

MITSUBISHI

三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.61 No.8

8
1987

材料/カーエレクトロニクス特集



材料/カーエレクトロニクス特集

目 次

材料特集論文

材料特集に寄せて	1
増本 健	
材料開発の現状と展望	3
平林庄司	
車両電動機用新絶縁材料	5
中島博行・村山雅一・地大英毅・西土井 進・栗山 啓	
複合材料—宇宙機器用CFRP及び高性能プリント基板—	9
村山邦彦・山本 泰・菅野俊行・羽仁 潔・中島博行・三好一雄	
小型蛍光ランプ用緑色蛍光体	17
橋本典嗣・松永 数・佐藤 建	
表面実装用ICリードフレーム材料	21
北風敏三・中西輝雄・久保健治・中島孝司	
宇宙用スリップリング材	27
渡辺幹男・播磨三弘・中川 潤・鈴木峰男・西村 光	
液相成長法によるInP系材料とその応用	31
大塚健一・松井輝仁・尾形仁士	
ECRプラズマCVD法によるa-Si:H膜	35
羽山昌宏・小林和弘・川元 晓・三木秀二郎	
導電性高分子の開発と電子デバイスへの応用	39
肥塚裕至・角田 誠・津村 顯・藏田哲之・安藤虎彦	

カーエレクトロニクス特集論文

カーエレクトロニクスに寄せて	2
平田 穀	
カーエレクトロニクスの現状と動向	43
壇井芳昭	
自動車用半導体加速度センサ	45
番 政広・別所三樹生・竹内孝信	
ブレーキパック機能付きカーラジオ	49
森廣義晴・白谷優次	
RDS受信カーラジオ	53
田浦賢一・友広 良	
自動車用油圧制御ソレノイド・アクチュエータ	59
浜田有啓・原 忠之・小島隆男	
ガソリンエンジンの電子制御装置	65
佐々木武夫・多田靖夫・上田 敦	
無段変速機用電磁パワーラッチャ制御システム	71
辰巳 功・内藤靖雄・三村宗彦	
車載用GPS型ナビゲーションシステム	77
平田誠一郎・横内一浩	
磁気方位センサ	81
伊藤久嗣・松本活典	
車載用ディジタルオーディオ テーププレーヤー	87
加藤博明・中西康之・中川邦彦・石田雅之・宇津井良彦	

特許と新案

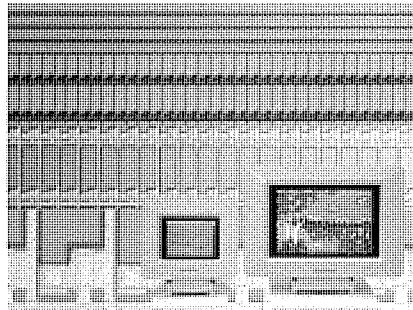
カセット式テープレコーダ、周波数一電流変換回路	95
棒状表示装置	96

スポットライト

ロータリ式フレキシブルフリーザ	93
オートトラッキング カラーディスプレイモニタ	94
ユニットシーケンサ《MACTUS 320》	97
ギヤードモータル《GM-Jシリーズ》	98
レンジファードファン自動運転シリーズ	(表3)

表紙

アクティブマトリクス液晶ディスプレイ
液晶ディスプレイは、軽量、薄型、低消費電力であり、大容量・高画質のディスプレイ端末や、車載用ディスプレイへの適用を目指し開発が進められている。表紙は、当社が開発したアクティブマトリクス方式による10インチ形及び5インチ形の液晶ディスプレイである。画素数は10インチ形で640×408、5インチ形で320×220である。背景の写真は、より高精細な液晶ディスプレイのスイッチング素子として開発されたアモルファスシリコン薄膜トランジスタアレイで、画素ピッチは330μm×110μmである。



アブストラクト

材料開発の現状と展望

平林庄司

三菱電機技報 Vol.61・No.8・P3~4

材料特集号の刊行に当たって、当社における材料開発の目的、開発課題選定の考え方について述べ、当社で開発中の材料と事業部門との関連について表に示した。また、情報通信システム・電子デバイス、重電機器、産業・自動車機器、家庭電器の各事業部門関連の材料開発成果と現在の開発状況を概観し、次世代材料への取組の現状についても触れた。

車両電動機用新絶縁材料

中島博行・村山雅一・地大英毅・西土井進・栗山 啓

三菱電機技報 Vol.61・No.8・P5~8

車両用電動機は、収容スペースが制限される中で出力の増大が求められ、かつ他の一般産業用電動機と比較し、過酷な使用環境に置かれるところから、他の電動機に先がけた高性能な絶縁が採用されてきている。このたび、当社独自の電着マイカ絶縁に加え、新耐熱含浸樹脂を開発することにより、従来からの直流電動機及び最近増加傾向にある車両用誘導電動機の耐熱性220°Cクラスの新耐熱絶縁システムを完成了。

複合材料—宇宙機器用CFRP及び高性能プリント基板

村山邦彦・山本 泰・菅野俊行・羽仁 潔・中島博行・三好一雄

三菱電機技報 Vol.61・No.8・P9~16

宇宙機器用CFRPとして、各種実用衛星の軽量化構造部材に採用された先端複合材料の開発の経緯、及び大型宇宙構造物に必要な次世代技術特にCFRP薄肉パイプの連続引抜成形、三次元強化複合材料、宇宙環境における耐久性評価法の研究成果と今後の課題について述べる。また、高性能プリント基板材料としては、高放熱性基板材料、低熱膨張率基板材料及びプリプレグ流動性評価技術について、当社の開発状況をまとめた。

小型蛍光ランプ用緑色蛍光体

橋本典綱・松永 数・佐藤 建

三菱電機技報 Vol.61・No.8・P17~20

一般的蛍光ランプに比べて管壁負荷の高い小型蛍光ランプでは管壁が高温になるため、蛍光体の温度消光の低減が重要になる。三波長用緑色蛍光体(La, Ce, Tb)PO₄のりん酸基の一部をほう酸基で置換するか、又はThを添加することにより温度一輝度特性が改善され、200°Cでも温度消光が無視できる結果を得た。これは、ほう酸基とThが結晶中のCe⁴⁺の生成を抑え、温度消光の原因であるCe³⁺→Ce⁴⁺のエネルギー伝達確率を減少させる結果であると解釈できる。

表面実装用ICリードフレーム材料

北風敬三・中西輝雄・久保蘭健治・中島孝司

三菱電機技報 Vol.61・No.8・P21~26

ICの高集積化、部品の実装密度の増大に伴い、放熱性、強度ともに優れた銅系リードフレーム材の開発が望まれている。表面実装用銅系リードフレーム材の技術動向と要求される特性について解説し、優れた強度と適度の熱伝導性を兼ね備えたMF202合金(Cu-2 Sn-0.2Ni)の表面実装への対応としての特性例を紹介するとともに、実装後の電子機器の信頼性からICリード脚部に施されたはんだめっきの熱による密着性の経時変化の調査結果について報告する。

宇宙用スリッピング材

渡辺幹男・播磨三弘・中川 潤・鈴木峰男・西村 元

三菱電機技報 Vol.61・No.8・P27~30

三軸姿勢制御人工衛星には、衛星本体と太陽電池パドルの間で、すべり摩擦しながら信号や電力を伝達するスリッピングが用いられている。宇宙用スリッピングには、超高真空中において潤滑及び電気特性に高い信頼性が要求される。低電流及び大電流(～500A/cm²)において、摩擦、摩耗、電気抵抗、ノイズ特性、温度特性特に摩耗特性に優れた宇宙用スリッピング材(Ag-MoS₂-NbSe₂系複合材)を科学技術庁航空宇宙技術研究所と三菱電機㈱が共同で開発した。

液相成長法によるInP系材料とその応用

大塚健一・松井輝仁・尾形仁士

三菱電機技報 Vol.61・No.8・P31~34

高純度のInP/InGaAsP/InGaAs (InGaAsP)/InP構造をLPE (Liquid Phase Epitaxy)により成長するための各種条件について検討し、光通信用受光素子の試作に適用した。結晶成長では成長用溶液の過飽和度の制御が層構造の実現に重要であることを明らかにするとともに、低電圧動作が可能なヘテロ構造アバランシェ フォトダイオード、低暗電流ホモ接合型InGaAs pin フォトダイオード/InP MISFET集積素子の2種の受光素子を実現した。

ECRプラズマCVD法によるa-Si:H膜

羽山昌宏・小林和弘・川元 曜・三木秀二郎

三菱電機技報 Vol.61・No.8・P35~38

電子サイクロトロン共鳴マイクロ波プラズマCVD法によるアモルファスシリコン膜の堆積条件と膜特性を検討した。その結果、膜品質を低下することなく、基板加热なしで、従来に比べ4~20倍の成膜速度が得られた。この低温・高速成膜したa-Si:H膜をフォトダイオードに適用し従来と同等の良好なフォトセンサ特性が得られた。

導電性高分子の開発と電子デバイスへの応用

肥塚裕至・角田 誠・津村 顯・蕨田哲之・安藤虎彦

三菱電機技報 Vol.61・No.8・P39~42

導電性高分子は、ユニークな電子状態を持っていることから、基礎・応用の両面にわたり、活発に研究が行われている。ここでは、導電性高分子の特長とエネルギーバンド構造からの安定性の見積り、及び当社における導電性高分子の研究状況、特に半導体素子への適用の可能性について述べる。

カーエレクトロニクスの現状と動向

壇井芳昭

三菱電機技報 Vol.61・No.8・P43~44

排ガス及び燃費に関する法規制に対処するため、エンジンの電子制御から発展したカーエレクトロニクスは、電子式計器盤、電子制御自動変速機、電子制御サスペンションへと広がっていった。一方、エンターテイメント、快適性、便利さや安全性などの向上にもエレクトロニクス装置が不可欠となっている。ここでは、1980年代に入り急速に応用範囲の拡大した、カーエレクトロニクスの現状と動向について簡単に述べる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 27 ~ 30 (1987)

The Development of Slip-Ring Materials for Space Use

by Mikio Watanabe, Mitsuhiro Harima, Jun Nakagawa, Mineo Suzuki & Makoto Nishimura

Three-axis geostationary satellites employ slip rings to transmit control signals and electric power between the satellite body and the sun-tracking solar paddles. Slip rings used in space must maintain their lubricative and conductive characteristics reliably under ultrahigh vacuum conditions. The article introduces a new Ag-MoS₂-NbSe₂ slip-ring composite developed for space use by Mitsubishi Electric in cooperation with the National Aerospace Laboratory of Japan's Science and Technology Agency. The composite features outstanding friction characteristics, excellent wear characteristics and temperature stability, low electrical resistance, and low noise generation. It is suitable for transmitting both lower current densities, and very high-density currents up to 500A/cm².

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 31 ~ 34 (1987)

InP and Related Compounds Grown by Liquid-Phase Epitaxy

by Ken'ichi Otsuka, Teruhito Matsui & Hitoshi Ogata

The authors have investigated optimum conditions for growing InP/InGaAsP/InGaAs(InGaAsP)/InP structures by liquid-phase epitaxy, and the results were used in trial production of two types of detector devices for optical communication: heterostructure avalanche photodiodes that operate at low voltage, and monolithically integrated devices consisting of a low-darkcurrent homojunction InGaAs photodiode and an InP MISFET. The studies established that control of the melt's supersaturation level was essential to realize uniformly layered structures.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 35 ~ 38 (1987)

The Characteristics of Hydrogenated Amorphous-Silicon Films Deposited by an Electron-Cyclotron Resonance Plasma-CVD Method

by Masahiro Hayama, Kazuhiro Kobayashi, Satoru Kawamoto & Hidejiro Miki

The authors investigated the effect of deposition conditions on the layer characteristics of hydrogenated amorphous silicon films grown by an electron-cyclotron resonance plasma chemical-vapor deposition (CVD) method. Working with unheated substrates, the authors obtained deposition rates 4~20 times greater than previously possible without compromising the film quality. The sensor characteristics of the photodiodes thus produced were comparable to those of conventionally produced devices.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 39 ~ 42 (1987)

Conducting Polymers and Their Application to Electronic Devices

by Hiroshi Koezuka, Sei Tsunoda, Akira Tsumura, Tetsuyuki Kurata & Torahiko Ando

The unique electronic state and diverse application possibilities of conducting polymers have attracted extensive research in both their basic principles and applications. The authors discuss how the polymer characteristics and energy-band structure were used to estimate the polymer stability. The state of research on these polymers at Mitsubishi Electric is summarized, and applications in semiconductor devices are discussed.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 43 ~ 44 (1987)

Current Topics in Automotive Electronics

by Yoshiaki Tsuboi

The now extensive use of electronic control in motor vehicles began with the introduction of electronic control systems to enable vehicles to meet legal restrictions on exhaust-gas emissions and to maximize fuel efficiency. The field of automotive electronics has since broadened as electronic instrument panels, electronically controlled automatic transmissions, and electronically controlled suspensions have been introduced. Electronics are now seen as essential building blocks in providing improved entertainment, convenience, and safety in the automotive environment. The article surveys the applications of automotive electronics in the 1980s, and discusses current trends in this fast-moving field.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 3 ~ 4 (1987)

An Overview of the Development of Electrical and Electronic Materials

by Shoji Hirabayashi

Introducing a special issue on materials development, the article outlines the Corporation's materials development aims, and the criteria by which these aims were established. A table of the Mitsubishi development infrastructure shows the divisions involved in the R&D for each material. Then, shifting the focus downstream, the article examines how the new materials have been successfully applied in communications, electronic devices, heavy electrical equipment, industrial, and automotive equipment, consumer products, and other goods. The article concludes with an overview of the current state of, and trends in, materials development, and outlines Mitsubishi Electric's plans for developing the next generation of materials.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 5 ~ 8 (1987)

New Insulating Materials for Traction Motors

by Hiroyuki Nakajima, Masakazu Murayama, Eiki Jidai, Susumu Nishido & Kei Kuriyama

Due to strictures on installation space, high output requirements, and a harsh operating environment, traction motors have always been a prime target for the application of new high-performance insulation systems. Mitsubishi Electric has completed the development of an extremely heat-resistant Class 220 insulation system that withstands temperatures extremes as high as 220°C. The insulation is comprised of two materials: electrodeposited mica, and a new heat-resistant impregnating resin.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 9 ~ 16 (1987)

Composite Materials: CFRP for Space Applications and High-Performance Printed-Circuit Boards

by Kunihiko Murayama, Yasushi Yamamoto, Toshiyuki Sugano, Kiyoshi Hani, Hiroyuki Nakajima & Kazuo Miyoshi

Carbon-fiber reinforced plastics (CFRP) and other composite materials are key products for advanced lightweight space structures. Mitsubishi Electric has designed and manufactured various types of satellites, using advanced composite materials. Fabrication technologies for large-scale space structures, such as continuous forming of thin-walled CFRP pipes and 3-dimensional fiber-reinforcement of plastics, have been developed. To ensure long-term reliability in orbit, a fundamental understanding of the space-environment effect on composite materials has been established.

Composite materials with high thermal conductivity or low thermal expansion for high-performance printed-circuit boards have also been developed. To produce high-precision multilayer printed-circuit boards, rheological characterization of prepgres has been investigated.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 17 ~ 20 (1987)

A Green Phosphor for Small Fluorescent Lamps

by Noritsuna Hashimoto, Kazu Matsunaga & Ken Sato

In contrast with conventional types, small fluorescent lamps have a high wall load. This reduces the thermal-quenching capacity for the phosphors, resulting in high temperatures that reduce the optical output. Mitsubishi Electric has discovered that a small proportion of borate and Th added to the three-wavelength green phosphate (La, Ce, Tb)PO₄ improves the phosphor's temperature vs. luminance characteristics, so that no reductions in optical output are observable at temperatures as high as 200°C. The presence of borate and Th in the crystal suppresses the generation of Ce⁴⁺. The low probability for Ce³⁺→Ce⁴⁺ transitions eliminates the principal cause of lower optical output at high temperatures.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 21 ~ 26 (1987)

Copper-Alloy Lead Frames for Surface-Mounted ICs

by Keizo Kitakaze, Teruo Nakanishi, Kenji Kubozono & Takashi Nakajima

The development of highly integrated ICs combined with high component-mounting densities has created the need for heat-conductive high-strength copper-alloy lead frames. The article surveys trends in surface-mounting technology and the summarizes the requirements that they place on copper-alloy lead frames. MF202, a high-strength, thermally conductive Cu-2Sn-0.2Ni alloy is introduced, and its suitability for surface mounting is discussed. Equipment employing ICs with the new lead-frame alloy has undergone reliability testing, indicating that the solder plating on the leads resists the peeling generally associated with extended high-temperature operation.

アブストラクト

<p>自動車用半導体加速度センサ 番 政広・別所三樹生・竹内孝信 三菱電機技報 Vol.61-No.8-P45~48</p> <p>自動車のサスペンション制御を始めとする各種制御に使用されるセンサとして、半導体加速度センサを開発している。この半導体加速度センサは、量産性、小型で応答性に優れているなど多くの特長を持つ反面、センサ素子の共振破壊、出力の温度依存性などの問題点を抱えている。ここでは、この加速度センサの構造と原理を概観し、これら問題点の対処法としてセンサ素子のダンピング方法及び出力の温度補償方法について説明する。</p>	<p>無段変速機用電磁パウダクラッチ制御システム 辰巳 巧・内藤靖雄・三村宗彦 三菱電機技報 Vol.61-No.8-P71~76</p> <p>無段変速機は、1990年代の自動車用変速機として注目され、世界の多くの自動車会社で実用化の検討が進められていると伝えられているが、富士重工業㈱が、スチールベルト式無段変速機に電磁パウダクラッチを組み合わせたシステムの開発に成功し、ECVTの呼称でジャスティに搭載されて、世界で最初に製品化された。このシステムに、当社製の電磁パウダクラッチと制御用コンピュータユニットが採用されている。本稿では、ECVTの概要と電磁クラッチ制御システムを紹介する。</p>
<p>プレイバック機能付きカーラジオ 森廣義晴・白谷優次 三菱電機技報 Vol.61-No.8-P49~52</p> <p>車を運転中にラジオを聞いていて、つい放送を聞き逃すことがよくある。このようなとき、ボタンを押すだけで数秒前の放送にさかのぼって聞き直すことができるユニークなラジオを開発した。このラジオは、音声をデジタル化して録音しており、プレイバックの要求があったとき、この録音内容を再生するだけでなく、スピーチ圧縮法を使って、再生音が現放送に追いつくように工夫されているので、再生中の放送内容も欠落なく聞くことができる。</p>	<p>車載用GPS型ナビゲーションシステム 平田誠一郎・横内一浩 三菱電機技報 Vol.61-No.8-P77~80</p> <p>NAVSTAR/GPSの衛星電波を利用した車載用ナビゲーションシステムを開発した。このシステムは、4個以上の人工衛星の電波を同時に受信し、地球上のどこであっても、自車位置を100m以内で正確に割り出すことができる。GPS受信機、アンテナ、コントローラ、CD-ROM、6" CRT及び自立型の地磁気センサ、速度センサから構成され、自車位置はCRTディスプレイ上の地図に表示され、不案内な土地でも正確に目的地に到着できる。</p>
<p>RDS受信カーラジオ 田浦賢一・友広 良 三菱電機技報 Vol.61-No.8-P53~58</p> <p>ラジオデータシステム(RDS)はヨーロッパ放送連合で規格化されたデータ多重FM放送方式で、これにより可能となる多くの選局機能はカーラジオでは特に価値が高い。ワンチップRDSデコーダIC、小型英数表示モジュールなどの構成部品の開発、ワンチューナー構成での機能開発を通して従来と同じ寸法制限の中で大幅な機能向上を果たしたRDS受信カーラジオの試作及び機能確認を行ったので報告する。</p>	<p>磁気方位センサ 伊藤久嗣・松本活典 三菱電機技報 Vol.61-No.8-P81~86</p> <p>ブラックスケート型磁気方位センサを用いた磁気計測システムの安定性を論ずるには、センサ自身を定量的に解析することが必要不可欠である。この一手段として本稿では、磁気センサを電気回路的なモデルとして解析し、センサに要求される磁気特性を明確にした。また、このモデルに基づいて設計した回路内蔵型のセンサモジュールの概要及びその応用の一例として車載用コンパスについて紹介する。</p>
<p>自動車用油圧制御ソレノイド・アクチュエータ 浜田有啓・原 忠之・小島隆男 三菱電機技報 Vol.61-No.8-P59~64</p> <p>自動車用各種制御システムへの電子制御技術の導入はめざましく、最近では、油圧系制御システムも電子制御化が進んでいる。</p> <p>本稿では、自動変速機やパワーステアリングなど、油圧系制御システム用として開発した油圧制御ソレノイド・アクチュエータの構造・性能・信頼性について、具体的な適用システムと併せて紹介する。</p>	<p>車載用デジタル オーディオ テーププレーヤー 加藤博明・中西康之・中川邦彦・石田雅之・宇津井良彦 三菱電機技報 Vol.61-No.8-P87~92</p> <p>DAT懇談会でまとめられた技術仕様をもとに、車載用回転ヘッド式デジタルオーディオ テーププレーヤー (R-DAT) の開発を行った。このシステムではサブコードを利用して、曲番、時間等の表示や200倍速の高速選曲を実現し、従来のコンパクトカセットシステムに比べ、格段の操作性の向上が図られている。</p> <p>本稿では主にシステム構成と信号処理及びデッキ部の概略について述べる。</p>
<p>ガソリンエンジンの電子制御装置 佐々木武夫・多田靖夫・上田 敦 三菱電機技報 Vol.61-No.8-P65~70</p> <p>マルチポイント燃料噴射装置を主体にしたガソリンエンジンの電子制御システムを開発し、三菱自動車工業㈱向けに製品化した。このシステムには、当社独自のカルマン渦式エアフローセンサ、光式クランク角センサなどが採用されている。システムは、燃料噴射制御のほか、点火時期制御、アイドル回転速度制御及び自己診断の機能を含んでおり、マイコンによって総合的に制御されている。</p>	

Abstracts

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 71 ~ 76 (1987)

A Magnetic-Powder Clutch-Control System for Continuously Variable Transmissions

by Takumi Tatsumi, Yasuo Naito & Munehiko Mimura

Continuously variable (stepless) transmissions are being developed by many auto manufacturers for introduction in production vehicles in the 1990s. Fuji Heavy Industries has already succeeded in developing a continuously variable transmission that employs a steel-belt and a magnetic-powder clutch. Called an ECVT (for electro-continuously variable transmission), it is the first such continuously variable transmission to be commercially marketed. This ECVT incorporates a computer-control unit, for the magnetic-powder clutch, that was developed and manufactured by Mitsubishi Electric. The article introduces the ECVT and its clutch-control system.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 77 ~ 80 (1987)

A Car Navigation System Using Satellites (NAVSTAR/GPS)

by Sei'ichiro Hirata & Kazuhiro Yokouchi

The authors have developed a navigation system for automobiles that employs the locating signals broadcast by the NAVSTAR/GPS satellites. The system simultaneously detects signals from four satellites, enabling it to locate its host car's position to within 100m at any point on the earth's surface. The system consists of a GPS receiver, an antenna, a controller, a CD-ROM, a 6" CRT display, a speed sensor and a dead-reckoning geomagnetic sensor. The car's position is indicated on a map on the display screen, enabling the driver to easily reach his destination even in unfamiliar areas.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 81 ~ 86 (1987)

The Development of a Field Magnetometer

by Hisatsugu Ito & Katsunori Matsumoto

The development of a magnetic-field measuring system requires quantitative analysis of the fluxgate magnetometer used as the sensor. The authors have initiated this work by developing an equivalent circuit that models the characteristics of the flux sensor. Using this model, they determined the specific characteristics required for the sensor application. The article reports on this model, an integrated sensor module designed on the basis of the model, and an application of the module in an automobile compass.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 87 ~ 92 (1987)

An Automotive R-DAT Player

by Hiroaki Kato, Yasuyuki Nakanishi, Kunihiko Nakagawa, Masayuki Ishida & Yoshijiro Utsui

The authors have developed a rotary-head-type digital audio tape (R-DAT) player that complies with technical specifications of the DAT Conference. Using subcodes, this R-DAT displays the program number and the program time. It also has a high-speed search function that advances the tape at 200 times the normal playback speed. As a result, the sound quality and ease of operation far surpass those of conventional compact-cassette systems. The article reports on the configuration of the new R-DAT player, its signal processing, and the deck construction.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 45 ~ 40 (1987)

A Semiconductor Accelerometer for Automotive Controls

by Masahiro Tsugai, Mikio Bessho & Takanobu Takeuchi

A semiconductor accelerometer has been developed for applications in electronically controlled automotive suspensions and other control equipment. While the accelerometer is small, responsive, and easily mass-produced, its output is highly temperature dependent and it is vulnerable to resonance fractures. The article reports on the structure and operating principles of this device, and examines methods of damping and temperature compensation to offset its potential disadvantages.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 49 ~ 52 (1987)

A Car Radio with Recording and Playback Functions

by Yoshiharu Morihiko & Yuji Shiratani

Often it happens that a driver will miss hearing important details of a radio broadcast. The authors have addressed this problem by developing a unique radio that plays back the previous several seconds of a broadcast at the touch of a button. In addition to continuously recording and playing back the voice data on demand, this new function employs speech-compression techniques that enable that playback to catch up with the continuing broadcast, so that none of the subsequent broadcast content is missed.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 53 ~ 58 (1987)

An Automatic-Tuning Car Radio Based on the Radio Data System

by Ken'ichi Taura & Ryo Tomohiro

The radio data system (RDS) specified by the European Broadcasting Union provides a standard for multiplex transmission of supplemental information in conjunction with FM audio broadcasts. RDS enables a variety of tuning functions that are especially useful in car radio. The authors report on the development and testing of a prototype car radio with RDS receiving functions. The radio incorporates a one-chip RDS decoder IC, a compact alphanumeric-display module, and other specially developed components in a single front-end structure that enables the radio's capabilities to be greatly augmented while retaining the same compact dimensions as conventional car radios.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 59 ~ 64 (1987)

An Oil-Pressure-Control Solenoid Actuator for Automobiles

by Tomohiro Hamada, Tadayuki Hara & Takao Kojima

Electronics are rapidly taking over a wide variety of automotive control functions. In this report, the authors examine an application of electronics to oil-pressure control. A solenoid actuator for oil-pressure control and its associated communication electronics has been developed for use in automatic transmissions and power-steering units. The structure, performance, and reliability of the actuator and its communication system are discussed.

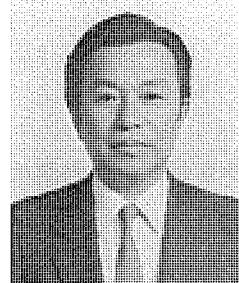
Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 61, No. 8, pp. 65 ~ 70 (1987)

An Electronic Control System for Gasoline Engines

by Takeo Sasaki, Yasuo Tada & Atsushi Ueda

An electronic control system for a multipoint fuel-injection system has been developed and commercially produced for use in vehicles manufactured by Mitsubishi Motors. The system's sensors include a proprietary Karman vortex-type airflow sensor and an optical crank-angle sensor. In addition to fuel metering, the microcomputer-based system controls the spark timing and engine idle speed and performs diagnostic functions.

材料特集に寄せて



東北大学金属材料研究所教授

増 本 健

私の大学時代は、材料と言えば鉄鋼が花形であった。日本の鉄鋼メーカーは、戦後の復興期に外国の技術を導入して、こぞって高炉や転炉を新設し、優れた品質の鋼材を安価でしかも大量に生産したために、やがて我が国の鉄鋼生産量は1億トンの大台に乗せて世界一の名を欲しいままにしたのである。また、超耐熱合金、マルエージ鋼、強力アルミ合金、強力銅合金などの高強度材料を中心として新しい材料が次々に生れたのもこの頃であった。

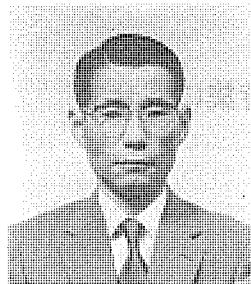
このような時代に大学を卒業した私は、東北大学金属材料研究所の鉄鋼材料部門に大学院学生として入り、オーステナイト系耐熱合金の研究を行ったのである。さらに、卒業後も同部門に残り当時の重要な材料であった原子炉用鋼材や高強力合金鋼の研究に従事した。このような研究テーマは当時の最先端材料の中心であったが、しかし私にとってはどうしても研究に熱中できない何かがあった。それは、研究すればする程アメリカやヨーロッパの進んだ材料科学を身にしみて感じたからである。外国の論文や書籍を読んで研究のテーマを得ようとした時代に対して私はどうしても馴じまなかった。何か新しいオリジナルな研究をしたいと言う思いがしだいに強くなった時、アモルファス金属なるものがあることを知ったのである。結晶でない金属があると言うことは私にとって驚異であった。当時、貴金属を主体とした合金を液体から急冷して数百ミリグラムの小さい試料が作られていたが、しかしそれは余りにも小さく、きちんとした物性も殆んど明らかでなかった。そこで、まず物性を測定するために定形状のテープを作る必要がある

と考え、遠心急冷装置を試作し、実験を重ねている内に見事なテープが出来たのである。この時に最も感激したのは非常に強くて粘いことが判ったことであった。それから私はこのアモルファス合金のとりこになってしまい、高強韌性、超耐食性、優れた軟磁性など面白い特性を次々に見出すこととなったのである。

アモルファス合金との出会いは全く偶然ではあったが、それから材料の研究に対する私の考え方はずっかり変ってしまった。新しい材料をさがす最も重要な点は、材料の性質を生み出す基である原子配列や電子状態を変えることであり、これによって新たな性質を引き出すことができると言う考えである。このためには、まず材料を作る新しい手法を考えること、これを用いて色々な非平衡構造を作り出すこと、その材料の特性を明らかにすることである。そして、各材料の特徴を生かして応用を考えて行くのである。

このような研究は正しくシーズ指向の発想であるが、大学に居る研究者であるからこそできる研究であろう。一方、企業ではなかなかこのようなタイプの研究は許されなく、主にニーズ指向の研究が多いと言われている。我田引水ではあるが、21世紀の産業を支える新素材の開発はどうしてもシーズ的研究が重要であると信じている。これから企業における研究所においてもシーズ的研究が行えるような発想の転換が必要と思われる。それは、21世紀の材料研究を日本がリードするにはどうしても不可欠なことだと信じるからである。

カーエレクトロニクス特集に寄せて



常務取締役

平 田 穎

昨年、ドイツで自動車産業の100年祭が盛大に催されました。1860年にフランスのルノアールが2サイクルのガス機関を作つてから25年たつて、ダイムラーが4サイクルのガソリン機関を作つたとされております。化油器と点火装置の発明が大いに寄与して、1865年から1886年の間に、3輪車・2輪車・4輪車がそれぞれ採算ベースで作られました。もっとも、自動車が採算ベースで作られる以前に、いろいろな車が試作され、特許が出願されていたようあります。その最たるものは、1879年にロチェスターの弁護士ジョージ・セルデンが出願した自動車の概念でありまして、この中には現在の自動車の構造をほとんどすべて含んでいるようあります。

これらの歴史的せん索は別として、前記のとおり自動車が採算ベースで作られて大きな進展を遂げた当初から、電気部品である点火装置が大きな役割を果たしてきたことだけは記憶に留めておきたいと思います。すなわち、従来の電装品の歴史はここから始まっておるのであります。それ以来100年の間、自動車が大きな進歩を遂げたと同様に、電装品も多くの進歩を遂げました。

当社もまた、この産業の技術的発展に大きな貢献をしてきました。昭和3年に当社神戸製作所でその研究に着手したと言われていますので、今や59年の星霜を経たことになります。また、電装品の生産が軌道にのったのは昭和7年と称せられておりますので、おそらく日本に現存する電装品メーカーの中では、最古のものであろうと思います。そして、それぞれの時代の要請に応じて、常にその役割を果たして参りました。いわゆるモータリゼーションが始まる直前の昭和30年頃から数えてみましても、一世を風び(躍)したフライホイル・マグネットやセルダイヤモの開発、6V系から12V系への変換、我が国初の自動車用オルタネータの開発・生産、レーシングカーなどのトランジスタ式点火装置の開発等々、常に業界の先端を歩んで参りました。

その後も、音響製品や電装品の小型・軽量化、自動車のエレクトロニクス化には数々の独創的技術を盛り込んで、少なからず業界の発展に寄与してきたと考えております。これらの活力は、多くの自動車会社の関係各位に御支援を賜ってきた所産であるとともに、先輩諸氏の御指導と研究所群の御援助によって支えられたものであります。

す。また、昭和55年に西独BOSCH社の技術を導入したことが、当社の技術の発展に少なからぬ影響を与えていたと考えています。

少し、各製品分野について状況を列挙してみたいと存じます。まず、今や花盛りとなった自動車エレクトロニクス製品はその広がりを増し、エンジン制御のみならず、変速機制御、ステアリング制御、サスペンション制御、計器盤回りにも及んでおり、また、これらが相互に関連し合って、自動車が制御されるようになってきております。トラクション制御システムなどがその例であります。更には、当社と西独BOSCH社及び三国工業の合弁で設立した日本インジェクタ(株)では、燃料制御システムのメカニカル・キーパーツである各種インジェクタの開発・生産を行っております。

一方、音響製品の分野においても、電子チューナーはほとんどの車種で常識になりつつありますし、放送内容自動追尾システム、プレイヤックラジオ、サラウンドシステムなどのほか、自動車の位置を正確に標示する装置や映像との関連製品が盛んに研究されつつあります。デジタル音響の時代も既に始まっており、当社でも電子商品研究所の強い熱意に支えられて商品化を進めております。

また、小型電装品の分野では、生産技術力の進歩を伴って、今や世界の第一人者の地位を獲得しつつあります。遊星ギヤ式内部減速型スタータ、超小型ACダイヤモ、コイル一体型ディストリビュータの完成などがその具体例であります。

今後も、各自動車会社の関係各位の御指導を賜りながら、優れた自動車部品の開発に止まらず、“自動車”という上位製品の機能向上に役立つ製品を開発するため、当社の開発本部はもとより、社内各部門の技術力を結集して、研究に研究を重ねて技術の発展を図ってゆきたいと存じております。

今や、日本の自動車産業は、世界最強と言われるドイツの自動車産業に肉薄し、部分的にはりょうが(凌駕)しつつあります。4万人を超す日本の自動車技術者が、“自動車文化”的花を咲かせようとして、研究開発に懸命な努力をしておられます。私ども三菱電機の自動車機器技術者も、この流れの中で世界の自動車産業の一層の発展に貢献をして参りたいと念願しております。

行
32

行
6才の

材料開発の現状と展望

平林庄司*

1. まえがき

昨今、急激な円高のなかで、電気機器産業を取り巻く経営環境は、かって経験しなかったほど厳しさを増している。このような状況下で、当社の成長を維持するには、高度の技術に裏打ちされた新製品群の開発が不可欠である。

システムオンチップを目指す半導体の発展に表れているように、材料・システムの距離が縮まり、材料が占める地位は著しく高まっており、当社では、主力電気・電子機器・電子デバイスのかぎ(鍵)を握る材料の開発を主目的として、材料開発を積極的に推進している。

この材料特集号では、各論論文として、当社事業・製品への貢献度の大きさを第1の尺度とし、第2には製品に既に適用されていることを条件に、C種絶縁、複合材料、ランプ用蛍光体、ICリードフレーム材、宇宙用スリップリング材の五つの論文を選定した。これに加えて、現在開発している材料の中から、技術的波及効果が大きいと考えられる液相成長、InP、a-Si:H薄膜、導電性高分子に関する3論文を選んだ。

一方、この展望論文では、当社のこれまでの材料開発成果をやや網羅的に述べるとともに、将来、当社の主力製品を一変させる可能性を秘めている材料の研究状況にも触れてみたい。

2. 材料開発の概況

材料研究は適用研究と開発研究に大別されるが、前者は素材メー

カーと共同で行われる場合が多く、当社が主体的に行っているのは後者がほとんどである。材料開発に当たって重視しているのは、第1に当社事業への貢献度・主力製品へのインパクトの大きさであり、第2は技術的ブレーカスルーと波及効果の大きさである。前者においては、ニーズへの的確・迅速な対応が肝要であり、一方、後者においては、常に世界の科学・技術の動向に留意しつつ、将来の製品構成の変化を先取りする形で進めなければならない。

当社の事業部門別売上比率の推移を図1に示した。従来の重電機器中心から情報通信システム・電子デバイス中心へと移行しつつある

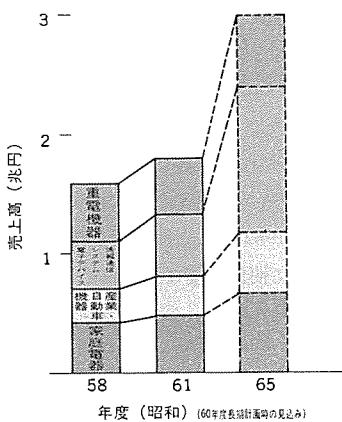


図1. 当社部門別売上比率の推移 (予測を含む)

表1. 事業部門関連材料開発課題

材 料	事 業 部 門	重 電 機 器	情 告 通 信 シ ス テ ヴ	産 業 ・ 自 動 車 機 器	家 庭 電 器
半導体材料	シリコン 化合物半導体 薄膜半導体		単結晶Si InP*, GaAs a-Si:H*	イメージセンサ用a-Si:H	
オプトエレクトロニクス材料	光結晶 蛍光体	電流・電圧センサ用単結晶	赤外線センサ用単結晶**		ランプ用緑色蛍光体*, TV用蛍光体**
金属材料	超電導材料 電子部品用金属材料 磁性材料 機能性金属材料	金属系超電導材料**, 酸化物高温超電導体** 真空スイッチ管用接点材料** アモルファスマ磁性材料適用技術	酸化物高温超電導体** ICリードフレーム材*, コネクター・銅合金, 宇宙用スリップリング材*		形状記憶合金
セラミック材料	電子セラミックス 基板用セラミックス 構造用セラミックス	避雷器用酸化亜鉛**	マイクロ波用フェライト**, 移相器用フェライト**, 接触子材料 アルミニ系・窒化アルミニ系・ほうけい酸亜鉛系基板材料 透光性セラミックス, マシナブルセラミックス	携帯電話分波器用誘電体材料** アルミニナ系ハイブリッドIC基板材料	ラジオ・TV用フェライト**, スピーカー振動板用セラミックス コンパクト型蛍光灯用ガラスセラミックス
有機・高分子材料	絶縁材料 電子部品用高分子材料 表示・記録材料 先端機能性高分子 プラスチック成形材料・技術	車両用絶縁材料*, 耐熱性絶縁材料, 大型回転機用含浸樹脂, FRP用マトリクス樹脂	半導体封止樹脂, レジスト, 感光性ポリイミド, 超LSI用ラダーシリコン, ハイブリッドIC専用絶縁膜 ゲスト・ホスト液晶*, 強誘電性液晶**, 熱転写記録材料 導電性高分子*, 光応答性高分子** 精密射出成形技術**, ICカードパッケージ	透湿膜モジュール** 液状成形エポキシ樹脂	センサ用シリコーン**, PTC面発熱体 高分子液晶, 透湿膜モジュール** 精密射出成形技術**, ウレタン発泡体**, プラスチックレンズ
複合材料	繊維強化プラスチックス 繊維強化金属		CFRPとプリント基板材料*, 先進複合材料** 構造部材用FRM		
材料基盤技術	材料解析技術 表面・界面解析技術 防食技術 接着・コーティング材料 封着技術	燃料電池材料 水冷回転機器 構造接着剤, カチオン電着塗料	GaAs MBE膜, 衛星構造材 磁気・光磁気記録材料 銅ワイヤボンディング, メタル磁気ディスク 超精密接着技術, 赤外線検出器デュアルLCDパックライト	防食塗料, 冷熱機器 圧力センサ	CRT, メタルハライドランプ VTR磁気ヘッド 温水器, 暖房機器

* 各論掲載材料, ** 展望論文掲載材料

のがうかがえる。当社が開発中の材料は多岐にわたっているが、主要材料の当社事業部門との対応を表1.に示した。事業部門のウェートの変化に対応して、材料開発課題も情報通信システム・電子デバイス関連のものが増えつつある。産業・自動車機器と家庭電器関連の材料が少ない理由の一つは、素材メーカーの活用を積極的に行っている点にあり、もう一つの理由は、重電機器、情報通信システム・電子デバイス向けに開発した材料の技術移転が可能なケースが多いためであろう。

3. 重電機器用材料の開発成果

当社は、NbTiよりも高温特性の優れたNbTiTa三元合金を独自に開発し、MHD発電用大電流導体に適用したほか、磁気浮上列車、6MVA超電導発電機などの超電導マグネットとして所期の成果を収めた。Nb₃Sn化合物線材については、内部拡散法による独自の極細多心線製造方法を開発し、30MVA超電導同期調相機の高磁界コイルに適用し、注目を集めた。高エネルギー物理学研究所向け素粒子検出器用には、素粒子透過性の優れたAlを安定化材として用いた銅マトリクス極細多心NbTi線を開発した。更に、核融合実験装置用としては、交流損の小さいCuNiを用いたNbTi/CuNi/Cu低交流損3層構造線材を開発した。

ZnO素子の電流-電圧特性の非線形性向上と課電寿命現象の解明と改善に努め、ZnO型避雷器として、1978年に初めて電力系統に適用された。続いて、1982年に高性能素子を完成し、現在では、UHV交流及び直流送電に使用可能な素子技術が完成している。

ビルの受変電設備を中心に小型・安全・保守の容易さなどの長所を持つ真空遮断器用真空スイッチ管向けに、従来の粉末冶金法を改良した新製法によって、高融点金属成分を骨格とした、遮断性能の優れた銅系接点材料を開発した。新接点の適用により、7.2~36kV級の真空スイッチ管の高性能化、小型化、低成本化を達成した。

重電機器は20年を超す長期間にわたって使用されるケースが多く、寿命・信頼性などの長期機能維持が極めて重要であり、これに関し、物質移動・表面張力の腐食への影響、塩の潮解・クリープと腐食の関係、合金における電気化学的諸問題など、基礎的解明を含めて、防食技術の確立に努めている。

4. 情報通信システム・電子デバイス用材料の開発成果

当社のフェライトの歴史は古く、戦前の世界最初のハードフェライト製品で“エキスポタイムカプセル”にも納められている“OP磁石”的開発にさかのぼる。戦後、高周波用ソフトフェライトの開発に着手し、TV用フライバックトランス、偏向ヨークコア、メモリコアなどを開発した。マイクロ波通信用フェライトとしては、東京-大阪間超多重電話・TV中継回線・本土縦断マイクロ波回線用フェライト、衛星通信向け低雑音増幅器用Liフェライトなど他社に先駆けて材料開発がなされた。近年、関連技術の進歩により、フェーズドアーチアンテナの本格的実用化時代を迎え、移動用三次元レーダ・艦載FCS(火器管制装置)移相器用フェライトを開発した。

光結晶材料では、Bi₁₂GeO₂₀結晶、Cd_xHg_{1-x}Te薄膜結晶などに取り組んでいる。前者は、光ファイバ電磁界センサなど各種センサ用として実用化されているが、更に高感度の結晶を開発中であり、後者は赤外線センサ用として、材料の高純度化、Hg蒸気圧の制御及び結晶成長方法の改良に取り組んでいる。

液晶材料では、多種類の液晶を配合して要求性能を満たす、いわ

ゆるフォーミュレーション技術が重要で、各種TN型液晶組成物を開発してきた。ゲスト・ホスト方式も、ホスト液晶が色素の配向性に与える影響を検討し、最適表示性能を持つ材料を開発した。応答速度の点で従来のTN型液晶に優る強誘電性液晶については、自発分極の大きい液晶、ほう素を含む液晶など新しい液晶の開発に成功し、素子への適用を進めている。

当社のプラスチック成形技術は、40年代の家電品きょう(筐)体のプラスチック化、50年代の電気機器構造部品のプラスチック化の時代を経て、電子・情報機器機能部品のプラスチック化へとその対象が移りつつある。最近の開発例を挙げると、押出圧縮成形法によるサブミクロン精度を持つPOS用プログラムレプリカ、射出成形法によるポリフェニルファイド樹脂・液晶高分子製固定ディスク装置・フレキシブルディスク装置・光ピックアップ機構部品などがあり、クオータミクロン級精度の機能部品の開発に適用すべく、射出成形CAEの高度化を進めている。

電子デバイスは、近年ますます高集積化・微細化・高品質化の道をたどっており、出発原料、バルク・薄膜形成、微細加工、集積化の各段階において、関連材料の不純物・組成・欠陥などの分析・制御が不可欠となっている。これに対応すべく、薄膜・多層膜の表面・界面現象解析技術をはじめとして、ファインセラミックス・微小組織解析技術などの強化を図りつつあり、将来技術として重要なSOR利用技術についても基礎検討を始める予定である。

5. 産業・自動車機器、家庭電器用材料の開発成果

この分野向けの材料開発成果を挙げると、自動車電話向け小型分波器用高誘電率誘電体材料、高演色性ランプ用深赤色蛍光体、投射型TV用緑色蛍光体、高感度湿度センサ向けの多孔質シリコーンポリマー焼結材料、コンパクトで加湿用の動力を要しない自然蒸発式加湿器用多孔質ポリエチレン透湿膜モジュール、低消費電力と生産性向上を目標として、低熱伝導率化・低密度化・高速成形化を図った冷蔵庫用発泡ウレタン、無機物との複合化によるパッケージエアコン向け耐熱性発泡体、量産性・信頼性の向上をねらった反応線射出成形システムを用いた床暖房パネル用発泡体などがある。

6. 次世代材料への取組

ショセソン素子、磁気浮上列車、超電導発電機、電力貯蔵システムをはじめとして、産業革命に匹敵する影響を与える可能性を秘めた酸化物系高温超電導体の研究に総力をあげて取り組んでいる。先進複合材料については、宇宙用としてCFRPに関し、マトリクス樹脂の開発を始めとして、複合材料設計技術、強化繊維配向技術、界面制御技術の開発を進める一方、金属系複合材料の研究も着実に進めている。このほか、各論で取り上げた導電性高分子、超薄膜有機電子デバイスへの夢をかけた機能性LB膜、超高密度光メモリ向けのフォトケミカルホールバーニング現象とその材料・フォトクロミック材料、光発生・応用技術に不可欠な有機非線形光学材料などの研究も推進している。

7. むすび

この論文では、当社主要製品の鍵を握る材料の開発状況とその成果を事業部門との関連で概観するとともに、次世代材料への取組状況について述べた。今後、情報通信システム・電子デバイス、宇宙・防衛、新エネルギーなどの成長分野の発展を支えるべく、新素材、新機能材料、先進複合材料の開発を積極的に推進していきたい。

車両電動機用新絶縁材料

中島博行* 西土井 進**
 村山雅一* 粟山 啓**
 地大英毅*

1. まえがき

電気機器の小型軽量化、高性能化は時代のすう勢であり、使用される絶縁材料には更に高い性能と信頼性が要求される。電気機器の寿命は絶縁材料の劣化と密接に関係しており、高性能化、高信頼化を達成する上で絶縁材料の耐熱性向上は大きな役割を果たすものであり、耐熱性絶縁材料の重要性はますます増大してきている。

電気機器の中でも車両用電動機は、収容されるスペースが制限された上で、大容量、高トルク化を図らねばならないことから、絶縁の耐熱性の向上が一層強く要求される。表1.にH種電動機の巻線の最高許容温度を示したが、車両用電動機は他の一般の電動機と比較し高い温度が許容されており、IEC pub. 349によれば固定子巻線で巻線温度上昇に周囲温度を加算して220°C、回転子巻線で同様に200°Cが許容される。これに対し、一般電動機は、回転子、固定子巻線共にIEC pub. 34の規定で巻線温度上昇に周囲温度を加算して165°Cとなっており、固定子では実に55°Cの差となっている。この背景から車両用電動機では、他の電動機に先がけ、耐熱性の高い絶縁が採用されてきている。図1.に車両用電動機の出力係数の変遷に伴う絶縁開発の歴史を示した。車両用電動機の絶縁は1960年代後半にフィルムベースのF種絶縁が導入され、次いで1970年代の半ばにH種電動機の200°C絶縁が開発され今日に至っている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

出力係数増大への要求は、更に高い耐熱性の絶縁を求めている。特に、近年のパワーエレクトロニクスの発達、電動機制御技術の向上により出現した車両駆動用誘導電動機では、温度上昇のネックとなる整流子

表1. H種電動機の温度上昇規定

電気機器	温度上昇(°C)	
	車両用電動機 IEC pub. 349	汎用回転機 IEC pub. 34
固定子	180	125
回転子	160	125
周囲温度	40	

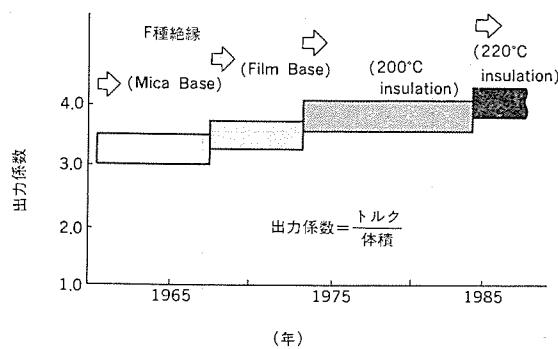


図1. 車両電動機における出力係数の変遷

がないことから、温度上昇を更に許容することによる小型軽量化が可能という観点から、絶縁の耐熱性向上のメリットは更に大きくなる。

この背景から、当社では従来の200°C絶縁を上回る耐熱絶縁システムの開発に取り組んだ結果、IEC pub. 85(1984)の規定による220°C絶縁を完成させるに至った。以下にそのメインとなる新耐熱性含浸樹脂の性質及び直流電動機、誘導電動機絶縁システムとしての評価結果について述べる。

2. 新耐熱性含浸樹脂

含浸樹脂は、絶縁組織を固着して機械強度と熱放散の向上を図り、湿度など外的環境からの保護の役割を担うという意味で、絶縁システムを構成する材料の中で最も重要な役割を果たしている。我々は既に含浸樹脂として必要な諸要素を考慮した上で、200°C絶縁として使用し得る含浸樹脂“MDTレジン”を開発実用化している⁽¹⁾。ここでは、このMDTレジンをベースに、その作業性を維持しつつ耐熱性を向上させるべく種々検討を重ねた結果、イミド系の新耐熱性含浸樹脂を開発するに至った。以下にその性質について述べる。

2.1 一般特性

表2.に新耐熱含浸樹脂の一般特性を示し、比較として典型的な

表2. 新耐熱含浸樹脂の一般特性

性 質	新耐熱含浸樹脂	エボキシ樹脂
粘 度 (CPS, 60°C)	150	80
保 存 安 定 性 (月)	>6	>6
ゲルタイム (分, 150°C)	20	15
体 積 収 縮 率 (%)	4.0	3.4
熱 变 形 温 度 (°C)	>220	150
線 膨脹 係数 (°C⁻¹)	50 × 10⁻⁶	75 × 10⁻⁶
曲げ強度 (kg/mm², 25°C)	15.0	12.5

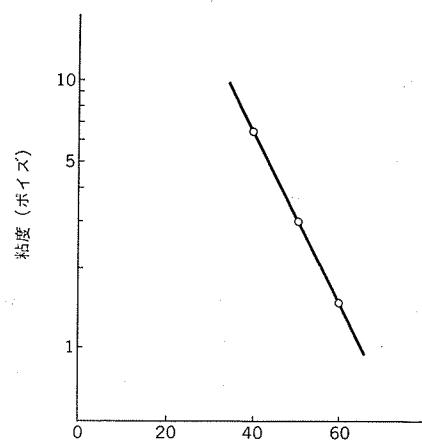


図2. 粘度の温度特性

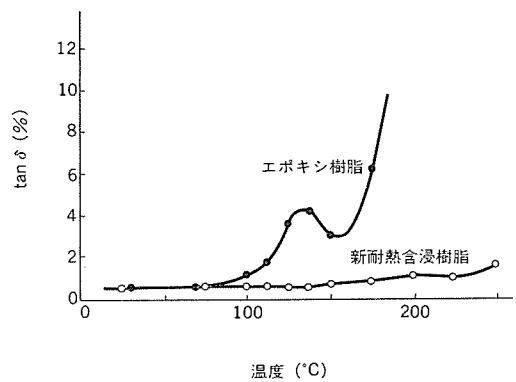
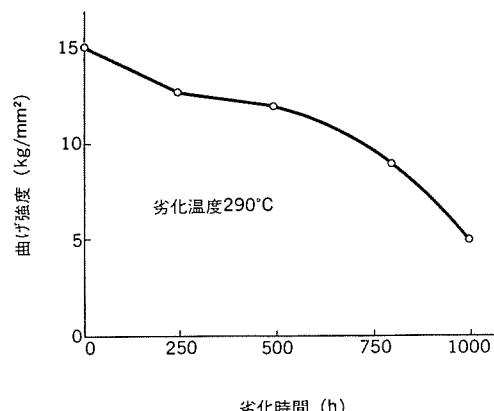
図 3. $\tan \delta$ の温度特性

図 5. 曲げ強度の熱劣化特性

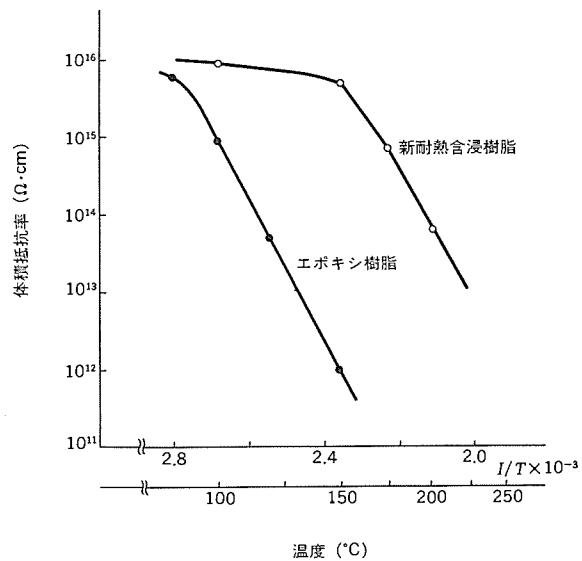


図 4. 体積抵抗率の温度特性

含浸用エポキシ樹脂の特性を示した。新含浸樹脂は室温において粘ちゅう(稠)な液体だが、60°Cまで加熱することにより1.5ポイズの粘度となり含浸が可能な状態とすることができる(図2.)。また、新含浸樹脂は室温で6か月以上安定な状態で保持できる。更に、ゲルタイムは標準仕様で20分であるが、硬化促進剤の量を変えることにより任意に変えることができる。

新含浸樹脂の標準硬化条件は150°Cで8時間後200°Cで12時間であり、このときの硬化に伴う体積収縮率は4.0%でエポキシ樹脂とほぼ同等である。また、線膨脹係数は $50 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ でエポキシ樹脂よりやや小さい値を示す。更に、熱変形温度は220°C以上で、220°C連続使用に十分耐え得る値となっている。曲げ強度は、室温で15.0 kg/mm²とエポキシ樹脂の12.5 kg/mm²より高い値を示すことから、機械的にも優れた性質をもつことがわかる。

2. 電気的性質

標準硬化条件で硬化した1mm厚の試料を用いて電気的性質を測定した。誘電正接($\tan \delta$)と体積抵抗率の温度特性を図3., 図4.にそれぞれ示した。誘電正接は室温で0.3%で、220°Cに至るまで顕著な上昇を示さない。また、体積抵抗率も220°Cで $10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ と高い値を示し、エポキシ樹脂と比較し非常に優れた性質を示す。更に、絶縁油中での測定による絶縁破壊電圧は、室温では28 kV/mm, 220°Cで25 kV/mmであり高温に至るまで高い値を保持している。

2.3 耐熱性

耐熱性の評価として、ここでは曲げ強度の熱劣化特性を測定した。曲げ強度測定用試料を空気中オーブン加熱により、290°Cで所定時間加熱劣化させ室温で曲げ強度を測定した。その結果を図5.に示した。290°C劣化での曲げ強度50%，低下時間は約800時間となる。IEC pub. 216の規定では、220°Cで20,000時間の耐熱は、290°Cで10日(240時間)劣化と等価と記載されており、この規定によれば、新含浸樹脂は耐熱クラス220°Cに十分ランクされ得ると考えられる。

3. 絶縁システムとしての耐熱性評価

新耐熱含浸樹脂は先に示したように優れた特性を持っているが、含浸樹脂としての評価は、絶縁構成との適合性によって判定されるもので、樹脂単品での特性とは必ずしも合致しない。この観点から、ここでは車両用直流電動機の電機子コイル及び界磁コイル、更に車両駆動用誘導電動機の固定子コイルの絶縁仕様についてモートレットテストをすることにより、それぞれの絶縁システムの耐熱性評価を行った。

表3.にモートレットテストを行った4種の絶縁仕様の構成を示した。誘導電動機の固定子コイル絶縁には、コロナ劣化を防ぐためマイカをは(貼り合わせたポリイミドマイカテープを使用している。また、素線絶縁には、当社独自の絶縁方式である電着マイカ絶縁を用いている。

3.1 電着マイカ絶縁

電着マイカ絶縁は当社独自の絶縁方式であり、既に当社車両用直流電動機の電機子コイルの素線絶縁として用いられている。図6.に電着マイカ絶縁層の形成法を示した。この方式では、水中にマイカ粉とバインダとしてのエポキシ系エマルジョン粒子を共分散させ、電気泳動法により導体表面に析出させることにより絶縁層を形成する。図7.には導体上に析出した電着マイカ層の断面の模式図を示した。マイカ粉は導体上に層状に析出し、エマルジョンの有機層が層間接着に寄与す

表 3. モートレットテストにおける絶縁構成

機種	直 流 電 動 機		誘導電動機	
対象	回転子	固定子	固定子	固定子
絶縁仕様	A	B	C	D
素線絶縁	電着マイカ	マイカ紙	電着マイカ	ポリイミド—DGC
対地絶縁	ポリイミドガラステープ		ポリイミドマイカテープ	
外装絶縁	ガラステープ		新耐熱含浸樹脂	
含浸樹脂				

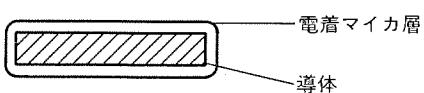
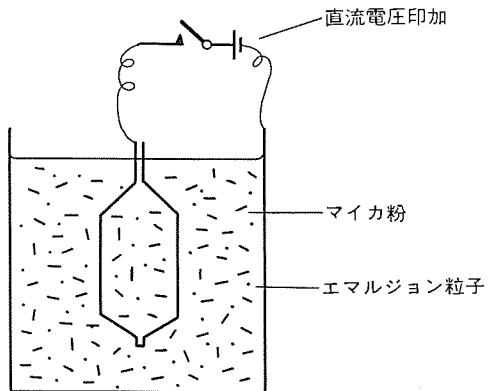


図 6. 電着マイカ絶縁層の形成

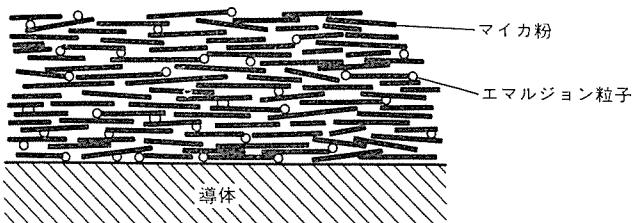


図 7. 電着マイカ絶縁層の構成

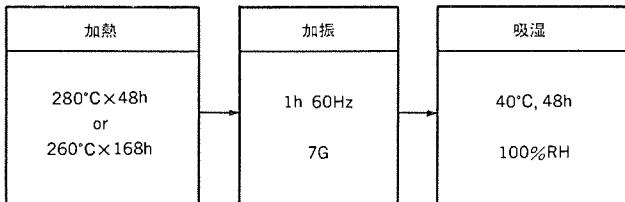


図 8. モートレットテスト条件

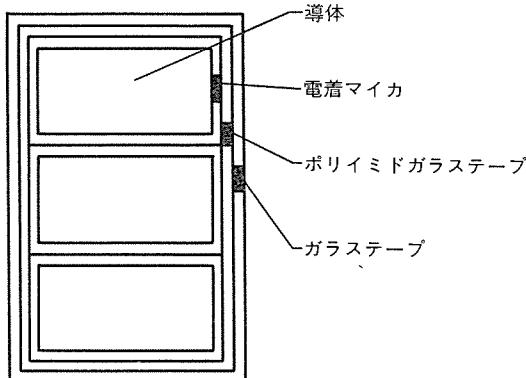


図 9. モートレットテスト用コイルの断面（絶縁仕様 A）

る形の多孔質な層を形成する。また、この電着マイカ層は通常重量比で80~95%のマイカを含有する。この多孔質な層に、含浸樹脂を含浸硬化させることにより、耐熱性の高いマイカ主体のち密で信頼性の高い絶縁層とすることができます。

3.2 モートレットテスト

表3.に示した4種の絶縁構成について、図8.に示した条件でモートレットテストを行った。直流電動機に関しては、IEEE No. 304で試験法を規定しており、これによれば電動機が運転中に受けける種々

の劣化要因のうち、熱・振動を個々別々に与え、絶縁劣化検出の手段として吸湿・チェック電圧を用いることとされている。しかし、IEEE No. 304ではH種を超える耐熱性試験の温度条件は規定されていないことから、ここでは温度条件として絶縁材料の試験規格としてのIEC pub. 216の規定を採用した。また、IEEE No. 304では振動レベルを1.5 Gと規定しているが、車両用電動機は他の一般産業用電動機と比較し、厳しい運転条件で運用されることを考慮し7Gの振動レベルを採用した。図9.にはモートレットテストで用いた絶縁仕様Aのコイルの断面を示した。各サイクルごとにコイルの外観検査を行った後、3,000Vの交流電圧を印加し絶縁破壊の有無を検証すると同時に、500~3,000Vの誘電正接電圧特性を測定した。一方、誘導電動機の試験法は、IEEE No. 275で規定されているが、先に述べた直流機対応のIEEE No. 304の規定とほぼ同じであることから、図8.に示した条件で同様に試験を行った。

3.3 直流電動機絶縁システム

直流電動機絶縁システムについてのモートレットテスト経過中、1サイクル終了した時点ごとの $\tan\delta$ (500Vの $\tan\delta$ 値)と $\Delta\tan\delta$ (500Vにおける $\tan\delta$ と3,000Vにおける $\tan\delta$ の差)の変化を図10.に示した。この図から、絶縁仕様A、B共に顕著な値の変化はなく、

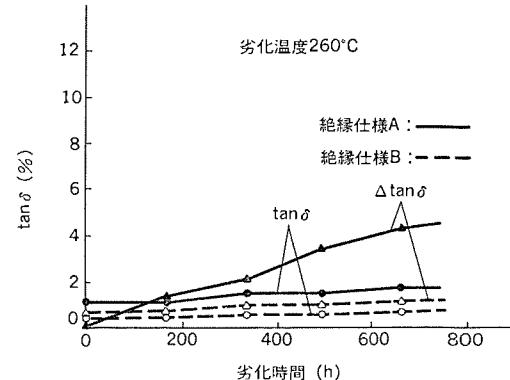
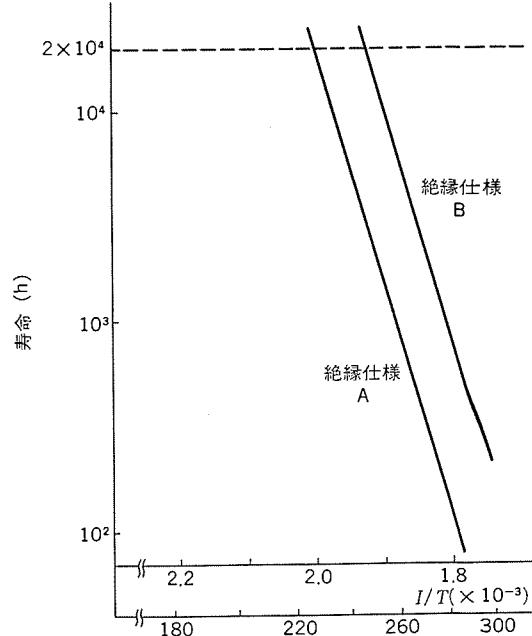
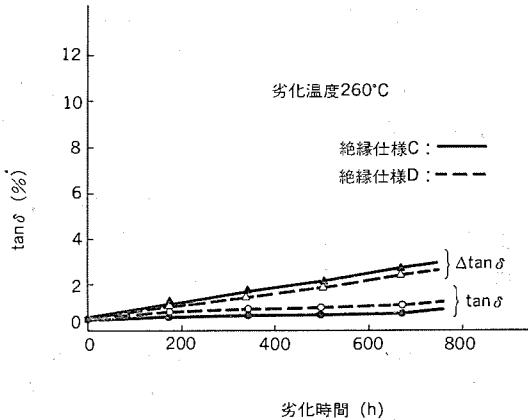
図 10. モートレットテストにおける $\tan\delta$, $\Delta\tan\delta$ 変化
(絶縁仕様 A, B)

図 11. モートレットテストの寿命評価 (絶縁仕様 A, B)

表 4. 直流電動機新絶縁の許容温度

	最高許容温度上昇 (°C)
固定子巻線	200
回転子巻線	180
周囲温度	40

図 12. モートレットテストにおける $\tan \delta$, $\Delta \tan \delta$ 変化
(絶縁仕様 C, D)

良好な特性を保持していることがわかる。図 11. には、260°C, 280°C でのモートレットテスト結果に基づく絶縁仕様 A, B のアレニウスプロットを示した。20,000 時間を寿命として外挿した結果、絶縁仕様 A は 230°C、絶縁仕様 B は 245°C に対応し、このことから直流電動機の絶縁システムは、IEC pub. 85 (1984) の規定における 220°C クラスの絶縁に該当することが明らかとなった。この結果、直流電動機新絶縁システムの巻線温度上昇限界は、表 4. のように表すことができる。

3.4 誘導電動機絶縁システム

誘導電動機絶縁システムについてのモートレットテスト経過中、1サイクル終了した時点ごとの $\tan \delta$ と $\Delta \tan \delta$ の値の変化を図 12. に示した。この図から、絶縁仕様 C, D 共に顕著な値の変化はなく、良好な特性を保持していることがわかる。表 5. には、100 pC の放電電荷量におけるコロナ開始電圧の測定結果を示した。絶縁仕様 C, D 共に 260°C で 9 サイクル後 (1,512 時間後) でも初期値とほとんど変化のない値を示しており、この結果からも絶縁が試験後も良好な特性を保持していることがわかる。図 13. には、260°C, 280°C でのモートレットテスト結果に基づく、絶縁仕様 C, D のアレニウスプロットを示した。20,000 時間を寿命として外挿した結果、絶縁仕様 C, D 共に 240°C に対応し、高い耐熱性を保持していることがわかった。この結果は、また素線絶縁としての電着マイカがポリイミド-DGC と同等の耐熱性を持っていることを示している。

4. むすび

車両用電動機では、収容スペースが限定される中の出力の増大が

表 5. モートレットテストコイルのコロナ特性

絶縁仕様	コロナ開始電圧 (kV)	
	初期	260°C 9 サイクル後
C	3.50	3.40
D	3.65	3.55

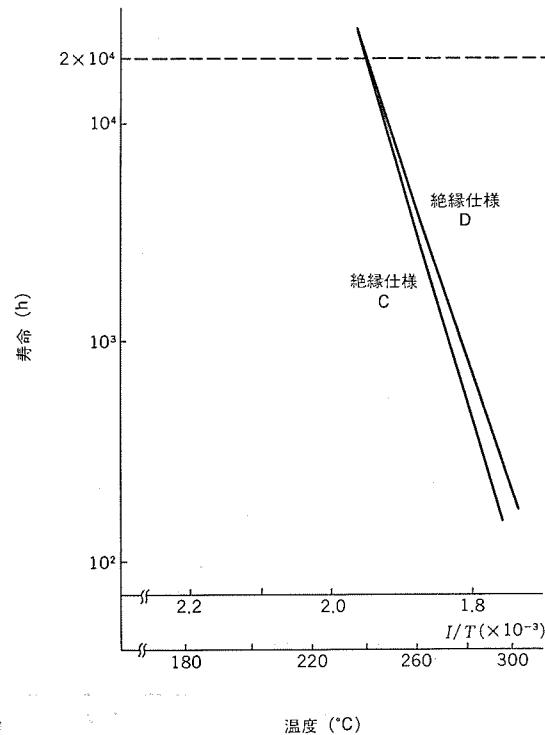


図 13. モートレットテストの寿命評価 (絶縁仕様 C, D)

求めつけられ、かつ他の産業用電動機と比較し、過酷な使用環境に置かれることから、他の電動機に先がけた高性能な絶縁が採用されてきている。このような背景の中で、このたび当社独自の電着マイカ絶縁に加え、新耐熱含浸樹脂を開発することにより、耐熱クラス 220°C にランクされる信頼性の高い絶縁システムを完成するに至った。この絶縁システムは耐熱クラス 220°C の絶縁として、従来からの直流電動機に対してのみならず、近年増加しつつある車両駆動用の誘導電動機に対しても確立されたものであり、今後更に進展すると予想される車両用電動機の小型軽量化、大容量化、高信頼性化に大きく貢献すると考えられる。

参考文献

- (1) 不可三ほか：電気学会絶縁材料研究会，19，EIM-79-54 (1979)
- (2) 岩橋ほか：東芝レビュー，498，37，No. 6 (1982)
- (3) 狩野ほか：電気学会絶縁材料研究会，9，EIM-79-53 (1979)
- (4) 居蔵ほか：三菱電機技報，58，No. 12，p. 816 (昭59)

複合材料—宇宙機器用CFRP及び高性能プリント基板—

村山邦彦* 羽仁潔*
山本泰* 中島博行**
菅野俊行* 三好一雄***

1. まえがき

繊維強化複合材料、いわゆる FRP が我が国で耐食容器などに実用化されてから、既に 30 数年経過した。その間、強度解析が進み、圧力容器にも使えるようになった。軽量化設計技術によってハニカムサンドイッチ板という複合構造も出現した。また、成形法としても、初期のハンドレイアップから フィラメントワインディング、ブルトルージョンへ、更に短纖維強化材の SMC(Sheet Moulding Compound) も加わって多様化している。ここに用いられる素材は、主にガラス繊維／不飽和ポリエチレンである。現在、この系の FRP は試験法が標準化され、工業材料として定着したとみなすことができよう。

それに対して、CFRP を始めとする先進複合材料は、その高性能さが注目され、欧米を中心に航空宇宙分野で積極的に活用が図られている一方、我が国ではスポーツ・レジャー用品への利用が活発であるが、炭素繊維その他の強化材の一層の特性向上と複合材料への適用技術の進展が著しいため、世に出て10年以上になる現在でもなお、開発途上の材料である。工業技術院の次世代産業基盤技術研究開発制度でも、新素材テーマの一つとして複合材料が取り上げられ、昭和56年以来8年計画で、マトリクス樹脂の耐熱性向上、ざん新成形加工技術の開発、異方性をいかした最適設計技術、及び非破壊検査法・耐久性評価法など、軽量構造材としての基本問題の解決に取り組みつつある。

当社は代表的な宇宙機器メーカーとして、我が国の人衛星の大半を手掛けてきた実績と蓄積した技術をもとに、宇宙機器への CFRP の応用でも常に先導的な役割を果してきた。また、先進複合材料のもつ高度な熱的機能に着目して、電子機器用プリント基板への応用の道を切り開こうとしている。ここでは、最近の各種実用衛星に採用された先進複合材料、特に炭素繊維／エポキシ樹脂系の開発の経緯、及び国家プロジェクトに参画して推進している次世代技術の現状と展望、並びに高熱伝導性(放熱性良好)、低熱膨張性など高性能プリント基板材料の開発状況について述べる。

2. 宇宙機器用 CFRP

2.1 人工衛星への複合材料の応用

昭和50年以来、我が国でも観測用科学衛星の打上げに始まり、数次にわたる技術試験衛星と、最近では放送・気象・通信など各種の実用衛星を打ち上げるに至って、ロケットとともに衛星も次第に大型化してきた。

人工衛星の構造部材としては、高弾性グレードの炭素繊維／エポキシ樹脂系 CFRP が、その比剛性の大きさと低熱膨張係数という特性により、軽量化と高精度化の極限への要求と最もよくマッチするため、適用の中心になる。この CFRP はアンテナの電波反射面としても利用し得るが、逆に電波透過性が要求されたり、電気絶縁性のような機能が必要な用途には、アラミド繊維／エポキシ樹脂系(AFRP)が用いられている。表 1. は、宇宙用構造部材に対する要求特性を

まとめたものである。複合材料の応用例を表 2. に示し、この中の主要なものについて以下に解説を加える。

CS-2 のアンテナリフレクタとそのサポートは、寸法 $1.4 \text{ m} \times 1.1 \text{ m}$ (反射鏡部分) $\times 2 \text{ m}$ (全高)、重量 11kg のもので、これが一方向(UD)プリプレグ(厚さ 0.06 mm, 0.12 mm)の積層によって成形されている。積層(配向)構成とオートクレーブ中での硬化条件の最適化により、寸法精度 0.2 mm rms の反射面が得られた。宇宙環境における温度差 $-160 \sim +120^\circ\text{C}$ 、真空中での熱ひずみと脱ガスに対しても高い安定性を保持する。成形素材として UD を用いたのは、クロスにある無効な繊維配向に基づく剛性低下又は重量損失を防ぐためである。CFRP の繊維体積含有率(V_f)は高く設定され(55~65 %)、厳密な重量管理がなされている。

プラネット-A では軽量化効果を高めるため、全 CFRP 製の主構体が採用された。中央円筒は UD プリプレグを積層したものであるが、打上げ時の加速度荷重に耐えるよう、その配向構成が設計され、座屈属性のデータを蓄積している。

ETS-V と CS-3 の主構体には、フィラメントワインディング(FW)法による全 CFRP 製 シリンダーコーンが採用される。

ETS-V と ERS-1 に用いられる展開型太陽電池パドルは、従来のアルミニウムコアサンドイッチ構造に変えて、極薄の CFRP シート(厚さ 0.1 mm)を、ばねで緊張させた状態でフレームに取り付けることによって、軽量化を一步進めた構造になっている。このフレームは、FW によって形成されるオーペンメッシュ角材の上下両面に UD プリプレグを積層したもので、せん断・ねじ(振)れ応力に耐えるよう設計されて

表 1. 構造要素(部材)に対する要求特性

項目	必 要 理 由
○比剛性	打上げ過程の静負荷・振動・衝撃荷重 姿勢制御系との干渉除去—最大化要求
比強度	打上げ過程の静負荷・振動・衝撃荷重—最大化要求
○熱膨脹率	精度維持、形状安定性—最小化要求
耐熱温度 (剛性保持率 90 %)	太陽光直射下で 160°C 以上、その他の場合更に大きくなる (太陽充電衛星: 500°C)
アウトガス	真空中材質安定性、機器汚染 $5 \times 10^{-5} \text{ Torr TWL}$ (全重量損失): 1% 以下 $125^\circ\text{C} \times 24 \text{ h VCM}$ (揮発性有機物質): 0.1% 以下
耐クリープ性	長期間の形状・剛性安定化—最大化要求
熱伝導度	放熱性、断熱性などミッションにより異なる
電気伝導度	帯電防止、電波障害などミッションにより異なる
○成形精度	構造の形状精度、アンテナ電気特性—最大化要求
接合性	軌道上組立 —最大化要求
熱劣化性 紫外線劣化性 耐熱サイクル性 吸湿性 放射線劣化性	宇宙環境での長寿命化—30 年保証要求

注 ○印は特に重要な項目

表 2. 国内における宇宙機器への複合材料応用状況

人工衛星	製品	材 料・構 造 な ど	概 要
ISS, ISS-b 電磁層観測衛星	太陽電池パネル (サブストレート)	GFRP 表皮／アルミハニカム コア サンドイッチ構造, 4分割 (820×660)	昭和 51 年打上げ
インテルサット-V	4/6 GHz アース ホーンアンテナ (カバレッジアンテナ)	CFRP, プリプレグ積層 4 GHz φ 300×400 6 GHz φ 200×300	昭和 55 年 1 号機打 上げ以後 15 号機ま で予定
ETS-IV 技術試験衛星	太陽電池パネル (サブストレート)	GFRP 表皮／アルミハニカム コア サンドイッチ構造 (φ 2,100×900 一体成形)	昭和 56 年打上げ
CS-2 a, 2 b 通信衛星	成形ビームホーン リフレクタアンテナ	リフレクタ: CFRP 表皮／アルミハニカム コア サンドイッチ構造 サポート: CFRP	昭和 58 年打上げ
プラネット-A (第 10 号科学衛星)	主構体 (中央円筒, ストラット)	中央円筒: CFRP φ 500×500 ストラット: CFRP φ 30	昭和 60 年打上げ
MOS-1 海洋観測衛星	マイクロ波放射計 アンテナ	CFRP 表皮／アルミハニカム コア サンドイッチ構造	昭和 62 年打上げ
ETS-V 技術試験衛星	太陽電池パドル (セミリジットタイプ) 主構体 L バンド・アンテナ	CFRP フレーム, CFRP シート, 2 窓 3 枚構成 中央円筒: CFRP フィラメントワインディング CFRP 表皮／アルミハニカム コア サンドイッチ構造 CFRP フレーム	昭和 62 年打上げ (予定)
CS-3 a, 3 b 通信衛星	太陽電池パネル 主構体	AFRP 表皮／アルミハニカム コア サンドイッチ構造 (φ 2.1 m×1.5 m, 一体成形) CFRP フィラメントワインディング (φ 0.96 m×1.5 m)	昭和 63 年打上げ (予定)
ERS-1 地球資源衛星	合成開口レーダ・アンテナ 軽量化ソーラパドル	AFRP 表皮／CFRP 表皮／ノーメックスコア／アルミハニカム コア サンドイッチ構造, 12 m×2.2 m CFRP フレーム, CFRP シート (3.3 m×1.1 m, ×5 枚)	昭和 66 年打上げ (予定) 研究開発中

いる。また、展開ヒンジのハウジング部もフレームと一体成形され、全 CFRP 製のパネル 1 枚当たりの重量が 4.3 kg (大きさ 3.3 m×1.1 m) に仕上がっていいる。

ERS-1 の地球観測用 リモートセンサとして搭載予定の合成開口レーダアンテナ (SAR) は、放射パネルとして機能する AFRP 表皮／ノーメックスコアと構造部を受け持つサポートパネル CFRP 表皮／アルミハニカムコアを重ねて、二重サンドイッチ構造にしたパネルをヒンジ結合 (チタン合金使用) によって展開できるようにしたものである。SAR ユニットパネルの大きさは 2.2 m×1.4 m, 厚さが 22 mm である。二重サンドイッチによる非対称積層構造は、熱ひずみの原因になるので、ここでは CFRP 表皮の炭素繊維の材質 (高弾性系と高強度系) を組み合わせて熱的バランスをとるよう工夫されている。

人工衛星に用いられる CFRP 又は AFRP の製造技術上の特徴は、軽量高剛性を求めて、できるだけ高 V_f 化し、有効な継維配向によつて積層構成しようとする事である。そのため、精密に制御された FW 技術が多用され、プリプレグとしても UD が主に使われる。また、高精度な成形加工が要求されるため、通常オートクレーブによって、厳密な温度・圧力 (真空引きを含む) のコントロールのもとで加熱硬化される。このとき、治工具の熱膨脹係数・温度管理なども問題になる。使用材料の耐環境性は、現在、表 1. 中にあるアウトガス特性によりスクリーニングされ、更にスペースチャンバーによって (真空中紫外線照射), 5~7 年の設計寿命に対して不具合がないかがチェックされる。人工衛星用の複合材料は、一次構造部材として利用されるため、製造管理に対する信頼性が極めて重要になる。したがつて、使用材料の受入・保管から製造・試験に至るまで、徹底した品質保証体制を確立し、作業者や設備の検定、綿密な作業手順書などの準備、工作履歴のトレースなどを確実に実施していかなければならぬ。

2.2 大型宇宙用構造物に必要な次世代技術

我が国の宇宙開発は、N-2 ロケットから H-1 ロケットへと打上げ能

力の増大により、CS-2 の 350 kg 級から ETS-V・CS-3 の 550 kg 級へとミッションが拡大し、近い将来、H-2 ロケットの開発によって 2 ton 級の衛星を静止軌道に打ち上げようとするまでに発展した。一方、NASA では、1994 年までにスペースシャトルによって高度約 500 km の低軌道上に恒久・多目的施設としてのスペースステーションを建設し、これを将来の宇宙環境利用本格化への足場にしようとしている。既に、大型構造物の構築の可能性が宇宙空間での各種の組立・展開実験によって確かめられつつある。

次世代プロジェクトでは、我が国の大軌道又は静止プラットホーム開発構想の基盤となる超軽量構造用複合材料技術の開発に取り組んできた。ここでは、CFRP のざん新成形技術の二・三の例と宇宙環境における耐久性評価法について、それぞれ簡単に内容を紹介する。

2.2.1 CFRP 薄肉パイプの連続引抜成形⁽¹⁾

トラス構造のビーム部材を高効率かつ品質安定に製造するため、高弾性炭素繊維／エポキシ樹脂系の UD プリプレグテープを用いて、連続的に軸方向 (0°) と周方向 (ヘリカル巻き) に積層し、これをマンドレルとともにホットダイから引き抜いていく方法によるプロトタイプの装置と基本加工プロセスを開発した。図 1. と表 3. にこの装置の構成と仕様を示す。

積層成形機構は、軸方向引きそろえ・周方向巻付けともテープ間を突き合わせにして、各ユニットが 1 プライ (ply) ずつの積層を行えるようにしている。ユニットの交換・追加により積層構成・積層数などを変えることができる。次に、通常 2~3 時間の硬化を要する市販プリプレグをホットダイ通過時間内 (例えば 2 m/h で引き抜くとき、18 分) で速硬化させるため、ホットダイをより高温の 2 段階の温度ゾーンに分け、ステップキュアできるようにしている。ホットダイの前段にはテープのついたガイドゾーンを設け、ここで高 V_f 化するための余剰樹脂の絞り出しを行っている。最後に、2 基のプラー (puller) つか (摑) み替えて連続的に引き抜きながら、成形品のみ定尺で切断し (マンドレルがこの定尺で連結されている)，あと脱型して成形品を取り出す

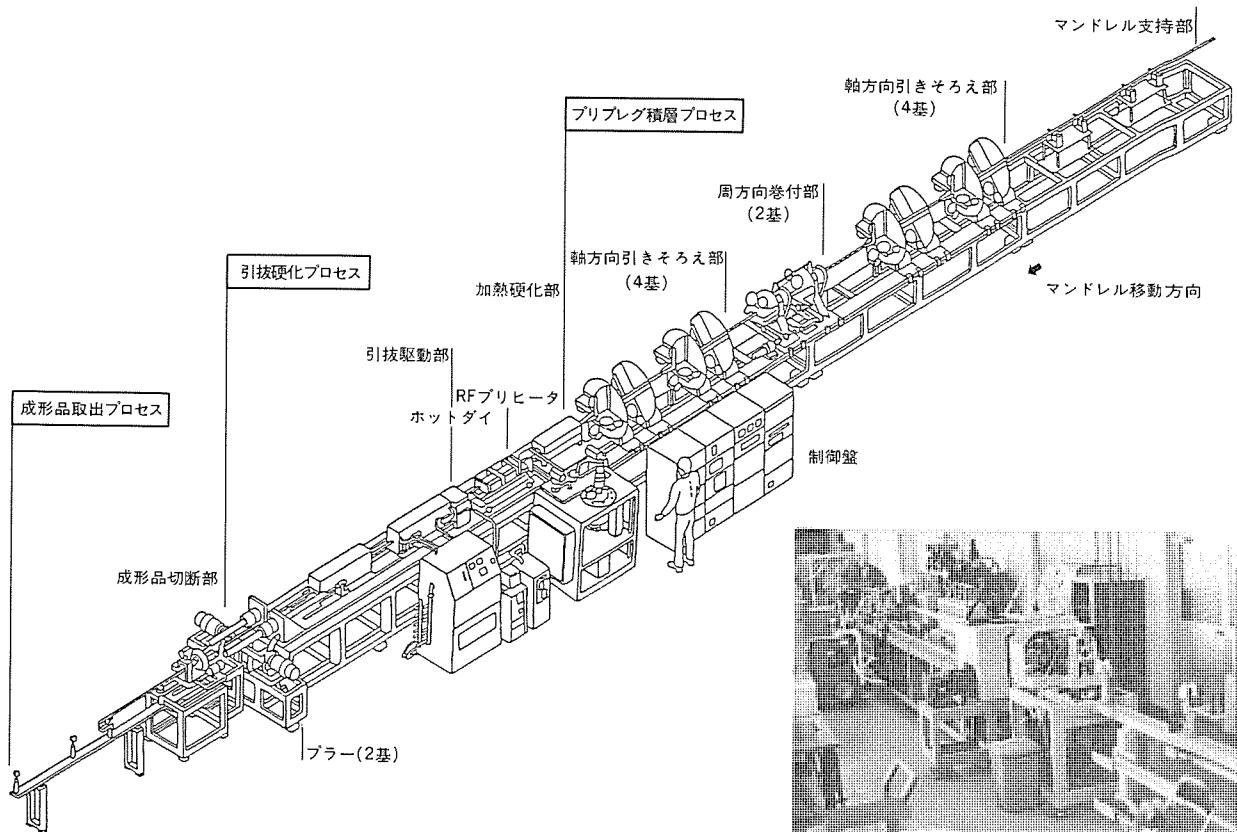


図 1. 連続成形基礎試験機の構成

表 3. 連続成形基礎試験機の仕様

項目	仕様	備考
成形品寸法	外径: $\phi 34$ mm, 長さ: 2 m 単位連続 肉厚: $t 0.5$ mm, 1.0 mm, 2.0 mm	
積層構成	軸方向引きそろえ (0° 方向) 周方向巻付け ($\pm 45^\circ$ 又は $\pm 60^\circ$ 選択) 8 層 2 層	0° (1~7 ブライ) / $\pm 45^\circ$ (2 ブライ) / 0° (7~1 ブライ) or $\pm 60^\circ$
引抜力	15 ton	実験能力 max. 5 ton
引抜速度	min. 1 m/h, max. 5 m/h	連続可変
予熱温度	max. 150°C	高周波加熱器使用
硬化温度	max. 250°C	ホットダイゾーンごと独立制御, 長さ: 700 mm (100/300/300)
装置寸法・重量	2,000 mm(h) × 3,000 mm(w) × 23,000 mm(l), 12 ton	専用機構付帯時
付帯機構	マンドレル移動/周方向巻付同期システム スリップ検出システム セルフクリーニングレジン供給機構 成形物冷却制御機構	電気的制御方式
成形条件のモニタ装置	引抜力測定 温度測定及び制御 引抜速度測定	ひずみゲージ利用 熱電対埋込み, 温度コントローラ ロータリエンコーダ利用
供試材料	HM-CF/250°F クラス Epoxy プリプレグテープ	東レ(株)製 トレカ P 405

表 4. 試作パイプの特性

成形条件			物理的性質		寸法精度			引張弾性率	アウトガス	
肉厚 (mm)	積層構成	速度 (m/h)	V_f	密度 (g/cm³)	たわみ (%)	真円度	偏肉度 (%)	ROM (%)	TWL (%)	VCM (%)
0.5	$0_2/\pm 45/0_1$	2.0	57.2	1,558	0.04	0.03	+10.2/-15.6	94.5	0.09	0.008
1.0	$0_4/\pm 45/0_3$	2.0	59.4	1,578	0.03	0.03	+10.1/-11.3	96.0	0.13	0.008
1.0	$0_4/\pm 60/0_3$	2.0	58.1	1,573	0.02	0.25	+11.6/-10.3	96.0	0.11	0.010
1.0	$0_4/\pm 45/0_3$	3.0	60.1	1,574	0.03	0.08	+10.6/-15.6	96.5	0.12	0.005
1.0	$0_4/\pm 45/0_4$	2.0	63.5	1,598	0.07	0.10	+6.6/-5.6	97.0	0.14	0.012
2.0	$0_7/(\pm 45)_2/0_7$	2.0	57.3	1,569	0.01	0.03	+20.3/-19.7	95.0	0.11	0.011

ことにした。

表4.は、外径34mm・肉厚0.5~2.0mmのパイプを V_f が約60%になるよう成形したときの、各種積層数(構成)による試作品の特性をまとめたものである。

アウトガスの特性は、マトリクス樹脂中にある未硬化物を反映するものであるが、表1.の規格内に納まつていて問題がない。引張弾性率も複合則に近い値を示し、成形時の繊維損傷が少ないことが分かる。寸法精度には多くの要因が影響しているが、まだ改良の余地があるものと思われる。

2.2.2 三次元強化複合材料

長繊維で強化した複合材料は、高性能繊維の特性を十分に生かすことができる反面、繊維と直角方向の強度や積層体の層間せん強度が極端に低く、また、衝撃後の圧縮強度にも問題がある(座屈破壊)など、構造部材への適用に際して、これらが大きな制約になることが予想される。そこで、三次元強化法、すなわち積層体の厚さ方向を強化する方法の可能性を検討した。

(1) ハイブリッド成形法⁽²⁾

ここでいうハイブリッド成形法とは、長繊維からなる積層体の層間に短繊維(ウイスカ)を介在させ、層間強度の向上を図るためにプロセスを開発しようとするものである。複合則によるおおよその見積りでは、層間樹脂中にウイスカを10%含有させたとき、ランダム配向でも約2倍、これをすべて厚さ方向に配向させれば層間強度が無強化の場合の4倍弱になるはずである。このプロセス開発では、ウイスカの分散及び配向の制御技術がポイントになる。

配向制御の手段としては磁気モーメントを用いることとし、ウイスカに磁気感応性を付与するために強磁性体をコーティングした。図2.は、ウイスカのアスペクト比(A_s)をパラメータとして、ウイスカと磁場配向後の磁化率異方性(磁場方向と直角方向の磁化率の比 $\gamma = x_0/x_{90}$)の関係を求めたものである。配向制御が可能な最高 V_f が存在し、 A_s が大きくなると、低い側にシフトしていくのはウイスカ同士のからみ合いの作用によるものと考えられる。そこで、 $A_s = 70$ のウイスカに超音波振動を与えて分散を試みると、配向制御可能な V_f が高い側にシフトしていく、一応の目標とする10%に達することができた。実際の成形に当たっては、加圧・加熱に加えて、磁場印加と超音波加振のタイミングを図る必要がある。

(2) 三次元製織による方法

直交三次元織物の基本製織法の発明によって、複合材料の最大の弱点を克服できる期待がもたれたが、これまで手動に頼る機械操作

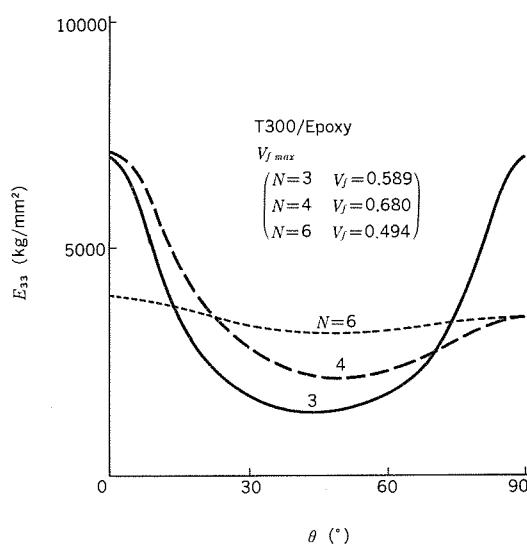


図3. 応力方向と軸数による弾性率の変化

を行っていたため、普及が遅れていた。最近、工業技術院繊維高分子材料研究所(繊研)・(株)有沢製作所・(株)豊田自動織機製作所及び当社の共同研究によって、この直交三次元織物の自動製織装置が開発され⁽³⁾、注目を集めている。

図3.は、三次元強化複合材料の熱機械的性質の解析例で⁽⁴⁾、高強度炭素繊維/エポキシ樹脂系について、応力方向による弾性率の変化を示したものである。Nは繊維強化の軸数を表し、3軸すなわち直交から4軸・6軸まで、それぞれ V_f が最大になるときの特性を比較している。3軸では異方性が大きく、6軸になってほぼ等方的になることが分かる。なお、熱膨脹係数は3軸で疑似等方性である。

三次元織物とエポキシ樹脂の複合化プロセスには、従来の積層材になかった基本的に困難な問題がある。一つは、高 V_f プリフォーム中にマトリクス樹脂をボイドフリーで含浸させること、このとき繊維の配向を乱してはならないことであり、他一つは、加熱硬化の均一性をいかにして保つか、硬化収縮・熱収縮をいかにして緩和させるかということである。また、非破壊検査(NDT)が非常に重要になり、従来とは異なる手法が求められるであろう。

2.2.3 宇宙環境における耐久性評価法

宇宙構造物が大型化するに伴い、その耐久性が問題になる。最近我が国で開発された衛星の設計寿命は5~7年であるが、今後10~15年、将来は20~30年の長期にわたる機能・性能維持が求められるであろう。

宇宙環境の特徴は、①無重力、②高真空($10^{-5} \sim 10^{-13}$ Torr)、③極限温度差($-160 \sim +160^\circ\text{C}$)、④強烈な紫外線、⑤高エネルギー放射線、⑥低軌道における原子状酸素の存在などであり、②以下が材料劣化の原因になりうるが、②については光学面の汚染・熱制御への影響を防ぐため一応の基準が設けられている(表1.)。CFRP・AFRPなど複合材料の特性に対する③~⑥の影響は最近国内外で研究が進められ、個別環境要因の効果に関しては多くのデータが蓄積された。

繊研と当社は、次世代制度において共同で、上記宇宙環境の中で②~⑥の複合効果を加速試験できる装置の開発に取組み中である⁽⁵⁾。図4.に複合環境試験装置の概要を示す。引張試験機の中にミニ宇宙ともいえる真空チャンバーを設置し、冷熱サイクル・紫外線照射・電子線照射下で発生ガス分析と機械的特性試験を実施できるよ

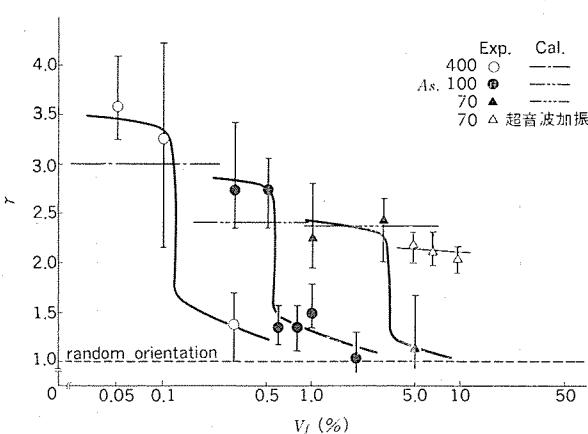


図2. 磁化率異方性に及ぼすアスペクト比と繊維含有率の影響

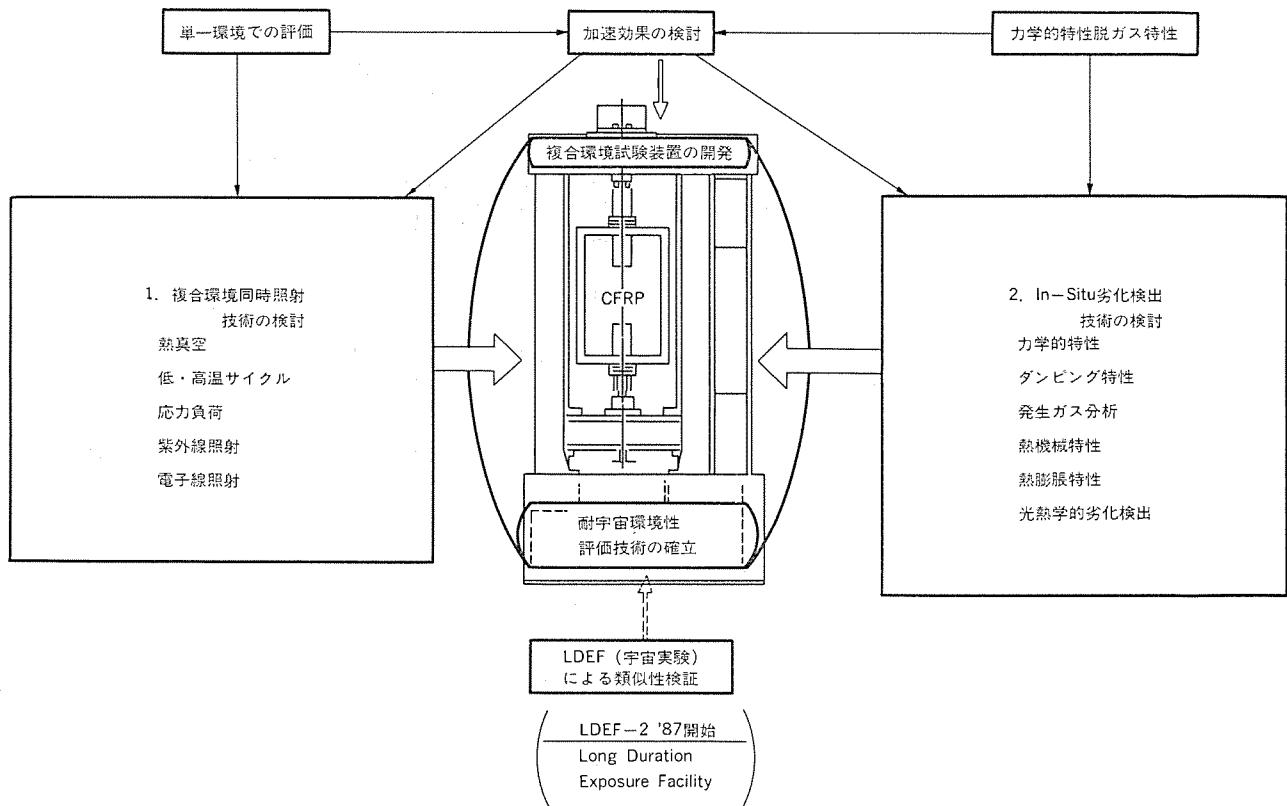


図 4. 複合環境試験装置の概要

うにしたものである。この試験装置によって、宇宙環境を模擬できる可能性があると考えられるが、耐久性評価法の確立のためには、実環境との類似性とその促進性が検証されなければならない。

2.2.4 今後の課題

以上述べてきたように、高弾性炭素繊維／エポキシ樹脂系複合材料を中心に宇宙構造物への応用が図られ、その軽量化・高精度化などの要求にこたえてきたが、これらの要求は構造物の大型化に伴って一層重要さを増すことが予想される。また、機能面でも熱的・電気

的に多様なものが求められるであろう。更に、高信頼性・長寿命化・高生産性・メンテナンスの問題など、新たな視点からの対応が必要な課題も多い。2章の最後に、宇宙機器用複合材料として解決を要すると思われる主な課題を表5にまとめて示す。

3. 高性能プリント基板材料

電子機器の小型化・薄型化に伴い、プリント基板への部品実装は高密度化の傾向を深めている。そして、高密度実装、実装自動化的要

表 5. 宇宙機器用複合材料の課題

(1) 高性能化に必要な課題		(3) 高生産性関連技術	
炭素繊維の比弾性率アップ	一層の軽量化効果、振動減衰能力向上、70,000 kgf/mm ² 以上(伸び0.5%以上)。ピッチ系炭素繊維に期待	成形自動化・省力化	CAD, 自動レイアップ, FMS, 標準化, 多軸制御 FW 機の利用など
CFRP の高 V_f 化	マトリクス樹脂の高流动性化と高じん性化、界面強化	高速成形加工	プロセス連続化、速硬化性エポキシ樹脂、熱可塑性樹脂、脱オートクレーブ法、高密度エネルギー加工、高速ブリッジ成型機など
熱膨脹率0の積層体	パイプ材・面材／構造物の寸法安定性向上。繊維配向とハイブリッド化。熱変形・熱応力解析技術	組立合理化	一体成形、ジョイントラッチ機構、組立ロボット、瞬間接合法、展開型構造、宇宙環境硬化樹脂、ビームビルダーなど
成形熱残留応力の極小化	硬化条件の最適化、低温硬化・無収縮樹脂	製品検査の自動化	センサの三次元走査、データ処理システムなど
易加工性耐熱樹脂	高温取付部(約300°C)への応用		
複雑形状への対応可能な中间素材	放射状強化ブリブレグ、立体網物プリフォーム、三次元網物、高光沢耐ホイスカーハード FRM		
長纖維 FRM, FRC (FR G), C/C コンポジット	大面積成形技術、界面制御技術、超精密二次加工技術、表面処理技術		
(2) 多機能化に必要な課題		(4) 信頼性管理技術	
熱制御	熱伝導(断熱)、放熱性。FRM、メタルクラッド、ハイブリッドなどの利用	オートクレーブ硬化技術	硬化モニタによる多点制御、治具の材質・構造、副資材類など
電気制御	電気伝導(絶縁)、電磁シールド、帯電防止。FRM、表面メタライズなどの利用	非破壊検査(NDI)技術	繊維配向・ V_f ・ V_o ・硬化度の検出、層間はく離・ボイドと座屈・疲労・クリープ特性の関係など
光学面	アモルファス、硬質膜被覆、鏡面研磨技術、熱変形防止技術	設計基礎データの整備	高温・低温時の材料特性、許容値の設定、残存確率の問題など
		耐久性評価	宇宙環境模擬試験装置、LDEF (Long Duration Exposure Facility)による実環境ばく露試験データの蓄積など

求が高まるにつれて、表面実装方式 (Surface Mount Technology: SMT) が台頭してきている。

このような機器の小型化による高密度実装と SMT 化に伴い、基板材料に要求される特性は多様化の様相を呈している。例えば、プリント基板上の発熱密度の増大などのために、プリント基板の熱的性能（放熱性、耐熱性並びに表面搭載部品との熱膨脹係数のマッチングなど）が設計検討項目の一つになり、チップ部品や LSI を表面実装するために、反り、ねじ（振）れなどが少なく高寸法精度であることが要求されるようになっている。

プリント基板材料は樹脂系とセラミック系に大別されるが、ここでは樹脂系複合材料に関し、上記のような観点から開発を行った高放熱性基板材料、低熱膨脹率基板材料、寸法精度の高い基板を得るために基板積層時のプリプレグ流動特性評価技術について述べる。

3.1 高放熱性基板材料

高密度実装、部品の小型化の度合によっては、発熱密度の増大に対応する基板の高放熱化が必要となる。一方、当社では電気絶縁性とともに、熱伝導性の優れた材料としてアルミナ繊維の特性に注目し、工業材料としての位置づけを考えて、低成本のアルミナ短纖維を複合材料の強化材に適用するためにアルミナペーパーを開発した⁽⁶⁾。

当社の開発したアルミナペーパーは、図 5. に示すようにアルミナ短纖維に有機バインダを加えしょく（抄）紙したものであるが、①有機バインダの含有量が 5 wt % 以下であり、強化材としてのアルミナ短纖維

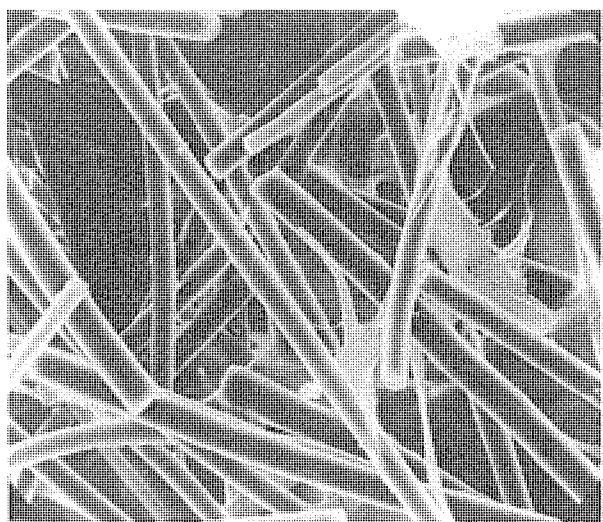


図 5. アルミナペーパー顕微鏡写真 ($\times 1,000$)

表 6. 銅張積層板の諸特性

基材	アルミナペーパー／ポリイミド	ケブラークロス／ポリイミド	ガラスクロス／ポリイミド
体積抵抗率 ($\times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$)	3	2.5	5
誘電率	5.5	3.7	4.6
誘電正接	0.025	0.010	0.012
銅はく引きはげ強さ (35μ) (kg/cm)	1.6	1.3	1.5
熱伝導率 X 方向 (kcal/m·h·°C)	3.4	—	0.6
Z 方向	1.3	—	0.4
熱膨脹率 X 方向 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	20	6	13
Z 方向	70	100	50

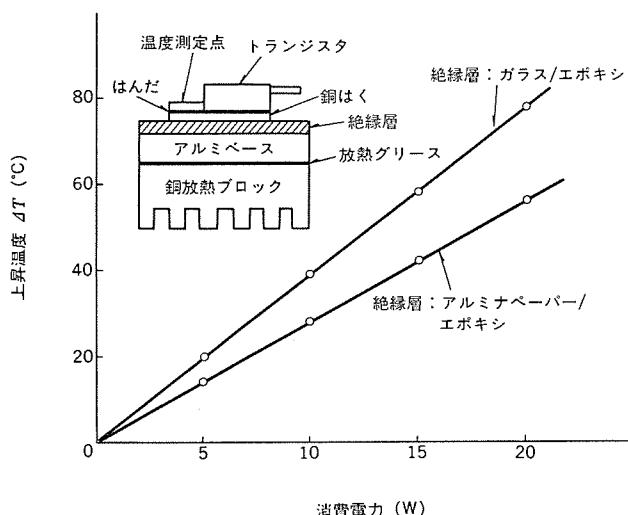


図 6. アルミベース基板の放熱性

の優れた特性が複合材料に大きく反映される。②ポリイミドやエポキシなどの樹脂含浸ができるなどの特長がある。このため、表 6. に示すようにアルミナペーパーを強化材とする複合材料は、基板材料としてガラス／ポリイミドと比べると、熱伝導性が非常に優れており、他の特性も良好な値を示している。

また、アルミナペーパー強化複合材料を絶縁伝熱層として用いることにより、高熱伝導金属ベース基板が得られている。図 6. にアルミナペーパー／エポキシ樹脂及びガラスクロス／エポキシ樹脂を絶縁層とする金属アルミベース基板の放熱性の比較を示す。明らかに、前者の放熱性が高いことがわかる。シリコン素子の場合、使用温度が 10°C 上がるごとに故障率は約 2 倍になると言われている。アルミナペーパー金属ベース基板は、耐電圧、はんだ耐熱、銅はくとの接着強度など他の基板特性も優れており、現在、高放熱性の基板として種々の応用を検討している。

3.2 低熱膨脹率基板材料

部品類をプリント基板へ実装する方法は、挿入実装、表面実装の 2 方式に大別できる。ここで、挿入実装方式は、部品のリード線又は端子をプリント基板のめっきスルーホールに挿入し、はんだ付けによって部品を搭載する方式であり、表面実装方式は穴を通さずにプリント

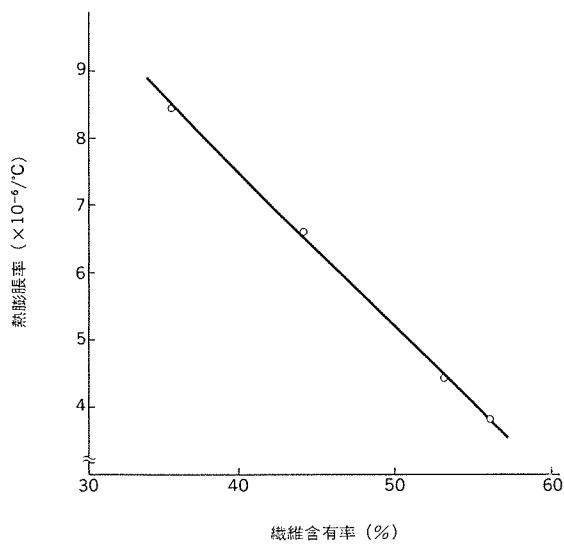


図 7. ケブラー 繊維／ポリイミド面方向熱膨脹率の繊維含有率依存性

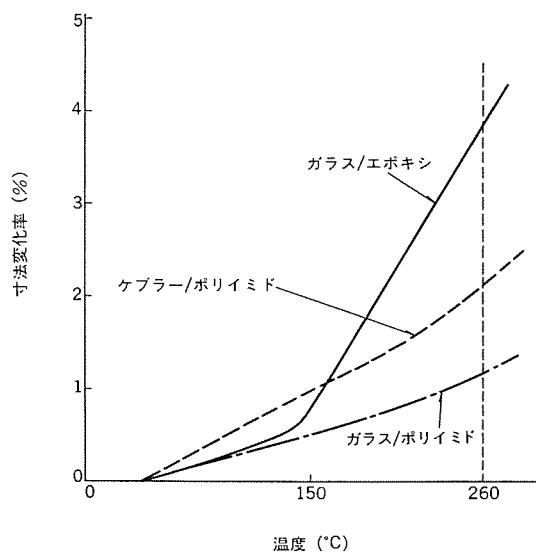


図 8. 厚さ方向の寸法変化率

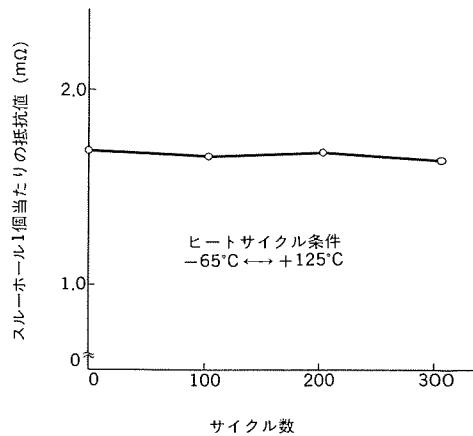


図 9. ヒートサイクルによるスルーホール 抵抗値の変化

基板の表面に部品を張り付ける搭載方式である。

高密度実装を更に進めるためには、種々のパッケージを実装できることが必ず(須)である。しかし、現用のガラス/エポキシ若しくはポリイミドの基板材料では、リードレスセラミックチップキャリア(以下、LCCと記す)の実装は難しい。これは、LCCパッケージとプリント基板の熱膨脹係数(以下、CTEと記す)が整合していないと、はんだ接合部分に疲労によるクラックが生じ、信頼性が低下するためである。このため、LCCとCTEが整合する基板材料としてケブラー繊維(芳香族アラミド繊維、デュポン社)を強化材とする複合材料などが提案されている⁽⁷⁾。

ケブラー繊維強化複合材料(KFRP)の面方向の熱膨脹係数の強化繊維含量(V_f)依存性を検討した結果を図7.に示す。

V_f を変えることによりCTEのコントロールが可能であり、アルミニウムセラミックチップキャリアのCTE(約6 ppm/ $^{\circ}$ C)に整合させた基板材料が V_f 46%付近で得られることが分かる。

KFRPの基板材料としての問題点としては、厚さ方向CTEが大きいことと、穴明け加工性が困難なことが挙げられている。しかし、ポリイミドをマトリクスレジンとして用いることにより、図8.に示すようにCTEの値そのものは大きいが、室温からはんだ付け温度である260°Cまでの厚さ寸法変化率は、汎用多層基板であるガラス/エポキシと高多層用のガラス/ポリイミドの中間程度になっている。また、穴明

け加工も適切な条件を確立しており、図9.に示すように、スルーホールの信頼性も満足できるものになっている。なお、厚さ方向CTEは V_f 依存性が認められなかった。ケブラー基板は、表1.に示すように誘電率が低く、低誘電率基板としても今後期待される。

3.3 プリプレグ流動性評価技術⁽⁸⁾

多層プリント基板は、薄い銅張積層板とガラスクロスにエポキシ樹脂などを含浸し、半硬化させたBステージのプリプレグを交互に積層し、加熱加圧下に溶融一体化させた後、熱硬化させて製造される。このため、多層基板の製造時において、積層条件がプリプレグの硬化流動性に対して適切でないと、流動粘度の低下が十分でなくボイドが残存したり、樹脂分が流出し過ぎて板厚が薄くなったり、反りの発生に

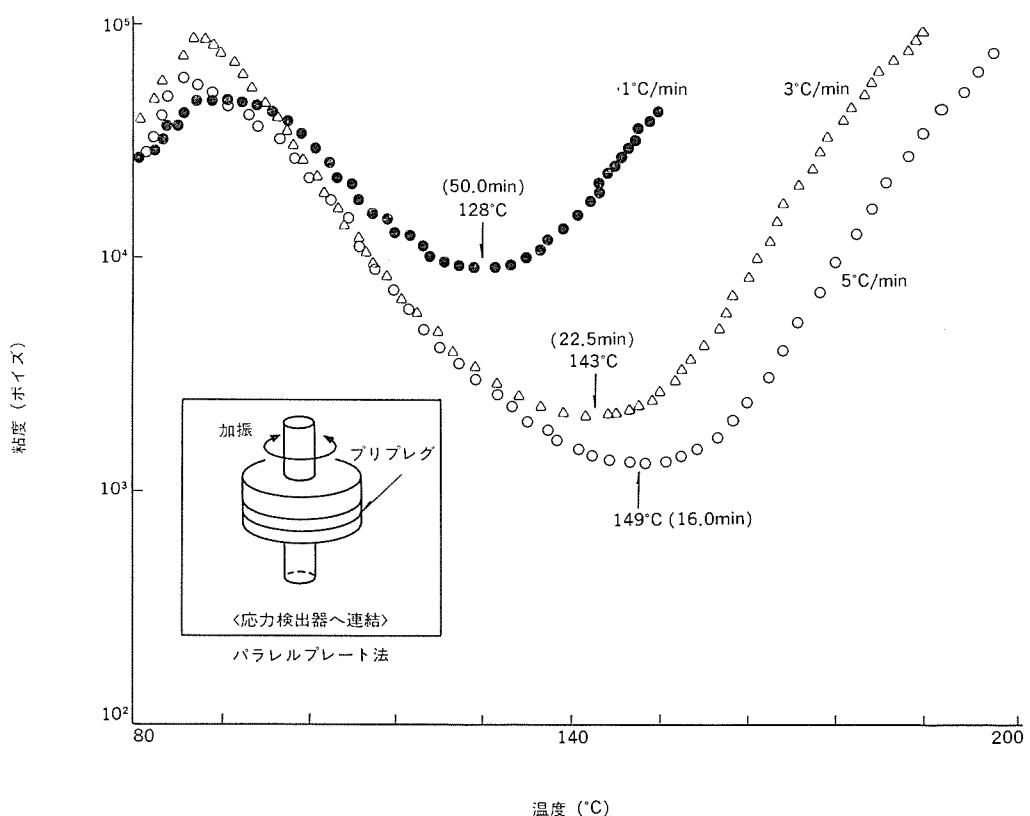


図 10. 升温速度のプリプレグ 流動粘度に及ぼす影響

つながる。

プリプレグは、従来、ゲルタイムやレジンフローで評価を行ってきているが、積層時のプリプレグ流動挙動を把握するには不十分であった。一方、Maximovichらはプリプレグの流動性評価法としてパラレルプレート法による方法を報告している⁽⁹⁾。

図10にパラレルプレート法(ディスクの間にプリプレグを挿入し、せん断モードで加振してトルクを検出することにより粘弾性を測定)を用い、実際の積層をシミュレートした種々の昇温条件下で、汎用FR4ガラス/エポキシプリプレグの粘度変化を追跡した結果を示す。昇温が遅い場合、最低到達粘度は高くなっている。これは、昇温が遅いと温度上昇に長時間を要し、昇温による粘度低下に比べて硬化進行による粘度上昇が大きくなるためと考えられる。また、図11に示すように、貯蔵剛性率(G')、損失剛性率(G'')の変化データも得られ、例えば、 $G'=G''$ になる温度はゲル化温度の尺度になる。このように、パラレルプレート法を流動挙動解析法として用いることにより、実際の積層時のプリプレグの硬化流動性のシミュレートが可能になり、プリプレグの特性に合った最適積層条件の選定に有用なデータが得られる。

4. む す び

複合材料技術の最近のトピックスである宇宙機器用CFRP及び高性能プリント基板材料について、当社の開発の現状をまとめた。

宇宙開発では国際協力と競合の時代が到来しつつあり、国際プロジェクトにも参画できるように、自主技術の一層のレベルアップを図らなければならない。複合材料としてもバーゲニングパワーとなりうる得意技術を育成強化したいと考えている。一方、電子機器の小型・高密度化の傾向に拍車がかかり、従来にない高性能な基板材料が早急に求められている。この分野の複合材料では、機能性の繊維(又は粒子)の利用、加工プロセスの高速化などが引き続き重要な課題になるであろう。

なお、この研究の一部は、通産省工業技術院の次世代産業基盤技術研究開発制度に基づき、(財)次世代金属・複合材料研究開発協会

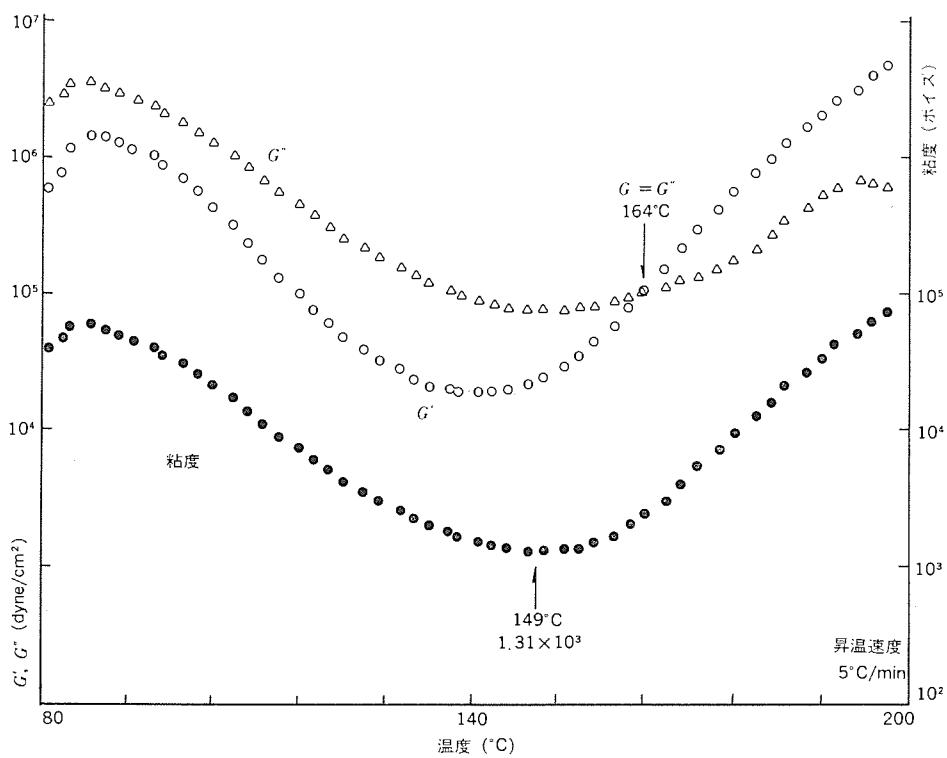


図11. 升温硬化時のプリプレグ粘弾特性変化

が委託を受けた「複合材料の研究開発」の一環として行われたものである。

参考文献

- (1) K. Murayama et al : 3rd Japan-U.S. Conference on Composite Materials, p. 597 (1986)
- (2) S. Yamashita et al : 32nd International SAMPE Symposium, p. 80 (1987)
- (3) 福多ほか：第2回先端材料技術シンポジウム論文集, p. 32 (1986)
- (4) 八田ほか：Composite Structure 4(1987)に掲載予定
- (5) R. Onooka et al : 3rd Japan-U.S. Conference on Composite Materials, p. 813 (1986)
- (6) 羽仁ほか：第5回無機高分子研究会予稿集, p. 21 (1986)
- (7) W. Woodruff : Electronics, Jan. 27, p. 119 (1982)
- (8) Y. Yamamoto et al : Printed Circuit World Convention, Session 9-2 (1987)
- (9) M. G. Maximovich et al : 28th National SAMPE Symposium, p. 568 (1983)

小型蛍光ランプ用緑色蛍光体

橋本典綱*
松永 数*
佐藤 建**

1. まえがき

近年、一般照明用として従来の白色蛍光ランプにかわり、高効率、高演色性を持っている三波長型蛍光ランプが普及してきている。これは 450 nm (青), 540 nm (緑), 610 nm (赤) 付近に狭い発光ピークを持つ 3 種類の蛍光体を混合して使用するもので、従来の白色蛍光ランプでは困難であった明るさと演色性の両立を可能にするものである。当社でも三波長域に発光ピーク波長を持つ狭帯域希土類蛍光体の研究を進め、青色蛍光体としてユーロピウム付活クロロりん酸ストロンチウム、バリウム蛍光体、緑色蛍光体としてセリウム、テルビウム付活りん酸ランタン蛍光体を開発し、更に赤色蛍光体としてユーロピウム付活酸化イットリウム蛍光体を実用化した⁽¹⁾。

最近、蛍光ランプの長寿命、低消費電力の特長を生かした白熱電球代替用の電球形蛍光ランプ⁽²⁾や、4 本チューブ方式で大幅にランプサイズを小さくしたコンパクト蛍光ランプが登場している⁽³⁾。このような小型蛍光ランプは、一般的の直管型や円型の蛍光ランプに比べて発光管が小さいため、管壁負荷(発光管内壁 1 cm²当たりの入力電力)が高くなりランプの管壁は高温になる。特に電球形蛍光ランプの真空二重管構造⁽³⁾では内管の管壁温度は 150~200°C となる。しかし、蛍光体は温度が上昇すると励起エネルギーを結晶の格子振動として消費するなど、発光強度が低下するいわゆる温度消光を起こすため、小型蛍光ランプの明るさを維持するには温度消光の小さい蛍光体が必要である。中でも、最も視感度が高いために三波長用希土類蛍光体の全発光の約半分の光束を占める緑色蛍光体の温度消光は重要であり、今後的小型蛍光ランプに適用していくために温度-輝度特性の改善が望まれていた。

G. Blasse らは各種の蛍光体について結晶中のイオン半径、電荷量及びイオン間距離から発光強度の温度依存性を推定しており⁽⁴⁾、C. H. Haake は蛍光体の粒径及び蛍光体層の膜厚と温度消光との関係を調べている⁽⁵⁾が、一つの蛍光体材料に注目しての温度-輝度特性

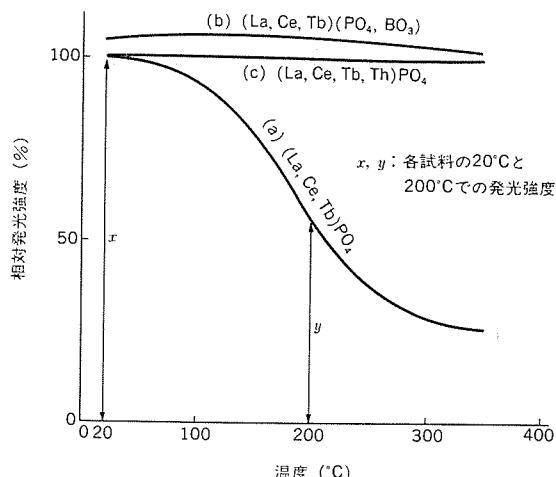


図 1. 各蛍光体の温度-輝度特性(縦軸は (La, Ce, Tb)PO₄ の 20°Cでの発光強度を 100 とする)

の改善についての研究は少ない。例えば、セリウム、テルビウム付活りん酸ランタン蛍光体に関しては、セリウムの濃度で温度-輝度特性は変化し、セリウム濃度を低くした方が常温での輝度は若干低下するが高温での輝度低下は小さくなることが報告されている程度である⁽⁶⁾。

今回当社が行った実験によれば、セリウム濃度を低くしても 200°C での輝度は 20°C での輝度の約 50 %まで低下し、セリウム濃度のコントロールだけでは十分な温度-輝度特性は得られなかった。そこで、セリウム、テルビウム付活りん酸ランタン蛍光体の結晶構成要素のりん酸基と希土類イオンの部分に他の物質を導入することを考え、種々の添加物や合成方法について検討を行った。ここでは、りん酸基の一部をほう酸基で置換するか、又はトリウムを添加することにより三波長用緑色蛍光体の温度-輝度特性を大幅に向上させ、200°C でも温度消光を無視できる結果を得たことを報告する。

2. 試料の作成及び合成方法

高純度のランタン(La)、セリウム(Ce)及びテルビウム(Tb)の酸化物を硝酸水溶液中で加熱溶解させ、これを硫酸溶液に注加して希土類元素の硫酸塩沈殿物を得る。この沈殿物を乾燥させた後、約 600°C で加熱分解してランタン、セリウム及びテルビウムの複合酸化物とし、次にりん酸溶液を加えて反応させた後、水素と窒素の混合ガスによる弱還元性雰囲気中、約 1,300°C で焼成して正りん酸塩の蛍光体を得た。ほう酸基で置換する場合は、更に所定量のほう酸化合物を加えて再焼成した。再焼成して得られた粉末の結晶構造は、X 線回折法により正りん酸の場合と同じモナサイト構造を持っており、ほう酸添加による結晶構造の変化は見られなかった。なお、希土類元素の組成比は La : Ce : Tb = 62 : 20 : 18 とし、ほう酸基の置換量は 0~5 % の範囲で変化させた。トリウム(Th)を添加する場合は希土類の硝酸溶液に硝酸トリウム溶液を混合し、1,300°C の焼成回数は正りん酸塩蛍光体のときと同じ 1 回とした。トリウムの添加量は 0.5 モル % である。また、ほう酸及びトリウムの効果を明らかにする

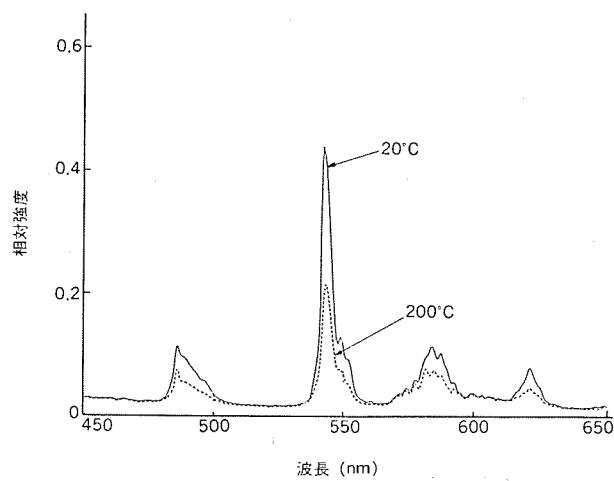


図 2. (La, Ce, Tb)PO₄ の発光スペクトル

ための比較用試料の焼成では、弱還元性雰囲気に換えて窒素ガスだけの中性雰囲気とした。作成した粉末の平均粒径の測定は、フィッシュヤー製サブシーブサイザーグラフ測定装置を使用した。

試料の温度-輝度特性及び発光スペクトルは、低圧水銀放電灯の253.7 nm の放射を励起光として用い試料の温度を20°Cから350°Cまで変化させ、粉末反射法で測定を行った。また、励起スペクトルの測定には分光器を通したキセノンランプを、反射スペクトルの測定にはI₂ランプを照射源として用いた。

3. 実験結果

3.1 温度-輝度特性

図1.に各試料の温度-輝度特性を示すが、このグラフにおいて、各試料の20°Cと200°Cでの発光強度をそれぞれxとyとし、200°Cでの輝度維持率として $y/x \times 100$ (%)を定義する。また、縦軸は20°Cでの正りん酸塩蛍光体(La, Ce, Tb)PO₄の発光強度を100として、他の試料の20°Cでの相対発光強度の基準としている。正りん酸塩蛍光体(a)の場合、温度が150°Cを超えると発光強度は急激に低下し、200°Cでの発光強度は20°Cのときの約1/2まで低下する。つまり発光強度維持率としては57%となる。次に、20°Cと200°Cでの発光スペクトルを図2.に示す。発光は四つの波長域に分かれる。543nmに主ピーク波長を持つTb³⁺の発光スペクトル強度は、200°Cで各ピークとも20°Cのときの半分まで低下するが、スペクトル形状に変化はない。

ほう酸基でりん酸基の1.3%を置換した場合の温度-輝度特性を図1.(b)に示す。発光強度は20°Cから350°Cまでほぼ一定となり、200°Cでの輝度維持率は100%となる。また、20°Cでの発光

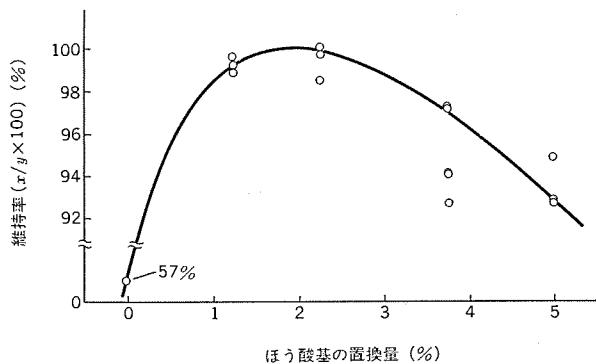


図3. ほう酸基の置換量と200°Cでの発光強度維持率との関係

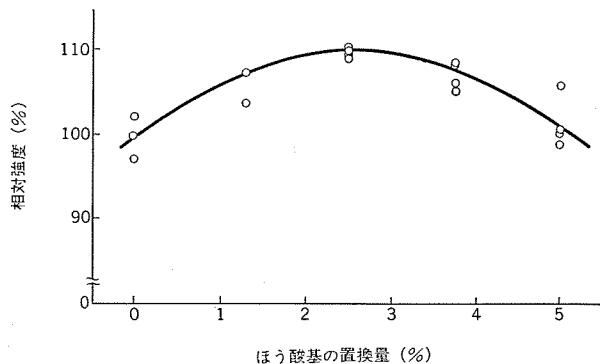


図4. ほう酸基の置換量と20°Cでの相対発光強度との関係(縦軸は(La, Ce, Tb)PO₄の20°Cでの発光強度を100とする)

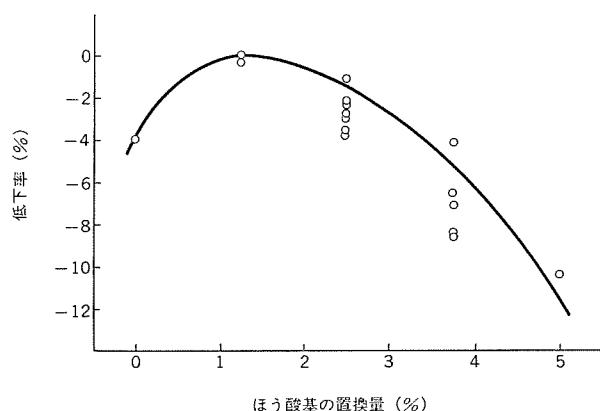


図5. ほう酸基の置換量と熱処理後の発光強度の低下率との関係
(縦軸は熱処理(350°C)後の常温(20°C)での発光強度の低下率)

强度は正りん酸塩蛍光体の100に対して110まで増大した。20°Cと200°Cでの発光スペクトルを測定したところ、スペクトル強度及び形状とも変化はなかった。ほう酸基の置換量を変えて温度-輝度特性を測定して、ほう酸基の置換量と200°Cでの発光強度維持率との関係(図3.)及び20°Cでの正りん酸塩蛍光体のxを100としたときの相対発光強度との関係(図4.)を調べた。200°Cでの発光強度維持率は正りん酸塩の場合57%であるが、ほう酸基でりん酸基を置換することにより大幅に向上し、また20°Cでの発光強度はりん酸基置換により最大10%向上することが分かる。更に、ランプ製造工程中には蛍光体層が高温にさらされる工程があり、その加熱による蛍光体の輝度劣化は小さい方がよい。その加熱による劣化の度合の目安として各試料を350°Cで熱処理した後の発光強度の低下率を測定した(図5.)。ほう酸基1.3%置換により低下率はほぼ無視できる程度になり、ランプ製造工程中の加熱による劣化も小さくすることができると予想される。

一般に、粒径が大きいほど蛍光体の輝度は向上するため、粒径を大きくする目的でほう酸又はほう酸化合物(例えは、ほう酸アンモニウム)をフラックスとして蛍光体の焼成時に数重量%添加することがある。しかし、今回の実験ではほう酸の添加量はその1/10以下であり、またフラックスとして使用する場合のようにそれを1回目の焼成時に添加するのではなく、再焼成時に添加したために粒径増大の効果はなく、加えて粒径と温度-輝度特性との相関もみられず(図6.)、発光強度の温度依存性を粒径の違いで説明することはできない。

次に、Thを0.5モル%添加したときの温度-輝度特性を図1.(c)

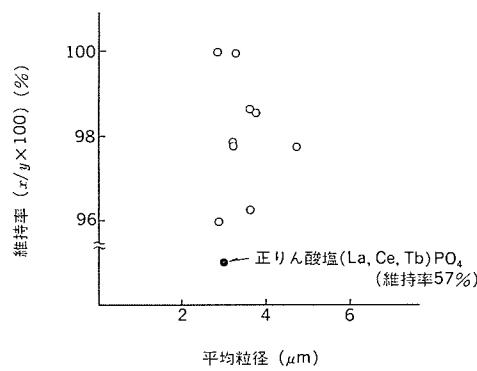


図6. 粒径と200°Cでの発光強度維持率との関係

に示す。正りん酸塩蛍光体のときに比べて温度-輝度特性は大幅に向上升し、350°Cまでほぼ一定の発光強度を維持する。また、20°Cと200°Cでの発光スペクトルを測定したところ、スペクトル強度及び形状とも変化はなかった。しかし、Th添加の場合にはほう酸基置換のときのような20°Cでの発光強度の増大の効果は認められない。

3.2 励起スペクトル

正りん酸塩 $(La, Ce, Tb)PO_4$ とほう酸基で、りん酸基の一部を置換した $(La, Ce, Tb)(PO_4, BO_3)$ の各蛍光体の20°Cと200°Cでの励起スペクトルを図7., 図8.に示す。スペクトル形状に関しては、 $(La, Ce, Tb)PO_4$ と $(La, Ce, Tb)(PO_4, BO_3)$ それぞれでの20°Cと200°Cでの差異はない。しかし、低圧水銀放電の主波長の253.7 nmでの励起強度に着目すると、 $(La, Ce, Tb)PO_4$ の場合(図7.)200°Cでは20°Cのときの約1/2に低下していることがわかる。一方、 $(La, Ce, Tb)(PO_4, BO_3)$ (図8.)では20°Cと200°Cで同じ励起強度である。Th添加の場合の励起スペクトルも図8.と同じ傾向を示し、253.7 nmでの励起強度は20°Cと200°Cでほぼ同じである。つまり、ほう酸基置換及びTh添加により253.7 nmでの励起強度が200°Cでも低下しないことが温度-輝度特性の向上を示している。

4. 考 察

今回の実験でのベースとなる蛍光体 $(La, Ce, Tb)PO_4$ での光の吸収及び発光は3価の希土類イオンに関係している。つまり、低圧水銀放電の紫外線はCe³⁺で吸収されてそのエネルギーがTb³⁺へ伝達されて緑色発光する。ところが、セリウムとテルビウムは共に4価になりやすく、そのため焼成雰囲気として弱還元性雰囲気を使用してセリウムとテルビウムを還元している。しかし、すべてのセリウムとテルビウムが3価になっているわけではなく、焼成時の還元力を強くしても若干の4価の原子が残留している。Ce⁴⁺とTb⁴⁺は550 nmから短波長側に強い吸収があり、中性雰囲気焼成の試料ではCe⁴⁺やTb⁴⁺が多く残留し、そのため反射スペクトルを調べると通常の還元焼成物(図9.(a))に比べて短波長領域での反射率が小さくなる(図9.(b))。一方、ほう酸基で置換した場合、500 nm以下の短波長領域の反射率も高く、更に490 nm付近に小さな吸収(α)が、543 nm付近に小さな発光と思われるピーク(β)が現れる(図9.(c))。この二つのピークの波長はTb³⁺の発光波長(図2.)と一致する。Tb³⁺のエネルギー準位を図10.に示す。490 nm付近の発光は $^5D_4 \rightarrow ^7F_6$ 、543 nm付近の発光は $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$ の遷移に対応する。 7F_6 は最低項であり、反射スペクトルの吸収(α)と発光(β)は $^7F_6 \rightarrow ^5D_4$ 及び $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$ の遷移が観測されていると予想される。そこで、吸収(α)の位置する波長でTb³⁺を直接励起するため488 nmのアルゴンイオンレーザーの光を照射したところ、ほう酸基で置換した試料では543(β)、585(γ)及び620 nm(δ)付近にTb³⁺の各エネルギー準位間の遷移に対応する発光が観測された(図11.(a))。ところが、正りん酸塩の試料ではこれらの発光はほとんどみられなかった(図11.(b))。

以上の結果から、ほう酸基でりん酸基の一部を置換することにより、Ce及びTbの価数をほとんどすべて+3価にすることができる、Ce⁴⁺が減少することにより短波長領域の反射率の増大及び488 nmの励起によるTb³⁺の発光が観測されると予想される。ほう素(B)は+3価で陰イオン基としては BO_3^{3-} となり、りん(P)は+5価で PO_4^{3-} となる。ほう酸基で置換した試料のX線回折パターンは正りん

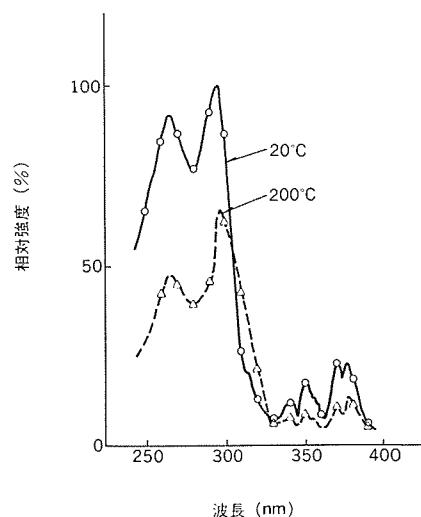


図7. $(La, Ce, Tb)PO_4$ の励起スペクトル

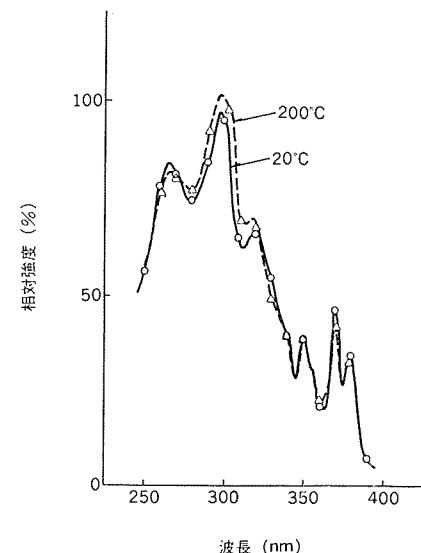


図8. $(La, Ce, Tb)(PO_4, BO_3)$ の励起スペクトル

酸塩と同一のモナサイト構造であり、結晶構造に大きな変化はなく、P⁵⁺の位置にB³⁺が置き換わっているとすると希土類原子の周りの酸素原子は一つ減り、正りん酸塩のときに比べてCeやTbが酸化

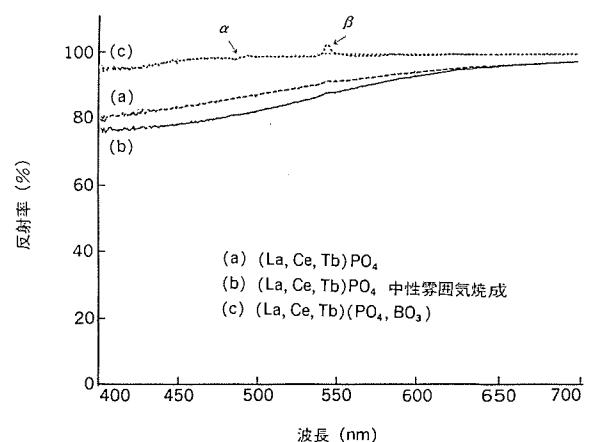
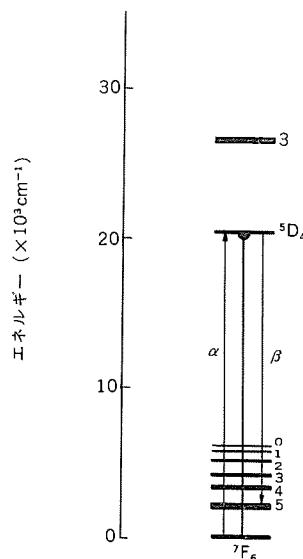


図9. 反射スペクトル

図 10. Tb^{3+} のエネルギー準位

されにくくなる。結局、セリウムとテルビウムを+3価にすることができると解釈してよい。

一方、トリウム添加の場合にもイオンの価数で説明できる。M. V. HoffmanはThが $\text{LaPO}_4:\text{Ce}, \text{Tb}$ や $\text{CePO}_4:\text{Tb}$ の Ce^{3+} と Tb^{3+} の発光を増感することを見出した。それによると、トリウムはイオン化すると Th^{4+} となりその Th^{4+} が結晶中の Ce^{4+} の関与する欠陥をまかない、Ceはすべて Ce^{3+} で存在する。なぜなら、 Ce^{3+} のイオン半径は 1.03\AA 、 Ce^{4+} のイオン半径は 0.92\AA であり、 Th^{4+} のイオン半径 1.02\AA は Ce^{3+} に近く、 Th^{4+} は Ce^{3+} の格子点に侵入して Ce^{4+} の代わりをしてCeはすべて Ce^{3+} で存在するからだと予想している⁽⁷⁾。今回の実験でもThはこれと同じ効果があると考えている。

低圧水銀放電の主波長 253.7 nm の紫外線は Ce^{3+} で吸収されるが、 Tb^{3+} はこの波長では直接励起される準位を持たない。したがって、励起された Ce^{3+} は $\text{Ce}^{3+}\rightarrow\text{Ce}^{3+}$ の拡散プロセスを経て $\text{Ce}^{3+}\rightarrow\text{Tb}^{3+}$ のエネルギー伝達が起こり、最終的に Tb^{3+} で非ふく射遷移が生じるといわれている⁽⁸⁾⁽⁹⁾。この場合 Ce^{4+} が結晶中に存在すると $\text{Ce}^{3+}\rightarrow\text{Ce}^{3+}$ の拡散プロセス中に $\text{Ce}^{3+}\rightarrow\text{Ce}^{4+}$ の伝達が起こり、 Ce^{4+} で非ふく射遷移することになる⁽⁷⁾。この結果、ほう酸基置換とトリウム添加に共通するセリウムの価数をすべて+3価にする効果と温度-輝度特性との関係は次のように考えられる。結晶中のCeイオンの大部分は Ce^{3+} で占められており高温になっても紫外線の吸収は変わらない。結晶の温度が上昇すると、 $\text{Ce}^{3+}\rightarrow\text{Ce}^{3+}$ の拡散プロセス中で Ce^{4+} にエネルギー伝達される比率が高くなり、 Tb^{3+} への伝達確率が減少して発光強度が低下するいわゆる温度消光が起こる。したがって、 Ce^{4+} が多少残留している正りん酸塩の場合は励起スペクトルが高温では低下する(図7)。すなわち、 Ce^{4+} の生成を抑制することで、高温でも Tb^{3+} へのエネルギー伝達は低下せず、温度消光を低減できる。

また、ほう酸基の置換によってテルビウムの酸化が抑制される結果(図11)で、 20°C での発光強度も約10%向上する(図4)と考えられる。Th添加による Ce^{3+} と Tb^{3+} の発光の増感効果は $\text{YPO}_4:\text{Ce}^{(10)}$ 、 $\text{CePO}_4:\text{Tb}$ 、 $\text{LaPO}_4:\text{Ce}, \text{Tb}^{(7)}$ などで観測されているが、今回は確認されなかった。その理由は Tb^{3+} のイオン半径が 0.923\AA であり Th^{4+} のイオン半径との差が大きく、酸化を抑制する効果が

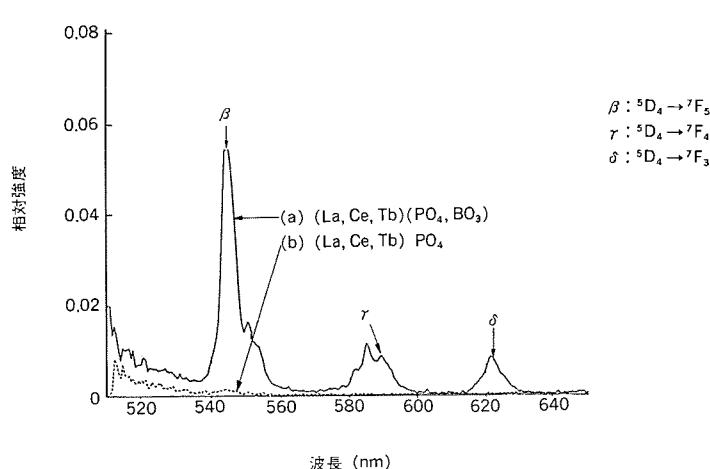


図 11. 488 nm 励起による発光スペクトル

小さいからであろう。

5. むすび

$(\text{La}, \text{Ce}, \text{Tb})\text{PO}_4$ 蛍光体の紫外線励起による発光強度は、温度消光により 200°C では 20°C のときの約1/2に低下するが、りん酸基の一部をほう酸基で置換するか又はThを添加すると、 20°C から 350°C までほぼ一定になることを見出した。それは、ほう酸基置換及びTh添加により、大部分のCeを Ce^{3+} に還元して Ce^{4+} の生成を少なくし、結晶が高温になったときの $\text{Ce}^{3+}\rightarrow\text{Ce}^{3+}$ のエネルギー拡散プロセス中に生じる Ce^{4+} での非ふく射遷移の確率を小さくすることができるからである。

また、ほう酸基置換の場合はCeだけではなく Tb^{4+} の生成も少なくすることができ、 Tb^{3+} の増加により 20°C での発光強度も約10%増大した。

この蛍光体を管壁負荷の高い小型のランプに適用した場合、点灯後のランプの温度上昇による輝度低下を小さくし、バルブの温度分布による明るさのむらを最小に抑えられることが期待できる。

最後に、この研究を行うにあたり、御協力をいたいたい関係者各位に深謝の意を表す次第である。

参考文献

- (1) 村上ほか：三菱電機技報, 57, No. 2, p. 129 (昭58)
- (2) 中野ほか：第213回螢光体同学会講演予稿 (1986)
- (3) 山崎ほか：三菱電機技報, 58, No. 11, p. 792 (昭59)
- (4) G. Blasse and A. Bril : Philips Tech. Rev., 31, 303 (1970)
- (5) C. H. Haake : J. Electrochem. Soc., 108, 78 (1960)
- (6) 中島ほか：第186回螢光体同学会講演予稿 (1981)
- (7) M. V. Hoffman : J. Electrochem. Soc. SOLID-STATE SCIENCE, 118, 1508 (1971)
- (8) G. Blasse and A. Bril : J. Chem. Phys., 51, 3252 (1968)
- (9) J. C. Bourcet, F. K. Fong, M. Guidoni and J. Janin : 11th RARE-EARTH RESEARCH CONFERENCE, 11, 777 (1974)
- (10) 萩津, 武藤：三菱電機技報, 44, p. 1439 (昭45)

表面実装用ICリードフレーム材料

北風 敬三* 中島孝司**
中西 輝雄* 久保薦健治**

1. まえがき

IC, LSI のリードフレーム用材料としては、従来熱膨脹係数が Si チップに近く、高強度であることから Fe-Ni 合金が主流であったが、電子機器の多機能化、小型化、薄型化が進むにつれて、IC の高集積化とともに部品の実装密度も増大してきたために、放熱性に優れ、低価格の銅系材料の使用が急激に増えつつある。現在 IC リードフレーム材の需要は、Fe-42% Ni 合金が約 6 割を占めているが、集積密度の増大と表面実装化へのすう勢により、今後銅系材料の需要比率が一層増すことが予想される。高集積化に対応した材料特性としては、高熱伝導性と高強度を兼ね備え、更に実装後の信頼性から特にめっきリード部の耐熱性に優れた銅系リードフレーム材の開発が強く求められている。

当社はこのようなニーズにこたえるべくリードフレーム材料の開発を進め、強度、めっき耐熱性に優れ、適度の熱伝導性をもつ MF 202 合金 (Cu-2 Sn-0.2 Ni 合金) を既に製品化している。この報告では、この合金と他の実用合金の諸特性を紹介しながら、表面実装用リードフレーム材料の技術動向について述べるとともに、実装後の信頼性に関して IC リード脚部に施された、はんだめっきの拡散反応とめっき密着性の関係について究明した結果を報告する。

2. リードフレーム材に要求される材料特性と技術動向

IC のパッケージと言えば、プリント基板への挿入実装が容易であることから DIP 型が一般的であり、現在多く用いられているが、最近の特に民生用電子機器の多機能、小型化への要求に伴う高集積化への対応から、パッケージの小型化と多ピン化が進んでいる。表 1. に示すように⁽¹⁾、表面実装タイプの QFP, SOP, PLCC、又はセラミック積層基板に多数のピンを配列した PGA といった従来の DIP 型と異なるパッケージの比率が増してきている。プリント基板への実装方式の将来の予想として図 1. が報告されているが⁽²⁾、高密度実装ための多ピン、小型化のためには孔挿入方式には限界があり、空間面積の効率利用から表面実装方式の比率が増しつつある。

このようなパッケージ技術の進展から、パッケージ構成材料として主要な役割を持つリードフレーム材料の特性向上が望まれ、次のような特性が要求される。

- (1) 小型化、薄板化に必要な高強度
- (2) 圧延方向とその直角方向の曲げ加工が容易で、異方性の少ないこと。
- (3) 多ピン化に伴う精密加工のための優れたじん(韌)性、曲げ疲労性
- (4) 放熱を良くするための高熱伝導性(導電性に比例する)
- (5) すず又ははんだめっきとの密着性が実装後に劣化しないこと
- (6) ボンディングワイヤの接続、チップの溶着を容易にするための優れためっき性
- (7) プリント基板装着のための優れたはんだ付け性

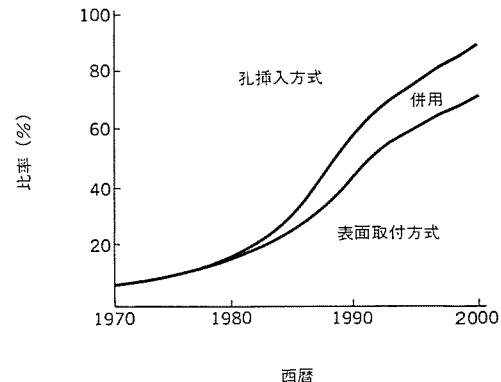


図 1. プリント基板への実装形態の将来予想⁽²⁾

表 1. IC パッケージ

TYPE	名 称		外 形	特 徴	
	略 号	材質		リードピッチほか	
ビン挿入タイプ	DIP	DUAL INLINE PACKAGE		P C	• 2.54mm (100mil)
	S-DIP	SHRINK DIP		P	• 1.778mm (70mil)
	SKINNY	SKINNY DIP		P	• 2.54mm 幅方向ピッチ 1/2 サイズ
	PGA	PIN GRID ARRAY		C	• 2.54mm (100mil)
	QIP	QUAD INLINE PACKAGE		P	—
面取付実装タイプ	SOP	SMALL OUTLINE PACKAGE		P	• 1.27mm (50mil) • 2万円リード
	QFP	QUAD FLAT PACKAGE		P	• 1.0mm • 0.8mm • 0.65mm • 4万円リード
	LCC	LEADLESS CHIP CARRIER		C	• 1.27mm (50mil) • 1.00mm (40mil) • 0.75mm (30mil)
	PLCC	PLASTIC LEADED CHIP CARRIER		P	• 1.27mm (50mil) • J引抜け
	SOJ	JBEND SOIC		P	• 1.27mm (50mil) • 2万円リード

注 P : PLASTIC, C : CERAMIC

- (8) ダイボンド、ワイヤボンドなどのアセンブリ工程における耐熱性
- (9) コストパフォーマンス

特に超 LSI の実用化段階に入った現在では、熱伝導性、強度とともに優れた高度なリードフレーム材料の開発が一層望まれる。

図 2. は IC と IC パッケージの分類における一般的下限要求水準を示すが、IC の分類、パッケージ、回路設計によって要求は異なる。こ

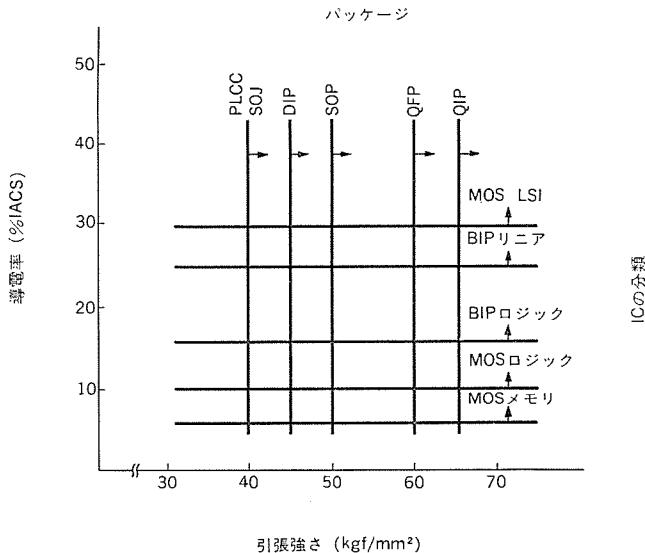


図 2. IC リードフレーム材の一般的な要求水準

表 2. 各種リードフレーム材の化学組成と諸特性

合 金	MF202	Cu-0.1% Sn	CDA 194	CDA 195	CDA 725	Fe-42% Ni
化 学 組 成 (wt%)	Sn	2.0	0.15		0.6	2.3
	Ni	0.2				42
	Fe			2.3	1.5	
	Co				0.8	
	Zn			0.12		
	Cu	残	残	残	残	
引張強さ (kgf/mm²)	54	42	45	49	59	65
曲げ加工性	B	B	C	B	B	A
繰り返し曲げ回数 (250 gf/0.25 R 90°) (0.125 mm² 片振り)	7.4	4.5	5.0	4.5	5.6	8.4
耐変色性	B	B	B	B	B	A
耐アンモニア応力腐食性	B	B	B	B	A	A
はんだ付け性, めっき性	A	A	A	A	A	A
融点(液相) (°C)	1,065	1,080	1,090	1,090	1,125	1,460
比 重	8.88	8.9	8.78	8.9	8.9	8.25
熱膨脹係数(10⁻⁶/°C)	17.0	17.7	16.3	16.9	16.6	7.0
熱伝導率 (cal/cm²/cm/s/°C)	0.37	0.86	0.63	0.47	0.11	0.036
導電率 (% IACS)	30	90	65	50	11	3
伸 び (%)	11	4	5	3	7	>15
軟化温度 (°C)	400	375	400	425	500	650

これまで、MOS(Metal Oxide Semiconductor) IC には主に導電率の低い Fe-42% Ni 合金が、BIP(Bipolar) IC には導電率の高い銅合金が用いられてきたが最近の高集積化、コストの低減、ダイボンド技術の向上により、MOS IC の分野でも Fe-42% Ni 合金から銅系材料の採用が増大しつつある。更にパッケージの表面実装方式、多ピン化への移り変わりにより薄板化が進むと、それに伴ってアセンブリの取扱い上、製品の対変形性、すなわち高強度のものが必要となる。

表 2. は MF 202 と実用リードフレーム材の引張強さと導電率、更にその他の諸特性を示す。これら銅系材料では引張強さと導電率が二律背反する傾向にあり、高強度型、高導電型、中間型に分類され、両方を同時に満足する材料は得られていない。当社で開発した MF 202 は、適度の導電率と強度をバランスよく備えた中間型に属し、IC

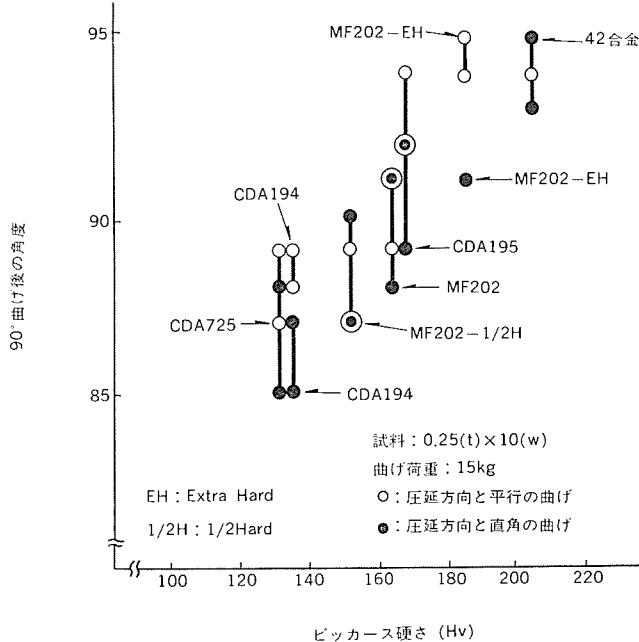


図 3. 90 度, V 治具曲げによるスプリングバグ

パッケージ技術の変遷につれて銅系リードフレーム材料において大きな比率を占めつつある。

しかし、最近の SOP, QFP, PLCC といったパッケージの多ピン化的傾向からリードのピン幅、板厚が小さくなり、このために一層高い強度が要求される。特に超 LSI 用としては、導電率が 80% IACS 以上で、強度が 60 kgf/mm² 以上あり、しかも低価格の材料が要求される。したがって、銅系材料において銅本来の優れた熱伝導性を生かし、これにいかにしてより高い強度を持たせるかが開発目標となる。これには析出硬化型、微細粒子分散型が有力と考えられ、また別の方法として銅又はアルミニウムとその他の金属とのクラッド材が考えられる。

表面実装タイプでは QFP, PLCC のように四方向にリードを出したパッケージでは、上記の導電性、強度のほかに圧延方向とその直角方向の成形形状の安定性が必要となり、異方性の少ないものが望まれる。図 3. は V 形治具を用いて、90° 曲げ加工を行ったときの成形角度を求めるこにより、各種リードフレーム材についてスプリングバグの異方性を調査した結果を示す。図 3. から圧延方向に直角と平行の曲げ角度が、ほぼ重なるものが異方性が少ないと意味し、MF 202 の場合は強度の質別には 1/2 H(125~165 Hv), H(150~185 Hv) (Hv: ビッカース硬さ) 材程度が適していると考える。

以上のようにリードフレーム材の主要特性として導電率、強度が重要なとなるが、表面実装の場合は、リードが直接基板上に接続するためにリードめっきの強固な密着性を長期間保持することが重要である。

注 IACS : International Annealed Copper Standard
% IACS = $1.7241 \times 100 / \rho$ ρ : 合金の固有抵抗

3. IC リード部めっきの信頼性

3.1 リード部のめっき

IC などのプリント基板への実装を容易にするために、リード部にはなんだ又はすずめっきが施される。電子機器の長期にわたる信頼性を保証する上で、IC の選別のための加熱試験や動作中の発熱によるリード部の温度上昇によって、めっきと基材のリードフレーム合金との

密着性が劣化しないことが望まれる。Fe-42%Ni合金では基材とめっきのSnの拡散反応が緩慢であるのに対して、銅合金の場合は基材のCuとめっきのSnとの反応が早く、この拡散現象によってめっき密着性とはんだ付け性に微妙な影響を及ぼす。このようなことからICの信頼性のために、はんだ又はすずめっきを施された各種リードフレーム材について、加熱に伴うめっき密着性の経時変化と拡散現象を解明してICパッケージの設計の基礎資料とする必要がある。

ICの組立工程において、リード脚部のめっきはICチップがモールドされた後に施されるが、Sn又はSn-10%Pb、Sn-40%Pbの光沢電気めっきが主として用いられる。更にこれらのめっき性及び密着性劣化を改善する目的から、下地めっきとしてCu又はNiめっきを施すことが試みられている。

次に述べるリードフレーム材のめっき密着性並びにめっき層の加熱による経時変化についての調査では、表2.に示す銅合金試料(26mm×200mm×0.25tmm)に直接厚さ8μmのすず又ははんだの電気めっきを施し、また同じく銅合金試料に2.5μm厚のCu又は0.8μm厚のNiの下地めっきをしたのち、Sn-10%Pbめっきを施した。これらのめっき試料を150°Cの各時間後にV曲げ試験を行い、密着性の経時変化を評価し、更にめっき試料を80, 115, 150°Cの各温度で加熱してめっきと基材との界面付近の断面状態をSEM*-EPM A** (分析機能付き走査電子顕微鏡)により観察した。

* SEM : Scanning Electron Microscope

** EPMA : Electron Probe Microanalyser

3.2 めっき密着性の評価

表3.は150°Cで各時間加熱後のV曲げ試験(曲げ半径=0.2mm)によるめっきはく(剝離)の有無を調べ、各種めっき銅合金の密着性を評価した結果である。直接すず又ははんだめっきを施した場合は、主としてCu, Sn成分からなるMF 202, Cu-0.1% Snは1,000時間経過してもめっきの剝離は見られなかったが、CDA 194は500時間又は1,000時間で、CDA 725は50時間又は100時間で剥離が

表3. 150°C 加熱後のV曲げ試験によるめっきの剝離(R=0.2)

めっき	下地 めっき	基材	剝離時間(h)				
			200	400	600	800	1000
Sn	なし	Cu-0.1 Sn	—	—	—	—	—
		MF 202	—	—	—	—	→
		CDA 194	—	—	—	—	—
		CDA 725	—	—	—	—	—
Sn-10% Pb	なし	Cu-0.1 Sn	—	—	—	—	→
		MF 202	—	—	—	—	→
		CDA 194	—	—	—	—	—
		CDA 725	—	—	—	—	—
Sn-10% Pb	Cu	Cu-0.1 Sn	—	—	—	—	—
		MF 202	—	—	—	—	—
		CDA 194	—	—	—	—	—
		CDA 725	—	—	—	—	—
Sn-60% Pb	Ni	Cu-0.1 Sn	—	—	—	—	→
		MF 202	—	—	—	—	→
		CDA 194	—	—	—	—	→
		CDA 725	—	—	—	—	→
Sn-60% Pb	なし	Cu-0.1 Sn	—	—	—	—	→
		MF 202	—	—	—	—	→
		CDA 194	—	—	—	—	—
		CDA 725	—	—	—	—	—

見られた。このように基材の銅合金にFe又は多くのNiを含むものは、加熱によるめっき密着性の劣化が早いという結果が得られた。

密着性改善の目的から、はんだめっきの下地としてCuめっきを施した試料では、すべての基材合金で極めて短時間でめっきの剝離を起こし、むしろ密着性の劣化を早める結果となった。これに対しNi下地めっきを施したもののは、1,000時間経過してもすべての基材合金で剝離は見られず、改善効果が認められた。

以上めっきの剝離を起こした試料の剝離箇所について調べた結果、これらすべての試料で拡散層と基材との界面で剝離を起こしており、この原因を明らかにするためにSEM-EPMAによるめっき層の解析を行った。

3.3 めっき層の加熱による変化

3.3.1 金属間化合物層の生成

各種めっきを施した試料の加熱前の状態を、SEMにより観察した結果の一例を図4.に示す。めっき直後ではすず又ははんだめっきと基材若しくはCu, Ni下地めっきとの境界はそれぞれ明確であり、界面に拡散層、すなわち金属間化合物層の生成は見られない。これらめっき試料を加熱することによって、界面に次のような金属間化合物が生成する。

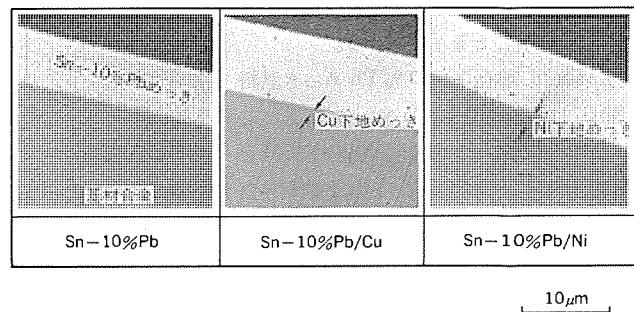


図4. めっき直後の断面SEM写真(組成像)

(1) 直接すず又ははんだめっき試料

図5.は下地めっきなしのSn-10%Pbめっきを施した各銅合金に150°C, 1,000時間の加熱処理を行い、断面についてSEM観察した結果である。この写真ではもとのはんだめっき層は明確でないが、界面には銅合金との拡散反応により、金属間化合物層が生成している。MF 202のように、主にCu, Sn成分からなる合金は150°Cの加熱によって生成する拡散反応相は二層となり、基材側にε相(Cu₃Sn), 表面めっき側にη相(Cu₆Sn₅)の金属間化合物が生成する。また、115°Cではε+η, 80°Cではηの一層となり、金属間化合物の生成過程はη相一層から、温度、時間が増すに従ってε+ηの二層に変化する。

CDA 194ではMF 202と同様にη又はε+ηとなるが、図5.のFeの特性X線像に見られるように、この合金とε相との間に厚さの薄いFeに富む層が生成しており、また組成像写真で明らかなように、この界面付近で空孔が多く見られる。このような結果は、めっきのSnとの拡散反応において、合金中のCuのSn中への拡散速度がFeのSn中への拡散速度に比べて大きいために基材界面にFeが取り残されて、Feの富裕層が生成したことが考えられる。また、界面付近に空孔を生じた原因についてはCDA 194にのみ見られることから、Fe富裕層の生成と何らかの関係のあることが考えられる。このように、銅合金にFeを含むことによってε相との界

面状態を悪くして、これが表3に見られたように密着性の劣化を早めた原因と考える。

Niを多く含むCDA725合金については、図5の組成像写真では拡散層は一層に見えるが、Ni特性X線像では基材界面で基材合金より少しNi濃度を増した厚さの薄い層があり、またこのほかに拡散層は二層からなる。Ni富化層は厚さが薄いため分析は困難であるが、EPM-A定量分析の結果から二層の拡散層は基材側で約2.5%Niを含む η' 相 $\{(Cu, Ni)_6Sn_5\}$ と表面側でNiを含まない η 相 (Cu_6Sn_5) となる。このように、Niを多く含むCDA725合金では、はんだめっきとの拡散反応におけるNiの影響は大きく、Snとの相互拡散において、相対的にNiの拡散係数がCuに比べて小さいために、このような拡散現象を生じたものと考えるが、拡散層がNiを含むことによって一層ぜい(脆)化して、めっき密着性の劣化を促進することが考えられる。なお、80, 115°Cで1,000時間までの加熱では η 相のみで、 η' 相の生成は確認されなかった。

以上はSn-10%Pbめっきについて述べたが、すず又はSn-40%Pbめっきでも特に違いは見られなかった。このことは、めっきのSnと基材合金元素との拡散反応が主体であることを示している。

(2) Cu下地後Sn-10%Pbめっき試料

図6は各銅合金にCuめっきを施し、その上にSn-10%Pb電気めっきを施した後に150°C、1,000時間加熱により生成した拡散層の状態を示す写真である。150°CでCu-0.1Sn, MF202, CDA194に生成する金属間化合物は直接はんだめっきを施した場合と同様に $\varepsilon+\eta$ の二層となる。Cu下地めっきが存在しても基本的にはCuとSnとの拡散反応であり、直接はんだめっきを施した試料と同じ結果になる。ただし、CDA194ではCu下地めっきが存在するために、基材界面でのFe富化層の生成は直接はんだめっき試料より遅れ、Fe富化層生成の抑制効果は認められる。

CDA725では、下地めっきのCuとはんだめっきのSnとの拡散反応が先行するため、150°Cの加熱によってまず $\varepsilon+\eta$ の二層が生成する。次にCu下地めっきが、すべて金属間化合物に吸収された後に基材との反応が進み、図6の組成像に示すように η 相のみとなり、1,000時間までの加熱では η 相へのNiの拡散が見られない。したがって、Cu下地めっきを施すことによって基材合金中のNiの拡散を抑制する効果が認められる。

しかし、MF202とCDA194の写真についてみると、直接はんだめっきを施した試料と異なり、基材合金と ε 相との間に多くの空

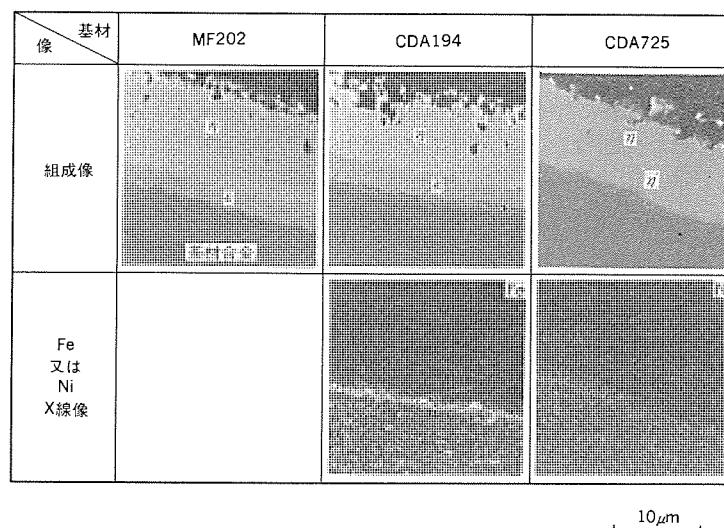


図5. Sn-10%Pbめっき銅合金の拡散層断面SEM写真
(150°C, 1,000時間加熱)

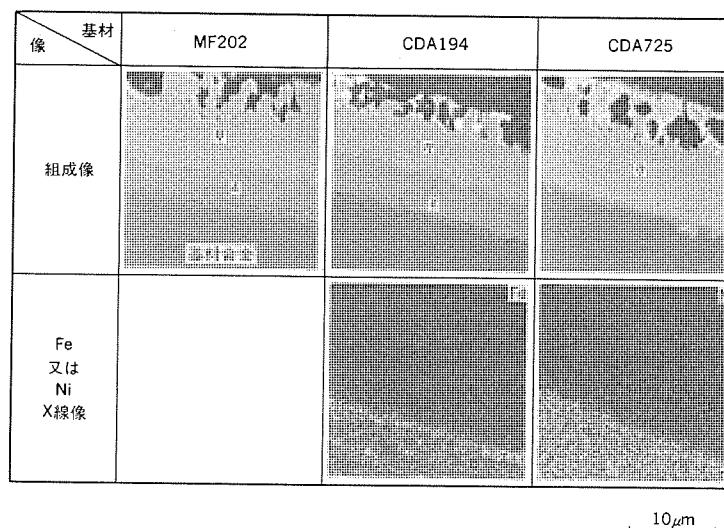


図6. Sn-10%Pb/Cuめっき銅合金の拡散層断面SEM写真
(150°C, 1,000時間加熱)

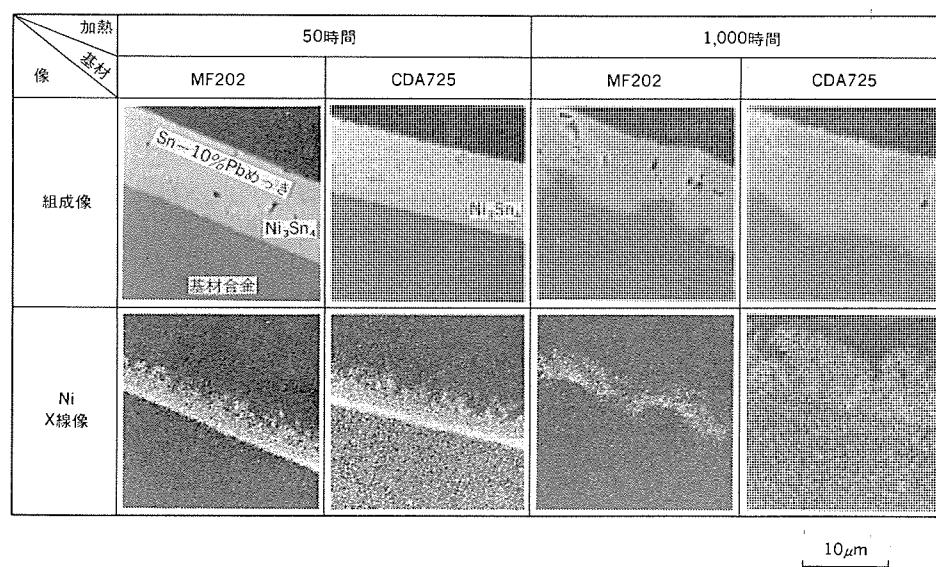


図7. Sn-10%Pb/Niめっき銅合金の拡散層断面SEM写真 (150°C 加熱)

孔が見られ、また CDA 725 では ε 相の生成した短時間側で空孔が観察された。これは Cu 下地めっき中の気孔や点欠陥が加熱によって基材界面に集まつたか、若しくは比較的 ε 相の成長が速いためにカーケンダルボイド注が多く生成したことが考えられるが、このように空孔の多いことが、すべての Cu 下地めっき試料の密着性の劣化を早めた原因と推定される。

(3) Ni 下地後 Sn-10% Pb めっき試料

Ni 下地 Sn-10% Pb めっき試料は前の二つのめっき試料と異なり、めっき層の熱的経時変化は複雑になる。図 7. は Ni 下地後 Sn-10% Pb めっきを施した MF 202 と CDA 725 を 150°C で、50, 1,000 時間の加熱を行った結果である。CDA 194 についてもこの写真と同様であり、すべての合金でまず 50 時間までは下地めっきの Ni がはんだめっき中に拡散して、 Ni_3Sn_4 の化合物が生成していることが EPMA による分析から明らかになり、基材合金の Cu の拡散は認められなかった。

更に、150°C, 1,000 時間の加熱を行うと、すべての合金で拡散層の厚さは一定せず、基材との界面は波状を呈し、複雑な拡散挙動を示す。これらの拡散層には複数の金属間化合物が混ざり、X 線回折により同定した結果では $\{(Cu, Ni)_6Sn_5\}$, $(Cu, Ni)_3Sn_2$, Ni_3Sn_4 の 3 種類の金属間化合物が含まれることが明らかになったが、CDA 725 では $\{(Cu, Ni)_6Sn_5\}$ の回折ピークは弱く、この化合物は少ないものと思われる。このように、Ni 下地めっきを施すことによって、複数の金属間化合物が生成して基材界面が波状をなし、これが曲げ試験におけるせん断変形に対するくさび的な作用を

して、密着性が改善されたことが考えられる。

以上、各種めっきを施したリードフレーム合金を、80, 115, 150°C で加熱処理を行い、これによって生成した金属間化合物をまとめたのが表 4. である。

3. 3. 2 拡散層の成長

これまでの SEM-EPMA, X 線回折による観察分析の結果から、すず又ははんだめっきを施した銅合金の加熱によって生成する金属間化合物の状態は、加熱温度、時間若しくは基材又は下地めっきによって異なることが明らかになったが、各種めっき銅合金における金属間化合物層、すなわち拡散層の厚さの温度、時間に対する変化を調べた結果が図 8. である。ただし、Ni 下地後 Sn-10% Pb めっきを施した合金では、150°C の長時間側で化合物が複雑に変化するため Ni_3Sn_4 の生成する加熱初期の厚さの変化を直線化した。

図 8. から明らかなように、すべてのめっき試料で加熱温度が高くなるほど、また時間の経過につれて拡散層の厚さを増している。基材合金の拡散層成長に及ぼす影響についてみると、各めっき試料において Cu-0.1% Sn, MF 202, CDA 194 の間に成長速度の顕著な相違は見られないが、直接すず又ははんだめっきを施した MF 202 の 150°C の ε 相の成長がわずかながら鈍化しており、微量の Ni 成分が ε 相の成長を抑える効果があり、これがめっき密着性

によい結果をもたらしたと考えられる。同じめっきを施した CDA 725 の 80, 115°C では、成長速度は MF 202 などとほとんど変わらないが、150°C になると拡散層の成長速度を増しており、基材銅合金中に多くの Ni を含むことによって、高温域での加熱によって拡散層成長が促進される。めっきの違いによる拡散層成長速度について、直接すず又ははんだめっき試料では $\text{Sn}-10\% \text{Pb} > \text{Sn}-40\% \text{Pb} \geq$

表 4. 加熱によって基材銅合金とめっきの間に生成する金属間化合物

めっき	下地 めっき	基材	金属間化合物		
			80°C	115°C	150°C
Sn 又は $\text{Sn}-10\% \text{Pb}$ $\text{Sn}-40\% \text{Pb}$	なし	Cu-0.1 Sn	/ η/S	/ $\eta/\text{S} \rightarrow / \eta/\varepsilon/\text{S}$	/ $\eta/\text{S} \rightarrow / \eta/\varepsilon/\text{S}$
		MF 202	/ η/S	/ η/S	/ $\eta/\text{S} \rightarrow / \eta/\varepsilon/\text{S}$
		CDA 194	/ η/S	/ η/S	/ $\eta/\text{S} \rightarrow / \eta/\varepsilon/\text{S}$
		CDA 725	/ η/S	/ η/S	/ $\eta/\text{S} \rightarrow / \eta/\eta'/\text{S}$
$\text{Sn}-10\% \text{Pb}$	Cu	Cu-0.1 Sn	/ η/S	/ $\eta/\text{S} \rightarrow / \eta/\varepsilon/\text{S}$	/ $\eta/\text{S} \rightarrow / \eta/\varepsilon/\text{S}$
		MF 202	/ η/S	/ η/S	/ $\eta/\text{S} \rightarrow / \eta/\varepsilon/\text{S}$
		CDA 194	/ η/S	/ η/S	/ $\eta/\text{S} \rightarrow / \eta/\varepsilon/\text{S}$
		CDA 725	/ η/S	/ η/S	/ $\eta/\text{S} \rightarrow / \eta/\varepsilon/\text{S} \rightarrow / \eta/\text{S}$
$\text{Sn}-10\% \text{Pb}$	Ni	Cu-0.1 Sn	/ δ/S	/ δ/S	/ $\delta/\text{S} \rightarrow / \delta'/\text{S}$
		MF 202	/ δ/S	/ δ/S	/ $\delta/\text{S} \rightarrow / \delta'/\text{S}$
		CDA 194	/ δ/S	/ δ/S	/ $\delta/\text{S} \rightarrow / \delta'/\text{S}$
		CDA 725	/ δ/S	/ δ/S	/ $\delta/\text{S} \rightarrow / \delta'/\text{S}$

注 $\eta : \text{Cu}_6\text{Sn}_5$, $\eta' : (\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$, $\varepsilon : \text{Cu}_3\text{Sn}$, $\nu' : (\text{Ni}, \text{Cu})_3\text{Sn}_2$

$\delta : \text{Ni}_3\text{Sn}_4$, S : 基材又は下地めっきを施した基材

I : Fe 富裕層, II : Ni 富裕層

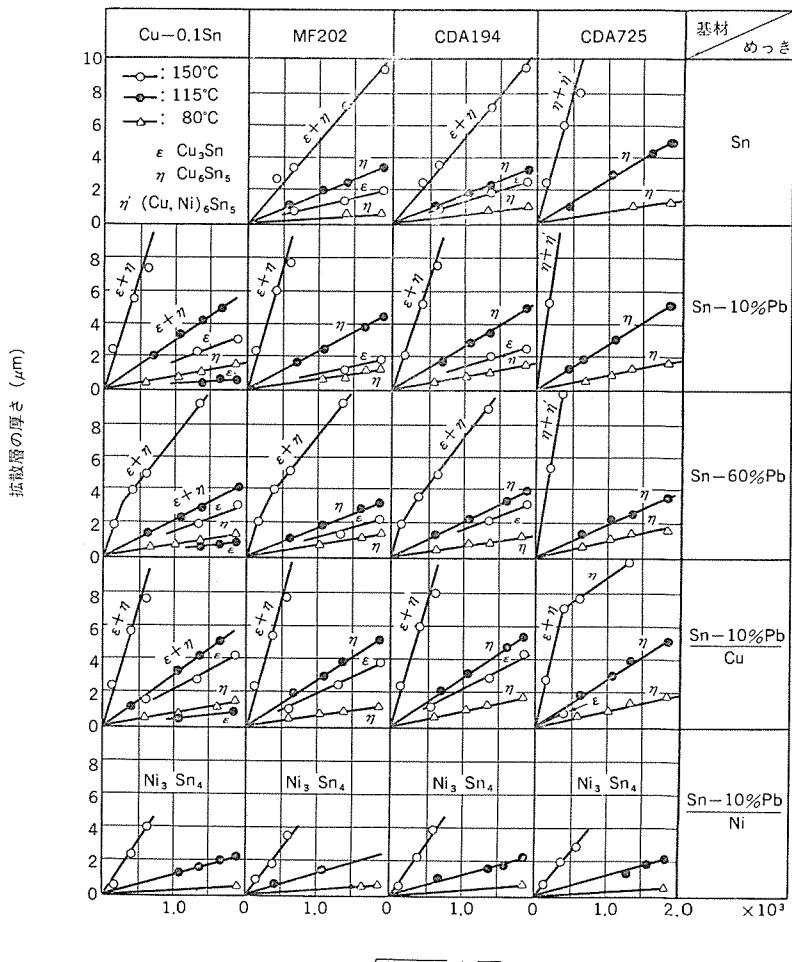


図 8. 加熱処理による拡散層の成長

注 カーケンダルボイド：拡散対の界面からみて、どちらか一方の側への原子の移動が起こり、この結果として多くの原子を失ったところに空孔ができる。

表 5. 各種めっき銅合金に生成する拡散層の見掛けの活性化エネルギー Q (kcal/mol) と振動数項 A (cm²/s)⁽⁴⁾⁽⁵⁾

基材	下地 めっき	Sn				Sn-10% Pb		Sn-60% Pb			
		電気めっき		溶融めっき		電気めっき		電気めっき		溶融めっき	
		Q	A	Q	A	Q	A	Q	A	Q	A
Cu-0.1Sn MF 202 CDA 194 CDA 725	なし	19.7	4×10^{-3}	24.8	0.63	25.4	23.4	18.8	2×10^{-3}	22.8	0.14
Cu-0.1Sn MF 202 CDA 194 CDA 725	Cu	—	—	—	—	24.8	12.3	—	—	—	—
Cu-0.1Sn MF 202 CDA 194 CDA 725	Ni	—	—	—	—	25.0 (Ni ₃ Sn ₄)	2.60	—	—	—	—

注 $\varepsilon + \eta$ を一層とみなす

Sn となり、Sn 濃度と拡散層成長速度との関係では明確な傾向は見られない。

Cu 下地 Sn-10% Pb めっきでは、CDA 725 の 150°C, 100 時間以上を除いて η と $\varepsilon + \eta$ の拡散層成長速度は、直接 Sn-10% Pb めっき試料とほとんど同じであるが、 ε 相の成長が大きく、基材界面付近のボイドの増す一因と考える。Ni 下地 Sn-10% Pb めっきでは、下地の Ni めっきが基材合金の Cu の拡散の障壁となって成長が抑制される。

図 8. から拡散層の厚さは、加熱時間の平方根とほぼ直線的な関係が得られ、 $W = k\sqrt{t}$ となる。なお、 W は拡散層の厚さ、 k は拡散層成長係数、 t は拡散時間である。

はんだめっきされた銅における金属間化合物層の厚さについて、 ε と η の和に対する ε の比が一定という関係が報告されており⁽³⁾、このことから $\varepsilon + \eta$ を一層とみなして、アレニウス(関係式 $k^2 = A \exp(-Q/RT)$)の関係を求めている。我々もこれに習って 150°C の $\varepsilon + \eta$ を一層とみなして、図 4. から各温度の直線、 $W = k\sqrt{t}$ のこう配 k を求め、温度の逆数に対して k^2 の自然対数をプロットすると直線関係が得られ、アレニウスの関係を満足した⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

各めっき試料のこの直線のこう配から拡散層成長の活性化エネルギー $-Q$ (ここでは、拡散層が二層の場合は一層とみなしていることから見掛けの活性化エネルギーとなる)を求め、更に拡散の式、 $k^2 = A \exp(-Q/RT)$ から振動数項 A の値を求めて、 Q と A の値を一覧にしたのが表 5. である。ただし、Ni 下地めっき試料では初期の Ni₃Sn₄ の成長の Q と A の値である。 $k^2 = A \exp(-Q/RT)$ の式に基材合金、めっきの Q と A の値を代入して、加熱の温度、時

間が決まれば $W = k\sqrt{t}$ から各めっき試料の拡散層の厚さの目安を得ることができる。

4. む す び

IC の高集積化への進展に伴い、リードフレーム合金の強度、放熱性、熱的安定性の一層の向上が望まれるなかで、当社の MF 202 合金は強度、めっき性、成形性に優れ、適度の熱伝導性をもつとともに、なんだめっきの加熱後の密着性にも優れていることを紹介した。この合金はバランスのとれた諸特性をもつことから、銅合金系リードフレーム材の主流となり、IC、LSI への応用範囲が拡大するものと期待される。既に MOS IC の分野でも熱設計上放熱性の優れた銅合金への要求が増している。その上、高密度、小型化に伴いリードフレーム材の薄板化が進み、銅合金でも Fe-42% Ni 合金に匹敵する高強度材が必要とされる。このような IC パッケージの技術動向から、MF 202 合金の材料特性の一層の向上を図るとともに、強度、熱伝導性ともに優れた新しい銅合金を開発して、表面実装と高密度化の進展に対応することが今後の課題である。

参 考 文 献

- (1) 本多ほか：高密度実装技術ハンドブック (1986)
- (2) 坂本：日本金属学会会報, 6, 24, 494 (1985)
- (3) L. Revay : Surface Technology 5, 57 (1977)
- (4) 北風ほか：伸銅技術研究会誌, 23, 175 (1984)
- (5) 北風ほか：伸銅技術研究会誌, 25, 132 (1986)

宇宙用スリップリング材

渡辺幹男* 鈴木峰男***
播磨三弘* 西村 允***
中川 潤**

1. まえがき

三軸姿勢制御人工衛星の太陽電池パドルを回転させる駆動装置などには、すべり摩擦をしながら太陽電池パドルと衛星本体の間で電気信号や電力を伝達するスリップリングが用いられている(図1)。スリップリングには、その目的から、接触抵抗や電気ノイズといった電気的性能と摩擦摩耗といった潤滑性能がともに一定レベル以上であることが要求される。この二つの性能は、電気的性能を良くしようとすれば潤滑性能が悪くなるというように互いに逆の性能を示す。そこで、両者の妥協点を求める必要があり、厄介である。しかも、この電気的性能と潤滑性能が人工衛星の死命を制するものであるため、宇宙用スリップリングには高い信頼性、耐久性が要求され、いまだに国産化されていない。スリップリングの故障により機能停止した例としてはSeasat衛星があげられる⁽¹⁾。

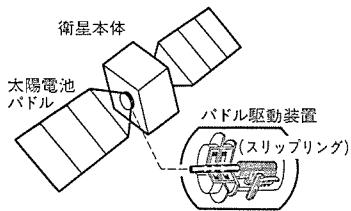


図1. 人工衛星の構造概略

スリップリングには信号伝達用と電力伝達用の2種類がある。前者ではS/N比をあげるために、電気ノイズが極力少ないことが要求される。後者の場合、電力損失が少ないと肝要であり、そのため接触抵抗を少なくする必要がある。したがって、低電気ノイズ性と低接触抵抗性の両特性を兼ねそなえたスリップリングがあれば、1種類で両方の用途がまかなえ理想的である。

我々は、このような宇宙用スリップリングの国産化を目指しスリップリング材の研究を進めてきた。その結果、低電流から大電流($\sim 500 \text{ A/cm}^2$)にまでわたって電気ノイズと接触抵抗が小さく、更に潤滑性能に優れた宇宙用スリップリング材(Ag-MoS₂-NbSe₂系複合材)を開発した。ここでは、スリップリング材の試作、研究開発結果について述べる。

2. 宇宙用スリップリングに要求される性能

宇宙用スリップリングは、長期間安定に作動し電気信号や電力を確実に伝達しなければならない。そのため、スリップリングには主に以下の4点が要求される。

- (1) 低摩擦：摩擦損失を小さくする。
- (2) 低摩耗：長寿命を維持する。また、摩耗粉が電気回路の短絡や他の摩擦部材(軸受や歯車等)の不具合などの原因になるため、摩耗粉が形成されないことが望ましい。
- (3) 低接触抵抗：電力損失及び温度上昇を低くする。
- (4) 低電気ノイズ：電気信号への外乱を小さくする。

特に、宇宙用スリップリングでは、これらの特性を超高真空中において満たす必要がある。また、これらの特性のうち、接触抵抗や電気ノイズの電気特性を良くするために銀などの良導体を単に増すと、摩擦、摩耗の潤滑特性が悪化するため、すべての特性を同時に満たすこととは容易ではない。我々は、これらすべての要求を満足するスリップリングを開発した。

3. 宇宙用スリップリング材の試作

スリップリングは、回転するリングにブラシを静止したまま押しつける構造になっている。前項の要求性能を得るために、ブラシ材(スリップリング材)の選定が特に重要である。欧米⁽²⁾⁽³⁾ではAg(銀)にMoS₂(二硫化モリブデン)のほか、Cu(銅)やGr(グラファイト)を添加したAg-MoS₂系複合ブラシ材と銀系リング材(純銀や貨幣銀: Ag-10 wt % Cu)が主に用いられている。導電率の高い銀で電気性能を確保し、真空中で良好な摩擦、摩耗特性をもつ固体潤滑剤で潤滑特性の向上を図るのである。我々は、固体潤滑剤としてMoS₂以外にNbSe₂(セレン化ニオブ)を取り上げ、①Ag-MoS₂系、②Ag-NbSe₂系、③Ag-MoS₂-NbSe₂系の3種類の銀系複合ブラシ材を試作し、リング材には銀系リングを用いた。

MoS₂は宇宙用に最もよく使われている固体潤滑剤で、真空中で特に良好な摩擦、摩耗特性をもっている。NbSe₂はMoS₂と同様な層状構造をしており、しかも固有抵抗がMoS₂の1/10⁶とけた違いに小さい固体潤滑剤であることから、電気特性の向上に期待をかけ用いた。表1に銀系複合ブラシ材の配合や原料粉の特性を示す。

銀系複合ブラシ材の成形には、高密度の銀系複合ブラシ材を得るために加圧しながら焼結するホットプレス法を用いた。また、ホットプレスは原料粉の酸化分解を防止するため真空中で行った。表2に成形条件を示す。試作方法を手順に沿って説明すると、まず原料粉を所定量ひょう(秤)量し混合する。次に、その混合原料粉を炭素製のダイスにつめてホットプレス装置の炉内に裝てんする。その後炉内を10⁻³Pa台に排気し所定温度まで加熱する。温度は800~950°Cとした。

表1. 銀系複合ブラシ材と原料粉の特性

ブラシ材	(1) Ag-(5~50)wt % MoS ₂		
	(2) Ag-(5~50)wt % NbSe ₂		
	(3) Ag-(2.5~25)wt % MoS ₂ -(2.5~25)wt % NbSe ₂		
原 料 粉		Ag	MoS ₂
純 度 (%)	99.9	99.0	99.9
粒 度 (μm)	5~6	1.35	1~3
密 度 ⁽⁴⁾ (g/cm^3)	10.5	4.8	6.25
固有抵抗 ⁽⁴⁾ ($\Omega \cdot \text{cm}$)	1.6×10^{-6}	851	5.35×10^{-4}
融 点 ⁽⁴⁾ (°C)	960	1,800<	—

表2. 銀系複合ブラシ材の成形条件

ホ ッ ト プ レ ス 法	
压 力	30~35 MPa
温 度	800~950 °C
保 持 時 間	30~90 分
雾	真空 10 ⁻³ Pa台

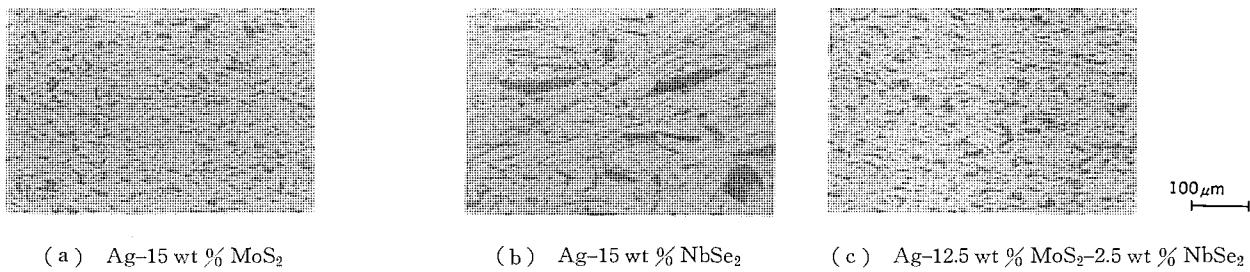


図 2. 銀系複合 ブラシ材の組織写真

その温度でダイスの軸方向に 30~35 MPa の圧力を加えて焼結した。保持時間は 60~90 分である。その後炉冷し、適当な温度で加圧を解除し試料を取り出した。

試作した銀系複合 ブラシ材の密度比は 95% を超えており焼結は良好である。図 2. には 3 種類の銀系複合 ブラシ材の組織写真的代表例を示す。白色部がマトリクスの銀であり、黒色部と灰色部が MoS₂, NbSe₂ である。Ag-MoS₂ 系 ブラシ材では MoS₂ の凝集部は 10 μm 程度であり、分散状態も良好である。Ag-NbSe₂ 系 ブラシ材では NbSe₂ の凝集部が数多く見られ、分散状態も好ましくない。一方、Ag-MoS₂-NbSe₂ 系 ブラシ材では、NbSe₂ の凝集部が見られるものの、全体的には大きな凝集部ではなく固体潤滑剤の分散も良好である。

4. 材料選定試験

スリップリング材（銀系複合 ブラシ材）の評価試験は、ピン／円板型試験機とスリップリングモデル機で行った。まず、前者試験機を用い基本的な特性を測定し、ブラシ材の試作条件や固体潤滑剤の種類、添加量を絞り込み、更に各特性に及ぼす荷重や荷重の負荷方法の影響を評価した。それらの結果に基づき、スリップリング材の候補材料を選定した。次に、その選定した候補材料の評価試験を後者のモデル機で行い、スリップリング材を決定した。

図 3. にピン（ブラシ材）／円板（リング材）型試験機を用いた材料選定試験の概略を示す。実験は回転する円板に、正負 ブラシ材各 1 個を接触加圧した状態で直流電流を通電して行った。加圧は真空槽外部からベローズとアームを介しておもりで負荷し、通電は定電流直流電源で行った。極性は電流がリング材からブラシ材に流れる組合せを負極とした。摩擦係数は負極のみ、ひずみゲージを用いて測定し、電気抵抗と接触抵抗及び電気ノイズは電圧降下から換算して正負 ブラシ材をまとめて測定した。ブラシ材の比摩耗量（単位摩擦距離かつ単位荷重当たりの摩耗体積）は試験前後の重量差から求めた。ブラシ材は直径 4 mm、長さ 10 mm のピンに加工して用い、リング材は直径 50 mm、厚さ 1 mm の円板に加工して用いた。なお、この試験のリング材には貨幣銀のみ用いた。

表 3. に試験条件を示す。しゅう（摺）動速度は秒速 75 mm で荷重は 2 N である。ブラシ材は大気中において研磨紙あたり出しを行ってから用いた。実験は 10⁻⁵ Pa 台の真空中において、なじみ運動

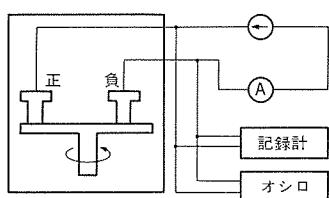


図 3. ピン／円板型試験による試験概略

を 14,000 回行ったのち通電を開始し、総計で 55,000 回摩擦した。人工衛星には 5~10 年の寿命が要求されるが、中高度衛星のスリップリングの回転回数は 5 年で約 26,000 回である。そこで評価電流 1 A における摩擦回数は 26,000 回とした。なお、これは静止衛星のスリップリングで約 70 年の寿命に相当する。試験電流は直流 0.1 A から階段的に増加させ最終的に直流 1 A で 26,000 回摩擦した。

図 4. に、ピン／円板型試験機で評価した銀系複合 ブラシ材の摩擦回数と摩擦係数及び 1 A 通電時における電気抵抗の関係の一例を示す。電気抵抗のうち静的に安定している部分を接触抵抗とし、変動部分を電気ノイズとした。摩擦係数と電気抵抗は摩擦とともに変化している。他の銀系複合 ブラシ材も同様であったが、ブラシ材によって各特性は大きく異なっていた。図 5. に 3 種類の銀系複合 ブラシ材の摩擦係数、接触抵抗、電気ノイズ、ブラシ材の比摩耗量を示す。

Ag-MoS₂ 系 ブラシ材の摩擦係数は 0.05 以下、接触抵抗は 8~10 mΩ、電気ノイズは 1 mV 以下、ブラシ材の比摩耗量は 9 × 10⁻⁹ mm³/mm·N 以下といずれも良好である。特に摩擦係数と電気ノイズが小さく優れている。

Ag-NbSe₂ 系 ブラシ材では、接触抵抗が 7~8 mΩ と小さいものの他の 3 特性が大きく好ましくない。すなわち、摩擦係数は 1 を超え、電気ノイズは 500 mV、ブラシ材の比摩耗量は 10⁻⁵ mm³/mm·N にも達している。摩耗に関しては多量の摩耗粉が形成され、リング

表 3. 試験条件

試験機	ピン／円板型	モデル機	
		信号用(低電流)	電力用(大電流)
摺動速度			
荷重	おもり 2 N	板ばね 1 N	
通電量	直流 1 A (8 A/cm ²)	直流 1 A (4 A/cm ²)	直流 20 A (83 A/cm ²)
摩擦回数	55,000 回 (1 A にて 26,000 回)	60,000 回 (1 A にて 7,000 回)	60,000 回 (20 A にて 4,000 回)
雰囲気	真空 10 ⁻⁵ Pa 台		

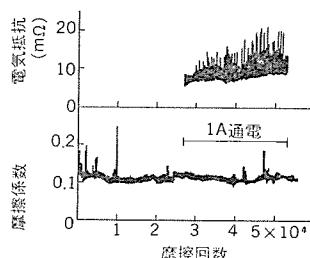


図 4. 摩擦回数と摩擦係数、電気抵抗の関係
(ピン／円板型、おもり荷重 2 N、1 A 通電時)
Ag-7.5 wt % MoS₂-7.5 wt % NbSe₂ ブラシ材
Ag-10 wt % Cu リング材

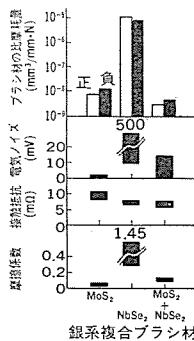


図 5. 銀系複合 ブラシ材の摺動特性
(ピン／円板型, おもり荷重 2 N
(1 A 通電時, Ag-10 wt % Cu リング材)

材の損傷も著しかった。

一方, Ag-MoS₂-NbSe₂ 系 ブラシ材では, 接触抵抗が 6 ~ 8 mΩ, 電気ノイズが 15 mV 以下, 摩擦係数が 0.13 以下, ブラシ材の比摩耗量が 7×10^{-9} mm³/mm·N 以下といずれも良好である。特に接触抵抗と ブラシ材の比摩耗量が優れており, 摩耗に関しては摩耗粉さえ観察されなかった。摩耗特性が他 ブラシ材に比べ優れているのは, MoS₂ と NbSe₂ を併合添加することによって ブラシ材の機械的強度が増加したためと考えられる。

以上から, ピン／円板型試験機で評価した 3 種類の ブラシ材の摺動特性を総合的に比較検討すると, Ag-MoS₂-NbSe₂ 系及び Ag-MoS₂ 系 ブラシ材の摺動特性はすべて良好であり, 前者は摩耗特性と接触抵抗が, 後者は摩擦特性と電気ノイズが特に優れている。この 2 種類の銀系複合 ブラシ材を宇宙用スリップリング材の候補材料に選定し, スリップリングモデル機でその特性を評価することにした。

ところで, 銀系複合 ブラシ材の摺動特性を荷重 0.5, 1, 2, 3, 5 N で評価したところ, 摺動特性は荷重の影響を著しく受け, 荷重を増すと各特性はいずれも向上することが観察された⁽⁵⁾⁽⁶⁾。特に接触抵抗と電気ノイズの電気特性が向上する。例えば, Ag-NbSe₂ 系 ブラシ材の荷重 2 N におけるそれらは 8 mΩ 及び 500 mV であったが, 荷重を 5 N にすると 3 mΩ 及び 1 mV と著しく減少した。接触抵抗と電気ノイズは, ブラシ材と リング材の状態に極めて敏感な特性であり, 荷重を増すと ブラシ材と リング材の接触状態がより確実に, かつ安定した状態になって両特性が向上したものと考えられる。なお, Ag-NbSe₂ 系及び Ag-MoS₂ 系 ブラシ材の接触抵抗を, 荷重 2, 3, 5 N で比較すると前者の方が小さかった⁽⁶⁾。期待どおり NbSe₂ は接触抵抗の低減に効果があると考えられる。

これまで, おもりで荷重を負荷してきたが モデル機では板ばねで荷重を負荷することから, 両負荷方式における摺動特性の相関について ピン／円板型試験機で検討した⁽⁶⁾。ブラシ材と ブラシホルダの間にコイルばねを挿入し試験したところ, ばねで荷重を負荷すると各特性はいずれも向上した。特に接触抵抗と電気ノイズの電気特性は 10 ~ 100 倍も向上し, ばね荷重 0.5 N の各特性はおもり荷重 2 N とほぼ同等であった。ばね負荷の場合 ブラシ材と リング材の追従性が良好となり, おもり負荷でみられていた火花放電が極力抑制されたためと考えられる。よって, ばね荷重ではおもり荷重よりも軽い荷重で

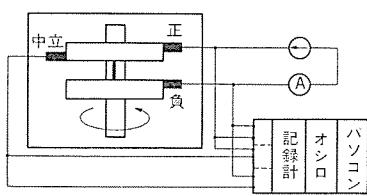


図 6. スリップリングモデル機による試験概略

おもり荷重と同等の特性が期待できる。

5. モデル機による材料評価試験

この試験は, 前試験で選定した宇宙用スリップリング材の候補材料 2 種類, すなわち Ag-MoS₂-NbSe₂ 系及び Ag-MoS₂ 系 ブラシ材の摺動特性をスリップリングモデル機で評価し, 宇宙用スリップリング材を決定するために実施した。リング材には純銀と貨幣銀の 2 種類を用いた。

スリップリングモデル機による評価試験の概略を図 6. に, 外観写真を図 7. に示す。このモデル機では 4 個のリングを用いて一度に 2 組の試験ができる。実験は回転するリング材に板ばねに固定した ブラシ材を正負 2 個ずつ接觸させて行った。通電方法, 極性及び電気抵抗, 接触抵抗, 電気ノイズ, ブラシ材の比摩耗量の測定方法は ピン／円板型の試験と同じである。なお, ブラシ材の温度として熱電対を用いて摺動面から約 3 mm 離れたところを測定した。ブラシ材は 2 mm × 6 mm × 3 mm の直方体に加工して用い, リング材との接觸面積を 12 mm² とした。リング材は外径 50 mm, 幅 10 mm である。宇宙用スリップリングには信号伝達用と電力伝達用の 2 種類があるが, それらの用途を模擬した材料評価試験について順次述べる。

5.1 信号用スリップリング材

信号用スリップリングは低電流通電下で用いられるが, ここでは直流 1 A, 電流密度 4 A/cm² を評価電流とした。なお, 現在人工衛星に搭載されている信号用スリップリングの電流密度は約 8 A/cm² である。信号用スリップリング材の評価試験の条件は表 3. に示した。摺動速度は秒速 75 mm で荷重は 1 N である。直流 1 A における摩擦回数は 7,000 回としたが, その他の試験条件や試験方法は ピン／円板型の試験とほぼ同じである。

図 8. にモデル機で評価試験を行ったときの摩擦回数と電気抵抗の関係の一例を示す。図 9. には 4 組の ブラシ材／リング材における各電流通電時での接触抵抗と電気ノイズ及び ブラシ材の比摩耗量と温度上昇を示す。

4 A/cm² 通電時における両 ブラシ材の摺動特性は, いずれも小さく良好である。特に, Ag-MoS₂-NbSe₂ 系 ブラシ材の各特性は接触抵抗が 2 mΩ 以下, 電気ノイズが 1 mV 以下, ブラシ材の比摩耗量が 7×10^{-10} mm³/mm·N 以下, 温度上昇が 1 °C 以下と極めて良好である。リング材としては純銀の方が優れている。よって, 信号用スリッ

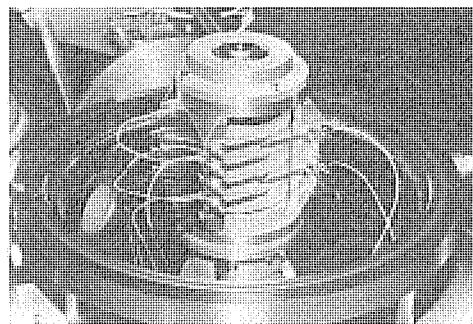


図 7. スリップリングモデル機の外観

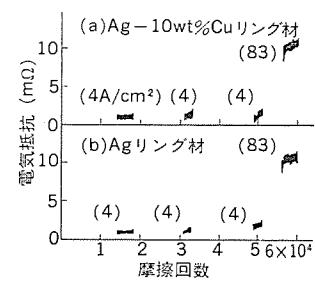


図 8. 摩擦回数と電気抵抗の関係
モデル機, ばね荷重 1 N,
4.83 A/cm² 通電時
Ag-12.5 wt % MoS₂-2.5
wt % NbSe₂ ブラシ材

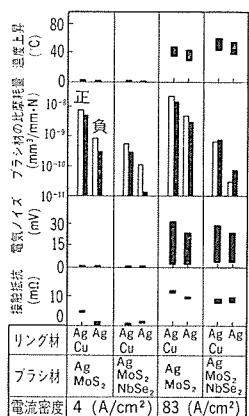


図 9. 銀系複合 ブラシ材の低電流及び大電流通電時の摺動特性
(モデル機, ばね荷重 1 N)

リング材としては、Ag-MoS₂-NbSe₂系 ブラシ材と純銀リング材の組合せが最適であると考えられる。なお、ブラシ材の具体的な組成としては、Ag-12.5 wt % MoS₂-2.5 wt % NbSe₂が優れている⁽⁷⁾。

5.2 電力用スリップリング材

電力用スリップリングは大電流通電下で用いられるが、ここでは直流 20 A、電流密度 83 A/cm²を評価電流とした。現在、人工衛星に搭載されている電力用スリップリングの電流密度は約 50 A/cm²である。したがって、評価電流 83 A/cm²は現用値の約 1.6 倍である。電力用スリップリング材の評価試験は、信号用スリップリング材の評価に必要なデータを取得後、通電量を 83 A/cm²まで増加して行った。よって、摺動速度や荷重及び実験方法などは信号用スリップリング材の評価試験と同じである(表 3.)。

図 8., 図 9. の接触抵抗と電気ノイズ及びブラシ材の比摩耗量と温度上昇を見ると、83 A/cm² 通電時における摺動特性は 4 A/cm² 通電時に比べ、いずれも大きくなっている。この原因としては、電流を増すことによってブラシ材とリング材の接触面における絞り抵抗が大きくなることや発熱の影響、電気的な摩耗の増加などが考えられる⁽⁷⁾。大電流通電は低電流通電に比べ極めて厳しい条件である。

しかし、Ag-MoS₂-NbSe₂系 ブラシ材の各特性は、両リング材に対し接触抵抗が 10 mΩ 以下、電気ノイズが 30 mV 以下、ブラシ材の比摩耗量が 9×10^{-10} mm³/mm·N 以下、温度上昇が 60°C 以下といずれも良好である。リング材としては純銀の方が好ましい。よって、電力用スリップリング材としては、Ag-MoS₂-NbSe₂系 ブラシ材と純銀リング材の組合せが最適であると考えられる。なお、ブラシ材の具体的な組成としては Ag-12.5 wt % MoS₂-2.5 wt % NbSe₂ が優れている⁽⁷⁾。

以上から、Ag-12.5 wt % MoS₂-2.5 wt % NbSe₂ ブラシ材と純銀リング材の組合せは、信号用及び電力用スリップリング材の両方に適しており理想的である。

5.3 大電力用スリップリング材

今後、人工衛星はますます大容量化すると考えられ、それに伴いスリップリングの大容量化も当然望まれるところである。そこで、83 A/cm² の大電流通電下で優れた特性を示し電力用スリップリング材に選定した Ag-12.5 wt % MoS₂-2.5 wt % NbSe₂ ブラシ材の摺動特性を、更に現用値の 10 倍の通電量 500 A/cm² で評価した⁽⁸⁾。その結果を表 4. に示す。

表 4. 500 A/cm² 通電時における摺動特性
(モデル機, ばね荷重 0.45 N)

ブラシ材	Ag-12.5 wt % MoS ₂ -2.5 wt % NbSe ₂	
リング材	貨幣銀	純銀
接触抵抗 (mΩ)	12~13	9~10
電気ノイズ (mV)	8~122	6~61
ブラシ材の比摩耗量 (mm ³ /mm·N)	(正) 1.4×10^{-8} (負) 1.1×10^{-8}	1.3×10^{-9} 1.5×10^{-9}
温度上昇 (°C)	77~79	71~74

500 A/cm² 通電は 83 A/cm² に比べ、更に厳しい条件となるが、両リング材特に純銀リング材に対してはいずれの摺動特性も小さく良好である。Ag-12.5 wt % MoS₂-2.5 wt % NbSe₂ ブラシ材と純銀リング材との接触抵抗は 10 mΩ 以下、電気ノイズは 61 mV 以下、ブラシ材の比摩耗量は 1.5×10^{-9} mm³/mm·N 以下、温度上昇が 74°C 以下であり、ブラシ材の比摩耗量と接触抵抗が特に優れている。なお、現在更に 700 A/cm² (現用値の 14 倍) まで通電量を増して評価試験を継続しているが、すべての特性が良好に推移しており、500 A/cm² 以上における通算摩擦回数は 40,000 回に達している。

よって、我々が開発した宇宙用スリップリング材は今後の人工衛星の大容量化に十分対応可能であると考えられる。

6. む す び

共同研究の成果をもとにして、人工衛星の太陽電池パドルなどに搭載するスリップリング材の研究、開発について述べた。開発した Ag-MoS₂-NbSe₂ 系 スリップリング材は、4 A/cm² の低電流から 500 A/cm² の大電流にわたって優れた潤滑特性及び電気特性を保持しており、信号伝達用及び電力伝達用スリップリングに十分適用可能である。更に、開発したスリップリング材は現用通電量の 14 倍である 700 A/cm² でも良好な特性を示すため、今後の人工衛星の大容量化にも十分対応可能であると考えられる。

また、この Ag-MoS₂-NbSe₂ 系 スリップリング材は広い通電領域にわたって通電特性と耐摩耗性が極めて優れていることから、人工衛星のみならず宇宙基地や地上の真空機器などの駆動装置への適用が期待される。

参 考 文 献

- (1) NASA: Report of the Seasat Failure Review Board, December 21 (1978)
- (2) A. C. Cunningham: Electrical Contacts 1970, Ill. Inst. of Tech. and IIT Res. Inst., Chicago, Ill. p. 73
- (3) J. C. Anderson: ESA SP, No. 158, 129 (1980)
- (4) 津谷編: 固体潤滑ハンドブック, 幸書房 (1978)
- (5) 西村ほか: 第 28 回宇宙科学技術連合講演会予稿集, 440 (1984)
- (6) 西村ほか: 潤滑学会第 29 期通常総会研究発表会予稿集, 81 (1985)
- (7) 渡辺ほか: 潤滑学会第 31 期全国大会研究発表会予稿集, 77 (1986)
- (8) 渡辺ほか: 潤滑学会第 31 期通常総会研究発表会予稿集, 73 (1987)

液相成長法によるInP系材料とその応用

大塚健一*
松井輝仁*
尾形仁士**

1. まえがき

近年、増大する情報量に対応して伝送容量の大きな光通信が大きな期待を集めている。石英系光ファイバの零分散帯（波長 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ ），低損失帯（波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ ）を用いる長波長帯光通信システムでは、受光素子として当初 Ge-APD(Avalanche Photodiode) が用いられたが、暗電流やなだれ増倍雑音が大きく、また波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ で感度が低下するという欠点があるため、この波長帯の発光素子と同様の InGaAsP 系混晶を用いた受光素子の実現が必要となっている。In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y} 混晶をエピタキシャル成長する場合、Ga 組成 x と As 組成 y の間で $y \approx 2.1x$ の関係を保つと下地となる InP 基板結晶と格子整合をとることができ。この混晶を用いると $0.9\text{ }\mu\text{m}$ (InP : $x=y=0$) から $1.7\text{ }\mu\text{m}$ (In_{0.53}Ga_{0.47}As : $x=0.47$, $y=1$) の波長域の光デバイスを実現することができる⁽¹⁾。

本稿では従来から光デバイスの作製に使用されている液相エピタキシ (LPE : Liquid Phase Epitaxy) を用いて、InGaAsP(InGaAs)/InP 系受光素子を試作した結果について述べる。

2. LPE 技術

LPE では、成長させる結晶の構成元素からなる原料を飽和温度以上の温度に保持して十分に溶かしこんだのち、徐冷して過飽和状態となってから、基板結晶に接触させることによってエピタキシャル成長が行われる⁽²⁾。したがって、多層構造を成長するためには、各層の成長用溶液を次々に基板結晶に接触させることになる。結晶の組

成は成長温度（溶液と基板結晶とを接触させる温度）と溶液の組成によって制御でき、層厚は溶液の過飽和度に比例する。成長が溶液中の溶質の拡散によって律速されていれば、層厚は成長時間の $1/2$ 乗に比例する。所望の組成の結晶、混晶を成長させるための溶液の液相組成は、熱力学的計算により、およその値が求められるが、実際には計算に必要な各種パラメータは結晶成長の実験結果から正確な値が求められる場合が多く、結晶成長の各種条件は試行錯誤的に確立されていく場合が多い。

LPE は熱的平衡状態で成長が行われるため、比較的容易に良質の結晶を得ることができる。したがって、良質の結晶を必要とする光デバイスの開発に主に用いられ、当社でもコンパクトディスク用及び光通信用の AlGaAs 系半導体レーザや、光通信用 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ 帯 InGaAsP 系半導体レーザなどを実現してきた⁽³⁾⁽⁴⁾。今回試作した光通信用受光素子は、図 1. (APD) 及び図 2. (pin フォトダイオード/MISFET 集積素子 : pin PD/MISFET) に示す層構造をもち、これらを実現するためには従来の LPE 技術に加えて、次の課題を解決しなければならなかった。

(1) 半導体レーザに比べて低キャリヤ濃度のエピタキシャル層が要求されるために、ドナ密度 $10^{15} \sim 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ を実現する高純度化が必要である。

(2) 図 1. の APD の場合、Ga 組成、As 組成の大きい InGaAsP 層や In_{0.53}Ga_{0.47}As 層上へ InP 層を成長した構造であるために、InP 層を InGaAs, InGaAsP 層上に成長させる際に生じる InP 層成長用溶液への InGaAs, InGaAsP 層の溶解を防止して結晶成長を行わなければならない。

結晶成長技術以外にプロ

p+領域の拡散深さ $\sim 2\mu\text{m}$	セス技術として、
$d=2.5\mu\text{m}$ $n=2 \cdot 10^{16}\text{ cm}^{-3}$	(3) InP 及び InGaAs 結
$d=0.1\mu\text{m}$ $n=2 \cdot 10^{16}\text{ cm}^{-3}$	晶への選択気相拡散、若し
$d=0.5\mu\text{m}$ $n=2 \cdot 10^{16}\text{ cm}^{-3}$	くはイオン注入による p-n
$d=3.5\mu\text{m}$ $n=5 \cdot 10^{15}\text{ cm}^{-3}$	接合の作製技術が必要であ
$d=2\mu\text{m}$ $n=2 \cdot 10^{18}\text{ cm}^{-3}$	る。

ここで、(1)については成長用溶液の長時間高温水素処理を行うことにより、結晶の高純度化が可能であることが知られており⁽⁵⁾、我々も光通信用受光素子の実現に十分な $\sim 3 \cdot 10^{15}\text{ cm}^{-3}$ までの高純度化を再現性よく実現している。また、(3)についても、InP, InGaAs への Cd の気相拡散において、拡散温度、時間などの拡散条件と、拡散

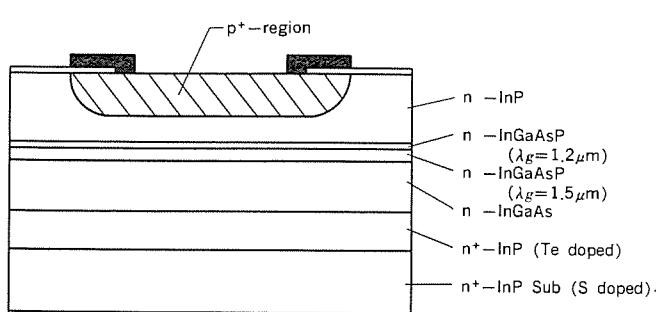


図 1. 光通信用 APD の層構造 (d は層厚, n はキャリヤ濃度を示す)

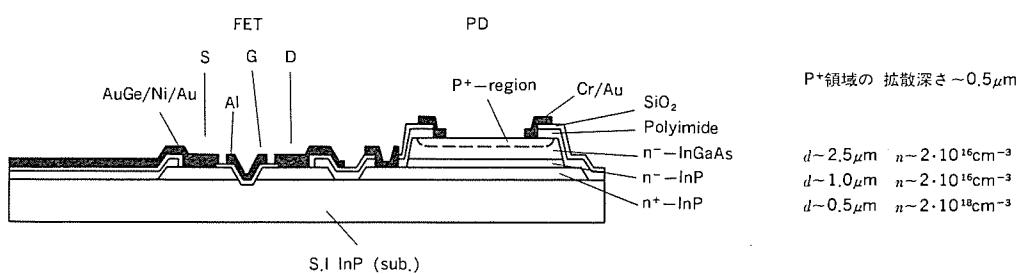


図 2. 光通信用 pin PD/FET の層構造 (d は層厚, n はキャリヤ濃度を示す)

を行う結晶のキャリヤ濃度とを適切に選ぶことによって、APD の増倍部形成に適した段階接合と、APD のガードリング部及び pin PD の受光部の形成に適した傾斜接合とのいずれの接合も実現している⁽⁶⁾。一方、(2)に関しては成長温度を下げる方法や⁽⁷⁾、InP 層と Ga 組成、As 組成の大きい InGaAsP 層(活性層)との間に中間組成の InGaAsP 層(アンチメルトバッカ層)を導入する方法⁽⁸⁾が報告されているが、受光素子のように $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ 層上への InP 層の成長を必要とする場合に関しては、徐冷速度が非常に大きい特殊な場合や、成長温度が 600°C 以下の低温の場合しか報告がなく⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾、詳細な結晶成長条件は知られていない。そこで、成長温度 630°Cにおいて、次の 2 点について検討した。①中間組成の InGaAsP アンチメルトバッカ層を導入することなく InP/InGaAsP/InP 構造が実現できる InGaAsP 活性層の組成範囲。②InGaAsP アンチメルトバッカ層を導入した InP/InGaAsP/InGaAsP(活性層)/InP 構造を実現するための InGaAsP 活性層の組成と中間組成の InGaAsP 層の組成及び成長条件との関係。なお、使用した基板は InP(100)である。

3. InGaAsP 系の LPE 成長

波長 1.5 μm 帯の InGaAsP 層上への InP 層の LPE 成長では、InGaAsP 層上に成長させる InP 層の成長用溶液の過飽和度を大きくすることにより、InGaAsP 層の溶解のない成長が可能であるとされている⁽¹¹⁾。そこでも InP 及び InGaAsP について成長用溶液の過飽和度が最も大きくなる成長条件を検討した。InGaAsP 混晶の LPE 成長では、成長用溶液中の P の組成 X_p^l を広範囲に変化させても、成長した結晶の固相組成はほとんど変化しない⁽¹²⁾。 X_p^l を変化させることにより、溶液の過飽和度は変化する。したがって、 X_p^l を制御することにより成長用溶液の過飽和度は変化し、得られる結晶の組成は変化させずに成長することができる。図 3 に示すように、InP, InGaAsP ともに X_p^l のある値で成長速度が最大となり、成長用溶液の過飽和度が最大となっていることがわかる。

次に InGaAsP 活性層上に InP 層若しくは InGaAsP アンチメルトバッカ層をウェーハの半分の面積に成長させ、ウェーハ表面及びへき開した端面を観察することによって、InGaAsP 活性層の溶解の有無やヘテロ構造界面を調べた。表 1 に示すように、InGaAsP 活性層上に InP の直接成長した場合、波長 1.30 μm より短波長側の InGaAsP 活性層では、溶解もなく平たんなヘテロ接合界面が得られる。しかし、波長 1.45~1.50 μm の InGaAsP 層ではヘテロ接合界面は平たんなも

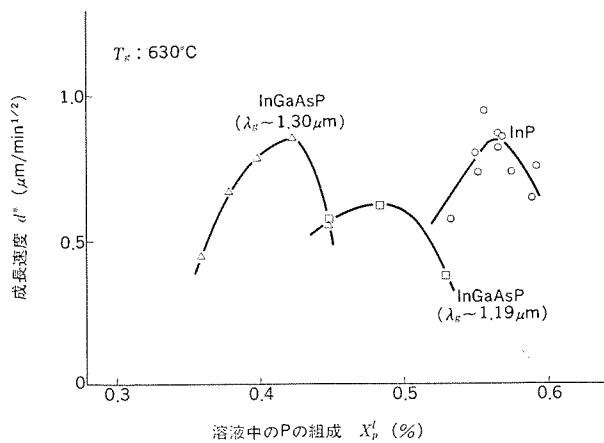


図 3. 成長速度と溶液中の P 組成との関係

表 1. 活性層上へのアンチメルトバッカ層、クラッド層の成長結果

アンチメルトバッカ層、クラッド層のバンドギャップ相当波長 λ_g (μm)	溶液中の P 組成 X_p^l (%)	活性層のバンドギャップ相当波長 λ_g (μm)					
		1.30	1.45	1.50	1.54	1.59	1.66
0.92 (InP)	0.55	◎	○	○	×	×	×
1.19	0.45	◎	◎	◎	△	△	△
1.19	0.49	◎	◎	◎	△	△	△
1.30	0.36	◎	◎	◎	◎	×	
1.30	0.38	◎	◎	◎	◎	○	
1.30	0.40	◎	◎	◎	◎	○	
1.30	0.43	◎	◎	◎	◎	◎	
1.50	0.17		◎	◎	◎		
1.54	0.14		◎	◎			
1.59	0.10		◎				

注 ◎: 溶解もなく、平たんなヘテロ接合界面

○: 溶解はあるが、平たんなヘテロ接合界面

△: 溶解があり、凹凸のあるヘテロ接合界面

×: 溶解のみで、成長しない

の、わずかな溶解が観測され、波長 1.54 μm より長波長側の InGaAsP 層では溶解のみで InP の成長は起きなかった。以上の結果から波長 1.50 μm より長波長側の InGaAsP 層では、InGaAsP アンチメルトバッカ層を導入しないと良質のヘテロ構造が得られないことがわかる。

また、InGaAsP 活性層上に InGaAsP アンチメルトバッカ層を成長させた場合には、活性層組成の波長 1.50~1.54 μm と 1.59~1.66 μm とで大きな違いがみられた。波長 1.50~1.54 μm の活性層に対しては、アンチメルトバッカ層として波長 1.19 μm の組成のものを用いても、ヘテロ接合界面は平たんで溶解は観測されなかった。ところが図 4 に示すように 1.59~1.66 μm の活性層に対しては、波長 1.19 μm の組成のアンチメルトバッカ層では過飽和度が最大であっても、活性層の溶解が観測され、ヘテロ接合界面に凹凸が生じている。したがって、アンチメルトバッカ層の組成は波長 1.30 μm より長波長側のものでなければならないことがわかった。更に、波長 1.59 μm の組成の活性層では、波長 1.30 μm の組成のアンチメルトバッカ層成長用溶液の過飽和度が低い場合でも活性層の溶解はなく、ヘテロ接合界面は平たんである。

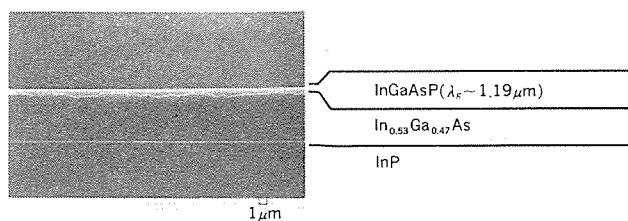


図 4. InGaAsP($\lambda_g \sim 1.19 \mu m$)/In_{0.53}Ga_{0.47}As/InP 構造の断面写真

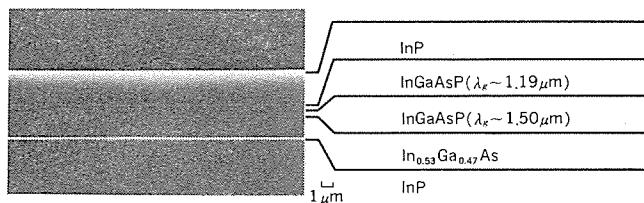


図 5. InP/InGaAsP($\lambda_g \sim 1.19 \mu m$)/InGaAsP($\lambda_g \sim 1.50 \mu m$)/In_{0.53}Ga_{0.47}As/InP 構造の断面写真

しかし、波長 $1.66\text{ }\mu\text{m}$ すなわち $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 層では、波長 $1.30\text{ }\mu\text{m}$ の組成のアンチメルトバッカ層に対して過飽和度を最大にとらないと InGaAs 層の溶解が観測され、低い過飽和度では溶解のみで成長が起きない場合もある。したがって、活性層の溶解のないヘテロ接合界面の平たんな層構造を得るために、アンチメルトバッカ層成長用溶液の過飽和度を正確に制御することが重要である。

以上の結果から、成長温度 630°C では、アンチメルトバッカ層を導入することなく $\text{InP}/\text{InGaAsP}/\text{InP}$ 構造を成長できるのは波長 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ より短波長側の活性層に限られる。アンチメルトバッカ層を導入した場合でも、波長 $1.59\text{ }\mu\text{m}$ より長波長側の活性層に対しては、アンチメルトバッカ層の組成は波長 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ より長波長側に限定される。特に $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 3元層の場合には、アンチメルトバッカ層成長用溶液の過飽和度の制御が重要であることがわかった。ピンホール状の溶解を防止するために、アンチメルトバッカ層を波長 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ と $1.2\text{ }\mu\text{m}$ の2層構造とした $\text{InP}/\text{InGaAsP}/\text{InGaAs}/\text{InP}$ ヘテロ構造の断面を図5に示す。以下にこれらのLPE技術を用いて試作した光通信用受光素子について述べる。

4. 光通信用受光素子

InGaAsP 系混晶を用いた光通信用APDは図1に示すように、 InGaAs 層で光を吸収して生成されたキャリヤを InP 中のp-n接合でなだれ増倍する構成となっている。これは、ホモ接合構造として InGaAs 中にp-n接合を設けると、 InGaAs のバンドギャップが小さいためにトンネル電流が大きく、良好ななだれ増倍特性を実現するにはキャリヤ濃度を $4 \sim 6 \cdot 10^{14}\text{ cm}^{-3}$ まで下げなければならないからである⁽¹³⁾。更に、たとえこのキャリヤ濃度を実現できたとしても、動作電圧が 250 V を超えて非常に使いづらいものとなるからである。また、このキャリヤ濃度を実現できない場合には、APDとして動作させるよりも低電圧で動作させるpin PDとして用いた方が雑音の点で有利なため⁽¹⁴⁾、pin PDとFETとを集積した素子が注目されている。ここでは、ヘテロ構造のAPDと、pin PD/FET集積素子との両方についてLPEにより試作した素子に関して述べる。

ヘテロ構造APDでは、光吸収層である InGaAs 層内で生成された光キャリヤは空乏層の電界により InP なだれ増倍部へ向って加速される。このように光キャリヤはヘテロ接合界面を横断するため、ヘテロ接合界面での電界の大きさの制御が重要である。電界値としては、ヘテロ接合界面でのバンド不連続による界面でのキャリヤの蓄積が生じない程度に大きく、かつトンネル電流があり大きくならない程度に小さくなるよう層構造を設計する⁽¹⁵⁾。したがって、 InP と InGaAs の間に導入された InGaAsP 層はLPE成長を可能とするために導入されたものであるが、ヘテロ接合界面でのキャリヤの蓄積を軽減する機能を持ち、 InGaAsP 層を導入した方が素子設計が容易となる。

そこで、今回試作した素子は低電圧での動作すなわちpin PDとして使用することも考慮し、 InGaAsP 層を波長 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ と $1.2\text{ }\mu\text{m}$ の2層構造とし、かつ波長 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ の組成の InGaAsP 層を厚くした構造とした。各層の層厚とキャリヤ濃度を図1に示す。p-n接合はプラズマCVD(Chemical Vapor Deposition)

のSiN膜をマスクとするCdの気相拡散により直径 $160\text{ }\mu\text{m}$ の領域に形成した。試作した素子の暗電流特性及び波長 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ の光に対する増倍特性を図6に示す。ブレークダウン電圧 V_b は $\sim 50\text{ V}$ であり、暗電流値は 0.5 V_b , 0.9 V_b でそれぞれ $\sim 2\text{ nA}$ ($1 \times 10^{-5}\text{ Acm}^{-2}$), $\sim 50\text{ nA}$ ($2 \times 10^{-4}\text{ Acm}^{-2}$) である。暗電流、光電流とともに $\sim 2\text{ V}$ で急激な増加がみられる。これはp-n接合の空乏層が InGaAsP 層(波長 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ の組成)へ到達したことに対応する。波長 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ の組成の InGaAsP 層を厚くしても問題となるような暗電流の増加ではなく、 InGaAsP 層として波長 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ の組成のものも使用可能であることがわかった。p-n接合部を特にガードリング構造とはしていないが、20倍程度の最大増倍率が得られた。増倍率 $M=1$ において、無反射コートなしで、 $1 \sim 1.6\text{ }\mu\text{m}$ の波長域での量子効率は70%以上であり、感度として波長 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ で 0.8 A/W , $1.55\text{ }\mu\text{m}$ で 0.9 A/W 以上の値が得られた。電圧 $\sim 35\text{ V}$ でのpin PD動作において、 $\sim 1\text{ GHz}$ まで平たんな周波数特性が得られ、ヘテロ構造APDをpin PDとして動作させることが可能であることを示した⁽¹⁶⁾。今後、層構造の最適化及びガードリング構造の採用による最大増倍率、周波数特性の改善が必要である。

InGaAs pin PDとしてはホモ接合のものが構造が簡単で電子素子との集積化も容易であるが、 InGaAs 結晶表面の不安定さのために表面保護が必要で、暗電流の大きいことが問題となっている。このため表面に露出したp-n接合は InP 中となるように、APD同様

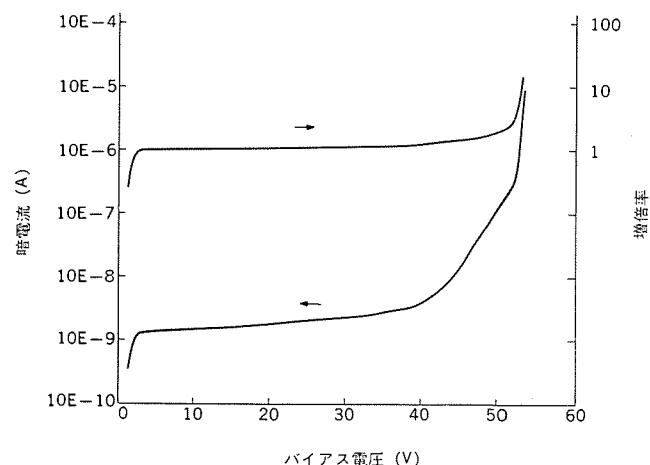


図6. ヘテロ構造APDの暗電流、増倍特性

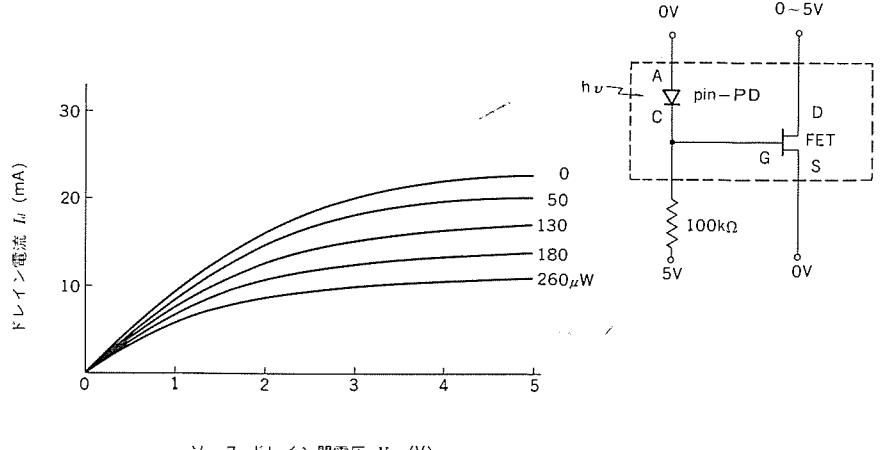


図7. pin PD/FET集積素子の光照射時の電流電圧特性

のダブルヘテロ構造とする方法や⁽¹⁷⁾, PD受光部の周囲の表面をInPとする方法が考えられているが⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾, 前者は層厚が大きく集積化が, 後者はp-n接合面積が大きく低容量化が難しい。そこでCdの選択気相拡散によって作製したホモ接合InGaAs pin PDについて, 表面加工による暗電流特性の変化に関して検討を行った。その結果, InGaAs p-n接合表面の硫酸系ライトエッティング及びポリイミドコートによって1~2 nAまで暗電流を低減できることが明らかになった⁽²⁰⁾。ここでp-n接合径は160 μmである。PDの感度としては無反射コートなしで1~1.6 μmの波長域で0.5 A/Wの値を得た。

低暗電流化を実現したpin PDとInP MISFETとを段差のない半絶縁性InP基板上に集積した。InP MISFETは, Fe+-P半絶縁性InP基板上に成長したn⁺-InP層をソース, ドレインとして用い, ゲート部は半絶縁性基板表面までエッティングしたのち, ゲート絶縁膜を形成した構造のものである。ゲート絶縁膜にはプラズマCVDによるSiO₂膜を用いた。ゲート長3 μmにおいて19 mS/mmの相互コンダクタンスg_m値を示した。集積素子の光照射時におけるドレイン電流I_dのソース・ドレイン間電圧V_{ds}依存性を図7に示す。集積化によるpin PD, MISFETの特性の変化はみられず, pin PD表面とMISFETのゲート部との間に4 μmの段差があるにもかかわらず, 集積素子としての動作を確認した⁽²¹⁾。今後, pin PDの低容量化及びFETのg_m値の改善が課題である。

5. む す び

InGaAsP系光通信用デバイスの実現に必要なLPE結晶成長技術及び, それを用いて試作した受光素子について述べた。発光素子を含めたこれら光デバイスの高機能化・集積化に向けて, AlGaAs系と同様に結晶成長の再現性, 均一性に優れたMBE(Molecular Beam Epitaxy), MOCVD(Metal Organic Chemical Vapour Deposition)技術の確立が望まれる。一方, InGaAsP系では1種類の結晶成長技術を万能型として使用するのは困難と予測されることから, それぞれの結晶成長技術の長所を生かし, 各種の結晶成長技術を組み合わせてデバイスの作製を行うことが必要である。LPEはその中で高純度, 高抵抗の結晶が得られるという特長がある。また, 比較的容易に良質の結晶を得ることができるという特長を生かし, 光デバイスにとって本稿で述べた1 μm帯と並んで重要な波長域である可視域の半導体材料(II-VI化合物, カルコパイライトなど)への適用も重要である。

参 考 文 献

- (1) GaInAsP Alloy Semiconductors, Edited by T. P. Pearsall,

John Wiley & Sons (1982)

- (2) 河東田: 半導体エピタキシー技術, 産業図書 (1982)
- (3) H. Kumabe, T. Tanaka, H. Namizaki, M. Ishii and W. Susaki : Appl. Phys. Lett. 33, 38 (1978)
- (4) E. Oomura, T. Murotani, H. Higuchi, H. Namizaki and W. Susaki : IEEE J. Quantum Electron. QE-17, 646 (1981)
- (5) T. Amano, K. Takahei and H. Nagai : Jpn. J. Appl. Phys. 20, 2105 (1981)
- (6) K. Ohtsuka, T. Nishino and Y. Hamakawa : Jpn. J. Appl. Phys. 21, 1170 (1982)
- (7) H. Kawaguchi, K. Takahei, Y. Toyoshima, H. Nagai and G. Iwane : Electron. Lett. 15, 669 (1979)
- (8) S. Arai, Y. Suematsu and Y. Itaya : Jpn. J. Appl. Phys. 18, 709 (1979)
- (9) Y. Matsumoto, K. Taguchi and K. Ishida : J. Crystal Growth 69, 53 (1984)
- (10) S. Kondo, T. Amano and H. Nagai : J. Crystal Growth 61, 8 (1983)
- (11) S. Takahashi : J. Appl. Phys. 52, 6104 (1981)
- (12) M. Feng, L. W. Cook, M. M. Tashima and G. E. Stillman : J. Electron. Mater. 9, 241 (1980)
- (13) Y. Takanashi, M. Kawashima and Y. Horikoshi : Jpn. J. Appl. Phys. 19, 693 (1980)
- (14) Y. Takanashi and Y. Horikoshi : Jpn. J. Appl. Phys. 20, 1915 (1981)
- (15) 田口ほか: 電子通信学会技術研究報告 OQE 86-183
- (16) 大塚ほか: 昭和60年度電子通信学会半導体材料部門全国大会, 279
- (17) 香川ほか: 昭和59年度秋季応用物理学会講演会予稿 12 p-N-5
- (18) K. Hasegawa, K. Ohnaka, M. Kubo, Y. Hori and H. Serizawa : Extended Abstracts of the 16th Conference on Solid State Devices and Materials, Kobe, 579 (1984)
- (19) G. R. Antell and R. F. Murison : Electron. Lett. 20, 919 (1984)
- (20) K. Ohtsuka, H. Sugimoto, Y. Abe, T. Matsui and H. Ogata : Electron. Lett. 22, 652 (1986)
- (21) 大塚ほか: 応用物理学会応用電子物性分科会研究会 No. 414, p. 25

ECR プラズマ CVD 法による a-Si:H 膜

羽山昌宏* 三木秀二郎**
小林和弘* 川元 晓*

1. まえがき

水素化アモルファスシリコン膜 (a-Si : H) は、1975 年に W. E. Spear らによりグロー放電法を用いて偏電子制御が示されて以来⁽¹⁾、活発に研究されている。そして、太陽電池⁽²⁾、アクティーマトリクス液晶平面ディスプレイ⁽³⁾、密着型イメージセンサ⁽⁴⁾などの電子デバイスへの応用が進められている。a-Si : H 膜のたい(堆)積法としては高周波プラズマ CVD 法 (RFPCVD; 例えば 13.56 MHz) が多用されており、光 CVD 法やスパッタリング法なども研究されている。我々は、高真空中における高電離プラズマの生成、プラズマ室と成膜室の分離、プラズマ反応とイオン照射の複合効果などに注目し、電子サイクロトロン共鳴マイクロ波プラズマ CVD 法 (ECRPCVD) による a-Si : H 膜を検討している⁽⁵⁾。ECRPCVD 法は 1970 年に当社から提案し⁽⁶⁾、1978 年に樋本により“プラズマ流輸送法”(Plasma Stream Transport Method) として、基板加熱温度 400°C で Si₃N₄ と a-Si の膜堆積がされた⁽⁷⁾。1982 年に松尾と木内は ECRPCVD 装置を開発し、基板加熱を特にしないで Si₃N₄ と SiO₂ の低温膜堆積を行なう発展させた⁽⁸⁾。

この報告は ECRPCVD 法の概要、a-Si : H 膜堆積条件と膜特性を示し、フォトダイオードへの応用例について述べる。

2. 実験方法

2.1 装置及び膜堆積法

図 1 に ECRPCVD 装置の概略図を示す。基本構成は ECR プラズマを発生させるプラズマ室と基板上に膜堆積を行う成膜室からなっている。プラズマ室 (150 mmφ × 200 mmH) は 2.45 GHz のマイクロ波パワーを導入するく(矩)型導波管が接続され、空洞共振器として用いられる。その周囲には ECR プラズマを生成するために電磁石が置かれている。成膜室にはプラズマ室から 13 cm 離れて基板 (ガラス又は

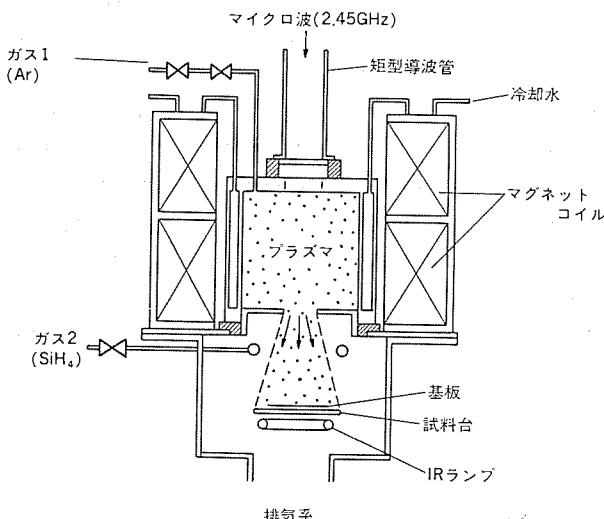


図 1. ECRPCVD 装置の概略

シリコン基板)が置かれ、必要であれば赤外ランプにより加熱ができるようになっている。反応ガスは、プラズマ室から Ar ガスを、成膜室から SiH₄ ガスを導入した。

ECR プラズマはプラズマ室に形成されたマイクロ波の定在波のピーク位置に電子の ECR 条件 $\omega_c = eB/m$ (ここで、 ω_c , e , m はそれぞれ電子のサイクロトロン角周波数、電荷、質量であり、 B は磁束密度である) を満たす 875 Gauss を印加することによって、 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ Torr という低い圧力下でも効率よく生成できる。このため、1 Torr 位の従来の RFPCVD 法に比べ、ガス粒子の平均自由行程は $10^3 \sim 10^5$ 倍長くなり、気相中の活性種の相互反応の抑制が期待される。

次に、ECR プラズマは円運動する高エネルギー電子が反磁性を示すため、プラズマ室の周囲に配置した電磁石が成膜室に形成する発散磁界によって、弱磁界方向に加速される。このプラズマ室から引き出された電子は円運動しつつ基板方向に加速され、中和条件を満たすようにプラズマ室内で多量に生成されたイオンを引き出し、更に SiH₄ を解離させる。成膜室には磁界の減少に伴った両極性電界による浮動電位が形成される。この浮動電位により、イオンの運動エネルギーは分散の小さい 10~30 eV 程度になる。このため、RFPCVD 法のような基板への大きなイオン損傷ではなく、適度なイオン照射効果を伴う膜堆積を行うことができる。基板加熱をしないとき、マイクロ波パワー やガス圧力によって変わるが、基板温度は 50~150°C 位になった。

膜堆積パラメータと実験条件を表 1 に示す。実験は a-Si : H 膜特性の基板加熱なしにおけるマイクロ波パワー依存性と基板加熱温度依存性、そして成膜室におけるプラズマ発光分析をした。

表 1. 堆積パラメータと条件

堆積パラメータ	条件
・ガス圧力	$0.4 \sim 1.8 \times 10^{-3}$ Torr
・Ar ガス流量 (プラズマ室)	0~30 SCCM
・SiH ₄ ガス流量 (成膜室)	40 SCCM
・マイクロ波パワー (2.45 GHz)	100~500 W
・基板加熱温度	基板加熱なし~300°C
・ECR 磁界	875 Gauss

2.2 a-Si ショットキーフォトダイオード素子の作製法

パリエックス基板上に、下部電極として 200 nm 厚の Cr 膜を、半導体層として ECRPCVD 法による 1,360 nm 厚の a-Si : H を、上部電極として 240 nm 厚の ITO (Indium Tin Oxide) 膜を用いて a-Si ショットキーフォトダイオード素子を作製し、フォトダイオード特性を評価した。a-Si : H 膜の堆積条件は、基板加熱なし、マイクロ波パワーは 500 W、ガス圧力は 9×10^{-4} Torr、成膜速度は 136 nm/min である。a-Si : H 膜はフォトリソグラフィにより、 $125 \times 95 \mu\text{m}^2$ の大きさにされ、端面はポリイミド膜によって覆われている。ITO 膜と a-Si : H 膜との接触面積は $100 \times 70 \mu\text{m}^2$ である。光電流の測定は 100 lx の 570 nm の単色光を用いた。

比較のため、同じ素子構造と作製法を用いて従来の RFPCVD 法

の a-Si : H 膜による素子を作製した。RFPCVD 法の堆積条件は、基板加熱温度は 250°C、ガス圧力は 1.0 Torr (SiH_4/Hz)、成膜速度は 25 nm/min である。

3. 実験結果と検討

3.1 マイクロ波パワー依存性

外部基板加熱なしで、ガス圧力は 9×10^{-4} Torr ($\text{SiH}_4=40 \text{ SCCM}$ (Standard Cubic Centi Meter), $\text{Ar}=5 \text{ SCCM}$) とし、マイクロ波パワーを 100~500 W 変化させた。図 2. に a-Si : H 膜の成膜速度、暗導電率 (σ_d)、明導電率 (σ_{ph}) (544 nm light, $50 \mu\text{W}/\text{cm}^2$)、光学的バンドギャップ (E_g)、 σ_d の活性化エネルギー (E_a) とマイクロ波パワーとの関係を示す。図 2. に見られるように、成膜速度はマイクロ波パワーとともに増加し、500 W で 136 nm/min が得られた。これは RFPCVD 法に比べ 4~20 倍大きい成膜速度である。また、明導電率もマイクロ波パワー、成膜速度とともに大きくなり、RFPCVD 法と逆の傾向を示した。500 W のとき、 $\sigma_{ph}=1.5 \times 10^{-7} \text{ S/cm}$ 、 $\sigma_d=3 \sim 4 \times 10^{-10} \text{ S/cm}$ 、 $\eta\mu\tau=4.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{V}$ (但し、 η : 量子効率、 μ : 移動度、 τ : 寿命) が得られ、従来の膜と同等であった。光学的バンドギャップはマイクロ波パワー依存性が認められず 1.81 eV であり、結合水素量は 24% であった。結合水素量は従来の膜より多い傾向を示した。

ESR スピン密度と 2,000~2,100 cm⁻¹ 付近の赤外吸収スペクトルとマイクロ波パワーとの関係をそれぞれ図 3., 図 4. に示す。ESR スピン密度と SiH_2/SiH 結合比はマイクロ波パワーとともに小さくなり、500 W のとき最も良い膜質を示した。

以上のように、大きな成膜速度が得られただけでなく、大きな成膜速度ほど a-Si : H 膜の膜質の向上がみられた。これは、RFPCVD 法では成膜速度が大きくなると、膜質が低下したのとは逆の傾向を示すものである。また、基板加熱なしでも、従来の膜と同程度の膜質が得られ、ECRPCVD 法は高速・低温膜堆積の特長をもつてい

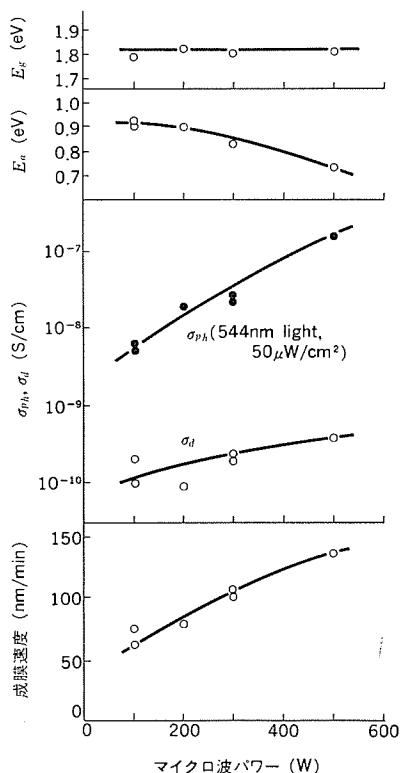


図 2. a-Si : H 膜特性とマイクロ波パワーとの関係 (基板加熱なし)

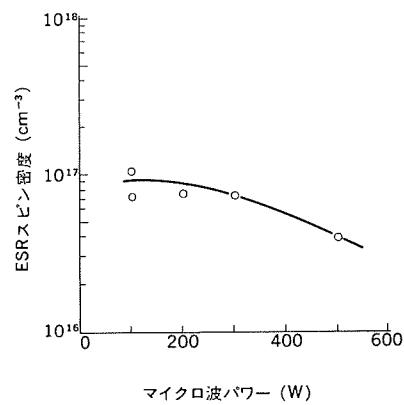


図 3. ESR スピン密度とマイクロ波パワーとの関係 (基板加熱なし)

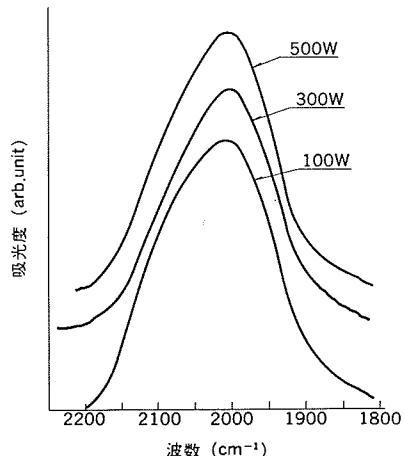


図 4. 2,000 cm⁻¹ 付近の a-Si : H の赤外吸収スペクトル (基板加熱なし)

るといえる。

3.2 基板加熱温度依存性

マイクロ波パワー依存性において、最も良い膜質が得られたマイクロ波パワー 500 W で、基板加熱なし (RT) から 300°Cまでの基板加熱依存性を調べた。

図 5. は a-Si : H 膜の成膜速度、エッチャング速度 (9 wt % KOH, 42°C)、暗導電率 (σ_d)、明導電率 (σ_{ph}) (550 nm light, $50 \mu\text{W}/\text{cm}^2$)、光学的バンドギャップ (E_g) と基板加熱温度 (T_s) の関係である。基板加熱温度の増加とともに成膜速度は少し減少した。これは、エッチャング速度も低下しており、膜がよりち(緻)密になったと考えられる。明導電率 (σ_{ph}) は基板加熱により大きくなり、250°Cで $\eta\mu\tau$ (550 nm light) は、 $8 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{V}$ と基板加熱なしのときの約 2 倍大きくなかった。光学的バンドギャップは基板加熱によって若干大きくなり、150~300°C では 1.86 eV と一定であった。このときの結合水素量は 31% であった。ESR スピン密度と SiH_2/SiH 結合比は、基板加熱により小さくなる傾向を示した。

以上のように、ECRPCVD 法でも、基板加熱を 200 から 250°C 位行うことによって a-Si : H 膜の膜質は更に向上することがわかった。

図 6. はマイクロ波パワーと基板加熱温度を変えたときの $\eta\mu\tau$ (550 nm light) と ESR スピン密度との相関をみたものである。ESR スピン密度の減少に伴って $\eta\mu\tau$ は増加し、ダングリングボンドがトラップ又は再結合中心として RFPCVD 法と同様に作用していることを示して

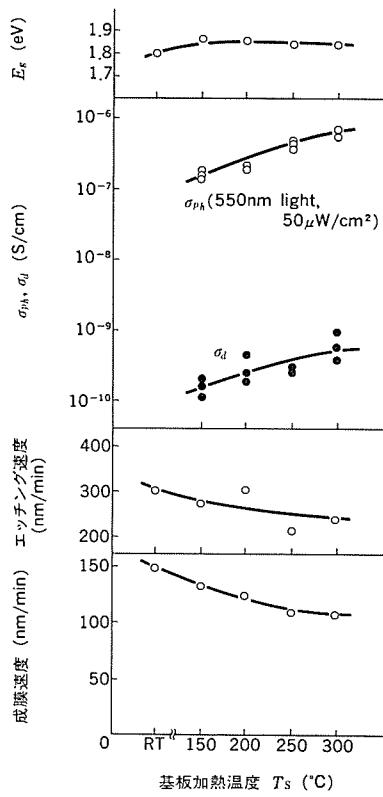


図 5. a-Si : H 膜特性と基板加熱温度との関係 ($P_{\mu}=500 \text{ W}$)

いる。しかし、RFPCVD 法に比べ ECRPCVD 法は変化が大きいように思える。

3.3 イオン照射効果

成膜室の基板上 5 mm に接地した金属 メッシュをおいて、イオンを遮へいすることにより a-Si : H 膜へのイオン照射効果を調べた。膜堆積条件は、基板加熱温度 150°C, マイクロ波パワー 500 W, ガス圧力 $5 \times 10^{-4} \text{ Torr}$ ($\text{SiH}_4=40 \text{ SCCM}$, $\text{Ar}=5 \text{ SCCM}$) である。金属 メッシュをおくことによって、明導電率 (σ_{ph}) (550 nm light, $50 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) は $4 \times 10^{-7} \text{ S/cm}$ から $0.9 \sim 9 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$ へと小さくなり、ESR スピン密度は $6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ から $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ へと大きくなつた。このように、ECRPCVD 法では適度なイオン照射効果により a-Si : H 膜質は改善されると考えられる。このイオン照射効果はマイクロ波パワーが大きく、ガス圧力が低いほど大きくなるが、RFPCVD 法のように大きなイオンエネルギーがないため、膜質の向上に寄与していると考えられる。ECRPCVD 法は RFPCVD 法に比べ低い圧力のため、

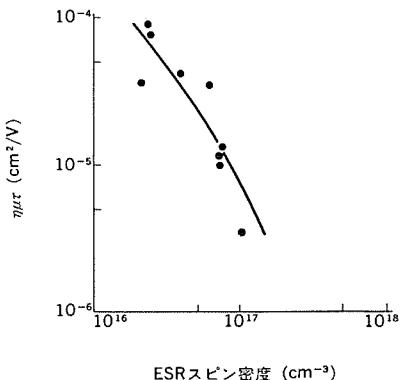


図 6. $\eta\mu\tau$ と ESR スピン密度との相関

気相中の活性種の相互反応は抑制され、ポリマーが形成されにくないので、イオンの膜形成に果たす役割について今後の解明が必要とされる。

3.4 プラズマ発光分析

図 7. に成膜室におけるプラズマ発光スペクトルの代表例を示す。発光ラインにおいて、RFPCVD 法ではほとんど認められなかった水素の $\text{H}_\beta(486 \text{ nm})$, $\text{H}_\gamma(434 \text{ nm})$ が観測され、プラズマの電子温度がより高いことを示している。

図 8. はガス圧力 $1 \times 10^{-3} \text{ Torr}$ のときの暗導電率 (σ_d)、明導電率 (σ_{ph})、成膜速度と $\text{SiH}^*(412 \text{ nm})$ のプラズマ発光強度との関係をみたものである。約 100 nm/min 以下の成膜速度と SiH^* の発光強度とは、RFPCVD 法と同様に比例の関係がみられる。更に、明導電率の対数も SiH^* の発光強度と比例の関係がみられた。このように、

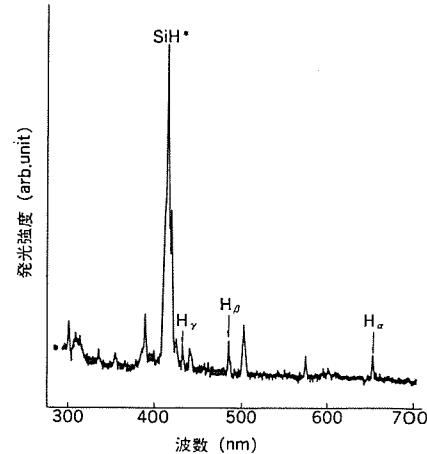


図 7. プラズマ発光スペクトルの例

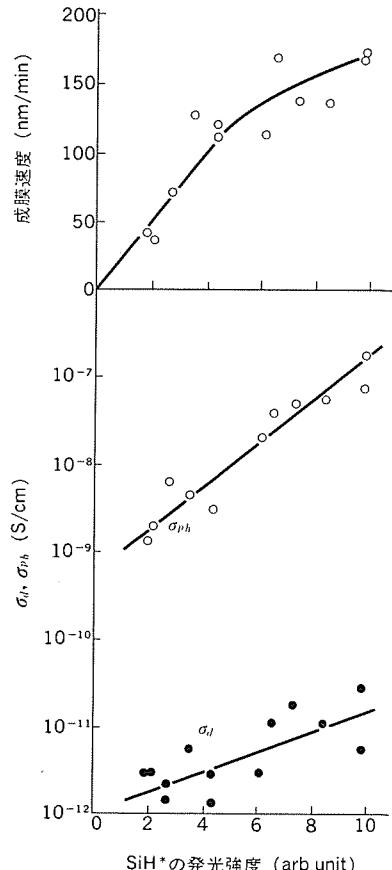
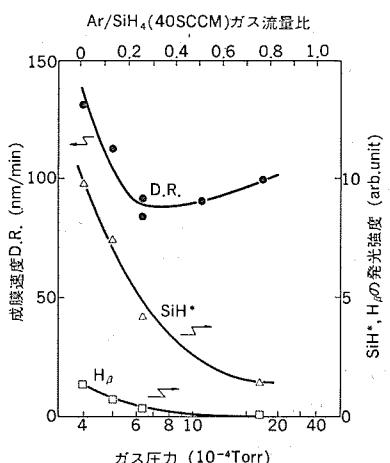
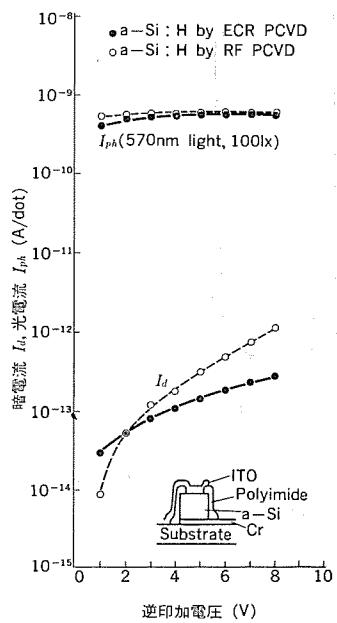


図 8. a-Si : H 成膜速度, σ_{ph} , σ_d と SiH^* からの発光強度との関係 (基板加熱なし)

図 9. SiH^* , H_β の発光強度, 成膜速度とガス圧力との関係図 10. フォトダイオードの $I-V$ 特性

ECRPCVD 法では、成膜速度、明導電率と SiH^* の発光強度は広い範囲にわたって相関がみとめられ、 SiHx のラジカル種が多量に存在しても膜特性を低下させる直接の原因にならないことを示している。また、RFPCVD 法と同様に SiHx のラジカル種が重要な役割を果たしていることがわかる。

図 9. は、 $\text{SiH}_4=40 \text{ SCCM}$ として Ar ガス流量を変えることによって、ガス圧力を変化したときの成膜速度と SiH^* , H_β の発光強度との関係をみたものである。約 $6 \times 10^{-4} \text{ Torr}$ 以下では成膜速度と SiH^* の発光強度は比例関係があるが、これより高いガス圧力では成立しなくなっている。この境界のガス圧力は、ガスの平均自由行程がプラズマ室から基板への距離 13 cm にほぼ対応しており、高いガス圧力では気相中の活性種の相互反応による膜堆積への寄与が考えられる。

3.5 フォトダイオード特性

図 10. に、ECRPCVD 法（基板加熱なし、136 nm/min）と従来

の RFPCVD 法 (250°C , 25 nm/min) の a-Si : H 膜を用いた、それぞれのショットキーフォトダイオード (ITO/a-Si : H/Cr) の $I-V$ 特性を示す。ECRPCVD 法は基板加熱なし、高速成膜でも、従来のものと同等のフォトダイオード特性が得られた。 -5 V における明／暗電流比は 4,000 であり、この特性はファクシミリなどに用いられる密着型イメージセンサのフォトセンサとして十分適用可能なものである。

4. むすび

ECRPCVD 法による a-Si : H 膜は、低圧力下における高電離密度プラズマの生成、気相中の活性種の相互反応の抑制、発散磁場によるプラズマ流輸送を利用したプラズマ室と成膜室の分離、プラズマ反応とイオン照射の複合効果などの特長により、膜質を低下させることなく大きな成膜速度が得られた。また、基板加熱なしの膜堆積でも従来の RFPCVD 法と同等の膜質が得られた。このように、ECRPCVD 法による a-Si : H 膜は、高速・低温の膜堆積ができる特長をもっている。この a-Si : H 膜をフォトダイオードに適用し、従来と同等な良好なフォトセンサ特性が得られた。

ECRPCVD 法は膜形成メカニズムの解明、堆積条件の最適化、装置の改良など更に必要とするが、ECRPCVD 法の特長をいかして、今後の発展と応用の拡大が期待される。

（原稿受付 昭 62-4-28）

参考文献

- (1) W. E. Spear and P. G. Le Comber: Solid State Commun., 17, p. 1,193 (1975)
- (2) H. Sasaki, M. Aiga, M. Usui, K. Kawabata, T. Ishihara, S. Terazono, K. Sato, K. Okaniwa, T. Itagaki, G. Nakamura, Y. Yukimoto, and K. Fujikawa: Proc. 2nd Int'l Photovoltaic Sci. & Eng. Conf., 467 (1986)
- (3) H. Sakamoto, M. Hayama, H. Takasago, T. Sugiura, K. Yamane, H. Arai, Y. Tokutomi, T. Ando, K. Watanabe, H. Miki, and Y. Ohnishi: Japan Display '86, PD-10 (1986); 石津ほか：テレビジョン学会技術報告, ID '87-12, 10, p. 25, (1987)
- (4) 羽山ほか：三菱電機技報, 60, No. 11, p. 794 (昭 61); M. Hayama, K. Kobayashi, H. Miki, and Y. Onishi: Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 70, p. 689 (1986)
- (5) K. Kobayashi, M. Hayama, S. Kawamoto, and H. Miki: Jpn. J. Appl. Phys., 26, p. 202 (1987); 小林ほか；第 46 回応物学会秋季講演予稿集：4 a-ZA-4, p. 722 (1985)
- (6) 伊藤ほか：特許公報, 昭 50-9545
- (7) T. Tsuchimoto: J. Vac. Soc. Technol., 15, p. 70 (1978)
- (8) S. Matsuo and M. Kiuchi: Jpn. J. Appl. Phys., 22, L 210 (1983); 松尾, 木内：電気学会放電研究会, ED-82-12, p. 23 (1982)
- (9) P. J. Zanzucchi et al.: J. Appl. Phys., 48, p. 5227 (1977)

導電性高分子の開発と電子デバイスへの応用

肥塚裕至* 蔵田哲之**
角田 誠** 安藤虎彦**
津村 顯*

1. まえがき⁽¹⁾

従来、導電性高分子としては、カーボンブラックや金属短纖維を混入したものがよく知られており、導電ゴム、耐熱体、電磁波シールド材として実用に供されている。これに対し、この報告で述べる導電性高分子(Conducting Polymer)は、分子骨格がπ-共役二重結合や三重結合からなる高分子材料であり、新素材の一つとして注目されている材料である。

π-共役系高分子からなる導電性高分子には2種類ある。一つは、いわゆるパイロポリマー系であり、ポリイミド、ポリアクリロニトリル、ポリオキシアジアルなどを高温で熱処理し、グラファイト構造に近づけることによって導電性をもたせたものである。現在では、 10^3 S/cm を超える電導度の材料が得られている。これらパイロポリマーは、安定な導電性高分子であり、薄膜として得られることからエレクトロニクス分野への応用が期待されるが、いったん導電性を付与した後には、外部から導電性などの諸物性を変えることはできない。これに対し、ドーピングという方法によって、初めて導電性が付与される一連の導電性高分子がある。これらの導電性高分子は、ドーピング前には絶縁体領域の電導度しかないが、ドーピングによって金属領域に至る幅広い範囲にわたり、電導度を任意に、しかも可逆的に制御できるという特長がある。

ドーピングとは、いろいろな手段によって導電性高分子となるπ-共役系高分子を酸化又は還元することによって、それぞれ正又は負のキャリヤをπ-共役系高分子内に発生させる方法をいう。ドーピングによって正又は負のキャリヤの発生に伴い、導電性高分子はP型又はN型の材料となる。ドーピングには、化学的方法及び物理的方法があるが、もっぱら前者が用いられている。化学的方法には、酸化剤又は還元剤となる化学物質を用いる方法と、電気化学的に酸化又は還元する方法がある。電気化学的ドーピングは、ドーピング量を正確に制御でき、しかも操作が容易なことから広く用いられており、この方法の開発以来、導電性高分子の基礎・応用の両面にわたり研究が進展した。

導電性高分子の応用としては、種々提案されている。すなわち、導電材料としての応用はもちろんであるが、そのほかに電気化学的ドーピングに伴う化学ポテンシャル変化を利用した軽量・大容量有機バッテリやドーピングに伴う光学的性質の変化を利用したエレクトロクロミックディスプレイが提案され、活発に研究がなされている。

導電性高分子のもう一つの応用として、半導体材料としての利用がある。π-共役系の発達した有機材料は、古くから有機半導体として研究がなされてきた。しかし、従来の有機材料は、半導体といても電導度は絶縁体領域に近く、その電子状態は用いる材料で決まってしまい、外部から制御することはできなかった。これに対し、導電性高分子では、ドーピング技術によって、その化学ポテンシャル(フェルミ準位)を自由に、しかも可逆的に制御できる特長があることから、導電性高分子を用いた半導体素子では、その特性を容易に変えたり、最適化させることができる。その結果、導電性高分子を用い

た半導体素子の特性は、従来の有機半導体素子に比べ大きく向上した。

この報告では、空気中で安定で、しかも電気化学的重合法(電解重合法)によって簡単に合成できる各種導電性高分子の性質、並びにポリピロール系及びポリチオフェン系導電性高分子を用いた半導体素子の特性について述べる。

2. 各種導電性高分子のバンド構造と安定性

π-共役系の発達した導電性高分子のバンド構造は、充満した結合性π-分子軌道から構成される価電子帯と空の反結合性π-分子軌道から構成される伝導帯、及び価電子帯と伝導帯を隔てる禁制帯とかなる(図1)。ドーピング前(中性状態)の導電性高分子では、そのフェルミ準位は禁制帯の中央に位置する。このようなバンド構造をもつ導電性高分子のエネルギー-バンド構造を決定するには、電気化学的ドーピング法を用いるのが便利である。ある参照電極を基準に用い、中性状態の導電性高分子を作用電極として、作用電極の電位を正の方向にあげてp-ドーピング(酸化)を行う。電極電位が価電子帯の上端のエネルギー位置に達し、p-ドーピングが始まると大きなアノード電流が流れ始める予想できる。そこで、このアノード電流が流れ始める電位が価電子帯の上端のエネルギー位置であると見積られる(図1)。同様に、n-ドーピング(還元)を行うと、大きなカソード電流が流れ始める電位が伝導帯の下端のエネルギー位置に相当すると考えられる。両電位差は、禁制帯幅にほぼ対応する。また、禁制帯幅は光学スペクトルからバンド間遷移を測定することからも決定できる。

以上のようにして求めた各種複素環及び芳香環からなる導電性高分子の上下のエネルギー-バンド位置を、参照電極として用いた飽和カロメル電極(SCE)電位を基準にして図2に示す。また、0V vs. SCEが真空準位に対し、-4.98 eVと見積られていることから⁽²⁾、真空準位を基準にした軸をも合わせて示した。この図から、ポリピロールのイオン化ポテンシャルが最も小さく、容易にp-ドーピング(酸化)されることが分かる。すなわち、ポリピロールは中性状態が不安定であり、p-ドーピングされた導電性の状態が安定であることを示し、これは実

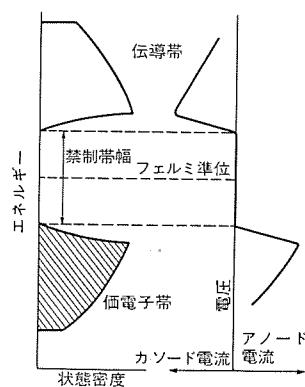


図1. 導電性高分子のエネルギー-バンド構造とその決め方

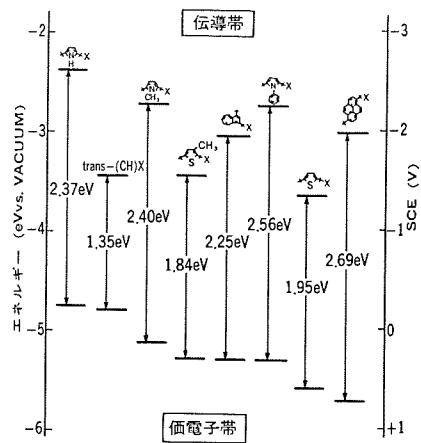
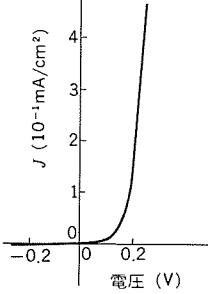
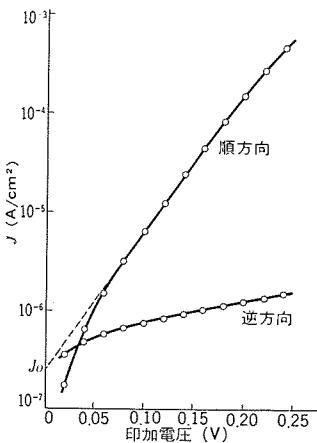


図 2. 各種導電性高分子のエネルギー帯位置

図 3. ショットキー型接合素子の J - V 特性図 4. ショットキー型接合素子の I_n J - V プロット

験結果と一致する。逆に、ポリビレンはイオン化ポテンシャルが大きいために、p-ドーピングされた状態よりも中性状態が安定なことが分かる。このように、図2.を用いると、導電性高分子が中性状態で安定なのか、又はp-ドーピングされた状態が安定なのかの一応の目安ができることがあることとなる。図2.には、最もよく研究されているポリアセチレンのエネルギー帯位置も示す。

3. 導電性高分子を用いた半導体素子

3.1 ショットキー型接合素子⁽³⁾

3.1.1 ショットキー型接合素子の作製と電気特性

ショットキー型接合素子は作製が容易であり、電気特性の解析から半導体材料の評価ができることから、導電性高分子を用いたショットキー型接合素子を作製した。

導電性高分子へのp-ドーピングは価電子帯からの電子の取り去りであり、p-ドーピングされた導電性高分子のフェルミ準位は、図2.に示した価電子帯の上端のエネルギー位置より、エネルギー的に低い位置にあると考えられる。このために、p-ドーピングされた図2.に示す導電性高分子とIn(仕事関数: 4.12 eV)などの小さい仕事関数をもつ金属界面には、ショットキー型接合が形成されるものと予想される。

電解質として過塩素酸テトラエチルアンモニウムを用い、仕込みモル比が1:4のピロールとN-メチルピロールのアセトニトリル溶液から、電解重合法により金電極上にピロールとN-メチルピロールの共重合体を合成した。この共重合体(C.P.)にInを蒸着して得られる素子は、図3.にみられるような整流性を示す。ただし、Inの蒸着前に、共重合体フィルムを空気中、80°Cで8時間加熱処理をしたが、この熱処理によって得られる素子の安定性は増す。図において、In電極に負のバイアスを印加したときが順方向となる整流性を示す。一方、Inの代わりにAuを蒸着すれば、J-V特性はオーミックとなる。これらの結果は、Inと共重合体の界面で、ショットキー型の接合が形成されていることを示す。ショットキーの熱電子放出モデルでは、J-V特性は式(1)で記述される⁽⁴⁾。

$$J = J_0 \exp(qV/nkT) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、nは理想因子、 J_0 は飽和電流で

$$J_0 = A^* T^2 \exp(-q\psi_b/kT) \quad \dots \dots \dots (2)$$

である。式(2)で、 A^* はリチャードソン定数であり、 ψ_b は障壁高さを表す。式(1)から順方向バイアス下における I_n J-Vプロットは直線を与え、その傾きからn値が求まることが分かる。図4.に、In/C.P./Au素子の I_n J-Vプロットを示すが、順方向バイアス下で直線を

与え、そのこう配からn値は1.2と計算される。理屈的なショットキー接合では、n値が1であることから、この素子が極めて優れた接合素子であることを示している。

3.1.2 ショットキー接合のXPSからの検討⁽⁵⁾

図5.にピロールとN-メチルピロールの共重合体に、Inを少量ずつ蒸着したときのC_{1s}、O_{1s}、In_{3d_{5/2}}のXPS(X-ray Photoemission Spectroscopy)スペクトルを示す。蒸着前には(図中(a)), 共重合体のC_{1s}の結合エネルギーは284.6 eVである。Inを蒸着し始めると、最初は蒸着Inと前述の熱処理によって形成されたと考えられる共重合体フィルム表面の酸化層との反応による複合層が共重合体フィルム表面に形成される。このとき、In_{3d_{5/2}}の結合エネルギーはInが金属として存在するときの結合エネルギーに比べて高く、Inが高度に酸化されていることを示す。また、この段階では共重合体のC_{1s}の結合エネルギーのシフトは、みられない。更にInを蒸着していくと、初めて金属Inに基づくピークが443.7 eVに観測され、これに伴いC_{1s}の結合エネルギーが高エネルギー側にシフトし始める。最終的には(図中(d)), C_{1s}の結合エネルギーは0.4 eV高エネルギー側にシフトする。

In蒸着に伴う共重合体のC_{1s}の結合エネルギーのシフトは、共重合体/In界面で、しかも共重合体内部においてバンドの曲がりが生じていることを示す直接的な証拠と考えられる。In蒸着に伴う共重合体のC_{1s}の結合エネルギーのシフト量(約0.4 eV)は、拡散電位に相当するものと考えられ、In/C.P./Au素子のJ-V特性の温度変化から求めた障壁高さ(0.38 eV)に近い(式(2))⁽⁶⁾。一方、In蒸着に伴う共重合体のC_{1s}ピーク強度の減少から見積った前述の複合層の厚みは、~5 Åである。共重合体と蒸着In金属界面におけるこのような複合層の存在は、当然式(1)におけるn値を1よりも

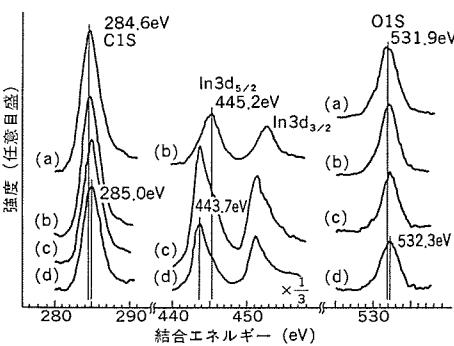


図5. In蒸着に伴う共重合体のXPSスペクトル変化

大きくすることが予想されるが、この複合層の存在にもかかわらず、この In/C.P./Au 素子の n 値が 1.2 であることを考えると、導電性高分子は極めて優れた半導体材料であることが分かる。

In/C.P./Au 素子を作る際に、In を蒸着する前に共重合体を空中で加熱処理をすると、得られた素子の特性が安定することは既に述べた。この加熱処理の効果について、XPS から検討した結果について述べる⁽⁵⁾。図 6. には加熱処理を施した共重合体試料 (a) と、そうでない試料 (b) に In を蒸着したときの Cl_{2p} の XPS スペクトル変化を示す。In 蒸着前には、共に 209 eV に ClO_4^- に基づくピークが観測される。熱処理を施していない試料では、In 蒸着後 1 日経過したときには ClO_4^- に基づくピークはほとんどみられず、In と ClO_4^- の反応により生成したと考えられる Cl^- に基づくピークが 199 eV に観測されるだけである。一方、熱処理を施した試料では Cl^- もみられるが、同時に ClO_4^- も検出される。このことから熱処理で形成された表面酸化層が、蒸着 In とドーパントイオンである ClO_4^- との反応を防ぐ役目をしていることが分かる。これが熱処理によるこのショットキー型接合素子の安定化の大きな要因であると結論される。

このことは、導電性高分子とブロッキング電極の間に、ポリエチレンなどの薄い絶縁膜を設けると、素子の安定性が増すと予想されるが、事実、そのような絶縁体薄膜の挿入は素子の安定化につながる⁽⁷⁾。しかし、ブロッキング電極材料の問題が残る。現在まで、安定な導電性高分子としては、P 型の材料しか開発されていない。そのため、ブロッキング電極材料としては、In や Al などの活性な金属しか使用できず、金属材料の酸化が素子特性の劣化を引き起こす。

3.2 電界効果型トランジスタ (FET)⁽⁸⁾

3.2.1 素子の作製と素子構造

図 7. に作製した FET 素子の構造を示す。基板兼ゲート電極として 300 μm 厚の n 型シリコンウェーハを用いた。そして、ゲート絶縁膜である SiO_2 膜上にソース及びドレイン電極として働く金膜を、通常のリソグラフィ技術と真空蒸着技術を用いて 10 μm 間隔で形成した。この両電極を作用電極として用い、電解重合にてポリオフェン膜を両電極上及び両電極間の SiO_2 上に設けた。その後、参照電極として飽和カロメル電極 (SCE) を用い、ポリオフェン膜を電気化学的に脱ドーピングを行った。

以上のようにして得られた FET 素子は、絶縁ゲート型でありチャネル幅及びチャネル長は、それぞれ 2 mm と 10 μm である。

3.2.2 FET 素子特性

図 7. に 0 V vs. SCE のレベルにまで脱ドーピングを行ったポリオフェン膜 (1,400 Å 厚) を用いた FET 素子の特性を示す。ゲート電圧 (V_G) が 0 V のときにはソース・ドレイン間電流 (I_S) は、負のソース・ドレイン間電圧 (V_{DS}) を印加しても、わずかしか増えない。これに対し、負の V_G を印加すると、 I_S は V_{DS} とともに急激に増加するようになる。これは、負の V_G を印加することによってソース・ドレイン間にホールが集められ、その結果として、ソース・ドレイン間の抵抗が小さくなつたためであると考えられる。この挙動は、用いたポリオフェン膜が p-型半導体であることを示している。また、高 V_{DS} 領域において、 I_S の飽和がみられることから、ドレイン近傍でピッチオフ (pinch-off) が生じているものと思われる。 V_{DS} が -50 V と一定のとき、 I_S は V_G を 0 V から -50 V へと変化させることによって 100~1,000 倍増加し、外部電圧によってポリオフェン膜の抵抗を大きく変え得ることが分かる (図 8. 黒丸)。

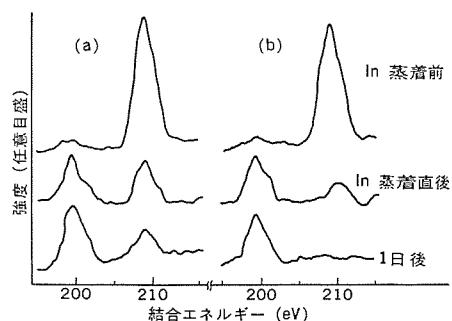


図 6. In 蒸着に伴う共重合体の XPS スペクトル変化に及ぼす熱処理効果

図 9. に、電気化学的に設定した脱ドーピング電位 (vs. SCE) に対するポリオフェン膜の電導度の関係を示す。設定電位の減少に伴い、電導度は急激に下がり、図 7. に示すような特性となる設定電位 (0 V vs. SCE) では、ポリオフェンの電導度は約 10^{-8} S/cm 程度であり、大変低い。これは、この素子では伝導チャネルがポリオフェンと SiO_2 の近傍で、しかもポリオフェン内のごく薄い領域にしか形成されず、残りのポリオフェン膜は単なる抵抗体としてしか働いていないことによるものと考えられる。すなわち、ポリオフェンの電導度が高ければ、抵抗体として働くポリオフェン層を通じて大部分の電流が流れ、 $V_G = 0 \text{ V}$ のときにおいてさえ、相当大きな I_S が流れる。このときには、負の V_G を印加しても I_S の変化は少なく、事実、合成直後の脱ドーピング処理を施していないポリオフェン膜を用いた素子では、 V_G による I_S の変化は、全くみられない。

先に述べた方法により決定した、ポリオフェンの価電子帯上端のエネルギー位置と禁制帯幅は、それぞれ約 0.6 V vs. SCE 及び約 2 eV である。その結果、バンドギャップ中央に相当する電位は -0.4 V vs. SCE である。電気化学的に設定した電位は、そのままフェルミ準位に相当することから、0 V vs. SCE の設定電位で得られたポリオフェンのフェルミ準位は、バンドギャップ中央から 0.4 eV エネルギー的に低い位置にあることになり、ポリオフェンが P 型半導体であることが分かるが、これは上述した結果と一致する。

図 10. に、ドレインとゲートを短絡させた素子を用いて測定した図 7. に示す特性をもつ FET 素子の $\sqrt{I_S}$ vs. V_{DS} ($= V_G$) プロットを示す。MOS FET 素子では、 I_S の飽和領域における I_S と V_{DS} の関係は式(3)で表される⁽⁴⁾。

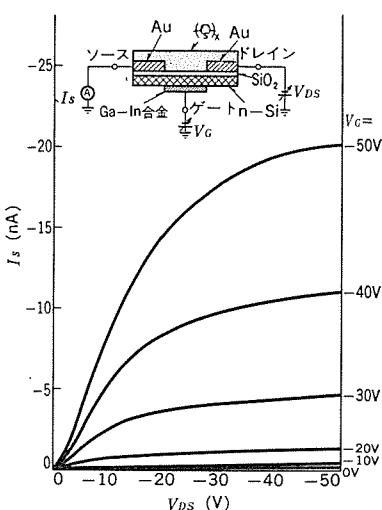


図 7. FET 素子構造とその特性

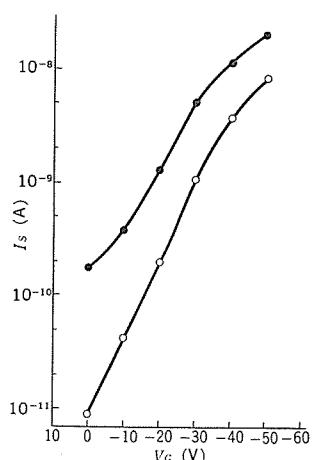


図 8. FET 素子特性に及ぼすポリチオフェン 膜厚の効果

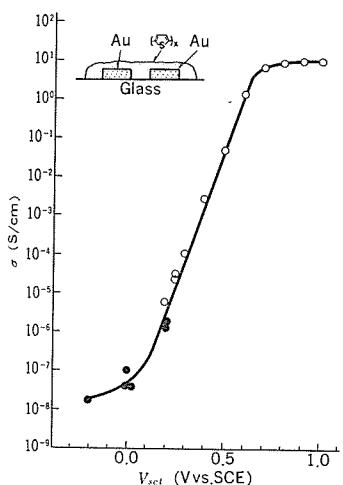


図 9. ポリチオフェン 膜の電導度とドーピング 設定電位

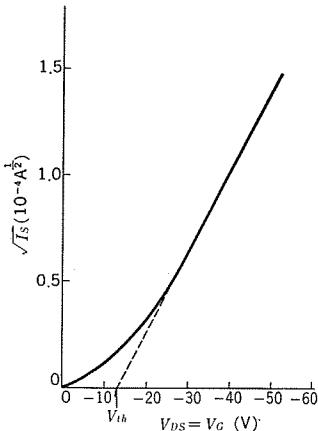


図 10. FET 素子の $\sqrt{I_D}$ vs. $V_{DS} (= V_G)$ プロット

$$I_D = (\mu C_{ox} W / 2 L) (V_G - V_{th})^2 \quad (3)$$

ここで、 V_{th} はソース・ドレイン間に伝導チャネルができ始めるゲート電圧 (V_G)、 W 及び L は、それぞれチャネル幅とチャネル長である。また、 C_{ox} 及び μ はゲート絶縁膜の容量と伝導チャネル内でのキャリヤ移動度を表す。図 9. にみられるように、高 V_G 下で、式(3)に従い直線となることは、この FET 素子の動作機構が従来 MOS FET に類似していることを示すものと考えられる。直線の傾きから μ として $\sim 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ が得られる。また、直線と V_G 軸との切片から伝導チャネルが形成し始めるゲート電圧 (V_{th}) が得られ、約 -13 V である。

上述したように、FET 素子における伝導チャネルは大変薄いと考えられるため、伝導チャネル以外のポリチオフェン膜は単なる抵抗体としてしか働いていない。そこで、ポリチオフェンの膜厚を薄くすることによって、素子の動作には直接関係しない部分を取り除くことができる。図 8. に、ポリチオフェンの膜厚が及ぼす素子特性への効果を示す。ポリチオフェンの脱ドーピング条件を 0 V vs. SCE と一定にして、膜厚だけを $1,400 \text{ \AA}$ (図中 黒丸) から 500 \AA (図中 白丸) に減らすと、 $V_G = 0 \text{ V}$ 、 $V_{DS} = -50 \text{ V}$ のときの I_D は 1 けた以上小さくなる。これに対して、 $V_G = -50 \text{ V}$ のときの I_D は、それほど小さくならない。その結果、 V_G が 0 V と -50 V の間で変化させることでできる I_D の大きさは、1 けた程度大きくなる⁽⁹⁾。

ここでは、導電性高分子を半導体材料として、FET 素子に適用した例について述べたが、この素子の特性は、前述のショットキ型接合素子の場合と異なり、極めて安定である。すなわち、この素子を空気中、 100°C 以上で 1 日加熱しても、その特性は全く変化しない。また、ソース・ドレイン間電流をゲート電圧により、1,000 倍変化させることができることから、材料の改良などによって、その特性が向上すればスイッチング素子などへの応用が期待される。

4. む す び

この報告で述べた以外にも、異種導電性高分子間でヘテロ接合が

形成することも知られているが⁽¹⁰⁾、導電性高分子を半導体材料として利用しようとする応用研究のレベルは、導電性高分子を用いても、従来無機半導体材料と同様な半導体素子を作り得るということが実証された段階である。しかし、前述したように、導電性高分子は、従来有機半導体材料に比べ、格段に優れた半導体としての性質をもっており、この分野の発展が期待される。素子としての信頼性の問題は残されているが、ここで述べた FET 素子は、極めて安定性に優れている。一方、導電性高分子は有機材料であり、大面积化が容易なこと、分子設計により機能の向上が図れるなどの特長をもつことから、これらの特長を生かした低価格で、大面积素子などへの応用展開が、大いに期待される。

シリコンに代表される無機半導体素子の限界が指摘されて以来、この限界を打ち破る材料としての有機材料が注目されている。筆者らは、導電性高分子をその候補材料として選び、有機材料を用いた電子デバイスの可能性を追求するとともに、新しい機能の発見に努めている。

参 考 文 献

- (1) 肥塚：工業材料，34(4)，55 (1986)
- (2) L. Bousse : J. Chem. Phys., 76, 5128 (1982)
- (3) H. Koezuka et. al. : J. Appl. Phys., 54, 2511 (1983)
- (4) S. M. Sze : Physics of Semiconductor Device (Wiley, New York, 1969)
- (5) T. Ogama et. al. : J. Appl. Phys., 56, 1036 (1984)
- (6) T. Kurata et. al. : J. Phys. D, 19, L 57 (1986)
- (7) 柳浦ほか : Polymer Preprints, Japan, 33(4), 843 (1984)
- (8) A. Tsumura et. al. : Appl. Phys. Lett., 49, 1210 (1986)
- (9) 津村ほか : Polymer Preprints, Japan, 35(8), 2698 (1986)
- (10) H. Koezuka et. al. : J. Appl. Phys., 58, 1279 (1985)
K. Kaneto et. al. : Japan J. Appl. Phys., 24, L 553 (1985)

カーエレクトロニクスの現状と動向

壺井芳昭*

1. まえがき

自動車に エレクトロニクス が本格的に導入されるようになったのは、シリコンダイオード や トランジスタ が量産されはじめてからである。ダイオードを内蔵した AC ダイナモ が DC ダイナモ に完全にとって替わり、ハイブリッド IC による電圧レギュレータ や イグナイト の普及を経て、1970 年代に入りマイクロコンピュータ（以下、マイコンと記す）の出現によって、カーエレクトロニクス は急速に発展をした。特に、排ガス浄化と省燃費に関する法規制と社会的要請に対し、これを解決するものとして、エンジン制御を中心に エレクトロニクス の導入が進んだ結果、1980 年代に入り、市場は大きく成長した。

国産車における エンジン の電子制御は完全に普及期に入り、次いで電子式計器盤、電子制御自動変速機、電子制御サスペンションなど、エンジン以外への エレクトロニクス の導入も実用期に入った。このほか、パワーステアリング、横滑り防止ブレーキ、エアコンなどの制御にも導入され、単に従来の機械制御の置きかえから、より高度で、システム的な制御、更に インテリジェント な制御へと発展しつつある。

以下、1980 年代に入り、急速に実用範囲の拡大した カーエレクトロニクス について、乗用車を中心に現状と動向を概説する。

2. エンジン パワートレイン関係

2.1 エンジン制御

エンジン 制御の中心に位置するのは燃料噴射システムである。空気流量センサ、温度センサ、圧力センサなどのセンサ群、ガソリンを計量噴射するためのインジェクタ及び制御用のコンピュータで構成される。システム構成は、導入当初と大きな変化はないが、各構成要素の質的向上により、制御性能だけではなく、経済性、装着性などが著しく進歩してきた。マイコンに関しては、取り扱うデータのビット数の拡大、演算速度の向上、リアルタイム処理の可能なワンチップマイコンの実用化があげられる。また、半導体圧力センサ、カルマン渦式又は熱線式の空気流量センサなど、電子化されたセンサにより、制御内容の量、質ともに大幅な向上が達成されている。

エンジン 制御で、燃料系の次に来るものは点火系であり、電子進角点火装置は比較的古くからあるこの分野の代表的なものである。最近では、ターボチャージャ や ツインカム など エンジン 自体の高性能化に対応して、低圧配電や気筒別ノックコントロール、配電器のない点火システムなど、新しい点火方式が実用化されつつある。

エンジン の吸排気系の分野でも、吸気慣性効果の可変、吸排気弁の開閉時期の可変など、メカニカルなものへの電子制御が徐々に浸透しつつある。以上のような、ハードウェア面での電子化とともに、制御方式の面でも研究開発が活発に行われている。エンジン のアイドル回転の安定性や状態変数制御方式の導入など、制御理論面からの電子化も追求されている。

エンジン の高性能化、燃費向上と排ガスの清浄化という相反する要求を、より高いレベルで実現する最も有効な手段として、エンジン 制

御の電子化は、今後とも、量、質の両面で更に発展を続けていくであろう。

2.2 変速機制御

近年、新車の 50% 以上が自動変速機（Automatic Transmission、以下、AT と記す）を採用していることから分かるように、煩わしい変速動作を自動化する イージードライブ 化の要求は高い。

AT の基本はトルクコンバータと遊星ギヤを組み合わせた 2 ~ 4 段変速式のもので、もとは純油圧式制御であったが、現在、電子制御方式による高性能化が進んでいる。スロットル開度（アクセルの踏み込み）、エンジン回転数、車速などを正確に検出し、マイコンの働きで最適なギヤの切換を行う。また、一定条件のもとで、トルクコンバータを直結するロックアップ機構を動作させたり、運転者の好みで変速点を切り替え、省燃費運転モードやスポーツ走行モードを可能にしている。ギヤシフトのショック低減、エンジンブレーキ動作、変速点（シフトパターン）選択などは、AT の構造を複雑にすることなく、電子制御によって初めて可能となった。

変速比を連続的に変える無段変速機も、電磁パウダーブラッチの電子制御と組み合わせて実用化された。また、手動変速機の操作を油圧アクチュエータにより電子制御のもとに自動化する方式も世に出ていている。

今後は、マイコンのメモリ容量と演算速度の向上、並びにフェイルセーフ、ダイアグノース機能の充実が図られ、高性能化とともにより一層、安全性、保守性が高められるであろう。今後の大きな研究開発課題としては、エンジンと変速機を統合して制御し、運転性能と燃費を更に向上させる統合制御システムの実現がある。

3. シャーシ系

車の運転のしやすさ、操縦安定性に関係するシャーシ（車体）系は、人命に係る分野だけに、電子化が比較的慎重に進められた分野である。そのなかで、電子制御の減衰力可変サスペンションは、最も早く導入がはじまつた。最近のものでは、路面状態と運転状態により 3 段階程度に、自動的にサスペンションの減衰力を切り替えている。また、空気ばねの空気室の大きさを切り替え、ばねのつよ(剛)さを変化させたり、乗車人員や積荷の変化に対しても車高を常に水平に保つようにした車高制御も採用されている。路面の状態を知るために加速度センサが用いられるが、超音波により路面の凹凸を直接検出するセンサも実用化されている。センサの数を増やし、急旋回時の横ゆれ、急発進時の前上がり、急停止時の前下がりを小さくするアンチロール、アンチスクート、アンチダイブなどのサスペンション制御システムも既に実用化されている。最近では、制御理論を応用したアクティブ制御サスペンションの研究開発が進められている。

パワーステアリングの油圧制御の一部を電子化して、速度感応型、反力感応型など、運転フィーリングを向上したものが既に実用化されている。一方、油圧を一切用いない電動パワーステアリングも導入機運が高まっている。最も新しい話題では、4 輪操舵(舵)方式があり、純機械式の操舵方式もあるが、後輪を電子制御の油圧で動かす方式も

* 応用機器研究所(工博)

検討されている。

駆動系では、前後車輪の駆動力配分を電子制御で行う4輪駆動方式も開発が進められている。また、雪道など滑りやすい悪路の制動時に、4輪のスリップの状態を最適に保ち、安定に制動をかけるアンチスキッドブレーキは高級車に採用されており、今後の普及が望まれる。

4. 表示関係

自動車の高性能化、安全性や快適性の向上に数多くの電子制御システムが導入され、これに伴い計器盤も複雑で多様な情報を伝える必要性が出てきた。電子表示デバイスは、グラフや数字、文字の表示が可能であり、従来の機械式のメータでは不可能な高度の機能を、コンパクトなシステムで実現することができる。

電子表示デバイスには、ブラウン管(CRT)、蛍光表示管(VFD)、液晶(LCD)、発光ダイオード(LED)、プラズマディスプレイ(PDP)、エレクトロルミネッセンス(EL)などがある。スペースに制約の多い車載用には、フラットタイプのデバイスが望ましい。

計器盤の電子化は1960年代から試みられたが、1970年後半に、米国からPDPを用いたものが発売された。しかし、PDPはだいだい(橙)色に限定され、駆動電圧が高い割に輝度が低いなどの欠点のため、そのあとに実用化されたVFDにその座を奪われてしまった。

当社では1982年に世界で初めてLCDを用いたカラー表示の計器盤を実用化し、その後は、VFDとLCDが電子式計器盤の主流となってきた。現在、世界で60車種以上の乗用車に電子式計器盤が搭載されるまでになった。

今後は、故障診断やナビゲーション、更には各種の情報サービスメディアからの情報表示のために、CRTやドットマトリクスディスプレイの採用が増えるであろう。また、増加する情報表示の視認性を高めるために、フロントガラスに表示パターンを投写表示するヘッドアップディスプレイ(HUD)の実用化も考えられる。

5. カーオーディオ

カーラジオ、カーオーディオは、ほぼ全車に搭載されており、カーエレクトロニクスのなかで大きな市場を形成している。手動同調からマイコン制御による電子同調ラジオが普及し、操作性の面で大きく改善が進んだ。電界強度の強い放送局順に自動的にプリセットメモリできる機能や、遠距離走行時でも自動的に同一放送内容の局に追随切換受信ができる機能が実用化されている。

FM放送のデータ多重放送は、欧州放送連合(EBU)で規格統一が図られた結果、既に、スウェーデン、ドイツ等で試験放送が開始されている。放送局名や周波数、放送内容(ニュース、音楽などの種類別又は曲名など)更には文字によるニュースや交通情報などの受信が可能となるRDS(ラジオデータシステム)受信ラジオの開発が進んでいる。

昨今のカーオーディオ市場は、車載用CDプレーヤーが新製品として話題を集めましたが、今後は低価格化による普及が進みそうである。DATも著作権問題を残しているが、家庭用から車載用に進み、話題を集めると思われる。

自動車の高級化、CD/DATのデジタルオーディオの実用化につれて、車室内をリスニングルーム化し、より豊かな音の空間を造り出すためのオーディオシステムが話題となるであろう。

6. 車載情報システム

社会環境が高度に情報化されるとともに、今後、各種のメディアを

表1. 快適性、便利さ、安全性へのエレクトロニクス導入例

快適性、便利さ	安全性(警報)
オートエアコン	ライト消し忘れ警報
定速走行装置	キー抜き忘れ警報
メモリパワーシート	半ドア一警報
メモリチルトハンドル	排気温度警報
パワーウィンドー	燃料残量警報
遮光消灯式ルームランプ	ブレーキ液減少警報
パネル照明コントロール	ランプ断線警報
自動防げん(脇)ミラー	音声警報装置
自動デフュガ	前方障害物センサー
間欠ワイヤバ	居眠り防止警報装置
自動点灯式ライト	盜難防止警報装置
デジタル時計	エアバッグシステム
キーレスエントリー	

介し種々の情報を車の中で入手できるようになると予想される。人、車、社会の変化に適応させ、車をより安全で快適な交通手段として、エンターテイメントとして、動くオフィスとして考えるとき、情報システムの搭載は極めて重要な意義を持つことになる。

将来、車載情報システムを構成する機器、サブシステムの例としては次のものがあげられる。

(1) 自動車電話

現在、車外との情報通信を可能にしている唯一のもので、今後、価格、利用料金の低下と設置台数の増大でますます利用が活発になろう。また、ファクシミリやTV電話会議などへも発展が考えられる。

(2) タッチ入力付きカラー表示装置

6~9インチサイズの高精細度CRT、LCD又はELなどの表示デバイスを用いて、表示画面に触れるだけで、ラジオ、オーディオ、エアコンなどが操作でき、また、地図、テレビや文字情報の表示ができる。

(3) ナビゲーションシステム

表示装置の地図に、自車位置と進路、行先などを表示案内するシステムで、人工衛星や電波ビーコンによる自車位置と経路の検出技術、メモリに収納する電子地図のフォーマットなどの開発が進められている。

7. その他

車の快適性、便利さ、安全性に関する分野でも、エレクトロニクス応用製品が数多く使われている。ここでは、運転者の目にふれるものを表1に列挙する。このほかに、表面には出ないものとして、車内の配線を減らすための信号多重伝送システムや、秒、分単位の制御信号を発生させるタイミングユニットなどがある。

安全関係の装置の普及には法規制の有無が大きく影響するが、エアバッグシステムは我が国でも生産が始まりつつある。また、車間距離制御や衝突防止のシステムの研究開発も進められている。

8. むすび

上述のカーエレクトロニクス製品が、すべて1台の車に組み込まれているといいうものではないが、上級車では、マイコンを20個以上も使っているものが既に出ていている。乗用車のカーエレクトロニクス製品の装着率は年々増加の傾向をとり、1990年代まで、年率20%の市場の延びが予想されている。

半導体技術の進歩と需要の増加による、マイコン、メモリ素子など半導体製品の性能、信頼性の向上と価格の低下は、カーエレクトロニクスの分野では、従来の機械制御の単なる置きかえから、全く新しい機能の付加という面への発展を可能にしつつある。

自動車用半導体加速度センサ

番 政広*
別所三樹生*
竹内 孝信**

1. まえがき

自動車の電子制御サスペンションやアンチスキッドブレーキなどの制御に用いられるセンサとして、DC(直流)信号から加速度の検出可能なセンサが要望されており、その一つとして半導体のピエジ抵抗効果を利用したひずみゲージ式半導体加速度センサが開発されている⁽¹⁾⁽²⁾。この半導体加速度センサは、従来の圧電式や機械式加速度センサなどに比較して量産性、高精度、小型で応答性に優れているなどの多くの特長を持っているが、自動車用に使用する場合その厳しい環境条件下で、いかに信頼性の高い加速度センサを低成本で実現しうるかがポイントになってくる。一方、この信頼性更には精度を阻む要因として挙げられるのが、センサの心臓部ともいえるセンサ素子の共振破壊、そしてセンサ出力の温度依存性などである。

ここで紹介する自動車用半導体加速度センサは、センサ素子の共振破壊を緩衝材を採用することにより防止し、また出力信号の温度依存性を改善するため温度補償回路を設け、高信頼性と低成本化に向けての一手法を提案、考察している。本稿では、最初に半導体加速度センサの基本的構造と原理、更にセンサ自体の諸特性及びその固有の問題点を述べ、次にこれら問題点の解決策として不可欠なセンサ素子の共振防止法及び温度補償方法について述べる。

2. 構造と原理

図 1. に現在開発中の半導体加速度センサの外観写真を示す。その構造は図 2. に示すように、n型シリコンを素材にしたセンサ素子としてのカンチレバービーム、このビーム上に感度を高めるために設けられたおも(重)り、ビームを支持するシリコン台座、これらを収納するパッケージ、更にはビームの共振破壊を防止する緩衝材などから構成されている。パッケージの大きさは、長さ 16 mm、幅 12 mm、厚み 5 mm である。図 3(a)には、カンチレバービームの(100)シリコン結晶面上にそれぞれ<110>、<110>方向に拡散された抵抗 R_2 、 R_3 及び R_1 、 R_4 の配置を、同図(b)には、そのブリッジ回路への結線を示す。

半導体加速度センサの原理は、以下に示すとおりである。図4.(a)に示すセンサの模式図において、加速度 A_y がセンサの感度軸(Y軸)に作用すると、重りを含めたピームの重心位置 CG に力 F_y

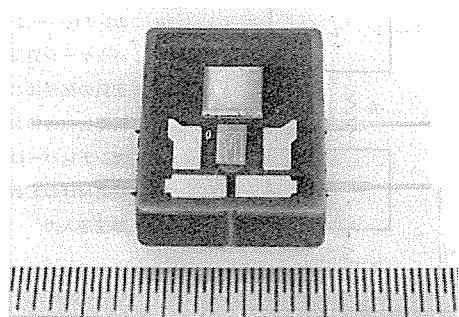


図 1. 半導体加速度センサの外観

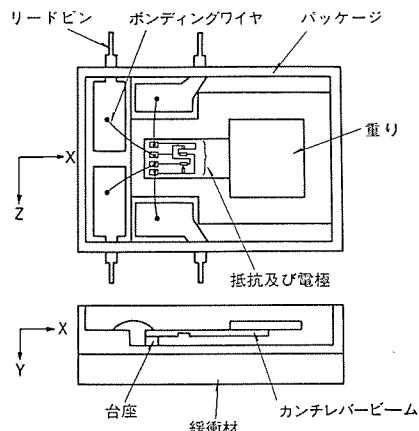


図 2. 半導体加速度センサの構造

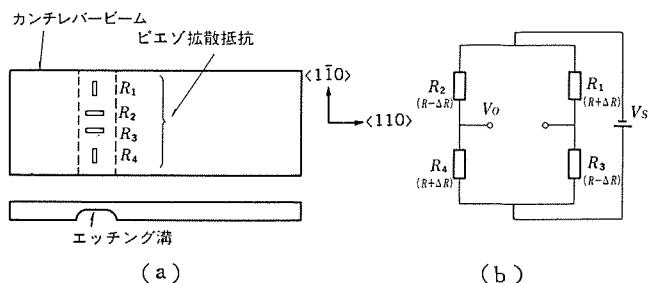
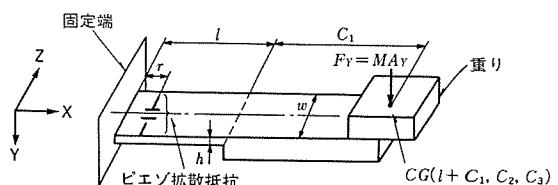


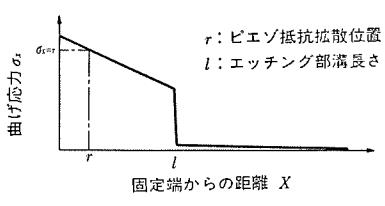
図 3. ピエゾ抵抗配置(a)とブリッジ回路(b)

($=-MA_y$) が作用する。ここで、 M は重りとビーム 総質量である。このためビーム上には、次式で示される曲げ応力 σ_x が発生する。

この曲げ応力 σ_x は、ビームの固定端から同図(b)に示すように分



(a)



布し、その値は重心からの距離に比例する。ここで、 w はビーム幅、 h はビーム厚である。一方、 $x=r$ の位置に拡散されているピエジ抵抗 $R_2 \sim R_4$ には、平均曲げ応力 $\sigma_{x=r}$ が作用しピエジ抵抗効果のため、この応力に比例した抵抗変化が生じる。この抵抗変化率は、それぞれ次式で表される。

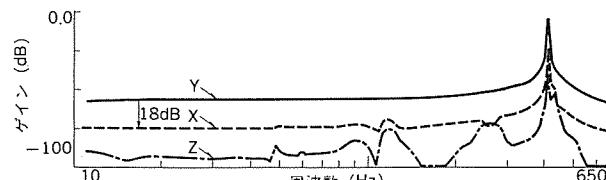
$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta R_2 \text{ or } 3}{R_2 \text{ or } 3} &= \frac{1}{2} H_{44} \sigma_{x=r} \\ \frac{\Delta R_1 \text{ or } 4}{R_1 \text{ or } 4} &= -\frac{1}{2} H_{44} \sigma_{x=r} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで、 H_{44} はn型シリコン単結晶に固有のピエジ抵抗係数である。このようにピエジ抵抗 $R_2 \text{ or } 3$ と $R_1 \text{ or } 4$ は、ほぼ絶対値の等しい符号の異なる抵抗変化を受け、これら各抵抗を図3.に示すブリッジ回路に構成すると、式(3)で示される入力加速度 A_y に比例するブリッジ出力電圧 V_o が得られる。 $(R=R_1=R_2=R_3=R_4)$ と仮定

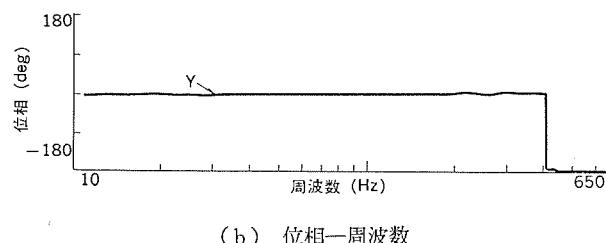
$$\begin{aligned} V_o &= \frac{4R}{R} V_s \\ &= [3H_{44}M(l+C_1-r)/wh^2]A_yV_s \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)が示すようにセンサの加速度1G及びブリッジ1V入力電圧当たりの感度は、ピエジ抵抗係数 H_{44} 、質量 M 、抵抗拡散位置 r 、及びビーム形状(長さ $l+C_1$ 、幅 w 、厚み h)に依存しており、特にビーム厚の2乗に反比例していることが分かる。このことを考慮して、図3.又は図4.(a)に見るようピエジ抵抗拡散領域のビーム厚を裏面からエッチングにより減じ、センサの感度向上を図っている。

センサのX、Y、Z方向加速度に対するゲイン(感度)の周波数特性及び諸特性値をそれぞれ図5.及び表1.に示す。図5.(a)ゲイン一周波数特性が示すように、加速度センサは400Hz付近に非常に鋭



(a) ゲイン一周波数

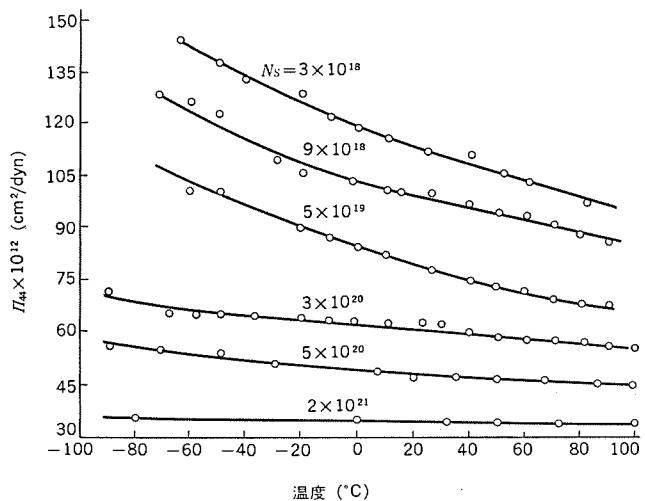


(b) 位相一周波数

図5. 加速度センサの周波数特性

表1. 加速度センサの特性

加速度範囲	±1G
感度	1.5 mV/G・Vs
周波数範囲	DC~50Hz
横感度	14%
共振周波数	413Hz
Q値	495
ダンピング係数 ζ	1.01×10^{-3}
オフセット電圧ドリフト	$0.01 \text{ mV/G} \cdot \text{Vs} (-30 \sim +100^\circ\text{C})$
スパン電圧ドリフト	$2 \times 10^{-3} \text{ mV/}^\circ\text{C} \cdot \text{Vs} (-30 \sim +100^\circ\text{C})$

図6. ピエジ抵抗係数 H_{44} の温度依存性

い共振域を持っており、このためカンチレバービームがしばしば破壊に至りセンサとしての機能が失われる。また、表1.に示すようにセンサ組立時に発生するビーム上の熱応力(ビーム上には、式(1)で表される応力 σ_x 以外に、加速度によらない熱応力を通常伴う)を原因としたオフセット電圧(加速度が作用しないときのブリッジ出力電圧)の温度ドリフトや、ピエジ抵抗係数 H_{44} の温度依存性⁽³⁾を原因とするスパン電圧(定格加速度をセンサに印加したときのブリッジ出力電圧から、上述のオフセット電圧を差し引いたもの)の温度ドリフトを必然的に伴う。このピエジ抵抗係数 H_{44} の温度依存性については、抵抗の不純物濃度 N_s をパラメータとしたものを図6.に示す。つまり、これら要素が、センサとしての信頼性及び精度を低下させる原因となっている。以下にこれらの解決策を述べたい。

3. 緩衝材によるセンサ素子共振のダンピング⁽²⁾⁽⁴⁾

加速度センサの信頼性向上のためには、ダンピングにより前述したセンサ素子(カンチレバービーム)の共振破壊を防止することが不可欠である。このため、従来、ビームをダンピング液(シリコンオイル等)に浸すことでの効果を得ていた。しかし、量産性、作業の簡易化、低コスト化を考慮すると、図2.に示すような加速度センサパッケージに緩衝材を取り付けダンピングを計る方が望ましく実用的である。そこで、この緩衝材を含めた加速度センサ振動系を図7.に示す2自由度の振動系でモデル化し、そのシミュレーション及び実験結果を通してダンピング効果を検討した。

図7.において、入力加速度 \ddot{z} に対するカンチレバービームの重心の \ddot{x}

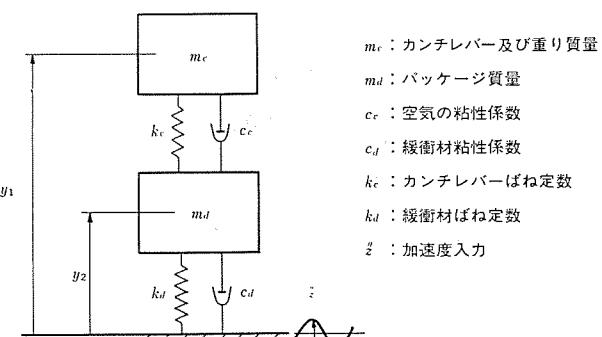


図7. 加速度センサ振動系のモデル

ッケージに対する相対変位 $y_1 - y_2$ を示す伝達関数 $G(s)$ を求めると次のようになる。

$$G(s) = \frac{F_s + H}{A_s^4 + B_s^3 + C_s^2 + D_s + E} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{ただし, } A = m_d m_c, \quad B = m_c (C_d - C_c) + m_d C_c$$

$$C = m_c (k_d + k_c) + m_d k_c + C_d C_c$$

$$D = C_c k_d + C_d k_c, \quad E = k_d k_c$$

$$F = m_c C_d, \quad H = m_c k_d, \quad s = j\omega$$

j : 虚数, ω : 角周波数

図 8. は式(4)で示される伝達関数を用いて、緩衝材の材料定数 k_d, C_d をそれぞれ k_c, C_c に対して図中に示すように変化させたときの周波数特性計算結果を図示したものである。ただし、実線は緩衝材を用いなかった場合の特性（図 5. 参照）である。図から判断されるが、いずれの k_d でも $C_d = 1 \times 10^3 C_c$ では、センサ素子固有の共振点ゲインを約 30 dB 低減可能であること、また新たに発生したパッケージの共振に起因する共振点が、 k_d が小さくなるとともに低周波側に移動し、センサの適用周波数範囲 (DC~50 Hz) のゲインに悪影響を与える場合があることなどが分かる。そこで、これらシミュレ

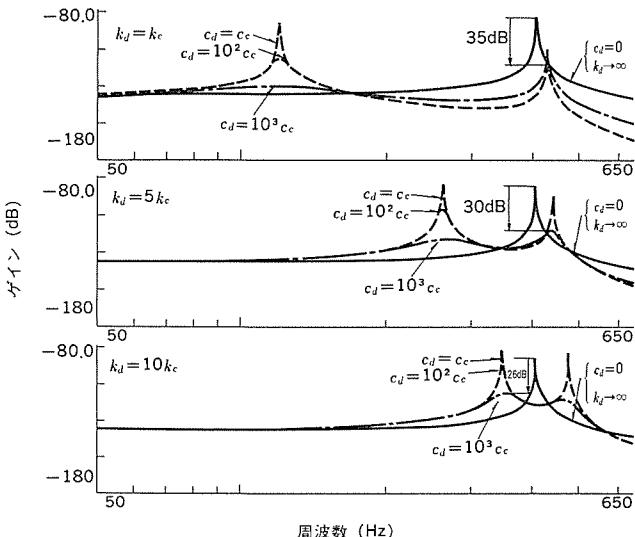


図 8. 緩衝材の材料定数をパラメータとしたセンサゲインの周波数特性(計算値)

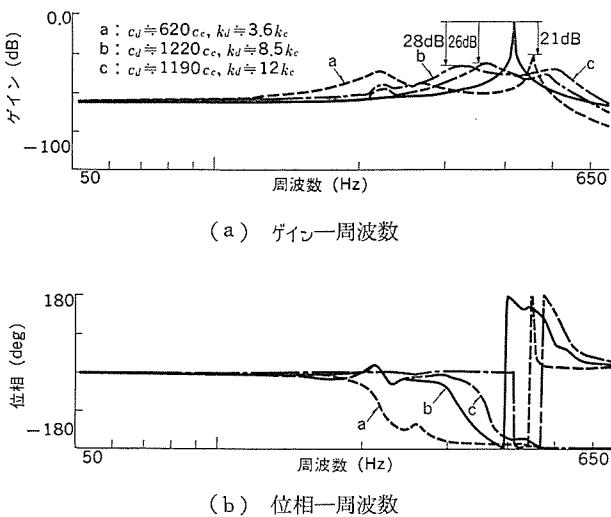


図 9. 緩衝材によるダンピング後の周波数特性(実測値)

ーションの結果をベースに実験を行い、最も適切と思われる緩衝材を選択して採用した。実験結果の一例を図 9. に示す。緩衝材 a, b はその剛性、粘性は異なるが、共にポリウレタン、c はモルト材である。図中に、それぞれの周波数応答からカーブフィッティングの手法により計算される k_d, C_d 値を参考に示す。特に緩衝材種類 b 及び c では、シミュレーションで予想された結果が得られており、共振ゲインを 30 dB 程度低減可能なことが分かる。このように、適切な緩衝材を選択し採用することによって、センサの信頼性を保持しつつ低コスト化が図れる。

4. 周辺回路と温度補償方法

前述した加速度センサ自体に伴う出力の温度依存性を補償するため及びセンサ出力増幅などのため、半導体加速度センサは図 10. に示す周辺回路を備えている。詳細は、この回路は以下に示す機能を持っている。

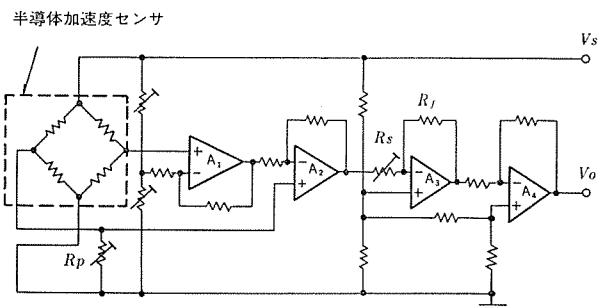


図 10. 周辺回路

- (1) オフセット電圧の加速度センサごとのばらつきの吸収
- (2) オフセット電圧の温度補償
- (3) スパン電圧の加速度センサごとのばらつきの吸収
- (4) スパン電圧の温度補償
- (5) ブリッジ出力電圧の増幅

まず、オフセット電圧の各センサごとのばらつきは図 10. の回路でオペアンプ第1段 A_1 の反転入力電圧を調整することにより、オペアンプ第3段 A_3 の入力オフセットをゼロにして行っている。また、このことにより、後述するスパン電圧の温度補償がスムーズに行える。オペアンプとしては、超低オフセットタイプのものを使用している。

オフセット電圧の温度補償は、ブリッジを構成する半導体ひずみゲージ抵抗の温度依存性を利用して行うことができる。つまり、ブリッジの一辺に温度係数の小さな固定抵抗 R_p を接続すると、新たなオフセット電圧の温度ドリフトが生じる。このドリフトは、次式で表せる。

$$V_o = \frac{1}{4} \gamma T V_s \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 T : 温度

γ : ピエジ 抵抗と固定抵抗の温度係数の差

V_s : ブリッジ 入力電圧

したがって、この新たなオフセット電圧の温度ドリフトが、加速度センサ固有の温度ドリフトを打ち消すように固定抵抗の接続端子、抵抗値を選択すればよい。次に、スパン電圧の温度補償は図 10. の回路におけるオペアンプの第3段 A_3 で行われる。スパン電圧は、前述したがピエジ 抵抗係数の温度依存性を受けて温度上昇とともに減少する負の温度係数をもち、次式で表される。

$$V_{span} = \frac{K}{1 + \beta T} A_y \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

ここで、 β : ピエゾ抵抗係数の温度係数 ($\approx 2.2 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$)

K : 比例定数

A_y : 定格加速度 (1 G)

一方、オペアンプ第3段 A_3 のゲインは次式で表される。

$$G_3 = \frac{R_f}{R_s} = \frac{R_{f0}}{R_s} (1 + \alpha T) \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

ここで、 R_{f0} は $T=0$ における抵抗値である。

したがって、抵抗 R_f の温度係数が、 $\alpha = \beta$ なら増幅後のスパン電圧は、

$$V_{span} \cdot G_3 = K \frac{R_{f0}}{R_e} A_y \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

と表され、スパン電圧の温度依存性は解消される。この様子を示すスパン電圧とオペアンプ A₃ のゲインの温度依存性を図 11. に示す。また、R_{f0} 又は R_s を調整することにより、スパン電圧のセンサごとのばらつきを調整できる。周辺回路を経た加速度センサの、DC 加速度 G に対する出力特性を図 12. に示す。

5. む す び

以上、自動車用半導体加速度センサの構造、基本原理及びその特長について触れ、特にその開発において不可避な二つの問題点であるセンサ素子の共振破壊の防止法及び出力信号の温度依存性の補償法に関して述べた。シリコンオイルに替えて緩衝材を採用し、また温度補償回路を設けることで、高信頼性かつ低コストの加速度センサ開発に向けての可能性を示した。

今後、加速度センサは更に高信頼性、低価格のものが要望され、その市場は拡大するものと予想される。そのため、温度補償を含む周辺回路の集積化と、そのセンサ素子へのワンチップ化も進み、いわゆるモリシック型半導体加速度センサの開発も間近であると予想される。

参 考 文 献

- (1) L. M. Roylance : A batch-fabricated Silicon Accelerometer,
IEEE Transactions on Electron Devices, ED-26, No. 12,
1911-1917 (1979)

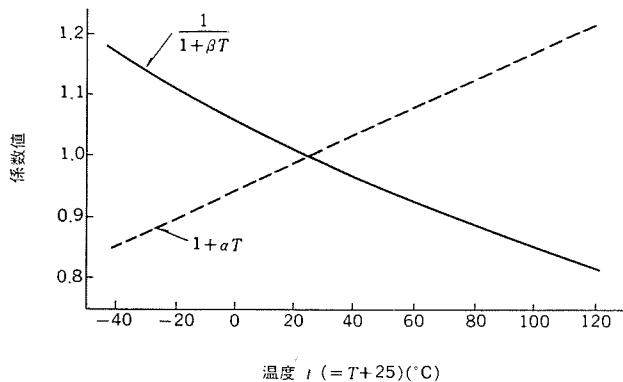


図 11. スパン電圧とアンプ第3段ゲインの温度依存性 ($\alpha = \beta$)

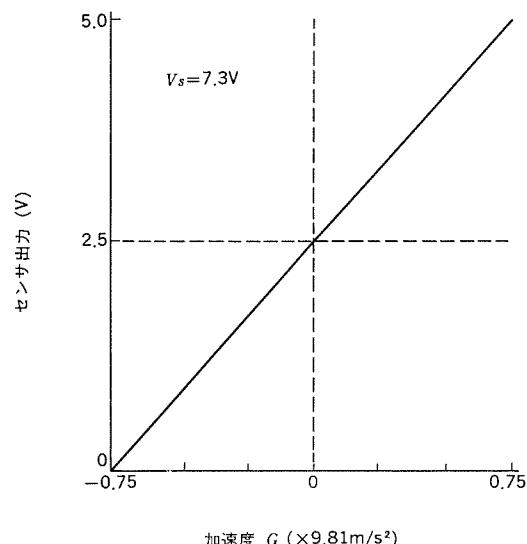


図 12. DC 加速度 G に対する加速度センサ出力

- (2) M. Tsugai, M. Bessho : Semiconductor Accelerometer for Automotive Controls, The 4 th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (TRANSDUCERS '87)
 - (3) O. N. Tufte and E. L. Stelzer : Piezoresistive Properties of Silicon Diffused Layers, J. Appl. Phys. 34, 313 (1963)
 - (4) 番, 別所 : 自動車用半導体加速度センサ, 第10回 ピークルオート メーションシンポジウム 講演論文集, JAACE (1987)

プレイバック機能付きカーラジオ

森廣義晴*
白谷優次**

1. まえがき

自動車を運転中、ニュース、天気予報、交通情報などを聞いていて、つい放送を聞き逃すことがある。しかも、ラジオ放送は一過性であるため、二度と同じ内容は聞けない。こんなとき、放送内容を聞き直したいという潜在的 requirement がある。こうした要求にこたえて、ワンタッチボタン操作で数秒前の放送をさかのぼって聞き直すことができるカーラジオを開発した。

このラジオは半導体メモリとデジタル録音再生回路を内蔵しており、當時放送中の音声信号をデジタル録音している。聞き逃しがあってプレイバック要求のボタンを押すと、この録音内容を再生して、聞き直しができるようにしている。デジタル録音再生にはスピーカー符号化技術を使っている。更に、スピーカー圧縮技術を使って、再生中の放送内容も聞き逃さないように工夫している。

スピーカー符号化技術は、通信の分野で発達してきた技術で16~64 Kbpsの情報量で通信に必要な音質の音声が伝送できることが明らかになっている⁽¹⁾。また、この技術を利用したデジタル音声録音再生機器がテープレコーダーの代わりとして、留守番電話、時計、パソコンなどに応用されているが、この技術をカーラジオに応用したのがこのプレイバック機能付きカーラジオである。

以下、このラジオの技術内容について述べる。

2. 構成

このラジオはAM電子同調ラジオに、半導体メモリとデジタル録音再生回路を付加した形で構成されている。回路構成を図1.に示す。デジタル録音再生回路は、A/Dコンバータ、D/Aコンバータ、圧縮回路、コントローラ、出力切換スイッチ、プレイバックスイッチ及びインジケータからなっている。A/Dコンバータには、アンチエリアギングフィルタとサンプルホールド回路が含まれる。D/Aコンバータにはスムージングフィルタが含まれる。プレイバックスイッチは、聴取者が再生要求を出すときに押すスイッチであり、インジケータはプレイバック再生中に聴取者に知らせるランプである。

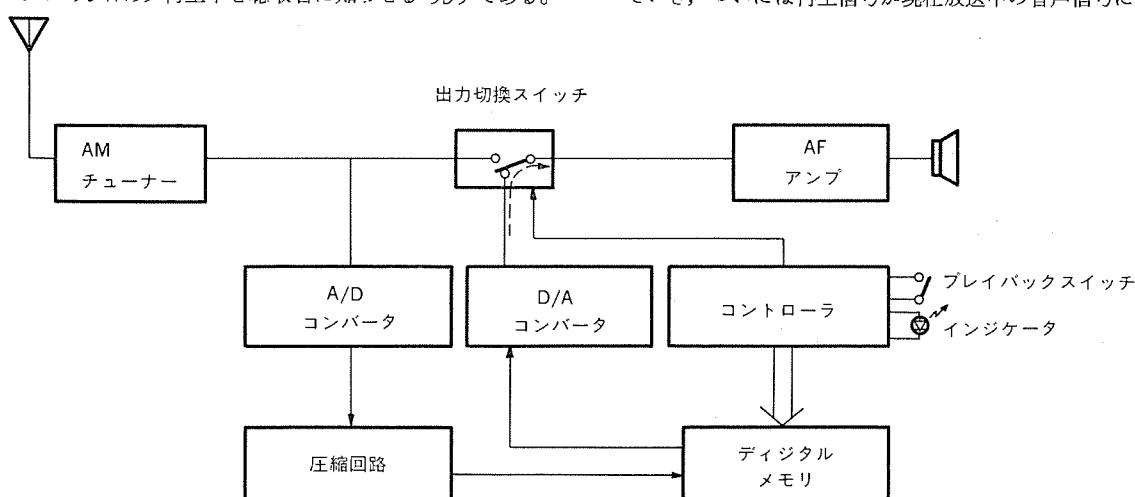


図1. 回路構成図

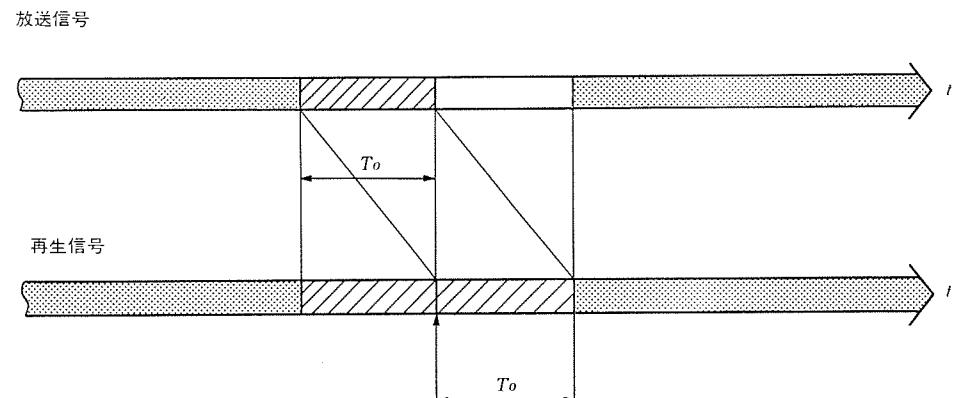
3. 動作原理

通常の受信状態では、AMチューナーは受信信号を検波して音声信号を出力する。出力切換スイッチが受信側に設定され、音声信号は低周波アンプにより増幅されてスピーカーを駆動し、出力される。同時に音声信号はデジタル化して録音される。音声信号は、カットオフ周波数4kHzのアンチエリアギングフィルタでろ波された後、サンプリング周波数8kHzでサンプリングされ、A/Dコンバータでデジタルデータに変換される。データ長は8ビットであり、64Kbpsの情報量のデジタルデータである。このデジタルデータは半導体メモリに順次書き込み記録される。半導体メモリに512Kビットの容量のメモリを用意すれば、約8秒分の音声信号を記録できる。半導体メモリは、またリングメモリとして動作するようコントローラから制御されているので、常に最新8秒分の音声信号を記録し、8秒より前の音声信号は捨てている。

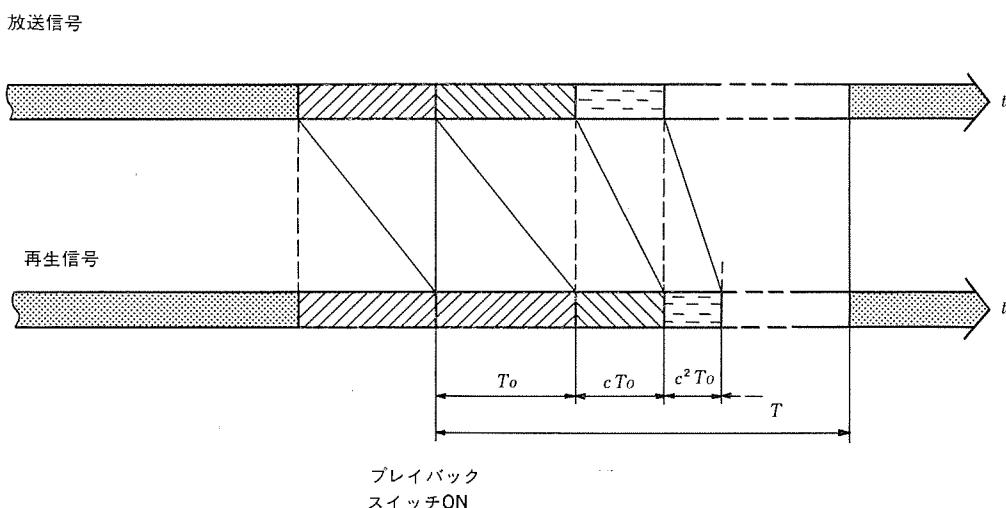
プレイバックスイッチが押されると、インジケータが点灯し、出力切換スイッチが再生側に切り換わる。また、記録されたデジタルデータの先頭から順次読み出され、サンプリング周期ごとにD/Aコンバータでアナログ音声信号に変換され、スムージングフィルタでろ波され、出力切換スイッチを介して低周波アップに導かれる。この様子は図1.の点線で示すところである。このように、録音されていた音声信号が8秒前の信号から再生されるので、聞き逃した放送内容を聞き直すことができる。

しかし、このままでは再生中に受信された放送内容は聞くことはできない。再生しながら現在放送中の音声信号を順次録音していくれば、放送内容は引き続き聞くことはできるが、ずっと8秒前の放送を聞き続けなければならない。この様子を図2.(a)に示す。図(a)で空白になった部分が欠落する放送内容である。

こうした問題点をこのラジオでは、スピーカー圧縮法を使用することによって解決した。すなわち、再生しながら現在放送中の音声信号を順次録音し、しかも、この再生速度を少し速めるよう、録音再生のタイミングを制御している。したがって、遅れ時間が徐々に減少していく、ついには再生信号が現在放送中の音声信号に追いつくこと



(a) 通常の テープレコーダーなどの録音再生特性



$$T = T_0 + c T_0 + c^2 T_0 + \dots = T_0 / (1 - c) \quad (c < 1)$$

(b) プレイバック機能付きラジオの録音再生特性

図2. 録音再生特性

になる。このとき、出力切換スイッチを元に戻すことにより、出力信号を再生信号から現在の放送信号に自然につなぐことができる。

この様子を図2.(b)を使って少し詳しく説明する。さて、録音速度と再生速度の速度比を、

と定義する。通常の テープレコーダー の場合 $c=1$ であるが、この ラジオ の場合 $c < 1$ である。ここで、録音時間を T_0 秒とする。プレーバックスイッチが押されると、録音されていた T_0 秒分の音声信号が再生される。 T_0 秒分の録音音声が再生された時点で、新たに録音されているのは cT_0 秒分となる。 $c < 1$ であるので、 T_0 秒より少ない録音時間となっている。引き続いて、この cT_0 秒分の録音された音声信号が再生され、 cT_0 秒分を再生した時点では新たに c^2T_0 秒分の音声信号が録音される。順次この録音再生を続けていくと、録音時間が $c^\infty T_0 = 0$ となり、再生信号と放送信号が一致することになる。この プレイバック期間、すなわち再生信号が現放送信号に追いつくまでの 所要時間 を T 秒 とすると 次式 が成立する。

$$T = T_0 + cT_0 + c^2T_0 + c^3T_0 + \dots = T/(1-c), \quad c < 1. \quad (2)$$

$T_0 = 8$ 秒としたときの式(2)の関係を図 3. に示す。 $c = 0.867$ であれば $T = 1$ 分、 $c = 0.933$ であれば $T = 2$ 分となる。

4. スピーチ圧縮法

$c < 1$ を実現する方法には次の二つの方法が考えられ、それぞれについて検討を行った。

4.1 サンプリング周波数を変える方法

これは、録音時と再生時のサンプリング周波数を変える方法である。
 (録音時のサンプリング周波数) < (再生時のサンプリング周波数) とすれば $c < 1$ が実現できる。一般にサンプリング周波数を変えることは、テープレコーダーの早回し、遅回し再生として知られ、この差が大きいと“ドナルドダック”的な音になったり、低いうなり音的な音になったりするピッチ変化が生じる。しかし、この周波数変化量が小さければ、この変化が検知できなかったり、検知できても、話の調子が変わったと受けとられて、その変化が許容されると推定された。そこで、我々は評価実験を行い、この周波数変化に対する検知性と許容性について調べた。評価実験用試験音声には、ニュース、天気予報、交通

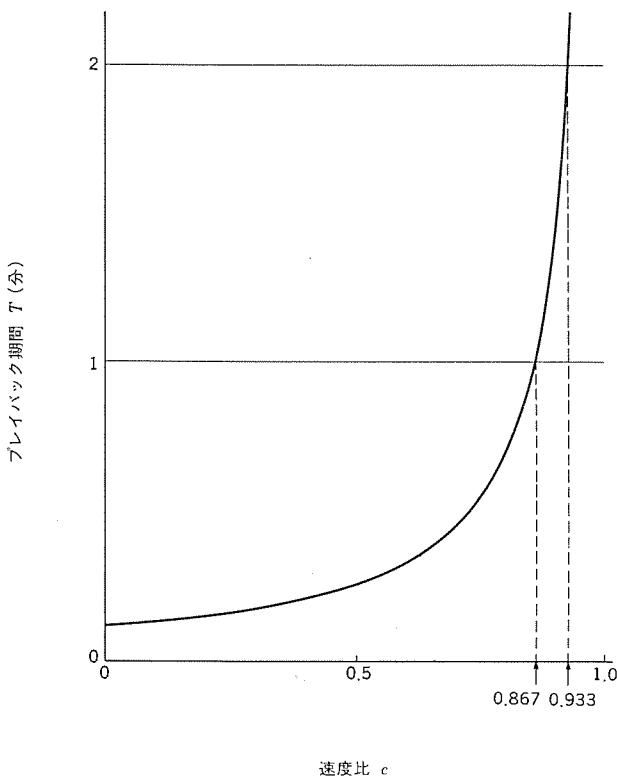


図 3. プレイバック期間特性

情報などのソースを使用し、それぞれ、男性及び女性アナウンサのものを用意した。試験音声はそれぞれ 10 秒ほどの長さがあり、実際の使用状態に則して、その文章の途中で急にピッチが変化するものを作成した。最初にピッチ変化のない試験音声を被験者に聞かせ、順次ピッチ変化が大きくなるような試験音声を次に被験者に聞かせて、そのピッチ変化が検知できるか、検知できたとき、そのピッチ変化は話の調子が変わったとして不自然ではなく、許容できるかについて答えてもらった。被験者は 10 名であった。

評価実験の結果、音源の種類及びアナウンサの性別には余り依存しないことが分かったので、結果を集計し、検知でき割合と許容できた割合についてまとめた。この結果を図 4 に示す。図において、検知率とは検知でき割合であり、許容率とは許容できる割合

であり、荒いドットの領域は検知できなかった領域、細かいドットの領域は検知できたが許容できる領域、その他の領域は検知でき、しかも許容できずに不自然であると判定された領域である。検知率、許容率とも負の周波数変化の方が正の周波数変化に対して高く、人間は負の周波数変化に対して敏感であることが分かった。一般的な使用状態で、50% の確率まで許容されるするとすると、約 8% 以下の周波数変化までが実用的な使用範囲であると考えられる。

ところでこの方法では、音楽の場合音程の変化を伴うという欠点があり、例えば 6% の変化で半音ほど変化してしまう。

4.2 無音を省略する方法

第 2 の方法は音声中に存在する無音部分を省略し、それを飛ばして再生する方法である。実用的には無音を録音しないようにしてもよいし、再生時に無音部分を飛ばして再生してもよい。無音部分を省略することで $c < 1$ が実現できる。

無音部分は一般的に、音声信号の 10~20% ぐらい含まれているが、その割合はソースに依存している。そこで一例を実測してみた。NHK 放送における、ニュース、天気予報、交通情報などを試験音声とし、変調率 3% 以下の部分が 50 ms 以上続いたときを無音としてプレイバック期間 T を測定した。測定は 100 回行った。結果を図 5 に示す。横軸は速度比 c に換算してある。平均は $c = 0.765$ である。

この方法は、再生音が自然でピッチが変化しないという特長をもっているが、速度比 c がソースに依存し、しかも音楽やノイズの多いソースでは無音部分がなくなることと、音の立ち上がりが欠けてつまり音になる場合があるという欠点がある。

5. 試作機

図 6 にこのラジオの試作機の外観を示す。ラジオの右下部に見えるプレイバックというキーがプレイバックスイッチであり、このキーを押すことによってプレイバック動作が開始される。このキーの左に用意されているリセットスイッチは、プレイバック途中で強制的に元の放送に戻すためのスイッチである。

再生音質を考慮して、A/D, D/A コンバータは 8 kHz のサンプリング周波数で動作させ、8 ビットのデータ長のデジタルデータを得ている。このため、情報量は 64 Kbps となっている。半導体メモリには 64 K × 4 ビットダイナミック RAM を 2 個使用し、約 8 秒の録音時間を得てい

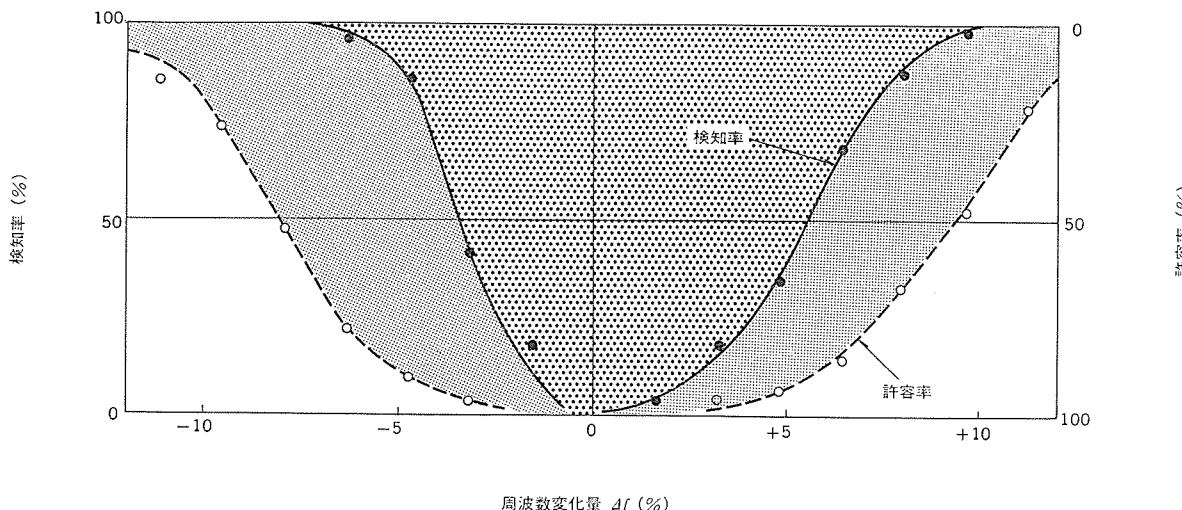


図 4. 検知率と許容率特性

る。コントローラは8ビットマイコンを用い、切換スイッチ、インジケータなどをコントロールしているだけではなく、ダイナミックRAMのリード動作、ライト動作、リフレッシュ動作のすべてをコントロールし、余分な部品を節約している。

この試作機では第2のスピーチ圧縮法を用い、無音検出用には、テープレコーダーの頭出し用ICを使用している。

ところで、種々の録音時間のものを試作し、実用試験を行った。以下にその評価結果を列挙する。

- (1) 聞き逃したと思う放送内容は、せいぜい2~8秒ぐらい過去の放送内容であり、録音時間もこの程度でよい。
- (2) カーラジオの場合、聞き逃したと思ってから、プレイバックスイッチを押すまでに1~2秒かかる。
- (3) プレイバック期間が長くなりすぎるのはよくなく、2分以内が望ましい。
- (4) 64 Kbpsの情報量の再生音質は、AM受信では音質差は問題にならない。
- (5) カーラジオ以外、ホームラジオ、テレビへの応用も可能であろう。

6. む す び

デジタル録音再生機能をもち、聞き逃した放送内容を聞き直せるだけではなく、再生中の放送内容も聞きのがさないカーラジオを開発した。安価なダイナミックRAMや汎用ICを使用して8秒の録音時間を実現し、実用的なモデルができた。

プレイバック機能は聴取者に利便性を与え、カーラジオの機能を向上させることができる。

今後、半導体メモリが更に安価になれば、録音時間の増大、録音再生音質の向上、機能の高度化などが図れ、各方面での応用が期待される。

参 考 文 献

- (1) J. L. Flanagan, M. R. Schroeder, et al.: Speech Coding, IEEE Transaction on Communications, COM-27, No. 4, p. 710 (1979-4)
- (2) Y. Morihiro, M. Nishida, Y. Shiratani: A new car radio with recording and playback Functions, IEE Transaction on Consumer Electronics, CE-32, No. 3, p. 509 (1986-8)

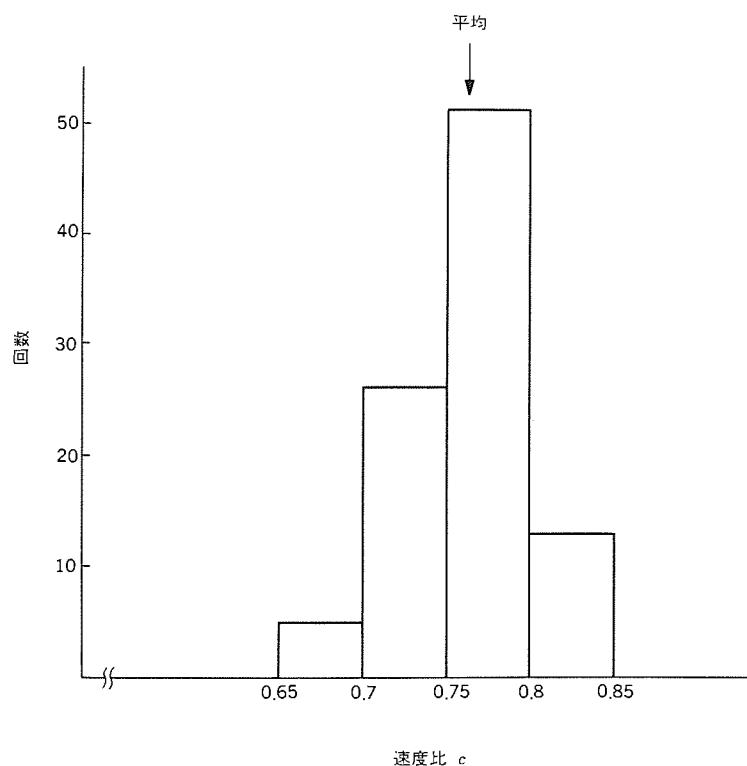


図 5. 無音省略法の実測特性

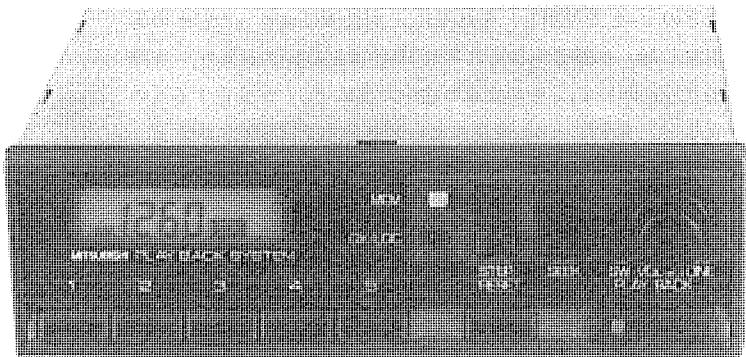


図 6. 試作機の外観

RDS受信カラーラジオ

田浦賢一*
友広 良**

1. まえがき

カーラジオでは、通常これを操作するのがドライバーであること、車が長距離を移動し受信局のサービスエリアをはずれる場合、そのたびに再選局が必要となることなどから、選局機能の高度化が求められてきた。特に比較的サービスエリアの狭いFM放送を、ラジオ放送サービスの主体とし、自動車道路網の発達によりカーラジオでの放送受信比率の高いヨーロッパでは、この要求が強かった。ヨーロッパ放送連合により規格化されたラジオデータシステム(RDS)⁽¹⁾は、FM放送に各種データを多重伝送する方式であり、その送信データにより、同一プログラム最良受信局の自動選局、交通情報識別、放送局名表示など多くの機能を実現可能とし、この要求にこたえようとするものである。

このRDSは、スウェーデンでは既に段階的導入が始まっている、イギリスでは1987年9月、西ドイツでは1988年4月からの導入予定である。このほか、イタリア、オランダなど多くの国で導入の準備が進められている。

本稿では、まずRDSの概要を述べ、次に当社で開発したRDS受信カラーラジオの構成・動作について報告する。

2. RDSシステムの概要

2.1 概要

FMステレオ放送に、更に音声又はデータを多重化して、より多くの情報を送ろうとする試みが古くから行われてきた。ヨーロッパでも多くの国で、データ多重放送方式の開発が、それぞれ独自に進められてきている。これらの動きに対しヨーロッパ放送連合(EBU)では、1980年から規格統一の作業を開始し、技術的検討を含む広範な検討

を重ねた結果、1984年ヨーロッパ統一規格としてRDSシステム仕様を取りまとめに至っている。

方式選定及び規格化は、以下の要求を満たすべく行われた。

- (1) 受信機の選局操作の容易化を第一の目的とし、同一プログラム最良受信局への選局機能を実現可能とする。
- (2) その他の番組関連情報の送信に十分なデータ伝送容量であること。
- (3) 将来の用途拡大に対しシステムの拡張性があること。
- (4) データチャンネルから音声への妨害の問題がないこと。
- (5) カーラジオで問題となるマルチパス妨害に強いこと。
- (6) 西ドイツ、オーストリアなどで実施されている交通情報識別システムARI(Autofahrer Rundfunk Information)との両立性があること。

2.2 信号形式

図1.にRDSシステムのデータ送受信の系統図を、図2.にRDS及びARI信号を含めた複合信号のスペクトルを示す。

データチャンネルとしては、音声への妨害の少ない57kHz帯が用いられる。RDS信号はビットレート1,187.5bpsの2相DPSK(Differential Phase Shift Keying)信号であり、57kHzサブキャリアをキャリア抑圧両側波振幅変調(DSB・SC・AM)して複合信号に加えられる。RDS信号は、この原理的にキャリア成分を出力に持たない変調方式をとるため、同じく57kHzのサブキャリアを使用しても、そのスペクトルがサブキャリアとその近傍に集中するARIシステムとは基本的に両立性がある。

デイファレンシャルエンコードは、入力データの“1”を、出力データの“1”と“0”的変化に、入力データの“0”では、出力データが変

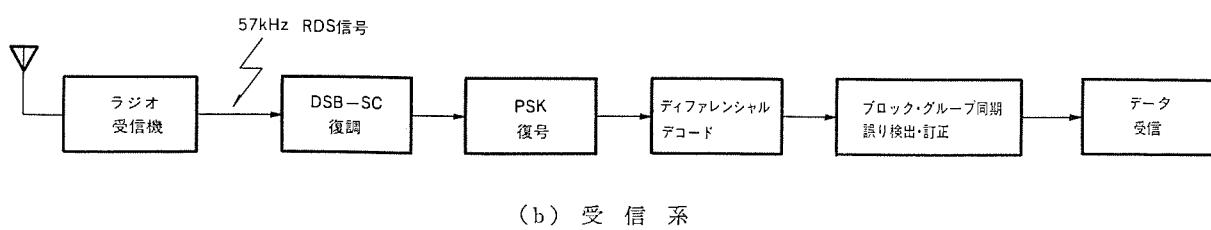
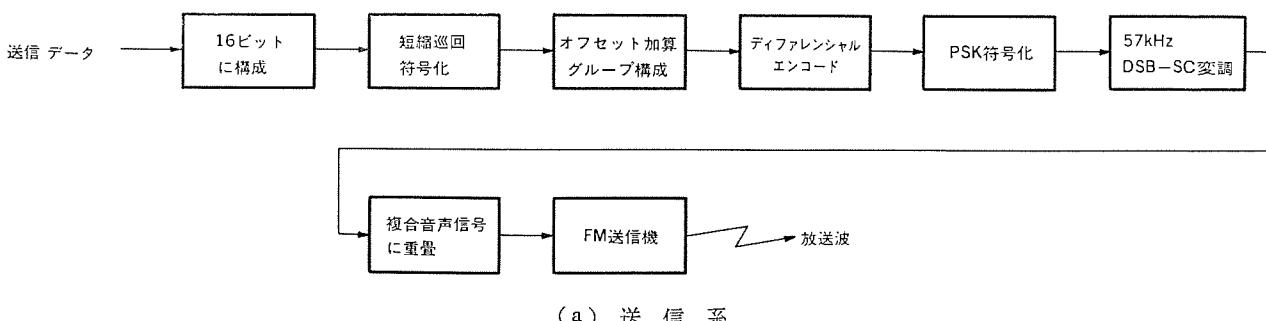


図1. RDSシステムの系統図

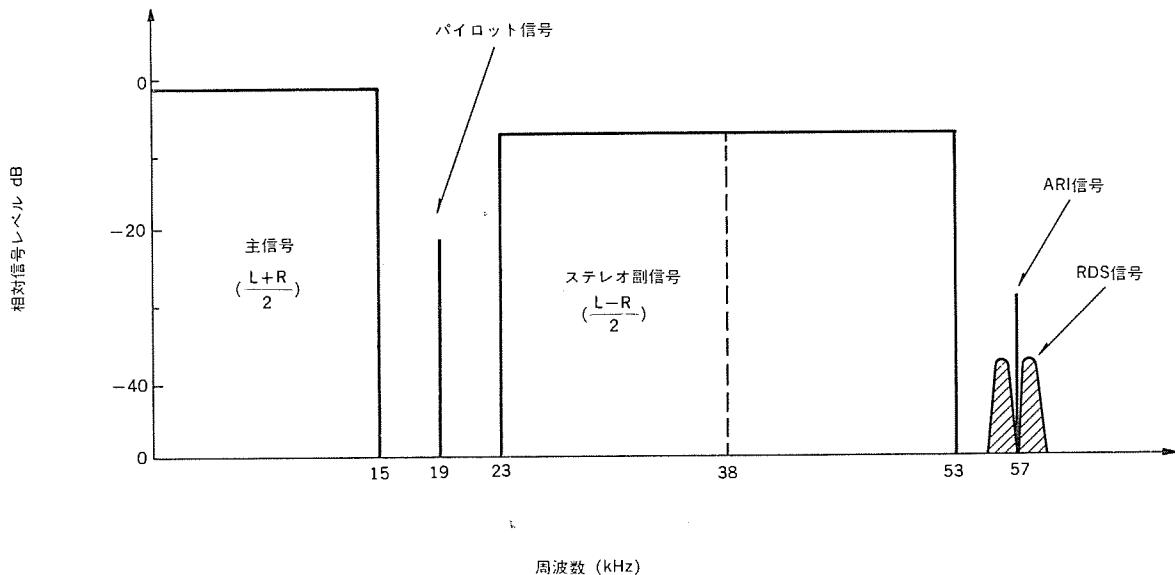


図 2. 複号信号のスペクトル

化しないことに対応づける処理であり、受信側では受信データの変化に従ってデータを復号する処理が行われることから、RDS信号復調時に発生し得るデータの反転(全データの1, 0を入れ替わる)にかかわりなく元のデータの復元を可能にするものである。

表1.にRDSシステムの主な仕様をまとめる。

2.3 データの構成

RDSシステムでは図3.に示すとおり、すべてのデータがグループと呼ばれる104ビットを単位として送信される。各グループは更に26ビットのブロック、四つから構成される。各ブロックは16ビットの情報を26ビット短縮巡回符号化した後、グループ中の各ブロック位置に対応する10ビットのオフセットワードを加算したものであり、巡回符号の特長である高い誤り検出能力と、5ビットまでのバースト誤り訂正能力をもっている。オフセットワードは受信の際、グループ構成への同期を可能にする。

各グループ中のデータは、その位置により情報の内容が規定されており、第一ブロックの16ビットは常にプログラム識別(PI)コード、第二ブロックの最初の5ビットがグループタイプ、次の1ビットが交通情報局(TP)コード、続く5ビットが番組内容(PTY)コードである。第二ブロックの残りのビット、第三、第四ブロックのデータについては、各グループタイプごとに、その内容が規定される。

表 1. RDS 主要規格値

項目	規 格 値
データ速度	1,187.5 bps
符号形状	(26, 16) 短縮巡回符号
ベースバンド信号形式	2相位相変調(DPSK)
副波送波周波数	57 kHz
副波送波の変調方式	両側波形振幅変調(DSB・SC・AM)
主波送波の周波数偏移	±2 kHz

RDSシステムでは、各種グループデータを自由に組み合わせて運用でき、内容未定義のグループタイプが残されるなど将来のシステム拡張の余地を残している。

表2.に現在規定のある主なRDS送信データを示す。

3. RDS受信カラーラジオ

3.1 概要

近年カーオーディオ機器では、DIN規格サイズへの形状統一が進んでいる。このRDS受信カラーラジオ開発でも、このスペースにすべての回路を収めること、更にはカセット・テープ・プレーヤーと一体化したワンボディタイプへの展開の必要性から回路を極力小型化することが課題と

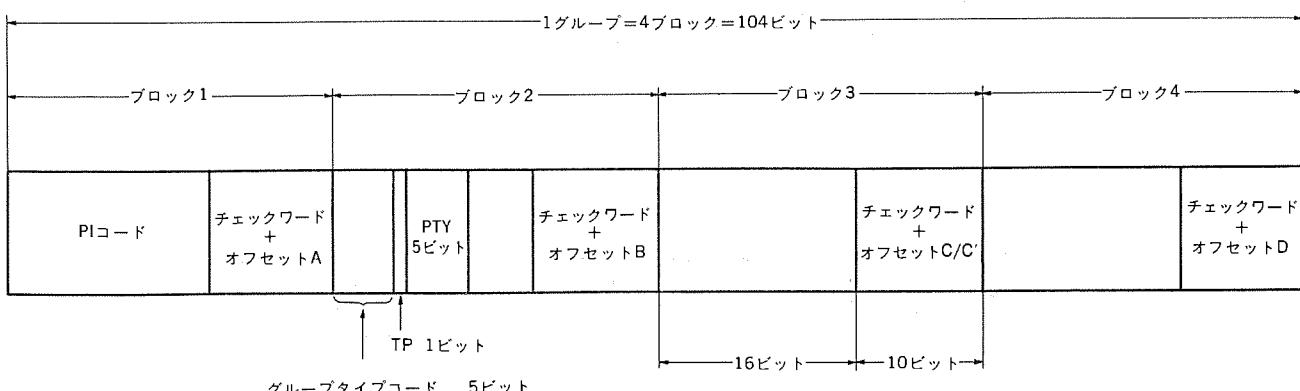


図 3. RDS 符号構成

表 2. RDS システム 送信 データ

略 称	名 称	内 容 ・ 機 能	このデータを含む グループタイプ
PI	Program Identification	各放送ネットワークに固有のコードで、国別コード、サービス地域コード、などをもつ。同一 PI コード局は、同一ネットワーク局であり、放送内容も同じである。	全グループ
PS	Program service name	8 文字 (ASCII 領域コード) の放送局名。	0 A, 0 B
PTY	Program type	放送番組の内容を示すコード (ニュース、スポーツ、軽音楽など)。	全グループ
TP	Traffic-program identification	交通情報局の識別コード。	全グループ
TA	Traffic-announcement identification	交通情報が放送中であることを示す識別コード。	0 A, 0 B, 15 B
AF	List of alternative frequencies	同一ネットワークで近接する局の周波数リスト。(最大 25 局分)	0 A
PIN	Program item number	番組の開始日時で表される、番組識別コード。番組予約、留守録音などに応用する。	1 A, 1 B
RT	Radio text	64 又は 32 文字のテキストデータ。家庭用受信機での文字表示を主目的とする。	2 A, 2 B
ON	Information concerning other networks	八つまでの他のネットワークに関する情報 (PI, PIN, TP, PTY, TA, AF)。	3 A, 3 B
CT	Clock-time and date	日付及び時刻コード。日付は Modified Julian Day が、時刻は協定世界時と放送局所在地のオフセットとが送信される。	4 A

なった。

RDS 受信による新機能を実現しながら、この回路の小型化要求にこたえるため次の方法をとった。

- (1) RDS 信号の復調・復号回路をワンチップ IC 化した、RDS デコーダ IC の開発 (図 4.)
- (2) 大容量 8 ビットワンチップマイコンを採用、RDS データ受信処理、ラジオ動作制御などすべての制御をワンチップで実現 (図 4.)
- (3) 放送局名表示のための英数表示器に、5×7 ドットマトリクス液晶表示を採用、駆動回路、照明、温度補償回路を一体化した小型表示モジュールを開発 (図 5.)
- (4) FM 受信回路にワンチューナー方式を採用、時分割処理により、ある局の放送受信中にも他局の受信レベル検出を可能とし、受聴者に全く切換を意識させることなく最良受信局を選局し続けるという高度な自動選局機能の実現

図 6. は機能評価のために試作した RDS 受信 カーラジオ のブロック構成である。受信周波数帯は、FM、中波、長波の 3 バンド、選局方式は PLL シンセサイザ 方式としている。

以下、このカーラジオにおける RDS データ受信動作及び RDS データを使用した機能の概要について述べる。

3.2 RDS データ受信動作

RDS データの受信動作は図 1. (b) に示すとおり、①57 kHz RDS 信号 (DSB・SC 変調信号) の復調、②PSK 復号、③デイファレンシャル デコード、④ブロックグループデータ構成への同期及び誤り検出・訂正、⑤データ受信処理、から構成される。

このカーラジオでは①～③を新たに開発した RDS デコーダ IC で、④、⑤の処理をマイコンで行っている。ただし、ブロック同期、誤り検出・訂正に必要となるシンドロームデータの計算は、RDS デコーダ IC に設けたハードウェアで行っている。

図 7. に RDS デコーダ IC のブロック構成を示す。57 kHz RDS 信号の復調は、デジタル位相同期ループ (以下、DPLL) により 57 kHz キャリヤを再生し同期検波を行っている。この IC では ARI システムとの両立性を得るために、すなわち ARI と RDS 信号が同時に送信される場合にも RDS データを受信可能とするため、57 kHz・DPLL

の動作状態から ARI 信号の有無を判定して、同期検波器に与える再生キャリヤ位相を 90 度切り換えるという独自の方式をとっている。

これは ARI と RDS 信号が同時送信される場合、それぞれのキャリヤ位相が 90 度異なるように、また主搬送波の偏移 (FM 変調度) も ARI 信号による偏移が ±3.5 kHz、RDS 信号による偏移が ±1.2 kHz と、ARI 信号の方が約 3 倍のレベルをもって合成されることか

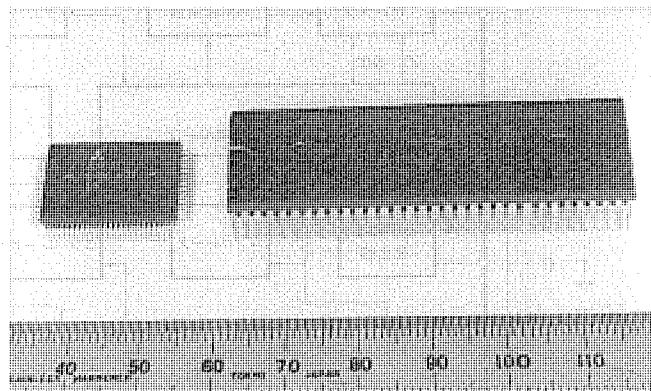


図 4. RDS デコーダ IC (左) 及び マイコン (右)

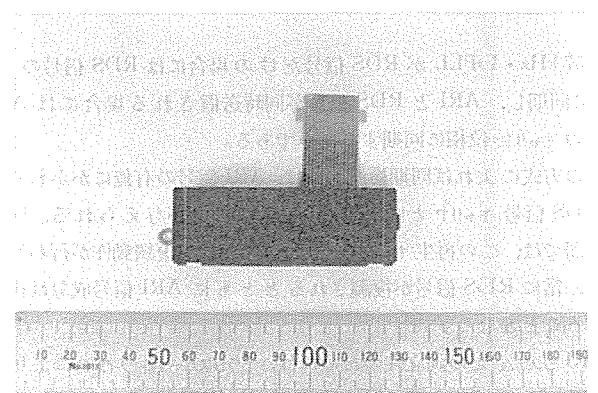


図 5. 液晶英数表示 モジュール

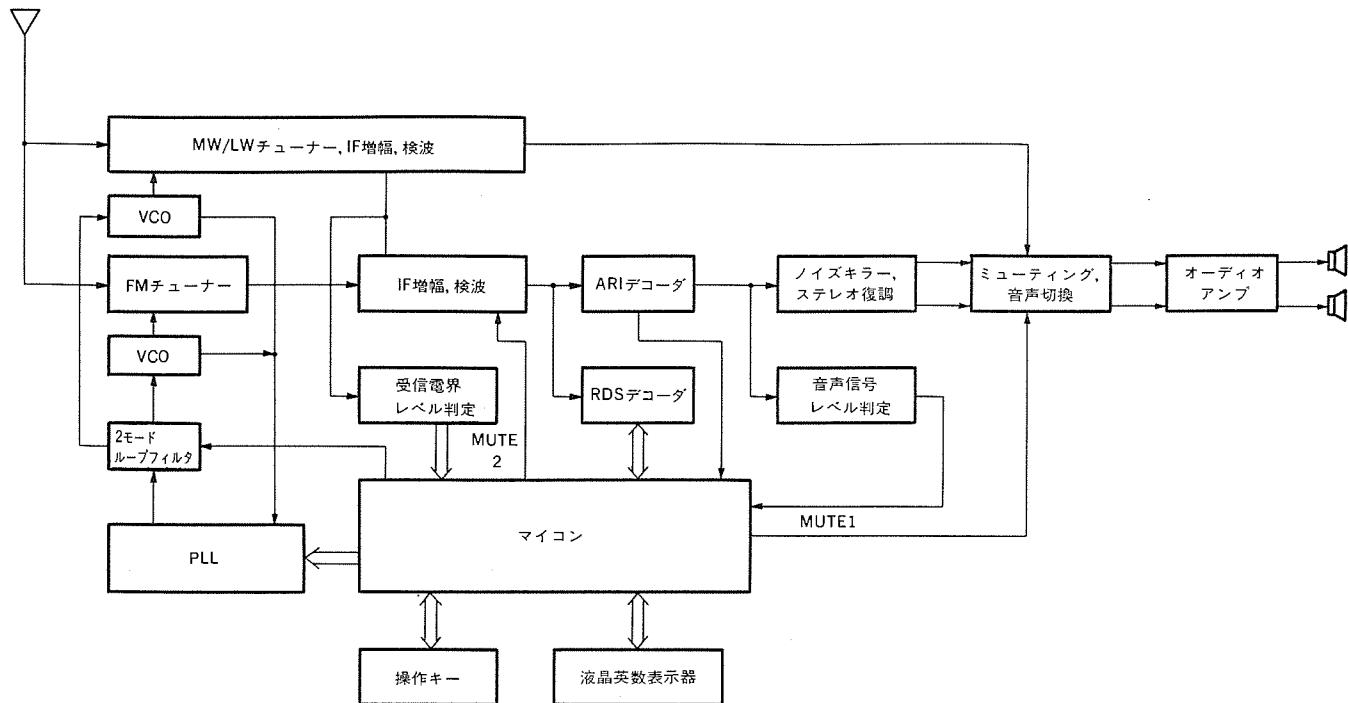


図 6. RDS 受信カラジオのブロック構成

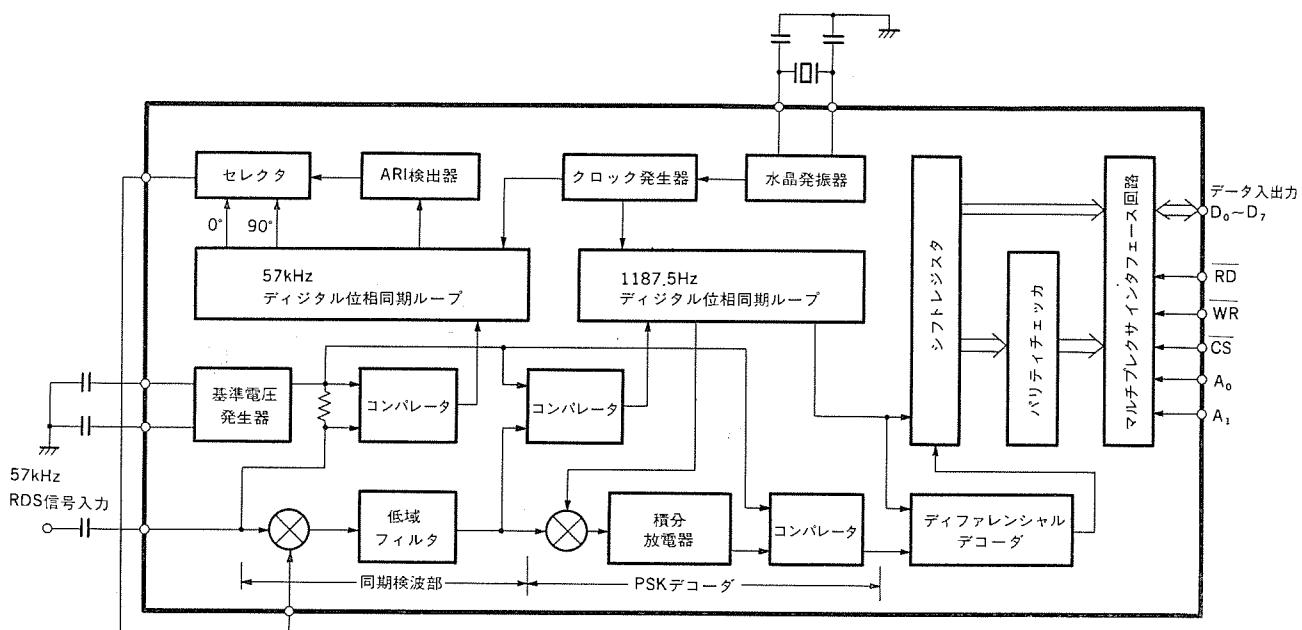


図 7. RDS デコーダ IC のブロック構成

ら、57 kHz・DPLL が RDS 信号だけの場合には RDS 信号のキャリヤに同期し、ARI と RDS 信号が同時送信される場合には ARI 信号のキャリヤ位相に同期するためである。

この方式によれば同期検波器には、ARI 信号の有無にかかわりなく RDS 信号キャリヤとほぼ同相の再生キャリヤが与えられる。同期検波器では、この再生キャリヤを参照信号として復調動作が行われるため、常に RDS 信号が復調されるとともに ARI 信号成分は排除されることとなる。

ARI システムとの両立性のためには、トランスポンサル フィルタにより ARI 信号成分をあらかじめ除去するという方法もあるが、ワンチップ IC 化が困難なため、この IC では先に述べた方式を採用した。

PSK 復号器は、もう一つの DPLL で再生した 1,187.5 Hz ビットレートクロックと入力信号との間の相互相關係数を求めて、その係数の正負（実際には基準電圧からの大小）によって復号を行う相関検出器を使用している。この方式は理想復号器としての マッチドフィルタの時間領域での実現方式としてよく知られるものである。ディファレンシャル デコーダは送信側での ディファレンシャル エンコードに対応する復号処理を行う。

この IC ではマイコンとの接続のため、8 ビットデータバスを備えること、及びシンドロームデータを計算するパリティチェックを内蔵することで、マイコンでの処理を容易にしている。

パリティチェックは、26 ビットの RDS ブロックデータが入力される場合、必ずそのブロックのオフセット値に対応する固有の値（10 ビット）を出

力するものである。マイコンでは、この各オフセット値対応の値（シンドローム）が1ブロック間隔若しくは2ブロック間隔に2回、所定の順序で受信できた場合「ブロック同期モード」動作に入る。この「ブロック同期モード」中で各ブロックデータについて誤り検出・訂正処理とデータの受信処理が実行される。

3.3 機能概要

このカーラジオではRDSデータを使用して次の機能を実現している。

- (1) 同一プログラム最良局への自動選局
- (2) 交通情報局のサーチ選局、
交通情報の待機受信
- (3) 放送局名表示
- (4) 時計

以下、このカーラジオの最大の特長である(1)の自動選局動作について述べる。

RDSデータには、表2に示すとおり同一ネットワークで接続する局の周波数リスト（略称AF）が含まれている。自動選局動作は、このAFデータを利用し、ある局の受信中にもAF局の受信レベルを監視し、受信レベル最良局への切換を行うことにより、車が長距離を移動する場合にも、同一プログラムを良好な受信状態で、しかも音声を中断・劣化させることなく受信し続けるというものである。

このカーラジオでは、FM受信回路を一系統のみ備えるワンチューナー構成をとるため、AF局の受信レベルを検出するためには一時的にAF局を選局せざるを得ないが、この処理をごく短時間に行い、かつこの処理による雑音発生を抑えることにより、受信の音声の中断・劣化を検知限度以下とすることができる⁽²⁾。このカーラジオでは次の方法でこれを実現している。

- (1) PLLシンセサイザに2モードループフィルタを使用、AF局の選局を高速化した。
- (2) AF局受信レベル検出を受信音声レベルが低い場合に限り実行させ、受信音声の詰まり感、副次的雑音発生を抑えている。
- (3) 通常のミュート（消音）回路に加え、AF局受信レベル検出による雑音発生を防止するミュート回路(MUTE・2)を設けた。

図8にAF局受信レベル検出動作のタイミングを示す。図ではAF局

受信レベルが受信局レベルより低い場合を示すが、AF局受信レベルが高ければ、そのままAF局に切り換わることとなる。

このワンチューナー構成は、1983年当社が発表したMASS(Microcomputer Automatic Station Selector)カーラジオ⁽²⁾に採用のものを基本に改良を加えたものである。

3.4 受信性能

試作機では、RDSデコーダICなど雑音源となりやすいデジタル回路部品を搭載しながら、従来と同等の受信性能を得ることができた。

図9にFM受信特性を示す。図中Ⓐ点は、実験室での試験信号源

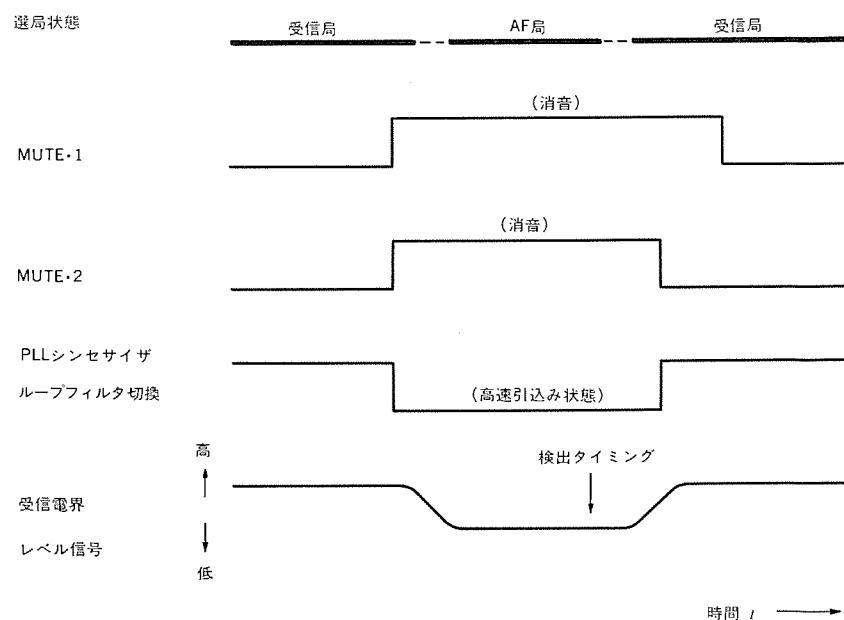


図8. AF局受信レベル検出動作のタイミング

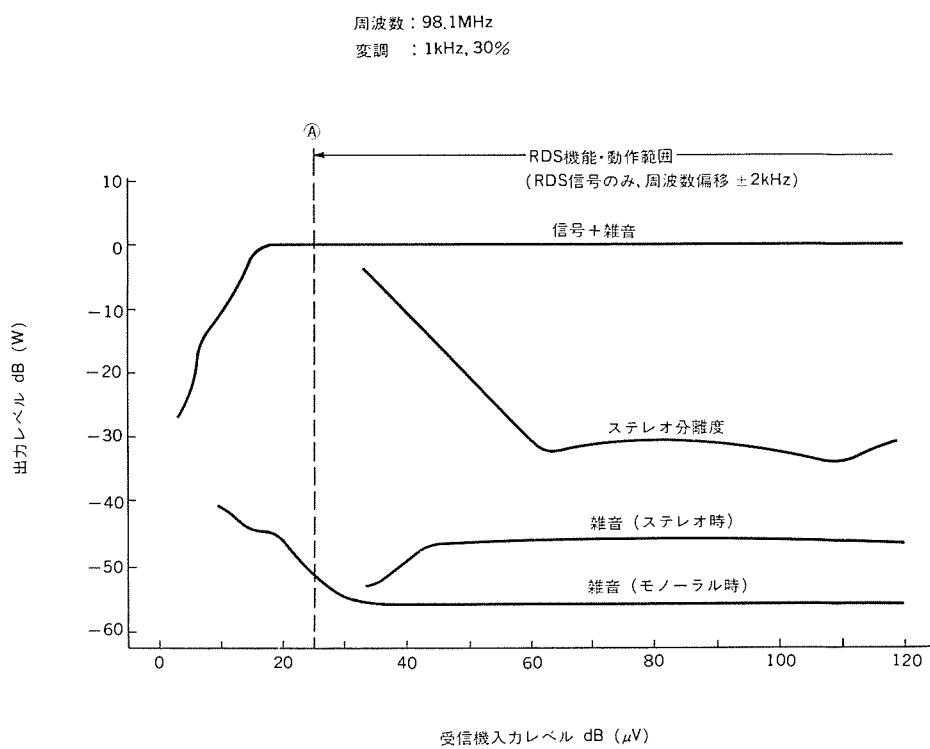


図9. RDS受信カーラジオ試作機のFM受信特性

により、放送局名表示、自動選局などRDSデータ受信による動作が行われ始める受信機入力レベルを示しており、これよりRDS機能動作が、かなりの弱電界まで可能であることがわかる。

図10.に、受信機入力レベルと受信復号されたRDSデータのビット誤り率との関係を示す。図9.のⒶ点は、ビット誤り率としてほぼ 2×10^{-2} に相当している(特性曲線1.)。特性曲線2.は、ARIとRDS信号が同時送信される場合の条件についてであり、特性曲線1.との差約5dBは、ほぼRDS信号成分による変調度の差に相当しており、この試作機でARIシステムに対する両立性が得られていることを示している。

4. フィールドテスト

RDS受信カラーラジオ試作機について、既にRDS試験放送の行われていたスウェーデン・西ドイツでのフィールドテストを実施し、次の結果を得た。

(1) スウェーデンでのテストでは、弱電界のためRDSデータが受信不能となる一部地域を除き、RDS機能動作は良好であった。

(2) RDSデータが受信できる確率は、マルチパス妨害がある場合著しく低下し、①選局から放送局名表示までの時間が延びる、②自動選局動作による切換に時間がかかるなどの現象が出る。特に西ドイツ南部のバイエルンでは、地形の起伏による電界変動が大きく平均電界レベルが低い、マルチパス妨害が広範囲に発生している、ARI信号と同時送信されるためRDS信号の変調度が低いというRDSデータ受信には非常に厳しい条件となっており、この現象が顕著であった。

(3) 西ドイツでのテストで試作機のARIシステムとの両立性、及び交通情報関連機能の動作を確認した。

5. むすび

ワンチップRDSデコーダIC、小型英数表示モジュールなどの構成部品開

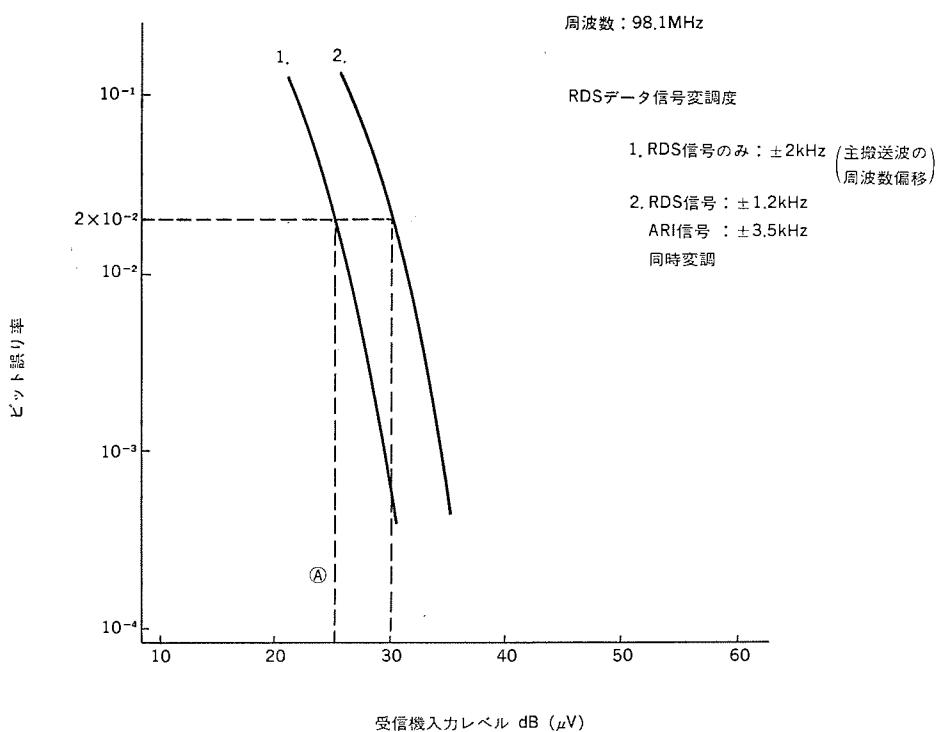


図10. RDS受信カラーラジオの入力レベルとRDSデータのビット誤り率の関係

発、ワンチューナー構成による自動選局などの機能開発を行い、RDSデータによる大幅な機能向上を従来と同じサイズで実現するカラーラジオの試作・機能確認を行った。

RDSシステムは今後ヨーロッパ各国への導入が急速に進むものとみられ、RDS受信機能がヨーロッパ向けカラーラジオには必ず(須)のものとなっていくと考えられる。今後は弱電界、マルチパス妨害に対するRDSデータ受信性能の向上と、これからRDSサービスを開始する国でのRDS実施形態の把握に努め、その実情にあった機能開発を考えていきたい。

参考文献

- (1) European Broadcasting Union, Technical Centre-Brussels: Specifications of the radio data system RDS for VHF/FM sound broadcasting, Tech. 3244 E (1984-3)
- (2) 池田ほか: MASS付カラーラジオ RX-240 SY形、三菱電機技報, 57, No. 4, p. 64 (昭58)

自動車用油圧制御ソレノイド・アクチュエータ

浜田有啓*
原 忠之*
小島隆男*

1. まえがき

自動車に対する社会的ニーズの多様化に対応して、ここ数年自動車エレクトロニクスの進展はめざましく、エンジン制御の分野で既に、燃料・点火・アイドル回転速度などがコンピュータによって総合的に制御されており、機械式制御では得られない優れた性能が実現している。最近では、電子制御技術の効果が評価され、自動車の多くの機能がコンピュータによって制御されるようになってきた。

自動変速機やパワーステアリング等は、従来から機械式油圧制御が採用されているが、制御機能には限度があり、自動車の高性能化や個性化を実現するためには、電子制御技術の導入が不可欠になっている。このような状況のなかで多くの自動車会社では、自動変速機やパワーステアリングの油圧回路に電子制御技術を導入する開発が進められ、既に実用化されたシステムもある。

油圧回路に電子制御技術を導入するためには、コンピュータの指令に応じて油圧を増減制御するアクチュエータが必要で、システム固有の条件を満たす優れたアクチュエータを探用できるかどうかが、システム開発の成否を左右するといつても過言ではない。

本稿では、具体的な適用システムを例にして、当社が開発した油圧制御用アクチュエータの機能・構造と性能などを紹介する。

2. 油圧回路への電子制御技術の導入

自動変速機やパワーステアリングの油圧回路に電子制御技術を導入するためには、システム固有の条件を満たす油圧制御アクチュエータの方式を検討し、その具体的適用例について概要を紹介する。

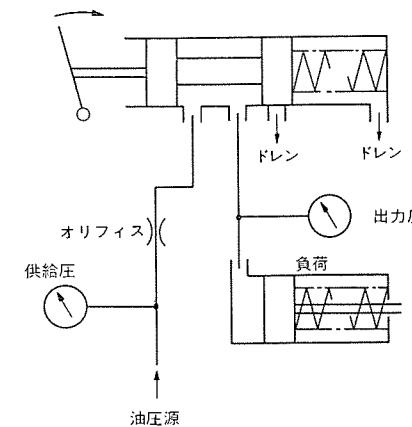
2.1 油圧制御アクチュエータの方式

従来から、自動車の機能システムに採用される機械式油圧制御回路には、スプール弁が使用されており、制御対象が要求する作用力、応答時間及び構成部品の装着場所に応じて、図1.に示す(a)直接圧式や(b)パイロット圧式などの方式が選ばれている。

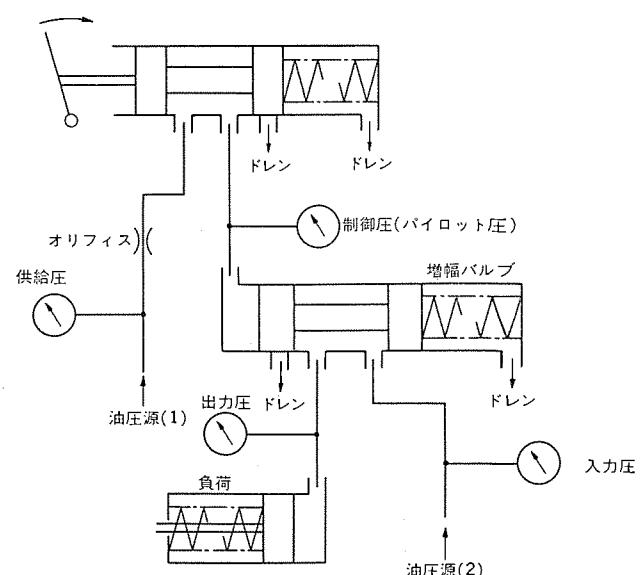
自動車の機能システムを制御する油圧回路に電子制御技術を導入する場合、各システム固有の条件を満たすアクチュエータを実用化するには、自動車で実績のあるスプール弁を活用して、図1.の(a)や(b)に示す油圧回路に、コンピュータの指令に応じて作動する電子制御駆動力を導入することが妥当であると考えられる。

他方、従来から自動車に実用されて実績のある電子制御駆動力としては、電磁力に限定されるといってよく、エンジン制御システムや定速走行制御システムなどの空気圧制御アクチュエータに、モータやソレノイド弁など、電磁駆動力を応用したアクチュエータが多く採用されている。自動車用油圧制御回路では、高速応答性が要求されるため、スプール弁にソレノイド・アクチュエータを組み合わせる方式を検討することにした。表1.に油圧制御アクチュエータの方式例と、それぞれの特徴を示す。

これらの方針を比較・検討した結果、電子制御自動変速機システムでは、装着場所の関係で耐熱・耐振性と装着性を重視して、スプール



(a) 直接圧式



(b) パイロット圧式

図1. 油圧制御回路

弁のパイロット油圧をソレノイド弁でデューティ制御する方式が、電子制御パワーステアリングシステムでは、操舵(舵)フィーリングの関係で油圧に脈動が生じないことを重視して、スプール弁のスプールを比例特性の軸力ソレノイドで駆動する方式が採用された。

2.2 油圧制御アクチュエータの具体的適用例

自動車の機能システムの中で、油圧回路に電子制御技術を導入するためには、油圧制御アクチュエータが採用された具体例を紹介する。

(1) 電子制御自動変速機

図2.に電子制御自動変速機(ELC-4 A/T)のシステム構成を示す。このシステムでは、トルコンバータに並置された油圧クラッチのスリップ量を制御する油圧回路と、自動変速機の変速比を制御する油圧回路に、それぞれデューティ制御ソレノイド弁によってスプール弁のパイ

表 1. 油圧制御電磁アクチュエータの方式比較

○: 侵れているところ
◎: 特に侵れているところ

	直接圧方式	パイロット圧方式	
	比 例	デューティ	比 例
応答性	○		
入出力直線性		○	
ヒステリシス		○	
電圧特性		○	
温度特性	○		
油圧リップル	◎		○
耐振性		◎	
小型化		◎	
構成概念図	Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ

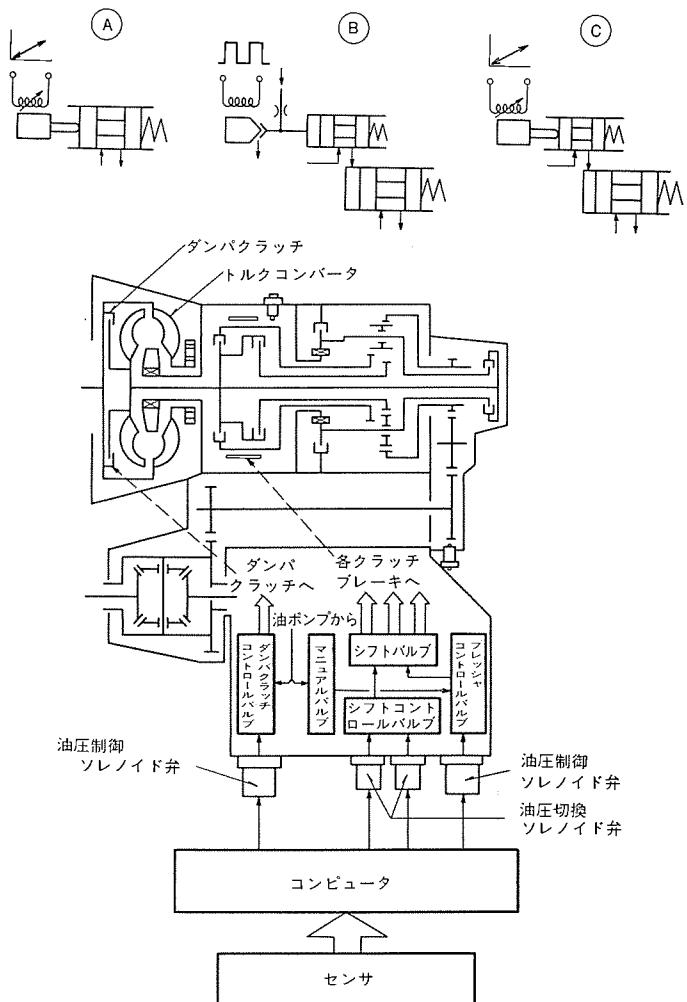


図 2. 電子制御自動変速機 ELC-4 A/T

ロット圧を制御して、スプール弁を駆動する方式の油圧制御アクチュエータが採用されている。

(2) 電子制御パワーステアリング

図 3. に電子制御パワーステアリング (EPS) のシステム構成を示す。このシステムでは、操舵反力を制御する反力ブランジ室の油圧回路に、スプール弁のスプールを軸力ソレノイドで直接駆動する方式の油圧制御アクチュエータが採用されている。

3. 油圧制御ソレノイド・アクチュエータ

2 章で紹介した電子制御自動変速機システム (ELC-4 A/T) 及び

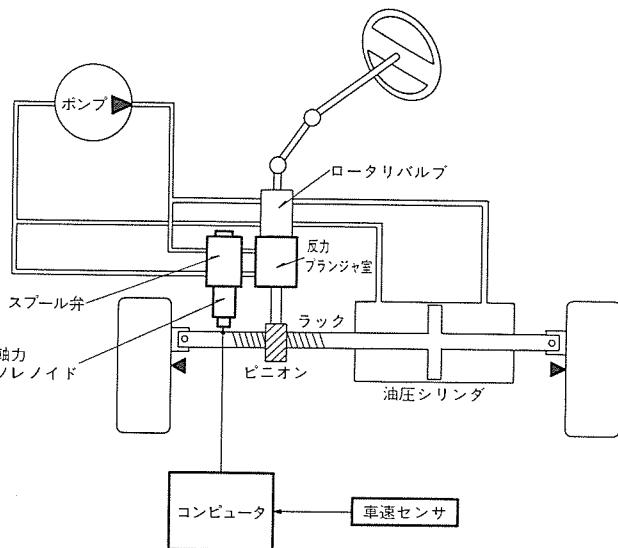


図 3. 電子制御パワーステアリング EPS

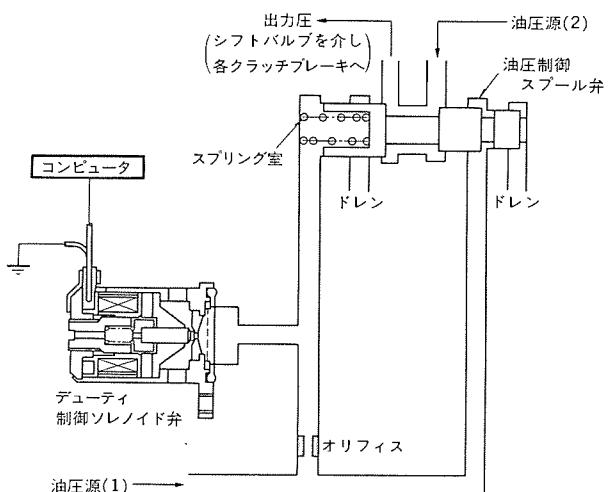


図 4. 油圧制御回路

電子制御パワーステアリングシステム (EPS) に採用されているソレノイド・アクチュエータについて、構造・仕様・特性及び信頼性などを紹介する。
3.1 デューティ制御ソレノイド弁

図 4. は電子制御自動変速機システムに採用された油圧制御回路を示す。油圧源(1)から供給されるオイルは、スプール弁とオリフィスに入り、オリフィスを通ったオイルはソレノイド弁とスプール弁のスプリング室に入る。この状態で、コンピュータの指令によってソレノイド弁の開弁デューティ率を増減すると、オリフィスを流れるオイルの流量が増減し、スプール弁のスプリング室に入るオイルの油圧 (パイロット油圧) が制御される。その結果、スプール弁のスプール駆動軸力が変化してスプールが移動し、油圧源(2)から供給されるオイルの流路抵抗及び出力部からドレンされるオイルの流路抵抗が変化して、スプール弁の出力圧が制御される。

3.1.1 デューティ制御ソレノイド弁の設計

図 5. にデューティ制御ソレノイド弁の構造断面を示し、表 2. にこのデューティ制御ソレノイド弁の各種仕様を示している。このデューティ制御ソレノイド弁は、自動変速機用油圧制御アクチュエータとして、制御システムが要求する条件を満たすために、構造・材料・寸法などに次のようなことが配慮されている。

(1) 作動応答性

作動応答性を良くするために、プランジャを軽量化し、弁の作動ストロークを必要最小にし、更にプランジャ／コア間に適当な厚さの非磁性スペーサを設けて、プランジャの移動時間を小さくしている。また、プランジャが移動するとき、ポンプ作用による動作遅れが生じないように、プランジャ室に入ったオイルの排出経路を設けている。

(2) 油圧制御温度特性

プランジャとコアの接触面積を小さくして、低温でオイル粘着が起きるのを防止し、また、弁座ポートと油圧回路上流のオリフィスの流量係数温度特性が等価になるようにして、油圧制御特性が変速機オイルの温度の影響を受けないように配慮してある。

(3) 油圧制御電圧特性

油圧制御特性が電源電圧の影響を受けないように、低抵抗コイルを採用して、低電圧でも十分な励磁電流が流れるようにしてある。なお、油圧制御特性のばらつきを抑えるために、組立時にプランジャの移動間げきを調整できるようにしてある。

(4) 油中微小粉対策

オイル流入口に細かいメッシュのフィルタを設け、また、弁のしゅう動部には適切なクリアランスを設けるとともに、弁の開閉にかかわらず、しゅう動部にオイル流が生じないようにして、変速機オイルに変速機を構成する部品の摩耗微小粉が混入していても、弁のしゅう動部には微小粉が侵入しないように配慮してある。

(5) 動作耐久性

動作耐久性を持たせるために、弁と弁座は焼き入れで適正な硬度を持たせ、弁のしゅう動部はしゅう動面積を大きくして、開閉動作による摩耗と変形を防止している。

(6) 耐熱性

耐熱性を持たせるために、励磁コイルの絶縁皮膜にはポリアミドを、ゴム材にはアクリルゴムを、それぞれ採用してある。

(7) 小型・軽量化

小型・軽量化を図るために、励磁コイルの設計は、駆動電圧を印加して開弁動作が完了すると印加電圧を約1/4に切り換える駆動方式を採用するのを前提にしている。

3.1.2 制御特性及び信頼性

電子制御自動変速機用として開発されたデューティ制御ソレノイド弁の制御特性及び信頼性について、試験結果を紹介する。

(1) 作動応答性

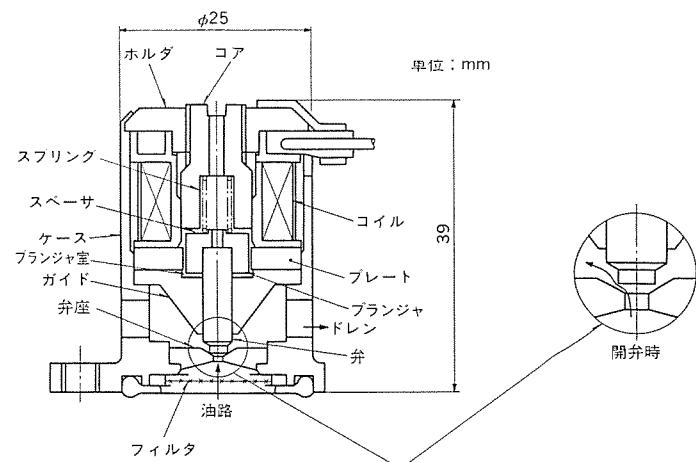


図 5. デューティ制御ソレノイド弁の構造

表 2. デューティ制御ソレノイド弁の仕様

ソレノイドバルブ形式	デューティ制御型
定格電圧	12V
使用電圧範囲	10~16V
コイル抵抗	2.9Ω/20°C
駆動周波数	35Hz
駆動方法	電圧切換駆動方式
電源電圧印加時間	3.5ms
電圧切換用直列抵抗	18Ω
動作時間(開弁,閉弁とも)	約2ms(12V, 85°C)
制御流体	変速機・オイル
使用油圧	5kg/cm²以下
耐久性(ON/OFF)	5×10⁸回以上
環境温度	-30~+150°C
装着場所	変速機内
重量	110g

励磁コイルにパルス状励磁電圧(12V)を印加して、開弁時間及び閉弁時間を測定し、次の結果を得た。

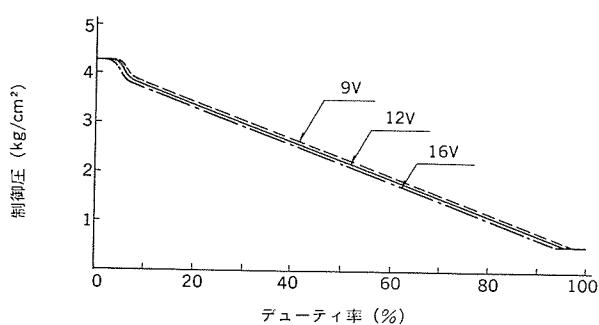
開弁時間=約2.0ms

閉弁時間=約2.0ms

(2) 油圧制御特性

ソレノイド弁テストベンチで、励磁電圧のデューティ率と制御圧の関係を試験し、その結果を図6.に示す。

図6.(a)は、励磁電圧の変動による油圧制御特性の変化を示し、(b)は、変速機オイルの温度変化による油圧制御特性の変化を示している。これらのデータから次のことがわかる。



(a) 電圧特性

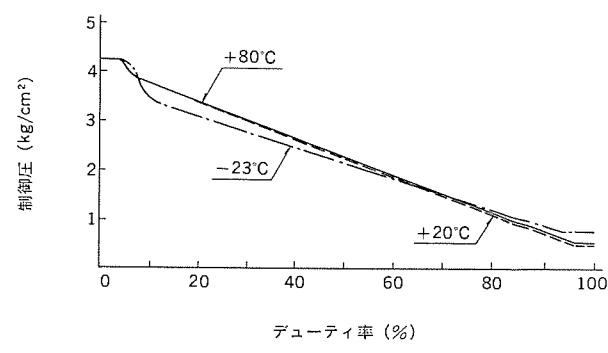


図 6. 油圧制御特性

(a) 勵磁電圧が 9~16 V の範囲で、勵磁電圧の変化が制御圧に与える影響は、勵磁電圧のデューティ率が 50% のときに、 0.1 kg/cm^2 以内である。

(b) オイルの温度が 20~80°C の範囲で温度の変化が制御圧に与える影響は、 0.05 kg/cm^2 以内である。低温側では温度の影響が現れ、 -23°C のとき $\pm 0.3 \text{ kg/cm}^2$ 程度変化する。

図 4. に示すような油圧制御回路で、このソレノイド弁をスプール弁と組み合わせてスプール弁のパイロット圧を制御する場合には、ソレノイド弁の油圧制御特性は、スプール弁の動作によって少し影響を受けるので、スプール弁との組合せ試験が必要である。

(3) 高温作動耐久

変速機オイルの温度を 100°C にして、走行距離 20 万 km に相当する 5 億回の開閉耐久作動の後、油圧制御特性を測定した結果、耐久動作による制御特性の変化は 5% 以内であることが確認された。

(4) 微小粉対策の効果

変速機オイルに、鉄・アルミニウムクラッチのフェーシング材などの微小粉(500 メッシュ以下)を混入して、デューティ制御ソレノイド弁の作動試験を実施した結果、微小粉のたい(堆)積・付着・かみ込みなどによる動作異常が起こらないことが確認された。

(5) その他

耐熱試験(150°C , 96 h), 耐熱衝撃試験($-40 \leftrightarrow +150^\circ\text{C}$, 50 サイクル), 耐振動試験(40~200 Hz, 25 G, 30 h)などの各種試験の結果、異常がないことが確認された。

(6) まとめ

以上に示す特性試験や信頼性試験の結果、デューティ制御ソレノイド弁は、電子制御自動変速機システムで、スプール弁と組み合わせて使用する油圧制御アクチュエータとして、実用性が実証された。

3.2 比例制御軸力ソレノイド

図 7. に電子制御油圧パワーステアリングの操舵力制御に採用された油圧制御回路を示している。

油圧源から供給されたオイルは、スプール弁のスプール段差室に入り、

スプールの油圧作用面の直径(D , d)差に相当する油圧力がスプールに作用する。その結果、スプールはスプリング(A)とスプリング(B)の作用力がバランスする位置から、オイル流入路をわずかに閉じる向きに移動し、オイル流量を制限してスプール段差室に油圧を与える。そして、スプールはスプリング(A)とスプリング(B)の作用力及びスプール段差室に作用する油圧力とがバランスする位置で静止する。この状態で軸力ソレノイドの励磁コイルに電流を流すと、電磁駆動軸力が作用してスプールがオイル流入路を更に閉じる向きに移動し、スプリング(A)とスプリング(B)の作用力、スプールに作用する油圧力及び電磁駆動軸力がバランスする位置で静止する。このときのスプール段差室の油圧が制御圧であり、軸力ソレノイドの励磁電流を変化させると電磁駆動軸力が変化し、その結果、制御圧が変化する。

3.2.1 比例制御軸力ソレノイドの設計

図 8. に比例制御軸力ソレノイドの構造断面を示し、表 3. に、この比例制御軸力ソレノイドの各種仕様を示している。

この軸力ソレノイドは、電子制御パワーステアリング用電磁駆動軸力アクチュエータとして、制御システムが要求する条件を満たすために、構造・材料・寸法などに次のようなことが配慮されている。

(1) 駆動軸力比例特性

比例制御軸力ソレノイドの電磁駆動部は、駆動軸力が励磁電流に比例する特性を持つように設計されている。

図 9. (a) に比例制御軸力ソレノイドの電磁駆動部の形状を示し、(b) に駆動軸(プランジャーとロッド)位置と駆動軸力の関係を示している。

電磁駆動部(コアとプランジャー)の駆動軸力は、図 9. (a) の筒状部の駆動軸力(F_1)と対向部の駆動軸力(F_2)との合成力(F)になる。図 9. (b) に示すように、プランジャーがコアに近づくにつれて、筒状部の駆動軸力(F_1)は減少し、対向部の駆動軸力(F_2)が増加する。プランジャーのテー部の形状によって、 F_1 と F_2 のバランスが変わり、駆動軸の位置(X)と合成駆動軸力(F)との関係が変わる。図 9. (b) に示しているように、テー部の形状を適当に選ぶと、合成駆

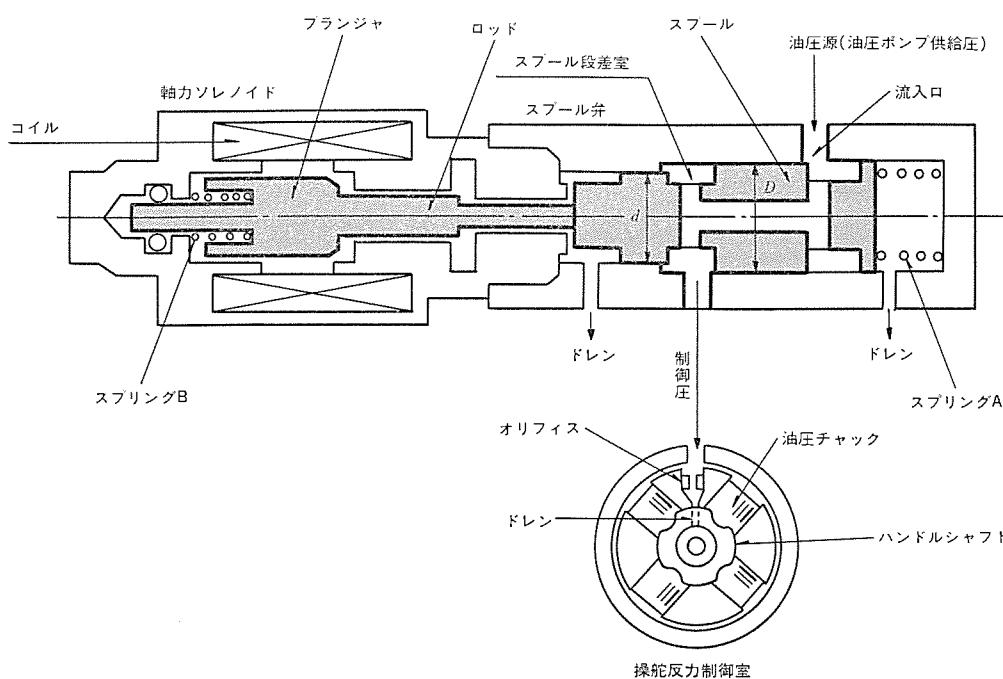


図 7. 油圧制御回路

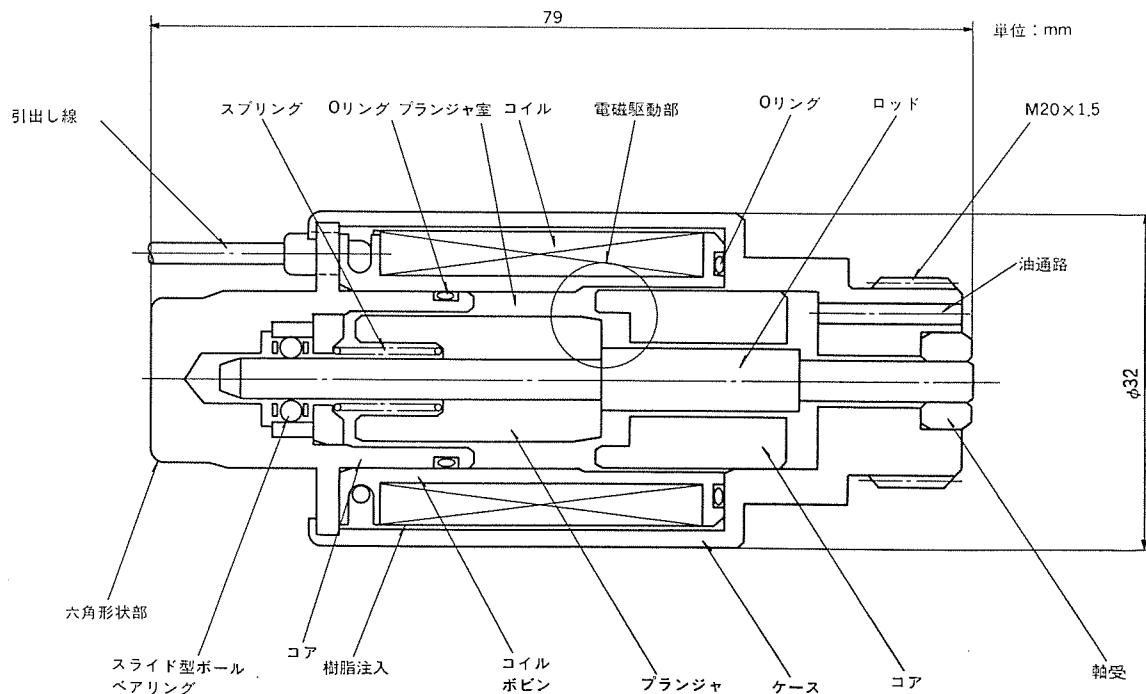


図 8. 軸力ソレノイドの構造

表 3. 軸力ソレノイドの仕様

ソレノイド形式	電磁力比例型
定格電圧	12 V
使用電圧範囲	10~16 V
コイル抵抗	6.8Ω/20°C
コイルインダクタンス	12 mH/1 kHz
駆動周波数	PWM: 1,000 Hz, ディザ: 42.5 Hz
制御電流	0~1 A
制御軸力(内蔵ばねを含む)	200~1,000 g
制御ストローク	0~1.3 mm
耐油圧性	10 kg/cm²
耐久性(ON/OFF)	10⁴ 回以上
環境温度	-30~+120°C
装着場所	ステアリングギヤ部
重量	300 g

動軸力(F)が駆動軸の位置に関係なく一定になる特性が得られる。

(2) ヒステリシス特性

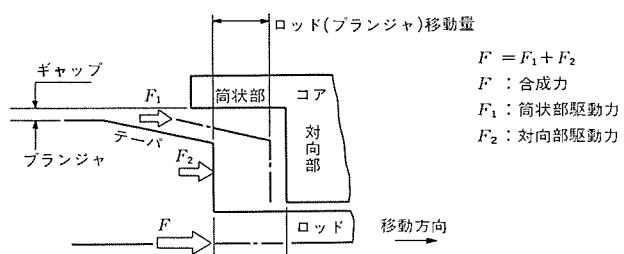
機械的なヒステリシスを軽減するために、駆動軸は両端部が軸受で支えられ、ラジアル方向の荷重が大きい側の軸受にスライド型ボールベアリングが採用されている。励磁電流に適当なディザ(微小振動電流)を付加すると、ヒステリシスは更に低減される。

(3) 油中微小粉対策

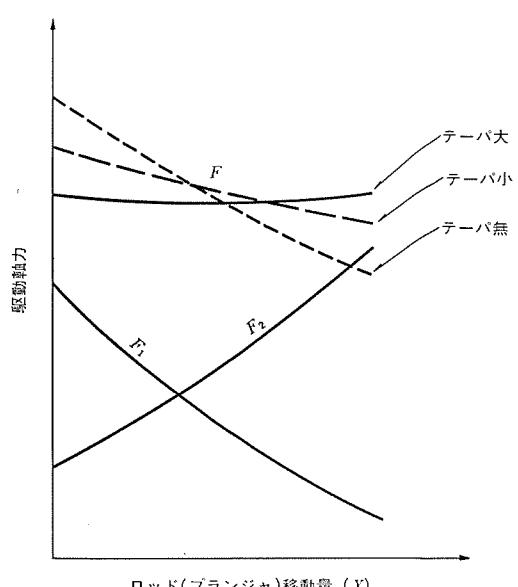
油圧回路のオイル中に、パワーステアリングを構成する部品の摩耗微小粉が混入しても、軸力ソレノイドが安定に動作するように、出力側軸受けと駆動軸ロッドに非磁性材を使用し、駆動軸ロッドと軸受とのクリアランスを適切に選ぶことによって、微小粉が軸受部で付着・堆積・かみ込みを起こすのを防止している。

(4) オイルシール性

要所にオイルシール用Oリングを組み込み、プランジャ室からコイル部及びケース外へのオイルの漏れを防止している。



(a) 形状



(b) 性能概念

図 9. 電磁駆動部の形状

(5) 耐熱・耐水性

励磁コイルの絶縁皮膜・コイルボビン・コイル引出し線・オイルシール用Oリングには耐熱性の良い材料を選んで使用している。なお、組み立てた後、ケース内に熱伝導性の良い樹脂を注入して、励磁電流の通電に伴うコイルの温度上昇を低減し、併せて水分の侵入を防止している。

(6) 耐振・耐摩耗性

駆動軸ロッドは、表面を窒化処理して適当な硬度を与え、機械的振動、励磁電流に付加されるディザによる振動や制御動作による摩耗を防止している。

(7) その他

先端部に組付け用ねじを設け、後端部を六角状にして、スプール弁への組み付けを容易にしている。

3. 2. 2 特性及び信頼性

電子制御パワーステアリング用として開発された軸力ソレノイドの制御特性及び信頼性について、試験結果を紹介する。

(1) 駆動軸力特性

図10.に軸力ソレノイドの駆動軸力特性を示している。実用駆動軸力の範囲内では、励磁電流に対する駆動軸力の直線性は±10%以内、駆動軸のストローク範囲内では、駆動軸の移動による駆動軸力の変動は、5%以内の特性を持っている。

(2) ヒステリシス特性

図10.に示すように、励磁電流に適当なディザを付加して駆動軸を移動させたとき、駆動軸力のヒステリシスは、3%以内である。

(3) 温度上昇

雰囲気温度40°Cで作動させた場合でも、コイル部に注入した樹脂の効果により、励磁コイルの温度上昇は100°C以内である。

(4) 高温耐久作動

油温100°Cの高温オイル中で、走行距離20万kmに相当する100万回の耐久作動の後、駆動軸力特性の変化は、3%以内である。

(5) 微小粉対策の効果

駆動軸ロッド及び駆動軸力出力側の軸受けに非磁性材を使用しているため、コイルに励磁電流を通電しても磁束通路以外への磁束の漏えいが少なく、駆動軸に接するスプール弁が磁性材であってもスプール弁はほとんど磁化されず、軸力ソレノイドの軸受部はもちろん、スプール弁部も、オイル中に混入する微小粉の付着・堆積・かみ込みによる作動異常は起こらないことが確認された。

(6) その他

耐熱試験(150°C, 96h)、耐熱衝撃試験(-40°C~+120°C, 50サイクル)、耐振動試験(40~400Hz, 4.4G, 30h)及び水中作動試験(20°C, 200h)などを実施した結果、特性の変化・材質の劣化・破損などは起こらないことが確認された。

(7) まとめ

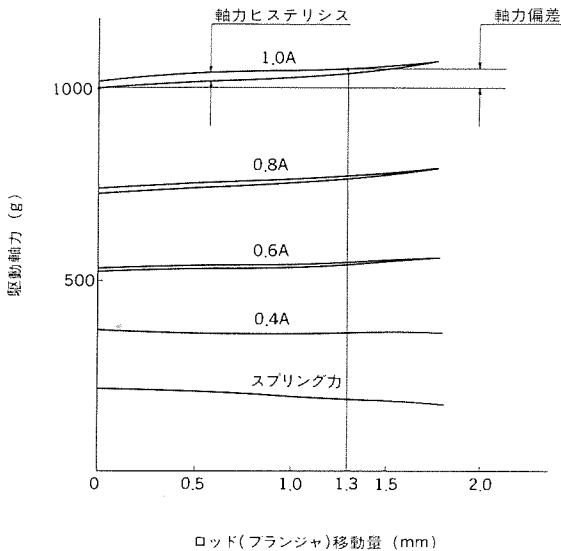


図10. 軸力ソレノイドの駆動軸力特性(駆動電流は1,000Hzのパルス幅変調と42.5Hzのディザを与えたものの合成電流)

以上に示す特性試験や信頼性試験の結果、軸力ソレノイドは、電子制御油圧パワーステアリング・システムで、スプール弁と組み合わせた油圧制御アクチュエータとして、優れた制御特性と信頼性を持っていることが実証された。

4. むすび

自動車に対する社会的ニーズの多様化に対応して、自動車のエレクトロニクス化が進展し、自動変速機やパワーステアリングにも電子制御技術が導入されるようになってきた。本稿では、コンピュータの指令に応じて油圧回路の油圧を制御する電磁アクチュエータを紹介した。いずれも、自動車の油圧回路に使用されて実績のあるスプール弁と組み合わせて、油圧を制御する電磁アクチュエータである。

自動変速機用電磁アクチュエータは耐熱・耐振性と小型化に、パワーステアリング用電磁アクチュエータは制御圧の安定性に、それぞれ重点を置いて方式が選定された。自動変速機の油圧制御アクチュエータとして、デューティ制御ソレノイド弁は生産を開始して約5年、パワーステアリングの油圧制御アクチュエータとして、電磁駆動軸力ソレノイドは、生産を開始して約3年、それぞれシステム固有の条件を満たし、安定した性能を実現している。

自動変速機やパワーステアリングに限らず、他のシステムで油圧制御回路系に電子制御技術を導入するとき、本稿に紹介した油圧制御電磁アクチュエータが広く活用されることを期待している。

最後に、自動変速機及びパワーステアリングの電子制御システムを開発する過程で、油圧制御アクチュエータに関して、種々御指導をいただいた三菱自動車工業(株)殿の関係各位に、深く感謝の意を表す。

ガソリンエンジンの電子制御装置

佐々木武夫*
多田 靖夫*
上田 敦*

1. まえがき

自動車に対する社会的ニーズは多様化し、エンジンに対しても、動力、燃費、排出ガス浄化などの性能向上が強く望まれている。そのため、エンジンの制御に、マイコンを用いた電子制御システムの導入が不可欠になりつつある。特に日本や米国では、燃料供給系に電子制御燃料噴射装置を採用する傾向が顕著になっている。このような動向に対して、当社では1980年に三菱自動車工業(株)と共同で、カルマン渦式エアフローセンサを用いた独自のシングルポイント燃料噴射装置を開発、製品化した。このたび、このシステムをベースにして、新たにマルチポイント燃料噴射装置を主体としたエンジン総合制御システムを開発し、三菱自動車工業(株)の4気筒及び6気筒のエンジンシステムに採用され

た。

本稿では、このシステムの概要と特長について述べる。

2. エンジン総合制御システムの概要

システムの構成を図1に示す。ガソリンエンジンの燃料供給系の基本的な役割は、吸入空気量に見合った燃料量、いわゆる空燃比を、ほぼ一定に保つことにある。この点から、吸入空気量を計測するエアフローセンサはシステムのキーパーツであり、この特性によりシステムの性能が決定されると言っても過言ではない。当社は、このセンサとして、従来のシングルポイント燃料噴射装置で実績のあるカルマン渦式エアフローセンサを採用した。

実際には、エンジンの最適空燃比は運転状態に応じて変化する。し

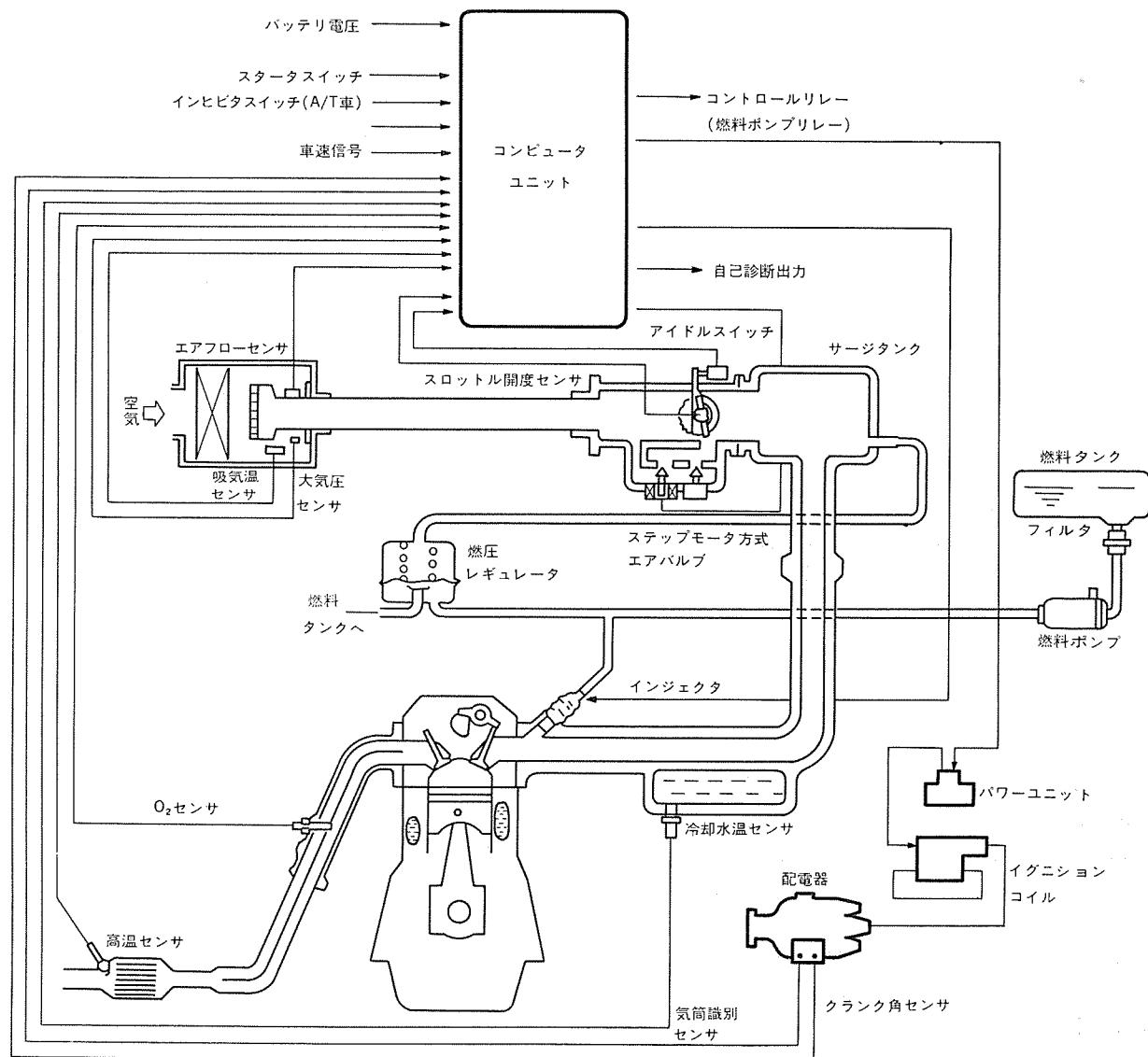


図1. エンジン制御システム

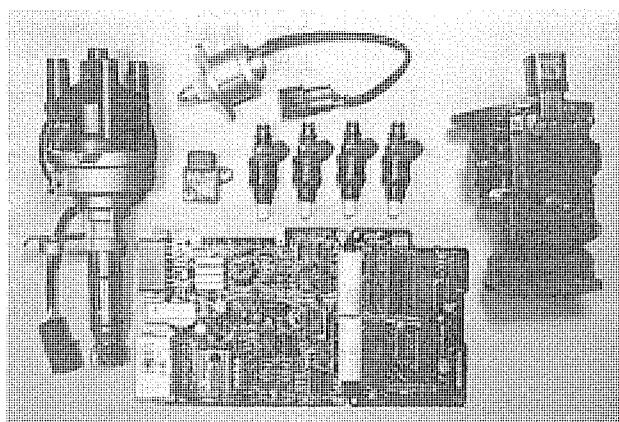


図 2. システム構成部品

たがって、燃料制御システムはエアフローセンサを中心とし、運転状態を検出する各種センサ、それら情報をもとに最適燃料量を演算するコンピュータユニット、演算結果に基づいて燃料を供給するインジェクタ及びインジェクタに加圧燃料を供給する燃料系により構成される。また、このシステムでは燃料噴射制御を主体として、点火時期制御、アイドル回転速度制御及び自己診断機能を包含したエンジン総合制御としてまとめ、エンジン高性能化の要求にこたえた。システムの主要構成部品を図2.に示す。このシステムの特長を次にまとめると。

(1) エアフローセンサには、従来システムで実績のあるカルマン渦方式を採用した。

(2) 気筒別噴射のマルチポイント燃料噴射に加え、各気筒のインジェクタを点火順序に基づいて順次適切なタイミングで噴射する、いわゆるシーケンシャル噴射を採用し、エンジンの排出ガス性能及び過渡応答性を改善した。

(3) 配電器内蔵の光式クランク角度センサの信号を基準として、イグニションコイルの通電及び点火時期を制御する電子式点火時期制御を導入し、従来の機械式進角装置では実現困難な複雑な点火時期制御特性を得ることができた。

(4) 6気筒エンジンには、ステップモータを応用したバイパスエア方式アイドル回転速度制御を導入し、高精度な制御を実現した。

(5) システムの中核に当たるコンピュータユニットには、最新のマイコンを用いて、燃料制御を主体に点火時期制御、アイドル回転速度制御及び自己診断機能を含めたエンジン総合制御装置としてまとめ、価格性能比を改善した。

3. 制御内容

3.1 燃料噴射制御

多気筒エンジンでは、車両の加減速のような過渡運転時も含めて、各気筒の燃焼状態を一様とすることが理想である。このシステムでは気筒別のマルチポイント燃料噴射方式に加え、各気筒のインジェクタを点火順序に基づいて順次駆動する、いわゆるシーケンシャル(順序)噴射制御を採用し、この要求にこたえた。エンジンの排出ガス性能及び過渡応答性の試験結果からインジェクタ噴射タイミングは、図3.に示すような配電器内のクランク角センサの信号に同期した吸気行程前75度(BTDC 75度)、すなわち排気行程中に設定され、エンジン2回転ごとに1回噴射される。

なお、配電器内には上記クランク角センサと一緒に気筒識別センサが設けられ、この出力信号を受けてコンピュータユニットでは、燃料を噴射

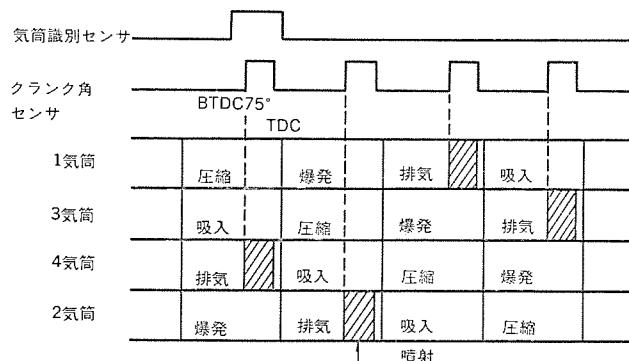


図 3. インジェクタ噴射タイミング

表 1. 空燃比補正項目

補正項目	関連センサ又は情報	補正内容
暖機補正	冷却水温センサ	エンジン冷態時燃料を増量する。
空気密度補正	大気圧センサ	エアフローセンサが体積式流量計であるため空気密度補正をする。
始動増量	キースイッチ(スタート位置)・冷却水温センサ	始動時に適した燃料増量をする。
フィードバック補正	O ₂ センサ	排気ガス中のO ₂ 濃度をモニタしながら空燃比のフィードバック制御を行い理論空燃比に保つ。
加速増量	スロットル開度センサ	加速時燃料を増量し、走行性能を改善する。
減速燃料カット	アイドルスイッチ・エンジン回転数	減速時、燃料を停止し、触媒を保護する。
バッテリ電圧補正	バッテリ電圧	インジェクタ印加電圧変動に伴う空燃比変化を補償する。

すべき気筒判別を行う。

一方、エンジンに供給される燃料量は、インジェクタ駆動時間で制御され、その時間(T_i)は次式で表される。

$$T_i = T_b + C_i + T_d$$

ここで、 T_b : 基本駆動時間

C_i : 空燃比補正係数

T_d : 電圧補正時間

また、基本駆動時間(T_b)は次のように表される。

$$T_b = K \times (Q_a / N_e)$$

すなわち、エアフローセンサで検出された吸入空気量(Q_a)から1吸入行程当たりの空気量(Q_a / N_e)を求め、これに燃料流量変換係数(K)を乗算し、基本駆動時間(T_b)を得る。カルマン渦式エアフローセンサは、後述のように吸入空気量に比例した周波数信号を出力しており、1吸入行程間のエアフローセンサ出力信号(パルス)を、マイコン内蔵のタイマで小数点以下まで計数することで直接吸入行程当たりの空気量を得ており、一般的に燃料噴射制御コンピュータで必要とされる高精度なA/D変換器を不要としている。また、マルチポイント燃料噴射装置では慣性給気を最大限に利用するため、スロットルバルブ下流にサージタンクがあり、この結果エアフローセンサ計測空気量に対し、エンジンに吸入される空気量は位相遅れが発生する。この遅れ時間を補償するため、基本駆動時間は、マイコンの演算能力を駆使したデジタルフィルタリング手法を用いて算出される。実際のインジェクタ駆動時間は

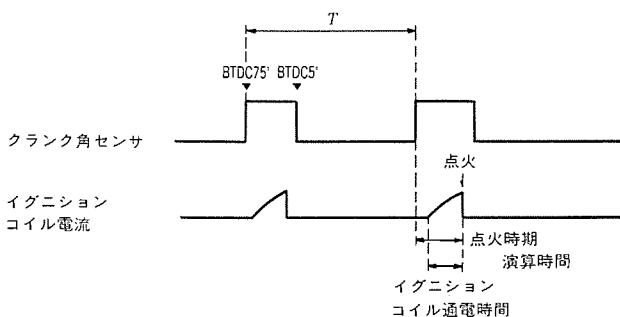


図 4. 点火時期制御 タイミング

前述の基本駆動時間に、表 1. に示すような各種入力情報に基づく空燃比補正係数 (C_i) を乗算して求められる。

3.2 点火時期制御

配電器内の光式 クランク角 センサ 出力信号の周期情報をもとに、各気筒の基準位置信号の周期情報をもとに、通電及び点火時期を演算により求めるもので、クランク角 センサ 出力信号の周波数範囲が低減でき、価格 メリットに優れたシステムである。車両加減速時などの過渡状態では、制御精度が低下するので、センサ出力信号の立ち上がり、立ち下がり時刻を利用した最新データによる補正、又は周期変動予測演算の補償法を加えて実用上十分なる精度を確保した。一方、要求点火時期は、エンジン負荷と回転速度とによって設定された基本点火時期に、各種入力情報による補正点火時期を加えることで算出され、従来の機械式進角装置では成し得なかった自由度の高い点火時期制御特性を実現できた。

3.3 アイドル回転速度制御

6気筒エンジンには、ステップモータを用いたバイパスエア方式アイドル回転速度制御を新たに採用した。ステップモータ式エアバルブは開度センサを設けることなく、電気パルスの印加で高精度な流量制御が可能となり、優れたアイドル回転速度制御を実現できた。なお、エンジン暖機のためのファストアイドル機能はワックス式エアバルブを使用した。また、このステップモータ式エアバルブには、上述のアイドル回転速度制御以外に、エアコン用コンプレッサ駆動時のアイドルアップ、及び車両減速時のショック軽減のためのダッシュボット機能を含め、無負荷運転時の吸入空気量を総合的に制御し、価格性能比を向上させた。

3.4 フェイルセーフ制御及び自己診断機能

主要入力情報が万一異常と判定されたときには、フェイルセーフ制御により安全側になるよう代替入力値に置換して、各種制御を実行するとともに、異常と診断した入力情報に対応したコードの電圧信号をシリアルに送出しており、診断専用コネクタにテスターなどを接続することで故障箇所を容易に識別することができる。なお、コンピュータには、バッテリバックアップ機能が導入されているため、この診断結果はエンジン停止後でも保持され、保守性に優れたものとなっている。

4. 主要構成部品の概要

4.1 センサ

4.1.1 エアフローセンサ

エンジンの燃料噴射制御システムにとってエアフローセンサは、性能を決定づけるキーパーツである。このシステムでは、従来のシングルポイント燃

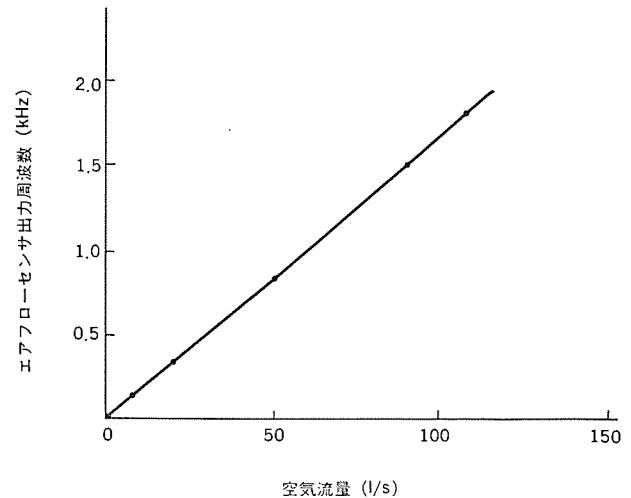


図 5. エアフローセンサの出力特性

料噴射装置で実績のあるカルマン渦式エアフローセンサを採用した。このセンサは、1980年に当社が世界に先がけて開発、生産化したもので、流体力学上よく知られているカルマン渦現象を応用している。このセンサの原理等については、既に各種文献に報告しているので要約のみにとどめ、ここでは最近の改善内容を中心に述べる。

(1) 原理

このセンサは、カルマン渦発生周波数が空気流速、言い換えると体積流量に比例する原理を応用したもので、カルマン渦の検出方法としては超音波方式を採用している。この方式は空気の流れを横切って送信器から超音波を送信し、カルマン渦による音波伝ば(播)の変調成分を検出するもので、渦の発生や通路内の流れを乱すことなく渦の発生周波数を検出することができる。図 5. に空気流量に対する渦

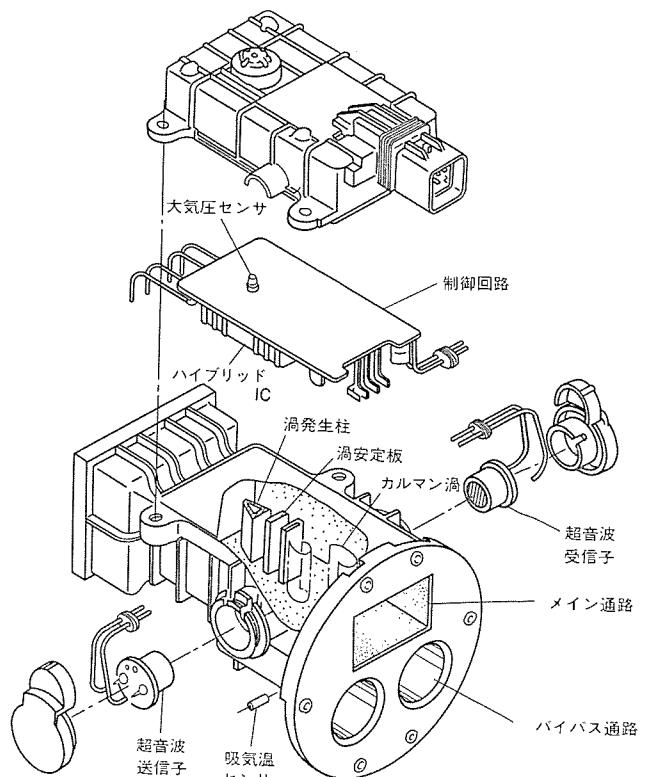


図 6. エアフローセンサの構造図

周波数、すなわち エアフローセンサ出力周波数特性の一例を示す。

エンジンに吸入される広範囲な空気流量に対して完全に比例した周波数出力が得られ、精度は全域±3%以内である。エンジンにおける渦周波数の使用範囲は、アイドリング時で約30Hz、最大出力時には2kHzに達し、流量のダイナミックレンジ（最大流量対最小流量比）は約70倍である。

(2) 構造

図6.にセンサの構造図を示す。このセンサは、すべてプラスチック成形加工され、小型軽量化されている。空気通路は渦発生柱があるメイン通路とバイパス通路から成り、エンジン容積差など流量範囲の異なる要求に対しても、バイパス通路の面積を変更することで適合化を図った。

渦発生柱は流量特性を決定する主要部品であり、三角柱と複数の渦増幅板をもつ構成は、特に低周波数域での渦発生の安定性に優れ、計測流量のダイナミックレンジ拡大が図れた。渦発生柱後流の通路壁面に超音波送、受信子が設置されている。制御回路部は、2個のバイポーラ専用モリソニックICと、これらICを搭載したハイブリッドICで構成され、プリント基板に実装された状態でメイン通路の上部パッケージ内に納められている。更に、このセンサには吸入空気温度を検出する温度センサ及び吸入空気圧力を検出する大気圧センサを備え、それぞれ独立してコンピュータユニットに情報が送られる。コンピュータユニットでは、カルマン渦式エアフローセンサで得られた周波数情報をから体積流量を算出するとともに、これら補正情報を用いて精度の高い質量流量に変換している。

4.1.2 クランク角センサ

シーケンシャル燃料噴射制御又は点火時期制御には、エンジンのクランク角位置、気筒識別信号が必要とされる。クランク角センサは、この2種類の信号を発生するセンサで、配電器に内蔵されエンジン構成部品の簡素化を図った。このセンサにはエンジン部品として一般的に要求される耐環境性以外に、配電器内の限られたスペース内に2種類の信号発生器を内蔵すること、及び信号の形態が制御系の要求により自由に構成できることなどの制約条件がある。これらの条件を満たすものとして、光素子を利用した光式クランク角センサを採用した。

クランク角センサ内蔵配電器の断面図を図7.に示すが、機能上次の部分から構成される。

- (1) 配電部：通常の配電器と同様、イグニションコイルの高電圧を各気筒に配電する。
- (2) 信号発生部：エンジンのクランク回転位置を検出し、各気筒ごとの基準信号と気筒識別信号を発生する。

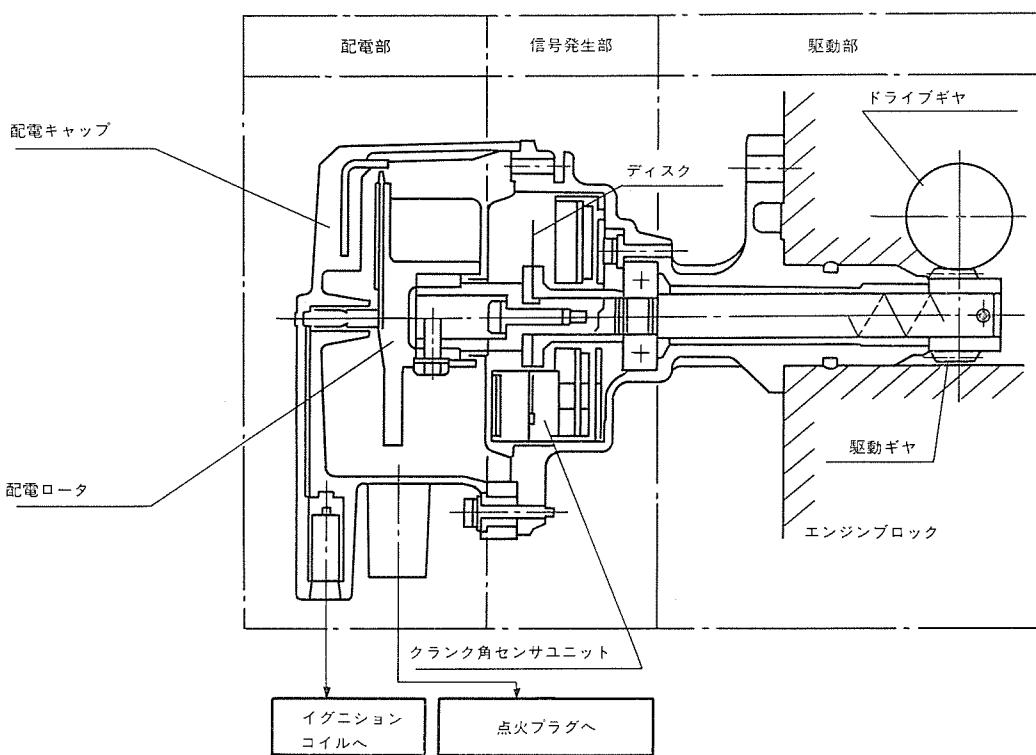


図7. クランク角センサ内蔵配電器

(3) 駆動部：エンジンの駆動軸系と結合する。

信号発生部の詳細な構成を図8.に示す。クランク角センサユニットはセンサ部と波形整形処理部とからなり、センサ部は発、受光一体の透過型センシング方式を採用した。光素子には汚れに強い近赤外の発光ダイオードとフォトダイオードを使った。このセンサユニットは小型、高信頼性を得るために、自動車環境に適合するべく設計された専用ICと、このICを搭載したハイブリッドICにより構成される。また、発光、受光素子間に必要な出力信号を得るためにスリットをもった円盤状薄板（ディスク）を配置している。このディスクは、耐環境性に富むステン

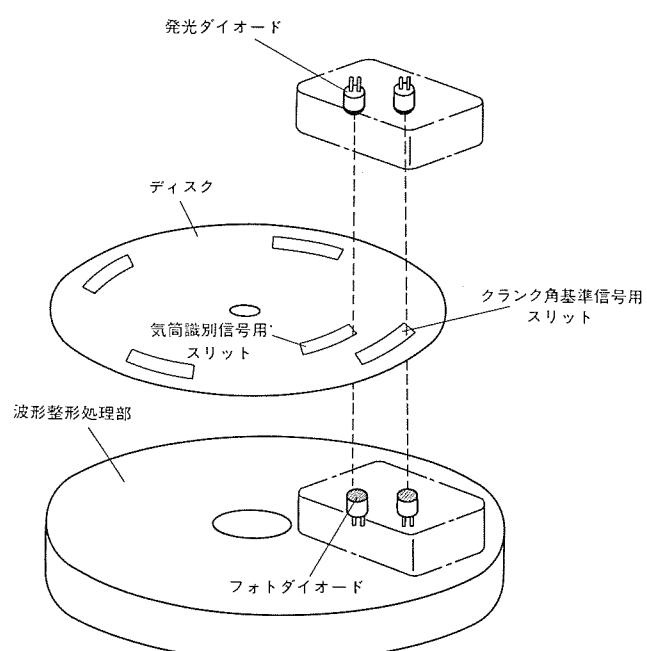


図8. 配電器の信号発生部の構成

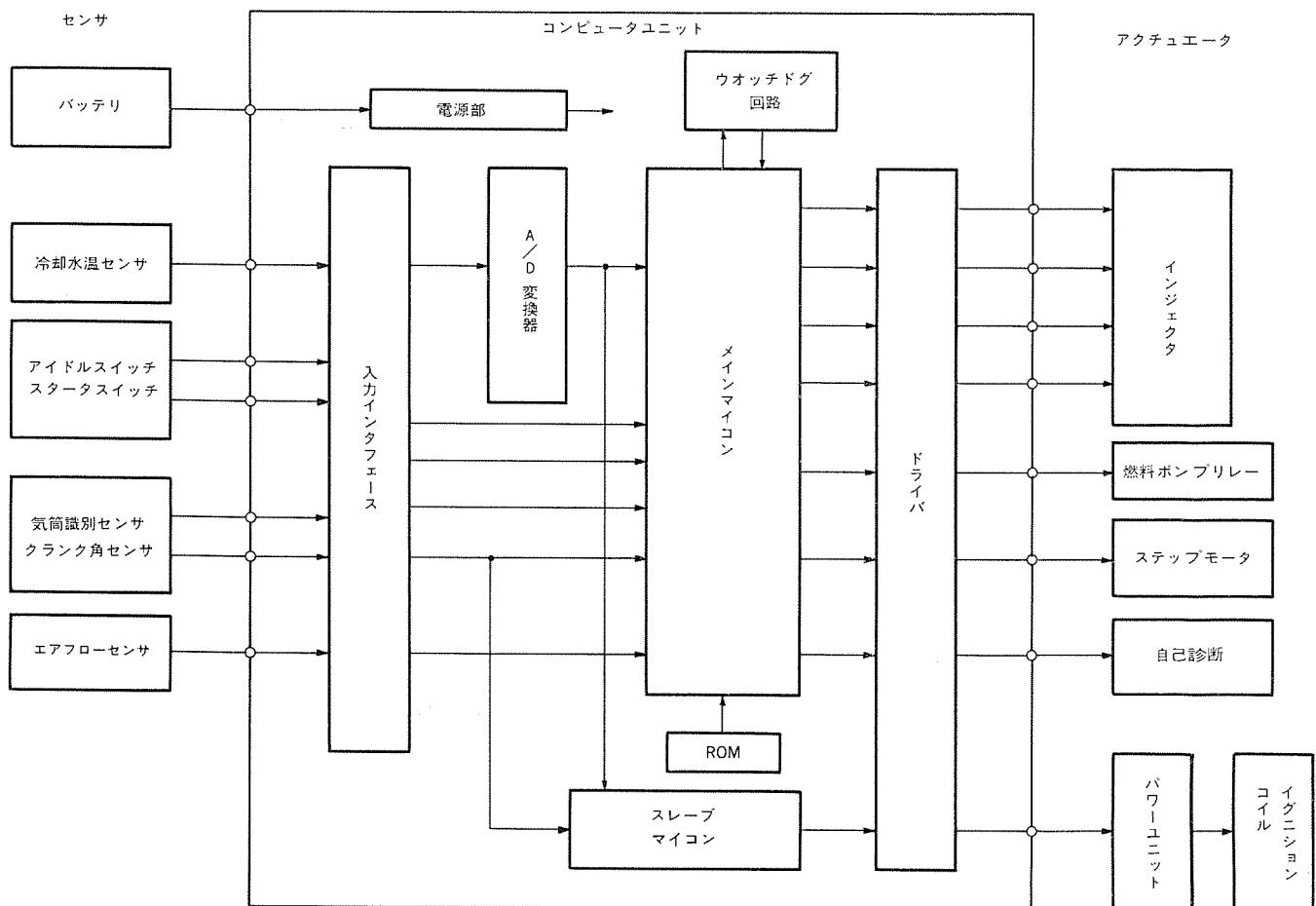


図 9. コンピュータユニットのブロック図

レス材を使用している。

光素子という新しい技術を採用することにより、高精度のクランク角センサを実現することができた。

4.2 コンピュータユニット

コンピュータユニットのブロック図を図9に示す。コンピュータユニットには最新の半導体技術を駆使した2個の自動車用マイコンが使用されている。メインマイコンは燃料量、点火時期、アイドル回転速度制御及び自己診断機能など主要制御をすべて担当し、一方スレーブマイコンは点火時期のタイミングを主として担当する、いわば実時間制御専用コンピュータである。メインコンピュータの外部に8KバイトのROMが設けられ、制御手順(プログラム)及びデータが記憶されている。

冷却水温などのアナログ入力情報をデジタル情報に変換するため、8ビット精度のA/D変換器をマイコン外部に付加した。二つのマイコン間又はA/D変換器との情報のやり取りにシリアル伝送を用い、回路構成の簡易化を図った。

さて、エンジン各部に設置したセンサからの情報は、入力インターフェース回路を通してノイズを除去した後、アナログ情報はA/D変換器に、スイッチなどのデジタル情報はマイコンに直接送られる。メインマイコンでは、得られた入力情報をもとにROMに記憶されているプログラムを実行し、最適燃料量、点火時期、アイドル回転速度を演算し結果をレジスタに書き込む。このマイコンには、エンジン制御に適した強力なタイマ機能が内蔵されており、例えば燃料噴射制御では、クランク角センサから得られた適切なタイミングで各気筒のインジェクタ駆動順序を決定するとともに、レジスタに書き込まれた所要燃料量の数値情報に

対応した時間、インジェクタを駆動する動作を内蔵タイマを用いて制御することにより、外付けタイマICを廃止し構成の簡素化を図った。

点火時期制御の要求点火時期は、各種入力情報が集中して取り込まれているメインマイコンで演算され、その結果がスレーブマイコンにシリアル伝送される。スレーブマイコンでは内蔵されているROMのプログラムに従い、クランク角センサから送られた各気筒の基準位置信号を受けてイグニションコイルの通電及び遮断(点火)時刻を演算し、その駆動信号を発生する。なお、コイル駆動用パワーユニットはコンピュータユニット外部に設置し、電気ノイズの影響を受けにくい構成とした。

アイドル回転速度制御は、メインマイコンで目標回転速度と実際の回転速度を比較し補償する、いわゆるフィードバック制御を実行するとともに、ステップモータの2相励磁駆動方式の駆動順序及びパルス数の駆動信号を直接発生する。

ROM内には各種制御のプログラム以外に、各種補正データが記憶されている。これら補正係数はエンジンの種類、容積又は車両の仕向地などで異なり、最適値決定に当たっては対象エンジン、車両での試行錯誤的な試験が繰り返し必要とされる。これらデータは、ROM容量低減のため入力パラメータに対して離散した、区分ごとの代表値として記憶されており、制御に使用される補正係数を算出するために、テーブルルックアップと補間計算手法が用いられる。更に、要求点火時期マップのように、2次元による三次元補間計算手法をも駆使することで、データ部のROM容量は、全体のわずか15%程度にとどめることができた。

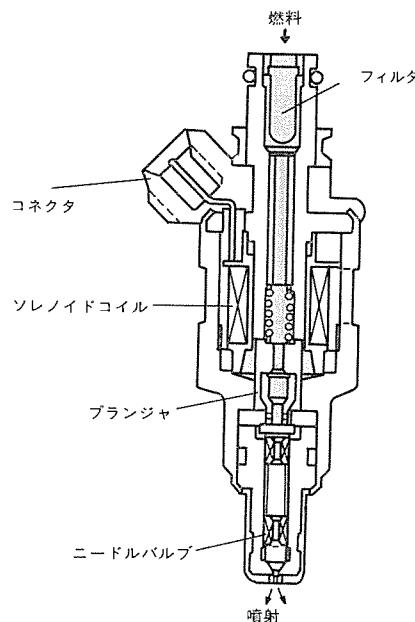


図 10. インジェクタの構造

4.3 アクチュエータ

(1) インジェクタ

インジェクタはコンピュータユニットからの駆動信号に基づき、燃料を吸気管内に噴射する電磁弁で、その構造図を図10.に示す。ソレノイドコイルに通電すると、ブランジャが吸引され一体となっているニードルバルブは全開位置まで動き燃料を噴射する。噴射口の面積は一定で、インジェクタ供給圧力も一定であるため、燃料の噴射量はニードルバルブが開いている時間、すなわちインジェクタの駆動時間により決定される。

インジェクタは駆動時間に対する燃料流量精度、高速応答性、非駆動時の燃料密閉性又は耐久性などの要求性能が厳しく高精度な部品であり、設計、工作上種々の配慮がなされている。

(2) ステップモータ方式 エアバルブ

ステップモータ方式エアバルブは、図11.のようにスロットルボディ部に取り付けられ、コンピュータユニットから送られる駆動信号により、スロットルバルブをバイパスして流れる空気量を制御する。このバルブの構造は図12.に示すように、2コイル2相励磁方式のステップモータ、ロータと同軸に設けられたリードスクリュー及びバルブから構成されている。ステ

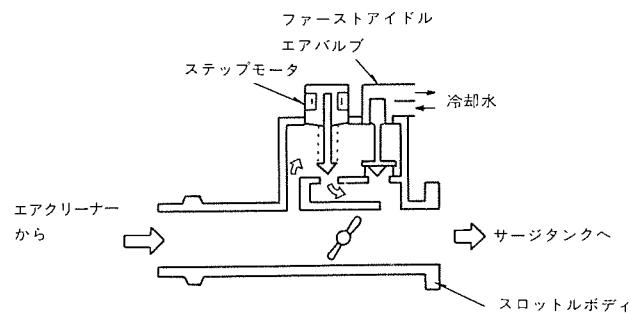


図 11. スロットルボディ部の構造

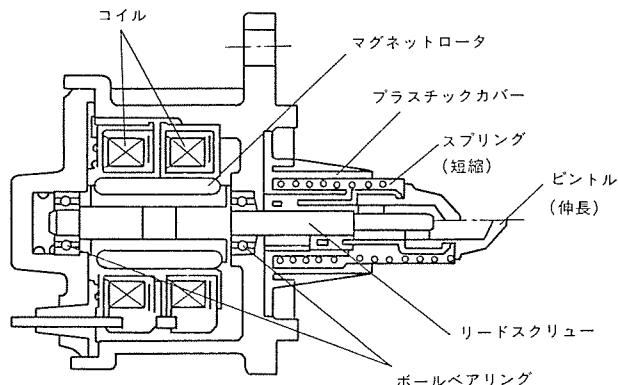


図 12. ステップモータ方式エアバルブの構造

ップモータは1駆動パルス当たり15度回転し、これに応じてピントルが移動、スロットルボディのシート部とのギャップを変化させ、通過流量を制御しており、高精度なアイドル回転速度制御が実現できた。

5. むすび

このエンジン総合制御システムは、構成部品に種々の新しい技術を導入し、機能向上を図りつつ、エンジンの動力性能、燃費又は排出ガス性能を改善することができた。

今後は、更に構成部品の高性能、小型化を図り、エンジン制御システムとして確固たるものにしたいと考えている。

終わりにあたり、システム開発の機会を与えていただいた三菱自動車工業(株)の関係各位に厚く感謝申し上げる。

D 無段変速機用電磁パウダクラッチ制御システム

辰巳 巧*
内藤靖雄*
三村宗彦*

1. まえがき

自動車の用途が個性化し、多様化するにつれて変速機は従来から手動変速機にても、自動変速機にても、有段変速機の多段化によって多様化が進んできた。その中で、無段変速機は1990年代の自動車用変速機として注目され、世界の多くの自動車会社で開発が進められている。各社が開発していると伝えられる無段変速機の方式も、種々様々で、それぞれ独自の趣向がこらされている。

富士重工業(株)は、スチールベルト式無段変速機に、電磁パウダクラッチを組み合わせた無段変速機システムをECVT(Electro Continuously Variable Transmission)の商品名で製品化し、同社の乗用車ジャスティに搭載し発売した。

ECVTは運転者のアクセル操作に連動して、発進から高速走行まで、連続で滑らかな変速性能が得られるだけでなく、エンジンの低燃費ゾーンが多用でき、しかもクラッチには流体クラッチのようなスリップ損がないため、燃費経済性にも優れている。更に、このシステムには、

発進から高速走行までエンジンを高速回転で運転するDs(Drive Sports)レンジを設けて、スポーティな走りを可能にしている。

本稿では、ECVTシステムの概要と電磁パウダクラッチ制御システムの構成、機能について述べる。

2. ECVTシステムの概要⁽¹⁾⁽²⁾

図1にECVTの断面図、図2にシステムの構成を示す。ECVTは、電磁パウダクラッチ、前後進切換機構、スチールベルト、ブーリー及び油圧制御機構などで構成されている。

電磁パウダクラッチのトルク伝達力は、アクセル開度、エンジン回転速度、車速などの入力信号をもとに、コンピュータで演算された励磁電流によって制御され、クラッチの出力トルクは前後進切換機構を経て、無段変速機構の入力軸に伝達される。

無段変速機構は、スチールベルト、ブーリー、セカンダリブーリーから成っている。スチールベルトは、スチールブロックを多層のスチールバンドで連ねたもので、スチールブロックの圧縮作用によって動力が伝達される。一方、ブーリーはスライド軸上を軸方向にしうう動する可動シーブを持ち、可動シーブの背面に設けた油圧室の油圧力により、スチールブロックをブーリー斜面に押し付け、可動シーブを軸方向に移動させることにより変速比を連続的に変化させる。

図3にECVTの変速制御のブロック図、図4に変速特性を示す。

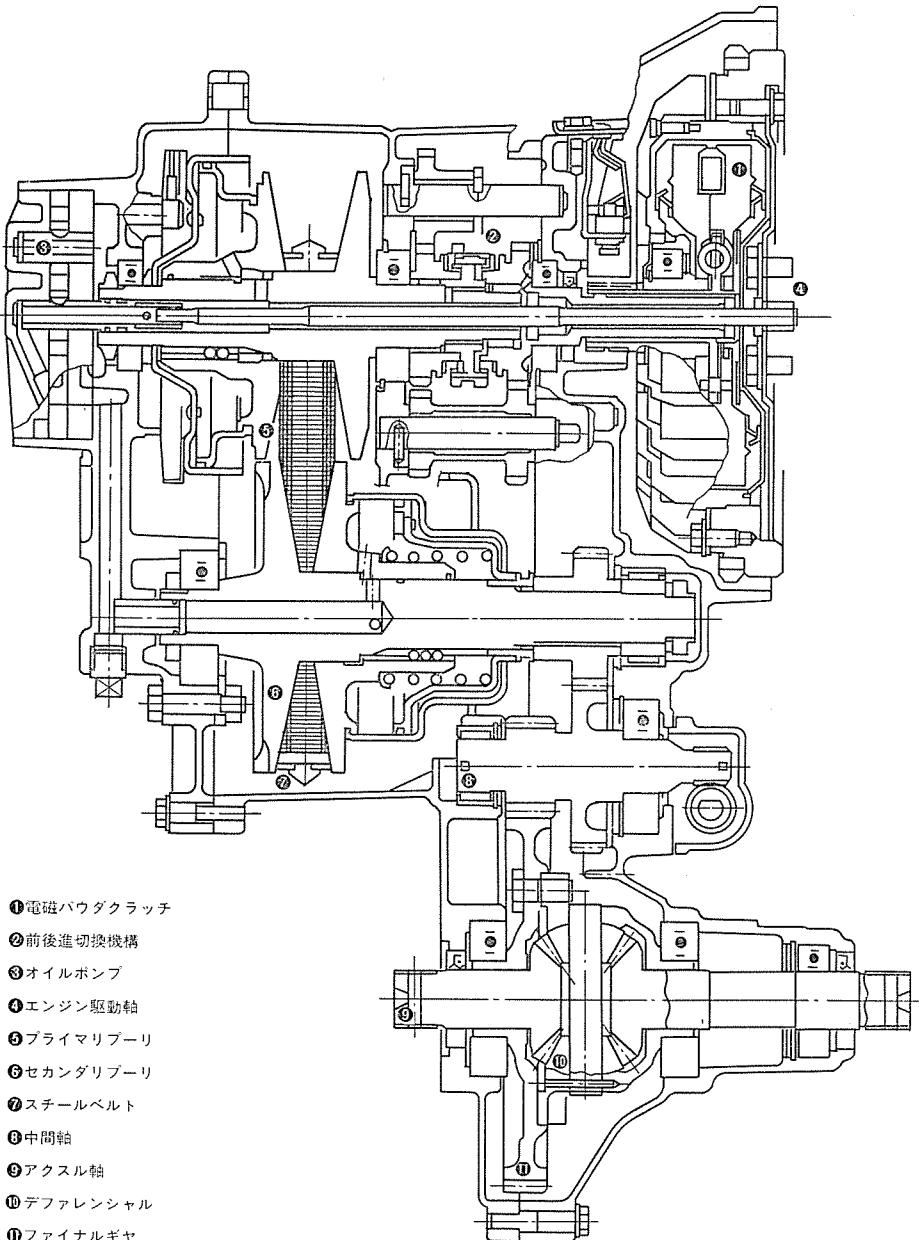


図1. ECVT 断面図

変速比は、最大変速比（Low）から最小変速比（Over Drive）まで連続的に変化し、図4の最大変速比と最小変速比のラインで囲まれた領域では、エンジン回転速度と車速の関係（変速比）を任意に設定することができる。

変速比の制御は、アクセル開度（ θ ）とセレクトポジション（D, D_s, R）を入力信号とし、エンジンのトルク特性や燃費特性を考慮して、あらかじめ定められた入力軸目標回転速度に対応して、油圧コントロールバルブから、プライマリ油圧とセカンダリ油圧を可動シーブ背面の油圧室に加えることによって行われる。この油圧力の作用により、プライマリペリ及びセカンダリペリの可動シーブが移動し、入力軸の実回転速度があらかじめ定められた目標回転速度となるよう変速比が制御される。このとき、セカンダリペリの可動シーブ背面油圧室の油圧は、変速比と入力軸回転速度で帰還制御されているため、スチールバンドの張力は常に適正値に維持されるとともに、エンジンによって直接駆動されているオイルポンプの所要駆動力を必要最小限に抑えていく。

ECVTの作動は、発進域と変速域に大別することができる。発進域では無段変速機の変速比を最大にして、電磁パウダクラッチのトルク伝達力を制御して、車両加速力を得る。このときエンジンは、電磁パウダクラッチの伝達トルクに相当する負荷に応じた回転速度になる。したがって、電磁パウダクラッチのトルク伝達力とアクセル開度の関係を適正にしなければ、必要な発進加速力が得られず、またエンジン回転速度が必要以上に高回転になった場合は、発進時にクラッチ内で消費されるスリップ損失が大きくなり、クラッチのオーバヒートの原因となる。

変速域では電磁パウダクラッチは、トルク伝達力をエンジンの出力トルクよりも大きくして直結とし、無段変速機の変速比が前述の要領で制御され変速される。例えば、セレクトポジションをDにして、アクセル開度を一定（ θ_0 ）に保って加速する場合、変速比が油圧回路によって制御され、エンジン回転速度をほぼ一定値に維持しながら最大変速比から最小変速比まで変速される。その後は、最小変速比を維持して、エンジン回転速度の加速に対応して車両が加速される。今回、実用化されたECVTでは、Dレンジのほかに、無段変速機の特性を生かして、スポーティな走りを実現するD_s（Drive sports）レンジを設

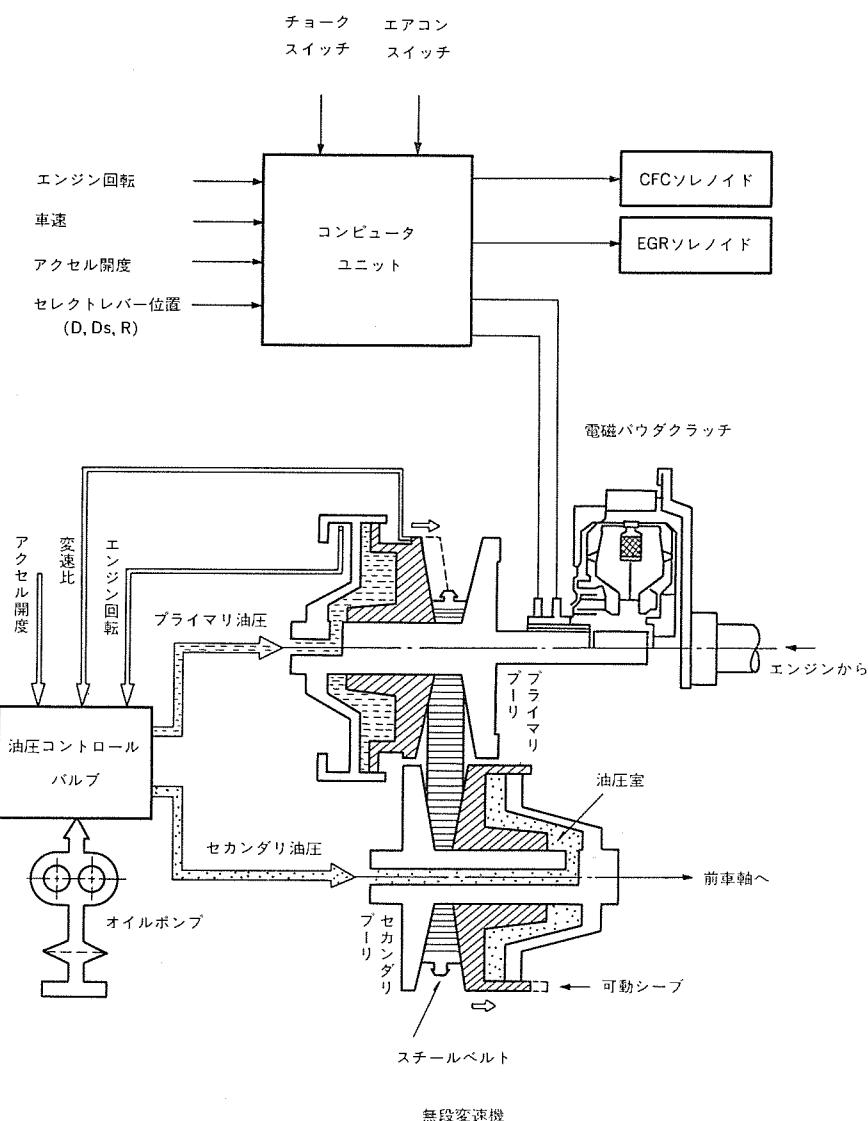


図2. ECVTシステムの構成図

けている。セレクトポジションをD_sにすると、図4に一点鎖線で示すように、エンジン回転速度が高くなるように変速比を制御し、エンジンの出力が最大限に活用でき、素早いレスポンスが得られるとともに、アクセルを戻したときには強力なエンジンブレーキ効果が得られる。

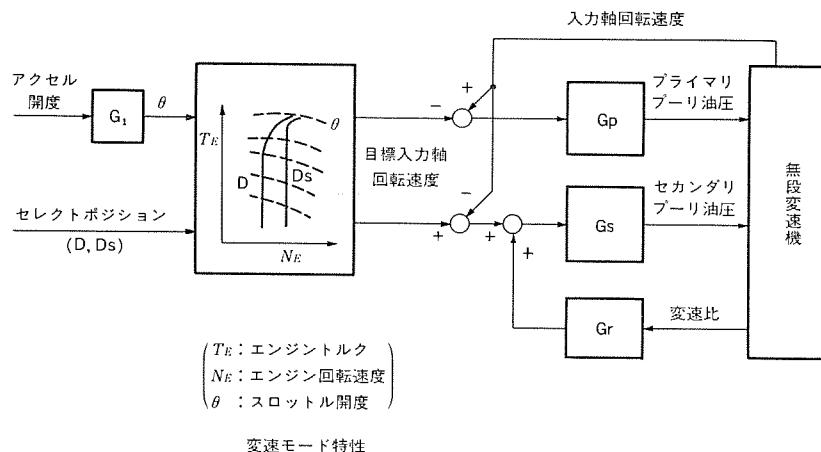


図3. 変速制御ブロック図

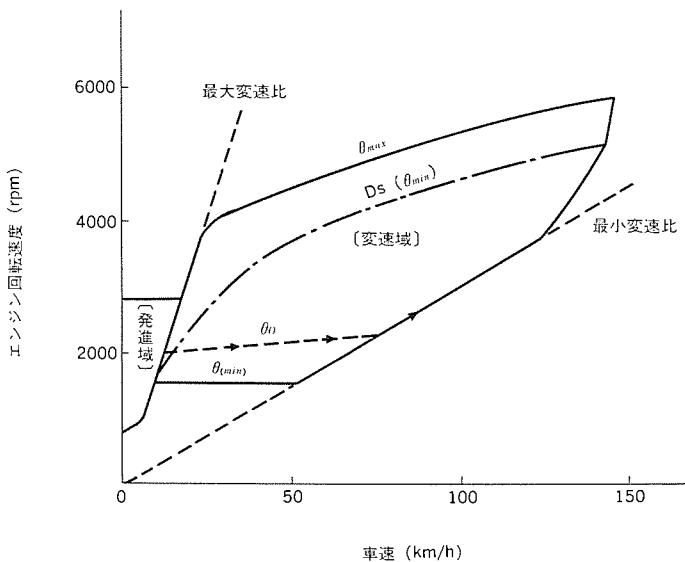


図 4. 無段変速機の変速特性

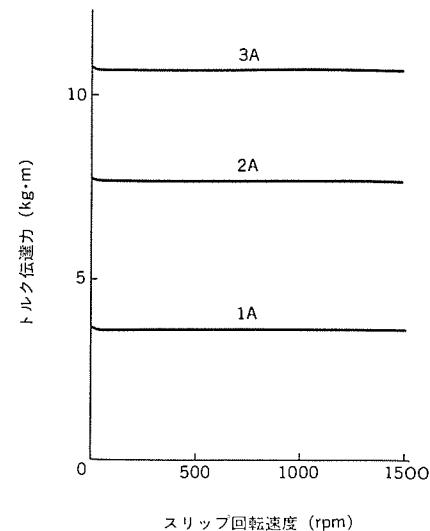
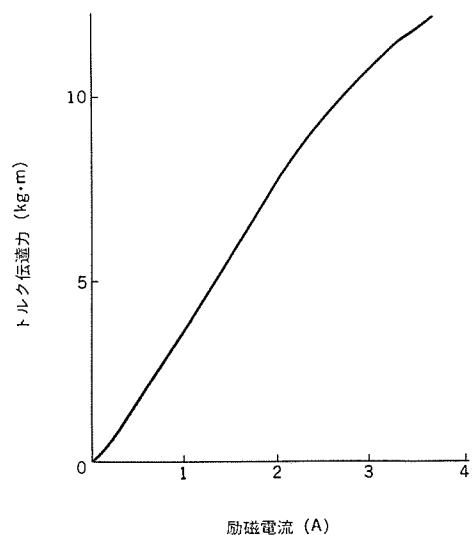


図 5. クラッチトルク特性

3. 電磁パウダクラッチ制御システム

3.1 システム構成

電磁パウダクラッチ制御システムは、クラッチのトルク伝達力を制御して車両の動力性能、燃費性能及び走行フィーリングを最適化するシステムで、図2に示すように、電磁パウダクラッチ、コンピュータユニット及び各種センサで構成される。

コンピュータユニットへの入力信号のうち、エンジン回転速度信号としてはエンジンの点火パルスを使用し、車速信号はスピードメータ内蔵されているリードスイッチ方式の車速センサから得られるパルスを使用している。また、運転者が選択する運転モード信号は、D(Drive), Ds(Drive sports), R(Reverse)の3レンジが設定されており、無段変速機の前後切換用セレクトレバーに連動して作動するレンジスイッチ信号がコンピュータユニットに入力され、D, Ds, RのいずれのスイッチもOFFの場合には、N(Neutral)又はP(Parking)と判断される。

一方、運転者の加速意志を示すアクセルペダル開度は、アクセルペダルの踏み込み量に対して、動作点の異なるスイッチで検出している。アクセルスイッチは、アクセルペダルの踏み込み開始点、アクセル開度スイッチは、スロットル開度が約20%に相当する踏み込み量で作動する。これらほかに、チョークスイッチ、エアコンスイッチが設けられていて、エンジンの運転及び負荷状態を判断する。

3.2 電磁パウダクラッチ

電磁パウダクラッチは、ドライブメンバとドリブンメンバとで磁気回路を構成し、ドライブメンバとドリブンメンバのすき間に封入された電磁鉄粉(電磁パウダ)を励磁して、電磁結合力によってトルクを伝達するクラッチである。

図1に示されるように、電磁クラッチのドライブメンバは、エンジンのクランクシャフトに取り付けられ、ドリブンメンバは無段変速機構の入力軸にスライド結合される。電磁パウダクラッチを励磁する励磁コイルは、ドリブンメンバに巻き込まれており、しゃう動ブラシを介して給電されている。

電磁パウダクラッチのトルク伝達特性を図5に示す。電磁パウダクラッチのトルク伝達力は、励磁電流にはほぼ比例し、しかも励磁電流を一定に維持すれば、ドライブメンバとドリブンメンバがスリップしても、回転

速度の差(スリップ回転速度)に関係なく、トルク伝達力は一定となる。このように、電磁パウダクラッチのトルク伝達力が、励磁電流によって一義的にきまるため、トルク伝達力を精度よく制御することが可能で、摩擦クラッチの特長である完全結合・完全遮断の機能を持ちながら、流体クラッチと同レベルの滑らかな結合制御が可能である。

今回採用された電磁パウダクラッチは、新たにECVT用に開発されたもので、エンジンのトルク変動によって生じる回転振動を吸収するダンパ機構をドリブンメンバの限られたスペースに組み込み、冷却にも工夫を加えることによって、小型・軽量化、高信頼化及び低コスト化を実現した。

3.3 コンピュータユニット

コンピュータユニットのブロック図を図6に示す。中央演算部に、8ビットのワンチップマイコン(ROM:4Kバイト)を用い、その電源は、定電圧・ウォッチャード・低電圧リセットなどの機能を備え、専用集積回路で構成しており、各種入力信号は、インターフェース回路を経由してマイコンに入力されている。また、点火パルス信号及び車速パルス信号は、周期を精度よく計測する必要があるため、マイコンの割り込み端子に、他のスイッチ信号は入力ポートに接続されている。

マイコンは、これらの入力情報をもとにクラッチ励磁電流を演算し、

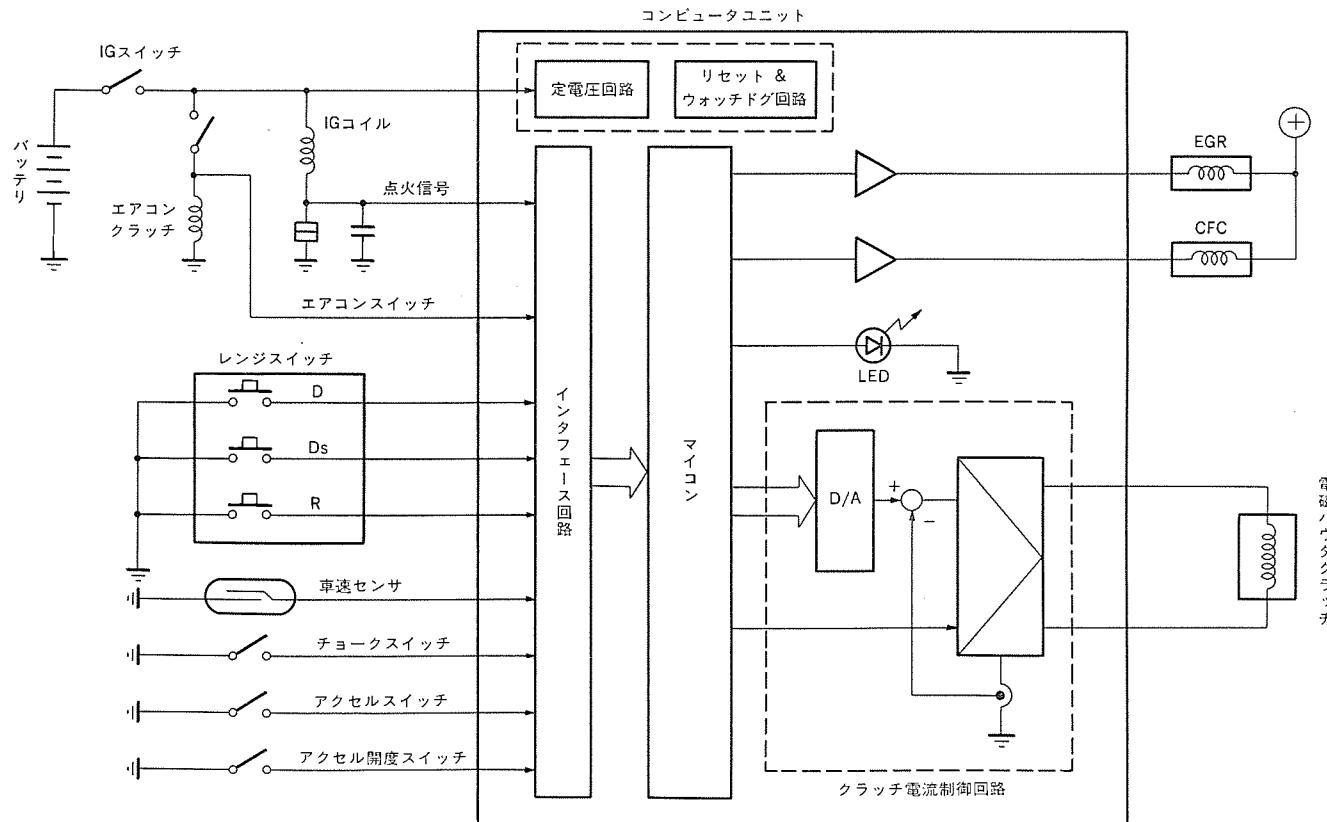


図 6. コンピュータユニットのブロック図

クラッチ 励磁電流制御回路により励磁電流を供給する。クラッチ 励磁電流制御回路は、電源電圧が変動したり、クラッチの温度上昇に伴って励磁コイル抵抗が変化しても、励磁電流を所定値に制御できるように、クラッチ 励磁電流を検出して閉ループ制御にした。また、クラッチを遮断するとき、励磁電流を零にしても、残留磁束によってわずかなトルク伝達力が残るのを防ぐために、電流の極性を反転して消磁する機能を持っている。

このコンピュータユニットは、システムの作動状態を診断するダイアグラム機能も内蔵しており、内部に設けた発光ダイオードの点滅によって、7種類のコード信号を発信させ、故障系統の判定を可能にしている。また、重要な機能を持つセンサの故障には、バックアップ機能を持たせ、車両の走行に支障が出ないよう配慮している。

なお、エンジンや無段変速機の作動状況に対応して、減速時の燃料カット (Coasting Fuel Cut, CFC) 機能や、EGR (Exhaust Gas

Recirculation) 機能を制御する必要があるため、これらの制御機能を、電磁パウダクラッチ制御用コンピュータに内蔵して機能の集約化を図った。

電磁パウダクラッチの励磁電流を演算する制御アルゴリズムは、表 1. に示すようにセレクトレバー位置 (セレクトポジション)、アクセルペダルの踏み込み状況及び車速によって、7モードに分類される。各モードにおける励磁電流は、それぞれ固有の基本式と補正項から成る演算式で演

表 1. クラッチ制御モード

セレクトレンジ	アクセル	車速	制御モード名	制御基本式
P・N	—	—	遮断	$I_R = \text{一定}$
D 踏み込み	低速	発進	$f(N_E, V_w, \frac{dN_E}{dt})$	
	高速	直結	$f(N_E, V_w)$	
Ds 開 放	超低速	ド ラ ッ グ	$f(N_E, V_w)$	
	低速	零	0	
R シフト時	高 速	直 結	$f(N_E, V_w)$	
	踏み込み ↔開放	全 域	過 渡	$f(N_E, V_w, t)$

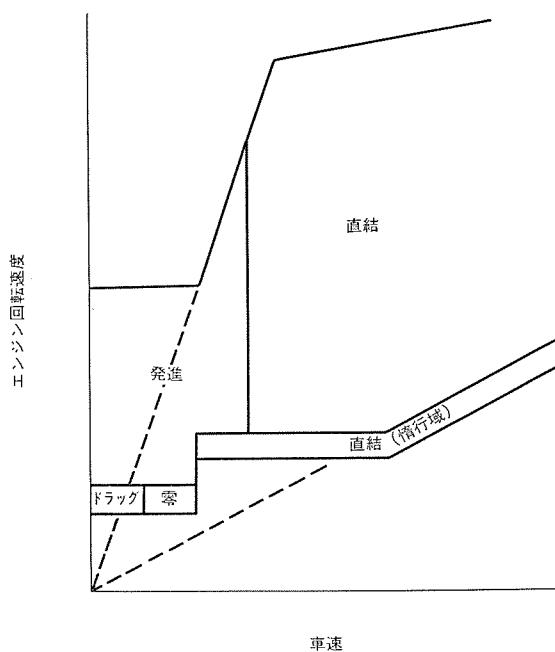


図 7. Dレンジの制御モード

算している。

図7.はセレクトポジションがDレンジの場合について、車速とエンジン回転速度の関係に対する制御モードの範囲を示したもので、以下、制御モードごとに制御の概要を説明する。

(1) 発進モード

図8.に発進モードの制御ブロック図を示す。運転者がアクセルを踏むと、エンジンはアクセル踏み込み量(θ)と、エンジン回転速度(N_E)に対応したトルク(T_E)を発生し、エンジン回転速度が上昇する。このとき、電磁パウダクラッチはコンピュータによって励磁電流が制御され、エンジン回転速度に対応して、あらかじめ定められたトルク伝達力を発生する。発進モードの過渡時には、電磁パウダクラッチのトルク伝達力は、エンジン出力トルクよりも低めに設定されており、電磁パウダクラッチはスリップ状態になる。したがって、エンジンはアクセル開度によってきまる出力トルクと、電磁パウダクラッチのトルク伝達力できる負荷とがバランスする回転速度まで加速される。このとき、無段変速機の変速比は、前述のとおり最大変速比になっているので、車両は電磁パウダクラッチのトルク伝達力と無段変速機の最大変速比との積で与えられるトルクで加速される。

なお、電磁パウダクラッチの励磁電流は、エンジン回転速度に対応して、あらかじめ定められた値に制御するだけでなく、車速とエンジン回転速度の微分項を用いた補正制御も導入して、制御の応答性や乗り心地の向上を図っている。また、チョーク使用時やエアコン使用時は、エンジンの出力状況や負荷が異なるため、電磁パウダクラッチのトルク伝達力を適正化して、チョークやエアコンの使用の有無にかかわらず、常に安全かつ良好な発進性能が得られるように配慮されている。

(2) 直結モード

このモードでは、電磁パウダクラッチの励磁電流は、エンジン回転速度とアクセルスイッチ及びアクセル開度スイッチからの信号に基づいて制御され、電磁パウダクラッチのトルク伝達力が、エンジンの出力トルクに対して常に適正な余裕を持つように設定し、クラッチは直結状態になる。

なお、だ(惰)行減速時、低速領域では無段変速機の変速比が最小変速比から最大変速比まで連続的に移行するので、電磁パウダクラッチのトルク伝達力を車速に応じて減少させるだけでなく、エンジン回転速度による補正制御を導入して、減速フィーリングの向上を図っている。

(3) 遮断モード

ECVTの前後進切換機構には、一般的多段手動変速機に用いられているのと同じシンクロ(同期)装置が使用されているために、前後進の切換に際して、エンジンからのトルク伝達を完全に遮断する必要がある。遮断モードは、この目的のために設けられたモードで、NレンジやPレンジが選択されたときや、走行レンジをシフトした直後の一定時間及び低車速でアクセルを戻したとき、電磁パウダクラッチの励磁コイルに、消磁電流を流して残留磁束による微少な残留トルク伝達力を除去している。

(4) ドラッグモード

停車時や低車速域でアクセルを戻したとき、動力系に生じるトルク変動や振動を吸収するために、電磁パウダクラッチにわずかな励磁電流を流してドラッグトルクを与える、運転フィーリングの向上を図っている。

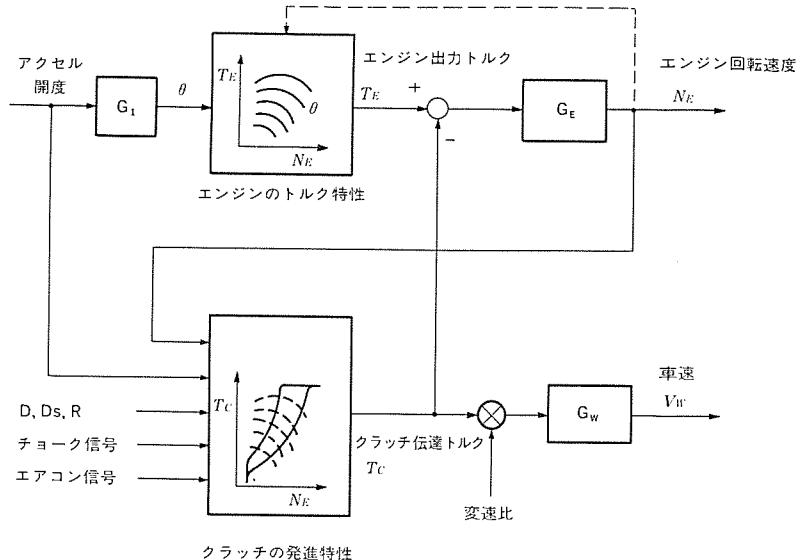


図8. 発進モードブロック図

このとき、ドラッグトルクの変動によるアイドル回転速度の変動や車両のクリープ(はい出し)を防止するために、エンジン回転速度をフィードバックして励磁電流を制御することによって、ドラッグトルクを適正化し、エンジン回転速度の安定化を図っている。

(5) 零モード

電磁パウダクラッチの励磁電流を零にするモードである。走行状態でアクセルを戻したとき、電磁パウダクラッチを直結モードからドラッグモードに滑らかに移行させるため、電磁パウダクラッチの励磁電流を零にして、残留磁束により微少な残留トルク伝達力を与えている。走行状態でアクセルを戻し、車両を減速させるとき、直結モードから零モードに移行する車速条件は、車両の減速度に応じて定め、零モードへの移行遅れによるエンジン回転速度の異常低下を防止するよう配慮されている。

(6) 過渡モード

このモードは、運転状態の急激な変化に対応するモードで、種々の状況に対応するため、多数の制御プログラムで構成されている。例えば、アクセルを急激に踏み込んだり、アクセルを踏み込んだまま、DレンジからDsレンジにシフトしたような場合に、電磁パウダクラッチの励磁電流を一時的に減少させてトルク伝達力を適正化して、駆動力の急激な変化による変速ショックを緩和し、その後、アクセル開度に対応して徐々に励磁電流を増加させ、変速フィーリングの向上を図っている。

また、発進直後の低速域において、アクセルを開放状態から踏み込み状態にした場合、エンジン回転速度が上昇して、クラッチのドライブメンバの回転速度(エンジン回転速度と同じ)が、ドリブンメンバの回転速度(無段変速機の入力軸回転速度と同じ)にはほぼ一致した時点から電磁パウダクラッチの励磁電流を徐々に増加させ、クラッチのトルク伝達力を制御することによって、低速惰行状態から加速に移行するとき、エンジンの出力トルク急変に伴う加速ショックを軽減して、加速フィーリングの向上を図っている。

図9.にECVTを搭載した車両の運転タイムチャートの例を示している。これは、Dレンジによる走行例で、停車状態からアクセルを踏み込んで加速したのち、アクセルを戻して減速し、車両を停止させたものである。アクセルを踏み込んだ直後、クラッチの励磁電流は発進モ

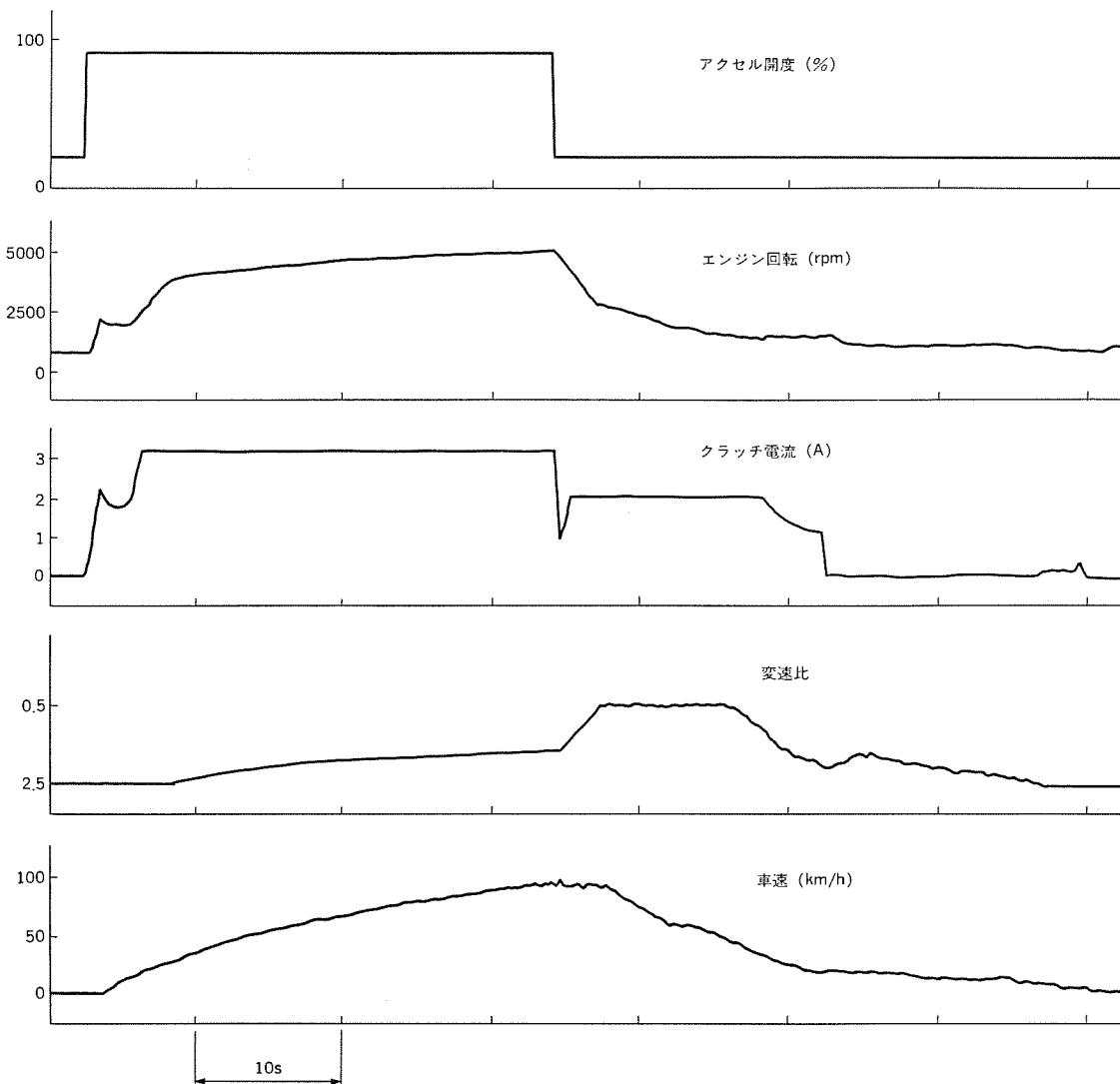


図9. 運転タイムチャート

ードで制御され、過渡モードを経て約4秒後に直結モードに移行している。この間、エンジン回転速度が上昇し、エンジン回転速度が約3,500 rpmになると無段変速機が変速を開始し、エンジン回転速度をほぼ一定に維持したまま車両が加速されている。アクセルを開放すると、クラッチ励磁電流は、零モードを経て「ラグモード」に移行し、エンジン回転速度に対応して無段変速機が変速比を変えながら停車に至っている。

4. むすび

富士重工業(株)が、世界に先駆けて製品化した無段変速機システム(ECVT)で採用された電磁パウダクラッチ制御システムの構成と機能について紹介し、特に制御機能を詳しく説明した。

この電磁パウダクラッチ制御システムは、他のクラッチ制御システムに比べて制御性が優れており、摩擦クラッチの特長と流体クラッチの特長を併せ持つ制御特性を持たせることができる。この特性をフルに活用するために、自動車の運転状態に対応させて、発進・直結・遮断・ラグ・零・過渡の六つの制御モードを設けて、電磁パウダクラッチの励磁電流を制御するようにした。

その結果、無段変速機の作動状態に応じて、電磁パウダクラッチの励磁電流をきめ細かく制御してトルク伝達力を最適化し、無段変速機が持つ様々な特性を引き出すことができた。

無段変速機は、従来の多段変速機では実現できない多くの特長を持っており、1990年代には自動車の高性能・個性化に対応する変速機として着実に普及するものと考えられる。

この電磁パウダクラッチ制御システムが、無段変速機システムの発展に、わずかにとも貢献できることを望んでいる。

最後に、このシステムの開発に当たり、終始御指導いただいた富士重工業(株)殿の関係各位に深く感謝申し上げる。

参考文献

- (1) 富士重工業(株), JUSTY ECVT 新車解説書 (1987)
- (2) OMITSU, T. et al.: System Design and Control Considerations of Automotive Continuously Variable Transmissions, SAE paper 840048

車載用GPS型ナビゲーションシステム

平田誠一郎*
横内 一浩*

1. まえがき

高度情報化社会の進展に伴い、より快適な車内空間をつくるべく、多くの情報端末が車に搭載されることが予想される。具体的には、“路車間情報システム研究会”（主催 道路新産業開発機構）、民間メーカー23社も参加している“路車間情報システムの開発に関する研究”（主催 建設省道路局土木研究所），“新自動車交通情報通信システム実用化研究会”（主催 日本交通管理技術協会、警察庁）などが設立され、一方では民間32社が参加し、当社も積極的に参加している“ナビゲーションシステム研究会”では、ナビゲーションの普及には欠かせない地図データフォーマットの統一化を目指している。

上記研究の中でも、自分の車の位置を常に正確に把握できるシステムは重要な位置を占めている。ここに紹介する車載用ナビゲーションシステムは、GPS*を利用して衛星航法システムで極めて精度が高く、今後の高度情報化社会に対応しうる車載総合情報システムの一部をなすものと考えられる。今回開発した車載用ナビゲーションシステムは、4個又は3個人工衛星からの電波を同時に受信し、地球上のどこであっても、自分の車の位置を誤差100m以内（実力値30m以内）で正確に割り出すことのできるシステムである。

*印はアメリカ空軍が開発を進めている Global Positioning System

2. GPS衛星からの送信電波

衛星は図1に示すように、高度約20,180km、六つの円軌道に各3個ずつが当面配置される予定である。この配置は世界どこでも24時間4個の衛星が常に見えるようにしたものである⁽¹⁾。GPSの送信周波数は電離層の電波伝ば（播）誤差を補正するために、1,575.42MHz（L1）と1,227.6MHz（L2）の二つの周波数で、送信がなされている。送信信号はPコードとC/Aコードの2種類の疑似雑音（Pseudo Noise, PN）信号で変調されている。PはPrecision（精密）の意味で測定精度が良く、また、他からの妨害に強い信号で軍用に

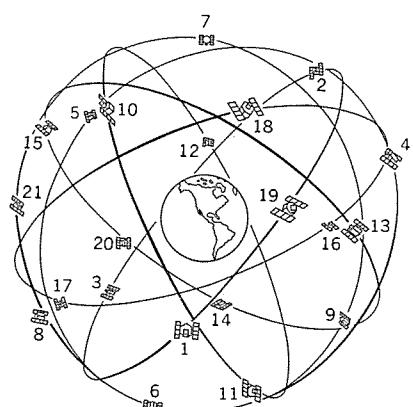


図1.衛星の配置（18衛星+3予備衛星）

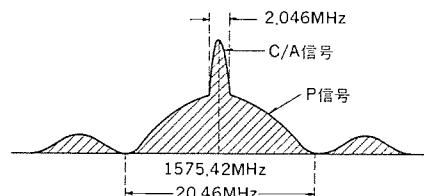


図2. L1電波のスペクトラム

使われる。C/AはClear/Acquisition（明りょう／捕そく）の意味でPコードの捕そく援助用である。民間に開放されるのはC/Aコードのみと考えられている。

車載用ナビゲーションはこの民間に開放されるC/Aコードを使おうとするものである。システム完成時点での測位精度はPコードで15m、C/Aコードで100mといわれている。図2にGPSのL1電波の構成とスペクトラムを示す。互いに90°位相が異なるP信号とC/A信号でL1の搬送波を位相変調している。すなわち直交変調されている。P信号は50bpsの航法データと10.23Mbpsの疑似雑音（Pseudo Noise, PN）信号で位相変調され、C/A信号は50bpsの航法データと1.023Mbpsの疑似雑音（PN）信号で位相変調されている。L1電波のスペクトラムは1,575.42MHzを中心に2.046MHzの幅でC/A信号の側帯波が、また20.46MHzの幅でP信号の側帯波が広がっている。PN信号は、ほぼ0と1の数が同数で雑音に似た符号で幾つかのあらかじめ定まったパターンである。このパターンは、C/A信号及びP信号とも18個の衛星それぞれに独自なものが割り当てられている。利用者側の受信機内で受信しようとする衛星のコードと同じパターンのPNコードを発生させることで航法データの復調がなされ、同じ周波数で送信されている他の衛星からの信号は雑音として処理され混信は生じない。

PN信号による変調はいわゆるスペクトラム拡散変調であり、PN信号の周波数に応じた帯域幅に広げられ雑音と似た性質を持った信号となる。このような変調方式をとっているのは、GPSのすべての衛星が同一周波数の搬送波で送信しているため、その中から特定の衛星からの電波のみを識別して受信しなければならないことと、軍用であるため敵の妨害雑音などに非常に強くならなければならぬという理由による。衛星から送信される50bpsのゆっくりした符号の航法データは、1フレームの全長が30秒で、全部で1,500ビットの情報が入るようになっている。1フレームは更に6秒間に、300ビットの5個のサブフレームに分割されている。その情報の内容は衛星の時刻、軌道データ（Ephemeris Data）及びすべての衛星の概略軌道データ（Almanac Data）などにより構成されている⁽²⁾⁽³⁾。

3. GPSの測位原理

衛星は高精度の時計を持ち、その時間信号を電波にのせて送信している。この電波を受ける受信機が衛星の時計と完全にあつた時計をもっていれば、衛星からの信号は衛星から受信機までの電波の伝

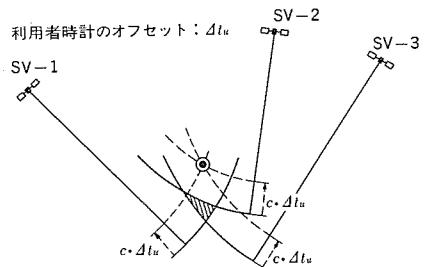


図 3. 利用者位置、利用者時計のオフセットの決定方法
(二次元測位の場合)

播時間だけ遅れて受信されることになる。この遅れの時間に電波伝播速度（光速）を乗ずれば衛星と受信機との間の距離が求まり、受信機は衛星を中心にその距離を半径とする球面上にいることになる。同様に、第2と第3の衛星を中心にそれぞれその距離を半径とする第2と第3の球面上にもいることになる。三つの球面は1点で交わるので、受信機の位置（自分の位置）はその交点になる。各衛星の位置は、受信機で衛星電波を受信することにより分かる。これらにより、受信機位置（自分の位置）を三次元で求めることができる。

しかし、実際には衛星の時計と受信機の時計が完全にあってはいけないので、三つの球面は図3のように1点で交わらない。それを補正するために、受信機側の時計の誤差も未知数として、受信機位置（自分の位置）の三次元位置の未知数三つと合わせて計4個の未知数を解くため、4個の衛星からの距離を測定している。式で示すと次のようになる。

$$R_i = R_{oi} + C \Delta t_i + C (\Delta t_u - \Delta t_{si})$$

$$R_{oi}^2 = (X_{si} - X_u)^2 + (Y_{si} - Y_u)^2 + (Z_{si} - Z_u)^2$$

ここで、

R_i ：測定した衛星 i と利用者（受信機）間の距離（時計のオフセット値を含むので疑似距離と呼ぶ）

R_{oi} ：衛星 i と利用者間の距離

C ：光速度

Δt_i ：衛星 i からの電波の電離層と対流圏における伝播遅延

Δt_u ：利用者時計のオフセット

Δt_{si} ：衛星 i の時計のオフセット

X_{si}, Y_{si}, Z_{si} ：衛星位置の三次元座標位置

X_u, Y_u, Z_u ：利用者の三次元座標位置

この式で Δt_i は既知、 $\Delta t_{si}, X_{si}, Y_{si}, Z_{si}$ は衛星からの航法データで求まる。したがって、未知数は、 $X_u, Y_u, Z_u, \Delta t_u$ の四つであるので、四つの方程式 $i=1, 2, 3, 4$ ができれば全未知数が求ることになり、 $R_i (i=1, 2, 3, 4)$ を測定すればよいことになる。このようにして、現在受信位置 (X_u, Y_u, Z_u) を求めることができる。

4. 車載用 GPS ナビゲーションシステムの構成

4.1 全体の構成

このシステムは図4のように、GPS受信機、平面アンテナ及び自立型の地磁気センサ、速度センサ、コントロールユニット、CD-ROMドライバ、6インチCRTディスプレイなどで構成されている。CD-ROMドライバは音楽用のCDプレーヤーに簡単なアダプタを付加したもので、音楽とCD-ROMとの兼用が可能となっている。CD-ROMは540Mバイトの記憶容量をもち、地図情報を記憶している。GPSの衛星電波を平面アンテナで受信し、自動的に精度よく自車位置をカラーCRTディスプレイ上の地図に表示する。走行中、ビルや山影など衛星からの電波が途絶えたとき、地磁気センサと速度センサによる自立型ナビゲーションが補助する。地図の表示例を図5に表す。

図は京都南部の2万5千分の1の地図である。更に詳しく地図を見たいときには、無段階の拡大（ズーム）也可能である。1画面当たりのデータ量は約6Kバイト、2万5000分の1の地図で11km×9kmが表示できる。自分の現在位置を中心と表示し、車が移動すると地図が動く。進行方向は+印で表す。地図は、高速道路（マゼンタ）、国道（緑）、一般道（黄色）、河川（青）、鉄道（白）等色分けして表示している。常に自分の位置をディスプレイの中心に表示するために、現在位置と周辺の地図の合計9枚を同時にCD-ROMから処理装置内のRAMに読み込む。ここに紹介するシステムでは、CD-ROMから読み取る処理装置内に9枚分のRAM（約54Kバイト）をもっている。9枚の地図がRAM内にあるので、自分が移動しても地図はスムーズにつながる。このシステムの概略仕様を表1に示す。また、システム構成端末を図6に、実車搭載状況を図7に示す。

4.2 車載用 GPS ナビゲーションの受信方式

車載用ナビゲーションでは、特に建物などの遮へい物によりGPS衛星電波が遮られて受信できない状態がしばしば起こる。通常GPS受信機では5個の衛星に対して切換受信するが、これは測位に使用する4個の衛星に加えて、いずれか1個が水平線上に沈むとか建物などの遮へい物で受信できなくなったときに、すかさず第5番目の衛星に切り換えて測位中断が起らないようにするための予備である。

車載用ナビゲーションでは、一つの衛星から次の衛星に受信を切り換えたとき軌道データ収集中でも測位の中断が起らないように考慮したものでなければならない。その切換を高速に行う1チャネル高速シーケンシャル受信方式の開発により、車載用GPSナビゲーションの実用化が可能となった。この方式は、一つの衛星信号について20msごとに4ms間のサンプリングを行い、5個の衛星信号についてのサンプリングを20ms間に完了するようにしたものである。

この高速切換処理により、衛星の受信を一つの衛星から次の衛星に受信を切り換えてもその都度衛星信号の探索、捕そくを繰り返す

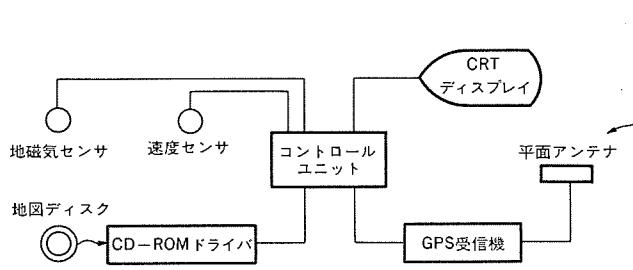


図 4. 車載用 GPS 型 ナビゲーションシステム の構成

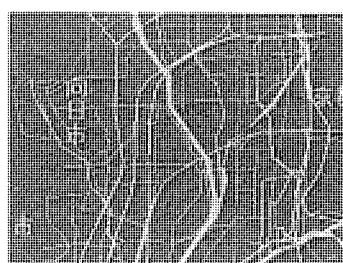


図 5. 地図表示の一例

表 1. 車載用 GPS 型 ナビゲーションシステム の概略仕様

GPS 受信機	受信周波数: 1,575.42 MHz ± 1 MHz C/A コード 測定精度: 100 m サイズ: 270 mm × 211 mm × 55 mm
地磁気センサ	フラックスゲード方式
速度センサ	車速パルスを使用
平面アンテナ	直 径: 130 mm 高 さ: 25 mm
コントロールユニット	CPU: i 8086 相当 (8 MHz) ボジショニング: GPS と補助センサ (地磁気センサ, 車速センサ) の併用による測位 地図表示: 車の位置による自動スクロール, 拡大/縮小
CD-ROM ドライバ	ディスクサイズ: 直径 120 mm 記憶容量: 540 M バイト 転送速度: 153 K Bps.
CRT ディスプレイ	表示有効サイズ: 5 inch 偏角: 90° ドットトリオピッチ: 0.31 8色表示 (RGB)

必要がなくなり, 5 個の衛星信号を連続して追尾できるばかりでなく, 距離測定と軌道データの収集が同時にできるようになり, 軌道データ収集中でも測位を中断する必要がなくなった。このため, 建物などの遮へい物で衛星信号を受信できなくなった後でも, 衛星が再度見えた瞬間, 直ちに衛星信号を捕そくすることができるようになった。

4.3 GPS 受信機の構成

GPS 受信機の概略ブロック図を図 8. に示す。アンテナ部からの受信信号は, RF アンプを通り周波数変換され IF アンプを介し位相同期型コード復調回路に入る。ここで, 衛星電波の中心の搬送波が再生され, GPS 入力信号との積でビデオ変換することにより, PN 符号 P と航法メッセージ D の積 $P \times D$ がえられる。 $P \times D$ の信号は位相同期型ディレイロックループに入る。この回路には三つの積算器があって, それぞれには現在受信しようとしている衛星からの信号を抽出するために, その衛星に付与された特定の C/A コードに相当する PN 符号を PRN 符号発生器より チップ周期 T の半分ずつにずれたタイミングで供給する。下の二つの積算器につながるローパスフィルタの出力

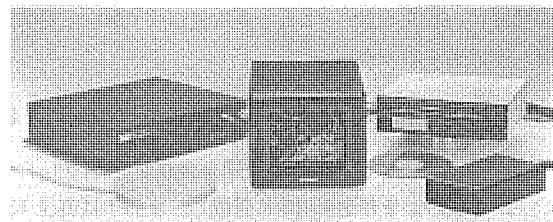


図 6. システム構成端末



図 7. 実車搭載状況

の差が 0 になるよう ディレイロックループが動作し, コードのパターンと時間関係が一致すると一番上の積算器に出力が発生する。

この出力は航法メッセージ解読回路により軌道情報 (Almanac Data 及び Ephemeris Data) を含んだ航法メッセージとなる。また, このディレイロックループから出力される疑似距離は, 受信点と衛星との間の距離 (位相差) の情報を含んでいる。これらの受信情報は, 更にコンピュータで処理されることになる。コンピュータは衛星の軌道データから現在受信中の 4 個の衛星について, それぞれの軌道上の位置を正

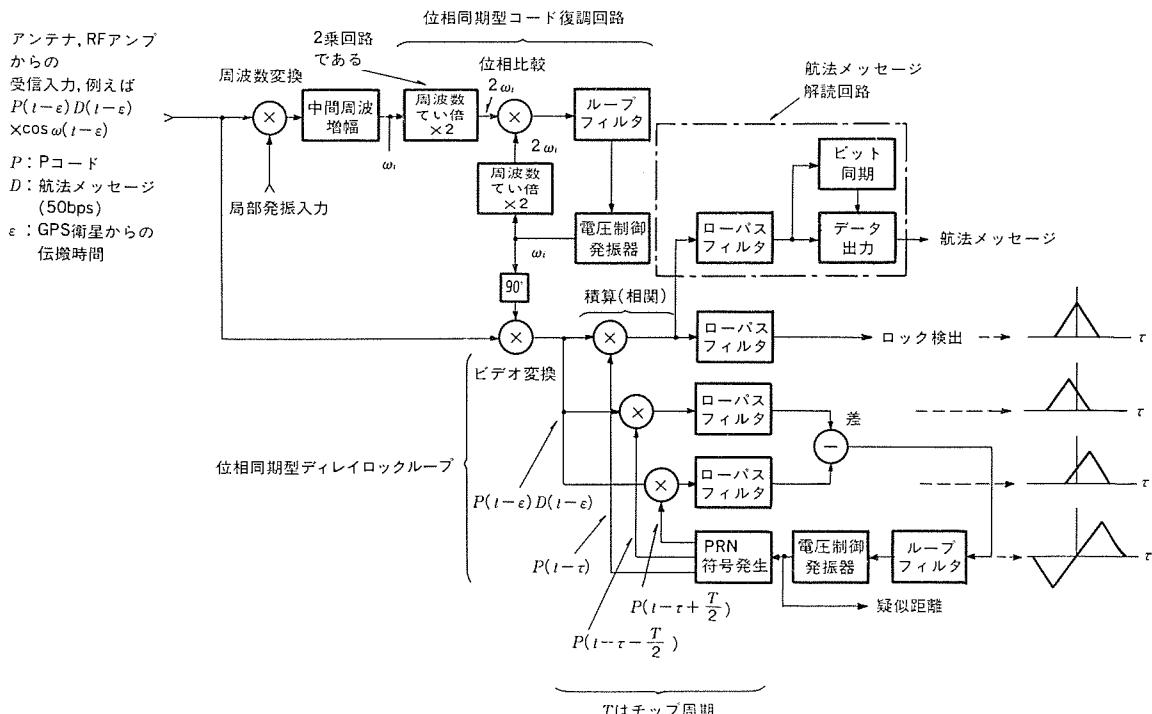


図 8. GPS 受信機のブロック図

確に算出し、これらの値と先に求めた受信点と衛星との間の距離から4元連立方程式を立て、これを逐次近似法で解いて受信点（車の位置）の位置を求める。

5. 車載用 GPS ナビゲーションでの走行評価テスト結果

GPS と自立型車載ナビゲーションとを組み合わせたハイブリッド型車載用ナビゲーションシステムを普通乗用車に搭載し、アンテナは直径 13 cm、高さ 2.5 cm の平面型フラットアンテナを屋根中央に取り付けて、市街地、ビルの立ち並ぶ官庁街、繁華街、山間部、長いトンネルの中、高速道路などの各場所、各地区で走行テストを実施してきた。現在 GPS の衛星は 7 個打ち上がっているものの、1 日に数時間しか測位できない。また、衛星の信号内容が悪くて 7 個のうち数個しか有効でない場合がある。

GPS の衛星を少なくとも 4 個以上受信機でとらえて、しかも三次元測位の状態になったときには、もっとも精度が良くこのときは GDOP(Geometric Dilution of Precision: 幾何学的な精度の劣化) が 10 以下（評価に使った試作機では GDOP が 10 以下のときのみ三次元測位ができるように制限をしている）であり、30 m 以内で位置を特定できている（米国のデトロイトでは昨年夏の時点で 1 日 4 時間程度常に 5 個の衛星が受信できた。日本でも現在時点までに最大 5 個の受信を確認している）。したがって、試作機で三次元測位の状態になったときは 30 m 以内の高精度が得られ、この車載用 GPS ナビゲーションを完全に信頼し安心しきって走ることができる。

車で走行中には周囲の高い建物、山などの遮へい物により頻繁に衛星の電波が遮断されるため、常に 4 個以上の衛星を受信できるとは限らない。走行中に周囲の高い建物、山、トンネルなどの遮へい物により衛星の電波が遮断され、衛星による測位ができなくなったとき、車に搭載した自立型ナビゲータによる推測航法によって補完される。このときの精度は、自立型ナビゲータによる推測航法の精度である。

衛星が受信でき三次元の測位ができる時間帯であれば（1991 年以降は 1 日 24 時間常にこの状態になるものと思われる）⁽⁵⁾、周囲の高い建物、山などの遮へい物により頻繁に衛星の電波が途切れても遮へい物のすき間で衛星の電波が時々受かる。時々受かる時間の間隔が数分程度であれば十分実用になる。この時間帯であれば、遮断される時間すなわち自立型ナビゲータによる推測航法の時間は、せいぜい数分程度におさまっているので自立型ナビゲータによる累積誤差はほとんどなく、精度約 30 m 以内で走行できた。ところで、現在は衛星の数が少ないため、1 日数時間しか三次元の測位ができない。そのため、測位する時間がこの時間以外であったり、また三次元の測位ができると推定した時間に、幾つかの衛星の信号内容がおかしいようなこともあります。このようなとき衛星による航法ができなくなり、自立型ナビゲータのみで走ることになる。

自立型ナビゲータによる推測航法の時間が長くなると、累積誤差が次第にでて地図上の走行道路から外れてくる。しかし、推測航法の途中で測位できる衛星の数が 3 個以上になって二次元、三次元測位ができたとき、即座に今までの自立型ナビゲータの累積誤差がキャンセルされ、衛星で決定された位置に自動修正されることが確認された。1990 年代になった時点では、衛星の数は 18 個となる予定で、常に

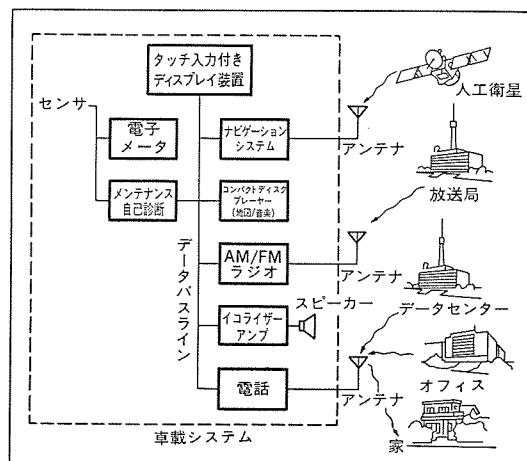


図 9. 将来的車載総合情報システムの展望

24 時間世界各地で衛星が受信でき三次元の測位ができる状態になるので、これらの走行評価テスト結果により自立型ナビゲータによる推測航法を組み合わせた車載用 GPS ナビゲーションシステムは、実力値 30 m 以内の精度で安心して目的地に案内してくれる物になると思われる。

6. 車載総合情報システムへの展開

1990 年までに衛星が 18 個配置されると、衛星電波を利用した車載用 GPS ナビゲーションシステムは、地球上のどこであっても自分の車の位置を誤差 100 m 以内（実力値 30 m 以内）で正確に割り出すことのできるシステムとなり、この有用性は大きいと考えられる。将来的には、今後の高度情報化社会に対応してこのナビゲーションシステムに加え、車に対し図 9 のようにディスプレイ端末とすべての個別システムをメインのコンピュータで総合制御するコントローラを搭載し、自己診断システム、走行情報、自動車電話、ファクシミリ、カーオーディオ、などの操作、表示、監視機能をディスプレイ端末部に集中させ、車外との情報の送受機能をもたせた車載総合情報システムに展開することが考えられる。

7. むすび

車載用 GPS 型ナビゲーションシステムの構成と走行テスト結果について述べた。走行テスト結果は満足できるものであり、衛星が打ち上げられる 1990 年以降、このシステムは十分実用に供し得るものである。

なお、このシステムは日本無線（株）殿との共同開発であり、関係各位に深く感謝する次第である。

参考文献

- (1) 山田ほか：GPS 航法装置、日本無線技報、第 24 号 (1986-1)
- (2) 木村：船舶電子航法ノート、船の科学、32 (1979-7)
- (3) B. W. Parkinson et al : NAVSTAR : Global Positioning System—Ten Years Later
- (4) 木村：NAVSTAR/GPS の展望、電波航法、No. 26 (1980)
- (5) 米 MD 社、空軍から 20 基のデルタ受注、GPS 衛星用で総額 7 億 3,400 万ドル、日経エアロスペース (1987-2)

D 磁気方位センサ

伊藤久嗣*
松本活典**

1. まえがき

磁気方位センサは、地磁気の方位を計測するセンサとして、フラックスゲート型のものが実用化されており、また昨今では自動車の自立型ナビゲーションシステムのキーコンポーネントとして重要視されている。特にナビゲーションシステムは、方位と移動距離から自動車の位置を計算する積分系のシステムであり、センサ自体の感度安定性、出力再現性などが厳しく要求される。このような重要なセンサでありながら、従来から行われているセンサ自体の解析は、ある意味では定性的とも言えるので、センサの磁気材料を選択する際のパラメータであるとか、磁気計測システムの安定化のための手段について、明確な指針を与えるものではなかった。

本稿では、まずフラックスゲート型磁気センサを実用的な面から解析し、電気回路的なモデルを提案する。また、このモデルに基づいて設計した回路内蔵型のセンサモジュールの概要及びその応用の一例として車載用コンパスについて紹介する。

2. 磁気方位センサのモデル化

2.1 外部磁界に対する感度のパラメータ

磁気方位センサは、原理的にはフラックスゲート型磁気センサを2個組み合わせたものであり、その動作原理は既に多くの文献に紹介されている⁽¹⁾。しかしながら過去の解析では、センサの核である磁気材料の磁気特性を単純な折線で近似しており、これらの解析から得られる結論は実用的であるとは言い難い。この章では、磁気センサを回路的イメージでモデル化するためのパラメータの定義・測定について述べる。

図1.に示すように、磁気方位センサは角形特性を持つ環状磁心に、トロイダル状に励磁巻線を施し、これに交流電流を供給して磁心を十分に飽和させる。更に、このような励磁巻線を施した磁心の径方向に、直交させた二つの出力巻線を設ける。この場合、単純に考えると出力巻線と励磁磁束は正味の鎖交が無いため、何の出力も得られないはずである。しかしながら、このセンサの一般名であるフラックスゲート又は別の名称である磁気変調器の名が示すとおり、このセン

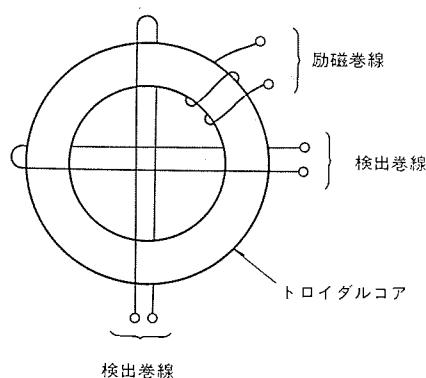
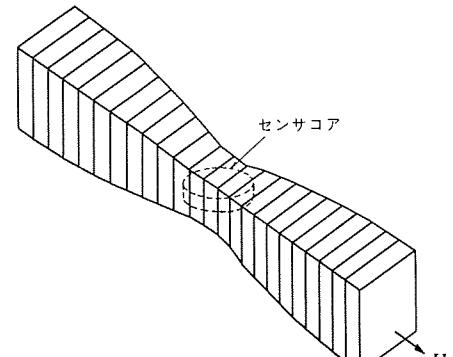
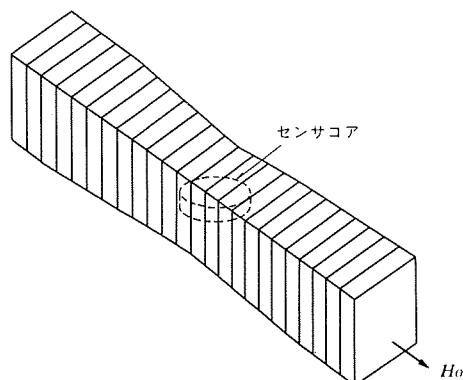


図1. 磁気方位センサの構造



(a) 不飽和状態



(b) 飽和状態

図2. センサコア励磁による外部磁界 (H_o) の収束

サは極めて非線形性の大きな磁心を大振幅で励磁しているため、見かけ上の透磁率が変調を受け、出力巻線には外部から印加される直流磁界の大きさに応じた交流信号が現れる。図2.を用いてこの動作を説明する。

図2.(a)は磁心が飽和しておらず、大きな透磁率をもっている状態であり、このため外部磁界は磁心に向かって収束する。この状態での出力巻線に鎖交する平均磁束密度を $B_1 = \mu_{eff1} \times H_o$ とする。

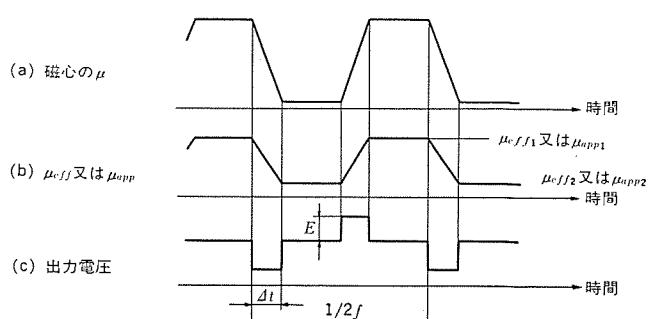


図3. 透磁率の変化と出力電圧の関係

ここで H_0 は十分遠方での直流磁界、 μ_{eff1} は見かけの透磁率である。図 2. (b) は励磁巻線に十分大きな電流が流れ、磁心が飽和している状態で、磁心の見かけの透磁率は小さくなっている。この値を μ_{eff2} とすると、このときの出力巻線内の平均磁束密度 B_2 は、 $B_2 = \mu_{eff2} \times H_0$ で与えられる。図 2. から分かるように、磁心が周波数 f の交流信号で励磁されている場合、実効透磁率 μ_{eff} は、 $2f$ の周波数で変調を受けることになる。この様子を図 3. に示す。

図において、出力巻線に得られるパルス状信号の振幅 E は、幅を Δt とすると、

$$E = A \cdot N \cdot (B_1 - B_2) / \Delta t = A \cdot N \cdot H_0 (\mu_{eff1} - \mu_{eff2}) / \Delta t \quad \dots(1)$$

で与えられる。 N は出力巻線の巻数、 A は断面積である。

式(1)から分かるように、この種のセンサの磁心材料としては μ_{eff1} と μ_{eff2} の差の大きいものが望ましい。磁心の透磁率と実効透磁率の関係を解析的に求めることは困難であるが、磁心が無限に長い円筒であると仮定すると簡単に求まる。磁心の厚みを無限とするか有限とするかの違いは、厚み方向の磁束の収束を考慮するか否かであるから、全体的な傾向を把握することに対しての妨げにはならない。

図 4. は外径 20 mm、内径 10 mm の無限長円筒に対して μ_{eff} を計算した結果で、実測値は量産中のセンサ（厚さ 5 mm）のフェライト磁心の μ_{eff} である。計算値と実測値は、絶対値は別として傾向としては全く一致している。図から分かるのは、磁心の μ を 1,000 以上にしても μ_{eff} はさほど大きくならず、逆に μ を 10 以下にすると急速に μ_{eff} が小さくなるということである。このことは従来、できるだけ μ の大きな磁心が良いとされていたのは誤りで、励磁により急速に μ が小さくなる材料が磁心として望ましい特性であることを意味している。

図 3. (c) のパルス状信号は、通常適度に増幅した後、周波数 $2f$ のく形波によって周期検波される。この後段での処理を考慮すると、(c) の波形は振幅が $4f \cdot E \cdot \Delta t$ 、周波数 $2f$ のく形波と等価と考えてよい。したがって外部磁界 H_0 に対する磁気センサの感度係数 K_1 を次式のように定めることができる。

$$K_1 = 4f \cdot E \cdot \Delta t / H_0 = 4f \cdot A \cdot N \cdot (\mu_{eff1} - \mu_{eff2}) \quad \dots(2)$$

ここで、 $\Delta \mu_{eff} = \mu_{eff1} - \mu_{eff2}$ とおくと、

$$K_1 = 4f \cdot A \cdot N \cdot \Delta \mu_{eff} \quad \dots(4)$$

と表すことができる。 $\Delta \mu_{eff}$ は式(3)からも分かるように、励磁によって変調される見かけの透磁率の変化幅である。

2.2 出力巻線に流す電流に対する感度のパラメータ

当社の磁気センサは、生産初期から磁気計測システム全体の感度の安定化を目的として、センサの出力巻線に増幅器出力を電流の形でフィードバックしている。また、自動車の車体磁化の影響をキャンセルする目的で補正電流をセンサの出力巻線に流し込む方法を探っている⁽²⁾。この出力巻線に流す電流とセンサ出力の関係、すなわち感度と前節で述べた外部磁界に対する感度とは、励磁によって変調を被るファクタが全く異質のため、同列に論ずることはできない。出力巻線に流す電流 I と出力巻線に得られる電圧 e の関係は、励磁により出力巻線のインダクタンス L が変調を受けているとして導くことができる。すなわち e は、

$$e = d(LI) / dt = I \cdot dL / dt \quad \dots(5)$$

で与えられる。インダクタンス L は磁性体の見かけの比透磁率 μ_{app} が変調を受けて変化するもので、図 3. に示すように μ_{app} が μ_{app1} と

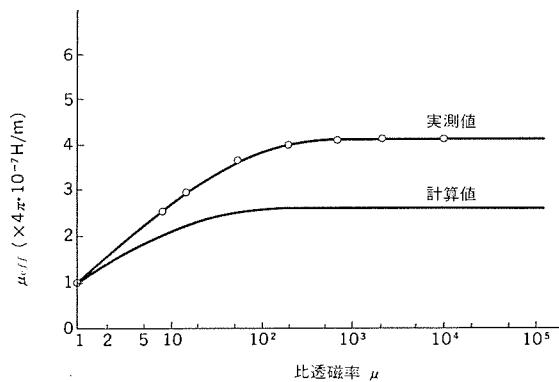


図 4. μ_{eff} の計算値と実測値

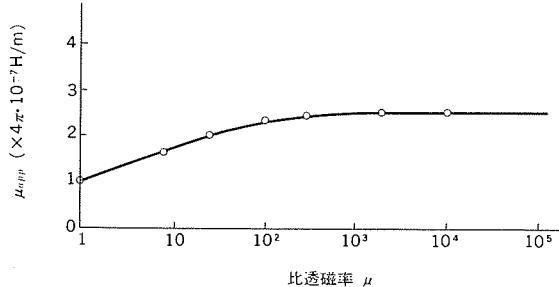


図 5. μ_{app} の測定結果

μ_{app2} の間で変化し、出力巻線には振幅 E 、幅 Δt 、周波数 $2f$ のパルス状信号が得られる。このとき E は式(5)から

$$E = I \cdot L_0 \cdot (\mu_{app1} - \mu_{app2}) / \Delta t \quad \dots(6)$$

$$\text{又は}, \quad E = I \cdot \Delta L / \Delta t \quad \dots(7)$$

で与えられる。上式において L_0 は $\mu_{app1}=1$ すなわち空心コイルのインダクタンス、 ΔL はインダクタンス L の変調による変化分である。図 5. に μ_{app} の実測値を示すが、図 4. の μ_{eff} と類似の傾向を示すことが分かる。また式(7)と式(1)とを比較することにより、出力巻線に流す電流 I に対する感度係数 K_2 は、式(2)を導いたのと同様に式(8)で与えられる。

$$K_2 = 4f \cdot E \cdot \Delta t / I = 4f \cdot \Delta L \quad \dots(8)$$

2.3 磁気方位センサのモデル

2.1 節及び 2.2 節で外部磁界と出力巻線に流す電流に対する各々の感度係数 K_1 、 K_2 が求められたが、これらを用いてモデル化する前に物理的イメージを明らかにするため、全体の動作を再度確認する。

以下の記述で Δt 以外の記号の前の Δ は、変調を受けることによる変化分を表すものである。センサが H_0 なる均一磁界中に置かれ、出力巻線には I_F なる直流電流が供給されているとき、センサの出力巻線に正味鎖交する磁束 $\Delta \Phi$ は、

$$\Delta \Phi = \Delta \Phi_0 - \Delta \Phi_F = H_0 \cdot \Delta L / N \quad \dots(9)$$

となる。ここで $\Delta \Phi_0$ 、 $\Delta \Phi_F$ は、それぞれ外部磁界及び直流電流により変化する磁束量を表す。したがって、式(9)で与えられる磁束変化によって出力巻線には、 $E = N \cdot \Delta \Phi / \Delta t$ なる振幅のパルス信号が得られ、後段の同期検波を考慮した平均化定数 $4f \cdot \Delta t$ が乗じられてセンサの出力巻線には、モデル化された出力電圧 e が得られる。したがって e は、

$$e = 4f \cdot \Delta t \cdot N \cdot \Delta \Phi / \Delta t = 4f \cdot N \cdot \Delta \Phi$$

すなわち $e = (H_0 \cdot A\mu_{eff} \cdot A - I_F \cdot \Delta L/N) \cdot 4f \cdot N$ (10)
で与えられる。

以上の考察から磁気方位センサの1チャネル分は図6.に示すモデル若しくは等価回路で表現できる。モデル中の変数は、センサを構成する磁性材料、寸法、巻線などによって決定され、いったん形状が決まれば、 $\Delta\mu_{eff}$ 、 ΔL のばらつき幅を、材質や励磁条件のばらつきから想定することは可能であり、これら多くのパラメータの変動によって磁気計測システムがどのような挙動をするかは、図6.のモデル及びこれに接続される回路を純粹に回路的な問題として解析することにより容易に解明できる。

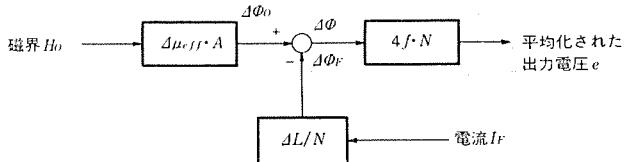


図 6. 磁気方位センサのモデル（1チャネル当たり）

3. センサモジュール

当社の磁気計測システムは、磁気センサを励磁して、出力巻線に得られる交流信号を、増幅・検波して直流電圧に変換し、またシステムの感度安定化のために、この直流電圧を抵抗を介して出力巻線に電流帰還をかける構成を探っている。

この章では、磁気計測システムの系の安定性について述べ、更に今回開発した電圧出力型及び電流出力型センサモジュールの回路構成・応用システムのインターフェース回路について述べる。

3. 1 フィードバックシステム

前章で述べた磁気センサの電気回路モデルを用いて、磁気計測システムをブロック図で表したものが図7.である。ここで、システムの一巡伝達関数 $B(s)$ と伝達関数 $A(s)$ は、図から明らかなように、

$$\left. \begin{aligned} B_{(S)} &= 4f \cdot \Delta L \cdot 1/R_f \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \\ A_{(S)} &= \frac{U_{out}}{H_o} \\ &= \frac{4f \cdot N \cdot A \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot G_3}{1 + B_{(S)}} \cdot \Delta \mu_{eff} \end{aligned} \right\} \dots \quad (11)$$

である。量産中のシステムでは、直流的には $B_{(0)} > 90 \text{ dB}$ と、ゲインが十分大きいため、伝達関数 $A_{(0)}$ は、

$$A_{(o)} = \frac{U_{out}}{H_o} \\ \simeq \frac{A\mu_{eff}}{AU} \cdot A \cdot N \cdot R_f \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

としても差しつかえない。また、 A 、 N 、 R_f は磁気センサの構造定数や回路定数である。

ところで、 $\Delta\mu_{eff}$ や ΔL は、その物理的イメージからセンサコア内の磁束をどの程度まで変化させるかといった、励磁条件に大きく左右されると考えられる。今回、回路を内蔵したセンサモジュールを開発するに当たって、100 個の磁気センサの中から $B-H$ カーブの角形比ばらつきの大きい 2 個の試料を選んで、センサ励磁振幅を 8 V から 16 V まで変化させたときの $\Delta\mu_{eff}$ 、 ΔL の実測値を図 8. に示す。ここで重要なのは、 $\Delta\mu_{eff}$ 、 ΔL のそれぞれの値ではなくて、フィードバックシステムの感度安定度を決める $\Delta\mu_{eff}/\Delta L$ である。式(12)からも明

らかのように、出力電圧 U_{out} は、印加磁界 H_0 に比例するが、比例定数の内でセンサの磁気特性そのものに起因する $\Delta\mu_{eff}/\Delta L$ の値が、例えば励磁条件などの外乱に大きく左右されるのであれば、この章の冒頭にも述べたシステム全体の感度安定化という目的は果たせなくなるのである。

図 8 の実測値から見れば、励磁条件の差により $\Delta\mu_{eff}$ 及び ΔL は、個々には最大 15% ほどばらつくが、傾向は両者とも一致している。一致の度合いを調べるために、各励磁条件における $\Delta\mu_{eff}$ と ΔL の比すなわち $P = \Delta\mu_{eff}/\Delta L$ を求めると、図 8 の一点鎖線に示すようにほぼ一定であることがわかる。また、励磁周波数を 1 けた変えても、 P は励磁周波数に左右されず一定であることがわかっている。更に、一定励磁条件のもとで 100 個のセンサの $\Delta\mu_{eff}$ と ΔL を測定したところ、 $\Delta\mu_{eff}$ ばらつきが最大 30% もあるものでさえ、 P は 5% 未満の差であった。

これら実験結果の意味するところは、フィードバックをかけた磁気計測システムは、センサコア単体の磁気特性に左右されない、極めて安定なゲインを得ることのできるシステムであるということである。

また、磁気センサの動作解析のやり方の妥当性を別の観点から評価する目的で、図7.のモデルでシステムのステップ応答を求めてみる。図において、 G_1 や G_2 の周波数応答は無視でき、時間のディメンションをもつのは G_3 の積分器のみであるから、 $G_{3(s)}=1/ST$ とおくと、式(11)は、

$$A_{(S)} = \frac{J\mu_{eff} \cdot R_f \cdot A \cdot N}{4L} \cdot \frac{1}{1+ST'} \quad \left. \right\} \dots \dots \dots (13)$$

ただし、 $T' = T / (4f \cdot J\mu_{eff} \cdot R_f \cdot G_1 \cdot G_2)$

で表される。ここで実際のシステム定数, $f = 10 \text{ kHz}$, $R_f = 1.2 \text{ k}\Omega$, $G_1 = 10$, $G_2 = 0.5$, $T = 1 \text{ ms}$ 及び ΔL の実測値 $\Delta L = 0.8 \text{ mH}$ を代入すると, $T' = 7.5 \text{ ms}$ を得る。また, このシステムにおいて磁気センサの近傍にコイルを置き, このコイルにステップ電流を与えて得られた応答速度は約 8 ms と, モデルによる計算とおよそ等しい。この結果から見ても, この磁気計測システムの電気回路的モデルは妥当であると考えられる。

3. 2 センサモジュール

図 7. に示した磁気計測システムの回路構成を、一つのパッケージに実装したものをセンサモジュールと呼んでいるが、その出力形態により電圧出力型と電流出力型の 2 タイプがあり、図 9. にそのブロック図を示す。なお、両モジュールともオフセット調整が可能な構成しており、車載用コンパスやナビゲーションシステムへの応用が可能となっている。

電圧出力型 センサモジュールは、従来の方位計システムで分離されていた磁気 センサと、その励磁回路、増幅回路、帰還回路などを一体化したものに等しく、モジュール内のセンサ出力巻線と出力端子間に接続されたフィードバック抵抗を選定すれば、希望の感度が得られる。また、オフセットバイアスの与え方も従来と同様で、出力巻線に直流電流を流す方式であり、応用システム側のインターフェース回路としては、ボルテージフォロワを各オフセット調整端子に用意すればよい。

一方、図9.(b)に示すように信号線の数を大幅に削減したのが、電流出力型センサモジュールで、応用システムとの間にわずか2本の信号線を接続する(電源線は除いて)だけで、オフセット処理も含めた信号のやりとりが可能である。

このモジュールでは、動作の安定化の目的で直流増幅器からそれぞれの出力巻線に抵抗を介して帰還される電流を、電流の帰還点とは反対の端子から取り出している。出力端子には磁気センサの出力巻

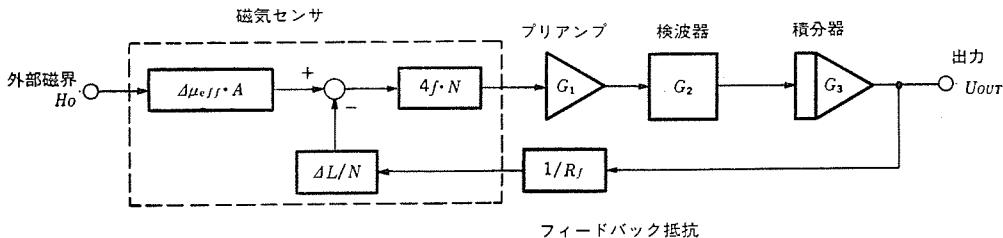


図 7. 磁気計測システムのブロック図(1チャネル当たり)

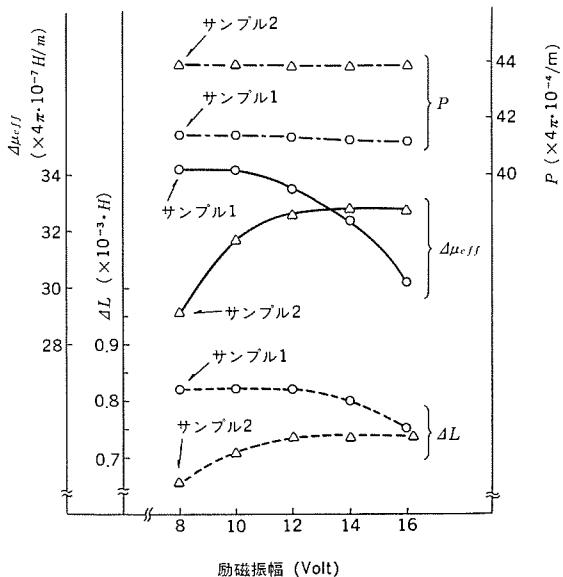
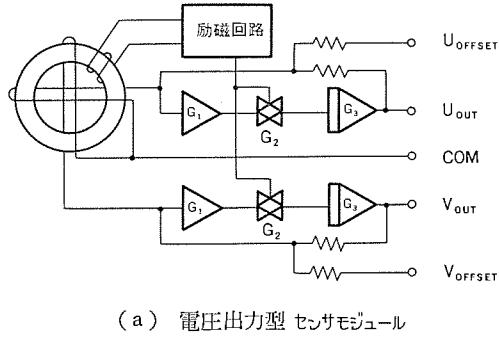


図 8. 磁気センサの励磁電圧特性

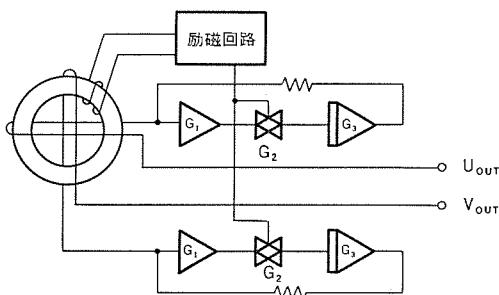
線で検出した磁気成分に相当する直流電流が現れる。出力は、オフセット磁界を含めた地磁気相当の電流であるから、応用システム側で、オフセット電流を減算することにより、地磁気成分に相当した電流だけを取り出せる。また、電圧出力型は、出力形態がアナログ電圧であったため、磁界零に相当する基準電位(COM端子)が必要であったが、電流出力型では磁界零に相当する基準電位は、センサモジュール及び応用システム双方の電位に関係なく作り出せるため、COM端子が不要となる。

次に、この電流出力型センサモジュールを用いた場合のインターフェースについて簡単に述べる。例えば、車載用のコンパスなどに応用する際には、既に多くの文献⁽³⁾で有害視されている車体の残留磁化(着磁)をいかに処理するかが問題となる。一般に車両は、その構成材料、製造工程において若干着磁しており、その絶対値が地磁気と大差ない場合もある。また、この着磁分を磁気センサからベクトル的に見れば、その成分は常に一定ではなく、熱・振動などで経時に変化し、また電車の踏切などの強大な直流磁場を通過した際には、瞬時に着磁量が地磁気の数倍になることもある。

直交した検出巻線をもつ磁気センサの出力は、着磁などによるオフセット磁界が無い場合には、検出巻線と地磁気ベクトルの相対角を θ とすれば、一方は $\sin \theta$ 、他方は $\cos \theta$ の関数となり、双方の出力軌跡は円となる。ところが、着磁ベクトルが存在すると、双方の出力には相対角 θ には無関係に着磁ベクトルに対応した固定成分が加わるため、出力軌跡は図10の実線で示した円となる。この場合、例えば着磁が無ければP点の座標で検出できる方位が、着磁により座標がP'となるため、基準点Oから見た方位は角度 ε だけ誤差とな



(a) 電圧出力型センサモジュール



(b) 電流出力型センサモジュール

図 9. センサモジュールのブロック図

る。また、このような着磁が存在した場合、出力軌跡が一つの象限に片寄っているため、着磁補正機能を持たない一般の方位計では、あたかも指針がはり付いたかのような振舞いをし、進行方位によっては全く逆の方位を示す場合がある。

これを補正する手段として、車両の旋回により得られた凹軌跡(実際は車両の前後方向、左右方向で磁気収束効果に差があるため、軌跡はだ円となる)によりその中心座標を求めて、この点を方位演算上の原点とする方法と、磁気センサの出力巻線に補正電流を流し、

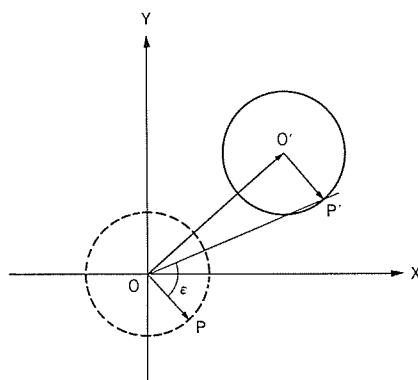


図 10. 着磁による誤差

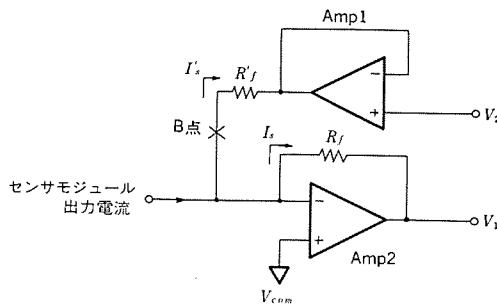


図 11. 応用システム側のインターフェース回路

センサ内部で着磁磁界を打ち消し、強制的に円軌跡の中心を、直交座標原点に一致させる方法がある。当社のシステムでは、円軌跡の中心判定が正確に行える範囲をできるだけ広くとる意味から、後者の方法を採っている。

図 11. に電流出力型センサモジュールを応用する際に、着磁補正機能を付加するため、出力 1 チャネル当たりのインターフェース回路を示す。この回路は、車体着磁量に相当する電流 I_s を供給する Amp 1 と、地磁気に相当する電流 I_o を電圧変換する Amp 2 から成り立っている。

ここで、 V_1 は地磁気相当の電圧出力、 V_2 は補正電流を決める電圧入力である。また、 V_{com} は応用システム側の基準電位で、磁界零のときの V_1 の出力電圧となる。今、 V_2 を V_{com} に等しい電圧として、見かけ上 B 点で切り離した状態では、電流 I_s は Amp 2 により、

$$V_1 = V_{com} - R_f \cdot I_s \quad \dots \dots \dots (14)$$

なる電圧に変換される。次に V_1 に等しい電位を V_2 に入力すれば、Amp 1 に流れる電流 I_s' は、

$$I_s' = \frac{V_{com} - V_2}{R_f'} = \frac{R_f}{R_f'} \cdot I_s \quad \dots \dots \dots (15)$$

となる。 $R_f = R_f'$ とすれば $I_s = I_s'$ となり、結果的には着磁量相当の電流 I_s がすべて Amp 1 へバイパスされ、センサモジュールの電流出力のうち地磁気成分に相当する電流だけが Amp 2 で電圧に変換される。

また、検出感度を電圧で扱う場合に、応用システム側の電流電圧変換回路の定数 R_f を適宜に選べば、任意の出力電圧で、感度設定ができる。感度設定は、電圧出力型では、センサモジュール内の回路定数を調整するのに対し、電流出力型は応用システム側の回路定数を独自に選べばよい。すなわち、センサモジュールの融通性、標準化という観点からみれば、電流出力型の方が優れていると言える。

4. 車載用コンパスへの応用

次にセンサモジュールの応用例として開発した車載用コンパスについて説明する。図 12. の左側が電流出力型センサモジュール、右側がディスプレイモジュールである。ディスプレイモジュール内には、前述のインターフェース回路をはじめ、A/D 変換器やマイコン、表示回路などがコンパクトに収められている。

この車載用コンパスは、着磁補正機能や偏角（磁北と地図上の北のずれ）を補正する機能を備えており、ディスプレイモジュール背面の補正要求スイッチを、所定の時間押すことでコンピュータに各々の要求を入力することができる。

着磁補正是前章でも述べたように、補正要求スイッチを押した後に車両を 1 回旋回させ、これによって得られる円軌跡の中心を、幾何

学的に求めて、この中心の座標で表される着磁成分を除去すべく補正電流をセンサモジュールに与える。偏角補正是、車両の所在地域の偏角をコンピュータに入力することで、その地域の地図上の北を基準とした方位表示を行う。偏角補正動作に入ると、円環状に並んだ方位表示セグメントが一定時間ごとに順次点灯し、ユーザーにあらかじめ与えた偏角マップによって、ユーザーが属する地域（偏角）に対応したセグメントが点灯したときに、再び補正要求スイッチを押せば、その地域の偏角がコンピュータに入力され、これによって偏角補正動作は終了する。この機能は、例えば北アメリカ大陸など、偏角がその東西で 40° も異なる広大な土地のいずれに車両があっても、簡単にその地域での地図上の北を基準とした方位が得られ、大変有用である。

これらの補正是、要求が受け付けられ、補正動作に入ると、補正中を表す意匠表示を行うため、通常の進行方位表示とは、十分識別がつく。

更にソフトウェアによるこれら二つの補正機能に加えて、方位判定において、方位表示切換付近で入力信号がふらついても隣接した表示セグメントがちらつかないよう、角度ヒステリシスを設けた方位判定法が採り入れてある。

従来の方位判定は、XY 直交座標平面内の検出地磁気に相当した座標 (x, y) と原点を結んだ線分と、X 軸とのなす角 $\theta = \tan^{-1}(y/x)$ を求めて、 θ が $0 \sim 360^\circ$ のどの範囲に存在するかを判別していた。しかし、この方法では y/x の分母が零になる場合が存在し、 y/x のダイナミックレンジが大き過ぎるということと、 \tan^{-1} の計算も単純でないといったことから、判定処理が相当複雑になる欠点があった。

この方式に対して、今回採用したベクトル外積を用いた方位判定法では、三角関数演算を一切行わずに方位判定が可能となるため、方

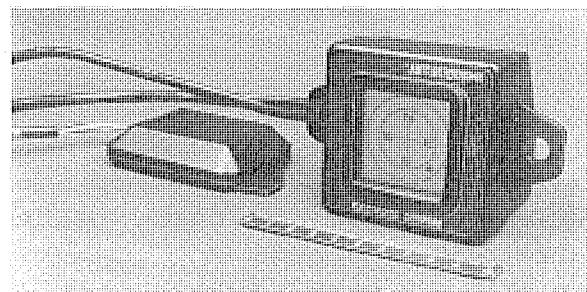


図 12. センサモジュール(左)とディスプレイモジュール(右)

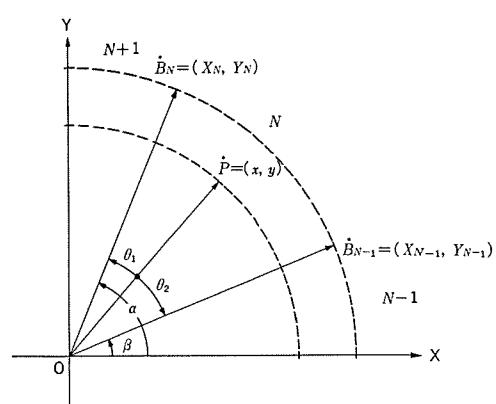


図 13. ベクトル外積による方位判定原理

位判定のための演算処理が極めて簡単になり、併せて角度ヒステリシスの付加も可能である。以下にこの方法について説明する。

XY直交座標平面内の任意のベクトルの外積は、XY平面に垂直なベクトルである。便宜上これをスカラ表現して、 $S = \dot{R} \times \dot{T}$ とする。 \dot{R} , \dot{T} はXY平面上の任意のベクトルである。図13において、 $S = \dot{P} \times \dot{B}_N$, $S = \dot{P} \times \dot{B}_{N-1}$ を考える。 \dot{B}_N , \dot{B}_{N-1} …は方位指示領域(以下、セクタと呼び、 N , $N-1$ …で示す)の境界を表すベクトルでその絶対値を r とする。 \dot{P} は測定された地磁気ベクトルでその座標を (x, y) 、絶対値を R とする。なお、この手法による方位判定では、地磁気ベクトルの旋回軌跡が点Oを中心とし、半径 R の円であることが前提となるが、これはセンサ出力を信号処理する際に、X成分とY成分にそれぞれ適当な係数を乗じて、それらの2乗和が R^2 に等しくなるようあらかじめ処理をしておけばよい。

\dot{P} と \dot{B}_N , \dot{B}_{N-1} の成す角をそれぞれ θ_1 , θ_2 とすると

$$\left. \begin{aligned} S+ &= rR \sin \theta_1 \\ S- &= rR \sin \theta_2 \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (16)$$

と表せる。図からも明らかなように、 $\sin \theta_1 > 0$, $\sin \theta_2 < 0$ であるから、 $S+ > 0$, $S- < 0$ である。これは、点PがセクタNに属する場合のみ成り立つ。

もし、 $S+ < 0$ であれば、点Pの所属するセクタはNよりも左回りした、いずれかのセクタであり、 $S- > 0$ であれば、その逆である。したがって、任意のセクタから判定を開始しても、式(16)により判定すべきセクタを順次移動させ $S+ > 0$, $S- < 0$ が成立するセクタを探せば指示方位が分かることになる。

ところで、式(16)において例えば $\sin \theta_1$ は \dot{P} と \dot{B}_N のなす角の正弦であるが、実際に求めることは容易でない。そこで、X軸とのなす角に注目すれば、 $S+$ については、

$$\begin{aligned} S+ &= rR \sin \theta_1 = rR \sin(\alpha - \beta) \\ &= rR(\sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta) \end{aligned} \quad \dots \quad (17)$$

一方、 $x = R \cos \beta$, $y = R \sin \beta$, $X_N = \gamma \cos \alpha$, $Y_N = \gamma \sin \alpha$ であるから、

$$S+ = xY_N - yX_N \quad \dots \quad (18)$$

となって、全く三角関数を扱わない式で表すことができる。しかも、 (X_N, Y_N) はセクタの境界を表す定数であるから、定数テーブルとして用意しておけば、Nの移動(右回り又は左回り)に対応した X_N , Y_N は簡単に求まる。

次に、図14を用いてヒステリシスの付加について述べる。点Pが $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$ と移動してセクタを $N \rightarrow N+1 \rightarrow N$ と動いたとき、点 P_3 がセクタNに属さない(セクタ $N+1$ に属する)と判定する最大角 ε をヒステリシス角と定義する。ここで、点 P_3 に対する $S+$ は、 $S+ = \dot{P}_3 \times \dot{B}_N = rR \sin \varepsilon$ となる。この場合、 ε が小さい($0 \leq \varepsilon < \frac{\pi}{2}$ の範囲で)と $S+ = rR \sin \varepsilon$ も小さくなるから $S+$ が $rR \sin \varepsilon$ という定数より小さければ、判定セクタを $N+1$ のままにしておけばよいことになる。すなわち、点Pの属するセクタが過去にセクタ間を移動したときの方向と、今回のセクタ移動の方向が逆になったときにおいて、現在の点Pと境界ベクトル \dot{B}_N のなす角があらかじめ定めた角度 ε より大きいか小さいかを、角度で直接比較せず、外積で等価的に

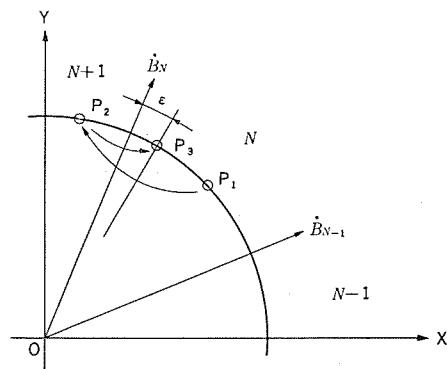


図 14. 角度ヒステリシスの定義

比較することにより、見かけ上角度ヒステリシスを付加することができる。

以上述べてきた磁気計測システムの応用のためのハードウェア、ソフトウェアを組み入れた車載用コンパスを試作して実車走行試験で繰り返し評価したところ、実用上問題のない着磁・偏角両補正機能に加え、走行中の車両操舵(舵)に十分早く追随する応答性と、ちらつきを全く感じさせないフィーリングを得ることができた。

5. む す び

磁気センサ用磁気材料として必要な条件は、従来は高透磁率、高角形比であるとされていたが、この論文で述べたモデル化の過程から、これらの条件は、必要かつ十分なものではなく、むしろ $\Delta\mu_{eff}$ が大きい、すなわち磁気飽和した状態での比透磁が十分小さいことが重要であることが分かった。

しかしながら、被測定磁場に対する感度を大きく左右する $\Delta\mu_{eff}$ を、例えば±5%に管理することは容易ではなく、ロット間変動を考えるとセンサのコストを押し上げる大きな要因となる。この問題に対する解決策として、当社ではセンサへの電流フィードバックを採用していたが、電流フィードバックによる感度の安定性は、数多くの試料に対する試験からその妥当性を評価していくに過ぎず、技術的には不明瞭な部分があった。この件についても、本稿での議論の中で $\Delta\mu_{eff}$ と ΔL が極めて強い相関を持つということが明確になり、電流フィードバック方式の妥当性が再評価された。

以上述べてきた評価方法を用いることにより、センサ材料及び回路構成の最適化が可能であると考える。

この研究にあたり、センサ内部の磁気解析、材料などについて御教示いただいた関係各位に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 阿部ほか：直流増幅器を対象とした振幅差変調法の研究、電気学会誌、35-105(昭35)
- (2) 伊藤ほか：自動車用電子コンパス、自動車技術、37、No.2(昭58)
- (3) 河村ほか：ナビコンの開発、トヨタ技術、34、No.2(昭59)

車載用デジタル オーディオ テーププレーヤー

加藤博明* 石田 雅之**
中西康之* 宇津井良彦***
中川邦彦**

1. まえがき

DAT（デジタル オーディオ テーププレーヤー）は CD プレーヤーと同等の性能をもち、しかも録音のできるデジタルオーディオであり、将来現在主流のコンパクトカセットプレーヤーに置き替わるものと位置付けられている。また、現在 CD は音楽用のみならず、CD-ROM としての統一フォーマットをもとに各種用途に応用されつつあるが、DAT も同様に音楽用のみならず書込み可能な大容量のメモリとしての展開も予想され、大きな期待を持たれる新製品である。しかし、また何度ダビングしても性能が劣化しないという優れた性能のために、米国、欧州、日本で著作権の問題がクローズアップされている。そのような状況の中で昭和 62 年 3 月からホーム用 DAT が日本で発売された。

本稿では、ホーム用 DAT から約半年から一年遅れて発売されると予想される車載用 DAT について、基本開発が完了したのでその内容について述べる。

2. 技術仕様

DAT懇談会でまとめられたR-DATの技術仕様は表1.に示すとおりであり、合計6モードと豊富な用途に対応できるように考慮されている。とりわけ標本化周波数は、現在ほぼ世界の標準となりつつある三つの周波数(48/44.1/32 kHz)のいずれにも対応できるように、システムパラメータが選定されている。DATの基本モードは、48 kHzであり、32 kHzはオプションで、長時間又は4チャンネル化が可能である。44.1 kHzは、PCMプロセッサやCDプレーヤーなどで民生用として広く採用されている周波数である。

ワイドトラックのモードを設けたのは、コンタクトプリントによるプリレコデッドテープ製作に対応できるようしているためである。コンタクトプリント法とは、マステープとスレーブテープを接触させて、磁化パターンを転写させるものであり、スレーブテープには、メタルテープより保磁力の低い酸化物系のテープを使用する。このため、再生出力が少し低下するので、トラックピッチを1.5倍に広げてこれを補償している。これに伴って再生時間も短くなるが、安価なテープが使用でき、ソフトの大量生産が可能になるなど利点が多い。

DATの場合、デジタル記録であり、時間軸の操作が容易にできることから、回転ドラムの径とテープの巻付け角は固定する必要がなく、その積が一定の値になるようにするだけで、設計は自由となっている。一例として、技術仕様ではドラム径 30 mmφ、テープ巻付け角 90°をあげているが、小径ドラムと浅い巻付け角のおかげで、機構系の小型化、簡素化などを図ることができる。

テープ上の記録トラックは、VTRと同様2個の回転ヘッドを用いて斜め方向に形成される。記録はアジャス方式を用いているので、トラック間にガードバンドを設ける必要がなく、狭トラックピッチと相まって 114 Mbpi² (メガビット/平方インチ) という高密度記録を達成しており、テープの単位時間消費量の削減に役立っている。使用カセットは、従来のコンパクトカセットの約 1/2 の大きさで 2 時間の記録が行える。テープ開口部はリッドとスライドと呼ばれる二つのふたで密閉され、テープが保護されている。

図1.にトラックフォーマットを示す。1トラックに記録されるPCM信号領域、曲番、時間情報などのサブコード信号領域、トラッキング用 ATF (Automatic Track Finding) 信号領域は IBG (Inter Block Gap) で分離されているので、サブコード信号のアフターレコーディングがPCM信号と独立して行えるようになっている。サブコード信号は、273 kbps (CDの約4.6倍) の容量があり、多様な用途に対応できる。

表1. R-DATの仕様

項目	DAT				プリレコデッドテープ				
	標準	オプション1	オプション2	オプション3	ノーマルトラック	ワイドトラック			
チャネル数(ch)	2	2	2	4	2	2			
サンプリング周波数(kHz)	48	32	32	32	44.1				
量子化ビット数(ビット)	16(リニア)	16(リニア)	12(ノンリニア)	12(ノンリニア)	16(リニア)	16(リニア)			
線記録密度(Kbps)	61.0	61.0			61.0	61.1			
面記録密度(Mbpi ²)	114	114			114	76			
伝送レート(Mbps)	2.46	2.46	1.23	2.46	2.46				
サブコード容量(Kbps)	273.1	273.1	136.5	273.1	273.1				
変調方式	8-10変換								
訂正方式	二重化リードソロモンコード								
トラッキング方式	エリア分割ATF								
カセットサイズ(mm)	73×54×10.5								
記録時間(min)	120	120	240	120	120	80			
テープ幅(mm)	3.81								
テープ種類	メタルバウダ								
テープ厚(μm)	13±1μ								
テープ速度(mm/s)	8.15	8.15	4.075	8.15	8.15	12.225			
トラックピッチ(μm)	13.591			13.591					
トラック角度	6°22'59.5''								
標準ドラム仕様	Φ30 90°ラップ								
ドラム回転数(rpm)	2,000	1,000	2,000	2,000					
相対速度(m/s)	3.133	1.567	3.133	3.133	3.133	3.129			
ヘッドアジャス角	±20°								

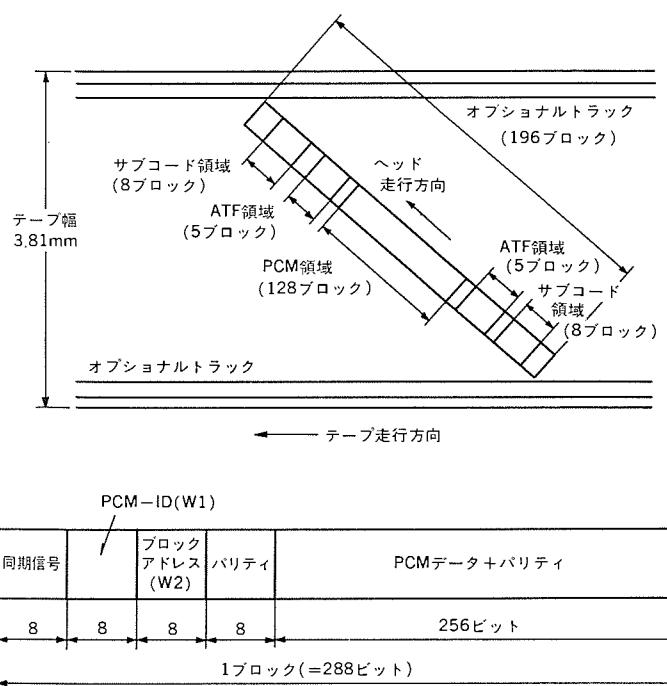


図 1. トラックフォーマット 及び PCM 領域 ブロックフォーマット

3. システム構成と信号処理

このシステムは再生機能のみであり、録音回路をなくすことにより、システムが簡略化されている。R-DAT のトラックフォーマット及びブロックフォーマットを図 1. に、また図 2. にシステムの概略ブロック図を示す。

回転ヘッドを用いてテープから読み取った信号を、回転トランスを介して外部へ取り出し、再生アンプに入力する。ここでは、信号の增幅を行い、次いで波形等化器により周波数特性の改善を行った後、

信号検出器によりデジタル信号としてデータを取り出す。このデータを復調器に通し 10-8 変換を行った後、デコーダにて誤り訂正を実行する。デコーダでは誤り訂正処理のほかに、データの順序を元どおりに並べかえるインタリーブや、時間軸圧縮されていたデータを元どおりに伸長し、連続データに直して出力するための処理などを行う。これらの処理は 2 トラックを単位として行われ、そのためのバッファメモリとして 64K ビットのものが 2 個必要である。このメモリを用いることにより、テープの走行変動に伴うデータの時間軸変動も完全に除去されるので、再生音にワウラッパーが発生することはない。

こうして訂正処理を受けたデータは、D/A コンバータに入力され、アナログ信号に変換された後、不要な高域成分を除去するためのローパスフィルターに通し、元のオーディオ信号として再生される。このほかに、再生アンプでは PCM データとは別に、領域分割記録された ATF 信号も再生され、これによりトラッキング制御などを行っている。

マイコンはシステム全体を統轄制御し、メカニズムの制御、サブコード処理、操作キーとのインターフェース、表示素子の駆動などを行っている。図 3. にセット外観を示す。

3.1 誤り制御

二重リードソロモン符号のデコーディングアルゴリズムには、多種の方法が考えられる。この製品では、ランダム誤り訂正能力は、一つの目安として CD の能力以上であることを目標に復号アルゴリズムを考えた。復号は C1 復号の後、C2 復号を行う。C1 デコーダでは 2 エラーまで訂正するとともに、2 エラー以上では C1 フラグを付加する。次段の C2 復号では C1 フラグを用いて、図 4. に示すように最大 6 イレージャまで訂正を行っている。

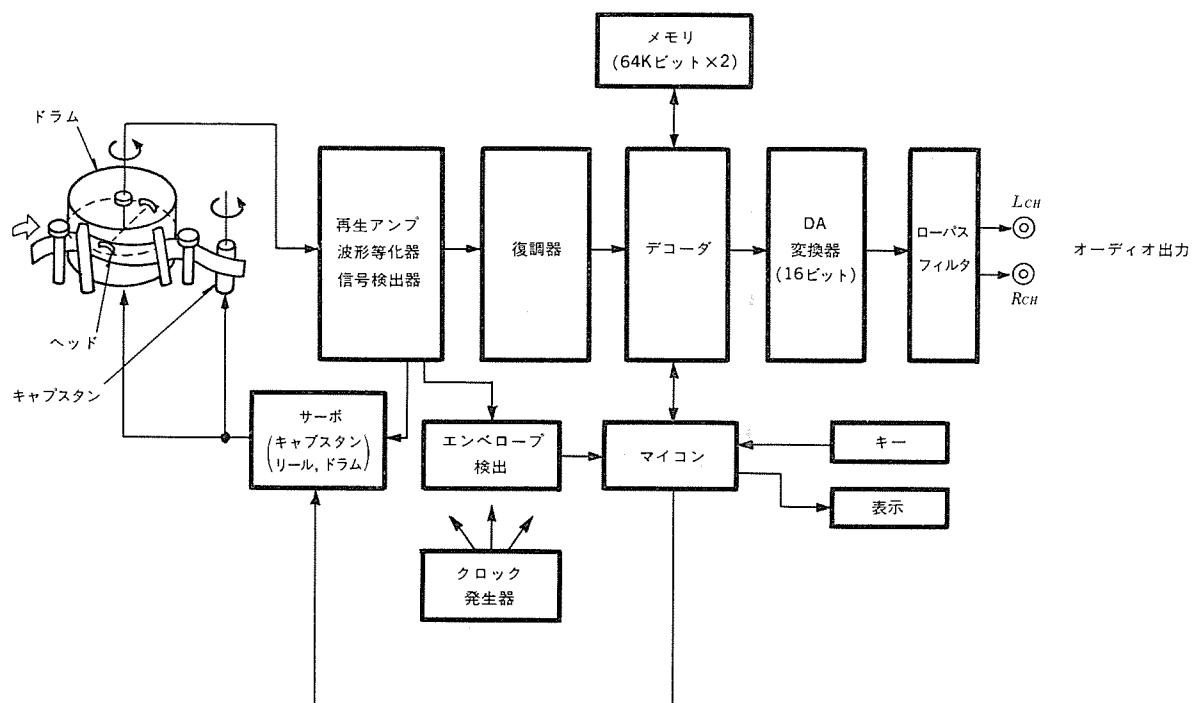


図 2. R-DAT システムのブロック図

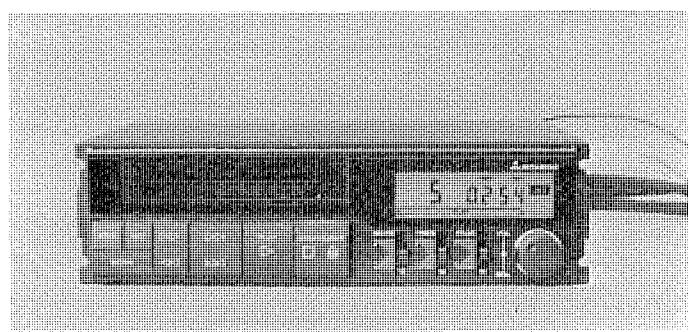


図 3. セットの外観

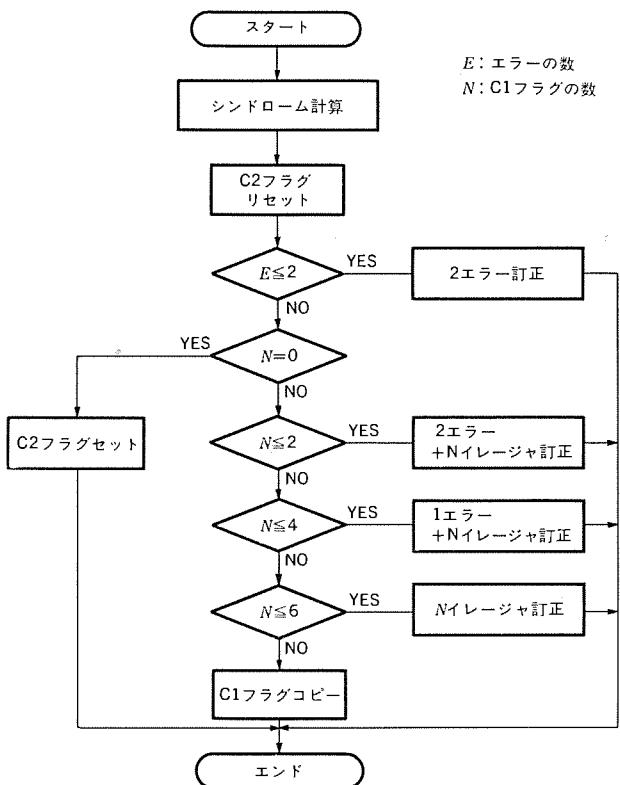


図 4. デコーディング アルゴリズム

図 5. にこのデコーディング アルゴリズムのランダム 誤り訂正能力、図 6. にバースト 誤り訂正能力を示す。通常、システムのシンボルエラーレートが

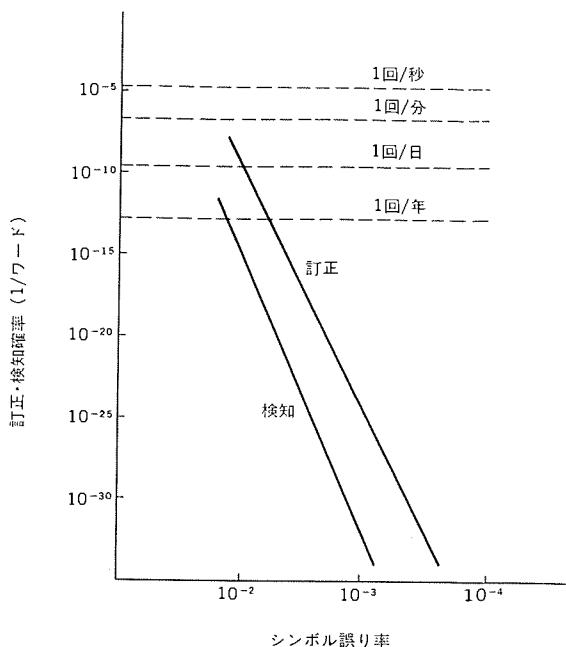


図 5. ランダムエラー 訂正能力

10^{-3} 以下であれば、実際の系がバースト混在であることを加味しても実用上問題は生じない。シンボルエラーレートとブロックエラーレートの比は 10 : 1 程度であることから、シンボルエラーレート 10^{-3} はブロックエラーレート 10^{-2} に相当する。

3.2 サーボ

トラッキング方式はエリア分割型 ATF が採用されている。この方式は、ヘッドが ATF 領域の信号を再生するとき、両隣接トラックから再生されたクロストーク成分の差が 0 となるように、トラッキング制御を行うものであり、トラック中央からのずれ量に応じた電圧を発生させてキャプスタンモータを駆動し、テープの送りスピードを制御している。また、記録されたパイロット信号でトラッキングを行うので、VTR のような固定ヘッドが不要となり、メカの小型化に有利である。ATF 領域は、トラックフォーマットからも明らかなように、2箇所に分離されているので、多少のトラック曲がりがあっても、良好なトラッキングが行える。図 7. にオフトラック対ブロック誤り率の特性図を示す。

3.3 高速選曲

R-DAT は、従来のテープシステムにない高速選曲が可能という特長

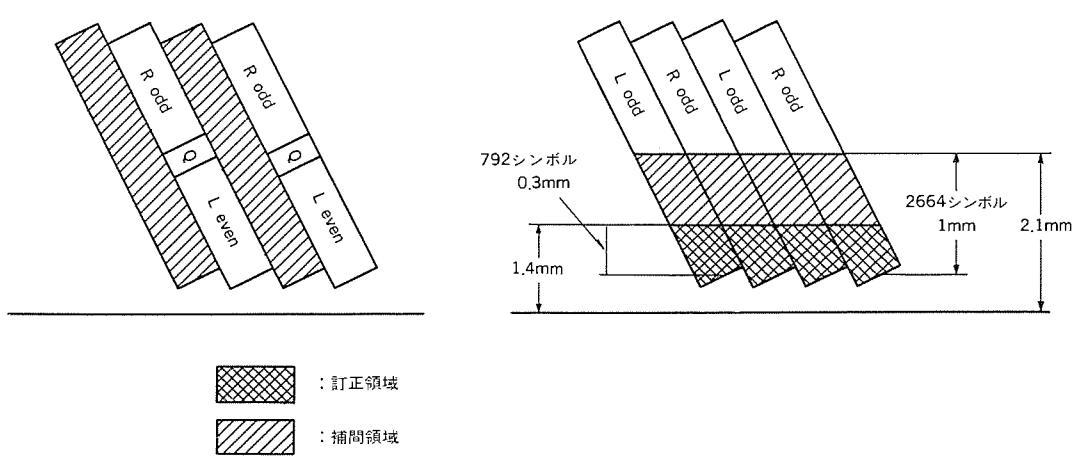


図 6. バーストエラー 補間・訂正能力

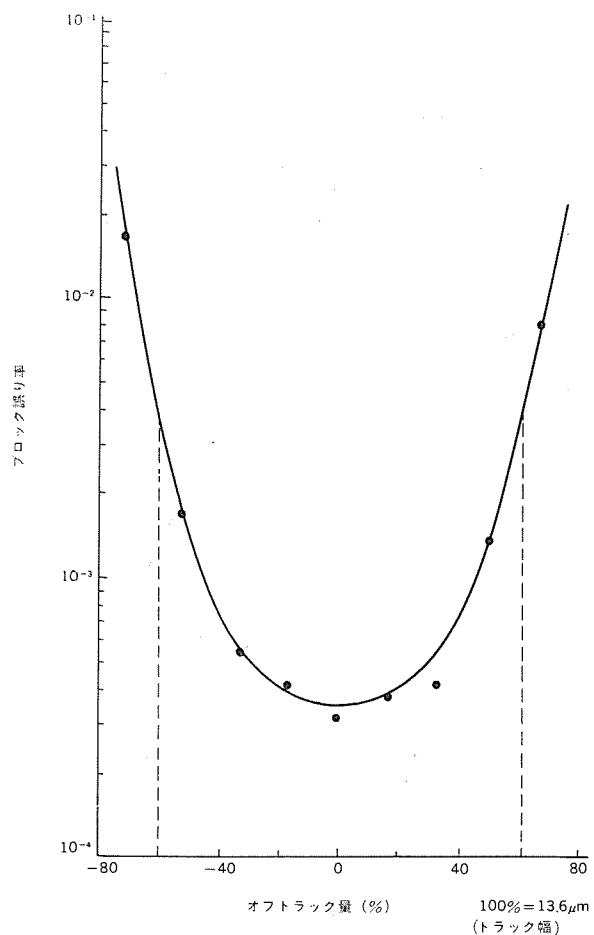


図 7. オフトラック対 ブロック 誤り率

を持っている。従来のコンパクトカセットのテープ速度が 47.6 mm/s であるのに対して、R-DAT では 8.15 mm/s と非常に低速であり、高速選曲に有利となっている。しかもこのシステムでは、ドラム径が 30 mmφ、テープとドラムの巻付け角が 90° と浅いために、テープをドラムに巻き付けた状態で高速に送ることができる。したがって、再生信号から曲番や時間などの選曲に必要な情報を読み取ることにより、高速選曲が可能となる。

選曲情報を再生信号から読み取るためには、ヘッドとテープの相対速度が一定となるように制御することが必要とされる。そこで、このシステムではテープ速度に合わせて、ドラムの回転制御を行い 200 倍速での高速選曲を達成している。高速選曲時のヘッド軌跡と再生信号を図 8 に、200 倍速時のエンベロープを図 9 に示す。

4. メカニズム

図 10. にデッキの外観写真を示す。セット全体の高さが 50 mm と制限されており、内部に回路部品などを実装することを考慮すると、車載用デッキは高さが 35 mm 以下であることが要求される。このため、テープ駆動系の各モータ（ドラム、キャプstan、リール）には、今回特別に開発された扁平型のブラシレスモータを採用した。また、回転ヘッド用デッキ特有のテープローディング機構には、リングギヤシステムを組み込んでデッキの薄型化を図っている。

5. テスト結果

今回、当社で開発した DAT のテスト結果を以下に示す。テスト項目は、車載用として特に重要と思われる振動・温湿度・取付姿勢・

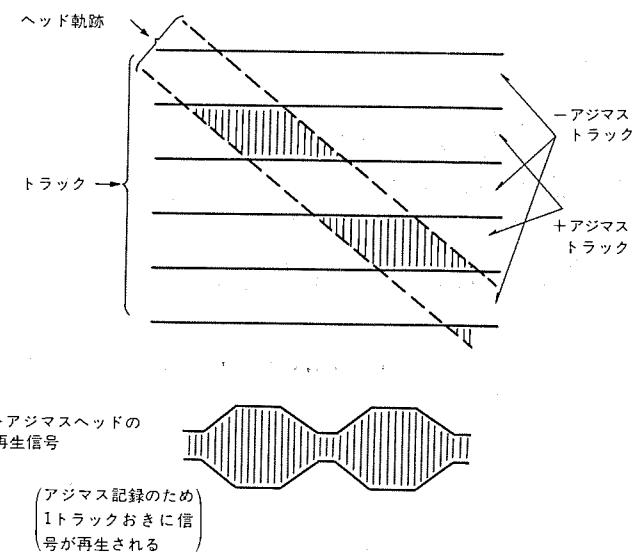


図 8. 高速選曲時のヘッド軌跡と再生信号

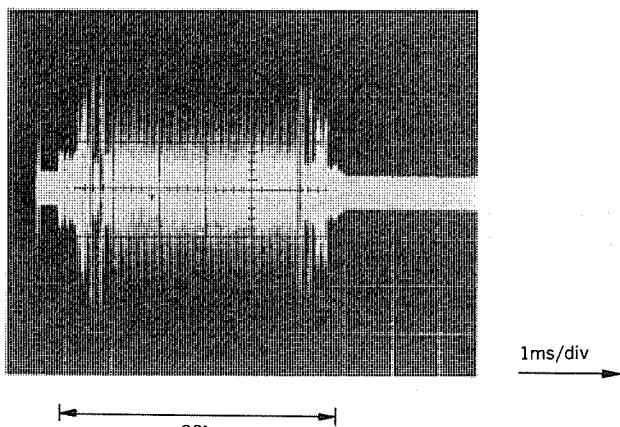


図 9. 200 倍速時のエンベロープ

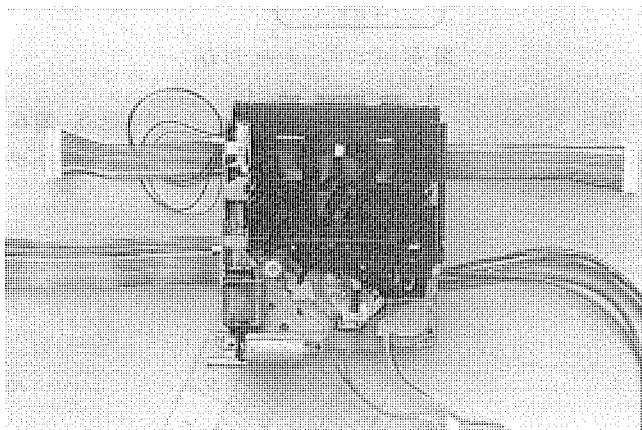


図 10. デッキの外観

結露を中心に行なった。

5. 1 振動試験

図 11. は振動試験機により、テープ走行方向に対して、左右方向、前後方向及び垂直方向に加振したときの加振周波数、対ブロックエラーレート（以下、B.E.R と記す）の関係を示す測定結果である。R-DAT の車載化に当たっては、耐振性が重要な測定項目の一つであ

るが、路面状態、搭載車の車種などにより振動の振幅、周波数が変化する。この実験では実車において問題となる 20~300 Hz の周波数範囲について、B.E.R を測定した。振幅については、実車で発生する通常の最大加速度を想定し、 $2.1 \text{ G}_{\text{O-P}}(1.5 \text{ Grms})$ とした。

測定結果としては、B.E.R はすべての範囲にわたって 1×10^{-2} 以下を示しており、間欠的な音切れや、補正音の発生などは全くなかった。また、特定の周波数において B.E.R のピークが発生するといった現象もなかった。振動に対しては、CD に比べ特に対策を施す必要はない。

5.2 温湿度試験

図 12. はメカ周辺の湿度及び温度を変化させたときの B.E.R を測定したもので、縦軸に B.E.R、横軸に湿度(%)をとり、温度をパラメータとして測定している(ただし、測定ではデッキ部と信号処理部の要因を分離するために、デッキ部だけを恒温槽に入れて行った)。

デジタル回路において、性能の重要な指標となる B.E.R の観点でみると、少なくとも今回測定した範囲(湿度 40~90%，温度 25~60°C)では、顕著な劣化はみられなかった。つまり、テープ、ヘッド間のインターフェース、テープ走行系、ドラム回転系などデッキ部において、信号劣化を引き起こさないシステムとなっていることがわかる。現行システムでは、既に述べたように、B.E.R が 10^{-2} 以下であれば、なんら支障のない訂正能力をもっており、これから判断しても、上記範囲ではまだ 2 倍程度の余裕があることがわかる。

5.3 取付角度試験

通常の車の場合、音響機器はコンソールに装着されるのが一般的で、装着される角度は車により差はあるが 45 deg 以下のものが多い。しかし、今後の機種展開から 60 deg ぐらいのものも出てくることが予想される。そこで、デッキを振動台に傾斜(30 deg, 45 deg, 60 deg)させて取り付け、垂直方向に加振したときの B.E.R を測定した。図 13.において、加振周波数をパラメータとして横軸に加速度(rms)，縦軸に B.E.R をとっている。測定の結果、加振することにより B.E.R は増加する傾向を示している。しかし、その値は 1.5 Grms において最高 2.5×10^{-3} 程度($\theta=45 \text{ deg}, 140 \text{ Hz}$)であり、既に述べたように 1.0×10^{-2} 以下であれば実用上問題ない。通常車載用としては、1 G(rms)をクリアしておけば実用範囲と考えられ、図 13. より 1.5Grms でも 1.0×10^{-2} 以下のエラーレートが得られるので、現行システムは実用上問題はないといえる。

5.4 結露試験

回転ヘッド式 DAT において、テープが巻き付き、かつ高速で回転する上ドラムに結露が生じた場合、そのままで運転させると上ドラム外

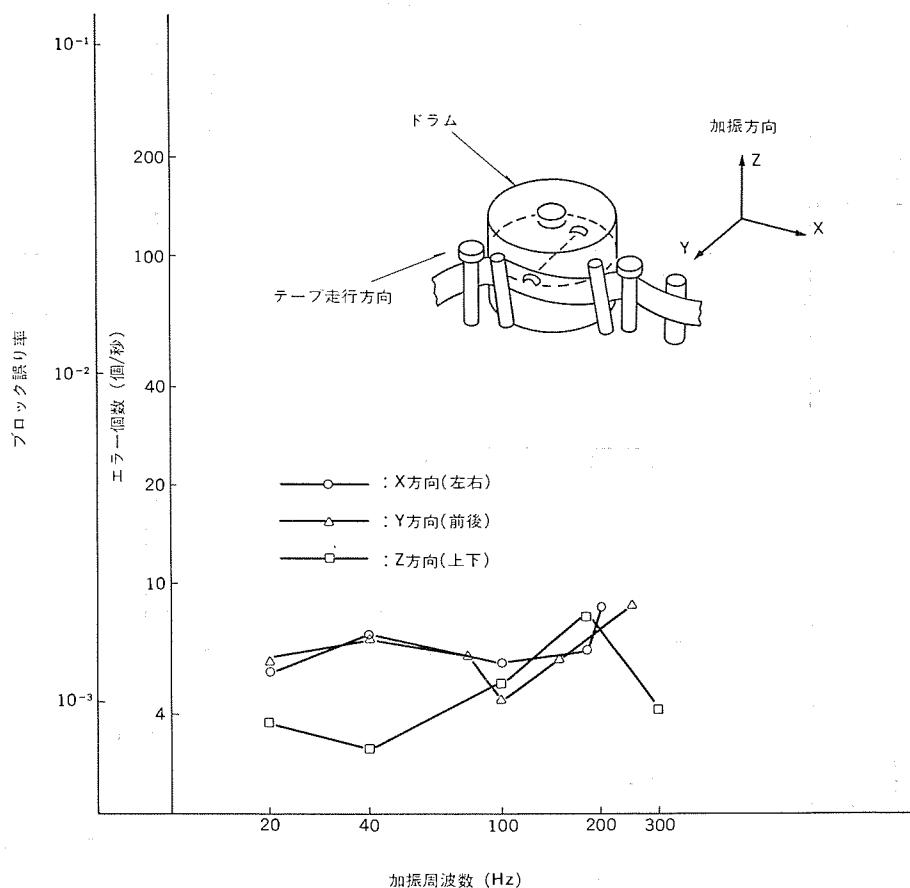


図 11. 加振時のブロック誤り率

周面にテープが張り付き、テープを傷めてしまうので乾燥させる必要がある。図 14. は温度 28°C、湿度 100% の霧囲気で、デッキ表面に結露させ、下シリンドラに装置したヒーターで加熱乾燥させたときのヒーター印加電圧と乾燥時間との関係を表したグラフである。

乾燥時間は、上ドラム外周面が乾燥するまでの時間とした。デッキは、裸の状態でヒーター電圧 10V では約 2 分、6 V でも約 5 分で上ドラム外周面から露は消滅した。そのときの湿度センサ(上ドラム上面に取付け)は 85~95% を示していた。また、デッキを意匠きょう

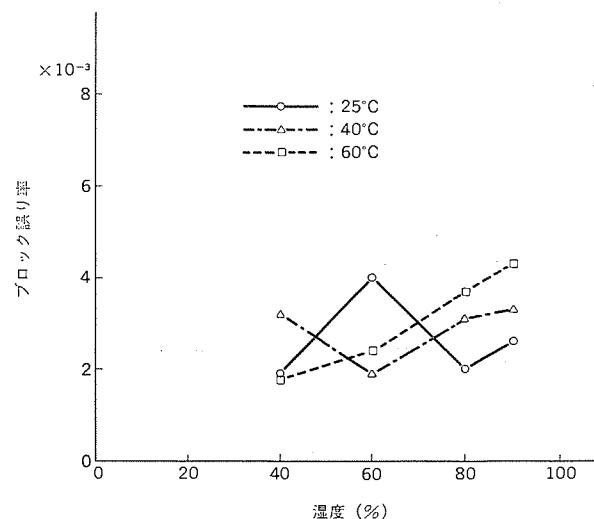


図 12. 温度・湿度によるエラーレートの変化 (A ヘッド)

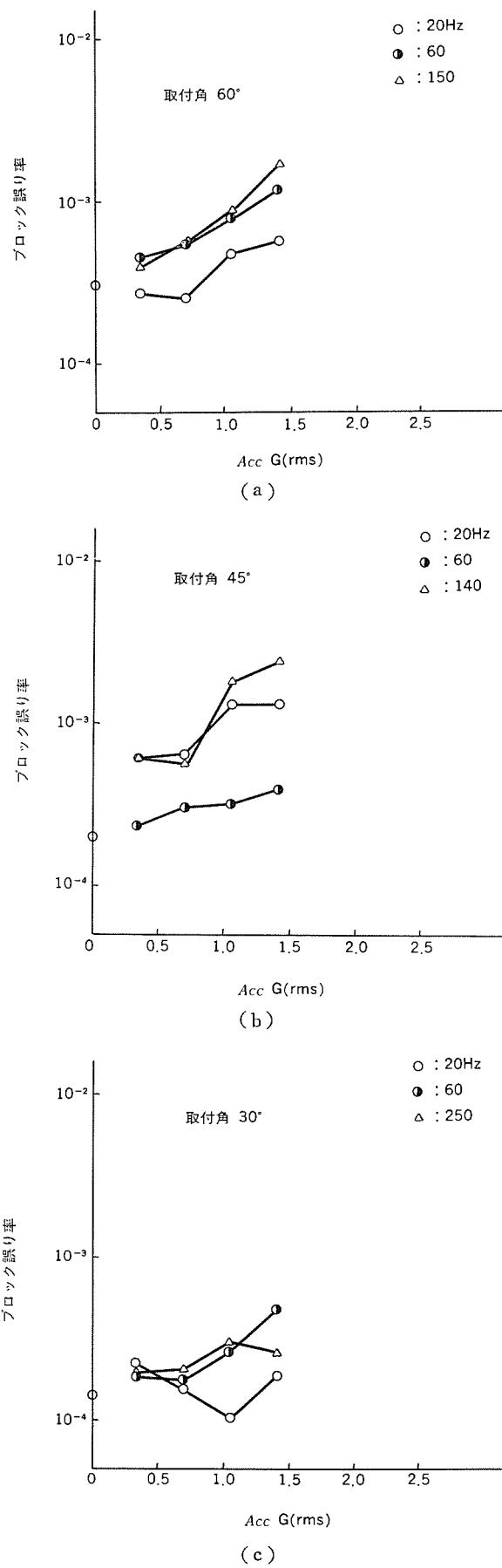


図 13. 取付角度試験

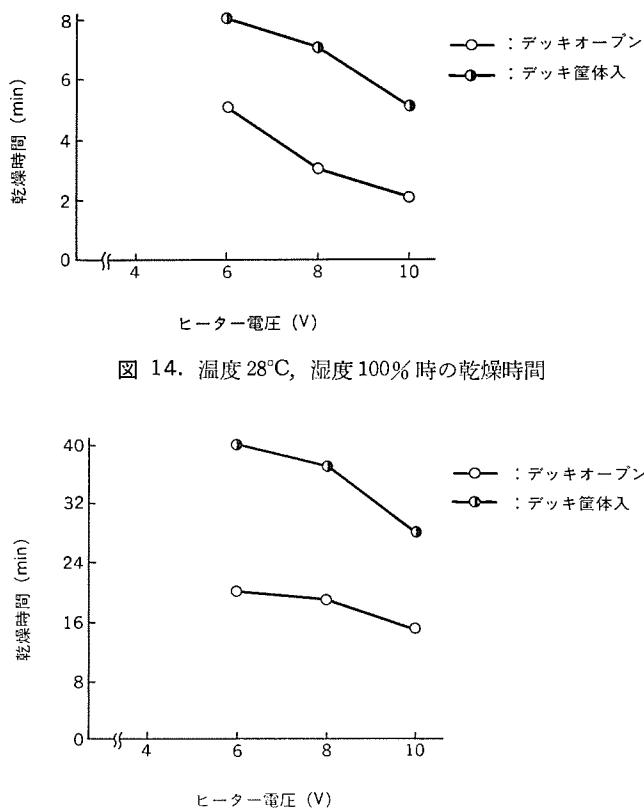


図 14. 溫度 28°C, 濕度 100% 時の乾燥時間

図 15. -15°C 冷却→+28°C, 濕度 90% 以上のときの乾燥時間

(筐)体に入れた状態でも、湿度センサはヒーターに通電を開始してから5分(10V時)~8分(6V時)で湿度80%以下を示した。

図15.はデッキをいったん-15°Cに冷却した後、温度+28°C、湿度90%以上の雰囲気中で前記ヒーターを用いて加熱し、上ドラム外周が乾燥するまでの時間を測定したグラフである。庫内温度-15°Cに設定した恒温槽から出したデッキ表面には、直ちに霜が付着した。その後、前記雰囲気(28°C, 90%以上)に放置すると、1分ほどで霜は溶けて水滴となった。このときにヒーターに通電を開始したところ乾燥するためには、デッキオープン状態でヒーター電圧10Vでは約15分、6Vで約20分を要した。更に、デッキを意匠筐体に入れた場合では、湿度センサが85%を示すまでに28~40分の時間を要した。今後、実車による試験を繰り返す必要がある。

6. む す び

以上、今回開発した車載用R-DATについて述べた。R-DATは性能の大幅な向上、カセットの小型化、機能や操作性の向上などの点で現行のコンパクトカセットプレーヤーより優れており、今後は、大容量のデータメモリのフォーマットの統一がなされれば、更に幅広い応用が期待される。

ロータリ式 スポットライ フレキシブルフリーザ

「品質」に対する関心が、食品業界では「チルド食品」などの言葉で代表されるように、また消費者の間では食品の鮮度をはじめとして、高まっています。この「品質」を維持するのに必要不可欠なのが、「冷凍・冷却」というプロセスです。このプロセスに用いられる「冷凍・冷却」装置として三菱電機では、これまでベルトフリーザの「連続性」とコンタクトフリーザの「速冷性」を両立させた、連続接触式冷却（凍結）装置「フレキシブルフリーザ」を販売してきました。このたび従来のコンベア式フレキシブルフリーザに加え、いっそうコンパクトで少量・多品量の冷却処理に最適な「ロータリ式フレキシブルフリーザ」を姉妹機種として開発しました。

特長

●急速冷却

フレキシブルフリーザは、フレキシブルシート及び金属板を介して、ブラインと食品を接触冷却させているため、従来の空気冷却方式に比べて数倍もの冷却力を発揮します。また凍結食品の品質を支配する「最大氷結晶生成帯」の通過スピードが非常に速いことが特長です。

●冷却性能

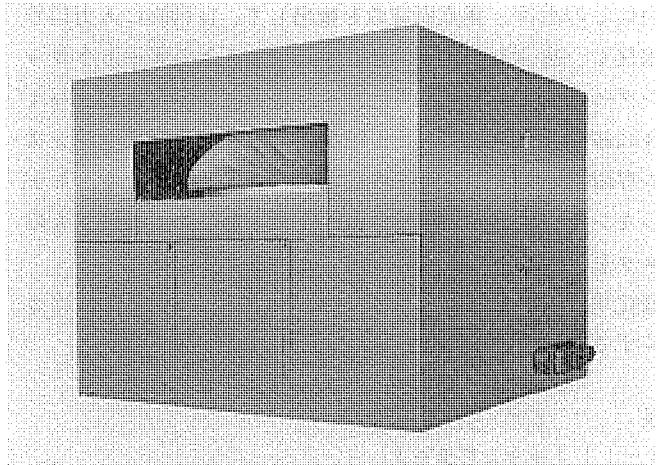
冷風冷却とちがい接触冷却のため、食品の乾燥がありません。またベルトフリーザの場合は品物上面が冷風冷却であるため、品物上面・下面の冷却効果の著しい不均一があり、コンタクトフリーザもパン底の平面不良による品物下面の冷却効果の劣化がありますが、フレキシブルフリーザは、上下をほぼ均等に冷却します。

●省スペース

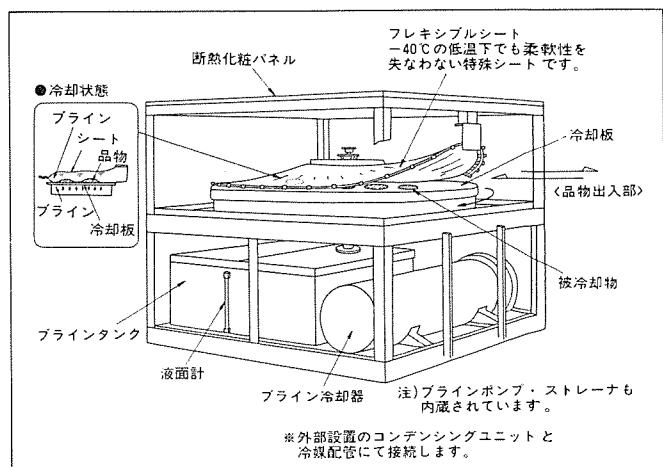
円形の冷却板が回転するので、品物の出し入れを1カ所からできます。場所をとらないコンパクト設計です。

●省工事

ブライン系統に必要な機器がすべて内蔵されていますので、現地工事は熱源機（コンデンシングユニット）との冷媒配管工事のみとなり、工事費が節約されます。



ロータリ式フレキシブルフリーザー内部構造図



仕様

外 形 尺 法(mm)	2100L×2100W×1800H
冷 却 面 高 さ	1200mm
製 品 重 量	2200kg
運 転 重 量	2700kg
冷 却 品 許 容 厚 さ	70mm
有 効 冷 却 面 積	1.41m ²
冷 却 能 力(チルド) ^(注1)	1100kg/h
冷 凍 機 ^(注2)	15kW

注1) 冷却能力は、プロイラー2kgパック（250L×200W×40t）を冷却時間2分で処理する場合の能力です。

注2) 冷凍機は、上記プロイラー2kgパック－2分冷却の場合の圧縮機の称呼出力を示しています。

参考

姉妹機種のコンベア式フレキシブルフリーザでのプロイラーチルド処理能力（上記注1参照）は下表の通りです。

	FF-0806	FF-1209	FF-1212	FF-1512
有 効 冷 却 面 積	2.59m ²	7.15m ²	9.9m ²	12.6m ²
冷 却 能 力(チルド)	2400kg/h	7200kg/h	10000kg/h	14000kg/h
冷 凍 機(kW)	37	74	120	180

オートトラッキング スポットライ カラーディスプレイモニタ

入力信号の水平／垂直周波数を検出して、自動的に入力信号に追従し、適正な画像表示を行うことのできるオートトラッキングモニタです。パソコン用コンピュータやCADターミナルに接続されるモニタとして、これまでにはそれぞれのシステム専用のモニタを使用する必要がありました。オートトラッキングモニタを使用すれば、オフィスにある何種類ものモニタを、1機種の標準化することもできます。

多様化する情報機器のマンマシンインタフェースを幅広くカバーする新シリーズです。

特長

①オートトラッキングモニタ

入力信号の水平／垂直周波数及び各種のモード信号を検出し、内蔵しているマイクロコンピュータなどの電子回路により、入力信号に合わせて動作させるために通常必要となる内部調整器の調整などを自動的に行うモニタです。このため、どの様なシステムと接続しても、特に再調整することなく正しい画面表示が得られます。

②ラインナップ

パソコン用コンピュータ対応として14インチのFA3405、CADなどの超高解像度表示の要求される分野へ20インチのHJ6905/FJ9905の計3機種で、ローエンドからハイエンドまで水平走査周波数15.75kHz～90kHzのニーズに対応します。

③FA3405

ほとんどのパソコン用コンピュータと接続することができます。IBM社のCGA、EGA、PGA及びPERSONAL SYSTEM2²ともフルコンパチブルです。

アナログ/TTLのどちらの入力信号も接続できます。TTL入力の場合はグリーンもしくはアンバー1色で表示を行う、テキストモードが選択できます。

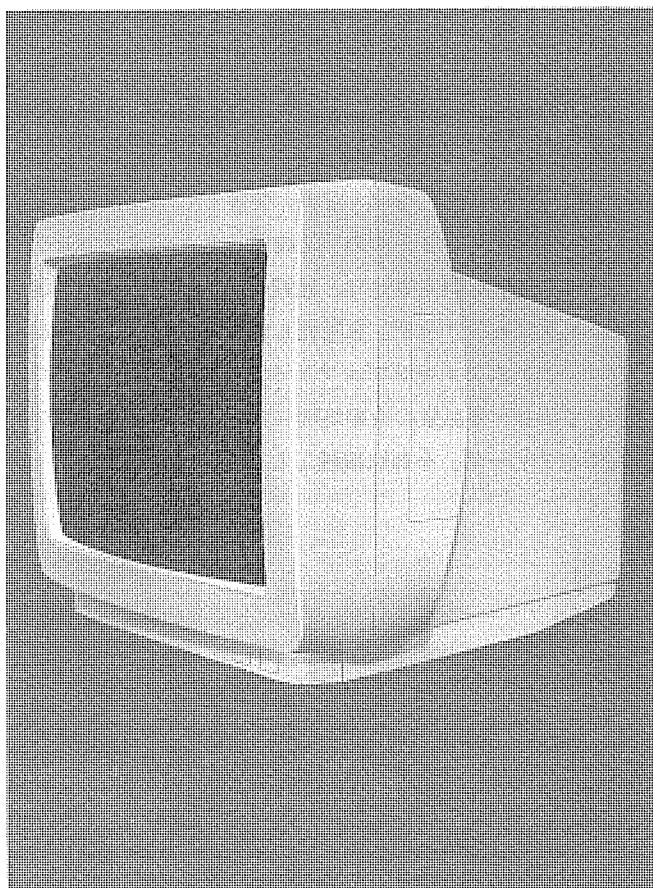
14インチ、0.28mmドットピッチの新CRTにより、鮮明で、高密度な画像表示が行えます。※はIBM社の登録商標です。

④HJ6905/FJ9905

CADターミナルやエンジニアリングワークステーションなど、超高解像度画像を要求されるシステムに最適なモニタです。CRTには新開発のDBF電子銃を搭載しており、画面全体で均一かつシャープなフォーカス特性を実現しています。画面幅、高さ及び画面位置など、微調整が必要な調整器は、キャビネットサイドの開口部に配置されており、画面を見ながら容易に調整することができます。

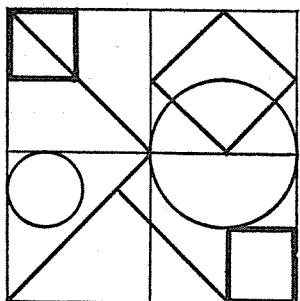
⑤キャビネット

新デザインのプラスチックキャビネットが標準装備されます。HJ6905/FJ9905については、キャビネット無しのモジュールとしても供給できます。



仕様

形 名	FJ9905	HJ6905	FA3405
サ イ ブ・ド ド ピ チ C R T 電 子 銃 表 面 处 理	20(19V)インチ 0.26mm DBF クリア A/Rパネル付	20(19V)インチ 0.31mm DBF クリア A/Rパネル付	14(13V)インチ 0.28mm XF ティント・DMコート
表 示 方 式 表 示 尺 法	ノンインターレース 350mm×270mm	ノンインターレース 350mm×270mm	ノンインターレース 240mm×180mm
ビデオアンプ方式 周 波 数 特 性	アナログ 150MHz	アナログ 120MHz	アナログ/TTL 30MHz
水 平 走 査 周 波 数 範 囲 垂 直 走 査 周 波 数 範 囲	60k～90kHz 50～80Hz	40k～70kHz 50～80Hz	15.7k～35.5kHz 50～80Hz
オ ベ レ ー タ コ ン ト ロ ー ル	電源スイッチ, デガウススイッチ コントラスト、ライト	同 左	電源スイッチ コントラスト、ライト
オ ベ レ ー タ サ プ コ ン ト ロ ー ル	画面幅、水平位置 画面高さ、垂直位置		画面幅、水平位置 画面高さ、垂直位置
入 力 電 壓 消 費 電 力	90～135V/180～265Vタップ切換 160W	90～135V/180～265Vタップ切換 140W	90～135V 90W



特許と新案 有償開放

有償開放についてのお問合せ先 三菱電機株式会社 特許部 TEL (03) 218-2136

カセット式テープレコーダー (特許 第1141249号)

発明者 日下俊一

この発明は、カセット式テープレコーダーにおけるカセット昇降装置に関するもので、カセット押上げ板に蓄積させたバネエネルギーを利用することにより、カセットを自動的に、しかも確実に排出できるようにしたものである。

図1.ないし図3.に示すように、テープ巻取終了等によりテープ回転が停止し、プランジャー(29)への給電が停止すると、作動棒(29a)は自縛バネ(30)の弾力によって押され、ロック板(27)が回動してコロ(26)との係合が外れる。そのため、カセット押上げ板(24)は引張バネ(25)に蓄積されたバネエネルギーの開放により左方に突進し、斜面形状部(24a)でローラ(4)をカセット排出板(8)の切欠き(8a)の開口部まで押し上げる。これに伴って作動板(3)及びカセット保持枠(6)が押し上げられ、排出板(8)はバネ(10)に引張られて回動し、その先端でカセット(11)を押し、保持枠(6)から排出させる。このため、カセット挿入時には、バネ等による抵抗がなく、きわめて軽い力でカセットを挿入することができ、またカセットの排出は自動的に行われ、かつ蓄積されたバネエネルギーによりカセットは確実に排出される。

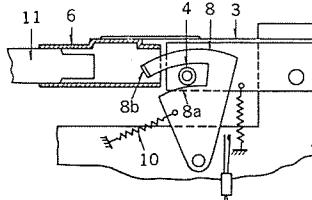


図1. カセット挿入前の状態を示す
カセット保持部付近の側断面図

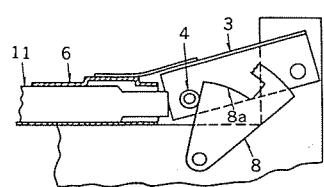


図2. カセット挿入後の状態を示す
カセット保持部付近の側断面図

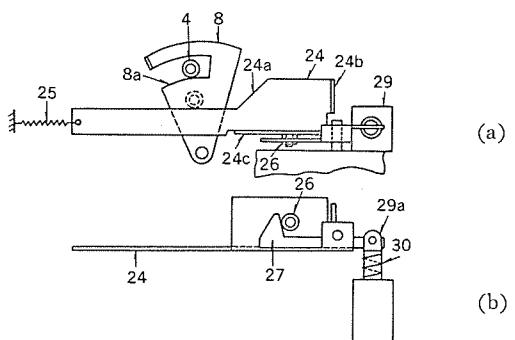


図3. カセット自動排出機構を示す
側面図(a)及び平面図(b)

周波数-電流変換回路 (特許 第1208514号)

発明者 伊藤久嗣

この発明は、入力信号の繰返し周波数に比例した電流を出力する周波数-電流変換回路に関し、従来のチャージポンプ型周波数-電圧変換回路にトランジスタと抵抗とを追加することにより、高精度の変換回路を構成するものである。

図1.は本発明の実施例を示し、入力信号源(1)から図2.に示す振幅 E_0 、周期 T (周波数 f)の信号がコンデンサ(2)に与えられる。ここで、図1.に示す回路はチャージポンプ回路として動作し、入力信号の立ち上り時にコンデンサ(2)に蓄えられた電荷が、入力信号の立ち下りでコンデンサ(5)に移されて蓄えられる。一方、コンデンサ(5)に蓄えられた電荷は、抵抗(8)を介して演算増幅器(6)の(-)端子に流れ込む電流 I_E によって失われる。平衡状態では、コンデンサ(5)にコンデンサ(2)から移される電荷と、電流 I_E によって失われる電荷とは等しいことから、 $C_1E_0=I_E T$ が成立する。したがって、コレクタ電流 I_C は、 $I_C \cong I_E = C_1E_0/T = C_1E_0f$ となり、出力端子(70)に得られる電流 I_C は入力信号の周波数に比例することになる。出力端子(70)に負荷が接続されている場合にも、ベース接地回路をなすトランジスタ(7)及び負帰還作用をする演算増幅器(6)のために、出力インピーダン

スは極めて大きくなり、したがって負荷のインピーダンスにほとんど無関係に、 $I_C = C_1E_0f$ なる電流出力が得られることになる。

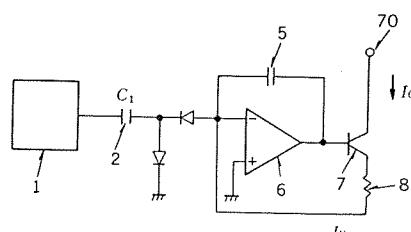


図1.

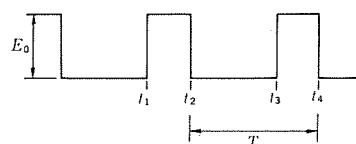


図2.

特許と新案 有償開放

有償開放についてのお問合せ先 三菱電機株式会社 特許部 TEL (03) 218-2136

棒状表示装置 (実用新案登録 第1533597号)

考案者 石井光明

この考案は、自動車の速度計や燃料残量計等に利用できる棒状表示装置に関するもので、夜間は棒状表示素子全体を低輝度で発光させるとともに、燃料残量等の測定値を示す発光素子を高輝度で発光させることにより、視認性に優れた表示装置が構成できる。

図1. は、本考案を燃料残量計に適用した場合の回路図で、燃料残量検出器(1)の出力は駆動回路(2)に与えられ、この回路(2)は発光ダイオード(41)～(4n)のうち、入力電圧に対応した発光ダイオードが点灯するよう昼夜間を問わず、その発光ダイオードに電流を供給する。一方、夜間には燃料残量に対応して点灯した発光ダイオードが、図2. に示すような表示部のどの位置の発光ダイオードかを容易に視認できるよう、表示部全体を発光させるための低輝度用駆動回路(6)を設けた。この低輝度用駆動回路(6)は、夜間に操作される前照灯のライティングスイッチの信号を入力端子(5)から受けることによって、全ての発光ダイオード(41)～(4n)に同じ値の電流を供給するよう動作する。ここで、この供給電流値は、駆動回路(2)によって供給される電流値よりも小さく設定されている。

このようにすることにより、高輝度で点灯する発光ダイオードの位置が、低輝度で点灯する他の発光ダイオードとの位置関係で判別できるので、目盛を照明するための特別な光源を必要とせずに、容易に燃料残量を知ることができる。

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 61 No. 9 通信用半導体特集

特集論文

- 通信用半導体特集に寄せて
- 通信用半導体の現状と今後の動向
- 通信用半導体光デバイス
- 長距離光通信用単一モード半導体レーザ
- 光送受信器用 IC
- 衛星通信符号化モジュール用 LSI
- 移動通信用 GaAs デバイス
- GMSK 周波数検波復調用 LSI

- 電子化電話機の専用 IC
- Cバス制御用 LSI
- 誤り訂正用 LSI
- 普通論文
- 紫外線予備電離方式エキシマレーザ
- 雷観測レーダーシステム
- 液晶ポケット TV 用小型低消費電力信号処理 IC
- CVD 反応機構の数値シミュレーション
- 高速 1M ビット CMOS EPROM
- テレビ会議室の室内設計

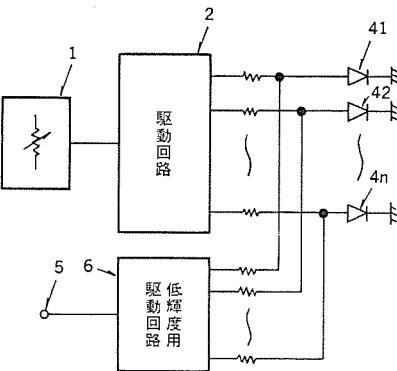


図1.

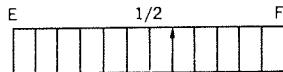


図2.

三菱電機技報編集委員会

委員長 鶴田敬二
委員 垣松雅登
〃 松村充
〃 梅田義明
〃 高橋宏次
〃 藤井学
〃 郷鉄夫
〃 高橋誠一
〃 関沢英男
〃 柳下和夫
幹事 長崎忠一
8月号特集担当 小野博
壱井芳昭

三菱電機技報 61巻8号

(無断転載を禁ず)

昭和62年8月22日 印刷

昭和62年8月25日 発行

編集兼発行人 長崎忠一
印刷所 東京都新宿区榎町7
大日本印刷株式会社
発行所 東京都港区新橋六丁目4番9号 (〒105)
菱電エンジニアリング株式会社内
「三菱電機技報」 Tel. (03) 437局2338
発売元 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 (〒101)
株式会社 オーム社
Tel. (03) 233局0641(代), 振替口座東京6-20018
定価 1部700円送料別 (年間予約は送料共9,100円)

ユニットシーケンサ

スポットライ《MACTUS320》

最近の上下水道プラントにおいてはコストパフォーマンスに優れ、かつ維持管理の容易な設備が望まれています。これらの背景には、計画時からの段階的拡張が行われるため、それに対応する電気設備の出現が望まれていたことがあげられます。この《MACTUS320》は、これらの要求を満足すべく、分散処理の究極である機械一負荷単位制御を可能とするシケンサとして制御製作所・丸亀製作所の共同で開発されました。また三菱計装制御システムMACTUSシリーズとの有機的な接続が可能となっています。

特長

● 機械一負荷単位の制御

従来の数個から十数個のリレーによる機側単独ロジックを一つのシーケンサにまとめ、リレーレス化をはかりました。

● 経済的に保守増設に対応可能

伝送バスの採用により信号ケーブルの削減が可能となり、工事費の低減と工期の短縮がはかれます。また、増設改造時もロジックの変更はプログラマブルに行う事ができます。

- 上位システムとのリンクが容易

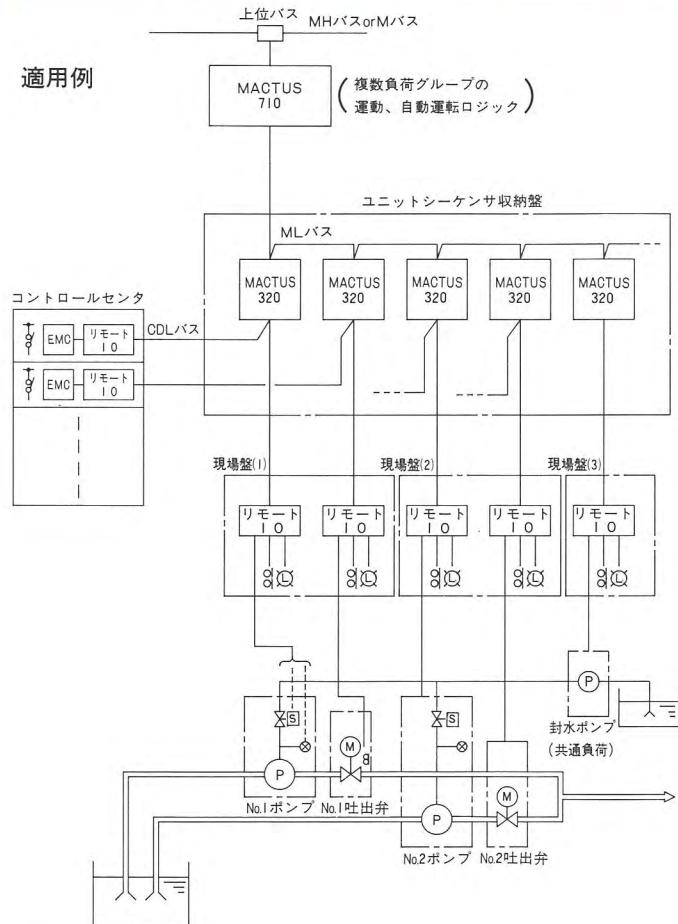
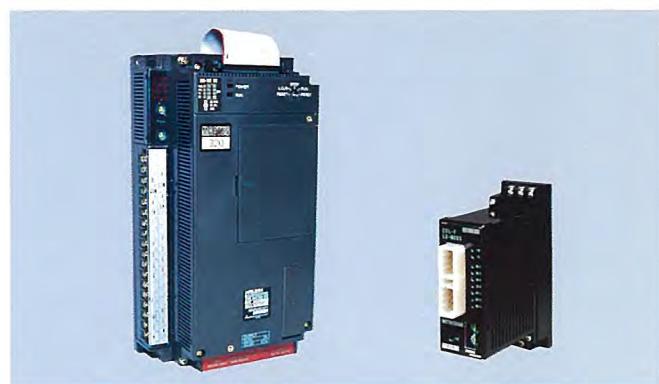
MACTUSの上位機種との接続を可能とする伝送バスを標準装備しているので、分散制御、集中監視システムが容易に実現できます。

● コントロールセンタとの調和

コントロールセンタをはじめとした現場機器との信号の授受が
伝送バスにより構築でき、さらに電子保護装置(EMC形マルチ
コントローラ)とも接続が可能です。

●信頼性の向上

各種自己診断機能・回線診断機能を有しているとともに低電力化により、さらに信頼性が向上しています。



仕様

電 源	AC100~120V 単相50/60Hz±2Hz 約15VA
上位インターフェース (MLバス)	速度：200KBPS 結線：ツイストペア1P 距離：max200m
下位インターフェース(CDLバス)	速度：9600BPS 結線：ツイストペア3P 距離：2km(10局接続時) ^(注) 局数：max48局
制 御 方 式	ストアードプログラム繰返し演算
シーケンスプログラム容量	標準200ステップ ^(リレー個数換算約40ヶ程度)
耐 電 壓	AC外部端子一括—ケース間 AC1500V1分間
絶 縁 抵 抗	AC外部端子一括—ケース間 DC500V絶縁抵抗計にて5MΩ以上
接 地	第3種接地
使 用 雰 囲 気	腐食性ガスがなく、じんあいがひどくないこと
使 用 周 囲 温 度	0~55°C(ユニット単体周囲温度)
使 用 周 围 湿 度	10~90%RH 結露なきこと

注) 距離は局数により変化します。

形名	用途	入力		出力		電源	備考
		点数	仕様	点数	仕様		
1	LS33G	3	片側コモン非絶縁 DC12V5mA	3	片側コモン非絶縁 リレー接点出力	AC100/110V 50/60Hz	
2	LS44G LS44GS	現場盤 制御盤	4	AC100V7mA	4	AC200V1A DC24V1A	DC12V 約200mA
3	LS08G LS08GS	現場盤 制御盤	0	—	8	AC200V1A DC24V1A	DC12V 約200mA
4	LS80G LS80GS	現場盤 制御盤	8	AC100V7mA	0	—	DC12V 約200mA
5	LSMCG LSMCGS	現場盤 制御盤	4	AC100V7mA	1 3	0~1mA(5bit) リレー無電圧a接	DC12V 約200mA
6	CDLPWG CDLPWGS	現場盤 制御盤		入力AC100/110V 出力DC12V	50/60Hz	—	LS2台 に1ヶ
7	US	EMCコントローラ	—	—	—	—	

注) 溫度 | タイプG 0~55°C | 溫度 | 10~90%RH | 電圧 | AC1500V 1分間

タイプGS -

ギヤードモータル

スポットライ《GM-Jシリーズ》



GM-JS形 60W 減速比 1/30

このたび三菱電機では、FA用各種機械の駆動用として、最近ニーズが高まっている、小容量のギヤードモータル《GM-Jシリーズ》を製品化しました。

最近のFA分野で強く要求されている低騒音、高トルクを実現した40~90Wのギヤードモータルです。

特長

●高トルク、高強度

剛性の高いケーシング構造と、高硬度歯車の採用により、最大許容トルク210kgf・cmを実現しました。

●低騒音

モータルとギヤヘッド一体化高剛性構造と、高精度歯車の採用により、60Wクラスで48dB(A)と低騒音を実現しました。

●ワイドバリエーション

減速比は、1/3~1/2400まで30種類あり、またブレーキ付も同時にシリーズ化をはかり、品揃えが豊富です。

●斬新なデザイン

様々な装着環境へのマッチングを考慮した新しい形態と色彩(グレー)を採用しました。

●ハイクオリティ

バーコードによる試験の自動化をはかり、品質の徹底追求を行なっています。

機種構成

形名	モータル種別	出力	電圧・周波数	減速比	機種数
GM-J	三相インダクション	40W	200/200/220V 50/60/60Hz	1/3~1/2400	88
		60W		1/3~1/1800	
		90W			
GM-JB	三相インダクション ブレーキ内蔵形	40W	200/200/220V 50/60/60Hz	1/3~1/2400	88
		60W		1/3~1/1800	
		90W			
GM-JS	単相インダクション	40W	100/100V 50/60Hz	1/3~1/2400	88
		60W		1/3~1/1800	
		90W			
GM-JR	単相リバーシブル	40W	100/100V	1/3~1/2400	60
		60W	50/60Hz		
GM-JRB	単相リバーシブル ブレーキ内蔵形	40W	100/100V	1/3~1/2400	60
		60W	50/60Hz		

レンジフードファン スポットライ 自動運転シリーズ



マイコン制御自動運転タイプ（台所用）

家庭料理では焼物料理（強火）から、長時間の煮物料理（トロ火）まで、幅広く火力が使い分けられています。同様に換気扇の風量も、換気不足や炎の立ち消えを防ぐため、きめ細かく調節する必要があります。しかし実際は、調理中手がふさがっていたり、面倒だったりで、きめ細かな操作はできません。この《マイコン制御自動運転タイプ》は、調理中に発生する煙、熱気、湯気などをマイコンが温度変化に基づいて検知し、レンジフードファンの運転を自動的にコントロールします。調理後も温度差に応じて運転し、残った臭いを追放します。

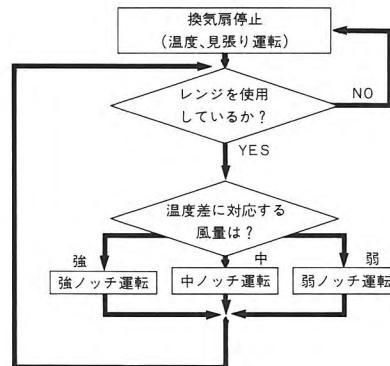
特長

- 温度センサが調理開始による温度変化を感知すると、マイコンが温度変化に応じた適正風量（強、中、弱、停止）を判断して運転し、スイッチ操作の手間を除きます。
- 焼魚料理など油煙、臭いの発生が多い調理時には、風量が早めに強ノッチ側に切替わる、煙レベル選択（多い時）ができます。
- 調理後一定時間運転する時には、タイマー運転ができます。（手動運転時）
- 清掃性、操作性に優れた、フラットスイッチ（タッチ式）を採用しています。各スイッチを押すごとに、アラームが鳴り、運転状態を表示します。
- レンジフードファンの吸込温度が、60°Cを越えるとアラームが継続して鳴り、注意を喚起します。
- マスキングワックス塗布済の、パンチングメタル製フィルタと金属製特殊フィルタにより、本体内の汚れを少なくおさえ、フィルタの汚れも簡単に洗い流せます。
- 照明ランプ（口径17mm、ミニ球）を同梱しています。

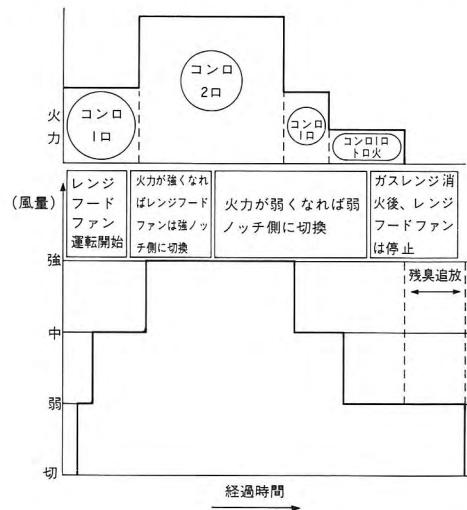
仕様

形名	ノッチ	消費電力(W)		風量(m³/時)		騒音(ホン)		重量(kg)
		50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	
V-605RA	強	128	140	820	770	47.5	45	17
	中	82	79	420	365	32	30	
	弱	72	67	330	290	27	25	

自動運転パターン



料理中のコンロの使用状況とレンジフードファンの運転例



仕様

形名	強弱	消費電力(W)		風量(m³/時)		騒音(ホン)		重量(kg)
		50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	
V-316RA	強	80.5	101	744	744	53	53	12.5
	中	60	67	540	450	46	43	
	弱	41	41	330	270	37	34	