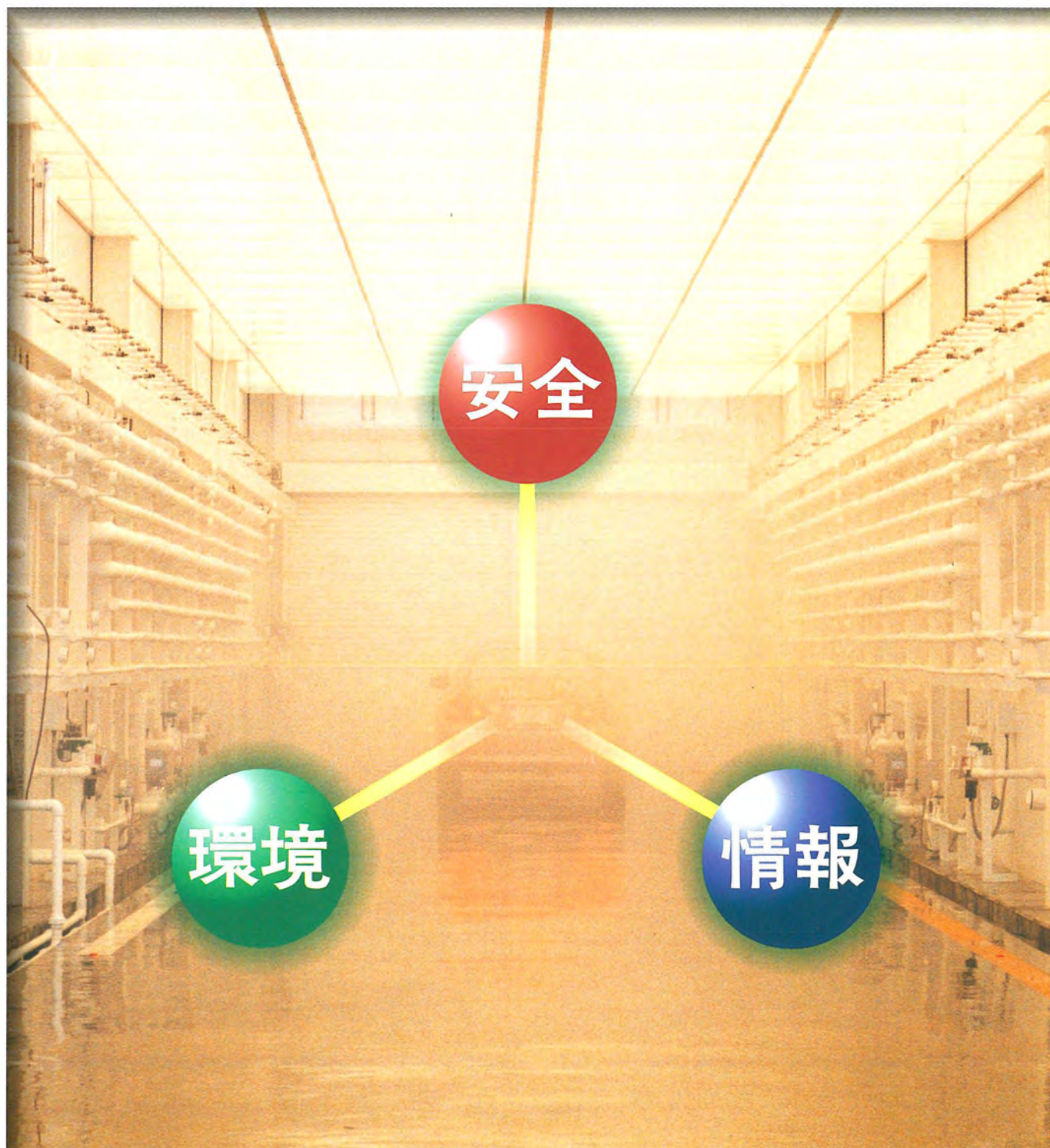


MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.70 No.9

特集 “クルマとの調和に貢献する
自動車機器技術”

'96 9



特集 “クルマとの調和に貢献する自動車機器技術”

目次

特集論文

クルマとの調和に貢献する自動車機器技術特集に寄せて……………1	土佐雅宣
システム化時代に向けた自動車機器技術の展望……………2	中堀一郎・鷲野翔一

安全向上

外乱オブザーバによるロバストな車速制御技術……………5	井上知之・西田 稔・鷲野翔一
車間距離制御技術……………13	堤 和道・赤須雅平・池瀬和宏・岡村茂一・串崎弘充・西田 稔
居眠り検出技術……………17	小河賢二・鈴木尋善・末永伸正・西田 稔・下谷光生・佐竹敏英
エアバッグシステムの衝突判定アルゴリズム……………23	古井孝志・今城昭彦
無段変速機用パウダクラッチのロバスト制御技術……………27	栗重正彦・片柴秀昭・山本博明・西脇文彦

環境改善

固体高分子型燃料電池可搬電源システム……………33	光田憲朗・前田秀雄・漆畑広明
電気自動車の駆動制御技術……………39	金行和敏・西村慎二・安西清治・小林 勝・小山正人・金原義彦
電動パワーステアリング制御技術……………43	喜福隆之・大熊昌都・和田俊一・木全政弘・阪部茂一・大穀晃裕
ガソリンエンジンの制御技術と制御ユニットの小型化……………49	森本義信・藤本高德・西村幸信・北村洋一
エンジン制御用センサの小型化……………53	大谷七郎・木口 栄・三谷干城・輪木宏治・加柴良裕・荒木 達
点火装置の小型化……………57	池内正之・小岩 満・大橋 豊
始動・充電系の省燃費対応技術……………61	田中俊則・森下 瞭・阪部茂一

情報化

車載情報通信機器のヒューマンインタフェースデザイン……………65	岡田英樹・安部芳典・岩崎建樹
車載ナビゲーションシステムにおける交通情報表示技術……………69	十川登志夫・萬代博康・速水勝朗・上井勝次・後藤博文・横内 浩
車載ナビゲーションシステムにおける経路案内技術……………73	水谷芳禎・則本政嗣・梅津正春・岡崎勝次・井手野宏昭
通信機能付き車載ナビゲーションシステム……………77	平田誠一郎
デジタル音声放送受信機……………83	加藤博明・武田益幸・田浦賢一・辻下雅啓・楢枝護重
欧州向け交通情報データ復調装置……………89	吉田滋弘・安ノ井 弘・船江和仁

特許と新案

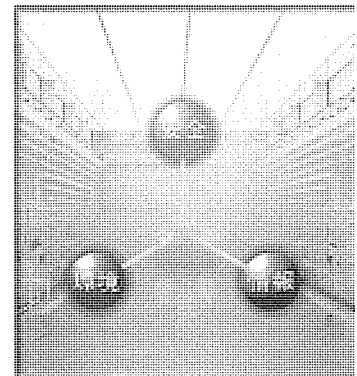
「走行情報表示装置」「光学式距離測定装置」……………97
「内燃機関用フィルタ再生装置」……………98
スポットライト……………93
車載用新世代CDメカニズム……………93
イモビライザシステム(自動車用エンジン不正始動防止装置)……………94
ディーゼル小型トラック・バス用EGRシステム……………95
ヨーレートセンサ……………96
イオン電流検出装置……………(表3)

表紙

自然環境模擬実験室

この特集のサブテーマは“安全”“環境”“情報”とした。

写真は、安全にかかわる評価のために当社が保有している“自然環境模擬実験室”である。自動車が周囲の環境を認識する方法として、レーザレーダ、マイクロ波、可視光カメラ等があるが、これらの性能や精度を評価するため、全長50mのこの実験室は、霧(定位置からの透過率0~100%)、雨(0~300mm/h)、及び自然光(0~3,000lx)を、単独又は複合して全室ほぼ均一かつリニアに制御することができる。



三菱電機技報に掲載の技術論文では、国際単位“SI”〔SI第2段階(換算値方式)を基本〕を使用しています。ただし、保安上、安全上等の理由で、従来単位を使用している場合があります。

アブストラクト

システム化時代に向けた自動車機器技術の展望

中堀一郎・鷲野翔一

三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.2~4 (1996)

本稿では、まず、自動車機器技術への電子技術の導入の歴史を振り返り、その底流にシステム化があることと、システム化には二つの流れのあることを示す。次に、自動車機器の今後の更なるシステム化に向けて必ず(須)となる技術の現状と動向について述べる。最後に、今後のシステム化への動きとして、車両運行統合コントロールシステムや路車間情報通信システムへの期待について述べ、全体をまとめる。

無段変速機用パウダクラッチのロバスト制御技術

栗重正彦・片柴秀昭・山本博明・西脇文彦

三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.27~32 (1996)

無段変速機は、変速ショックがなく、燃費改善が期待でき、環境に優しいことから、近年、日本及び欧州において搭載車種が増加している。また、制御性に優れたパウダクラッチを電子制御することにより、快適性と省燃費性の両立を目指している。本稿では、クラッチの特性変化時にも良好な発進性能を得るため、VSS (Variable Structure Systems) 制御を発進制御に適用して、クラッチの特性変動に対してロバストな制御器を設計し、実車試験で効果を確認した。

外乱オブザーバによるロバストな車速制御技術

井上知之・西田 稔・鷲野翔一

三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.5~12 (1996)

先行車との車間距離を計測し、安全な車間距離となるように車速を制御する車間距離制御装置に適用するロバストな車速制御技術を開発した。外乱オブザーバによる2自由度制御を用いて、①路面勾配変化等の外乱による影響を抑制する性能と、②目標車速に追従する性能を両立させる設計が可能となった。シミュレーションと実験結果によって、路面勾配変化等の外乱と車速変化等によるパラメータ変動に対してロバストであることを確認した。

固体高分子型燃料電池可搬電源システム

光田憲朗・前田秀雄・漆畑広明

三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.33~38 (1996)

固体高分子型燃料電池(PEFC)は、出力密度及び発電効率がよく、排気ガスがクリーンで音が静かなため、可搬電源・定置型電源のほかに、電気自動車への適用が期待されている。当社では、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受けて、可搬型のPEFCの開発を進めている。本稿では、PEFCの動作原理と特長、当社のPEFCの開発状況、メタノール燃料10kW級可搬電源及びPEFCを搭載した電気自動車の概念設計などについて紹介する。

車間距離制御技術

堤 和道・赤須雅平・池淵和宏・岡村茂一・串崎弘充・西田 稔

三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.13~16 (1996)

前方の車までの車間を安全な距離に制御する先進的な低速走行装置を完成した。

この装置は、CCDカメラの映像を処理して自車レーンを検出するとともに、そのレーン内の前方車両までの距離をレーザレーダによって測定し、エンジンの出力を調整することにより、この距離を安全な車間距離に制御するようにしたものである。

電気自動車の駆動制御技術

金行和敏・西村慎二・安西清治・小林 勝・小山正人・金原義彦

三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.39~42 (1996)

電気自動車は、排出ガスを出さない特長を生かして、大気浄化に寄与させる目的で開発が進められている。電気自動車の駆動システムも、従来車両と同じく、小型・軽量・高効率、高信頼性、低コストが要求される。これらの背反要素を調和させるものとして、水冷方式の誘導モータによるシステムを採用し、高効率ベクトル制御方法を開発して実用動作領域の効率を改善した。さらに、信頼性向上のために、速度センサレス制御方式の適用を検討している。

居眠り検出技術

小河賢二・鈴木尋善・末永伸正・西田 稔・下谷光生・佐竹敏英

三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.17~22 (1996)

車室内に設置した小型CCDカメラによってドライバの顔を撮像し、画像処理技術を応用してドライバの居眠りを検出するシステムを開発した。このシステムは、昼間は顔画像を、夜間は近赤外光照明による網膜反射像を用い、ハードウェアを多用して簡素な画像処理アルゴリズムでドライバのまばたきを1フレームごとに高速検出し、まばたきのパターン変化により、居眠り状態を検出するものである。

電動パワーステアリング制御技術

喜福隆之・大熊昌郁・和田俊一・木全政弘・阪部茂一・大穀晃裕

三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.43~48 (1996)

従来の油圧パワーステアリング(油圧PS)に対し、燃費低減と搭載性改善が図れ、制御の自由度が高い、電動パワーステアリング(電動PS)を実用化し、量産化している。

軽乗用車に主に採用されてきた電動PSを基に、モータを高出力・低摩擦化し、モータの高出力化に伴って発生する操舵フィーリングの悪化を補正する制御技術を用いることにより、小型乗用車に搭載し得る電動PSを実現した。

エアバッグシステムの衝突判定アルゴリズム

古井孝志・今城昭彦

三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.23~26 (1996)

エアバッグシステムに用いられているコントロールユニット内には、車両の衝突時にアナログGセンサから得られる信号をマイコンに取り込み、エアバッグを展開すべきか否かを瞬時に判断するための機能が備わっている。ここでは、エアバッグシステムの概要と、衝突判定機能のために必要なアルゴリズムの原理、構成、性能などについて述べる。

ガソリンエンジンの制御技術と制御ユニットの小型化

森本義信・藤本高德・西村幸信・北村洋一

三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.49~52 (1996)

当社でマイコンを応用したエンジン電子制御装置(ECU)を生産開始して以来15年になる。この間、自動車は環境保全、安全性、快適性を追求してECUの高機能化が進んだ。高機能化と並行して、装着性向上のための小型化・統合化の要請がある。上級マイコン、ASIC、多層基板、高密度実装等の要素技術を適用して対応してきた。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 27~32 (1996)

Robust Control Technology for the Powder Clutch of a Continuously-Variable Automatic Transmission

by Masahiko Kurishige, Hideaki Katashiba, Hiroaki Yamamoto & Fumihiko Nishiwaki

An increasing number of vehicles in Japan and Europe are being fitted with continuously-variable transmissions that save fuel and protect the environment by operating the engine in its most efficient range without the shocks associated with gear changes. By implementing an electronic control system for the powder clutch of a continuously-variable automatic transmission, the authors have achieved smoother operation. This article reports on a variable-structure systems control method for powder clutches that maintains uniform acceleration characteristics despite variations in the power-transmission characteristics of the powder clutch, and discusses testing of the system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 2~4 (1996)

Technology Trends of Systems Integration in Automotive Electronics

by Ichiro Nakahori & Shoichi Washino

This article reviews the history of technological development in the field of automotive electronics, and discusses the current and future trends of using system-integrated equipment in vehicles. Discussion mainly focuses on the development of future technologies for a comprehensive control system and road-to-vehicle communications for both vehicle control and driving assistance.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 33~38 (1996)

A Polymer Electrolyte Fuel Cell for Transportable Power-Supply Applications

by Kenro Mitsuda, Hideo Maeda & Hiroaki Urushibata

The application of polymer electrolyte fuel cells (PEFCs) is anticipated for stationary and transportable power supplies as well as passenger cars. The technology offers the advantages of high power density, high efficiency, low emissions and low noise. Mitsubishi Electric has been developing PEFCs for transportable use under contract to the New Energy and Industrial Technology Development Organization of the Ministry of International Trade and Industry. This article presents the principles of PEFCs, and describes a methanol-fueled PEFC power plant for transportable and electric passenger-car applications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 5~12 (1996)

A Robust Cruise-Control System Using a Disturbance Observer

by Noriyuki Inoue, Minoru Nishida & Shoichi Washino

Mitsubishi Electric has developed a robust cruise-control system that measures the distance to the preceding vehicle and automatically maintains a safe distance. The system has a disturbance observer that suppresses the effect of changes in roadway grade while simultaneously and independently maintaining the target speed. Simulated and actual testing of the system have demonstrated that the system is robust, i. e., it maintains stability at the time of changes in grade, car speed and other operating characteristics.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 39~42 (1996)

Drive Control Technology for Electric Vehicles

by Kazutoshi Kaneyuki, Shinji Nishimura, Kiyoharu Anzai, Masaru Kobayashi, Masato Koyama & Yoshihiko Kimpara

Development of emission-free electric vehicles offers the potential to contribute to reduced atmospheric pollution. The development of economically viable electric vehicles will require improvements in the electric drive system: smaller, lighter equipment, higher operating efficiencies, enhanced reliability and cost reductions. The authors have built a drive system based on a water-cooled induction motor with a high-efficiency vector control system that realizes some of these benefits, including sufficient efficiency for practical operation. The authors are studying possibilities of increasing system reliability by developing control techniques that do not require an external speed sensor.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 13~16 (1996)

An Automotive Distance Control System

by Kazumichi Tsutsumi, Masahira Akasu, Kazuhiro Ikebuchi, Shigekazu Dkamura, Hiromitsu Kushizaki & Minoru Nishida

Mitsubishi Electric has developed a distance control system for automobiles that maintains a safe distance from the preceding vehicle. The system processes images from a CCD camera to identify the vehicle lane, uses laser radar to determine the distance from the preceding vehicle in that same lane and adjusts the engine output to maintain a safe distance.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 43~48 (1996)

Electric Power-Steering System

by Takayuki Kifuku, Masafumi Okuma, Shun'ichi Wada, Masahiro Kimata, Shigekazu Sakabe & Akihiro Daikoku

Mitsubishi Electric has developed and begun mass production of an electric power-steering system that is more fuel-efficient and offers more flexible installation geometries than conventional hydraulic power-steering systems. Mainly intended for small passenger cars, the system features a high-output low-friction motor and incorporates new technologies that maintain road feel under high-assist conditions.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 17~22 (1996)

A Drowsiness Detection System

by Kenji Ogawa, Hiroyoshi Suzuki, Nobumasa Suenaga, Minoru Nishida, Mitsuo Shimotani & Toshihide Satake

The authors report on a system that processes images of the driver's face from a CCD camera to detect if the driver is sleeping or showing signs of drowsiness. The system has an infrared light source that provides illumination for nighttime operation. The image processing algorithm examines the video signal frame by frame to determine the rate the driver's eyes are blinking, and identifies patterns associated with sleep or drowsiness.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 49~52 (1996)

Gasoline-Engine Control Technologies and Development of Compact Electronic Control Units

by Yoshinobu Morimoto, Takanori Fujimoto, Yukinobu Nishimura & Yoichi Kitamura

Mitsubishi Electric has been manufacturing automobile electronic control units (ECUs) for 15 years. ECUs have become progressively more advanced over the years to satisfy demands for environmental protection, safety and rider comfort. Automobile manufacturers currently want ECUs that can provide comprehensive control capabilities within compact dimensions and facilitate mounting. This article describes the pursuit of these goals through the application of high-end microprocessors, ASICs, multilayer printed circuit boards and high-density mounting technologies to ECUs.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 23~26 (1996)

A Crash Detection Algorithm for Airbag Systems

by Takashi Furui & Akihiko Imagi

This article describes an airbag control unit that utilizes a microprocessor to analyze the signal from an analog acceleration sensor and determine if a crash is occurring. If the unit detects a crash condition, it sends a signal to activate the airbag. Various airbag systems and design of the crash detection algorithm are discussed.

アブストラクト

<p>エンジン制御用センサの小型化 大谷七郎・木口 栄・三谷千城・輪木宏治・加柴良裕・荒木 達 三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.53～56 (1996)</p> <p>新世代エアフローセンサは、カルマン渦発生柱に連通する副流通路の渦に応動した流速変化を、直径12μmの熱線で検出して流量を測定する。このために、極細線を接合する溶接技術を開発した。また、流管全体をベルマウス構造として流体的安定性を高め、全長の短縮(当社比3/4)を図った。圧力センサは、専用ICの開発によって従来の性能と信頼性を保ちながら超小型(当社比1/3)を実現した。さらに、両製品共に、部品数削減や素材減と大幅なコストダウンを図った。</p>	<p>車載ナビゲーションシステムにおける経路案内技術 水谷芳禎・則本政嗣・梅津正春・岡崎勝次・井手野宏昭 三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.73～76 (1996)</p> <p>現在位置から目的地までの推奨経路を探索して誘導する経路案内機能は、今日のナビゲーションシステムの標準機能である。</p> <p>本稿では、国内各社に見られる交差点拡大図や音声を用いた経路案内の事例と、欧州・北米など海外における動向を述べるとともに、当社における視認性向上を目的としたデフォルメ図導入の経緯と、普及版ナビゲーションシステムで採用した交差点拡大図、デフォルメ図と音声を用いた経路案内への取組について述べる。</p>
<p>点火装置の小型化 池内正之・小岩 満・大橋 豊 三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.57～60 (1996)</p> <p>市場環境やエンジンの技術動向に対応し、点火システムは小型・軽量化、高機能化、高信頼性化等のニーズがある。これらを実現するために、点火システムに必要な機能要素の集約化と種々の要素技術を用いた各構成部品の小型化及び形状最適化により、高圧配電システムにおいては新小型集約型ディストリビュータを、低圧配電システムにおいてはパワースイッチ内蔵イグニッションコイルとエンジン直付け型クランク角センサを開発した。</p>	<p>通信機能付き車載ナビゲーションシステム 平田誠一郎 三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.77～82 (1996)</p> <p>従来の車載ナビゲーションシステムといえば、自車の現在位置をドライバに知らせるシステムであった。このたび、デジタル携帯電話や無線機を介して、車載ナビゲーションとの双方向のデータ通信を可能にした。</p> <p>本稿では、車同士や、車と家又は事務所のパソコンとの間で、現在位置、目的地、メッセージ等のデータをナビゲーション画面上に表示するシステムについて記述する。</p>
<p>始動・充電系の省燃費対応技術 田中俊則・森下 瞭・阪部茂一 三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.61～64 (1996)</p> <p>環境対策面から、車両に対する省燃費要求は社会的ニーズとして継続的にある。これに対して当社がスタータとオルタネータに取り組んできた経緯を説明し、今後の展開の一助とする。</p> <p>省燃費対応として行ってきた主な方法は次の二つである。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) CAE活用の最適設計、及び新材料採用による小型軽量化 (2) オルタネータ発電時のエンジンへの負荷トルを制御した発電制御 	<p>デジタル音声放送受信機 加藤博明・武田益幸・田浦賢一・辻下雅啓・檜枝護重 三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.83～88 (1996)</p> <p>欧州ユーレカプロジェクトによって開発されたデジタル音声放送(DAB)は、音声圧縮技術及びデジタル変調技術の採用により、移動体受信においてもCD並みの音質を実現できる次世代新放送システムである。既に'95年9月から英国で本放送が開始されており、'97年秋までには欧州各国において受信可能となる。</p> <p>本稿では、DABシステムの特長と、当社が開発したDAB受信機の概要、及び欧州でのフィールド試験結果について述べる。</p>
<p>車載情報通信機器のヒューマンインタフェースデザイン 岡田英樹・安部芳典・岩崎建樹 三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.65～68 (1996)</p> <p>自動車の情報化が進む中で、運転時の車載情報通信機器の操作性や安全面での課題は多く、運転者から見た表示部の在り方や操作方法といったヒューマンインタフェース面でのデザイン的要素は重要な項目である。安全で快適なヒューマンインタフェースを目指し、表示と操作の分離をコンセプトとする“カーマルチコミュニケーションシステム”、情報の最適表示をコンセプトとする“統合化ディスプレイ”の基本デザイン案を開発した。</p>	<p>欧州向け交通情報データ復調装置 吉田滋弘・安ノ井 弘・船江和仁 三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.89～92 (1996)</p> <p>欧州で運用されているFM多重放送であるRDSのうち、タイプ8Aで送信されるTMC(Traffic Message Channel)は、デジタル情報として常時送信される交通情報である。TMCによる交通情報は①交通情報をリアルタイムに入手可能、②音声番組の中断なし、③使用言語の選択可能、④通常の放送局で送信可能、⑤必要な方面の情報のみを優先的に表示可能、等の特長がある。今回、TMCを利用した欧州向け交通情報データ復調装置を開発し、ナビゲーションシステムと接続可能とした。</p>
<p>車載ナビゲーションシステムにおける交通情報表示技術 十川登志夫・萬代博康・速水勝朗・土井勝次・後藤博文・横内一浩 三菱電機技報 Vol.70・No.9・p.69～72 (1996)</p> <p>VICS (Vehicle Information and Communication System) のレベル3の交通情報は、車載ナビゲーションシステムの持つ地図データに対応付けることにより、地図への重畳表示のほか、推奨ルート探索への利用など様々な応用が可能である。本稿で述べるレベル3の地図重畳表示は、交通情報表示と道路線・ルート表示との位置関係や重なり優先等を考慮して画面の良好な視認性を確保するとともに、規制・駐車場情報の詳細情報を表示可能とし、分かりやすい情報表示を実現した。</p>	

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 73~76 (1996)

Route-Guidance Technology for Car Navigation Systems

by Yoshisada Mizutani, Masatsugu Norimoto, Masaharu Umezu, Katsuji Okazaki & Hiroaki Ideno

The standard version of most commercial car navigation systems now incorporates a route-guidance function that suggests a route from the current vehicle position to the destination. This article compares the expanded intersection diagrams and voice guidance functions of systems manufactured for the Japanese domestic market with comparable features of systems marketed in Europe and North America. Also discussed is the work at Mitsubishi Electric on map deformation techniques that enhance landmark recognition, and route-guidance technology incorporating enlarged intersection maps, map deformations and voice guidance.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 53~56 (1996)

Compact Sensors for Engine Control

by Shichiro Otani, Sakae Kiguchi, Tateki Mitani, Koji Waki, Yoshihiro Kashiba & Toru Araki

The authors have developed a hot-wire airflow velocity sensor using a 12 μ m wire that forms a part of the Karmann vortex generator posts as well as welding technology to mount the wire. A bell mouth structure improves the flow stability, allowing the overall length of the airflow sensor to be shortened by 25%. The authors also report on a custom pressure sensor IC that occupies one-third the volume of previous devices while maintaining comparable reliability and performance. Both products feature reduced component count and resource requirements that dramatically lower cost.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 77~82 (1996)

A Car Navigation System with a Communication Function

by Seiichiro Hirata

Early car navigation systems showed the driver's present position on a map. This article describes a system that supports bidirectional communication with a car navigation system using a digital cellular phone. The system makes it possible to exchange present position, destination and other information with other cars, or between the car and a personal computer at a home or office. Messages received through the system are shown on the car navigation system's display monitor.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 57~60 (1996)

A Compact Electronic Ignition System

by Masayuki Ikeuchi, Mitsuru Koiwa & Yutaka Ohashi

Due to current economic realities and engine technology trends, automobile manufacturers want compact, lightweight, high-performance and highly reliable electronic ignition systems. Achieving this requires integrating various ignition system functions, and reducing the size and optimizing the shape of each of the system's components. Mitsubishi Electric has developed a compact, integrated distributor for the high-voltage distribution system, as well as an ignition coil with an internal power switch and a crank-angle sensor that mounts directly to the engine for the distributorless ignition system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 83~88 (1996)

A Digital Audio Broadcasting Receiver

by Hiroaki Kato, Masayuki Takeda, Ken'ichi Taura, Masanori Tsujishita & Morishige Hieda

The Digital Audio Broadcasting (DAB) System is a next-generation broadcasting system developed by the European Eureka Project. Utilizing digital modulation and advanced digital audio compression technologies, the DAB System is capable of providing CD-quality audio programs to listeners via both mobile and fixed receivers. Regular broadcasting service began in September 1995 in the United Kingdom, and is expected to spread widely throughout Europe by the fall of 1997. This article gives an outline of the DAB System, and discusses Mitsubishi Electric's development of a DAB receiver and the results of field testing in Europe.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 61~64 (1996)

Fuel-Saving Technologies for Starting and Charging

by Toshinori Tanaka, Akira Morishita & Shigekazu Sakabe

Society faces ongoing needs for automotive fuel efficiency improvements to address environmental concerns. This article describes current work at Mitsubishi Electric on fuel-saving starter and alternator technologies and future development plans. Additional fuel savings have been achieved through CAE-based design optimizations, use of new materials to reduce equipment size and weight, and development of a power generation control system for the alternator that regulates the load placed by the alternator on the engine when charging.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 89~92 (1996)

Traffic Message Channel Receiver

by Shigehiro Yoshida, Hiromu Annoi & Kazuhito Funae

Traffic information in Europe is broadcast in digital form over a traffic message channel (TMC) using the radio data system (RDS) Type-8A FM multiplex modulation format. The system provides realtime traffic information without interrupting audio programs. TMC content can be broadcast by conventionally equipped radio stations, the receiver can be set to display only data for a given direction or area and the language for the display is user selectable. The authors describe a TMC receiver developed for the European Union and its integration into the car navigation system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 65~68 (1996)

User Interface Design for Automotive Information and Communications Equipment

by Hideki Okada, Yoshinori Abe & Tatsuki Iwasaki

The user interface design for complex automotive information equipment is critical to driving safety, since the time spent viewing the display and operating controls draws attention from traffic conditions. This article reports on an automotive information system incorporating a control panel that is separate of an effectively organized information display, thus satisfying the strict design criteria for legibility and ease of use.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 70, No. 9, pp. 69~72 (1996)

Traffic Information Display Technology for a Car Navigation System

by Toshio Sogawa, Hiroyasu Mandai, Katsuro Hayami, Katsuji Doi, Hirofumi Goto & Kazuhiro Yokouchi

Once referred to the map data of a car navigation system, traffic information classified as Level 3 in the vehicle and communication system can be utilized in various ways, such as being superimposed on the map display or used in algorithms for route calculation. The authors have developed a car navigation screen onto which traffic information is incorporated with recommended route information without compromising legibility. The system also shows detailed information such as traffic restrictions and parking lots in an easy-to-read format.

クルマとの調和に貢献する自動車機器技術特集に寄せて

常務取締役
自動車機器事業本部長

土佐雅宣



1880年代半ばに G.Daimler と K.Benz が初めてガソリンエンジン自動車を製作してから110年が経過しようとしています。基本的な動作の原理は変わることなく、この歴史の中で十分熟成され、ユーザにとって極めて優れた移動と運搬の手段として、今日の現代社会において重要な働きをしており、“クルマ”はなくてはならない存在になっています。

電気の技術が自動車の中で最初に利用されたのは高電圧による放電着火であり、今日に至るも脈々とこの原理は変わっていません。電気的機能部品は積極的に自動車に取り入れられ、各々の時代の車作りに大変重要な役割を担ってきたと言えます。先ず安定的な電気エネルギーを得るため“電池と充電発電機”が搭載され、より容易に始動するため“スタータモータ”が装備されましたが、この時代の電気の技術は自動車の中ではどちらかと言うと“補助”の技術でした。メカニカルな洗練された技術と卓越した工夫を駆使して自動車の諸性能すなわち馬力・スピード・乗り心地・便利さを追求した時代が、およそ80年間続きました。この間を第一世代の自動車の進歩と位置付けることができます。

“走る”“曲がる”“止まる”という自動車の基本機能の高度化はもとより、より最適に、経済的に、安全に、快適にと技術追求が図られた結果、エレクトロニクス制御の技術が積極的に取り入れられるようになりました。最適なガソリンの燃焼、走行状況に合わせたサスペンション、フィーリングの良いトランスミッションの制御などの技術開発により、自動車そのものの性能が飛躍的に向上しました。我々自動車部品メーカーとしては、長足の進歩を遂げたマイクロコンピュータやハイブリッドICなどの半導体技術、各種高性能センサやシステムに適合した軽量・小型アクチュエータ類の採用などを通じて、自動車の性能向上に寄与できたのではないかと考えております。このようなエレクトロニクスによる制御技術は、“補助”の技術から自動車と“一体化”した技術として、ここ四半世紀に積極的に取り入れられ、第二世代の自動車作りに貢献してきたと言えます。

しかし、急成長した車社会が我々の生活を大変便利にしてくれた反面、相矛盾する副次作用の側面が、社会的に問

題視されるようになってきました。スピードと安全性は背中合わせにありますし、利用者が多くなれば交通渋滞が増え、NO_x、HC、CO₂の排出が増えるばかりでなく、経済効率を低減する結果となります。地球規模の問題として温暖化と石油の有限性を考えれば、長期的に、クリーンで効率の良い代替エネルギーの技術的・経済的解決も図られなければなりません。今日的な車社会は、人類社会とどのようにかかわっていくのか大きな転換期を迎えており、21世紀に向けて新しいパラダイムシフトを模索している状況にあります。これを解決するキーワードは“Intelligent”化だと言えます。情報通信技術の画期的な進歩とともに自動車自身の高度化はもちろんのこと、それを取り巻くインフラシステムや社会システムの高度化とあいまって、自動車の第三世代は高度にインテリジェント化されたものへと大きく変ぼう(貌)すると予想されます。

自動車先進国では、ITS (Intelligent Transport Systems) プロジェクトが積極的に推進され、日本でも官民一体となって“道路・交通・車両インテリジェント化推進協議会 (VERTIS)”が1994年に組織化されて、本格的取組が始まりました。VERTIS では“各システム実用化”23項目と“研究開発要素技術”27項目が列記され、今後30年間にわたってシステムの構築とその拡大、さらに要素技術については、研究開発とその実用化導入が計画されています。上記項目の中には、技術的解決が困難なもの、多方面にわたって条件整備を必要とされるものなどが含まれており、一つ一つ解決して実用化していくにはそれ相応の努力と試行錯誤の検証と先行的研究開発投資が必要となります。

当社には、自動車機器及びインフラ設備両面において、システム技術やシード技術の蓄積があります。我々の責務は、技術の進歩によって調和のとれた車社会が21世紀に実現するように、車やシステムの進歩に合わせてこれらの技術を一層向上させることと、システム開発にも適合することによってスタンダードの構築に貢献することです。そのために先見性と信念をもってリスクを覚悟しながら判断し、機敏に対応する選択眼を持ち、高度な技術に裏打ちされたシステムの完成を目指して技術の高度化を積極的に進めてまいります。

システム化時代に向けた 自動車機器技術の展望

中堀一郎*
鷲野翔一**

1. ま え が き

自動車機器技術は今や電子技術なくしては語れなくなってきた。なぜなら、電子技術を駆使した自動車機器技術は“走る”“曲がる”“止まる”の自動車本来の性能の高性能化ばかりでなく、時代の要請である省燃費・低公害化、安全化、情報化などをも推進させる原動力となっているからである。

本稿では電子技術をレビューし、自動車機器技術の底流がシステム化であることを示し、今後の展開について述べる。

2. 自動車機器技術への電子技術の導入とその底流

自動車機器技術への電子技術の導入(以下“カーエレクトロニクス”という。)の原動力になった要因には、半導体を始めとする電子技術の長足の進歩という技術要因と、地球環境保護という社会要因、利便性と自動車の性能向上への要求というユーザーニーズにかかわる要因がある。近年、情報化へのユーザーニーズも高まり、ナビゲーションシステムも自動車に搭載されるようになった。この章では、これらカーエレクトロニクスの歴史的発展を概観し、その底流について考察する。

(1) 1960年代

表1は、電子技術の進歩と、それが自動車へ搭載されていた電子技術導入の歴史を示している。1960年代には、点火系のポイントに替わってICイグナイタが初めて導入された。点火エネルギーの高エネルギー化や長寿命化が実現され、シリコントランジスタの高信頼性が実証され、自動車への電子技術導入の幕開けとなった。この時点では、機械部品を電

子部品に置き換えただけのものであった。

(2) 1970年代

1970年代後半には8ビットマイクロプロセッサが開発され、さらに、NO_x低減、省燃費という社会的ニーズが高まり、電子制御燃料噴射システムが自動車に導入された。これを機に、電子制御の自動車への導入は加速度的に広がった。

電子制御が実現する機能も当初の単なる部品の置換えからシステム的な機能を持つに至り、電子制御技術は自動車にとって必ず(須)になった。例えば、省燃費、NO_x低減という技術的に相反する要求は、電子制御燃料噴射システムなくしては実現不可能であった。なぜなら、電子制御燃料噴射システムにより、初めて触媒の有効活用が可能になり、CO、HC、NO_xの同時低減が実現でき、かつ、エンジンは燃費の少ない空燃比で燃焼させることができたからである。つまり、キャブレタでは実現できなかったシステムとしての機能を、電子技術によって実現できるようになった。

また、電子制御燃料噴射システムは、エアフローセンサやO₂センサなど制御量を検出するセンサ、センサからの信号を処理し噴射燃料量を決定するマイクロプロセッサ、実際に燃料を噴射するインジェクタなどのアクチュエータ、という制御システムとしては標準的な構成で省燃費と低公害を実現したのである。

(3) 1980年代

1980年代に入ると、電子制御燃料噴射システムに点火時期の制御やEGR(Exhaust Gas Recirculation)の制御が更に加わり、システム化が推進され、エンジン制御システム

として自動車に搭載されるようになった。さらに、制御対象もエンジン系からシャーシ系へと拡大していった。

(4) 1990年以降

1990年代に入ってユーザーの情報化ニーズの高まりとともに、自動車電話やナビゲーションシステムなどが搭載されるようになり、今日に至っている。制御システムは自動車内部でのシステム化の流れを示すが、この流れは道路を含めたシステム化へと、電子

表1. 電子技術の流れと自動車へのシステムの搭載

	1960	1970	1980	1990	2000年				
社会の動き	万博	第一次、二次石油ショック	乗用車排出ガス規制	バブル景気	円高 ディーゼル排出ガス規制				
技術の動き	ハードウェア	DRAM CPU	4ビット	8ビット	16ビット	32ビット	64ビット	64Mバイト	1Gバイト?
	ソフトウェア	言語	FORTRAN COBOL	PL/1	PASCAL ADA, C				
	OS		CP/M	MS-DOS	Windows 3.1	Windows 95			
通信	列車公衆電話	データ通信開始 デジタル通信化	自動車電話, FAX パケット通信	携帯電話	PHS	衛星通信			
自動車への搭載部位	情報系				VICS ナビゲーション				
	シャーシ系			ABS	サスペンション パワーステアリング	4WD 4WS	車間距離制御システム		
	エンジン系			電子制御AT 電子制御燃料噴射システム		燃焼制御 バルブタイミング制御 気筒別ノック制御			
	ボデー系		ICイグナイタ	オートエアコン	ドライブコンピュータ	キーレスエントリー			

技術の適用範囲は拡大しつつある。ナビゲーションシステムは、通信を介して道路システムと高度な連携が可能なシステムで、システム化拡大の典型例である。

3. システム化を支える技術動向

エンジン制御システムに見られるように、カーエレクトロニクスの進展はシステム化を促し、自動車の高性能化と同時に、省エネルギー、低公害化にも大きな役割を果たしてきた。言い換えれば、ドライバーだけでなく一般市民にとっても、システム化による快適性を向上させたのだとも言える。

この章では、カーエレクトロニクスの今後の進展と、自動車機器技術のシステム化に大きな影響を与える幾つかの技術シーズの動向について考察する。

(1) 半導体微細加工技術

今までのカーエレクトロニクスの進歩を支えてきたのは半導体である。半導体産業の代表的製品であるメモリ(DRAM)とマイクロプロセッサの進歩を図1に示す。半導体の集積度は、3年で4倍というムーア則にほぼ沿った形で向上してきた。現在、市場には64M DRAMが出始めており、研究レベルでは1G DRAMのサンプルが作られている。

このような進展が今までと同様に続いていくか否かは、半導体微細加工技術の進展に依存すると言われている。1G DRAMの加工には0.1 μ mルールが必要であり、今後、SR(Synchrotron Radiation)などX線を用いた微細加工技術が進展していく可能性が高い。

従来、メモリやマイクロプロセッサなど量産可能な半導体製品の進歩だけに目を奪われがちであったが、一方で、個別応用のための半導体であるASICや、マイクロマシン技術を用いたセンサも着実に進歩してきた。将来は、メモリやマイクロプロセッサの中にシステム制御のためのソフトウェアが1チップに組み込まれたSOC(System On a Chip)技術が重要な役割を担うものと思われる。

(2) マイクロシステム技術

マイクロマシン技術を用いたセンサとマイクロアクチュエータ、そしてマイクロプロセッサが1チップに組み込まれ、チップ自体で制御動作を行うのがマイクロシステムである。

従来、マイクロマシン技術を用いたセンサとしては、エンジン制御システムに用いられる半導体圧力センサや車速検出用磁気センサが開発され、製品化されている。当初はセンシング機能のみをセンサチップに持たせていたが、センサの小型化・高性能化を図るためにセンシング機能に加えて信号処理回路も同一基板上に形成されつつあり、圧力センサでは、特性調整部を含めたフルワンチップ集積化圧力センサが開発され、製品化されている。

最近、エアバッグ用加速度センサや、車両姿勢制御及びナビゲーション用途としてヨーレートセンサの開発と製品化が盛んに行われ、センサエレメントとASICをモールドした形態でコンパクト化が試みられている。シリコン基板表面に数 μ m厚さのはり(梁)構造体を形成し、周囲に信号処理回路を構成した表面加工型の加速度センサも開発されている。

今後、マイクロマシン技術・表面加工技術が進展するに伴い、センシングデバイスの小型高精度化、低価格化が更に進み、同時に、メモリやマイクロプロセッサ、ASICなどの小型高精度化・低価格化も進むと思われる。したがって、これらが1チップ上にマウントされたインテリジェントセンサデバイスが近い将来実現される。

このようなインテリジェントセンサデバイスにマイクロアクチュエータを加えたマイクロシステムは、機器の異常や故障の診断・検知、さらには簡単な制御動作も行えるマイクロシステムとして使用されるようになるであろう。

(3) ハードウェア材料技術

半導体以外の材料技術の進歩も、カーエレクトロニクスの進展に大きな役割を果たしてきた。特にセンサデバイス、通信デバイスや表示デバイスの小型化・高信頼化・低価格化には目を見張るものがある。

超音波、マイクロ波、赤外、光の送受信、変復調などのデバイスでは、MMIC、非冷却赤外線センサ、青色半導体レーザ、光増幅器などの技術動向も注目される。また、GPS(Global Positioning System)のように人工衛星の信号を使ったロケーションなど、従来の方法では考えられなかったセンシングシステムにも着目していく必要がある。

自動車での情報ディスプレイやナビゲーションの地図表示などのディスプレイデバイスとして、液晶やプラズマの技術進歩にも注目する必要がある。

(4) ソフトウェア標準化技術

カーエレクトロニクスの分野でも、エンジンコントローラを始め、特にカーナビゲーションシステムでは、かなりの大規模ソフトウェアを使用するようになってきた。従来、マイクロプロセッサにソフトウェアを組み込む形態、すなわち、

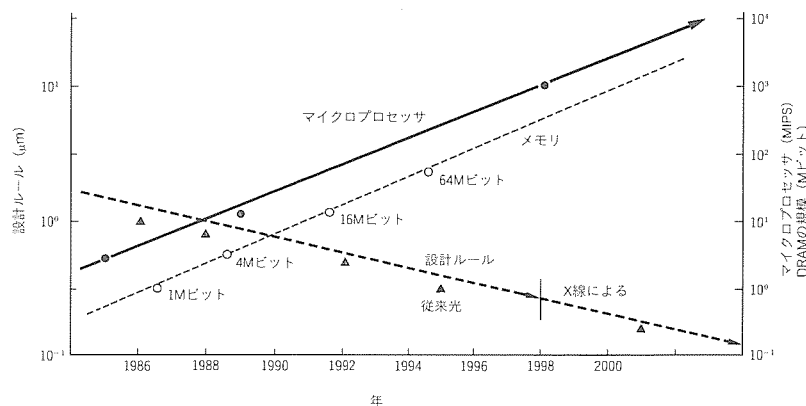


図1. 微細加工技術の進歩

エンベデッドソフトウェアの立場を維持することが、小型・高信頼・低価格の要求に合致するといわれてきた。しかし、メモリやマイクロプロセッサが更に高速化・大容量化するにつれ、ソフトウェアの規模と自由度が著しく向上してきており、その開発費増大が問題になりつつある。今後は、標準ソフトウェア(デファクトソフトウェア)と課題別カスタムソフトウェアをいかに組み合わせるのかということも重要になろう。最も基本的なソフトウェアであるOS、データベース、GUI(Graphical User Interface)などについては、今後、標準品の活用が進んでいくものと思われる。ただし、エンジン制御のようにリアルタイム性が極度に要求されるシステムについては、必ずしもこの範ちゅうではないことに注意する必要がある。

今後、信号処理や制御方式のアルゴリズムとの親和性を持つリアルタイムマルチメディアミドルウェアがオブジェクト指向技術を駆使して開発されていくであろう。

(5) 情報通信システム技術

パソコンの普及によって情報通信システム技術は急速な進展を見せて、クライアント/サーバシステムや自律協調分散システムといわれる方式に変革されてきた。

分散システムを実現するために、ネットワーク通信技術が急速に進歩した。比較的狭い地域(例えばオフィス)を対象として、Ethernetなどに代表されるLANがパソコン接続の標準になって久しい。Ethernetの通信速度は10Mbpsであるが、最近ではマルチメディアを扱うために、更に高速のFast EthernetやATM(Asynchronous Transfer Mode)ネットワークが広く開発されている。一方、自動車内においても、LANのネットワーク標準化への動きが活発になってきている。現在では三つのクラス(A, B, C)車内用LANの標準化が進んでいる。特に、クラスBについては、1994年6月にISO 11519において標準化がオーソライズされた。

一方、広域を対象として、インターネットに代表されるグローバルなネットワーク通信が急速に普及し、自動車のような移動体も、携帯電話、PHS、専用無線回線を通じて、広域のネットワークシステムに参加できるようになってきた。

4. 路車間システムへの展開

前2章の考察を踏まえ、システム化時代に向けた自動車機器のイメージを幾つかの具体例で説明する。

(1) 車両運行統合コントロールシステム

カーエレクトロニクスの発展は、自動車の走行をつかさどる三つの要素、加速(エンジン)、減速(ブレーキ)、操舵

(ステアリング)の制御にかかわってなされてきた。もちろん、自動車の走行はドライバーが行うのであるが、それぞれのコントローラはドライバーの包括的な操作から最終的なエンジン、ブレーキ、ステアリング装置を効率的に動作させるための有用な仲介作業を行っているともいえる。

車両の運行は、これら三つの操作制御による総合的な結果として定まるものである。その最終結果は、車両の縦・横方向の加減速、自動車の垂直軸回りのヨー加減速となって現れる。今まで、これらの制御は個別に実施されてきたが、高速カーブ走行や緊急時の急停車のように、これらコントローラ間の協調作業が必要な場合も多い。

車内LANで複数のコントローラと車両運行監視センサなどを接続できれば、車両運行の統合制御システムを構築することもでき、近接車両の状況や道路状況のセンサ群がこれに加われば、予防安全システムの構築にも威力を発揮する。

(2) 路車間情報通信システム

1995年11月に横浜で開催されたITS(Intelligent Transport Systems)に関する国際会議では、日米欧などの各国の代表が、21世紀に向けての新しい技術分野として、車と道路のインテリジェント化による安全で円滑・快適な交通環境の実現に関する議論を行った。この流れを受けて、今後、道路インフラ側の情報通信システム化が進むことが期待される。これに呼応して、当然車載機側もインフラ側の動きに対応して路車間情報通信システムが進展していくことになるだろう。

路車間情報通信システムの車載機側の主役になるのは、ナビゲーションシステム、携帯電話、FM多重放送、及びVICS(Vehicle Information & Communication System)などで提案されている双方向局地通信であろう。これらの機器が今後どのような形態で発展していくかを予測することは大変難しいが、いずれにせよ、消費者であるドライバーのニーズにこたえる形になることは間違いない。

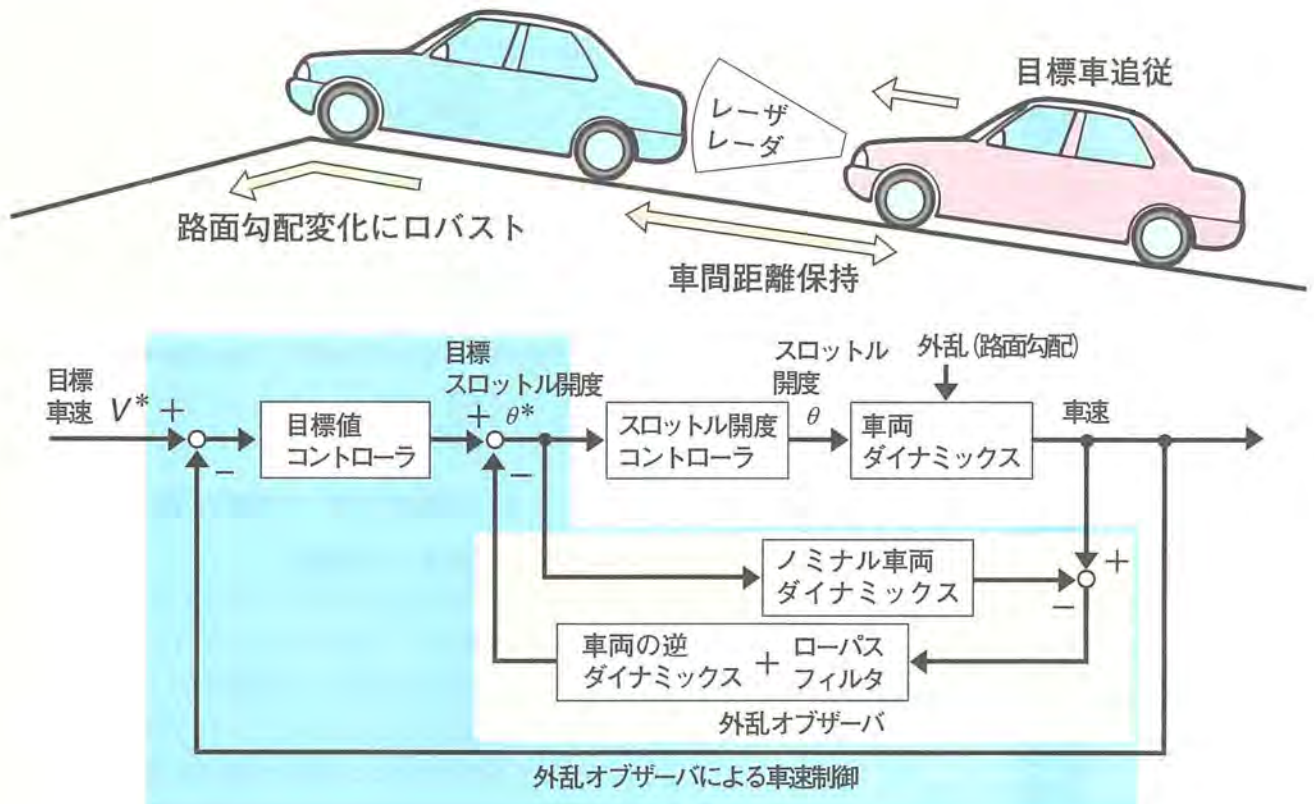
ドライバーは、事故情報や渋滞情報などを始めとする道路交通に関する幅広い情報に対する欲求が強い。ナビゲーションシステムを核としてこれに対処することを目指し、VICSの普及のほか、FM多重放送や電話による双方向情報通信サービスなどが大きく発展していく可能性を秘めている。

5. むすび

自動車内部でのシステム化から自動車と道路を含めたシステム化へと、その流れは今後更に加速され、より地球に優しく、より安全で、より快適な自動車へと変身していくことであろう。いわゆるITS(Intelligent Transport Systems)社会の実現も間近である。

外乱オブザーバによる ロバストな車速制御技術

井上知之*
西田 稔*
鷲野翔一**



外乱オブザーバによるロバストな2自由度車速制御

三菱電機㈱では、先行車との安全な車間距離を維持する車間距離制御に適した車速制御技術を開発した。外乱オブザーバによる2自由度制御を適用し、①路面勾配変化等の外乱による影響を抑制する性能と、②目標車速に追従する性能を両立させる設計が可能となった。

現在の自動車用定速走行装置は、アクセルペダルを踏まなくても一定速度で走行させるものであり、ドライバの疲労軽減に役立つ。しかしながら、比較的交通量の多い道路では、頻りにセット/キャンセルを繰り返すことになり、使い勝手がよくない。そこで、流れに乗って走行でき、かつ衝突事故防止に有効な“車間距離制御”が研究開発されている。

車間距離制御では、①目標速度を維持するために、路面勾配変化等の外乱による影響を抑制する性能と、②安全な車間距離を維持するために、時々刻々変化する目標車

速に追従する性能が必要である。従来方式では両立が困難であったこれら二つの要求を満たすため、外乱オブザーバによる2自由度制御を適用し、シミュレーションと実験によって以下の結果が得られた。①2自由度制御により、外乱抑制性能と目標車速追従性能を独立に設計でき、トライ&エラーによるマッチングの工数を大幅に減少させることができる。②スロットル開度に応じた制御パラメータのスケジューリングにより、通常の運転領域(車速40～100 km/h, 路面勾配-3～+3%)において、目標車速追従性能と外乱抑制性能の両立が可能となった。

1. ま え が き

現在の自動車用定速走行装置は、アクセルペダルを踏まなくても一定速度で走行させるものであり、ドライバーの疲労軽減に役立つ。しかしながら、比較的交通量の多い道路では、頻繁にセット/キャンセルを繰り返すことになり、使い勝手がよくない。そこで、流れに乗って走行でき、かつ衝突事故防止に有効な車間距離制御の開発が進められている。

車間距離制御では、①目標速度を維持するために、路面勾配変化等の外乱による影響を抑制する性能と、②安全な車間距離を維持するために、時々刻々変化する目標車速に追従する性能が必要である。

従来方式では両立が困難であったこれら二つの要求を満たすため、外乱オブザーバを用いた2自由度制御を車間距離制御に適用し、次の結果が得られた。

- (1) 2自由度制御により、外乱抑制性能と目標車速追従性能を独立に設計でき、トライ&エラーによるマッチングの工数を大幅に減少させることができる。
- (2) スロットル開度に応じた制御パラメータのスケジューリングにより、通常の運転領域(車速40~100km/h, 路面勾配-3~+3%)で、目標車速追従性能と外乱抑制性能の両立が可能となった。

まず2章でシステムの全体構成を説明し、3章では車両のモデリングについて述べる。4章では外乱オブザーバ制御系の設計について述べる。5章ではシミュレーションと実車実験の結果を示す。

2. システム構成

図1にシステム構成を示す。このシステムは、上位の車間距離コントローラから指示された目標速度に車速が一致するように制御するものである。また、その際に、走行条件や路面勾配などの外乱の影響をできるだけ受けないようにするのが目的である。入力目標車速 V^* 、出力は車速 V である。マイナーループとして、スロットル制御を行っている。バキュー

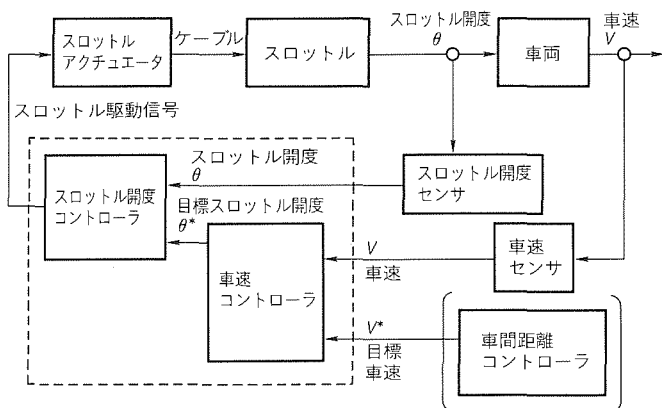


図1. システムの全体構成

ーム直動式スロットルアクチュエータ、スロットルセンサ、車速センサは当社の量産品を用いている。

3. 車両のモデリング

FFT (Fast Fourier Transform) を用いて、目標スロットル開度 θ^* から車速 V までの周波数応答特性を計測した。車両モデルを式(1)で近似した結果を図2に示す。

$$\frac{V(s)}{\theta^*(s)} = \frac{K}{T \cdot s + 1} \cdot \exp(-L \cdot s) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

- V : 車速 (m/s)
- θ^* : 目標スロットル開度 (V)
- s : ラプラス演算子
- K : ゲイン ((m/s)/V)
- T : 時定数 (s)
- L : 無駄時間 (s)

車速が大きいとゲインが低く、路面勾配が大きく走行抵抗が大きいとゲインが低い。これは、スロットル開度とエンジントルクとの非線形関係によるものである。

4. 外乱オブザーバ制御系の設計⁽²⁾⁻⁽⁴⁾

4.1 外乱オブザーバの構成

図3に、提案する外乱オブザーバを用いた自動車の速度制御ブロック図を示す。網掛け部分の外乱オブザーバは、目標スロットル開度から車速への車両動特性がノミナルな車両動特性から変動しないようにフィードバック補償する。その結果、走行条件の変化による車両の動特性の変動や路面勾配の変動があっても、ほぼ一定の車両動特性が得られる。これにより、ロバストな制御系が得られる。目標値コントローラは希望する目標車速応答が得られるように設計すればよい。

4.2 外乱オブザーバの動作

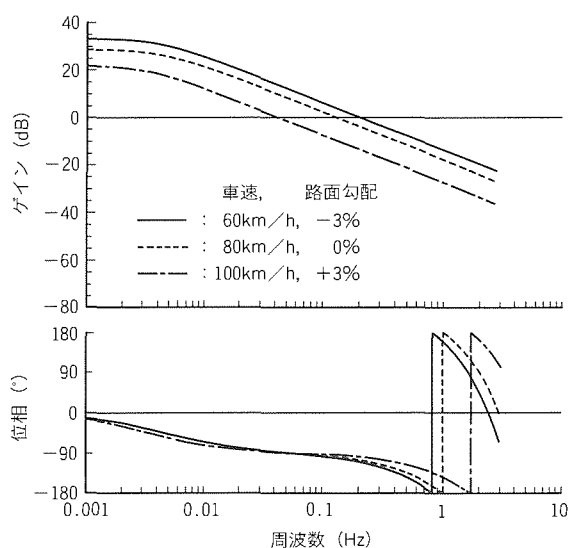


図2. 同定した車両モデル(一次遅れ+無駄時間近似モデル)

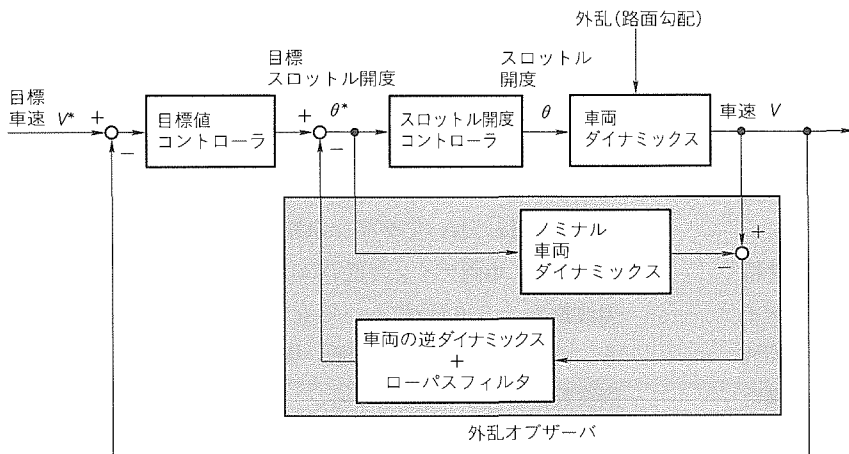


図3. 外乱オブザーバを用いた車速制御のブロック図

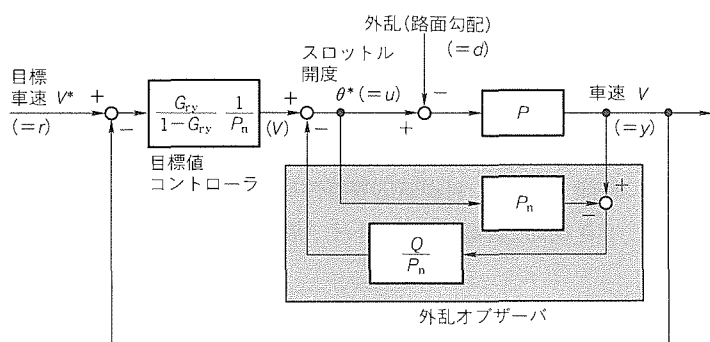


図4. 伝達関数形式で表した車速制御のブロック図

図4に伝達関数形式で表した制御ブロック図を示す。このようにコントローラを構成したとき、目標スロットル開度から車速出力までの入出力関係は式(2)のように表される。

$$y(s) = \frac{P_n(s) + \Delta p(s)}{P_n(s) + \Delta p(s) \cdot Q(s)} P_n(s) \cdot v(s) + \frac{P_n(s) + \Delta p(s)}{P_n(s) + \Delta p(s) \cdot Q(s)} (1 - Q(s)) \times P_n(s) \cdot d(s) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

- y : 車速 (m/s)
- P : 制御対象である実車両の動特性 (目標スロットル開度から車速まで) = P_n + ΔP (m/s/V)
- P_n : ノミナル車両モデル (一次遅れで近似) (m/s/V)
- ΔP : 実車両動特性の変動 (m/s/V)
- Q : ローパスフィルタ
- d : 外乱入力 (ただし、スロットル開度に換算) (V)

式(2)において ΔP(s) に乗じている Q(s) を Q(s) ≒ 1 とみなすと、式(3)が得られる。式(3)から、Q(s) ≒ 1 とみなせる周波数領域では、目標スロットル開度 v から車速出力 y までの入出力関係がノミナル車両モデル P_n(s) に一致し、外乱 d の出力への影響が (1 - Q(s)) 倍に抑制されるこ

とが分かる。

$$y(s) = P(s) \cdot v(s) + (1 - Q(s)) \cdot P_n(s) \cdot d(s) \dots\dots\dots (3)$$

また、感度関数、外乱応答特性、目標車速応答特性は次式で表される (感度関数とは、閉ループ制御系の伝達関数の相対的な変動が、制御対象の伝達関数の相対誤差の何倍になるかを示すもので、外乱抑制力や制御対象の変動に対する出力への感度を示す指標となる⁽⁵⁾)。

$$S(s) = (1 - G_{ry}(s)) \cdot (1 - Q(s)) \dots\dots\dots (4)$$

$$G_{dy}(s) = \left(1 - \frac{\Delta p(s)}{P(s)} S(s)\right)^{-1} S(s) \cdot P_n(s) \dots (5)$$

$$G_{ry}''(s) = \left(1 - \frac{\Delta p(s)}{P(s)} S(s)\right)^{-1} G_{ry}(s) \dots\dots\dots (6)$$

ここで、

- S : 感度関数 ((m/s)/V%)
- G_{dy} : 外乱応答 (路面勾配変化による) ((m/s)/%)
- G_{ry} : 設定した目標車速応答 ((m/s)/V)
- G_{ry}'' : 実際の目標車速応答 ((m/s)/V)

式(4)から、もしローパスフィルタ Q のカットオフ周波数が設定目標車速応答 Gry に比べてずっと高ければ、感度関数 S はローパスフィルタ Q によって実質的に決まる。したがって、式(5)から外乱応答特性 G_{dy} はローパスフィルタ Q によって決まる。また、式(6)においてローパスフィルタ Q ≒ 1 とみなせる範囲では感度関数 S(s) ≒ 0 とみなすことができ、実際の目標車速応答 G_{ry}'' は設定した目標車速応答 Gry に一致する。以上から、目標車速応答特性と外乱応答特性を独立に設計できる。

また、式(4)、(5)から、ローパスフィルタ Q のカットオフ周波数 ω_c が高いほど高い周波数まで外乱が抑制され、外乱による影響が速く収まる (外乱抑制特性) ことが分かる。式(4)、(6)から、ローパスフィルタ Q のカットオフ周波数 ω_c が高いほど実際の目標車速応答 G_{ry}'' は設定した目標車速応答 Gry によって高い周波数まで一致し、応答を速くできる (目標値応答特性) ことが分かる。

4.3 ローパスフィルタ設計と

ノミナル車両モデルの選択

ローパスフィルタのカットオフ周波数と、ノミナル車両モデルの設計について述べる。次式で表されるローパスフィルタを用いる。

$$Q(s) = \frac{\omega_c^2}{(s + \omega_c)^2} \dots\dots\dots (7)$$

ここで、

- ω_c : ローパスフィルタのカットオフ周波数 (rad/s)

前節で述べたように、ローパスフィルタのカットオフ周波数 ω_c が高いほど、外乱応答特性と目標値応答特性が向上する。同時に、カットオフ周波数 ω_c が高いほど、安定性が減少し、センサノイズの影響が大きくなる(相補感度関数が大きくなる)。したがって、カットオフ周波数 ω_c の選択が重要になる。

特にこのケースでは、スロットル開度-エンジントルク特性が走行抵抗に依存して大きく変化し、制御対象車両のゲイン/時定数(= K/T)が約5倍も異なり、カットオフ周波数 ω_c をある固定値にした場合、要求される制御性能を満たすことが困難である。そこで、カットオフ周波数 ω_c を走行条件に応じて可変にすることにした。

設計の考え方としては、走行条件に応じてほぼ同程度の安定性が得られるように、カットオフ周波数 ω_c を変化させることにする。制御ブロックを等価変換して図5に示すようにすると、外乱オブザーバ内のフィードバックループ部分の開ループ伝達関数は次式(8)によって表され、安定性を評価できる。

$$G_{o.l.}(s) = \frac{P(s)}{P_n(s)} \frac{Q(s)}{1-Q(s)} \dots\dots\dots (8)$$

典型的な三つの運転条件において、式(8)をナイキストプロットした結果を図6に示す。各運転条件においては、カットオフ周波数($f_c = \omega_c/2\pi$)を0.2 Hzから5.0 Hzまで変化させている。

一般に追従制御における望ましいゲイン余裕の値は、10~20 dBといわれている⁽⁵⁾。車両ゲインの高い(a)の場合、 $f_c = 0.5\text{Hz}$ においてゲイン余裕 $20 \log(1/0.3) = 10$ (dB)であるが、車両ゲインの低い(c)では、より高いカットオフ周波数 $f_c = 5.0\text{Hz}$ においてもゲイン余裕が10 dB以上ある。つまり、車両ゲインの低い場合は、より高いカットオフ周波数を用いることができる。

一方、図7に示すように、3.1節での車両の動特性パラメータ K/T とスロットル開度の関係は、運転条件によらず1本の直線に乗ることが分かる。この特性を利用して、走行条件が変化してもほぼ同程度の安定性を得るために、スロットル開度に応じてカットオフ周波数を変化させることにする。スロットル開度に応じてカットオフ周波数を変化させた結果、図8に示すように、運転条件によらず、車両の動特性を補償することができた。この結果、運転条件によらず、希望する性能(例えば、目標値応答特性)が得られる(ただし、補償できる周波数範囲はカットオフ周波数以下となる。)

図7に示すように、3.1節での車両の動特性パラメータ K/T とスロットル開度の関係は、運転条件によらず1本の直線に乗ることが分かる。この特性を利用して、走行条件が変化してもほぼ同程度の安定性を得るために、スロットル開度に応じてカットオフ周波数を変化させることにする。スロットル開度に応じてカットオフ周波数を変化させた結果、図8に示すように、運転条件によらず、車両の動特性を補償することができた。この結果、運転条件によらず、希望する性能(例えば、目標値応答特性)が得られる(ただし、補償できる周波数範囲はカットオフ周波数以下となる。)

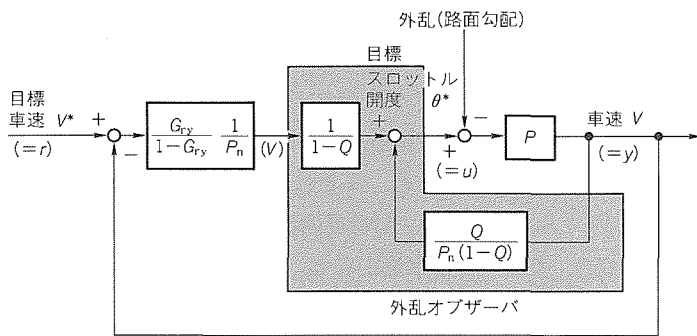


図5. 外乱オブザーバを用いた車速制御のブロックの別表現

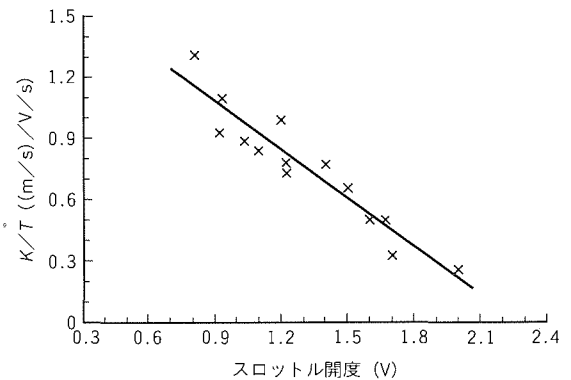
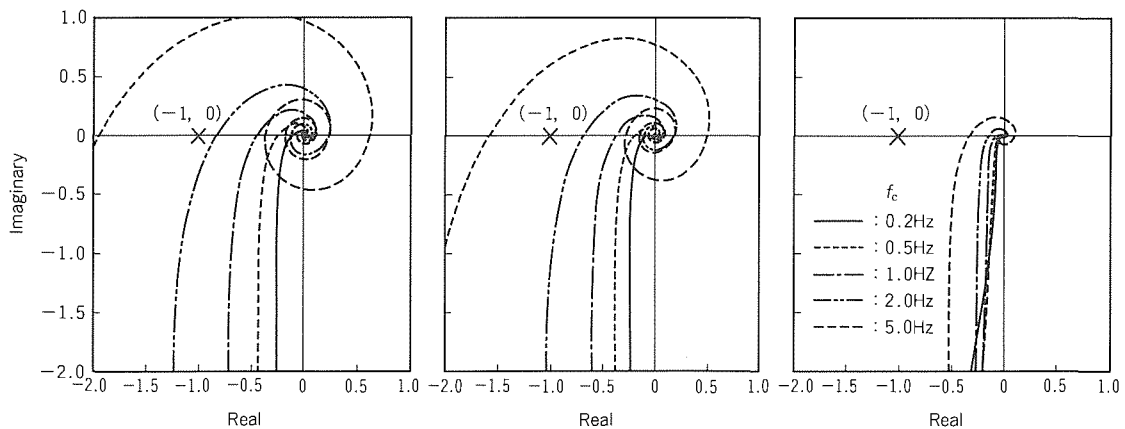


図7. 車両動特性パラメータ K/T -スロットル開度特性



(a) 60km/h, -3%路面勾配 $K/T = 1.31((\text{m/s})/\text{V/s})$
 (b) 80km/h, 0%路面勾配 $K/T = 0.78((\text{m/s})/\text{V/s})$
 (c) 100km/h, -3%路面勾配 $K/T = 0.26((\text{m/s})/\text{V/s})$

図6. 外乱オブザーバの開ループ伝達関数

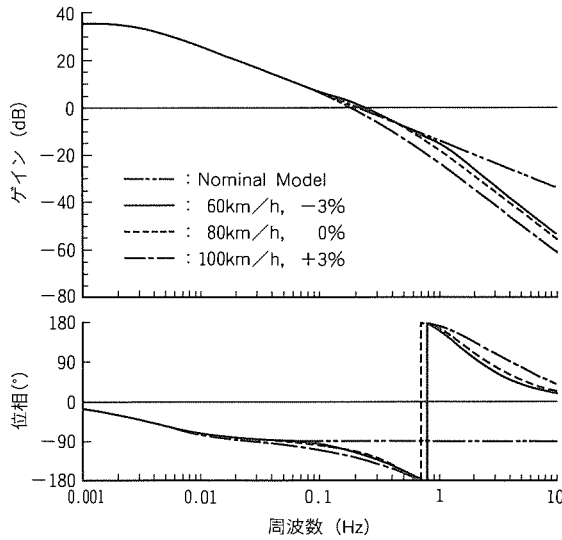


図8. 外乱オブザーバによる補償後の制御対象車両の周波数特性

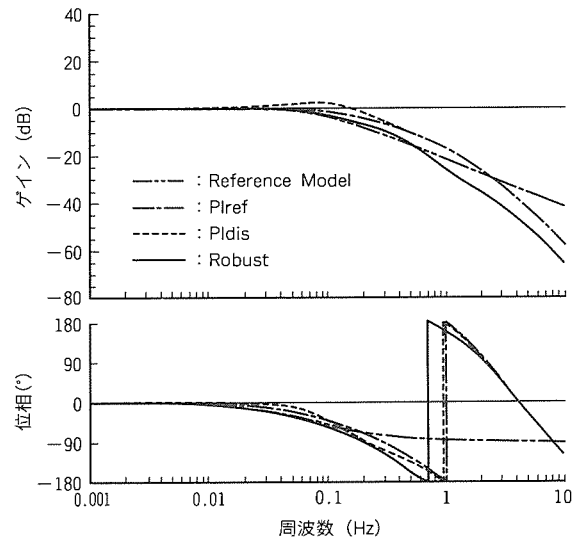


図9. 目標値応答周波数特性の比較 (目標車速から実車速への伝達関数)

4.4 目標値応答特性の設計

目標値応答特性は、希望する目標値応答特性 G_{ry} から設定することができる。ここでは、次に示す一次遅れモデルを用いた。

$$G_{ry}(s) = \frac{1}{T_r \cdot s + 1} \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここで、

T_r : 時定数 (s)

時定数 T_r の設定において、 G_{ry} の周波数帯域が外乱オブザーバの周波数帯域を超えないように設定しなければならない。なぜなら、車両の動特性は、外乱オブザーバの周波数帯域においてのみ、ノミナル車両モデルと一致するように補償されているからである。ここでは、乗り心地を考慮して、 $T_r = 2.0$ 秒に設定した。

今回開発の制御系の性能を評価するため、上記目標値応答を得られるPI制御 (PIref) と今回の制御系とほぼ同様な外乱応答を得られるPI制御 (PIDis) を設計し、各々の性能と今回の制御系との性能を比較した。以下に設定ゲインを示す。

目標値応答重視で設計したPI制御 (PIref)

K_p : 比例ゲイン = 1.0 (V/(m/s))

K_i : 積分ゲイン = 0.02 (V/(m/s)/s)

外乱応答重視で設計したPI制御 (PIDis)

K_p : 比例ゲイン = 1.0 (V/(m/s))

K_i : 積分ゲイン = 0.4 (V/(m/s)/s)

上記三つの制御系の目標値応答周波数特性と外乱応答周波数特性を比較する (走行条件は、車速 80 km/h, 勾配 0%)。図9に示す目標値応答周波数特性においては、今回の制御系 (Robustで示す。) と目標値応答を重視して設計した制御系 (PIref) は、希望する目標値応答特性 G_{ry} (図中、Reference Modelで示す。) によく一致しているのに対し

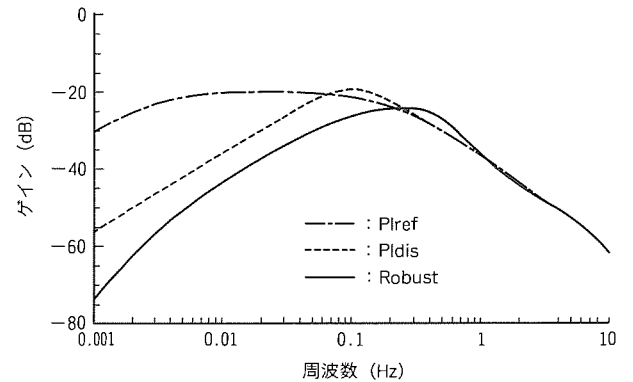


図10. 外乱応答周波数特性の比較 (路面勾配変化から車速への影響)

て、外乱応答を重視して設計した制御系 (PIDis) では、0.1 Hz付近において、ゲインのピークが見られる。

図10に示す外乱応答周波数特性においては、今回開発のこの制御系 (Robustで示す。) と外乱応答を重視して設計した制御系 (PIDis) は、ほぼ同じ外乱抑制性能 (小さい方が性能が高い。) を示しているのに対して、目標値応答を重視して設計した制御系 (PIref) では0.001 Hz付近でこの制御系と比較すると、約40 dB外乱抑制性能が劣ることが分かる。目標値応答と外乱応答を合わせて考えると、この制御系は、目標値応答を重視して設計した制御系と外乱応答を重視して設計した制御系の両方の良い所を兼ね備えた制御系となっている。

5. シミュレーション及び実車実験

設計した外乱オブザーバの性能を確認するために、シミュレーションとシャーシダイナモにおける実車実験を行った。目標車速応答と路面勾配変化による外乱応答について、4章

で設計した①外乱応答重視で設計したPI制御 (PI_{dis})、②目標値応答重視で設計したPI制御 (PI_{ref})、③今回の制御系、と比較した。

5.1 シミュレーションモデル

シミュレーションモデルでは、次のことを考慮した。

- スロットルアクチュエータの非線形性
- スロットル開度最大値の制限
- コントローラの計算時間

5.2 目標値応答

図11に、シミュレーションにおいて目標車速を80 km/hから85 km/hにステップ変化させたときの応答を示す(加速)。左から、外乱応答重視で設計したPI制御 (PI_{dis}) (図(a))、目標値応答重視で設計したPI制御 (PI_{ref}) (図(b))、今回開発の制御系 (図(c))の結果である。図中、3種類の線は路面勾配-3%、0%、+3%での結果を示す。な

お、80 km/hにおいて、制御対象車両のパラメータ K/T (K :一次遅れゲイン, T :一次遅れ時定数 ((m/s)/V/s))は路面勾配+3%での0.33から路面勾配-3%での0.93まで、約3倍も変化する。

外乱応答重視で設計したPI制御 (PI_{dis}) では、目標値応答はいずれの路面勾配においても、オーバシュートを生じている。オーバシュートは、ドライバフィーリングの観点から許されない。これに対して、今回の制御系と目標値応答重視で設計したPI制御 (PI_{ref}) では、オーバシュートを生じていない。また、路面勾配+3%以外では設定した目標値応答が得られている。路面勾配+3%で設定した目標値応答が得られていないのは、路面勾配抵抗が大きく、スロットル開度が飽和するためである。

上記と同じ条件での実車実験結果を図12に示す。シミュレーション結果とよく一致した結果が得られており、車両の

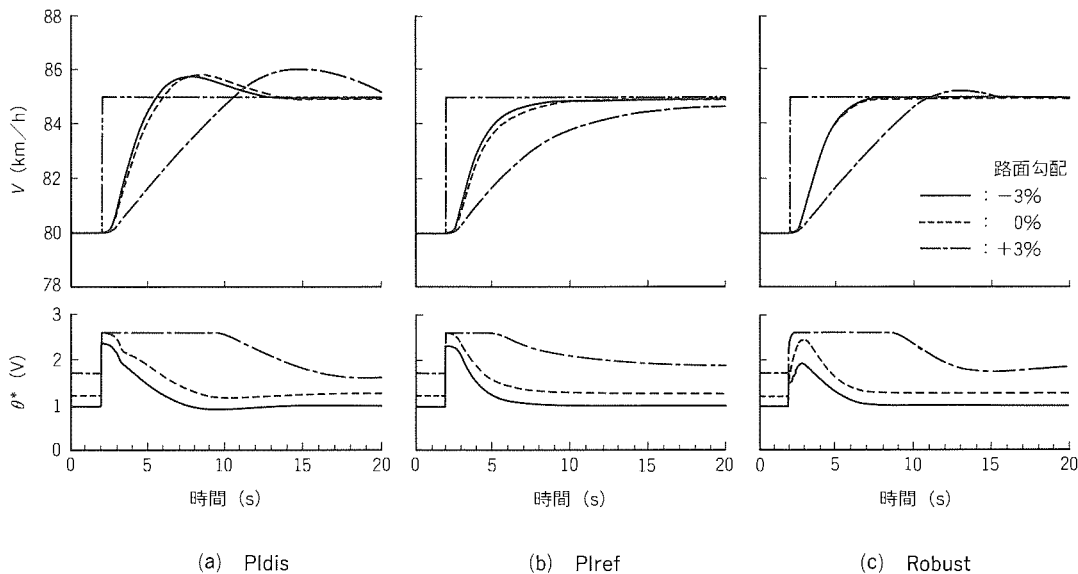


図11. シミュレーション結果 (目標車速を80km/hから85km/hにステップ変化させたときの目標値応答(加速))

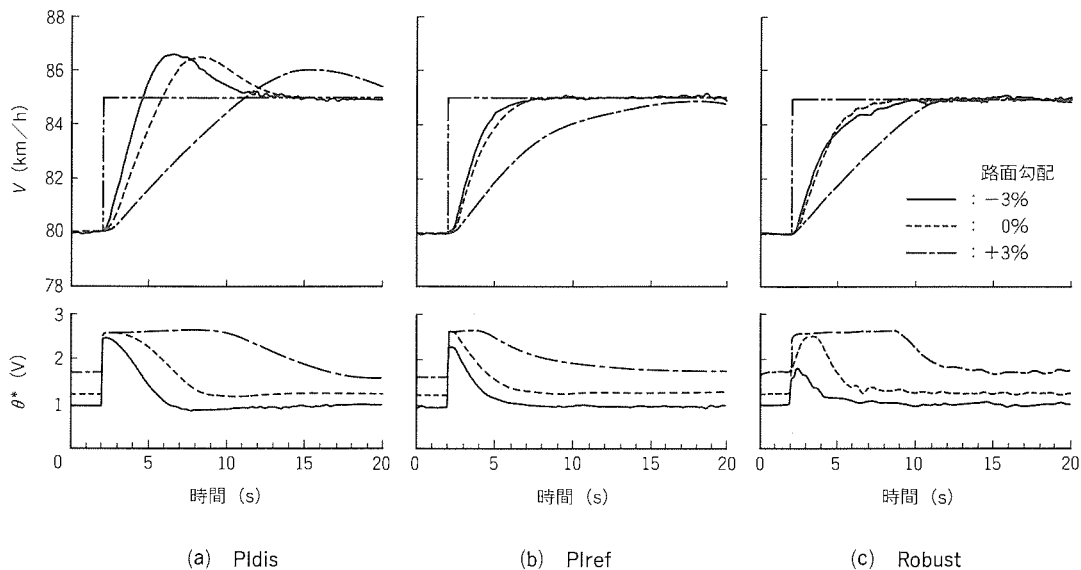


図12. 実車実験結果 (目標車速を80km/hから85km/hにステップ変化させたときの目標値応答(加速))

モデリング・外乱オブザーバの設計・シミュレーション条件が妥当であったことが検証された。

図13に、今回の制御系において、目標車速40, 60, 80, 100 km/hから+5 km/hにステップ変化(加速)させたときの応答を示す(路面勾配は0%)。図(a)はシミュレーション結果であり、図(b)は実車実験結果である。いずれの車速においても、設定した目標値応答が得られており、今回の制御系では40~100 km/hの範囲で、設定した目標値応答が得られることが確かめられた。

図14に、今回の制御系において、目標車速45, 65, 85, 105 km/hから-5 km/hだけステップ変化(減速)させたときの応答を示す(路面勾配は0%)。図(a)はシミュレーション結果であり、図(b)は実車実験結果である。減速におい

ても加速とほぼ同様の結果が得られた。

5.3 外乱応答

図15, 図16に路面勾配を-3%から3%にステップ変化させたときの外乱応答を示す。図15はシミュレーション結果であり、図16は実車実験結果である。今回の制御系(図(c))と外乱応答重視で設計したPI制御(PIdis)(図(a))では、勾配が変化してから5秒程度で設定車速に回復しており、十分な性能が得られているのに対し、目標値応答重視で設計したPI制御(PIref)(図(b))では、設定車速との偏差が20秒を経てもほとんど減少しておらず、一定車速を保持できていない。

つまり、制御偏差のみをコントローラに入力する1自由度PI制御では、希望する目標値応答を実現するように設計すると外乱応答が劣化してしまい、希望する外乱応答を実現するように設計すると希望する目標値応答が得られなくなってしまう。これに対して、今回の制御系は、制御偏差のフィードバックに加えて、外乱オブザーバを用いたフィードバック補償を行う2自由度制御を構成しているため、目標値応答と外乱応答を独立に設計でき、同時に性能を満たす設計が可能になっている。

6. むすび

車間距離制御では、①目標速度を維持するために、路面勾配変化等の外乱による影響を抑制する性能と、②安全な車間距離を維持するために、時々刻々変化する目標車速に追従する性能が必要である。

従来方式では両立が困難であったこれら二つの要求を満たすため、外乱オブザーバによる2自由度制御を適用し、シミュレーションと実験によって以下の結果が得られた。

- (1) 2自由度制御により、外乱抑制性能と目標車速追従性能を独立に設計することが可能となり、トライ&エラーによるマッチングの工数を大幅に減少させることができる。
- (2) 外乱オブザーバのフィルタ

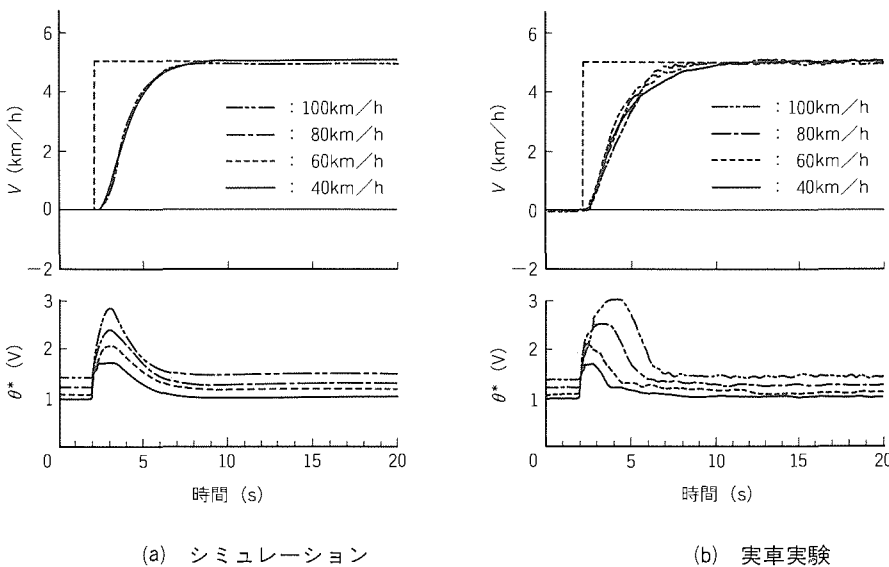


図13. 目標車速ステップ変化時の目標値応答 (40, 60, 80, 100km/hから+5km/hだけ加速)

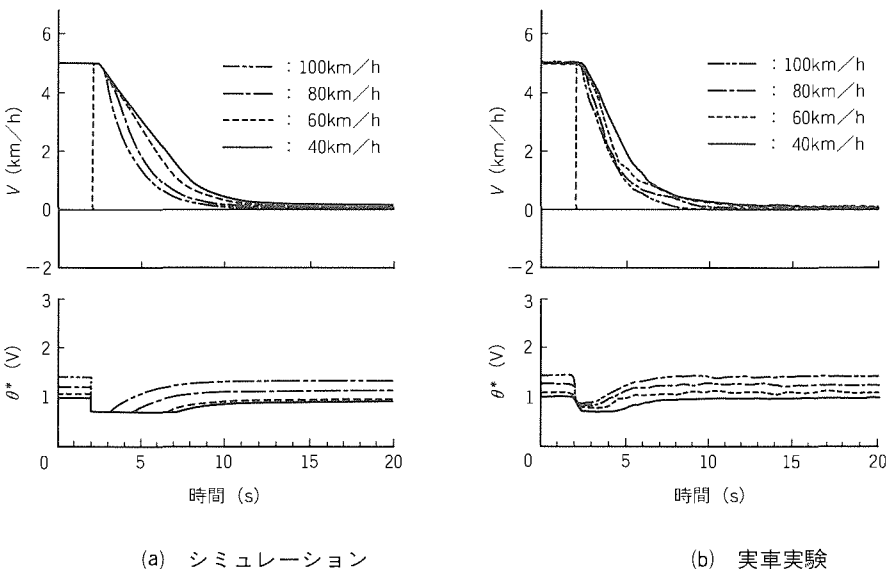


図14. 目標車速ステップ変化時の目標値応答 (45, 65, 85, 105km/hから-5km/hだけ減速)

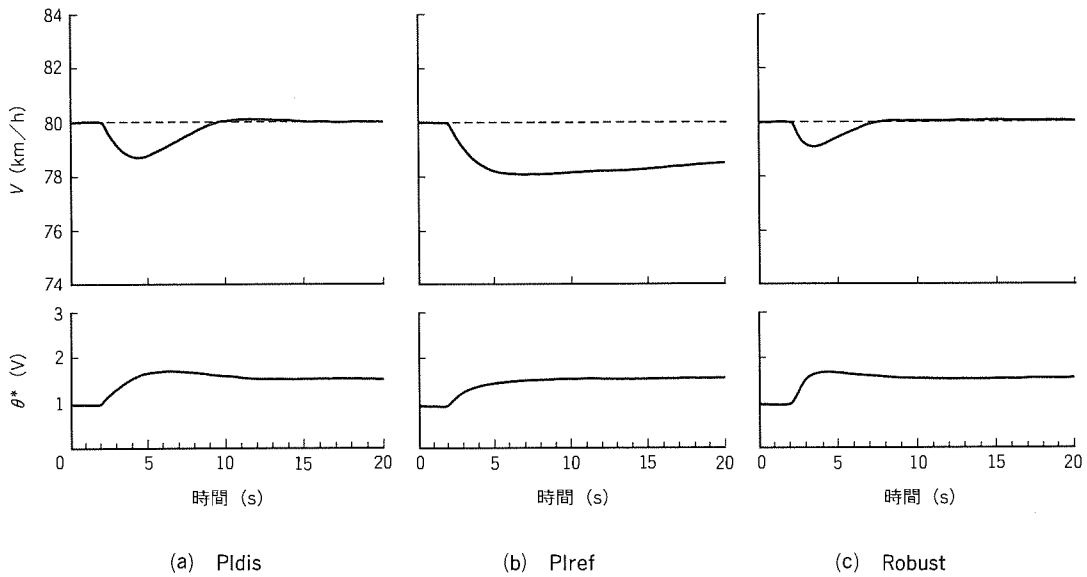


図15. 外乱応答のシミュレーション結果 (路面勾配を-3%から+3%にステップ変化)

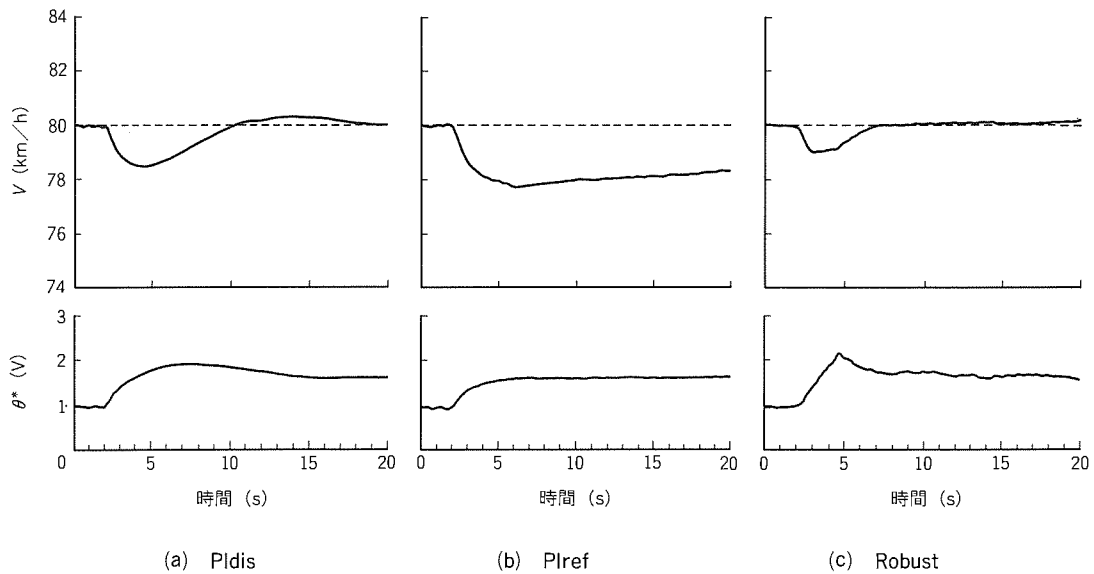


図16. 外乱応答の実車実験結果 (路面勾配を-3%から+3%にステップ変化)

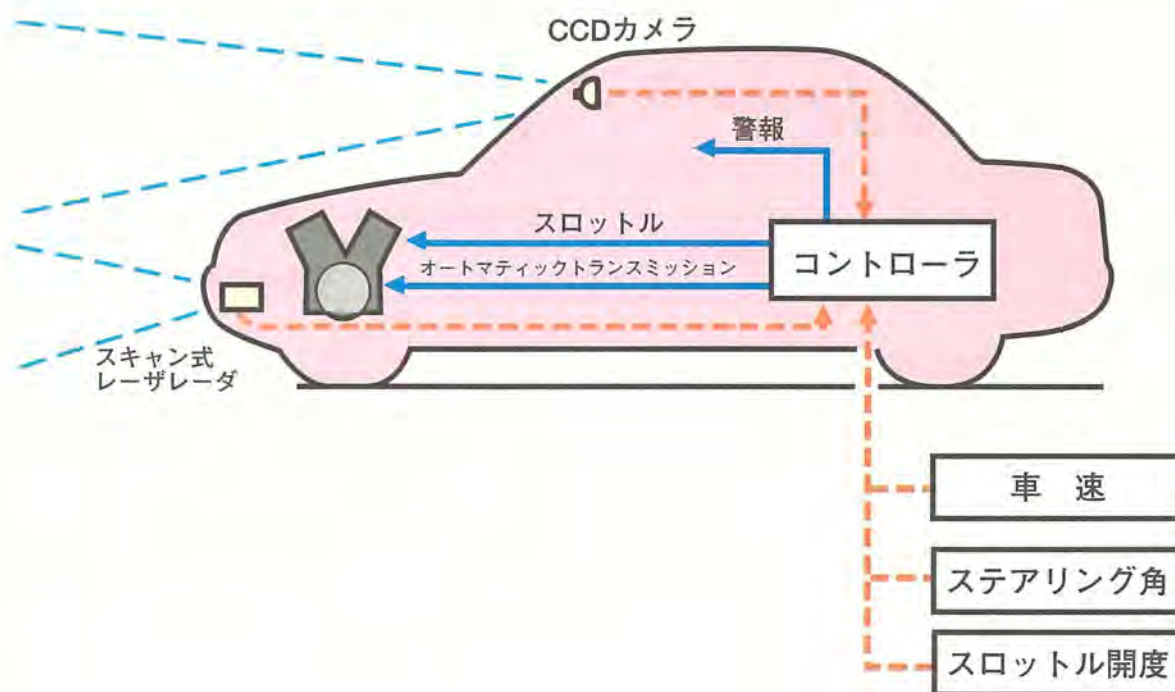
時定数のスケジューリングにより，通常の運転領域 (車速 40 ~ 100 km/h，路面勾配-3 ~ +3%) において，目標車速追従性能と外乱抑制性能の両立が可能になった。

参考文献

- (1) Inoue, N., Nishida, M., Washino, S.: A Robust Cruise Control System using the Disturbance Observer, SAE, 930771 (1993)
- (2) 大西公平: メカトロニクスにおける新しいサーボ技術, 電学論D, **107**, No.1, 83 (1987)
- (3) Umeno, T., Hori, Y.: Robust DC Servosystem Design based on the Parameterization of the Two Degrees of Freedom Control Systems, Proc. IEEE IECON'89, **2**, 313 ~ 318 (1989)
- (4) Umeno, T., Hori, Y.: Robust Speed Control of DC Servomotors using Modern Two Degrees of Freedom Controller Design, IEEE Transaction on Industrial Electronics, **38**, No.5, 363 ~ 368 (1991)
- (5) 須田信英ほか: PID制御, 朝倉書店 (1992)

車間距離制御技術

堤 和道* 岡村茂一*
 赤須雅平* 串崎弘充*
 池淵和宏* 西田 稔**



走行環境の認識

スキャン式レーザーレーダによって前方車までの車間距離を測定し、CCDカメラでとら(捉)えた前方映像を画像処理することにより、自車レーンを検出する。

近年、電子技術の飛躍的進歩を背景として、自動車を知能化することによって交通事故を未然に防止する予防安全技術への関心が高まっており、ドライバーに快適な運転環境を提供するとともに、車両の安全に貢献する運転支援技術の提供が望まれている。この実現に当たっては、走行環境認識技術・総合判断技術・車両制御技術が必要となるが、インフラストラクチャに頼らない自動車単独で実現し得る走行環境認識技術としては、アクティブ方式のレーザーレーダ、パッシブ方式の画像処理によるものが主流である。本稿では、このレーザーレーダ技術と画像処理技術とを併用することによって実現した車間距離制御技術について述べる。

車間距離制御技術は、先行車との車間距離を自動的に一定に保つ技術であって、高速道路等で定速走行制御作動中に、先行車との距離が近づきすぎないように駆動系を制御する。

この技術による装置においては、スキャン式レーザーレーダによって前方車までの車間距離を測定し、CCDカメラで撮影した前方映像を画像処理することにより、自車レーンを検出し、これら走行環境情報と、自車速、ハンドル操作角等の車両情報とを総合的に判断して、エンジンの出力調整やトランスミッションの制御を行っている。

1. ま え が き

ドライバに快適な運転環境を提供するとともに、車両の安全に貢献する運転支援技術の提供が望まれている。これを実現する走行環境認識技術としては、アクティブ方式のレーザレーダとパッシブ方式の画像処理によるものが主流であるが、本稿ではこの両者を併用することによって実現した車間距離制御技術について述べる。

2. システムの構成

このシステムは、前方の車両や道路状況を検出するスキャン式レーザレーダ (L/R)、CCDカメラ、自車の運転状態を検出する各種センサ (車速、ステアリング操作角、スロットル開度)、制御の中核となるコントローラ、エンジンの出力を調整するスロットルアクチュエータ、及びオートマチックトランスミッション (AT)、警報を発する警報部によって構成されている。

3. レーザレーダヘッドの構成と動作

レーザレーダヘッドの構成を図1に示す。コントローラからの制御信号を受け、レーザレーダヘッド内のCPU (演算

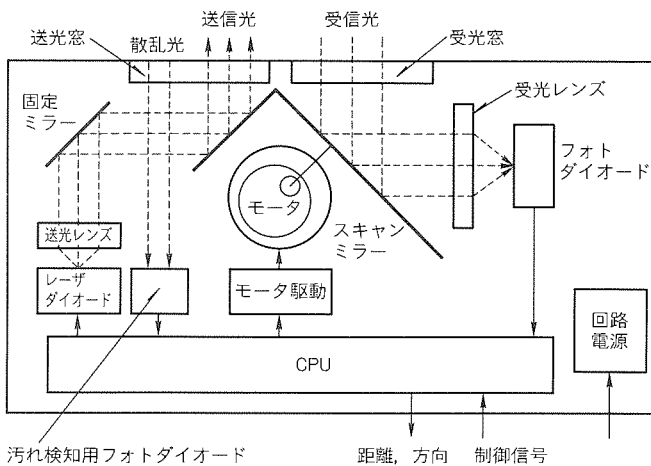


図1. レーザレーダヘッドの構成



図2. 自然環境模擬装置

回路)は、モータを回転させカムリンク機構でスキャンミラーを揺動させる。レーザダイオードから発光されたレーザ光を固定ミラーを介してスキャンミラーに向けて発光することで、縦長のビームを前方に走査する。フォトダイオードでは、先行車後部のリフレクタで反射されて受光レンズで集光したレーザ光を受光する。CPUは、発光から受光までの時間から距離を算出し、走査方向とともに距離データをコントローラに送信する。

レーザレーダによる距離測定では、その測定原理から、前面ガラスの汚れ、雨、霧、雨天時の先行車による水しぶきなどの影響によって測定性能が低下することがある。前面ガラスの汚れに対しては、発光部に設けた汚れ検知センサからの出力を基に、CPUで汚れによる測定性能の劣化を検知している。また、雨、霧、水しぶきに関しては、図2に示す自然環境模擬装置を用いて測距性能への影響を評価した。

4. 車両検出アルゴリズム

このシステムでは、以下のようにしてレーザレーダの距離検出データから先行車両候補を抽出している。

レーザレーダが検出した80方向の距離データ (図3の■印) から、同一物体の検出データと考えられるデータをまとめてグループ (図3の■で囲んだ範囲) を作る。こうして得られた検出データのグループは、車両後部に装着されているリフレクタや、大型トラックの反射板、又は路肩のデリニエータや看板に相当するものである。

レーザレーダの測距のたびに上記グループ化処理を行い、

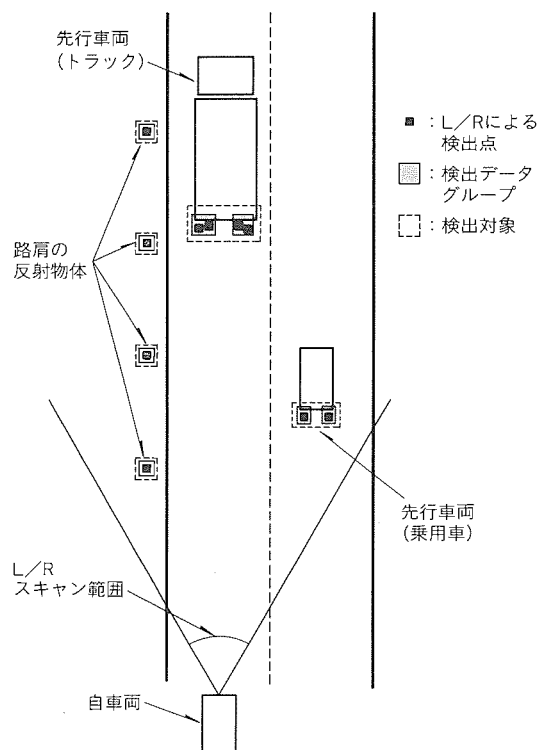


図3. 車両の検出

それぞれのグループに対して位置や動きが類似しているグループを更にまとめあげる(図3の[]で囲んだ部分)。このようにしてまとめあげたものは、車両又は路肩の反射物体に相当するものとなる。

次に、このようにしてレーザレーダ検出データから抽出したもののなかから、自車両の進行方向に存在する可能性のあるものを、ステアリングの操作量に応じて、車両候補として複数選択する。

さらに、後述の画像処理によって道路上の白線位置から推定した自車レーンと、上記レーザレーダ検出データから抽出した車両候補の位置を比較する。自車走行レーンの中にあるかつ最も距離の近い車両候補を車間距離制御の対象となる先行車両と特定し、その距離を車間距離とする。

5. 画像処理によるレーン検出

CCDカメラで前方路上を撮影し、得られた映像信号を処理して自車レーンを検出する。しかしながら、自車レーン端には常に鮮明な白線があるという保証はなく、実際の道路では白線の汚れ・かすれなどが見られることが多く、また、場合によっては白線が存在しない例もある。したがって、このシステムでは白い線を積極的に検出することはせず、図4に示すように、カメラから得られた映像から輪郭線画像を求め、この輪郭線画像を処理して自車レーンの端の境界線を検出するようにしている。

この境界線の検出に当たっては、前方路上映像の次の特徴を利用している。

- 走行レーンの端には何らかの境界線がある。
- この境界線は、少なくとも所定速度以上で走行できる

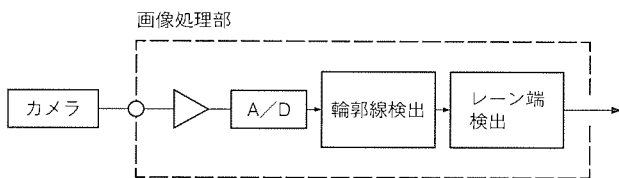


図4. 画像処理部の構成



図5. 白線検出例

道路においては、その位置が時間的に安定している。

- 走行レーンの幅は、通常、所定値の範囲内である。

以上の特徴を利用して左右各レーン端の境界線を求め、この境界線によって囲まれた領域を自車レーンとして検出している。図5に検出例を示す。

6. アクチュエータの構成と動作

スロットルアクチュエータは、図6に示すように、モータで駆動されるバキュームポンプ、2個のソレノイドバルブ、負圧式アクチュエータで構成される。

バキュームポンプによって発生された負圧をアクチュエータの負圧室に供給し、この負圧でモータと2個のソレノイドバルブをオン-オフ制御することにより、調節してスロットルの開度制御を行う。表1にアクチュエータの動作モードを示す。

7. 車間距離制御

このシステムでは、車両検出アルゴリズムによって検出した車両候補のうち、画像処理で求めた自車レーン内で最も近いものを先行車とし、その先行車に近づきすぎないように車間距離を制御している。次に場面ごとの制御について述べる。

先行車がない場合は、従来の定速走行装置として動作する。すなわち、ドライバの設定した車速になるようにスロットルを制御する。また、スイッチ操作による加減速も可能である。

先行車に接近する場合は、車速から目標となる車間距離を求め、車間距離がその値で安定するように、スロットルとトランスミッションの変速段を制御する。制御の開始は、車速

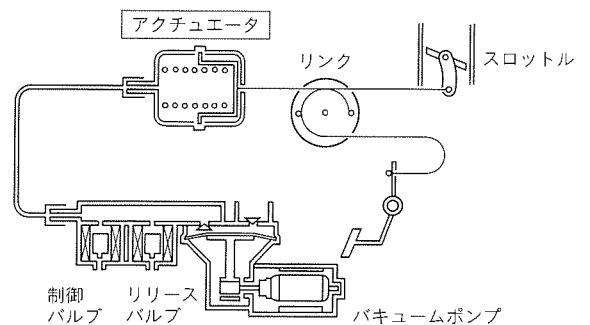


図6. アクチュエータの構成

表1. アクチュエータの動作モード

動作モード	モータ	ソレノイドバルブ	
		制御	リリース
加速(PULL)	ON	ON	ON
保持(HOLD)	OFF	ON	ON
減速(RELEASE)	OFF	OFF	ON
解除(CANCEL)	OFF	OFF	OFF

ON：通電 OFF：非通電

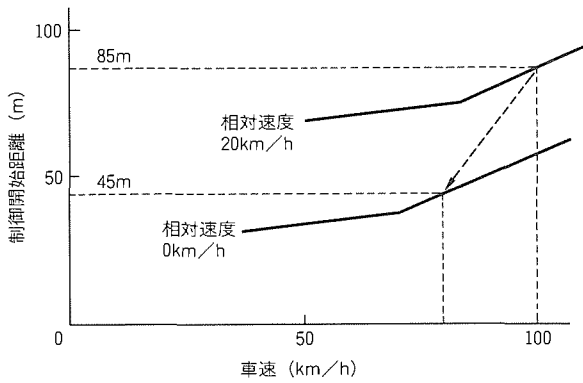


図7. 制御の開始

と相対速度によって決まる。例えば、車速 100 km/h で相対速度 20 km/h の車両に接近する場合、車間距離約 85 m でスロットル制御を開始し、減速し始める。車間距離が約 45 m になるまで減速し、以降、車速 80 km/h で車間距離を保つように制御する(図7)。また、相対速度が非常に大きくてブレーキ操作が必要な場合には、スロットルを制御して減速するとともに、警報を発してドライバーに注意を呼び掛ける。その後、先行車がいなくなった場合には、元々ドライバーが設定していた車速まで復帰し、定速で走行する(図8)。

以上述べたように、車間距離制御のソフトウェアを、従来の定速走行装置の機能を損なうことなく新たな車間距離制御機能を付加するような構成としたので、これまでの定速走行

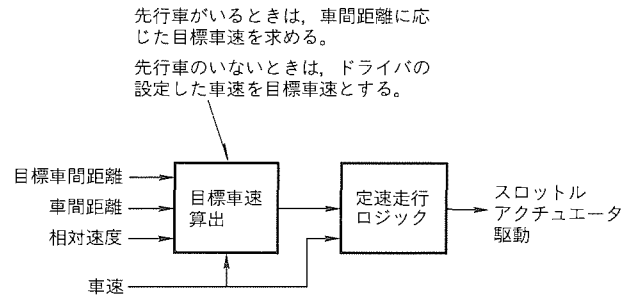


図8. 車速制御

装置と比較して違和感がなく、従来のユーザが受け入れやすい装置とすることができた。

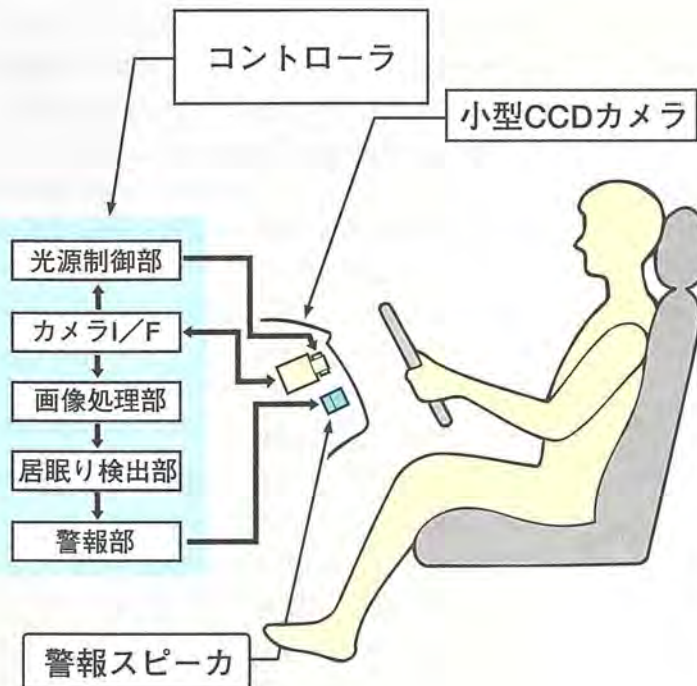
8. むすび

アクティブ方式のスキャン式レーザーレーダとパッシブ方式の画像処理とを併用することにより、前方の走行環境を認識する技術を実現した。これによって得られた環境情報と、自車速、ステアリング操作角等の車両情報とを総合的に判断して、駆動系を構成するエンジンのスロットル及びトランスミッションの変速段を制御することにより、先行車との車間距離を一定に保つ車間距離制御技術を実現した。

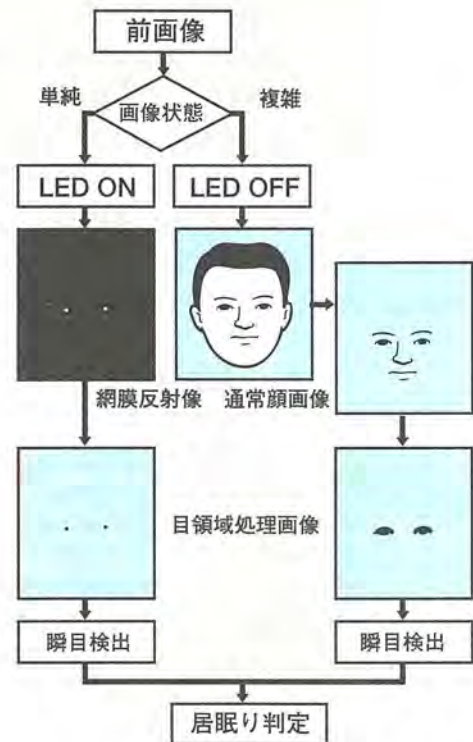
今後は、制動系をも併せて制御して制御性を向上することが望まれるが、その実現のために、環境認識技術の信頼性を向上させていきたい。

居眠り検出技術

小河賢二* 西田 稔**
 鈴木尊善* 下谷光生**
 末永伸正* 佐竹敏英**



(a)居眠り検出装置の構成



(b)検出アルゴリズムの概要

居眠り検出装置の構成と概略アルゴリズム

インストールメントパネルに設置したCCDカメラによって撮像したドライバの顔画像を処理して、まばたきを検出する。検出したまばたきのパターン変化によってドライバの居眠りを検出して音声で警報する。

ドライバの居眠りによる事故は、ドライバが何の回避操作も行わないまま事故に突入するため、極めて重大な事故に直結しやすい。このような事故を未然に防止するために、居眠り検出装置の開発を行った。

ドライブシミュレータを用いて、ドライバのまばたきと覚せい(醒)度の関係を解析し、次の覚醒度推定アルゴリズムを構築した。

$$\text{覚醒度 } \alpha = \frac{\text{長時間閉眼瞬目回数}}{\text{総瞬目回数}}$$

覚醒度 α が所定値以上のときには、覚醒度低下状態と判断する。

開発した装置は、車載条件を考慮した以下の特長を持っている。

- (1) 昼間は、顔画像を特殊な画像フィルタを用いて2値化することにより、ドライバの顔の上の陰の影響を低減する。
- (2) 夜間は、網膜反射像を利用することにより、低照度のLEDでも精度良くまばたきを検出する。

今後、製作した居眠り検出装置を用いてより多くの被験者で覚醒度推定の検証実験を行うとともに、ドライバの覚醒度を維持する覚醒手法の開発も進めて装置の完成度を高めていく予定である。

1. まえがき

近年、自動車に対する安全性の要求の高まりとともに、エアバッグやABS (Anti-skid Brake System) が標準装備される車はかなり多くなっている。これらの装備により、事故時の人身の保護や、急ブレーキ時の自動車の操縦性の確保等、安全性の向上には目を見張るものがある。しかしながら、居眠りによる事故は、ドライバが何の回避操作も行わないまま事故に突入するため、前述の装備を備えていたとしても、極めて重大な事故になりやすい。このような事故を未然に防止するには、ドライバの居眠りを検出し、警報などの事故回避のための操作を行う装置の開発が必要である。

居眠りを検出する方式は、表1に示すように、脳波や眼電位などの生体信号から検出する方法や、操舵状態や自動車の蛇行から検出する方法等⁽¹⁾⁽²⁾が提案されており、それぞれ一長一短がある。なかでも画像によってまばたきを検出して

表1. 居眠り検出方式

検出方法		特長	
運転状態	操だ(舵)状態	舵角センサ以外の特別な装置不用 ドライバに非接触	
	白線検出 (画像処理)	白線検出のほかの用途使用による共有化 ドライバに非接触	
生理指標	接触式	脈拍・心拍	緊張、興奮状態等の検出可能性大
		皮膚電位水準	居眠りでの覚醒度低下と相関が良い
	非接触式	まばたき	居眠りとの関係が直接的
		まばたき	居眠りとの関係が直接的 ドライバに非接触

覚せい(醒)度を推定する方式⁽³⁾⁽⁴⁾は、居眠りを非接触でかつ直接的に検出できる可能性が高いので、この方式を用いて居眠り検出装置の開発を行った。本稿では、まばたきによる覚醒度推定の方式、まばたきの検出方式、及び製作した居眠り検出装置について述べる。

2. まばたきによる覚醒度推定方式⁽⁵⁾⁽⁶⁾

2.1 覚醒低下実験

まばたきと覚醒度の関係を解析するために、図1に示すようなドライブシミュレータを用いて、覚醒低下実験を行った。ドライブシミュレータの前方にはスクリーンを配置して、夜間の高速道路を走行中の前方画像を映し、実車走行の臨場感が得られるようにしている。被験者には下記の課題を課すことによって実車走行時と同等の覚醒低下状態を実現させた。

(1) 先行車追従課題

スクリーンに映し出された先行車に、ステアリングとアクセルでコントロールされるカーソルを常時合わせる。

(2) 反応時間課題

スクリーン上に赤い四角形(視覚刺激)が表示されると、手元スイッチを押す。

実験では、被験者が覚醒低下状態に至るまでのまばたきの動作をVTRで記録するとともに、脳波、垂直水平眼球運動等の生体信号を記録した。また、被験者自身の主観評価として眠気を“少し

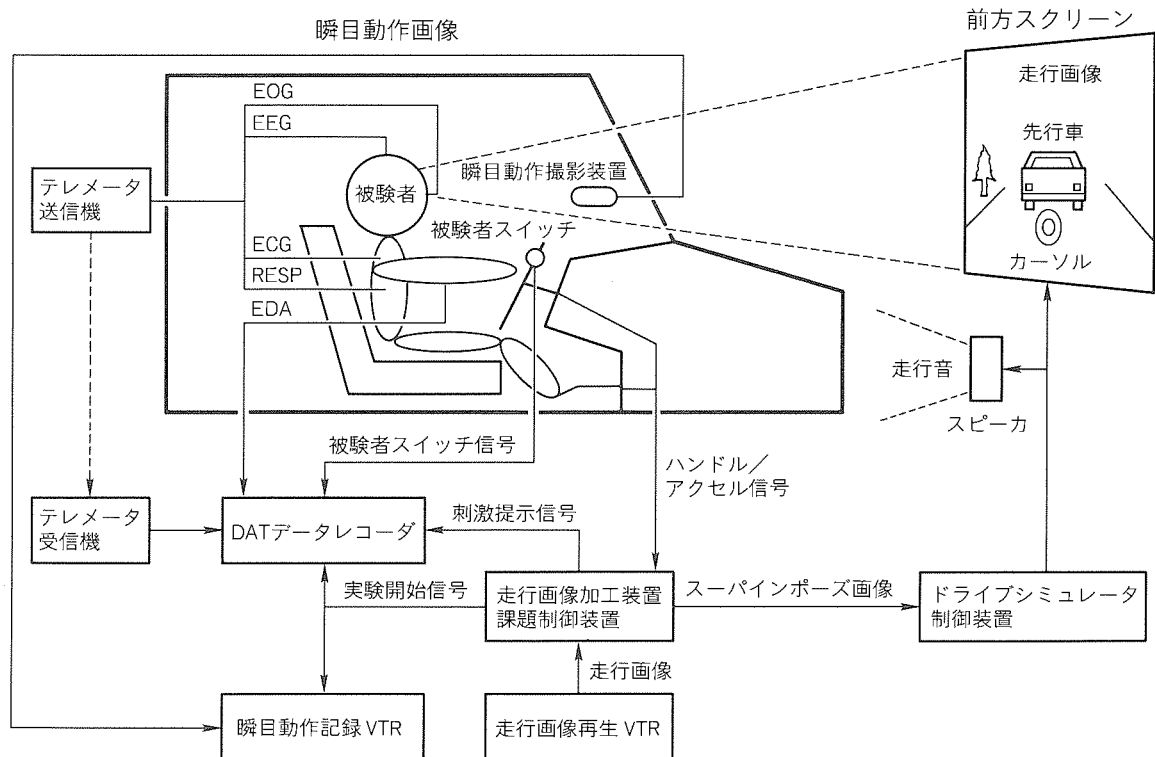


図1. 覚醒低下実験系の構成

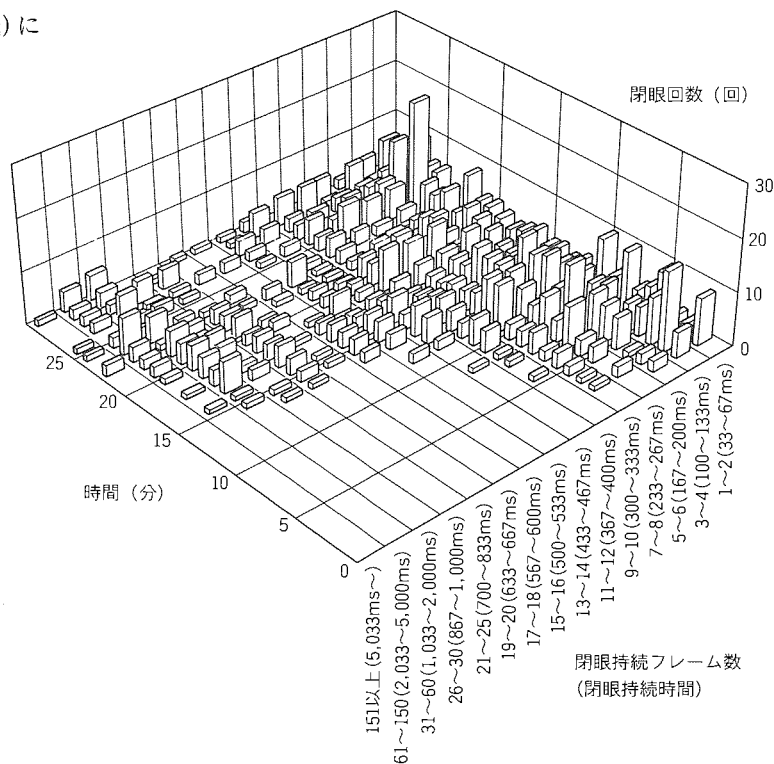
眠い”“眠い”“かなり眠い”の3段階で、手元のスイッチで申告させた。また、(2)の課題において、視覚刺激を表示してからスイッチを押すまでの時間を反応時間として記録した。

覚醒度 $\alpha = \text{長時間閉眼瞬目回数} / \text{総瞬目回数} \dots (1)$
 覚醒度 α が所定閾値以上のときには、覚醒低下状態と判断する。

2.2 実験結果と分析

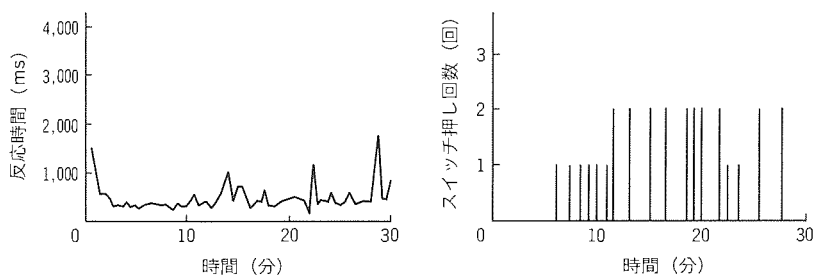
被験者10名(男性8名, 女性2名, 年齢21歳~59歳)によって上記覚醒低下実験を実施した。なお, この実験では10名中9名が覚醒低下をした。録画した顔画像から, まばたきの閉眼持続時間の時間変化について分析した。

図2に覚醒低下を示した被験者の典型的な分析結果例を示す。図には, 1分ごとの閉眼持続時間別ヒストグラム, 反応時間, 主観評価の時系列データを示している。図に示すように, 被験者は眠気を感じ始めたころから, 実験開始当時よりも長い閉眼持続時間を持つまばたき(以下“長時間閉眼瞬目”という。)が増加し, 更に覚醒度が低下すると反応時間が長くなり, 2,000 ms以上の反応時間も発生し始める。表2に被験者10名の実験データの分析結果をまとめた。以上から, まばたきと覚醒低下との関係について次のことが分かった。



(a) 閉眼持続時間別ヒストグラムの時間変化パターン

- (1) 被験者によって覚醒時のまばたきの平均的な閉眼持続時間は異なる。
- (2) 長時間閉眼瞬目(例えば500 ms以上の閉眼)は, 被験者が“少し眠い”や“眠い”と主観評価したところに発生する。
- (3) 全く眠くならなかった被験者では, 500 ms以上の閉眼を伴うまばたきが発生しなかった。
- (4) 反応時間が2,000 ms以上になるまでには, 500 ms以上の閉眼を伴うまばたきが発生した。



(b) 反応時間

(c) 主観評価

2.3 覚醒度推定アルゴリズム

覚醒時のまばたきの平均的な閉眼持続時間に個人差がある点と, 覚醒低下に従って閉眼持続時間が長いまばたきの割合が増加することから, 以下の覚醒度推定アルゴリズムを構築した。

(1) 覚醒状態での閉眼持続時間の学習

眠くない状態と推定されるときまばたきの閉眼持続時間を統計分析して, 長時間閉眼瞬目と判断するための閉眼持続時間のいき(閾)値を設定する。

(2) 覚醒度推定式

一定時間ごとに, 式(1)によって計算される α を覚醒度として推定した。

図2. 被験者Jの分析結果

表2. 分析結果

被験者	閉眼持続時間		主観評価			反応時間	
	性別	年齢	500ms以上	“少し眠い”	“眠い”	“かなり眠い”	2,000ms以上
A	男性	21	10	11	13	33	22
B	男性	25	7	10	15	19	16
C	男性	29	10	9	12	なし	12
D	男性	37	9	5	9	13	12
E	男性	43	13	18	34	37	50
F	男性	44	未分析	8	12	18	44
G	男性	45	なし	なし	なし	なし	なし
H	男性	59	5	3	8	なし	12
I	女性	23	25	56	なし	なし	なし
J	女性	29	11	5	11	31	35

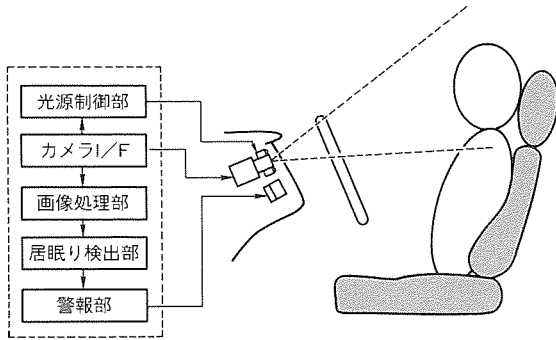


図3. 居眠り検出装置の構成

3. まばたき検出方式

式(1)によって覚醒度を推定するには、長時間閉眼瞬目の検出だけでなく、覚醒時の速いまばたきをも確実に検出することが要求される。また、車載用であることから、昼夜を問わずまばたきを検出することが必要である。

3.1 顔画像の撮像における問題点

運転中のドライバーの顔画像を撮像するために、図3に示すように、インストルメントパネル部に設置した小型のCCDカメラを用いる。このように車内で顔画像を撮像する上での問題点を下記に示す。

- (1) 昼間では、ドライバーの顔に太陽光が直射する場合があります。そのために、ドライバーの顔に車体の構造物（ピラー、サンバイザなど）の陰が生じ、目の周りの照度が頻繁に、かつ大きく変化する。
- (2) トンネル内や夜間などの暗い状態では、照明なしではドライバーを撮像できない。

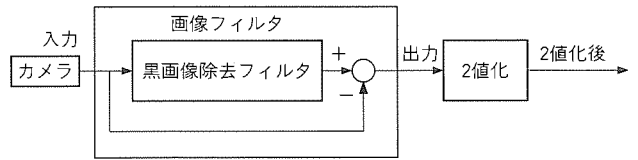
夜間の問題の解決方法は、ドライバーを幻惑しない照明として、近赤外光照明を用いる方法がある。しかし、近赤外光の照明の照度を上げて昼間の問題である陰を消去するには、光源をLEDで実現するとすれば、数十個のLEDが必要となる。装置の消費電力、ドライバーの目に対する安全性、照明にかかるコストを考慮して、明るい状態では、照明しない方法を採用した。

3.2 昼間(明るいとき)のまばたき検出方法

3.2.1 画像フィルタによる目領域の抽出

明るい状態においてドライバーの顔画像から精度良く目領域を抽出するために、特殊な画像フィルタを採用した。この画像フィルタは、まゆ(眉)・目・鼻孔など顔の縦方向の長さが短い黒領域を選択的に抽出するものである。その構成と動作について次に説明する。

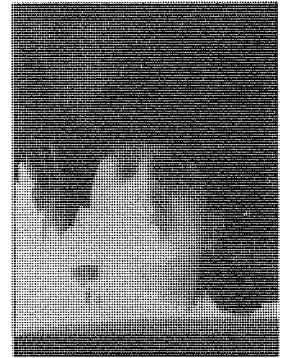
画像フィルタは、図4(a)に示すように、カメラで撮像された画像と黒領域除去フィルタ(縦方向の長さが短い黒領域を除去する。)通過後の画像の差を出力するように構成されている。例えば図(b)に示すような陰のある顔画像を黒領域除去フィルタに入力すると、縦方向が短い黒領域が除去され



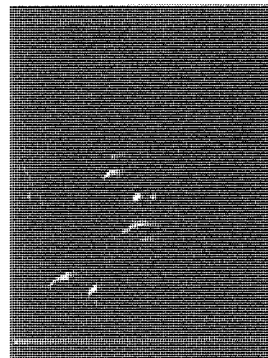
(a) 画像フィルタの構成



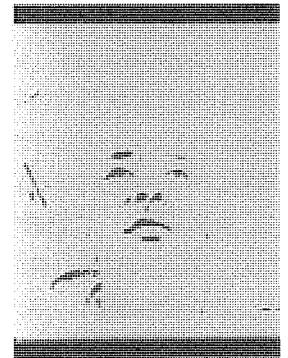
(b) 原画像



(c) 最小値フィルタの出力

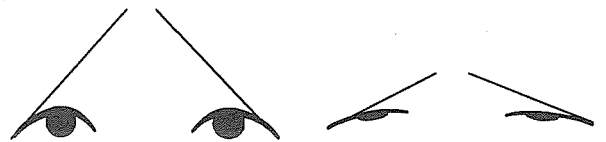


(d) 画像フィルタの出力



(e) 2値化画像

図4. 画像フィルタの動作



(a) 開眼時の目尻の傾き

(b) 閉眼時の目尻の傾き

図5. まばたき検出方法

るため、元の画像である図(b)から眉・目・鼻孔を取り去ったような画像図(c)が得られる。図(c)の画像から図(b)の画像を引き去ると、図(d)に示すような眉・目・鼻孔などが白領域として抽出される。さらに図(d)を2値化すると、図(e)のような眉・目・鼻孔などからなる2値画像が得られ、図(c)に見られるような陰の影響は全くなると同時に、髪の毛や背景などの不要な像の影響も除去される。

3.2.2 まばたき検出方法

2値化された目領域からまばたきを検出する方法として、目領域とみなされる連続画素数の、目の開閉に伴う変化を利用する方法が提案されている。しかし、この方法では、ドラ

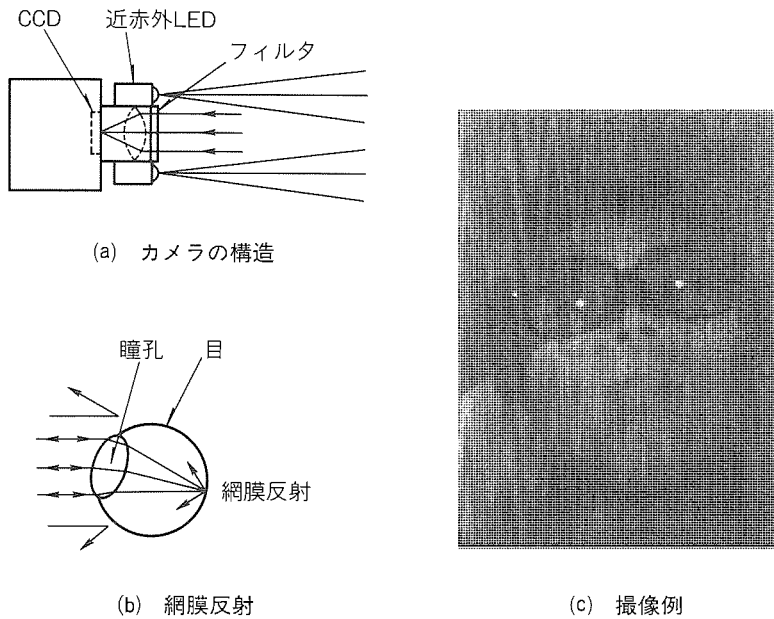


図6. 夜間の照明方法及びその撮像例

暗い状態では、網膜反射像といわれる現象を利用して、低照度でもまばたき検出ができる方法を採用した。この方法では、図6(a)に示すように、カメラレンズの光軸にLEDを近接させてドライバを照射し撮像する。この撮像方法では、図(b)に示すように、ドライバのどう(瞳)孔から入射した照明光が網膜で反射され、再度瞳孔から照明の方向に放射されるので、いわゆる網膜反射像が撮像できる。この撮像例を図(c)に示す。図(c)に示すように、ドライバの顔画像は薄暗く撮像されているが、瞳孔は明るく光っている。閉眼時には、まぶた(瞼)によって瞳孔が隠されるので明るい領域は観察されない。したがって、明るく光っている領域の有無を検出することにより、低照度のLEDでも十分に夜間のまばたきを検出できる。

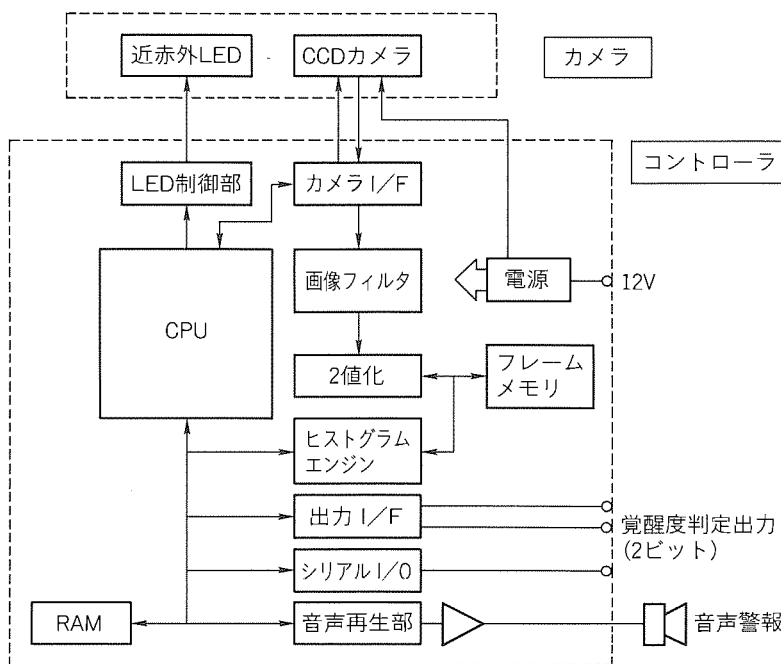


図7. ハードウェアの構成

イバの姿勢が変化したとき、ドライバとカメラ間の距離が変化すると目の開閉を正しく検出できないという問題がある。そこで我々は、目尻の傾きがドライバの姿勢の変化に余り影響を受けない点に注目して、目尻の傾きの変化からまばたきを検出する方法を考案して検討した。

図5(a)に示すように、開眼状態の目尻の傾きは、図(b)に示すような閉眼状態の目尻の傾きよりも急である。したがって、この目尻の傾きを計測することによってドライバとカメラ間の距離変化に強いまばたき検出が可能となる。

3.3 夜間(暗いとき)のまばたき検出方法

4. 居眠り検出装置の概要

上記のまばたき検出、覚醒度推定の処理をリアルタイムで実行でき、かつ車載可能なサイズで低コストの装置を開発した。図7は居眠り検出装置の構成を示すブロック図である。この装置では、画像の入力から2値化像をフレームメモリに保存する部分と、フレームメモリに保存された画像を処理する部分などを専用ハードウェア化することにより、リアルタイム(ビデオレート: 33ms周期)でのまばたき検出処理を実現した。覚醒度推定のアルゴリズムは、マイコンプログラムによって実現した。また、覚醒低下を検出した場合は、音声警報を出力するようにしている。

製作した装置を用いて実車でまばたき検出評価実験を行い、通常のみばたき(閉眼持続時間が2~3フレーム)から数秒にわたる長いみばたきまで検出できることを確認した。

5. むすび

ドライブシミュレータ上での覚醒低下実験により、覚醒低下とみばたきのパターン変化との関係を解析し、みばたきの個人差に対応できる覚醒低下検出アルゴリズムを開発した。また、車載条件を考慮した以下の特長を持つみばたき検出方式を開発した。

(1) 昼間は、顔画像を画像フィルタを用いて2値化することにより、ドライバの顔の上の陰の影響を低減する。

(2) 夜間は、網膜反射像を利用することにより、低照度のLEDでも精度良くまばたきを検出する。

実時間でまばたきを精度良く検出でき、かつ、低コストな居眠り検出装置を製作し、上記機能を実車で確認した。

今後、製作した居眠り検出装置を用いてより多くの被験者で覚醒度推定の検証実験を行うとともに、ドライバの覚醒度を維持する覚醒手法の開発も進めて、装置の完成度を高めていく予定である。

参考文献

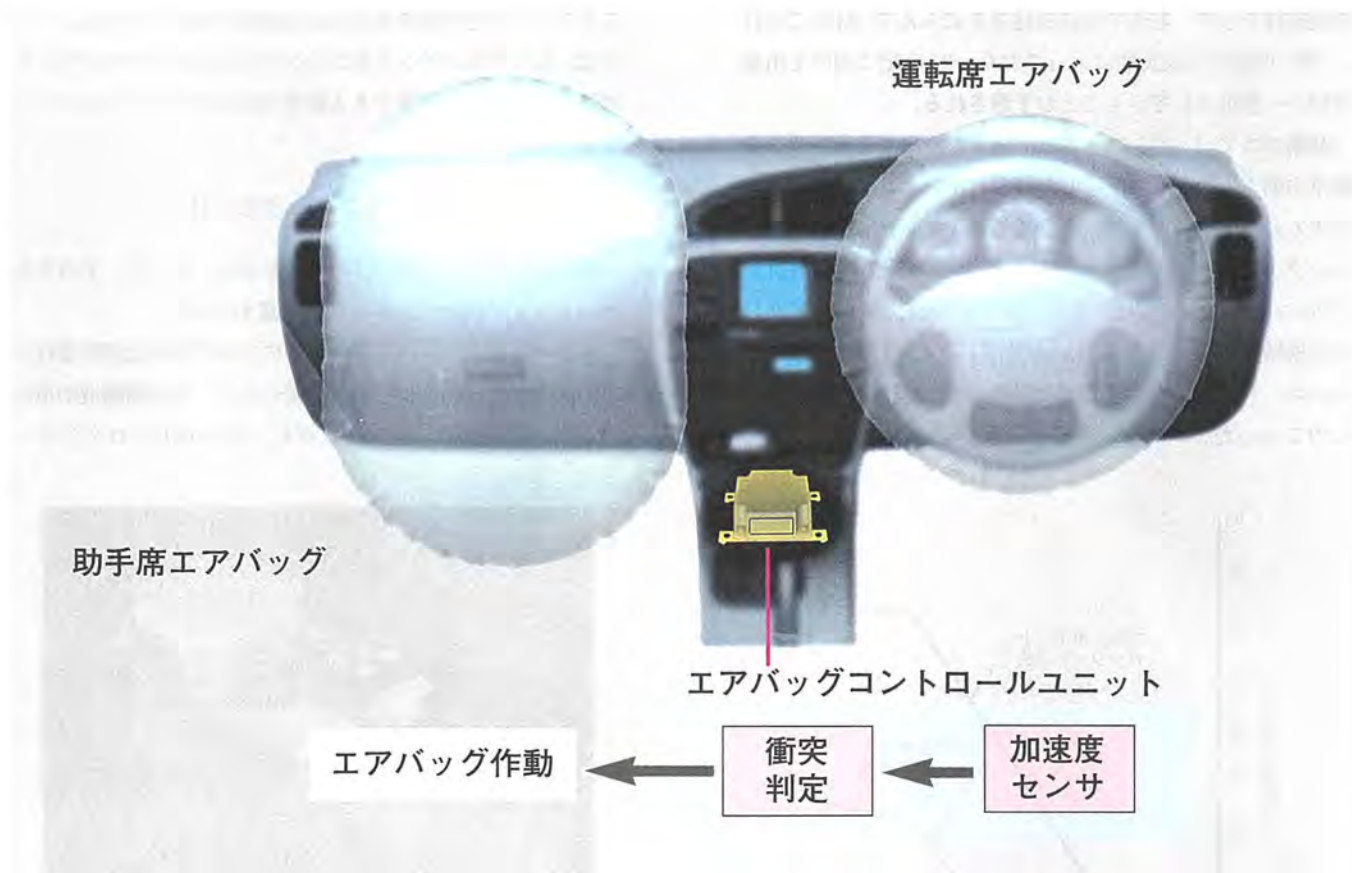
- (1) 山本恵一, 市川孝夫, 平田由紀江, 樋口伸一: 車両の蛇行と覚醒度の相関について, 自技会学術講演会前刷集, 941, 25~28 (1994-5)
- (2) 下浦 弘, 天目建二: ナビゲーションシステムを用いた

覚醒度低下検知アルゴリズムの開発, 自技会学術講演会前刷集, 951, 197~200 (1995-5)

- (3) 杉山和彦, 中野倫明, 山本 新, 石原利員, 藤井宙征, 阿久津英作: まばたきによる意識低下検知法, 自技会学術講演会前刷集, 951, 185~188 (1995-5)
- (4) 金田雅之, 上野裕史, 平松真知子, 田口 満, 月野正隆: 日産技報 No.34, 85~91 (1993-12)
- (5) 佐竹敏英, 下谷光生, 西田 稔, 寺下裕美: 覚醒低下評価手法の検討—画像による瞬目動作分析—, 第11回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, 225~230 (1995-10)
- (6) 寺下裕美, 佐竹敏英, 下谷光生, 西田 稔, 大須賀美恵子: 覚醒低下評価手法の検討—生理反応パターンからの検討—, 第11回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, 231~236 (1995-10)

エアバッグシステムの衝突判定アルゴリズム

古井孝志*
今城昭彦**



シングルポイントセンシング方式エアバッグシステム

車室内フロア中央に設置した1台のエアバッグコントロールユニットによって、車両の前後方向の加速度を検出して衝突を判定し、運転席と助手席に装着されたエアバッグを制御する。

初期のエアバッグシステムは、車両の数箇所に機械式の加速度センサ(Gセンサ)を配置し、衝突を検出していた。これに対して、Gセンサを内蔵する1台のコントロールユニットだけで衝突を検出し、エアバッグ展開可否を判断するエアバッグシステムが主流になってきた。

このコントロールユニット(C/U)は、車室内のフロア中央付近に設置されており、電子式のアナログGセンサ、マイクロコンピュータ、及びフェールセーフ用の機械式Gセンサが内蔵されている。マイクロコンピュータは、アナログGセンサからの加速度信号を取り込んで衝突判定を行い、その結果に基づいてエアバッグを駆動する。

衝突判定を行うアルゴリズムは、

- 主にバリア正面衝突の判別を行う処理
- 主に特殊形態衝突の判別を行う処理
- 悪路走行と衝突の判別を行う処理

の三つの処理を論理的に組み合わせることによって要求性能を満たすことのできるアルゴリズムとしている。

特殊形態衝突の判別には、特徴のある周波数成分を強調するためのバンドパスフィルタを用いている。また、5自由度の力学モデルを用いて衝突現象のシミュレーションを行った結果、トラック潜り込み等の衝突形態においては、塑性変形に伴う衝突が多数生じ、高い周波数の振動を励起するので、特徴的な周波数成分が現れることが分かった。

1. ま え が き

自動車の安全性確保に対する要求は、近年、急速に高まっている。北米では、運転席・助手席のエアバッグ装備が法制化によって標準装備となっている。国内においても、エアバッグは注目されてきており、自動車の広告にも最近しばしば登場する。図1に国内メーカーの助手席対応エアバッグの市場規模推移を示す。北米での法制化等をにらんで'93年ごろれい(黎)明期から成長期に入っており、21世紀に向けて市場規模が一層拡大していくことが予想される。

初期のエアバッグシステムは、衝突を検出するセンサを自動車の前方の数箇所に配置し、いずれかのセンサが衝突を検出するとエアバッグを作動させる方式(マルチポイントセンシング方式)が主流であった。この場合の衝突検出センサ(フロントGセンサ)は、重り、スプリング、接点などからなる機械式Gセンサであり、エアバッグC/U(コントロールユニット)は電源供給、故障診断などの機能をつかさどるものであった。エアバッグC/U及びGセンサの車体上の

配置を図2に示す。しかし、最近ではフロントGセンサ及びそのハーネスをなくし、エアバッグC/Uに衝突検出の機能を持たせたシステム(シングルポイントセンシング方式)が主流になってきた。

シングルポイントセンシング方式のエアバッグC/Uには、電子式のアナログGセンサを内蔵し、その出力をマイクロコンピュータに取り込んで衝突判定を行い、その結果によってエアバッグを作動させるという機能が備わっている。ここでは、シングルポイントセンシング方式のエアバッグC/Uの概要と、その主機能である衝突判定のアルゴリズムについて述べる。

2. エアバッグC/U

図3にエアバッグC/Uの外観を示す。そして、その主なハードウェア構成のブロック図を図4に示す。

エアバッグC/Uは車室内前方のフロア中央に固定される。車両前方が衝突によって衝撃を受けると、その衝撃波が車両のボデーを伝わり、エアバッグC/U内のアナログGセン

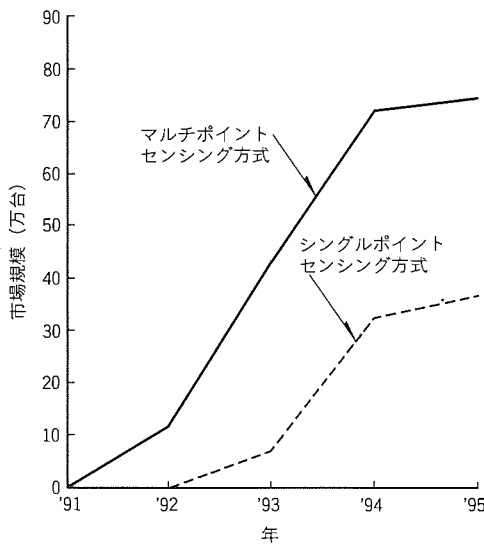


図1. エアバッグの市場規模推移⁽¹⁾

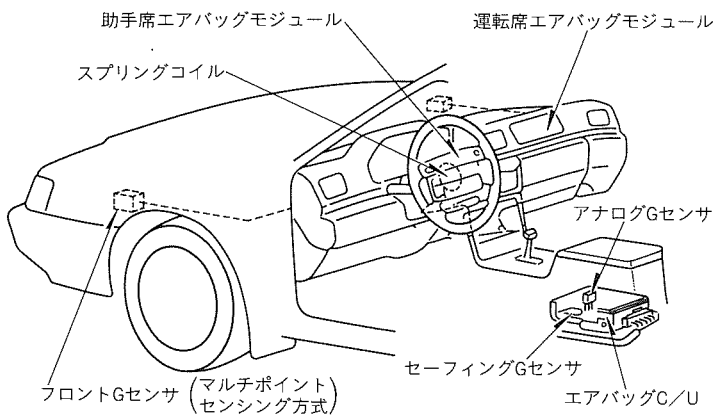


図2. エアバッグシステムの構成

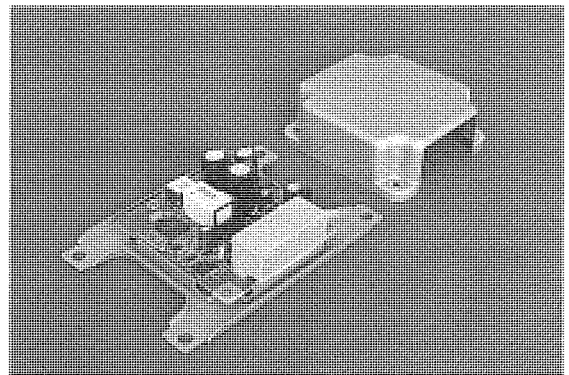


図3. エアバッグC/Uの外観

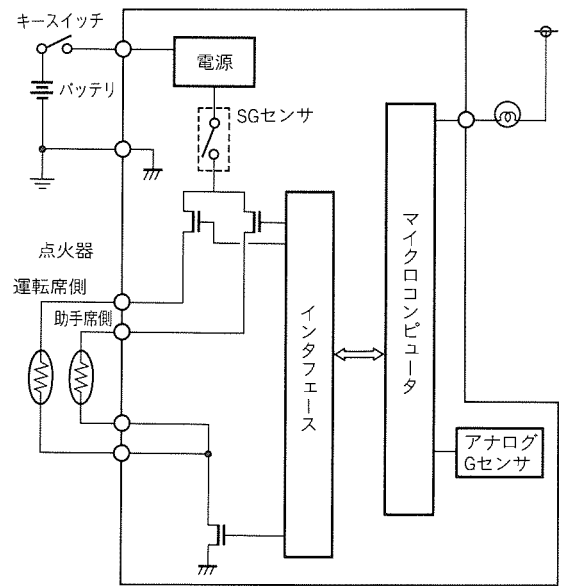


図4. エアバッグコントロールのブロック図

サ(検出軸は車両の前後方向, 出力の+側が減速方向)に加速度信号として現れる。その加速度信号をA/D変換してマイクロコンピュータが取り込み, あらかじめ定められた衝突判定アルゴリズムによって波形解析を行う。その結果でエアバッグを開くべきか否かを決定し, 開くべきと判断した場合には点火信号を出力し, トランジスタを駆動させてエアバッグを作動させる。

なお, エアバッグ駆動回路には直列にフェールセーフ用の機械式Gセンサも入っている。またマイクロコンピュータは, Gセンサやエアバッグ駆動回路や電源などの故障診断を行い, その結果をワーニングランプによってユーザーに知らせるといった機能も併せ持っている。

3. 衝突判定アルゴリズム

図5に示すように, 乗用車が固定壁に正面衝突したとき, 衝突速度にほぼ比例して車体の塑性変形量が増えている。また, 車体の損傷が大きいほど乗員に与える影響も大きいので, 基本的に衝突速度によって点火信号のオンオフ判定をすればよいと考えられる。

エアバッグC/Uの衝突判定アルゴリズムを, ブロック図で図6に示す。このアルゴリズムは, 衝突加速度の時間積分で衝突速度の変化量 ΔV を求め, ΔV がしきい値を超えるか否かで衝突判定することを基本とする。しかし, 衝突の状況によっては加速度波形がかなり異なり, また, 悪路走行のように衝突せずに大きな加速度が生じる場合がある。このため, 時間積分を基本として, 衝突の種類に応じた三つの処理を行っている。

バリヤ正面衝突の判定では, 衝突速度十数km/h程度の低速の衝突ではオンしないようにするために, 低速の衝突に相当する加速度波形を差し引いた後で積分し, 衝突判定のしきい値を小さめに設定する。これにより, 中高速の衝突の判定時間を短縮している。

トラック後方への潜り込み衝突などの特殊形態衝突では, エンジン室がトラックの下に潜り込む等の過程で, 衝撃が段階的に入る。このため, 正面衝突よりも高い周波数で衝突加速度が大きくなる。この傾向を数十~数百Hzのバンドパスフィルタによって強調抽出し, 特殊衝突の判定時間を短縮している。これについては, 4章で詳しく述べる。

緑石乗り上げや凹凸路走行等の悪路走行では, 加速度波形が+側(減速方向)と一側(加速方向)に交互に振れる傾向がある。一方, 衝突の場合は基本的に+側に波形が

現れる。そこで, 一側に重み付けをして積分することにより, 悪路走行での積分値を低く抑えて, 衝突の判別時間を短縮している。

以上の三つの処理を図6のような論理で組み合わせることにより, 低速衝突や悪路走行などのエアバッグ非展開の条件を満たしながら, エアバッグ展開の必要な衝突では短時間で判別するアルゴリズムを構築している。

4. 力学モデルシミュレーション

前述のバンドパスフィルタを用いた特殊形態衝突検出の妥当性を調べるために, 以下の検討を行った。

力学シミュレーションモデルを図7に示す。自動車ボデーを五つの質点で表し, ばねとダッシュポットで結合した。また, 塑性変形を抵抗一定の滑りで表した。加速度センサ位置

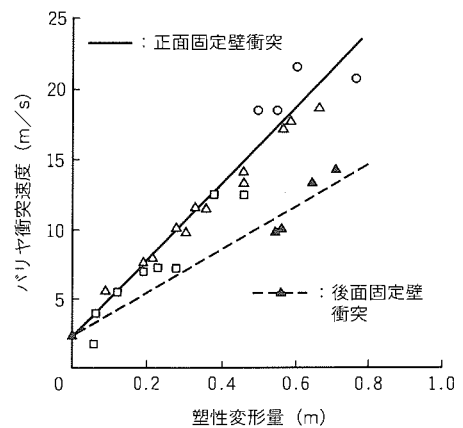


図5. バリヤ衝突速度の塑性変形量⁽²⁾

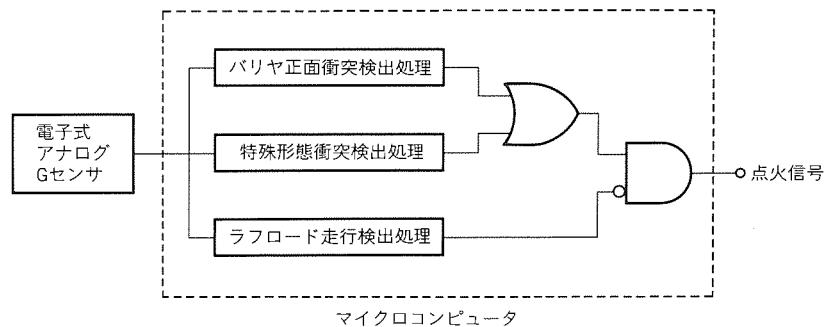


図6. 衝突判定アルゴリズムの構成

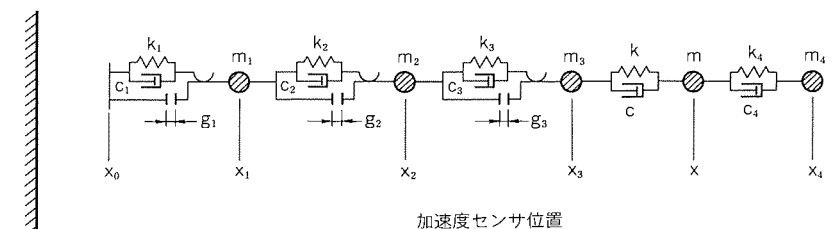
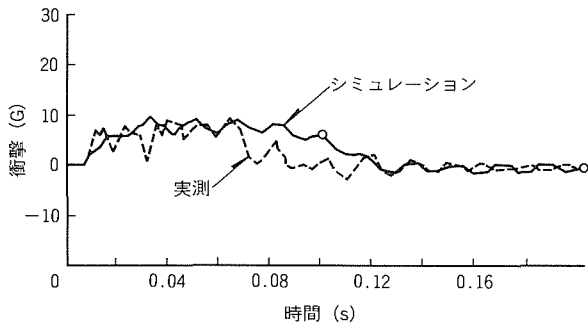
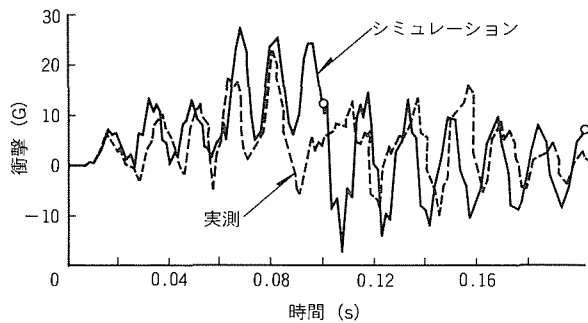


図7. 力学シミュレーションモデル



(a) 13km/h正面衝突時



(b) 32km/h潜り込み衝突時

図8. 衝撃Gの比較

を x とし、これよりも前方は塑性変形を考慮し、衝突すきま $g_1 \sim g_3$ を設けている。図から5自由度の運動方程式が得られるが、衝突及び塑性変形の非線形要素があるので、この運動方程式をルンゲクッタ法で数値的積分をして過渡応答波形を求めた。

衝突加速度波形のシミュレーション結果を実測と比較しながら図8に示す。図(a)は13 km/hの正面衝突、図(b)は32 km/hの潜り込み衝突である。実験とシミュレーションはよく一致することが分かる。また、13 km/h正面衝突と32 km/h潜り込み衝突を比べると、衝突初期の0.04秒までは加速度レベルの差は小さいが、潜り込み衝突では0.06秒で大きな加速度が生じている。これは、ボデー前部が大きく塑性変形してボデー内部で衝突が生じたためと考えられる。

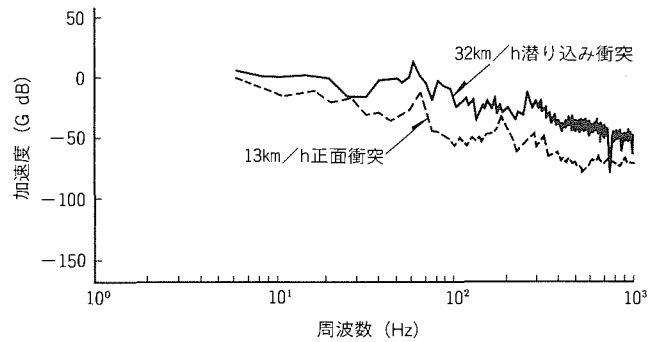


図9. 衝突加速度スペクトル比較

図8に示した衝突加速度波形を周波数分析した結果を図9示す。30 Hz以上の周波数帯域で、13 km/h正面衝突と32 km/h潜り込み衝突の差が大きいことが分かる。これは、トラック後方への潜り込みにおいて、塑性変形に伴う衝突が多数生じ、高い周波数の振動を励起したためと考えられる。バンドパスフィルタでこの周波数帯域を強調抽出することにより、潜り込み衝突を短時間で衝突判定できることが明らかになった。

5. むすび

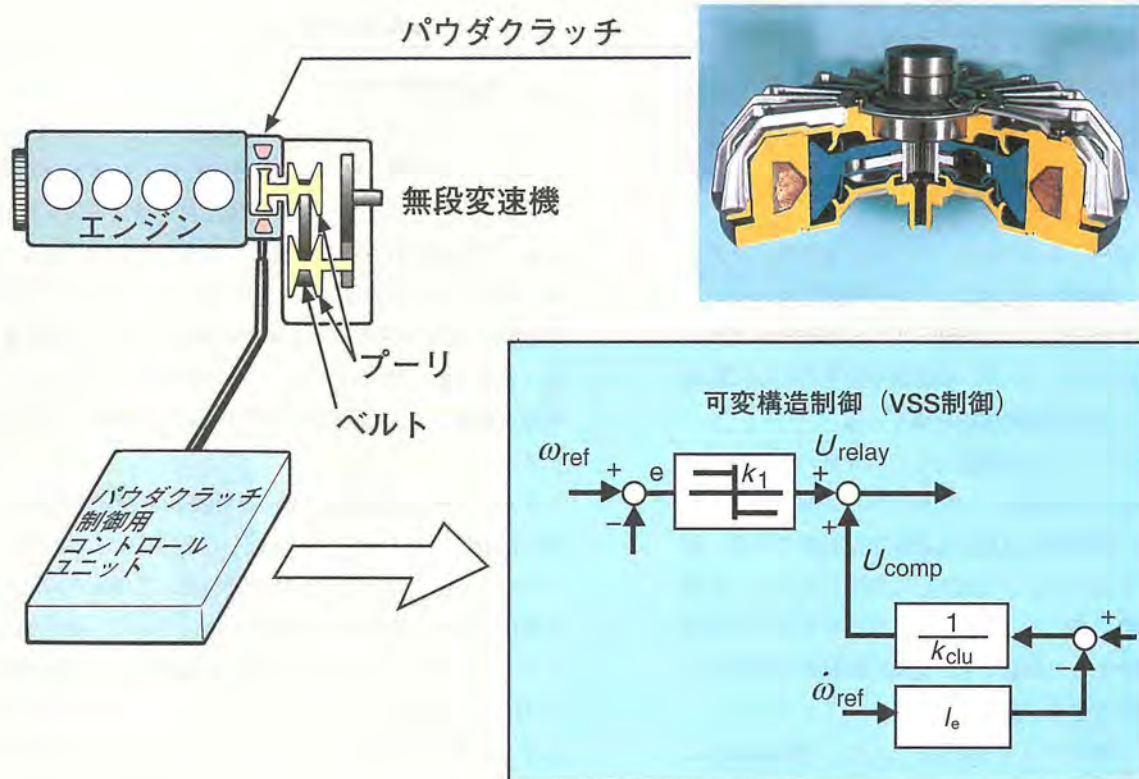
ここで紹介したエアバッグC/Uの衝突判定アルゴリズムは、エアバッグシステムの中核機能であり、高い性能と信頼性が要求される。そのため、力学的に妥当であることを確認した上で、衝突判定アルゴリズムの中に加速度波形の周波数成分に着目した処理を導入することにより、潜り込み衝突や斜め衝突等の特殊な形態の衝突でも、早い判定時間を得ることができるようになった。

参考文献

- (1) '95自動車用エアバッグの現状と将来動向調査報告書、(有)メリットリサーチ研究所 (1995-8)
- (2) 財団法人自動車研究所：事故解析における固定壁換算速度推定の一手法について、自動車研究, 2, No.1 (1980)

無段変速機用パウダクラッチの ロバスト制御技術

栗重正彦* 西脇文彦**
片柴秀昭*
山本博明**



VSS制御則によるパウダクラッチ制御

変速時のショックがなく省燃費であることから注目を集めているCVT搭載車では、制御性に優れたパウダクラッチの使用と、制御対象の特性変動に対してロバスト(外乱に強い)なVSS制御則の適用により、発進時の快適性も同時に実現した。

無段変速機は、変速ショックがなく、燃費改善が期待でき、環境に優しいことから、近年、日本及び欧州において搭載車種が増加している。さらに、発進クラッチとして、自動制御されたパウダクラッチを組み合わせることで、トルクコンバータ式自動変速機の快適性と、手動変速機の省燃費性の両方を目指している。パウダクラッチを使うことで、エンジントルクによるダイレクトな加減速フィーリングが得られるが、一方、トルクコンバータ式自動変速機並みの滑らかさも求められる。この微妙な要求にこたえるためには、制御性に優れたパウダクラッチは最適な装置の一つである。このクラッチは、静的トルク特性のばらつきや

経時変化で加速フィーリングが悪化しない制御方式が必要である。

本稿は、制御対象の特性変動にロバストであることで知られるVSS(Variable Structure Systems)制御¹⁾を、パウダクラッチの制御に適用した例である。制御設計支援ツールとして、実際の制御ユニットと、制御対象の模擬装置を組み合わせ、いわゆるHardware-in-the-Loopシミュレーションにより、実機により近い環境で車両動作モデル精度の検証を行った。モデルを用いてシミュレーション上で制御パラメータの最適化を行い、実車で従来の制御器と比較して、その効果を確認した。

1. ま え が き

近年、日本及び欧州を中心に、無段変速機 (Continuously Variable Transmission: CVT) 搭載車が増加している。この変速機は、①ギヤ比変更時にショックがない、②走行状態に応じた最適なギヤ比に無段階に設定可能で燃費向上が期待できるなど、多くの長所を持っている。

CVT搭載車は有段変速機と異なり、ギヤ比変更時にはクラッチ断続操作は不要である。ただし、車両の発進時はクラッチを結合する必要がある、CVTを車両に搭載する際には、クラッチ制御が製品の性能を支配する重要な要因の一つとなっている。CVT用のクラッチとしては、①電磁力を利用するパウダクラッチ、②油圧クラッチ、③トルクコンバータを利用した例がある。

本稿では、制御性、トルク伝達効率ともに優れたパウダクラッチを採用した車両の発進制御について検討を行った。

本来、クラッチ制御器では、駆動トルクを制御すべきである。しかし実用的には、エンジン回転数変化を滑らかに制御することにより、良好な発進性能を得ている。

開ループ方式のクラッチ制御器として、従来のパウダクラッチ制御器がある。この場合、パワートレイン関係装置の特性のばらつきや、経時変化を見込んだ調整が必要である。実用的には、シミュレーションで決定した制御ゲインを、実車テストで最終調整している。このとき、パウダクラッチ特性の予期せぬ変動が生じた場合でも、発進が振動的になるケースがないようにする要求がある。

一方、閉ループ式のクラッチ制御器として、Hirano等による油圧クラッチに対するPI制御器がある⁽²⁾。そのPI制御器は、油温センサを用いて、制御ゲインを補正している。この補正值は、マッチングする必要があり、また、油温センサ分のコストアップとなる。

上述の問題を解決するため、この研究では、コストの点も考慮しつつ、マッチングフリー化を目指し、現代制御理論の検討を試みた。具体的には、制御対象の特性変動に対しロバストであるVSS (Variable Structure Systems) 制御理論⁽³⁾をクラッチ制御器へ適用した。

まず発進時の快適性を支配する要因を明確にするために、車両の前後振動特性を定量的に予測できる車両動作モデルの導出を行った。このモデルのパラメータマッチングやモデル精度を検証する際、実車評価に近いシミュレーション環境を実現するため、Hardware-in-the-Loopシミュレーション手法を導入し⁽⁴⁾、前後振動予測値が実機と定量的に一致することを効率良く確認した。次に、上述のVSS制御理論に基づく制御器の設計を行った。そして、制御対象であるパウダクラッチの特性変動の影響を抑制可能となるVSS制御器のリレーゲインを求め、シミュレーションでこの制御器の有効性を確認した。

次に、この制御器の実車への適用について検討を行った。エンジン回転数検出の無駄時間が大きくなると、リレーのチャタリングが発生し、車体振動を引き起こす課題があることが判明した。この課題を解決することをねらい、後述の4.2節(2)記載のとおり、リレーの一部に比例部を設ける方策⁽⁵⁾を検討した。これに基づいて設計した制御器の有効性を実車で確認した。

2. パウダクラッチ付きCVT搭載車の車両動作モデル

2.1 車両動作モデル

パウダクラッチ付きCVT搭載車のパワートレイン系⁽⁶⁾のモデルを図1に示す。図に示すように、エンジンで発生したトルクは、フライホイールで慣性力が与えられて平滑化される。平滑化されたトルクは、パウダクラッチによって発進時に伝達トルクを制御され、CVTとギヤを介して、タイヤを回転させる。さらに、タイヤの回転によって発生する前進・後進力が、サスペンション部の前後方向剛性を介して、車体を駆動する。なお、パウダクラッチ特性については後述する。

また、VSS制御理論に基づく制御器を検討する際、発進時の快適性をシミュレーション上で定量化する目的で、上記パワートレイン系のモデル化を行った。このモデルは、車体の前後方向の自由度のみをモデル化している。モデルのパラメータマッチング及びモデル精度検証時には、Hardware-in-the-Loopシミュレーションを行った。具体的には、あらかじめ車両モデルをオブジェクトコードで作成し、DSPボードへダウンロードし、このボードを擬似の実車として、実際のコントロールユニットとの間で信号をリアルタイムで通信させた。そのシミュレーションを発進時に適用した結果を図2に示す。スロットルが開くと、エンジン回転数が上昇する。パウダクラッチ駆動電流が立ち上がると、エンジントルクはパウダクラッチの後方に伝えられ、CVTの入力側のプリーすなわちプライマリプリーの回転数が立ち上がる。発進制御は、エンジン回転数とプライマリプリー回転数が一致するまで行われる。

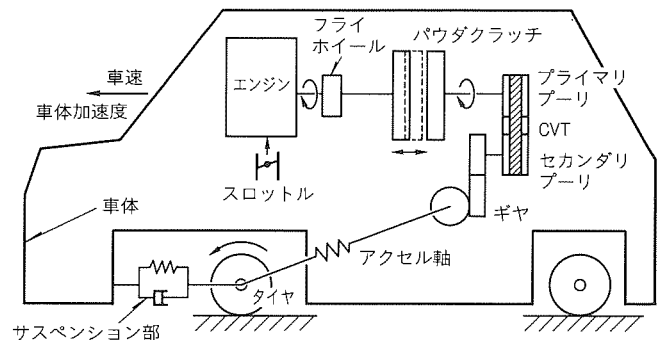


図1. パウダクラッチ付きCVT搭載車のパワートレイン系構成

このパワートレイン系モデルは、実車の発進動作と良好に一致し、モデルの妥当性が確認されたので、VSS制御則適用検討を行う際のシミュレーションモデルとして使用することとした。

2.2 パウダクラッチの特性

まず、パウダクラッチの動作原理について示す。図3から分かるように、パウダクラッチは、ドライブ側とドリブン側から成り立っている。両者の間には、磁性粉（パウダ）が充填（填）されたギャップが存在する。電流がコイルに印加されると、このパウダを貫くように磁束が発生し、パウダの摩擦力との合力がパウダクラッチの結合トルクとなる。また、クラッチスリップ時には、この結合トルクがクラッチ伝達トルクとなる。

次に、パウダクラッチの特性について示す。パウダクラッチの静的トルク特性を、図4に示す。発進時の実使用域（約0.3～2 A）では、線形に近い特性を持っている。また、動的には、式(1)示されるほぼ1次遅れの特性を持っている。また、パウダクラッチの入力電流と結合トルクの静的な関係は、経時変化によって変化する場合がある。

$$T_{clu} = \frac{k'_{clu}}{\tau_{cl} s + 1} u, \quad k'_{clu} \neq \text{Const} \dots\dots\dots (1)$$

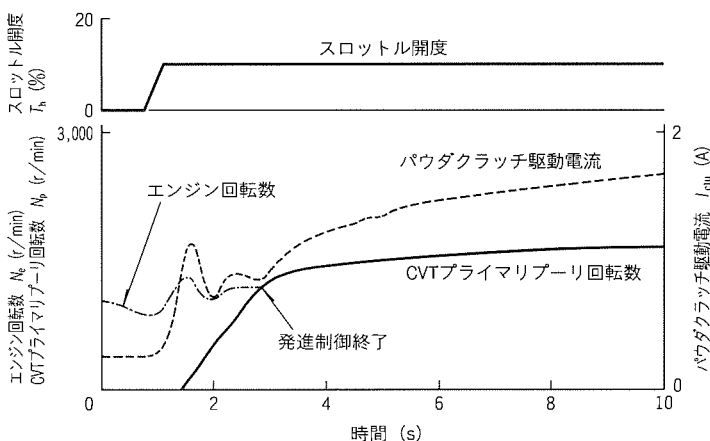


図2. 車両動作モデルのHardware-in-the-Loopシミュレーション結果(発進時)

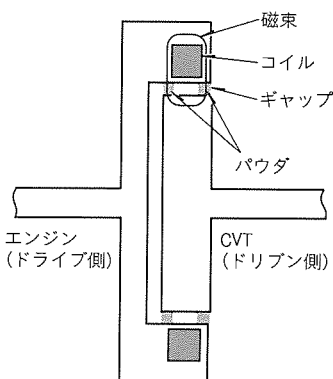


図3. パウダクラッチの構造

- ここで、 T_{clu} : パウダクラッチトルク (N・m)
- k'_{clu} : パウダクラッチトルク定数 (N・m/A)
- τ_{cl} : パウダクラッチトルク時定数 (s)
- u : 制御入力 (A)

3. 従来の発進制御器

従来のパウダクラッチ制御器使用時のエンジン回転の特性を表すブロック線図を図5に示す。従来の制御器は開ループ方式であり、制御入力であるクラッチ駆動電流指令値は、エンジン回転数、スロットル開度、車速に対するデータテーブルで定められる。制御器から出力された制御入力により、パウダクラッチトルクが応答し、エンジントルクとパウダクラッチトルクの差によって、エンジンが回転する構成となっている。また、前述のように、経時変化等によって、パウダクラッチ特性が変化し、車体振動を引き起こす場合がある。位相補償器の導入によってこの問題の回避を検討したが、十分なレベルの車体振動抑制効果は得られなかった。

従来の制御器を使用した場合、図6に示すようなシミュレーション結果を得た。クラッチのトルク定数 k'_{clu} が±50% 変化した場合、発進時の応答が変化し、特にトルク定数が減少した際、車体振動が見られる。

4. VSS理論を応用した発進制御器

4.1 VSS応用制御器の設計

上述の問題を解決するため、VSS制御理論を応用した制御器として、図7に示す制御系を提案した。著者らの提案したVSS応用制御器は、VSS制御器とエンジントルク補償器から成り立っている。制御器を設計する際、制御対象であるクラッチとエンジン回転

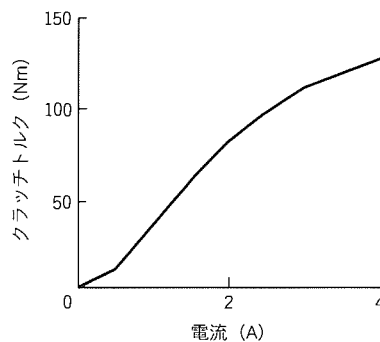


図4. パウダクラッチの静的トルク特性

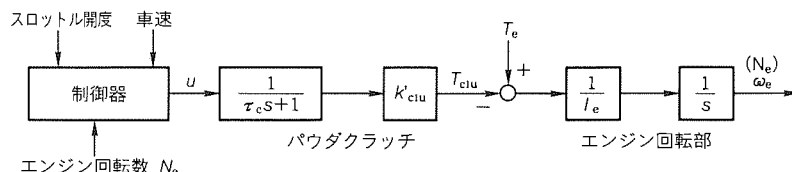


図5. 従来の制御器のブロック線図

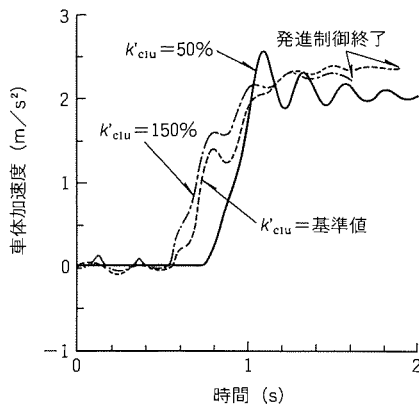


図6. 発進時の車体加速度(従来の制御器)

部の特性を1次系に近似したので、VSS制御器はリレー制御器と一致する。また、エンジントルク補償器は、VSS制御器のリレーゲインを小さくし、リレー切り換えによるチャタリング問題を解決する目的で導入している。

(1) 誤差方程式

制御器の設計を行うに当たり、まず、目標エンジン回転数に対する実エンジン回転数の誤差方程式を導いた。

誤差方程式を導くに当たり、パウダクラッチについては、1次遅れ特性を無視して一定のゲインで近似した。無視した1次遅れ特性の影響については(4)項で述べる。

まず、誤差 e 及び、その微分値を式(2)、式(3)のように定義する。

$$e = \omega_{ref} - \omega_e \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 ω_{ref} : 目標エンジン回転数 (rad/s)

ω_e : 実エンジン回転数 (rad/s)

$$\dot{e} = \dot{\omega}_{ref} - \dot{\omega}_e \dots\dots\dots (3)$$

式(2)及び式(3)で定義された誤差及びその微分値をエンジン回転数の運動方程式に代入して整理すると、式(4)の誤差方程式が得られる。

$$\dot{e} = \frac{k'_{clu}}{I_e} u - \frac{1}{I_e} T_e + \dot{\omega}_{ref} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 I_e : フライホイール及びCVTプライマリプーリの慣性モーメント (kg・m²)

T_e : エンジントルク (N・m)

(2) エンジントルク補償器

このエンジントルク補償器は、前述の通りVSS制御器のリレーゲインを小さくし、チャタリングによる発進時の振動を抑制するために導入した。

まず、制御入力 u を式(5)のように、式(6)及び式(8)で与えられる2種類の入力の和で定義する。

$$u = u_{comp} + u_{relay} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 u_{comp} : エンジン回転数補償器による

制御入力 (A)

u_{relay} : VSS制御器入力 (A)

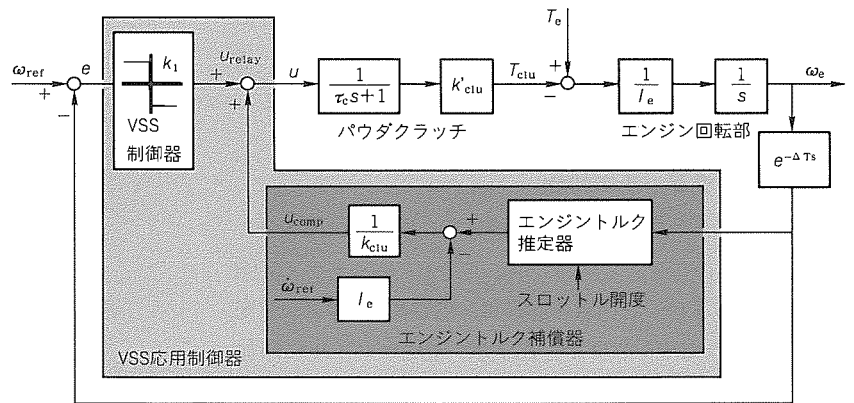


図7. VSS応用制御器のブロック線図

エンジントルク補償器を、式(6)のように構成する。

$$u_{comp} = \frac{I_e}{k'_{clu}} \left(\frac{1}{I_e} T_{eest} - \dot{\omega}_{ref} \right) \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 T_{eest} : エンジントルク推定値 (N・m)

その結果、誤差方程式の式(4)は、式(7)で表される。

$$\dot{e} = \frac{k'_{clu}}{I_e} u_{relay} - \left\{ \frac{1}{I_e} \left(T_e - \frac{k'_{clu}}{k_{clu}} T_{eest} \right) + \left(1 - \frac{k'_{clu}}{k_{clu}} \right) \dot{\omega}_{ref} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

ここで、右辺第2項はエンジントルクの推定誤差とパウダクラッチの特性変動による影響項であり、以降、外乱 d_3 として取り扱う。

(3) VSS制御器

VSS制御入力を式(8)のように定義すると、

$$u_{relay} = -k_1 \text{sgn}(e) \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 k_1 : リレーゲイン { A / (rad/s) }

式(7)の誤差方程式は式(9)となる。

$$\dot{e} = -\frac{k'_{clu}}{I_e} k_1 \text{sgn}(e) - d_3 \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 d_3 : モデル化誤差による外乱 (N・m)

リレーゲイン k_1 を式(10)のように定めることにより、

スライディングモード⁽²⁾が、式(11)で達成される。

$$k_1 > \frac{I_e}{k'_{clu}} |d_3|_{\max} \dots\dots\dots (10)$$

$$e = 0 \dots\dots\dots (11)$$

スライディングモードを成立させる必要ゲインは、エンジントルクの推定値が実エンジントルクの-20%、かつ、パウダクラッチのトルク定数が実際の50%に変化した場合を例に計算を行うと、1.65 { A / (rad/s) } となる。

(4) パウダクラッチの1次遅れ特性の影響

この項では、パウダクラッチのトルク立上りの1次遅れ特性の影響について検討する。1次遅れ特性を考慮して、誤差方程式を導出すると式(12)となる。

$$\dot{e} = \frac{k'_{clu}}{I_e} u - \frac{1}{I_e} T_e + \dot{\omega}_{ref} - \frac{\tau_{cl}}{I_e} \dot{T}_{clu} \dots\dots\dots (12)$$

式(12)は、トルク立上り遅れを考慮しない場合の誤差方程式の式(4)に、式(13)で表される外乱項 d_{lag} を付加したものとなる。

$$d_{lag} = -\frac{\tau_{cl}}{J_e} \dot{T}_{clu} \dots\dots\dots (13)$$

ここで、 d_{lag} : パウダクラッチ遅れによる外乱 (N・m)
したがって、パウダクラッチのトルク立上り遅れの影響は、 k_1 を高く設定することによって抑制可能である。

4.2 シミュレーション

VSS応用制御器の有効性を示すために、シミュレーションを行った。実車では、エンジン回転数を検出する際、無駄時間が無視不可能な場合も想定され、この影響を考慮してシミュレーションを行った。

(1) 無駄時間 ($e^{-\Delta T_s}$) が存在しない場合

下記のように、シミュレーション条件を設定した。

- パウダクラッチトルク時定数 $\tau_{cl} = 200$ ms
- VSS 応用制御器におけるパウダクラッチトルク定数相当値 $k_{clu} = 40$ N・m/A
- $k_1 = 2$ {A / (rad/s)}

ここで、上記 k_1 は、4.1節(3)で計算された必要ゲイン以上となるよう設定した。

VSS 応用制御器と従来の制御器とを、発進時の挙動で比較したシミュレーション結果を図8に示す。パウダクラッチのトルク定数が、基準値の±50%変化した場合でも、VSS 応用制御器では振動が発生していない。一方、パウダクラッチのトルク定数が基準値でも、従来の制御器を用いた場合、点線で示すシミュレーション結果のように、振動的な結果となる。

また、実際には、パウダクラッチのトルク定数が50%変動することは考えられない。したがって、VSS 応用制御器は、実際に起こり得るパウダクラッチの特性変動に対し、十分なロバスト性を持っていると言える。

(2) 無駄時間 ($e^{-\Delta T_s}$) が存在する場合

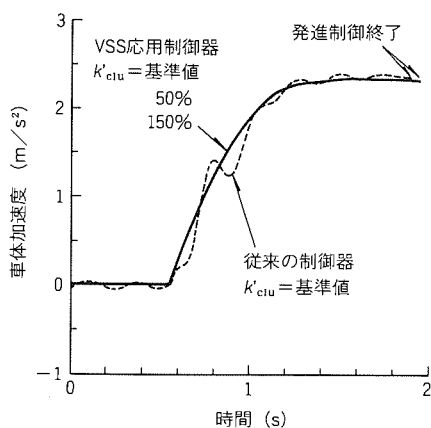


図8. 発進時の車体加速度 (VSS 応用制御器, 無駄時間なし)

エンジン回転数検出の無駄時間が無視できない場合、チャタリングによる車体振動を防止するため、リレーに比例部を付加する方策を採った。VSS 制御理論では、これをリレーの連続化という⁽⁷⁾。しかし、リレーの連続化は、入力リミッタ付きP制御と一致し、ロバスト性が損なわれる可能性があるため、実質的に理想リレー使用時と同様の応答を示す無駄時間とリレーの連続化の関係の条件を導出した。

リレー連続化条件として、操作量飽和点を、無駄時間 ΔT 間の最大エンジン回転数変化に設定した。

リレーの連続化及び連続化条件の物理的意味を図9に示す。図(a)は理想リレー、図(b)はリレーの連続化を示す。点A1、A2の ΔT 間の移動から、チャタリングのメカニズム、上記リレー連続化の条件の意味が明確になる。理想リレーの場合、点A1は、無駄時間 ΔT の間にA'1へ移動する。この間は、逆向きの制御入力を与えることとなり、結果として振動を励起してしまう。これに対し、リレーの連続化を行った場合、誤差 e がA1と等しい点A2は、無駄時間 ΔT の間にA'2へ移動する。この間、入力値は、ほぼ0であるため、制御入力による振動の励起は起きない。

また、無駄時間 ΔT 間の最大エンジン回転数変化は、式(14)によって計算される。

$$\int_0^{\Delta T} \left(\frac{k'_{clu}}{I_e} u_{relay} + |d_3|_{max} \right) dt = \left(\frac{k'_{clu}}{I_e} u_{relay} + |d_3|_{max} \right) \Delta T \dots\dots\dots (14)$$

ここで、 ΔT : エンジン回転数検出無駄時間 (s)

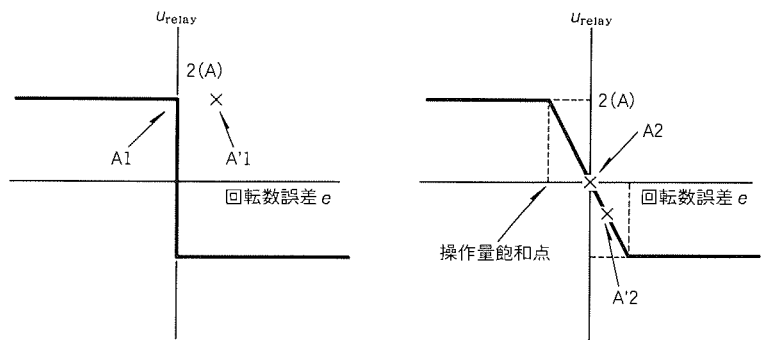
シミュレーションでは、無駄時間 ΔT 及び操作量飽和点を以下のように設定した。

無駄時間 : 5 ms

操作量飽和点 : 95 r/min

無駄時間 5 ms の場合、式(14)に基づく最大のエンジン回転数変動計算結果は 70 r/min となる。上記操作量飽和点は、この計算結果より大きくなるように設定した。

また、クラッチトルクの立上り遅れの影響を抑制する目的で、位相補償器を導入した。この位相補償器は、従来の開ル



(a) 理想リレー (b) リレーの連続化

図9. リレーの連続化

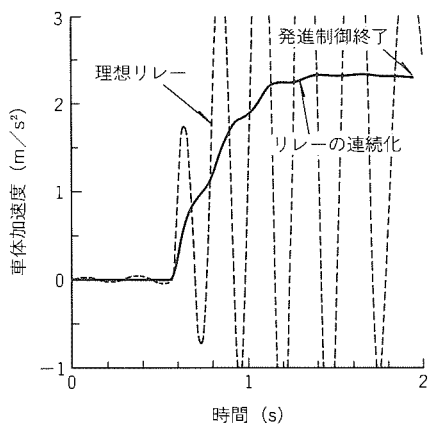


図10. 発進時の車体加速度(VSS応用制御器, 無駄時間あり)

ープ式制御器の特性改善に使用したものと同一のものである。

無駄時間 5 ms 時に, VSS 制御器として理想リレーを用いた場合と, 上記条件でリレーの連続化を行った場合のシミュレーション結果を図 10 に示す。無駄時間存在下では, 理想リレーを使用した場合は激しい車体振動が発生しているのに対し, リレーの連続化を行った場合には振動が抑制されていることが分かる。

4.3 実車試験結果

VSS 応用制御器の実車上で効果を確認するために, 実車試験を行った。このとき, パウダクラッチのトルク定数は基準値のものを使用した。また, 試験実施に当たり, 下記の条件設定を新たに行った。

- 位相補償器なし
- エンジン回転数 1,200 r/min 以下ではエンジン回転数補償器のみ動作
- リレーの連続化を行い, 操作量飽和点を 200 r/min に設定
- 指令電流値の変化率リミッタを導入

供試車は, 排気量 660 cc の市販の軽自動車を用いた。この供試車に搭載されるエンジンの回転数検出方式では検出無駄時間が存在するために, リレーの連続化を行った。

上記条件に基づく実験結果を図 11 に示す。

従来の制御器を使用した場合に比べ, VSS 応用制御器を用いた場合の方が発進時の車体振動が小さくなっている。良好な発進性能が得られた VSS 制御器は, パウダクラッチのトルク定数が一定でないために生じる影響を抑制する効果があると言える。

5. むすび

この研究では, VSS 制御理論をパウダクラッチ付き CVT 搭載車の発進制御に適用し, 以下の結論を得た。

- (1) エンジン回転数検出に無駄時間が存在しない場合, VSS 応用御器はパウダクラッチの特性変化に対してロバ

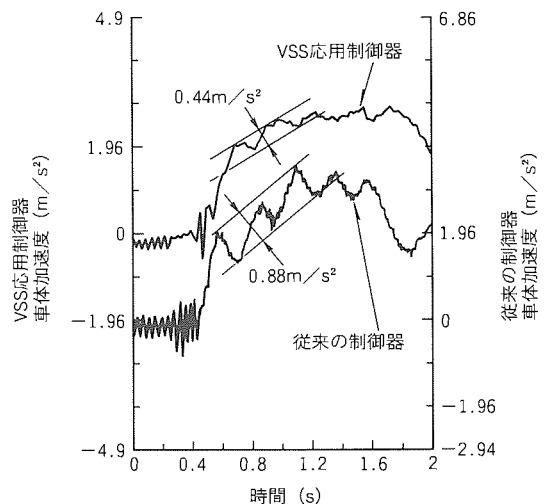


図11. 実車試験結果

ト性を持ち, 良好な発進性能が得られる。

- (2) 無駄時間が存在する場合に課題となるチャタリングは, 本稿で導出された条件に基づくリレーの連続化によって解決される。
- (3) VSS 応用制御器の有効性を, 実車試験によって確認した。

参考文献

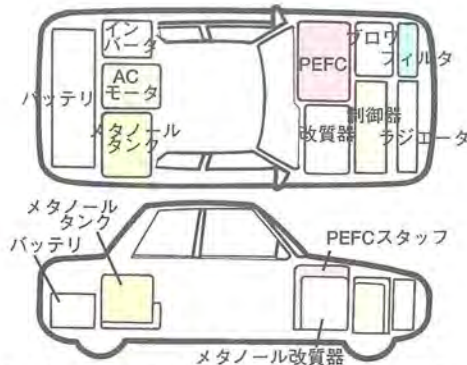
- (1) Utkin V.I., : Variable Structure Systems with Sliding Modes, IEEE Trans on Automatic Control, 2, AC-22, No.2, 212 ~ 222 (1977)
- (2) Hirano S., et al., : SCVT-A State-of-the-Art Electronically Controlled Continuously Variable Transmission, SAE Paper 910410 (1991)
- (3) Kurishige M., et al., : A Study of an Electronically Controlled CVT with Electromagnetic - Clutch for Starting the Vehicle, SAE Paper 961046, (1996)
- (4) Krohm H., et al., : Hardware - in - the - Loop Simulation for an Electronic Clutch Management System, SAE Paper 950420 (1995)
- (5) Slotine J.J.E., : Sliding Controller Design for Non-linear Systems, Int. J. Control, 40, No.2, 421 ~ 434, (1984)
- (6) Ide T. et al., : A Dynamic Response Analysis of a Vehicle with a Metal V - Belt CVT, Proc. Int. Symp. Advanced Vehicle Control, 9438312, 230 ~ 235 (1994)
- (7) 原島文雄, 橋本秀紀: Sliding Modelとその応用 - I, システムと制御, 29, No.2, 94 ~ 103 (1985)

固体高分子型燃料電池 可搬電源システム

光田憲朗*
前田秀雄**
漆畑広明*



災害対策車としての利用



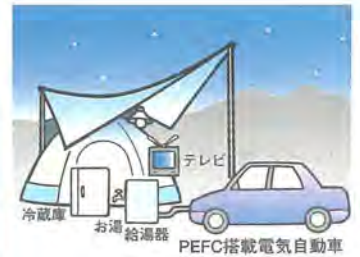
メタノール改質型PEFC車載電気自動車の想像図



家庭での利用



工事用車両



キャンプでの利用

内部加湿型1kW級PEFCモジュールとPEFC搭載電気自動車のイメージ

固体高分子型燃料電池(PEFC)は出力及び発電効率が高く、排出ガスがクリーンで音が静かなため、可搬電源、定置型電源のほかに、電気自動車への適用が期待されている。給電や廃熱利用による給湯が可能のため、キャンピングカーや災害対策車としての利用も考えられる。

日本では、エネルギー源として天然ガスへの転換など、脱石油依存への動きが着実に進行している。しかし、自動車など運輸部門では相変わらずガソリンや軽油など石油に頼らざるを得ない状況で、NO_xやHC排出による深刻な大気汚染や、酸性雨による森林破壊の原因にもなっている。PEFCは、純水素、天然ガスや天然ガスから得られるメタノールを燃料として発電するシステムで、NO_xやHCがほとんど排出されず、環境に優しい発電システムである。欧米を中心に電気自動車への適用検討が進められており、既に水素燃料PEFCを搭載した自動車やバスの運転試験も開始されている。

三菱電機(株)では、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受けて、可搬型PEFCと可搬型システム

の研究開発を進めており、これまでに水素/空気1kW級PEFCモジュールの製作、運転試験を実施するとともに、PEFCの燃料の検討やメタノール改質10kW級のPEFC可搬電源システムの概念設計などを行っている。

コンパクトなメタノール改質器の開発、起動停止の繰返し寿命の確保、大幅なコスト低減など、解決すべき課題は多いが、PEFCは、ガソリンに代わる車載動力源となる可能性を持っている。さらに、発電効率が高く、給電や廃熱利用による給湯が可能というPEFCの特長を生かした応用として、例えば駐車している間もメタノール燃料で発電して家庭に交流電力を供給するとともに、廃熱を利用して給湯器にお湯をためるなどの省エネルギー型の利用法も考えられる。

1. ま え が き

固体高分子型燃料電池 (Polymer Electrolyte Fuel Cell: PEFC) は、GE (General Electric) 社が、1958年に開発を開始し、ジェミニ宇宙船などに搭載された。しかし、広く注目されるようになったのは、'88年にカナダのBPS社がダウケミカル社の開発した固体高分子膜を用いて6 A/cm²と極めて高い電流密度で動作できることを発表してからであり⁽¹⁾、可搬型や定置型電源として欧米や日本で精力的に研究・開発が行われている⁽²⁾。

本稿では、PEFCの動作原理と特長、当社 (三菱電機株) のPEFCの開発状況、メタノール燃料10 kW級可搬電源及びPEFCを搭載した電気自動車の概念設計などについて述べる。

2. PEFCの動作原理と特長

燃料電池には、りん酸型 (PAFC)・溶融炭酸塩型 (MFC) などもあるが、PEFCには室温でも動作できること、高い出力密度が期待できることなどの特長がある。

PEFCは、アルカリや酸などの電解液ではなく、図1に示すように、プロトン伝導性の固体高分子電解質膜を用いている。この膜は、ふっ素系の樹脂を主鎖に持ち、プロトンを付加することのできるスルホン酸基を側鎖に持つ構造になっており、手で触っても害のない電子絶縁性の無色透明なフィルムである。したがって、電解液特有の煩わしさがなく、フィルムなのでガスを透過させず、差圧に耐えることもできる。しかし、水を吸収することによって初めてスルホン酸基間の連絡がとれてプロトン伝導性を示す性質がある。したがって、反応ガスを加湿してプロトン伝導性を維持する必要がある。このような膜を介して燃料極と空気極が対峙 (峙) しており、水素と酸素を含む反応ガスを供給して発電する。

図2はPEFCの単セル構造と積層構造 (モジュール) を示したもので、電気分解の逆の反応で、水素と酸素 (空気) の供給によって、1セル当たり1V弱の直流電圧が得られる。1セル当たりの厚さは2~6 mm程度で、この単セルを数十セル積層してモジュールが構成される。

水素の代わりにメタンやメタノールを用いる場合は、改質器で水素と二酸化炭素に変換して供給することになるが、

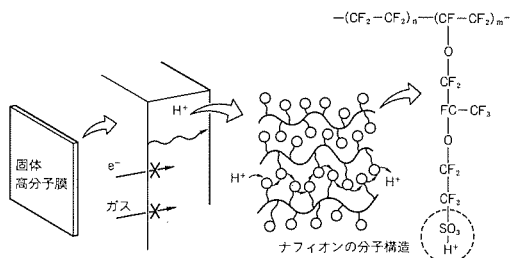


図1. 固体高分子電解質膜の性状

PEFCは低温動作であるため、その改質ガスに少しでも一酸化炭素が含まれていると白金触媒がCO被毒 (白金に強く吸着して水素の反応を阻害する。) を受けて電圧が著しく低下する。このCO被毒対策が、改質ガスを用いる場合の最大の課題となっている。改質ガスに少量の空気を混入させて選択的にCOを酸化する、動作温度を100℃以上に上げる、パラジウムの薄膜でCOを除去するなどの対策が検討されているが、簡便で決定的な解決策はまだ見いだされていない。

3. PEFCへの当社の取組と開発状況

当社のPEFC開発の歴史を図3に示す。'90年度からPEFCの開発を開始し、'92年度末からは、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託を受けて、可搬型1 kW級モジュールの開発及び可搬型システムの研究を行い、“三次元電極・膜接合方式”という当社独自の手法を用いて、高出力密度化を目指した可搬型PEFCの開発を進めている⁽³⁾。

なお、本稿では詳しく触れないが、可搬型のメタノール改質器についても、当社では'93年度末から (財) エンジニアリング振興協会においてNEDOの委託によるコンパクトな1 kW級メタノール改質器の開発を行っている⁽⁴⁾。

以下、可搬型1 kW級モジュールの開発に関する主な研究成果について述べる。

図4は、三次元電極・膜接合方式の模式図である。固体高分子膜を200℃近くにまで加熱すると、プディング状になり、簡単に物を膜の中に食い込ませることが可能になる。

この方式は、このような膜の性質を利用したもので、燃料極側の膜に厚さ10 μm程度の触媒層を形成した後、ホットプレスにより、燃料極基材であるカーボンペーパーを膜の内部にまで埋め込む。これにより、触媒層が三次元的に屈曲して触媒層の幾何面積が実質的に増加するとともに空気極に近接

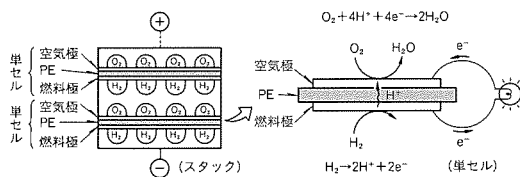


図2. PEFCの動作原理

西暦年度	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
PEFC スタック	開発開始	自主研究	可搬型1kW級モジュール及び 可搬型システム (NEDO委託)					
	25cm ² 級単セル		100cm ² 級単セル		外部加湿加 圧動作1kW 級スタック	内部加湿常 圧動作1kW 級スタック		
メタノール 改質器					(財) エンジニアリング振興協会 積層型1kW級メタノール改質器	(NEDO)		

図3. 当社におけるPEFC開発の歴史

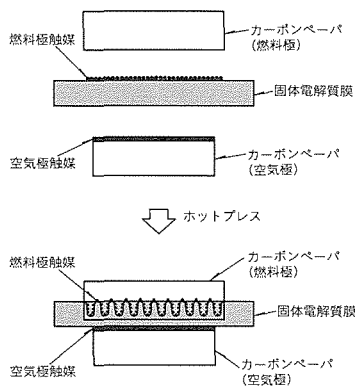


図4. 三次元電極・膜接合方式の模式図

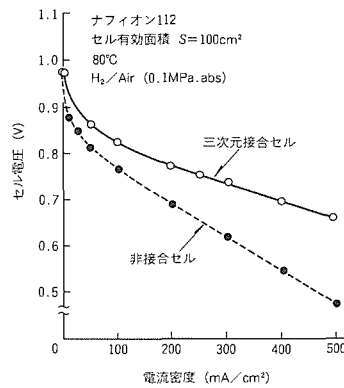


図5. 接合セルと非接合セルの電流-電圧特性

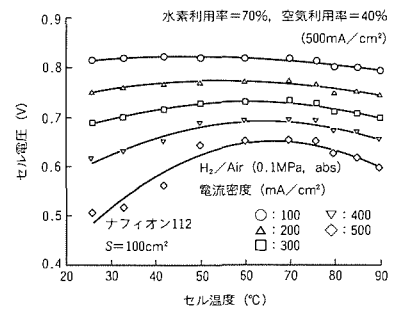


図6. 単セル特性の動作温度依存性

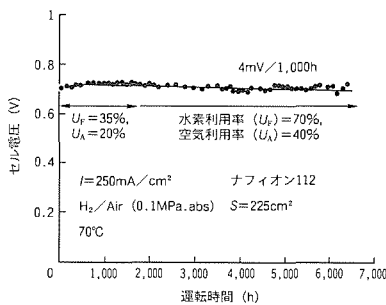


図7. 単セル長時間運転試験結果

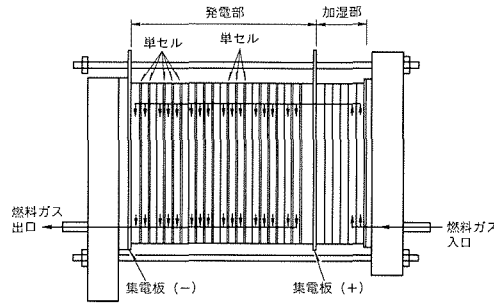


図8. 内部加湿型常圧動作1kW級モジュールの側面図

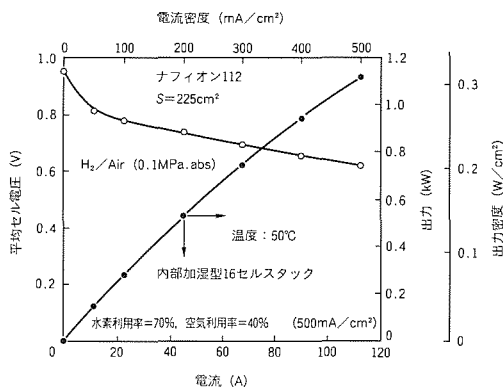


図9. 内部加湿型常圧動作1kW級モジュールの出力特性

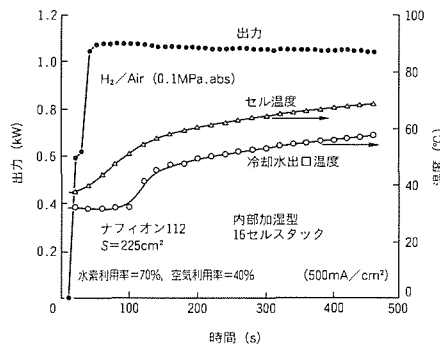


図10. 内部加湿型常圧動作1kW級モジュールの起動特性

し、内部抵抗を小さくすることができる。通常は、燃料極は図の空気極側と同様に触媒層が電極基材側に形成され、膜の内部には触媒層や電極基材はほとんど食い込まない。

三次元電極・膜接合方式を用いて接合した単セルと、接合しなかった単セルの電流-電圧特性の比較を図5に示す。非接合セルに比べて、接合セルの特性がかなり高くなっている。このほかに、燃料極と空気極が接近することで、空気極側から燃料極側への水の逆拡散が容易になり、燃料ガスの加湿の必要性が緩和されるなどの効果もある。

有効面積 225 cm² (15 cm × 15 cm) の単セル特性の動作温度依存性を図6に示す。室温から 90°C 近くまで安定した性

能が維持されており、動作温度の影響を余り受けていないことが分かる。これは、短時間での起動が要求される可搬電源にとって望ましい性質である。

性能の安定性の確認について、単セルでは5,000時間を超える寿命試験を実施している。セル電圧の経時変化を図7に示す。1,000時間当たりのセル電圧の低下率は4mV程度で、特に大きな低下は見られなかった。なお、可搬電源やPEFCを搭載した電気自動車の実質運転時間は5,000時間程度ではないかと推定される。

本稿カラー記事の写真は、平成7年度に製作した内部加湿型常圧動作1kW級モジュールである。このモジュールの側面図を図8に示す。このモジュールは、16セル(イラスト中央下)で

構成されており、電氣的に直列に積層されている。各セルの有効面積は 225 cm² である。セパレータはカーボンで構成されている。3セルごとに冷却板が挿入されており、電力に変換される際にセル内部で生じる熱を吸収し、セルの運転温度を一定に保つ働きをしている。向かって右側は内部加湿部になっている。内部加湿部では、セルの熱で暖められた冷却水と反応ガスが膜を介して対峙しており、これによって反応ガスが自動的に加湿される(図では燃料ガスの流れを示している)。

図9に内部加湿型常圧動作1kW級モジュールの出力特性を示す。水素と空気を反応ガスとして供給し、500 mA/

cm²の電流密度での平均セル電圧は0.62Vで、1.1kW、出力密度0.31W/cm²の性能が得られた。なお、このモジュールよりも前に製作した外部加湿型の16セルスタックでは、高圧動作(水素/空気、0.3MPa abs)の条件では、800mA/cm²の電流密度で、1.7kW、出力密度0.48W/cm²の性能が得られている。

内部加湿型常圧動作1kW級モジュールについては、可搬型電源としての性能を調べるために、室温からの起動試験と、毎日昼間約8時間の運転と夜間停止を繰り返すDSSモード(Daily Start and Stop Mode)での運転試験を行った。

まず、室温からの起動試験を図10に示す。1分以内に1kWの定格電力が得られ、動作温度が室温近くから70℃まで上昇しても出力はほとんど変化していない。図6に示したように単セルでは、動作温度の上昇に伴って多少特性が良くなるが、内部加湿型の場合、温度が高くなると加湿が不十分になって抵抗が上昇し、温度上昇の効果が相殺されてほぼ一定の出力が維持されるためと考えられる。図10で明らかのように、セル温度の上昇に伴って自動的に加湿温度も上昇し

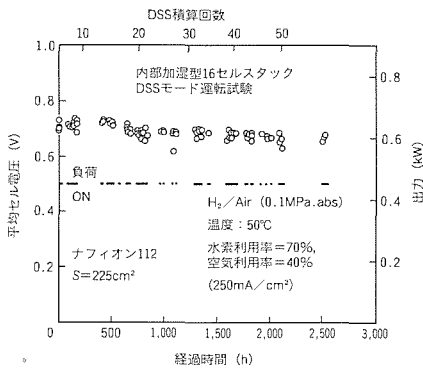


図11. 内部加湿型1kW級モジュールのDSS運転試験

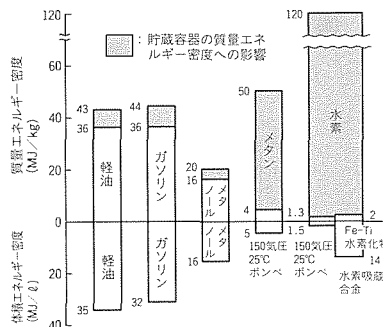


図12. 各種燃料の貯蓄密度の比較

ており、ヒータ加熱などによる加湿温度のコントロールは一切不要である。

次に、DSSモードの運転試験結果を図11に示す。約50回のDSS運転を繰り返しているが、特に大きな特性の低下は見られなかった。なお、可搬電源やPEFCを搭載した電気自動車では、少なくとも1,000回以上の起動停止繰返し寿命が必要と考えられる。

以上のように、'95年度までは、水素・空気を反応ガスとする1kW級の可搬型電源の開発を行ってきたが、現在は、メタノール燃料常圧動作10kW級可搬電源の開発を目標に、PEFCスタック及びメタノール改質器の開発を行っている。

次に、同じくNEDOからの委託研究(可搬型システムの研究)に基づいて行ったメタノール燃料10kW級可搬電源の概念設計について述べる。

4. メタノール燃料10kW級可搬電源の概念設計

各種燃料のエネルギー貯蔵密度の比較を図12に示す。なお、燃料そのものの貯蔵密度以外に、軽油、ガソリン、メタノールについては5kgの燃料タンク(30リットル)を用い、メタンと水素の場合は、53kgのボンベ(47リットル)に貯蔵(15MPa)すると仮定した貯蔵密度も示した。さらに、水素吸蔵合金による貯蔵密度も示した。軽油やガソリンに比べるとメタノールの貯蔵密度は半分程度であるが、メタンや水素の圧力容器による貯蔵や水素吸蔵合金による貯蔵よりはかなり有利である。可搬電源の燃料としては、燃料貯蔵や燃料補給などの取扱いの容易さ、燃料貯蔵密度、燃料改質に要する温度(メタノールは300℃、他は600℃以上)などから勘案して、やはりメタノールが最も適していると考えられる。

そこで、メタノールを燃料とし、コンパクトなメタノール改質器とスタックを組み合わせた常圧動作の10kW

表1. メタノール燃料10kW級可搬電源のシステム条件

出力規模	11.6kW(直流発電端)	出力密度	0.3W/cm ²
出力規模	10.0kW(交流送電端)	動作電圧	0.6V(セル平均)
燃料	メタノール(液体)	燃料利用率	75%
酸化剤	空気(プロウ)	空気利用率	40%
動作温度	80℃(定格)	セル数	170セル
動作圧力	常圧	セル有効面積	225cm ²
セル電圧	0.60V(平均)	FC出力電圧	102V(直流)
電流密度	500mA/cm ²	FC出力電流	114A
インバータ効率	93%		
補機動力影響率	7% (空気プロウ500W, ポンプ・制御ほか310W)		
メタノール改質率	100%		
CO処理影響率	4% (改質ガスエネルギーに対して)		
電池効率(LHV)	48% (0.6V/1.25V)		
燃料改質効率	82% (=1.14 [メタノール→水素燃焼熱] × 0.96 [CO処理影響] × 0.75 [燃料利用率])		
発電効率(直流発電端LHV)	39% (動作電圧が0.7Vの場合は46%)		
発電効率(交流送電端LHV)	34% (動作電圧が0.7Vの場合は40%)		

直流発電端LHV(%) = 電池効率(LHV) × 燃料改質効率
 交流送電端LHV(%) = 直流発電端LHV(%) × (1 - 補機影響率) × インバータ効率

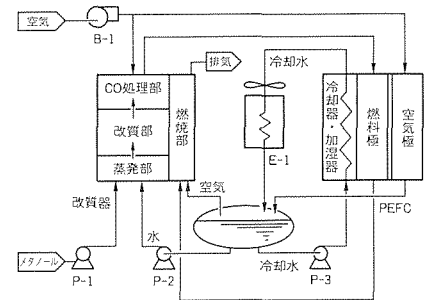


図13. メタノール燃料10kW級可搬電源のシステムフロー

級可搬電源のシステム設計を行った。システム設計の条件を表1に、またシステムフローを図13に示す。

メタノール改質器では、水とメタノールから H_2 と CO_2 が生成される。反応温度は約 $300^\circ C$ であり、水とメタノールの蒸発及び改質反応に必要な熱は、燃料電池の未利用の水素を含む燃料排ガス及び空気を燃焼させて供給される。

動作圧力は、高圧ほど出力密度を上げることができるが、可搬型での耐振性とガスシールなど安全性の確保及びエアコンプレッサなど補機動力の軽減のため、常圧動作としている。空気は、ブロワによって、燃料電池モジュールの空気極に供給される。空気極からは反応生成物である水が排出されるが、これは、タンクにためてメタノール改質用の水として用いられる。また、冷却水も生成水を利用しており、余分の熱はラジエータを介して放熱される。

システム条件としては、送電端 10 kW の 110 V 交流出力、セル数を170セル(有効面積 225 cm^2)とし、定格動作条件を平均セル電圧 0.6 V 、電流密度 500 mA/cm^2 (出力密度 0.3 W/cm^2)に設定した。インバータ効率は 93% 、空気ブロワなど補機動力の影響を発電電力の 7% 、燃料利用率 75% 、 CO 処理の影響(燃料ガスに少量の空気を混入させるなどによって CO を選択的に酸化して除去する。)を改質ガスエネルギーの 4% と仮定した。このようなシステム条件の下で発電効率を計算したところ、平均セル電圧 0.6 V ではAC送電端LHVで 34% 、動作電圧 0.7 V では 40% の効率になると試算された。

図14に、メタノールと天然ガスの主成分であるメタンの燃焼熱をまとめて示した。LHVとは低位熱量(Lower Heating Value)のことで、内燃機関の場合などに用いられている。HHVは、高位熱量(Higher Heating Value)で、火力発電所の場合などに用いられている。両者の差は、燃焼によって生じた水($25^\circ C$)を液体とみなすか、水蒸気とみなすかの違いで 88 kJ/mol の差異がある。両者はよく混同して用いられており、発電効率を求める場合、HHVよりもLHVの方が1割程度高めに計算されるので、注意を要す

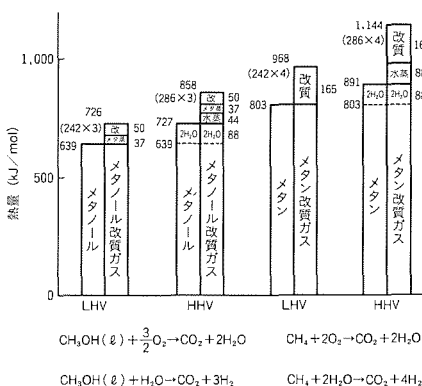


図14. メタノールとメタンの燃焼熱(LHVとHHV)

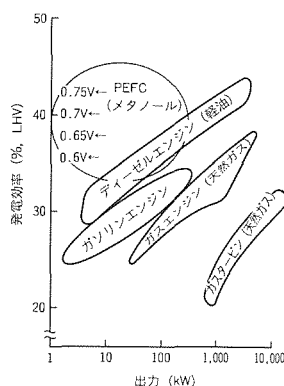


図15. 各種内燃機関とメタノール燃料10kW級PEFCの発電効率の比較

る。本稿では、内燃機関に合わせるために、PEFCの効率はLHVで表示することとした。

図の下に示した式は、水蒸気改質による水素の生成反応式である。改質によって得られる水素の燃焼エネルギーは、元のメタノールやメタンよりも多くなる。これは、メタノールやメタンからだけではなく、水からも水素が生成されるためである。水はPEFCの生成水が用いられる。ただし、改質は吸熱反応なので熱を与える必要がある。メタノールの改質温度は $300^\circ C$ 、メタンの改質温度は $700^\circ C$ と高く、さらに原料であるメタノール及び水を蒸発させるための熱も必要である。PEFCの場合、動作温度が低いので、これらの必要な熱は燃料出口ガスに残った水素を燃焼させることで得る。

図15は、メタノール燃料 10 kW 級PEFC可搬電源の場合と他の内燃機関の発電効率⁽⁵⁾を比較したものであり、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、ガスエンジン及びガスタービンのおおよその発電効率を、横軸に発電規模をとって示している。内燃機関の効率は、カルノーサイクルに支配されているので、出力が大きくなるほど温度が高くなって効率が高くなる傾向がある。一方PEFCの場合、効率(交流送電端)は、発電規模には大きくは影響を受けない。PEFCの効率は動作電圧によって大きく異なるが、ガスタービン、ガスエンジンやガソリンエンジンなどの内燃機関と比べてかなり発電効率が大きくなっており、特に 1 kW から 100 kW 規模で、内燃機関と比較して優位性が高いことが分かる。なおPEFCの場合、部分負荷の方がセル電圧が高くなって効率が高くなるので、定格負荷よりも部分負荷の多い例えば電気自動車などの用途では、PEFCの効率の優位性が更に高まると予想される。また、 NO_x や CO 、 HC がほとんど排出されずクリーンであること、静かであることなども可搬電源として大きなメリットである。

可搬電源としては、非常用電源や工事用電源などが考えられるが、PEFCの特長を生かすことができれば、用途は更に広がると予想される。

5. PEFC搭載電気自動車の概念設計

メタノール燃料 10 kW 級可搬電源の仕様を参考にして、鉛蓄電池とハイブリッドで電気自動車に搭載した場合を想定して概念設計を行った。

PEFC鉛蓄電池HEVの想像図を本稿カラー記事のイラスト中央上に、また、 $1,300\text{ cc}$ クラスのカソリン車との性能比較を表2に示した。表から、ガソリン車の性能には及ばないもののバッテリー単独EVに比べて車両重量が軽減され、走行距離もガソリン車に近づいているこ

表 2. PEFC鉛蓄電池HEVと1,300ccクラスのガソリン車との性能比較

	ガソリン車(1,300cc)	バッテリー単独EV	PEFC/バッテリー-HEV
定 員	5名	5名	5名
最大出力	56kW(6,500r/min)	30kW(Ni-Cd)	30kW(FC 10kW) 鉛蓄電池20kW
走行距離 (60km/h定地走行)	990km* ¹ 燃料タンク=50ℓ	210km* ¹ Ni-Cd電池500kg	640km* ¹ 燃料タンク=50ℓ
燃 費 (60km/h定地走行)	20km/ℓ	—	13km/ℓ
最高速度	160km/h	110km/h	110km/h
容 積	0.3m ³ ガソリンエンジン 0.25, 燃料タンク 0.05	0.4m ³ * ² モータ 0.06, 制御器 0.05, バッテリー 0.29	0.6m ³ FC0.22, 改質器 0.15, 空気ブロウ 0.02, 燃料タンク 0.05, モータ 0.06, 制御器 0.02, バッテリー 0.08
質 量	150kg ガソリンエンジン 110, 燃料タンク 40	650kg* ² モータ 120, 制御器 30, バッテリー 500	500kg FC 110, 改質器 55, 空気ブロウ 5, 燃料タンク 40, モータ 120, 制御器 30, バッテリー 140
車両質量	930kg	1,430kg	1,280kg
備 考	—	鉛蓄電池の場合は バッテリー840kg	FC質量, 体積密度(発電端) 115W/kg, 58W/ℓ (配管を含む)仮定

注* 1 60km/h定地走行の消費電力を6.6kW(ガソリン車), 7.7kW(バッテリー車), 7.4kW(FC車)と仮定。またFCについて, インバータ効率93%, 補機動力消費率5%, 動力効率90%, 動作電圧0.7V, メタノール燃料利用率75%を仮定。発電端10kW出力時のメタノール消費量=5ℓ/hとして計算。
* 2 航続距離をFC車と同じにするには, 更に1トン, 0.6m³のNi-Cd電池を搭載する必要がある(1650kg, 1m³となる)。

とが分かる。なお, PEFCの質量当たり及び体積当たりの出力密度は現状技術から試算したものであり, PEFCの性能向上に伴って, 車載の適合性は更に高まると考えられる。またバッテリーは起動時や負荷変動対策に必要であるが, 米国では, バッテリーの代わりにフライホイールやスーパーキャパシタを用いることが検討されている。しかし, 将来的には, PEFC自身の起動性・負荷応答性を高めて単独電源とすることを目指している。

PEFCを搭載した電気自動車の用途としては, 静音で, 排出ガスがクリーンで, 廃熱を利用した給湯も可能であることから, 特に欧米では, キャンプ場などで重宝されるのではないかと期待される。また, 家に駐車している間も発電して, 余分の電力は売電し, 廃熱利用で給湯用のお湯をたためることも可能である。また, 交流100Vの出力が可能なので, 夜間住宅地などでの工事用電源として使用するほか, 災害対策車としても有効に利用できるのではないかとと思われる。これらの用途については, 本稿カラー記事のイラストにイメージを示している。

運輸部門を除いて天然ガスの利用など脱石油への動きが加速する中で, 自動車は相変わらずガソリンや軽油など石油に頼らざるをえない状況で, 中国などでの自動車の普及に伴って脱石油への要望がますます高まると予想される。水素, 天然ガスや天然ガスから得られるメタノールを燃料とした

PEFC発電システムは, 発電効率が高く, クリーンで環境に優しいシステムである。

6. むすび

可搬型PEFCを実用化するためには, コンパクトなメタノール改質器の開発, 燃料電池スタックのコンパクト化, CO被毒対策, 軽量コンパクト化, コスト低減のほか, 起動性や負荷応答性の改善が必要である。これらの課題についてはNEDOの委託研究を通じて徐々に解決の見通しが得られつつある。

しかし, さらにPEFCを搭載して電気自動車の電源として用いるためには, 更なる性能の改善の

ほかに, 頻繁な起動停止に対する信頼性の確保, 大幅なコスト低減などの多くの課題を解決する必要がある。

筆者らは, 環境の改善, 脱石油依存, エネルギーの有効利用など社会の要請にこたえるためにこれらの開発課題に取り組む, 可搬電源や電気自動車用電源の実現を目指して今後ともPEFC発電システムの研究開発を鋭意進める所存である。

なお, 本稿に記載した研究内容は, 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託によって行ったものである。

参 考 文 献

- (1) 光田憲朗: 固体高分子型燃料電池および応用技術の開発動向, 動力, 45, No.231, 22~28 (1995)
- (2) Watkins, D.S., Dircks, K., Epp, D.: Canadian Solid Polymer Fuel Cell Development, 1988 Fuel Cell Seminar Abstract, 350~355 (1988)
- (3) 前田秀雄, 光田憲朗, 漆畑広明: 固体高分子型燃料電池, 電池技術, 7, 124~132 (1995)
- (4) Gonjo, Y., Sato, M., Sugimoto, T.: The 2nd IFCC, Abs. 5-07, 359~366 (1996)
- (5) 通産資料調査会: コジェネレーションの現状と将来, 第2章コジェネレーションの現状, 51~58 (1993)

電気自動車の駆動制御技術

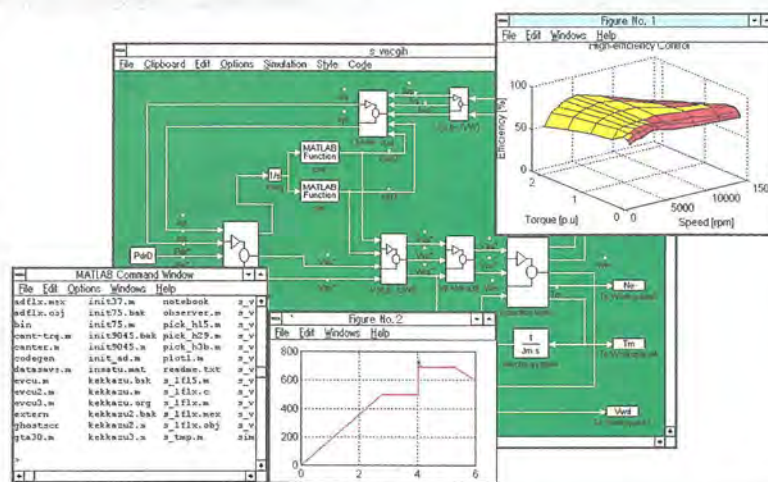
金行和敏* 小林 勝*
 西村慎二* 小山正人***
 安西清治** 金原義彦+



(a) モーター



(b) コントローラ



(c) 高効率ベクトル制御のMATLAB[®]によるシミュレーション

(注1)
 “MATLAB”は、米国The MathWorks, Inc. の登録商標である。

電気自動車の駆動システム

水冷方式の誘導モータとIPMインバータを採用し、高効率・高応答ベクトル制御を適用して実用性の高い駆動システムを実現した。

自動車の排出ガスがもたらす大気汚染問題に対し、排出ガスを出さない特長を持つ電気自動車の導入計画が練られ、世界中の自動車関連メーカーで開発・改良が進められている。その技術は着実に進歩し、近距離域内での交通手段としては実用域に達しつつあり、今後、実用化の試みが本格化するものとみられる。三菱電機㈱では、より高性能な電気自動車の実現に向けて研究・開発に取り組み、誘導モータと先進の駆動制御技術を組み合わせた駆動システムを開発した。

誘導モータは、高速化、冷却の水冷化、ステータ絶縁の高耐熱化、低損失コア材の適用などによって小型・軽量化

を図った。コントローラはインバータのパワー素子に駆動・保護回路を内蔵したIPM(Intelligent Power Module)を採用し、モータの冷却水を共用する水冷方式を採用して小型化した。制御部は、高速・高機能1チップCPU(Central Processing Unit)を採用し、誘導モータの高効率化とトルク制御の高応答・高精度化を両立させた高効率・高応答ベクトル制御を適用した。さらに、速度センサの省略によるコスト低減と、信頼性の向上を図る速度センサレス制御の適用を検討している。以上により、小型・軽量・高効率・低コストを調和させた高性能な電気自動車の駆動システムを実現した。

1. ま え が き

電気自動車は、従来の内燃エンジン車に比較して、排出ガス、騒音、エネルギーの利用効率、エネルギー源の多様化などに優れている。広く普及するためには、エネルギー密度の高いバッテリーの実現を始めとする性能面の課題や、充電設備のインフラ整備、コストなど解決すべき課題も多いが、環境保護への高まりとともにその普及が望まれている。

当社では、長年培われてきたモータ及びパワーエレクトロニクス制御技術を結集し、より高性能な電気自動車の駆動システムの実現に向けて開発に取り組んでいる。ここでは、駆動システムの制御技術を中心に開発状況を述べる。

2. 駆動システムに必要な性能

図1は電気自動車の走行性能曲線を示したものである。モータに求められる駆動力は、所要勾配の登坂に要する低速域の高トルク、平坦路での目標最高速度を満足させる高速域トルク、及び加速性能に関与する主として低～中速域トルクである。これらの要求トルク性能は、本来モータが持つトルク特性とよく合致するところであり、図の太線で示す定トルク域(A)と、定出力域(B)の最大トルク曲線で吸収できる。したがって、エンジンで必要としているギヤチェンジを不要(シフトレス)とすることが可能である。電気自動車では、この特性を生かして固定減速ギヤの採用を目標にすることが一般的であるので、広い回転速度範囲が要求される。

駆動システムに必要な性能要素をまとめると下記となる。

- (1) 居住性、走行性能の向上のため小型・軽量であること。
- (2) シフトレスを可能とするために回転速度範囲が広いこと。
- (3) バッテリーの有限エネルギーを有効活用するために高効率であること。
- (4) トルク制御性(正転・逆転、力行・回生)が良いこと。
- (5) 自動車の環境条件に適合する信頼性があること。
- (6) 普及のために低コストであること。

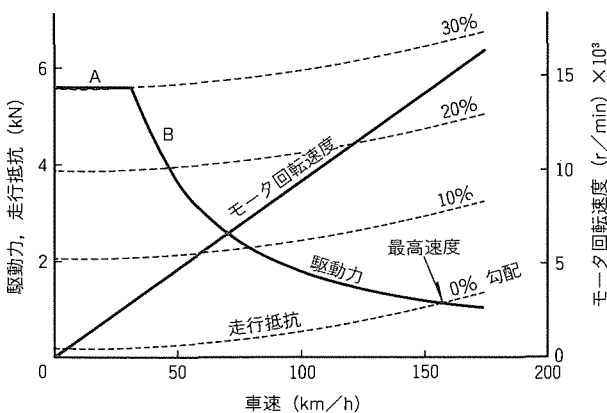


図1. 走行性能曲線

3. 駆動システムの構成

3.1 モーター

モータは三相かご形誘導方式を採用した。誘導モータは、電気自動車の駆動モータとして必要な要素である①容積・質量、②回転速度、③効率、④制御性、⑤信頼性、⑥コストにおいてバランスがとれており、いわゆるコストパフォーマンスに優れている。特に、ロータの構造が堅牢で、弱め界磁制御による高速化が容易であることから、減速ギヤ比を大きくすることによってモータの最大トルクを相対的に抑制することができ、モータの小型化や、電流低減によるインバータの小型化が図りやすい特長がある。

冷却は強制空冷方式と水冷方式を比較検討し、小型・軽量であり冷却効率に優れる水冷方式を選択した。冷却系の補機を含めた評価の結果、水冷方式は空冷方式に比較して質量が20%、容積が30%それぞれ低減でき、さらに、補機の所要電力が1/4になることを確認した。また、インバータのパワー素子部の水冷系とモータの冷却システムを共通にすることでシステムの整合を図った。さらに、水冷方式は空冷方式に比べてモータ構造の密閉化が容易であり、自動車の耐水性・耐じんあい(塵埃)性の環境条件に適合させやすい利点もある。開発した電気自動車用誘導モータの構造を図2に示す。

ステータ用の低損失コア材・高耐熱絶縁材の採用や、巻線の高密度化、ハウジング材料の軽量化によって、一般産業用モータと比較して、同一出力で約1/3に小型・軽量化することができた。

3.2 コントローラ

電気自動車のモータコントローラについても、電気自動車に求められる要求性能を満足するためのハードウェア開発を行った。

コントローラのインバータ部は、一般に、パワー素子、駆動回路、保護回路、平滑コンデンサ、スナバ回路で構成される。当社ではIGBT (Insulated Gate Bipolar Transis-

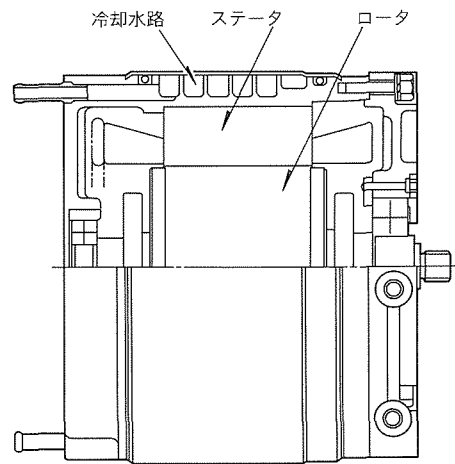


図2. 誘導モータの構造

tor) パワー素子を高機能化した IPM を採用し、パワー素子、駆動回路、保護回路を一体化した。さらに、平板ブスバーと平滑コンデンサの最適配置によってノイズ相殺効果を向上させたので、スナバ回路を省略できた。また、モータ特性と IPM 特性をマッチングさせることで、IPM を小型に構成した。

コントローラの制御部は、あらゆる走行条件で最適な走行トルク指令を演算するトルク指令演算部と、トルク指令・電圧・電流等を入力として高効率制御・速度センサレス制御演算から適切な三相印加電圧を出力するモータ制御部で構成される。この制御部は1チップの高機能 CPU で実現し、モータ定数・制御定数等はフラッシュメモリを採用することによって制御用ハードウェア部の標準化が図れた。

冷却にはユニットを密閉構造にしやすい水冷方式を採用し、モータの上流に配置している (図3)。

以上の構成により、IGBT を個別に配置したユニットと比較して、容積で 50%、質量で 45% の改善を図った。

4. 制御技術

電気自動車の駆動システムには、高応答・高精度トルク制御、高効率化、及び速度センサの省略による信頼性向上などを実現するため、様々な制御技術が要求される。以下、主な制御技術について述べる。

4.1 高効率・高応答ベクトル制御

誘導モータの高応答トルク制御を実現するため、当社独自のすべり周波数制御形ベクトル制御を適用した。この方式は、誘導モータの一次側回路モデルを利用してモータ速度を推定するとともに一次電流から二次磁束ベクトルを推定し、さらに、このベクトルに同期した回転座標軸 (d-q 軸) 上で誘導モータの励磁電流とトルク電流をフィードバック制御するものである。これにより、停止状態から定出力運転領域までの広範囲の速度領域において、滑らかで、かつ高応答のトルク

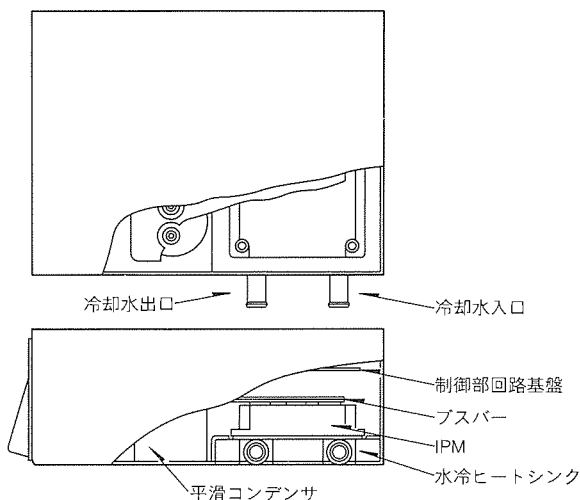


図3. コントローラの構造

制御特性が得られる。このベクトル制御は、高応答・高精度のトルク制御特性が要求される鉄鋼圧延機用の誘導モータ駆動システムへの適用を始めとして、数多くの使用実績がある。

次に、誘導モータの最高効率駆動条件は、モータの電圧・電流方程式から、“二次磁束ベクトルの振幅 ϕ_{dr} に対する二次電流の q 軸成分 i_{qr} の比 i_{qr} / ϕ_{dr} の値が、モータ定数と一次周波数で決まる所定の関数値と一致すること”として導出される。一方、誘導モータの発生トルク τ_m は i_{qr} と ϕ_{dr} の積に比例する。そこで、上記の最高効率条件を満足しながらトルク指令に応じて i_{qr} と ϕ_{dr} を配分すれば、高効率、かつ高応答のベクトル制御が可能となる。

この制御原理に基づいたベクトル制御系のブロック図を図4に示す⁽¹⁾。ここでは、磁束・電流指令演算器によるトルク指令から、最高効率駆動条件に基づいて、 i_{qr} と ϕ_{dr} それぞれの指令が演算される。さらに、一次電流指令演算器により、これらの指令から励磁電流指令 i_{ds}^* とトルク電流指令 i_{qs}^* が演算され、二次磁束ベクトル推定器と一次電圧指令器により、 i_{ds} と i_{qs} がそれぞれの指令に追従するようにベクトル制御が行われる。

各トルク・回転速度域における従来制御方式とこの制御方式のモータ効率について、実験結果を図5に示す。この制御方式によるモータ効率の改善は特に低トルク域において顕著であり、従来の制御方式に比較して最大 35 ポイント改善できた。一般走行時に運転頻度の高い領域でのモータ効率が向上することにより、一充電当たりの走行距離の伸長に寄与する。また、モータの発熱量が減少することで、モータの出力向上、小型化が図れた。

4.2 速度センサレス制御

ベクトル制御の適用によって高応答のトルク制御特性が得られるが、ベクトル制御の欠点は、モータの速度センサが必要なことである。このため、速度センサを用いない、いわゆる速度センサレスベクトル制御の開発が活発に進められている。最近では、制御技術の進歩や高速演算プロセッサの採用によって速度センサレスベクトル制御の制御性能が向上し、この制御を適用した汎用インバータが市場に登場しつつある。

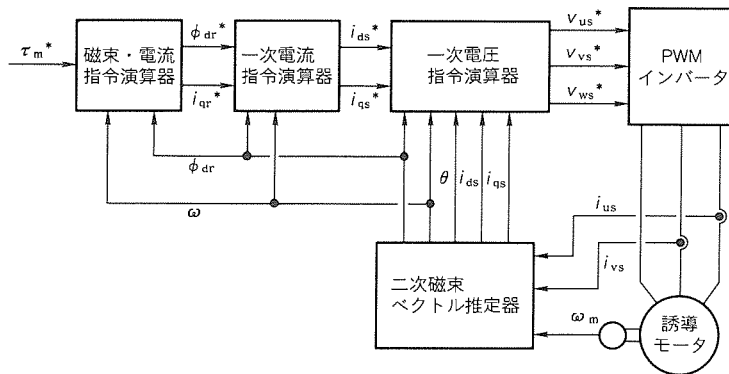
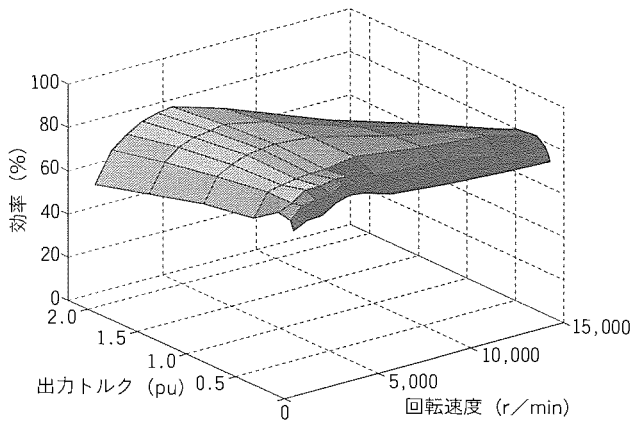
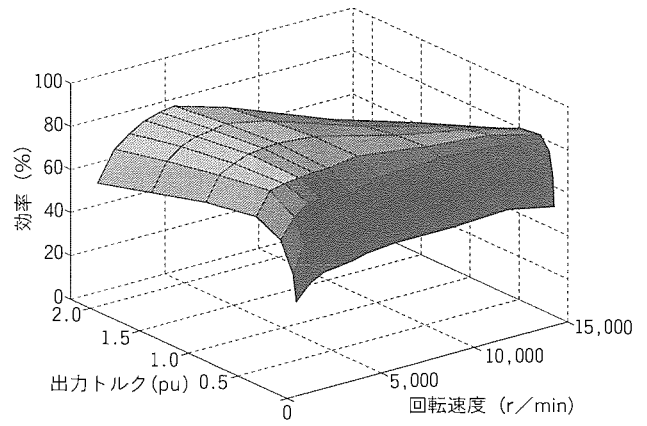


図4. 高効率ベクトル制御系のブロック図



(a) 高効率ベクトル制御



(b) 従来のベクトル制御（励磁一定）

図5. モータ効率特性

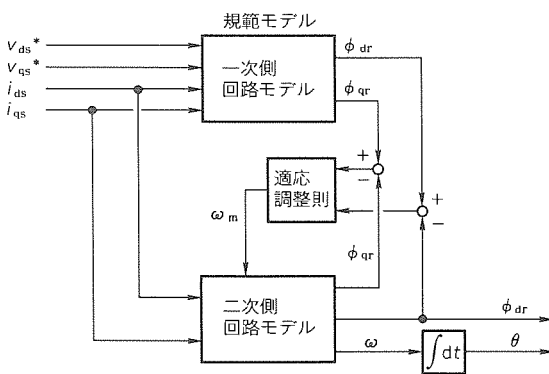


図6. 二次磁束ベクトル同定器のブロック図

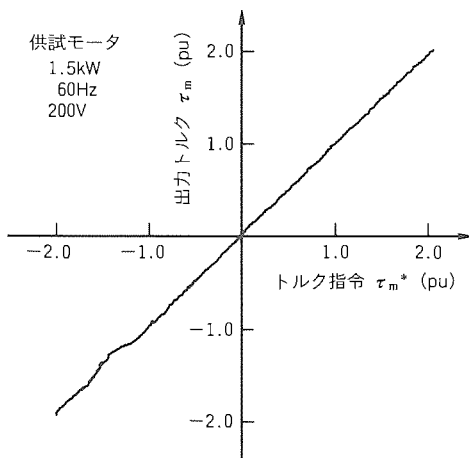


図7. トルク制御特性（2%速度時）

しかし、低速回生運転時にトルクの直線性が劣化するという課題が残されている。そのため、電気自動車の駆動システムに速度センサレスベクトル制御を適用した場合、低速走行時の電気ブレーキ力が不足する場合がある。

そこで、この問題を解決するために、規格モデル適応制御

を適用した二次磁束ベクトル同定器を開発した⁽²⁾。この同定器は、図6に示すように、誘導モータの一次側回路モデル（規格モデル）を用いて求められた二次磁束ベクトル演算値と、二次側回路モデルを用いて求められた二次磁束ベクトル同定値が一致するように、二次側回路モデルに必要なモータ速度 ω_m を適応調整則を用いて同定するものである。さらに、適応調整則を工夫することによって、低速回生時の二次磁束ベクトルの推定精度の向上を実現した。この同定器を図4の二次磁束ベクトル推定器と置き換えることによって、速度センサレスベクトル制御系が得られる。

図7に、この制御系の低速回生時のトルク制御特性を示す。同図から、回生時もほぼ直線のトルク特性が得られていることが分かる。

5. むすび

以上、三菱電機(株)が取り組んできた電気自動車用駆動システムの開発状況について述べた。

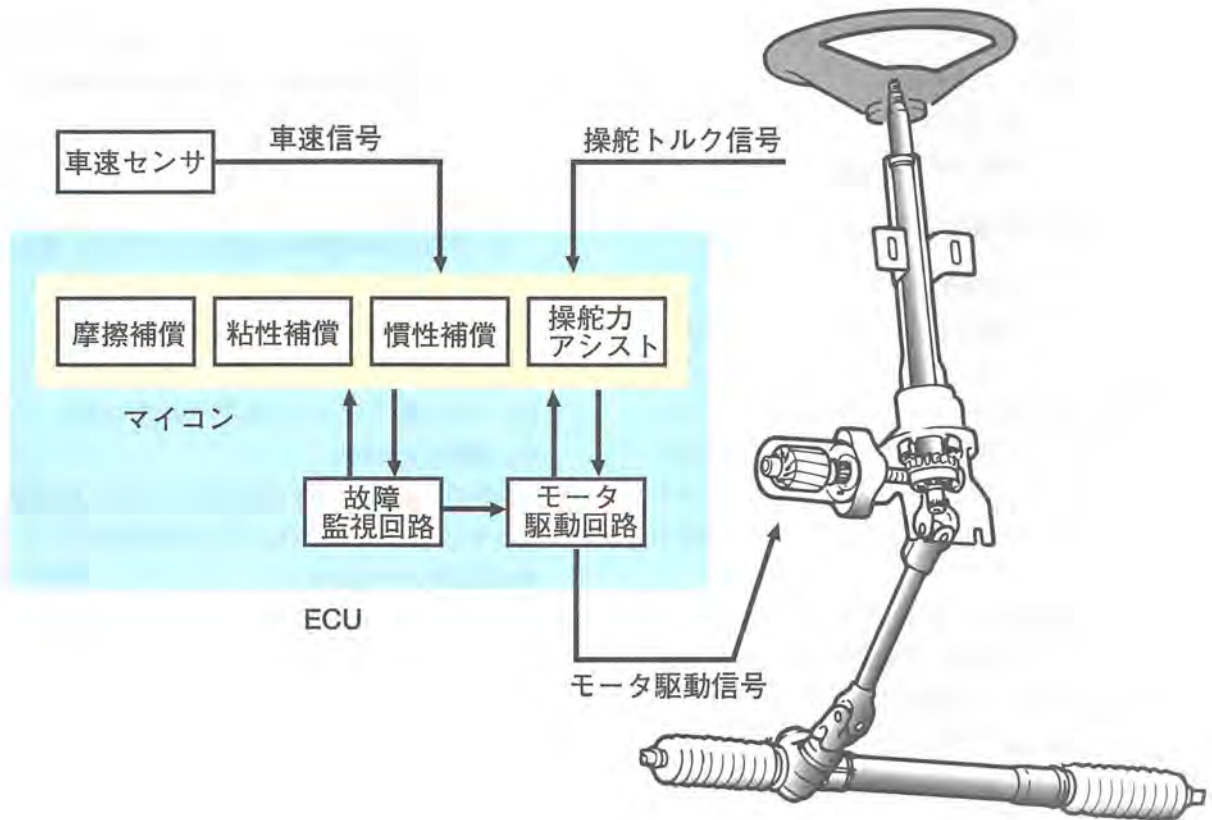
自動車の大気汚染問題に対する有力な解決策として、電気自動車への期待は大きい。今後も、電気自動車を現在の自動車社会に適応させ広く普及させるために、性能・コスト・利便性などへの技術開発が各方面で進められるものとみられる。当社も、これらの一助となるよう技術開発を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 金原義彦, 小山正人: 鉄損を考慮した誘導電動機の高効率・高応答ベクトル制御法, 平成7年電気学会産業応用部門全国大会, No.68, 201~206 (1995)
- (2) 玉井伸三, 大上正勝: MRASを用いた速度センサレスベクトル制御とその応用, 平成3年電気学会全国大会シンポジウム, S.9-23~26 (1991)

電動パワーステアリング制御技術

喜福隆之* 木全政弘**
 大熊昌都* 阪部茂一***
 和田俊一* 大穀晃裕†



電動パワーステアリングシステム

操舵トルク信号と車速信号に基づいて、走行状態に応じた操舵のアシスト力をモータから発生させる。同時に、モータの高出力化に伴って悪化したステアリング系の慣性モーメント、減衰性、摩擦を補正する。

自動車用のパワーステアリング装置は、操舵のアシスト力を発生させる方式によって、油圧パワーステアリング(油圧PS)と電動パワーステアリング(電動PS)に大別される。

油圧PSは、油圧ポンプをエンジンで駆動して操舵をアシストするものであり、1960年代から製品化され、現在もパワーステアリング装置の主流となっている。

電動PSは、モータで操舵をアシストするものである。'80年代後半から製品化され、油圧配管が困難なミッドシップ車や、油圧ポンプによるエンジンの馬力損失が問題となる軽乗用車を中心に採用されてきた。また最近では、環境保

護の観点から、電気自動車に適したPSとして、又は油圧PSと比較して燃費を低減できるPSとして注目されている。

三菱電機(株)は、'80年代前半から電動PSの開発と製品化に積極的に取り組んでおり、'88年には世界で初めて電動PSを量産化した。現在は、電動PSのメリットに着目して、小型乗用車クラス以上の自動車にも搭載したいという市場の要求にこたえるため、電動PSの性能改善に取り組んでいる。その結果、高出力・低摩擦化を図ったモータと、モータの高出力化に伴って発生する操舵フィーリングの悪化を補正する制御技術を開発し、小型乗用車に搭載し得る電動PSを実現することができた。

1. ま え が き

現在量産化されている電動パワーステアリング（電動PS）は、ほとんどが軽乗用車用である。油圧パワーステアリング（油圧PS）に比べて燃費低減と装着性改善等の利点があるにもかかわらず、車両重量が大きい小型乗用車クラス以上用の電動PSは、いまだ本格的に量産化されるに至っていないと言える。この理由の一つに、モータを高出力化すると、ステアリング系としての慣性モーメントと摩擦が増大し、操舵フィーリングが悪化するという点がある。

本稿では、新たにセンサを付加することなく上述の問題の解決を図った電動PSの制御技術を紹介する。

2. 電動PSの高出力化に伴う問題

2.1 操舵フィーリングの悪化

電動PSのアシスト力を増加させるためにモータを高出力化すると、図1に示すとおり、モータの慣性モーメントと摩擦トルクが増加する。慣性モーメントが増加すると、アシスト力の速応性が悪化する。摩擦トルクが増加してタイヤのセルフアライニングトルクに対して無視できなくなると、ステアリングホイールの戻りと微操舵時のフィーリングが悪化する。

走行時の一般的な操舵パターンは、ほとんどが直進ないし微操舵である。パワーステアリングの装着によって据え切り時の操舵力が軽減されても、微操舵時の操舵フィーリングが悪化すると、商品価値は著しく低下する。したがって、電動PSを高出力化する場合、まずモータの摩擦トルクを適正化することが非常に重要である。さらに、増加したモータの慣性モーメントと摩擦トルクを補正する制御が必要不可欠となる。

2.2 モータ駆動回路の発熱

モータを高出力化すると、電機子電流が増加する。モータ駆動回路の発熱を抑えるためには、できる限り回路の損失が

小さい方式でモータを駆動する必要がある。しかし、そのためには、回生電流をモータの抵抗分で消費させることになり、モータ電流の制御性が悪化する⁽¹⁾。電動PSにおいて、モータ電流制御の性能は、

- (1) 速応性が悪いと、微操舵時のフィーリングと操舵の滑らかさが悪化する。
- (2) 定常安定性が悪いと、騒音が発生する。

という問題につながるため、非常に重要である。したがって、電動PSを高出力化する場合、モータ駆動回路の損失低減とモータ電流制御の性能向上を両立させなければならない。

3. モ ー タ

3.1 概 要

モータは永久磁石界磁の直流モータである。図2にその構造を示す。

3.2 摩擦トルクの低減

モータの摩擦トルクの要因は、

- (1) ブラシ損、ベアリング損等の機械的な損失
- (2) 磁気による損失

に大別できる。モータを高出力化するには、電気的な抵抗を減らすためにブラシ-整流子間の接触面積を大きくした上で、磁束密度を高める必要がある。したがって、軽乗用車用のモータと比べて、小型乗用車用のモータは、機械的な損失と磁

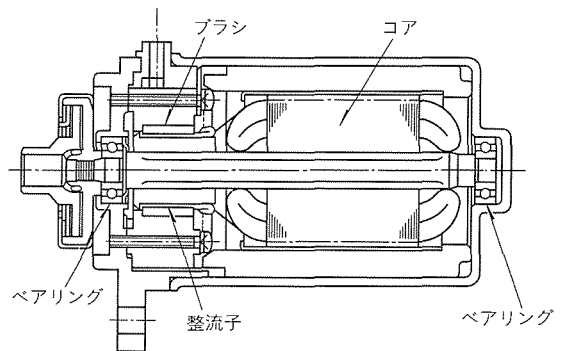


図2. モータの構造

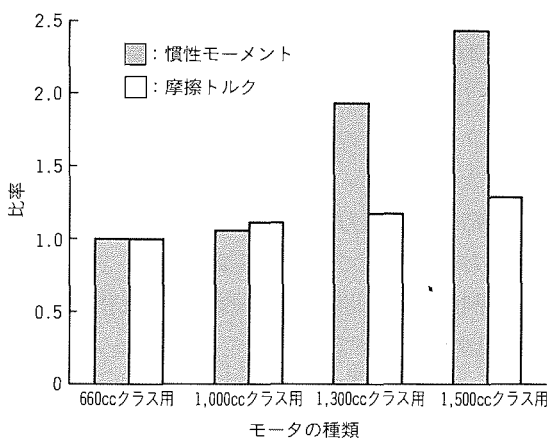


図1. モータの慣性モーメントと摩擦トルクの比較

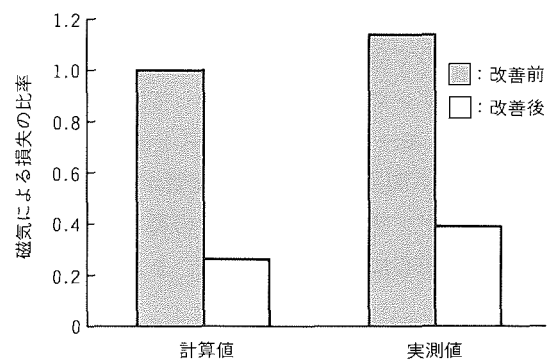


図3. モータの磁気による損失の比較

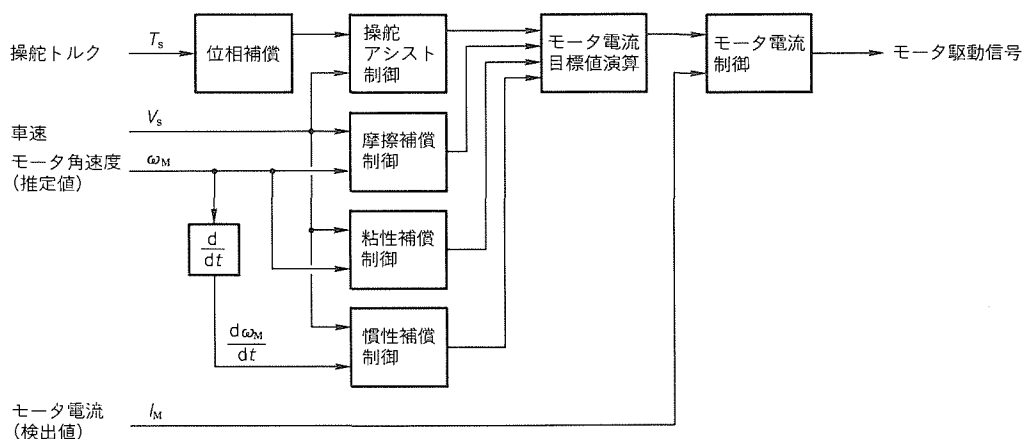


図4. 電動PS制御のブロック図

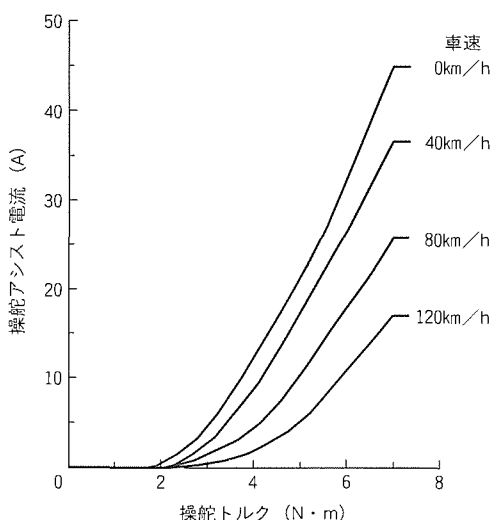


図5. 操舵トルク-操舵アシスト電流特性

気による損失が共に増加し、摩擦トルクが大きくなる。

そこで、磁界解析によってコアの構造を最適化し、磁気による損失の増加を抑えている。図3に、改善前の計算値を1として、磁気による損失を比較した結果を示す。この最適化により、損失を60%以上低減できていることが分かる。

4. 制御

4.1 概要

図4に制御ブロック図を示す。操舵アシスト制御では、操舵トルクと車速から、操舵の静的なアシスト力を決める。慣性・粘性・摩擦補償制御では、モータの高出力化に伴って発生する操舵フィーリングの悪化を補正する。以上の各制御ブロックの演算結果からモータ電流の目標値を演算し、目標値と検出値を一致させるようにモータ電流を制御する。

4.2 操舵アシスト制御

トルクセンサによって検出された操舵トルクを位相補償した後、図5のような操舵トルク-操舵アシスト電流特性に従

って操舵アシスト電流を決定する。

位相補償は、検出された操舵トルクの位相を進める1次の位相進み補償⁽²⁾である。これはトルクセンサとモータの間に直列に挿入され、次のような働きをしている。

- (1) 操舵トルク制御系の安定化を図る。
- (2) 操舵に軽快感を与える。

操舵トルク-操舵アシスト電流特性によって、モータによる静的なアシスト力が決まる。車速が大きくなるに従ってドライバにしっかりとした操舵感覚を与えることができるように、操舵アシスト電流が小さくなる特性になっている。

4.3 慣性保償制御⁽³⁾

モータの運動方程式は、モータの摩擦トルクをクーロン摩擦⁽²⁾と仮定すると、

$$K_T \cdot I_a = T_L + J_M \cdot (d\omega_M/dt) + D_M \cdot \omega_M + F_M \cdot \text{sgn}(\omega_M) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 K_T : モータトルク定数

I_a : モータ電機子電流

T_L : 負荷トルク

J_M : モータ慣性モーメント

ω_M : モータ角速度

D_M : モータ粘性摩擦係数

F_M : モータ摩擦トルク

と表すことができる。そこで、モータ慣性モーメント J_M によって発生する外乱トルクを打ち消すために、

$$I_J = K_J \cdot (d\omega_M/dt) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 I_J : モータ慣性補償電流

K_J : 慣性補償制御ゲイン (任意の定数)

となる慣性補償電流 I_J をモータ電流の目標値に加える。

式(2)を見ると、慣性補償制御を行うには、モータ角加速度 $d\omega_M/dt$ を検出する必要があることが分かる。ここでは、モータ角速度 ω_M がモータの誘起電圧に比例することから、モータの誘起電圧を推定し、それを微分することによってモータ角加速度 $d\omega_M/dt$ を得ている。

図6に、車速約50 km/hで走行しながら操舵周波数をスイープさせ、(操舵角度)/(操舵トルク)の周波数特性を測定した結果を示す。慣性補償制御を行うと、1~3 Hz付近で位相が進んでおり、速応性が向上していることが分かる。

4.4 粘性補償制度

慣性補償制御によって操舵の速応性を向上させると、減衰性が悪化する。これは、操舵安定性の悪化につながり、特に高速時には問題となる。したがって、速応性と独立して減衰性を制御することが必要となる。

そこで、式(1)から、減衰性を高めるために、

$$I_D = -K_D \cdot \omega_M \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 I_D : 粘性補償電流

K_D : 粘性補償制御ゲイン (任意の定数)

となる粘性補償電流 I_D をモータ電流の目標値に加える。式(3)のモータ角速度 ω_M には、慣性補償制御の場合と同様に、

モータの誘起電圧の推定値を用いる。

図7に、車速約70 km/hで走行しながらステップ状に操舵した後、ステアリングホイールから手を放し、減衰性を比較した結果を示す。粘性補償制御を行うと、減衰性が向上していることが分かる。

4.5 摩擦補償制御⁽⁴⁾

さらに、式(1)から、モータ摩擦トルク F_M を打ち消すために、

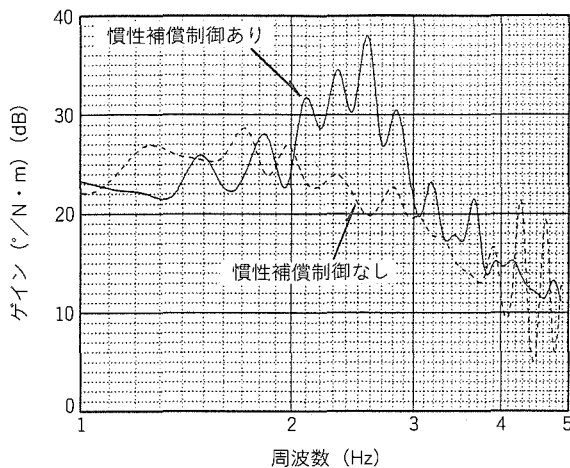
$$I_F = K_F \cdot \text{sgn}(\omega_M) \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 I_F : 粘性補償電流

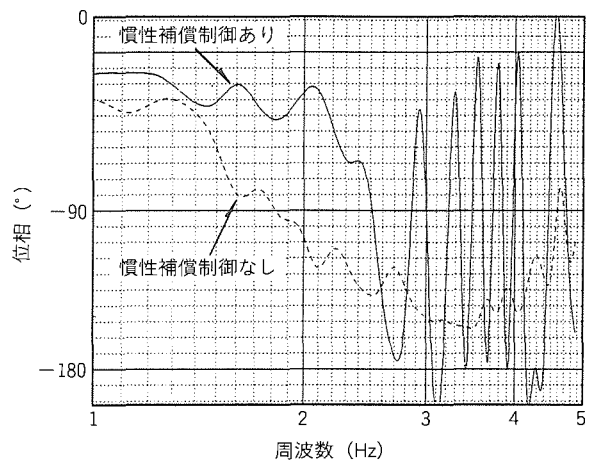
K_F : 粘性補償制御ゲイン (任意の定数)

となる摩擦補償電流 I_F をモータ電流の目標値に加える。ここでも、モータ角速度 ω_M には、慣性・粘性補償制御の場合と同様に、モータの誘起電圧の推定値を用いる。

図8に、ステアリングホイールをロック位置まで操舵した

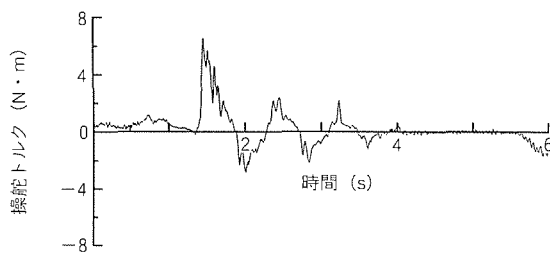
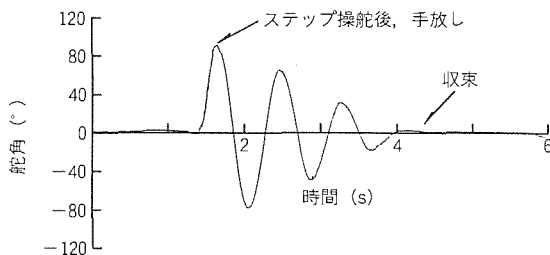


(a) ゲイン特性

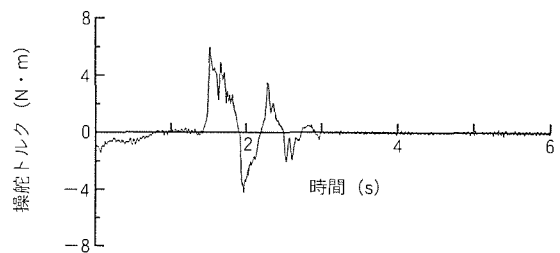
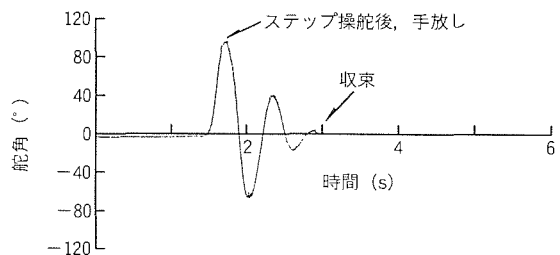


(b) 位相特性

図6. (操舵角度)/(操舵トルク)の周波数特性測定結果



(a) 粘性補償制御なし



(b) 粘性補償制御あり

図7. 手放し時の減衰性測定結果

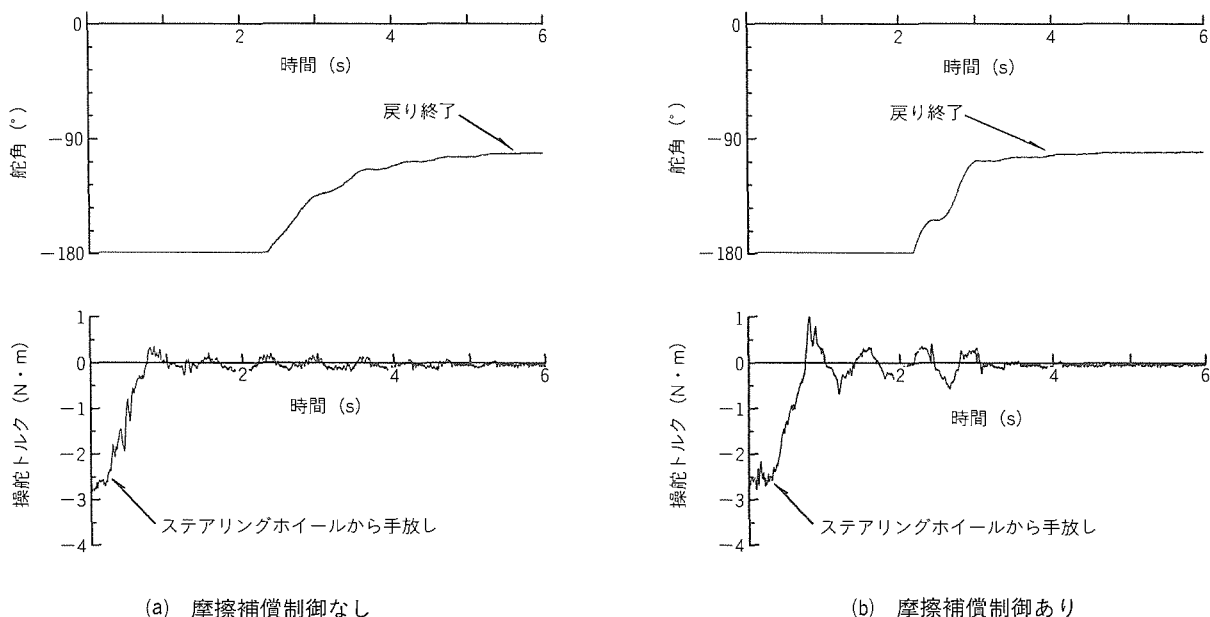


図 8. 低速時のステアリングホイールの戻り測定結果

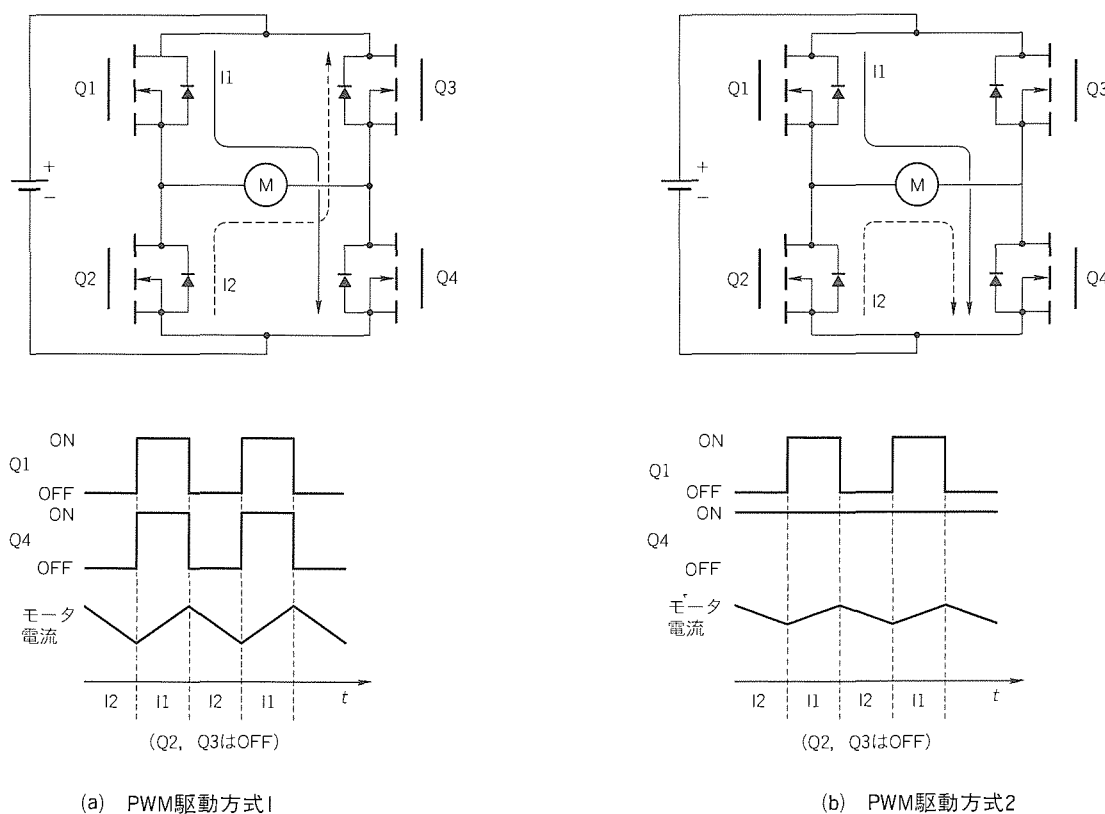


図 9. H型ブリッジ回路のPWM駆動方式

後、手を放し、車速 10 km/h で走行し、戻りを比較した結果を示す。摩擦補償制御を行うと、戻りが向上していることが分かる。

4.6 モータ電流制御

操舵アシスト電流と慣性・粘性・摩擦補償電流を加算することにより、モータ電流の目標値を演算する。最後に、この目標値とモータ電流の検出値が一致するように、モータ電流

を制御する。

モータ駆動回路は、パワー MOSFET による H 型ブリッジ回路で構成されており、これを搬送波周波数約 20 kHz で PWM (Pulse Width Modulation) 駆動している。H 型ブリッジ回路の PWM 駆動方式としては、一般に図 9 に示す二つの方式が知られている⁽¹⁾。しかし、表 1 に示すとおり、電動 PS の用途ではいずれの駆動方式も一長一短であり、こ

表1. H型ブリッジ回路のPWM駆動方式の比較

比較項目	PWM駆動方式1	PWM駆動方式2
モータ電流のリップル	大	小
回生電流の時定数	小	大
微小電流の制御性	良	悪
大電流の制御性	悪	良
スイッチング損失	大	小

ここでは長所を生かすために両者を随時切り換えて使用した。
 制御方式は、図10に示すとおり、PI制御によるフィードバック制御とフィードフォワード制御の複合制御⁽⁵⁾とした。フィードフォワード制御を併用した目的は、次の2点である。
 (1) 速応性を向上させる。
 (2) PWM駆動方式切換え時の電流リップルを抑える。
 このように、モータ駆動回路のPWM駆動方式と電流制御方式を改善することにより、モータ駆動回路の損失低減とモータ電流制御の性能向上を両立させた。

5. むすび

以上のように、モータと制御方式を改善することにより、小型乗用車に搭載し得る電動PSを開発することができた。今後は、更なる高出力化と性能改善を図り、普通乗用者に搭載し得る電動PSを開発することが目標である。
 最後に、このシステムを開発するに当たり多大な御協力をいただいた関係者の方々に深く感謝する。

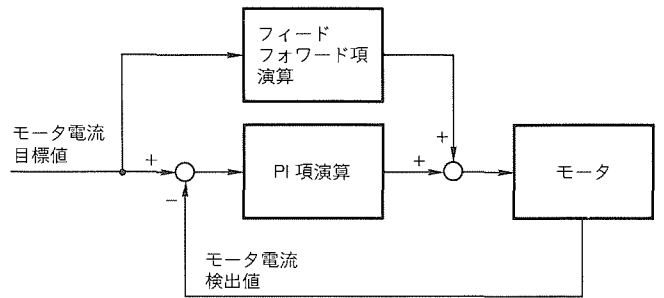


図10. モータ電流制御のブロック図

参考文献

- (1) 大島康次郎：サーボ技術マニュアル（上巻），III-118～128，新技術開発センター（1980）
- (2) 伊藤正美：自動制御，丸善（1981）
- (3) 土手康彦，原島文雄：モーションコントロール，コロナ社（1993）
- (4) 深谷健一：非線形要素を含むサーボモータ機構系の制御に関する研究第1報，摩擦を含むサーボモータ機構系制御の研究動向について，北海学園大学工学部研究報告，No.19，147～156（1992）
- (5) 広井和男，伊藤光次郎：フィードフォワード制御とその新しい展開，計測技術，No.12，90～95，日本工業出版（1984）

ガソリンエンジンの制御技術と 制御ユニットの小型化

森本義信* 北村洋一**
藤本高德*
西村幸信*



次世代ガソリンエンジン制御ユニット

汎用ガラスエポキシ基板の上に全電子部品を完全表面実装技術で実装し、樹脂製ケースにネジを使用せず収納した。耐振、耐電磁気特性、耐熱等も同時に達成している。

自動車用エンジン及び制御に要求される主な項目は、高出力化、低燃費化、規制対応、運転性の向上である。これらの項目に対応して、ノック制御、回転変動による希薄燃焼限界制御、オンボード自己診断規制対応制御、統合制御などを開発してきた。

エンジン制御の高度化を達成するためには、高機能な電子制御装置(Electronic Control Unit: ECU)が要求される。ECUの機能は、マイコンの性能に大きく依存し、年々演算速度の高速化と内蔵メモリの増大が図られてきた。このため、ソフトウェア開発もC言語の採用が拡大しつつある。

また、自動車に搭載されるECU数が年々増加してきており、ECUの装着位置が問題となってきた。このため、エンジン制御ECUは、エンジンルームに装着される方向にあり、小型化と耐環境性の向上が必要である。これらの要求を満たす一つの方法として、基板上にベアチップを実装する方式が提案されている。

三菱電機㈱におけるECUの小型化は、全電子部品の面実装化によるコスト低減との両立をねらいとした方式と、ベアチップ実装によるエンジン直付けをねらいとした方式の二つで進めている。

1. ま え が き

排出ガス規制と自動車の性能向上の二つの技術課題をクリアしていくために、カーエレクトロニクスは拡大してきた。さらに、高機能化、快適性向上、操縦性改善及び個性化といったユーザーニーズの多様化は、エレクトロニクス技術の積極的導入に拍車をかけ、“より楽しい、より楽に運転できる、より快適な空間”としての自動車へと大きく進化を遂げてきた。

ここでは、エンジン制御における制御技術の動向と、その中心となる ECU の技術動向について述べる。

2. エンジン制御システムの動向

自動車用エンジン及び制御に要求される項目を図1に示す。ここに示す項目の中には、相反する技術的な課題もあるが、それを解決する上でエレクトロニクス技術が大きな役割を果たしている。

(1) 高出力化

エンジンの多気筒化・多弁化が進んできたが、最近では可変バルブタイミングの採用拡大と制御の精密化の傾向にある。エンジンの性能向上を図る方法として、ノック制御の採用による出力の向上がある。当社は、ノックセンサの波形処理の大幅なデジタル化を実現し、8ビットのマイコンでも処理可能なシステムを開発し、制御性の向上とコスト低減の両立を図ったシステムの生産化を図っている。

(2) 低燃費化

リーンバーンエンジンが各社から発表されており、最近では2,000cc以上のエンジンにも適用されつつある。このシステムのポイントは、空燃比の希薄燃焼限界制御である。当社は、リニア A/F (Air by Fuel) センサ方式に加え、エンジンの回転変動による制御を三菱自動車工業㈱と共同開発し、実用化を図った。

(3) 規制対応 (低エミッション, OBD-II)

日本、米国、EU等で排出ガス規制が順次強化されつつある。当社は、A/Fのフィードバック制御の改良、フィードバック式 EGR (Exhaust Gas Regulator) の開発など、低エミッション規制に対応したシステムを開発してきた。特に米国

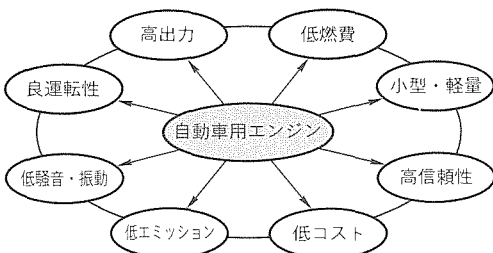


図1. 自動車用エンジンに要求される特性

では、エミッションシステムの劣化を検出するオンボード自己診断規制 (以下“OBD-II”という。) が義務付けられており、この規制も段階的に強化される方向にある。

当社も、回転角速度検出方式の失火検出制御などの OBD-II に対応した各種の制御方式を開発し、1994年から生産を開始した。OBD-IIシステムに対応したエンジン制御システムを図2に示す。

(4) 運転性向上

自動車の運転性は、エンジン制御と駆動系制御の組合せで決まる。従来から、自動変速機 (以下“AT”という。) のシフト制御時にエンジントルクを制御し、シフトクオリティの向上を図る制御が行われてきた。最近では、更に進んだ制御として、エンジンからの情報を AT 制御側でも利用し、AT のシフトパターンを最適化する制御が行われている。この制御を行うためにはエンジン制御と AT 制御の統合化が必要であり、当社ではこれに対応した ECU の開発を行い、軽自動車から小型車までに対応した ECU を生産中である。

3. エンジン制御技術

エンジンの高性能化・低燃費化などによってますます制御が高度化する傾向にあり、これを達成するためには、高機能な ECU が要求される。

また、自動車の開発期間の短縮、開発コスト低減の要求が高まる中、仕様変更に対応可能なマイコン及び高信頼性ソフトウェアの開発が必要となっている。

3.1 マイコンの高性能化

ECU の制御機能はマイコンの性能に依存すると言っても過言ではない。

エンジン制御は高速リアルタイム処理が要求されるため、当社は、エンジン制御に適したマイコンを開発してきた。ま

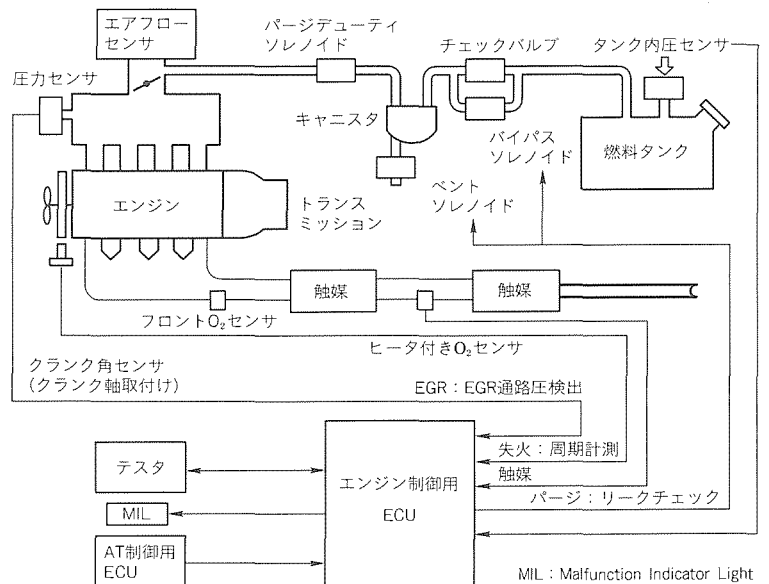


図2. OBD-IIシステム

た、従来8ビットマイコンが主流であったが、最近の制御の高度化にこたえるために、16ビットマイコン化が急ピッチで進みつつある。

制御仕様の増加により、年々メモリ容量の拡大と、演算速度の高速化が図られてきた。エンジン制御に採用されているマイコンのメモリ容量と演算速度のトレンドを図3に示す。また、代表的なマイコンの仕様を表1に示す。

また、マイコンに内蔵されるROMは、現在はマスクタイプとワンタイム PROMが主流であるが、開発期間短縮のため、フラッシュ ROMを内蔵したマイコンの検討を進めている。

3.2 ソフトウェア開発

エンジン制御のソフトウェアは、高速処理の要求とマイコンに内蔵されるメモリサイズの制約から、これまで主にアセンブラ言語で作成されてきた。しかし、16ビットマイコンの採用による高速処理化、内蔵メモリの大幅な増加などによってC言語によるソフトウェアの設計が拡大しつつある。

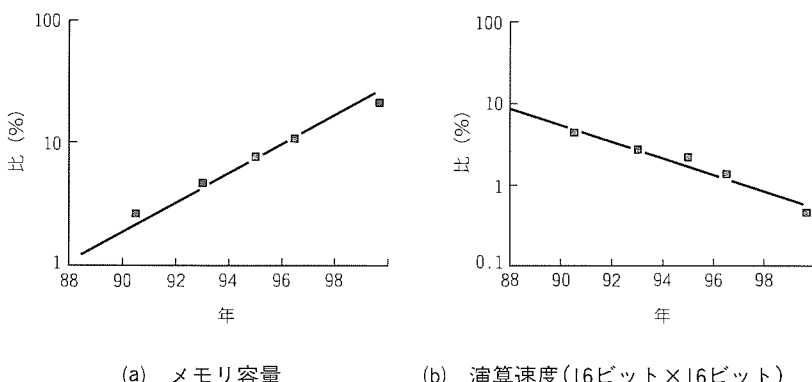


図3. 自動車用マイコンの機能動向

表1. 自動車用マイコンの仕様比較

CPU	8ビット		16ビット	
	ROM容量 (Kバイト)	60	62	92
PROM仕様	OTP	OTP	OTP	
RAM容量 (Kバイト)	1.5	2	3.25	
演算速度 (μs) (16ビット×16ビット)	7.8	2.3	2.4	
A/D変換器	10ビット×12ch	10ビット×8ch	10ビット×16ch	
入出力タイマ	24ch	13ch	23ch	
S C I	2ch	2ch	3ch	
パッケージ	100ピン QFP	84ピン PLCC	136ピン QFP	

表2. ユニット搭載場所と環境条件

搭載場所	環境条件			
	温度 (°C)	防水	振動 (G)	耐ノイズ
車室内	-40~+85	不要	最大4~5	ラジオ干渉 車載トランシーバ
エンジンルーム	-40~+110	完全防水	最大4~5	点火系ノイズ アクチュエータ遮断ノイズ
エンジン直付け	-40~+120	高圧洗車対応	最大35	同上

当社でも、C言語によるソフトウェアの設計を進めており、Cコンパイラの改良やプログラム設計の工夫などにより、対アセンブラ比で1.3倍のオブジェクト効率を得ている。

また、エンジン制御ソフトウェアのドキュメントの自動作成システム、ソフトウェアデバッグ用シミュレータなどの各種のツールを独自に開発し、高信頼性ソフトウェアを短期間で開発するシステムを構築している。

4. エンジン制御ECU

自動車のエレクトロニクス化の拡大に伴い、搭載されるECUの数も年々増加してきており、ECUの装着位置が問題となってきている。これに伴い、ECUはますます小型・軽量化の傾向にあるが、これまで述べてきたようにエンジン制御ECUの機能は増加の一途をたどっている。この相反する要求を満たすために、回路設計と製造の両面から小型化に取り組んでいる。

4.1 ECUの搭載位置

エンジン制御ECUは、自動車の車室内に設置されている。しかし、ECU増加による設置スペース不足と機能向上によるECUの配線数の増加の問題に対応するため、エンジン制御ECUのエンジンルームへの設置が急務となってきている。

ECUのエンジンルーム設置に当たっては、温度・水・振動などの耐環境性の向上と小型化、さらにはコストアップを最小限に抑えることが必要である。

ECUの搭載位置と環境条件を表2に示す。ECUのエンジン直付けは、車室内に比べて耐熱性、防水性、耐振性などを大幅に向上させる必要がある。

4.2 小型化と実装技術

ECUをエンジンルーム設置可能にするには、主としてプリント配線基板と電子部品実装方法・技術の見直しが必要である。

プリント配線基板と電子部品実装技術のトレンドを図4に示す。特にECUのエンジン直付けの場合は、温度・振動の条件が非常に厳しく、耐熱性の向上と小型化を図るため、セラミック基板上にベアチップを実装する方式が必要となる。

電子機器を小型化する技術の多くは民生用電子機器で既に実用化されているが、エンジン制御ECUに対しては、これらに比べて高い信頼性と環境条件が要求される。ユニット小型化のための要素技術を表3に示す。

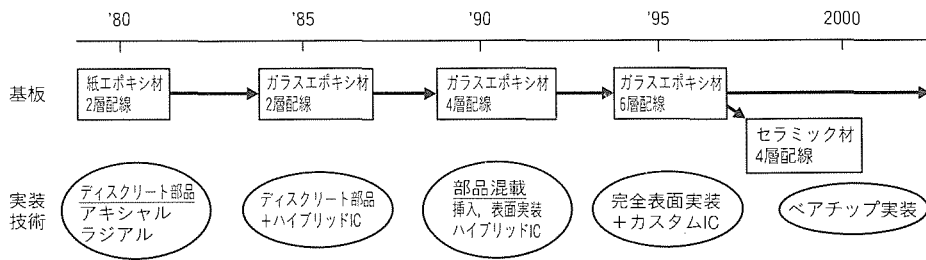


図4. エンジン制御ECUにおける基板と部品実装技術

表3. ユニット小型化のための要素技術

分類	要素技術	内容
部品実装	完全表面実装化	すべての電子部品を表面実装タイプに変更する
	高密度はんだ付け	リードピッチ0.55mmのQFP-ICの高信頼はんだ付け
	高熱サイクルはんだ	エンジンルーム搭載を考慮した熱サイクルに耐える
	ベアチップ実装	ワイヤボンディング, タイボンディング技術
電子部品	小型パッケージIC	100ピン超のQFP-ICの採用
	高密度配線板	パターンピッチ0.25mmの印刷配線板
	カスタムIC化	部品点数削減のための回路簡略化
	出力段低損失化	低ON抵抗パワー-MOSトランジスタの開発
ケース	高密度多ピンコネクタ	多機能化対応(100ピン以上)コネクタの開発
	樹脂製ケース	軽量化対応, 電磁波雑音誤動作耐量
	防水, 耐振, 耐熱	樹脂製ケースとの両立

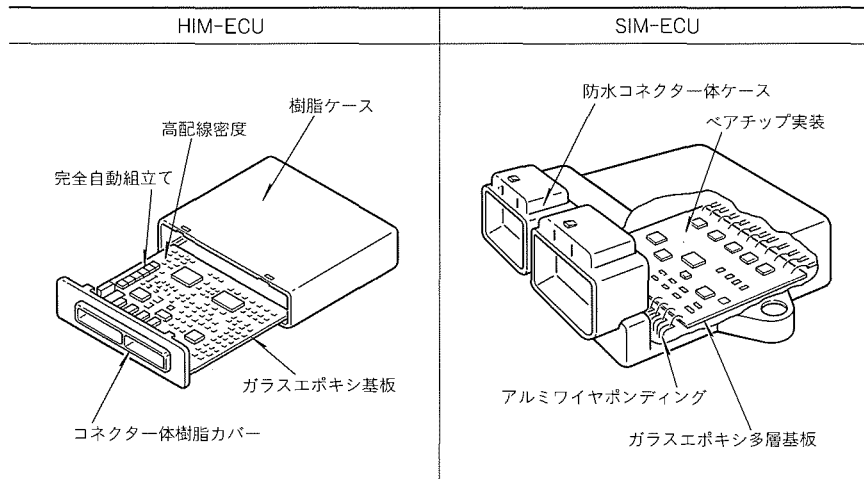


図5. ECUの構造

ECUの小型化において最も重要な項目は発熱対策である。エンジンルーム設置時、ECU内部の半導体素子の温度上昇は30℃程度に抑える必要があり、発熱の大部分を占める電源部と出力回路の発熱低減が課題である。エンジン制御ECUでは、通常0.5～1A程度のソレノイドをON/OFF制御することが多く、これらに対してはパワーMOSトランジスタの採用が得策である。

ECUの小型化に際して、コネクタがもう一つの大きな課題である。エンジン制御の高機能化、規制対応、さらには

AT制御との統合化などによって、信号数は大幅に増加し、コネクタのピン数は110～120ピンにも達し、ECUの更なる小型化に当たっては小型の高密度コネクタの開発が必ず(須)である。

4.3 ECUの小型化

当社では、エンジン制御ECUの小型化を次の二つのステップで開発している。

ステップ1は、HIM-ECU (High Integrated Mounting Technology - ECU) といい、現在の製造技術の延長線上に位置付け、全電子部品の面実装化を行い、小型化とコスト低減を図るものである。

ステップ2は、SIM-ECU (Super Integrated Mounting Technology - ECU) といい、ベアチップ実装技術とワイヤボンディング技術を用い、超小型化かつエンジン直付け化を図るものである。

図5に、HIM-ECU、SIM-ECUの外観と構造を示す。

現時点でECUの究極の小型化は、多機能を単一のシリコンウェア上に形成したカスタムICをベアチップ実装技術によってプリント基板に搭載することである。この場合のキーテクノロジーは、回路の標準化とカスタムICにいかにかに多くの機能を盛り込むかである。半導体技術の進歩によって数種類のカスタムICでECUを構成できるようになりつつあり、ベアチップ実装

によるECUも実用化の段階を迎えつつある。

5. むすび

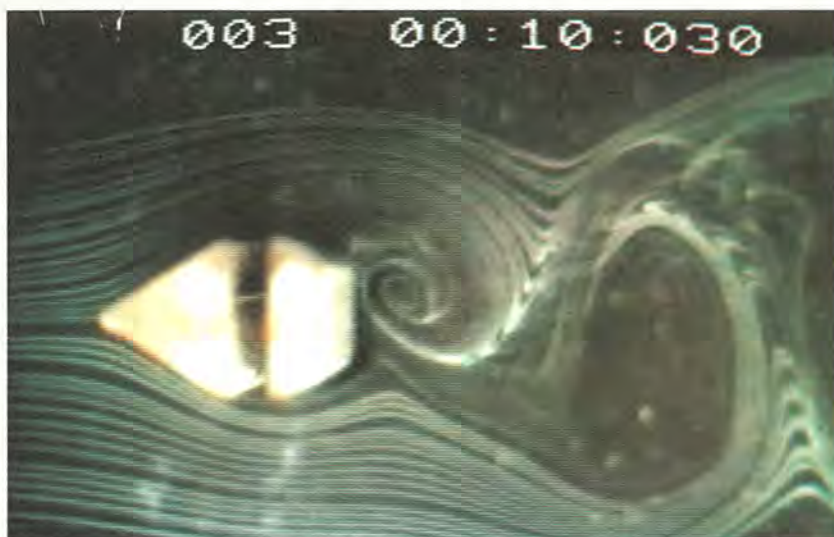
ここでは、エンジン制御の動向と、それに対応するソフトウェアとハードウェアの技術動向について述べた。これらの技術は、排出ガス浄化性能の向上、低燃費、小型・軽量化に寄与し、環境保全に大きな役割を果たしている。

当社は、今後もエンジン制御に関する技術開発を行い、自動車の発展に寄与していく所存である。

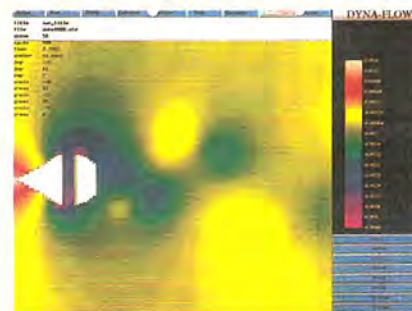
エンジン制御用センサの小型化

大谷七郎* 輪木宏治*
 木口 栄* 加柴良裕**
 三谷干城* 荒木 達***

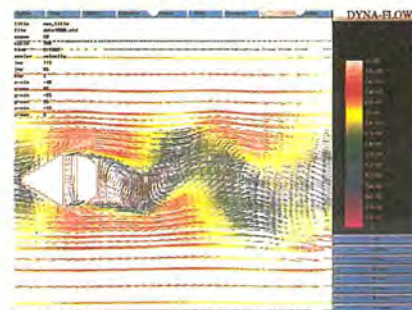
可視化したカルマン渦



CAEで求めたカルマン渦



圧力分布



流速ベクトル

カルマン渦

カルマン渦は、障害物と流体とが織りなす規則性のある自然現象である。このカルマン渦を利用する三菱電機㈱のエアフローセンサは、精度が高く応答遅れのない優れた性能を持っている。

近年、自動車用エンジンに対する要求が更に高度化しており、燃費の低減と出力向上(100PS以上、排気量1,000cc当たり)や、北米のULEV(Ultra Low Emission Vehicle：超低公害車)などの排出ガス規制強化とレスポンスの良い走行性能など、相反するすべての項目を成立させねばならない。そのためには、燃料噴射システムのメインパーツであるセンサの性能向上が必ず(須)である。

さらに、居住性向上に伴うエンジンルーム縮小と車室内の快適環境化や、アンチロックブレーキシステムなどの安全装置の充実などによる装着部品の増加により、センサを

搭載する空間はますます少なくなってきており、センサの軽薄短小化もより強く求められている。

新世代エアフローセンサは、カルマン渦検出機構に白金ロジウム合金線としては世界で最も細い直径12 μ mを使用し、低流量域の感度を30%向上させ、圧力損失を低減した。また、流管全体をペルマウス構造として流れを安定させ、全長を20%短縮した。

圧力センサは、専用モノリシックICと高密度なアセンブリ構造によって、要求される性能と信頼性を満足させながら小型軽量を達成した。

1. ま え が き

燃料噴射システムの高性能化により、超リーンバーンエンジン、ミラーサイクルエンジン、筒内直接ガソリン噴射エンジンなどの高性能エンジンが開発され、その高性能エンジンを搭載した自動車市場を走り出している。

これら高性能エンジンの燃料噴射システムにはより高性能なセンサが要求され、当社はその要求にこたえるため、新世代カルマン渦式エアフローセンサ (AFS) と小型圧力センサを開発した。ここでは、これら新センサについて述べる。

2. 新世代カルマン渦式AFS

2.1 AFSの改善ターゲット

一様な流れの中に障害物 (以下“渦発生柱”という。) があると、カルマン渦 (以下“渦”という。) が発生する。

渦の発生周波数 f と流体の体積流量 Q には、次式が成立している。

$$f = Sr \times Q / (d \times A) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Sr : ストローハル数 (渦発生柱の形状で決まる無次元数であり、流速に対しておおむね一定値である。)

d : 渦発生体の幅

A : 流体通路断面積

このため、発生周波数 f を検出すれば体積流量 Q を計測することが可能となる。

渦は、所定の条件下では極めて安定して発生する。また、流体そのものの現象であり、流速の変化に遅れることがない。したがって、渦式 AFS は、高信頼性・高速応答性など非常に優れた性能を持っている。

しかし、流れのほぼ中央に渦発生柱を置くため、圧力損失が大きい欠点があった。また、エンジンの吸気系のような曲がり部や通路断面積変化の多い配管において、精度良く測定するために、AFS の流管は比較的長かった。

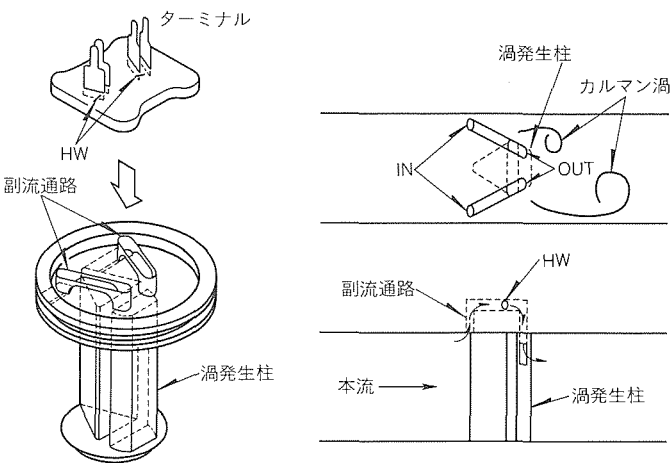


図1. 渦発生柱と検出機構

圧力損失を小さくするには、流体通路断面積を大きくし、流速を小さくする必要がある。そのためには、検出機構の高感度化や、AFS 内で発生する乱流の低減をしなければならない。また、全長短縮には、エンジンの配管で乱れる流れを短距離で整流できる効率の良い整流機構が必要である。

2.2 新世代渦式AFSの新機構及び新技術

(1) 渦の検出機構

各種の渦の検出原理の中で、ホットワイヤ (HW) 方式は高感度であることが特長であり、直径 $12 \mu\text{m}$ の白金ロジウム線を用いることにより、最低検出可能周波数を 20 Hz から 14 Hz に下げることができた。この HW を設置している副流通路と渦発生柱の構造を図1に示す。

CAE や可視化によって最適形状とした流れの安定を得るための副流通路は、左右それぞれ独立して渦発生柱の上流と渦はく (剥) 離点を連通している。

副流通路の流れは、本流の静圧による流れ (左右同一) と左右交互に発生する渦の圧力によって発生する流れが重畳されたものである。したがって、重畳した流れから AFS として必要な渦の信号を取り出すために、電気的な処理をしている。すなわち、左右の HW の電気信号を差動回路で受け、本流の静圧による流れの信号を除去するようにした。図2に駆動回路を示す。

(2) 整流機能と流管構造

図3に外観を、図4に流管断面を示す。

流管は、入口から出口までの通路断面積が極力変化しない流線形であり、そのため、流速変化がなくスムーズな流れを得られる構造である。

まず、入口に上部の整流翼とベルマウスを設けている。その下流にモールド整流格子を設置し、整流効果を高めている。モールドで製作する整流格子は、格子の形状・長さが任意に選定でき、流管の個々の箇所に最も適した形状にできる。

その結果、圧力損失の低減と、全長が 113 mm 、質量が 440 g (従来 140 mm , 560 g) に短縮軽量化された。

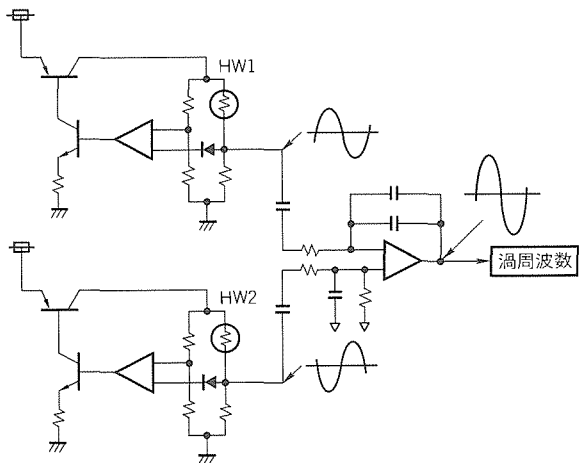


図2. HW駆動回路

(3) HWの溶接技術

HWはターミナルに抵抗溶接で固定している。ターミナルは、ステンレス SUS 304で、厚さ0.2mmの薄板である。

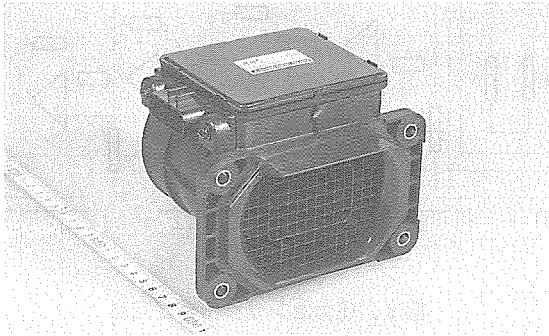


図3. 新世代AFSの外観

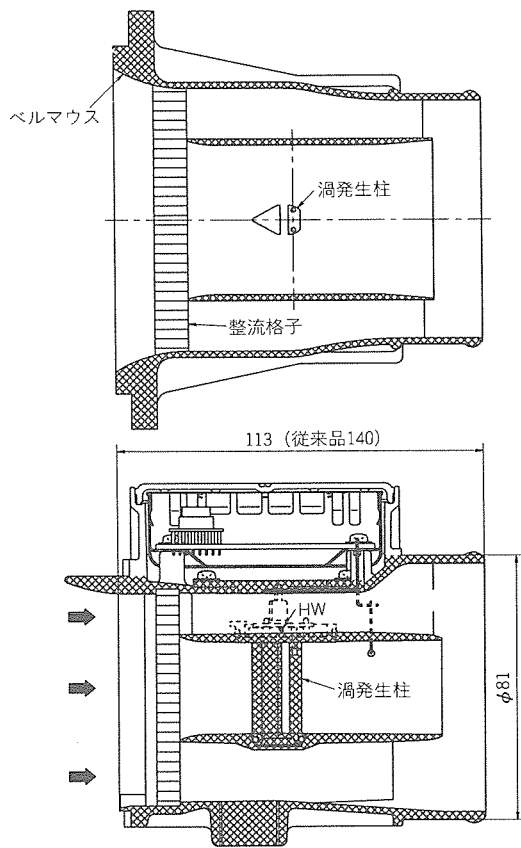
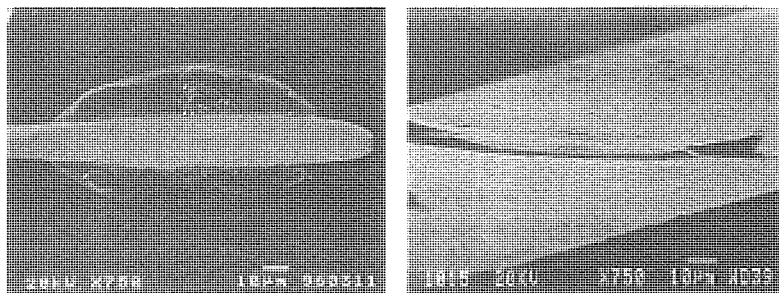


図4. 流管断面図



(a) 溶接部上視図 (b) 溶接部斜視図

図5. HWの溶接状態

直径12 μm のHWを安定して溶接するには、ターミナルの溶接面の仕上がり状態が、線径に対して十分小さい1 μm 以下の面粗さや平行度が必要である。また、ターミナルが薄板であり、端面で溶接するとHWが高温となり、粒界破断が発生しやすくなる。そのため、画像認識による位置制御を行うようにした。図5にHWの溶接状態を示す。

さらに、溶接エネルギーを定電力制御とし、溶接時の電圧・電流の波形をモニタして、溶接の出来栄管理を行うようにした。図6に溶接モニタの代表波形を示す。また、表1に溶接条件などによるモニタ波形の動きを示す。

3. 小型圧力センサ

吸入空気量算出、又はEGRシステムや燃料蒸散規制対応システムのフェール検出など、エンジン制御用の圧力センサの使用が増加している。当社は、半導体圧力センサの生産を1980年に車載用として始めて以来今日まで、特性・信頼性・形状・コストなどにいろいろな改善や改良を加えてきた。図7に、今回更に小型化した圧力センサの外観を示す。

3.1 原理

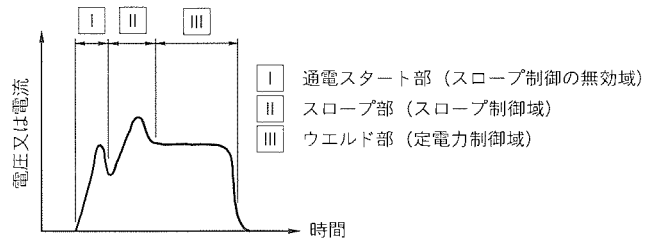


図6. 溶接モニタ波形

表1. 溶接条件とモニタ波形

溶接条件	圧力過大	電圧がI部で高く、IIとIII部が低い
	圧力過小	電圧と電流がIII部で乱れる
	電力過大	電圧と電流が全域で高い
	電力過小	電圧と電流が全域で低い
溶接面の荒れ	電流がI部で乱れる	
爆飛の発生	電圧と電流が全域で乱れる	

注 I, II, IIIは図6に示す各部をいう。

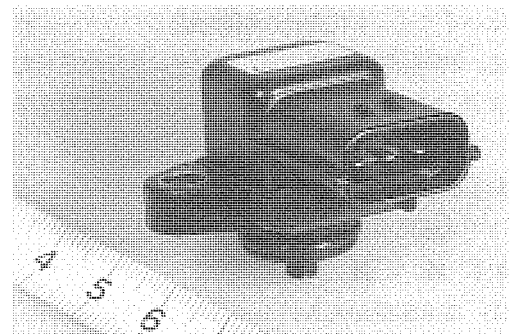


図7. 圧力センサの外観

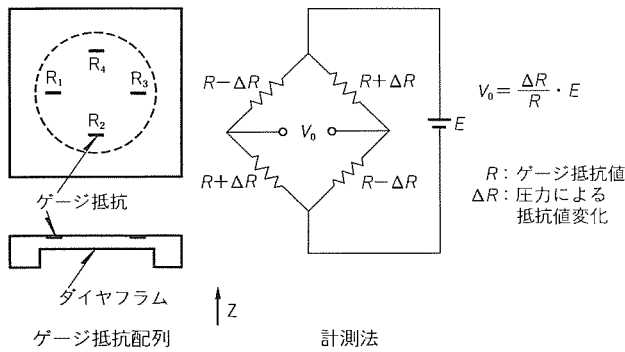


図8. ゲージ抵抗配列と計測法

半導体圧力センサの圧力検出部は、半導体のピエゾ抵抗効果を応用している。図8に示すように、シリコンチップ表面内の特定の方向に四つのひずみゲージ抵抗がイオン注入法等により形成され、裏面は等方性エッチングが施され、ダイヤモンド部が形成されている。シリコンチップのダイヤモンド部の表面と裏面に圧力差がある場合、シリコンチップ内に応力が生じ、ダイヤモンド部ゲージ抵抗の固有抵抗値が変化する。例えば、図に示すZ方向に力が加わると、ゲージ抵抗 R_1 と R_3 は増加し、 R_2 と R_4 は減少する。これらゲージ抵抗をブリッジ回路として配線し、一定電圧 E を加えると、この抵抗値変化に比例した出力電圧を得ることができる。

$$V_0 = (\Delta R/R) \cdot E$$

センサ素子自身では感度 $(\Delta R/R)$ が0.1%程度と低く、また出力の温度依存性が大きいため、増幅回路と温度補償回路が必要となる。その一例を図9に示す。

3.2 構造

図10(a)に圧力センサ検出素子の構造を示す。ダイヤモンドが形成されたシリコンチップは、ステムやキャップから伝わる熱応力を軽減するシリコン台座に金シリコン接合され、さらにステムにダイボンドされる。ゲージ抵抗を備えたダイヤモンド表面と金線のあるキャップ内は真空封止され、基準圧力となる。ダイヤモンド裏面側が圧力室である。検出素子はハイブリッド化された制御回路とパッケージ内で結合される。制御回路は図9に示したように集積化されたモノリシックICと厚膜抵抗等によって構成され、集積化率の向上を図っている。図10(b)にパッケージ構造を示す。パッケージ外形も制御回路部の小型化とパッケージ内構造の変更などによって大幅に小型化できた。

3.3 特長

(1) 腐食耐量大きい

EGRの排出ガス、ブローバイガス、ガソリン蒸気などを

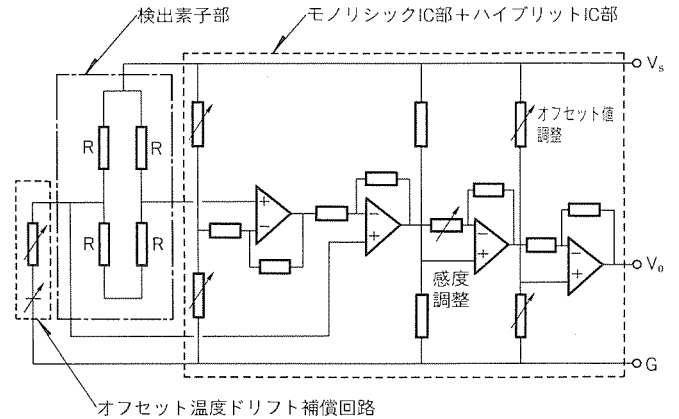
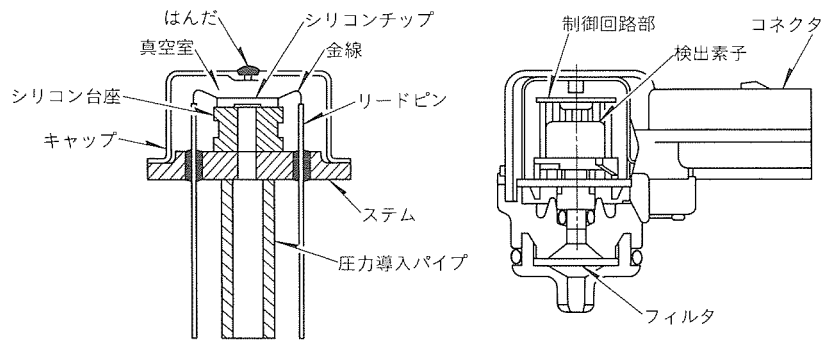


図9. 圧力センサ検出部と回路



(a) 検出素子

(b) パッケージ構造

図10. 圧力センサの構造

含む吸気管内空気が入る圧力室は、化学的安定性が高い単結晶シリコンのみで形成されたダイヤモンド裏面と台座、及び金メッキを施した圧力導入パイプ付きステムを、金シリコン法で接合し、腐食耐量の向上を図っている。

(2) アイシング耐量大きい

EGRの排出ガスやブローバイガス中の水分が検出素子のシリコンチップ裏面側でアイシング(凍結)した際、シリコンチップを破壊から防ぐために、チップ破壊耐量の向上を図っている。

(3) 小型である

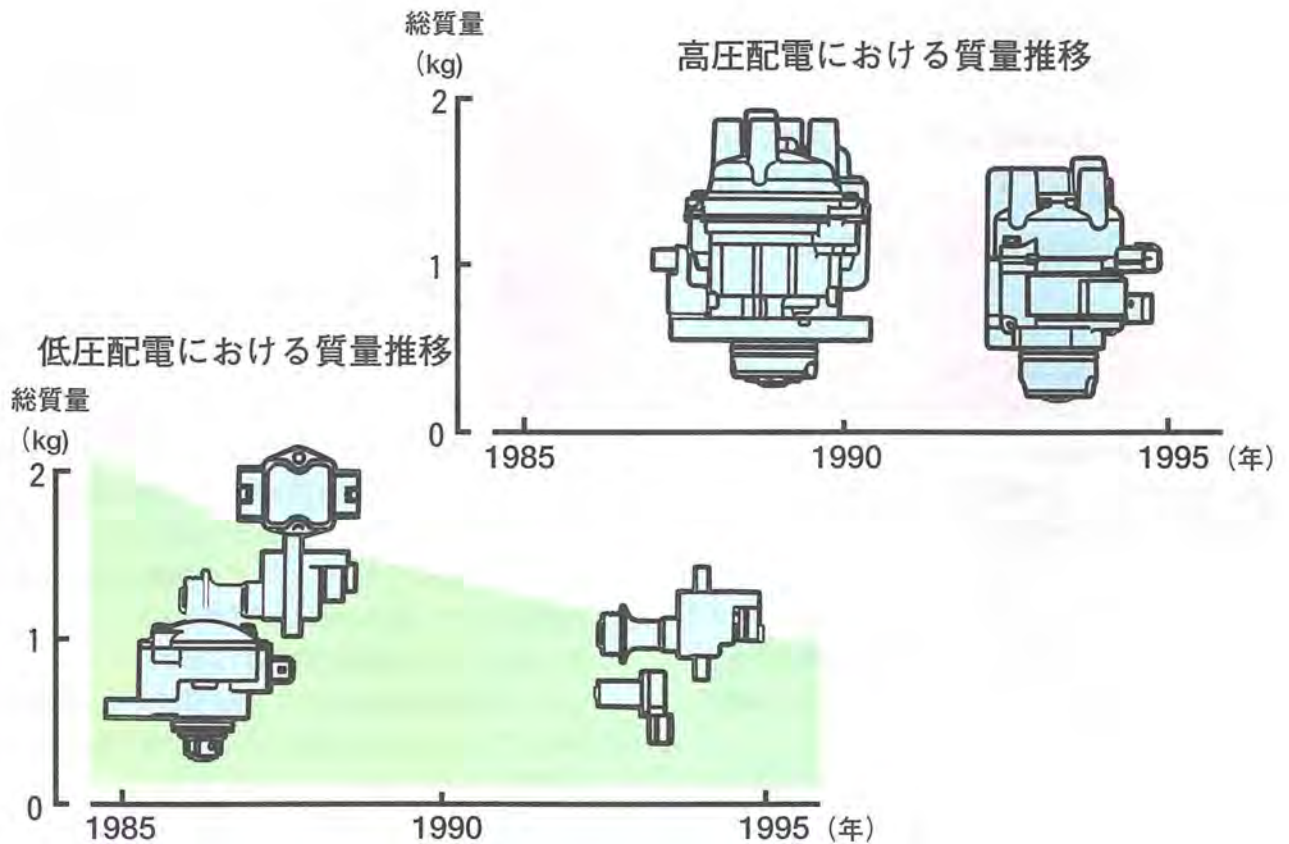
ハイブリッドIC上に形成されていた厚膜抵抗の一部をモノリシックIC部に内蔵し、さらに、パッケージ内の構成を横型から縦型にすることによって小型化を図り、当社従来比1/3とした。

4. むすび

以上紹介した新世代渦式AFSは、三菱自動車工業㈱に、また、圧力センサは三菱自動車工業㈱を始めとする国内外の自動車メーカーに納入されて、自動車に課せられたハイレベルなハードルを越えるのに役立っている。今後も、更に市場のニーズに対応できるセンサを供給していく所存である。

点火装置の小型化

池内正之*
小岩 満*
大橋 豊*



点火装置の小型化

自動車の省燃費・高性能化に対し、点火系装置も小型・軽量化によって貢献してきた。三菱電機では、各種解析技術を応用し集約化・最適化することによって過去10年間で30～45%の質量低減を果たした。

車載用機器に対する小型・軽量化の要求に対し、点火系装置では、個別製品の集約化と各機能部品の最適化設計によって対応してきた。

高圧配電システムでは、1980年代後半に各点火機器のディストリビュータへの集約化を進め、個別製品の組合せに対し質量比で約20%の低減を果たした。また、'93年には、最適化設計による新世代型ディストリビュータの開発と量産化により、更に10%（トータル30%）の軽量化を実現した。この集約化・最適化では、最重量物であるイグニッションコイルの配置と、構造物全体を支えるハウジングの形状に特に配慮した。

低圧配電システムは比較的歴史が浅く、国内では'80年

代後半から普及してきた。このシステムでも'94年に、集約化と最適化設計による新世代製品を開発し、従来製品に対して約45%の軽量化を達成した。集約化は、イグニッションコイルとコイルドライバの一体化によって行った。また最適化は、コイルでは最重量部品である鉄心の小型化で、クランク角センサではハウジングの廃止によるエンジンへの直付け化によって小型・軽量化を行った。コイルの鉄心の小型化では、回路シュミレータを用いて巻線と鉄心における最適組合せを求めた。またクランク角センサでは、直付け化に伴うセンサとシグナルプレート間のギャップのばらつき幅拡大に対し、磁界解析を用いたセンシング部の最適形状検討を実施し、性能の低下を防いだ。

1. ま え が き

車載用機器は常に小型化・軽量化が求められており、点火装置についても、技術変遷の中でその要求にこたえるため、新技術の採用や改良によって小型化が図られてきた。更に小型化を進めるためには、各個別製品の集約化と各機能部品の仕様最適化が必要となってきた。

本稿では、高圧配電システムと低圧配電システムに対応した製品について、種々の解析技術を駆使して小型化を実現した技術内容について述べる。

2. 点火システムの小型化

2.1 高圧配電システム

高圧配電システムにおける小型化は、主に次の二つのステップで進めてきた。

- (1) 各個別部品の集約化による小型化
- (2) 各機能部位の最適化による小型化

以下に、各ステップにおける技術要点を述べる。

2.1.1 集約化の技術要点

点火系の構成部品と、その集約化の状況を図1に示す。従来、各個別の部品として構成されていたクランク角センサ内蔵ディストリビュータ、イグニションコイル、コイルドライバをすべてディストリビュータの内部に一体的に構成することにより、各部品の取付ブラケット、各部品間の配線等を不要にし、トータル質量、トータルスペースの低減と、接続の

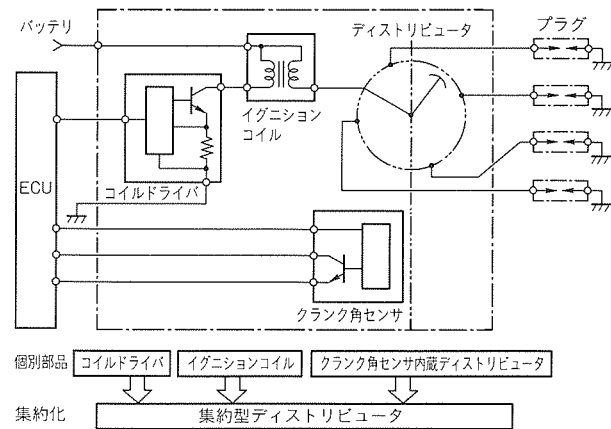


図1. 点火系構成部品の集約化

信頼性の向上（コネクタの低減）を実現した。

この集約化における技術的要点として最も重要なポイントの一つは、最重量物であるコイルの配置である。集約型ディストリビュータにおけるコイルの質量は全体の約30%を占め、この配置はエンジン搭載部品としての耐振能力を左右する大きなパラメータとなる。コイルの配置方法としては、①従来型コイルをクランク角センサの側方に配置、②コイルをリング状としクランク角センサの下部に配置の2通りがあるが、従来型コイルを用いる場合、ディストリビュータとしての耐振構造を考える際、重心位置が取付固定点に対して高くなり、各部の補強が必要となることが多く、質量低減の大きな妨げとなる。また、エンジンへの搭載レイアウト性の面からも、コイル部が突出するため、大きな制約が生じる。これに対しリング状コイルを採用すれば、重心位置を低位にできて耐振上の補強を簡素化でき、またディストリビュータの外形も円筒状となるため、エンジン搭載性上も非常に有利となる。

以上の理由でリング状コイルを新規に開発し、採用した。

集約化における第二の技術要点は、各構成要素間の相互干渉の回避である。各構成要素は個々に求められる機能・性能を満足するために各種の物理的原理・法則に基づいて動作するように設計されるが、往々にしてその動作が他の構成要素の動作を阻害する場合がある。集約型ディストリビュータにおける相互干渉と回避策の例を表1に示す。

以上の技術的課題の解決による集約化により、個別部品で構成していたシステムに対し、約20%の質量低減を実現した(表2)。

2.1.2 最適化の技術要点

第一世代の集約型ディストリビュータと、最適化設計された新世代の集約型ディストリビュータの構造を図2に示す。

表2. 高圧配電システムにおける質量比較

構成部品	個別製品	単位：g	
		第一世代	新世代
ディストリビュータ	900	1,300	1,100
イグニションコイル	600	ディストリビュータに内蔵	
コイルドライバ	100		
高圧コード	400	300	300
合計	2,000	1,600	1,400

表1. 相互干渉と回避策

構成要素	構成要素	回避策
● 高圧配電部 (10~30kV)	● クランク角センサ (mVオーダの小信号処理)	● 電磁シールドカバーの設置 ● コイル-センサ間に磁気バイパスを設ける (ヒートシンクを磁性体とすることによって兼用) ● ベーン、シールドカバーによるバイパス路の設置 ● コイル-コイルドライバ間、空間による断熱層設置
● イグニションコイル (≈100Gs)	● クランク角センサ (100~400Gsの磁気検出)	
● イグニションコイル (20~30W)	● コイルドライバ	
	電気ノイズ	
	磁気ノイズ	
	熱	

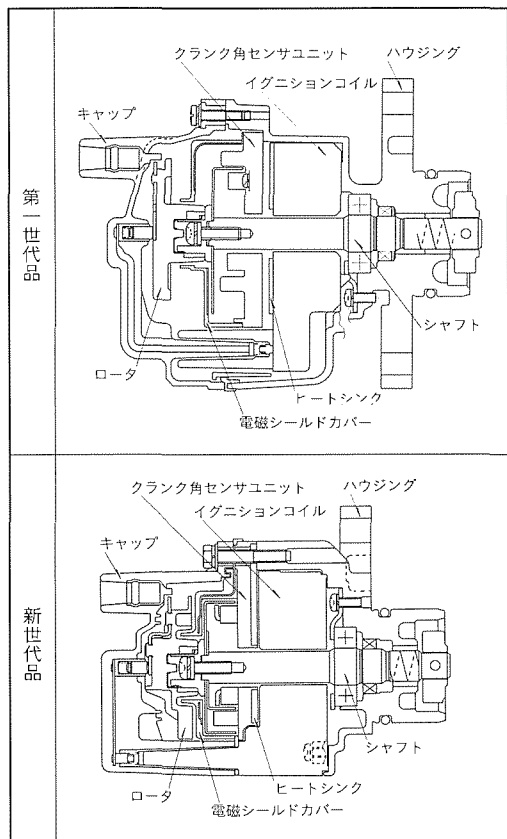


図2. 集約型ディストリビュータの構造比較

最適化設計は、

- (1) 各機能部位における必要要件の明確化
- (2) 副次的・付属的部位の削除
- (3) 全体バランスの見直しと確認

の順にすべての部品について見直し、各部の改良を行ったが、この中で最も大きなポイントとなるのはハウジングの構造変更である。第一世代において、コイル、クランク角センサなど主要部品はハウジングに取り付けられ、またハウジングは、これら部品を保護するため大径化・重量化した外周壁を構成していた。そこで、コイル、クランク角センサは元来単独でエンジンに取り付けられ得る部品であり特に保護を必要としないため、ハウジングの機能をエンジンへの取付インタフェースに特化し、外周壁部を削除することによって更なる小型・軽量化を図った。

この構造では、ハウジング、コイル、クランク角センサ、キャップが積層構造となるため、耐振性の確保が重要となる。ここでは、CAEによる振動解析と振動テストを組み合わせ、最弱点部の摘出と最適補強部位の割り出しを行った。幾つかのモデルによる解析の結果、ハウジング、なかでもエンジンに取り付けられる部位であるフランジ部の強度を上げるのが最も効果的であることが判明した。適切なフランジ厚の選択、フランジからコイル取付面に至る部位への適切なリブの追加によってハウジングの最適化を行い、耐振性を確保した。NASTRANによる解析結果をI-DEASによって出力した

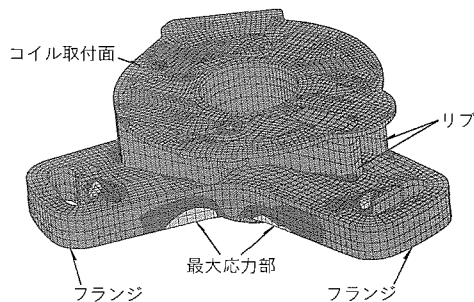


図3. ハウジングの振動解析例

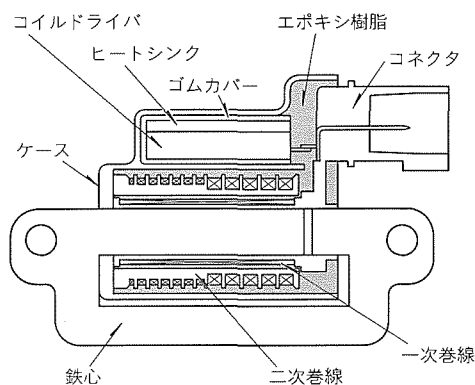


図4. コイルドライバ内蔵イグニションコイルの構造

例(図3)を示す。

以上の設計的配慮により、第一世代に対し、更に10%の軽量化を果たした。

2.2 低圧配電システム

低圧配電システムは、イグニションコイル、コイルドライバ、クランク角センサで構成され、集約化と機能構成部品仕様の最適化によって小型化を実現した。各製品における小型化技術について以下に述べる。

2.2.1 コイルドライバ内蔵イグニションコイル

コイルドライバとイグニションコイルの小型化は、次によって実現した。
(1) コイルドライバをイ

グニションコイルに内蔵

(2) 磁気回路構成部品の仕様最適化

コイルドライバをイグニションコイルに内蔵する際の技術要件として、①小型・薄型で、取扱いの容易な形のコイルドライバの採用、②コイルドライバ部の放熱性の確保、③コイル部の高電圧からの絶縁性の確保がある。そこで、モールドパッケージタイプのコイルドライバを新規に開発し、採用した。また、コイルドライバ放熱用ヒートシンクをコイルケース面に配置することで放熱性を確保し、その周囲にはコイル絶縁樹脂クラック防止用ゴムカバーを設け、さらにコイル部との分離壁を設けることで絶縁性を確保した。開発したイグニションコイルの断面を図4に示す。

次に磁気回路構成部品の仕様最適化について述べる。

イグニションコイルの磁気回路は鉄心、一次・二次巻線で構成されている。従来全質量に占める鉄心質量の割合は50%程度であり、この鉄心を小型化することがイグニションコイルの小型化に不可欠である。従来と同等の性能維持を前提に、鉄心断面積を縮小し、巻線を増加させる方向で最適化を進めた。

鉄心と一次・二次巻線の最適化検討のため、鉄心を含むコイル部のパラメータを設定可能なSPICEをベースとする回路シミュレータを用いて、各種仕様の性能解析を行った。解析例を図5に示す。パワートランジスタとコイル部のパラメータを従来タイプの実測値と整合させた後、今回の検討対象

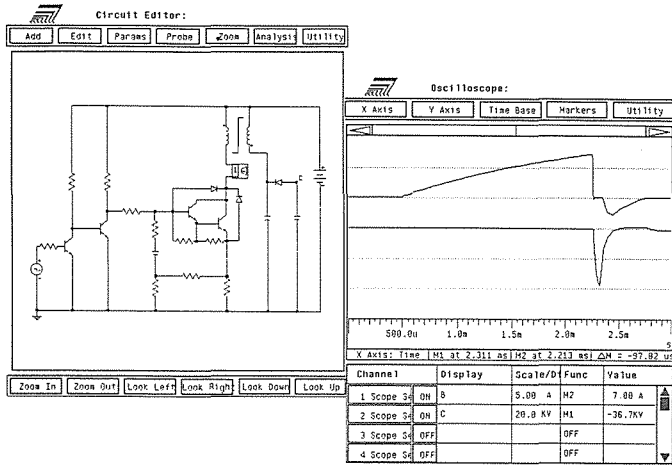


図5. 回路シミュレータによる解析例

表3. イグニッションコイルの仕様比較

部 品		従来仕様	開発仕様	変化率
鉄 心	断面積	105mm ²	71mm ²	-32%
	質量	120g	75g	-37%
一次巻線	巻数	125	150	+20%
二次巻線	巻数	11,000	13,500	+23%

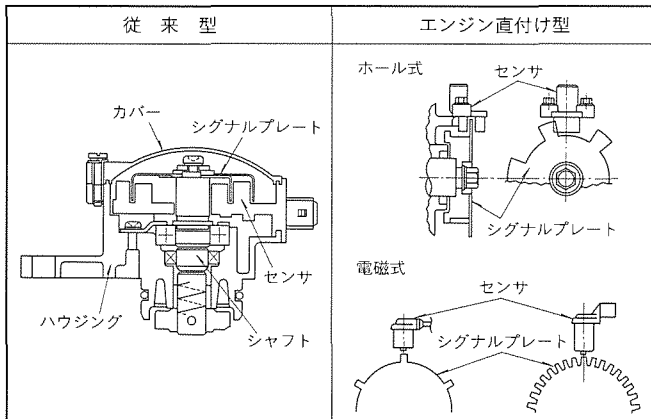


図6. クランク角センサの構成比較

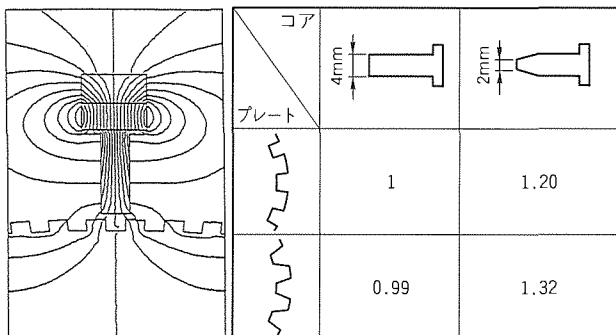


図7. クランク角の磁界解析例

部位に関するパラメータのみを変更することで実施した。

解析の結果、鉄心断面積を約30%縮小し、巻線を約20%増加させた仕様が発見された。解析結果に基づ

づいて設定した磁気回路構成部品仕様の従来タイプとの比較を表3に示す。

以上の検討によって、今回開発したコイルドライバ内蔵イグニッションコイルは、従来の別体タイプに比べて35%の小型・軽量化を達成した。

2.2.2 クランク角センサ

クランク角センサの小型・軽量化は、シグナルプレート、センサ部のエンジンへの直付け化によって行った。従来型のクランク角センサとエンジン直付けクランク角センサの構造を図6に示す。従来型ではセンシング部をハウジング内に構成していたのに対し、エンジン直付け型ではシグナルプレートはエンジン側の回転軸(クランク軸、カム軸)に直接取り付け、これに対向するようにセンサを取り付けた。このような構成では、一般的にシグナルプレートとセンサ間のギャップのばらつきが大きく、特にギャップが大きくなったときセンサの感度低下、ひいては検出位置精度の悪化を引き起こす。この精度低下を最小限に抑えるため、シグナルプレート及びセンサ形状の最適化検討をCAE解析を用いて行った。以下に、電磁式クランク角センサにおける解析例について述べる。

電磁式クランク角センサは磁石、コア、巻線部で構成され、出力信号は巻線の両端に発生し、その電圧はコア中を貫通する磁束の時間的変化に比例する。

$$V = A \times d\phi / dT$$

ここで、V: 出力電圧

A: センサ仕様によって決まる定数

ϕ : 磁束

T: 時間

ここでシグナルプレートの回転速度を一定とすると、出力は最大磁束と最小磁束の差に比例する。そこで今回の解析は、センサ部(コア)の形状とシグナルプレートの突起部の形状を種々変化させ、それぞれの組合せにおける最大磁束と最小磁束とを磁界解析で求め、この差が最大となる形状を最適形状とした。図7に示すように、一般的な円筒形コアと方形の突起の組合せを基準としたときに対し、先端形状を最適化すれば約30%の出力向上が望める。

以上に述べた最適化設計を実施することにより、エンジン直付け形においても従来形と同等の性能を引き出し、ひいてはセンサとしての小型・軽量化を実現した。

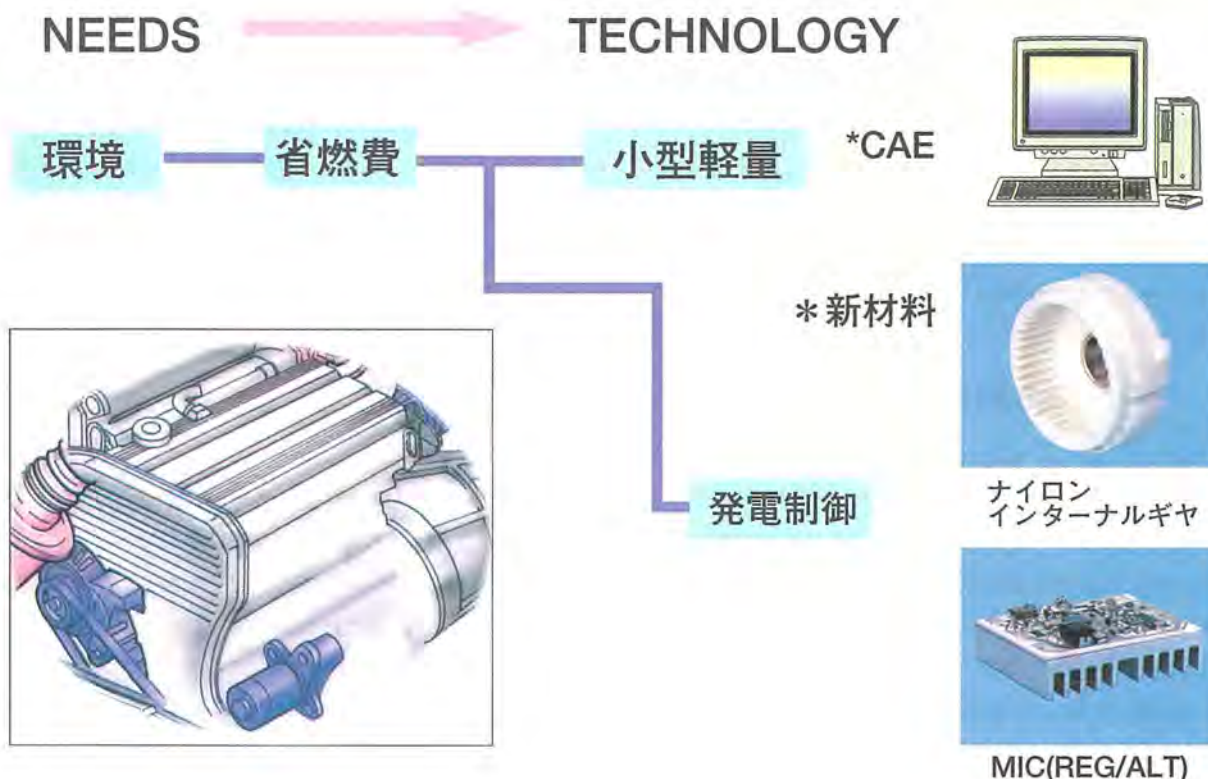
3. む す び

車載用点火装置において、部品集約化と機能部位最適化によって小型化を実現した技術内容について述べた。この技術は様々な機器で展開されてきていると考えられる。

今後、更に小型・軽量化するには技術革新が必要と考えられ、それを実現させるための解析評価技術を向上させる必要がある。

始動・充電系の省燃費対応技術

田中俊則*
森下 暉*
阪部茂一**



始動・充電系の省燃費対応技術

地球環境面から、省燃費と燃費改善の要求に対し、エンジン電装部品であるスタータとオルタネータがとってきた方策(小型軽量化、発電制御)を示す。

自動車に要求される性能・機能は年々高度化・多様化している。これを満足させるためにエンジン電装部品であるスタータとオルタネータへの技術的要求は多々あるが、主な要求は地球環境面からの省燃費と燃費改善であると考えられる。そして、この要求は、将来とも継続されるものと考えられる。

省燃費と燃費改善対応として、三菱電機㈱のスタータとオルタネータがとってきた方策を説明する。

(1) CAE(Computer Aided Engineering)の活用

(a) 磁界解析

二次元及び三次元磁界解析を用いて電磁気設計の最適化を行うことにより、質量の大きな比率を占める電磁気部の小型軽量化を行う。

(b) 熱・通風解析

エンジンの運転中常時回転しているオルタネータでは、出力・温度上昇・冷却風音の3要素を高次元でバランスさ

せることが重要である。寿命が温度に大きく依存する電子部品を主体に解析をしている。

(c) 構造解析

主にメカニカルな機構部品を多用しているスタータの部品を解析して、最適設計・形状を追究している。

(2) 新材料の採用

(a) プラスチック化

電気絶縁部だけでなく、機械構造部品についてもプラスチック化を採用してきた。

(b) マグネシウム化

将来的に更なる軽量化のため検討中である。

(3) 充電システムの改良

オルタネータの発電制御による。

なお、三菱電機LRC(Load Response Control)型レギュレータでは、10.15モードで1.4%の燃費改善の結果を得た。

1. ま え が き

当社のスタータとオルタネータは、1946年ごろの足踏み式スタータ及び直流発電機であるダイナモでの生産から始まった。その後、スタータでは電磁押込み式が開発され、操作性が大幅に改良された。一方、ダイナモは直流発電機からオルタネータといわれる交流発電機に改良され、充電性能が大幅に向上した。このような変遷を経ながら、今日までの約半世紀の間、当社は自動車を通して市場の要求を満たすために開発・改良を行ってきた。

とりわけ、'70年代の環境・排出ガス対策、オイルショックを契機とした省燃費要求に対応するため、当社では、小型軽量化のための技術開発を独自に行い、世界的に競争力のある製品を開発し、生産している。

本稿では、当社スタータとオルタネータが行ってきた小型軽量化を主体とした、省燃費による環境対策への取組について述べる。

2. 小型軽量化への技術要素

2.1 CAE(Computer Aided Engineering)の活用

(1) 磁界解析

スタータとオルタネータにおいては、その電動・発電機の機能を受け持つ電磁気の構成部分(銅、鉄)が質的に大きな比率を占めるので、この部分の電磁気設計の最適化を行うことが重要である。

電磁気部の大きさは次に述べる式で表すことができる。

$$D_a^2 L_c = K \cdot \frac{1}{g} \cdot \frac{T}{I} \cdot \frac{1}{\sqrt{R_s}}$$

ここで、 D_a : 回転子外径

L_c : 回転子長さ

K : 定数

g : 減速ギヤ比

T : トルク

I : 電流 (T/I : トルク勾配という。)

R_s : 内部抵抗 (出力の関数)

モータの所要トルク、出力、減速比が決まれば、そのモータの体格は上式で決まってくるが、小型軽量化を行うには、新しい設計・技術を折り込む必要がある。

当社スタータでは、補助極付き6極磁石モータ⁽¹⁾(図1(b))を他社に先駆けて開発し、技術のブレイクスルーを行ってきた。

電磁気部の設計過程で磁界解析を活用してきたが、近年、従来の二次元磁界解析に加えて、磁界を立体的に検討するための三次元磁界解析を行っている。図2(d)にその実施例を示す。

さらに、スタータでは、モータ部以外の電磁気部品であるスイッチ部についても磁界解析を行い、ピニオンとリングギ

ヤのかみ合いに適したプランジャの挙動を取り入れた最適設計による小型軽量化を図ってきた。

(2) 熱・通風解析

オルタネータの設計では、出力特性、許容温度上昇値、冷却風音の三つの要素が図3に示すようにトレードオフの関係にある。オルタネータはエンジンの運転中は常時連続して回転しており、この小型軽量化を進めるためには、この3要素を高次元でバランスさせることが特に重要であり、次に述べるような手法をとってきた。

(a) 熱解析

図2の(a), (b), (c)に示すように、熱応力解析・通風熱解析を行い、特にその寿命が温度との関係が深いレギュレータとレクチファイヤと言った電子部品を主体的に検討した。

(b) 通風解析

図2(c)に示すような通風熱解析を行い、オルタネータ全体の冷却性を検討して、効率的な冷却の追究を行ってきた。また、計算・解析だけでなく、実際の空気の流れを視覚的に直接観察することのできる可視化モデル(図4)の活用により、冷却に効果的な空気の流れについて研究した。

(3) 構造解析

メカニカルな機構・要素部品が多く使われているスタータを主体に、図1の(c)~(f)に示すような種々の構造解析を行い、各部品について機械的強度を確保しながら最適形状を追究し、軽量化設計を推進してきた。

2.2 新 材 料

(1) プラスチック化

従来の電気絶縁用としての樹脂類に加えて、金属製の機械機構部品についても、プラスチック化による軽量化を検討してきた。採用実績のあるものを述べると、スタータの減速ギヤ、ピニオンシフトレバー、スイッチフック等がある。

今後、更に軽量化を進めるためには、プラスチック化の検討枠を広げていく必要がある。その一例として、オルタネータのプーリやスタータのリヤブラケットのプラスチック化が考えられる。ただし、金属に比べて耐衝撃性と耐摩耗性に劣る面があるので、取扱方法を含めた検討が必要である。

(2) マグネシウム化

現在のブラケット類は、既にほとんどが、比較的軽量の素材であるアルミニウムダイキャスト品を採用しているが、将来的にもう一段の軽量化を進めるために、更に比重の小さいマグネシウムの採用を検討している。ただし、実用化にはその生産性を含めて解決すべき課題が残っている。

3. 充電システムの改良

省燃費へのアプローチとして、小型軽量化のほかに、オルタネータの発電制御によるエンジン負荷の軽減により、省燃費化に寄与している。この一例として、当社のLRC型レギュレータを紹介する。

自動車の電気負荷が入ったとき、オルタネータはその電気負荷に給電するために発電を開始する。この発電時にオルタネータはエンジンに対してトルクを消費する負荷となり、アイドリング等の場合にはエンジン回転が不安定となり、エン

ストを起こす可能性がある。

LRC型レギュレータを用いると、電気負荷の変動に対してオルタネータの発生電力が急激に変化しないので、エンジン回転が不安定となりにくい。したがって、エンジン回転速

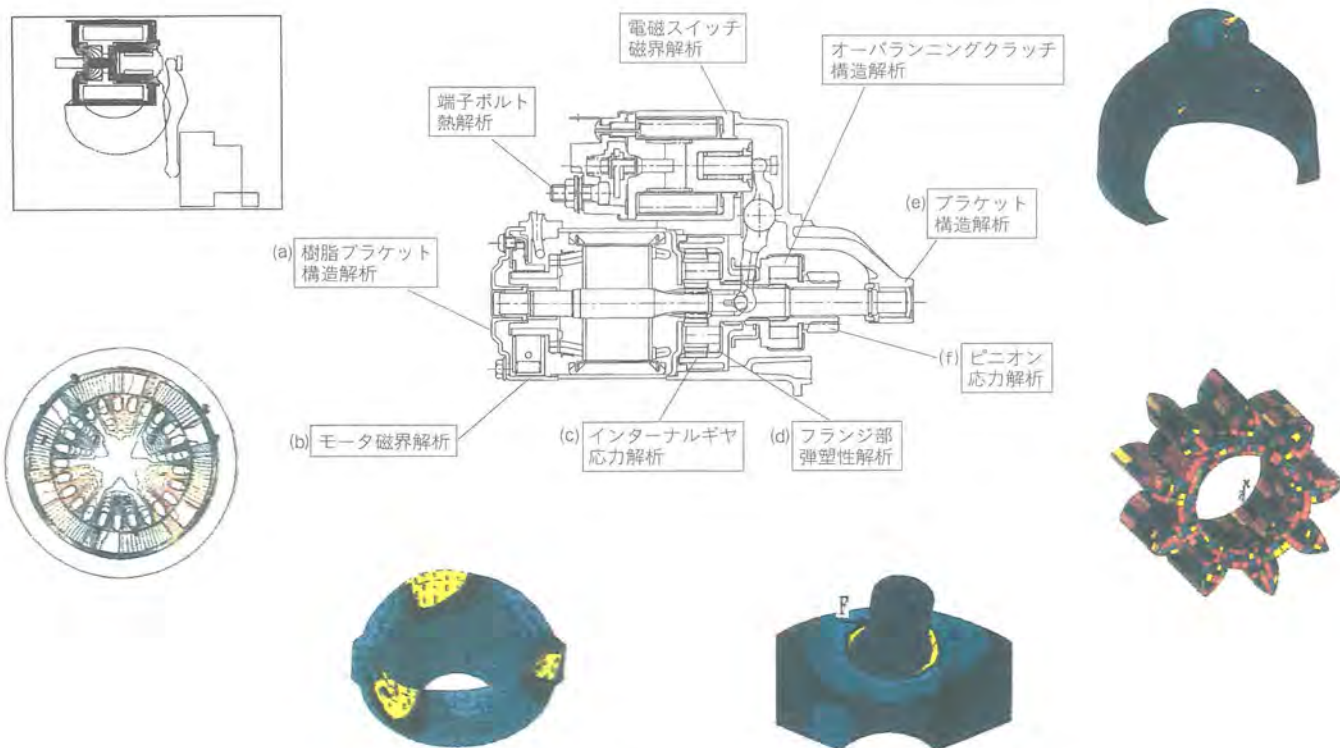


図1. スタータのCAEの例

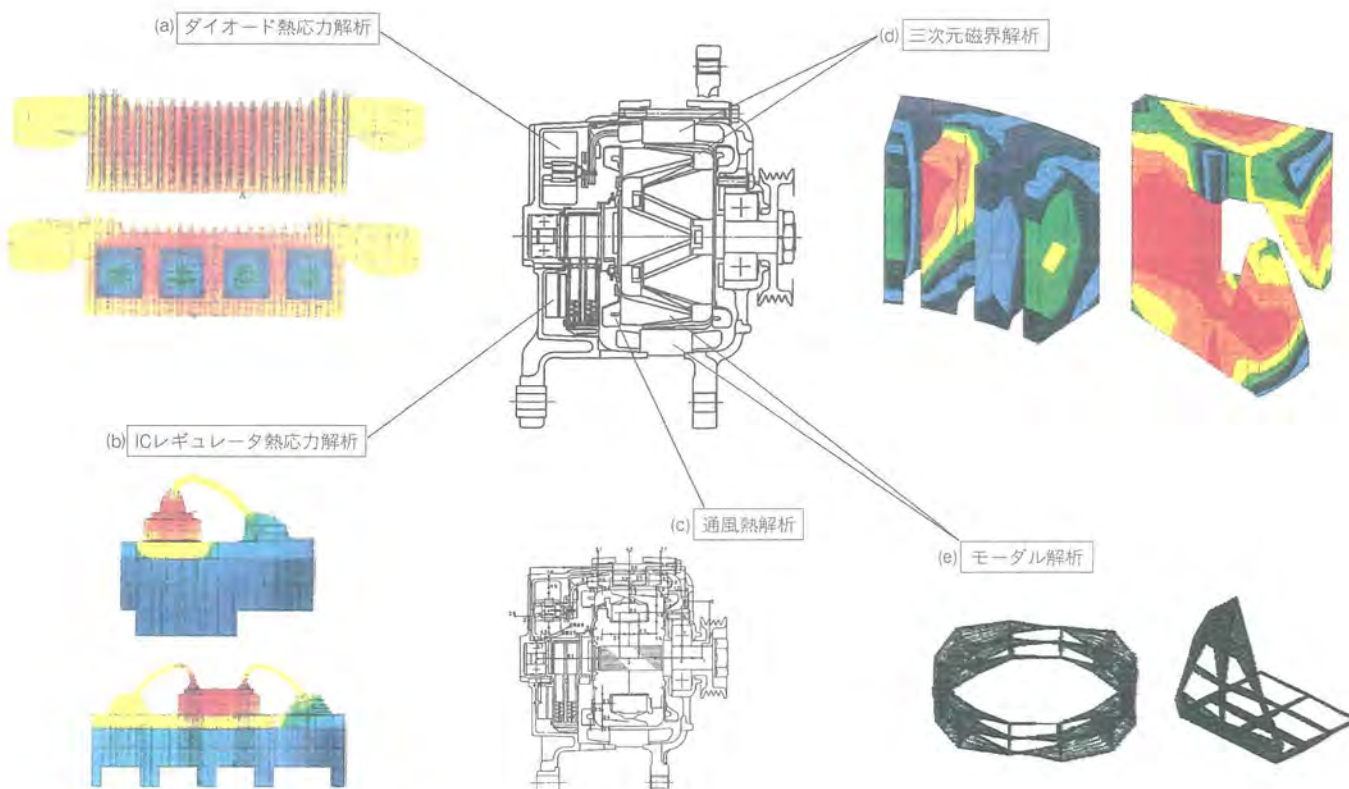


図2. オルタネータのCAEの例

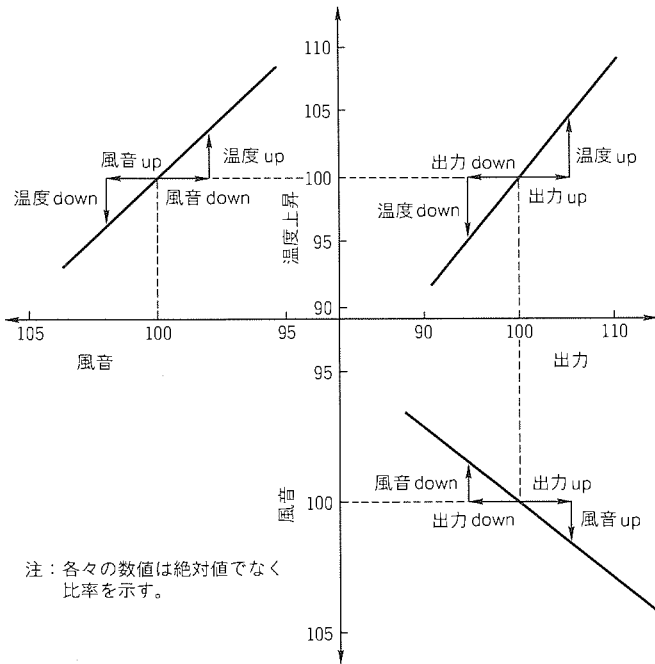


図3. オルタネータの出力・温度・風音の関係

表1. LRC型レギュレータの動作説明

	従来オルタネータ	LRCレギュレータ付きオルタネータ	
		アイドリングモード	走行モード
電気負荷			
バッテリー電圧			
オルタネータ出力電流			
エンジン回転速度			

変位 時間 t_d : 応答遅延時間
ISC: Idle Speed Control

表2. LRC型レギュレータの効果

レギュレータタイプ	LRCなし (r/min)	LRCあり (r/min)
電気負荷		
ヘッドランプ(High)	-70	-30
ブレーキ	-30	-20
ブロー	-90	-40
リヤデフォッグ	-50	-30

注 電気負荷投入時の実車でのアイドル回転速度低下実験結果 (ISC付き1.6ℓ 4気筒の場合)
(アイドル回転速度設定値: $N_0=800r/min$)

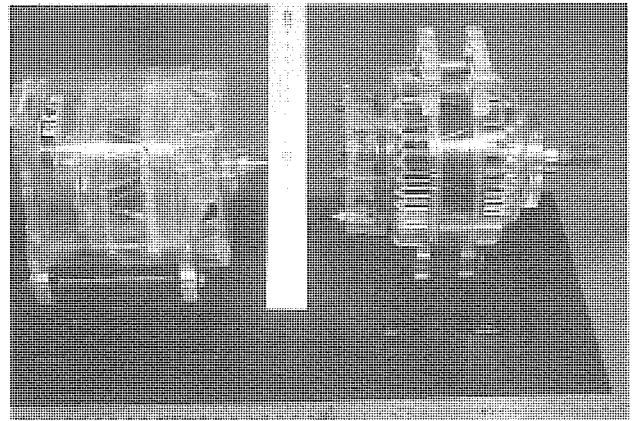


図4. 可視化モデル品

度の電気負荷変動に対する安定性が向上し、アイドリングスピードを下げる事が可能となるので、省燃費に寄与できる。

しかし、高速走行中にもLRC機能が働いていると、電気負荷を入れたとき、ヘッドランプがしばらく暗くなる。こういう状態はドライバに危険を感じさせるので、高速走行中はLRC機能が働かないようにしている。以上の動作を表1に示す。

LRC型レギュレータの効果を確認した評価結果を表2に示す。LRC機能を働かせることで、エンジンアイドリングスピードを約50r/min下げることが可能となり、10.15モードで1.4%の燃費改善の結果を得た。

4. むすび

以上、当社のスタータとオルタネータが省燃費を通じて環境対策に寄与してきた内容について述べた。

今後とも、激動する世の中のニーズを的確にとらえ、迅速に対応することで、直接の顧客である自動車メーカ、さらに、広く社会に貢献できるように努力を続けていく所存である。

参考文献

- (1) 森下 暁, 田中俊則: スタータ, 内燃機関, 26, No. 334, 32~33 (1987)

車載情報通信機器の ヒューマンインタフェースデザイン

岡田英樹*
安部芳典*
岩崎建樹*



表示・操作部に関する運転席周りの基本デザイン案

安全で快適なヒューマンインタフェースを目指し、表示と操作の分離、情報の最適表示をコンセプトとする基本デザイン案を示す。

近年、自動車の情報化が進展するとともにナビゲーション機能を取り込むことが一般化されつつあり、以前と比較して快適なドライブが可能になったが、その反面、運転時の操作性や安全面に対して、将来、課題となると思われる項目も少なくない。

運転時の安全性や快適性を確保する上で、運転者から見た車載情報通信機器の表示部の在り方や操作方法といったヒューマンインタフェースは、自動車の安全走行にかかわる重要な課題であり、中でも、表示と操作に対するデザインの要素は重要な項目である。

三菱電機(株)では、ますます高機能化する車載情報通信機器との安全で快適なヒューマンインタフェースを目指し、表示と操作の分離をコンセプトとする“カーマルチコミュニケーションシステム”、情報の最適表示をコンセプトとする“統合化ディスプレイ”の基本デザイン案を開発した。

また、情報通信機器が持つ利便性と車載機器に求められる安全性とが両立できる機器の開発に向け、開発内容の高度化とともに、カーライフの多様化に伴うユーザーニーズの変化に対応したヒューマンインタフェースデザインの新たな課題に鋭意取り組んでいく計画である。

1. ま え が き

近年、自動車の情報化が進展するとともにナビゲーション機能を取り込むことが一般化されつつあり、以前と比較して快適なドライブが可能になったが、その反面、運転時の操作性や安全面に対して、将来、課題となるであろう項目も少なくない。

運転時の安全性や快適性を確保する上で、運転者から見た車載情報通信機器の表示部の在り方や操作方法といったヒューマンインタフェースは、自動車の安全走行にかかわる重要な課題であり、中でも、表示と操作に対するデザインの要素は重要な項目である。

2. カーマルチコミュニケーションシステム

カーナビゲーションは自車の位置と行き先を示すだけでなく、周辺情報や渋滞回避のための情報を入手できるなど、人と自動車、自動車と社会の関係に幅広い可能性を秘めており、それから得られる効果は大きい。しかし、その操作性や表示の視認性に関しては、改善の余地がある。また、周辺機器との関係も複雑化し、無視できない状況にある。

現行機器の一般的なレイアウトとして、センタコンソール部でのナビゲーション、AV（オーディオビジュアル）、空調の各ユニット縦積み配置が挙げられるが、次のような問題点がある。

- (1) 各機能がユニット化されており、下方に追いやられた機器の操作は困難となり、また、その表示を見るための視線移動も大きい。
- (2) 操作部が広範囲（特に、上下）にわたり、スイッチの数も多く、判別しにくい。

- (3) 表示部が3か所に分散し、視認性が悪く、無駄な表示も多い。

- (4) ナビゲーション機器の操作は、画面タッチスイッチによる操作を設定せざるを得ない場合もあり、その場合は、画面が指紋で汚れるため、視認性が悪くなる。

これらの問題点に対して、ナビゲーション、AV、空調の機能ごとに区別された表示部と操作部を

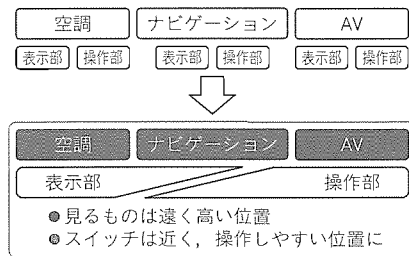


図1. 表示部と操作部の統合化

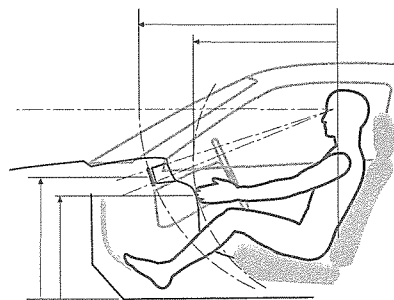


図2. 表示部と操作部の最適位置化

統合化させ（図1）、それぞれ最適な位置、すなわち、“見るものは遠く高い位置、スイッチは近くて操作しやすい位置に、表示と操作の分離”（図2）をコンセプトとし、その具体化を図った（図3）。

2.1 特 長

具体化に当たり、次の特長を持たせた。

- (1) 表示・操作部の最適配置を行うために、表示部は運転視界内に入るメータの左横へ、操作部はより運転者側に近づけ、視認性・操作性を向上させた。
- (2) ナビゲーション、AV、空調の操作機能を整理・統合し、一次機能は直接選択できるハードスイッチによる入力とし、二次機能以下は操作機能を階層化し、表示画面四隅のスイッチ表示と、その表示に対応するマルチコントロールスイッチとの対話型操作による使いやすい操作方法とした。
- (3) 同一システムに共存するナビゲーション、AV、空調の動作状態の表示が走行中でも一目で確認できる、直接的で分かりやすい表示画面とした。

なお、具体例を下記に述べる。

2.2 操作スイッチ

このシステムが持つすべての機能に対して一次機能と二次機能以下に順位付けを行い、一次機能をそれぞれ単独のスイッチに、二次機能以下をマルチコントロールスイッチに集約した。

- (1) 一次機能のスイッチ（図4）

一次機能のスイッチは、使用頻度が高く、走行中瞬時に操作を必要とするスイッチである。

- (2) 二次機能以下のスイッチ（図5）

二次機能以下は、必要に応じて画面表示とマルチコントロールのスイッチを使って操作する対話式操作方法で、ユーザの操作手順に合わせて機能を切り換えていく。

機能が階層化され、使用状況に応じて必要な四つの機能だけが操作対象となるので、理解しやすく簡単である。

また、画面四隅の機能表示がマルチコントロールの四隅のスイッチに対応しているため、スイッチを見なくてもよいブラインド操作が可能である。

2.3 表示画面

表示画面例として、ナビゲーションを図6に、AV（CD再生）を図7に、空調（調整）を図8に示す。

3. 統合化ディスプレイ

情報化の進展に伴い自動車内で活用される情報は多岐にわたるが、限られた車室内空間で、必要な情報を最も効果的に表示伝達することが重要な課題となってきている。

そこで、走行に関係する情報の特徴と必要度合いを整理し、その項目をグループ化した（表1）。

その結果、自動車内で活用される情報は“警報情報”と“走行情報”とに大別でき、これに走行に直接かわらない



図3. マルチコミュニケーションシステムの全体像

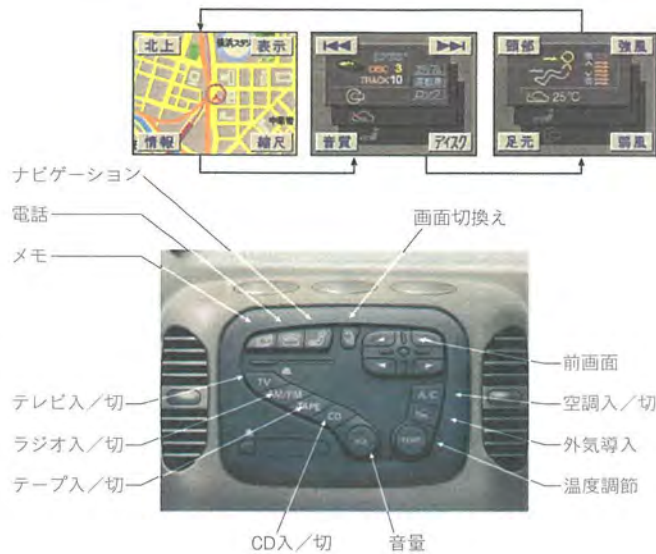


図4. 一次機能のスイッチ



図5. 二次機能以下のスイッチ



図8. 空調(調整)画面例



図6. ナビケーション画面例



図7. AV(CD再生)画面例

表1. 情報分類

1. 覚せい(画) (居眠り防止)情報	警告情報
2. 故障警報情報	
3. 緊急回避情報	
4. 衝突危険情報	
5. 危険速度警告情報	
6. 自動運転情報	
7. スピードメータ	車内情報
8. タコメータ	
9. ウィンカ、シフトほか	
10. 燃料	維持情報
11. 水温	
12. 道路変更情報	
13. 控れ違い情報	後方視界情報
14. カーブ情報	
15. センタライン情報	
16. 路面情報	前方視界情報
17. 環境気象情報	
18. 交差点行き先表示	
19. 案内標識表示	道路案内情報
20. 右左折指示	
21. 全経路情報	
22. 渋滞規制情報	経路誘導情報
23. 経路変更指示	
24. 通過予定時間表示	
25. 方位表示	交通渋滞情報
26. 現在地位置	
27. 現在地住所	
28. 地理情報(現在地周辺情報)	現在地情報
29. 施設情報	
30. 通信(電話)情報	
31. AV再生状態情報	
32. 空調状態情報	快適情報

警報情報	走行情報	快適情報
◎見ないと危険	◎見れば安心	◎見ると便利
ドライバーの意志にかかわらず与えらるべき情報	ドライバーの意志で走行中に見る情報	ドライバーの意志で停車時などにじっくり見る情報
一時的表示 発生したときのみ合図して知らせる	常時表示 必要と判断したときいつでも見れるように準備しておく	必要時表示 必要なとき、呼び出して表示させる
少ない情報	分かりやすい情報	詳細な情報
最も視線移動の少ない位置 常時視界内において目障りになるおそれのある位置	見ようとするばすくに見ることができる位置 走行中の妨げにならないが情報がすぎると瞬時には判別しにくい位置	走行中には見ない方がよい位置 助手席の人と同じ条件で見ることができる位置
Aゾーン	Bゾーン	Cゾーン



図9. 情報特性と表示の位置関係

- 交差点手前で行き先の地名や道路名を表示し、右左折の判断を手助けする。
- 経路誘導をしている場合は、矢印のみを表示する。

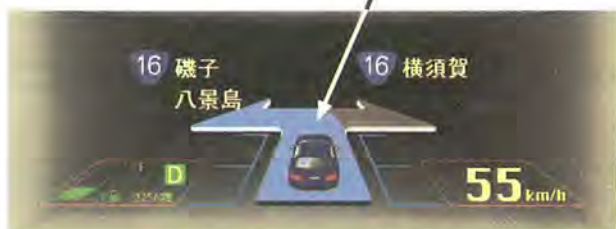


図10. 交差点行き先表示例

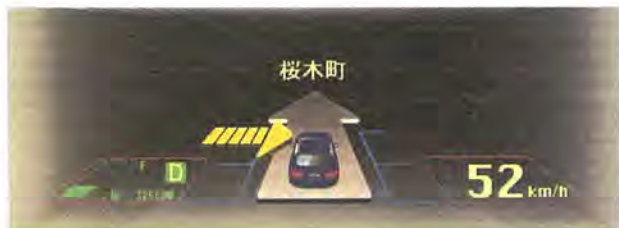
- 道路上に渋滞や車線規制が発生した場合は、その詳細とう(迂)回路案内を表示する。



図11. 渋滞規制情報表示例

外部との通信機能を含む「快適情報」を加えた3種類の情報群に分類できる。なお、走行情報は、車両情報・予防安全情報・進路情報から成り立っている。

グループ化した三つの情報群から特筆すべき情報特性を対



- 二輪車等の側方通過や歩行者の飛出などで衝突の危険性があると判断した場合、その方向を矢印等で合図し、運転者の認知を助ける。
- なおも運転者の危険回避が遅れた場合には、Aゾーンのヘッドアップディスプレイで警告する。

危険予知の合図は出すタイミングが難しく、早く出しすぎればお節介な情報になるし、遅れば事故につながる。このタイミングは、ある程度運転者の経験値に因るところがあり、人によっては衝突直前の警報だけが必要で、前もった注意表示は省略するべきこともあるだろう。いずれにせよ、予防安全情報は音声や振動による合図と合わせて、運転者に確実に伝えなければならぬ情報である。

図12. 衝突予防安全情報表示例

比させ、それぞれに最適と思われる表示位置をインパネ周りのゾーン(視線移動の大小、情報の重要度及び緊急度を基準に、A:ヘッドアップディスプレイ、B:インパネ、C:セントコンソール上部)に当てはめる(図9)。

Aゾーンのヘッドアップディスプレイには、安全確保のための緊急警報を表示する。

Bゾーンは走行情報の表示エリアで、車両情報・予防安全情報・進路情報の三つを分かりやすく表示する。

Cゾーンは外部との通信やアミューズメント情報を表示する。

なお、Bゾーンの表示例として、交差点行き先を図10に、渋滞規制情報を図11に、衝突予防安全情報を図12に示す。

4. むすび

カーマルチコミュニケーションシステムに関する上記開発成果は、(社)トロン協会主催の'92“電腦デザインコンペティション”で取調賞を受賞し、統合化ディスプレイは、'95東京モーターショーで三菱電機ブースへの出展という形でそれなりの評価を受けた。しかし、携帯電話機の運転中使用による交通事故発生という最近の不幸なニュースに見られるように、運転中に使用する情報通信機器の安全性への配慮は、今後、ますます重要な課題となっていく。

情報通信機器が持つ利便性を生かし、利便性と安全性が両立できる機器の開発に向け、開発内容を更に高度化するとともに、ますます多様化するカーライフでのユーザーニーズの変化を予測する上で、次の視点を加えたヒューマンインタフェースデザインに鋭意取り組んでいく計画である。

- (1) パーソナル化への対応: ユーザ各自に、よりフィットした使い心地
- (2) 高齢化への対応: 高齢者でも分かりやすく、使いやすい機器の在り方
- (3) 双方向通信への対応: 多様な情報コンテンツをいつでも、どこでも、手軽に受信

車載ナビゲーションシステムにおける 交通情報表示技術

十川登志夫* 土井勝次*
萬代博康** 後藤博文*
速水勝朗* 横内一浩*



規制情報
(車線規制)
駐車場情報
(混雑)
駐車場
(空車)



渋滞情報
(一般道、混雑)
渋滞情報
(一般道、渋滞)
渋滞情報
(高速道、渋滞)

車載ナビゲーションシステムにおける交通情報の表示

ビーコン等から受信したリアルタイムの交通情報(渋滞情報, 規制情報, 駐車場情報)を, 車載ナビゲーションシステムの地図上に重畳表示する。この情報は, VICSのレベル3と呼ばれる。

現在急速に普及しつつあるナビゲーションシステムは, 交通情報を取り込むことにより, 更に実用性を高めることができる。1996年4月からはVICS (Vehicle Information and Communication System) という交通情報提供システムが首都圏を中心に運用を開始しており, いよいよ車載ナビゲーションシステムでの交通情報の活用が本格化してきた (VICSは大阪府でも1996年度中に運用開始の予定)。

VICSの交通情報は, レベル1 (文字表示型), レベル2 (簡易図形表示型), レベル3 (地図表示型) の三つの形態で提供される。このうちレベル3は, VICSリンクという道路ネットワークをあらかじめ定義しておき, これに基づいて, 交通情報を数値コードでデータ化して提供するものである。

レベル3情報のナビゲーションの地図上への重畳表示には, 地図データの媒体であるCD-ROMに格納したVICSリンクのデータを用いて, 対応する道路線表示用のデータを求め, それを基に受信した交通情報の地図上の表示座標を算出する処理が必要である。

図はVICSレベル3の地図重畳表示例であり, 推奨ルートを示す黄色の小さい三角形と渋滞情報・規制情報の表示位置の関係と重なり優先度を考慮して, 画面の良好な視認性を確保している。さらに, 地図上に表示しきれない詳細な情報は, 重畳表示した各情報に対応する文字情報として表示可能としている。また, VICSレベル3は, 通行止め等を回避する推奨ルートの探索等への応用も可能である。

1. ま え が き

交通情報とは、道路に関する渋滞・事故・規制等のリアルタイムの情報であり、主にラジオや道路上の電光掲示板等を通じて提供されている。

一方、近年急速に普及している車載ナビゲーションシステムでは、自車位置と周辺の地図を表示するだけでなく、推奨ルートに従った目的地までの案内機能を持つものが一般的になっている。この推奨ルートは、最短距離ルートを基本として質の良いルートが得られるように様々な道路属性を考慮している⁽¹⁾。

この車載ナビゲーションシステムにリアルタイムの交通情報を取り込むことにより、ナビゲーションの画面上へのリアルタイム交通情報の表示が可能となる。この結果、渋滞等を回避し得る最適ルートを選択するドライバーが増加すれば、道路交通全体としては交通流の分散と渋滞の緩和が期待できる。1996年4月に首都圏でサービスを開始したVICS⁽²⁾⁽³⁾は、このような効果をねらったものである。

本稿では、VICS対応車載ナビゲーションシステムにおけ

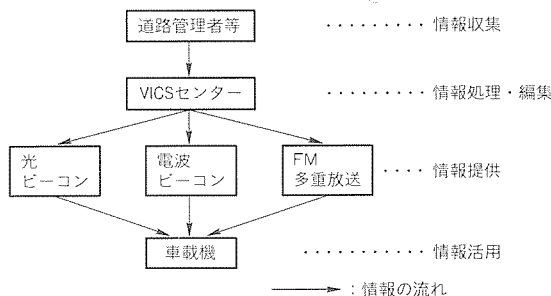


図1. VICSのシステム構成

表1. VICS情報提供メディア

メディア	データ容量	特徴
FM多重放送	約50kバイト/局・5分	FM放送サービスエリア内の全車両を対象として広域の情報を提供
電波ビーコン	約8kバイト/基	主に高速道路の路側に設置され、そこを通過する車両に対して前方の情報を提供
光ビーコン	約10kバイト/基	主に一般道路の路上に設置され、そこを通過する車両に対して前方の情報を提供



図2. VICSレベル1の表示例

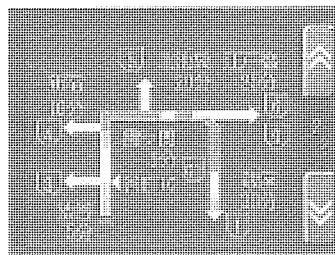


図3. VICSレベル2の表示例

る交通情報の表示方法について述べる。

2. システム構成

2.1 VICSのシステム構成

交通情報提供システムの一つであるVICSのシステム構成を図1に示す。

VICSでは、FM多重放送、電波ビーコン、光ビーコンの3種類のメディアを通じて情報を提供する(表1)。各メディアはデータ容量、情報提供エリア、設置場所が異なるため、その特徴に応じて交通情報を提供する。

2.2 VICSから提供される情報

VICSでは、以下の3タイプの車載機を想定して情報を提供している。

(1) レベル1(文字表示型)

248×60ドット(15.5文字×2.5行)のディスプレイ上に、文字情報を表示する。

(2) レベル2(簡易図形表示型)

248×204ドットのディスプレイ上に、簡略化した地図と渋滞等の交通情報を表示する。

(3) レベル3(地図表示型)

ナビゲーションシステムの地図上に、渋滞等の交通情報を重畳表示する。

VICSレベル1の表示画面例を図2に、VICSレベル2の表示画面例を図3に示す。

2.3 車載機側のシステム構成

VICSレベル3対応車載機のシステム構成例を図4に示す。図中、FM多重受信機・電波ビーコン受信機・光ビーコン受信機はVICS情報を受信するためのものであるが、いずれか一つでも情報の受信は可能である。CD-ROMには、

LCDモニタ上に地図を表示するためのデータ、推奨ルートを計算するためのデータ、VICSレベル3の情報をこれらのデータに対応付けるためのデータ、などが格納される。

ナビゲーションユニットでは、GPS受信機、振動

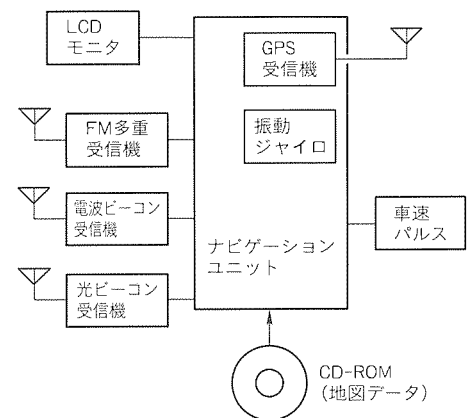


図4. VICSレベル3対応車載機のシステム構成例

ジャイロ等からのセンサ情報を基に自車位置を算出し、これを周辺の地図データとともにモニタ上に表示する。さらに、上記 FM 多重受信機等からの VICS 情報を地図上に重畳表示する。

3. VICSレベル3の表示

3.1 VICSレベル3の概要

レベル1、レベル2の情報は描画コマンドの形で提供され、車載機側では、提供されたデータに従って画面を構成して表示する。一方、レベル3のデータは道路ごとの情報が数値コード化されたものである。詳細は以下で述べるが、レベル3は、レベル1及び2と異なり、ナビゲーションシステムの地図データへの対応付けが可能であり、したがって、より詳細な情報をナビゲーションの地図上へ重畳表示するだけでなく、推奨ルート上の渋滞等の障害のドライバーへの報知、通行止め等を回避した推奨ルートの探索等への応用もできる。

レベル3の情報提供の基本的な考えは次のとおりである。

①道路ネットワークは、交差点をノード、ノード間を結ぶ道路をリンクとして、グラフ理論でいう有向グラフに見立てることができる(図5)。ここで、各リンクを一意に特定できるようにあらかじめ付番しておく。②この道路ネット

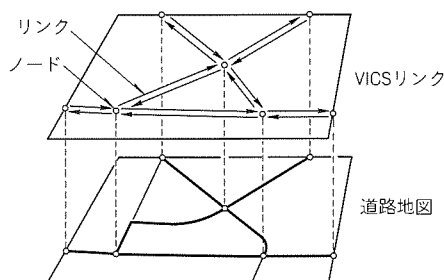


図5. 道路とVICSリンクの対応

表2. VICSレベル3の内容

情報種別	主な内容
渋滞・旅行時間情報	<ul style="list-style-type: none"> 情報提供時刻 地図座標 (2次メッシュ座標) リンクレイヤ リンク種別 リンク番号 先頭位置のリンク終端からの距離 渋滞長 渋滞度 リンク旅行時間
規制・事故情報	<ul style="list-style-type: none"> 情報提供時刻 地図座標 (2次メッシュ座標) リンクレイヤ リンク種別 リンク番号 (始点, 終点, 経由地点) 始点リンク終端からの距離 終点リンク終端からの距離 規制の長さ 規制内容, 規制内容詳細 原因事象, 原因事象詳細

ワークを前提とすれば、リンクの番号とリンク内の位置(リンク終端からの距離)を指定するだけで、道路上の事象(渋滞・規制等)の位置が一意に定まることになる。③したがって、リンク番号、リンク内位置と事象の内容を数値コード化して伝達すれば、車載機の地図上に交通情報が表示できることになる。

VICS 情報提供のために定義された上述の道路ネットワークは、VICS リンクと呼ばれる。

次に VICS レベル3の情報の種類について述べる。現在、以下の4種類がレベル3の情報として提供されている。

(1) 渋滞・旅行時間情報

各リンクの渋滞箇所及び渋滞の程度と、リンク通過に必要な時間を提供する。

(2) 規制・事故情報

事故や交通規制等の事象があるとき、その事象の発生箇所、規制内容、原因等を提供する。

(3) 駐車場情報

駐車場・SA/PA (サービスエリア/パーキングエリア)の位置(座標)、名称、混雑状況等を提供する。

(4) 区間旅行時間情報

あらかじめ決められた区間の通過所要時間を提供する。

表2に渋滞・旅行時間情報と規制・事故情報の内容の概要を示す⁽⁴⁾⁽⁵⁾。表の中の“地図座標(2次メッシュ座標)^(注1)”“リンクレイヤ”“リンク種別”“リンク番号”は、事象の発生しているVICSリンクを指定する。また、“始点/終点リンク終端からの距離”と“渋滞長/規制長”は、VICSリンク内の事象発生箇所を指定する。

3.2 地図への重畳表示

前節で述べたように、レベル3情報はVICSリンクに基づいて提供される。ここではVICSリンクの情報を地図上に表示する原理について述べる。

VICSリンクそのものには、表示座標に関する情報がない。一方、車載機の地図データには、地図を表示するための道路線の表示座標列のデータ(道路線データ)が存在している。したがって、VICSリンクと道路線データを対応付ける表があれば、レベル3情報を地図上へ表示することが可能となる。

表3に対照表の例を示す。

3.1節で述べたとおり、レベル3情報の位置はVICSリン

表3. VICSリンクと道路線データの対応

VICS リンク番号	道路線 データ番号	オフセット 距離
:	:	:
$N-1$	n_1	d_1
N	n_1	d_1
N	n_2	d_2
$N+1$	n_1	d_1
:	:	:

(注1) “2次メッシュ”は10倍地域メッシュとも呼ばれ、約10km四方のく(矩)形領域で地図を分割したものであり(JIS X 0410(1976))、“2次メッシュ座標”で位置が指定される。VICSリンクは2次メッシュ単位で付番される。

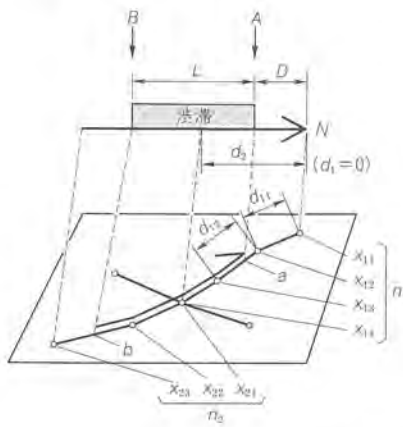


図6. VICSレベル3の情報表示座標の算出

N : VICSリンク
 A : 渋滞先頭
 B : 渋滞末尾
 D : 渋滞先頭のVICSリンク終端からの距離
 L : 渋滞長
 n_1, n_2 : N に対応する道路線データ
 d_1, d_2 : n_1, n_2 の N に対するオフセット距離
 $x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}$: n_1 を構成する座標列
 x_{21}, x_{22}, x_{23} : n_2 を構成する座標列
 a : 地図上の渋滞先頭
 b : 地図上の渋滞末尾
 d_{11} : x_{11}, x_{12} 間の距離
 d_{12} : x_{12}, x_{13} 間の距離

ク番号と VICS リンク内の位置によって指定される。表 3 の対応表には、VICS リンクの番号、VICS リンクに対応する道路線データの番号、及び VICS リンク終端と道路線データ終端のずれ(オフセット距離)が格納されており、この対応表を用いて、受信したレベル 3 の情報に対応する道路線データを検索することになる。

次に図 6 を参照しながら、レベル 3 の渋滞情報を地図表示座標に変換する過程について説明する。

図において、VICS リンク N に対応する道路線データが n_1, n_2 であるとする。このとき、 n_1 は要素点 $x_{11} \sim x_{14}$ で構成され、 $x_{11} \sim x_{14}$ を順に直線で結ぶことによって道路線 n_1 が描画される。同様に要素点 $x_{21} \sim x_{23}$ を順に直線で結ぶことによって道路線 n_2 が描画される。

VICS リンク N の渋滞区間(渋滞先頭が A 、渋滞末尾が B) の表示座標は、この渋滞区間に対応する道路線データの表示座標から求める。

まず道路線 n_1 において、 n_1 内に渋滞区間が含まれるかを判断する。 $D+L < d_1$ 又は $D > d_2$ であれば n_1 内には渋滞区間が含まれないので、VICS リンク N に対応する次の道路線 n_2 の処理に移る。図では $D+L > d_1$ かつ $D < d_2$ なので n_1 内に渋滞区間が含まれると判断する。

次に、 n_1 内の各座標点 $x_{11} \sim x_{14}$ に対して 2 点間の距離 $d_{11} \sim d_{13}$ を算出していき、渋滞区間を特定する。図の例では、 $d_1 + d_{11} < D$ かつ $d_1 + d_{11} + d_{12} > D$ なので、渋滞の先頭 A は座標点 x_{12} と x_{13} の間にあることが分かる。このとき A に対応する表示座標 a は x_{12}, x_{13} の座標及び距離 D, d_{11}, d_{12} から算出できる。

渋滞末尾 B に対応する表示座標 b も同様にして算出できる。

そして、渋滞区間に対応する道路線を構成する点 $a, x_{13}, x_{14}(=x_{21}), x_{22}, b$ を直線で順番に結べば、VICS リンク N の渋滞区間が渋滞線として地図上に表示されることになる。

ただし、実際には渋滞の向きが一目で分かるように渋滞の先頭 A に矢印を付加し、さらに、渋滞線が道路線や推奨ル



図7. 規制情報の詳細情報表示画面

ート表示と重ならないように、進行方向に対して左側にシフトして表示する。さらに、渋滞表示は推奨ルート表示の下になるようにして、より識別しやすい画面となるように配慮している(カラーページの図参照)。

図7は規制・事故情報の詳細情報表示の画面例である。図では、詳細情報として“規制内容詳細”“原因事象詳細”(表2)のコードを、その内容に応じた文字列に置き換えて、画面右側のウィンドウ内に表示している。地図重畳情報と詳細情報の同時表示により、地図を見ながらの操作を可能にするとともに、分かりやすい表示を実現している。また、駐車場情報についても同様に詳細情報の表示を可能としている。

4. む す び

本稿では、VICS レベル 3 の交通情報のナビゲーションの地図上への重畳表示について述べた。重畳表示に当たっては、ルート表示や道路線との重なりを考慮することにより、画面の良好な視認性を確保している。ただし、例えばほとんどの道路が渋滞している状況では、画面内に多数の渋滞が表示されることになり、その結果、他の情報の識別が難しくなる。この場合は、自車の進行方向の情報だけを表示したり、渋滞していない道路だけを表示するなどして、画面を識別しやすくすることも考えられる。

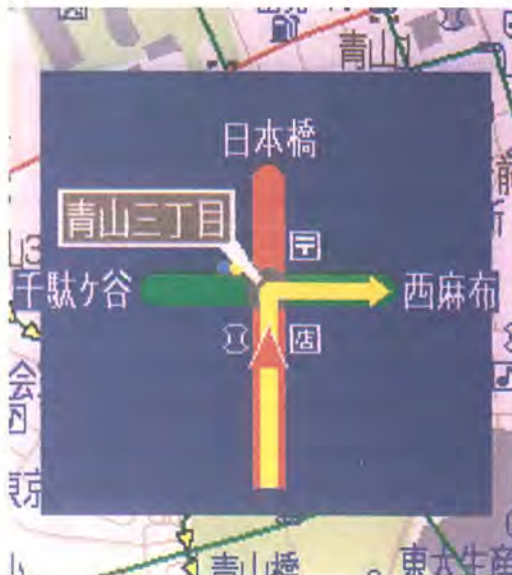
今後は、ドライバにとって真に必要な情報だけを、いかに整理して表示するかが課題となる。

参 考 文 献

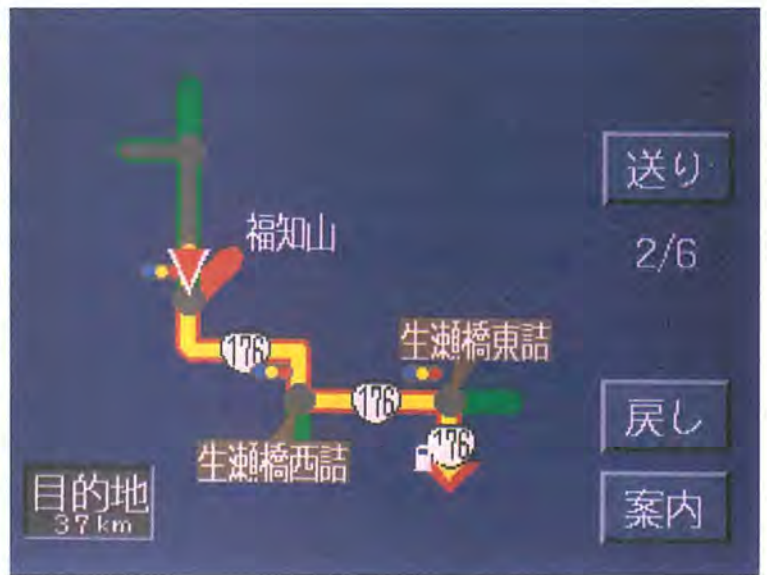
- (1) 井手野宏昭, 梅津正春, 水谷芳禎, 岡崎勝次, 柿谷孝至, 前川正一: カーナビゲーション用経路案内技術, 三菱電機技報, 69, No.11, 1022~1026 (1995)
- (2) 道路交通情報通信システム推進協議会: VICS 公開デモンストレーション実験ガイド, (1993)
- (3) 財団法人道路交通情報通信システムセンター: 道路交通情報提供システムに関する調査研究 (1996)
- (4) 郵政省告示第 461 号: 移動受信用送信方式における符号系列の構成及び文字信号の送出に関する詳細事項を定める件, 7~9, 大蔵省印刷局 (1994)
- (5) 放送技術開発協議会: FM 多重放送を行うための運用上の確認事項, 15~27 (1995)

車載ナビゲーションシステムにおける 経路案内技術

水谷芳禎* 岡崎勝次**
則本政嗣* 井手野宏昭*
梅津正春**



(a) 交差点デフォルメ図



(b) 経路デフォルメ図

デフォルメ図の表示例

図は、車載機上でリアルタイムに自動生成されるデフォルメ図を用いた交差点案内例である。案内対象交差点の道路構造を角度量子化して表現し、交差点名称、道路行先名称、道路脇のランドマーク等を配している。

ナビゲーションシステムにおける経路案内機能は、現在位置からドライバの要求する目的地点までの推奨経路を計算し、経路上の主要な交差点において交差点の拡大図や音声によって案内する機能である。

国内各社に見られる経路案内機能は、おおむね地図上に推奨経路を表示するとともに、主要な交差点への接近時に当該交差点周辺地図の拡大表示、及び音声による交差点での進路の報知を実施するものである。一方、海外においては、交差点からの進路の簡易図形表現と音声の組合せで案内するシステムが主流である。その理由は、欧米諸国が、安全性の面から車載機での画像表示に慎重であるほか、道路網が日本と比べて複雑でなく、ストリート名等も整備されていることも一因と考えられる。

三菱電機㈱は、案内情報の分かりやすさを主眼に置き、デフォルメ図を用いた経路案内を実現した。これはCD-

ROM内の地図情報を用いて車載機上でリアルタイムに自動生成されるもので、距離・方位の量子化、地理情報の命題表現など、認知心理学における認知地図の知見を応用した独自のアルゴリズムを用いている。これには、推奨経路全体の情報を提供する経路デフォルメ図と、交差点における進路情報を提供する交差点デフォルメ図がある。また、CPUやメモリリソースの限定される普及版システムでは、交差点デフォルメ図に代わるものとして交差点拡大図を実現した。音声案内は、予告案内と案内対象交差点直前の案内の2段階としている。

ナビゲーションシステムの標準機能となってきた経路案内は、ユーザに対する訴求力を競う主なものである。この意味からも、独自色を持ち、魅力的な経路案内の開発が今後必要となってくる。

1. ま え が き

今日、車載ナビゲーションシステムは、車載機器の中でも飛躍的に市場が拡大し、今後も更に成長が期待される。このナビゲーションシステムは、CD-ROMに記憶されデジタル化された地図データを基に液晶ディスプレイ上に地図を表示するとともに、GPS (Global Positioning System) や車速センサ等の情報から計算した現在位置を地図上に表示する機能や、駅やゴルフ場などの主要な施設を検索して該当する地図を表示する機能を持っている。

さらにこれらに加えて、現在位置から目的地までの推奨経路を計算して表示や音声によって案内する経路案内は、今日のナビゲーションシステムにおける標準機能になりつつある。

本稿では、国内外各社に見られる経路案内機能の事例を紹介し、さらに当社の取組について述べる。

2. 経路案内機能の概要

経路案内機能は、現在位置からドライバによって任意に指定された地点までの推奨経路を、例えばA*アルゴリズム⁽¹⁾などの手法を用いて計算する。その経路を地図上に重畳表示してドライバに提供するとともに、経路上の案内地点において交差点を拡大表示した交差点拡大図や音声により、ドライバを目的の地点まで案内する。

3. 経路案内機能の事例

3.1 国内各社の事例

国内主要メーカーのナビゲーションシステムに見られる経路案内機能のほとんどが、交差点拡大図と音声の併用による案内である。主要メーカーの経路案内機能の比較を表1に示す。

交差点拡大図は、経路上の主要交差点を拡大し、進路と交差点までの距離、交差点付近に存在する施設等の情報を提供する。交差点拡大図と音声によってドライバに提供している情報は、各社ともおおむね次のとおりである。

(1) 交差点拡大図

- (a) 交差点形状と名称
- (b) 交差点付近の施設

施設マークでその位置と種類を表している。

(c) 自転車と交差点までの距離

バーグラフなどを用いて自転車と交差点までの距離を表している。

(d) 経路

道路と異なる配色で、進入路と交差点からの進路を表している。

(2) 音声

- (a) 交差点までの距離
- (b) 進行方向

いずれも、交差点拡大図を交差点への進入路を基

準としたヘディングアップで拡大表示し、経路上の主要な交差点に自車が一定距離、例えば1km手前に接近すると、まず音声による案内を行う。次いで交差点の直前に接近すると、交差点拡大図と音声による案内が行われる。

3.2 海外の動向

現在、海外の一部のメーカーから製品として発売されている車両用ナビゲーションシステムの国内システムとの相違点は、経路案内について以下の3点を挙げることができる。

- (1) 複数の言語への対応
- (2) ストリート名の表示
- (3) 簡易図形による交差点案内

複数言語対応に関しては、国内のシステムは日本語のみの対応がほとんどで、複数言語対応への市場要求もあまり高くないと考えられる。これに対して海外、特に固有の言語を持つ国々によって構成される欧州市場では複数言語への対応は欠かすことのできない機能であり、実際に、多くのシステムにおいて2~5か国語による案内を可能としている。

ストリート名表示に関しては、国内のシステムでは、例えば、交差点付近の拡大図や簡略図とともに交差点名称を表示することにより、進路変更すべき交差点の確認ができるようになっている。欧州や米国においては、進行すべき道路の名称を表示することによってドライバが進路の確認をできるようなシステムとなっていることが多い。これは、国内においては交差点名称が標識として整備されているのに対して、欧米各国では住所表示等にもストリート名 (Street Name) を使用するのが一般的であるためである。

最後の相違点は、交差点での進行方向の表示方法に関するものである。国内のシステムでは、交差点付近の地図を拡大して付近の施設情報とともに画面表示する等、多くの情報をドライバに提供する手法が主流である。

一方、欧米で展開されているシステムでは、案内地点での進行方向を簡易表示する方法を採用しているケースが多い。これは、欧米諸国が、安全性の面から画像表示に慎重であることや、ストリート名を基準に道案内する社会習慣にも起因しているものと考えられる。

表1. 主要機能の各社比較

		当社	A社	B社	C社	D社	E社	F社
表示案内	拡大図(模式図)表示	○	○	○	○	○	○	○
	自転車位置表示	○	○	○	×	×	○	×
	ランドマーク表示	○	○	○	×	×	○	×
	交差点名称表示	○	○	○	×	×	○	○
	残距離表示	○	○	×	×	×	○	×
	行き先名称表示	○	×	×	×	×	×	×
音声案内	経路デフォルメ図表示	○	×	×	×	×	×	×
	音声案内	○	○	○	○	○	○	○
	交差点名称報知	×	○	×	×	×	×	×

4. 当社の取組

4.1 デフォルメ図

ナビゲーションシステムのような車載ヒューマンインタフェース機器においては、OA機器と異なり、次のような固有の制約がある。

- ディスプレイの表示面が小さく、設置位置が限定される等の空間的制約
- 運転しながら操作、情報取得を行わなければならない二重作業の制約

したがって、ドライバーがディスプレイを見る1回当たりの画面注視時間には限度があり、一度に提供できる情報量は限定される。また、運転という主作業を妨げないために、提供情報の理解に要するドライバーの精神的負荷は小さくなくてはならない。これらの限定条件を克服するには、人がどのように地理的空間を認識しているか、言い換えれば、地理的ネットワークが人の頭の中でどのように形成されているかについて検討し、この頭の中に形成された地図に基づいて情報提供を行うことが有効と考えた⁽¹⁾⁽²⁾。この頭の中の地図は認知地図⁽³⁾と呼ばれ、以下の現象が現れることが報告されている。

●特徴的な地点間の方位及び距離は量子化される。

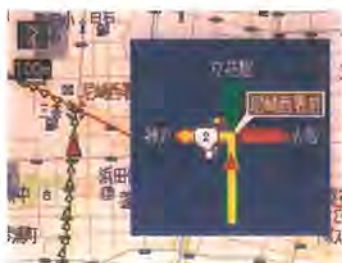


図1. 交差点デフォルメ図



図2. 経路デフォルメ図

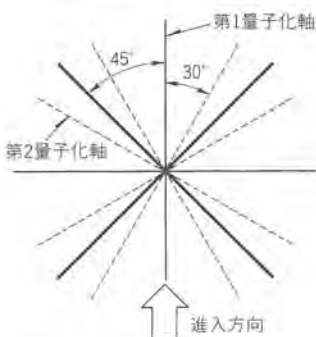


図3. 交差点デフォルメ図の道路の量子化軸

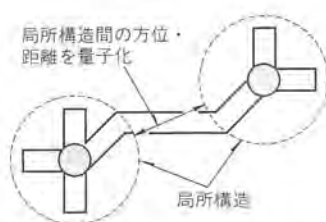


図4. 経路デフォルメ図の局所構造表現



図5. 交差点拡大図

- 地点間の道路は直線的に表現される。
- 地理情報はグラフィカルなイメージから命題的な表象に置き換えられて蓄積される。

これらを踏まえ、①目的地までの経路を、地点間の方位・距離を量子化するとともに地点間の道路を直線的に表し、②案内に必要な情報に絞って表現したデフォルメ図を提案し⁽⁴⁾、③このデフォルメ図を用いた経路案内機能を実現した。

デフォルメ図の例を図1及び図2に示す。図1は右・左折すべき交差点を表現した交差点デフォルメ図で、図2は推奨経路全体の概略を把握するための情報を提供する経路デフォルメ図である。いずれの図においても、交差点間の距離や方位を量子化し、交差点間の道路を直線で表している。

交差点デフォルメ図は、図3のように、45°単位の第1量子化軸と30°単位の第2量子化軸を持ち、交差点に接続する道路は、基本的に8方位の第1量子化軸に沿って配置される。その結果、複数の道路が重なる場合は、第2量子化軸に沿って配置する。また、緩やかな斜め交差は直交交差点として認識されるという知見に基づき、第1量子化軸へは45°刻みの均等配置ではなく、垂直・水平方向により強く引き込まれるような角度しきい値を設定している。

経路デフォルメ図は、ノースアップ基準で交差点をレイアウトし、その間を量子化距離に応じた直線道路で接続して生成する。量子化距離は、「短い」「中間」「長い」「極めて長い」の4通りの認知的距離を設定し、実距離をこの認知的距離に割り当てて決定している。また、交差点間を単純に直線で結ぶと交差点の形状が実際と異なってくるので、交差点における局所的な接続角度を局所構造として表現し、局所構造部分の間を直線で結ぶことによって違和感を回避している(図4)。デフォルメ図によって提供されるのは、次の情報である。

- 交差点(案内地点)を特定するための情報
- 交差点からの行動を促す情報

前者は、交差点近傍に存在するランドマークや交差点名称、及び交差点の形状表現によって提供される。後者は、進むべき道路を他の道路と異なる表現とすることで提供される。

4.2 交差点拡大図

交差点拡大図は交差点周辺の地図を単純拡大した図であり、デフォルメ図よりも少ないCPUパワーやメモリリソースで実現できるため、我々は普及版ナビゲーションシステムでこれを採用している。交差点拡大図の例を図5に示す。

案内対象交差点を中心として約200m四方の道路網を拡大表現し、その中に、経路、自転車位置、経路に沿って存在するランドマーク、案内対象交差点の信号などを配する。交差点名称は拡大図上部の枠

表 2. 交差点拡大図とデフォルメ図の比較

	デフォルメ図	交差点拡大図	
提供情報	交差点形状	●交差点に接続する道路のみ量子化表現	●交差点周辺約200m四方をそのまま拡大
	ランドマーク	●交差点周辺の施設をその重要度、交差点に対する位置に基づいて選択表示	
	交差点名称	●交差点記号に対して吹出し表示	●交差点拡大図の上部に背景枠とともに表示
	交差点までの距離	●自転車記号の段階的移動によって表現(5段階)	●拡大図内の自転車記号の移動表現(無段階)及び残距離の数値表現

表 3. 画像と音声の提供情報

提供タイミング	画像情報	音声情報
交差点直前	(1) 地点を特定する情報 ●交差点形状 ●交差点名称 ●ランドマーク (2) 進路 ●経路記号 (3) 交差点までの距離 ●自転車記号の移動 ●交差点までの距離の数値表示	(1) 地点を特定する情報 ●経由地, 目的地, フェリー港 ●高速入口, 高速出口 (例)「経由地周辺です」「高速出口へ」 (2) 進路 ●右・左折方向 (例)「左方向です」 (3) 距離 ●「間もなく」
予告案内 (1km 手前など)	画像表示なし	(1) 地点を特定する情報 ●経由地, 目的地, フェリー港 ●高速入口, 高速出口 (例)「経由地周辺です」「高速出口へ」 (2) 進路 ●右・左折方向 (例)「左方向です」 (3) 距離 ●「およそ1km先」

内に表示する。高速道路上では、交差点名称に換えて経路方向の行き先地名を表示する。

この二つの図の違いを表 2 に示す。

交差点拡大図はデフォルメ図と比較して、インタチェンジなどの複雑な分岐の多い交差点は分かり難いが、反面、交差点までの到達状況がリアルに把握できるほか、近接した道路の中での経路道路の認識が容易である。

4.3 音声案内

音声案内は、ドライバーが画像を見ることによって生じる運転への妨げがなく安全性が高いが、画像による情報提供と比較して、長時間にわたる多量な情報提供はドライバーの記憶作業に負荷が発生するため、一般に提供できる情報量は少ない。そこで視覚情報である画像との役割分担を考え、各々の特長を生かした情報提供方法を考える必要がある。

案内地点までにどのような情報がドライバーにとって重要であるかを考えると、案内地点の直前においては、案内地点を特定するための情報や案内地点からの行動のための情報が、またそれ以前には、案内地点までの行動のための情報、言い

換えれば行動を起こすための準備を促すための情報をそれぞれ提供することが必要と言える。

この考えに沿って、画像と音声による情報提供を、表 3 のように分担した。案内地点直前ではデフォルメ図又は交差点拡大図とともに音声による案内を行い、この際提供する音声の情報は右・左折情報のみとする。案内報知のタイミングは、一般道では最大 300 m、高速道路では最大 800 m とし、車速と連動して微調整している。この距離パラメータは、実走試験を繰り返して、最適と思われる値を決定した。また、右・左折交差点に到達前の予告案内は、一般道では約 1 km、高速道路では約 3 km 手前で行う。この予告案内のときには、案内地点までの距離と右・左折案内を音声を用いて提供し、画像による情報提供は自発的には行わない。これは、予告案内で提供する情報が行動の準備を促すものであり、必要以上に詳細な情報を提供してドライバーのメンタルワークロードを増やさないことを意図している。ただし、ドライバーの操作による情報要求時には音声と画像を併用して提供する。

5. むすび

目的地までドライバーを案内する経路案内機能は、交差点表示や音声を用いる点では各社とも類似したものであるが、交差点表示に含まれるランドマークや距離情報、音声の報知タイミングや内容は各社様々である。その中で経路案内にどれだけ独自色を盛り込めるか、どれだけ魅力的なものにできるかが、今後のこの機能に対する開発のかぎ(鍵)になると言える。

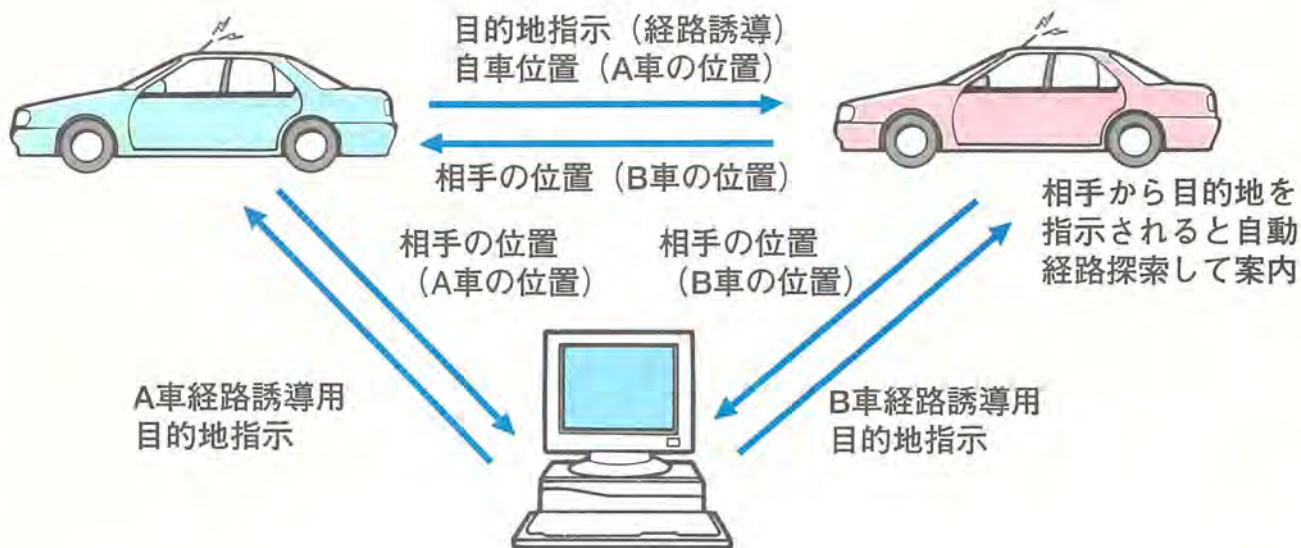
安全かつ確にドライバーを案内するのはもちろんのこと、使って楽しい案内機能の確立、さらに、'96年4月から運用が開始された交通情報提供システム (Vehicle Information & Communication System: VICS) への対応など、経路案内の高機能化が今後も進められていくと考えられる。

参考文献

- (1) 井手野宏昭, 梅津正春, 水谷芳禎, 岡崎勝次, 柿谷孝至, 前川正一: カーナビゲーション用経路案内技術, 三菱電機技報, 69, No.11, 1022~1026 (1995)
- (2) Ideno, H., Umezumi, M., Mizutani, Y., Norimoto, M., Yokouchi, K., Arai, H.: Automatic Generation of Sketch Maps for a Vehicle Navigation System, HCI International '95 in Tokyo, 70 (1995)
- (3) 村越 真: 認知地図と空間行動, 心理学評論, 30, No.2, 188~207 (1987)
- (4) 井手野宏昭, 水谷芳禎, 梅津正春, 井上 駿: 出会いの誘導とナビゲーション, Human Interface, 6, 319~324 (1991)

通信機能付き車載ナビゲーションシステム

平田誠一郎*



通信機能付き車載ナビゲーションシステム

三菱カーナビゲーションシステム“CU-9500シリーズ”では、車同士や、車と家庭・事務所のパソコンとの間でデータ通信を行い、画面に位置やメッセージを表現できる機能を可能にした。

CU-9500シリーズでは、業界で初めて自分の車と他の車や家又は事務所等との双方向通信を可能にした(“ナビネット通信機能”という。)

車載側では、デジタル携帯電話を使うときは、CU-9500の通信端子にデジタル携帯電話通信アダプタ(MR-9500DT)を介して、また、アマチュア無線やMCA無線機等を使うときは、無線用通信アダプタ(MR-9500RF)を介して通信ができる。

家や事務所等のホーム側では、パソコンにナビネット通信専用ソフト(MR-9500ST)をインストールする。車載側がデジタル携帯電話使用時は、一般公衆回線が利用できるように、一般市販モデムを使えるようにした。また、アマチュア無線、MCA等の無線機を使うときは、無線用通信アダプタ(MR-9500RF)をパソコンに接続することで通

信ができる。

ナビネット通信では、自車の車番、通信グループ番号をあらかじめ通信したい相手と一致させておくと、自車の現在位置を相手の画面で、相手の位置を自車の画面で確認できる。また、相手の車に目的地を送信すると、相手車の自動経路探索機能により、相手車の画面に、目的地までの最適経路を表示できる。音声誘導とともに、目的地までの経路誘導が可能である。

なお、パソコン画面に表示する地図として、ナビゲーションシステム研究会統一フォーマットのCD-ROMを使った。通信アダプタにはRS-232C端子を装備し、PDA(携帯端末)等の外部端末を接続することで、メッセージ伝送も可能にした。

1. ま え が き

車載ナビゲーションシステムでは、GPS (Global Positioning System) 測位と、ジャイロや車速パルスを使った自立航法を組み合わせた高精度な自車位置の測位機能や、目的地までのルートを自動探索する自動ルート探索機能を搭載することが主流になっている。これまでのナビゲーションシステムでは、自車位置をドライバーが把握する機能が主であって、車の外との情報を自由に双方向でやりとりする機能はほとんどなく、車の閉じられた空間での情報機器という感があつた。

三菱カーナビゲーション“CU-9500シリーズ”(以下“CU-9500”という。)では、業界で初めて自分の車と他の車、家、事務所等との双方向通信を可能にした(以下“ナビネット通信機能”という。)

本稿では、通信機能を持った三菱カーナビゲーションシス

テムCU-9500のナビネット通信について述べる。

2. ナビネット通信機能の概要

ナビネット通信機能としては、CU-9500を搭載した車同士で通信を行う“車-車間通信”と、CU-9500を搭載した車とパソコンの間で通信を行う“車-パソコン間通信”とがある。

この機能では、通信アダプタの接続により、携帯電話、又は無線機等を介して、車-車間、車-パソコン(家-事務所)間で自車の現在位置を仲間の車のナビ画面に、また仲間の車の位置を自車のナビ画面で確認することができる。目的地を相手の車に送り、自動ルート探索機能でルート探索ができた

2.1 ナビネット通信システムの構成

図1にナビネット通信の全体システムの構成を示す。

2.1.1 車載側の構成

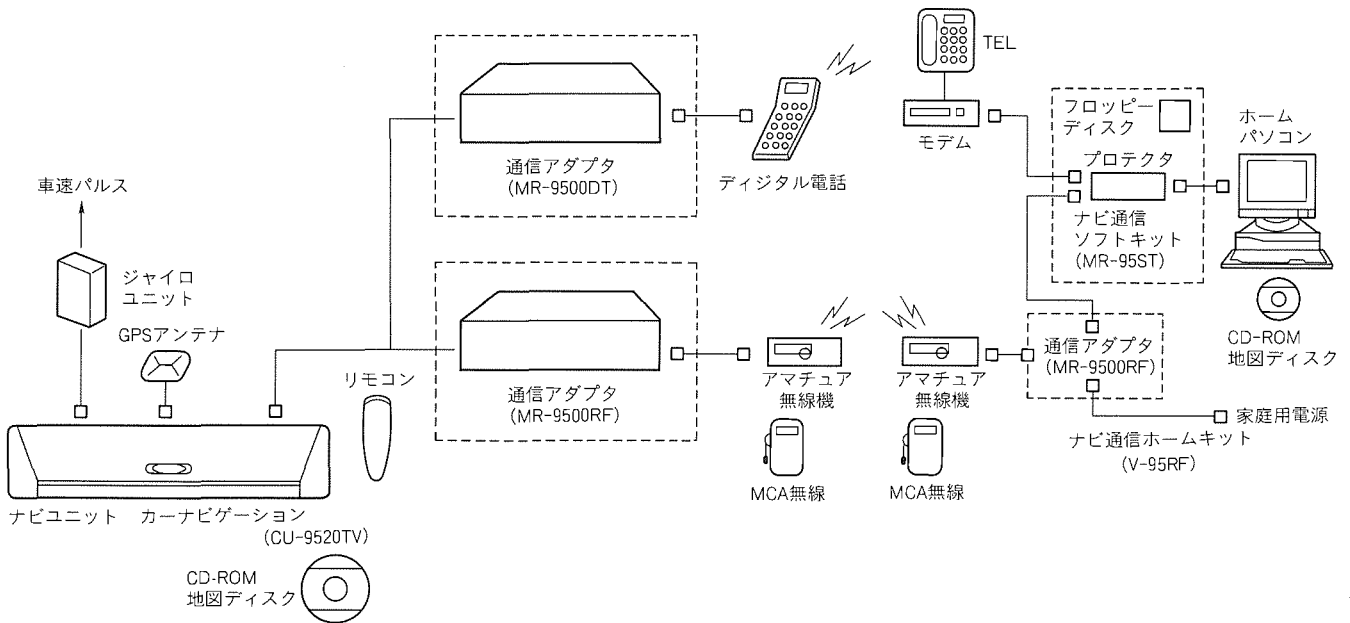


図1. 全体システムの構成

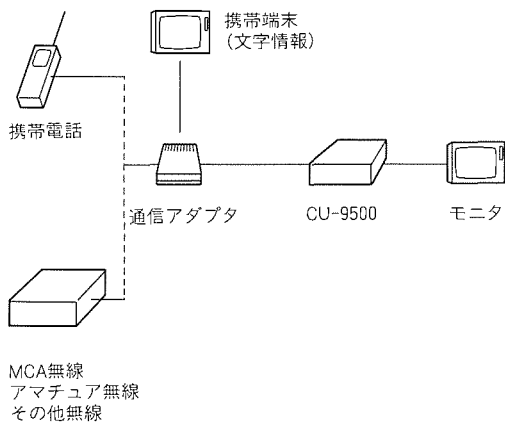


図2. 車載側システムの構成

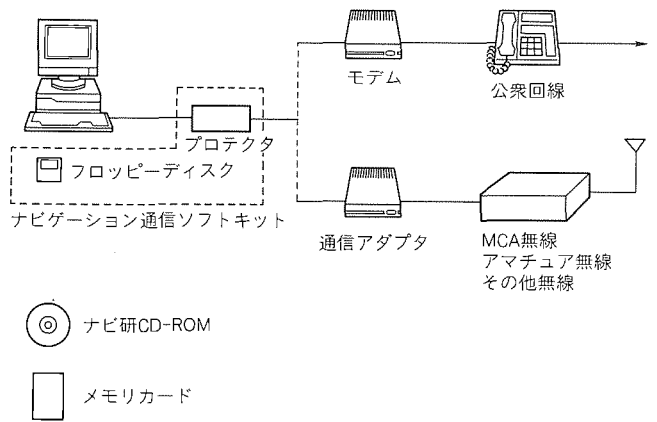


図3. ホーム側システムの構成

車載側システムの構成を図2に示す。デジタル携帯電話を使うときは、CU-9500の通信端子に、デジタル携帯電話用通信アダプタ(MR-9500 DT)を介して、デジタル携帯電話を接続する。また、アマチュア無線やMCA (Multi Channel Access) 無線等のアナログ系の無線機を使うときは、CU-9500の通信端子に無線用の通信アダプタ(MR-9500 RF)を介して、アマチュア無線機やMCA無線機等を接続する。

2.1.2 ホーム側の構成

家・事務所等のホーム側システムの構成を図3に示す。ホーム側は、Windows 3.1^(注1)で動作するパソコンに、ナビネット通信専用ソフトをインストールする。デジタル携帯電話を使うときは一般市販モデムを、また、アナログ系の無線機を使うときは、無線用の通信アダプタ(MR-9500 RF)を、ハードプロテクタを介して、パソコンのRS-232C端子に接続する。また、パソコン画面に表示する地図として、ナビゲーション研究会統一フォーマット Ver.2.1のCD-ROMを使う。

2.2 通信機能

ナビネット通信で送られる伝送フォーマットの概要を図4に示す。車両番号、通信グループ番号(GR番号)、自車位置、目的地、走行中・休憩中・故障といった自車の状態等の車両情報を、離れた相手に送ることができる。通信開始時には、CU-9500の通信メニュー画面を開き、図5の画面で通信情報の設定をする。ID番号を自車の車番に、通信グルー

(注1) “Windows 3.1”は、米国Microsoft Corp.の米国及びその他の国における商標である。

ヘッダ	属性	データ種別	グループ番号	ID番号	パケット数	送信マーク	機能属性	緯度	経度	メッセージ属性	機能属性	フッタ
-----	----	-------	--------	------	-------	-------	------	----	----	---------	------	-----

図4. 伝送フォーマット

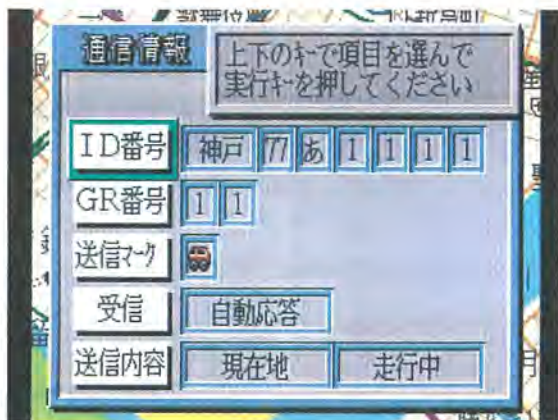


図5. 通信メニュー画面例

プ番号(GR番号)を相手のGR番号に一致させておくと、車両相互に情報を交換できる。送信マークは、自車の状態(走行中・休憩中・故障)のマークを選択する。完了すると、図6の[0001]のようにナビ画面上に車両情報が表示される。

このナビネット通信では、自車(A車)と相手(B車)とのGR番号が一致した状態で通信が行われたとき、自車(A車)の位置が相手(B車)のナビ画面に表示され、相手(B車)の位置が自車(A車)のナビ画面上に表示される。

また、相手(B車)に目的地を送りたいときは、自車(A車)のナビ画面で目的地を設定し、相手(B車)に目的地を送る。目的地が相手(B車)に届くと、B車のCU-9500の経路探索機能により、B車の位置から目的地までの最適経路が描画され、音声誘導とともに目的地まで経路誘導を行える。また、家・事務所に設置されたパソコンからも同様の機能により、A車又はB車等に目的地を送ったり、A車又はB車の位置を、パソコンで知ることができる。

また、通信アダプタにはRS-232C端子があり、PDA(Personal Digital Assistance: 携帯端末)等の外部端末を接続することで、車-車間、車-パソコン(家・事務所)間での文字によるメッセージ伝送を可能にした。

2.3 CU-9500

CU-9500本体の構成を図7に示す。

メインCPUである32ビットCPUをコアに、メインゲートアレー・拡張ゲートアレー・メモリ等で構成される。メインゲートアレーでは、GPS部やCD-ROMデコーダ部とのデータ交換のほか、リモコン信号のデコードや通信アダプタとのデータ交換等を行い、拡張ゲートアレーでは、PCMCIA(Personal Computer Memory Card International Association)準拠のメモ리카ード(SRAMカード)や自立航法ユニットとの通信を行う。

3. 通信アダプタ⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾

3.1 デジタル携帯電話用通信アダプタ

デジタル携帯電話にこの通信アダプタ(MR-9500 DT)



図6. ナビ画面表示例

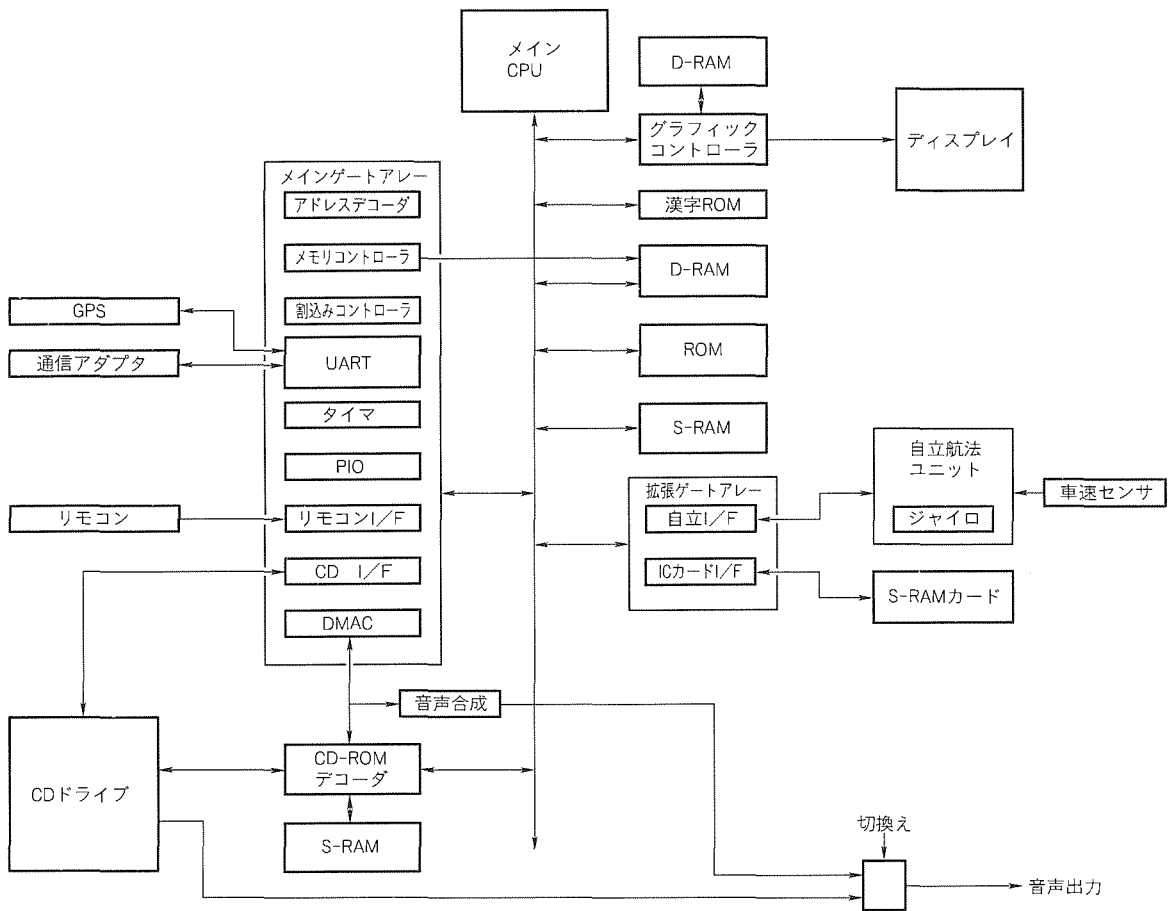


図7. CU-9500の構成

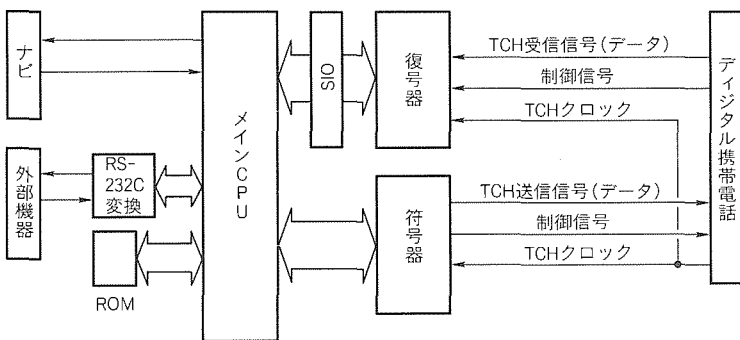


図8. デジタル携帯電話インターフェース

を直接接続して、伝送速度2,400bpsで、車両の現在位置データ及び目的地データ等のデータ通信を行うことができる。また、RS-232C外部端子に携帯端末等を接続することにより、一般公衆回線モデムを利用したパソコンともデータ通信が可能である。

デジタル携帯電話用通信アダプタの主な処理内容は、非電話データ信号符号化、非電話データ信号復号、非同期又は同期信号への変換、インタリーブ(データ送出信号を断続的に必要箇所に挿入する機能)等である。これらの機能を図8に示すブロック構成で実現した。

デジタル携帯電話は、音声通信とデータ通信専用の非電

話機能を持っており、ナビネット通信では、この非電話機能を使った。デジタル携帯電話のTCH (Traffic Channel: 情報チャンネル) フレーム信号、TCHクロック信号に通信アダプタ(MR-9500 DT)のデータを同期させて非電話データの送受信を行っている。

デジタル携帯電話と通信アダプタのTCH送受信信号は、図9に示す信号フォーマットで行われる。TCH信号は、送りたい情報4ビットに誤り訂正用チェックビット11ビットを付加したBCH (15, 4) 符号(誤り訂正方式における符号化の一種で、Boss Chaudhuri Hocquenghemの略)で構成される。この符号は、誤りのビット数が3ビット以下なら、完全に元の信号に訂正できる誤り訂正能力を持っている。

CU-9500から送信データが通信アダプタに入力されると、メインCPUでCU-9500のデータに同期したHDLC(データ通信における伝送制御手順の国際標準で、High Level Data Link Control Procedureの略)シリアルデータを、送信クロックに合わせて出力し、SIO(Serial Input Output)からV.42フォーマット(国際電気通信連合ITU-Tの一般公衆回線規格で定められたデータフォーマット)データを発生し、さらに符号器でBCH符号に変換し、非同期にし

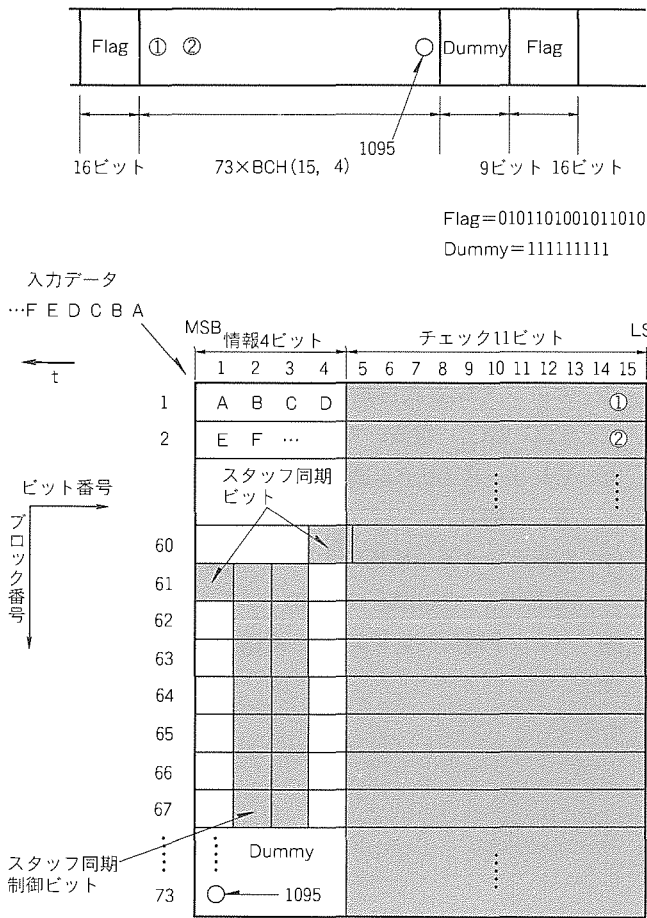


図9. TCH受信信号

0101
1111
1010
1101
0011
1100
1110
0111
0110
1011
1001

H=

I₁₁

図10. パリティ検査行列

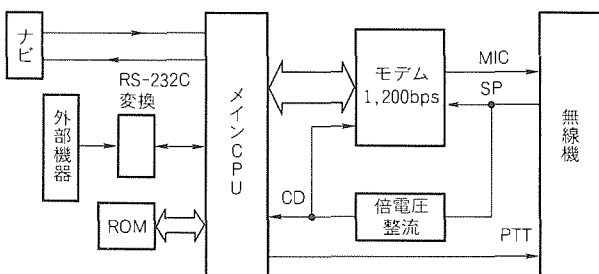


図11. 無線系通信アダプタ

て、TCH信号でデジタル携帯電話に送出する。

相手から非電話データが送られてくると、物理的接続の後、中継局とパラメータネゴシエーションが行われ、非同期モードからHDLCの同期モードへ移行する。同期モードへの移行を確認後、回線は接続状態となる。その後データ通信を開始する。

デジタル携帯電話からのTCH受信データは、復号器で73×BCH(15, 4)符号(図9のように1行15ビットのBCH符号を73行で構成した符号)に復号され、図10のパリティ検査行列を基にエラービット検出と誤り訂正が行われる。

訂正された信号は、SIOでV.42 ANNEXプロトコル(国際電気通信連合ITU-Tのデジタル携帯電話規格で定められた誤り訂正手順)の中にあるMNP 4(Microcom Networking Protocol 4)のプロトコルに変換され、内部クロックに同期したHDLCデータにしてマイコンに取り込まれ、図4の伝送フォーマットでCU-9500本体に送られる。

3.2 無線システム用アダプタ

MR-9500 RF通信アダプタは、アマチュア無線機、MCA無線機、業務用無線機、アナログ携帯電話等、アナログタイプの無線機を用いる場合に使用する。この通信アダプタは、無線機側のMIC端子(マイク入力)、SP端子又はイヤホン出力端子(音声出力)、PTT(Push To Talk)端子(プレストーク端子)の3端子が存在することを前提に動作させている。

図11に通信アダプタの機能ブロック図を示す。この通信アダプタは、通常受信状態では、無線機の音声出力端子からの音声信号を倍電圧整流した直流電圧を監視している。他の無線局がデータ交信中には、データの音声出力が発生するため、CD(Carrier Detector)電圧が発生する。CDに電圧が発生しているときには、CPUによってPTTをONしないようにして、無線機の送信を禁止している。モデム部分では、CU-9500本体から送りたい送信データを無線で伝送できるように、音声帯域のサブキャリアをPSK(Phase Shift Keying)によって変調を行う。また、受信信号から、相手が送信したデータを再生する復調を行う。通信速度は1,200 bpsとした。

この無線システムでの通信プロトコルは、AX.25(パケット通信方式におけるプロトコルの一種)に準拠した方式を使っている。メインCPUは、CU-9500本体のシリアルインタフェース又は外部端末を通してRS-232C端子に送られてきた送信データを、パケットに組み立て、受信したパケッ

トを解いて、CU-9500本体又は外部端末に出力する。また、アマチュア無線の運用時は、運用者のコールサインをあらかじめ外部端末から入力し、SRAMに記憶させ、リチウム電池でバックアップしている。アマチュア無線を用いる場合には、SRAMにコールサインがないと送信できないようにした。

4. む す び

以上、通信機能付きカーナビゲーションシステムCU-9500について、主に通信という面からの概要、特長、構成について述べた。従来の情報通信社会では、外の情報を取り入れようとする事務所等でコンピュータを使って行うのがほとんどで、車という限られた空間の中では外との情報交換は難しい面があった。このシステムは、今後のナビゲーション応用システムとして、外との情報交換をより身近なものにすることを可能にした。

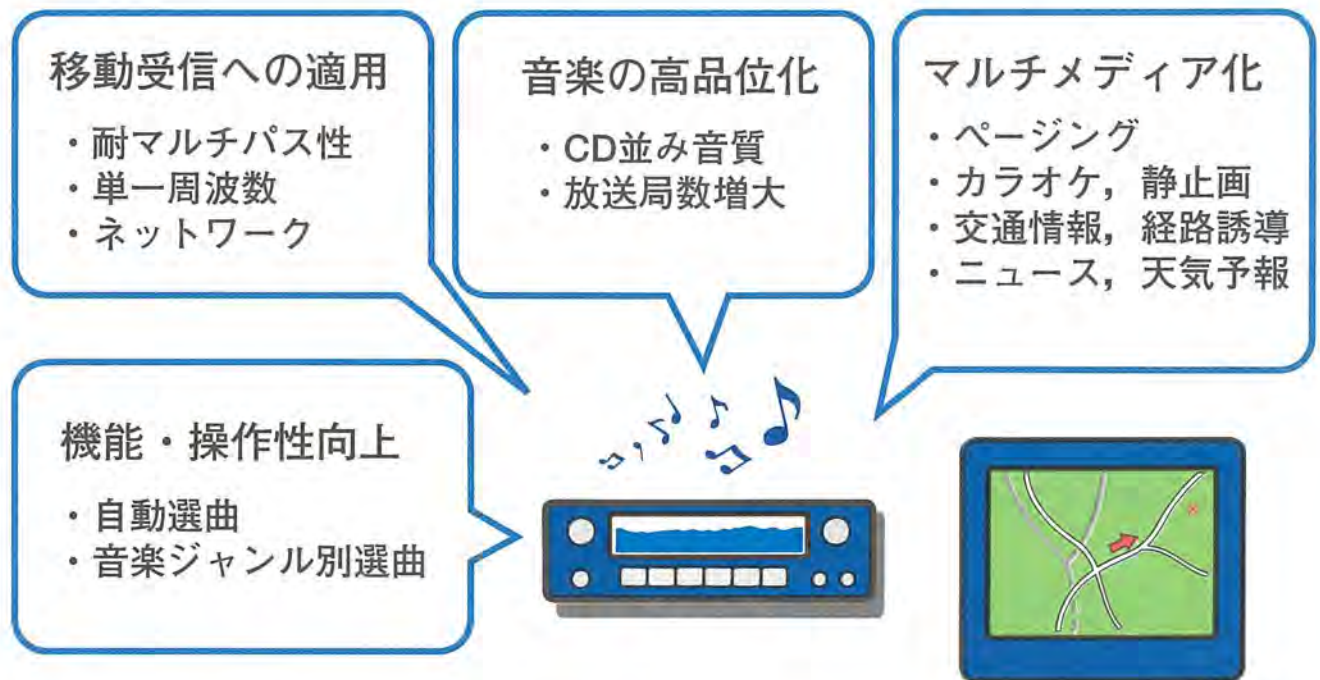
ナビネット通信機能を業界で初めて導入して携帯電話、アマチュア無線、MCA無線等で通信が可能となり、本来のナビゲーション機能とともに、位置情報、車両状態情報、携帯端末等によるメッセージ情報の双方向通信が可能となり、今後、幅広い応用が期待できる。

参 考 文 献

- (1) デジタル自動車電話サービスを利用するための技術参考資料、NTT移動通信網(株) (1994)
- (2) デジタル方式自動車電話システム標準規格 RCR STD-27C、電波システム開発センタ (1994)
- (3) Vシリーズ(モデム関連等)勧告集、(財)新日本ITU協会 (1994)
- (4) 特集データ通信技術のすべて、別冊トランジスタ技術 SPECIA, CQ出版 (1988)
- (5) パケット通信ハンドブック, CQ出版 (1987)

デジタル音声放送受信機

加藤博明* 辻下雅啓**
 武田益幸* 檜枝護重***
 田浦賢一**



デジタル音声放送

デジタル音声放送(DAB)は移動体受信でもCD並みの音質を確保できるばかりでなく、天候や交通情報、さらにはページング等の情報サービスも可能である。

CD(Compact Disc), さらにはMD(Mini Disc)が市場に投入され、その優れた特性と使いやすさが市場に受け入れられたことにより、パッケージメディアのデジタル化が急速に進展している。このような背景の下、音声放送のデジタル化に向けての動きが活発になっている。

DAB(Digital Audio Broadcasting)は、移動体受信でも聴取者にCD並みの音質を提供することのできるデジタル音声放送システムであり、欧州ユーレカプロジェクトを中心に開発が進められた。このシステムは、高能率音声符号化方式とマルチキャリアによるデジタル変調方式の採用により、1.5MHzの伝送帯域幅で高音質のステレオ6

番組とデータ放送を可能としている。

現在本放送が実施されているのはイギリスのみであるが、ドイツを含む欧州各国で試験放送が実施されており、1997年秋までに本放送への移行が計画されている。

三菱電機(株)でも、DAB放送受信機の製品化に向けて開発を進めている。専用チューナの開発、及びOFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex)信号の復調において性能を大きく左右する同期処理の最適化により、高性能と小型化の両立を図っている。'95年11月にはドイツにおいてフィールド試験を実施し、受信感度及びマルチパス環境下での受信動作等についての検証を実施した。

1. ま え が き

車で移動しながらFM放送を受信した場合、マルチパス干渉などを原因とする品質劣化が発生する。この問題を解決し、さらにはCD並みの高音質放送を実現する次世代放送システムとして欧州ユーレカプロジェクトによって開発されたのが、DAB (Digital Audio Broadcasting) システムである。音声符号化に MPEG 1/オーディオの高能率音声符号化方式を、変調に OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) 方式を採用することにより、移動体での高音質放送の受信を可能としている。

また、DABは、音声放送のみでなく、天候や交通情報さらにはページング等の情報サービスへの展開も考えられており、その動向が注目されている。

本稿では、DABシステムの概要、及び当社で開発したDAB受信機の動作・構成について述べる。

2. DABシステムの概要

2.1 OFDM変調方式

OFDM 変調方式は、デジタル変調された互いに直交関係にある多数の搬送波 (キャリア) を用いて伝送するマルチキャリア方式の一種であり、誤り訂正符号と連結させて使用される場合には COFDM (Coded OFDM) とも呼ばれている。DABシステムの場合、各キャリアには $\pi/4$ シフト DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying; 差動4相位相変調) が施されている。

マルチパスに起因する周波数選択性フェージングによって幾つかのキャリアが劣化した場合でも、残りの劣化していないキャリアから正しいデータを復調して誤り訂正を行うことにより、安定したデジタルデータの受信が可能となる。

2.2 音声符号化方式

音声符号化には、人間の聴覚特性を利用し、音質をほとんど劣化させることなく元の音声信号の情報量を圧縮する ISO規格の MPEG 1/オーディオを採用している。音声信号を周波数軸上の32個のサブバンドに分割し、マスキング効果を考慮して、最小可聴レベルと最大レベルとの差に応じたビット数をダイナミックに割り当てる方式である。

2.3 信号フォーマット

2.3.1 フレームフォーマット

図1に、DABシステムにおける伝送フレームのフォーマット例を示す。フレームは複数のデータシンボルで構成されている。最初にフレーム同期用のヌルシンボル (RF信号が伝送されない区間)、次いでDQPSK復調用のリファレンスシ

ンボルがあり、その後に FIC (Fast Information Channel), MSC (Main Service Channel) と呼ばれるシンボル群が続く。FICは伝送する番組内容や放送局の識別情報及び後続する MSCの構成に関する制御情報を伝送するチャンネルであり、MSCは主要な音楽情報やその他のデータ放送を伝送するチャンネルである。

各シンボルは、図にも示すように、有効シンボル期間 T_s 及びガードインタバル Δt と呼ばれる期間で構成される。ガードインタバルは有効シンボル期間の信号波形を巡回して繰り返したものであり、マルチパス信号の遅延時間がこの期間内に収まれば、伝送特性への影響は少なくてすむ。これにより、複数の放送局が同一番組を同一周波数で同時に放送する SFN (Single Frequency Network) を構成することも可能である。

2.3.2 伝送モード

DABシステムでは、以下に示す四つの伝送モード (表1) が設定されており、3GHzまでの広い周波数帯に適応可能である。

- (1) モード I : 地上放送の SFN に最適である。
- (2) モード II : ローカル放送や地域的な SFN に適している。
- (3) モード III : ケーブル放送や衛星放送に適している。
- (4) モード IV : 1.5 GHz 帯の地上放送に適しており、SFN にも対応できる。

3. DAB受信機

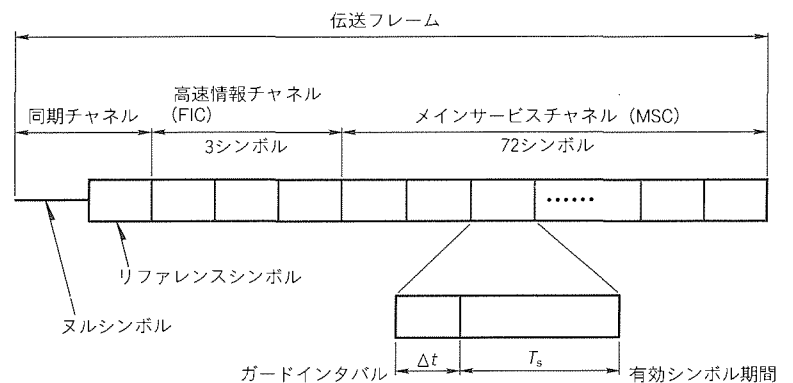


図1. 伝送フレームフォーマット

表1. 伝送モードのパラメータ

	モード I	モード II	モード III	モード IV
シンボル数	76	76	153	76
キャリア数	1,536	384	192	768
フレーム周期	96ms	24ms	24ms	48ms
ヌルシンボル長	1,297μs	324μs	168μs	648μs
有効シンボル期間	1,000μs	250μs	125μs	500μs
ガードインタバル	246μs	62μs	31μs	124μs
使用周波数	≤375MHz	≤1.5GHz	≤3GHz	≤1.5GHz
主な用途	地上	地上/衛星	衛星	地上

3.1 概要

図2に今回開発したDAB受信機のブロック図を示す。受信されたDAB信号は、RFブロックで中間周波数(IF)に変換され、A/D変換器によってデジタル信号に変換される。デジタル化されたIF信号は、I信号(In phase)とQ信号(Quadrature phase)に変換された後、OFDM復調器に入力される。OFDM復調器では、FFT(Fast Fourier Transform)処理によって各キャリアが抽出された後、DQPSK復調によって各キャリアのデータが再生される。再生されたデータは、ビット復号器にて、時間周波数上のインタリーブが解かれると同時にエラー訂正処理が施される。訂正された信号はMPEG1/オーディオ復号器に送られて音声信号が得られる。OFDM信号の受信では精密な時間同期及び周波数同期が要求され、これらの同期処理を行うために16ビット汎用DSPを使用している。

今回の開発では、主にRFブロック及びDSPによる同期処理に注力したので、以下に述べる。

3.2 RF部

3.2.1 回路構成

RF部のブロック図を図3に示す。DAB放送は、VHF帯(87.5~108MHz, 170~240MHz)及びL帯(1,452~1,492MHz)で行われるが、車載用としての取扱い性を考慮して、1本のアンテナでこれらの全帯域を受信することとした。さらに車載用では、アンテナと受信機間を接続するケーブル長として最大5m程度要求される場合もあるので、NF(Noise Figure)の確保を目的として、アンテナアンプを設けた。また、ケーブルの後段にはVHF帯の周波数に変

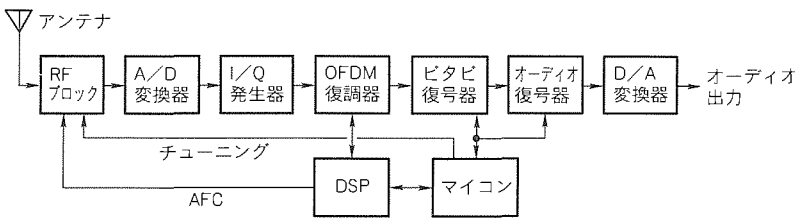


図2. DAB受信機ブロック図

換するためのL帯コンバータを設け、VHF帯同調回路はL帯及びVHF帯受信時に共用することとした。

3.2.2 L帯アンテナアンプ

1本のアンテナを用い受信帯によって回路を切り換えるという前述の構成を採ると、スイッチ及びバンドパスフィルタ(BPF)等の挿入損失により、アンテナ入力部で約2dB以上の減衰が生じる。一般に、複数ブロックで構成される増幅器のNFは、前段のブロックに高利得で低NFの増幅器を配置する方が有利である。したがって、全体のNFの劣化を最少とするためには、BPFの後段に、可能な限り高利得で良好なNFの増幅器を設ける必要がある。一方、L帯で使用するOFDM信号の最も狭いキャリア間隔は4kHz(モードII)と非常に狭いので、強電界時の相互変調ひずみによるC/N(Carrier to Noise Ratio)劣化にも十分な配慮が必要である。そこで、これらの課題を同時に解決するため、初段増幅器を高利得、低NFとした上で、自動利得制御(AGC)機能を持たせ、強電界時は利得を低減させることとした。

3.2.3 コンバータ

このブロックでは、L帯入力信号をVHF帯に変換する。通常、ミキサ部の相互変調性能は、他のブロックに比べて劣る傾向にあり、レベル設定によっては相互変調ひずみが発生し、C/Nの悪化を招く。また、利得を抑制すると良好なNFが得られなくなる。そこで、相互変調性能の良好なダイオードミキサを採用し、可能な限りの利得を前段のアンテナアンプに集中させた。このような構成を採ることで、前述のアンテナアンプ(5mケーブルを含む。)との組合せで、AGCレンジ40dB以上、NF4以下の性能が得られた。

3.2.4 VHF帯受信部

このブロックでは、VHF帯の入力周波数を同調増幅した後、IF(3.072MHz)に変換し、次段のA/D変換器に出力する。初段のPINダイオード、RF同調増幅器、及びIF増幅器にAGCを施し、相

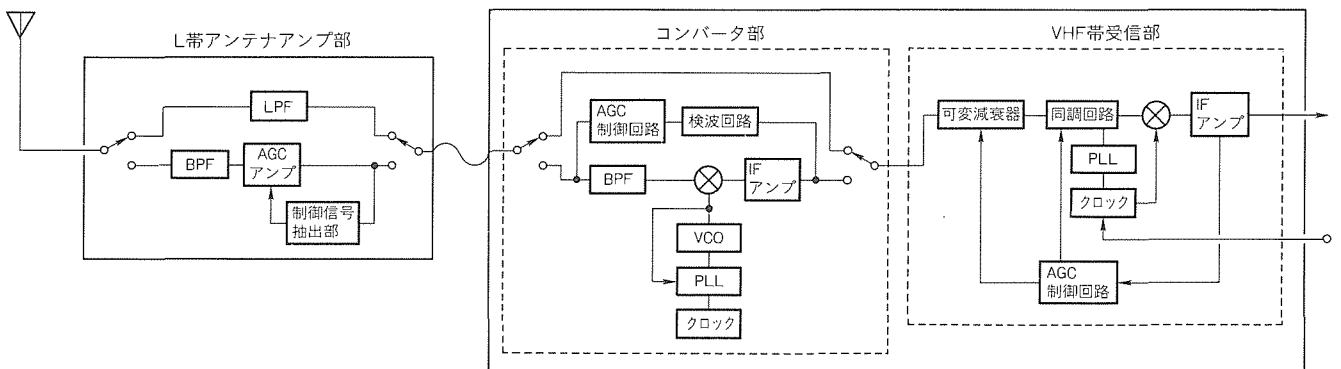


図3. RF部ブロック図

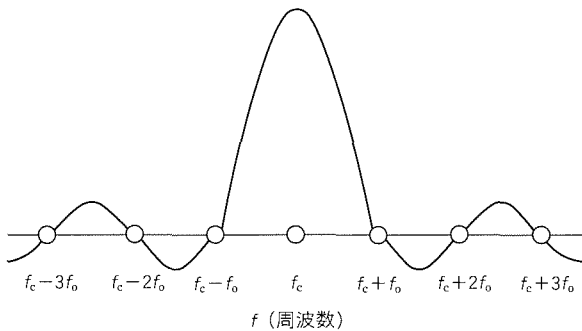
互変調ひずみを配慮したレベル設定を行うことによって感度 - 90 dBm, 許容最大入力 0 dBm の性能が得られた。

3.3 同期処理

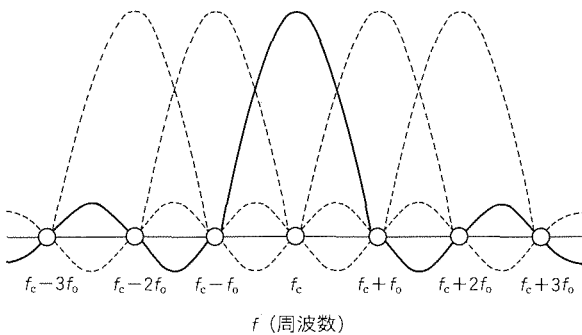
3.3.1 周波数同期

OFDM 信号の受信では, 有効シンボル期間 T_s について FFT を行うため, 各キャリアの周波数スペクトルは図 4(a) に示す形となる。したがって, 各キャリアの周波数間隔が $f_0 = 1/T_s$ となるように設定されておれば, 図 4(b) に示すように, あるキャリアの周波数スペクトルのピークは他のキャリアの周波数スペクトルの零点と一致するので, キャリア間での相互干渉は生じない。これが前述した直交関係である。

RF ブロックの局部発振器の周波数オフセット等はこの直



(a) 単一キャリア



(b) 各キャリアの合成

図 4. キャリアの周波数スペクトル

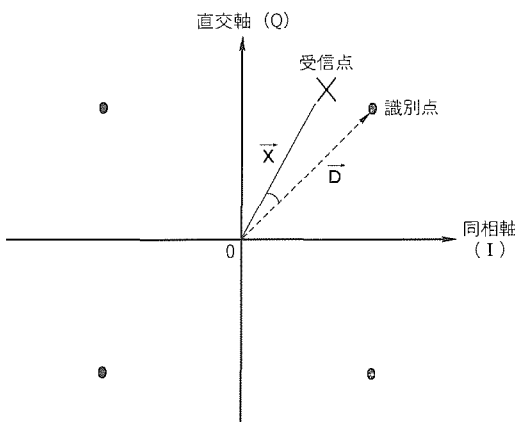


図 5. 周波数同期制御方法例

交性を乱すことになり, キャリア間の相互干渉による C/N の低下, エラー率の悪化を招く。そこで, 局部発振器の周波数オフセット量と受信データのエラー率との関係についての測定を実施したところ, モード I の場合, オフセット量が 50 Hz を超えた辺りから, エラー率が急速に悪化する現象が確認された。そこで, 今回の開発では, 周波数同期の目標性能を 25 Hz 以内と設定した。220 MHz 受信の場合, 0.1 ppm の精度となる。

周波数同期制御の一般的な方法を図 5 に示す。受信復調後のデータ点を表わすベクトル X と識別点のベクトル D の位相差がゼロとなるように, 局部発振器の周波数を制御する。識別点とは, 同期状態にある場合に, 受信復調後のデータが存在し得る点である。ところが, この方法によると, 周波数オフセットに起因する位相差が $\pi/4$ を超える場合には, $\pi/2$ だけシフトした識別点に誤って同期することが想定される。そこで, 受信信号に対して FFT を施すことによって得られる各キャリアの受信レベル及び位相に関する情報を用いた制御方式を検討した。

3.3.2 時間同期

図 6 に示すように, 直接波とマルチパス等に起因した反射波が存在する場合, RF ブロックで受信された信号には, 一つ前のシンボルが干渉していることになる。ところが DAB システムではガードインタバルが付加されているので, FFT ウィンドウ (FFT を施す期間) をシンボルが干渉していない期間のみとすることにより, 反射波に起因したシンボル干渉による影響を除外することができる。

一方, DAB では各キャリアの変調に DQPSK を採用しており, 隣接するシンボル間の各キャリアの相対的な位相差によって情報が伝送される。したがって, 各シンボル期間内における FFT ウィンドウは, 隣接シンボル間で時間軸上の同一位置にあることが要求される。

これらの条件を満たす方法としては, 直接波のガードインタバルの終了時点で FFT ウィンドウの開始点を同期させる方法が有効である。具体的には, 受信信号から伝送路の特性

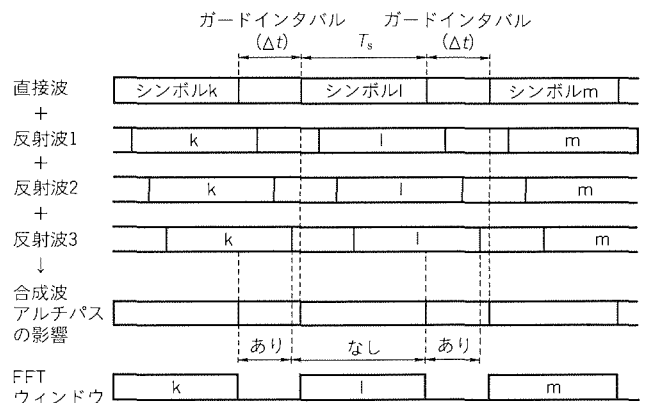


図 6. 反射波が存在する場合の FFT ウィンドウ

を表すインパルス応答を計算し、この計算結果から直接波のシンボル期間内の基準位置を導出する方法を検討した。

4. フィールド試験

4.1 概要

今回開発した受信機の受信動作を確認するため、ドイツ(North Rhine-Westphalia地区、Bavaria地区)でフィールド試験を実施した。行程及び前記2地区のトランスミッタ所在地を図7に示す。Kölnでの放送はFICデータがフォーマットに準拠しておらず、サービス構成があらかじめ決められている第三世代放送であった。今回は、実放送におけるFICデータ収集も目的の一つとしていたので、Kölnでは基本動作の確認にとどめた。その後、Bavaria地区に移動し、フォーマットに準拠した第四世代放送によるSFNの受信、高速走行、強電界、弱電界、フェージング条件下での走行試験(VHF帯)を実施した。Bavaria地区では、VHF帯において11台のトランスミッタが稼働し、広域SFNが構築されていた。また、L帯においても三つの地域SFNが構築されていた。以下に、トランスミッタのパラメータ及び測定条件を示し、Münchenでの実験結果を示す。

4.2 トランスミッタのパラメータ及び測定条件

(1) トランスミッタのパラメータ

所在地 : Funkhaus (図7の①)を始め

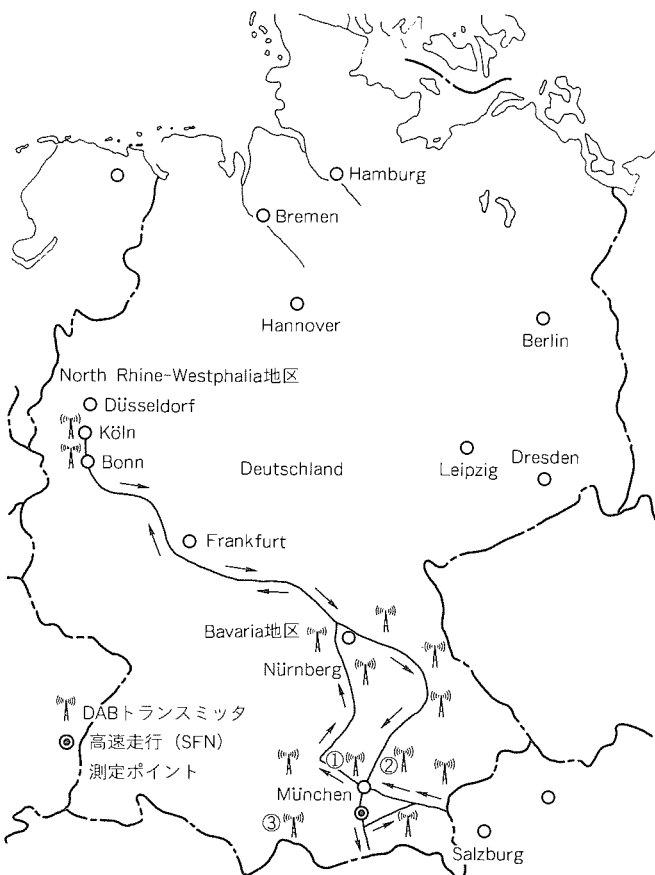
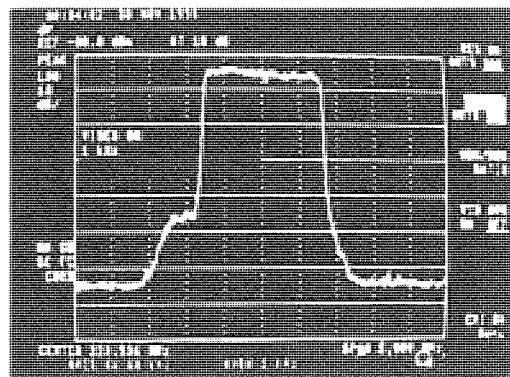


図7. フィールドテスト行程図

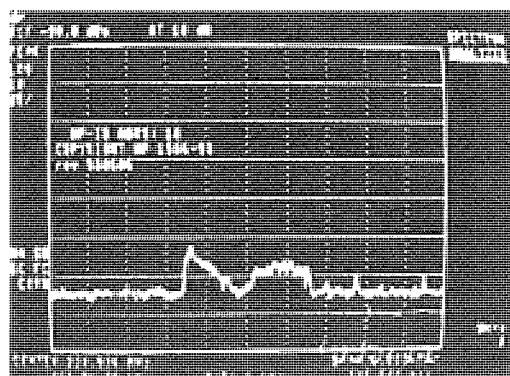
計11か所
送信フォーマット : 第四世代
DAB送信モード : モードI
送信周波数 : 223.936 MHz
ERP (実効放射電力) : 1 kW

(2) 測定条件(測定場所: Funkhausからの距離, 移動速度)

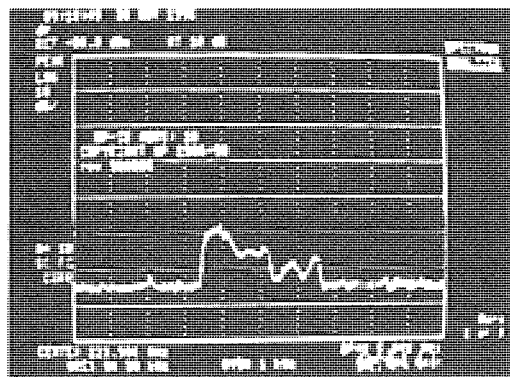
中央駅 駅前 : 南東0.5 km, 時速 5 km
アウトバーン 95号線 : 西南 10 km, 時速 90 km
München市街地 : 北 2 km, 時速 60 km



(a) 強電界受信時

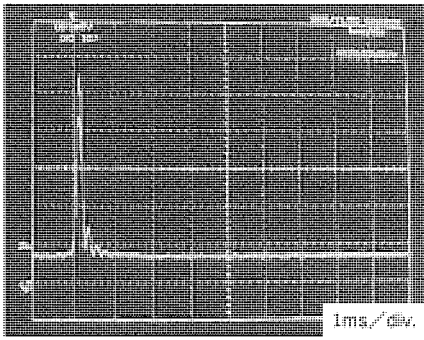


(b) 高速走行時

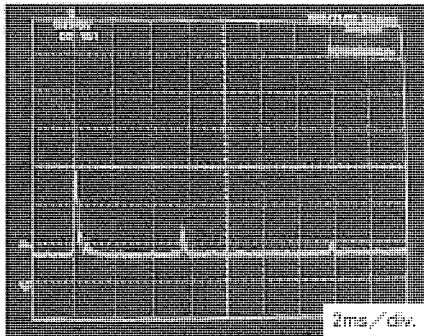


(c) フェージング時

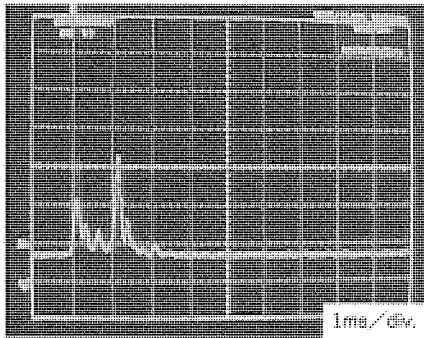
図8. 受信信号のRFスペクトル



(a) 強電界受信時



(b) 高速走行時



(c) フェージング時

図9. 受信信号のインパルス応答

4.3 実験結果

以上の条件で実施した試験結果を図8, 図9に示す。図8は受信したDAB信号のスペクトルを, 図9は受信機が算出したインパルス応答を観測したものである。インパルス応答は伝送路の特性を表すものであり, マルチパスがなければ一本のインパルス波形が得られる。図9における横軸は時間を示しており, 実時間を128倍しているため, 1msは約2.3kmに相当する。

4.3.1 強電界試験

図8(a), 図9(a)はトランスミッタ直近で得たデータである。Münchenでの最大入力レベル(約-20dBm)はこの地点で観測されており(図8(a)), このような状況下でも

AGCが正常に動作し, 良好な受信状態が得られることが確認できた。

4.3.2 高速走行試験(SFNの受信)

図8(b), 図9(b)は高速走行時のデータである。受信信号のスペクトル(図8(b))には, 周囲の地形による反射とドップラーシフトにより, 急激なレベル変化が見られる。また, 図9(b)には三つのインパルス波形が確認できるが, これは伝搬経路の異なる三つの電波を受信していることを意味する。そして, これらの波形の時間差が伝搬経路の距離差に相当する。図9(b)において, 1番目のインパルス波形は, 受信ポイントに最も近いトランスミッタであるFunkhaus(図7①)からの信号と推定できる。また, 1番目と2番目及び1番目と3番目の距離差を算出すると, 各々12.5km及び32.5kmとなる。これらを実際の位置関係に適合させると, 2番目及び3番目のインパルス波形は, 各々Ismaning(図7②)及びHohenpeissenberg(図7③)からの信号に相当する。また, 1番目のインパルス波形から3番目のインパルス波形までの時間は約54 μ sであり, ガードインタバル(246 μ s)内に十分納まっている。この状況下(時速90km走行時)で, SFNの放送を良好に受信することができた。

4.3.3 フェージング発生時の試験

図8(c), 図9(c)はトランスミッタとの距離が近く, 比較的電界が強いときのデータである。図9(c)では, 反射波が直接波よりも大きい状況が生じている。このとき, 瞬時のうちに受信信号の遅延時間と信号レベルが変化しており, レイリーフェージングが発生していることが推測される。このような状況下でも, 同期を失わず, AGC制御信号も適度に応答し, 良好な受信状態が得られることが確認できた。

5. むすび

今回のフィールド試験により, 開発した受信機が当初設計どおりの受信感度を持っていること, さらには強電界, 高速走行, フェージング等の状況下でも, 実用レベルに近い受信性能があることが確認できた。また同時に移動体向放送システムとして, DABのポテンシャルの高さを認識することができた。

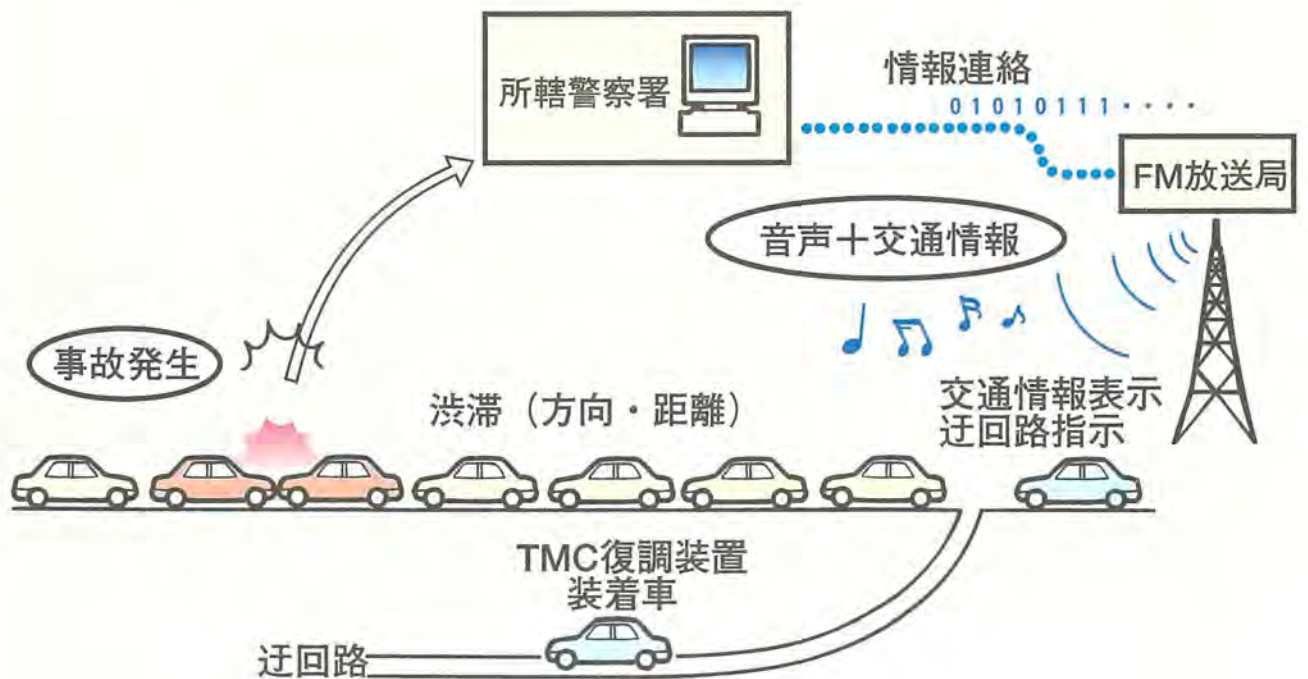
今後, DABの開発及び導入は, 欧州, その他の地域で一段と加速されていくものと考えられる。当社においても, 魅力ある製品を開発することで, 市場の要請にこたえていきたい。

参考文献

- (1) EBU/ETSI: Digital Audio Broadcasting (DAB) to Mobile, Portable and Fixed Receivers, ETS 300401 (1995-2)

欧州向け交通情報データ復調装置

吉田滋弘*
安ノ井 弘*
船江和仁*



TMCによる交通情報システムの例

各道路では、時々刻々変化する事故・工事・天候・路面状態・行事等の状況を原因として渋滞が起こり得る。FM多重放送を利用したTMC情報を車載機器で表示することにより、ドライバーはこれらの状況を事前に知り、渋滞回避が可能になる。

欧米で開発されたRDS(Radio Data System)は、副搬送波57kHzで、両側帯波搬送波抑圧型振幅変調を用いたFM多重放送の一種である。このRDSで送信されるデータはEBU(European Broadcasting Union)の定義によって17種類のタイプに分けられる。このうちタイプ8Aの方式であるTMC(Traffic Message Channel)は、デジタル情報として常時送信される交通情報である。

TMCによる交通情報は①路面状況・規制・工事・天候等の情報をリアルタイムに入手可能、②音声番組の中断なし、③使用言語の選択可能、④通常のFM局で送信、⑤必用エリアの情報を優先選択等の特長を持つが、カーナビゲーシ

ョンシステムの地図上に表示をすることにより、更にその効果を増す。

このたび三菱電機㈱では、このTMCを利用した欧米向け交通情報データ復調装置を開発し、ナビゲーションシステムとの接続を可能にした。これにより、工事・天候・路面状態・行事等の状況、及びそれらによる渋滞の有無等の情報を地図上の記号による表示として入手することができ、さらう(迂)回路の有無も分かるので、スムーズに渋滞回避ができるようになる。

装置は欧米においてフィールドテストを行い、基本的な性能を満足する結果を得た。

1. ま え が き

日本でもその運用が開始されたFM多重放送は、現行のステレオ放送のベースバンド信号よりも高い周波数領域にデジタル信号を多重し、文字やデータによってサービスを行うものである。欧州・北米・アジアで行われているFM多重放送としてはEBU (European Broadcasting Union) によって規格化されたRDS (Radio Data System) が実用化されており、交通情報や放送局の自動追尾等に役立てられている。RDSに新たに追加された仕様の一つであるTMC (Traffic Message Channel) は、今後の欧州の交通情報サービスで重要な位置を占めると予想される。1987年、世界に先駆けて車載用RDSラジオを世に送り出した当社は、今回、TMC受信による欧州向け交通情報復調装置 (以下“TMC復調装置”という。)を開発した。TMC復調装置は、ナビゲーションシステムと接続することで、より便利な交通情報の提供を可能にする。

本稿では、このTMC復調装置の概要を述べる。

2. TMCによるシステムの概要

2.1 RDSとTMC

欧州におけるFM多重は、'86年のスウェーデンにおけるページングシステムが最初である。その後、EBUによって、RDSとして表1に示すような基本仕様で規格化された。

さらにEBUは、欧州全体の交通・運輸・環境を考慮したEureka 147計画の一環としてRDSの規格の見直しを行い、'90年以降数度にわたってTMCの仕様の追加を行った。

2.2 TMCシステムの概要

TMCによる交通情報には、以下のような特長がある。

- (1) 路面状況・交通規制・道路工事・天候・う(迂)回路の有無等の情報を含む交通情報が、リアルタイムに入手可能
- (2) 音声番組の中断なしに交通に関する各種情報の入手可能
- (3) ユーザによる使用言語の選択が可能
- (4) 特定周波数ではなく、一般のFM放送局周波数で送信
- (5) 必要なエリアの情報を優先して選択可能

TMCではカラー記事の図に示すように、交通事故による渋滞の情報は、警察等によって集約されてFM放送局に送られる。放送局からは、RDSによるTMC信号として、音声信号に重畳されて放送される。自動車のドライバは、このTMC信号を受信・復調して事前に渋滞を回避することが可能となる。

表1. RDSの仕様

副搬送波周波数	57kHz
変調	両側帯波搬送波抑圧型振幅変調
ビットレート	1,187.5bps
データ信号	差動符号化2相PSK信号

2.3 ナビゲーションシステムとの接続

ナビゲーションシステムは、自車位置表示・経路探索・経路誘導等の機能を持っている。これに今回開発したTMC復調装置を接続することにより、ナビゲーションの地図上に、TMCによる情報を記号で表示することができる。これにより、各地の交通情報、道路状況、迂回路の有無等が、ユーザの選択によって分かりやすく表示可能になり、より優れたシステムとなった。

3. 送信信号の形態

3.1 RDS信号の送信形態

図1にRDS送信信号の形態を示す。

全体はグループと呼ばれるデジタル信号の繰返しである。グループはその用途によって現在17種類定義されており、それらが任意の送信比率で、1,187.5bpsのビットレートで、FM多重で送信されてくる。

一つのグループは104ビットからなり、各々26ビットずつからなる四つのブロックで構成される。

さらに、一つのブロックは、16ビットの情報部と10ビットの誤り検出符号部からなっている。

グループは、放送局名表示、同一ネットワーク自動追従など、情報部の内容の違いによって分類されている。

誤り検出符号部は、グループ同期をとるためのオフセットにパリティチェック用コードを加えたものである。

3.2 TMC信号の送信形態

RDS信号のうち、TMC信号を送付するタイプ8Aのグループの構成を図2に示す。図で、第1ブロックはPI

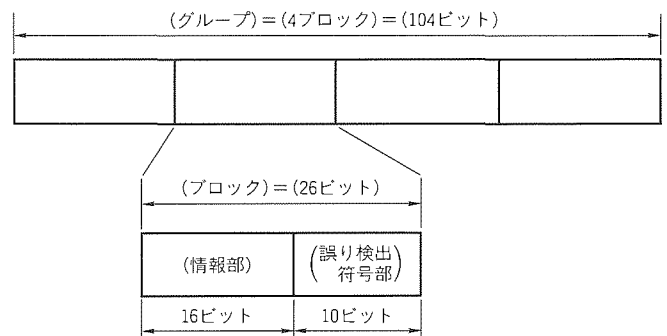


図1. RDS信号の送信信号形態

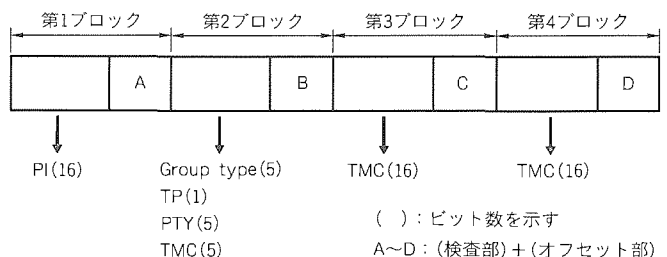


図2. TMC信号の送信信号形態の例

(Program Identification)と呼ばれ、放送局ごとに定められた国・地域・ネットワーク識別コードを表す部分である。

第2ブロックのうち、グループタイプはTMCのグループタイプである“8A”を示す。

同時に受信している音声信号側で交通情報を流す可能性のある放送局の場合、第2ブロックうちのTP (Traffic Program) のビットが“1”になる。

PTY (Program Type) は、音声放送側の番組内容 (ニュース・音楽ジャンル等) を示すものである。

第2ブロックの残り5ビットと第3ブロック、第4ブロックがTMCの情報を送信してくる部分である。この部分のみを拡大したのが図3である。図は標準メッセージの例であるが、第2ブロックの5ビットのうち、UとFの2ビットで、第3と第4ブロックのメッセージの形態を示す。標準メッセージの場合、第2ブロックの残り3ビット (DP) で出来事の継続時間を示す。

第3ブロックのDは迂回路の有無を示すビットである。Offset, Event, Locationはコード番号の形で送付されてくる。コード番号と項目の対応表はALERT-C (Advice and Problem Location for European Road Traffic) のプロトコルとして定められている。Offsetの4ビットはEventの続いている空間的な範囲を示す。Eventの11ビットは出来事・事故・天候・道路状況等が1,300項目にわたって定義されている。

Locationの16ビットは位置 (場所) を示すもので、国・地方・道路・交差点というように階層的な構造になっている。スウェーデンの場合では、約3,350か所が定められている。

タイプ8Aの信号送出比率は放送局にゆだねられており、交通状況等で変動する。このため、TMC局の識別用に、10%と比較的高い送出比率が推奨されているタイプ1Aの信号が送信される。タイプ1Aに含まれる情報により、その放送局でTMC放送が送信されていることや、どの国の情報が判別するための国別位置データベース番号が読み取れるようにしてある。

4. システム構成

4.1 全体構成

図4に全体構成を表すブロック図を示す。システムはTMC復調装置、ナビゲーション本体のほか、モニタ、地図用CD-ROMプレーヤ、リモコンで構成される。TMC復調装置は、ナビゲーション本体とは別に配置されている。さらに、TMC復調装置は、ハイダウェイ (Hide Away) ユニットとなっている。運転席からの操作性と安全性を考慮して、TMC復調装置とナビゲーションの操作は付属する赤外線リモコンで行い、その受光素子はモニタ部に設けられている。

4.2 TMCの構成

図5にTMC復調装置の構成を表すブロック図を示す。

TMC復調装置は、FM受信部、マイクロコンピュータ (以下“マイコン”という。)、RDSデコーダ等の回路で構成される。FM信号に多重されたTMCによる情報は、RDSデコーダで復調された後、マイコンから三線式インタフェースを通じてナビゲーションへ送られる。インタフェースのうち、RX-TはナビゲーションからTMC復調装置への送信データ信号、TX-TはTMC復調装置からナビゲーションへの送信データ信号である。INTは、TMC復調装置の内部ステータス状態の変化時に、TMC復調装置側から出力されるナビゲーションへの送信要求信号である。その他の主な特長として、次の項目がある。

- (1) 外形寸法 (W) 180 × (D) 100 × (H) 30 (mm)
- (2) ダイバシティアンテナ対応用拡張基板内蔵
- (3) 国内向けFM多重との同一サイズ化、部品共用化

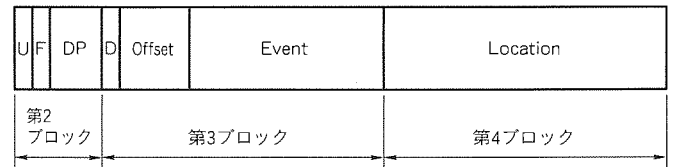


図3. シングルタイプ標準メッセージの例

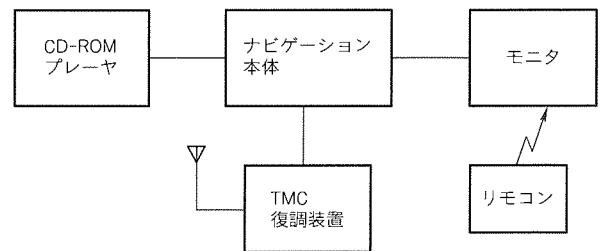


図4. システムの全体構成

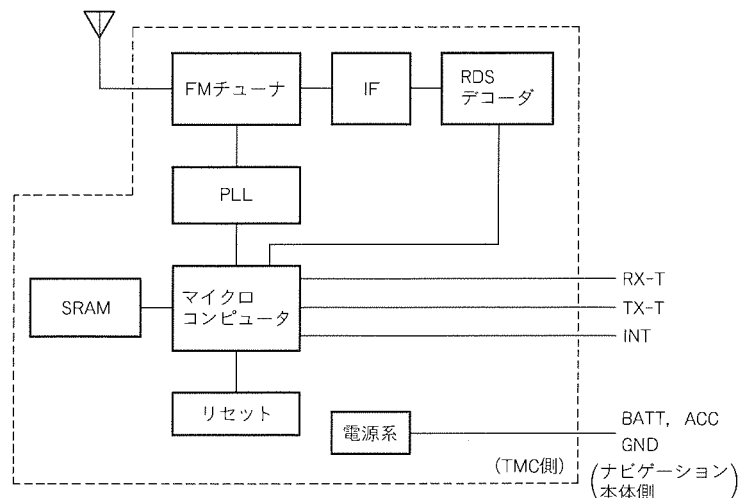


図5. TMC復調装置のブロック図

5. 欧州フィールドテストでの評価

以上のようなナビゲーションと接続したシステムで、'95年12月に、欧州でフィールドテストを実施した。

その結果は次のとおりである。

- (1) ドイツ、スウェーデン両国における試験により、ナビゲーションとの整合性がとれていることが確認でき、TMC信号の受信性能の検証ができた。モニタ上で、交通情報が記号として問題なく表示できることが確認できた。
- (2) ドイツではTMCの試験放送が行われており、グループタイプ8A及び1A(TMC局フラグ)の両信号とも確認することができた。
- (3) スウェーデンでも試験放送が始まっていたが、放送局によっては、タイプ1AのデータでTMC放送ありと送信しているにもかかわらず、国別の位置を示すデータベース番号の部分がすべて空白(0000)で送信されていることがあり、まだ実験段階であることが分かった。
- (4) 実際のフィールドの送信データ例を記録することができ、今後実験室で検討する際に役立つことが可能となった。

6. むすび

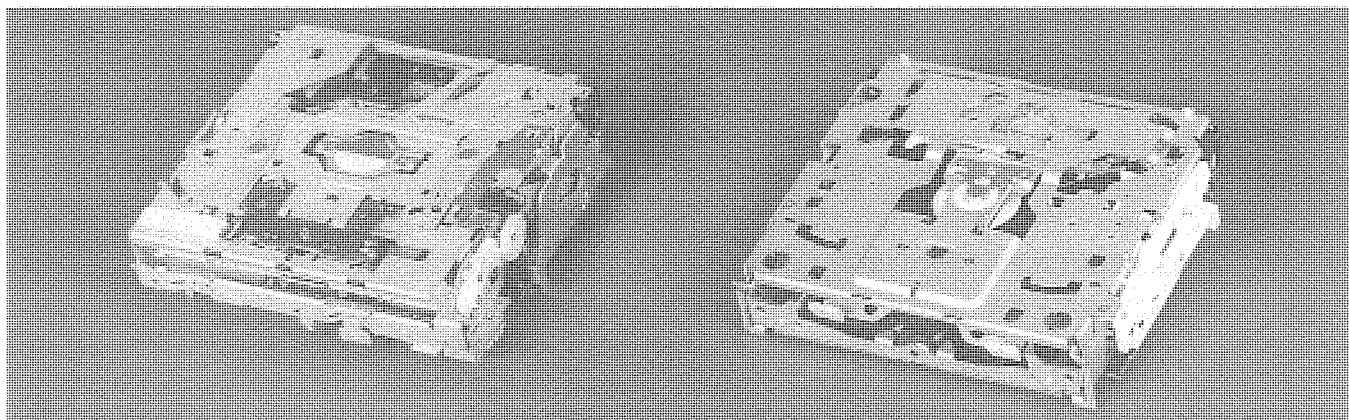
欧州で既に運用が開始されているTMCによる交通情報データ復調装置について、その開発の概要を述べた。今後は、本放送に移行していく実フィールドの状況を反映させつつ、ナビゲーションシステムとの組合せ試験により、TMC復調装置の改良を行っていく。

1998年以降、欧州ではDAB(Digital Audio Broadcasting)によるデジタル放送化が計画されている。TMCは、RDSの一部として、この放送方式切換え後も存続する仕様であり、今後も引き続き検討と開発を行っていく所存である。

参考文献

- (1) EBU: Specification of the Radio Data System, Draft 1996 ver.2.0 (1995)
- (2) CEN: European Prestandard, prEN/278/4/1/0006 (1994)

スポットライト 車載用新世代CDメカニズム



従来機種

新世代メカニズム

車載用CD製品は、国内はもとより、北米、欧州の市場でも本格的普及期に突入し、そのメカニズムに対しても低価格化と省エネルギー指向の小型・軽量化に加え、ナビゲーション用途でのアクセス高速化が求められています。

新世代CDメカニズムは、30%の部品点数削減、30%の組立時間短縮によるコストダウン、20%の軽量化、及び大幅なアクセス時間短縮等の性能改善を実現することで、時代の要求にこたえています。

特長

(1) 樹脂成型品の積極導入

部品一体化による部品点数削減と軽量化を実現しています。特にディスク再生部の成型品化では、車載用の厳しい環境下で高い寸法安定性を確保するため、流動解析と信頼性試験を重ねて実現しました。これにより、部品点数の半減と30%の軽量化を達成した上に、防振機構の高価なオイル封入ゴムダンパの数を4個から3個に減らすこともできました。

なお、ダンパの数を3個としても、音飛び耐振性能は依然業界トップレベルにあります。

(2) 新方式のディスク検知方式

ユーザのディスク操作やディスクの位置を知るために、従来4組の光センサ、1個の機械的スイッチと2枚の基板が必要でしたが、プリズムと光路を遮る可動機構を組み合わせることにより、光センサを2組とし、機械スイッチと基板を全廃しました。同時にディスク挿入力も軽減しています。

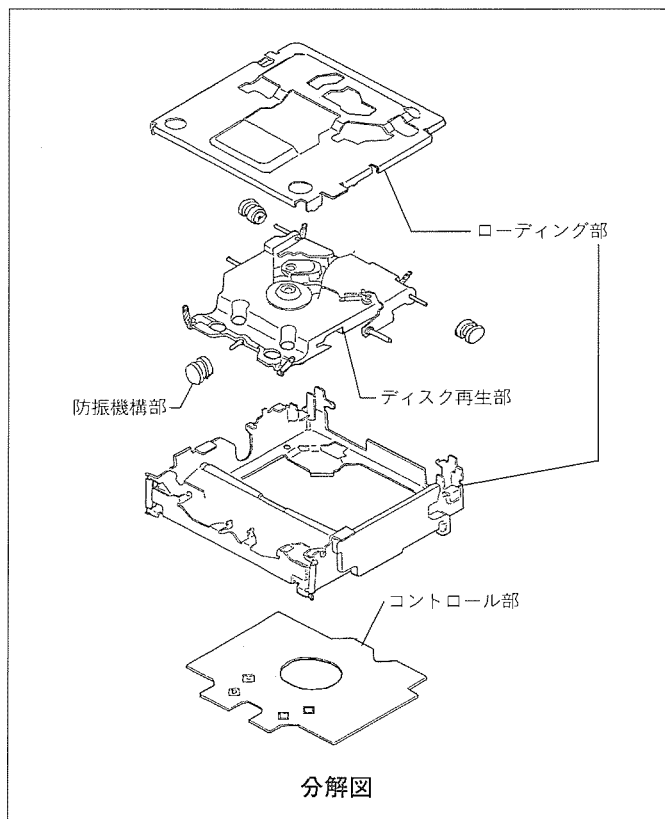
(3) 自動調整サーボの導入

従来サーボ調整は、4~6か所の調整を行っていましたが、今回、自動調整機能を内蔵しましたので調整工程が不要となりました。さらに、再生するたびにディスクの光学特性に応じて最適調整しますので、再生能力の向上も得られています。

(4) 機種統合

これまでお客様の仕様や車への搭載条件の違いによって十数機種を用意していましたが、この仕様選択の自由度を損なわず

に、動作仕様の外部設定化という手法を用いて2機種に統合し、より使いやすくしています。



概略仕様

項目	新世代メカニズム (CD-6)
サイズ(W×H×D)	141.0×35.5×124.5 (mm)
質量	465 g
部品点数	150点
ロングアクセス速度	2.0 s
D/Aコンバータ	1ビット方式
デジタルフィルタ	8倍オーバーサンプリング
ひずみ率	0.006%

スポットライト

イモビライザシステム (自動車用エンジン不正始動防止装置)

近年、ヨーロッパなどでは、自動車の盗難が著しく増加し、保険業界の要求によってセキュリティ度の高い盗難防止装置のニーズが高まってきています。このような状況の中、三菱電機では、電子的なイモビライザシステム（不正始動防止装置）を開発し、1995年1月から自動車メーカーへの納入を開始しました。

この装置は、以下の部品で構成されています。

- (1) IDコードを書き込んだトランスポンダを内蔵するトランスポンダキー
- (2) エンジン始動時にIDコードを電磁結合によって非接触で読み取るキーホールリングアンテナ
- (3) IDコードが一致していればエンジンを始動するようにエンジン始動装置に許可信号を送信するイモビライザコントロールユニット

このシステムは、すべて電子的なコードで制御し、ドライバーの特別な操作を必要とせずにシステムが作動するなど、セキュリティ性・信頼性・利便性に優れていることから、今後アメリカ市場への展開など大幅な拡大が計画されています。

特 長

●高いセキュリティ性

数十億以上のIDコードが設定可能なトランスポンダを使用することにより、高いセキュリティ性を実現しています。

●高い信頼性

IDコードの通信に電磁結合技術による非接触でのデータ通信方式を採用することによって、高い信頼性を実現しています。

●便利な操作性

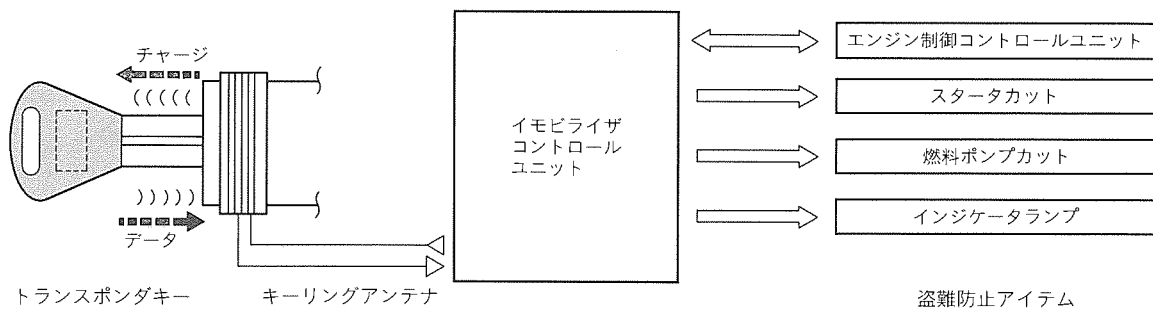
運転者の特別な操作を必要とせずにシステムが作動するので、作動忘れの発生がないなど、便利な操作性を実現しています。

●小型・軽量

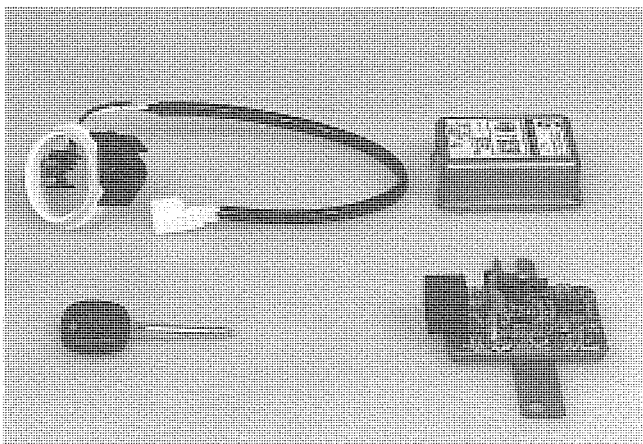
高密度表面実装技術、専用IC、コストパフォーマンスの高いマイコンを用いることなどによって、コントロールユニットの小型・軽量化を実現しています。

●各国電波法、ヨーロッパレギュレーションへの適合

各国保険業界の保険要件、電波法の基準、1997年1月から施行されるヨーロッパのイモビライザに関するレギュレーションなどに適合しています。



イモビライザシステムブロック図



イモビライザシステムの主要構成部品

仕 様 (コントロールユニット)

外形サイズ	約70×55×30 (mm)
質 量	約150g
使用電圧範囲	8~16V DC
使用温度範囲	-40~85℃
通 信 方 式	非接触電磁結合方式
変 調 方 式	FSK方式
変調周波数	134.2kHz/123.4kHz
IDデータ長	64ビット
アクセスタイム	100ms以下
盗難防止機能	内燃機関の燃料カット スタータモータの作動禁止
その他の機能	インジェクタ等のオプション出力 各種故障診断機能

スポットライト

ディーゼル小型トラック・バス用 EGRシステム

環境問題に対応するために排出ガスの規制強化が進展しており、小型ディーゼルエンジンを搭載したトラックやバスの分野においても排出ガスの有害成分の低減が求められています。

このディーゼルエンジンの有害な排出ガス成分は、主として窒素酸化物 NO_x と粒子状物質PM (Particulate Matter) で、両者の改善は互いに相反するトレードオフの関係にあります。この改善のための代表的な排出ガス低減技術として、排出ガスの一部を再び吸気に還流させるEGR (Exhaust Gas Recirculation) 制御があり、このEGRの効果を十分に上げるにはエンジンの負荷、回転速度に応じた精密な制御が必要です。

三菱電機では、 NO_x とPMを効果的に低減するために、排出ガスの還流量を調節するEGRバルブのリフト量の検出と、バルブの応答性に特長がある独自の方式を開発して、自動車メーカーに納入しています。規制の強化に伴って適用車種の拡大が計画されています。

特長

●EGR量の最適化

バルブのリフト量を定める圧力室の負圧値をデューティ制御し、エンジンの負荷、回転速度に応じてリニアに制御しています。

●高速応答と低リップル

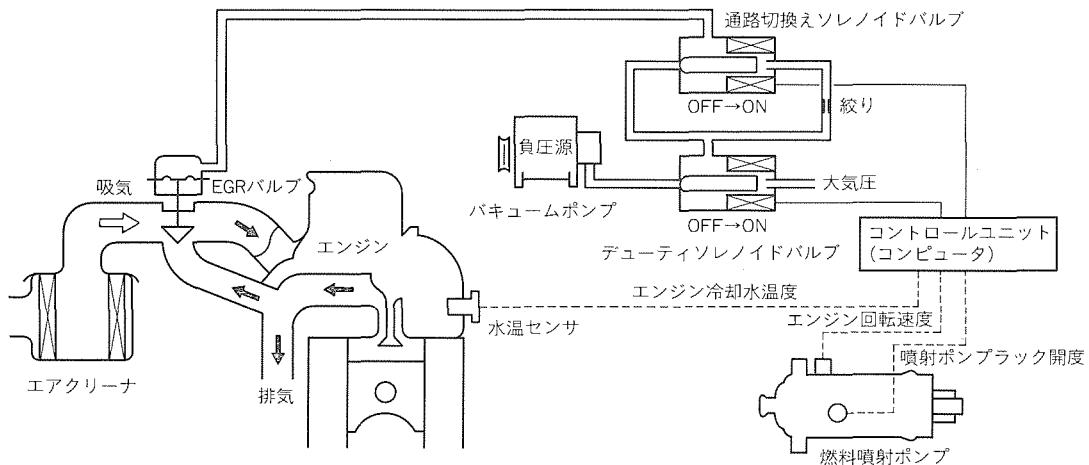
圧力源からバルブ圧力室への通路口径を切り換える方式を採用して、高速応答と低リップルを実現しています。

●低価格

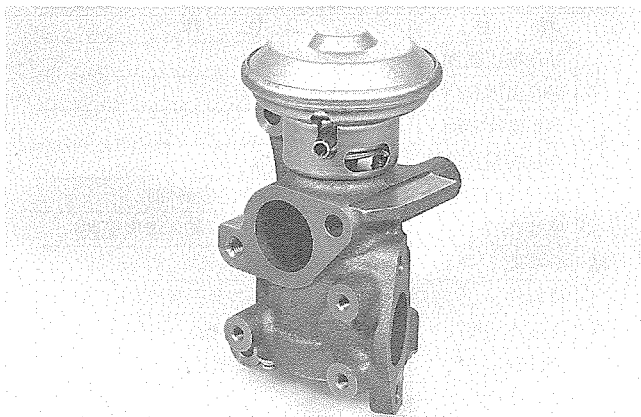
EGRバルブのリフト量を仮想位置演算によって算出する方式を採用して、位置センサを廃止することでシステム価格の低減を図りました。

●排出ガス規制への適合

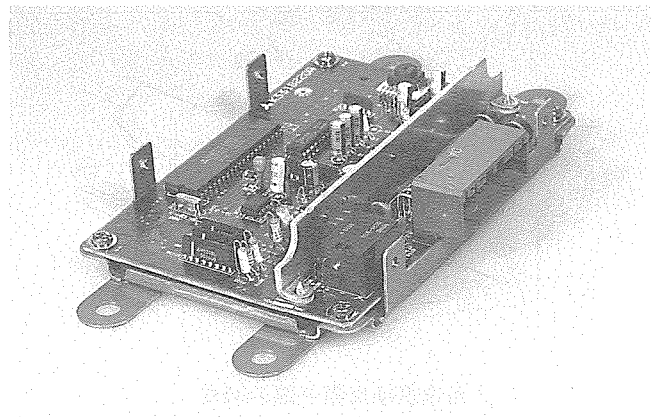
トラック、バスの重量車のうちの直接噴射式エンジン搭載車両は、国内短期規制に適合しています。



システム構成図



EGRバルブ



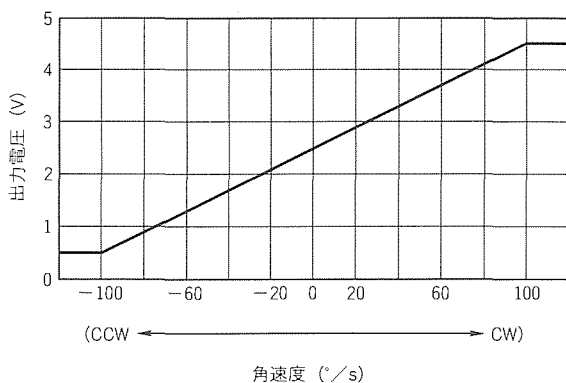
コントロールユニット

スポットライト ヨーレートセンサ

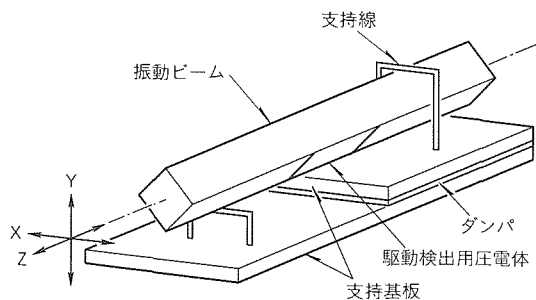
自動車の姿勢制御は、4WSやABS (Anti-skid Brake System) において、ますます高度化の一途をたどっています。このような中で、姿勢制御をより高度に行うために、自動車の3軸回りの動きを直接検出できるセンサが求められています。特に自動車の垂直方向の角速度を直接検出するヨーレートセンサは、姿勢制御システムの高度化に欠かせないものとなってきました。

このたび、この要求にこたえて高分解能、小型・軽量かつ低コストの車載用ヨーレートセンサを開発しました。金属柱を2か所で支持し、ある方向に支持点を節とした一定の振動を与えておくと、金属柱の軸周りの角速度の大きさに応じて、その振動と直交した方向にコリオリ力による変位が発生します。

このセンサは、この原理を応用したものです。金属柱に振動を加えたりコリオリ力による金属柱の変位を検出するために、セラミック圧電体を採用しています。また、金属柱と支持部材で構成される角速度検出素子部の特性に合わせた独自の回路を内蔵し、姿勢制御用として必要な諸性能を実現しました。



出力電圧特性



角速度検出素子部の構成

特長

(1) 小型・軽量

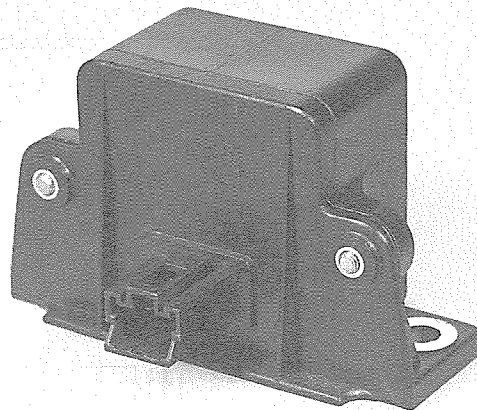
十分な性能を確保できるように形状寸法を最適化した角速度検出素子部と、専用ICを用いて高密度に実装した回路基板部とをスペース効率良くパッケージして、車載用に適した小型・軽量化を実現しました。

(2) 高い分解能と優れた直線性

安定した姿勢制御を可能にする $0.2^{\circ}/s$ の高い分解能と $\pm 0.5\%$ フルスケール以下の優れた出力直線性を実現しました。

(3) 高い信頼性を確保

敏感な角速度検出素子部は金属ケース内に収納され、外的な衝撃から保護するために緩衝材を介して保持されています。さらに、回路基板を含めた全体が金属シールドによって外来ノイズから保護されています。このセンサでは、車載環境に耐えるように様々な配慮を加えて、高い信頼性を確保しています。



ヨーレートセンサの外観

仕様

項目	仕様	
定 格	動作電圧範囲	8~16V
	保存温度範囲	-40~85°C
	使用温度範囲	-30~75°C
	角速度検出範囲	-100~100 °/s
特 性	静止時出力電圧	2.5 \pm 0.12V (動作温度範囲)
	感度(S.F.)	20 \pm 0.6mV/(°/s) (動作温度範囲)
	分解能	0.2 °/s 以下
	直線性	$\pm 0.5\%$ FS (フルスケール) 以下 (25°C)
	加速度感度	$\pm 1^{\circ}/s$ 以下 (1G加振, ~100Hz)
	周波数応答性	DC~10Hz (-3dBダウン時)
	他軸感度	$\pm 3\%$ 以下
外形寸法, 質量	85 \times 36 \times 52 (取付部を含む。), 約100g	



特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 特許センター
Tel(03)3218-2174

走行情報表示装置 (特許 第1675581号, 特公昭63-55005号)

発明者 伊藤久嗣

この発明は、自動車用ナビゲーションシステムに関するもので、自動車は通常、道路上を走行することを利用して、自車位置の測定誤差を地図データを用いて補正するマップマッチング機能を備え、さらに、道路以外の場所を走行する場合のために、マップマッチング機能を使用しないモードも備えたものである。

この発明では、上記の二つの計算モードを選択できるようにしている。第1のモードを選ぶと、走行距離検出器と方向検出器との信号に基づいて現在位置及び走行軌跡を計算し、現在位置を地図の道路上に補正して表示する。第2のモードを選ぶと、地図の道路とは無関係に現在位置を表示する。図1は3本の幹線道路 a, b, cの道路地図、図2はそれらを直線近似したものである。図1のB₂'点からB₃'まで走行する場合、補正しないときは図2の一点鎖線b'のごとき走行軌跡になり、道路と一致しないが、第1のモードを選択すると、制御回路は、B₂点で最も近い線分B₂—B₃を選び、この線上に軌跡を表示する。幹線道路でない道路hを走行する場合

は第2のモードを選択し、地図情報を無視して、現在位置を計算し表示する。信号は誤差を含むが、脇道走行は距離が短いため、誤差の影響は少ない。車両が幹線道路のA₃点に到着し再び第1モードに切り換えると、車両の位置がA₃に一致していなくても、車両の現在位置を幹線道路の最も近い点に修正する。

走行場所や形態に適した計算表示モードを選択可能となり、実用性の高い装置が実現できる。

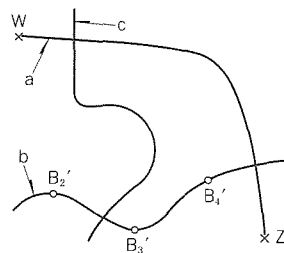


図1

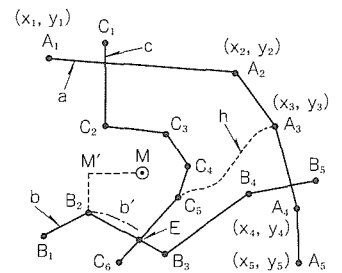


図2

光学式距離測定装置 (特許 第1529377号, 特公昭63-18122号)

発明者 梶原康也

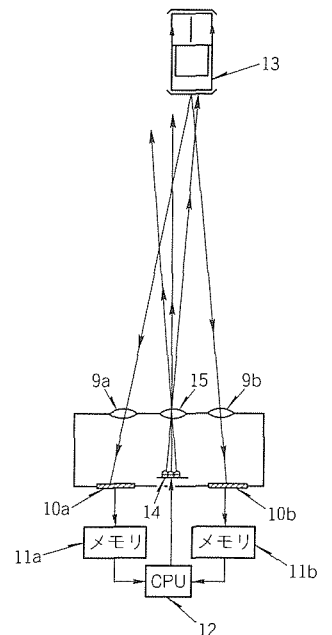
この発明は、自動車に搭載して、車間距離を測定する光学式距離測定装置に関するものである。

従来の装置は、自動車の振動に弱いか、又は薄暮時などの外光が不十分な場合は距離が検出できない問題があった。

この発明は、これら従来の装置の欠点を改善するためになされたもので、図の実施例について動作を説明する。CPU(12)は、イメージセンサ(10a, 10b)上の明暗及びコントラストを検出する。共に十分であるときは、従来の装置と同じく、所定距離を離して設けられたレンズ(9a, 9b)を介してイメージセンサ(10a, 10b)上に結ばれる対象物(13)の映像のずれを求めることにより、三角測量法に基づいて距離を測定する。一方のイメージセンサの像が暗いか、又はコントラストが弱い場合は、発光素子アレー(14)を点灯し、照射された光は光レンズ(15)を通して集光し、細いビームとなって対象物(13)に到達する。弱い光源でも十分明るいスポットが得られ、イメージセンサ(10a, 10b)はそのスポットをコントラストとして検出し、従来の方法によって対象物(13)ま

での距離を検出する。

以上のように、この発明による光学式距離測定装置はいかなる外光状況においてもイメージセンサ上に明確なコントラストを持つ像を結ばせることができ、常に対象物までの距離を検出できる。





特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 特許センター
Tel(03)3218-2174

内燃機関用フィルタ再生装置

(特許 第1653031号, 特公平3-7006号)

発明者

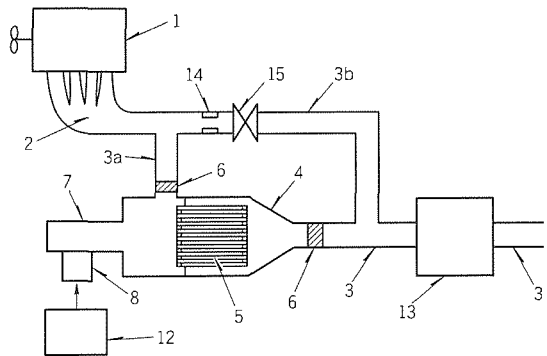
鷺野翔一, 田野正博, 西山亮治, 美濃和芳文, 高田弘明
気管(3a)のみを通り, 排気ガス中のパーティキュレイトは
フィルタ(5)に堆積して, 排気ガス中から除去される。

この発明は, 排気ガス中のパーティキュレイトを除去す
る内燃機関用フィルタ再生装置に関するものである。

従来のこの種の装置は, 排気圧に打ち勝つことのできる高
圧でかつ大容量の空気ポンプと燃料ポンプを必要とし, 大電
力を要し, 高価であった。

以上のように, この発明においては, 従来のように高圧で
大容量の空気ポンプや燃料ポンプを必要とせず, 小型で安価
なフィルタ再生装置を提供できる。

この発明は, 従来の欠点を除去するためになされたもので,
図に実施例を示す。内燃機関の排気管は分岐され, 一方の排
気管(3a)にはフィルタ(5)とマイクロ波発信器(8)が配設さ
れ, 他方の排気管(3b)には電磁弁(15)が配設されている。
フィルタ(5)を再生する場合, 電磁弁(15)を開き, エンジン
(1)から出る排気ガスの大部分は排気管(3b)から排気し, 排
ガスの一部は排気管(3a)からフィルタ収納器(4)に導かれ
る。マイクロ波発信器(8)で発生したマイクロ波電力は, フ
ィルタ(5)にたい(堆)積したパーティキュレイトを加熱し,
排気ガス中の酸素で燃焼させて, フィルタ(5)は再生される。
再生が完了すると, 電磁弁(15)は閉じられ, 排気ガスは, 排



<次号予定> 三菱電機技報 Vol.70 No.10 "鉄鋼プラント用電機品"

特集論文

- 鉄鋼プラント用電機品特集に寄せて
- 鉄鋼プラント用電機品の現状と展望
- 熱間圧延プラント用電機品
- プロセスライン用電機品
- 鉄鋼プラント用可変速ドライブシステム
- 鉄鋼プラント制御用計算機システム
- 鉄鋼プラント用コントローラシステム
- 鉄鋼プラント用制御モデル

●鉄鋼プラント用溶接機と誘導加熱装置

●鉄鋼プラント用センサ

普通論文

- 日本貨物鉄道幹線EF210形式直流電気機関車
- apricot NET (ATM-LAN)
- インターネットEDI
- 暗号装置 三菱ネットワークセキュリティ "MELWALL3000シリーズ"
- DVD用ツインレンズ光ピックアップ
- CALIS対応SGML文書管理技術

三菱電機技報編集委員

委員長 山本 彬
委員 永田 譲蔵 下村 寛士
宇治 資正 河内 浩明
上杉 豪 内藤 明彦
磯田 悟 山本 延夫
畑谷 正雄 才田 敏和
鈴木 軍士郎 鳥取 浩
幹事 宇田川 雅彰
9月号特集担当 清水 修

三菱電機技報70巻9号

(無断転載を禁ず)

1996年9月22日 印刷

1996年9月25日 発行

編集兼発行人 小林 保雄
印刷所 千葉県市川市塩浜三丁目12番地 (〒272-01)
菱電印刷株式会社
発行所 東京都港区新橋六丁目4番地9号
北海ビル新橋 (〒105)
三菱電機エンジニアリング株式会社内
「三菱電機技報社」Tel. (03) 3437局2692
発売元 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 (〒101)
株式会社 オーム社
Tel. (03) 3233局0641代, 振替口座東京6-20018
定価 1部721円(本体700円) 送料別

スポットライト イオン電流検出装置

可燃混合気の燃焼反応が進行していく過程で、その火炎面近傍に電離現象が生じることは古くから知られています。この電離気体中にバイアス電圧を印加した探針を挿入すると電離状態に応じたイオン電流を検出することができることから、燃焼状態の研究等に用いられてきました。このたび、これを応用して火花点火内燃機関の各気筒内の燃焼状態を検知できる車載用イオン電流検出装置を開発しました。

この装置は、既存の点火プラグを探針として用い、検出のための電子部品を追加した点火コイル、及びディストリビュータ配電キャップ（高圧配電システムの場合）と電子燃料噴射装置に対して燃焼状態を出力する検出回路モジュールで構成され、高圧配電システムを始め低圧配電同時点火システムや独立点火システムなどあらゆる点火システムに対応することができます。また、各気筒別に燃焼サイクルごとの燃焼状態をこの装置でモニタすることによって失火の有無やノッキングレベルを検知し、電子燃料噴射装置と組み合わせて最適なエンジン制御を可能にします。

特長

① 優れた燃焼状態の検出性を確保

従来の失火検出やノッキング制御ではクランク軸の回転変動やエンジンプロックの振動などの間接的なパラメータを用いていたために、エンジンの運転条件や車両の走行条件に起因する様々な外的要因の影響を考慮する必要がありました。これに対し、今回開発したイオン電流検出装置では、燃焼状態を気筒内の点火プラグ電極端で直接検出するので、外的要因の影響を受けない優れた検出性を確保することができます。

② エンジン側の改造は不要

イオン電流の探針として既存の点火プラグを用いることができます。また、従来の点火装置に高圧ダイオード等の部品を追加する改造によってイオン電流を流す経路を設けます。さらに、検出のための信号処理を行う専用のモジュールを用意すれば希望の検出信号を得ることができます。したがって、今回開発したイオン電流検出システムを適用する上で、既存のエンジン本体を特別に改造する必要はありません。

③ 特別なバイアス用高圧電源は不要

イオン電流を検出するためには、必ずバイアス電源が必要となります。このバイアス電源は通常200V程度の高電圧が必要で、車載電源として専用に分けることはコスト的に大変不利となります。

今回開発した装置は、点火電源のエネ

ルギーを利用したバイアス電源をモジュールに内蔵していますので、特別な高圧電源を別に用意する必要がありません。

④ 気筒別制御を実現

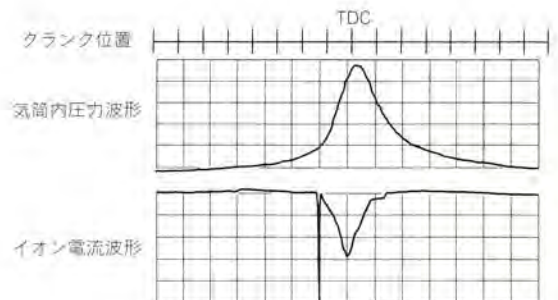
各気筒に設けられた点火プラグで燃焼サイクルごとにイオン電流を検出しますので、従来の間接的なパラメータを用いた場合に困難であった気筒別の制御が可能になります。

⑤ 制御コンピュータでの信号情報処理が簡単

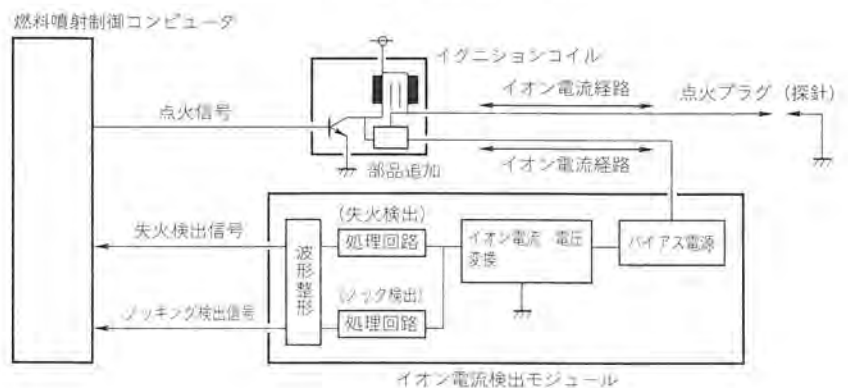
複雑なアナログ信号を専用モジュールに内蔵した回路で処理した後で燃料噴射制御コンピュータに出力しますので、コンピュータでの信号情報処理を非常に簡単に行うことができます。



イオン電流検出モジュールの外観



イオン電流検出波形の例



イオン電流検出ブロック図