昭和37年9月15日第三種郵便物認可　三菱電機技報　58巻3号(通巻634号)昭和59年3月25日発行(毎月1回25日発行)　ISSN 0369-2302／CODEN:MTDNAF

MITSUBISHI DENKI GIHO
三菱電機技報

Vol.58 No.3

3
1984

未来を開発する
三菱電機

三菱電機技報 Vol. 58 No. 3 1984

目　次

普通論文

マイクロコンピュータの車両用制御装置への応用…… 1
居蔵和徳・四方　進・中本紀明・上西　明

トランジスタインバータ式小容量無停電電源装置及び…… 7
マイコンモニタリング装置
守川哲郎・中村　透・東野重紀・斉藤久昭・古野　徹

大阪府納め広域水防情報システム…… 12
吉崎　守・内藤明彦

多品種少量生産における表面処理作業の自動化設備…… 16
中島与元・大峡秀一・河野邦正・松田淑男・石添良一

帯広中島処理場納めオゾンを用いたし尿三次処理装置…… 21
久川義隆・本多敏一・伊藤哲司・山本昭規

人工衛星の磁気軸受支持フライホイール…… 26
村上　力・中島　厚・秋下貞夫・井上正夫・薮内賀義

ストリップ線路ハイブリッド結合形移相器…… 31
松永　誠・浅尾英喜・武田文雄・村上宗雄

三菱標準図形処理システムII…… 36
沢井善彦・山本正勝・吉田幸二・田中武夫

1,500ゲートECLゲートアレー…… 40
立木　真・加藤周一・岡辺雅臣・桜井弘美・大崎三郎

ビルディングブロック方式による16ビットCPU用LSIの設計…… 44
徳田　健・是松次郎・佐藤興二・村井真一・竹内　哲

ガス給湯用高負荷バーナ…… 49
椙本照男・蜂谷正憲・角　庄司

特許と新案…… 57, 58
車両用空気調和装置
無電解銀めっき液
放電加工用加工液フィルタのエレメント清掃装置

スポットライト

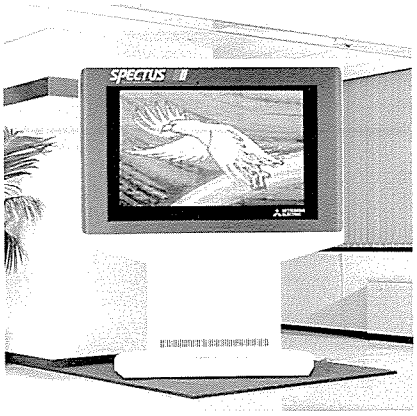
三菱新系列小形直流機SSシリーズ…… 54
地熱堀削リグ電源用三菱ディーゼル発電装置…… 55
新半密閉形冷媒圧縮機CZシリーズ…… 56
電磁調理器〝クリーンレンジ〟CS－135形…… (表3)

表紙

大画面フルカラー液晶ディスプレイ《スペクタス》

《スペクタス》は表示素子に液晶を用いた大画面フルカラーディスプレイで，当社が世界に先駆けて開発したものである。《スペクタス》には一般のテレビと同様のビデオ画像のほか，コンピュータ出力による各種グラフィックパターン，文字などを表示することができ，広告宣伝，各種案内表示，イベント開催時の効果的な演出，あるいは各種情報監視など多方面で広範な用途が考えられる。

画面サイズは，1.3m²程度の比較的小形のものから10m²を超える大形のものまで各種可能である。また設置形態も写真のような据置形のほか，壁掛け形，天吊り形を用意している。



アブストラクト

マイクロコンピュータの車両用制御装置への応用

居蔵和徳・四方　進・中本紀明・上西　明

三菱電機技報 Vol.58·No.3·P1～6

パワーエレクトロニクス技術とマイクロエレクトロニクス技術との急速な進歩により，車両用制御装置においても，マイクロコンピュータの応用が技術的にも経済的にも可能となってきた。当社では，マイクロコンピュータの応用研究に早くから取り組み，着実に成果を挙げているが，この論文では4象限チョッパ・VVVFインバータを例にマイクロコンピュータの車両用制御装置への応用の背景と現状について述べる。

トランジスタインバータ式小容量無停電電源装置及びマイコンモニタリング装置

守川哲郎・中村　透・東野重紀・斉藤久昭・古野　徹

三菱電機技報 Vol.58·No.3·P7～11

トランジスタと高周波変調技術の採用によりインバータ部の簡素化を行い，カスタムLSI採用の制御回路・裏面保守不要などの特長をもつ，小形・高効率・高信頼性を実現した小容量無停電電源装置《MELUPS－mini》を1～50kVAの範囲で標準系列化し，またプラズマディスプレイ・プリンタを装備し，日報作成・状態変化記録・故障前後の波形再成などの機能をもつ16ビットマイコン応用の電源システムのモニタリング装置を開発・製品化した。

大阪府納め広域水防情報システム

吉崎　守・内藤明彦

三菱電機技報 Vol.58·No.3·P12～15

大阪府では，府下一円に約170局のテレメータ観測局を設置して，雨量・水位・潮位などのデータを収集するディジタル無線テレメータシステムを導入し，迅速かつ的確な水防活動を行う計画であり，現在その一部が運用状態となっている。このシステムは，大阪府庁に設置された統制局にて府下一円のデータを把握することのできる，広域水防情報システムである。

多品種少量生産における表面処理作業の自動化設備

中島与元・大峡秀一・河野邦正・松田淑男・石添良一

三菱電機技報 Vol.58·No.3·P16～20

めっき作業を自動化するに際して，単に各ラインを自動化するだけでなく複数のラインを有機的に結び付け，めっき工場としての自動化を図るため集中管理用にパソコン《MULTI 16》を，各ライン用にマイコンを階層化して使用した設備を完成した。また多品種少量生産に対応するためにデータ入力を磁気カード化するなどのアイデアも取り入れている。

本稿では，この設備の考え方，構成，制御系の概略について紹介する。

帯広中島処理場納めオゾンを用いたし尿三次処理装置

久川義隆・本多敏一・伊藤哲司・山本昭規

三菱電機技報 Vol.58·No.3·P21～25

オゾナイザは，し尿処理場で色度・CODの低減を目的として利用され，新設処理場での採用率は70%に達している。今回，帯広中島処理場に，COD・BOD・色度の低減を目的として新しい処理システムを納入した。このシステムは，「砂ろ過処理＋オゾン酸化処理＋凝集浮上処理」からなっており，SS性・コロイド性のCOD・BODを効率良く除去し，オゾン処理の改善を図ったことにより，実運転で顕著な処理効果が得られた。

人工衛星の磁気軸受支持フライホイール

村上　力・中島　厚・秋下貞夫・井上正夫・薮内賀義

三菱電機技報 Vol.58·No.3·P26～30

人工衛星の姿勢制御アクチュエータとして磁気的に支持されたフライホイールが，将来の長寿命・高精度化にこたえるものとして注目されている。磁気軸受には数多くの種類があるが，航空宇宙技術研究所と三菱電機(株)との共同研究では，特に永久磁石を使った軸受に限定して試作を重ねてきた。

本稿では試作された軸受の方式とその特徴について解説する。

ストリップ線路ハイブリッド結合形移相器

松永　誠・浅尾英喜・武田文雄・村上宗雄

三菱電機技報 Vol.58·No.3·P31～35

ダイオード移相器は，フェーズドアレーアンテナ，マルチビームアンテナなどの放射指向特性の制御素子として重要である。

ここでは，低損失性能が得られるストリップ線路ハイブリッド結合形移相器の小形化を図る新構成法，及び，その広帯域化設計法について述べる。また，S，X，Ku帯において試作した結果を示す。

三菱標準図形処理システムII

沢井善彦・山本正勝・吉田幸二・田中武夫

三菱電機技報 Vol.58·No.3·P36～39

近年，図形処理が発達し，図形処理の標準化が種々議論されるようになってきた。このニーズに沿って，現在までのライブラリを統合化し，デバイスに依存しない標準図形処理システムMGSIIを開発した。このシステムは，描いた図形を共通ファイル化でき，このファイルをグラフィックディスプレイ，X－Yプロッタ，静電プロッタ，日本語プリンタへ出力できる。また，簡単なコマンドによる簡易グラフ作成機能（円・折れ線・棒・点グラフ）を提供する。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 58, No. 3, pp. 21~25 (1984)

A Three-Stage Night-Soil-Treatment System Using Ozone for the Obihiro Nakajima Treatment Plant

by Yoshitaka Kugawa, Toshikazu Honda, Tetsuji Ito & Akinori Yamamoto

Ozonizers are used in many sewage plants to reduce the chemical oxygen demand (COD) and coloration. The proportion of newly constructed sewage plants in Japan that features ozonizers has now reached 70%. Mitsubishi Electric has delivered a new three-stage night-soil-treatment system to meet demands for the reduction of COD, biochemical oxygen demand (BOD), and coloration. This treatment system includes three processes: sand filtration, ozonation, and coagulation/flotation. The system satisfactorily meets the requirements for reduction of suspended-solid-colloid COD and BOD and represents a significant improvement in ozone treatment in practical operations.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 58, No. 3, pp. 26~30 (1984)

A Magnetically Suspended Flywheel for Attitude Control of Satellites

by Chikara Murakami, Atsushi Nakajima, Sadao Akishita, Masao Inoue & Kazuyoshi Yabu'uchi

Magnetic suspension of flywheels is an attractive option for satellite-attitude control actuators due to the long service life and high precision attainable. Among the many types of magnetic bearings available is a permanent-magnet system jointly developed by the National Aerospace Laboratory of Japan and Mitsubishi Electric. The article discusses the prototype magnetic bearing and explains its characteristic features.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 58, No. 3, pp. 31~35 (1984)

A Stripline Hybrid-Coupled Phase Shifter

by Makoto Matsunaga, Hideki Asao, Fumio Takeda & Muneo Murakami

Diode phase shifters are key elements in controlling the radiation characteristics of phased-array and multibeam antennas. The article introduces a new method of configuring stripline hybrid-coupled phase shifters to minimize losses and facilitate reductions in size. It also discusses the widebanding design approach, and describes prototype shifters for the S, X, and Ku bands.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 58, No. 3, pp. 36~39 (1984)

The Mitsubishi Graphic System II

by Yoshihiko Sawai, Masakatsu Yamamoto, Koji Yoshida & Takeo Tanaka

Recent developments in the processing of graphics have stimulated vigorous debate on the issues of standardization. Mitsubishi Electric's response has been to draw upon the large software library already established and integrate the individual items into the device-independent Mitsubishi Graphic System II (MGS II). This new system stores graphics in a common-file format for output to a graphic display, X-Y plotter, electrostatic plotter, or Japanese-character printer. The system also provides simple instructions to generate graphs (including pie, line, bar, and point graphs).

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 58, No. 3, pp. 1~6 (1984)

Microcomputer Applications to Rolling-Stock Controllers

by Kazunori Igura, Susumu Shikata, Noriaki Nakamoto & Akira Uenishi

Rapid advances in power-electronic and microelectronic technology are providing technical and cost advantages in the applications of microcomputers to controllers for rolling stock. Mitsubishi Electric's long commitment to microcomputer-application research has been particularly fruitful. The article discusses applications of microcomputers to rolling-stock controllers taking the particular example of four-quadrant chopper VVVF inverters.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 58, No. 3, pp. 7~11 (1984)

A Series of Transistor-Inverter-Type Small-Capacity UPSs and Power-System Monitoring Equipment Using Microprocessors

by Tetsuo Morikawa, Toru Nakamura, Shigenori Higashino, Hisaaki Saito & Toru Furuno

The adoption of power transistors and pulse-width modulation has simplified inverters. Mitsubishi Electric has developed and marketed a series of small-capacity uninterrupted power supplies (UPSs), known as MELUPS-MINI, designed to operate at capacities from one to 50kVA. The series features custom-LSI control circuits, maintenance requiring front access only, compact design, and a combination of high efficiency and reliability. The Corporation has also developed power-system monitoring equipment that uses 16-bit microprocessors and is capable of producing daily reports, logging changes in status, and reproducing the waveforms immediately before and after the occurrence of failures.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 58, No. 3, pp. 12~15 (1984)

A Centralized Flood-Monitoring System for Osaka Prefecture

by Mamoru Yoshizaki & Akihiko Naito

The Administrative Division of the Osaka Prefectural Government has introduced a centralized flood-monitoring system with approximately 170 telemetry measuring stations installed over widespread areas of the prefecture. This digital radio telemetry system acquires such flood-monitoring data as rainfall, water levels, and sea (i.e., tide) levels. Parts of the system are already in practical operation, performing rapid, precise flood monitoring. The centralized flood-monitoring system can gather data from all over the prefecture.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 58, No. 3, pp. 16~20 (1984)

An Automation System for Surface Treatment in Large-Variety Small-Batch Production

by Tomoharu Nakashima, Shuichi Oazama, Kunimasa Kawano, Yoshio Matsuda & Ryoichi Ishizoe

Mitsubishi Electric has completed an automation system that, rather than automate individual lines independently, applies the Corporation's MULTI 16 personal computers to every line of an automated plating process. This hierarchical system provides centralized management and control. The system has adopted a number of concepts designed to meet the demand for small production runs of many different products, including the use of magnetic cards for data input. The article introduces these design concepts, the system configuration, and the control system.

アブストラクト

1,500ゲートECLゲートアレー

立木　真・加藤周一・岡辺雅臣・桜井弘美・大崎三郎

三菱電機技報 Vol.58·No.3·P40～43

高速演算電算機用の高性能ECLゲートアレーを開発した。このLSIは低消費電力で高速動作する（平均遅延時間 0.7ns/ゲート）。最小寸法2.5μmの微細化プロセス技術と2ゲート/セルの基本セル構成とする回路設計技術により，1,500ゲートの高集積化を達成した。一貫したCAD技術の採用及び電子ビーム直接露光技術の導入により，短期間で多品種を開発することが可能である。

ガス給湯用高負荷バーナ

椙本照男・蜂谷正憲・角　庄司

三菱電機技報 Vol.58·No.3·P49～53

最近のガス瞬間式給湯機は能力の増大化とコンパクト化の傾向にあり，また湯温をコントロールする比例制御機能も不可欠なものになっている。これらの要求を満足する給湯機用バーナを開発した。このバーナは低一次空気比でブルーの火炎を形成し，入力変化幅の広い高負荷燃焼が可能である。その結果，空気比設定にエジェクタのみを利用したシンプルな構造のコンパクトなガス瞬間式給湯機が開発できた。

ビルディングブロック方式による16ビットCPU用LSIの設計

徳田　健・是松次郎・佐藤興二・村井真一・竹内　哲

三菱電機技報 Vol.58·No.3·P44～48

数十Kゲートに至る論理VLSIを短期開発するためのCADシステムとして，ビルディングブロック方式を用いた階層的LSI設計，及び詳細かつ大規模なタイミング検証を可能とする総合設計システムを開発した。このシステムにおける標準セル，詳細遅延モード付き論理シミュレーションについて述べ，設計システムの適用例として16ビットCPUの設計を行った結果を報告する。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 58, No. 3, pp. 49~53 (1984)

A Compact Gas Burner

by Teruo Sugimoto, Masanori Hachiya & Shoji Sumi

There is a growing demand for more compact, instantaneous, gas-fired water heaters with improved capabilities, particularly a proportional-control system. Mitsubishi Electric has developed a compact gas burner specifically to meet this demand. The new burner produces a blue flame at a low primary ratio of gas to air, and ensures high-intensity combustion despite various changes in gas/air input conditions. Air-gas ratio settings are made by an ejector alone, so that a simple, compact instantaneous water heater is achieved.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 58, No. 3, pp. 40~43 (1984)

A 1,500-Gate ECL Gate-Array Device

by Makoto Tatsuki, Shuichi Kato, Masatomi Okabe, Hiromi Sakurai & Saburo Osaki

Mitsubishi Electric has developed a high-performance ECL gate-array device for computers with high-speed calculation capabilities. This new device is designed for high-speed operation with low power consumption (average propagation delay time: 0.7ns/gate). Advanced fabrication-process technology permits a minimum size of 2.5μm. Circuit-design technology based on a cell configuration with two gates per cell has achieved the high integration of 1,500 gates. The adoption of computer-aided design technology and electron-beam direct-exposure technology has facilitated the development of a wide variety of devices in a very short period of time.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 58, No. 3, pp. 44~48 (1984)

A 16-Bit CPU Design Realized by a Hierarchical Polycell Approach

by Takeshi Tokuda, Jiro Korematsu, Koji Sato, Shin'ichi Murai & Satoshi Takeuchi

An integrated design system has been developed by Mitsubishi Electric that allows a hierarchical approach to the design of LSI devices and uses a building-block system and detailed, large-scale timing verification. The new system uses computer-aided design to develop logic VLSIs with several tens of thousands of gates within a short period of time. The article introduces the standard cells and logic simulation in precise-delay mode, along with the results of a 16-bit CPU design realized using the hierarchical polycell approach.

マイクロコンピュータの車両用制御装置への応用

居蔵和徳*・四方　進*・中本紀明*・上西　明*

1. まえがき

パワーエレクトロニクス技術を応用した車両用制御装置は，本質的に無損失であること及び回生ブレーキにより省電力を実現できること，無接点による保守の簡易化と信頼度の向上，高速応答性や円滑な電流連続制御による制御性の向上など，従来の方式では得られない大きな利点をもっている。これらの利点により，チョッパ制御方式が広く普及しているが，更に最近では，電動機の無整流子化と主回路の無接点化による保守性の向上を最大の利点として，可変電圧可変周波数(VVVF)インバータによる誘導電動機駆動システムが実用化されつつあり，車両用制御装置におけるパワーエレクトロニクス技術の進歩は目ざましい。

一方，電動機の電圧・電流制御は演算増幅器を用いたアナログ制御が中心であったが，マイクロプロセッサ及び周辺素子に代表されるマイクロエレクトロニクス技術の進歩によって，マイクロコンピュータ（以下，マイコンと称す）による直接ディジタル制御が技術的にも経済的にも可能となってきた。制御装置にマイコンを応用することによって，アナログ制御方式では実現のできなかった故障診断機能・モニタリング機能など高度な機能を持ち，かつ小形化された制御装置を実現することができ，保守点検も非常に容易となる利点がある。

当社では，このような背景を踏まえマイコンの車両用制御装置への応用研究に早くから取り組み，着実に成果を挙げており，最近では，マイコンを応用した高周波4象限チョッパ・VVVFインバータ用制御装置を実用化している。この論文では，高周波4象限チョッパ・VVVFインバータを例に車両用制御装置へのマイコン応用の背景と現状について述べる。

2. 車両用制御装置におけるマイコン応用の背景

2. 1 車両用制御装置の技術動向

パワーエレクトロニクス技術の発達により，半導体電力変換装置を応用した車両推進装置の主回路は格段の進歩を遂げたが，最近ではマイクロエレクトロニクス技術の発達により，制御装置が新しい発展の段階にある。

従来，チョッパやサイリスタレオナードの制御は演算増幅器で構成されたアナログ制御が中心であったが，アナログ制御方式のもついくつかの欠点，例えば，温度変化，経年変化による特性の変化を補償し，高精度の制御を実現する目的で制御のディジタル化が進められてきた。特に，マイコンの出現以来，車両用制御装置にもマイコンの応用が試されてきたが，近年，CPUの高速化，メモリの大容量化，A/D変換器・演算素子などの周辺素子の充実に見られるハードウェアの進歩，及びデバッグツール，プログラム開発支援ソフトウェアの充実に見られるプログラム開発システムの進歩と相まって，サンプル値制御における制御理論の確立により，マイコンを電動機の制御に応用してディジタル制御化することが，技術的にもコスト的にも可能となってきた。

今後は，マイコンを制御系に導入することにより，単にアナログ制御系の置換だけでなく，アナログ制御系では実現のできなかった高性能の制御を実現するとともに，故障診断・モニタリングなどの付加価値を積極的に高める方向でマイコン制御が車両用制御装置の主流になるものと考えられる。

表 1. アナログ制御とディジタル制御との比較

項目 ＼ 方式		アナログ制御	ディジタル制御
制御性能	経年変化 温度変化	あり	なし
	制御の融通性	なし (H/Wの追加又は変更)	あり (S/Wのみの変更)
	制御の高性能化	対応困難	可能
	応答性	よい	限界あり 最適制御が必要
信頼性	故障率	——	部品点数減により故障率低下
	故障診断機能	実現困難	可能
保守性	モニタリング	専用ハードウェアが必要	内部メモリに記憶
	点検・調整	定期的点検・調整必要	調整不要
その他	ハードウェア	装置ごとにある程度異なる	H/Wの標準化可能
	コスト	——	H/Wの標準化でコスト低下 付加機能でコストパフォーマンス向上
	上位システムとのリンケージ	困難	容易

2. 2 車両用制御装置のマイコン化

表 1. に従来のアナログ制御とマイコンを応用したディジタル制御との比較結果を示す。

制御性能については，精度，制御の融通性及び高性能化の各項目においてディジタル制御が優れているが，制御対象が車両用主電動機などのように数十msの応答時定数のものについては，マイコンの処理速度及びサンプリング時間の選定に注意を要する。信頼性については，マイコンを応用することにより部品点数が減少すること，及び故障診断機能の支援により向上すると考えられる。保守性については，ソフトウェア化により制御特性の経年変化が無いこと及びモニタリング機能，故障診断機能の支援により向上すると考えられるが，マイコン部分のブラックボックス化，メンテナンスフリー化に伴いユーザー側における点検の必要性の有無，点検の方法が今後の課題である。

車両用制御装置へマイコンを応用するに当り，従来機能のみに関して言えば，アナログ制御とディジタル制御に著しい差はないが，4象限チョッパ・VVVFインバータなどのように複雑なパターン発生，制御モードの切換，及び複雑な制御・保護機能を要求される機種については，それらの機能を実現するには，マイコンの応用が必要不可欠であり，マイコンを応用して制御性能を向上させるとともに，付加機能を充実させることによって，更に信頼性及び保守性の向上を図るべきであ

* 伊丹製作所

ると考えられる。

3. マイコン応用車両用制御装置のシステム検討

車両用制御装置にマイコンを応用して製品化するに当っては，前述のような利点が最大限に生かせるシステムを検討する必要がある。我々は，4象限チョッパやVVVFインバータなど今後の主流となるであろう車両用制御装置にマイコンを応用するに当り，今までの研究，開発成果（表2.）をベースとして特に次の課題について検討した。

3.1 マイコンの適用範囲とシステムの標準化

4象限チョッパとVVVFインバータにマイコンを応用するに当り，制御装置に必要な機能を共通化して分類し，マイコンの適用範囲，すなわちソフトウェア，ハードウェアいずれで処理するかを検討し，マイコン応用車両用制御装置としてシステムの標準化を図った。

高速処理の要求される保護検出回路及びゲートパルス発生回路は専用ハードウェアで構成し，検出信号の処理，パターン発生機能を含む電流・電圧・周波数などの制御演算は，自由な数値演算及び論理判断の可能なマイコンによる処理とした。また，主回路機器の入・切を含むシーケンス制御については，スイッチ類が多くシーケンスの複雑な界磁チョッパや従来形チョッパに適用した場合，リレーシーケンス部分を大幅に小形化することができるので，シーケンス制御用の入出力インタフェースを準備しておくこととした。この結果，マイコン部は完全に同一システムとなり，周辺の入出力インタフェースや専用ハードウェアについても半数以上のカードを共用することができた（図1.）。

表2. 当社におけるマイコン応用車両用制御装置の開発経緯

年度	マイコン応用制御装置の開発項目	備考
1976	電気バス用チョッパ（250 Hz 単相）	現車試験で実用性確認
1978	電気車用チョッパ（330 Hz×2 相）	演算の高速化
1981	試作 VVVF インバータ	ハイブリッド方式
1982	熊本市交通局8200形 VVVFインバータ	初の営業運転車両
1983	営団銀座線向け高周波4象限チョッパ	マルチ CPU，完全ディジタル化
	二次試作 VVVF インバータ	同上
	1,500 V VVVF インバータ	同上

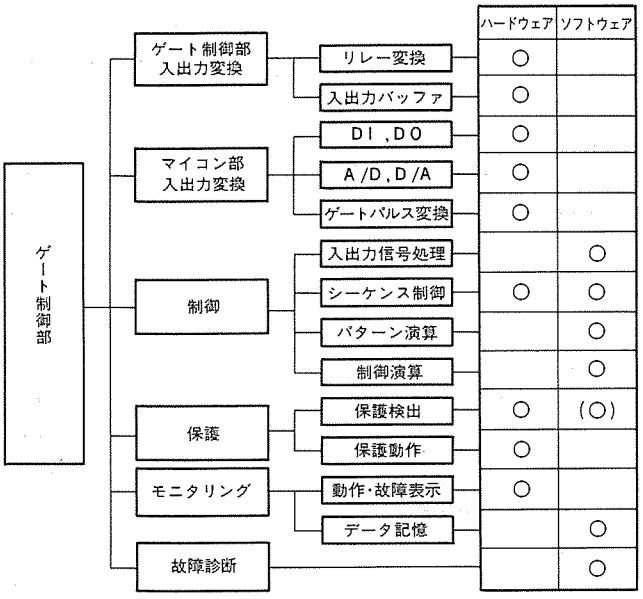


図1. ゲート制御部機能分担

3.2 ディジタル制御系の設計

3.2.1 制御アルゴリズム

マイコンによるディジタル制御系を設計するに当り，従来からアナログ制御で用いられているPID補償を基本として制御系を構成し，各補償要素を差分形式で表現することによってディジタル化した。ただし，単にアナログ制御をディジタル制御に置換するだけでなく，マイコンの特長を生かして各制御モードにおいて，最適の制御となるように補償アルゴリズムや制御定数をモードごとに切り換えることとした。切換時には，切換前後の制御量が等しくなるように切換補償量を設け，この切換補償量を暫減させることによって制御モードが円滑に移行するようにした。また電源電圧変動に対しては，電圧変動を検知し，フィードフォワード制御によって制御量を補正することで安定化している。

3.2.2 サンプリング周期とビット数

マイコンによるディジタル制御系は，サンプリング周期ごとに演算を実行するサンプル値系となるため，サンプリング周期の設定は系の安定性及び積分補償などの制御演算の精度に影響を与える。すなわち，検討した制御アルゴリズムをマイコンで実行するに要する時間は，サンプリング周期以下とする必要があり，かつ制御が安定でなければならない。一般に，ディジタル制御におけるサンプリング周期は系の時定数の1/10以下に選ぶ必要があるので，車両用制御装置のように電動機を制御対象とする場合は，数msのサンプリング周期を目安に制御アルゴリズム及びマイコンシステムを検討し，後述するシミュレーションによりその妥当性の確認を行った。

ビット数は，制御演算の精度及び定常時の変動量に影響を与えるので，必要に応じて8，12，16ビットを使い分けることとし，基本的には，入出力データは12ビット，パターン量は8ビット，制御演算の内部データ及び制御定数は16ビットとした。

3.3 シミュレーションによる解析

3.3.1 シミュレーションの目的

最近のチョッパ制御装置では，アナログ制御方式及び技術が十分に確立されているため，制御対象である主電動機が異なっても一部定数を変更するだけで簡単に調整が可能であるが，新方式である4象限チョッパや制御技術の確立されつつあるVVVFインバータにおいて，マイコンによるディジタル制御を行う場合は，十分な事前検討が必要である。そこで我々は，制御対象である主電動機及び電力変換装置であるチョッパ又はインバータからなる主回路系はもとより，マイコンによる制御演算を忠実に表現したディジタル制御系を含めたシミュレーションプログラムを開発し，次の各項目について検討した。

（1） 事故時の主回路現象の確認と保護協調の検討

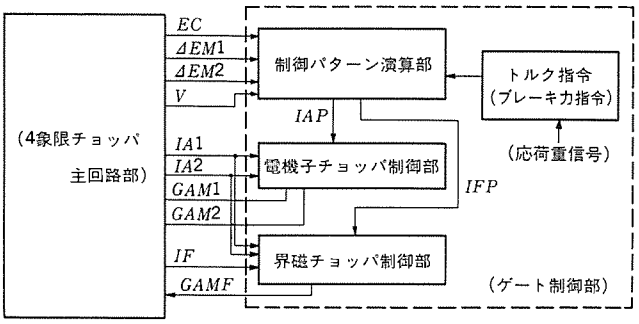
（2） 制御方式，制御アルゴリズムの確認

（3） サンプリング周期が制御の安定性に与える影響と制御定数の最適化

（4） 外乱（電源変動・空転）に対する過渡応答の検討

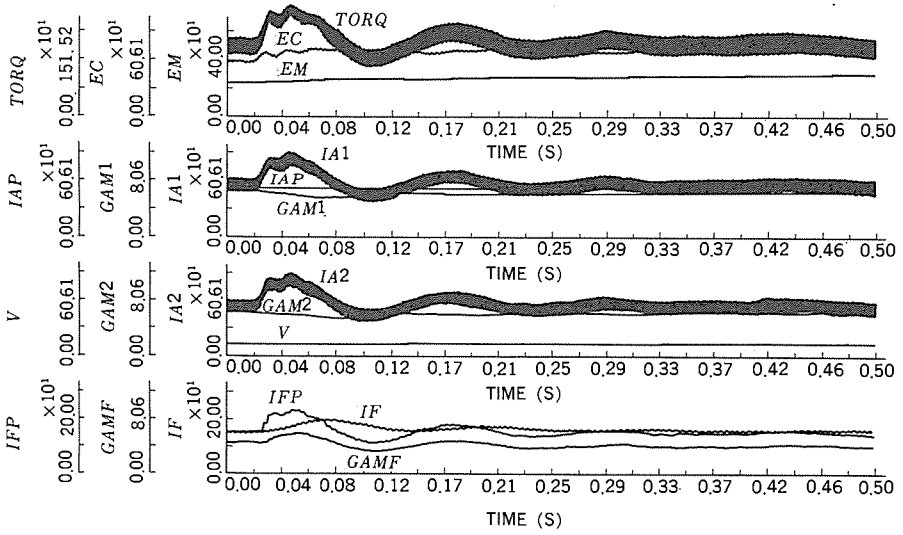
3.3.2 シミュレーションの手法と結果

図2.に4象限チョッパのシミュレーションプログラムのブロック図を示す。主回路部は回路方程式をブロック線図化し，これを当社のもつ連続系の汎用シミュレーション言語“BACS”を用いて表現している。ゲート制御部は，マイコン制御と等価なサンプル値制御を忠実に表現するため，主回路部に出力される通流率は1サイクル前に演算された通流率を用いている。シミュレーションの結果，サンプリング周期に関しては，1 kHzで運転される4象限チョッパの場合，パターンに対する追従性及び外乱

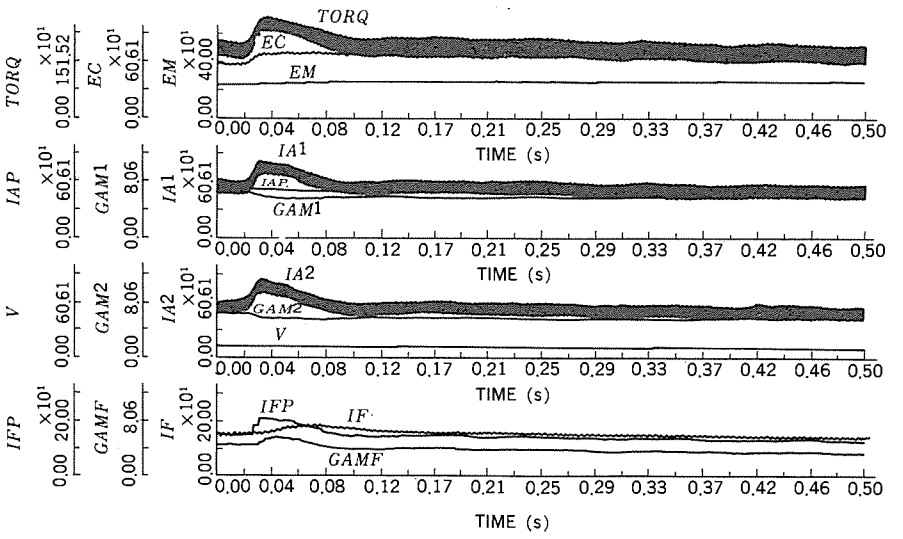


EC	：フィルタコンデンサ電圧	$GAM1$	：1相電機子チョッパ通流率
ΔEM_1	：1群モータ差電圧	$GAM2$	：2相電機子チョッパ通流率
ΔEM_2	：2群モータ差電圧	IF	：界磁電流
V	：速度	$GAMF$	：界磁チョッパ通流率
$IA1$	：1相電機子電流	IAP	：電機子電流パターン
$IA2$	：2相電機子電流	IFP	：界磁電流パターン

図 2. シミュレーションプログラム の ブロック 図



(a) 微分要素が無い場合



(b) 微分要素が有る場合

図 3. 電源変動時の シミュレーション 波形

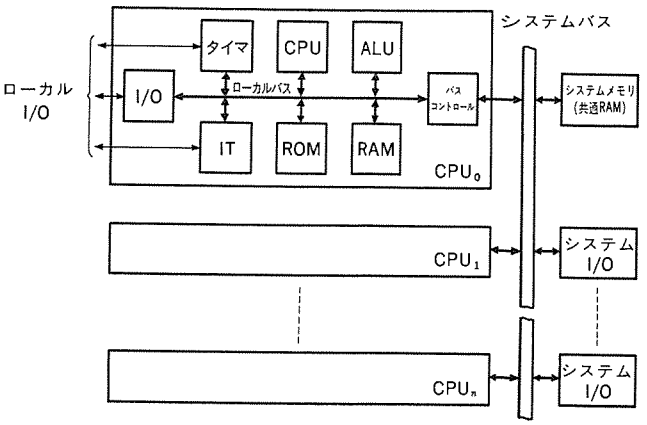


図 4. マルチ CPU システム 概略 ブロック 図

に対する制御の安定性から，4 ms 以下の サンプリング 周期とする必要のあることがわかった。

シミュレーション の一例として，図 3. に電源電圧を ステップ 状に上げた場合の シミュレーション 波形を示す。図中 (a) は電機子 チョッパ 制御系 に電機子電流の微分要素が無い場合，(b) は微分要素の有る場合を示しており，微分要素を加えることによって電機子電流の オーバシュート 量を抑え，早く整定できることがわかる。

3. 4 マイコンシステムの検討

シミュレーション の結果，4 象限 チョッパ・VVVF インバータ の制御には 2～4 ms の サンプリング 周期が必要なことが分かったが，ソフトウェア の処理内容からみて，CPU 1 台では 1 サイクル の間にすべての処理の実行が不可能なため，何らかの形で処理の高速化を図る必要が生じた。そこで，次に述べるような CPU ボード を 2 ～ 3 枚使用する マルチ CPU システム とすることにした。

4. マルチ CPU システムの特長

当 システム は車両用制御装置のみならず，車載機器全般に適用する マイコンシステム の標準化，系列化を図るために開発したものであり，対象機器，規模の大小などに応じて最適な システム を構成することができる。また，車両用制御装置の ディジタル 化にも十分適用できるよう高速演算機能を備えている。

図 4. に当 システム の概略構成 ブロック 図を示す。CPU ボード を システムバス に接続すれば，システムメモリ を介して他の CPU ボード との間で情報の授受を行ったり，システム I/O を通じて外部回路に対して信号の入出力を行うことができる。したがって，各 CPU ボード ごとに機能を分割した マルチ CPU システム を構成することにより，大規模な処理や，高速処理が容易に実現できるとともに，

表 3. CPU ボードの主要諸元

CPU	M5L 8085
メモリ	ROM 16K バイト (max)
	RAM 8K バイト (max)
入出力	パラレル 48点
	シリアル 各1点
割込入力 (IT)	汎用 8点
	内部用 4点
タイマ	3回路
演算機能 (ALU)	固定小数点演算及び浮動小数点演算
	各種関数演算

システムデバック時は，CPU ボードごとに並列に実施できるという特長をもっている。

このように，当マルチ CPU システムは，各種の車載機器への適用に際し，規模の大小や必要な処理時間に応じて標準化されたハードウェアを最適な数だけ配置できるため，高性能化はもちろん，経済性，信頼性に富んだシステムを構成することが可能である。更にシステムバスは，当社標準のバス方式にマルチ CPU 用のバスアービット信号を付加したものであり，既存の CPU ボードとの互換性を保っているので，既存機器に適用して高性能化，高信頼度化を図ることも容易である。

5. 車両用制御装置への応用例

5.1 高周波4象限チョッパへの応用

チョッパは，消費電力の節減，無接点化による保守の簡易化と信頼性の向上及び制御性能の向上を利点として，直流電気車に広く実用化されているが，高周波4象限チョッパは，新しい電気車チョッパ制御システムとして当社が開発したもので，従来のチョッパに比べて回生能力の向上，粘着性能の向上及び力行・ブレーキ切換の無接点化，連続化による車両性能の向上が可能であり，高周波化による装置の大幅な小形軽量化が図れるという特長をもっている。図5.に示すように，直流他励電動機の電機子は GTO サイリスタを用いた高周波チョッパに主平滑リアクトル無しで直接接続され，他励界磁巻線は界磁チョッパに接続される。界磁チョッパは4アームの GTO サイリスタスイッチによって構成され，界磁電流の極性を四つの運転モードに応じて無接点で切り換えるとともに電流量の制御を行っている。

図6.のゲート制御回路のブロック図に示すように，マイコン部は前述のマルチ CPU システムとしている。2枚の CPU ボードのうち CPU_1 では主として1相及び2相電機子チョッパの通流率演算を行い，CPU_2 では各種電流・電圧パターンの演算と界磁チョッパの通流率演算を行っている。保護回路は，サンプリングによる検出遅れをなくすため，基本的に専用のハードウェアで構成し，処理速度が遅くてもよい一部の保護回路についてはソフトウェア検出としている。更にゲートパルスの作成回路も，これをソフトウェアで実行すると CPU の処理時間がかなり増加するので，専用ハードウェアで構成し，各 CPU で演算されたチョッパ通流率データを受けてオンパルス，オフパルスを作るようにしている。

各制御モードにおける制御演算は，現段階で最も実用的で調整が容易な PID 制御を差分形式で表現したアルゴリズムを基本としている。

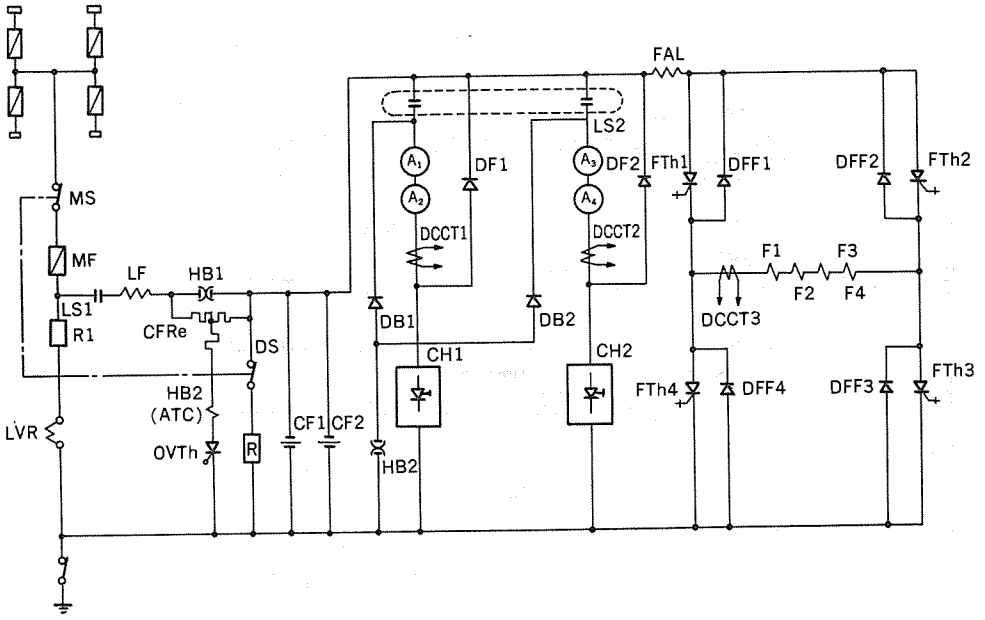


図 5. 高周波4象限チョッパ主回路

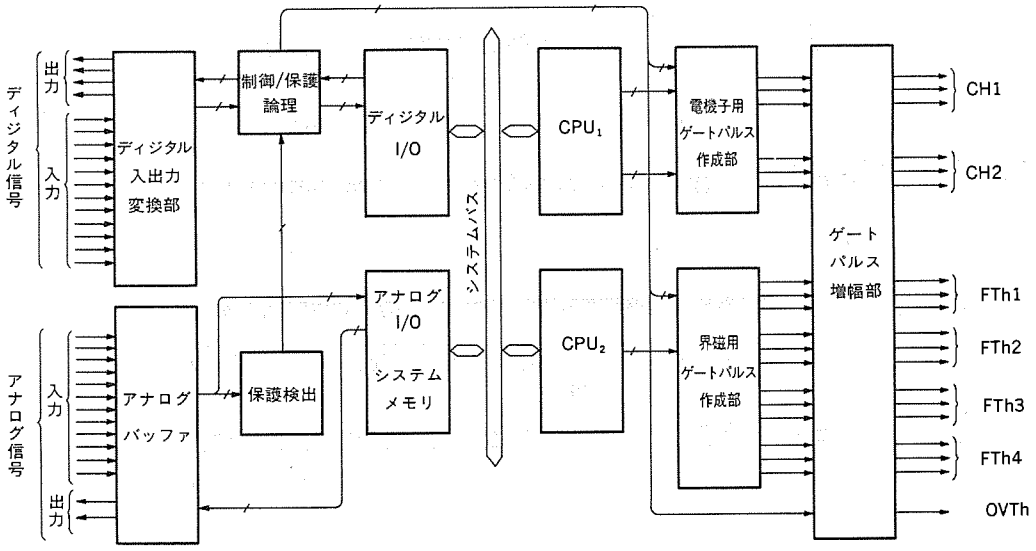
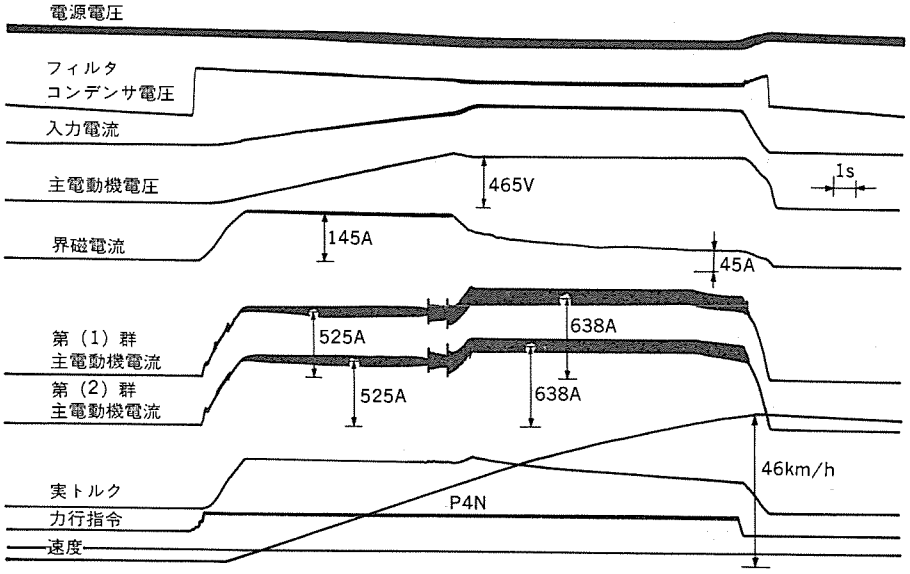
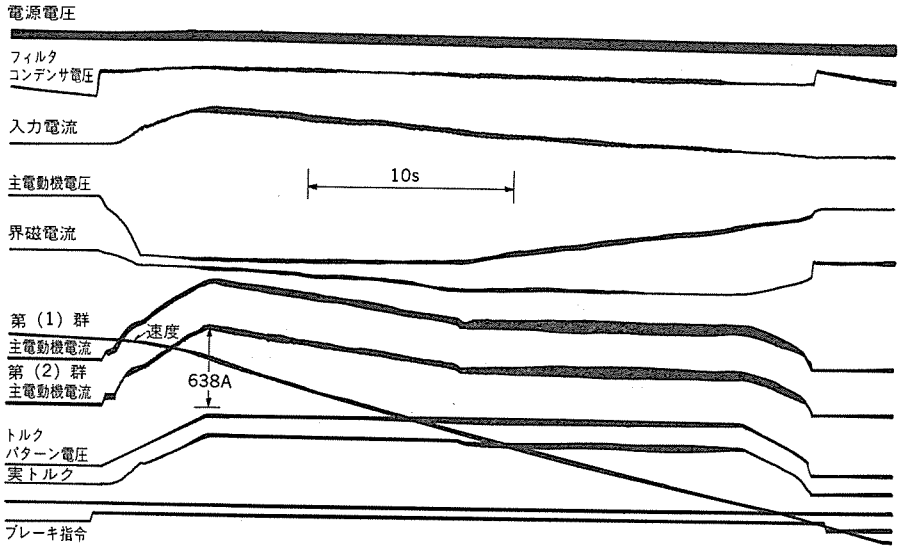


図 6. ゲート制御部ハードウェアブロック図（4象限チョッパ）



（a） 4象限 チョッパ 力行



（b） 4象限 チョッパ 回生

図 7. 工場試験 オシログラム（4象限 チョッパ）

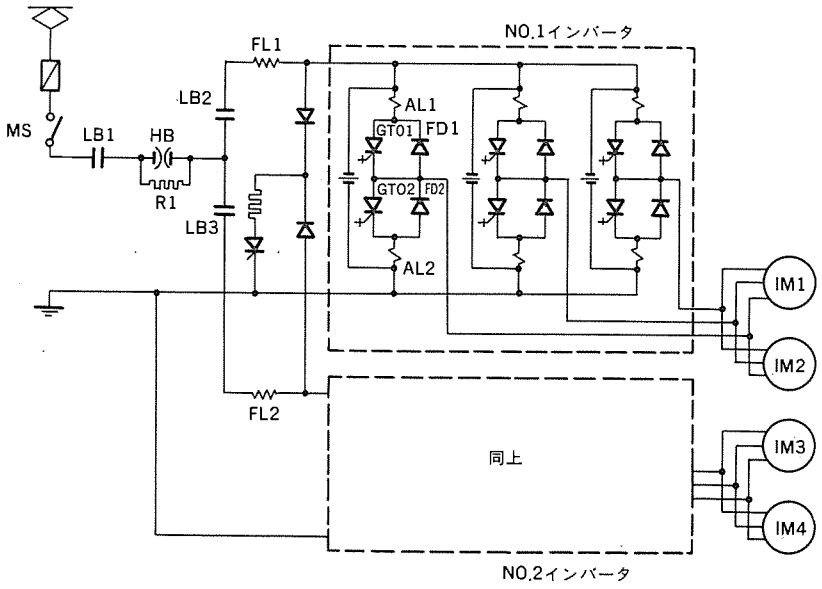


図 8. BDU システム・VVVF インバータ 主回路

制御定数は，各モードごとに最適値に設定し，制御モードの切換時には制御演算が円滑に移行するように補償量を設けるなど，マイコンの特長を生かし，アナログ制御では実現のできなかったきめ細かい制御を行って制御性能を向上させている。

図 7. に工場試験結果を示す。図(a)は力行のオシログラムで，電機子チョッパ制御から界磁チョッパ制御への切換及び界磁チョッパ制御領域における制御モードの移行も円滑に行われている。起動時及びノッチオフ時は周波数制御を併用しているため，滑らかな電流制御が行われている。(b)は回生ブレーキのオシログラムで界磁チョッパ及び電機子チョッパによるブレーキトルク制御が安定に行われている。

5. 2 VVVF インバータへの応用

電気車用主電動機には，その特性が電気車に適していること及び速度制御が広範囲にしかも自在に行えることから，直流電動機が使用されてきた。この直流電動機に整流子があるため機械的・電気的な制約を受け，その制約中で車両性能も決定されてきた。また省力化の見地から整流子回りの保守が直流機の問題点の一つになっている。このため新しい車両駆動方式として，VVVF インバータによる交流電動機制御方式が注目されている。当社では，昭和47年通商産業省大型プロジェクト「インバータ制御電気自動車の研究」を緒に，実用化の研究・開発を重ねてきたが，最近のエレクトロニクス及び制御技術の急速な進歩により，技術的，経済的にも実用化が可能となり，昭和57年には，我が国では初めての営業運転車両である熊本市交通局8200形電車向けに VVVF インバータを製作・納入した。

当社では，これまでの実績をもとに，V/f 一定・すべり周波数制御方式とマルチ CPU によるディジタル制御技術をとり入れ，更に 2,500 V, 1,800 A 大容量 GTO 素子の開発を得て，標準タイプのインバータ駆動システムの開発を行った。図 8. に DC 750 V 用標準タイプのインバータ主回路の一例を示す。2,500 V, 1,800 A の GTO 素子 1S1P での制御容量は 150 kW 電動機2台分であり，GTO は 1S1P で使用するのが理想的であることから，制御単位を1台車とする BDU (Bogic Drive Unit) 方式を標準として採用した。

ゲート制御部には，前述のマルチ CPU のマイコンシステムを応用して，従来に比べディジタル制御の範囲を大幅に拡大している。図 9. の制御ブロック図の破線内の演算をマイコンで行っている。PWM 変調部は，最適な出力波形が得られるよう，あらかじめ計算し

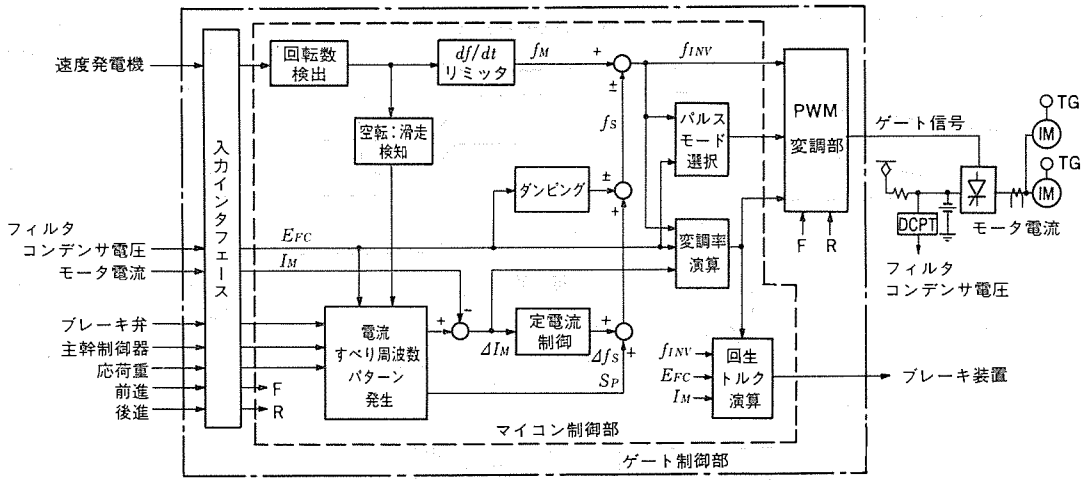


図 9. ゲート制御部機能ブロック図（VVVF インバータ）

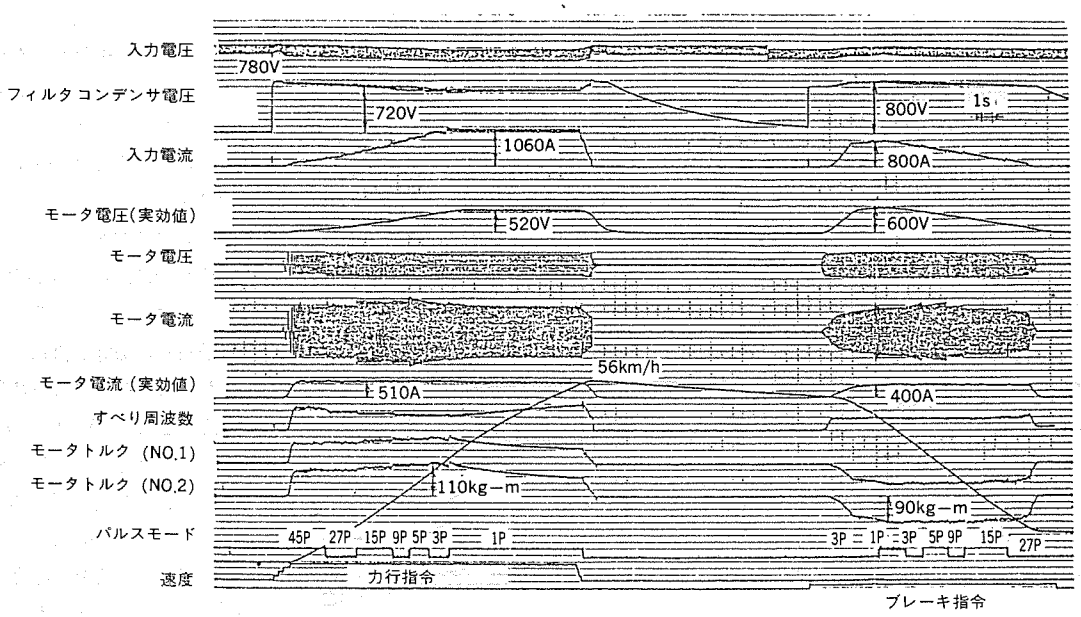


図 10. 工場試験オシログラム（VVVF インバータ）

たデータを記憶させるデータメモリ方式としてハードウェアで構成し，演算のディジタル化と合わせて性能と精度の向上を図っている。CPU ボードは3枚使用し，CPU_1 ではシーケンス制御とモータ周波数検出を，CPU_2 ではインバータ周波数制御を，そして CPU_3 では電圧制御（変調率演算）とパルスモード判別を主として受け持っている。図 10. に工場試験における加減速制御時のオシログラムを示す。力行一括 4N 運転により，定トルク制御から定電力制御へ円滑に切り換わったあと特性加速領域まで加速し，常用最大ブレーキ指令で，滑らかな回生ブレーキトルク制御が実現されている。

6. むすび

以上，4象限チョッパ・VVVF インバータなどの車両用制御装置へのマイコン応用の背景と現状について述べたが，今後は主回路における電力半導体素子の進歩とともに，制御回路におけるマイクロプロセッサ及びその周辺 LSI に代表されるハードウェアと，現代制御理論を適用した制御アルゴリズムに代表されるソフトウェアの実用化が促進され，車両用制御装置へのマイコンの導入は今後ますます盛んとなり，アナログ制御系では実現できなかった高性能な制御を実現するとともに，故障診断，モニタリングなどの付加価値を積極的に高める方向でマイコン制御が車両用制御装置の主流になるものと考えられる。

車両用制御装置へのマイコン応用は今まさに実用化の第一歩を踏み出したばかりであり，今後，我々は，ハードウェアとソフトウェアとの調和がとれ，真に顧客の満足する付加機能をもつ制御装置とすべく，たゆまぬ努力を続ける所存である。

トランジスタインバータ式小容量無停電電源装置及びマイコンモニタリング装置

守川哲郎*・中村　透*・東野重紀*・斉藤久昭*・古野　徹*

1. まえがき

静止形定電圧定周波電源装置（以下，CVCF と称す）は，商用停電時に電源を蓄電池に切り換えて負荷に無瞬断で電力を供給する無停電電源装置として，オンライン用電子計算機・発電所・化学プラントなどの各種計装設備，航空管制・放送機器などの重要な設備の電源に使用されている。当社は CVCF 製作の長年の実績と豊富な技術をもとに，昭和57年にインバータ部に大電力トランジスタを採用した新形 CVCF を5～500 kVA まで標準系列化して《MELUPS シリーズ》として発表し[1]，それ以来数多くの CVCF を製作・納入した。今回は，容量範囲が1～50 kVA のものを更に小形化して《MELUPS-mini シリーズ》として標準系列化を完成したので，その特長・概要を紹介する。

一方，16ビットマイクロプロセッサ（以下，マイコンと称す）を応用した電源システムのモニタリング装置（以下，マイコンモニタリング装置と称す）は，電源システムの定常監視・事故発生時の故障記録・事故発生前後の各部波形の再生などの多様な機能をもつもので，ディスプレイ装置とプリンタを装備しており，日常点検の省力化・事故時における各種データに基づく MTTR（平均修理時間）短縮などに大きな威力を発揮するものである。

2. トランジスタインバータ式小容量無停電電源装置《MELUPS-mini》

OA に代表されるディジタル時代を迎えて情報システム，あるいはプロセス制御を中心とする工場管理システムなど，大形コンピュータのみならず小形コンピュータを駆使したコンピュータシステムはますます巨大化する傾向にあり，これに伴い個々のコンピュータの持つ責務の重要度はますます増大し厳しくなりつつある。

一方，一般に小形のコンピュータは10～20% 以上の電圧降下が0.003～0.02秒継続したときの計算ミスを避けるために，自動的に停止するシステムになっている場合が多い。このような瞬時の電圧降下が起る可能性は種々考えられ，例えばコンタクタ・モータ・スイッチなどの配電系統内機器の動作や雷などの外部要因により起るものがあり，このような危機から大事な情報あるいは操業を守るのは無停電電源装置しかないと言われている。

今回標準系列化した《MELUPS-mini》は，図1.に示すようにサイリスタ整流器・インバータ回路・直流 NFB 回路・バイパス回路を一括して一つの盤内に納めたもので，バッテリの接続により，このまま無停電電源装置として使用に供することのできるものである。《MELUPS-mini》は小形コンピュータや制御装置など負荷の設置条件・環境を吟味し，小形軽量低騒音化は無論のこと，操作保守性も十分考慮して，図2.に示すように外観上においても働く人のそばに設置できる装置を指向し，合わせて高効率，高信頼性を実現したトランジスタインバータ式小容量無停電電源装置である。

2.1 新技術と特長

《MELUPS-mini》で採用した新技術と，それに伴い得られた特長は次のようなものである。

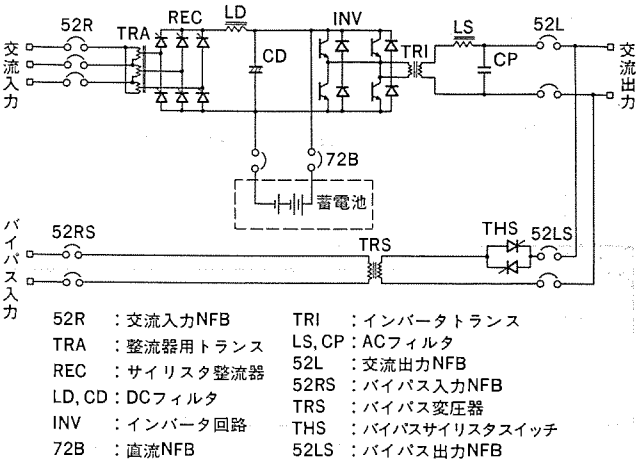


図1. 単相出力《MELUPS-mini》の主回路構成図

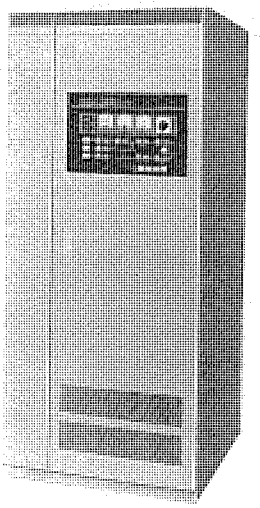


図2.《MELUPS-mini》の外観

2.1.1 新技術

（1） インバータ部に大電力トランジスタモジュールを採用することにより，主回路構成を大幅に単純化した。

（2） 単相ブリッジ構成にしたインバータ自身で，第3次から高次高調波までを数%以下に抑制する制御方式を採用することにより，出力波形整形用の AC フィルタを小形化した。

（3） 順変換部には，インバータへの直流電力給電機能と，蓄電池充電機能を持った浮動充電方式のサイリスタ整流器を採用し，別置の充電器の設置を不要とした。

（4） 容量15 kVA 以下の装置においては，電力素子の冷却にヒートパイプを採用し，自冷化した。

（5） カスタム LSI の採用により，制御回路用プリント基板を簡素化すると同時に，リレーシーケンスを大幅にディジタル化した。

* 制御製作所

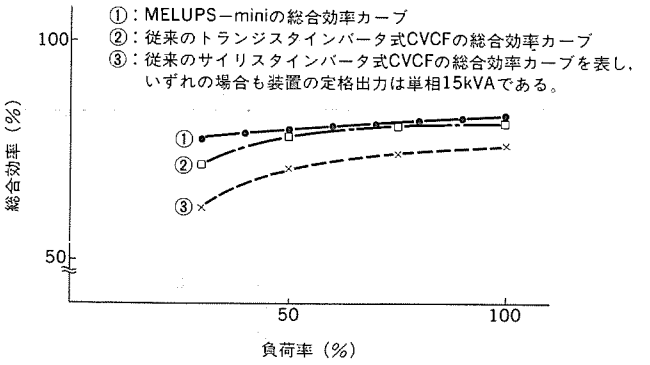
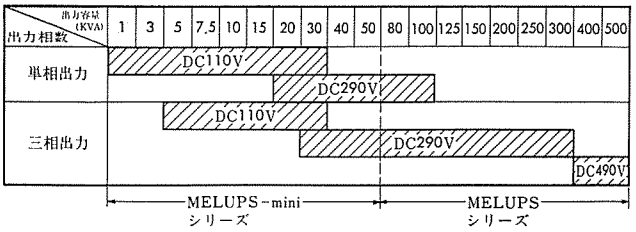


図 3. 各種 CVCF の総合効率（AC-DC-AC）比較

表 1. 《MELUPS》及び《MELUPS-mini》の標準系列



注　表内の直流電圧値はバッテリ定格電圧を示す。

表 2. 単相出力《MELUPS-mini》の標準仕様

項目		標準仕様
交流入力	電圧 (V)	200, 210, 415, 440
	周波数 (Hz)	50 又は 60
	相数	三相 3 線式
交流出力	定格出力容量	100% 連続
	相数	単相 2 線式
	定格電圧 (V)	100, 105
	電圧整定精度 (%)	±2
	定格周波数 (Hz)	50 又は 60
	周波数精度 (%)	±0.1
	負荷力率 (%)	70～90（遅れ）
	電圧波形ひずみ率 (%)	5 以下
	過渡電圧変動	(1) 入力電圧急変 ±10% にて (2) 負荷急変量 (50%⇄80%) (3) 停電又は復電時 } ±8%
	過度変動回復時間 (サイクル)	3～6
その他	周囲温度 (°C)	0～40
	湿度 (%)	30～85
	高度 (m)	1,000 以下

表 3. 単相出力《MELUPS-mini》の標準外形寸法

蓄電池定格電圧 (V)	出力容量 (kVA)	幅 (mm)	奥行 (mm)	高さ (mm)
110	5	600	800	1,900
	7.5			
	10	800		
	15			
	20	1,200		
	30	1,600		
290	20	900		
	30	1,000		
	40	1,600		
	50			

2. 1. 2　特　長

(1)　高効率

2. 1. 1 節(1), (2)の採用により，従来のサイリスタインバータ式 CVCF は無論のこと，従来のトランジスタインバータ式 CVCF と比較しても図 3. のように総合効率が向上し，例えば単相 15 kVA CVCF の定格点において当社比で各々約 7 % 及び約 2 % 向上した。

(2)　小形化

2. 1. 1 節(1)，(2)，(3)，(4)，(5)の採用により，装置据付面積が大幅に減少し，トランジスタインバータ式 CVCF の従来品と比較して，最大 55% の据付面積の削減を達成した。

(3)　高保守性

小形化の波及効果として盤奥行寸法を 800 mm に統一して，裏面点検不要の前面保守構造とすることにより，装置の据付・配置の柔軟性と保守性を高めた。

また，図 2. に示すように装置の盤表面には模擬母線を標準装備し，監視・操作性能を大幅に高めた。

2. 2　標準仕様

《MELUPS》及び《MELUPU-mini》の標準系列は表 1. に示すように 1～500 kVA の出力定格範囲をカバーしており，この内 50 kVA 未満のものが《MELUPS-mini》として新たに標準系列化したものである。

この内，単相出力《MELUPS-mini》の標準仕様を表 2. に，また，表 3. に標準外形寸法を示す。

2. 3　主回路構成

図 1. に単相出力《MELUPS-mini》の主回路構成図を示す。交流入力は NFB(52 R) を介してサイリスタ整流器 (REC) で直流に変換され，DC フィルタ (LD, CD) によって平滑された直流電力がインバータ回路 (INV) に供給されるとともに，直流 NFB (72 B) を介して接続されている蓄電池を充電する。単相ブリッジ回路で構成されたインバータ回路 (INV) とインバータトランス (TRI) によって DC／AC の逆変換を行い，この交流矩形波を AC フィルタ (LS, CP) によって波形成形し，正弦波の交流出力を得ている。

インバータ回路の保守・点検時あるいは万一インバータが故障した場合に，インバータの負荷を商用バイパス回路へ無瞬断切換するために，バイパスサイリスタスイッチ (THS)・バイパス入力 NFB (52 RS)・バイパス変圧器 (TRS) などから構成された無瞬断切換装置を標準的に設けている。

2. 3. 1　サイリスタ整流器

三相ブリッジ接続のサイリスタ整流器は，浮動充電時は定電圧制御されているが，均等充電時及び回復充電時には定電圧・定電流制御を行い，蓄電池を規定の電流で充電する。また交流入力の停電回復時などの蓄電池運転から交流運転へ切換時の交流入力からの突入電流による電源側へのじょう乱を抑制するために，サイリスタ整流器にソフトスタート機能を設けている。

2. 3. 2　トランジスタインバータ及び AC フィルタ

単相ブリッジのインバータ回路は，その出力に第 3，第 5，第 7 ……と奇数次高調波を含んでいるが，インバータ回路自身で第 3，第 5，第 7 などの低次高調波含有率を数%にするような変調パルスパターンを選ぶことにより，AC フィルタの責務を単に高次高調波通過フィルタとなるようにし，その構造を簡素化した。

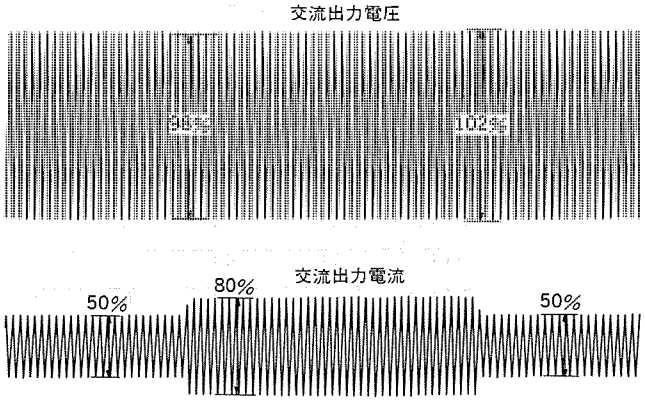


図 4. 負荷急変時交流出力電圧電流波形

2. 4 構造上の特長

2. 4. 1 冷却方式

容量20 kVA未満のものはヒートパイプ使用による完全自冷方式とし，20 kVA以上のものは有圧換気扇による風冷方式としている。いずれの場合にも冷却風は盤前面から吸気して，盤上部へ排気し，サイリスタ・トランジスタ・変圧器・制御装置などを効率良く冷却する配置構造とした。

2. 4. 2 前面保守構造

前面保守のみで背面及び側面ともに点検スペースは特に設ける必要のない構造とした。

2. 4. 3 入出力配線

外部からの入出力ケーブルの取合方向が，盤の上部・下部あるいは上下混在のいずれの場合にも接続可能となるような入出力端子構造とした。

2. 5 試験結果

《MELUPS-mini》について各種試験を実施し，いずれも良好な結果を得たが，ここでは単相15 kVA出力《MELUPS-mini》の代表的な特性についてその試験結果を示す。

2. 5. 1 交流出力電圧波形ひずみ率

直流入力電圧を90～140 Vに変化させたときの無負荷から定格負荷に至るすべての負荷状態における交流出力電圧ひずみ率は，3～4％の値になっており表2. の仕様値を満足している。

2. 5. 2 総合効率

《MELUPS-mini》の総合効率の実測データを図3. のカーブ①に，従来のトランジスタインバータ式CVCFの実測値をカーブ②に，従来のサイリスタインバータ式CVCFの実測値をカーブ③に示す。《MELUPS-mini》の総合効率は従来品に比して負荷率によらず良好なことが確認されるが，特に低負荷時における総合効率が高いことが特長であると言えよう。

2. 5. 3 交流出力過渡電圧変動

負荷急変時の出力電圧及び電流波形を図4. に示す。定格出力容量の30％の負荷急変を行った場合，交流出力過渡電圧変動値は，±3％以内，回復3サイクル以内で表2. の標準仕様を十分満足していることが確認された。

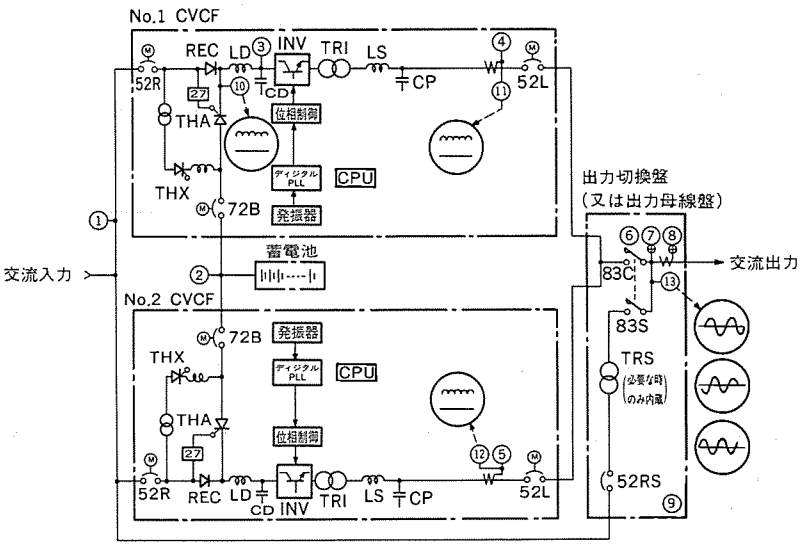
3. マイコンモニタリング装置

CVCFを用いた無停電電源システムは図5. に示すように，CVCFを中心に蓄電池，バイパススイッチ（83 C，83 S）などから構成されている。通常CVCFは商用周波電源を交流入力とし，負荷に定電圧の電力を供給しているが，瞬停や停電が発生した場合には，交流入力電源を自動的に蓄電池に直流サイリスタスイッチ(THA)で切り換え，負荷に無停電の電力を供給するようにシステムが構成されており，瞬停，停電などの電圧変動を避ける必要のある負荷設備の電源として広く用いられている。

また，並列冗長方式の無停電電源システムにおいては，1台のCVCFが故障した場合にも，CVCFの持つ高速故障検出回路により，自己の故障の影響が出力電圧の変化として現れるまでに，故障CVCFを無停電電源システムから切り離すなど，無停電電源システム全体としての機能確保に十分な配慮がなされている。

しかし，負荷投入時の許容値以上の過電流や短絡事故に伴う無停電電源システムの出力電圧変動や，並列冗長システムにおける冗長限界を越えた負荷状態の出現など現象は突発的で，システムの外的要因に起因するため，単にCVCFの個別異常情報を管理するだけでは，原因究明や対策立案などに不十分な場合があった。

このため，無停電電源システムの機能モニタリングにおいては，単にCVCFの検出した異常情報の管理だけでは不十分で，外的要因に伴うシステムの出力電圧・電流などのアナログ波形の変化や，機器相互間のスイッチ類の開閉状態や変化の順序などを総合的に監視，記録することが重要なポイントとなっている。



注(1) 図中①～⑬は次のモニタリングポイントを示す。

①交流入力電圧計測
②蓄電池電圧計測
③インバータ直流入力電圧計測
④CVCF交流出力電流計測
⑤CVCF交流出力電流計測
⑥交流出力電力計測
⑦交流出力電圧計測
⑧交流出力電圧計測
⑨室温計測
⑩インバータ直流入力電圧波形
⑪CVCF交流出力三相一括電流波形
⑫CVCF交流出力三相一括電流波形
⑬交流出力三相個別出力電圧波形

注(2) 図中の記号は次の器具名を表す。

83C, 83S：バイパススイッチ
THX　：ブースタ充電器用サイリスタ整流器
THA　：直流サイリスタスイッチ
REC　：ダイオード整流器
その他の記号は図1のものと同じ器具名を表す。

図 5. 無停電電源システムとモニタリングポイントの一例

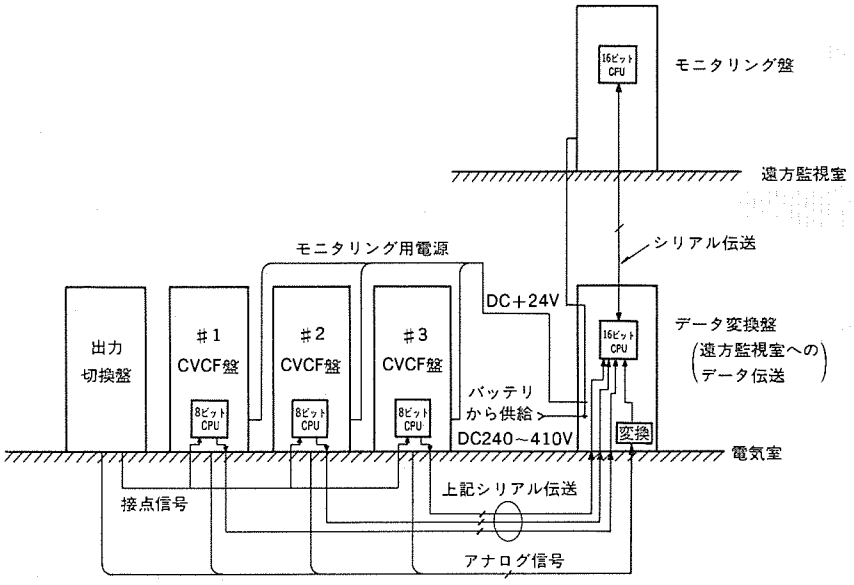


図 6. マイコンモニタリング装置の システム 構成

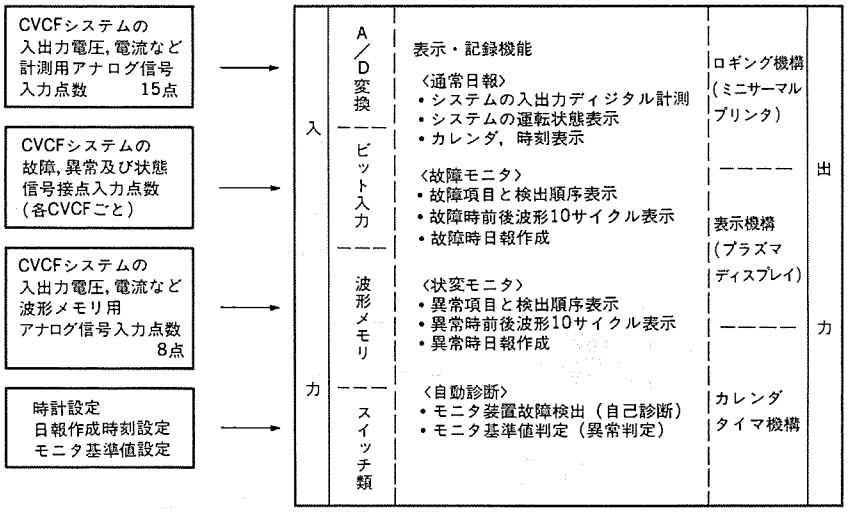


図 7. マイコンモニタリング装置の機能

```
**** CVCF ****
FAULT CHECK
< START >
-----------------
ABNORMAL STATUS REPORT 83.08.18 16:14
```

STATUS-1	STATUS-2	STATUS-3	STATUS-4
NO.1 UNIT (ITEM)	NO.2 UNIT (ITEM)	NO.3 UNIT (ITEM)	NO.4 UNIT (ITEM)
1ST:CHARG I/P	1ST:	1ST:	1ST:
2ND:I/P NFB T	2ND:	2ND:	2ND:
3RD:FINAL DISCH	3RD:	3RD:	3RD:
4TH:	4TH:	4TH:	4TH:

```
-----------------
MODE2 EQUIPMENT STATUS 83.08.18 16:14
```

	UNIT	BYPASS SWITCH
OPERATION	ON	
OUTPUT SWITCH	ON	OFF
CHARGER	OFF	

```
-----------------
MODE3 MEASURED DATA 83.08.22 15:51

UPS O/V U-V 209V  UPS AC I/V M/V 411V
UPS O/V V-W 209V  UNIT AC O/C M/V  8A
UPS O/V W-U 209V  UNIT DC FILTERV 262V
UPS O/C U    8A   CHARGER O/V  316V
UPS O/C V    6A
UPS O/C W    6A
UPS O/P     1KW
UPS ROOM TEMP 25°C
-----------------
```

(a) 記録項目出力の一例

```
DISPLAY MODE SELECTION:
 KEY IN SELECTED MODE NO. !! 8
MODE1. DATE AND TIME
MODE2. EQUIPMENT STATUS
MODE3. MEASURED DATA
MODE4. NORMAL DATA-RANGE SETTING
MODE5. WAVEFORM DISPLAY SELECTION
MODE6. LOGGING TIME SETTING
MODE7. TRANSMISSION TEST
MODE8. NO SCREEN BRIGHTNESS
```

(b) マニュアル 選択 ディスプレイ の一例

図 8. マイコンモニタリング装置の ディスプレイ の一例

マイコンモニタリング 装置は, これらの背景を受け CVCF をはじめとした無停電電源 システム 全体の運転状態・アナログ 波形・計測値などの表示記録をはじめ, 計測値の異常判定・運転状態の変化順序の記録・故障時の アナログ 波形・故障 アイテム の検出順序記録・日報作成などを行い, 負荷の運用管理や システム の保守管理に役立つ データ を提供する目的で製作されたものである。

この マイコンモニタリング 装置は MTTR の短縮や, 異常発生内容の的確な把握を必要とする用途で使用される無停電電源 システム には, 特に有効な設備であるが, 他の, 例えば通常の受配電 システム や機器の モニタリング 装置としても広く応用できるように設計・製作されている。

3. 1 マイコンモニタリング装置の構成

マイコンモニタリング 装置は, 無停電電源 システム 全体の アナログ 情報・接点情報を統括して監視するため, 基本的には 3 階層の マイコン を用いた システム から構成されている。

図 6. は システム 構成を示すもので, 複数台の CVCF を用いた並列冗長無停電電源 システム 用として適用した例を示している。

モニタリング 盤は, 保守管理者への サービスターミナル 機能を持つ階層で, アナログ 信号波形の表示記録・日報用 ディジタル 計測 データ の自動記録・CVCF の検出する瞬停・過電流検出前後の アナログ 波形の自動 トレース 表示記録などを行うほか, 各部の スイッチ の開閉状況・CVCF 異常時の異常発生順序などの表示記録を行う機能を持つ階層となっている。

データ 変換盤は, 出力切換盤で得られる システム の交流出力電圧・電流・電力・室温などの アナログ 信号, 個別 CVCF の交流出力電流などの ディジタル 計測と アナログ 波形の トレース を行うほか, 個別 CVCF で検出した 2 値信号の変化順序の管理を行う階層機能を持つ。各 CVCF 盤は CVCF の基本動作機能の停電検出・負荷過電流時の限流動作などの状態変化の順序管理・スイッチ 類の開閉状態・異常発生時の項目の順序管理を行い, データ 変換盤へ シリアル 伝送でこれらの情報を伝える役目を持つ階層である。

なお, マイコンモニタリング 装置の電源は, 無停電電源 システム の監視を行う関係上, 蓄電池から直接給電を受ける方式とし, 万一の システム 異常時にも電源を確保する方式を採用している。

3. 2 マイコンモニタリング装置の機能

マイコンモニタリング装置では図 7. に示す機能を自動的に実行するほか，任意の時刻に手動キー操作により計測値・アナログ波形・システムの運転状態・日時などをプラズマディスプレイに表示し，必要に応じプリンタに出力し記録することができる。図 8. は記録項目の出力と，マニュアル選択用ディスプレイの一例を示している。

マイコンモニタリング装置で取扱うことが可能な入力点数を次に示す。

(1) 計測用アナログ信号

入出力電圧・電流・電力・室温など 15 点。

(2) 波形記録・再生

異常検出前後のアナログ波形を 160 ms (50 Hz ベースで 8 サイクル分)，最大 8 点まで同時記録することが可能である。また多重異常発生の記録用として最大 3 回分までの波形を記録することができる。

(3) CVCF 装置状態・故障信号

各 CVCF 装置の停電検出信号・限流動作信号・開閉器類の開閉状態などの通常運転状態情報 8 点と，異常発生時の故障アイテム信号 24 点を個別 CVCF 単位に管理できる。

なお(1)項と(2)項のアナログ信号の検出処理方法は各々独立しており，システムの管理保守上の最良のモニタリングポイントと，モニタリング方式を選定できる方式とした。

3. 3 ハードウェアとソフトウェア

マイコンモニタリング装置は，無停電電源システム全体の情報を監視・記録する一つのシステムとして構成され，取扱う信号量も多く，信号の変化順序についても管理するため，情報はディジタル化されたコードで取扱われている。

個別の CVCF・データ変換盤・モニタリング盤には各々 8 ビット・16 ビットマイコンを内蔵し，各々情報の要求・応答にシリアル伝送で対応するシステムとした。なお，モニタリング盤とデータ変換盤の信号伝送は 1 対 1，データ変換盤と個別の CVCF 間は 1 対 N の伝送を行う方式とした。制御ソフトウェアは，ランダムアクセスに対して高速応答を実現するためアセンブラで記述されており，計測・伝送・異常値判定・画像表示処理などのサブユニットから構成されている。

なお，状態変化や故障の発生時には割込み処理により，発生日時を記憶し，以後自動的に異常・故障の日報作成と波形データの再生を行い，記録の整理や原因把握の助けとなるようになっている。また，通常日報は事前にマニュアル設定した指定時刻に対し，1 日 2 回まで，又は一定時間ごとに自動日報作成が行えるソフトウェアとした。

3. 4 設置条件

モニタリング盤は，通常人間が居住する監視室に独立して設置される場合が多いが，CVCF と同一の電気室に設置される場合は，モニタリング盤内にデータ変換盤の機能を収納することが可能である。なお，データ変換盤は個別 CVCF からの信号を集中管理するため，CVCF を設置する電気室内に設置される。

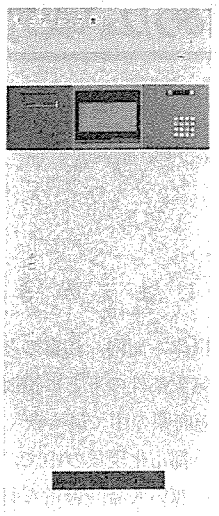


図 9. モニタリング盤の外観

モニタリング盤，データ変換盤は，いずれも前面保守のみとし，裏面・両側面の保守スペース不要とし，設置場所選定の便を図った。また，信号配線の入口は盤の底面と天井面の両方に設け，ビルなどピット配線の困難な設置場所に対しても，ラック配線で対応できるよう配慮した。図 9. はモニタリング盤の外観写真で，外形寸法は幅 750 mm，奥行 900 mm，高さ 1,900 mm，である。また，データ変換盤も同一寸法である。

4. む す び

本文では，新たな CVCF ファミリーの《MELUPS-mini》及び 16 ビットマイコン応用の電源システムのマイコンモニタリング装置の概要を紹介した。

《MELUPS-mini》は各種新技術の採用により，小形・高効率化を実現し，またマイコンモニタリング装置は，CVCF 装置を中心に構成された無停電電源システム全体を一つの単位として総合的に監視するもので，装置の状態・異常内容を自動的に記録に残すことを可能にし，無停電電源システムの管理・保守及び信頼性の向上を実現するものであり両者とも各方面の大きな期待に十分こたえられるものと確信している。

今後とも，各方面から寄せられる期待と要求にこたえられるように技術革新にまい進すべく，ここに心構えを新たにしたい。

参 考 文 献

(1) 鹿野ほか：トランジスタインバータ式無停電電源装置，三菱電機技報，57，No. 6 (昭 58)

大阪府納め広域水防情報システム

吉崎　守*・内藤明彦*

1. まえがき

大阪府は大阪湾に面し摂津，河内，和泉の各平野からなる大阪平野で占め，比較的温和な気象条件のもとに位置しているが，その面積は 1,860 km² と全国都道府県の中で最も狭く，全国一の過密地区となっている。この著しい都市化現象の中で，大阪府は過去何度も集中豪雨や台風に遭遇し，尊い人命，貴重な財産に大きな被害を受けてきた。

そこで大阪府では，有線回線途絶などの緊急時の通信手段を確保するため，昭和48年度からの5か年計画で「大阪府防災行政無線」を完成させており，現在，この施設は気象台が発表する気象諸情報や，水防本部が発表する水防情報などの連絡に威力を発揮している。

一方，洪水，高潮などによる災害を防止し，被害を軽減するためには，河川，海岸の改修を進めねばならないことはもちろんであるが，迅速かつ的確な水防活動も必要不可欠な条件である。しかし，そのためには大阪府下各地の雨量，水位，潮位の各データを常に把握する必要がある。

大阪府では「大阪府防災テレメータ全体計画」に基づき，既設防災行政無線を一部利用したディジタル無線テレメータシステムを設置し運用を開始している。

本稿では防災に関する支援情報提供システムとして最近納入した大阪府防災テレメータシステムについて紹介する。

2. 概　要

（1） 大阪府防災テレメータシステム構成を図 1. に示す。システムは統制局，中継局，地方局，観測局及び転受／傍受局から構成される。

（2） 地方局は，潮位1系，潮位2系，土木系の3系統に分割され，統制局の統制管理のもとに3系統の並列観測動作が可能な回線構成となっている。

（3） 雨量，水位，潮位などのデータは，統制局から許可を受けた地方局からの呼出しにより，70 MHz 帯又は 400 MHz 帯の無線周波数1波を利用して観測局から地方局に送られる。

（4） 地方局では，これらのデータをマイクロコンピュータ《MELFLEX 400》により処理し，表示盤へ出力するとともにタイプライタへ印字出力する。

（5） また，これらのデータは同時に既設の防災行政無線の 400 MHz 帯多重無線回線を経由して統制局へ送られる。

（6） 統制局では，地方局から送られてくるデータを3系統並列受信を行い，マイクロコンピュータ《MELFLEX 380》により処理され，いったん格納される。

（7） 統制局に集められたデータは，地方局の観測終了後，ダム・ポンプ場などで必要なデータが転送される。また，ミニコンピュータ《MELCOM 70／30》により構成される処理装置へ入力され，表示出力，タイプライタへの印字出力を行うほか，日報，旬報，月報，年報など

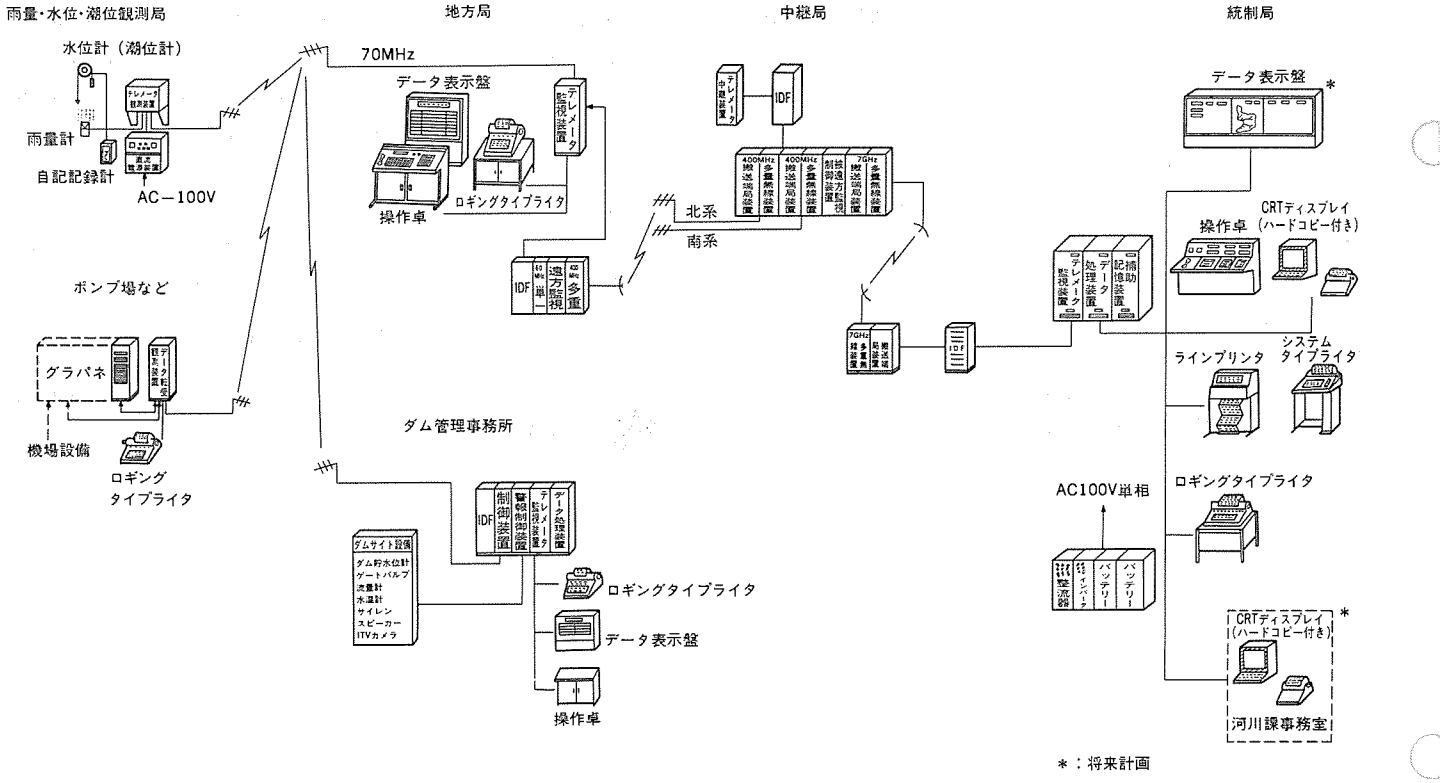


図 1. システム構成図

の統計的処理を行うとともに，CRT 表示出力も行われる。

3. 回線構成

回線構成を図 2. に示す。

(1) 統制局－生駒中継所間

既設防災行政無線多重回線（7 GHz 帯），音声帯域 3 チャネル を使用し，潮位 1 系，潮位 2 系，土木系の 3 系統が同時に運用可能な構成となっている。

(2) 生駒中継所－各地方局間

各地方局ごとに既設防災行政無線多重回線（400 MHz 帯），音声帯域 1 チャネル を使用し，生駒中継所において統制局から 3 系統に出力される指令，転送 データ を各地方局へ分配するとともに，各地方局からの収集 データ などは 3 系統に集線され，必要最小限の多重回線構成となっている。

(3) 地方局－観測局間

土木系 74.205 MHz，潮位 1 系は，411.50 MHz，潮位 2 系は 74.175 MHz の無線周波数 3 波を使用して 3 系統の観測動作の並列化を可能とし，防災体制時における データ 収集，転送に要する実時間の短縮化と空線時間の増大による効率の良い打合せ通話機能を提供できる単一無線回線構成となっている。また，この単一無線回線は観測終了後に行われる関係場所への データ 転送用にも使用される。

4. 情報伝送方式

データ 収集及び データ 転送における情報伝送方式は，次のとおりである。

(1) 対向方式 ： 1：N 方式

(2) 通信方式 ： 半二重

(3) 伝送速度 ： 200 b/s（ビット／秒）

(4) 符号方式 ： NRZ 等長符号

(5) 同期方式 ： 調歩同期

(6) 符号検定方式 ： 隣接 ビット 反転 2 連送符号検定 と パリティ 検定の併用

(7) 変調方式 ： 副搬送波 FSK-FM 変調

(8) 副搬送波

(a) 中心周波数 ： データ 収集 2,400 Hz
転送 2,800 Hz

(b) 周波数偏移 ： ±100 Hz

(c) 周波数変動 ： ±6 Hz 以内

(d) レベル 変動 ： ±2 dB 以内

(9) 通話路 S/N ： 35 dB 以上

(10) 総合ひずみ ： ±15 % 以内

5. システムの特長

5. 1 無線回線によるデータ収集

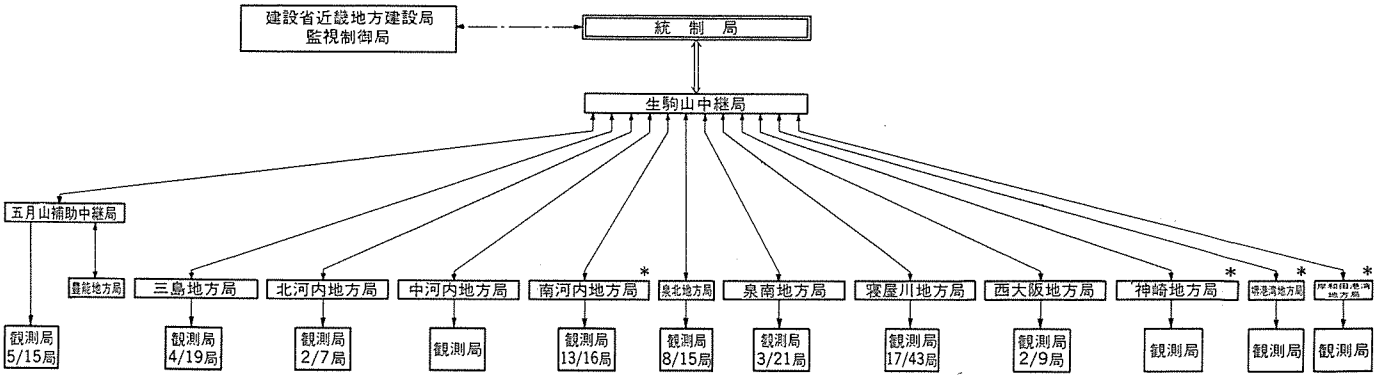
この システム は，防災 システム の性格上災害時において安定した回線を確保する必要があるため，観測局～地方局間は 400 MHz 帯又は 70 MHz 帯の単一無線回線を，地方局～統制局間は防災行政無線の多重回線を使用し，有線回線が寸断されるような事態においても情報の確保を行うことができる。

5. 2 速応性の高いデータ収集

データ 収集時間間隔は，土木系においては最小 10 分，潮位 1 系，潮位 2 系は最小 2.5 分とし，統制局～地方局間，地方局～観測局間の伝送速度は 200 b/s の ディジタル 伝送方式を採用しており，電波の有効利用と最新 データ の効率的収集を図っている。

5. 3 効率の良い打合せ通話機能

防災体制時において統制局～地方局間の通話機能は，極めて重大である。このため，多重無線回線の音声帯域において 2 kHz 以下を通話用，2 kHz 以上の帯域に データ 収集用及び データ 転送用の FS 2 チ



集 計 表

NO.	項目	局数	項目数				合計
			潮位・水位 L	雨 量 R	放流量 Q_1, Q_2, Q_3	その他	
1	統制局	1					1
2	中継局	2					2
3	地方局	12					12
4	観測局	171	143	47	13	18	221

凡 例

記 号	記 事
L	潮位又は水位
R	雨 量
Q_1	放 流 量
Q_2	貯 水 量
Q_3	流 入 量
W	風 向 風 速
S	警 報 局
————	無 線 回 路
—·—·—	有 線 回 路
□→□（転送）	有 線 回 路

注 (1) ＊は非設置局

(2) 観測局数は（実装局数）/（計画局数）を示す

図 2. 回線構成図

ﾁｬﾈﾙを割当使用し，統制局～地方局間の観測，データ転送，通話の3モードの並列動作を可能にしている。

5.4 停電対策

統制局においては，CVCF装置によって無停電化を図るとともに，非常用電源として自家発電機を備え停電時においても運用が可能である。また，中継局，観測局においては直流電源装置を備えて停電時のバックアップを行っている。

5.5 地方分散と中央集中の併用

このシステムは，統制局1局，地方局12局を持ち，観測局からのデータ収集は地方局が行い，各事務所単位でのきめ細かい運用を行うことができる。一方，統制局においては12の地方局で収集されたデータをすべて集中監視し，総合的な状況把握と指揮を行うことができる。

5.6 統制局による回線統制

12局の地方局に対して，無線周波数は3波が割り当てられており，各地方局が独立にデータ収集を行うと，地方局間で混信を起こして運用ができなくなる。このため，統制局は各地方局の回線統制を行い効率的な回線利用が行われている。

5.7 統制局のバックアップ機能

統制局設備は，データ収集を行うテレメータ監視装置《MELFLEX 380》と，データ処理を行うデータ処理装置《MELCOM 70／30》に主要機能を分割し，データ処理装置のダウンや改造，保守点検の場合においてもテレメータ監視装置によりデータ収集が行われ，バックアップデータをフレキシブルディスクシートに一時的に格納したり，タイプライタに生データの印字を行うことができる。

5.8 統制局における年間統計処理

統制局設備には，全観測局の10分間隔のデータを1か月ごとにフレキシブルディスクシートに格納するとともに，固定ディスク装置には統計データが格納されており，1年間の統計作表作業を自動的に行う。

5.9 電話応答装置による情報伝達

統制局設備（図3.）には電話応答装置が設置され，いつ，いかなる所からでも電話1本で大阪府管内の主要な地点の雨量，水位データを音声で応答することができる。

表 1. システム系統

系統	管内の分類
潮位1系	寝屋川地方局管内（寝屋川水系改修工営所）
潮位2系	西大阪地方局管内（西大阪治水事務所） 神崎地方局管内（神崎川出張所）* 堺港湾地方局管内（堺港湾事務所）* 岸和田港湾地方局管内（岸和田港湾事務所）*
土木系	豊能地方局管内（池田土木事務所） 三島地方局管内（茨木土木事務所） 北河内地方局管内（枚方土木事務所） 中河内地方局管内（八尾土木事務所）* 南河内地方局管内（富田林土木事務所） 泉北地方局管内（鳳土木事務所） 泉南地方局管内（岸和田土木事務所）

注　*は非設置局を示す

6. 装置の機能概要

6.1 統制局

（1） データ収集と転送

大阪府管内に配置された12地方局を表1.に示す。土木系，潮位1系，潮位2系の3系統に分割し，各系に割り当てられた無線周波数3波からなる回線統制を行って，各地方局へのデータ収集指令及び各観測局より収集したデータを関連する地方局へ再転送を行う。また，データ収集を行っていない空き時間は，常時スキャン機能により地方局からのデータ収集要求を調査し，要求がある場合はデータ収集許可を与える。

（2） 演算処理

データ入力時にBCD符号検定，無効データ検定などを行い，特定項目についてはデータのスケール変換を行う。その他，下記に示す雨量データ処理，河川の流量演算，平均，最大，最小などのデータ処理を行う。

（a） 10分間雨量
（b） 時間雨量（正時から10分間隔ごとの1時間雨量）
（c） 累計雨量（積算開始からの雨量）
（d） 日雨量（午前9時から翌午前9時までの雨量）
（e） 10分間雨量最大値と発生時刻（時分）
（f） 10分ごと時間雨量最大値と発生時刻
（g） 10分ごと3時間雨量最大値と発生時刻
（h） 日雨量最大値と発生月日
（i） 月間降雨量
（j） 年間降雨量
（k） 降雨量別日数（4段階に分類）

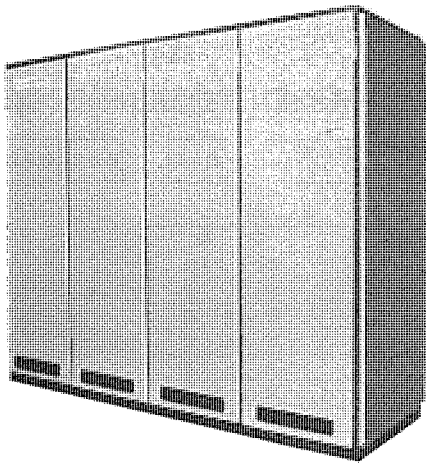
（3） 記録

4台のタイプライタ，ラインプリンタなどにより，下記の記録を行っている。

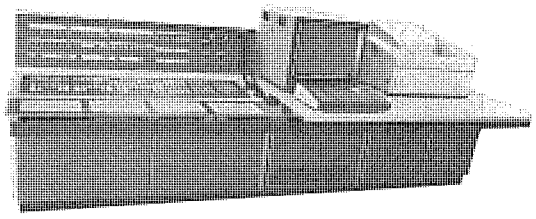
（a） バックアップタイプライタ
データ処理装置停止時にテレメータ監視装置で収集された生データの記録を行う。

（b） ロギングタイプライタ
雨量に関する日報，月報，年報，降水最大日報，量別降水日数などの記録を行う。

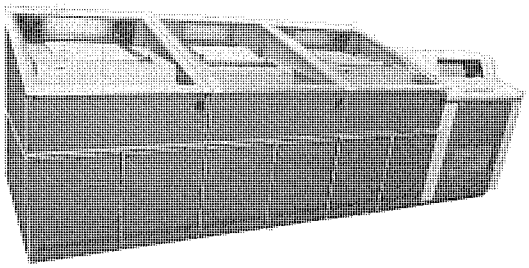
（c） ラインプリンタ



（a） 監視処理装置



（b） 操作卓



（c） タイプライタ装置

図 3. 統制局設備

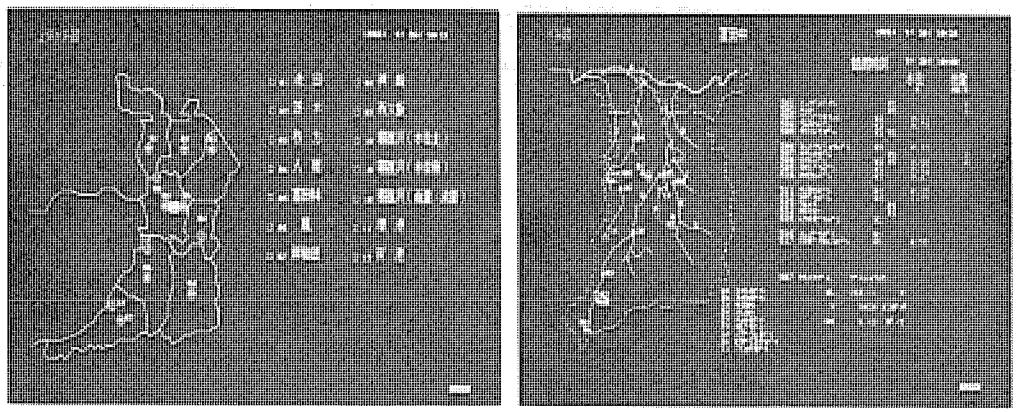


図 4. CRT 画面

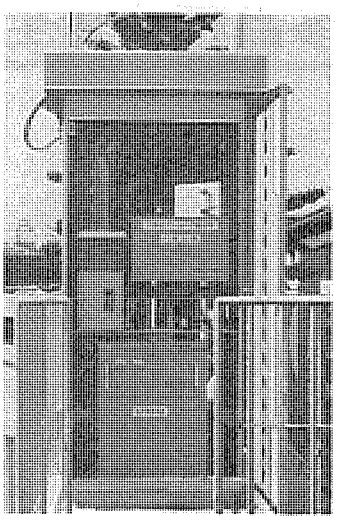


図 5. 観測局設備

河川水位，潮位，ダム諸量などの日報，旬報，年報，水位位況表などの記録を行う。

（d） システムタイプライタ

機器異常記録，警報判定記録，運用履歴記録などを行う。

（4） 表示

CRT ディスプレイ装置により，全観測局のデータのグラフ表示，数値表示などを行う。また，CRT ディスプレイ装置から警報設定値，演算パラメータの変更やデータ補間を行うことができる。また，将来はデータ表示盤の設置も計画されている。図 4. に CRT 画面の例を示す。

（5） データファイル

データファイルとしては，1か月ごとのデータを格納するフレキシブルディスクと1年間の年報データを格納する固定ディスクが使用されている。

（6） バックアップ機能

データ処理装置が停止した場合は，テレメータ監視装置で収集されたデータの生データ印字，フレキシブルディスクへのデータ格納が行われ，処理装置復旧時にデータの補間を行うことができる。

（7） 電話応答機能

3回線の電話局番を持つ電話応答装置により，常時，主要観測点のデータを音声で応答することができる。

6. 2 中継局

生駒山の山頂に設置された多重無線回線を介し，統制局～地方局間のデータ集配信を行う。

6. 3 地方局

（1） データ収集と転受

統制局からのポーリング指令により，地方局は管内の観測局のデータ収集を行う。また，統制局に集められた他の地方局のデータを転受して，地方局相互にデータを有効利用することができる。

（2） 演算処理

地方局には，マイクロプロセッサを使用したテレメータ監視装置が設置されており，統制局とは独立に主に次のような演算処理を行い地方分散による運用が行われる。

- 10分間，1時間雨量警報判定
- 水位，潮位警報判定
- 水位スケール変換
- 10分間，時間雨量演算
- 日雨量積算
- 最高水位検出処理

（3） 記録

収集されたデータは，前記の処理が行われた後，タイプライタに時報印字，日報印字として出力される。

（4） 表示

地方局によってはデータ表示盤が設置され，刻々変化するデータが一目で監視できる。また，警報値に達したデータは，ランプにより警報状態であることが表示される。

（5） データ転送

地方局には，更に下位のダム，排水機場などへ必要なデータを転送する機能があり，大阪府下の関連データを有効に利用することができる。

6. 4 観測局

（1） データの観測

大阪府下には約170局の観測局が設置される計画で，収集するデータは主に水位，潮位，雨量などであるが，そのほか地域によって放流量，ダム諸量，風向，風速などのデータも収集する。また，従来の建設省の雨水テレメータでは，1局1量のデータであったのに対し，1局で複数量のデータを取り扱うことができ，呼出方式もトーン呼出しからディジタル符号呼出しとして多量のデータ収集に向く方式が採用されている。

（2） 停電対策

観測局は，災害時に商用が停電しても運用を続ける必要があるため，バッテリによる停電保証が行われている。このため，観測装置も低消費電力化が図られている。

7. む す び

以上，大阪府防災テレメータシステムについて概要と機能を紹介した。防災テレメータシステムを導入した結果，防災情報の地域監視及び中央での集中監視の併用によるきめ細かい防災体制確立が可能となり，今後，防災行政無線システムとともに大阪府防災テレメータシステムは，ますます水防活動の重要な情報提供システムとして役立つものとなろう。

終りに，このテレメータシステムを納入するに当り，多大の御指導をいただいた大阪府関係者各位に感謝の意を表する次第である。

多品種少量生産における表面処理作業の自動化設備

中島与元*・大峡秀一*・河野邦正*・松田淑男*・石添良一*

1. まえがき

最近の工場の自動化，FMS 化などの進歩，発展は著しく数多くのシステムが発表されているが，ほとんどのものは機械加工，組立などの分野に適用したものであり，表面処理すなわちめっき作業に適用した例は極めて少ない。また，更に自由度の低い単品生産向きの設備で多品種少量生産に適さないばかりでなく，FMS と呼ぶには程遠いものが多い。

しかし，めっき作業の自動化に対しては，生産性の向上のほかに品質の安定化，嫌悪作業からの解放などの理由からも根強い要求があり，多品種少量生産の典型である当所工場に適した設備作りを行ったのでその内容について報告する。

めっき作業は，品物を液につ(漬)けるだけと単純に考えられがちであるが，実際の作業を子細に追っていくと非常に煩雑なものでありその状況について説明する。

(1) めっき作業においては表面積により電流値を，また皮膜厚さにより処理時間を変えなければならず，品物ごとに，また処理槽ごとに電流値と時間を設定する必要がある。

(2) 実際のめっきラインでは，一つのラインで幾つかの種類のめっきができるように槽が構成されていることが多く，ある特定のめっきをするためには槽を選択して作業しなければならない。今回の例では24槽で7種類のめっきをするように構成されているラインもある。

(3) 一つのラインで次々にめっきを行うためには，槽の使用予定を決め，次の品物の処理時刻を決め，品物を効率的に動かすためのスケジュールを作り，またスケジュール通りに品物を動かすための管理が必要である。

このような煩雑さは多品種少量生産になればなるほど著しく増加するものであるが，多品種でも対応が可能な設備を目的に開発し，昭和57年より実作業に適用している。なお，本稿中のめっき処理の名称は次の略語を使用している。

- 金，銀，銅，ニッケルめっき……貴金属（めっき）
- アルミニウム陽極皮膜処理　……アルマイト（処理）
- アルミニウム化成皮膜処理　……アロジン（処理）
- ステンレス鋼不動態化処理　……不働態化（処理）

2. 概　要

2.1 全体構成

当設備は図1.のようにラインが構成されており，品物は矢印のように，各ラインでの処理を終えるとライン間を結ぶ地上トラバーサを経由して乾燥ラインへ集中する構成としている。

「しみ」を残さないため，乾燥はめっき後，直ちに行う必要があり，仮に乾燥が自動化されない場合にはめっき完了ごとに人手を介することになり，自動化の効果が半減してしまう。当設備ではフレ

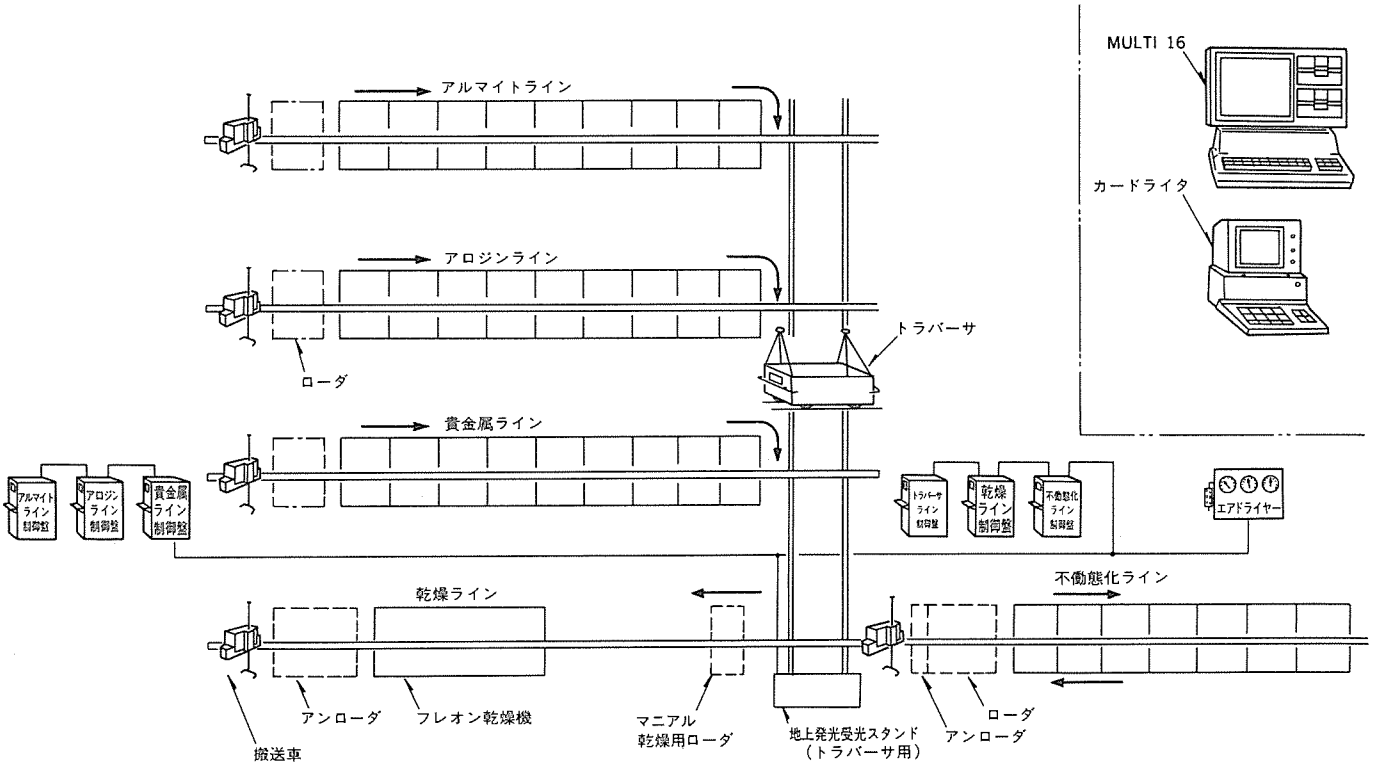


図 1. 設備レイアウト図

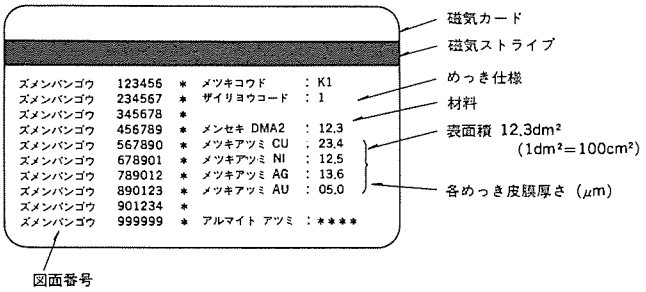
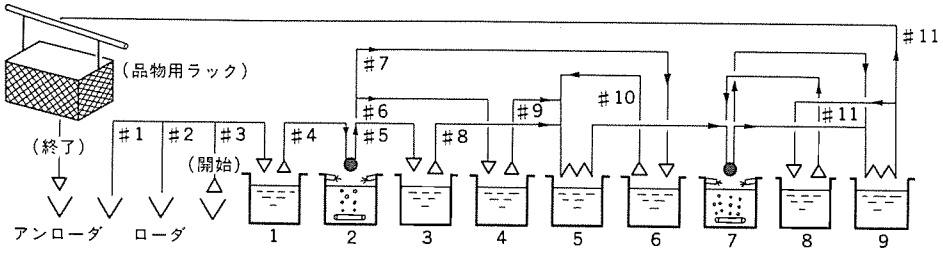


図 2. 磁気カード内容



槽No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
処理名	アルカリ脱脂	水洗	不働態タイプ1	不働態タイプ2	処理液回収	不働態タイプ3	水洗	クロメート	湯洗
処理時間	10分	1分	20分	28分	1分	15分	1分	30分	1分
備考		エア 水 シャワー			揺動		エア 水 シャワー		揺動

注 △……取り上げ ▽……置く ●……停止 W……揺動 #1～11……コマンドNo.

図 3. 処理工程（不働態化ラインの例）

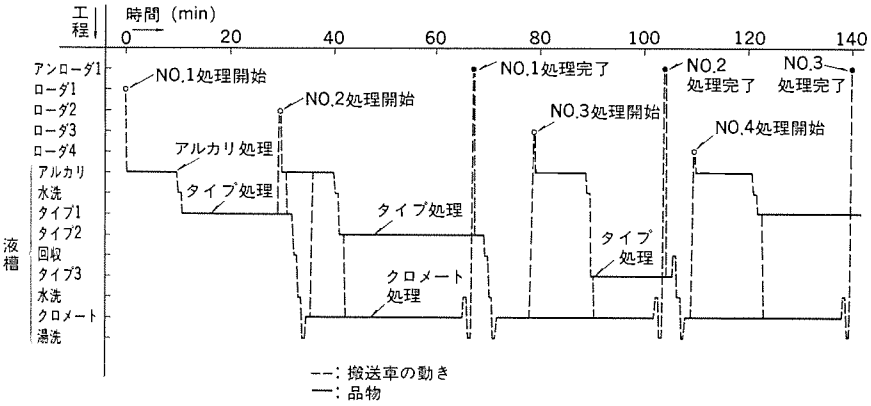


図 4. 搬送車運行図（不働態化ラインの例）

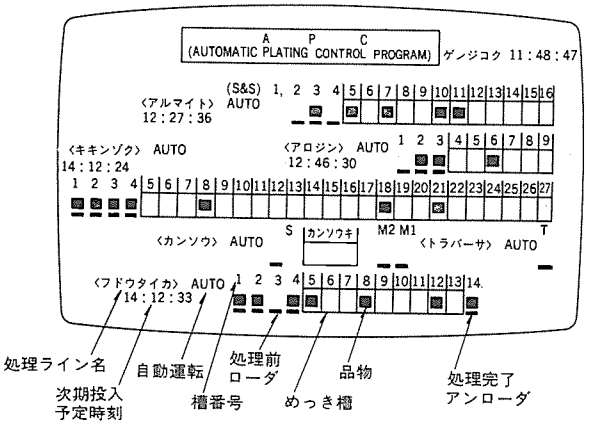


図 5. CRT 画面（状態表示の例）

オン系の溶剤に浸し(漬)して乾燥させる方法を採用し，処理時間が短いこと，及び乾燥設備が高価であることから1台の乾燥機へ集中させることとした。

制御装置には各ラインのハードウェアを制御させるためのマイコンを総括的に管理させるために，パソコン《MULTI 16》を階層的に使用している。また別途磁気カードライタを用意している。これらの制御用プログラムには，開発及び保守の容易なBASICを用いたがインタプリタ方式のBASICは実行速度が遅いため1部アセンブラも併用している。

2. 2 めっきデータ入力の簡素化

めっきする品物をラインへ投入するためには，その品物のめっき仕様，及び作業記録を残すための図面番号を入力する必要がある。入力データの例を図2.に示すが，このデータをキー操作に不慣れな作業者に行わせることは能率の点から，また確実さの点からも避けたいと考え，磁気カードによる入力方法を採用した。多品種少量生産の場合は，データが品物ごとに必要であり磁気カードにより入力を簡素化したことがこの設備の一つの特長である。

2. 3 品物の動きの管理

(1) ライン内での管理

一つの処理ラインの中でも，前の品物の処理が完全に終らないうちに次の処理の開始が可能であるため，ライン中に複数の品物が存在することになる。しかし，めっき作業では一度処理を開始したら先の槽がふさがっているからという理由で，むやみに処理時間を長くしたり，空気中に放置することは許されない。したがって現在処理中の品物の槽の使用予定を把握し，次の品物の処理スケジュールを決める必要があり，これはあたかも列車ダイヤ編成表を作るようなものである。

図3.，図4.に比較的処理が単純な不働態化処理の場合を例に処理工程及び品物の動きを示すが，品物がラインに投入されるごとにリアルタイムで決めていかなければならないことが列車ダイヤとは異なる点である。同じ品物を続けて処理する場合には，この動きはパターン化でき管理も容易であるが，異なる品物を次々に処理し品物ごとに時間が変化するような場合は，人手によると的確な判断をすることは難しく，余裕が大きく取られた動きになってしまい稼働率が低下することになる。

(2) 複数ラインの統括管理

今回の例では，乾燥ラインを含め五つのラインを自動化し乾燥ラインへ集中するようにしているが，このため前項のライン内での管理に加え乾燥ラインの使用予定を加味して処理スケジュールを決めるような統括管理を行っている。パソコン《MULTI 16》の画面例を図5.に示す。

2. 4 品物の随時投入

各ライン前の品物の置き台（以下，ローダと称す）に物を置き，磁気

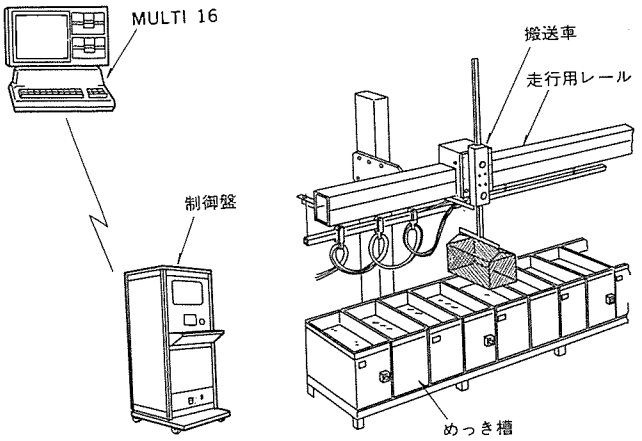


図 6. 自動化設備部分の外観図

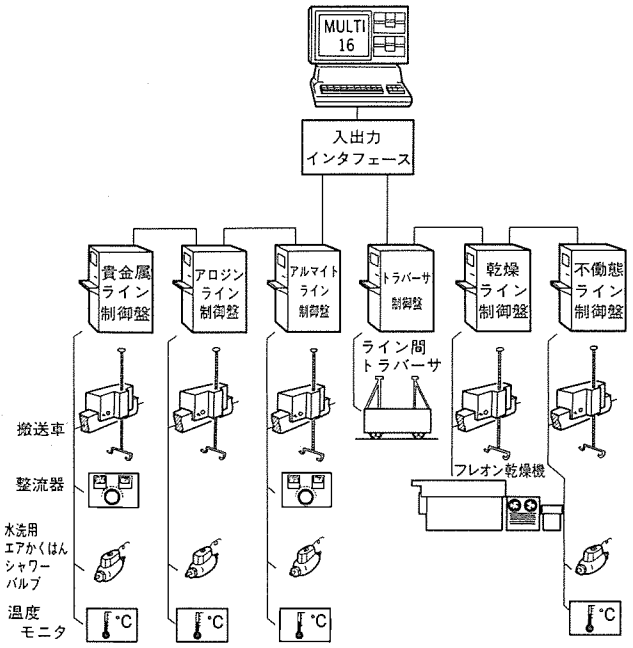


図 7. 制御機器構成

カードを入力するだけで，投入作業が終るがローダは1箇所でなく複数個とした。例えばローダが4箇所あれば，同時四つの品物を置き磁気カードを入力すれば，槽の使用状況に応じ順次めっきが開始される。不働態化ラインを例にとると，最初に四つの品物を投入してから，約2時間後（図 4.）に四つのローダが空き，次の四つの品物を置くことができるようになるが，それ以前にローダに空きができるので空き具合に応じて置くこと，すなわち随時投入が可能なシステムとした。これは機械のペースに合わせて作業するのではなく，人間のペースに合わせて作業できるということであり，苦心した点の一つである。

3. 構成及び機能

設備を制御，管理するための主な構成品及び機能について説明する。なお，その部分的な外観図を図 6. に示す。

3. 1 ハードウェアの構成及び機能

ハードウェアは図 7. に示す機器から構成されており，主な構成品とその機能について説明する。

（1） 搬送車

搬送車は，めっきライン上を移動するための走行モータと，槽の中へ品物を投入させるための昇降モータと，めっきライン上を走行して到着した槽番号を検出するための磁気スイッチ（5ビット）からなっている（図 8.）。

モータは加減速動作，位置決めの制御が容易なパルスモータを選択した。また車輪の滑りなどにより停止位置のばらつきが生じた場合でも，正確な位置に収束する機能をソフトウェアでもたせている。

（2） 光通信機能付きトラバーサ

このトラバーサは，各ラインの搬送車から品物を受け取って，乾燥ラインへ中継するための装置である。当自動化設備では，10メートル以下の往復直線走行でよいことと通信内容が行先のライン番号のような簡単な内容でよいなどの理由から，当設備のトラバーサは，バッテリ内蔵の有軌道車とし，市販の光電スイッチ（赤外光）と図 9. のような制御回路からなる安価な通信機能を持つものを製作した。

トラバーサはライン番号を光シリアルデータ（0.5秒以下のパルス列）として受け取り，指示されたラインまで移動し到着後ライン番号を送り返し，品物を受け取った後乾燥ラインへ戻ってくる。

（3） パソコン《MULTI 16》と制御盤間のデータ転送

一般的な標準インタフェースは，種々の欠点，例えば RS-232 C では通信形態が 1：1，GPIB(IEEE-488) では，転送距離が 5 m 以下であるなどの欠点があり，当設備用に複数台のマイコンが接続可能な《MULTI 16》用のインタフェースを新たに開発した。図 10. に示すように，《MULTI 16》には最大32台（4群×8台）の制御盤が接

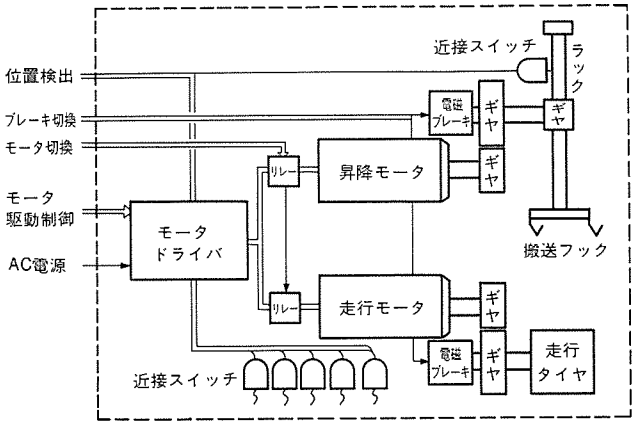


図 8. 搬送車構成

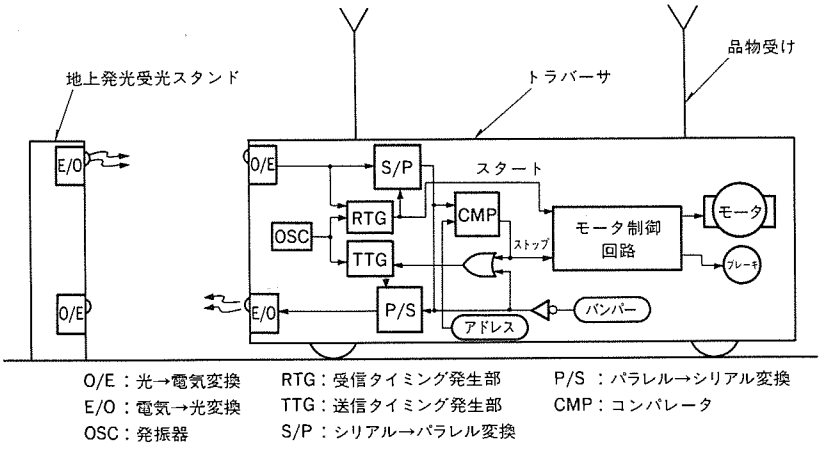


図 9. トラバーサ構成

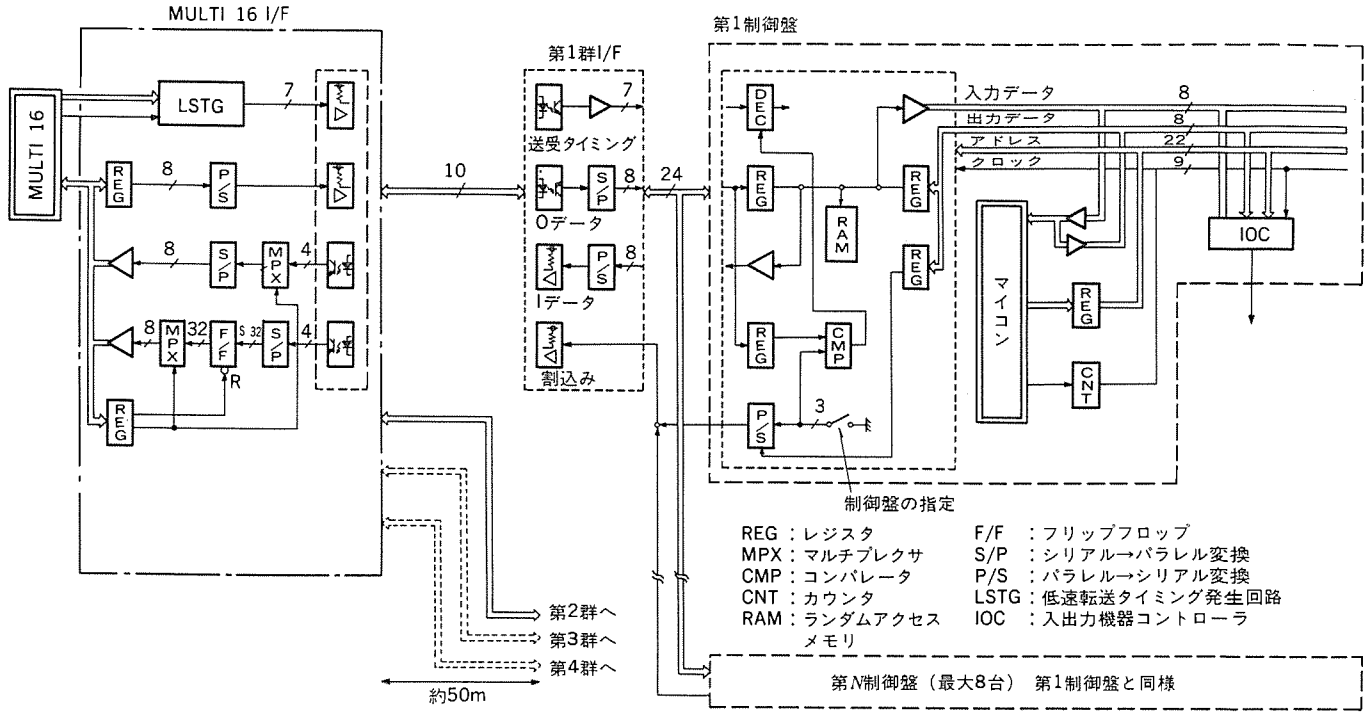


図 10. データ転送ブロック図

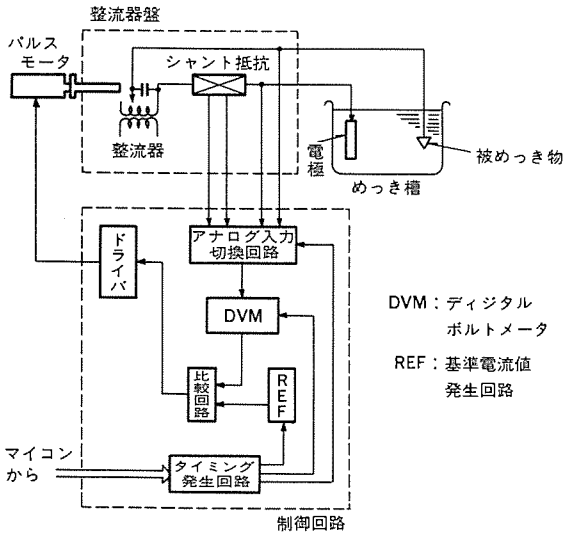


図 11.（a） 電流制御系統図

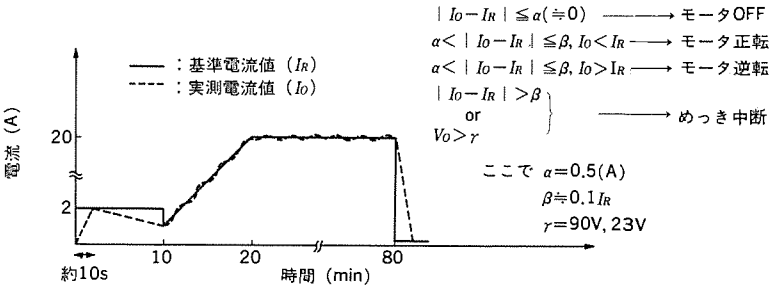


図 11.（b） 電流制御模式図

続可能であり，データはフォトアイソレーションされたシリアルデータで転送されるようにした。送受タイミング信号は2ビットのアドレス，ライト及びリードストローブと低速クロックなどからなっている。

データ転送を行う制御盤の指定は，《MULTI 16》からデータで書き込み，あらかじめ制御盤内のディップスイッチで指定した番号と等しい制御盤を選択する。各制御盤内には，BUFメモリ（最大256バイト）を持たせており，データ転送を行う制御盤を選択した後は，入力／出力命令を繰返せば，連続してデータの授受が可能であり，RS-232Cなどと比べてソフトウェアの負担が少ないことも一つの特長である。

（4） 電流制御

アルマイト処理は，品物の皮膜が成長するにつれ等価抵抗価が高くなり，めっき電流が減少するため，常時めっき電流が基準値を保つようにフィードバックをかける必要のあることが他の金属めっきと異なる点である。フィードバックを制御盤内のマイコンで行わせると，アルマイト処理中は他の処理ができなくなるため，専用のハードウェアを製作した。

図 11.（a）のように，設定されるべき電流値を発生させる基準電流値発生回路と実測した電流値を比較して，図 11.（b）の条件を満足するように制御を行う。なお，この制御回路の最小分解能は0.5 A (0.5 V) であり，サンプリングレートは約1秒である。

3. 2 ソフトウェアの構成及び機能

パソコン《MULTI 16》のソフトウェアは，基礎データ作成用プログラムと作業記録出力プログラム及び管理プログラムからなる。ここではメインプログラムである管理プログラムの機能について説明する。

（1） めっき仕様対応機能

図 2. に示してあるように，めっき仕様，材料，表面積，皮膜厚さなどの品物固有でかつ品物ごとに変化するデータが磁気カードの入力により，各制御盤から《MULTI 16》へ伝送される。めっき仕様により運行パターン（図 4.）を，表面積及び皮膜厚さからめっき電流値及び処理時間を決めることにより，あらゆるめっき仕様に対応できるようにしている。

（2） 処理スケジュールの作成と管理

各ラインごとに随時投入された品物の磁気カードデータと，基礎データをもとに乾燥ラインの使用状況を加味した処理スケジュールのテーブル

が作成される。コマンドはこの時刻テーブルをもとに各ラインへ発令されるが，実際の処理時間を常にフィードバックし，時刻テーブルを刻々書き替えるようにしており，正確な時間管理を可能としている。

(3) トラブル，エラー処理

当設備は，計算機に不慣れなめっき作業者にも容易にトラブル内容が判断できるように，下記のような機能を持っており，これらのトラブルが発生すると，パトライトとブザーにより知らせるとともに，トラブル内容をプリント出力し，作業を人手により続行できるようにしている。

(a) 磁気カードデータエラー

データの形式がラインに合っているか，値が許容値以内かなどをチェックしている。

(b) データ転送不能

パソコン《MULTI 16》と制御盤間のデータ転送において，割込み発生から応答までの時間オーバをチェックしている。

(c) タイムオーバ

処理スケジュールに基づくコマンド発令から処理完了までの時間をチェックしている。

(d) 品物衝突チェック

槽に取り付けたリミットスイッチにより，同一槽に品物をだぶって投入しないようにしている。

(e) めっき電流制御異常

めっき電流値が基準電流値から約10％以上離れたときや，電圧値が限界を越えた場合に発生させる。

(f) 乾燥機の扉開閉異常

開閉状態をリミットスイッチで読み取ることにより，異常を判断している。

4. 特　　長

以上，説明してきた当設備の特長をまとめると次のようになる。

4. 1 システムの特長

(1) データ入力簡素化のために磁気カードを採用した。

(2) 各ラインのローダに空きがあれば，異なっためっき仕様の品物が随時投入できるようにした。

(3) ふっ素系溶剤の乾燥機を各ラインで共有化し，かつ乾燥機での待ちを無くすように全体をスケジューリングしている。

4. 2 ハードウェアの特長

(1) パソコン《MULTI 16》とマイコンを1：Nで階層化し，ソフトウェアの負担が少ないインタフェースを開発した。

(2) アルマイト処理用として，常時，基準電流値と比較しながら制御する専用の電流制御用のハードウェアを開発した。

(3) トラバーサの通信手段として，簡易形光通信方式を採用した。

(4) フォトアイソレションによるアース分離と，めっき設備系と制御系の電力供給源分離によるノイズ対策を施した。

(5) めっき工場特有の腐食ガス対策として，制御盤及びトラバーサにフレッシュエアを供給できるようにした。

4. 3 ソフトウェアの特長

(1) パソコン《MULTI 16》のCRT画面表示により，各ラインごとの各槽の品物の挿入状態及び次期投入予定時刻などの状態把握が容易にできるようにした。

(2) 基礎データ変更により，めっきプロセスの変化に容易に対応可能とした。

(3) システムの基礎データの登録，修正，削除をスクリーンエディット方式で容易に操作可能とした。

5. む　す　び

当報告においては設備技術を中心に述べてきたが，設備技術とめっき技術の融合が必要であることは言うまでもなく，めっきという勘に頼ることの多い微妙な作業で自動化設備の真価を発揮させるには，設備化が可能な処理プロセスの検討，人間の勘の定量化などが不可欠であった。これらの過程を踏まえて，当自動化設備は完成したものであり，その成果は生産ラインでの適用を重ねることにより大きな力を発揮するものと期待している。

今後，実際の生産ラインでの実績を重ね，一層現場に適した生産設備に改良していくつもりである。

帯広中島処理場納めオゾンを用いたし尿三次処理装置

久川義隆*・本多敏一*・伊藤哲司**・山本昭規**

1. まえがき

し尿は毎日の生活から排出され，他の生活排水（洗濯，ふろ，手洗い，飲食などからの排水など）と比べ，汚濁負荷量が大きいため，下水道設備が設置されていない地域においては，単独に処理されている。し尿の処理別内訳は，生し尿処理が約40%，浄化槽処理約20%，下水道による処理約20%，海洋投棄・農地還元などが約20%であり，この内，生し尿及び浄化槽より出る浄化槽汚泥は，し尿処理場で処理されている。

し尿処理場からの放流水水質の規制値は，BOD（生物化学的酸素要求量）日間平均値30 mg/l以下，SS（浮遊物質量）日間平均値70 mg/l以下，大腸菌群数日間平均値3,000個／cm^{3}以下であり，水質汚濁防止法などに基づく付加設備を設置する場合には，COD（化学的酸素要求量）日間平均値50 mg/l以下となっている。水質規制は，以上の4項目について実施されているが，近年，規制項目以外の色度が社会問題となってきている。し尿処理場を建設する場合，その70%はオゾンを使用して脱色を行っており，更に活性炭による脱色を含むと90%近くが脱色対策を実施している。しかしながら，全国約1,300箇所の既存処理場の中，脱色対策をしているのは十数%程度であり，大部分のし尿処理場では着色した二次処理水を放流している。

通常，脱色をする場合，オゾン処理の前段ではCOD低減を主目的に凝集処理を実施している。これに対し，当社方式では砂ろ過処理後，オゾン処理を行い，砂ろ過器の逆洗排水を含む消泡分離排水を凝集浮上分離処理することにより，色度は，もちろんのことCOD・BODも低減できる新たなシステムを開発した。ここでは，帯広中島処理場に納入した「オゾンを用いたし尿三次処理」の実施例について報告する。

2. オゾンを用いたし尿三次処理システム

し尿の三次処理は二次処理水の全量を凝集処理し，次にオゾン処理，最後に砂ろ過処理を行うシステムが多く実施されている。この処理システムには，次のような問題があった。

（1） 全量凝集処理を実施するために，ランニングコストが高い。

（2） 凝集処理により汚泥が発生し，汚泥処理費用が増加し，また汚泥の脱水性が悪い。

（3） 凝集処理条件が二次処理水の影響を受けやすく，安定した処理が困難である。

（4） 構成機器が多くなり，保守に時間がかかる。

（5） 凝集処理の敷地が大きいために，設置面積が大きい。

（6） 敷地面積が大きく，構成機器が多いため建設費が高い。

以上のような問題を解決し，新しい処理システムを開発するため，以下のように実験室におけるバッチテストと，現地で実験機を用いた連続通水実験を実施した。

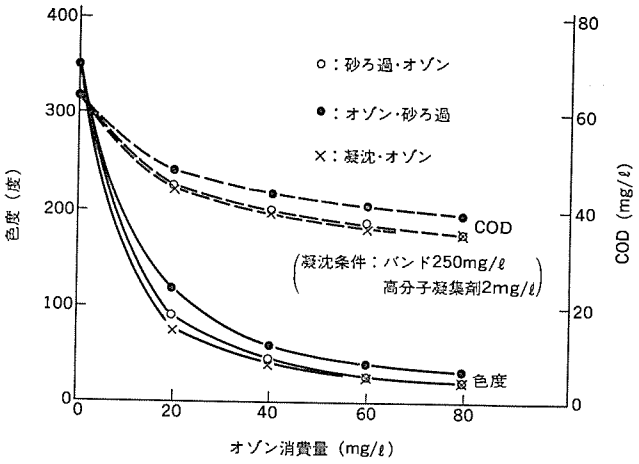


図1. オゾン消費量と色度・CODの関係

2.1 バッチテスト

（1） 実験方法

バッチテストでの処理フローを次に示す。

①し尿二次処理水→ろ過処理→オゾン処理…砂ろ過・オゾン法

②し尿二次処理水→オゾン処理→ろ過処理…オゾン・砂ろ過法

③し尿二次処理水→凝沈処理→オゾン処理→ろ過処理…凝沈・オゾン法

バッチテストに用いた試料は1lであり，各々次に示す処理工程によって得た，

（a） ろ過処理

ろ過処理水はガラス繊維ろ紙で，し尿二次処理水をろ過して得た。

（b） オゾン処理

オゾン処理水は，ガラス製のオゾン反応塔（45 mmφ×750 mmH）内に，ろ過処理水，又はし尿二次処理水，あるいは凝沈処理水を入れ，オゾン反応塔下部から散気管を介して，オゾン化空気を散気して得た。

（c） 凝沈処理

凝沈処理水は，し尿二次処理水に硫酸バンドを添加した後，pH調整し，その後，高分子凝集剤を添加し静置分離して得た。

（2） 実験結果

砂ろ過・オゾン法，オゾン・砂ろ過法，凝沈・オゾン法の実験結果を図1.に示す。図1.から色度・CODの除去効果は，凝沈・オゾン法が良く，次に砂ろ過・オゾン法，次にオゾン・砂ろ過法の順となっている。ただし，凝沈・オゾン法と砂ろ過・オゾン法の差はほとんどない。これに対し，オゾン・砂ろ過法の処理効果は悪い。これは，し尿二次処理水中に含まれるSSは，二次処理の活性汚泥に起因する有機性の物質が主であり，このSSにオゾンが消費され処理効果が悪くなっているものである。

2.2 実験機による連続通水実験

（1） 処理フロー

* 制御製作所　** 名古屋製作所

バッチテスト の結果，砂ろ過・オゾン 法による処理方式にて満足できる処理効果が得られたので，現地で実験機を用いて連続通水実験を実施した。なお，連続通水実験では，SS 性・コロイド性の COD・BOD の除去効果を良くするため，オゾン 反応塔での泡まつ（沫）分離効果を積極的に利用した。実験機による連続通水実験の処理 フロー を次に示す。

し尿二次処理水→砂ろ過処理→オゾン 処理

分離排水→凝沈処理

これらの フロー について更に詳しく説明すると，次のようになる。し尿二次処理水は原水 ポンプ にて砂ろ過器に送られ，ろ過処理水となる。このろ過処理水は，直接，オゾン 反応塔上部に入り，オゾン 反応塔下部から オゾン 処理水として取り出される。一方，オゾン 化空気は反応塔下部から，散気管を介して微細な気泡となって供給され，反応塔上部より泡を含んだ排 オゾン として取り出され，消泡塔にて泡を消し，破泡液と消泡水は分離排水として系外に取り出し，凝沈処理される。

（2） 実験結果

表 1. には，オゾン 消費量 50 mg/l のときの実験機による連続通水実験結果と バッチテスト による実験結果を示した。実験機による処理結果は良好であり，COD・BOD・色度・SS など，すべての水質項目について バッチテスト の処理結果を上回っている。これは，オゾン 反応塔における泡沫分離効果により，SS 性・コロイド 性の COD・BOD が除去された結果である。

（3） 分離排水

分離排水量は，し尿二次処理水に対して数 %（破泡液量としては約 2 %）であり，COD 負荷は約 5 %（対二次処理水比），BOD 負荷は約 15%（対二次処理水比），色度負荷は約 1 %（対二次処理水比）であった。表 2. に分離排水の凝沈処理結果を示したが，SS 性・コロイド 性の COD・BOD が主体のため，凝沈結果は良好であった。

2. 3 実機への対応

バッチテスト，実験機による連続通水実験結果から，オゾン を用いたし尿三次処理 システム は次のとおりとした。

（1） まず砂ろ過により，し尿二次処理水中の SS を除去し，これに起因する COD・BOD の低減を図り，オゾン 処理への負荷を低減する。

（2） 次にろ過処理水を オゾン 反応塔に導いて，オゾン 処理するが，ここでは泡沫分離効果を積極的に利用し，ろ過処理水中に残る SS 性・コロイド 性の COD・BOD の低減を図る。

（3） 砂ろ過の逆洗排水は消泡水として用い，排 オゾン と反応させ，排 オゾン 量を低減し，排 オゾン 処理の負荷低減を図る。

（4） 消泡塔からの分離排水は，凝集処理後，沈殿処理ではなく，処理水質の安定する電気浮 上 に よ る凝集浮上分離処理を実施し，COD・BOD の低減を図る。

以上の システム を採用することにより，従来の方式と比べ，低 ランニングコスト・汚泥量低減・安定した処理水質・容易な保守・少ない敷地面積・低建設費を可能にした。

表 1. 連続通水実験・バッチテスト 結果比較

	COD(mg/l)	BOD(mg/l)	色 度（度）	SS(mg/l)
し尿二次処理水	63	26	350	24
連続通水実験	37(41)	12(54)	25(93)	1(96)
バッチテスト	40(37)	15(42)	35(90)	5(79)

注 （ ）内は除去率

表 2. 分離排水凝集沈殿結果

硫酸バンド(mg/l)	COD(mg/l)	BOD(mg/l)	色 度（度）
分 離 排 水	49	38	30
1 0 0	17(65)	15(61)	25(17)
2 5 0	12(76)	10(74)	25(17)
5 0 0	9(82)	7(82)	20(33)

注 （ ）内は除去率

3. 中島処理場納入機運転結果

中島処理場納め「オゾン を用いたし尿三次処理装置」の処理 フロー と，各工程での水質を図 2. に示す。この処理場は昭和 42 年に運転開始され，その後の増設工事により，現在，日量 170 kl の処理能力で，処理方式は標準希釈法による嫌気性消化方式である。

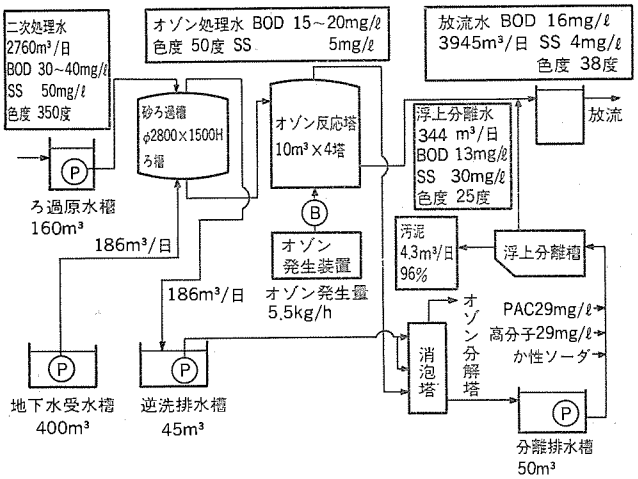


図 2. オゾン によるし尿三次処理 システムフロー 図

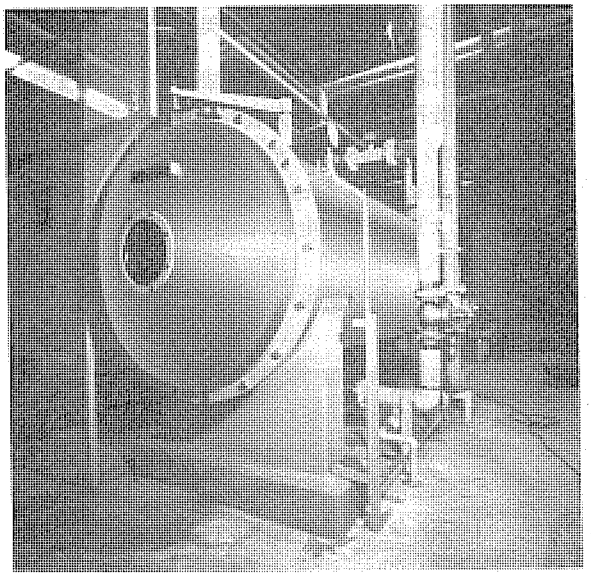


図 3. オゾナイザ OT-5.5 E

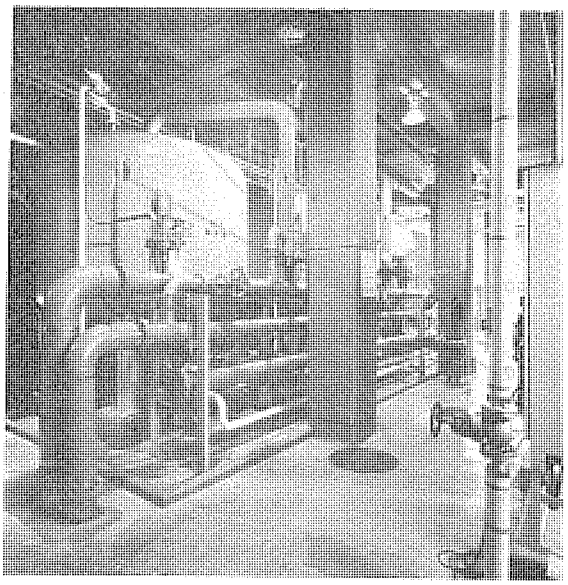


図 4. 砂ろ過器

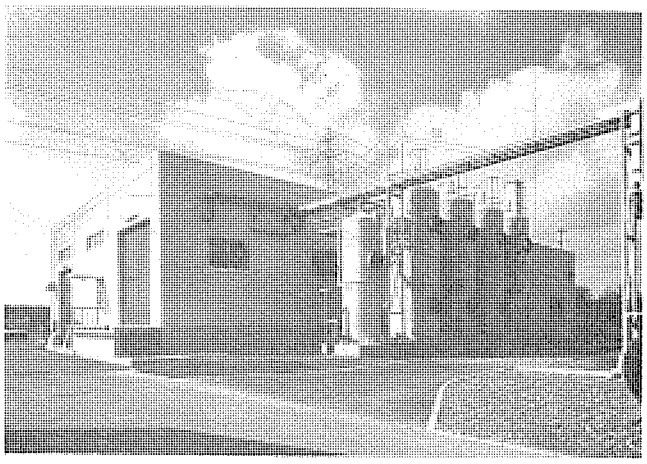


図 5. オゾン反応塔と処理建屋

3. 1　設備仕様

(1)　砂ろ過・オゾン処理処理水量：2,760 m³/日

(2)　凝集浮上処理処理水量　　：344 m³/日

(3)　オゾナイザ　　：オゾン発生量　5.5 kg/h（図 3.）

(4)　砂ろ過器　　：φ2,800　3 塔（図 4.）

(5)　オゾン反応塔　　：φ1,800　4 塔（図 5.）

3. 2　実運転での評価

3. 2. 1　砂ろ過法の機能

二次処理水中の COD や BOD は，最終沈殿池から流出する有機性の SS に起因するものが多い。よって，この SS を除去すれば COD・BOD は相当低下し，後段のオゾン処理の負荷は低減される。本法は，けい砂とアンスラサイトを用いた二層ろ過法を採用しており，ろ過速度は約 6 m/h である。処理機能は表 3. に示すとおり，70% の SS 除去に伴う COD・BOD の除去率は，各々約 30%，約 40% であった。また SS 1 mg/l は，COD 0.5 mg/l，BOD 0.8 mg/l に相当しており，SS 性の COD・BOD の占める負荷は，各々，全体の 40%，50% を占めており，砂ろ過により SS を除去する必要性が明らかである。また SS・COD・BOD 以外の色度・NO_2^--N・pH などの水質項目については，砂ろ過処理によっての増減はない。

なお，し尿二次処理水を砂ろ過処理する場合，流入してくる SS が活性汚泥に起因するため，粘着性が強く，ろ材の目詰りやマッドボールの生成が起りやすい。この対策として，本法では，表面洗浄・空気洗浄・水逆洗を自動的に行うようになっている。またバルキングなどによる SS の異常キャリーオーバーによって，砂ろ過の逆洗回数が異常に増加する場合には，自動的に砂ろ過処理を行わず，直接オゾン処理を実施するシステムとなっている。通常時における逆洗は，各塔，1 日 1 回であるが，後段の凝集浮上処理装置の能力は，各塔，1 日 2 回の逆洗排水量を処理できる。

表 3. 砂ろ過の処理機能

試料 / 項目	二次処理水 個数	二次処理水 平均値	砂ろ過水 個数	砂ろ過水 平均値	除去率 (%)	Δ項目/ΔSS
COD(mg/l)	31	51	31	37	27	0.5
BOD(mg/l)	24	56	22	34	39	0.8
SS(mg/l)	24	40	25	12	70	—

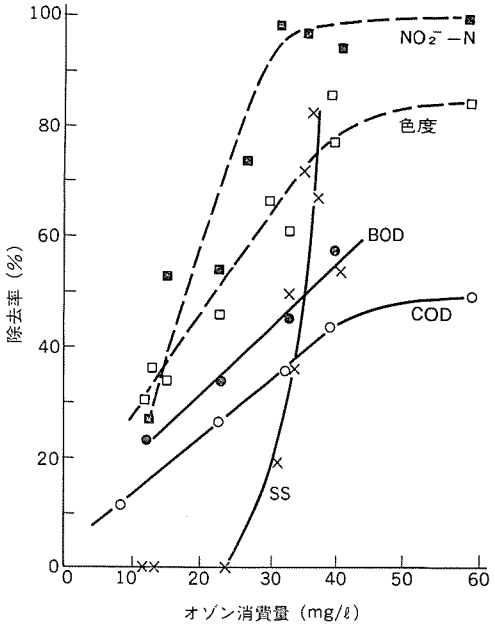


図 6. オゾン酸化処理結果

3. 2. 2　オゾン酸化法の機能

砂ろ過水についてオゾン処理した結果の COD 除去率・BOD 除去率・色度除去率・NO_2^--N 除去率を図 6. に示す。

(1)　COD 除去

COD 除去率は図 6. に示すように，砂ろ過水 COD 約 40 mg/l がオゾン消費量（ΔO_3）40 mg/l 以上になると除去率は約 50% で，処理水 COD は 20 mg/l 程度となる。このときの $\Delta O_3/\Delta COD=2$ であるが，NO_2^--N からの COD 負荷を補正すると，$\Delta O_3/\Delta COD=1.7$ となる。通常，し尿二次処理水をオゾン処理するときの $\Delta O_3/\Delta COD=3\sim4$ であり，本法の場合，約 50% のオゾン消費量で良いため，オゾナイザ容量は小さくなる。

通常のオゾン処理の場合，オゾン反応塔で発生する泡は，オゾン反応塔で極力消泡し，処理水に混合し放流している。このため，本来，泡沫分離効果によって，容易に系外に排出できる SS 性・コロイド性の COD まで，オゾン処理の対象物となっている。これに対して本法では，オゾン反応塔での泡沫分離効果を積極的に利用して SS 性・コ

ロイド性のCODを除去し，オゾン処理の負荷を低減したため，見かけの $\Delta O_3/\Delta COD=1.7$ と非常に小さくなり，少ないオゾン消費量で良好な処理水質が得られるようになっている。

(2) BOD除去

BOD除去率（図6.）についても，オゾン消費量40 mg/lまでは，除去率が次第に高くなり，オゾン消費量40 mg/lで砂ろ過水BOD約35 mg/lが14 mg/lとなり，除去率は約60%となった。し尿二次処理水に対してオゾン処理を行う場合，オゾン処理水のBODはし尿二次処理水より上昇することがある。一般に生物処理が不十分な場合には，オゾン処理によってBODは低減するが，生物処理が十分進んだ場合には，BODが上昇することがある。これは，好気性生物処理にては分解が困難な高分子量の物質が，オゾン酸化で低分子量の物質になり，生物分解性が良くなるためである。よって，より高度な処理を実施する場合には，「好気性生物処理＋オゾン処理＋好気性生物処理」のように用いると有効である。

しかし一般には，オゾン処理後の処理水はそのまま放流されるため，オゾン処理を実施するとき，BODの増加を抑えることがオゾン処理の課題であった。このシステムを検討するバッチテストにおいても，オゾン消費量40～50 mg/lでは，BODの増加が見られた。これに対し，実プラントではオゾン反応塔での泡沫分離効果を積極的に利用し，BODも良好に除去できるようになった。

(3) 色度除去

色度除去率（図6.）についても，COD・BOD同様，オゾン消費量40 mg/lまでは，除去率は次第に高くなり，オゾン消費量40 mg/lでは砂ろ過水色度約200度が40度となり，除去率は約80%であった。なお，今回のし尿二次処理水中には，NO_2^--Nが平均4.5 mg/lと設計値1 mg/lより高いため，NO_2^--Nに消費されるオゾン量が増加し，オゾン処理水の色度は40度までしか下がらなかった。これに対し，NO_2^--Nが1 mg/l以下のときは，オゾン消費量40 mg/lのときで，オゾン処理水色度は20度以下と非常に良好に処理された。

(4) NO_2^--N除去

NO_2^--N除去率（図6.）は，オゾン処理によって容易に90%以上となる。NO_2^--Nは，オゾンによって容易に酸化され，NO_3^--Nとなるため，NO_2^--Nに起因するCODも容易に除去できる。ただし，$\Delta O_3/\Delta NO_2^-$-N=3.4と大きいために，二次処理水中のNO_2^--Nが増加するとCOD・色度のオゾンによる処理効果は低減する。

(5) SS除去

SSはオゾン反応塔の泡沫分離効果で除去されるが，オゾン消費量が小さいときは発泡性が悪く，オゾン消費量の増加に伴い発泡性が増し，SS除去率も増加する。ただし，オゾン消費量50～60 mg/lを過ぎると発泡性は低下し，SS除去率も低下する。図6.にオゾン消費量とSS除去率を示したが，オゾン消費量30 mg/l以上でSS除去効果が出てくる。

(6) 計画値と実運転結果

COD・BODについて計画値と実運転結果を図7.に示す。計画値では，し尿二次処理水COD 60～80 mg/lを40～60 mg/lに，BOD 30～40 mg/lを15～20 mg/lに低減する計画であった。これに対し，オゾン消費量30～40 mg/lでの実運転結果は，図7.のように，計画値であるCOD除去量20 mg/l，BOD除去率50%を共に上回る良好な結果であった。

3. 2. 3 直接オゾン酸化処理の評価

本法では，最終沈殿池よりSSの異常キャリーオーバー対策として，自動的（手動も可）に砂ろ過器をバイパスして直接オゾン処理を行うシステムを採用している。実運転では，SSの異常キャリーオーバーはなかったが，手動にて砂ろ過器をバイパスさせ，直接オゾン処理を実施し処理性能を調べた。

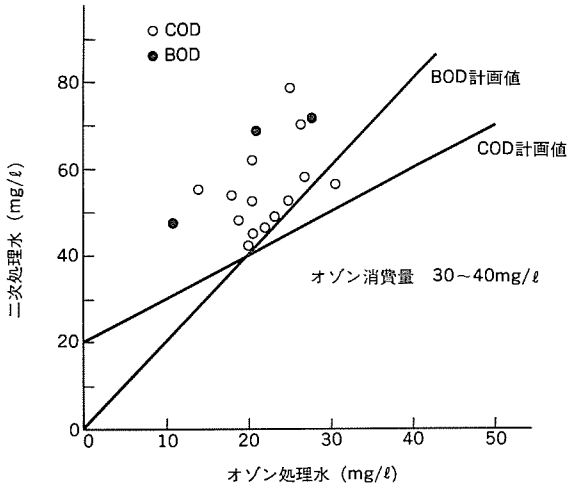


図7. 計画値と実運転結果

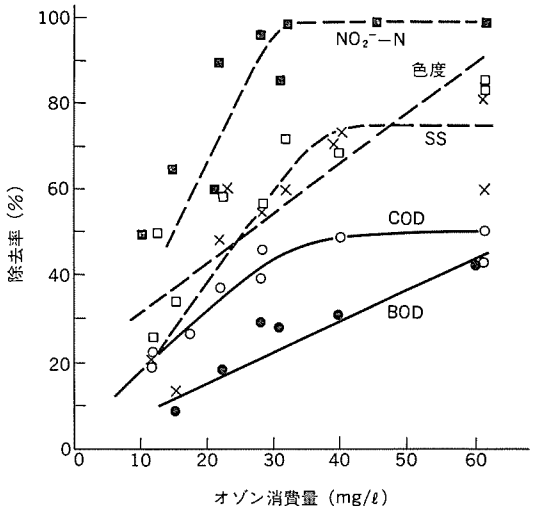


図8. 直接オゾン処理結果

図8.に示すようにオゾン消費量が増加するにつれて，COD・BOD・色度・SSの除去率は上昇している。オゾン消費量40 mg/lで，BOD・色度の除去率は，各々30%，70%となっており，除去率は，まだ平衡に達していない。これに対し，COD・SSについては，オゾン消費量30～40 mg/lで除去率は，各々48%，75%と平衡に達している。これらを正規の砂ろ過・オゾン酸化処理と比べると，COD・色度については，ほぼ同等の除去率であり，BODの除去率は，正規の処理に比べると約半分であったが，相当な水質改善がなされており，二次処理異常時においても通常のオゾン処理と比べ，本法の泡沫分離効果を利用したオゾン処理の優位性がわかる。

3. 2. 4 凝集浮上処理の評価

凝集浮上処理結果を表4.に示す。処理水量は15 m^3/h，PAC添加量290 mg/l，高分子凝集剤添加量2.9 mg/lの処理条件で，COD・BOD・色度・SSの除去率はすべて95%以上で計画値以上の良好な処理水が得られた。

3. 2. 5 総合運転結果

オゾン発生量 5,500 g/h，砂ろ過・オゾン処理水量 150 m^3/h，凝集浮上処理水量 15 m^3/h にて総合運転したときの処理結果を表 5. に示す。

試運転期間中は表 5. をはじめ，この設備工事に関連し，希釈水源の切換などを行ったため，一時的に二次処理のバランスが悪くなり，BOD 値が計画値を上回った。しかしながら，砂ろ過処理・泡沫分離効果を利用したオゾン処理により，二次処理水 BOD 65 mg/l は，三次処理水（オゾン処理水）として BOD で 17 mg/l まで処理され，最終放流水 BOD 11 mg/l と計画値を十分満足した。

なお現在では，二次処理水の性状も安定し，BOD をはじめ，その他の水質項目は，すべて計画値内であり正常運転となっている。

表 4. 凝集浮上の処理機能

試料 / 項目	原水		処理水		除去率
	個数	平均値	個数	平均値	(%)
COD(mg/l)	10	197	10	10	95
BOD(mg/l)	9	176	9	6(13)	97
色度（度）	10	1,050	10	16>(25)	98
SS(mg/l)	10	692	9	6(30)	99

注 ( )内は計画値

4. むすび

オゾンを用いたし尿の三次処理は，国内において，すでに百数十箇所で実施されている。今回，オゾン処理の特性を生かした「砂ろ過処理＋オゾン処理＋凝集浮上処理」のシステムを採用することにより，建設費・運転費が低減され良好な処理結果が得られた。

（1） 砂ろ過処理では SS 除去率 70% に伴い，COD・BOD の除去率は，各々約 30%，約 40% であった。

（2） オゾン処理ではオゾン消費量 40 mg/l で，COD 除去率約 50%，BOD 除去率約 60%，色度除去率約 80% であった。また砂ろ過・オゾン処理を通じての処理効果は，COD 除去率約 65%，BOD 除去率約 75%，色度除去率約 80% であった。

（3） 凝集浮上処理も非常に良好で，COD・BOD・色度・SS の除去率はすべて 95% 以上であった。

最後に，この報告書作成にあたり，帯広鈴蘭浄苑の服部甫氏，帯広中島処理場の菅尾忠正氏・米谷敏之氏の御指導・御協力をいただいたことを感謝する次第である。

参考文献

（1） 菅尾ほか，第 20 回，下水道研究発表会講演集，P. 434（昭 58）

表 5. 総合運転処理結果

	時刻	pH (−)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	NO_2^--N (mg/l)	色度 (度)	水量 (m^3/h)	ΔO_3 (g/m^3)
二次処理水	9：00	7.4	65	50	37	3.7	140	—	—
砂ろ過水	9：00	7.5	45	34	2	4.5	140	150	—
オゾン処理水	9：00	7.6	17	20	3	0.18	20	150	32
原水（分離排水）	9：00	7.7	110	150	340	0.090	1,050	—	—
処理水（浮上分離水）	9：00	7.1	2.8	7.2	1	1.58	8	15	PAC 250
放流水	9：00	7.5	11	9.3	9	0.23	14	—	—

注 ここでの原水とは凝集浮上処理の原水，
処理水とは凝集浮上処理の処理水

人工衛星の磁気軸受支持フライホイール

村上　力*・中島　厚**・秋下貞夫***・井上正夫+・薮内賀義++

1. まえがき

磁気軸受は，回転体の非接触支持を可能にする革新的な軸受であり，種々の装置への応用の道が切り開かれつつある。特に人工衛星の姿勢制御用アクチュエータとしてのフライホイールの軸受への適用は，欧米などで注目を浴びている。磁気軸受フライホイールは玉軸受を用いた従来形に比べて次のような利点を持つ。

(1) 潤滑が不要なので，宇宙環境でも寿命が半永久的である。

(2) 摩擦がないので，回転損失は電磁抗力だけで極めて小さい。

(3) 軸受の「がた」がないので，回転雑音が少なく，また精密な姿勢制御に適する。

(4) 回転体を無接触支持しており，ジンバリング機構が簡単になる。

最近の希土類などの永久磁石材料の進歩，及び固体エレクトロニクスの発達に伴う電子回路部の信頼性向上などは磁気軸受フライホイールの実用化を促進しており，世界初の衛星搭載は1984年打上げのSPOT(仏)と言われている。我が国でも，航空宇宙技術研究所と三菱電機(株)は昭和54年度より共同研究を開始し，種々の試作，試験の実績を重ねてきた。この間における技術の蓄積は，1985年度打上げ予定のH-1ロケットによる世界で2番目の搭載実験に実を結ぼうとしている。以下では，主としてこの共同研究の成果を紹介し，今後の我が国の磁気軸受技術の発展へ向けての考察を行う。

2. 磁気軸受支持の原理

回転体の軸受の機能は，図1.に示すように回転軸(Z軸)まわりの回転を除く5自由度の運動を拘束することである。ここに，角速度ωの回転体が両端の軸受に支えられている。回転体はZ軸方向のほかに，それぞれの軸受において直交する4軸の方向(X_1-X_2, $X_1'-X_2'$及びY_1-Y_2, $Y_1'-Y_2'$)の運動が許されている。これらの5自由度の拘束において，適当な剛性と減衰特性を与えることにより，回転体の運動の安定を確保することが磁気軸受の役割である。

磁気軸受支持部におけるロータとステータの磁気相互作用方式には，反発形と吸引形の2種類がある。反発形はよく知られているように，日本国有鉄道の超電導磁気浮上列車の浮上支持に採用されている。

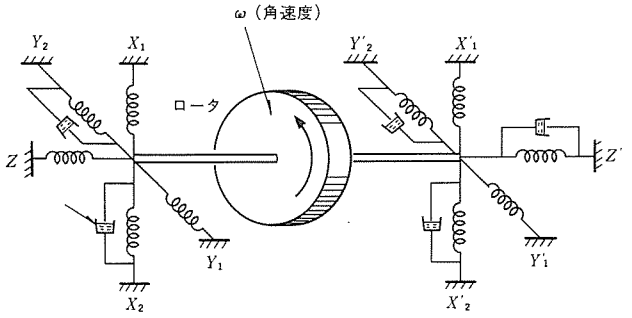


図 1. 磁気軸受支持系の力学モデル

反発形は磁力の働く方向には安定で，制御は必ずしも必要でない点で吸引形にない利点を持つ。しかし，磁極における漏れ磁束が大きく，残留磁気の除去に厳しい条件が課される宇宙用機器としては不適格である。そこで，以下では吸引形のみについて述べる。

吸引形の磁気軸受では，反発形と逆に磁力の働く方向には不安定であり，制御電磁石を用いることにより安定化される。一方，磁力と直交方向には安定であり，何ら制御を要さない。宇宙用のように省電力を要する場合には，でき得る限り永久磁石がとり入れられる。図2.には，このような原理を応用し，最も簡単な機構を持つ軸方向制御形磁気軸受の概念図を示す。ロータの上下両端の磁極には永久磁石を用いており，相対するステータの磁極には純鉄などの磁性体

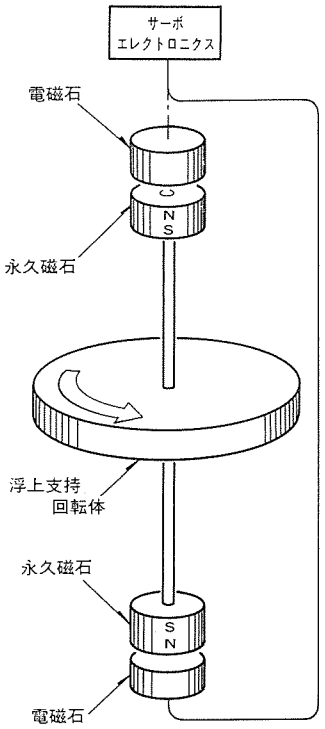


図 2. 軸方向制御形磁気軸受の概念図

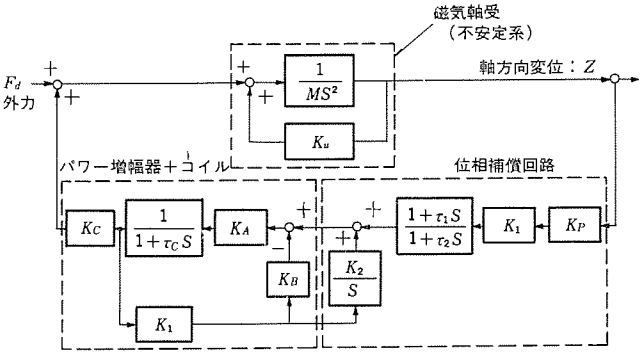


図 3. 制御回路ブロック線図

* 航空宇宙技術研究所(工博)　** 航空宇宙技術研究所
*** 三菱電機(株)中央研究所(工博)　+ 同中央研究所　++ 同生産技術研究所

をコアとする電磁石を置く。図 2. には示していないがロータの上下方向の位置はセンサで検知し，浮上安定するように電磁石電流を制御してやれば，ロータの非接触支持を安定化することができる。このとき，他の四つの自由度の運動は，磁気吸引力の作用により受動安定化していることが容易に理解されよう。このような軸受系の原理を示すブロック図を図 3. に示した。

3. 磁気軸受方式の分類と特徴

磁気軸受には，ロータ軸の運動の自由度の数に応じて五つの方式が存在する。すなわち，前節に説明した回転軸方向の並進運動のみを能動制御する軸制御形から，五つの軸受自由度をすべて能動制御する5軸制御形までである。表 1. にはこれらの五つの方式の制御軸とその特徴を示す。3軸から軸制御形までには，ジンバリング機能を備えることができる。ジンバリングとは，ロータの回転軸の方向を，磁気軸受のすき間の範囲内で任意に傾けられる機能を言い，バイアスモーメンタム方式の三軸姿勢制御[1]に大きな利点をもたらす。これについては次節の構造の説明において，より詳しく述べる。

表 1. 直流制御形磁気軸受の方式と特徴

制御軸	並進運動		回転運動	特徴
	半径方向	軸方向	(X, Y 軸回り)	
1 軸	受動	能動	受動	○制御回路の数が最少 ○磁気抵抗小 ○軸長が長い
2 軸	能動	受動	受動	○軸長が短い
3 軸	受動	能動	能動	○ジンバリング可能
4 軸	能動	受動	能動	○2軸形とジンバル方式のハイブリッド
5 軸	能動	能動	能動	○制御回路の数が最多 ○軸受剛性大 ○制御特性可変幅大

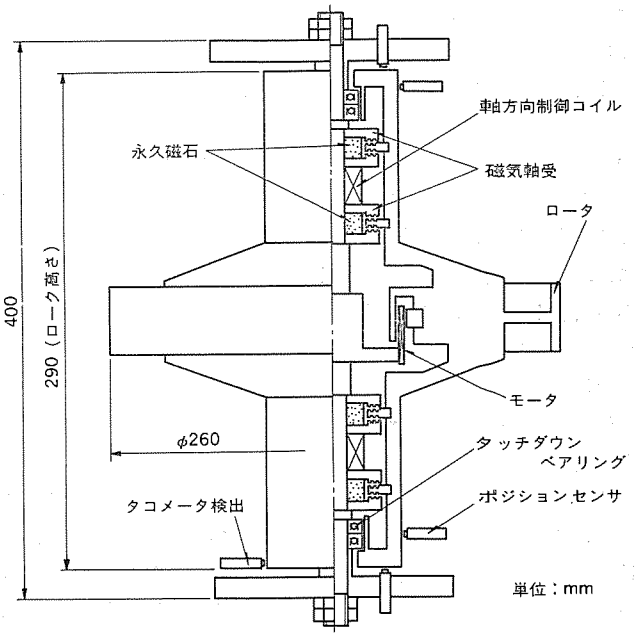


図 4. V2 の概略図

筆者らは，共同研究において1軸から4軸までの諸方式の試作を行い，これらの特性の把握を試みた。磁気軸受の諸方式の特性比較を行うため，他の試作例を合わせて表 2. に示す。以下では，これらの諸方式について，筆者らの試作例に基づいて詳細に説明する。

表 2. 試作フライホイールの概要

軸受方式 / 形名	1 軸制御	2 軸制御	3 軸制御		5 軸制御
	V2	リング	V3	V5	MDR 50-1
開発機関	航空宇宙技術研究所／三菱電機(株)	航空宇宙技術研究所／三菱電機(株)	航空宇宙技術研究所／三菱電機(株)	航空宇宙技術研究所／三菱電機(株)	TELDIX（西ドイツ）
角運動量（最高回転数）	34 Nms (10,000 rpm)	7.2 Nms (800 rpm)	5.8 Nms (2,000 rpm)	70 Nms* (10,000 rpm)*	50 Nms (22,000 rpm)
寸法	φ260×400 mm	φ410×130 mm	φ350×180 mm	φ300×97 mm	φ350×150 mm
ロータ重量	6.55 kg	1.2 kg	3.3 kg	3.5 kg	10 kg
軸受剛性（軸方向）（径方向）	−1,910 N/mm 212 N/mm	44.9 N/mm ——	−240 N/mm 50 N/mm	−900 N/mm* 85 N/mm*	3,000 N/mm 3,000 N/mm
回転抗力（回転数）	10 Nmm (10,000 rpm)	10 Nmm+ (800 rpm)	——	——	——
軸受消費電力	2.0 W	20 W	30 W	8 W*	10 W*
モータ形式	ブラシレス DC 二相 10 極	ブラシレス DC 二相 96 極	ブラシレス DC 二相 10 極	ブラシレス DC 三相 6 極	——
ジンバル角	——	——	±0.5°	±0.5°	±0.17°
備考	ホイール強度 10,000 rpm 以下	半径方向制御による方式検証用 + 推定値	ジンバル極能の確認実験用	* 計画値	* 無重力環境における値

3. 1 1 軸制御形

この方式の一例として，共同研究の第1号機であるV2形の概略断面図を図 4. に示す。V2形においてはロータ上下の対称位置に各2個の磁極を持っており，ステータにはロータ磁極に対向して各2個の希土類永久磁石を用いている。軸方向制御コイルは，上下各1個設けられている。この磁極の方式の特徴は，上，下それぞれの磁極において三つの閉ループ磁路が形成されることである。これによって軸受支持の消費電力を最小に抑える（原理的に

はゼロパワー）と共に，横方向の変位に関する剛性を可能な限りかせぐことを意図した[2]。一方，この方式の欠点は磁極の軸方向寸法が長くなることであり，これは次の理由による。

横方向（半径方向）の運動の拘束力は，ロータの回転運動に伴う二つのモードのふれ回りに打ちかたなければならない。回転が高速化すると並進モードのほかに，みそすりモードのふれ回りの力が大きくなる。すなわち，X，Y 軸回りの運動の拘束モーメントを大きくするには，軸受の横方向剛性を大きくするか，上下の磁極の位置を中心から大きく離すか，によらなければならない。この方式の磁気軸受では表 2. に示したように，横方向剛性を大きくとれず，これをカバーするために，上下の磁極の位置を大きく離さなければならない。

磁極においてはロータとステータの相対運動に伴い，多少にかかわらず渦電流が発生し，振動減衰力と回転抗力をもたらす。1軸制御形は能動制御磁極が最小数しかなく，磁極を放射状に分割する必要がないので，回転抗力が低い。表 2. において，同一の回転数における回転抗力を各方式間で比べてみれば，このことが納得されるであろう（渦電流による回転抗力は回転数の1乗に比例する）。一方，1軸制御形ではロータの運動に対する軸受系の減衰定数が小さく，高速回転化にあたっての課題をもたらしている。この共同研究においては，ステータに渦電流ダンパを設けることと，構造力学的な非軸対称性を設けることにより，ふれ回り運動に減衰を与えることができ，10,000 rpm 以上の安定回転を達成した[3]。なお，図 3. の上下端の玉軸受はコイルの制御回路を開いたときや，非常時のバックアップに用いられるものであり，磁気浮上支持の場合にはロータと全く接触しない。

3. 2　2軸制御形

表 1. に示したとおり，2軸制御形では半径方向の2軸のみを能動制御するため，ロータとステータの磁極を横並びにし，軸方向長さを短くすることができる。更に，構造も簡単なので有望な方式であり，H-1ロケットによる搭載実験にも2軸制御形が予定されている[4]。このような特徴を最も有効にいかすフライホイールとして，ここでリング形のものをとり上げた[5]。この構造は図 5.（a），（b）に示すとおりである。

このように，ステータ磁極は周4箇所に設置しており，それぞれの対向位置にある2個のステータが半径方向の一軸のロータ運動を，他の2個のステータの対が半径方向の他の一軸のロータ運動を，それぞれ制御する。図 5.（b）に示すとおり，磁極は希土類磁性体を用いた永久磁石を狭んで上部と下部に分かれる。上部の磁極では永久磁石による高密度の磁場が形成され，回転軸方向（上下方向）の運動の拘束と，この軸の傾きを安定化させる復元モーメントを担っている。下部の磁極では，永久磁石による定常磁場のほかに電磁石による能動制御磁場が加えられる。図 5.（b）の下部の磁極では，永久磁石により両側のステータが同じ向きの磁場を形成するため，ロータの中心から両側のステータに向う磁場が生じる。一方，電磁石による磁場は左右のすき間において同じ方向を持つ。したがって，電磁石による磁場が加えられた場合には，左右の吸引力のバランスが崩れて，ロータはどちらかに吸引されることになる。

このようなロータ磁極は，純鉄などによる閉じたリング状をなすため，フライホイールの機能としての慣性能率をかせぐことにも寄与する。2軸制御形のリング状磁気軸受フライホイールは，慣性能率を効率良くかせぐのに最も適した方式であり，しかもリング直径を大きくするに伴いこの効率が向上する。したがって，同じ角運動量を発生するのに，他の磁気軸受方式に比べて低回転数ですむ。この試作では，磁気浮上方式の検証を主目的とし，磁気軸受部を全周にわたってカバーしなかったなどの理由により，回転数の実績は 800 rpm に留まったが，今後更に高速化，大角運動量化の可能性は十分に残されている。しかし，2軸制御形の短所は，軸受における回転抗力が1軸制御形に比べて大きいことである。ステータ磁極を周方向に少くとも3分割しなければならないため，ロータは周回時に非一様磁場の中を通過し，渦流損を発生させるからである。今後，様々の工夫によって濁流損を最小にする努力がなされるであろう。

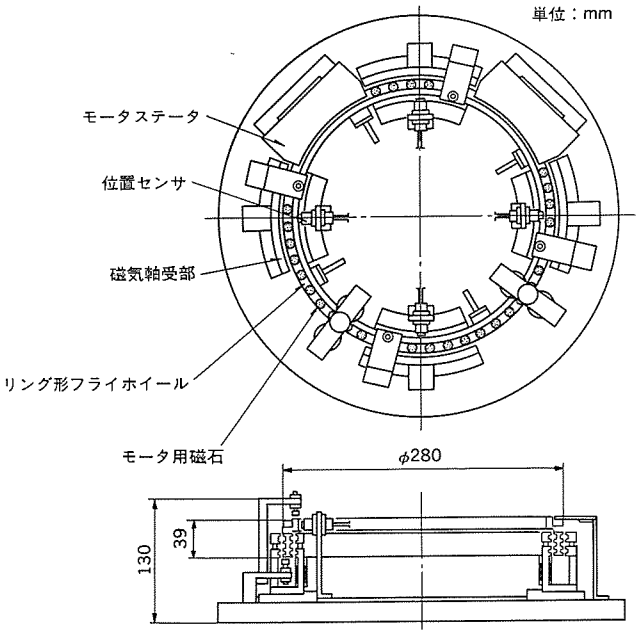


図 5.（a）　リング形磁気軸受ホイールの概略図

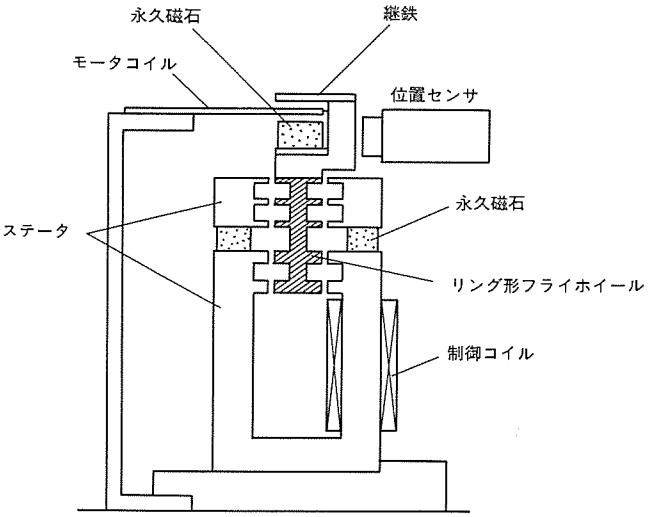


図 5.（b）　リング形磁気軸受の断面図

3. 3　3軸制御形

3軸制御形磁気軸受はジンバル機能をもっているため，コントロールドバイアスモーメンタム方式の三軸姿勢制御に適しており，人工衛星の姿勢制御技術に大きな進歩をもたらす可能性が大きい[6][7]。今後，実用化を目指して，更に種々の追求がなされるであろう。3軸制御形は表 1. に示したように，軸方向のみの磁気吸引力を能動制御するから，1軸制御形の変形と言える。表 2. に示したように，この共同

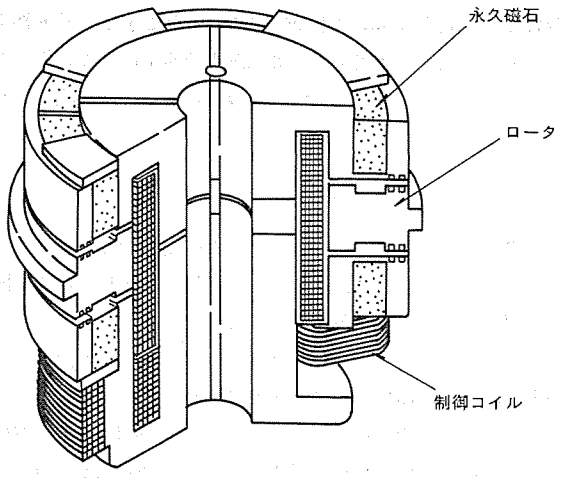
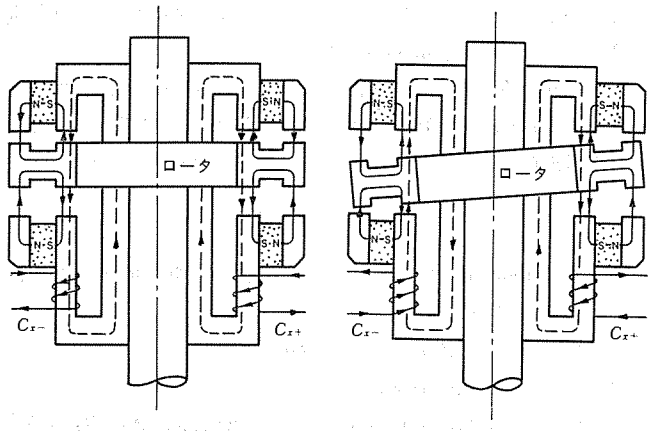


図 6. 軸方向／ジンバル 能動制御形磁気軸受



(a) 軸方向制御 モード　　(b) ジンバル 制御 モード

図 7. 磁気軸受制御 メカニズム

研究では，V 3 形，V 5 形と二つの異なる モデル の試作を行ったが，ここでは V 5 形のみについて更に詳しく述べる。

図 6. に V 5 形の磁気軸受の構造の概要[7]を示す。磁極は周方向に 4 分割され，更に軸方向には ロータ 磁極を狭んで上，下部に分けられる。ステータ のそれぞれの磁極には，半径方向に着磁した希土類永久磁石が挿入される。分割磁極による，ロータ の軸方向の運動及び ジンバル 運動の制御の原理を，それぞれ図 7.（a），（b）に示す。軸方向の運動の制御は図 7.（a）に示すように，4 分割の磁極すべてが同時に同一量で同一方向の吸引力を生じるように コイル 電流を制御する。一方，ジンバル 運動の制御は図 7.（b）に示すように，対向する二つの磁極に同一量で逆方向の吸引力が作用するように，それぞれの コイル 電流を制御する。V 5 形は モーメンタムホイール の開発を目指して試作されたものであり，高速回転を要する。高速における安定な回転を実現するためには，1 軸制御形について述べたと同様な工夫が必要である[8]。これらを含めた V 5 形の構造上の特徴については次章に詳しく述べる。

3. 4　4 軸制御形

4 軸制御形磁気軸受は 2 軸制御形を上・下軸受部に配置して，半径方向の ロータ 運動を拘束すると同時に，ジンバル 運動をも制御するものである。したがって，2 軸制御形と同一の長所及び短所を備える。回転軸方向の ロータ 運動を能動制御しないので，軸受構造が比較的簡単となるが，制御回路の数が 3 軸制御形より多くなる。この共同研究では，フライホイールモデル 試作に至らなかったので，詳細な説明は省略する。

3. 5　5 軸制御形

5 軸制御形磁気軸受は，すべての軸受自由度を能動制御するものであるから，4 軸制御形と同様な短所をも兼ね備える。しかし，これらを超える魅力を持つ。4 軸以下の制御形では，必ず受動安定軸を持っており，その軸方向又はその軸まわりの軸受剛性を大きくするために種々の問題を解決しなければならない。しかるに，5 軸制御形ではこのような制約にとらわれることなく，すべての軸受特性 パラメータ を自由に設定できる。制御 エレクトロニクス の規模は，5 軸制御形が最大となり，他の方式に比べて エレクトロニクス 部における信頼性の低下を招くおそれがある。しかし，今後の固体 エレクトロニクス の進歩に伴い，この問題は容易に解決する可能性が大きい。この共同研究では，5 軸制御形磁気軸受の試作を行っていないが，このような観点から，表 2. には代表的な試作例として TELDIX 社のものを掲げた。詳しくは文献（9）を参照されたい。5 軸制御形は，今後更に開発に向けて多くの追究がなされる必要がある。

4. 磁気軸受フライホイールの構造

磁気軸受は衛星用制御 アクチュエータ として，以下のような条件を満たす機械的構造を持たなければならない。

（a） 軽量であること。
（b） 衛星打上げ時の高加速度荷重に耐え得ること。
（c） 長寿命と高信頼性を持つこと。
（d） ロータ 高速回転に耐え得ること（モーメンタムホイール の場合）。
（e） 真空中の熱環境に耐え得ること。

このような条件のもとに，試作された フライホイール の構造の一例として，図 8. に V 5 形の断面を示す。V 5 形は ジンバル 機能を持つ モーメンタムホイール を想定していることは上述のとおりであるが，V 5 形の構造を，同じ ジンバル 機能を持つ機械式の ダブルジンバル 形 モーメンタムホイール のそれと比較してみれば，V 5 形の構造の簡単さが良くわかる。図 9. は，在来形の機械式の ダブルジンバル 機構を示しており，この機構は固定軸形の ホイール の ケース の外に設けられる。V 5 形では，同様の機能を持つ機構が ホイール 内部の軸受部に収納されているのである。しかも，V 5 形では ロータ が非接触磁気支持されているため フリクション がなく，回転軸の傾き運動の応答が早く，極めて滑らかである。

V 5 形を例にとって，以下では磁気軸受 フライホイール の軸受以外の

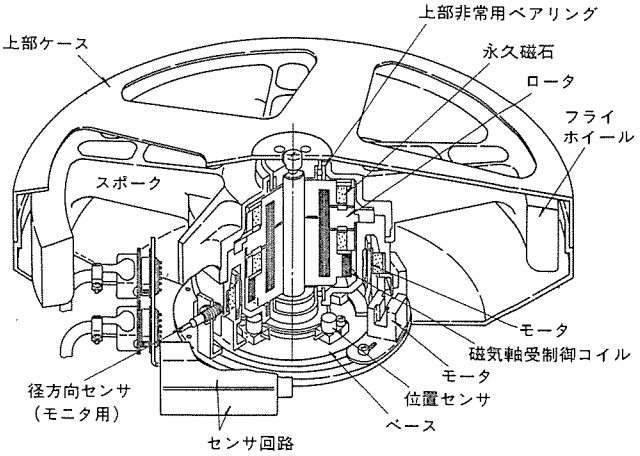


図 8. V 5 形磁気軸受支持 フライホイール

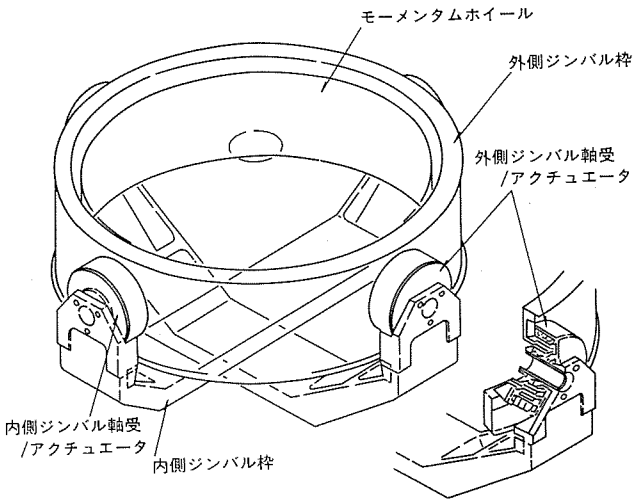


図 9. 従来形の ジンバル 形 モーメンタムホイール

主な構成要素について述べる。

(1) フライホイール

リム を2本で一組をなし，合計5組の スポーク で支える構造方式を採った。この試作では回転数 10,000 rpm を定格としており，フライホイール の材料は高力 アルミニウム 合金を用いたが，更に高速化をねらう場合には，炭素繊維 ワインディング などを用いた リム 構造の導入が必要となろう。

(2) モータ

フライホイール の制御用 アクチュエータ としての機能上，ロータ 回転数を精密に制御しなければならない。このような ロータ の駆動 モータ として，ブラシレス－アイアンレス－直流 モータ 方式を採用した。モータ 回転子部の周上には6極の永久磁石が取り付けられており，対向する ステータ には三相6極の薄膜状の銅 コイル が絶縁樹脂上に プリント されている。なお ステータ の コイル 電流の位相制御は，3個の ロータ 位相角 センサ による信号に基づいて行われる。

(3) 位置 センサ

ロータ の軸方向及び半径方向の位置を検知する センサ として，V5形では渦電流形のものを用いた。較正試験結果によれば，約 0.8 mm までの磁極すき間を 1 μm 以下の分解能で測定できる。線形性もほぼ良好であり，軸受の仕様を十分に満たす特性を持っている。なお，図 9. に示すように，センサ の アンプ も専用の固体回路が開発されつつある。

5. む す び

共同研究の成果をもとにして，人工衛星の磁気軸受支持 フライホイール の研究・開発の現況を述べた。今後，衛星搭載機としての技術開発を要する課題として以下の項が考えられる。

(1) 軸受制御及び ロータ の回転制御のための エレクトロニクス の実装技術の確立，及び信頼性の保証のための技術の蓄積。

(2) ロケット による衛星軌道投入時に ロータ を固定し，加速度荷重に耐えるための ロック 及びその開放のための機構（ロンチ・ロック 機構）。

(3) 機械構造部分を含む全 システム の宇宙環境及び打上げ時の加速度荷重下における信頼性の評価。

このような課題は，種々の手段によって解決に向けて技術が蓄積され始めており，磁気軸受 フライホイール の実用化に向けて大きく前進すると考えられる。

(昭 58-12-27 受付)

参 考 文 献

(1) Y. Yabuuchi et al. : 17 th Aerospace Mechanism Symp. p. 333 (1983-5)
(2) 村上ほか：航技研資料 TM-388 (昭 54)
(3) 土屋ほか：投稿準備中
(4) 村上，中島ほか：第 27 回宇宙科学技術連合講演会，2 A 5 (1983)
(5) M. Inoue et al. : VI Inter. Workshop on Rare Earth Cobalt Permanent Magnets, Baden／Vienna, No. (1982)
(6) M. Inoue et al. : Proc. 9 th ISTS p. 999 (1982)
(7) 村上，中島：第 26 回宇宙科学技術連合講演会，1 D 8 (1982)
(8) C. Murakami et al. : IAF Conf. 82-330 (1982)
(9) H. Knörrchen : Proc. 9 th ISTS p. 1,063 (1982)

ストリップ線路ハイブリッド結合形移相器

松永　誠*・浅尾英喜*・武田文雄**・村上宗雄***

1. まえがき

PIN ダイオードを用いたディジタルダイオード移相器は，フェーズドアレーアンテナ，マルチビームアンテナなどの素子アンテナに接続され，位相制御回路素子として用いられる。

移相器には種々の形式があり，代表的な移相器としてスイッチドライン形移相器[1]，ローデッドライン形移相器[2]及びハイブリッド結合形移相器[3]があるが，その性能には一長一短があるためアンテナ形式に応じ使い分けられる。

これらの内，低損失で広帯域な性能をもつ移相器にストリップ線路で構成するハイブリッド結合形移相器がある。しかし，従来のこの移相器は，各単ビット移相器間に挿入されるバイアスブロック用 3 dB ハイブリッド結合器の数が多いため，軸長が長くなる。

ここでは，このハイブリッド結合形移相器の小形化と，その広帯域について報告する。移相器の小形化は，移相量を設定する反射係数変換回路のインピーダンス変成器をバイアスブロック機能をもつ 2 端開放結合線路で構成し，バイアスブロック用 3 dB ハイブリッド結合器の必要数を少なくすることにより達成した。

まず，2 章において小形ハイブリッド結合形移相器の構成を示す。次に，3 章において，この移相器の移相量の周波数特性を広帯域にするために結合線路に課せられる条件を明らかにする。次いで，4 章においてS帯 3 ビット移相器を取り上げ具体的設計手順を示すとともに，この方式を適用した S，X，Ku 帯移相器の試作結果を述べる。なお一般にS帯は 2 ～ 4 GHz，X帯は，8 ～12.4 GHz，Ku 帯は 12.4～18 GHz の周波数帯を示す。

2. 移相器の構成

2. 1　反射係数変換回路の構成

図 1. にハイブリッド結合形移相器の構成を示す。平衡した二つの反射係数変換回路を 3 dB ハイブリッド結合器で接続した構成である。この移相器は，反射係数変換回路内の PIN ダイオードの直流バイアスを順逆切り換えることにより所要移相量を得る。

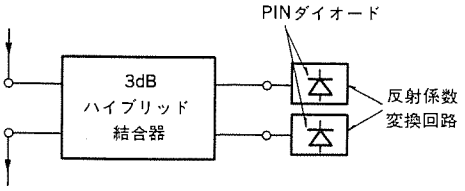


図 1. ハイブリッド結合形移相器

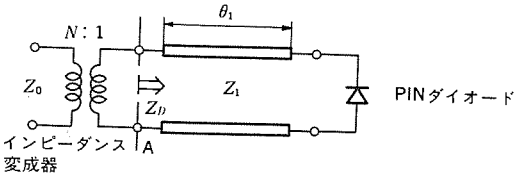


図 2. 反射係数変換回路

反射係数変換回路は PIN ダイオードに印加する直流バイアスの順逆切換により，同一入射波に対し異なった位相の反射波を与えるもので図 2. のような構成法が知られている[4]。図中，特性インピーダンス Z_1 の線路は PIN ダイオードに印加する直流バイアスを順逆切り換えたとき，点Aから PIN ダイオード側を見たインピーダンス Z_D を複素共役の関係にするものであり，インピーダンス変成器は PIN ダイオードの順逆両バイアス状態における反射波の位相差を決定するものである。基本的には，この二つの回路により移相器が設計される。

マイクロ波におけるインピーダンス変成器としては 1/4 波長線路がよく知られているが，この移相器では，これを図 3. のように 2 端開放の結合線路で構成する。

2. 2　小形ハイブリッド結合形移相器の構成

多ビット移相器は，移相量の異なる複数の単ビット移相器の縦続接続で構成される。図 4. に新たに考案した小形ハイブリッド結合形移相器の 3 ビットの構成例を示す。また，この構成と対比して図 5. に従来の 3 ビット移相器の構成例を示す。従来との相違は，この構成では反射係数変換回路内に 2 端開放の結合線路を用いることである。

この結果，反射係数変換回路が単ビット移相器を構成するための 3 dB ハイブリッド結合器と直流的に分離でき，各単ビット移相器を直接接続した場合でも互いに独立な動作が可能となる。そのため，従来の単ビット移相器を接続していたバイアスブロック用の 3 dB ハイブリッド

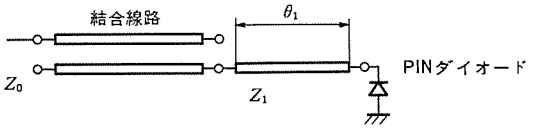


図 3. 結合線路を用いた反射係数変換回路の構成

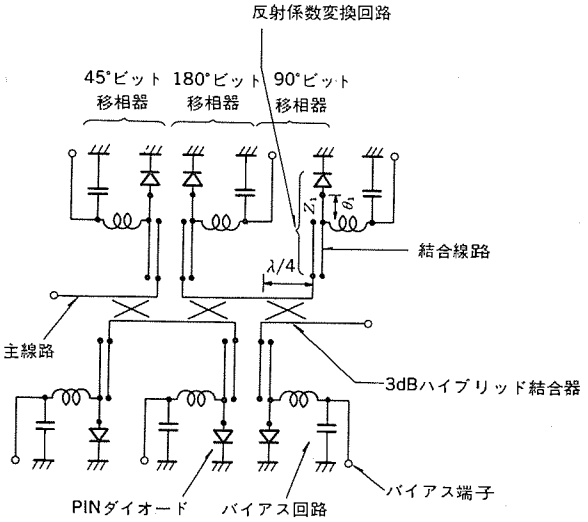


図 4. 3 ビット小形ハイブリッド結合形移相器の構成

* 情報電子研究所　** 情報電子研究所(工博)　*** 通信機製作所

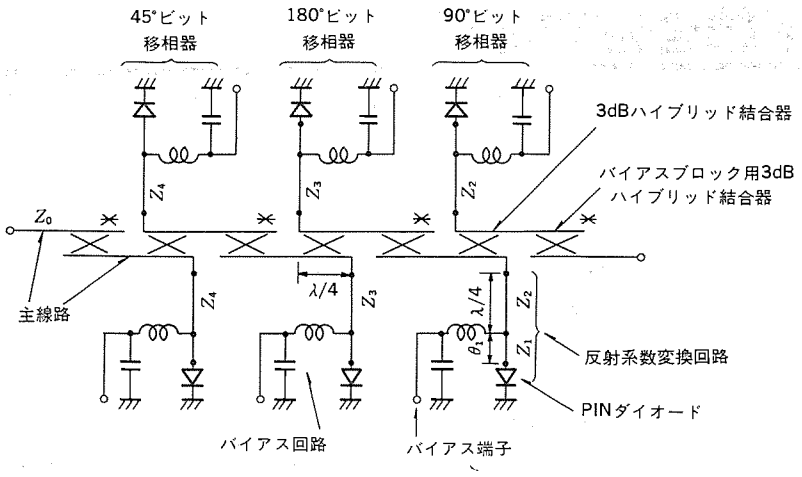


図 5. 従来の 3 ビットハイブリッド結合形移相器の構成
(Z_2, Z_3, Z_4 は 1/4 波長線路の特性インピーダンス)

結合器が不要となり，移相器の長さが約 1/2 に短くなる。

3. 移相器の広帯域設計法

この移相器においては，反射係数変換回路の結合線路の周波数特性が移相量の周波数特性に影響を与える。結合線路の周波数特性は，結合線路が 1/4 波長線路と等価なときに最も広帯域となる。結合線路を図 6. (a) に示す 1/4 波長線路と等価的に用いるには，図 6. (b) に示す端子②，④を開放状態とした結合線路の影像パラメータが 1/4 波長線路の影像パラメータと等しくなればよい。

3. 1 結合線路の影像パラメータ

1/4 波長線路の特性インピーダンスを Z_T，電気長を θ_T とすると，1/4 波長線路の影像パラメータ Z_I，θ_I は，それぞれ Z_T，$j\theta_T$ に等しい。

次に，結合線路が図 6. (b) に示すように，一様媒質中に構成され，偶モード及び奇モードの電気長が等しい場合には，この線路の影像パラメータ Z_{IC}，θ_{IC} は次式で与えられる[5]。

$$Z_{IC}=\frac{Z_{0e}-Z_{0o}}{2}\cdot\frac{\left\{1-\left(\frac{\rho+1}{\rho-1}\right)^2\cos^2\theta_C\right\}^{1/2}}{\sin\theta_C} \quad\cdots\cdots(1)$$

$$\theta_{IC}=l_n\left[\frac{\rho+1}{\rho-1}\cos\theta_C+\left\{\left(\frac{\rho+1}{\rho-1}\right)^2\cos^2\theta_C-1\right\}^{1/2}\right]\cdots\cdots(2)$$

ここで，

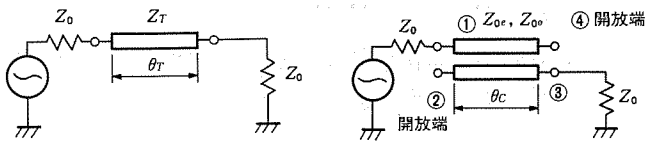
$$\rho=\frac{Z_{0e}}{Z_{0o}} \quad\cdots\cdots(3)$$

であり，Z_{0e}，Z_{0o} はそれぞれ結合線路の偶モードインピーダンス，奇モードインピーダンスである。また，θ_C は結合線路の電気長である。

中心周波数 ($\theta_C=\pi/2$) では，式(2)は，

$$\theta_{IC}=j\pi/2 \quad\cdots\cdots(4)$$

となり，θ_{IC} は θ_I 等しくなる。したがって，中心周波数においては $Z_{IC}=Z_I$ の条件が満たされるよう Z_T，Z_{0e}，Z_{0o} の関係を求めれば，結合線路を 1/4 波長線路と置換できる。



(a) 1/4 波長線路　　(b) 結合線路

図 6. インピーダンス変成器

このとき，所要移相量を得るために要求されるインピーダンス変成器の変成比 N を満足する結合線路，及び 1/4 波長線路の Z_{IC}，Z_I は次式で与えられる。

$$Z_{IC}=Z_I=\frac{Z_0}{N} \quad\cdots\cdots(5)$$

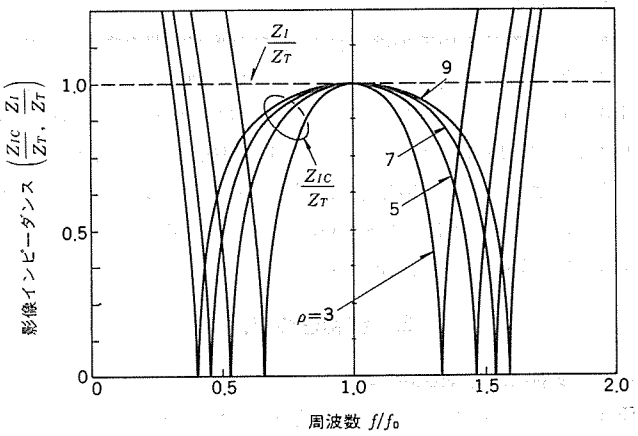
ここで Z_0 はインピーダンス変成器一次側に接続される線路の特性インピーダンスである。

3. 2 結合線路の周波数特性

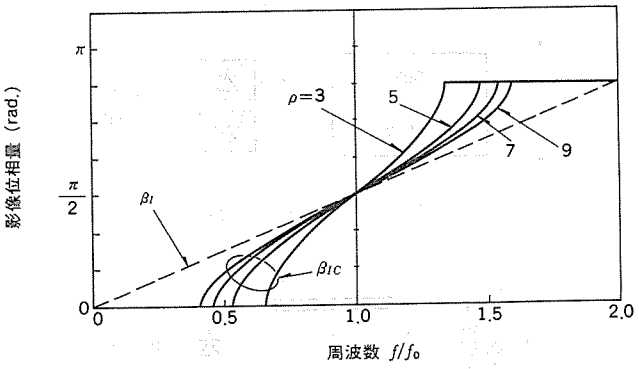
3. 1 節において，中心周波数においては図 6. (a)，(b) にそれぞれ示した結合線路と 1/4 波長線路とが等価になることを示した。ここでは，結合線路の影像パラメータの周波数特性と，それと等価な 1/4 波長線路の影像パラメータの周波数特性とを比較し，広帯域特性を得るために結合線路に要求される条件を明らかにする。

図 7. (a) に ρ をパラメータとして Z_{IC}，Z_I の周波数特性を示す。図中，実線及び破線はそれぞれ Z_{IC}/Z_T，Z_I/Z_T を示す。また，図 7. (b) に ρ をパラメータとして θ_{IC}，θ_I の周波数特性を示す。図中，実線及び破線はそれぞれ θ_{IC}，θ_I を示す。ρ が大きくなると Z_{IC} と Z_I，θ_{IC} と θ_I の周波数特性がよく一致する傾向を示す。

したがって，従来と同様に広帯域な移相量の周波数特性を得るためには，結合線路の設計に際し，ρ を大きく選定するという条件を課すことが必要になる。



(a) 結合線路の影像インピーダンス Z_{IC} と 1/4 波長線路の影像インピーダンス Z_I (Z_T は 1/4 波長線路の特性インピーダンス，$\rho=Z_{0e}/Z_{0o}$)



(b) 結合線路の影像位相量 β_{IC} と 1/4 波長線路の影像位相量 β_I ($\beta_{IC}=\theta_{IC}/j$，$\beta_I=\theta_I/j$)

図 7. 結合線路と 1/4 波長線路の影像パラメータ

4. 試作結果

反射係数変換回路は，一般に各単ビット移相器の広帯域な移相量の周波数特性，耐電力，順逆両バイアス状態の損失変動を考慮して設計されるが，ここでは $N \simeq 1$ のとき単ビット移相器が 180° ビット移相器となるように設計し，他の単ビット移相器は変成比 N を変えることにより移相量を設定した。以下にS帯 3ビット移相器を例にとり設計法を述べ，S，X，Ku 帯移相器の試作結果を示す。

線路としては，低損失化を図るため，一様媒質中に構成されるトリプレート形ストリップ線路を用いた。また，$Z_0=50\Omega$ とした。

4.1 S帯3ビット移相器

(1) 反射係数変換回路の設計

図 8. にトリプレート形ストリップ線路で構成した結合線路の断面構造を示す。移相器を構成する導体線路は，厚さSの中間層基板の両面に形成されている。ここでは，誘電体基板として比誘電率 2.2 のガラステフロン強化基板を用いた。

図 8. に示す形状の結合線路では，式(1)，(5)及び文献(6)から，$\theta_C=\pi/2$ における N と ρ 及び N と W/B の関係が S/B をパラメータとして図 9. のように求まる。これより，ρ を大きくするには，反射係数変換回路を変成比 N が大きくなるように設計すればよいことがわかる。

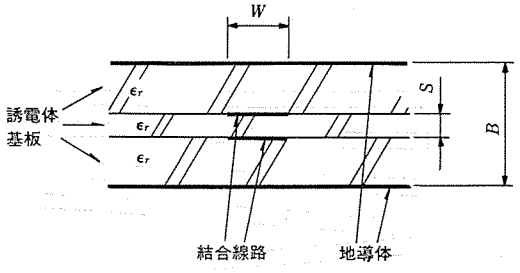


図 8. 結合線路の断面構造

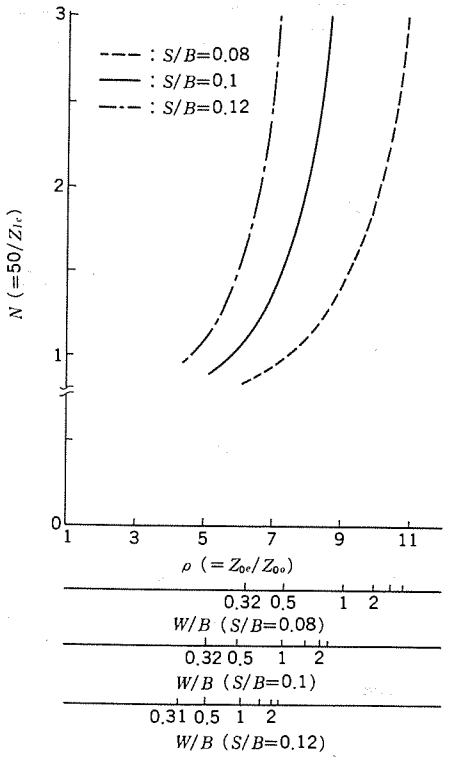


図 9. 結合線路の $\rho(Z_{0e}/Z_{0o})$ と結合線路を用いたインピーダンス変成器の変成比 N との関係

図 2. に示す反射係数変換回路の点Aからダイオード側を見たインピーダンス Z_D が順逆両バイアス状態において，$Z_D/Z_0 \simeq \pm jX$ の関係をもち，かつ反射波の位相差が 180° となるように設計すると，45° ビット移相器，90° ビット移相器において結合線路に要求される式(5)の N は，それぞれ 0.45，0.65 又は 2.24，1.55 となる[7]。

広帯域特性を得るために，N の値として 2.24，1.55 を選び，図 9. から S/B，W/B を定めた。図 10. に試作 3ビット移相器の線路パターンを示す。右から 45°，180°，90° の各単ビット移相器が配置されている。両端の単ビット移相器のインピーダンス変成器のみ結合線路で構成されているが，3ビット移相器であるため単ビット移相器が独立に駆動できる。

(2) 試作結果

図 11. に 4.1 節に従って試作したS帯移相器の写真及び移相量，損失，VSWR の各周波数特性を示す。図 11. (b)中，破線及び一点鎖線はそれぞれ各単ビット移相器のインピーダンス変成器をすべて結合線路で構成した場合，及び 1/4 波長線路で構成した場合の移相量計算値である。比帯域 26% では，インピーダンス変成器に結合線路を用いても，1/4 波長線路を用いた場合と同程度の周波数特性が得られることがわかる。

試作移相器の大きさは従来[8]の約 1/2，性能は比帯域 26% において移相量誤差 (RMS 値) 7.4° 以下，損失 1.4 dB 以下，VSWR 1.6 以下を得た。また，移相量は計算値との差が 10° 以内と比較的よく一致する特性を得た。

4.2 X帯4ビット移相器

ハイブリッド結合形移相器では，移相量を小さくするに従い耐せん頭電力性能が向上する。例えば 90° ビット移相器は 180° ビット移相器に比べ約 1.4 倍の耐せん頭電力をもつ。ここでは，180° ビット移相器を 90° ビット移相器の 2 段縦続接続で構成し，高耐電力化を図ったX帯 4ビット移相器を試作した。この移相器では，縦続接続する 3 dB ハブリッド結合器の数は 5 個となり，11 個必要とする従来方式の移相器に比べ低損失になるとともに，反射波の周波数特性が向上する。

図 12. に，試作移相器の写真及び耐せん頭電力特性並びに移相量，損失，VSWR の各周波数特性を示す。図 12. (b)中，実線及び破線は各単ビット移相器を逆バイアス状態及び順バイアス状態にした場合の損失と入力せん頭電力 (パルス幅 1 μs，PRF 1 kHz) の関係である。耐せん頭電力は逆バイアス状態で決まり，この移相器では約 1.3 kW である。また，比帯域 6 % において移相量誤差 (RMS 値) 12°

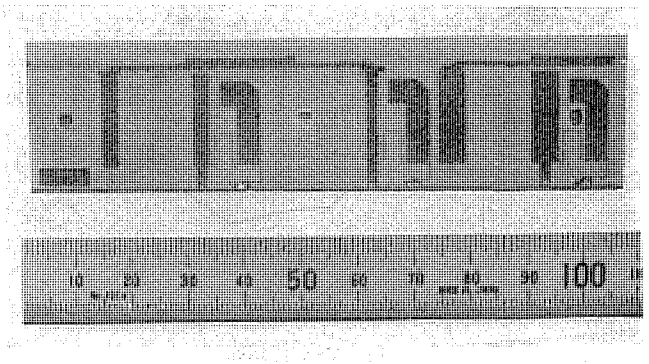
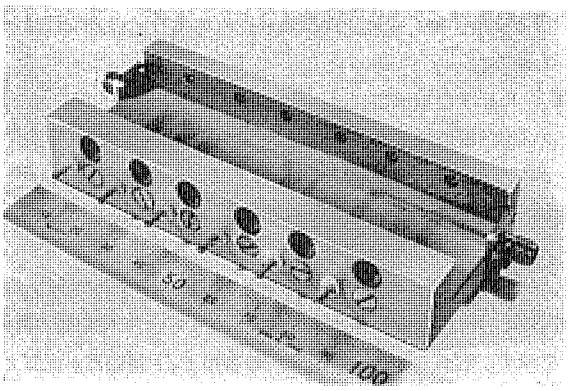
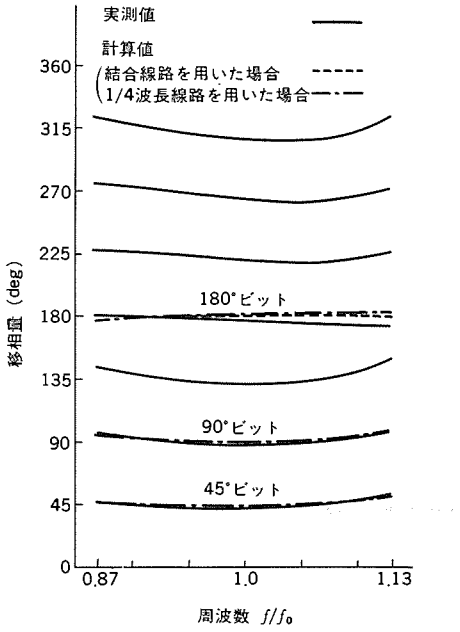


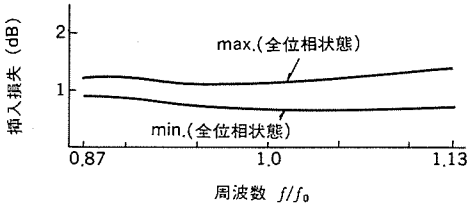
図 10. 試作S帯 3ビット小形ハイブリッド結合形移相器の線路パターン



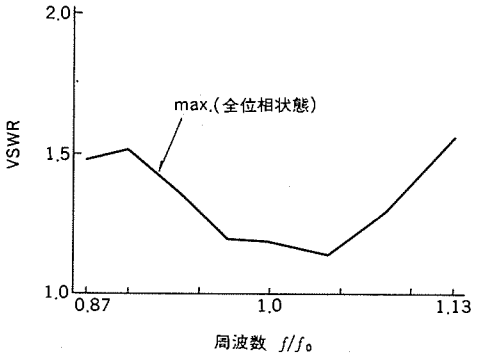
(a) 外観（上蓋，上層基板は取り除く）



(b) 移相量特性

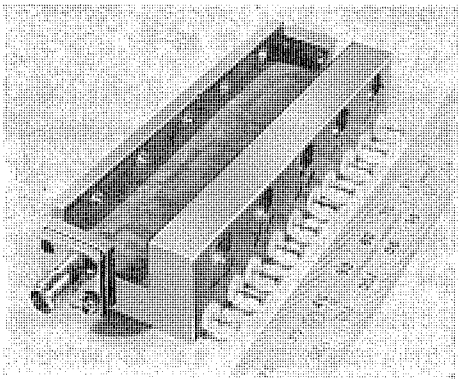


(c) 損失特性

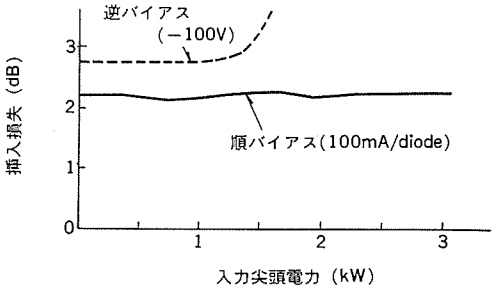


(d) VSWR 特性

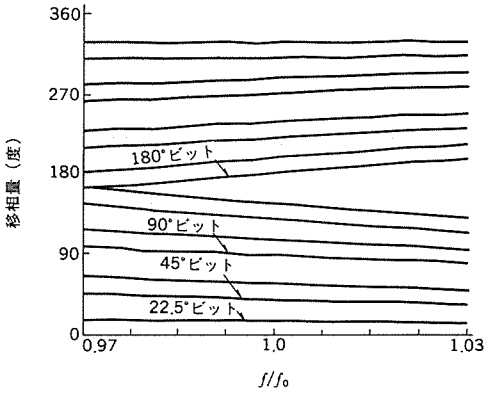
図 11. S帯移相器の試作結果



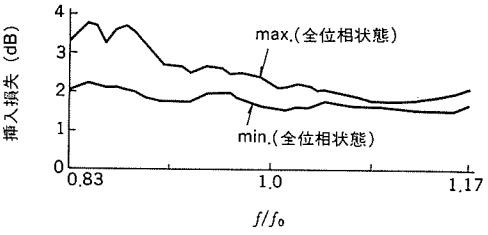
(a) 外観（上蓋，上層基板は取り除く）



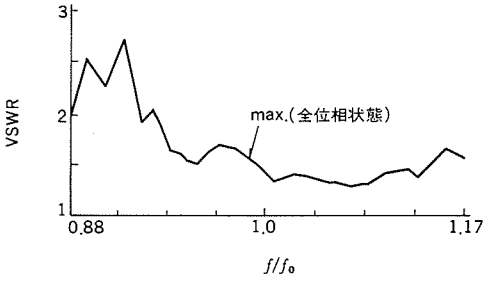
(b) 耐せん頭電力特性



(c) 移相量特性

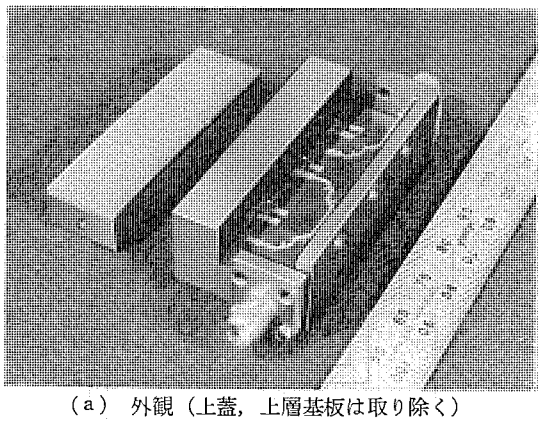


(d) 損失特性

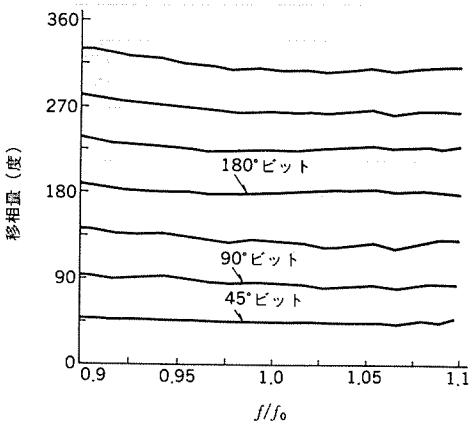


(e) VSWR 特性

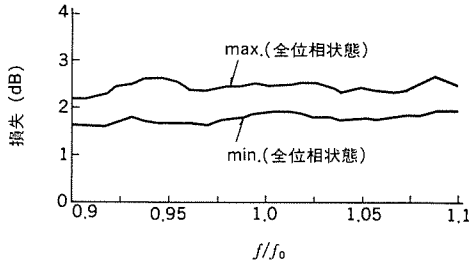
図 12. X帯移相器の試作結果



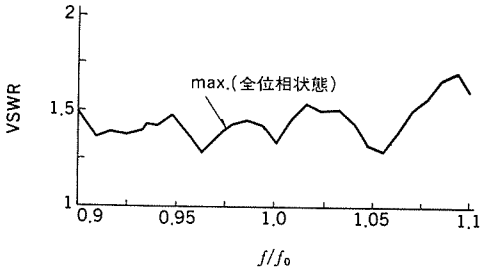
(a) 外観（上蓋，上層基板は取り除く）



(b) 移相量特性



(c) 損失特性



(d) VSWR 特性

図 13. Ku 帯移相器の試作結果

以下，損失 2.6 dB 以下，VSWR 1.5 以下である。

4. 3 Ku 帯 3 ビット移相器

高い周波数帯では 3 dB ハイブリッドの数を少なくできるこの方式の移相器は，低反射化及び低損失化の面で有利である。図 13. に，Ku 帯にて試作した 3 ビット移相器の写真及び移相量，損失，VSWR の各周波数特性を示す。比帯域 20% において移相量誤差（RMS 値）9° 以下，損失 2.7 dB 以下，VSWR 1.7 以下である。この周波数帯では，3 dB ハイブリッド結合器の損失は約 0.2 dB であるので，従来形移相器に比べ約 0.8 dB 損失が低減される。

5. む す び

ストリップ線路で構成するハイブリッド結合形移相器の小形化と，その広帯域化のための設計法及び試作結果について述べた。

インピーダンス変成器にバイアス分離機能をもつ結合線路を用いると，ハイブリッド結合形移相器の長さを従来の約 1/2 に短くできる。移相量の広帯域化は，結合線路の偶モードインピーダンスと奇モードインピーダンスの比 ρ を大きく選べばよく，試作S帯 3 ビット移相器において，比帯域 26% で良好な性能を得た。また，この方式の拡張例としてX，Ku 帯の試作結果を示した。

参 考 文 献

(1) Coats, P. P. : An octave-band switched-line microstrip 3-bit diode-phase shifter, IEEE Trans., MTT-21, 7, pp. 444-449 (1973-7)

(2) Opp. F. L. and Hoffman, W. F. : Design of digital loaded-lime phase shifter networks for microwave thin-film applications, IEEE Trans., ED-15, 7, pp. 524-530 (1968-7)

(3) White, J. F. : Diode phase shifters for array antennas, IEEE Trans., MTT-22, 6, pp. 658-674 (1974-6)

(4) 久郷ほか：PIN ダイオード移相器，信学会マイクロ波研資，MW 73-50 (昭 48-7)

(5) Jones, E. M. T. and Bolljahn, J. T. : Coupled-strip-transmission-line filters and directional couplers. IRE Trans., MTT-4, pp. 75-81 (1956-4)

(6) Cohn, S. B. : Characteristic impedances of broad side-coupled strip transmission lines, IRE Trans, MTT-8, 11, pp. 633-637 (1960-11)

(7) Burns, R. W. and Stark, L. : PIN diode advance high power phase shifting, Microwaves, pp. 38-48 (1965-11)

(8) Microwave Associates Inc. Bulletin 7070 (1976-9)

三菱標準図形処理システムII

沢井善彦*・山本正勝*・吉田幸二*・田中武夫**

1. まえがき

図形処理技術は近年急速に発展し，利用分野がますます拡大する傾向にある。従来から利用されている科学技術計算分野から，オフィスオートメーションの進展に合わせて事務処理分野，ファクトリオートメーションのニーズを満たすCAD／CAM分野，更にはソフトウェアの開発支援，教育，芸術の分野への応用が行われ始めている。一方，図形処理の標準化が並行して行われつつあり，1979年には米国ACMがCOREという標準案，1982年にはISOがGKSという標準案を設定し，計算機メーカー，ソフトウェアハウス，デバイスメーカーがこの動向を追随しつつある。

ここでは，当社の汎用計算機《MELCOM-COSMOシリーズ》及びメガミニ《MELCOM 70シリーズ》向けに開発した当社の標準図形処理システムMGS II (Mitsubishi Graphic System II) について紹介する。

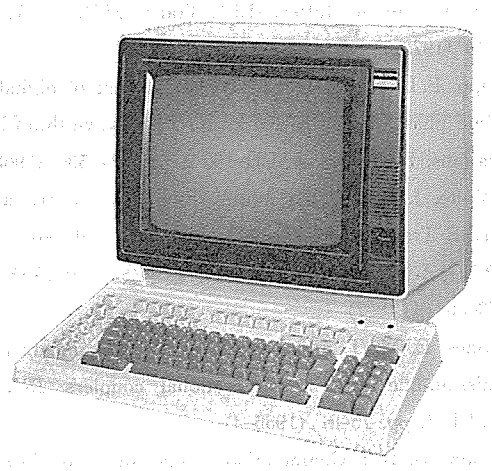


図 1. グラフィックディスプレイ装置 (M 4380-B)

2. 概　要

MGS IIは，世の中の標準化の動向に対応して開発したもので，これまでデバイスごとに固有に提供されている各種の図形処理ソフトウェアを統合化し，デバイスに依存しない標準インタフェースを用意するとともに，ユーザーからの要求仕様，新しいデバイスのサポートを盛り込んだソフトウェア製品である。

開発に際して設定した基本方針は次のとおりである。

(1) 世の中の標準化の動向を十分に考慮して設計する。

(2) 既に稼働中の図形処理応用プログラムに対して互換性を保障する。

(3) 新しいデバイスを含めて，デバイスに独立した図形処理システムを提供する。

(4) エンドユーザーでも簡単にグラフなどの作図ができるようにする。

主な機能としては，プログラムからの要求に従った図形の作成，作成された図形のファイルへの登録，この図形ファイルから各種デバイスへの図形データの出力，及び端末オペレータすなわちエンドユーザーに対する簡易グラフ作成サポート機能がある。(図 2.)

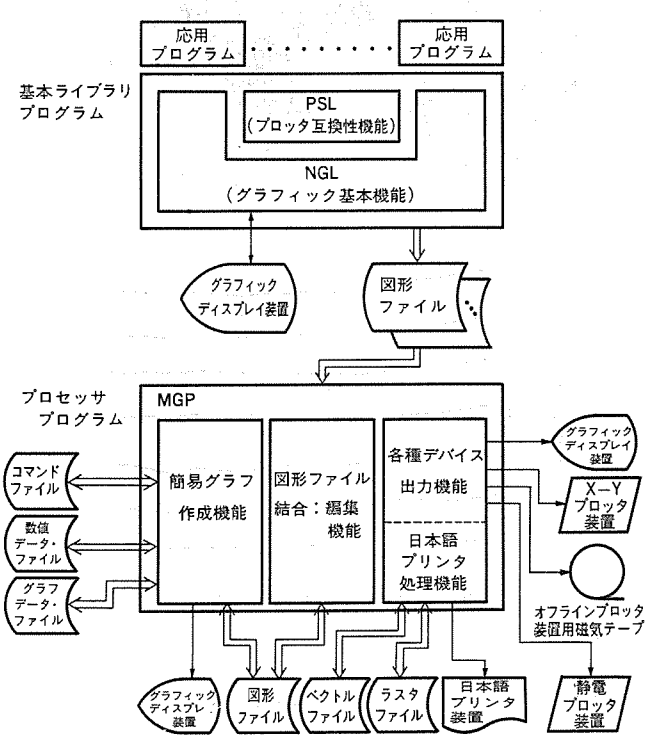


図 2. MGS II のシステム構成

3. ハードウェア構成

MGS IIは，汎用計算機《MELCOM-COSMOシリーズ》及びメガミニ《MELCOM 70／150，250》上で動作する。入出力機器として，図 3. の例に示すようにグラフィックディスプレイ装置，X-Yプロッタ装置，静電プロッタ装置及び日本語プリンタ装置などをサポートしている。

4. ソフトウェア構成

標準図形処理システムMGS IIは，図 4. に示すように，基本ライブラリプログラムとプロセッサプログラムの二つに分類される。

(1) 基本ライブラリプログラム

ユーザーの作成する応用プログラムにライブラリとして組み込まれ，図形処理を容易にする各種の機能を提供する。すなわち，応用プログラムからの要求に従って図形をグラフィックディスプレイ装置への入出力動作，あるいは図形ファイルへの図形データの出力を行う。

(2) プロセッサプログラム

応用プログラムとは独立に動作する複数のプログラムで構成されており，基本ライブラリプログラムから出力された図形ファイルの内容をもとに，各デバイスごとに固有の処理を行う。このようにして，応用プログラムからはデバイスを意識することなく，独立に図形処理を行うことを可能にしている。また，その他に図形ファイルの結合・編集処理，ある

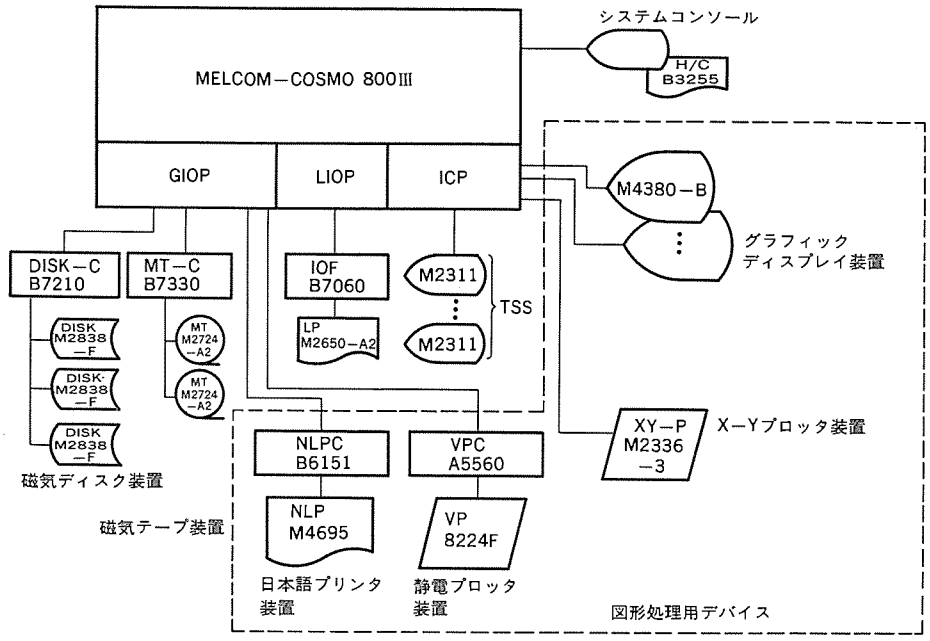


図 3. 《MELCOM-COSMO 800 III》における ハードウェア 構成例

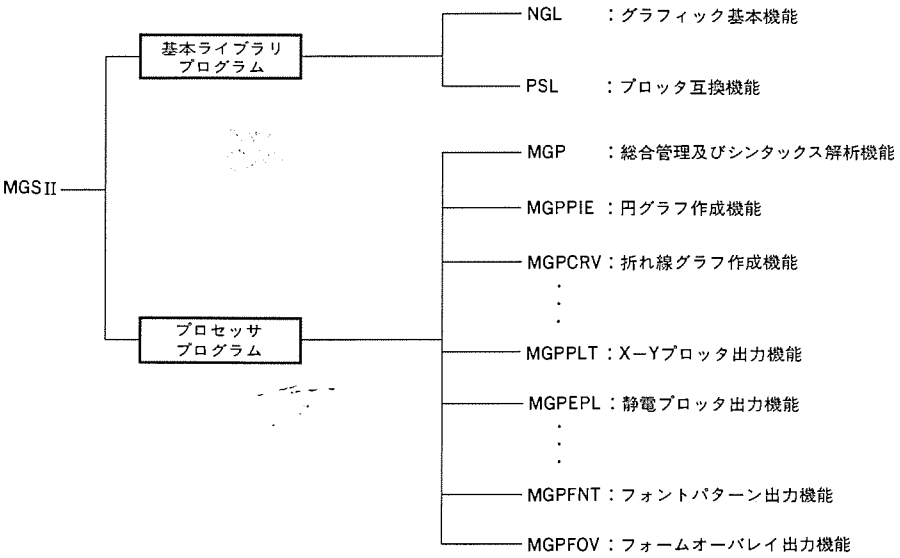


図 4. MGS II の ソフトウェア 構成

いは簡易 グラフ 作成処理の プロセッサプログラム がある。

5. MGS II の機能

5. 1 基本ライブラリ機能

基本 ライブラリプログラム である NGL, PSL が，次の機能を提供する。

(1) グラフィック 基本機能

図形処理に必要な基本機能であり，デバイス への ベクトルデータ や文字／数字 データ の作成，図形の スケーリング 処理，回転や平行移動処理，ウインド／ビューポート 処理，及び クリッピング 処理などの機能が用意されている。

(2) プロッタ 互換機能

プロッタ を前提に標準化されていた従来の図形処理 インタフェース 機能であり，ベクトルデータ，文字／数字 データ の作成，円／多角形／格子／寸法線の作成などの機能をもっている。

(3) 図形 ファイル 入出力機能

応用 プログラム で作成した 図形 データ を，図形 ファイル として登録する ことができる。この図形 ファイル は，再び応用 プログラム から 読み出されて利用されたり，あるいは各種 デバイス 出力 プログラム により読み出 されて，図形が デバイス に出力される。

(4) 会話 モード 図形確認機能

図形 ファイル へ図形 データ を出力する前に，作成された図形を会話 モード で グラフィック ディスプレイ 装置に表示し，図形の完成状況を確認する機能である。表示の際には，コマンド の指定により図形の一部を拡大したり縮小することも可能である。

5. 2 プロセッサ機能

プロセッサ（総称を MGP と 称する）は，図 5. に示す コマンド で オペレータ との会話により，以下に示す機能を提供する。

5. 2. 1 簡易グラフ作成

(1) 折れ線・円・棒・点の各 グラフ を，簡単な コマンド で描くことができる。更に，豊富な コマンド により種々細かな グラフ 作成を可能としている。図 6. に折れ線 グラフ の作成例を示す。

(2) 簡易 グラフ 作成のための文字／数値 データ を ファイル に登録することができる。この データファイル は，各形式の グラフ 共通に使用可能である。

(3) グラフ 作成のための コマンド を ファイル に登録することができる。この機能により，種々の コマンド を グラフ 作成のたびごとに入力する代りに，この ファイル を呼び出してそのまま，あるいは一部変更し

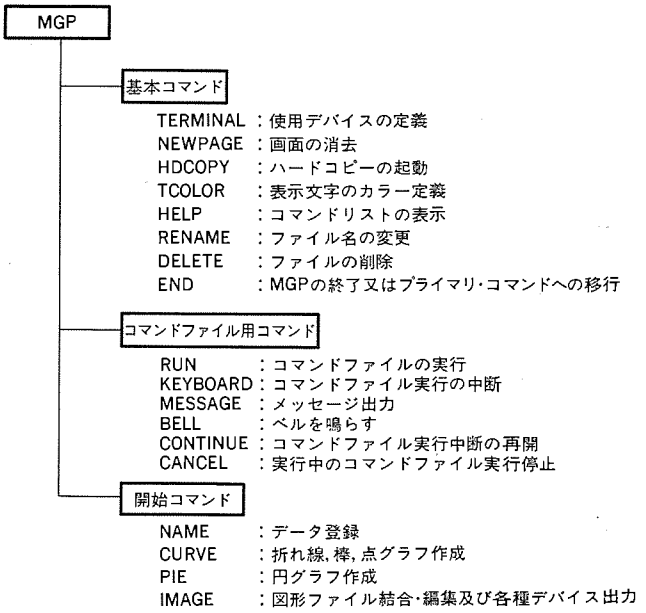
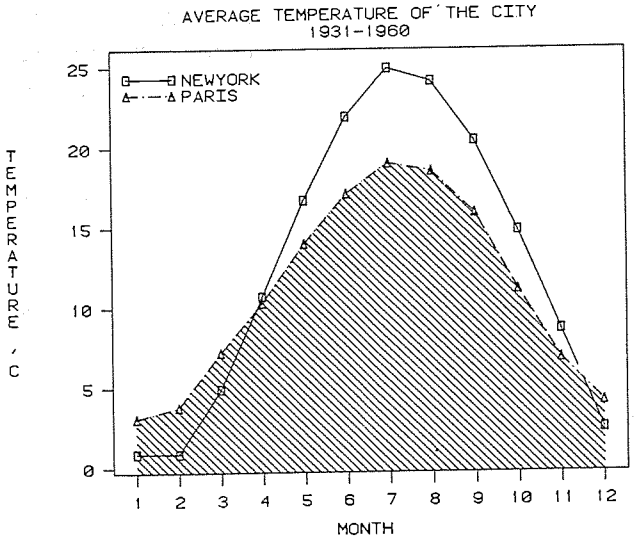


図 5. MGP の コマンド 体系




```
!MGP
>TERM 4380
>CURVE #KION
-USE MONTH, NYK, PARI
-TITL 'AVERAGE TEMPERATURE OF THE CITY'
-DATE '1931-1960'
-XTIT 'MONTH';YTIT 'TEMPERATURE''C'
-LINE 2, L2
-SYMB 1, S1;SYMB 2, S3
-LEGE 'NEWYORK', 'PARIS'
-FILL 2, P3
-GRAPH
-END
>END
```

図 6. 折れ線 グラフ の表示例

て実行させるだけで グラフ を作成できる。

5. 2. 2 図形ファイル編集及び各種デバイス出力

(1) 図形 ファイル の結合・編集機能

図形 ファイル の図形 データ を，拡大・縮小・回転・平行移動して別の新しい ファイル を作成したり，二つの図形 データ を合成したりする。

(2) 図形 ファイル の各種 デバイス 出力機能

図形 ファイル を グラフィックディスプレイ，X-Y プロッタ，静電 プロッタ，及び日本語 プリンタ などの図形出力装置に表示させることができる（図7.)。

図形 ファイル 結合・編集及び各種 デバイス 出力は，IMAGE コマンド の サブコマンド である COPY により，図 8. のような操作で行うことができる。この コマンド に示すように，ファイル の結合・編集と デバイス への出力は，図形 ファイル からの図形 データ の移動，すなわち COPY という共通の コマンド で，操作性を良くしている。図 9. に基本 ライブラリ 機能により作成した図形 ファイル を結合編集し，日本語 プリンタ へ出力した例を示す。

5. 2. 3 日本語プリンタへの出力

日本語 プリンタ へ図形を出力するため，基本 ライブラリ 又は プロセッサ で作成した図形 ファイル（ベクトルデータ）を，日本語 プリンタ の表示精度に従って ラスタデータ に変換する。作成した ラスタデータ を日本語 プリンタ へ出力するには，次の二通りの方法がある。

(1) フォームオーバレイ 方式

日本語 プリンタ 装置では，用紙に データ を印刷する際，前もって作成しておいた固定 パターン を文字 データ と重ね合わせて印刷する フォーム

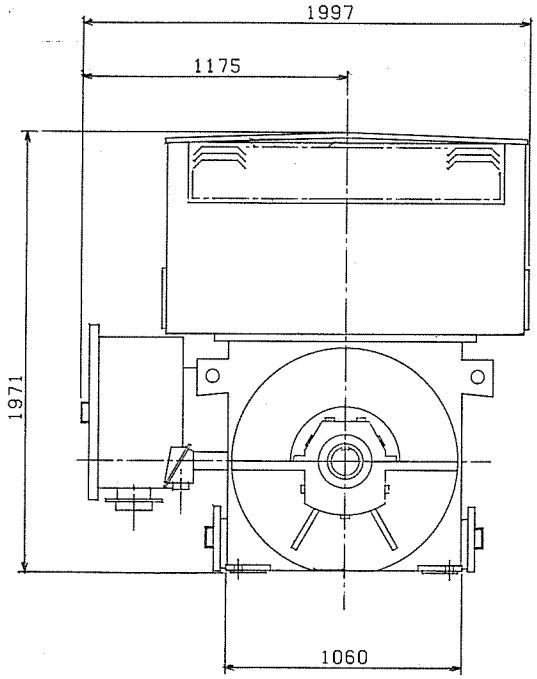


図 7. X-Y プロッタ への出力例

COPY	file	TO	ME	：グラフィックディスプレイ装置に出力
COPY	file	TO	DEV(xxxx)	：指定デバイスに出力
		xxxx：デバイス名		
COPY	file	TO	FT#Sn	：オフラインプロッタ装置用磁気テープに出力
COPY	file1	TO	file2	：図形ファイル(file1)を図形ファイル(file2)として新規に作成する
COPY	file1	OVER	file2	：図形ファイル(file1)を図形ファイル(file2)としてオーバライドし作成する
COPY	file1	INTO	file2	：図形ファイル(file1)を図形ファイル(file2)の後に追加し作成する

図 8. COPY サブコマンド の使用法

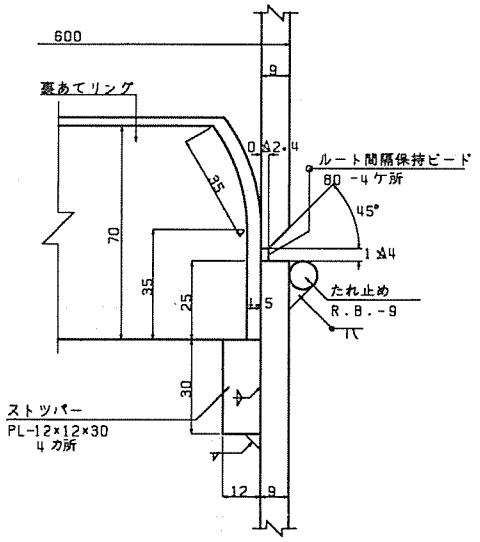


図 9. 日本語 プリンタ への出力例

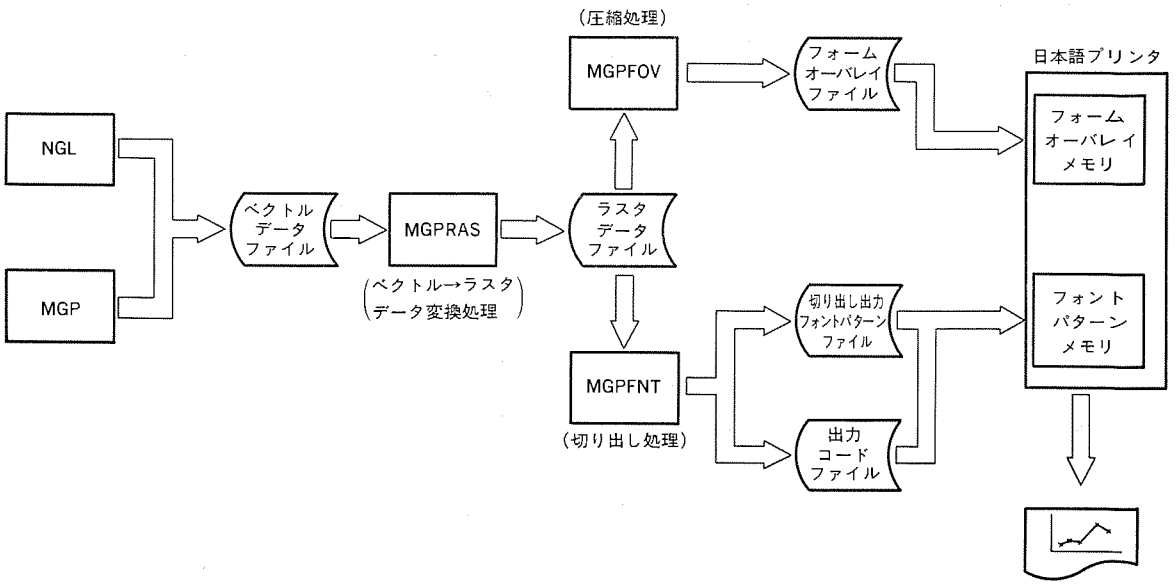


図 10. 日本語プリンタへの出力処理

オーバレイ機構がある。フォームオーバレイ機構を使用するためには，ラスタデータを二次元逐次符号化方式により圧縮したフォームオーバレイ専用のイメージデータに変換し，これをフォームオーバレイメモリに格納して出力する。

フォームオーバレイ方式は，次に示す切り出し方式に比較して2倍程度の処理時間を必要とする。しかし，圧縮した図形データとなっているので，データ量が少なく，図形データの保存ファイル容量や計算機間での転送オーバヘッドを小さくできる。また，複雑な図形を描くことも可能である。

(2) 切り出し方式

日本語プリンタ装置には，ユーザー定義の任意のフォントパターンを登録しておき，対応させたコードの指定により，このパターンを出力する機能がある。この機能を図形出力に利用するためには，ラスタイメージを30ドット×30ドットのフォントパターンに切り出し，このパターンに対応してコードを割り当てる。切り出したフォントパターンは，前もって日本語プリンタに登録しておき，割り当てた一連のコードを日本語プリンタに出力する。

切り出し方式は，CPUの処理時間の面でフォームオーバレイ方式より効率が良い。しかし，フォントパターンを登録する日本語プリンタのメモリ容量の制限により，あまり複雑な図形は描けない（図10.)。

6. 適用事例

MGS II は，主に次のような分野に適用されている。

(1) 科学技術計算分野
(2) CADシステム分野
(3) 事務部門の統計データ解析処理分野
(4) 研究所，学校での解析処理分野

7. むすび

MGS II は，当社で開発してきた各種ライブラリを統合化し，より汎用的なシステムとして構築したものである。しかし，図形処理の分野は特に技術革新が著しく，新規デバイスが年ごとに発表されているのが現状である。これらの状況に対処し，新規デバイスのサポート，日本語機能の充実及びファクシミリなどの画像情報を含んだ汎用的な図形処理システムを提供し，ユーザーの要求にこたえていく予定である。

1,500ゲートECLゲートアレー

立木　真*・加藤周一*・岡辺雅臣*・桜井弘美*・大崎三郎*

1. まえがき

計算機は社会の各分野にわたって浸透し，その利用範囲が拡大するにつれて計算機ユーザーのニーズも多様化し，価格性能比の向上，信頼性の向上を図る必要がある。大・中形計算機において，これら高性能化を図るためには論理素子の高速化による改善に加え，素子間接続布線による遅延を抑え，装置の小形化による実装コストの低減，使用部品数の減少による信頼性の向上の対策を必要とし，可能な限り集積化した高速論理LSIの開発が必す(須)である[(1)(2)]。

この報告は，このような背景のもとに開発した高速・高集積ゲートアレーLSIについてまとめたものである。デバイスとしては，全イオン注入，ドライエッチング技術を駆使した酸化膜分離バイポーラ方式を用い，回路形式としては低電源電圧化したECL回路を採用し，ゲートの負荷容量に応じたエミッタホロワ抵抗自動切換を適用することにより，最小遅延時間400 ps，平均遅延時間700 psを得，また内部ゲートセル構成の高機能化を図ることにより，等価ゲート数として1,500を収納したものである。このゲートアレーは，一貫したCAD技術の採用により短期間に設計され，マスタスライス方式のため短期間に製造可能であり，多品種を一括して製造することが可能である。またLSIを早急に作り替える必要がある場合は，電子ビーム直接露光技術を適用して工程の短縮を図っている。

以下，プロセス技術，回路構成において用いられた工夫について述べ，最後にLSIの試作評価結果について述べる。

2. プロセス技術

ゲートアレーの開発に用いたプロセス技術は，結晶欠陥や熱ひずみを少なくする高精度熱処理技術による酸化膜分離技術とエミッタの微細化が容易な当社独自のISAC[(3)] (Implanted Self Aligned Contact) 技術に加えて，新たに，①縮小投影露光による2.5 μmの微細化技術と，②コンタクト形成のための酸化膜の方向性ドライエッチング技術，③高密度な配線ピッチを得るためのアルミの方向性ドライエッチング技術及び，④論理の改修によるLSIの作り替えのための電子ビーム直接露光技術を採用した。

このプロセスによって得た内部ゲートセルに用いたトランジスタ及び抵抗の断面構造を図1.に示す。図においてコレクタ，ベース，エミッタ及び抵抗のコンタクトは同時に開孔し，配線との重ね合せが容易になっている。使用したエミッタサイズ2.5×2.5 μm² のトランジスタの諸特性を表1.に示す。それぞれの接合容量 C_{TC}, C_{TE} 及び C_{TS} は十分小さく，低電流でも高速な論理素子を得た。トランジスタの諸耐圧も所望の値である。

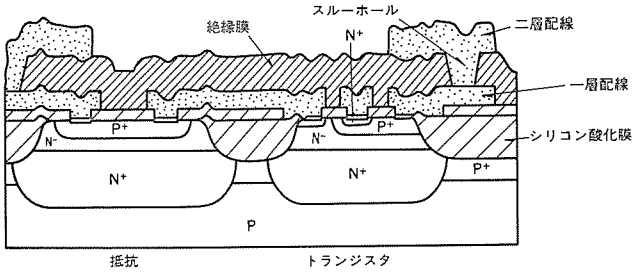


図 1. トランジスタ及び抵抗の断面構造

表 1. トランジスタの諸特性

エミッタサイズ		2.5×2.5 μm²
コレクタベース接合容量	C_{TC}(fF)	21.9
エミッタベース接合容量	C_{TE}(fF)	17.6
コレクタ基板接合容量	C_{TS}(fF)	49.0
カットオフ周波数	f_T(GHz)	3.5
直流電流利得	h_{FE}	100
コレクタベース耐圧	BV_{CBO}(V)	20
コレクタエミッタ耐圧	BV_{CEO}(V)	8
エミッタベース耐圧	BV_{EBO}(V)	5

3. LSIの回路及びチップ構成

LSIは汎用ECL 10Kファミリーの入力信号を，入力バッファ回路により小振幅信号化して内部ゲートを動作させ，LSI外部に出力するときは出力バッファを介してECL 10Kレベルの信号に変換する回路構成にした。電源電圧は −2.8 Vに低減し，低消費電力化を図った。

LSIの内部ゲートセルとしては，図2.に示す2ゲート/セル方式を採用した[(4)]。5個の入力トランジスタ及び3個のエミッタホロワ回路を2ゲートで共用することにより，最大5入力で2出力の論理ゲートに対処できる構成にした。この素子の共用化により，従来の単一ゲート構成に比べて素子の使用効率を向上させるとともに，論理ゲートの構成上の柔軟性を持たせ高集積化を図った。更に，セル内ではコレクタドット論理を可能として高機能化を図った。論理振幅は0.6 V，スイッチング電流は素子サイズと要求性能を考慮し0.3 mAに設定した。エミッタホロワ電流は平均負荷のゲートの場合0.2 mA，クリティカルパスあるいは負荷の重いゲートなど，負荷による遅延を抑え高速性が要求される場合には，0.3 mAに切り換える構成とし高速化を図った。また最大5個までのWired OR論理ができるようにした。ただし，

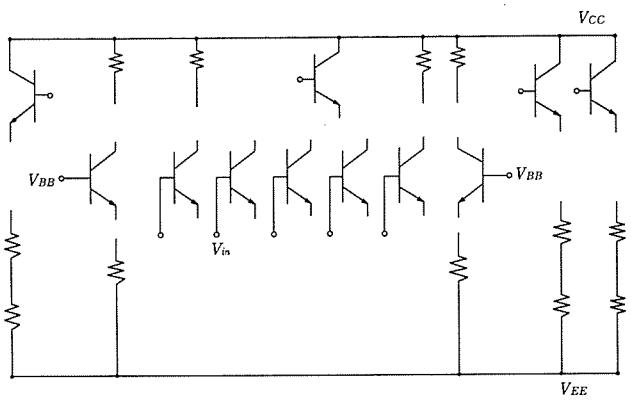
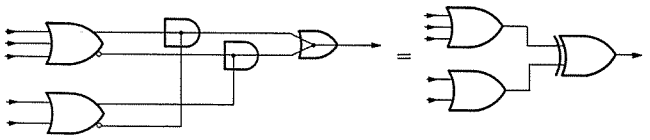
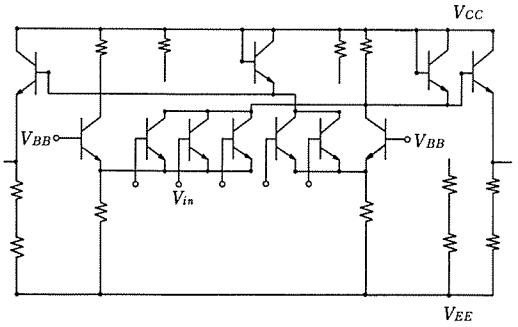


図 2. 内部ゲートセル

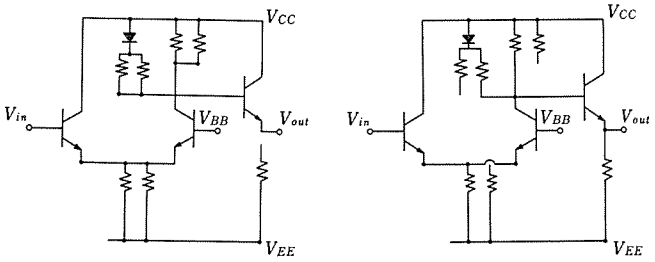


(a) 論理図



(b) 論理の構成

図 3. 内部ゲートセルの構成例



(a) オープンエミッタ形出力バッファ　　(b) 抵抗内蔵形出力バッファ

図 4. 出力バッファの回路構成

Wired OR 論理をとるときは，直流レベルを確保するためにエミッタホロワ電流 0.2 mA 用の抵抗を 2 個に制限した。これらコレクタドット，Wired OR 論理が可能なため，等価的なゲートの集積度を高めている。図 3. に一例として排他的論理和の構成例を示す。等価的に 5 ゲートの論理機能が 1 セルで構成でき，単一ゲートセルに比べて大幅に機能の向上が図れた。

出力バッファとしては，図 4. に示すものを採用した[5]。低電源電圧化に伴って，電源電圧及び接合温度変動による出力“L”レベルの変動が増大する。このため，ダイオードと抵抗で構成した補償回路を付加し，“L”レベルの変動を抑え，10 K ファミリーとコンパチブルにレベルを設定した。またエミッタホロワ抵抗は負荷容量に応じて，高・低 2 段階に切り換える構成とし，消費電力の削減を図った。軽負荷の場合は 700 Ω の内蔵抵抗で終端するが，重負荷を駆動する場合はオープンエミッタ出力として採り出し，外部低抵抗で終端するとともに，高スイッチング電流に設定することにより出力レベルの低下を防止した。

基準電圧発生回路は入力バッファ，内部ゲート，出力バッファそれぞれの出力レベルの電源電圧及び温度の変動を考慮し，各レベルの整合をとることに留意し，内部ゲート用 60 個，入力バッファ用 8 個，出力バッファ用 8 個を設けた。

図 5. に LSI の各回路の配列構成を示す。チップ周辺には入力バッファ 116 個，出力バッファ 72 個を配置し，電源，GND ピンは計 8 個設けてある。内部ゲート配列は横一列

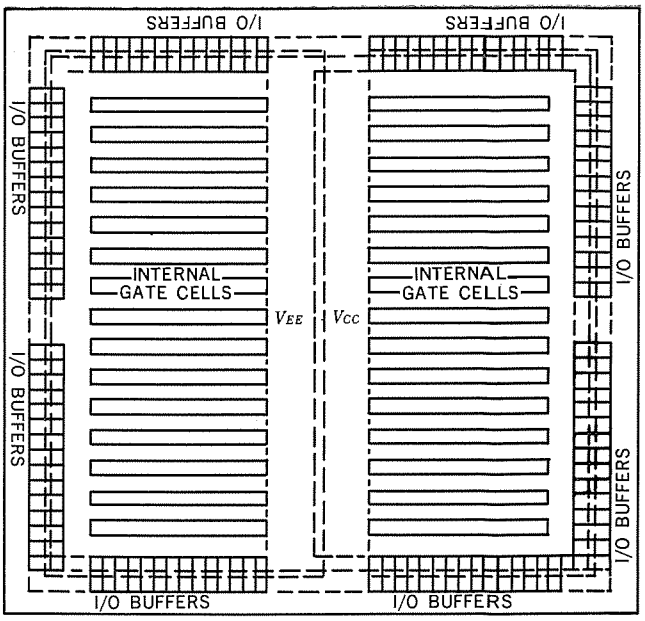


図 5. チップ構成図

とし，各ゲート列の間には 18 本の配線トラックを設けた。内部ゲートは第 1 層 Al で結線し，配線帯の信号線については横方向は第 1 層 Al，縦方向は第 2 層 Al を用いた。内部ゲートは 1 セルに 5 本のフィードスルーを持ち，縦方向配線が通過できるほか，使用しない入出力端子があるときはこの位置を縦方向配線が通過できるようにした。

4. 品種展開

この LSI で用いたマスタスライス方式の目的は，多品種の LSI を能率よく短期間で開発することにある。したがって，論理設計から LSI のテストプログラム発生まで全面的に自動化を図った。

LSI の品種展開フローを図 6. に示す。対象とする回路は，論理シミュレータに論理接続データを入力し，論理の検証とタイミング検証を実行後，設計データベースに格納される。このデータベースには LSI のマスタチップのセル配列，配線帯などの幾何学的情報が収納されている。レイアウトサブシステムでは，前記データベースをもとに内部ゲートの自動配置とゲート間の自動配線を行う[6]。特定信号径路の信号については，信号の重み付けをすることにより配線長を短かくする機能をもって

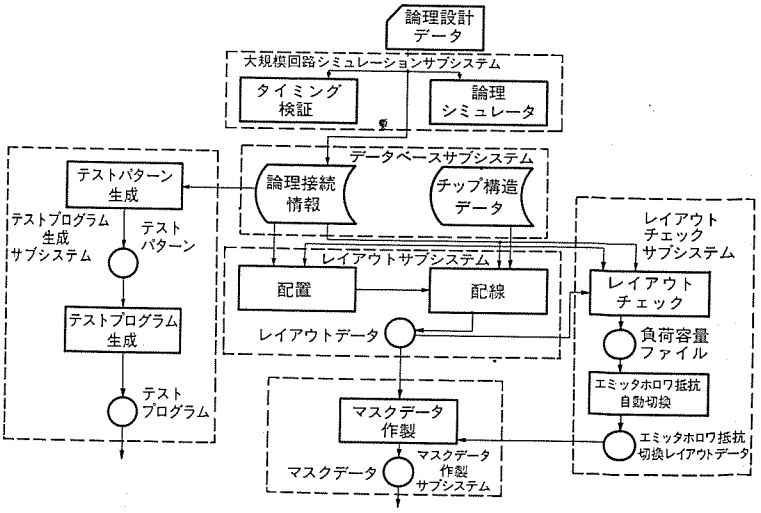


図 6. 品種展開フロー

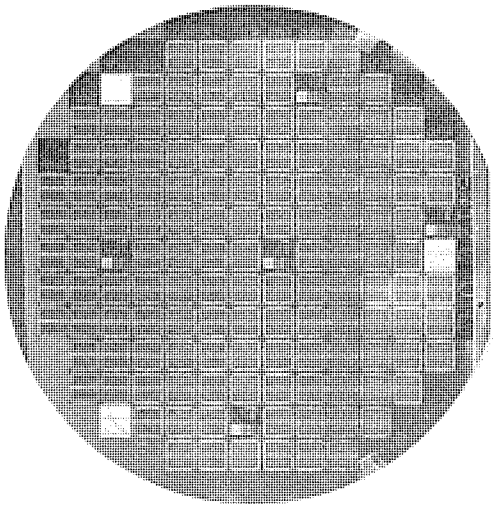
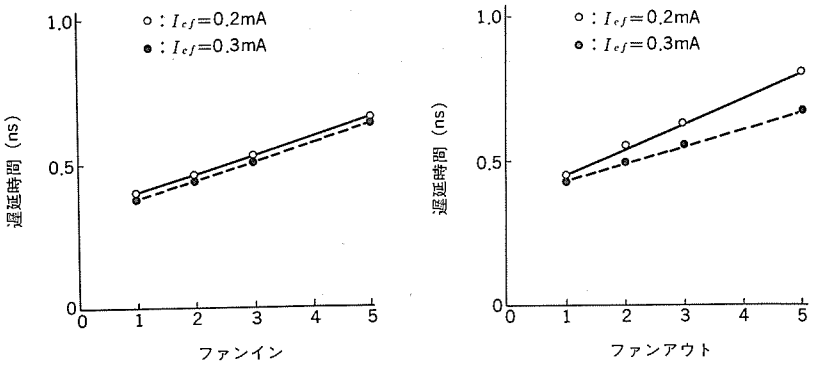
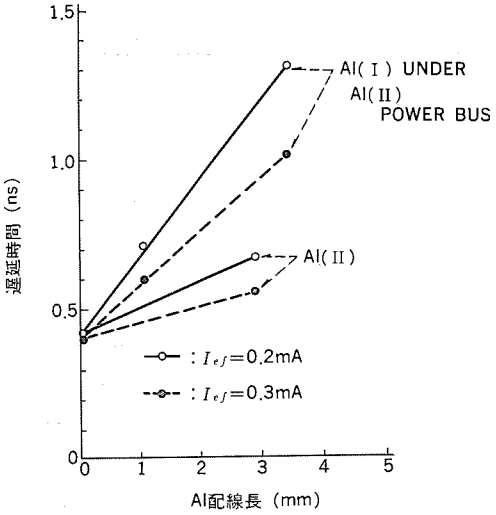


図 7. 多品種搭載ウェーハ写真



(a) ファンイン依存性　(b) ファンアウト依存性



(c) Al配線長依存性

図 8. 基本ゲートの遅延時間特性

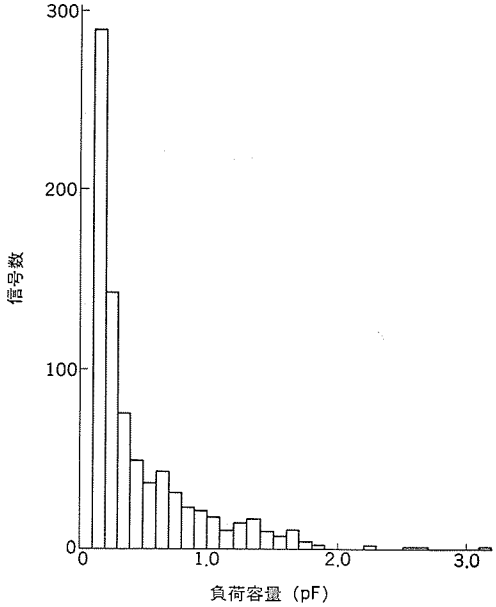


図 9. LSI内部ゲートの負荷容量分布

いる。レイアウトチェックサブシステムでは，論理接続情報とレイアウト結果の照合を行い，各ゲートのファンアウト数，Wired OR数，配線長など接続条件から負荷容量を算出し，併せてLSIの消費電力も算出する。エミッタホロワ抵抗自動切換プログラムは負荷容量ファイルを参照し，LSIの消費電力の許容範囲内で負荷容量の大きいゲートからエミッタホロワ抵抗を切り換える機能をもっている。テスト生成サブシステムではデータベースから論理情報を抽出し，設計ルールチェックを行った後，径路活性化法と故障シミュレータを組み合わせて自動的にテストパターン生成を行い，100%に近い故障検出率を得ることができる。

以上の設計手順で設計されたデータをもとに，マスク工程，ウェーハ工程，テスト工程を経てLSIが開発される。各工程での工期を短縮するために，図7.に示すように1マスクに多品種のLSIを搭載する方式を採用している。また特に緊急を要する場合には，マスクを使わずに電子ビームでSiウェーハ上に直接パターニングを施す電子ビーム直接露光技術を適用して，ターンアラウンドタイムの短縮を図っている[7]。

5. 試作評価結果[8]

マスタスライス設計方式では，固定したマスタパターン上に配列されたゲートの接続を変えて種々のLSIを作るものである。このマスタチップ上に形成された種々のスライスLSIの性能は，個々のゲート間の接続条件とマスタチップ構成によって決定されるため，スライス展開を行うに当って，あらかじめ基本ゲートの性能を十分明確化するとともに，LSIとしての性能を把握しておく必要がある。

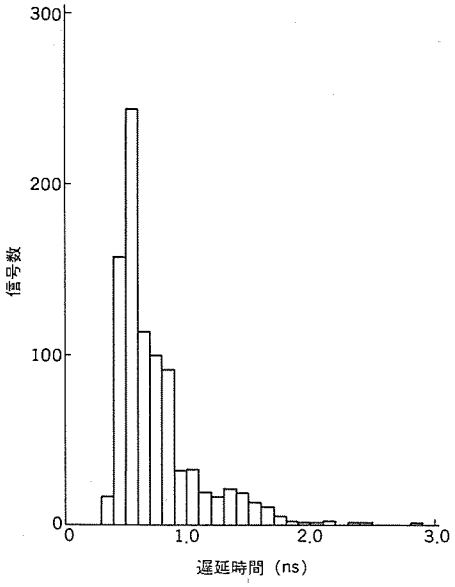
5. 1 基本ゲートの評価

マスタチップ上にファンイン，ファンアウト，配線長を変えた種々のリングオシレータを構成したチップを用意し，以下に述べる評価を行った。

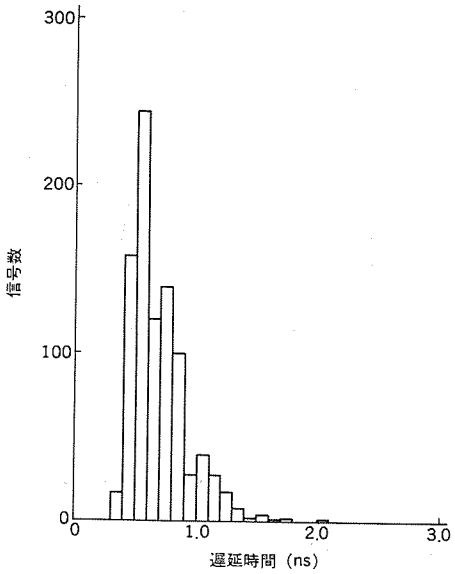
図8.(a)はファイン依存性であり，素子の微細化による接合容量の低減のため，ファンイン1のゲートでは400 psの高速性能が得られた。図8.(b)は2入力ゲートを基本としたファンアウト依存性，Al配線長依存性を示す。Al配線長依存性は，エミッタホロワ電流が0.2 mAの場合には配線帯の第2層Alで91 ps/mmであり，第2層電源配線下の第1層Alでは317 ps/mmと大きくなるが，エミッタホロワ電流を0.3 mAに切り換えることにより大幅に改善できる。

5. 2 LSIの試作評価結果

LSIとしての性能を評価するために，内部信号数924で構成されるECC回路を試作した。クリティカルパスの25個の信号のエミッタホロワ電流が0.3 mAに初期設定されており，LSIの消費電力は1.944 Wである。配置配線情報から各信号の負荷容量を算出した結果を図9.に示す。0.1～3.2 pFに分布し，平均負荷容量は0.48 pFである。この容量値をもとに，前記ゲートの遅延時間特性に従って各信号の遅延時間を計算した結果を図10.(a)に示す。最小遅延時間394 ps,



(a) 遅延時間分布



(b) 遅延時間分布 (エミッタホロワ抵抗切換後)

図 10. LSI 内部ゲートの遅延時間分布

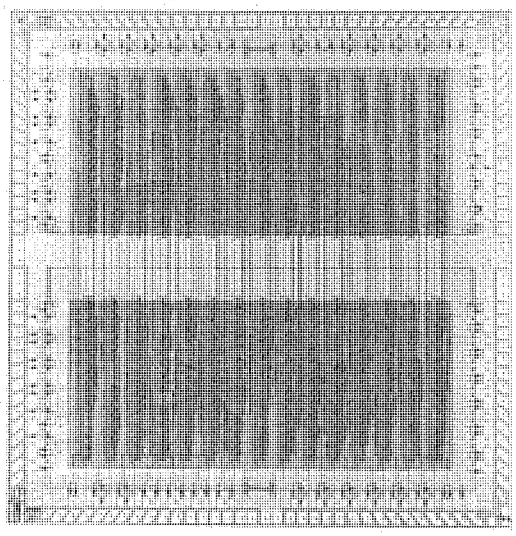


図 11. チップ写真

表 2. LSI 諸元

ゲート数	1,500
入出力端子数	116
電源電圧	−2.8 V
消費電力/ゲート	1.4 mW
遅延時間/ゲート	ave. 0.7 ns
消費電力，遅延時間積	0.98 pJ
消費電力	max. 3.0 W
チップサイズ	6.59×6.41 mm²

最大遅延時間 2,833 ps，平均 747 ps で動作している。LSI の許容消費電力を 2.0 W に設定して，エミッタホロワ抵抗自動切換を実行した結果，200 個の信号のエミッタホロワ抵抗が切り換わり，最大遅延時間 2,017 ps，平均遅延時間 692 ps と改善された。エミッタホロワ抵抗を切り換えたことによる消費電力の増加はわずか 2.8% であり，低消費電力化を図りつつ遅延時間を改善するにあたって，極めて有効な設計手法であることが確認できた。試作した LSI のチップ写真を図 11. に示す。このゲートアレー LSI の性能をまとめて表 2. に示す。

6. むすび

電子計算機の高性能化を目的として開発した高速 ECL ゲートアレーを試作し，その評価結果について述べた。微細化酸化膜分離バイポーラ技術を用い，エミッタホロワ抵抗自動切換と 2 ゲート/セルの基本セル構成人を採用することにより，平均遅延時間 700 ps，ゲート数 1,500 の高速・高集積マスタスライス LSI の開発が可能となり，計算機システムの高性能化に大いに貢献することが期待される。

更に LSI の高速化を進めるに当っては，デバイスの低消費電力化のみならず，ゲート数の増大に伴う配線領域の増大に対処すべく高密度配線技術の確立と，設計サポートのための高度な CAD 技術の実現が必要となろう。また LSI の性能向上のみならず，LSI 外部空間をも含めた高密度実装技術の革新を図ることも必要である。

参考文献

(1) B. J. Blumberg et al : 1979 ISSCC Dig. of tech papers, WPM 6.2, P. 60 (1979-2)
(2) 堀場ほか：三菱電機技報，54，12，P. 829 (昭 55-12)
(3) Y. AKASAKA et al : 1978 IEDM Dig. of tech papers, P. 189 (1978-12)
(4) Y. Horiba et al : 1979 ISSCC Dig. of tech papers, FAM 16.4, P. 228 (1981-2)
(5) 立木ほか：昭 57 信学全大，384，P. 2-150 (昭 57-3)
(6) 寺井ほか：昭 58 信学情報システム全大，S 1-5 (昭 55-9)
(7) 加藤ほか：三菱電機技報，55，4，P. 302 (昭 56-4)
(8) 立木ほか：昭 58 信学全体，398，P. 2-135 (昭 58-3)

ビルディングブロック方式による16ビットCPU用LSIの設計

徳田　健*・是松次郎*・佐藤興二**・村井真一***・竹内　哲+

1. まえがき

数十Kゲートに至る論理VLSIの開発には，設計の自動化が必す(須)の条件である。自動設計手法として現在までにゲートアレー方式，ビルディングブロック方式などが用いられており，前者は開発期間短縮を最優先した完全DA手法であり，後者はより多機能，高性能を指向するCAD化された設計手法である。ビルディングブロック方式は，大規模システムを構造的に設計していく手法として知られているが，特にLSIの場合には，前もって設計し検証されたゲート，フリップフロップ，及びROM／RAMなどの標準セルを用いてLSIを階層的に設計する手法を通常意味している。

従来からこの方式を用いた論理LSIが開発されていたが，論理シミュレータ，自動レイアウトなどのCADツールが統合化されていないことや各種チェックプログラムが充実していないため，標準セル方式の最大の利点であるシステム設計者によるレイアウト設計を実現するレベルに至らなかった。しかし，数十Kゲート規模に至る論理VLSIの高速高集積性能，短期開発期間を共に満足させるには，論理を熟知したシステム／論理設計者による一貫したLSI設計が最も効果的である。

今回この考え方により標準セル設計方式を基本とし，設計データベースを中心に各種CADツールを統合したビルディングブロック方式VLSI総合設計システムを開発した[1]。このシステムは論理VLSIの大規模なデータ量に対応するために階層的LSI設計を基本機能とし，システム設計者がLSIを誤りなく短期間で設計できるための各種チェック機能に重点をおいて設計されている。

この論文では，まず総合設計システムの概要，標準セル設計，及び詳細遅延論理シミュレーションについて述べる。次に，このシステムの実用化例として，当社小形事務用計算機《MELCOM 80オフィスランド》モデル300・200・100・50の16ビットCPU用LSIの設計における階層的設計手法[2][3]について詳しく報告する。

2. 総合設計システム

2. 1 システム構成[4]

図1.にシステム構成とデータの流れを示す。LSIの論理接続情報とライブラリデータをデータベース[5][6]に，ライブラリのセルパターン及びレイアウト結果などを図形データベースに格納する。

自動レイアウトプログラム[7][8]はインタフェースを介してデータベースと接続され，レイアウト結果を図形データベースに入力する。図形データベースはインタラクティブGDS (Graphic Design System) のアートワークファイルであり，必要ならばGDSで修正，改良などの工程を経たレイアウト結果は配線設計検証プログラム(RPV)[9]を経てデータベースに戻される。データベースから自動レイアウト，GDS，及びチェックなどを経てデータベースに戻るデータ処理過程が階層的なレイアウト設計の基本サイクルとなる。

データベースはその他に，詳細遅延シミュレーションが可能な論理シミュレータ[10]，回路のレース／ハザードを検証するタイミング検証プログラム(SI-MCHK)，テストプログラム編集プログラム(TPG)[11]などとインタフェースされている。

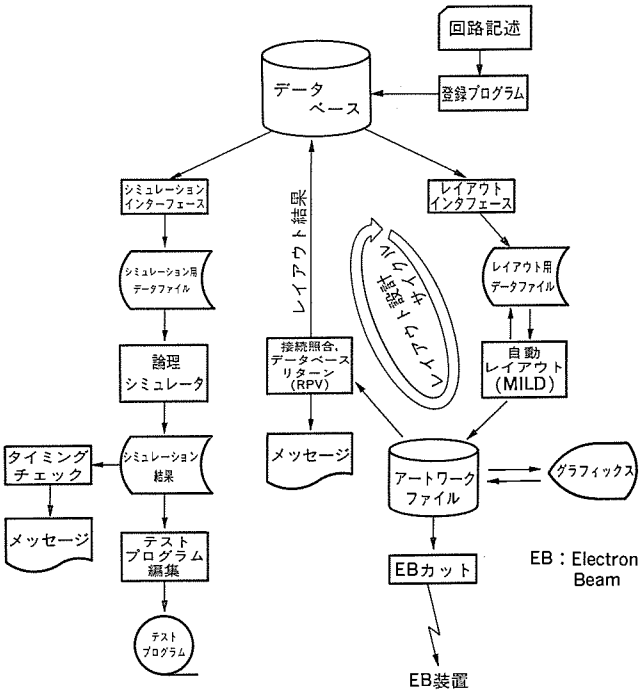


図 1. 総合設計システム

2. 2 設計システムの特長

この設計システムの特長を次に示す。

(1) 階層化設計を指向したデータベースと高度な処理機能をもつインタフェースプログラムにより，論理記述，シミュレーション，レイアウト，及びパターン検証などが階層的に，かつ人手によるデータ抽出，データ変換の手間を一切必要とせず容易に行える。特にレイアウト設計においては，レイアウト結果が自動的にデータベースに格納されるため，ボトムアップの階層レイアウトが短時間に行える。

(2) ゲート，フリップフロップなどの標準セルのほかにROM，RAM，PLAなどの機能セルを同一階層に含めた自動レイアウトが可能で，規則性向上を指向する論理設計に適合している。

(3) レイアウト結果の改良や単純な論理設計変更は，インタラクティブGDSで簡単に実行でき，LSI性能の向上，設計期間短縮を可能としている。

(4) 検証プログラムの充実により，設計ミスが可能な限り避けられる。レイアウト結果の配線接続や配線間のスペーシングなどが，配線設計検証プログラムでチェックされ，タイミングは詳細遅延論理シミュレーションにより高速かつ大規模に検証できる。

(5) 以上の特長により，集積回路の設計に不慣れなシステム設計者でも容易に短期間で高性能論理LSIが設計できる。

3. N／CMOS 標準セルライブラリ

3. 1 設計方針

CMOS の低電力性と NMOS の高集積性の両者の特長を生かすために，論理ゲートの主体を NE／D (Nchannel Enhancement／Depletion MOS) ゲートで構成し，内部ドライバゲート，入出力バッファセルに CMOS 回路を採用した[12]。

標準セルの形状は，自動レイアウトを考慮して図 2. に示すような上下辺に入出力端子を持つ矩形とした。高さ (H) は一定であり，幅 (W) はゲートの種類に応じて異なった寸法をもつ。

プロセスは，NMOS 主体の標準セルであることと，ROM，RAM，PLA をオンチップに設けることを考え，N ウェル CMOS を用い，レイアウトプログラムに適した Al 2 層配線プロセスを採用した。パターン設計には 3 μm ルールを用いた。

3. 2 NE／D ゲートセル

論理ゲートの主体は NE／D ゲートであり，平均遅延時間～5 ns／ゲートで 5 K ゲート程度の LSI が設計できるように消費電力の設定を行った。動作速度／消費電力設計に自由度を持たせるため，低電力タイプ (～10 ns)，標準タイプ (～5 ns)，高速タイプ (～3 ns) の 3 種類のタイプを準備した。

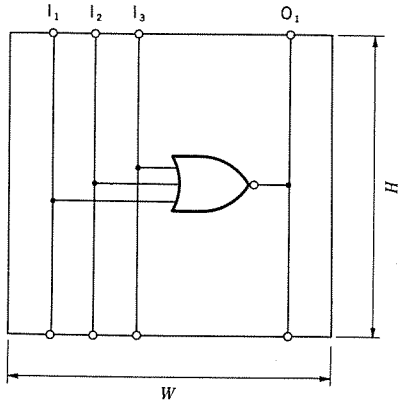
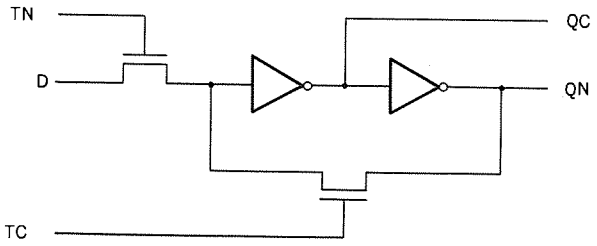
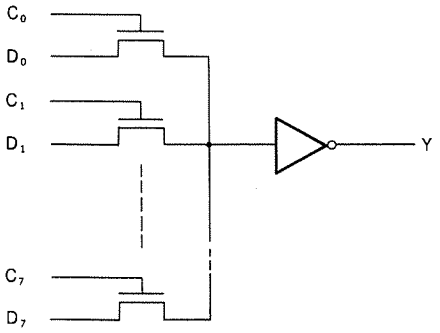


図 2. 標準セル形状



(a) ラッチ



(b) セレクタ

図 3. トランスミッションゲートを用いた標準セル

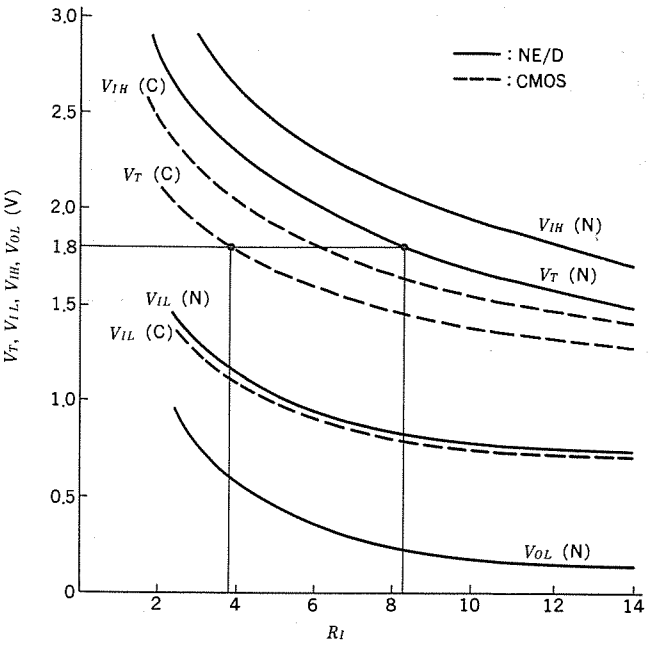


図 4. NE／D 及び CMOS インバータの DC 特性

集積密度を向上させるため，多入力 NOR ゲート，NAND ゲート及び AND-NOR，OR-NAND などの機能ゲートを NE／D ゲートで構成した[13]。また，素子数削減に効果のある トランスミッションゲートは単体では セル化せず，図 3. に示す ラッチ，多入力 セレクタ として標準セル化を行った[14]。

3. 3 CMOS ドライバセル

消費電力の低減のため，内部ドライバゲートは CMOS で設計した。種類は インバータ，2 NOR，2 NAND，及び トライステートドライバ の 4 種類である。これらの セル は構成素子が少なく，ドライブ 能力が同じ プッシュプルタイプ の NE／D ドライバ に比べ セル 面積はほぼ等しく，CMOS 化による セルサイズ の増大はない。

CMOS 回路は，NE／D ゲートとの混在時の タイミング 検証を精度良く行うために，NE／D ゲートと同一の論理しきい値 (V_T) を持つように設計した。設計した両インバータの スイッチングトランジスタ と ロードトランジスタ の飽和電流比 (R_I) と，伝達特性の関係を回路 シミュレーション から求め，図 4. に結果を示す。同じ V_T を設定しても同一 ゲートサイズ の CMOS インバータは，負荷容量を充電する能力が NE／D の約 2 倍となり，特に クロック 端子などを ドライブ する ドライバゲート に適していることがわかる。

3. 4 標準セルデータの検証

標準 セル は レイアウト 設計を終えたあと，セル 寸法，端子位置，端子容量，及び論理などを データベース に，アートワーク を GDS にそれぞれ格納した後，具体的に TEG (Test Element Group) を試作してその機能の検証を行った。

4. 詳細遅延論理シミュレーション[15][16]

回路 シミュレータ 及び タイミングシミュレータ では扱える ゲート 数が，それぞれ数百 ゲート 以下，及び数千 ゲート 以下に制限されるため論理 VLSI の タイミング 検証には適さない。他方，論理 シミュレータ では数万 ゲート の回路に適用でき，遅延時間を取り扱うことも可能であるが，従来用

いられている遅延時間モデルは詳細なタイミング検証には不十分であった。これはMOS論理ゲートの遅延時間が負荷容量に依存するのみならず，入力波形にも大きく影響を受けるためである。

この設計システムでは，ゲートの遅延時間をゲートの入力容量及び出力容量を変数とする遅延時間式を用いて遅延時間を計算し，論理シミュレータへ適用している。

4. 1 詳細な遅延時間計算

出力立上り遅延時間 t_{pLH}，及び出力立下り遅延時間 t_{pHL} を，入力及び出力波形が V_T をよぎる時間の間隔で定義する。各段に負荷容量を付けたインバータチェインを用いて遅延時間の回路解析を行った。C_{n-1} 及び C_n を着目している n 段目のインバータの入力及び出力端子の規格化負荷容量とし，それぞれ前段及び自段のゲートサイズで規格化している。C_n を一定とし，C_{n-1} を変化させて求めた n 段目のインバータの遅延時間特性を図5.に示す。両インバータにおいて，特に t_{pHL} が C_{n-1} に大きく依存，すなわち入力波形に大きく依存するが，t_{pLH} は比軽的依存度が少ない。この特性から，遅延時間は前々段の影響まで考慮して計算する必要がなく，C_{n-1} と C_n の関数で精度良く計算できることがわかる。この関数として次の実験式を採用し，この式による遅延時間の計算値をあわせて図5.に示す。

$$t_{pLH}=C_n\left\{K_{0r}+K_{1r}\left(\frac{C_{n-1}}{C_n}\right)^{\alpha_r}\right\} \quad \cdots\cdots(1)$$

$$t_{pHL}=C_n\left\{K_{0f}+K_{1f}\left(\frac{C_{n-1}}{C_n}\right)^{\alpha_f}\right\} \quad \cdots\cdots(2)$$

なお，K_{0r}，K_{1r}，K_{0f}，K_{1f}，α_r，α_f は定数であり，回路解析から求められる。

この設計手法においては，t_{pHL} では同一ゲートサイズのCMOS及びNE／Dインバータの特性がほぼ等しくなるが，t_{pLH} では充電能力の差が現れCMOSがNE／Dの約0.7倍となっている。ゆえに前段がCMOSの場合には，入力波形が改善される効果を式(2)における C_{n-1} に取り込んで遅延時間 t_{pHL} を計算することになる。回路解析によればこの係数は約0.4である。

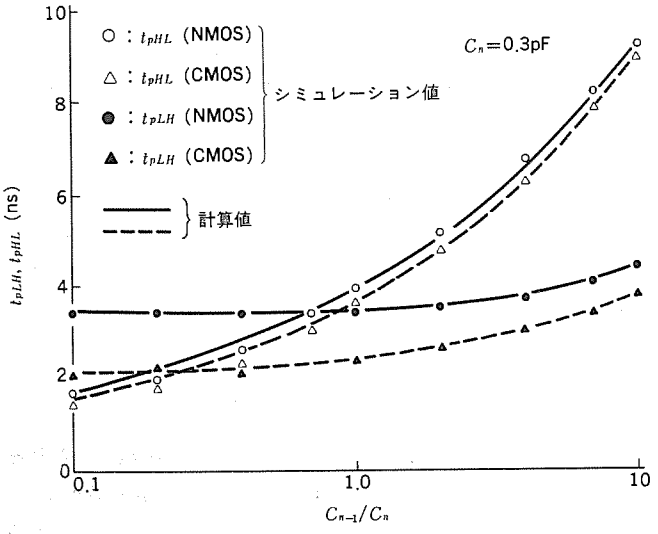


図5. NE／D及びCMOSインバータの遅延時間特性

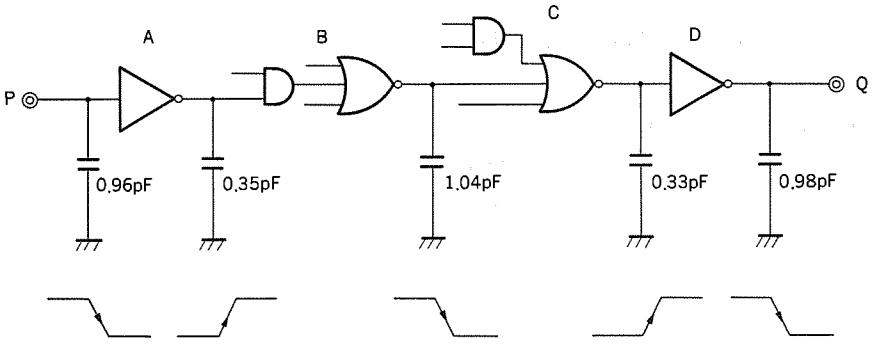


図6. 遅延時間評価用論理パス

表1. 遅延時間評価結果

遅延時間 (ns)	$t_{pLH}(A)$	$t_{pHL}(B)$	$t_{pLH}(C)$	$t_{pHL}(D)$	Total
詳細遅延論理シミュレーション	4.0	6.5	3.7	6.1	20.3
従来法	4.0	13.5	3.8	12.7	34.0
回路シミュレーション	4.1	6.0	3.9	8.2	22.2

4. 2 設計システムへの適用

式(1)，式(2)で計算される遅延時間は，入力容量が異なるため多入力ゲートにおいて各入力端子ごとに異なり，論理シミュレータにおいては論理エレメントの入力端子ごとの遅延時間定義が必要である。今回は従来の論理シミュレータに簡単に適用できる入力側遅延時間モデルを採用し，詳細遅延論理シミュレーション手法を確立した。更に扱うゲート数がきわめて多い場合を考慮して，出力側に平均遅延時間を定義する平均遅延モードも設定した。

遅延時間計算及び遅延時間素子の発生は，インタフェースプログラムが自動的に行う。

4. 3 遅延時間モデルの評価

詳細遅延論理シミュレーションにより，標準セルで構成された論理パスの遅延時間を評価した。評価用論理パスを図6.に，評価結果を表1.に示す。表1.に，出力側容量のみから遅延時間を計算する従来法及び回路シミュレーションによる場合の結果もあわせて示す。

図のように，容量にアンバランスがあるパスにおいては，従来法の遅延時間が特に t_{pHL} で大きくずれるが，今回の方法では回路シミュレーション結果に良く一致することがわかる。遅延時間計算に必要な計算機時間は少なく，シミュレーションに必要な時間は論理シミュレータの実行時間にほぼ等しい。例として，約3Kゲートのランダムロジックを入力パターン数1.4Kで詳細遅延シミュレーションを実行した結果，3.5 MIPSの計算機で87分で完了した。

5. 16ビットCPUのLSI設計

今回開発したビルディングブロック方式VLSI総合設計システムを使い，当社小形事務用計算機《MELCOM 80 オフィスランド》モデル300～50用16ビットCPUのLSI設計を行った。このCPUはデータ演算チップ，コントローラチップ，及びメモリ管理チップなどから構成され，全体としてマイクロプログラム制御方式による16ビットのプロセッサを構成している[17]。

この章ではゲート規模が最大のデータ演算チップについてその設計手法を述べる。

5. 1 標準セル変換及びデータベース登録

論理設計の後，論理記述をライブラリ内にある標準セルを用いた記述

表 2. データ演算チップの主な論理階層

ブロックタイプ	ブロックサイズ(ゲート数)	ブロック数
大規模ブロック	500～5,000	8
中規模ブロック	50～500	23
小規模ブロック	<50	72

に変換した。この標準セル変換では，素子数の削減を図るため，多入力 NE／D ゲート及び多入力セレクタ（トランスミッションゲート構成）への変換に重点をおいた。その結果，このLSIでは平均ファンイン数約2.7，総ゲート数約5Kが得られた。LSIの論理を機能単位にブロック化し，ブロックごとにブロック名，周辺ピン名，内部論理を記述し，登録プログラム（コンパイラ：図1.）を用いてデータベース登録を行った。

このLSIは表2.に示すゲート規模で，小規模，中規模，大規模ブロック及びLSIチップの順に論理の階層をもっている。論理ブロック（レイアウト時に展開される）又は物理ブロック（レイアウトブロック）の指定は簡単なコードで行うことができ，このLSIでは主に大規模論理ブロック以上を物理ブロックに指定した。

記述ミス及び論理設計ミスを登録プログラム及びインタフェースプログラムのフォーマットチェック，及び論理シミュレーション（主に中規模以上の37ブロックで実施）によって検証し，修正再登録を行った。このLSIの設計データは，登録ブロック数約100，論理図面約200ページの規模に及んだが，この設計システムの階層的論理記述，階層展開，及び並列処理などの機能により，設計データの登録，検証を短期間（3人×1か月）で完了することができた。

5. 2 レイアウト設計

このLSIのレイアウト階層を図7.に示す。このLSIは機能及び自動レイアウトに適したデータ量を考慮して，大きく4個の物理ブロックに分割して設計した。ブロック分割の基準として，標準セルベンチの長さを1.5 mm程度，物理ブロックのサイズを3～4 mm□に制限することを設定し，ブロックサイズと動作速度の最適化を行っている。

ブロック(A)のALU部分は論理の規則性が高いため，この設計システムの機能を最大に利用して階層的にレイアウトした。すなわち，まず4ビットALUを物理ブロックとして設計した後，このブロックの繰返しと，コントロール回路に当る部分の標準セル（論理ブロックに対応）を用いて自動レイアウトを行うことにより，16ビットALUブロックを設計した。ブロック(A)の構造を図8.に示す。16ビットALUにおいて，コントロール信号は水平方向に直線で走り，データ信号は垂直方向に走っている。なお，このブロックには特に高速動作が要求されるため，4ビットALUは自動レイアウト後に人手で高密度化を図っている。このような階層的レイアウトによって，集積密度は16ビットALUにおいて552トランジスタ＼mm² と向上し，RAMの出力からALUを通ってRAMの入力に戻るクリティカルパスのディレイが大幅に改善された。

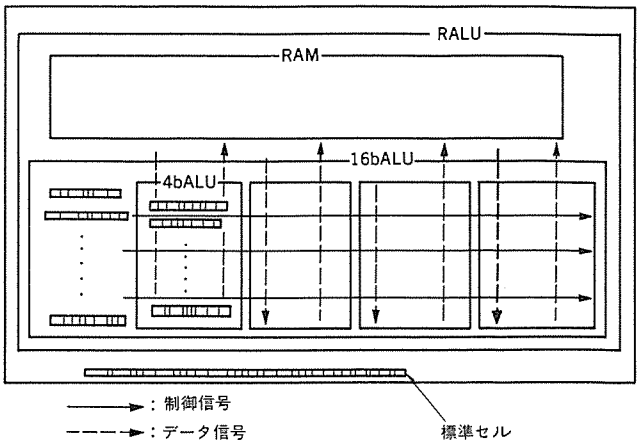


図 8. ブロック(A)の階層構造

最後に，4ブロック(A)～(D)が完成した後，4ブロックとI／Oバッファを用いて自動レイアウトを行いLSIチップを設計した。このLSIのレイアウトは，一部に5層以上の深い階層を持つ階層的レイアウトを行ったにもかかわらず，レイアウト結果を自動的にデータベースへ戻す機能，及び充実した検証プログラムなどをもつ総合設計システムを用いたために，約3人×2か月の短期間で完了した。

5. 3 タイミング検証

標準セル変換及び論理シミュレーション完了後，ファンアウト容量と仮想配線長を考慮した平均遅延モード論理シミュレーションにより，レイアウト前にタイミング検証を行い，遅延時間がスペック値を超えたゲートを，より高速タイプに変更した。

物理ブロックの設計が完了すると，実配線容量を用いた詳細遅延論理シミュレーションをブロックごとに実行し，最後にチップレベルで実配線容量を用いた平均遅延モード論理シミュレーションでタイミングの最終チェックを行った。LSI内数パスの遅延時間実測値及びこのシミュレーション値は図9.に示すとおりに良い一致を示した。

5. 4 評価結果

自動レイアウト設計及び完全な設計検証を行ったため，このLSIは最初の試作で完全にスペックを満たす動作を行った。3 μm ルール Si ゲート N ウェル CMOS 2層 Al プロセスで製造したこのLSIは，チップサイズ8.48 mm×8.88 mmに約20Kトランジスタ（1K RAM，I／Oバッファを含む）を含み，配線面積対素子面積比4.9，集積

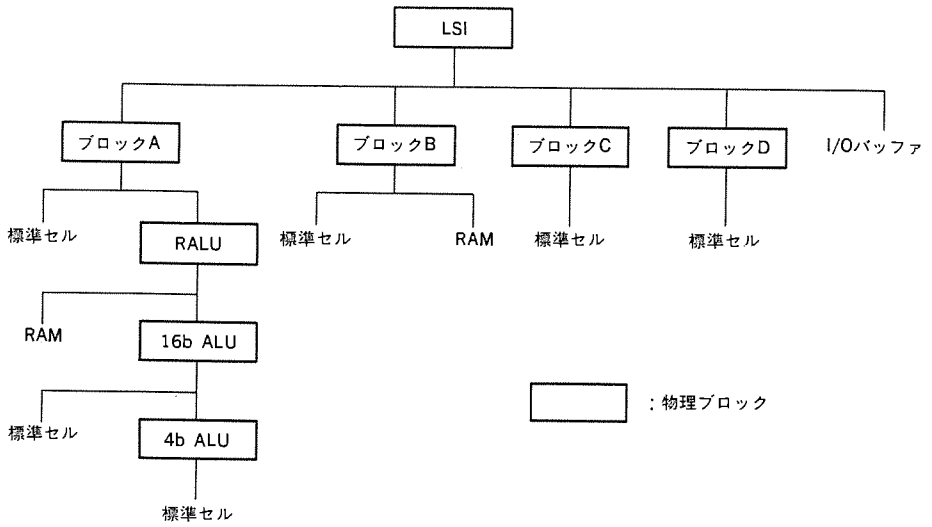


図 7. データ演算チップのレイアウト階層

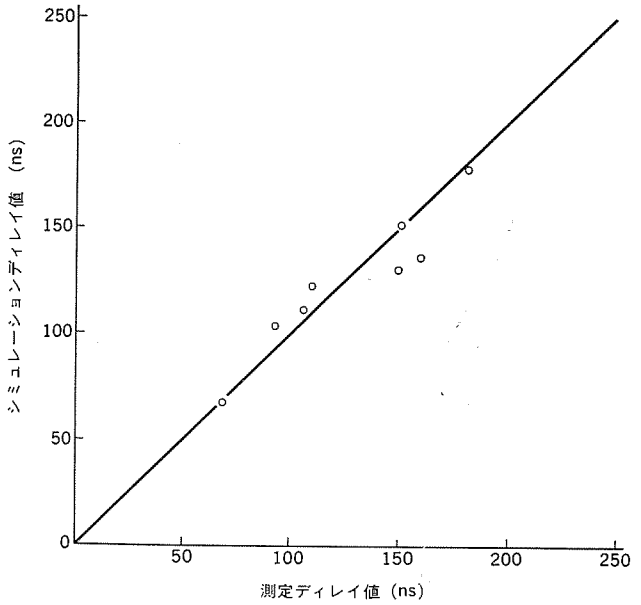


図 9. データ演算チップの遅延時間

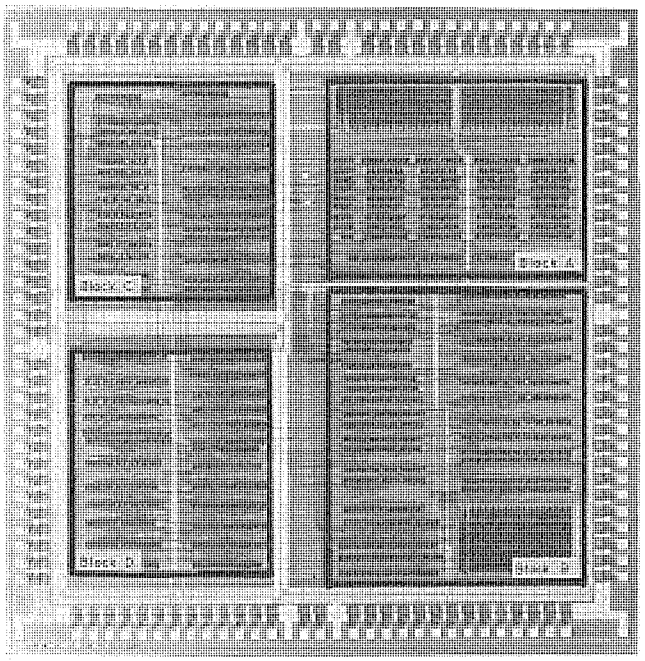


図 10. LSI のチップ写真

密度 291 トランジスタ／mm² が得られた。製造した LSI のチップ写真を図 10. に，LSI 諸元を表 3. に示す。

6. むすび

階層的標準セル方式を基本とするビルディングブロック VLSI 総合設計システムの概要，及び小形事務用計算機の 16 ビット CPU 用 LSI 設計への応用について報告した。

表 3. LSI 諸元

機能	16 ビットデータバス
マシンサイクル	200(ns)
消費電力	1.3(W)
電源電圧	5(V)
パッケージ	124 ピン プラグインタイプ
総トランジスタ数	20 K (RAM, I/O を含む)
	ランダムロジック……11,391
	RAM (1 Kbit)…… 7,843
	I/O…… 624
チップサイズ	8.84×8.88(mm²)
集積密度	291(トランジスタ／mm²)
セル面積比	17.0(%)

この設計システムを用いた標準セル方式は，特に短期開発が要求される高性能論理 VLSI に有効な設計手法であり，今後も設計システムの改良及び標準セルの整備などを続けてゆく所存である。

参考文献

(1) K. Sato et al : Proceedings of 1982 ICCC. p. 516-519 (1982-10)
(2) 徳田ほか：信学研資 SSD 82-40, p. 9-16 (昭 57-7)
(3) T. Tokuda et al : Proceedings of 1982 ICCC, p. 102-105 (1982-10)
(4) 佐藤ほか：昭 57 年情報処理全大，1 N-1, p. 1,279-1,280 (昭 57)
(5) 柿沼ほか：昭 57 年情報処理全大，1 N-2, p. 1,281-1,282 (昭 57)
(6) 柿沼ほか：情報処理学会設計自動化研究会，14-4 (昭 57-10)
(7) K. Sato et al : Proceedings of 18 th D. A. Conference, p. 828-836 (1981-7)
(8) 尾崎ほか：昭 57 年情報処理全大，1 N-5, p. 1,287-1,288 (昭 57)
(9) 今井ほか：昭 57 年情報処理全大，1 N-6, p. 1,289-1,290 (昭 57)
(10) 榎本ほか：昭 57 年情報処理全大，1 N-3, p. 1,283-1,284 (昭 57)
(11) 岡崎ほか：昭 57 年情報処理全大，1 N-4, p. 1,285-1,286 (昭 57)
(12) 徳田ほか：昭 58 年信学全大，391 (昭 58)
(13) 徳田ほか：昭 56 年信学全大，338 (昭 56)
(14) 徳田ほか：昭 57 年信学全大，373 (昭 57)
(15) I. Ohkura et al : Proceedings of 1980 ICCC, p. 953-956 (1980-10)
(16) T. Tokuda et al : IEEE Trans. CAD (1983-7)
(17) 繁沢ほか：三菱電機技報，57, No. 8, p. 545-549 (昭 58)

ガス給湯用高負荷バーナ

椙本照男*・蜂谷正憲**・角　庄司**

1. まえがき

近年，家庭内での湯の使用に対する関心がますます高まっている。家庭用の給湯機は，貯湯式，半貯湯式，瞬間式などのタイプに区別されるが，設置スペースの制約などから出湯能力の大きな瞬間式給湯機の開発が盛んである。特にマンションなどの集合住宅においては，図1.に示すような給湯機のパイプシャフト（メータボックス）設置，壁掛設置が非常に多くなってきている。

これらの機器は，従来から広い出湯能力をもちながら，その製品の大きさは小さくなる傾向にある。また，湯量によらず，望む一定温度の湯を得るための湯温コントロールに入力比例制御機能を付加し，使い勝手の向上を図っている。このたび当社では，この状況に対応して，大能力かつコンパクトな比例制御付きガス瞬間式給湯機に搭載した。

本稿では，主にこの瞬間式給湯機に搭載したバーナの特性について説明することにし，まず2章でバーナに要求される性能，3章で今回開発したバーナの特長を，そして4章でその製品への適応について述べる。

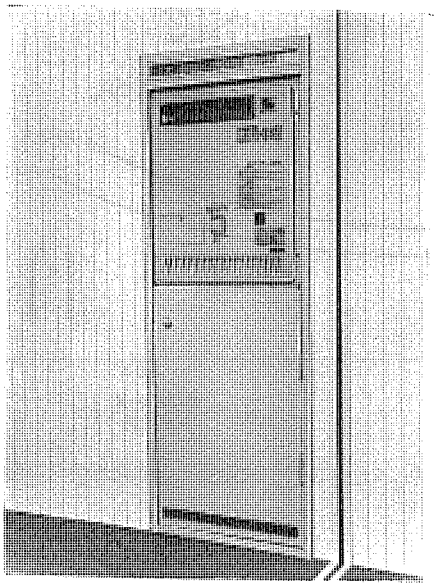


図1. パイプシャフト設置例

2. バーナに要求される性能

瞬間式給湯機用のバーナに要求される性能は，主に次の事項である。

（1） 高負荷燃焼が可能で，特に火炎長が短いこと。

（2） 入力可変幅（Turn Down Range）の広いこと。

（3） バーナの圧力損失が小さいこと。

（1）の高負荷燃焼はコンパクトでありながら，出湯能力の大きい（16号）機器を実現するのに必要な性能である。特に火炎長を短くすることは燃焼空間を小さくすることに寄与し，コンパクト化に対する重要な要素である。（2）は湯温コントロールのために要求される性能で，広い範囲の出湯能力（3号～16号）を持つ比例制御機能を実現するのに重要である。（3）は燃料ガスの噴流を利用して燃焼用一次空気を吸引するエジェクタを使用するための性能である。3.3節で述べるようにバーナの圧力損失が小さいほどエジェクタの能力は高くなり，その他の機構を設けることなくブルー燃焼に必要な一次空気量を確保し，入力可変の全範囲で一次空気比 μ_1 を一定にでき安定な燃焼を行わせることが可能となる。

以上の点を考慮して，今回は魚尾バーナを開発し給湯機に搭載することにした。

3. バーナの特性

3.1 バーナの構造と火炎形状

「魚尾バーナ」はその火炎形状が，魚の尻尾に似ているのでこの名がついている。一般的な分類によると赤火式燃焼の範ちゅうに属するもので，本来二次空気だけで燃焼する拡散炎タイプである[1]。しかし拡散炎タイプでは入力変化幅は広くとれるが，火炎が長く不完全燃焼になりやすいため，今回開発した魚尾バーナはその外観を図2.に示すように，エジェクタにより一次空気を吸引し予混合できる構造とした。一次空気を導入した結果，火炎はブルーで薄く広がった形状となり，魚尾炎本来の特長である二次空気との接触，拡散が良いことにより，火炎長さも当社従来のバーナに比べて，約半分と短

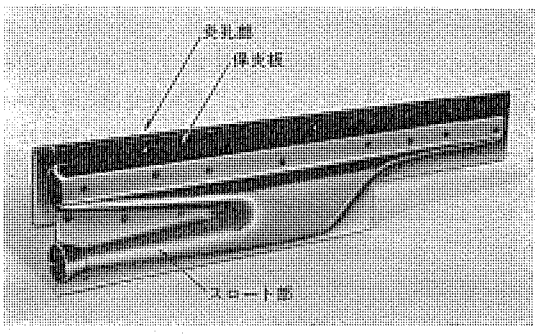


図2. バーナの外観

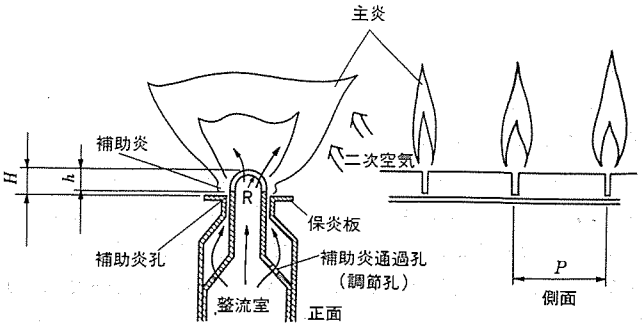


図3. 炎孔部の詳細と火炎形状

* 応用機器研究所　** 中津川製作所

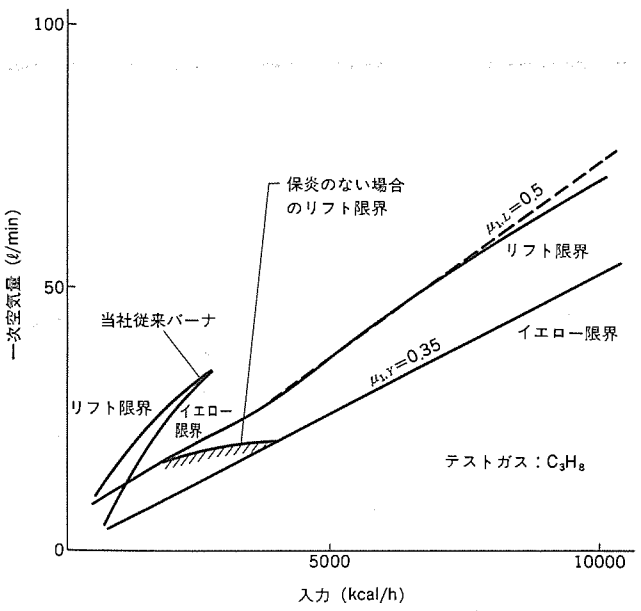


図 4. 魚尾バーナの燃焼範囲

くすることができた。

図 3. には炎孔部の詳細を示す。炎孔は主炎孔と補助炎孔に分かれ，主炎孔により扇形の主炎が形成される。一方，補助炎孔は整流室の壁と保炎板とのすき間で，長手方向に連なった補助炎が形成される。この補助炎は主炎の安定性を良くする保炎効果を持ち，その燃焼量は補助炎調節穴によって規定している。

3. 2 燃焼範囲

本稿で定義する燃焼範囲とは，図 4. に示すように入力と一次空気量 Q_{a1} の関係であり，火炎が炎孔から離れ始めるリフト限界，カーボン生成が顕著になり黄炎燃焼になり始めるイエロー限界，及び火炎が炎孔に逆流し始めるバック限界の各ラインに囲まれたブルー炎安定燃焼領域のことである。これ以外にも排ガス，特に CO，ススの排出濃度を基準にとった燃焼範囲が考えられるが，今回の魚尾バーナにおいては，上述のブルー炎安定燃焼範囲内であれば CO，ススの心配は全くない。更にバック限界についても，最も燃焼速度が速いガス種に対して極めて低い入力時に現れるだけで，他のガス種では全く心配する必要はない。

図 4. はプロパンガスについての燃焼範囲を示したもので，それぞれのラインはほぼ一次空気比 μ_1＝一定の線となっている。したがってこのバーナは燃焼量によらず一次空気比 μ_1 をそれぞれの限界一次空気比の間の一定値に設定して動作させれば，広い入力範囲にわたって安定した燃焼を行わせることができる。

次に各限界ラインについてもう少し詳細に述べる。

（1） リフト限界

リフト限界とは，炎孔からの予混合気の噴出速度が火炎の燃焼速度より速くなり，火炎が炎孔から離脱する現象をいい，リフト炎になると CO の排出が顕著になってくる。

図 4. のグラフから，リフト限界の一次空気比 $\mu_{1,L}$ はほぼ 0.5 程度であり，今回のバーナは 1 本当り 10,000 kcal/h 以上の高負荷でも安定に燃焼させることができる。これは補助炎による保炎効果によるものであり，補助炎がないとリフト限界がイエロー限界と一致し，約 4,000 kcal/h 程度で安定燃焼範囲がなくなる。また図には当社の従来の給湯機用バーナの燃焼範囲も併せて示してある。

バーナの高負荷性能を表すのに，以下で定義される炎孔負荷率がしばしば用いられる。

$$\text{炎孔負荷率}=\frac{\text{単位時間の燃焼量}}{\text{炎孔面積}} \quad \cdots\cdots(1)$$

従来バーナでは，この炎孔負荷率は約 15 kcal/h・mm² が限度であるが，今回のバーナは保炎効果によってリフト限界が伸びており，約 60 kcal/h・mm² 程度の炎孔負荷でも安定燃焼が可能である（実際の機器ではバーナの圧力損失との関係でエジェクタ性能に限界があり，約 25 kcal/h・mm² 程度で使用している）。すなわち従来に比較してかなりの高負荷バーナであると言うことができる。

（2） イエロー限界

イエローとは一次空気が不足し，カーボンの析出に伴う固体発光によって黄炎燃焼する現象であり，CO，ススの発生が顕著になるのみならず，火炎も長くなりコンパクト性に対しては甚だ不都合である。図 4. から今回のバーナは，イエロー限界の一次空気比 $\mu_{1,Y}$ はほぼ 0.35 の直線上にあり，ブンゼンバーナなどに比較して極めて低い一次空気比でブルー燃焼を行わせることができる。

後述するように，一次空気比の設定にエジェクタを用いる場合には，バーナの圧力損失を考慮しながらイエロー限界の一次空気比 $\mu_{1,Y}$ をできるだけ低い値にするようにバーナを設計しなければならない。そこでイエロー限界に与える各因子を調べた結果を図 5.～図 7. に示す。

図 5. はイエロー限界一次空気比 $\mu_{1,Y}$ と，補助燃焼量と全体燃焼量の比 γ_q の関係を示したものであり，γ_q が大きくなると $\mu_{1,Y}$ も

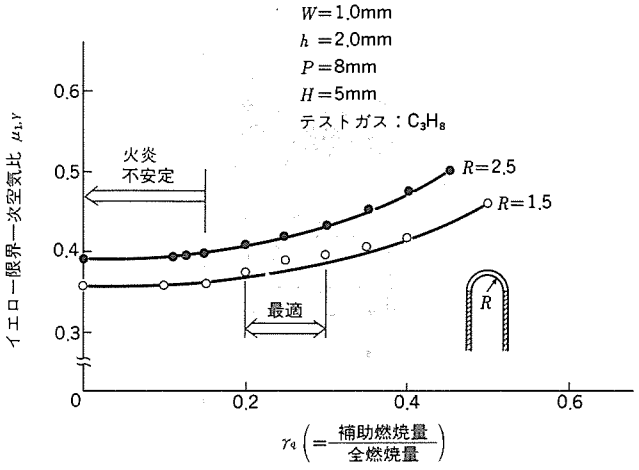


図 5. イエロー限界一次空気比と補助燃焼量の関係

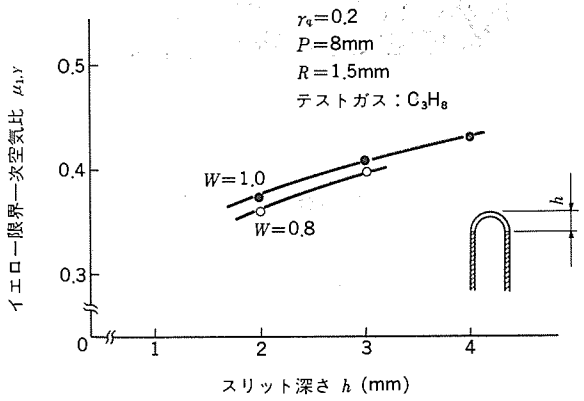


図 6. イエロー限界一次空気比とスリット深さの関係

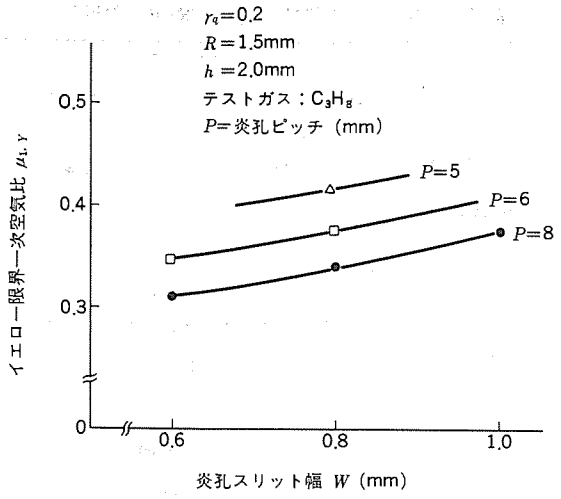


図 7. イエロー限界一次空気比と炎孔スリット幅，炎孔ピッチの関係

大きくなる傾向がある。しかし $\gamma_q \lesssim 0.15$ では保炎効果が弱くなり不安定な火炎となる。ゆえに $0.2<\gamma_q<0.3$ 程度が適当な範囲であろう。また主炎孔の曲げ R を変えても $\mu_{1,Y}$ の値は変化し，曲げ R が大きいと $\mu_{1,Y}$ は増加する。

図 6. には主炎孔のスリット深さ h と $\mu_{1,Y}$ の関係を示す。h を深くすると火炎はより外側に広がるが，$\mu_{1,Y}$ は増加する傾向にある。図 7. は主炎孔のスリット幅 W と $\mu_{1,Y}$ の関係を炎孔間ピッチ P をパラメータにとって示したものである。W を大きくすると火炎の厚みが増し，拡散による二次空気の侵透が悪くなり $\mu_{1,Y}$ が増加する。ピッチについては，P が小さくなると隣り合う火炎が合体し，二次空気が火炎間に侵入しにくくなるため，やはり $\mu_{1,Y}$ は大きくなる。また保炎板の位置 H によっても $\mu_{1,Y}$ の値は多少違ってくる。保炎板位置 H が小さく主炎孔に近づくと，二次空気の流れが補助炎によって妨害され $\mu_{1,Y}$ は高くなる傾向になる。

魚尾炎においては，二次空気との接触，拡散が重要な役割を果たしており，炎孔の設計に当ってはこの現象を妨げないように注意する必要がある。

3. 3 エジェクタの性能

図 4. の燃焼範囲からも分かるように，入力変化の広い範囲にわたって安定な燃焼を維持するには，燃焼量によらず一次空気 μ_1 をほぼ一定して安定燃焼範囲内を動作させる必要がある。このためにはエジェクタを用いるのが最も簡単な方法である。エジェクタは燃料ガス噴流のもつ運動量を利用して一次空気を自動的に吸引するもので，一種のポンプ作用をするものと見なせる。図 8. にその構造を示すが，燃料ノズルとスロートから構成されており，機械的可動部分が全くなく構造が極めて簡単なため，燃焼機器の分野では広く用いられている方法である。

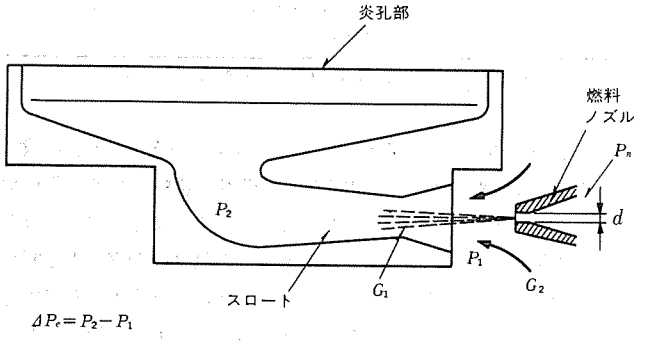


図 8. エジェクタの構造

燃焼器に用いられるエジェクタの性能は，文献(2)に詳しく報告されており，その性能曲線は式(2)によって表される。

$$\mu_1=\frac{1}{A}\,\frac{-(1+\gamma)\left(1+\frac{1}{2}\beta\right)+\sqrt{(1+\gamma)^2\left(1+\frac{1}{2}\beta\right)^2+2\beta\gamma\varepsilon\{1-\varepsilon\Delta P_e/(2P_n/k_n)\}}}{\beta\gamma} \quad \cdots(2)$$

μ_1：一次空気比　　A：理論空気量（重量）

γ：燃料の比重　　β：損失係数

ε：スロートとノズルの面積比

ΔP_e：エジェクタによって生ずる圧力差

P_n：ノズルガス圧　　k_n：ノズル圧損係数

また，ある一次空気 μ_1 比において得られる最大圧力差 $\Delta P_{e,\max}$ は式(3)で表され，エジェクタの限界曲線を与える。

$$\Delta P_{e,\max}=\frac{1}{\frac{1}{2}\beta\gamma\mu_1^2+(1+\gamma)\left(1+\frac{1}{2}\beta\right)\mu_1}\cdot\frac{P_n}{2k_n} \quad \cdots\cdots(3)$$

一方，バーナの圧力損失 ΔP_B は炎孔吹出し流速の2乗に比例しており，一次空気比の定義，及び燃料ノズルにおけるノズル圧 P_n と燃料量の関係を考慮すると，式(4)のように表すことができる。

$$\Delta P_B=C\cdot K\frac{\mu_1^2}{S^2}\frac{2P_n}{k_n} \quad \cdots\cdots(4)$$

C：$\frac{\pi^2}{32\gamma}d^4A^2$　　d：ノズル径

K：バーナ圧損係数　　S：炎孔面積

図 9. は式(2)，(3)，(4)の μ_1 と ΔP の関係を，圧力 ΔP についてはノズル圧で無次化して表したものである。実線は式(2)の性能曲線でブロワの QH 曲線に相当するものである。破線は式(3)の限界曲線であり，性能曲線の包絡線になっている。この破線上及びその内側がエジェクタでの使用可能な範囲である。右上りの一点鎖線は式(4)のバーナ圧力損失 ΔP_B を示し，式(3)（破線）との交点を実際の動作点とすることができる。なお図 9. はすべて無次元で

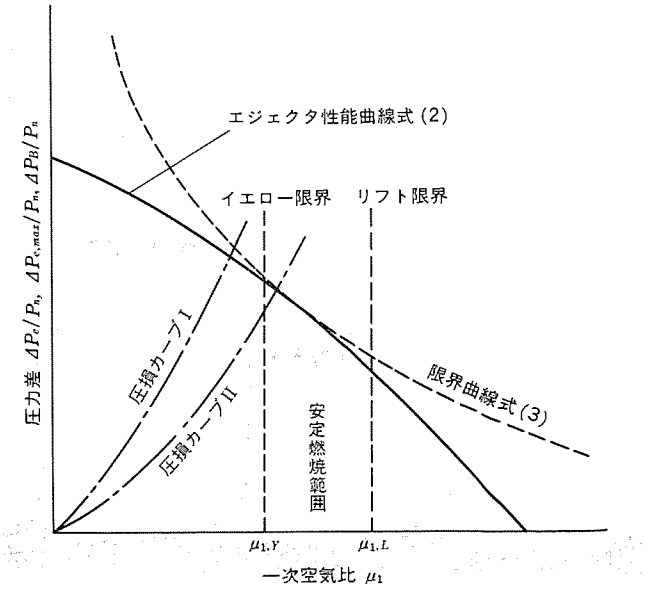


図 9. エジェクタの性能

表しているので，燃焼量の大小によらず，この線図上でエジェクタの性能を議論しても差支えない。

さて，バーナ燃焼範囲から動作点は，イエロー限界とリフト限界の間の安定燃焼範囲内の領域に設定されなければならないが，一般に高負荷バーナではバーナ圧力損失が大きくなるため，イエロー限界以下の μ_1 で式(3)と交わりエジェクタを用いてブルー燃焼を行わせることはむずかしい（図9. 圧損カーブⅠ）。したがって高負荷バーナにおいてエジェクタを利用する際には，イエロー限界空気比 $\mu_{1,Y}$ を低い方にずらすことと同時に，バーナの圧力損失をできるかぎり小さくて，動作点をイエロー限界一次空気比 $\mu_{1,Y}$ 近傍に設定することが必要である。この意味において3. 2節で詳細に調べたイエロー限界は特に重要な因子である。

このように3. 2節の結果及び製品の大きさを考慮して，最適の炎孔寸法などを決定したものが図9. 圧力損失カーブⅡの曲線である。そしてこの曲線と破線との交点において性能曲線が接するように，式(3)，式(4)から ε の値，すなわちスロート径を定め，エジェクタの最適設計を行った。

以上，極めて低い一次空気比で高負荷，ブルー燃焼し，エジェクタのみを用いて広い範囲の入力可変を実現する魚尾バーナが開発できた。

4. 製品への適応

これまで述べたように，今回開発した魚尾バーナは，

(1) 保炎効果による高負荷燃焼

(2) エジェクタのみを利用した広い入力可変幅

(3) 短い火炎長

を実現しており，2章に挙げた比例制御機能付き瞬間式給湯機用のバーナとしては最適なものである。このバーナを搭載し，瞬間式給湯機として重要な事項である，操作性・設置しやすさ，省エネルギー，省スペースを追究したMBGシリーズを昭和58年3月から発売している。

MBGシリーズの製品外観を図10.に，製品仕様を表1.に示す。MBG-16Bは，16号ガス比例制御瞬間式給湯機と日本人の入浴スタイルに最もよく合った「追いだき機能」を兼ね備えた「ガス瞬間式給湯機付きふろがま」であり，MBG-16Gは据置タイプの「ガス瞬間式給湯機」，MBG-16Wは，壁掛，パイプシャフト設置を可能にした「ガス瞬間式給湯機」である。

図11.にMBG-16Bの動作原理を示す。ガス供給及び比例制御は当社独自の永久磁石と電磁石の反発力を利用し，ガス量を可変する電子式ガス量比例制御弁[3]を使用している。また燃焼用空気は，

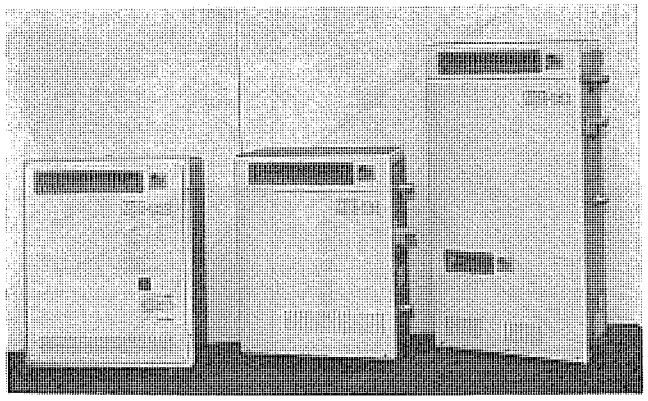


図10. 魚尾バーナを搭載した給湯機の外観

表1. 魚尾バーナを搭載した給湯機の標準仕様

形名			MBG-16B	
			給湯	ふろがま
ガス消費量 (kcal/h) [( )はLPG(kg/h)]		最大	30,000 (2.6)	8,800 (0.74)
		最小	6,000 (0.52)	
性能	能力（号数／h）		最大 16.6 最小 3 (LPG, 12A, 13A) 3.5 (5A, 5B, 5C, 6AB, 6C, 7C)	
	出湯量 (l/min)	25°C上昇	16.6	
		40°C上昇	10.4	
	湯温設定温度範囲 (°C)		約28～約80	
	湯温制御方式		入力比例制御	
	最低動作水圧 (kg/cm²)		0.1	
給水方式			水道直給	
給湯方式			先止め方式	
給排気方式			屋外設置（強制給排気式）	
配管径	ガス管		都市ガス 20A (PT 3/4)，LPG 15A (PT 1/2)	
	給水管		20A (PT 3/4)	
	給湯管		1	
	循環管		φ45	
電気特性	電源 (V)		AC 100	
	消費電力(W)		給湯ふろ同時使用 100 (50／60 Hz)	
点火方式			連続放電点火	
操作部			電源スイッチ，電源ランプ，湯温調節	
ふろリモコン			ふろ電源スイッチ，優先機能付き，湯温調節器	
安全装置	火炎報知装置		フレームロッド方式	
	オーバシュート後沸き防止		アキュムレータ＋P 10	
	空だき安全装置		流量スイッチ (3.7 l／分 ON，3.2 l／分 OFF)	
	湯温過昇防止装置 異常過熱防止装置		オートカット (90°C OFF)	
	漏電ブレーカ			
	ふろがま安全装置		オートカット (65°C OFF) 2連	
	過圧防止		過圧逃し弁 (7.5±2 kg/cm²)	
	凍結防止ヒーター		5°C ON，17°C OFF，64 W	
外形寸法 (mm)			900(880)×450×240	
製品重量 (kg)			37	
付属部品			ふろリモコン，壁取付金具，固定ビス，アース棒，ゴムジョイント，ホースバンド	
ガス種			5A，5B，5C，6A，6B，6C，7C，11A，12A，13A，LPG	

注 MBG-16G，Wは上記仕様からふろがま部分を除いたものである。

ブロワによって供給しているが，これは全空気（一次＋二次）を強制的に供給するためであり，一次空気の供給は，燃料の噴流を利用するエジェクタのみによっている。このようにエジェクタだけで，一次空気比を設定しているため，ブロワなどによる空気量の制御は不必要であり，ブロワはシンプルなものでよく，エジェクタのみを利用した燃焼方式の同等能力の瞬間式給湯機としては，業界で最もコンパクトになっている。

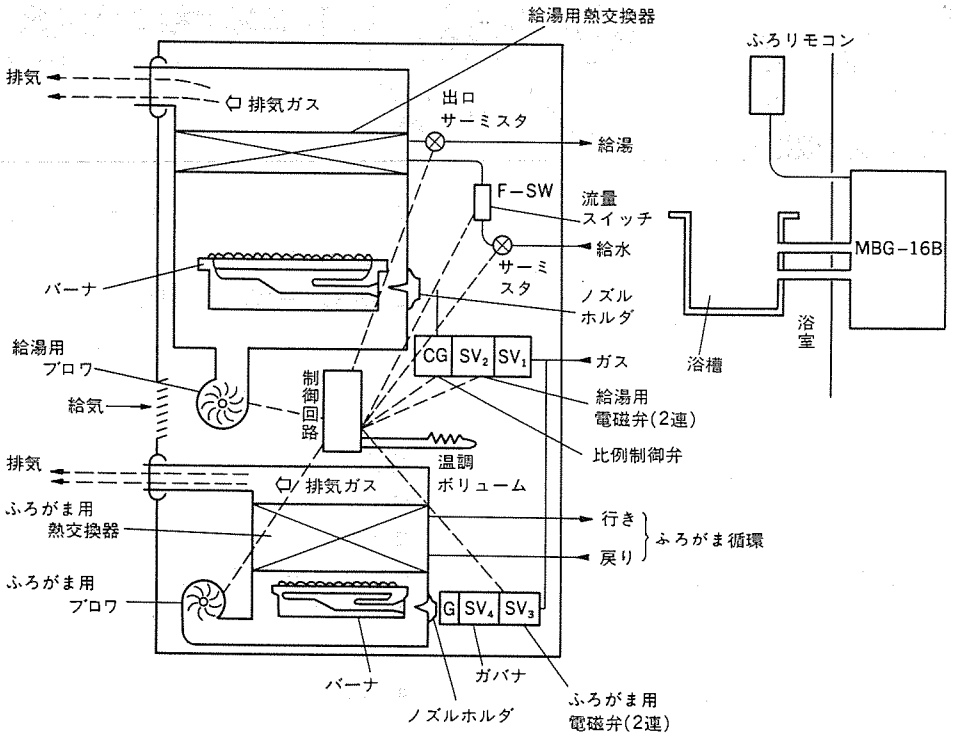


図 11. 給湯機動作原理

その他の特長としては，低水圧作動の流量スイッチ（動作水圧 0.1 kg/cm²）圧力損失の小さい熱交換器を使用し，低水圧地域での使用，太陽熱温水器との接続を可能にしている。また入水温を検知するサーミスタを取り付け，特に太陽熱温水器と接続した場合の自動運転を可能にしている。

5. む す び

今回開発した魚尾バーナは，高負荷燃焼が可能であり，広い入力変化幅を持っているため，比例制御機能付き瞬間式給湯機用のバーナとしては最適である。また，式(2)，(3)で表されるエジェクタの性能理論式により，理論的最適設計が可能であり，ブロワの空気量制御を必要としないシンプルな構造のコンパクトな瞬間式ガス給湯機が開発できた。

今後の市場動向として，コンパクト性，省エネルギー性は時代の要求に合致したものであり，これらの分野の開発は，ますます盛んになるであろう。当社としても，より一層のコンパクト化，省エネルギー化を目指した製品開発を行う所存である。

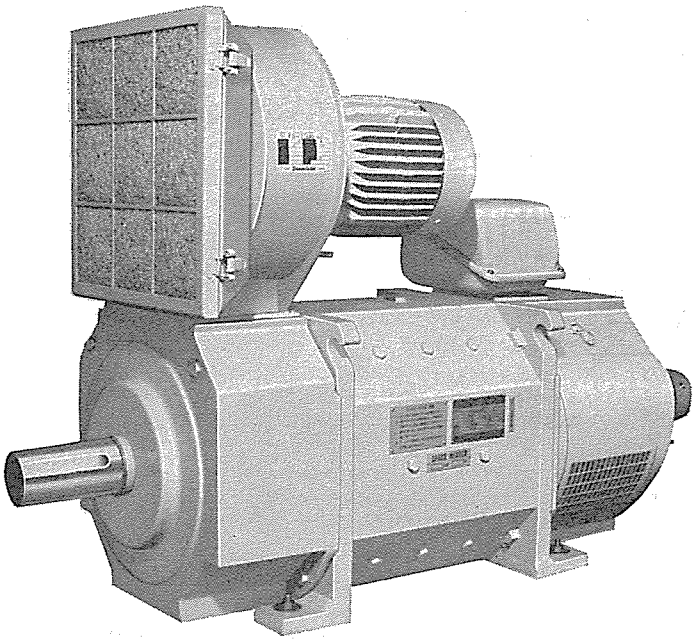
参 考 文 献

(1) 日本瓦斯協会：「都市ガス工業」器具編 技報堂（昭 43）

(2) 揖本ほか：日本機械学会関西支部第 240 回講演会予講集 p. 36, No. 794-8（昭 54-11）

(3) 藤原ほか：電磁式ガス比例制御弁—家庭ガス器具，三菱電機技報，54, No. 11（昭 55）

スポットライト 三菱新系列小形直流機 SSシリーズ



このたび三菱電機では、ニュータイプの小形直流機SSシリーズを発売しました。

このSSシリーズは、これまでのSDシリーズを大幅にパワーアップしたもので、回転速度を広範囲にわたって自在に、連続的に変えることができる、一段と信頼性が向上した駆動源です。

特長

- 小形でも、大きな出力。
- サイリスタ電源ドライブに適した設計。
- 絶縁グレードを上げて、信頼性を向上。
- GD^2が小さく、すぐれた起動、停止特性を発揮。
- 長尺ブラシの採用により、省メンテナンスを実現。(200、250フレーム)
- 用途は広く、製鉄、非鉄、製紙、化学、紡績などの各種連続プロセスライン、工作機、荷役機械、その他の機械、各種試験装置ほかに適用。

仕様

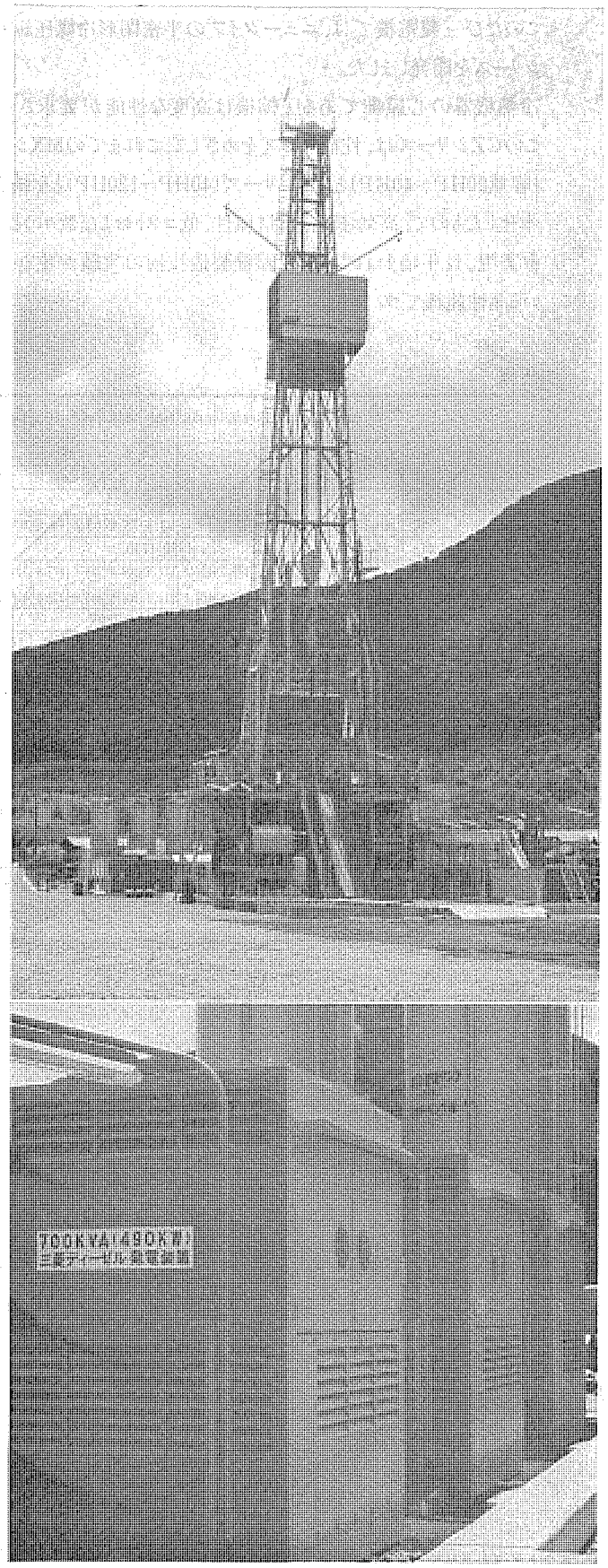
センタハイト	160、180、200、250 (mm)
出力	1.5kW～200kW
規格	JEM1170、JEC-146
電圧	440V、(220V) (三相全波全素子制御電源)
過負荷耐量	150%、1分間
絶縁	H種
温度上昇限度	電機子巻線にて90deg.C (F種ライズ)
保護形式	防滴保護形 (JP22S)
冷却方式	他力通風形 (JPOF) 管通風形 (JP1F)
取付方式	横形足取付

標準定格とわく番

基底回転数 / 出力kW	標準基底速度 (rpm)									
	1750		1150		850		650		500	
	弱め界磁による標準最高回転速度及び枠番の適用									
1.5							1600	160S	1500	160S
2.2					1700	160S	1600	160S	1500	160L
3.7					1700	160S	1600	160L	1500	160L
5.5	2300	160S	2000	160S	1700	160L	1600	160L	1500	180M
7.5	2300	160S	2000	160L	1700	160L	1600	180M	1500	180L
11	2300	160L	2000	160L	1700	180M	1600	180L	1500	200AS
15	2300	160L	2000	180L	1700	200AS	1600	200AS	1500	200AS
18.5	2300	180M	2000	180L	1700	200AS	1600	200AS	1500	200AL
22	2300	180M	2000	200AS	1700	200AS	1600	200AS	1500	200AL
30	2100	180L	2000	200AS	1700	200AL	1600	200AL	1500	250AS
37	2100	200AS	2000	200AS	1700	200AL	1600	250AS	1500	250AS
45	2100	200AS	2000	200AL	1700	250AS	1600	250AS	1500	250AL
55	2100	200AS	2000	200AL	1700	250AS	1600	250AL	1500	250AL
75	2000	200AL	2000	250AS	1700	250AS	1600	250AL		
90	2000	200AL	2000	250AS	1700	250AL				
110	2000	250AS	2000	250AS	1700	250AL				
132	2000	250AS	2000	250AL			SM-II形、KP形			
150	1900	250AS	1800	250AL						
200	1900	250AL								

(注) 1) 440Vのわく番適用を示す。
2) 電源電圧が異なる場合は、わく番適用が変わることがあります。
3) 界磁制御範囲によっては、わく番適用が変わることがあります。

スポットライト 地熱掘削リグ電源用 三菱ディーゼル発電装置



このたび三菱電機では、地熱掘削リグ電源用ディーゼル発電装置を完成しました。

地熱掘削は、山岳地域に設置された複数のディーゼル発電装置を電源とし、サイリスタレオナード方式で掘削機器を駆動します。この三菱ディーゼル発電装置は、地熱掘削リグ電源として求められる移動の容易性、耐環境性と機械的電気的特性を備えた頑丈で信頼性の高い装置です。

特長

●移設、据付けが簡単な可搬式

山岳地域への搬入据付けを考慮した小形軽量・可搬式構造です。エンジン、発電機及び制御盤をひとつの屋外パッケージに収納し、外部の配線作業をすべてコネクタ式としました。

●特殊な使用環境に適応

風雨、積雪や硫化水素雰囲気中など特殊な使用環境でも充分適応します。

●昼夜の連続運転に耐える頑丈で信頼性の高い機器

掘削作業開始後は昼夜の連続フル運転が数ヵ月継続され、この間の過酷な使用条件に耐える頑丈で信頼性の高いエンジン、発電機などの機器を採用しています。

●歪み波形に対して安定な制御装置

制御回路の工夫、サージ吸収回路の設置などにより、高周波電流、波形歪み対策を行なっています。

●高調波電流に強い発電機

発電機の回転子には有効な制動巻線を設けて、サイリスタ負荷による高調波電流に耐える構造となっています。

●負荷変動に確実に応答するガバナ特性

電子ガバナの採用により急峻な負荷変動に確実に応答します。

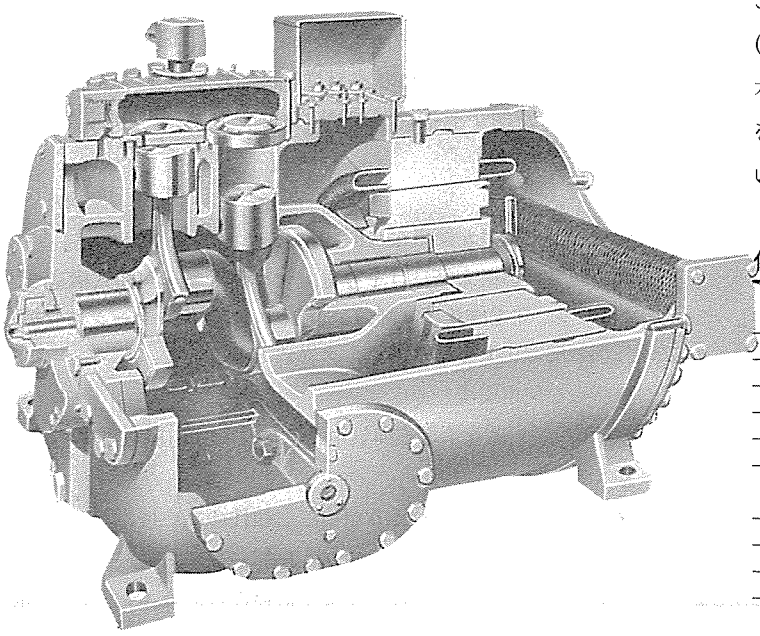
仕様

容　量	500—1250kVA
電　圧	600V
周波数	60Hz
力　率	0.8(遅れ)
ディーゼルエンジン	立形水冷4サイクル直接噴射式 ラジエータ冷却、電気始動式
発電機	横軸円筒回転界磁形同期発電機 ブラシレス励磁方式、F種絶縁
その他	並列運転あり 過負荷110%×1時間

スポットライト 三菱半密閉形冷媒圧縮機 CZシリーズ

このたび三菱電機では、ニュータイプの半密閉形冷媒圧縮機CZシリーズを開発しました。

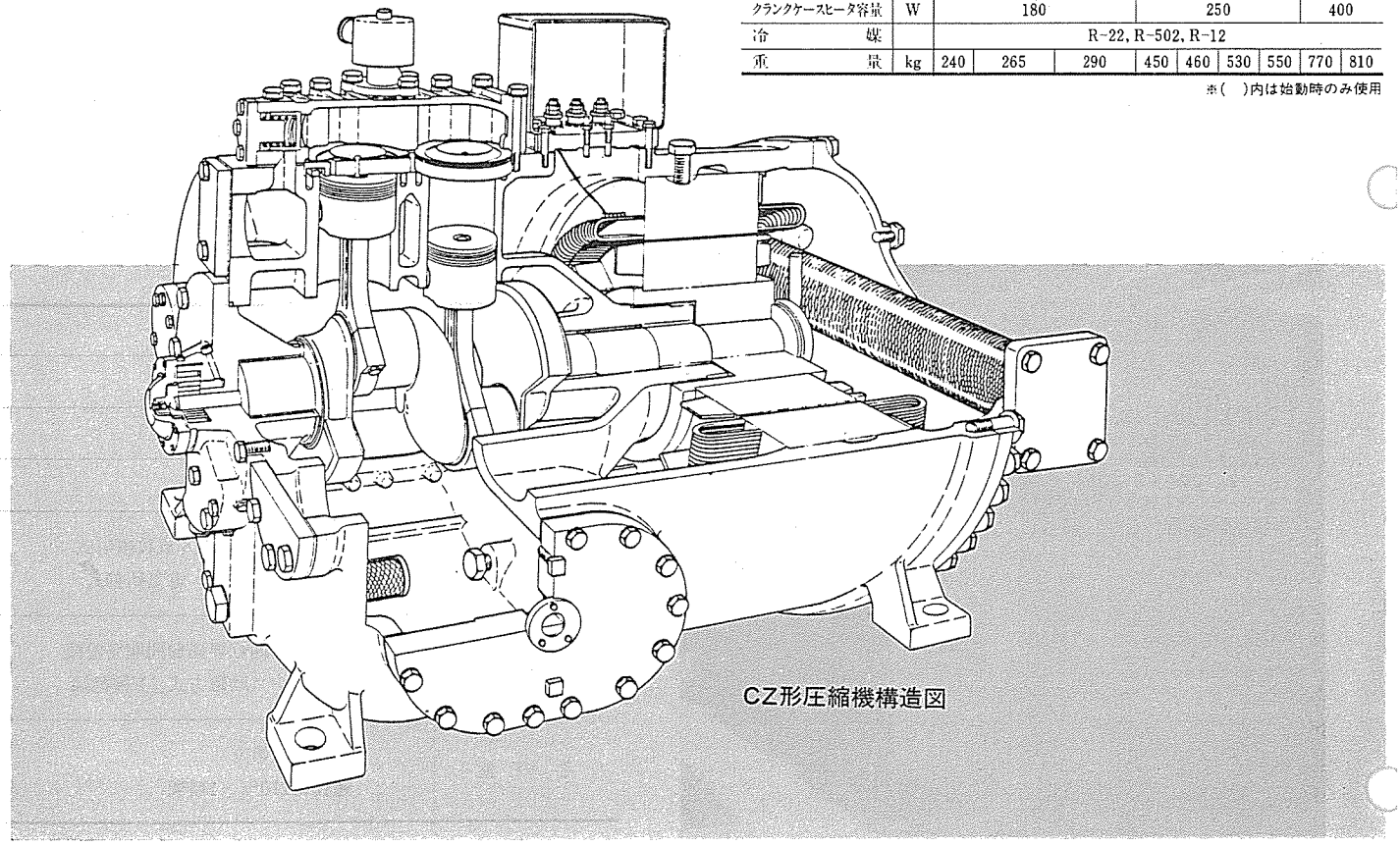
冷熱機器の心臓部である圧縮機は高度な性能が要求されます。このCZシリーズは、性能アップをめざして、これまでのMXシリーズ(容量20HP～40HP)とMZシリーズ(40HP～120HP)とを統合、一本化したもので、高効率化、高信頼性、低コストおよび数々の標準化を実現。長年培われてきた圧縮機製造技術の実績が生かされている高性能機です。



仕様

項目＼機種		043S	044S	045S	046S	047S	066S	067S	086S	087S	126S	127S
気筒数		4					6		8		12	
気筒配置		V					W		VV		W×2	
気筒径	mm	82.5										
行程	mm	37.3	48.0	55.6	63.6	74.6	63.6	74.6	63.6	74.6	63.6	74.6
回転数 50/60Hz	rpm	1450/1750										
ピストン押しのけ量 50/60Hz	m³/Hr	69.4/83.7	89.3/107.8	103.4/124.8	118.3/142.8	138.8/167.5	177.5/214.2	208.2/251.2	236.6/285.6	277.6/335.0	354.9/428.4	416.3/502.5
電源 50/60Hz		3φ 200V/200～220V										
称呼出力	HP	20	25	30	35	40	50	60	70	80	100	150
始動方式		Y-Δ										
容量制御段階	%	100, 75, 50, (25)※					100, 67, 50 (33), (17)※		100, 75, 50 (25)※		100, 84, 67 50, (33)※	
冷凍機油 種類		SUNISO 4GS										
冷凍機油 初期封入量	ℓ	6.5					14		15		28	
冷凍機油 給油方式		強制給油										
クランクケースヒータ容量	W	180					250				400	
冷媒		R-22, R-502, R-12										
重量	kg	240	265		290		450	460	530	550	770	810

※( )内は始動時のみ使用



CZ形圧縮機構造図

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

車両用空気調和装置（特許　第940389号）

発明者　長尾皓一・堤　好一郎

この発明は，空気調和装置，特にその制御装置に関し，車両用に用いて効果大なるものである。

従来では，（図 1.～図 3.）自動運転中に使用するサーモスタット（7）は車内の天井付近にのみ配設され，設定された天井付近の温度にて作動するため，車内の冷房負荷（例えば乗客の増減など）の状態により満員時に暑く，閑散時に冷えすぎるなどの現象を生じ，乗務員がきめ細かく調節する必要があるなどの欠点があった。

この発明は，上記のような従来のものの欠点を除去するためになされたもので（図 4.），車内の天井付近(16)と床付近(17)の温度差を検出し，その温度差を判別する温度差検出装置(18)の出力信号によって，特定のサーモスタット(14)｛温度設定値を高くした閑散時用のサーモスタット｝，または(15)｛温度設定値を低くした満員時用のサーモスタット｝を選択するようにして常に満員時，閑散時共最適な車内温度を維持するようにしたものである。

例えば基準値を温度差 2°C に設定しておけば，2°C 以上になると出力回路(22)から信号が出て切換スイッチ(23)を動作させる。閑散時は温度差検出装置(18)から信号は出ず，満員時には信号が出て，サーモスタットは(14)から(15)に切換る。

このようにして，冷房負荷の状態に応じた自動運転が可能で，労力の減少，冷えすぎ防止による消費電力の減少も得られる。

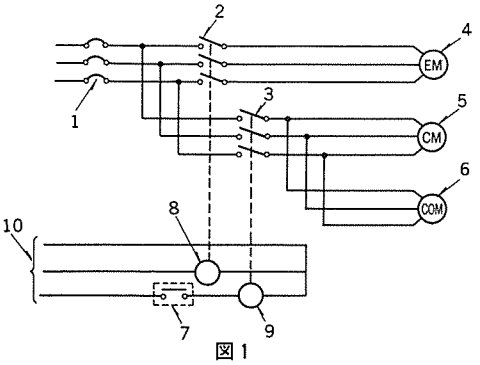


図 1

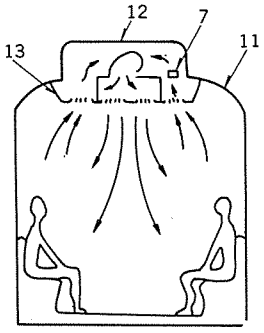


図 2

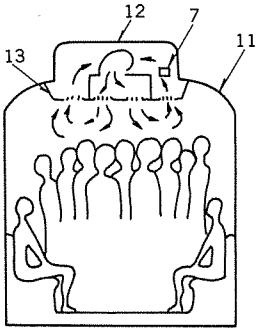
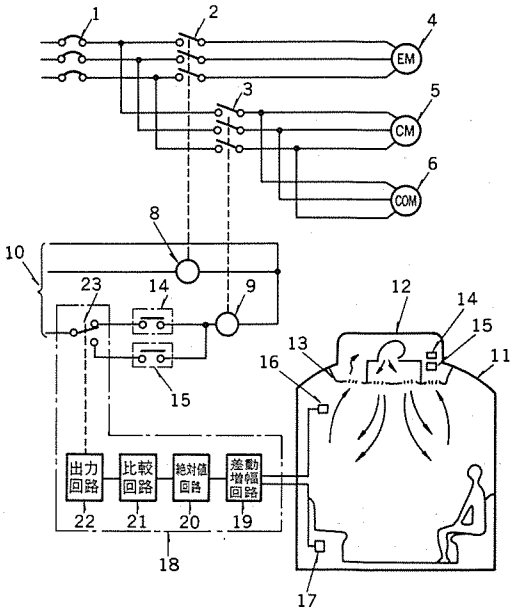


図 3



1：ノーヒューズしゃ断器　2,3：電磁接触器
4：冷却用ファンモータ　5：凝縮器用ファンモータ
6：電動圧縮器　7：サーモスタット　8,9：動作コイル
10：制御電源　11：車体　12：空気調和機　13：ダクト
14,15：サーモスタット　16,17：検出端　18：温度差検出装置
23：切換スイッチ

図 4

無電解銀めっき液（特許　第1149672号）

発明者　高倉義憲

この発明は，無電解銀めっき液に関するものである。従来の無電解銀めっき液にあっては，還元剤としてヒドラジン，ホルムアルデヒド，あるいはジメチルアミノホウ素が考えられていたが，このような還元剤を用いた無電解銀めっき液は析出速度が 1 時間に約 2.5 μ と遅く，しかも液の寿命も短いという欠点があった。この発明はこのような従来の無電解銀めっき液を改善したもので，その特徴とするところは，所定の量のシアン化銀ナトリウムと，0.1 モルのシアン化ナトリウムと，0.4～0.7 モルの水酸化ナトリウムを含む溶液に 0.05～0.15 モルの水素化ホウ素カリウムを還元剤として用いた点にある。

このようにして得られる無電解銀めっき液は，析出速度が約 10 μ/h と速く，しかも一度建浴すると 4～5 時間安定であるため，良電導性を必要とし，形状が複雑でしかも寸法精度を必要とする物品のめっきに適する。

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

放電加工用加工液フィルタのエレメント清掃装置　(特許　第1096268号)

発明者　岩沢幸男

この発明は，放電加工装置の加工液を濾過するフィルタのエレメントを清掃する清掃装置に関するものである。

放電加工の加工液としては一般に絶縁性を有する灯油，トランス油などが使用されるが，加工にある程度使用すると加工液に加工粉(スラッジ)が混入し加工液が濁ってくる。

加工液が濁るのは，加工液中における加工粉の絶対量が増加するためであり，加工粉の増量は二次放電によってワークのクリアランスを大きくするだけでなく，加工電流が加工粉にも流れて能率を低下させることにもなる。すなわち，加工液の汚れは加工精度及び加工能率に多大な影響を及ぼす。

したがって，加工液をフィルタによって濾過しながら使用するが，フィルタのエレメントをときどき清掃しないと濾過能力が低下してくる。ところがエレメントに付着したヘドロのような加工粉を除去することは容易ではなく，苦労しながら除去作業をしていた。

この発明はこのようなフィルタエレメントの清掃をほとんど人手を要することなく，しかも短時間のうちに清掃できるきわめてすぐれた清掃装置を提供するものである。

図1. はフィルタエレメントであって，網目状のシートが張付いた複数の羽根から構成されており，この羽根の表面に加工粉が付着する。また，これらの羽根はフィルタ本体の軸芯と係合する孔(3)を有する金具(4)によって保持されている。

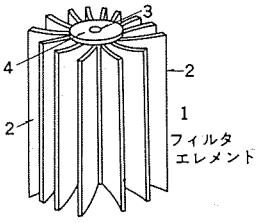


図1

図2. はこの発明による清掃装置であって，一端部（底部）が密閉され，他端部（上部）が開放された円筒状金属製容器(6)と，開放されている上部を清掃中塞ぐ蓋(7)と，一端が容器(6)の底部(8)の中心に固定され，他端が蓋の中心に設けられた孔(9)を貫通する空気管(10)と，その中心を空気管(10)が通り，かつ容器の底部から所定距離だけ離れた位置に固定されているストッパ(11)と，清掃終了後容器内の清掃用液を抜きとる蛇口(12)と，空気管(10)の上端部に取付けられた空気栓(13)とによって構成されている。

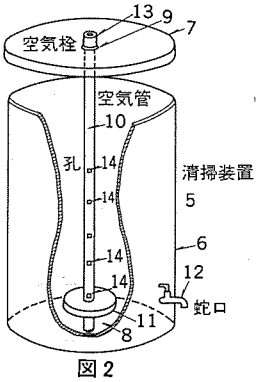


図2

したがって，容器内に図1. に示すエレメントを入れ，更に容器内に例えば第二種有機溶剤のクロロセンNUを入れて空気栓から工場で使用している高圧空気を注入すれば，その空気は空気管の長手方向に所定の間隔で孔設してある孔(14)から噴出し，その空気流と，クロロセンNUのような清掃用液の作用によって短時間のうちにエレメントの清掃を行うことができる。

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 58 No. 4 核融合特集

特集論文

- 巻頭言
- 核融合研究開発の歩みと今後の課題
- 核融合炉の設計研究と技術開発
- 核融合実験装置
- 超電導マグネット
- 高周波加熱装置
- 核融合試験装置用電源・制御装置
- 核融合装置の設計・解析プログラムの開発
- 実験装置“逆磁場テータピンチ”

普通論文

- 加圧水型軽水炉用超音波流量計
- 鉄鋼プロセスラインの全交流化駆動システム
- 全自動高速丸鋸鋼管切断機
- 三菱広域監視制御装置《MELFLEX》のシリアルIO
- 三菱パーソナルコンピュータ《MULTI 16》モデルII

三菱電機技報編集委員

委員長	馬場準一	委員	山内敦
副委員長	岸本駿二	〃	柳下昌平
〃	三浦宏	〃	櫻井浩
委員	峯松雅登	〃	徳山長
〃	翠川祐	〃	柴山恭一
〃	佐藤文彦	〃	酒井靖夫
〃	大年倉像	〃	武富大児
〃	井上通	〃	瀬辺国昭
〃	立川清兵衛	〃	倉橋浩一郎
〃	吉田太郎	〃	小原英一
〃	野畑昭夫	〃	尾形善弘
〃	田中克介	幹事	岡田俊介
〃	的場徹		
〃	野村兼八郎		

三菱電機技報58巻3号

昭和59年3月22日　印刷
昭和59年3月25日　発行

(無断転載を禁ず)

編集兼発行人　岡田俊介
印刷所　東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地　大日本印刷株式会社
発行所　東京都千代田区大手町2丁目6番2号 (〒100)　菱電エンジニアリング株式会社内　「三菱電機技報社」Tel. (03) 243局1767
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500円送料別（年間予約は送料共6,700円）

スポットライト

高周波方式の電磁調理器
三菱クリーンレンジCS-135形

このたび三菱電機では、高周波方式による電磁調理器・クリーンレンジCS-135形を昨年12月より発売しました。

この三菱クリーンレンジは、磁力線により鍋自体を加熱する新感覚の調理器です。火を使わないので安全性が高く、効率的で清潔で快適です。テラス、キッチン、ワゴンの上、どこでも手軽に料理の楽しさを広げることができます。

特長

●炎も赤熱部もないので安全性が高い

①天ぷらなど油を使う料理でも引火の心配がありません。

②吹きこぼれなどによる炎の立ち消えがありません。

③排ガスがなく、空気を汚しません。

●熱効率が高く、経済的

①ガス、電気コンロのように鍋との間の空気を熱するムダがないため、クリーンレンジの熱効率は約83%と高くなっています。ガスコンロ(LPG)が約45%、電気コンロが約52%ですから、はるかに効率的です。

②鍋の大きさに応じて消費電力を自然にコントロールし、鍋をおろすと自動的に電流が切れます。省エネ時代にマッチした経済設計です。

●簡単な操作、幅広い火力調節

①すべての操作は、つまみひとつという使いやすさ。お子様でもお年寄りでも簡単に使いこなせます。

②火加減は〈弱〉〈中〉〈強〉とランプでわかりやすく表示。料理に会わせて、弱火から強火まで無段階に火力調節ができます。

●お手入れが簡単で清潔

トッププレートはガラスセラミック製で凹凸がないので、吹きこぼれても簡単にふきとれ、いつまでも清潔です。

●便利な保温機能つき

あたたかさを保ち、おいしさを逃がさない保温機能つきです。

●薄形・軽量

本体重量は4kgと軽量です。キッチンからお部屋へと持ち運びもラクラク。お座敷クッキングにも最適です。

●各種の保護機能つき

①ご使用に適さない鍋、スプーンなどの小物をのせたときには、ランプが点滅してお知らせし、加熱しません。

②鍋の空炊きや本体の異常な温度上昇があった場合、それを感知して自動的に加熱を停止します。

(色はクリスタルホワイト〈CS-135W〉とワインレッド〈CS-135R〉の2色あります)

仕様(CS-135形)

電源	AC100V 50/60Hz
消費電力	1,300W
電力調節範囲	約185～1,300W連続可変
加熱方式	高周波誘導加熱方式
発振周波数	20.5～42.5kHz
コードの長さ	2m
保護機能	●異常温度上昇防止装置
	●回路保護サーモ
	●小物発熱防止装置
	●20Aヒューズ
外形寸法	幅300×奥行400×高さ65mm
重量	4kg