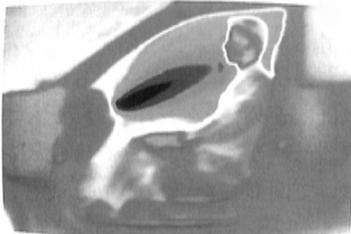


図10 エアコン作動時の室内の温度分布

11. 安全

昨今、自動車の安全性について、社会的に関心が高まりつつある中、レビューは安全性を更に高めるため、積極的に種々の安全対策を実施している。

より安全なボデー構造を開発するためにスーパーコンピュータによる様々なシミュレーションを行い、また、衝突テストを繰り返すことで、衝突時、エンジンルームやトランクルームが潰れて、キャビンは変形せず、乗員を保護する車体構造とした。更に、側面から衝突された時のキャビンの保護のために、前後のドアにインパクトバーを装着した。

乗員の保護装置であるシートベルトも、フロント席のみならずリア席にも3点式シートベルトを採用し、リア席乗員の安全性の向上も図っている。

また、衝突時における安全性だけでなく、事前に事故を回避するアクティブセイフティに対しても部品仕様や構造面で配慮している。

前方視界については、従来車に比べて20%照度アップしたハロゲンヘッドランプ、広いワイピングエリアを持つ左右不等長ワイパ、2×2フロント

ウィンドウォッシャーノズルを装置した。更に、払拭された雨水が、フロントピラーからルーフへ抜けるようにフロントピラーにレインゲータを設けた。

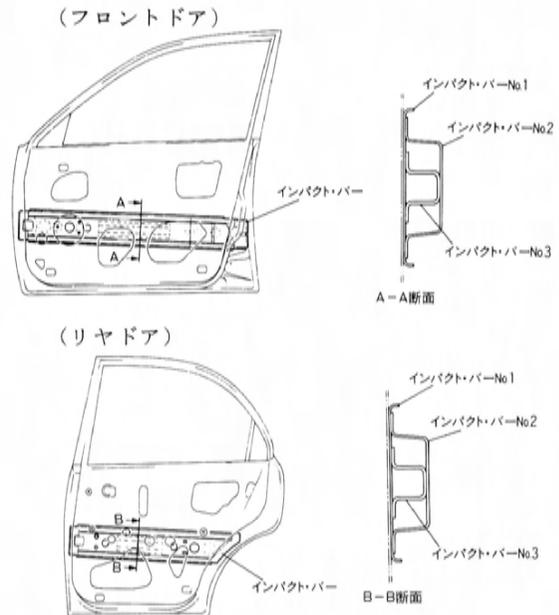


図11 ドアのインパクトバー

後方視界については、鏡面に水滴が付きにくいドアミラー、リアウィンド熱線を、また、後続車からの追突を防ぐため、ハイマウントストップランプを装着した。

12. 防 錆

優れた防錆性能を実現するため、ボデーパネルの防錆鋼板使用率を従来車に比べ大幅に高めた。

更に、①ボデーの主要外板部と重要構造部材には、最も耐食性の高い有機クリアコート防錆鋼板を使用。②フロア全面にPVCアンダーコートを塗布。③サイドシルおよびドア外板下部には耐チップ塗装の実施など、ボデーの防錆性能を向上するため、きめ細かな配慮を行った。

また、排気系においてもフロントパイプからメインサイレンサまで、全てにステンレスを採用し、防錆性能を大幅に向上させた。

13. あとがき

以上、レビューの開発のねらいと、商品概要を紹介した。小さいことを価値として選択していただけのこと、すなわち、「小さくすます」ことができるのなら小さなモノのですます。そんな考え方のユーザに共感を呼べることを期待している。

読者の皆様からの御意見・御批判を頂戴し、更に、研鑽を重ね、改善を加えていく所存である。

■著者■



橋本俊博



岩立義勝



高地恵実

小特集

11

オートザムレビューのデザインについて

Design of AUTOZAM Revue

進藤昌宏*1
Masahiro Shindo

要

旨

Abstract

開発テーマは、「ハイコンパクト 2.5BOX」ハイコンパクトとは、必要なものが必要なだけキチンとパッケージされていることである。その必要なものとは、運転のしやすさ、コンフォート、簡単便利といったハードウェアとしての基本要件と、ソフトウェアとしてのネアカな表情の豊かさ、人の温もりの感じられる親しみやすさといった感性要件である。コンパクトの意味を問い直し、クラス枠概念を感じさせない新しいカテゴリーのクルマを提案している。デザイン開発を通して考え方の背景と幾つかの特徴について紹介する。

The design theme for the Revue was "Hi Compact 2.5 Box", where Hi Compact had requirements and these requirements were all that was to be fit perfectly with the packaging. The requirements included basic needs for "hardware" -- easy to drive, comfortable, and simple to operate -- and *kansei* aspects -- the "software" to provide rich bright feelings and an easy familiarity that brings out human warmth. With idea of the compact clarified, a car in a new category was proposed that had none of the feelings of a stereotyped class. Here are introduced the background to the thinking that went into the design development and several special features of the Revue's design.

1. はじめに

このクラスのクルマが3ハッチバック、あるいは5ハッチバックスタイルのエコノボックスとして進化する中で、レビューは小さいながらノッチバックとして提案している。正論的にはエコノボックスの進化形の方角も考えられるが、あえてノッチバックスタイルを選択し、市場へ問う商品とした。そのために開発当初より、パッセンジャーカーの存在意義のあり方を試行錯誤し、単に大きいクルマのスケールダウンにならないように最大の注力を払った。

2. デザインの発想の原点

2.1 独自の価値観

ほとんどの商品は、他のものと比べてどこがどれだけ優れているかという比較論的発想をもって競争シーンが描かれるが、レビューの考え方は、こうした常識や概念、または比較論的競争原理から抜け出した独創性を競合力としている。つまり、

人に喜ばれることなら従来の価値観にとらわれることなく、自発的にブレイクスルーするよう心掛けた提案型商品を目指している。

物が満たされながら、なにか豊かさが実現できないでいる日本を見るとき、これからの時代に必要なものは、物から心への充足感がポイントだと考える。

個性を主張する自分の物差しを持って、生活観、人生観を明確に持つことが問われ始め、クルマ選びに関しても他人の意見やトレンドに流されないで本当に自分に似合うものを選択する鋭い眼が養われ始めている。

つまり、新たな自主主義的な心の充足を願う価値観の創造に向けて動き始めているといえる。

2.2 有意差の解釈

人々の価値観が物から心へと変遷すれば、価値観を構成する「違い」というものも、物を基準にした上下(レベル)を指し示す物差しから、心や質、考え方などを基準にした物差しに変わらなければならない。これは直接的に価値が認識しにく

*1 デザイン本部

く、均質性を重視する我々日本人にとって最もニガテとする“違い”であろう。

上下の違いから、本当の意味での認めあえる“違い”を見いだす考え方が今後重要といえるだろう。

クルマも同様で、“違い”を認めあえて初めて個性ということが論じられる。

レビューはこうした比較論的発想から独自の価値観をベースに考えられたクルマである。多くの3ハッチバック車の中で、ユニークなスモールノッチバックを考えたのは、アンチテーゼ的な意味ではなく、もっと前向きな共存としての在り方を前提にしたからである。

2.3 人への優しさ

ハッチバックの、人とラゲッジの関係が6:4の割合だとすれば、レビューの2.5ボックスノッチバックは、8:2の割合といえるだろう。

従来のハッチバックと違って、人と荷物を別々の空間にすることにより、人とクルマの関係を強めようとするものである。つまり、もっと人に重きを置いた、人に優しいクルマ創りを最大のテーマとしている。

もっと人に近づいた道具としてのクルマ、レビューはネアカな表情、可愛らしさという感性の領域の要素を取り入れてデザインしているが、只それだけでデザインしてしまうと、“カワイイ”、“目新しい”というコスチュームプレイに終わってしまう。レビューが考える優しさとは、実感できる機能、実用性からも感じ取れる、理由ありのデザインを目指している。

2.4 生活観とリズム

このクルマに乗ると、今までの生活のリズムは、ワンテンポゆっくりしたものになる。

レビューは、あくせくした世の中の動きの中で

忘れかけていた“ほのほの感”を取り戻せるようなイメージをデザインしているからである。乗る人の気持ちを、“景色でも見ながらゆっくり走ろうか”とさせてしまう。こんな働きも“人に優しい”に対するテーマの一つとして取り入れている。ターゲットユーザの若者は、生まれたときからクルマに接して育ってきた人達であり、果敢に走るクルマも魅力だが、それだけの狭い価値観から生活のためのツールとして、ゆったり快適に走れるという価値観に応えることもテーマとしている。

3. デザインコンセプト

従来のこのクラスのクルマがエコノボックスとして進化する中で、レビューは将来のベーシックカーのスタンダードとして、世界最小のサルーンカーを提案する。

ゆとりがあり、乗る人のシーンやイメージを大切にした人に優しいクルマなのである。

機能的であり、それでいて上質な温もりもあり、使っていくうちにいつの間にか快適な暮らしのペースを造り上げる、いわばレビューは気持ちのいい生活のためのスパイスである。

今までとちがうゆっくりとした生活のリズム感の中で一人よりも二人、二人よりも三人というように、日常生活の中で仲間と楽しく過ごせるクルマをコンセプトにした。

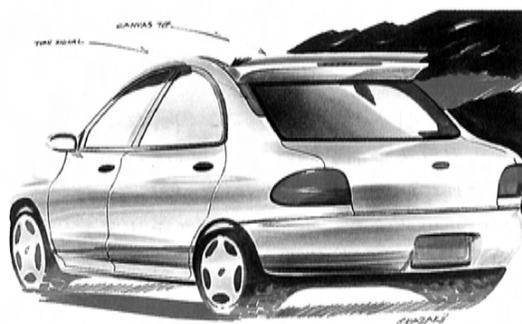
デザインキーワードは、

“MY PICNIC PONY”。

4. エクステリアデザイン

デザインテーマは、“人間性と機能の融合”。

基本的な機能を損なうことなく、遊び心やゆとりといった人間的な温もりを大事にした。



まず第一印象として、ネアカで性格の明るいイメージを求めている。人に例えるなら、美人であることより、人に愛されることを優先している。

ネアカだとか、ノリが軽いという感性領域のイメージだけでなく、生活定番として実用的な楽しさも要件としてきちんと押さえている。

フロントピラーからルーフライン、リアピラーへ高く弧を描いたラインが、最もこのレビューのスタイリングの特徴を表わしており、大きなドアガラスにより解放感を得ると同時に、居住性や乗降性を考慮した必然のデザインである。

すべてのラインは、フロントからリアエンドまで切れることなく、全体の中で脈略をもって流れている。こうして要素を極力整理することによってクリーンで洗練されたオシャレなイメージを与えている。

またフロントピラーとフロントガラスの段差は雨水のドレインを兼ねており、サイドウインドに水滴がまわるのを防止し、リアビューミラーの視界を確保している。

この2本のレールは、当初より計画されていた楽しさの表現の必須のアイテムである、キャンバストップとの係わりの中でデザインされている。

サイドウインドは、複雑なディテールを削除する動きに伴って、リアドアのディビジョンチャンネルを廃止し、セールマウント方式にしている(図1)。

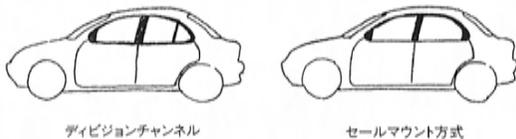


図1 ディビジョンチャンネルとセールマウント方式

これは、日本市場のエアコンの普及率を考えると、ガラス全部を開けなければならないニーズはうすれていることと、パッセンジャーのうっとおしい視界妨害を解決し、エクステリアデザインのスッキリしたイメージを優先する方がベターとした結論である。

ボデー面の構成は、冷たくシャープに光るスティー

ル感から、陶磁器に見られるような深く、艶やかに光を反射するようにオレ線をなくした多面体構成によって質感を高めている。

5. インテリアデザイン

デザインテーマは、“限られた空間だから最大限心地良くありたい。”

次世代の読みの中で、豪華でもなく、スポーティでもなく、装備も凄いというものではない。しかし、プアではない、そんな空間イメージが心地良きの基本だと考え、極力シンプルでクリーンなイメージを目指しており、あれもこれもという表現は避けた。

このクルマの最大のポイントは、何ととっても常識を越えた居住性の良さである。エクステリアデザインもこの居住性のための必然のデザインであることは先に述べたが、大きくアーチを描いたルーフはプラネタリウムの天井のようにインテリアのシーリング面として実質寸法以上に広々感に効いているのである。

通常居住性については、本来マネキンを置いて数値的に何センチ必要という人間工学的なとらえ方をするが、今回のレビューでは、生身の人間がデータを参考にしながら、数値よりも人間の感覚の方を信用した決め方をした。

パッケージでは、人を立ち気味にレイアウトして最も自然な姿勢でドライブできるよう、また、目の位置を高くしたことによって視覚もよく、スピードへの安心感も考慮している。

5.1 大型シートの採用

レビューのシートは、幅530mmとキングサイズのシートを採用している。これは小さい車でも大きい人にゆったり乗ってもらえる為に、今までの概念を越えたサイズ採用に踏み切っている。



6. おわりに

以上、レビューのデザイン開発の考え方とデザインの概要を紹介した。

“無かったと思うこんなクルマ”の通り、異色の提案を行った。このユニークな商品コンセプトの実現に向けて、一緒に試行錯誤を行った社内外の関係者の皆様と、レビューの誕生を喜びたいと思う。

発売以来、自動車専門誌、および一般雑誌などでは多くの共感が寄せられている。

今後一人でも多くの人にこのクルマの心地良さが理解されることを願うと同時に、生まれたばかりのこのモデルを大切に育成していきたいと思う。

■著者■



進藤昌宏

小特集

12

オートザムレビューのパワートレイン紹介

Powertrain for AUTOZAM Revue

西田 俊章*¹
Toshiaki Nishida下高 敏信*²
Toshinobu Shimotaka富永 和雄*³
Kazuo Tominaga佐々木 一智*⁴
Kazutomo Sasaki佐々木 和夫*⁵
Kazuo Sasaki

要 旨

Abstract

本稿は、オートザムレビューに搭載したパワートレインの開発のねらい、主要諸元、導入新技術の概要を述べたものである。

'90年代を展望し、ベーシックカー用の新たな魅力あるパワートレインを提供するために“Fun to Drive”を具現化した軽快な走り感とクラス屈指の低燃費の実現に開発の主眼をおいた。

走り感演出のための注力点は、SOHC16バルブによる低速から高速まで滑らかな出力性能、アクティブ点火制御による振動のない滑らかな加速感、軽快なエンジン音質、一方燃費向上のための注力点は、燃料および点火系の電子化による最適制御、エンジンの機械抵抗低減・軽量化であり、いずれも当初のねらいを達成できた。

This paper outlines the powertrains installed on the AUTOZAM Revue in terms of development aims, main specifications, and new technologies.

With a view to offering new, attractive powertrains for a basic car in the '90s, emphasis in development was placed on realizing a light and nimble running feel and a class-leading fuel economy that bring out fun-to-drive attributes.

Specifically, in order to enhance the running feel, energy was devoted to attaining a smooth engine output from low to high speed ranges through a 16-valve SOHC layout, a smooth, vibrationless acceleration through an active ignition control as well as a light engine sound quality. To improve fuel economy, the fuel and ignition controls were optimized by adopting electronic systems and the engine's mechanical resistance and weight were reduced. For all of these items, the original aims were achieved.

1. はじめに

オートザムレビュー搭載のパワートレインは、B3-MI型およびB5-MI型エンジンと、5段マニュアルおよび電子制御4速オートマチックトランスミッションの組み合わせよりなっている。

コンパクトなSOHC16バルブの熟成により、クラスを越えた“Fun to Drive”を訴求する軽快な走り感と傑出した低燃費を実現し、ハイコンパクト2.5BOXカー「レビュー」にふさわしい凝縮感のあるパワートレインとして育成できた。

以下に、開発のねらいと構造上の特徴および主要技術の概要について紹介する。

図1に、B5-MI型エンジンのカット図を示す。

2. 開発のねらい

表1に開発のねらいと主要技術を示す。ファミリーに搭載されているB3型、B5型SOHC16バルブエンジンをベースに、'90年代を展望したベーシックカー用の魅力あるパワートレインをめざし、

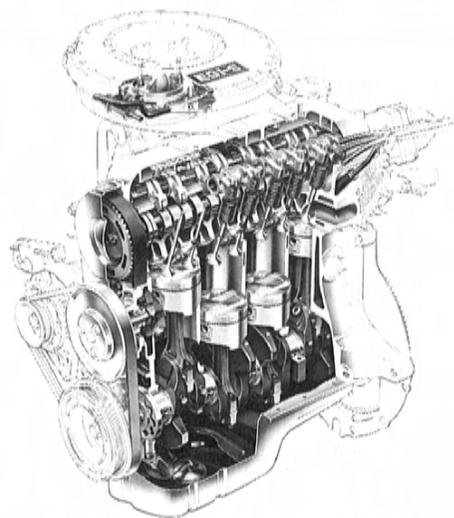


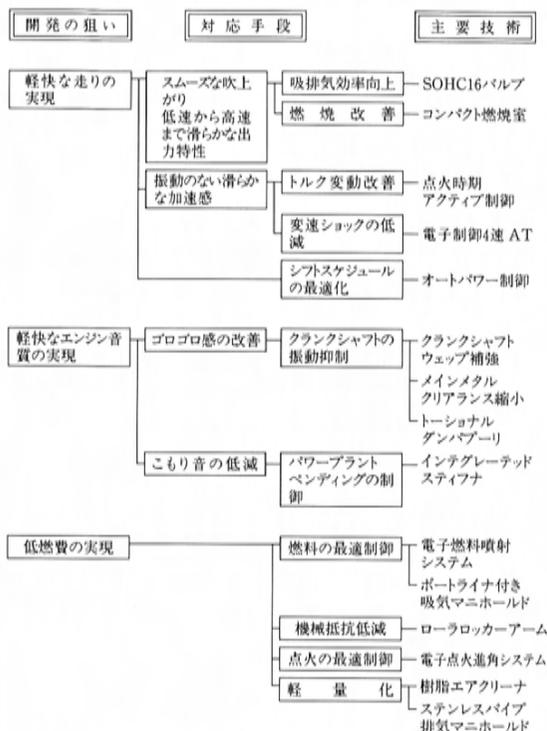
図1 B5-MI型エンジンカット図

下記項目について特に注力した。

(1) 軽快な走りの実現のために、低速から高速までスムーズな吹き上がり、振動のない滑らかな加速感を備えること。

*1, *2, *3, *4, *5 パワートレイン設計部

表1 開発のねらいと主要技術



(2) 走り感を演出する軽快なエンジン音質の実現のためにゴロゴロ感、こもり音を徹底して低減すること。

(3) 低燃費実現のために、電子化による燃料と点火の最適制御およびエンジンの機械抵抗低減、軽量化をはかること。

3. 構造上の特徴と主要技術

本パートレインは、随所にリファインを加えたSOHC16バルブエンジンに新開発の電子燃料噴射システム、電子点火進角システムなどを組み合わせるとともにオートマチック車にファミリアで信頼性評価の高い電子制御4速オートマチックトランスミッションを採用した。

表2にB3-MI型およびB5-MI型エンジンの主要諸元、図2に全負荷時のエンジン特性曲線を示す。表3にトランスミッションの主要諸元を示す。

SOHC16バルブの基本構造は、直列4気筒で気筒あたり吸気2バルブ、排気2バルブである。燃焼改善および機械抵抗低減を図り最大トルク10.2kg・m (B3-MI型)、12.0kg・m (B5-MI型) で、い

表2 エンジンの主要諸元

エンジン		B 3-MI 型	B 5-MI 型	
項目	種類	ガソリン・4サイクル	←	
シリンダー数・配置		直列4気筒・横置	←	
燃焼室形式		ペントルーフ形	←	
バルブ機構		OHC・吸気2・排気2	←	
総排気量 (cc)		1323	1498	
ボア×ストローク (mm)		71.0×83.6	78.0×78.4	
圧縮化		9.4	←	
最高出力 (PS/rpm)		76/6500	88/6500	
最大トルク (kg・m/rpm)		10.2/4000	12.0/4000	
バルブ・タイミング	吸気	開き	5°BTDC	0°BTDC
		閉じ	40°ABDC	45°ABDC
	排気	開き	40°BBDC	51°BBDC
		閉じ	5°ATDC	6°ATDC
点火時期 (BTDC°/rpm)		16/600*1(16/810)	16/600(16/790)	
燃料系		電子燃料噴射	←	
使用燃料		無鉛レギュラ	←	

* 1 () 内はオートマチックトランスミッションを示す。

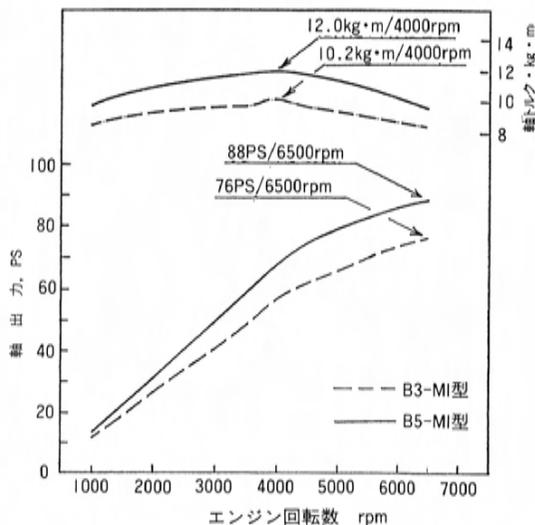


図2 B3-MI型・B5-MI型エンジン性能曲線

ずれも2000回転時には最大トルクの90%以上のトルクを発生する実用回転域重視のエンジン特性とした。

新開発の電子燃料噴射システムは、コンパクトなEGI-Sシングルポイントインジェクション方式を採用し、きめ細かい燃料制御を行うとともに、

表3 トランスミッションの主要諸元

トランスミッション		B 5 M-R型	F 5 M-R型	F 4 E-EL型
項目				
変速機形式・変速段数		マニュアル・5段	←	オートマチック・4段
変速比	第1速	3.454	3.416	2.800
	第2速	1.944	1.842	1.540
	第3速	1.275	1.290	1.000
	第4速	0.914	0.972	0.700
	第5速	0.763	0.775	—
	後退	3.583	3.214	2.333
最終減速比		3.777	4.105	3.736
クラッチ形式		乾燥単板 ダイヤフラム式	←	—

電子点火進角システムと組み合わせ、セットロス
の低減を図った。

前述の開発のねらいを実現する技術の主要なもの
について以下に述べる。

3.1 軽快な走りの実現

(1) エンジン本体

SOHC16バルブを採用することにより、吸排気
カーテンエリア増大による吸排気効率の向上と、
動弁系重量の低減による高回転化および機械抵抗
の低減を図り、低回転から高回転までスムーズな
吹き上りを実現した。図3に、その動弁系機構を
示す。

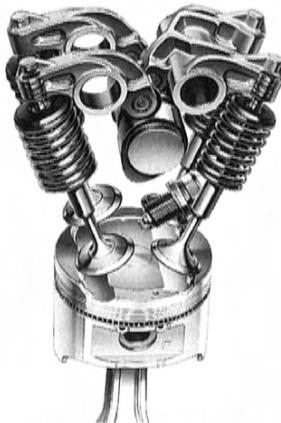


図3 動弁系機構

B 3-MI 型では、燃焼室の S/V 比低減のためペ
ントルーフ形を基本とし、更にコンパクト化を行っ
た。加えて、燃焼室のセンターに点火プラグを配
置し、火炎伝播距離の短縮化やスキッシュの利用

により、出力と燃費の性能向上を図った。

(2) 点火時期アクティブ制御

加速時における走行フィーリング悪化の要因の
一つに車体加速振動（加速初期に生じる車体前後
振動）がある。車両はドライブシャフトなどのパ
ネ系と、車体、フライホイールといった慣性系を
持つ一つの共振系で構成されているが、加速振動
は、加速時に車体加速度が車体の固有振動数と共
振することにより発生する。この低減には、従来
エンジンマウント、ドライブシャフトなどの特性
最適化で対応してきたが、これに加えて点火時期
アクティブ制御を採用した。

図4で示すように、点火時期を変化させるとエ
ンジントルクが増減する特性を利用し、エンジ
ンの発生トルクを点火時期でコントロールするこ
とにより、発生振動を能動的（アクティブ）に逆位
相で打ち消し収束させる。この結果、図5で示す
ように加速振動の軽減と振動時間の短縮を実現す
ることができた。

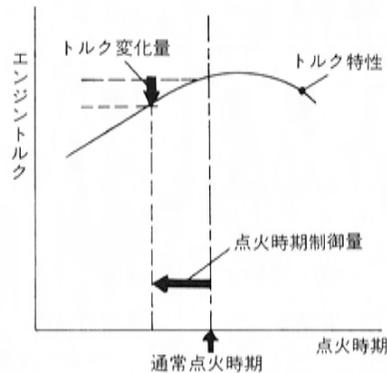


図4 エンジンの点火時期とトルクの関係

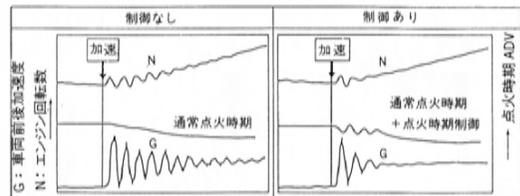


図5 エンジン回転数、点火時期と
車体前後加速度の関係

(3) 電子制御4速オートマチックトランス
ミッション

オートマチックトランスミッション(AT)は電子制御4速ATを採用した。このATは、変速時にAT内部の湿式多板クラッチやブレーキバンドが切り替るタイミングを、走行状態やエンジントルクの大きさ、ミッション内の回転系の作動状態などに応じ、コンピュータできめ細かいコントロールを行い変速ショックの少ない滑らかな走行を可能にした。また、ロックアップ機構を採用するとともに、変速もコンピュータで制御し、シフトスケジュールの設定の自由度を上げることにより、燃費と加速性の両立を図った(ロックアップはオーバートップのみ)。そのほか、ホールド機構の採用で、ドライバが希望する変速段位の選択により、マニュアル感覚の走行を可能とした。制御システムの概要を図6に示す。

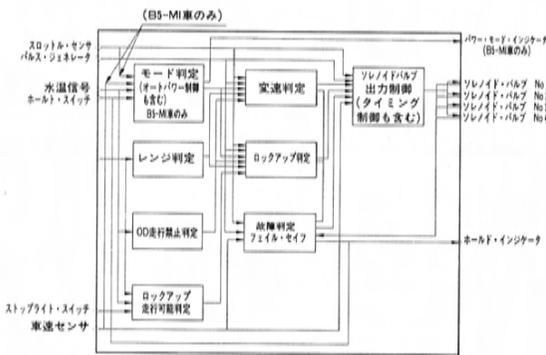


図6 電子制御4速ATの制御システム

B5-MI型エンジンの電子制御4速ATには、先に述べた機能に加えて、このクラスで初めてオートパワー制御を採用した。この制御は、通常走行用のノーマルモードと、加速性能を向上させたパワーモードの二つのシフトスケジュールを有し、車速とアクセルの踏み込み量、踏み込み速度に応じて、コンピュータで両スケジュールを自動的に選択するものである。この結果オートパワー制御の効果としては、車の操作状態をドライバの意志としてコンピュータで感知し、変速スケジュールに反映させることにより綿密な変速が可能となり、

走りと燃費の両立を高次元で実現できた。

3.2 軽快なエンジン音質の実現

クランクシャフトのウェーブ(肩部)のリップ補強により、曲げ剛性を上げてフライホイールの面振れを改善した。また、メインベアリングキャップの形状チューニングによるベアリング内径の変形量低減や雰囲気温度(外気温度)条件などを変えて各種解析を行うことにより、メインメタルリアランスを従来より6 μ 縮小し、エンジンの振動レベルを低減した。加えて、エンジンの回転数に比例する1次曲げのパワープラントベンディングを低減するため、シリンダブロックとトランスミッションの結合補強部材としてインテグレートッドスティフナ(IS)を採用し、車内こもり音を低減した。図7に、1次曲げの共振周波数に対するISの効果を示す。

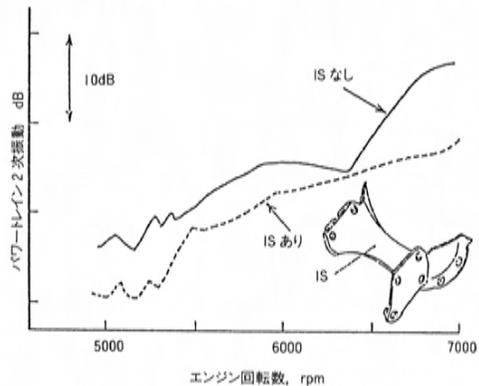


図7 インテグレートッドスティフナの音低減効果

これらの改善により、にがり感のある不快な音やこもり音を低減し軽快な音質を実現した。

3.3 低燃費の実現

(1) エンジン本体

特に実用域での燃費を改善するために、このクラスで初めてロッカーアームにニードルベアリングを装着したローラロッカーアームを採用した。

吸気マニホールドは、燃料分配に有利なトーナメントタイプとし、ポートの径と長さは低中速重視の仕様とした。また、インジェクションポデー直下の分岐点にポートライナーを設け、燃料のポート壁面付着の低減と混合気流速の増大による霧化の促進を図った。

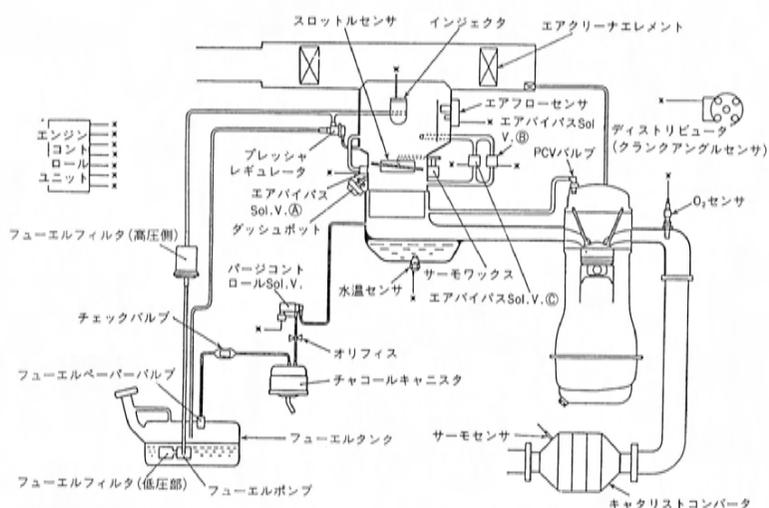


図8 総合電子制御システム

燃費向上の手段の一つとして、エアクリーナと排気マニホールドで大きな軽量化を行った。エアクリーナは、吸気ダクトからケース、カバーまでの全体を樹脂製とし、従来の銅板製に比べ40%の軽量化を図った。また、排気マニホールドはユーノスロードスターで実績のあるステンレスパイプ製を採用し、鋳造製に比べ30%の軽量化を行った。その上、排気マニホールドの熱容量を低減することで、キャタリスト入口でのガス温度の低下を防ぎ、エミッション性能の向上も併せて図った。

(2) 電子燃料噴射システム [EGI-S, シングルポイントインジェクション]

本エンジンでは、図8に示す電子燃料噴射システムを採用した。主な特徴は、図9に示すスロットルボデー、エアフローセンサ、インジェクタ、プレッシャーレギュレータ、スロットルセンサなどを一体化したインジェクションボデーの採用である。

吸入空気量の検出を行うエアフローセンサには、ダスト付着によるセンサ特性の経年変化や、空気流のセンサ特性への影響を考慮し、バイパス式のポピン型ホットワイヤを採用した。図10に示すように、エアフローセンサはバイパス通路内に設けられており、バイパス通路内とメイン通路内の流量の関係をあらかじめ計量しておき、バイパス通路内の流量をホットワイヤで計測し、それを基に

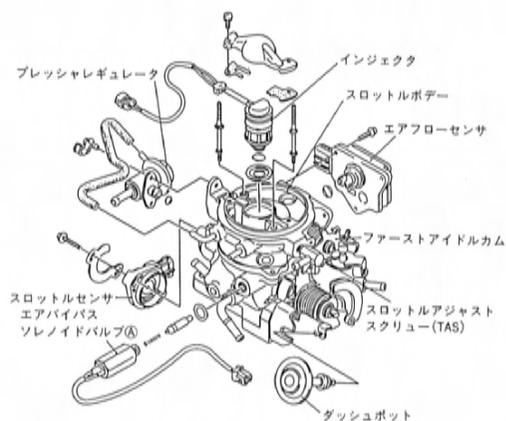


図9 インジェクションボデー

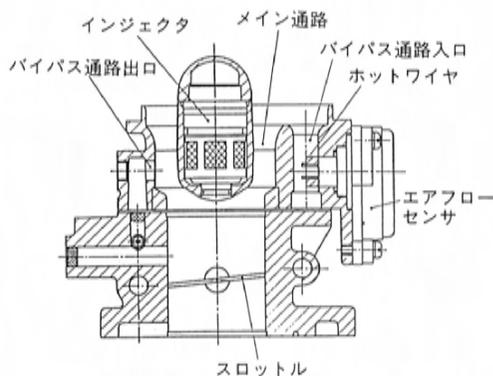


図10 インジェクションボデー断面図

全体の吸入空気量を演算している。また、燃料供給部分は、気化器のメインノズルに相当する部分

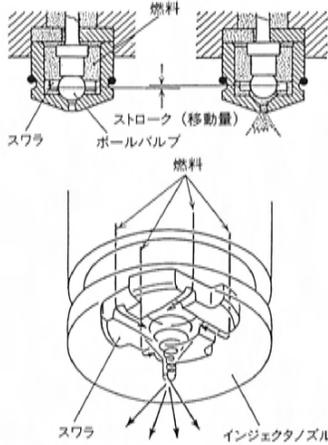


図11 インジェクタノズル断面図

(スロットルバルブの真上)にインジェクタを1本配置している。インジェクタの内部には、図11に示すように燃料に旋回力を与えるスワラを取り付け、噴出燃料の微粒化を図っている。

また、燃料噴射制御に加え点火時期および点火閉角度制御、エアバイパス制御等のために、高性能8ビット1チップマイコンを搭載したコントロールユニットを採用した。

このようにして、システム構成部品のコンパクト化と同時に制御精度向上を図り、燃費、エミッション、走行性能の向上を実現した。

(3) 電子点火進角システム [ESA]

点火システムには、エンジン回転数、負荷、水温などの入力に応じて最適な点火時期が設定できる電子点火進角を採用した。これによりエンジンの運転状況に応じた最適な点火時期のセットを行い、出力、燃費性能の向上を図った。また、アイドル時においても、エンジン回転を目標アイドル回転数に近づけるよう点火時期を制御するフィードバック制御を採用し、エアコンなどの負荷の変化に対しアイドル安定化を図り、実用燃費の向上を行うとともに、振動、騒音性能の向上も実現した。

4. あとがき

以上、オートザムレビューに搭載したパワートレインについて紹介した。

'90年代のコンパクトカーは、生活感覚での高次の性能バランスが要求されており、日常ユースでの走りや燃費に焦点をあて育成したレビューは大衆車向パワートレインとして一つの理想形を提供できたものと自負している。

今後ともこれに満足することなく、お客様の評価を真摯に受け止め、一層の改善を図りコンパクトカーにマッチするパワートレインに熟成していく所存である。

最後に、開発にあたって多大な御支援をいただいた社内外の関係各位に対し、深く感謝します。

■ 著 者 ■



西田俊章



下高敏信



富永和雄



佐々木一智



佐々木和夫

小特集

13

3way キャンバストップの開発

Development of a 3-way Canvas Top

大本 誠 一*1
Seiichi Omoto大土井 耕 三*2
Kozo Odoi松本 謙 治*3
Kenji Matumoto

要

旨

Abstract

本稿は、ニューモデル、レビューに装備した、3way キャンバストップの開発のねらい、性能および構造上の特徴、新開発技術の概要について紹介したものである。

3way キャンバストップは、前席に加え、後席のオープンエアモータリゼーションの実現をねらいとして、従来のフロント部の開閉作動に加え、リア部の開閉作動も可能としたシステムである。フロント部、リア部を任意の位置に開度を調節することができ、スイッチ操作による便利性ととも、性能、信頼性、遊びと楽しさの商品性面で、一層のポテンシャルアップを実現した。

This paper introduces the development goals of a 3-way canvas top installed on the new model Revue, the characteristics of its operation and structure, and an overview of new development techniques.

The 3-way canvas top presents a system whose goal was to realize open air motoring for both front and rear seat where the top can be opened and closed over the front and rear areas in contrast to previous canvas tops which were for the front only. With this system it is possible to control the opening position anywhere over the front and rear sections by an easy-to-use switch, making it a true rise in the level of performance, reliability, fun, and pleasure.

1. はじめに

ニューモデル、レビューには、世界初の3way キャンバストップを装備している。レビューのコンセプトであるハイコンパクト2.5BOXセダンにふさわしいキャンバストップとして、後席乗員にオープンエアの爽快さと楽しさを提供することをねらいに開発した、ユニーク装備である。キャンバストップのメカニズムは、性能、信頼性、商品性面で、多くの改良と新機構を織り込むと同時に、操作上の安全性にも十分な配慮を行い、商品性ポテンシャルの高いシステムを開発した。

以下に、開発のねらい、主要諸元および基本性能、構造および特徴について紹介する。

2. 開発のねらい

レビューの“ハイコンパクト2.5BOX”というキーワードで表わされる商品コンセプトは、小さいボデーでありながら、高い実用機能を持って

いるということである。したがって、その開発にあたって、各装備品は、機能のグレードアップ化・軽量化の両立をねらった。キャンバストップについては、実用的でしかも遊び心のある楽しいシステムの開発をねらった。

このような、レビューの商品コンセプトにふさわしいキャンバストップ実現のため、次の点に注力して開発を進めた。

①操作性および安全性の確保

電動でワンタッチの開閉操作ができること、後席からも操作できること、誤操作の全てのモードに対して安全であること、以上のように、操作性および安全性の確保を最優先させるシステムを目標とした。

②信頼性の確保

機構部の耐久性および確実な作動を保証するため、駆動装置は、できるだけシンプルな構造を目標とした。

③シール性

キャンバストップをクローズした時の商品性

*1, *2, *3 第一車両設計部

として、ノーマルルーフと同等のシール性能が得られることを目標とした。

④軽量化

機能追加による重量増を、従来のキャンバストップ総重量の50%以下に抑えることを目標とした。

3. 主要諸元および基本性能

表1に、3wayキャンバストップの主要諸元および基本性能を示す。

レビューのパッケージングの特徴である、全長を抑えて全高を高くしたトールボイススタイルと、キャンバストップのパッケージングがうまく一致し、余裕の居住空間を実現できた。

また、キャンバストップの基本性能も3wayのユニーク構造を含めてポテンシャルアップしている。

表1 主要諸元および基本性能

項目	型式	3way キャンバストップ	旧タイプ
主要諸元	開閉モード	3way (前、後、前+後)	前のみ
	操作方式	電動スライド式 (前、後共)	電動スライド式 (前のみ)
	開口長	開口長622mm 幅 694mm	開口長680mm 幅 696mm
	見出し開口長	前…171mm 横… 25mm	前…190mm 横… 42mm
基本性能	開閉可能な走行速度	140km/h	120km/h
	静粛性	全閉77dB (120km/h)	全閉78dB (120km/h)
	ユニット重量	17.5kg	16.0kg
	Cd値	全閉状態0.41	全閉状態0.44
	車体剛性 ($\times 10^6$)	曲げ剛性1.11kg \cdot m ² 捩り剛性2.19kgm ² /rad	曲げ剛性1.03kg \cdot m ² 捩り剛性1.61kgm ² /rad

4. 構造および特徴

4.1 操作方式

①フロントオープン

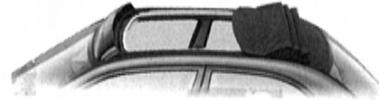
(幅694mm×開口長622mm)

②リアオープン 新モード

(幅694mm×開口長520mm)

③フロント・リアオープン 新モード

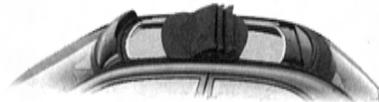
以上の3つのオープンモードが、スイッチ操作により、ワンタッチで可能である。特に②・③は、後席乗員にキャンバストップの爽快感と楽しさを初めて提供する新しいモードである。図1に、各々の開閉状態を示す。



①フロントオープン



②リアオープン



③フロント・リアオープン

図1 キャンバストップの開閉基本モード

キャンバストップの開閉は、図2に示す前席・後席に設定した操作スイッチにより容易に行える。前席のスイッチは4個のスイッチで構成され、フロント・リアの開閉を可能にしている。また、ワンタッチオート回路を装備しており、フロントオープンスイッチを押し込むと、スイッチから手を放しても、全開位置まで作動する。リアを開閉するには、SAFETYスイッチを押した状態でリアオープン・クローズのスイッチを押す必要がある。これは、誤操作防止の観点から、ドライバーにリアの開閉を意識して操作させる安全性優先の設計とした。同じく安全性面から、クローズ方向のワンタッチモードは設けず、スイッチから手を放せば直ちに停止する機構とした。

後席のスイッチは、リアの開閉のみ可能である。また、後席に子供を乗せた時などのいたずら操作防止のため、フロントのPOWER CUTのスイッチにより、後席のスイッチ操作がキャンセルできる構造とした。

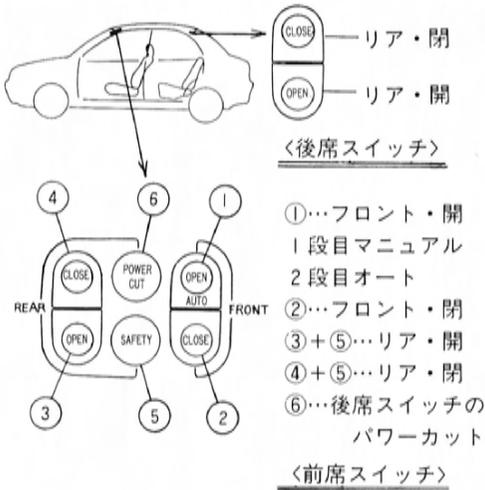


図2 操作スイッチ

4.2 ユニット構造

キャンバストップ・ユニットの構造を図3に、キャンバスの構造を図4に示す。キャンバスの構造は、外板側から、ビニールレザー、ウレタンパッド、トップシーリングの3層構造を採用した。ビニールレザーとウレタンパッドとは接着構造とし、ウレタンパッドは更に、発泡密度の異なる層を積層した。これにより、走行中のキャンバスのパタツキの抑制効果および透過音・こもり音の吸収効果を持たせ、車室内の騒音低減に有効な構造とした。また、フロントヘッダ部には、最適形状を風洞テストにより研究したウインド・デフレクタを装着し、オープン時の風の巻き込み、クローズ時のキャンバスのパタツキおよび風切音などの風騒音を低減させることができた。図5に、騒音低減の効果を示す。

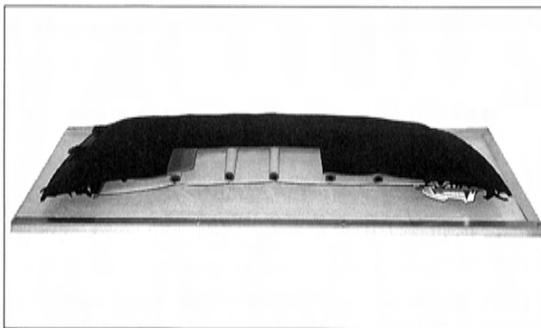


図3 キャンバストップ・ユニットの構造

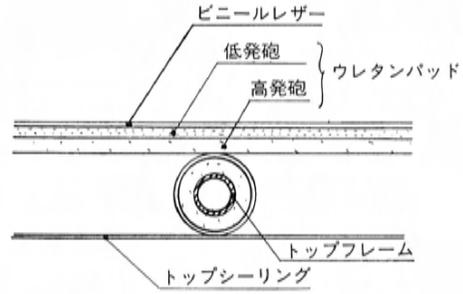


図4 キャンバスの構造

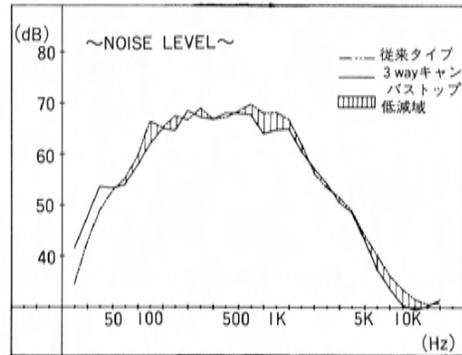
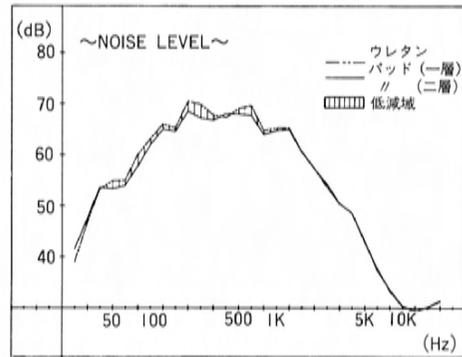


図5 騒音実測データ

4.3 開閉機構

(1) 駆動機構

3wayの開閉モードは、2個の直流モータにより、フロント、リアの可動パネルを各々単独で駆動させることで実現した。図6に、開閉駆動機構を示す。

モータは、後部にレイアウトすることで天井部の出っ張り感をなくし、フロント開口を最前端に

レイアウトでき、より大きな居住空間の確保および、より大きな解放感の獲得などの商品性の向上を図っている。このモータは、各々2本のケーブルを前後方向に駆動する。ケーブルには、ブラケットを介して、キャンバスの前後を固定した可動パネルが取り付けられている。2個のモータを各々、スイッチにより駆動することで、前後の可動パネルは、任意の位置に移動・停止でき、3wayの開閉モードを可能にしている。ケーブルが摺動するガイドレールは、アルミの精密押し出し加工により、片側2本のケーブル溝加工が実現でき、シンプルな駆動メカニズムの開発とともに、耐久性と信頼性の確保ができた(図7参照)。

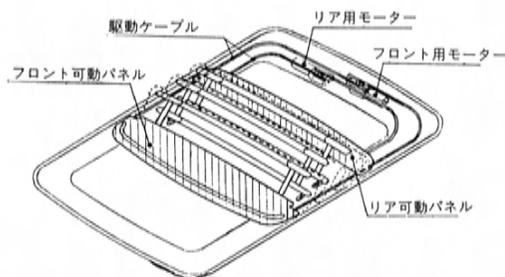


図6 開閉駆動機構

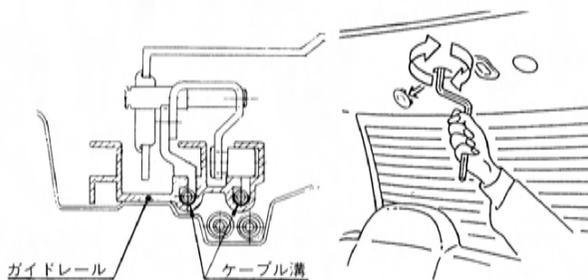


図7 ガイドレールの断面 図8 手動開閉操作

(2)クラッチ機構

2個のモータは、ギア減速部にクラッチ機構を採用したことにより、キャンバスを閉じている途中に大きな抵抗が生じた時はクラッチを空転させる。また、このクラッチ機構は、バッテリー上がりのような非常時に、専用工具により、手動でキャンバスの開閉が可能になるシステムとしている。図8に、手動開閉の要領を示す。

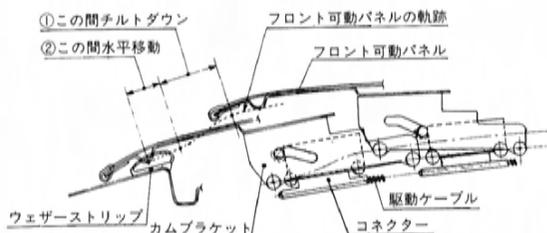


図9 チルト機構

(3)チルト機構

前後の可動パネルを閉状態とした時、キャンバスは一定以上の張力で張る必要がある。この張力が弱いと、キャンバスの表面にシワやタルミが生じ、外観不良や走行中のバタツキの原因となる。また、フロントの可動パネルは、走行中、閉方向に作動させると、走行風を受け、締め切らない問題が発生する。そのため、新設計のチルト機構を採用して、この問題を解決した。このチルト機構では、図9に示すように、チルトダウン後、更に、水平方向に移動する開閉軌跡とした。この軌跡により、以下の2点が可能となった。

- ①キャンバスを張っていない状態で、チルトダウンできるため、より確実な作動が実現できる。
- ②チルトダウン後は、ケーブルの移動力を全てフロントパネルの水平移動に向けることができるため、より強い力でキャンバスを張りだすことができる。

その結果、フロントパネルは、走行中の風に打ち勝つてのチルトダウン、キャンバスの張り出しが可能となり、高速走行中の閉め切り性能を20%向上させることができた。

4.4 シール構造

キャンバストップのシールは、全体に渡り2重シール構造とした。図10に、基本シール構造を示す。

フロント、サイド、リアとそれぞれウェザーストリップの断面を変化させ、最適なシール構造としている。

フロントのシールは、シールのラップ代を大き

くとった大型断面ウェザーストリップとした。可動パネルが前後にあるため、開閉の度にキャンバスに引っ張られ、フロントパネルの静止位置がバラつく。その結果、シール位置のバラツキも大きくなるため、ラップ代を大きく取ることで、シール可能エリアを拡大し、対応した。更に、フロントパネルは、走行中の負圧による浮き上がり現象から、シール切れを起こしやすい。その対策として、吸い出し防止ストッパーを設定し、大型断面ウェザーストリップの採用と合わせて、シール切れ保証車速を向上できた。

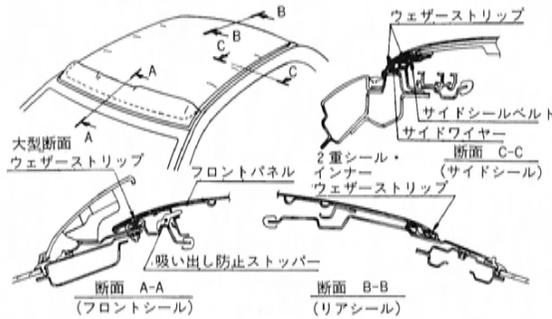


図10 基本シール構造

サイドのシールは、キャンバス末端のサイドワイヤーによる一次シールと、サイドシールベルトによる二次シールによって確実なシール性能を確保した。サイドシールベルト部は、キャンバス本体が浮き上がっても、折り返し部によりシールが切れない新構造を採用している。

リアのシールは、インナーウェザーストリップの断面を2重シール断面とすることで、水浸入および排気ガスの室内浸入を防ぐ気密性を確保している。

以上のような新構造を多く織り込み、クローズ時の快適な居住空間を実現している。

4.5 ボデーへの取付け構造

キャンバストップのボデーへの取付けは、キャンバストップ・ユニット本体のフレームから出たボルトにより行われる。ボデーへの締め付け点数は、従来の60%に削減し、組み付け作業性を向上させている。また、車体の剛性を低下させない対応策として、ガイドレールの断面拡大と、フレームのブラケットによる補強を行った。その結果、

キャンバストップ自体の曲げ、捩り剛性の増加分を締め付け点数の削減に効果的に利用することができた。図11に、ボデーへの取付け構造を示す。

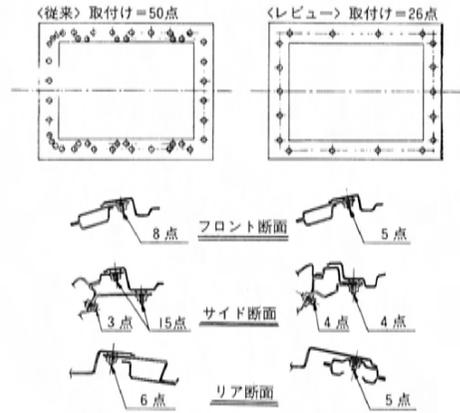


図11 ボデーへの取付け構造

また、キャンバストップ内に浸入した水を排水するドレインパイプも、簡略化およびボデーへ装着することで、組付け作業性・シール性能の確保および軽量化が実現できた。図12に、ドレインパイプ構造の従来との比較を示す。

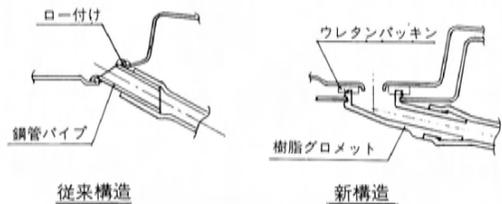


図12 ドレインパイプ構造の比較

5. おわりに

3wayキャンバストップは、レビューのコンセプトを忠実に具現化した結果誕生させることができた、“ハイコンパクト2.5BOXセダン”にベストマッチの装備といえる。4ドアセダンは、後席にも人を乗せる機会が多い。そこで、後席の人のもてなしの一つとして、キャンバストップも後席の人が楽しさを満喫出来るものとした。こんなふうに3wayキャンバストップの構想がで

きあがった。

本稿で紹介したように、限られたパッケージングの中で高密度に集積した技術により誕生した3wayキャンバストップが、多くの人へオープンエアモータリゼーションの楽しさを提供してくれることを願ってやまない。

■ 著 者 ■



大本誠一



大土井耕三



松本謙治

論文・報告

14

ハイブリッド・ロータリエンジン

Hybrid Rotary Engine

内田 浩 康*¹
Hiroyasu Uchida
森 田 泰 之*⁴
Yasuyuki Morita

甲斐出・忠 良*²
Tadayoshi Kaide

吉 田 裕 将*³
Hiromasa Yoshida

要 旨

Abstract

ロータリエンジンの出力軸上に、電動と発電の両方に使用できる回転機を装着したハイブリッドシステムにおいて、アクティブにトルクを制御することによって、レスポンス、振動などの感性領域の性能の改善を検討した。本システムにおいて、電動を一定時間続けるトルクアシスト制御の導入により、加速時のエンジンレスポンスと車両発進時の発進性が改善された。更に、エンジントルクの変動周期に合わせて電動と発電を繰り返すトルク変動キャンセル制御の導入により、アイドル時のエンジン回転速度変動が低減された。以上の結果から、ハイブリッド化が感性領域の性能の改善に有効であることが明らかになった。

This paper reports an investigation on improving *kansei* performance in such areas as response and vibration through active torque control. For this purpose, a hybrid system equipped with a rotary machine and electric generation was installed on the output shaft of a rotary engine. With this system, the introduction of a torque assist control that maintains electric drive over a specified period improves engine response at acceleration and vehicle starting smoothness. Further, engine revolution speed changes during idling are reduced by the introduction of a torque change cancel control that changes from electric drive to generation and vice versa according to the engine torque change cycle. These results clarified that the hybrid engine proves effective in improving performance in the *kansei* areas.

1. はじめに

「感性の時代」の中で、エンジンにおいても基本性能である出力、燃費およびエミッションに加え、感性領域の性能であるレスポンス、振動騒音などを改善することが重要になっている。これらの感性領域の性能のために、燃焼の安定化や回転質量の低減などのエンジンの改善事例が数多く報告されている^{(1)~(6)}。

一方、燃費やエミッションなどにおいては、このようなエンジンの改善だけでなく、エンジンに電動機を組み合わせてハイブリッド化し、トルクを制御することにより高度な性能を追求する研究が行われている⁽⁶⁾。

本研究ではハイブリッド化によって得られる利点を広げる方向として、レスポンスやアイドル振動などの感性領域の性能改善を新たに検討した。エンジンの出力軸に電氣的に正負のトルクを印加できる Active Torque Control System (以下、ATCS)を開発し、ロータリエンジン (以下、

RE) に装着して評価した。REは回転バランスが良い、トルク変動が小さいなどの生来の特性から優れた感性領域の性能を有しているが、我々はハイブリッド化により一層高次元の性能を追求した。

2. ATCSの構成

ATCSの全体構成は、図1に示す回転機、電力変換回路および制御回路により構成される。

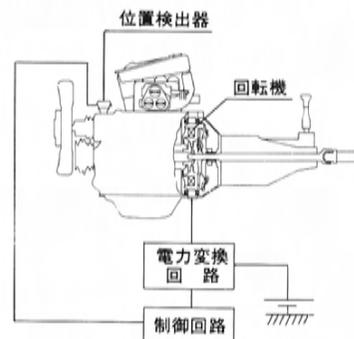


図1 全体構成図

* 1, * 2, * 3, * 4 技術研究所

回転機は、電動機能と発電機能の両方を有しており、エンジンの運転条件に応じて切替えて使用される。電力変換回路は、電力貯蔵装置であるバッテリーと3相交流で作動する回転機の間で電力の授受を行う。制御回路は、エンジン運転状態信号に基づいてATCSの作動機能を選択するとともに、電動と発電が効率よく行われるように、電力変換回路を制御する。

3. ATCSの機能

ATCSの機能は、表1に示すように4つに大別される。これらのうち2つは、従来のスタータとオルタネータが受け持っていたエンジン始動と発電機能である。これによりスタータとオルタネータが廃止され、エンジンのコンパクト化に効果がある。

更に、エンジンの感性領域の性能向上のために設けた新たな機能として、トルク変動キャンセルとトルクアシストの二つがある。トルク変動キャンセルでは、電動と発電の両方が行える利点を利用してアイドル振動を低減する。一方、トルクアシストでは、低速トルクが高い、応答性が速い電動の利点を生かして、加速時のレスポンスと車両の発進性を改善する。

これらの機能の全体制御フローを図2に示す。各種センサによりエンジン運転状態が判断され、

ATCSの作動機能が選択される。

表1 ATCSの機能

機能	内容	運 転 条 件	狙 い
エンジン始動		エンジン始動時	スタータ廃止
トルクアシスト		急 加 速 時	レスポンス改善
		車 両 発 進 時	発進性改善
トルク変動キャンセル		アイドル運転時	振 動 低 減
発 電		上記以外の運転時	オルタネータ廃止

4. ATCSの構成要素

4.1 回転機

回転機には、直流機、同期型交流機および誘導型交流機などがある。ATCSでは、クラッチハウジング内に回転機を収納し、エンジン始動、発電などの運転に必要な機能を受け持たすために、コンパクト性、高トルクおよびメンテナンス性にも優れる同期型交流機（以下、同期機）を選定し使用した。

図3にエンジンに装着した状態での同期機の構造を示す。同期機は、フィールド、ロータおよびステータより構成されている。フィールドとステータ

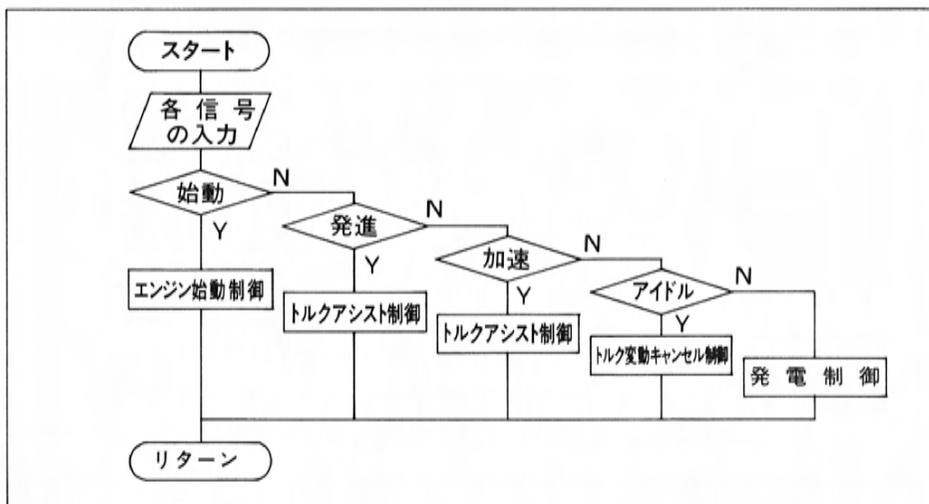


図2 全体制御フロー

タはリアハウジング（エンジンブロック）に固定されている。一方、ステータの内側に位置しフィールドを包み込む形状を有するロータは、エキセントリックシャフト（出力軸）の後端に固定され、これとともに回転する。なお、ロータはフライホイール相当のイナーシャを有しており、その機能も兼ねている。

同期機の大きさ、すなわちステータコア外径およびステータコア幅と発生トルクの関係を図4、5に示す。同期機を大型化するほど大トルクが得られる。また、図6に示す通り、発電量も同様に同期機を大型化するほど増加できる。それ故、同期機を搭載条件内で可能なだけ大型に設定した。主要な仕様を表2に示す。

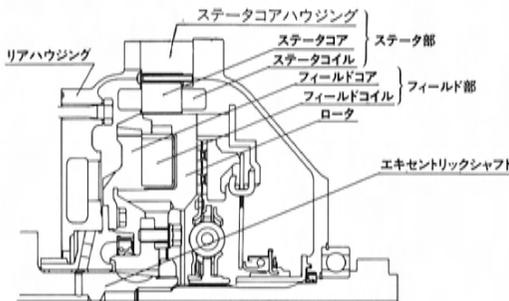


図3 同期機の構造

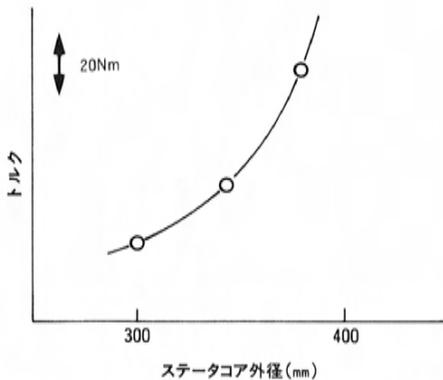


図4 発生トルクとステータコア外径

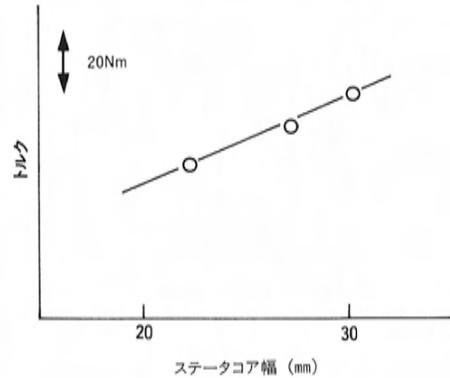


図5 発生トルクとステータコア幅

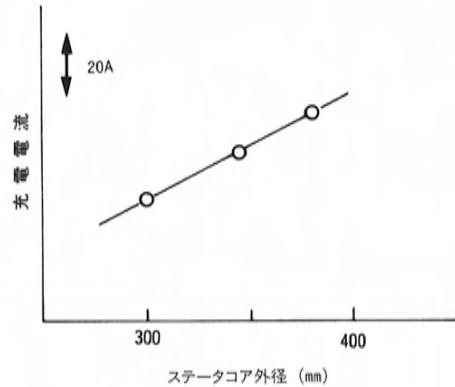


図6 発電電流量とステータコア外径

表2 仕様比較

ATCS			現行方式		
ステータコアハウジング	外径 (mm)	346	クラッチハウジング	外径 (mm)	346
ロータ	外径 (mm)	280	フライホイール	外径 (mm)	300
	幅 (mm)	59		幅 (mm)	69
	イナーシャ (kgcms ²)	1.39		イナーシャ (kgcms ²)	1.70

4.2 制御系

以上のようにして決定した同期機から、電動時の発生トルクを最大限に引き出すために、制御系において電力変換回路の低損失化と低回転速度域での効率的な制御方式を検討した。

(1) 電力変換回路

図7に示すように、電力変換回路は、抵抗が小さくスイッチング時間の短いパワーMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transister) を用いた昇圧チョッパ部、応答性の速いPWM (Pulse Width Modulation) インバータ部、および界磁チョッパ部により構成される。

昇圧チョッパはバッテリーの12V電圧を昇圧することにより、インバータ部の電流を縮小し、この部分での損失を低減することをねらいとして設けた。しかし、昇圧チョッパ部では新たな損失が生じるために、これらの合計の損失が減少するように昇圧電圧を適切に設定する必要がある。図8に今回採用している昇圧電圧30Vの昇圧チョッパの有無による発生トルクの比較を示す。同期機の大きさを一定とし、ステータコイルとフィールドコイルはそれぞれの電圧に応じた適切な仕様としている。昇圧により最大で23N m発生トルクが増加しており、30V昇圧が電力変換回路の低損失化に有効であることを示している。

また、昇圧チョッパによりバッテリー電圧が変動する場合も同期機の電圧が一定に保たれるため、安定した同期機の性能が得られる効果もある。

(2) 制御方式

同期機の発生トルクは次式で表わせる。

$$T_m = K_s I_a \phi \cos \alpha$$

T_m : 発生トルク

K_s : 比例定数

I_a : ステータ電流

ϕ : 有効界磁磁束

α : ステータ電流と回転子の位相差

ϕ は、同期機の磁気回路内で磁気飽和の影響を受けるがほぼフィールド電流に比例する。また、同期機が電圧源により駆動されるために、 I_a 、 α はそれぞれステータ電圧、ステータ電圧と回転子の位相差により定まる。したがって、同期機のポテンシャルを最大限に引き出し大トルクを得るためには、①フィールド電流 ②ステータ電圧 ③ステータ電圧と回転子の位相差の3要素を最適に設定する必要がある。図9、10に200rpmにおいてステータ電圧を一定とし、フィールド電流、および

ステータ電圧と回転子の位相差と発生トルクとの関係を計算した結果を示す。この結果から最大のトルクを得られる電流値、および位相差を求めることができる。そこで、各回転速度において求めた最適な制御値をメモリし、同期機より常に最大トルクを取り出す制御を採用した。

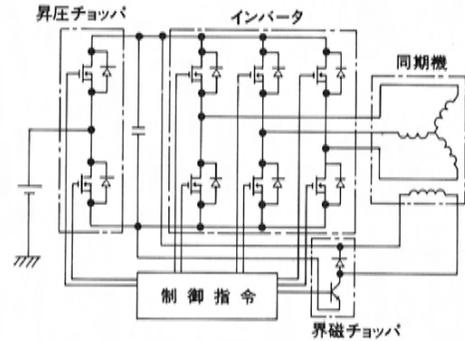


図7 回路概略図

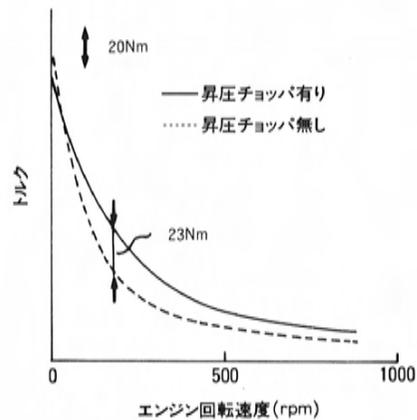


図8 昇圧チョッパの有無とトルク

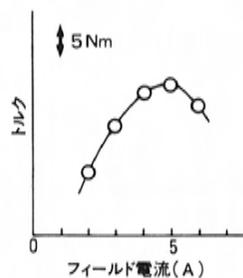


図9 トルクとフィールド電流

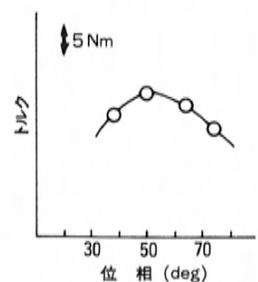


図10 トルクと位相

5. A T C S 搭載時のエンジン性能

以上の検討結果を基に、サバンナ R X-7 のマニュアルトランスミッション仕様の車両で A T C S 搭載時のエンジン性能評価を実施した。搭載されている R E の主要諸元および性能を表 3 に示す。

表 3 RE の主要仕様

エンジン型式	13B 型
気筒数	2 ロータ
総排気量(cc)	654 × 2
圧縮比	8.4
最大出力(PS/rpm)	185/6500
最大トルク(kgf・m/rpm)	25/3500

5.1 電動性能

図11に電動時の発生トルクと回転数の関係を現行スタータと比較して示す。

A T C S はスタータに比べ、回転速度上昇に対するトルクの低下割合が小さい特性を示す。そして、同容量バッテリーを使用した場合、高回転側では現行スタータよりもトルクが増加するが、ロックトルク(起動時のトルク)を含む約80rpm以下の低回転域では逆にトルクが低下する。それ故、起動時の必要トルクを確保するために、内部抵抗の小さい大容量バッテリーに変更することで、同期機に供給される電力の増加を検討した。図11に示すようにバッテリー容量を48Ahから52Ahに拡大することにより約8%トルクが増加し、全域で現行スタータ以上の発生トルクが得られた。

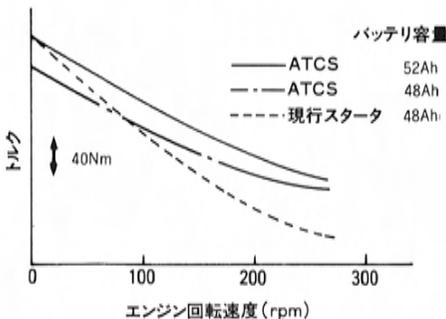


図11 電動性能

5.2 発電性能

図12に発電時の発生電流を示す。A T C S は全回転域で現行オルタネータの2倍以上の電流を発生する。これは、A T C S の回転機本体をオルタネータのそれよりも大きく設定することで、発電に寄与する有効磁束を拡大したためである。この結果、A T C S はアイドル回転速度においても現行オルタネータの最大発電電流以上を発生することが可能である。

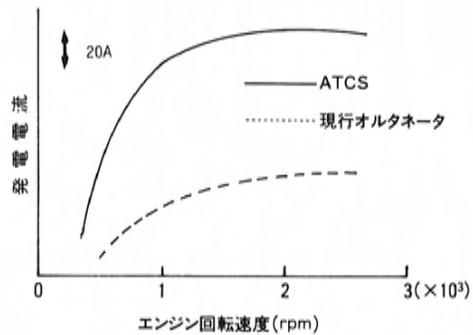


図12 発電性能

5.3 トルクアシスト

(1) 加速時トルクアシスト

加速時、運転者のアクセル操作からエンジン回転速度の上昇開始までの遅れがある、あるいは回転速度の上昇が緩慢である場合、レスポンス不良として感じられる。そこで、加速初期の間 A T C S でレスポンスを改善することを検討した。

図13にトルクアシストの制御方法を示す。スロットル開弁速度を検出し、これが一定値を超えるとハイレスポンスが要求される加速状態と判定し、所定時間だけ A T C S を電動させる。

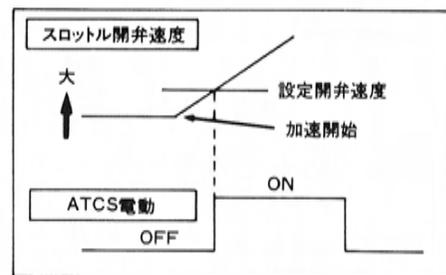


図13 加速時トルクアシストの制御方法

図14にアイドル回転速度からの無負荷レーシングにおける、エンジン回転速度の上昇特性を示す。トルクアシストを行わない場合、アクセル操作後エンジン回転速度が上昇を開始するまでに約0.2秒遅れがあるのに対して、トルクアシストを行うと0.02秒後にはエンジン回転速度の上昇が開始している。

図15に2速ギアでアイドル回転速度から加速した時の車両速度の上昇経過を示す。無負荷レーシング時と同様に、トルクアシストにより速度の上昇開始が早まる。更に、その後の速度上昇も速いため時速30km/h到達までの時間の差は0.4秒まで増加する。この理由は図16に示すようにトルクアシストによる各回転速度におけるトルク増加によるものと考えられる。

上記の結果から、ATCSのトルクアシスト機能は、加速時のエンジンレスポンス向上、特に加速時の立ち上がり遅れの改善に効果が大きい。

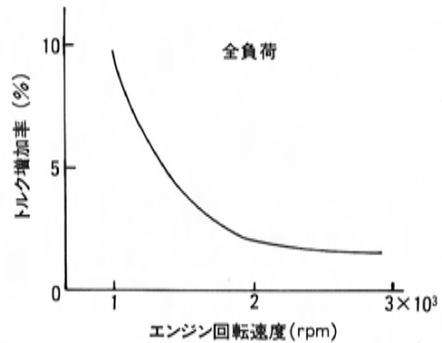


図16 トルクアシストの効果

(2) 車両発進時のトルクアシスト機能

トルクアシスト機能を車両の発進性改善にも適用した。車両発進時に過度に急速なクラッチ接続を行うと、エンジン回転速度が低下し、エンジン停止することがある。このような場合にATCSでトルクアシストし、エンジン停止を回避する検討を実施した。

図17に制御方法を示す。エンジン回転速度が、アイドル回転速度よりも低く設定された所定の回転速度以下に落ち込むと、トルクアシストが開始され所定の時間だけ継続される。

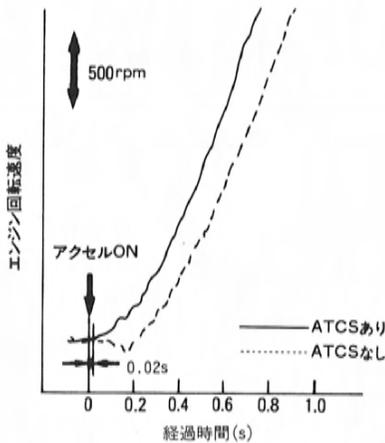


図14 無負荷時のレスポンス改善

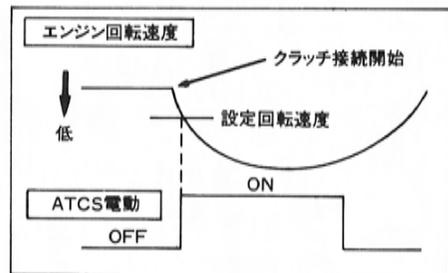


図17 発進時トルクアシストの制御方法

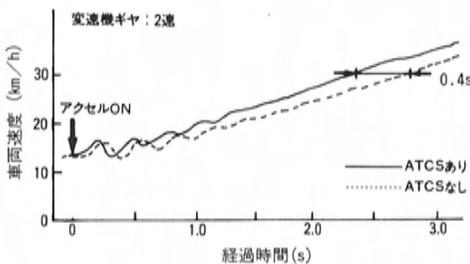


図15 負荷時のレスポンス改善

クラッチ接続の操作時間（クラッチ全踏み込みから全戻しまでの時間）を変化させて車両の発進可否を評価した。なお、アクセルは操作せずアイドル位置のままとした。図18に示す通り、ATCSのトルクアシストにより、発進可能な最も短いクラッチ接続の操作時間が、5.4秒から0.7秒へと約1/8まで短縮された。これによって、運転者が急速なクラッチ接続操作をした場合に、車両の発進性が改善されることが確認された。

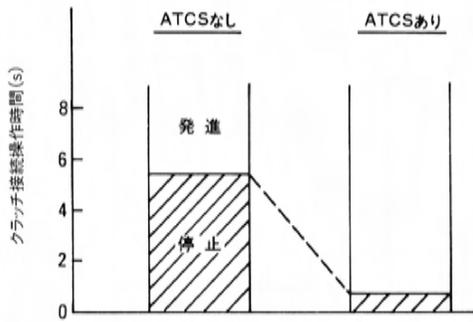


図18 発進性の改善

5.4 トルク変動キャンセル

低回転域のエンジントルクは主に燃焼の周期で変動している。これによりアイドル時にエンジン振動が感じられ、エンジンのスムーズさを欠く印象を与える場合がある。そこで、ATCSがエンジンに対して電動時には正のトルク、発電時には逆に負のトルクを印加できることを利用し、エンジンのトルク変動をキャンセルすることを検討した。図19に制御方法を示す。ATCSは、エンジントルクの変動に合わせ、常に逆方向のトルクを印加するように電動と発電を繰り返す。なお、バッテリーの充電が必要な場合、図に示すように印加トルクの変動はそのままに、平均トルクを発電側に移動させることで対応できる。

実際の制御では、エンジントルクに従って変動する出力軸の回転速度をセンサで検出してATCSの印加トルク波形を決めるため、回転速度変動とATCSの印加トルクとの位相差がエンジン回転速度変動に及ぼす影響を調査した。図20に示す通り、位相差が90°の時最もエンジン回転速度変動が低減される。

図21にアイドル時の回転速度の変動状態を、ATCSのトルク変動キャンセル制御が有る場合と無い場合で示す。トルク変動キャンセル制御が無い場合、エキセントリックシャフト角で180°の燃焼周期での回転変動が顕著であり、約20rpmの回転の変動幅がある。一方、制御が有る場合には燃焼周期の変動がほとんど見られず、変動幅が約7rpmと1/3に低減される。

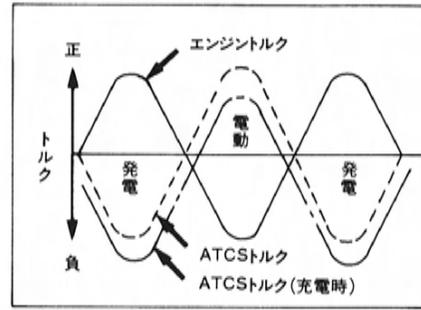


図19 トルク変動キャンセルの制御方法

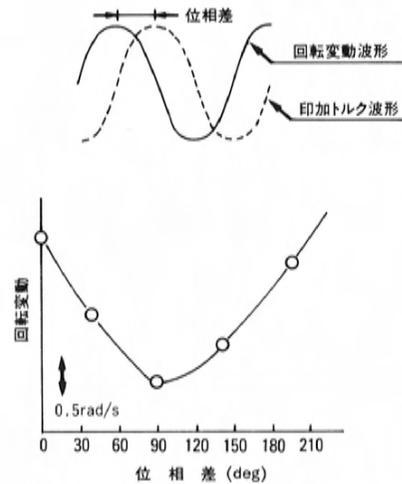


図20 回転変動への位相差の影響

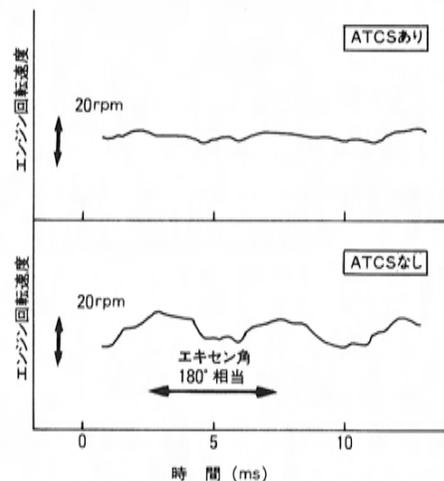


図21 アイドル時の回転変動改善

6. まとめ

(1)制御回路,電力変換回路およびエンジンの出力軸上に設置される同期機で構成され,電動機能と発電機能とによってアクティブにトルクを制御できるATCSを開発した。

(2)ATCSの電動性能と発電性能の向上を検討した結果,現行のスタータを代替できる始動性能および現行のオルタネータの約2倍の発電性能を得ることができた。これによって,スタータとオルタネータを廃止することが可能になった。

(3)ATCSを装着したハイブリッドREにおいて,トルクを制御することによって感性領域性能の改善を検討した結果,以下の通りの効果が得られることが明らかになった。

①エンジンレスポンスに関して,ATCSのトルクアシスト制御の導入により,加速時のエンジン回転速度の上昇開始遅れ時間が約1/10に短縮された。

②車両の発進性に関して,ATCSのトルクアシスト制御の導入により,発進可能な最短のクラッチ接続操作時間が約1/8に短縮された。

③アイドル振動に関して,ATCSのトルク変動キャンセル制御の導入により,燃焼周期のエンジン回転速度変動が約1/3に低減された。

ATCSの開発において多大のご協力を戴いた三菱電機(株)をはじめ,社内外の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- (1) H. Hayashi:Analysis on Idle Speed Stability in Port Fuel Injection Engines, SAE Paper 861389
- (2) 野木:ガソリン機関の混合気形成がアイドル性能に及ぼす影響,自技会,学術講演会前刷集 891(1989)
- (3) M.Osawa:Stochastic Control for Idle Speed Stability,FISITA 885066(1988)
- (4) 野村:過渡機関性能の向上技術,自動車技術, Vol.9(1985)
- (5) 中村,野村,鈴木:EFIの改良による4バ

ルブエンジンの加速応答性向上,トヨタ技術,第34巻,第1号

- (6) 鈴木,小池,小幡,白土,北岸,茂森,荒木,武藤:日野HIMR採用のディーゼル電気ハイブリッドエンジン搭載大型バスについて,自技会,学術講演会前刷集901(1990)

■著者■



内田浩康



甲斐出忠良



吉田裕将



森田泰之

論文・報告

15

低圧直噴層状給気エンジンの研究

An Experimental Study of a Low-Pressure Direct-Injection Stratified-Charge Engine

三角正法*¹
Masanori Misumi

要 旨

Abstract

ガソリンエンジンの熱効率を向上する手段として、希薄燃焼技術がある。この実現には、混合気の成層化による希薄燃焼限界（以下、リーンリミット）の向上が有力と考えられる。

本研究では、燃焼室内に直接、低圧で燃料を供給する二種類の低圧燃料供給システムを製作し、それらによる混合気の成層化の可能性を、透明シリンダを持つ側方可視化エンジンによって調べた。

その結果、筒内スワールと低圧直接噴射の組合せによって、筒内の上下方向の成層化（軸方向成層化）が実現でき、空燃比40を超えるリーンリミットが得られた。また、炭化水素の排出量増大など、今後解決すべき課題も明らかにした。

The lean-burn system is a means of bettering the thermal efficiency of gasoline engines. The extension of lean misfire limit by means of charge stratification can be considered as a potent method to materialize the lean-burn.

Two types of low-pressure fuel delivery system were fabricated in this study in order to investigate whether they could stratify the air-fuel mixture using in-cylinder visualization coupled with a transparent cylinder engine.

The combination of in-cylinder swirl and low-pressure direct injection enabled in-cylinder axial stratification, and consequently, the lean misfire limit was significantly extended up to 40:1 of air/fuel ratio or more. Some of the problems to be resolved, including the increased emission of hydrocarbons, were also indicated.

1. 序 論

ガソリンエンジンのポート燃料噴射による希薄燃焼技術が近年研究されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。小田ら⁽³⁾の研究によれば、試験モードの種別により程度は異なるが、排出ガス規制値を満足したうえで、約4~10%の燃費改善が希薄燃焼技術によって達成可能とされている。しかしながら、その希薄燃焼技術では、高圧縮比コンパクト燃焼室、可変スワール生成機構、タイムドポートインジェクション、リニア空燃比センサによる閉ループ空燃比制御を含む高度な電子制御システムなど、複雑な技術の組合せを要求している。

これらの技術の中で、希薄燃焼限界の向上に特に有効なのが、A. A. Quader らによって示された軸方向層状給気⁽⁴⁾の概念⁽¹⁾、すなわち、筒内スワールと吸気行程タイムド噴射の組合せによって、筒内上部の混合気濃度を高める方法である。しかし、この方法での希薄燃焼限界向上代は小田らの研究によれば、空燃比で4に留まる。

本研究では軸方向層状給気⁽⁴⁾の概念を用い、低圧の直接筒内燃料供給手法の開発によって、更に希薄燃焼限界を拡大しようと試みた。スワールの存在下では、特に吸気行程終了後、シリンダ軸回りのスワール成分が支配的になり、軸方向流動が著しく減少することが知られている⁽⁴⁾。したがって、スワールの存在下で圧縮行程の初期に燃料を供給すれば、吸気行程での燃料供給に比べ、混合気の軸方向拡散が少なく、より高い成層化が期待できる。しかも圧縮行程初期では、まだ筒内の圧縮圧力が上昇していないため、電子制御が容易な低圧の燃料供給装置の使用が可能となる。

2. 実験供試エンジンの仕様

実験にはベースエンジンとして単気筒エンジンを使用し、その上に積み木式のシリンダヘッドを取り付けた。シリンダヘッドは厚肉のアルミ板を素材とし、製作、改造の容易さを考慮して、積み木式で組み立てたものである。吸気ポートには、バタフライ弁の開度により、筒内のスワール強さ

* 1 技術研究所

を調整できるように、DICS (Dual Induction Control System)を採用した。燃焼室形状は、その軸対称性が重要と判断し、ボールインピストン型を用いた。表1に供試エンジンの主要諸元、図1にシリンダヘッドの外観、図2にスワールポートの形状を示す。

表1 供試エンジン主要諸元

型 式	4 サイクル単気筒
内 径 × 行 程	96.5×95.2mm
行 程 容 積	697cm ³
圧 縮 比	10.1 : 1
ピストンボール径	61.2mm
ピストンボール容積	60.6cm ³
スキッシュ間隙	1.3mm
吸 気 弁 外 径	38mm
吸気スロート径	34mm
排 気 弁 外 径	32mm
排気スロート径	28mm

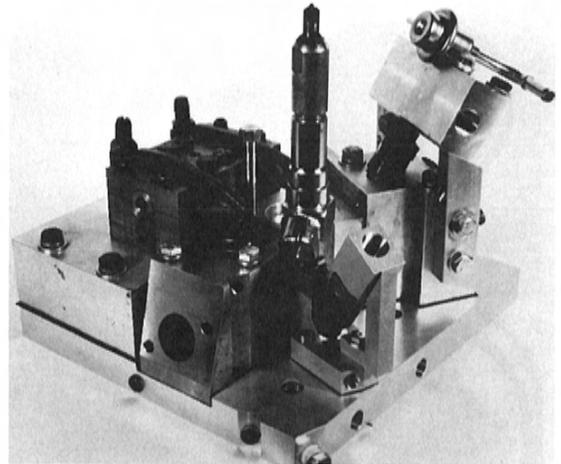


図1 シリンダヘッド外観

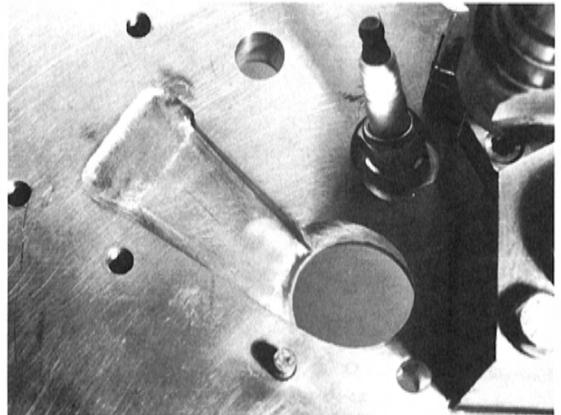


図2 スワールポート

3. 副弁式筒内直接燃料噴射

圧縮行程初期に筒内に直接、低圧で燃料を供給し軸方向成層化を達成する手段として、最初に副弁式のを試みた。プラグ近傍に小径の副弁を設け、その裏の副室内に通常の EGI ノズルから燃料が噴射される構成としている。この副室は絞り弁上流と連結されているので、副弁開弁時に筒内との差圧により、濃混合気が筒内に噴射される。

3.1 副弁式燃料噴射システム

図3に副弁式燃料噴射システムの概略図、図4に副弁と点火栓との位置関係を示す。副弁は外径16mmのものを用いた。副弁の駆動方法として、ディーゼル機関の噴射弁を改造して油圧アクチュエータとし、その燃料ポンプを油圧源とする方法を用いた。エンジンとこの油圧源の間には差動ギアを設置し、機関運転中における副弁開弁時期の変更を可能とした。

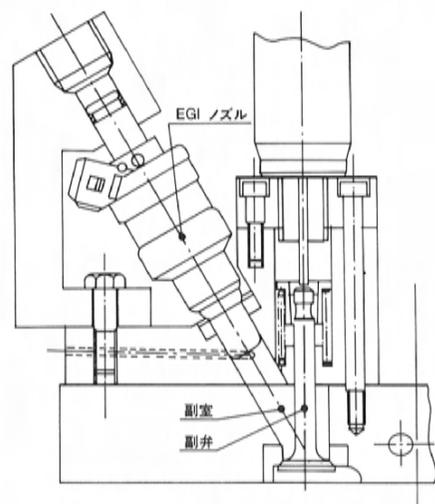


図3 副弁式燃料噴射システム



図4 副弁と点火栓の位置関係

3.2 着火試験

(1) ポート噴射での基本特性

副弁式燃料噴射での特性を評価する前に、比較用として、ポート噴射での基本特性を評価した。

図5は燃料噴射時期と燃焼安定性の関係を示したものである。燃焼安定性の指標としては、図示平均有効圧(IMEP)の変動率を用いた。強スワール条件下で吸気行程前半に燃料を噴射すると燃焼変動が著しく低下する現象が観測された。燃料噴射時期の変更によって、筒内の混合気分布に変化が生じていると考えることができる。

(2) 副弁式燃料噴射の基本特性

図6に副弁開弁時期のエンジン特性に及ぼす影響を示す。副弁開弁時期を吸気行程前半から圧縮行程初期へと遅らせると、燃焼変動と要求点火進角(MBT), 並びに、着火遅れ期間が減少する現象が観測された。

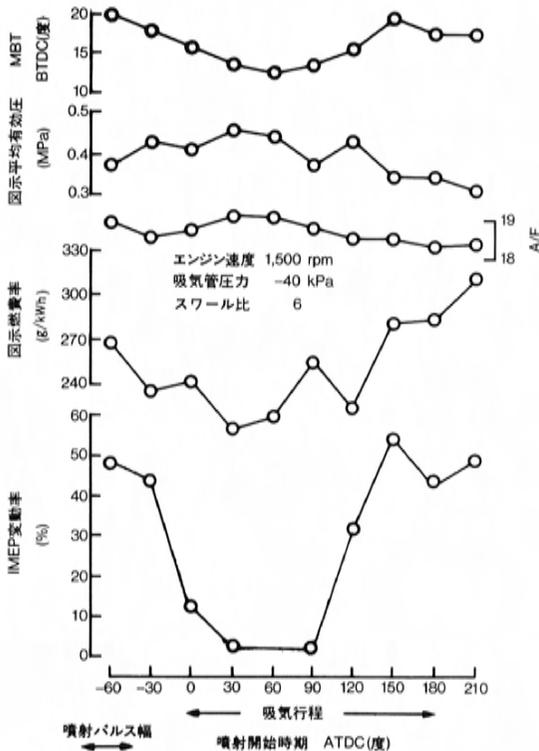


図5 噴射時期と燃焼変動 —ポート噴射—

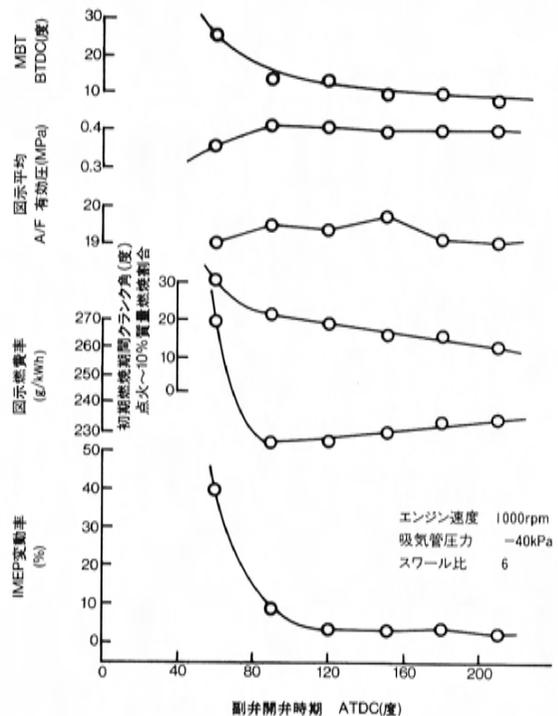
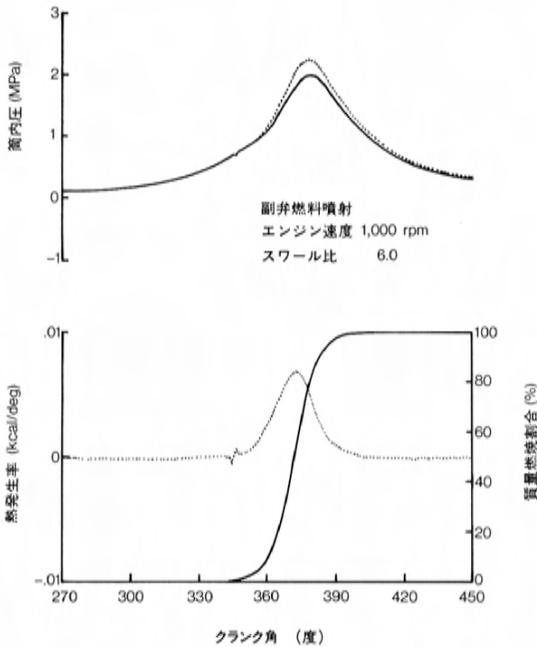
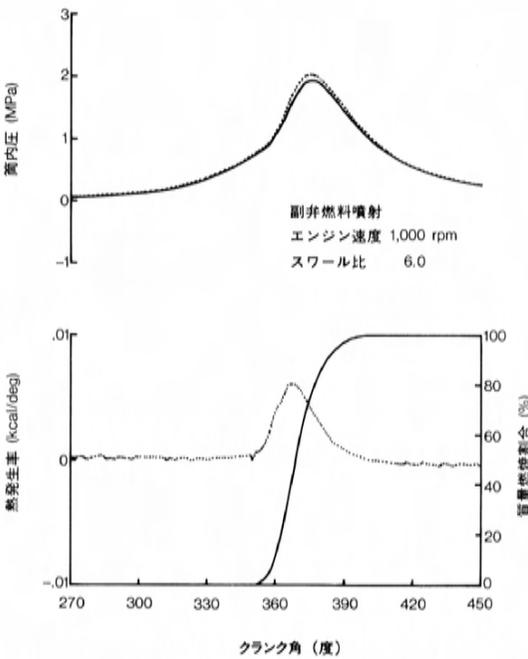


図6 噴射時期と燃焼変動 —副弁噴射—



(A) 吸気行程噴射(副弁開弁時期 90° ATDC)



(B) 圧縮行程噴射(副弁開弁時期 210° ATDC)

図7 熱発生率の比較
—吸気行程噴射vs圧縮行程噴射—

図7は、図6の吸気行程噴射の場合(A)と、圧縮行程噴射の場合(B)の熱発生率を比較したものである。合わせて、筒内圧力波形と質量燃焼割合も示す。図中の指圧波形に重ねて示す点線は、筒内圧変動の標準偏差の幅を示したものである。

両者を比較すると、特に熱発生率のパターンに違いが見られ、圧縮行程噴射の場合には熱発生率のピークが前方に移動している。また、着火遅れ期間も明らかに短縮しているのが観察できる。筒内圧の標準偏差も圧縮行程噴射の場合の方が少なく、燃焼が安定している様子がわかる。

これらの事実から、副弁開弁時期を遅らせていくと、何らかの混合気成層化が生じているのではないかということが推測できる。

図8に、ポート噴射と副弁噴射の空燃比リーン性能の比較を示す。両者ともスワール比、燃料噴射時期は最適に調整している。副弁噴射の場合、ポート噴射に比べ、MBTが大幅に遅角し、希薄

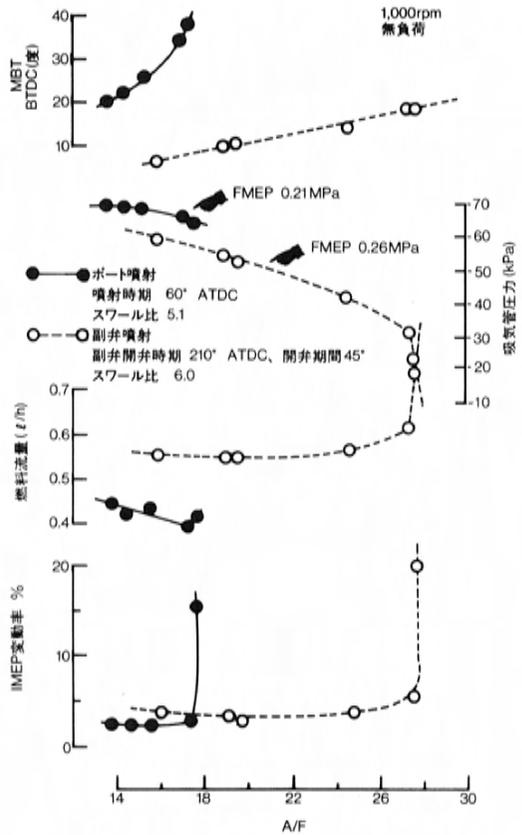


図8 空燃比リーン性能
—ポート噴射vs副弁噴射—

燃焼限界を相当量向上させることができたが、燃料消費率は、逆に悪化した。この原因としては次の二点が考えられる。

①副弁による噴霧の形成が不良

②不完全火炎伝播または過度の壁面燃料付着

また、これとは別に副弁噴射の場合、燃焼安定性がスワール比に対して、過敏に変化するという現象も観測され、混合気形成の観点で、何らかの特異な現象が起きていると考えた。

4. 筒内可視化

前述の問題点の原因を明らかにするため、筒内可視化実験を行った。筒内での軸方向成層化の有無を検証するため、シリンダ側面からの可視化に重点を置いた。

4.1 透明シリンダエンジン

図9に透明シリンダの外観を示す。シリンダ側方からの観察と同時に、ピストン底面からも観測できるよう、延長ピストンを用いている。

シリンダは、肉厚6.35mmの市販の樹脂製 (Plexiglass) 透明パイプを用いた。この透明シリンダは、逆ねじを持つナットによって極めて簡単に交換できる構造としている。ピストンボールの底面も12.7mm厚の同じ材料の板材から製作した。ガスシールには通常のOリングを用いた。

4.2 煙注入器

筒内の空気流動を可視化する方法として、本研究では煙注入法を用いた。煙発生法としてはステンレスキャピラリチューブの内部を流れる油を、チューブに電流を流して抵抗熱で加熱する方法を用いた⁽⁹⁾。

筒内に注入された煙の挙動を識別するには、間欠的に煙を注入する必要があるが、種々の方法が考えられるが、ここではエンジンの副弁の上流に煙を注入し、副弁の開閉時期を調節することで煙の注入時期を制御した。また、この方法を取ることで、実際の燃料噴霧が副弁から噴射される際の挙動も模擬できると考えた。

4.3 高速度撮影

円筒シリンダを用いているため、撮影はすべて直接撮影とした。フィルム速度は1,500コマ/秒とし、エンジンは速度500rpm、吸気管圧力は-38kPaで運転した。

4.4 煙の挙動

図10は高速度撮影フィルムの一部を示したものである。(A)、(B)は吸気行程中に煙を噴射した場合、(C)は圧縮行程初期に煙を噴射した場合である。

吸気行程噴射で、スワールが無い場合(A)は吸気行程中に縦渦の発生が見られるが、ピストン形状の影響もあって圧縮行程になると減衰し、筒内下方に煙が滞留する。一方、スワールを付加した場合(B)は、圧縮行程までスワールが維持され、圧縮行程中の煙は均一に近い分布をする。

スワールの存在下で圧縮行程初期に煙を噴射すると(C)、煙の塊がシリンダ軸回りに回転すると同時に筒内上部に分布し、成層化していることがわかる。

この結果から、筒内スワールの存在の下で、圧縮行程初期の低圧直接燃料噴射による軸方向成層化という概念の可能性が示唆された。

しかし、図10(C)の煙の挙動からも推測できるように、副弁周りに形成した垂直の壁の影響で、噴射される燃料のうち相当量が、壁に沿って直下のピストン上面に向かって噴出していることが観測された。これらの燃料はピストンに付着し、これが燃料消費量悪化の主因と考えられる。

煙の塊がシリンダ軸回りに回転する現象は、濃混合気の塊が点火栓近傍に来た場合だけ良好な燃

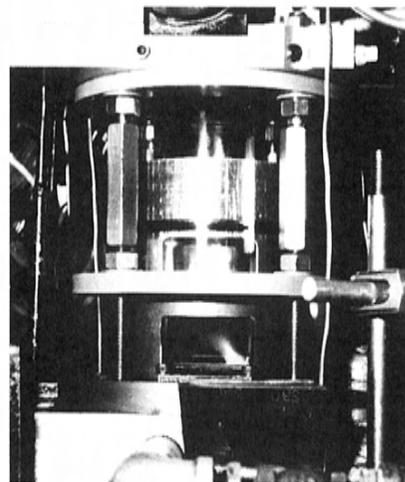
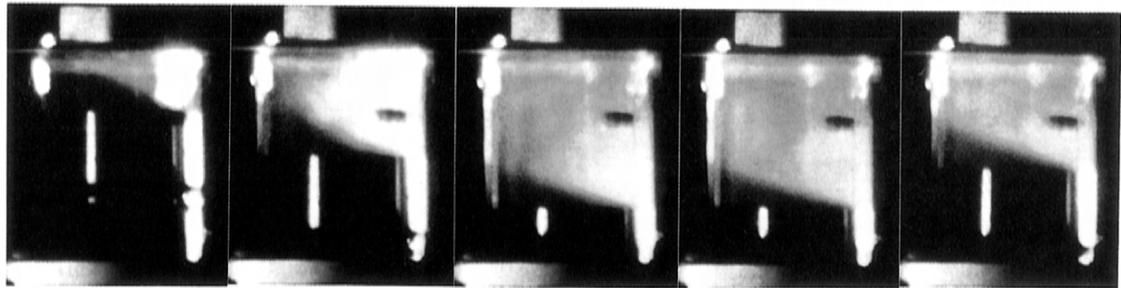
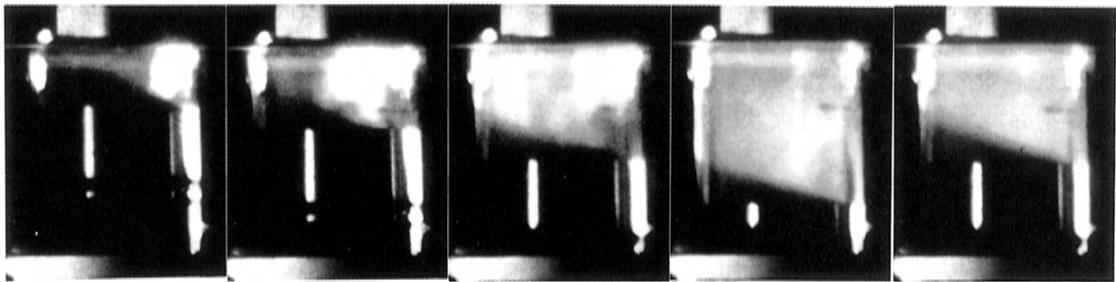


図9 透明シリンダエンジン



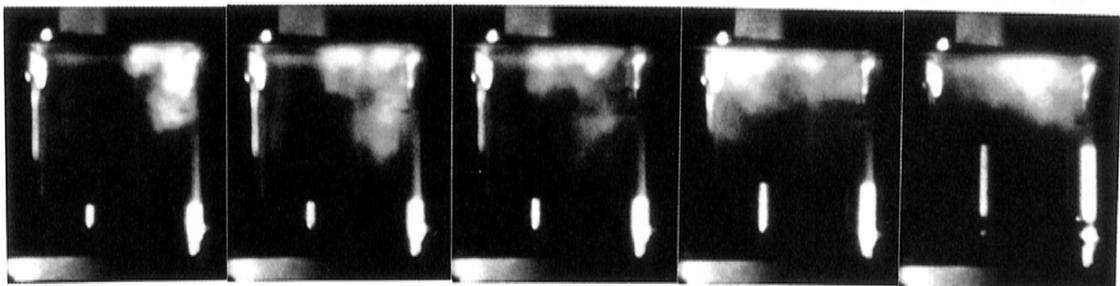
75° 110° 160° 205° 245°
 クランク角 (ATDC)

(A) 吸気行程煙噴射 スワール比=0



75° 95° 120° 180° 245°
 クランク角 (ATDC)

(B) 吸気行程煙噴射 スワール比=6



185° 205° 210° 225° 265°
 クランク角 (ATDC)

(C) 圧縮行程煙噴射 スワール比=6

図10 煙の挙動

焼を得られるということの意味する。エンジンの広範囲な負荷、速度条件に合わせて常にそのような状態になるよう、スワール比を最適に制御するのは極めて困難と考えられる。したがって、燃焼安定性の過度のスワール比への依存性を防ぐためには、混合気分布がシリンダ軸回りの方向には均質であることが望ましい。このため、副弁式の燃料供給システムに再検討を加えることにした。

5. 空圧式直接燃料噴射弁

5.1 空圧式直接燃料噴射弁の構成

筒内可視化実験の結果から、燃料霧化の改善と噴射方向の改善が必要ながことが判明した。この双方の要求を同時に満たすために、新たに空圧式の直接燃料噴射弁を製作した。主なねらいは、燃焼安定性のスワール比への依存性を避けるため、低貫徹力で軸回りに均一な、拡がり角の大きい噴霧を実現することにある。

低圧の燃料供給で良好な霧化を得るために本研究では低圧の圧縮空気による霧化促進法を採用した。噴射弁の設計、製作に際して次の二項目の制約条件を考慮した。

(1) 簡単に実験目的を達成するため、噴射時期、期間制御用に通常の EGI ノズルを構成部品として用いる。

(2) シリンダヘッドの大きな改造なしに噴射弁が取り付けられるようにする。

これらの制約条件から、噴射弁は通常の EGI ノズルの先端に取付け、EGI ノズルから供給される燃料の圧力によって、受動的に駆動される方式とした。更に、噴射弁の本体は副弁のかわりに、そのまま副室として形成した孔に取り付けられる構造とした。図11に噴射弁の組立図を示す。図12に EGI ノズルへの取付状態を示す。噴射弁の作動は以下の通りである。

- ① EGI ノズルから供給された燃料が外開弁を下方に押し開くと同時にチェック弁を経由して下部の環状キャビティに導かれる。
- ② 環状キャビティ内の燃圧が上昇し、空気弁を上方に押し開くと同時に、キャビティ内面の環状スリットから燃料が弁軸中心方向に向かって噴出する。
- ③ 環状スリットによって形成された燃料液膜に空気弁を通過してきた圧縮空気が衝突し、燃料を霧化しながら燃焼室内に供給する。

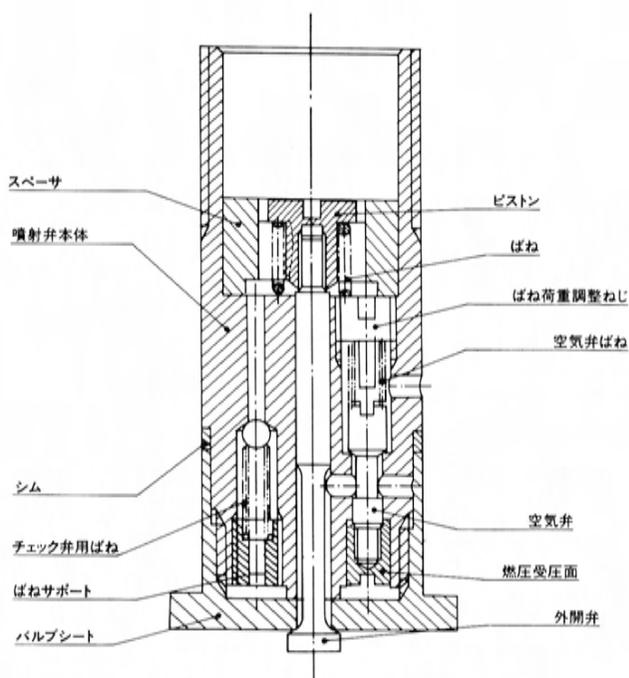


図11 空圧式直接燃料噴射弁

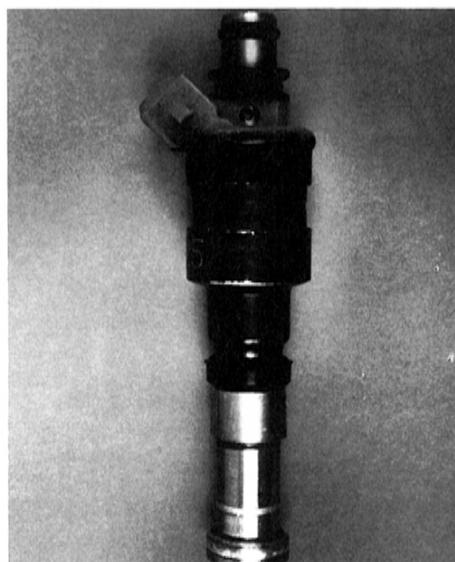


図12 空圧式直接燃料噴射弁外観

5.2 噴霧粒径の測定

製作した空圧式直接燃料噴射弁の霧化性能を把握するため、噴霧粒径の計測をレーザ回折法を用いて行った⁽⁶⁾⁽⁷⁾。ガソリンの揮発性に起因する問題があったため、計測には下記の不揮発性のキャリアレーション液を使用した。

仕様：MIL-C-7020C

比重：0.772

粘度：1.13cm²/s at 25°C

その結果、従来の EGI ノズルの噴霧のザウター平均粒径が180μm 程度であるのに対し、空圧式噴射弁での粒径は空気圧200kPa で40μm であった。

6. 着火試験と排出ガス特性

空圧式直接燃料噴射弁を用いてエンジンの着火運転、排出ガス特性の計測を試みた。最初に、エンジンが暖機されると霧化補助用の空気流量が著しく低下し、燃焼が不安定になる現象が現れた。

調査の結果、冷却水温50°C 以上では燃料が噴射弁内で気化し、気泡を発生していることが分かった。噴射弁の構造上、弁体内の圧力経路で気泡が発生すれば空気弁が開かなくなり、霧化が悪化すると同時に、燃料流量も不安定になる。

したがって、以後の計測はシリンダヘッドの水温を40°C に保って行った。なお、比較に示すポート噴射の場合の特性はすべて水温80°C で行っている。

図13に燃料噴射時期の燃焼安定性と排出ガス特性に及ぼす影響を示す。噴射時期を吸気行程前半まで進めていくと排出ガス特性は改善するが、燃焼安定性が悪化している。したがって、成層化による燃焼安定性の改善と排出ガス特性はトレードオフの関係にあることが分る。また、吸気行程前半噴射、すなわち、成層度としてはポート噴射とあまり変わらないはずの状況でも、直接噴射の場合、炭化水素濃度がポート噴射のものよりも高い。したがって、燃料の気化状態、および噴射弁の位置に起因する壁面への燃料付着の問題があることが考えられる。

図14に空燃比リーン性能を示す。圧縮行程初期という、直接噴射としては早期の噴射時期にもかかわらず、空燃比40：1 程度まで安定した燃焼状態を保つことができた。しかし、低水温と、シリ

ンダ片側への燃料付着の問題のため、炭化水素はポート噴射に比べ、約2倍排出されている。

7. 結論

筒内スワールの存在の下で圧縮行程初期に低圧で、噴霧拡がり角の大きい直接噴射弁によって燃料を供給し、筒内の軸方向成層化を達成するという概念は希薄燃焼限界を大幅に向上する手法として有効である。本研究では空燃比で40：1 まで安定した燃焼を得ることができた。しかし特に炭化水素の排出量が多く、改善が必要である。

炭化水素排出の主因はシリンダ壁面への過度の燃料付着と考えられる。特に低圧の燃料噴射においては噴射から点火までの間隔が長く、噴霧の到達距離が伸びるため、燃料付着を防ぐには噴霧の貫徹力を極力押さえる必要がある。

本研究で試みた二種類の燃料供給方法のうち、「副弁式燃料噴射」は燃料霧化の悪さ、実用的な開弁時期調整法をどうするかなど、問題が多い。他方の「空圧式燃料噴射弁」は霧化が良好で可能性はあるが、弁体内で燃料の気泡が発生し噴射量

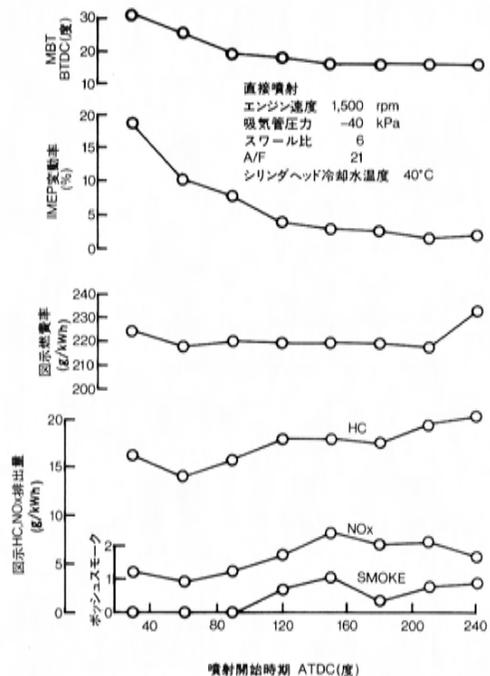


図13 噴射時期に対する排出ガス特性
—直接噴射—

が不安定にならないよう設計に工夫が必要である。

現状のままでの試験エンジンの排出ガス特性は悪いが、その希薄混合気での優れた燃焼安定性と、予混合状態からかなりな成層度まで、積極的に筒内の混合気分布を制御できる自由度の高いシステムとしての魅力があり、今後の研究の価値があると考えられる。噴射弁の改良や位置変更によって壁面燃料付着を減少させ、更に温間時にも噴射弁を安定化して作動させることができれば、相当量の炭化水素排出量の減少が期待できる。

本研究の実施に際しては、米国サウスウェスト研究所のC.D.Wood氏を始めとして、多くの方々から協力をいただきました。この紙面を借りて謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) Quader, A. A. : "The Axially-Stratified Charge Engine", SAE Paper 820131.
- (2) Matushita, S., et al. : "Development of Toyota Lean Combustion System", SAE Paper 85044.
- (3) Oda, H., et al. : "Investigation of High Compression Ratio Lean Burn Engine", IPC871215.
- (4) Nishiwaki, K. : "Prediction of Three-Dimensional Fluid Motions During Intake Process and Swirl Ratios in Four-Cycle Engines", COMODIA 1985.
- (5) Wood, C. D. : "An Experimental Investigation of an Open-Chamber Stratified Charge Engine", presented at the Central States Section 1978 Spring Technical Meeting of the Combustion Institute.
- (6) Dodge, L. G. : "Calibration of the Malvern Particle Sizer", Applied Optics, Volume 23, No.14, July 15, 1984.
- (7) Dodge, L. G. : "Comparison of Performance of Drop-Sizing Instruments", Applied Optics, Volume 26, No.7, April 1, 1987.

■ 著 者 ■



三角正法

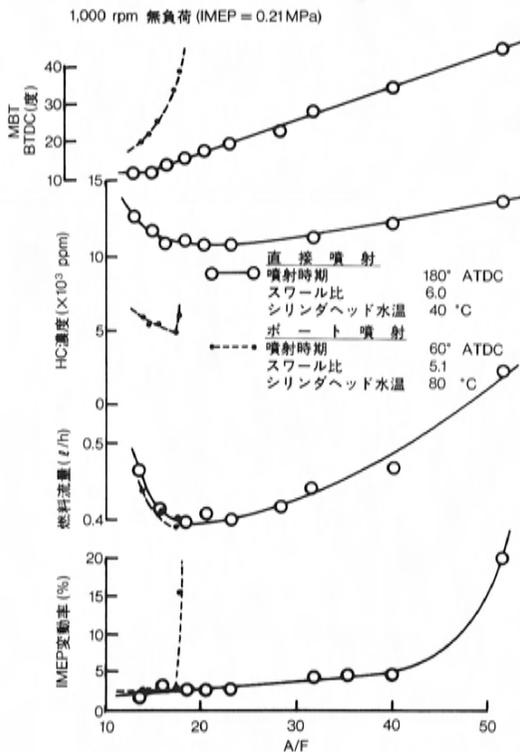


図14 空燃比リーン性能
—ポート噴射vs直接噴射—

論文・報告

16

縦渦を含むシリンダ内流動場のLDV計測

LDV Measurement of In-Cylinder Flow Field Including Vertical Vortex

工藤 秀俊*
Hidetoshi Kudou河野 誠公*
Seiko Kono松岡 孟*
Tsutomu Matsuoka

要 旨

Abstract

筒内の縦渦（タンブル流）形成による、乱れ強化～燃焼促進が特に着目されているが、これに対する十分な定量化手法が確立されていないため、その生成や制御に関する知見は混沌としている。

そこで、吸気弁周囲流を変更した三仕様の吸気ポートによって生成される筒内流に対して、LDV計測、定常流試験、可視化計測等を適用し縦渦の定量化手法を試みた。また筒内流の状態を表す他の指標の検討を行い、それらの相関関係を論じる上で、乱れ強化に対する縦渦の効果を考察した。その結果、軸方向の渦構造はいずれのポートにおいても存在するものの、初期強さやその持続期間が乱れに対して大きな影響を及ぼすことが確かめられた。

The formation of the in-cylinder vertical vortex has drawn special attention as a means of increasing turbulence and promoting combustion. However, with no satisfactory technique of quantifying the phenomenon, knowledge on its generation and control remains incomplete. This study concerns a quantification approach for the vertical vortex using LDV measurements, steady flow testing, visualization measurements, etc. applied to in-cylinder flow formed by varied flows surrounding the intake valve for 3 different intake ports. Investigations were also carried out on other indicators expressing the in-cylinder flow state, and in studying their interrelations, the effect of the vertical vortex on increasing turbulence was also considered. It was found that axially directed vortex structures exist at every port and that their initial strength and duration exert a great influence on turbulence.

1. はじめに

内燃機関における筒内の流動現象は、最終的には機関性能に影響を及ぼす重要な要因のひとつである。なぜなら、筒内で引き起こる混合気形成・火炎伝播・残留ガスの混合等の現象はすべて流れが存在する場において進行するため、これらは流れ場の状態によって支配されるからである。

したがって、諸現象を最適化し性能改善を図るにあたっては、吸気系レイアウトや燃焼室形状等の設計諸元に依存する筒内流の制御技術と、複雑な流れ場を定量化するための計測・解析手法が必要不可欠な基幹技術になると考えられる。

最近の多弁機関においては、スワール・スキップ流形成の難しさなどの観点から縦渦（タンブル流）の活用による乱れ強化、燃焼促進が特に注目されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

しかし、縦渦を特に意識して設計された機関でなくとも、少なからず存在すると考えられる軸方向の渦構造については、その生成や効果に関する

十分な知見は得られてない。

これは、縦渦の形成～乱れの生成という一連の過程においては、ピストン面での流れの衝突や渦径の変化などの条件が加わるために、水平方向スワールのように簡便な計測による十分な評価が行えないことなどにも依存していると考えられる。

本研究では、吸気弁周囲流を変更した三仕様の吸気ポートによって生成される筒内の三次元流のレーザ・ドップラ流速計(LDV)を用いて計測することによって、縦渦状態の定量化を図り、スワール・縦渦両マクロ流と乱流強度の相関関係を論じる上で乱れ強化に対する縦渦の効果を考察する。

また、これら流体特性値に対して二次的な影響要因となる吸気圧の影響も検討することにより、縦渦を含めた筒内流動場の評価手法の確立と、その生成および制御に関する新たな知見を得ることを目的としている。

2. 実験装置および方法

* 1, * 2, * 3 横浜技術研究所

2.1 供試機関

実験に使用した機関は、FE ベースのディスク型燃焼室を有する単気筒の二弁機関である。

レーザー光を筒内に導くために、石英ガラスライナおよび、ピストンクラウンには観測窓を装着しており、側方、下方からのレーザー光の入射が可能である⁽⁴⁾。表 1 に主な機関諸元を示す。

表1 機関諸元

ボア × ストローク	86.0 × 86.0mm
圧縮比	8.0
吸気弁開閉時期	7°BTDC/45°ABDC

2.2 計測装置および方法

図 1 に筒内流計測 LDV システムの概略を示す。本 LDV は 4 W のアルゴンレーザーを用いた二次元同時計測が可能な 2 カラー 4 ビーム型である。

周波数シフタによって、交差する片方のレーザー光の波長を光学的に変調させることにより流速方向の判別も容易に行える。

受光方式は前方散乱方式を採用しており、シート粒子としてはグリセリン水溶液（平均粒径 2~5 μm）を用い、吸気管から供給した。

クランク角信号と同期してバッファリングされた流速データを、信号処理器カウンタから HP9000 に取り込み、各種の統計処理を施した。

二次処理を施したデータは、ネットワークを介して、オフラインでスーパー・グラフィック・ワークステーション IRIS に転送し、複雑な流れ場を

定性的に判断する上で非常に有効であるアニメーション映像を作成した。

図 2 に示す様に、一仕様のデータセットは、直径方向 9 点、軸方向 5 断面、角度方向 2 断面の総数 90 点であり、同一測定点に複数回焦点をセットすることにより、三次元流速情報を得た。

運転条件は全測定を通し 500rpm の駆動運転であり、特に断らない限り吸気条件は全開である。

なお、データ処理法としては平均化時間 10°CA の移動平均法を用い、次式から平均流、乱流強度および、主流のサイクル変動を算出した⁽⁵⁾。

$$U(\theta, i) = \frac{\sum u(\theta \pm wd/2, i)}{\Sigma} \quad (1)$$

$$Ue(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{U}(\theta, i) \quad (2)$$

$$Ub(\theta) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (U(\theta, i) - Ue(\theta, i))^2} \quad (3)$$

$$u'(\theta) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (U(\theta, i) - u(\theta, i))^2} \quad (4)$$

$u(\theta, i)$: 瞬時流速

$U(\theta, i)$: 各サイクルの平均流速

$Ue(\theta)$: 全サイクルでの平均流速

$Ub(\theta)$: 主流のサイクル変動

$u'(\theta)$: 乱流強度

θ : クランク角

i : サイクル数

wd : 平均化時間

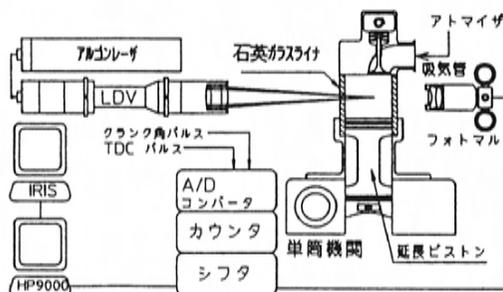


図1 筒内流計測 LDV システム

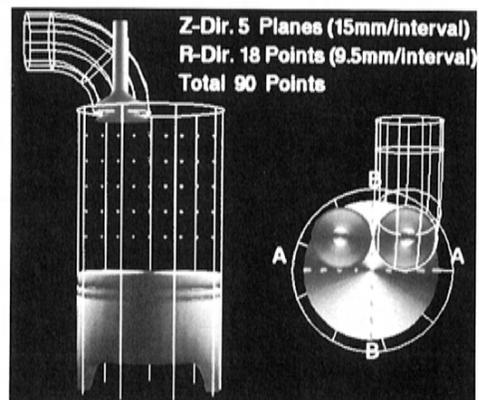


図2 計測点

3. 結果および考察

3.1 定常流特性

運転時の計測結果の考察に入る前に、今回使用した三仕様の吸気ポートの定常流特性を示す。

図3に吸気弁周囲流のLDV計測結果を示し、以降それぞれをTYPE(a)～(c)と称する。

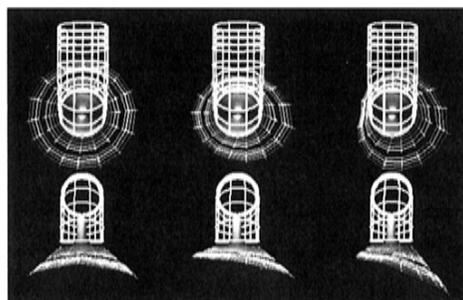
TYPE(a)では、全方向の流速成分が均等かつ放射状に吸入されているのに対して、TYPE(c)では、シリンダ壁近傍に速度分布の顕著な偏在が見られ、接線方向のみならず軸方向の流速成分も強化されていることがわかる。また、TYPE(b)は両者の中間的な様相を呈している。

同条件において生成される定常スワール比と定常タンブル比をインパルス・スワールメータを用いて計測した。それぞれの計測装置の概略を図4に示し、測定結果を表2に示す。

スワールと縦渦が同時に存在する状況においては、後に述べるように縦渦面の回転などの現象が見られる。また、LDV計測結果から算出する局所縦渦比との比較対照を行うために、シリンダヘッドをタンブルチューブに対して四方向に回転させて取付けた際に計測される角運動量の最大値をもって定常タンブル比とした。

定常流試験結果によると、スワール比とタンブル比の間には明確な相関関係は認められない。

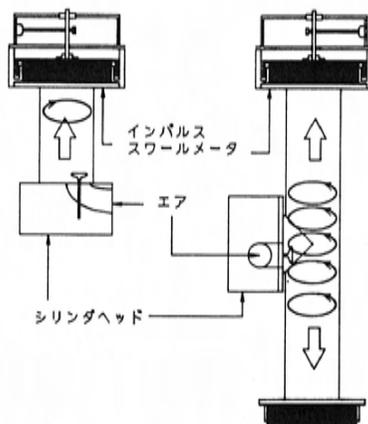
TYPE (a) TYPE(b) TYPE(c)



→ [50m/s]

計測条件：流量 = 1000 l/min
 パルプリフト = 9.0 mm
 測定点 = ヘッド面より4mm 下方

図3 吸気弁周囲の流速分布



スワール計測時 タンブル計測時

図4 定常流試験装置

表2 各ポートの定常流特性

	定常 スワール比	定常 タンブル比
TYPE(a)	0.7	1.4
TYPE(b)	4.0	0.4
TYPE(c)	8.9	1.6

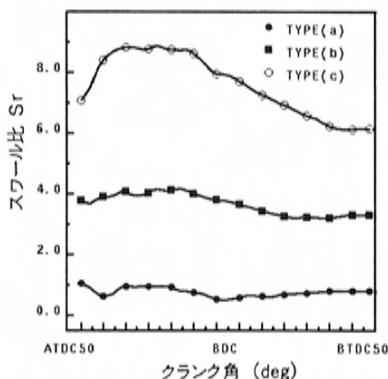


図5 スワール比の履歴

3.2 スワール特性

運転時の局所流速データを基に算出した実測スワール比 S_r の時間経過を図5に示す。

スワール比は剛体渦の仮定に基づき最小二乗法から求めた各断面での角速度を軸方向にわたって平均化し、機関角速度で除した値として求めた。

いずれのポートにおいても、吸気ボトム近傍では定常スワール比に代表される値が得られているが、TYPE(c)では、圧縮行程中に顕著な減衰が見

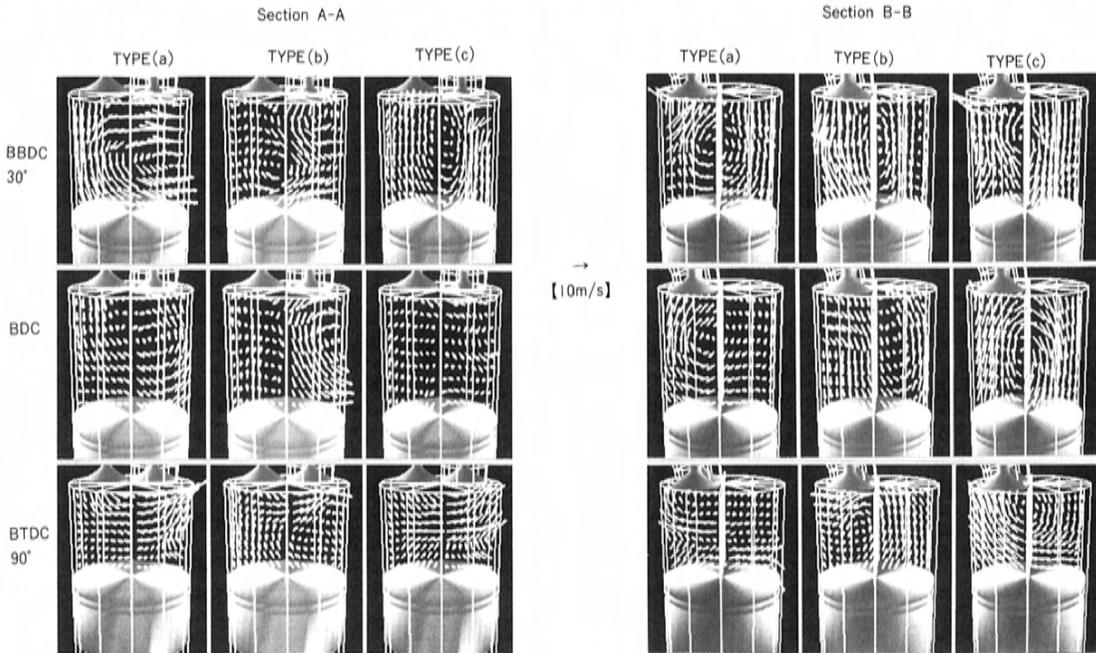


図6 軸方向流速分布

られ、スワール強化に伴う壁面摩擦の増大を表していると考えられる。

3.3 縦渦特性

図6に各断面における軸方向の二次元流速分布を示す。吸気行程中は、いずれのポートにおいても何らかの渦構造が認められるが、TYPE(a)、(b)においては吸気初期に形成された縦渦の減衰が早く、圧縮行程中期にはすでに消滅している。

それに対して、TYPE(c)ではボア程度の渦径を持つ軸対称性の良い縦渦が形成され、スワール方向に移動しながら圧縮行程後半までこれが維持されていることがわかる。

上記に対する理由としては、TYPE(c)では図3に示したような吸気弁周囲流の特性（流速分布の偏在、軸方向成分の強化）によって、スワール方向のみならず軸方向においても軸対称性の良い安定した流動場が形成されているのに対して、TYPE(a)、(b)では縦渦の偏在や、吸気中に生成された複数の渦同士の干渉等の不安定性によって減衰～消失過程が進行しているものと考えられる。

これは、縦渦の基本的な生成・保存に関する必要条件を示唆するものである。

縦渦に関しては、存在位置の不確実性や、空間

分布の不均一性のため、明確な評価基準はない。

よって、本研究では、より直感的な理解を得るためにスワールと対比可能な局所縦渦比 V_r を便宜的に次のように定義して求めた。

まず瞬時流速値から渦度を算出し、あるしきい値以上の渦度レベルを持つ渦領域Aを抽出する。これは、他の微弱あるいは微小な渦領域の影響を分離し、主たる単一の渦構造を限定するための処理である。この場合、各クランク角における最大渦度の30%をしきい値として設定することで測定条件に依存せず良好な領域限定が可能であった。

領域Aを縦渦の代表寸法とし、この領域内部の角速度 Ω の平均値を機関角速度 Ω_e で除した値として次式から求めた。

$$V_r = \left[\frac{\int \Omega ds}{A} \right] / \Omega_e \quad (5)$$

以上の手続きによって算出した局所縦渦比の履歴を図7に示す。

吸気ボトム以降の縦渦強さは、ほぼスワール比に対応しているが、TYPE(a)、(b)における軸方向の渦強さの履歴に大きな差はない。

また、圧縮行程中の縦渦の状態（強さ、持続時間等）は、吸気流の影響が比較的鎮静化する吸気ボトムでの局所縦渦比によって代表させることが可能と考えられ、圧縮行程後半まで縦渦を維持させるためには、吸気ボトムにおいて $V_r \approx 4$ 程度の縦渦の生成が必要になると解釈できる。

また、実測した局所縦渦比は、定常タンプル比よりも全般的に大きな値を示しており、その大小関係の傾向さえも一致しない部分が見られる。

これは、縦渦の形成において重要な要因となるピストン上面での流れの衝突・反射といった現象や、渦径の変化などの条件が、定常状態では十分に反映されないことなどがあげられる。特に、今回用いた吸気系のようにスワールが同時に存在する場合においては、吸気バルブ近傍のシリンダ側方壁、すなわちスワールを保存するための境界の影響が大きいためであり、必ずしも定常タンプル評価の信頼性のなさを示すものではない。

スワールと縦渦の時間的な関係をより明確に表すために、スワールの傾き角 Θ を次式によって定義しその履歴を図8に示す⁽⁶⁾。

$$\Theta = \tan^{-1} (V_r / S_r) \quad (6)$$

TYPE(a), (b)においては、吸気中はかなり縦渦の影響が顕著であるが、吸気ボトム以降急激に水平スワールに移行することがわかる。

一方、TYPE(c)においてはスワールの傾き角はほぼ一定値を示しており、安定した斜めスワールが形成されていることがわかる。

図9 aは、エクспанセル（平均粒径40 μ m）をトレーサ粒子として、高速ビデオカメラ（2,000コマ毎秒）でTYPE(c)の流れ場を直接撮影した例であり、図9 bはTYPE(c)のLDV計測結果をもとに粒子追跡法を用いてアニメーション化した際の一場面である。両者の粒子軌跡を抽出し算出したスワールの傾き角の平均値は、図8に示された結果と良く一致しており、スワールの傾き角という指標の算出において、可視化による方法は、比較的簡便で有効な手段であるといえる。

現在は、レーザシート法～画像処理による流速分布の定量化手法を検討中である。

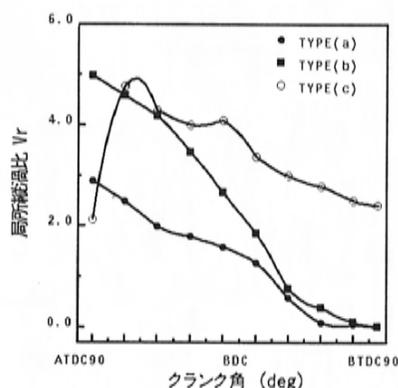


図7 局所縦渦比 V_r の履歴

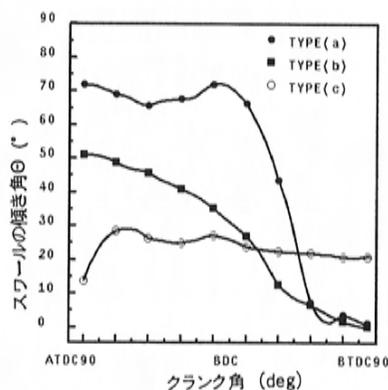
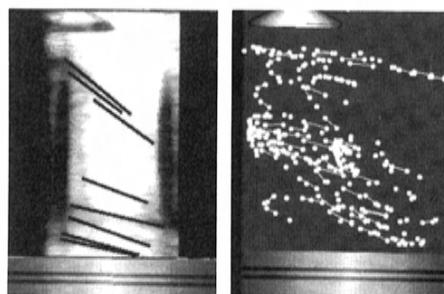


図8 スワールの傾き角 Θ の履歴



$\Theta_{\text{mean}} = 33^\circ$
BBDC30°

a 直接撮影法

$\Theta_{\text{mean}} = 30^\circ$
BBDC30° ~ ABDC30°

b 粒子追跡法

図9 可視化によるスワールの傾き角の比較

3.4 乱れ特性

これまで述べてきたスワールと縦渦，両マクロ流の状況と乱流強度の関係について考察を行う。

なお，ここで用いる乱流強度とは接線および軸方向の乱流強度の平均値である。半径方向の計測においては，十分なデータレイトが得られなかったため乱れの論議には使用していない。

図10に乱流強度の空間分布を示す。吸気中に生成された空間的なバラツキの大きな比較的強い乱れが，時間経過に伴い減衰しながら空間的にも均一化していく様子がわかる。

図11は，各測定点での乱流強度を全測定点にわたって平均化した値を比較したものである。

乱流強度は全般的に強スワールほど大きい傾向にあるが，圧縮行程中の乱流強度を比較した場合，特に TYPE(c)の乱れのレベルが高く，その減衰過程が緩やかであることがわかる。

そこで，特に圧縮行程中に着目して，この間の乱流強度とスワールの関係について考察する。

図12は，TYPE(b)の値を基準とし，(b)に対する(a)および(c)のスワール比の差および乱流強度の差を時間的にプロットしたものであり，乱流強度に対するスワール効果の程度を示すものだと考えられる。

まず TYPE(a), (b)間に着目すると，ほぼ線形な関係にあり，乱流強度の変化量はスワール比の変化量に対応していることがわかる。

また，前項で示した様にこの間の両者の縦渦構造に顕著な差はないため，TYPE(a), (b)間の乱流強度の差はスワール強化のみの効果として説明が可能である。

一方，TYPE(b), (c)間に着目すると，圧縮が進むにつれスワール比の差はかなり減少しているにもかかわらず，この間乱流強度の差はほぼ一定値を維持している。

したがって，TYPE(b)に対してTYPE(c)に見られる顕著な乱流強度の増加は，スワールの効果だけでは説明しにくく，それ以外の要因が存在するものと考えられる。

この要因こそが，TYPE(c)において確認された縦渦の存在であると考えられ，圧縮による渦の崩壊～乱れ生成といった二次的な乱れ生成機構によって生じていると考えられる。

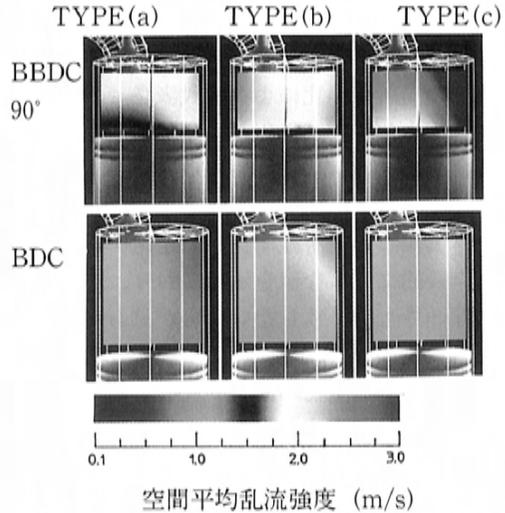


図10 B-B 断面における乱流強度の空間分布

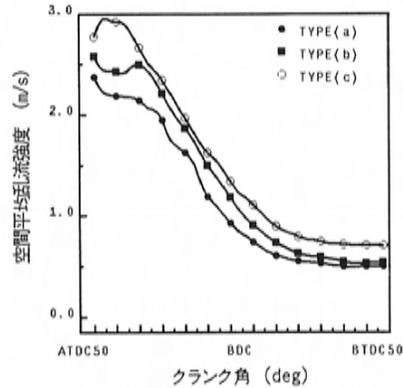


図11 空間平均乱流強度の比較

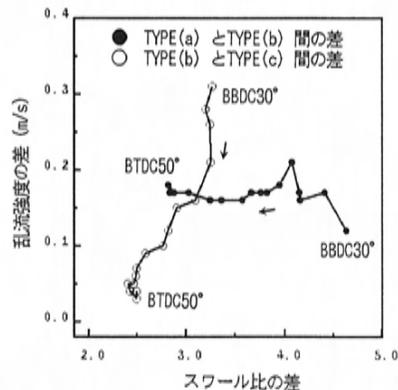


図12 各ポート間のスワール比，乱流強度の差の時間的な相関関係

これまで述べてきた乱流強度は、燃焼速度を直接的に支配するパラメータであるが、その差を明確なものとしてとらえることは容易ではない。

そこで、乱流強度を主流のサイクル変動成分で除した値を強度比と定義し⁽⁷⁾、その履歴を図13に示す。主流速度が大きいほどそのサイクル変動成分は小さい傾向にあるため各ポートの流体的特性がより明確に表現されていることがわかる。

主流のサイクル変動は、燃料の輸送～混合気形成や、火炎伝播のサイクル変動に影響を及ぼすと考えられるため、吸気中の混合気形成等の現象も踏まえた、燃焼安定性に対するパラメータとしての判断も可能だと考えられる。

以上のように、スワール比が同時に変更された場合においても、乱れ強化に対する縦渦の効果はスワール効果に埋もれることなく確認でき、乱れの維持のためには圧縮行程後半までの縦渦の保存が必要であることが示された。

縦渦状態の定量化、およびその指標を含めた乱流状態の解析は、縦渦単独、あるいはスワールと縦渦双方を生成する吸気系での燃焼評価においては、ことさら重要な意味を持つものと考えられる。

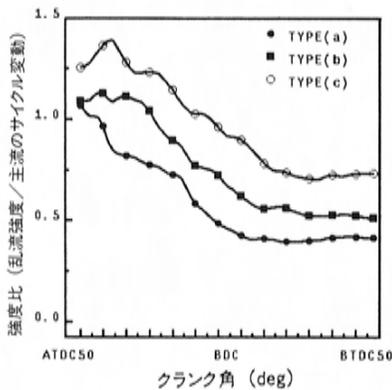


図13 強度比の履歴

3.5 吸気圧の影響

次に、吸気ポート形状等によって決定される筒内流に対して、二次的な影響要因となる吸気圧の影響を前項までの手続きに基づき考察を行う。

なお、吸気条件は全開、-150、-300mmHgの三通りである。

図14に、スワール比に対する吸気圧の影響を示している。

全般的に見て、スワール強さは吸気圧の低下に伴い減衰しているが、圧縮行程後半で比較した場合、吸気圧に対するその減衰量はTYPE(b)が最も顕著であることがわかる。

図15aには、圧縮行程中の縦渦の状態を代表する指標であると考えられる吸気ボトムでの局所縦渦比に対する吸気圧の影響を示している。

いずれのポートにおいてもスワール同様、吸気圧の低下に伴い縦渦強さは低下するが、TYPE(c)においてその傾向が最も顕著であることがわかる。そこで、全開時には縦渦の持続が確認されたTYPE(c)の局所縦渦比の履歴を図15bに示す。

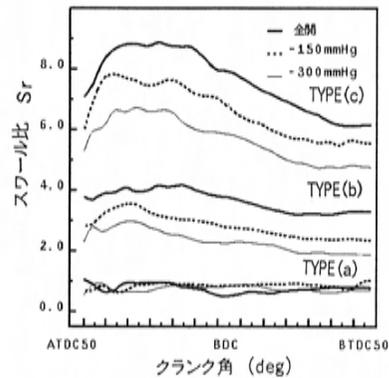
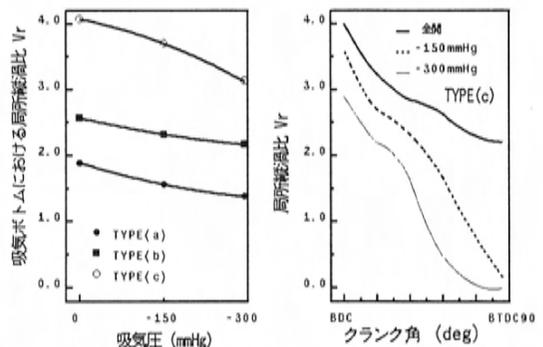


図14 スワール比に対する吸気圧の影響



a 吸気圧の影響 b 局所縦渦比の履歴

図15 局所縦渦比に対する吸気圧の影響

なお、全開時においても縦渦が比較的早い時期に消失していた他のポートに関しては、吸気条件を変更した場合においてもその様相に大きな差はないことを確認している。

全開時には、圧縮行程後半まで保存されていた縦渦が、吸気圧の低下に伴い減衰し、消失していることがわかる。これはスワールの保存とは根本的に異なる縦渦の不安定性を示すものであり、低吸気圧下においても縦渦を保存するためには更に強い縦渦の生成が必要になるとと思われる。

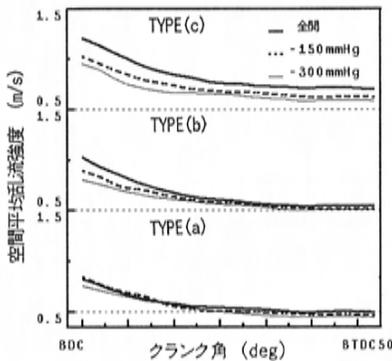


図16 乱流強度に対する吸気圧の影響

図16に同条件での空間平均乱流強度を示す。吸気圧の低下に伴い乱流強度も低下するが、圧縮行程後半での減少量はわずかである。

また、圧縮行程後半で比較した場合、負圧に伴う乱流強度の低下はTYPE(c)が最も顕著であり、縦渦の消失という現象が大きな要因になっているものと考えられる。

すなわち、吸気圧の低下に伴い、スワールや縦渦はともに減衰し、運動量の低下が乱流強度の低下を引き起こしており、特に縦渦の不安定性に起因するその消失が大きく反映されているものと考えられる。

4. まとめ

LDV 計測結果から局所縦渦比なる指標を導入し、縦渦を含む筒内の種々の流体特性値を定量的に評価することによって以下の知見を得た。

(1) スワール強化に伴いシリンダ壁近傍におけ

る軸方向の吸気弁周囲流が強化されることによって、明確な縦渦が形成され、他の渦と干渉することなくこれが維持される。

(2) スワールの傾き角を局所流速値より求めた角運動量の比、および可視化から算出した結果TYPE(c)においては、傾き角 $\Theta=30^\circ$ 程度の安定した斜めスワールが形成されていることが確かめられた。

(3) スワールのみならず、縦渦の状態をも考慮することにより乱れの増加、減衰等の現象がより明確に説明できる。

(4) 縦渦の存在は乱れ強化に対して有効であることが確かめられ、乱れを維持させるためには、圧縮行程後半まで縦渦を保存することが必要である。

(5) そのためには、比較的強い縦渦の生成(吸気ボトムにおける局所縦渦比約4相当)が必要であり、吸気圧が低いほどこれを強める必要がある。

参考文献

- (1) A.R.Glover : An Investigation into Turbulence in Engine Using Scanning LDA, SAE Paper 1988 ,0378.
- (2) R.A.Fraser : Cycle-Resolved LDV Integral Length Scale Measurement Investigating Clearance Height Scaling, Isotropy and Homogeneity in I.C Engines, SAE Paper 1989,0615.
- (3) S.F.Benjamin : The Development of GTL 'Barrel Swirl' Combustion System with Application to Four Valve Spark Ignition Engines, Proc. Int. Conf. on Combustion in Engines Technology and Applications, Paper C55/88 IMechE. 1988 P.203~212.
- (4) Y.Moriyoshi : Experiment Evaluation of a Mathematical Model for Calculating In-Cylinder Air Motion with Transparent Engine, 6th Joint Symposium on Internal Combustion Engine, 1987, P.343~ 349.
- (5) M.J.Hall : Cycle-Resolved Velocity and Turbulence Measurement in a I.C. Engine with Combustion, SAE Paper 1986,0320

- (6) S.Furuno : The Effect of 'Inclination Angle of Swirl Axis' on Turbulence Characteristics in a Four Valves Lean Burn Engine with SCV, COMODIA 90 1990, P.437~442.
- (7) T.Urusihara : Investigation about Turbulence and Combustion in Four-TwoValves Engine, Engine Combustion Moddific Modification by Swirl/Turbulence and its Evaluation Concept, 1988, P.1.~7.

■ 著 者 ■



工藤秀俊



河野誠公



松岡 孟

論文・報告

17

鑄鉄製ピストンの信頼性に関する一考察

A Study on the Reliability of a Cast-Iron Piston

檜 本 正 章*¹

Masaaki Kashimoto

櫻 井 茂*⁴

Shigeru Sakurai

西 田 工*²

Takumi Nishida

山 内 博 文*³

Hirofumi Yamauchi

要 旨

Abstract

鑄鉄製ピストンを直接噴射式ディーゼル機関に装着し、性能を改善した報告は多数ある。しかし、アルミ合金製ピストンに比べ質量の増加が著しいため、低速型の限られた機関にしか実用化されていないのが現状である。

本研究では、鑄鉄製ピストンを自動車用に代表される高速ディーゼル機関へ適合できるようにするため、種々の検討を行った。その結果、冷却方法およびピストン形状を最適化することにより、軽量化と信頼性の両立を可能とした。また、機関性能評価では、従来報告されている性能改善効果に加え、冷間始動性能および失火性能にも改善効果のあることを確認した。

Many reports have been made on the improved performance of DI diesel engines by installing cast-iron pistons. However, the practical use of cast-iron pistons is currently limited to low-speed diesel engines because they are significantly heavier than aluminum alloy pistons.

This paper concerns various investigations conducted to adapt a cast-iron piston to high-speed diesel engines typically installed on automobiles. Both weight reduction and the enhancement of reliability were achieved by optimizing the cooling system and the piston shape. Moreover, the effectiveness of cast-iron pistons in improving cold start performance and misfire characteristics were confirmed in addition to its other positive effects previously reported with regard to engine performance.

1. ま え が き

近年、直接噴射式ディーゼル機関において、鑄鉄製ピストンは、出力・燃費・HC等の諸性能改善に効果のあることが報告されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。これは、従来のアルミ合金製ピストンに比べ、熱伝導率、および熱膨張率の低い鑄鉄製ピストンの特性が燃焼改善に結びついたものと考えられる(表1)。反面、高回転高負荷域においては、熱負荷が増大し、その対策として多くの場合、冷却空洞を設けている。そのためピストン質量が増加し、高速デ

ィーゼル機関には不向きとなっており、低速型の船用、建設機械等の限られた機関にしか実用化されていないのが現状である。

本研究では、鑄鉄製ピストンを自動車用に代表される高速ディーゼル機関へ適合させるため、冷却空洞を廃止し軽量化をはかった鑄鉄製ピストンの信頼性を確保することを目的とし、熱伝達解析および熱応力解析を行った。更に、鑄鉄製ピストンの機関性能改善に対するポテンシャルを把握するため、種々の性能評価を行った。

2. 有限要素法による熱伝達解析

2.1 解析条件の設定

熱伝達解析は、ピストンにとって最も熱負荷の厳しい、最高出力点を想定して行った。

一般に、様々な要因のからむピストンの熱伝達解析においては、熱伝達率の設定が困難である上に、この設定が解析精度を大きく左右する。熱伝達率は、初めに相応な値を代入入力し解析を行った後、ピストン温度の測定値と解析値とが、ほぼ

表1 ピストン材料の特性比較

ピストン材料	鑄鉄	アルミ合金
熱伝導率 (kcal/hm°C)	25	90
熱膨張率 (°C ⁻¹)	12×10 ⁻⁶	20×10 ⁻⁶
引張強度 (kgf/mm ²)	18	8

* 1, * 2, * 3, * 4 技術研究所

同等になるまで繰り返し補正を加えて設定した。また、雰囲気温度の設定については、実測値を用いた。なお、この双方の値を、以降の解析に用いる熱境界条件の初期値とした。

鋳鉄製ピストンのFEMモデルは、熱的に問題となりやすい燃焼室リップ部、およびピストンリング溝部の解析を主体とするため、図1に示すように、リップ等を除いた軸対称モデルとした。また、断面は、最も熱負荷条件の厳しい反スラスト方向を選んでいる。なお、熱的に問題となるリップ部からピストンリング溝部へかけてのメッシュは、他の位置より細かくし、解析精度を高めている。

一方、鋳鉄製ピストンに加わる応力の解析は、機械応力と熱応力をそれぞれ求めた後、合成し計算した。機械応力は、燃焼時に発生するガス圧力のみを考慮し求めた。また、熱応力は、熱伝達解析で得た値とピストン材料の物性値を入力し求めた。なお、応力解析時のピストン拘束位置は、燃焼室センタとした。

最初に熱伝達率を求めるために用いた解析の基準である鋳鉄製ピストンは、機関性能実験を行う際に比較対象用としたアルミ合金製ピストンの諸元を参考にするとともに、一般的な設計基準を基に薄肉形状とした。ただし、機関の性能改善を考慮し、燃焼室のデッドボリューム低減のためトップランドを短縮するとともに、トップクリアラン

スを極力詰めている(表2)。しかし、その容積低減分は、燃焼室を相似形にて拡大することにより相殺し、アルミ合金製ピストンと同等の圧縮比にしている。オイルジェットは、燃焼室裏底面とピストンリング溝部背面の両方に冷却油が当たるよう位置している。図2に、これらのピストン形状とオイルジェットの位置関係を示す。

2.2 解析対象の設定

熱伝達解析の対象としたピストン、およびオイルジェットの仕様A～Eを、表3に示す。

解析の基準は、仕様Aである。仕様Aのピストンとオイルジェットの組合せに対し、ピストンリング溝部の冷却性を高めるためオイルジェットの方向を変更し、リング溝部背面に冷却油がすべて浸入するものと仮定した場合を、仕様Bとした。更に、冷却効果を高めるため、オイルジェットからの油量を二倍に増量するものと仮定した場合を

表2 デッドボリュームの比較

	K-ファクタ
鋳鉄製ピストン	87
アルミ合金製ピストン	81

$$K\text{-ファクタ} = \frac{V_c}{V_c + V_d} \times 100$$

Vc: 燃焼室容積

Vd: デッドボリューム

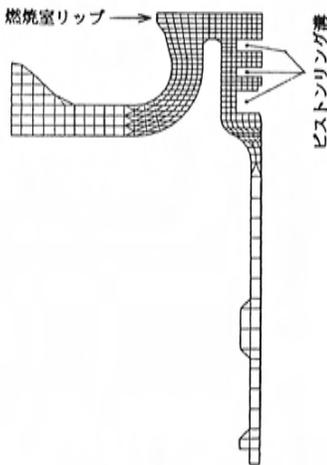


図1 FEMモデル

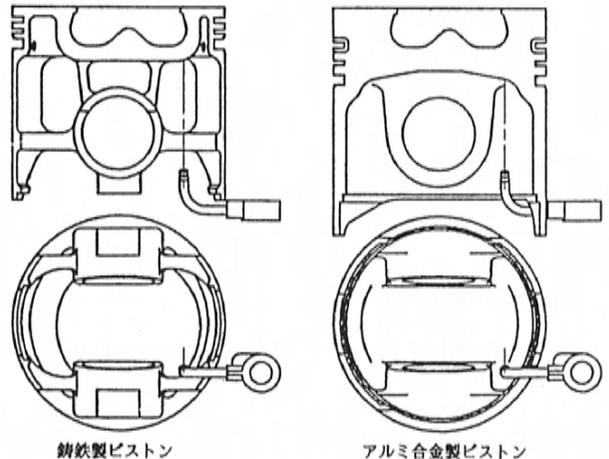


図2 ピストンおよびオイルジェットの形状比較

仕様Cとした。仕様Cのオイルジェットからの冷却油を、リング溝部背面により浸入しやすくするため、燃焼室肉厚を薄くし、かつ燃焼室からピストンリング部への熱伝導量を低減するため、クラウン部肉厚を薄くしたモデルを、仕様Dとした。更に、ピストン頂面からの熱伝導量を低減するため、ピストンリング溝を2mm下げた形状のモデルを、仕様Eとした。

また、熱応力解析は、基準とした仕様Aと熱伝達解析で十分な温度低減を狙った仕様D、Eにて行った。

なお、仕様D、Eの鋳鉄製ピストンは、燃焼室およびクラウン肉厚の低減による軽量化と同時に圧縮高さの短縮による軽量化をはかった結果、アルミ合金製ピストンと同等の質量になった。

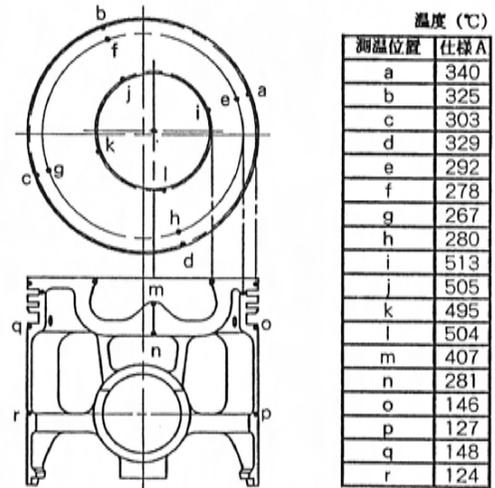


図3 温度測定結果 (仕様A)

表3 解析対象の仕様

設計変更内容	オイルジェット		ピストン形状	
	方向の改良	オイル量の倍増	クラウン肉厚の低減	トップランドの増大
予測効果	トップリング溝部の強制冷却	冷却効果の増大	燃焼室からの熱切り	ピストン頂面からの熱切り
仕様A	—	—	—	—
仕様B	○	—	—	—
仕様C	○	○	—	—
仕様D	○	○	○	—
仕様E	○	○	○	○

2.3 熱伝達解析の結果

図3に、仕様Aの温度測定結果を示す。また、図4に測温結果を基に求めた熱境界条件を示し、その境界条件から求めた温度予測の解析結果を、図5に示す。解析による温度は、測定値とほぼ同等の値が得られており、以降の熱伝達解析は、ここで用いた値を熱伝達率の初期値とした。なお、冷却空洞を廃止し、トップランドを短縮した鋳鉄製ピストンは、燃焼室壁部やスカート部の温度が異常でなくても、トップリング溝部の温度は、約290°Cと異常に高くなった。これは、プレーン型ピストンリングが、スティックする目安値である230°Cを大幅に超えており、単に冷却空洞を除去することは困難であることを示している。

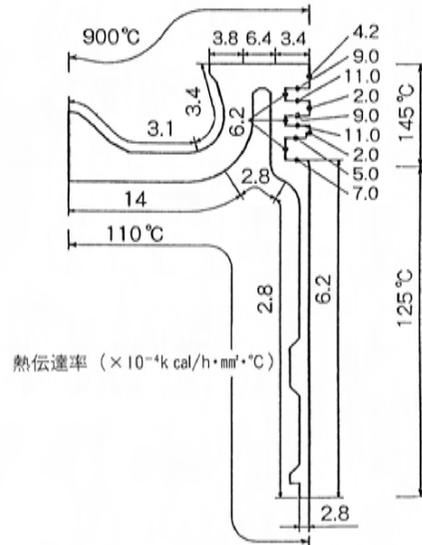


図4 熱境界条件 (仕様A)

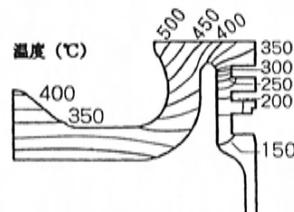


図5 熱伝達解析結果 (仕様A)

図6に、仕様Bの熱伝達解析による温度予測結果を示す。

トップリング溝部の温度は、約260°Cとなり、オイルジェットの変更することによる温度低減効果は、約30°Cであった。この結果より、仕様Aのトップリング溝部が高温になっている要因の一つとして、オイルジェットからの冷却油が、ピストンリング溝部背面に充分浸入していないことが推測できる。なお、燃焼室裏底面への冷却油の供給が大幅に減るが、燃焼室中央部の温度上昇は、約20°Cであり、特に問題となる温度では無かった。

図7に、仕様Cの温度の解析結果を示す。トップリング溝部の温度は、約235°Cとなり、冷却油を二倍に増量することによる効果は、約25°Cであった。

図8、9に、仕様Dの熱境界条件、および熱伝達解析による温度予測結果を示す。トップリング溝部の温度は、230°Cを下回る約220°Cとなり、燃焼室とクラウン部の薄肉化による効果は、約15°Cであった。

図10に、仕様Eの結果を示す。トップリング部の温度は、約200°Cまで低下し、ピストンリングの位置を低下することにより、一層、信頼性を高めることが可能である。

2.4 熱応力解析の結果

各仕様におけるピストンの熱応力を、2.3節で求めた温度勾配から計算した。

図11に、仕様Aの熱応力解析の結果を示す。等温度線が密になっているピストン頂面、トップリング溝部、ピストンリング溝部背面に高い熱応力が発生しており、温度差の激しいところに発生す

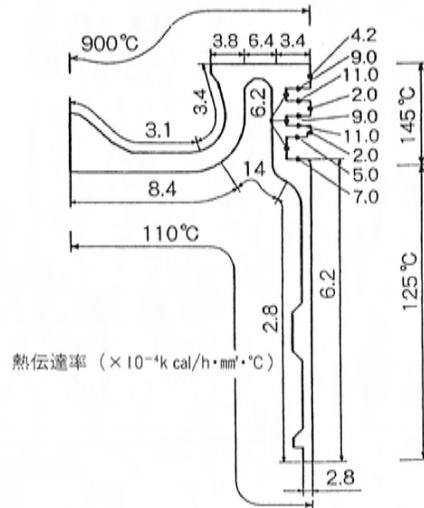


図8 熱境界条件 (仕様D)

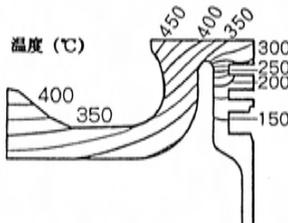


図6 熱伝達解析結果 (仕様B)

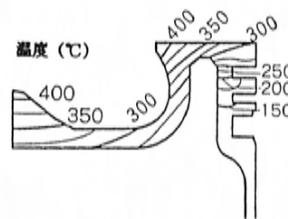


図9 熱伝達解析結果 (仕様D)

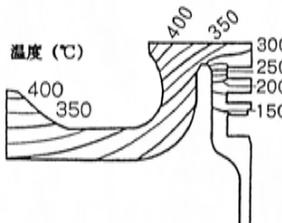


図7 熱伝達解析結果 (仕様C)

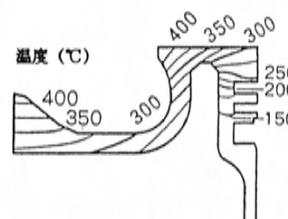


図10 熱伝達解析結果 (仕様E)

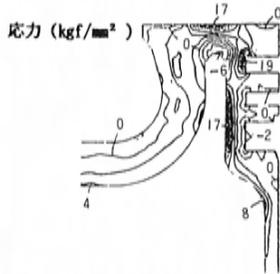


図11 熱応力解析結果 (仕様 A)

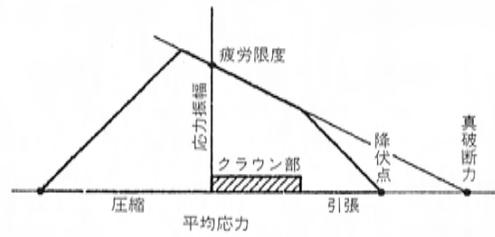


図13 疲労限度線図

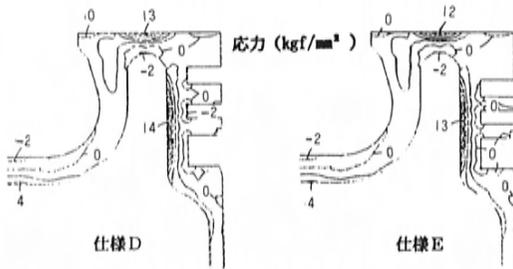


図12 熱応力解析結果

表 4 主要諸元

形 式	4 サイクル直接噴射式	
シリンダ数・配列	直列 4 気筒	
総排気量 (cm³)	3,456	
内径×行程 (mm)	100×110	
圧 縮 比	18.0	
スワール比	4.0	
燃料噴射時期	8° BTDC	
始動補助装置	エアヒータ	
ピストン材料	鋳 鉄	アルミ合金
オイルジェット数	2	1

る熱応力の特性を顕著に示している。

図12に、仕様Dおよび仕様Eの解析結果を示す。仕様D、Eとも、仕様Aに比べ、いずれの箇所においても低い応力値を示している。特に、仕様Aにおいて、19kgf/mm²と最も高い引張応力を示していたトップリング溝部においては、ほとんど応力が発生せず、引張と圧縮の応力がバランスする結果となった。

更に、仕様Dのピストンにおいて、最も熱応力が高いクラウン部での合成応力を求めた。燃焼時に発生するガス圧力に等しい圧力をクラウン部に負荷し、その歪みからクラウン部の機械応力を算出し、熱応力と合成し応力を求めた。その合成応力と、鋳鉄製ピストンに用いた材料の疲労限度線図との関係を図13に示す。この結果から、合成応力は疲労限度内であり、強度上の問題もない。

3. 実験装置および方法

3.1 実験装置

以上の解析によるピストンの温度低減効果と、鋳鉄製ピストンによる性能改善効果を、実機にて検証した。その供試機関の主要諸元、および断面図を表4と図14に示す。機関性能実験においては、

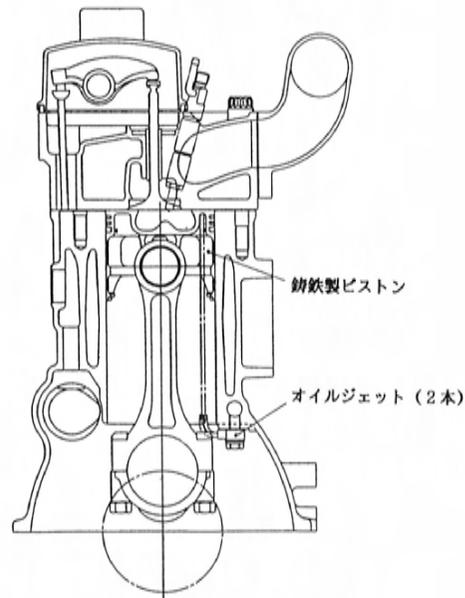


図14 機関断面概略図

ピストン、オイルジェット、コンロッド以外はすべて基本仕様と同一にし、比較評価を行った。なお、コンロッドは、鋳鉄製ピストンの圧縮高さ短縮のため変更している。

鋳鉄製ピストンの温度低減効果の検証においては、熱伝達解析の結果より温度低減改善に効果があった仕様D、Eを評価対象とした。オイルジェットは一気筒あたり二本とし、反スラスト側のピストンリング溝部背面に二方向から冷却油が当たるようにした。また、それらのオイルは、互いに干渉することなく交差させ、ピストンリング溝部の背面全周にオイルが回りやすくしている。この鋳鉄製ピストンの形状、およびオイルジェットの位置を図15に示す。

また、機関性能の評価にあたっては、温度、応力ともに問題の無い仕様Dを用いた。

3.2 実験方法

- (1) 鋳鉄製ピストンの温度測定は、解析条件と同様に最高出力点で行った。また、ピストン頂面は、テンプラグによる硬度法、ピストン側面は、サーミスタ温度計による接点法⁽⁴⁾を用い計測した。
- (2) 全開出力、部分負荷燃料消費率の計測は、J I S規格に基づくテスト法にて行った。
- (3) 冷間始動性能評価は、-25℃、失火性能評価は、-15℃の条件下にて実験を行った。また、ホルムアルデヒドの排出量測定には、ガスクロマトグラフ法を用いた。

4. 実験結果および考察

4.1 ピストンの温度測定

仕様D、Eの鋳鉄製ピストンについて温度測定を行った結果を、図16に示す。測定値は、二仕様とも熱伝達解析の結果とほぼ同等の値が得られており、トップリング溝部の温度、e、f、g、hとも、230℃以下になっている。ただし、反スラスト側に冷却油が当たるようにしたため、元来、温度が低いスラスト側の方が若干高めの測温結果となっている。

4.2 出力・燃費性能

鋳鉄製ピストンとアルミ合金製ピストンを、それぞれ装着した機関の出力・燃費性能を、図17に示す。なお、出力は、スモーク：3.0B.U.時の値

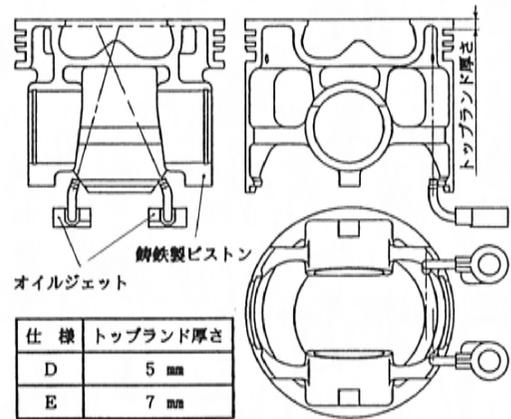


図15 ピストンおよびオイルジェットの形状

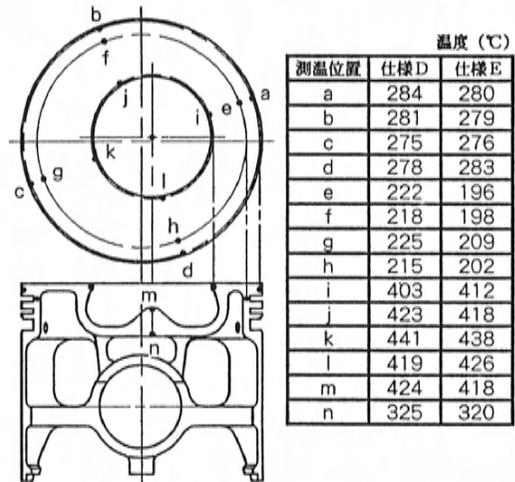


図16 温度測定結果 (仕様D、E)

とし、燃費は2,000rpm 部分負荷時の値とした。アルミ合金製ピストン装着機関に比べ、鋳鉄製ピストン装着機関の方が、出力・燃費性能ともに3～5%優れており、特に、ピストン温度が低い低速域の方がその差も大きい。

また、図18に1,300rpm 全負荷時の熱発生率を示す。鋳鉄製ピストン装着機関では、着火遅れが短縮され、また、拡散燃焼が促進されている。これは、鋳鉄製ピストンの断熱性に優れるという特徴により、燃焼室壁温が上昇した結果、着火遅れが短縮され、同時に、拡散燃焼の促進に結びついた

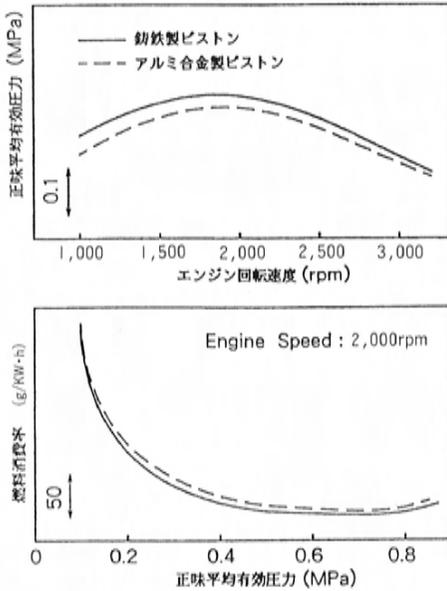


図17 出力・燃費性能

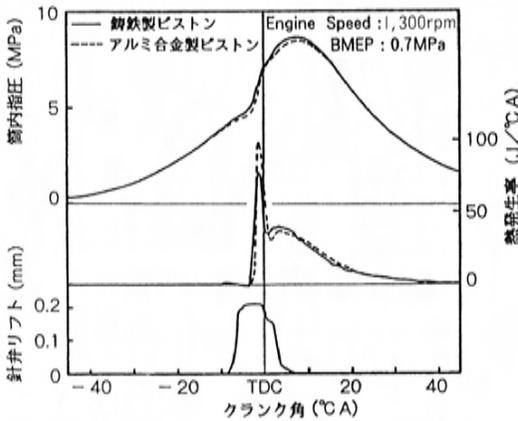


図18 燃焼特性

ものと思われる。また、熱膨張率が少ないという特徴が、デッドボリュームを縮小でき、更に拡散燃焼が促進されたと思われる。

4.3 冷間始動性能

-25°Cの条件下で、始動性能評価を行った結果を図19に示す。なお、始動補助デバイスとして、エアヒータを用いている。クランキング開始から機関回転速度が、1,000rpmまで上昇するのに要す

る時間は、両者に大差はない。しかし、鋳鉄製ピストン装着機関が、1,000rpmから2,000rpmまで上昇するのに要する時間は、アルミ合金製ピストン装着機関の約1/5となっており、クランキング開始から2,000rpmまでの所要時間は、約半分になっている。これは、鋳鉄製ピストンの持つ低熱伝導率の特性により燃焼室温度の上昇が促進され、噴霧の着火遅れが短縮し、安定燃焼に至る時間が短くなったためと思われる。

4.4 失火性能

ディーゼル機関の排気ガス臭気の一因とされているホルムアルデヒドの排出特性の比較を、図20に、また、始動直後の白煙排出レベルの比較を表5に示す。

ホルムアルデヒド排出特性に関しては、アイドルリングでは両者とも同等の排出レベルであり、かつ、その排出濃度も低い。一方、1,200rpm無負荷では、鋳鉄製ピストン装着機関でも、大幅にホル

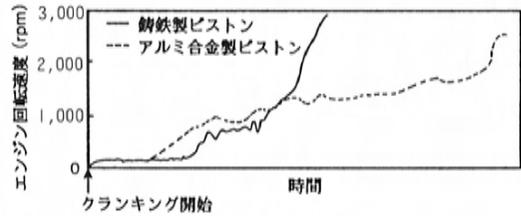


図19 冷間始動性能

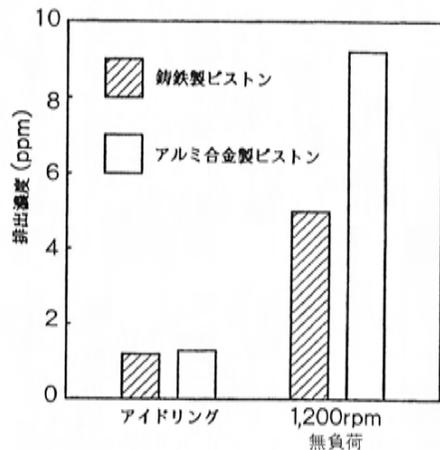


図20 ホルムアルデヒドの排出特性

表 5. 白煙排出レベル評価結果

	鑄 鉄	アルミ合金
始動時	×	×
レーシング	△	△
1,000rpm	◎	○
1,500rpm	◎	○
2,000rpm	◎	◎
2,500rpm	◎	◎
3,000rpm	○	○
3,500rpm	△	△
2,500rpm	◎	△
アイドルリング	◎	○

◎：まったく見えない △：わずかに見える
 ○：ほとんど見えない ×：はっきり見える

ムアルデヒド排出濃度は増加するが、アルミ合金製ピストン装着機関では、10倍近くに増加し、鑄鉄製ピストン装着による改善効果が顕著である。

白煙排出特性に関しては、目視による相対評価であるが、ほぼ全領域において鑄鉄製ピストン装着機関の方が、優れた特性を示しており、始動、冷間性能とも改善できた。

5. まとめ

本研究で得た結果を以下に示す。

- (1) 軽量化をはかるため、冷却空洞を無くした鑄鉄製ピストンは、オイルジェットの複数化と噴射方向の最適化、および燃焼室とクラウン部の薄肉化を組合せるとにより、ピストンリング部温度は、信頼性限度内に維持できる。
- (2) 冷却空洞を無くした鑄鉄製ピストンは、アルミ合金製ピストンと同等の質量にまで軽量化が可能である。
- (3) 上記のピストンは、燃焼圧力による機械応力と温度による熱応力との合成応力も、材料の疲労限界内に保持できる。
- (4) アルミ合金製ピストンに比べ、低い熱伝導率と熱膨張率の特性を持つ鑄鉄製ピストンを装着したディーゼル機関は、出力・燃費性能に加え、冷間始動性能、および失火性能においても良好な結果を示す。

最後に、本研究を進めるにあたり、御指導、御協力をいただいた関係各位に、記して感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 田野崎 常夫, 山本 幸雄, 二瓶 伸吉: 小松 SA12V140-1ディーゼルエンジン, 新開発エンジンシンポジウム(1988).
- (2) 鈴木 孝幸, 辻田 誠, 森 康夫, 鈴木 幸: ターボ・インタークーラ付D. I. ディーゼルエンジンの断熱化にともなう特性の変化について, 自動車技術会学術講演会前刷集872069.
- (3) R.Kihara, M.Kinbara: Combustion System Component Design of a High Speed D.I. Diesel Engine, SAE Paper 820500.
- (4) Y.Iida, K.Tanaka, S.Fuse: Contact-Point Method Measuring Sliding Face Temperature and Its Applications, SAE Paper 830311.

■ 著 者 ■



櫻本正章



西田 工



山内博文



櫻井 茂

論文・報告

18

動弁機構のジャンプ・バウンスに関する考察

Consideration of Valve Train Jump and Bounce Motion

栗栖 徹*1

Toru Kurisu

野村 一正*4

Kazumasa Nomura

畑村 耕一*2

Kouichi Hatamura

大森 裕史*3

Hirofumi Omori

要

旨

Abstract

エンジンの回転限界を支配するバルブのジャンプ・バウンス挙動を5質量モデルを用いた数値解析により調査した。このモデルで十分高い精度が得られ、ジャンプ・バウンス現象を詳細に解析することができた。解析の結果、バウンスには、バルブシートに着座してはね返る真のバウンスと着座しない疑似バウンスの2種類あること、また、バルブ閉じ側のリフト特性と動弁系剛性がその発生に大きく関与していることなどが明らかになった。

そこで、閉じ側加速度を自由に設計できるカム設計プログラムを新たに開発した。その結果、バウンス発生回転数が約200rpm向上し、回転限界を向上することができた。

Valve train motion was investigated with computer simulation techniques.

The application of a 5-mass model was found to accurately predict the valve train behavior. It was identified that valve train stiffness and close-side valve lift curve characteristics have significant effects on bounce occurrence. A valve train with high stiffness tends to develop bounce after jump, while on one with low stiffness, bounce starts without jump.

These findings allowed the development of a new cam form using harmonic curves to elevate the revolution limit of the valve train.

1. はじめに

最近のエンジンの高級化・高出力化に従い、エンジンの回転限界を事実上左右する動弁装置に対して、その性能への要求がきびしくなっている。動力性能の面からは、高リフトでしかも高回転まで回ることが必要とされる。一方、メンテナンスフリーの観点からは油圧式ラッシュアジャスタが採用され、抵抗低減の観点からはローラフォロワ化が行われるなど慣性質量の増加や剛性の低下を招き、回転限界が低下しやすくなっている。その結果、動弁機構の回転限界向上が従来にも増して重要な課題になっている。

これらの要求を満たすために古くからさまざまな研究が行われてきた。最近では動弁機構の挙動解析モデルの開発^{(1)~(5)}やヒスグインカムをはじめとする新しいカムフォームの開発^{(6)~(8)}、あるいは油圧式ラッシュアジャスタの解析⁽⁹⁾などが行われている。しかしながら、これら多くの研究にもかかわらず、弁機構が複雑であるためにバルブの挙動

や回転限界の向上方法についてまだ十分解明されていないことも多い。そこで、本研究ではコンピュータによるシミュレーション技術を用いてバルブの挙動解析を行い、ジャンプ・バウンス現象について調査した。ここでは、その結果並びにカムフォームによる回転限界の向上について検討した結果を報告する。

2. シミュレーションモデル

解析に用いたモデルは最大5質量までとれるモデルである(図1)。モデルの要素を取り除くことにより、OHVを始め、ロッカーアーム式OHC、直動式OHCなど一般的に用いられている各種の動弁機構構造に対応している。バルブスプリングには酒井により開発された5質量モデル⁽¹⁰⁾を用いた。油圧式ラッシュアジャスタに対しては特別な要素を設けている例⁽⁷⁾もあるが、ラッシュアジャスタのある質量要素部の剛性と減衰係数を特定の値に設定することによって対応できた。解法としては、バルブ挙動の解析に一般的に用いられているルン

* 1, * 4 技術研究所

* 2 パワートレイン設計部

* 3 パワートレイン実験研究部

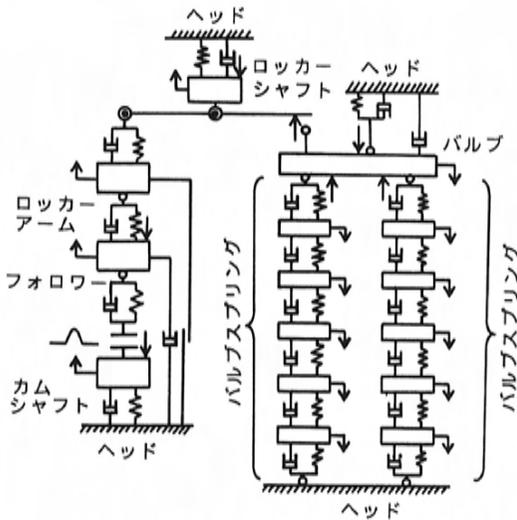


図1 バルブ挙動の5質量モデル

ゲ・クッタ・ギル法を使用し、数値解析を行った。

3. 実験装置

バルブの挙動は、バルブシステムにマークをつけ、その動きを光学変位計を用いて測定することにより求めた。また、動弁系各部に働く荷重を把握するため、カム軸受・ロッカーアームなどにひずみゲージをはり、応力を測定した。

図2に計測システムを示す。

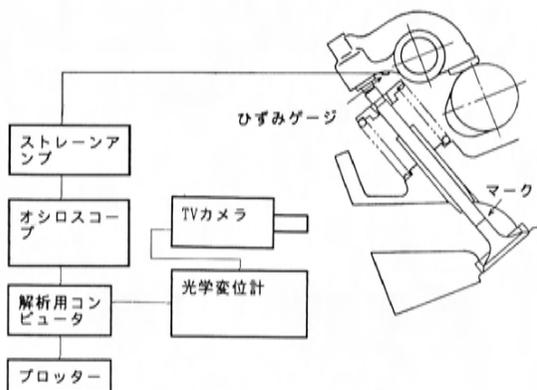
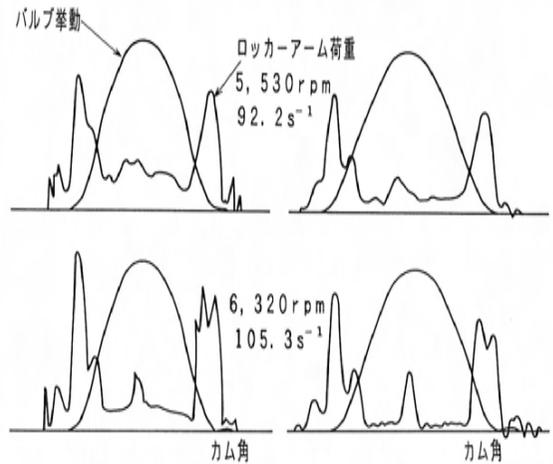


図2 バルブ挙動の計測システム

4. 実験値と計算値の対応

計算の予測精度を検討するため、各種の動弁機構で実験データとの比較を行い、十分な予測精度

があることを確かめた。図3にロッカーアーム式OHCでの挙動波形の比較結果を示す。バルブの運動曲線並びにロッカーアームの荷重波形とも多少の差異はあるものの、波形の特徴はほぼ一致している。



(a)数値計算結果 (b)実験結果
図3 バルブ運動曲線とロッカーアーム荷重波形の比較

図4はロッカーアームの閉弁側のピーク荷重を比較したものである。計算値の方が実験値よりも約0.1kNほど低くなっているが荷重変化は一致している。以上のように数値解析による予測精度は十分にあることを確認した。

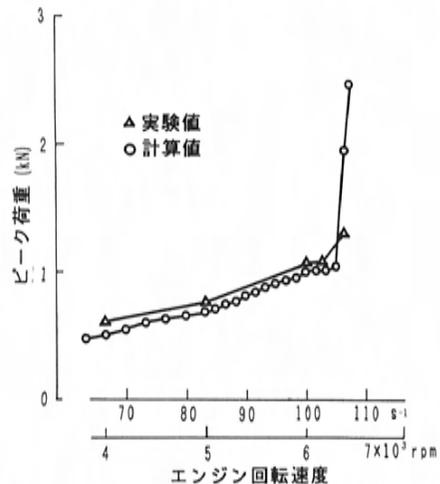


図4 ロッカーアーム閉じ側ピーク荷重の比較

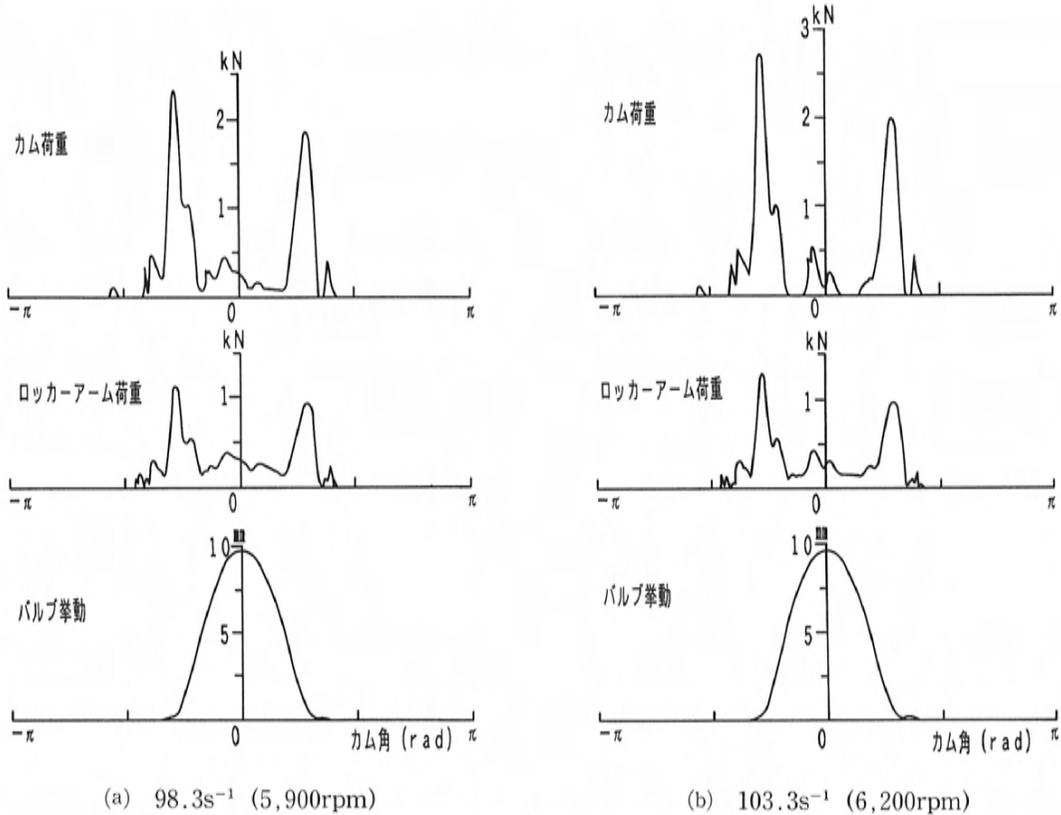


図5 バルブ挙動の計算結果

5. 挙動解析結果

5.1 ジャンプ

バルブのリフト中にバルブ系要素がカムのプロフィールから離れてしまう現象をジャンプと呼んでいる。ジャンプはバルブに働く慣性力がバルブスプリングの押す力より大きくなったときに発生し、ジャンプ時はバルブ要素間に働く荷重が0になる。

図5はロッカーアーム方式の動弁機構での挙動計算結果である。エンジン回転速度6,200rpmではリフト中にカム・ロッカーアーム間の荷重が0になっていることから、ジャンプが発生していることがわかる。秋葉等の報告⁽⁴⁾のように、ジャンプ時のすきまはカムとフォロウ（この例ではロッカーアーム）の間で発生する。図6は、このときの回転数と閉じ側ピーク荷重との関係を調べたもので、ジャンプ開始位置も示した。低速域では荷重は直線的に漸増し、ジャンプが始まってもしばらくは

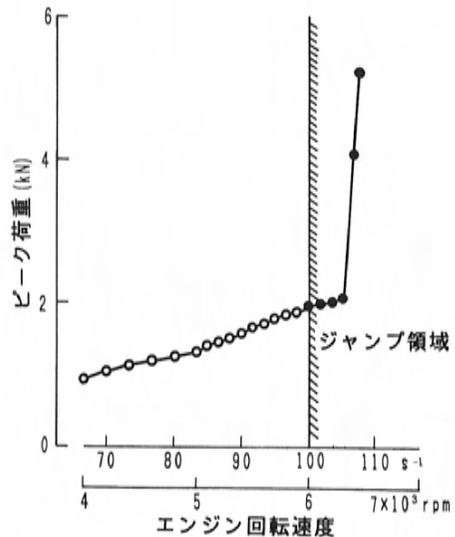


図6 カム荷重の変化

大きな変化はない。しかし、6,300rpm以上では荷重が急激に増加する。この現象は実験でも確かめ

た。回転速度の上昇にともなってジャンプ期間が長くなり、再びカムプロフィール上に戻る位置がバルブ閉じ側の正加速度域に達するためと考えられる。図7はそれを裏づけるもので、閉じ側で発生するカムのピーク荷重は正加速度域の中になっている。このようなジャンプによる高荷重が発生するとフォロー系の破損が生じやすい。

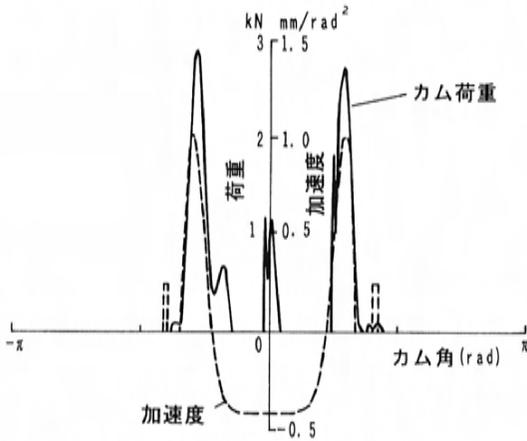


図7 カム加速度曲線とカム荷重波形の比較

5.2 バウンス

バウンスは、バルブ閉時にバルブがバルブシートに当たってはね返る現象をさす。図8はバウンス

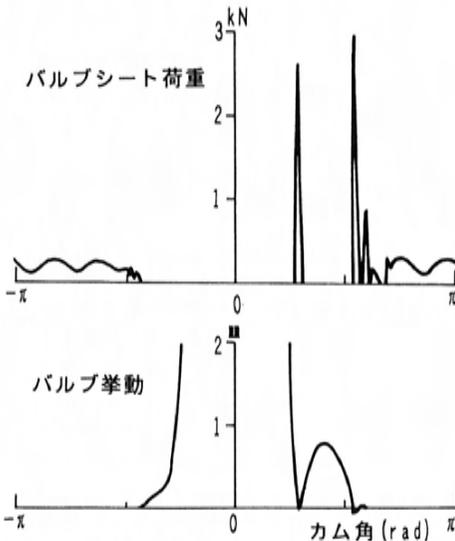


図8 バウンス時のバルブ挙動とバルブシート荷重

ス時のバルブシート荷重とバルブの運動曲線である。バルブのはね返り時と再着座時にバルブシートに当たり、大きな衝撃が生じている。バウンス点での衝撃は、バルブ系のたわみ（縮み）が大きく十分減速されないまま高速で着座するために発生するものと考えられる。

バウンスが発生すると、図8に示すようにバルブシートへの着座が衝撃的になる。その結果、ステムに高い引張応力が働き、バルブの疲労による折損が起きやすい。それゆえ、バウンスの発生点を動弁系の回転限界とされる場合が多い。

図5(b)においても着座位置でバウンス状のはね返りの発生がみられる。しかし、この場合にはリフトを拡大してみると図9に示すように、はね返り点でリフト高さが0以下にならず、その点でバルブシートへの着座衝撃も発生していない。バルブ閉じ時に働くピーク荷重のため、ロッカーアームや、タペットなどのフォロー系にたわみが生じ、その反動によりバルブシートへの衝突なしにバルブがはね返る疑似的なバウンスが起きていることを示している。図10のように実験でも同様の挙動

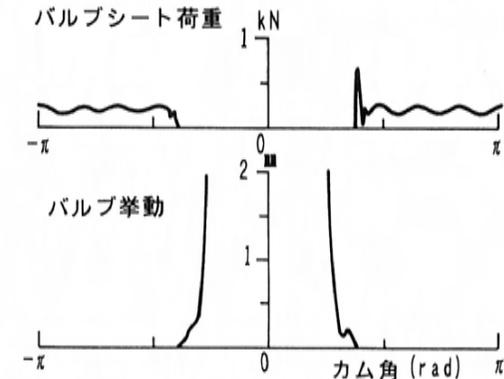


図9 疑似バウンス挙動とその時のバルブシート荷重

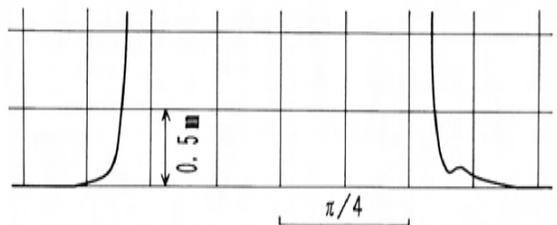


図10 疑似バウンス挙動の計測例

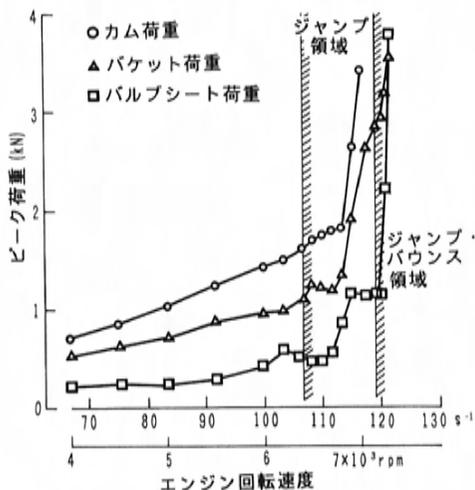
が認められた。このような疑似バウンスが発生しても、荷重の増加は少なく、バルブ系部品の破損は生じにくい。

以上のように、バルブ閉じ側のたわみがバウン

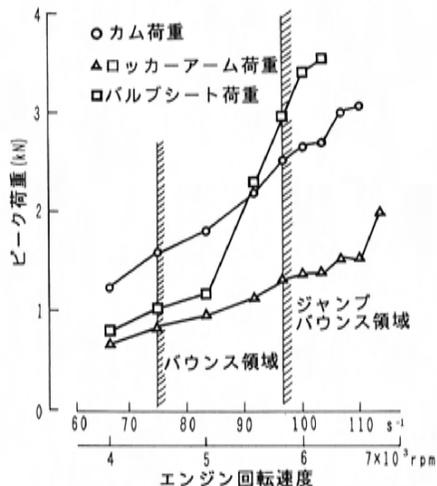
スの発生に対して大きく作用していることを確認した。

5.3 ジャンプ・バウンスと剛性の関係

つづいて、剛性の異なる2種類の弁機構を用い

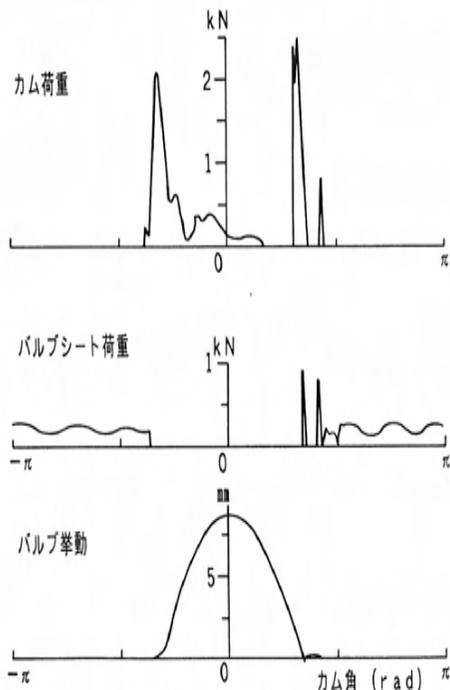


(a)剛性が高いとき

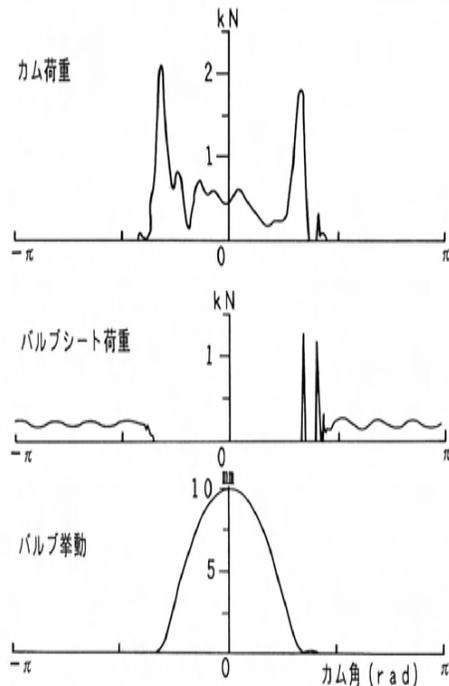


(b)剛性が低いとき

図11 各部品にはたらく荷重の比較



(a)剛性が高いとき



(b)剛性が低いとき

図12 バウンス発生時に各部品にはたらく荷重の比較

て動弁系剛性の影響を調べた。その結果、剛性の違いによりバウンス発生の方に大きな差異が認められた。剛性の高い動弁系ではまずジャンプが発生し、回転が上がりジャンプによる荷重が急増した後、バウンスが発生する(図11 a)。そしてバウンスの発生とほぼ同時にバルブシート荷重も急激に増加する。それに対し、剛性が低い場合には、ジャンプ発生なしに低回転からバウンスが発生する(図11 b)。しかし、この場合にはバウンスしても発生する衝撃荷重は低く、荷重の増加も比較的緩やかである。

剛性が高い場合は、ジャンプが大きくなりジャンプ後再びカム上に戻るときに発生する高い衝撃荷重によって生じるたわみのため、バルブシートへの衝突が起きる。一方、剛性が低い場合には、ジャンプの発生なしでもバルブ閉時の慣性力によるピーク荷重のみで大きなたわみが生じ、バルブシートへの衝突が起きる(図12)。

たわみ量とバウンス発生との関係を確認するため、剛性の高い直動方式動弁機構を用い、閉じ側緩衝

部の高さを変えて、バルブ閉時にカムにかかる荷重と着座衝撃力を求めた。表1は緩衝部高さと荷重の急増回転数の関係を示している。カム荷重の急増点は緩衝部高さにより変化していないが、着座衝撃力は緩衝部の高さをあげると急増点が高回転側になる。緩衝部の高さを微妙に変えてもバルブの加速度曲線はほとんど変化しない。したがって、バルブのジャンプ挙動は変わらず、カム荷重の急増点も変化しない。しかし、緩衝部高さの増加により吸収できるたわみ量が増えるので、バウンス発生回転数は向上し、着座荷重の急増点が高くなる。以上より、たわみがある量に達したときにバルブシートへの衝突が起こり、バウンスを発生するものと考えられる。

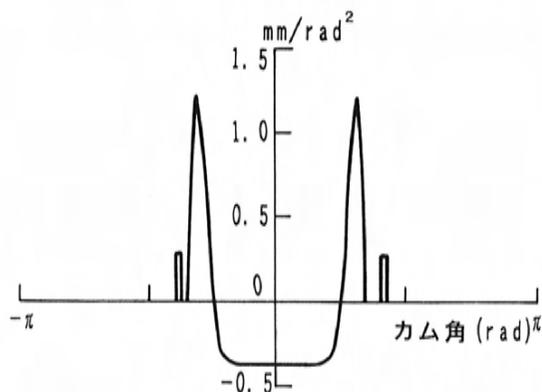
6. 回転限界の向上

以上から、閉じ側の正加速度を低くすれば衝撃発生が抑制されるので、バウンスを発生しにくくできることになる。しかしながら、性能面からはバルブエリアをできるだけ広く確保する必要があり、開き側正加速度は高く設計すべきである。従来、カム設計曲線として用いてきたポリサイン曲線では曲線の設計自由度が低く、閉じ側の正加速度のみ下げようとする設計は困難である。そこで、ハーモニック曲線⁽⁸⁾に動的補正を加え、開き側と閉じ側の加速度曲線の形状を各々独立に自由に設計できるカム設計プログラムを新たに開発した。

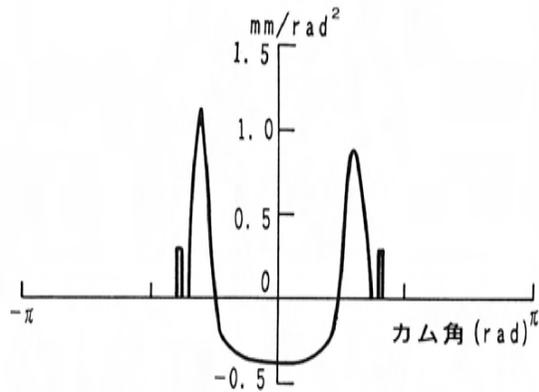
バルブリフトをカム角 x の関数として、

表1 緩衝部高さと荷重急増開始点の関係

	カム荷重急増開始速度	バルブシート荷重急増開始速度
仕様 1 緩衝部高さ 0.095mm	113.3s ⁻¹ 6800rpm	116.7s ⁻¹ 7000rpm
仕様 2 緩衝部高さ 0.125mm	113.3s ⁻¹ 6800rpm	118.3s ⁻¹ 7100rpm
仕様 3 緩衝部高さ 0.150mm	113.3s ⁻¹ 6800rpm	120.0s ⁻¹ 7200rpm



(a)従来カムの加速度曲線



(b)新開発カムの加速度曲線

図13 新旧カムの等価カム加速度の比較

$$y = \sum_{i=0}^n A_i \cdot \cos(ix) \quad (1)$$

とすると、等価カムバルブリフトは、

$$Y_D = Y_r + \rho y + \phi \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (2)$$

で表わされる。ここで A_i はハーモニック係数、 n は次数、 ρ と ϕ はダイナミック係数、 Y_r は緩衝部高さである。

図13は、従来のカムとこの設計プログラムを用いて設計したカムの加速度曲線を比較したものである。開き側の加速度の高さにはあまり差がないが、閉じ側の加速度の高さは従来カムに比べて、20%程度低くなっている。

図14にこのカムを用いた時の着座衝撃力、カム衝撃荷重の計算値を従来のカムを用いたときの値と比較して示す。着座衝撃力、カム衝撃荷重とも従来のカムより低下し、荷重急増点も約200rpmほど高回転側に移動し、バウンスの発生限界が向上している。直動式のエンジンを用いて2本のカムを試作し、実験により確認評価した結果、従来のカムでは耐久試験でバケットとバルブの破損が生じたが、新しいカムではバウンスの発生回転数がほぼ予測どおり向上し、バルブ等の破損もなく耐久テストを問題なく終了した。

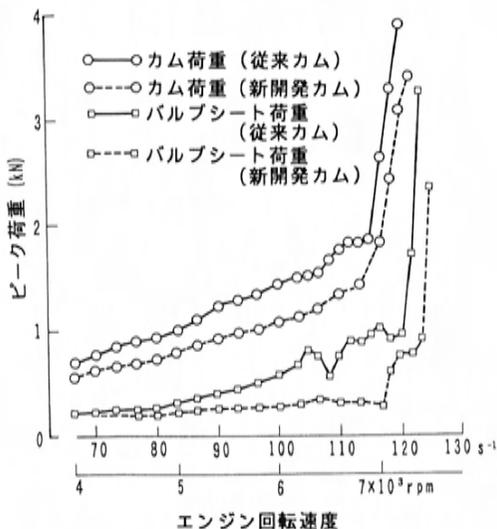


図14 新旧カムの閉じ側荷重の比較

7. まとめ

動弁機構の挙動シミュレーションプログラムを新たに開発し、それを用いてジャンプとバウンスの解析を行った。その結果、以下のことが明らかになり、回転限界を向上することができた。

- (1) 数値計算結果は実測値とよく合い、シミュレーションモデルが妥当であることを確認した。
- (2) ジャンプによるカムプロフィール上への戻り点が正加速度域に達すると、カムへの衝撃的な衝突が発生しカム荷重が急増する。
- (3) バウンス状挙動には、バルブシートに着座してはね返る真のバウンスと、着座しない疑似バウンスの2種類がある。
- (4) バウンスは、バルブが閉じる直前の荷重により動弁系のたわみが閾値を越えたとき発生する。
- (5) 動弁系の剛性によってバウンス発生の方が異なる。高剛性時にはジャンプに起因するが、低剛性時にはジャンプなしでも発生する。高剛性時には高い衝撃荷重が発生し、バルブの破損により回転限界となりやすい。
- (6) 閉じ側の設計加速度を抑制することにより、動弁系各部の荷重を低減でき、バウンスの発生が抑制され、回転限界を向上できる。設計自由度の高いカム設計曲線を新たに開発し、閉じ側設計加速度抑制の効果を確認した。

8. おわりに

本技術の開発により、出力性能と回転限界を高度にバランスさせたカムの設計が可能となった。今後更に高性能のカム設計を可能とすべく研究を続けていく予定である。

参考文献

- (1) 秋葉機四郎, 清水彰, 酒井宏: 弁機構の力学的研究, 第4回内燃機関合同シンポジウム講演論文集, 1984, P.271~276.
- (2) M. Roskilly, et al: VALVE GEAR DESIGN ANALYSIS, CIMAC 865027
- (3) 秋葉機四郎: 弁機構の力学モデルについての一考察, 自動車技術会講演論文集, 871052, P.273~276.
- (4) K. AKIBA et al: A DYNAMIC STUDY

OF ENGINE VALVING MECHANISM,
SAE Paper 880389

- (5) 長屋幸助, 渡辺和秀, 塚原裕: 弁取付荷重を考慮した高速エンジン動弁系のジャンプ・バウンス現象の解析, 機械学会論文集(C編), 55巻511号 (1983-3), P.678~685.
- (6) H. KANESAKA et al: A NEW METHOD OF VALVE CAM DESIGN -HYSDYNE CAM, SAE Paper 770777
- (7) A.R.HEATH: VALVE TRAIN DESIGN FOR MULTI-VALVE AUTOMOTIVE GASOLINE ENGINES, FISITA Paper 885133
- (8) 佐藤晃, 花岡正紀: 高速内燃機関用カムの設計法, トヨタ技術, 第18巻第4号, P.333~341.
- (9) 中村信, 岩本博: 油圧リフター付動弁系の問題点とその解決, 自動車技術会講演論文集, 862085, P.443~448.
- (10) 酒井宏: 第374回講習会教材, 日本機械学会, 昭和48年2月

■ 著 者 ■



栗栖 徹



畑村 耕一



大森 裕史



野村一正

論文・報告

19

セリア担持法改良による三元触媒の高性能化

Improvement of Three-Way Catalyst Performance by Optimizing Ceria Impregnation.

村上 浩*¹ 井原 和則*² 大久保 健治*³
 Hiroshi Murakami Kazunori Ihara Kenji Ohkubo
 磯 辺 正*⁴
 Tadashi Isobe

要 旨

Abstract

三元キャタリスト (TWC) 性能を改善するためセリアの最適な担持形態を明確にすることを試みた。この結果、セリアはウォッシュ・コート・アルミナの細孔表面に微粒子の凝集体で分散した状態がTWC性能の改善に効果的であることを見いだした。更に、このようなセリアの担持状態を確実にかつ容易に実現するためにセリアをウォッシュ・コート・アルミナ層の表面にオーバー・コートする担持法が効果的であり、この手法によるTWCは従来の一層構造タイプより高性能であることが確認できた。このTWCに対し、酸素貯蔵能力、水性ガス反応の反応特性あるいはセリア、アルミナ、白金の結晶状態を調査することにより性能向上の要因を解析した。

To improve three-way catalyst performance, optimization of impregnation method of ceria (CeO_2), which is added as an oxygen storage component, was investigated. The impregnation layer of ceria separated from the layer containing precious metals (active components) was found to be most effective to increase activity among the methods studied. It seems that this new double coating improves interactions between ceria, alumina and the precious metals.

1. ま え が き

自動車用キャタリストシステムは、厳しいエミッション規制に対応するシステムとして過去十数年にわたり採用されてきた。しかし、今後の更に厳しいエミッション規制、そしてエンジンの高出力化に対応していくため現在のTWCには、一層の性能改善が求められている。

現在のTWCには主要な成分の一つとしてセリア (CeO_2) が添加されている。このセリアは白金 (Pt)、ロジウム (Rh) などの活性成分の反応活性を高める作用があり、これに関する多くの研究が報告されている。

W.B.Williamson らは、TWCの性能向上を目的として、活性成分、キャタリスト容量、アルミナ担持法とともにセリアの最適添加量の検討を行っている⁽¹⁾。

また、J.C.Schlatter らは活性成分である Pt, Rh とセリアを各種組合せて浄化性能を調査し、Rh とセリアを複合させることにより CO の浄化性能が向

上することを見いだしている⁽²⁾。

更に、B.Harrison らは、セリアはウォッシュ・コート・アルミナの熱安定化に寄与し、アルミナと Rh の相互作用の抑制に効果があると報告している⁽³⁾。

一方、セリアの熱安定性を向上させTWCの活性を改善する研究も試みられている⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

このようにTWCにおけるセリア添加に関する研究の報告はなされているが、これらはセリアの最適担持量、セリアと活性成分 (Pt, Rh) やアルミナとの相互作用を解明した基礎的な研究あるいはセリアへの熱的影響を研究したものであり、セリアの担持形態の影響に関する研究の報告はあまりなされていない。

本研究ではTWCを更に高性能化するため、セリア担持法に着目した検討を行いその改善効果を明らかにした。

* 1, * 2, * 3, * 4 技術研究所

2. 実験経過

2.1 テストサンプル

実験には、 γ -アルミナを表面コートしたコーディライト製モノリス担体(400セル/in², 壁厚150 μ m)に活性成分としてPtとRhを5/1の比率で0.3wt%担持させ、更に所定量のセリアを含浸、担持させたものを用いた。

2.2 実験方法

(1) アルミナ、セリアおよび貴金属成分の分布状態

各成分の分布状態についてはX線マイクロアナライザ(EPMA)および透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた。

(2) アルミナ、セリアの結晶特性

結晶相、結晶径はX線回折法により得られたピークの位置およびその半価幅の値からScherrerの式により求めた。

(3) キャタリスト表面積

キャタリスト表面積は窒素吸着によるBET法で測定した。

(4) TWCのエイジング

サーマルエイジングは電気炉において、空気中の900℃および1,000℃の加熱処理により行った。また、エンジンエイジングは2ステージからなるサイクリックモード(キャタリスト入口温度450℃で45分, 900℃で15分が1サイクル)200サイクルの耐久により行った。

(5) キャタリストの活性測定

合成ガスを用いた実験室活性試験装置で測定した。このときの評価は以下の条件を用いて行った。

- ・サンプル形状 : 直径 25 mm
長さ 50 mm
容量 24 ml
- ・合成ガス流量 : 24 l/min
- ・空間速度 : 60,000 h⁻¹

また、酸素貯蔵効果および水性ガス反応性評価については実験室活性試験装置を用い次の条件で測定した。

① 酸素貯蔵効果 : 不活性ガス(N₂)流通ラインに、COとO₂を各々の濃度が2%, 1%となるよう交互にパルス(0.01 Hz)で添加した。

② 水性ガス反応性 : 不活性ガス(N₂)中にCOとH₂Oを各々0.6%, 10%となるよう混合しキャタリストに流通した。

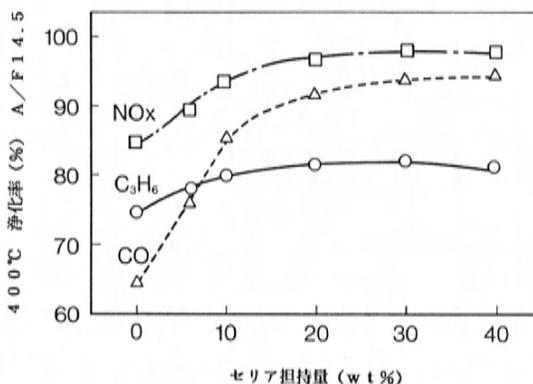
3. 結果と考察

3.1 キャタリスト活性に及ぼすセリアの影響

キャタリスト活性に及ぼすセリアの影響因子としては、セリアの担持量、粒子径、更には使用するセリウム化合物等が考えられる。

最初にセリウム塩の含浸法により試作したTWCについてセリア担持量の影響を調査した。

図1にセリア担持量とC₃H₆、COおよびNO_xの浄化率の関係を示す。



熱処理条件: 1,000℃ 6時間空気中加熱

図1 キャタリスト活性に及ぼすセリア担持量の影響

この結果、セリア担持量は20 wt%までは浄化率が向上するが20 wt%以上になると浄化率は向上せず平衡に達した。

次に、アルミナ・ウォッシュ・コート層でのセリア分散状態とキャタリスト活性の関係をみるため、セリア担持量を20 wt%と一定にし分散状態が異なるよう、セリウム化合物および担持法を各種変更することにより種々のセリア分散状態を有するTWCを試作した。

試作TWCに対して透過型電子顕微鏡で観察した結果、以下に示すような三つのタイプのセリア分散状態の試料が得られた。

タイプA：主にアルミナの細孔表面部にセリアが微粒子凝集体（二次粒子）で分散。

タイプB：比較的大きな二次粒子でアルミナ中にセリアがほぼ均一に分散。

タイプC：アルミナ中にセリアが微粒子で均一に分散。

このタイプA, B, Cの試料に対し、活性評価を行いセリアの分散状態とキャタリスト活性の関係を明らかにした。

図2にその結果を示す。セリアの担持形態はタイプA、すなわちアルミナの細孔表面部にセリアが微粒子凝集体で分散しているタイプが最も優れている。

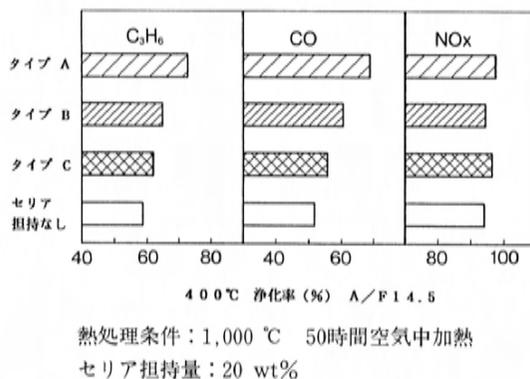


図2 キャタリスト活性に及ぼすセリア分散状態の影響

これらの結果よりキャタリスト活性に対し、次のような傾向があることが認められた。

①セリア担持量を増してもある量以上になるとその効果は平衡に達し、キャタリストの活性向上には限界がある。

②同一セリア担持量でもセリアの分散状態によりキャタリスト活性は大きく異なる。

③セリアは、アルミナ・ウォッシュ・コート層のアルミナの細孔表面部に分散していることがキャタリスト活性向上に有効である。

3.2 セリア異層担持の

キャタリスト活性への効果

TWCの活性向上に効果的なタイプAのようなセリア分散状態を、より確実にまたより容易に実現するためにセリアの新しい担持方法を試みた。

セリアを従来のようにアルミナ・ウォッシュ・コート中に分散させず、活性成分が存在するアルミナ・ウォッシュ・コート層の上にセリア・コート層を形成させた二層構造タイプTWCである。これは、前述したTWC活性向上に効果のあるアルミナ細孔表面部にセリアが微粒子凝集体で担持された一層構造タイプTWC（タイプA）の状態を形成させることを図っている。以後の一層構造タイプTWCはタイプAを示す。

図3に試作した二層構造タイプTWCのX線マイクロアナライザによるウォッシュ・コート層のセリアおよびアルミナの状態を示す。

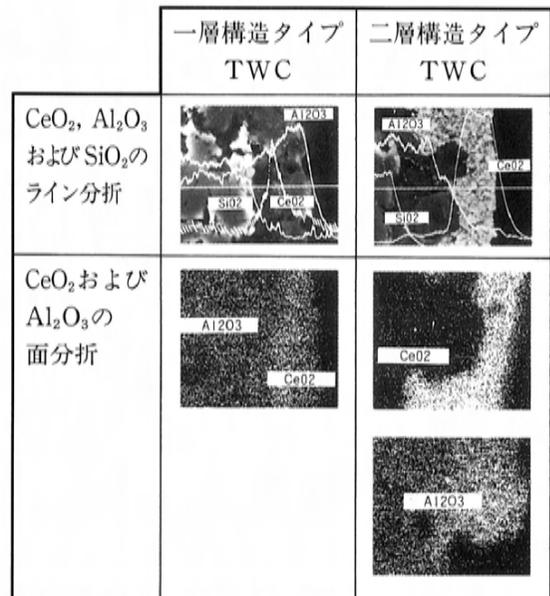


図3 一層構造タイプTWCおよび二層構造タイプTWCのセリアとアルミナの分散状態

従来の一層構造タイプTWCはセリアがアルミナ・ウォッシュ・コート層に広く分散しているのに対して、二層構造タイプはセリアとアルミナが完全に分離されており、かつ両者の境界領域ではセリアがアルミナの細孔内に入り込んでいる様子が観察された。

また、図4に二層構造タイプTWCのPtおよびRhのX線マイクロアナライザによるライン分析結果を示す。PtおよびRhともにアルミナ・ウォッシュ・コート層に存在し、セリア層には存在していない。

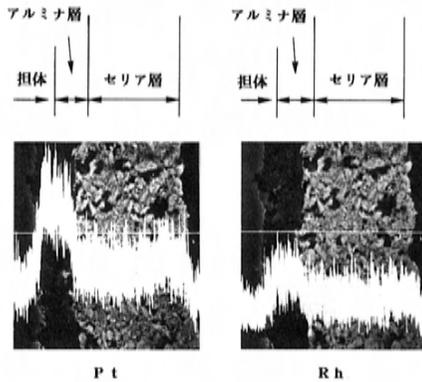


図4 二層構造タイプTWCの貴金属ライン分析

この二層構造タイプTWCに対して、実験室におけるサーマルエイジングおよびエンジンエイジング後、合成ガスによるキャタリストの活性評価を行った。

表1に従来の一層構造タイプTWCと二層構造タイプTWCのサーマルエイジング後の浄化率結果を示す。

C_3H_6 、COおよび NO_x のいずれも低温活性および高温時の浄化性能の両方で二層構造タイプTWCが優れていた。

表1 サーマルエイジング後の一層構造タイプTWCおよび二層構造タイプTWCのキャタリスト活性

キャタリスト	50%浄化温度(°C)			400°C浄化率(%)		
	C_3H_6	CO	NO_x	C_3H_6	CO	NO_x
一層構造タイプTWC	374	300	280	73	59	98
二層構造タイプTWC	359	245	230	88	70	99

熱処理条件：1000 °C 50時間空気中加熱
A/F14.5における性能

また、表2に示すようにエンジンエイジング後の C_3H_6 、COおよび NO_x の浄化率結果は、サーマルエイジング後と同様に二層構造タイプTWCが優れている。

表2 エンジンエイジング後の一層構造タイプTWCおよび二層構造タイプTWCのキャタリスト活性

キャタリスト	50%浄化温度(°C)			400°C浄化率(%)		
	C_3H_6	CO	NO_x	C_3H_6	CO	NO_x
一層構造タイプTWC	345	305	275	66	63	70
二層構造タイプTWC	315	233	254	82	74	85

耐久条件：200サイクルエンジンエイジング
A/F14.7±0.9 (1.0 Hz) における性能

更に、エンジンエイジング後のサンプルを用いて一層構造タイプTWCおよび二層構造タイプTWCについてA/Fを変化させた時の浄化率を調査した。

表3に空燃比をリッチ、理論空燃比そしてリーンにした時の C_3H_6 、COおよび NO_x の浄化率結果を示す。

表3 エンジンエイジング後の一層構造タイプTWCおよび二層構造タイプTWCの空燃比におけるキャタリスト活性

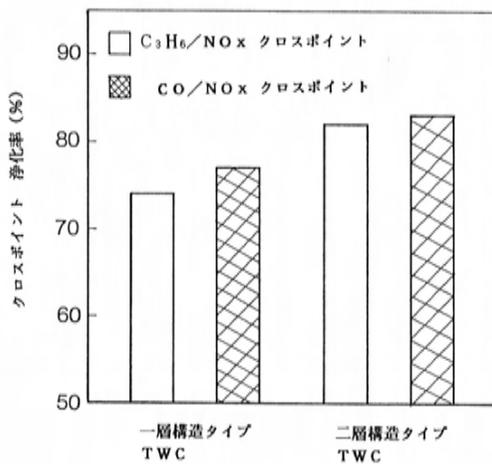
A/F	400°C 浄化率 (%)					
	一層構造タイプTWC			二層構造タイプTWC		
	C_3H_6	CO	NO_x	C_3H_6	CO	NO_x
14.3	15	17	74	22	23	86
14.7	60	53	76	71	65	86
15.0	79	81	64	85	89	65

二層構造タイプTWCはリッチ、理論空燃比およびリーン領域でも一層構造タイプTWCより優れている。

図5に二層構造タイプTWCおよび一層構造タイプTWC両サンプルの C_3H_6/NO_x および CO/NO_x のクロスポイントの結果を示す。

二層構造タイプTWCは C_3H_6/NO_x , CO/NO_x 共にクロスポイントの値が高い。

以上の結果より、アルミナ・ウォッシュ・コート層の上にセリアを担持させた二層構造タイプTWCは、従来の一層構造タイプTWCに比べてTWC性能も向上していることが認められた。



耐久条件：200サイクル
エンジンエイジング

図5 一層構造タイプTWCおよび二層構造タイプTWCのクロスポイント値

3.3 二層構造タイプTWCにおけるセリアの特性

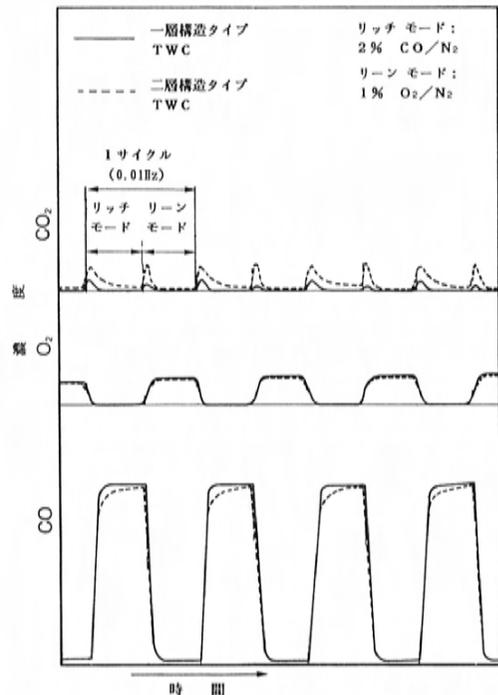
前述のように大幅なキャタリスト活性の向上が認められた二層構造タイプTWCにおいて、酸素貯蔵効果と水性ガス反応性について評価した。

酸素貯蔵効果については、TWC試料に CO (2%)と O_2 (1%)を交互に0.01 Hzのパルスで流通させ、この時の CO , O_2 および CO_2 の挙動を調査した。

図6に CO , O_2 交互のパルス流通における CO , O_2 および CO_2 の濃度変化を示す。

二層構造タイプTWCは一層構造タイプTWCに比べ CO の添加切り替え時の CO 濃度の立ち上がりが緩やかになっており、また CO_2 濃度が増加していることが認められた。

これは、 O_2 パルス時(リーンモード)にセリアに吸着された O_2 と CO パルス時(リッチモード)の CO との反応性、すなわち酸素貯蔵能力が二層構造タイプTWCは一層構造タイプTWCより優れているためであると考えられる。

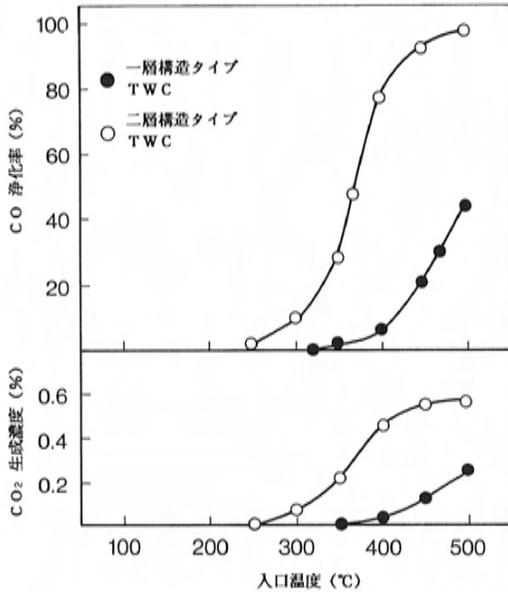


熱処理条件：900℃ 50時間空气中加熱
入口温度400℃

図6 一層構造タイプTWCおよび二層構造タイプTWCの酸素貯蔵効果

次に水性ガス反応性について一層構造タイプTWCと二層構造タイプTWCのCO転化率の結果を図7に示す。

この結果から、明らかに二層構造タイプTWCはCOの浄化率およびCO₂の生成濃度が高くなっており、水性ガス反応性に優れている。



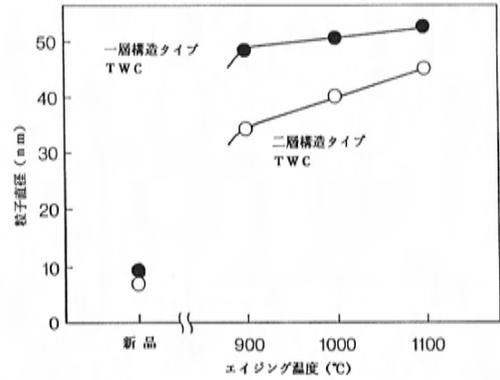
熱処理条件：900 °C 50時間空气中加熱
入口ガス：CO 0.6% H₂O 10% / N₂

図7 一層構造タイプTWCおよび二層構造タイプTWCの水性ガス反応性

このように、二層構造タイプTWCが酸素貯蔵効果および水性ガス反応性の両面で一層構造タイプTWCに比べ向上する原因の一つとして、セリアの結晶粒子状態が影響していると考えられる。したがって、セリアのエイジング温度に対する粒子径の変化について調査した。

図8にエイジング温度に対するセリアの粒子径の変化を示す。二層構造タイプTWCはセリアの粒子径の粗大化

が一層構造タイプTWCに比べて少なく、セリアのシンタリングが抑制されている。このことが酸素貯蔵効果と水性ガス反応性をより高くしたといえる。



熱処理条件：50時間空气中加熱

図8 一層構造タイプTWCおよび二層構造タイプTWCのセリア粒子径

一方、キャタリスト活性への影響要因としてはアルミナの物性更には活性成分 (Pt, Rh) の結晶状態がある。よってアルミナの結晶相および表面積のエイジング温度に対する影響を調査した。

表4にエイジング温度に対するアルミナ結晶相の結果を示す。

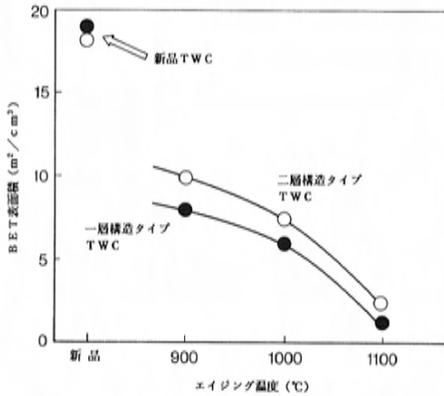
表4 一層構造タイプTWCおよび二層構造タイプTWCの主な結晶相

キャタリスト	エイジング温度			
	新品	900°C	1000°C	1100°C
一層構造タイプTWC	γ -Al ₂ O ₃	θ -Al ₂ O ₃	α -Al ₂ O ₃	←
二層構造タイプTWC	γ -Al ₂ O ₃	θ -Al ₂ O ₃	θ -Al ₂ O ₃ α -Al ₂ O ₃	α -Al ₂ O ₃

熱処理条件：50時間空气中加熱

一層構造タイプTWCは1,000 °Cで α -Al₂O₃に転移しているのに対し、二層構造タイプTWCは1,000 °Cでは θ -Al₂O₃であり1,100 °Cで α -Al₂O₃に転移し、結晶相転移が抑制されていることがわかる。

また図9に一層構造タイプTWCと二層構造タイプTWCのエイジング温度に対するキャタリストの表面積の変化を示す。いずれのタイプでも表面積は低下するが、高温においても二層構造タイプTWCの表面積は大きい。

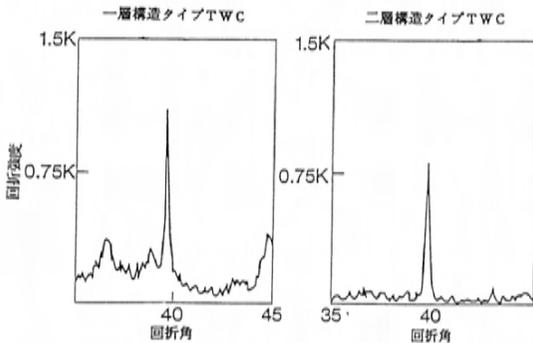


熱処理条件：50時間空气中加熱

図9 一層構造タイプTWCおよび二層構造タイプTWCの表面積

次に、活性成分であるPtの結晶状態についてエイジング温度の影響を一層構造タイプTWCと二層構造タイプTWCで比較した。

図10にPtのX線回折結果を示す。この結果二層構造タイプTWCのPtは結晶成長が一層構造タイプTWCに比べ抑制されている。



熱処理条件：1,000 °C 50時間空气中加熱

図10 一層構造タイプTWCおよび二層構造タイプTWCのPt結晶状態

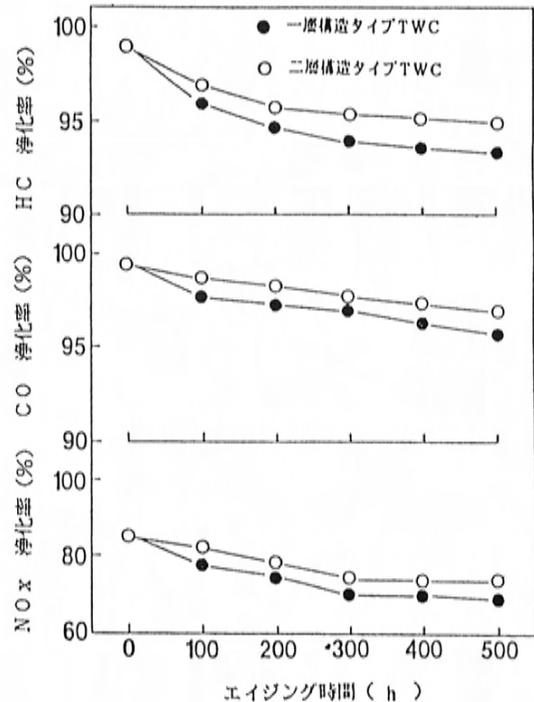
以上の結果は、アルミナ・ウォッシュ・コート層からセリアを分離した二層構造タイプTWCではセリアとアルミナの相互作用が抑制され、セリアとアルミナの熱安定性が向上したことを示している。

また活性成分とセリアの相互作用も低減され、そのシンタリングが抑制されていると推定される。

今回の研究で得られた二層構造タイプTWCについてエンジンダイナモメータでのエミッション耐久試験を行った。

図11にHC, CO, NOxのエミッション浄化率を示す。

二層構造タイプTWCは一層構造タイプTWCに比べてHC, CO, NOx共にエミッションの耐久性が向上していることが確認された。



耐久条件：2サイクル エンジンエイジング

図11 一層構造タイプTWCおよび二層構造タイプTWCの実車CVS-4モードでのHC, CO, NOx浄化率

4. まとめ

TWCの性能改善としてセリアに着目し、セリアの担持法について種々検討した結果、以下のような結論を得た。

(1) セリアは同じ担持量でもウォッシュ・コート層のアルミナ細孔表面部に分散していることがキャタリスト活性向上に効果的である。

(2) セリアの担持法としては、活性成分担持アルミナ層から分離した層に担持(二層構造タイプ)させることにより、従来の単一層担持(一層構造タイプ)に比べ大幅にキャタリスト活性を改善する。

(3) 二層構造タイプTWCの活性が向上した要因として以下の二つが考えられる。

① セリアの結晶粒子成長の抑制による酸素貯蔵効果および水性ガス反応性の向上。

② セリアとアルミナ更にはセリアと活性成分の相互作用抑制効果によるセリア、アルミナの熱安定性向上および活性成分のシントリング抑制。

(4) 開発した二層構造タイプTWCは性能の優位性と同時に比較的容易なプロセスで製造可能であるため、今後の排ガス規制の強化に対して効果的な対応技術になり得ると思う。

最後に本研究にあたって多大なるご協力を頂いた東京沪器(株)をはじめ、社内外の関係各位に感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- (1) W.B.Williamson, J.C.Summers, J.F.Skowron : Catalyst Technologies for Future Automotive Emission Systems, SAE Paper 880103.
- (2) J.C.Schlatter, P.J.Mitchell : Three-Way Catalyst Response to Transients, Ind. Eng.Chem.Prod.Res.Dev, Vol.19, No.3 p. 288-293(1980).
- (3) B.Harrison, A.F.Diwell, C.Hallett : Promoting Platinum Metals by Ceria, Platinum Metals Review, Vol.32(5), p. 73-83 (1988).

- (4) M.Funabiki, T.Yamada : A Study on Three-Way Conversion Catalyst Thermal Deactivation and Improvement, SAE Paper 881684.
- (5) 松本伸一, 三好直人 : Pd 触媒の NO,CO 吸着と反応特性に対する希土類添加効果, 触媒討論会 講演原稿集 Vol.58, p.294-295 (1986).
- (6) K.Ihara, K.Ohkubo, Y.Niura : Thermal Effect on Three-Way Catalyst Deactivation and Improvement, 4th IPC Paper 871192.

■ 著 者 ■



村上 浩



井原和則



大久保健治



磯辺 正

論文・報告

20

粒子分散型 Mo パーマロイ膜の研究

Study of Particles Dispersed Type Mo-Parmalloy Films

近藤 二郎*¹
Jiro Kondo清水 勉*²
Tsutomu Shimizu谷岡 真一*³
Shinichi Tanioka松井 恵子*⁴
Keiko Matsui

要 旨

Abstract

Mo パーマロイ上にセラミックス (BN, Si₃N₄) を置いた複合ターゲットを用いて、スパッタリング成膜した粒子分散型 Mo パーマロイ膜において、良好な軟磁気特性を得ることができた。特に Si₃N₄ を分散させた Ni-Fe-Mo-Si-N 系膜は、実効透磁率 5×10^3 (1 MHz) 以上を示し、従来の Fe 系あるいは Co 系多層膜を大きく凌いでいる。このような高い透磁率が得られた原因としては、膜中に構成される金属相とセラミックス相の複合的な構造が考えられる。

本報告では、これら膜構造と軟磁気特性の関連を検討するとともにその有用性についても言及する。

A very soft magnetic characteristic was obtained with particle-dispersed Mo-Parmalloy films sputtered on target alloys (i.e., Mo-Parmalloy on which BN and/or Si₃N₄ placed). Specifically, a Si₃N₄-dispersed Ni-Fe-Mo-Si-N film had an effective permeability of 5×10^3 or over at 1 MHz, far exceeding that of a Femultilayer due to a composite microstructure consisting of film or a Co-multilayer film. Such a high effective permeability is probably the metal phase and the ceramic phase of the film.

This paper discusses the relation of the film structure and the soft magnetic characteristic and refers to the usefulness of the film.

1. はじめに

代表的な機能材料の一つである磁性材料は、従来から自動車を始めとする様々な産業機器に適用されている。なかでも高い実効透磁率を持つ軟磁性材料は、微少な磁界の変化を誘起する種々の物理量変化を、高速かつ非接触に測定できるという特徴を有する。このような特徴を持つ軟磁性材料であるが、機器の小型化、高性能化といった要求に応えるためには応答速度を更に高速化する必要がある。したがって、センサ用軟磁性材料としては MHz 帯域に及ぶ高周波域まで、高い実効透磁率を維持することが求められることから、本研究に着手した。

2. 高周波特性を改善するための課題

軟磁性材料の実効透磁率を決定するものに磁気異方性がある。これは材料の方向によって磁気特性が異なる性質で、磁化しやすい方向を容易軸、磁化しにくい方向を困難軸という。一般に一斉回

転により磁化反転が進むと仮定できる高周波域では、実効透磁率は飽和磁化の大きさに比例し、磁気異方性の大きさに反比例する⁽¹⁾。ところが飽和磁化は材料の組成によりほぼ決定されるため、技術的に改良できる可能性は小さい。これに対して磁気異方性は構造敏感量であり、高実効透磁率を実現する上での検討対象となる。磁気異方性はその起源によって結晶磁気異方性、磁歪磁気異方性、形状磁気異方性、誘導磁気異方性などに分類される。この中で、結晶磁気異方性と磁歪磁気異方性は材料の持つ本質的な性質であることから軟磁性材料の特性を左右する最も重要な因子となる⁽²⁾。

また、軟磁性材料を高周波域で使用した場合、材料自身の磁化は高速で変化する磁界に追従しきれず、時間的に遅れながら不要磁化反転を起こすようになる。その結果、実効透磁率が低下してしまうことから、前述の遅れは軟磁性材料を高周波域で使用する場合の最も重大な問題となる。

このような遅れを生ずる原因としてはヒステリシス損失、渦電流損失、磁気余効による損失など

* 1, * 2, * 3, * 4 技術研究所

が知られている。一般に電気絶縁物であるフェライト系材料に対し、電気抵抗率の小さい金属系材料の場合、渦電流損失が主な遅れの原因となる。図1⁽³⁾は時間的な遅れを δ とした場合の損失割合を $\tan\delta$ の大ききで評価したものである。

次に、棒状試料の場合、渦電流損失 P_e は(1)式によって示される⁽⁴⁾。

$$P_e = (r^2/8\rho) (dI/dt)^2 \quad (1)$$

r : 試料の半径

ρ : 電気抵抗率

dI/dt : 磁化の時間変化

この中で dI/dt は交流磁界の周波数に依存する項であり、高周波域になればなるほど増大する。したがって渦電流損失を低減し、高周波用軟磁性材料を得るためには、以下の2点が課題となる。

- ① 試料の半径を小さくすること(板状試料の場合は薄くすること)。
- ② 材料の電気抵抗率を大きくすること。

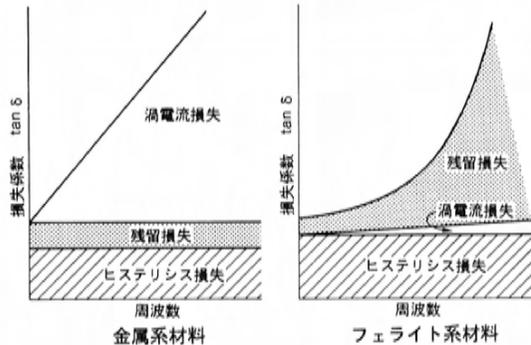


図1 金属系、フェライト系材料の各種損失割合

3. 粒子分散型軟磁性材料の研究

近年、薄膜作製技術の進歩により、層の厚さが数百ナノメートルの膜を積層した多層膜、更には人工格子のような究極の積層構造を有する膜も作製可能となった。したがって金属系材料においても、渦電流損失は大幅に低減されている。しかし、これらの膜は成膜プロセスが複雑で、再現性等の面から必ずしも卓越した材料であるとは言いがたい。

また、アモルファス材料は規則的な結晶構造を

持たないため、結晶磁気異方性がほとんど零に近く、しかも電気抵抗率も通常の結晶質材料に比べて大きいという優れた特徴を有する。しかし、構造的には準安定相であるため、熱的な安定性上問題があり、一部VTR用磁気ヘッドとして実用化されるに留まっている。

以上のように軟磁性材料研究の現状を踏まえたとき、成膜プロセスが比較的簡単で、なおかつ熱的な安定性においても問題の少ない材料を得ることは、今後の幅広い応用を考える上で重要である。

我々は、熱的に安定なMoパーマロイ(Ni-Fe-Mo合金)⁽⁵⁾膜中にセラミックスの微粒子を均一に分散させる⁽⁶⁾ことにより電気抵抗率の向上を図り、高周波域まで使用可能な金属系軟磁性材料を得ることを試みた。本論文では以下の観点から研究結果を報告する。

- (1) 膜構造の検討
- (2) 電磁気特性の検討

4. 成膜方法

試料作製は一般的なRFスパッタ法により行った。チャンバ内を 6.0×10^{-5} Paまで予備排気した後Arガスを導入した。

重要な成膜条件の一つであるArガス圧については、各ガス圧下で純Fe膜を作製した後、得られた膜の保磁力を測定することにより決定した(表1)。これは合金膜でガス圧を決定する場合には、膜組成の変化が保磁力に対して影響を及ぼす恐れがあるためである⁽⁷⁾。

表1 Fe膜の保磁力に及ぼすArガス圧の影響

ガス圧 (Pa)	0.5	2.5	5.0
保磁力 (A/m)	80	120	640

この結果、Arガス圧は低い方が良好な軟磁気特性を得られることがわかった。これは高Arガス圧下で成膜すると、膜厚方向に柱状組織が発達し⁽⁸⁾⁽⁹⁾、形状磁気異方性が増大するためであると考えられる⁽¹⁰⁾。ところが、Arガス圧が0.5Paを下回ると放電が不安定になるとともに、成膜速度も極端に低下する。したがって、より放電の安定している0.7Paで成膜を行うこととした。

プラズマを発生させるための入力電力は200Wとし、基板には間接水冷したホウケイ酸ガラスを用いた。合金ターゲットにはアーク溶解炉により溶製した $\text{Ni}_{80.9}\text{Fe}_{10.3}\text{Mo}_{8.8}$ 、および $\text{Ni}_{81.2}\text{Fe}_{12.9}\text{Mo}_{5.9}$ を用いた。またこれらの合金ターゲット上に配置するセラミックスチップ($\phi 10\text{-t}2$)には、BN、 B_4C 、 Si_3N_4 、SiCを用いた。

以上の条件のもとで成膜したところ、スパッタレートは $1.0 \mu\text{m/h}$ (17nm/min)であった。膜の構造、電磁気特性に関する評価は、膜厚約 $1.5 \mu\text{m}$ の試料を用いて行った。なお本論文中におけるセラミックスの添加量については、膜中のSi、B量をEPMAにより分析し、それぞれBN、 B_4C 、 Si_3N_4 、SiCに換算した値で表記した。

5. セラミックス添加による透磁率の変化

図2にそれぞれのセラミックスを4.5at%添加した試料について実効透磁率の周波数依存性を示す。本図に示すようにBN、 Si_3N_4 を添加した場合の実効透磁率は 10^3 以上となっており、 B_4C 、SiCに比較して約一桁以上高い値が得られている。この原因が何であるか明確にすることはできないが、少なくとも炭化物系よりも窒化物系のセラミックスの方が良好な軟磁気特性を与えるものと判断し、以降では窒化物添加の場合につき検討を進めた。

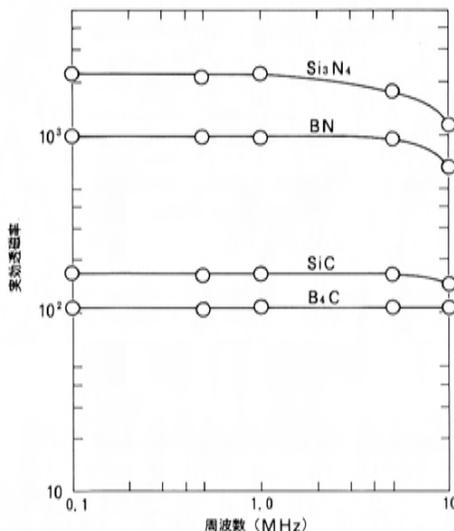


図2 各セラミックスの透磁率に及ぼす影響

なお本研究においては $\text{Ni}_{80.9}\text{Fe}_{10.3}\text{Mo}_{8.8}$ 合金上にBNを、 $\text{Ni}_{81.2}\text{Fe}_{12.9}\text{Mo}_{5.9}$ 合金上に Si_3N_4 を配置した状態で複合スパッタした。

6. 構造の検討

6.1 X線回折結果

Si_3N_4 、BNを複合スパッタした場合のX線($\text{Cu-K}\alpha$)回折パターンの変化を図3に示す。構造はいずれもfccで窒化物等の存在を示すピークは見られない。また Si_3N_4 、BN添加量の増加にともない各回折ピークの強度は低下し、その回折幅は増大する傾向がある。

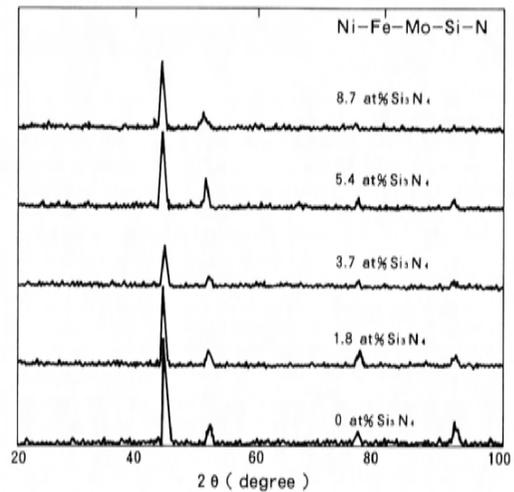


図3.1 X線回折パターンの変化
(Si_3N_4 添加の場合)

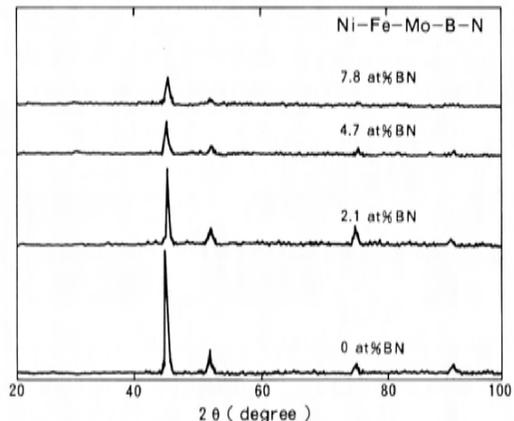


図3.2 X線回折パターンの変化
(BN添加の場合)

このことから Si_3N_4 , BN を添加することにより、結晶の粒成長は抑制され、微細な組織を得られることが分かった。この点を定量化するため格子定数、および結晶粒径を計算により求めた。

6.2 格子定数および結晶粒径の変化

X 線の各回折ピークより求めた平均の格子定数、並びに (111) 回折ピークの半値幅より Scherrer の式⁽¹¹⁾によって求めた平均粒径を図 4 に示す。

Si_3N_4 添加の場合、添加量の増加にともない格子定数は増大するが、約 4 at% で最大値を取りその後は減少する。一方 BN 添加の場合は、BN 量の増加に伴い単調に格子定数は増大する。このことから Si_3N_4 と BN は共に fcc マトリックス中に固溶するものの、異なる固溶形態をとっているものと考えられる。

結晶粒径については、 Si_3N_4 , BN 添加量の増大にともない小さくなることが分かった。 Si_3N_4 , BN を添加しないものの結晶粒径が約 23nm 前後と見積れるのに対し、 Si_3N_4 , BN を添加することによって、約 15nm 程度に組織を微細化できるものといえる。

このような微細な組織を持つ材料が優れた軟磁気特性を示す理由は次のように説明される⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。個々の粒子の持つ結晶磁気異方性定数の値そのも

のは変化しない。しかし、粒子が微細化すると、それぞれの粒子の持つ容易軸方向が、粒子全体の平均的な容易軸方向からずれることによって引き起こされる局所的な異方性の分散が減少する。その結果、実効的な磁気異方性が低減するためである。

6.3 Si, B, N の固溶形態

すでに Si_3N_4 添加の場合と、BN 添加の場合ではマトリックスに対する固溶形態が異なる可能性が強いことを述べたが、この点をより詳細に検討するため、He 搬送融解熱電導度法により、膜中の Si, B, N 量を測定した(図 5)。 Si_3N_4 添加の場合、ターゲット上の仕込量が増えるに従い、 Si_3N_4 の化学量論比に対して、N リッチな状態から Si リッチな

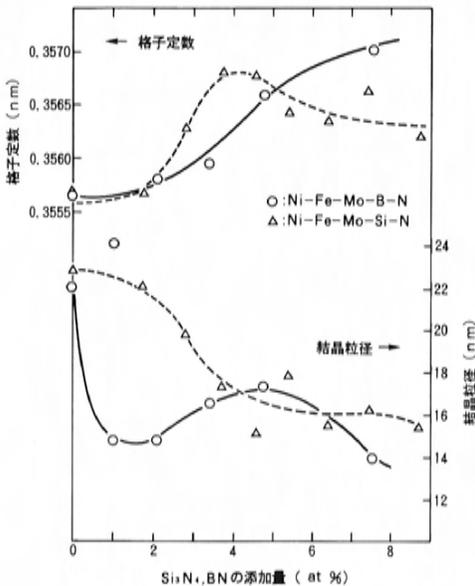


図 4 格子定数および結晶粒径の変化

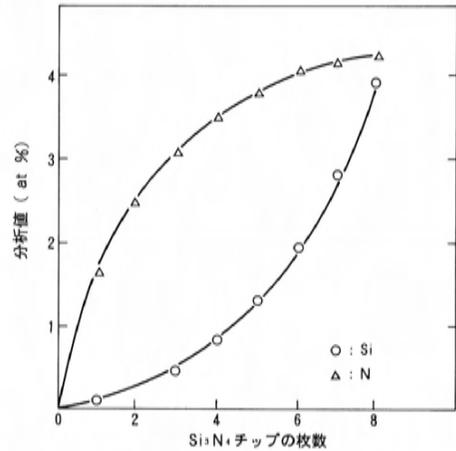


図 5.1 膜中に存在する Si, N 量の分析値

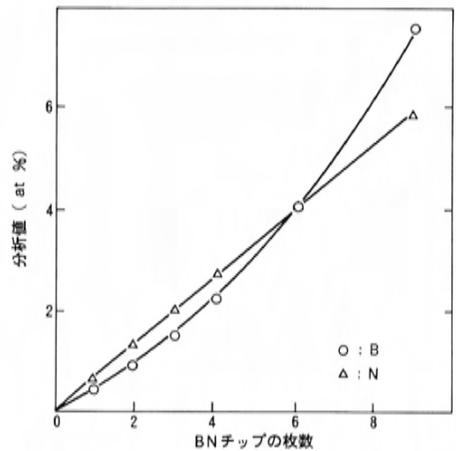


図 5.2 膜中に存在する B, N 量の分析値

状態へ変化することが分かった。BN 添加の場合は仕込量に関係なくほぼ化学量論比を保っていることが分かった。

以上の結果から Si, B, N の固溶形態, 並びに膜の格子定数に対して次のような考察を行った。Si₃N₄ 添加の場合, 添加量の増大にともない, まず N が fcc 格子中に侵入型固溶することにより格子は膨張するが, その後 Ni, Fe, Mo に比べ原子半径の小さい Si が置換型固溶することによって格子は縮む。一方, BN 添加の場合は B, N 共に侵入型固溶するため, 格子は単調に膨張し続ける。

6.4 結晶粒の観察

透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いることにより結晶粒の直接観察を試みた。図 6 に組織に及ぼす Si₃N₄ 添加の影響を明視野像並びに制限視野像によって示す。結晶粒径は Si₃N₄ を添加することにより小さくなっており, X線回折の結果と対応している。また制限視野像に現れる回折リングから構造が fcc であることが分かる。更に (111) 回折リングの内側に化合物等の存在を示すリングは認められない。

6.5 膜構造の決定

X線回折結果, TEM 観察結果から, 膜の構造は fcc 単相と判断されるが, 窒化物存在の有無を詳細に検討するため, ESCA により Si の 2s 軌道と B の 1s 軌道の電子状態を調査した (図 7)。

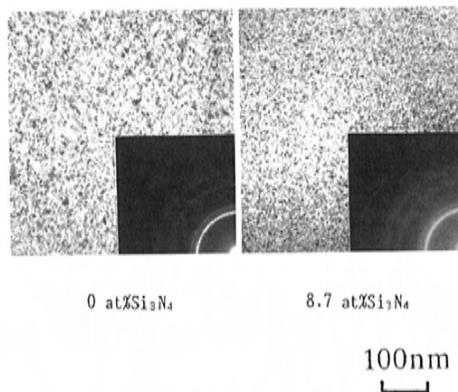


図 6 Ni-Fe-Mo-Si-N の TEM 像

その結果 Si₃N₄ 系では約 153eV 付近に, BN 系では 192eV 付近にピークをもつことから, Si あるいは B はそれぞれ N と化学的な結合をもっていることが分かった。したがって構造は Ni-Fe-Mo 中に Si, N あるいは B, N が固溶した fcc をマトリックスとし, Si または B の窒化物が微細に分散したものと結論される。また格子定数の変化を考慮すると, 粒内に窒化物が分散している可能性は小さく, おそらく粒界に分散しているものとする (図 8)。

また前述のピークの強度は, エッチング時間の違いによらずほぼ同等の値が得られることから, 窒化物粒子は均一に分散しているものとする。

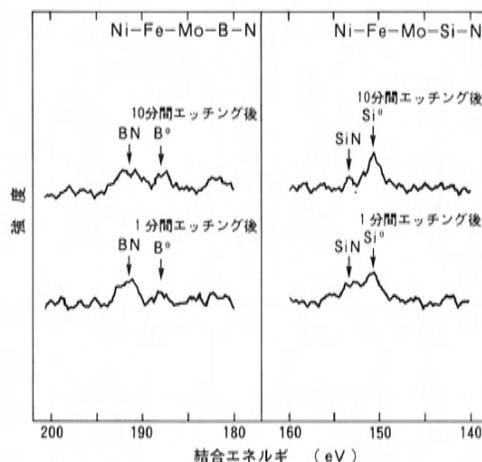


図 7 Si, B, N 間の結合状態

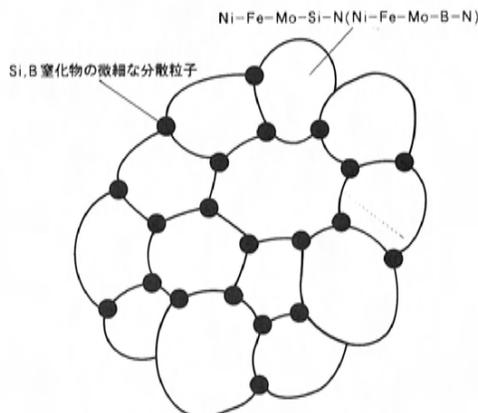


図 8 Ni-Fe-Mo-X (x=Si-N, B-N) 合金の構造モデル

7. 電磁気特性について

7.1 電気抵抗率の変化

電気抵抗率に及ぼす Si_3N_4 , BN 添加の影響を図9に示す。いずれのセラミックス添加においても、添加量が6.0at%を超えると電気抵抗率は急激に増大し、8.0at% Si_3N_4 添加で約 $0.9\mu\Omega\text{m}$, 8.0at% BN 添加で約 $1.2\mu\Omega\text{m}$ 程度の値が得られた。これらの電気抵抗率は、Co系アモルファス材料に匹敵し、金属系の結晶質材料としては非常に優れたものであることが分かった。

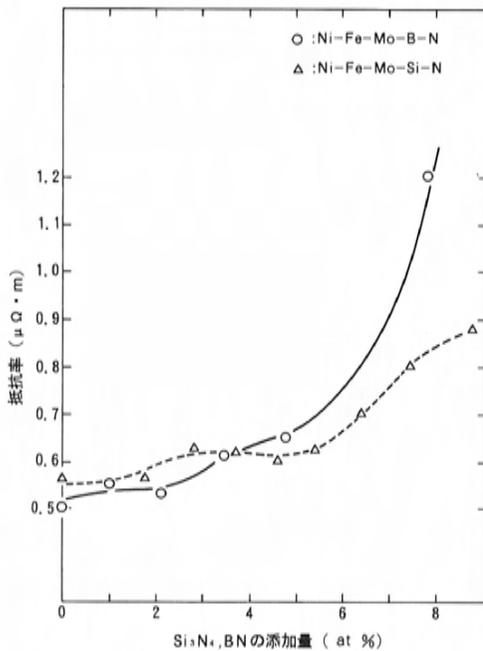


図9 抵抗率の変化

7.2 磁化, 保磁力の変化

膜の磁化, 並びに保磁力に及ぼす Si_3N_4 , BN 添加の影響を図10に示す。なお磁化は $8.0 \times 10^5 \text{A/m}$ (10kOe), 保磁力は 0.8A/m (10mOe) の磁界中で測定した。 Si_3N_4 の場合, 添加量が4.0at%程度以下であれば, 磁化は約 $7.4 \times 10^{-8} \text{Wbm/kg}$ (74emu/g) を保ち, ほとんど低下しない。その後, 添加量が増大するに従い, 磁化は $5.7 \times 10^{-8} \text{Wbm/kg}$ (57emu/g) まで急激に減少する。また BN の場合, 磁化は約1.0at%添加によって $6.5 \times 10^{-8} \text{Wbm/kg}$ (65emu/g) まで急激に減少した後, 添加量の増大

にともない緩やかに減少する。

一方, 保磁力は Si_3N_4 を2.5~4.5at%添加することによって 300A/m (3.8Oe) から 5A/m (0.06 Oe) へと極端に小さくなる。これは既に述べた結晶粒の微細化にともなう実効的な磁気異方性の低下が原因であると考えられる。また磁化の変化と考え併せると, この範囲で良好な軟磁気特性が得られるものと期待される。

なお BN 添加の場合, 添加量が3.5at%程度までは保磁力 10A/m (0.1Oe) 前後と小さい値が得られるが, 5.0at%以上で急激に増大する傾向がある。これは粒界に存在する過剰な分散粒子が磁壁の移動を妨げるためであると考えられる。

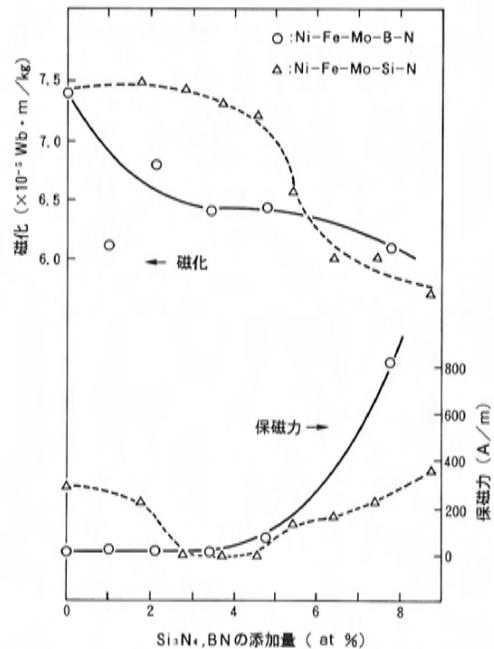


図10 磁化並びに保磁力の変化

7.3 透磁率の変化

1 MHz での実効透磁率に及ぼす Si_3N_4 , BN 添加の影響を図11に示す。 Si_3N_4 添加の場合3.0~5.0 at%の範囲で実効透磁率が改善され, 特に4.5at%添加で5,300の値が得られた。なお5.0at%以上の添加で特性が劣化する主な原因は, 磁歪による磁気異方性の増大によるものと考えられる。一方, BN 添加の場合にも同様な変化を示し2.0~5.0at%で比較的大きい2,000程度の透磁率が得られた。

8. 高実効透磁率が得られた原因

今回、Mo パーマロイマトリックス中に Si_3N_4 粒子を 4.5at% 添加した試料において、5,300 (1 MHz) といった高い実効透磁率が得られた原因について検討するため、膜の磁歪を測定した(図12)。 Si_3N_4 無添加のものが -3×10^{-6} 程度の磁歪を示

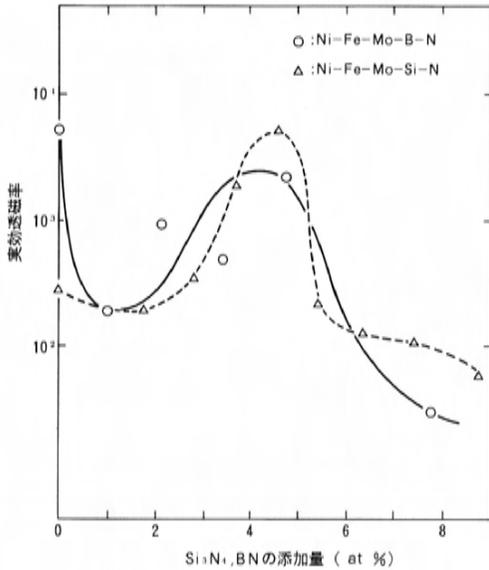


図11 透磁率 (1MHz) の変化

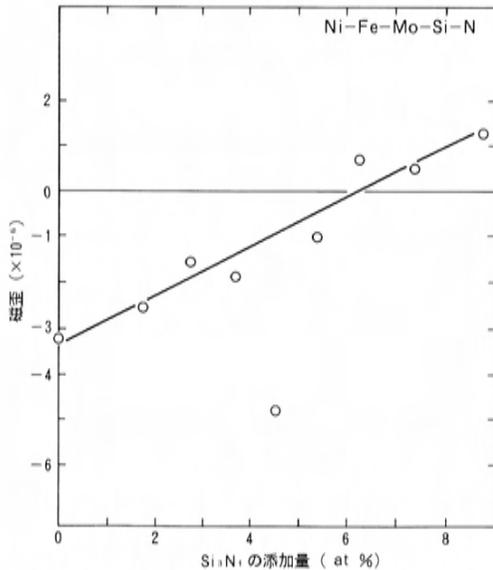


図12 Ni-Fe-Mo-Si-N の磁歪

すのに対し、 Si_3N_4 添加により磁歪は直線的に正側へ移行し、8.7at% で $+1.3 \times 10^{-6}$ となる。磁歪磁気異方性を極力減らす上で重要な磁歪零が得られるのは 6.0at% 付近である。このことは、4.5at% 添加した試料で高実効透磁率が得られたことと矛盾するが、膜に残留している応力を考慮することによって説明できる。つまり、作製した膜が基板から強い一軸性の引張応力を受けるために、磁歪が負であれば磁化の反転が助けられるからである。ところがこのような負の磁歪も絶対値が大きくなると誘起される磁歪磁気異方性が無視できなくなり実効透磁率を低下させることから、残留応力に対応した最適値 (Si_3N_4 添加の場合は 4.5at%) が存在するものとする。

9. 粒子分散型 Mo-パーマロイ膜の有用性

粒子分散型 Mo-パーマロイ膜を従来材と比較すると図13のようになる。この図は実効透磁率と飽和磁束密度の関係を表わしたもので、 Si_3N_4 を Mo-パーマロイ中に添加した膜は、これまで報告されている Fe 系や Co 系のアモルファス材料に比べ、飽和磁束密度は小さいものの、実効透磁率 (1 MHz) はこれらを大きく上回っていることが分かる。しかも他のものが多層構造によって成し得た高透磁率を、複合相からなる単層構造によって得られた点が意義深い。

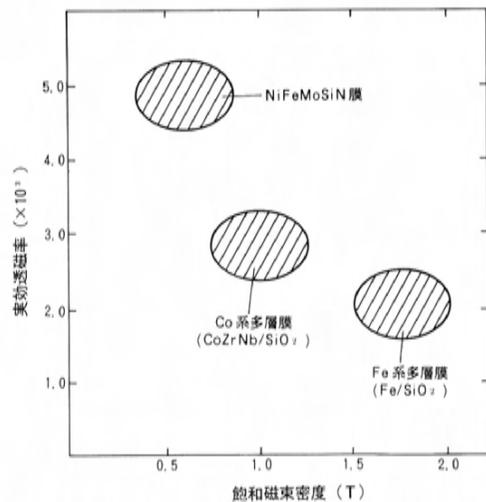


図13 各種材料の透磁率 (1 MHz) と飽和磁束密度の関係

10. ま と め

MHz帯域まで金属系軟磁性材料の高い透磁率を維持するためには、材料の電気抵抗率を如何にして向上させるかが課題となる。我々は、金属マトリックス中にセラミックスを分散させるという手法により、この課題の解決を試みた。以下に研究結果をまとめる。

- ① Ni-Fe-Mo-X (X=Si-N, B-N) の構造はfccマトリックスとSi, Bの窒化物が共存する複相構造である。
- ② Si₃N₄, BN添加によりマトリックスの粒径は23nmから15nm程度にまで微細化される。
- ③ 電気抵抗率はSi₃N₄, BNを8.0at%添加することにより0.55μΩmからSi₃N₄系で0.9μΩm, BN系で1.2μΩm程度まで増大するが、過剰な分散粒子は磁気特性を劣化させる。
- ④ Si₃N₄系の場合Siの固溶により磁歪は小さくなる。
- ⑤ Ni_{81.2}Fe_{12.9}Mo_{5.9}に対して3.0~5.0at%のSi₃N₄を添加することにより透磁率は極大値をとり、最大で約5,300(1MHz)まで向上することが分かった。一方、Ni_{80.9}Fe_{10.3}Mo_{8.8}に2.0~5.0at%のBNを添加することにより透過率は2,000(1MHz)の極大値をとることが分かった。なおBNを1.0~2.0at%添加した際に透磁率が減少する理由については現在検討中である。

最後に、本研究を遂行するにあたり数々のご指導、ご助言を頂いた東北大学金属材料研究所の増本健教授、井上明久教授、潟岡教行助手をはじめ社内外的関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 近角聰信：物理学選書18「強磁性体の物理(下)」, 1984, (裳華房).
- (2) 藤森啓安：金属学会セミナー「磁性材料入門」, 1989, (日本金属学会), P.37.
- (3) 桜井, 金丸：磁性材料セラミックス(オーム社)
- (4) 近角聰信：物理学選書18「強磁性体の物理(下)」, 1984, (裳華房). P.314.
- (5) O.L. Boothby, R. M. Bozorth : J. Appl.

Phys. Vol.18, February, 1947, P.173.

- (6) H. Karamon : J. Appl. Phys. 63(8), 1988, P.4306.
- (7) 早川, 和佐：薄膜化技術, 1988. (共立出版).
- (8) K. Sumiyama, M. Kadono and Y. Nakamura : Trans. JIM, Vol.24, No.4 (1983), P.190.
- (9) N. Kataoka, M. Hosokawa, A. Inoue, T. Masumoto : Jpn. J. Appl. Phys, Vol.28, No.3 (1989), P.462.
- (10) 隅山：日本金属学会報, Vol.25, 1986, P.615.
- (11) B. D. Cullity : X線回折要論, 1970(アグネ) P.101.
- (12) 島田, 細野：日本応用磁気学会誌, Vol.12, No.3 (1988), P.465.
- (13) 前島, 綱島, 内山：日本応用磁気学会誌, Vol.13, No.2 (1989), P.307.
- (14) 島津, 高橋：第14回日本応用磁気学会学術講演概要集, 1990, P.278.

■ 著 者 ■



近藤二郎



清水 勉



谷岡真一



松井恵子

論文・報告

21

空力騒音の評価法に関する実験的研究

An Experimental Study on an Evaluation Method of Aerodynamic Noise

春 名 茂*¹
Shigeru Haruna神 本 一 朗*²
Ichiro Kamimoto岡 本 哲*³
Satoshi Okamoto

要

旨

Abstract

本論文は空力騒音の定量的な解析手法について述べたものである。まず、Lighthill 方程式を実車に適用して車体周りに発生する空力騒音の評価式を理論的に導出した。この理論的考察により車体表面から放射される空力騒音の強さに関しては、車体表面の圧力変動（2重極音源）が支配的であることが判った。空力騒音の強さは、車体表面の圧力変動 P とその周波数 f およびその影響範囲に示す面積 S の積の二乗、すなわち $(P \cdot f \cdot S)^2$ に比例することを示した。次に、本評価式を圧力変動が最大であるサイドウインドに適用し空力騒音を定量的に求めた。その結果、本評価方法は車体周りに発生する空力騒音を推定するうえで、一つの有効な評価指標になることが判った。

This paper aims to quantitatively evaluate aerodynamic noise produced by vehicle configurations in the early stages of new vehicle development. Our theoretical analysis is based on the Lighthill equation and clarifies that pressure fluctuations (dipole noise sources) play a dominant role in the aerodynamic noise radiated externally from the vehicle. It is found that the evaluation equation for the aerodynamic noise can be expressed as $(P \cdot f \cdot S)^2$, where P is surface pressure fluctuation, f its frequency, and S affected area. Aerodynamic noise is evaluated by applying this equation to the side window.

1. はじめに

風騒音はエンジン音やロードノイズ等と比べ、とりわけ高速になるほど車室内騒音に占める割合が大きくなる⁽¹⁾。このため高速域で静粛な車室内空間を実現するには風騒音の低減が重要な課題である。風騒音 (Wind Noise) は、空力騒音 (Aerodynamic Noise) と風漏音 (Aspiration Noise) に分けられる。前者は車体形状に起因して発生する空気力学的な音であり、後者は車体の隙間を通じて気流が出入りする際に発生する音である。風騒音を低減する立場からは、空力騒音性能、遮音性能、シール性能の各性能開発が考えられる。

著者らは^{(2)~(6)}、これまで空力騒音を評価する第一ステップとして、サイドウインド (以下 S/W と略す) 周りの流れを油点法やスモークワイヤ法によって流れを可視化し、A ピラー周りに発生している三次元の円錐状旋回流の挙動を定性的に明らかにした。更に、熱線流速計およびコンデンサマイクロホンで測定した流速および表面圧力変動の

定量的解析により、その渦構造と S/W 表面圧力変動の関係を明確にした。

本論文では、車体表面の圧力変動に着目して空力騒音の定量的評価手法の開発を試みた。すなわち、Lighthill 方程式を実車に適用することによって車体表面の圧力変動が、空力騒音を評価するうえで重要な物理量であることを明らかにした。次に、Lighthill 方程式をベースに空力騒音の評価式を提案した。本評価式を圧力変動が最大である S/W に適用し、その周りに発生する空力騒音を定量的に求めた。

2. 実験装置および実験方法

実験は 6 m (幅) × 4 m (高さ) × 12 m (長さ) の測定部をもつ当社の実車風洞⁽⁷⁾で行い、供試車には量産車 (サバンナ RX-7) を使用した。供試車においては、A ピラー周りの基本流れと空力騒音の関係を明確にするため、ワイパ、ドアミラーを除去してテストした。また、圧力変動の車速依存

* 1, * 2, * 3 車両実験研究部

性のテストの場合には車速 (U) は45, 95, 145km/h の三車速で、ヨー角 (θ) は 0° , 10° で行っている。

車体周りの流れの可視化では、車体表面へトレーサを配列滴下する油点法を用い、車体全体についてその表面流れのパターンを調べた。

一方、車体表面の圧力変動は1/4インチコンデンサマイクロホンを車体表面に埋め込んで計測した。計測点は、キャビン周りのウインドシールド (P1)、S/W (P2, P3)、バックウインド (P4) としてルーフ (P5) の5点である。ここでS/W上の計測点 P2および P3は、それぞれ剥離域と再付着域での計測点である (図1)。

また、評価式を用いた空力騒音の定量評価では車速 (U) は50km/h の一定車速で行いヨー角 (θ) は 0° , 10° , 20° についてテストした。ヨー角付きの場合は風下側を計測領域とした。空力騒音の評価は、キャビン周りで圧力変動の最も大きい箇所であるS/W表面で行った。圧力変動はS/W表面上に1/4インチコンデンサマイクロホンを埋め込んで多点計測した。計測点は50mmの等間隔で計測点の総数は70点である。

3. 実験結果と考察

3.1 車体表面の流れ

まず、車体表面の流れを定性的に明らかにするため油点法で流れを可視化した。その例として図2に油点法による車体表面上の流れを示す。ウインドシールドおよびルーフの表面流れは主流に沿った剥離のない流れであるのに対して、S/Wやバックウインドの流れはそれぞれAピラーおよびルーフ後端で剥離した流れになっている。特にS/W表面上の流れは剥離域と再付着域に大別される⁽²⁾⁻⁽⁶⁾。

3.2 車体表面の圧力変動

車速45km/h, ヨー角 $\theta=10^\circ$ におけるキャビン周りの各計測点の圧力変動を図3に示す。車体表面の流れの可視化で示されたように、流れが剥離した領域であるS/Wおよびバックウインド表面では圧力変動が大きいことが判る。

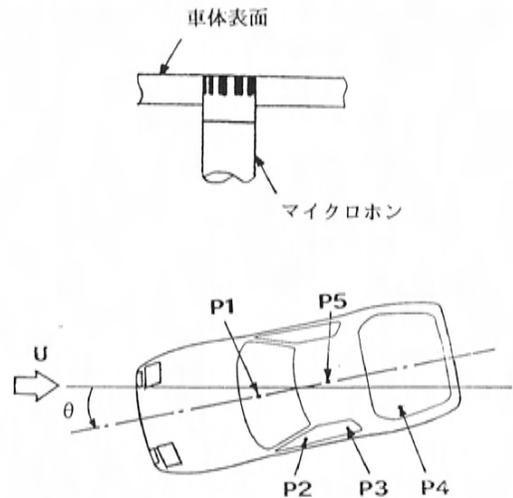
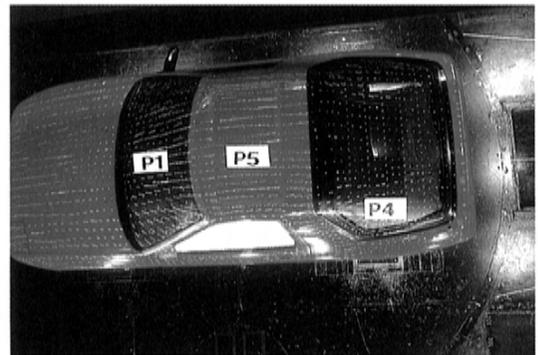
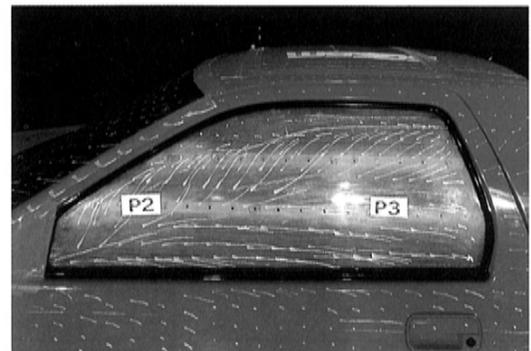


図1 表面圧力変動の測定方法



(a) 平面



(b) 側面

図2 油点法による流れの可視化

次に、車体表面圧力変動の車速依存性を調べるために、車速を45, 95, 145km/hに変えた場合について各計測点での圧力変動のオーバーオールを調べた(図4)。圧力変動のオーバーオールは、車速の約3~4乗に比例して増加する傾向を示す。また、そのオーバーオールはS/Wの剝離域(P2)が最大で、最小のウィンドシールド(P1)に比べて約20dBも大きい。

図5に各計測点での圧力変動の1/3オクターブ周波数分析結果を示す。S/Wの剝離域の圧力変動は、キャビン周りの他の計測点に比べて全

周波数において最大になっていることが判る。また、S/Wの剝離域および再付着域の両領域とバックウインドの剝離域では、低周波数域の圧力変動レベルが高く高周波数域にかけて単調減少している。これに対して、剝離のないルーフとウィンドシールドのスペクトルは似た傾向を示すが、低周波数域では前者に比べて20~30dB低い。したがって、流れの剝離は低周波の圧力変動レベルの増加に寄与しているものと推察できる。

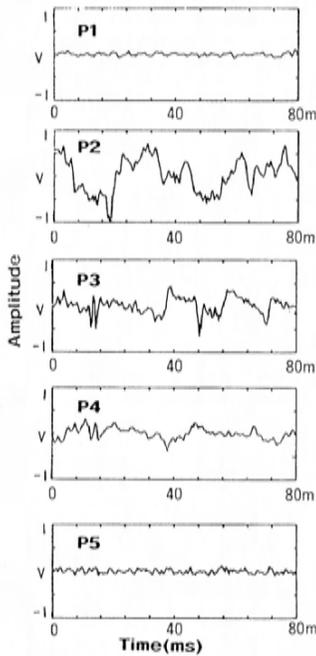


図3 車体表面の圧力変動波形

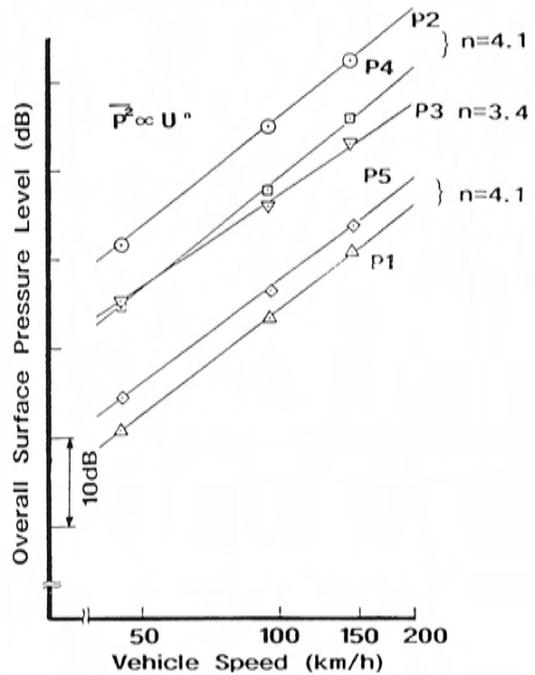


図4 表面の圧力変動の車速依存性

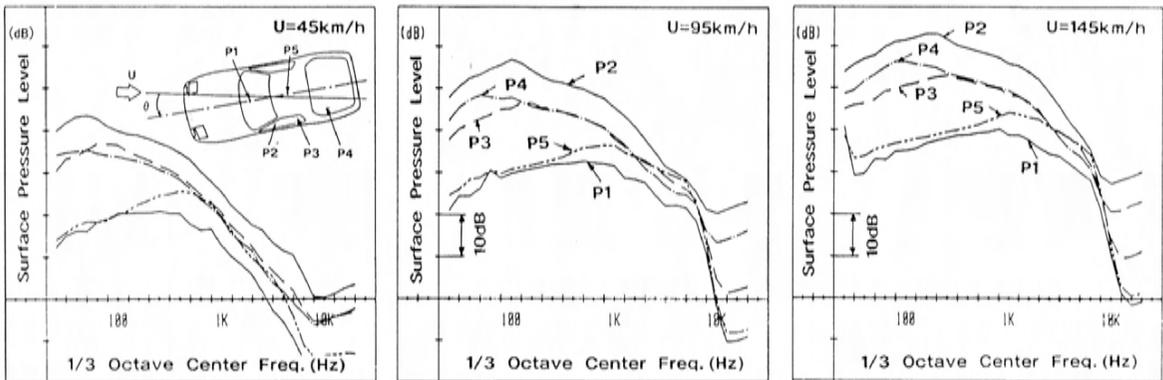


図5 ヨー角10°における車体表面の圧力変動の1/3オクターブ周波数分析

4. 空力騒音の推定

4.1 理論式

以上のテスト結果からキャビン周りの圧力変動のうちで、S/Wの圧力変動が最も大きいことが判った。そこで車体表面の圧力変動を用いて、車体周りに発生する空力騒音を推定する手法を理論的に考察してみる。

Lighthill⁽⁹⁾は、音響学的類推によってナビエ・ストークス方程式を変形して、次のLighthill方程式を導いた。

$$\frac{\partial^2 \rho'}{\partial t^2} - c^2 \nabla^2 \rho' = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$$

$$T_{ij} = \rho v_i v_j + P_{ij} - c^2 \rho' \delta_{ij} \dots\dots\dots(1)$$

ここで T_{ij} は Lighthill の応力テンソル、 ρ は密度、 c は音速、 v_i は流速、 δ_{ij} はクロネッカーの記号である。図6に示すように、流れの中に車体がある場合を考えて車体を囲む面を S 、音源領域の体積を V とすると、上式の最も一般的な解^{(8)~(11)}は次式で与えられる。

$$\rho'(x, t) = \rho - \rho_0 = \frac{1}{4\pi c^2} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} \int_V \left(\frac{T_{ij}}{r} \right) dV$$

$$- \frac{1}{4\pi c^2} \frac{\partial}{\partial x_j} \int_S n_j \left(\frac{\rho v_i v_j + P_{ij}}{r} \right) dS$$

$$+ \frac{1}{4\pi c^2} \frac{\partial}{\partial t} \int_S \left(\frac{\rho v \cdot n}{r} \right) dS \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 n_i は車体表面 S に垂直な法線ベクトル、 $[]$ は音波伝播による遅延時刻 $(t-r/c)$ における値を示す。第一項は流れの乱れ自身から出る4重極音源 (quadrupole)、第二項は車体からその周囲の流体に作用する力が変動する場合に生じる2重極音源 (dipole)、第三項は境界表面での流れの速度の法線方向速度に比例した湧き出しによる単極音源 (monopole) を示す。

車体周りの流れから発生する音を評価する場合には、4重極および単極音源は無視できると考えられる。すなわち、車体表面の乱れた境界層中で

は、流速が高くない場合には一般に4重極より2重極音の方が強く⁽¹²⁾⁽¹³⁾、また車体は剛体でかつその振動は微小であるとする単極音も無視できる。したがって、車体の形状に起因した空力騒音を評価する際には2重極音が支配的になる。更に車体表面が固定しているか、又はその平面内で振動している場合には、表面に垂直な速度成分は零となるから(2)式は単純化されて

$$\rho'(x, t) \approx - \frac{1}{4\pi c^2} \frac{\partial}{\partial x_j} \int_S \left(\frac{P_j}{r} \right) dS \dots\dots(3)$$

となる。

また、観測者の位置 x が発生する音の波長 λ に比べて十分大きく $|x| \gg \lambda$ とすれば(3)式は

$$\rho'(x, t) \approx - \frac{1}{4\pi c^2} \int_S \frac{x_i - y_j}{|x - y|^2} \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} [P_j] dS \dots(4)$$

となる。

更に、 x が車体の代表長さ L に比べても十分大きく $|x| \gg L$ とすれば、更に簡単になって

$$\rho'(x, t) \approx H \int_S \frac{\partial}{\partial t} [P_j] dS$$

$$H \equiv - \frac{1}{4\pi c^3} \frac{x_j}{x^2} \dots\dots\dots(5)$$

となる^{(8)~(11)}。

ここで、(5)式から空力騒音の発生と車速との関係を推定してみる。

$$\rho' \sim \int \frac{\partial p}{\partial t} dS \sim U^2 \cdot U \cdot L$$

$$= U^3 L \dots\dots\dots(6)$$

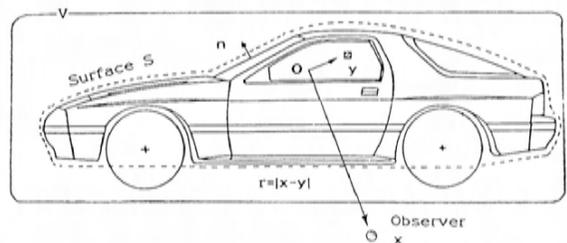


図6 車体を囲む検査面の概念図
(y : 音源位置, x : 観測者位置)

したがって、車体から放射される空力騒音の強さ I は、

$$I = \overline{\rho'^2} \sim U^6 L^2 = U^6 S \dots\dots\dots(7)$$

となる。よって、車体から放射される空力騒音の強さは、車速 U の 6 乗と面積 S に比例して増加することが判る。

周波数 f_i の音源によって放射される遠距離場における ρ_{fi} の大きさのオーダは次元解析により次式で与えられる。

$$\rho'_{fi}(\mathbf{x}, t) = O(P_{fi} \cdot f_i \cdot S_{fi}) \dots\dots\dots(8)$$

ここで、添字 f_i は周波数 f_i に関する物理量であることを示す。この推定式に従えば、密度変動 $\rho_{fi}(\mathbf{x}, t)$ は、周波数 f_i とその周波数 f_i をもつ車体表面の圧力変動 P_{fi} およびその面積 S_{fi} の 3 つの積に比例する。したがって、遠距離場での空力騒音の強さ I は次式で与えられる。

$$I \propto \Sigma (P_{fi} \cdot f_i \cdot S_{fi})^2 \dots\dots\dots(9)$$

上式から空力騒音の強さを低減するには P_{fi} , f_i を抑え、その影響範囲を示す面積 S_{fi} を減らすことによって、これら三つの物理量の積の総和を減らせばよいことが判る。

車体表面の圧力変動に着目して得られる空力騒音レベル L_{AERO} は、評価式(9)に従って次式によりデシベル表示した形式で与えられる。

$$L_{AERO} = 10 \log \{ \Sigma (P_{fi} \cdot f_i \cdot S_{fi})^2 / (P_0 f_0 S_0)^2 \} \dots\dots\dots(10)$$

ここで、空力騒音の基準値としては通常の音圧レベルの表現にならって、 $f_0 = 1$ KHz, $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ N/m², $S_0 = 1$ m² を選び、この基準値に対する dB 数で定義した。

4.2 空力騒音の定量的評価

図 7 にヨー角を変えた場合について S/W 表面の流れのパターンと各周波数ごとの等圧力変動線図を示す。流れの可視化からヨー角に比例して剝離

域が増加するため再付着ラインが下方に移動し、 $\theta = 20^\circ$ では剝離域が S/W 全域に広がっているのが判る。等圧力変動線図は、各測定点のデータを 1/3 オクターブ分析し周波数バンドごとにバンドレベルを算出して求めた。図 7 にその一例を示す。図中の周波数は 1/3 オクターブバンドの中心周波数である。▲印は圧力変動の最大値 P_{max} を、太い実線は P_{max} より 10dB 低い値 (P_{max-10} で表示) を、また破線は各ヨー角における再付着ラインを示す。これより次のことが判る。

① 圧力変動の最大値 P_{max} は剝離域中に存在し、その値は周波数が高くなるにつれて減少する傾向を示す。

② P_{max-10} より圧力変動レベルが高い領域はほぼ剝離域中に含まれ、剝離域の圧力変動エネルギーが大きいことが判る。これは剝離域中で乱れのエネルギーが大きいことによる反映であると考えられる。

③ 高周波になるにつれて A ピラー近傍の圧力変動レベルが低くなることから 2 次渦領域⁽²⁾⁻⁽⁶⁾ は低周波が支配的であると推察できる。

次に S/W 表面上の圧力変動分布を 3 次元表示した例を図 8 に示す。これから高周波になるにつれて、圧力変動のレベル自身が低下すること、また、ヨー角の増加に伴って、圧力変動の高い領域が下方に移動している様子がよく判る。

空力騒音の評価式(8)に従って、 P_{max-10} より圧力変動レベルの高い領域から発生する空力騒音 L_{max-10} と S/W 全域からの空力騒音 L_{total} の比 $R (=L_{max-10}/L_{total})$ を図 7 に示した。R は 50% 以上を占めていることから、剝離域は空力騒音の発生に対して支配的な領域であることが判る。図 9 に各ヨー角における 1/3 オクターブバンドごとに空力騒音を計算した結果を示す。ヨー角が増加すると各周波数において空力騒音が増加していることが判る。図 10 に車室内の空力騒音と S/W で発生した車外空力騒音の関係を示す。車内および車外空力騒音はいずれもヨー角に比例して増加し、両者に比例関係がある。このことから、車内空力騒音と車外空力騒音が関連づけられる。したがって、上述の空力騒音の評価式が車内の空力騒音を予測するうえで一つの有効な評価指標となるものと考えられる。

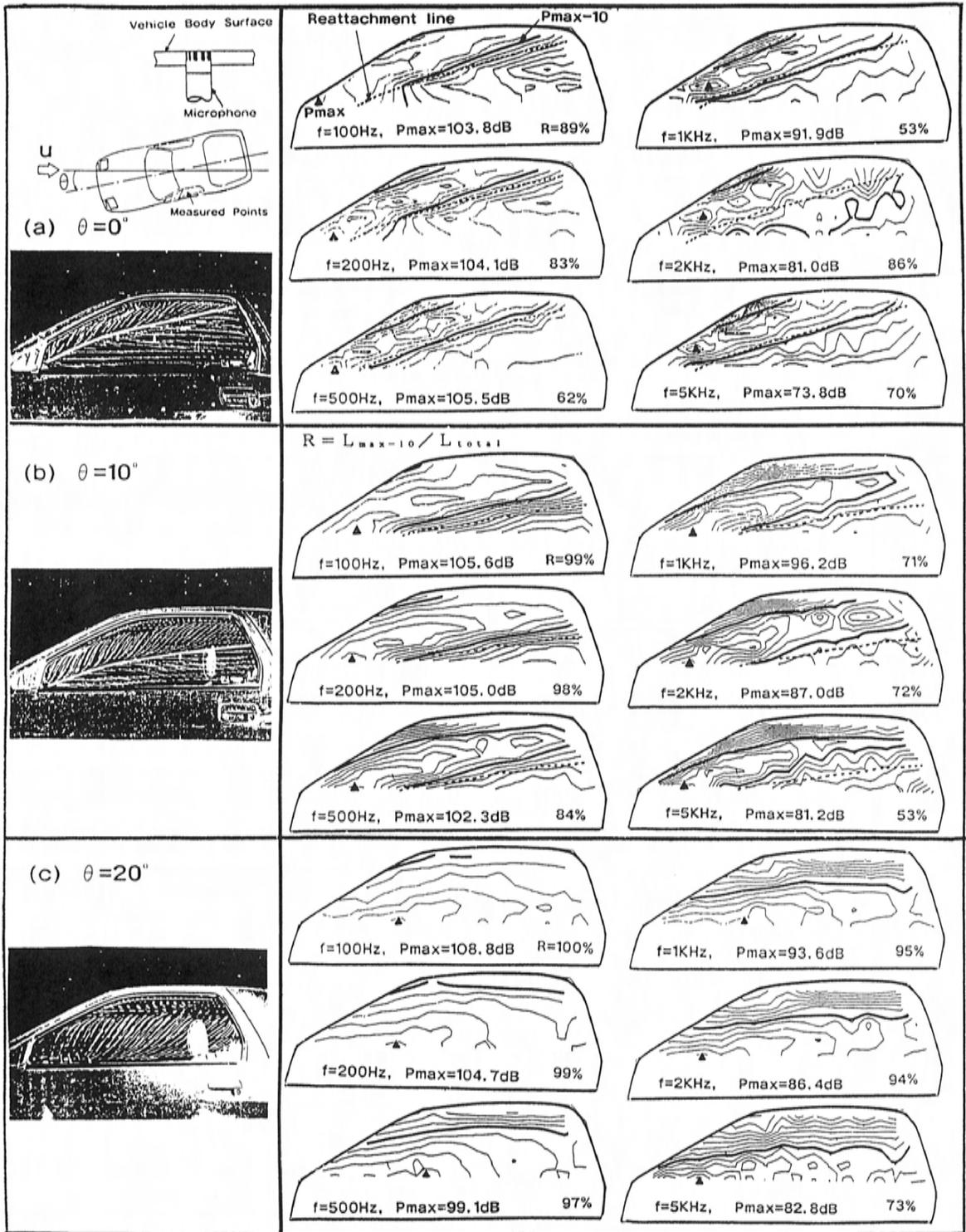


図7 各ヨー角時におけるサイドウインド上の等圧力変動線図

5. 結 論

本論文では、実車の車体表面の圧力変動から放射される空力騒音を理論的に考察した。更に、ヨー角の有無の場合について本理論式を適用しS/W表面から放射される空力騒音を定量的に評価した。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) キャビン周りの車体表面の圧力変動のうちでS/Wの剝離域の表面圧力変動が最も大きい。
- (2) 車体表面の圧力変動の2乗平均は、車速の約3～4乗に比例して増加する。
- (3) 車体表面から放射される空力騒音の強さは、車体表面の圧力変動（2重極音源）が支配的であり、遠距離場での空力騒音の強さは

$$I_{AERO} = 10 \text{Log} \left\{ \frac{\sum (P_{fi} \cdot f_i \cdot S_{fi})^2}{(P_0 f_0 S_0)^2} \right\}$$

- で評価できることが理論的に導出できる。
- (4) 空力騒音の発生に関して支配的な領域は剝離域中である。
- (5) ヨー角に比例して車外空力騒音も増加することが確認でき、本研究で提示した評価方法は車内空力騒音を推定する上で一つの有効な評価指標になるものと考えられる。

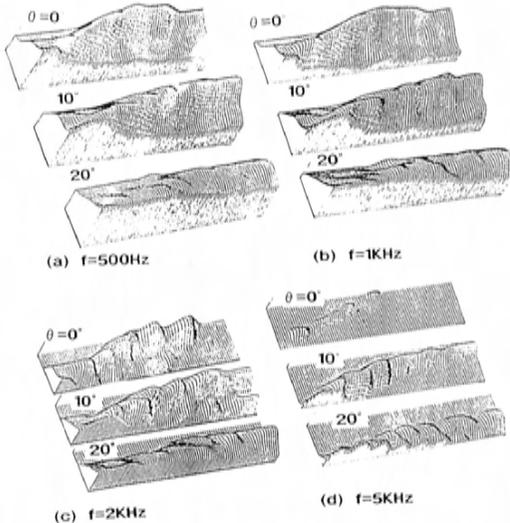


図8 サイドウィンド上の3次元圧力変動分布

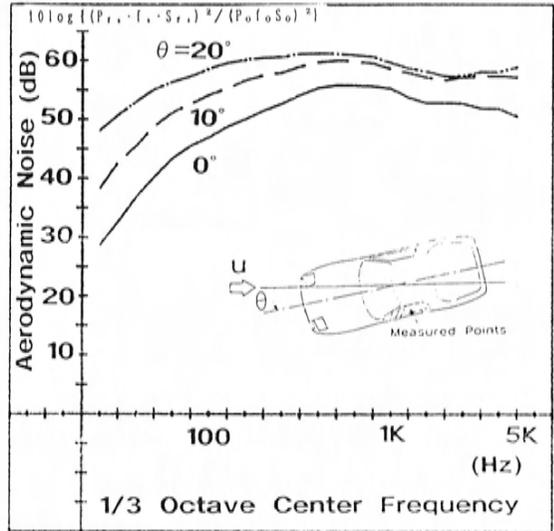


図9 本評価式で推定した空力騒音の1/3オクターブ分析(サイドウィンド周り)

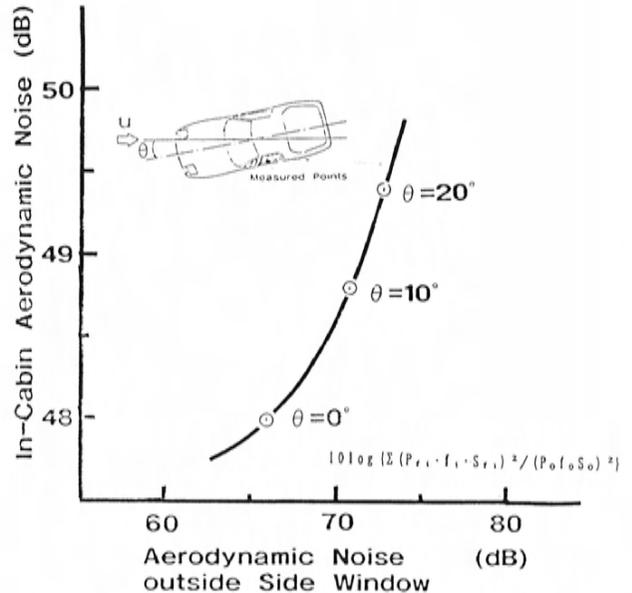


図10 車外空力騒音の推定値と車内空力騒音の実測値の比較

最後に、本研究を行うにあたり流れ研究集団の佐藤浩東京大学名誉教授および広島大学工学部坂尾富士彦教授には有益な助言をいただきました。ここに深く謝意を表します。

演会前刷集, 901002 (1990).

■著者■



春名 茂



神本一朗



岡本 哲

参考文献

- (1) Wolf-Heinrich Hucho et al.: Aerodynamics of Road Vehicles (1987).
- (2) S. Haruna et al.: An Experimental Analysis and Estimation of Aerodynamic Noise Using a Production Vehicle, SAE Paper No.900316 (1990).
- (3) 春名・ほか2名: 自動車の空力騒音の実験的解析とその推定方法について, 第21回乱流シンポジウム講演論文集 (1989).
- (4) 春名・ほか2名: 流れに着目した空力騒音の実験的解析, 自動車技術会学術講演会前刷集, 892(1989-10), p.145~148.
- (5) 春名・神本: 空力騒音の実験的解析, マツダ技報, No.8 (1990).
- (6) 春名・神本: Aピラー周りの流れと音の実験的研究, 自動車技術, Vol.44, No.4(1990).
- (7) 橋本他: 新設風洞の紹介, 自動車技術, Vol.39, No.7 (1985), p.822~826.
- (8) 谷一郎編: 流体力学の進歩, 乱流 第6章(流れによる音の発生 坂尾富士彦) (1980), p.221~262.
- (9) Lighthill, M. J.: On sound Generated Aerodynamically, I. General Theory Proc. R. Soc., London A211 (1952), p.564~587.
- (10) A. P. Dowling and J. E. Ffowcs Williams: Sound and Sources of Sound (1983), p.146~167.
- (11) Curle, N.: The influence of Solid Boundaries upon Aerodynamic Sound. Proc. R. Soc. London A231 (1955), p.505~514.
- (12) 丸田・小竹: 平坂の剝離流れに伴う騒音, 機械学会論文章 (B編), 46巻, 406号 (1980), p.1055~1064.
- (13) 橋口・春名: 二次元翼による空力騒音発生の数値シミュレーション, 自動車技術会学術講

論文・報告

22

新設模型風洞

Newly Constructed Wind Tunnel for Scale Models

橋口 真 宜*1

Masanori Hashiguchi

柴 井 宏 文*4

Hirofumi Shibai

三 谷 和 正*2

Kazumasa Mitani

大 黒 雄 二 郎*5

Yujiro Daikoku

眞 野 泰 裕*3

Yasuhiro Shinno

岸 田 能 和*6

Yoshikazu Kishida

要

旨

Abstract

本論文は、このたび横浜に完成した模型用風洞の設備仕様の概略と性能試験結果について述べたものである。本風洞は空気力の計測と煙による流線の可視化を効率よく行えるようにし、先行開発段階におけるスタイリングと空力性能のハイバランスを追求できるようにしたものである。測定部は3/4オープン型で、測定可能な風速範囲は5~220km/h、縮流比は12である。計測システムとしては、トラバース装置の採用をはじめ、コンピュータによる自動計測処理を行うことで飛躍的に実験効率をアップしている。風速分布、境界層排除厚、静圧勾配、二種類のモデルによる空気および可視化に関するテストの結果、ねらいどおりのレベルにあることを確認した。

This paper outlines the facilities specifications of a wind tunnel for scale models recently completed in Yokohama and describes its performance test results. The wind tunnel very effectively allows aerodynamic measurement and the visualization of streamlines by smoke, enabling the creation for an excellent balance between styling and aerodynamic performance at the preliminary development stage. The test section is a 3/4 open type with a contraction ratio of 12:1 and can test over a 5 to 220 km/h wind velocity range. The measurement system includes a traverse measuring device and its computers have achieved remarkably improved test efficiency through automatic measurement processing. The results related to wind velocity, boundary-layer displacement thickness, and static pressure gradient of wind tunnel and aerodynamic force measurement and flow visualization on two types of models have shown that the targeted levels of operation have been reached.

1. はじめに

当社は、常にお客様のニーズを先取りした車づくりに取り組んできている。このような自動車の開発を積極的に推進し、かつ開発の質的向上をより一層図るために、数年前からデザインをはじめとする先行開発の拠点を広島から横浜へ移しており、1990年9月の新開発棟の完成に伴い、この開発拠点をマツダ R&D センター横浜と呼称することにした。情報の集積・発信地であると同時に国内市場の中心地である首都圏に先行開発の拠点を移すことで、お客様のニーズを的確に把握した開発を実現することができるようになった。

近年の、自動車の高性能化の傾向に伴い、燃費低減や走行安定性に関わる空力性能の向上に対する社会的要求は増々厳しくなりつつある。空気抵抗や揚力などの空力性能は車体形状によってほとんど決まってしまう。従って、先行開発段階において空力とスタイリングを高度にバランスさせない限りは量産車での高いレベルの空力性能の実現

は望めない。

これらの状況を踏まえ、デザインやレイアウトエンジニアリングと密接な関係にある空力性能の先行開発機能を横浜で行うための企画を1988年に開始した。目的を先行デザイン開発に絞り、かつコストパフォーマンスを考慮した結果、模型風洞を建設することを決定し、開発棟に隣接した場所に風洞棟を新設した。当社はすでに1983年に実車風洞を広島県の三次市で稼働させ、模型から実車までの空力実験を実施しており、空力特性の優れた数々の車を量産化することに成功している。しかしながら、求められている空力性能の向上を実現するには、いままで以上に高次元でデザインと空力を融合させるべきとの結論を得た。そのため今回の企画では、自動車開発の先行開発段階でデザイナー、レイアウトエンジニアらが日常的に風を自らの手で感じることでできる開発環境をつくりあげることにした。

本論文では、横浜に新たに完成した模型風洞の装置概要と、性能試験結果、並びに風洞実験業務

* 1 車両実験研究部, * 2 プラント技術部, * 3, * 4, 第1情報システム部, * 5 第1デザイン部,
* 6 デザイン本部

の簡易・省力化をねらったコンピュータシステムの概要について述べる。

2. 模型風洞について

2.1 模型風洞のねらい

模型風洞の基本仕様を決定するにあたり、次の項目の実現をねらった。

- (1) デザイナが身近に風を感じることでできる風洞
- (2) スタイリングと空力のバランスを自由に検討できる風洞
- (3) 開発の質的向上を促進できる高精度の空力テストおよびデータ蓄積が可能なこと
- (4) 空力テスト時間の短縮・省力化
- (5) 簡単・容易な操作性

これらのねらいに基づいて図1に示した風洞を完成させた。

2.2 風洞設備の概要

風洞の主要な諸元と特徴を表1に示す。

この風洞では、空気抵抗係数をはじめとする空力6分力の改善テストを実施し、先行開発段階で

ねらいどりの空力性能を達成することが主要な開発業務である。そのために、

- (A) 高精度6分力天秤⑧(図1中、以下同様)によるモデルの空力6分力計測と、三次元トラバース装置⑨による気流解析
 - (B) 煙発生装置⑮による気流の可視化を行えるようにした。
- (1) 風洞本体

この風洞は軸全長58mの大きさである。新開発棟周辺のスペースを考慮して、敷地面積を最小限に抑えるため、風洞の型式は長軸21m、短軸8mの縦置き型とした。風路は送風機のパワーをコンパクトにでき、かつ安定した高精度の気流を生み出すことのできる回流型(ゲッチングタイプ)とした。主送風機①で駆動された空気流は、拡散洞②によって旋回成分を除きつつ、出来る限り圧力損失を生じないような状態で整流洞④に達する。そこでハニカム格子(一枚)と整流格子(三枚)で更に乱れを抑えた後に縮流洞⑤で加速され、測定部⑦に一樣な気流を発生させる。測定部を通過した気流はベルマウス⑩によって吸い込まれ、拡

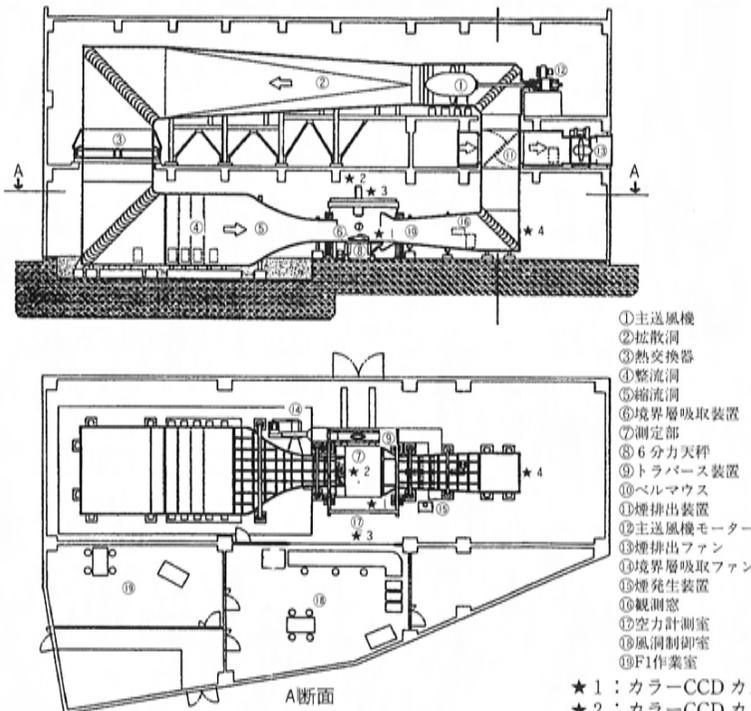


図1 模型風洞

- ★1: カラーCCDカメラ
- ★2: カラーCCDカメラ
- ★3: カラーCCDカメラ
- ★4: カラーCCDカメラ

表1 風洞仕様

風洞本体	
型式	縦形回流型(煙による流線観察などを考慮し、開放型としても使用可)
風速範囲	回流型 5~220km/h 開放型 5~70km/h
風路寸法	全長 58m 長軸 21m 短軸 8m
縮流比	1:12
送風機	ファン直径 2.1m モータ出力 190kw
気流温度調整装置	熱交換機による気流の冷却(気流温度35℃以下)
測定部	
型式	オープン型(1/4開放)
寸法	W1500×H1000×L2500mm
境界層制御	境界層吸取方式
空力6分力	棒1体型多分力ロードセル方式6分力天秤(車輪4点支持および中央1点支持形)
流れの可視化	煙発生装置・照明装置 壁面観測窓(後部コーナー/拡散洞)
気流解析	3次元トラバース装置(200km/h対応)

散洞を通して再び送風機へ戻る。

測定部に極力乱れが小さくかつ一様な気流を得られるように、縮流洞の形状決定に際しては12という大縮流比を採用した。それによって出力190kwの主送風機モーター⑫および直径2.1mのファン①という大変コンパクトな装置で最高風速220km/hを出すことが可能となった。

また、送風装置をこのようにコンパクトにできたため、風速0から最高風速まで10秒足らずで加速でき、テスト時間の短縮が可能となった。空力6分力テストでは、モデルの仕様変更ごとに風速0の状態で大秤に対してモデルの自重セット(風袋のキャンセル)を行わなければならない。これについても最高風速から風速0まで数秒足らずでコントロールできるようにして、数多くのテスト仕様を短時間のうちに実施できるようにした。

風洞テストを長時間連続すると、風路内の気流に対して主送風機からエネルギーが与えられるために、気流温度が時間とともに上昇する。この温度がある一定値をこえるとクレードでできたモデルに熱的な変形を生じさせてしまう。これを避けるために、熱交換器③を整流洞の上流側に設置し、気流温度が上限値を超えないようにコントロールしている。

一方、煙テストで回流型を使用したのでは煙が風路内に充満してしまい、気流観察を阻害する。そこで煙排出装置⑪を使用して、開放型に運転モードを切り替えている。煙を含んだ空気は煙排出ファン⑬で強制的に外気中に放出している。新鮮な空気は外気中から主送風機へ吸い込まれ、風路内②に導入される。この運転モードでの風速は70km/hを上限としている。

(2) 測定部

測定部⑦は、実験者が風を身近に感じられることとセンサなどの出し入れが容易であること、供試モデルによるブロッケージの影響を最小限に抑えて高精度な空力テストが可能であることという要求から、地面以外の風洞壁を取り除いた $\frac{1}{4}$ オープンタイプを選択した。図2に測定部の様子を示す。

地面は、固定方式とした。将来の技術の進歩に備え測定部を建屋床面に敷いたレールの上に載せた移動カート式として、ムービングベルト装置等

の導入にも対応できるようにしている。地面境界層の制御については、多孔板による境界層吸取方式⑥とした。



図2 測定部

(3) 模型天秤

測定部には、空力6分力計測用に模型天秤⑧を設置している。6分力天秤は、多分力ロードセル、模型取り付け部、ターンテーブルおよびテーブル旋回駆動部から構成されている。

空気力の検出部には、応答性、精度に優れた棒一体型の6分力ロードセルを採用した。

空気力の時間平均値を計測するには低周波数の応答速度で充分であるが、走行安定性を確保するため非常に重要な非定常空気力も計測できるよう、天秤各部の重量を最適化するなどしてダイナミックな計測を可能とした。

模型取り付け部は、天秤棒に固定された支持ピンによってモデルの各車輪位置4点を支持する方式とした。

車輪間隔は、ホイールベースが350~800mm、トレッドが150~400mmの範囲に設定できる。通常、

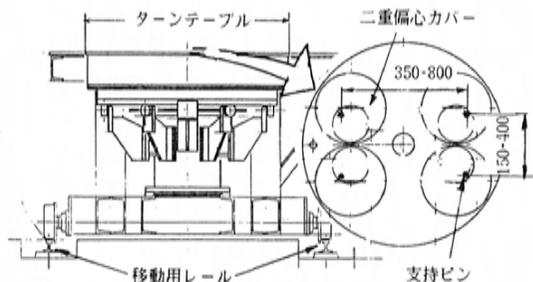


図3 二重偏心カバー付き6分力天秤

車輪間隔の変更は手間がかかるが、手動式二重偏心カバーの採用(図3)および位置決め治具を考案することでかなり作業が簡便になった。

横風をうけて走行する状況での空気力測定を行うため、ターンテーブルの偏揺角を設定値に対して0.1度以下の誤差でセットできるようにした。

地面を構成するターンテーブルや二重偏心カバーの周囲はすべてシールを施し、またターンテーブルと外枠の隙間および偏心カバーとモデル支持ピンの隙間をそれぞれ1mm程度に抑えることで空気の出入りを極力少なくし、空気力計測時に誤差を生じないように配慮した。ターンテーブルおよび外枠の水平度のばらつきは0.4mm以下におさめた。

ターンテーブル中央1点での供試体支持も可能とし、基礎研究、用品開発にも対応できるようにした。

(4) 三次元トラバース装置

開発の質的向上を実現するには空力6分力テストの結果とその発生メカニズムの分析結果が、必ずペアのデータとしてストックされることが望ましい。そこで、三次元トラバース装置を導入し、空力6分力テストを行っている際にタフトや種々のセンサを気流中に挿入できるようにした。風速220km/hの気流中でもトラバース可能なよう、剛性をかなり上げた構造にしている。

(5) 煙発生装置

今回の風洞のねらいの一つである、実験者が風を実感として理解できるようにするには、煙線による流線の可視化をいかに明瞭に行うかが非常に重要なポイントであると考えた。

これを実現するために、まず、煙風洞で行われている縮流洞内に楕円を設置する方式の検討を行った。その結果、この方式では、1)測定部に所望の煙線を発生させるには楕円のノズル一本一本の傾きを縮流洞内の流線に沿うように決めてやらねばならず、2)しかも縮流洞内壁に発達する境界層および二次渦によって測定部に得られる煙線の範囲が狭まること、3)これに伴い、測定部の地面位置を上方に移動させなければならないこと、4)測定部の煙線の発生位置を三次元的に移動しにくいなどの問題点があることがわかった。

これらの欠点を解決するため、その他の方式も充分検討した結果、大縮流比を持つ縮流洞によ

つて気流の乱れをできるだけ抑え煙風洞並の気流性能をもたせるとともに、三次元トラバース装置に取り付けた楕円ノズルから煙を発生させることにした(図2)。この方式では、トラバースを駆動することで、容易に煙発生位置を変更できる。ノズルのメンテナンスも容易である。楕円ノズルは縦置き型と横置き型の二種類用意し、モデルのまわりの気流の三次元的可視化ができるようにした。楕円ノズルの形状決定に際しては、三次市の実車風洞¹⁾で予備試験を行うなどして注意深い検討を重ねた。

開放モードでの気流特性と回流モードで差を生じると、煙による気流の様子とモデルに発生する空気力との関係づけが困難となる。そのようなことが生じないように、煙排出ファンの回転数の設定を注意深く行った。

また、モデルの局所的な部分の流線観察用に、手持ちのノズルから煙を発生させることもできるようにした。

煙による可視化を効果的にするための照明装置として、1kwのキセノンランプを6灯設置した。このうち3灯は測定部天井位置の遠隔操作可能な台車に取り付け、トラバース装置の軸移動による煙発生位置の変更に伴ってランプを移動できるようにした。残り3灯は、適切な位置に固定した。

これらの方式の採用によって本風洞では、実用的なレベルでの流線観察と空気力計測の両方が一つの風洞で非常に手軽に実施できるようになった。

(6) 観測窓およびモニター

これらの煙テストでは、気流をいろいろな角度から観察可能とすることが大事である。そのために、測定部下流の拡散洞の上下左右の位置とコーナーペーンの後方に観測窓⑩を設置した。コーナーペーンの後方に位置する観測窓からの気流観測の際には、その妨げにならないような位置にコーナーペーンの一部を電動機によって移動させるようにした。

また、実験者が簡便に煙等の気流観察や測定部のモデルの状況を制御室⑪からモニターできるように、カラーテレビカメラを図1の星印箇所に設置し、それらの映像をモニターテレビでの4分割画面として同時にモニターできるようにした。

(7) 制御室および作業室

風洞と同一建屋内には、ガラス製の大観測窓(W5m×H1.2m)によって測定部と隔てられた場所に風洞制御室⑱が設置されており、風洞全体の集中制御を行う。風洞制御室のすぐ横には、風洞実験用のスケールモデルを準備する、あるいは空力改善テストを終えたモデルの形状の三次元座標計測を行う作業室⑲を設置し、効率的な開発環境を形作っている。

以上がこの風洞のおもな特徴である。この他に操作・運用面の検討を行い、風洞全体の制御、ターンテーブルのヨー角制御、トラバース装置の三軸制御については制御室からマニュアル運転およびコンピュータによるオート運転によって操作できる。更に測定部の傍からモデルを見ながらそれらをマニュアル操作できるようにハンディタイプの制御盤を測定部近傍に配置した。縮流洞の外壁には、制御室からも目視可能なように大型デジタル表示盤を取り付けて、測定部の主流風速と温度、および空気抵抗係数、前後輪揚力係数をリアルタイムに表示できるようにした。これらの工夫は前述の煙テストとともに、デザイナーをはじめ開発員に対する教育効果を含めた実験情報の強力な日常的フィードバックをねらっている。

3. コンピュータシステム

3.1 システム化のねらい

この風洞では、実験者を専門の空力技術者に限定せずデザイナー、その他の開発員自ら実験ができることをめざした。

このことから、システム検討時において風洞実験における使用者(実験者)のスキルに起因する次の様な問題があらかじめ予測された。

- ・風洞の運転制御操作の個人差による実験データの質のばらつき
 - ・熟練度の違いによる実験作業効率の低下
- そこでシステム化にあたっては、これら問題解決



図 4 システム機器

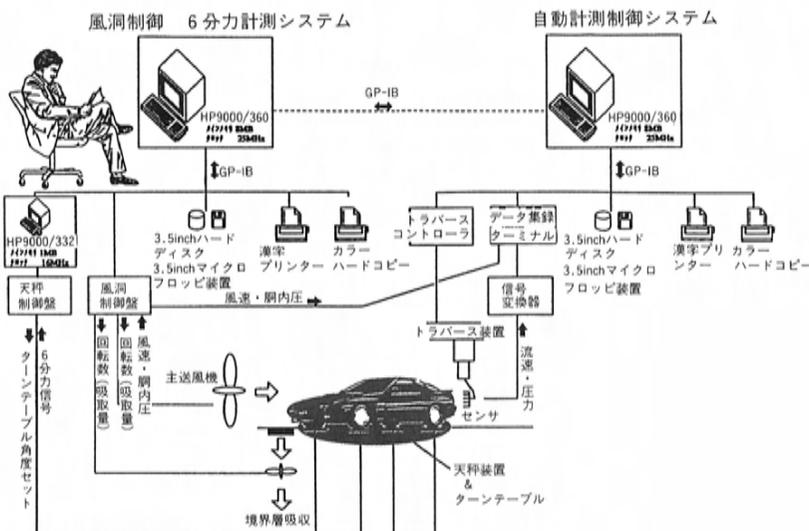


図 5 システム概要

を含めて以下の点をねらった。

- 1) 専門の空力技術者でなくても操作可能
- 2) 熟練を要すること無く、風洞実験を効率よく実施
- 3) 質の安定したデータの取得
- 4) テスト内容の変化に応じた柔軟な対応

3.2 システムの構成

システムの構成を図4ならびに図5に示す。

3.3 システムの特徴

(1) 簡易オペレーション

実車風洞での経験をもとに風洞実験の作業フローを詳細に分析し、それによってコンピュータシステムの操作手続きを極力簡素化した。

操作手続きを画面に表示し、会話形式で作業が行えるようにし、かつマウスによって操作性を統一して、実験者の手元に操作マニュアルは特に必要無いようにした。

(2) 自動制御機能

主送風機および境界層吸取装置の制御、ターンテーブル偏揺角制御、6分力天秤による空気力計測、トラバース装置の制御を自動化した。

システム構築途上においては各機器の組合せや種々のモードでのテストを繰り返し実施して、制御時間短縮や操作性向上等のために一層のチューニングを施し、使いやすいものにした。

(3) パターン自動運転

誰が実験しても同一の実験条件下で質の揃ったデータを日常的に収集でき、かつそれらを統計処理等の手法によって開発に有用な形に加工するため、パターン自動運転を実現した。

風洞実験の質を維持するためには同一条件で風洞関連機器の特性を定期的にチェックすることが重要である。その際にもこのパターン自動運転は効果的である。

(4) ソフトウェア変更の容易性

実験研究システムというものは一旦構築したら陳腐化するまで基本的に変更しないというものではあてはまらない。むしろ、日常業務の変化に柔軟に対応でき、しかも実験の当事者のニーズを即、反映するためにも、ソフトウェア変更の容易性は必須である。例えばトラバース装置とセンサの組合せは様々なものが考えられる。しかもセンサの進歩に応じて、システムの中身も変化していくこ

とは日常よく経験することである。

そこで、HP-I B(GP-I B)による各種制御機器との容易なリンク、高信頼性、簡易なプログラミングの点を踏まえ、システムのプログラム言語はHP-BASICとして、その上でソフトウェア変更を容易にした。

4. 性能実験

ここでは、風洞本体および下記のモデルを用いた性能試験の結果について述べる。

供試モデルとしては、モデルA:1BOXとモデルB:ファーストバックの二種類を使用した。

圧力測定には、標準ピトー管を、流速測定には、ピトー管と熱線流速計を使用した。

4.1 風洞本体の性能

(1) 気流性能

風速は、回流方式でねらいどうり最大220km/hまで出せることを確認した。風速の設定は送風機の回転数制御方式によるが、図6に示すように測定部入口風速と回転数の関係を線形にすることができた。これによって、パターン自動運転の際の風速設定が容易になった。

気流の質は、測定部入口での風速分布の一様性と乱れ度で決まる。回流モードでの測定部入口での風速分布の一様性を調べた結果を図7に示す。これと同様に開放モードでも風速分布は0.5%以内で一様性を実現できていることを確かめた。気流の乱れ度は、測定部入口位置で0.18%程度とかなり良好な結果が得られた。

開放モードでは送風機回転数と測定部入口での風速の関係は図6のようになる。

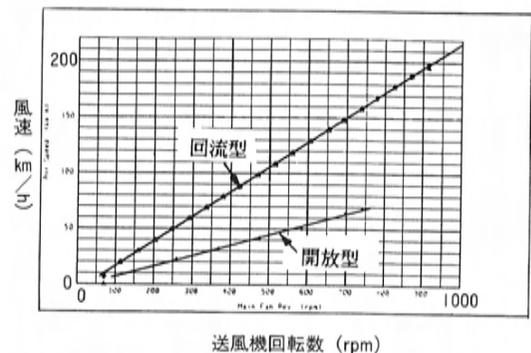


図6 送風機回転数と風速の関係

(2) 静圧勾配

測定部の静圧勾配は、図8の通りである。この静圧勾配が大きいと、いわゆる水平方向浮力としてモデルに作用し空気抵抗を計る際に誤差の原因となる。今回はこの静圧勾配を最小にするためにベルマウスにあるブリーザーホールの開度を微妙に調整した。その結果、測定部入口付近とベルマウスの風上側で静圧勾配は若干認められるが、モデルC_Dの設置される天秤中央付近の1mの範囲の勾配はC_Dにして0.001程度と無視できる程小さいことがわかった。開放型の場合には、回流モードとの間に差を生じないように煙排出ファン回転数を決めたが、図8のように回流モードと同等の静圧勾配に抑えられていることを確認した。

(3) 地面境界層

本風洞では一般の風洞と同じく地面が固定されているため、地面境界層が発達する。従って、この境界層の厚みを極力薄くする必要がある。そのために、境界層吸取装置を使用している。図9に示すように、本装置は非常に有効であることがわかった。この制御方式によって、境界層排除厚をターンテーブル中心位置で2.5mmとかなり薄くできた。測定部の幅方向への境界層の二次元性についてチェックしたが、良好であることもわかった。したがって、今回の吸い取り方式は妥当なものであるといえる。

4.2 モデル実験

(1) 入口風速への影響

回流モードでモデルA、Bを計測時の設定回転数と測定部入口風速の関係を調べた。その結果、図6測定部入口風速はほとんど影響を受けておらず、従って、モデルサイズによらずに風速条件を同一にできることが確認できた。

(2) 空気力測定

図10は、入口風速とC_Dとの関係である。高速域になるとC_DがモデルA、Bともに一定値をとるようになる。低風速域では両モデルともにC_Dが高めにでているが、これはレイノルズ数が小さいために、車体表面の剥離が大きくであるためである。また、モデルAとBを比較すると、モデルAのほうがより低い風速域から一定なC_D値をとっている。これは、モデルAの形状は各部の稜線がはっきり

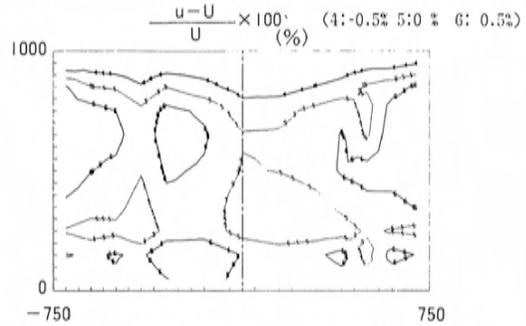


図7 測定部入口等風速線図(平均風速U=56.42m/s)

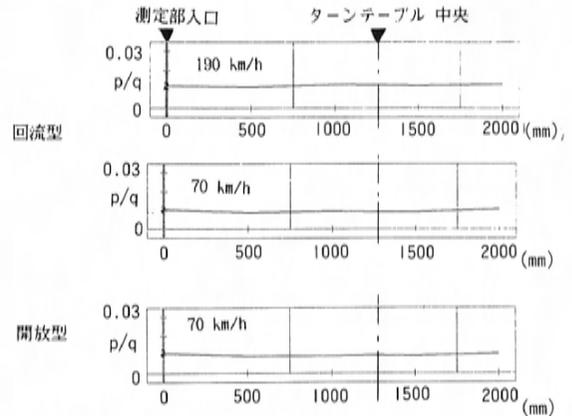


図8 測定部流れ方向静圧分布
(主流動圧で無次元化している)

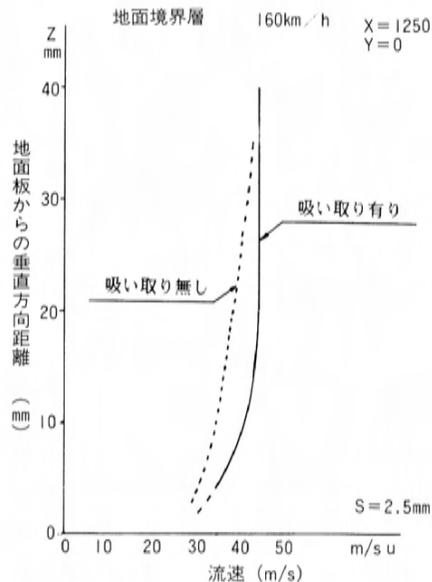


図9 境界層流速分布 160km/h
(ターンテーブル中央)

しており、剥離点の決まりやすい形であることから、レイノルズ数に影響されにくいためである。従って、モデル B のような滑らかな曲面で構成されたモデルの空気力測定にあたっては、実験風速域の設定に注意が必要である。境界層の影響は図 10 のとおりである。

(3) 煙線による可視化

煙の発生テストは開放モードで実施した。

まず、煙線の質を観察するために、モデルなしの状態での実験を行った。

その結果、一様な煙線を発生することができた。次にモデル周囲の流れを観察した結果を図 11(a), (b), (c) に示す。モデル A の後ろにはかなりの規模の渦の発生が認められる。それに比べ、モデル B は後部の渦領域が小さく抑えられている。

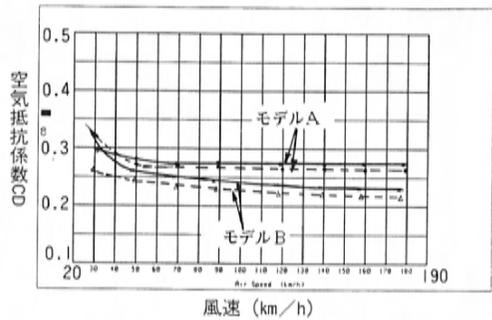
上述したように、レイノルズ数の影響によって、低風速では流れの様子が変化することがある。従って、流れの可視化もできるだけ高風速域で行う必要がある。今回実験した結果では、楕形ノズルの支持部を NACA0012 翼型にして空気抵抗を小さくし、かつトラバース装置の剛性をあげたため、開放モードで最高風速 70km/h でも楕形ノズルの振動は認められず、煙による流線観察を明瞭に行えることを確認した。楕形ノズルを測定部入口に設置した状態で、70km/h 時の C_D 値について測定した結果、約 4% の差で回流モードのそれらと一致することも確かめた。従って、今回の煙発生方法および開放モードでの運転方式は、空気力と流れの関係を掴むうえで有効な方法であることが確かめられた。

(4) テスト時間

自動計測システムがねらいどおり実現できているかの検証を行った。

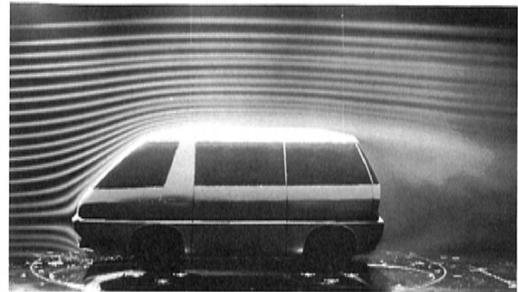
結果は、風速 0 から 160km/h まで立ち上げるのに 10秒、そこからヨー角 0 度で空力 6 分力を計測して風速 0 にするまでの所要時間は 5 分、風速一定での 10 種類のヨー角変更テストでは 20 分であり、充分開発のテストサイクルに耐えられることがわかった。パターン自動運転の各ステップにおいて、測定部入口での動圧および天秤出力の安定に要する時間は充分確保されていることも確認した。

測定終了後には送風機回転数や気流温度などの

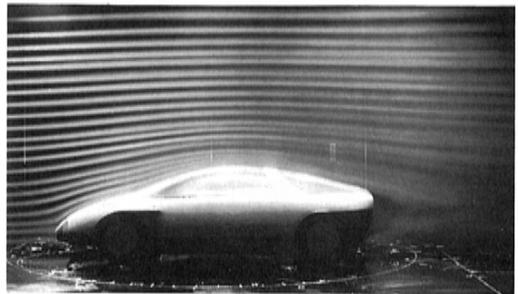


実線：境界層吸い取り有り、点線：境界層吸い取り無し

図 10 風速と C_D の関係



(a) モデル A, 縦置きノズル使用



(b) モデル B, 縦置きノズル使用



(c) モデル B, 横置きノズル使用

図 11 煙線による可視化 (70km/h)

風洞状態を示す諸量および天秤からの出力であるヨー角と空力6分力値が本システムによって記録され、その結果を解析プログラムにかけることで、容易に各種グラフ処理ができ、短時間でねらいどりの報告書を作成できることを確かめた。

空力技術者以外の開発員が本システムを使用した結果、空力の非専門技術者にとっても非常に使いやすいシステムであることが確認できた。

5. 今後の課題

今後の課題としては、

- 1) センサー系の充実と、トラバース装置を駆使した気流の要因分析手法の確立 (図12)
- 2) 三次の実車風洞との相関性の検証
- 3) ムービングベルト装置の導入等による床下流れの高精度な実験手法の確立

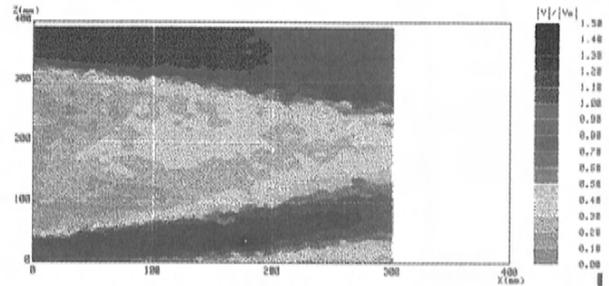
などがあげられる。

6. おわりに

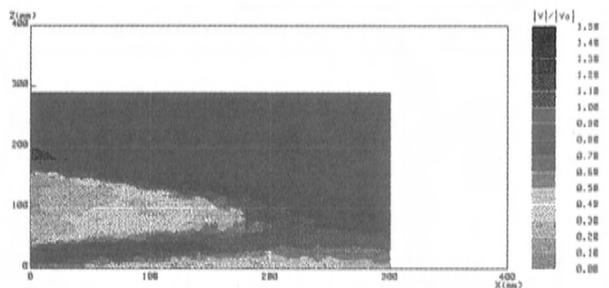
本論文では、当社がこの度新設した模型風洞の概要、性能試験結果およびコンピュータシステムについて述べた。その結果、模型風洞はねらいどりに仕上がっており、コンピュータシステムも先行開発を充分支援できる機能を有していることも確認できた。

当社では、マツダ R & D センター横浜の模型風洞の完成によって先行開発段階でのスタイリング開発と空力開発を今まで以上に密着することができるようになった。広島本社では、横浜で洗練された基本スタイルを量産車に育成する役割を担うが、その際三次の実車風洞では、エンジン冷却、床下整流、風騒音の開発に注力していく。従来より積極的に進めているスーパーコンピュータによる空力シミュレーション²⁾³⁾の持つ強力な要因分析能力やグラフィックスによる可視化技術もこれらの風洞実験とうまく組み合わせ、それぞれの長所を活かした開発方式を推進していく。

この開発形態によって、スタイリングと空力性能のハイバランス化を短時間のうちに実現し、マツダユニークなデザインと高い空力性能をもつ商



(a) モデル A ウェーク



(b) モデル B ウェーク

図12 コンピュータシステムによる
モデル中央断面の後流流速分布解析結果
(赤：流速低い、青：流速大)

品をタイムリーに生み出していきたい。

最後に、この模型風洞の建設にあたり御協力いただいた(株)荏原製作所ならびに早稲田大学石山修武研究室、大和製衡(株)、鹿島建設(株)のスタッフ諸氏に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 小林ら：新設風洞の紹介，マツダ技報，No.2 (1984)，p.162-166.
- 2) M.Hashiguchi et al.: Computational Study of the Aerodynamic Behavior of a Car Configuration, AIAA-87-1386, 1987.
- 3) K.Kawaguchi et al.: Computational Study of Aerodynamic Behavior of a Three-Dimensional Car Configuration, SAE 890598, 1989.

■著者■



橋口 真宜



三谷 和正



眞野 泰裕



柴井 宏文



大黒雄二郎



岸田 能和

解説・紹介

23

大型無響室の紹介

Large Anechoic Room

安藤 正登*1

Masato Ando

甲斐 聖人*4

Masato Kai

野上 孝雄*2

Takao Nogami

永本 光一*3

Kouichi Nagamoto

要

旨

Abstract

車両騒音の低減という社会的な要求に対応するため、定置で車内騒音、車外騒音を再現し現象解析を短時間で効率よく行うことのできる大型無響室を設置した。

この大型無響室は17m×17m×6mの大きさにISO加速騒音も再現することができる。シャシーダイナモメータは、四輪駆動車をはじめとして、軽自動車から普通トラックまでのあらゆる運転条件に対応できるものである。そのほか、低騒音のエンジン冷却ファンなどを有する。

また、車内騒音、車外騒音、車両近接音の計測と解析はすべてオンラインでコンピュータ処理を行うことができる。

A large-scale anechoic room, in which the interior and exterior noises of a vehicle in a stationary condition can be reproduced, was developed in an effort to meet a social demand for low-noise vehicles. Noise and vibration analysis can be made efficiently in this room. The inner size of the room is 17×17×6 meters, large enough to reproduce the ISO acceleration noise test. The chassis dynamometer installed in the room can handle vehicles ranging from light passenger cars to light trucks including four-wheel-drive vehicles. The computer system of the room can conduct on-line measurement and analysis of the interior and exterior noises of a vehicle as well as near-the-vehicle noises from a specific component of the vehicle.

1. まえがき

自動車メーカーにおいては、商品性に大きく関わる車内騒音の低減のみならず、環境騒音という観点での車外騒音の低減も、その社会的役割を果たすという意味から重要なテーマである。

車室内あるいは車室外での車両騒音は、エンジン刺激や路面刺激など、さまざまな刺激によって発生する複雑な現象であり、その低減にあたっては車両の振動騒音現象を克明に調査する必要がある。更に、短期間に車両騒音を低減していくためには、実走時の振動騒音現象を定置で再現し効率的に解析していくことが重要になってくる。

このため、シャシーダイナモメータを備えた無響室が種々作られているが、このたび車外騒音と車内騒音を同時に評価できる大型無響室を完成させたので、この設備の紹介をする。

大型無響室は、(財)日本自動車研究所のものがある名であるほか、各自動車メーカーも既に保有しており無響室自体は特に新規性のあるものではない。

しかしながら、当社の大型無響室は、加速騒音の実走テストを定置で再現できること、計測処理をオンライン化していることなどに特徴があり、このあたりも含めて紹介する。このほか、大型無響室を計画するにあたって配慮した点は

- ① 四輪駆動車をはじめとして、軽自動車から普通トラッククラスまでの車種に対応できること。
 - ② 将来の車両の高性能化に対応できること。
 - ③ あらゆる走行条件での車両騒音の評価が可能なこと。
 - ④ 車内騒音、ISO加速騒音、車両近接音が、オンラインで計測できること。また、種々の解析手法がオンラインで即座に適用できること。
- である。

2. 設備紹介

2.1 大型無響室の構成

大型無響室の構成は図1、図2に示すように、

*1, *2, *3, *4 車両実験研究部

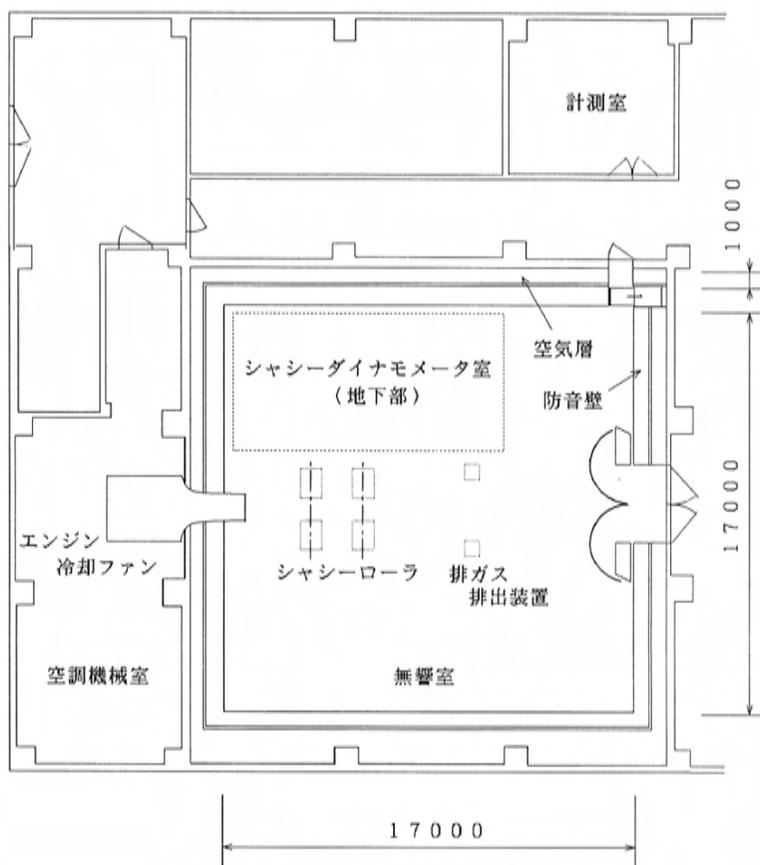


図1 大型無響室の構成 (平面図)

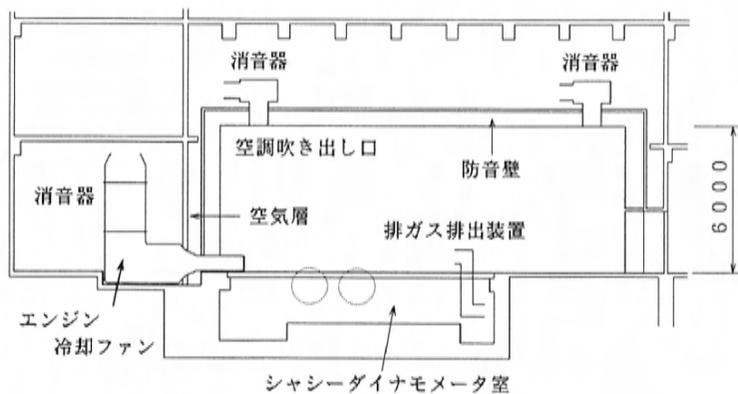


図2 大型無響室の構成 (断面図)

無響室と、空調機械室および計測室から構成されている。無響室内には、シャシーダイナモメータ、エンジン冷却ファン、排ガス排出装置があり、あらゆる運転条件において車両が発生する騒音を車室の内外を問わず定置で再現することができる。

本無響室の構成上の特徴は、車両の左右方向の騒音を同時に計測できるように、シャシーローラを無響室の中央に設置していることにある。

2.2 無響室

無響室の様子を、図3に示す。天井および壁面はくさび形の吸音壁で音の反射をなくし、床面は路面の反射を考慮しコンクリートとすることで、走行中の車両騒音を再現させている。

無響室の大きさは、図1に示すように、内寸で17m(幅)×17m(奥行き)×6m(高さ)であり、ISOの車外騒音測定法を模擬した騒音テストが可能な大きさになっている。

無響室の性能を表す量として、カットオフ周波数がある。カットオフ周波数以上の周波数の音は、壁面でほぼ完全に吸収されるため、無限に大きな空間と等価になる。このような空間では、音は距離の2乗に比例して減衰する。つまり距離逆自乗則が成り立つ。本無響室では、カットオフ周波数を125Hzに設定している。このカットオフ周波数はくさび形吸音材の大きさによって決まるが、本無響室では、図4に示すようなくさび形吸音材を用いて、このカットオフ周波数を実現している。図5は、この無響室で距離逆自乗則が成り立つ様子を示している。これは、無響室の床面中央部に

スピーカを埋め込んで音を発生させ、距離と音圧レベルの関係を実測した結果である。このグラフでは、距離逆自乗則は図中に示した直線で示されるが、100Hzから8kHzの周波数範囲でくさび形吸音材の先端近くまで±1 dBの精度で距離逆自乗則が成り立っている。

無響室の性能を表すもう一つの量として、暗騒音がある。本無響室では、くさび形吸音材と壁面の間に1 mの空気層を設けること、床面を支持する基礎を建屋の基礎から切り離して振動絶縁を図ることなどで35dB(A)の暗騒音(全設備停止時)を実現している。

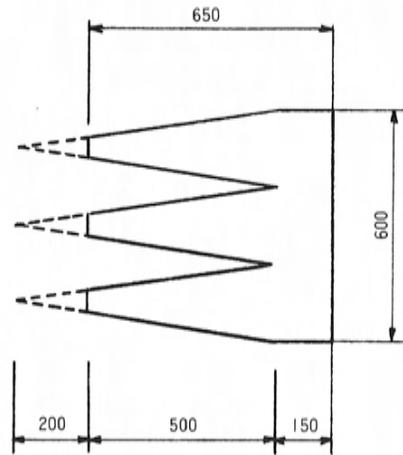


図4 くさび形吸音材の形状

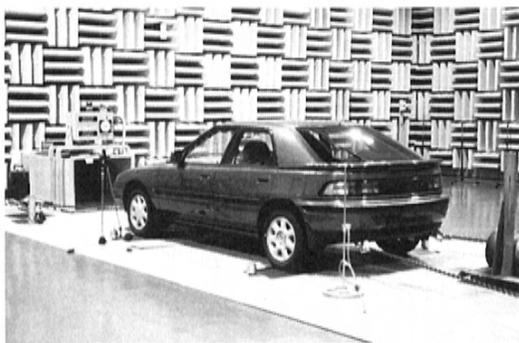


図3 実験風景(無響室)

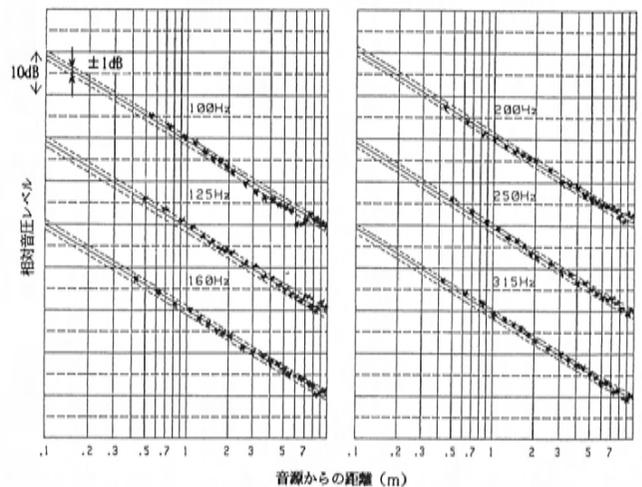


図5 無響室の音響性能

また、車室外騒音を再現するためには、床面をフラット化すること、音を反射する大きな装置が計測範囲内にないことが重要である。このため、計測用ボックスを床面に埋め込むなどの工夫をしている

2.3 シャシーダイナモメータ

先に述べたようにシャシーダイナモは、四輪駆動用シャシーダイナモとなっている。その主要諸元を表1に示す。軽自動車から普通トラックまでのテストを可能とするため、ホイールベースを1,800mmから4,000mmまでワンタッチで変更できるほか、600kgから7,500kgと広範囲の車重設定も可能である。最高速は220km/hであり、高速走行時の車両騒音も計測することが可能である。

このシャシーダイナモメータは、あらゆる走行条件を再現するため、走行中に車体が受ける慣性力、転がり抵抗、空気抵抗、勾配抵抗などを電気的あるいは機械的に与えることができる。特に加速時の車両騒音を精度良く再現するために慣性力の与え方(慣性補償)に注力し、600kgから7,500kgと広範囲にわたるテスト車の重量に応じてきめ細かく慣性補償が行えること、およびアクセルを踏み込んだ直後の車両の応答を精度良く再現することから、フライホイールと電気慣性を併用している。

表1 シャシーダイナモメータの主要諸元

ローラ方式	single
ローラ直径	1,591.5mm
ローラ幅	750mm
ローラ間距離	700mm
ローラ軸間距離	1,800mm~4,000mm
ローラ材質	アルミニウム
ローラ表面	平滑 ノンスリップ処理
ローラ許容軸重	2,500kg
ローラ周速	0~220km/h
動力吸収体	DCDY フロント側：吸収 150kW 駆動 110kW リ ア側：吸収 220kW 駆動 170kW
等価慣性重量	[FF] [FR] [4WD] 600~1,800kg 700~7,500kg 600~7,500kg
固定慣性	600kg 650kg 1,250kg
可変機械慣性	800kg・600kg×2

吸収馬力は、前輪用シャシーダイナモメータが約150kw(200PS)、後輪用シャシーダイナモメータが約220kw(300PS)であり、ハイパワー車や高トルクのトラックのテストを行うことができる。

また、シャシーダイナモメータから発生する騒音を低く抑えるため、前輪用ローラと後輪用ローラを騒音の発生源となるギアボックスでつなぐことをやめ、各々にダイナモメータを設置している。無響室の地下に設置しているダイナモメータは、コンクリート壁で遮音している。この結果、50km/hで運転中のシャシーダイナモの騒音レベルは、ローラ中心から7.5mの地点で41dB(A)である。

また、ローラ上でのタイヤ音を低減するため、シャシーローラ表面はノンスリップ処理を施している。

2.4 エンジン冷却ファン

加速時の車両騒音を連続して計測できるようエンジン冷却用のファンを有している。このエンジン冷却ファンには、低騒音化のためにいくつかの配慮がなされている。その一つは車速比例ファンを採用していることである。車速比例ファンとすることで車両騒音レベルの低い低車速時の騒音低減を図り、風量の必要な高速時には風速を上げて必要な風量を確保することができる。表2に示すように160km/hまでの風速が得られ、220km/hの運転条件にも対応可能である。更に、冷却ファン用のモータを別室に設置し、20㎡の消音器を設けることで、風速50km/hのときに、38dB(A)の騒音レベルを得ている。また、吐出口を900mm(幅)×700mm(高)と大きく取り、冷却性能を高めている。

表2 エンジン冷却ファン・空調・排ガス排出装置の性能

設 備	性 能
エンジン冷却ファン	
風速制御	設定範囲：0~160km/h (吹出口寸法 幅900mm×高さ700mm) 設定精度：±10%
空調	
温度制御	設定範囲：20~26℃、設定精度：±2℃
湿度制御	設定範囲：40~60%、設定精度：±10%
吹出風量	650㎡/分
排ガス排出装置	
吸込風量	65㎡/分・33㎡/分

2.5 空調

テスト精度の向上と、くさび型吸音材の保護を兼ねて、空調を行っている。表2に示すように年間を通じて、温度は $20^{\circ}\text{C} \sim 26^{\circ}\text{C}$ の範囲で設定でき、設定精度はあらゆる運転条件において $\pm 2^{\circ}\text{C}$ である。同様に湿度は $40 \sim 60\% \pm 10\%$ を保つことができる。また、空調の吹き出し口は天井に設けられ、 20m^3 の消音器を設けることにより低騒音化を図り、 34dB(A) の騒音レベルに抑えている。

2.6 排ガス排出装置

排ガス排出装置の低騒音化のため、表2に示すように排気容量を $33\text{m}^3/\text{分}$ と $65\text{m}^3/\text{分}$ の2種類に切り替え可能となっている。この結果、 40dB(A) まで騒音を下げることができる。

2.7 暗騒音

以上に述べてきたように各装置の騒音低減に注力した結果、表3に示すように 50km/h の条件で全設備を稼動したときの騒音は 47dB(A) となり、車両騒音を計測する上で全く影響のないレベルにある。

表3 設備の騒音

	騒音値 dB(A)
全設備停止時	35
空調運転時	34
排ガス排出装置運転時	44 (風量大) 40 (風量小)
エンジン冷却ファン運転時	38 (50km/h)
シャシーダイナモメータ運転時	41 (50km/h)
全設備運転時	47 (50km/h)

騒音値はローラ中心から 7.5m の地点で測定したもの

2.8 計測システム

無響室の計測データは、図6に示している計測室に送られて、コンピュータで自動処理される。この計測システムの構成を図7に示す。マイクロフォンで計測された車両騒音は、 $1/3$ オクターブ分析器などで周波数分析される。また、車両騒音と同時にエンジン回転速度や車速なども計測され、コンピュータで種々の処理を行い出力される。

標準的な振動騒音解析手法である種々の周波数分析、トラッキングマップ処理やアコースティック

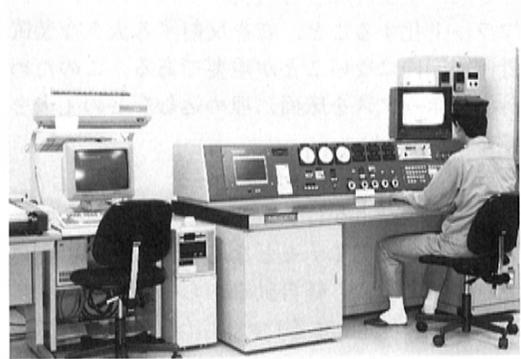


図6 実験風景 (計測室)

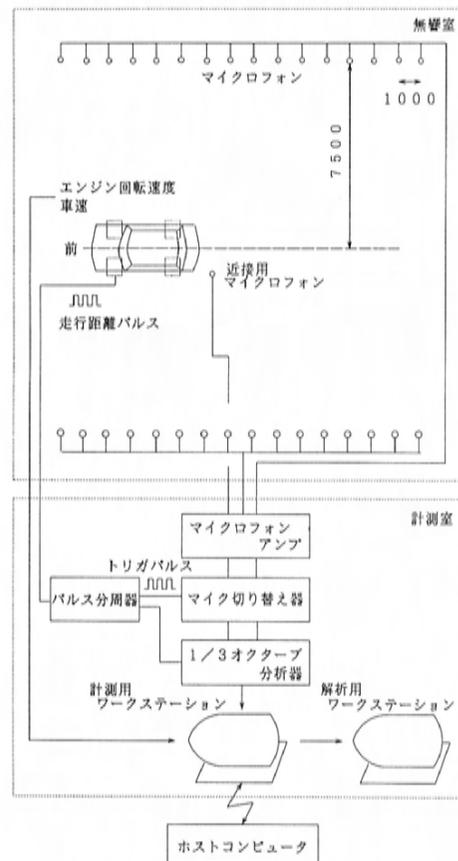


図7 計測システムの構成

クインテンシティなどの処理ができるほか、加速中の車両の通過騒音を定置で再現させることも可能である。これは、図7に示すようにローラから

得られる走行距離のパルスに応じて、1m 置きに並べられたマイクロフォンを電氣的に順次切り替えることによって行っている。

図8に、ISO加速騒音を本大型無響室で再現した例を示す。このデータは、加速騒音がピークとなる瞬間の周波数分析結果である。実線がテストコースで実走した結果であり、点線が大型無響室での結果である。本大型無響室は、高い精度で実走の再現が可能なのことがわかる。

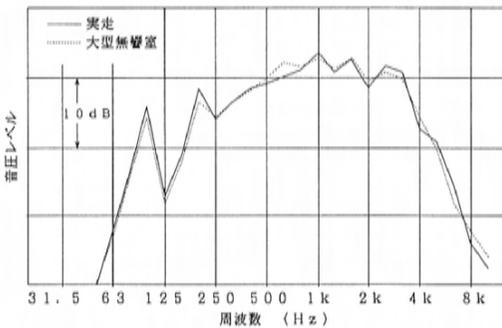


図8 実走と大型無響室との比較

3. あとがき

本稿では、このたび完成した大型無響室の概略について述べた。

本大型無響室は、車内騒音、車外騒音ともに精度よく再現しており、車両騒音の低減に大きな力を発揮すると確信する。

最後に、本大型無響室の導入にあたって(株)明電舎、富士ファコム制御(株)、その他の関係諸氏に感謝の意を表する次第である。

■ 著 者 ■



安藤 正登



野上 孝雄



永本 光一



甲斐 聖人

解説・紹介

24

センティア用アクスル組立ラインの紹介

Introducing SENTIA's Axle Assembly Line

武田 進*¹ 砂田 昌男*² 斉藤 勝巳*³
 Susumu Takeda Masao Sunada Katumi Saitho

要 旨

Abstract

アクスル組立ラインの要件は、品質が保証された製品を高い効率で生産しながら、複数の車両組立ラインから要求される製品を即時に供給することである。本稿では、少量、中量クラスの製品を集約し多種混流生産に取り組んだセンティア用のアクスル組立ラインを紹介する。このラインは、パレット治具で製品を搬送する水平循環式のコンベアおよび自動化領域と手作業領域に分割した工程で構成された自動組立ラインである。本ラインは、形状の異なる多機種に対応可能な設備と車両組立ラインに同期した生産指示システム、それによる製品個別の品質保証および生産量の変化に合わせた作業編成ができる点に主な特徴がある。

The requirements of an axle assembly line are to produce with high efficiency products whose quality is guaranteed and at the same time to supply those products as required by various body assembly lines. This paper introduces SENTIA's axle assembly line which succeeds with mixed-model variable production by concentrating on small and medium volumes of products. The line is an automatic assembly line composed of a horizontal carousel conveyor moving goods on pallet jigs and with processes divided into automatic and manual areas. The line has facilities that enable it to change form in response to differing models as well as a production instruction system that is synchronized with the body assembly line. In this way, the line has the special ability to not only guarantee the quality of individualized products but also have an operation organization that is integrated with changes in production volumes.

1. はじめに

自動車は市場ニーズの変化により、ますます機種が多様化、機能の高性能化が進み、併せて製品の低価格化が求められている。

また一方で、製品寿命が短縮化傾向にある。

こうした環境によりアクスル組立ラインでは、生産機種の増加と品質保証対応および生産量の変動に伴う、生産性低下への対応が課題となっている。

これらを解決するために、センティア用のアクスル組立ラインでは、設計構造が異なるフロント&リア・アクスルおよび生産量が少量、中量クラスの製品を集約して混流し、生産変動に柔軟に対応できる多種混流生産ラインの実現に取り組んだ。

生産対象とするアクスルの製品は「3種類」で、図1はフロント・アクスルを、図2はリア・アクスルを示し、それぞれの製品概略図と機種の数を表わしている。

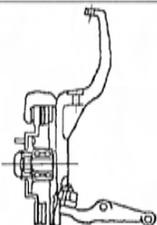
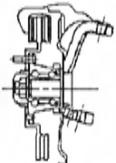
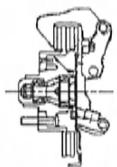
	A製品 : 5機種	B製品 : 5機種	C製品 : 5機種
フロント アクスル			

図1. フロント・アクスルの製品概略図

*1, *2, *3 PT技術部

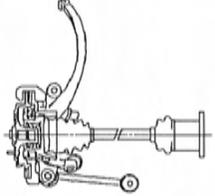
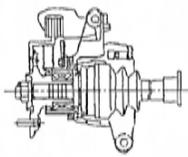
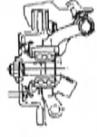
	A製品 : 5機種	B製品 : 5機種	C製品 : 5機種
リア アクスル			

図 2. リア・アクスルの製品概略図

2. アクスル組立ラインの考え方

2.1 高い生産性,かつ設備の柔軟性を満足する 多種混流生産ライン

生産量の多い製品は、高効率を目指した単一機種専用の自動組立ラインを設置してきたが、

- (1)製品のワイドバリエーション化に伴う生産性の低下と生産量の変動によるコストアップ。
- (2)製品寿命の短縮化に伴う設備の低操業化と遊休化。
- (3)モデルチェンジに対する設備改造の投資増加と稼働停止期間の増大。

などの問題がある。

また、少量および中量の生産量に対しては、設計構造が類似した製品を集約して、手作業を主体にした組立ラインを設置してきたが、

- (1)ヒューマン・エラーによる品質保証の低下。
- (2)賃金の上昇に伴うコスト・アップと要員の不足。

などの問題がある。

このような課題を解決するために、多種混流生産ラインの実現を考察した。

その具体的なアクスル組立ラインとしては、

- (1)多機種による混流ラインの生産性は、単一機種による専用ラインと同じで、しかも生産量の変動に応じて作業の編成が効率よく設定できること。
- (2)モデルチェンジや設計変更には、省投資で短期間に改造できる設備の柔軟性があり、設備の寿命期間において生産性を高めながら活用できること。

などが必要である。

それらを実現するために、製品開発の初期段階から設計に対し、生産ラインの基本構造や製品の組立基準などの要件を明確にし設備を構築していく必要がある。

2.2 品質保証システムと信頼性の高い設備

アクスルは重要保安部品であることから、製品個別の品質保証を前提としている。そのために、

- (1)信頼性の高い設備で安定した品質が得られること。
- (2)手作業組立におけるヒューマンエラーを防止でき、不良品が後工程へ流出されないこと。
- (3)個々の製品について品質が保証され、品質データが車体番号と関連付けられて記録されていること。

などが必要となる。

また、不良品は設備の異常処置に伴う手作業時に発生しやすいことから、故障しにくい設備および生産システムが要求される。

そのための組立ラインを構成する設備は、

- (1)過去の不具合が解決されていること。
- (2)構造がシンプルで適度な剛性を持っていること。
- (3)設備制御の異常が予知できる故障診断機能を持っていること。

などが重要となる。

2.3 生産計画の柔軟性,かつ生産対応の即時性

従来, アクスル組立ラインの生産計画は, 車両組立ラインからの引き取りに対する補充生産方式を採用していた。

ところが, 製品のワイドバリエーション化と生産量の増加に伴い, 次のような問題が発生してきた。

(1)複数の車両組立ラインへの供給に対する作業工数の増加と即応性の低下。

(2)仕掛りプール量の増加と出荷面積の不足。

これらを解決するには, オンライン・ブロード生産が必要で,

(1)複数の車両組立ラインが要求する生産順序に即時対応でき, かつ高い信頼性が維持できること。

(2)車両組立ラインの生産リードタイム内(初工程からアクスル組立工程まで)にアクスルの供給が可能なこと。

この他, 出荷製品および海外へのCKD製品の生産にも同時に対応できること。

など, 新しい機能を備えた生産指示システムが必要である。

3. アクスル組立ラインの紹介

3.1 設備の概要

センティア用のアクスル組立ラインで生産する製品は, 3種類の15機種で, それぞれのフロント・アクスルとリア・アクスルの混流生産を可能にしている。

表1は組立ラインの基本仕様を示し, 図3は組

立ラインの全体概略図を示す。

この図は, 組立工程について自動と手作業による手動の区別, 工程の順序を示すステーション(st) No.および*印で工程名称を表わしている。

ラインの構成は, パレット治具で製品を搬送する水平循環式のコンベアおよび自動化領域と手作業領域に分けて配置された組立ステーションからなっている。

それにより, 手作業工程の領域は, 生産量の変動に伴う生産タクトに合わせて, 組立作業および作業員の配置が柔軟に編成できる。

また, コンピュータ支援の生産指示システムにより, 生産機種に応じた部品を各工程でパレット治具に供給し, 順次組立られる。

現在の自動化率は40%であるが, 今後, 段階的に拡大して約80%にする計画である。

自動化領域には, 手直し工程を設置しており, 設備が故障した場合, 手作業に置き換えてリリーフ・マンによるバックアップを可能にしている。

3.2 パレット治具とシフト・チェンジ装置

パレット治具は, 部品を保持する基準パッドが移動するシフト機構を取り入れ, 大型から小型クラスのアクスル製品の混流生産と設備のコンパクト化を可能にしている。

パレット治具のシフト機構を作動させるシフト・チェンジ装置をコンベアに設置している(図3)。

これにより, パレット治具が小型化され, 組立ラインの全長を4m縮小することができた。

また, 生産リードタイムの短縮と作業能率の向上にもなっている。

表1. 組立ラインの基本仕様

(1) 設備能力 : 14,000台/月	(7) 工程数とその内訳: 18工程
(2) 生産タクト: 0.37分/ケ	① 組立工程 : 13工程
(3) 配置人員 : 4人/直×2直/月	(自動化工程 : 7工程)
(4) 設置面積 : 96m ²	(手作業工程 : 6工程)
(5) 全長×全幅: 24m×4m	② 生産指示工程 : 1工程
(6) 自動化率 : 40%	③ 手直し工程 : 4工程
	(5,12,15,17st)

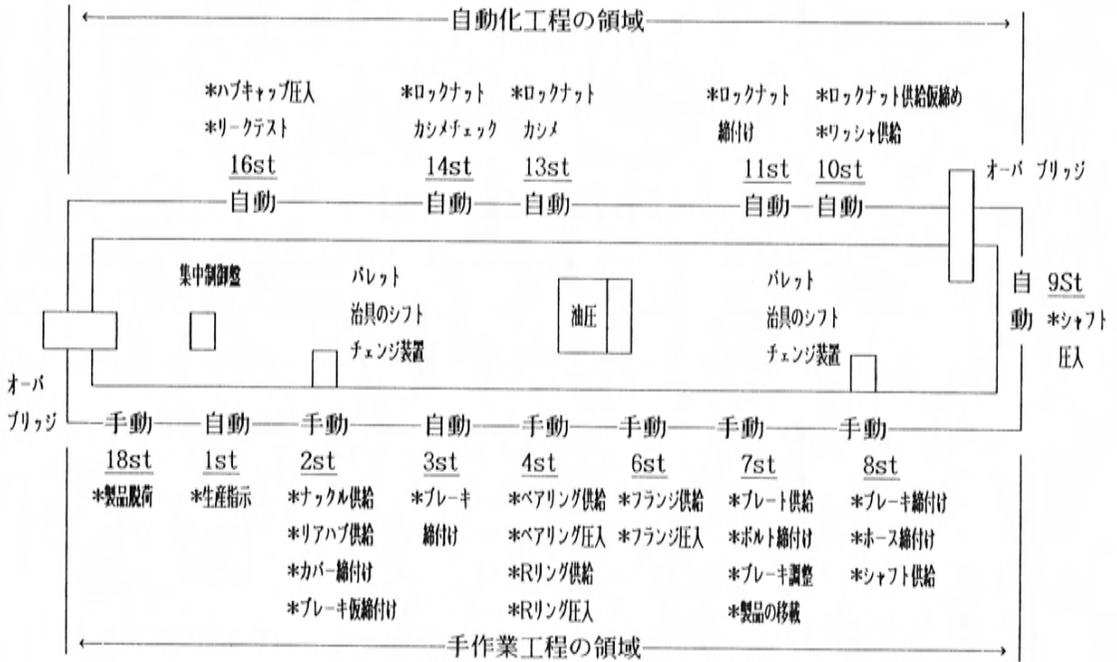


図3. 組立ラインの全体概略図

図4はパレット治具を示し、図5はシフト・チェンジ装置を示している。

シフト・チェンジのメカニズムを紹介すると、パレット治具は、

- ①スライドプレートの溝に対し、スプリングで固定またはプッシュプレートで解除される位置決めレバー。
- ②位置決めレバーの解除後に、シフトロッドにより往復するスライドプレート。

からなり、またシフト・チェンジ装置は

- ①位置決めレバーを押し、スライドプレートを解除するプッシュプレート。
 - ②スライドプレートの穴に挿入し、往復するシフトロッド。
- で構成している。

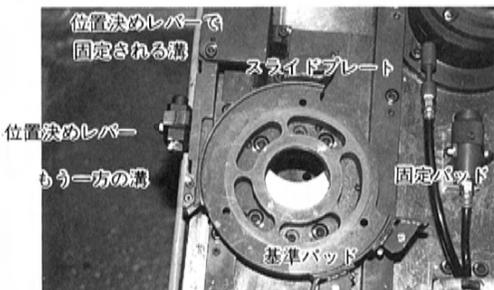


図4. パレット治具

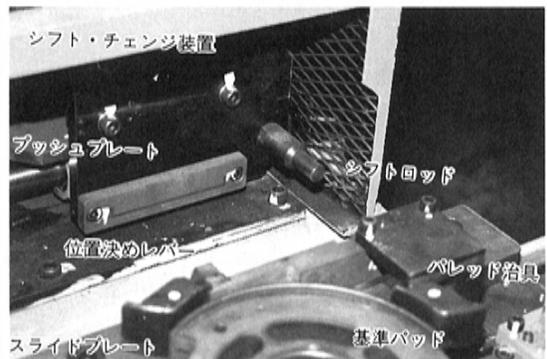


図5. シフト・チェンジ装置

シフト機構の内容は、図6に示すパレット治具上の固定パッドに対し、もう一方の基準パッドが点線に示す位置を往復する構造である。

図3の2~6st間で組立られるアクルス部品は、部品間の干渉を防ぐためにA位置（基準パッド）とC位置（固定パッド）に離されて組立られる。

A位置では部品の供給や組立作業，C位置では設備による締付け，圧入により組立られる。

7stでは製品を，C位置から取り外し，A位置の製品に組付けて，製品を一体化している。

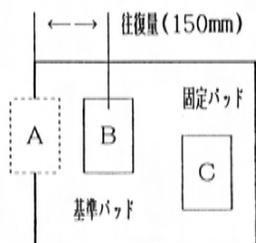


図6. パレット治具

そして，A位置の基準パッドは，8stの組立作業後，パレット治具の搬出と同時にB位置にシフト・チェンジされる。

9-16st間の自動化領域では，B位置で組立られ製品を完成している。

製品脱荷（18st）後の2stでは，パレット治具の搬入と同時に，再びA位置にシフト・チェンジしている。

3.3 生産指示システム

アクルス組立ラインの生産指示方式は，車両組立ラインとオンライン化し，多機種のアクスルを複数の車両組立ラインの生産順序に従い，生産リードタイム内に組立，供給できるコンピュータ支援の指示システムを導入している。

更に，車両組立ラインだけでなくアクルス出荷製品と海外へ供給するCKD製品を含めた混流生産の指示を可能にしている。

その内容を，図7に示す生産指示システムの構成概要に示している。

情報の伝達経路を細線の矢印で，部品と製品の移動経路を太線の矢印で表わしている。

このシステムの情報伝達は，塗装ラインからの確定順序による生産機種を車両組立ラインの初工程から通信回線で車両組立“ON”情報としてホストコンピュータに伝達している。

その“ON”情報を，アクルス工場のワークステーションに伝達し工場内光LANを経由して，各ラインに設置しているラインPLC (Programmable

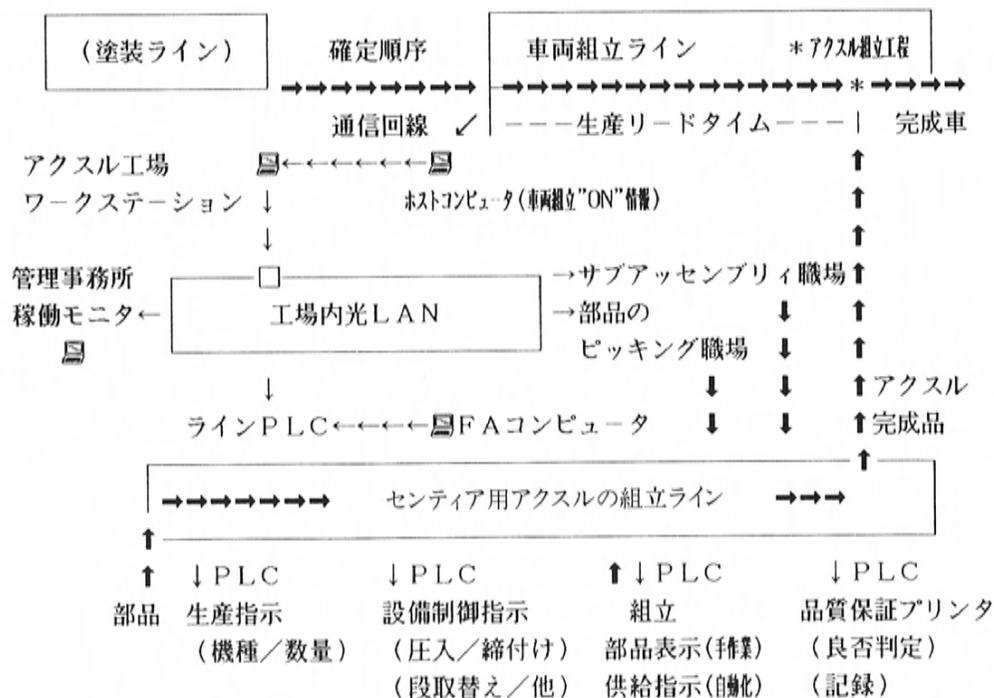


図7. 生産指示システムの構成概要

Logic Controller) へ伝達している。

ラインPLCは、生産指示情報を車両組立ライン別に記憶し、各車両ラインへ供給する生産数量とアクスル組立の開始タイミングをコントロールしている。

リアルタイムで複数の車両組立ラインに対するアクスルの配分と優先順位を決定しており、その生産指示情報を初工程のPLCに伝達している。

更に、各工程のPLCに対し、設備制御(圧入/締付け)、設備の段取替え指示、作業員への組立部品の表示、供給装置への作業指示、品質データの記録を指令している。

それぞれの情報が、サブアッセンブリや部品のピッキング職場にも同時に表示されている。

FAコンピュータは、生産状況以外に生産実績、設備故障などのライン稼働状況が表示できるようにしている。

工場の管理事務所では、生産指示システムによる生産計画の進捗状況が組立ライン別に表示され異常時の迅速な対応を可能にしている。

3.4 品質保証システム

(1) 品質管理

このラインにおける品質管理は、品質特性の数が締付けトルク、圧入力、カシメ荷重など設備特性と製品の検査特性で30項目に及ぶため、「IDプレート・システム」を採用し品質データを順次記録する方式にしている。

品質特性に不良があった場合は、手直し工程でパレット治具が停止しリリーフ・マンに手直しが指示される。

そして、手直し後の品質データは、自動的に記録されることになっている。

アクスル 連番	車両 連番	部品 ラベル	製造 時刻	圧入 荷重	締付け トルク	締付け 角度	判定欄 OK/NG
01	11	AB	9:11	***	**	**	OK
02	12	BC	9:11	***	**	**	OK
03	13	CD	9:11	***	**	**	NG
03	13	CD	9:12	***	**	**	OK
04	14	DE	9:12	***	**	**	OK
05	15	EF	9:12	***	**	**	OK
06	16	GH	9:13	***	**	**	OK

図8. 品質保証の出力データ

また、品質データは最終工程のPLCが読み取り、一括してプリントアウトしている。

その内容を図8に示す。

この図に表わされているようにアクスル連番と車両連番により、アクスルの品質データが車両の製品単位に照合でき、しかも生産時点の品質データが良否の判定とともに出力されている。

(2) 部品供給

ワッシャ&ロックナットなどの小物部品はパーツフィーダを使用し、大物のアクルス部品は手作業によって供給している。

手作業による部品供給システムは、生産指示により液晶ディスプレイに表示された部品を棚から取り出す方法にしている。

ヒューマン・エラーとして最も多い「部品の選択ミス」を防止するため、部品棚の取り出し口にランプを点灯させ、「部品の取り出しミス」を防止するために光センサーで作業をチェックしている。

表示以外の部品を選択した時は、工程内のパレット治具が、品質保証システムにより、後工程に搬出されない機構にしている。

4. おわりに

アクスル組立ラインの考え方を踏まえて、センティア用アクスルの組立ラインについて紹介した。

単一機種の多量生産による効率化ラインは、既に完成の域にあるが、少量、中量の生産量による製品を集約した多種混流の高効率、かつ柔軟性のある自動化ラインは、我々の課題であった。

本稿で紹介した範囲においては、コンピュータ支援技術の適用とライン全体の自動化レベルを更に向上させることで、ある程度の課題解決が可能になってきたといえる。

しかし、製品品質の保証面で作業員に依存している部分のヒューマン・エラーを防止することが課題であることを感じている。

そのために、生産技術、管理技術面の改善を続けていく所存である。

■ 著 者 ■



武田 進



砂田昌男



斉藤勝巳

解説・紹介

25 三次元測定機によるプレス部品測定・解析システムの開発

Development of Stamped Parts Measurement and Analysis System Utilizing 3-D Measuring Equipment

中島 一晃*¹ 二宮 正和*² 水野上 智章*³
Kazuaki Nakashima Masakazu Ninomiya Tomoaki Mizunoue

要 旨

プレス部品の精度解析のためには、多くのデータ蓄積が必要である。しかし、従来の人手による測定方法では、その作業が困難であり、十分な解析ができなかった。そこで、三次元測定機による自動測定に独自のデータ処理機能を付加したプレス部品の解析支援システムを開発した。その結果、多くのデータ蓄積が可能になり、プレス部品の精度解析に効果を上げている。

本稿は、そのシステムの全体像と特徴について紹介する。

Abstract

This paper presents the characteristics and structure of a stamped parts measurement and analysis support system. To carry out precision analysis of stamped parts, large quantities of data are required. However, past measurement methods relied on sight and touch and were not only difficult to carry out but produced unsatisfactory results. For this reason, a stamped parts analysis support system was developed by introducing 3-D measuring equipment, developing automatic measuring, as well as by the addition of a unique data processing function. The results include the possibility to collect great amounts of data as well as improved quality in the precision analysis of stamped parts.

1. まえがき

近年、自動車業界にとって量産準備期間短縮は、重要課題のひとつである。その中でもプレス金型の準備期間が期間短縮の達成度を左右するため、各社とも品質の高い部品の生産ができるプレス金型をいかに早く準備するかに全力で取り組んでいる。取り組みの中には、プレス部品の寸法精度問題の早期解決がある。最近、プレス部品の精度は、モデルレスNC加工による金型精度の向上から高くなってきている。しかし依然として、板材成形後の弾性回復による寸法不良の発生から、金型の修正を実施しているのが現状である。この修正の結果を、金型形状設計段階へフィードバックして量産準備期間短縮に結び付けるには、完成部品のみでなく、各プレス工程ごとの部品についても、全体の素性・詳細寸法について、測定箇所を多くしたデータ収集が必要である。しかし、従来の検査具(図1参照)では、測定箇所全てに専用ゲージを用い、測定・データ処理は手作業で行って

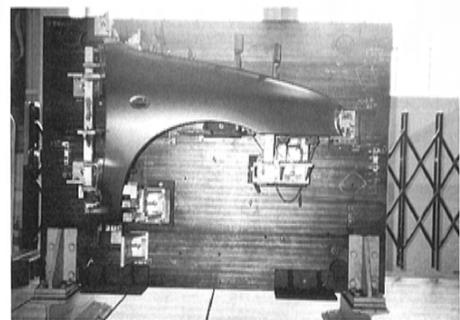


図1 従来専用検査ゲージ

る。したがって、解析用のツールとして従来の検査具を使用するには、測定箇所を多くすることによる専用ゲージ製作費と測定・データ処理工数の増大という、データ蓄積を行うにあたり弊害となる問題があった。我々は、これらの問題解決に有効と思われる三次元測定機を、単なる寸法精度検査の手段としてではなく、プレス部品の精度解析

*1 車体技術部, *2 第1情報システム部, *3 (株)マツダツーリングセンター

用として他社に先駆け導入した。導入にあたり、当社のCAD/CAMシステムとの統合を図り、オフラインティーチングによる自動測定を実施し、更に、解析支援のためのデータ処理機能も開発した。この独自の測定・解析支援システムの全体像と特徴について紹介する。

2. システム開発のねらい

本システムの開発にあたっては、前述の従来測定方法の問題を解決しなければならない。以下にシステム開発のねらいを述べる。

- 1) 最適金型形状を求めるためのデータの蓄積
 - ①部品の全体形状を把握するためのデータ、特にプレスの各工程ごとの部品測定データを蓄積する。
 - ②データシート・誤差グラフの作成や統計処理などの数値データ処理機能のみでなく、形状理解が容易に行える機能を付加する。
 - ③データの信頼性を高める。
- 2) 測定工数・データ処理工数の削減

3. システムの基本的要件

前章で述べたねらいを達成するために、システムの要件を以下に設定した。

- 1) 汎用性のある設備であること

プレス部品の形状にかかわらず、プローブ姿勢（基準軸に対するプローブの傾き角度）の自由度が高く、全ての箇所での測定が可能で5軸構造の測定機とし、従来の専用検査ゲージを廃止する。
- 2) 高精度の測定が可能で

タッチ式センサーが測定中、部品を变形させることにより発生する測定誤差のない測定圧とし、総合精度・繰り返し精度の高い測定を可能とする。
- 3) オフラインティーチングが可能で

従来測定機は、ティーチングプレイバック方式で測定機の動きと測定位置の教示を行っていたため、以下のような問題があった。

 - ①細部の測定には、ティーチングに熟練を必要とする。
 - ②ティーチングに多大な工数を要する。また、ティーチング作業で部品測定以外に測定機を

占有するため、効率的な測定ができない。

そこで、当社のCAD/CAMシステムが持つ部品形状データに基づいて、自動測定プログラムの作成を可能にする。

- 4) ユーザによる測定結果の出力フォーマットの設定が可能で

測定機から出力される測定結果のフォーマットを自由に設定可能にし、測定データの許容公差に対する判定をリアルタイムに行う。また、独自に準備したデータ処理機能上で測定データを扱うことを可能にする。
- 5) 高度なデータ解析能力を有すること

手作業で行っている全てのデータ処理を高速自動化し、更に、不具合解析に必要な部品形状の理解を容易に行える機能を持つ。
- 6) ユーザによる測定機能のアプリケーションの開発が可能で

各種測定に必要な独自の機能を、ユーザ側でシステム内へ付加することができる。

4. システムの構成

本システム関連装置の構成と処理の概略の流れを説明する（図2参照）。

- 1) 部品形状データを持つCAD端末上で、測定機の動きとなる軌跡を部品形状に応じて作成する。
- 2) 作成された測定プログラムは、オンラインのパソコンによりフロッピーディスクに出力される。
- 3) 出力したフロッピーディスクのデータは、データ処理用パソコンにより測定機のコントローラへ伝送され、自動測定が可能となる。測定機の制御軸は、XYZの直交3軸とY軸まわりの回転軸の2軸をあわせた同時5軸とした。
- 4) 測定を行いながら、結果はデータ処理用パソコンに伝送される。測定・データ処理作業の効率を上げるため、同パソコンは測定結果を受信しながらほかの処理も行えるマルチ処理対応にした。

5. システムの特徴

これまで本システムの全体像を紹介してきた。以下にその特徴を紹介する。

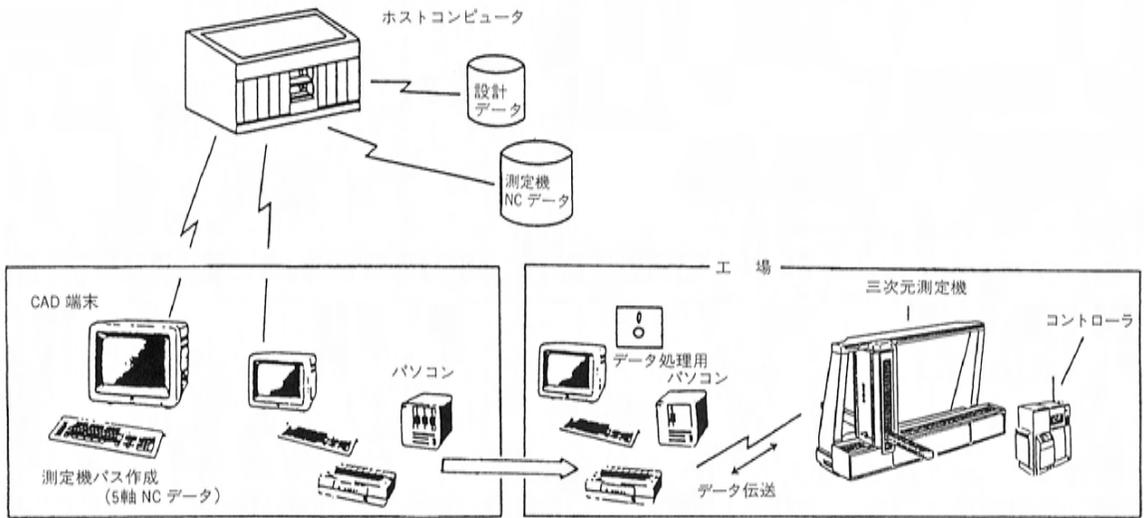


図2 システム構成

図3に、本システムのフローを示す。

図面などの情報 (A) をもとに、CAD/CAMシステム上でオフラインティーチングにより自動測定プログラム (B) を作成する。

新規に作成したプログラムに対し、テストモードで干渉などのチェック (C) を行う。発生したプログラムの不具合はフィードバック (D) 後修正される。

チェック終了後、自動測定 (E) を行う。

測定後、各種データ処理 (F) を行う。

データ処理結果により、部品精度の確認と不具合箇所解析・対策 (G) を行う。その解析結果は、金型形状設計段階へフィードバック (I) される。

測定結果が情報量として不十分な場合は、測定ポイントの追加 (H) を行う。

このシステムフローの中に示す各機能

I. 測定プログラム作成機能

II. 測定機能

III. データ処理機能

が持つそれぞれの特徴について詳細を以下に述べる。

5.1 測定プログラム作成機能

(1) 軌跡の作成・修正機能

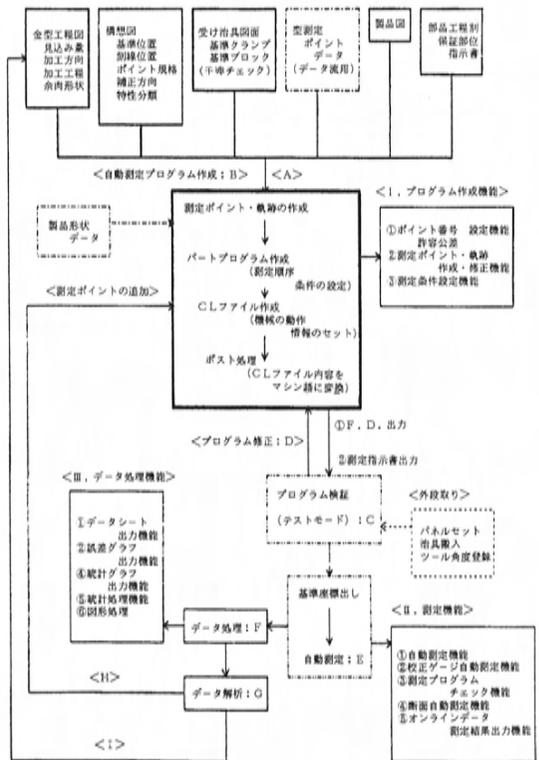


図3 解析支援システムフロー

当社のCAD/CAMシステムの画面上で、治具・部品と測定機の干渉をチェックしながら、測定機の動きをシミュレーションする。

図4に、三次元で測定機の軌跡を作成した一例を示す。

(2) 測定条件設定機能

部品精度が設計値から外れている場合、設計値に基づいた測定では、正確な部位を測定することができない。そこで、部品の偏差量を補正した測定が必要である。図5は、補正を行った場合の測定機の軌跡である。

部品精度が設計値から外れていても、正確な位置のデータの必要なポイント（ア、イ）を測定するために、はじめにA方向で設計値(①)をねらって部品上のポイント(①")を測定する。その偏差量(H①)で、同一断面のB方向の設計値上のポイント(②)の位置を補正する。補正したポイント(②')をねらって、部品上のポイント(②")を測定する。この測定を繰り返す、最終的な測定結果として、設計値(①, ②)と補正したポイントの測定値(③", ④")との偏差(H③, H④)が出力される。

(3) 測定ポイント番号・許容公差の設定機能

測定結果の各種データ処理のため、各ポイントにシーケンシャルの番号を設定する。また、測定データの評価をするために許容公差を設定することができる。

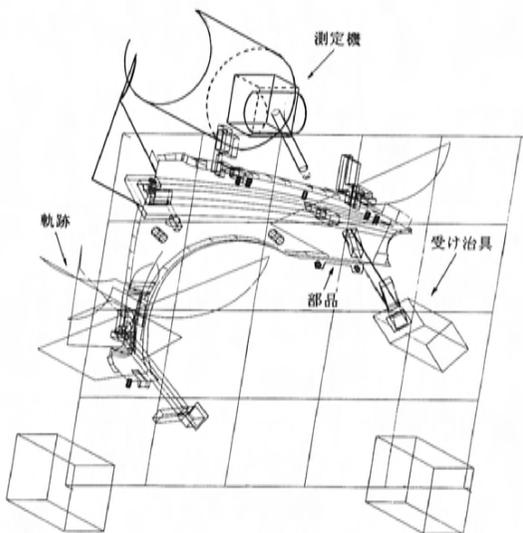


図4 CAD 端末による軌跡の作成

5.2 測定機能

(1) 自動測定機能

当社のCAD/CAMシステム上で作成した測定プログラムにより、自動で測定することができる。

図6に、測定の様子を示す。

(2) 校正ゲージ自動測定機能

部品を測定する場合、前準備として使用するプローブ姿勢の登録が必要である。従来の三次元測定機では、マニュアルで行っていたため、登録数

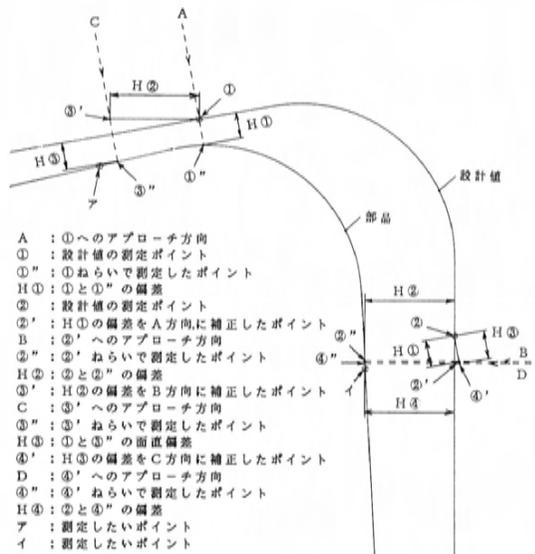


図5 部品の偏差を補正した測定機の動き

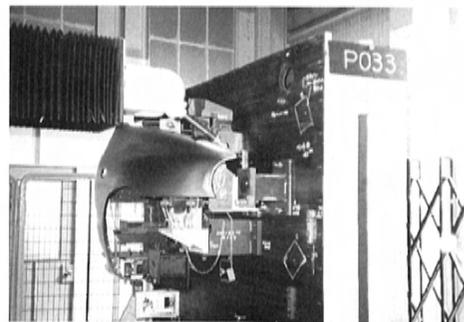


図6 自動測定の様子

が多ければ、登録に要する時間（測定以外に測定機を占有する時間）も増加する。そこで、測定前の準備時間を短縮するために、CAD/CAMシステムからプローブ角度の情報ファイルを出し、登録を自動で行うことができる。

(3) 測定プログラムチェック機能

CAD/CAMシステム上でシミュレーションし、軌跡を作成した時に、部品の予想以上の偏差量、部品受け治具の図面との相違などで、干渉が発生する場合がある。そこで、プログラムをチェックするためのテストモードを開発した。標準機能では干渉がある場合、自動測定のモードを中止し、プログラム編集モードに切り替え、修正などの作業を行い、プログラムを初めからスタートさせなければならない。本テストモードでは、干渉が発生しそうな場合ティーチングモードに切り替え、測定機の軌跡中のポイントの削除・追加により干渉を回避させたのち、その位置から再びプログラムを続行することができる。

(4) 断面自動測定機能

設計値との比較でなく、成形工程・加工条件の違いによる形状の変化をとらえる等の解析を行う場合、測定プログラムを作成することなく、部品の断面を測定することができる。

(5) オンラインデータ・測定結果出力機能

当社の仕様にあわせて測定機から出力される測

定結果のフォーマットを設定した。また、測定データをリアルタイムに表示し、許容公差に対するの評価をその場で行うことができる。

5.3 データ処理機能

本システムで出力される結果を以下に示す。

(1) データシート (図7参照)

設計値に対する測定値の偏差を、測定部位別にグループ分けし帳票に出力する。

(2) 誤差グラフ (図8参照)

データシートのグループ単位で、設計値に対する測定値の偏差をグラフに出力する。これを、誤差グラフと称する。

(3) 統計グラフ (図9参照)

測定したポイント単位で、工程能力指数をグラフに出力する。

(4) 統計処理 (図10参照)

測定したポイント単位で、工程能力指数を表に出力する。

(5) 図形処理

測定したポイントの偏差のみで、部品の形状を理解することは困難である。そこで、形状を視覚でとらえられるように、設計値と測定値の偏差を強調し、形状的に比較できるようにした。更に、

検査特性			DrCH	TrCH	BeClI	COCH	CO-2	
	Na	ポイント	規格	0705	0705	0704	0704	
⑦ ドアー出入り 全工程	1	7.20W	0.00+0.70	+1.3	+1.3	+1.6	-1.6	-0.2
	2	6.86W	-0.70	+0.0	+0.7	+0.7	-1.1	-0.1
	3	5.50W		-0.2	+0.2	-0.2	+0.1	+0.0
	4	4.96W		-0.2	+0.3	-0.5	+0.2	+0.0
	5	4.50W		-0.3	+0.3	-0.6	+0.3	+0.1

図7 データシート

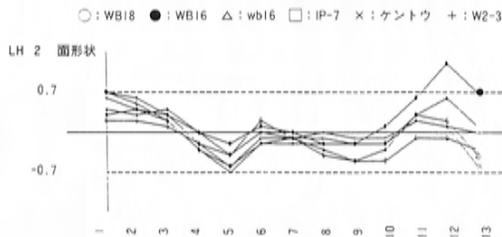


図8 誤差グラフ

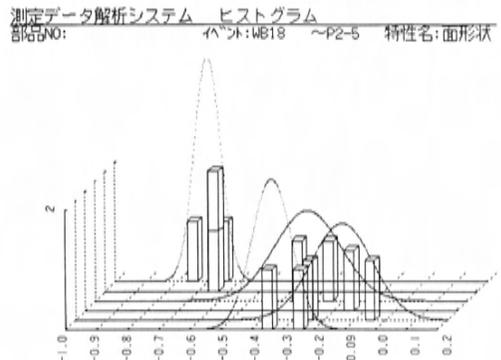


図9 統計グラフ

検査特性	No	ポイント	規格	数	Max	Min	平均	レンジ	偏差	Cp	K	Cpk
⑦	2	5.09T	0.00+0.70 -0.70	6	+0.6	+0.2	+0.4	+0.4	0.14	1.65	0.57	0.7
面形状	⑤	9.29T		6	-0.2	-0.7	-0.5	+0.5	5.18	1.27	0.60	0.4
ボンネット見切り	⑥	12.49T		6	+0.2	-0.2	-0.0	+0.4	0.16	1.43	0.65	1.4
外郭出入り	⑧	13.29T		6	0.0	-0.4	-0.2	+0.4	0.14	1.65	0.29	1.2

図10 統計処理

形状の移動・回転などのシミュレーション機能を備えることにより、測定基準のズレなどの確認が容易に行える。

図11は、フロントフェンダのドア見切りの出入り方向の偏差について、成形工程別に図形を出力したものである。工程間の形状変化を確認することにより、不具合発生工程のチェックと不具合要因の推測を行う。

図12は、ドロー工程の部品の断面測定結果を、三次元的に出力したものである。

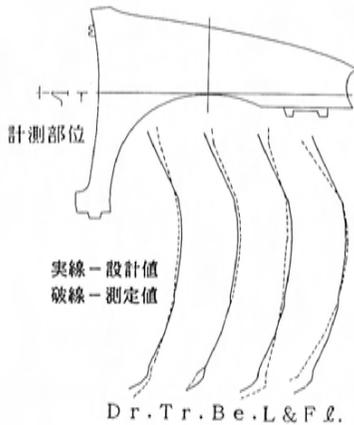


図11 フロントフェンダ工程別ドア見切り出入り形状

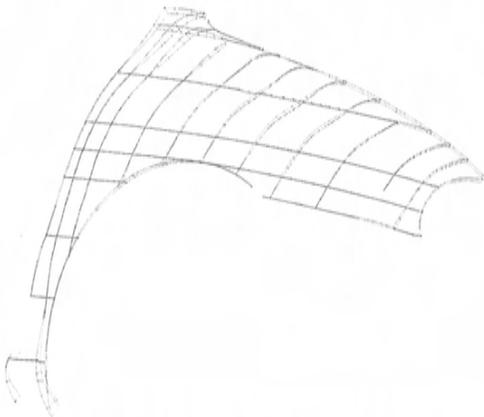


図12 フロントフェンダドロー工程部品形状

6. システムの成果

本システムの開発により、以下の成果を得ることができた。

(1) 部品測定データの蓄積

測定範囲の拡大とデータ処理の自動化により、部品測定データの定量的な蓄積がなされ、プレス部品の精度解析を支援している。

(2) 部品測定・データ処理工数の削減

測定の自動化により、従来に比べ測定・データ処理工数を約1/7にすることができた。

(3) 検査具製作コストの削減

汎用性のある測定機能を備えることにより、専用部分が削減され、従来に比べトータルで製作コストを半減することができた。

7. あとがき

以上、当社で開発した「三次元測定機によるプレス部品測定・解析支援システム」の全体像と特徴を紹介した。

従来得ることのできなかったデータが蓄積されるようになり、プレス部品の精度解析が進みつつある。これらの解析結果は、金型形状の設計段階へフィードバックされていることはもちろん、最近、特に話題になっているFEMなど成形シミュレーション技術の開発にも貢献している。

今後、本システムが活用される中で、様々な要求がでてくるものと考えられる。それらの要求を取り入れて本システムを進化させ、プレス部品寸法精度問題の早期解決を図り、量産準備期間の短縮化に取り組んでいきたい。

最後に、測定機の導入にあたり御協力頂いたD. E. A. (株) に対し、深く感謝の意を表します。

■著者■



中島 一晃



二宮 正和



水野上智章

解説・紹介

26

車載電子制御システム用の高機能故障診断

(車載ネットワークを活用した診断装置)

Highly-Sophisticated Diagnostic Control Units
(Diagnostic Tool Utilizing On-Board Network)河添 覚*¹
Satoru Kawasoe
道平 修*⁴
Osamu Michihira三輪 明司*²
Akiji Miwa
平野 晴洋*⁵
Seiyo Hirano石田 岳人*³
Taketo Ishida

要 旨

Abstract

ますます複雑化する車載電子制御システムの市場サービス性を向上させるために、新しく高機能な故障診断装置 DT-S1000を開発した。この故障診断装置はユーノス店を中心に現在使用中であり、また当社の車両組立ライン検査場で最終完成チェック用としても活用している。この故障診断装置の特徴の一つは、個々の車載電子制御システムの故障診断ができると同時に、車載電子制御ユニット間のネットワーク (PALMNET) の故障診断もできることである。ここでは、診断装置の構造と PALMNET の故障を診断する原理を紹介する。

With on-board electronics increasing in complexity, a new diagnostic tester having great system functionality, DT-S1000, was developed to improve vehicle serviceability in the field.

This tester, deployed mainly at EUNOS dealerships for servicing use, is also being utilized to implement final inspection at the end of Mazda's final assembly lines. One of the features of this tester is that it can detect failures in the network (PALMNET) interconnecting on-board electronics control units as well as within individual units. Presented here are the construction of the diagnostic tool and the diagnostic mechanisms of PALMNET.

1. はじめに

今日の自動車の基本性能の向上、高付加価値化は、電子制御技術の急速な進歩によってもたらされたといっても過言ではない。しかし一方で、車載電子制御システムは年々種類が増加するとともに複雑化してきており、市場における的確な整備・故障修理が難しくなっているのが現状である。これらの車載電子制御システムの故障診断に対し、市販のサーキットテスタなどの測定器や既存のサービス用診断機では機能に限界がある。また車両側のシステム変更に対応できないという問題があった。

この問題を解決するとともに、将来更に複雑化が予想される車載電子制御システムの故障診断に対応するため、このたび高機能故障診断装置 DT-S1000 (以下診断装置と略す) を開発した。

本論では、この診断装置の概要を述べるとともに、この診断装置の活用例として、今後車載電子制御システムの主流になってくるであろう車載電

子制御システム間の情報ネットワーク (PALMNET) の故障診断について解説する。

2. 診断装置の開発目標

車載電子制御システムの故障診断を目的とする診断装置の開発にあたり、次の開発目標を設定した。

- (1) 車載電子制御システムの自己診断機能だけでは発見できない故障を診断できること。
- (2) 各種の車載電子制御システムの診断に対応できる汎用性と、今後のエレクトロニクス技術の発展にともなう新しいシステムにも対応できる機能の拡張性を持たせること。
- (3) 初級サービスマンでも使用できる優れた操作性と診断アシスト機能を持たせること。

3. 診断装置の概要

前述の目的を達成するため、この診断装置の開発には次の方針で挑んだ。

* 1 パワートレイン設計部, * 2, * 3 サービス技術部, * 4 第1車両設計部, * 5 電子技術開発部

(1) 診断装置と車載電子制御ユニットの双方向通信を可能にし、診断装置本体は高速度で演算ができるハードウェアを採用する。

(2) 診断装置の基本構成をハードウェア部分とソフトウェア部分に分割する。更にハードウェア部分は、メンテナンスコストを最小化するため、長期に使用可能な本体と交換可能なインターフェース・アダプタの2つに分割する。

(3) 診断装置の操作手順をすべて本体のディスプレイに表示させるとともに、診断装置への操作指示はテン・キーボード入力ではなくタッチパネルによって行うようにする。

以下本章では、実際の診断装置の構成部品とその機能を説明し、診断装置全体の動作を紹介する。

3.1 診断装置の構成

図1に診断装置の構成を示す。また、その機能と特徴を以下に述べる。

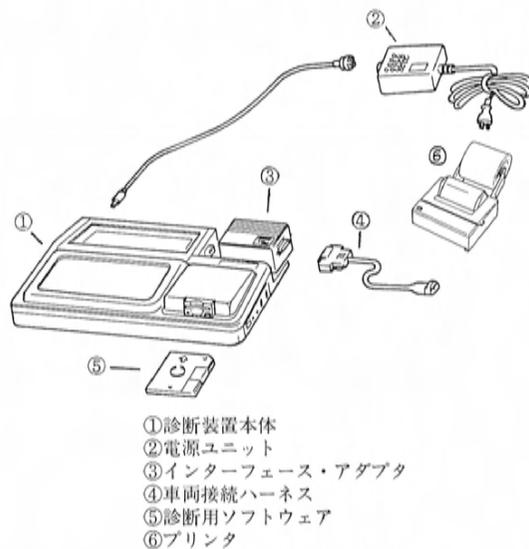


図1 診断装置の構成

① 本体

本体には、複雑な診断情報処理に対応できるように、16ビットCPUを搭載したラップトップコンピュータを採用した。更に小型化を図るため、外部補助記憶装置に2インチ・フロッピー・ディスク・ドライブを採用した。また、機能の拡張を可能にするため本体の右上部に種々のインターフェース・アダプタを装着できるスロットを有している。

その他、タッチパネル、液晶表示部などで構成され、優れた操作性で、サービスマンに優しいマン・マシーン・インターフェースを実現した。

② 電源

電源は、サービス工場での実作業を考慮し、2時間駆動可能な内部電源と、外部電源としてAC100VおよびDC-12V用の3電源方式を採用した。

③ インターフェース・アダプタ

インターフェース・アダプタは、本体と車載電子制御システム間で、通信信号の電気的な交換を行うもので、車載電子制御システムの通信方式に応じた数種のアダプタを設定している。

なお、インターフェース・アダプタは、本体右上部のスロットに簡単に着脱交換できるようにした。

④ 車両接続用ハーネス

車両接続用ハーネスは、車載電子制御システムに応じたハーネスを設定している。

⑤ 診断用ソフトウェア

診断用ソフトウェアは、メディアとして比較的小型で安価な上、記憶容量が大きく、かつメンテナンスが容易といったことより2インチのフロッピーディスク(ディスクの全容量は、約800キロバイト)を採用した。1枚のフロッピーディスクには約10車種分の故障診断プログラムと車種データを記録することが可能である。また、車両から収集したデータを、別のデータ・ディスクに記憶することもできる。

⑥ プリンタ

プリンタは、本体が読み取った点検結果(データ)を記録保存するために使用する。ユーザーニーズに対応し、次の2タイプを設定した。

一つは、インターフェース・アダプタを本体から外し、直接そのスロット部に装着して使用する専用の小型プリンタであり、もう一つは本体のプリンタ接続用ボードに接続する汎用プリンタである。

3.2 診断装置の動作

診断装置は以下の動作を行う。

サービスマンが故障を診断するために行う操作はすべて本体のタッチパネルを介して行われる。その際、インターフェース・アダプタは、本体の

指示により、車載電子制御ユニットとの通信を行い、その通信結果を本体に転送する。転送された通信結果は、フロッピーディスクに納められている各車種ごとの仕様と比較解析され、最終的にその内容を液晶表示部に表示し、故障部位を特定するまでこの一連の動作を繰り返す。

以上のような構成と動作により、開発目標に対し次のことが実現できた。

(1) サービスマンが故障の発見に必要な情報を随時入手できるようになり、高難度な故障を診断できるようになった。

(2) 車両電子制御システムの種類に応じたインターフェース・アダプタ、および診断ソフトウェアを選択できるようになり、新しいシステムにも対応でき、診断装置を変更することなく長期間使用可能になった。

(3) テン・キーボードからの数字入力に替え、タッチパネルで診断に必要な項目名を直接選択できるようになり、初級のサービスマンにも十分使用可能な装置になった。

4. 診断装置の活用例

ここでは、診断装置の活用例として、今後、車載電子制御システムの主流になってくる、車載電子制御システム間の情報ネットワーク (PALMNET) を活用した故障診断について、インターフェース・アダプタの構成、故障診断の原理、診断の具体例を紹介する。

以下、便宜上、本診断装置に PALMNET 用インターフェース・アダプタおよび診断用ソフトウェアを組み合わせたものを「PALMNET 用診断装置」と呼ぶ。

4.1 PALMNET のシステム概要

診断装置を説明する前に、PALMNET のシステム概要について説明する。

1990年3月に発売開始したユーノスコスモには、ボデー系電装品の電子制御ユニットを中心にした PALMNET (Protocol for Automotive Low and Medium Speed Network) と呼ぶ車載用ネットワークを開発し、搭載している。図2はユーノスコスモの PALMNET で接続された車載電子制御ユニット (以下ここでは特に多重ユニットと

略す) の構成である。

図に示すように、ユーノスコスモは最高級グレードで6個の多重ユニットを持っている。

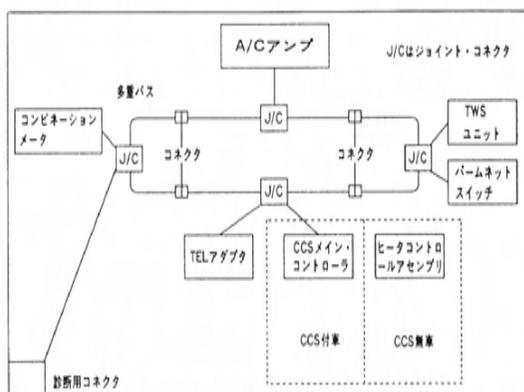


図2 ユーノスコスモの PALMNET 構成

また、各多重ユニットは図3に示す通り多重 I/F、多重 LSI、CPU、I/F の内部回路から構成され、外部に対しては多重バス、センサ、アクチュエータと接続されている。

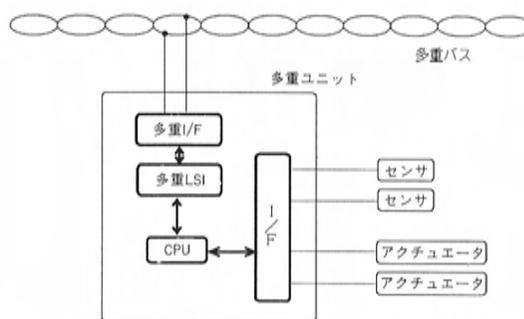


図3 多重ユニットの構成

PALMNET 用診断装置は、この多重ユニットの構成部品と多重バスの故障を診断するためのものである。次に、PALMNET 用インターフェース・アダプタの構成について述べる。

4.2 PALMNET 用インターフェース・アダプタの構成

診断装置を動作させるためには、診断装置本体に PALMNET 用のインターフェース・アダプタと診断ソフトウェアを組み込む必要がある。このなかで特に開発に工夫をしたものは、PALMNET 用インターフェース・アダプタ (以下 PALMNET

用アダプタと略す)であり、その構成は次のようになっている。

PALMNET 用アダプタの内部写真を図 4 に、ブロック図を図 5 に示す。

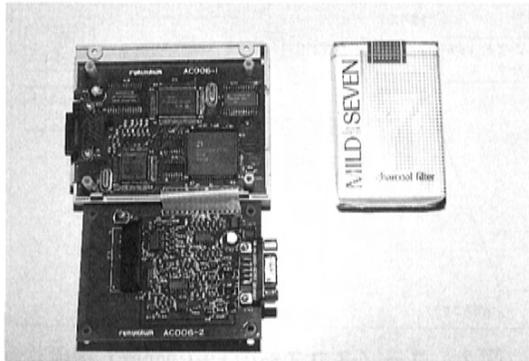


図 4 PALMNET 用アダプタの内部写真

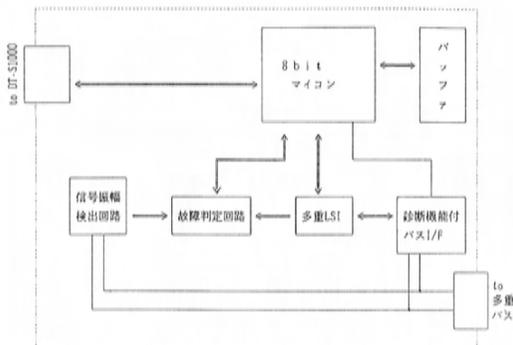


図 5 PALMNET 用のアダプタのブロック図

PALMNET 用アダプタは、8ビットシングルチップマイコン、多重バスから受信したデータを蓄えるバッファ、通信用の多重 LSI および故障診断機能付き多重バス・インターフェース (バス I/F)、故障検出部 (信号振幅検出回路および故障判定回路) からなる。

これは車両の多重伝送開発育成用に開発したバスモニタ (図 6) をベースに、市場サービスで使用するために必要な要件を見直し、機能設計を行った。

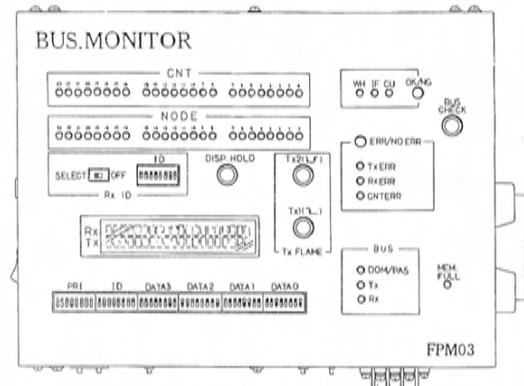


図 6 バスモニタ

また、PALMNET 用アダプタ内に搭載可能な大きさとするために、カスタム LSI を使用し、更に高密度実装のための表面実装技術を用いた。この結果、開発用のバスモニタに比べ、容積で約10分の1の小型化が実現できた。

4.3 PALMNET 用診断装置の診断原理と機能

PALMNET 用診断装置は、

- (1) 多重バスの故障を検出する機能
 - (2) オンラインモニタ機能
 - (3) シミュレーション機能
- の3つの機能を持っている。

以下にその機能説明をする。

(1) 多重バスの故障検出機能

多重バスの故障検出機能とは、前述の図 3 に示した PALMNET の多重バスと多重ユニット内の多重 I/F、多重 LSI の故障診断を行い、故障がある場合は故障部位の特定を行う機能である。

この故障検出範囲は、上記部品の FMEA (Failure Mode Effect Analysis) によって洗い出された故障モードの中で、不具合現象が発生するすべての故障モードとした。これは、多重ユニットが持つ自己診断機能で検出できない軽微な故障も検出し、その要因を切り分けられるようにしたものである。

その検出原理を次に述べる。

万一故障が起きた場合は、多重バスの信号振幅が正常時に比べて大きく、もしくは小さくなるため、多重バスのバス+、バス-をそれぞれの信号の波高値でピークホールドして基準電圧と比較し、故障を検出している。しかし、PALMNETのアクセス方式は非破壊調停型(CSMA/CD)のため、信号の衝突が起こったときは振幅が大きくなり、正常な判定ができない。そこで、衝突時の競合が終了するフレームの後半部分での波高値をサンプリングし、故障要因を切り分けている。

この故障検出の手順を図7に示す。

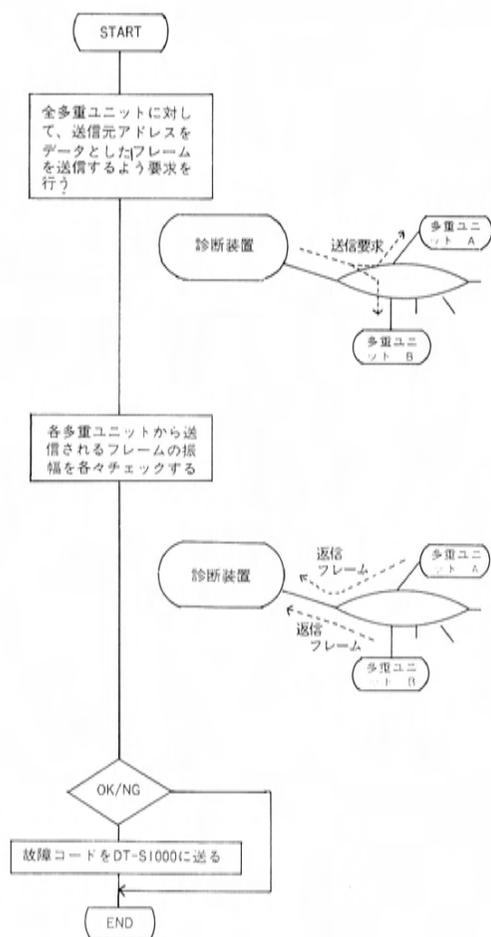


図7 故障検出の手順

フローチャートで示すように、まず診断装置本体からすべての多重ユニットに対して、各多重ユニットの識別コードを送信するように、故障診断実行の指示が出る。これに答えて、各多重ユニットから識別コードが送られてくるので、この返信フレームの信号振幅を各々チェックする。異常を検出した場合は、その異常フレームの情報と、該当する故障コードを診断装置本体に転送する。診断装置本体は故障コードを解析し、交換可能な部品単位で故障が特定できる診断情報(データ)をサービスマンに与える。

(2) オンラインモニタ機能

オンラインモニタ機能とは、多重バス上に流れている高速の信号を診断装置に取り込み、サービスマンに分かりやすい物理量形式で表示する機能である。この機能により、PALMNETに接続している各多重ユニット間の故障の切り分けを容易にすることができる。

(3) シミュレーション機能

シミュレーション機能とは、診断装置から多重バスに信号を送信し、車載アクチュエータを強制駆動させる機能である。この機能により、再現性に乏しい故障について、類似する故障状況を強制的に再現させ、点検を容易にすることができる。

4.4 診断の具体例

ここでは、PALMNET用診断装置を用いた故障診断の具体例を紹介する。

(1) 多重バスの故障検出機能を活用した例

PALMNETの故障を診断する時は、まず多重バスの故障検出機能を利用し、多重バスシステムに故障が発生していないか確認する。診断プログラムに従って診断開始キーを入力すると、自動的に診断を開始する。

もし、多重バスシステムに故障があれば図8のような画面表示を行う。この例では、多重バスライン間で絶縁不良が発生していることを示している。また、この機能を利用して多重バスシステムに故障が検出されなかった場合、次に述べる「オンラインモニタ機能」または「シミュレーション機能」のどちらかを利用し、故障診断を進める。

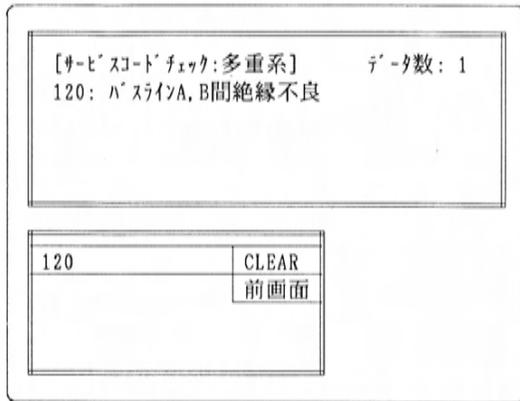


図8 多重バスの故障検出結果表示例

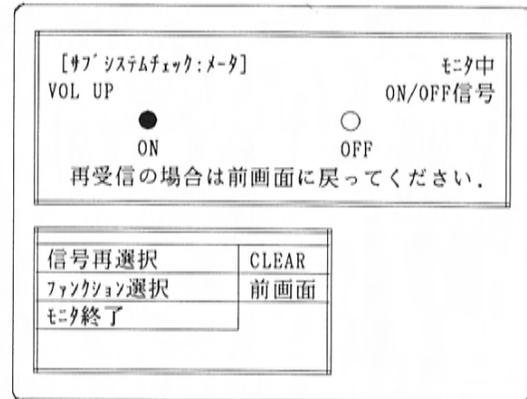


図9 モニタ実行中画面

(2) オンラインモニタ機能を活用した例

「ステアリング・ハンドル上のPALMNETスイッチからラジオの音量を調節できない」という不具合を例にし、この機能の活用例を説明する。

この場合故障箇所は、①信号を送信するステアリング・ハンドル上のPALMNETスイッチ、②信号を受信するラジオユニット、③多重バスのいずれかが考えられる。③については、前述の「多重バスの故障検出機能」を利用すれば容易に切り分けられるため除外すると、①、②の切り分けができればよいことになる。

具体的には、診断装置でボリュームアップ信号のモニタを実行している時、車上のPALMNETスイッチを直接操作する。図9のように「ON」マークが「●」になれば、信号を送信するステアリング・ハンドル上のPALMNETスイッチから正常に信号が送信されたことを意味する。つまりこの場合、多重バス上には信号が流れているのに、ラジオユニットが動作していないことになり故障箇所は②であるということが分る。また逆に、「ON」マークが「●」にならない場合、信号を送信するスイッチ側が動作していないことになり、故障箇所は①であるということが分る。

なお、参考までにユーノスコスモでモニタ可能な多重信号の種類を図10に示す。モニタ可能な多重信号の総数は92個に及ぶ。

システム名	信号種類
メータ	ワーニング関係 (半ドア、サイドブレーキ等)
集中制御ユニット (TWS)	スイッチ操作、故障診断の起動
エアコンアンブ	エアコン動作
エアコンスイッチ	エアコン操作
ステアリングスイッチ	エアコン、オーディオ、TEL 操作
ハンズフリーTEL	エアコン、オーディオ、TEL 操作

図10 モニタ可能な信号

(3) シミュレーション機能を活用した例

「ナビゲーションシステムを使用中に、目的地に接近してもワーニング音が鳴らない」という不具合を例にし、この機能の活用例を説明する。

この場合、故障の箇所は、①目的地接近の信号を送信するCCSユニット、②信号を受信し、ワーニング音を鳴らすTWSユニット、③多重バスのいずれかが考えられる。「オンラインモニタ機能」同様に、③については、前述の「多重バスの故障検出機能」を利用すれば容易に切り分けられるため除外すると、①、②の切り分けができればよい。

従来の点検で①、②の切り分けを行うには、実際にナビゲーション走行して点検することが必要

であった。しかし、この機能を利用することでその故障状況の再現が容易になる。

具体的には、図11で示すように診断装置から目的地接近のワーニング信号を多重バス上に送信する。この時、ワーニング音がしなければ、信号を受信するTWSユニットが動作していないことになり、故障箇所は②であることが分る。また逆に、ワーニング音がすれば、信号を送信するCCSユニット側が動作していないことになり、故障箇所は①にあるといえる。

このように、シミュレーション機能を利用することで、実際に走行が必要な点検を車両停止状態で点検することができ、より容易な点検をすることができるようになった。

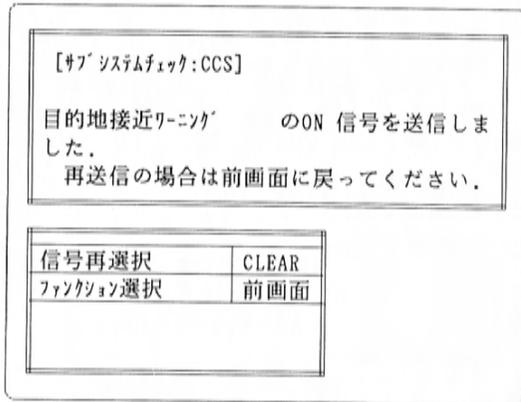


図11 シミュレーションの実行画面

なお、ユーノスコスモでシミュレーション可能な多重信号はモニタできる多重信号と同じである。

5. おわりに

以上、高機能故障診断装置の概要と、この装置の活用例を紹介した。今後ますますカーエレクトロニクスが高度化、複雑化していくなかで、市場でのアフターサービスにおいては、故障診断装置の要求が更に切実なものになっていくと予想される。今回開発した診断装置をベースに、更に高機能、広範囲な故障診断システムに発展させ、これらの要求に応じていく所存である。

最後に、今回の開発にあたり、多大な協力をい

ただいた古河電気工業(株)、興和精機(株)および関連各部門の皆様にあつと感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 井上, 松田, 松田, 檜皮, 道平他: "Protocol for Automotive Local Area Network (PALMNET)"-A Newly Developed In-vehicle Communication System Based on SAE J1850 SAE Paper 890535
- (2) 森上, 井上, 河添, 道平: "PALMNET用のオフボード故障診断用カートリッジの開発", 1990年電子情報通信学会秋季大会
- (3) 武田, 平佐, 梶山, 長谷川: "ユーノスコスモ エレクトロニクス技術の紹介", マツダ技報No.8, 1990

■ 著 者 ■



河添 覚



三輪明司



石田 岳人



道平 修



平野晴洋

特 許 紹 介

V型エンジン

登録番号 特許第1552020号

発 明 者 石見治美, 浅海皓二

<発明の背景>

車のデザイン（ボンネット形状）および異質の車（FF, FR車）に同一エンジンを搭載する要素として、エンジンの全長短縮化は極めて重要な課題である。

従来のV型エンジンは冷却水ポンプをシリンダブロックの外側面に直接取付けていた。そのため冷却水通路（導入通路, 流出通路）をシリンダブロック前面に設け、冷却水通路相当分だけ冷却水ポンプを前方に出さねばならずエンジンの全長は実質的には短縮できない問題があった。

本発明は、左右バンクにおけるシリンダのずれにより一方のバンクに生じる、デッドスペースに着目し、そのスペースに冷却水の導入通路と流出通路を上下に形成することにより、エンジンの全長を実質的に短縮したV型エンジンの有効な技術である。

<発明の概要>

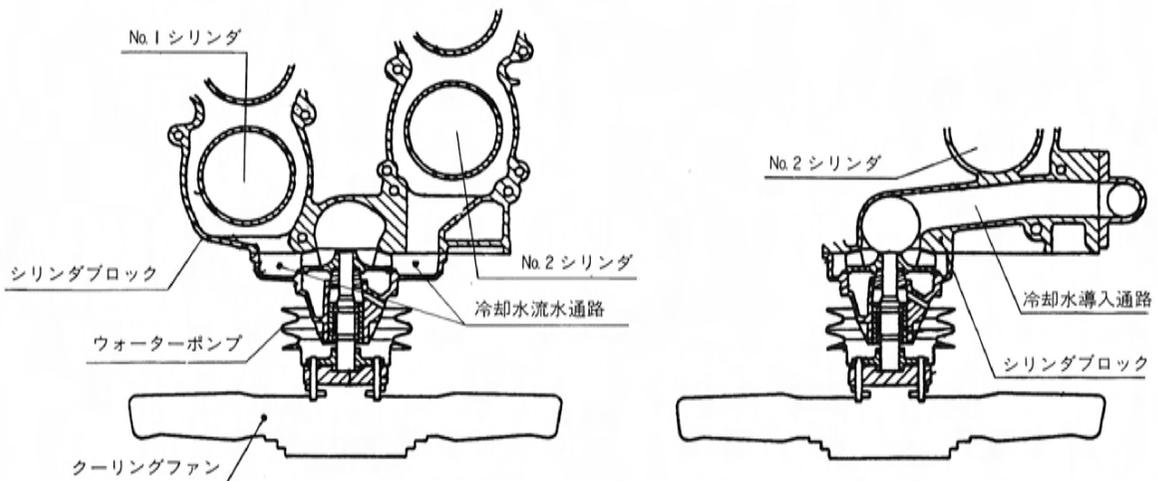
構造：

シリンダブロック内に配置した、シリンダ間の位相（前後）したV型エンジンにおいて両バンクの端面が同一面に形成されたフロント面に冷却水ポンプを取付け、冷却水ポンプへの冷却水の導入通路、流出通路の一方とが上下にずれて形成されていることを特徴とするV型エンジン。

効果：

シリンダブロック前面から最も近いシリンダとの間に生ずるデッドスペースに冷却水ポンプへの導入通路&流出通路を上下に形成することにより、エンジンの全長を短縮できた。

またVバンクの空間を他の目的（例えば、ブリーザ室 etc）として有効利用ができ、かつウォーターポンプはシリンダブロックの前面の中央に設けているので、左右バンクに供給される冷却水の流通はバランスよく分配でき冷却性能が良好である。



アルミニウム合金鋳物の製造法

登録番号 特許第1539141号

発明者 中西輝雄

〈発明の背景〉

最近の乗用車用レシプロエンジンのシリンダヘッドは、ほとんどがアルミニウム合金鋳物であり、材料を強化するために熱処理（焼入れ、焼戻し）を行うのが一般的である。

鋳造工程では、ウォータージャケットおよび吸排気孔を形成するために砂中子を用いるが、鋳放し状態では砂を除去できず、再加熱（砂焼き）して中子のレジン成分を完全に分解した後、機械的衝撃にて砂を除去し、バリ取り等の後処理工程を経て熱処理を行い、機械加工工程に送られている。

従来方法では「砂焼き」「焼入れ処理」の両工程で2回の加熱を必要とし、加熱エネルギー等が増加し、その結果コストアップを招く問題があった。

本発明は「砂焼き」「焼入れ」「砂出し」の機能を備えたユニークな熱処理炉を開発することにより、上記の問題点を解決できるアルミニウム合金鋳物の製造法を提供するものである。

〈発明の概要〉

構造：

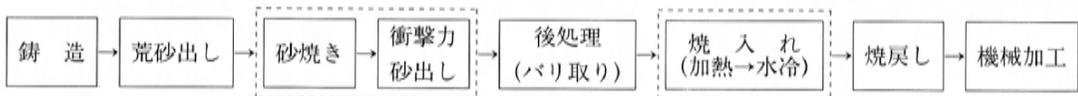
レジンサンドで造型した中子を用いた鋳型で、アルミニウム合金鋳物を鋳造し、この中子を内在させたままの鋳物を加熱保持した後、水により急冷して焼入れ熱処理する。この焼入れにおける加熱および、その後の水による急冷を利用して中子砂出しをする。すなわち、「砂焼き」・「焼入れ」・「砂出し」の機能統合が図れる。

その際、鋳物の加熱に伴って中子砂も加熱されることにより、レジン成分の結合力が消失して、中子は崩壊し中子砂は鋳物外部に落下流出する。

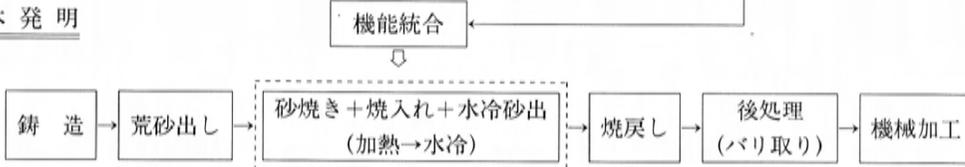
更に、鋳物の表面等に固着した中子砂は急冷により弾け散りながら鋳物表面から剝離流出する。よって鋳物に内在する中子砂は完全に除去できる。効果：

従来法と同等品質を維持しながら、機能統合を実現し、省エネルギー・省人化・生産リードタイムの短縮等、大幅なコストダウンを図ることができる。

従来工程



本発明



自動車の前部車体構造

登録番号 特許第1530350号

発明者 原崎隼次

〈発明の背景〉

従来前部車構造として、ヒンジピラーとホイールレイフォースメントとの結合強度を高めるようにしたものは、数多く提案されている。

しかし従来の方法では、ホイールレイフォースメントは、突上げ荷重とほぼ直交する前後方向に延びているので、前後方向の外力はともかく、突上げ荷重を効果的にヒンジピラーへ伝達するのが不可能となるものであった。

この発明は、上記の問題点を解決するもので、懸架装置（サスペンションタワー）部からの突上げ荷重に対して、比較的小さな角度（90°以下の小さな角度）でもって、突上げ荷重の入力部分となるサスペンションタワー部と、ヒンジピラー上端部とを連結することになるので、この突上げ荷重を効果的にヒンジピラーに伝達させることができる技術である。

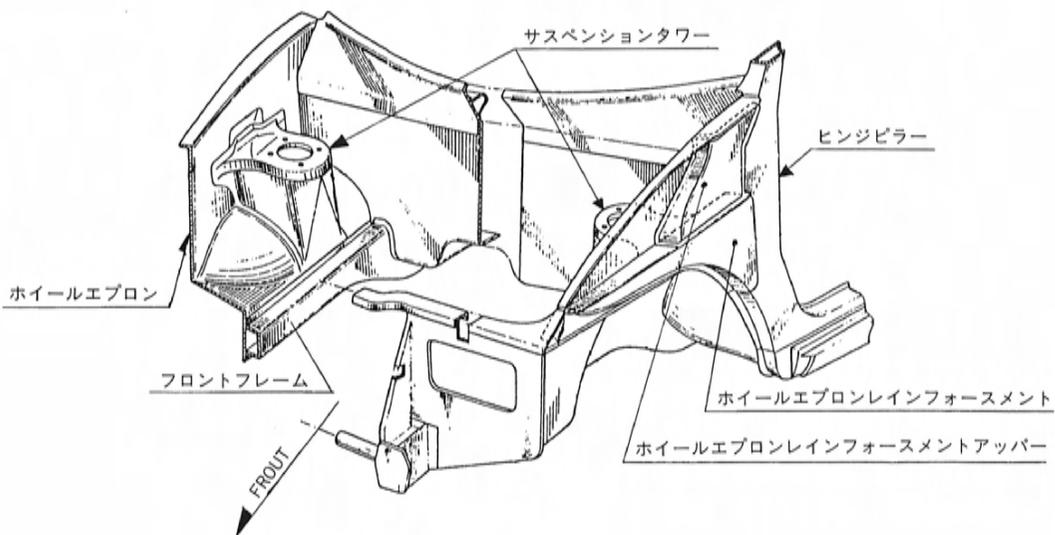
〈発明の概要〉

構造：

- ヒンジピラーの上端がサスペンションタワー部よりもかなり高く位置させられるとともに、ホイールエプロンが上記サスペンションタワー部よりも高くされた上方延長部を有し、
- ホイールレイフォースメントの上方のホイールエプロンと協働して閉断面を構成する補強部材を設け、該補強部材で上記サスペンションタワー部上部付近のホイールエプロンと上記ヒンジピラー上端部とを連結したものの。

効果：

懸架装置からの外力、特に突上げ荷重を効果的にヒンジピラーやフロントピラーに伝達、分散させることができ、強度、剛性上極めて有利なものが得られる。



社外への発表論文一覧表（平成2年1月～12月）

1. 社外講演

※所属は発表時点を示す

	題 目	所 属	氏 名	講 演 大 会	発表日
海外	Prediction of Power Output Performance of the Rotary Engine by Gas Exchange Process Simulation	本社研究所	大住敏彦	SAE大会	2.26
		同上	大西晃二	International Congress & Exposition	
		同上	延本秀寿		
		パワートレイン 設計部	渡辺一豊		
	New Technology Employed for the Latest 13B Rotary Engine	パワートレイン 設計部	松田郁夫	SAE大会	2.26
		同上	田所朝雄	International Congress & Exposition	
		同上	喜田達也		
		同上	中尾正美		
An Experimental Analysis and Estimation of Aerodynamic Noise Using a Production Vehicle	車両実験研究部	春名 茂	SAE大会	2.27	
	同上	農沢隆秀	International Congress & Exposition		
	同上	神本一朗			
	流れ研究集団	佐藤 浩			
Analysis of wake Pattern for Reducing Aerodynamic Drag of Notchback Model	車両実験研究部	農沢隆秀	SAE大会	2.27	
	同上	春名 茂	International Congress & Exposition		
	同上	日浅一彦			
	同上	中村貴樹			
Super Gloss Coating by New Method	本社研究所	山根貴和	SAE大会	2.27	
	同上	谷本義雄	International Congress & Exposition		
	同上	中浜忠光			
A Parametric Evaluation of Vehicle Crash Performance	車両実験研究部	松本浩幸	SAE大会 International Congress & Exposition	2.27	
An Experimental Study of a Low Pressure Direct-Injection Stratified-Charge Engine Concept	本社研究所	三角正法	SAE大会	3. 1	
	SWRI 同上	R.H.Thring S.Ariga	International Congress & Exposition		

題 目	所 属	氏 名	講 演 大 会	発 表 日
Development of Blow-Molded Bumper Beam	車 両 設 計 部 同 上 装 備 生 技 部	水 永 純 章 佐 伯 乃 武 夫 渡 辺 浩	SAE大会 International Congress & Exposition	3. 1
Development of Plastics Fuel Tank Through Modified Multi-Layer Blow Moulding	装 備 生 技 部 本 社 研 究 所 車 両 設 計 部 装 備 生 技 部	福 原 啓 二 原 正 雄 松 浦 信 明 渡 辺 浩	SAE大会 International Congress & Exposition	3. 1
Towards Autonomous Cruising on Highways	横 浜 研 究 所 同 上 同 上	奥 野 昭 宏 久 田 見 篤 藤 田 健 二	SAE大会 Future Transportation Technology Conference and Exposition	8.13
Improvement of Three-Way Catalyst Performance by Optimizing Ceria Impregnation	本 社 研 究 所 同 上 同 上	井 原 和 則 大 久 保 健 治 村 上 浩	SAE大会 Fuels & Lubricant Meeting	10.22
Development of Fiver Reinforced Ceramics for Automobile Engine Components	本 社 研 究 所	高 見 明 秀	Proceeding of the 7th CIMTEC	6.27
A Knowledge-Based System for Autonomous Highway Cruising	横 浜 研 究 所 同 上 同 上 同 上	藤 田 健 二 香 川 八 洲 男 里 信 純 奥 野 昭 宏	ISCIE/ASME Japan-U.S.A Symposium on Flexible Automation	7. 9
A Study of Spray Direction against Swirl in D.I. Engines	横 浜 研 究 所 同 上 同 上	河 野 誠 公 工 藤 秀 俊 寺 下 敏 幸	International Symposium COMODIA 90	9. 3

	題 目	所 属	氏 名	講 演 大 会	発 表 日
	Studies of Fuel Droplets Behavior and Flame Propagation in Combustion Chamber on S.I. Engine Using Laser 2-D Visualization	本 社 研 究 所 同 上 同 上	田 端 道 彦 長 尾 彰 士 飯 田 義 彦	International Symposium COMODIA 90	9. 6
	Improvement of Vehicle Interior Sound Quality by Newly Development Power Pland Member	本 社 研 究 所 同 上 パワートレイン部 設 計 部	寺 本 隆 文 新 谷 英 俊 出 口 博 明	I Mech E	10.10
	Multiple Unfused Passive Sensors for Operating in Busy Indoor Environments	横 浜 研 究 所	小 西 将 英	Symposium on Advances in Intelligent Systems	11. 7
国内	二次元翼による空力騒音発生の数値シュミレーション	車 両 実 験 研 究 部 同 上	橋 口 真 宜 春 名 茂	自動車技術会 春季学術講演会	5.15
	空力騒音の推定手法に関する実験的研究	車 両 実 験 研 究 部 同 上 同 上	春 名 茂 神 本 一 朗 橋 口 真 宜	自動車技術会 春季学術講演会	5.15
	直接噴射式機関の噴霧と流れの作用に関する研究	横 浜 研 究 所	河 野 誠 公	自動車技術会 春季学術講演会	5.15
	車両高剛性オープンボディの開発	車 両 設 計 部	洪 田 陽 一	自動車技術会 春季学術講演会	5.16
	セリア担持法改良による三元触媒の高性能化	本 社 研 究 所 同 上 同 上	村 上 浩 井 原 和 則 大 久 保 健 治	自動車技術会 春季学術講演会	5.16
	燃焼室内ガス高速分析計	本 社 研 究 所 商 品 本 部 本 社 研 究 所 同 上	本 城 多 恵 子 藤 井 郁 子 小 松 一 也 大 久 保 健 治	自動車技術会 春季学術講演会	5.16
	縦渦を含むシリンダー内流動場のLDV計測	横 浜 研 究 所 同 上 同 上	工 藤 秀 俊 河 野 誠 公 松 岡 孟	自動車技術会 春季学術講演会	5.16

題 目	所 属	氏 名	講 演 大 会	発表日
火炎伝播形態が燃焼および排気特性に及ぼす影響	横 浜 研 究 所	山 本 博 之	自動車技術会 秋季学術講演会	10.17
	同 上	堀 田 賀 雄		
	同 上	松 岡 孟		
運転操作に連動した合成音による自動車音の評価	横 浜 研 究 所	岡 本 宣 久	自動車技術会 秋季学術講演会	10.17
	同 上	古 郡 了		
	同 上	平 畑 奈 美		
	同 上	岡 部 智 行 畑 秀 二		
空力騒音の実験的研究 -車体の表面圧力変動に着目した空力騒音の推定-	車 両 実 験 研 究 部	春 名 茂	自動車技術会 秋季学術講演会	10.18
	同 上	神 本 一 朗		
	同 上	岡 本 哲		
鋳鉄ピストンの信頼性に関する一考察	本 社 研 究 所	櫻 本 正 章	自動車技術会 秋季学術講演会	10.18
	同 上	西 田 工		
	同 上	山 内 博 文 櫻 井 茂		
内装材不快臭の解析と脱臭法	本 社 研 究 所	高 橋 敏 樹	自動車技術会 秋季学術講演会	10.18
	同 上	西 嶋 剛 志		
	同 上	藤 本 佳 代 子		
長時間運転を模擬した選択反応作業による覚醒度評価について	横 浜 研 究 所	岸 篤 秀	自動車技術会 秋季学術講演会	10.18
	同 上	畑 秀 二		
	製 品 化 学 研 究 所	佐 渡 山 亜 兵 永 村 寧 一		
合成音による排気音の評価	横 浜 研 究 所	古 郡 了	自動車技術会 秋季学術講演会	10.18
	同 上	岡 本 宣 久		
	同 上	平 畑 奈 美		
	同 上	久 田 見 篤 畑 秀 二		
大振幅モーション・システムをもつドライビングシュミレータ	横 浜 研 究 所	末 富 隆 雅	自動車技術会 秋季講演会	10.18
	同 上	堀 口 明 伯		
	同 上	畑 秀 二		
構造最適化手法を用いた車体振動の低減	本 社 研 究 所	杉 原 毅	自動車技術会 「振動騒音部門委員会企画シンポジウム」	11.22

題 目	所 属	氏 名	講 演 大 会	発表日
自動車の開発におけるCAEの展開	車 両 設 計 部	波 田 陽 一	日本機械学会 九州支部特別講演会 「設計・生産技術への コンピュータの応用」	2. 2
部分構造合成法による動特性 の予測 (結合部特性取扱の簡素化)	本 社 研 究 所 同 上 車 両 設 計 部 本 社 研 究 所	森 田 茂 井 上 寿 雄 林 哲 男 宇 都 宮 昭 則	日本機械学会 第67期全国大会講演 会	3.29
部分構造合成法による動特性 の予測 (回転自由度の消去)	車 両 設 計 部 本 社 研 究 所 同 上 同 上 同 上	林 哲 男 井 上 寿 雄 森 田 茂 熊 野 昌 平 宇 都 宮 昭 則	日本機械学会 第67期全国大会講演 会	3.29
クランク軸支持剛性向上による 加速時の車室内音質の改善	本 社 研 究 所 同 上 同 上 パワートレイン 設 計 部	新 谷 英 俊 寺 本 隆 文 森 実 健 一 出 口 博 明	日本機械学会 春季講演会	3.29
臨界形状を有するセグン形状 の後流変動解析	車両実験研究部 流れ研究集団	農 沢 隆 秀 佐 藤 浩	日本機械学会	11.22
車体周りの流れと音の実験的 研究	車両実験研究部 同 上	春 名 茂 神 本 一 朗	日本機械学会	11.22
REの新ターボ方式の開発	パワートレイン 設 計 部 同 上 同 上 同 上	田 島 誠 司 田 所 朝 雄 沖 本 晴 男 丹 羽 靖	第 8 回内燃機関合同 シンポジウム	1.24
ロータリーエンジンの多気筒 化と技術課題について	パワートレイン 設 計 部 同 上 同 上 同 上	生 野 裕 治 田 所 朝 雄 喜 田 達 也 清 水 功	第 8 回内燃機関合同 シンポジウム	1.24
低圧直噴層状給気エンジンの 研究	本 社 研 究 所 同 上 同 上	三 角 正 法 田 端 道 彦 長 尾 彰 士	第 8 回内燃機関合同 シンポジウム	1.24

題 目	所 属	氏 名	講 演 大 会	発 表 日
動弁機構のジャンプ・バウンスに関する一考察	本社研究所 パワートレイン 実験研究部 パワートレイン 設計部 本社研究所	栗栖 徹 大森 裕史 畑村 耕一 野村 一正	第8回内燃機関合同 シンポジウム	1.25
吸気弁閉時期の筒内現象に及ぼす影響の研究	横 浜 研 究 所	河 野 誠 公	第8回内燃機関合同 シンポジウム	1.25
水素吸蔵のための新しい複合材料の開発	本社研究所 広島大学院 広島大学 同上	吉本和幸 折茂慎一 藤井博信 山本研一	日本金属学会春季大会	4. 3
メカニカルアロイングによるFe-半金属系合金の非晶質化	本社研究所 東北大学 同上	小笠原 徹 井上明久 増本 健	日本金属学会春季大会	4. 4
Ni-Fe-Hf系スパッタ蒸着膜の軟磁気特性	本社研究所 東北大学 同上 同上	近藤二郎 潟岡教行 井上明久 増本 健	日本金属学会秋季大会	9.26
自動車と新材料	本社研究所	塚脇洋二	石油化学新聞社主催 先端技術セミナー 「自動車産業の未来 と科学工業への期待」	2.28
エンジン主要ボルトへの角度締付法の開発	本社研究所 同上 パワートレイン 生技部 同上	横前辰巳 山田 勉 山口郁夫 高橋克典	精密工学会春大会	3.28
筒内のスワールと縦渦の関係に関する研究(LDVによる3次元流れ解析)	横 浜 研 究 所 同 上 同 上	河 野 誠 公 工藤秀俊 松岡 孟	第27回日本伝熱シン ポジウム	5.30
長時間選択反応作業における覚醒度評価について	横 浜 研 究 所	岸 篤 秀	日本人間工学会第31 回大会	6. 7
サーメット系溶射皮膜の改良	本社研究所 同上	清水 勉 川戸康史	日本溶射協会第51回 学術講演会	6. 7

題 目	所 属	氏 名	講 演 大 会	発表日
自律走行実験車の開発	横 浜 研 究 所 同 上 同 上 同 上	丸 屋 祥 一 久 田 見 篤 高 橋 弘 之 奥 野 昭 宏	計測自動制御学会・ 日本ロボット学会・ 日本機械学会共催 第5回知能ロボット シンポジウム	6.14
レーザ加工の自動車工業への 応用	本 社 研 究 所	山 本 義 史	レーザ加工技術研究 会	6.21
自律ハイウェイ走行のための クルーズプランナ	横 浜 研 究 所 同 上 同 上 同 上	藤 田 健 二 香 川 八 洲 男 里 信 純 奥 野 昭 宏	人工知能学会全国大 会	7.23
自動車における空力騒音発生 メカニズムの研究	車 両 実 験 研 究 部 同 上 流 れ 研 究 集 団	春 名 茂 橋 口 真 宜 佐 藤 浩	第22回乱流シンポジ ウム	7.26
グラフボディによる空力騒 音発生の数値シミュレーショ ン	車 両 実 験 研 究 部 同 上 流 れ 研 究 集 団	橋 口 真 宜 春 名 茂 佐 藤 浩	第22回乱流シンポジ ウム	7.26
プラスチック製ガソリタンク の透過低減法	本 社 研 究 所	原 正 雄	日本科学会第5回秋 季大会	10. 3
PALMNET用オフボード故障 診断用カートリッジの開発	エレクトロニクス 推 進 部 同 上 古 河 電 工 (株) 同 上	河 添 覚 道 平 修 森 上 博 夫 井 上 照 久	電子情報通信学会秋 季全国大会	10. 4
PALMNETを用いたオンボ ード故障診断システムの開発	エレクトロニクス 推 進 部 同 上 古 河 電 工 (株) 同 上	道 平 修 河 添 覚 尾 高 邦 雄 橋 本 恭 介	電子情報通信学会秋 季全国大会	10. 4
イオン窒化歯車の開発	本 社 研 究 所	三 輪 能 久	日本電子工業(株)イ オン窒化研究会第10回	10.13
AVに期待するもの 自動車デザインの立場から	横 浜 研 究 所	畑 秀 二	日本オーディオ協会 JASコンファレンス '90	10.17

題 目	所 属	氏 名	講 演 大 会	発 表 日
ロータリ機関作動室内の2次元ガス流動シミュレーション	横 浜 研 究 所 同 上 同 上	浜 井 祐 治 渡 辺 正 五 長 谷 川 泰 明	第3回計算力学講演会	10.29
自動車製造ラインにおけるシステム化技術	車 両 技 術 部	星 野 俊 彦	精密工学会広島地方 学術講演会メカトロ ニクス特別セッション	11. 9
ADIの旋削加工における工具寿命について	パワートレイン 生 技 部 同 上	応 本 正 中 田 克 司	難削材加工シンポジ ウム	11. 9
自律走行自動車について	横 浜 研 究 所	奥 野 昭 宏	応用科学学会講演会	11.13
ADIの量産事例	パワートレイン 生 技 部	中 石 六 哉	日本鋳物協会 中・四国支部研究発 表会	12. 9

2. 社 外 寄 稿

題 目	所 属	氏 名	寄 稿 誌 名
ボデーパネルへのアルミシート適用 の現状と将来	本 社 研 究 所 同 上 同 上 車 体 生 技 部 同 上	高須賀敏藏 中務幹郎 山根 誠 大石政利 藤原孝士	自動車技術 Vol.44 No.1
車内LANの標準化動向	エレクトロニクス 推 進 部 同 上 同 上	小林一夫 檜皮直樹 河添 覚	自動車技術 Vol.44 No.2
Aピラー周りの流れと音の実験的研究	車両実験研究部 同 上	春名 茂 神本 一朗	自動車技術 Vol.44 No.4
車体組立の自動化への展望	装 備 生 技 部 同 上	坂本俊治 星野俊彦	自動車技術 Vol.44 No.5
光材料	本 社 研 究 所 同 上 同 上 同 上	清水 勉 坂手宣夫 上岡敏嗣 岩国秀治	自動車技術 Vol.44 No.6
音声メモ入りテレメータシステム	車両実験研究部 同 上 同 上 同 上	中本正義 長野裕之 多賀宏二 藤井真司	自動車技術 Vol.44 No.11
単孔式直噴ディーゼル機関における 噴射系のHC排出特性に及ぼす影響	本 社 研 究 所 同 上 同 上 同 上	山内博文 西田 工 中村三郎 櫻井 茂	自動車技術会論文集 No.43
吸気遅閉じ方式ロータリエンジンに おける熱効率と燃焼性の改善	本 社 研 究 所 同 上 同 上 同 上	森本賢治 荻山四三 西村博文 長尾彰士	自動車技術論文集 No.43
Angle Control Tightening to Engine's Bolts	本 社 研 究 所 同 上 パワートレイン 生 技 部	横前辰巳 山田 勉 山口郁夫	JSAE Review Vol.11 No.2

題 目	所 属	氏 名	寄 稿 誌 名
Development of Sequential Twin Turbo System for Rotary Engine	パワートレイン設計部	田島 誠 司	JSAE Review Vol.11 No.4
	同 上	田所朝雄	
	同 上	沖本晴男	
	同 上	丹波 靖	
LDV Measurement of In-Cylinder Flow Field Including Vertical Vortex	横浜研究所	工藤秀俊	JSAE Review Vol.12 No.1
	同 上	河野誠公	
	同 上	松岡 孟	
はずば歯車の実用歯応力計算法	パワートレイン設計部	平見尚隆	日本機械学会論文集56巻521 号C編
	同 上	喜多秀紀	
	同 上	森 祐 司	
	パワートレイン実験研究部	中沢正史	
同 上	寺岡隆道		
ガス交換過程シミュレーションによるロータリエンジンの性能予測	本社研究所	大住俊彦	日本機械学会論文集56巻523 号B編
	同 上	大西晃二	
	同 上	延本秀寿	
	パワートレイン実験研究部	渡辺一豊	
周波数成形評価関数を用いた準最適出力制御による車両の振動制御	パワートレイン実験研究部	角田 鎮 男	日本機械学会論文集56巻530 号C編
	東京工業大学院	鄭 義 峰	
	慶応義塾大学	吉田和夫	
	東京工業大学	長松昭男	
マツダカベラ用1800・DOHC・16バルブエンジン	パワートレイン設計部	永井正博	内燃機関 Vol.29 No.363
	同 上	湊 則男	
	同 上	原田 弘	
	同 上	矢嶋綱夫	
	同 上	竹林広行	
ホログラフィ振動計測法を用いたこもり音解析技術	本社研究所	正守一郎	内燃機関 Vol.29 No.367
	設計技術推進部	黒角高志	
プロシード用G6型エンジン	パワートレイン設計部	大平武邦	内燃機関 Vol.29 No.369
	同 上	金田慶久	
	同 上	土田 剛	
	同 上	出口博明	

題 目	所 属	氏 名	寄 稿 誌 名
オートザムレビュー用B3型, B5型エンジン	パワートレイン 設 計 部 同 上 同 上 同 上	富 永 和 雄 下 高 敏 信 平 野 宏 田 中 隆 行	内燃機関 Vol.29 No.373
ユーノスコスモ用20B-REW型ロータリエンジン	パワートレイン 設 計 部 同 上 同 上 同 上	田 所 朝 雄 生 野 祐 治 田 島 誠 司 清 水 功	内燃機関 Vol.29 No.373
エンジン開発におけるCAEの適用	パワートレイン 設 計 部	陶 守 宰 夫	内燃機関 Vol.29 No.373
「マツダエンジンテクノロジーの将来展望」に関するアドバンス技術の解説	本社技術研究所	長 尾 彰 士	内燃機関 マツダ特集号'90.11月号

編集後記

当社の社名は、創業者松田重次郎と4大文明発祥の地古代メソポタミア地方で「叡知」の神と崇められたAhura Mazdaに由来しています。この地方で起きた今回のイラク紛争では、武器という条件つきながら進歩する技術即ちハイテクのすばらしさと怖さ、そして環境への影響の強さをも私達一般市民に印象づけました。

巻頭言を滝口取締役をお願いし、過去に思いをはせ新しい世紀を迎えんとする90年代に、エンジニアの目指す方向を指摘されて、社会とクルマとの調和に向けた取り組みに叡知を注ぐことを述べていただきました。

マツダは、今春首都圏にこれまでの研究所に加えて開発棟を完成させ、広島、米国、ヨーロッパからなる研究・開発の4極体制を名実ともに築き、若きエンジニアが国際的に活躍してマツダ車はもとより自動車技術の新しい発祥地となることを願ってやみません。今回そのグローバルに築きあげられた体制の中で育まれた商品として小特集に“センチア”と“レビュー”を取り上げました。

マツダ技報も皆様の御支援、御助言をいただき、9号を発行するまでになりました。来年は10号として益々お役に立てるよう充実させたいと考えます。 (編集事務局)

編集委員会

委員長	竹内 元		
委員	西岡 正夫	居倉 伸次	
	市川 潤一郎	川崎 勝之	
	山口 卓壮	大田 雄二	
	勝田 日出男	龍田 康登	
幹事	山田 晃正		
事務局	久安 恵子	前重 ますみ	

マツダ技報 第9号

印刷	平成3年5月25日
発行	平成3年6月1日
発行人	山之内 道徳
編集人	竹内 元
発行所	マツダ株式会社 商品本部 〒739-01 広島県安芸郡府中町新地3番1号 電話 広島(282)1111(内線25265)
印刷所	マツダエース株式会社 〒739-01 広島県安芸郡府中町新地3番1号

©禁無断転載

