

MITSUBISHI DENKI GIHO

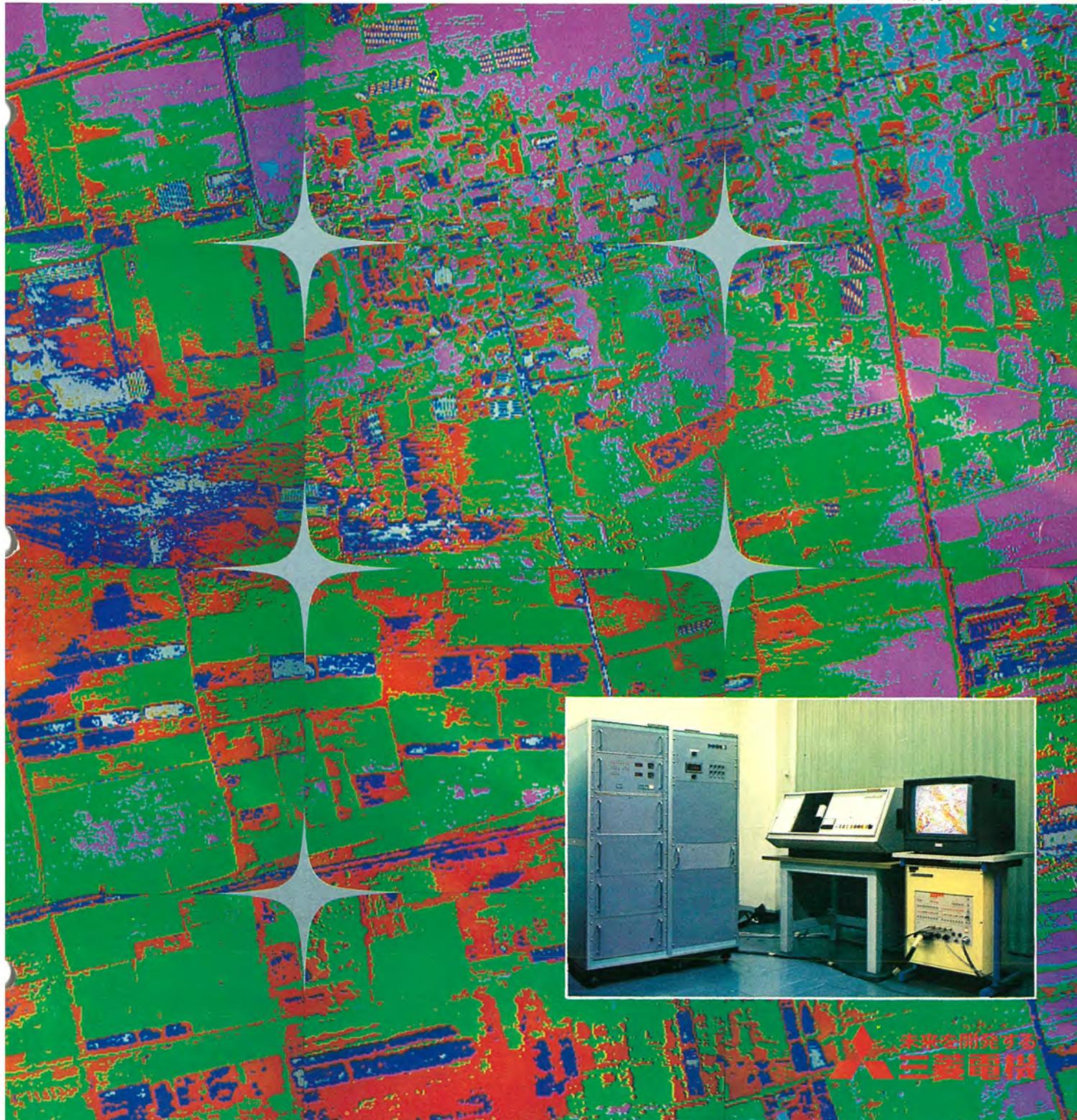
三菱電機技報

Vol. 48 August 1974

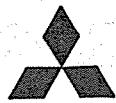
研究特集

8

色彩图形解析表示システム



未来を開拓する
三菱電機



研究特集

目次

《特集論文》

- 計算機による色彩図形情報処理 伊藤貴康 909
 弾性付属物を有するスピニ衛星の姿勢運動の解析 土屋和雄・斎藤春雄 917
 高気圧 SF₆ ガスの絶縁破壊における電極効果 新田東平・山田直也・藤原幸雄 922
 遷移金属を添加した LiNbO₃ 単結晶の成長と物性 小林正・武藤勝俊・甲斐潤二郎 928
 電子写真用 CdS 粉末結合剤の検討 草川英昭・増見達生・尾形仁士 937
 プラスチック成形品の凍結応力 飯阪捷義・西本芳夫 941
 新シリコンエビタキシャル成長法 高橋和久・石井孝・近藤明博 945
 高耐圧プレーナ技術 梶原康也・永井精一・萩野浩靖 951
 簡易レーダ用 MIC モジュールの開発 白幡潔・小木曾弘司・三井茂・池川秀彰・小野寺俊男 955
 プラズマディスプレイ用のトランジスタ・マトリックス駆動回路 倉橋浩一郎・鳥取浩・畠部悦生 960
 生産システムの自動化 壱井芳昭 965
 半導体制御による工業用ミシンの自動化 藤田次朗・大庭耕一・本田嘉之・中山静夫・古屋芳明 971

《普通論文》

- 開放空冷ユニットパッケージ形ガスタービン発電機 坂井時弘・福吉拓雄 981
 新交通システム CVS 車両用電機品 山之内道徳・大野正勝・浅野哲正・曾我高明・綿谷晴司 989
 大気中電子ビーム溶接機 秋葉稔光・小浜太郎・斎藤竜太・滝正和・大峯恩 997
 三菱石油(株)水島製油所納め電力設備運用の合理化・自動化システム
 藤芳正二郎・山下光夫・木村隆雄・大木掀爾・梅本隆司・山中彪生・大原洋三・長島清 1003
 128k バイト MOS IC メモリ装置 山本勝敬・小笠原光孝・蒲生容仁・磯崎真 1020
 人工衛星用太陽電池パネル
 笹木辰雄・向井長夫・奥村栄純・笠井鯉太郎・大村勝敏・泉田喜一郎・山本美孝・後藤守男 1026

《技術講座》

- 数値制御装置シリーズ(5)数値制御装置の応用について 桑田博 1034

《特許と新案》

979

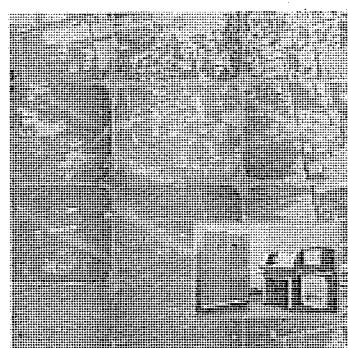
周波数検出装置・故障表示装置・周波数検出装置

《表紙》

表紙1 色彩図形解析表示システム

写真は三菱電機中央研究所が開発・設置した色彩図形解析表示システムと、同システムを用いた解析例である。ここに示したものは擬似カラー表示例で、図形中の濃度情報を一眼でわかるように、航空写真フィルムを色彩図形解析表示システムで読みとり、濃度に応じて色を割当てる処理を施したものである。

本システムは高性能カラーフィルムリーダ、ミニコンおよび色彩図形表示用ディスプレイで構成され、オペレータはカラーフィルムから読みとられた色彩図形の計算機処理を、ディスプレイを見ながら行なうことができる。





SPECIAL EDITION FOR RESEARCH AND DEVELOPMENT

CONTENTS

SPECIALLY COLLECTED PAPERS

Color Pattern Processing by Computer.....	T. Ito...	909
Dynamics of a Spin-Stabilized Spacecraft Having Flexible Appendages.....	K. Tsuchiya • H. Saito...	917
Electrode Effect of Electrical Breakdown in Compressed SF ₆	T. Nitta • N. Yamada • Y. Fujiwara...	922
Growth and Spectroscopic Properties of LiNbO ₃ Crystals Doped with Transition Metal Ions.....	T. Kobayashi • K. Muto • J. Kai...	928
Resin Binders for CdS Electrophotographic Plates.....	H. Kusakawa • T. Masumi • H. Ogata...	937
Frozen-in Stresses of Plastic Mouldings	K. Iisaka • Y. Nishimoto...	941
New Two-Step Silicon Epitaxial Growth Technique.....	K. Takahashi • T. Ishii • A. Kondo...	945
High-Voltage Planar Device Technology.....	Y. Kajiwara • S. Nagai • H. Hagino...	951
Development of MIC Modules for Cimble Radars	K. Shirahata • K. Ogiso • S. Mitsui • H. Ikegawa • T. Onodera...	955
Transistor Matrix Drive Circuits for Plasma Display.....	K. Kurahashi • H. Tottori • E. Hatabe...	960
Automated Manufacturing System.....	Y. Tsuboi...	965
Application of Semiconductors to Industrial Sewing Machine Automatic Controllers	J. Fujita • K. Oniwa • Y. Honda • S. Nakayama • Y. Furuya...	971

TECHNICAL PAPERS

Mitsubishi Open, Air-Cooled "Unit Packaged Type" Gas Turbine Generators.....	T. Sakai • T. Fukuyoshi...	981
Electrical Equipment for a Computer-Controlled Vehicle System (CVS)	M. Yamanouchi • M. Ono • T. Asano • T. Soga • S. Wataya...	989
Non-Vacuum Electron Beam Welders.....	T. Akiba • T. Ohama • R. Saito • M. Taki • M. Omine...	997
Upgrading and Automation of the Electrical Power Control System of an Oil Refinery	S. Fujiyashi • M. Yamashita • T. Kimura • K. Oki • T. Umemoto • T. Yamanaka ..	1003
128 K Byte MOS IC Memory System.....	K. Yamamoto • M. Ogasawara • Y. Gamo • S. Isozaki...	1020
The Solar Panel for Artificial Satellites	T. Sasaki • T. Mukai • T. Okumura • R. Kasai • M. Omura • K. Izumida • M. Goto.....	1026

TECHNICAL LECTURE

Numerical Controller Series (5) Application of Numerical Controller.....	H. Kuwata...	1034
--	--------------	------

PATENT AND UTILITY MODEL

979

COVER :

A Color Picture Analysis and Display

The background of this issue's cover illustration is a pseudo-color display in which the different information densities of an aerial photograph are made to appear as distinct colors. The system, shown in the right foreground, was developed by and is installed at Mitsubishi Electric's Central Research Laboratory. The components are a color-film reader, MELCOM 70 minicomputer, and a color-picture display. The system permits the operator to perform simultaneously computerized color analysis and display of the information read from color film. Projected applications include more efficient analysis of aerial and medical photographs and microphotographs, and in pollution control.

「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 681.3.01:02

計算機による色彩図形情報処理

伊藤貴康

三菱電機技報 Vol.48-No.8-P909~916

図形処理技術が進展し、問題領域・適用領域が広がって、現実の複雑な図形・情景を計算機によって処理する必要が生じるに従い、色彩情報の処理への要求が高まり、計算機による色彩図形処理へ発展を見せようとしている。三菱電機中央研究所においては、計算機を用いた色彩図形処理の研究開発を、主として、国家プロジェクトとの関連で行なっている。本文は、現在、同所において行なっている研究開発の概要を紹介することも兼ねて、色彩図形情報処理の基礎的諸問題について論じるものである。

UDC 629.19-519

弾性付属物を有するスピニ衛星の姿勢運動の解析

土屋和雄・斎藤春雄

三菱電機技報 Vol.48-No.8-P917~921

弾性付属物を持つ、スピニ安定化衛星の姿勢運動を解析した。最初に、線形化運動方程式を基にして、付属物の振動が衛星の姿勢運動に及ぼす影響を、平均化法を使って解析した。ニューテーション運動の減衰率、角速度が、解析的に閉じた形で求められた。また姿勢運動に対する安定条件が、減衰率の符号を調べることで求められている。次に、姿勢運動と付属物の振動との間の、非線形内部共鳴によって、ニューテーション運動が、急激に減少していく可能性を解析的に示した。このとき、ニューテーション運動は、指數関数的に減少していくことが、示されている。

UDC 621.315.618

高気圧SF₆ガスの絶縁破壊における電極効果

新田東平・山田直也・藤原幸雄

三菱電機技報 Vol.48-No.8-P922~927

SF₆ガス中の破壊電界は、ある条件で、電極上に存在する弱点の影響を受けて低下する。一般に破壊が弱点に支配されるときは、破壊強度の分布は Weibull 分布に従う。この論文では、SF₆ガスの破壊電界が、電極の弱点の影響を受けて低下する場合の統計的分布が Weibull 分布に従うことを示し、実用的な気圧の範囲で Weibull 分布のパラメータを実験的に求め、破壊電界の面積効果を定量的に説明できることを示した。また弱点の統計的性質に基づいて、電極の実効面積を定義することにより、非対称なギャップの破壊電圧の極性効果の特性を明らかにした。

UDC 548:53.548.55.548.735.539.22.539.194.538.615

遷移金属を添加したLiNbO₃単結晶の成長と物性

小林 正・武藤勝俊・甲斐潤二郎

三菱電機技報 Vol.48-No.8-P928~936

LiNbO₃の光損傷を利用した光記録材料特性は、遷移金属不純物の添加により改善される。この機構の解明のために、Cu²⁺を添加した LiNbO₃結晶を育成し、その性質を研究し、次の結果を得た。(1)ESR結晶解析の結果、Cu²⁺はNbサイトに置換している。(2)ESRの測定結果と光吸収測定結果から、Cu²⁺の3d電子の電子状態と、エネルギー単位を決めることができた。不純物センタの定量測定の可能性、ESRとX線解析、IMA等の定量解析システムとの結合についても言及する。

UDC 772.93:546.48'22

電子写真用CdS粉末結合剤の検討

草川英昭・増見達生・尾形仁士

三菱電機技報 Vol.48-No.8-P937~940

硫化カドミウム電子写真用感光板を、種々の結合剤を用いて試作した。それらの特性、とくに結合剤による感度の影響を、初期表面電位をパラメータにして、表面電位の減衰を測定することにより検討した。電子写真の方式を勘案すれば、感光板の特性をこの実験だから一般的に評価することはできないが、結合剤樹脂を選ぶときの一つの目安になることを示した。

実験を行なった際のモデル、測定方法および測定結果の解釈について、その概要を記述する。

UDC 678.771.620.194.547.26

プラスチック成形品の凍結応力

飯阪捷義・西本芳夫

三菱電機技報 Vol.48-No.8-P 941~944

プラスチック成形品の凍結応力を、定量的に決定する方法を開発するため、溶剤クレージングの研究を行なった。溶剤としてn-アルコール系を選び、各種衝撃性のポリスチレンについて、クレージング特性を溶剤の炭素数、温度および時間の関数として調べた。クレージングのメカニズムを、クレーズ発生速度の活性化エネルギー、および溶剤の溶解度パラメータ(S P値)の項で説明した。各種ポリスチレンの凍結応力が、比較的広い範囲の値にわたって溶剤の炭素数の関数として表現できることを示した。結果を各種のポリスチレン成形部品に応用し、凍結応力の値を求めた。

UDC 532.526.621.382.

新シリコンエピタキシャル成長法

高橋和久・石井 孝・近藤明博

三菱電機技報 Vol.48-No.8-P 945~950

半導体素子の高周波化に伴う強い要請により、制御された急しゅんな不純物濃度分布を得るSiエピタキシャル成長技術を開発した。これはSiH₄を用いた低温気相成長技術と、停滞層モデルを考慮した気相からの結晶成長機構の流体力学的解析から生まれた2段エピタキシャル成長技術を基調とするもので、互いに濃度の異なる二つの領域間でのオートドーピング現象、オートダイルーション現象を完全に抑制することができる。この成長法を用いて、リード形インバットダイオードを試作したところ従来に比べ著しく効率が改善され、この新技術の有用性が確認された。

UDC 621.382.537.311.33

高耐圧プレーナ技術

梶原康也・永井精一・萩野浩靖

三菱電機技報 Vol.48-No.8-P951~954

プレーナ形素子は、表面に露出した接合部をシリコン酸化膜などの無機絶縁物で保護されているので信頼性が高く、また量産に適しているという特長をもっている。しかし、高耐圧の素子が得られにくく、従来からさまざまな高耐圧化の試みがなされてきた。これらの技術にはそれぞれ大きな欠点があり、現在まではほとんど実用化されていない。

この論文では、多結晶シリコンと、シリコン基板との界面に負の電荷が誘起されることを利用した新しい高耐圧化の技術について述べられている。特に従来困難であった浅い接合のプレーナ素子でも、高耐圧が得られることが示されている。

Abstract (Mitsubishi Denki Gihō)

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 48, No. 8, pp. 937~940 (1974)
UDC 772.93:546.48'22

Resin Binders for CdS Electrophotographic Plates

by H. Kusakawa et al.

A number of cadmium sulfide electrophotographic plates were made using a variety of resin binders, and the characteristics—especially the effect of the binder on sensitivity—were examined by measuring the reduction in surface potential as a function of the initial value. In view of the variety of methods used in electrophotography, this approach alone cannot be considered adequate as a general method of evaluation, but it can be regarded as one basic standard for the selection of resin binders.

This article provides an outline of the model used for making the tests, the method of measurement, and an interpretation of the measured results.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 48, No. 8, pp. 941~944 (1974)
UDC 678.771:620.194:547.26

Frozen-in Stresses of Plastic Mouldings

by K. Iisaka et al.

Research was made into solvent crazing, to develop a method for quantitative determination of the frozen-in stresses in plastic mouldings. Using n-alcohol base solvent, the crazing characteristics of various impact grades of polystyrene were investigated, as a function of the carbon numbers of the solvent, and of temperature and time. The crazing mechanism was explained in terms of the activation energy of the crazing speed and the solubility parameters (SP value) of the solvent. It was shown that the frozen-in stresses of various polystyrenes can be expressed over a comparatively wide range of values as a function of the carbon numbers of the solvent. The results were applied to various polystyrene injection mouldings, and the values for frozen-in stress were found.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 48, No. 8, pp. 945~950 (1974)
UDC 532.526.621.382

New Two-Step Silicon Epitaxial Growth Technique

by K. Takahashi et al.

A new silicon epitaxial growth technique was developed in response to the strong demand for higher frequency semiconductor devices. It includes the low-temperature epitaxial growth technique that uses SiH₄ and the two-step epitaxial growth technique based on hydrodynamic analysis of crystal growth from a vapor phase considering a stagnant layer. Autodoping and autodilution phenomenon are both completely suppressed and a controlled sharp impurity profile can be obtained between two regions of different impurity concentration. Silicon Read-type IMPATT diodes made by this technique demonstrate a remarkable improvement of microwave characteristics over diodes made by the conventional technique, verifying the usefulness of this new technique.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 48, No. 8, pp. 951~954 (1974)
UDC 621.382.537.311.33

High-Voltage Planar Device Technology

by Y. Kajiwara et al.

Since planar device junctions exposed on the surface are protected by inorganic (SiO₂) film, planar devices are highly reliable and easily mass produced. High-voltage devices, however have shown serious technical flaws and almost none are in use at present. This article discusses new high breakdown voltage technology based on the fact that a negative charge is induced in the boundary between the polycrystalline silicon layer and the silicon substrate, and demonstrates that a high breakdown voltage can be obtained even with shallow junction planar devices that presented difficulty under conventional methods.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 48, No. 8, pp. 909~916 (1974)
UDC 681.3.01:02

Color Pattern Processing by Computer

by T. Ito

The progress of pattern processing technology and accompanying expansion of the scope of problems and applications has brought a need for the processing of complicated pictures and scenes by computer. This has been followed by a corresponding increase in the demand for color information processing, and this article attempts to show the current state of development toward color pattern processing by computer. At the Central Research Laboratory of Mitsubishi Electric, R&D work on this line is being carried out mainly in connection with national projects. Along with an introduction to the research and development that is presently being done at this center, this article also discusses various basic problems in color picture information processing.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 48, No. 8, pp. 917~921 (1974)
UDC 629.19-519

Dynamics of a Spin-Stabilized Spacecraft Having Flexible Appendages

by K. Tsuchiya et al.

The dynamics of the attitude motion of a spin-stabilized spacecraft with flexible appendages were analyzed. First, an investigation of the attitude of this class of spacecraft was made, on the basis of linearized equations of motion, assuming a force free environment and using the method of averaging. Damping ratio and frequency of nutational body motion were obtained, and attitude stability criteria were derived from the sign properties of the damping ratio.

It was also demonstrated that this class of spacecraft may exhibit heavy damping of nutational motion, due to certain effects of non-linear internal resonance between the vibration of the appendages and the vehicle attitude motion. An analytical expression for the exponential damping of vehicle nutation was obtained.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 48, No. 8, pp. 922~927 (1974)
UDC 621.315.618

Electrode Effect of Electrical Breakdown in Compressed SF₆

by T. Nitta et al.

When the electrical field breakdown strength in SF₆ gas exceeds a critical value (determined by the gas pressure and the electrode surface area) under specific conditions of electrode roughness, weak points existing on the electrode result in a decrease. It is believed that when the breakdown strength is controlled by weak points in this manner, Weibull distribution generally applies, and this study confirms that this is so. The parameters of Weibull distribution were found experimentally within the practical voltage range. It was shown that the area effect of the electrical breakdown field can be made quantitatively clear from the quality of the Weibull distribution, and definition of the effective area of the electrodes according to the weak point statistical qualities made clear the characteristics of the polarity effect of the breakdown voltage of an assymetrical gap.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 48, No. 8, pp. 928~936 (1974)
UDC 548.53.548.55:548.735.539.22:539.194:538.615

Growth and Spectroscopic Properties of LiNbO₃ Crystals Doped with Transition Metal Ions

by T. Kobayashi et al.

To explain the mechanism whereby characteristics of optical recording materials using optical damage to LiNbO₃ are improved by addition of transition metal impurities, studies of LiNbO₃ crystal with Cu²⁺ added were conducted with the following results: 1) ESR crystal analysis showed the Cu²⁺ to have shifted to the Nb site; 2) Measurement of ESR and optical absorption allowed determination of the orbital energy levels and states for the 3d ion of the Cu²⁺.

Also discussed are the possibility of a quantitative analysis of the impurity center, ESR and X-ray analysis, and connection to the quantitative analysis system of such factors as IMA.

「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621.372.621.382.621.396.9

簡易レーダ用MICモジュールの開発

白幡 潔・小木曾弘司・三井 茂・池川秀彰・小野寺俊男
三菱電機技報 Vol.48-No.8-P955~959

ガン発振器を用いた小形レーダは、比較的近距離物体の計測センサとして、多方面にわたる開発と実用化が進められている。

本文は、簡易レーダセンサによる計測原理を記し、これをMICで構成する場合の問題点をあげ、開発したXバンドMICレーダモジュールについて述べたものである。モジュールはCW, FM、およびパルス出力のものがあり、速度のほか距離・方向弁別が可能である。マイクロ波出力は約50mWである。各モジュールは温度・振動・衝撃等の耐環境性にすぐれ、十分実用性あるものである。

UDC 621.313.322:621.438

開放空冷ユニットパッケージ形ガスタービン発電機

坂井時弘・福吉拓雄

三菱電機技報 Vol.48-No.8-P981~988

ガスタービン発電プラントの需要は、近年めざましいものがあるが、当社はガスタービン発電機の開発、標準化を強力に推進し、発電機・励磁機・台板・その他の必要部品をすべて一括して組み込んだ、完全一体形構造の屋外開放空冷形発電機「ユニットパッケージ形ガスタービン発電機」を完成し、これら需要に対応している。本文では、このユニットパッケージ形ガスタービン発電機について、その構造、種々の特長および標準仕様などについて概要を紹介し、需要家各位の参考に供したい。

UDC 537.52.621.377

プラズマディスプレイ用のトランジスタマトリクス駆動回路

倉橋浩一郎・鳥取 浩・畠部悦生
三菱電機技報 Vol.48-No.8-P960~964

電極1本あたり、ダイオード2個と抵抗1個からなる、アンド回路が従来のプラズマディスプレイ駆動用に使われていた。この回路にはスペースファクタが悪い、消費電力が大きいなどの欠点がある。

本文では、上記の欠点を改善するためにわれわれが考案した、トランジスタ・マトリクス駆動回路による実験結果について述べる。新回路は、電極1本あたりトランジスタ1個で構成した。試作回路により40×40絵素のパネルを駆動した結果は良好で、今までプラズマディスプレイ実用化の大きな障害であった駆動回路の繁雑さを、大幅に少なくできる見通しがついた。

UDC 629.113.6.072/.075:629.1.01:621.313.222:621.316.727:

621-55

新交通システムCVS車両用電機品

山之内徳道・大野正勝・浅野哲正・曾我高明・綿谷晴司
三菱電機技報 Vol.48-No.8-P989~996

CVSは、自動車のもたらしたいろいろな環境問題を改革するために、自動車に代わる交通手段として考えられてきたもので、都市内に網目状の専用ウェイを設け、誘導こう(溝)にはられた架電線より電力を供給された車両が、地上コンピュータの指令により、完全自動運転で運行される。

ここでは、三菱電機が車両担当メーカから研究委託をうけた車両総合制御装置の内容や、パーソナルカーの駆動装置の方式、性能、特性について、その概要を報告する。

UDC 65.01.56:654.93:681.14

生産システムの自動化

壺井芳昭
三菱電機技報 Vol.48-No.8-P965~970

当社生産技術研究所で開発しつつある、個別生産を対象とした自動化製造システムの動向はミニコンピュータを導入した加工、組立、試験などの自動機の開発からスタートし、ついで、これらの自動機と情報処理技術を組合せ、一貫した自動化製造ラインを開発する方向に向かいつつある。

本文では、まずコンピュータを導入した、生産システムの自動化について、情報処理を中心に一般的に解説する。ついで、実例として、換気扇用小形モータおよび、小形ノーヒューズブレーカの生産ラインの自動化について、簡単に説明する。

UDC 621.3.032.26:621.3.038.6:621.791.72

大気中電子ビーム溶接機

秋葉稔光・小浜太郎・齊藤竜太・滝 正和・大塙 恩
三菱電機技報 Vol.48-No.8-P997~1002

高エネルギー(175keV)、大ビーム電流(100mA)の電子ビームを真空中から大気中に導き出し、大気中で電子ビーム溶接を可能にした、大気中電子ビーム溶接機を開発した。大気中に出た直後の電子ビームの径はわずかに1mmである。このようにきわめて高いエネルギー密度のため、溶接性能はよい。ノズルにHeガスを用い、150keV、80mAの電子ビームでSUS-304に速度5m/minでビードを溶いた場合、3mm以上の溶け込みを得た。現在、電子ビーム電流を100mA以上に増強中であり、連続物の高速溶接に最適の溶接機となる。

UDC 687.053

半導体制御による工業用ミシンの自動化

藤田次朗・大庭耕一・本田嘉之・中山静夫・古屋芳明
三菱電機技報 Vol.48-No.8-P971~977

縫製作業は、手工業的生産技術の占める割合が非常に高いため、省力化・自動化が比較的遅れている分野に属しており、さらに最近の労働事情の悪化の影響を受けて、従来どおりの生産性を維持するのさえむずかしくなっている。一時行きづまっていた縫製の省力化・自動化も、最近の電子制御技術の進歩により、再び検討されはじめている。ここでは当社が開発してきた、自動化縫製機器を2、3とりあげ、主として電子制御の面から省力化・自動化について解説している。

UDC 621.316.7:681.3.02

三菱石油(株)水島製油所納め

電力設備運用の合理化・自動化システム

藤芳正二郎・山下光夫・木村隆雄・大木欣爾・梅本隆司・山中彪生
大原洋三・長島 清
三菱電機技報 Vol.48-No.8-P1003~1019

三菱石油水島製油所は、操業開始以来数次の拡張により、他の設備と同様に電力設備も大規模・複雑になってきた。

万一、電源喪失事故の場合にも、重要なプロセスやユーティリティへの送電を維持し、かつ運用・保守の省力化をはかるため、プロセス計算機MELCOM 350/5Fを主体としたMELPAC 500自動監視制御装置と、1:N式遠方監視制御技術を基本としたMELDAC 500遠方監視装置を導入し、同時に中央監視制御設備も見直しをして一新し、電力設備の運用の大幅な合理化・自動化を実現した。

Abstract (Mitsubishi Denki Giho)

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 8, pp. 981~988 (1974)
UDC 621.313.322:621.438

Mitsubishi Open, Air-Cooled "Unit Packaged Type" Gas Turbine Generators

by T. Sakai

To meet recent increases in demand for gas turbine power plants, Mitsubishi has been promoting standardization with the production of open, air-cooled "unit packaged type" generators for outdoor use, in which the generator, exciter, base and all other necessary components form an integral assembly.

This article describes the construction, advantages and standard specifications of these packaged units.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48 No. 8, pp. 989~996 (1974)
UDC 629.113.6.072/075:629.1.01:621.313.222:621.316.727:621-55

Electrical Equipment for a Computer-Controlled Vehicle System (CVS)

by M. Yamanouchi et al.

The CVS, developed as a means of replacing the motor car, involves a network of exclusive-use rights of way on which electric vehicles run according to computer instructions.

An experimental CVS was installed in October 1972 on a specially constructed test course at the Higashi Murayama Annex of the Machine Technics Laboratory of the Agency of Industrial Science and Technology, and this article delineates the overall control equipment developed in accordance with the request of the car builders, as well as type, performance and characteristics of the drive equipment of the cars.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 8, pp. 997~1002 (1974)
UDC 621.3.032.26:621.3.038.6:621.791.72

Non-Vacuum Electron Beam Welders

by T. Akiba et al.

A non-vacuum electron beam welder has been developed, having a maximum power of 175 keV 100 mA. When the beam, accelerated in a vacuum, emerges into the atmosphere, beam diameter is less than 1 mm.

This high energy density easily permits deep penetration of over 3 mm for 150 keV 80 mA welding of SUS-304 stainless steel at 5m/min, using He as the nozzle gas. Developments are in progress to bring beam current above 100 mA.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 8, pp. 1003~1019 (1974)
UDC 621.316.7:681.3.02

Upgrading and Automation of the Electrical Power Control System of an Oil Refinery

by S. Fujiyoshi et al.

The original control system for electrical power at the Mizushima Refinery of Mitsubishi Oil was based on human decisions and operation, making it virtually impossible to maintain continuous power during commercial power failure or other fault.

To rectify this shortcoming and to effect savings in operation and maintenance, two systems were introduced: the MELPAC-500 Automatic Supervisory Control System, centered on the MELCOM-350/5F Process Control Computer; and the MELDAC-500 Remote Supervisory Control System, based on 1: N remote supervisory control technology. The central supervisory control equipment was also renovated, with the overall result of a major upgrading and automation of the electrical power equipment operation.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 8, pp. 955~959 (1974)
UDC 621.372.621.382.621.396.9

Development of MIC Modules for Simple Radars

by K. Shirahata et al.

Small radars using Gunn oscillators are expected to go into operation in many fields as measuring instrument sensors for comparatively short range targets, and development and utilization are progressing.

This article covers the principles of measurement by simple radar sensors, presenting the problems that arise when the radar is composed of MIC (Microwave Integrated Circuit) modules, and discussing the X-band MIC radar modules that have been developed. Included are continuous wave (CW), frequency modulation (FM), and pulsed output modules, which can discriminate range and course in addition to speed. Microwave output is 50mW. The modules are resistant to temperature, vibration, shock, etc., and amply durable for practical use.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 8, pp. 960~964 (1974)
UDC 537.52:621.397

Transistor Matrix Drive Circuits for Plasma Display

by K. Kurahashi et al.

Conventional plasma display drive circuits use an AND circuit consisting of two diodes and one resistor for each electrode, and have various disadvantages such as poor space factor and large current consumption. To eliminate these faults, a one-transistor matrix drive circuit for each electrode was developed, each circuit using a single transistor. This article gives the results of experiments in which a panel with a total of 40×40 elements was driven by a trial circuit using these operating principles.

The results of the tests promise a reduction in the drive circuit troubles involved in practical use of plasma displays.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 8, pp. 965~970 (1974)
UDC 65.01.56:654.93:681.14

Automated Manufacturing System

by Y. Tsubai

This article first presents a general discussion of the development of a computer-automated manufacturing system at the Manufacturing Development Laboratory for the purpose of discrete manufacturing. Beginning with minicomputer-controlled equipment for machining, assembly and testing, the process continued with the installation of automated equipment with data processing technology, toward development of a complete automated production line.

Brief explanations are also given of the automation of actual production lines for small ventilating fan motors and for molded case circuit breakers.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 8, pp. 971~977 (1974)
UDC 687.053

Application of Semiconductors to Industrial Sewing Machine Automatic Controllers

by J. Fujita et al.

Sewing often involves manual operations and is thus relatively behind the times with respect to labor economy and automation, and in a tighter and upwardly mobile labor market, it is becoming more and more difficult to maintain past production levels. New studies have been begun, however, on both labor saving and automation as a result of recent progress in electronic control technology, and this article points out several examples of automatic sewing machinery developed by Mitsubishi, and gives some solutions to labor saving and automation problems, mainly from the point of view of electronic control.

「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 681.142.04:159.953:621.382

128Kバイト MOS ICメモリ装置

山本勝敬・小笠原光孝・蒲生容仁・磯崎 真

三菱電機技報 Vol.48-No.8-P1020~1025

1Kビット、Pチャネル、D-MOSメモリ素子による128KバイトICメモリ装置
およびICメモリ用無停電装置を開発した。

メモリ装置は、8Kバイトメモリボード16枚およびコントロールボードから成り(ビルトインチェックはオプション), アクセスタイム500ns, サイクルタイム800ns, 消費電力0.1mW/ビットである。無停電装置は、AC電源が停電したときに瞬時かつ自動的に蓄電池に切換え, データロスを防ぐ装置であり, 単2形蓄電池20個を用いて, 上記128Kバイトメモリ装置に記憶されている情報を, 8時間保持することができる。

UDC 629.7.064.56:629.783

人工衛星用太陽電池パネル

佐木辰雄・向井長夫・奥村栄純・笠井鯉太郎・大村勝敏・泉田喜一郎・
山本美孝・後藤守男

三菱電機技報 Vol.48-No.8-P1026~1033

太陽電池パネルは, 現在のほとんどすべての人工衛星用電力源として用いられ, 人工衛星のシステム構成設計段階から重要な位置をしめる。この論文では, 昭和48年5月すでに認定試験を完了し, 昭和50年度に打ち上げを予定されている, 電離層観測衛星用として開発した, 太陽電池パネルを中心に, その設計体系・製造・試験等について述べる。

UDC 621.9-52:681.323

数値制御装置シリーズ (5)

—数値制御装置の応用について—

桑田 博

三菱電機技報 Vol.48-No.8-P1034~1042

この技術講座の最終回として, 数値制御装置の応用について述べる。内容は群管理システム(DNC), CNC, NC付きガス切断機と自動製図機であり, 最後にNC装置の将来展望についても若干触れた。

Abstract (Mitsubishi Denki Giho)

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 8, pp. 1020~1025 (1974)
UDC 681.142.04:159.953:621.382

128K Byte MOS IC Memory System

by K. Yamamoto et al.

A 128K byte IC memory system consisting of 16-8K byte memory boards and a control board (a built-in checker is used as option) has been developed using 1,024 bit P channel D-MOS memory elements. Access-time is 500 ns, cycle time, 800 ns and power consumption, 0.1 mW/bit. A battery back-up power system employing 20 UM2 NiCd batteries permits non-break changeover and is capable of holding information stored in the memory for 8 hours.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 8, pp. 1026~1033 (1974)
UDC 629.7.064.56:629.783

Solar Panel for Artificial Satellites

by T. Sasaki et al.

The solar panel, now used as the power source of almost all artificial satellites, is an essential element from the earliest stages of system design.

This paper discusses the design structure, manufacture and testing of solar panels with particular reference to those for the Ionosphere Sounding Satellite, which was completely qualified in May, 1972, and is scheduled for launch in 1975.

計算機による色彩図形情報処理

伊藤貴康*

1. まえがき

計算機による図形処理は、最近、急速に進展を見せており、航空写真の処理、医用・生物写真の処理、3次元情景の認識、指紋・顔の識別等といった諸問題が扱われつつあり、一部実用化の段階にも入っている。これらの図形処理では、白黒濃淡図形の処理が問題となってきたが、図形処理技術の問題領域が拡大し、現実の複雑な図形・情景を対象とする必要が生じるに従って、色彩情報処理の要求、色彩情報の活用の重要性が認識されてきた。

色彩図形情報処理における色彩情報の活用の仕方は、

- (1) 色彩情報を用いた図形認識
- (2) 画像の色彩図形表示

の二つに分けられると言ってよからう。色彩図形の場合には、白黒濃淡図形の場合に比して、画像データ量が、3倍ないし4倍となるために、白黒濃淡図形でさえも多いデータ量が、更に、一段と増えることになる。また情報処理の目的や処理過程においても、色彩情報によって意味付けされ、記述される側面が現われることによって、図形の意味情報の計算機による処理が、本格的に問題となる。

このような状況に照して、現在、当社中央研究所において、次のような諸機能を具備させることを目標とした色彩図形認識システムの研究開発が行なわれている。

- (a) 色彩情報解析および色彩図形前処理機能
- (b) 色彩図形の構造解析機能
- (c) 色彩図形の対話形実時間処理機能
- (d) 色彩図形の入出力機能
- (e) 上記諸機能をシステム化する機能

しかしながら、色彩図形情報処理の研究開発は、国内外を見ても、まだ、端緒についたばかりであり、研究の現状は貧弱なものと言える。したがって色彩図形情報処理の問題領域の整理・開拓といった点から着手しなければならぬのが実情である。

本文においては、色彩図形情報処理の基礎的課題の検討からはじめ、色彩図形処理用計算機システムや図形処理ソフトウェアについての基本的考え方、研究開発の現状について紹介する。

2. 色彩図形情報処理の諸問題

色彩図形情報処理は、その技術内容・応用分野ともに多岐にわたっており、情報処理的な観点から興味ある関連テーマとしては、次のようなものがあると考えられる。

- (1) 色彩画像の符号化・帯域圧縮
- (2) 色彩画像の伝送

- (3) 色彩画像の再生・記録

- (4) 色彩図形の表現
- (5) 色彩図形の強調・擬似カラー表示
- (6) 色彩パターン・デザイン
- (7) 色彩情報の分離・修正・編集・強調
- (8) 色彩情報の検知・解析
- (9) 色彩情報を用いた識別・同定

計算機による色彩図形情報処理は、(7)～(9)のような側面をさらに発展させ、色彩図形の意味情報処理を行なわせることを目標としている。このような観点からの研究開発としては

- (a) リモートセンシングにおける擬似カラーディスプレイ
- (b) 隠影情景の色送利用による領域分割

が散見されるだけで、国内外を見ても十分な技術レベルに達しているとは言えないのが現状である。

2.1 色彩図形情報処理の基礎的課題

計算機による色彩図形情報処理は1.章に列挙した(a)～(e)のような幅広い内容を含むが、基礎的課題として

- (1) 計算機による測色法・色彩解析法
- (2) 色彩情報を用いた識別・同定法
- (3) 色彩図形設計法
- (4) 色彩図形表示法

を取扱うべきであると考えている。これらに対処する技術を確立するためには、実験情報学的アプローチが取られるべきであろう。このために、現実の色彩図形を入出力するシステムを始めとして、研究をサポートする色彩図形処理用計算機システムが不可欠となる。これらのシステム的サポートのもとに、次のような問題がアプローチされるべきであると考える。

- (1) 色彩情報の解析・計量化
- (2) 色彩情報を用いた特長抽出・クラスタリング
- (3) 色彩図形の記述・表現・構造化
- (4) 色彩図形の構造解析
- (5) 色彩図形の意味付け

2.2 色彩図形情報処理システムの具備すべき機能

色彩図形情報処理は、色彩情報までも用いて表現・記述される図形の意味情報処理を目標としており、その処理目的も多様となり、データ量も膨大となる。これに対処するため、色彩図形情報処理システムは、柔軟性と拡張性のある(a)ハードウェア構成(b)ソフトウェア構成(c)システム構成を取らせながら、次のような諸機能を考慮して、システム設計が行なわれるべきである。

- a. 入力媒体
- (1) カラー フィルム
 - (2) (不透明媒体上の) 色彩画像
 - (3) 色彩情景

b. 入力装置

- (1) カラー フィルム リーダ
- (2) カラー TV カメラ
- (3) カラー FSS
- (4) カラー 固体撮像装置

c. 出力装置

- (1) カラー 図形 ディスプレイ
- (2) カラー ブラフィック ディスプレイ
- (3) カラー フィルム ライタ
- (4) カラー ハード コピー システム
- (5) カラー カーブ プロッタ

d. 記憶装置

- (1) 磁気 テープ
- (2) 磁気 ディスク
- (3) ビデオ ディスク
- (4) カラー VTR
- (5) 固体画像蓄積装置

e. 計算機 システム

- (1) ミニ コンピュータ 複合体
- (2) 並列処理 コンピュータ
- (3) マイクロ プログラム 形 直接実行 コンピュータ

f. 色彩解析

- (1) 色彩信号の ノイズ 处理
- (2) 色彩分離
- (3) 色彩修正
- (4) 色彩編集
- (5) 色彩強調
- (6) 色彩情報符号化

g. 色彩図形解析・処理

- (1) 色彩図形の 雜音除去, 平滑化, 強調, 領域分割, クラスター イング
- (2) 色彩図形の 計量化, 識別, 構造化, 特長系列による記述
- (3) 色彩図形変換・作成・分離・分割
- (4) 色彩図形記述・処理言語
- (5) 色彩図形連想・検索

h. サポート ソフトウェア

- (1) 対話形 リスト 处理 プログラミング システム
- (2) カラー 図形 ディスプレイ ソフトウェア
- (3) 拡張形 プログラミング システム
- (4) 推論形 ソフトウェア
- (5) システム 管理 ソフトウェア

このような諸機能に関する検討を加えながら、当社中央研究所においては、色彩図形認識システムの研究開発が進められており、その概要の紹介を行ないながら、色彩図形処理の具体的な問題を次章以下において論じる。

3. 色彩図形入力システム

計算機を用いた色彩図形処理の研究開発を、具体的に進め、前章

に述べたような諸機能を行なわせるためには、色彩図形を実時間で計算機へ入力するシステムが必要となる。

色彩図形入力装置には、諸形体が考えられるが、検討の結果現在の技術レベルにより、最も安定して使用できるものとしては、機械的スキャナと TV カメラを用いたシステムとの結論に達し研究開発が進められた。オンラインでの高速色彩図形入力機能を達成するために、次の二つの方針が採用された。

(1) 高性能 カラー フィルム リーダ

筆者の考案によるマルチヘッドカラースキャナ方式を採用し、高速化することにより、オンライン性を持たせた。

(2) カラー TV カメラによる色彩図形入力 システム

カラー TV カメラから得られる赤(R), 緑(G), 青(B), 濃度(Y)信号を並列に同時 AD 変換する方式の確立を行なった。機械的スキャナの場合、従来は、読み取り速度がおそいためにオンライン性を持たせにくくと言われ、カラー TV カメラの場合、映像信号の安定した量化が困難とされていたものを克服したわけである。

色彩の図形の計算機への入力が、これら二つのシステムによって、オンライン的に行なえることとなるが、色彩図形の場合には、通常、3色あるいは4色の色分解を行なうために、白黒濃淡図形の場合に比して、画像データ量が3倍ないし4倍となり、膨大なデータ量となる。

このような状況に対処するために、機能化された入力システム構成にし、色彩図形情報の色彩解析、編集、修正、計量化を行なわせるシステム構成としてミニコンピュータを用いた色彩図形解析表示システムというものを提案し、その研究開発を行ない、実用化を行なっている。これらについて詳述しよう。

3.1 高性能 カラー フィルム リーダ

カラー フィルム リーダの方式としては、原理的には、いろいろな方式が考えられるが、現在の技術によって、最も安心して作られるのは、機械的な回転 ドラム 形の メカニカルスキャナと考え開発を行なった。メカニカルスキャナの場合、読み取り速度とカラー読み取りの点で方式上問題があったが、筆者の考案したマルチヘッドカラースキャナ方式を用い、毎秒 6.5 回転あるいは 13 回転の高速回転 ドラムを採用することによって、オンライン性を保証するようにした。

図 1. は、高性能 カラー フィルム リーダの原理図を示し、図 2. に、開発を行なったシステムの外観写真を示す。この装置の基本性能は、表 1. に示すとくである。市販の計算機入力用 フィルム リーダと比べた場合、カラー フィルム の同時高速読み取りとしては初めての試みであり、読み取り速度の点では、白黒 フィルム に対して、5~10 倍、カラー フィルム の場合はその 3 倍以上になっていると考える。なお、35mm 判 ロール フィルム に対しては、自動 コマ 送り 機構のオプションも用意されており、読み取り ヘッド の フィルタ は交換可能となっている。

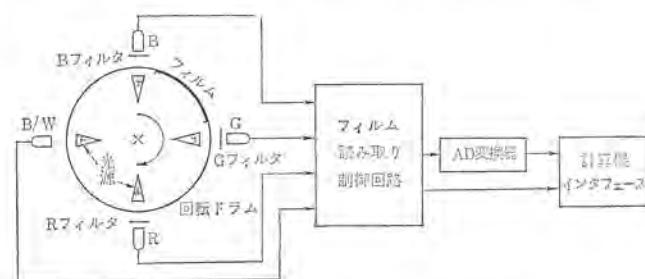


図 1. 高性能 カラー フォトスキャナ 構成図

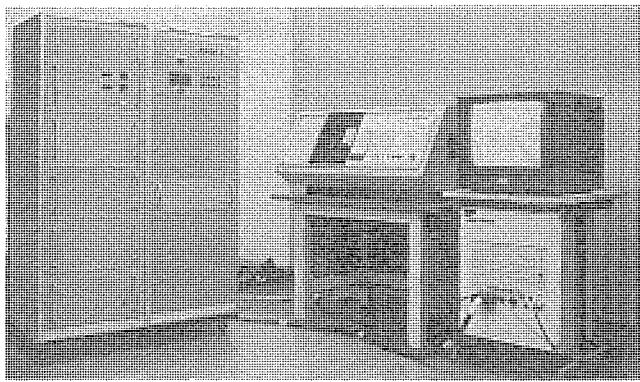


図 2. 高性能 カラー フォトスキャナ 外観

表 1. 高性能 カラー フォトスキャナ 性能表

測定対象	カラー フィルム (白黒も可)	データ読み取り速度	188 k 画素/s
測定許容 フィルムサイズ	(最大) 125 mm × 175 mm	光源	タングステン電球
アバーチュア サ イ ズ	(試料面上) 50 μm × 50 μm	受光器	アンチモンセシウム・ フォトマルチブライヤ
測定濃度域	(光学濃度) 0.0~3.0 D	読み取りヘッド 数	4 ヘッド (R, G, B, B/W)
濃度レベル 分解能	256 レベル/色 (8 ビット)	使用標準フィルタ	Wratten 47B, 58, 25 (B)(G)(R)
サンプリング 間 隔	(可変) 50 μ, 100 μ, 200 μ	ドラム回転数	(高速) 13 rps (低速) 6.5 rps

3.2 カラー TV カメラによる色彩图形入力システム

カラー フィルム リーダ によって图形の計算機への入力を行なうためには、图形や情景を一度フィルムの形にする必要があり、オンライン画像入力としては、必ずしも有効でない場合がある。そこで、オンラインでの色彩图形・情景の計算機への入力を許容するシステムとして、カラー TV カメラを用いた色彩图形入力システムの開発を行なっている。従来白黒 ITV カメラを計算機への图形入力として接続し、物体認識の入力とするシステム開発が行なわれ、実用化の域にある。さらに ITV カメラの前に、カラー フィルタを置き、機械的に切換える可能としたシステムも使われている。しかし、カラー TV カメラからの 3 原色信号(輝度信号がプラスされることもある)を並列的に同時に AD 変換し、計算機へ入力システムはまだ世界的にも報告されていない。これはこのような方式が、次のようなすぐれた特長を有するにもかかわらず、また一方、下記のような問題点を持っているためである。

特長としては、(1) オンライン性があり、(2) 動的情景さえも入力でき、(3) ズームレンズ機構により、被写体の大きさ変化にも容易に追随できるという点が大きい。一方、問題点としては、(1) 並列 AD 交換のために、映像信号用高速 AD 変換器が複数個いる、(2) オンライン性を保つために、高速アクセスの大容量画像メモリが必要となる、(3) カラー TV カメラの信号が環境条件に敏感である、といったことがあげられる。

問題点に関する基本的な検討を加えたのち、特長を十分に生かすシステム開発のために、図 3. のような実験システムを開発し、基礎技術の確立を行なった。この実験システムでは、カメラヘッドとしては、2 管式カラー テレビ カメラを用い、10 MHz の高速 AD 変換器、画数 256 × 256、量子化レベルは 4 ビット/画素、MOS メモリの容量は、1

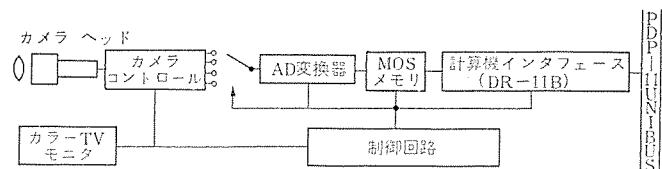


図 3. カラー TV カメラによる色彩图形入力システムの実験モデル

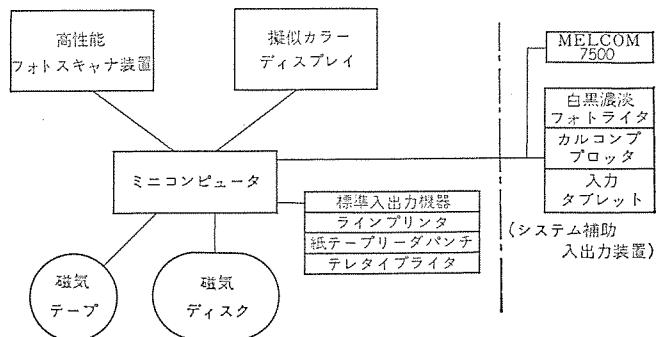


図 4. 色彩图形解析表示システムの構成図

画面分 32 k Byte となっている。

3.3 色彩图形解析表示システム

色彩图形の計算機への入力が、上述の二つのシステムによって、オンライン的に行なえても、画像データ量が膨大となるために、計算機による图形処理上問題となる。たとえば、市販の 35 mm 判カラー フィルムを 50 μ のスポットサイズで読み取った時でも、フィルムサイズが 24 mm × 36 mm あるから、(R, G, B, B/W) 4 色分解のとき、1 画像で約 1.4 Mega Byte となる。また 125 mm × 175 mm 判カラー航空写真の場合、50 μ で読み取ると、約 35 Mega Byte の大量データとなり、磁気テープ 1 卷でも収納できなくなる。

このような状況に対処するために、機能化された入力システム構成にし、色彩图形の色彩解析、編集、修正、計量化を行なわせるシステムとして筆者により考案されたのが、ミニコンピュータを用いた色彩图形解析表示システムである。カラー フィルム リーダとカラー TV カメラを用いたシステムが開発されつつあるが、カラー フィルム リーダ方式のものは完成され実用に供されているので、これについて簡単に紹介しておこう。

高性能カラー フィルム リーダを組み込んだ色彩图形解析表示システムは、図 4. に示すように、ミニコンピュータ、高性能カラー フィルム リーダ、カラーディスプレイ、磁気テープ、磁気ディスクおよびミニコンピュータ用標準入出力機器からなっている。なお当社中央研究所においては、白黒濃淡フィルム ライタ、プロッタ、入力タブレットもオプションとして使え、複合体構成の形で大形計算機 MELCOM 7500 ともオンライン接続が行なわれておる、高度の图形処理は、この大形機に担当させ得るシステムとして設置され、実用に供されている。

色彩图形解析表示システムは、色彩图形の入力・記憶機能、カラー图形表示機能、計量化機能、対話的編集機能をベースとして、次のような諸機能がシステム化されている。

(1) カラー フィルムをサンプル間隔 50 μ (100 μ, 200 μ も選択可能) で、各点を R, G, B, B/W ごとに、8 ビットにデジタル化でき、カラー読み取りモードとして、(R, G, B, B/W) の任意カラーあるいは 4 色同時の指定ができる。

(2) (R, G, B, B/W) により読み取られた値の組み合せによ

り、標準カラー フィルム 色と比較して、色分解を行ない計数化できる。

(3) カラー フィルム の色彩情報を解析したり、図形としての編集・修正が、ミニコンピュータとの対話形式によって行なえる。

(4) カラーディスプレイに図形や文字の、色、大きさ、領域指定などの表示モードを、対話形で指定して行なえる。

(5) 特定の色彩を持つ図形の面積や長さを計算できる。

(6) 入力データ、処理データを磁気テープや磁気ディスクに記憶できる。

(7) カラー フィルム の各点の読み取り速度は、 $10 \mu\text{s}/\text{画素}$ である。

(8) 35 mm ロールフィルム の自動送りやカラー フィルタの交換可能となっている。

4. 色彩解析方式とその応用

色彩情報の計算機への入力が高性能 カラーフィルムリーダ および カラーテレビカメラをベースとして可能となったが、これらに固有の色彩解析方式が必要となる。色彩は、光の刺激により生じる視覚としての心理量であるが、カラー フィルムリーダ や カラーテレビカメラから得られる信号、そのままでは、色刺激値に対応しないからである。色彩情報の正しいは(把)握が、色彩図形処理に重要な意味を持つことから、色彩解析は重要となり、これら入力装置をもとにした、測色・表色が望まれることとなる。色彩解析は、撮影条件・環境条件によって、大きな影響を受けるために標準的方法を確立するには困難であるが、基本的な考え方を説明しておこう。

4.1 色彩解析の方法

色彩解析の方法としては、色彩学といわれる分野において、基礎的な考察が行なわれておらず、表色理論や測色理論が確立されている。カラー フィルムリーダ や カラーテレビカメラを入力とする場合も、色彩学的考え方を応用して、表色法を基にした、色彩解析法を考えることができる。ここでは、カラー フィルムリーダによる色彩解析法について考えよう。色の表示法としては、比色により物体色を表示する方式と、測光により色光を表示する方式があるが、これらに対応して、次の2方式が考えられている。

(1) 標準カラー フィルム 色票を用意し、それと比較する方法。

(2) カラー フィルムリーダで読まれた濃度値をもとに、物理的に、色の3刺激値を算出し、色度図表示する方法。

4.1.1 比色彩色彩解析法

比色による色彩解析として、色彩学においてよく知られた方法は、色相、明度、彩度を尺度として、比色し、表示するもので、代表的なものとして、マンセル表色系がある。フィルムベースの場合、標準色票が規格化された状況ではないが、目的に応じてカラー フィルム色票を作成し、比色、色同定を行なうことができる。

すなわち、標準色票から、一定条件(撮影条件、フィルム条件、読み取り装置等)の下で、カラー フィルム色票を作成し、資料フィルムの各点を、色彩距離を用いて同定を行なう方法である。しかし、この方法の場合は、フィルム色票作成時および資料フィルム作成時において、

- (a) 撮影条件
- (b) 被写体の性質・状況
- (c) 現像・定着条件
- (d) 計測条件

等を同一にできないという欠点がある。

これらの問題に対処するために、撮影時に、標準カラーを同時に

写し込んでおき、撮影条件、現像・定着条件などを補正する方法も用いられている。この方法は、撮影時に標準色を用意する必要があるが、対話形式で解析を行なう場合には、特に有用な方法である。

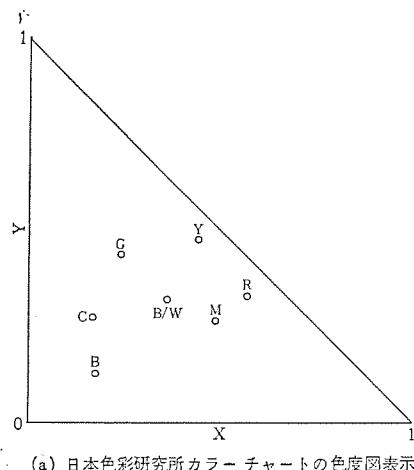
4.1.2 色度図による色彩解析法

カラー フィルムリーダは、光エネルギーを計測し、光学濃度を、各カラー フィルタごとに出力するから、これらの値を用いて色度図を作れば、これを用いて表色、比色が行なえる。しかしカラー フィルムリーダで出力される濃度値は、色彩学における色刺激値そのものではないから、CIE-XYZ 表色を直接は行なえない。それゆえ対応関係を実験的あるいは理論的に検討しておく必要がある。

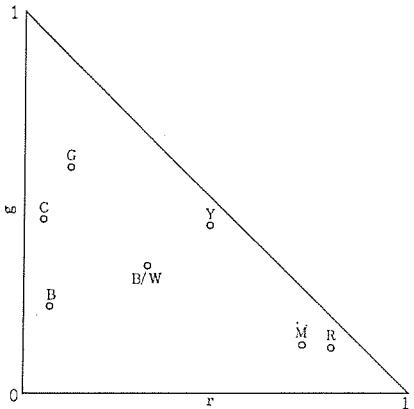
カラーフィルムの色度図に基づく解析例

日本色彩研究所 カラー チャート(写真用) No. 01-048 なる色票から作ったカラー フィルム色票をもとにして、色度図を構成してみた。この場合、日本色研 カラー チャートに對して色度座標が求められており、これとカラー フィルムリーダによる色度分布との関係を見ることができる。この色票の色度パラメータを XYZ 表示により XY 面上に表示すると、図 5. (a) のようになる。カラー フィルムにしたものとカラーフィルムリーダによって読み取って、 $R_f = D_R / (D_R + D_G + D_B)$ 、 $B_f = D_B / (D_R + D_G + D_B)$ を色度図表示すると、図 5. (b) のようになる。

図 5. (b) の色度図の場合、カラー フィルムリーダの濃度値をもとにして色度図を構成したので、R に対しては、 R_f 座標の値が最小となり、B に対しては B_f 座標の値が最小となっていることに注意されたい。



(a) 日本色彩研究所 カラー チャートの色度図表示



(b) (a)に対応する カラー フィルム色票の色度図表示

図 5. フィルム色票の色度図分布例

4.1.3 色度図と色の3属性

色彩解析の問題として、表色以外に、色度図から色の3属性を求めるという問題もある。

CIE-XYZ 表色系の Y, x, y から マンセルの色相 (H), 明度 (V), 彩度 (C) を換算することができる。すなわち視感比反射率 Y と V の間には、 $Y = 1.2219 V - 0.23111 V^2 + 0.23951 V^3 - 0.021009 V^4 + 0.0008404 V^5$ の関係があるから、Y がわかれば V は近似的には容易に求められる。次に JIS-Z 8721 に表示されている CIE 色度図上における x, y 座標から マンセル 色票の位置を求めることができる。

また R, G, B 色度図を 図 6. のような正三角形で表現したときには、色相 (H), 彩度 (C) は、図 6. から、次のように求められる。

$$H = \theta$$

$$C = \overline{WP}/WS$$

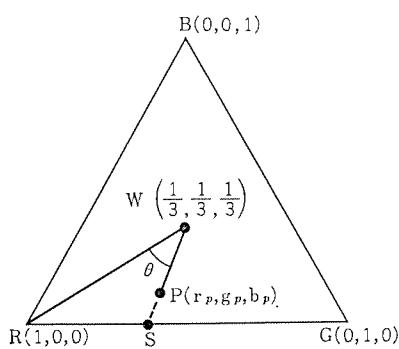


図 6. 三角形色度図の例

5. パターン情報処理用ソフトウェア

色彩图形情報処理の問題は、色彩情報を用いて効果的あるいは複雑に表現されたパターンの意味概念・構造記述の解析・認識までも要求する图形の意味情報処理を最終目標としている。このため、処理目的は多様となり、データ量も膨大となるため、色彩图形処理用ソフトウェアは、広範にわたることとなる。すなわち色彩情報とともに、图形の中に含まれる、有用な意味を持つあらゆる種類のパターン（文字・記号等を含む）を認識しながら、効果的に処理・認識を進め得るソフトウェアが望まれる。最終的には、文字認識、情景認識、图形記述言語、データベースソフトウェア、パターンの構造的推論、パターン情報のリスト処理ソフトウェア、拡張形システムプログラミングの方法などの研究成果を融合し、有効利用して、計算機システム上で一つのまとまった処理ソフトウェア方式として構成されねばならない。また将来においては、（色彩）图形処理用のソフトウェアの自動作成を行なわせてやりたいというような要求さえ生じてくることが予想される。このような問題に対処するための研究開発が、パターン認識の理論、オートマトン・言語理論、プログラム理論、人工知能の理論といったコンピュータサイエンスの新理論を応用しながら進められつつある。次節において当社中央研究所のパターン情報処理用計算設備を用いて行なわれているソフトウェア研究開発の一端を紹介しよう。

5.1 当社中央研究所におけるパターン処理ソフトウェア構成

パターン情報処理の研究開発のために、当社中央研究所では、次章に紹介するような計算設備が開発設置されているが、このシステムを用いて、図 7. のようなパターン処理用ソフトウェアが体系的に開発されている。

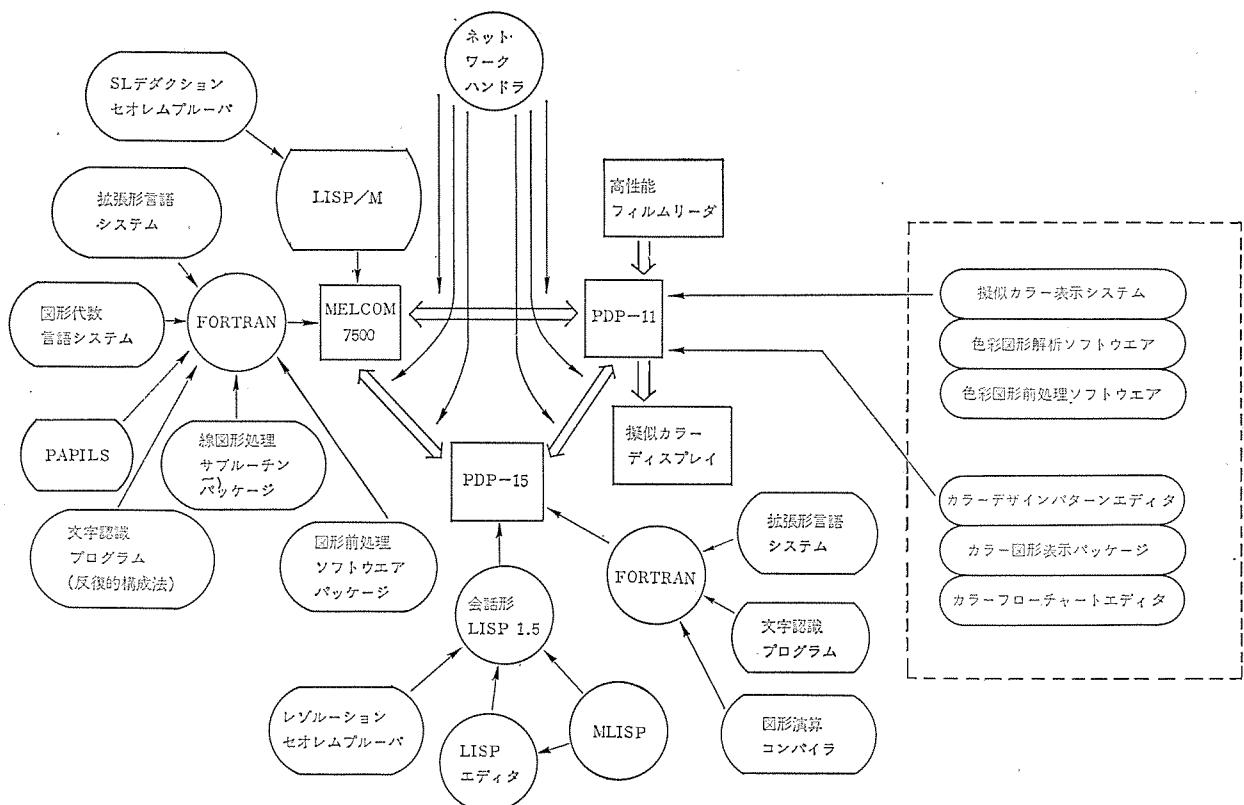


図 7. 当社中央研究所におけるパターン処理用ソフトウェアの構成

5.2 色彩情報を用いた図形処理ソフトウェア

色彩図形処理の目的の一つは、色彩情報を効果的に利用することによって、図形処理を効果的に行なうところにある。これは、色彩情報の正確な把握のもとに進められねばならず、それゆえ、前章に述べた色彩解析のためのソフトウェアの開発の必要性がある。この色彩解析によって得られた情報をもとに、色彩情報を用いた図形処理に関する実験的ソフトウェアも開発されている。それらのおもな機能は、次のとおりである。

- (1) 色彩図形の特定色彩成分の強調
- (2) 明度・輝度の制御による色相情報の鮮明化
- (3) 色彩変換による図形の擬似表示
- (4) 色彩の分離
- (5) 色彩解析を用いたクラスタリング
- (6) 色相境界線の抽出
- (7) 色彩解析による色相、明度、彩度を用いた領域同定
- (8) 色彩図形のノイズ除去
- (9) 色彩図形の編集、修正、校正
- (10) 色彩図形の面積、線図形の長さの計量
- (11) 色相分布(色相とひん(頻)度)の計量

5.3 図形演算コンパイラ

図形情報を計算機によって処理させようとする場合、図形の持っている、2次元あるいは3次元的な性質をそのまま効果的に利用した演算体系を組み、効果的な処理を行なわせたい。またその処理プロセスが、簡潔に表現されることが望まれる。このためには、図形処理の演算・処理を記述する図形演算言語とそのコンパイラが必要となってくる。米国において開発されているPAX-IIやVIKERは、このような目的に沿ったものであるが、当社中央研究所においても、PAX-IIの機能をFORTRANの中に組み込んだ図形処理言語として、PAPILSと呼ばれるプログラミング言語が開発されている。これらの試みは、図形処理の研究開発の経験から発展せられてきたものであるが、代数的な理論によって基礎付けされた、特長ある図形演算コンパイラP-ALGEBRAも、実験的に開発されているので、これについて説明しよう。

図形演算代数とそのコンパイラ：P-ALGEBRA

図形処理においては、一般には、2次元多値量化パターンを対象とするが、その処理の基本は、2次元2値図形にあると考えてよい。図形演算代数は、2値図形に関する処理・演算の過程をいくつかの基本的な演算をもとに、数学的に表現・記述するために、筆者により提案された代数的システムである。

いま、パターンは、任意に定義された有限の2次元正方領域の上で表わされるとし、この領域をパターン場(pattern field)と呼ぶ。このとき、このパターン場に対して、次のような基本演算を考える。

- (1) 論理演算： * (論理積)、+ (論理和)、N (否定)

これらは、パターン場の各要素ごとにに対する並列演算である

- (2) 同値演算： I

- (3) シフト演算： R, L, U, D

これらは、右左上下方向へのシフト演算である

このとき次の定理が成立し、代数理論を展開する基礎が与えられている。

〈定理〉 パターン場の任意の2値図形が基本演算による図形表現式により記述でき、また任意の変換プロセスが表現できる。

この代数的体系は、パターン方程式の導入によって、さらに興味あ

るものとなることが知られており、また基本演算系に対する完全な公理系も与えられている。

この図形演算代数に基づく、図形処理プログラミングシステムの実験モデルが開発されており、P-ALGEBRAと呼ばれている。

このシステムは、FORTRANの中でP-statement表示を付けることにより、MELCOM 7500において使えるようになっている。

5.4 線図形処理ソフトウェア

図形処理の対象として、設計図面のような線図形処理や情景の線輪郭を抽出してくるといった処理が、よく問題となる。このような対象に適用できるソフトウェアとし、複雑な雑音を含む濃淡線図形処理のためのプログラムの開発を行なっている。おもなものとして、次のような機能を有するプログラムが、このソフトウェアの中に含まれている。

- (1) 平均操作・しきい(閾)値操作によりよいノイズ除去を行なうルーチン
- (2) 種々の細線化ルーチン
- (3) 種々の画像微分ルーチン
- (4) 種々の平滑化ルーチン
- (5) 線画をリスト構造化するルーチン
- (6) 線画の中の線の長さを求めるルーチン
- (7) 連結数・オイラー数を求めるルーチン

等がMELCOM 7500のFORTRANを用いて開発され、これらは、実際に、DNA(デオキシリボ核酸)の電子顕微鏡写真の解析に用いられ、雑音処理、DNA strandの抽出、構造化等についてほぼ満足すべき結果を得ている。

5.5 記号処理用プログラミングシステム

色彩図形の意味情報処理を行なわせるには、図形データ構造とデータベースに記憶された図形に関する知識をもとに、推論的な処理を行なう記号処理ソフトウェアが要求される。推論形のソフトウェアとしては、人工知能の研究分野において、定理の証明プログラムやPLANNER等のようなものが作られており、MITやスタンフォード大学においては、3次元物体認識にも試用され興味ある報告がなされている。

このようなアプローチを、実用的なレベルにまで発展させるためには、推論形ソフトウェアを具体化する道具としてのリスト処理言語の開発から進めねばならない。従来LISPインターフェースが用いられているが、処理速度がおそく、また数値処理不適という点から実用的とは言いがたい点があった。これらの点を大幅に改良する言語システムとしてLISP/MをMELCOM 7500の基本ソフトウェアとして開発した。定理の証明のソフトウェア等を作成し、その有効性をテストしたところ、実行速度はインターフェースの場合の70倍以上の高性能となっていることがわかっている。このLISP/Mは次のような特長を有するものである。

- (1) 完全なコンパイラ形式をとり、そのオブジェクトコードは、MELCOM 7000のはん(汎)用実時間モニタのもとで、自由に編集・結合されるROM(Relocatable Object Module)である。
- (2) インターフェースに比べ70倍以上の高速性を有し、占有コアメモリも比較的少ないオブジェクトを生成できる。
- (3) 内部データ構造として、リスト形式を取らない直接形データも扱え、FORTRANと互換な配列を管理する。
- (4) LISP 1.5がそのまま使え、既存のLISPソースプログラムがそのまま実行できる。さらにFORTRANが混用できる。

表 2. LISP/M と LISP インタプリタの性能比較の一例

インタプリタ	LISP/M
ワーカエリア	21 kW
インタプリタ	7.2 kW (ライブリ)
ガーベージコレクション回数	31回
実行時間	294秒
	15 kW
	1.6 kW
	3回
	4秒

LISP/M の性能を示すために、定理の証明のプログラムを、LISP/M と既存の LISP 1.5 のインタプリタ双方で実行した結果を比較のために表 2. に示した。

5.6 その他のソフトウェア

パターン情報処理用のソフトウェアとして、図 7. に示すように、その他いくつかのものが開発されている。それらの中で、拡張形言語の実験システム ULG は、ざん(斬)新なものであり、カラーディスプレイ用ソフトウェアは、色彩图形処理を対話的に進めていくのに有用であることを指摘したい。

とくに ULG (Universal Language Generator) は、拡張形言語として興味あるものとなっているだけでなく、効率のよい処理を許すように、文法構造が選択されており、ハードウェア化、マイクロプログラム化により、筆者提唱しているコンパイラコンパイラマシンという多言語直接実行形計算機にも利用できるように配慮して設計されている。

6. 色彩图形処理用計算機システム

上述してきたような諸機能をシステム化し、実行を行なう色彩图形処理用計算機システムを構成して、現実の图形処理の問題に対処することが望まれるわけである。この章では、これらのいくつかの問題点について論じた後、現在、当社中央研究所において開発し、上述してきたような諸機能を、図 7. のようなソフトウェア構成によって実行している実験システムについても概説しよう。

6.1 色彩图形処理用計算機システムのイメージ

一般にパターン情報処理では、高次元多量データを高速に処理することが多いため、並列処理あるいはマルチプロセッシングが可能な大形計算システムが要求されるとしている。しかしこれでは、コスト高となり、実用化の道を開くのは困難と考えられる。

そこで、高性能マイクロプロセッサやミニコンピュータをベースとして、必要に応じて、ビルディングブロック構成を行なうことにより対処しようという動きが、LSI による高集積回路技術の進展、高性能ミニコンピュータの普及とともに脚光をあびてきている。通産省大形プロジェ

クト「パターン情報処理の研究開発」では、高密度マイクロプロセッサによる複合計算機システムの研究開発が、チャレンジングに開始されている。当社においては、現在の問題に対処することの必要性から、6.1 節に述べるようなミニコンピュータを中心とした複合体計算機システムが開発されつつある。この経験から、ミニコンピュータを複合して、パターン情報処理のような仕事を行なわせる複合体を作るには、次のような諸機能に関して、十分なる配慮がなされている必要があると考えている。

- (1) マイクロプログラミングによる仮想機械方式
- (2) 仮想メモリ方式
- (3) ビルディングブロックによる高並列化
- (4) 可変アドレス方式
- (5) マルチポート DMA 方式
- (6) 共通データバス方式
- (7) 拡張モニタ方式
- (8) 拡張コンパイラ方式

图形処理のように、論理的には浅い並列処理と、图形の構造解析に見られるように、論理の深い計算を行なわせる必要性とが混在しているときには、マイクロプロセッサによる複合計算システムの場合でも、ミニコンピュータの複合体による場合でも、一般には、数多くの問題があると考えられる。これらの問題に対する解答を与えるには、マイクロプロセッサの複合により、超大型機の機能が、完全に代行できるかという問題を解決しなければならぬようと考える。

6.2 当社中央研究所におけるパターン情報処理計算設備

本文において述べてきたような諸問題・諸機能を扱うために、当社中央研究所では、図 8. のような計算機複合体を構成し、実用に供している。このシステムのソフトウェアは、図 7. に示したごとくであるが、複合体は、このシステムのために作られたネットワークハンドラの管理の下に動作するようになっている。このシステムの特長は、PDP-11 のユニバスを介して、パターン情報処理用の各種入出力機器をどの計算機からも自由にアクセスできるようにしていること、どの計算機もユニバスに関して、対等の扱いを受け得ることである。

現在ハンドラ使用可能言語は、各サブシステムのアセンブリと FORT-RAN になっており、転送レートは、PDP-11 → PDP-15 が 250 kW/s, PDP-15 → PDP-11 が 188 kW/s, PDP-11 ↔ MELCOM 7500 (最小) 20 kW/s となっている。PDP-11 と MELCOM 7500 間では、エラーチェックを厳しく行なっているために転送レートがかなり落ちている。

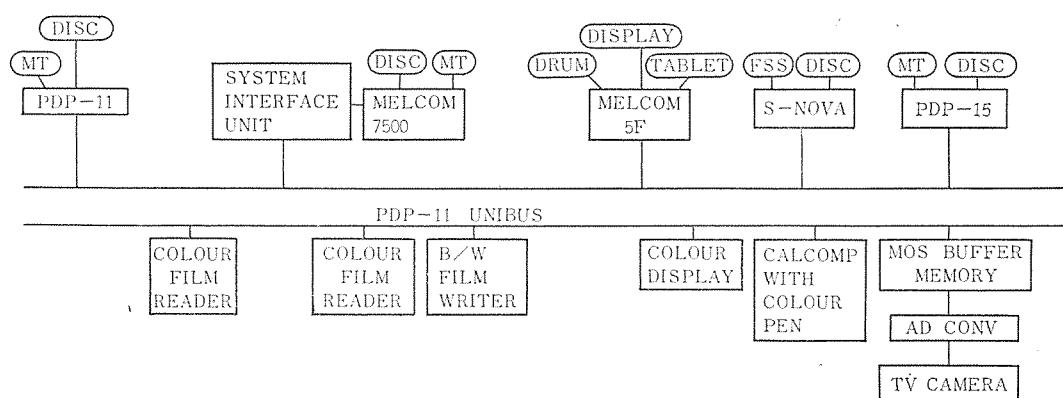


図 8. 当社中央研究所におけるパターン情報処理計算設備

7. む す び

色彩図形情報処理は、パターン情報処理の中でも、未開拓の興味深い新しい分野であるが、それだけに、本文においても述べたように、数多くの問題が山積していると言える。ここに紹介した当社の研究開発は、その目標とする最終ゴールに比べれば、まだ準備段階が一応整ったとしか言えない状況であるが、色彩図形処理技術の現実時の実用化を検討するに十分な段階まで開発されていると考えております、読者諸賢のご批判をいただければと考える次第である。

色彩図形処理の研究開発は、通産省 大形 プロジェクトの一環として進められている。このプロジェクトの方針から大きな影響を受けており、関係者のかたがたに感謝の意を表したい。京都大学 情報工学科 坂井利之教授には、いくつかの課題についてご討論・ご指導いただいており、特に感謝の意を表する。

なお、色彩図形解析表示システムに組み込まれた高性能 フィルム リーダの開発に当っては、その設計・製作に、小西六写真工業(株)から全面的にご協力いただいたことを感謝する。(昭和 49-5-24 受付)

参 考 文 献

- (1) 伊藤、房岡：拡張形言語とコンパイラ コンパイラ マシン、電子通信学会オートマトンと言語研究会 (昭 48-1)
- (2) 伊藤、伊東：2次元図形演算システムの試み、電子通信学会全国大会 (昭 48-3)
- (3) 伊藤、房岡：コンパイラ コンパイラ マシンとそのシミュレータ、電子通信学会オートマトンと言語研究会 (昭 48-6)
- (4) 伊藤、安藤：パターン処理システム(III)-レギュレーションを用いた定理の証明プログラム、三菱電機技報、47, No. 6 (昭 48)
- (5) 伊藤、福島、鈴木：パターン処理システム(IV)-統計的パターン認識の理論、三菱電機技報、47, No. 8 (昭 48)
- (6) 伊藤、秋田：図形演算システム、電子通信学会パターン認識と学習研究会 (昭 48-9)
- (7) 伊藤：パターン認識における誤識別率とその近似式、電子通信学会パターン認識と学習研究会 (昭 48-9)
- (8) 伊藤：人工知能用 ソフトウェアの理論的側面、電気四学会連合大会 (昭 48-10)
- (9) 伊藤、佐藤、深田：DNA 電子顕微鏡写真の処理(I)、電子通信学会パターン認識と学習研究会 (昭 49-3)
- (10) 伊藤：ミニコンピュータ複合体によるパターン情報処理、電気学会全国大会 (昭 49-3)
- (11) 伊藤、伊東：手書き数字認識への分岐的反復構成法の応用、電気学会全国大会 (昭 49-3)
- (12) 伊藤、房岡、伊東：拡張形言語の実験的システム、三菱電機技報、47, No. 12 (昭 48)
- (13) 伊藤、中島：ミニコンピュータを用いた色彩図形解析表示システム、情報化設計 (昭 49-6)
- (14) 伊藤、成川：色彩図形解析表示システム、写真工業 (昭 49-6)
- (15) 伊藤、佐藤、深田：濃淡線図形の細線化の一方法、電子通信学会全国大会 (昭 49-7)
- (16) 秋田、磯田、伊藤：カラー TV カメラを用いた色彩図形入力システム、電子通信学会全国大会 (昭 49-7)
- (17) 安藤、小野、出口、伊藤、本田：LISP/M—基本構想と言語仕様一、電子通信学会全国大会 (昭 49-7)
- (18) 安藤、小野、本田、田中、出口、伊藤：LISP/M—性能評価一、電子通信学会全国大会 (昭 49-7)
- (19) 伊藤、福島、秋田：色彩図形解析表示システムとその応用、エレクトロニクス (昭 49-9 出版予定)
- (20) T. Ito : Approximate Error Bounds in Pattern Recognition, Machine Intelligence 7 (1972)
- (21) T. Ito : A Formal Approximation Theory of Data Types, Symp. on Theoretical Programming (1972)
- (22) S. Ando, T. Ito : A Note on Applying Scott Logic to Termination Problems, Memorandum SAI, RM-6, University of Edinburgh (1973)
- (23) T. Ito : A Proposal for Symbolic Manipulation of Pattern, Mitsubishi Denki Laboratory Reports, 14, No. 1/2/3/4 (1973)
- (24) T. Ito : A Class of Pattern Manipulation and Description Languages, Mitsubishi Denki Laboratory Reports, 14, No. 1/2/3/4 (1973)
- (25) T. Ito : Towards Color Picture Processing, Computer Graphics and Image Processing, 1, (1974)
- (26) T. Ito : A Study on Pattern Information Processing, FIR-BUSH NEWS, 4, (1974)
- (27) T. Ito, S. Ando : A Complete Axiom System of Super-Regular Expressions, IFIP '74 Congress (1974)
- (28) T. Ito : An Algebraic Theory of Pattern Manipulation, Second International Joint Conference on Pattern Recognition (1974)
- (29) T. Ito : Approximate Bounds of Misrecognition and Their Computational Evaluation, Second International Joint Conference on Pattern Recognition (1974)

弾性付属物を有するスピン衛星の姿勢運動の解説

土屋和雄* 斎藤春雄**

1. まえがき

人工衛星の運動は、多くの場合、衛星の質量中心の並進運動と、質量中心回わりの回転運動に分離される。前者は軌道運動と呼ばれ、後者は姿勢運動と呼ばれる。

衛星の姿勢運動は、その衛星のミッションに応じ、適当に制御することが必要である。たとえば、通信衛星では、アンテナを常に日本列島に向けるように制御することが必要となる。またある種の観測衛星では、その姿勢を常に慣性空間に対して一定に保っておかねばならない。姿勢制御方式には、能動形および受動形の2種類の方式がある。長寿命の衛星で、姿勢制御精度があまり強く要求されない場合は、受動形の姿勢制御方式が、信頼性が高いことやペイロードを大きくとれることなどの理由により、広く使われている。種々の受動形制御方式の中では、ジャイロ効果を利用したスピン安定化方式が、初期の衛星からよく使われており、今後もその適合性の広さ、装置の簡単さから広く使用されていくものと思われる。この論文では、このスピン安定化衛星の姿勢運動について考察する。

一方、衛星は、打上げから定常飛行にわたる全飛行期間中、著しく異なった外力場にさらされる。すなわち、打上げ時に働く強い加速度と振動、その後の定常飛行時に働く微小な外乱トルクが、衛星が全飛行期間にうける外力場を特長付けている。このきわめて異なった外力場のそれぞれに適合した衛星形状を得るために、近年展開可能な(かつ可とう(撓)性のある)付属物の使用がさかんである。すなわち、衛星は、打上げ時には大きな加速度に耐えうるような小形で強度の強い形状をしており、定常飛行に入ってゆっくりと付属物を展開して、完全な形状となるのである。その結果、最近の衛星は、きわめて多様な形状をしているが、基本的には、剛体の中心部分と、それに取り付けられた弾性付属物から構成されているとモデル化できる。代表的な衛星構造を図1、2に示す。図1は、現在、当社鎌倉製作所で製作中の電離層観測衛星である。この衛星には、可とう性のある長いアンテナが取り付けられている。図2はアメリカの通信衛星FLTSATCOMである。この衛星には、展開形の太陽電池パドルと通信用の大形のアンテナが取り付けられている。このような衛星構造の流れは、衛星の運動力学の基本的なテーマとして、弾性付属物の運動が衛星の姿勢運動に及ぼす影響の解析という新しい問題をもたらした。⁽¹⁾ この流れをふまえてわれわれも電離層観測衛星の開発に関連して、弾性付属物のスピン安定化衛星に及ぼす影響の詳細な解析を行なった。⁽²⁾ ここに、その成果の一部を報告する。

まずスピン衛星の姿勢運動を2章で概観し、かつ解決すべき問題

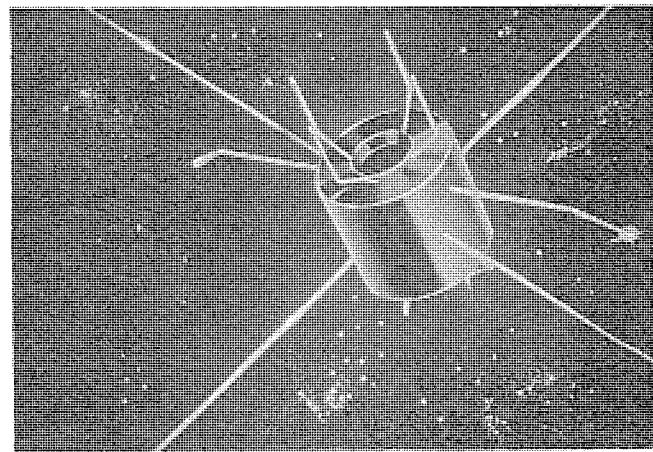


図1. 電離層観測衛星

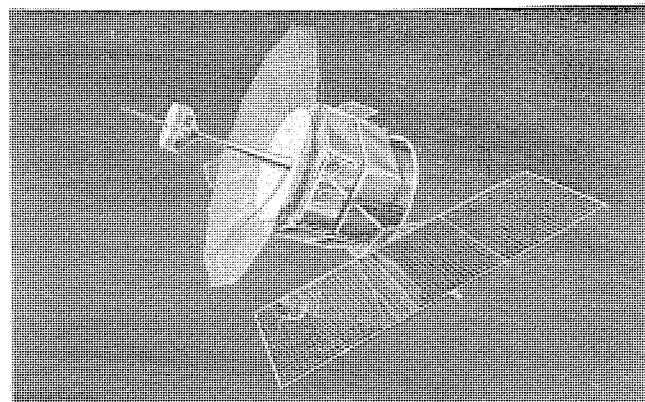


図2. 静止通信衛星 FLTSATCOM

の所在を明らかにする。3、4章において、われわれの行なった解析について具体的に述べる。3章では弾性付属物の振動が衛星の姿勢運動に及ぼす影響を定量的に評価する解析手法を平均化法を使って定式化する。4章において、弾性付属物と衛星の姿勢運動の非線形相互作用を解析し実用上興味ある現象(弾性付属物の振動と衛星の姿勢運動の非線形内部共鳴によって、衛星の姿勢が急激に変化する現象)の存在を解析的に明らかにする。

2. スピン衛星の運動の概観

定常飛行時のスピン衛星の運動は二つに別けて取り扱える。一つは、微小な外乱トルク(たとえば、地球磁場によるトルク、重力傾斜によって生じるトルク等)によって引き起こされる。衛星の持つ角運動量

動量ベクトルのゆるやかな変化であり、他の一つは角運動量ベクトルを中心とした、スピン軸の回転運動である。後者はニューテーション運動と呼ばれる。ニューテーション運動は、衛星から送られてくる種々の信号に、有害な雑音をのせる原因となるから、すみやかに除去してしまう必要がある。

現在、ニューテーションの除去は、多くの場合衛星内部でのエネルギー散逸を利用して行なわれている。このエネルギー散逸形のニューテーションダンパは完全な受動形であるので、信頼性も高く、装置も簡単にできるので、今後ともニューテーションダンパの主流として広く使われるであろう。まずこのエネルギー散逸形ニューテーションダンパの原理を簡単に述べよう。

外力の作用を受けていない、対称なスピン衛星の運動を考える(図3)。衛星は、スピン軸回りに自転する。さらにスピン軸は、角運動量ベクトル H の回わりに円すい(錐)を描いて回転する(ニューテーション運動)。さて、ニューテーション運動が生じると、衛星内部には、自転にともなう遠心力の場の外に、ニューテーション運動による周期的な力の場が生じる。この周期力は、衛星内部の物体の振動と、それとともにエネルギーの散逸を引きおこし、衛星を、最小運動エネルギー状態へ移行させる。すなわち、ニューテーション運動の変化を引きおこす。

定量的には、次のように説明できる。⁽³⁾ 次の仮定をおく。すなわち、衛星内部の相対運動による慣性モーメントの変化および、相対運動の持つ角運動量は無視する。すると、相対運動は、衛星全体の運動に対して、エネルギー散逸源としてだけ考えればよい。衛星の慣性主軸にそって X_1, X_2, X_3 軸をとる。スピン軸を X_3 軸にとる。各軸回わりの慣性モーメントを I, I, I_3 、角速度を $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ と表わす。衛星の持つ角運動量の大きさを H 、運動エネルギーを T と表わせば、 H, T は次式で与えられる。

$$H^2 = I^2(\omega_1^2 + \omega_2^2) + I_3^2\omega_3^2 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$2T = I(\omega_1^2 + \omega_2^2) + I_3\omega_3^2 \quad \dots \dots \dots (2)$$

図3. から、スピン軸と角運動量ベクトルのなす角の間には、次の関係が成立つ。

$$\sin \theta = \frac{I(\omega_1^2 + \omega_2^2)^{1/2}}{H} \quad \dots \dots \dots (3)$$

式(1)～(3)から θ と T の次のような関係式を得る。

$$\sin^2 \theta = \frac{I}{(I_3 - I)} \frac{H^2}{H^2} (2I_3 T - H^2) \quad \dots \dots \dots (4)$$

式(4)を時間に関して微分することによって、次式を得る。

$$2 \sin \theta \cos \theta \dot{\theta} = \frac{2I_3 \dot{T}}{(I_3 - I) H^2} \quad \dots \dots \dots (5)$$

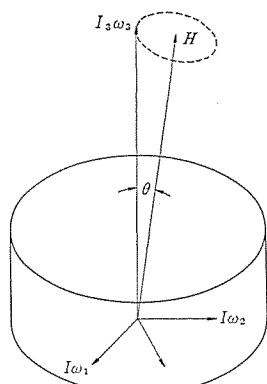


図3. スピン衛星のニューテーション運動

式(5)から次のことが明らかとなる。すなわち、スピン軸を最大慣性主軸にとれば ($I_3 > I$)、エネルギーを散逸させることによって、ニューテーションを減衰することができる。またその減衰時定数は、エネルギー散逸機構の詳細な解析により、 T を θ の関数と表わせれば、式(5)を使って求めることができる。

さて、ここで述べた近似法(エネルギーシンク法と呼ばれている)は現在にいたるまでスピン安定化衛星のニューテーション運動の変化を解析する、唯一の解析手法となっている。しかし、近年の衛星のように大形の弾性付属物をもった衛星に対しては、この近似法は、十分な精度をもった解を与えない。すなわち、付属物の振動による慣性モーメントの変化等を考慮に入れた解析法の確立が強く求められている。一方、大形の付属物を持つ衛星の慣性モーメントは、大きな値となり、十分な速さで、ニューテーション運動を減衰させるためには、大形のニューテーションダンパをつみこまねばならない。そこで、付属物の振動にともなうエネルギー散逸を積極的に利用して、ニューテーション運動を減衰させようとする考え方を提案され、その有効性が示されている。⁽⁴⁾ よって、弾性付属物の振動を考慮したニューテーション運動の変化を解析する解析法としては、ニューテーションダンパのような集中化されたエネルギー散逸源によるエネルギー散逸ばかりでなく、付属物の振動によるエネルギー散逸も含めて取り扱えるものでなくてはならない。われわれは、平均化法を利用して、この要求に適合した解析手法の定式化を行なった。3章にその詳細を述べる。

弾性付属物の振動によるエネルギー散逸を利用してニューテーション運動の除去方式が、この種の衛星のニューテーションダンパとして有効なものであるとすれば、付属物の振動とニューテーション運動の複雑な相互作用を解析して、ニューテーション運動をきわめて速く減衰させる機構を見出すことは、実用的にも、重要な意義を持つ研究となる。4章において、付属物の振動とニューテーション運動の非線形内部共鳴によって、ニューテーション運動が、急激に減衰する可能性のあることを解析的に示す。

3. エネルギー シンク法の拡張

中心に剛体部分を持ち、スピン軸に垂直で、衛星の質量中心を通る面内に取り付けられた弾性付属物からなる衛星を考える(図4)。この衛星モデルのニューテーション運動に対する線形化方程式は次式で与えられる。

$$I_1 \ddot{\omega}_1 + (I_3 - I_2) \omega_0 \omega_2 = - \sum_{i=1}^N \mu_i l_i^3 \epsilon \sin \gamma_i (\ddot{T}_i + \omega_0^2 T_i) \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$I_2 \ddot{\omega}_2 - (I_3 - I_1) \omega_0 \omega_1 = \sum_{i=1}^N \mu_i l_i^3 \epsilon \cos \gamma_i (\ddot{T}_i + \omega_0^2 T_i) \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$\ddot{T}_i + 2\delta_i \dot{T}_i + k_{T_i}^2 T_i = \cos \gamma_i \epsilon (\dot{\omega}_2 - \omega_0 \omega_1) - \sin \gamma_i \epsilon (\dot{\omega}_1 + \omega_0 \omega_2) \quad (i=1, \dots, N) \quad \dots \dots \dots (8)$$

ここで、 I_1, I_2, I_3 は、主慣性主軸 X_1, X_2, X_3 軸回わりの慣性モーメント(X_3 軸をスピン軸にとる)、 ω_1, ω_2 は X_1, X_2 軸回わりの角速度、 ω_0 はスピン速度。 T_i は付属物 i のスピン軸方向の振れ量、 $\mu_i, l_i, \delta_i, k_{T_i}^2$ はそれぞれ、付属物 i の線密度、長さ、減衰率、バネ定数、 γ_i は付属物 i と X_1 軸のなす角。また ϵ は付属物の振動とニューテーション運動の結合の度合を示す微小な定数で -0.5688 。

付属物のスピン軸に垂直方向の変位は、線形化方程式の範囲内では、スピン速度の変動のみに関係し、ニューテーション運動には影響を与えない。

さて、式(6)、(7)の右辺は付属物の振動が、ニューテーション運動

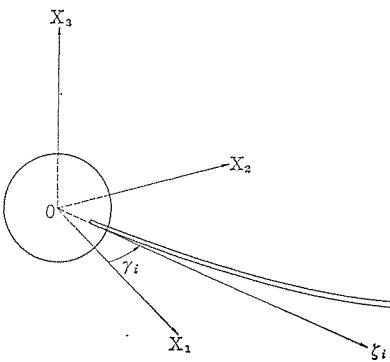


図 4. 人工衛星の形状

に及ぼす影響を、式(8)の右辺はニューテーション運動によって付属物に加えられる加振力を表わしている。この方程式系を、微小結合パラメータ ϵ を摂動パラメータとして平均化法⁽⁵⁾を使って逐次近似的に解いていこう。このとき、各次数の近似解は、次のような物理的意味を持つ。第1近似解は、付属物が、剛体として考えた場合の、衛星のニューテーション運動によって誘起された付属物振動によるニューテーション運動の変化を示す。第2近似解は、付属物振動によって微小に変化したニューテーション運動によって誘起された付属物振動のニューテーション運動に及ぼす影響を示す。すなわち、この手法の第1近似解は、従来のエネルギー・シンク法と同一の結果を与える。第2近似解は、付属物の振動による慣性モーメントの変化等を取り入れた、ニューテーション運動の変化を与える。

まず方程式を少し変形する。次の変数のおきかえを行なう。

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \hat{\omega}_1 (ae^{i\hat{\alpha}t} + a^*e^{-i\hat{\alpha}t}) \\ \omega_2 &= -i\hat{\omega}_2 (ae^{i\hat{\alpha}t} - a^*e^{-i\hat{\alpha}t}) \end{aligned} \quad (9)$$

ただし、 $\hat{\alpha} = \omega_0 \sqrt{(I_3/I_1 - 1)(I_3/I_2 - 1)}$

$$\hat{\omega}_1 = \sqrt{I_3/I_2 - 1}/I_1, \quad \hat{\omega}_2 = \sqrt{I_3/I_1 - 1}/I_2$$

a^* は a の複素共役を表わす。

式(9)を式(8)に代入して、形式的に解くことによって次式をうる。

$$\begin{aligned} T_t &= \frac{\epsilon}{2ik_{T_i}} \int^t [f_{1t}ae^{i\hat{\alpha}t} + f_{1t}^*a^*e^{-i\hat{\alpha}t} + f_{2t}ae^{i\hat{\alpha}t} + f_{2t}^*a^*] \\ &\quad \times e^{(ik_{T_i} - \delta_i)(t-t')} dt' + \text{複素共役部分} \\ &\equiv \epsilon \mathcal{L}_{tr}(a, a^*, t) \end{aligned} \quad (10)$$

ただし、 $f_{1t} = \cos \gamma_t (\hat{\omega}_2 \hat{\alpha} - \omega_0 \hat{\omega}_1) - i \sin \gamma_t (\hat{\omega}_1 \hat{\alpha} - \omega_0 \hat{\omega}_2)$

$$f_{2t} = -\sin \gamma_t \hat{\omega}_1 - i \cos \gamma_t \hat{\omega}_2$$

$$\hat{k}_{T_i} = \sqrt{k_{T_i}^2 - \delta_i^2}$$

式(10)、(9)を式(6)、(7)に代入することによって、基礎方程式は、 a に対する次のような微積分方程式で表わされる。

$$\dot{a} = -\frac{\epsilon^2}{2} \sum_{i=1}^N \mu_i l_i^3 \left(\frac{\sin \gamma_t}{I_1 \hat{\omega}_1} - i \frac{\cos \gamma_t}{I_2 \hat{\omega}_2} \right) \left(\frac{d^2}{dt^2} + \omega_0^2 \right) \mathcal{L}_{tr} e^{-i\hat{\alpha}t} \quad (11)$$

式(11)に平均化法を適用して、 a に対する、第1近似方程式を求める。第1近似方程式は、次の形に与えられる。

$$\dot{a} = \epsilon^2 \sum_{i=1}^N \Pi_i h_i a \quad (12)$$

ただし、 $\Pi_i = -\frac{\mu_i l_i^3 f_{1t} f_{1t}^* \omega_0^2}{4\hat{\alpha} \hat{k}_{T_i}}$

$$h_i = \frac{1}{\delta_i - i(\hat{k}_{T_i} - \hat{\alpha})} - \frac{1}{\delta_i + i(\hat{k}_{T_i} + \hat{\alpha})}$$

式(12)は次の解をもつ

$$a = a_0 \exp(\epsilon^2 \sum_{i=1}^N \Pi_i h_i t) \quad (13)$$

ただし、 a_0 は定数。

式(13)を式(9)に代入することによって、ニューテーション運動の第1次近似解が求められる。ここでは、ニューテーション運動の減衰率のみを、陽に表わしておく。ニューテーション運動の減衰率の第1近似解 δ_1^* は次の形で与えられる。

$$\delta_1^* = -\epsilon^2 \sum_{i=1}^N \Pi_i h_{ir} \quad (14)$$

ただし、 h_{ir} は h_i の実数部分であり、次式で与えられる。

$$h_{ir} = \frac{\delta_i}{\delta_i^2 + (\hat{k}_{T_i} - \hat{\alpha})^2} - \frac{\delta_i}{\delta_i^2 + (\hat{k}_{T_i} + \hat{\alpha})^2}$$

式(14)は、エネルギー・シンク法から導びかれる結果と一致している。次に、ニューテーション運動に対する第2近似解を求める。変数 a に対する第2近似方程式は次のように与えられる。

$$\dot{a} = [\epsilon^2 \sum_{i=1}^N \Pi_i h_i + \epsilon^4 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \Pi_i \Pi_j (\Gamma_{ij} h_i h_j - h_j g_i)] a \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし, } \Gamma_{ij} &= \frac{2\hat{\alpha}}{(\omega_0^2 - \hat{\alpha}^2)} + \frac{i f_{1i}^* f_{1j}}{(2\hat{\alpha} f_{1i} f_{1j}^*)} + \frac{f_{2i} f_{1j}^* - f_{2i}^* f_{1j}}{(f_{1i} f_{1j}^*)} \\ g_i &= \frac{\delta_i + i(\hat{k}_{T_i} - \hat{\alpha})}{[\delta_i - i(\hat{k}_{T_i} - \hat{\alpha})]^2} - \frac{\delta_i - i(\hat{k}_{T_i} - \hat{\alpha})}{[\delta_i - i(\hat{k}_{T_i} + \hat{\alpha})]^2} \end{aligned}$$

式(15)から a の第2近似解が次のように求められる。

$$a = a_0 \exp \{ [\epsilon^2 \sum_{i=1}^N \Pi_i h_i + \epsilon^4 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \Pi_i \Pi_j (\Gamma_{ij} h_i h_j - h_j g_i)] t \} \quad (16)$$

式(16)、(9)を使ってニューテーション運動の第2近似解が求められる。ニューテーション運動の減衰率の第2近似式 δ_2^* は、結局、次のように与えられる。

$$\begin{aligned} \delta_2^* &= -\epsilon^2 \sum_{i=1}^N \Pi_i h_{ir} + \epsilon^2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \Pi_i \Pi_j [\Gamma_{ijr} (h_{jr} h_{ji} + h_{ji} h_{ir}) \\ &\quad - \Gamma_{ijr} (h_{jr} h_{ir} - h_{ji} h_{ir}) + (h_{jr} g_{ir} - h_{ji} g_{ir})] \end{aligned} \quad (17)$$

ただし、 h_{ir} は h_i の虚数部分、 g_{ir} 、 g_{it} はそれぞれ g_i の実数部分および虚数部分。同様に Γ_{ijr} 、 Γ_{ijt} は Γ_{ij} の実数部分および虚数部分である。

ニューテーション運動の減衰率の符号を調べることによって、この種の衛星の姿勢運動の安定性を調べることができる。すなわち、ニューテーション運動の減衰率が正であれば、ニューテーション運動は減少していく、衛星は純粋なスピニ運動へ移行する。よってこのとき、衛星の姿勢運動は安定である。逆に減衰率が負であれば、ニューテーション運動は増加し、最終的に、衛星の姿勢は大きくずれる。よってこの場合は、姿勢運動は不安定となる。ニューテーション運動の減衰率の第1近似解から、衛星の姿勢運動が安定であるためには、スピニ軸を最大慣性軸にとらなければならないという安定のための条件が導びかれる。この条件は、2章で示した、エネルギー・シンク法から導びかれる安定条件に一致する。またニューテーション運動の減衰率の第2近似解から、付属物の特性（質量、長さ、固有振動数等）を含んだ安定条件が導びかれる。

ここで展開した解析法の一適用例として、4本の付属物を持つ対称衛星について、式(14)、(17)を使って、ニューテーション運動の減衰率の計算を行なった。同時に式(6)～(8)を固有値を求める方法で数値的にも求めた。結果を図5に示す。第1近似解（これはエネルギー・シンク法で求められた結果と一致する）は、数値解と大幅にくい

違っているのに対し、第2近似解は、数値解とよい一致を示している。図6. に、ニューテーション運動の減衰率の第2近似解から求められた安定条件を示す。得られた結果は、数値解によるものとよい一致を示している。図6. から付属物の振動は、衛星の安定性を悪くする方向に働くことがわかる。すなわち、付属物の振動によって安定領域はせまくなる。このことは、弾性付属物を持つスピニ衛星の設計において、衛星の姿勢安定性を確保するためには、単にスピニ軸を最大慣性主軸に一致させるだけでは不十分で、付属物の振動を考慮に入れた安定条件を満たすように設計しなければならないことを示している。

4. 非線形共鳴によるニューテーション運動の減衰

線形近似の範囲内で考えるかぎり、付属物のたて振動の固有振動数は、常にニューテーション速度より大きく、付属物が、共鳴的に加振されることはない。しかし、付属物の横振動とニューテーション運動の非線形相互作用まで考慮すると、付属物は、ニューテーション運動によって、共鳴的に加振される可能性のあることがわかる。付属物が共鳴的に加振されるとき、運動エネルギーは、ニューテーション運動と付属物の間を、共鳴的に移行する。その結果、著しいエネルギーの散逸が生じ、ニューテーション運動が、急激に減衰する。この付属物振動とニューテーション運動の非線形内部共鳴によるニューテーション運動の減衰を解析しよう。

衛星モデルは図4. に示されたものを考える。ただし、本章では簡単のため、衛星は対称であるものとし、また付属物は同一のものが4本、互いに直交して取りつけられているものとする(図7.)。付属物の振動に関しては1次、ニューテーション運動に関しては2次の

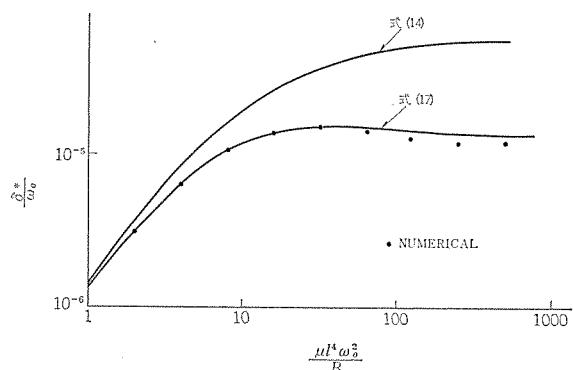


図5. ニューテーション運動の減衰率

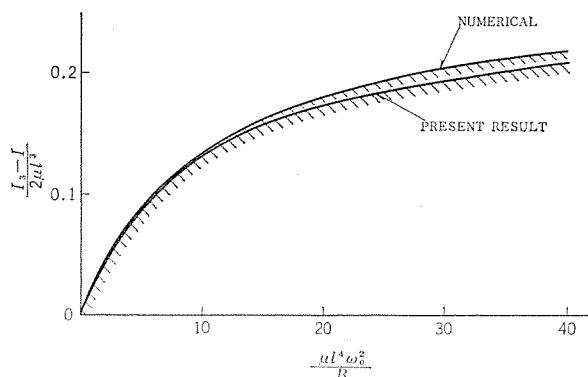


図6. 安定領域(斜線部不安定)

項まで残すと、運動方程式は、次のようになる。

$$I\ddot{\omega}_1 + (I_3 - I)\omega_0\omega_2 = \epsilon\mu l^3(\dot{p}\omega_2 + \dot{p}\dot{\omega}_2 - \omega_0\omega_1p) \quad \dots \dots \dots (18)$$

$$I\ddot{\omega}_2 - (I_3 - I)\omega_0\omega_1 = \epsilon\mu l^3(\dot{p}\omega_1 + \dot{p}\dot{\omega}_1 + \omega_0\omega_2p) \quad \dots \dots \dots (19)$$

$$\ddot{p} + 2\delta\dot{p} + k_p^2p = -4\epsilon\omega_1\omega_2 \quad \dots \dots \dots (20)$$

ただし、 I はスピニ軸直交方向の慣性モーメント、 p は付属物の横振動の適当な線形結合によって作られた変数、 k_p^2 は付属物の横振動に対するバネ定数。ここで、付属物のたて振動は、いま考えている現象に本質的な影響を及ぼさないので無視した。

次のような変数変換を行なう。

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= \hat{\omega}(ae^{ik_p t/2} + a^*e^{-ik_p t/2}) \\ \omega_2 &= -i\hat{\omega}(ae^{ik_p t/2} - a^*e^{-ik_p t/2}) \\ p &= ce^{ik_p t} + c^*e^{-ik_p t} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (21)$$

次の条件を付加条件として加える。

$$ce^{ik_p t} + c^*e^{-ik_p t} = 0 \quad \dots \dots \dots (22)$$

式(21), (22)を式(18)~(20)に代入して、次の方程式系をうる。

$$\begin{aligned} \ddot{a} &= -i\Delta(a - a^*e^{-jk_p t}) + \left(\frac{\epsilon\mu l^3}{I}\right) \left[-\left(\frac{k_p}{2} + \omega_0\right)a^*c \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{3}{2}k_p - \omega_0\right)a^*c^*e^{-2ik_p t} + i\dot{a}^*(c + c^*e^{-2ik_p t}) \right] \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (23)$$

$$\ddot{c} = -\delta(c - c^*e^{-ik_p t}) + \left(\frac{2\epsilon\hat{\omega}^2}{k_p}\right)(a^2 - a^*c^*e^{-2ik_p t}) \quad \dots \dots \dots (24)$$

ただし、 $2\Delta = k_p - \hat{\omega}$

付属物の振動とニューテーション運動の共鳴現象は、付属物の横振動の固有振動数 k_p が、ニューテーション速度 $\hat{\omega}$ の2倍に近づいたとき生じる。すなわち、共鳴現象は Δ が微小量になったとき生じる。そこでこの共鳴現象を解析するため、ここでは、 Δ は微小であると仮定する。この仮定を考慮に入れて、式(23), (24)に平均化法を適用し、第2近似式まで求める。

$$\left. \begin{aligned} a &= \gamma e^{i(\Theta - \Delta t)} \\ c &= q e^{i\Gamma} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (25)$$

とおいて、 γ , q , Θ , Γ に対する第2近似式を求めるとき、それらは、次のように与えられる。

$$\dot{\gamma} = -\epsilon\alpha_0\gamma q \cos\lambda \quad \dots \dots \dots (26)$$

$$\dot{q} = \epsilon\beta_0\gamma^2 \cos\lambda - \delta q \quad \dots \dots \dots (27)$$

$$\dot{\Theta} = \epsilon\alpha_0 q \sin\lambda + \epsilon^2(\alpha_1 q^2 + \alpha_2 \gamma^2) \quad \dots \dots \dots (28)$$

$$\dot{\Gamma} = \epsilon\beta_0\gamma^2 \sin\lambda/q + \epsilon^2\beta_1\gamma^2 \quad \dots \dots \dots (29)$$

ただし、 $\lambda = 2\Theta - 2\Delta t - \Gamma$

$$\alpha_0 = (\mu l^3/I)(k_p/2 + \omega_0)$$

$$\alpha_1 = -(\mu l^3/I)^2(k_p/2 + \omega_0)^2/(2k_p)$$

$$\alpha_2 = (\mu l^3/I)(\hat{\omega}/k_p)^2(3k_p/2 - \omega_0)$$

$$\beta_0 = 2\hat{\omega}^2/k_p$$

$$\beta_1 = 2(\mu l^3/I)(\hat{\omega}/k_p)^2(3k_p/2 - \omega_0)$$

ニューテーション運動と付属物の振動の共鳴によって、ニューテーション運動が減衰していく様子は、この方程式系を使って次のように調べる

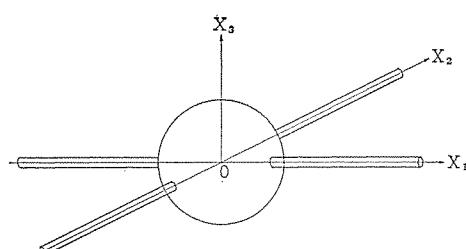


図7. 対称な人工衛星の形状

ことができる。まず式(26)～(29)において $\delta=0$ の場合、すなわち、エネルギー散逸のない場合を考える。このとき、ニューテーション運動、アンテナ振動はピートをうちながら振動する。その解はだ(稍)円関数を使って、近似的に、次のように表わせる。

$$\left. \begin{aligned} \gamma^2 &= \gamma_0^2 [1 - \kappa \operatorname{sn}^2(\alpha_0 At / \sqrt{\kappa}, \kappa)] \\ q^2 &= \gamma_0^2 (\beta_0 / \alpha_0) \kappa \operatorname{sn}^2(\alpha_0 At / \sqrt{\kappa}, \kappa) \end{aligned} \right\} \dots \quad (30)$$

$$\text{たたけし}, \quad A^2 = \epsilon^2 \hat{\omega}^2 (\beta_0 / \alpha_0) \quad (A > 0)$$

$$W^2 = [\epsilon^2 \dot{\omega}^2 \beta_0 / (4k_p) + \omega^2 / \alpha_0]^2 \quad (W > 0)$$

$$\kappa = 1 - (W/A)$$

γ_0 は、ニューテーション運動のビート振動の振幅であり、その2乗したもののは、衛星全体の運動エネルギーに比例している。

次に, $\delta \neq 0$, すなわち, 付属物の振動にともなってエネルギーが, 散逸していく場合に対する解を求める。 $\delta \neq 0$ とすると, 付属物の振動にともなって, 衛星の持つ運動エネルギーは徐々に減少していく。すなわち, γ_0 は時間 t のゆるやかにかわる単調減少関数となる。保存系の解式(30)において, γ_0 は時間 t の関数と考えて, 式(26), (27)に代入すると, 次のような γ_0 に関する方程式をうる。

$$\dot{\gamma}_0 = -\delta \gamma_0 \kappa \sin^2(\alpha_0 At/\sqrt{\kappa}), \quad \dots \dots \dots \quad (31)$$

式(31)において、 δ を微小パラメータと考えて、平均化法を適用する。その結果、 γ_0 に対する、次の近似方程式を得る。

ただし, $K(\kappa)$, $E(\kappa)$ は, それぞれ, 第1種および第2種の完全
だ円積分である, すなわち,

$$K(\kappa) = \int_0^{\pi/2} d\rho / \sqrt{1 - \kappa^2 \sin^2 \rho}$$

$$E(\kappa) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - \kappa^2 \sin^2 \rho} \, d\rho$$

式(32)は、いま考えている範囲の精度で、次のような形の解をもつ。

$$\delta^* = (\delta/\hat{\kappa}) (1 - E(\hat{\kappa})/K(\hat{\kappa})) \quad \dots \dots \dots \quad (34)$$

ただし、 $\hat{\kappa} = 1 - \hat{W}/\hat{A}$

$$\hat{A}^2 = \epsilon^2 \hat{\omega}^2 (\beta_0 / \alpha_0), \quad \hat{W}^2 = [\epsilon^2 \hat{\omega}^2 \beta_0 / (4k_p) + \mathcal{A} / \alpha_0]^2$$

すなわち、ニューテーション運動は、ニューテーション運動と付属物の振動の間の非線形内部共鳴によって指數関数的に減少する。その減衰率は式(34)で与えられる。典型的な場合について、数値解との比較を、図8. に行なう。図8. には、角速度 ω_1 について、式(33)を使って求めた近似解と、数値解が描かれている。近似解と数値解の一一致は良好である。

最後に、特に次のことを強調しておく。3章で求めた、付属物のたて振動とニュートーション運動の(線形)非共鳴相互作用によって生

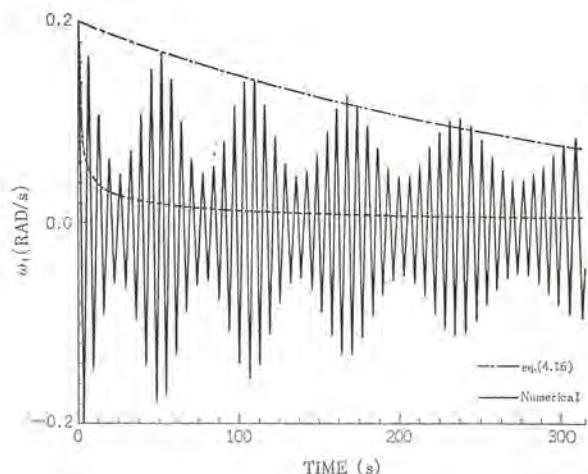


図 8. 角速度 ω_1 の時間変化

じるニューテーション運動の減衰の減衰率は、たかだか ϵ^{28} のオーダである。しかるに本章で解析した付属物の横振動とニューテーション運動の(非線形)共鳴相互作用によって生じるニューテーション運動の減衰の減衰率は、ほぼ ϵ^6 のオーダである。すなわち非線形内部共鳴を積極的に利用することによって、ニューテーション運動の減衰を著しく早くすることができる。

5. む す び

弾性付属物をもつスピニ衛星の姿勢運動を解析的に検討した。まず、弾性付属物の振動が、衛星の姿勢運動に及ぼす影響を、定量的に評価できる解析手法を、平均化法を使って定式化した。この手法は、その第2近似までとり入れることによって、この種の衛星の姿勢運動を、十分な精度で予測できる。次に、付属物の振動と、ニューテーション運動の非線形内部共鳴によって、ニューテーション運動が急激に減衰する可能性のあることを、解析的に見出した。この現象は、積極的に利用することによって、ニューテーション運動を急速に減衰させることができるので、実用上きわめて有用なものと考えられる。

参 考 文 献

- (1) P. W. Likins : NASA TR 32-1329 (1969)
 - (2) K. Tsuchiya, H. Saito : AIAA Journal 12, (1974)
 - (3) W. T. Thomson, G. S. Reiter : J. Astronaut. Sci. 7, (1960)
 - (4) 土屋, 斎藤 : 第 14 回宇宙科学技術講演会講演集 (昭 46-2)
 - (5) K. M. Case : Progr. Theor. Phys. Suppl. (1966)

高気圧 SF₆ ガスの絶縁破壊における電極効果

新田 東平*・山田 直也*・藤原 幸雄*

1. まえがき

SF₆ ガスは、ガス絶縁変電所その他のガス絶縁機器の絶縁媒体に広く使用されており、SF₆ ガスの絶縁破壊特性をこれらの機器の設計に役立つ一般的な形で表わすことはきわめて重要な問題である。

すでに、SF₆ ガスの破壊電界は、ガス圧とギャップの静電界分布から单一電子なだれ理論を適用して、理論的に導出できることを示した⁽¹⁾。この理論式は、比較的低気圧のよくみがされた小さな電極では実験値と非常によく一致するが、ガス圧、電極表面精度および電極面積で決まるあるクリティカルな条件を越えると、破壊電界は理論値より低下するようになる。

破壊電界が理論値より低下するような領域では、電極上の弱点により破壊が誘発されると考えられる。一般的に破壊が弱点の性質に支配されるときは、破壊強度の分布は、極値分布に従う⁽²⁾。この論文では、種々のギャップ条件におけるSF₆ ガスの破壊電界の統計的分布、電極面積効果、スパークコンディショニング効果の実験的な研究結果⁽³⁾⁽⁴⁾を述べ、電極の影響により理論値から低下した破壊電界の統計的性質から、破壊電界の電極面積効果、電極の実効面積、極性効果などを定量的に論じる。

2. 実験

SF₆ ガスの絶縁破壊特性の面積効果を調べるために、次の5種類のギャップを使用した。

Gap A, 2 cm² 球——平板、ギャップ長 0.1 cm、実効面積約 0.05 cm²

Gap B, 10 cm² 平行平板、ギャップ長 0.5 cm、実効面積約 80 cm²

Gap C, 内径 13.2 cm²、外径 15.2 cm²、長さ 11.6 cm、同軸円筒、ギャップ長 1 cm、実効面積約 480 cm²

Gap D, 内径 23.75 cm²、外径 25.75 cm²、長さ 40.2 cm、同軸円筒、ギャップ長 1 cm、実効面積約 3,000 cm²

Gap E, 3 cm² 球——平板、ギャップ長 0.5 cm、実効面積約 0.4 cm²

これらのギャップのうち、Gap D はアルミニウム製の電極で、ほかはすべてステンレス製である。これらの電極表面精度は、±0.5 μm のオーダの鏡面仕上げと±20 μm の粗面仕上げの2種類とし、表面あらさの効果を調べた。(以下では、鏡面電極、粗面電極と呼ぶ)。

実験は 60 Hz の AC 電圧を印加し、ギャップの破壊後 1 μs 以内に電圧源を短絡するダイバータ回路を使用して電極の損傷を小さくしている。各試験ケースとも 200 回の破壊電圧を求めた後再研摩した。

3. 絶縁破壊特性のタイプ

図 1.~3. は、Gap A, C, D の鏡面仕上げの AC 破壊電圧の例である。図中のガス圧力は、20°C に換算した絶対圧力であり、破線は、理論的な破壊電圧⁽¹⁾である。これらの図を注意して見ると、破壊電圧の特性は、以下に示すような電極面積とガス圧で決まる4種類のタイプに分類できる。

タイプ I; 破壊電圧は常に理論値以上で、その分布の最低値は理論値にほぼ一致する。(例、Gap A, P=2 atm) このタイプの破壊特性は、比較的低気圧の小さな電極面積のギャップに対してのみ観察され、分布のばらつきは、初期電子の不足に起因する。この領域では純粋に SF₆ ガスの性質が現われ、電極の影響はない。

タイプ II; 最初の数回の破壊電圧は、理論値より低いが、その後の破壊特性は、タイプ I とほとんど同じである。(例、Gap C, P=2 atm) 最初の低い破壊電圧は、電極上に小さな絶縁の弱点が存在し、破壊の火花により弱点がつぶれていくことを示しており、スパークコンディショニング効果⁽⁵⁾と呼ばれている。その後にまれに生じる低い破壊電圧は、前の破壊によって新たに大きな弱点が作られたものと考えられる。

タイプ III; コンディショニング効果により破壊電圧は、徐々に上昇するが、ギャップが十分コンディショニングされた後でも、破壊電圧は理論値に達しない。(例、Gap D, P=2 atm) このタイプでは、小さな弱点は数多く存在するが、大きな強い弱点の数は少ないと示している。

タイプ IV; 破壊電圧は理論値に比べ非常に低下し、コンディショニング効果もほとんど見られない。(例、Gap C と D, P=6 atm) このタイプでは、多くの強い弱点が存在するので、破壊により弱点がつぶれても、残りの弱点の統計的分布は変化しないことを示す。

任意のギャップの破壊特性は、上の4種類のタイプに分類できる。

図 1.~3. のデータ、および Gap B, E のデータをこれらの種類のタイプに分類し、電極面積対ガス圧力の図 4. に示した。これらの破壊特性のタイプごとに異なるマークで標示すると、4種類の破壊特性が生じる条件は、実線で示す境界で明白に分類できることがわかる。

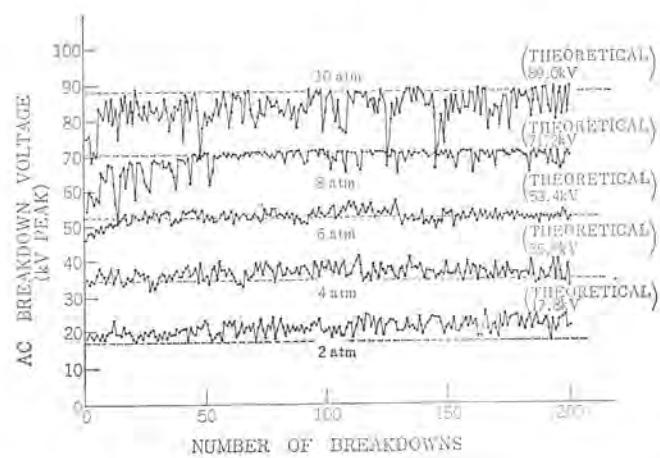


図 1. 鏡面に仕上げた Gap A の破壊電圧

4. 絶縁破壊電界の統計的分布

破壊電界の統計的分布は、絶縁破壊のメカニズムを理解する一つの指標として重要である。SF₆ガスの絶縁破壊は、おもにギャップ中の

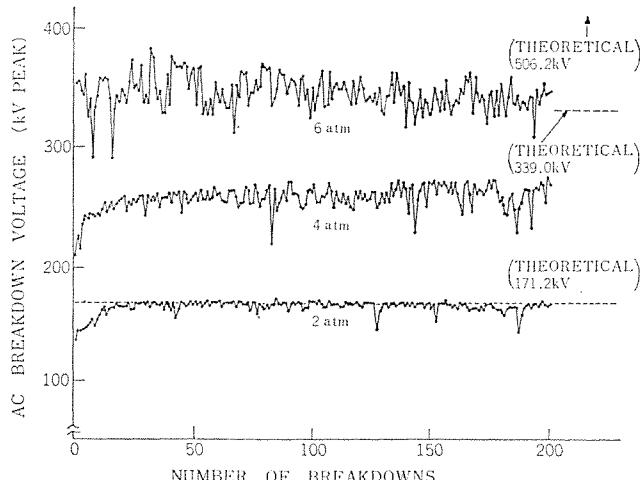


図 2. 鏡面に仕上げた Gap C の破壊電圧

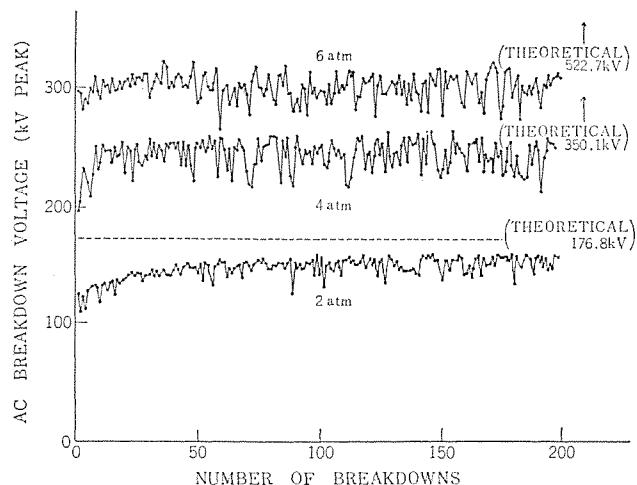


図 3. 鏡面に仕上げた Gap D の破壊電圧

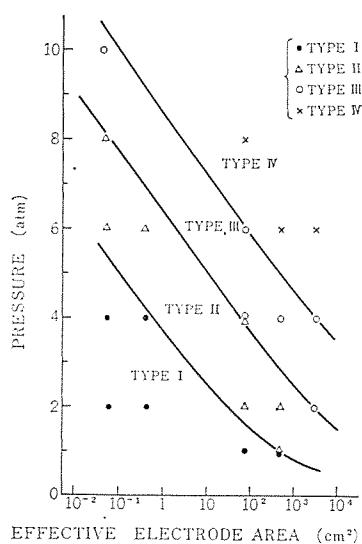


図 4. 鏡面に仕上げた Gap に対して、4種類の破壊特性が生ずる電極面積-ガス圧力の条件

最大電界に支配されるので、破壊時の最大電界の統計的分布について以下に議論する。

4.1 統計的分布の変化

統計処理を行なう場合は、データの母集団がコンディショニング効果により変化しないようにする必要がある。しかし、まず統計的分布の概要を知るために、コンディショニング効果を無視して、Gap A の破壊電界の累積統計分布を図 5. に正規分布確率紙にプロットした。低気圧の分布は、正規分布であるが、破壊電界が理論値よりいくつか下回るような高気圧では、分布は正規分布よりずれ始めることを示している。このような分布の変化は、3章で述べたタイプ I と II の破壊特性の境界で起こる。

同じような分布の変化は、電極面積を増したときにも見られる。このことは、高気圧 SF₆中の絶縁破壊が、電極面上に存在する弱点やイレギュラリティ⁽⁵⁾により引き起こされることを示すものである。

4.2 絶縁破壊電界へのワイブル統計理論の適用

絶縁破壊が最も大きな弱点に支配されるときは、破壊強度の分布はワイブル分布などの極値分布に従うことが知られている⁽²⁾。これらの分布を高気圧ガスの破壊電圧に適用すると、その極性効果、面積効果などを明解に説明できる。⁽³⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾

4.2.1 弱点の性質

電極面上に存在する弱点は、破壊のスパークの影響を受けさらに大きな弱点となったり、あるいはつぶされたりする。前者の場合、破壊電圧は、前の値より低下し、破壊の生じる所は、前と同一箇所かその近辺となる。一方後者の場合、より高い破壊電圧の弱点へ移動するので、破壊電圧は、前の値より上昇するようになる。これは3章で述べたコンディショニング効果に相当し、弱点の数が破壊の回数に比べ少ないと、この効果は顕著になる。

弱点の性質はこのような複雑な特性を持っているので、以下の理論的な議論においては、おもに弱点の統計的性質は前の破壊の影響により変化しない場合を仮定して話を進める。これは多数個の新しいギャップの最初の破壊電圧の特性について論ずることを意味する。

弱点の程度は破壊電界の低下率、またはより厳密には破壊電界 E と理論的な破壊電界 E_d の比として定量的に述べる。この定義によると、小さな E/E_d の値は、より大きな弱点に対応する。

4.2.2 弱点の密度

あるあらさの電極において、その程度が E/E_d から $(E+dE)/E_d$ の間にある弱点の密度 $n(E/E_d)$ は、あるガス圧力では大体図 6. の

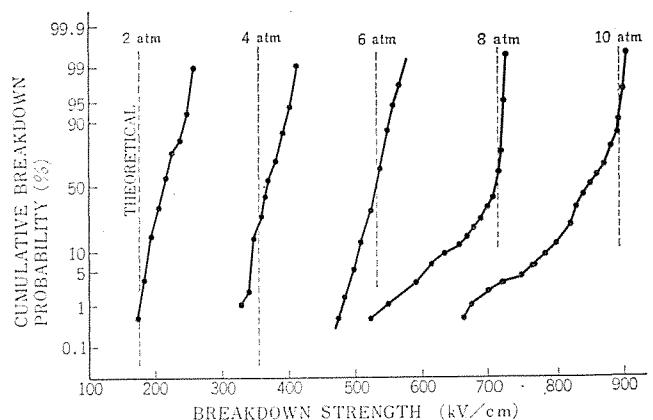


図 5. 鏡面に仕上げた Gap A の破壊電界の正規確率分布

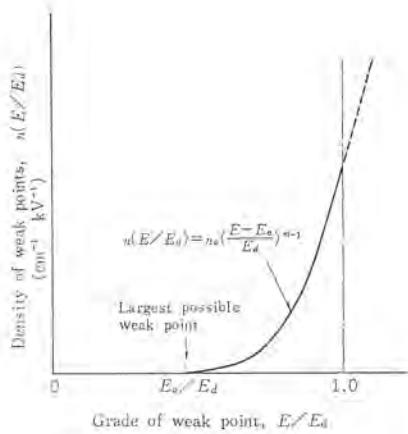


図 6. 弱点の程度 E/E_d と弱点の平均の数

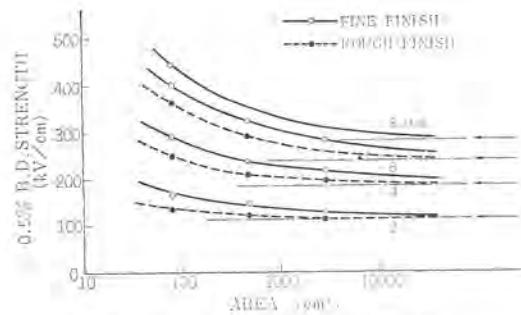


図 7. 電極面積と最低破壊電界の関係

ように対応して存在し得る最も大きな弱点の程度に対応し、その弱点の密度は非常に小さい。弱点の密度は、 E/E_d により増加するが、 E/E_d が 1 より大きな弱点は、ギャップの破壊電圧を下げる効果がないので弱点とはならない。 $n(E/E_d)$ の式として、仮に以下の式を仮定する。

$$n(E/E_d) = n_0 \cdot \left(\frac{E-E_0}{E_d} \right)^{m-1} \quad [\text{cm}^{-1} \cdot \text{kV}^{-1}] \quad \dots \dots \dots (1)$$

この仮定により、電界 E 以下で破壊する弱点の累積密度 $N(E)$ は、 $n(E/E_d) dE$ を E_0 から E まで積分することによって得られる。

$$N(E) = n_0 \frac{E_d}{m} \left(\frac{E-E_0}{E_d} \right)^m = \lambda_0 \left(\frac{E-E_0}{E_d} \right)^m \quad \dots \dots \dots (2)$$

これらの式で、 n_0 の値は電極上に始めから存在するイレギュラリティの密度の関数として与えられ、定数 m はこれらのイレギュラリティの効果によって決められる。

4. 2. 3 絶縁破壊電界の統計的分布

ある電極面積 S のギャップが E 以下の電界で破壊する弱点を少なくとも 1 個持つ確率 $F(S, E)$ 、すなわちギャップの破壊電界の累積確率は、以下のように求まる。微小電極面積 dS が、 E 以下の電界で破壊するような 1 個の弱点を持つ確率は $N(E) dS$ である。それで

$$F(S, E) + \{1 - F(S, E)\} \cdot N(E) dS = F(S+dS, E) \quad \dots \dots \dots (3)$$

この式の左辺第 1 項と右辺は、それぞれ面積 S と $S+dS$ の電極が E 以下の電界で破壊する弱点を持つ確率で、左辺第 2 項は、微小面積 dS の電極に対する同じ確率である。式 (3) を解くと、

$$F(S, E) = 1 - \exp \{-N(E) \cdot S\} \quad \dots \dots \dots (4)$$

これに式 (2) を代入すると、

$$F(S, E) = 1 - \exp \left\{ -\lambda_0 \cdot S \cdot \left(\frac{E-E_0}{E_d} \right)^m \right\} \quad \dots \dots \dots (5)$$

の分布関数が得られる。この破壊電界の累積確率を与える式は、ワイブル分布の形⁽²⁾である。すなわち言いかえれば弱点の密度が E/E_d の関数として式 (1) で表わされるときに、ギャップの破壊電界の累積確率はワイブル分布に従う。

実験結果を解析する場合、以下の式のワイブル確率紙を用いてもよい。

$$\ln \ln \frac{1}{1-F(S, E)} = m \ln (E-E_0) + \ln \lambda S \quad \dots \dots \dots (6)$$

ただし、 $\lambda = \lambda_0/E_d^m$ である。

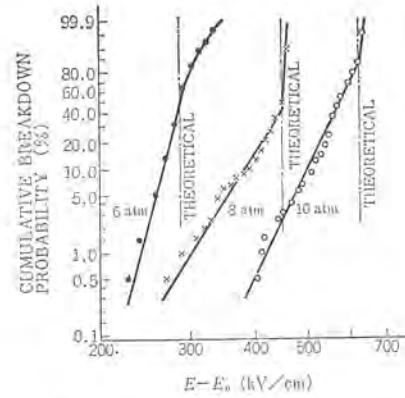


図 8. 鏡面に仕上げた Gap A のワイブル確率分布

4. 3 破壊電界のワイブル分布

前述した E_0 の値は、式 (6) から電極面積が無限大の破壊電界となることがわかる。図 7. は、種々のガス圧力の実験データから得た 0.5% 破壊電界を電極面積に対してプロットしたものである。図には粗面電極のデータもプロットしている。破壊電界は、電極面積の増加により漸近値 E_0 に近づき、 E_0 の値はガス圧力により決まり電極のあらさに余り依存しない。この E_0 実験式は、

$$E_0 = E_d / (1 + 0.355 P^{1/7}) \quad \dots \dots \dots (7)$$

で与えられる。このようにして求めた E_0 の値は、真の E_0 より幾分高くなると考えられるが実用上十分な精度をもっている。

図 8. は、この E_0 を使用した式 (6) のワイブル分布で、図 5. に示した高気圧の 3 ケースをプロットしたものである。図 5. と比較すると、破壊電界が理論値より低下するような高気圧のプロットの直線性は、非常に良いことがわかる。

5. 破壊電界の電極面積効果

タイプ III, IV およびコンディショニングされてないタイプ II の破壊電界は、ワイブル分布に従うことから、次のように電極面積効果を議論できる。式 (6) から面積 S_1 と S_2 のギャップの累積破壊確率のプロットは平行で、その垂直距離は $\ln S_2/S_1$ となる。

図 9. は、6 atm の鏡面仕上げの Gap B, C, D のワイブルプロットの例である。これらのカーブは、互いに平行ではないが、これは、電極面積の小さいギャップほど著しいコンディショニング効果を持つためと考えられる。このことを調べるために、Gap C について最初の 25 回の破壊の分布を一点鎖線で示している。この分布は、Gap D の分布とよい平行性を示している。このように大きな面積のギャップは、小さな面積のギャップが多数個並列に接続されたことと等価であるから、Gap D の分布が統計的に最も信頼できるデータといえる。

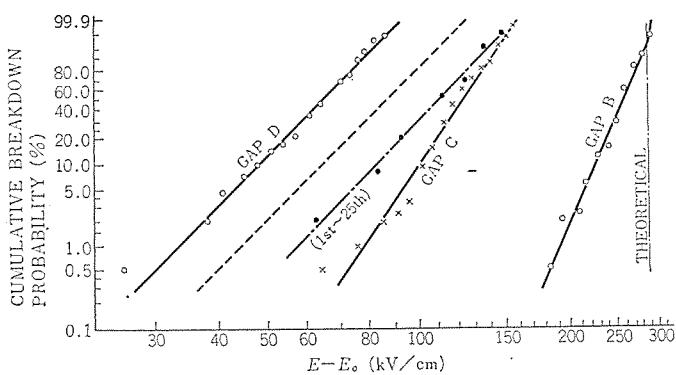


図 9. 鏡面に仕上げた Gap の電極面積効果
($P=6$ atm)

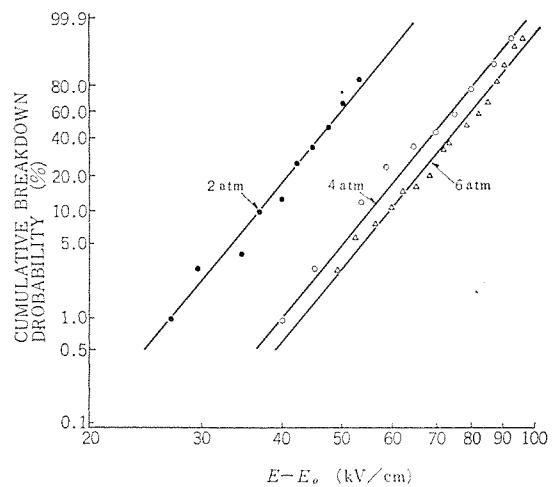


図 10. 十分にコンディショニングされた後の、鏡面に仕上げた Gap D のワイブル分布

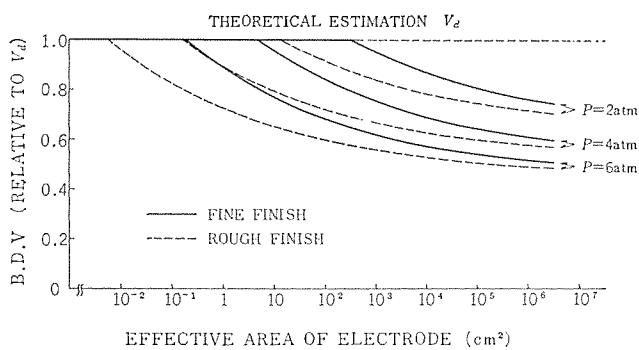


図 11. 鏡面電極と粗面電極の計算した破壊電圧のモード値

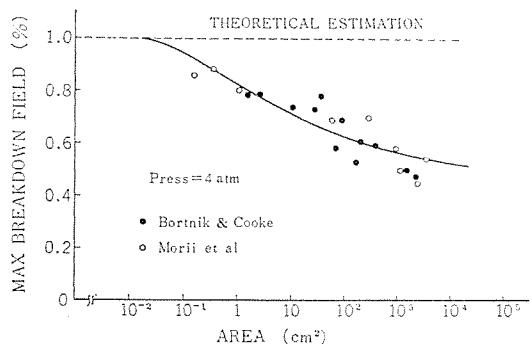


図 12. SF_6 中の破壊電界の面積効果

Gap D の分布をもとにして、式 (6) により計算した Gap C の分布を図 9. に破線で示した。

一見して、計算値と実験データの差は大きい印象を受ける。しかし、Gap C の確率分布の下部と計算値のモード値は、大体一致しており、最初の数回の破壊がコンディショニングされていないギャップの分布のモード値に概略等しいことを考えると、この破線のカーブは、コンディショニングされていないギャップの分布をよく表わしている。

図 10. に示す Gap D のワイブルプロットは、コンディショニングされた後の分布で、これらは互いに平行である。図 3. からわかるように、Gap D についてはコンディショニング効果はわずかで、かつこの電極はアルミニウム製で、同様の表面処理を行なっても、ステンレス製の他の電極に比べ幾分あらいくことを考えあわせると、これらの分布は、鏡面処理されたコンディショニングされていないステンレス電極の特性に近いと考えることができる。図 10. から各分布の傾きを表わすパラメータ m は、ガス圧力に無関係に一定でその値は、

$$m \approx 7.4 \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

である。またパラメータ λ_0 を計算するとガス圧 P の関数で表わされ

$$\lambda_0 = 0.40 \exp(1.15 P) \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

の実験式で与えられる。これらのパラメータは、実用的な圧力範囲内で SF_6 の破壊電界を論ずる場合、十分な精度をもっている。

鏡面電極に対するワイブル分布のパラメータ E_0 , m , λ_0 が、すべて得られたので、任意のギャップの破壊電界の分布は、式 (5) または式 (6) から求まる。図 11. の実線は、鏡面電極について破壊電圧のモード値を計算した例で、高気圧 SF_6 の破壊電圧の面積効果を明白に示している。このようにして理論的に求められた電極面積効果は、文献に公表された図 12. に示されるような実験結果⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾をよく説明している。

6. 電極のあらさの効果⁽³⁾

図 13. は、粗面仕上げの Gap A の破壊電圧の例である。この図は、鏡面仕上げの Gap A より面積の大きな Gap C の特性に類似している。コンディショニングのために多数回のスパークを必要とし、粗面電極上の弱点は、きわめて多いことを示している。4.3 節で述べたように E_0 の値、すなわちこれに対応する可能な最も大きい弱点は、電極あらさにほとんど関係ない。これらの点から、粗面電極の破壊特性は、大きな鏡面電極の特性と同じであるといえる。

電極面積とガス圧力の関係を示す図 14. の実線は、粗面電極に対するタイプ I と III の破壊特性の境界である。タイプ II は、こ

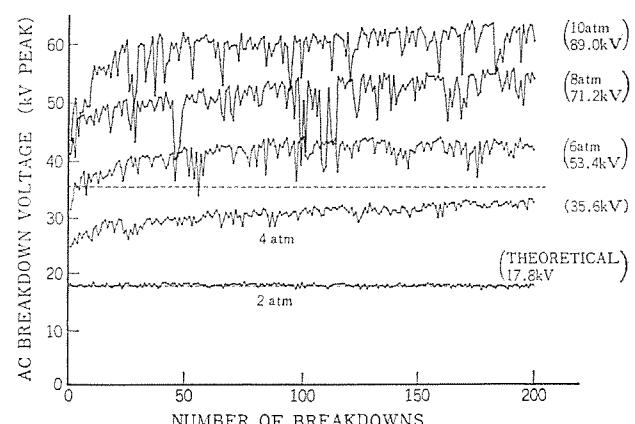


図 13. 粗面に仕上げた Gap A の破壊電圧

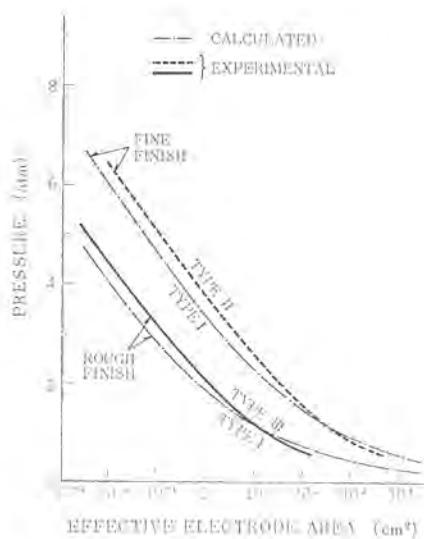


図 14. 鏡面と粗面に仕上げた Gap について、電極効果が現われる電極面積とガス圧力の境界

の実験で観察されず、もし存在するとしても、非常に限られた範囲と思われる。比較のために、図 4. の鏡面電極のタイプ I と II の境界を破線で示した。図の実線を面積で約 30 倍平行移動すれば、破線のカーブと一致するので、粗面電極の破壊特性は、約 30 倍の面積の鏡面電極の破壊特性とほとんど同じであると結論できる。このため、粗面電極に対する λ_0 は、式 (9) の約 30 倍の値をとればよい。

同図の一点鎖線は、破壊電圧が理論値以下になる確率が 5 %、すなわち $F(E_d \cdot S) = 0.05$ を破壊電圧が電極の効果を受ける条件として、式 (5) からこれらの境界を理論的に計算したもので、実験値と非常によく一致している。なお図 11. に破線で示した粗面電極の破壊電圧の電極面積効果は、上記の λ_0 の値を用いて計算したものである。

7. 電極の実効面積と極性効果⁽⁸⁾

高気圧 SF₆ の破壊特性は、高電界にさらされた負電極上の面積に依存することを 5 章で述べた。この場合の電極面積としては、平行平板のようなギャップでは、最大のストレスを受ける部分の面積をその電極面積と見えることができるが、球一平板のように、電極の 1 点に最大電界を生じ、その点から離れるに従い電界が低下するようなギャップでは、面積は決められない。このような場合の電極の実効面積は次のようにして求められる。

もとのギャップの最大電界 E_{max} に等しい電界でストレスされた平等電界ギャップを考え、このギャップ上の弱点が、もとのギャップのそれと等しくなる面積を求め、これをもとのギャップの実効面積 S_{eff} と定義する。弱点の大きさは、電界に依存するので、負電極上の各部の面積をその点の電界で重み付けする必要がある。電界 E 以下で破壊する弱点の密度 $N(E)$ は、式 (2) で与えられる。

したがって、ギャップの実効面積は上の定義により

$$N(E_{max}) \cdot S_{eff} = - \int_0^{E_{max}} N(E) \cdot \frac{dS(E)}{dE} \cdot dE \quad (10)$$

のように与えられる。ここで $S(E)$ は、負電極上で電界が E を越える部分の面積で、 $-\{dS(E)/dE\}dE$ は、電界 E と $E+dE$ の間の負電極の面積である。このとき $S(E)$ の値は、負極性側の電極

面積をとるのに対し、 E_{max} の値は、極性に関係なくギャップ中の最大電界をとる。この定義によると、破壊の実効面積は印加電圧の関数となるので、電極形状、気圧により一義的に定義できないが、ここでは与えられたギャップの E_{max} として、破壊電界の分布のモード値 E_m をとるのが最も妥当であると考えられる。すなわち E_m は、式 (5) を変形すれば以下のように求まる。

$$E_m = E_0 + \left(\frac{m-1}{S_{eff} \cdot \lambda_0 \cdot m} \right)^{\frac{1}{m}} \cdot E_d \quad (11)$$

式 (10) と式 (11) を連立して解けば、任意のギャップに対する実効面積を求めることができる。

以下に簡単なギャップについて計算例を述べる。図 15. は棒一棒ギャップの $S(E)$ の計算例である。ギャップ長と曲率半径の比 d/R をパラメータとし、課電側の $S(E)$ を実線 (-), 接地側の $S(E)$ を破線 (+) で示している。

図 16. は、図 15 の $S(E)$ 、および他の $S(E)$ の計算結果を用いて、粗面仕上げの 15 cmφ 球一球の Gap F, 3 cmφ 棒一棒の Gap G, 1 cmφ 棒一棒の Gap H の実効面積を電子計算機で計算した例である。負電極の実効面積は、ギャップ長により増加するのに対し、正極性の実効面積は、クリティカルな d/R の値のギャップ長を越えると急に減少している。このような実効面積の差が、高気圧 SF₆ の破壊電界の極性効果を生じさせる原因として結論できる。

図 17. に、Gap G について式 (5) から求めた破壊電圧の計算値と実験値の比較を示す。計算値は、5 % と 95 % 確率の破壊電圧で、実験値は、開閉インパルス破壊電圧⁽⁸⁾のばらつきの幅を示している。電極上の弱点の影響で破壊電圧が理論値より低下する領域を論じてはいるが、図では一点鎖線で示す理論値以上のプロットは省略した。実験値のばらつきがあるが、計算値はよく実験結果を説明し、破壊電圧の極性効果の原因を明らかにしている。

ここで示した計算の手法は、面積の大きな実際のガス絶縁機器についても、電界計算により $S(E)$ を求めれば、その破壊特性を十分なる精度で計算できる。

8. むすび

負電極上に統計的に分布する弱点によって絶縁破壊が引き起こされるとして、破壊電界の統計的分布から面積効果、極性効果などを説明

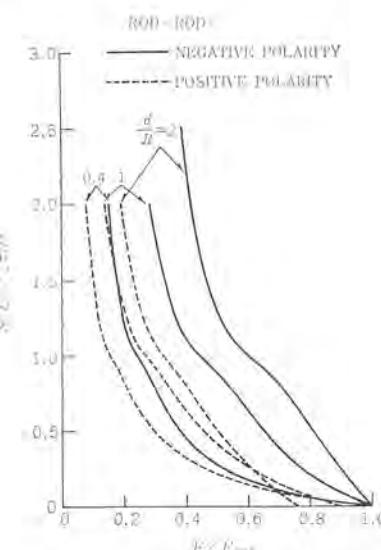


図 15. 棒一棒 Gap の $S(E)$ の計算例

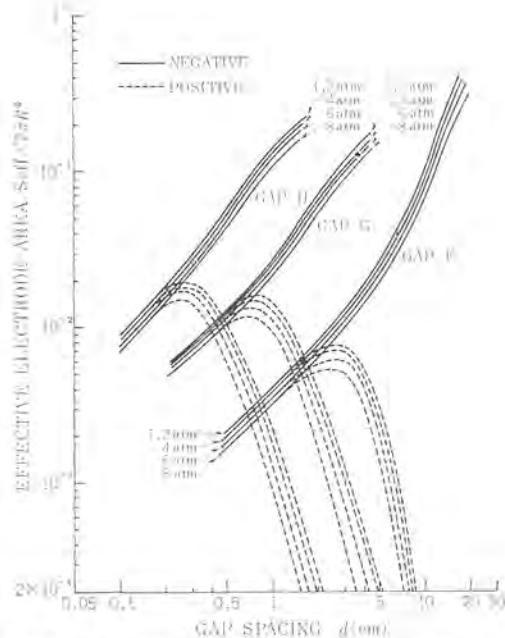


図 16. ガス圧力をパラメータとした粗面仕上げの Gap F, G, H の実効面積

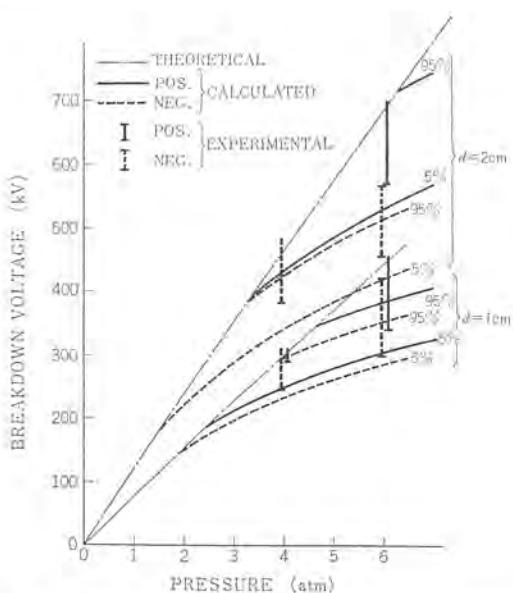


図 17. Gap G についての破壊電圧のばらつきの幅の計算値と実験値

した。

- (1) ギャップの破壊特性が電極の影響を受けるかどうかは、ガス圧力 P と電極の実効面積 S_{eff} の関数として与えられる。
- (2) 小さな $P \cdot S_{eff}$ の領域では電極の影響はないが、大きな $P \cdot S_{eff}$ の領域では電極の影響が顕著に現われ、破壊電圧は低下する。中間の $P \cdot S_{eff}$ の領域では破壊電圧のコンディショニング効果が現われ、 $P \cdot S_{eff}$ の増加により、コンディショニングに必要な破壊の数は

増す。

(3) 大きな $P \cdot S_{eff}$ の領域の破壊電界の分布は、正規分布よりもむしろワイブル分布に従う。ワイブル分布のパラメータ m は、電極とガス圧力に関係なくほぼ 7.4 である。 λ_0 の値は、電極の仕上げに依存し、鏡面電極の λ_0 を実験式で与えた。粗面電極はこの約 30 倍である。最低破壊電界 E_0 を、ガス圧力の関数として実験式で与えた。

(4) 任意のギャップの破壊電界の分布は、ワイブル分布にこれらのパラメータを代入すれば求まり、面積効果を定量的に説明できる。

(5) 平等電界の面積に換算した任意のギャップの実効面積を定義した。非対称なギャップでは印加電圧の極性により実効面積が異なることから破壊電圧の極性効果を説明できる。

(6) ギャップの静電界分布の計算から、前記(4)(5)よりギャップの破壊電圧の分布を定量的に計算できる。

参考文献

- (1) T. Nitta, Y. Shibuya : Closure of "Electrical Breakdown of Long Gaps in Sulfur Hexafluoride" IEEE Tr. PAS-90, No. 3, 1,070-1,071 (1971)
- (2) E. J. Gumbel : Statistical Theory of Extreme Values and Some Practical Applications, NBS Applied Mathematics, No. 33, U. S. Gov't Printing Office (1954)
- (3) T. Nitta, N. Yamada, Y. Fujiwara: "Area Effect of Electrical Breakdown in Compressed SF₆" IEEE PES Summer Meeting Paper T 73 449-6 (1973)
- (4) T. Nitta : Breakdown Characteristics of Compressed Electro Negative Gases, Symposium of Compressed Gas Insulation, Jr. of IEE of Japan, 87-9, No. 948 1,635-1,639 (1973)
- (5) T. Nitta et al. : Effect of Electrode Surface on the Electrical Breakdown of Compressed SF₆, to be Submitted to the 3rd Int'l Conference on Gas Discharge, London (1974)
- (6) A. H. Cookson : Electrical Breakdown for Uniform Fields in Compressed Gases, Proc. IEE, 117, No. 1 269-280 (1970)
- (7) I. M. Bortnik et al. : Reliability of Gas Insulation at High Pressure, 2nd Int'l Conf. on Gas Discharge, London (1972)
- (8) T. Nitta, Y. Shibuya, Y. Fujiwara : Voltage-Time Characteristic of Electrical Breakdown in SF₆, Submitted to 1974 IEEE Summer Power Meeting
- (9) I. M. Bortnik, C. M. Cooke : Electrical Breakdown and the Similarity Law in SF₆ at Extra-High Voltages, IEEE Tr. PAS T 72 116-7 (1972)
- (10) K. Morii et al. : Development of 500 kV Gas Insulated Switchgear and its Application, IEEE Tr. T 73 033-8 (1973)

遷移金属を添加した LiNbO_3 単結晶の成長と物性

小林 正*・武藤 勝俊*・甲斐潤二郎*

1. まえがき

ニオブ酸リチウム LiNbO_3 の単結晶を強いレーザ光で照射すると、その部分に局所的な屈折率の変化⁽¹⁾が起こる。この現象は、光損傷(optical damage)と呼ばれ、この結晶を光変調素子や光周波数てい(通)倍素子、などに応用する場合には短所となるが、逆に光情報記録に応用することができる。Chen ら⁽²⁾は、 LiNbO_3 の光損傷を利用してホログラムを記録した。しかし記録感度、回折効率、および記録保持寿命の点で不十分な結果しか得られなかつた。その後、不純物添加による記録特性の改善が RCA⁽³⁾ や通研⁽⁴⁾で行なわれ、当研究所においても Ir や U が有効な添加物であるとを見出した。⁽⁵⁾

今後の発展のためには、不純物添加による記録特性改善の機構の解明が重要である。ESR(常磁性共鳴吸収)および光吸収の測定は、このために有用な情報を与えるであろう。これまで、 LiNbO_3 に Cr^{3+} , Gd^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Nd^{3+} , Yb^{3+} を添加した試料の ESR および光吸収の報告^{(6)~(10)}があるが、まだ不純物サイトの同定はなされていないし、解析も十分でない。われわれは、 U , Ir , Fe , Cu 等の遷移金属を添加した結晶を作製し、ESR および光吸収の測定を行なったが、この論文では、特に Cu^{2+} について、 LiNbO_3 結晶中のサイトの同定とエネルギー準位の解析の結果について述べる。さらに、ESR 結晶学の立場に立って、X線結晶学における UNICS⁽¹¹⁾と対比されるべき Computer Analysis of ESR Crystallography⁽¹²⁾のシステム作成についても言及する。これは、最も一般化した形で spin Hamiltonian を書き下し、固有値問題として exact に解き、エネルギー準位・固有ベクトル・共鳴磁場・遷移確率・spin Hamiltonian parameter およびその符号の知見を与えるもので、ESR 結晶解析法にはん(汎)用性と定量性を導入することができた。したがって、ESR spectrometer を遷移金属元素やラジカル等各種センタの濃度の定量分析に応用する道を開いたものと考える。たとえばイオン・マイクロアナライザ(IMA)の定量分析システム(CARISMA)⁽¹³⁾と相補的に使用することにより、各種不純電子センタの結晶中における微視的な構造、電子状態等の知見のみならず、不純物センタの絶対定量測定が、単結晶の任意の方向だけの ESR 測定で可能となる。将来、各種結晶中の各種不純物センタの ESR 測定の解析結果を収納した表が整備されれば、この方法は有効に利用できるようになると考えられる。

2. ESR 結晶解析理論と LiNbO_3 の結晶構造

2. 1 ESR 結晶学

2. 1. 1 spin Hamiltonian

Cu^{2+} は $3d^9$ の典型的な例である。電子スピン $S=1/2$, 核スピン $I=$

$3/2$ で、 Cu^{2+} の有効 spin Hamiltonian \mathcal{H} は次式で書き下せる。

$$\begin{aligned} \mathcal{H} = & \beta \cdot \mathbf{H} \cdot \hat{\mathbf{g}} \cdot \mathbf{S} + \mathbf{I} \cdot \hat{\mathbf{A}} \cdot \mathbf{S} + \mathbf{I} \cdot \hat{\mathbf{Q}} \cdot \mathbf{I} - \beta_N g_N \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{I} \\ = & \beta(g_x \cdot H_x \cdot S_x + g_y \cdot H_y \cdot S_y + g_z \cdot H_z \cdot S_z) \\ & + A_x \cdot S_x \cdot I_x + A_y \cdot S_y \cdot I_y + A_z \cdot S_z \cdot I_z \\ & + Q \left[I_z^2 - \frac{1}{3} I(I+1) \right] + QI \cdot (I_x^2 - I_y^2) - g_N \cdot \beta_N \cdot I \cdot H \end{aligned} \quad (1)$$

ここに \mathbf{H} : 静磁場 β : ポア磁子 β_N : 核磁子 $\hat{\mathbf{g}}$: ゼーマン相互作用の g テンソル $\hat{\mathbf{A}}$: 超微細構造相互作用テンソル $\hat{\mathbf{Q}}$: 核四極子相互作用テンソル x , y , z の添字の付いた定数: 各相互作用のテンソルの主値である。

解析⁽¹⁴⁾に際し、四つの直交座標系を導入する。実験室系 x y z , 結晶座標系 a b c (LiNbO_3 の解析の場合 a y c と定義している), 不対電子センタの主軸系 XYZ , 量子化軸系 $\xi\eta\zeta$ の4座標系である。XYZ系と $\xi\eta\zeta$ 系の関係を図1に示す。XYZ系は次式で $\xi\eta\zeta$ 系に変換される。

$$\begin{aligned} S_x = & \frac{g_z g_x}{g g_{\perp}} \cos \theta \cos \phi S_{\xi} - \frac{g_y}{g_{\perp}} \sin \phi S_{\eta} + \frac{g_x}{g} \sin \theta \cos \phi S_{\zeta} \\ = & \alpha_1 S_{\xi} + \beta_1 S_{\eta} + \gamma_1 S_{\zeta}, \\ S_y = & \frac{g_z g_y}{g g_{\perp}} \cos \theta \sin \phi S_{\xi} + \frac{g_x}{g_{\perp}} \cos \phi S_{\eta} + \frac{g_y}{g} \sin \theta \sin \phi S_{\zeta} \\ = & \alpha_2 S_{\xi} + \beta_2 S_{\eta} + \gamma_2 S_{\zeta}, \\ S_z = & -\frac{g_x}{g} \sin \theta S_{\xi} + \frac{g_z}{g} \cos \theta S_{\zeta} \\ = & \alpha_0 S_{\xi} + \gamma_0 S_{\zeta}, \end{aligned} \quad (2)$$

ここで

$$\begin{aligned} g &= (g_z^2 \cos^2 \theta + g_{\perp}^2 \sin^2 \theta)^{1/2}, \\ g_{\perp} &= (g_x^2 \cos^2 \phi + g_y^2 \sin^2 \phi)^{1/2}. \end{aligned} \quad (3)$$

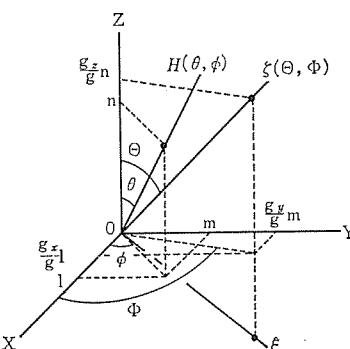


図1. 量子化軸系と主軸系の関係 (l , m , n は \mathbf{H} の方向余弦)

XYZ 系から $\xi\eta\zeta$ 系に変換すると spin Hamiltonian は次式になる。

$$\begin{aligned}
 \mathcal{H} = & g\beta HS_\xi + AS_\xi I_\xi + DI_\xi^2 + E_0(I_+I_- + LI_+) \\
 & + F_-(I_+I_+ + I_+I_\xi) + F_+(I_\xi I_- + I_-I_\xi) \\
 & + E_+I_+^2 + E_-I_-^2 + C_-(S_\xi I_+ + S_+I_\xi) + C_+(S_\xi I_- + S_-I_\xi) \\
 & + B_0(S_+I_- + S_-I_+) + B_-S_+I_+ + B_+S_-I_- \\
 & - \frac{1}{3}I(I+1)Q - g_N\beta_N I_\xi H. \quad \dots \quad (4)
 \end{aligned}$$

ここで、

$$\begin{aligned}
 A &= A_Z\gamma_0^2 + A_X\gamma_1^2 + A_Y\gamma_2^2, \\
 B_0 &= \frac{1}{4}\{\alpha_0^2 A_Z + (\alpha_1^2 + \beta_1^2) A_X + (\alpha_2^2 + \beta_2^2) A_Y\}, \\
 B_\pm &= \frac{1}{4}\{\alpha_0^2 A_Z + (\alpha_1^2 - \beta_1^2) A_X + (\alpha_2^2 - \beta_2^2) A_Y\} \pm i\frac{1}{2}\{\alpha_1\beta_1 A_X + \alpha_2\beta_2 A_Y\} \\
 &= BR \quad \pm i BI, \\
 C_\pm &= \frac{1}{2}(\gamma_0\alpha_0 A_Z + r_1\alpha_1 A_X + \gamma_2\alpha_2 A_Y) \pm i\frac{1}{2}(\gamma_1\beta_1 A_X + \gamma_2\beta_2 A_Y) \\
 &= CR \quad \pm i CI, \\
 D &= \gamma_0^2 \cdot Q + Q_1 \cdot (\gamma_1^2 - \gamma_2^2), \\
 E_0 &= \frac{1}{4}\{\alpha_0^2 \cdot Q + (\alpha_1^2 + \beta_1^2 - \alpha_2^2 - \beta_2^2) \cdot Q_1\}, \\
 E_\pm &= \frac{1}{4}\{\alpha_0^2 \cdot Q + (\alpha_1^2 - \beta_1^2 - \alpha_2^2 + \beta_2^2) \cdot Q_1\} \pm i\frac{1}{2}(\alpha_1\beta_1 \cdot Q_1 - \alpha_2\beta_2 \cdot Q_1) \\
 &= ER \quad \pm i EI, \\
 F_\pm &= \frac{1}{2}(\gamma_0 \cdot \alpha_0 \cdot Q + (\gamma_1\alpha_1 - \gamma_2\alpha_2) Q_1) \pm i\frac{1}{2}(\gamma_1\beta_1 \cdot Q_1 - \gamma_2\beta_2 \cdot Q_1) \\
 &= FR \quad \pm i FI, \\
 S_\pm &= S_\xi \pm i S_\eta, \\
 I_\pm &= I_\xi \pm i I_\eta. \quad \dots \quad (5)
 \end{aligned}$$

電子スピンが 1/2 であるから準位は二つで、これがそれぞれ $2I+1=4$ 個の核副準位に分裂する。したがって式(4)は行列表示では、 $2 \times 4 = 8$ 行 8 列のエルミート行列(6)になる。これを固有値問題として解き、エネルギー・固有値および固有ベクトルを得る。

不对電子センタの 3 主軸 XYZ 方向が、結晶軸 a b c に一致していない場合、オイラー角を導入すると便利である。a b c 系の静磁場方向の極座標 $\theta_0 \phi_0$ は、XYZ 系の静磁場方向の $\theta \phi$ と次式の関係がある。

$$\begin{aligned}
 \begin{pmatrix} \sin \theta \cos \phi \\ \sin \theta \sin \phi \\ \cos \theta \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sin \theta_0 \cos \phi_0 \\ \sin \theta_0 \sin \phi_0 \\ \cos \theta_0 \end{pmatrix} \\
 \begin{pmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \cos \psi_1 \cos \theta_1 \cos \phi_1 - \sin \psi_1 \sin \phi_1 \\ -\sin \psi_1 \cos \theta_1 \cos \phi_1 - \cos \psi_1 \sin \phi_1 \\ \sin \theta_1 \cos \phi_1 \end{pmatrix} \dots \quad (7)
 \end{aligned}$$

ここで θ_0, θ はそれぞれ polar angle (\widehat{H}_C) および (\widehat{H}_Z)、 ϕ_0, ϕ はそれぞれ azimuth angle (\widehat{H}_A) および (\widehat{H}_X) である。 $\theta_1 \psi_1 \phi_1$ はオイラー角である。

2. 1. 2 遷移確率と ESR 吸收強度 (定量性への応用)

ESR の測定は、一般に静磁場 \mathbf{H} の方向に垂直な磁場成分をもったマイクロ波を用いて行なわれる。したがってマイクロ波の入射によって、式(6)の各エネルギー状態は、

$$\mathcal{H}' = \mathbf{B} \cdot \mathbf{H}_x \cdot \mathbf{g} \cdot \mathbf{S}_x \sin \omega t \quad \dots \quad (8)$$

という形の振動をうける。ここに \mathbf{H}_x はマイクロ波磁場の大きさ、 ω はマイクロ波の角周波数である。 \mathcal{H}' によって生じる $|M, m\rangle$ と $|M', m'\rangle$ との状態の間の単位時間当たりの遷移確率 $W_{Mm, M'm'}$ は

$$\begin{aligned}
 \mathcal{H}' = & \begin{bmatrix}
 | \frac{1}{2}, \frac{3}{2} \rangle & | \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \rangle & | \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \rangle & | \frac{1}{2}, -\frac{3}{2} \rangle & | -\frac{1}{2}, -\frac{3}{2} \rangle & | -\frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \rangle & | -\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \rangle & | -\frac{1}{2}, \frac{3}{2} \rangle \\
 | \frac{1}{2}, \frac{3}{2} \rangle & \frac{3}{4}A + \frac{9}{4}D + 3E_0 - \frac{5}{4}Q & 2\sqrt{3}FR + \frac{\sqrt{3}}{2}CR & 2\sqrt{3}ER - i\sqrt{3}EI & 0 & 0 & 0 & \sqrt{3}BR - i\sqrt{3}BI & \frac{3}{2}CR - i\frac{3}{2}CI \\
 | \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \rangle & \frac{1}{2}g\beta H - \frac{3}{2}gs\beta sH & -i(2\sqrt{3}FI + \frac{\sqrt{3}}{2}CI) & & & & & & \\
 | \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \rangle & & & & & & & & \\
 | \frac{1}{2}, -\frac{3}{2} \rangle & & & & & & & & \\
 | -\frac{1}{2}, -\frac{3}{2} \rangle & & & & & & & & \\
 | -\frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \rangle & & & & & & & & \\
 | -\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \rangle & & & & & & & & \\
 | -\frac{1}{2}, \frac{3}{2} \rangle & & & & & & & & \\
 \end{bmatrix} \dots \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$W_{Mm, M'm'} = \frac{\pi^2 \beta^2}{h^2} g^2 H_x^2 | \langle M', m' | S_x | M, m \rangle |^2 g(\nu), \dots \dots \dots (9)$$

となる。ここで M, m はおのの S_x, I_x の固有値である。 $g(\nu)$ は吸収線形で一般に Lorentzian であらわされる。 $|M, m\rangle \rightarrow |M \pm 1, m \mp 1\rangle$ の遷移は $|M, m\rangle \rightarrow |M \pm 1, m\rangle$ に比べ一般には無視されるほど小さいので

$$\Delta M = \pm 1, \Delta m = 0 \dots \dots \dots (10)$$

の選択則のもとで計算を行なう。実験室系でのスピン演算子 S_x は、量子化軸系の S_x, S_y, S_z 成分によって、

$$S_x = \cos(\hat{x}\xi) \cdot S_x + \cos(\hat{x}\eta) \cdot S_y + \cos(\hat{x}\zeta) \cdot S_z \dots \dots \dots (11)$$

で表わされる。ここに各係数は各軸間の方向余弦である。

(1) $H \perp a$ (静磁場 H が a 軸に垂直な場合)

式(11)の各方向余弦は

$$\left. \begin{array}{l} \cos(\hat{x}\xi) = l_1 \cdot \alpha_1 + l_2 \cdot \alpha_2 + l_3 \cdot \alpha_3 \\ \cos(\hat{x}\eta) = l_1 \cdot \beta_1 + l_2 \cdot \beta_2 \\ \cos(\hat{x}\zeta) = l_1 \cdot \gamma_1 + l_2 \cdot \gamma_2 + l_3 \cdot \gamma_3 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (12)$$

(2) $H \perp b$ (静磁場 H が b 軸に垂直な場合)

$$\left. \begin{array}{l} \cos(\hat{x}\xi) = m_1 \cdot \alpha_1 + m_2 \cdot \alpha_2 + m_3 \cdot \alpha_3 \\ \cos(\hat{x}\eta) = m_1 \cdot \beta_1 + m_2 \cdot \beta_2 \\ \cos(\hat{x}\zeta) = m_1 \cdot \gamma_1 + m_2 \cdot \gamma_2 + m_3 \cdot \gamma_3 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (13)$$

(3) $H \perp c$ (静磁場 H が c 軸に垂直な場合)

$$\left. \begin{array}{l} \cos(\hat{x}\xi) = n_1 \cdot \alpha_1 + n_2 \cdot \alpha_2 + n_3 \cdot \alpha_3 \\ \cos(\hat{x}\eta) = n_1 \cdot \beta_1 + n_2 \cdot \beta_2 \\ \cos(\hat{x}\zeta) = n_1 \cdot \gamma_1 + n_2 \cdot \gamma_2 + n_3 \cdot \gamma_3 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (14)$$

このように、結晶軸の a, b, c 3 軸まわりで、遷移確率の角度依存性を測定する場合の各方向余弦が計算できる。 $\langle M'm' | S_z | Mm \rangle$ および $\langle M'm' | S_{\pm} | Mm \rangle$ 要素は、式(6)の固有ベクトル $U(M', m' : Mm)$ を用いて、ただちに求められる。このようにして、静磁場 H を結晶の任意方向に向いている場合の遷移確率が計算できる。これは、ESR で単結晶測定の際の吸収強度に対応する。

2.2 LiNbO₃ の結晶構造

LiNbO₃ の結晶学的常数は、つぎのとおりである。

空間群 $D_{3d}^6 - R\bar{3}C$ (常誘電相), $C_{3v}^6 - R3C$ (強誘電相)⁽¹⁴⁾

格子定数 $a_{hex} = 5.1483\text{Å}$ $C_{hex} = 13.863\text{Å}$ (23°C)⁽¹⁵⁾

キュリー温度 $T_C = 1210^\circ\text{C}$ 自発分極 $P_s \parallel c$ 軸

ESR 解析に用いる直交結晶軸は、 c 軸を 3 回軸に、 a 軸を鏡面に垂直に、 y' 軸を ca 軸に垂直に選ぶ。(六方晶系表示の a_{hex} は a に

a_{hex} は c 軸にとっている。)

結晶構造については、Abrahams らの X 線、中性子線回折⁽¹⁴⁾⁽¹⁶⁾による解析の結果が報告された。原子 パラメータを表 1. に示す。結晶構造を図 2. に示す。Li や Nb 原子は、いびつな酸素八面体に囲まれており、 c 軸にそっての酸素八面体のならびは、Nb, Vacancy, Li, Nb, Vacancy, Li である。図中の酸素の位置を六方晶系 $a_{hex} a_{hex} c_{hex}$ 直交座標系 $a y' c$ 表示で表 2. に示す。表 3. には各酸素八面体における中心原子と各酸素原子との距離および方向を示す。ここで方向は結晶軸系 $a y' c$ における azimuth angle FAI と、 c 面よりの仰角 THETA で表わしてある。右端の SIGD は、原子間距離の標準偏差を示す。

3. 結晶作成

3.1 結晶育成

結晶の育成は、ショクラルスキー法により行なった。原料として Johnson Matthey Chemical 社 99.999% up および 99.99% up の Li₂O₃ と Nb₂O₅ 粉末を用いた。不純物としてドープした Ir, Fe, U および Cu は、それぞれ酸化イリジウム、硝酸ウラン、酸化鉄、硝酸銅および電解銅粉末である。図 3. に LiNbO₃ : Cu²⁺ の結晶を示す。40 φ × 40 mm の白金ルツボに上記原料を適量混合し固相反応させたものを入れ、溶融し、種結晶を液面に接触させ、50 rpm で回転させながら、5~6 mm/h の速度で引上げる。引上げた結晶は、多くの強誘電体分域から成っており、単分域化しなければならない。われわれは作成した結晶を切断し、これをキュリー温度以上に昇温した後、 c 軸方向に電場を印加し、徐冷することによって単分域化した。分域の様子は、エッティング法で観察できる。結晶に添加する不純物の濃度を避けて数種の結晶を育成した。Ir の場合には、LiNbO₃ 溶液に対する溶解度が低いため、高濃度の結晶は作成できなかった。育成した単結晶中の不純物濃度の定量分析を原子吸光法で行なった。

表 1. LiNbO₃ の原子 パラメータ^{(14)~(15)}

原 子	x	y	z	温 度 因 子 B (Å ²)
Nb	0	0	0	0.50±1
O	0.0492±4	0.3446±5	0.0647±4	0.43±2
Li	0	0	0.2829±23	0.94±32
C_{3v}^6 Z=6 強誘電相 24°C R=4.6%				

表 2. LiNbO₃ 結晶の酸素原子の座標 (一列めの番号は図 2. (a) の番号と対応する)

HEXAGONAL COORDINATE			ORTHOGONAL COORDINATE			POSITION (Å)		
1 (0.3220 , 0.2841 , -0.1019)	(-0.1800 , 0.2460 , -0.1019)	(0.9266 , 1.2668 , -1.4135)						
2 (-0.2841 , 0.0379 , -0.1019)	(-0.3031 , 0.0328 , -0.1019)	(-1.5604 , 0.1691 , -1.4135)						
3 (-0.0379 , -0.3220 , -0.1019)	(0.1231 , -0.2789 , -0.1019)	(0.6337 , -1.4359 , -1.4135)						
4 (0.0492 , 0.3446 , 0.0647)	(-0.1231 , 0.2984 , 0.0647)	(-0.6337 , 1.5364 , 0.8969)						
5 (-0.3446 , -0.2954 , 0.0647)	(0.1969 , -0.1969 , -0.2558)	(0.0647 , -1.0137 , -1.3170)						
6 (0.2954 , -0.0492 , 0.0647)	(0.3200 , -0.0426 , 0.0647)	(1.6474 , -0.2193 , 0.8969)						
7 (0.3825 , 0.3712 , 0.2313)	(0.1969 , 0.3215 , 0.2313)	(1.0137 , 1.6553 , 3.2074)						
8 (-0.3712 , 0.0112 , 0.2313)	(-0.3769 , 0.0097 , 0.2313)	(-1.9403 , 0.0502 , 3.2074)						
9 (-0.0112 , -0.3825 , 0.2313)	(0.1800 , -0.3312 , 0.2313)	(0.9266 , -1.7055 , 3.2074)						
10 (-0.0379 , 0.2841 , 0.3980)	(-0.1800 , 0.2460 , 0.3980)	(-0.9266 , 1.2668 , 5.5179)						
11 (-0.2841 , -0.3220 , 0.3980)	(-0.1231 , -0.2789 , 0.3980)	(-0.6337 , -1.4359 , 5.5179)						
12 (0.3220 , 0.0379 , 0.3980)	(0.3031 , 0.0328 , 0.3980)	(1.5604 , 0.1691 , 5.5179)						
13 (0.2954 , 0.3446 , 0.5647)	(0.1231 , 0.2984 , 0.5647)	(0.6337 , 1.5364 , 7.8284)						
14 (-0.3446 , -0.0492 , 0.5647)	(0.3200 , -0.0426 , 0.5647)	(-1.6474 , -0.2193 , 7.8284)						
15 (0.0492 , -0.2954 , 0.5647)	(0.1969 , -0.2558 , 0.5647)	(1.0137 , -1.3170 , 7.8284)						
16 (-0.0112 , 0.3712 , 0.7313)	(-0.1969 , 0.3215 , 0.7313)	(-1.0137 , 1.6553 , 10.1389)						
17 (-0.3712 , -0.3825 , 0.7313)	(-0.1800 , -0.3312 , 0.7313)	(-0.9266 , -1.7055 , 10.1389)						
18 (0.3825 , 0.0112 , 0.7313)	(0.3769 , 0.0097 , 0.7313)	(1.9403 , 0.0502 , 10.1389)						
19 (0.3220 , 0.2841 , 0.8980)	(0.1800 , 0.2460 , 0.8980)	(0.9266 , 1.2668 , 12.4494)						
20 (-0.2841 , 0.0379 , 0.8980)	(-0.3031 , 0.0328 , 0.8980)	(-1.5604 , 0.1691 , 12.4494)						
21 (-0.0379 , -0.3220 , 0.8980)	(0.1231 , -0.2789 , 0.8980)	(0.6337 , -1.4359 , 12.4494)						

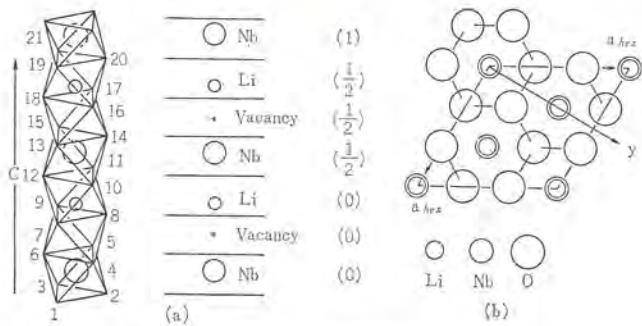


図 2. (a) LiNbO_3 結晶の C 軸にそっての
酸素八面体のならび
(b) C 面投影図

表 3. 各酸素八面体における中心原子と酸素原子の
距離および方向

ATOM	ATOM	DISTANCE (Å)	FAK (°)	THETA (°)	SIG D (Å)
Nb(0)	1	2.1122	53.81	-42.00	0.00393
	2	2.1122	173.81	-42.00	0.00393
	3	2.1122	-66.18	-42.00	0.00393
	4	1.8885	112.41	28.35	0.00353
	5	1.8885	-127.58	28.35	0.00353
	6	1.8885	-7.58	28.35	0.00353
vacancy(0)	4	2.0240	112.41	-34.80	
	5	2.0240	-127.58	-34.80	
	6	2.0240	-7.58	-34.80	
	7	2.2588	58.51	30.75	
	8	2.2588	178.51	30.75	
	9	2.2588	-61.48	30.75	
	7	2.0683	58.51	-20.20	0.01132
	8	2.0683	178.51	-20.20	0.01132
	9	2.0683	-61.48	-20.20	0.01132
Li(0)	10	2.2385	126.18	45.47	0.02316
	11	2.2385	-113.81	45.47	0.02316
	12	2.2385	6.18	45.47	0.02316
	10	2.1122	126.18	-42.00	0.00393
	11	2.1122	-113.81	-42.00	0.00393
	12	2.1122	6.18	-42.00	0.00393
Nb(1/2)	13	1.8885	67.58	28.35	0.00353
	14	1.8885	-172.41	28.35	0.00353
	15	1.8885	-52.41	28.35	0.00353
	13	2.0240	67.58	-34.80	
	14	2.0240	-172.41	-34.80	
	15	2.0240	-52.41	-34.80	
vacancy(1/2)	16	2.2588	121.48	30.75	
	17	2.2588	-118.51	30.75	
	18	2.2588	1.48	30.75	
	16	2.0683	121.48	-20.20	0.01132
	17	2.0683	-118.51	-20.20	0.01132
	18	2.0683	1.48	-20.20	0.01132
$\text{Li}(\frac{1}{2})$	19	2.2385	53.81	45.47	0.02316
	20	2.2385	173.81	45.47	0.02316
	21	2.2385	-66.18	45.47	0.02316

3.2 ESR および光吸収用試料の作成

ESR 試料は、パックラウエ法で結晶の軸決めを行ない、ダイヤモンド・カッタで切断し、ジグで研磨し、1 辺 1.5~2.5 mm のく(矩)形試料を作成した。光吸収用試料としては、結晶の c 面を切り出し、この面を光学研磨したものを用いた。

$\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}^{2+}$ の試料は、3.1 節で述べた方法で得たほかに、純粋な LiNbO_3 単結晶を硝酸銅でおおい、900 °C の炉で 217 時間拡散させた試料も準備した。このようにして Cu を熱拡散させた試料（以後試料 A と称す）の Cu 元素の拡散の様子を X 線マイクロ・アナライザ (XMA) で分析した結果を図 4 に示す。図中に示されている拡散状況の結晶方向による違いは、拡散方程式を解析の結果、Cu 元素供給源と、それと接触する LiNbO_3 結晶表面の接触状況の違いであることが推測される。一方、 LiNbO_3 粉末に金属銅を仕込み チョクラルスキー法で引き上げた試料（以後試料 B と称す）を XMA で分析の結果、試料中に Cu 元素は均一に添加されていることが判明した。

4. 実験結果と解析

4.1 ESR スペクトルの解析

ESR 分光器は、日本電子製 JES-PE 形を用いて測定を行なった。

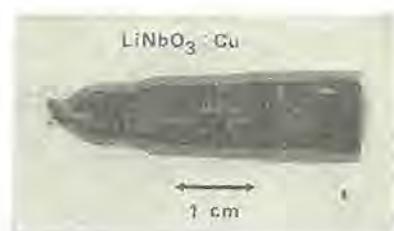


図 3. チョクラルスキー法で引き上げた $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}$ の単結晶
(銅濃度は 0.062 wt %)

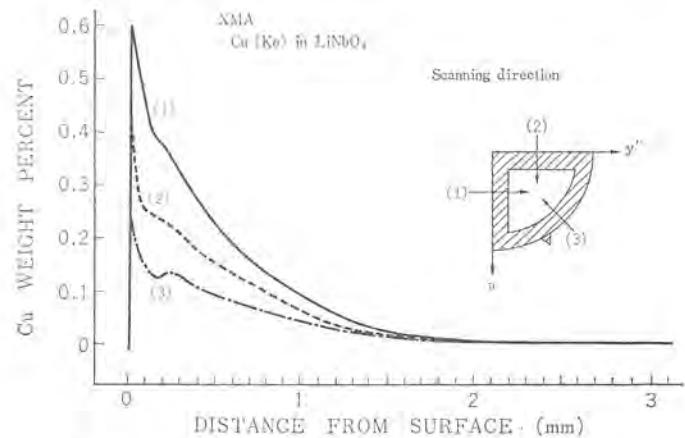


図 4. Cu 元素を熱拡散で添加した LiNbO_3 単結晶中の
拡散の深さ依存性

試料キャビティは TE₀₁₁ モード X バンド用のもので、測定温度は 77 K である。g 値の基準として、g = 2.0026 の TCNQ-Li 塩を用いている。

4.1.1 $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}^{2+}$ の粉末試料の ESR

図 5 に $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}^{2+}$ 粉末試料の 1 次微分 ESR 吸収線を示す。実線は試料 A、一点鎖線は試料 B の ESR 線である。

粉末の ESR 線は Cu^{2+} センタの主軸方向の情報を与える。低磁場側の四つの吸収線より、 $g_z = 2.381$, $A_z = 77.97 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$ が得られる。高磁場側が 1 本のブロードな吸収線になっていることから、g テンソルは、ほぼ軸対称になっている。図の上部に、後の解析で得たハミルトニア・パラメータを使って、計算した主軸系での共鳴磁場の角度依存性を示す。試料 A および B の ESR 線が同じであることから試料 A および B の Cu^{2+} センタは、 LiNbO_3 中の同一サイトに存在することがわかる。単結晶試料解析でも同一サイトに存在することが確認された。

4.1.2 $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}^{2+}$ の単結晶の ESR

$\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}^{2+}$ 単結晶の結晶軸 a, y' , c 軸まわりの共鳴磁場の角度依存性を A, B 両試料について測定した。 $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}^{2+}$ の ESR 線は複雑で、低磁場側の ESR 線の角度依存性は、1~3° 間隔とかなり詳細に測定して共鳴磁場の角度変化を得たが、高磁場側は ESR 線が複雑に交差してそのままでは得ることが困難なので、低磁場側の角度依存性から、spin Hamiltonian 定数 g_x , g_y , g_z , A_x , A_y , A_z の近似値を最小 2 乗法で求め、この定数を用いて逆に共鳴磁場の近似値の角度依存性を計算することによって、高磁場側の ESR 線の角度依存性の詳細を得る助けとした。静磁場 H を y' 軸に垂直にして、 $\theta_0 = 0^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$ ($H \parallel c$) の場合と $\theta_0 = 51^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$ の場合の ESR 線を図 6 に示す。クライストロン周波数は、9.5129 GHz である。 $H \parallel c$ では、 Cu^{2+} センタの結晶学的に異なったサイトは磁気的に等価になり、 Cu^{2+} センタ特有の 4 本の超微細構造が観測される。ESR 線

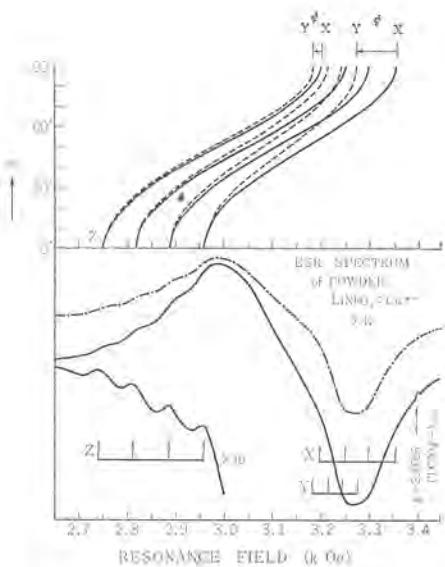


図 5. $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}^{2+}$ の粉末の ESR スペクトルと主軸系での共鳴磁場の角度依存性

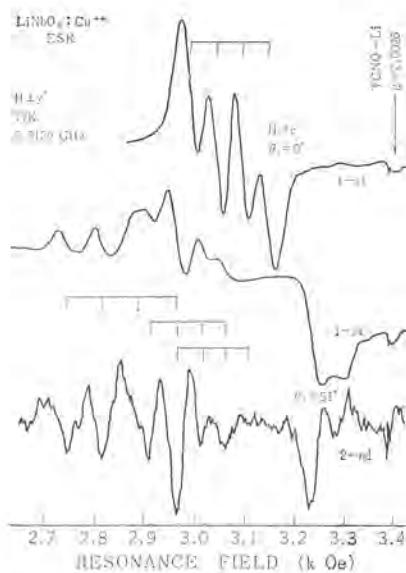


図 6. $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}^{2+}$ の単結晶の ESR スペクトル

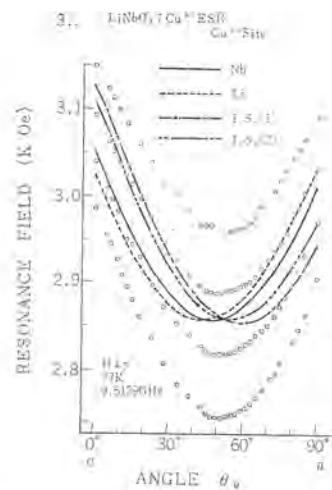


図 7. 共鳴磁場の角度化存性

幅が大きいので、 Cu^{63} , Cu^{65} の同位体による ESR 線の分離は、観測されなかった。一般に図 6 の下部の $\theta_0 = 51^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$ のように、結晶の面内での測定では、異なったサイトが磁気的に等価でないため複雑なので、ESR 線を 1 次, 2 次微分形の両方で検出し、その二つを考慮しながら角度依存性を調べた。図中のくし(櫛)状の印で各 Cu^{2+} サイトの超微細構造の組を示している。ちなみに $\theta_0 = 51^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$ の ESR 線の一番下の超微細構造の組は、 ca 面内で主軸の Z 方向にもっとも近い方向に静磁場が印加された場合である。 $(\theta = 2.44^\circ, \phi = -59.3^\circ)$

共鳴磁場の角度依存性の一例を図 7 に示す。図中の○印が観測した共鳴磁場である。図が複雑になるので、他のサイトからの共鳴磁場は省略してある。 $H \perp c$ での共鳴磁場の角度依存性は、結晶の 3 回転軸の対称性を反映して 120° の周期をもっている。2.1 節で述べた解析法を用い最小 2 乗法で spin Hamiltonian 定数を決定した。結果を表 4 に示す。表 4. では 1 種類の Cu^{2+} サイトのオイラー角のみ示す。他の Cu^{2+} サイトは、結晶の対称操作で得られる。表 4 の下段には、比較のために Nb 入り酸素八面体より求めたオイラー角を示す。これは Nb サイトに Cu^{2+} イオンが置換し、主軸方向が配位子の酸素方向の場合に対応する。同様にして、Li サイト、Vacancy (interstitial) サイトに Cu^{2+} が置換した場合も、オイラー角を計算し、表 4 の g 値、A 値を用いて、逆に共鳴磁場の角度依存性をシミュレートした。これが図 7 の実線、点線、鎖線である。(g 値だけのシミュレーションを示す。) これから Nb サイトに Cu^{2+} イオンが置換した場合が、もっとも実測にあい、電荷補償の考慮からも、 Cu^{2+} は Nb サイトに置換していることが判明した。結晶 3 軸まわりでの g 値の角度依存性を図 8 に示す。これに超微細構造相互作用を考慮して得られる共鳴磁場の角度依存性の複雑さが知れる。

4.2 光吸収スペクトルの解析

LiNbO_3 中の Cu^{2+} の電子状態をは(把握するために、ESR とともに光吸収の測定を行なった。図 9. は試料 A の c 板における室温と 23 K での optical density の波長依存性である。850 m μ に 3 d 電子の d-d 遷移のブロードな吸収がみとめられる。低温では長波長側にシフトする。図 10. は試料 B の c 板における室温と 23 K での optical density の波長依存性である。やはり、850 m μ 付近にショル

表 4. $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}^{2+}$ の 77 K における spin Hamiltonian 定数

ゼーマン相互作用の g テンソルの主値	$g_x = 2.076$ $g_y = 2.106$ $g_z = 2.381$
超微細構造相互作用の A テンソルの主値 ($\times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$)	$A_x = 50.53$ $A_y = 30.24$ $A_z = 77.97$
Cu^{2+} サイトの主軸のオイラー角表示	$\theta_1 = 51.7^\circ$ $\phi_1 = 3.0^\circ$ $\psi_1 = -47.8^\circ$
Nb サイトと酸素配位子より得られるオイラー角 (2.2 節の結晶構造データより得た)	$\theta_1 = 48.0^\circ$ $\phi_1 = 6.2^\circ$ $\psi_1 = -39.7^\circ$

ダとして d-d 遷移の吸収がみとめられる。試料 B の光吸収は試料 A と異なり、1,050 m μ を中心に、他のブロードな吸収があり、低温ではこれが二重ピークに分離する。試料 A, B は、Cu 元素を添加する際、硝酸銅、金属銅の形で添加した違い、および $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}$ 試料作成状況の違いはあるが、ESR 線は、AB とも同じスペクトルを示す。したがって、このピークは、 Cu^{2+} かまたは他の不純物センタ (ESR では観測しにくい) か、トラップレベル等に原因する吸収の可能性が考えられる。

5. 考 察

5.1 LiNbO_3 中の Cu^{2+} サイトの同定

ESR による解析結果において、 $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}^{2+}$ が、1 章に引用した $\text{LiNbO}_3 : \text{Gd}^{3+}$ あるいは Cr^{3+} 等と大きく異なる点は、前者の g テンサや超微細構造 A テンサ等が酸素八面体の頂点に向いているのに対し後者では、それぞれの不純物センタの微細構造等の主軸が c 軸に平行で、ほとんど軸対称のスピン・ハミルトニアン定数をもっていることである。それゆえ、図 2. の結晶構造から考えて、 Gd^{3+} や Cr^{3+} の場合では、Nb, Li および Vacancy のいずれのサイトに不純物センタが置換しても、得られる ESR シグナルの間には大差を生じないの

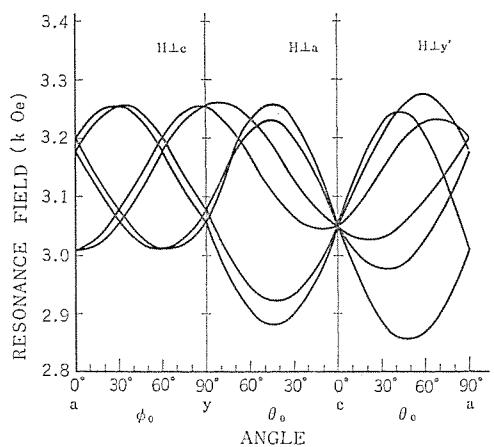


図 8. g 値より換算した共鳴磁場の角度依存性

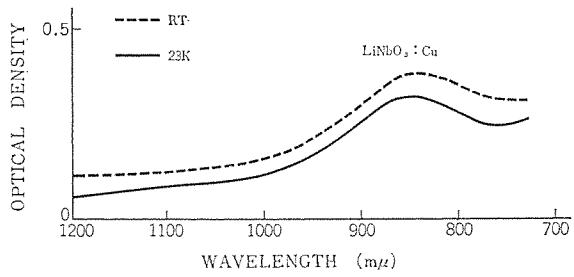


図 9. $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}$ の光吸収スペクトル
(c板試料A)

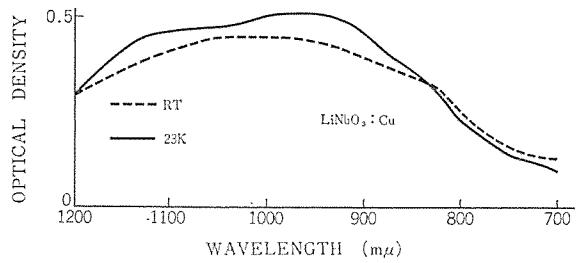


図 10. $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}$ の光吸収スペクトル
(c板試料B)

でサイトの同定を正確には行ない得ない。他方、 $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}^{2+}$ の場合、図 8. の $H \perp c$ の図からも明らかなように、 g 、A テンソルの主軸はc 軸ではなく酸素八面体の頂点方向を向いている。それゆえ、Li や Nb や Vacancy を中に含むいびつな酸素八面体のおのおのわざかに異なる中心元素と配位子の酸素の方向を結晶構造解析データからもとめ、ESR 実験の解析から得られた各テンソルの主軸方向と比較することにより、 Cu^{2+} センタが Nb サイトに置換していることが判明した。また、 $g_z = 2.381$ 、 $g_x = 2.076$ 、 $g_y = 2.106$ なので、ほぼ軸対称の異方性が存在する。また電荷補償のために、主軸 Z 方向の酸素は欠損していると推定されるので、 Cu^{2+} センタは C_{4v} の対称性を有すると考えてよい。 LiNbO_3 結晶中の Cu^{2+} サイトの置換された様子を図 11. に示す。

図 11. の中央の図は、常誘電相の結晶構造を示しており、図からわかるように、Li は c 面酸素層の中央に、Nb は酸素八面体の中央に存在する。キュリー温度以下になると、soft mode の凍結の結果 Li は酸素層から変位し、Nb も中央より変位して、結晶の対称中心が消失する。またエネルギー安定化のために分域構造をつくり、これ

を反映して図 11. の左右の $\pm c$ の極性をもった結晶構造に変化したわけである。Nb サイトに置換した Cu^{2+} イオンも協同現象の結果、ほぼ Nb の変位と同じふるまいをするはずである。

共鳴磁場の角度依存性から得られる対称性からは回転操作、鏡面操作の区別等が困難で、たしかに La^{3+} 群の識別しかできない。それゆえ、 C_{3v} の対称性のもとでは、+ 分域のある Cu^{2+} センタは、分極反転操作と結晶対称操作をほどこした結果、- 分域のある Cu^{2+} センタと磁気的に等価になってしまい、分域構造の微視的研究には、 Cu^{2+} センタはよいプローブではない。一般に強誘電弾性体なら、不对電子センタは分域構造の微視的研究のよいプローブになる。⁽¹²⁾

5.2 Cu^{2+} (3d⁹ 電子) のエネルギー準位

LiNbO_3 中の Cu^{2+} イオンの ESR および光学的実験解析の結果、 Cu^{2+} の d 電子のエネルギー準位を得た。5.1 節で述べた C_{4v} の対称場中の 3d 電子の基底状態は、

(1) 基底状態が B_1 すなわち $|x^2 - y^2\rangle$ ならば、

$$g_z = g_x = 2 - \frac{8\lambda}{E_0} \quad (15)$$

$$g_{\perp} = \frac{g_x + g_y}{2} = 2 - \frac{2\lambda}{E_1} \quad (16)$$

(2) 基底状態が A_1 すなわち $|3Z^2 - r^2\rangle$ ならば

$$g_z = 2 \quad (17)$$

$$g_{\perp} = 2 - \frac{6\lambda}{E_2} \quad (18)$$

で与えられる。ここに λ は L-S 結合定数。 E_0 、 E_1 、 E_2 はそれぞれ B_1B_2 、 B_1E 、 A_1E エネルギー準位間のギャップである。

$\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}^{2+}$ より得られた g_z 、 g_{\perp} は $g_z = 2.381 > 2$ 、 $g_{\perp} = \frac{g_x + g_y}{2} = 2.091 > 2$ で、 E_0 、 E_1 があまり大きく違わないとすれば、 $g_z - 2$ は $g_{\perp} - 2$ の約 4 倍で、 $\text{LiNbO}_3 : \text{Cu}^{2+}$ の基底状態は、 B_1 すなわち $|X^2 - Y^2\rangle$ である。群論の指標表より、 C_{4v} では E_1 は許容遷移、 E_0 は禁制遷移である。光吸収より得た $850 \text{ m}\mu = 11765 \text{ cm}^{-1}$ は E_1 に対応する。式 (16) より $\lambda = -533 \text{ cm}^{-1}$ が得られる。ちなみに、 Cu^{2+} の自由イオンの L-S 結合定数 λ_0 は -830 cm^{-1} である。 λ を式 (16) に代入して、 E_0 として 11193 cm^{-1} が得られる。これらエネルギー準位の様子を図 12. に示す。

われわれは、基底状態 B_1 における ESR を測定したのである。基底状態 B_1 は磁場を印加すると、図 13. のように基底状態のエネルギー準位が分裂する。ここで静磁場の方向は、4.1.2 項の $\theta_0 =$

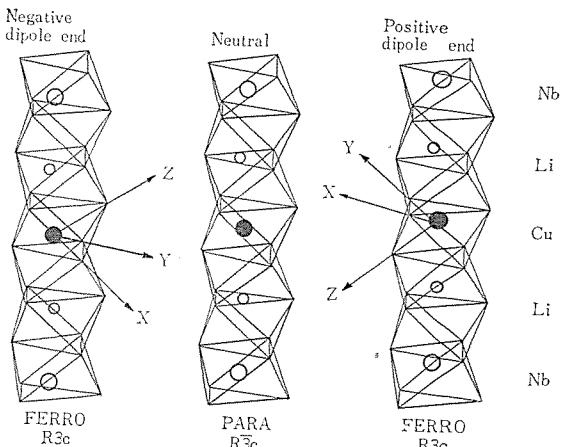


図 11. LiNbO_3 結晶中の Cu^{2+} センタ

51°, $\phi_0=0^\circ$ の方向である。これは式(6)の固有値の磁場依存性として得られる。

5.3 超微細構造定数の符号決定について

基底状態における spin Hamiltonian 定数で, g 定数は正であるが, 超微細構造定数は正負の値をもつ。図 13.においてエネルギー準位の大きいものより, 1, 2, 3, …, 8 とする。各エネルギー準位間を, クライストロン周波数でスケールすることにより, 共鳴磁場の計算値が得られる。これと共に共鳴磁場の観測値の差の角度依存性測定回数だけの 2 乗和が最小となるように spin Hamiltonian 定数の精密化をはかる。表 5. は A_x , A_y , A_z が正負の値をとる場合の $i-j$ 準位間の共鳴磁場を上記の方法で計算したものである。i は 1 ~ 4, j は 5 ~ 8 の準位である。静磁場方向は $\theta_0=51^\circ$, $\phi_0=0^\circ$ である。表 5. のアンダーラインのある遷移は許容遷移で, 他は四極子相互作用等で非対角項が有限の値を持つ場合に許容遷移となる。LiNbO₃: Cu²⁺ の場合, 四極子相互作用はほとんど無視でき, アンダーラインをほどこした 4 本の遷移しか観測されない。

表 5. から一般に次のことが知れる。 A_x , A_y , A_z の極性をすべて同時に変えた組どうしの許容遷移は, その共鳴磁場が 10^{-4}Oe まで等しい。禁制遷移では, 10^{-1}Oe の共鳴磁場の差異がある。次に A_x , A_y ,

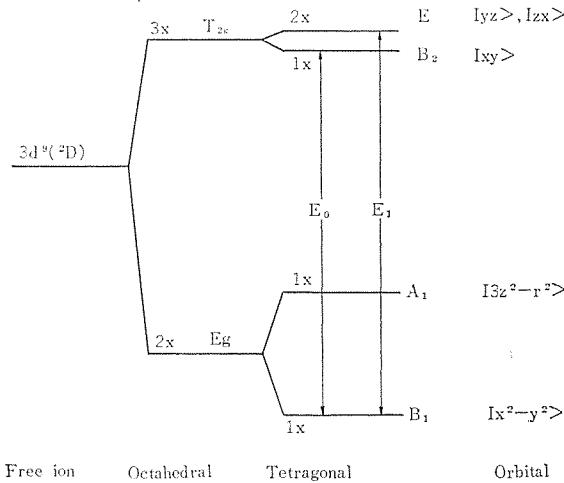


図 12. LiNbO₃ 結晶中の Cu²⁺ の 3d 電子のエネルギー準位

表 5. 超微細構造定数 A_x , A_y , A_z の極性の違いによる各エネルギー準位間の共鳴磁場 (α) (クライストロン周波数は 9.5129 GHz としている)

ENERGY LEVEL \ AxAyAz	+++	++-	+-+	+--	-++	-+-	--+	-- -
1-5	2854.8627	2854.2120	2854.2120	2854.8627	2854.2121	2854.8627	2854.8647	2854.2121
1-6	2819.4394	2819.0173	2819.0171	2819.4396	2819.0170	2819.4397	2819.4398	2819.0168
1-7	2784.2760	2784.0749	2784.0707	2784.2763	2784.0705	2784.2766	2784.2769	2784.0701
1-8	2749.3634	2749.3646	2749.3643	2749.3639	2749.3639	2749.3643	2749.3648	2749.3634
2-5	2889.5781	2889.1336	2889.1338	2889.5779	2889.1340	2889.5777	2889.5812	2889.1342
2-6	2854.1552	2853.9388	2853.9388	2854.1552	2853.9388	2854.1552	2854.1571	2853.9388
2-7	2818.9888	2818.9936	2818.9891	2818.9890	2818.9890	2818.9891	2818.9913	2818.9888
2-8	2784.0701	2784.2765	2784.2766	2784.0705	2784.2763	2784.0707	2784.0730	2784.2760
3-5	2924.5251	2924.2968	2924.2973	2924.5247	2924.2975	2924.5245	2924.5257	2924.2979
3-6	2889.1053	2889.1045	2889.1050	2889.1051	2889.1051	2889.1050	2889.1048	2889.1053
3-7	2853.9388	2854.1593	2854.1552	2853.9388	2854.1552	2853.9388	2853.9388	2854.1552
3-8	2819.0168	2819.4390	2819.4397	2819.0170	2819.4396	2819.0171	2819.0173	2819.4394
4-5	2959.7117	2959.7140	2959.7108	2959.7112	2959.7112	2959.7108	2959.7116	2959.7117
4-6	2924.2979	2924.5283	2924.5245	2924.2975	2924.5247	2924.2973	2924.2969	2924.5251
4-7	2889.1342	2889.5865	2889.5777	2889.1340	2889.5779	2889.1338	2889.1336	2889.5781
4-8	2854.2121	2854.8668	2854.8627	2854.2121	2854.8627	2854.2120	2854.2120	2854.8627

A_z のどれか一つまたは二つの極性を変えた組の各準位間の許容遷移は, 10^{-3}Oe の共鳴磁場の差異がみとめられ, 禁制遷移では, 10^{-1}Oe の差異が存在する。四極子相互作用が存在する場合, これらの傾向は大きくなる。それゆえ, 四極子相互作用等は, 超微細構造定数の符号決めて有力な情報を与え, 5.4 節で述べる遷移確率も考慮すると, 絶対符号の決定も可能となる。ただし, 現在の ESR 分光器では, 10^{-3}Oe までの磁場の絶対測定はまだ可能でない。 $S \geq 1$ の場合に存在する微細構造定数 (D, E) は微細構造相互作用がゼーマン相互作用と同じ程度のときには, D, E の極性の違いにより共鳴磁場が大きく変化する場合がある。⁽¹²⁾ これらの場合の D, E の符号と, 共鳴磁場, 遷移確率との相関は, 別の機会に報告する。

5.4 結晶中の不純物センタの定量分析法の可能性と ESR 結晶解析システムの作成

表 6. \parallel LiNbO₃: Cu²⁺ の $H \perp y'$, $\theta_0=51^\circ$, $\phi_0=0^\circ$ における表 4. で示した主軸系の遷移確率を示す。もし四極子相互作用が $A/100 \sim$

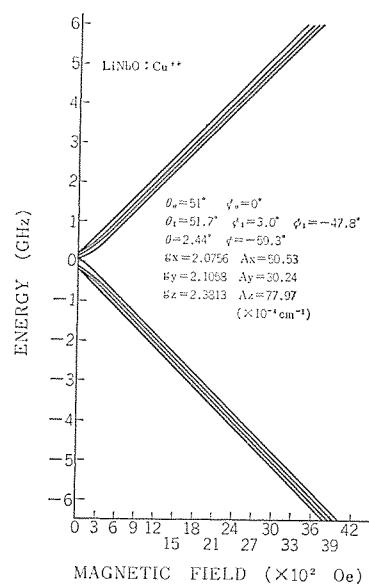


図 13. 一般的な静磁場方向における LiNbO₃ 中の Cu²⁺ センタの基底状態のエネルギー準位の磁場依存性

表 6. 一般的な静磁場における LiNbO_3 中の Cu^{2+} センタの各エネルギー準位間の遷移確率

共鳴磁場 (0e) 遷移確率 (i-j)	2749.36 (1-8)	2818.99 (2-7)	2889.11 (3-6)	2959.71 (4-5)
W(1-5)	$0.395690 \times 10(-16)$	$0.641302 \times 10(-14)$	$0.295503 \times 10(-16)$	$0.254359 \times 10(-16)$
W(1-6)	$0.172663 \times 10(-9)$	$0.155874 \times 10(-9)$	$0.146293 \times 10(-9)$	$0.133130 \times 10(-9)$
W(1-7)	$0.393729 \times 10(-7)$	$0.375169 \times 10(-7)$	$0.357782 \times 10(-7)$	$0.341461 \times 10(-7)$
W(1-8)	$0.231803 \times 10(0)$	$0.231804 \times 10(0)$	$0.231805 \times 10(0)$	$0.231807 \times 10(0)$
W(2-5)	$0.186128 \times 10(-9)$	$0.162166 \times 10(-9)$	$0.158008 \times 10(-9)$	$0.142806 \times 10(-9)$
W(2-6)	$0.562859 \times 10(-7)$	$0.535379 \times 10(-7)$	$0.510053 \times 10(-7)$	$0.486018 \times 10(-7)$
W(2-7)	$0.231766 \times 10(0)$	$0.231770 \times 10(0)$	$0.231772 \times 10(0)$	$0.231775 \times 10(0)$
W(2-8)	$0.498680 \times 10(-7)$	$0.475265 \times 10(-7)$	$0.451441 \times 10(-7)$	$0.430217 \times 10(-7)$
W(3-5)	$0.454098 \times 10(-7)$	$0.430812 \times 10(-7)$	$0.409792 \times 10(-7)$	$0.389834 \times 10(-7)$
W(3-6)	$0.231765 \times 10(0)$	$0.231769 \times 10(0)$	$0.231771 \times 10(0)$	$0.231775 \times 10(0)$
W(3-7)	$0.668118 \times 10(-7)$	$0.634687 \times 10(-7)$	$0.604930 \times 10(-7)$	$0.575809 \times 10(-7)$
W(3-8)	$0.431656 \times 10(-8)$	$0.391836 \times 10(-8)$	$0.355490 \times 10(-8)$	$0.321113 \times 10(-8)$
W(4-5)	$0.231805 \times 10(0)$	$0.231806 \times 10(0)$	$0.231808 \times 10(0)$	$0.231809 \times 10(0)$
W(4-6)	$0.501807 \times 10(-7)$	$0.476724 \times 10(-7)$	$0.453871 \times 10(-7)$	$0.432757 \times 10(-7)$
W(4-7)	$0.477746 \times 10(-8)$	$0.429729 \times 10(-8)$	$0.391499 \times 10(-8)$	$0.353386 \times 10(-8)$
W(4-8)	$0.103984 \times 10(-13)$	$0.996867 \times 10(-14)$	$0.224536 \times 10(-13)$	$0.742423 \times 10(-14)$

$\theta_0 = 51^\circ, \phi_0 = 0^\circ, \theta_1 = 51.68^\circ, \phi_1 = 2.997^\circ, \psi_1 = -47.83^\circ, \theta = 2.436^\circ, \phi = -59.31^\circ$

$G_x = 2.07557, G_y = 2.1058, G_z = 2.38127, A_x = 0.50530 \times 10^{-2}, A_y = 0.30237 \times 10^{-2}, A_z = 0.77972 \times 10^{-2} (\text{cm}^{-1})$

$Q = 0.0, Q_1 = 0.0 (\text{cm}^{-1}), g_N = 0.0$

A/10程度存在すれば、5.3節で禁制遷移と称していたエネルギー準位間の遷移確率は、許容遷移と同じオーダまでになる。(これは、主軸系における静磁場方向に大きく依存することを留意されたい。)このようにして結晶の任意方向に静磁場を印加した場合の遷移確率の大きさを実際に示した。

ある結晶中の不対電子センタのESRパラメータ(今後Hamiltonian定数、オイラー角等の総称を意味するものとする)が既知ならば、その結晶試料の、ある任意方向でのESR吸収強度と、遷移確率を比較することにより、結晶中の不対電子センタの定量分析に使える。もちろん、飽和現象、エネルギー準位の磁場依存性や緩和時間、双極子相互作用等による線幅の効果、DPPHなど標準物質との相対強度、ESR分光器の磁場変調など、機械定数等を考慮しなければならない。絶対測定問題も含め、これらの実際面での問題や他の遷移金属の場合等は、別の機会に報告したい。またたとえば軌道角運動量の凍結の程度を目安に、Hamiltonianの評価も調べる必要がある。

このESR結晶学の定量法をX線結晶構造解析、およびイオン・マイクロ・アライザ(IMA)の定量法と比較して表7に示す。このようにして、われわれはESR結晶学におけるプログラム・システムを、ある程度完成させた。またX線結晶構造解析のUNICSとの結合も進めている。今ここで、たとえばIMAによる定量分析と定量分析法(CARISMA)との結合を行なえば、不純物サイトの絶対定量測定が可能となる。これら全体の流れ図をESRを中心に描いたのが図14である。

これらシステムの開発、および有機的結合は、ラジカル、カラー・センタ、鉄族イオン、希土類元素イオン等を応用する機能材料、たとえば、けい(螢)光体、レーザ素子、光記録材料、光IC等の材料の研究や、デバイスの開発・評価に有効なものとなろう。

6. む す び

LiNbO_3 結晶中に添加された Cu^{2+} センタは、ESR結晶解析の結果、Nbサイトに置換していることが得られた。光吸収測定および解析とあわせて、 Cu^{2+} の3d電子の電子状態、エネルギー準位を決めた。

spin Hamiltonianをもっとも一般化した形で書き下し、exactに

表 7. ESR, X線, IMAの解析システムの対応

	ESR	X線	IMA
解析方程式	スピニ・ハミルトニア \propto	構造因子 $F(hkl)$	Saha-Eggert 電離方程式
測定値	共鳴磁場 吸収強度 線幅	プラック角(2θ) X線回折強度(hkl)	質量分析によるイオン濃度
パラメータ	spin Hamiltonian parameter	格子定数 原子座標 温度因子	電子温度 電子密度 イオン化効率
測定値との対応	共鳴磁場(計算値) 遷移確率	X線回折強度(計算値) $= F(hkl) ^2$	イオン化効率 内部標準濃度(計算値)
解析法	固有値問題 最小2乗法	フーリエ合成 最小2乗法	極値探索法
問題点	エネルギー準位と共鳴磁場の対応付け	位相問題	仕事関数 電子温度 電子密度の評価
解析プログラムシステム	present work & 文献(12)	UNICS ORFLS ORTEP	CARISMA

固有値、固有ベクトル、共鳴磁場、遷移確率を理論的に導出しこれをもとめる、いわゆる computer analysis of ESR crystallographyとして、不対電子センタ(不純物センタ)の濃度の定量測定、微視的構造、電子状態をえるシステムを作成した。さらに、すすめて、このESRのプログラム・システムをX線結晶構造解析、イオン・マイクロ・アライザ(IMA)等の定量解析システム(UNICS⁽¹¹⁾ および CARISMA⁽¹³⁾)との結合および各システムの相補的発展について言及した。

最後に、この研究に対し終始ご指導を賜わった関西学院大学の河

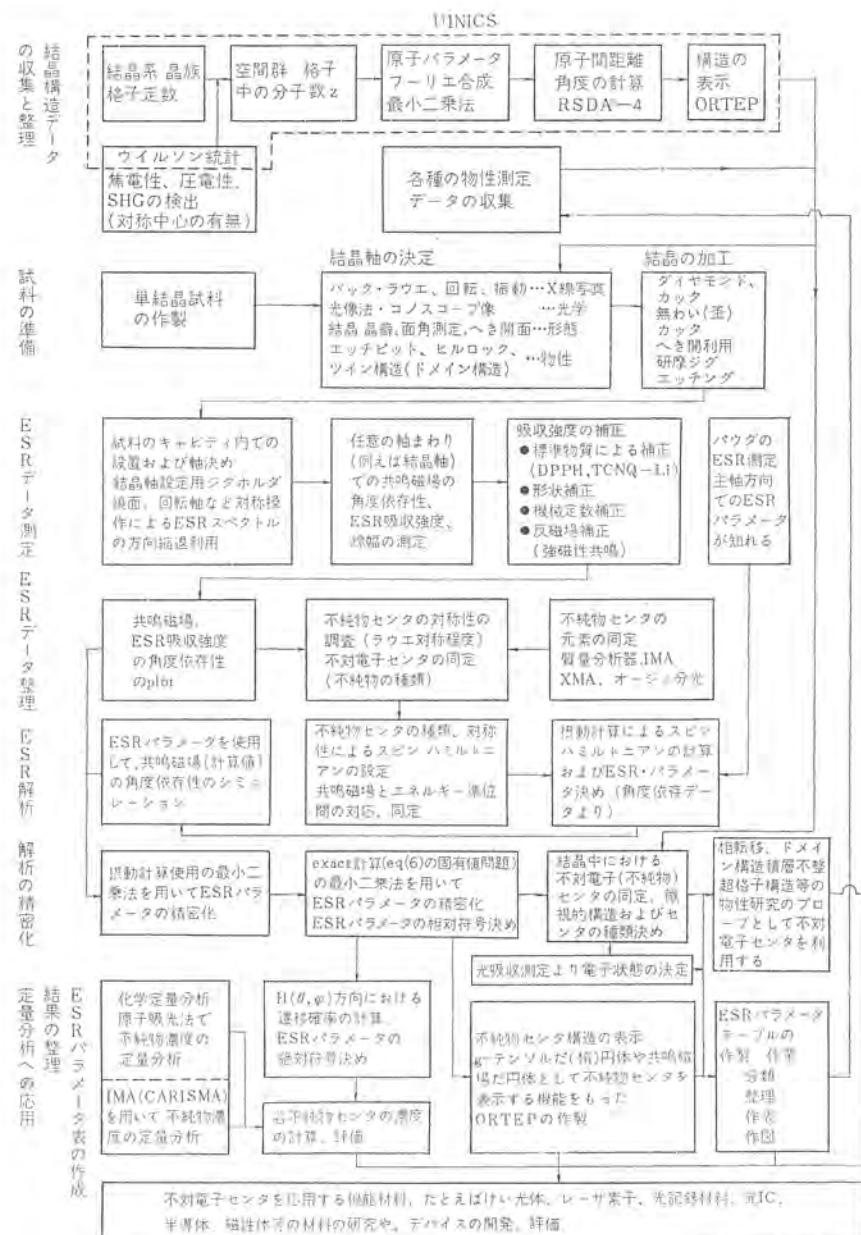


図 14. ESR 結晶解析システムの流れ図

盛阿佐子教授につつしんで感謝の意を表す。ESR 分光器を使用させて下さり、測定にご協力下さった日本電子の森島宏博士、河野雅弘氏、高橋完次氏、ならびに光吸収分光器を使用させて下さった関西学院大学の鈴木啓介教授、また測定にご協力いただいた当所の中山繁樹博士に深謝する。(昭和 49-5-30 受付)

参 考 文 献

- (1) A. Ashkin, et al. : Appl. Phys. Letters, 9, 72 (1966)
 - (2) F. S. Chen : J. Appl. Phys., 40, 3,389 (1969)
 - (3) J. J. Amodei, et al. : Appl. Opt., 11, 390 (1972)
 - (4) A. Ishida, O. Mikami, S. Miyazawa, M. Sumi : Appl. Phys. Letters, 21, 192 (1972)
 - (5) 池尾, 沢田, 岡本, 武藤, 甲斐: 第 20 回応用物理学関係連合講演会予稿集 (昭 48-春季)
 - (6) Gerald Burns, et al. : Phys. Rev., 167, 314 (1968)
 - (7) D. G. Rexford, et al. : J. chem. Phys., 52, 860 (1970)
 - (8) J. C. Danner, et al. : Chem. Phys. Letters, 2, 605 (1968)

- (9) B. Dischler, et al. : Solid State Communications, 2, 737 (1973)
 - (10) G. E. Peterson, et al. : J. Amer. Ceramic. Soc., 56, 278 (1973)
 - (11) 日本結晶学会, 結晶解析 ユニバーサル・プログラムシステム (I)(II)
 - (12) T. Kobayashi : J. Phys. Soc. Japan, 35, 558 (1973)
 - (13) C. A. Andersen, J. R. Hinthorne : Analytical Chem., 45, 1,421 (1973)
 - (14) 河盛阿佐子 : 私信 Cu^{2+} の spin Hamiltonian の主軸系における解析・研究があり, われわれの一般的な取扱いの基礎となつた
 - (15) S. C. Abrahams, H. J. Levinstein, J. M. Reddy : J. Phys. Chem. Solids, 27, 1,019 (1966)
 - (16) S. C. Abrahams, J. M. Reddy, J. L. Bernstein : ibid, 27, 997 (1966)
 - (17) K. Aizu : J. Phys. Soc. Japan, 27, 387 (1969)

電子写真用 CdS 粉末結合剤の検討

草川 英昭*・増見達生* 尾形仁士**

1. まえがき

コロナ帶電と光導電性を利用して静電潜像を得、これをクーロン力によりトナー現像する電子写真法は 1939 年 C. F. Carlson によって発明されて以来、複写機の主流として発展し、多くの方式および材料が研究され実用化されてきた。これらは実際の使用面から二通りに大別される。すなわち直接現像方式あるいは C. P. C. (Coated paper copying) と、転写現像方式あるいは P. P. C. (Plane paper copying) である。前者の代表的なものとしては酸化亜鉛 (ZnO) 粉末を、樹脂を結合剤として導電加工紙上に塗布したものがあり、エレクトロファックスの名で呼ばれている。また後者はセレン (Se) 蒸着膜を用いた Xerox により代表される。その他、有機物半導体、とくにポリビニルカルバゾール (PVK) が両方式へ実用化されている。

最近さらに高感度の電子写真を得るために光導電材として硫化カドミウム (CdS) を用いることが実用化されている。この硫化カドミウムも酸化亜鉛と同様に粉末状で結合剤樹脂に分散、塗布した膜を用いるが、酸化亜鉛の場合と異なり、暗抵抗が十分には高くなく、したがって静電荷の保持力が弱いのでこれを補うために CdS 層の上に透明誘電体層を設けた複合式感光板として使用する方式が取り入れられ、高感度電子写真複写機として桂川電機からは KIP 方式⁽¹⁾、キヤノンからは NP 方式⁽²⁾としてすでに発表されている。

硫化カドミウム粉末の結合剤としては、先に酸化亜鉛用として選択、開発されて以来多くの樹脂が使用され研究されてきたが、経験的な域を脱していないのが現状だと思われる。この報告ではいくつかの類型的な樹脂を CdS の結合剤として選び、それぞれの樹脂が CdS 結合剤としてどのような特性を持つかをポリエチルフィルムを積層することにより、結合剤樹脂のガラス転移点、誘電率、電気抵抗値などを介して感光板の特性を評価するかわりに、実際の複写機の動作と近い状態で、すなわち初期表面電位をパラメータとして感光板の暗所および明所での表面電位の減衰を測定することにより比較、検討した。

2. 実験

2. 1 感光板試料の製作

2. 1. 1 感光板の構成

感光板試料の基本的構成を図 1 に示す。厚さ 1.5 mm のアルミニウム板、約 100 μm の厚さの CdS-結合剤層、および約 12 μm の厚さのマイラーフィルム層とから成っている。試料作製の手順は次のとおりである。

(1) 次に述べるように調合した CdS-結合剤をブレード法にてマイラーフィルム上に塗布する。

(2) 一昼夜放置後 CdS 層上に約 1 μm の厚さに Al 蒸着を行う。

(3) Al 蒸着面とアルミニウム板が接するように感光板を作製する。

2. 1. 2 CdS-結合剤層の調合

感光板試料の作製には大日本塗料製 CdS を用い、結合剤にはシリコンワニス KR 206 (信越化学)、マジクロンクリヤ TA 5 (関西ペイント)、ポリメチルメタクリレート (和光純薬)、アクリロイド B 72 (Rhom and Haas)、ポリビニル 酢酸 (和光純薬)、およびエスレック BM 2 (積水化学) の計 6 種を選んで用いた。これらの結合剤を溶解させるのに用いた溶媒および結合剤の略称を表 1 にまとめて示す。今後は感光板試料の略称も CdS 層を構成する結合剤の略称と同じものを用いることにする。PMMA およびアクリロイドおののの 2 g をメチルエチルケトン 11.2 g に、ブチラール 2 g をジオキサンに溶解させ、よくかくはん (攪拌) 後 CdS 18 g を加え、数時間かくはんした。これをドクターブレードにてマイラーフィルム上に塗布し、その後自然乾燥させた。PVAc, KR, マジクロンの不揮発成分はおののの、54, 50, 44% であり、不揮発成分の 15% 溶液を表 1 の溶媒を用いて作り、あとは PMMA などと同様にマイラーフィルムに塗布した。ただし、KR およびマジクロンの場合は、塗布後一晩放置し、溶媒を蒸発させるために 80°C で 3 時間加

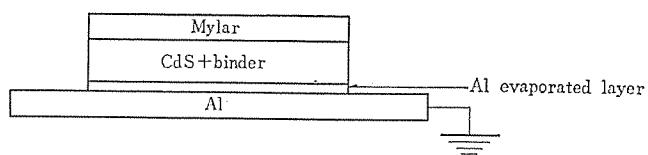


図 1. 感光板試料の構成

表 1. 結合剤樹脂と溶媒

結合剤樹脂	略称	溶媒
シリコンワニス	KR	キシレン
マジクロンクリヤ TA 5	マジクロン	キシレン
ポリメチルメタクリレート	PMMA	メチルエチルケトン
アクリロイド B 72	アクリロイド	メチルエチルケトン
ポリビニル 酢酸	PVAc	酢酸ブチル
エスレック BM 2	ブチラール	ジオキサン

熱し、さらに結合剤樹脂の架橋反応のために130°Cにて5時間加熱した。

2.2 測定装置

この実験を行なった装置の概念図を図2.に示す。コロナ放電用金線(50 μmφ)とその直流電源、表面電位計(川口電機、SSV II-30)、二つの白色光源、レコーダおよび試料を駆動させるモータから成っている。前項で述べた手順で作製した試料を、そのアルミニウム板を底にして、あらかじめ接地してあるアルミ製の試料支持台に乗せるようにしてある。そしてこの試料支持台は駆動モータ、マイクロスイッチおよびリレーにより往復運動するようになっている。支持台の移動速度は20 cm/sであり、帶電時間は約0.1秒である。光源のエネルギーは約15 mW/cm²、表面電位計の応答時間は約0.3秒である。

2.3 測定方法

- (1) V_D (暗所でコロナ帶電し、一定時間後に露光したときの表面電位)の測定方法
 - (a) 全面露光しながら、正のコロナ帶電を行なう。
 - (b) 初期表面電位 v の測定を行なう。
 - (c) 暗所にて、負のコロナ帶電を行なう。(帶電電圧-5 kV)
 - (d) 一定時間後露光し、その直後の表面電位 V_D を読む。
- (2) V_L (露光しながらコロナ帶電し、一定時間後に再度露光したときの表面電位)の測定方法
 - (a) 全面露光しながら、正のコロナ帶電を行なう。
 - (b) 初期表面電位 v の測定を行なう。
 - (c) 露光しながら、負の帶電を行なう。(帶電電圧-5 kV)
 - (d) 一定時間後、再度露光しその直後の表面電位 V_L を読む。

各プロセスの直後のマイラ層とCdS層の電位分布を模式的に図3.

に示す。

2.4 等価回路

感光板試料をコロナ帶電器にさらし、感光板試料の表面電位を観測するときの等価回路を図4.に示す。すなわち、マイラフィルムはその静電容量、CdS層は静電容量と抵抗により等価的にあらわされると考える。ただし、図4.において変数を次のように定義する。

この回路に対して次の連立方程式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} V_d &= R_g i \\ C_1 V_1 - C_1 v &= \int_0^t i dt \\ C_2 V_2 &= \int_0^t i_2 dt \\ V_2 &= R i_1 \\ i &= i_1 + i_2 \\ V &= V_d + V_1 + V_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

この方程式を解くにあたって次の仮定をおく。

- (1) R_g は放電電圧によらず一定である。
- (2) 光照射により R は変化するが C_2 は変化しない。
- (3) 帯電前にはマイラ層にだけ電圧 v がかかる、CdS層の電圧は0とする。2.3節で述べたように、初期表面電位 v の測定前に、全面露光しながらコロナ帶電していることからこの仮定は満足されているものと考えられる。なぜなら露光時のCdS層の抵抗は $10^9 \Omega$ 程度、また静電容量は $10^{-11} F$ 程度であり、時定数 $C_2 R$ は $10^{-2} s$ 程度に過ぎないからである。

この条件のもとに連立方程式の解は V_1 について

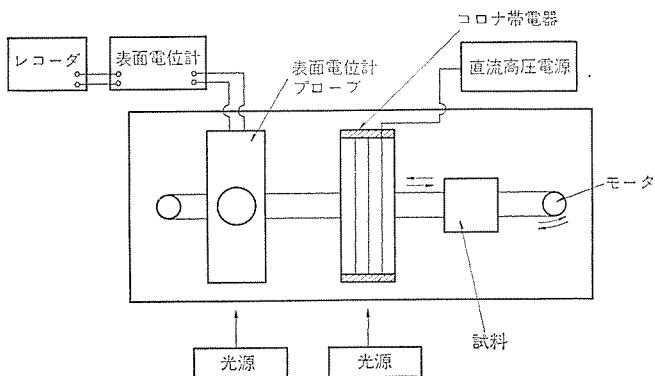


図2. 測定装置

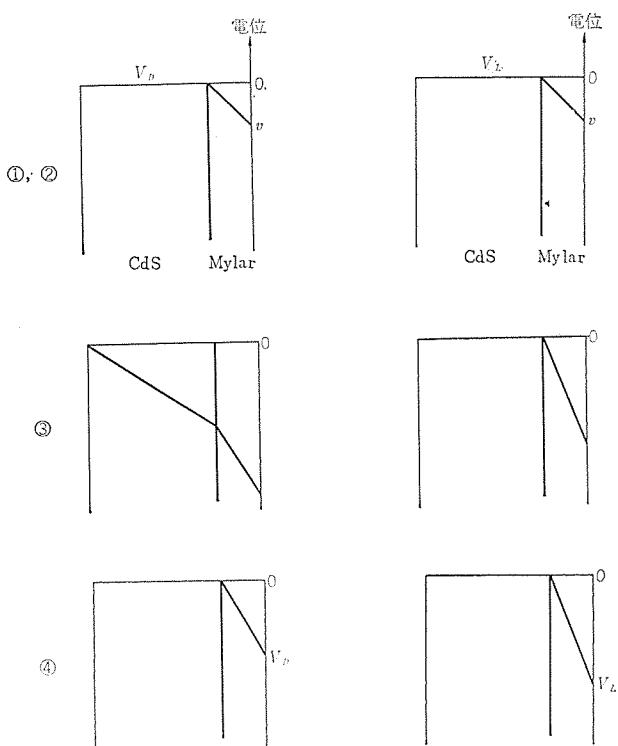


図3. V_D , V_L および v

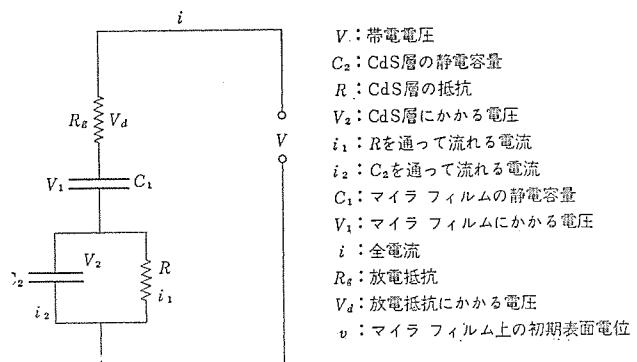


図4. 等価回路

$$V_1 = v + (V - v) \left\{ 1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}} + \frac{-\tau_2 + C_1(R + R_g)}{\tau_2 - \tau_1} (e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}}) \right\} \quad (2)$$

ただし

$$\alpha = C_1 R + C_2 R + C_1 R_g$$

$$\beta = C_1 C_2 R R_g$$

$$\tau_1 = \frac{2\beta}{\alpha + \sqrt{\alpha^2 - 4\beta}}$$

$$\tau_2 = \frac{2\beta}{\alpha - \sqrt{\alpha^2 - 4\beta}}$$

式(2)によれば R , R_g , C_1 , C_2 および V が一定であれば、適当な時間後 t_0 の表面電位 V_1 とマイラ層上の初期表面電位 v との間に線形の関係がある。この実験では v をパラメータとして選び、 V_1 を測定することによって、結合剤による CdS 層の感度の検討を行なった。

3. 結果と考察

3.1 V_D および V_L の測定結果

2.3 節で述べた測定方法に従って得た V_D および V_L の測定結果を結合剤 マジクロンクリヤ, シリコンウニス KR 206, エスレック BM 2 の 3 種類について図 5. に示す。図からわかるように V_D , V_L はそれぞれ v に関して直線を示し、2.4 節で述べたように等価回路で得た V_1 と v の線形関係は十分満足されている。そこでこの直線関係を

$$V_D = a_D v + b_D \quad \dots \dots \dots (3)-1$$

$$V_L = a_L v + b_L \quad \dots \dots \dots (3)-2$$

とそれぞれ表現して a_D , b_D , a_L , b_L を最小二乗法を用いて求める。と ブチラールの三つの試料についてそれぞれ $a_D = 0.82, 0.85, 0.95$, $b_D = -680, -520, -510$, $a_L = 0.35, 0.36, 0.35$, $b_L = -1240, -1070, -1000$, となった。

さらに $\Delta V = V_D - V_L$ なる量は電子写真における静電潜像のコントラストを表わす量として、CdS 層の感度と密接な関連性を持つと考えられることから $\Delta V = (a_D - a_L)v + (b_D - b_L) = a'v + b'$ とおき、ブチラールの三つの試料について a' , b' を求めると $a' = 0.47, 0.49, 0.60$, $b' = 560, 550, 490$ となる。 a' , b' おのののはそのばらつきがせいぜい 30% 程度でおさまっており、これらを単純に平均して、ブチラールの特性定数として $a' = 0.52$, $b' = 530$ を得た。

他の試料、KR, マジクロン, PMMA, アクリロイド, PVAc についても、それぞれ数個のサンプルより上と同様にして a_D , b_D , a_L , b_L , a' , b' を求めたので、それらを表 2. にまとめて示した。

前述したように、 $\Delta V = a'v + b'$ が静電潜像のコントラストを表わすと考えて、 ΔV を大きく与える感光板ほど良好な特性をもつといえるであろう。ここで b' のみを評価するために $v = 0$ の条件で考えると $\Delta V = b'$ となり、大きな b' の値を持つ感光板として順に PVAc > アクリロイド > PMMA > ブチラール > マジクロン > KR となる。 b' は 2.3 節の図 3. で説明したように暗時での CdS 層の電位の保持力に等しいので CdS 層の暗所での抵抗 R_D の大きさの目安になるであろう。しかしブチラールのように比較的抵抗の小さい樹脂 ($10^{10} \sim 10^{12} \Omega \text{ cm}$) が KR ($\sim 10^{14} \Omega \text{ cm}$) あるいは マジクロン ($\sim 10^{15} \Omega \text{ cm}$) より大きな電位の保持力を持つことから、結合剤に用いた樹脂の電気抵抗は CdS 層全体の電気抵抗 R_D に直接は効果をおよぼしていないようである。実際このような系では樹脂に対する CdS 粉体の分散性、樹脂の接着性、吸湿性等が R_D に対して大きな因子となることは容易に想像される。

CdS 層のみの光感度を評価する場合には V_L 、すなわち b_L を考えればよいであろう。なぜなら V_L はマイラ層に保持した電荷量であり、いかに光照射下の CdS 層の影響を受けないかという量である。この考えに従って感光板をならべると PVAc > PMMA > マジク

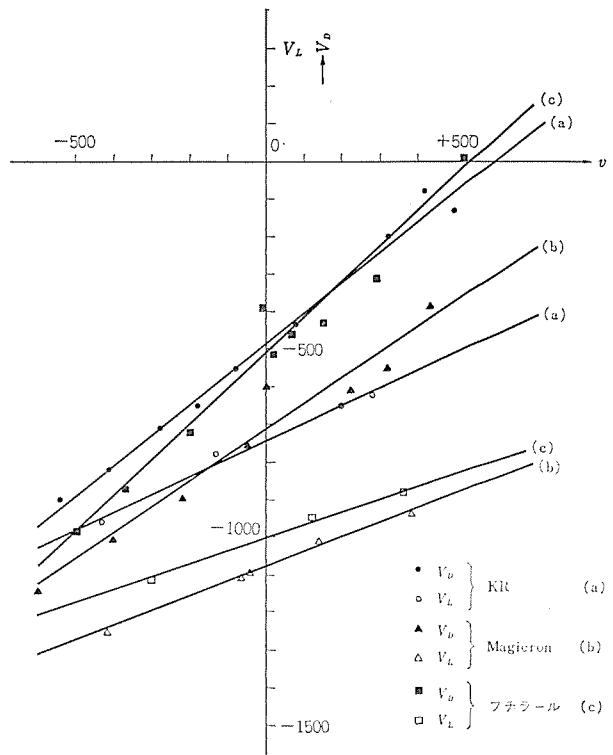


図 5. KR, マジクロンおよびブチラールの V_D と V_L

表 2. a_D , b_D , a_L , b_L , a' , b' の実験値

試料名	a_D	b_D	a_L	b_L	a'	b'	b'/b_D
KR	0.76	520	0.42	930	0.34	410	0.79
マジクロン	0.68	960	0.27	1,440	0.41	480	0.50
PMMA	0.70	920	0.32	1,530	0.38	610	0.66
アクリロイド	0.58	630	0.23	1,310	0.35	680	1.08
PVAc	1.09	900	0.16	1,710	0.95	800	0.89
ブチラール	0.87	570	0.35	1,100	0.52	530	0.93

ロン > アクリロイド > ブチラール > KR となる。すなわち PVAc 樹脂は CdS 層の光導電性をもっとも効率よく利用できる結合剤であり、ブチラール樹脂、シリコン (KR) 樹脂はあまり効率は良くないと思われる。

次に b_D は現像過程においては不用のものであり、この値が大き過ぎるといわゆる バックグラウンド の原因となり、これが小さいほど望ましい。したがって b_D から見た感光板の優劣は KR > ブチラール > アクリロイド > PVAc > PMMA > マジクロン の順となる。以上 b' , b_L および b_D のそれぞれについて感光板の優劣を検討したが下にこれらをまとめる。

$\Delta V = b'$: PVAc > アクリロイド > PMMA > ブチラール > マジクロン > KR

$V_L = b_L$: PVAc > PMMA > マジクロン > アクリロイド > ブチラール > KR

$V_D = b_D$: KR > ブチラール > アクリロイド > PVAc > PMMA > マジクロン

以上電子写真の特性に対して三つの因子 b' , b_L および b_D を検討したが、これらがそれぞれ電子写真の感度にどの程度の寄与をするかは、電子写真の方式および露光量などの使用条件によって違うと思われる。しかし電子写真用の良好な感光板を得る目標として、バックグラウンド が小さく、かつコントラストが大きいことの二つを考え、

これを表わす実際的な量として

$$\frac{b'}{b_D} = \frac{b_D - b_L}{b_D}$$

を用い、この値が大きいほど良好として順にならべるとアクリロイド>ブチラール>PVAC>KR>PMMA>マジクロンとなる。

次に a_D , a_L , a' はそれぞれ V_D , V_L , ΔV に対する γ の効果を与えるものである。まず a' は γ が正の場合は ΔV を大きくし、したがってコントラストを大きくするので a' が大きいほうが望ましいが、 γ が負の場合は必ずしも ΔV を大きくする方向に働くわけではないから a' は大きいほうがよいとはかぎらない。また a' が小さいほど、 ΔV の γ に対する依存性がなくなりコントラストの強さは安定するといえる。 a_L , b_D も同様に γ の正負で役割が異なり、その大きさによって一般的に良否を判断することは困難であろう。いずれにしても a_L , a_D および a' なる量は電子写真の方式に特に強く依存する量であり、一般的な評価の対象として論ずるには適当な量ではないであろう。

感光板の特性をここで求めた a' , b' だけで判断することは、 a' および b' が帶電電圧ならびに照射光強度（これにより式（2）中の R が変化する）に依存することから問題はあるが、同じ条件下で測定した各試料間の相対的な評価を論ずる場合には、それほど問題はないと考えられる。

3.2 等価回路モデルの評価

a_L および a_D を式（2）を用いて実際に計算し、実測値と比較してみる。式（2）中の R は光照射時には R_L 、暗時は R_D 、として、ブチラールの CdS 層のみの電流値の測定結果から $R_L = 1 \times 10^9 \Omega$, $R_D = 1 \times 10^{11} \Omega$ となった。さらにマイラフィルムおよびブチラール CdS 層の

静電容量を測定しそれぞれ $C_1 = 1 \times 10^{-10} \text{ F}$, $C_2 = 1 \times 10^{-11} \text{ F}$ であった。また実験装置の帶電時間は 0.1 秒である。 $R_g = 1 \times 10^9 \Omega$ として各定数、 R_L , R_D , C_1 , C_2 , $t = 0.1 \text{ s}$ を式（2）に代入して計算するとブチラールの特性定数は $a_D = 0.78$, $a_L = 0.32$ となり、実測値 0.87 および 0.35 とよく一致しており、ここで用いた等価回路モデルはこの実験条件下ではよい近似になっていると思われる。

4. む す び

硫化カドミウム電子写真用感光板を種々の結合剤を用いて試作し、その特性、とくに結合剤による感度の影響を初期表面電位をパラメータとして検討することを試みた。電子写真方式そのもの、および露光量、初期表面電位のどの領域で写真を撮るかにより、感光板の特性をここで行なった実験だけから一般的に評価はできない。しかし初期表面電位 γ が常に 0 近傍にあるような方式を採用するとき、バックグラウンドの点からは KR およびブチラールが、コントラストの点からは PVAC, アクリロイドが、両者とともに考慮すると、アクリロイド、ブチラールがすぐれていることが判明した。しかし結合剤の決定には、感光板の機械的強度など、電気的特性以外に考慮すべき要素も多く、これらを総合して判断することが必要である。（昭和 49-5-24 受付）

参 考 文 献

- (1) K. Nakamura : IEEE Transactions on Electron Devices, ED-19, No. 4 405 (1972)
- (2) M. J. Mitsui : IEEE Transactions on Electron Devices, ED-19, No. 4 396 (1972)

プラスチック成形品の凍結応力

飯阪捷義*・西本芳夫*

1. まえがき

プラスチック成形品の性能に影響を及ぼす重要な因子として成形過程において成形品内部に形成される凍結応力（内部応力）の程度と分布がある。これらの応力の発生はプラスチック材料が成形機内で高温に急激に加熱され、高い圧力と圧力をうけながら金型内に入り、次に金型内で急激に冷却されるという射出成形過程を通じて、各種形状をした成形品となる場合に避けられない固有の現象である。このような凍結応力は分子論的には高温で高分子鎖が異なる分子鎖間で生ずるずりの効果のためランダムコイル状から延伸された状態となり、このような状態のままで冷却セットされるために生ずる。凍結応力の存在は外部荷重や熱変形および環境応力（亀裂など）に対する抵抗を弱め、成形品としての性能を著しく低下させることになる。したがって材料固有の特性値（理想的な成形条件で作成されたテストピースによる特性値）を使用して設計された成形品が、外部刺激に対して予期せぬ弱さを示し破損などという事故の原因となる場合がある。このように凍結応力のは（把）握は成形部品の信頼性向上のためにきわめて重要である。

現在成形品の凍結応力を定量的に決定する方法として存在するおもなものは、光学的方法としての複屈折法、機械的方法としての応力緩和法、および化学的方法としての溶剤クレージング（crazing）法などがある。これらのうち複屈折法は試料が透明であることを必要とする。また応力緩和法に関しては最近 Jensen⁽¹⁾ によって発表されたもので、まだ一般的な方法論として確立されていないこと、および引張り試験機などの大きな装置が必要である等の欠点をもっている。一方溶剤クレージング法に関しては、溶剤クレージングの実験を行なうことによってプラスチック材の耐環境応力を裂特性を調べ、その材料の薬品に対する接触利用に対して注意を喚起するというのがおもな目的であって、従来までのこの方法の利用の程度は定性的で受動的なものであった。

プラスチックの溶剤クレージングはプラスチックの種類、薬品の種類、温度、浸せき（漬）時間などによって個性的に挙動する。そのメカニズムについては現在のところまだ明りょうに解明されていない。しかしながら、プラスチックの既存応力を溶剤クレージングのしやすさの程度の関数として表現できるように各種因子（薬品、温度、時間）について調べるならば、特定のプラスチック成形部品に対して凍結応力を定量的に測定できる方法となりうる可能性がある。溶剤クレージング法による成形部品の凍結応力測定法の確立は、簡単で容易な方法として現場における製造工程や品質の管理に役立つ有益なものになると期待される。この研究の目的は使用量の多いはん（汎）用プラスチック

としてのポリスチレン樹脂について、その成形部品の凍結応力を簡単、迅速に測定できる信頼性のある方法を確立することである。

2. ポリスチレンの溶剤クレージング

2.1 実験

プラスチック試料は表1に示す三菱モンサント製樹脂である。試験片は内部応力が最も生成しにくい圧縮成形により作成した。成形条件は温度190~210°C、圧力180~200 kg/cm²、時間5分間である。

溶剤としてはプラスチックを溶解させないはん用性のものとして、n-アルコール系メタノール（CH₃OH）、エタノール（C₂H₅OH）、プロパノール（C₃H₇OH）、ブタノール（C₄H₉OH）、およびn-パラフィンとしてのヘキサン（C₆H₁₄）を採用した。

溶剤クレージングの測定は図1に示す4分の1だ（楕）円折り曲げジグにより行なった⁽²⁾。ジグにとりつけられた試片のひずみ（または応力）は曲率半径に応じて連続的に変化する。ひずみは式(1)によって示される。

$$\varepsilon = \frac{b}{2a^2} \left\{ 1 - \frac{(a^2 - b^2)}{a^4} x^2 \right\} t^{-3/2} \quad (1)$$

ここでaおよびbはそれぞれジグの長軸（20cm）および短軸（10cm）、tは試片の厚さ（0.2cm）である。溶剤およびジグをそれぞれ

表1. 試料

試料番号	グレード	HT-88量（%）	備考
No. 1	HF-77	0	一般用
No. 2	HT 88-370	30	
No. 3	HT 88-570	50	
No. 4	HT 88	100	高衝撃用

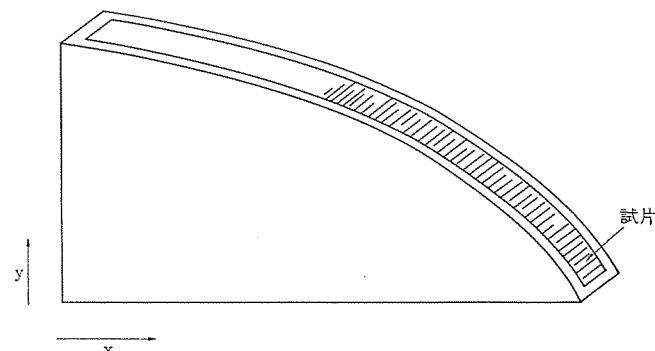


図1. 4分の1だ円折り曲げジグ

恒温槽内で測定温度(20, -20, -70°C)に約30分間保持した後、試片をジグにとりつけ溶剤に浸せきし、1, 10, 100, 1000分後のクレーズの発生状況を目視により調べた。クレーズは高ひずみ側から低ひずみ側へと連続的に発生し、あるひずみ値のところで急激に減少または消滅している。この消滅するときのひずみを臨界ひずみ ϵ_c として求めた。

2.2 結果と考察

高分子物質の諸性質は、その高分子性のため多くの場合に温度および観測時間の関数となる。このような温度および時間依存性は高分子の種類や観測対象とする特性の種類によって異なり、画一的に与えられるものでない。溶剤クレージング現象も温度および時間に依存するものと考えられ、溶剤クレージング法を信頼性のある凍結応力測定法とするためには、このような因子の依存性を調べておく必要がある。

始めに各種ポリスチレンについて溶剤としてエチルアルコールを対象とし、各温度で溶剤クレージングの時間依存性を調べた。結果を図2.に示す。いずれの試料および温度でも時間の経過とともに低ひずみ側へ進行していく。クレーズ発生速度は高温ほど大きくなる。20°Cおよび-20°Cの場合にはここで観察した時間範囲内で臨界ひずみ ϵ_c はほぼ定常値に達している。各試料間におけるクレーズ発生速度の違いについては、低衝撃性になるほど、すなわちゴム含有量が少なくなるほど発生速度が大きくなり、定常値達成時間が短くなるという傾向が観測される。

次にクレーズ発生速度の溶剤の種類依存性を、No. 1およびNo. 4の低および高衝撃ポリスチレンについて調べた結果を図3.および図4.に示す。アルコール中のメチレン基の数が増えるほど、発生速度が大きくなることが両試料で観察される。また注意すべきことは図2.~4.を通じて、高温の場合の定常値となる ϵ_c が各試料および各アルコールで異なった値を与えることである。

図5.は各種ポリスチレン—各種アルコール系について ϵ_c の定常値の温度依存性を調べたものである。 ϵ_c の温度依存性はポリマの種類およびアルコールの種類によってそれぞれ異なる挙動を示す。温度の増加とともにアルコールの種類にかかわらずNo. 1およびNo. 2の ϵ_c

は一定またはわずかに増加するのに対して、No. 3およびNo. 4は減少傾向を示す。アルコールの種類依存性に関してはポリマの種類に応じて高温になるほど、差が大きくなっていくが、低温側ではいずれの試料でもアルコールの種類に依存せず一定値となる。

プラスチックの溶剤クレージングのメカニズムとしてこれまでに提出されているおもな説^{(3)~(5)}として、

(1) ポリマの表面エネルギーが溶剤の接触により低下するため、すなわちGriffithの弾性破壊 $\sigma \approx \sqrt{E_r/c}$ に従う。

(2) 溶剤分子のポリマ内部への浸透。

(3) 溶剤によるポリマの膨潤

などがある。次に現在の実験結果に対しクレージングのメカニズムの考察を行なってみた。

図6.は図2.から一定 ϵ_c に達するまでの時間を絶対温度の逆数に対してプロットしたものである。図において良好な直線が観測され

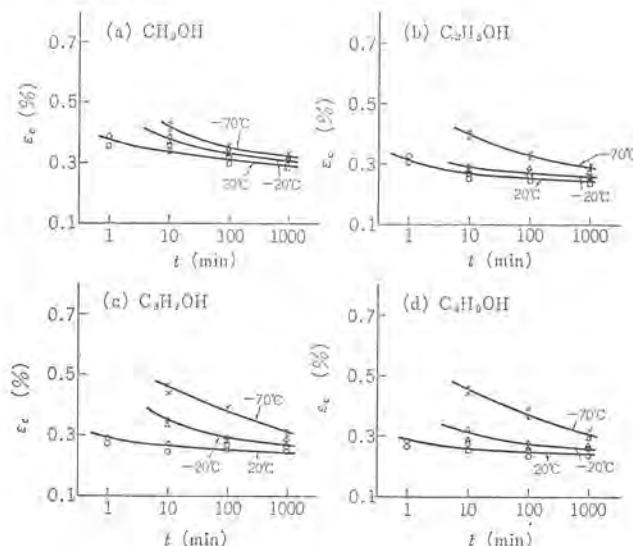


図2. 各種ポリスチレン—エチルアルコール系の臨界ひずみの時間依存性

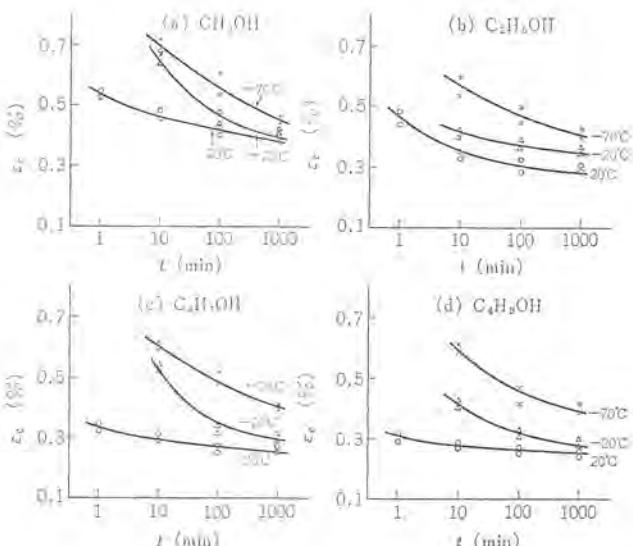


図3. 試料No. 1—各種アルコール系の臨界ひずみの時間依存性

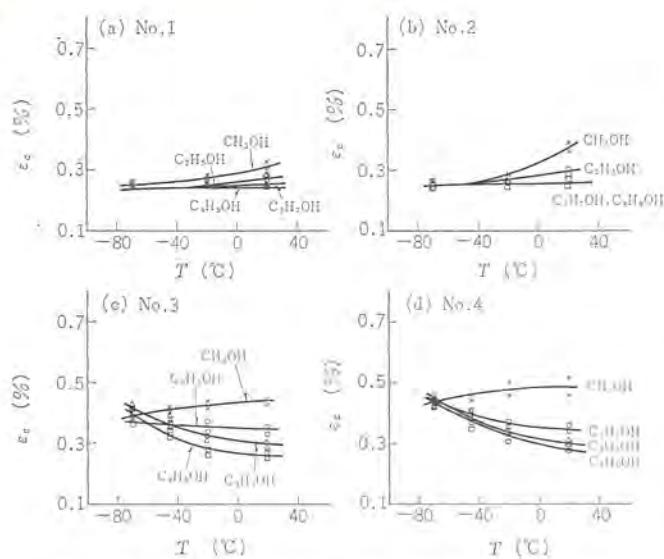


図 5. 各種 ポリスチレン—各種 アルコール 系の臨界ひずみの温度依存性

表 2. 活性化 エネルギー

試	料	ΔE (kcal/mole)
No. 1		3.7
No. 2		7.6
No. 3		8.8
No. 4		9.6

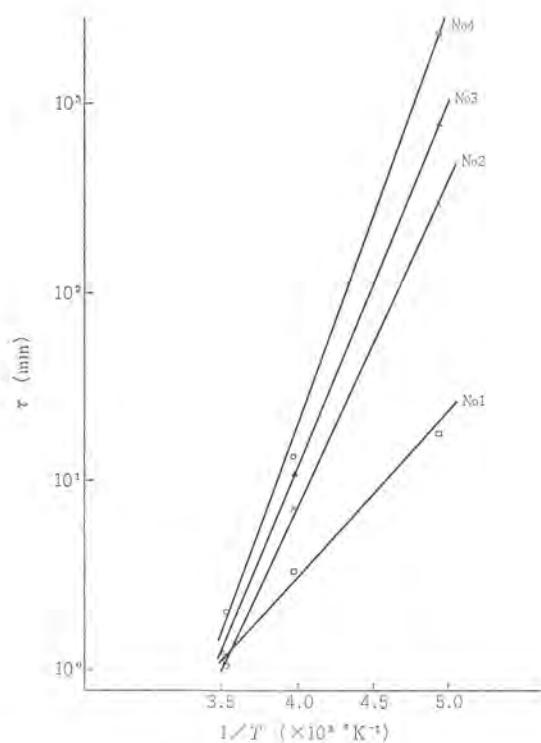


図 6. クレーズ 発生速度定数の温度依存性

ることから クレーズ 発生の速度定数がアーレニウス則に従うことが示される、直線の傾きから見かけの活性化 エネルギーを計算した結果を各試料について表 2. に示す。低衝撃性試料となるほど、活性化 エネルギーは小さくなる。ここで得られた約 10 kcal/mol の活性化 エネルギーはポリマ 中での溶剤の拡散の活性化 エネルギー 値と同程度となる⁽⁶⁾。

いま溶剤 クレージング のメカニズム の一つとして、溶剤の プラスチック への可塑化効果が優勢であるとするなら、ポリマへの少量の溶剤吸収はポリマの流動抵抗を低下させ低応力で変形、すなわち クレーズ を発生させることになる。溶剤の可塑化能力は ポリマ と溶剤との相互溶解度 パラメータ (SP 値) によって予測できる。

図 7. は各温度での溶剤の SP 値に対するおののおのの試料の臨界ひずみをプロットしたものである。ここで文献に記載されていない溶剤の SP 値は式 (2) によって、また潜熱 (L_{25}) は Hildebrand 則により式 (3) から求めた⁽⁷⁾。

$$\delta_L = (CED)^{1/2} = \left(\frac{L_V - RT}{V} \right)^{1/2} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$L_{25} = -2950 + 23.7 T_b + 0.020 T_b^2 \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

図から低温になるほど ε_c は SP 値に依存しなくなるという特異な挙動が観察される。特に No. 1, No. 2 および No. 3, No. 4 は温度によって全く別個の クレージング 挙動を示すものといえる。

表 2. の結果に対して SP 値は ポリスチレン が 8.6、ポリブタジエンが 8.1、また エチル アルコール は 11.1 である。ポリスチレンはゴム量の増加とともに エチル アルコール との SP 値の差が大きくなり可塑化しにくくなる。しかしながら ポリマ 系の SP 値の変化が小さいにもかかわらず 試料間での活性化 エネルギー 値の差が大き過ぎるという事実は必ずしも上述の メカニズム だけでは説明できないことを示している。一方前述の 2. 2 節 (1) 説でも弾性率が各試料でほぼ同じであることから表 2. の結果を説明できず、また 2. 2 節 (2) 説は図 5. に示されるように アルコール 分子の大きさが大きくなるほど ε_c は小さくなるという逆の結果となるので、いずれの場合でも説明できない。現在の巨視的な実験から クレージング の メカニズム について推論することは困難であり、今後、他の物理化学的研究をあわせて行なうことにより明らかになるものと思われる。そして クレージング の メカニズム を解明することは、実際的な応用面に関して適正な予測を可能とするものであり、きわめて意義のあることと思われる。

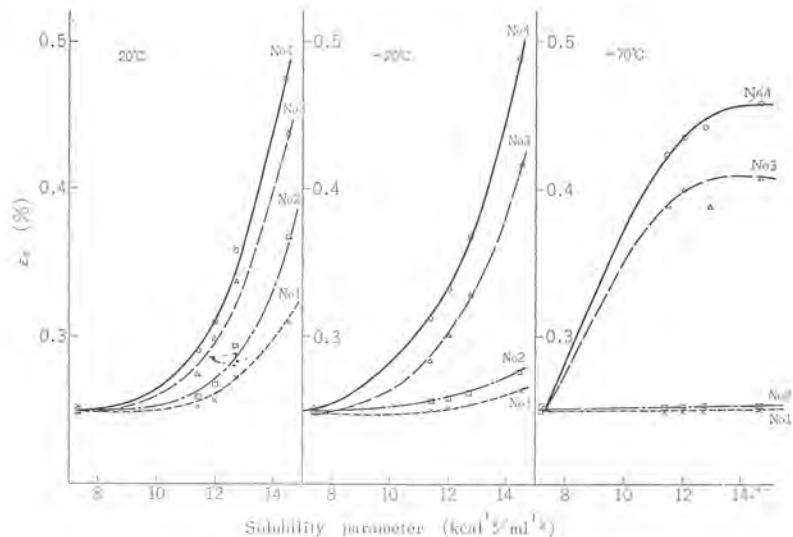


図 7. 臨界ひずみ対溶解度 パラメータ 関係

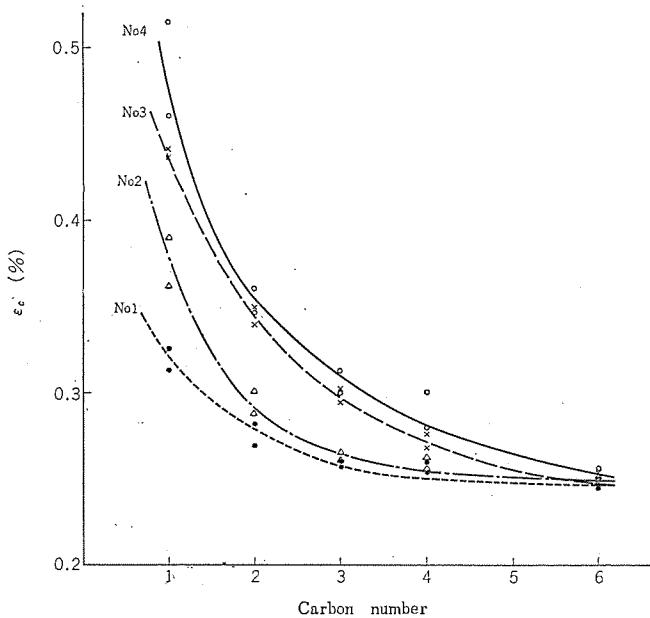


図 8. 各種 ポリスチレンの凍結ひずみ対 アルコールの炭素数関係

以上の実験結果から溶剤クレージング現象はポリマの種類、溶剤の種類、温度、時間などによってきわめて個性的な挙動をすることが示された。しかしながらこのような個性的な挙動を十分は握しておくならば、溶剤クレージング法をより積極的に成形品の凍結応力を測定する方法として活用することが可能である。

図 8. は以上の実験結果から各試料について 20°C (室温) における 180 分後の ε_0 の定常値 (通常 30 分程度でもよい) をアルコールの炭素数に対してプロットしたところ良好な曲線が得られた。ここで炭素数 6 のデータだけはヘキサンによる実験結果を示す。図 8. のデータは、ここで検討したグレードの各種衝撃性ポリスチレン成形品に対して凍結応力を定量的に決定できる重要な関係式を示すものである。

3. ポリスチレン成形部品の凍結応力の測定

図 8. の関係式を利用して各種 プラスチック 成形品の凍結応力の測定を試みた。検討した成形品は照明灯器具関係の部品 3 点 (材料は HF 77 および HT 88-370) および冷蔵庫関係の部品 2 点 (材料は HF 77) である。実験はこれらの成形部品を図 8. に示した各種溶剤に室温で浸せきし、180 分経過後 クレーズの発生状況を調べた。検討した成形品の凍結応力はいずれの場合もきわめて少なく炭素数 4 までのアルコールではいかなる部分からも クレーズは発生しなかった。しかしながらヘプタンに浸せきしたとき、ゲートに近い部分、ウエルド部分、および樹脂の流れ方向に沿って クレーズが各部品で観察された。ヘプタンによって現われた凍結ひずみは 0.2 % 程度であり、通常この程度の凍結ひずみは現在の材料および射出成形技術では避けられないひずみとされている。したがってここで検討した成形品は良好な成形条件で加工されたものであって、この研究で確立した凍結応力測定法の具体的な有用性を示す例としては不適切な選定事例であったといえる。

終わりにこの研究を行なうにあたって、1/4 円曲げジグ、プラスチック試験片および成形部品を恵与していただいた社内の関係各位に感謝します。

参考文献

- (1) M. Jensen : Polymer 14, 193 (1973)
- (2) T. Stolki : SP1 Journal, 48 (1967)
- (3) R. Kambour : Second International Conference on Yield, Deformation and Fracture of Polymers. Cambridge (1973)
- (4) I. Narisawa : J. Polym. Sci. A-2 10, 1,789 (1972)
- (5) H. Schonhorn : J. Polym. Sci. 11, 1,013 (1973)
- (6) 広田：“反応速度論” 共立出版
- (7) Ritchie : “Plasticisers, Stabilizers and Fillers” London Iliffe Books Ltd.

新シリコンエピタキシャル成長法

—2段エピタキシャル成長技術—

高橋 和久*・石井 孝*・近藤 明博*

1. まえがき

近年の集積回路の発達、固体素子の高周波化に伴い、成長層の厚さが薄く、かつ基板との界面における不純物濃度分布が急しゅん(峻)に制御された Si エピタキシャルウエハが強く要求されるようになってきた。このようなウエハは特に高速度のバリキャップ、バイポーラ IC、高周波トランジスタ、あるいは PIN ダイオード、IMPATT ダイオード等で代表されるマイクロ波ダイオードの製作に不可欠なものとなっている。これらの素子は一般に高濃度の不純物を有する Si 基板上、もしくは高濃度に不純物をドープした領域上に成長させた低濃度の不純物を有する Si エピタキシャル層を用いて作成される。一般に Si エピタキシャル成長における不純物濃度の制御は、ドーピングガスの濃度または流量を調節することにより行なわれるが、高濃度の不純物を有する基板に低濃度の不純物を有するエピタキシャル層を成長させる場合には、基板との界面近傍の成長層において、しばしばドーピングガスの濃度、流量から計算される値よりもはるかに高い濃度の不純物を有する領域、すなわちオートドープ領域が現われる。オートドーピング現象による界面近傍の不純物量の増加は、エピタキシャル成長層の実効的な厚さを減少させることとなり、厳密な素子設計、製作の妨げになるばかりでなく、製作された素子の動作効率や信頼性を低下させる原因となる。したがってエピタキシャル成長の初期段階におけるオートドーピング現象の抑制は工業的にきわめて重要な課題となっている。

オートドーピング現象の生じる原因としてはこれまで次のような事柄が指摘されてきた。

(1) 不純物原子の固体内拡散——高濃度の不純物を有する基板から低濃度の不純物を有するエピタキシャル層への不純物原子の固体拡散。⁽¹⁾

(2) 蒸発した不純物原子の再たい(堆)積——基板の表、裏面より熱的に蒸発した不純物原子がエピタキシャル成長に際し再度成長層に取り込まれる。⁽²⁾⁽³⁾

(3) ハロゲンによるエッティング作用——Si ハロゲン化物を Si ソースとする場合、ハロゲンのエッティング作用により基板の表、裏面がエッティングされ、気相化した不純物原子がエピタキシャル成長に際し再度成長層に取り込まれる。⁽⁴⁾

(4) 拡散速度の増長——ハロゲンの存在により基板中の不純物原子の成長層への固体拡散が増速される。⁽⁵⁾

(5) 反応管、サセプタ等の反応系からの汚染。

一方オートドーピング現象を抑制する方法も種々検討されている。

(1) 低温エピタキシャル成長——シラン (SiH_4) の熱分解法、⁽⁶⁾⁽⁷⁾ High-Low Temperature Cycle 法、⁽⁸⁾ Mole Fraction Coating 法⁽⁹⁾ 等による低温エピタキシャル成長。

(2) 基板のコーティング—— Si_3N_4 、 SiO_2 、あるいは高純度多結晶 Si 等で基板裏面を被覆し、不純物原子の蒸発を抑制する。⁽¹⁰⁾

(3) サセプタのコーティング——おもに高純度多結晶 Si により、サセプタを被覆し、有害不純物の蒸発を抑制する。⁽⁶⁾

(4) 固体内拡散の抑制——Si 基板の添加不純物としてたとえば Sb のような拡散速度の小さいものを用いて固体内拡散を抑制する。⁽¹¹⁾

おおのの技術はオートドーピング現象を抑制する上でそれぞれ効果的ではあるが、まだ本質的解決を与えるものとは言いがたい。本質的解決は低温エピタキシャル成長と、反応管中のガス流制御によって可能であると考えられる。

Si のエピタキシャル成長には一般に SiCl_4 または SiHCl_3 の水素還元法が用いられている。これらによる方法は、成長速度が大きい、取り扱いが容易、低価格である等の工業的長所を持っているが、一方成長温度が高い、ハロゲンによるエッティング作用がある等のオートドーピング現象抑制上致命的な欠点を有している。最近しばしば用いられる SiH_4 の熱分解法では成長温度が $900\sim1,000^\circ\text{C}$ と SiCl_4 に比べ $150\sim300^\circ\text{C}$ も低くできる上に、ハロゲンによる副反応が無い長所を持っている。

筆者らは SiH_4 を用いて Si エピタキシャル成長を行なうに際し、Eversteyn らの停滞層モデル⁽¹⁰⁾に基づき横形反応管中のガス流の状態を解析した結果、停滞層の存在がオートドーピング現象を生じさせる本質的原因であることをつきとめ、⁽¹¹⁾ ガス流制御の重要性を認識した。停滞層を考慮し、ガス流を制御することによってオートドーピング現象を完全に抑制する新しいエピタキシャル成長法、名付けて 2段エピタキシャル成長法 (Two Steps Epitaxial Growth Technique) はかかる背景の下に考案された。この方法によれば SiH_4 の低温成長効果と相まって、基板とエピタキシャル成長層界面での不純物濃度分布をきわめて急しゅんにし、熱的な固体内拡散のみを考慮した不純物濃度分布の状態に近づけ得る。

なお、低濃度の不純物を有する基板上に高濃度の不純物を有するエピタキシャル層を成長させる場合には、オートドーピング現象とは逆の現象——オートダイリューション現象——が生じる。この現象も停滞層の存在に起因するもので、2段エピタキシャル成長法により効果的に抑制しえることもあわせ報告する。

2. 2段エピタキシャル成長法

Eversteyn らの停滯層モデルによれば横形反応管中でのガス流は加熱された基板直上に形成される流れのきわめてゆるやかな停滯層と、通常の流れ状態の対流層の2層に分かれる。停滯層中のガスの流速は無視できるほど小さく、Si ソースガスおよびドーピングガス分子の基板への輸送は停滯層中の拡散を通じてのみ行なわれる。図1. は横形反応管中でのガス流状態を考慮した断面構造を示したものである。Si ソースガスおよびドーピングガスはキャリアガスにより対流層を通じて停滯層に運ばれ、拡散により Si 基板表面に到達し、基板表面に吸着、分解の後 Si および不純物原子を析出してエピタキシャル成長が起こる。停滯層の厚さは実験的に

$$\delta(x) = \frac{A}{\sqrt{V_T(x)}} - B \quad \dots \dots \dots (1)$$

で表わされる。 $\delta(x)$ はサセプタのガス上流端からガス流方向に距離 x の位置での停滯層の厚さ、 $V_T(x)$ は x における対流層でのガス流速、A, B は実験定数である。

ここで (i) 対流層内のガスの温度は一定でかつ停滯層上端での温度 T_m に等しい、(ii) 停滯層における温度こう(勾)配は直線的である、と仮定すると $V_T(x)$ は

$$V_T(x) = \frac{V_0 \cdot b \cdot T_m}{(b - x \tan \varphi) \cdot T_0} \quad \dots \dots \dots (2)$$

で表わされる。 V_0 は供給ガスの流速、 b はサセプタのガス上流端 ($x=0$) におけるサセプタ上端から反応管管壁までの距離、 φ はサセプタの傾きである。 T_0 はここで 300K に選ぶこととする。

対流層中のガスの温度(=停滯層上端での温度) T_m は供給ガスの流速 V_0 、およびサセプタの温度(=成長温度) T_s に依存する。したがって、式(1)、(2)から停滯層の厚さ $\delta(x)$ は V_0 、 T_s に依存する。

成長温度においてサセプタおよびシリコン基板より蒸発した不純物の大部分は停滯層中に蓄積する。停滯層中でガスは非常に安定かつ静的であるので、停滯層中の不純物濃度と Si 基板中の不純物濃度との間に平衡関係が成立する。図2. はエピタキシャル成長におけるドーピングガス濃度 P_g と成長層の非オートドープ領域での不純物濃度 C_s との関係を実験的に求めたものである。図よりこの関係は次の実験式で表わすことができる。

$$C_s = \eta \cdot k P_g^{\frac{1}{n}} \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに k は平衡定数、 η は開放系であるための補正係数で添字 $g \rightarrow s$ は不純物原子の停滯層からエピタキシャル成長層への析出を示している。 n は停滯層中の不純物原子の凝集係数であり P_g に依存する。Si 基板の不純物濃度 C_s^* と基板から蒸発して停滯層に蓄積している不純物の濃度 P_g^* との間の平衡関係は式(3)と同様に考えて次式で表わすことができる。

$$C_s^* = \eta \cdot k P_g^{\frac{1}{n}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

添字 $S \rightarrow g$ は不純物原子の基板から停滯層への蒸発を示している。

不純物濃度 C_s ($C_s \ll C_s^*$) のエピタキシャル層を成長させるために $C_s = \eta \cdot k P_g^{\frac{1}{n}}$ で示される濃度 P_g の不純物を供給した場合、停滯層中の不純物濃度は Si 基板からの蒸発分 P_g^* を合わせて $P_g + P_g^*$ となる。 P_g^* で表わされる過剰の不純物は停滯層から反応系外へ容易には排出されず、停滯層中を浮遊し、エピタキシャル成長に際して成長

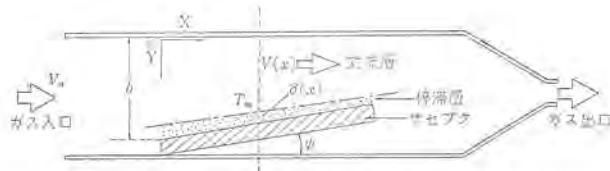


図1. 横形 Si 気相成長炉断面図

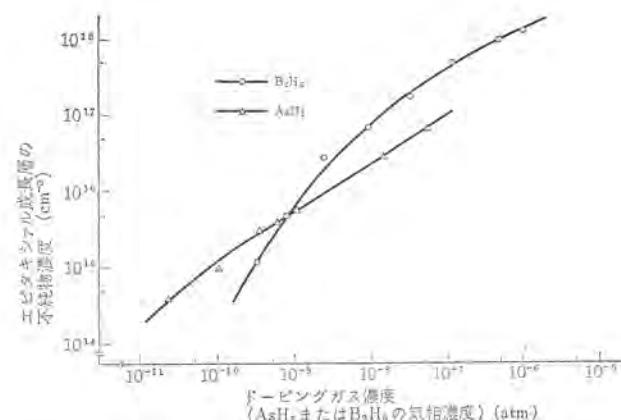


図2. ドーピングガス濃度とエピタキシャル成長層の不純物濃度との関係

層中に再び取り込まれる。したがってエピタキシャル成長のごく初期の成長層の不純物濃度 C_s は

$$C_s = \eta \cdot k (P_g + P_g^*)^{\frac{1}{n}} \quad \dots \dots \dots (5)$$

となる。基板から蒸発した不純物の濃度 P_g^* は外部から供給する不純物の濃度 P_g に比べるかに高く ($P_g^* \gg P_g$)、成長初期のエピタキシャル層の不純物濃度 C_s' は期待される値 C_s よりも高くならざるを得ない ($C_s' > C_s$)。これがオートドーピングと呼ばれる現象で、オートドーピングの抑制には基板からの不純物の蒸発を防ぐ一方、すでに蒸発した不純物を停滯層から取り除くことが本質的であることが理解できる。

基板表面にひとたび薄いエピタキシャル層が成長すると、このエピタキシャル成長層はたとえオートドーピングの影響を受けていてもその不純物濃度は基板の不純物濃度よりも十分低いので、基板からの不純物の新たな蒸発を防ぐ上で効果的である。停滯層中に蓄積した不純物はこの成長層へ取り込まれる一方、拡散によって対流層に移り、反応系外へ排出されるのでその濃度は徐々に減少する。

以上の考察から、エピタキシャル成長工程を2工程に分け、ごく薄い成長層を形成する第1エピタキシャル成長工程と、その後の所要の成長層厚さを得るまでの第2エピタキシャル成長工程とし、この間にガス浄化工程を設ける。ガス浄化工程では供給ガスはキャリアガスのみとし、ソースガス、ドーピングガスの供給は停止してエピタキシャル成長を一時中断しつつ、停滯層中の過剰の不純物(濃度 P_g^*)を反応系外へ排出させ、停滯層中の不純物の濃度を所望の濃度 P_g にまで下げ、よって第2エピタキシャル成長におけるオートドーピングの影響を全く除去することができる。これが2段エピタキシャル成長法の基本概念である。2段エピタキシャル成長法によるSiエピタキシャル成長工程においては、HClによる気相エッティング工程を除く全工程を同一温度で行なえること、さらに第1、第2エピタキシャル成長工程を同一組成のガス供給によって行なえることの簡便さを有し、この点で従来のHigh-Low

Temperature Cycle 法や Mole Fraction Coating 法とは本質的に異なる。

3. 実験方法

実験に用いた Si エピタキシャル成長装置は Hugle 社製、MINIPAC II 形の横形気相成長装置である。図 3. にドーピング系の構成を示す。サセプトにはシリコンカーバイドを被覆したグラファイト板を用い、これを BF (ボロンフリー) 石英管中に設置して高周波加熱した。表 1. に実験に用いた Si 基板、Si ソース、ドーピントの組成およびおもな成長条件を示す。実験はおもに As ドープ Si 基板上に As ドープ Si エピタキシャル層を成長させる場合について行なった。As は Si に添加されるはん (汎) 用の不純物種の中で蒸気圧が最も高く、したがってオートドーピング現象を最も起こしやすい不純物種であって、オートドーピング現象抑制効果を見る実験には適していると考えられる。

図 4. は 2 段エピタキシャル法による Si エピタキシャル成長工程の典型的な温度一時間スケジュールを示している。実例では高温での HCl ガスによる Si 基板の気相エッティング工程後にも十分なガス浄化時間を設けている。これは HCl によりエッティングされた物質、およびハロゲンを完全に停滞層から反応系外に排出させるためである。

Si 基板温度を成長温度に下げた後、第 1 段階の成長として基板からの不純物の新たな蒸発を防止するのに十分で、かつできるだけ薄い第 1 エピタキシャル成長層を設ける。続くガス浄化工程では Si ソースガス、ドーピングガスの供給を停止し、キャリアガスのみが供給される。したがってこの工程では Si のエピタキシャル成長は起こらない。ガス浄化工程の時間は第 1 エピタキシャル成長層の成長条件に依存して決定される。第 2 段階でのエピタキシャル成長は所要のウエハ特性を満足させるに足る時間続けられる。

エピタキシャル成長層の不純物濃度分布の評価は成長層の表面に階段状の P-N 接合をもつメサイドオードを形成し、その電圧-容量特性を測定することによって行なった。

4. 実験結果

図 5. は HCl により As ドープ Si 基板を気相エッティングした後の反応系の浄化効果がエピタキシャルウエハの界面不純物濃度分布に与える影響について調べた結果である。この実験での Si エピタキシャル成長は従来一般に行なわれている方法により、2 段エピタキシャル成長法は用いていない。長時間のガス浄化処理をほどこしたエピタキシャルウエハ (B) で短時間の浄化処理のもの (A) に比べて界面における不純

表 1. Si エピタキシャル成長条件

Si 基板	N 形		As ドープ Si ($>1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$)
	P 形		Sb ドープ Si ($>1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$)
供給ガス	エッティングガス		100% HCl
	Si ソースガス		10% SiH ₄ (H ₂ ベース)
	ドーピン ガス	N 形	50 ppm AsH ₃ (H ₂ ベース)
		P 形	50 ppm B ₂ H ₆ (H ₂ ベース)
	キャリアガス		99.999% H ₂
成長条件	気相エッティング温度		1200°C
	成長温度		1050°C
	ガス濃度		$\frac{\text{SiH}_4}{\text{H}_2} = 0.1 \sim 0.2\%$ $\frac{\text{AsH}_3}{\text{H}_2}, \frac{\text{B}_2\text{H}_6}{\text{H}_2} = 10^{-11} \sim 10^{-6}$

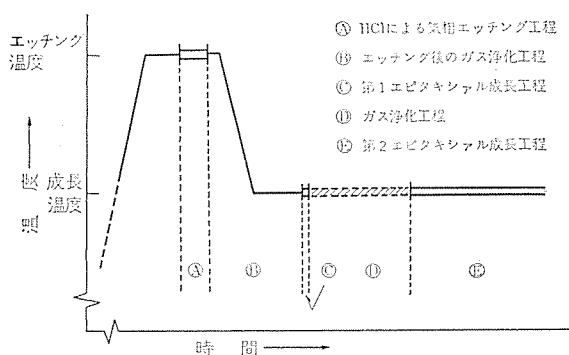


図 4. 2 段エピタキシャル成長法による Si エピタキシャル成長工程の一例

物濃度分布に明らかな改善が認められる。このことはハロゲンによりエッティングされ気相化した Si 基板中の物質がすみやかに反応系外へ排出されることなく、長く基板表面の停滞層中に滞留していることの一つの証左と見ることができる。従来のエピタキシャル成長法による限り、この種のガス浄化効果は飽和する傾向にあり、図 5. (B) に示された不純物濃度分布の例が従来法による場合の一つの技術的限界を示しているものと言える。

図 6. は従来法、および 2 段エピタキシャル成長法によっておのおの作成した As ドープ Si 基板上の As ドープ Si エピタキシャル成長層での界面不純物濃度分布の比較を示したものである——従来法：(A)、2 段エピタキシャル成長法：(B)、(C)。(A)、(B)、(C) のいずれの場合も HCl による Si 基板の気相エッティング後十分な等しい時間のガス浄化処理を行なっている。実例 (B)、(C) では第 1 エピタキシャル成長時間、したがって第 1 エピタキシャル成長層の厚さを変化し、(C) では (B) の約 1/2 の厚さとしたが、その後のガス浄化工程では両者とも等しい時間の浄化処理を行なっている。界面における不純物濃度が 2 けた(桁)変化するに要する距離をもって界面不純物分布の急激な変化の目安とするならば、従来法による (A) では約 1 μm 以上であるのに対し、2 段エピタキシャル成長法による (B)、(C) ではおのおの 0.3 μm、0.1 μm と著しく改善され、十分急激な不純物濃度分布が得られていることがわかる。改善されたこれらの値は

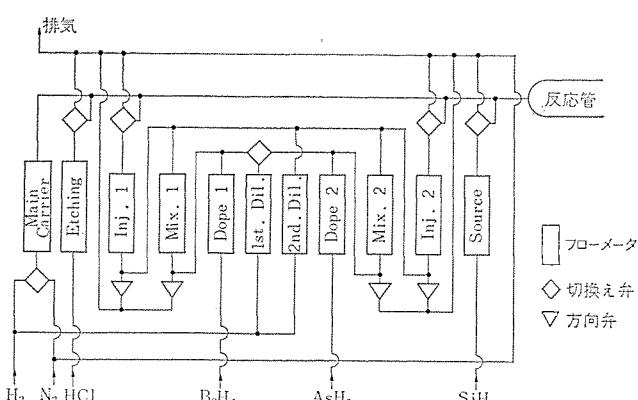


図 3. Si エピタキシャル成長装置 ドーピング系の構成

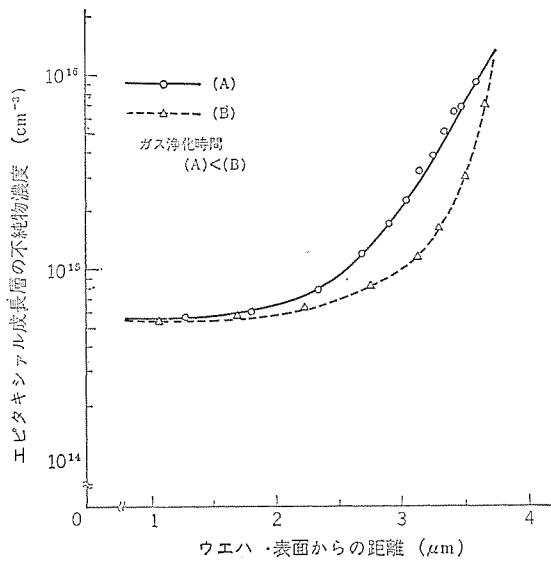


図 5. Si エピタキシャル成長層中の不純物濃度分布の HCl 気相エッティング後ガス浄化処理時間の依存性

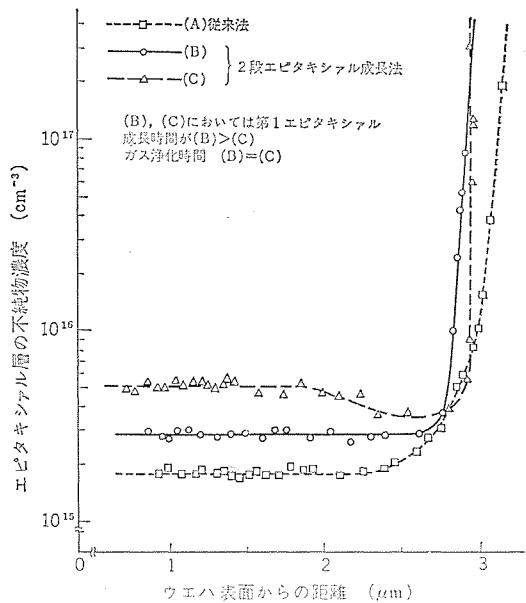


図 6. 従来法および2段エピタキシャル成長法による Si エピタキシャル成長層中の不純物濃度分布

Si 基板中の As が熱的に固体内拡散することだけを考慮して求めた理論値とほぼ一致する。蒸気圧の高い As を不純物種に用いているにもかかわらず、2段エピタキシャル成長法によりオートドーピング現象が完全に防止されているといつてよい。

図 7. は異なる不純物種を添加した Si 基板上に2段エピタキシャル成長法によって Si エピタキシャル成長層を設けた場合の界面不純物濃度分布を比較して示したもので、(A) は B ドープ基板上に B ドープエピタキシャル成長層を設けた場合、(B) は As ドープ基板上に As ドープエピタキシャル成長層を設けた場合、(C) は Sb ドープ基板上に As ドープエピタキシャル成長層を設けた場合である。Sb は蒸気圧が小さく、また固体内での拡散速度も小さく、オートドーピング現象の最も生じにくい不純物種と言われる⁽³⁾はん用されているが、2段エピタキシャル成長法を用いれば Si 基板中の不純物種が B または As であっても Sb の場合と全く差異のない結果が得られる。すなわち2段エピタキシャル成長法により、Si 基板中の添加不純物種のいかんを問わず常にオ

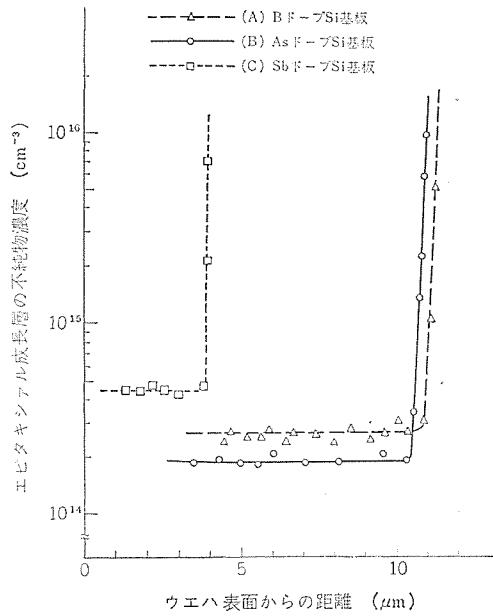


図 7. 種々の不純物をドープした Si 基板上に成長させた Si エピタキシャル成長層の不純物濃度分布

トドーピング現象の見られない急しゅんな界面不純物濃度分布を得ることができる。

5. 2段エピタキシャル成長法の応用

5.1 オートダイリューション現象の抑制

ある種のマイクロ波半導体素子、たとえばリード形インパットダイオードにおいてはその不純物濃度分布が図 8. に示すような P^+NN^- on $N^+(MNN^-$ on N^+ —M は金属) または N^+PP^- on P^+ (MPP⁻ on P^+) 形の構造をもち、かつ互いに異なる不純物濃度領域間での分布が階段状に急しゅんであるような Si エピタキシャルウエハが要求される。このようなエピタキシャルウエハの作成に当っては低濃度の不純物を有するエピタキシャル成長層 (N^- または P^- 層) の上に更に高濃度の不純物を有するエピタキシャル成長層 (N または P 層) を形成する必要があるが、高濃度層成長の初期においてオートドーピングとは逆の現象、名付けてオートダイリューション現象が起こり、不純物濃度の異なる二つの領域間での不純物濃度変化をゆるやかなものとする。

N^- 層 (または P^- 層) のエピタキシャル成長時ににおいては停滯層中の平衡不純物濃度は低い。 N^- 層 (または P^- 層) 成長終了後、 N 層 (または P 層) をエピタキシャル成長させるため供給ガス中の不純物濃度を増加すると、対流層中の不純物濃度はこれに対応して直ちに上昇するが、一方停滯層中の不純物濃度の変化は拡散に要する時間遅れのためきわめてゆるやかなものとなって、二つの成長層領域間 (NN^- 層界面、または PP^- 層界面) での不純物濃度分布はダレたものとなる。

ここで停滯層中のガス分子の挙動を考慮して2段エピタキシャル成長法を拡張して応用することができる。 N^- 層 (または P^- 層) のエピタキシャル成長の後直ちに N 層 (または P 層) の成長を開始するのではなく、一時 Si ソースガスの供給を停止して成長を中断しつつ、 N 層 (または P 層) の成長に要求される所要の高濃度のドーピングガスを、キャリアガスとともに引き続き供給して停滯層中の不純物濃度を所望の値に平衡させた後再び Si ソースガスを供給して N 層 (または P 層) のエピタキシャル成長を行なうことで、界面不純物濃度分布を十分急しゅ

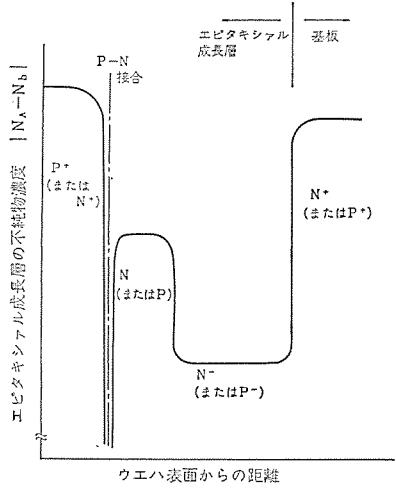


図 8. リード形インパットダイオードの不純物濃度分布

んに変化させることができる。

5.2 2段エピタキシャル成長法のデバイス作成への応用

図 9. は K バンドリード形インパットダイオード製作のため作成した P^+NN^- on N^+ 構造の Si エピタキシャルウエハの不純物濃度分布を示したもので、(12) (A) は従来法により、(13) (B) は 2 段エピタキシャル成長法により(14)おのの作成されている。(B) では N^+N^- 界面でオートドーピング防止のための 2 段エピタキシャル成長法が、 N^-N 界面でオートダイリューション防止のための拡張 2 段エピタキシャル成長法が重複応用されている。両界面において不純物濃度分布の明らかな改善が見られるが、リード形インパットダイオードの動作特性上からは N^- 層から N 層への立上り領域幅で従来 $0.5 \mu\text{m}$ であったものが、 $0.3 \mu\text{m}$ に改善された効果が大きい。リード形インパットダイオードを高効率、広帯域で発振させるためにはアバランチ領域幅を狭くする必要があり、このことはダイオードの不純物濃度分布上からは N^- 領域から N 領域への立上りの銳さに対応する。図 9. (A) に示す従来法による Si エピタキシャルウエハから製作したリード形インパットダイオードに比べて、(B) に示す 2 段エピタキシャル成長法による Si エピタキシャルウエハから製作されたものでは同一周波数帯域で発振出力、効率とも 50% の改善が得られている。(12) 図 10. は両者のマイクロ波発振特性を比較したもので、2 段エピタキシャル成長法によるものでは発振周波数 18 GHz で出力 500 mW に達し、実用動作温度(200°C)においても 400 mW 以上の出力が得られている。

6. 檢 計

不純物濃度の異なる二つの領域の界面での不純物濃度分布を熱拡散効果の範囲内で階段状に近づけ、オートドーピング現象を全く除去するには第1、第2エピタキシャル成長工程の間に設けたガス浄化工程の時間の選択が重要である。ガス浄化工程の時間は成長温度、供給ガスの流速、第1エピタキシャル成長層の厚さ、第2エピタキシャル成長層の不純物濃度に依存する。ガス浄化時間の不足は界面に不純物濃度分布の“タレ”を残し、過度の浄化処理は第1エピタキシャル成長層から過度の不純物蒸発を誘因しその表面濃度を過度に低下させるとともに、停滞層中の不純物濃度をも過度に低下させ、第2エピタキシャル成長工程初期における不純物量の不足から界面不純物濃度分布の落込みを生じさせる原因となる。図6.(C)において基板との界面近傍において不純物濃度分布に若干の落込みが見られるのは、第1エピタキシャル成長工程初期における不純物蒸発を誘因した表面濃度の低下によるものである。

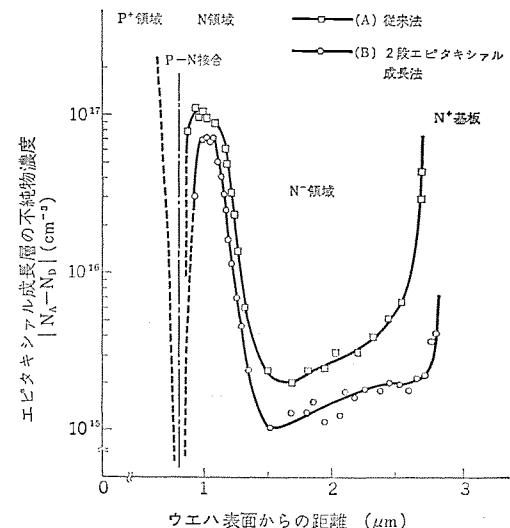


図 9. リード形インパットダイオード用 Si エピタキシャルウェハの不純物濃度分布

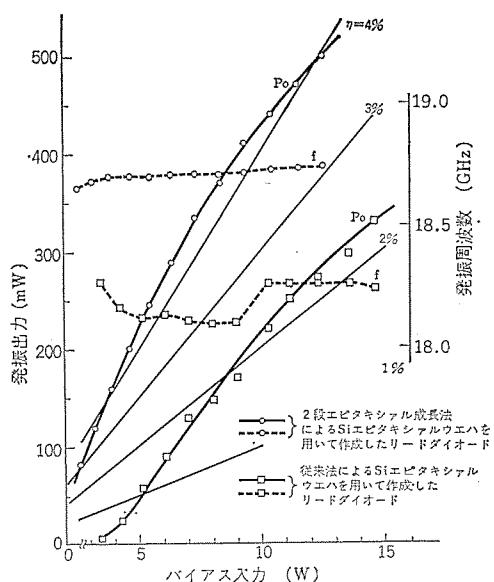


図 10. Si リード形インパットダイオードの
発振特性の比較

ル成長層の厚さ、不純物濃度に比してガス浄化工程の時間がわずかに長過ぎたことを意味する。

ガス浄化工程の最適時間の決定には停滞層中のガス分子の拡散を考慮した厳密な流体力学的解析を必要とするが、おおよその値は次のようにして求めることができる。⁽¹⁵⁾ 図11.は従来法によりエピタキシャル成長させたオートドープ領域を有するSiエピタキシャルウエハの基板界面における一般的な不純物濃度分布を模式的に示したものである。界面における不純物濃度分布はSi基板からの不純物の固体拡散による分布 C_{S_1} とオートドッピング現象に伴う分布 C_{S_2} の和で表現できることを考慮すれば、式(5)は

$$C_{S_1} = \frac{C_S^*}{2} \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_t}} \right) \dots \dots \dots (7)$$

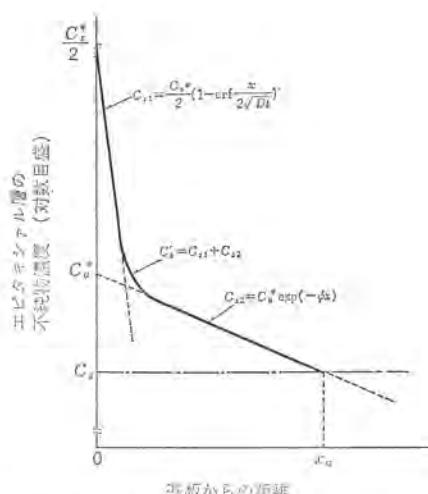


図 11. 従来法によるエピタキシャル成長層の基板界面での不純物濃度分布の模式図

となる。また、 $C_0^* = \eta k P_0^* \frac{1}{\eta S - \eta}$ であるから式(3)、(4)から、

$$C_0^* = \frac{\eta_{\theta} - \eta}{\eta_{S-\theta}} \cdot C_S^* = \eta \cdot C_S^* \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

η 、 ϕ は実験的に求めることができる。 $C_S = C_S^*$ となるに要する距離を x_a とすれば、停滞層中の不純物濃度はエピタキシャル層が厚さ x_a だけ成長した時に初期濃度 ($P_0^* + P_0$) から所望の P_0 にまで減少することを意味する。ガス浄化工程中に停滞層中の不純物がエピタキシャル成長層に取り込まれる割合は、拡散により対流層に排出する割合に比較して無視してよく、したがって厚さ x_a のエピタキシャル層を成長させるに要する時間だけガス浄化処理を行なえばよいことがわかる。

7. む す び

マイクロ波半導体素子分野からの強い要求により、不純物濃度分布を厳密に制御した Si エピタキシャルウエハが必要になってきた。筆者らは SiH₄ を用いた低温エピタキシャル成長法と、反応管中でのガス流制御に基づく 2 段エピタキシャル成長法の開発により、オートドーピング、オートダイリューション現象の影響を受けない Si エピタキシャル成長技術を確立しこの要求に答えてきた。

一方 2 段エピタキシャル成長法の開発を通じて停滞層モデルに基づい

たエピタキシャル成長機構がきわめて妥当であること、および停滞層中のガス分子のふるまいがオートドーピング、オートダイリューション現象の本質的原因であることを立証してきた。今後に残された課題は最適界面不純物濃度分布を得るための最適ガス浄化時間を決定する理論的解析であろう。

かかる 2 段エピタキシャル成長法によって作成された Si エピタキシャルウエハは当社のマイクロ波半導体素子の製作に広く応用され成果をあげている。特にこの技術を最大限に駆使して製作された 20 GHz 帯リード形インパットダイオードはマイクロ波中継装置の送信源として使用され、関係方面で高い評価を得ている。

参考文献

- (1) A. S. Grove, A. Röder and C. T. Sali : J. Appl. Phys., 36, 802 (1965)
- (2) B. A. Joyce, J. C. Weaver and D. J. Maule : J. Electrochem. Soc., 112, 1,100 (1965)
- (3) W. H. Shepherd : J. Electrochem. Soc., 115, 652 (1968)
- (4) S. R. Bhola and A. Mayer : RCA Rev., 24, 511 (1963)
- (5) 東芝レピュート, 19, 1,283 (昭39)
- (6) D. C. Gupta and R. Yee : J. Electrochem. Soc., 116, 1,951 (1969)
- (7) D. Richman, Y. S. Chiang and P. H. Robinson : RCA Rev., 31, 613 (1970)
- (8) S. Nakanuma : IEEE Trans. Electron Devices, Eb-13, 578 (1966)
- (9) 伊藤, 岩田, 中島, 山本 : 電通全大, 昭41, S-8-7
- (10) F. C. Eversteyn, P. J. W. Severin, C. H. J. Brekel and H. L. Peek : J. Electrochem. Soc., 117, 925 (1970)
- (11) H. B. Pogge, D. W. Boss and E. Ebert : Chem. Vapor Depo. Int. Conf. II, 767 (1970)
- (12) 石井, 高橋, 近藤, 白幡 : 信学会マイクロ波研資, MW 73-3 (昭48)
- (13) A. Kondo and T. Ishii : IEEE Trans. Electron Devices, Eb-19, 695 (1972)
- (14) A. Kondo, T. Ishii, K. Takahashi and K. Fujibayashi : Electrochem. Soc. Fall Meeting 451 (1973)
- (15) 高橋, 石井, 近藤, 藤林 : 応物学会 昭48秋季, 18 A-V-3

高耐圧プレーナ技術

梶原 康也*・永井 精一*・萩野 浩靖*

1. まえがき

プレーナ技術はシリコン半導体素子の製造技術のなかで特に重要な技術の一つであり、小電力用のトランジスタ、サイリスタ、集積回路などに広く使われている。プレーナ形素子は、基本的にはその接合露出部がシリコン酸化膜 (SiO_2) などの無機絶縁物で被覆されているので、信頼性が高いという特長をもっている。また、ほとんどすべての工程をバッチ処理で行ない、外装にはプラスチックなどの安価な材料を使用することができるので、製造コストを低くすることができるのもその特長である。

近年、たとえばテレビ用や自動車用として、高耐圧、高出力のトランジスタの需要が増大している。また小電力サイリスタも工作機械、産業機械等に使用され、高耐圧で低価格の素子が望まれている。これらの用途には高耐圧の素子が作りやすいメサ形素子が従来使用されてきたが、メサ形素子は組立工程、外装材料等が高価になるため製造原価が高くなる欠点をもっている。

プレーナ形構造で高耐圧の素子ができるれば、大量に安価な素子を供給でき、その用途もさらに拡大されるであろう。

この論文では、高耐圧プレーナ素子の製造が従来困難であった理由について検討し、その原因を除去する新しい製造方法を紹介する。

2. プレーナ形構造

プレーナ形構造は、たとえばN形シリコン基板の表面にシリコン酸化膜などの絶縁膜をマスクにしてボロンなどのP形不純物を選択的に拡散することにより形成されるために、図1に示すような断面の形状をしたP+N接合をもっている。このような形状のP+N接合に電圧を印加すると、空乏層は図1に破線で示すようにひろがる。このときの電界の分布や耐圧は S. M. Sze, G. Gibbons⁽¹⁾ らによって計算され、図2に示すように D. V. Speeney⁽²⁾ らによって実験的に確かめられた。その理論によると、高い電界が集中する部分は接合面が曲がった部分(B)であり、その曲率半径が小さいほど電界の集中は著しく、耐圧が低下することが示されている。図2に示すように PN接合の深さ x_j が小さくなると、PN接合面の縁での曲率半径が小さくなり、耐圧は低くなっている。

また一方では、プレーナ形構造においてはシリコン基板と絶縁膜との界面部分(C)での正電荷の影響により界面部分での空乏層がひろがりにくくなり耐圧が低下する原因となる。一般にシリコンとシリコン酸化膜との界面には正電荷が存在することが知られているが、これは酸素空位によるものと考えられている。またナトリウムイオンなどで汚染された場合は正電荷の密度が増大し、これがプレーナ構造の耐圧

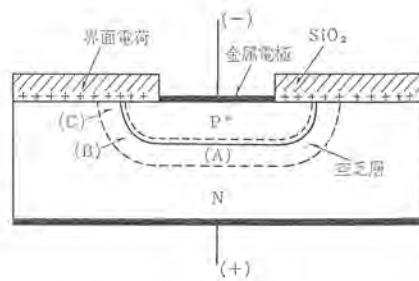


図1. プレーナ形構造の断面概略図

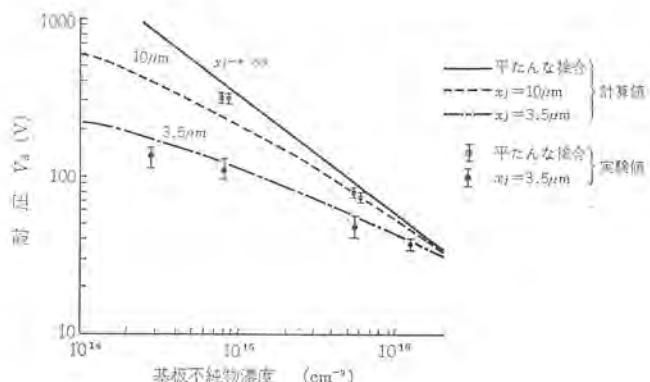


図2. 基板不純物濃度と耐圧との関係

を低下させる原因になる。プレーナ技術が開発された当初は、このような汚染のためにプレーナ構造の耐圧は200Vが限度であった。現在では、清浄なシリコン酸化膜を製造する技術が確立されているので、PN接合面の曲面部分での電界集中による耐圧の低下が主たる問題になっている。

3. 従来の高耐圧プレーナ技術

3. 1 フィールドプレートによる高耐圧化

プレーナ構造において、耐圧が低下する原因是、接合面の曲面部分(B)への電界集中と、シリコン酸化膜との界面やシリコン酸化膜中に存在する正電荷による界面部分(C)への電界集中である。

フィールドプレートは図3に示すように、P形シリコン層からシリコン酸化膜上に電極をのばしたものである。いま、P形シリコン層に(-)、N形シリコン基板に(+)の極性で電圧を印加すると、フィールドプレートとシリコン基板との間にシリコン酸化膜をはさんで電圧が印加されるので、フィールドプレートに負電荷が誘起され、これがシリコン酸化膜中やシリコン酸化膜とシリコン基板との界面に存在する正電荷を打ち消

す。さらに電圧が高くなると空乏層がフィールドプレートの下にのびてくる。この空乏層により接合面の曲面半径が増大するので、電界強度が低減されて耐圧が上昇する。フィールドプレート構造での電界分布は F. Conti⁽³⁾ らによって計算されているが、フィールドプレートの先端と空乏層の先端 (D) との間のシリコン酸化膜に大きな電圧がかかるために、1,000 V 以上の耐圧の素子には実用的ではない。

このようなフィールドプレートの欠点を改良した構造として、図 4. に示すような、高抵抗層で絶縁膜の表面をおおって、絶縁膜上の電位を接合部分から遠ざかるにしたがって低くするような方法が、L. E. Clark⁽⁴⁾⁽⁵⁾ らによって提案され、高抵抗層として多結晶シリコンを使い、約 1,400 V の耐圧を得たと報告されている。この方法では、上記のようなフィールドプレートの先端での問題は解決されるが、高抵抗層を通して電流が流れるために漏れ電流が増大するという問題が生じる。また、このようなフィールドプレートをもつ構造は、図 5. に示すように、通常のプレーナ素子に比較して端子間の静電容量が増大するために高周波用の素子には不適当である。

3.2 ガードリングによる高耐圧化

ガードリングをもつ構造は、図 6. に示すように、素子の主たる接合をとり囲むようにガードリング接合を形成したものである⁽⁶⁾。基板と主接合との間に印加する電圧をだんだん大きくしてゆくと、主接合から空乏層がひろがってゆき、ガードリング接合に到達する。さらに電圧を上げると、ガードリングの電位が上昇し、空乏層はガードリング接合のまわりにひろがってゆく。このために、主接合面の曲面部分での電界強度や、絶縁膜と基板との界面での電界強度が低減されて耐圧が上昇する。また、ガードリングの数を増せば、印加された電圧が多数のガードリングで分割されるので、さらに耐圧は上昇する⁽⁷⁾。

このようにガードリングをもつ構造では、空乏層が主接合からのびて、ガードリングに到達することによって電界強度が低減されるので、主接合とガードリング接合との距離、絶縁膜と基板との界面に存在する電荷の密度、接合の深さなどが耐圧をきめる要素となり、素子の

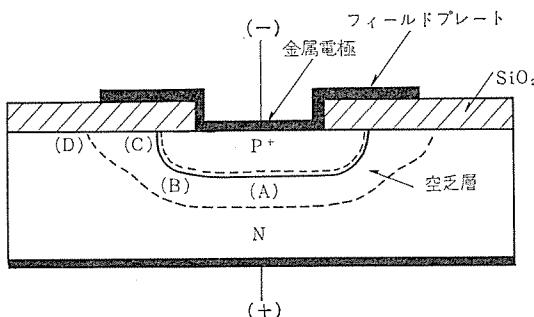


図 3. フィールドプレートを用いたプレーナ形構造の概略図

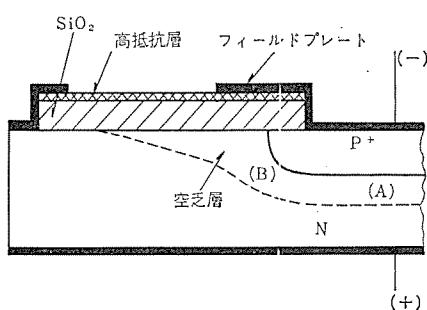


図 4. 高抵抗フィールドプレート構造の概略図

設計・製造上困難な問題が多く、現在実用化されている例はあまりない。

たとえば主接合とガードリング接合とのマスク上の距離 W の耐圧に与える影響を調べた結果を図 7. に示す。N型基板の比抵抗は 30～40 Ωcm で、接合の深さは 17.5 μm 、界面の電荷密度は $3.3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ であった。図 7. では、 $W=40 \sim 50 \mu\text{m}$ のときに耐圧はピークを示すが、たとえば界面の電荷密度が増せば、空乏層はガードリングまで到達しにくくなるので、耐圧のピークは W の値が小さいほうに移る。また、基板の比抵抗が高くなれば、空乏層がのびやすくなるので、耐圧のピークは、 W の値が大きいほうに移る。

図 8. に、接合の深さ x_t と耐圧 V_B との関係を、通常のプレーナ素子と、ガードリングをもつ構造の素子と比較して示した。基板の比抵抗は 30～40 Ωcm で、 $W=50 \mu\text{m}$ であった。図 8. から、適当な x_t 、ここでは約 23 μm 、で耐圧が最大になることがわかる。また、接合の深さが浅い場合、たとえば 10 μm 以下では 500 V 以上の高耐圧を得ることは困難である。

このように、ガードリングを用いた構造は素子の設計から製造まで制御しなければならない因子が多く、量産上適当な構造とはいえない。

4. 新しい高耐圧プレーナ技術

2 章で述べたように、P+N 接合をもつプレーナ構造での耐圧低下の原因は主として接合面の曲面部分における電界集中である。特に、接合の深さが浅い場合は耐圧の低下が著しい。このような電界の集中を少なくし、耐圧を上げるには、シリコン基板と絶縁膜との界面での空乏層をひろげてやればよい。従来の方法もこの考え方によるものであるが、3 章で述べたように、従来の方法はいろいろな欠点をもっている。

ここで述べる新しい技術は、図 9. に示すように、シリコン基板と絶縁膜との界面に負の電荷を誘起させることにより、界面での空乏層をひろげる方法である。3.1 節に述べたフィールドプレート法は、高

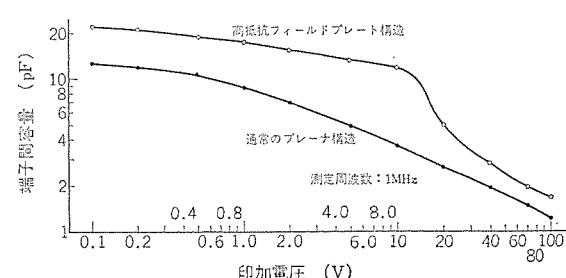


図 5. 高抵抗フィールドプレート構造と通常のプレーナ構造の端子間容量の比較

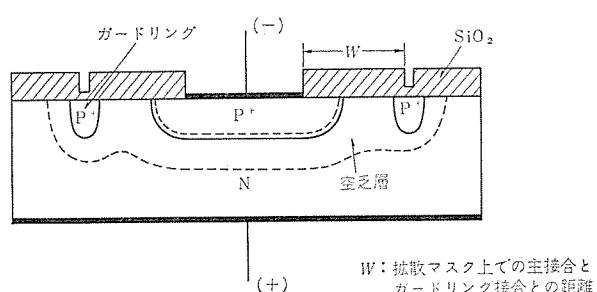


図 6. ガードリングをもつ構造の概略図

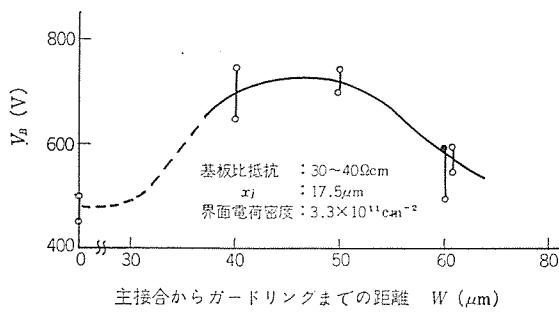


図 7. ガードリング構造において主接合とガードリング接合との距離が耐圧に与える効果

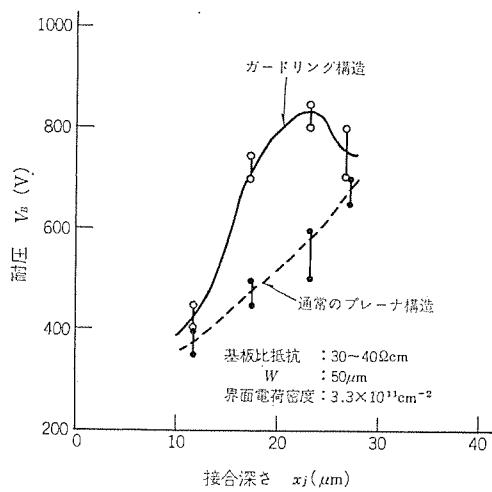


図 8. 接合の深さと耐圧の関係

抵抗層とシリコン表面の間に絶縁層をそろ（挿）入し高抵抗層の上につけたフィールドプレートとシリコンとの間に電圧を印加するものである。このときフィールドプレートに蓄積される負電荷により空乏層がひろがるから、原理的にはここで述べる技術と似ている。しかし、ここで述べる新しい技術は、表面の保護膜の中またはシリコン基板との界面に負電荷を発生させることにより、フィールドプレートで生じた欠点を除去し、さらに、ガードリング構造で困難であった浅い接合での高耐圧化を可能にするという特長をもっている。

負電荷をもった絶縁膜としてはアルミナが知られているが、筆者は、高純度多結晶シリコンとシリコン基板との界面に多量の負電荷が誘起されることを見出し、その負電荷を使うことにより、高耐圧プレーナ素子を作ることができた。

4.1 多結晶シリコンを使った構造

最も簡単な構造は図 10. に示すように、拡散工程を終ったウエハの酸化膜を除去し、シリコンの表面に直接多結晶シリコンを生成し、その表面をシリコン酸化膜でおおったものである。負電荷はシリコン基板と多結晶シリコンの界面に誘起され、界面での空乏層がひろがりやすくなっている。

界面に誘起される負電荷の密度は多結晶シリコンの生成温度に強く依存する。多結晶シリコンはたとえば、シラン (SiH_4) を水素ふんい気中で熱分解することによって得られる。生成温度は、通常 $700\text{--}900^\circ\text{C}$ が使用され、たとえば 850°C で生成された多結晶シリコンとシリコン基板との界面には 10^{12} cm^{-2} オーダの多量の負電荷が誘起される。

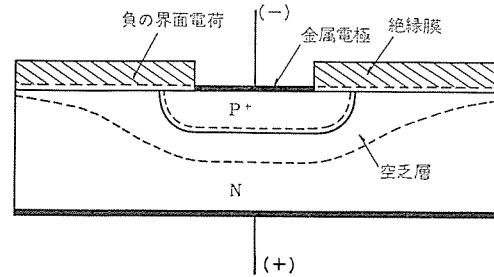


図 9. 負の界面電荷を利用した高耐圧プレーナ素子の概略図

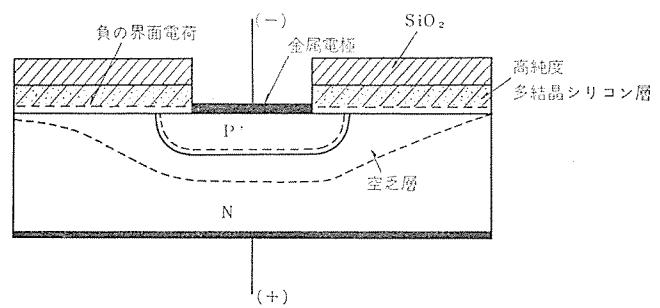


図 10. 高純度多結晶シリコンを使った高耐圧プレーナ素子の概略図

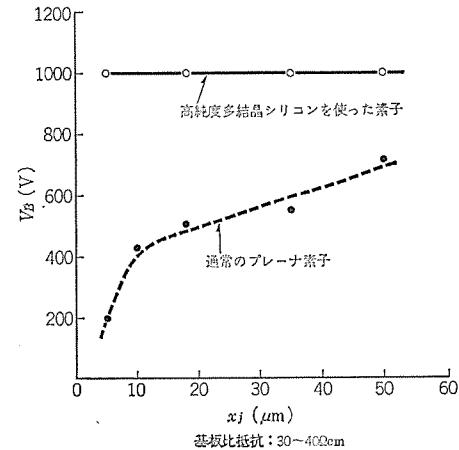


図 11. 多結晶シリコンを利用したことによる耐圧の向上

4.2 電気的特性

図 10. のような構造のダイオードで、接合の深さ x_j と耐圧 V_B との関係を図 11. に示す。ここで使った N 形シリコン基板の比抵抗は $30\text{--}40 \Omega \text{ cm}$ であり、多結晶シリコン層の厚みは約 $1.2 \mu\text{m}$ で、生成温度は 850°C であった。図 11. からわかるように、通常のプレーナ構造では、 x_j が小さくなると耐圧が低下するが、多結晶シリコンで負電荷が誘起されたダイオードでは x_j が小さくなても耐圧の低下は見られない。しかし、図 10. のような簡単な構造では、図 12. に示すような漏れ電流が観測され、オーミックな漏れ電流の成分をかなり含んでいることがわかる。特に高温になると顕著である。図 13. に、印加電圧 400 V のときの漏れ電流の温度特性を示す。図 13. からわかるように、通常のプレーナダイオードに比較し、多結晶高抵抗層を使ったフィールドプレート構造では数倍、図 10. のような構造では約 1 けた（桁）漏れ電流が多くなっている。

この原因は、図 10. のような構造では、多結晶シリコン層が PN 接合に接触しているために生じる漏れ電流であると考えられる。漏

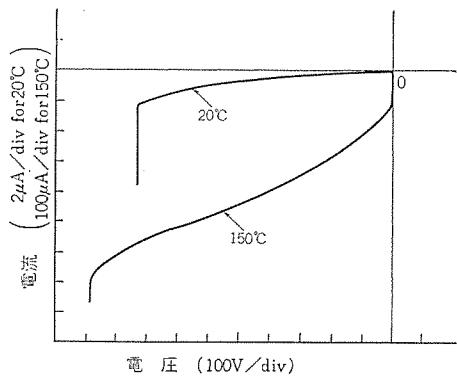


図 12. 多結晶シリコンを使ったダイオードの逆方向電流特性

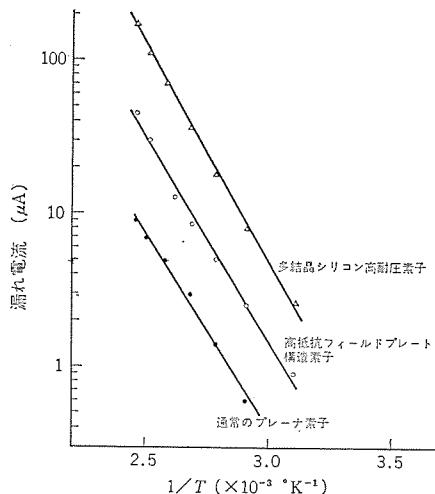


図 13. 漏れ電流の温度特性(印加電圧400V)

れ電流の原因を明確にするために、多結晶シリコン内部だけを流れる電流および多結晶シリコンを直接シリコン表面につけたときのダイオードの漏れ電流を各温度について測定した。その測定結果を図14.に示す。図14.から各電流値の温度特性は一致するが、多結晶シリコンを流れる電流はダイオードの漏れ電流より約1けた小さく、それらの値の差はシリコンと多結晶シリコンの界面を流れる漏れ電流であると考えられる。したがって図10.の構造におけるダイオードの漏れ電流の原因は、シリコンと多結晶シリコンの界面を流れる電流であると考えられる。

4.3 漏れ電流を少なくする多結晶シリコンを使った構造

4.2節述べたように、多結晶シリコンでシリコン表面全面をおおった構造は、耐圧については著しい効果を示したが、漏れ電流が大きいという欠点をもっている。この欠点を除去するには、図15.に示すように、PN接合の部分の多結晶シリコンを除き、たとえばシリコン酸化膜のような絶縁膜でおおうことが効果的である。このような構造を試作した結果、多結晶シリコンの負電荷により耐圧を著しく改善し、漏れ電流は通常のダイオードと同じ程度の素子を得ることができた。

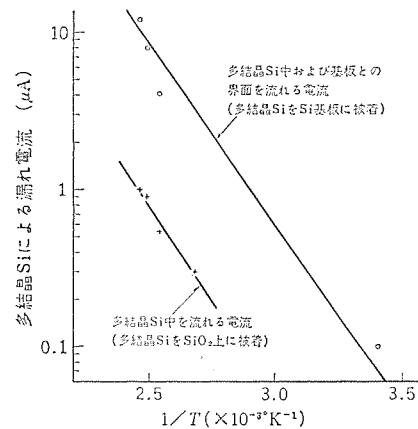


図 14. 多結晶Siによる漏れ電流の温度特性印加電圧(20V)

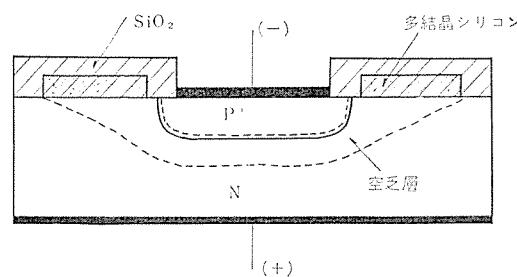


図 15. 新しい高耐圧プレーナ素子の構造

5. むすび

多結晶シリコンとシリコン基板との界面に負電荷が誘起されることを見出し、これを応用して、プレーナ形素子の高耐圧化を可能にした。今後、このようなプレーナ形構造で、さらに高耐圧、高出力の素子が開発されるとともに安価で信頼性の高い半導体素子が供給され、その用途も拡大されるであろう。

参考文献

- (1) S. M. Sze and G. Gibbons : Solid State Electronics 9, 831 (1966)
- (2) D. V. Speeney and G. P. Carey : Solid State Electronics, 10, 177 (1967)
- (3) F. Conti and M. Conti : Solid State Electronics 15, 93 (1972)
- (4) L. E. Clark and D. S. Zoroglu : Solid State Electronics, 15, 653 (1972)
- (5) D. S. Zoroglu and L. E. Clark : IEEE Trans Electron Devices, ED-19, No. 1, 4 (1972)
- (6) 松下 : 電子材料, 15, No. 6, 85 (昭48)
- (7) Y. C. Kao and E. D. Wolley : Proc IEEE 55, No. 8 (1967)

簡易レーダ用 MIC モジュールの開発

白幡潔*・小木曾弘司+ 三井茂*
池川秀彰**小野寺俊男**

1. ま が え き

従来、レーダの多くはマグネットロン等の高出力発振源を備えた遠距離物体の計測を目的としたものであったが、ガン発振器が実用化されるに及んで、近距離物体の移動速度測定用等を目的とする簡便な民需レーダが一分野を形成しつつある。当社においても、昭和45年、わが国のガン発振器のレーダ応用の先駆(懶)をつけた国鉄高崎貨車自動操作(YAC)用スピードメータを始め、警視庁および全国の多くの県警に採用されている交通取締用スピードメータにガン発振器を実用化してきた。

レーダの主要マイクロ波構成部品は、発振器・変調器・サキュレータ・ミキサおよびアンテナであり、アンテナを除くこれら部品をレーダ方式に合わせて MIC モジュール化することは、小型化という空間的利点のみでなく、使用者が扱いやすい形になるということで有利である。

本文はまず民需レーダに要求されると考えられる各種方式の計測原理を簡単に述べ、これらに対応する実用性ある MIC ドップラーレーダモジュールの開発について述べたものである。

2. 計測原理

2.1 CW ドップラーレーダ⁽¹⁾

音波とか電磁波を移動物体に照射したとき、送信波に対して反射波は、その速度に比例した周波数偏移をうける。これがドップラ効果で、この送信波と反射波との差の周波数(ドップラ偏移周波数)を検出すれば、移動物体の速度を測定しうる。いま、

送信波の周波数 f_T 反射波の周波数 f_R ドップラ偏移周波数 f_d 移動物体の速度(近づくとき正) v 電波伝ばん(播)速度 c とするとアンテナより電界 E_T

$$E_T = E \sin(2\pi f_T t) \quad \dots \dots \dots (1)$$

の電波を照射したとき、これによる反射波の受信電界 E_R は

$$\begin{aligned} E_R &= KE \sin\left(2\pi f_T t - 2R \cdot \frac{f_T}{c}\right) \\ &= KE \sin\left(2\pi f_T \left(1 + \frac{2v}{c}\right) t - \Theta\right) \\ &= KE \sin(2\pi f_R t - \Theta) \quad \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

$$R : t \text{ における移動物体までの距離}, R_0 - vt \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$R_0 : t=0 \text{ のときの移動物体までの距離}$$

K : 送信波に対する受信波の規格化電界

$$\Theta = 2R \cdot 2\pi f_T / c$$

で表わされる。ここで反射時の電界の位相変化は無視した。

 f_R は f_T に対して

$$f_d = 2v f_T / c \quad \dots \dots \dots (4)$$

の周波数偏移を受ける。移動物体の進行方向と電波伝ばんの方向とのなす角度 $\theta \neq 0$ の場合式(4)は

$$f_d = (2v f_T / c) \times \cos \theta \quad \dots \dots \dots (5)$$

となる。

f_d を検出するためのマイクロ波部のブロック図を図 1. に示す。出力はサキュレータを通り送受信アンテナから放射され、移動物体からの反射波は再びアンテナ・サキュレータを通りミキサに印加される。ミキサには結合器で発振出力の一部を加え、ホモodyn 検波してビート周波

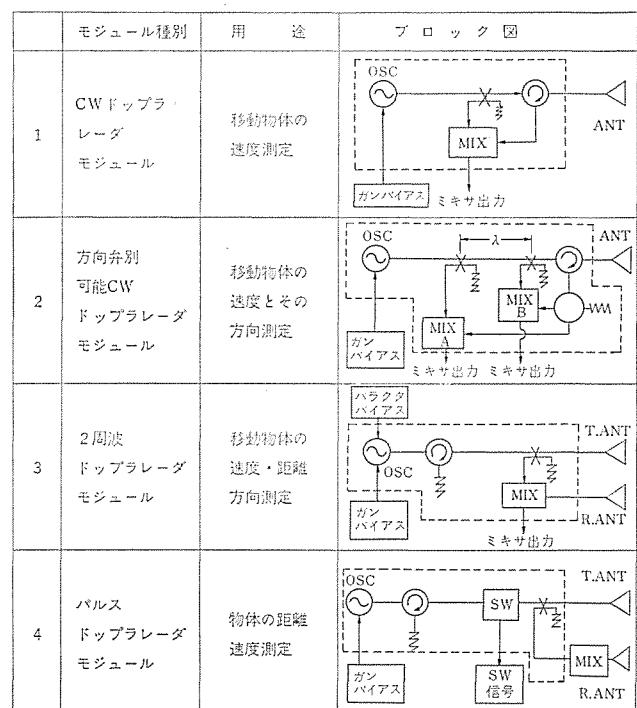


図 1. 各種 レーダモジュールブロック図

数 f_d の信号を得る。

2.2 方向弁別可能ドップラレーダ⁽¹⁾⁽²⁾

式(4)に示すように、ドップラ偏移は移動物体が近づくときが正、遠ざかるとき負となる。したがって、この正負を判別すれば移動物体の方向が検出できる。検出原理を図2.に示す。二つのミキサA、Bを同相で励振するとともに、反射信号を $\pi/2$ の位相差を加える。ミキサA、Bに印加される局発信号、反射信号をそれぞれ E_{LA} 、 E_{LB} 、 E_{RA} 、 E_{RB} とし、ミキサ出力信号を E_{IA} 、 E_{IB} とすると

$$\left. \begin{aligned} E_{LA} &= K_0 E \sin (2\pi f_{Tt} t) \\ E_{LB} &= K_0 E \sin (2\pi f_{Tt} t) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} E_{RA} &= K_1 E \sin \{2\pi f_T (1+2v/c) t - \Theta\} \\ E_{RB} &= K_1 E \sin \{2\pi f_T (1+2v/c) t - \pi/2 - \Theta\} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} E_{IA} &= K_2 E \sin (4\pi v f_{Tt} t/c - \Theta) \\ &= K_2 E \sin (2\pi f_d t - \Theta) \\ E_{IB} &= K_2 E \sin (4\pi v f_{Tt} t/c - \Theta) \\ &= K_2 E \sin (2\pi f_d t - \pi/2 - \Theta) \\ &= K_2 E \cos (2\pi f_d t - \Theta) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

となる。式(8)を v 正および負の場合に分けて示すと図3.のようになる。 E_{IB} を規準にとれば E_{IA} は v が正の場合位相が $\pi/2$ 進み、 v が負の場合は $\pi/2$ 遅れる。両検出信号を シュミット回路でく(矩)形波 パルスに直した後微分し、一方の信号の立上りおよび立下り パルスでゲートの開閉を行なったとき、他方の信号の立上り パルスがゲートを通るかどうかで位相の進退を判別する等の情報処理を行なう。

方向弁別可能レーダマイクロ波部のブロック図を図1.に示す。ガン発

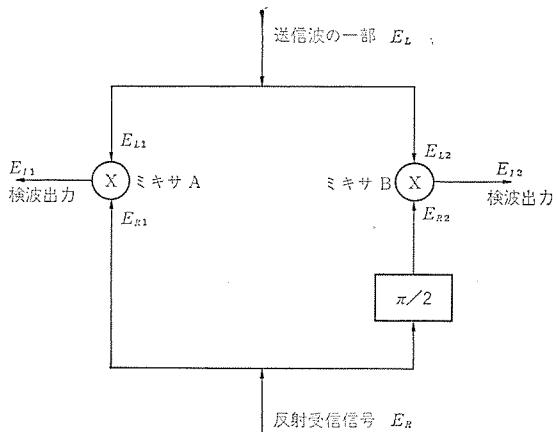


図2. 方向弁別原理図

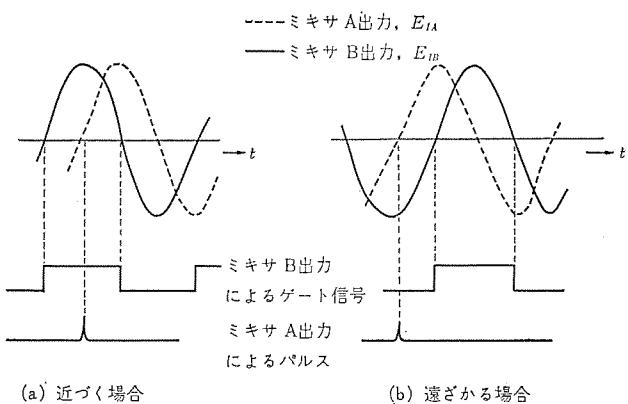


図3. 検波信号位相比較

振器出力線路中に1波長間隔で二つのサイドカップル形結合器を配置し、ミキサA、Bを同相励振する。サーキュレータ送受信兼用アンテナから放射され、移動物体で反射された電力はアンテナで捕足され、サーキュレータを通り ブランチラインカップルで2分されるとともに $\pi/2$ 位相差を持たせてミキサに印加される。

2.3 2周波ドップラレーダ⁽¹⁾⁽³⁾

周波数差 Δf の二つの周波数 f_{T1} 、 f_{T2}

$$f_{T2} = f_{T1} + \Delta f$$

の信号 E_{T1} 、 E_{T2}

$$\left. \begin{aligned} E_{T1} &= E \sin (2\pi f_{T1} t) \\ E_{T2} &= E \sin (2\pi f_{T2} t) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

による反射信号は

$$\left. \begin{aligned} E_{R1} &= K_1 E \sin \{2\pi f_{T1} (1+2v/c) t - \Theta\} \\ E_{R2} &= K_1 E \sin \{2\pi f_{T2} (1+2v/c) t - \Theta\} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

となり、 E_{T1} と E_{R1} 、 E_{T2} と E_{R2} とのビート信号は

$$\left. \begin{aligned} E_{I1} &= K_2 E \sin (4\pi f_{T1} v t/c - \Theta) \\ E_{I2} &= K_2 E \sin (4\pi f_{T2} v t/c - \Theta) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

となる。 E_{I1} および E_{I2} の瞬時位相 ϕ_1 および ϕ_2 は

$$\left. \begin{aligned} \phi_1 &= 4\pi v f_{T1} t/c - \Theta \\ \phi_2 &= 4\pi v f_{T2} t/c - \Theta = 4\pi v (f_{T1} + \Delta f) t/c - \Theta \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

である。 ϕ_1 と ϕ_2 の差は

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 = 2\pi \Delta f R/c = 2\pi \Delta f (R_0 - vt)/c \quad (13)$$

となる。すなわち位相差 $\Delta\phi$ は移動物体までの距離に比例する。 $\Delta\phi$ を計測することで距離が、また、 $\Delta\phi$ の時間に関する微係数の増減で移動物体の方向がわかる。 $\Delta\phi$ が π を越えると距離に不確定な要素が入るため、最大測定可能距離 R_{max} は $\Delta\phi < \pi$ にとる。

レーダマイクロ波部のブロック図を図1.に示す。バラクタチューナ付きガン発振器のバラクタにく形波電圧を印加し、時分割して f_{T1} と f_{T2} との周波数の信号に切換える。く形波繰返し周波数はドップラ偏移周波数より数十倍以上大きくする必要がある。また周波数切換えの際、出力変動大であるとミキサ局発電力変動によるく形波信号のミキサ出力側への漏えい(洩)となり信号処理に悪影響を及ぼすため、周波数変調に対するマイクロ波出力変動の小さい発振器が必要である。式(13)に示すとおり、距離情報は Δf に直接関係するため、 Δf の安定性のよい発振器が必要である。発振出力は安定化のためそう(挿)入したアイソレータ(サーキュレータ形)を通り送信アンテナから放射される。反射波は受信アンテナで受信しミキサでホモダイン検波し、それぞれの送信信号に対するビート信号として f_{d1} 、 f_{d2} の信号を得る。

2.4 パルスドップラ⁽¹⁾

マイクロ波パルスの移動物体までの往復時間から距離を測定するレーダ方式は最も一般的に使用されるものである。しかし、近距離物体に対するパルス波の往復時間は短く、送信パルスと受信パルスとが時間的に重なってしまう場合が多い。そこで送受信波の重なり合う時間を計測することで距離を検出する方法がとられる。送波波の一部をミキサに印加し、反射パルスをホモダイン検波するとき送受信パルスが時間的に重なる場合のみ検波信号を得る。パルス幅 τ と同じ往復時間が必要となる距離範囲内で測定が可能である。最大測定可能距離 R_{max} は

$$R_{max} = C \cdot \tau/2 \quad (14)$$

である。パルス往復時間 t のときの検波パルス幅 $\tau - t$ から

$$R = R_{max} - c(\tau - t)/2 \quad (15)$$

となる。検波パルス列のエンベロープの周波数はドップラ偏移周波数とな

る。CW ドップラーレーダの検出波をチョップしたものだと逆に考えれば理解しやすい。

ブロック図を図 1. に示す。CW ガン発振器の出力をスイッチングしてマイクロ波パルスとし、送信アンテナおよびミキサに印加するものである。

3. MIC モジュール

3.1 ガン発振器

3.1.1 CW ガン発振器

安定・低雑音のガン発振器を構成するためにはガンダイオードを安定な高Q共振器に結合する必要がある。⁽⁴⁾⁽⁵⁾ MIC形ガン発振器においては平面共振器に適当な結合係数でガンダイオードおよび負荷を接続する。可及的高Q共振器を得るために共振器基板の下に基板厚みと同じ空気層をもつサスペンデッド構造⁽⁶⁾にして誘電体損の軽減をはかった。誘電体基板はアルミナ基板に比べて熱膨張係数で1/4(桁)小、誘電率の温度依存性で1/4, $\tan \delta$ で1/2の石英基板を用いた。円形共振器半径 r と TE_{110} モード共振周波数との関係は⁽⁷⁾

$$f = \frac{k_{11}}{2\pi\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{8.79}{\sqrt{\epsilon\gamma}} \text{ (GHz)} \quad \dots \dots \dots (16)$$

ここで k_{11} は $J'(k_{11}\gamma) = 0$ となる γ に対するもので

$$k_1\gamma_1 = 1.84$$

である。式(16)は共振器端開放条件とした場合である。実際にはサスペンデッド構造であること、入出力線路が接続されること等のために式(16)から簡単に共振周波数を求めることはできない。 γ の異なるいくつかの共振器の共振周波数を実測し、所要の共振周波数となる γ を求めた。共振器の内部Qの測定値は約1,000である。

パッケージレスガンダイオードを用いたガン発振器をCWドップラモジュールに組込んだときの出力特性を図4.に示す。周波数調整ねじで機械的同調が可能である。総合発振出力は40mWである。pullingおよびpushing factorは12MHzおよび6MHz/Vである。

温度補償用誘電体を用いて温度補償を行なった。補償した結果を図5.に示す。

3.1.2 パッケージレス ガンダイオード

MIC用ガンダイオードとしては従来のパッケージに納められたガンダイオードは構造上、基板への取付けと回路への接続が容易でないこと等、MICに適さない。また、モジュール全体が気密封じられる場合には、ガンダイオードは気密封じの必要がない。これらの点からMIC用ガンダイオードとして図6.に示すようなパッケージレスガンダイオードを開発した。ガンダイオードチップはその一端が放熱体を兼ねたキャリア上のディスクの上にマウントされ、他端にリード線を取付けた構造になっており、このリード線はMIC共振回路結合部に圧着される。ガンダイオードチップは $N^+ - N^- - N^+$ 3層構造である。

開発したMIC用ガンダイオードの直流特性はXバンド用で、しきい値3.0~4.0V、しきい電流400~600mA、低電界抵抗3.5~6.0Ωである。ダイオードの大半は発振開始電圧8Vで、出力最大となるバイアス電圧は11V付近である。

構造上、半導体チップやリード線がむきだしになっているため取扱い上注意が必要となる。とくに問題となるのはリード線とチップとのボンディング強度であったが改良を重ねた結果、十分な強さとなっている。また通電寿命試験結果は約4,000時間無故障で特性の劣化も観測されていない。

3.1.3 FM ガン発振器

3.1.1 項で述べたMIC ガン発振器にバラクタを結合して FM ガン

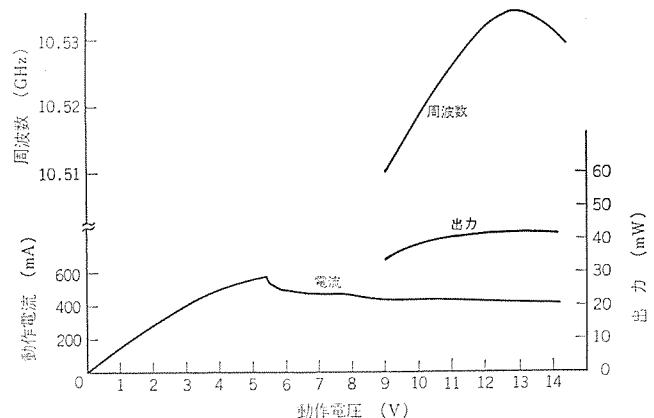


図 4. ガン発振器の出力特性 (CW レーダモジュール組込み時)

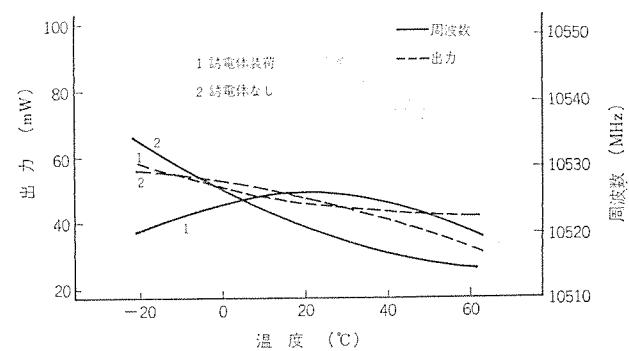


図 5. ガン発振器の温度依存性例

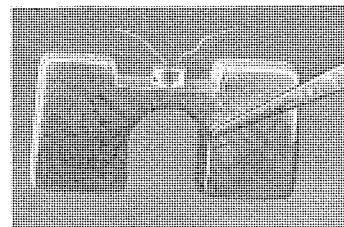


図 6. MIC用パッケージレスガンダイオード

発振器を構成した。ショットキバリヤバラクタは共振器辺の適当な位置にはね入/4の長さ、数十Ωの特性インピーダンスの線路を介して結合した。共振器とバラクタとの結合は線路特性インピーダンス小とするほど大となる。また図7.に示す角度θを変えることで変調感度を変えることができる。代表例としてはバラクタ電圧-3~-12Vのときθ=50°の場合で電子同調範囲16MHzであった。

3.1.4 ショットキバリヤダイオード

ショットキバリヤダイオードは多数キャリア素子であるため、高速スイッチング動作が可能であり、またバリヤ容量が電圧に依存するためバラクタダイオードとして使用することができる。

ダイオード構造、材料および製造方法について種々検討し

- (1) GaAs結晶の精密エッティング法
- (2) メッキ法によるショットキバリヤ形成法
- (3) GaAs結晶の表面安定化法
- (4) 微少面積ショットキバリヤへのワイヤボンディング法

を確立してLID形GaAsショットキバリヤダイオードを開発した。開発したダイオードの外観を図8.に示す。

3.2 ミキサ

ミキサダイオードとしてはSiビームリード形ショットキバリヤダイオードを用い

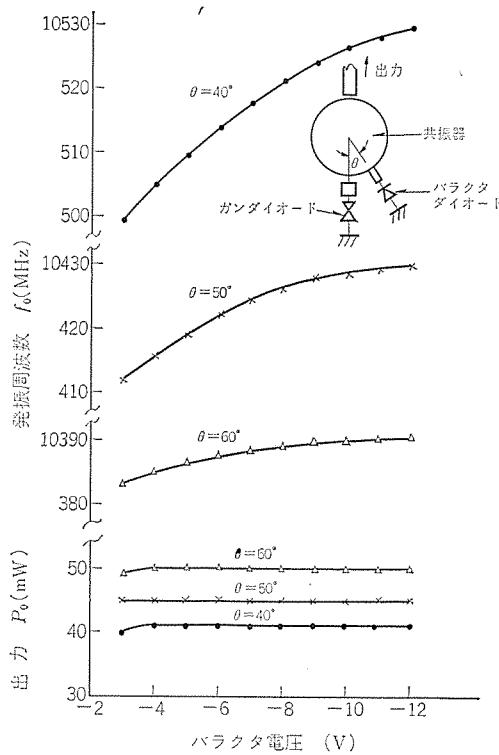


図 7. ガン発振器のバラクタによる電子同調特性

た。

ダイオードのリアクタンス分を打消すための長さ l の一端開放線路を終端し、 50Ω 線路に整合するために整合素子を設ける。 l の長さは線路端末効果容量のため Δl の補正が必要である。ダイオードの入点の 0.3 mm 線路間げき(隙)

に存在する容量は小さく無視し得る。直流バイアス電圧を印加しない場合において局発電力レベル 0 dBm 程度が適当であるが、送受共用アンテナを持つレーダにおいてはアンテナ端における固定反射物からの反射電力がサーキュレータを介して局発電力として作用するため、結合器により送信電力の一部をミキサ局発として供給する電力と反射電力とが相殺して、変換損失を増大させないだけの結合器結合量に設定する必要がある。VSWR < 1.5 となる負荷変動に対して変換損失 10 dB 以下となるようにした。IF 抵抗 100Ω としたときのマイクロ波からビート波への変換損失は直接法で測定の結果 6 dB であった。

3.3 CW ドップラーレーダ モジュール

外観を図 9. に示す。CW ガン発振器、ミキサ等で構成する MIC 部分は金属ケース内に収納してあり同軸導波管変換器で WRJ-10 対波管入出力開口につながっている。おもな電気的特性を表 1. に示す。マイクロ波出力は $10,525\text{ MHz}$, 40 mW Type であり、ミキサ変換損失は 6 dB である。帯域幅 $355\text{ }-\text{ }3,920\text{ Hz}$, 利得 88 dB 増幅器を接続したときの最小検出感度は -100 dBm である。水平・垂直ビーム幅 10° のアンテナを用いたとき、小形乗用自動車の測定可能距離は約 100 m である。 $20\text{ }-\text{ }50\text{ Hz}$ で振幅 1 mm , $50\text{ }-\text{ }2,000\text{ Hz}$ で 5 G 振動、 100 G 衝撃試験を 3 軸方向に対して行ない、発振特性に異常のないことを確かめてある。

3.4 方向弁別可能 CW ドップラーレーダ モジュール

構造を図 10. に示す。3.3 節に示した CW ドップラーレーダと同じく、MIC 部分は同軸導波管変換器で導波管入出力開口に接続されている。二つのミキサ出力を持つ点で異なる。おもな電気的特性を表 1. に示す。

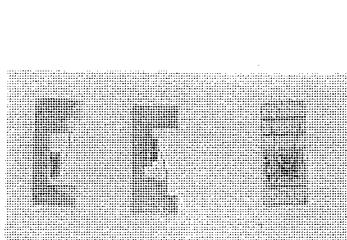


図 8. LID 形 GaAs ショットキバリヤダイオード

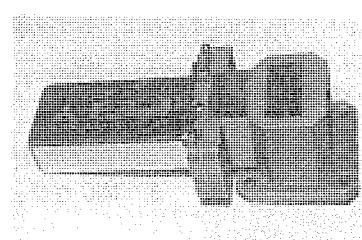


図 9. CW ドップラーレーダ モジュール

表 1. 各種 ドップラーレーダ モジュール 特性

	CW ドップラーレーダ モジュール	方向弁別可能ドップラーレーダ モジュール	2 周波ドップラーレーダ モジュール	パルスドップラーレーダ モジュール
出力電力 (mW)	25~60	25~60	20~50	20~50
発振周波数 (MHz)	$10,525 \pm 12$	$10,525 \pm 12$	$10,525 \pm 12$	$10,525 \pm 12$
ブッシングファクタ (MHz/V)	<10	<10	<10	<10
ブリッジファクタ (MHz)	<6	<6	<6	<6
ミキサ変換損失 (dB)	<10	<10	<10	<10
最小検出感度 (dBm)	<-100	<-95	<-100	—
変調	—	—	$\pm 5\text{ MHz}$	$0.3\text{ V ON }-6\text{ V OFF}$ 立上り 1.4 ns , 立下り 0.8 ns
動作電圧 (V)	9~12	9~12	9~12	9~12
動作電流 (mA)	<500	<500	<500	<500
使用温度範囲 (°C)	$-20 \sim +60$	$-20 \sim +60$	$-20 \sim +60$	$-20 \sim +60$

ただし、入力信号が二つのミキサに分割供給されるため最小検出感度は約 5 dB 劣る。方向弁別は二つのミキサ出力信号間の位相の進退を判別することで可能であるが、マイクロ波入出力開口に固定反射物があるとこれによる反射電力が局発電力の一部として働き、2.2 節で述べた関係がくずれ、ミキサ出力間位相差が $\pi/2$ とならなくなる。VSWR ≤ 1.2 となる負荷に対してミキサ出力間位相差 $90 \pm 20^\circ$ 以内に入れる。

3.5 2 周波ドップラーレーダ モジュール

構造を図 11. に示す。FM ガン発振器とミキサとをまとめたものである。マイクロ波出力および入力端子は OSM-J である。発振周波数はバラクタ電圧 $-3 \sim -10\text{ V}$ で $10,525 \pm 5\text{ MHz}$ 変調でき出力は 40 mW である。そのほかの特性は表 1. に示す。バラクタによる変調感度は 20 MHz まで変わらないことを確めており、繰返し周波数 100 kHz までのく形波に対して波形ひずみ(歪)を起こすことはない。変調周波数幅 Δf を 6 MHz に設定したとき、その変動は $-20 \sim +60^\circ\text{ C}$ の温度範囲で $\pm 0.2\text{ MHz}$ 以下であり、したがって距離測定精度は $\pm 3.3\%$ 以下となる。温度依存性の代表例を図 12. に示す。

3.6 パルスドップラーレーダ モジュール

構造を図 13. に示す。距離測定精度はマイクロ波パルス幅の安定度に直接関係するのでパルス幅の安定度とともに、パルス変調するスイッチング時間が早いことが必要である。ショットキバリヤダイオードを用いることで立上り時間 1.4 ns 、立下り時間 0.8 ns のスイッチを構成できた。またスイッチの ON OFF 時の出力電力比は $-20 \sim +60^\circ\text{ C}$ の温度範囲で 20 dB 以上である。

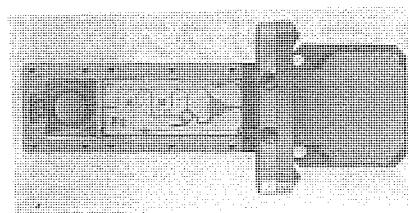


図 10. 方向弁別可能 CW ドップラーレーダ モジュール

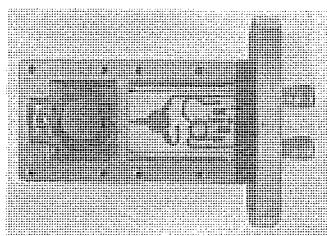


図 11. 2 周波 ドップラーレーダ モジュール

4. む す び

各種の X バンド MIC レーダモジュールの特性について述べた。各 MIC モジュールは、温度・振動・衝撃等の試験に対して十分な耐環境性のあることが確かめられている。これらのうち、CW ドップラーレーダモジュールは貨車自動操作 (YAC) 用および、交通取締用 スピードメータに実用化されていて、故障率に関するデータも蓄積されている。導波管形発振器および導波管形部品の組合せに比べて小形で使いよいが、価格面での低減が今後の課題である。(昭和 49-5-30 受付)

参考文献

- (1) Skolnik : Introduction to Radar Systems, McGraw Hill (1962)
- (2) 阿部ほか : 方向弁別 レーダスピードメータ, 三菱電機技報, 42, No. 8 (昭 43)
- (3) W. D. Boyer : A Diplex, Doppler Phase Comparison Radar, IEEE Trans. ANE., March (1963)
- (4) E. J. Shelton : Stabilization of Microwave Oscillators, IRE Trans. ED-1, Feb. (1954)

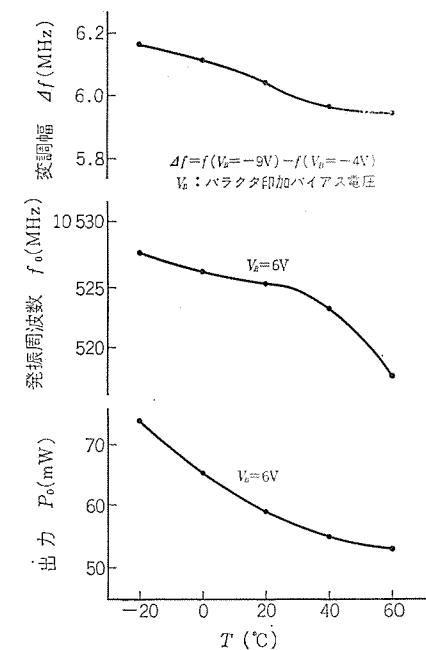


図 12. 2 周波 トッパラ用電子同調 ガン 発振器の温度依存性

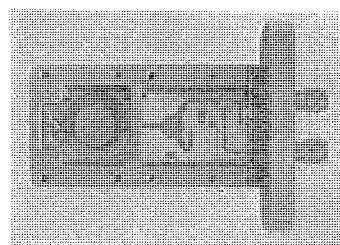


図 13. パルスドップラーレーダ モジュール

- (5) 昭 48 年度、四学連大、特集“マイクロ波・ミリ波固体発振器の周波数安定化に関する諸問題”講演番号 170～175.
- (6) M. V. Schneider : Dielectric Loss in Integrated Microwave Circuits, BSTJ, Sept. (1969)
- (7) J. Watkins : Circular Resonant Structures in Microstrip, Electronic. Lett, 16 th, 5, No. 21 Oct. (1969)

プラズマディスプレイ用のトランジスタ・マトリクス駆動回路

倉橋浩一郎*・鳥取 浩*・畠部 悅生*

1. まえがき

表示装置として、現在おもに使われている CRT (Cathode Ray Tube) は 3 次元的に大きい、表示精度が悪い、高圧を必要とする、などの欠点がある。このために、平板形 マトリクスディスプレイ (Matrix Display) として EL (Electro Luminescence)・液晶 (Liquid Crystal) および プラズマパネル (Plasma Panel) が研究されている。なかでも プラズマパネルは、大形化が可能である、パネル自身がメモリ機能を持っているなど他の マトリクスディスプレイ にはみられない特長を持っているために、現在各所で精力的に研究が進められている。

この プラズマディスプレイ に、おもに使用されている駆動回路は、電極 1 本あたり、ダイオード 2 個と抵抗 1 個を使った アンド 回路である。この回路方式は オーエンズ・イリノイ 社が考案した⁽¹⁾ もので、 プラズマディスプレイ の駆動回路としてすぐれたものではあるが、電極 1 本あたり、回路素子数が 3 個必要であり、大形 パネル、高分解能 パネル などで電極数が増えてくると、その数は膨大なものとなってしまう。

もし、この電極 1 本あたりの素子数を 1 個でも減らすことができれば、スペースファクタ、価格および信頼性などの点で非常に有利なものとなる。したがって プラズマディスプレイ を実用化するうえで一つの大きな障害となっていた駆動回路の設計、工作上の繁雑さを大幅に簡単なものにすることができる。

上述した理由により、われわれは ダイオード 2 個と抵抗 1 個を使った アンド 回路を トランジスタ 1 個で置き換える、同じような働きをさせる回路（以後、これを トランジスタマトリクス 駆動回路 という）を考案した。

ここでは、 プラズマパネル の駆動方法、われわれが考案した回路の動作原理および試作回路により 40×40 絵素の パネル を駆動した実験結果について述べる。

なお、 プラズマディスプレイ の概要については文献(2)を参照されたい。

2. プラズマパネルの動作原理と駆動回路

2.1 動作原理

現在試作されている プラズマパネル の構造を図 1. に示した。 プラズマパネル を駆動するには、直交する二つの電極群（以後、これを X および Y 電極群 という）にそれぞれ常時方形波の維持駆動電圧 V_s を印加しておき、これに加えて各電極群内の 1 本の電極に選択的に点灯および消灯 パルス 電圧を印加する。

X 電極群 および Y 電極群 に印加する電圧状態を図 2. に示した。

パネルの電極上には絶縁層がコートされているため、上述した維持駆動電圧を各電極に印加すると、パネルの放電間げき（隙）には図 2. (c) に示した電圧が印加されることになる。なおこの維持駆動電圧

は後の 3 章で述べるように点灯および消灯 パルス 印加時の電圧 レベル を任意に設定できるものである。

維持駆動電圧はそれ自身では放電を起こすには至らないが、点灯 パルス が印加され、いったん放電が起こると、放電によって生じたイオンと電子が対面する絶縁層上に付着帶電し、結果として壁電圧 V_W が形成される。したがって、放電間げきには $V_W + V_s$ なる電圧が印加され、この電圧が放電開始電圧 V_f を越えるので以後、維持駆動電圧 V_s だけで放電が持続する。

プラズマディスプレイ はこの放電時に発生する光によって画像を表示するものである。

実際に パネル を点灯したいときには、点灯したい絵素に交差している X および Y 電極を選び、図 2. において (イ) で示した パルス 電圧（点灯 パルス P_W ）を印加し最初の放電を起こせばよい。

一方、パネル を消灯したいときには、いったん形成された壁電圧を打ち消すような小さな放電を起こせばよい。このために図 2. 中 (ロ) で示した パルス 電圧（消灯 パルス P_e ）を印加し維持電圧で発生するよりも小さな放電を起こす。

このように、点灯および消灯 パルス の印加によって各絵素の点灯および消灯状態を切り換える現象を プラズマパネル の メモリ 機能と呼んでおり、この特性をもつことが プラズマパネル の大きい特長になっている。

2.2 駆動回路

図 3. は 2.1 節で述べた パネル の電極への電圧印加を行なうために オーエンズ・イリノイ 社が考案した回路で、点灯および消灯 パルス は ダイオード 2 個と抵抗 1 個を用いた アンド 回路により印加される。

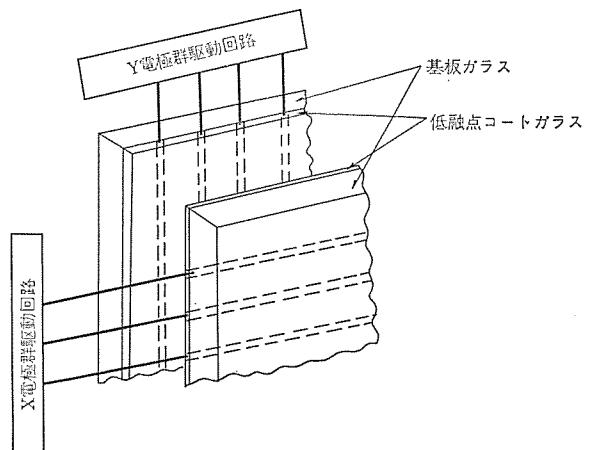


図 1. プラズマディスプレイパネル の構造

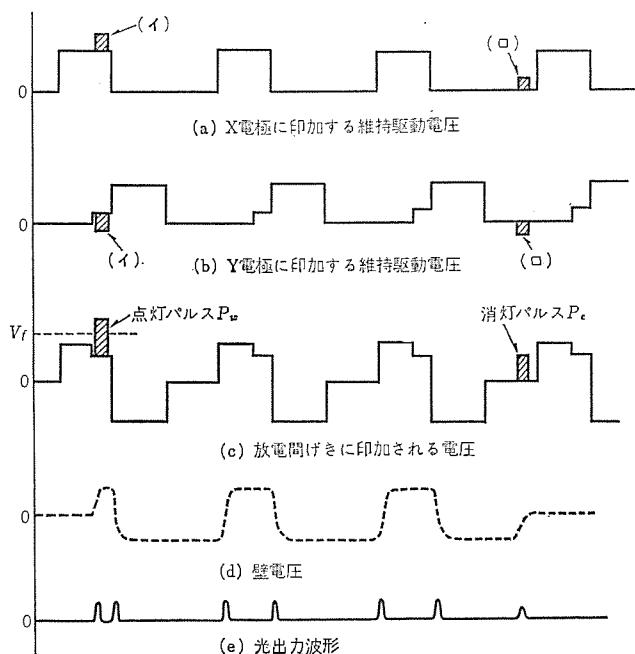


図 2. 各部電圧・光出力波形

すなわち、Aから導入された維持駆動電圧 V_s はダイオード D_A を通り、各電極 T_{ij} ($i=1 \sim M, j=1 \sim n$) に印加され、ダイオード D_B と常時導通状態に保たれているスイッチ S_{0j} ($j=1 \sim n$) によりディスチャージされる。

次に、たとえば電極 T_{22} に点灯パルスを印加したい場合にはスイッチ S_{20} をON、スイッチ S_{02} をOFFにする。この操作により、B点に発生する点灯パルスはダイオード D_B と抵抗 R からなるアンド回路の働きで、電極 T_{22} だけに選択的に印加される。

消灯パルスについても同様である。

上に述べた回路は、パネルの電極数が n 個の場合、点灯および消灯パルスを印加するために必要な入力信号数を n 個から $2\sqrt{n}$ 個に減少することができ、信号制御回路および信号にもとづいてスイッチする回路数を大幅に減少できるという特長をもっており、プラズマパネル駆動用としてすぐれた回路である。このため、現在ほとんどのパネルにこの回路方式が用いられている。しかしながら、この回路には次のような欠点がある。

(1) 電極1本あたり、ダイオード2個と抵抗1個、計3個の素子が必要であり、スペースファクタ、信頼性および価格の点で好ましくないこと。

(2) 図3において電極 T_{22} に点灯パルスを印加する際、電極 T_{2k} ($k=1, 3, \dots, n$) に接続されている抵抗にも点灯および消灯パルスを印加するための不要な電流が流れ、このため、消費電力が大きくなること。(この抵抗はパネルの書き込み速度との関係であまり大きくすることはできない)。

上記の欠点をなくすべく各所で研究がなされているようであるが、ベル・テレフォン研究所が抵抗をチャージ・ストレージ・ダイオード(charge storage diode)で置き換えることにより、上記の消費電力が大きいという欠点をなくすことができたと報告している⁽³⁾。

われわれは、おもに回路素子数を減少するという目的でダイオード2個と抵抗1個を用いたアンド回路をトランジスタ1個で置き換える、同じような働きをさせる回路(トランジスタ・マトリクス駆動回路)を考案した。次にその回路について説明する。

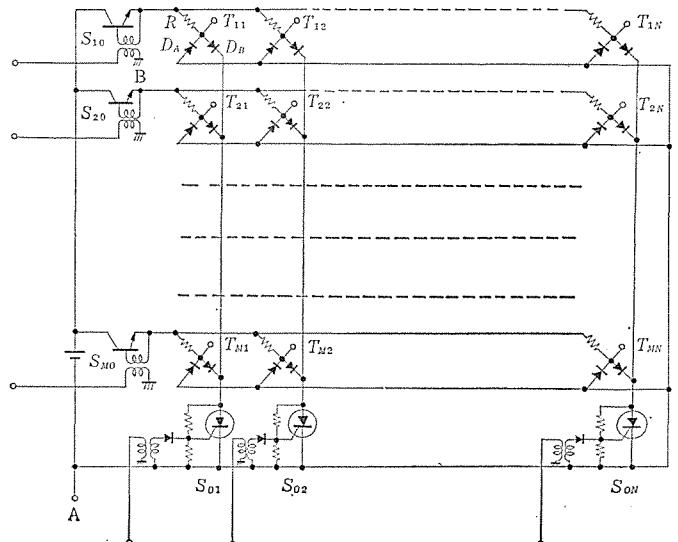


図 3. 従来の抵抗-ダイオード・マトリクス駆動回路

3. ワンジスタ・マトリクス駆動回路

3.1 動作原理

われわれの考案した駆動方式では、X電極群には図4.に示したトランジスタ・マトリクス回路を用いて図2. (a)に示した電圧波形を印加する。また、Y電極群については図5.の回路により、図2. (b)に示した電圧を印加する。

このような電圧を印加することによって、絶縁壁に囲まれた放電間げきには図2. (c)に示した電圧波形が印加される。

点灯および消灯パルスについてはX電極群には図2. (a)に示したように正のパルス電圧を、Y電極群には同図(b)に示したように負のパルス電圧を印加するため、それぞれPNP形トランジスタとNPN形トランジスタとを使用している。

図4.において、維持駆動電圧 V_s を印加するには、スイッチ S_{ij} ($i=1 \sim M, j=1 \sim n$) すべてをOFFとし、各トランジスタを順方向にバイアスしておく。 R_{40}, R_{0j} はこのときのバイアス電流制限用の抵抗である。この状態で維持駆動電圧 V_s を端子Aから印加すると、 V_s の立ち上がり時には電流はダイオード D_{Aj} およびON状態の各トランジスタのエミッタを通ってコレクタに接続している各電極に流れる。一方、立ち下がり時には各トランジスタのコレクタからベースおよびダイオード D_{Bj} を介して端子Aへディスチャージされる。この結果、端子Aに印加した維持駆動電圧とほぼ同一レベルで同じ波形の電圧が各パネル電極へ印加される。

つぎに、選択的に点灯パルスを印加するには、たとえば電極 T_{22} に点灯パルスを印加する場合を例にとると、スイッチ S_{20}, S_{02} 以外のスイッチをすべてONとする。この操作により、電極 T_{22} につながるトランジスタのみ順方向にバイアスされる。その後端子Bから正の点灯パルスを印加するとマトリクストランジスタがON状態にある電極 T_{22} だけに点灯パルスが印加され、他の電極にはその出力があらわれない。このようにして、点灯したい絵素(以後、これを選択点と呼ぶ)にだけ点灯パルスを印加することができる。

消灯パルスについても同様である。

一方、NPN形トランジスタを使った図5.の回路は、原理は図4.に示したものと全く同じであるが、トランジスタの接合の極性が異なるので V_s とは逆極性の点灯および消灯パルスを選択的に印加すること

ができる。

3.2 トランジスタの基礎実験

われわれの考案したトランジスタ・マトリクス駆動回路が動作するためには各トランジスタについて、次の(1)、(2)および(3)の条件が満たされねばならない。

(1) 各トランジスタはパネルの放電に必要な電流量をON状態で流し得ること。

(2) トランジスタをカットオフ状態にし、ベースおよびエミッタ電位を点灯および消灯パルス電位に上昇あるいは下降したときに、コレクタ電位が変動しないこと。

(3) カットオフとON状態の切り換え速度が維持駆動電圧の周波数が50kHzとすると、少なくとも1μs以下であること。

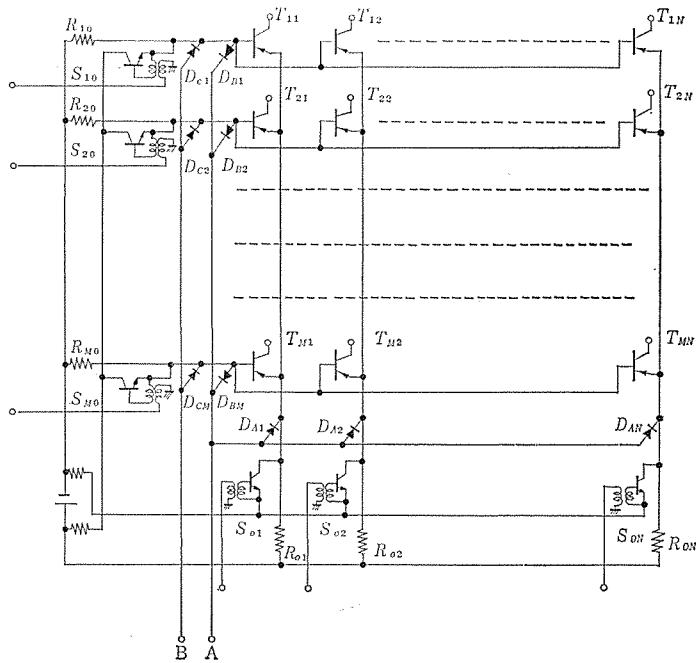


図4. X電極用トランジスタ・マトリクス駆動回路

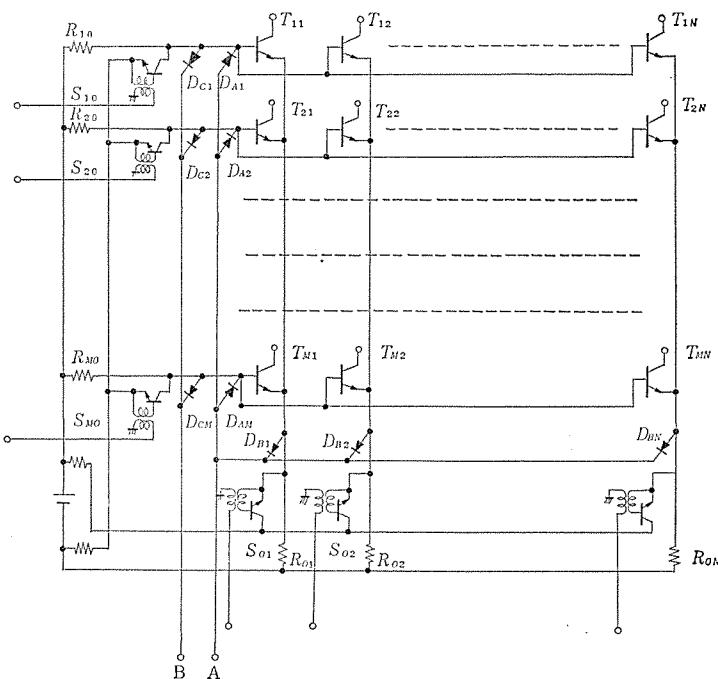


図5. Y電極用トランジスタ・マトリクス駆動回路

トランジスタに要求される特性のうち(1)、(3)のON状態におけるコレクタ電流量についてはトランジスタの電流増幅率とベース電流から予測することが可能で、予測の結果、市販のターンオンおよびターンオフ時間が1μs以下のトランジスタでも100mA程度のコレクタ電流量を確保することができる。

(2)のカットオフ時の漏れ電圧についてはトランジスタの出力容量C_{ob}およびそのばらつき、回路の浮遊容量C_sなどとパネルの負荷容量の関係が不明であり、どの程度の影響を与えるかなどについて検討が必要である。

そこで、われわれはトランジスタの基礎実験を行ない、条件(2)がどの程度満たされるかについて調べた。

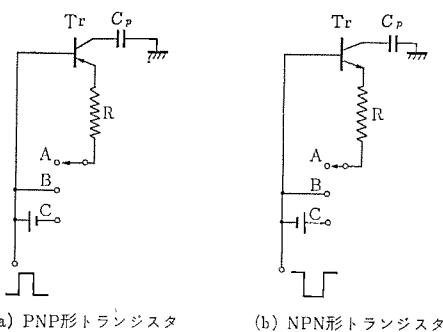
基礎実験を行なった回路の一例を図6.に、その結果を図7.に示した。この回路において、C_Pはパネルの容量負荷の仮定値で実験では10pFと50pFを用いた。実際のパネルでは絵素数、寸法などで異なるが10pFより大きい。

また、切り換えスイッチはAのとき、ベース・エミッタ間をオープンに、Bのときショート、Cのとき逆バイアス(1.5V)を印加して3者の相違を調べるためのものである。実験結果によると、これらのバイアス状態による相違はほとんど認められなかった。

図7.に示した結果から、コレクタ出力容量C_{ob}の最大値が2.5~3.5pFのトランジスタでは負荷容量が10pFのときベース・エミッタへの印加電圧の約12%がコレクタに出力され、負荷容量50pFでは4%であることが明らかになった。この関係を支配しているおもなファクタはトランジスタの出力容量C_{ob}とコレクタ側の負荷容量C_Pの比であることがわかった。たとえば、C_{ob}=20pFのトランジスタを使った実験で50Vの点灯電圧を印加したときC_P=10pFでは16V、C_P=50pFのときには8Vの出力が得られた。

上記の結果から、われわれの考案した回路を実用化するにあたっては、トランジスタのC_{ob}の値とそのばらつきに注意する必要があるといえる。このことについては次章で述べる。

以上のようにして、PNP形トランジスタ、およびNPN形トランジスタの両方について条件(1)、(3)がほぼ満足されることを確認した。また、(2)についても点灯および消灯パルスの数%がコレクタに出力されるが実用化は可能であると判断し、40×40絵素のパネル駆動用トランジスタ・マトリクス駆動回路を試作し、実際にパネルを駆動できるかどうかを調べた。



Tr:トランジスタ
R:ベース電流制限用抵抗
C_p:パネルの容量負荷の仮定値(10pFおよび50pF)

図6. トランジスタの基礎実験回路の一例

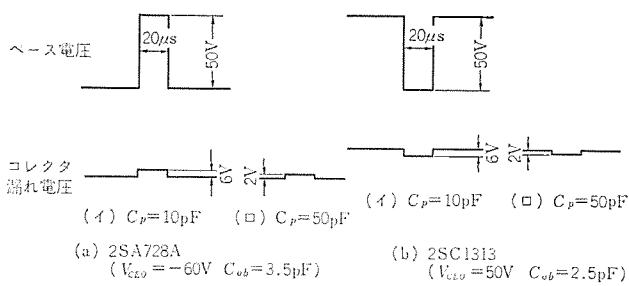


図 7. 図 6 の回路から得られたベース電圧に対するコレクタの漏れ電圧波形

4. 試作回路による実験結果

40×40 絵素のパネルを駆動する目的で試作したトランジスタ・マトリクス駆動回路では、トランジスタの選択にあたって、(1)点灯および消灯パルス電圧が 50 V 程度必要であるため、 V_{CEO} が 50 V 以上あること、(2)ベース・エミッタ間を順方向にバイアスしないトランジスタについてはコレクタ出力を極力おさえるためにコレクタ出力容量 C_{ob} ができる限り小さいこと、以上の 2 点を考慮し、今回の試作回路では X 電極用には 2 SA 728 A (三菱製、 $V_{CEO} = -60$ V, $C_{ob} = 3.5$ pF), Y 電極用には 2 SC 1313 (三菱製、 $V_{CEO} = 50$ V, $C_{ob} = 2.5$ pF) を使用した。

図 8. は各電極に維持駆動電圧 V_s を印加し、X電極群およびY電極群のうちから各 1 本を選択して点灯および消灯 パルス電圧を印加したときの選択点における電圧波形を示した。

この波形は維持駆動電圧については P-P 値で 300 V, 周波数は 15 kHz, パルス幅は 14 μ s, 一方, 点灯および消灯パルス電圧は 50 V, パルス幅は 5 μ s に設定した場合の例である。

われわれの考案した回路では維持駆動電圧、点灯パルス電圧および消灯パルス電圧を各電極に印加するには各トランジスタをON状態にしておくため、ベース・エミッタ間に電流を流す必要がある。

この電流値が十分でないと所定の電圧値を各電極に印加することができない。

われわれはトランジスタ 1 石についてどの程度の電流を流せばよいかを調べた。その結果、トランジスタの個々のばらつきを考慮に入れて 1 石あたり、約 1 mA のベース電流を流せばよいことがわかった。そこで、今回の試作回路ではトランジスタ 1 石あたり 1 mA のベース電流を流している。その結果は良好で、各選択点には図 8. に示したように所定の電圧値を印加することができた。

一方、点灯パルス印加時に非選択点には電圧が印加されないことが望まれるが、3.2節で述べたようにトランジスタの出力容量 C_{ob} に起因すると思われるパルス電圧 V_0 が印加される。このようすを図 9. に示した。この電圧 V_0 は一般にはパルスを誤動作させる恐れがあるが、われわれは維持駆動電圧 V_S として図 2. に示したように、点灯パルス印加時の電圧を任意に設定できる維持駆動電圧を使用している。このとき、維持駆動電圧 V_{SP} 、点灯パルス電圧 V_P および漏れ電圧 V_0 の関係はつぎのようになる。すなわち、選択点で点灯を確実に行なうには図 10. に示したようにつぎの条件が成り立つ必要がある。

$$V_{SP} + 2V_P > V_{f\max} \dots \dots \dots (1)$$

また、半選択点で点灯しないためにはつぎの条件が成り立つ必要がある。

式(1), (2)から, $V_{0\max}/V_P = K$, $\Delta V_f = V_{f\max} - V_{f\min}$ とすると,
占打電圧 V_P は

また、維持駆動電圧 V_{SP} の範囲は、

$$V_{\text{cmax}} = 2V_B \leq V_{\text{cB}} \leq V_{\text{cmin}} = V_B(1+K) \quad \dots (4)$$

上卷

一般的のパネルでは V_f の平均値として 180~190 V, ΔV_f は 20 V 程度である。

ところで、今回使用したトランジスタ 2SC1313, 40 個について V_0 の値を実測した結果、負荷容量 C_P が 30 pF 程度のパネルに回路を接続した場合、点灯 パルス 電圧 50 V に対して、漏れ電圧 V_0 の最小値は 3 V、最大値は 4 V であった。また、2SA728A については最小値 3.3V、最大値 4.3 V であった。この値から K はそれぞれ 0.066 と 0.086 となる。したがって、式(3)から点灯 パルス V_F は 22 V 以上必要であり、一応、50 V とすると V_{SP} は 80 V より大きく、105 V より小さい範囲に選べばよい。なおパネルが大きくなれば、負荷容量 C_P は増加し、 K の値は小さくなる。(256×256 絵素以上では 30 pF より大きくなる)。

以上の考察および実測結果から、漏れ電圧は個々のトランジスタによって多少異なるが、点灯時の誤動作についてはその最大値が点灯パルス電圧の決定の一つの因子になり、得られた実測結果の値程度であれば誤動作しない条件の範囲内に維持駆動電圧を設定することができることが明らかになった。

消灯パルスについても同様の方法で動作マージンの大きい動作条件

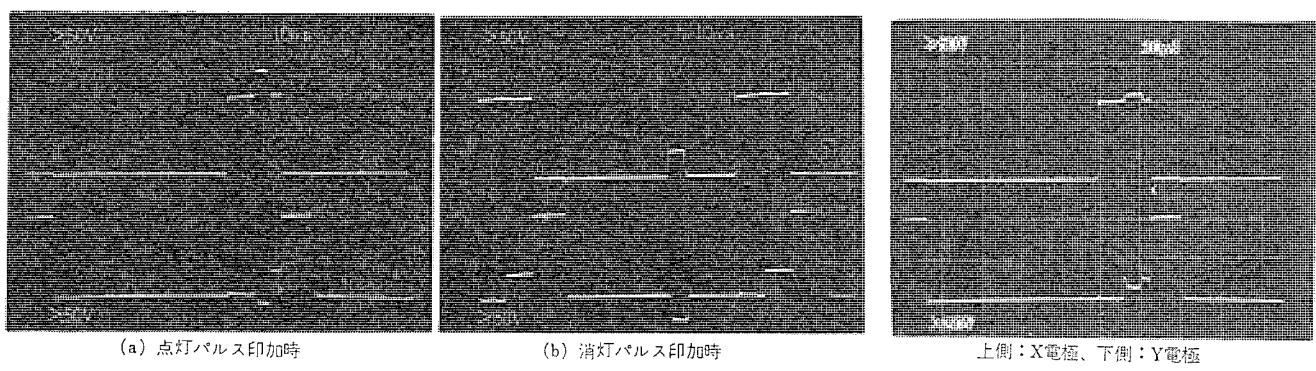
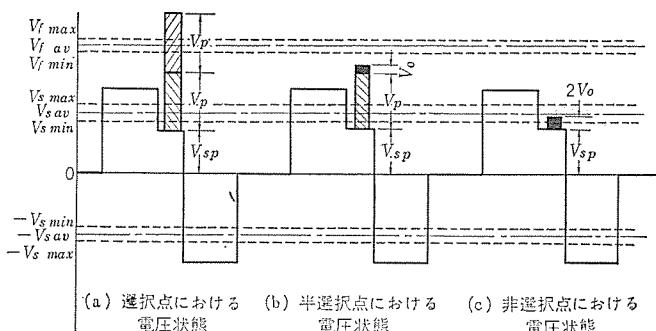


圖 8 週期上波形子電壓波形

図 9 非選択点における電圧波形



V_p : 点灯パルス電圧
 V_{sp} : 点灯パルス印加時の維持駆動電圧
 V_o : 漏れ電圧
 V_{fmax} : 点灯電圧の最大値
 V_{fav} : 点灯電圧の平均値
 V_{fmin} : 点灯電圧の最小値
 V_{smax} : 維持駆動電圧の最大値
 V_{sav} : 維持駆動電圧の平均値
 V_{smin} : 維持駆動電圧の最小値

図 10. 維持駆動電圧 V_s と点灯パルス電圧 V_p の関係

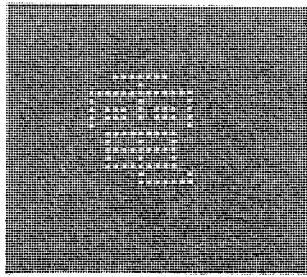


図 11. 試作回路による表示例

を選ぶことができる。

図 11. に 40×40 絵素のパネルを試作回路で駆動し、漢字を表示した例をしめす。

試作したトランジスタ・マトリクス駆動回路により、 40×40 絵素のパネルを全面点灯したときに消費される電力は維持駆動電圧について 0.4 W 、電極に接続されているトランジスタを常時 ON にするために流すバイアス電流による消費量が 1 石あたり $3 \text{ V}, 1 \text{ mA}$ で 3 mW 、80 個で 0.24 W となる。また、OFF にするために逆バイアスに消費され

る電力が 0.18 W 必要である。したがって、電力消費量は合計 0.82 W であった。ただし、本来、維持駆動電圧に必要なバイアス電流はパルス印加時にだけ流せばよく、またスイッチ回路方式の変更によって、OFF にするための逆バイアス電流を流す必要がなくなるので電力消費量を大幅に減少することが可能である。

上記の結果から、われわれの考案した回路は、当初のもろみである、(1) 回路素子数の減少、および(2) 消費電力の減少、の両者について有効な手段であることがわかった。

5. む す び

従来の プラズマディスプレイ駆動回路には電極 1 本あたり、ダイオード 2 個と抵抗 1 個からなる抵抗-ダイオード・マトリクス駆動回路が用いられていたが、この回路はスペースファクタが悪い、消費電力が大きい、などの欠点があった。

われわれは上記の欠点を改善する目的で電極 1 本あたり、トランジスタ 1 個で構成したトランジスタ・マトリクス駆動回路を考案し、その動作原理について述べた。さらに、 40×40 絵素の プラズマパネル用のトランジスタ・マトリクス駆動回路を試作し、その実験結果について述べた。その結果は良好で、今まで プラズマディスプレイを実用化するうえで大きな障害となっていた、駆動回路の繁雑さを大幅に少なくできる見通しがついた。

参 考 文 献

- W. E. Johnson and L. J. Schmersal : A 1/4-Million-Element AC Plasma Display with Memory, SID International Symposium, May, (1971)
- 倉橋ほか : プラズマディスプレイ、三菱電機技報, 46, No. 10, 1135 (昭 47)
- G. W. Dick : Low-Cost Access Circuits for the Gas Plasma Display Panel, SID International Symposium, May, (1971)
- R. L. Johnson, D. L. Bitzer and H. G. Slottow : The Device Characteristics of the Plasma Display Element IEEE Trans. Electron Devices, ED18, No. 9, 642 (1971)
- B. M. Arora, D. L. Bitzer and H. G. Slottow : Ternary Operation of the Plasma Display Cell, IEEE Trans. Electron Devices, ED20 No. 1, 78 (1973)

生産システムの自動化

壺 井 芳 昭*

1. まえがき

1960年代では、コンピュータは、設計・事務・生産管理・経営管理などの情報処理に欠くことのできない道具となった。ついで、1970年代では、新たなコンピュータ革新として、ブルーカラー・コンピュータが加わるといわれている。⁽¹⁾ ブルーカラー (Blue-Collar) コンピュータとは工場のオートメーション、省力化、自動化に使用されるコンピュータのことである。

石油精製プラントなどの連続プロセス産業では、オートメーションが非常に進んでおり、ごく少数の人員でプラントの運転と管理が行なわれている。また、鉄鋼産業においても、各生産工程の制御と生産管理にコンピュータが多数導入され、物と情報の流れに対し、大幅に自動化がはかられている。⁽²⁾⁽³⁾ 機械加工に関しても、NC工作機の発展とコンピュータによる情報処理技術の組合せにより、高度に自動化された加工システムが一部で実現されている。⁽⁴⁾

しかし、当社のような、加工、組立を主とした機械工業で代表される個別生産 (Discrete Manufacturing) においては、製品の多様性から、組立、検査、マテリアルハンドリングの自動化が困難であり、上記産業に比し工場全体の自動化、オートメーション化はかなり遅れているのが現状である。

当社生産技術研究所では、設立以来、社内の工場を対象とし、各種の省力化、自動化機器の開発を行なっている。⁽⁵⁾ これらの機器が、複雑高性能になるにしたがって、その制御には高度の判断機能と複雑なシーケンス制御が要求されるようになった。そこで、コンピュータの高速情報処理機能とソフトウェアによる制御方式のフレキシビリティに着目し、ミニコンピュータを導入した自動化機器の開発を進めてきた。⁽⁶⁾

技術革新は、個々の物を作る技術から、多くの要素をまとめあげる情報化とシステム化にウェイトが移行した。機械をばらばらに開発していく機械技術ではなく、システムを構成するコンポーネントの組合せを最適化していくシステム技術が支配的になる、⁽⁷⁾ といわれている。この意味では、上記の自動化機器は、工場の生産工程の自動化のための基本的なサブシステムであるといえる。そして、これらのサブシステムを組合せ、素材の投入から加工、組立、検査を経て製品にいたる、一貫した製造ラインの自動化へと発展する。

この段階においては、物の流れの自動化とともに、生産管理に必要な情報など、ラインに直結した情報の流れに関しても自動化がはかられる。別な表現をすれば、自動化機器の導入により、直接作業の自動化が経済的に実現可能な限界まで近づいたのちは、これに関連した間接作業の省力化、自動化が重要になると考えられる。この点に関しても、ミニコンピュータを中心とした、ブルーカラー・コンピュータの導

入の余地がまだ十分にあると思われる。

以上のような背景のもとに、当研究所では、ミニコンピュータを応用した自動化のためのサブシステムの開発から、一貫した製造ラインにおける物と情報の流れの自動化へと、高位のレベルに向かって開発を進めている。以下、本文では、生産システムの自動化の各段階について、おもに情報の流れを中心に概念的に述べる。ついで、当研究所が関連製作所に協力して開発した、一貫自動化ラインの例として換気扇用小形モータおよびノーヒューズブレーカの生産ラインについて簡単に説明する。

2. 生産システム

工業を対象とした場合の生産活動とは、一口にいえば、工場に入力として材料、労働力を投入し、工場の生産工程 (プロセス) を経て出力として製品を出すことである。この生産活動は、図1. に示すように、大別して二つのサブシステム、すなわち物的システムと生産管理システムから構成される生産システムによって達成される。⁽⁸⁾

ここで、物的システムとは、原料を製品に変換するための機能であり、物の流れに対応している。一方、生産管理システムは物的システムの活動を計画し統制するためのシステムである。生産計画および生産工程管理がおもな機能であり、情報の流れに対応している。

生産計画は、長期販売計画、受注情報、収益などにもとづき、生産のスケジュール、たとえば、製品ごとの月間生産予定を作成し、必要材料、生産原価、納期などを決定し指示するものである。生産工程管理は、物的システムに関する各種の制約条件を考慮に入れたのち、生産計画の指示にしたがって具体的な生産工程を決定し管理するものである。たとえば、どの機械で、いつ何を加工するかの日程計画をたて、所要材料が必要な時期に入手できるように手配する。そして、所定の工程を所定の時間に完了させるよう統制する。また、工程中に障害が発生した場合は、それに対処する工程変更を行なうか、工程管理の範囲でカバーできない場合は、上位の生産計画の段階に

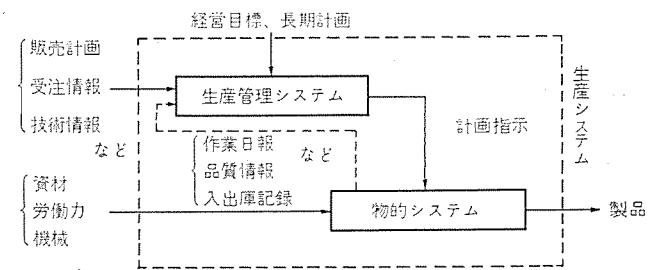


図1. 生産システムの構成

フィードバックし、計画の変更をもとめる。

生産システムの具体的な内容は、石油精製や鉄鋼などの連続プロセスを主とした産業と、自動車、電気機器など機械工業で代表される個別製造(Discrete Manufacturing)産業ではかなり違ったものとなる。

生産形態としては、受注生産と予想(仕込)生産に大別され、前者は多種少量生産となり、後者は少種多量生産となるのが普通である。受注生産においては、生産規模が大きくなれば取り扱う製品、部品の種類は膨大なものとなるため、生産管理の効率化が必要である。また、生産設備は製品の多様化に対応できるフレキシビリティをもつことが要求される。一方、少種多量生産といえども、電気製品などでは、多様化する顧客の要求、性能の改善あるいは原価低減のための設計変更、比較的短いライフサイクルなどに対し、それらの変化に追隨し得る生産設備でなければならない。

3. 生産システムへのコンピュータの導入

生産システムでは、物的システムにおける物の流れにともなって、情報の流れがあり、これに対処するために生産管理システムがあることは前述した。図2.は、個別製造産業の代表的な工場(生産システム)における情報と物の流れを示す。⁽⁹⁾ ここでは、物と情報の流れを四つのレベルにわけている。

レベル(1)は物の流れ(Material Flow)であり、前述の物的システムに対応し、原材料から最終製品までの変換工程である。レベル(2)から(4)までは情報の流れであり、コンピュータが関与し得るレベルである。表1.に、これらのレベルにおけるコンピュータの代表的な利用例をオンラインとオフラインにわけて示す。⁽⁹⁾ ここでオンラインは必要に応じいつでもただちに情報処理が要求されるものであり、オフラインはバッチ処理が可能なものである。レベルが(4)から(2)に向かうほど、その情報処理にリアルタイム性が要求される。

生産システムにおけるコンピュータ利用の観点から、図2.あるいは表1.を別な表現にすれば、次の三つの機能にわけられる。⁽¹⁰⁾

- レベル(1)と(2)……装置の制御(Equipment Control)
- レベル(3)……………生産に対する支援(Production Support)

表1. 生産活動におけるコンピュータの利用

レベル	オンライン	オフライン
操業管理(2)	<ul style="list-style-type: none"> ○加工 ○試験検査 ○組立 ○マテハン ○データ収集 	<ul style="list-style-type: none"> ○各作業あるいは機器の制御と管理 ○製造に必要な支援作業(たとえばNCテープ作成、ICのマスク作成など)
生産管理(3)	<ul style="list-style-type: none"> ○毎日の生産スケジューリング ○部品や製品の在庫管理 ○品質管理 ○会計計算 	<ul style="list-style-type: none"> ○原価管理 ○在庫管理 ○品質管理、信頼性管理 ○設計のための技術計算
経営管理(4)	<ul style="list-style-type: none"> ○経営情報の作成(利益、資源の利用度、人事データなど) 	<ul style="list-style-type: none"> ○経済状況、需要、利益率などの予測のためのシミュレーション ○マネージメントおよび技術、情報ファイルのメンテナンス

レベル(4)……………経営に対する支援(Management Support)

4. 生産システムの自動化

4.1 省力化、自動化機器

生産システムの物の流れに関する自動化、すなわち生産工程の自動化の第一歩は自動機の導入である。この段階においては、各自動機は、図3.に示すように、互いに独立している。もちろん、マテリアルハンドリングの自動化により、物の流れのレベルでは、一部の自動機間は互いに連系が保たれているものもある。しかし、情報の流れ、すなわち工程管理、生産管理の面での相互間の情報の流れに関する自動化はされていない。この意味で、生産システム全体からみた場合は「点の自動化」といえる。

少種多量生産に対しては、専用の加工ライン、組立装置などが使用されている。また多種少量生産については、フレキシビリティのあるものが要求されるが、NC工作機の実用化は一つのブレークスルーであり、⁽¹¹⁾ 産業用ロボットの発展も期待される。

一方、ミニコンピュータの出現により、複雑なシーケンス制御と高度な判断機能を備えた、各種の自動化機器を開発することが可能になった。とくに、コンピュータ(ミニコンピュータ)の高速演算機能とソフトウェアによる制御のフレキシビリティをいかした、コンピュータNC(CNC)や各種の自動試験装置は、多種少量生産のための生産工程の自動化に大きく寄与している。⁽¹²⁾

当研究所でも、各製作所と協力してミニコンピュータを導入した省力化、自動化機器の開発に積極的に取り組んできた。⁽¹³⁾ これらのうち、製造ラインで現在か(稼)動中のおもなものを次にまとめて示す。

- (1) ミニコンピュータNC(群制御システム)
- (2) 計器用変成器の自動試験システム
- (3) 小形変圧器の自動試験システム
- (4) デジタル回路のプリント板自動試験装置
- (5) プリント板への電子部品自動組立(挿入機群制御システム)
- (6) NC旋盤用ローダ・アンローダシステム

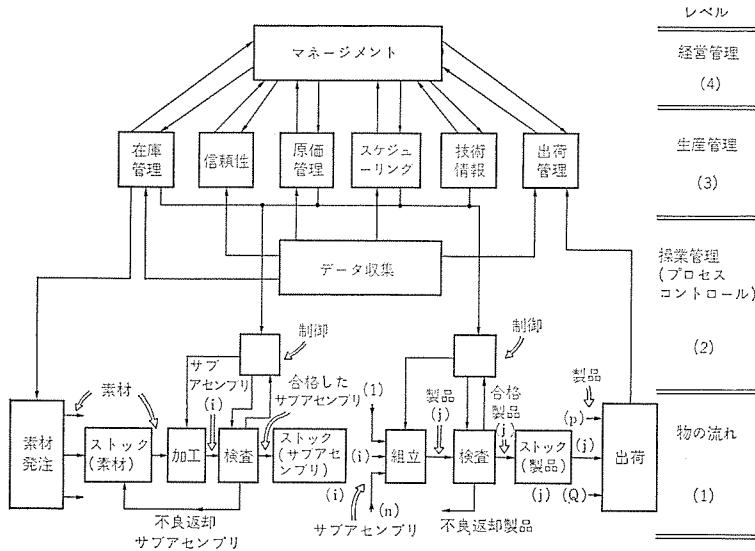


図2. 代表的な工場における情報と物の流れ

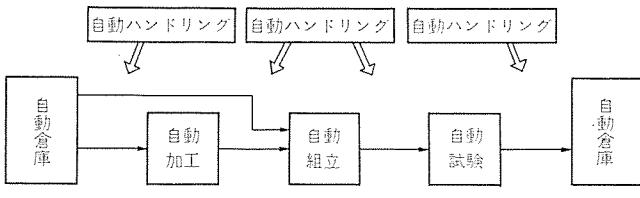


図 3. サブシステムの自動化

(7) 制御盤を対象とした自動布線機群制御システム

これらの自動化機器は、生産システムに対する「点の自動化」ではあるが、ミニコンピュータで制御されたサブシステムとして、情報の流れを自動化する次のステップへと拡張するための基本的なビルディングブロックとなる。

4.2 製造ラインの自動化

加工、組立、試験などの各サブシステムからなる製造ライン（生産工程）において、物の流れに関し自動化をはかるとともに、ラインの生産活動に関する情報の流れについても自動化されたレベルである。これは、「点の自動化」に対し「線の自動化」といえる段階であり、図4.において一点鎖線で囲んだ部分に対応する。

生産工程にとって、一貫した物の流れを実現するための自動マテリアルハンドリングシステム、自動機を中心とする生産設備の最適なレイアウトがここでは必要となる。一方、情報に関しては、各自動機（サブシステム）の制御システムとともに、これらの各サブシステムおよび製造ライン全体としての稼動状況と生産状況を監視、管理するデータ収集（モニタリング）システム⁽¹³⁾が要求される。

モニタリングシステムは、生産管理システムとの間のインターフェースである。また、生産活動を効率よく遂行するための、作業員および管理者とシステムとの間のマン・マシンインターフェースでもある。

図4.にサブシステムとして示した自動プログラミングシステムは、加工システム（たとえばNC工作機）や自動試験システムを働かせるための指令を、人間に理解しやすい言語で効率よく記述するために必要なものである。NCに対してはAPT、EXAPTがよく知られているが、自動試験に対してはATLAS⁽¹⁴⁾がある。これらの情報処理は、いずれもオフラインでよいが、中形ないし大形のコンピュータを必要とするのが普通である。

4.3 統合生産システム

生産工程における物と情報の流れを一体化した、自動化製造ラインと生産計画、工程管理、資材管理などを行なう生産管理システムとの情報の流れを自動化し、「線」から「面の自動化」へと発展させたレベルである。製造ラインの稼動状況、生産量などの情報をオンラインでは（把）握し、分析することにより、ダイナミックに工程管理あるいは生産計画を最適化し、生産システムの運用効率を高めることが目的である。

これは、さらに図4.全体に示したように、経営管理システムおよびコンピュータを採用した設計システム（Computer Aided Design, CAD）とも組合わされたトータルシステムへと進む。ニードとコンセプトを入力として、出力として製品を出すためのシステムであり、コンピュータを導入しトータルシステムとして高度の自動化と最適化が進んだ、Integrated Manufacturing System (IMS) である。

4.4 ハイアラキシステム

生産システムの自動化は、前述のように、サブシステムから出発したハイアラキ（階層構成）システムによって達成される。これは、従来から知られているピラミッド形の組織にほかならない。しかし、重要な

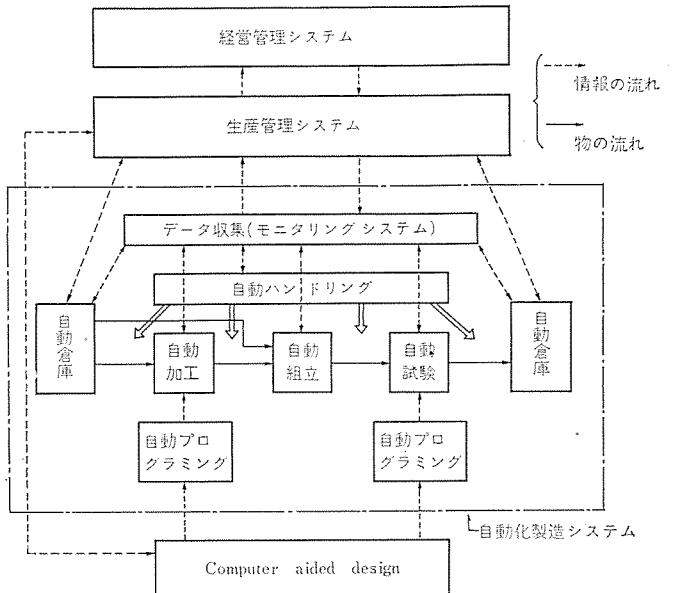


図 4. 統合生産システム

相違点は、各サブシステム間の結合がコンピュータにより行なわれていることである。

各サブシステムが有機的に結合されている反面、それぞれが独立した機能をもち、一つのサブシステムの事故がシステム全体のダウンに直接結びつかない構成が必要である。また、全システムを一時に変えてしまうような新しいシステムを導入することは、企業にとって不可能に近く、計画にしたがって徐々に改善していく必要がある。この意味でも、フレキシビリティをもった、ハイアラキシステムを探ることが望ましい。

各サブシステム間の結合、すなわち情報の流れの自動化は、サブシステムを制御、管理するコンピュータ間を直接データ伝送システムにより電気的に結合するか、磁気テープ、紙テープなどの中間媒体が使われる。この場合、中間に人間による変換を必要としないことが望ましい。また、生産活動に必要な情報は、データベース（データバンク）として各サブシステムで共通に有効に利用されるような情報処理システムを構成する必要がある。

5. 換気扇生産システムの自動化

当社中津川製作所の分工場として誕生した飯田工場の一部に設置された、換気扇用小形モータ製造ラインを中心に自動化の概要を述べる。この工場は、比較的少種の標準機種の量産を目的としており、素材の投入から加工、組立、試験を経て完成品となる、一貫した生産ラインとしての活動に重点が置かれている。⁽¹⁵⁾

図5.は飯田工場の換気扇製造ラインにおける物と情報の流れを示したもので、（ミニ）コンピュータによる自動化の直接の対象となったものは、モータ製造ラインと部品倉庫の管理システムである。

物の流れに関しては、モータが多量生産品であることから、ほぼ専用の加工、組立、試験のための自動機群と自動マテリアルハンドリングを大幅に採用し、直接作業に必要な人員を少なくしている。

一方、分工場としての性格から、情報の流れは操業管理のレベルまでとし、生産管理の大部分は中津川製作所のシステムで一括して行なわれる。すなわち、週間あるいは月間の生産計画や資料の発注計画などは上位の生産管理システムで行なわれる。分工場は、上位システムから与えられる指示に対し、効率よく生産活動を行なうことに

専念することが可能となる。

5.1 小形モータ製造ライン

コアおよび軸の素材投入から、ロータおよびステータの加工ラインを経て組立完成品となるまでの製造ラインである。このラインにおける情報の流れからみた特長は、ラインを構成する自動機群に対し、次に示す機能をもったモニタリングシステムを導入していることである。

- (1) 日程計画にしたがった各機械の自動起動と自動停止
- (2) 各機械のか動状況に関するデータ収集と記録、分析
- (3) 異常の発生に対し、発生個所の表示と必要に応じ機械の自動停止
- (4) バイト交換など、保守サービス要求の表示
- (5) ラインの主要部における生産状況の記録、集計

図6.は、(3)および(4)に対する表示例を示す。この表示機能により、ラインの運転と保守が少數の作業員で効率よく達成できる。ラインのか動状況および生産状況に関する情報は、図7.に示すように、カラーCRTディスプレイに表示することができる。これにより、任意の時間における工程進ちょく(抄)のは握ができるようになり、日程計画の変更修正など、工場レベルでの管理に必要な、正確で適切な情報をオンラインリアルタイムで提供することができる。

なお、図5.に示したミニコンピュータ1は、モータ製造ラインの自動機群の一部のシーケンス制御を行なうための制御システム(マシンコントロールシステム)である。この制御システムに対しては、モニタリングシステムのミニコンピュータ2がバックアップシステムとして動作するように構成されている。

5.2 部品管理システム

部品管理システムは、換気扇の生産に必要な、外部から搬入される部品および内作部品を管理するためのものである。受け入れ、ピッキングなど物の流れは人手によっている。上位コンピュータの生産管理システムから手配された部品に関する情報は、この部品管理システムのファイルに入れられており、搬入時に検収卓を通じチェックが行なわれる。

内作部品については、加工ラインから直接、自動的に生産量が在庫として読み込まれる。また、組立ラインの進ちょく状況をコンピュータで監視することにより、部品払い出しのタイミングを自動的に表示させるようになっている。このように、部品管理のための情報を生産ラインから直接オンラインで処理しているのがこのシステムの特長である。

なお、上記各システムと上位コンピュータとの情報交換は紙テープによっているが、今後データ伝送に切換えられる予定である。

6. ノーヒューズブレーカ製造ラインの自動化

小形ノーヒューズブレーカを対象とした、組立、試験、倉入までの一貫した製造ラインである。極数と電流定格の組合せ約50種に対し、標準品と特殊受注品の2種があり、合計約100種のノーヒューズブレーカを一つのラインで生産する。

標準品は、週間あるいは月間の比較的長期の生産計画にしたがって、通常、数100個以上のロット単位で同一品種のものが生産される。これに対し、特殊受注品および飛び込みの標準品を要求に応じ

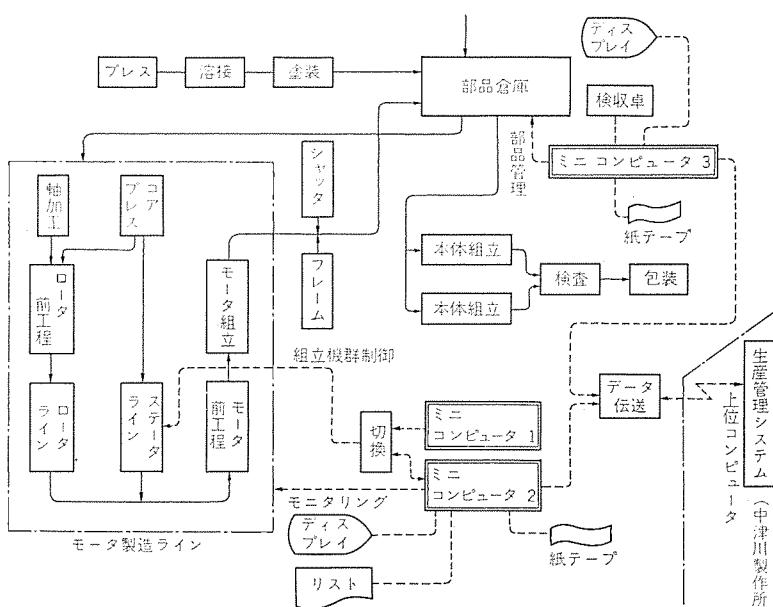


図5. 飯田工場の換気扇製造システムにおける物と情報の流れ

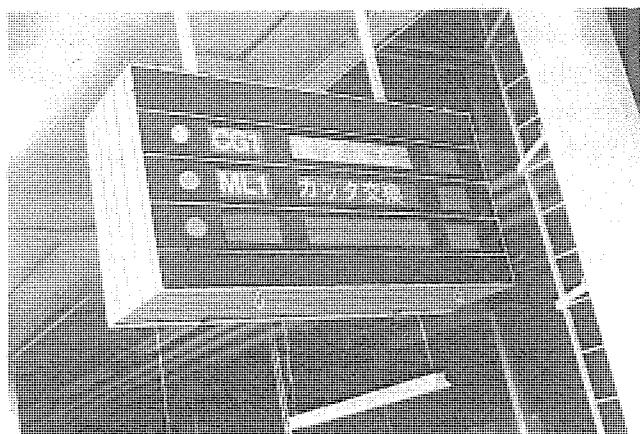


図6. 操作と保守のための表示板



図7. モニタリングシステムのカラーCRTディスプレイ

割込ませ、同時に生産することが要求される。このため、生産形態としては、多種少量生産に近いものとなる。

図8. に製造ラインの構成の概要をブロック図で示し、そのなかにおける物と情報の流れを示す。以下、物の流れと情報の流れにわけて簡単に説明する。

6.1 物の流れ

ライン全体は高度の自動化、省力化がはかられているが、機構部の組立など、一部は人手による作業も含まれている。

まず、ラインはコンピュータからの指令にしたがって、2極あるいは3極のベース部分が選択供給され、各ベースごとに機種判別のためのコードが自動的に印刷ちょう(貼)付される。以下、ラインでは必要に応じ、この機種コードが(ミニ)コンピュータに接続された自動読取装置で判読され、ベース1個ごとのトラッキング(追跡)が行なわれる。この機種コードの読み取りは、

(1) JEL (Job Enlargement) 方式組立ステーションによる組立時間の個人差により、流れの前後関係が変化する。

(2) 人手による工程で発見された、キズなどの不良品をラインオフする。

(3) 修理、手なおし品をラインに再投入する。

などに対し、ライン上の物の流れのトラッキングを容易にし、誤りをなくするために採用している。

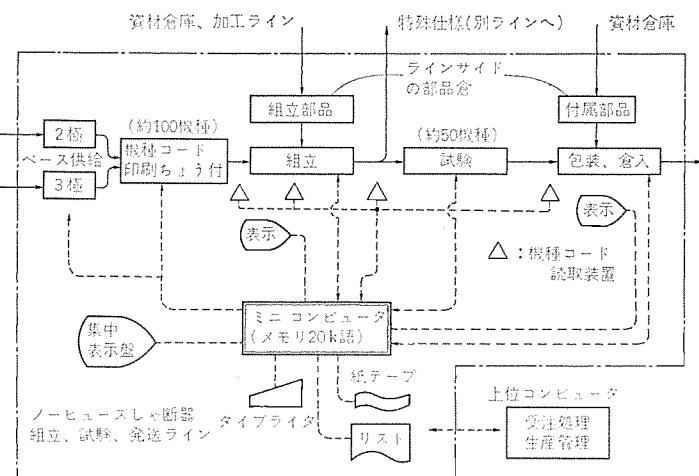
ベース部に対し、JEL方式組立ステーションでノーヒューズブレーカの内部機構が組立てられる。ここで、特殊仕様の受注品はラインオフされ別のラインに移される。ついで、カバー締付け、うらぶたなどの自動組立が行なわれ組立が完了する。

組立完了品は次に自動試験機により、電流規格にしたがった過負荷しゃ断時間の全数検査が行なわれる。不良品は自動的にラインオフされる。一方、良品は次の工程に送られるが、ロットごとに一定数量が自動的に抜き取られ、品質管理のための精密測定にまわされる。さいごに、付属品とともに箱に入れられ、箱に定格が印刷されたのち製品倉庫に倉入される。

6.2 情報の流れ

このラインにおける(ミニ)コンピュータの役割は、図9.に示すように、ラインサイドの生産管理と装置の制御(操業管理)とに大別される。ここでは前者を工程管理、後者をラインコントロールと呼ぶ。

工程管理のおもな機能は、上位コンピュータからの生産計画にしたがって、その日の生産指示を出すこと、必要な部品のラインサイドに



における在庫のチェックおよび生産実績のは握などである。他の機種の割込み生産が要求される場合は、適当なタイミングで割込み機種に対し自動的に新しい生産指示が出される。

ラインコントロールの機能は、工程管理機能からの指示により、ラインを構成する自動機群を制御、管理するとともに、表示装置を通じ作業員に指示を出すことである。各自動機の動作状況、ラインサイドの部品庫の必要在庫量の有無などは、集中表示板に表示され、監視とメンテナンスを容易にしている。

工程管理とラインコントロールの両機能間の情報の流れは、同一のミニコンピュータで制御されているため、自動的にオンラインで行なわれる。なお、上位コンピュータとの間は、リアルタイム性の必要がないので、現在は紙テープおよびリストの形で情報交換を行なっている。

7. 今後の課題

生産システムの自動化、合理化を計画するにあたって、今後問題になると思われるところを、思いつくまま次に個条書きにする。

(1) 自動化、省力化とともに、省エネルギー、省資源および安全性のファクタを、今までより以上に考慮したシステムにする。

(2) 生産システムあるいは製造ラインの自動化といつても、完全無人化の実現は困難であり、人による作業がどうしても残る。この場合、経済的に自動化が困難であるとの理由で、単純な縁返し作業(いわゆるダーティワーク)が人間に押しつけられる可能性がある。

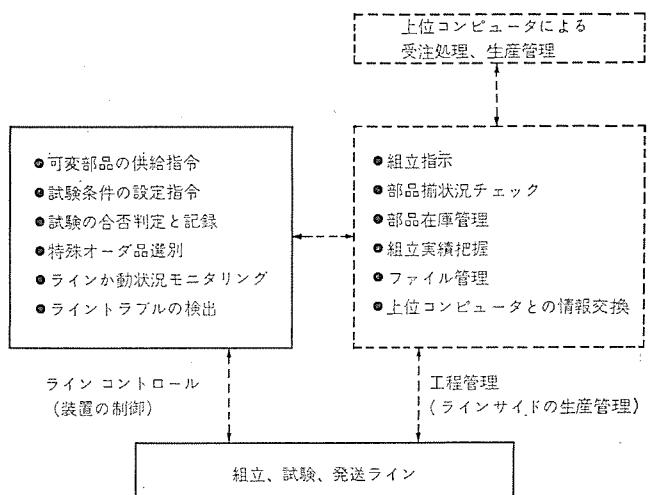
(3) 自動化したシステムにおける人間の大きな役割は、システムの保守である。故障が発生した場合は、その発生個所の発見と修理が容易なようなシステムの構成にすることが必要である。さらに故障が発生し、生産活動が停止するまえに、障害の発生を事前に予知する技術(プレビンティブメンテナンス、PM)を開発する必要がある。

(4) CADとの連系をもっと考える必要がある。

(5) 試験の自動化に関しては、目視検査で代表される官能検査の自動化に関する研究が必要である。

(6) 比較的少量の生産に対応できる自動組立およびマテリアルハンドリングのためのハードウェアの研究開発と、一方、自動化に適した製品設計技術に関する研究開発が必要である。

(7) 生産システムの自動化が完成した時点では、そこで作る製品は時代遅れになっていた、ということがないように、対象の選定が重要である。そして、技術と市場の変化に追随できるフレキシビリティ



をもったシステムを作ることが重要である。

(8) 生産システムを構成するためのサブシステムとしての自動化機器の開発は今後とも大切な課題である。とくに、マイクロコンピュータ(LSIの1チッププロセッサを用いたもの)の出現は、ミニコンピュータより、さらにその広い新しい応用を可能にする。その情報処理機能は、ミニコンピュータと同様に、上位システムと結合するハイアラキシステムの新しいビルディングブロックになる。

8. む す び

情報化社会に必然といわれる製品の多様化にともない、多種少量生産を能率よく達成することが要求される。また、若年労働者の減少にともなう労働力の不足、生産性の向上、労働環境の改善など、社会的、経済的な制約からも、当社におけるブルーカラーコンピュータの導入は急速に進むものと考えられる。

生産システムの情報の流れの自動化において、上位システムとして重要な生産管理システム、経営管理システムなどに関しては、本文では、その内容についてはふれなかった。これらについては、本社および各製作所の関係部門で開発と実用化が進んでいる。

このような状勢にあって、当研究所においては、「点の自動化」から「線の自動化」さらには「面の自動化」へと目標のレベルを進めている。コンピュータを導入し、物と情報の流れの自動化、直接作業とともに間接作業についての自動化、省力化、また上位の生産管理システムと連系を保つことにより、総合的に能率よい生産システムを実現すべく努力を続けるつもりである。(昭和49-5-30受付)

参 考 文 献

- (1) A. R. Dooley et al. : "Rise of Blue-Collar Computer", Harvard Business Review, July-Aug., 85~95. (1971)
- (2) 古谷:コンピュータコントロール, 日刊工業, (昭46-11)
- (3) 穂坂:生産工程へのコンピュータの利用, 機械の研究, 22, No. 11, 9~14. (昭45)
- (4) 自動生産システム特別講演会テキスト集, 機械振興協会技術研究所, EXAPT研究会, (昭47-11)
- (5) 萩原:加工・組立自動化の動向, 三菱電機技報, 45, No. 10, 1,337 (昭46)
- (6) 萩原ほか:省力化、自動化機器へのミニコンピュータの導入, 三菱電機技報, 46, No. 10, 1,163 (昭47)
- (7) 牧野:システム工学、計測と制御, 11, No. 2, (昭47)
- (8) 山本:機械工業における生産管理システム、計測と制御, 11, No. 6. (昭47)
- (9) J. L. Hammond et al. : Evolution of systems Approaches To Computer Control In Discrete Manufacturing : A Survey, IEEE Trans. on Manufacturing Technology, MFT-2, No. 1, 4~11. (1973)
- (10) C. O. Alford : Design Aspects of Computer Control in Discrete Manufacturing, IEEE Trans. on Manufacturing Technology, MFT-2, No. 2, 26~36. (1973)
- (11) 佐藤:人間に及ぼすNC工作機械の意義, 日本機械学会誌, 74, No. 632, 98 (昭46)
- (12) 壱井:省力化、自動化におけるミニコンの応用、情報処理, 15, No. 4, (昭49)
- (13) R. L. Aronson : Production Monitoring System : A Hardware Survey, Control Engineering, 19, No. 2, 23~27. (1972)
- (14) ATLAS, Arinc Specification 416-5, Feb. 21, (1972), Aeronautical Radio Inc.
- (15) 萩原, ほか:小形モータ生産ラインの自動化へのミニコンピュータの応用, 三菱電機技報, 48, No. 6, 734. (昭49)

半導体制御による工業用ミシンの自動化

藤田 次朗*・大庭 耕一*
本田 嘉之**・中山 静夫**・古屋 芳明**

1. まえがき

縫製作業は、手工業的家内工業から発生してきた歴史的過程から明らかなように、省力化・自動化が他産業にくらべて比較的遅れている分野に属している。特に、近年衣料品を始めとする縫製加工品の多様化、服装デザインの変化、縫製仕上がり品質の高度均一化等々市場からの要求が複雑になる一方、慢性的な若年労働者の不足、人件費の高騰など労働力の低下の波を受けて、もはや従来のように作業者の熟練技術に頼ることではカバーできがたい状況にあると考えられる。

当社は昭和43年から「リミストップ」という商品名を付したミシン針位置停止装置付きクラッチモータによる工業用ミシンを発売して前記のような社会情勢の変化に対処してきたが、現在の情勢はさらに一步前進して、より一層生産性向上を図るために省力化の推進と、高品質で所定の縫製作業を遂行するための専用機の開発が望まれる傾向にある。

本文では、このような省力化・自動化を目指しつつある縫製業界の動きに呼応して、当社が開発してきた縫製機器のうち、特に半導体制御による工業用ミシンの自動化に主眼を置いて述べるとともに、近い将来展開されると思われる省力化・自動化についても言及してみたい。

2. 縫製機器用コントローラ

図1.は近年における縫製作業の省力化・自動化に対応して開発された、あるいは開発されつつある縫製機器の流れを示したものである。

昭和35~40年頃、主としてミシンのか(稼)動率を向上させるためにとられた高速化という手段は、昭和43年以降の針位置停止装置付き自動糸切りミシン・自動止め縫いミシンなどの出現により、すでにその目的を果たすレベルまで到達しており、その後の動きは主として省力化・自動化に焦点が移ったと考えられている。

この章では、か動率向上・省力化に有力な武器となりつつある前記縫製機器のうち、自動止め縫いミシン、プログラマブルシーケンサおよびストレートシーマ(直線縫い)についてその概要を説明する。

2.1 自動止め縫いミシン用コントローラ

自動止め縫いミシン(図2.)は、省力化ミシンの中心として活躍しているミシン針位置停止装置付き糸切りミシンの発展形で、縫い端部のほつれをなくすため布を逆に送って3~5針往復して縫う、熟練を要する縫製作業の中でも最もむずかしい作業とされている止め縫い工程を自動化したミシンである。

当社ではすでに昭和46年に開発し、省力化の中心機種として期待されてきたが、このたび同機をベースにして機能・構成を再検討し、

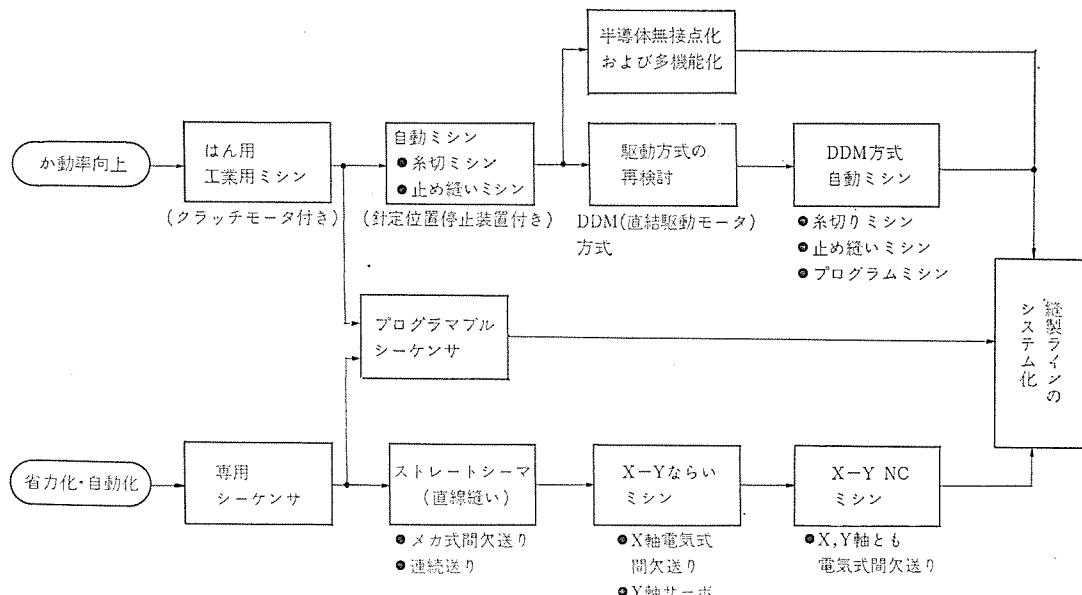


図1. 縫製機器省力化・自動化の流れ

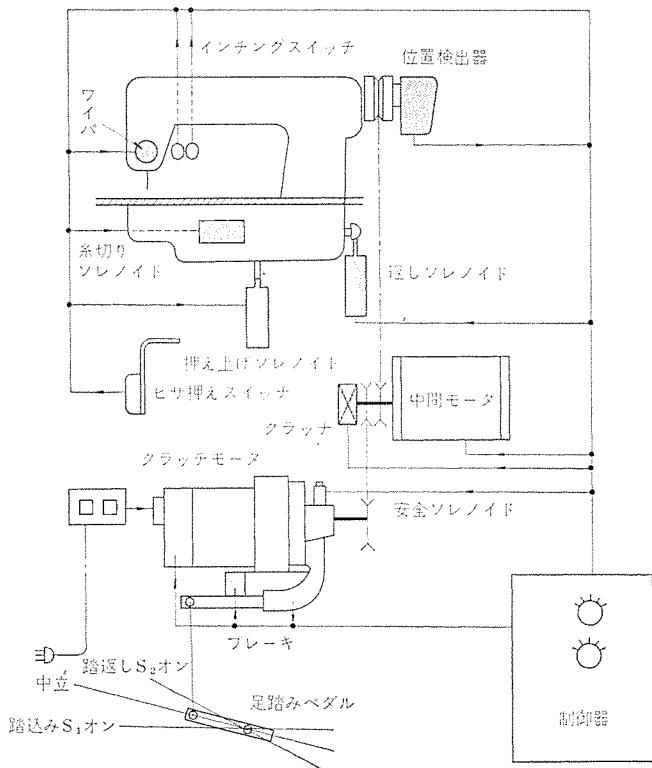


図 2. 自動止め縫い ミシンの概略構成

半導体制御による無接点 ミシンコントローラを開発したのでその概要について説明する。

2.1.1 機能と特長

このミシンコントローラは、足踏みペダルに取付けられているスイッチ(以下 SW) S_1 ・ S_2 、寸動(正・逆インチング) SW およびヒザ押え上げ SW 以外はすべて半導体により無接点化されており、またそのために機能も増加している。おもな機能を列挙すれば次のとおりである。

- (1) 縫い端部(始めと終り)に止め縫いが可能である。
- (2) 止め縫い針数は 1 ~ 19 の範囲でプリセット可能である。
- (3) 工程途中(止め縫い時は除く)の針下位置停止、工程終了時の針上位置停止を行なう。
- (4) 工程終了時に糸切り、糸払い(ワイヤ)、布押え上げを行なう。
- (5) 正・逆寸動、ヒザ SW による布押え上げ、工程手動リセットが可能である。
- (6) 連続止め縫い(リピート)が可能である。

また本機の特長はつぎの諸点にある。

(a) パソコン・サイリスタにより電磁石・モータの駆動を行なう一方、IC 論理素子・トランジスタ・ダイオードでシーケンス回路を構成しているので、無接点化による信頼性・寿命・小型軽量・保守の容易さにすぐれている(図 3.)。

(b) 磁気抵抗素子で構成する位置検出器(非接触形)を採用しているので、停止位置精度の向上、検出器の小型化・長寿命化が可能である(図 4.)。

(c) 工程選択 SW により 5 種類の縫いパターンを選択できるので特殊用途にも適している(図 5.)。

(d) 高速縫い工程中の糸切り動作、糸切り工程中の高速縫い動作、瞬時停電の際の糸切りや糸払い動作はそれぞれ論理回路や機構部で、発生を防止するような対策が施されている。

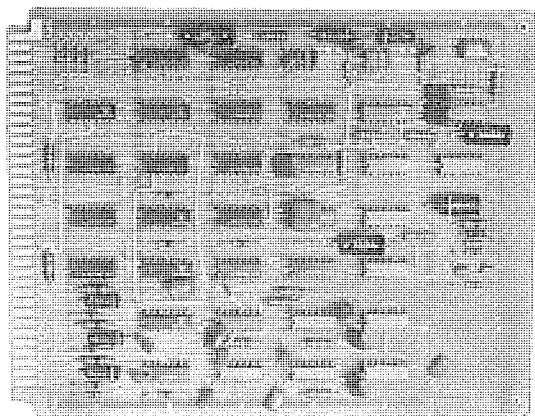


図 3. IC ロジックカード

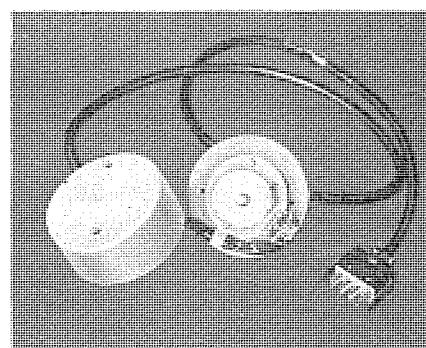


図 4. 位置検出器

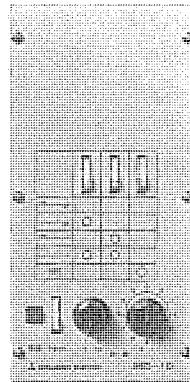


図 5. 縫い工程選択スイッチ

(e) 操作 SW の優先度は、足踏み SW (S_1 , S_2) > 寸動 SW > ヒザ押え上げ SW となっており、同時に複数個の SW を操作した場合は上位が優先的に動作する。

(f) 止め縫い工程中の一時停止は行なわない。したがって、工程途中で踏込み SW (S_1) をオフにしてもその位置で下位置停止を行なわず、止め縫い工程を終了して停止する。この動作は連続止め縫い動作でも同様である。

(g) 足踏みペダル (S_1 , S_2) の踏込み (S_1 : オン)・踏返し (S_2 : オン) 動作をひん(頻)繁にくりかえしても誤動作を生じないように各機能(工程) ブロックごとにインターロック機構を有している。

2.1.2 構成要素

自動止め縫い装置付きミシンの概略構成は図 1. に示している。構成要素はミシン本体、駆動モータ、位置検出器、制御器に分類される。ミシン本体は、三菱 DB-179 形糸切りミシンに、布の送りを逆方向に切換える電磁石、布押え昇降用の電磁石、糸払い(ワイヤ)用電磁石

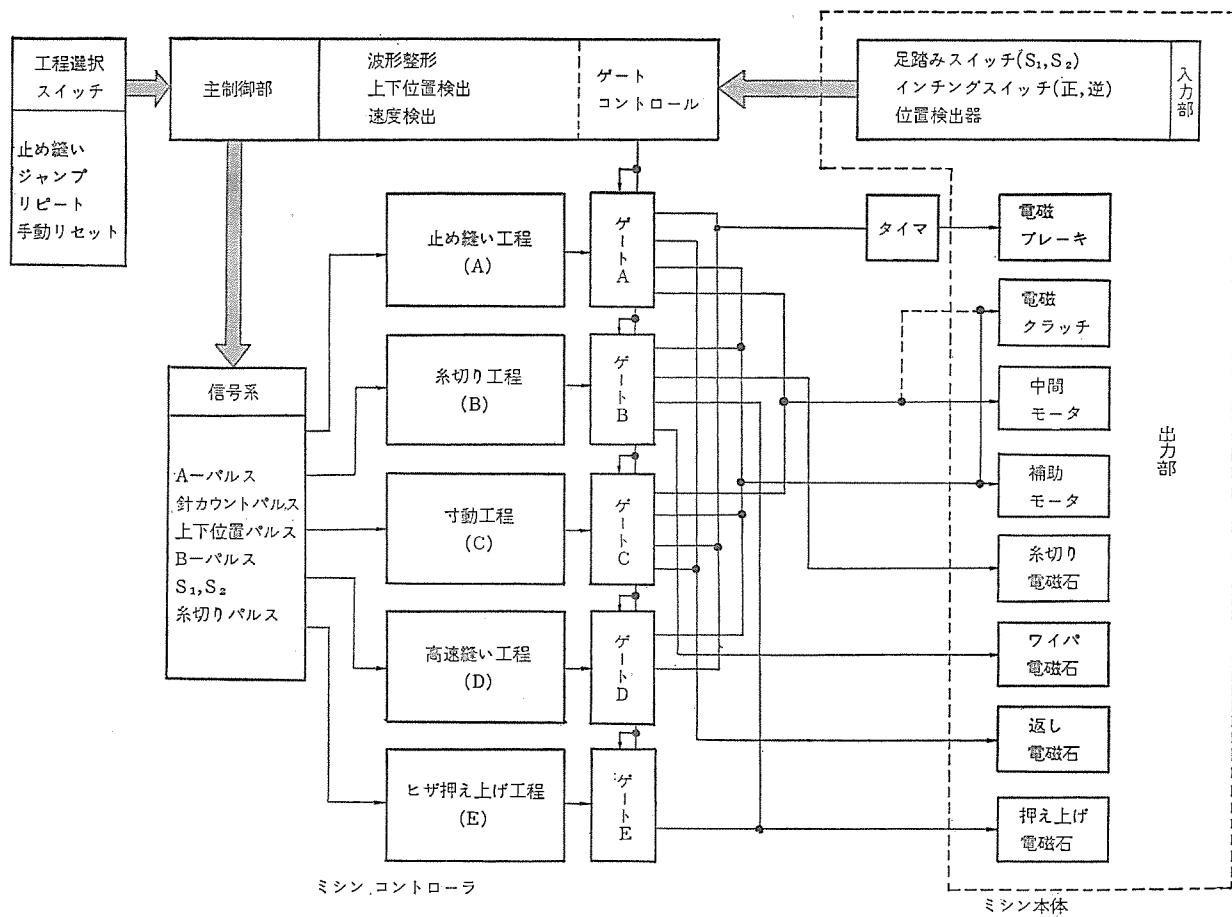


図 6. システム構成図

および止め縫い用中間モータを付加したものである。

駆動用モータは三菱リミストップモータ(位置決め用補助モータ付き)と電磁クラッチ付き中間モータからなり、電磁クラッチ付きモータはVベルトにより一方はミシンに、他方はリミストップモータに連結されている。電磁クラッチは止め縫い動作時に、作業者のペダル操作によって左右されるリミストップモータの駆動力を、ミシンから切離して定速度で所定の止め縫い動作を行なわせるように、中間モータに切換える働きをする。

位置検出器は図4.で示すように磁気抵抗素子を用いて無接点化しており、ミシン針の上下位置に同期してTTLレベルのH/L信号を出力するので、次項のべる主制御部で波形整形を行なったのち、高精度の位置決め信号を作り出すことが可能である。

2.1.3 システム構成

本機のシステムは図6.に示すとおり大きく分けて入力部、工程選択部、ミシンドライバ部(主制御部・駆動部)、出力部から構成されている。

工程選択SW(図5.)を通常の止め縫い動作に設定した場合は足踏みペダルに連動したS₁, S₂の操作方法(図7.)により、図8.に示す止め縫いパターンができる。したがって2.1.1項で述べたように工程選択SWの設定方法により図8.の前止め縫い(a~c)、後止め縫い(h~k)工程をそれぞれ任意に省略しうるし、またa~cの止め縫い工程を連続して(リピート)行なわせることも可能である(いずれの場合も糸切り工程を含む)。

2.1.4 主制御部

主制御部の機能は入力波形整形・上下位置検出・定速度検出およびシーケンス(ゲート)コントロールである。

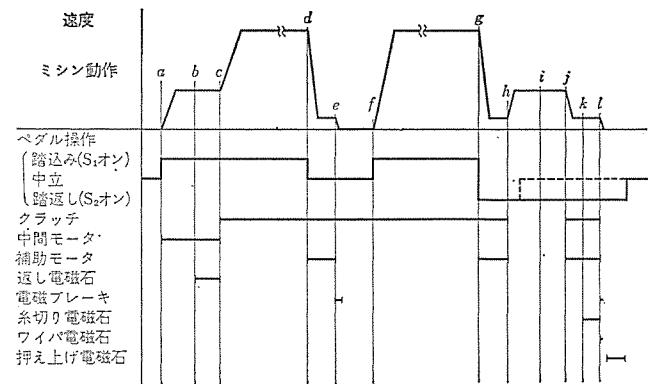


図 7. 自動止め縫いミシンのタイミングチャート

シーケンスコントローラは機能別(前後止め縫い・高速縫い・糸切り・インチング縫い・ヒザ押え上げ)に分けられた各ブロックに、出力部を駆動する信号を作り出すために必要なパルス信号を送出すると同時に、動作させる必要のある機能ブロックで得られた信号のみをドライブ段に誤りなく伝えるためにゲートをコントロールする機能を有する。

図9.に定速度検出・針位置検出を行なう際の動作チャートを示す。針下位置停止を行なう際、検出器出力のパルス幅はミシン回転数の低下につれて徐々に広くなり、あらかじめ設定されている位置検出時速度(約150 rpm)に相当するパルス幅に等しくなった時、定速度検出パルス信号があらわれ、そのパルス信号が発生した後、次に出力する針下位置同期パルスが正規の下位置停止用信号となり、ブレーキ命令・補助モータ停止命令その他の信号として使われる。ここでは検出器の構成を簡単にするために1個の検出素子で針の上下位置を決

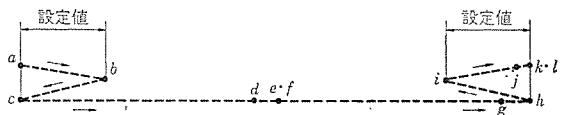


図 8. 止め縫いの標準パターン

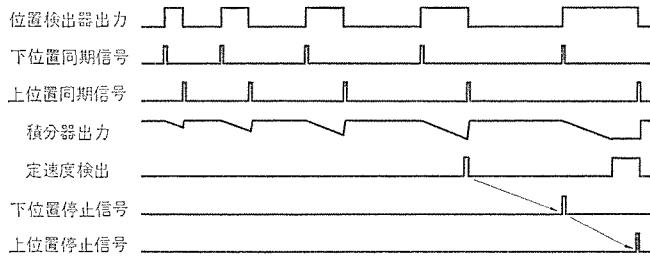


図 9. 位置検出回路のタイミングチャート

める方法を採用している。

2.2 ストレートシーマ用コントローラ

ストレートシーマ（直線縫い装置）は、それが適用される縫製加工品の種類によって、ロンシーマ・ショートシーマ・ダーツシーマなどと呼ばれ、近年実用機として登場した自動化縫製機器の一つである。これは自動化ミシンを母体とし、その前後工程のマテハン作業を大幅に自動化したもので、当社でも市場の動きに応じて 1972 年 9 月東京ミシンショーニショートシーマとして出品した。その後縫製の対象を限定して縫製作業の前後を占めるマテハン部分を専用化・自動化したものを新たに開発した。この種の自動化機器の妙味はマテハン作業の自動化における機構面の工夫に存在し、他の自動縫製機器にくらべて電気系の果たす役割は少ないと思われる。本機の機構については別の機会に詳しくのべるとしてここでは電気系について簡単に説明する。

2.2.1 機能と特長

本機は前述のように専用機として開発されたもので、たとえば、カフス（Yシャツ）加工工程等に適用する場合は図 10 に示すように心はり（心地 b の上に表地 a を重ねて a を口折りする）と心止め（口折部の縫合）作業を、布をセットするだけで自動的に行ない、最後は糸切りのち集積箱に収納するもので、特長として次の諸点をあげることができる。

- (1) 布をセットするだけで自動的にマテハン・縫製作業を行ない最後に加工品を集積するので省力化に有効である。
- (2) 自動化された工程が多いので熟練を必要としない。
- (3) 仕上品質の高度化・均一化が可能である。
- (4) むだ時間が少ないので生産性が向上する。
- (5) シーケンスコントロールは MOS-IC による無接点ロジック回路で行なっているので信頼性が高く、制御器の小型・軽量化にも有効である。
- (6) 専用機となるので標準形ミシンのように多種用途に使用しにくいし、ラインの組みかえも困難なことはあるが、寸法に関しては調整可能でかなりはん（汎）用性がある。

2.2.2 構成・動作

図 11. にストレートシーマの構成を示す。入力部は光電素子・フォトスイッチにより検出される布セット完了信号、布始端信号、布終端信号とマイクロスイッチにより検出される布送り用のガイド位置（初期位置）信号と保護用のリミットスイッチからなる。

制御部はその動作の大半がシーケンスコントロールで、次に述べる理

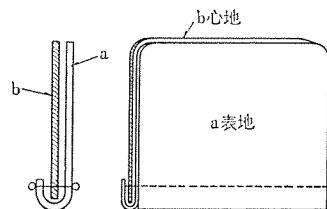


図 10. カフス類の端縫い工程図(例)

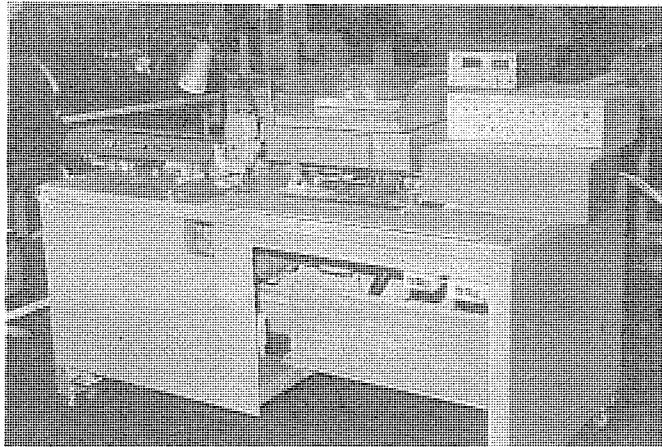


図 11. ストレートシーマ

由により、MOS-IC 論理素子により構成されている。

(1) 高入力インピーダンスを有しているので比較的簡単に長時間のタイマが得られ、時間遅れ要素が大部分を占めるこのシーケンス制御回路には有効である。

(2) 二相クロックを用いていること、電源電圧が 24 V と DTL・TTL にくらべて高いことによりノイズマージンが大きい。

(3) ミシン本体の制御回路と出力部の電磁石の電源電圧が 24 V であり単一電源での使用が簡単に行なえる。

ここで使用されている論理素子は AND ゲート、D フリップフロップ (F/F)、R-S F/F および インバータである。

出力部は布押え電磁石、布曲げ電磁石、ガイドモータ、ミシン、糸カッタ電磁石、布ピック電磁石、ミシン本体などで構成される。この出力部が図 12. に示す動作フローにしたがって順次駆動され、図中太線で示す直線縫いの工程とその前後を占めるマテハン作業の大部分を自動的に遂行するものである。

この装置は前にも述べたように専用機として利用価値があり縫製作業の全工程に占める割合も、直線縫いという制約条件を有しているためきわめて少ないが、縫製の自動化という視点からは第一ステップに属していると考えられる。本格的な省力化・自動化は次章に述べる X-Y 縫いミシンの登場を待たなければならない。

2.3 プログラマブルシーケンサ

今まで述べてきたように自動化縫製機器の制御は大部分がシーケンス制御であり、しかも機器が少量機種という縫製業界の特長を考え合わせるとコンピュータを応用したはん用性のある（プログラマブル）シーケンサをミシン制御に応用する考え方も可能となる。近年、多種のミニコンピュータが市場にでまわっており、多くのメリットを有しているが、ミシン等の産業機器の制御用として用いるにはミニコンピュータそのものがはん用性を兼ね備えすぎ、あまりにも広範囲な適用を意図しているために価格が非常に高い、データ処理を目的とするために多くの命令語を持ちすぎる、制御システムとして機能を満足させるため

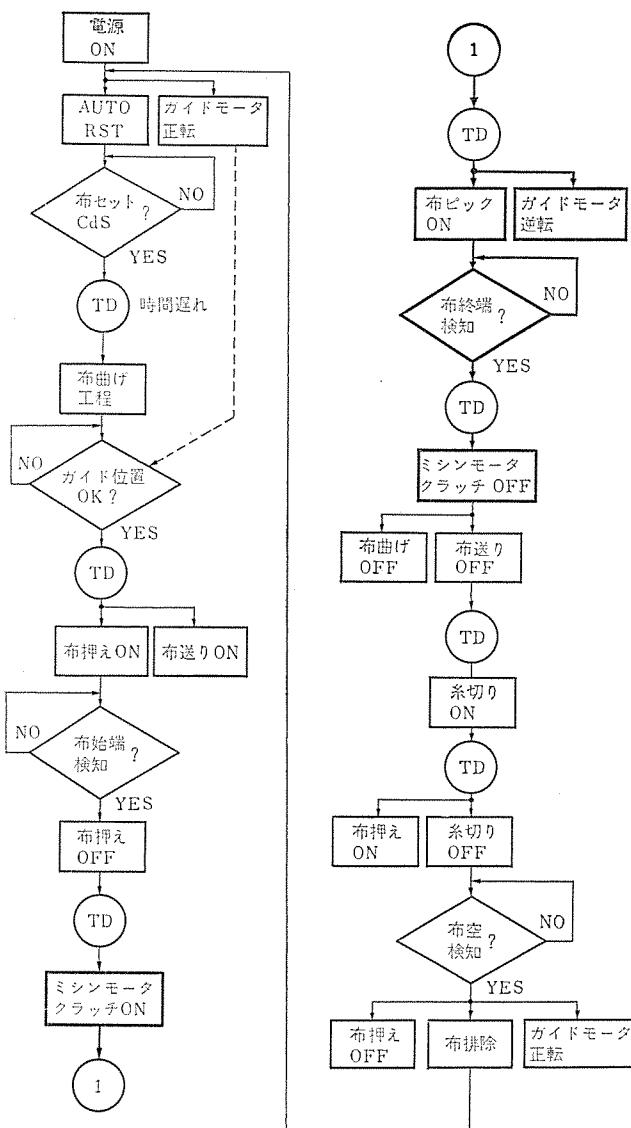


図 12. ストレートシーマのフローチャート (太線は縫い工程を示す)

表 1. 基本仕様

項目		仕様
演算制御部	演算方式 演算速度 命令語 記憶容量	繰返し演算方式 5 μ s/1step 15種類 256 step (基本)
入出力	入力点数 出力点数	13点 15点

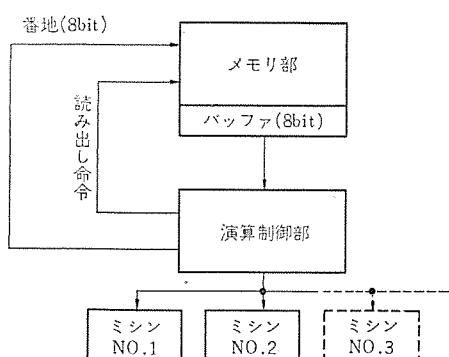


図 13. プログラブル シーケンサの基本構成図

にはインターフェース回路が必要であるなどのデメリットも有している。

シーケンス制御用として前記の欠点を除去した制御専用機器も数多く開発されており、従来のリレーシーケンス (ワイヤードロジック方式) とは異なりプログラム記憶方式の専用機は非常に有望であろう。

今回プログラム記憶方式のシーケンサを、特にミシン制御用に限定して開発したのでその特長・構成などについて簡単に説明する。

2.3.1 特長

以下の特長を有する。

(1) 機能・形態の異なる機器に対して、プログラムを変更するだけでシーケンス制御が可能である。

(2) 1台の制御器で複数台の機器を制御する群管理が可能である。

(3) 自動ミシン (定位停止装置付きミシン、自動止め縫いミシンなど) 単体の制御は入出力点数が少ないという点で不向きであり、マテハン作業の自動化に適していると思われる。

(4) 従来のワイヤードロジック方式シーケンサにくらべてプログラム記憶に要するメモリ素子が多量に必要な点で高価になることをさけられない。

2.3.2 仕様と構成

表 1. に基本仕様を示す。縫製機器を対象としているので入出力点数やステップ容量は少ないが増設可能である。

図 13. は本機の構成を示すブロック図で、群管理に利用した場合について示している。演算速度が一般的のシーケンサにくらべてややおそいので群管理に利用した場合プログラムのサイクル時間が長くなる。かりに自動糸切りミシンを2台運転する場合のシーケンスをプログラムすれば約0.5 msのサイクル時間となるが、各種の電磁石の動作時間遅れや位置検出の精度を考慮に入れるとほとんど問題のない時間である。

ここでは主として縫製機器用シーケンサとして述べたが、大規模なプロセス制御用は別にして、他の一般用途にも利用でき、技術的にもほとんど問題がないので、今後はソフト面での検討が望まれる。

3. 展望

今まで述べてきた各種のミシン用制御器は従来のはん用工業用ミシン (クラッチモータ付き) を母体として、それに半導体化技術を組合せてか動率の向上・省力化を目指したものであるが、ここでは今後予想される縫製界の動きに即応してとられる縫製機器の自動化について検討を加える。

3.1 直結駆動モータ方式ミシン

3.1.1 概要

図 1. で述べたように、制御方式・機能がより一層複雑になるにしたがい従来のクラッチモータではそれらの機能を十分に満足させることができないようになり、根本的に駆動方式を考えなおす必要が生じてきた。直結駆動モータ (Direct Drive Motor) 方式の工業用ミシンが出現した背景はここにある。

DDM およびその制御回路は、名称から明らかのように工業用ミシンに直接組込まれる駆動ユニットで、広範な可変速運転・ミシン針の定位停止および自動糸切り駆動等を行なうことができる。適用個所がほとんど man-machine 系に限定されるため、かなり高度な応答性能が要求され、したがってトルク/慣性比の大きい (低慣性形) モータの開発やそれに見合う制御装置・周辺装置の開発が望まれている。

3.1.2 特長

DDM 方式を工業用ミシンに採用した場合の長所・短所を列挙すると次のとおりである。

- (1) クラッチモータに比べ無負荷時の電力消費がない（高ひん度運転時には問題が残る）。
- (2) ミシンヘッドに直接組込まれ、配線や位置合わせの必要がなく、ユーザー・ミシン店での据付けの手間がかからない。
- (3) ベルト・プーリ・フライホイール等がないので、負荷側の慣性が少なく瞬時始動・瞬時停止が可能である。
- (4) 直流モータ駆動であるため速度制御が容易である。
- (5) ペダル操作が軽い（クラッチ操作不要）。
- (6) 機能拡大が容易である。
- (7) ミシンヘッドに取付ける際、重心バランスが悪くなる。
- (8) (7)と関連してモータの小型軽量化を図る必要がある。
- (9) 制御関係で電力半導体の使用数がふえるため回路全体のコストがやや高い。
- (10) ブラシを使用しているため寿命が少し短くなり、保守・点検が必要である。
- (11) 十分な雑音対策が必要である。

3.1.3 制御回路

制御回路は大きく分けて、直流低慣性モータを可変速駆動・定位停止させるための駆動回路と、ミシンの足踏みペダルに連動したスイッチ (S_1, S_2) の組合せによりそのミシンの最適シーケンスを決定するためのシーケンス回路とからなる。

駆動回路はサイリスタによる位相制御方式、トランジスタやサイリスタによるチョッパ方式、トランジスタによるレベル制御方式およびそれらの折衷方式などで構成されるが、制御方法の簡便さでは位相制御、速度制御範囲の広さとフィードバック量の大きさではチョッパ制御、トルクリップルの少なさではレベル制御がそれぞれ有利である。駆動回路で重要なことは負荷変動に強い制御回路を構成することであり、そのためにはモータの回転数を検出して制御系にフィードバックする必要がある。一般にはモータの電機子電圧を検出したり、別に速度発電機 (PG) を設けて回転数を検出する方法が使われる。多極 PG を用いると回転数に応じた直流電圧が比較的少ない時間遅れで得られるので、糸切り時の負荷変動など悪条件の重なるミシン制御にとっては応答速度の点から考えて多極 PG が最も有効なフィードバック信号である。別に PG を設けることは構成の面でやや複雑になるので、とくに精密な制御を必要としない場合は、電機子電圧をフィードバック信号として使用する。図 14. にチョッパ方式における回転数検出の方法を示す。

駆動回路は、同じ DDM を使用する限り必ず用いなければならない各機種に共通な制御回路であるが、実際には用途別に特殊なシーケンスを構成するための専用回路も必要である。たとえば自動ミシンにおける糸切り（定位置停止用）ミシンと止め縫いミシンのように、使用するモータが共通であってもシーケンス回路およびその出力系を構成する電磁石などには多少の違いがある。

DDM および駆動回路が共通化されると使用目的に応じて幾種類ものシーケンス回路が独自に開発可能となるので、機能の拡大という観点から DDM は非常に高い評価を受けるわけである。

3.1.4 構成

図 15. に DDM ミシンの概略構成を示す。図は開発初期の段階のものを示しているのでモータ、制御器ともかなり大きいが将来はより一層コンパクト化し、所期の特長を大いに發揮するものと思われる。

3.2 パターンソーイング

2 章で述べた各種コントローラを付加した工業用ミシンは、いずれも直線縫いを目的とした工業用ミシンを母体として省力化・自動化を目指しているが、縫製作業の大部分を占める曲線縫いについては従来どおり作業者の熟練に依存しているのが現状である。

最近出現した省力化・自動化機器の傾向であるパターンソーイング (Pattern Sewing) もそのような手作業を完全に機械化しようとする考え方に基づくものである。ここではパターンソーイング機能を有するミシンを X-Y ミシンと名づけているが、2.2 節でのべたストレートシーマを基本とするものであり、縫い工程の前後を占めるマテハン作業の自動化が機器の性能を左右する点においても性質を同一にする。

3.2.1 概要

X-Y ミシンは Y 軸方向の駆動方法により、X-Y ならいミシンと X-Y NC (数値制御) ミシンに分類される。X 軸駆動は従来のミシン送り歯による機械式間欠駆動方式や機械的ならいのロングシーマにおける連続送り方式とは異なり、純電気式の間欠送り方式を採用する。Y 軸駆動については縫製加工品の種類により、サーボモータによる電気式ならい方式と、X 軸と同様の間欠駆動方式の両方について考慮する。

3.2.2 機能と特長

X-Y ならいミシンは裁断された被縫製物を送り台 (ワーク) の上においてクランプで固定し、始動ボタンを押すことによって、X 軸方向へ間欠的に移動し、同時にならいモデルに従って Y 軸方向に連続的に変位して所定の縫いパターンを完成させるものである。

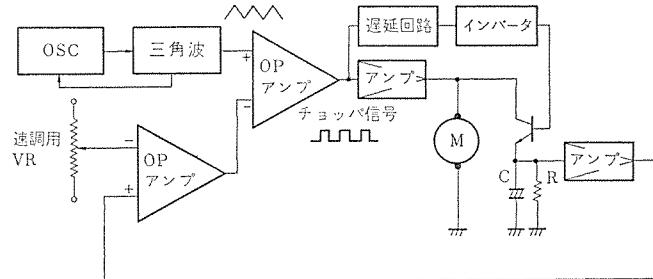


図 14. チョッパ方式ブロック図

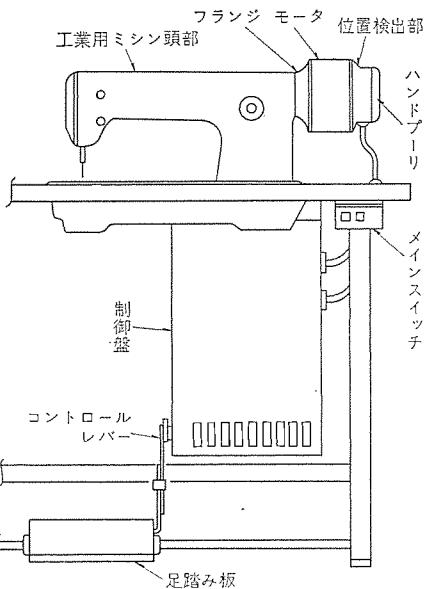


図 15. DDM 方式ミシンの概略構成

次のような特長を有する。

(1) X軸がサーボモータによる間欠送りであるため従来の連続送りにくらべて、高速運転中に針折れを起こしたり加工品にシワができる、いわゆるパッカリング現象を生じる恐れが少ない。

(2) Y軸はサーボモータによる電気式ならいでの検出に余分の圧力を必要とせず、ならいモデルの製作が簡単に行なえる。

一方 X-Y NC ミシンは、X 軸と Y 軸にそれぞれ別個のサーボモータをとりつけて、任意の方向に間欠駆動を行なうことができ、ならいミシンの X 軸駆動方向がならいモデルを必要とする関係もあって、ほとんどの一方にのみ限定されているに比較すると縫製機能を大幅に拡大したといえる。ここではならいモデルを必要とせず、所定の縫製を行なわせるためには、パンチテープやデータカセットなどにデータを入力するだけでよい。データ処理のためミニコンピュータが必要なのは当然である。特長を列挙すれば次のとおりである。

(1) 複雑な縫製パターンを均一に、高速度で仕上げる。

(2) モデルを必要とせずパンチテープの作成のみで済む。

(3) 工作用 NC ミシンと異なり、対象が柔らかい布であることや高速度で間欠運転する必要がある、などの理由で送り台やクランプの構成には相当な工夫も必要となる。

3.2.3 構成

図 16. に Y 軸ならいサーボ回路のブロック図を、図 17. に X 軸間欠駆動回路のブロック図を示す。いずれの場合も基本的構成であり、完全な回路にするためには多くの検討が必要である。

機構面の構成については別の機会にのべるが、電気系と同じく検討すべき点が多数残っている。

4. む す び

ここ数年来、縫製業界で盛んになりつつある省力化・自動化についてその時代の中心的自動機器をとりあげ、とくに電気制御系の面から概要を説明した。紙面の都合により細部の説明は割愛したが、縫製機器と電気系を中心とする制御のかかわりを理解していただければ幸いである。今後機能が複雑化・大型化・高級化すればするほど電気系と機械系(マテハン、油圧、空気圧)との結びつきが多くなり、機電一体の開発姿勢がユーザの要望・期待に沿うことのできる第一条件であると痛感する次第である。

なお、最後に本文を草するにあたり、助言や資料を提供された名古屋製作所・群馬製作所関係者と、開発にあたって種々の教示をい

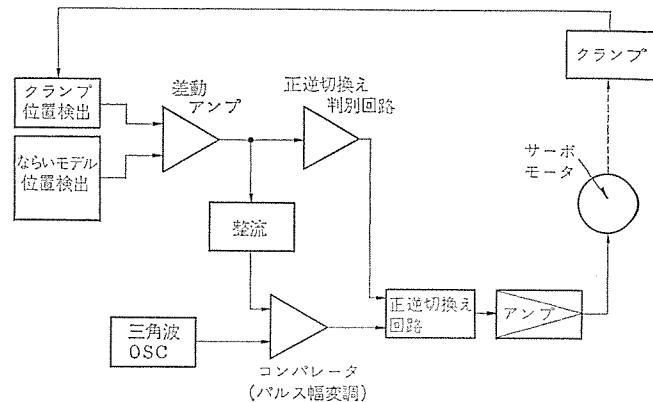


図 16. Y 軸ならいサーボ回路ブロック図

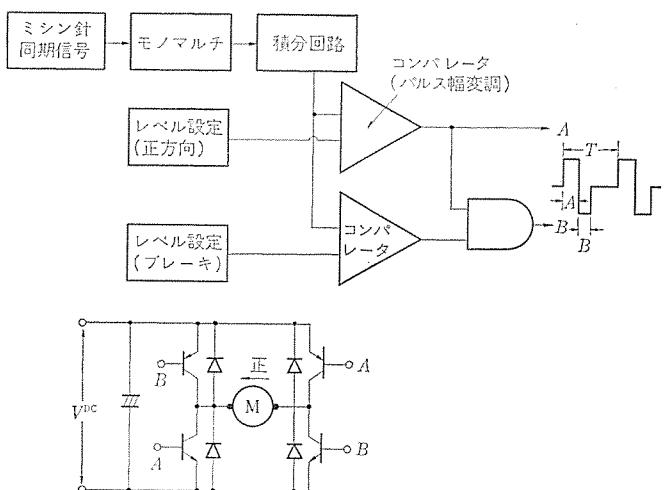


図 17. X 軸間欠駆動回路ブロック図

ただいた縫製メーカー各位に厚くお礼申し上げる。(昭和 49-5-30 受付)

参考文献

- (1) 稲井、小林:「自動止め縫い装置付きミシン」三菱電機技報, 46, No. 11, 72 (昭 47)
- (2) 森田:「専用ミシン・特殊ミシン・その他機器」三菱電機技報, 46, No. 11, 72 (昭 47)

当社の特許

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
686299	磁性粒子式堅軸型磁気連結装置	村田 豪	692014	電気毛布の加熱保護装置	飯田 隆彦
686300	制御極付半導体整流素子の保護方式	小林 凱・大沢 喜信	692015	比較回路	河野 実則・安達 長生
686301	自動つかみ式クレーンの制御装置	結城 勝臣・高橋 一洋 原田 浩治	692016	電磁装置	横山 誠一
686302	遠方監視制御装置	島田政代士	692017	アレイアンテナ	春山 鉄男・伊藤 卓司
686303	ゲート極を有するスイッチング素子を用いた点弧回路	大島 征一	692018	停電記憶形 リングカウンタ	三好 明好
686304	整流式直流電源並列の出力脈動防止法	林 重雄・団 幸太郎	692019	負荷時 タップ 切換変圧器	青木 伸一・岡田 武夫 岡野 修(富士電機)
686305	位相制御による整流式直流電源並列時の出力脈動防止法	林 重雄・団 幸太郎	692020	機関点火時期検出装置	林 正博・大西 正義
686306	ジャイアントパルスレーザ 発生装置	中原昭次郎・伊東 克能	692021	半導体装置およびその製法	池川 秀彰・八原 俊彦 星加 春幸
686307	キナゾロン環含有エポキシ樹脂の製造法	西崎俊一郎・森脇 紀元	692022	放電灯の起動装置	赤松 昌彦
686308	異方性磁石の製造方法	糸山 公男・下田 光信 田嶋 尚志・伊藤喜代之	692023	多連可変容量半導体装置	河津 哲
686309	機関用加速減速検出装置	才田 敏和	692024	電気スイッチ	和田 勇一・森 貞次郎 村井 裕
686567	植物育成用螢光水銀灯	大田 重吉・山崎 清司	692025	内燃機関用燃料噴射制御装置	山下 紀夫
686566	植物育成用の反射型螢光水銀灯	" "	692026	冷媒圧縮機	石田 武徳
686568	ドロー測定装置	小川 裕三	692027	暖房装置	岩崎 善彦
686569	位相弁別装置	高田 信治・津川 和夫	692028	プレス打ち抜き装置	小川 務・今井 基雄
686570	クラッチモータ	横山 昌弘	692299	多チャネルデータ集積装置	倉橋浩一郎・大西 良一 増井 隆雄
686571	過電流式電気動力計	近藤 博通・岸本 浩	692300	斜交布貼付装置	津田 栄一・尾崎 博規
686572	負荷時 タップ 切換器	堤 長之	692301	燃焼装置	野間口 有・田畠 則一 伊藤 利朗
686598	電力潮流計算装置	三井 恒夫(東電)・馬場 準一・山田 郁夫	692302	燃焼装置	伊藤 利朗・野間口 有 田畠 則一
686573	化学エッティング装置	星野 昌弘・小林 功	692681	サーモスタットスイッチ	宇佐美 勝洋
686574	熱硬化性樹脂組成物	西崎俊一郎・江藤 昌平	692682	金属酸化物被膜のエッティング法	太田 基義・矢田 俊雄 豊田 裕康
686575	導電体用被覆組成物	西崎俊一郎・江藤 昌平	692683	プラズマスパッタ装置	阿部 東彦・植松 滋幸
686576	無停電電源装置	福永 武尚	692684	軸封装置	渡辺 光人
686577	エンジン制御方式	今井 吉郎	692685	軸封装置	渡辺 光人
688226	電子調理器の火力調節装置	水室 昌美・高瀬 明生	692686	熱硬化性樹脂の製造法	西崎俊一郎・江藤 昌平
690261	光磁気共鳴磁力計	久保 高啓・渡辺 勢夫	692687	冷房または暖房装置	岩崎 善彦
687684	光磁気共鳴磁力計	近藤 倫正	695408	放射線測定装置	田中 修・池田 洋 羽賀 佳男・菊田 政道 西野 拓史郎
687685	光磁気共鳴磁力計	近藤 倫正	695374	絶縁組成物	伊藤 公男・岡崎 和郎 高橋 紘一
687686	連続铸造装置	小林 健三・浜崎 芳治	695375	走行車の前照灯自動切換装置	綿谷 晴司
687687	光磁気共鳴磁力計	森津政太郎・山田 武 破魔 武司・菊地 誠	695376	半導体装置の電極形成方法	藤川恭一郎・中村 邦宏
687688	ポリキナゾロン誘導体の製造法	西崎俊一郎・江藤 昌平	695377	デジタル素子試験装置	壇井 芳昭
692007	磁気 テープ 装置の書き込み エラー検出装置	田中 千代治	695378	絶縁電線	西崎俊一郎・不可 三晃
692008	熱動継電装置	神本 明輝・元木 義明	695379	比較器	金子 弘美
692009	周波数自動同調装置	藤田 彪太・入江 浩一	695380	波形読取り装置	佐藤 穂
692010	往復動ポンプ	高橋 賢治・藤原 弘之	695381	弛振発振装置	飯田 隆彦・喜多 興一
692011	磁心記憶装置	浜田 勝・倉橋 浩一郎	695382	アーチ加工法	山本 利雄・島田 弥
692012	半導体装置の製造方法	山上 健三	696525	電磁吸振器	平野 一郎・松倉 欣孝
692013	遠方監視制御装置	島田政代士	696526	流体制御弁	若杉 登



特許と新案

周波数継電装置 (特許第640078号)

発明者 野沢輝夫・鈴木健治・三宅康明

この発明は周波数の所定値以上または以下への変動に応じて動作する周波数継電装置に関するものである。

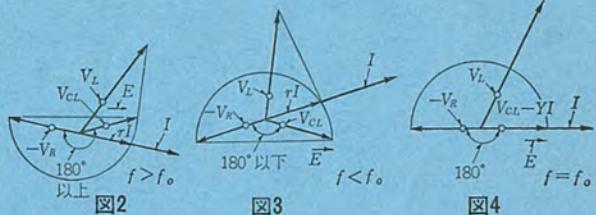
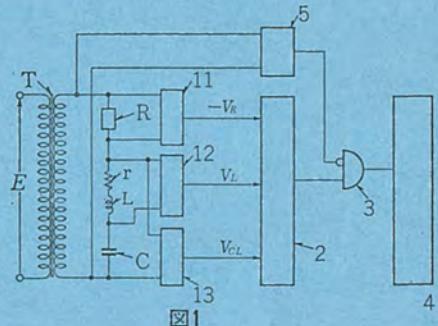
一般に周波数継電装置としては、RLC直列共振回路の電流または電流と電圧との位相差が、周波数の変化により大幅に変化することを利用している。ゆえにその感度をよくするには、共振回路の選択性 $Q = \frac{L}{R}$ を上げればよい。しかし Q を大きくすれば、入力急変時の過渡現象により誤動作する。そのため過渡現象が安定する時間を見込んで動作時間を遅らさねばならず、結局感度と動作スピードとの関係は互いに相反するものとなる。このことは入力が急変しないときの動作スピードまでをも遅らせることになって好ましくない。

この発明はこの難点を除去するものであり、 Q を大きくして高感度にすると同時に高速動作を得ようとするものである。図1.において(11)は電圧 $-V_R = -RI$ を導出する装置、(12)は $V_L = (r + j\omega L)I$ を導出する装置、(13)は $V_{CL} = (r + j\omega L - j\frac{1}{\omega C})I$ を導出する装置、(2)は3電圧 $-V_R$ 、 V_L 、 V_{CL} 間の相互の位相差がすべて 180° 以下のとき出力有り、 180° 以上になると出力無しとなる位相弁別回路、(3)は微分回路(5)の出力があるときその出力を禁止する禁止回路、(4)は最終判定要素である。

いま印加周波数 $f >$ 整定周波数 f_0 のときには三つの各電圧が図2. のようになって位相弁別回路(2)は出力無し、 $f > f_0$ のときには図3. のようになって出力有り、 $f = f_0$ のときには図4. のように限界となり、判定要素(4)により f の所定値以下への変動を知ることができる。もし入力が急変したときには微分回路(5)が出力を出し、

禁止回路(3)に禁止入力を印加するから、たとえ位相弁別回路(2)に誤出力が出ても、これを有効に阻止できる。入力変動がおさまれば、自動的に上記の定常動作に復帰する。

上記のように、この発明によれば入力急変時にあっても誤動作の心配がないから、 Q を充分に大きくして高感度とすることができる、かつ入力急変時以外にはなんらの時間遅れなく高速度動作を期待できる。



故障表示装置 (特許第668500号)

発明者 藤井重夫

機器に生じた故障を知らせる故障表示装置の動作要旨としては

- (1) 故障発生により白色表示を行なうとともに自己保持する。
- (2) 監視員がこれを確認、復帰レバーを押したとき、故障が除去されれば、白色表示復帰、自己保持解除して元の状態に戻す。
- (3) 故障継続しておれば自己保持を解くとともに黄色表示に変える。
- (4) 黄色表示時、故障復旧により黄色表示復帰して元の状態に戻す。動作が要求される。この発明はこの要求にこたえる2重表示式の故障表示装置を提供するものであり、図1.は平常時、図2.は復帰レバーを押した状態をそれぞれ示す。

図において、(1)は表示窓(2)をもつ取付けわく(枠)、(3)は鉄心(4)、巻わく(5)、コイル(6)、継鉄(7)からなる電磁石、(8)は一端が保持金具(9)により継鉄(7)に枢着された可動鉄板、(10)は常時この可動鉄板の係合片(11)と係合して表示窓(2)の上方に保持され(図1.の状態)、可動鉄板の吸引により係合がはずれて表示窓の位置まで落下する白色表示板、(12)はピン(13)により取付けわく(1)に枢着された復帰用リンク、(14)は一端がピン(15)によりこの復帰用リンクに枢着され、自由端が外部に突出する復帰用レバー、(16)は常時は表示窓(2)の下方に位置し(図1.)、復帰用リンク(12)により表示窓の位置まで押し上げられる(図2.)黄色表示板、(17)は一

特許と新案

端がピン(18)により復帰用リンク(12)に枢着され、他端に係合孔(19)をもつ掛金(20)は可動鉄板に植設された係合ピンであり、前記係合孔(19)と図2のごとく係合する。(21)は取付け台(22)に固定された板ばねであり、駆動板(23)を介して可動鉄板を當時反時計方向と付勢する。(24)は別の板ばね、(25)、(26)は接点、(27)は取付けわく(1)に設けられたガイド孔、(28)はこのガイド孔にかん(嵌)合した絶縁棒であり、當時は板ばね(24)によりガイド孔(27)の左端に位置されている。

図1において、機器の故障により電磁石が付勢されて可動鉄板(8)が吸引され、白色表示板(10)が落下して白色表示とともに、

接点(25)、(26)を閉じ自己保持する。復帰レバー(14)を押すと復帰用リンク(12)により、点接(25)、(26)を開き自己保持を解くとともに、黄色表示板(16)を押し上げ、白色を黄色表示に変える。このとき故障が復旧しておれば白色表示板(10)は再び係止される。この状態でレバー(14)が解放されるとすべてが図1に戻る。一方レバー(14)を押したとき故障継続しておれば、自己保持が解かれても電磁石の付勢が続くから、掛金(17)は可動鉄板の係合ピン(20)に掛止されたままである。ゆえにレバー(14)が解放されても黄色表示を継続する。この状態で故障復旧すれば、電磁石が消勢され、すべてが図1に戻る。

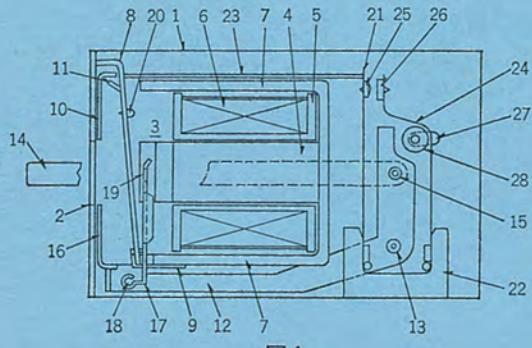
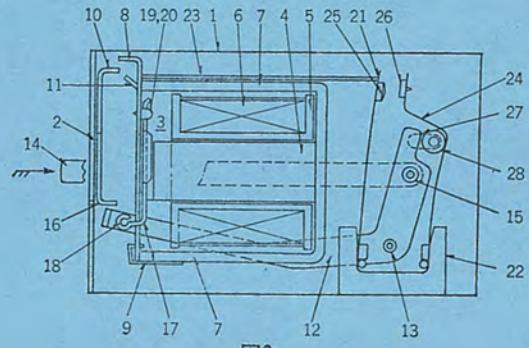


図1



周波数検出装置 (実用新案 第974240号)

考案者 島田五郎・三宅康明

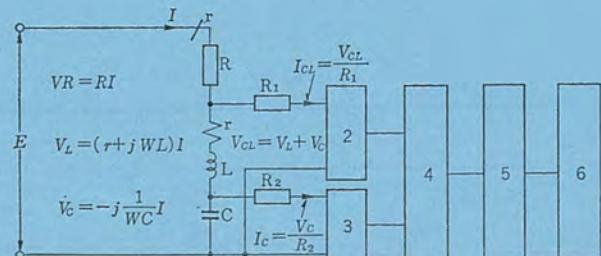
近年、電力系統の制御、特に系統分離などにおいて、高精度、高感度の周波数検出装置の出現が強く望まれている。この要求にこたえるため誘導円板形などの機械式に代わって、トランジスタ形位相弁別式のものが考えられ、高速度化が実現されるに至った。しかし精度の面において、入力電圧の変動により動作値が変化するという難点があった。

この考案は RLC 直列共振回路から導出された二つの交流量をく(矩)形状に変換し、その一方を正バイアス、他方を負バイアスとし、これら両く形波の重なり期間を計測することにより、入力電圧が変動しても動作値が変化しないものとした。すなわち電圧が低下すると、正バイアス側のく形波の幅は小さくなり、他方負バイアス側のく形波の幅は大きくなるから、両く形波の重なり期間としては一定不变であり、入力低下の影響を受けない。電圧が上昇した場合はおのののく形波の幅が上記と逆に変化するが、前者の重なり期間としてはやはり一定不变である。

図において、(1)は直列共振回路、(2)は電流 $I_{CL} = \frac{V_{CL}}{R_1}$ をく形波に変換する回路、(3)は $I_C = \frac{V_C}{R_2}$ をく形波に変換する回路である。印加周波数 f と整定周波数 f_0 とが等しいときには I_{CL} と I_C との

相差角 θ は 90° となるが、 $f > f_0$ となれば $\theta > 90^\circ$ 、 $f < f_0$ なら $\theta < 90^\circ$ となる。ゆえに、両く形波の重なり期間 T は $f = f_0$ のとき $T = \frac{\pi}{2}$ 、 $f > f_0$ のとき $T < \frac{\pi}{2}$ 、 $f < f_0$ のとき $T > \frac{\pi}{2}$ となる。(4)はこの重なり期間が $\frac{\pi}{2}$ より大きいとき出力を出す検出回路、(5)はこの出力を連続出力に変換する回路、(6)は最終判定要素である。

この考案は上記構成において、一方のく形波変換回路(2)に正バイアスを与える、他方の変換回路(3)に負バイアスを与えることにより、上述したように入力電圧の変動があっても両く形波の重なり期間が変化しないようにしたものである。



開放空冷ユニットパッケージ形ガスタービン発電機

坂井時弘*・福吉拓雄*

1. まえがき

ガスタービン発電プラントはその特長・信頼性が広く認識され、火力発電所のピークロード用、ブラックアウトスタート用、複合サイクル用および自家発電用などの各種用途に対してその需要の伸びは近年めざましいものがあるが、当社はこれら需要にこたえるべく、ガスタービン発電機の開発、標準化を強力に推進し、発電機・励磁機を完全に一体化した、屋外開放空気冷却一体形発電機「ユニットパッケージ形ガスタービン発電機」を完成し対処している。

従来のガスタービン発電機は、発電機・励磁機・台板などが別個に組立てられ、さらにこれらをパッケージ内に収納する構造であったが、複雑な構造となるうえに寸法・重量ともに過大となり、また、輸送・据付上においても煩雑で、多大の日数を要するという不具合があった。

当社が開発した「ユニットパッケージ形ガスタービン発電機」は、発電機・励磁機・台板・油管・サインサ・エアフィルタ、およびその他の必要部品をすべて一括して組み込んだ、完全一体形構造としているため非常にコンパクトな構造となり、発電セットは工場で組立てられたそのままの状態で輸送することが可能であるとともに、現地において再組立ての必要がなく、据付がごく短期間で済み、かつ将来の移設も容易に行なえるという特長を有している。また、屋外全天候形構造として、風雨・雪・砂じん(塵)・腐食性ガスなどの厳しい自然条件や、ふん囲気にも十分な耐力を有するものとともに、開放形ガスタービン発電機で問題とされる騒音に対しても種々の対策を施し、低騒音化を図っている。

ここでは、ユニットパッケージ形ガスタービン発電機について、その構造、種々の特長および標準仕様などについて概要を紹介する。表1に

当社が納入した、この形式の発電機の製作実績を示す。

2. 構造と特長

2.1 ユニットパッケージ形ガスタービン発電機の特長

ユニットパッケージ形ガスタービン発電機は内外の需要にこたえるべく、最新の技術と合理的な工作法を駆使して当社が開発したガスタービン駆動専用の屋外開放通風方式で、ガスタービン発電プラントとしての特性を十分に發揮させるとともに、その構造面において幾多の利点と特長を有している。

この形式の発電機の主なる特長は次のとおりである。

(1) 発電機フレームの外被を全天候形としパッケージハウスを省略した。

(2) 発電機本体に、励磁装置・CT等の付属機器をはじめ、エアフィルタ、サインサを内蔵させ完全一体形とするとともに発電機全体をコンパクトにまとめている。

(3) 発電機フレームは軽量にして剛なるものとし、台板を省略しているので輸送・据付が短期日にして容易に行なえるものとしている。

(4) 発電機は徹底した標準化をはかる一方、騒音規制値にマッチした、サインサ・防音カバーの標準仕様を確立し、需要家の要求に對して騒音対策が容易に行なえるようにしている。

(5) 発電機の内部に埋込まれた測温素子、計器類、照明などの各種電源の計装リードは、発電機外被側面に設けられた集合端子箱に集め、配線工事を容易に行なえるようにしている。

(6) 発電機内部は休転中、吸湿を防止するためスペースヒータを設けているが、これらの容量、配置は工場内における試験結果をもとに定め最適値としている。

表1. ユニットパッケージ形ガスタービン発電機製作実績

納入先	容量(kVA)	電圧(kV)	回転数(rpm)	力率	基準周囲温度(°C)	起動方式	励磁方式	台数	ガスタービン形式	用途	備考
某社	75,000	13.8	3,600	0.9	20	IM	ブラシレス	2	MW-501 G	ピークロード用	製作中
関西電力(大阪)	68,500	13.2	3,600	0.9	20	IM	ブラシレス	2	MW-501 G	ピークロード用	昭和47年納入
某社	64,300	13.8	3,600	0.85	35	IM	ブラシレス	13	MW-501 G	自家発用	製作中
サウジアラビア(アラムコ)	34,700	13.8	3,600	0.85	27	IM	ブラシレス	10	MW-301 G	自家発用	昭和48年納入
ペルー PETRO PERU	24,188	13.2	3,600	0.80	13	D/E	ブラシレス	3	MW-191 G	自家発用	昭和48年納入
北海道電力(釧路)	21,053	11	3,000	0.95	5	D/E	ブラシレス	2	MW-191 G	ピークロード用	昭和45年納入
マカオCEM	20,824	11	3,000	0.85	27	D/E	ブラシレス	3	MW-191 G	事業用	昭和48年納入
チリ CFE	18,700	13.8	3,600	0.85	27	D/E	ブラシレス	2	MW-191 G	事業用	昭和45年納入
ホンジュラスENEE	17,900	13.8	3,600	0.85	27	D/E	ブラシレス	1	MW-191 G	事業用	昭和46年納入

注) 起動方式のIMは誘導電動機、D/Eはディーゼルエンジンを示す

ガスタービン形式に示す記号は三菱重工ガスタービン形名である

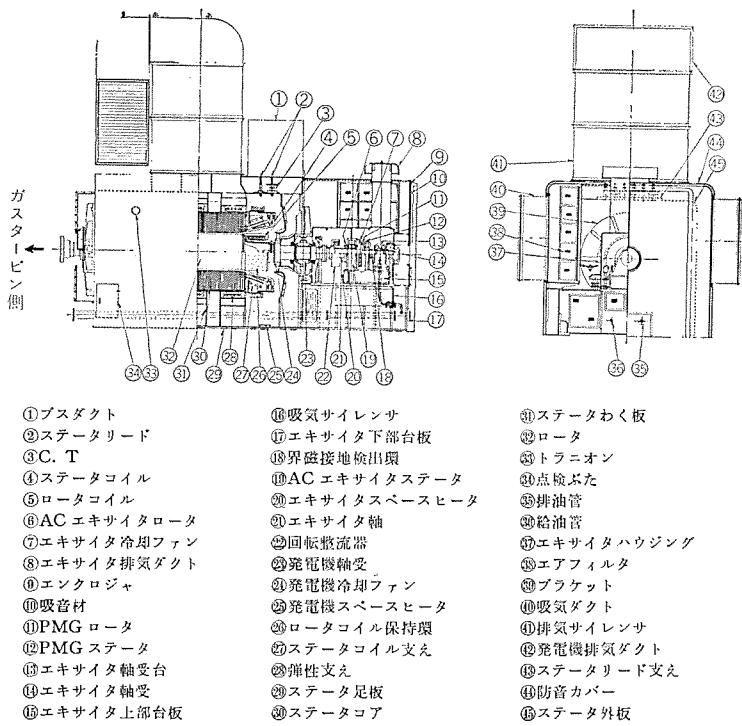


図 1. ユニットパッケージ形ガスタービン発電機の全体構造

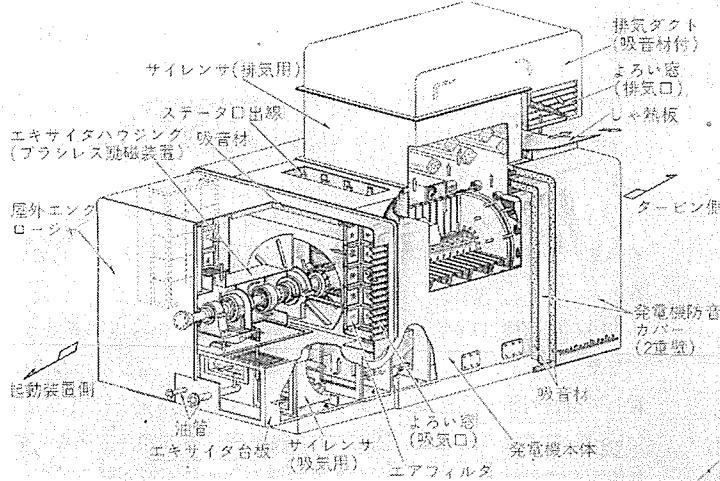


図 2. 通風方式および防音構造例

2.2 ユニットパッケージ形ガスタービン発電機の構造

この形式の発電機の全体構造を図 1. に示す。図からもわかるように、発電機フレームの一端に冷却通風路を兼ねた台わくを延長させ、この台わく上にブラシレス励磁装置を配置し、さらにこの外周を全天候性を有するエンクロージャでおおい発電機冷却風取入口に必要なエアフィルタ、サイレンサ等を配置している。また発電機内を冷却し機外へ排出するダクトは、冷却風取入口との干渉を避けるようエレファンタ形の曲りダクトを採用している。

一方、発電機軸受への潤滑油管、ストレーナ等の付属品は発電機フレームに内蔵させ、発電機端において、集合フランジにより潤滑油装置と取合うようにしている。図 2. にこの形式の発電機の「通風方式および防音構造例」を示す。

発電機の通風は発電機ロータの両端に取付けられた高性能ファンにより行ない、またブラシレス励磁装置まわりについては AC エキサイタ、回転整流器を有効に冷却する通風回路とともに、エキサイタ軸にも高性能の専用ファンを設け合理的に冷却が行なえるようにして

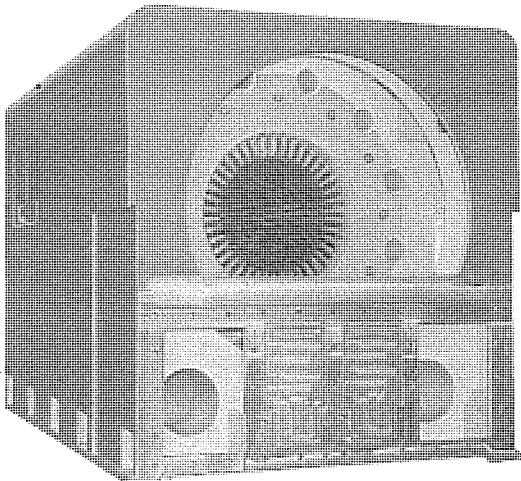


図 3. コイル入れ前のステータ外観

いる。

2.2.1 ステータ

ステータ内部構造は通常の屋内全閉形タービン発電機と本質的に変わるものではないが、この新方式発電機においては、通風ダクト・潤滑油管・リード管・CT 等の内蔵さらにサイレンサなどの付属品の取付けが容易に行なえるようにするとともに、屋外開放形であることよりフレーム外被は通常の屋内全閉形タービン発電機に比べ、一段厚い鋼板を用い全天候性・防音効果をもたせている。図 3. にコイル入れ前のステータ外観を示す。

2.2.2 ロータ

ロータ構造も通常の屋内全閉形タービン発電機とほぼ同一であるが、この形式の発電機は“屋外開放”という特殊性に対処するため後述の防じん対策を行なうほかに、軸材選定、ロータコイル絶縁およびその冷却に対し次の点に考慮をはらい万全を期している。

(1) ガスタービン用発電機軸材として重要視される低温ぜい(脆)性破壊の対策として、軸材の遷移温度を極力低くすると同時に、ストレスライザとなる鋭い切欠ぎが残らないように特に考慮をはらっている。

(2) 通常、裸にしているロータコイルエンド部は当社の種々の実験結果をもとに、各素線それぞれを耐熱性のすぐれた“絶縁フィルム”で保護している。また、ロータコイルと接続するラジアルコンダクタなどの露出部は、キャップでおおい吸湿・異物付着防止に細心の注意をはらっている。

(3) ロータコイルの冷却効果を増し、コイルエンド部における異物(い(堆)積)を防止するため、コイルエンド保持環の通風孔およびその配置に対しては特殊な考慮をはらっている。図 4. に完成したロータの外観を示す。

2.2.3 ブラシレス励磁方式の採用

当社のタービン発電機では運転・保守が簡潔となるよう、ブラシやスリップリング等のしゅう(摺)動部分を全くもたないブラシレス励磁方式を標準として採用している。とくにピーコード用、ブラックアウトストップ用など起動停止の多い用途に対しては、起動時の着磁が不要な PMG(永久磁石発電機)付きのブラシレス励磁機としている。そのほか界磁接地検出装置もこの部分に設け、運転中の異常状態を遠隔操作ソレノイドにより容易に検出できるようにしている。

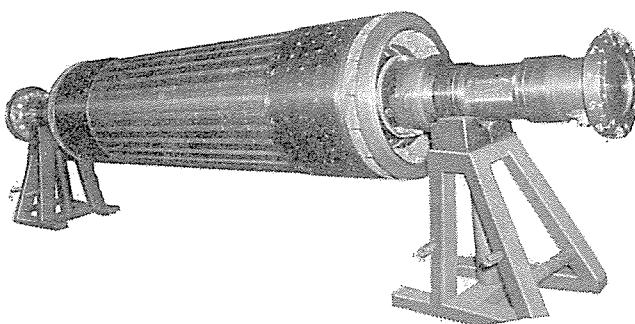


図 4. 完成したロータ外観

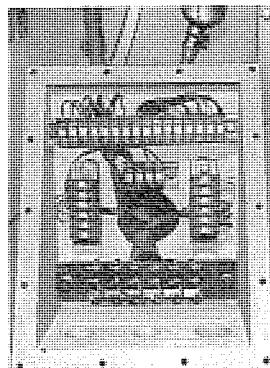


図 5. 集合端子箱

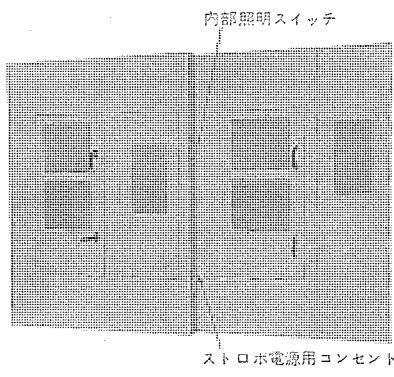


図 6. エキサイトハウジングの外観

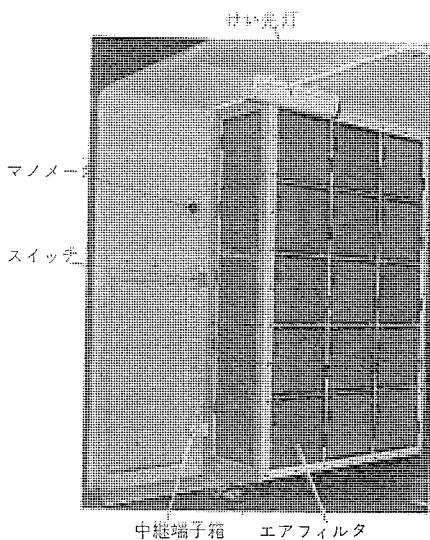


図 7. エンクロージャの内面

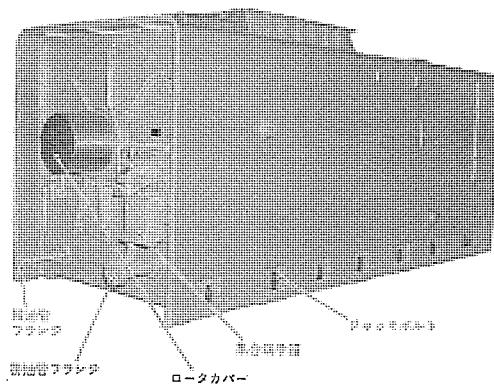


図 8. ユニットパッケージ形ガスタービン発電機の荷姿

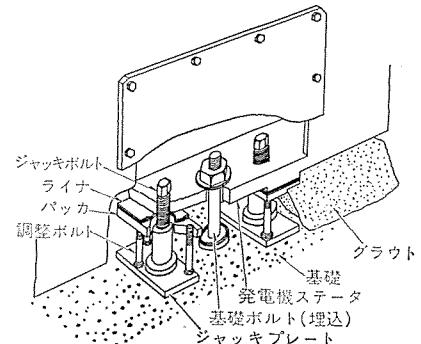


図 9. 基礎への発電機締付要領

当社標準の、「ブラシレス励磁方式」は空冷タービン発電機においてもすでに150台以上に適用されているが、すべて無事故運転を続けており、需要家において、その信頼性・保守の容易さで絶大な好評を得ている。また、開放形ガスタービン発電機として、有害ガスふん気に設置される場合、および無人化発電所として設置される場合にもこの励磁方式は非常に適したものといえよう。

2.3 計器と配線

前にも触れたように、主回路を除いた測温素子・照明・スペースヒーター・励磁装置などの計装回路については、合理的に配線することはもちろん、シリコン素子保護用ヒューズの点検に必要なストロボ電源のコンセントを含め、これらの端子はすべて発電機フレーム側面に設けた集合端子箱(図5.)に収め、据付配線工事がきわめて容易に行なえるものとしている。

図6.はエキサイトハウジングの外観、図7.はエンクロージャの内面を示す。これらはいずれも限られたスペース内において配線器具を取り付け メインテナンスが容易に行なえるよう考慮している。また、ロータ引抜のための分解、将来の移設に対しても配線の取外しが最少限となるよう適宜「中継端子箱」を配置している。

2.4 輸送と据付

工場で完全に組立てられた、この方式の発電機は、所定の試験を終えた後、一部の吸排気ダクトを取りはずし首ぶたにより密閉され発送される。このように工場組立てそのままの状態で据付現地へ搬入されるので、発電機自身の組立・再調整をいっさい必要とせずに据付作業が開始できる。図8.に発送前の荷姿を示す。

現地作業としては

- (1) 基礎ボルトによる発電機ステータ締付
- (2) タービンとの機械的結合
- (3) 潤滑油装置との給排油管結合
- (4) 計装リードの接続
- (5) 主回路つなぎ込み

が主なるものであるが特に(1)項の作業はプラント全体の据付において占める割合は決して小さいものではなく、その作業の進ちょく(抄)度は屋外作業のため天候にも大きく左右されよう。また、輸出向けにおいては高度の据付技術を要しないものが当然望まれてこよう。

当社標準の「新方式発電機」の据付はこれらの条件を背景に、図9.に示すようなきわめて簡単な「基礎ボルトによる発電機ステータ締付法」を採用している。

この据付方法は、必要な数量の基礎ボルトをあらかじめコンクリート基礎に埋設しておき、この基礎上にパッカを配置して発電機ステータを据置きする際、ステータのジャッキボルトによって所定のレベル調整を行ない、基礎ボルトにより締付固定した後、パッカおよび基礎ボルトのまわりをグラウトするものである。またグラウト養生中は次の作業工程へ移行できるので据付作業工程に全くむだがなく、きわめて短期間で据付がすむという最大の利点を有しているといえる。さらに将来、ライナによりレベル再調整を行なう場合でも、この据付方法はクレンを必要としないためメンテナンスの面からも有益である。

3. エアフィルタと防じん対策

3.1 エアフィルタの選定

エアフィルタの選定は、経済性、保守点検の容易さを重要視する一方、設置される場所のふん団気にマッチしたものを選ぶ必要がある。設計に当たっては、次のような点に考慮を払っている。

(1) エアフィルタは図 10. に示すユニット形とし、約 500 mm 角の大きさでその通過風速が 2~3 m/s になるようユニット数を選定している。

(2) 砂ばく(漠)地帯、寒冷地帯などに設置される場合には、吸気まわりのダクトに特殊な構造を採用し、砂じん・吹雪などの機内侵入防止をはかっている。

(3) エアフィルタのろ(沪)材選定は需要家の要求に基づいて最終決定されるが、当社の推奨基準を表 2. に、特性比較を表 3. に示す。また、表 2. に示す基準以上の高性能エアフィルタが要求される場合にも十分対処できるよう各種データをとりそろえている。

(4) 以上のように各種データ、実験をもとにエアフィルタの選定を行なっているが、さらにエアフィルタの「目詰まり程度」を定量的に検出しアラームを出す「マノメータ」を設け(図 7. 参照)、エアフィルタのメンテナンスが容易に行なえるよう万全を期している。

3.2 砂じん対策

砂ばく地帯に設置されるものでは、砂ばく地帯特有の微細な砂じ



図 10. ユニット形 エアフィルタ

表 2. エアフィルタの推奨基準

	発電機設置状況	ろ材
1	ふんい気が悪い場合 (SO ₂ , H ₂ S ガス、塩分などが含まれる ふんい気)	ステンレスワール 化繊系ワール グラスワール等
2	とくにふんい気が問題とされない場合	カッパワール アルミワール等

表 3. ユニット形 エアフィルタの特性

	項目	特 性
1	捕集効率	油付金網ワール……約 70% (重量法)
		油無 ハ ……約 40% (ハ)
2	初期抵抗	風速 2.5 m/s で 4~7 mmAq
		化繊系ワール
		カッパ、アルミワール
3	耐熱性	70~80°C
		約 100°C
		上記以上の 高温に適す
	耐用年数	ビニロック アルミ、カッパワール ステンレスワール グラスワール
		約 2 年 2~5 年 5~10 年 使い捨て

んを含む、激しいサンストームにさらされる。したがって、これらの吸気まわりのダクトについては十分な砂じん対策を施す必要があるが、吸気ダクトの設計にあたっては次のような点を実験データに基づいて確認を行なっている。

(1) 砂の分析

据付現地の砂を採取し、成分、比重、粒度分布、水分量などの分析および MEG 値の計測を行なっている。

(2) 砂の飛距離

吸気ダクトおよびルーバの形状・構造を決定するために必要なデータをモデルの風洞により、風速と砂の飛距離との関係を求めている。これらの実験結果をもとに次のような対策を行なっている。

(a) 吸気口のルーバを複数段分割配置して砂じんの飛距離が極力短くなるようにしている。

(b) 強風時、砂じんが機内へ押込まれぬよう吸気開口部は左右両面に配置して「吹抜け効果」をもたせている。

(c) 吸気ダクト内への砂じんの付着たい積の有無を定期的に点検できるようマンホールを設けるとともに、ダクト底には開閉可能な清掃孔を設けている。

(d) 吸気口とエアフィルタとの間に「整流板」を配置して、エアフィルタ全面積に対し冷却風が均一に通過するよう細心の注意をはらっている。

図 11. はペトロペルー 約 3×24,188 kVA 機の全体外観を示すが、本機は砂ばく地帯に据付けられるため吸気ダクトには前述の防じん対策を施してある。また、図 12. は現地に据付けられた ARAMCO 社(サウジアラビア) 約 10×34,700 kVA 機の外観を示す。

3.3 寒冷地対策

寒冷地に設置される場合はエアフィルタ面に付着した水分の凍結、氷柱、吹雪などにより通風が阻害されるおそれがあり、また潤滑油管の凍結も考えられるため次のような対策を行なっている。

(1) エアフィルタ面に適当容量のスペースヒータを配置し凍結を防止している(とくに休転時には、不可欠である)。

(2) 吸気ダクトを図 13. に示すような構造とし、氷柱・吹雪・積雪への耐力を増している。

(3) 周囲温度が 0°C 以下となった場合、潤滑油管など機内各部の凍結を防止するため、運転時は機内暖気(排気)を一部吸気口側へ循環させる構造としている(図 13. 参照)。

図 14. は北海道電力株式会社(釧路) 約 2×21,053 kVA 機の現地据付外観を示すが、本機の吸気ダクト(写真手前側)は前述の寒

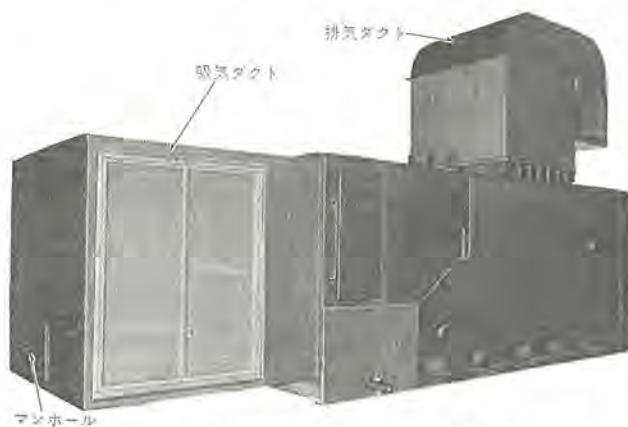


図 11. ペトロペルー 約 3×24,188 kVA 機の全体外観

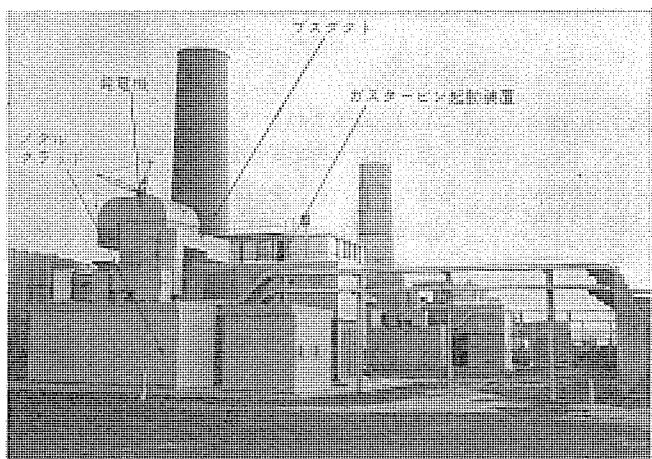


図 12. ARAMCO 社 (サウジアラビア) 納め 10×34,700 kVA 機の現地据付外観

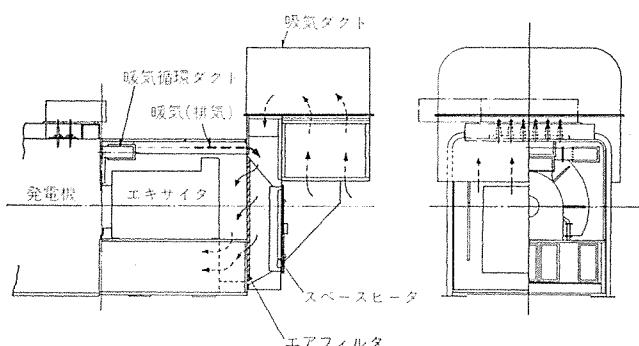


図 13. 寒冷地対策を施した吸気ダクトの構造例

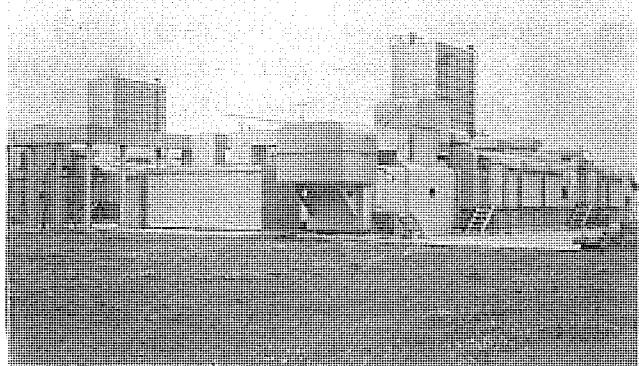


図 14. 北海道電力 (釧路) 納め 2×21,053 kVA 機現地据付外観

冷地対策を施したものである。

3.4 潮風対策

海岸近くの含塩分ふん団気中に設置される場合は、発電機各部の設計を塩分に対し十分考慮したものとするほかに次の点に考慮をはらっている。

- (1) 吸気口は潮風が直接あたらぬよう機器配置を計画するとともに、要すれば吸気口まわりに壁を設け潮風の直接進入を防止する。
- (2) エアフィルタは耐食性にすぐれたステンレスワールまたは化学繊維系統のものを採用する。
- (3) 絶縁物自身は種々の実験を行ない、耐塩水特性においても

格段にすぐれたものであることを確認している。さらに、充電部の沿面距離および空間距離等については塩分汚損テストに基づき、十分な余裕を持つものとしてある。

4. 騒音対策

ガスタービン発電セットは一般に屋外に設置されるが、住宅・市街地域に近接して設置される場合が多いので、騒音対策については、公害防止の点からも十分な考慮を払う必要がある。

現在、ガスタービン発電セットの標準騒音規制値として表 4. の値を採用しているが、さらに厳しい要求があつても十分対処できるよう、当社では数多くの実測データを基にした技術的検討を終えており、ユーザの要求にこたえうる体制を整えている。

発電機の主な騒音源は吸気口音・排気口音・発電機フレーム透過音に分けられるが、ユニットパッケージ形ガスタービン発電機においては表 5. に示す騒音対策を各部に行ない、ユニットに要求される騒音レベルを満足させている。

一例として、関西電力株式会社 (大阪 P/S) 納め 2×68,500 kVA 機は、ユニットより 100 m 地点で 60 ボン (JIS, A スケール) 以下の規制で、機側 1 m で 90 ボンを目標とする要求であったが、表 5. のごとき各種対策を実施して要求を満足するものとした。図 15. に本機の現地騒音計測データを示す。また、図 16. は同機の現地据付外観を示す。

表 4. ガスタービンユニット標準騒音値 (ユニット 1 台 120 m の地点にて)

	各オクターブバンド音圧レベル								総合特性
中心周波数 (Hz)	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	JIS, A スケール
騒音レベル (dB)	77	68	59	53	48	45	42	40	57

表 5. ユニットパッケージ形ガスタービン発電機の騒音対策

騒音源	騒音対策
吸気口	①スプリッタ形サイレンサを励磁機台床内に取付ける ②必要減衰量が大きい場合は、さらにエアフィルタ取付部外側にサイレンサを追加する
排気口	①吸気口と同様、発電機上部にスプリッタ形サイレンサを取付ける。必要減衰量が大きい場合はサイレンサの積段数を増す ②さらに排気サイレンサ上部の排気ダクトは、内面に吸音材を張付けるとともに、内部で通風路の方向転換を行ない消音効果を持たせたものとする
フレーム透過音	①フレーム外板の厚さを通常形の発電機より一段厚いものとしている ②騒音規制値が厳しい場合には、内面に高い密度の吸音材を張付けた防音カバーを一重あるいは多重に設ける
その他	①騒音規制値により励磁装置まわりのエンクロージャ内面に吸音材を張付ける ②各通風路は構造上可能な限り騒音抑制策を行なうとともに、各種部品たとびら、ダクト類の結合部は完全シールを行なう ③吸・排気口部は風速を極力小さくして気流音の発生を防止する ④吸・排気サイレンサとフレームおよび防音カバーとフレーム基礎との取付部には防振ゴムを用い、鉄と鉄との直接接触、または鉄とコンクリートとの接触によって生じる騒音の伝ば(播)を防止する

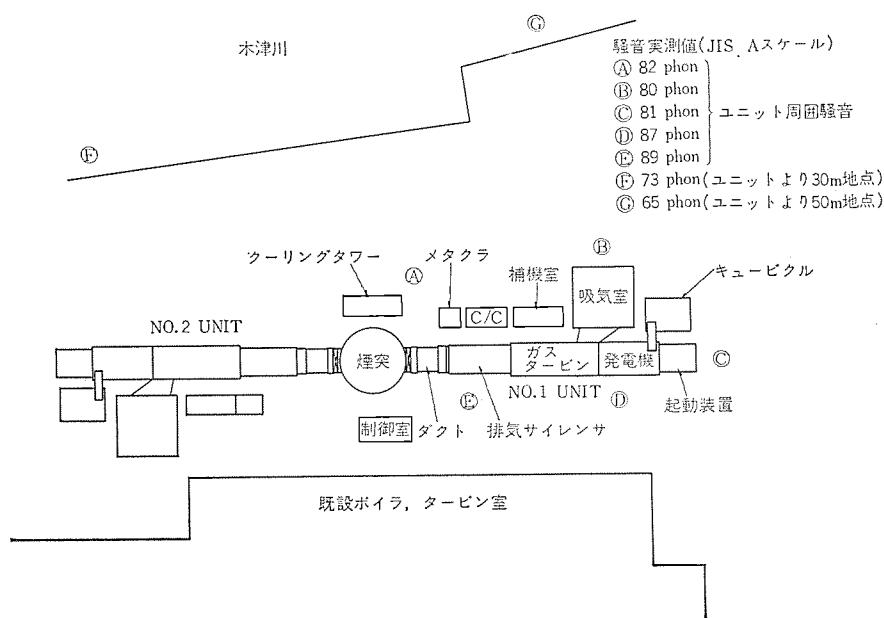


図 15. 関西電力(大阪 P/S)納入 2×68,500 kVA 機 現地騒音計測結果

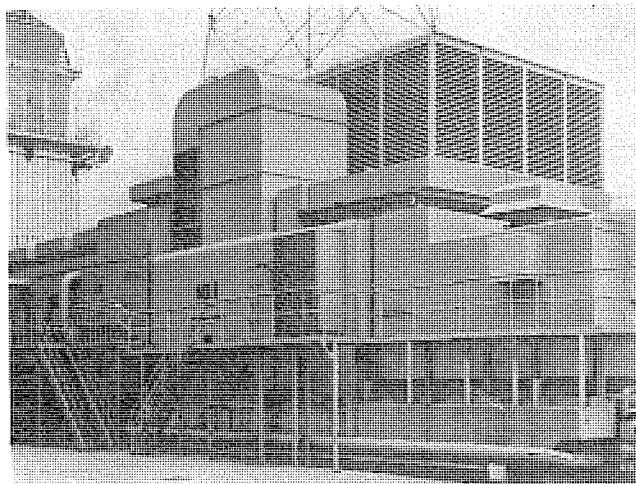


図 16. 関西電力(大阪 P/S)納入 68,500 kVA 機 摄付外観

5. 保守、点検

回転電機の保守・点検は、その機能・構成よりみて次の3点に要約されよう。すなわち

(a) “炭” ……ブラシまわり

異常摩耗、火花発生、温度上昇過大、ブラシの取換え

(b) “油” ……軸受まわり

油もれ、異物の詰まり、温度上昇過大

(c) “水” ……クーラまわり

水もれ(亀裂発生、腐食、異物たい積など)

当社においてはこれらの点を本質的に解決するために、励磁方式に「ブラシレス方式」をいちはやく採用していることは前述のとおりであるが、さらに「ユニットパッケージ形」においてはクーラなしの開放通風の冷却方式であるため、保守点検上、“炭”と“水”に関しての問題は全くなく、保守・点検の省力化はもちろんその信頼性は格段にすぐれたものとなっている。一方、万一の異常事態においても

容易に点検が行なえ、また処置が迅速に行なえるよう主要部に対しても次のような考慮をはらっている。

(1) 軸受まわり

潤滑油管を含め軸受まわりが容易に点検できるよう“点検窓”を設けている。また軸受の開放点検は屋外であることと専用のクレーンが常備されないことを考慮して、軸受のみを簡単な工具で分解・再組立できる構造としている。

(2) ブラシレス 励磁装置まわり

当社ブラシレス励磁装置はシリコン整流素子を保護するために、インジケータ付きヒューズを備えており、このヒューズの動作を“ストロボスコープ(標準工具として供給)”で確認できるようにしている。

(3) エアフィルタまわり

エアフィルタの保守・点検はその選定(前述3.1節参照)によって程度に差があるが、運転中あるいは停止時の区別に関係なく、保守・点検ができさらに取換えが容易に行なえるようにしている。

6. 標準仕様

6.1 発電機出力特性

ガスタービンは使用燃料・大気温度条件・燃焼温度などにより出力が変わるので、ガスタービンにより駆使される発電機は、このガスタービン出力と運転される大気温度範囲が定められた場合に発電機定格出力、大気温度対出力関係曲線およびマシンサイズが決定される。図17.は発電機およびガスタービン出力と大気温度の関係曲線を示す一例である。発電機出力と大気温度との関係曲線は、発電機ステータまたはロータコイル温度がその使用絶縁種別で規定された許容温度一定(JEC規格でB種絶縁の場合、ステータコイル 120°C、ロータコイル 130°C)という条件で求めているので、ステータまたはロータコイル温度のいずれかでその出力-温度関係曲線は決定される。したがって、曲線の傾きは適用される規格(JEC, ANSI, IEC 規格など)の許容温度上昇規定値によって、やや異なってくる。

6.2 発電機標準出力および寸法・重量

ガスタービンは標準として大気温度15°Cにおける出力を定格値としている。この温度で天然ガスを燃料として使った場合のガスタービンピ-ク出力に対応した発電機出力と発電機概略外形寸法・重量は表6.のとくくなる。ただし、本表は現在の標準であるが、各形式のガスタービンは日進月歩に性能アップが図られており、また、100MW~150MWの大容量機も開発が進められているので、流動的であることを付け加えたい。

6.3 発電機標準仕様

- (i) 外被形式：屋外全天候形(ユニットパッケージ形)
- (ii) 通風方式：開放空気冷却
- (iii) 回転子形式：横軸、2極円筒回転界磁形
- (iv) 軸受形式：両ブラケット形、強制給油スリーブ軸受
- (v) 絶縁：B種、またはF種(ダイラスチック絶縁)
- (vi) 結線：星形結線(ライン側3本、中性線側3本を上部引出し)
- (vii) 定格電圧：6,600 V, 11,000 V, 13,800 V

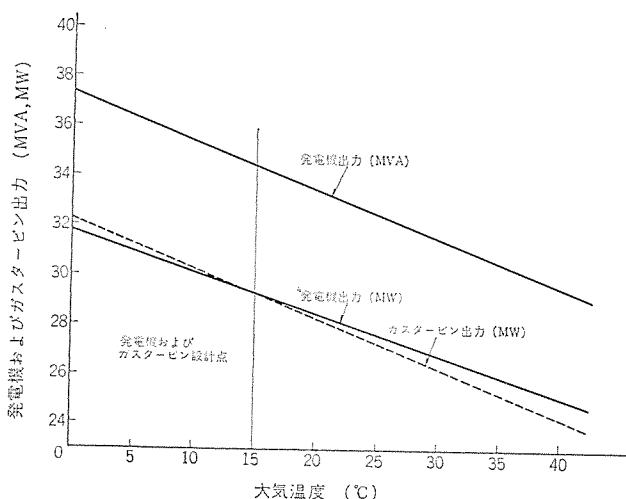


図 17. ガスタービン発電機出力対大気温度関係曲線

- (viii) 相数: 3
- (ix) 力率: 0.85 (遅れ)
- (x) 短絡比: 0.50 以上 (15°C にて)

6.4 ブラシレス励磁装置仕様

- (i) 交流励磁機: 三相, 8極, 回転電機子形, PMG 付き開放通風方式, 発電機直結
- (ii) 回転整流器: 三菱 SR-200 P-24 シリコンダイオード ならびにインジケータ付きヒューズ使用, 1S×2P×6A または 1S×3P×6A (三相全波グレーツ結線)
- (iii) 軸受形式: ベデスタル形, 強制給油スリーブ軸受

7. ガスタービン発電機の適用規格について

ガスタービン駆動発電機は近年になって種々の用途に使用されはじめ、ピーコード用・非常用などの特殊な用途に使われることが多く、スチームタービン発電機とは、その運転条件が異なっているため従来の規格では適合しない場合が多い。このため、米国においては、ガスタービン発電機固有の規格 ANS-C 50-14 を審議しており、その内容はほぼ完成し、1974 年度には制定される見込みの由であるが、ウェスティングハウス社その他の米国内ガスタービンメーカーでは、すでにこの新規格案を適用している。以下に、この規格の主要点を紹介する。

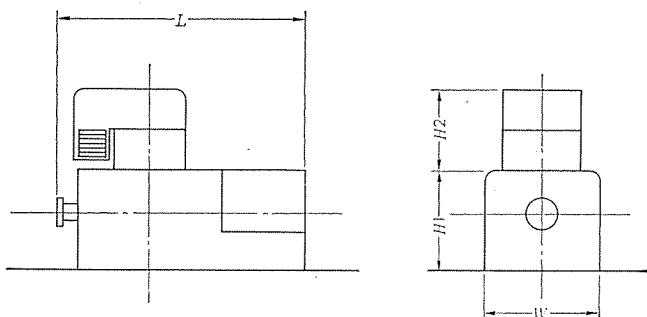
(1) この規格は、円筒形または突極形回転子を有する開放空気冷却式発電機で 10,000 kVA 以上のものに適用される。

(2) ある燃焼温度におけるガスタービンの出力は大気温度と大気圧によって決まるが、標準運転状態は入口空気温度 15°C、標高 0 m とする。また、ガスタービンは異なる燃焼温度に対応して、普通、Base, Peak および Peak Reserve 出力の三つの運転モードを有している。これに対応する発電機出力定格としては、15°C 入口空気温度、標高 0 m での出力を定めている。この定格はまた、後述するごとく発電機 Base Capability と一致することを規定している。

(3) 前述ガスタービンの三つの運転モードに対応した発電機出力対入口空気温度特性、すなわち、Base, Peak および Peak Reserve Capability を提出することを規定し、おのおのガスタービン出力を上回ることとしている。代表的な発電機可能出力曲線を図 18. に示す。Base & Peak Capability は定格力率とし、Peak Reserve Capability は、発電機 kW 出力が kVA 値を越えぬ範囲で力率をあげて使用するものとしている。

(4) 発電機定格出力時 (15°C 入口空気温度) の各部温度上昇値を表 7. に示す値としている。また、Base Capability でのホットス

表 6. ユニットパッケージ形 ガスタービン発電機 標準外形寸法重量表



ガスタービン形式	60 Hz					50 Hz						
	出力 (kVA)	概略寸法 (mm)				概略重量 (ton)	出力 (kVA)	概略寸法 (mm)				概略重量 (ton)
		L	W	H1	H2			L	W	H1	H2	
MW-191 G	22,500	7,800	2,680	2,880	2,250	55	22,500	8,000	2,680	2,880	2,250	61
MW-191 LG	26,000	8,000	2,680	2,880	2,250	61	26,000	8,400	2,680	2,880	2,250	65
MW-251 G	34,500	7,800	3,600	3,850	3,000	91	34,500	8,000	3,600	3,850	3,000	103
MW-301 G	38,500	8,200	3,600	3,850	3,000	101	38,500	8,200	3,600	3,850	3,000	118
MW-501 G	81,000	9,800	4,500	4,200	4,700	165	—	—	—	—	—	—
MW-701 G	—	—	—	—	—	—	87,000	10,600	4,500	4,200	4,700	205

- 注) 1. ガスタービン形式欄に示す記号は三菱重工標準ガスタービン形名である
 2. MW-501 G 60 Hz 専用, MW-701 G は 50 Hz 専用機
 3. 0.85 pF, ブラシレス励磁機付, 出力は 15°C 大気温度における容量
 4. 本表の寸法、重量は三菱標準騒音規制値 (表 4.) の場合における値である

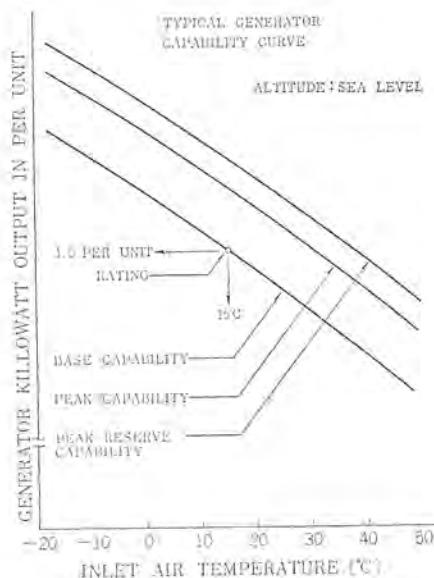


図 18. 発電機の代表的可能出力曲線

表 7. ガスタービン駆動空気冷却タービン発電機の温度上界限度
(ANSI-C 50-14 規格)

部 分		定格出力での温度上界 deg C (入口空気温度15°C, 標高0にて)			
		突極形同期機		円筒形同期機	
		B	F	B	F
電 機 子 動 線	埋込測温素子	105	130	95	115
界 磁 卷 線	抵抗法	105	130	110	130
絶縁物に近接する鉄心など	温度計または測温素子	95	115	95	115
スリップリング	温 度 計	110	110	110	110
ブッシュ、ブラシホルダなど	発電機に害を与えるような温度とすること				

ボット温度は B 種: 130°C, F 種: 155°C 以下と規定し, Peak および Peak Reserve Capability では B 種: 155°C, F 種: 180°C を規定している。

(5) Peak および Peak Reserve Capability での運転は、発電機寿命が短くなることを規格では注記している。すなわち、熱的には base 運転時の 6 ~ 9 倍の劣化を与える、1 時間の Peak または Peak Reserve 運転はほぼ、6 ~ 9 時間の base 運転に相当することを述べている。

べている。

(6) 吸気温度は 49°C 以下、-18°C 以上の範囲で可能出力を出させるよう規定している。

(7) 実負荷をとる起動回数は 1 年間 500 回を越えぬことを規定した。

以上のような概要であるが、この規格はいずれわが国にも導入されると考えられ、ガスタービン発電機専用規格が制定されれば、さらに経済的に十分用途に適合したガスタービン発電機が供せられることが可能である。

8. む す び

三菱開放空冷ユニットパッケージ形ガスタービン発電機について、その構造・各種特長・標準仕様などについて紹介した。ガスタービン発電ユニットはピ-クロード用、ブラックアウトスタート用、自家発用などの用途だけでなく、最近は大容量スチームタービン発電機と組合せ、ガスタービン廃ガスを利用し熱効率の改善を図るコンパインドサイクルとしての用途が着目されはじめている。また、ガスタービンの単機容量も大容量化する傾向があるので、ガスタービン発電機もこれら多様化する用途および大容量化に対して、より適合したものとするために小形軽量化を図るとともに、近き将来には、水素冷却方式の適用も検討する必要が出てこよう。

なお、この形式の発電機は開放空冷方式を標準とするが、この形式の特長をそのまま生かして、エアクーラ内蔵の全閉内冷方式とすることも容易に可能である。

終りに、このユニットパッケージ形ガスタービン発電機の標準化・合理化に当って、有益な助言と御指導を頂いた、当所、回転機製造部高原次長をはじめ工作部門・品質管理部門ならびに火力計画部門のかたがたに深く感謝するものである。

参 考 文 献

- (1) 坂井、大石: ガスタービン発電機、三菱電機技報、43, No. 4 (昭 44)
- (2) 竹矢: 最近のガスタービン設備、機械の研究、22, No. 10 (昭 45)
- (3) 平井: ガスタービン発電設備選定上の諸問題、火力発電(昭 45-4)
- (4) 小谷: ガスタービンの運転経過と 2, 3 の問題、火力発電 (昭 46-2)
- (5) 星川、荒瀬: ガスタービン複合サイクル、火力発電 (昭 47-11)

新交通システム CVS 車両用電機品

山之内 道徳*・大野 正勝*
浅野 哲正**・曾我 高明**・綿谷 晴司**

1. まえがき

新しい都市交通システムの一つである CVS は、通産省・東京大学の指導のもとに、(財)機械振興協会が関係 8 社の協力を得て開発を進めており、目下東村山に建設中の専用 テストコースで実車走行試験を実施中である。

三菱電機は、CVS パーソナルカーの開発を担当している東洋工業(株)より、車両総合制御装置、駆動電動機およびその制御装置の開発委託を、また CVS ワゴンの開発を担当している三菱重工業(株)より車両総合制御装置の開発委託を受け、47年4月より作業に着手した。

まず第一次試作のパーソナルカー用として駆動電動機とその制御装置、ラジコン、手動運転装置を完成し、第一次ペアーサン車用として東洋工業(株)へ納入し、47年10月より東村山の専用 テストコースで走行試験が開始された。

48年3月には、車両総合制御装置をパーソナルカーおよびワゴン用に各1セット納入し、第二次試作車の先行実験車としてテストが行なわれている。

今後は第二次試作車として、48年10月から49年3月までにパーソナルカー約40台、ワゴン約20台が完成されるので、電機品はこれに呼応して納入することになっている。

パーソナルカーの車上とう(搭)載機器として三菱電機が試作研究するものは、駆動電動機・冷却用 ブロアモータ・発電制動抵抗器・直流リニアクトル・パワーコントロール ユニット・メインコンタクタ ボックス・交流リニアクトル・車両総合制御装置など9機種で、走行実験用装備品としては、スピードコントロール ユニット・手動走行盤・ラジオコントロール 走行盤・模擬回路ボックス・手動運転装置・電動機電流検出器・設定値調整器などであり、またこれらの製品検査設備用品としては、約60種のチェックを用意し、信頼性を向上させるように努めている。

2. 全体システム

CVS はコンピュータを用いて車両を制御するシステムで、自動車交通がもつドアードアのサービスをパーソナルにかつ快適に行なえるという長所を生かして、自動車の大幅な増加によって生じてきた排気ガス・騒音・事故・駐車場難等の短所をなくそうというのが CVS 開発のポリシーである。

すなわち、電車やバスのような線交通でなく自動車と同じく面交通であり、個別需要に応じて高密度運行を行なうシステムで、自動車交通に代る都市内交通手段の一つとして考えられたものである。

CVS のハードウェアは電力駆動の CVS 車両、CVS 車両が走行するメッシュ状の専用 ウェイ、乗降施設および通信施設(データ通信・車両位置検出を行なう)並びに車両をコントロールするコンピュータシステムで構成される。

ネットワークは、約 1 km 間隔の格子状で平面交差のない スーパーウェイと約 100 m 間隔の格子状で平面交差を原則とする パスウェイ の二つの専用 ウェイで構成される。そして パス の ネットワーク と スーパー の ネットワーク は モジュールゲート で接続される。乗降施設は、パスウェイに設けられる ストップ と モジュールゲート に併設される施設とがあり、乗客の乗降や物品の積み下しが行なわれる。

高密度運行を行なうために ムービング ターゲット 制御方式・高速度通信・緊急制動装置(約 2 g)・車上進路選択方式等が採用され、車頭間隔を 1 秒程度にすることが計画されている。

CVS 車両は乗客用の パーソナルカー と 貨物用の ワゴン とからなり、通常運転速度は パスウェイ 40 km/h、 スーパーウェイ 60 km/h である。

車両をコントロールする コンピュータ システム は、将来は パス および ストップ を制御する カンタム コンピュータ(小形)、異常な車両を処理する レスキュー コンピュータ(中形)、モジュール内の カンタム コンピュータ と モジュールゲート の コントロール を行なう モジュール コンピュータ(大形)、 スーパーウェイ の コントロール をする スーパーウェイ コンピュータ(大形)、システムシティ 全体の コントロール をする シティ コンピュータ(超大形) で構成される、多量 ハイアラギ シ



図 1. 東村山 テスト風景



図 2. シティカーの外観

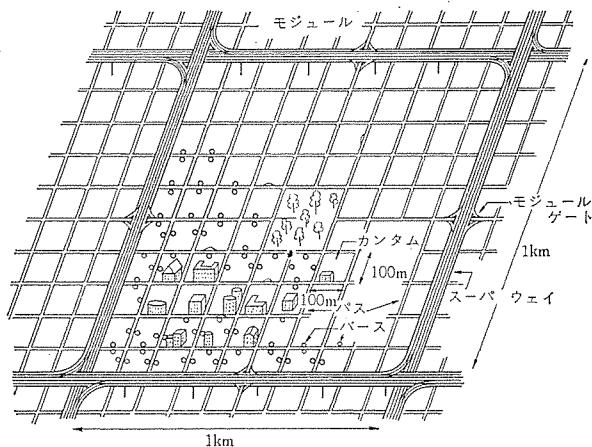


図 3. システムシティの構成

ステム構造にすることが考えられている。

東村山実験ではバスの車両をコントロールする下位コンピュータ1台、スーパーの車両をコントロールする下位コンピュータ1台、バスとスーパーの繋ぎをコントロールしたりロジックの問題を処理する上位コンピュータ1台の計3台で構成されている。

走行中の車両と地上との交信はウェイに設けられた誘導無線を介し、全二重ポーリング方式により各車両別に送受信することが可能で、情報伝達速度は1,200 ポーである。

3. 車両総合制御装置

3.1 装置の目的、要件

3.1.1 開発目的

車両総合制御装置(以下CCUといふ)は、車上通信制御装置(以下TCUといふ)と車上の各種装置との間に位置づけられ、地上コンピュータからの指令信号や、車上の動作信号を適正に判断し、車両が安全確実な自動走行を行なうための信号処理を行なうものである。(図4. 参照) CCUがどう截されるCVS車両の環境条件(温度・振動・湿度・スペース・ノイズ)は地上施設に比べてきわめて悪く、保守点検も不利である。

したがって車上系と地上系における制御の分担配分において、最も単純化された制御方式となるようなシステム設計が必要であり、全体機能とのバランスを考慮しながら、効果的なシステム配分を見いだし試作実験を通じて安価、軽量、信頼性の高いCCUを追求することが主要な開発目的である。

3.1.2 設計主眼点

上記の開発目的を達成するため次のようないくつかの配慮、工夫のもとに設計を行なった。

(1) 環境対策、ノイズ対策

温度・振動などの悪環境下で、安価・軽量なCCUを設計するために、適正なファンアウト制限のもとに市販のICを最大限に活用し、また消費電力の低減、防振構造、耐振構造などの点で多くの工夫を行なった。

さらに、集電ノイズ、整流ノイズ、その他モータ系の大電力制御、多数の誘導性負荷の開閉に伴う各種ノイズによって、CCU内のメモリ、その他が誤動作しないようにするために、適切な信号線の使用や、各種の回路絶縁などの対策をしてノイズの混入を防止し、ノイズマージンの高い回路設計を行なった。

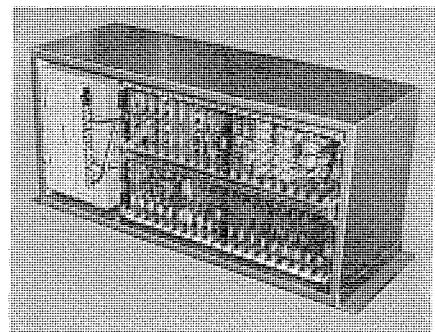


図 4. 総合制御装置 (CCU)

(2) 安全性対策

CCUには保守点検を容易にするために、多数の外部配線用コネクタや、プリント板用コネクタを使用し、また回路絶縁のためにリードリレーを使用するので、これらの接触不良に対して安全側に動作するような設計をする必要がある。このため TCU～CCU間の信号受渡しに関しては、ライドライバ／レシーバによる差動回路で信号交信を行ない、バイアス回路を付加してフェールセーフの交信を行なうようにした。

またプリント板間の信号受渡しに関しては、活性信号(電源投入指令や速度指令など)に対しては「L」駆動方式とし、制動信号・故障信号に対しては「H」駆動方式としたので、デジタルICの持つ性格からフェールセーフ性が確保される。

さらに、リードリレー等の接点で信号を受渡しするものについて、安全上必要なものはマイナーラップで指令／応答の一致検定を行ない、すみやかに故障報告を行なって、適切な処置がとられ、安全性確保が行なわれるようとした。

その他負荷側コネクタに関しては負荷応答の確認、負荷の断線検出等によって故障報告を行なうことにより適切な処置がとられ、安全性確保が行なわれるようとした。

3.2 周辺機器の概要

CCUを中心としたパーソナルカーの車上機器の構成は図5.に示すとおりである。(図中、実線部は三菱電機担当部分である。)

3.2.1 電源系統

CVS車両の電源(AC 200 V 単相)は走行軌道の誘導こうに沿って設けられた架電線から、車両下部に設けられた一对の集電子を介して車上に供給される。

この電源は架電線電圧異常低下防止用の交流リクトル(ACL)を通してメインコンタクタボックス(MCB)へ接続されるとともに、非常走行用電池、制御用電池の充電器へ接続されている。MCBはこれらの交流電源や電池電源と各種装置間の電源開閉を行なうものであり、その制御はCCUからの指令によって行なわれる。

ただし、CCUの電源となる制御電源に関しては、MCB内の集電センサが作動すれば自動的に投入され、以後CCUからの指令により保持されることにより送電断区間での制御が可能になる。

3.2.2 走行系統

MCBからの交流電源はパワーコントロールユニット(PCU)によって全波整流・位相制御され、電流平滑用直流リクトル(DCL)を介して走行モータ(TM)へ供給される。その駆動電流はCCUからの電流指令に比例した値となるようPCU内でフィードバック制御されている。

プロアモータ(BM)で強制冷却される走行モータ(TM)は、力行運転

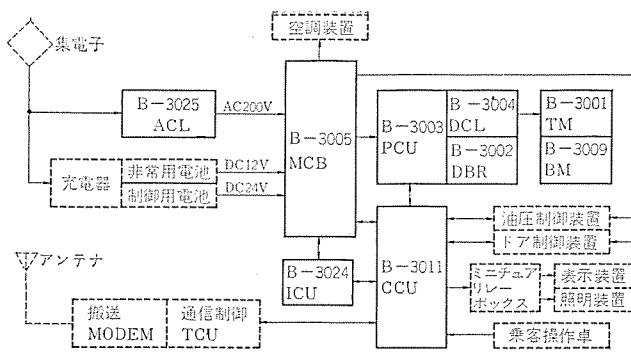


図 5. 車上機器の構成

時直流直巻電動機、制動運転時他励磁分巻発電機として使用され、制動時の発電エネルギーは PCU によって制御され 2 段切換電制抵抗器 (DBR) へ放出される。

3.2.3 通信系統

地上コンピュータと車両間のデータ交信は、走行軌道に沿って設けられたより (撲) 合わせ対形誘導無線伝送路と、車両下部に設けられたアンテナを介して行なわれ、変復調搬送装置 (MODEM)・通信制御装置 (TCU) を中継して CCU へ接続される。

なお TCU はポーリング制御・符号検定・直／並列変換等データ伝送に固有の制御を行なうものである。

3.2.4 制動・操向系統

通常走行中の車両の減速は走行モータの発電制動によって行なわれるが、車両駐車時、下り坂の追い風走行時、定位停止時、発電制動故障時のバックアップとして強・弱 2 段の車輪ブレーキを備えている。

また緊急時に高密度運行している車両の追突を防止するために、緊急制動装置が設けられているが、これは誘導こうのふたを上下にはさみつける方式としており、タイヤ～路面間の摩擦に関係なく、大きな減速度 (約 2 g) の発生を可能にしたものである。

地上転てつ (轍) では高密度運行が困難なので、CVS では車上進路選択方式の機械式誘導機構を採用している。

車上の油圧アクチュエータを作動させることによって、誘導装置のモード (左折、右折、直進の 3 種類) を切換え進路選択を行なっている。

これらの制動、操向制御および操作圧源用補機モータの制御は、地上指令または CCU の判断に基づいて CCU が行なっている。

3.2.5 マン／マシン系統

CVS 車両の利用法は次のとおりである。

(1) 駅その他の場所でチケット、クレジットカード、シークレットカードを購入する。

(2) ゲートを通りプラットホームのリーダへチケット、クレジットカードまたはシークレットカードをそろ (挿) 入する。

(3) 配車された車に乗り、スタートボタンを押す。

(4) 目的地へノンストップで直行する。下車。

これに対し車上の乗客操作端末として、スタートボタン、キャンセルボタン、緊急ボタン、ドア開要求ボタンがあるが、通常はスタートボタンの操作だけでだれにでも容易に利用できる。

また乗客のために発車予告・到着予告・到着表示など各種の表示を行なう表示装置が設けられており、その制御は CCU を介して地上から行なわれる。

なお、寸動運転装置 (ICU) は作業員用の車外操作端末であり、

低速寸動運転・手動操向が行なえるようになっている。

3.2.6 ドア系統、その他

CVS 車両のドアは地上指令または CCU の判断によって自動的に開閉されるが、乗客に不安を与えることなく、円滑・迅速に乗降ができる、また走行中の安全を計るよう、構造・制御の点で多くの工夫がなされている。その他、車内外の照明も地上指令によって CCU が点灯・消灯を行なっている。

3.3 総合制御装置の機能

CCU の機能の概略は図 6 のとおりである。

3.3.1 電源およびインターフェース

CCU とその周辺機器間の接続に関し、TCU・PCU に対してはラインドライバ／レシーバ、HTL 形デジタル IC 等によって直結で信号受渡しを行なっているが、その他の車上機器に対しては、リードリレーで絶縁されたパワートランジスタによる出力回路、センサ入力用リードリレーリー回路等でインターフェースを行なっている。

CCU の電源入力に関しては、DC/DC コンバータによって回路絶縁を行ない、少ない消費電力で ±5 V、±15 V 等の各種、定電圧出力を作って PCU や速度検出器へ供給している。

3.3.2 メモリおよびロジック

地上／車両間のデータ交信はポーリング方式によって断続的に行なわれるが、地上からの指令や、車両の故障状態等はすべて CCU 内の IC メモリによって記憶されている。

そのメモリ出力は CCU 内のロジック回路によってデコードされ、各種車上機器に指令を与えるとともに、その応答はコード化されて地上へ報告される。表 1、表 2 に関連情報および負荷・センサの種類を示した。

3.3.3 比較制御、故障判定

CCU は地上コンピュータからの速度指令と、車上の速度検出器の出力とを受け、これを比較して PCU に対して電流指令を与えるとともにブレーキの制御を行なっている。その他、地上指令と車上機器の応答を比較し、故障の判定、車両状態の判定を行なっている。

車両状態としては、緊急ブレーキ指令中、重故障中、中故障中、軽故障中、車両待機中 (操作圧がまだ十分に上っていない状態やドア開放中で走行できない状態)、緊急通信要求中、車両正常の 7 段階がある。

3.3.4 緊急通信要求

表 1 の中に制御データは比較的高頻度に交信されるが、通信時間の短縮を計るために、サービスデータは必要に応じて適宜交信されるものである。しかし故障発生時やマンマシン要求が発生した場合、すみやかに地上との交信を行なう必要があるので、通信制御の一部補助機能として CCU 内で緊急通信要求を TCU を介し地上側に送

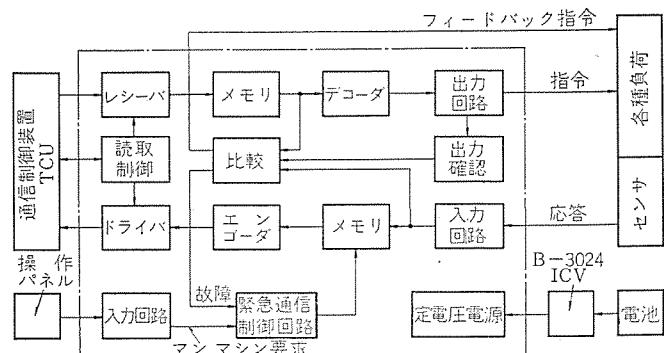


図 6. 総合制御装置 CCU の機能概略

表 1. TCU/CCU 間交信データ

データ 区分	TCU→CCU		CCU→TCU	
	指 令 項 目	ビット数	状態、報告、項目	ビット数
制御	速度指令	7		
	緊急ブレーキ指令	1		
	制動指令	2	制動状態	2
	操向指令	2	操向状態	2
	集電指令	1	集電状態	1
	定位停止指令	1	停止報告	1
サービス	補機電源指令	1	補機電源状態	1
	発進許可指令	1	操作正状態	1
	連結指令	1	連結状態	1
	照明指令	1		
	乗車指令	1	Fア開要求	1
	降車指令	1	Fア閉状態	1
	サービスデータ調査	1	故障詳細	3
	到着表示指令	1		
	到着予告	1	発車要求	1
	退避、荷機、発車予告	2	乗客異常	1
その他	行先変更	1	キヤンセル要求	1
	電池走行指令	1	電池走行状態	1
—	合 計	30	合 計	21

表 2. CCU の負荷およびセンサ

区分	負荷		センサ	
	項目	個数	項目	個数
電源	補機電源リレー	1	補機センサ	1
	充電解除リレー	1	電池異常検出	1
	電池走行用リレー	1	電池走行センサ	1
	メインコンタクタ用リレー	1		
	制御電源	3 直流		
走行	電制コンタクタ用リレー	1	電制ノブ行検出	2
	電流制御装置	3 回線	過熱センサ	1
	電制抵抗切換装置	1	集電センサ、離脱センサ	2
制動操向	油圧ブレーキ	2	速度検出	1
	緊急ブレーキ	2		
	操向誘導輪	2		
	操向パッタアップ	2		
ドア 表示灯 操作車	ドア開閉リレー	1	操作圧センサ	1
	表示、灯火リレー	8	ブレーキセンサ	2
			操向センサ	4
車両運転			乗客操作スイッチ	4
—	合 計	29	合 計	35

っている。

4. 駆動系制御装置

4.1 制御方式

CVS の車両制御システムの中核をなすのは、ムービングターゲット法と呼ばれる制御方式である。

この方式では実際のウェイと等価なウェイを計算機の中に想定し、そのうえをムービングターゲットと呼ばれる点が移動する。計算機内のウェイをターゲットが走るように実際の車両を制御する方法がムービングターゲット法である。

ムービングターゲット法の特長としてはつぎのことがあげられる。まず第1にターゲットの間隔を安全な車間距離に保っておくので、車がターゲットにうまく追随さえしていれば前の車の位置を知らないでも安全に車が運行できる。第2に合流交差部でターゲットが一致するようにしておき、ターゲット番号も同一の番号を付けるので車は異なる番号のターゲットに乗ってさえいれば衝突することはない。したがって上位の制御は、車をどのターゲットに割り振るかを決定するだけよいし、下位の制御は上位から指定されたターゲットに車両をうまく追随せることに専念すればよい。

このムービングターゲット法を成功させるためには、まず下位の制御がうまく行なわれることが必要条件である。ターゲットに車を追随させるための全制御系の一例を図7に示す。この制御系では位置の量子化を約1m、速度の量子化を0.625 km/h、サンプリング周期0.5秒としており、ターゲットの位置の微分値、すなわち速度にターゲットの位置と車両の位置偏差に比例した値を加算し、これをもって車両への速度指令としている。したがって車両がムービングターゲットに遅れると速度指令が増加されターゲットに追随するように制御される。

シミュレーションの結果、位置偏差に対する速度指令の補正是 $Kx = 1$ (km/h)/m 程度、0.1g の加速を行なうには車両の最大加速度は0.2 g 程度が適当とされている。この制御系においては乗りごこちをそこなわずにいかに位置偏差を小さく抑え得るかが問題であり、今後実車テストにおいて各部のゲイン等の適正値を追求していかなければならない。

4.2 主電動機

4.2.1 要目

形名: B-3001

形式: 直流直巻補極付き、他冷強制通風方式、回転検出器付

定格: 13.0 kW 120 V 125 A 4,950 rpm

絶縁: F 種

重量: 85 kg

特性曲線: 図9.

4.2.2 構造

主電動機の外観を図8に示す。主電動機の回転は、後車輪軸の差動歯車減速装置に伝達され減速される。電動機には減速器は付いていない。また電動機の速度制御のための、回転パルス信号発生器を内蔵している。

4.2.3 絶縁

電機子は2.2×8.5の0-EIW 平角線を使用し、スロット絶縁としてはノメックスシートを使用している。ワニスは2液型イミド変性不飽和ポリエチル樹脂をベースとする滴下含浸樹脂である。

界磁コイルおよび補極コイルは3.2φ0-EIW の丸線を使用し、成型

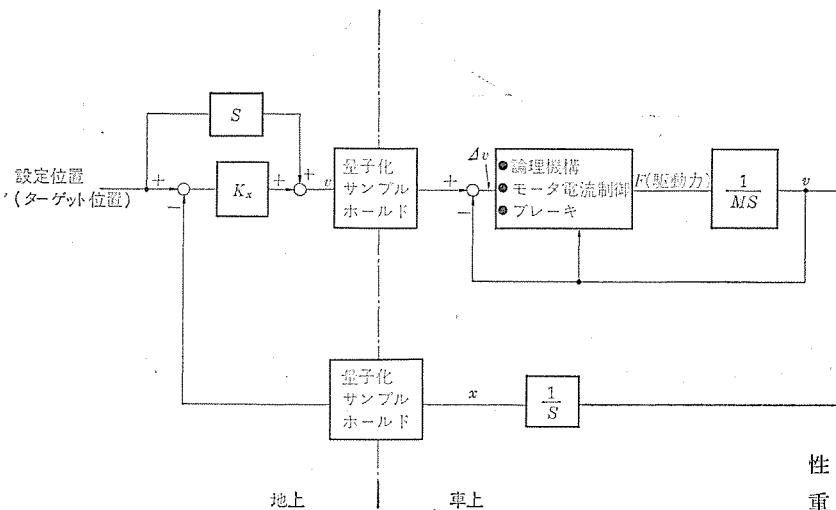


図 7. 全速度制御系 ブロック図

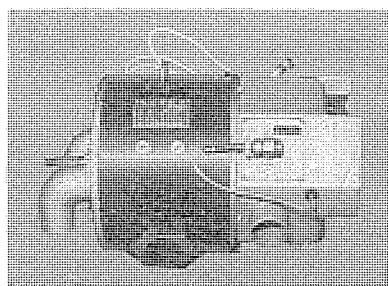


図 8. 電動機

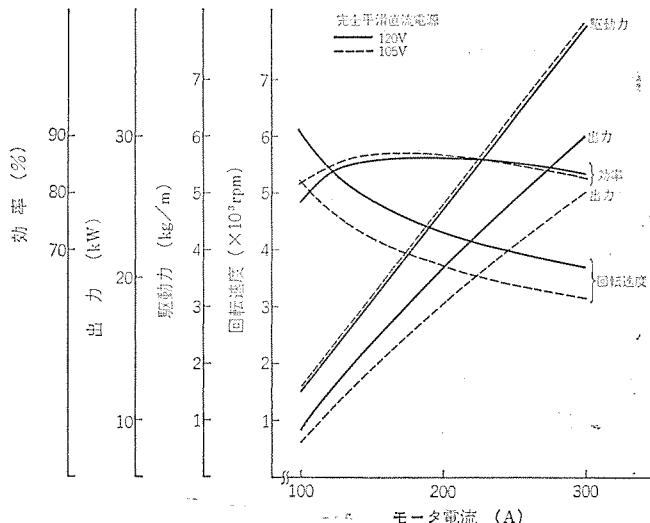


図 9. 電動機の出力特性

巻上げ後、外装絶縁としてガラステープ半重巻とし、ワニスはサイ6513-2を真空含浸処理を2回行なっている。界磁コイルの熱容量が小さいため、セリサイトFSにてポールコアと固定し、熱の発散をよくする対策を行なっている。

4.2.4 高脈流率電流対策

単相全波位相制御電流が0から360A程度までと広範囲にわたって変化するため、リップル率は60から70%に達するときもある。この対策として、電源に対して直列に下記の直流リアクトル(DCL)を使用している。

形名: B-3004

形式: C形コアリアクトル

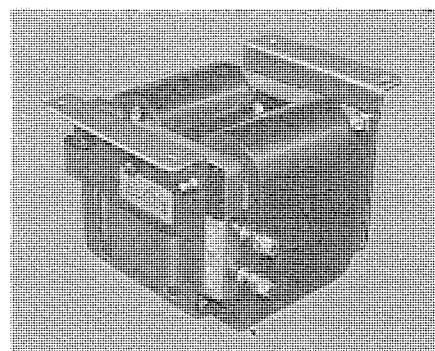


図 10. 直流リアクトル

性 能: 電流0~400Aの範囲で1.7~0.4mH

重 量: 25kg

外 観: 図 10.

また高脈流率電流の場合問題になるのは整流であるが、この対策として次の事柄を実施した。

(a) 主極エアギャップを大きくとて、変圧器起電力を減少させる。

(b) 電機子コイルの巻数を最小の1とし、リアクタンス電圧を極力減少させる。

結果的には、使用全域にわたって1~2号火花の整流性能を得ることができた。

4.2.5 走行特性曲線

図11.に示すごとく、平たん地で80km/h近くまで速度を出すことができる。また最高加速力は0.2g以上を目標に出力トルクを設定した。これはムービングターゲットへの追従能力から必要な値として決められた。またスーパーウェイでの走行条件として、連続走行60km/h可能なることも、設計方針として規定されている。

4.2.6 热容量計算

ランカーブの詳細な仕様は明確でないが、電動機仕様書に従って、設計・試作し十分満足すべき値を得ることができた。そして、バス内ループ一周の走行パターンが提示されたので、それに基づき RMS電流を計算した結果111A程度となった。これは連続定格電流以下であり、十分使用に耐えると判断している。一方スーパーウェイでは、加減速のひん度がバス内走行に比較して少ないと判断されるため、これも問題ではないと考えている。

図12.はバス内ループ一周走行パターンである。

4.3 制御装置

4.3.1 車上制御系

車上の速度制御系を図13.に示す。地上コンピュータから誘導無線を介して指令される7ビットの速度指令 V_s は、ホール回路を経てD/A変換される。変換後一次遅れのジャクリミッタをとおして実車速 V_m と比較され、その比較結果すなわち速度偏差に応じて図14.に示すような電流指令 I_s が電流比較回路に与えられ、モータ電流が所定の値になるようにフィードバック制御される。力行、発電制動の間には不感帯を設けて回路の不要の切換をなくすとともに乗りごこちをよくしている。図14.中の速度偏差の数値は実験車のゲインの可調整範囲を表わし()内の数値は設定値を表わしている。

通常の走行においては力行および発電制動により速度制御されるが、下り坂、追い風、発電制動の故障等で実車速と指令車速との差が所定の値をこえると車輪ブレーキが作動する。(図13.の協調ブレ

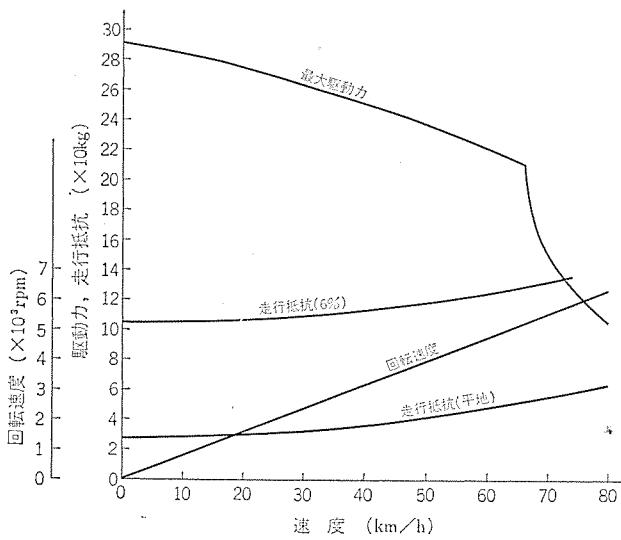


図 11. 走行特性

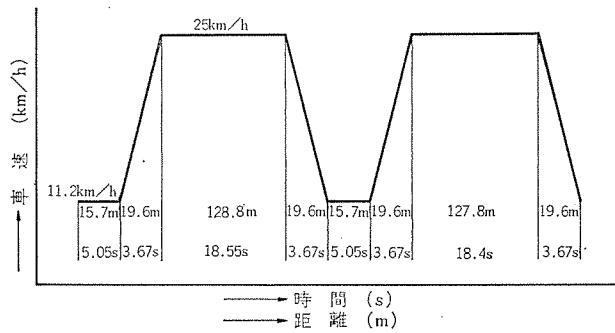


図 12. 走行パターン

）。また発電制動は低速域で制動力が減少するので所定の車速以下では発電制動を中止して車輪ブレーキだけを作動させている。（図 13 の低速ブレーキ）、車輪ブレーキは強（約 0.2 g）弱（約 0.1 g）の 2 段であるが、緊急用として誘導こうのふたを直接はさむ緊急制動装置（約 2 g）を備えている。

定位置停止は車速約 10 km/h から最大の発電制動特性にしたがって、減速してあらかじめ設定した車速でだ（惰）行に入り、3 点の地上子により車速を検知され、地上側からブレーキ指令を受けて停止する。

4. 3. 2 主回路

主回路の構成は図 15 のようになっており、単相交流 200 V をサイリスタ、ダイオードからなる混合ブリッジにより、位相制御して直巻電動機の制御を行なっている。

力行時には K_2 がオフになっており、電流は整流ブリッジ $\rightarrow D_3 \rightarrow F_{U_2} \rightarrow MA \rightarrow MF \rightarrow DCL \rightarrow$ 整流ブリッジを流れる。

発電制動時には K_2 がオンになり、界磁だけが位相制御され電機子電流は抵抗 R_1, R_2 を流れる。 D_3 は電機子短絡防止用である。発電制動の制御は電機子電流と界磁電流の和が電流指令値と一致するようになされる。また車速に対する制動力の変動を小さくするために CR_3 によって制動抵抗を 2 段に切換えている。制動特性を図 16 に示す。

4. 3. 3 ゲート制御回路

ゲート制御回路の構成を図 17 に示すが、おもな特長を記す。

(1) 電流比較回路

演算増幅器により電流指令値と電動機の電流を平滑したものとを

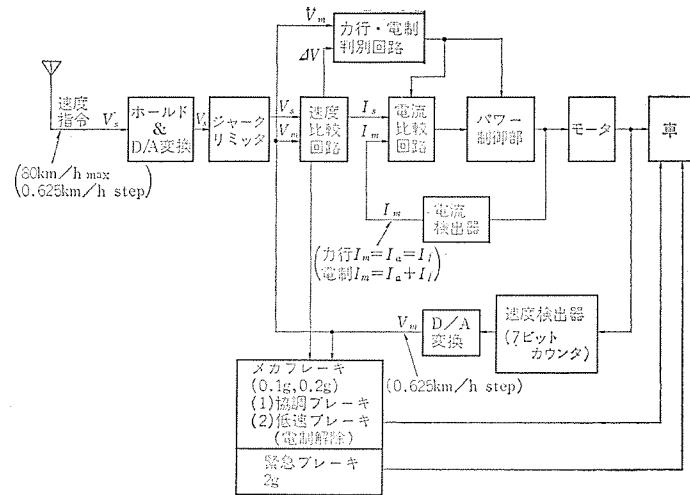


図 13. 速度制御系 ブロック図 (車上)

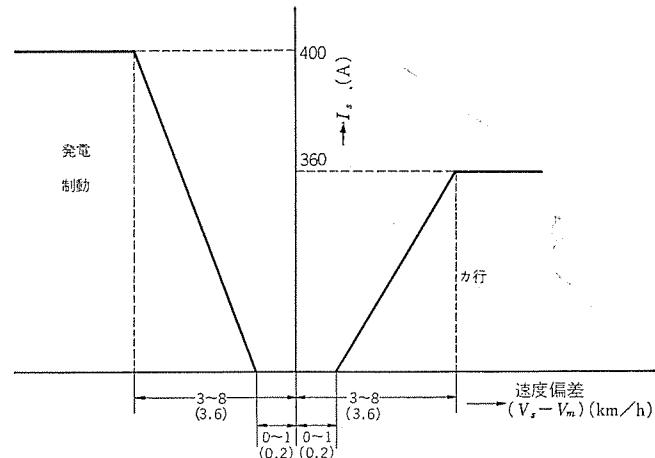


図 14. 速度偏差とモータ電流の関係

比較している。発電制動時には回転数が高いほど系のゲインが大となり電流制御系が不安定になるので、ゲインの切換えを行なっている。

(2) 移相回路

従来から車両用として広く使用されているレミ形磁気増幅器の代りに、フォトカプラ（発光ダイオードとフォトトランジスタの組合せ）を使用して制御電源 (± 15 V) と同期用の AC 200 V 系との絶縁をとり、小形・軽量化を計った。

(3) ゲートアンプ

ゲートアンプは交流電源の半波でコンデンサを充電し、次の半波でこのコンデンサを小容量のサイリスタを介してパルストラnsに放電させる回路を 2 組用いることにより、常に安定したゲートパルスを得ている。

(4) 離線検出回路

集電子が一对しかないため、とくに高速時離線を生じやすい。離線すると電流フィードバックが減少して電流偏差が大きくなるが、この状態で復帰すると過大な電流が流れるので、離線を検出して電流指令を減衰させようとしている。

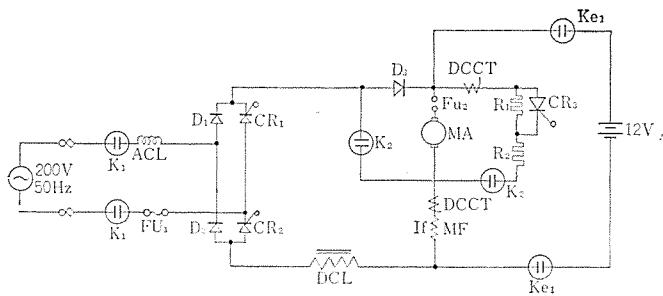
4. 3. 4 制御装置の概略仕様

(1) パワーコントロールユニット (PCU)

形 式： B-3003

方 式： 混合ブリッジによる単相全波位相制御

制御対象： 直流直巻電動機



記号	名称
K ₁	メインコンタクタ
K ₂	発電制動用コンタクタ
ACL	AC リアクトル
DCL	DC リアクトル
MA	電動機電機子
MF	電動機界磁
CR _{1~3}	サイリスタ
D _{1~3}	ダイオード
FU _{1,2}	ヒューズ
R _{1,2}	発電制動用抵抗
K _{el}	電池走行用コンタクタ
DCCT	直流変流器

図 15. 主回路構成

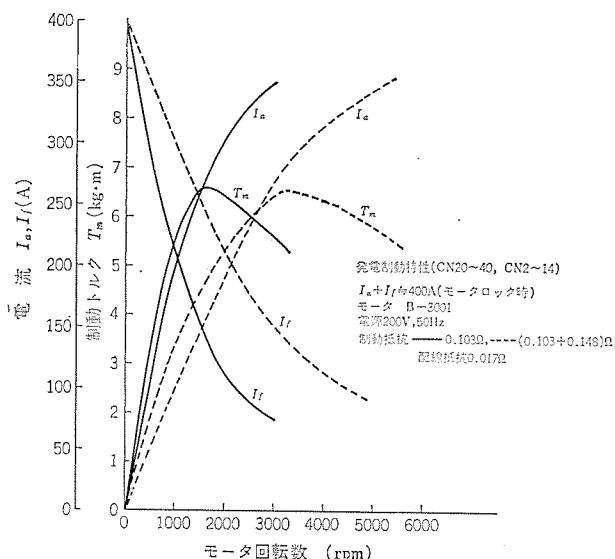


図 16. 発電制動特性

負荷電流： 125 A 連続

電源： 単相交流 200 V, 50 Hz

電池走行： 12 V バッテリ (非常用)

制御電源： DC 24 V, および ±15 V 定電圧電源

(2) メインコンタクタボックス (MCB)

形 式： B-3005

コンタクタ： モータ回路用 (AC 200 V, 125 A)

制御電源用 (DC 24 V, 25 A)

補機電源用 (AC 200 V, 10 A)

電池走行用 (DC 12 V, 125 A)

(3) 発電制動抵抗 (DBR)

形 式： B-3002

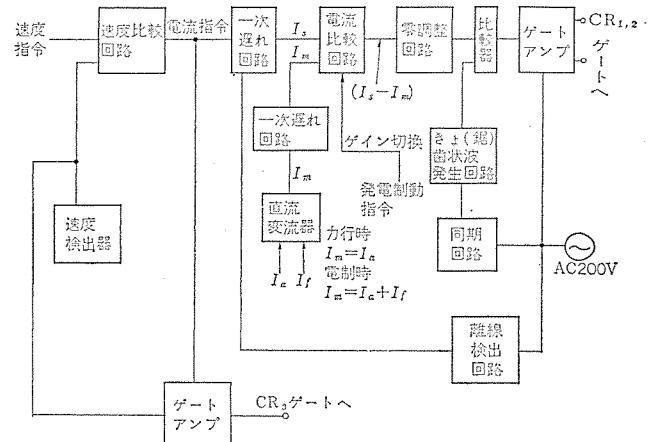


図 17. ゲート制御回路構成図

種類： 鉄クロム

抵抗値： 0.148(Ω) + 0.103(Ω)

4.3.5 試験結果

現在も東村山実験線で実車試験中であるが、代表的な車両の応答性を図 21 のオシログラムに示す。

このオシログラムは、ゲインおよび不感帶を図 14 の可変範囲の中から () 内に示した値に設定し、車両総重量を約 1,100 kg、ジャークリミッタの時定数を 0.1 秒、速度指令を 0.625 km/h ステップで加減速度 0.1 g となるよう与え、平地において測定したものである。

図 21. を見ると力行時には地上からの速度指令によく追従していることがわかる。定常偏差が若干あるが、ゲインの調整、不感帶調整をすると、実際にはもっと少なくすることが可能であり、また、偏差は地上のコンピュータにより補正されるようになっているので、ターゲットにはうまく追従することができる。発電制動時には、低速域で制動力が減少するため追従性が悪くなっているが、実際には低速域になると発電制動を使用せず、メカブレーキを動作させるので問題はない。

5. むすび

本文では実験装置・チェック装置について述べなかったが、短期間での製品完成を必要としたので、性能確認、実用性、信頼性向上、各種試験時間短縮を目標に各種チェックおよび試験設備の改善、実車での手動制御装置の開発などにもかなりの成果をあげた。

CVS が新都市交通システムとして、その機能を十分に発揮するための技術的研究課題は、面交通を可能にするための、平面交差および車線の選択技術、事故の防止および車線容量増大のための車両制御技術、および個別の交通需要にすみやかに、かつ円滑に対応するためのシステムコントロール技術であろう。

一方これらの技術が確立されたとして、実社会へ適用する場合の問題点は経済性、都市美観との調和、日照権問題、在来道路上の専用ウェイを建設する場合の施工方法、メンテナンスエリアを含めた用地の確保、法的な問題を含めて行政所管や運営主体の問題などをいかに解決していくかが今後の問題であり、その結論によっては大きく左右される部分が多いと考えられる。

最後に、この装置の開発に協力していただいた関係各位に深く謝意を表し、今後の発展、玉成についても、なお一層のご協力をお願ひする。

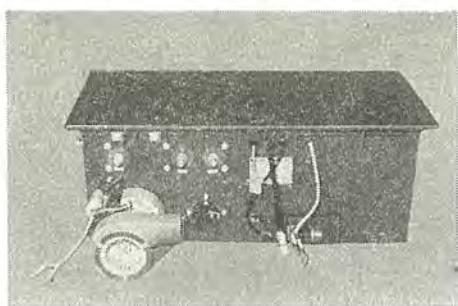


図 18. パワーコントロール ユニット

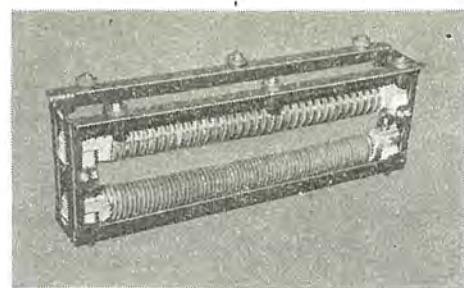


図 20. 発電制動抵抗



図 19. メインコンタクタ ボックス

参考文献

(1) 安部：自動車技術, 26, 11, 特集 7 (昭 47)

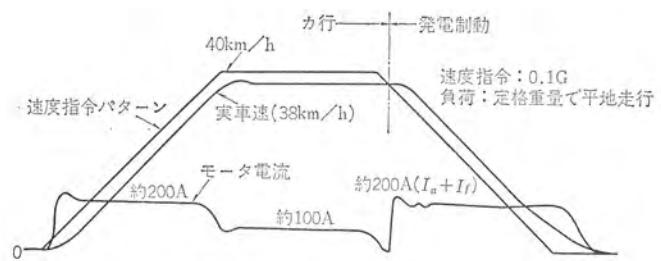


図 21. 実車走行試験 オシログラム

- (2) 石井ほか：計測と制御, 11, No. 1 (昭 47)
- (3) 井口ほか：オートメーション, 17, No. 10 (昭 47)
- (4) 日本鉄道 サイバネティクス 協議会編：第9回鉄道におけるサイバネティクス 利用国内シンポジウム 論文集 (昭 47)

大気中電子ビーム溶接機

秋葉 稔光*・小浜 太郎**・斎藤 竜太**
滝 正和**・大峯 恩+

1. まえがき

電子ビームを熱源として用いる試みは古くからあり、溶接の分野においても電子ビーム溶接法として知られている。この電子ビーム溶接法は、電子ビームを使わない他の溶接法に比して被溶接物の狭い面積に大きなエネルギーを集中させることができるために、ビート幅に比べて深い溶け込みが容易に得られ、すぐれた加工法として広く工業界に用いられている。しかし一般に、電子ビームの発生過程が 10^{-4} torr 程度の高真空中で行なわれる所以、溶接はもっぱら真空中で行なう真空中電子ビーム溶接機が発達した⁽¹⁾。しかしながら真空中電子ビーム溶接機は、被溶接物をいちいち真空中に設定せねばならず、そのたびに要する排気時間はいちじるしく生産性を低下させる。また被溶接物の大きさは真空中の溶接う（槽）で限定される。

電子ビーム溶接の長所を残しながら、電子ビームを使わない従来の溶接法のように大気中で溶接できれば、電子ビーム溶接はさらに有効な溶接法となることは明らかで、筆者らは金属の高速連続溶接を目的として、真空中で発生した電子ビームを細孔を通して真空中にひき出し、大気中で溶接に用いられるようにした大気中電子ビーム溶接機を開発した。

2. 電子ビームの真空中への取り出し

電子ビームは高真空中で発生させるため、真空中で使用するには何らかの方法で電子ビームを真空中へ取り出さなければならぬ。エネルギーの高い加速器などの分野では、MeV程度以上の高いエネルギーの電子ビームを扱うため、金属の薄膜で真空と大気の境界をつくり、真空を維持しながら電子ビームだけを真空側から大気中へ容易に通過させている薄膜を通過する間に長さ dx 走った電子が失うエネルギー dE は、Betheの量子力学的計算⁽²⁾によると、

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{2\pi e^4 N Z}{m_0 V} \left\{ \log \frac{m_0 V^2 E}{2I^2(1-\beta^2)} - (2\sqrt{1-\beta^2} - 1 + \beta^2) \log 2 + 1 - \beta^2 + \frac{1}{8} (1 - \sqrt{1-\beta^2})^2 \right\} \quad (1)$$

となる。ここに e は電子の電荷、 m_0 は電子の静止質量、 V は電子の速度、 N_a は薄膜材料 1cm^3 あたりの原子数、 Z は原子番号である。 I は薄膜原子の平均の励起エネルギー、 β は光速 C に対する電子の速度の比である。薄膜にアルミニウムを使ったとすると、 1.073MeV すなわち、 $\beta=0.949$ 、 $5,000\text{gau}\beta\text{-cm}$ の運動量をもつ電子に対しては、 $I=150\text{eV}$ として

$$-\frac{dE}{dx} = -3.5 \times 10^6 \text{eV/cm}$$

になる。簡単のため、 dx を薄膜の厚さにとると、電子の飛程 ($1,600\text{\mu m}$, 0.44g/cm^2)⁽⁴⁾ の数 % 程度、すなわち 100\mu m の薄膜では、 $dx=35\text{keV}$ で電子の入射エネルギーに対してわずか 3.5% に過ぎない。上式は電子の飛跡に沿って電子のエネルギー損失を求めたが、薄膜を通過した電子のうち、薄膜に入る前とほぼ同方向をもつ電子が薄膜内で失った確率的エネルギー損失 ΔE を近似的に Landau⁽³⁾、Blunck および Leisegang⁽³⁾ の式で計算しても、 1.073MeV に対して 40keV となり同程度となる。また高エネルギーの加速器は一般に電子ビーム電流もせいぜい 1mA 程度で少なく、この薄膜中の電子のエネルギー損失による発熱を簡単な冷却方法で除去することで薄膜の破損を防ぐことができる。

しかし、電子ビーム溶接に用いる電子のエネルギーは真空中で溶接を行なうもので数 10keV 、大気中に電子ビームをとり出して行なうもので百数十 10keV 程度であるから、 $E=169.8\text{keV}$ ($\beta=0.661$, $1,500\text{gau}\beta\text{-cm}$) に対して式 (1) は

$$-\frac{dE}{dx} = 6.75 \times 10^6 \text{eV/cm}$$

となるが、 $E=169.8\text{keV}$ の電子の飛程は約 80\mu m (0.020g/cm^2)⁽⁴⁾ であるから、 $dx=100\text{\mu m}$ では薄膜中で入射した電子のもつエネルギーのほとんどを失ってしまい、電子ビームの径が十分小さいので、薄膜は局所的に加熱し、瞬時に破損してしまう。

そこで大気中電子ビーム溶接機では薄膜を全く使用せず、高真空と大気との間に図 1. に示すように差圧系を設け、電子ビームは高真空から徐々に真空中度の悪い層を通して大気中にとり出している。この差圧系の設計は、大気中電子ビーム溶接機の電子ビームの性能を左右するばかりでなく、差圧をつくり出す排気ポンプの規模をきめる意味からもきわめて重要である。

3. 大気中電子ビーム溶接機 主要部の構成

大気中電子ビーム溶接機の主要部分の断面を図 2. に、外観を図 3. に示す。大別して中央部の電子銃、電子銃より下部の差圧系、上部の高電圧端末部の 3 部分からなっている。電子銃は当社でこれまでに開発した真空中で溶接する電子ビーム溶接機⁽¹⁾のものと原理的に同様のものであるが、真空中のものより高い加速電圧で電子ビームがよく集束するよう図 4. および図 5. が示すようにウェルトの形状が異なっている。熱陰極形の陰極は 175kV 以上の絶縁耐圧をも

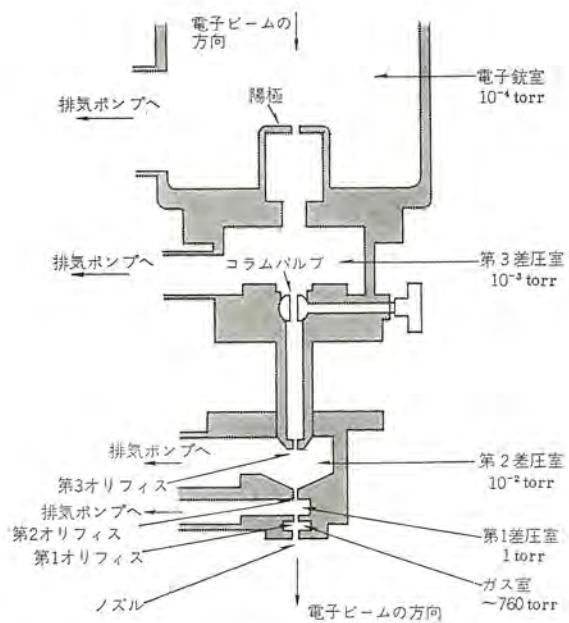


図 1. 差圧系

つがい(碍)子で絶縁されていて、-175 kV の高電圧が印加されている。高電圧電源は大気中電子ビーム溶接機独特のものでなく上述の真空中電子ビーム溶接機のものと同形であるが、出力電圧は真空中電子ビーム溶接機のものより高く最大-180 kV まで発生させうるものを使っている。高電圧電源の出力は外径約 50 mm ϕ の十分な絶縁耐圧をもつ同軸電線で電子銃に供給され、図 2. の高電圧端末部の絶縁油中で陰極に接続している。高電圧電線と溶接機の高電圧端末部の接続はコネクタで行なっているので、組立て・保守の際の電線の着脱は容易である。

電子銃の陰極は、電子ビームの径が小さく、しかも大きなビーム電流が得やすいよう、熱陰極形を採用していること、また、陰極とアース電位にある陽極とのわずか 100 mm 程度の間げき(隙)に 175 kV および高電圧が印加するため、電子銃内部の空間は水冷バッフル付油拡散ポンプで 10^{-4} torr 程度の高真空中に保っている。電子銃の陰極で発生した電子は陰極と陽極の間の間げきにかかる電界で 175 keV のエネルギーに加速され、ビーム状になって陽極中央の開口を通り抜け下方差圧系へと進む。

この部分は大気中電子ビーム溶接機の最も特長的なところである。すでに図1.で示したように、この空間に電子ビームの進路に沿って上部高真圧の電子銃室から、下方大気圧のガス室まで段階的に気圧が高くなるような圧力こう(勾)配をつくり出している。まず、全体として縦に細長い差圧系の空間に、3ヵ所、下から上に向って電子ビームの軸上に、第1、第2、第3の三つのオリフィス(Orifice、細孔)を設けて仕切り、大きく三つの空間、すなわち、第1差圧室(第1オリフィスと第2オリフィスの間の空間、以下同様)、第2および第3差圧室に分離している。この三つの空間はオリフィスで通じているだけであり、オリフィスの径も約1mmΦ程度で十分小さいので、各差圧室が異なった真空度を維持することができる。各差圧室の排気ポンプの種類と大きさはその差圧室に必要な真空度と隣接する高圧力側差圧室からオリフィスを通して流入するガス流量に応じてきめられる。この大気中電子ビーム溶接機ではこれら差圧室の圧力は第3差圧室から順に 10^{-3} torr, 10^{-2} torr, 1 torr のオーダである。これら三つの差圧室のほか、第1オリフィスの下部にもう一つガス室があり、こ

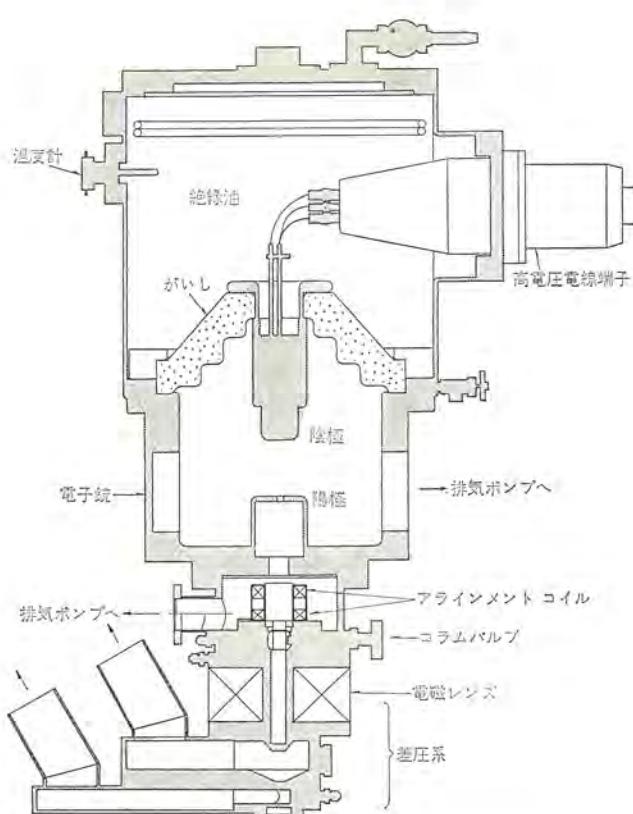


図 2. 大気中電子 $F=1$ 溶接機 主要部断面図

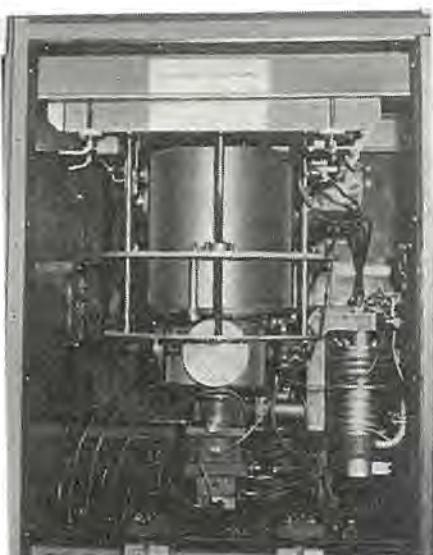


図 3. 大気中電子ビーム溶接機 主要部分

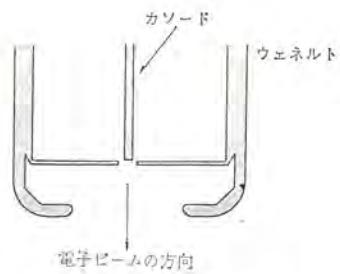


図 4. 陰極部ウェルトの形状

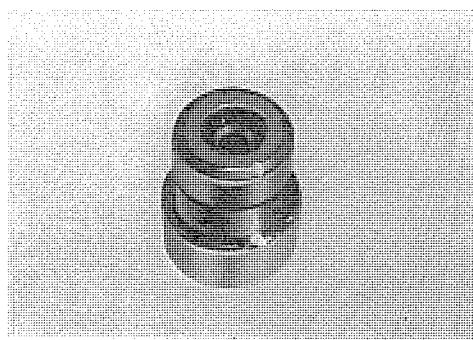


図 5. ウェネルトの形状

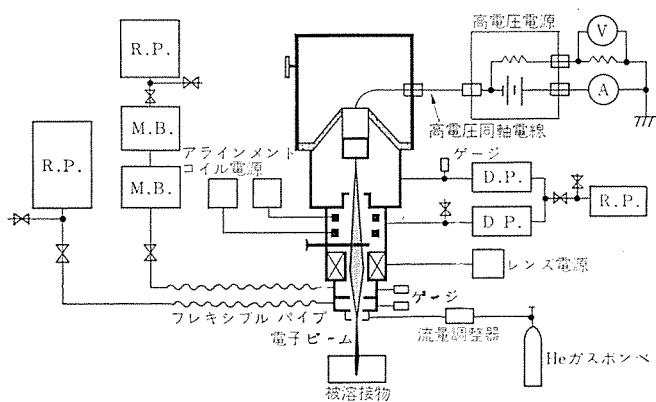


図 6. 大気中電子ビーム溶接機の操作系統図

こに外部から流量調整器を介して、1気圧より少し高い圧力でHeガスなど絶縁性のガスを導入して、電子ビームとともに下側のノズルから大気中に噴出させている。電子ビームと空気分子の衝突で、ガス室のノズル近傍にできるイオンが溶接機内部、とくに電子銃室へ拡散していくのをこのガスが散らしている。

電子銃および差圧系の各部を上記の気圧に維持する排気ポンプは、電子銃と第3差圧室に公称排気速度400 l/sの小形油抜散ポンプ各1コを直結して用い、第2差圧室に対しては公称600 m³/hと300 m³/hの排気速度をもつ2台のメカニカルブースタポンプを直列につないだもの、第1差圧室には公称13,000 l/minのロータリポンプを口径が大きくコンダクタンスの大きなゴム製のフレキシブルパイプで連結して排気している。排気系に関する大気中電子ビーム溶接機の操作系統図を図6に示す。

電子銃から出る電子ビームの軸方向と差圧系の三つのオリフィスの中心がつくる軸は完全に一致しないなければならないが、陰極と差圧系の距離はかなりあり、数多い部品の工作精度と組立精度の限界から、一般にそのままではわずかに一致しない。陽極を通過して差圧系に入った電子ビームは、真空中に置いた一対の薄形アラインメントコイルを通る間に電子ビーム軸の平行移動と角度補正を受け、その後通過しなければならない三つのオリフィスの軸に完全に一致する。アラインメントコイルはラウンド管の電子ビームを偏向するときに用いる電磁偏向コイルと同様、電子ビームの軸が中心になるようなリング状のコアに2組のコイルが巻いてあり、互いに直角でしかもリング状コアの軸にも直角な一様磁場ができるようになっている。これら2組のコイルの励磁電流を独立に調整することで、磁界ベクトルはリング状コアの軸に直角な面内で任意の方向に向けることができる。図2に示すように上下一対のアラインメントコイルの合計4コのコイルの上下対応するものに同じ大きさで逆方向の電流を流せば、電子ビームを平

行移動させることができ、また励磁電流の絶対値を変えれば、電子ビームを平行移動させ、かつ相応の角度補正を行なわせることができる。

電子銃から出る電子ビームは電子銃のエミッタスが十分小さく、直徑の小さな平行ビームであるが、電子銃から離れるに従ってわずかに発散していき、アラインメントコイルによって電子ビームの軸とオリフィスの中心が完全に一致しても、そのままではオリフィスを通りない。そのため、電子ビームは第1オリフィス付近がビームウェスト（電子ビームの径が最も小さい部分）になるように、オリフィス群の上部にある間げき形の電磁レンズで集束させる。電子ビーム溶接機は電子顕微鏡とちがって、物体とその像の関係をとり扱わないので、オリフィスの所では電子ビームの径さえ細ければよく、必ずしも電磁レンズの物点に対する像でなくてもよい。この場合、電磁レンズの励磁電流は第1オリフィスに物点の像を結ばせる励磁電流よりわずか小さい電流となっている。三つのオリフィスの直徑は1~3 mm^φで小さいが、互いの距離が比較的近いので、オリフィスはすべてほぼ一つのビームウェスト範囲に入ってしまい、電子ビームの中心部はオリフィスには触れないで通過することができる。

しかしながら、電子ビームのエミッタスが小さいとはいえ、電子ビーム断面は密度分布をもち、周辺部のビームについては電流量は少ないながらも、エミッタスの大きいビームも存在する。これら周辺部の電子ビームはオリフィスでさえぎられるが、全電子ビーム電流に比してごくわずかであってもエネルギーが高いのでかなりの電力となり、オリフィスの温度を局所的に上昇させるので、オリフィスには高融点材料を用い、十分な冷却を考慮した細部構造をもたせている。

溶接機の運転を停止しているときでも、できるだけ電子銃室を大気にさらすことなく真空中に保持しておくため、差圧系上部の電子ビームの通路に回転式バルブが設けてある。

4. 溶接テーブル、X線しゃへい（遮蔽）

溶接テーブルは図3、7.に示すように電子ビーム溶接機主要部の直下に水平に位置し、テーブル面の高さは床面上410 mmに固定である。溶接機主要部下端のガス室ノズル端からテーブル面までの距離は、電子ビーム溶接機主要部の位置を上下方向に小形モータで駆動して0~200 mmの範囲の任意の位置に設定できる。また溶接機主要部は手動で水平面内の位置の微調整も可能である。溶接テーブル面の大きさは実効的に1,500 mm×200 mmで細長く、長さ方向に移動する。細長い2枚の板状被溶接物をつき合せ溶接するときなど、つき合せ面を強く締めつけ、また溶接中に被溶接物が熱的に変形するのを抑えるため、溶融点の前後にローラを置き被溶接物を溶接テーブル面に強く押しつけている。溶接テーブルは高速溶接の実験に適するよう設計してあり、溶接速度2 m/minから最高30 m/minまでの任意の速度で被溶接物を水平面内で長さ方向に走らせることができる。

大気中電子ビーム溶接機は百数10 keV程度のエネルギーの電子線を使用するので、X線の発生を伴う。実験者を保護するため、図8.に見るよう溶接機主要部および溶接テーブルは鉛室の内部に設置している。写真前面は鉛板を張ったとびらが開閉できるようになっていて、溶接距離（ガス室ノズル端と被溶接物表面までの距離）の調整、被溶接物の出し入れは容易である。とびらの面上2カ所ととびらと直角な側面に鉛ガラスでできた窓があり、溶接中の鉛室内の様子を近距離から直視することができる。

X線しゃへい用の鉛の厚さについては、図9.から概算してい

る⁽⁵⁾。図は半波整流形の高電圧発生装置で最大電圧 175 kV で加速した電子線 1 mA を原子番号 74 のタンクスチールの標的にあてた場合、電子ビームに直角な方向に標的より 1 m 離れた場所の X 線の線量率は、厚さ 4.6 mm の鉛でしゃへいした後 0.001 r/h、厚さ約 10 mm の鉛を通過した後では 10^{-7} r/h の程度に減衰することを示している。もっとも大気中電子ビーム溶接機の加速電圧は直流であるから、もう少し厳密には鉛の厚さを約 10% ほど加算しておかなければならない。溶接機で扱う被溶接物は鉄(原子番号 26)を主成分とするものが多いことは、またこの溶接機では X 線の発生点から最も近い側壁までの距離が 0.5 m ぐらいであることを考慮すると、10 mm の厚さの鉛でしゃへいした場合、電子ビーム電流が 100 mA でも X 線の線量率は

$$10^{-7} \times \frac{26}{74} \times \frac{1^2}{0.5^2} \times 100 = 0.014 \text{ mr/h}$$

程度となり問題でない。観測窓用鉛ガラスの特性は比重 4.14、可視光に対する透過率は厚さ 8.5 mm につき 90%、50~300 kV の X 線管から発生する X 線に対して、鉛ガラスの厚さ 8.5 mm につき鉛 1.5 mm に相当するものである。とびら面上の窓には 51 mm の厚さ、他の側面には 34 mm のものを観測窓に用いている。厚さ 10 mm の鉛を張った鉛室の外から溶接中に行なった測定では、漏えい(洩) X 線の線量率はほとんど "バックグラウンド" に埋もれてしまう程度である。

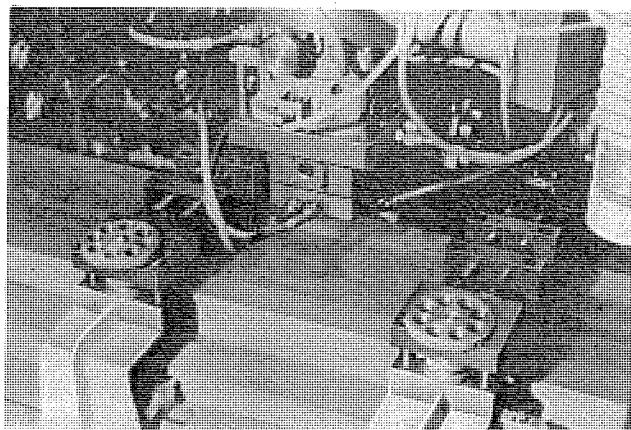


図 7. 溶接テーブル

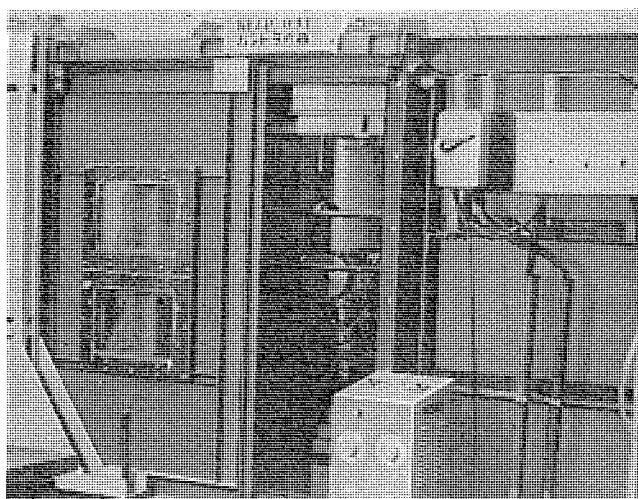


図 8. X 線しゃへい用鉛室

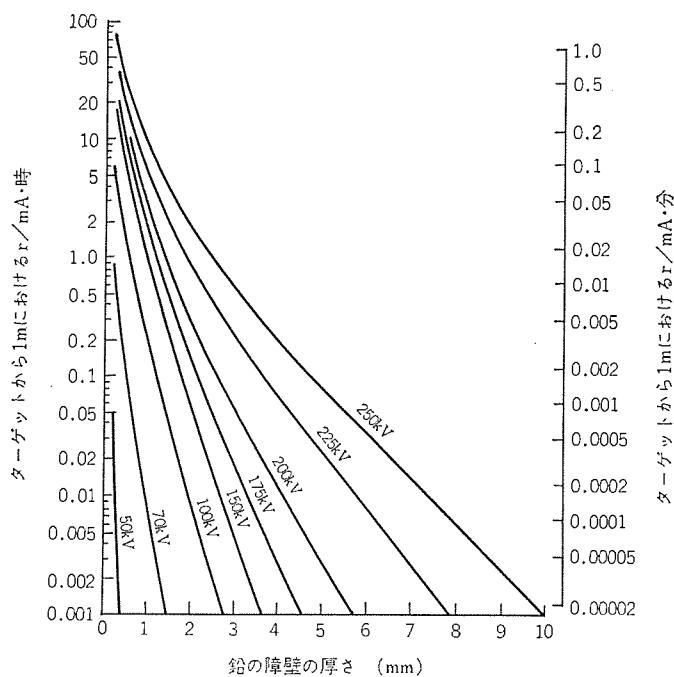


図 9. 鉛の厚さと X 線の線量率の減衰

5. 大気中に出た電子ビームと溶接

真空中で速度をもつ電子が真空中から大気中にでると、空気分子と衝突して散乱され、その進行方向が曲げられる。百数 10 keV のエネルギーの電子が 1° 散乱される微分断面積は窒素原子に対して $10^{-16} \sim 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{sterad}$ ぐらい⁽⁶⁾もあり、大気中では無数に衝突をくり返して電子ビーム全体としては直径が次第に大きくなり、かつ電子のもつ運動エネルギーも減少していく。図 10. に溶接機ガス室のノズルから He ガスとともに大気中に出たビームエネルギー 150 keV、ビーム電流 80 mA の電子ビームが、次第に広がり消滅していく様子がよく見える。

この多重散乱の現象は複雑で、薄い物質層を通過した電子の散乱角についてはいくつかの試算⁽²⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾があるが、大気中に出た電子ビームが多重散乱を連続的にくり返しながら広がっていく形状を明確に表わす式は今のところない。見当として Fermi の式⁽⁹⁾を見ると物質層 $D \text{ cm}$ に入る電子のエネルギーを E とすると、その物質層で多重散乱された電子の偏角 $\theta \text{ rad}$ は

$$\bar{\theta}^2 = \frac{8\pi N_a D Z^2 e^4}{P^2 V^2} \log \frac{a_0 P V}{2 Z^{4/3} e^2} \quad \dots \dots \dots (2)$$

と示している。ここに a_0 水素原子のボーアの軌道半径で

$$a_0 = \left(\frac{\hbar C}{e^2} \right)^2 \frac{e^2}{m_0 C^2} = 137^2 \frac{e^2}{m_0 C^2} = 0.529 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

P は入射する電子の運動量、 V は入射電子の速度、他は式 (1) と同様である。積 PV は古典論では $PV=2E$ 、相対論では $PV=E$ とおくことができるが、エネルギー $E=169.8 \text{ keV}$ の電子は $\beta=0.661$ で完全に相対論的には取り扱えないが、簡単のため、 $PV=E$ とおいてみると、 θ は電子ビームのエネルギーの増加とともに小さく、物質の原子番号に比例する性質のものであることがうかがえる。

真空中とほとんど同じ方向を維持している電子も大気中を通過するに従いそのエネルギーを失って行くが、いま仮に、エネルギー 169.8 keV の電子ビームが、第 1 オリフィスまでは完全に真空中を通り、オリフィス出口を出て 10 mm の大気層を通過し、被溶接物に達したとし

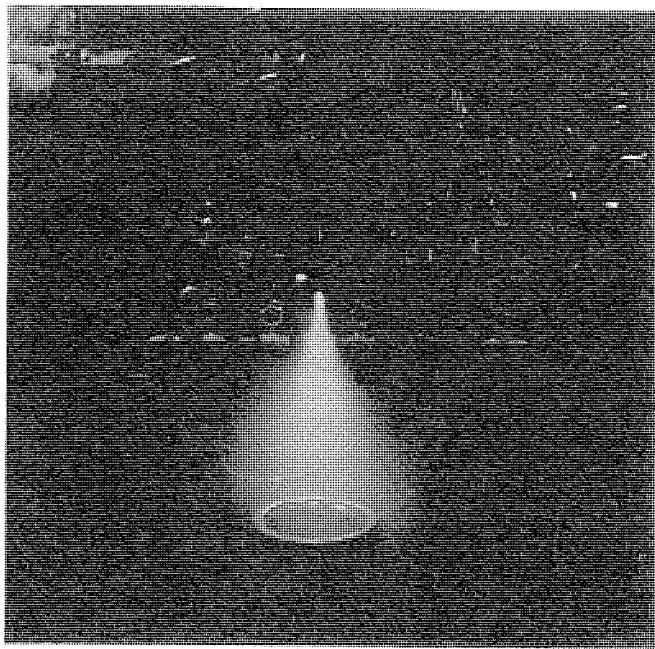


図 10. ガス中で広がっていく電子ビーム, ビームエネルギー 150 keV, ビーム電流 80 mA, ノズルガスは He

て、そのエネルギーの減衰量を式(1)から概算すると、 $dE \sim 3 \text{ keV}$ の程度で割合に少ない。蒸気中をほぼ直すぐ進む電子が長さ dx の間に失うエネルギー dE について Schubert と Schumacher⁽¹⁰⁾ が提案した式

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{E}{2R_f} \left(1 - \frac{x}{R_f}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

で、 R_f を常温の窒素に対する電子の飛程 $R_f = 160 \text{ mm}$, $x = 0$, $dx = 10 \text{ mm}$ として計算してもせいぜい $dE = 5.3 \text{ keV}$ である。実際は電子ビームが通過する気体の温度が高くなっているので、 R_f はもっと大きく、したがって dE はこの値より小さい。しかるに式(2)は物質層が空気の場合

$$\theta^2 \sim \frac{7000D(\text{cm})}{E^2(\text{keV})} \quad \sqrt{\theta^2} = 0.49 \text{ rad} = 28^\circ$$

となる⁽⁹⁾。このように電子ビームは大気中に出ると、空気分子による散乱でそのエネルギーを失うというよりむしろ空気中を通過するに従い電子ビームの径が急激に増大し、ビーム断面の単位面積あたりのエネルギー密度が小さくなり、溶接性能が低下する模様である。

電子ビームの気体分子による散乱は、式(2)にみるように気体原子の原子番号に依存し、原子番号の小さな気体原子ほど電子ビームの散乱角は小さいので、上述のように筆者らの実験では第1オリフィスの大気側にもう一つガス室を設け、数 10 l/min 程度の He ガスを導入し、電子ビームとともにノズルから吹き出すようにしている。この He ガスは電子ビームの散乱を抑える効果ばかりでなく、不活性ガスであるため、電子銃内に拡散しても電子銃内の高温部に化学的に損傷を与えることもなく、また電子ビームとともに大気中に出た He ガスは、溶接の際大気中に置かれた被溶接物の高温部の酸化を妨げるのに役だっている。

6. 溶接例

大気中電子ビーム溶接機を用いて、ステンレススチール SUS-304 においてビードとその断面の写真を図 11., 12. に示す。ビード断面の形

状をきめる条件は、電子ビームのエネルギー、ビーム電流はもちろんであるが、溶接機のノズルからステンレススチール表面までの溶接距離、ビードをおく速度、さらに、ノズルに使ったガスの量に微妙に依存する。図 11., 12. の条件を表 1. に示す。写真および表からエネルギー 150 keV, 電流 80 mA の電子ビームを用いて速度 2 ~ 3 m/min で 3 ~ 7 mm の溶け込みを得ている。

7. むすび

大気中電子ビーム溶接機は、電子ビームを用いて被溶接物を大気中に置いたままで溶接が可能であり、従来の真空中で行なう電子ビーム溶接機のように溶接のつど被溶接物を真空中に入れる溶接機に比べて生産性の面でいちじるしく向上した。表 1., 図 11., 12. に見るよう、真空中で行なう電子ビーム溶接などの断面形状は得られないまでも、電子ビーム溶接のすぐれた特長を残し、細く深い溶け込みを示している。また電子ビームエネルギー 150 keV, ビーム電流 80 mA で溶接速度が 5 m/min に達する高速の溶接性能も、大気中電子ビーム溶接機の長所の一つである。

現在電子ビーム電流 100 mA 以上に増強しており、電力の増強とともにさらに高速の溶接が可能であり、薄い金属材料の連続高速処理などに最適の溶接装置となる。

表 1. 溶接機の使用条件と溶込み深さ

材料番号	電子ビームエネルギー keV	電子ビーム電流 mA	溶接距離 mm	溶接速度 m/min	溶込み深さ mm	He ガス流 l/min
5	150	80	10	5	2.8	95
6	150	80	10	5	3.2	65
7	150	80	6	5	3.4	95
8	150	80	6	5	3.6	65
9	150	80	10	2	6.7	95
10	150	80	10	2	7.0	65
11	150	80	6	2	7.0	95
12	150	80	6	2	7.6	65

参考文献

- (1) 秋葉ほか：三菱電機技報, 47. No. 7, 755 (昭48)
- (2) たとえば、核物理学講座、核実験装置 I, P. 17 (昭35), 共立出版
- (3) 同上, P. 19
- (4) 原子力工学講座、放射線測定装置, P. 27, (昭32), 共立出版
- (5) 放射性同位元素協会：エネルギー 3 MeV までの X 線ならびに密封線源からの β 線および γ 線に対する防護, P. 46, (昭37)
- (6) Schumacher : Electron and Ion Beam Science and Technology, 3rd Int'l Conf., P. 31, (1968), The Electrochemical Society Inc.
- (7) Sternheimer : Methods of Experimental Physics, 5, Part A, P. 73, (1963), Academic Press
- (8) Mott, et al. : 衝突の理論上(訳), P. 237~240, (1964), 吉岡書店
- (9) Fermi : 原子核物理学(訳), P. 48, (1959), 吉岡書店

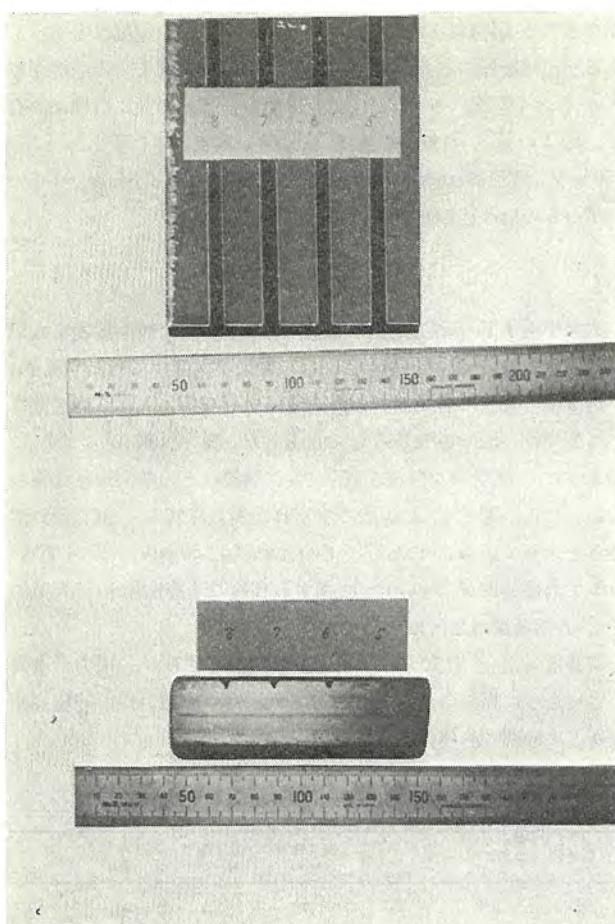


図 11. ステンレススチールにおいてビードとその断面

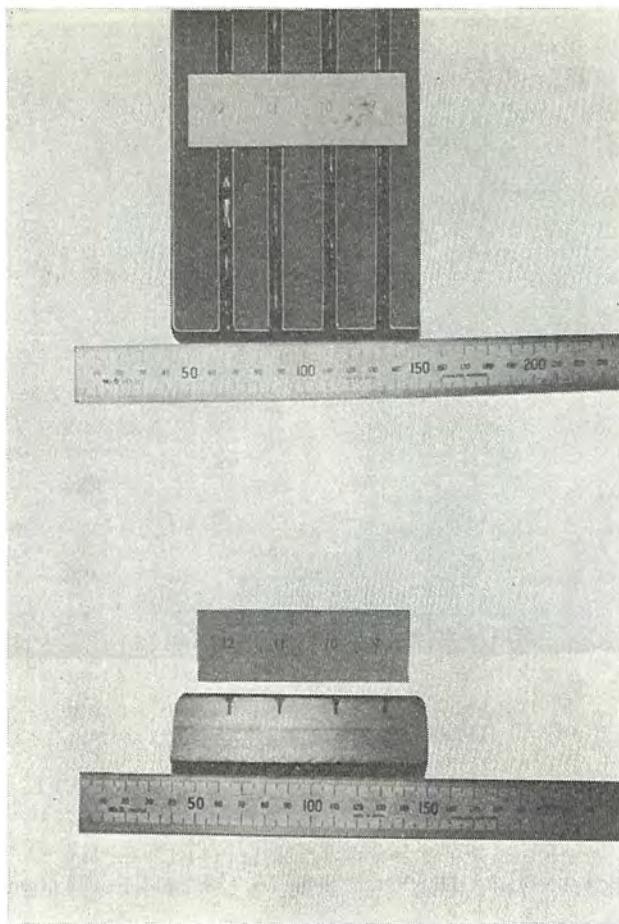


図 12. ステンレススチールにおいてビードとその断面

Electrochemical Society Inc.

- (10) Schubert and Schumacher : Electron and Ion Beam Science and Technology, 3rd Int'l Conf., P. 269, (1968), The

三菱石油(株)水島製油所納め 電力設備運用の合理化・自動化システム

藤芳正二郎*・山下光夫*・木村隆雄**・大木掀爾⁺
梅本隆司⁺・山中彪生⁺・大原洋三⁺・長島 清⁺

1. まえがき

三菱石油(株)水島製油所は昭和 36 年の操業開始以来、石油需要の増大に伴い石油精製プロセスの増設を逐次行なってきた。石油精製に不可欠な蒸気設備ならびに電力設備も並行して増設されてきたが、なかでも電力設備は中央電源設備だけをとっても 66kV 常用・予備受電系統、3 台の発電機、11kV および 3kV の多数のフィーダと、11kV と 3kV 系統の連絡回路がある大規模なものであり、万一電源脱落事故が発生したとき、操作員の判断・操作だけで重要なプロセスおよびユーティリティへの送電を維持することはほとんど不可能に近くなっていた。また、プロセスの近くに設置されているローカル変電所の数もきわめて多数にのぼってきたが、その機器の制御・状態のは(把)握はローカル変電所に行かなければできなかつたので、多大な労力を要するだけでなく正確な判断・迅速な処理を行なう上で不十分なものであった。さらに定期記録項目は中央電源設備だけでも 100 点を越え、操作員の大きな負担となっていた。

これらの点を解決するため、以下に紹介する合理化・自動化システムを導入した。このシステムを導入するため既設の設備の改造も多く必要であったが、とどこおりなく終わり、以来約 1 年間、この合理化・自動化システムは順調に動作している。

本文では水島製油所に導入した電力設備運用の合理化・自動化システムならびにこのシステムの対象である電力設備の概要をまず紹介したあと、このシステムの中心をなす MELPAC 500 自動監視制御装置、MELDAC 500 遠方監視制御装置、および中央監視制御設備について詳細を述べる。

2. 電力設備および合理化・自動化システムの概要

製油所の設備を大きく分けると、石油を精製するプロセス設備、精製に必要な蒸気を供給する蒸気設備、電力を供給する電力設備などになる。今回の合理化・自動化システムで取り扱ったのは電力設備である。ここでは電力設備と合理化・自動化システムの概要を述べる。

2.1 電力設備

電力設備は製油所構内に配置された各種のプロセス設備の近くに設置され、プロセスに必要な電力を必要な電圧で供給するローカル変電所と、多くのローカル変電所に供給すべき電力を電力会社から受電するか、あるいは自家発電設備によって発電する中央電源設備に分けられる。中央電源設備は電力 エネルギー センタ ということができる。

2.1.1 中央電源設備

単線接続図を図 1. に示す。発電設備にはとくに手を加えなかつたが、受変電設備には大略つきのような改良を加え、プロセスにいっそう安定した電力を供給できるようにした。

(1) 66kV 並行 2 回線受電とパイロットワイヤリレーの導入

従来、受電は中国電力から 66kV で常用・予備方式で行なつてゐたが、事故時の常用と予備の切換えには停電を要する欠点があつた。これを並行 2 回線受電とすることにより、1 回線で事故が発生しても無停電で電力の供給を受けられるようになった。このような並行 2 回線受電方式の効果を最大限に生かすために、パイロットワイヤリレーを導入した。これによって 66kV 並行 2 回線のいずれで短絡事故あるいは地絡事故が生じても迅速・確実に検出し、事故回線を供給端(中国電力側)および受電端で開放することができる。

(2) GIS (ガス絶縁開閉装置) の導入

GIS が高い信頼性、大幅なコンパクト化、据付け・保守・点検の省力化、爆発・騒音の心配がなく無公害で安全、大気汚損に強いなどの特長を有することはよく知られている。

66kV 受電設備を既設の開放鉄構方式から GIS に一新したのは、上記の利点が製油所で十分に活用されると判断したからである。供給信頼度の点では、並行 2 回線受電方式、パイロットワイヤリレーの採用によって得られる高信頼度を GIS によって万全にすることができた。コンパクト化の点では、既設設備が約 20 × 40 m の敷地を要していたのに、GIS ではわずか 4 × 15 m 程度の据付面積でよく、きわめて大きな効果が得られた。工場内といえども、据付面積の大きいのは不経済と考えられる時代となってきており、GIS はこれに対する一つの解答であった。

(3) 変圧器の増設

25 MVA 66/11kV 主変圧器と、8 MVA 11/3kV 連絡変圧器を増設し、受電電力ならびに 11kV 系統と 3kV 系統間の融通電力の増加をはかかった。

2.1.2 ローカル変電所

水島製油所の設立以来か(稼)動してきたいくつかのローカル変電所の電気機器を最新のものに取り換える全面更新を行なつた。他の変電所の多くには、フィーダの増設・変更などを行なつた。

プロセス用あるいはユーティリティ用の重要なローカル変電所に至る 11kV または 3kV の系統は、フィーダ しゃ断器およびケーブルとも二重化し、信頼度の向上をはかれた。

MELDAC 500 遠方監視制御装置で監視・制御されるローカル変電所では、いわゆる遠制化改造も実施した。

2.2 合理化・自動化システム

先に述べた中央電源設備ならびにローカル変電所の電力設備の運用・保守の合理化・自動化のために実現したもので、MELPAC 500 (Mitsubishi EElectric Power Automatic Controller) 自動監視制御装置、MELDAC 500 (Mitsubishi EElectric Data Accumulation and Control) 遠方監視制御装置および中央監視制御設備からなる。システムの構成を図 2. 示す。

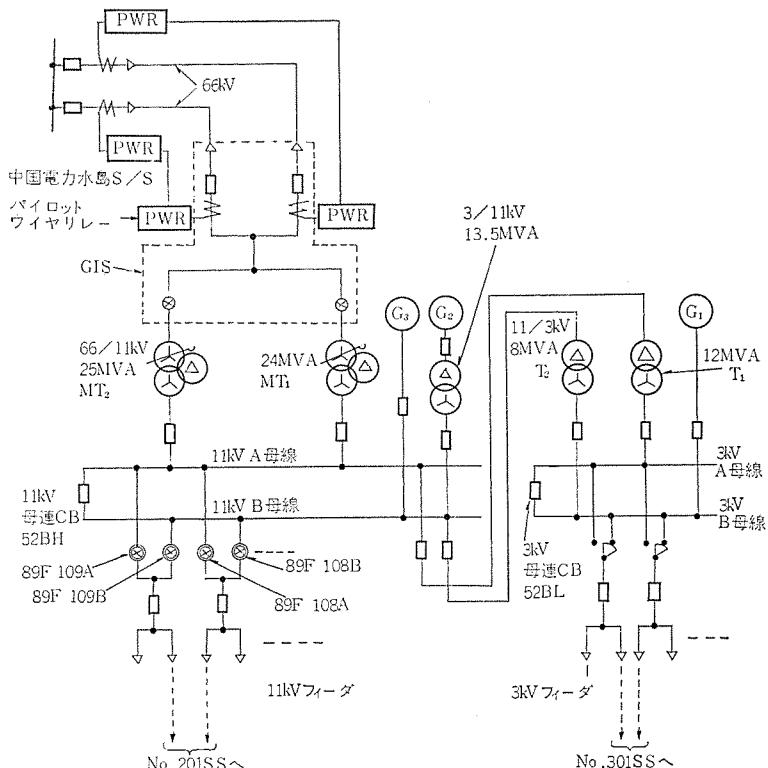


図 1. 電力設備 単線接続図

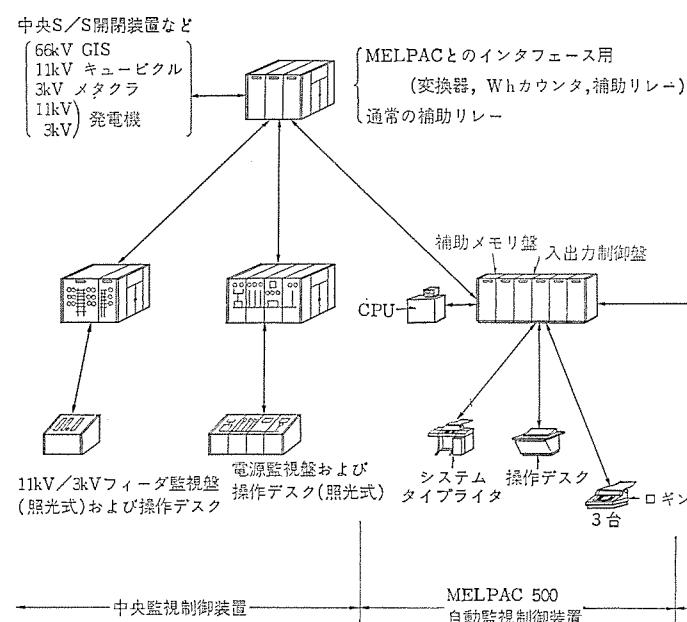


図 2. 電力設備運用の合理化・自動化システムの構成

2.2.1 MELPAC 500

MELPAC 500 は中央電源設備について、負荷選択しゃ断、母線切換え、受電 VAR 制御など重要な制御および日報・月報など作表を実行し、ローカル変電所については MELDAC 500 を介して機器の状態を監視し、操作あるいは事故によりこれらが動作したときにはその記録を実行している。このような記録は中央電源設備についても行なっている。

2.2.2 MELDAC 500

MELDAC 500 は 14 個所のローカル変電所のしゃ断器、断路器、コンタクタなどの操作、開閉状態の確保、保護リレーの動作の確認などを中央制御室から実行するために導入した。開閉状態の表示はカラーブラウン管 (カラーカRT) によって行なうので、表示項目が多いにもかかわらず遠方監視制御盤を小型にできた。先にも述べたように、MELDAC 500 を介してローカル変電所の機器の状態は MELPAC 500 では握されており、これが変化すればタイプライトで自動的に記録され操作員の労力を軽減している。

2.2.3 中央監視制御装置

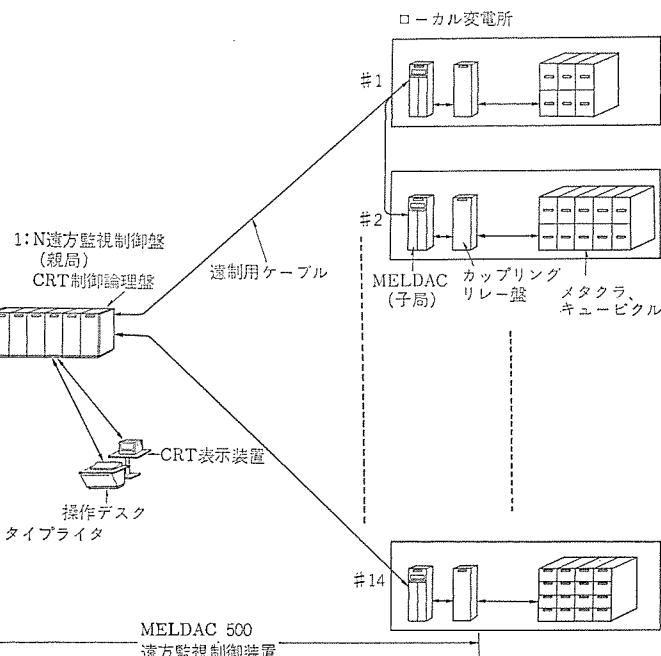
中央監視制御設備は通常の監視制御盤の機能のほかに、MELPAC 500 と受電・発電設備、開閉装置などとのインターフェース、操作員と MELPAC 500 とのインターフェース、および MELPAC 500 のバックアップの機能も有するもので、MELPAC 500 とともに新たに導入した。最新の制御器具・制御方式を導入して既設の監視盤より縮小化するとともに、受電・発電用と工場用に分離し、迅速・確実な操作が行なえるようにした。

MELPAC 500、MELDAC 500、中央監視制御設備の詳細は 3 章～5 章に記す。

3. MELPAC 500 自動監視制御装置

3.1 概要

制御用コンピュータ MELCOM 350/5F を主体とし、電力設備



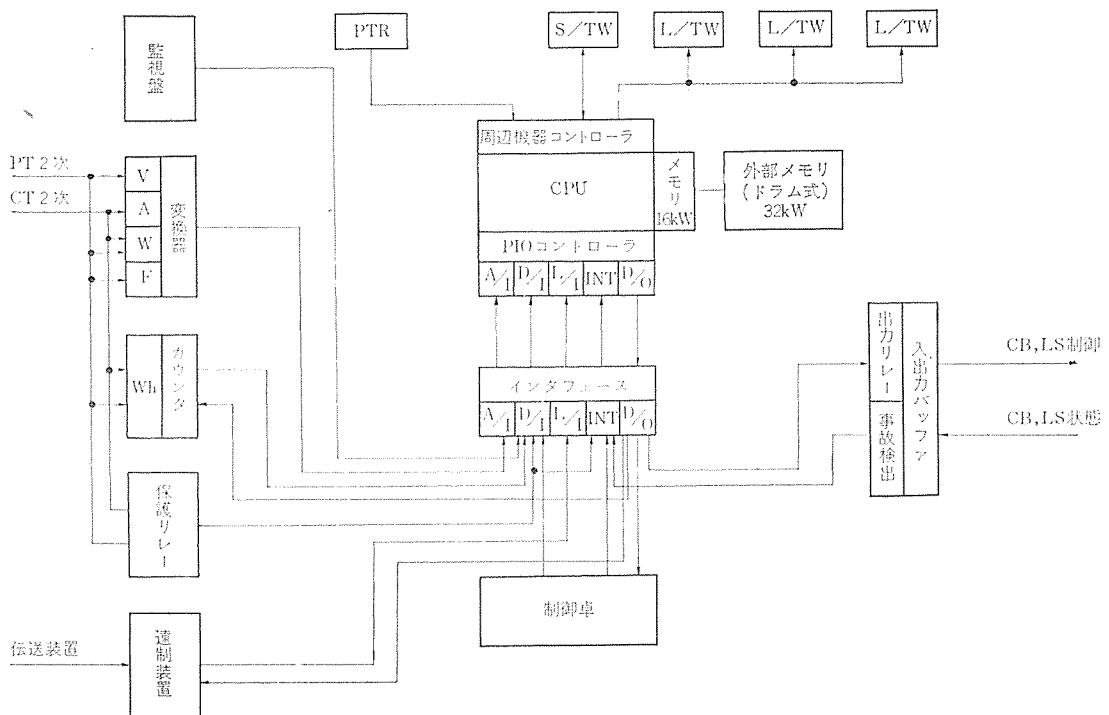


図 3. MELPAC 500 自動監視制御装置の構成

制御システムとして必要な入出力装置を附加したもので、図 3. にそのブロック図を示す。ここで述べる MELPAC 500、および次章で述べる MELDAC 500 は、受電停電時にこそ真価を発揮しなければならない重要な装置であるので、CVCF (無停電電源) 装置で給電されるようにした。

3. 1. 1 装置の構成

装置は次のものより構成される。図 4. に主要部分を示す。

(1) CPU 盤 (Central Processing Unit)

MELPAC 500 の頭脳部分であり、自動監視・制御の命令を判断・実行する。

(2) D 盤 (Drum unit)

磁気 ドラム 式記憶 ユニットであり、演算・判断などの命令あるいは設定値など監視制御に必要なプログラムおよびデータを記憶する。

(3) PC 盤 (Process Control unit)

プロセス入出力と CPU 部分とのインターフェースをする部分である。

(4) IO 盤 (Input and Output unit)

プロセス入出力に 1 対 1 に対応するもので、プロセスと信号の授受を行なう。

(5) IF 盤 (InterFace unit)

(4) の IO ユニットはプロセスに関係なく標準方式のものであるので、これと電力設備の制御に特有な外部条件の接続を支障なく行なうためのものである。

(6) 制御デスク

運転状態の監視ならびに MELPAC 500 の演算・判断などの設定変更などを行なうための、マンマシンインターフェース装置である。

(7) ロギング タイプライタ

日報および月報の作成を行なう。

(8) システム タイプライタ

CPU ならびに磁気 ドラム 記憶装置との対活用に使用するとともに電力設備の機器の動作・操作の自動記録に使用する。

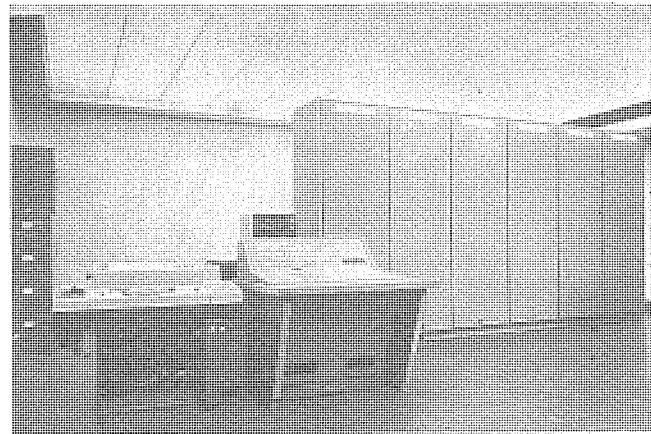


図 4. MELPAC 500 の主要部分

(9) 変換器盤

電力系統各部の電気量を、CPU に読み込むことができる入力に変換・絶縁する。

(10) Wh カウンタ 盤

電力系統各部の消費電力量をカウントし、蓄積しておくとともに CPU の読み込み指令に応じてデータを送出する選択装置を有する。

3. 1. 2 おもな機能

つきの六つの機能を有する。

(1) 負荷選択しゃ断

(2) 母線切換え

(3) 受電 VAR 制御

(4) 受電電力監視

(5) 動作・操作記録

(6) ロギング

3.2 機能の詳細

3.2.1 負荷選択しゃ断

(1) 目的

電源設備（受電設備、発電設備ならびに 11/3 kV 連絡回路）の一部が供給不能になった場合、すなわち電源脱落の場合に、その供給電力不足分に見合った負荷を選択しゃ断し、電力系統の安定化をはかる目的としており、具体的にはつぎの二つになる。

(a) 電源脱落時の脱落量に見合う負荷しゃ断

(b) 周波数低下時の最適量の負荷しゃ断

(2) 選択しゃ断実行の過程

(3) に述べる系統の各種の運転パターンに対して、(4) に述べるような電源脱落のケースと、これに対応する負荷しゃ断量を、(5) に述べる演算式によって當時計算して、これらをすべて記憶しておき、事故が発生したとき外部から MELPAC に与えられる信号によって、(4) に述べる電源脱落のケースのいずれであるか解読し、必要な選択しゃ断を実行する。

(3) 系統の運転 パターン

電力設備の系統図は図 1. のとおりであり、これからは種々の運転パターンが考えられるが、つぎの 7 種のいずれかに管理するものとし、それ以外の運転 パターンになればこの機能を自動 ロック する。

(a) 分離可能な パターン……通常運転

(b) 同 上 T_2 休止中

(c) 同 上 G_1 休止中

(d) 同 上 3 kV の A 母線休止中

(e) 同 上 3 kV の B 母線休止中

(f) 単一母線 パターン.....11 kV の A 母線休止中

(g) 同 上11 kV の B 母線休止中

注: 1) 分離可能な パターン: 11 kV 母連しゃ断器開放により受電

と発電系統が分離できる場合

2) 単一母線 パターン: 11 kV 母連しゃ断器開放しても受電と発電系統が分離できない場合

3) 受電変圧器 MT_1 , MT_2 がともに休止することは考えない。

(4) 考えられる電源脱落のケース およびこれに対応する負荷しゃ断量の決定の原則

この機能で処置する事故種別およびしゃ断方法は表 1. に示すとおりである。すなわち、

(a) 電源脱落については 2 種類までの同時脱落を考慮し 3 種類以上の多重同時脱落は可能性が少なく、また万一発生して、(b) の処置では不十分で周波数が低下すれば、周波数を維持するための選択しゃ断がバックアップ機能として存在するので (b) の処置だけを行なうものとした。

(b) 3 種以上の多重同時脱落が発生すればつぎのとおり処置する。

(i) 2 種同時脱落組合せのうち、最大しゃ断量でしゃ断負荷を決定する。たとえば、 R (受電), G_1 , G_2 (1, 2 号発電機) 脱落の場合

$$PL_1 = R + G_1$$

$$PL_2 = R + G_2$$

$$PL_3 = G_1 + G_2$$

以上 3 組の電力 PL_1 , PL_2 , PL_3 を演算で求めその中の最大量で決定された負荷をしゃ断する。

(ii) 上記 (i) で対処できなかった場合には周波数低下が発生するので周波数維持条件で決定される負荷をしゃ断する。

(c) 各種の電源事故とその対策・処置一覧表 (表 1.) において、
①全系統需給バランス、②3 kV 系統需給バランス、③周波数維持の
三つの機能は目的は同じであるが、これらの機能の起動条件および

表 1. 各種の電源事故とその対策・処置一覧表

事故対策の目的	事故種別		事故前運転パターン						単一系統 (11 kV 片母線運転)	備考				
			分離可能なパターン		通常運転		T_2 休止中		G_1 休止中					
R	G_1	G_2	G_3	G_4	T_1	T_2								
全系統需給バランス							52 BH で分離※1	52 BH で分離※1	52 BH で分離※1	$PL = PR - \alpha R \times 4$	1. ×印は事故発生を示す 2. しゃ断対象負荷は次のとおりである ※1 受電母線に接続された負荷			
							デマンド監視	デマンド監視	存在せず	デマンド監視				
							“	“	デマンド監視	“	※2 発電母線 ※3 3 kV 発電母線に接続された負荷			
							“	“	“	“				
							“	“	“	“	※4 全負荷			
							“	“	“	“				
							$PL = PG_1 \times 2$, 52 BH で分離※1	$PL = PG_1 \times 2$, 52 BH で分離※1	存在せず	$PL = PR + PG_1 \times 4$	3. 全系統需給バランスと 3 kV 系統需給バランスはそれぞれ独立のものとして扱い、重複する場合には個別に処置する 4. 分離可能なパターンにおける 52 BH による負荷しゃ断は、別途設ける離電器盤により自動的に行なう			
							$PL = PG_2 \times 2$, “	$PL = PG_2 \times 2$, “	$PL = PR + PG_2 \times 4$	$PL = PR + PG_3 \times 4$				
							$PL = PG_3 \times 2$, “	$PL = PG_3 \times 2$, “	$PL = PG_3 \times 2$, “	$PL = PR + PG_3 \times 4$	5. G_4 は将来設置とする			
							$PL = PG_4 \times 2$, “	$PL = PG_4 \times 2$, “	$PL = PG_4 \times 2$, “	$PL = PR + PG_4 \times 4$				
3 kV 系統需給	デマンド監視		デマンド監視		デマンド監視									
	“		“		“									
	“		“		“									
周波数維持	周波数 ΔF_1 低下		$PL = F(\Delta F_1) \times 2$		$PL = F(\Delta F_1) \times 2$		$PL = F(\Delta F_1) \times 2$	$PL = F(\Delta F_1) \times 2$	$PL = F(\Delta F_1) \times 2$	$PL = F(\Delta F_1) \times 2$				
	“ ΔF_2 “		$PL = F(\Delta F_2) \times 2$		$PL = F(\Delta F_2) \times 2$		$PL = F(\Delta F_2) \times 2$	$PL = F(\Delta F_2) \times 2$	$PL = F(\Delta F_2) \times 2$	$PL = F(\Delta F_2) \times 2$				
	“ ΔF_3 “		$PL = F(\Delta F_3) \times 2$		$PL = F(\Delta F_3) \times 2$		$PL = F(\Delta F_3) \times 2$	$PL = F(\Delta F_3) \times 2$	$PL = F(\Delta F_3) \times 2$	$PL = F(\Delta F_3) \times 2$				

なう場合には、その操作時間 間隔は 2 分とした。各 フィーダは監視盤に設けた切換スイッチにより個別に制御対象から除外できるようしている。また、断路器の寿命の点から等ひん(頻)度制御とし、制御対象から除外されたものを除いて、すべての断路器が一様に制御される方式としている。

(d) 切換方向 (図 1. 参照)

母線連絡潮流 $> P_{BS}$ の場合は A 母線側断路器を切、B 母線側断路器を入とし、母線連絡潮流 < 0 の場合は B 母線側断路器を切、A 母線側断路器を入とする。

(e) 自動ロック

系統が事故しゃ断したとき、あるいは負荷選択しゃ断が動作したときは、この機能を一定時間自動的にロックする。

(3) プリント

母線切換動作時の状態をシステム タイプライタで印字する。印字例を図 6. に示す。

3. 2. 3 受電 Var 制御

(1) 目的

電力料金には、需要者の受電平均力率による割引・割増制度があり、力率が 85% より高いか低いかにより、|力率(%) - 85%|だけ基本料金の割引または割増が行なわれており、高力率で受電すれば買電単価を安価にできる。Var 制御はこの点に着目した電力料軽減のための機能である。

受電平均力率とは、

$$\frac{\text{Wh}}{\sqrt{(\text{Wh})^2 + (\text{Var h})^2}} \quad (3)$$

で与えられるものであり、受電点の Var h を小さい値に保つことが高力率維持につながることを示している。

この制御では、3 台の発電機より遅れ無効電力を供給することにより受電点の無効電力 (Var) を減少させ、これを積算した Var h を小さく保つことにより、受電平均力率を高くするよう図っている。

(2) 機能

(a) この制御動作は、一定時間間隔 (任意に設定可能) で起動される。

(b) 受電点の力率を一定に保つ制御、または無効電力を一定に保つ制御のいずれかを指定できる。

(c) 遅れ無効電力の分担量は、制御対象の発電機の定格に応じて可能出力曲線の範囲内で決定される。

(d) 制御対象となる発電機の指定、制御方式 (定力率制御・定無効電力制御) の指定、発電機の定格・可能出力曲線の設定などが自由に行なえる。

(3) 制御の流れ

Var 制御の流れは、図 7. に示すように四つの段階にわかれてい

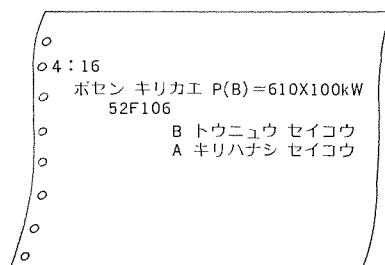


図 6. 母線切換えの印字例

る。

(a) Var 制御の要否の判定

Var 制御 プログラムが起動されると、まず受電 Var が読みこまれ、これがあらかじめ設定された値を越えているか否かを判定する。受電 Var 値が式 (4) を満足するときは、制御が不要であるのでその旨印字し終了する。他の場合は (b) に移る。

$$0 \leq \text{受電 Var 値} \leq \text{整定値} \quad (4)$$

(b) 各発電機の負担 Var 量の計算

発電機に負担させる Var を計算するが、これが発電機の容量限界を越すことがないよう制御対象に指定された各発電機の容量に比例して負担値を計算する。

(c) 制御

計算された目標値に発電機の Var 出力を近づけるため、界磁調整器へ制御信号をくりかえし送り、発電機負担 Var が目標値に達すると制御は終了する。

万一 MELPAC が乱調に陥っても、発電機の定格力率を越えた制御を行なわないよう、力率限定繼電器を別途保護繼電器盤に設けている。

(d) 制御内容の印字

発電機の Var 出力が目標値に達したときは、つぎのような印字を行なう。

(i) Var 制御実行直前の受電 W, Var および各発電機出力 W, Var。

(ii) 計算で求めた各発電機の Var 負担目標値。

(iii) 制御後の各発電機出力 W, Var。

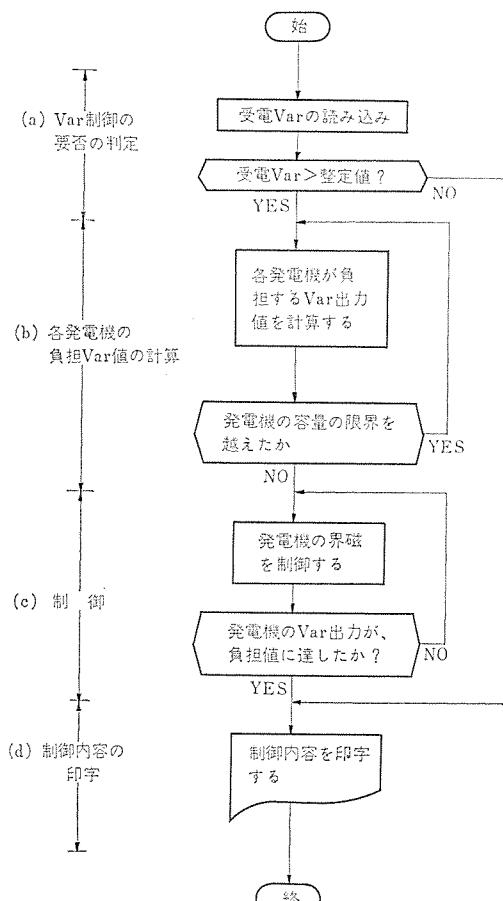


図 7. Var 制御機能のフローチャート

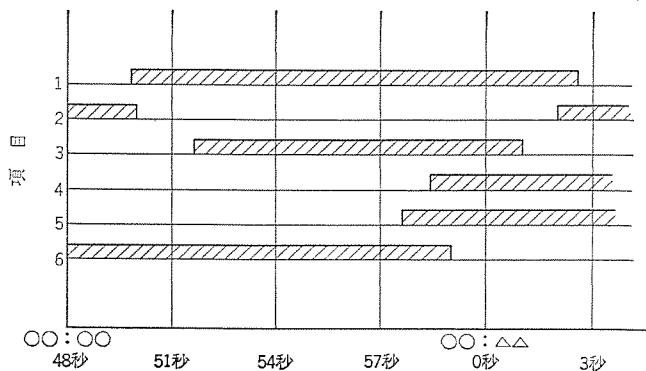


図 8. プリントタイミング

左図の動作のプリント例



プリント詳細は図 9 参照のとおりです。

3.2.4 受電電力監視

(1) 目的

平常時ならびに事故時に、受電電力が契約電力を超過するかどうかを監視する。

(2) 監視方式

30分ごとに計測した受電電力量を電力に換算し、その値が契約電力（任意に設定可能）を超過しておれば表示・警報するとともにシステムタイプライタでその旨印字する。

3.2.5 動作・操作記録

(1) 目的

中央受電所ならびに遠制対象のローカル変電所の開閉器の開閉時の記録、事故時の保護継電器の動作記録、切換スイッチ類の操作の記録、およびドアスイッチ類の動作記録をとるため、これらの機器の動作状態を、その時刻とともに自動記録する。

(2) 記録項目

記録項目および数は次のとおりである。

(a) 中央電源設備

- 開閉器……………シャッターアクション全数 61 点（将来分も含む）
- 保護継電器……………32 点

(b) ローカル変電所（遠制対象分全数）

- 開閉器……………遠制対象の開閉器全数 20 点／SS（将来分も含む）
- 保護継電器……………10 点／SS
- 状態表示……………10 点／SS
- 切換スイッチ……………20 点／SS

(3) 記録方式

手動操作、自動操作に関係なく記録対象の状態変化が発生すれば記録するが、遠制装置の反転試験での変化は記録せず、反転試験中に実系に変化が発生すれば当該記録をするようになっている。動作時刻分解能は最大 3 秒であり、最大 3 秒以内の複数の動作は同一時刻動作としてプリントする。ただし、遠制装置を介している項目は伝送時間遅れ、伝送タイミングにより同一時刻動作でも異時刻動作としてプリントされる場合があるが、実用上支障はないと考えている。プリントタイミングを図 8 に示す。

(4) プリント形式

印字例を図 9 に示す。

3.2.6 ロギング

(1) 目的

受電電系の運転管理を行なうのに必要な電気量を得て所定の演

14:12	203SS	P2-RM	ON←黒印字
14:13	203SS	所名	機器名
14:14	203SS	52P2	ON
14:14	203SS	TRH	OFF←赤印字
14:14	203SS	52P1	
14:14	203SS	TRH	
14:14	203SS	P1-RM	OFF

図 9. 操作・動作記録の例

算を行ない、日・月報の作表をすることであり、定時記録、1 日ごとの平均・最大および合計の記録、1 カ月の平均・最大および累計の記録、ならびにデマンド記録に分けられる。

(2) ロギング項目

表 2. に示す。

(3) 詳細機能

(a) データの打出し

所定の時刻になると、データをロギングタイプライタにより所定のシートに打出す。データは合計値以外はすべて 3 けた（桁）とする。ロギングシートの例を図 10. に示す。

(b) 定時記録

1 時 0 分、2 時 0 分～24 時 0 分の 1 日 24 回、電力量以外の項目は記録する時刻の直前 2 分前から 30 秒ごとの 4 回の値を平均した値を、電力量は前回の定時記録から後の値をそれぞれ記録する。

(c) 1 日ごとの平均、最大および合計記録

24 時の定時記録直後に、1 時から 24 時までの各定時記録値の算術平均値、最大値および合計値を記録する。

(d) 1 カ月の平均、最大および累計記録

平均値および最大値はその月の最終日の 24 時定時記録直後に、累計値の記録は毎日の 24 時の定時記録直後に行なう。平均値および最大値は、毎月 1 日目 1 時から最終日 24 時までの定時記録値の平均値ならびに最大値であり、累計値は 1 日目 1 時から記録日の 24 時までの記録値の合計値である。

(e) デマンド記録

毎日 24 時の定時記録直後に、その日の 30 分 デマンド 値の最大値を今回指示値として記録する。前回指示値は、前日までのその月の最

大値である。したがって、月の初日は 0 と記録する。

(4) Wh カウンタ盤

ロギングに必要な系統の電力量データを入力するための、インターフェース装置である。図 11. に示すように電力量計からのデータ(パルス)を、一度記憶する 3 けたの カウンタと、カウンタに蓄えられたデータを読み出すための切換リレーとからなる。カウンタは MELPAC と関係なく動作するので、MELPAC を停止した場合でも、電力量計のデータはもれなくカウンタに蓄積され、MELPAC を再起動した場合に正しく動作する。

表 2. ロギング項目

対象	記録項目			記録時刻と記録内容						
	台数	データ種別	データ単位	毎時		1日		1月		
受電		電圧	0.1 kV	○	—	—	—	—	—	
		電流	A	○	—	—	—	—	—	
		電力	100 kW	○	—	○	○	—	○	
		功率率	%	—	—	—	—	—	—	
		電力量	100 kWh	○	○	○	○	○	○	
受電変圧器		無効電力量	"	○	—	—	○	—	—	
		電流	10 A	○	—	—	—	—	—	
		電力	100 kW	○	—	—	—	—	—	
		電流	10 A	○	—	—	—	—	—	
発電機		功率率	%	○	—	—	—	—	—	
		電力量	100 kWh	○	○	○	○	○	○	
		電力量	200 kWh 100 kWh	○	○	○	○	○	○	
連絡変圧器		電圧	200 kWh 100 kWh	○	○	○	○	○	○	
		電圧	特高…0.1 kV 高圧…10 V	○	—	—	—	—	—	
母線		周波数	0.1 Hz	○	—	—	—	—	—	
		電力	10 kW	○	—	—	—	—	—	
母連回路		電力量	200 kWh 100 kWh	○	○	—	○	—	—	
		電力量	200 kWh 100 kWh	○	○	—	○	—	—	
発電合計		"	"	○	○	○	○	○	○	
		"	"	○	○	○	○	○	○	
発受電合計	1	"	"	○	○	○	○	○	○	

発電所運転日誌(I)

昭和 年 月 日		曜日 天候		三菱石油水島製油所																			
種別	受電	電圧	電流	電力	電流	電力	電流	電力	電流	電力	電流	電力	電流	電力	電流	電力							
項目	電圧	パンク1	電流	パンク2	電圧	電流	電力	電流	電力	電流	電力	電流	電力	電流	電力	電流	電力						
時刻	電圧	A	電流	A	電圧	A	電流	A	電圧	A	電流	A	電圧	A	電流	A	電力						
単位	kv	kw	kw	kw	kv	kw	kw	kw	kv	kw	kw	kw	kv	kw	kw	kw	kw						
1	635	177	196	195	45	86	57	113	95	84	51	207	92	112	64	92	118						
2	626	183	197	196	189	46	87	59	114	97	83	51	209	92	112	65	93	118					
3	632	186	199	194	191	46	88	59	115	94	86	52	203	92	112	64	92	117					
4	627	183	197	196	190	46	87	59	115	95	84	51	205	94	113	63	94	117					
	641	179	198	196	200	46	88	59	114	95	85	51	207	93	112	63	95	117					
	641	180	199	196	193	46	89	53	114	99	82	51	207	94	112	64	95	118					
	20	641	180	199	196	193	46	89	53	114	99	82	51	207	94	112	64	95	118				
	21	646	180	200	195	193	46	89	58	114	95	84	51	204	94	112	68	93	126				
	22	647	181	197	193	192	47	88	58	113	95	85	51	204	94	112	68	95	120				
	23	649	184	195	91	191	47	87	59	112	95	84	52	204	94	112	64	97	125				
	24	631	192	198	91	190	48	87	61	114	93	87	51	201	96	112	66	96	124				
平均																	0	0	16	54	287	477	
当月	最大																0	0	10	56	289	473	
当月	平均																0	0	10	56	289	473	
当月	最大																0	0	10	56	289	473	
合計電力量	×100 kWh	受電	有効電力	電力	受電	電流	電力	電流	電力	電流	電力	電流	電力	電流	電力	電流	電力	電流	電力	電流	電力	電流	
当月	合計	2767	1875	4662	792	1228	2692	2944	0	442	1138	6564	11526										
当月	累計	15121	10413	25534	4826	7501	16167	17986	0	2042	7340	41654	75574										
受電最大需用電力	×100 kWh																						
前回指示		1056																					
今回指示		208																					

図 10. ロギングシートの例

しい電力量の集計ができる。カウンタ盤に設けた切換リレーは、定時記録時、MELPAC から送られてくる読出しアドレスに応じて、所要の Wh カウンタ(最大 48 点)を順次接続して IO 盤に入力している。

プログラムインターフェースとしては、カウンタ出力の定マーク($_{\text{C}_2}$)チェックを行ない、チェックアウトになれば一定時間後再度読み取りを実施する。チェックアウトが規定回数継続すれば、カウンタ異常としてその項目を無視し、その旨印字する。このおもな目的はカウンタ出力の読み取り中にカウントアップが発生すると定マークコードが一時くずれ、正しいデータを示さなくなるので、読み取りを中止することである。

4. MELDAC 500 遠方監視制御装置

4.1 概要

はじめに述べたように製油所構内には、多くのローカル変電所が点在している。これらのローカル変電所の中には中央制御所からの距離が約 2 km にもおよぶものがあるため、その監視制御にはいわゆる遠方監視制御の技術を導入した。

導入した MELDAC 500 遠方監視制御装置(以下遠制装置と呼ぶ)は制御 1:N、表示(1:1)×N 方式と呼ばれるもので 4.1.1 項に述べる特長を有する。

新しい試みとして被制御所機器の状態監視をおこなう表示装置には、マンマシンインターフェースとしてすぐれた機能をもつカラー CRT ディスプレイ装置を採用し、制御所フロアスペースの減少および表示内容の追加・変更に対する融通性を実現している。この CRT ディスプレイ装置は必要な記憶装置も備えており、MELPAC 500 とは独立した完全なシステムとなっているので、MELPAC の点検・停止時も支障なく遠制装置を使用できる。

なお、MELPAC 500 ではローカル変電所の機器の動作・故障の記録を行なうので、これに必要なデータの転送を行なっている。

4.1.1 集中監視制御方式

集中監視制御方式には種々あるが、上に述べたように、ここでは制御には 1 台の制御装置(親局)で N 台の被制御装置(子局)が制御できる 1:N 方式、表示には制御装置と被制御装置が 1:1 に対応する(1:1)×N 方式を採用し、N=4 を 1 グループとして装置を構成している。この方式の特長は

(1) 回路の共用化により部品点数を減少することができ、信頼性が高い。

(2) 表示信号は全被制御所並列伝送のため時間遅れが小

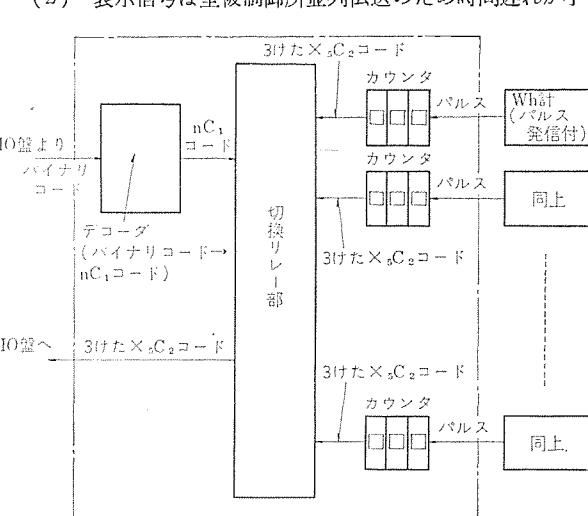


図 11. Wh カウンタ盤ブロック図

さい。

- (3) 处理装置との接続用 I/O (入出力) 点数が少ない。
 - (4) 装置故障の際の影響が 1 グループ内に限定される。
 - (5) グループ (N=4) 追加により容易に装置を拡張できる。
- などがあり、大規模かつ高速処理を要するシステムに適する方式である。

4.1.2 監視制御項目

制御はしゃ断器、断路器およびコンタクタなどの入・切であるが、これ以外にいわゆる 3 位制御も可能である。

監視対象は機器および保護リレーなどの動作状態である。保護リレーなどの表示は極力項目数を少なくするよう同種類のもの（例：過電流继電器）は 1 項目にまとめている。表 3. には被制御所（以下 SS と呼ぶ）のグループを、表 4. に一例としてグループ 1 内各 SS の監視制御項目を示す。

なお、表 3. のグループ分けにおいては、点検などによって、一つのグループが停止した場合でも、重要な SS がすべて監視・制御不可となることのないよう、重要な SS は異なるグループに分けて入れ、危険分散をはかっている。

4.2 機能および構成

図 12. に MELDAC 500 遠方監視制御装置の構成を示す。おもな機能はつぎのとおりである。

(1) 制御

制御所より SS の機器の入・切および停止・復帰等の 3 位制御ができる。また全 SS いっせい制御もできる。

なお、集中監視制御機は多数の被制御所・機器を迅速かつ正確に選択できるよう組合せ選択方式を採用した。

(2) 表示

機器の状態表示および故障表示をおこなうが、機器の状態表示は CRT 上にスケルトンに対応して赤・緑表示するとともに制御時の選択完了で長フリッカ、自動状態変化で短フリッカする。また故障内容（例：過電流）は集中監視制御機に全 SS に対して共通に 1 組設けられた表示器で選択表示している。

(3) バックアップ

SS 4 個ごとにバックアップ機能を持つメインテナスパネルを実装してあり、もし処理装置、集中監視制御機等が使用不能なときでもメインテナスパネルで SS の制御・表示が可能である。

(4) データ転送

MELPAC 500 システムで操作・故障記録をおこなうのに必要なデータの転送機能である。

(5) 装置試験

運転状態で SS ごとの表示反転試

験ができる、CRT ディスプレイ装置なども含めシステム全体の機能が確認できる。またメインテナスパネルにより自局折返し試験ができる。

以下には MELDAC 500 システムを構成するおもな装置について述べる。

4.2.1 遠制装置

図 12. の制御所の制御入力盤、表示処理盤、遠制 I～IV 盤および被制御所の遠制继電器盤より構成され、信号の伝送・処理をおこなうものでシステムの中枢部である。図 13. に制御所遠制装置、図

表 3. 被制御所 グループ

グループ	被制御所名	容量		備考
		制御	表示	
1	303, 304 USS	40	80	1 セットに 2 被制御所分取納
	306 USS	20	40	
	307 USS	20	40	
	309 USS	30	60	
2	201 SS	30	60	
	305 USS	20	40	
	308 USS	20	40	
	310 USS	20	40	
3	202 SS	20	40	
	203 SS	30	60	
	301, 302 USS	40	80	
	204 SS	30	60	

表 4. 監視制御項目

GRI の 1											被制御所	GRI	備考	
群	点	項目		制御		表示		警報						
		制御	表示	入	切	場所	方式	入力	ベル	ブザー	303 USS	306 USS	307 USS	309 USS
1	1	51				オペコン	A	a	*		○	○	○	○
	2	51G				オペコン	A	a	*		○	○	○	○
	3	51N				オペコン	B	a	*		○	○	○	○
	4	TRL				オペコン	B	a	*					
	5	TRH				オペコン	B	a	*					
	6	64-A				オペコン	B	a	*		○	○	○	○
	7	64-B				オペコン	B	a	*		○	○	○	○
	8	64-C				オペコン	B	a	*					
	9	27				オペコン	B	a	*		○	○	○	○
	0	FUSE				オペコン	B	a	*		○	○	○	○
2	1	表示試験	同左	試験	平常	オペコン	B				○	○	○	○
	2	表示復帰	BL	—	復帰	オペコン	D	a	○		○	○	○	○
	3	—	BZ	—	—	オペコン	D	a		○	○	○	○	○
	4	—	制御済済	—	—	オペコン	B	a		○	○	○	○	○
	5	—	火災	—	—	オペコン	B	a	*		○	○	○	○
	6	—	扉開	—	—	オペコン	B	a	*		○	○	○	○
	7	—	(ヨビ)	—	—	オペコン	B	a			○	○	○	○
	8	—	(ヨビ)	—	—	オペコン	B	a			○	○	○	○
	9	—	MANU-1	—	—	オペコン	B	a	*		○	○	○	○
	0	—	MANU-2	—	—	オペコン	B	a	*		○	○	○	○
1		表示	同左	入	切	CRT					52 SI	89 SI		

4	○	機器	同左		C	b							
			入	切									
7	○	機器	同左	入	CRT	C	b						
8	○	機器	同左	入	CRT	C	b						
9	○	機器	同左	入	CRT	C	b						
0	○	機器	同左	入	CRT	C	b						
1	○	機器直接			CRT	B	a	*	52 F1	52 SI	52 SI	89 SI	
2	○	機器直接			CRT	B	a	*	(ヨビ)	52 S2	52 S2	89 S2	
3	○	機器直接			CRT	B	a	*	(ヨビ)	52 B	52 B	89 B	
4	○	機器直接			CRT	B	a	*	(ヨビ)	88 F1	88 F1	52 F1	
5	○	機器直接			CRT	B	a	*	(ヨビ)	88 F2	88 F2	52 F2	
6	○	機器直接			CRT	B	a	*	(ヨビ)	88 F3	88 F3	52 F3	
7	○	機器直接			CRT	B	a	*	(ヨビ)	88 F4	(ヨビ)	52 F4	
8	○	機器直接			CRT	B	a	*	(ヨビ)	88 F5	(ヨビ)	52 F5	
9	○	機器直接			CRT	B	a	*	(ヨビ)	88 F5	(ヨビ)	52 F6	
0	○	機器直接			CRT	B	a	*	(ヨビ)	88 F5	(ヨビ)	88 C1	
													88 C2

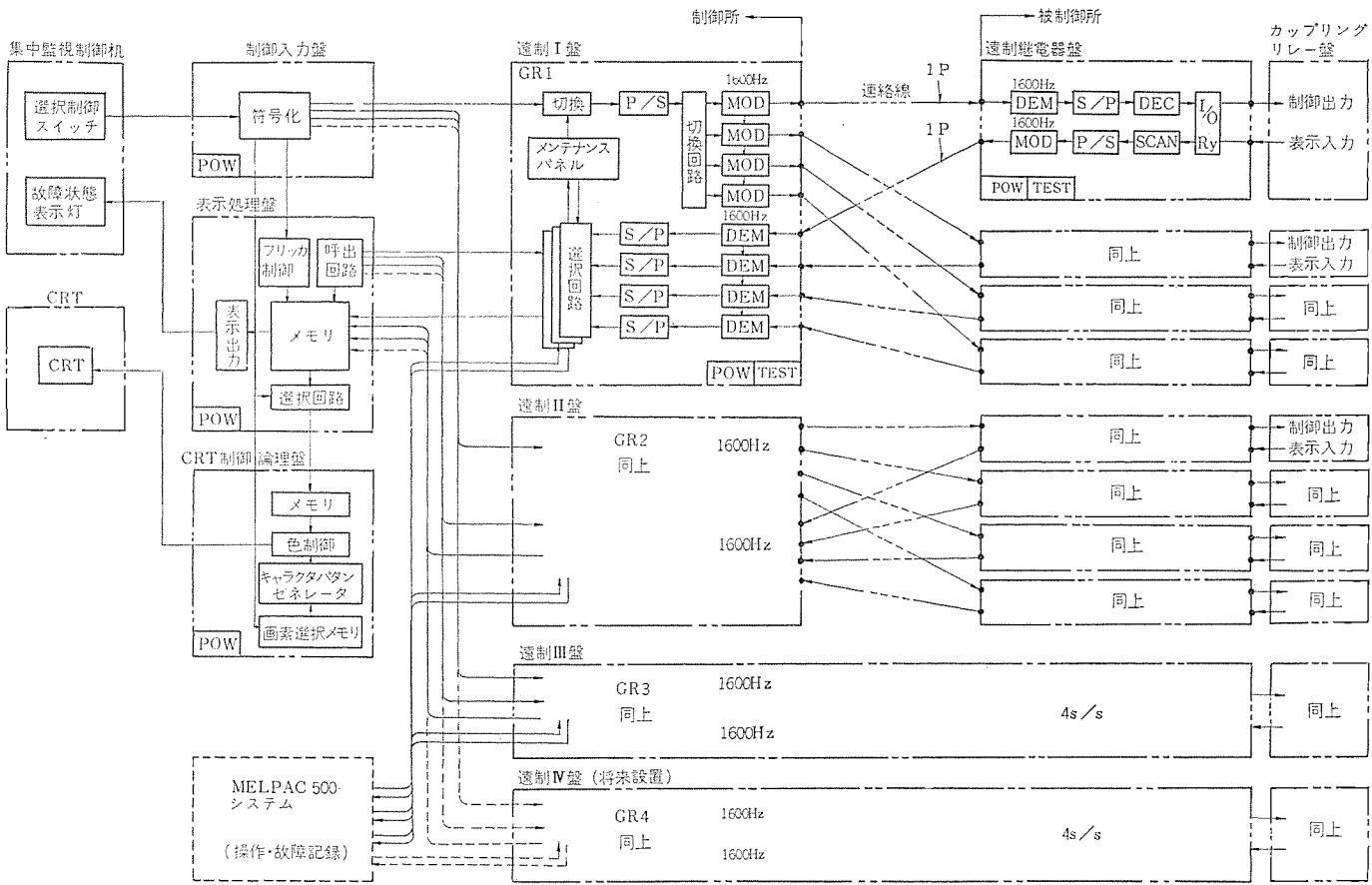


図 12. MELDAC 500 遠方監視制御装置の構成

14. に被制御所 遠制继電器盤およびカップリングリレー盤を示す。

(1) 機能および動作

制御入力盤は集中監視制御機から SS, 機器名称および機器番号の選択信号を受け、これを SS アドレス、群選択および点選択の定マーク符号に変換するとともに CRT ディスプレイ装置にパターン選択信号を出す。また機器の多重選択を検出すれば選択制御信号出力をロックするとともに警報表示し、誤操作を防止している。

遠制 I ~ IV 盤は制御入力盤からの選択制御信号を並列符号から直列符号に変換し、さらに周波数変調レーケーブル（連絡線）を経由して被制御所に伝送する。また、被制御所より周波数変調されて送られてきた表示信号を 5 V レベルに変換したのち各種誤り検定をおこない、さらに並列符号に変換して表示処理盤および MELPAC 500 に渡す。MELPAC 500 と遠制装置とのインターフェースは、信号の受渡しをすべて 5 V レベルのワードシリアル・ビットパウエルでおこない、高速転送、I/O 点数の減少を図っている。また、雑音の影響を防ぐため両者間の渡りケーブルの両端にはヒステリシス特性を持つウインドライバ・ラインレシーバを使用している。MELPAC 500 より一定周期で SS 選択信号を受け、選択回路により指定の S/P 出力（監視データ）を出す。SS 選択信号は遠制装置 4 グループに対して 1 組の 16 ビット L/I (レベル入力)、監視データ送出は遠制装置 1 グループごとに 2 組の 16 ビット L/O (レベル出力) でおこなっている。図 15. に SS 選択ビットアシン、図 16. に監視データビットアシン、図 17. に選択読出レータイミングを示す。

表示処理盤は遠制 I ~ IV 盤より送られてくる表示信号をすべて巡回メモリ (DSR) にいったん記憶し、制御入力盤からの選択信号により該当するデータを取り出し故障表示器を点灯するとともに CRT ディ

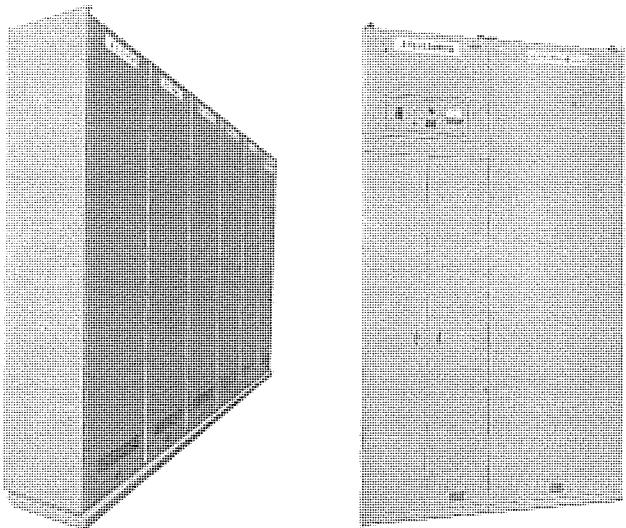


図 13. 制御所 遠制装置

図 14. 被制御所 遠制继電器盤およびカップリングリレー盤

スプレイ装置に信号を渡す。また、當時新旧の表示信号を比較することにより状態変化を検出し、この時の機器選択状態を見てフリッカの要否を判断している。

被制御所遠制继電器盤は、制御所より周波数変調されて送られてきた選択制御信号を 5 V レベルに変換したのち各種誤り検定をおこない、並列符号化さらに機器ごとの入・切各 1 a 接点に復号してカップリングリレー盤に渡す。また、表示信号はカップリングリレー盤からの信号をいったんワイヤスプリングリレーで受け、順次スキャニングして周波

No1 L/I (MELPAC 500→MELDAC 500)

ビットNo	ビットアサイン	機能	備考
F	1		
E	2	GR1 S/S選択	
D	4		
C			
B	1		
A	2	GR2 S/S選択	
9	4		
8			
7	1		
6	2	GR3 S/S選択	
5	4		
4			
3	1		
2	2	GR4 S/S選択	
1	4		
0			

図 15 SS選択ビットアサイン

No1 L/O (MELPAC 500←MELDAC 500)

ビットNo	ビットアサイン	機能
F	パリティ	奇数パリティチェック
E	—	
D	データアドレス 32	各 S/S 内のデータ識別(群)
C	データアドレス 16	各 S/S 内のデータ識別(群)
B	データアドレス 8	各 S/S 内のデータ識別(群)
A	データアドレス 4	各 S/S 内のデータ識別(群)
9	データアドレス 2	各 S/S 内のデータ識別(群)
8	データアドレス 1	各 S/S 内のデータ識別(群)
7	—	
6	フラグ・3	読込ロック
5	グッド(検定良)	読込OK
4	レディ(S/P完)	読込OK
3	—	
2	S/Sアドレス 4	グループ内の S/S 識別
1	S/Sアドレス 2	グループ内の S/S 識別
0	S/Sアドレス 1	グループ内の S/S 識別

No2 L/O (MELPAC 500←MELDAC 500)

ビットNo	ビットアサイン	機能
F	パリティ	奇数パリティチェック
E	フラグ・1	読込ロック
D	フラグ・2 (不使用)	
C	サイン (不使用)	
B	表示データ 1 点	ロギングデータ
A	表示データ 2	ロギングデータ
9	表示データ 3	ロギングデータ
8	表示データ 4	ロギングデータ
7	表示データ 5	ロギングデータ
6	表示データ 6	ロギングデータ
5	表示データ 7	ロギングデータ
4	表示データ 8	ロギングデータ
3	表示データ 9	ロギングデータ
2	表示データ 0	ロギングデータ
1	—	
0	—	

図 16. 監視データビットアサイン

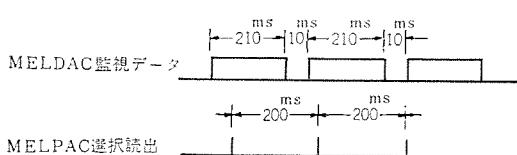


図 17. 選択 読出し タイミング

数変調したのち制御所へ伝送する。

- (2) 仕様
- (a) 集中方式 制御 1:N
監視 (1:1) × N
 - (b) 装置容量 制御項目 60 (最大 100 項目)
(1 SS 当り) 監視項目 80 (最大 620 項目)
計測項目 10 (最大 62 項目)
 - (c) 操作方式 二段階式 (選択確認後制御)
 - (d) 表示方式 選択表示方式 (一部常時表示)
 - (e) 伝送方式 常時サイクリック式
 - (f) 符号形式 NRZ 等長符号
 - (g) 符号構成 制御符号 図 18. に示す。
監視符号 図 19. に示す。
 - (h) 誤り検定方式 制御 2 連送照合 + パリティチェック + 定マーク検定
監視 2 連送照合 + パリティチェック
 - (i) 伝送速度 制御 200 bps
監視 600 bps (50, 600, 1,200 bps も設定変更可能)
 - (j) 信号伝送装置 变調方式 FS 变调
中心周波数 1,200 Hz (200 B)
送信レベル 標准 0 dBm
受信レベル 標准 -22 dBm
総合ひずみ(歪) ±15% 以内
 - (k) 回路素子 論理回路 IC, Si トランジスタ
入出力部 ウイヤスプリングリレー
 - (l) 制御出力 無電圧片端共通 1 a 接点, 1 秒閉成
 - (m) 表示入力 無電圧片端共通 1 a (1 b) 接点
 - (n) 電源 制御所 AC 110V ±10%
被制御所 DC 110V -20 +30%

(3) 構成

14 SS を監視制御する遠制装置は、制御所側 5 面、被制御所側各 1 面より構成され、その内訳はつぎのとおりである。

なお、各盤は防じん構造キャビネット形であり、収納する論理回路、入出力用リレー回路などはユニット化された BBS 方式を採用することにより、装置の拡張・保守点検が容易になっている。

(a) 制御入力盤 1 面 (制御所設置)

高さ 2,350 mm、幅 600 mm、奥行 450 mm であり、選択優先判別回路、符号化回路および多重選択検出回路などを収納している。なお、プリントカードを追加することにより最大 20 SS まで収納できる。

(b) 表示処理盤 1 面 (制御所設置)

構造は前記(a)と同じであり、巡回メモリ(DSR)、データ読込回路、フリッカ判別回路および表示出力回路などを収納している。なお、前記(a)と同じくプリントカードを追加することにより最大 20 SS まで収納できる。

(c) 遠制盤 3 面 (制御所設置)

構造は前記(a)と同じであり、P/S 変換回路、S/P 変換回路、選択回路、メインテンスパネルおよび信号伝送装置などを収納している。なお、1 面に 4 SS 分収納してあり各盤は独立しているため、将来 SS 増設時でも既設盤を改造することなく逐次 1 面ずつ追加することができる。

制御信号送信モード(例)

制御内容	No1 S/S制御	No2 S/S制御	No4 S/S制御	リセット(非選択)	No3 S/S制御	警報停止	リセット(非選択)
No.1 S/S	SY D(制)	SY D(監)	SY D(監)	SY D(監)	SY D(監)	SY D(全)	SY D(監)
No.2 S/S	SY D(監)	SY D(制)	SY D(監)	SY D(監)	SY D(監)	SY D(全)	SY D(監)
No.3 S/S	SY D(監)	SY D(監)	SY D(監)	SY D(監)	SY D(制)	SY D(全)	SY D(監)
No.4 S/S	SY D(監)	SY D(監)	SY D(制)	SY D(監)	SY D(監)	SY D(全)	SY D(監)

- 注) ●SY～同期ワード
- D(監)～監視ワード
- D(制)～制御ワード
- D(全)～全局一斉制御ワード

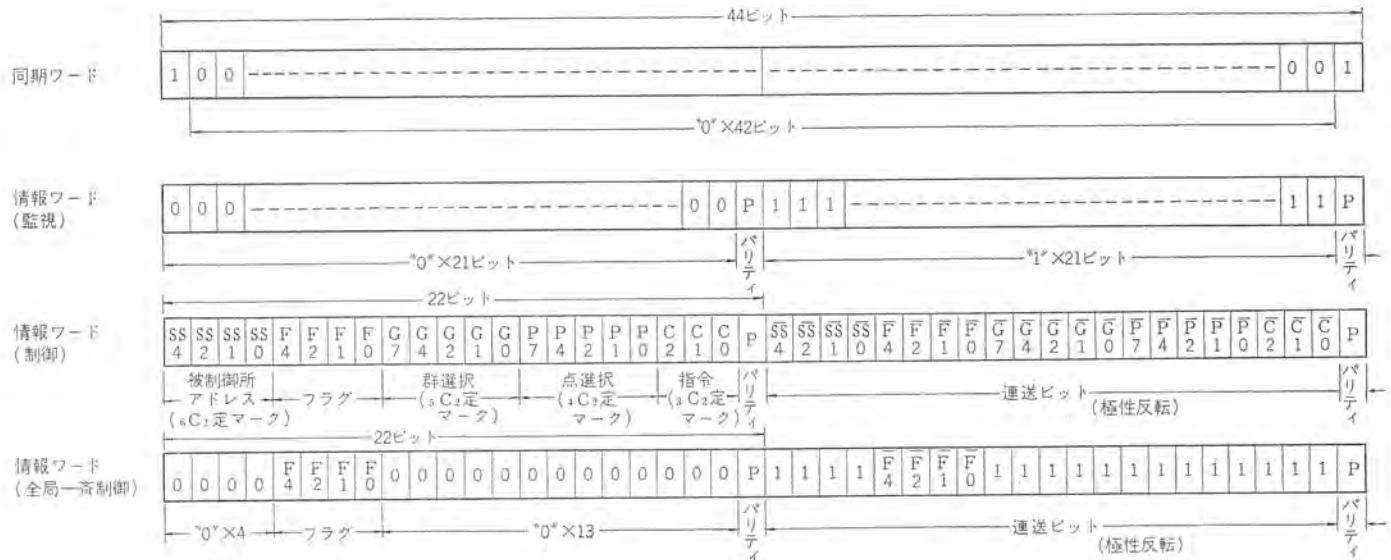


図 18. 制御符号構成

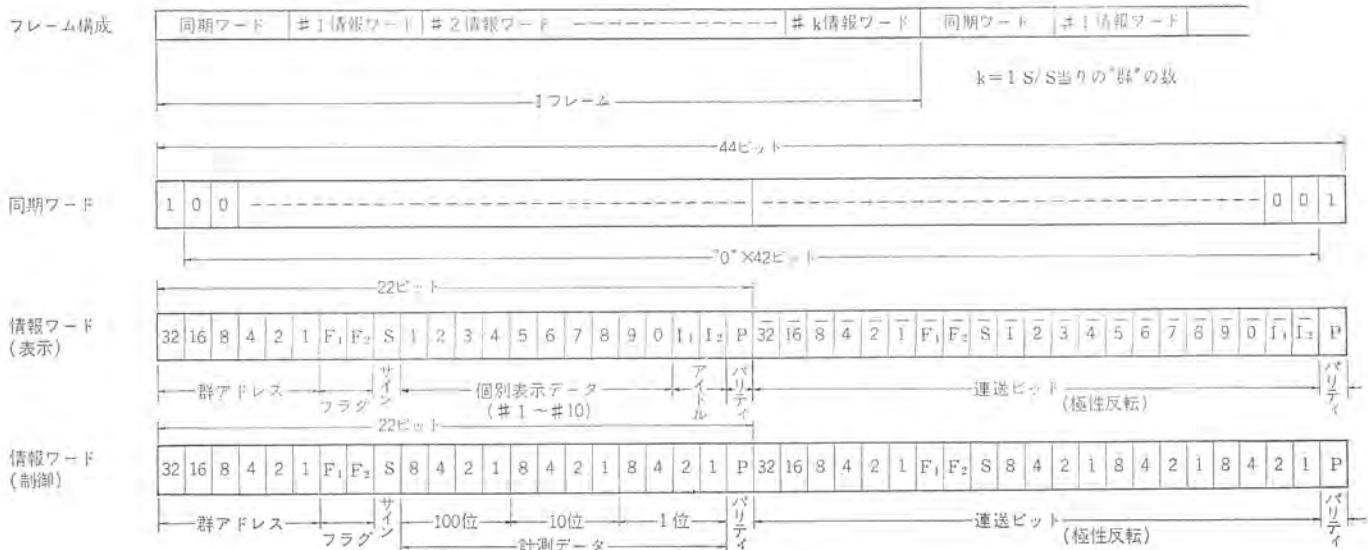


図 19. 監視符号構成

(d) 遠制維電器盤 各SSごと1面 (被制御所設置)
高さ2,350mm, 幅600mm, 奥行350mmであり, S/P変換回路, P/S変換回路, デコード, スキャナ, 入出力リレーおよび信号伝送装置などを収納している。普通1SSに1面必要であるが, 距離が近く項目数が少ない301・302および303・304USSはまとめてそれぞれ1面に収納している。

4.2.2 カップリングリレー盤

監視制御対象となる機器、配電盤は既設品であり、遠制化するためには既設盤の改造を要するが、製油所の SS において長期にわたる現地改造は不可能に近い。このため既設盤の改造を少なくし、かつ標準化された遠制装置の入出力条件を満足させるカップリングリレー

盤を各 SS に設けた。図 14. にカップリングリレー盤を示す。

(1) 機能

遠制装置からの制御出力、遠制装置への表示入力を中継するものであり、制御出力は遠制装置より片端共通 1a 接点で受け、これを既設回路の条件により絶縁あるいは接点増幅などをおこなう。表示入力は故障種別によりベル・ブザー警報にまとめるとともに瞬時入力については自己保持する。

(2) 構成

高さ 2,350 mm, 幅 700 mm, 奥行 350 mm であり, 各 SS に 1 面設置している。遠制装置との接続はコネクタ でおこない現地での工期短縮を図り, また, 保守点検を考慮して ブラジンリレー を使用している。

る。

4.2.3 集中監視制御

14 SS の機器選択制御および故障表示を 1 面でおこなっている。従来は 1 SS ごとに 1 面使用されていたが、近年これがユニット化・縮小化されている。この装置ではさらにこれをもう一步進め、すでに述べたように組合せ選択制御方式および選択表示方式を採用することにより 14 SS 分を 1 面に収納したが、将来 20 SS まで増設できるよう必要な部品を実装している。

(1) 機能および動作

図 20. に制御操作フローチャートを示す。SS ごとに設けられた SS 選択スイッチ、全 SS に共通の機器名スイッチおよび機器番号スイッチを操作すれば選択信号が送出され、被制御所よりの選択確認信号を受信することにより CRT 上の該当機器シンボルが長フリッカし、機器の選択完了を操作員に知らせる。このとき制御スイッチを操作すれば制御指令が送出され、応動表示信号を受けることにより CRT 上の機器シンボルの表示が反転(赤・緑)するとともに長フリッカは自動的に停止する。選択復帰は SS 選択も含めた一括復帰と、機器選択のみ復帰する機器復帰の 2 種類がある。なお、SS 選択は先選択優先・同時選択・若番号優先であり、機器選択では多重選択検出方式を採用した。また、警報停止指令などは全 SS に対して同時に選出するいっせい制御方式としている。

故障表示は全 SS に対して共通に設けられた 1 組の表示器でおこなう。SS で故障が発生すれば、ベルまたはブザー警報するとともに該当 SS 選択スイッチ(照光式)がフリッカする。警報停止操作後 該当

〈運転員判断〉 〈制御機操作〉 〈装置内部処理〉

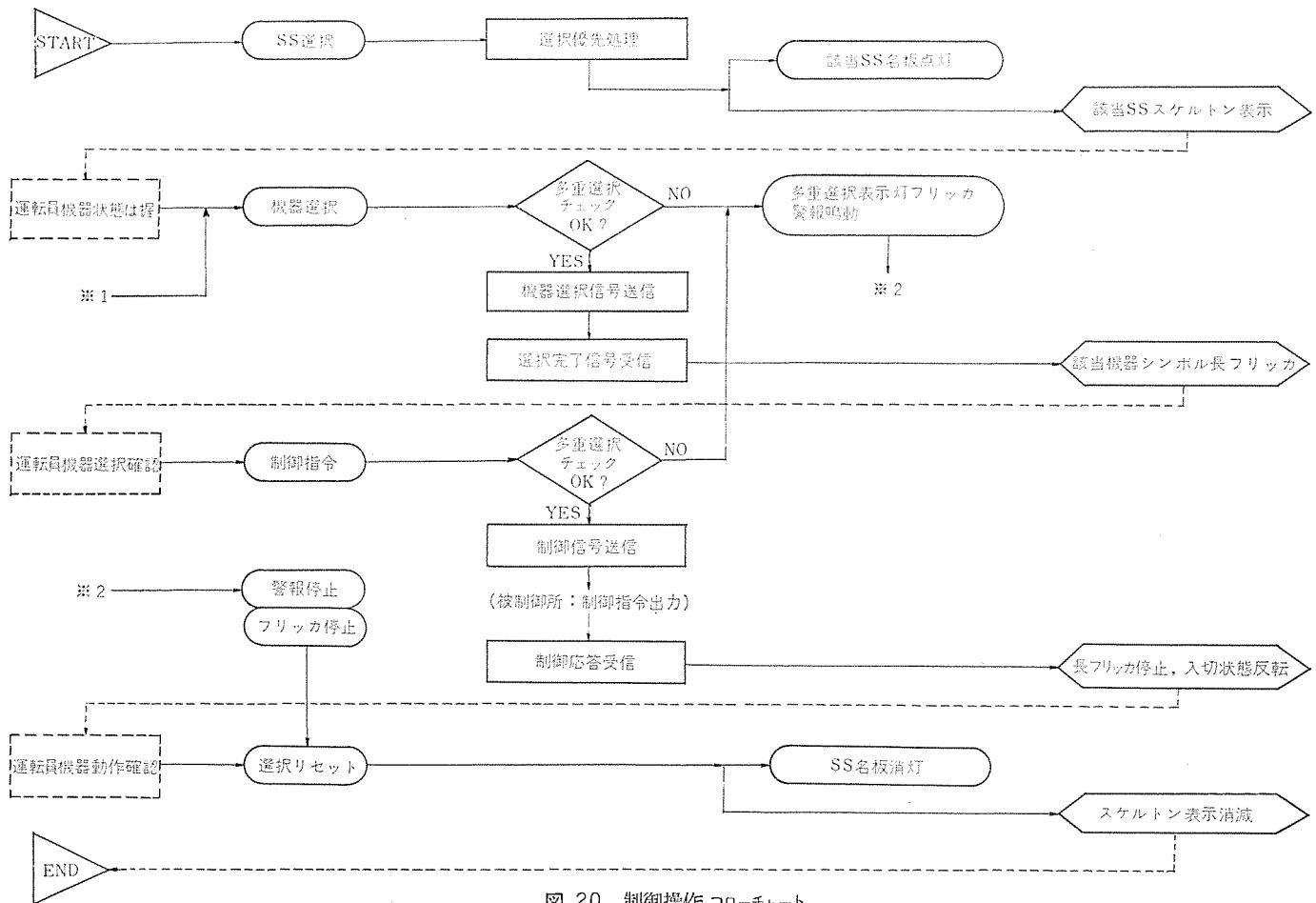


図 20. 制御操作フローチャート

SS 選択スイッチを操作すれば、フリッカは停止するとともに故障表示器のその状態を表示する。同時に CRT にもスケルトンが現われ機器状態を表示する。表示は必要に応じフリッカするが、選択完了時のフリッカと識別するため短フリッカとしている。これらの表示警報方式は通常のとおり 4 方式⁽¹⁾に統一している。図 21. に表示フローチャートを示す。

(2) 構成

図 22. に示す形式であり、後部斜面に故障表示器、手前に選択スイッチを配置している。選択スイッチは SS 選択用 20 個、機器名選択用 11 個、機器番号 10 位選択用 11 個および 1 位選択用 11 個より構成されている。

4.2.4 CRT ディスプレイ装置

従来の監視盤に代わるもので、カラーモニタ TV およびこれを制御する制御論理盤より構成され、計算機を使用しないで変電所スケルトン、シンボル、用途名称などを自由にカラー表示できるため、従来の監視盤では得られなかった情報量の多様化がはかられ、かつ操作員の視覚に訴えるので適切な判断ができる。なお、このシステムでは遠制装置と結合しているが、インターフェースを接続すれば、一般の配電盤(制御盤)とも結合ができる。図 22. に CRT、図 23. に CRT 制御論理盤を示す。

(1) 特長

(a) フロア スペースの縮小

SS 数に関係なく 1 台の CRT に表示できるため、従来の監視盤に比較して大幅な減少となる。

〈制御機表示〉 〈CRT表示〉

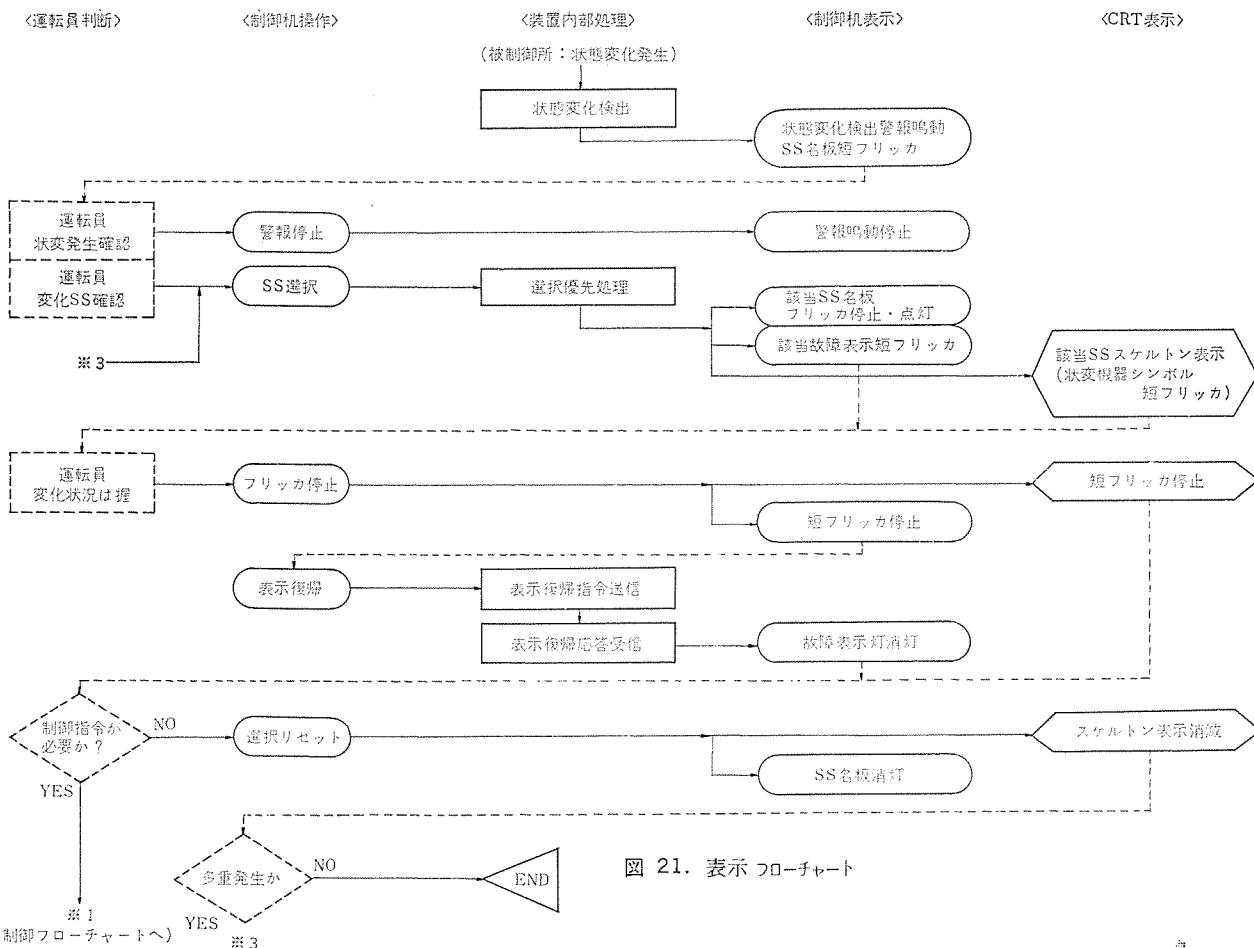


図 21. 表示フローチャート

また、計算機を含むシステムに使用した場合でも、計算機の負担軽減あるいはバックアップ装置として有効である。

(2) 仕様

(a) 画面寸法

398×308 mm

(b) 表示文字数

768字(32字×24行)

(c) 文字寸法

約12×12 mm (1区画)

(d) 文字表示方式

ドット式

文字: 5×7ドット

シンボル: 8×8ドット

(e) 表示字種

任意に64種類

(f) 表示色

赤、緑、黄、青、白、シアン、マゼンタ

(g) 表示方式

ラスター・スキャン方式

(h) 電 源

AC 110V±10%

(i) 周囲条件

温 度 0~40°C

湿 度 30~90%

(3) 機能および動作

図24にCRTディスプレイ装置の構成を示す。入力信号としてパターン選択信号と表示情報が必要であり、これをCRT制御論理盤で処理してCRTを動作させる。

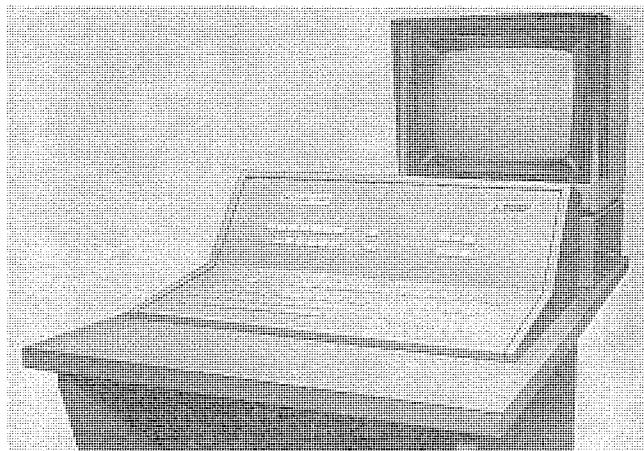


図 22. 集中監視制御機およびCRT

(b) 鮮明な表示

7色のカラーを使い分け、自由な图形・シンボルが表現できるため美的感覚のすぐれた鮮明な表示ができる。

(c) 変更が容易

増設、フィーダの用途変更などが生じた場合、書込ユニットのキーボードスイッチを操作することにより簡単に图形パターンの変更ができる。

(d) 計算機が不要

图形発生機能を内蔵した専用機のため、計算機が不要である。

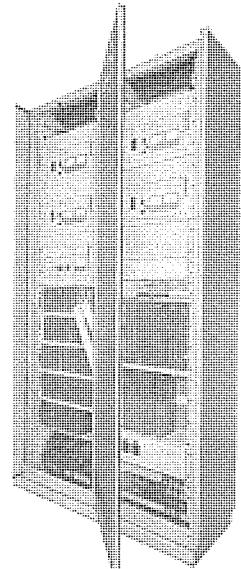


図 23. CRT制御論理盤

集中監視制御機でSS選択をすれば、表示処理盤を経由してパターン選択信号が出る。これにより前もって記憶されているSSごとの图形パターン(スケルトン、名称など)のうち、該当するものを選択するとともにその時の表示情報により色制御して映し出す。图形パターンは画面(32×24画素)に表示字種(画素)を配列したもので、SSごとにワイヤメモリに記憶している。表示字種は縦・横8ドットを使用して最大64種類まで自由に構成することができる。図25.に图形パターン例、図26.に表示字種例を示す。

表示情報は選択された图形パターン上の表示字種ごとに色変化させることを知らせるもので、機器状態情報・フリッカ情報・機器選択情報の3種類より構成されている。機器状態情報は機器の入・切を伝えるもので、該当シンボルを入は赤、切は緑色に光らせる。フリッカ情報は機器の自動状態変化を伝えるもので、該当シンボルを短フリッカさせる。また機器選択情報は集中監視制御機で機器選択操作をした時、該当シンボルを長フリッカさせる。なお、3種類の信号はすべて表示処理盤経由、それぞれ10ビットを1ワードとしてワードシリアル・ビットパラレルの形で入力される。

(4) 構成

CRT 1台、CRT制御論理盤1面より構成されている。CRTは19インチであり専用キャビネットに収納されている。またCRT制御論理盤は1面に16SSまで収納できるが、さらに1面追加すれば64SSまで収納可能である。

5. 中央監視制御設備

中央監視制御設備は構内受変電設備ならびに自家発設備を直接制御する重要な部分であり、また、操作員の日常の監視制御業務の対象であるため、高い信頼性を有するとともに、緊急時に速応できるよう監視制御用の器具が選定され、配置されていることが必要である。

今回製作した中央監視制御設備は、前述のMELPAC 500システムとのインターフェースという新しい機能などが盛り込まれ、次のような点が考慮されている。

- (1) 監視制御スペースの縮小と整理による迅速制御
- (2) 配電盤を機能ごとに分類することによる保守点検の容易化
- (3) MELPAC 500システムとの信号授受点における高い信頼性

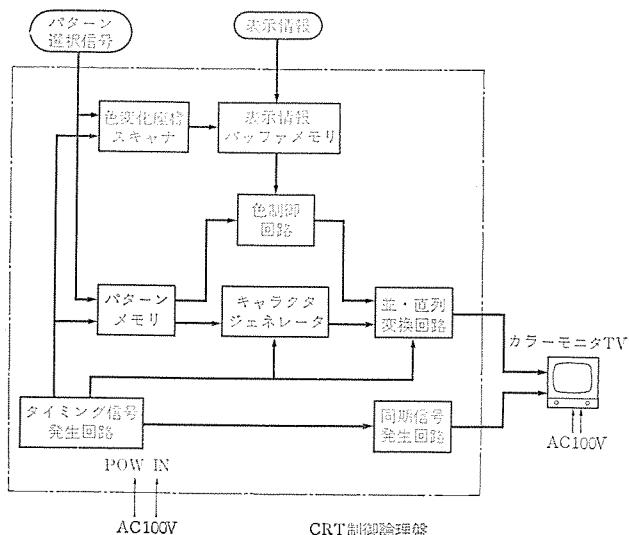


図 24. CRTディスプレイ装置の構成

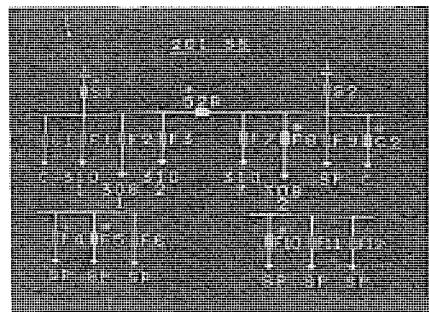


図 25. CRT の表示パターン例

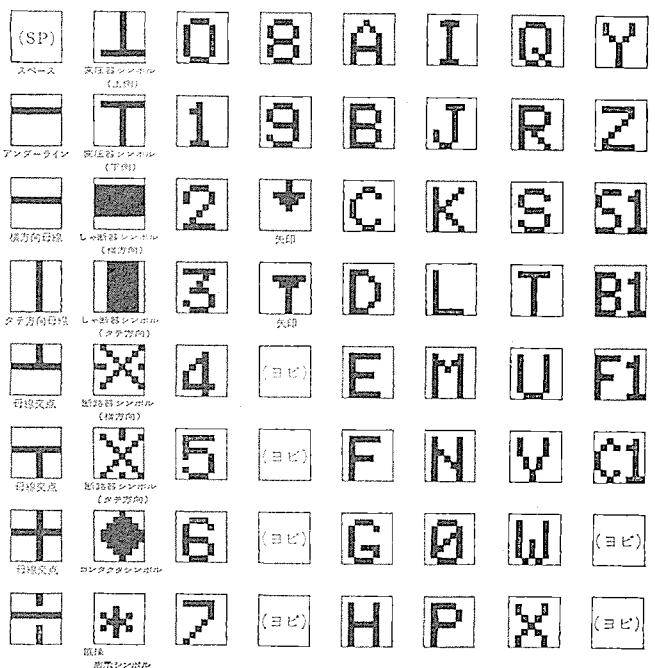


図 26. CRT の表示字種例

の確保

(4) 配電盤の機能の拡大

5.1 中央監視制御用配電盤の分類と構成

今回製作した配電盤を機能別に分類すると表5.のようになる。また、表5.に示す各盤間の信号の流れを図27.にブロック図で示す。ただし、図27.では自動オシロ以外に関してはPT, CT 2次回路を省略してある。

5.2 おもな機能と特長

ここでは中央監視制御用配電盤のおもな機能と特長を簡単に述べる。

5.2.1 監視制御

これまで使用されていた監視制御盤は、製油所の拡張に合わせて増設が繰り返されたため、電源回路とフィーダ回路が混在していたうえ盤幅が約10mもあったため、電源回路などの緊急時に電源系統の状態を正確には握り、迅速に復旧操作を行なうことが困難になっていた。今回製作した配電盤では、監視制御面を電源設備用とフィーダ回路用とに分割し、小形器具を採用することなどにより、特に重要な電源設備の監視制御盤は幅4mに縮小された。さらに、電源系統だけをまとめたために、系統の運用状況の把握が容易になり、緊急時に速応することが可能になった。

制御方式は、電源設備用操作デスクでは迅速制御の観点から1挙動操作方式とし、フィーダ操作デスクは、制御スペース縮小の観点から、

機器を選択した後開閉操作を行なう2挙動操作方式を採用した。

5.2.2 保護継電器

電力会社からは、66 kV 並行2回線受電を行なっており、この部分の保護用としてバイロットワイヤリレー装置を用いた。また、構内系統の保護継電器にも、信頼性が高く安定しているものを用いた。

5.2.3 MELPAC 500 システムとのインターフェース

制御用コンピュータシステムとの信号授受にあたっては、受渡し点での信号に双方の厳密な品質保証が必要である。このため、インターフェース用の補助継電器盤では、MELPAC 500 システムの各機能に対応して次のような機能をもたせた。

(1) 選択しゃ断

選択しゃ断は、電源脱落などの系統動搖に対処するための系統の大手術ともいえる重大な処置であり、万一にも誤った信号による誤しゃ断が発生してはならない。このために次のようなシーケンスが組まれている。

(a) MELPAC 500 システムの選択しゃ断機能を起動するような信号、すなわち電源しゃ断器のトリップ信号は、トリップが発生した直後からあらかじめ定められた一定時間のみ与えるようにした。

(b) MELPAC 500 システムからのフィーダーしゃ断器トリップ指令は、上記の一定時間内に限って受け付け、それ以外の時間には誤ってトリップ指令が出た場合でも受け付けないようにした。

(c) 周波数継電器動作による選択しゃ断のうち、第1段および第2段は MELPAC 500 からのトリップ指令に従うが、第3段が動作

表 5. 中央監視制御用配電盤の分類

分類	名 称	面 数
監視制御盤	電源設備監視盤	4
	操作デスク	4
	フィーダー監視盤	2
	操作デスク	1
	模擬母線照光用補助継電器盤	1
保護機器盤	バイロットワイヤリレー盤	4
	受電・並列保護機器盤	2
	発電機保護機器盤	4
	11 kV フィーダー保護機器盤	3
MELPAC 500 インタフェース	MELPAC 用補助継電器盤	2
	Wh (電力量) カウンタ盤	1
	アナログ変換器盤	3
記録・計測盤	自動オシロ盤	1
	Wh (電力量) メータ盤	2
	取引用計器盤	1
現場機器インターフェース	補助継電器盤	4

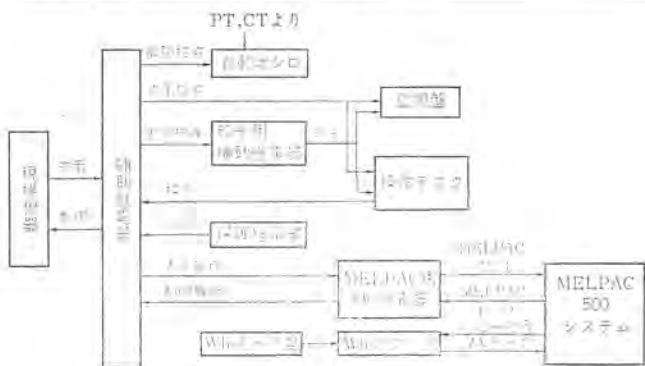


図 27. 監視制御設備の制御および表示ブロック図

した場合には、補助継電器のみのシーケンスでフィーダーをトリップするようにして、コンピュータ点検時などのバックアップとしている。

(d) 各フィーダーを選択しゃ断の対象とするか否かは、切換スイッチ接点で MELPAC 500 に与えているが、選択しゃ断指令を受ける側にも同じ接点を通してトリップ用補助継電器を付勢するようにし、対象外のフィーダーを誤しゃ断することのないように十分考慮した。

(2) Var 制御

発電機の界磁の上・下限リミットスイッチ信号を MELPAC 500 に与えて Var 制御の暴走を防止し、MELPAC 500 システムの Var 制御が万一乱調になった場合にも、発電機の定格範囲外の運転を防止するため力率調整継電器を併用している。

(3) 母線切換

11 kV 母線連絡しゃ断器が入でないと MELPAC 500 からの指令を受け付けないようにしている。

(4) その他

MELPAC 500 システムの電源停止など、異常時にはその信号を受取り、MELPAC 500 からの他のすべての指令を受け付けないように考慮した。

5.2.4 その他の機能と特長

図 27. に示すように、中央監視制御用配電盤と現場機器との接続は、PT・CT 2 次回路以外には、制御および表示接点の授受回路のみとし、現場機器相互のインタロックであっても、すべて中央の配電盤で構成するようにした。これは現場機器の大半が既設であったために、改造期間の短縮を意図して行なったが、このため系統全体にわたって制御方式が統一されシーケンス制御が容易になった。さらに、新しく追加された MELPAC 500 システムとの結合も容易に行なうことができた。

5.3 電源設備監視制御用配電盤

電源設備用監視盤および操作デスクの外観を図 28. に示す。

5.3.1 電源設備用監視盤

電源設備用監視盤には、構内電気設備の中核部を監視するためのメータ類が單線接続図を示す模擬母線とともに配置されている。盤は4面、計4 mで構成され、左側から受電および11 kV 母線連絡回路、11 kV 系自家発回路、11 kV - 3 kV 連絡回路、3 kV 自家発および母線連絡回路の順に配置してある。小形(80 mm角)メータならびに小形(三菱SK形)切換スイッチを採用するなど、監視スペースの縮小に努めた。盤下部には記録計類が取付けられている。なお、この盤の裏側には受電および受電・自家発並列保護継電器、自動オシログラフ、Wh カウンタが取付けられている。

自動オシログラフは3台設置し、66 kV、11 kV および3 kV 電源系統各部の電圧、零相電圧、零相電流およびおもな保護継電器の動作などを自動記録できるようにしている。これにより、系統で事故が発生した場合、事故の種類(短絡・地絡の別)、事故相および保護継電器動作順序などの解析が確実かつ、すみやかに行なわれ、事故復旧にも役立つと期待される。

5.3.2 電源操作デスク

操作デスクには監視盤の回路配置に対応して、操作スイッチ類が配置されている。電源設備のすべての操作がこの盤で行なわれ、その制御対象もしゃ断器、断路器はじめ、変圧器1次タップ、発電機補機類など多岐にわたっているが、小形スイッチハンドルの形や色などを変えることにより、それらの識別を容易にした。また、緊急時の送電状況は握を助けるため、模擬母線には新形の照光式を採用した。

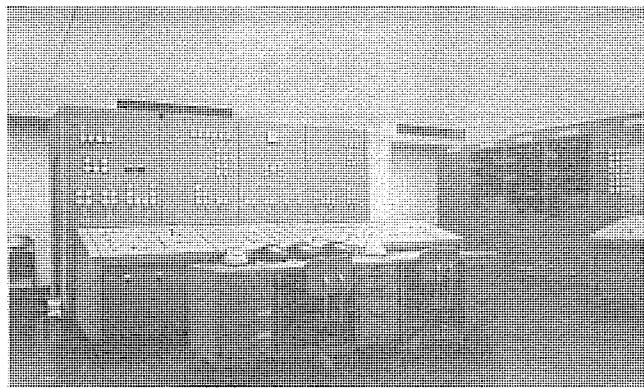


図 28. 電源設備用監視盤および操作デスク

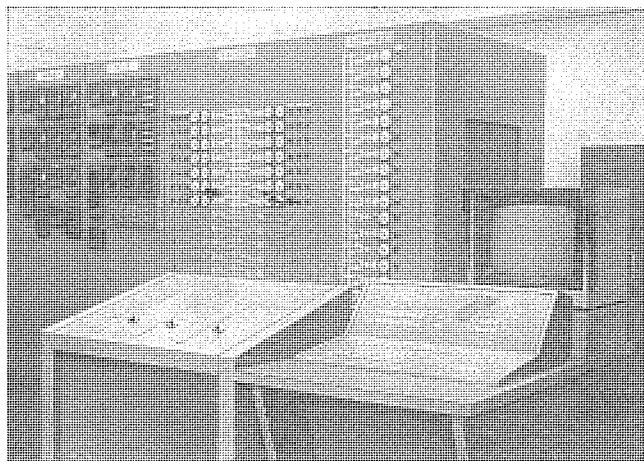


図 29. フィーダ監視盤および操作デスク

5.4 フィーダ監視制御用配電盤

フィーダ監視盤および操作デスクの外観を図 29. に示す。

5.4.1 フィーダ監視盤

フィーダ監視盤は 1,300 mm 幅の 11 kV フィーダ監視盤と、700 mm 幅の 3 kV フィーダ監視盤の 2 面で構成されている。盤面には小形メータと照光式模擬母線がコンパクトに配置されているほか、11 kV フィーダ監視盤には MELPAC 500 システムの母線切換および選択しゃ断の「使用—除外」切換スイッチと電流計切換スイッチ、3 kV フィーダ監視盤には選択しゃ断の「使用—除外」切換スイッチが取付けられている。

5.4.2 フィーダ操作デスク

操作デスクには、11 kV フィーダの断路器としゃ断器、3 kV フィーダ

のしゃ断器を操作するための、それぞれの選択スイッチと主幹制御スイッチがコンパクトに配置されている。

5.4.3 補助継電器盤

補助継電器盤は中央監視制御装置と現場機器とのインターフェース盤であり、図 27. に示すように、現場機器との信号授受はすべてこの盤を経由して行なわれる。これらインターフェース用の補助継電器を分類すると次のようになる。

(1) 接点増幅用補助継電器

入・切表示、インターロック、シーケンス制御などに用いるための接点増幅用である。

(2) 故障表示用補助継電器

瞬時故障信号でも確実に表示、警報するために用いるものである。

(3) 入・切制御用補助継電器

(4) 操作記憶用補助継電器

(5) 故障記憶、ロックアウト用補助継電器

(6) シーケンス制御用補助継電器

上記の各種補助継電器は合計約 1,000 個に達し、これらを効率的に収納するために、補助継電器を盤表面取付け形(プラグイン形、ケース収納)と、盤内収納形とに分け、盤内収納形のものは盤内に可搬とびら(扉)を設けて収納するようにした。

6. むすび

昨年來の石油危機によって、むだな石油消費を反省する気運が生まれ、石油需要はやや鎮静化したようであるが、石油以外の適当な代換品が得られない分野では、石油安定供給を必要としていることにはかわりはない。このため、製油所の電力設備が電源脱落などの系統動搖に対しても安定した動作をすることが、以前にも増して要求されている。また、設備運用の省力化という時代の要求に応じることも不可欠であり、このたび水島製油所に導入した電力設備の合理化・自動化システムは、このような要求に十分にこたえうるものであったと考える。

おわりに、この合理化・自動化システムは多くの関係者の協力によって完成されたものであることを記し、深甚な謝意を表する。

参考文献

- (1) 那須野ほか：三菱電機技報、45, No. 12 (昭 46)

128 k バイト MOS IC メモリ装置

山本 勝敬*・小笠原光孝*・蒲生 容仁*・磯崎 真*

1. まえがき

MOS IC メモリは、低価格・低消費電力・小形という特長を買わせて、電子計算機をはじめとする各種の電子機器に広く採用されるようになり、いよいよ実用期に入ってきた。性能範囲も急激に拡大し、スピードではアクセスタイム 40 ns のものが、容量では 4096 ビット／パッケージのものが、すでに発売されている。

当社においても、CRT ディスプレイ装置をはじめ、いくつかの装置に IC メモリが採用されている。このたび電子計算機の主メモリを目指して IC メモリの使用技術を確立するため、128 k バイト MOS IC メモリ装置の試作を行なった。この装置の仕様・構成・周辺回路技術・無停電電源装置・装置動作特性について報告する。IC メモリ技術は、近い将来論理 IC のように、はん(汎)用技術となることは明らかであり、本報告が関係諸氏のよき参考資料となることを期待している。

2. 概要

このメモリ装置は、1,024 ビット、P チャネル、ダイナミック MOS-LSI メモリ素子 M 58533 で構成された、128 kB IC メモリ装置であり、その外観を図 1 に示す。前面に突き出た部分は、ビルトインチェックの操作パネルである。

2.1 仕様

記憶容量： 8 kB／ボード

128 kB／モジュール

アクセスタイム： 500 ns

サイクルタイム： 800 ns

電源電圧： ± 5 V, +16 V, +19.5 V

消費電力： 0.1 mW/bit

2.2 構成

このメモリ装置の標準構成は、図 2 に示すように、8 kB のメモリボード 16 枚 (0～F) と、1 枚のコントロールボードからなる。

破線内はオプションであり、パリティチェックとジェネレータは、メモリコントロールボード上に実装される。停電時にもデータを保持する必要のある場合には、バッテリとバックアップパワーコントロールボードを付加する。ビルトインチェックは、オフラインで、メモリのファンクションテストをするのに有用である。

2.3 特長

このメモリは、多様な要求に応じられるように、以下に述べるような種々の特長がある。

- (1) ビルトインチェックが用意されているので、保守が容易である。
- (2) 停電時にも小容量のバッテリで、データの保持が可能である。

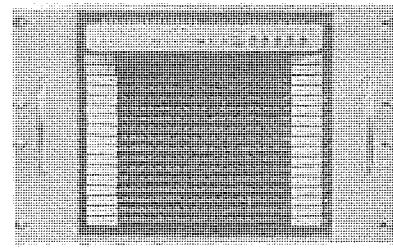


図 1. 128 k バイト IC メモリ装置

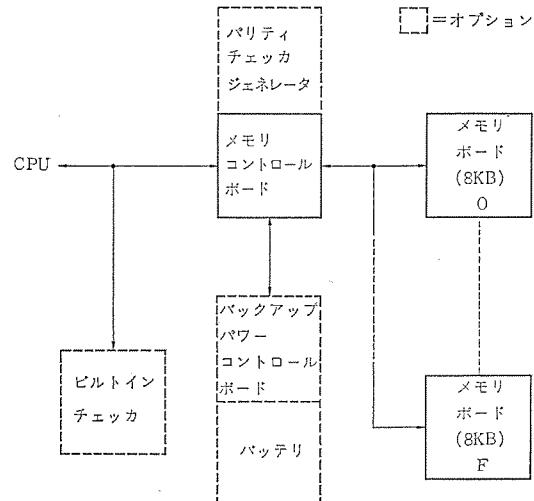


図 2. IC メモリ装置のブロック図

(3) 8 kB 以上、8 kB 単位で、128 kB まで任意の構成ができる、それ以上の拡張にも対処できるように、モジュールセレクト信号が用意されている。

(4) バイトセレクト信号を利用することによって、2種類の語構成がとれる (64 kW × 18 bits, 128 kW × 9 bits)。

(5) リードモディファイ・ライトサイクル (1,200 ns) での動作が可能。

(6) リフレッシュコントローラを内蔵し、外部からのクロック信号は不要である。

(7) データラッ奇を内蔵し、パリティチェックとジェネレータも、メモリコントロールボード上に実装できる。

(8) コンパクトかつ低消費電力であり、熱対策も容易である。

3. メモリ装置

メモリボード、コントロールボードおよびビルトインチェックのおのおのについて、ブロック図を参照しながら説明し、最後にこのメモリ装置の動作

特性について述べる。

3.1 メモリボード

メモリボードの外観とブロック図は、図3., 4.に示すとおりである。ボードには、 $4 \times 2 \times 9 = 72$ 個のICメモリ素子が実装され、外部信号の制御により、 $4 \text{ kW} \times 18 \text{ bits}$ あるいは $8 \text{ kW} \times 9 \text{ bits}$ の語構成となる。アドレス $A_F \sim A_C$ が、カード上のセレクトスイッチの内容と一致したときに、カードセレクト信号が発生し、アドレス、ビットドライバおよびセンスアンプが駆動される。 $A_A \sim A_B$ は、プリチャージ $*$ 、セネイブル $**$ およびライト信号 $***$ をデコードし、目的のメモリ素子を選ぶ。アドレス $A_0 \sim A_0$ は、ドライバを経て、直接メモリ素子に印加され、メモリ素子内でデコードされて目的の語を選択する。

リフレッシュ $***$ の場合には、デコーダの出力が強制的に“1”にされ、すべてのメモリ素子が選択されて同時にリフレッシュされる。このとき、ライト信号とリードストローブ信号は、メモリコントローラで禁止されるので、読み出し、書き込み動作は行なわれない。

直接周辺回路は、図5.に示すとおりである。破線で囲まれたドライバとセンスアンプは、すべてIC化されていて、終端抵抗もハイブリッド抵抗を用いている。ドライバについては、アドレスおよびクロック入力線は、負荷が重く(ICメモリの入力端子静電容量が大きい)，かつ高速を要求されるので、オフバッファ付きを用い、データ入力線は、その逆であるから、低価格化を図るためにオープンコレクタ形を用いた。センスアンプには、ノイズマージンを上げるために、差動形アンプを使用し、基準電圧を与える入力線は、ダミー線として、データ出力線とペアにして

* Precharge, Cenable: メモリ素子のクロック信号
** Write: 書込み、読み出し制御信号
*** Refresh: 情報蓄積コンデンサ(メモリセル)のリークによる情報の減衰を再生させる動作モード

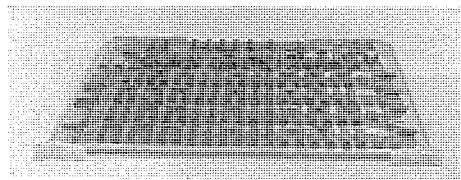
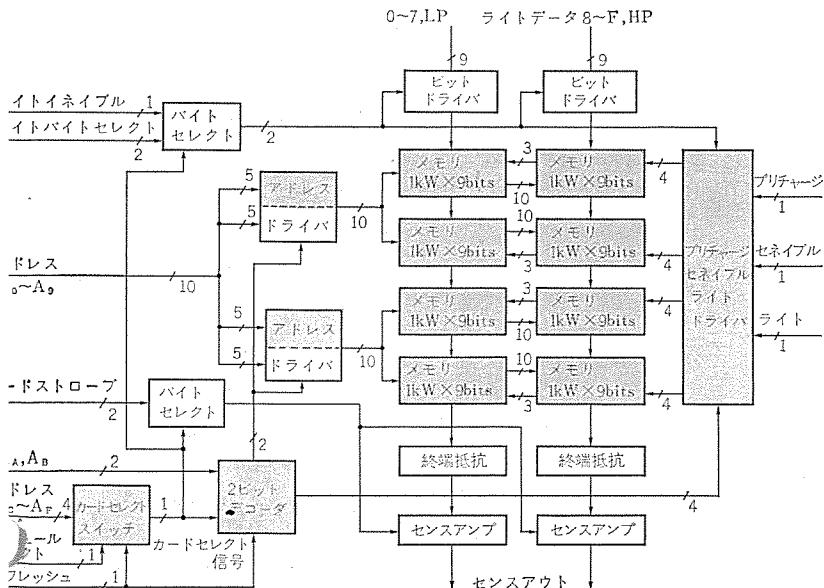


図3. ICメモリボード



ボード上を走らせている。

3.2 コントロールボード

コントロールボード(図6.)は、図7.に示すような各ブロックで構成され、その動作は次に述べるとおりである。

(1) リフレッシュコントローラ

M58533のようなダイナミックMOSメモリのデータの再生(リフレッシュ)を制御するものである。リフレッシュタイムがリフレッシュ要求を出すと、これがCPU側に送られ、約200ns後に、メモリがレディであれば(メモリが動作中でなければ)、リフレッシュフリップフロップがセットされてリフレッシュサイクルが実行される。逆に、リフレッシュ要求が出てから200ns以内にCPUからメモリリクエストがくれば、リフレッシュ要求を待たせ、そのメモリサイクルの終了後にリフレッシュをおこなう。

(2) タイミングジェネレータ

ディレーラインで構成され、スタート信号で起動されて各種メモリタイミングを発生し、サイクルの終了後にサイクルエンド信号をリフレッシュコントローラに返す。

(3) リフレッシュカウンタ

下位5ビットのリフレッシュアドレスを発生させる。カウンタは、リフレッシュサイクルが実行されるたびに、そのサイクルエンド信号でカウントアップされる。

(4) アドレスマルチプレクサ

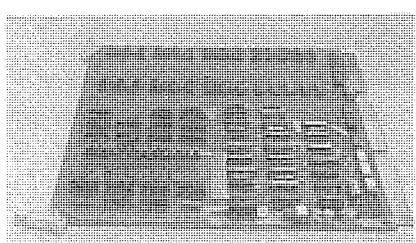
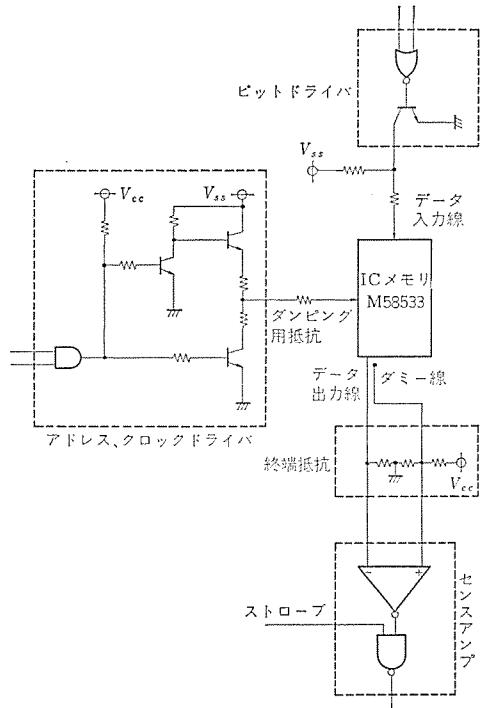


図6. コントロールボード

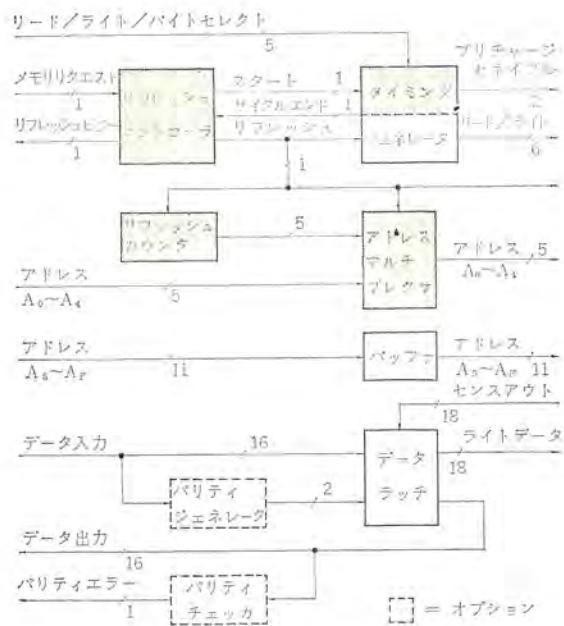


図7. ビルトイン チェックのブロック図

通常メモリアドレスとリフレッシュアドレスの切換えを行なう。

3.3 ビルトイン チェック

ビルトイン チェックは、システム内に実装し、メモリ装置をオフラインで試験する目的で、以下の方針のもとに設計された（仕様は表1に示す）。

- (1) メモリモジュールの基本的なテスト（ファンショナル テストによる故障の有無、故障アドレス、ビットの検知）ができる。
- (2) メモリの連続か（稼）動試験が可能である。
- (3) 簡単なハードウェアで、持ち運び、取扱いが容易なこと（外観は図8に示す）。

3.4 動作特性

3.4.1 動作タイミング

図9に動作タイミングを示す。データアクセス時間は、約460 nsであり、十分なストローブマージンがある。メモリ素子からの出力電圧は大きく、ノイズも小さいので、S/N比は非常に大きい。プリチャージ、セネイブルなどのクロックドライバ出力の立ち下り・立ち上り時間は、20~30 nsと速く、オーバーシュートはなく、クロストークも小さい。

3.4.2 動作マージン

ICメモリのテストパターンとしては、従来コアメモリでよく使われたCHECKER BOARDでは不完全であり、WALKING “1” (“0”), GALLOPING “1” (“0”)のテストパターンが適しているといわれている。

WALKING “1” (“0”)とは、

- (1) まず、全アドレスに “0” (“1”)を書き込み、
- (2) 次に、第1アドレスに “1” (“0”)を書き込んだ後に全アドレスの内容をチェックし、
- (3) 順次、この “1” (“0”)を移動させて、同様のことをおこなうテストパターンである。

これは、ICチップ内の電荷分布を不均一にし、その影響を調べようとするものである。GALLOPINGとは、上記(2)の過程において、全アドレスの内容をチェックするときに、毎回もとのアドレスにもどって、他のアドレスの内容を読み出したことによる影響を調べようとするものであり、各種のアドレス遷移も実現できる。

これらのテストパターンを用いて求めた電圧マージンとストローブマージンを図10., 11.に示す。一般に、WALKINGとGALLOPINGで

表1. ビルトイン チェックの仕様

項目	仕様
アドレスモード	固定 オートスキャン スタートストップアドレス設定可能
データモード	固定 アドレス内容
リード/ライトモード	リード ライト リード+モディファイ・ライト リード/ライト
バイト選択	ローバイト ハイバイト フルワード
サイクルモード	ステップ 連続
エラーチェック	一致チェック 各ビットマスク可能 エラーストップ エラーノンストップ
表示ランプ	アドレス、データ、リード/ライト、 エラー、スタート、リフレッシュ



図8. ビルトイン チェック

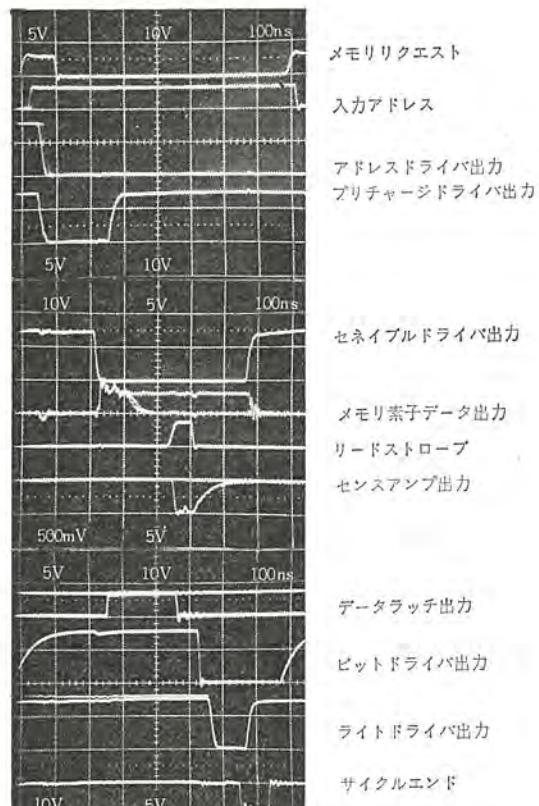


図9. メモリ動作タイミング

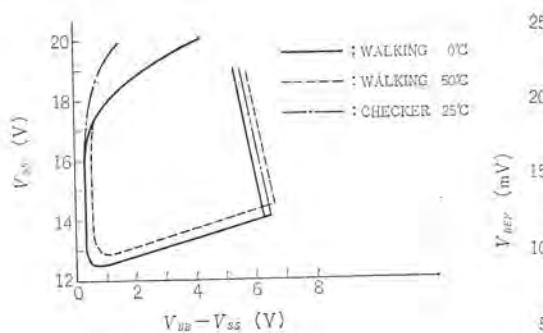


図 10. 電圧マージン

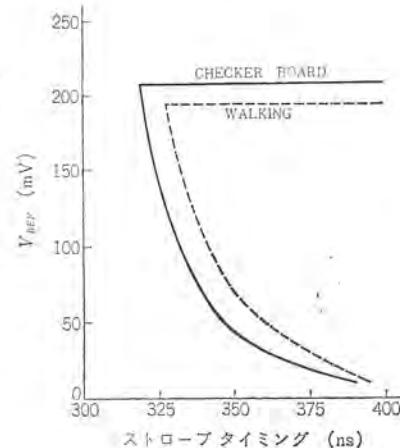


図 11. ストローブマージン

表 2. 消費電力

	選択時	非選択時
$I_{SS}(A)$ / ボード $V_{SS}=16(V)$	0.49	0.1
$I_{BB}(mA)$ / ボード $V_{BB}-V_{SS}=3.5(V)$	0.05	0.05
$I_{CC}(A)$ / ボード $V_{CC}=5(V)$	メモリボード	0.5
	コントロールボード	1.9
	ビルトインチェック	2.1
$I_{CC-}(A)$ / カード $V_{CC-}=-5(V)$	0.07	0.07
消費電力 128 kB (メモリボード 16枚 (コントロールボード 1枚))	総計 (W) 81	74
	1ビット (mW) 0.07	0.06

は動作領域の差はほとんどないが、WALKING と CHECKER BOARD とでは、図に示すような差がある。また、図 10.において、 $V_{BB}-V_{SS}$ (max) のマージンが、高温時のほうが大きいのは、MOS トランジスタのスレッショルド電圧が小さくなるためである。

3.4.3 消費電力

電源電流と消費電力の実測値は、表 2. に示すとおりである。コントロールカードには、データラッチ、パリティチェック、ジェネレータおよび CPU とのインターフェース用の終端抵抗とバッファゲートが実装されているので、相当大きな電流値となっている。メモリカードについては、チャージ、アドレスおよびビットドライバのデコードをしているので十分小さな値になっている。

128 kB 実装時のビット当たり消費電力は、0.1 mW 以下で、コアメモリの 1/2~1/3 になる。

4. 無停電電源装置

ここで述べる無停電電源装置は、停電時に大容量のバッテリなどで、通電時と同じ電力を供給し、メモリ装置の正常動作を維持しようとするものではなく、停電時にはメモリの動作を停止させ、消費電力を極力小さくし、小容量のバッテリで IC メモリのデータ内容を保持しようとするものである。ダイナミック MOS LSI メモリのデータを保持するためには、単にメモリ用の電源電圧を維持するだけでなく、周期的にリフレッシュしなければならないので、この動作に必要なリフレッシュコントローラなどの周辺回路にも、論理回路用電源 (+5V) を供給しなければならない。停電時に、この電源を常時維持しておく場合には、データ内容の保持も割合簡単であるが、消費電力の低減は困難であり、バッテリも容量の大きいものを必要とする。そこで、リフレッシュタイムな

どで構成される、低消費電力の LPDR (Low Power Data Retention) コントローラをつくり、この論理回路用電源もリフレッシュ期間中以外は切離できるようにし、データ保持電力の低減化をはかった。以下、この装置の構成と動作を説明し、消費電力とデータ保持時間の実測値について述べる。

4.1 構成

図 12. に示すのが、無停電電源装置の外観であり、左下のターミナルは、調整時などにバッテリの代りに外部から直流電源を印加するためのものである。この外部電源を用いるか、内容のバッテリを用いるかは中央のダイヤルスイッチで切換える。データ保持の必要がないときにも、このスイッチを外部電源側に倒しておけば、バッテリの不必要的放電が防止される。このブロック構成図を示したのが図 13. であり、実線は電力の流れを示し、破線は制御信号を意味する。データ内容を保持するための、IC メモリ用電源 V_{BB} と V_{SS} およびリフレッシュ動作に関係する周辺回路用の論理回路電源 V_{CC2} は、バッテリで維持されるが、センサ用の V_{CC1} とデータの入出力に関係する論理回路用電源 V_{CC1} は維持されない。メモリボード上のトグルスイッチは、リフレッシュ動作に関係する論理回路用の電源を切換えるものであり、データ保持をおこなわず、 V_{CC2} のないシステムでは、 V_{CC1} 側に接続する。また、データ保持をおこなう場合にも、このスイッチで、データ保持の領域を指定することができるので、効率のいい運用が可能となる。

バッテリの充電は、低電流率による浮動充電法でおこなわれ、常時充電されている。バッテリには、取扱いの簡単な完全密閉形で乾電池タイプの Ni-Cd 形を用いる。バッテリの放電を制御するトランジスタスイッチは、バッテリの過放電を防止するとともに、充電時にはこのスイッチを OFF することによって、安定化電源の入力電圧変動を小さくする。

4.2 動作

停電時にメモリのデータ内容を保持するためには、停電期間中に正常に動作するだけでなく、通電状態から停電状態への移行時およびその逆のときに、データ内容が破壊されないようにすることが重要である。図 14. は、この停電対策システムの動作タイミングを示したものであり、これを参照しながら、以下に順を追って動作を説明する。

【正常時】

(1) IC メモリのリフレッシュは、60 μ s ごとに 1 リフレッシュアドレスずつ実行される。

【停電】

(2) 外部 AC 電源が切れる。しかし、DC 出力は、安定化電源内のコンデンサに蓄積された電荷によって、いまだ安定である。

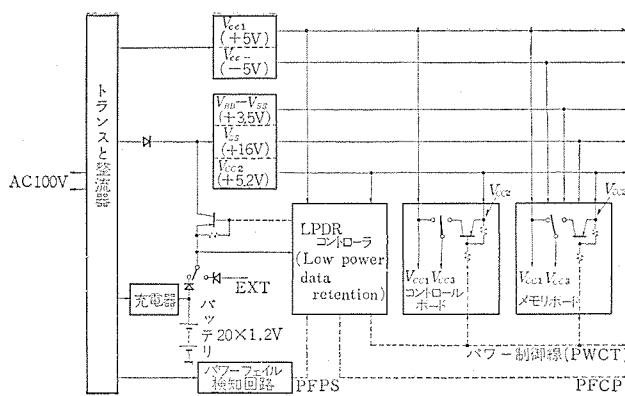


図 13. 無停電電源装置のブロック図

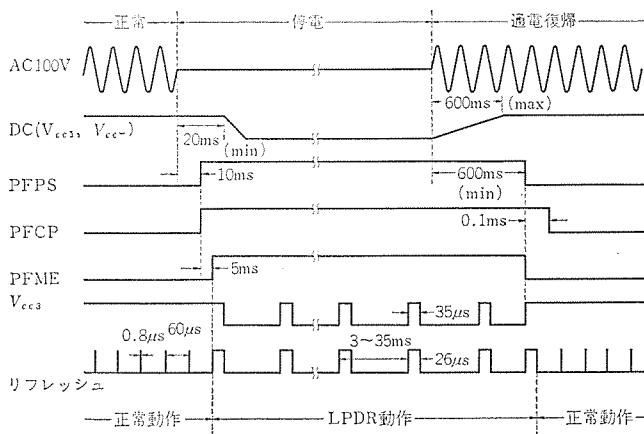


図 14. 無停電電源装置の動作タイミング

- (3) 10 ms 後に、パワーフェイル検知回路がパワーフェイル信号(PFPS)を LPDR コントローラに送る。
- (4) LPDR コントローラは、これを受けて、CPU にパワーフェイル信号 (PFPS) を送るとともに、バッテリを放電させるためのトランジスタスイッチを ON にさせる。
- (5) この時点では、バッテリで維持されない電源出力もいまだ安定であり、メモリは正常な動作が可能である。
- (6) 5 ms 後に、LPDR コントローラ内でメモリにパワーフェイルを指示する信号 (PFME) が発生し、メモリは LPDR動作モードに移行する。この 5 ms の間に、CPU はレジスタ内容の待避などの処理をおこなうことができる。

(7) LPDR モードになると、まず最初にすべてのメモリ内容がリフレッシュされる。その後、温度制御されたリフレッシュタイムの指示によって、周期的にパワー制御線が駆動され、各ボードに電力が供給されて(図 4., 7. の薄く塗りつぶした部分)リフレッシュがおこなわれる。このときは、正常時と違って 32 サイクルの連続したリフレッシュ動作が実行され、一度にすべてのメモリ内容がリフレッシュされる。

[通電復帰]

- (8) 再び AC 電力が入ると、600 ms 以内に DC 出力電圧が安定し、その後、電源からのパワーフェイル信号が落ちる。
- (9) これを検知すると、バッテリの充放電を制御するトランジスタスイッチを OFF させ、メモリへのパワーフェイル信号も解除する。
- (10) この結果、リフレッシュ時間調整のために、全メモリ内容をリフレッシュした後、CPU へのパワーフェイル信号を落とし、CPU からのメモリアクセスを再開させる。

4. 3 消費電力と保持時間

停電時には、リフレッシュ期間中に消費される電力の割合が大きいので、リフレッシュ周期を長くし、デュティレシオを小さくすることは、直接消費電力の低減に役立つ。このリフレッシュ周期は、温度依存性が大きく、温度が低くなるほど長くてよいので、これを制御することによって、周囲温度が低い場合の消費電力を減少させることができる。図 15. は、この装置における停電時の消費電力を示したものであり、リフレッシュ周期の影響がよくでている。メモリ素子用の電源 V_{SS} の電流 I_{SS} は、リフレッシュ期間中以外はほとんど流れないので、リフレッシュ周期に反比例する。論理回路用電源 V_{CC2} の電流 I_{CC2} には、LPDR コントローラに常時供給される電流を含むので、温度依存性は小さい。また、メモリ素子用の電源 V_{BB} は、MOS トランジスタのサブストリートに印加されるものであり、電流は非常に小さいので無視した。この結果、電源を含まないメモリ装置だけの消費電力は、0~50°C の間で約 10 倍も変化し、25°C では約 1 W という非常に小さい値にすることができた。

しかし、装置全体では、安定化電源自体の消費電力も考慮する必要があり、これを含めた常温での総合消費電力は約 4.5 W になった。この電源は、停電でないときには数アンペアも流れるので、このように小さな出力電流のときの効率を上げるのは簡単ではないが、今後改良の余地が残されている。

データの保持時間は、バッテリ容量で単純に決定されるものでないが、常温でのバッテリ出力電流が 200 mA 弱であるから、3 AH の単 1 形では約 16 時間、1.5 AH の単 2 形では約 8 時間となる。

5. テスト

素子カードおよび装置の試験に用いたメモリテストについて、概略説明を行なう。今回用いたテストは、メモリ素子、メモリ装置インターフェース、アドレスデータパターン発生器、プログラマブルタイミング発生器、プログラマブル直流電源およびこれらの装置を制御するミニコンピュータから成り立っており、各種テストパターンテスト条件(動作タイミング・電源電圧)による GO/NO GO テストおよび SHMOO PLOT* が可能である。テストは、通常ミニコンピュータ制御による全自动動作をおこなうが、OFF LINE

* 動作限界曲線の作図(例、図 10., 11.)

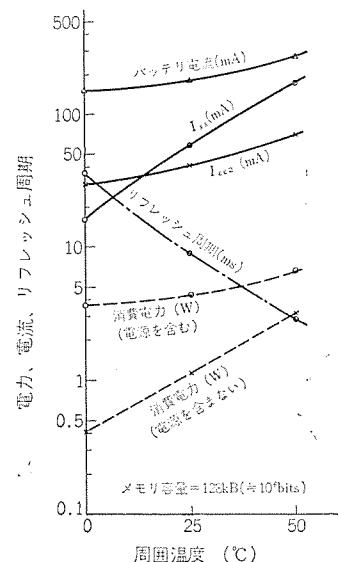


図 15. 停電時の消費電力

表 3. メモリテスタの仕様

項 目	性 能	
ア ド レ ス	16 ビット	
デ 一 タ	72 ビット	(任意のビットマスク可能)
動 作 速 度	サイクルタイム	100 ns~100 ms
タ イ ミ ン グ	チャネル数	6
	クロックレート	100 ns~100 ms 分解能 10 ns
	クロック幅	10 ns~100 ms 分解能 10 ns
	クロック遅延	10 ns~100 ms 分解能 1 ns
電 源	台 数	2
	電 壓	0~±30 V 分解能 8 mV
	最大電流	5 A
テ 斯 ツ パ テ ナ	(i) IC メモリ用 GALLOPPING, WALKING ほか (ii) コアメモリ用 WORST CASE PAT. ほか その他プログラムにより各種パターン発生可能	
テ 斯 ツ 結 果 表 示	(i) GO/NO GO ランプ表示 (ii) SCHMOO PLOT システムタイププリント	
そ の 他	リフレッシュタイム, リフレッシュコントローラ内蔵	

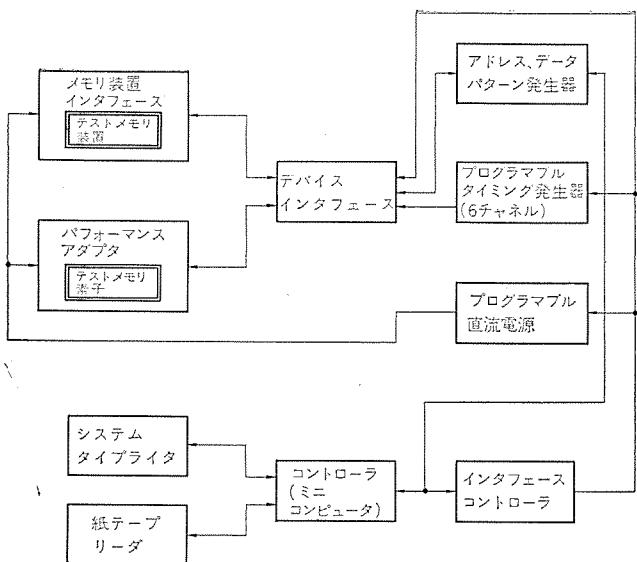


図 16. メモリテスタのブロック図

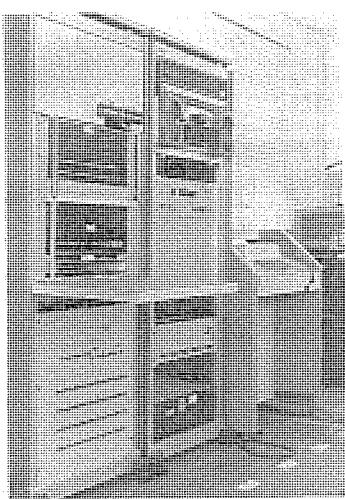


図 17. メモリテスタ

でも、MANUAL 操作により、GO/NO GO テストは可能である。なお、このテスターは、IC メモリ素子装置をはじめ、コアメモリ・磁性薄膜メモリなど各種のメモリのテストが可能である。テスターのブロック図

を図 16. に、仕様を表 3. に、外観を図 17. に示す。

6. む す び

1 k ビットダイナミック MOS メモリ素子による 128 k バイトメモリ装置、および IC メモリ用無停電装置の特長と概要について述べた。メモリ装置は、常に高速化・大容量化が要求されるため、この要求にこたえるべく、4 k ビットダイナミックメモリ素子による高速大容量メモリ装置を鋭意開発中である。メモリ装置に対する要求がますます厳しくなると、将来は、1種類ですべてを満足するような素子は実現不可能となり、高密度大容量メモリ装置には、16 k ビットメモリ素子、低電力メモリ装置には C-MOS メモリ素子、高速メモリ装置には、高速 N チャネルメモリ素子が、それぞれ使われることになるであろう。CPU が ONE CHIP でできる時代であるから、ぜひともメモリも ONE CHIP を目ざしたいものである。最後に、メモリ素子を提供いただいた当社北伊丹製作所関係各位および、メモリ装置開発にご協力いただいた関係各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 山本ほか：三菱電機技報、47, No. 2, 198 (昭 48)

人工衛星用太陽電池パネル

笛木辰雄*・向井長夫+・奥村栄純+・笠井鯉太郎+
大村勝敏+・泉田喜一郎+・山本美孝+・後藤守男+

1. まえがき

太陽電池パネルは、ほとんどすべての人工衛星の電力源として用いられており、人工衛星の基本的なシステムを決定するうえで重要な位置をしめる。また太陽電池は、人工衛星の飛しょう(翔)中、直接宇宙環境にさらされるので、衛星内部エレクトロニクスより非常に厳しい環境条件を考慮して、設計・製造・試験を行なわねばならない。これらの手法は具体的な人工衛星のミッション等により細部は若干異なるところもあるが、ほとんどが共通するものであり、体系的に、は(把)握することが重要である。ここでは、電離層観測衛星⁽¹⁾⁽²⁾用として開発した太陽電池パネルを中心に、その設計体系および解析手法、さらには製造・試験と評価など太陽電池パネルの開発全般について述べる。

まず設計においては、人工衛星のミッション上の要求をはじめとして、重量・信頼度等の要求条件から軌道・概略形状・必要電力等がしだいに決定されてゆくが、この過程において、太陽電池パネルも電源システムの一つとして概略の仕様が決められる。さらに太陽電池アレイの配列にもとづき、出力特性に関連する、放射線・温度・姿勢・故障確率・影・アルビド・紫外線その他の影響に対し解析・検討が加えられ、詳細に太陽電池出力が計算される。これを必要電力・重量・信頼度等の要求条件に対しフィードバックし、太陽電池セル・カバーガラスの選択、シャドーダイオードの配列、その他の設計パラメータがトレードオフされる。このような設計体系とおののの解析手法および、その結果について最初に述べる。製造に関しては非常に多数の部品を組立てる関係上、製造の安定性、不良の完全な除去が最も重要なポイントであり、開発した製造体系について概要を記す。最後に電離層観測衛星の太陽電池パネルにおいても、プレッドボードモデル、エンジニアリングモデル、プロトタイプと開発がすすめられてきたが、48年5月衛星システムの認定試験完了までのすべての段階において、良好な成果をおさめたので各段階において実施された各種試験ならびにその評価について概要を述べる。

2. 設計と解析

人工衛星用の太陽電池パネルの設計・解析には、次のような事項をパラメータとして考慮しなければならない。

- (1) 必要電力
- (2) 衛星の形状・寸法
- (3) 衛星の軌道・姿勢
- (4) 宇宙環境条件(温度、放射線被ばく(曝)、突起物の影、振

動、太陽からの距離その他)

また、最終的には次のような事柄が解析結果として求められねばならない。

- (a) 太陽電池の選択および構成(並列・直列段数・総数・取付方法など)
- (b) 放射線被ばく防止用カバーガラスの厚さ
- (c) バイパス用ダイオードの取付け方法(影による出力減少を補償したい場合)
- (d) 予想出力(寿命初期・末期等における推定出力)

これらを体系化すると図1.のようなフローチャートにまとめられる。ここで、使用する太陽電池素子は、NASAの認定基準と同等の認定試験をうけたシャープ(株)製の宇宙用太陽電池素子で、その概略仕様を表1.にまとめてある。その他素子としては $1 \times 2 \text{ cm}^2$, $2 \times 4 \text{ cm}^2$ のものなどがあり、メカも米国の二大メカが有名であるが性能的には、この諸元あげたものを基本とみなしてよい。これらの解析内容について次に説明する。

2.1 必要電力

衛星のミッションによって、必要電力はさまざまに異なる。したが

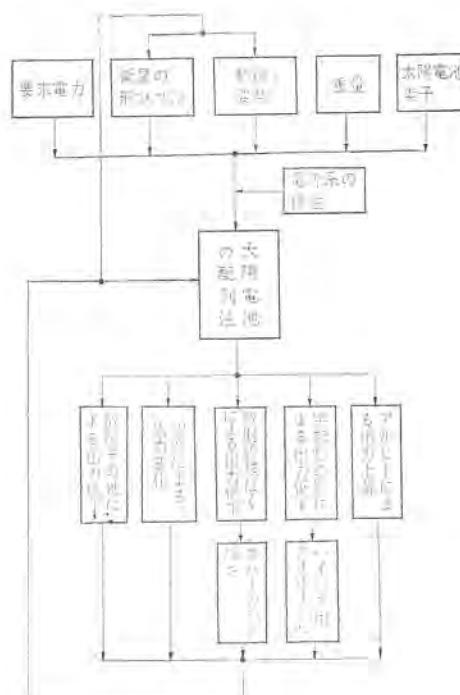
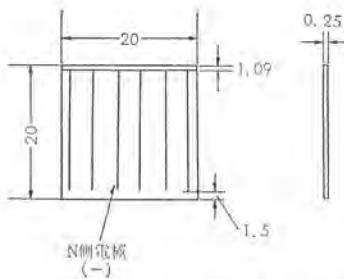


図1. 太陽電池パネル設計フローチャート

表 1. ISS 用太陽電池諸元表

タイプ:	N/P
母材:	P 型シリコンエバー
不純物:	Boron (p 型母材) Phospher (n 型試験)
固有抵抗:	公称値 $10\Omega\cdot\text{cm}$
ホール・電子ライフタイム:	$50\ \mu\text{s}$ 以上
反射防止膜:	SiO
電極:	チタン-鉛蒸着
重量:	0.30 g 平均
開放電圧:	0.54 V 平均
短絡電流:	140 mA 平均
負荷電圧:	0.43 V 平均
負荷電流:	125 mA/min
出力電力:	54.2 mW/min
寸法:	20×20×0.25 mm



って、各サブシステムの必要電力を、その運用法と共にあわせて決めることが必要である。その際には、バス電圧から、必要電圧に変換するコンバータの効率や、日陰時に電源となる蓄電池の充電電力、放電能力等も考慮に入れ、全体としての最大必要電力を決める。これに、ケーブルロスその他を見込んで約 10% 程度のマージンを加えて最大必要電力をとする。この際バス電圧の要求をまず決める必要がある。

2.2 衛星の形状・寸法

これも衛星のミッションによるが、形状はさまざまなものが考えられる。ただし、ロケットの内径、衛星の質量特性等から制限をうけ、また衛星表面に太陽電池を装着する場合は、できる限り装着可能な面積が広いことが望ましい。必要電力が約 500 W をこえるといわゆる単純なボディマウント方式ではソアデルタ 2914 クラスの打上げロケットを対象にする場合困難になってくる。そのため、翼のようなパドルを出したり、フィンを出したり、軌道上では半径の大きくなるような複雑なボディマウント方式等が考えられているが、根本的には三軸衛星として、平たい太陽電池板を常に太陽の方へ向ける方式にしないと、経済性の点で合わなくなる。スピニング衛星の場合は円筒形が標準になっており、その場合は、太陽光が直角に入射した場合でも、太陽電池総数の約 $1/\pi$ (正確にはカバーガラス等のため、入射角が大きくなつてごく斜めから入射すると発生電力がなく、これより小さくなる) しか有効でなくなる。電離層観測衛星の場合、直径 93 cm、高さ 82 cm の円筒形で、 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ の太陽電池素子をすき間なく装着すると、約 6,000 枚装着可能であるが、インターフェクタの幅、その他計装用の場所が必要であるに加え、観測機器用の穴があいているので実際装着枚数は 5,000 枚弱である。なお計装率 (装着可能面積に対する太陽電池素子の総面積) は、工作上の問題から最大 95% 程度で米国の衛星で通常は 80~90% としているようである。

2.3 衛星の軌道・姿勢

これは、次の三つの点で欠かせない条件である。

(1) 太陽直射光角、太陽からの距離

(2) 日照・日陰時間の割合

(3) 宇宙環境条件

これらによって、打上げ初期から末期までの太陽電池出力の変化の予測が可能になる。静止軌道の場合は、ほぼ定まった値となるが、他の軌道では、打上げ時期、軌道、衛星の姿勢制御方式等によりさまざまであり、詳しい解析が必要である。電離層観測衛星についての解析の一例を図 2, 3. にあげる。以上で基本的な設計パラメータは決まる。

2.4 宇宙環境条件

2.3 節とも密接に関係するが、基本的出力に対する細かい変化を与えるものとして、温度、放射線被ばく、しゃへい物の影、振動、宇宙じん(塵)などによる故障の影響等の環境条件を考慮せねばならない。

2.4.1 温 度

太陽電池は、特に開放電圧が温度に影響されやすい。開放電圧・短絡電流の温度特性は、それぞれ、約 $-2.3 \text{ mV}/\text{°C}$ 、約 $+0.05 \text{ mA}/\text{°C}$ (1 素子あたり) である。一方、太陽電池パネルは、日陰に入ると表面温度が非常に下がり、日陰に出ると、急激に上昇するという温度サイクルを受ける。軌道により、地球からの熱ふく(輻射)の影響の差で、低温到達温度に差ができるし、またスピニング、三軸の姿勢制御方式によっても大きく変化するが、一番表面に出るものなので、温度の上下差は、電離層観測衛星 (スピニング 1,000 km 圏) で約 55°C、三軸安定静止衛星で約 250°C、スピニング安定静止衛星で約 150°C にも達する。

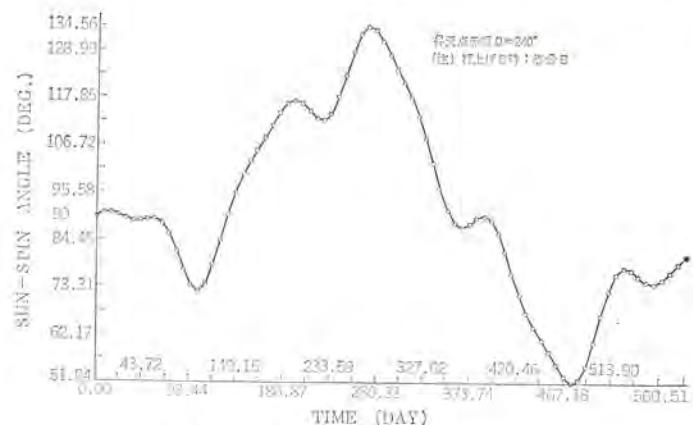


図 2. 電離層観測衛星の姿勢変化 (一例)

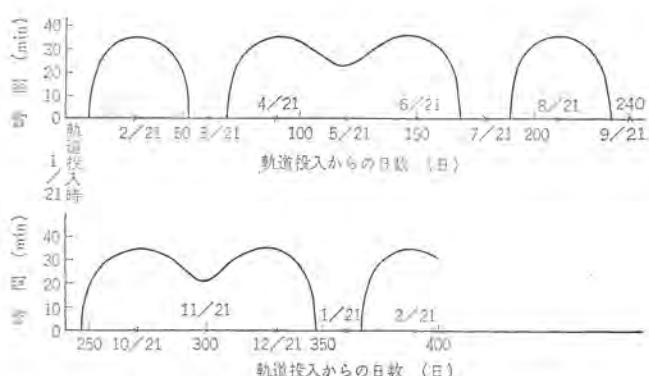


図 3. 電離層観測衛星の日陰時間の変化 (一例)

このため上記温度特性を考慮すると、電離層観測衛星の出力曲線は、図4. のようになる。ただし、通常上限電圧制御機能を設けているので（シャント回路と称する）、低温時の出力増加分は熱として放出させ、バスラインの出力は約2～5%程度しか変化しないのが普通である。シャント容量をきめるには、低温時出力の値が最大発電力として必要になる。なお温度の推定は熱解析によるので、ここではふれない。

2.4.2 放射線被ばく

バンアレン 帯の放射線や太陽フレアからの高エネルギー粒子線により、太陽電池の出力曲線は劣化する。この劣化特性については、これまでさまざまの実験的理論的研究がなされ、その対策は、いろいろ考えられているが実用上は、透明だが放射線を通しにくい溶融シリカでできた、カバーガラスを表面に接着する方法が一般化している。カバーガラスの厚さには種類があって、軌道および寿命による推定被ばく量の計算には、バンアレン 帯について観測された線量データと、軌道が横切る時間の積を積分する方法の、計算機プログラムを開発した⁽³⁾。太陽フレアについては、特に静止衛星の場合問題になるが、太陽活動の11年周期とも関係して、主として統計的な推定方法をとっている。図5. に太陽電池の放射線被ばくによる劣化特性の一例を、図6. に推定被ばく量の計算プログラムのフローチャートを、図7. に電離層観測衛星の予想被ばくスペクトルの一例を、図8. にカバーガラスの効果の一例をあげた。電離層観測衛星の場合、カバーガラスは0.5 mm厚のものを選んだ。予想被ばく量は約 $2.7 \times 10^{14} \text{ J/cm}^2$ 、1.5年（1 MeV電子換算）で I_{SC} 約7%， V_{oc} 約3%劣化が見込まれる。なお太陽電池の放射線関係に関するところからのハンドブックとしては文献(4)がある。

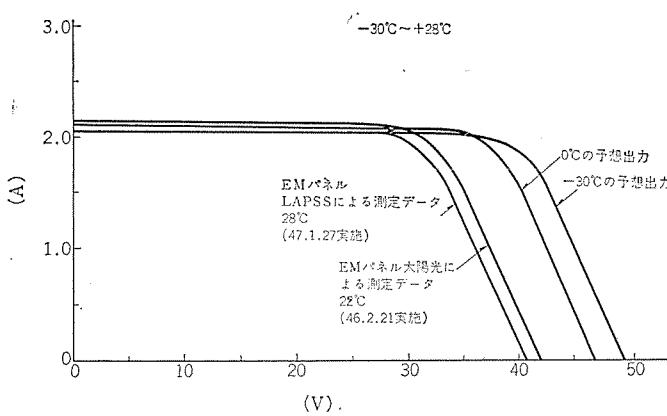


図4. ISS EM 太陽電池パネル（1パネル）の温度による出力変化

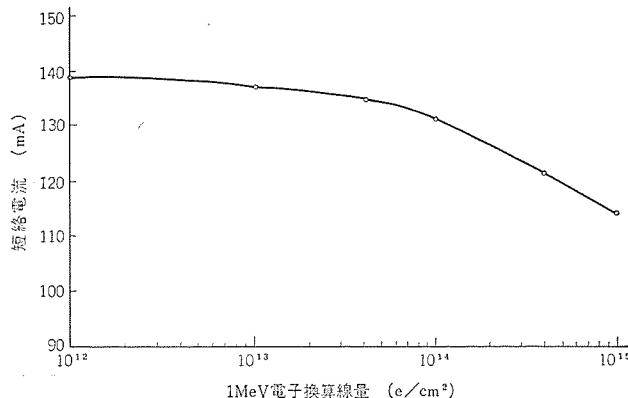


図5. 太陽電池の放射線による劣化特性（一例）短絡電流の劣化

2.4.3 突起物の影による影響

太陽電池ストリングは、部分的に太陽光があたらない個所（突起物などの影）が発生すると出力が大きく変化する。できる限り影ができるないよう考慮しなければならないが、衛星のミッション遂行のため、やむを得ず影が落ちる場合がある。電離層衛星では、ブームおよび観測用ステムアンテナが太陽電池パネルに影を落とす。この影響は、影の形、大きさ、ストリングとの交差角を、太陽入射角および衛星のスピン角について解析し、別に実験して求めたストリングと影の交差角

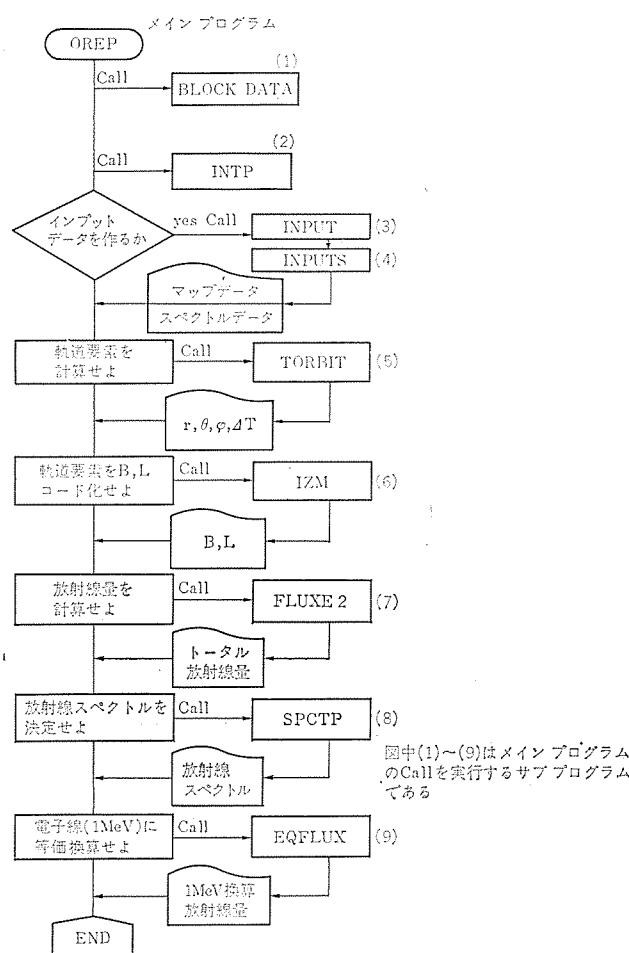


図6. 宇宙環境計算プログラム

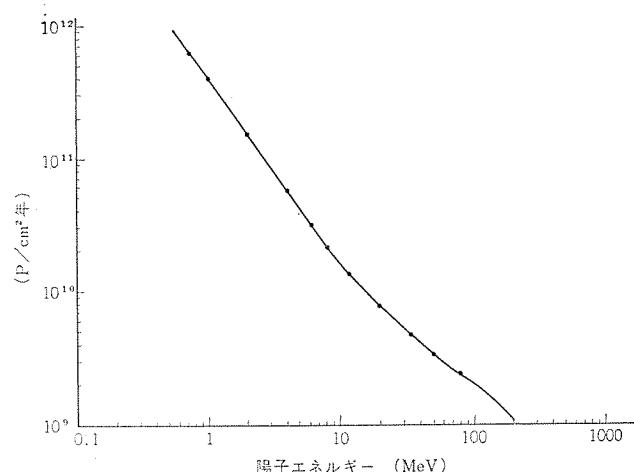


図7. 高度1,000km、円軌道、軌道傾斜角70°でのバンアレン 帯被ばく陽子成分スペクトル

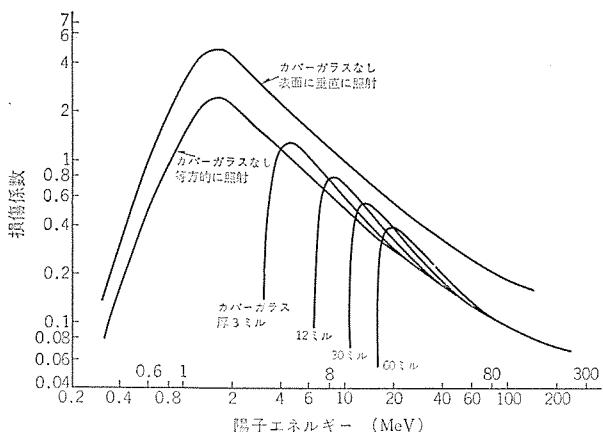


図 8. カバーガラスの効果: 陽子線を照射したときの損傷係数 (1 MeV 電子の与える損傷に換算)

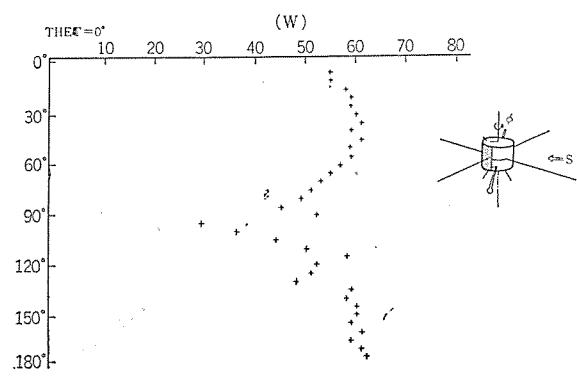


図 9. 突起物の影による出力変化 (一例)

による出力変化係数を用いて、全体としての影響を計算するプログラムで解析した。⁽⁶⁾ その結果の一例を図 9. に示す。ブームによる影響が大きく、太陽入射角が直角に近いとき、瞬間的ではあるがほぼ出力が半分ぐらいに落ちることが予想されたので、ブームの影の影響を大きく受ける部分にバイパス用のダイオードを並列に、このような大きなリップルをなくし、また全体としての出力上昇もかねて、影による影響を減少させた。

2.4.4 その他

振動や宇宙じんによる太陽電池素子の故障率は現在約 1 フィット ($1 \times 10^{-6}/\text{時}$) とされている。1 ストリング中に一つでも開放故障した素子があると、出力電流は 1 素子分減少するので、ストリングの出力は、2 並列の場合約半分になってしまう。しかし、二つ以上開放故障があっても、同一の列なら一つの場合と同じである。このように故障による出力変化の推定、あるいは、ある程度まで出力低下を許したときの信頼度の計算は単純にはできず、組合せの問題となる。信頼度の算出の手法については、2.6.2 項で述べる。

2.5 出力解析

以上のような諸条件を考慮に入れて、太陽電池パネル基本設計について打上げ、初期および末期における最大および最小出力曲線を求める、要求電力を満足するか、シャント能力は十分か、蓄電池への充電能力は十分か等について検討する。もし不足があれば、太陽電池素子の枚数の増加 (装着面積の増加、衛星寸法の増加)、カバーガラス厚の増加、バイパスダイオードの増加等により増加させる。過剰な場合は、逆に削減することを検討する。このようにして太陽電池パネルの最適設計を行なう。

2.6 その他

以上で太陽電池パネル設計の基本的手法について述べたが、われわれが実行したときに起こったいくつかの問題があるので、それに触れる。

2.6.1 太陽電池のしゃ(遮)光特性⁽⁶⁾

これについては、いくつかの報告がなされているが、太陽電池素子のいわゆる逆方向特性がしゃ光時の出力曲線に大きな影響を与える。また、この逆方向特性は素子によってばらつきがあり、またメーカーによっても大きく異なるようである。シャープ(株)製の素子の場合、平均すると -40 V で 20 mA 程度という非常にダイオードとしての特性のよいものであった。このためストリングに影が落ちると、図 10. に示したように短絡電流が影の面積におよそ反比例して減るという特性をもつ。影の効果を減らすには、影が落ちた素子を (迂)回して電流が流れるようダイオードを並列に (ただし、正負は逆) 取付けければよい。こうすると、逆方向特性はバイパスダイオードの特性と一致し、図 11. に示したようにすぐ回復する。バイパスダイオードはまた、開放故障に対する防止ともなる。

2.6.2 信頼度の算出

電離層衛星の場合、2 並列 \times 72 直列のストリング 32 個と、1 並列 \times 72 直列のストリング 4 個の合計 36 ストリングから構成されている。約 3 % の出力低下までを許すとすると、2 素子分の故障が起こる確率から、信頼度が求められる。すなわち、 $R = P_0 + P_1 + P_2$

$$P_0 = P_T^{36} = 0.9299$$

$$P_1 = {}_{36}C_1 \cdot P_T^{35} \cdot P_H = 0.0660$$

$$P_2 = {}_{36}C_2 \cdot P_T^{34} \cdot P_H^2 + {}_{36}C_1 P_T^{35} \cdot P_Z = 0.0040$$

ただし、 P_T : 1 ストリングに故障が 0 の確率

P_H : 1 ストリングに $1/2$ だけ出力低下する確率

P_Z : 1 ストリングが出力 0 になる確率

実際には計算機プログラムによったが、コネクタほかの信頼度も入れて、1.5 年で 0.9997 となる。

2.6.3 逆バイアス過熱

並列に複数個のセルを接続したストリングで 1 枚の太陽電池素子が開放故障すると、同じ列の他の素子に逆バイアス電圧がかかり、そのセルは発熱し、極端な場合、はんだの融点以上になって連鎖故障を起こすことが報告されている⁽⁷⁾。これは特に高電圧の太陽電池電源の開発中に発見されたものであるが、電離層観測衛星について起こる可能性を検討したところ、日陰終了直後が最も条件が悪いが、それでも、はんだの融点まで達することは、ないという結論に達した。

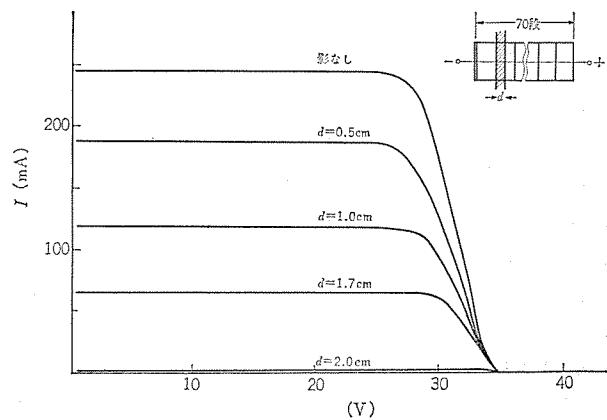


図 10. 太陽電池のしゃ光特性

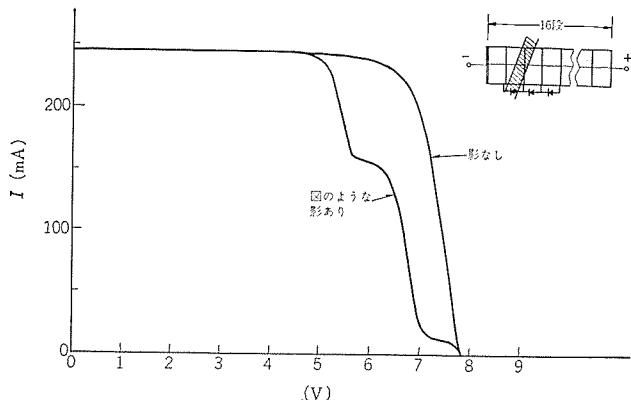


図 11. シャドー ダイオードの効果

なおこれは、太陽電池素子の逆方向特性、衛星のバス電圧および負荷等にも依存するので、太陽電池パネルの設計と同時に、電源系システムの設計において十分注意を払う必要がある。

2.6.4 機械環境

太陽電池パネルに影響をおよぼす機械環境には、次のようなものがある。

- (a) 地上での取扱い中に受ける振動と衝撃
- (b) 地上で受ける温度変化
- (c) 打上げ中に受ける振動と衝撃
- (d) 軌道上で受ける温度変化

上記4項目の中で最も過酷な環境は、打上げ中に受ける振動と衝撃、軌道上にて受ける温度変化である。温度条件に対しては接着剤の選定、インターネクタの設計に注意を払う必要がある。太陽電池間を直並列に接続するインターネクタの選定にはシリコン太陽電池と同等の熱膨張率があり、非磁性体・導電率が良いことを必要とする。これには銅・コバルト・銀等があるが、その良さは温度サイクル試験を実施することによって判定し、電離層観測衛星用としては純銅に近い銅を選定した。さらにインターネクタと太陽電池セルの熱ストレスを減少させるために、はんだ付け面積を機械的強度が許す範囲内で最小にし、かつ、はんだ付け点の間にループを設けた。図12にそれを示す。また、モジュール接着剤・カバーガラス接着剤の機械的解析、サブストレートの振動による変形から受ける太陽電池への影響の解析を行ない、太陽電池パネルに与えられた要求条件を満足することが確かめられた。

3. 設計・解析の結果

電離層観測衛星について、2章で述べた設計・解析を行なった結果について簡単に述べる。

3.1 必要電力

図13.にISSのパワープロファイルを示した。最大約65W(約1秒)、正規観測の平均電力約43Wである。また、寿命末期に太陽入射光角が45°になんでも1日約4回の正規観測ができるという要求があるため、約35W以上発生しなければならない。これに対し発生電力は寿命初期、太陽入射光角90°、影などの影響なしの状態で約80Wを目指した。

3.2 宇宙環境条件

2章でも述べたが、図14.に温度サイクルの一例を示した。放射線被ばく量などについてはすでに示した。これらの影響の太陽電池出力に与える割合を、まとめると下記のようになる。

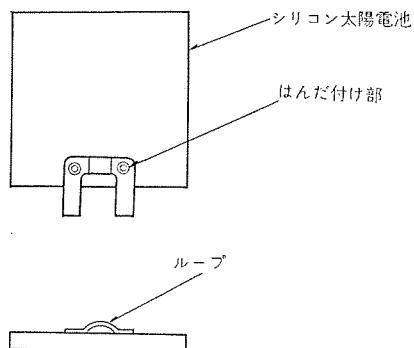


図 12. インターコネクタの構造

- (i) 温度 (-34°C ~ +28°C) ……約2%低下
- (ii) 放射線被ばく ($2.7 \times 10^{14} \text{ e/cm}^2$) ……約8%低下
- (iii) 影の影響、その他による出力低下 ……平均約20%
- (iv) 故障による出力低下(許容値) ……約3%

3.3 衛星寸法、形状、太陽電池パネルの構成

電離層観測衛星の形状は直径93cm、高さ82cmの円筒形で、観測用アンテナ2対と、プラズマセンサ・磁気センサ用のブーム1対を円筒面に突出すようになっている。太陽電池パネルはA, B, C, Dの同じ大きさの4パネルからなり、各パネルは1並列×72段以上のストリング1個と、2並列×72段以上のストリング8個から構成されている。B, Dの中央部からブームが突出るので、その根本を中心に放射状

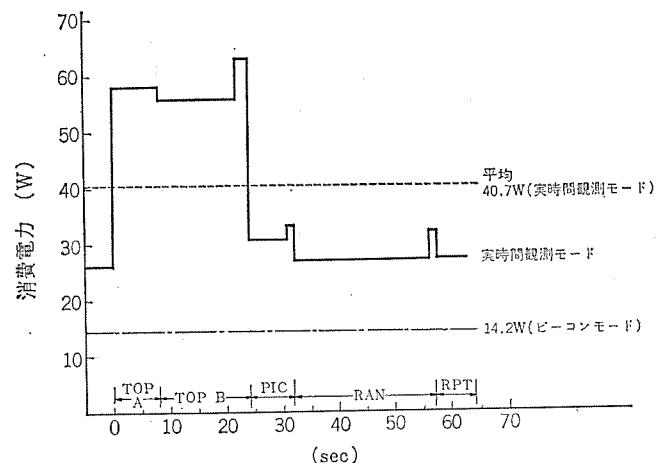


図 13. ISS のパワープロファイル

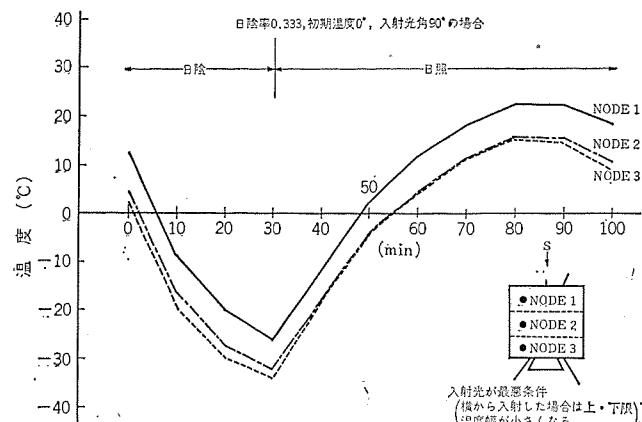


図 14. 軌道上における太陽電池パネル温度変化(一例)

に合計約100個の「バイパスダイオード」を取付けている。放射線による素子の劣化をモニタするため、各パネルは I_{sc} , V_{oc} モニタ用の素子をそれぞれ1枚と、その温度モニタ用白金サーミスタを有する。またパネル表面および裏面の温度モニタ用に、各パネルにそれぞれ2個の白金サーミスタを接着している。なお完成した電離層観測衛星を図15に示す。

3.4 予想出力

電離層観測衛星用太陽電池パネルの軌道上での予想出力を、測定データおよび劣化推定量から描いた結果を図16に示した。これによると、寿命初期、太陽入射角90°で、平均63W(動作電圧30V)、寿命末期、太陽入射角45°で、平均39W(動作電圧30V)となり、要求を満たしている。

4. 製 造

太陽電池パネルを製作するには、図17で示すようにフローチャートにしたがって行なわれた。

（1）スタックの組立

太陽電池とカバーガラスを超音波洗浄し乾燥させる。次にジグにのせた太陽電池受光面に規定の脱ぼう(泡)をした接着剤を、接着剤供給装置によって一定量だけ供給する。この上にカバーガラスを置き位置決め後、再度脱ぼう装置によって完全脱ぼうする。これが終了す

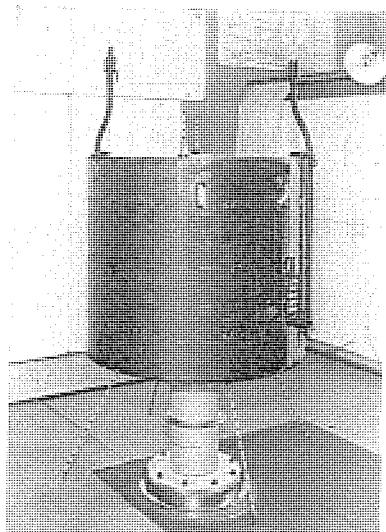


図15. 電離層観測衛星 プロトタイプ モデル

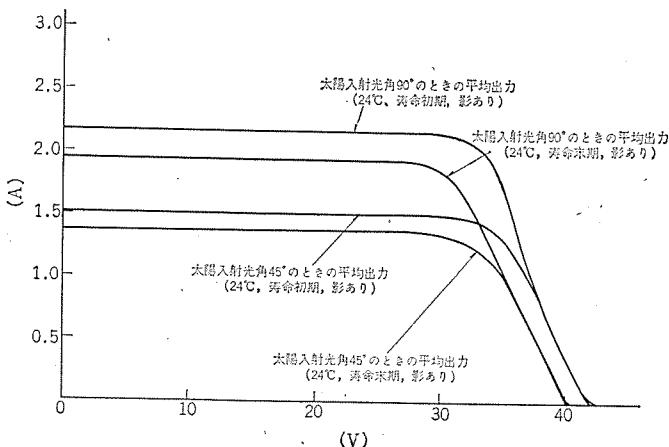


図16. ISS の太陽電池パネル 予想出力

ると恒温槽(槽)に入れ、接着剤を硬化させ最後に、はみ出した接着剤を除去する。

（2）サブモジュールの組立

スタックをサブモジュール用ジグにのせ、所定の位置にインターフェクタ、ブスバーを置く。次にリフロー式はんだ付け装置によって陽電極側に、はんだ付けを行なう。

（3）モジュールの組立

サブモジュールをモジュール用ジグにのせる。次に前もってサブモジュールに取付けられたインターフェクタを、次の太陽電池の負電極側にリフロー式はんだ付け装置によってはんだ付けし、同時にモジュール間、ストリング出力等の継手であるコネクタ、フィードスルーライン等も所定の位置に置き、はんだ付けする。

（4）モジュールの接着

サブストレートをジグに取付け、モジュール接着剤用のテンプレートを置き、接着剤供給装置によって規定の接着剤量を供給する。次にテンプレートを取り、その接着剤の上にモジュールをのせ規定重量のおもりをその上に置く。これを室温で硬化させる。この工程を規定数のモジュール接着完了まで繰り返し行なう。

（5）ワイヤリング

モジュール間、ストリング出力、シャドーダイオード、シャント配線、マーキング等を行なう。

大略の製造方法についてふれたが、太陽電池の組立では、非常に多数の部品を取扱うものである関係上、とくに製造の安定化、不良の完全な除去を行なうべくトレイサビリティの実施、クリーンルームの使用、製造中の工程・試験・検査等全般にわたり厳重な品質管理を実施した。

5. 試験と評価

5.1 開発における試験と結果

電離層観測衛星用の太陽電池パネルの製作に当って、昭和44年から「ブレッドボードモデル」、「エンジニアリングモデル」、「プロトタイプモデル」と開発を進めてきた。おのおのについて、性能評価試験を行ない、特にプロトタイプに関しては、機械環境条件を予想条件の1.5倍以上、温度条件は予想温度範囲を15°C以上越える厳しい環境条件で認定試験を行ない、良好な結果を得た。これらの一連の経過をまとめると表2のようになる。

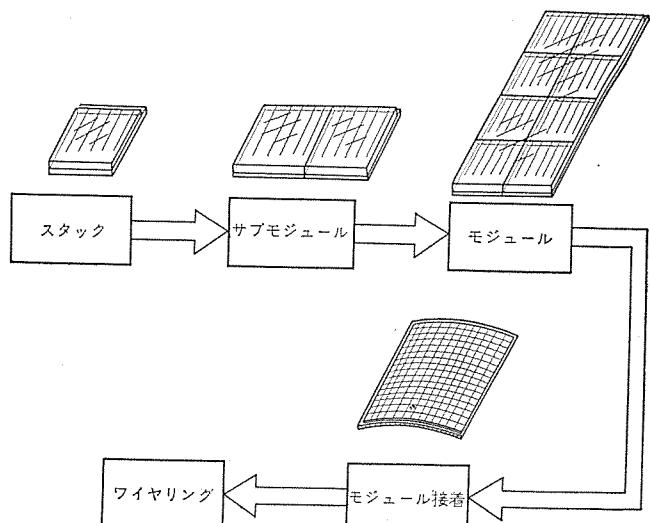


図17. 太陽電池パネルの製造工程

5.2 試験装置

製作された太陽電池パネルは、環境試験の前後等で幾度となく電気出力が測定されるが、このとき精度よく、簡単に測定する装置が必要である。従来は、大容量のキセノン連続光源またはタンゲステン光源などによったが、測定対象の面積が大きいので精度および、測定の容易性の点で難があった。そこで、広い面積の太陽電池パネルを精度よく、かつ容易に測定できる LAPSS (Large Area Pulsed Solar Simulator) を用いた。この装置の構成ブロック図を図 18. に示した。光源はキセノンランプであるが、約 3 kV の高圧を約 1.5 ms 間ランプに印加する。さらにランプの後方に特殊なコーティングをほどこした反射板をおき、スペクトル分布を太陽光源のそれに、接近させている。すなわち普通のキセノン光源のソーラシミュレータでは太陽電池の応答のよいところで、スペクトル分布が、いわゆるジョンソンカーブから、かなりはずれるが、この装置は図 19. に示すように非常に良好なスペクトラム分布を示す。太陽電池出力は、パルス的に得られるが、被測定面の近傍におかれた標準太陽電池と同時にサンプリング計測され、光源の変動を自動的に計算し補正することができる。太陽電池パネルの $V-I$ 特性を測定する場合は、 $V-I$ 特性の分曲点近傍でひん度

表 2. 開発における試験

モ デ ル	供試体	試験項目	試験内 容
ブレッド ボード モ デ ル	モ ジ ュ ル	電気性能試験	タンゲステンランプ照射、 $V-I$ 特性取得
		熱真空試験	$1 \times 10^{-5} \text{ mmHg}$ (温度サイクル試験) 高温 (+90°C) 120 分 低温 (-50°C) 120 分
	1 ル	電子線・中性子線照射試験	中央研究所パンデグラフ装置および立教大原子炉による 電子平均 $1.12 \text{ MeV} 10^{12} \sim 10^{16} / \text{cm}^2$ 中性子平均 $2.0 \text{ MeV} 10^9 \sim 10^{13} / \text{cm}^2$
		振動試験	電気性能の劣化を測定した ロケットの振動レベルをもとに数段階
エンジニ ヤリング モ デ ル	1 バ ネ ル	電気性能試験	モジュールごとに測定した。1パネルとし ては LAPSS および自然太陽光により試験
		温度・湿度試験	システムとして実施、-30°C ~ +60°C
プロト タイプ モ デ ル	代表 1 バ ネ ル	〈認定試験〉	
		電気性能試験	LAPSS による、 $V-I$ 特性取得
		振動試験 (正弦およびランダム)	Nロケットの振動レベル $\times 1.5$ X, Y, Z 3 軸
		熱真空試験	高温 49°C、低温 -56°C 各 24 時間 (予備試験を含め 2 回)
		外観・寸法検査	目視および拡大鏡による
プロト タイプ モ デ ル	4 バ ネ ル	〈システム認定試験〉	*注
		振動試験 (正弦およびランダム)	Nロケットの振動レベル $\times 1.5$ 、三軸
		衝撃試験	30 G 15 ms (正)、20 G 11 ms (逆)
		スピノ試験	180 rpm、3 時間
		温度試験	-30°C ~ +60°C、各 6 時間
		疑似太陽光照射試験	{Cold Phase 48 時間 (日照-日陰サイクル) (Hot Phase 48 時間 (日陰なし))
		電気性能試験	1パネルごと、4パネル合計
		外観検査	目視および拡大鏡による
		音響試験	Nロケットの音響条件レベル $\times 1.5$

* 注) ほかに性能試験として、磁気モーメント測定・重量測定・動つり合い測定・重心測定・慣性性能率測定・姿勢検出試験・熱真空試験。

を多く、合計 10 点の計測が自動的に行なえる。また被測定物の温度が 10 ~ 39°C である場合、自動的に 28°C での値に修正される。これらは図 20. に示すデータ処置装置において行なわれる。なおこの装置の主な性能は次のとおりである。

- (1) 光量: 約 9 m の所で一太陽定数 (ミラーを用いることによりさらに短距離でも可能である)。
- (2) 照度の一様性: $2.0 \times 2.0 \text{ m}^2$ の面上で $\pm 2\%$ 以下
- (3) 測定時間 (1 点): 8 ~ 13 秒可変
- (4) 測定レンジ: 0 ~ 100 V_{DC}, 0 ~ 25 A_{DC}

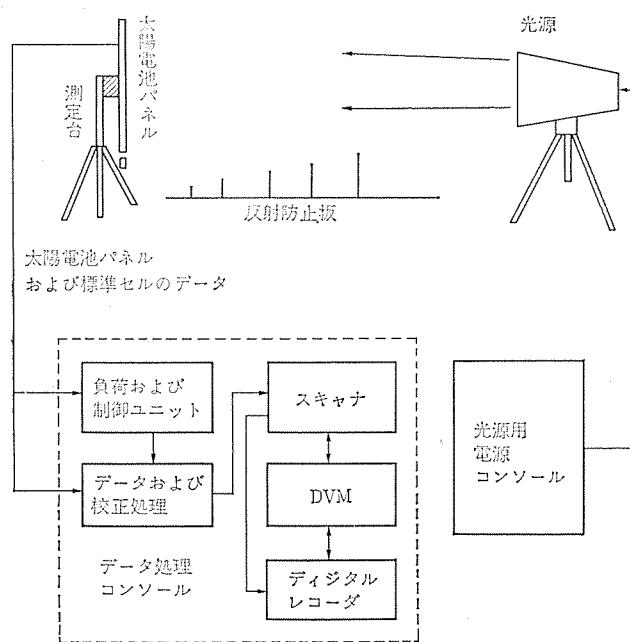


図 18. LAPSS のブロックダイヤグラム

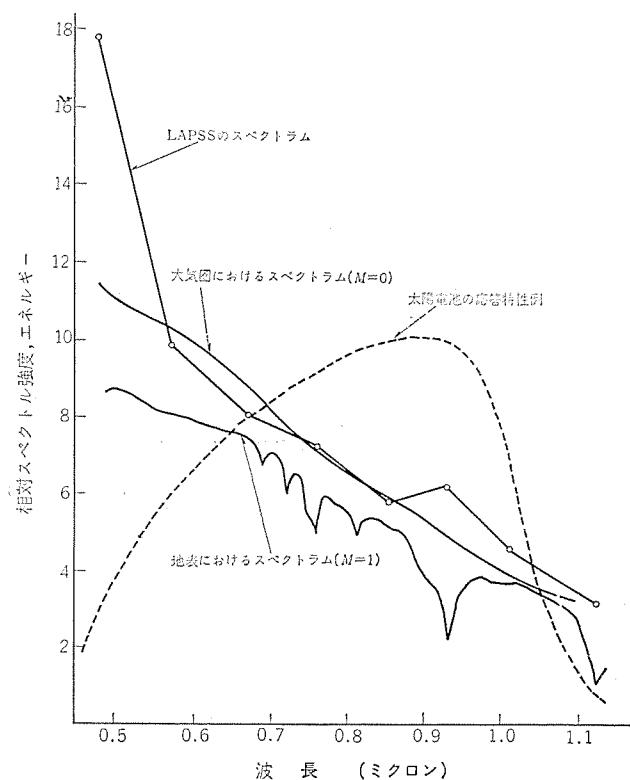


図 19. LAPSS 発光部のスペクトル

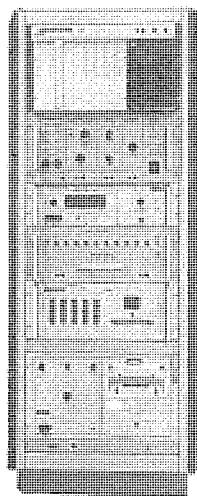


図 20. LAPSS データ処理装置

(5) 測定精度: $\pm 0.5\%$

(6) 入力電力: 約 2.5 kVA

この装置は TRW System で開発されたもので、昭和 46 年電離層観測衛星、電源調整装置の一部として三菱電機より宇宙開発事業団に納められたものであり、太陽電池パネルの一連の試験において非常に有用であったことを付記したい。

6. む す び

電離層観測衛星太陽電池パネルを中心に、太陽電池パネルの設計・製造・試験などについて述べたが、この設計・製造に関する手法は、電離層観測衛星のごときスピニ安定の軌道衛星だけでなく、広く人工衛星用太陽電池パネルの設計・製造に対し、ほとんどそのまま用いることができるものである。たとえば、電離層観測衛星では、ミッション上の要求から特殊な形状となり、出力解析上影の影響が重要な要素を占めるが、静止衛星では広い動作温度範囲から逆バイアス過熱問題に注意を払う必要がある等である。また太陽電池パネルの将来として、LSSSA (Large Space Station Solar Array) 等にフレキシブルな太陽電池パネルの開発が進められているが、この製造に関し

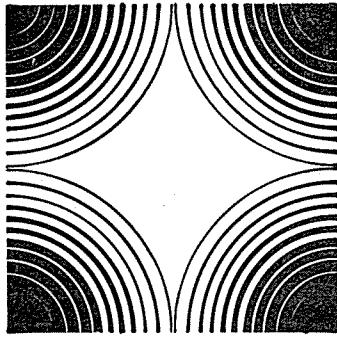
ても応用できるところが多い。

なお、太陽電池パネルの性能は、太陽電池セルそのものの性能におけるところが大きく、良好な結果をもって開発ができたことは、宇宙開発事業団の関係各位、セルの供給に協力されたシャープ(株)半導体事業部木村部長、村上課長、才治主任、三菱電機鎌倉製作所宇宙機器製造部寺本部長付、品質保証部西課長、近藤主任をはじめ、シャープ(株)および三菱電機のかたがたのご指導によるものであり、ここに厚くお礼申しあげる。

おわりに、終始ご指導をいただいた宇宙開発事業団平井部長、高比良次長、内倉主任開発部員、高城主任開発部員および三菱電機中央研究所下地主任研究員、本社萩原技師長、鎌倉製作所宇宙機器製造部横井部長、近藤専門部長、金森課長、製造管理部宇高課長、機械技術を指導された宇宙機器製造部藤田副部長、吉田主任、試験を指導された同じく、増田主任ならびに宇宙開発事業団、三菱電機の関係各位に厚く謝意を表する次第である。(昭和 49-3-2 受付)

参 考 文 献

- (1) 高比良、内倉、佐藤、福島、向井、笠井、若杉: ISS システム、宇宙航行 エレクトロニクス 研究会資料、SANE 73-16 (昭 48-10)
- (2) 平井、高比良、白井、萩原、横井、郷: ISS の開発、宇宙航行 エレクトロニクス 研究会資料、SANE 73-16 (昭 48-10)
- (3) T. Sasaki, S. Shimoji, K. Izumida, R. Kasai, T. Mukai : The Accurate Prediction of Radiation Environment and Solar Cell Degradation, 9 th ISTS Tokyo (1971)
- (4) J. R. Carter, Jr. H. Y. Tada : Solar Cell Radiation Handbook, TRW (1973-6)
- (5) 笠井、大村、泉田、後藤、向井: 太陽電池の出力補償・シャドーダイオードの効果について、昭和 48 年度信学全大予稿 2,000 頁 (昭 48-3)
- (6) 泉田、大村、萩原: 太陽電池アレイに及ぼす影の影響、昭和 47 年度信学全大予稿 1,047 頁 (昭 47-3)
- (7) F. A. Blake, K. L. Hanson : The "Hot Spot" Failure Mode for Solar Arrays, Proceedings of the IECEC, 22-26, p. 575-581 (1969-9)



技術講座

数値制御装置シリーズ (5) —数値制御装置の応用について—

桑 田 博*

1. まえがき

この技術講座の最終回として数値制御装置（以下 NC 装置）の応用について述べる。

NC 装置の応用という言葉はきわめて広い意味を有しており、従来の機械工業のオートメーションの一環として発達してきた工作機械の NC 化をさらに広げて、群管理、群管理への発展や、オートローダ、オートアンローダやロボットなどを結合したいわゆる工場無人化への指向の分野を意味したり、工作機械以外の NC 化、たとえば産業機械の NC 化（NC ガス切断機、NC 溶接機、NC 放電加工機など）や、自動製図機、自動組立機なども一種の応用といえる。

ここでは主として群管理システム（DNC）、CNC、NC ガス切断機と自動製図機について述べることにする。

2. 群管理システム（DNC）および CNC

群管理システムとは一群の装置を総合的にとらえて、いかに動作させれば最適であるかを指向するシステムであり、単に複数台の装置の機械制御を同時またはシーケンシャルに行なうだけでなく、スケジュール的な管理を含めた総括制御であり、さらに上位コンピュータとの連動によりハイアラキシシステム（hierarchy system）を構成することができる。

この群管理システムには

- (1) 工作機械
- (2) 自動製図機
- (3) ガス切断機
- (4) 自動配線機
- (5) 自動編物機
- (6) 自動溶接機
- (7) 放電加工機
- (8) 自動搬送装置
- (9) 自動倉庫
- (10) ロボット

のほかに、

- (11) 鉄鋼の圧延工程
- (12) エレベータ
- (13) 各種ビル施設
- (14) 各種物流システム

などあらゆる産業部門において実施されており、今後の応用分野はさらに広がるものと思われる。このような応用面での拡大は、ミニコンの低価格化、ミニコンの応用技術の進歩に負うところが多い。

ここでは機械装置を中心とした(1)～(10)の範囲に適用される群管理システムについて概説的に述べる。

2.1 DNC と CNC の定義と分類

群管理システムは一種の計算機制御であり、計算機面からみた機種の分類として最近よく使用される言葉として、DNC (Direct Numerical Control) と CNC (Computerized Numerical Control) がある。これについて EIA 規格では次のように定義している。

DNC……一群の NC 工作機がパートプログラムまたはマシンプログラムを保管する共通メモリに結びつき、機械からの加工データの要求に応じてデータを分配する機能を有するシステムである。代表的な項目としてはパートプログラムの収集、表示、編集、オペレータへの指示、NC の切削過程のデータなどである。

CNC……専用プログラム内蔵式コンピューターの読み書き可能なメモリに記憶された制御プログラムにより、NC の基本機能の一部または全部を実行させる NC システムである。

上記の定義ではいずれもメモリ装置をもっていることで共通しているが、後者が単に NC の制御プログラムのみを実行させるシステムに対して、前者はパートプログラムの管理処理をつかさどるということで群管理システムを意味しており、このシステムではスケジュール的管理機能の色彩が強いと解釈してよい。

しかし上記の定義に対して最近とくに CNC の機能が拡大されつつあり、DNC との境界がはっきりしなくなってきている傾向がある。

たとえば、図 1. に示すように CNC において、メモリに記憶された制御プログラムを複数台の NC が時分割で利用する複数台制御でパートプログラムの入力装置（たとえば紙テープリーダ、カセットマグテープリーダなど）が各機械ごとに独立に装備されているようなシステムは CNC

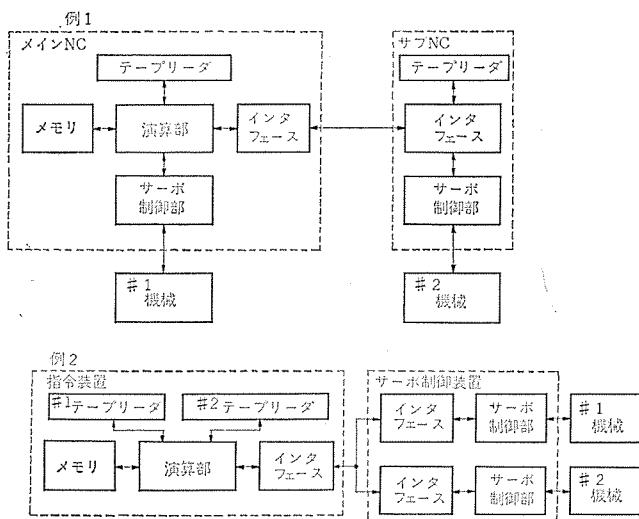


図 1. CNC による複数台制御の例

に属するものとする。このようなシステムをマルチコントロール NC (Multi-Control NC) と呼んでいる。

次に DNC および CNC の分類を行なうと次のようになる。

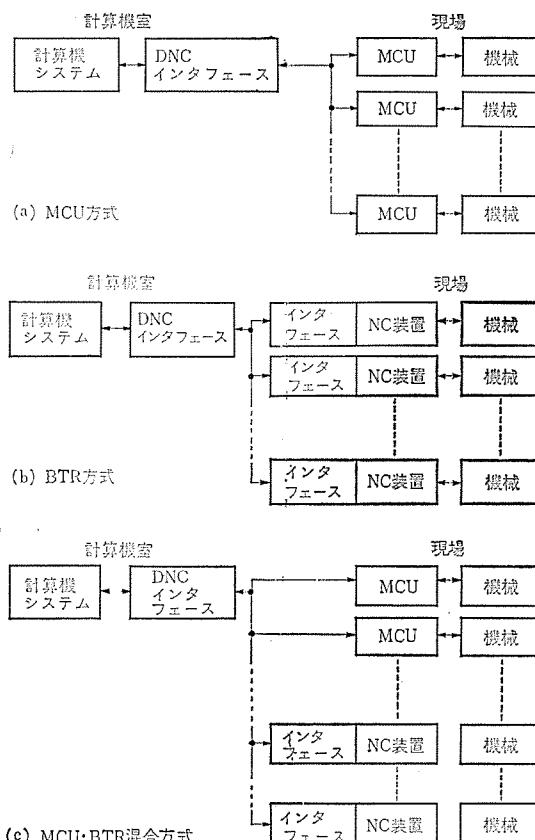


2.1.1 MCU (Machine Control Unit) 方式

NC 機能の大半をソフトウェアで処理し、機械側にはサーボ制御部、計算機とのコミュニケーションのための DNC パネル、計算機および機械とのインターフェースなど最小限のハードウェアを有する MCU を設置する方式で、群管理を導入する際に新設機が多い場合に適用される。この方式は次に述べる BTR 方式のごとく NC 装置を機械に対応して設置するより価格的に有利な方式である。(図 2. 参照)

2.1.2 BTR (Behind Tape Reader) 方式

個別の NC 装置に計算機とのインターフェースおよび DNC パネルを付加し、計算機からポートプログラムを順次転送する方式で、計算機故障時にスイッチ切換えて、NC 装置にあるテープリーダでバックアップ運転が可能であること、また既設 NC 装置を生かして群管理を導入する



場合のメリットのある方式である。(図 2. 参照)

2.1.3 MCU・BTR 混合方式

上記 2 方式の相互のメリットを生かしたもので、システムの中で機械により MCU 方式と BTR 方式を使い分ける実用的方式であり、実際に現在この方式で群管理する例が一番多いものである。(図 2. 参照)

2.1.4 ミニコン NC

はん(汎)用のミニコンを使用して、NC 機能の大半をソフトウェアで実現して、ハードウェアの規模をサーボ制御装置を中心として最小限度にしたものである。このようにはん用のミニコンを使用することにより、メインメモリや外部メモリなどの追加により、NC 機能の拡張、スケジュール管理への移行、マルチコントロールへの拡大など拡張性に富むとともに、上位コンピュータとのハイアラキシステムも容易となる。

2.1.5 SLNC (Soft wired logic NC)

SLNC とは Hard wired logic NC に対する名称で、従来の個別 NC 装置が NC 機能を実現するためハードウェアですべて処理していたのをメモリと専用の演算部を利用して、すべてソフトウェアで処理するもので、前述のミニコン NC と性能的には同じであるが、拡張性を少々犠牲にして専用化することにより CNC としてのコストパフォーマンスが向上する。従来の個別 NC での多軸制御(5 軸以上)、特殊 NC 機能をもつ制御、マルチコントロール、複合マシンなどはすべてこれにおきかえられる。

なお当社ではミニコン NC としては MELDAS 6500 を、SLNC としては MELDAS 6000 を開発しているが、これらについての詳細は別稿にゆずることにしたい。

2.2 DNC の装置の構成

図 3. は代表的な DNC システムの装置の構成を示すブロック図であり、表 1. に構成各機器の仕様一覧を示す。この方式では MCU・

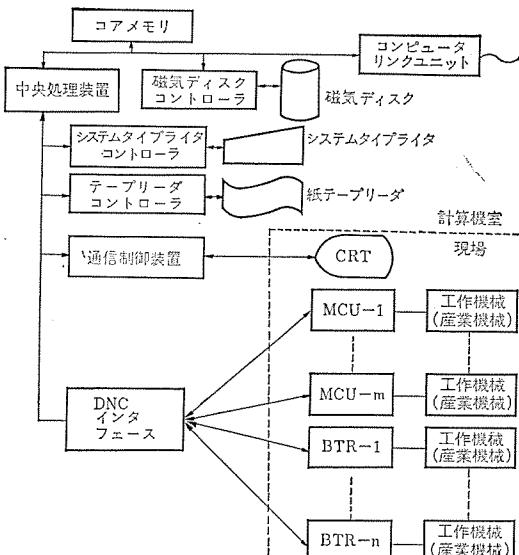


図 3. DNC システムの装置の構成 ブロック図

技術講座

表 1. DNC システム構成仕様一覧

機 器	仕 様		所要電力	環境条件 温 度 濕 度 °C %
	項 目	機 能		
チ モ リ モ デ ュ ル	種 類 面 長 サ イ ク ル イ ム 容 量	コアメモリ 16 ビット+パリティビット 0.8 μ s 16 kW+4 n kW (n=1, 2)		
セ ン ト ラ ル ブ ロ ッ チ シ ン グ モ デ ュ ル	演 算 加 算 時 間 乗 除 演 算 命 令 数	2 進並列 0.8 μ s ハードウェア処理 基本 41 (合計 150 種以上)	100V $\pm 10\%$ 1 kVA	10~40 35~85
補 助 記 憶 装 置	種 類 容 量 平 均 アクセス タ イ ム 転 送 速 度	カートリッジディスク 2.49 MW 40 ms (60 Hz) 99.3 k 読/秒 (60 Hz)	100V $\pm 10\%$ 0.5 kVA 200V $\pm 10\%$ 3φ 1.5 kVA	15~30 40~80
シ ス テ ム タ イ ブ ラ イ タ	印 字 速 度 テ ー ブ ル レ ン セ ン キ ボ ー ド 入 力	20 字/秒 20 字/秒 20 字/秒 可	100V $\pm 10\%$ 0.3 kVA	5~35 40~80
紙 テ ー ブ リ ー ダ	読 取 機 構 読 取 速 度	光電式 200 字/秒	100V $\pm 10\%$ 0.25 kVA	5~35 40~80
ライ ソ コ ミ ュ ニ ケ ー シ ョ ン ア ド バ タ	チャネル数 通 信 速 度	1 回線 1,200 ポー/秒	100V $\pm 10\%$ 1 kVA	0~50 30~80
キ ャ ラ ク タ ディ ス プ レ イ	機 能 文 字 種 類 表 示 容 量 カ ラ ー 色 数	文字表示&キーボード入力 英数カナ文字 640 字 (40×16) 7	100V $\pm 10\%$ 1 kVA	10~35 30~80
入 出 カ イ ン タ フ ェ ー ス	基 本 ユ ニ ッ ト 付 加 接 続 ユ ニ ッ ト	I/O バッファインタラプト変換 ユニット 紙テープリーディ接続ユニット MCU 接続ユニット	100V $\pm 10\%$ 0.5 kVA 以上	10~40 35~85
M C U	制 御 軸 数 出 力 単 位 サ ポ 機 構 オ ブ シ ョ ン M S T バ フ フ	最大 5 軸 10 μ , 5 μ レゾルバ&DFB サーボ ハンドル送り, ピッチ誤差補正 バックラッシュ補正, 位置表示 器 MST 2 けた (標準)	100V $\pm 10\%$ 1 kVA 以上	0~45 35~85

BTR 混合方式になっており、接続台数は MCU 方式だけだと最大 16 台、BTR 方式だけだと最大 32 台、混合方式の場合は、 $2m+n \leq 32$ (m : MCU 方式の台数、 n : BTR 方式の台数) の関係がある。

2.3 DNC の機能

図 4. に DNC システムの機能構成を示す。大きくは機械制御機能と情報処理機能の二つに分かれる。

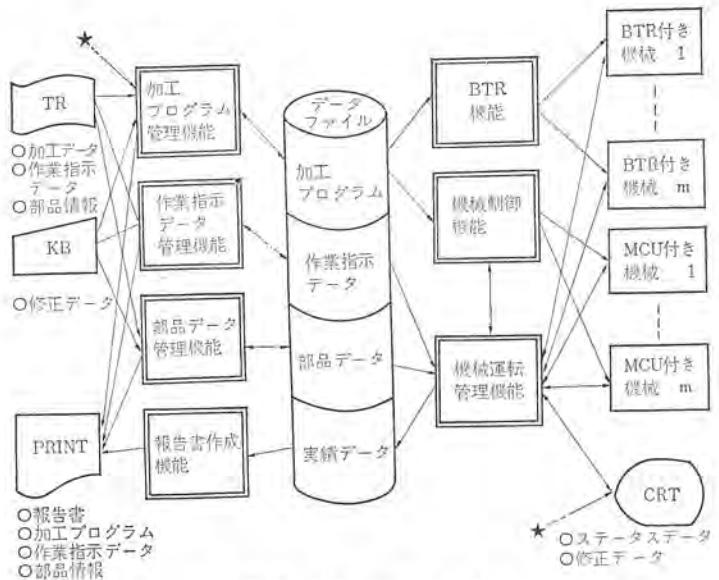


図 4. DNC システムの機能構成

(1) 機械制御機能

あらかじめ入力された加工プログラムデータを処理し、機械を制御するもので、通常の NC 装置の具備している機能と同様な機能を果たす。その機能一覧を表 2. に示す。

(2) 加工プログラムの管理機能

機械制御の指令データとなる加工プログラムを入力し、データファイルとして蓄積することができ、このデータファイルの変更および更新は CRT (character display) によって現場からも可能である。

(3) 作業指示データ管理機能

機械の運転スケジュールに対する作業指示データをデータファイルとして蓄積することができる。

(4) 部品データ管理機能

加工する部品に加工プログラム以外のデータをデータファイルとして蓄積することができる。

(5) 機械運転管理機能

作業指示その他のデータをもとに作業の開始・終了を管理し、実績データをデータファイルとして蓄積するとともに、運転状況に関するデータを表示することができる。

(6) 報告書作成機能

機械の運転結果、ファイルされたデータおよびあらかじめファイルされたデータをもとに報告書を作成する。

以上(2)~(6)までの情報処理機能を表 3. に示す。

現場作業者と DNC 装置との対話には CRT (character display) とか、通常 MCU にとりつけられている DNC パネルによっておこなわれている。この DNC パネルの一例を図 5. に示す。

2.4 DNC の評価

DNC システムの総合的評価の場合は個別 NC 装置との経済的比較が常にその話題の中心となる。この数年来、個別 NC 装置の価格低

技術講座

表 2. DNC 機能 (機械制御機能)

項目	基本機能	オプション機能
制御時間補正	位置決め、直線切削 3軸 直線 ISO/EIA	輪郭切削 4/5軸 2軸 3軸 円弧
座標設定単位	増分绝对併用可(G指令による) 0.001 mm/0.01 mm(deg) 0.01/0.005/0.002/0.001 mm/パルス	直径指定
最大指令値	直線 99,999,999×入力設定 単位	円弧半径 99,999,999×入力設定 単位
送り制御方式	非同期/同期 直接指定 F4けた	
送り速度指令方式	非同期: 1 mm(deg)/min 単位 同期: 0.01 mm(deg)/rev 単位	
送り速度範囲	非同期: 1~4,800 mm(deg)/min 同期: 1~8,192×0.01 mm (deg)/rev 単位	
位置決め方式	各軸独立移動	
早送り速度	最大 9,600 mm/min 各軸独立 設定可	
自動加速減速	可	
ドウツエアル工具位置補正	直接指定 1~999×0.1s 補正量範囲 ±32,767×入力設定単位 補正量設定 16/32/64 補正量表示 設定値現在補正量 とも可	ストレートねじ テーパねじ 切り上げ可 ねじ長 1~99,999,999×入力設定 単位
工具径補正	—	ピッチ 1~8,912×0.01 mm/rev
ブロック番号機能	シーケンス番号設定 0~999 ブロック番号指定 0~9,999 (シーケンス番号よりの相対値) ブロック番号表示 シーケンス 番号+ブロック番号をオンリ クエストで表示 シーケンス番号/ブロック番号 サーチ可	補正量の範囲、設定表示は工具 位置補正と同じ
補助機能(M)	0~99	0~9,999
主軸機能(S)	0~99	0~99,999
工具機能(T)	0~99	
リファレンスブロック	可	
ブロックディリート	可	
手動データ入力	1ブロック(最大62キャラクタ) ジョグ(同時1軸) 送り速度指定 1, 10, 100, 1,000, 2,000, 5,000 mm/min オーバライド可	・ステップ(同時1軸) 1, 10, 100, 1,000 μ ・手動ハンドル(同時1軸) 1, 10 mm/rev 自動(G指令による)(同時1軸) 可
手	手動(同時1軸)	
原点復帰	可	
リスタート	可	
シングルブロック	可	
プログラムストップ	可	
オプショナルストップ	可	
フィードホールド	可	
フィードレートオーバライド	0~150% 10% ステップ	
オーバライドキャンセル	可	
速度制込	可	
ピッチエラー補正	可	
ブロックラッシュ補正	可 0~0.127 mm	
フィードレートブレイバック	—	
マシンロック	可	
ミラーリメージ	—	
モーダル値表示	G, M, S, T, Fコードおよび指令値	
警報表示	7種 ランプ表示	専用カウンタに表示
現地表示	可 (DNCパネル)	補正量テーブルをCRTに表示

表 3. DNC 機能 (情報処理機能)

項目	基本機能	オプション機能
加工プログラム管理機能	加工プログラムの登録 加工プログラムのリストの印字 加工プログラムの内容の印字 加工プログラムの削除	加工プログラムのパンチ出力 加工プログラムのチック 加工プログラムの修正 固定サイクルIIの登録 固定サイクルIIの印字 固定サイクルIIの内容印字 固定サイクルIIの削除
作業指示データ管理機能		作業指示データの登録 作業指示データのリストの印字 作業指示データの削除 削込み作業の登録
部品データ管理機能		部品データの登録 部品データのリストの印字 部品データの内容の印字 部品データの削除 部品データの修正
機械運転管理機能	加工プログラム呼出し 加工プログラム実行打切り エラー終了の指示 作業実績データ集計 加工プログラムのテープチェックの表示	機械運転時間集計 作業進ちょく状況表示 部品データ表示 機械運転状況表示
報告書作成機能	完了部品表の作成	選延予想部品表の作成 作業進ちょく状況表の作成 機械か動表の作成 機械運転状況の印字

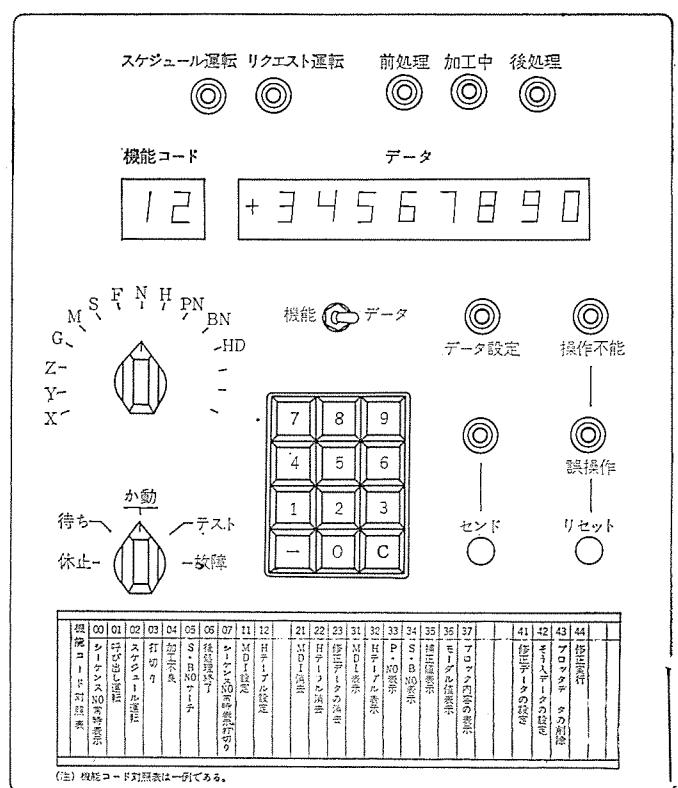


図 5. DNC パネルの一例

技術講座

下の度合はミコニのそれを上回っている傾向にあるため、初期投資額にだけ着目すると、少數台設置の場合はDNCシステムはややコスト高になっている。したがって、初期投資以外に次のメリットを計算に入れ、かつ5~7年の期間について論じる必要がある。

- (1) パートプログラムの最適化による切削効率の上昇
- (2) 初回品のテーブデバック時間の減少
- (3) テーブリーダの除去
- (4) 工場生産情報のロギング
- (5) 計算機制御独自のメリット

またデメリットとしては、間接費のアップがあげられるが、これらを総合的に考慮に入れ各生産工場において、それぞれの工場に適応したメリット計算を行なう必要がある。しかし今後の工場無人化の方向は明白な事実であり、DNC導入により予期しなかった副産物的メリットが必ず期待できるものであり、その運用に当をえれば必ず大きなメリットが得られることは論をまたない。

3. NC応用機

工作機械以外のNC化として、産業機械のNC化が多方面にわたくて実施されており、ガス切断機、溶接機、放電加工機などがそれにあたり、また設計の自動化という面では自動製図機や座標読取装置などがある。

ここでは代表例としてNCガス切断機と自動製図機のNC装置についてのべる。両者は用途面（主として造船関係）でも、仕様面でも多くの共通点をもっていることに注目すべきである。

3.1 NCガス切断機

ガス切断機を数値制御するものであり、従来の手動操作、半自動操作のものにくらべて、能率のアップ、切断部の均一性、任意形状切断の容易化、熟練操作員の削減など種々のメリットがあり、特に造船関係、シーリング関係で急速に普及しつつある。

すなわち、NCガス切断機は紙テープによって与えられる指令値にしたがって、アセチレンおよび高圧酸素のガス炎を噴出するトーチの位置決めを行なって、鉄板を所定の型に切り抜く装置であるが、これを制御するNC装置はトーチの位置決めのほかにガスのオン・オフ、開先切断の場合はトーチ旋回制御、切幅補正、切断された鉄板のつなぎ合わせなどを指示するマーキング機能、失火の場合途中よりやりなおすための逆行機能、その他種々の制御を行なうものである。

この装置はヨーロッパで開発が先行し、特にノルウェーのコングスベルグ社（KONGS BERG VÅPENFABRIKK社）がノルウェーの工業技術院にあたる「ESSI」（ESSIはSentral InstituteのSIから来たもの）から技術援助を受けて開発されたESSIフォーマットによるNC装置が普及し、わが国の造船業界で採用する所が多いいため、ESSIフォーマットタイプのNC装置が開発され、ガス切断機用として主流をなしている。

また、従来のアセチレンおよび高圧酸素のガス炎にかわって、アーチ

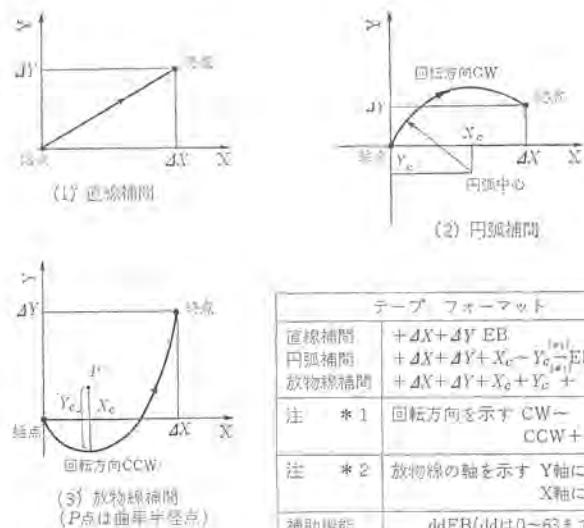


図 6. ESSI フォーマット

を利用して高圧空気を加熱し、高速で噴出させて切断炎として利用するプラズマ炎で切断する切断機が実用化され、切断速度の高速化（約3倍の能率アップ）が行なわれている。以下そのNC装置についてのべる。

3.1.1 ESSI フォーマット

ガス切断機用NC装置に用いられる独特のフォーマットで、図6に示すごとく、各データブロックは符号（±）と数値で構成され、補間は直線・円弧・放物線の3種（実用的には直線・円弧の2種）であり、補助機能（AF=Auxiliary function）より構成されているためEIAフォーマットにくらべて簡単であり、テープ長が短くなる。補助機能AFの一覧を表4に示した。この補助機能AFはEIAフォーマットのM機能、G機能、T機能などをすべて2けた（桁）の数字であらわしたものである。

ここでことわっておくが表4はあくまで基本的な機能のコード指定をあらわしたもので、切断機メーカーの要望により未指定コードに独特の機能をアレンジする場合があり、また同じ機能でも若干内容がことなる場合もある。速度関係は現場にある機械側の操作盤より指定するのも大きな特長である。

3.1.2 NCガス切断機の種類

切断対象部材を平鋼板の場合に限定すると、大別して、型切断機と緩曲線切断機の2種類となる。

（1）型切断機

ガス切断機の最も典型的なもので、従来の型切断機をそのままNC化したもので、造船の内構材・車両・建設機械などの一般製缶部材の切断を対象としたもので、いわばNCガス切断機の標準機種である。機械の仕様としては

レールスパン	およそ 5~15 m
レール長	およそ 10~20 m

表 4. ESSI フォーマットの補助機能 (AF)

コード	機能	EIA との対応	備考
0	プログラムストップ	MO0	
1	データセット 1, 2		
2	3 軸 (緩曲線) 用の軸選択, それぞれのデータのブロックの前におかれて軸を示す	—	3 軸用の補助機能であり型切には不要 (緩曲線用)
3	テープ情報無視開始	“1” “ブロックデータ” または “リフレス ブロック” に相当	テープ上で “3” と “4” で囲まれた部分の情報を無視する
4	テープ情報無視解除		
5	早送り開始 切断機は早送りリモードとなる	GOO モード	
6	早送り終了		
7	センタートーチオン	M 機能相当	切断酸素オンになる
8	センタートーチオフ		切断酸素オフになる予熱炎についている
9	マーキングオン	M 機能相当	
10	マーキングオフ		
11	マーキングオフセットオン	工具オフセット機能に類似	マーキングヘッドをデータの位置まで自動的にもつくる
12	マーキングオフセットオフ		
13	左ペベルトーチオン	M 機能相当	
14	左ペベルトーチオフ		
15	右ペベルトーチオン	M 機能相当	
16	右ペベルトーチオフ		
17	加減速制御オン	G8/G9 モードになる	
18	加減速制御オフ		3 軸用の機械に 3 軸用のインプットデータを入れるととき “19”
19	3 軸制御		3 軸用の機械を 2 軸用として使用する場合は “20” ただし 2 軸用には不要
20	2 軸制御		
21	軸交換 $(+X+Y) \rightarrow (+X, +Y)$	座標変換	
22	\cdots $(+X+Y) \rightarrow (+X, -Y)$		
23	\cdots $(+X+Y) \rightarrow (-X, -Y)$		
24	\cdots $(+X, +Y) \rightarrow (-X+Y)$		
25	\cdots $(+X, +Y) \rightarrow (-Y-X)$		
26	\cdots $(+X, +Y) \rightarrow (+Y-X)$		
27	\cdots $(+X, +Y) \rightarrow (+Y, +X)$		
28	\cdots $(+X, +Y) \rightarrow (-Y, +X)$		
29	切幅補正 左	G 41	
30	\cdots 右	G 42	補正量はダイヤル指定
38	\cdots オフ	G 40	
39	対称切断	ミラーイメージ	データは左翼のものが基準
40	同形切断		
45	トーチ高さホールドオン	M 機能相当	切断中のトーチの高さを自動的に一定に保つ機能のオフ
46	トーチ高さホールドオフ		
47	トーチ高さ補正オン	M 機能相当	
48	トーチ高さ補正オフ		
49	予熱オン	M 機能相当	
50	予熱オフ		
51	トーチ旋回オン	M 機能相当	
52	トーチ旋回オフ		
63	リセット	MO2	

(注) ガス切断機の種類によってはコードと機能が若干ことなることがある

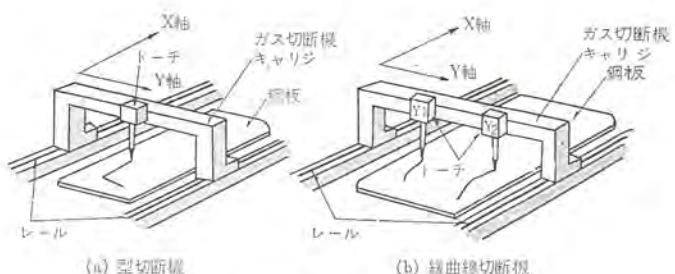


図 7. ガス 切断機の基本構造

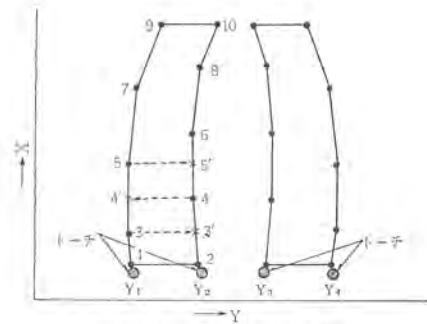


図 8. 緩曲線切断の例

トーチブロック数 1 ~ 4 個

トーチ駆動 同時同形および対称切断

同時制御軸数 2 軸 (X, Y 軸)

であり、一筆書切断を行なうものである。付属装置としては自動点火装置、トーチ旋回装置 (開先形切断装置)、トーチ自動上下装置 (トーチ高さ検出装置付き)、鋼板端面検出装置 (テープおよび材料の相対位置合せ用)、マーキング装置 (ラインまたはポイントマーキング)、カットオフ検出装置 (失火時などの非常停止または警報発信用) などがある。

(2) 緩曲線切断機

造船の曲り外板専用切断機として開発されたもので、2種類の曲率の異なる緩曲線を一対として2枚の鋼板を長手方向に計4組のトーチで同時対称切断するものである。切断時間は型切断のほぼ 1/2 になる点で造船界でも曲り外板切断法としてもっともすぐれている。機械仕様としては

レールスパン およそ 8 ~ 15 m

レール長 およそ 18 ~ 40 m

トーチブロック数 4 個または 2 組

トーチ駆動 同時対称切断

同時制御軸数 3 軸 (X, Y₁・Y₂ 軸)

であり、付属装置も型切断機用のものと同じものがつく。したがってこの NC 装置は本質的にわずかに異なる曲率半径の大きな曲線を直線で模擬して切断するものであるから、直線補間の同時 3 軸制御用が使用される。

図 7. はガス 切断機の基本構造を模型的に表わしたものであり、

技術講座

図 8. は緩曲線切断を示す図である。トーチブロックは4個あり、 Y_1 、 Y_2 と Y_3 、 Y_4 がそれぞれペアにあり、同時に対称切断を行なっている。その場合長手方向をX軸とすると、X軸と Y_1 軸(Y_4 軸)、 Y_2 軸(Y_3 軸)で3軸制御をすることになる。トーチは1個のキャリジに拘束されて取付けられているから、X軸の進みは同じでY軸方向の進みのみが変わる運動をする。座標点を1, 2, 3, 4……8, 9, 10とし、移動指令のみについてプログラムを行なうと、

* 1x₁y₁ * 2x₂y₂ * 1x₃y₃ * 2x₄y₄ * …… * 2x₈y₈ * 1x₉y₉ * 2x₁₀y₁₀ *
 (x₁) (ただし * は End of Block)

表 5. MELDAS 5240 E ガス切断機用 NC 装置のおもな仕様一覧

○はガス切断機特有の仕様

仕様項目	型切	緩曲線	補足説明
指令方式	増分値	同左	
フォーマット	ESSI/EAI	同左	○ESSIはガス切断機特有
補間方式	直線 円弧	直線	
駆動方式	SCR駆動	同左	
DCモータ方式			
制御軸数	2～5軸	3～5軸	トーチ旋回軸を含む場合はさらに増加する
同時制御軸数	2軸	3軸	
入力指令単位	0.1 mm	同左	○工作機用は一般に0.01 mm以下
出力パルス単位	0.02 mm	同左	
最大指令値	直線・円弧とも±1,200 m	直線 ±1,200 m	○
テープリーダ	200 ch/s 巻取装置有り 逆読み有り	同左	○純ESSI方式では緩曲線の場合逆読みなし
速度指令	操作盤	同左	○ESSI方式ではテープ指令なし
	切削 0.1～3 m/min マーキング 3～12 m/min	同左	
	早送り 12 m/min	同左	○AF=9/10
オーバライド	10～120%/ 50～150%	同左	○AF=5/6
自動加減速	テープ入力/ 操作盤	同左	AF=17/18
逆行	有	無/有	○純ESSI方式では緩曲線の場合は無
切幅補正	有	有(Y軸方向に オフセット)	○AF=29/30/38 EIA方式でのI, J, の指定。コーナ切換えの指令なし(内部演算方式)
補助機能	有(00～99)	有	○AF 0～99
ブロックデリート	有	有	AF=13/14
シングルブロック	有	有	スイッチにて指令
原点復帰	有	有	
手動操作	有	有	
同形対称	操作盤スイッチ により各軸独立	同左	
マーキングオフセット	有	有	○工具位置補正に相当
バリティチェック	有	有	水平および垂直
X軸駆動方式	両輪/片輪	両輪	○
軸ずれ検出/自動修正	有	有	○プラズマの場合はIカットのみX, Y, Vカット時はトーチ旋回機能有り
トーチ形式	IXYVカット	同左	
トーチブロック数	1～4	2n(n=1, 2)	○

となる。このプログラムで1, 2は補助機能(AF)のデータセット機能である。(表4. 参照)

緩曲線切断の場合は逆行できないが、逆行を行なえるようにするためには図8. で座標点3に対する同一x軸座標点3'を正式座標点としてプログラムに打ちこむ必要がある。このような変形されたESSIフォーマットタイプの緩曲線ガス切断機もある。

3.1.3 NC装置の仕様

NC装置のおもな仕様一覧を表5. に示した。この中で○印をしたものがガス切断機用NC装置としての特有な仕様であり、そのおもなものについて解説する。

(1) 入力指令単位と速度範囲

工作機械のNC装置より1けた入力指令単位が2つになり、普通0.1 mmである。それだけ精度的な要求がきびしくないが、それとともに最大指令値は大きなものが要求される。(たとえば、直線・円弧半径とも1,200 m), 速度は普通のガス炎で0.6 m/min前後、プラズマ炎では最大3 m/min, マーキング速度(一般には切削モード), 早送り速度とも12 m/minで、これらは将来さらに高速化が要求される。

(2) 逆行制御

ガス切断機用として、特有機能の一つであり、失火したとき、途中よりの切断やりなおしのため、手動で1ブロックずつ逆行させるものである。この逆行制御はブロックの途中で指令した場合はそのブロックの残りを正行してから逆行を開始する。また円弧の場合終点から始点にむかって直線逆行、切幅補正のある場合は切幅補正をキャンセルして逆行を行なうのが普通で、そのやり方の例を図9. に示した。

そのためテープリーダは逆読み可能なものが実装される。

(3) 切幅補正

トーチの火口は有限の径をもっているので、火口の半径分だけ切幅補正する必要があり、ガス切断機用としてほとんどこの機能が用いられる。ISO/EIA規格でいう工具径補正(G39, G40, G41, G42)に相当するものである。しかしESSIフォーマットではベクトル方向を指定するI, Jおよびコーナ切換え(G39)もなく、すべて次の指令を読み取り、NC装置で内部演算するのが大きな特長である。

(4) X軸の両輪駆動方式

トーチを装着するキャリジが長くなり、レール間隔がひろがるとX軸は両レール側にX軸駆動用モータとして2台取りつけ、同期運動を行なう。その場合キャリジの機械的ねじれを検出するため、軸ずれ検出

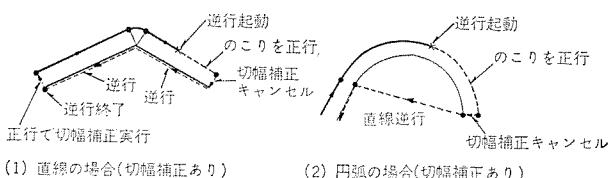


図9. 逆行制御の例



図 10. ガス切断機用 NC 装置

回路と自動修正回路をサーボ系に付加する必要がある。

(5) トーチ旋回機能

IカットをのぞくX, Y, Vカットについてはトーチが鋼板に対して傾斜し、かつ鋼板の切断線に対して常に直角になるよう制御する必要がある。これをトーチの旋回機能またはトーチの開先制御といふ。円弧や切幅補正のコナ切断を行なう場合にはこの制御が自動的に行なわれる。

なおNC装置としては据置形と積載形があり、一般的には積載形については、特に防じん(塵)対策を完全にする必要があること、温度条件が悪いのでクーラを装備するなどの対策が必要である。図10.にガス切断機用NC装置の外観図の一例を示す。

3.2 自動製図機

CADC(Computer Aided Design)の一環として自動製図機がクローズアップされている。これはX-Yプロッタの精密なもので、精度が高く(0.01mm単位)、かつ描画面積が大きい。NC工作機械と同様紙テープ入力(磁気テープ入力のものもある)の制御装置でコントロールされる。初期の頃は個別NC装置を一部改造して製図機の制御装置として使用されていたが、最近では取扱うデータが複雑になり、機能的にも種々な機能を要求されるため、制御装置としてミニコンを内蔵したストアードプログラムコントロール方式に全面的に移行しつつあり、2.1節でのべたCNCの代表的なものとなっている。

用途としては製図の自動化(設計の自動化でいわゆる自動製図、たとえばプリント基板のパターン図作成)、造船業界での現図の自動化、建築関係の設計図・透視図の作成やNC工作機械・NC付き切断機の制御テープの照合検査(verification)、一般計算機の出力表示装置などに利用され、造船・航空機・車両・自動車・電機・電子・機械・精密工業・産業機械などあらゆる産業分野にその需要が拡大しつつある。

導入のメリットとしては

表 6. 自動製図機本体のおもな仕様(武藤工業製参考)

項目	仕様
有効製図範囲	たとえば 4,000 mm × 1,250 mm
設定単位	0.01 mm/パルス
速度	早送り 7.2 m/min ~ 19.2 m/min 描画速度 6 m/min ~ 9.6 m/min
駆動装置	ラックピニオン駆動方式
位置検出	ブッシュレス・レゾルバ
総合精度	±0.075 mm 以内
描画線種	実線・破線・一点鎖線・二点鎖線
ターレット選択	最大 6 種
座標読み取り機能	有

表 7. 自動製図機用制御装置のおもな仕様

項目	仕様	備考
指令方式	増分値	絶対値も有り
フォーム	ISO/EAI/ESSI	
補間方式	直線、円弧	
制御方式	SCR駆動 DCモータ方式	
制御軸数	2軸	
同時制御軸数	2軸	
入力指令単位	0.01 mm	
逆行	有	
ペン半径補正	有	○ ○ガス切断機では切幅補正
ターレット選択機能	有	
シーケンス番号表示およびサーチ	有	
手動ハンドル送り	有	◎拡大/縮小
スケーリング	有	◎
破線・鎮線	有	◎
レターリング	有	ミラーイメージ
軸選択	有	◎
回転軸	有	◎インキングでなくフォトの場合
光量制御	有	
原点復帰	有	
X軸駆動方式	両輪/片輪	○
軸ずれ検出/自動修正	有	○
自動加減速	有	
記憶装置	コアメモリ 16ビット+パリティビット サイクルタイム 0.8 μs 8 kW~16 kW	
中央処理装置	2進並列演算 加算時間 0.8 μs 乗除算 ハードウエア処理	

◎: 自動製図機特有の機能

○: ガス切断機用NC装置と共通の機能

(1) 製図時間の短縮(能率化)

(2) 製図品質の均一化(ミスの撲滅)

(3) 人件費の削減(省力化)

(4) 製図技術の高度化

が挙げられる。

自動製図機本体のおもな仕様例を表6.に、その制御装置としてのおもな仕様を表7.に示した。◎印が製図機特有の機能であり、特にスケーリング(拡大/縮小)、レターリングなどはCNCにしてはじめて実現できるものであり、○印はガス切断機用NC装置と共通せる機能を示した。一般に自動製図機の描画速度は高速化の道をたどっており、工作機械とちがって負荷はペン先またはフォトア

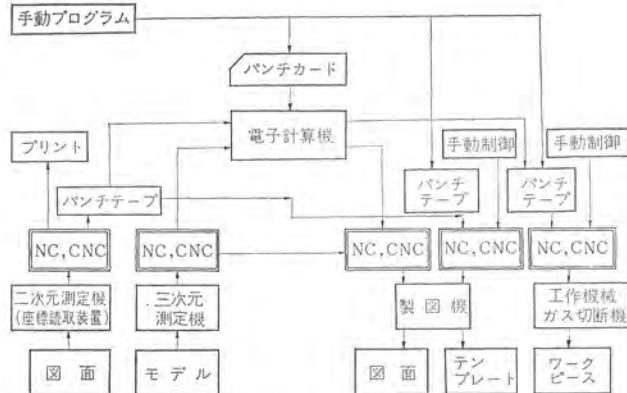


図 11. 測定機と製図機の関連性

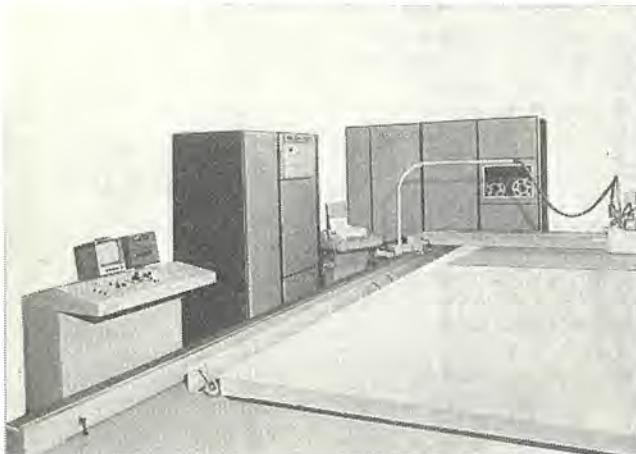


図 12. 自動製図機



図 13. 自動製図機の操作パネルの一例

イときわめて軽い負荷であるため特殊なサーボ系が要求されることになる。

一般に自動製図機には座標読取機能を付加し、読み取った座標データを制御装置内でデータ処理して紙テープを作成することもできる。

一般に座標読取機（二次元および三次元の測定機）と自動製図機や、工作機械との関係を CAD の立場からみた関連性を図 11. に示した。

なお図 12. に自動製図機の外観を、図 13. に自動製図機の操作パネルの一例を示した。

4. 将来の展望

電子計算機は超大形化とミニコンピュータ／マイクロコンピュータと超小形化に分極化しつつあり、この両者のハイブリッドシステムの構成化が進んでいるが、NC 装置もミニコンを利用した複雑、多目的多機能の DNC や CNC への方向と、低価格、専用化の個別 NC 装置への進展と分極化が進んでいる。

工作機械と NC 装置とのインターフェースをつかさどる強電制御盤が、リレーよりしだいに IC 化の方向をたどっており、CNC においては一部ソフト化しつつある。（たとえば ATC 制御回路）一方 NC 工作機械とその周辺装置、すなわちローダ・アンローダ搬送装置など一連のライン化にともなう総括的なシーケンシャルコントロールをミニコンやマイクロコンを利用して専用的に行なう PC (Programmable Control) が、近い将来出現してきそうである。

一方、ハードウェアの面でいえば前述のマイクロコンの母体になる 1 チップ CPU もすでに世にでてきており、現時点では演算スピードその他の処理能力に難点があり、個別 NC、DNC/CNC への応用は現在検討段階である。

しかし、その開発が急速に進展すれば IC メモリと併用されて独得の制御装置が誕生してくるであろう。それによって広い意味で NC 装置の応用は一段と広範囲になりうると予想される。

5. むすび

技術講座の数値制御シリーズとして 5 回にわたり、機能、サーボ機構、プログラミングおよび応用について全般的な解説を行なったが、今かえりみると NC の技術分野が広すぎるため概説的な記述に終始してしまったことをここで深くおわびする次第である。したがって十分説明できなかった面が多々あり、それぞれの装置やシステムを別の機会に発表してゆきたいと思っている。終わりに今後ともこの方面に関係しておられる方々のご意見、ごべんたつをお願いしたい。

(昭和 49-6-4 受付)

当社の登録実用新案

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
995139	冷蔵庫	岡村正道	998003	形状検出装置	山崎英蔵・大川清人
995140	冷蔵庫の庫内凍結防止装置	綾田隆嗣			淡野光章
995141	冷蔵庫のテーブル板装着装置	戸塚次郎	998004	自動飲料供給機	三宅良明・近藤恭
995142	テーブル板装着装置	"	998005	回路遮断器の操作装置	中本勝博
995143	冷蔵庫	高田弘明・綾田隆嗣	998006	ロール自動しめ切り装置	大井昭三
995144	冷蔵庫の仕切枠	戸塚次郎	998007	テレビ用筐体	須田良吉・森好春
995145	冷蔵庫	西郷勝	998008	スイッチ取付装置	熊田泰治
995146	空気調和機	桑沢宏康	998009	電気器具のスイッチ取付装置	"・三輪美嘉
995147	冷蔵庫の排水装置	木南勤	998010	くま取りコイル形単相誘導電動機	赤松昌彦
995148	冷蔵庫等の配線装置	小泉鉄一	998011	限流ヒューズ	岩崎行夫・太田忍
995149	冷蔵庫	府川允彦・丸山正明	998012	真空スイッチ	勝田久登
995150	電気加湿器等の自動給水装置	近藤正司・市村伸男 宇佐見忠	997998	電気車用 パイロットモータの正逆転制御装置	三橋英一
995151	空気調和機	牛田善和・上妻親司	997999	電気掃除機用吸込具	武井久夫・加藤悟
995152	冷房装置	杉山勲	998844	電子調理器用安全警報装置	高瀬明生
995153	空気調和機	大石建治・牧田保男	998845	高周波加熱装置の無負荷保護装置	"・古屋芳明
995154	"	望月勝美	998846	レドーム	木名瀬武男・渡辺節男
995155	"	佐藤喜一・玉山駿 石塚幹夫	998847	しゃ断器の消弧装置	紀井正美
995156	空気調和装置	鈴木太八郎	998848	真空開閉器	米沢克昌・信崎泰秀
995157	空気調和装置の軸封装置	山崎泰彦	998849	線源容器	津田元裕
995158	蓄熱暖房器	赤羽根正夫・藤田喜助	998850	ロータリスイッチ	松村恒男
995159	セパレート形空気調和機の据付装置	鈴木太八郎	998852	前面ガラス取付装置	佐伯義行
995160	"	"	998853	電気毛布	中川俊一郎・野畠昭夫
995161	空冷式凝縮装置	川名明	998854	自動点滅器	大竹操
995162	空気調和機の低温保護装置	見瀬俊朗	998855	移相変圧器アナログ	元木義明
995163	空気調和機	梅野賢	998856	スピーカボックスの化粧枠取付装置	荒木忠夫
995164	空気調和機の防音装置	山崎輝久	998857	多段切換開閉装置	木村和朗
995165	環状けい光ランプの包装体	三森貢・橋本淳之助	998858	電気採暖いす	武田克己・新川成美
995166	分離可能型水冷式空気調和装置	三浦隆・薬科公彦	998859	冷水機	加太義武・横田国雄
995167	サーモスタット付電気加湿器の蒸発皿	近藤正司・日比野浩一	998860	冷水機	三宅良明
995168	空気調和機	佐藤喜一・玉山駿 石塚幹夫	998861	バキュームスイッチ	三宅良明
995169	丸ノコ機	田中実	998862	冷水機	大西正義
995170	温水器の吸水装置	赤羽根正夫・桜井信捷	998863	接触スイッチ	平野実
995171	温水器	日比野浩一・"	998864	位置検出装置	才田敏和
995172	内燃機関の排気ガス浄化装置	日野利之	998865	周波数継電装置	北浦孝一
995173	内燃機関の排気ガス浄化装置	三木隆雄	998851	高周波増幅器における中和回路装置	堤勝彦
995174	"	"	999410	電気こたつ	内田武士・阿部五郎
995175	同期パルス発生回路	杉本雄平	998843	膨張式救命いかだ	綾井勝雄
995176	タッチボタンスイッチ	壺井芳昭	1000256	受光装置	小堀康夫・大藏正篤
996116	ビデオテープレコーダの回転ヘッド	国井郷志・川辺貞信	1000257	投光装置	"・"
996127	再書き込み抑止回路	綾田博靖	1000258	エレベータ装置	日並静男・長谷川典利
998000	コード巻込みリール	糸魚川佐富	1000259	電気洗濯機の強弱水流切換装置	高沢正二・東海枝明男
998001	最大需用電力計	相田利光	1000260	エスカレータ手摺のフレ止めローラ	木村 稔
998002	電子調理器の警報回路	池田宏司	1000261	換気扇の動作表示装置	牛越康徳

当社の登録実用新案

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
995134	食器洗い機の水封装置	{小川 昇・森本敏雄 村岡和典・岡島清二	1000276	冷媒圧縮機の吐出消音器	田中 満・大日方興信
995135	食器洗浄機の残滓処理装置	{小川 昇・森本敏夫 村岡和典・	1000277	プレスにおけるクランクシャフト停止位置調整装置	山田繁人
995136	食器洗浄機の排気装置	{小川 昇・森本敏夫 村岡和典	1000278	密閉形圧縮機	高田 宏
995137	車輪取付装置	{小川 昇・森本敏夫 村岡和典・宇佐見忠	1000279	密閉形電動圧縮機	標 博雄
995138	食器洗い機の噴射ノズル	{小川 昇・森本敏夫 岡島清二	1000280	二段圧縮機	菊池照弘
1000267	スクリュードライバのビット保持装置	弘瀬 潔・中山卓義	1000281	換気扇の油受け係着装置	牛越康徳
1000268	食器洗い機の散水装置	{小川 昇・森本敏夫 村岡和典	1000282	換気装置	鈴木欽三
1000269	換気扇	牛越康徳	1000283	レンジフードの自動運転装置	酒井勝正
1000270	ガスレンジ	神谷昭美・吉野昌孝	1000284	換気扇の油受け係着装置	牛越康徳
1000271	密閉形電動圧縮機の继電器保持装置	松尾正孝	1000285	冷凍機用密閉形圧縮機	河村 求
1000272	カーテンレール 付換気扇	田口幹雄・今井純英	1000286	密閉形圧縮機	吉田幸太郎
1000273	換気扇 シャッタ取付装置	林輝夫・牛越康徳	1000287	圧縮装置	甘粕忠男・井手賢治
1000274	換気扇取付装置	宍戸幸男	1000288	窓用換気扇取付枠	山尾恭右
1000275	換気扇取付装置	宍戸幸男	1000289	換気装置	{吉野昌孝・南牧安 松井進
			1000290	冷凍機用密閉形圧縮機	大日方興信
			1000291	冷凍圧縮機の保護装置	石井善幸
			1000292	半密閉形冷媒圧縮機の油上り防止装置	加来七郎
			1000293	密閉形電動圧縮機	松永勝利

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 48 No. 9 照明特集

特集論文

- メタルハライドランプの一応用
- グラフィックアート用メタルハライドランプ
- 光源の演色性評価方法と新しい高演色性ランプ
- けい光灯空調照明器具の空調への効果
- 照明器具の製品多様化と標準化
- 造船におけるドック内建造船の照明設備
- 照明合理化のための最近の傾向
- 最近の住宅用照明器具デザインの展望
- 希ガス放電によるけい光体の発光

普通論文

- ダイナミックコンバーゼンスカラーテレビ受像機の開発
- 周波数分離形2管式カラーカメラ
- 新方式カラー受像管
- PYG けい光面とその応用
- EVR の応用
- 高速ファクシミリ
- ステレオハイパワーアンプの設計
- スピーカーの広帯域再生の問題点
- クリンヒータの開発

技術解説

- 映像記録用磁気ディスクレコーダー

三菱電機技報編集委員会

委員長	松岡 治	常任委員	久松章三
副委員長	神崎 達	"	本間吉夫
"	武藤 正	"	吉山裕二
常任委員	伊藤一夫	委員	柏谷一雄
"	上田重夫	"	熊本 永
"	宇佐見重夫	"	坂田邦寿
"	大田重吉	"	橋爪 基
"	北川和人	"	吉武正彦
"	外野健吾	"	若宮佐三
"	祖父江晴秋		(以上50音順)
"	塚本信雄		

8号特集担当 吉松誠一

三菱電機技報 48巻 8号

昭和49年8月22日印刷

昭和49年8月25日発行

定価1部200円(送料別)無断転載を禁ず

編集兼発行人 松岡 治

印刷者 高橋 武夫

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 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(〒100)

三菱電機株式会社内

「三菱電機技報社」Tel. (03) 218局 2327

発売元 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地(〒100)

株式会社 オーム社書店

Tel. (03) 291局 0912, 振替口座 東京 20018