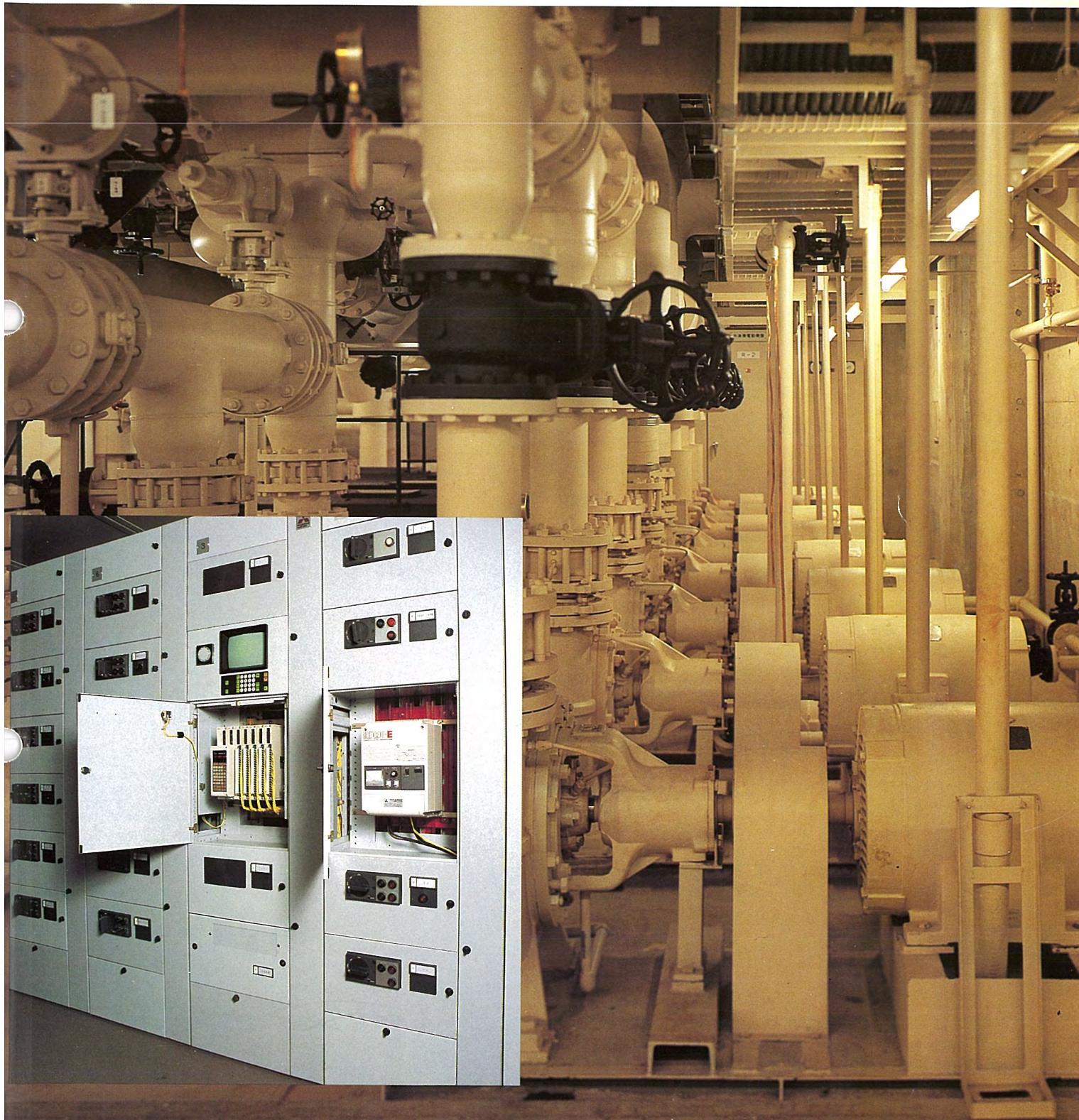


# MITSUBISHI DENKI GIHO

# 三菱電機技報



Vol.55 No.9

はん用電機品特集

### はん用電機品特集

#### 目 次

##### 特 集 論 文

データ演算機能付シーケンサ《MELSEC-K》の応用	1
青木正夫	
ワンボードシーケンサと周辺機器	6
淡野光章・柏原正信・内海 晓・岡田高明	
分電盤用ノーヒューズしや断器	10
前田信吾・田中正幸・飯尾 司・寺地淳一	
熱解析によるノーヒューズしや断器の温度分布シミュレーション	14
望月義範・有信一郎・矢木澤 守・黒瀬 治	
新形はん用トランジスタインバータ	18
山崎宣典・小鳴鈴夫・赤松昌彦・宮崎 治	
流れの可視化法とその回転電気機械通風解析への適用	23
阪部茂一・木藤良善久・片岡正博・柳沢公人	
水中電動機の水潤滑スラスト軸受	28
山本作衛・徳光清典・菅波拓也・増田隆広	

##### 普 通 論 文

ガラスハウス環境制御へのマイクロコンピュータの応用	35
柳下紀久次・岡 富士郎・山崎 悟	
高精度アナログウォッチ用C MOS LSI	40
諸川 滋・高橋直樹・小松武生・舟越也寿宏	
FM電流差動キャリアリレー装置	44
鈴木健治・畠田 稔・鈴木 恵・東 信一・野口好朗	
三菱バラシサ	49
野田祐久・国友善雄・奥 直樹・吉田忠弘・三村宗彦	
冷延鋼板の形状測定と制御	54
上住好章・下田道雄・白石 疊・浜崎芳治・渡辺文夫	
耐震G形コントロールセンター	59
藤本隆一・佐藤 清・杉村 徹	
静止形無効電力補償装置の電力系統への応用	64
土井 淳・藤原良一・阿部 茂	
特許と新案	33
電磁ポンプ式自動注湯装置	
カラー受像管	
シーズヒーター	
当社の登録特許一覧	32, 72

##### ス ポ ッ ツ ラ イ ト

デマンド監視・制御装置《MICAM-DMX》	69
三菱コーヒーメーカー《ピュアカフェ》	70
三菱電子ジャー炊飯器《かまどっ子》	71
三菱カラーテレビ カスタムSシリーズ	(表3)

##### 表紙

はん用トランジスタインバータ《FREQROL-E》，はん用シーケンサ《MELSEC-K》とう載コントロールセンターシステム電動機設備の省電力対策として，ポンプ，プロアなどの流体機器を中心に可変速電動機の適用が積極的に行われている。《FREQROL-E》はん用インバータシリーズは当社の先進のエレクトロニクス技術を駆使して開発されたはん用電動機駆動用の可変速制御装置である。《MELSEC-Kシリーズ》は各機能がユニット化されたビルディングブロックタイプのはん用シーケンサである。

これらのはん用機器をコントロールセンターにう載することにより，コントロールセンター本来の電動機駆動機能とシーケンサの持つ経済性，コンパクト性と高い演算制御機能性，調整保守作業の効率性を生かし，インバータによるはん用電動機の可変速運転及び選択運転などの最適運転が可能となる。このシステムを多數台運転の流体機器などに適用することにより，大幅な省電力，省力化が期待できる。



## アブストラクト

データ演算機能付シーケンサ《MELSEC-K》の応用  
青木正夫

三菱電機技報 Vol.55・No.9・P1~5

《MELSEC-K》はシーケンス制御とともにデータ演算(数値処理)ができる高い経済性と機能、及びコンパクトさを備えたシーケンサである。

特に、データ演算を活用することにより、ロボット、工作機、組立機などの位置決めや計測、計数などシーケンス制御とともに量の制御を伴う分野に威力を発揮する。

新形はん用トランジスタインバータ

山崎宣典・小嶋鈴夫・赤松昌彦・宮崎 治

三菱電機技報 Vol.55・No.9・P18~22

省力化、自動化、省エネルギーなどの時代の要求に呼応して、はん用かご形モータルを周波数制御して可変速運転することができるはん用トランジスタインバータを開発した。従来高価で特定用途に使用されてきたVVVFインバータをはん用とするために、①騒音、効率の改善、②多様な用途への適合性、③小形軽量化、取扱性向上の課題を解決した。PAM/PWM切換制御方式、カスタムLSI、ワンパック電力半導体モジュールなどを開発採用している。

ワンボードシーケンサと周辺機器

淡野光章・柏原正信・内海 晓・岡田高明

三菱電機技報 Vol.55・No.9・P6~9

各種産業機、工作機の自動化、高機能化が進展している。最近では信頼性の向上、工期の短縮、制御盤の小形化などを図るために、小規模自動機のシーケンス制御の分野にもリレー盤に代わってシーケンサが導入されつつある。本稿では小規模自動機向けシーケンサで従来のリレー盤をしの(後)ぐ経済性を実現したワンボードシーケンサとその周辺装置について述べる。

流れの可視化法とその回転電気機械通風解析への適用

阪部茂一・木藤良善久・片岡正博・柳沢公人

三菱電機技報 Vol.55・No.9・P23~27

回転電機の小形軽量化・高効率化の要請に対応するには、最適な通風冷却方式の追求やその設計技術の確立が重要である。冷却効率を増大させるには、回転機の内部を流れる冷却空気の複雑な流動現象を分布的な流れとしてとらえる必要がある。この複雑な流れの分布を可視化して測定する手法としてトレーサ法を開発したので、本稿では、その概要を紹介し、これを全閉外扇形誘導機に適用した例について述べ、開発した流れの可視化技術は、回転機の通風冷却構造の改善に有効であることを示す。

分電盤用ノーヒューズしや断器

前田信吾・田中正幸・飯尾 司・寺地淳一

三菱電機技報 Vol.55・No.9・P10~13

NFBは発売以来47年間にわたり市場の要求に応じて開発改良が進められてきた。当社では、これらの要求に対応するため、分電盤組込用に最適の機種を充実した。主回路用として、Kシリーズ 100A、225Aフレーム、協約寸法形BH-Kのしや断容量大幅格上げ、分電盤用漏電しや断器NVB50形の充実、非常電源用耐熱形NFB・開閉器の充実など一連の分電盤用機器を開発したので、その概要と技術的考察を紹介する。

水中電動機の水潤滑スラスト軸受

山本作衛・徳光清典・菅波拓也・増田隆広

三菱電機技報 Vol.55・No.9・P28~31

建設費と運転経費の節減に有効である水封式の深井戸ポンプ用水中モータルは、国内はもちろん、国際的な製品としてこの1~2年急激な変化(貌)を遂げており、技術的に内蔵の水潤滑スラスト軸受が改革の重要なポイントとなっている。本稿では、特に市場ニーズの高い水潤滑スラスト軸受の高荷重化に焦点を絞り、軸受の負荷能力に関連する軸受諸元について理論解析と評価試験の成果を紹介すると共に、今後の技術課題と含め高荷重化の可能性を論述する。

熱解析によるノーヒューズしや断器の温度分布シミュレーション

望月義範・有信一郎・矢木澤 守・黒瀬 治

三菱電機技報 Vol.55・No.9・P14~17

ノーヒューズしや断器の小形化や省資源化が、強く要求されている状況のなかで、しや断器の熱設計の重要性がクローズアップしてきた。そのため熱回路網法を使用した電子計算機によるシミュレーションを行い、実測値とよく一致したのでここに紹介する。

また、表皮効果による電流の片寄りのシミュレーションの結果を熱シミュレーションに織り込むことで、大電流のしや断器の熱解析に応用できることも述べる。

ガラスハウス環境制御へのマイクロコンピュータの応用

柳下紀久次・岡 富士郎・山崎 悟

三菱電機技報 Vol.55・No.9・P35~39

従来1次産業においてエレクトロニクスを応用した自動化は加工分野にはほとんど限定されており、直接生産分野については未開拓であった。今回、農業分野において、初めてマイクロコンピュータを応用したガラスハウス群の温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度などの環境を集中監視及び個別制御するシステムを受注製作した。本稿では、そのシステムの概要について紹介する。

## Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 9, pp. 18~22 (1981)

### A New General-Purpose Transistor Inverter

by Nobuyoshi Yamazaki, Suzuo Kojima, Masahiko Akamatsu & Osamu Miyazaki

The article describes a transistor inverter developed for frequency-controlled variable-speed standard squirrel-cage induction motors in response to the current urgent call for labor-saving, automation, and the efficient use of limited energy resources.

In order to widen the range of applications for VVVF inverters—hitherto limited by high cost to certain special applications—development work has been concentrated upon solving the problems of reducing electromagnetic noise, boosting efficiency, ensuring that the devices can satisfy a wide range of conditions, reducing weight and size, and improving the ease of operation. The device uses PAM/PWM switching control, custom-made LSIs, and one-pack power-semiconductor modules specially developed for the purpose.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 9, pp. 23~27 (1981)

### A Flow-Visualization Technique and Its Application to an Analysis of Ventilation in Rotating Electrical Machines

by Shigekazu Sakabe, Yoshihisa Kitora, Masahiro Kataoka & Kimito Yagisawa

The achievement of economies of scale and savings from increased efficiency in rotating electrical machines calls for design technology to optimize air-cooling structures. To improve air-cooling efficiency, the complex flow patterns of the cooling air within the rotating machine must be correctly understood. The article describes a tracer method developed to visualize these complex flow patterns and details its application to a totally enclosed fan-cooled induction motor, establishing the validity of this method of visualization for achieving structural improvements in air-cooled rotating machines.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 9, pp. 1~5 (1981)

### Applications of the MELSEC Series K Programmable Controllers with Data-Processing Functions

by Masao Aoki

MELSEC Series K programmable controllers combine sequential control and data-operation functions (numerical processing) in a compact and highly economical configuration. The article describes the controller and its data-operation functions, which are particularly valuable in the positioning of robots, machine tools, and assembly machines, in performing measurements and calculations, and also in quantitative control.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 9, pp. 28~31 (1981)

### A Water-Lubricated Thrust Bearing for Submersible Motors

by Sakae Yamamoto, Kiyonori Tokumitsu, Takuuya Suganami & Takanori Masuda

Water-sealed submersible motors for deep-well pumps offer advantages in terms of reduced installation and running costs. The last two years have seen rapid developments in these products, with the main technical efforts concentrated on the water-lubricated thrust bearing, a vitally important element. The article focuses upon increases in the loading capacity of these bearings—for which there is a strong market demand—and introduces the results of a theoretical analysis and practical evaluation of the factors that determine load-bearing capacity, discussing the possibility of further increases and the technical issues involved.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 9, pp. 10~13 (1981)

### New No-Fuse Breakers for Distribution Boards

by Shingo Maeda, Masayuki Tanaka, Tsukasa Iio & Jun'ichi Terachi

The process of developing and improving No-Fuse breakers (NFBs) in response to market demands has a continuous history of 47 years. Mitsubishi Electric's latest contribution is the development of optimum NFBs for panelboards. The article provides a general description of equipment for panelboard use and details the technical factors involved in a major upgrading of the interrupting capacities of Series K 100A and 225A frame and Series BH-K molded-case NFBs, in improving our NVB-50 earth-leakage breakers, and in developing switches and circuit breakers for emergency-power supply.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 9, pp. 35~39 (1981)

### Applying the Microcomputer to Environmental Control in Greenhouses

by Kikuji Yagishita, Fujiro Oka & Satoru Yamazaki

The conventional use of electronics in the primary industries has been largely limited to the automation of food processing, and its potentials in basic production remain unrealized. The article introduces a new system produced by Mitsubishi Electric to fill an order for the application of dispersed monitoring and individual control of environmental factors—temperature, humidity, and the concentration of carbon dioxide—to greenhouses. The system represents the first order of its kind for the introduction of the microcomputer to the field of agriculture.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 9, pp. 14~17 (1981)

### The Simulation of Thermal Distribution for No-Fuse Breakers by the Thermal Network Method

by Yoshinori Mochizuki, Ichiro Arinobu, Mamoru Yagisawa & Osamu Kurose

Thermal factors in circuit-breaker design are important in the development of units that will satisfy the demand for compact, energy-efficient no-fuse breakers. The article introduces the results of a computer simulation using the thermal-network method and establishes their consistency with experimental measurements. The simulation model incorporates factors reflecting inhomogeneous current flows due to the skin effect, and the article shows how the resulting thermal simulation can be applied to the analysis of high-current breakers.

## アブストラクト

### 高精度アナログウォッチ用C MOS LSI

諸川 淳・高橋直樹・小松武生・舟越也寿宏

三菱電機技報 Vol.55-No.9-P40~43

高精度アナログウォッチ用C MOS LSIをシチズン時計㈱と共同で開発したので紹介する。周波数安定性の優れた4.2MHzの水晶振動子を用いた時計用ICは高精度であるが、従来のC MOS技術では消費電力が数十 $\mu$ Wと大きいため腕時計には適さなかったが、微細パターンのC MOSシリコンゲートプロセスを開発し、回路的にも低電力化のための種々の工夫を行った結果、消費電力を腕時計用として使用可能な2~3 $\mu$ Wに低減できた。

### 冷延鋼板の形状測定と制御

上住好章・下田道雄・白石 弘・浜崎芳治・渡辺文夫

三菱電機技報 Vol.55-No.9-P54~58

冷延鋼板の形状測定及び制御は最近とみに発達しつつあるが、当社は非接触式冷延鋼板形状検出装置の実績を着実に伸ばすとともに、その応用としての形状測定技術(形状絶対値化技術)、更に実圧延における長期間の測定をもとにした独自の形状制御技術を開発・確立した。測定及び制御機能は当社プラントコントローラ《MELPLAC》にまとめてパッケージ化されている。この論文では、これらに関する成果をまとめて紹介する。

### FM電流差動キャリアリレー装置

鈴木健治・畠田 稔・鈴木 恵・東 信一・野口好朗

三菱電機技報 Vol.55-No.9-P44~48

FM電流差動キャリアリレーは差動原理にとづく理想的な保護方式を採用しており、多端子系を含む主幹系統保護方式として本格的に採用されつつある。当社では、豊富なフィールド経験をベースに、零相チェック監視による雑音検出の高性能化、零相電流差動による微地絡検出機能の付加、自動点検機能の内蔵などにより、装置の性能・信頼度アップを図り、このたび、中部電力(株)、九州電力(株)向け装置を製作・納入したのでその概要を紹介する。

### 耐震G形コントロールセンター

藤本隆一・佐藤 清・杉村 徹

三菱電機技報 Vol.55-No.9-P59~63

低圧配電盤の中核をしめるコントロールセンターには、地震発生時に電力の連続供給やプラントの安全停止のための機能維持が必要となる。また、耐震設計では近年、静的設計にかわり、動的設計手法が提唱されている。本稿では、有限要素法による動的解析手法及び大形加振設備による試験を中心に、耐震形コントロールセンターの開発に際し行った耐震設計・実証手法について述べる。

### 三菱バランサ

野田祐久・国友善雄・奥 直樹・吉田忠弘・三村宗彦

三菱電機技報 Vol.55-No.9-P49~53

中軽量物の運搬において、容易に位置合わせのできる、操作などに熟練を必要とせず簡単に取扱える、各生産機械ごとに設備できる荷役機器、また社会問題化しつつある腰痛対策用荷役機器のニーズが最近高まっている。これらにこたえて、昇降用電動機の速度制御を簡単にするメカニカルブレーキを採用した「三菱バランサ」を製品化したので、その原理、構造、特長を述べる。また、つり荷に手力を加えるだけで上下移動する無重力機について原理を述べる。

### 静止形無効電力補償装置の電力系統への応用

土井 淳・藤原良一・阿部 茂

三菱電機技報 Vol.55-No.9-P64~68

電力系統の安定度を無効電力制御によって向上させる静止形無効電力補償装置(SVC)が開発され、海外で超高压系統への適用が進んでいる。SVCは応答が速いため、電圧安定度の向上、電力動搖の抑制などに効果がある。また、無効電力に起因する様々な問題の解決に利用できる。ここでは実系統においてSVCの設置効果を検討する場合に必要となるSVCの基本的な事項、すなわちSVCの基本的特性、代表的な用途、効果的な設置場所などについて述べる。

## Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 9, pp. 54~58 (1981)

### Measuring and Controlling the Flatness of Cold-Rolled Strip

by Yoshiaki Uezumi, Michio Shimoda, Tsuyoshi Shiraishi, Yoshiharu Hamasaki & Fumio Watanabe

Major developments are currently taking place in the measurement and control of the flatness of cold-rolled strip. Building upon Mitsubishi Electric's considerable record of achievements in noncontact shape meters, this expertise has been applied to techniques for measuring flatness (i.e., elongation calculation). Long-term measurements under actual rolling conditions have enabled the successful development of a novel technique for flatness control. This has been packaged with the Corporation's MELPLAC plant controller to form the measurement and control unit described in the article.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 9, pp. 40~43 (1981)

### A CMOS LSI Device for Highly Accurate Analog Wristwatches

by Shigeru Morokawa Naoki Takahashi, Takeo Komatsu, & Yasuhiro Funakoshi

The article introduces a CMOS LSI device, developed jointly with Citizen Watch Co. The extremely high frequency stability of 4.2MHz quartz oscillators used in ICs for clocks provides highly accurate timekeeping, but conventional CMOS technology suffers from high power consumption of the order of tens of microwatts, making these devices unsuitable for use in wristwatches. Mitsubishi Electric has now developed a fine-pattern CMOS silicon-gate process which, with a number of specific measures taken in the circuit design to achieve low power dissipation, has resulted in a device with a power consumption of only 2~3 $\mu$ W, suitable for wristwatches.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 9, pp. 59~63 (1981)

### Aseismic Design and Testing of the Type G Motor-Control Center

by Ryuichi Fujimoto, Kiyoshi Sato & Toru Sugimura

The control center is the heart of a low-voltage switchgear system, and it must provide for uninterrupted supply of electrical power in the event of a ground fault, and for the safe stopping of plant operations if this should prove impossible. Recently, it has been proposed that dynamic structural analysis should be used, rather than static structural analysis, in the aseismic design of these centers. The article details the application of finite-element analysis and structural dynamics to the development of an aseismic-type control center and a test program performed at the Vibration Test Laboratory, and discusses the aseismic design and the evaluation results.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 9, pp. 44~48 (1981)

### A Current-Differential Carrier-Relaying Scheme Using Frequency-Modulation Techniques

by Kenji Suzuki, Minoru Hatata, Sunao Suzuki, Shin'ichi Azuma & Yoshiro Noguchi

FM carrier-relaying, using theoretically ideal protection schemes based on the differential-current principle, is gradually coming into widespread use for multiterminal lines and trunk transmission-line systems. Based upon extensive practical fieldwork experience, Mitsubishi Electric has supplied the Chubu Electric Power Co. and the Kyushu Electric Power Co. with equipment that improves performance and reliability. The article introduces this equipment, and details the improvements, which include better noise detection by a monitoring system using zero-phase-sequence current, the addition of high-impedance earth-fault detection using zero-phase-sequence differential protection, and built-in automatic inspection functions.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 9, pp. 64~68 (1981)

### Applications of Static Var Compensators to Power Systems

by Atsushi Doi, Ryoichi Fujiwara & Shigeru Abe

The development of the static var compensator (SVC) and its application to reactive control has a significant contribution to make to power-system stability, one that is already being exploited overseas in EHV power systems. The rapid response of the SVC is effective not only for voltage stability but also in controlling power swings, at the same time offering a solution of the many problems caused by reactive power. The article summarizes the factors that determine SVC effectiveness in an actual power system—e.g., the basic performance specifications, typical applications, and the most effective locations for installation, etc.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 55, No. 9, pp. 49~53 (1981)

### The "Balancer" and a Balancing Machine for Material Handling

by Sukehisa Noda, Yoshio Kunitomo, Naoki Oku, Tadahiro Yoshida & Munehiko Mimura

In the field of material-handling machinery, there is a recently growing need for load-handling equipment that can be readily installed at each particular item of production equipment, that makes setting easy, and that does not require skilled labor. The need to eliminate back-breaking labor from load-handling operations is another factor stimulating this need.

The article details the principle of operation, the structure, and the special features of the Mitsubishi "Balancer," developed and marketed in response to this need. The Balancer employs a mechanical brake to achieve simple speed control of the lift electric motor. The principles of a balancing machine that lifts or lowers when merely touched by hand are also explained.

## データ演算機能付シーケンサ《MELSEC-K》の応用

青木 正夫\*

## 1. まえがき

従来、シーケンサは有接点リレーの置き替えとして発達してきたが、最近のシーケンス制御は制御対象の大形化、ライン化、完全自動化などによりその制御内容が複雑高度になり、今までの論理演算機能のみのシーケンサでは対応できない分野が多くなってきた。

その分野とは量(数値)の制御(例えば、長さや重さ、温度などの計測)、物の個数の計数、時間の計時、数値変換などを伴うシーケンス制御である。

当社ではこのようなシーケンス制御の進歩をとらえ、数値が扱えるデータ演算機能付きのシーケンサ《MELSEC-Kシリーズ》を開発、製品化し、好評を博している。

以下に《MELSEC-K》の概要とその応用を紹介する(図1.)。

## 2. 《MELSEC-K》の概要

## 2.1 特長

この機種の開発、製品化にあたっては工作機、組立機などのマシンコントロールを主な目的とし、次の3点を徹底的に追求してこれを実現し、特長とした。

## (1) 高い経済性

(a) 2種のCPUユニットとメモリ及び電源ユニット、26種の入出力ユニット、7種の特殊ユニット、7種のベースユニットなど豊富に完全ユニット化されたユニットがあり、制御規模と仕様に応じて最適な選択によるシステム構成ができる。

(b) 16点単位の入出力ユニットでコストダウンし、更に32点、64点ユニットもあり、これらを使用することにより安価なシステムを構成できる。

(c) ベースユニットには入出力ユニット2、5、8個用とあり、システム規模に合わせた最適選択ができる、余分なコストが不要になる。

(d) 制御規模と仕様に合わせて普及タイプのK1と高性能タイプのK2 CPUユニット、及びメモリにIC RAMとEPROMがあり、システムICにジャストフィットさせることができる。

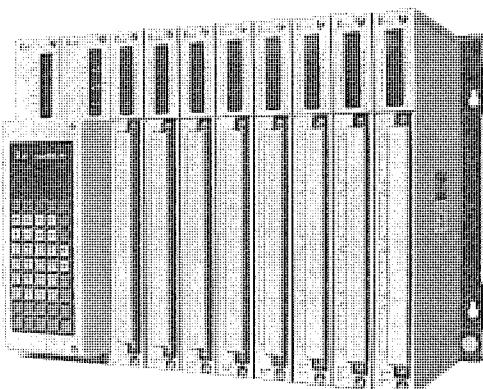


図 1. データ演算機能付シーケンサ《MELSEC-K》

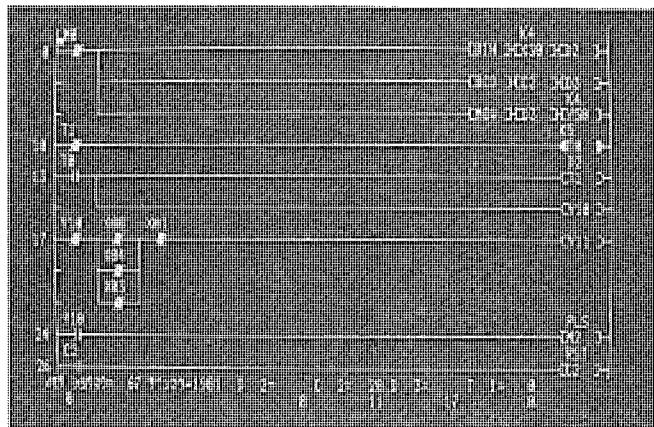


図 2. グラフィックプログラミングパネルと表示例

## (2) 高い機能

(a) AND、ORなどの基本命令に加え、シフト、ジャンプ、パルス、マスタコントロールなどの命令を有し、充実したシーケンス演算機能により複雑な制御にも対応できる。

(b) 10進4けた(桁)までの数値が扱える8種のデータ命令をもち、シーケンス演算などの手軽さで加減算などのデータ演算ができる、量(数値)の制御に対応できる。

(c) 個々に高機能をもつユニット化された周辺機器があり、特にプログラミングユニット“PU”は本体内蔵式にもでき、プログラムのそう(挿)入、削除や制御状態のモニタ、出力の強制ON-OFFができ、プログラムデバッグや調整運転に便利である。

(d) CRT付きの“グラフィックプログラミングパネル(GPP)”はCRT上にリレー回路図を表示でき、回路図を画面上に作成しての自動プログラミング、回路図上での制御状態のモニタなどができる、プログラム作成とデバッグ、保守などに威力を発揮する(図2.)。

(e) プリンタを使用すれば、プログラムを回路図とリストでハードコピーできる。

(f) 各周辺機器ユニットは本体、GPP、周辺機器サポートベース

“PSB”のそれぞれに装着ができない、無駄がない。

### (3) コンパクト

(a) 16点入出力ユニットにより8点に比べ占有スペースが小さくなる。

(b) 入出力ユニット2, 5, 8個用のベースユニットがあり、規模に応じたスペースとすることができる。

(c) 32点、64点の入出力ユニットを使用すれば、大点数でもコンパクトなスペースに納めることができる。

## 2.2 仕様

表1. に《MELSEC-Kシリーズ》の主要仕様を示す。

### 2.3 命令一覧

表2. にシーケンス命令、表3. にデータ命令の一覧を示す。

表1. 《MELSEC-K》の仕様

項目		MELSEC-K1	MELSEC-K2
一般仕様	電源	AC 100~110V, 85~110%, 単相 50/60Hz, 1A/ベースユニット	
	使用周囲温度・湿度	0~55°C, 90%RH 以下 (結露なきこと)	
	耐振動・耐衝撃	JIS C 0911 II B3種, JIS C 0912	
	ノイズ耐量	1,000V <sub>PE</sub> , パルス幅1μs, 25~60Hzのノイズシミュレータによる	
性能仕様	耐電圧、絶縁抵抗	AC外部端子一括一ケース間 AC 1,500V 1分間, 500Vメガにて 5MΩ 以上	
	制御方式	ストアードプログラム、繰返し演算	
	プログラム言語	シーケンス制御専用言語 (リレーシンボル, ロジックシンボリック語)	
	命令令数	シーケンス命令 18種, データ命令 8種, 合計 26種	
	プログラム容量	1K, 2K ステップ	1K, 2K, 4K ステップ
	シーケンス命令実行時間	平均 30μs/ステップ	5.6μs/ステップ
	プログラムメモリ	IC RAM (2K ステップ単位), EPROM (1K, 2K ステップ単位)	
	入出力	256点	512点
	入出力合計点数	26種, 16, 32, 64点単位	
	一時記憶点数	254点, 他1点電池警報, 1点自己診断結果	
	合計点数	128点	
機能仕様	タイマ, カウンタ	0.1~999.9秒, 0.1秒単位, オンディレタイマ	
	タイマ	1~9,999カウント, 最高計数速度 10c/s (1K ステップ時)	
	カウンタ	一時記憶使用, 253点 (一時記憶使用分を除く)	
	シフトレジスター	96点, 1点は 0~9,999 の 10進4桁	
その他	データレジスター	7種 (外部故障モニタ, アナログタイマ, ラッチ, A/D, D/A, 高速カウンタ)	
	周辺機器	6種 (プログラミングユニット, PROMライタ, カセットテープインターフェース, グラフィックプログラミングパネル, プリンタ, サポートベース)	

表2. シーケンス命令

番号	命令記号(呼び方)	機能	画面表示	番号	命令記号(呼び方)	機能	画面表示
1	LD ロード	論理演算開始 (a接点) (演算開始)		10	MC マスクコントロール	マスクコントロール開始	
2	LDI ロードインバース	論理否定 演算開始 (b接点) (演算開始)		11	MCR マスクコントロールリセット	マスクコントロール解除	
3	AND アンド	論理積 (a接点) (直列接続)		12	SET セット	Y.M.Fのセット	
4	ANI アンドインバース	論理積否定 (b接点) (直列接続)		13	RST リセット	Y.M.Fのリセット カウンタ現在値のリセット	
5	OR オア	論理和 (a接点) (並列接続)		14	SFT シフト	一時記憶のシフト	
6	ORI オアインバース	論理和否定 (b接点) (並列接続)		15	CJ コンディショナルジャンプ	条件ジャンプ (入力信号ONで自ステップ) 番号以降へジャンプ	
7	ANB アンドブロック	論理ブロック間のAND (ブロック間) (直列接続)		16	PLS パルス	パルス (入力信号の立ち上り時にプログラム1周期分のパルスを発生)	
8	ORB オアーブロック	論理ブロック間のOR (ブロック間) (並列接続)		17	NOP ノップ	無処理	
9	OUT アウト	出力		18	END エンド	プログラム終了	

注 X: 入力, Y: 出力, M: 一時記憶, T: タイマ, C: カウンタ, F: 外部故障番号

表 3. データ命令

番号	命令記号 (呼び方)	機能	図面表示	番号	命令記号 (呼び方)	機能	図面表示
1	MOV ムーブ	データ転送 S→D		5	+	加算 D+S→D	
2	> 大	大小比較 S>D		6	-	減算 D-S→D	
3	< 小	大小比較 S<D		7	BCD ビーシーディ	BIN→BCD変換 S→BCD変換→D	
4	= イコール	一致 S=D		8	BIN バイナリ	BCD→BIN変換 S→BIN変換→D	

注 \*1: ソース (SOURCE) 出所 (源) を示す。

\*2: ディスティネーション (DESTINATION) 行き先を示す。

\*3: 負の数は取り扱わない。

\*4: 入力信号ONでその命令の演算が行う。

### 3. データ命令

《MELSEC-Kシリーズ》の大きな特長であるデータ演算用のデータ命令について説明する。

#### 3.1 データ命令一般

- (1) 表 3. の各データ命令はその回路ブロックの入力信号の ON で演算が実行され、OFF のときは実行せずに次の回路ブロックへ進む。
- (2) 演算はソース (S) とディスティネーション (D) の間で行われ、演算後も S の内容は変化せず、演算結果は D へ格納される。
- (3) 扱える数値は 0~9,999 までの正数の 10 進 4 桁である。
- (4) >, <, = の命令は条件成立で ON, 不成立で OFF となる a 接点直列接続 (AND 命令相当) の接点扱いで、他の命令はコイル扱いである。

#### 3.2 命令の機能

表 4. に各命令の S と D の組合せを示す。

##### (1) MOV 命令

MOV|K 123|D 45 定数 123 をデータレジスタ 45 へ格納する定数セット。

MOV|D 68|D 13 データレジスタ 68 の内容をデータレジスタ 13 へ

転送するレジスタ間転送。

MOV|T 106|D 91

タイマ 106 の現在値をデータレジスタ 91 へ転送 (カウンタ C も同様)。

MOV|K4X30|D 29

入力 X30 から始まる 4 桁 (1 桁は 4 点) をデータレジスタ 29 へ転送する入力機能 (一時記憶 M も同様)。

MOV|D 6|C 88

データレジスタ 6 の内容をカウンタ 88 へ転送し、現在値を変更 (タイマ T も同様)。

MOV|D 72|K3Y7C

データレジスタ 72 の内容を出力 Y7C から始まる 3 桁へ転送する出力機能 (一時記憶 M も同様)。

##### (2) >, <, = 命令

> |K 600|D 59

定数 600 > データレジスタ 59 の内容ならば成立。

< |D 60|D 86

データレジスタ 60 の内容 < データレジスタ 86 の内容ならば成立。

= |K 5000|D 14

データレジスタ 14 の内容 = 5000 ならば成立。

表 4. データ命令の S と D の組合せ

##### (1) MOV

S\D	K	D	T	C	X	Y	M
K	○						
D	○	○	○		○	○	
T	○						
C	○						
X	○						
Y							
M	○						

##### (2) >, <, =, +, -

S\D	K	D	T	C	X	Y	M
K	○						
D	○						
T	○						
C							
X							
Y							
M							

##### (3) BCD(○), BIN(○)

S\D	K	D	T	C	X	Y	M
K							
D	○	○					
T	○						
C	○						
X							
Y							
M							

注(1) K は定数を示す。

(2) X, Y, M のときは桁数 (4点で1桁) 1~4をK3X10のように指定する。

(3) D: データレジスタ, T: タイマ, C: カウンタ, X: 入力, Y: 出力, M: 一時記憶を示す。

### (3) +, - 命令

- |   |   |     |    |  |
|---|---|-----|----|--|
| + | K | 5D  | 37 | データレジスタ 37 の内容に定数 5 を加算し、結果を データレジスタ 37 へ格納。         |
| - | D | 93D | 4  | データレジスタ 4 の内容から データレジスタ 93 の内容を減じ、結果を データレジスタ 4 へ格納。 |

### (4) BCD, BIN 命令

- |     |        |     |    |  |
|-----|--------|-----|----|--|
| BCD | T      | 98D | 52 | タイマ 98 の現在値 (バイナリ) を BCD 変換して データレジスタ 52 へ格納 (カウンタ、データレジスタ も同様)。 |
| BIN | K2X48D | 9   |    | 入力 X48 から始まる 2 桁の数値 (BCD) を バイナリ 変換して データレジスタ 9 へ格納。             |

## 4. データ命令の応用回路例

ここでは主に データ命令を使った応用例を示す。いずれもよく使われる回路であり、読者のシステムに合わせて修正して実用に供される。なお、コーディングは省略する。

### 4.1 パターン出力

洗浄、かくはん(攪拌)、混合あるいはネオンサインのようにあらかじめ定められた固定 パターン で制御する場合で、プログラマブルステップシーケンサ や マトリクス式 シーケンサ と同様な制御となり、図 3. に 1 例を示す。

一時記憶 M でシフトレジスタを構成してステップとし、ONさせたい出力のビットパターンを作り、このビットパターンを 2 進数 (バイナリ) と見立て、これを 10 進数に変換して定数とし、MOV 命令で データレジスタ 経由出力 Y へ直接に出力する。

この方法によれば、1 度に 4 点単位で最大 12 点まで効率よく出力でき、従来の シーケンサ にない簡便さである。

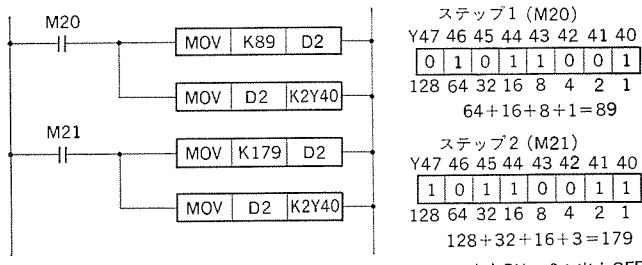
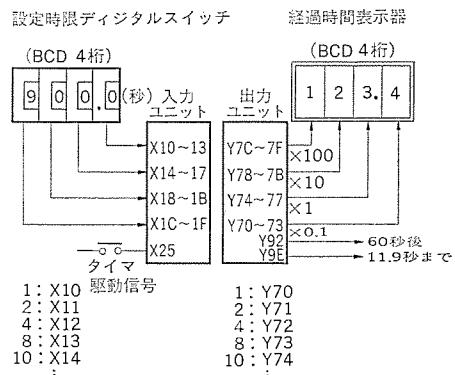


図 3. パターン出力の例



(a) システム構成

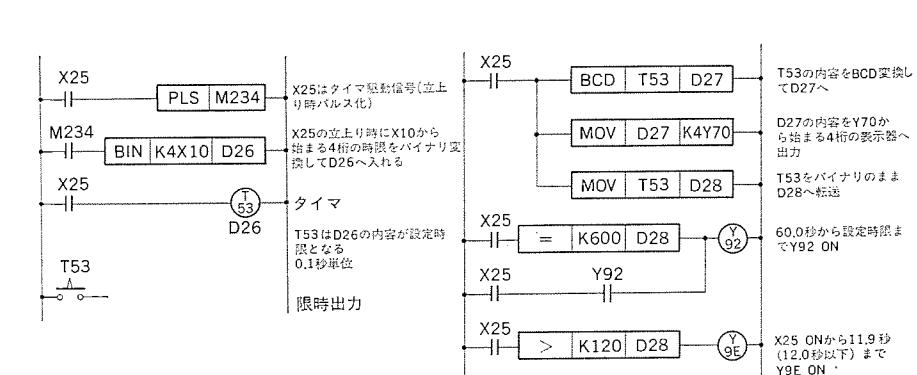


図 4. 外部設定と経過時間表示の ディジタルタイマ

### 4.2 外部設定と経過時間表示の ディジタルタイマ

設定時間限を外部の ディジタルスイッチ で変更でき、かつ経過時間を BCD 入力の数字表示器で表示するとともに途中時間で制御出力を得る例である。図 4. に回路例を示す。回路の内容については回路図の右側のコメントを参照されたい。

図のよう、《MELSEC-K》では、タイマ、カウンタの設定値の代わりに データレジスタ を指定でき、この データレジスタ の内容を外部から変更することにより外部設定が可能となる。この場合、ディジタルスイッチ 入力、数字出力とも BCD コードであり、内部の タイマ や データレジスタ は バイナリ であるが、BCD と BIN 命令により簡単に出入力でき、また途中時間出力に見られるように簡単に数値の比較とその結果が出力でき、データ命令の強力さがよくわかる。

### 4.3 位置決め

図 5. はモートルとブレーキ及び単位距離ごとにパルスを発生するパルス発信機による位置決めシステムの例である。

位置決め点を ディジタルスイッチ で設定し、始動時に指令値と現在値を大小比較してモートルの正転、逆転の位置決め方向を決め、正転時には現在値レジスタ D16 を -1 とし、また逆転時は +1 とし、現在値と指令値が等しくなった時点でモートルの駆動を停止し、ブレーキを作動 (非励磁でブレーキ) させて位置決め完了とする。また、現在値を BCD 変換し、10 進 4 桁で現在位置の数字表示を行う。

このような方法による簡易な位置決めは各種機械での定位置停止や定寸制御に用いられ、従来の リミットスイッチ に代わって用いることができる。リミットスイッチ 使用による故障が避けられまた調整が容易になる メリット がある。

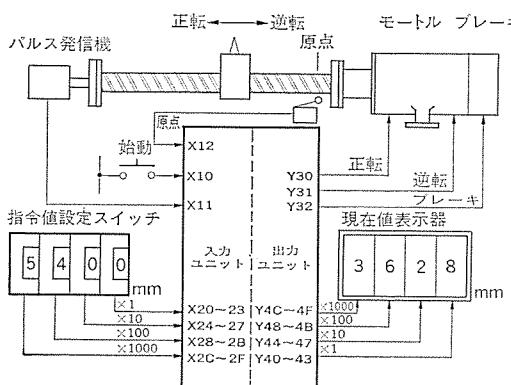
なお、あらかじめ定められた複数の位置決め点があるようなときは、必要な指令値を位置決め動作ごとに指令値 レジスタ D15 へ格納すればよい。

この例では、指令値の与え方は原点からの絶対位置であるが、位置決め距離とその方向を与える相対位置方式も回路を作ることができる。

この位置決めでは、パルス発信機からの位置 パルス を プログラム で計数しており、その計数速度は 10~20 パルス/秒であり、低速である。10k パルス/秒程度までの高速位置決めが必要なときは、特殊 ユニット にある高速 カウンタユニット を使用すればよい。

### 4.4 外部設定の減算カウンタ

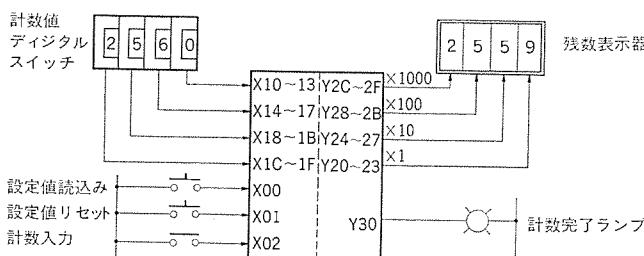
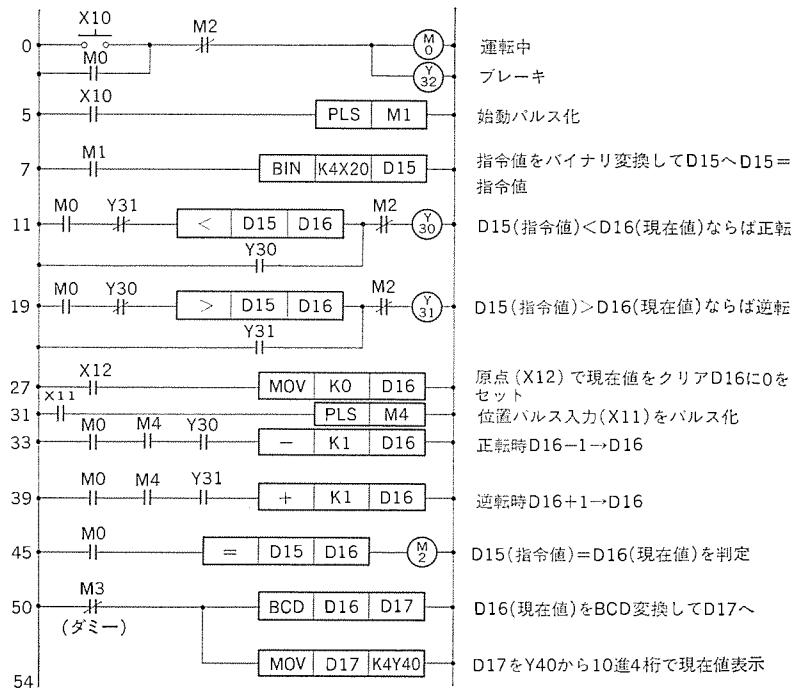
《MELSEC-K》の作り付けの カウンタ は 加算 カウンタ で、設定値からの残数で制御したり、表示を簡単に出すことはできない。このようなときは、データレジスタを使って減算カウンタを実現でき、図 6. に例



(a) システム構成

(b) 回路

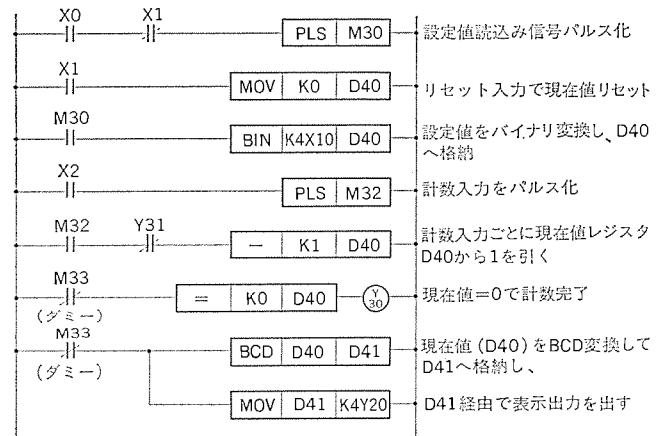
図 5. 位置決め例



(a) システム構成

(b) 回路

図 6. 外部設定の減算カウンタ



を示す。

この方法によるカウンタは、例えば、その機械で加工すべき個数をデジタルスイッチで設定し、加工完了ごとに加工すべき残数を表示するようなときに用いられる。

## 5. 《MELSEC-K》の適用例

《MELSEC-K》のデータ命令による応用回路は数多くあり、幅広くユーチューバーのシステムに適用されており、そのいくつかの特長ある例を示す。

### (1) ロボット制御

4.3節のようなテクニックでロボットの位置決めを行うことができる。また、テーピングを行い、各停止点をデータレジスタに順に格納し、位置決め時に順に読み出して指令値とした適用例もある。位置決めにサーボを使うときはD/A変換ユニットが使用できる。

### (2) 仕分け制御

製品の直径や重量の計測データを与え、これをいくつかのランク別の基準値と大小比較して良否の判定やランクごとの計数を行い、組立時に選択や仕分けを行う。

### (3) サイクルタイム監視

機械のサイクルタイムをタイマを使って計時し、ランク別に分けて回数を

数え、その分布で機械の状態を監視したり、サイクルタイムオーバーを検出する。

### (4) モータのスピード制御

D/A変換ユニットからのアナログ信号でインバータを介してモータのスピードを制御し、機械のサイクルに応じた最適なスピードに合わせたり、コンベアのクッション起動と停止を行う。

## 6. むすび

《MELSEC-K》は、シーケンス制御と数値処理のできるユニークなシーケンサである。応用例にみられるようにデータ命令の使い方は難かしいものではなく、リレー回路と似たイメージで数値が扱え、従来のシーケンサとマイコンや専用演算装置と組合せてシステムを作っていたものがこのシーケンサ単体で高い制御機能を経済性よく実現できるようになった。もちろん、シーケンス制御のみに適用しても高い経済性と機能を発揮できる。

《MELSEC-K》はシーケンスと数値の扱える次世代のシーケンサであり、経済性と機能を要求する幅広い分野での活用を期待する次第である。

# ワンボードシーケンサと周辺機器

淡野光章\*・柏原正信\*・内海 晓\*・岡田高明\*

## 1. まえがき

シーケンス制御装置には集中制御や階層制御の形態で鉄鋼・電力・化学設備などの重工業化と共に発展してきたものと、分散制御の形態で加工、組立などの自動化、省力化と共に発展してきたものがある。

後者はストアードプログラム方式の特長であるフレキシビリティと高信頼性・高保守性を確保し、小規模リレー盤よりも経済的であることが要求されてきた。技術的には半導体素子の進歩、特にPROMやCMOS RAMの出現により、コアメモリが中心であったストアードプログラム方式シーケンサの小形化、低廉化が可能とあった。三菱ワンボードシーケンサはこれら背景とニーズに沿って、いち早く開発され、次のようにシリーズ化し、各方面で広く使用されている。

- (1) PROM形 論理シンボル命令方式 PM 300シリーズ
- (2) PROM形 リレーシンボル命令方式 PM 310シリーズ
- (3) RAM/ROM形 リレーシンボル命令方式 PM 510シリーズ

本稿はワンボードシーケンサの導入効果と、PM 510シリーズ機器構成、シーケンサ及び周辺機器について述べる。

## 2. ワンボードシーケンサの導入効果

信頼性の向上、工期の短縮、制御盤すえ(据)付スペースの縮小、経済性の向上などが達成された。

### 2.1 信頼性の向上

シンプルな回路設計により、部品点数を減じMTBFを向上させていく。シーケンサの使用部品は採用時に厳しい品質評価試験を実施し、使用時は十分デイレーティングを考慮しているので計算値以上のMTBF実績がある。また、ノイズに対しては各種のテストに耐えるように対策し、実使用でも外来ノイズに対して強固である。更に自己診断機能により、万一の内部故障発生に対しても、それを検知するフェイルセーフ機能を備えている。また、入出力共無接点化されているため、リレー動作回数のような寿命要因が無いなどにより大幅に信頼性が向上し保守が軽減されている。

### 2.2 工期の短縮

配線量が減少すること、機械動作仕様変更がプログラムで対応でき配線変更の必要が無いことにより概略仕様決定段階で盤手配ができる。したがって、盤を標準化して在庫することも可能である。量産機械の制御盤の場合、プログラムのコピーのみでよく、配線及び配線チェックが非常に簡略化される。また、試運転段階では充実したモニタリング機能により、シーケンス回路の誤りを容易に発見できるため調整期間が縮小される。更に、回路図やプログラムリストのプリントによる印字ができるので、図面作成時間や改訂時間の減少が図れる。実績ではリレー100個程度の規模の制御盤において仕様決定から調整完了までの製作日数が40%減少している。

### 2.3 制御盤の据付スペースの縮小

ワンボードシーケンサを使用した場合、従来の20~50%に盤体積が低減される。自動組立機のトランスマシンの例では各ステーションの制御盤

がベースマシンの下に収納出来るなどの効果がある。

小規模自動機の場合、外部機器からの配線を全部盤内に引込むことが多く、この場合には端子台取付けが問題となる。ワンボードシーケンサは独特的の薄形形状のため、扉にシーケンサを、盤内部に端子台を取付ける方式により、端子台作業スペースの確保と盤の小形化を同時に達成することができる。

### 2.4 経済性の向上

初期導入コストにおいても十分小形リレー盤と対抗でき、ランニングコストを含めれば、省エネルギーやメンテナンスフリーにより有利であり、更に機械に改良が加わる場合や製造ラインの更新時の転用、再使用を考慮すれば経済性は一層向上する。

## 3. 機器構成

ワンボードシーケンサはハードウェアを最少に設計し、装置の小形化、MTBFの向上、高保守性、低廉化を図っている。したがってプログラムの作成、修正、編集やシーケンス調整の容易性及びシーケンスプログラムの保存などは高機能周辺装置によって実現している。これら周辺機器には、

- (1) PM 510 PR 形 ハンディタイププログラミングパネル
- (2) GP 09 形 グラフィックプログラミングパネル
- (3) GT 10 形 グラフィックプリンタ
- (4) PM 510 ROW 形 ROM ライタ
- (5) 市販オーディオカセットテープレコーダー

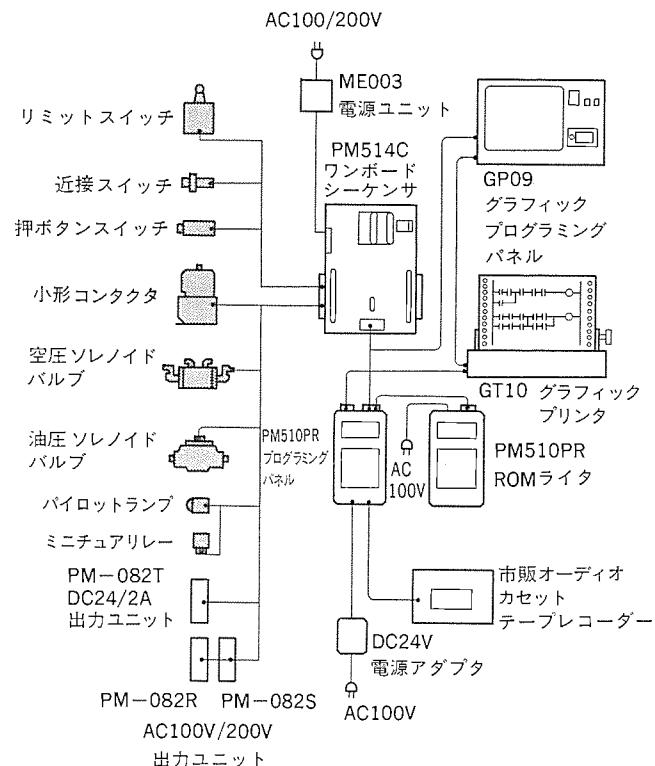


図 1. PM 510シリーズの機器構成

などがある。PM 510 PR シリーズの機器構成は図 1. とおりである。

#### 4. PM 510 シリーズワンボードシーケンサ

演算制御回路、記憶回路、入出力回路などを一枚のプリント基板上に高密度実装する構造を採用し、小形軽量を実現している。図 2. にその外観を示す。PM 510 シリーズでは最大プログラム容量での繰返し演算周期を実用上問題の無い時間とすること及びプログラムメモリにパリティチェックをつけることを必ず(須)条件としている。このため、現時点では処理速度に難のあるマイクロプロセッサによるインタプリタ方式をやめ、専用のビット演算回路を採用している。

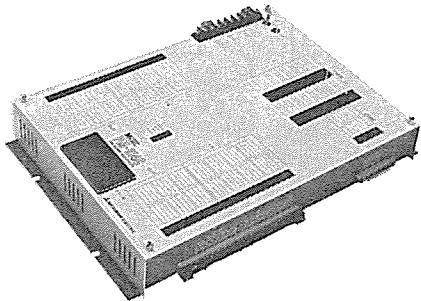


図 2. PM 514 ワンボードシーケンサ

#### 4.1 特長

PM 510 シリーズシーケンサは次の特長を持っている。

##### (1) RAM/ROM 両メモリで運転可能

プログラムメモリとして、RAM 及び ROM のいずれでも使用でき、シーケンスの変更、すなわちプログラム変更の多い試運転時や初期か(稼)働時には書き込み、再プログラミング、修正の容易な RAM を使用し、シーケンスが確定した段階ではバッテリメンテナンスを必要としない ROM を使用することが可能である。

##### (2) 十分なプログラム容量

複雑なシーケンスも実現できるように、入出力点数に比べて十分なプログラムステップを備えている。

##### (3) 一時記憶(内部補助リレー) 512 点の中、128 点はバッテリバックアップにより停電時も記憶を保持することができ、キーリレーの代わりとして使用できる。

##### (4) 大きな出力容量

超小形にもかかわらず DC 24 V 0.5 A の負荷を直接駆動できるよう設計されている(同時 ON 率 40%)ため、中間リレー無しで DC コイルの小形コンタクタを直接駆動でき、これにより 2 kW 程度のモータの ON, OFF が可能である。また、パイロットランプとパイロット弁付省エネ空圧バルブなどの負荷を同時に同一出力で駆動することができる、表示のための出力点数削減が可能である。

##### (5) 高ノイズマージン・低消費電力

C MOS IC の使用や入力部には独自のフィルタ回路を採用するなどにより、高ノイズマージン及び低消費電力を実現している。

##### (6) 故障診断機能

メモリのパリティチェック、ウォッチドッグタイマ、RAM バックアップ用バッテリの電圧低下検知など、シーケンサ内部を常時監視する自己診断機能を有している。また、PM 514 C は 10 ビットのデジタルコード出力により、故障を生じたリミットスイッチやアクチュエータを表示することができる。

##### (7) 動作状態のランプ表示

超小形にもかかわらず、入力、出力、タイマ全点 LED 表示ができる。

#### 4.2 構成と動作概略

図 3. に示すように、プログラムカウンタ、プログラムメモリ、演算回路、入力選択回路、出力選択記憶回路、出力増幅回路によって構成されている。プログラムカウンタは一定周期でプログラムメモリのアドレスを歩進してゆき、プログラムメモリから図 4. (a) のような命令語を順次読み出す。(b) に示すような簡単なシーケンス例はプログラムステップ「000」のときにプログラムメモリから読み出された命令に従って入力選択回路から X<sub>1</sub> のみを選択し、演算回路にまず入力する。次に「001」ステップに歩進すると命令語に従って入力選択回路から X<sub>2</sub> のみを選択して、演

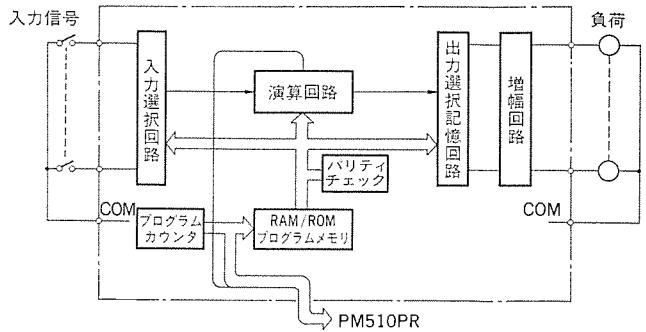
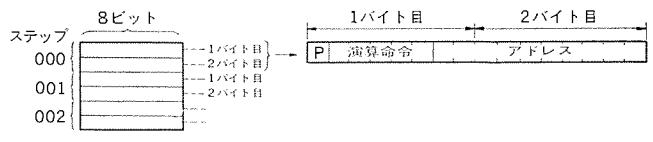


図 3. PM 510 シリーズワンボードシーケンサのブロック図



(a)



(b)

図 4. 命令のビット構成とシーケンス例

表 1. PM 510 シリーズワンボードシーケンサの性能一覧

項目	PM-512C	PM-513C	PM-514C	PM-515C
演算方式	ストアードプログラム繰返し演算方式			
プログラム方式	リレーシンボルにて専用のプログラミングパネルでキーイン			
素子	PROM (MB8516相当) RAM (HM6116LP相当) 1個	PROM 1~2個 RAM 1~2個		
ステップ数	1,024ステップ	2,048ステップ		
演算速度	約10ms/1,024ステップ	約20ms/2,048ステップ		
一時記憶	512 点(内128点は停電補償可能)			
命令語	12種	13種	12種	12種
点数	24点	32点	64点	128点
方式	無電圧接点入力			
電流/電圧	7mA/DC24V			
動作表示	発光ダイオード内蔵			
点数	16点	24点	48点	96点
方式	npnトランジスタオーブンコレクタ出力			
電流/電圧	0.5A <sub>MAX</sub> /DC24V(ただし、コネクタ1個(32点)当たりの合計出力電流は4.8A <sub>MAX</sub> )			
動作表示	発光ダイオード内蔵			
タイマー	4点	8点	16点	16点
点数				
設定時間		0.1~600s		
方式	CRタイマー			
動作表示	発光ダイオード内蔵			
機能	自己診断機能	メモリのパリティチェックウォッチドッグタイマ、電源電圧低下検知、バッテリ電圧低下検知		
瞬停対策	20ms以内の瞬停に対しては継続運転(ただし、当社製電源装置ME005P使用時)			
その他	ステップホールド入力有	デジタルコード出力有	ステップホールド入力有	入力有
大きさ(mm)	A: 52 B: 235 C: 340	A: 52 B: 270 C: 340	61 299 434	84 300 490
重量(kg)	2.4	2.8	4.5	6.5
電源	DC24V <sub>+10%</sub> <sub>-15%</sub>			
消費電力	5W			7.5W
周囲温度	0~55°C			
周囲湿度	85%RH以下			
耐振動	10~55Hz振幅0.5mm(MAX2G)			
絶縁抵抗	端子一括とケース間5MΩ以上(DC500Vメーターにて)			
絶縁耐圧	端子一括とケース間AC1,500V1分間以上			
ノイズ性	1,000V, 1μsで誤動作しない			
構造	盤内組込み用、開放形			

算回路に入力し、先に入力されている入力  $X_1$  との AND 演算を行い、次に「002」ステップで命令語に従い演算結果を出力回路の  $Y_{10}$  に記憶する。プログラムカウンタは「000」ステップから 10~20 ms で最高位ステップに達し、自動的に「000」ステップにもどり、サイクリック演算が行われる。

#### 4.3 性能一覧

表 1. は PM 510 シリーズの性能一覧で、幅広い制御規模に適合するよう、入出力点数 40 点 (24/16) から 224 点 (128/96) まで 4 機種をとりそろえている。

### 5. PM 510 PR 形プログラミングパネル

プログラミングやモニタリング、プログラムの保存などの機能を実現するためマイクロプロセッサを内蔵している。図 5. に PM 510 PR 形プログラミングパネル (PP) の外観を示す。この PP は小型軽量、ハンディタイプなので、現場調整は非常に楽である。また、専用電源アダプタや PROM ライタ内蔵の電源で動作させれば、シーケンサとは別に独立してプログラムすることができます。

#### 5.1 機能

PM 510 PR 形 PP は次のような機能を持っている。

(1) リレーシンボル命令キーによるプログラムの作成、修正

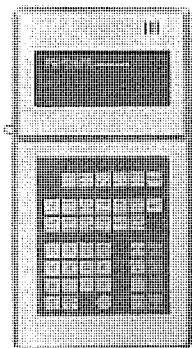


図 5. PM 510 PR 形  
プログラミングパネル

(2) タイマ、カウンタの自動プログラム機能

(3) プログラムチェック機能

コイルの2重使用、ブロックエラー、MCR 命令の欠如などを表示

(4) シーケンサ動作中の連続2命令同時モニタリング

(5) 接点、コイルの任意4点の同時モニタリング

(6) タイマ経過時間0.1秒単位でのデジタル表示

(7) シーケンサメモリとの書込み、読み出し、照合

(8) 市販オーディオカセットテープとの書込み、読み出し、照合

(9) PROM ライタ (PM 510 ROW) 消去器内蔵と組合せ、PROM との書込み、読み出し、照合

(10) プログラムの編集機能

PROM やテープなどに使用ひん(頻)度の高いプログラムを記録しておき、必要なプログラムを組合せて編集することができる。

(11) グラフィックプリンタへの回路図とプログラムリストの印字

#### 5.2 構成と動作概略

図 6. に示すように、CPU 8085 A と KDI, USART など周辺LSIを中心構成されている。5×7 ドット 20 けた(桁)のけい光表示管による表示やタッチ式キーボードを用いている。市販オーディオカセットとのインターフェース、グラフィックプリンタとのインターフェースを標準装備している。

##### 5.2.1 プログラムの作成と動作表示

プログラムの作成は PM 510 PR 内のバッファ RAM 上に命令キー、操作キーで 1 ステップごとに書込み、表示はダイナミック 20 桁表示で命令キー操作ごとに表示用イメージ RAM へ書込む。プログラムは全ステップ書込み後、シーケンサメモリへ転送する。

動作表示はシーケンサ動作中、検索操作により、連続した 2 命令又は任意 4 点の入力、出力、一時記憶、タイマの ON、OFF 状態が遂次シーケンサインターフェースを介して読み出され、各々の表示の前の桁に表示される。

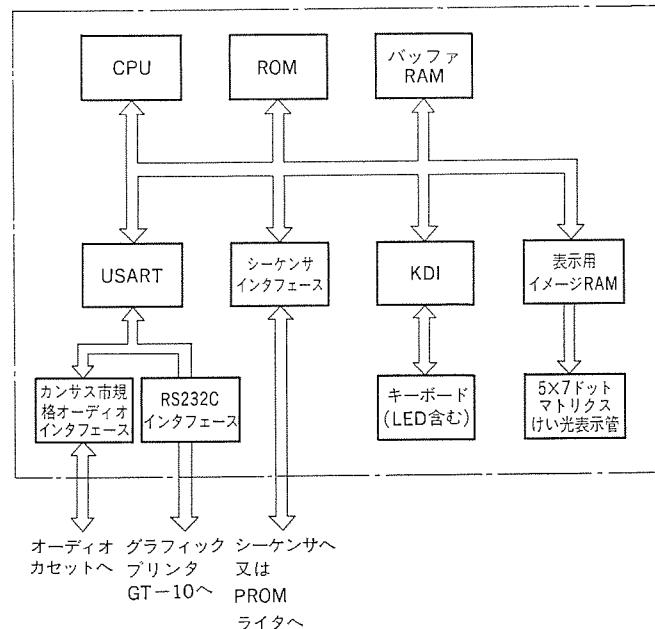


図 6. PM 510 PR 形 プログラミングパネルのブロック図

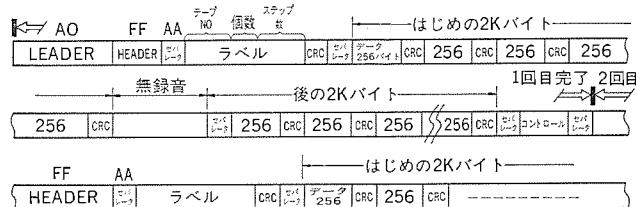


図 7. オーディオカセット 磁気テープ録音 フォーマット

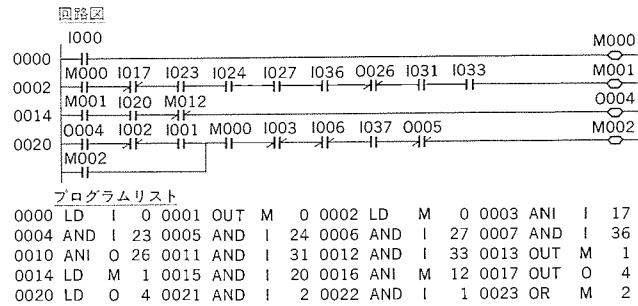


図 8. GT 10 形 グラフィックプリンタ 印字例

#### 5.2.2 録音、再生と回路印字

カンサス市規格の録音方式により、PP 内のバッファ RAM の内容を図 7. に示すフォーマットでオーディオテープ録音している。録音時に CRC (巡回符号) を付加し、再生時 CRC による誤り検定を行い高い信頼性を保っている。同一プログラムを任意回数録音し、任意回数のプログラムの再生と照合が可能であるようにし、万一の記録落ちにも備えている。グラフィックプリンタへの回路印字例は図 8. に示す通りで、バッファ RAM 内のプログラムが自動的に回路図に変換される。また、入出力リストにより接点、コイルの使用ステップ一覧表も印字されるのでメンテナンス上便利である。

## 6. GP 09 形グラフィックプロ グラミングパネル

グラフィックプログラミングパネル (GPP) は、CRT 画面上で作成したリレー回路図をシーケンサの命令語に自動変換する自動プログラムや CRT 画面上に運転中の機械の動作状態を表示するモニタリングなどができる装置である。図 9. にこの装置の外観を示す。GPP によれば、従来のリレーシーケンスと同じ感覚でシーケンス設計でき調整、保守作業を効率的に進めることができる。

### 6.1 機能

GP 09 形 GPP は次のような機能を持っている。

- (1) 接点、コイルなどシンボルキーによる CRT 画面上での回路作成、修整、及び自動プログラミング
- (2) AND, OR など命令キーによるプログラムの作成とプログラムリスト表示
- (3) 接点、コイルの動作状態とタイマの現在値、設定値の画面表示
- (4) PROM, カセットテープ、シーケンサメモリ内のプログラムの回路図表示とプログラムリスト表示
- (5) カセットテープとの書込み、読み出し、照合
- (6) PROM との書込み、読み出し、照合、と PROM の消去
- (7) シーケンサメモリとの書込み、読み出し、照合
- (8) グラフィックプリンタへの回路図とプログラムリストのハードコピー

### 6.2 構成と動作概略

図 10. に示すように構成されている。基本機能を実行する CPU, RAM, ROM, VRAM は 1 枚の基板上に実装し、装置の小形化を図ると共に PROM ライタ、CMT ユニットをプラグイン

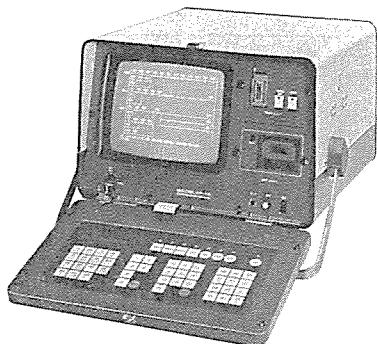


図 9. GP 09 形グラフィック  
プログラミングパネル

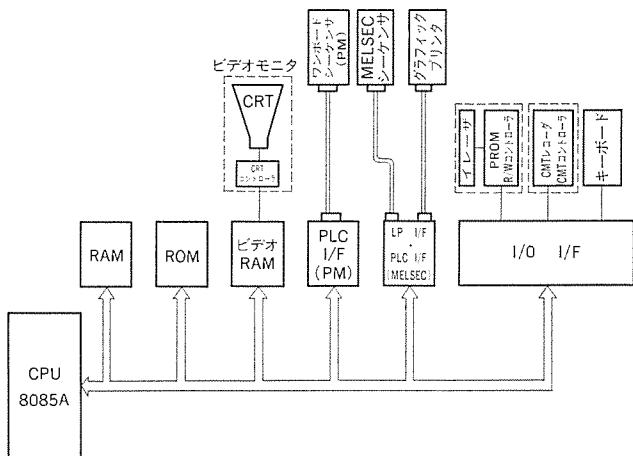


図 10. GP 09 形グラフィックプログラミングパネルのブロック図

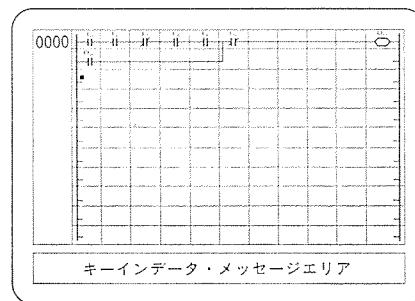


図 11. CRT 画面上のリレー回路図

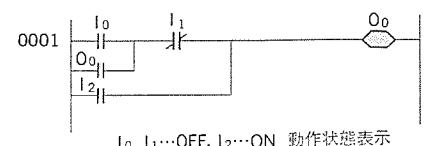


図 12. シーケンス動作のモニタリング例

化し、広いニーズに対応できるようにしている。

#### 6.2.1 ビデオモニタの制御と回路作成

CRT 画面は図 11. に示すようにビデオモニタの周波数帯域と解像度から、表示は 5 × 7 ドット/文字、80 文字 × 24 行で、横は 11 接点と 1 コイル、縦は 11 接点までの表示が可能である。オペレータによりキーボードから入力された接点、コイルシンボル、要素番号は画面のカーソル表示位置に対応したビデオ RAM へ書込まれる。ビデオ RAM は一定周期で読み出され、キャラクタ発生器にキャラクタコードを与える。キャラクタ発生器はコードに対応したビデオ信号を発生し、CRT 画面上に記号と文字を表示する。CPU からビデオ RAM への書き込み、ビデオ RAM から CRT への読み出しが交互に時分割で行うトランスペアレント方式を採用し、ちらつきのない安定な画質を得ている。

1 回路の作成が完了し、“変換”キーが押されると、キーインされたデータを基にシーケンサのオブジェクトプログラムに変換される。

#### 6.2.2 モニタリングとシーケンサの RAM 運転

運転中のシーケンサと GPP を専用ケーブルで接続してシーケンサのプログラムと時々刻々変化する入力、出力、一時記憶の ON, OFF 情報を中継メモリへ格納する。これを読み出し、図 12. のように ON/OFF 情報に応じシンボルを変化させ動作状態を表示する。回路中にタイマが存在すれば、割込みによりタイマコイル ON 時からの経過時間とタイマアップまでの時間（設定値）とを計数し、同時に画面メッセージエリアに表示する。

PM 510 シリーズのシーケンサは RAM/ROM 共用であるが、RAM 実装時には、シーケンサ内の RAM へ GPP からプログラムを転送し、RAM で運転できる。もしシーケンサに ROM しか用意されていない場合は、PM 310 シリーズと同様に ROM を外し、GPP 内のシーケンサインターフェースに実装されているシーケンサ運転用 RAM にプログラムを転送し、RAM による運転を実行する。この場合、GPP に実装されている運転用 RAM のアドレス及びデータ BUS はシーケンサと直接接続される。

## 7. むすび

本稿では小形リレー盤に代替え可能な経済性を有するワンボードシーケンサとその周辺機器について述べた。シンプルで確実な設計と十分な品質管理による信頼性は多くの実績により証明されている。今後、ハードウェアの高集積化、高機能化、高出力化が進展し、ワンボードシーケンサの活用分野は大きく増大するであろう。

終わりに、この開発を実施するに際して御指導、御協力をいたいた関係各位に感謝の意を表する。

## 分電盤用ノーヒューズしや断器

前田 信吾\*・田中 正幸\*・飯尾 司\*・寺地 淳一\*

## 1. まえがき

1934年に2極35A定格のノーヒューズしや断器(以下NFBと呼ぶ)が我が国において初めて製造され、47年間市場の要求に応じて定格電流範囲の拡大、しや断容量の増大・小形化・付属装置の充実・経済性の追求を目的とした開発改良が進められてきた。

当社では、NFBに対するこれらの市場の要求に対し、分電盤組込用に最適の機種を充実した。分電盤主回路用として、Kシリーズ100A、225Aフレーム、協約寸法形BH-Kシリーズのしや断容量の大幅格上げ、分電盤用漏電しや断器NVB50形の充実、非常電源用耐熱形NFB・開閉器の充実など一連の分電盤用機器を開発したので、その概要と技術的考察を紹介する。

## 2. 分電盤主回路用Kシリーズ

## 2.1 Kシリーズの仕様と特長

表1. 分電盤用しや断器仕様一覧

適用		主回路用ノーヒューズしや断器					
フレーム A		225		100			
形名		NF225-K		NF100-K		BH-K100	
定格電流 A	一般用40°C 基準周囲温度 船用45°C	125, 150, 175 200, 225		60, 75, 100		60, 75, 100	
極数		2	3	2	3	2	3
定格電圧 (V)	AC DC	500 250		500 250		460 125	
定格しや 断容量 (kA)	JIS (asym/ sym)	AC 110/220V	500	500	500	460	
			16/15	10	5	—	
		220V	—	—	—	—	
		265V	—	—	—	—	
	DC NK (sym)	460V	7.5	7.5	7.5	2.5	
		125V	—	—	—	5	
		250V	10	7.5	—	—	
		125V	—	—	—	—	
外形寸 法 (mm)	AC NK (sym)	a	105	90	50	75	
		b	165	150	95		
		c	60	60	60		
		ca	84	82	77.5		
	DC	表面形製品重量 (kg)	1.5	0.9	0.47	0.7	

適用		分歧回路用ノーヒューズしや断器				漏電しや断器	
フレーム A		互換性ブレーカ		さし込式		互換性タイプ	
形名		BH-K		BH-P		NVB50	
定格電流 A	一般用40°C 基準周囲温度 船用45°C	10, 15, 20 30, 40, 50	15, 20, 30 40, 50	15, 20, 30 40, 50	15, 20, 30 (40, 50)	15, 20, 30 40, 50	15, 20, 30 40, 50
極数		1	2	3	1	2	3
定格電圧 (V)	AC DC	265 460		265 460	220	100-200専用	100-200専用
定格感度電流 (mA)		—		—		15, 30	15, 30
動作時間 (s以内)		—		—		0.1	0.1
定格しや 断容量 (kA)	JIS JEM (sym)	110V	5	—	5	—	5(100V)
		110/220V	—	—	5	5(100/200V)	5(100/200V)
		220V	2.5	5注(1)	2.5	2.5(200V)	2.5(200V)
		265V	2.5	—	2.5	—	—
	DC NK (sym)	460V	—	2.5注(2)	—	—	—
		125V	1	5	1	5	—
		125V	—	7.5, 5	—	7.5, 5	—
		250V	—	5, 2.5	—	5, 2.5	—
		125V	—	5, 2.5	—	5, 2.5	—
外形寸 法 (mm)	AC NK (sym)	a	25	50	75	75	75
		b	—	95	74	95	74
		c	—	60	60.5	60	60.5
		ca	—	77.5	79	77.5	79
	DC	製品重量 (kg)	0.15	0.34	0.52	0.13	0.38
						0.5	0.63
							0.5

注(1) 10A, 15A, 20A, 30Aは定格しや断容量が2.5kAとなる。

注(2) 40A, 50Aの場合を示す。30A以下はAC460Vでの使用はできない。

Kシリーズの仕様を表1.に、225Aフレーム(NF225-K形)の断面外観を図1.に示す。これらは次のような特長を備えている。

(1) 外形寸法(奥行き寸法)の小形化: NF225-K, NF100-K形とも奥行き寸法を60mmとし(NF225-CB形86mm, NF100-CB形68mm), 協約寸法形BH-K形と寸法を合わせ、分電盤のメインに使用するのに高さ合わせが容易となった。

(2) パネルカットの容易さ: ハンドル窓わく(枠)の長さをBH-K形と同一寸法のセンタ振分け50mm幅とした。BH-K取付けの深さに合わせ60及び62mmの2種類のパネルカットができるようしている。

(3) 取付容易: 薄形化、軽量化により本体取付ねじが2本となるので、取付けが容易である。

(4) トリップボタン: NFBのトリップ動作を行えるトリップボタンをNFB前面へ装備している(オプション)。これにより警報スイッチと電路システムとのシーケンスチェックが容易にできる。

(5) 端子部の絶縁バリヤ、端子カバー: NFBは機器全体が絶縁物のモールドケースで覆われ充電部の露出はないが、端子部は接続のため露出させている。この部分について絶縁強化を図り、設備全体としての安全性、信頼性を向上させるため、モールド相間のみぞ(溝)を利用して絶縁バリヤが装着できるようしている。また、ワンタッチ式の端子カバーも準備している。

## 2.2 小形化

分電盤の主回路用しや断器として、BH-Kシリーズに合わせて奥行き寸法を60mmに統一している。このような薄形NFBにて十分な接点開離距離をとるにはばねなどを始めとして機構設計がむつかしい。現在のCシリーズと同一のしや

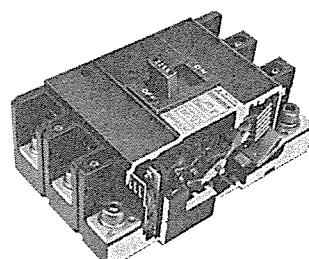


図1. 225Aフレーム断面外観(NF225-K形)

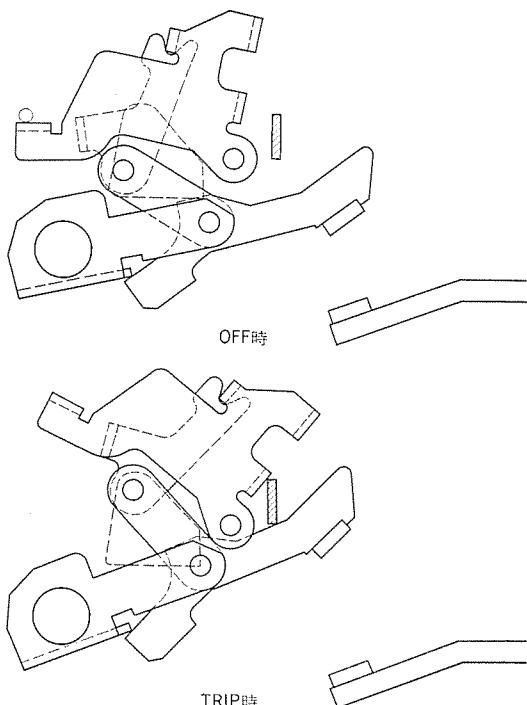


図 2. NFB 機構の動作状態

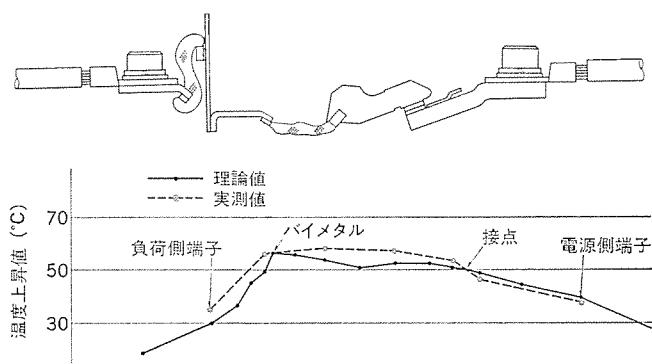


図 3. NFB 225 A フレーム 各部の温度上昇の推定値と実測値

断容量を確保するため、しゃ断時 (Trip 時) の接点開離距離を十分大きくとるようにし、一方通常の開閉ではそれ程大きな開離距離を必要としないことに着目し、Trip 時と OFF 時の可動子位置を変えることにより、これを解決し開閉機構を無理なく構成しているので耐久上の余裕も大きい。図 2. に新機構の動作状態を示す。

### 2.3 通電部の熱容量

NFB の外形寸法を小形化する際には必要な通電容量をいかにして確保するかが問題となる。通電容量確保の方向として、

- (1) 導体の熱容量を大きくする (発生熱を押える)。
  - (2) 発生熱の伝導を良くする (発生熱を逃がす)。
  - (3) 各部の温度上昇を推定し、最適の部品形状とする (発生熱を抑え、かつ逃がす)。
- などの方法が考えられる。従来は (1), (2) の方法により実験的に積み上げた手法による形状の決定が主流であった。

NF 225-K 形においては体積が 69% (NF 225-CB 形に比べて) と大幅に小形化されているので、通電容量確保のため (3) の方法により、内部部品の形状決定にあつては理論計算と実測による確認を行い、最適の材料及び形状としている。図 3. に各部の温度上昇の理論計算値及び実測値の比較を示す。

### 2.4 モールド部品の強度

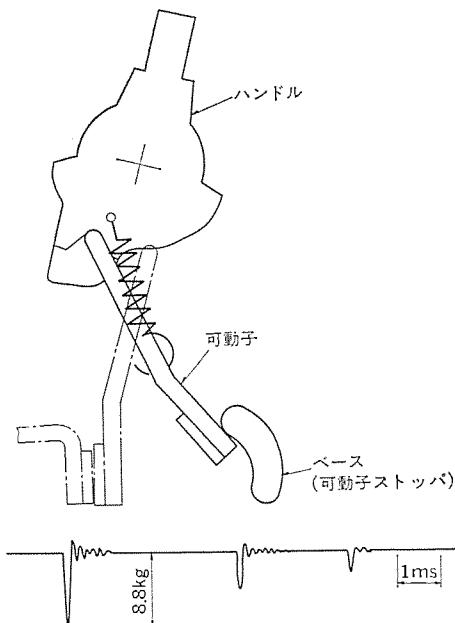


図 4. BH-K OFF 操作で可動子ストップに加わる荷重

NFB には熱硬化性樹脂、熱可塑性樹脂のモールド成形品を機構部品として使用している。コンパクトな外形で大電流をしゃ断でき、接点の消耗量を小さく押えるため接点が高速で動く機構となっている。このため、モールド部品を含む機構の各部には動作時の衝撃力が働く。各動作において部品のひずみ(歪) (ストレインゲージの出力変化による)から衝撃荷重を測定した。BH-K 形可動子ストップを図 4. に例として示す。これらの実測で得られたデータを基に、強度の確認と余裕を推定している。

### 3. 分電盤用 BH-K シリーズ

#### 3.1 BH-K シリーズの仕様と特長

BH-K シリーズの仕様を表 1. に示し、50A フレーム (BH-K 形) の断面外観を図 5. に示す。これらは次の特長を備えている。

- (1) 定格電圧の格上げ: BH-K 及び BH-K 100 形の定格電圧を AC 460 V とした (従来品 AC 220 V)。これにより適用範囲がより広くなり分電盤として経済設計ができる。
- (2) しゃ断容量の格上げ: BH-K 及び BH-K 100 形 AC 220 V/AC 460 V, 5 kA/2.5 kA とした (従来品 2.5 kA/\_)。これにより適用範囲が大幅に広くなる。外形寸法は格上げ後も同一である。
- (3) 端子部の絶縁バリア: 端子部の絶縁強化を図り、設備全体としての安全性、信頼性を向上させるため、モールド相間の溝を利用して絶縁バリアが装着できるようにした。

#### 3.2 定格電圧の格上げ

新形 BH-K シリーズは定格電圧の格上げと定格しゃ断容量の格上げを行っている。このため全部品の機能を見直し、これを改良している。

AC 460 V への格上げに対しては過負荷・耐久・しゃ断の性能の確保が当然要求される。過負荷及び通電耐久にて規定の電流がしゃ断できるこ

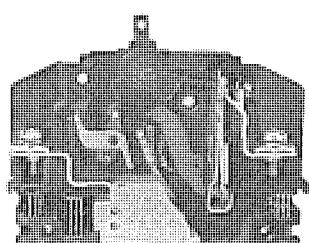


図 5. 50A フレーム (BH-K 形) 断面外観



$$\begin{aligned} \text{発生熱量 } P &= \text{NFB のワットロス} + \text{導体のワットロス} \\ &= 110 \text{ (W)} \end{aligned}$$

と仮定すると、

$$\begin{aligned} P &= P_c + P_r \\ &= 1.86 \Delta T_s^{1.25} S_c + 5.67 \times 10^{-8} \times \varepsilon [(T + \Delta T_s)^4 - T^4] S_r \end{aligned} \quad \dots \quad (4)$$

式(4)より盤表面の温度上昇  $\Delta T_s$  を推定すると  $\Delta T_s = 7.1^\circ\text{C}$

したがって、盤内空気温度  $T_{in}$  は

$$\frac{T_{in} - 20^\circ\text{C}}{2} = \Delta T_s \quad \therefore \quad T_{in} = 34.2^\circ\text{C} \text{ (温度上昇は } 14.2^\circ\text{C})$$

次に実測値を求めてみたが、推定値は実測値と比較して数%程度の誤差があるが、比較的よく一致する。盤設計において NFB の通電容量を決めるにあたり盤内空気温度を推定しておく必要がある。分電盤などのように密閉されかつ NFB がぎっしりつまっている盤においては米国 NECode では次のように NFB の数とその通電電流の制限を規定している。

すなわち、「1 個のキャビネット又はカットアウトボックス内に施設する電灯、電気器具併用分岐回路分電盤には、42 個をこえる過電流保護器（メイン用のものを除く）を取付けてはならない。2 極のしゃ断器は 2 個の、3 極のしゃ断器は 3 個の過電流保護器とみなす」とある。また、「分電盤に取付けた過電流保護器により給電される負荷の総和は、正規の運転状態で負荷が 3 時間以上継続する場合は、過電流保護器定格の 80% を越えてはならない」としている。

これらの規定は盤内空気温度の上昇を考慮したものである。周囲温度の上限は上記の理由で一般的に  $65^\circ\text{C}$  と制限をおいており、これを越える場合には自然換気や強制換気を行うなどの処置により空気温度を下げるか又は負荷電流を制限して空気温度を上げないことが必要である。

## 5. 非常用電源用耐熱形 NFB

消防庁告示第 8 号の「低圧で受電する非常電源専用受電設備の配電盤及び分電盤の基準」により耐熱性能を持った配分電盤に収納される機器については、火災時でも消防用設備への通電を継続できる耐熱性能をもつたものでなければならない。

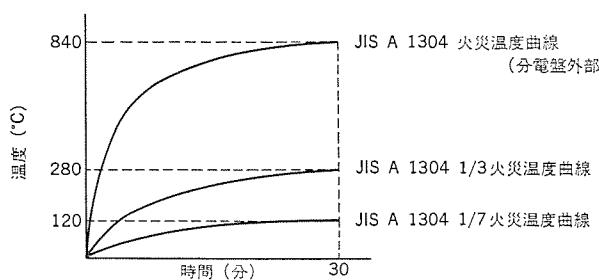


図 9. 耐熱温度曲線

表 2. 耐熱形 NFB の必要場所

消防字第 171 号 昭和 55 年 8 月 23 日による

非常電源の種類	設置場所	区分	機器の種類
非常電源専用受電設備 (特定防火対象物 では 1,000m <sup>2</sup> 未 満に限る。)	不燃室 注(1)	電気室 注(2)	2 種
		機械室 注(3) バイブッシュト	2 種
	一般居室	一	1 種
		一般階段	1 種
	階段 特別避難注(4) 階段	特別避難注(4) 階段	2 種
		廊下	1 種
高圧受電 特別高圧受電	キューピックル式は規定された屋外又は受電室 その他は不燃専用室	一般形機器	

注 (1) 不燃材料で造られた壁、柱、床及び天井（天井のない場合にあっては屋根）で区画され、かつ窓及び出入口に甲種防火戸又は乙種防火戸を設けた不燃区画をいう。

(2) 防火構造の床、壁又は甲種防火もしくは、乙種防火戸で区画された電気室は除き、これら除かれた場所については JIS C 8480 (分電盤通則) に適合する配電盤等を設置すればよい。

(3) ポイラ室等の火気使用機械室は 1 種耐熱盤等を設置すること。

(4) 建築基準法施行令第 123 条に規定する避難階段又は特別避難階段をいう。

表 3. 非常用電源用耐熱形ノーヒューズしゃ断器・開閉器

フレーム 極 種 別 数	30A		50A				100A		225A	400A
			BH-K タイプ		NF タイプ					
	2P	3P	2P	3P	2P	3P	2P	3P	3	3
1種耐熱形 ノーヒューズしゃ断器	—	—	BH-K	—	NF 50-CA		—	NF 100-CA	—	—
2種耐熱形 ノーヒューズしゃ断器	NF 30-SB		BH-K		NF 50-CB		NF 100-CB		NF 225-CB	NF 400-CA
1種耐熱形 開閉器	—	—	—	—	—	DSN 50-CA	—	DSN 100-CA	DSN 225-C	—

従来耐熱区分としては 1 種耐熱のみであったが、非常用配電盤などのより一層の普及を図ることを目的として、新しく 2 種配電盤など及び 2 種認定機器が新設された。これらの必要な箇所を表 2 に示す。1 種耐熱とは  $1/3$  火災温度曲線により 30 分間加熱したとき支障なく耐熱定格電流を通電できることであり、2 種耐熱とは  $1/7$  火災温度曲線によるものである。図 9 に耐熱温度曲線を示す。当社の該当機種を表 3 に示す。これらはいずれも「非常用配電盤等認定業務委員会」の認定を受けた製品である。

## 6. むすび

以上最近の分電盤用 NFB の新製品とその技術的考察を紹介した。NFB は低圧電路の保護機器の主役として、その性能はもとより使用しやすさ、取扱いやすさ、安全性の向上、信頼性の向上などいろいろな面から数多くの要望を解決して製品の開発・改良を進めている。これからも関連方面からの要望にこたえるよう製品化できる取組みを進めて、NFB の一層の発展を図りたいと考えている。

最後に研究・開発・試験に当たり、御指導、御援助をいただきました関係各位に深じん(甚)なる謝意を表する。

## 熱解析によるノーヒューズしゃ断器の温度分布シミュレーション

望月義範\*・有信一郎\*・矢木澤守\*・黒瀬治\*

## 1. まえがき

ノーヒューズしゃ断器はしゃ断電流の高容量化や小形化が強く要求されており、近年の銅や銀などの資源の高騰により省資源化も強く要求されている。このような状況のもとでしゃ断器を設計するにあたって、熱設計の占める割合は大きいものがあり、年々重要となっていっている。

しかるに、これまでの熱設計においては、しゃ断器の主要部分であるヒータやバイメタルなどの発熱量のは(把)握を行い、実機にて補正するという経験的な要素に負う作業が多かった。このような方法では小形化・省資源化・短期開発などの諸要求を満足することができなくなってきた。そこで、近年、着々と成果を収めている電子計算機を使用した熱解析の手法をノーヒューズしゃ断器に適用し、ノーヒューズしゃ断器の温度分布を推定した。

このシミュレーションにおいては、しゃ断器単体ではなく、それらに接続される電線を含めて熱回路網を構成し、実際の装備状態あるいは試験状態に近い状態を解析した。その結果実測値と非常に近い一致をみたので、ここに紹介する。

## 2. ノーヒューズしゃ断器における熱解析の背景

現在に至るまで、ノーヒューズしゃ断器は年々小形化されてきているが、今後もしゃ断容量の増大とともに一層の小形化が進められるであろう。このように、通電容量を変えずにしゃ断器を小形化することは、当然しゃ断器内部を流れる電流の電流密度が増大することを意味する。更に、バイメタルの作動に必要な温度上昇値はほぼ一定であり、また端子温度の規定もあるため、しゃ断器を小形化すれば熱流によって生じる温度こう(勾)配もきつくなる。そのため、発熱及び放熱並びに熱流の状態を正確に把握することがより一層必要となってきた。

一方、熱設計を行うにあたってこれまで単純な形状の構成物に限って行ってきたのが実状であり、複雑な形状をした箇所の温度は実測データに頼っていたため、形状の一部変更による温度の変化や接続導体を変えたときの温度の推定が難しく、実機による確認など多くの時間を必要とした。

そこで、回路網解析で一般に使用されるノード(節)法により熱回路網を形成し、電子計算機により解くことによって、製品各部の温度分布を予測でき、最適な熱設計が可能となり、試験時間の短縮を図ることができる。

熱回路網法による温度計算の手法は、特に複雑な構造をした製品に対しては非常に有効な方法であり、構成部品を熱抵抗回路網に分割し、熱回路網中の熱抵抗並びに各ノードの発熱量を計算し、その値を用いて温度及び各ノード間の熱流量の計算を行うものである。

## 3. 热回路網法による温度分布計算の理論

## 3.1 基礎方程式

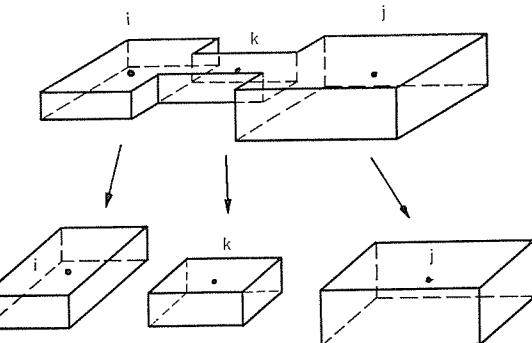


図 1. ノード分割

熱回路網法は、構成物各部を図1.に示すようにいくつかの小さなブロックに分割して、その代表点にノードをとり、その点に熱容量を集中させ、かつ各ノード間を熱抵抗で結び、各ノード間に成立する熱平衡の式を解くものである。

固体中の各ノードに対して次式が成立する。

$$C_i W_i \frac{d\theta_i}{dt} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{R_{ij}} (\theta_j - \theta_i) + Q_i \quad (i=1, 2, \dots, N_a) \quad (1)$$

流体中の各ノードに対して次式が成立する。

$$C_i W_i \frac{d\theta_i}{dt} = \sum_{l=l_1}^{l_n} V_{il} (C_l \gamma_l \theta_l - C_i \gamma_l \theta_i) + \sum_{j=1}^N \frac{1}{R_{ij}} (\theta_j - \theta_i) + Q_i \quad (i=N_a+1, N_a+2, \dots, N_a+N_b) \quad (2)$$

ここに  $\theta$  : 温度 (°C)  $\gamma$  : 比重量 (kg/m³)

$W$  : 重量 (kg)  $N$  : ノード数

$R$  : 热抵抗 (°C/W)  $N_a$  : 固体中のノード数

$Q$  : 発熱量 (W)  $N_b$  : 流体中のノード数

$V_{il}$  : 体積流量 (m³/h)  $i, j$  : ノード番号

$C$  : 比熱 (Wh/kg°C)  $l_1, l_n$  : 流体中のノード番号

## 3.2 基礎方程式の解法

基礎方程式(1), (2)の定常解、非定常解の数値解析法については様々な手法が考えられるが、ここでは定常解について述べる。

定常時は各ノードの温度は変化しない。すなわち、

$$\frac{d\theta}{dt} = 0 \quad (3)$$

であるから基礎方程式(1), (2)は次式となる。

$$\sum_{j=1}^N \frac{1}{R_{ij}} \theta_j + \left( - \sum_{j=1}^N \frac{1}{R_{ij}} \right) \theta_i = -Q_i \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^N \frac{1}{R_{ij}} \theta_j + \sum_{l=l_1}^{l_n} C_l \gamma_l V_{il} \theta_l - \left( - \sum_{j=1}^N \frac{1}{R_{ij}} + \sum_{l=l_1}^{l_n} C_l \gamma_l V_{il} \right) \theta_i = -Q_i \quad (5)$$

ここに一定温度源の温度を  $\theta_a$  とし、一定温度源のノード番号を  $m$  とすると一定温度の境界条件は式(6)となる。

$$\theta_m = \theta_a \quad (6)$$

したがって、定常解は式(6)の境界条件を有する、式(4)、(5)のN元連立方程式の解として与えられ、このN元連立方程式をクラウト法を用いて、電子計算機により数値解析を行うことにより、未知数の各ノードの温度 $\theta_i$ 、 $\theta_j$ が得られる。

#### 4. 热解析シミュレーション手法の概要

##### 4.1 フローチャート

本稿に使用した熱解析シミュレーションプログラムのフローチャートを図2.(a), (b)に示す。このプログラムに必要なデータはノードの数、熱抵抗及び発熱量を求めるためのデータなどである。以下それについて概要を述べる。

##### 4.2 ノードの設定

ノードの設定に際して次のことを考慮した。

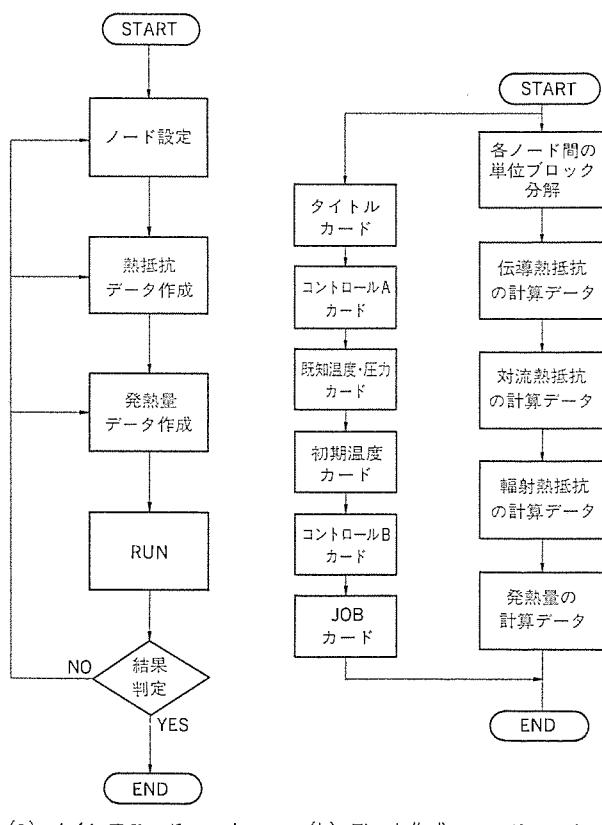


図2. 热解析シミュレーションフローチャート

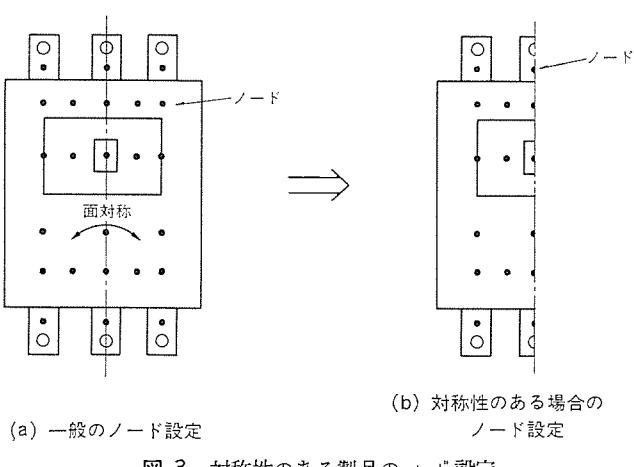


図3. 対称性のある製品のノード設定

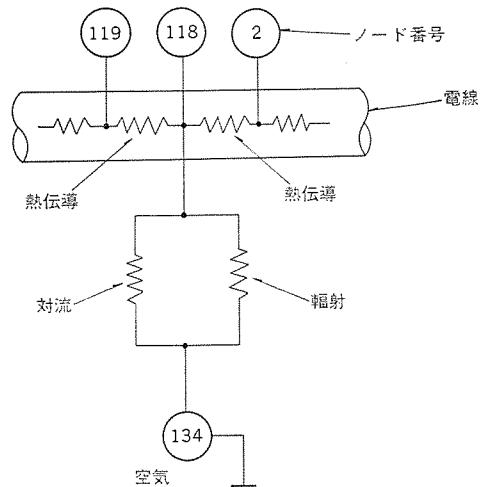


図4. 热抵抗の設定(電線の場合)

(1) 図3. のように、一般にノーヒューズレーブルは左右対称である。その対称性を利用して片側部分のみにノードを設定する。

(2) 多大な自己発熱がある、温度勾配が大きいところはノードを多く設定する。

(3) 多大な放熱効果がある、温度勾配が大きいところはノードを多く設定する。

##### 4.3 热抵抗の算出

各ノード間の熱伝導、ふく(輻)射、対流による熱抵抗を設定した。

1例として電線の場合を図4.に示す。

次に、各ノード間の熱抵抗値を求めるためのデータを作成した。その際、材料固有の熱伝導率並びに輻射率をそれぞれの文献により得た<sup>(1)(2)</sup>。

##### 4.4 発生熱量の算出

ジュールの法則により、各ノードの発生熱量を算出した。接点における発生熱量は接触抵抗も考慮して求めた。また、各ノードの発生熱量は、温度上昇によって変化する要素も織り込んで精度を上げるようにしている。

##### 4.5 計算とアウトプット

この熱解析プログラムは上記データにより各ノードの発生熱量、温度、各ノード間に流れる熱流量を計算してアウトプットされるようになっている。

#### 5. NF 600-S のシミュレーション及び検証

以上の手法に基づいたシミュレーションの具体的な実施例として、NF 600-S形ノーヒューズレーブルを例にとり、その解析と結果の検証について説明する。

NF 600-Sの熱回路網は電線、電源側バー、固定導体、接点、可動子、シャント、ヒータ、負荷側バーで構成されており、それぞれにノードを設定すると159個を要した。

次に設定されたノード群に対応するNF 600-Sの具体的な構成部品をノード単位に分割し、各ノード間の熱抵抗値及び各ノードに発生するジュール熱を算出するためのデータ(各ノード単位ごとの構成部材寸法及び使用材料の熱伝導率・固有抵抗・輻射率の物性値など)をメインフローチャート(図2.)に従い作成して、この熱解析シミュレーションを実行した。

図5.にシミュレーションの出力データを、図6.と表1.にシミュレシ

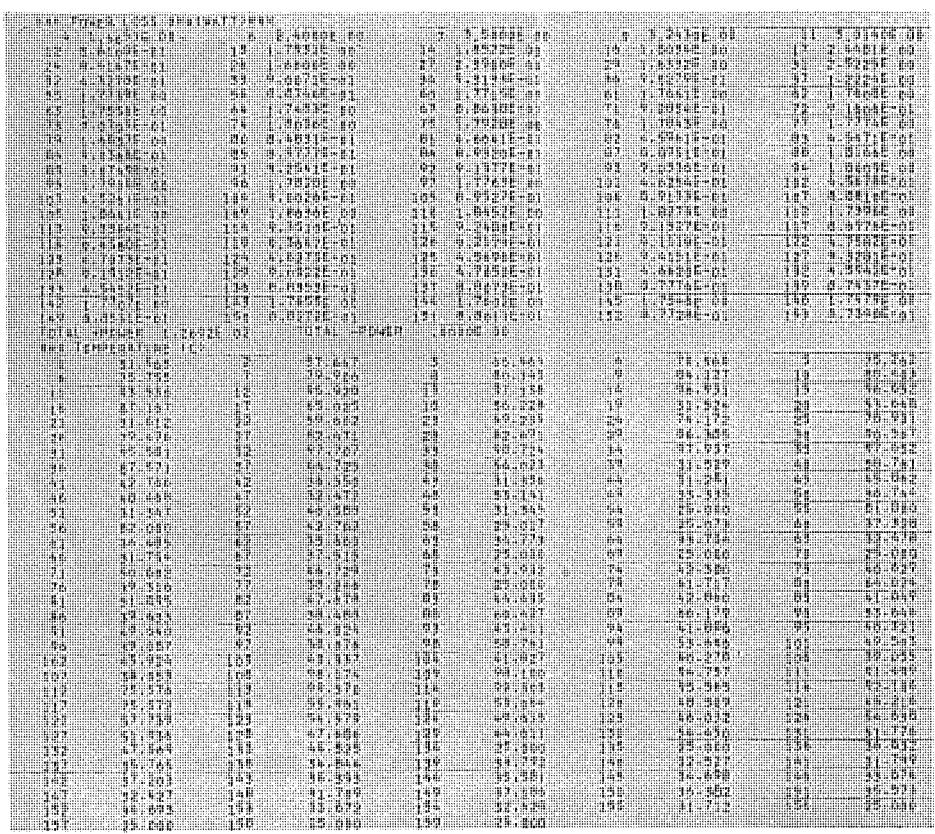


図 5. 出力データ

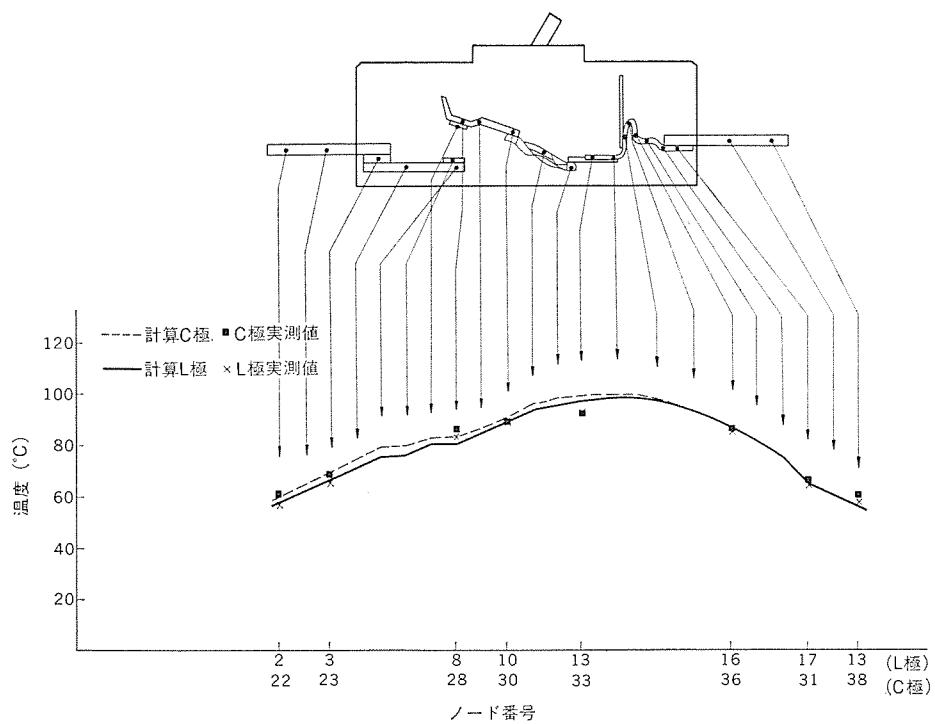


図 6. NF 600-S 形 ノーヒューズ しゃ断器の温度分布

の結果と実測値との比較を示す。両者はほぼ一致しており、この熱解析手法が非常に有効であり、十分実用できることが検証された。

## 6. 効用と適用例

この熱解析の効用として、次のことが挙げられる。

(1) 各部の温度、発熱量、熱流量の状態が分かることによって、

温度上昇の要因の把握に用いることができる。

表 1. シミュレーション結果と実測値の比較例(単位:°C温度)

測定ノード	L 極	
	シミュレーション	実測値
77	38.2	36
2	57.7	57
79	61.5	
3	66.5	65
4	71	
5	75.3	
6	75.8	
7	79.9	
8	80.1	83
9	84.1	
10	88.4	89
11	93.5	92
12	95.9	
13	97.1	93
108	98.2	
109	98.1	
14	96.9	
110	94.8	
111	91.5	
16	87.2	85
55	81.8	
112	75.6	
17	65.0	65
88	60.4	
18	56.2	58
97	38.1	34
20	53.6	56

測定ノード	C 極	
	シミュレーション	実測値
87	38.5	33
22	59.6	61
80	64.0	
23	69.2	68
24	74.2	
25	78.9	
26	79.5	
27	82.5	
28	82.7	86
29	86.4	
30	90.6	89
31	95.6	120
32	97.7	
33	98.7	92
113	99.6	
114	99.3	
34	97.9	
115	95.6	
116	92.1	
36	87.6	87
56	82.0	
117	75.6	

(2) 温度を下げるための改良手段、例えば部品の形状、材料、配置などを変化させた場合の温度変化などを定量的に把握することができる。

### 6.1 可動子の軽量化

限流機構を持ったノーヒューズレーザ断器においては、レーザ断時の反発可動子の開極速度の大きさによりその性能は大きく影響を受ける。そこで、反発可動子の質量を軽減する必要があるが、必要な質量に対する可動子の形状は必然的に決まるが、単に断面積を小さくするだけでは温度上昇の問題が生じるため、この熱解析プログラムを使用することによって最小断面積で最小温度上昇値を得るような最適設計を行うことが可能となった。

### 6.2 プスバーの配置と温度上昇

特に大形ノーヒューズレーザ断器の接続方式で採用されるプスバーによる接続においては、プスバーの形状が偏平であることから、その配置がノーヒューズレーザ断器の各部温度上昇に与える影響が無視できないことが知られている。この現象は特に大形になるほど顕著であるが、この熱解析プログラムを使用することにより、具体的なプスバーの配置を入力することによってノーヒューズレーザ断器各部の温度上昇の変化を予測することが可能となった。これは、特に多くのプスバーを使用する気中レーザ断器などの設計にも活用でき、後で紹介する多重導体の電流密度分布のシミュレーションプログラムとの併用により、最適設計上非常に有効な手段として活用している。

### 6.3 通電部材の軽量化最適形状設計

6.1節と同様に、可動子以外の通電部材についても資材節減のうえから最小材料にて最大効果を出すことが必要であり、ノーヒューズレーザ断器の通電部材各部の形状変更、材質変更などによる最適設計にも活用している。

## 7. 精度向上のための試み

### 7.1 輻射熱伝達率における形態系数算出のためのプログラム

輻射熱伝達率を求めるためには各ノード間の形態系数を求める必要があるが、非常に繁雑な計算が必要なため、パーソナルコンピュータにより一括処理できるプログラムを作成した。

このサブプログラムを使用することにより、各ノードの位置と面の大きさを入れることにより簡単に形態系数を得ることができる。

### 7.2 多重導体における電流分布を考慮した熱解析

大容量レーザ断器においては、大電流を通電するため、表皮効果並びに近接効果により導体内部の電流分布が片寄り、導体の発生熱量が増大する。更に多重導体においては、その片寄りが一層助長される。したがって、大容量レーザ断器の熱設計においては、この電流分布の片寄りを考慮しなければならない。この電流分布の片寄りを求めるための別のプログラムを使用して、電流表皮効果によるインピーダンスを求め、そのインピーダンスによる発生熱量をこの熱解析シミュレーションに入れ熱解析を行うことによって、電流分布を考慮した多重導体の温度を精度よく推定することが可能となった。

## 8. 考察及び問題点

以上、ノード(節)理論に基づくノーヒューズレーザ断器の熱解析シミュレーションについて述べてきたが、特にノーヒューズレーザ断器の場合は一般機器に比べ通電する電流の対容積比が大きく、また構造も複雑なた

め、ノード設定時の各部位の定数の設定のいかんによっては結果が粗くなる場合もある。また、表皮効果、うず電流損、鉄損による発熱量の導入など、今後解決してゆかなければならない点も多くある。なかでも、ノーヒューズレーザ断器の機能上不可決な接觸部(特に接点)の接觸抵抗によるジューク熱の導入については、このシミュレーションでは一応考慮しているものの、現在までに報告されているいくつかの実験式(E. CONTIUS 氏の式など)では実情に合わない場合が多く、このプログラムによる多くのシミュレーション結果により系数を乗じて、実用的な値を得ているのが実情であり、今後とも検討を進めてゆく必要があると考えている。

また、具体的な物性データ(輻射率、熱伝導率など)についても、ある程度実情に合う値が得られており、製品の開発初段階の温度及び熱流量の分布が事前に予想でき、熱的な最適設計の手段として、また、材料の変更、形状の変更など熱的に影響の大きい部品の仕様変更に伴う温度分布の変化を予測する手段として十分に実用できるものと考えている。

また、プログラムの問題として、計算機の容量的な問題に起因するノード数、熱抵抗データ数、発熱量データ数など入力データ数に制約があり、大容量のレーザ断器に関するシミュレーションを行う場合にはノード分割を粗くとらざるを得ないために、計算誤差が増加する傾向にある。その対策として、計算機のメモリ容量を最大限に利用するため、プログラムソフトウェアの改善を図り、定常解のみを解くプログラムを単独に使用できるようにした。

また、細部の熱解析シミュレーションを行う場合は、初めに全体のシミュレーションを行い、その結果を用いて細部のシミュレーションを行う手法をとっている。

以上述べたように、本稿で述べたシミュレーション手法は、設計の効率化や製品の最適設計を行ううえで十分に実用できると考える。

今後、計算精度向上のための検討課題として、次の事項があり、更に改良してゆきたいと考えている。

(1) 輻射率などの未知系数の精度向上

(2) 表皮効果、うず電流損、鉄損などの2次的要因による影響の導入

(3) ソフトウェアの改良(入力データの簡易化など)

なお、本稿では述べていないが、この解析シミュレーションでは過渡的な温度上昇(分布)のシミュレーションも可能であり、レーザ断器の温度の過度現象にも適用したいと考えている。

## 9. むすび

熱回路網法による熱解析手法をノーヒューズレーザ断器に適用できることを記した。

この手法は小形化、省資源化、開発の短期化などの要求のなかで、レーザ断器の熱設計を行うための必要不可決な手段であり、今後とも活用していく予定である。

## 参考文献

- 伝熱工学資料、日本機械学会
- 理科年表、丸善
- 横堀、久我訳：ギート著基礎伝熱工学、丸善
- 電気材料、電気学会

## 新形はん用トランジスタインバータ

山崎宣典\*・小嶋鈴夫\*\*・赤松昌彦\*\*\*・宮崎治\*

## 1. まえがき

各種の可変速装置は、広く産業界の省力化、自動化に対応して、着々とその市場を拡大してきたが、昨今では特に省エネルギーの要件に呼応したポンプ、ファンなどの可変速運転の必要性が急速に高まって

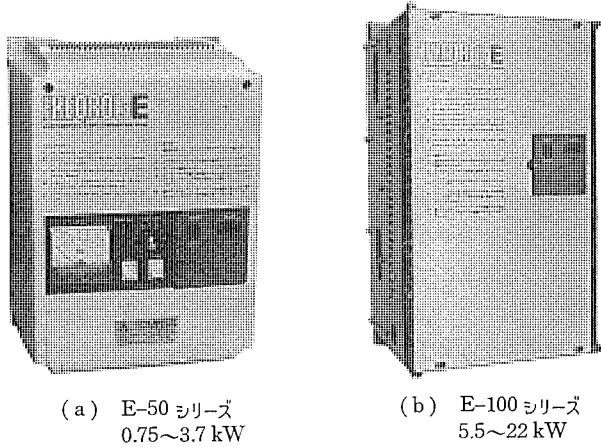


図 1. 『FREQROL-E シリーズ』インバータの外観

表 1. 『FREQROL-E シリーズ』インバータ仕様

項目		E-50 シリーズ					E-100 シリーズ				
出力定格	呼称出力容量 (kW)	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	5.5	7.5	11	15	22
	形 名	FR-E-750	FR-E-1500	FR-E-2000	FR-E-3700		FR-E-7.5 K		FR-E-11 K	FR-E-15 K	FR-E-22 K
	定格出力電流 (A)	4.5	7.5	11	16		34		48	66	90
	電源設備容量 (kVA)	PAM	1.5	2.8	5.5	8	14	20	28	40	55
電源	PWM	0.9	1.5	3.0	4.5	7.5	11	15	22	30	45
	電圧・周波数	3相 AC 200 V 50 Hz, 200/220 V 60 Hz									
	許容電圧変動	180~220 V 50 Hz, 180~253 V 60 Hz									
制御仕様	許容周波数変動	±5%以内									
	制御方式	PAM-PWM 方式切換又は併用 電圧制御方式									
	周波数範囲	1:10 (6~60 Hz) 又は 1:20 (6~20 Hz) [3 Hz から始動]									
	出力電圧	3相 AC 200 V (50 Hz), 220 V (60 Hz) 切換*1									
	周波数分解能	最高周波数 60 Hz のとき 0.5 Hz, 120 Hz のとき 1 Hz									
	周波数精度	±0.005% 以内 (-10°C ~ +50°C において)*2									
	電圧/周波数比率	16通り切換									
	過電流耐量	150% 1分間									
	周波数設定信号	DC 0~10 V (入力抵抗 11±1 kΩ)									
	加減速時間	0~15秒 (1秒とび), 0~150秒 (10秒とび) 切換									
保護機能	回生制動トルク	20%以上									
	過電流失速防止	加速中に 150% 以上の過電流が流れると電流が減少するまで加速を止める。									
	回生過電圧失速防止	減速中に回生制動トルクが 20% 以上になると回生電流が減少するまで減速を止める。									
	過電流しゃ断	定格出力電流の 165% 以上の過電流で保護回路が動作し、トランジスタの動作を止める。									
	回生過電圧しゃ断	回生制動エネルギーによる過電圧で保護回路が動作し、トランジスタの動作を止める。									
瞬時停電		15 ms 以上の停電で保護回路が動作し、トランジスタの動作を止める。									

注 \*1 出力電圧は電源電圧が下がった場合は、電源電圧以上は保証できない。

\*2 周波数設定状態によっては、周波数分解能の最小単位で変動することがある。

きている。はん用かご形モートルを周波数制御することによって可変速運転することのできるVVVFインバータは、直流モートルのようなブランがないので、保守性が良いとか、モートルのすべりの小さい状態で運転するため効率が良いなどの特長があり、省力化、自動化、そして省エネルギー目的のはん用可変速装置として最適である。

このたび開発した新形トランジスタインバータ『FREQROL-Eシリーズ』は次の5 E を徹底的に追求して、はん用インバータの決定版をねらったものである。本稿では、はん用性を具体化させた技術的な要点を報告する(図1., 表1.)。

- (1) Energy Saving ……より大きな節電効果
- (2) Easy to Use ……見てわかる使い方
- (3) Endurance ……めったなことで運転をとめない
- (4) Electronics ……高集積化、高信頼性
- (5) Economical ……顧客の満足するコストパフォーマンス

## 2. 技術課題とその対応

インバータによる可変速装置は従来の機械式に比べて遠隔操作性や寿命そして保守性において優れ、直流モートルに比べても寿命、耐環境性、保守性が優れている。更に、うず電流総手式や交流モートルの電圧制御方式のものに比べて、高効率、小形軽量などの利点があり、

本質的にはん用性に富んでいるといえる。この特長を生かし、はん用インバータとして広範な用途に対応するためには、特に次の課題を解決しなければならない。

- (1) はん用かご形モートルを駆動した時の騒音や効率の改善
- (2) 多様な用途に対する適合性
- (3) 小形軽量化など取扱いの向上

表2. に『FREQROL-Eシリーズ』での対応策をまとめている。

## 3. 回路方式

『FREQROL-E』形インバータは混合サイリスタブリッジコンバータにより可変電圧直流電源をつくり、トランジスタ式6相インバータによって可変周波数、可変電圧の交流出力を得る電圧形可変電圧可変周波数(VVVF)インバータである。出力電圧波形制御方式はPAM (Pulse Amplitude Modulation) 方式、PWM (Pulse Width Modulation) 方式、並びにPAM/PWM併用方式の切換選択を可能としている。回路ブロック図を図2.に示す。

## 3. 1 出力電圧制御方式

## 3. 1. 1 PAM 方式

PAM方式のときは、選択SWによって出力

表 2. はん用インバータの技術的課題とその対応策

技術的課題	対応策	
はん用かご形モータ ル駆動時の基本特性 の改良	PAM 方式 出力波形制御の採用	6 相方形波出力電圧として、高調波成分の比較的少ない方式として、電磁騒音を発生させない。あるいは鉄損を増加させないようにしている。
多様な用途に対する適合性	速応性への対応	PWM 方式 出力波形制御の採用
	中間性能への対応	PAM/PWM 併用方式出力波形制御の採用
	各種負荷特性への対応	16 種の $V/f$ パターンの内蔵 ROM を採用
	加減速中の過負荷対策	失速防止機能の装備
取扱性	小形軽量化	高集積化カスタム部品の採用
	放熱フィンのシヤーシー対化	アルミダイカスト放熱フィンをシャーシ構造体としている。
	感電、感熱防止	プラスチックカバーによる閉鎖構造としている。
前面保守	すべての部品が前面から着脱、保守可能な構造としている。	

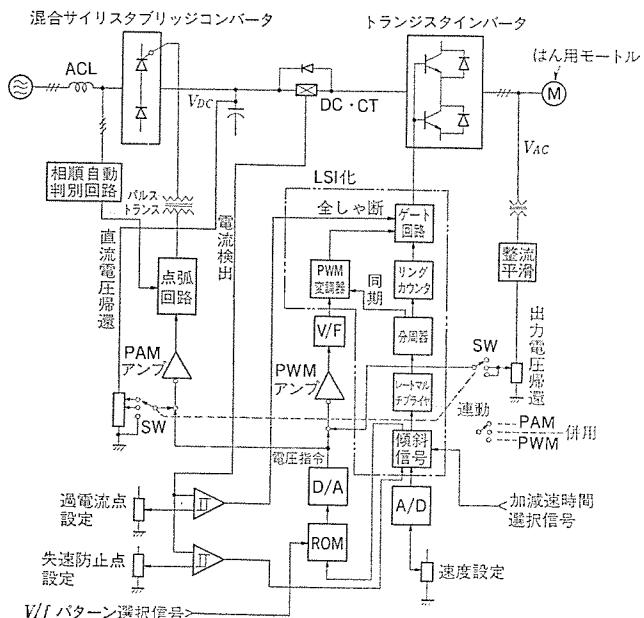


図 2. 回路ブロック図

電圧帰還を切離すため PWM アンプの出力が最大となり、PWM 変調器の PWM 動作を停止して、トランジスタインバータ部を 6 相インバータ動作とする。この場合、交流出力電圧が結果的に目標値となるように、直流母線電圧が PAM アンプとサイリスタコンバータ部分の働きによって制御される。直流母線回路には平滑用大容量コンデンサがあるため、速応性を得ることは困難であるが、交流出力に高調波分がない。

### 3.1.2 PWM 方式

PWM 方式のときは、選択 SW によって直流電圧帰還を零にするので、PWM アンプは飽和し、コンバータ用サイリスタは全導通となり、コンバータ部はダイオードブリッジとして働き、直流母線電圧 ( $V_{DC}$ ) は一定となる。したがって、交流出力電圧 ( $V_{AC}$ ) を目標値とするように PWM アンプが作動し、トランジスタインバータ部は PWM 制御状態となる。PWM のキャリア周波数は約 1 kHz としており、出力電圧検出用フィルタ時定数も小さく、速応性の良い特性が得られる。しかし、当然出力に含まれる高調波成分が多くなる。

### 3.1.3 PAM/PWM 併用方式

併用方式のときは、直流電圧帰還量を正規の PAM 方式に比べて減少させる。これにより、直流母線電圧 ( $V_{DC}$ ) は PAM 方の場合より高い電圧を得る。この状態で交流出力電圧 ( $V_{AC}$ ) が目標値となるよう PWM に動作を行う。このようにサイリスタコンバータ部とトランジスタインバータ部が共に作動して所定の出力を得る。直流電圧帰還量の設定は可変となっていて、これにより PWM 変調比が変わることを意味しており、出力に含まれる高調波成分と速応性は PAM 方式と PWM 方式の中間値をとることになる。

以上、3 方式における出力周波数—出力電圧特性を図 3. に、出力電圧波形と出力電流波形を図 4. に示す。

### 3.2 失速防止制御

モータル加減速時に能力以上の急加減速を指令したりすると、過大な電流が流れるために過電流保護回路が作動し、インバータ主回路は全しあ断となってモータは失速し、時には危険を伴うことがある。したがって、過電流保護しあ断点の少し前に失速防止点を設定し、傾斜信号発生器の動作を一時停止させ、周波数指令の変化を止めて、許容し得る最大トルク(過電流しあ断の作動するまで)で加速し、電流の減少するのをまって定常動作に復帰させる。限時加減速方式のイ

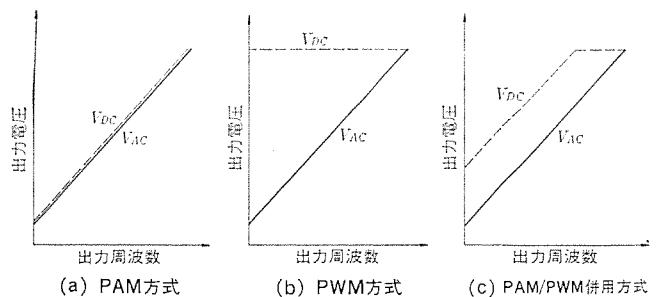


図 3. 各種出力電圧制御方式における出力周波数—出力電圧特性

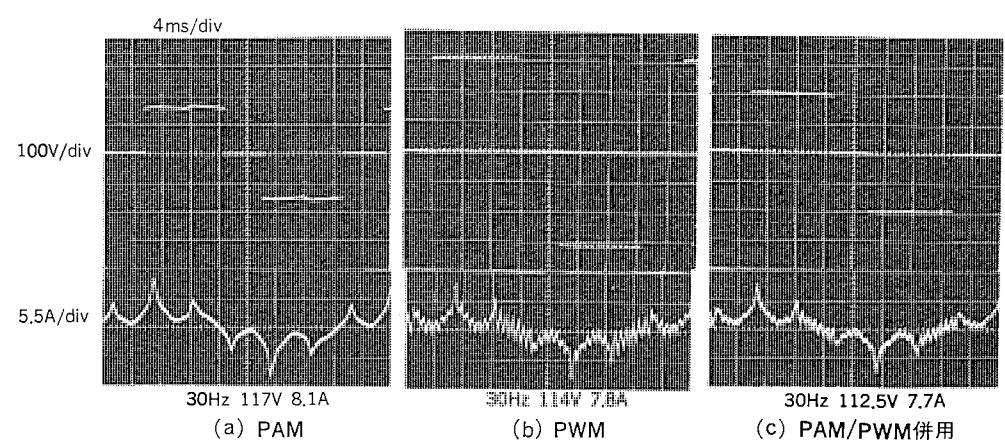


図 4. インバータの出力電圧、出力電流波形

ンバータである場合、加減速時間の単純な誤設定などでモータルが過電流しゃ断で起動できないことがある。この失速防止機能はそのような問題も解決するものである。

### 3.3 サイリスタコンバータ部の付加制御機能

前述のように PAM 方式採用のため、コンバータ部分は混合サイリスタブリッジ方式となっているので、可制御コンバータのメリットを生かして、電源投入時又は起動時の入力突入電流を抑制している。すなわち、交流入力側にそう(挿)入したリアクトル(ACL)とコンバータ用サイリスタのソフトスタート制御により、突入電流を十分小さい値として、電源系統に悪影響を与えないようにしている。

また、サイリスタを用いた3相位相制御回路はそのゲート信号を交流入力電圧に同期させなければならない。一般的な制御方式は、電源の相順が変わると、円滑な制御ができない。顧客における使いやすさを実現するためには、電源の相順を自動的に検知して、電源入力の接続は相順に無関係とする必要がある。3相電源の各線間電圧相互関係により相回転方向を検知して、正相時と逆相時によってコンバータサイリスタゲート制御同期信号を自動切換えを行なっている。

### 3.4 制御回路の集積化

制御回路機能の各要素は図2.に示すとおりであるが、アナログ回路の柔軟性とデジタル回路の調整しやすさや経時的特性劣化の少なさなど各々の特長を生かして導入することとした。また、いずれの場合にも高信頼性、高集積化をねらい、アナログ部分はハイブリッドIC化を行い、デジタル部分は優れた耐ノイズ性をもつて2,000ゲートのマスチスライスゲートアレー方式でLSI化を行っている。図2.の回路ブロック図中鎖線で囲んだ部分の機能がLSIに収納されており、メモリ(ROM)との組合せで、16種のV/fパターンが選択可能で、各種用途に対応できる。外観を図5.に示す。

デジタル化、LSI化によって、第1には多様な用途に対応するための豊富な機能仕様を満たすことができたこと、第2には顧客での選択の自由度を増したこと、第3には機能集積度をあげ得たことなどのメリットが大きい。

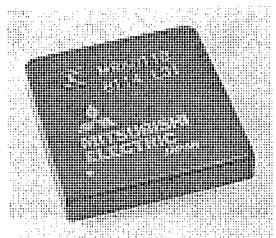
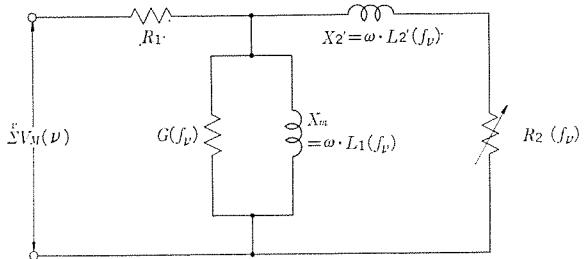


図5. 2,000ゲートカスタムLSIの外観

### 4. 出力波形制御方式によるモータル特性と得失

インバータにより波形制御された可変交流電圧で駆動されるモータルの特性を(把)握するには等価回路による特性算定法が広く用いられているが、精度の高い特性算定を行うには等価回路定数を正確に決定することが重要である。等価回路定数のうち、励磁インダクタンス( $L_1$ )、励磁コンダクタンス( $G$ )、2次抵抗( $R_2$ )及び1次、2次合成漏れインダクタンス( $L_2'$ )は周波数( $f_r$ )に大きく依存するため、図6.に示した等価回路定数を高周波域まで考慮した無負荷試験及び拘束試験により実測で求めることを行なった。また、代表的な方形波PAM方式と方形波PWM方式の出力電圧波形を調波分析した結果を図



$R_1, R_2$  : 1次、2次抵抗  
 $L_1$  : 励磁インダクタンス  
 $G$  : 励磁コンダクタンス  
 $L_2'$  : 1次・2次合成漏れインダクタンス  
 $\omega = 2\pi f_0, f_0$  : 1次周波数  
 $f_r$  :  $r$ 次周波数  
 $\dot{V}_{in}(p)$  : 入力電圧

図6. 高周波インピーダンスを考慮した等価回路

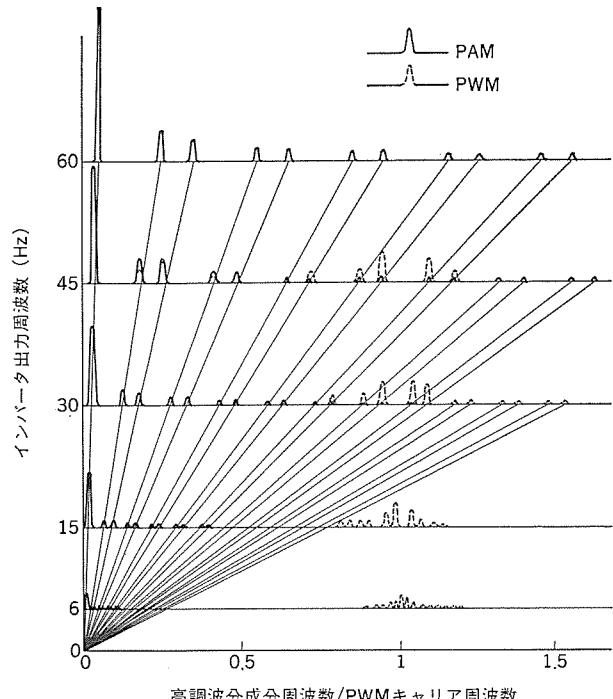


図7. 高調波成分次数分析表(PWM/PAM)

### 7.に示す。

3相、200W、4極はん用かご形モータルをモデル機として、前述の実測した等価回路定数を用い、調波分析法により得られた高次高調波領域まで考慮した特性計算を行い、モータル効率を方形波PAM、方形波PWM、方形波PAM/PWM併用の各方式について比較した。同一モデル機について実機運転によるモータル効率を実測し、計算値と比較した。運転周波数30Hzにおける純正弦波駆動を基準として、各波形制御方式について計算値と実測値を表3.にまとめている。PWMの場合、運転周波数が低いときはPAMに比べて効率の低下が大きく、高調波分の影響が現れていることがわかる。PAM/PWM併用方式では、直流母線電圧を許容される限り低く設定すれば、PAMの特性に近づく。

モータル運転時の騒音は電源電圧波形によって決まる空げき(隙)の磁束により電磁加振力が発生してモータル内部の機械要素が加振されることによって発生するものである。電磁加振力は空隙の高調波磁束の2乗に比例するものであり、この高調波磁束はモータルに印加さ

表 3. 各種波形によるモータ効率例

波形 効率	純正弦波	方形波 PAM	方形波 PAM/PWM 併用	方形波 PWM
計算値	1.0	0.96	0.95	0.90
実測値	1.0	0.95	0.93	0.90

〔モデル機〕 3相, 200 W, 4極  
50/60 Hz, 200/220 V  
〔条件〕 1次周波数  $f_0=30$ (Hz)  
入力電圧(基本波成分)  $V_M(1)=100$ (V)一定  
PWM キャリア周波数: 1.08(kHz)

(注) PWM 制御の変調比  
◎PAM/PWM 併用……0.855  
◎方形波 PWM……0.4275

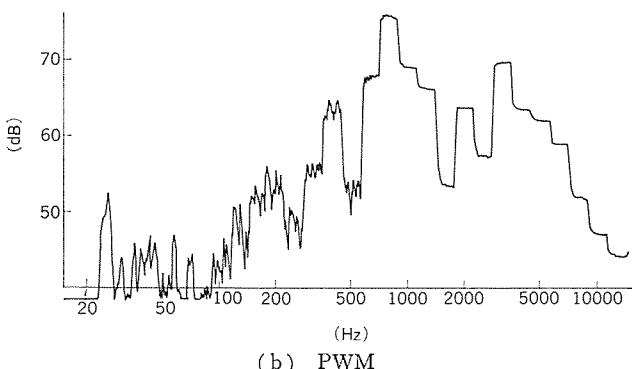
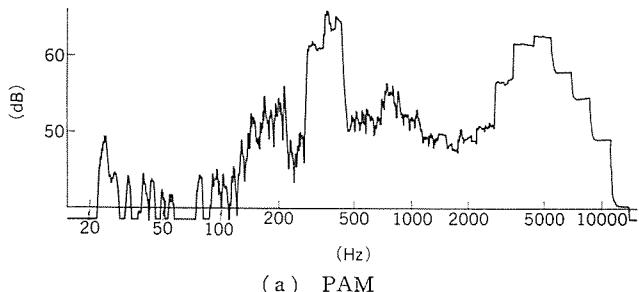


図 8. モータ運転時の騒音周波数分析

表 4. 各種波形による特性の比較

	PAM	PAM/PWM 併用	PWM
騒音	◎	○	△
効率	○	○	△
速応性	△	○	◎

◎ 最良 ○ 良好 △ 普通

れる高調波成分によるものである。したがって、PAM に比べて PWM の場合は、図 7. に示したとおり、キャリア周波数成分による高調波分が多く、特に数 kHz 域では耳障りな金属音となる。図 8. は(a) PAM, (b) PWM のモータ騒音を比較したものである。PWM のキャリア周波数は約 1 kHz であり、PWM の場合に 1 kHz から 3 kHz までの部分で騒音が大きくなっている。

このように、PAM 方式の効率は PWM 方式に比べて数%優れ、騒音については耳障り音がないことで著しく優れている。しかし、3.1 節で述べたように、速応性においては PWM 方式が勝っている。両者の利点を生かした PAM/PWM 併用方式において、PAM 制御と PWM 制御の比率を用途に応じて適切に設定すれば、良好なモータ特性が得られ、はん用性の高いものとなる。騒音、効率、速応

性についての総合評価を表 4. に示す。

## 5. パワートランジスタの高増幅・集積化

起動・負荷変動がひん(頻)繁に行われる電動機の可変速制御用インバータに用いられるトランジスタには、定常運転時に比べ、しばしば大きな電流が流れる。更に、誘導性負荷であるため、トランジスタのチップは、①大電流領域での  $h_{FE}$  が高い、②逆バイアス ASO、すなわち  $dv/dt$  耐量などの破壊耐量が大きい、③高耐圧 ( $V_{CEX}$  が高い) などを備えた特性でなければならない。一方、外装上では、①小形、②装着工数の削減及び容易さが要求される。

これらの要求を満たすものとして、インバータ専用のトランジスタチップを開発するとともに、主回路のインバータ部を集積化し、パワートランジスタ 6 個、転流ダイオード 6 個、更に環流ダイオード 1 個など計 13 個のメイン素子を内蔵したワンパック形トランジスタモジュール 2 機種開発し、これを E-50 シリーズのインバータに採用した。

### 5.1 集積化のためのチップの特異性

トランジスタのチップには構成材料が少なく、工程も単純化できる 3 重拡散のプレーナ構造形を採用し、ダイオードにはガラスパッシベーションを施したチップを用いている。

高  $h_{FE}$  と逆バイアス ASO 及び  $dv/dt$  耐量などの破壊耐量の間にはトレードオフがあり、一方の特性を良くすると他方の性能が犠牲を余儀なくされるが、エミッタ中央部での電流密度を低くして、オフ時の破壊耐量を向上させ、 $V_{CEX}$  が 600 V となるようにしながら 3.7 kW 用トランジスタの 50 A で  $h_{FE}$  が 125 と高い値を得るというようにトレードオフの改善を図っている。

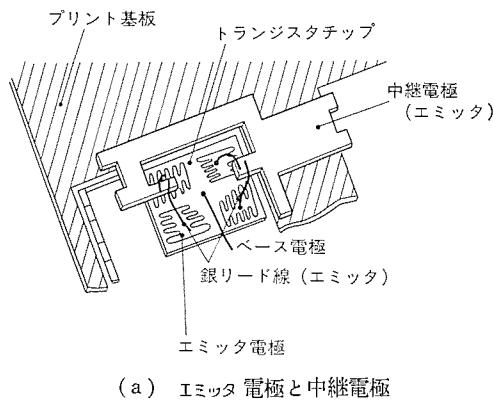
大電流領域での  $h_{FE}$  低下の防止と電極取り出し用銀リード線のハンダ付けによるボンディングを可能にするために、エミッタ及びベース電極を Al-Ni-Au の多層構造とし、Al の厚さを通常の約 2 倍に選定して電極の横方向抵抗を十分低くなるように配慮している。この結果、過電流耐量も大きくなっている。

### 5.2 電極構造

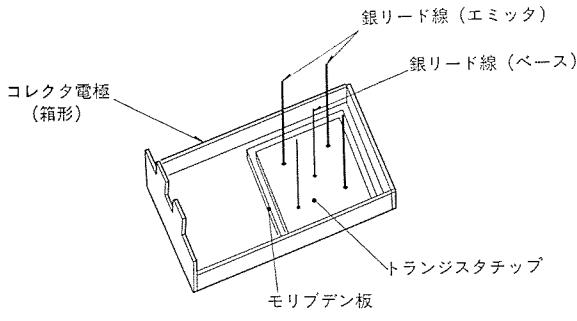
多数の素子を 1 つのパッケージに内蔵する場合、①それに伴って多くの内部配線数の削減、②集積化による熱集中を回避、すなわち温度分布の均一化、③樹脂モールド時のストレスの軽減、④小形化、⑤外部ベース入力端子の取扱いの簡略化などが問題となるが、これを解決する方法として次のような方法を採用した。第 1 の特長は内部配線に銀リード線を用いたことである。チップ上面のエミッタ及びベース電極から電極中継端子への配線には、リード線あたりの電流容量を増加させ、配線数の減少のために、それぞれ直径 500  $\mu\text{m}$  及び 300  $\mu\text{m}$  の銀リード線を採用した。3.7 kW 用ではエミッタの銀リード線は 3 本用いている。この銀リード線の使用により過電流耐量の向上も図られた。

銀リード線の電極付けは、あらかじめハンダティップされた後、チップ表面のモリブデン板と同時に炉付けされる。銀リード線の一端がフリーとなっているので、中継端子への電極付けに対する自由度が著しく増し、図 9. (a) のような立体構造が可能となり、平面電極構造のワイヤボンディング方式に比べ、集積化による床面積の増大を抑えることができた。また、この方式は製造工程途中で特性をチェックできるというメリットもあり、歩留り向上に役立つ。

一方、コレクタ電極は図 9. (b) のように箱形電極とし、樹脂モールド時に銀リード線とチップとの炉付部に加わる応力の軽減を図っている。

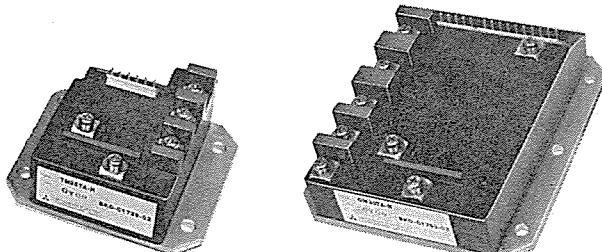


(a) エミッタ電極と中継電極



(b) コレクタ電極の形状

図 9. トランジスタインバータモジュールの電極



(a) サイリスタコンバータモジュール

(b) トランジスタインバータモジュール

図 10. ワンパックモジュールの外観

熱集中の回避には、温度分布が均一となるように、熱の発生源となるチップを等間隔になるように配置している。これも小形化の制約条件から内部配線の都合で実現困難となる事態も、銀リード線の採用によってより容易となった。

更に、外部端子は図 10. に示されるようにベース入力端子を 1か所にまとめ、コネクタを用いて外部端子の装着を容易にしている。更に、ユーザー端子となる出力端子は、中継電極からの内部配線をベース配線とすることにより、1列に配列して顧客の使いやすい構造としている。

## 6. 構造

屋内一般用として電気的にも熱的にも安全で、前面保守が可能で、取扱の容易な構造であることが重要である。他の制御器具とのコンピューションで各種規格に定められた制御盤に実装されることが多い。

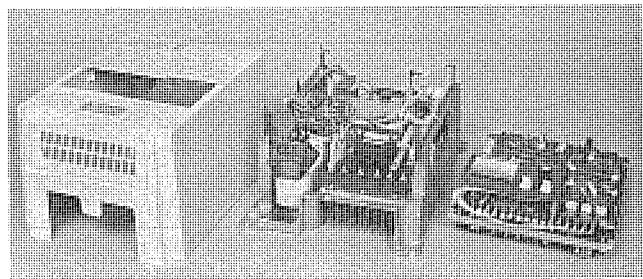


図 11. 『FREQROL-E』インバータの構造

ため、インバータの構造としては単なる閉鎖形とした。

3.7 kW 以下 E-50 シリーズでは奥行寸法を 200 mm 以下の 195 mm とし、最近の薄形制御盤に実装可能とし、22 kW までの E-100 シリーズについては当社モーターコントロールセンターに実装可能な、横幅 408 mm 以下としている。

### 6.1 ワイヤレス化

小形軽量、高信頼性のため、部品点数、配線本数を極力少なくしている。5 章に述べたインバータ部のワンパックモジュール化と同様にコンバータ部もワンパックモジュール化すると共に、外部への出力端子は、このモジュールの端子台を流用する構造とし、主回路配線の導体化、平滑用コンデンサ、直流変流器 (DCCT) の取付けの簡素化を図った。

### 6.2 放熱フィンとシャーシの一体化

電力半導体を実装する場合、発熱の処理をいかに行うかが課題である。従来は銅板製シャーシにアルミ押出形のフィンを固定し、その上に半導体を取付けていた。今回はアルミダイカストシャーシを製作し、前述モジュール取付部に放熱フィンを設けるようにして、シャーシ全体から効率良く放熱するようにしている。主回路部品の配列に適合したコンパクトなフィン付シャーシを得ることができた。

### 6.3 保守、取扱性

保守点検はすべて前面から行えるようにしており、カバーは電気と熱の絶縁物であるプラスチック成形品を採用し、その特長を生かし、ワンタッチで取りはずし可能な配線カバーを設けた。このカバーを取りはずすと、外部接続端子台への配線が可能であり、すえ（据）付配線が容易にできるようになっている。

## 7. むすび

従来、インバータは他の可変速装置に比べ、最も高価であったため特定用途向きという観念があった。この新形はん用トランジスタインバータは、価格の上でも、仕様、機能の上でもそういった観念を完全に打破したといえる。パワーエレクトロニクスの進歩と省エネルギーのニーズに対応して、インバータが可変速装置の主役となることは確実であろう。しかしながら、商用電源駆動におけるはん用モータの各種特性に比べれば、インバータ駆動時のモータ特性はまだ改良の余地がある。本文で述べた騒音、効率のほかに、振動、電源力率、発生ラジオノイズ、そして、直流機に代表される速応性、広域変速性、低速安定性などの制御性能に至るまで、インバータによる可変速モータの特性向上に限りなく努力する所存である。

# 流れの可視化法とその回転電気機械通風解析への適用

阪部 茂一\*・木藤良善久\*\*・片岡 正博\*\*\*・柳沢 公人<sup>+</sup>

## 1. まえがき

回転電機は、本質的には冷却性能を向上させた分だけ高電流密度化、高磁束密度化により小形化できる。冷却性能の向上とは、

(1) 熱伝達率を高くし、低温度こう(勾)配でできるだけ多くの除熱量を実現する。

(2) 温度の一様化を図る。

(3) 除熱量/通風動力(又は冷却機構の価格)を大きくする。

ことである。一方、一般的モータでは主として局部的な温度上昇によって小形化の制約を受ける場合が多く、冷却性能を向上するには主要発熱要素に効果的に冷却風を分配することが主たる課題となる。このためには、冷却空気の通風量を平均的にとらえるのではなく、流速分布やよど(濁)みまで配慮した分布的なとらえ方をする必要がある。

しかしながら、通風解析は、回転電機内部における冷却空気の複雑な流動現象を対象とするため、純理論的な取扱いが相当困難である。これまで通風路を流体管路網で置き換えて近似解析する設計計算法が使われていたので<sup>(1)(2)</sup>、この近似解析法を全く新しい通風構造に適用する場合には、部分モデルや実機の全体モデルなどを用いて冷却空気の流れを実験的には(把)握する試みが必要であった。しかし、回転機の各部の冷却空気の流速を測定することは容易ではなく、限られた点数での流速測定から流れの全容や分布はつかみ難い。

そこで、筆者らは、回転電機の実験的な通風解析手段として、透明なプラスチックで作った回転機のモデルを水中で回転させ、冷却空気の流れを水の流れで等価に置き換えて可視化する方法を検討した。その結果、回転電機における冷却空気の流れが定性的にも、また定量的にも測定できることを確認した。

現在、筆者らはこの方法をはん用電動機の新形通風方式の開発に活用している。以下にその概要、実験装置及び測定例などについて述べる。

## 2. 流れの可視化法の概要

流速の測定には種々の方法がある。例えば、ピトー管、熱線風速計、レーザ流速計などが考えられる。しかし、これらの方法を回転機内部の流れに適用して流れの全容を把握しようとする場合には、測定点を極端に増すなど多くの労力を必要とする。これに対して、流れの可視化法は、他の計測法とは異なり、流れの分布を人間の視覚に訴えて画像的にとらえ、流れの方向、流速分布を直視する試みである。

流れの可視化には、これを適用しようとする流体の種類、流れの状況、目的などに応じて種々様々な手法が提案されている<sup>(3)</sup>。ここでは、水中に微小なポリスチレン粒子を入れて水の流れの状況を観察する、いわゆるトレーサ法を用いた。以下にその概要を述べる。

### 2.1 流れの相似則

流れは流体に作用する外力、圧力勾配、粘性力と流体の慣性力がつ

(釣)り合う状態で運動する。実機における空気の流れとモデルにおける水の流れが相似であるためには、両者の流れについてこれらの力の比が互いに等しければよい。流体の運動方程式を代表寸法  $L$ 、代表速度  $U$ 、代表時間  $T$  及び代表圧力  $P$  を用いて無次元化し、無次元量にダッシュを付けて表すと流体の運動方程式は次式で表現できる<sup>(4)</sup>。

$$UT \cdot \frac{D\mathbf{u}'}{Dt'} = \frac{L}{U^2} X - \frac{P}{\rho U^2} \operatorname{grad}' P' + \frac{\nu}{UL} \left( \mathcal{A}' \mathbf{u}' + \frac{1}{3} \operatorname{grad}' \cdot \operatorname{div}' \mathbf{u}' \right) \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{u}$  は流速ベクトル、 $P$  は圧力、 $\rho$  は密度、 $\nu$  は動粘性係数、 $X$  は流体に作用する外力、 $t$  は時間を示す。

両者の流れが相似であるためには、代表寸法、代表速度などの組合せとして表される無次元量  $L/UT$ 、 $LX/U^2$ 、 $P/\rho U^2$ 、 $\nu/UL$  がそれぞれ互いに等しくなければならない。はん用の回転電機における冷却空気の流れは重力などの外力の影響のない定常な流れと考えられるので、式(1)の  $L/UT$ 、 $LX/U^2$  の項は消去される。

更に、実機の流れは圧力変化が小さく、水のように非圧縮性流体と考えられるので、式(1)の右辺第2項は常に一定となる。

したがって、モデルと実機の相似条件は次式で表される<sup>(4)</sup>。

$$\mathcal{R}_e = \frac{U_m L_m}{\nu_m} = \frac{U_a L_a}{\nu_a} \quad (2)$$

ここで  $\mathcal{R}_e$  はレイノルズ数、添え字  $a$  は実機、 $m$  はモデルを示す。

モデルの縮尺比を  $\sigma$ 、回転速度を  $n$  とすれば、実機と相似な流れとなるために要求されるモデルの回転速度  $n_m$  は次式で表される。

$$n_m = \frac{1}{\sigma^2} \cdot \frac{\nu_m}{\nu_a} \cdot n_a \quad (3)$$

更に、モデルと実機の流れが式(2)の相似条件を満足する場合、実機における流速  $u_a$  は式(4)により求めることができる。

$$u_a = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{n_a}{n_m} \cdot u_m \quad (4)$$

水の動粘性係数は空気のそれの約 1/15 なので、モデルが実機と同じ大きさ ( $\sigma=1$ ) であるとすれば、式(3)、(4)からわかるように、モデルの回転速度、流速はそれぞれ実機の 1/15 でよいことになる。これは水を用いると流れの観察が容易になることを意味している。

### 2.2 トレーサと水の相対運動

我々が用いたトレーサ法は水の中に入れたトレーサ(ポリスチレン粒子)が水の流れに追随して運動する軌跡から間接的に水の流れの状態を見る方法である。したがって、トレーサと水が同じ動きをしていない場合には流れを可視化したことにはならないが、その差が十分小さい場合には実用上問題はない。そこで、以下にトレーサ粒子の沈降現象と回転流における遠心力の効果が流れに及ぼす影響について述べる。

#### 2.2.1 トレーサの沈降現象

トレーサが球の場合の沈降速度  $u_s$  は粒子の直径  $d_t$ 、粒子と流体の比重量の比  $k$ 、及び球の抗力係数  $c_D$  との間に次式の関係がある<sup>(5)</sup>。

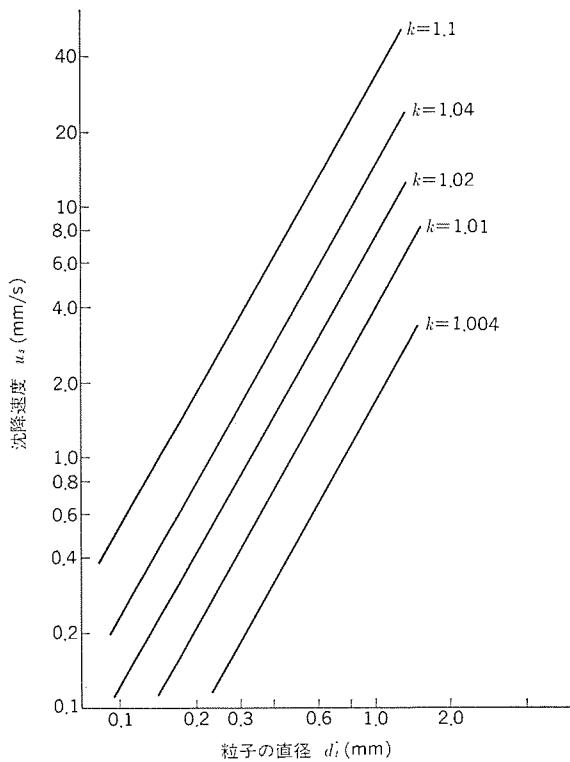


図 1. 粒子の直径と沈降速度の関係

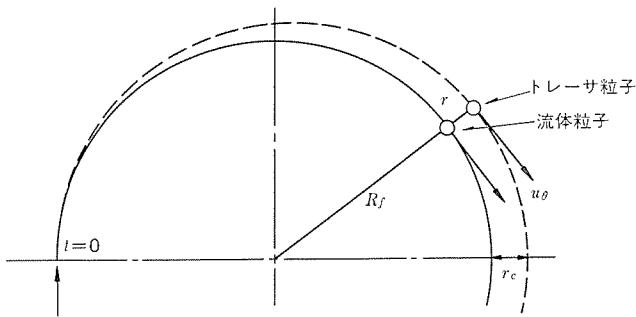


図 2. 回転流れにおけるトレーサ粒子と流体粒子の半径方向の相対運動

$$u_s = \left( \frac{4}{3} d_t g (k-1) \frac{1}{c_D} \right)^{1/2} \quad (5)$$

ここで、 $g$  は重力加速度を示す。

比重の比  $k$  をパラメータとして式(5)から粒子の直径と沈降速度の関係を求めた結果を図 1. に示す。実験で用いた直径 0.5 mm, 比重 1.03~1.05 のポリスチレン粒子の沈降速度は約 5 mm/s であることが図 1. からわかる。一方、測定した流速は 1 m/s 以上の大ささであるので、沈降速度の影響はほとんど無視できる。

## 2. 2. 2 回転流中の遠心力の効果

図 2. に回転流れにおける流体粒子とトレーサ粒子の相対運動を示す。図に示すように、半径  $R_f$  で回転運動をしている流体に対して、流体よりも比重の大きい粒子は破線で示すような軌跡を描く。半径方向の速度成分のみを考慮すれば、粒子の運動方程式は式(6)で表される<sup>(5)</sup>。

$$m_t a_t = m_t \cdot \frac{u_\theta^2}{R_t} - m_f \cdot \frac{u_\theta^2}{R_f} - c_D \frac{1}{2} \rho_f u_r^2 S_t \quad (6)$$

ここで、 $m$  は質量、 $u$  は流速、 $S$  は断面積、 $\rho$  は密度、 $R$  は曲率半

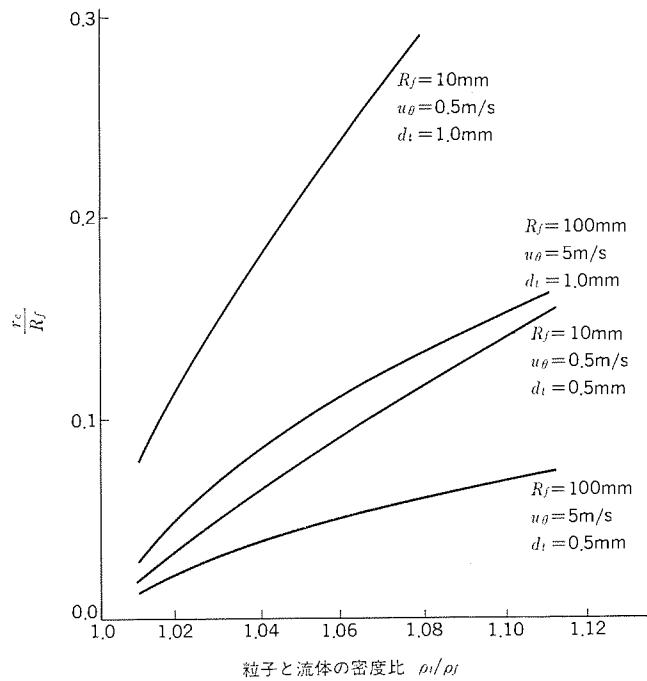


図 3. 粒子と流体の描く軌跡半径の誤差

径、 $a$  は加速度を示す。また、添え字  $\theta$  は円周方向、 $r$  は半径方向、 $t$  はトレーサ粒子、 $f$  は流体粒子を示す。

1 例として、500 rpm で回転している定常流れにおける粒子と流体の描く軌跡の半径方向の差を式(6)で求め、その結果を図 3. に示す。同図の計算条件は、粒子直径  $d_t$  を 0.5 mm, 1.0 mm, 円運動の半径  $R_f$  を 10 mm, 100 mm とした。図 3. から密度比  $\rho_t/\rho_f$  が 1.05 以下、粒子直径が 0.5 mm 以下であれば、誤差は 7 % 以下となることがわかる。

冷却空気の流れは、上記の例のように簡単な流れではないが、以上の結果から、ポリスチレン粒子のように密度比が小さく、粒子直径の小さいトレーサを選べば、水とトレーサはほぼ同じ動きをしているとみなすことができる。

## 2. 3 流れの可視化法の特徴

ポリスチレン粒子などの固体微粒子をトレーサとして用いる可視化法の特徴を要約すれば次のとおりである。

長所としては、

- (1) 透明なプラスチックモデルを用いることによって、回転電機の内部の流れの状態を外部より観察することができる。
  - (2) 縮尺モデルを用いた場合でも実機の流れと等価な流速分布の測定を行うことができる。
  - (3) 低い回転速度で試験ができるので、実験・測定が簡単になる。
  - (4) 固体微粒子は、染料などの液体トレーサのように水に拡散しないので、その軌跡から流速を測定することができる。
  - (5) 水の比重が大きいので、圧力や通風損失を精度よく測定することができる。
- などが考えられる。

また、短所としては

- (1) 実機と相似で、しかも透明なプラスチックモデルを製作する必要がある。
  - (2) 水漏れ、気泡の付着に対する考慮が必要である。
- があげられる。

以上のように、ポリスチレン粒子を用いた流れの可視化法には多くの長所があり、流れを全体的に肉眼で把握することができるため、回転電機の通風解析手段として有利である。

### 3. 実験装置

冷却空気の流れを等価的に水の流れに置き換えて可視化するための実験装置の構成及びモデルの構造について述べる。

#### 3.1 実験装置の構成

流れを可視化する実験装置の基本的な構成を図4.に示す。実験装置は、水を満たした水槽(槽)、この水槽の中に固定された透明なモデル及びモデルを回転させるための駆動装置で構成されている。水槽の軸受部には、漏水を防止するためにメカニカルシール軸受を用いた。駆動装置には、回転数を自由に選定できるように直流電動機を用いた。水槽の側面はアクリル樹脂板で構成し、水槽中のモデルに外部から光を照射したり、水の流れが観察できるようにした。また、落し蓋(蓋)状のアクリル樹脂板を水面上に浮かべて、開水面を無くし、水槽の上方からも流れが観測できるようにした。

#### 3.2 モデルの構造

モデルは実機と幾何学的にできるだけ相似になるように製作した。実験には、全閉外扇形の小形電動機を用いた。この電動機は軸と軸受を除いてすべてアクリル樹脂で構成した。回転子は水中で回転するの

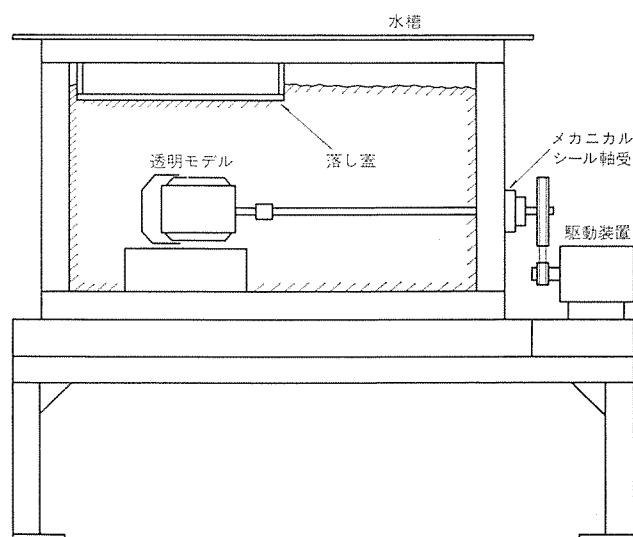


図4. 試験装置の構成

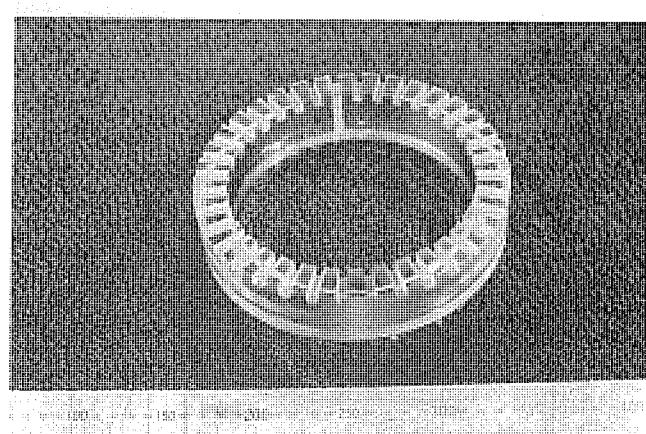
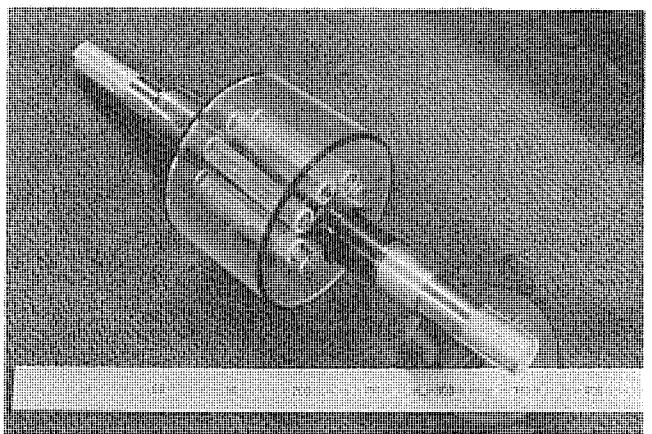
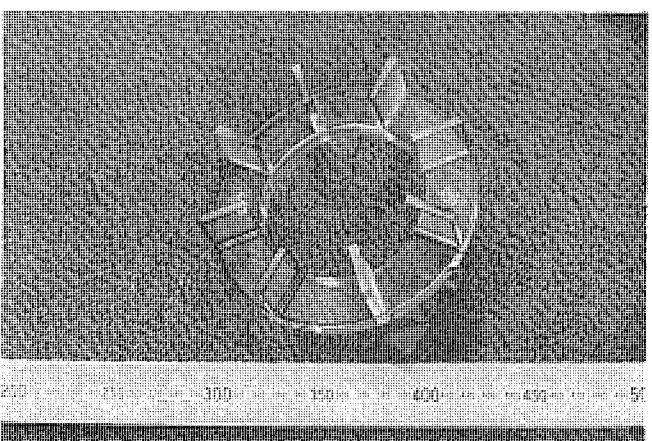


図5. コイルエンド部モデル



(a) コア



(b) エンドリングファン

図6. 回転子モデル

で、軸受には樹脂製のすべり軸受を用いた。

#### 3.2.1 モデル固定子の構造

固定子スロット内のコイルは冷却空気(水)の流れに影響を及ぼさないので、これを省き、コア部は厚肉円筒で構成した。スロットみぞ(溝)を模擬するおうとつ(凹凸)を付けると回転子通風孔内の流れの観察が困難になるので、モデルではコア内周面を滑らかにした。固定子コイルエンド部は図5.に示すように端部に長方形形状の溝を設けた円筒で置換し、これをモデルのコア端部に固定した。この溝はコイルエンドの直線部のコイルの間げき(隙)に相当する大きさにした。インボリュート部は実機のコイルエンド形状の曲面を模擬した。

#### 3.2.2 モデル回転子の構造

図6.(a)と(b)に回転子モデルとエンドリングファンのモデルの外観を示す。図6.(a)(b)に示すように、エンドリングファンは回転子に容易に固定できる構造とし、種々な形状のエンドリングファンを取替えて試験ができるようにした。回転子のコア部分は中空の円筒で構成し、回転子の通風孔に相当する部分にはアクリル樹脂のパイプをそり入した。

### 4. 実験方法

実験ではトレーサ法として普通一般に行われている方法<sup>(3)</sup>を用いた。すなわち、図7.に示すように、水槽中の水にトレーサとしてポリスチレンの微粒子を入れ、観測しようとする断面に水槽の外から平行光線を照射した。水やモデルは透明であるために、光を照射してもほとんど輝くことはなく、ポリスチレン粒子からの反射光のみを見ること

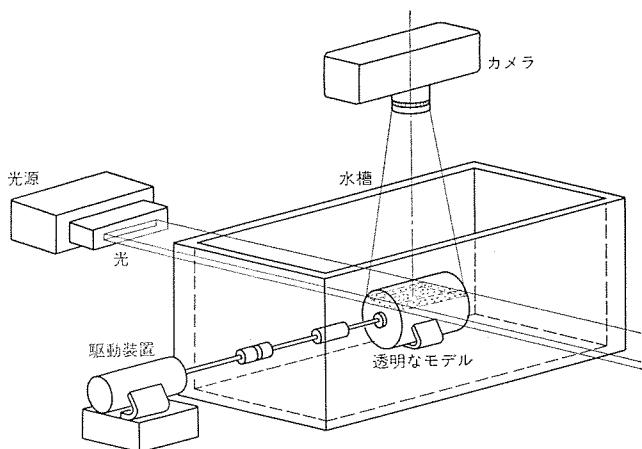


図 7. 流れの状態の測定方法の 1 例

ができる。すなわち、トレーサの運動のみを目視あるいは写真撮影によって観察することができる。

流れの全体的なパターンは目視で定性的に把握した。一方、流速分布はトレーサの運動を写真撮影し、トレーサが描く軌跡の長さとカメラの露出時間から流速を求めることにより把握した。

## 5. 測 定 例

図 8. は外部ファンの外周部及び冷却 フィン端部における流れの状態を測定した例である。外部ファンから排出された空気は回転する流れとなる。これに対し、フィンは回転方向に直角になっているため、流れは急激に曲げられてフィンの間に流入していく。このため、フィン端部では、流れがはく(剝)離し、うず(渦)が形成される。図 8. の写真でこれらの様子がよく観察できる。

図 9. は回転子の通風孔内の流れの状態である。通風孔内を軸方向に流れる成分と回転子の回転による流れの回転方向の成分が合成

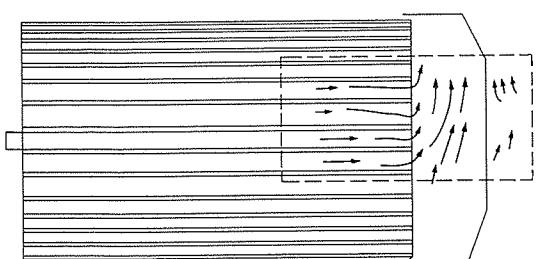
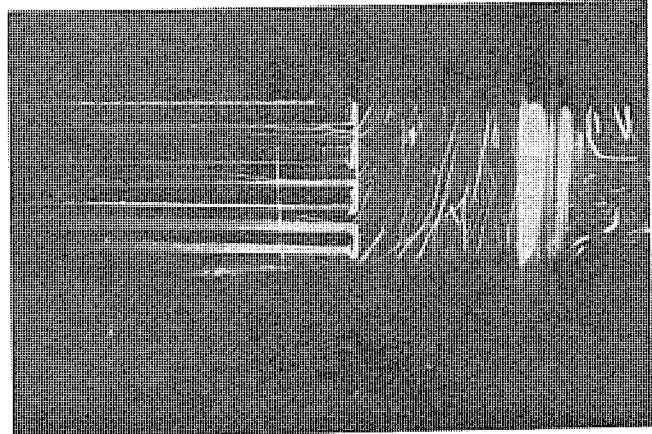


図 8. 冷却 フィン端部の流れ (フレーム外)

されるので、トレーサの軌跡は軸に対して傾いており、肉眼で見るとらせん(螺旋)状に流れている。この軌跡の軸方向成分から通風孔内の平均流速及び流量を求めることができる。入口部分で軌跡が乱れ

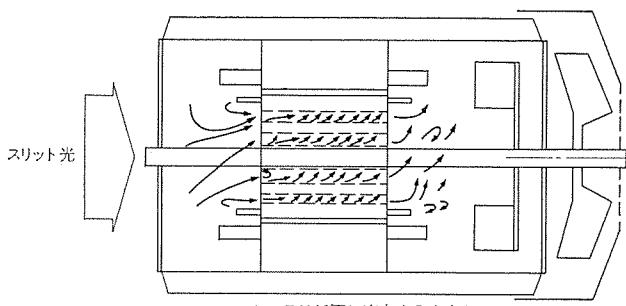
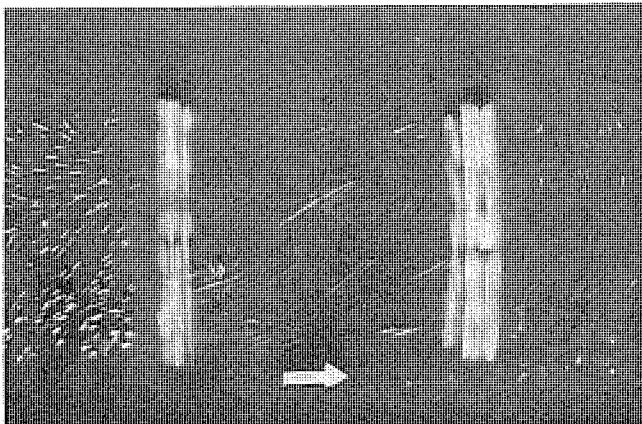


図 9. 回転子通風孔における流れ

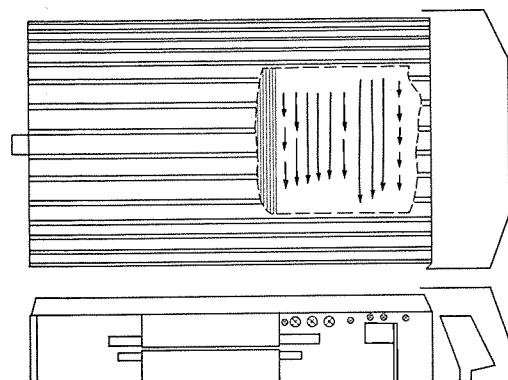
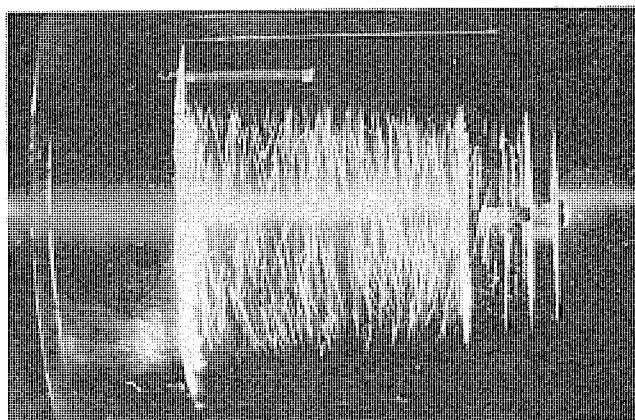


図 10. コイルエンド外周部の流れ (ファン側)

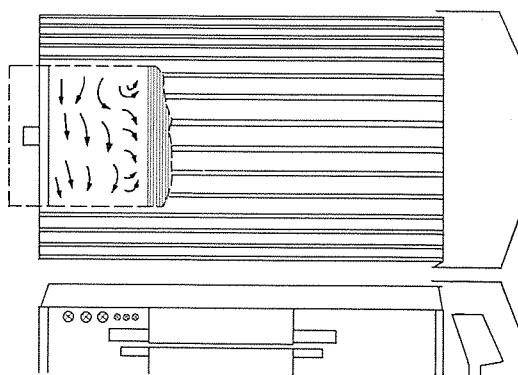
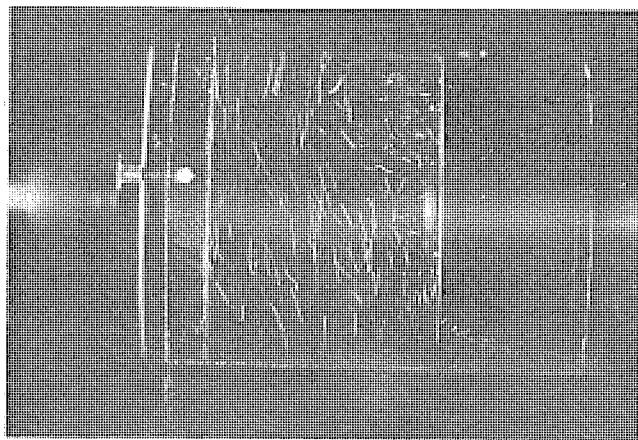


図 11. コイルエンド 外周部の流れ (反 ファン 側)

ているのは流れが剥離しているためで、これが通風抵抗を大きくしている原因と考えられる<sup>(6)</sup>。

図 10. と図 11. はそれぞれ内部 ファン 側 (ファン 側) 及び内部 ファン と反対側 (反 ファン 側) の固定子 コイルエンド 外周部における流れの測定例である。ファン 側では流れが内部 ファン の回転に追随するため、コイルエンド 外周面では回転流が主流となり、内部 ファン の外周速に近い流速となっている。これに対し、反 ファン 側では回転流が主流であるが、その流速は ファン 側に比べて非常に小さい。熱伝達率は流速に依存するため、ファン 側と反 ファン 側ではその値が大きく異なる。1 例として、こうした可視化法によらないで、循環流の平均流速だけで求めた熱伝達率と今回の可視化法によって求めた回転流の流速分布も考慮して算出した熱伝達率の比を表 1. に示し、これらの値を用いた温度上昇の計算値と実験値の比を示す。表に示すよ

表 1. 热伝達率と温度上昇

		循環流の平均流速 で考えた場合	回転流成分も考慮 した場合
熱伝達率 の比*	ファン 側	1.0	4.4
	反 ファン 側	1.0	2.6
固定子コイルの温度上昇 (計算値)		1.25	1.05

注 \* 循環流の平均流速だけで求めた値を 1 とした場合の比で示す。

うに、流速分布を正確に把握することによって、温度上昇分布の計算精度を高め、冷却能力の正確な把握ができる、これらをもとに通風方式の改善が期待できる。

## 6. む す び

回転電機の冷却性能の詳細な検討では、冷却空気の複雑な流動現象を分布的な流れとしてとらえる必要がある。そこで、筆者らはトレーサ法を用いた流れの可視化法を開発した。ここでは、その採用の仕方、問題点を述べた。更に全閉外扇形中小形誘導機に適用した測定例について述べ、この手法によって冷却空気の複雑な流れをパターンとしてとらえることができ、しかも流速の測定もできることを示した。その結果、温度上昇分布の計算精度を高め、冷却能力の正確な把握ができる、これらをもとに通風方式の改善が期待できるようになった。

## 参 考 文 献

- (1) 三富ほか：全閉外扇形誘導電動機の通風冷却解析、三菱電機技報、48, No. 10 (昭 49)
- (2) 星野ほか：直流機の通風冷却解析、三菱電機技報、51, No. 10 (昭 52)
- (3) 浅沼 強：流れの可視化 ハンドブック、浅倉書店
- (4) 今井：流体力学、岩波全書、岩波書店
- (5) S. A. Morsi, J. Fluid Mech. 55-2, 193 (1972)
- (6) Bennett, R. B., Proc. Instn mech. Engrs, 182 (Pt 3 D), 96 (1967-68)

# 水中電動機の水潤滑スラスト軸受

山本 作衛\*・徳光 清典\*・菅波 拓也\*\*・増田 隆広\*\*

## 1. まえがき

近年、生活レベルの向上と生活環境の広域化により水需要は増大し、ポンプ需要も年々着実な伸びを呈している。しかし、一方では地下水位の低下やエネルギー有効利用の要請のもとに、ポンプ用電動機として高揚程化、省エネルギーに結びつく製品の開発が製造メーカーの最重要課題となってきている。水中電動機は建設費と運転経費の節減に有効であり、国際的な製品としてもその使用は拡大化の傾向にある。そして現在水中電動機の主力である水封式深井戸用電動機では、井戸の深層化とポンプの高効率化に直接結びつく水潤滑スラスト軸受の小型化と、高荷重化が特に要求されている。スラスト軸受の高荷重化が達成されることによって、従来ポンプ側で軽減・調整しなければならなかつた水力スラストを電動機の軸受すべて支承することが可能となる。そして、これによってポンプ羽根車バランス孔の廃止及び回転ショウ(摺)動部(ライニング)の削減が出来、ポンプの運転効率と信頼性が向上する。当社では、水封式深井戸用水中電動機の信頼性を決定づける水潤滑スラスト軸受技術の研究と開発に努め、高荷重化のための理論と立証データを確認するに至った。以下、本文では成

果の一部を紹介し、水中電動機に対する認識高揚とあわせ、関係各位の御参考に供するものである。

## 2. 水中電動機軸受の特徴

### 2.1 深井戸用水中電動機の特徴<sup>(1)</sup>

水中電動機は、電動機内部に封入する流体の種類と絶縁方式によって水封式、油封式、乾式の3種に分類されるが、更に使用されるポンプの用途によって深井戸用、タービン用(はん用)、土木工事用、設備排水用、河川用などがある。また、電動機は使用条件に適した性能・構造が採用されている。用途別にみると、水封式が採用されている機種は深井戸用、タービン用、河川用である。そして深井戸用ポンプは、図1.に示すように、多段タービンポンプと水封式水中電動機が直結された状態で井戸内に設置され揚水するのもで、家庭・業務用から農業灌漑・工業用水など幅広い用途で使用されている。これらのポンプは一般に高揚程のため、ポンプ軸推力(スラスト荷重)も大きく、そのスラスト荷重はすべて電動機内部にあるスラスト軸受により支えられている。図2.は深井戸用水中電動機の外観写真である。

### 2.2 スラスト軸受の高荷重化<sup>(2)</sup>

深井戸用水中モータは設置される井戸径(インチ単位)に対応してわく(株)番が設定されており、M3(3インチ井戸用)からM12までが一般に多く使用されている。この電動機に関する近年のNEMA規格及び当社の高スラスト化の傾向を表1.に示す。これより高荷重化の傾向はここ数年の間に約5倍に達していることがわかる。水中電動機の軸受は封入水によって潤滑されるため、一般には油潤滑のものに比較してその負荷特性は低下する。しかしながら、軸受材料の選定やその構造の適正化を図ることにより高荷重化に対処し、荷重の均一化・構造の簡素化を図った3パッドのスラスト軸受を開発した。

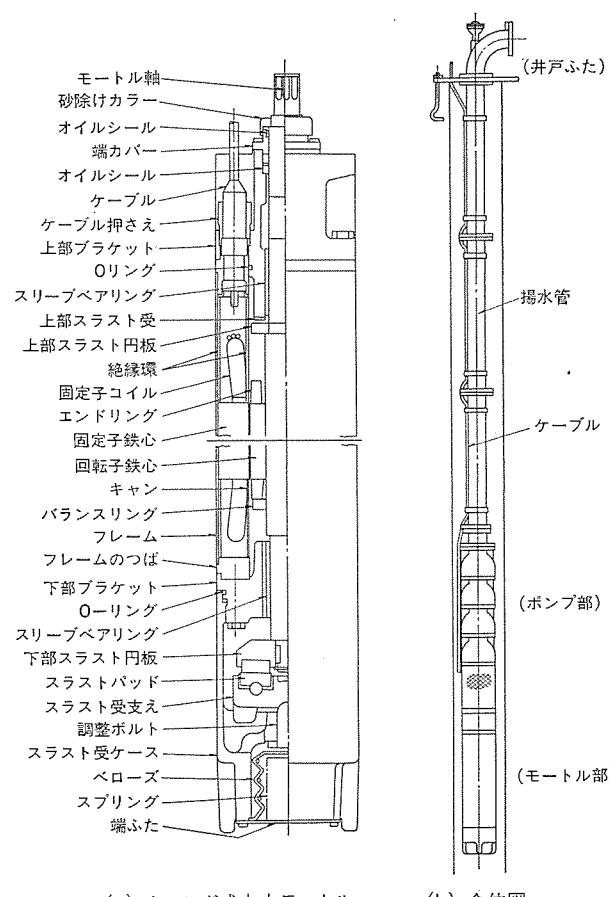


図1. 深井戸用水中モータポンプの構造

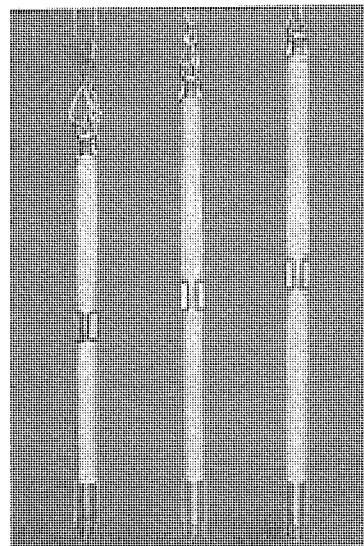


図2. 深井戸用水中電動機(タンデム形)

表 1. 深井戸用水中電動機の出力、スラスト荷重の変化（最大値）  
600 V 以下 2 極

わく番	出力範囲 (kW)			許容スラスト荷重 (kg)		
	従来品	*NEMA規格	最近の要求仕様	従来品	*NEMA規格	最近の要求仕様
M 3	0.75	—	1.1	50	—	100
M 4	3.7	3.7	7.5	150	400	500
M 6	15	15	45	300	900	2,500
M 8	22	75	110	450	4,500	5,000
M 10	37	—	150	600	—	6,000
M 12	75	—	225	750	—	7,000

注 \*印 NEMA 規格は M4, M6, M8 のみ。

### 3. 理 論 解 析

高荷重下においてティルティングパッド軸受を安定に作動させるためには、適正な水膜を確保することが必ず(須)である。また、軸受の負荷特性は従来の薄膜等温潤滑理論を適用して解析することが出来る。しかしながら、軸受特性は高荷重化に伴って、水膜に発生する圧力と温度によるパッド・円板の変形を考慮して解析する必要がある。特に、高荷重水潤滑スラスト軸受においては、この変形が軸受特性に大きな影響を及ぼす。そして円板とパッドの両方に変形のある場合は、図3.に示すように、両者の差を等価変形量としてパッドのみの変形に変換して解析できる。解析の対象とした軸受を図4.に示す。

円板とパッドの間に発生する油膜圧力はレイノルズの方程式によつて推定できる。 $(r, \theta)$  座標系におけるレイノルズの式は次式で与えられる<sup>(3)</sup>。

$$\frac{\partial}{\partial r} \left( r h^3 \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left( h^3 \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) = 6\mu\omega r \frac{\partial h}{\partial \theta} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで  $h: (r, \theta)$  点の水膜厚さ,  $\mu$ : 潤滑液の粘性係数,  $p: (r, \theta)$  点の水膜圧力,  $\omega$ : 角速度である。

式(1)に対し、次式の無次元化を行うことにより、

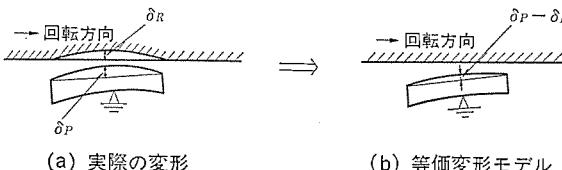


図 3. 四板・パンドの変形

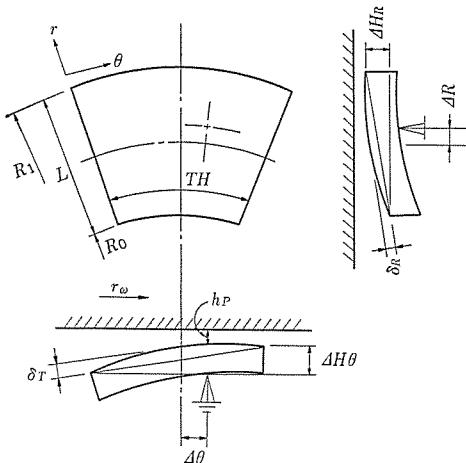


図 4. 解析の対象としたティルティングパッド軸受

式(3)を得る。

$$\frac{\partial}{\partial r} \left( \bar{r} \bar{h}^3 \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{r}} \right) + \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \bar{h}^3 \frac{\partial \bar{p}}{\partial \theta} \right) = 6\bar{r} \frac{\partial \bar{h}}{\partial \theta} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

式(3)を解くにあたっては、パッドの表面の円周方向を30等分、半径方向を20等分した格子点において圧力を式(3)の差分近似で与え、得られた格子点の数だけの圧力の連立1次方程式を解くことにより圧力分布を求めた。ここで水膜厚さ $\bar{h}$ には、 $r$ ,  $\theta$ それぞれの方向のパッドの変形量 $\delta_R$ ,  $\delta_T$ 及びパッドの傾き $\Delta H_R$ ,  $\Delta H_\theta$ を考慮して、あらかじめ計算された値を用いる。

式(3)の境界条件は

$$p(R, \theta) = p(R_0, \theta) = p(r, 0) = p(r, TH) = 0 \dots \dots (4)$$

とし、式(4)の境界条件のもとに計算された圧力が負となる場合は、次式で与えられるレイノルズの境界条件を用いた。

求められた圧力は更に積分され、ピボット点まわりのモーメントのつり合いが均衡するまで繰返しパッドの傾きを修正する。そして均衡した圧力分布をもとに、軸受荷重、流量、摩擦力等の軸受諸特性を求める。

軸受負荷特性に及ぼすパッド張角、ピボット位置の影響をパッドの変形量に対して解析した結果を図5.～図7.に示す。ここで横軸はパッドの円周方向の変形量を最小膜厚さで無次元化した値、縦軸は軸受面圧を表す無次元値である。これらの結果より次のことが言える。

(1) 等価変形量が  $\delta_d/h_{\min} > 2$  の領域では、パッド張角を大きくすることは負荷容量を増大させる。

(2) 等価変形量が  $\delta_T/h_{\min} < 2$  の領域では、半径方向のオフセットは露すをわち平均半径位置が最もすぐれている。

(3) 円周方向で回転後方にオフセットした軸受は等価変形量が零あるいは負、すなわちパッドがおう(凹)変形してもかなりの負荷能力をもつ。

(4) 軸受の負荷能力に最も影響を与えるのはパッドの等価変形量であり、最大の負荷能力を与える等価変形量が存在する。

これらの解析結果をもとに、高荷重スラスト軸受を設計し、以下に述べる性能試験を実施し、その結果を確認した。

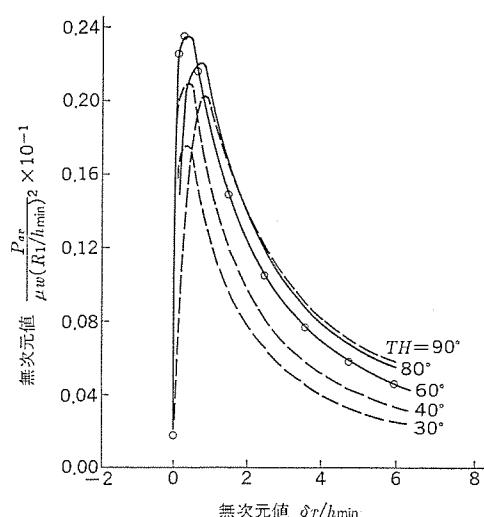


図 5. 負荷特性に及ぼすパッド張角の影響

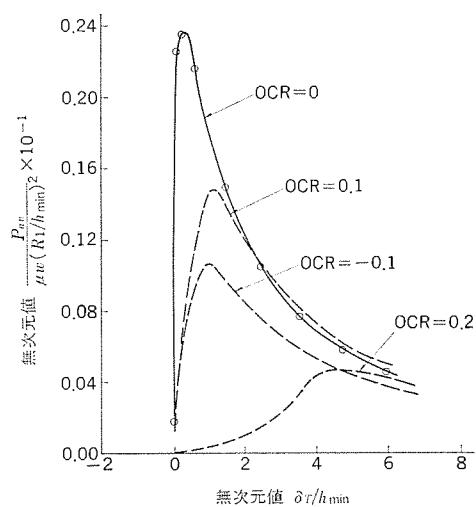


図 6. 負荷特性に及ぼす半径方向オフセンターの影響

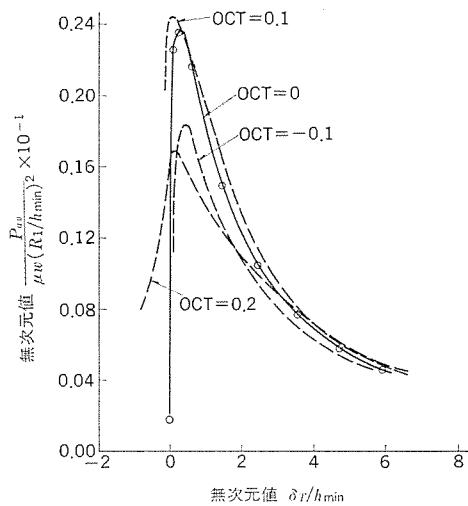


図 7. 負荷特性に及ぼす円周方向オフセンターの影響

#### 4. 性能試験

##### 4.1 材料特性試験

水潤滑スラスト軸受の負荷特性に及ぼす軸受材料の影響は大きい。軸受材料の選定は、これがパッドと円板の変形を支配するためばかりでなく、特に水潤滑という条件のもとで重要である。一般に、機械の起動あるいは停止時に軸受は水膜形成能力が低下し、焼付や損傷が発生しやすい。このため、このような条件下において材料は低摩

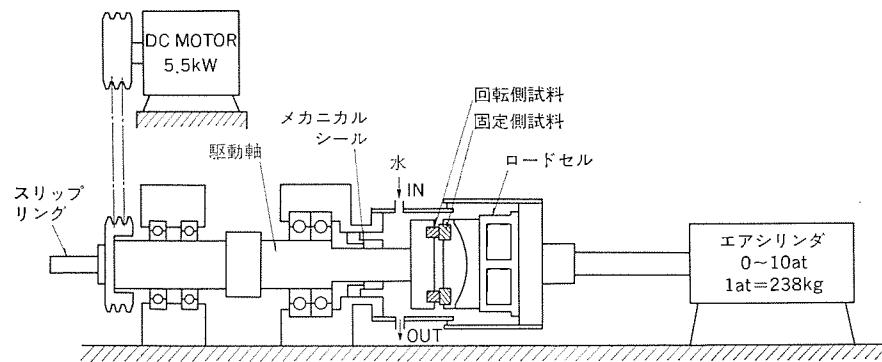


図 8. 水中電動機スラスト軸受材料試験機

擦で損傷しにくい特性を有していなければならない。図 8. はこのために開発した水中電動機スラスト軸受材料の試験機である。そして、この試験機を用いて、ステンレス材料 2 種、樹脂系材料及びカーボン系材料 10 種類について試験を行い、適正な材料を選定した。

##### 4.2 負荷特性試験

小形・高荷重の水中電動機用水潤滑スラスト軸受の特性評価を行う試験装置を開発し、種々のパッド形状のスラスト軸受の負荷特性を実験的に検討した。

##### 4.2.1 軸受試験装置

図 9. に試験装置の外観を示す。装置は大別すると試験部、駆動部、負荷部に分けられる。試験部は着脱可能なスラスト円板（以下円板とする）とパッド及びこれを保持するスラスト受支えよりなる。スラスト受支えは円板の傾きに追従できるように球面座で回転自在に支持され、これらは図 1. (a) に示す実機水中電動機と同一構造である。試験部全体はのぞき窓のついた水槽（槽）内で運転される。

試験では、駆動電動機により軸を 3,500 rpm でベルト駆動した状態で油圧シリンダにより荷重を増加させ、各荷重における軸受温度（パッド表面近傍に埋込んだ熱電対により測定）、各パッドに作用する荷重、軸受摩擦トルクを電磁オシログラフに入力して連続記録すると共に、電動機入力を電力計で読みとり記録した。

##### 4.2.2 試験軸受

表 2. に試験軸受の諸元、図 10. に外観写真を示す。試験軸受はキャンドモートル用軸受として実績のある 3 パッドのスラスト軸受について検討した。

試験は試験軸受の内・外径及び摺動材料を固定し、高荷重化の主要なパラメータであるパッド張角、ピボット位置及びパッド厚さを変化させて軸受の限界負荷性能を検討した。なお、パッド張角 (TH)、半径方向オフセンター率 (OCR)、円周方向オフセンター率 (OCT)、及びパッド厚さ (T) はそれぞれ基準値を設定し、各試験は変化させる項目以外はすべてその基準寸法に固定してその効果を調べた。

##### 4.2.3 試験結果と考察

図 11. ~図 13. に各試験項目別の結果と示す。

これらの図において、黒丸はこの荷重で焼付の発生したことを示し、白丸は試験装置の最高負荷荷重に達しても焼付が発生せず、更に焼付まで荷重の増加が見込めるものを示す。白丸で表された試験

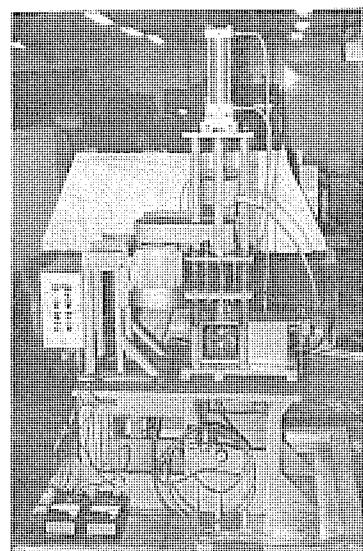


図 9. 試験装置の外観

表 2. 試験軸受の諸元

	外径寸法(mm)	材質	面粗さ
スラストパッド	84.8	ステンレス鋼	0.3 S
スラスト円板	82.8	カーボン	0.8 S

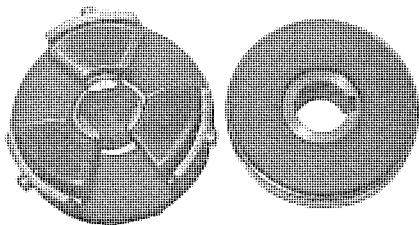


図 10. 試験軸受の外観

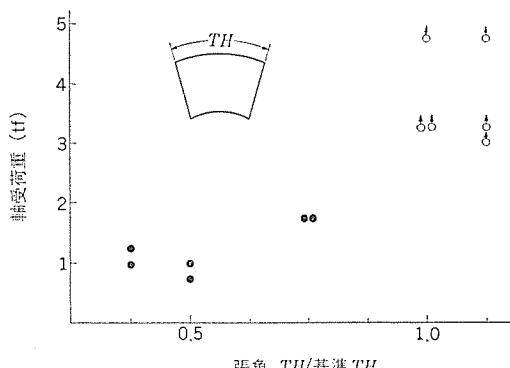


図 11. 張角の効果

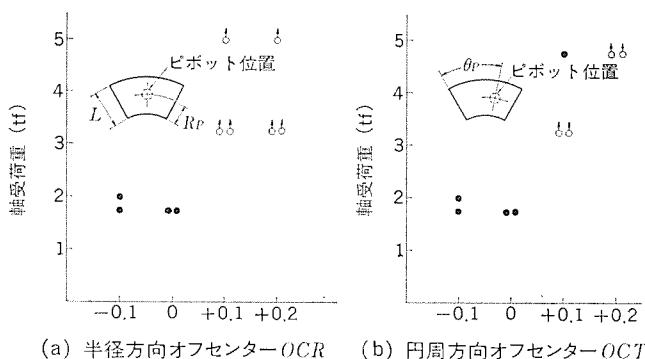


図 12. ピボット位置の効果

軸受を調べてみると、試験後の円板及びパッドの表面あらさは試験前とほとんど変化がない。このことから白丸の条件では円板とパッドの表面は直接接触がなく、円板は水膜上に浮上して回転していることを表している。そして、このサイズの軸受で 5tf のスラスト荷重においても流体潤滑状態で作動可能なことがわかる。また、試験軸受において、軸受諸元を次のように変更することにより、軸受の負荷能力が飛躍的に増大することが明らかとなった。

- ・パッド張角は、大きくする。
- ・ピボット半径方向位置は、外周側へオフセットする。

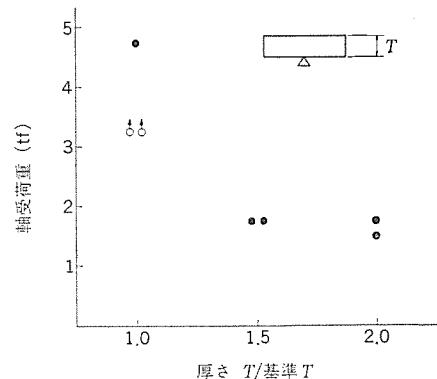


図 13. パッド厚さの効果

- ・ピボット円周方向位置は、回転後方にオフセットする。

- ・パッド厚さは、うすくする。

以上の試験結果は、パッド及び円板の水膜圧力や温度による変形を考慮することにより、先の理論解析によって説明することが可能である。

## 5. 今後の課題

水封式水中電動機スラスト軸受の高荷重化の成果について前述した。今後この軸受の一層の高信頼化を図るため、以下の課題について検討をすすめる予定である。

- (1) 実機の市場におけるデータ蓄積を図るとともに、ポンプ・電動機を組合わせた実機試験設備によるスラスト軸受の検討を進める。
- (2) 軸受構造とその性能解析の高精度化を図る。更にティルティングパッド形式以外の軸受、例えばスパイラルグループ軸受<sup>(4)</sup>についても、検討をすすめる。

## 6. むすび

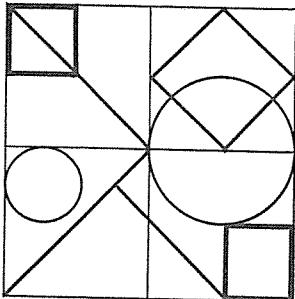
市場のニーズに対応した水封式深井戸用水中電動機の水潤滑スラスト軸受の高荷重化について、当社で行った負荷能力を向上させるための理論解析と各評価試験データを紹介し、軸受の設計を適切に行うことにより、負荷能力を飛躍的に向上させる可能性を示した。深井戸ポンプの場合、スラスト軸受の小形高荷重化はポンプの信頼性と運転効率の向上に直接結びつく技術的課題として、今後ますます重要視されることが予測される。今後も当社としては、更に水潤滑スラスト軸受の高性能化に努め、新材料・新製造技術を組合わせることにより、高荷重で信頼性の高い、経済的な水中電動機用の水潤滑スラスト軸受を開発したいと念じている。今後とも需要家各位の御助力をお願いしたい。

## 参考文献

- (1) 和田ほか：三菱電機技報, 48, No. 10, p. 1164 (昭 49)
- (2) 柳内ほか：三菱電機技報, 52, No. 5, p. 395 (昭 53)
- (3) 山本：三菱電機技報, 41, No. 2, p. 380 (昭 42)
- (4) 川崎ほか：潤滑学会第 25 期通常総会講演集 (昭 56)

当社の登録特許

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
898807	半導体装置およびその製造方法	阿部東彦・植松滋幸 斎藤修・芝滝寿宏 荻野敬迪	900598	移動目標表示方式	小野正彦・横尾正孝 玉真哲雄
898808	電力系統安定装置	林 正之	900599	フライホイルの製造方法	石井 登
898809	時刻パルス発信装置	石堂道治	900600	密閉母線装置	森本一太郎
898810	パルス増幅器	金子弘美・丸山和志	900601	隅肉溶接ならい装置	赤枝潤二郎・真田義夫
898811	信号入力回路	加藤忠雄・高木義夫	900602	写真用閃光放電装置	岩田比呂志・平田伸二 小嶋鈴夫・石井 真 藤丸吉男
898812	メック方法	石井 孝	900603	半導体装置の製造方法	杉岡八十一・河津 哲 柏木 忠・堀江和夫 赤坂洋一
898813	半導体装置の製造方法	奥津明男・牧 美好	900604	しゃ断器の消弧装置	石田秀樹
898814	電気車制御方式	甲木莞爾	900605	温度測定装置	岡本栄知・増井博光 武藤勝俊・沢田隆夫
898815	直流電動機の制御装置	青木正夫	900606	温度測定装置	岡本栄知・増井博光 武藤勝俊・沢田隆夫
898816	電圧-周波数変換回路	柴山恭一・岡橋和郎 北川達夫・五島浩一	900607	アイソレータ	紅林秀都司・折目晋啓
898817	エポキシ樹脂組成物	石井 明・三富至道	900608	赤色螢光体	村上勝男・大谷光興 末安高幸・朝長朗
898818	直角コ-ナを有するストレージコンベヤ装置	三井 茂・西畠幹夫	900609	抵抗検出式遠隔自動検針制御方式	野村寿太郎
898819	プレイテッド・ヒート・シンク付半導体装置の製造法	八原俊彦	900610	アナログ信号処理回路	大西良一・堀池 肇
898820	半導体装置	小藤田寛・藤室雅司	900611	アイソレータ	折目晋啓・紅林秀都司 中原昭次郎
898821	誘導加熱装置	園部幸夫・榎本龍弥	900612	電気光学装置	上田文夫・新居宏王 高田 守
898822	感光性樹脂の除去法およびその装置	山本 明・三富至道 津田栄一	900613	マイカボンド用樹脂組成物	柴山恭一・小野 博 地大英毅
898823	放射線照射装置	大西 勝	900614	ADF受信機	手塚雅之・池上和生 高家芳徳
898824	電子写真装置	井上 駿・竹尾 章	900615	緩放時素回路	太田幹雄・亀田康幸
898825	周波数倍器	寺谷 宏・玉置明信	900616	誘導加熱装置	宇佐見一雄・宮崎政行 土方明躬
898826	エポキシ樹脂成形体の製造法	加藤 強・久慈陽一 棚尾 渉	900617	誘導加熱装置	津森昭弘
898827	排水の電解処理装置	加藤 強・棚尾 渉 久慈陽一	900618	誘導加熱装置	渡辺 進
898828	排水の電解処理装置	谷 功・野村達衛	900619	超電導スイッチ	田中光雄・佐藤 隆 細川純一
898829	磁気軸受	京増幹雄・大槻貞二郎	900620	超電導スイッチ	田中光雄・小蒲哲夫 小俣虎之助
898830	C-MOSIC のリード電流測定装置	水田和幸	900621	暖房装置	田中修・福島 満 八代勝雄・吉田整司
898831	内燃機関の排気ガス浄化装置	田畠則一・森 貢	900622	液体金属充填装置	野間口有・酒井正博 向井正啓
898832	オゾン発生器	山崎起助・清水 誠 瀬下 裕	900623	重合体の製造方法	平岡幸郎・古田堅司 西崎俊一郎・江藤昌平
898833	冷温オーブンショーケース	鳥取 浩	900624	重合体の製造法	平岡幸郎・古田堅司 西崎俊一郎・江藤昌平
898834	プラズマ式映像表示装置	加賀宏明・中野久夫	900625	半導体熱圧着法	三井 茂・西畠幹夫
900590	同期機の同期外れ検出装置	三井 茂			
900591	色調制御半導体発光装置	斎藤長男・小林和彦 高木 茂			
900592	放電加工方法及びその装置	上田 敦・石井光明			
900593	車両用電気装置の制御方式	木下裕道			
900594	事故電流制限装置	伊東 尚			
900595	記録再生装置	長能宗彦			
900596	マイクロ波回路	今堀信彦			
900597	石炭装入車の自動停止装置				



# 特許と新案

## 電磁ポンプ式自動注湯装置 (特許 第1012365号)

発明者 広川利雄

この発明は、注湯停止後の湯面の揺動を速やかに減衰させて次の注湯開始前に静止湯面を確保し、一定の注湯速度を得るようにした自動铸造設備に使用される電磁ポンプ式自動注湯装置に関するものである。

図1. に示す従来の注湯装置は、開閉器(8)を投入して電磁ポンプ(2)を励磁することによって溶湯(9)に推力を与え、溶湯(9)をノズル(4)から排出して鋳型わく(枠)(5)に注湯する。そして、鋳型枠(5)に溶湯(9)が充满したことを図示しない検出器で検知し、その信号で開閉器(8)を開いて電磁ポンプ(2)の推力を消滅させるようしている。

しかし、実際の操業においては、注湯停止後に溶湯(9)の慣性によって、出湯槽(3)内の溶湯湯面が本来あるべき静止湯面(12)の上下に揺動し、しかもこの揺動が図2. に示すように長く継続する。このため自動铸造設備に使用されている高速造形機のタクト(10~40秒)内に静止湯面(12)を得ることが不可能である。したがって、湯出検出点と実際の注湯開始時の湯面に差が生じて注湯湯面にその差があらわるので、注湯速度があらかじめ定められた値に対して変化するため鋳物の不良を発生することになる。また、溶湯が満杯のときに注湯すると、注湯停止後の湯面の揺動により、注湯を完了しているにもかかわらず、もう一度ノズル(4)から溶湯が流出し、鋳型枠(5)上面に溶湯があふ(溢)れて歩留りが低下し、作業員及び機械に対する損傷の危険性があり、更に、溢れた湯を除去する作業が必要であった。

この発明のものは、開閉器(8)を動作させるための限時装置を追設し、図3. の通電プログラムのよう、注湯停止後に出湯槽(3)内の湯面が静止湯面(12)付近まで下った時に開閉器(8)を投入し、短時間通電した後再び開閉器(8)を開き、更に所定の短時間後に約0.5秒通電するようにした。このように電磁ポンプ(2)を制御すると、湯面の揺動は図4. に示すように減衰して、次の注湯開始信号までに静止湯面(12)が得られる。これによって、注湯湯面を正確にかつ一定にすることができる。

この発明によると、注湯停止後の湯面の揺動、特に静止湯面から上への揺動をごく小さくしつつ抑制する。その結果、注湯停止後の

ゆれもどしのために溶湯が流出するのを防止することができるので、溶湯貯槽(1)の最高湯面をノズル(4)のすぐ下まで高く設定することが可能となり、自動注湯装置の有効容量を最大限に利用することができる。

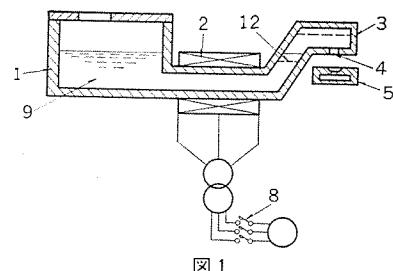


図1

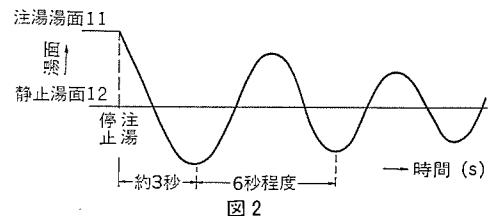


図2

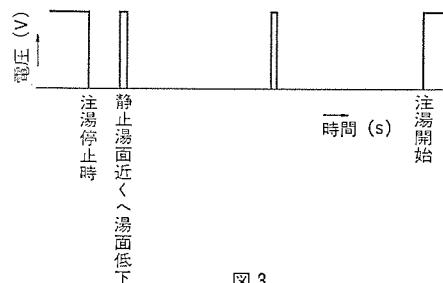


図3

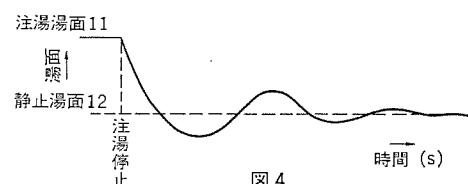


図4

## カラーレンズ管 (実用新案 第1206317号)

考案者 沢井秀彦

この考案はシャドウマスク式カラーブラウン管における不要電子のしゃへい

(遮蔽)構造の改良に関するものである。

# 特許と新案

従来構造のシャドウマスク式カラーブラウン管を動作させた場合、図1.に示すとく、ある特定のけい(螢)光体(22)を励起させるために、その螢光体(22)に対応した特定の電子銃(26)から発射された電子ビーム(24)の一部(27)は、フレーム側壁(12)の内側(28)にも射突し、この電子ビーム(27)は反射されてアーチャマスク(13)の孔を通り、無差別に螢光体(22)に射突・励起し、発光させる。その結果、このような電子ビーム(27)による螢光体(22)の発光は、単色での色純度を悪化させ、コントラストをも悪くする。

一方、上記のような不要な電子ビーム(27)を防ぐためにフレームフランジ(21)の突出量を電子ビーム(25)の偏向角 $\theta$ 及びフレーム側壁(12)の高さに応じて変えれば、上記欠点を無くすことができるが、フレーム(11)の重量が増し、シャドウマスク(10)をパネル(16)に支持するピン(17)及びマスクスプリング(15)に加わる荷重が増大し、カラーブラウン管に外部衝撃が加わった場合、シャドウマスク(10)のパネル(16)に対する相対位置がずれ、画面上に色ずれを生じる原因となっていた。

この考案はフレーム(11)の形状、及びフレーム(11)に取付けるエレクトロニシールド板(29)の形状を工夫することにより上記の問題を解消したものであり、図2.に示すように、フレーム(11)のフランジ(21)をコーナー部及びコーナー部近傍では不要電子ビーム(27)を十分に遮蔽できるような形状にし、他の部分はフレーム(11)の重量を軽減するために、フランジ(21)の突出量を小さくする。このように形成されたフレーム(11)に、コーナー部及びコーナー部近傍部分を除いた中間部での不要電子ビーム(27)を遮蔽するような形状を有するエレクトロニシールド板(29)を取付けることにより、コーナー部及びコーナー部近傍部分はフレーム(11)によって、中間部はエレクトロニシールド板(29)によって、全面均一な不要電子ビーム遮蔽効果をあげることができる。また図3.に示すように、エレクトロニシールド板(29)の折り曲げ部(31)をフレーム(11)のコーナー部又はコーナー部近傍に設けることにより、折り曲げ部(31)で

の不要電子ビームの遮蔽に何ら支障を生じない効果がある。

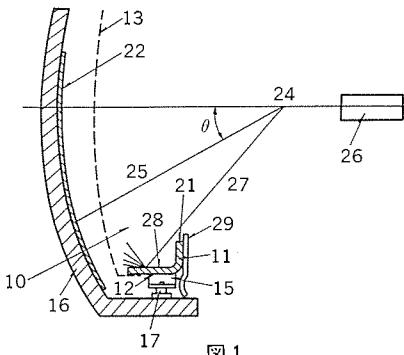


図1

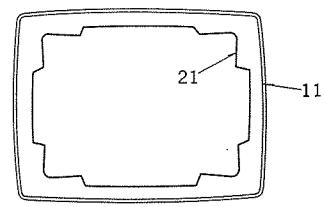


図2

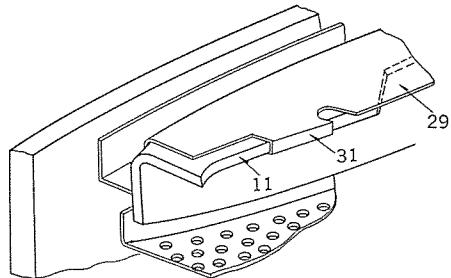


図3

## シーズヒーター (実用新案登録 第1067148号)

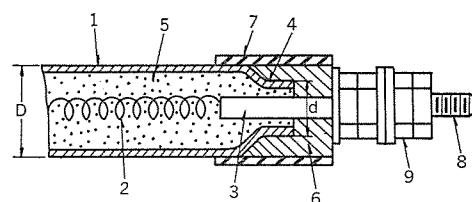
考案者 日比野浩一・市村伸男・遠藤清・宇佐美忠

この考案はシーズヒーターの端部の構成に関する。

図において、(1)は外径Dを有する金属製外管、(2)は発熱線、(3)は口出端子、(4)は外管(1)の端部を外径dとなるよう絞り加工して形成した細径部、(5)は外管(1)内に充てん(填)された絶縁物、(6)は外管(1)の細径部(4)を覆いかつて外管(1)の開口端をふさ(塞)いでいる、外管(1)の外径Dと同等の外径を有する気密質の封口体で、外管(1)内に湿気その他異物が入るのを防ぐとともに口出端子(3)を固定する役目をする。(7)は封口体(6)の外周を覆うシリコンゴムなどよりなるカバー、(8)は口出端子(3)のねじ、(9)はねじ(8)にはめ込んだナットである。

このようにこの考案は、口出端子(3)の突き出ている外管(1)の端部に細径部(4)を形成し、この細径部(4)に外管(1)の外径Dと

同等の外径を有する封口体(6)を設けたので、ヒーター端部における外径を小さくすることができる。また封口体(6)と外管(1)との接着を良くするため外管(1)の端部の酸化スケールなどを除去する必要があるが、酸化スケールなどの除去を必要とする部分が細径部(4)であるため明瞭であり確実に実施できる。



# ガラスハウス環境制御へのマイクロコンピュータの応用

柳下紀久次\*・岡 富士郎\*\*・山崎 哲\*\*

## 1. まえがき

人々の生活が豊かになるにつれ、生鮮野菜類の供給形態が変化している。即ち、消費者の食ぜん(膳)には、季節を感じさせない程、冬季でも“きゅうり”，“トマト”，“なす”，“いちご”などの野菜果物類が季節に関係なく出回り供されている。

一方、これら生鮮野菜類を大部分生産する施設園芸者に目を向けると、所得の増大、労力の低減を目指し、付加価値の高い生産物、年2～3回の収穫期の増大、農作業の周年化及び計画的出荷など、農業経営の近代化に努力が払われている。

この施設園芸の農業近代化の推進力として、昭和46年から48年まで施設園芸集中モデル事業が、昭和49年及び50年には施設園芸合理化推進モデル事業が実施され、国庫補助及び農業近代化資金の貸与が行われた。この結果、日本各地に1団地当たり、15,000～40,000m<sup>2</sup>の施設園芸団地が数多く設置された。これは、温室、ハウスの全設置面積の増大となって現われ、ここ数年の年率増大率は8.5%で、現在の全設置面積は約320,000千m<sup>2</sup> (昭和52年度、271,000千m<sup>2</sup>)と推定され、ガラス温室はそのうちの約5%，16,000千m<sup>2</sup>と考えられる。

一方石油危機以後、資源の有限時代となり、省資源、省エネルギーを目指し、農林水産省は昭和54年より施設園芸合理化推進モデル事業を施設園芸省エネルギーモデル団地設置事業に組みかえ、6種の事業種類を定めた。そのうち特に注目をひくのは、複合環境制御形で、1団地の規模を約15,000m<sup>2</sup>以上として、昭和54年9団地、55年以降15団地を計画し、国庫補助による育成を目指している。

このような流れの中にあって、施設園芸の中でも特に機械装備率の高いガラス温室にエレクトロニクス技術を導入する検討がされている。複合環境制御を目的としたエレクトロニクス技術のガラス温室への適用はオランダ及びイギリスで早くから研究、実用化され、特にオランダのアナログ式調節計のデルタエックスコントローラは有名である。しかし、エレクトロニクス技術の結果といえるマイクロコンピュータの出現によりこの分野にも適用されつつある。即ち、栽培野菜による異なる制御、省エネルギーを考慮しての収穫量の増大及び労働力の軽減をねらいとする昨今の温室管理に、信頼性の高い、かつ農業向価格のマイクロコンピュータが適しているからである。オランダでは既に単棟(棟)制御用に約60台近く普及しているという。国内においては、昭和52年頃から研究開発され、ガラス温室1～2棟を制御するマイクロコンピュータシステムが実用化されはじめている。

本文では、1台のマイクロコンピュータシステムにより多数棟のガラス温室を複合環境制御を含む群管理するシステムについて述べる。これは、今後の温室団地の大規模化に対応し開発されたもので、既に国内で2システムが稼働している。現在は農業試験場及び大学農学部付属農場に納入され、省エネルギーを加味した複合環境制御、省力化及び各種データの収集による科学的管理を目的としたもので順調に稼働している。ここでは、そのうちの愛媛大学農学部に納入したシステム

を中心に解説する。

## 2. システム概要

### 2.1 施設園芸設備概要

ガラス温室やビニールハウス内で野菜又は草花を栽培する施設園芸では、露地栽培では考えられないような、例えば栽培収穫日程を短くしたり、品質の良い安定した栽培が可能となる。本節では、施設園芸の概要を述べる。

一般に施設園芸は、ビニール温室又はガラス温室の建物で構成される部分、建物に取付けられる付帯設備部分、ボイラによる暖房設備部分、栽培に用いる設備部分、更にそれらを制御する機器部分で構成される。建物に取付けられる付帯設備としては、天窓(屋根部を開閉可能にした窓を言う)、側窓(建物の側面に設けられた開閉可能にした窓を言う)、換気扇、2重カーテン(温室内の温度が低下しないように温室内部に張られる保温設備)、かん水設備が設置される。その他特殊な場合としてらん栽培のとき日射を弱めるためのしゃ光設備、野菜など栽培植物に薬剤を散布する設備(薬散クリーン)、温室を冷房する設備(クーラー、細霧冷房設備)、更に温室の湿度を調節する設備(除湿機、加湿機、ミスト機)などがある。それら設備のうち装備すべき設備の選定は温室内の栽培対象、設備投資コスト、運用コスト及び栽培による売上げ利益による設備投資の回収などを検討して決定される。

このシステムは、それらを考慮して選定された設備機器を、マイクロコンピュータで自動的に制御し、温室内の環境を制御するため導入された。全体設備の外観を図1に示す。

### 2.2 計測制御システム概要

愛媛大学農学部付属農場のガラス温室群の環境制御装置の構成を図2に示す。装置は大別して2つに分けられる。1つは農場研究棟計算機室に設置されたコンピュータにより計測と制御指示を行うセンターシステムであり、他の1つはガラス温室群の内部又は近くに設置され

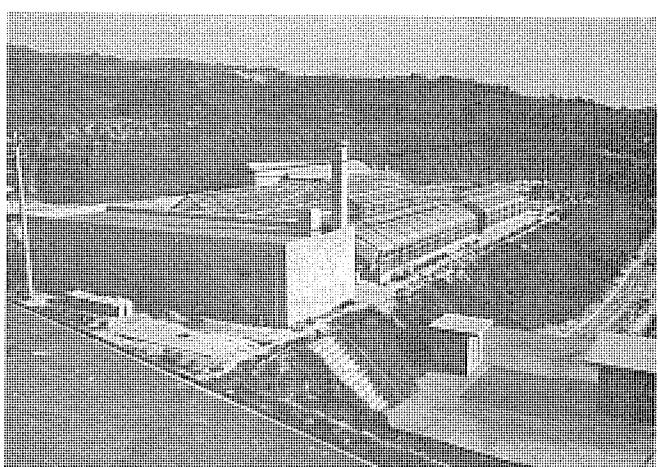


図1. 設備外観

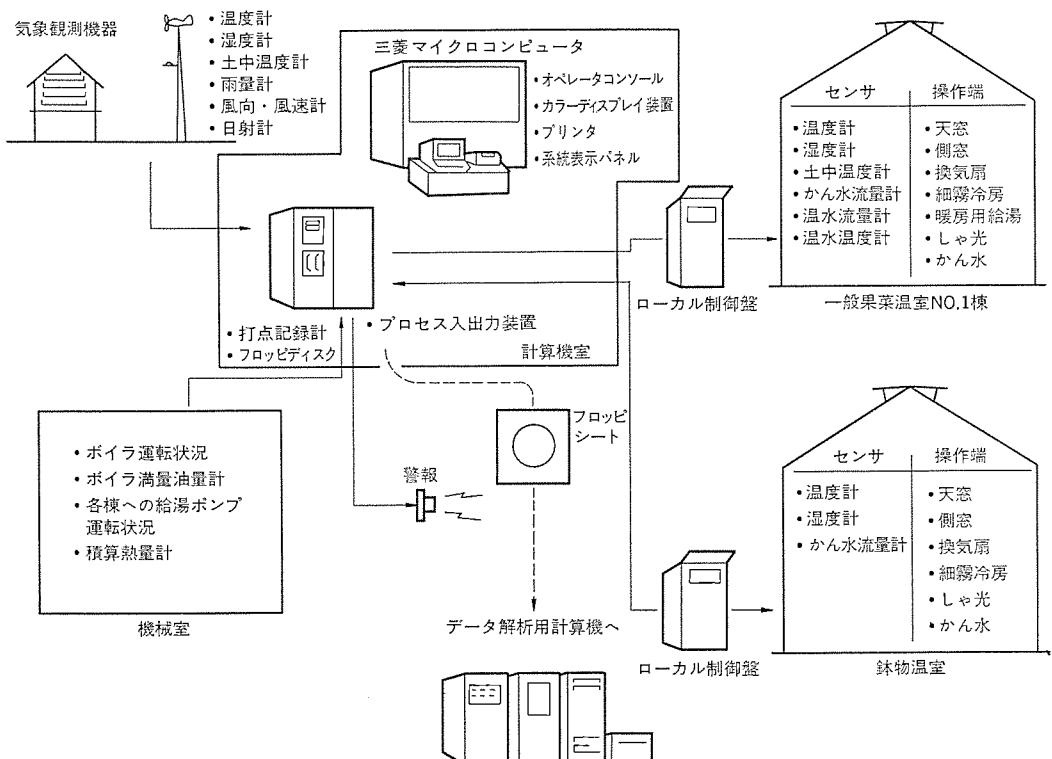


図 2. システム構成図

表 1. 機能一覧

センターシステム		ローカルシステム	
機器名	機能	機器名	機能
マイクロコンピュータ	(1) 温室群の集中制御 (2) 環境計測 (3) キーボード付 CRT によるデータ設定 (4) 設備機器の監視 (5) 計測データの収集と記録	ローカル制御盤	(1) 設備機器の運転制御 (2) 設備機器のモード切替え (3) 設備機器の運転/停止/異常表示 (4) センターシステムとのインターフェース
			温度計 外気温度の検出 湿度計 外気湿度の検出 土中温度計 土中 15~30 cm 深さの温度検出
			雨量計 降水量の検出 風向計 風向の検出 風速計 風速の検出
			日射計 日射量の検出
			温湿度計 温室の温度、湿度の検出 土中温度計 土中の温度検出 灌水流量計 植物への灌水量検出 温水流量計 暖房用温水流量の検出 温水温度計 暖房用温水温度の検出
系統表示パネル			
(1) 設備機器の動作状態表示 (2) 設備機器の警報表示			

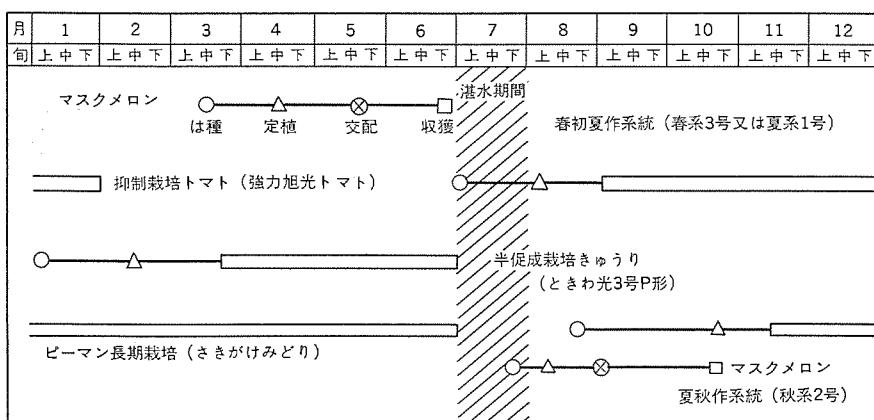


図 3. 一般果菜温室における主要作形と利用体系

るローカルシステムで、環境計測用センサ及び諸設備のインターフェース及び制御を行うものである。これらの装置の基本的な運用方針は植物の栽培と研究を目的とするものであるため、運用の容易性と植物環境変動に対する安全性、データ収集の多様性を十分考慮を入れた設計となっている。運用モードとしては、コンピュータ管理によるコンピュータモード、コンピュータ制御から切り離してローカル側で自由に操作可能なローカルモード及び設備機器の調整時に使用する調整モードの3モードを設け、随时モードの切換えを可能にしている。

コンピュータモードによる運用の場合は、運用者はキーボード付きカラーCRTで画面を見ながら温室内の温度、湿度、日射及びかん水に関するデータを設定することにより、温室内複合環境の計測と制御、設備機器の監視、データ収集と定時記録がコンピュータにより実行される。栽培植物の生長ステージの変化及び当初設定データの不適正などによるデータ修正はキーボード付きCRTにより容易に変更可能である。また、通常用と研究用とで収集データのサンプリングインターバルを自由に選択可能としている。全体のシステム機能一覧を表1.に示す。

システムの特長は次のとおりである。

(1) 1台のマイクロコンピュータによる温室の群管理  
これはソフトウェアの制御ロジック及び植物栽培を十分考慮を入れたキーボード付きCRTのマンマシンインターフェースによって行われる。

(2) 制御システムとデータ処理システムの機能分担  
農場設置のコンピュータは制御主体となり、ここで収集されたデータはフロッピディスクに蓄積されデータ解析用計算機にインプットすることにより解析される。

(3) 自由度の高い運用方式

研究用特殊計測器の接続、データサンプリングタイムの可変及び制御項目の自由な選択など運用者の立場に立った運用方式をとっている。

図3.は、一般果菜温室で栽培される植物の生長ステージの1例を示したものである。

### 3. センターシステム

#### 3.1 センターシステム機器

センターシステムはマイクロコンピュータとオペレータコンソール及

び系統表示盤で構成されている。

コンピュータは工業用及び船舶用計算機として実績を持つ三菱マイクロコンピュータを使用し、制御用入出力装置、マシンコミュニケーション用CRT、記録用ターブライタ、データ収集用フロッピーディスクを実装している。

表 2. センターシステム 機器の仕様

機 器 名		仕 様
制 御 用 計 算 機 盤	C P U	M 5 L 8080 (M 58710 S) 8 ビット並列処理 クロック 1.66 MHz 演算速度 2.4 $\mu$ s 割込 8 レベル メモリ ワイヤメモリ 32 KB IC メモリ 32 KB
	フロッピーディスク	M 892 形 容 量 240 KB $\times$ 2 転送速度 31.2 KB/s
	入 出 力 装 置	アナログ入力 20 点 (60 点) パルス入力 8 点 (30 点) デジタル入力 53 点 (194 点) デジタル出力 38 点 (149 点) ( ) 内は将来計画
オペレータ コンソール	カ ラ ー デ ィ ス プ レ イ	C 3412 形 14 インチカラー 英、数字、記号、片仮名、特殊图形 文字数 横 40 字、縦 32 字
	ブ リ ン ナ	バトミントンタイプ固定キャリッジ 印字数 136 字/行 印字速度 55 字/s
系 統 表 示 盤	自立形照光表示式 設備と計算機のインターフェースリレーを内蔵	

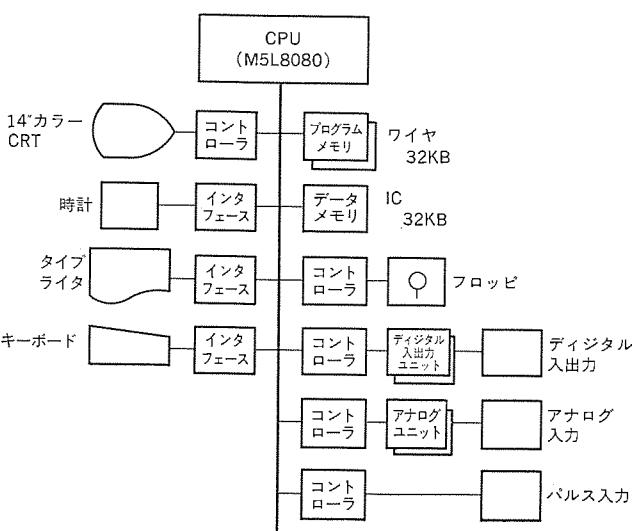


図 4. マイクロコンピュータの ハードウェア構成

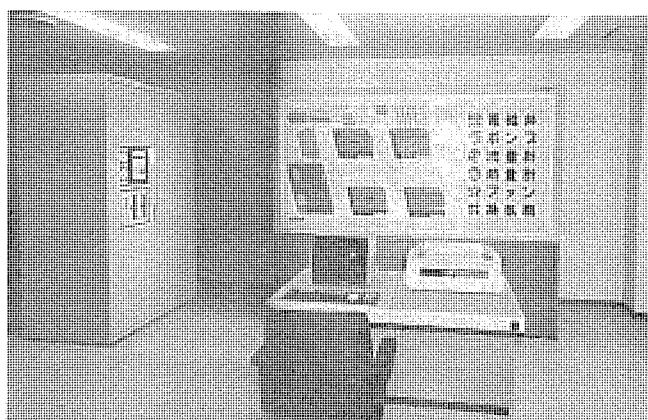


図 5. 計 算 機 室 内

これらの各ユニットにはLSI, MSIを大幅に採用し回路の標準化と構成の簡素化による安定した高信頼性を実現するとともに、将来的な増設に対し容易に対処できるシステムとなっている。

表 2. ICセンターシステム 機器の仕様、図4.に計算機のハードウェア構成、図5.に計算機室内の一部を示す。

### 3.2 センターシステムの機能

センターシステムは複合環境の設定、計測及び制御並びに記録、異常状態発生の表示と記録、操作状態の表示の機能を有している。

#### (1) 複合環境制御

複合環境制御はガラス温室内の気温及び地温を1日のプログラムにより制御する。制御は日変化の設定温度管理パターンを基準にして日射量による補正を行っている。設定は次の3項から成っている。

##### (a) 時間帯 5 パターン (図6.)

第1時間帯……光合成促進時間帯 (早朝加温)

第2時間帯……光合成積極時間帯 (午前中高めの昼温)

第3時間帯……転移時間帯 (午後低めの昼温)

第4時間帯……転流時間帯 (夕方高めの夜温)

第5時間帯……呼吸抑制時間帯 (夜半低めの夜温)

##### (b) 各時間帯における制御目標温度と制御精度幅

##### (c) 日射量補正係数

温度制御パターンを図7.に示す。

日射量の補正是、植物体の基本メカニズムである光合成作用が日射量に大きく左右され、光合成が活発な時 (晴天時) と不活発な時 (雨天時) とで温室内温度を一定に制御する必要はないために加温に要するエネルギーを節約する目的として行うものである。日射補正のパターンを図8.に示す。

温度制御は次の手法によっている。

昇温……暖房用温湯ポンプのON, OFF制御と天窓及び側窓の開閉、2重カーテンのON, OFF

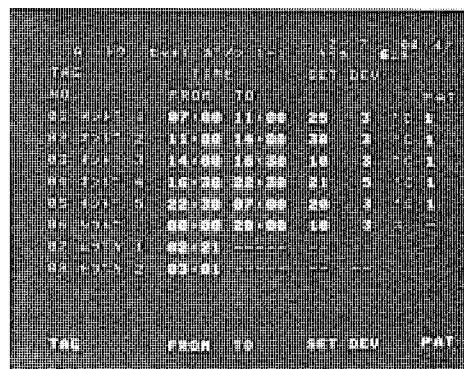


図 6. 設定用 CRT 画面例

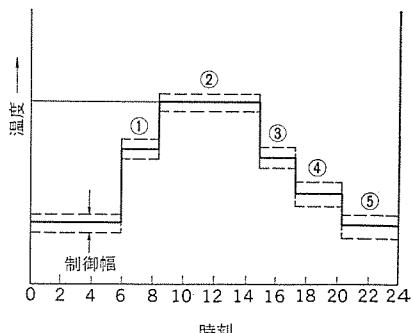


図 7. 温度制御パターン

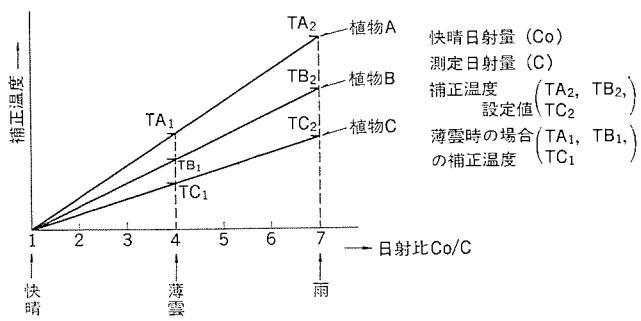


図 8. 日射補正 パターン

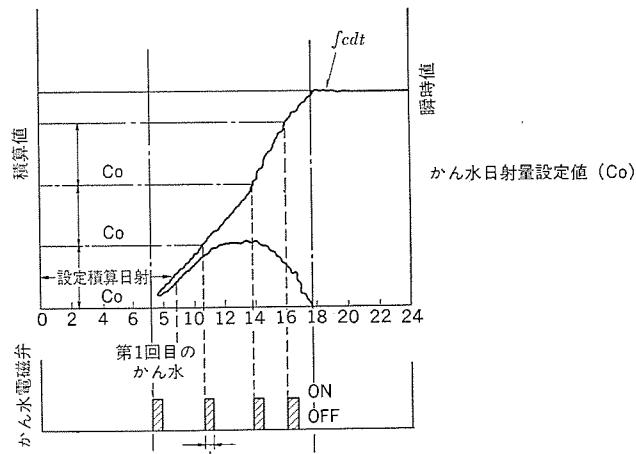


図 9. かん水制御 パターン

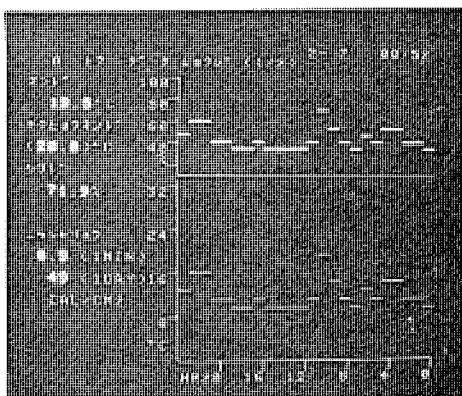


図 10. モニタ用 CRT 画面例

- 降温……天窓及び側窓の開閉と換気扇、細霧冷房設備の運転、停止
- (2) かん水制御  
かん水の制御はコンピュータによる積算日射量の設定値と計測値比較による出力とローカル盤のかん水タイマを併用した制御であり、制御手法はかん水パイプの電磁弁を ON, OFF する方式である。図 9. にかん水制御の方法を示す。
- (3) 計測 (図 10.)  
このシステムでは検証用データを収集して CRT に表示するとともに、定時記録としてタイプライトにより印字を行う。通常は 5 分ごと研究時には 1 分ごとの収集データをフロッピディスクに記憶し、シートを解析用ミニコンピュータに移して研究を行うシステムとなっている。
- 印字記録データは下記のとおりである。
- (a) 温度 (室内) …… 2 棟分

## 5 分ごとの値

- 1 日の平均値、最高値、最低値  
半旬ごとの平均値の平均、最高値の平均、最低値の平均  
月別ごとの平均値、最高値の平均、最低値の平均  
(b) 湿度 (室内) …… 2 棟分  
5 分ごとの値  
1 日の平均値  
半旬ごとの平均値の平均  
(c) かん水量 …… 2 棟分  
5 分間隔の積算値  
1 日の積算値  
半旬ごとの積算値  
月別ごとの積算値  
(d) 加温用温水入口温度、出口温度、温水量  
5 分ごとの値  
(e) 温室内での加温用消費熱量 …… 各棟ごと  
5 分ごとの積算消費熱量  
1 日の積算消費熱量  
半旬ごとの積算消費熱量  
月別ごとの積算消費熱量  
(f) 地中温度 …… 1 棟分  
5 分ごとの値  
1 日の平均値、最高値、最低値  
半旬ごとの平均値、最高値、最低値  
月別ごとの平均値、最高値、最低値  
(g) 日射量  
5 分ごとの値  
1 日の積算値  
半旬ごとの積算値  
月別ごとの積算値

## 4. ローカルシステム

ローカルシステムは 2 章で述べたように、

- (1) 諸設備を管理する ローカル制御盤  
(2) 温室内環境を計測する センサ

に区分される。以下その詳細について説明する。

### 4.1 ローカル制御盤

図 11. にローカル制御盤の外観例を示す。この制御盤は温室ごとに設置され、温室内の設備を一括して駆動制御する。その制御方式は設備ごとに手動モード、コンピュータモード、調整モードの 3 モードがあり選択スイッチにより自由に選択可能にしている。

ローカル制御盤の制御対象としては、①屋根部に設置された室内で暖められた空気を上部から室外に放出するチェーンとギヤモータの組合せにより 4 段開閉する天窓 (手動モードでは任意の位置でコンピュータモードでは 4 段開閉、ローカル自動モードでは単独制御で開閉)、②リンク棒を連結した引戸形態で室外の空気を室内に導入して天窓の機能不足の場合に使用する側窓、③ビニール膜とそれを張るワイヤの組合せにより温室内を保温する 2 重カーテン、④換気扇、⑤ボイラにより暖めた温水を温室内の放熱フィンにより暖房する暖房ポンプ、⑥室内の空気を室外に吸出す換気扇などがある。この制御盤はそれらの設備に対して操作性と安全性を考慮した盤となっている。

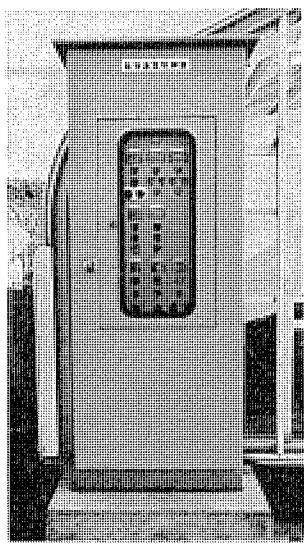


図 11. ローカル制御盤外観



図 13. 操作端の1例 (2重カーテン)

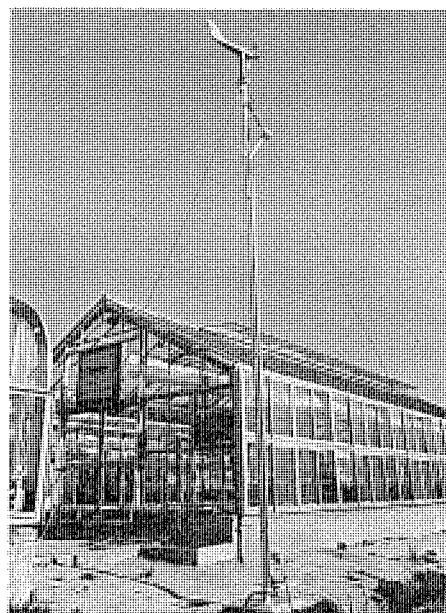


図 12. 気象データ測定装置

#### 4.2 計装設備

図 12. 及び図 13. は計装設備取付例の1つである。このシステムの場合は、第2次産業の プラントシステムなどと異なり、高温、高湿の場所に設置されること、操作が複雑でないこと、構造的にシンプルであることなど第1次産業分野に適したものを使っている。更に、検出器の精度についても広域の1点で全体を判断せざるを得ないことを考慮すると高精度の必要性より適確な判断のできるものを選定するようにした。

このシステムの計測は温室群の室内と気象関係の計測に区分され、温室計測用としては、①乾湿球形温湿度計、②土中温度計、③かん水流量計、④温水流量計、⑤温水温度計

気象関係計測用としては、①外気温度計、②外気湿度計、③土中温度計、④雨量計、⑤風向計、⑥風速計、⑦日射計を装備している。特に、愛媛大学農学部付属農場向けシステムでは、気象関係の検出器

表 3. 計装設備一覧

気象観測機器		温室 内 セ ン サ	
センサ名	仕様	センサ名	仕様
温度計	測定範囲: -50~+80°C 抵抗体: pt 100 Ω at 0°C	乾湿球形温湿度計	測定範囲: 温度 0~60°C 湿度 20~100% RH 方式: 乾湿球式 pt 100 Ω at 0°C
湿度計	測定範囲: 0~100% 方式: 毛髪形	土中温度計	測定範囲: -50~+150°C 抵抗体: pt 100 Ω at 0°C
土中温度計	測定範囲: -50~+150°C 抵抗体: pt 100 Ω at 0°C	灌水流量計	測定範囲: 各種 方式: 接線流羽根車
雨量計	測定値: 0.5 mm/転倒 方式: 転倒式	温水流量計	測定範囲: 各種 方式: 接線流羽根車
風向計	測定範囲: 16方位 方式: 2連ボテンシャル式	温水温及計	測定範囲: 0~150°C 方式: pt 100 Ω at 0°C
風速計	測定範囲: 2~60 m/s 方式: 発電式		
日射計	測定範囲: 0~2 cal/cm/min 方式: 感熱式		

は制御に使用するだけではなく、気象データを周辺住民へ提供することの目的もあり、気象庁認定品を選定した。

表 3. は愛媛大学農学部付属農場向けシステムで使用した計装設備の一覧を示す。

#### 5. むすび

温室の複合環境制御には多くの難かしさがある。制御は各種要因を基に最適環境を求めて制御対象を制御する多変数最適制御であるが、各種要因は非常に多くかつ時々刻々に変動する。その上最終的に制御される栽培植物は生き物であり、生育ステージで最適環境が変動していく。また、マンマシンインターフェースも植物栽培であることを念頭におき、栽培者に使いやすいものでなければいけない。今回開発したシステムはそれらを十分考慮したものであるが、今後もより良いシステムとするため、稼働後も注視し謙虚な気持で当分野の研さん(鑽)に励むつもりである。

最後にこのシステムの開発にあたり、多大の御援助いただいた愛媛大学農学部及び施設部の諸先生方に心より感謝する次第である。

# 高精度アナログウォッチ用C MOS LSI

諸川 滋\*・高橋直樹\*\*・小松武生\*\*・舟越也寿宏\*\*

## 1. まえがき

水晶時計の高精度化が急速に進められている近年、時計の精度は現在一般的な月差10~20秒より年差数十秒というレベルに移りつつある。4.194304MHzのATカット水晶振動子はこの高精度化達成には有効であるが、この水晶振動子を用いたLSIは従来の相補形絶縁ゲート電界効果トランジスタ（以下C MOSと記す）技術では消費電力が数十 $\mu$ Wと大きくなるため腕時計には適さなかった。しかし、高集積度のC MOSのシリコンゲートプロセスを開発し、更に回路的にもレギュレータ回路、発振回路、分周回路などに種々の工夫を行った結果、消費電力が2~3 $\mu$ Wと腕時計用として使用可能なLSIを開発することができたので、ここに報告する。

## 2. 高精度時計の動向

水晶振動式時計が開発されて以来、より一層の高精度化に向かっての進歩は目ざましく、月差10~20秒が一般的となり、更に年差数十秒の高精度の時計が市販されてきている。

現在一般的な月差10~20秒の精度を持つ水晶腕時計には、小形で耐衝撃性の優れた共振周波数32.768kHzの音叉形水晶振動子が広く用いられている。しかし、この水晶振動子の周波数温度特性は上に突きな2次曲線で表されるため、25~50°Cの温度変化に対して数十ppmの“ずれ”を生じ、年間の周波数エージングとして普通2~3ppmを見込まなければならない。したがって、これを用いる腕時計の精度は月差10~20秒程度になっている<sup>(1)</sup>。

1973年頃、温度により容量値が変化するセラミックコンデンサを使用して、温度による水晶振動子の周波数の“ずれ”を補整した腕時計が開発され、精度は月差数秒となった<sup>(2)</sup>。

1978年頃には周波数の温度特性の異なる音叉形水晶振動子を2個使用し、回路的に発振周波数の“ずれ”を温度補償した腕時計が市販され、精度は年差に進んだ。

この間、周波数の温度依存性の少ない良好なATカット水晶振動子を用いることが提唱された。この代表的周波数が4.194304MHzである<sup>(3)</sup>。この水晶振動子を用いた腕時計は高精度ではあるが、4.2MHzと高周波で動作するため、数十 $\mu$ Wと32.768kHzの時計の約10倍の電力を消費し、電池の容量を大きくせざるを得なかつた。これは腕時計の小型化、薄形化という市場動向に逆行するものであったため、ATカット水晶振動子は広く用いられるに至らず、LSIの低消費電力化が待たれていた。

## 3. 時計用C MOS LSI

水晶振動子の安定な振動周期を時間基準として用いる水晶時計の電子腕時計への応用は、低電圧動作、かつ低消費電力の特長のあるC MOS LSIの実用化により可能になった。現在一般的である水晶腕時計は、1.5Vの電池を電源として、32.768kHzの音叉形水晶振動子の発振出力を1/2分周回路により15段分周し、1秒信号を得て

これを秒針、分針、時針に変換して表示するものである。

このように構成されているLSIの消費電力は高周波で動作している発振回路ブロックでの消費電力がほとんどであり、そのほか分周回路などで消費される電力が多少含まれる。

## 4. 高集積度C MOSシリコンゲートプロセス

### 4.1 プロセス開発の意義

LSI中の寄生容量は、これを充放電するときに電流が流れるため、できるだけ小さくする必要がある。この容量はゲート容量と基板との接合容量が主なものと考えられる。したがって、微細パターン化によってゲート面積、接合面積を少なくし、更に単位面積当たりの接合容量を小さくして全寄生容量を削減すれば、充放電電流を低減化することができる。このため、従来のシリコンゲートプロセスを基礎として、微細パターン化、接合容量の低減化を目標にプロセス開発を行った。

### 4.2 プロセス開発

今回の製造プロセスの開発にあたっては、低消費電力実現の面から各種寄生容量のうち、特に①単位面積当たりの接合容量の低減、②構成素子サイズの縮小による接合面積及びゲート容量の低減に主眼をおいたプロセス設計を行った。

前者については、pウェル領域内部に構成されるn<sup>+</sup>拡散とpウェル間の接合容量の低減化が最も重要となる。このため、不純物濃度5×10<sup>13</sup>(1/cm<sup>3</sup>)のn形シリコン基板を採用することにより、pウェル表面濃度を従来プロセスの1/5~1/10にし、単位面積当たりの接合容量として約1/2~1/3の低減化を実現した。低濃度シリコン基板の採用に伴って特にpチャネル素子の短チャネル化を阻害するパンチスルーハンマーリングとなるが、イオン注入による浅いソースドレイン接合の形成技術(0.5 $\mu$ m)、薄いゲート酸化膜形成技術ディープチャネルドープ技術など周知の手法を導入して、実効チャネル長2 $\mu$ mを実現できた。

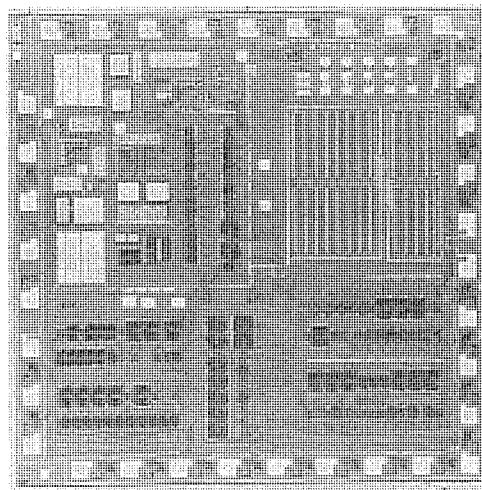


図1. 開発したLSIチップ

後者の接合面積及びゲート容量の低減に関しては、 $3\text{ }\mu\text{m}$ を基調とした微細パターンの加工技術の採用と上述の短チャネル化によるトランジスタサイズの縮小化で大幅な改善を行った。図1.に開発したLSIのチップ写真を示す。

## 5. 低電流化の工夫

### 5.1 概要

電流を低減化するために種々の回路工夫を行った。ブロック図を図2.に示す。

発振電流が電源電圧によって変化するのを抑制するため、従来用いられている発振回路を使用せず、レギュレータの基準電圧を利用したB級プッシュプル形の発振回路を用いた。また、分周回路の入力振幅が小さくしても動作するように従来とは異なった自走周波数を発振周波数でロックするタイプのダイナミック分周回路を採用した。更に、温度上昇に伴うレギュレータの基準電圧の変化を補償する温度補償回路を設けて、発振回路及び分周回路の動作マージンの低下を防いだ。更にモータ負荷補償回路を用いて、ステップモータに消費される電力をも少なくするなどし、あらゆるところで消費電力の低減化を図った。以下、各々について説明する。

### 5.2 レギュレータ

レギュレータにおいて、電源電圧の変動に対して一定となる基準電圧を作成し、この電圧を発振回路のバイアス電圧、ダイナミック分周回路のバイアス電圧、温度補償回路のバイアス電圧に変換して用いている。

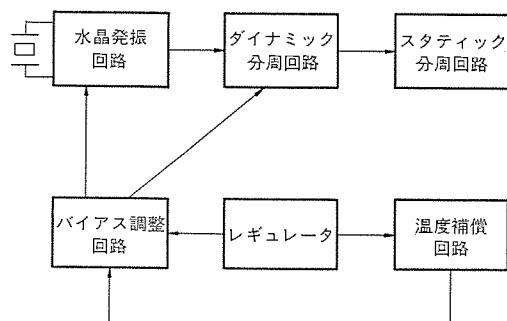
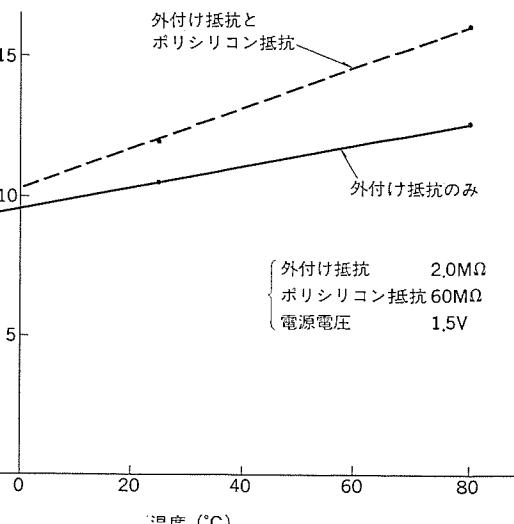
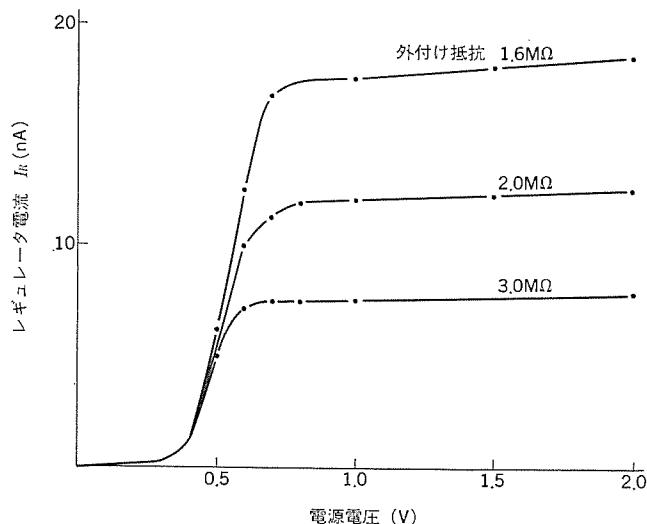


図2. ブロック図



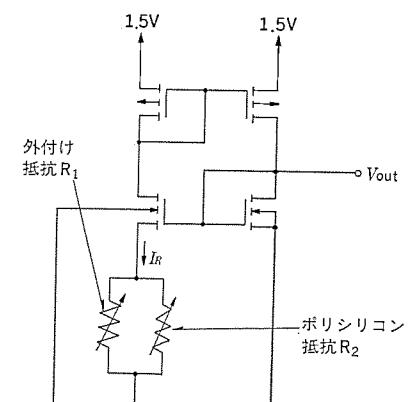
回路構成は図3.に示すとおりカレントミラー回路を2段続続接続した形になっており、外付け抵抗  $R_1$  の大きさを変えることによりレギュレータ電流  $I_R$  を図4.のように調整することができる。また、レギュレータ電流特性は図5.の実線のようになるが、高温時にはトランジスタの移動度の低下のため、このままででは発振回路及び分周回路の動作マージンが低下する。このため、温度上昇に対し抵抗値が指數関数的に減少するポリシリコン抵抗  $R_2$  を外付け抵抗  $R_1$  と並列に接続し、図5.の破線のように高温時に電流増加を促すことにより動作マージンの低下を補った。

### 5.3 発振回路

pMOSのゲートとnMOSのゲートとの間に容量を接続し、各々のトランジスタのゲートを別個にバイアスし、かつ各々のバイアス電圧が電源電圧の変動に対して変化しないような回路構成とした。発振回路を図6.に示す。

すなわち、pMOS1のバイアス電圧としてレギュレータより得られた電源電圧の変動に対して一定の電圧を印加し、一方nMOS2のバイアス電圧は、nMOS2のゲートとドレインを高抵抗素子で接続して、nMOSのスレッショールド電圧に設定した。このため、電源電圧の増加に対して両トランジスタのバイアス電圧はほぼ一定であり、発振回路は常にB級動作するために発振電流が低減化できる。

この発振回路の発振電流の測定値を図7.に示す。従来の発振回路を用いた場合の発振電流特性は図7.の破線で示すとおり電源電



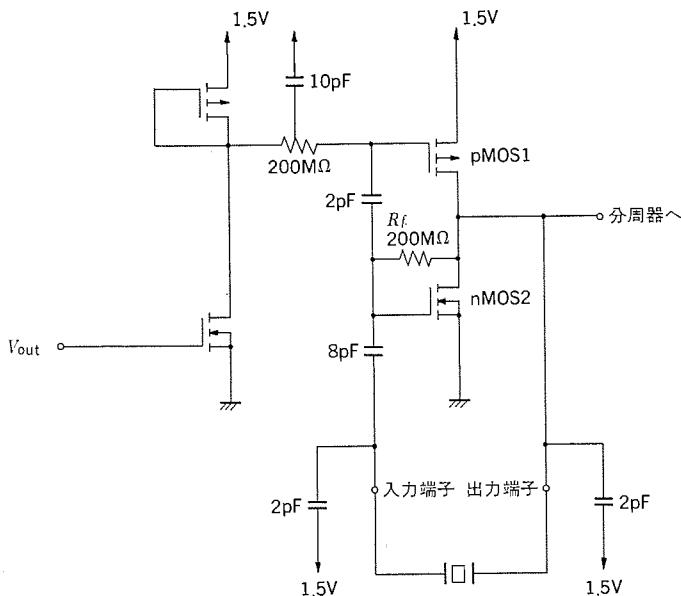


図 6. 発振回路

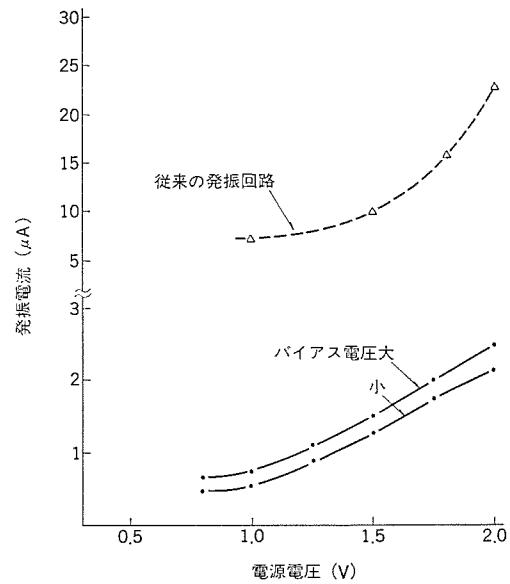


図 7. 発振電流特性

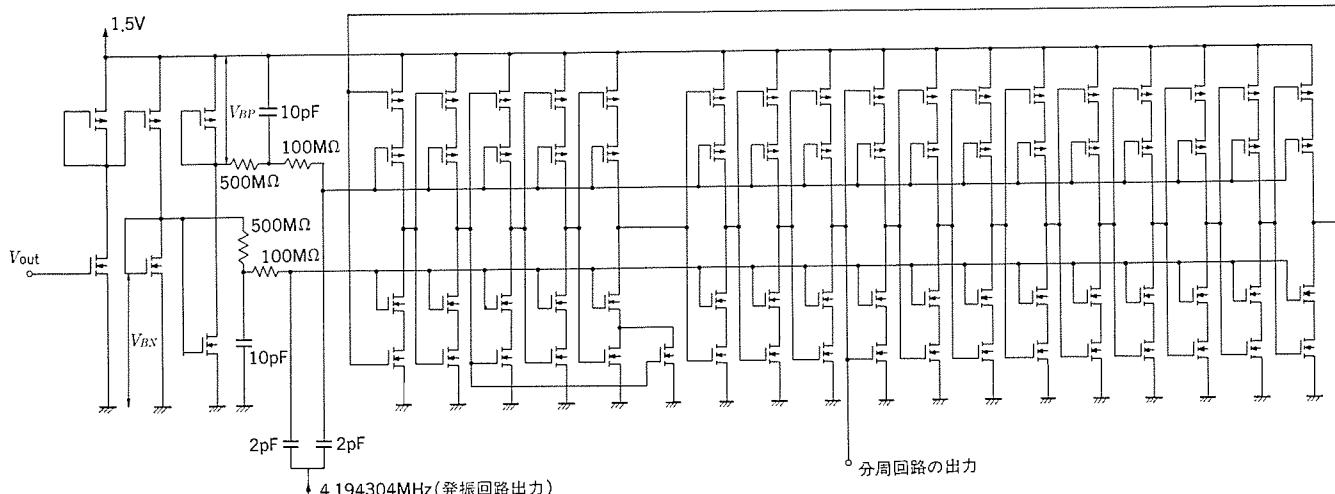


図 8. ダイナミック分周回路

圧の上昇 1.5V に対して約  $10 \mu\text{A}$  と急激に増加するのに対して、図 6. の発振回路を用いることにより、電源電圧の上昇 1.5V に対して 1.0~1.5  $\mu\text{A}$  と電流増加を少なくすることができた。

#### 5.4 ダイナミック分周回路

図 8. に開発したダイナミック分周回路の回路図を示す。これは発振回路で得られた 4.194304 MHz の信号を 1/16 に分周して、262.144 kHz の信号を得てスタティック分周回路を駆動するものである。

寄生容量の充放電に要する電流は動作周波数と寄生容量の積に比例するため、一挙に 1/16 に分周した周波数で動作する回路及び LSI の内部寄生容量が少ない今回開発したプロセスは有効である。

更に、電源電圧の変動に対して分周電流を一定に保つため、pMOS と nMOS とを別個にバイアスし、かつ各々のバイアス電圧が電源電圧の変動に対して変化しないようにした。このときのバイアス電圧は調整端子によって発振回路からの入力信号がないときの分周回路の自走周波数が 262 kHz になるよう調整した。

図 9. に、自走周波数とバイアス電圧の関係の 1 例を示す。図 9. より pMOS, nMOS のバイアス電圧が高くなると、トランジスタがよりオンする状態に近づくため自走周波数が高くなる。また、バイアス電

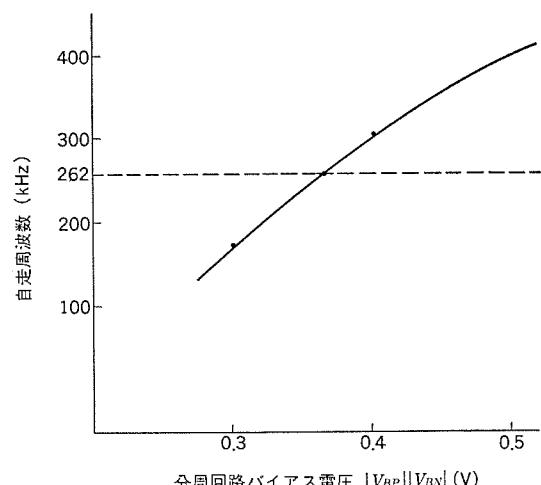


図 9. 分周回路のバイアス電圧による分周回路自走周波数の変化

圧が低いときはトランジスタがオフ状態に近づくため自走周波数は低くなる。

このように、自走周波数が 262 kHz になるようにバイアス電圧を調

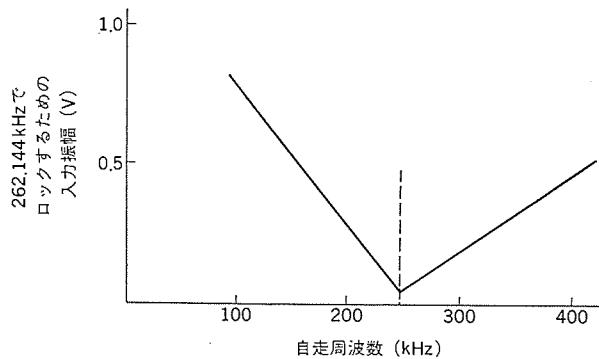


図 10. 分周回路の自走周波数と 262.144 kHz で  
ロックするための入力振幅

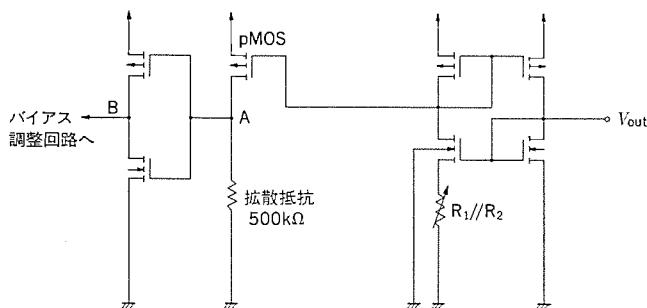


図 11. 温度補償回路

整する理由は、自走周波数と入力振幅の関係を図10.に示すように発振回路からの出力振幅（これは、分周回路の入力振幅となる）が小さくても分周回路が4.2MHzの信号を分周することができるようになるためである。つまり、自走周波数を262kHzになるよう分周回路のバイアス電圧を設定していると、発振回路の発振電流を減らすため発振回路のバイアス電圧を最適化した結果、発振回路の出力振幅が小さくなっても4.2MHzの発振回路の信号を安定に分周することができる。

## 5.5 温度補償回路

5. 2 節で説明したように、高温時にはトランジスタキャリヤの移動度が低下するため、発振回路及び分周回路の動作マージンが不足して動作しなくなる危険性が生じる。この危険性をなくすため、前述のようにレギュレータにポリシリコン抵抗を用いて補償する手段をとっているが、更に安全を期するために 50~60°C の温度を検出しロジックレベルで発振回路及び分周回路の動作マージンの低下を補償するものが温度補償回路である。その回路図を図 11. に示す。

温度検出には低濃度の拡散抵抗を用いている。この拡散抵抗は温度上昇に伴い抵抗値が増加する特徴があるので、温度が上昇すると接続点Aは次第に高電位となり、50~60°Cで出力インバータが反転して出力点Bは低電位となる。この信号はバイアス調整回路に伝えられ、発振回路のバイアス電圧とダイナミック分周回路のバイアス電圧を変化させて、高温時の発振及び分周の動作マージンの低下を補償できる。

## 5.6 負荷補償回路

電子時計ではステップモータを駆動するときに大電力(500~1,000  $\mu$ W)が消費されるので、これを小さくするために駆動パルスのパルス幅を極力小さくする方向にある。しかしながら、このために電池電圧の低下や何らかの原因でステップモータが回転せず、正しい時刻を表示できなくなる可能性が生じる。そこで、ステップモータの回転の有無を検出し、非回転のときは確実にモータが回転するパルス幅の大きいパルス

スを追加出し、時刻の遅れをなくするという負荷補償回路をもうけた。

## 6. む す び

時代のニーズにこたえ、周波数温度特性の良好な AT カット水晶振動子を用いて低消費電力の腕時計用 LSI を開発するにあたり、下記に示すようなプロセス及び回路的な工夫を行った。

- (1) 高集積度の C MOS シリコンゲートプロセスを開発し、LSIに含まれるゲート容量、接合容量などの寄生容量を削減し、充放電電流を低減した。
  - (2) レギュレータで定電圧をつくり、これを発振回路、分周回路、温度補償回路のバイアス電圧とした。
  - (3) 発振回路での発振電流を低減化するため、pMOS, nMOSをそれぞれ別個にバイアスし、B級 プッシュプル形の発振回路とした。
  - (4) 分周回路の分周電流を低減化し、動作マージンを確保するため pMOS, nMOS を別個にバイアスし、自走周波数が水晶発振時に動作する時と同じになるようにバイアス電圧を調整した。
  - (5) 発振回路、分周回路の動作マージンが高温時に低下するのを補償するため、2つの手段で温度補償を行い、高温時の動作マージンを確保した。

(a) 温度上昇に伴い抵抗値が減少するポリシリコンを抵抗として、レギュレータに組込んだ。

(b) 温度上昇に伴い抵抗値が増加する拡散を抵抗として用い, 50~60°C でバイアス電流が増加するように, ロジック的に回路を構成した。

この結果、消費電力が  $2 \sim 3 \mu\text{W}$  の腕時計用 LSI を開発することができた。また、この LSI を用いた時計の周波数温度特性は図 12. に示すように年差数秒程度の精度を保証できるものである。

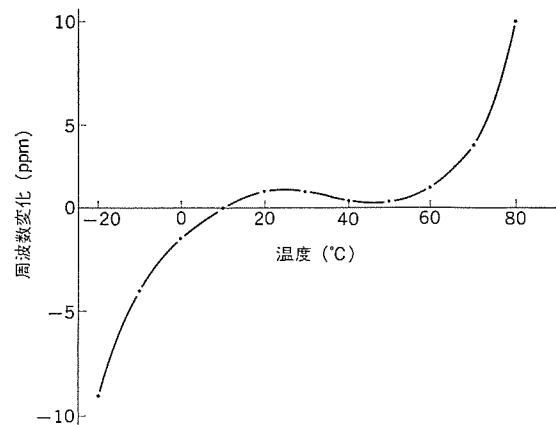


図 12. 発振周波数の温度変化

## 参 考 文 献

- (1) 吉田ほか：腕時計用 プラノコンベックス形 AT 板水晶振動子の開発, 日本時計学会誌, No. 94 (1980)
  - (2) 赤羽, 小河：ツインコートによる高精度腕時計の開発, 日本時計学会誌, No. 89 (1979)
  - (3) 山下ほか：4.19 MHz 矩形 AT カット 水晶振動子の小形化日本時計学会誌, No. 89 (1979)

# FM電流差動キャリアリレー装置

鈴木健治\*・畠田 稔\*・鈴木 愿\*・東 信一\*・野口好朗\*

## 1. まえがき

電力需要の増大に伴い、送電系統の大容量化や多端子化、電源の遠隔化が進む一方、保護リレーに要求される責務は高速度・高感度及び高信頼度の面でますますか(苛)酷なものになってきている。

FM 電流差動 キャリアリレー 装置は キルヒ霍フ 第1の法則による差動原理にもとづく理想的な保護方式を採用しており、①負荷電流の影響を受けにくい、②両端可変電源系統・多端子系統に適用できる、などの特長を有している。信号伝送系を含めた総合動作信頼度も従来の位相比較 キャリアリレー 方式と比べると、高性能な雑音検出方式の適用により大幅な向上が可能となり、主幹系統保護用として最適な保護リレー 装置であるといえる。

当社では昭和45年世界に先がけてフィールドテストを開始し、数々のフィールド経験を経て積上げた技術と階層モデルによるハードウェア『MULTIFLEX』によりこの装置を完成し、このたび中部電力(株)、九州電力(株)向け装置を製作・納入したので以下にその概要を紹介する。

## 2. FM 電流差動キャリアリレー開発の背景

従来から送電線保護として用いられている方向比較や位相比較方式では、2端子送電線の場合は保護区間内部に発生した故障をほぼ確実に検出し得るが、3端子送電線の場合には内部故障時に故障電流が流出するなど2端子の場合に見られない現象が生じるため、系統の運転状況、故障点の位置、故障の形態などによってその適確な検出が困難である。これらの諸問題を一挙に解決することのできる差動原理にもとづくFM電流差動キャリアリレーはパイロットワイヤリレー方式のようにワイヤこう(亘)長の制約や絶縁の問題もなく、信号伝送路も位相比較方式で使用されている伝送帯域をそのまま使用できる特長を有しているが、マイクロ波回線で発生する伝送路障害に対し対策

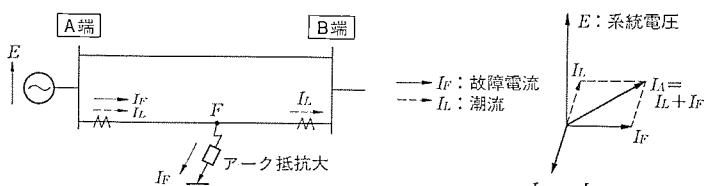


図 1. 大容量送電線における電流

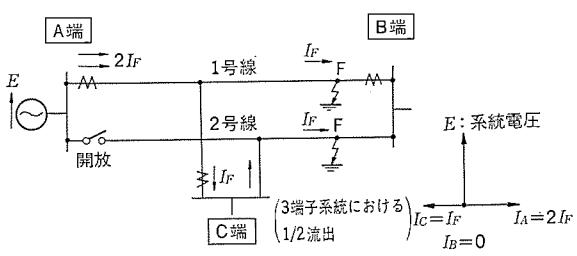


図 2. 内部故障時の流出電流

が必要であり、開発・実用化にあたっては特にノイズ・瞬断対策に重点が置かれた。

## 2.1 内部故障検出を困難にする要因

大容量送電線や3端子送電線では、内部故障であるにもかかわらず、故障回線から故障電流や負荷電流が流出することがある。図1.は内部故障のある大容量送電線における負荷電流の流出を示したもので、F点の故障でアーカー抵抗が大きく、故障点に系統電圧が残ると負荷電流が流出する。また、図2.は3端子送電線の2号線をA端子で開放している状態で、2回線同時故障が発生した場合の電流を示した例であるが、1号線側で見るとC端子の電流が流出しており、流出電流は流入電流の50%にも達することが考えられる。

## 2. 2 従来リレー適用上の問題点

以上のように内部故障時、流出電流が発生するような系統の保護リレー方式として方向比較又は位相比較キャリアリレー方式を適用した場合は、流出端リレーの検出感度を流出電流で動作しないような高整定（低感度）とし、あたかも流出電流がないとみなすようにする必要があり、故障検出能力が大幅に低下する。また、位相比較方式は動作原理上、多端子系統への適用は不可能であり、両端可変電源系統への適用も制約が多い。

表 1. に FM 電流差動 キアリアリレー と 位相比較 キアリアリレー の 性能上 の 比較を示す。

### 2.3 研究・開発の経緯

ノイズ・瞬断対策の性能検証を主目的として、実系統においてマイクロ波回線と接続してフィールドテストを実施し、各種ノイズ検出方式の比較検証を行った結果、各相チャネルにおける受信レベル監視とFMノイズ監視及びノイズ検出専用チャネルにおける零相チェック監視が最も

表 1. FM 電流差動 キャリアリレー と 位相比較 キャリアリレー の 比較

NO.	項目	FM電流差動キャリアリレー	位相比較キャリアリレー
1	対負荷線路保護  	動作原理上OK  	流出電流が大きいと保護不能  
2	長距離線路保護  	両端可変扱いOK  	(1)3チャネル (L送り日付定) (流入端のみトリップ)、両端トリップ    (2)6チャネル (L送り日付定)×2 (流入端のみトリップ)、両端トリップ  
3	微地絡故障検出  	零相差動保護機能内蔵	(1)各相方式 (2)零相位比較 SLHで感度 1チャネル追加制限  (2)1チャネル追加制限 両端可変対策必要
4	多端子系統保護  	動作原理上OK  	適用不可能

優れた監視方式であるとの結論に達し、実用機に採用することになった。

### 3. FM 電流差動キャリアリレーの動作原理

FM 電流差動キャリアリレーは、各電気所の各相ごとの電流波形を周波数変調 (FM=Frequency Modulation) 方式により伝送し、電流ベクトルを総合してキルヒホフ第1の法則により判定する方式で、動作原理上、従来の位相比較キャリアリレーや方向比較キャリアリレーでは対応しきれない多端子系統や重潮流系統などの保護にも適用できるものである。

#### 3.1 基本原理

各端子の電流  $i_A, i_B, i_C$  は周波数変調されて相手端子へ伝送される。例えば、C端ではA端B端より伝送されたFM信号を復調し、自端電流と共に動作判定部で所定の演算を行い、差動出力が一定の大きさ  $K$  よりも大きい時に内部故障と判定する。差動出力は平常時又は外部故障時には区間内充電電流に相当する小さな値となり内部故障時には故障点電流に相当する大きな値となるため、故障検出感度を大幅に向上させることができる(図3.)。

#### 3.2 周波数変調の原理

FM 電流差動キャリアリレーでは、各端子の電流波形を周波数変調して音声帯域の信号に変換する回路をリレー回路に内蔵しており、音声

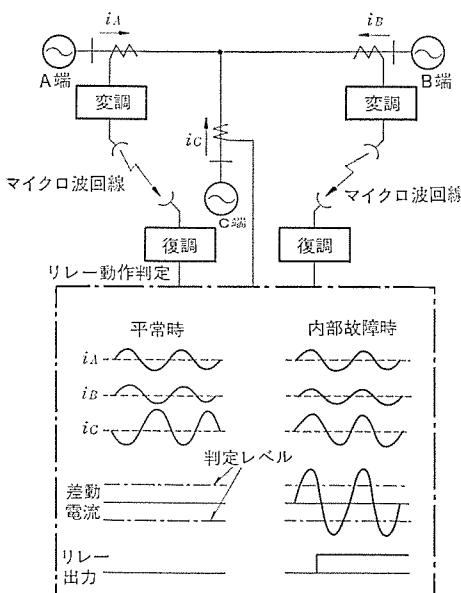


図3. FM電流差動の原理

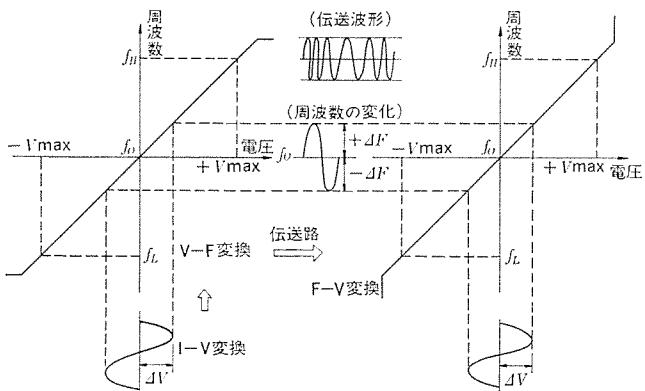


図4. 周波数変調の原理

帯域の信号は搬送端局装置に直結できるため、従来の位相比較キャリアリレーで必要とした信号端局装置は不要となっている。

周波数変調は電流の瞬時値を周波数の変化に置き換える方式で、入力電流は I-V 変換で電圧に変換され、この電圧の変化分  $\Delta V$  が V-F 変換器により周波数の変化として出力される。相手端ではこれを復調し、再度電圧信号に変換し、動作判定部に入力される。

$f_0$  は中心周波数、 $f_H$  及び  $f_L$  は各々上限及び下限の周波数であり、伝送路遅延時間及び信号伝送の直線性より、音声帯域での周波数偏移幅を  $1,900 \pm 1,000 \text{ Hz}$  ( $f_0 = 1,900 \text{ Hz}$ ,  $f_H = 2,900 \text{ Hz}$ ,  $f_L = 900 \text{ Hz}$ ) としている。したがって、伝送波形は商用周波数の電流波形が音声帯域周波数の粗密の繰返し波形として、信号端局装置と受渡しされる(図4.)。

#### 3.3 動作判定式

差動保護の動作を決定する動作判定式は、従来の母線保護リレーと同じで、内部故障時は抑制力を零として強力な動作力を得、外部故障時は大電流域での CT 鮫和対策として強力な抑制力を発生させるよう考慮し、式(1)のように構成している。

$$|\sum i| - k_1 |\sum i| - \eta |\sum i| + - \{ \sum i - \mu K \}^+ - k_2 |i_e| > K \quad \dots (1)$$

動作力      抑制力 1      抑制力 2      抑制力 3      タップ 値

$$|\sum i| = |i_A + i_B + i_C|$$

$$|\sum i| = |i_A| + |i_B| + |i_C|$$

$k, \eta, \mu$  : 抑制係数

$k_2 i_e$  : 総合誤差項 ( $i_e = 3i_0 - 3i_0'$ )

$$\{G\}^+ = \begin{cases} G : G \geq 0 \\ O : G < 0 \end{cases}$$

#### 3.4 比率特性

動作判定式の抑制係数  $k, \eta, \mu$  により流出電流が 50% であっても保護可能とするため、比率特性を図5. のように設定しており、タップ値の 6 倍以上の流出電流に対しては特性をフラットにして、大電流時の CT 鮫和による誤差電流での不要動作を抑止している。

また、動作判定部において  $120^\circ$  判定を行って、位相比較キャリアリレーと同じように、外部故障時の CT 鮫和による電流位相差を考慮した位相特性としている。

#### 3.5 システム構成

2 端子系統、各相電流差動のシステムブロックを図6. に示す。各端子において各相ごとに CT 電流を I-V 変換し、V-F 変換器によって周波数変調したのち、FM ノイズ監視用パイロット信号を重複して、伝送回線 ch 1 ~ 3 により相手端へ伝送する。また、各相電流和により  $3i_0$  を求め極性を反転して V-F 変換し  $-3i_0'$  として、伝送回線 ch 4 により相手端へ伝送する。

相手端では受信信号から FM 主信号 ( $1,900 \pm 1,000 \text{ Hz}$ ) を BPF に

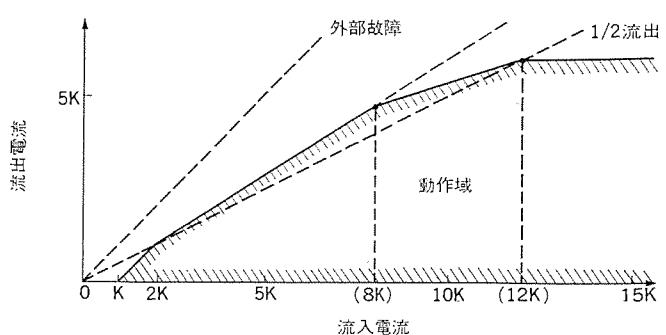


図5. 比率特性

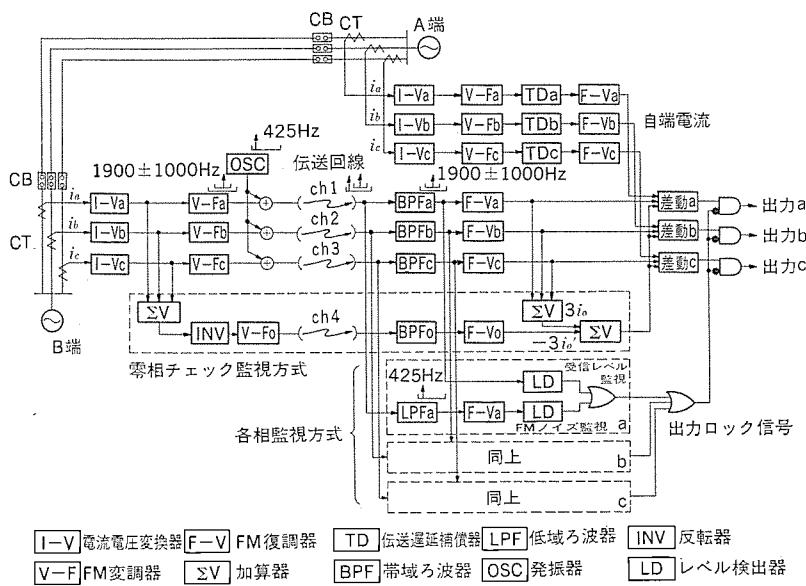


図 6. FM 電流差動 キャリアリレーシステムブロック図

よって取出し、F-V 変換して差動演算入力とする。パイロット信号は LPF によって FM 主信号と分離され、ノイズ検出用として使用する。ch 4 により伝送された  $-3i_0'$  は、ch 1～3 により伝送された各相電流の和で求めた  $3i_0$  と照合して、誤差電流 ( $i_e = 3i_0 - 3i_0'$ ) は抑制力として差動演算部に入力される。

一方、自端電流は V-F 変換ののち伝送遅延補償を行い、F-V 変換して差動演算部に入力される。

#### 4. 電流差動リレーの性能と構成

電流差動リレーの一般性能を表 2. に、動作スピードを図 7. に示す。

##### 4.1 高調波対策

系統故障電流の中に商用周波数以外の高調波が含まれ、故障電流波

表 2. 一般性能

項目		性能・仕様
CT 回路	定格電流	5A 又は 1A
	定格周波数	60Hz 又は 50Hz
制御回路	定格電圧	DC ±12V
	許容変動範囲	DC ±10.5V ±13.5V
整定範囲	電流	0.5～0.7～1.0～1.4～2.0A
	伝送遅延	0～4.0ms (0.01ms ステップ調整可能)
特性	比率特性	50% 流出があっても動作可能 (図 5.)
	動作時間	①差動リレー 200% 入力時 25ms 以下 (図 7.) ②リレー装置 200% 入力時 2 サイクル以下、伝送遅延 4ms 含む
信号伝送	伝送方式	周波数変調方式 中心周波数 $f_0 = 1,900\text{Hz}$ 最大周波数偏移 $\Delta f_{\text{max}} = 1,000\text{Hz}$
	受渡しインピーダンス	600Ω ±20% 平衡
	送信レベル (リレー出ロ)	0～-31dBm, 0.5dB ステップで調整可能
	受信レベル (リレー入ロ)	0～-22dBm, 0.5dB ステップで調整可能
	所要伝送路	各相電流差動……3チャネル 零相電流差動及び零相チェック監視……1チャネル
耐圧	AC 2,000V 商用周波数 1 分間 (端子一括アース間)	
規格	JEC-174, 電力規格 B-401	

形がひずむ現象が問題となっているが、FM 電流差動リレーでは以下のように対処している。

##### (1) 差動原理による効果

各端子電流の合計値で判定するため、基本波成分が大きくなり、相対的に高調波の影響が小さくなる。

##### (2) 高調波対策 フィルタ

入力部で高調波をカットした上で V-F 変換するため、高性能 アクティブフィルタを内蔵しており、入力電流一復調出力間のフィルタ効果も考えあわせると、復調された波形はほぼ基本波成分となる。

#### 4.2 微地絡検出能力

零相電流差動リレーは、各相位相比較リレーや各相電流差動リレーに比べて、潮流の影響を受けず高感度に微地絡故障を検出でき、樹木接触などによる高抵抗地絡故障を高速度・高感度に検出し、故障区間を選択しや断することが可能である。

実系統をモデルとする微地絡故障のシミュレーション結果より、各リレー方式の応動状況の 1 例を図 8. に示す。故障点抵抗が大きくなると故障電流が低下し、潮流が大きくなると流出電流が大きくなつて、各相位相比較リレー や各相電流差動リレーでは検出感度が低下するのに対し、零相電流差動リレーでは潮流に影響されず高感度に故障検出することができる。

零相チェック監視方式により伝送する  $3i_0$  を使用すれば、伝送チャネルを増設することなく、零相電流差動機能を内蔵することができる。

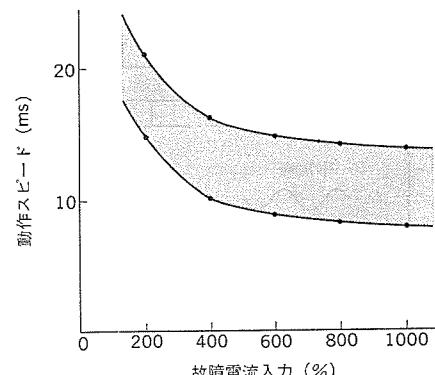


図 7. 動作スピード

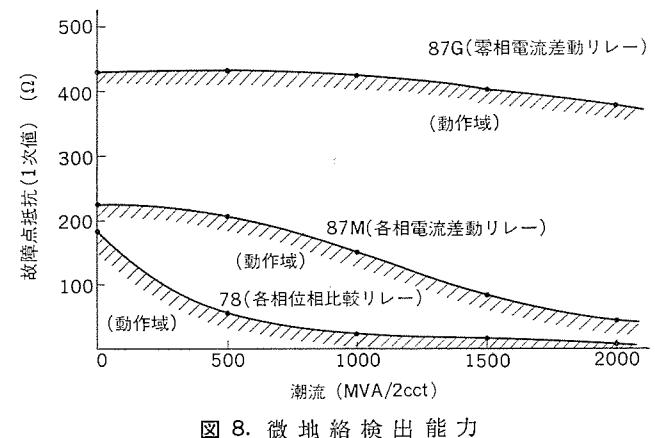


図 8. 微地絡検出能力

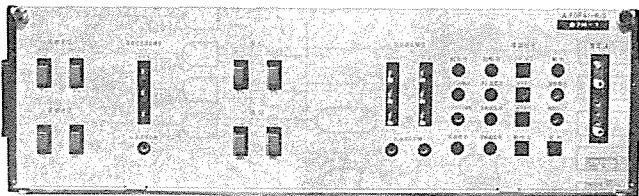


図 9. 電流差動リレーの外観

#### 4.3 構成

電流差動リレー 1 相分の外観を図 9. に示す。1 相分の全機能を 1 つのユニットに収納し、電流タップ整定、伝送遅延補償整定、動作・ノイズ検出状況確認、シーケンステスト、信号波形測定、V/F テスターとの組合せがすべてリレー正面より容易に行なうことができる。

#### 5. ノイズ・瞬断対策

FM 変調方式は原理的にノイズに強い方式であるが、マイクロ波回線で発生するフェービングや無線機などの制御電源の急変などによって外乱が生じると、周波数変動として影響を受け、F-V 変換器の出力にノイズ電圧が発生して、この値が大きければ差動リレーが不要動作することがある。この対策としてノイズや瞬断を高速度で検出して差動リレーの出力を阻止するようにするとともに、阻止時間は極力短縮して系統保護機能を低下させないようにする必要がある。

この装置では、独創的で極めて動作信頼度の高い、大別して 2 つの監視方式により、電流差動リレーと協調のとれたノイズ・瞬断対策を実施している(表 3.)。

##### 5.1 各相監視方式

各相チャネルの音声帯域内の副搬送波を監視し、ノイズ・瞬断により副搬送波が振幅変化として乱される場合と、周波数変動として乱される場合を別々に検出し、各相 OR にし差動リレーの出力ロックに使用する。

###### (1) 受信レベル監視

音声帯域内の副搬送波の受信レベルを監視するもので、マイクロ波回線のフェービングなどによる信号の瞬断などに有効に作用する。

###### (2) FM ノイズ監視

音声帯域内に一定周波数の信号( $f_{PL}$ )をパイロット信号として重複させ、音声帯域内の副搬送波の周波数ずれを監視するもので、このパ

イロット信号を送信側で各相ごとに電流信号と同じ音声帯域内に混合するため、ノイズ侵入が相によって異なっても確実に検出できる利点がある。

#### 5.2 零相チェック監視方式

V-F 変換器、伝送回線、F-V 変換器を含んだ広い範囲の監視を目的としたもので、監視に冗長性を持たせている。送信側で各相電流から演算され、ch 4 で伝送された零相電流  $3i_0'$  と ch 1 ~ 3 で別々に伝送された各相電流  $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$  を受信側で演算チェックして、 $i_e = i_a + i_b + i_c - 3i_0'$  を合成すれば、伝送回線及び変換器が正常な時には出力は零となる。ノイズ・瞬断が発生したり変換器に異常が発生した場合には、この合成出力は零とならず総合誤差となって現われ、差動リレーにはこの総合誤差  $i_e$  を  $k_e$  倍して抑制力として加えノイズの量に比例した抑制力で動作判定演算を制御する。

#### 5.3 監視範囲と動作協調

各監視方式の監視範囲を図 10. に示す。また、ホワイトノイズ重複及び伝送路瞬断時の動作オシログラム例を図 11. に示す。オシログラムでは

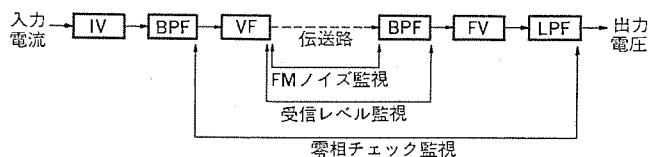
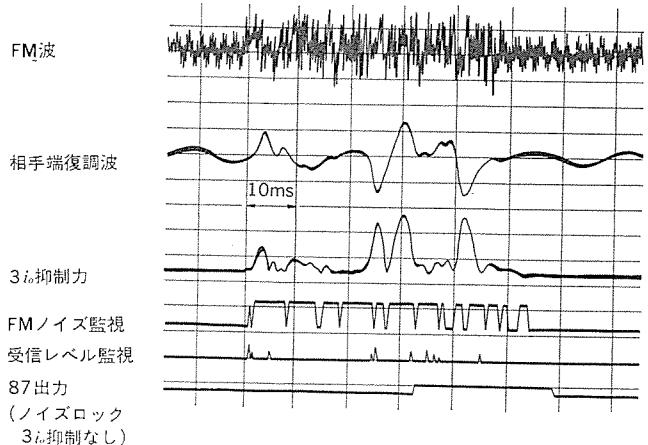
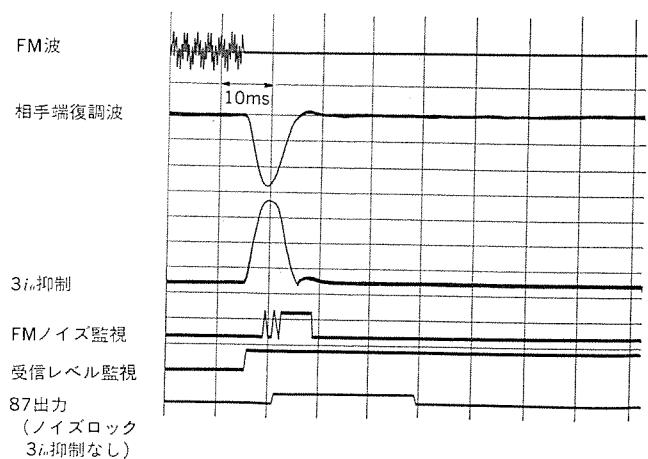


図 10. 監視範囲



(a) ホワイトノイズ重複オシログラム ( $S/N = -10 \text{ dB}$ )



(b) 伝送路瞬断オシログラム

図 11. 動作協調

表 3. 伝送路監視方式

監視方式	原理	ノイズ対策	整定値	根拠
各相監視	副搬送波(FM波)のレベル低下監視 監視レベル FM変調波	ノイズロック方式	10dB 低下	フェービング等によるFM波の瞬断及び回線断の監視
	$f_L, f_H, f_{PL} = 425\text{Hz}$ ノイズ検出したとき、差動リレーをデジタル的にロックする	$f_L = 395\text{Hz}$ $f_H = 455\text{Hz}$ ( $\pm 30\text{Hz}$ )	FM波の周波数ずれ等のまざらわしいノイズ監視	
零相チェック監視	$3i_0$ 抑制 各相電流 $i_a, i_b, i_c$ と零相電流 $3i_0'$ の差を演算して差動リレーを操作する。 ※1: $i_a + i_b + i_c - 3i_0' = 0$ ※2: $i_a + i_b + i_c - 3i_0' \neq 0$	ノイズ抑制方式 (ノイズ検出したとき差動リレーにアログ量で抑制力を付加する。)	$k_e  i_e $ ただし $i_e = i_a + i_b + i_c - 3i_0'$	V-F変換、伝送路 F-V変換を含んだ広い範囲の監視

注※1  $-3i_0'$ にして送信したのは、各相と零相とに同極性のノイズが侵入したとき  $i_e = 0$  とならなくするためである。

※2 抑制方式にした理由は、ノイズ量に比例した抑制力で比率特性を制御して、過ロックとなるのを避けるためである。

差動リレーとの協調を明確にするため、各監視によるロックと抑制を除外しており、十分な動作協調のとれることを示している。

## 6. 装置の構成

各相電流差動機能に加え、微地絡故障検出用零相電流差動保護・高速度多相再閉路・休止端対応シーケンス・自動点検・常時監視などの機能を組合わせて装置を構成することができる。

### 6.1 構成例 (1)

主保護各相電流差動方式2系列+後備保護距離継電方式1系列で構成

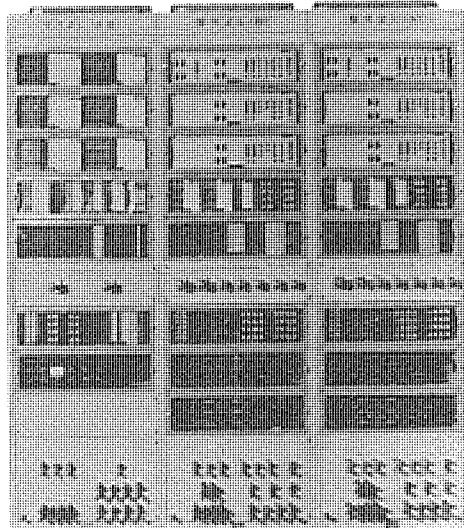


図 12. 構成例 (1)

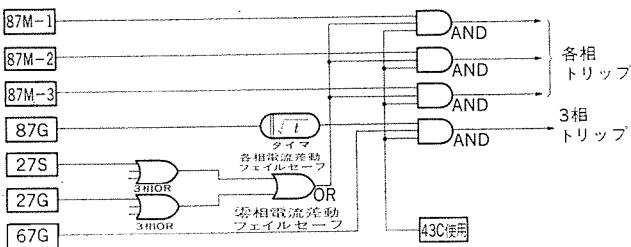


図 15. 主保護ブロック図 (各相+零相電流差動)

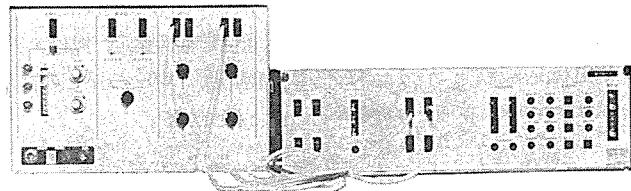


図 16. V/F テスタ

成した外観を図 12. に、主保護ブロック図を図 13. に示す。

### 6.2 構成例 (2)

各相・零相電流差動方式に自動点検・随時点検機能を付加した場合の主保護1系列分の外観を図 14. に、ブロック図を図 15. に示す。

### 6.3 V/F テスタによる保守・点検

FM 電流差動リレーでは信号伝送部がリレーに内蔵されるため、比率特性・位相特性などの対向試験のほか、伝送路監視回路の試験が繁雑になることが考えられるため、V/F テスタを付属品として納入し、相手端リレーを模擬させることにより、これらの試験の実施を容易にしている。図 16. に V/F テスタと電流差動リレーの組合せ例を示す。

## 7. むすび

FM 電流差動キャリアリレー装置は大容量送電線及び多端子送電線の保護用として有利であり、電源端子・非電源端子の区別なく使用できるため運用が簡単である。伝送回線は従来の位相比較キャリアリレー方式と同じ音声帯域で使用できる上に信号端局装置を設置する必要がないため、主幹系統保護用として大幅に採用されていくものと考えられる。

## 参考文献

- (1) 三上ほか : 500 kV 用電流差動キャリアリレーの試作結果昭和 46 年電気学会全国大会, No. 963
- (2) 太田, 杉山, 鈴木ほか : 3 端子 FM キャリアリレーの試作結果, 昭和 50 年電気学会全国大会, No. 1074
- (3) 大坪, 杉山, 鈴木ほか : FM 電流差動リレーの伝送系雑音対策について, 昭和 51 年電気学会全国大会, No. 890
- (4) 志賀, 杉山, 鈴木ほか : FM キャリアリレーのフィールドテスト結果, 昭和 52 年電気学会全国大会, No. 1446
- (5) 志賀, 杉山, 鈴木ほか : FM 電流差動キャリアリレー, 三菱電機技報, 51, No. 9 (昭 52)
- (6) 鈴木, 東ほか : 直接接地系統の高抵抗地絡に対する線路保護リレー応動の考察, 昭和 55 年電気学会全国大会, No. 962

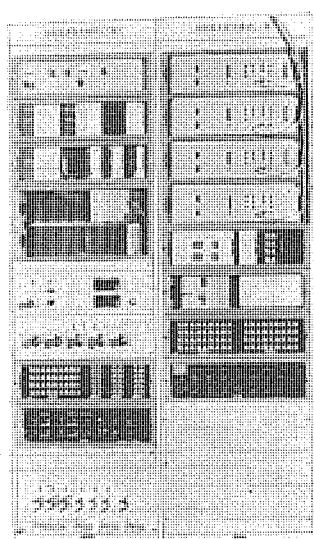


図 14. 構成例 (2)

# 三菱バランサ

野田祐久\*・国友善雄\*・奥直樹\*・吉田忠弘\*\*・三村宗彦\*\*\*

## 1. まえがき

バランサはマニアルローダ・バランスクレーン・アームクレーン・無重力機などの名称で呼ばれるもので、中軽量物運搬用荷役機として、昭和45年頃より数社によって製造、発売されてきたが、本格的な普及はこれからであると思われる。

生産機械部門の合理化、高速化の進展に比べ移送部門の遅れが目立ってきたことと未熟練作業者にも簡単に取扱える荷役機器の必要性、また重量物の運搬に伴う腰痛対策などの労働福祉面など社会環境の変化により最近バランサの利用が増加しつつあり、今後この傾向は一層強まるものと予想される。

当社では、昭和5年以來各種の電気ホイスト並びにその周辺機器を製作、販売し様々な産業分野での省力化に貢献している。これら荷役機器の技術と当社の制御、電動機、機械技術などを結集して、市場の新しいニーズにこたえて開発した三菱バランサは、昇降用電動機の速度制御方式を簡単にする当社独自のメカニカルブレーキを採用したことにより、停止時の安定性が良くて、安全性が高く現地における調整が不要な、しかも電力消費の少ない製品とすることことができた。

このバランサは操作性が良く、ハンドリング及びセッティングが容易なので、搬送時間の短縮が図れるのみならず、生産機械のか(稼)動率も向上し生産性を高めることができる。

ここでは、当社バランサを構成しているアームバランサ、ジブバランサの原理、構造、仕様、特長についてアームバランサを中心に述べ、そして最近開発した無重力バランサの原理、特長について述べる。

## 2. 駆動及び制御方式

### 2.1 メカニカルブレーキ

#### 2.1.1 メカニカルブレーキの原理・構造

昇降用荷役機においては、一般につり(吊)荷を上昇、下降させる際に停止(保持)、微速、全速の一連の動作をスムーズに行うには複雑な制御回路が必要である。我々はこれを簡単な回路で行えるよう、当社独自の「メカニカルブレーキ」+「ローラクラッチ」機構(以下この2つを合わせたものをメカニカルブレーキといふ)を考案し採用した。

この機構によって、モータには下降時でも荷重から引張られるトルクがかからず、力行トルクを発生させる必要がある。しかも、停止時はこのブレーキで吊荷が保持されるので、簡単な制御回路でスムーズな速度制御と円滑な起動停止ができる、かつ停止時モータに通電する必要がないので省電力化が図れる。

メカニカルブレーキの原理を図1.によって説明する。荷重による回転トルク $T_w$ は4Gから3G、そして2Gから1Gすなわちモータ軸に伝えられる。この際、3G及び4Gはハスバ歯車になっているので、このねじれ角によって、2・3G軸に荷重に比例したスラスト力を発生する。2・3G軸は2つの円筒コロ軸受によって支えられているので、軸方向に自由に移動することができる。

したがって、前述のスラスト力でブレーキパッドを介してブレーキ板を

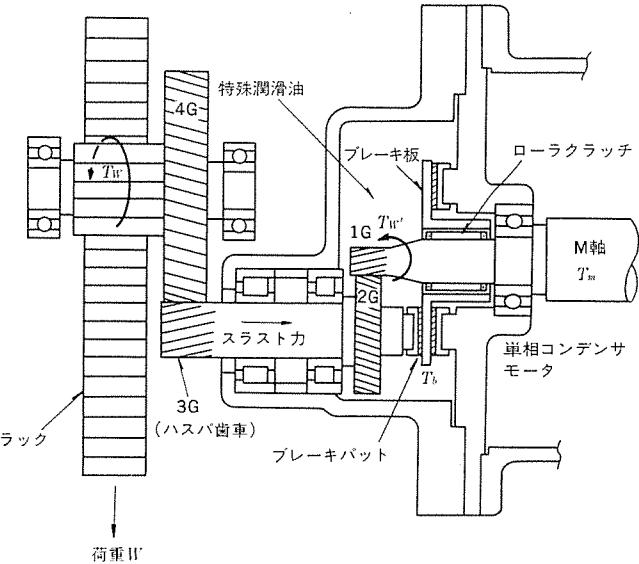


図1. メカニカルブレーキ構造

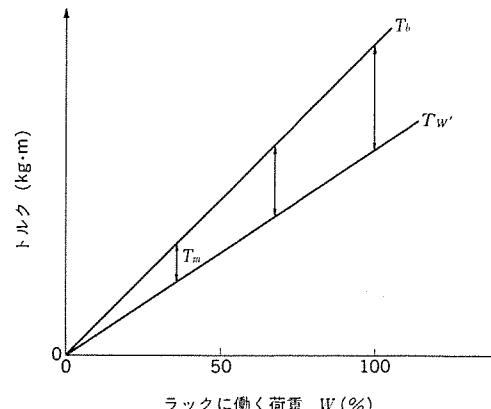


図2. 下降時の荷重とトルクの関係

押し、ブレーキ板にブレーキ力 $T_b$ を発生する。このブレーキ板はローラクラッチを介してモータ軸に結合されている。このローラクラッチは一方回転のみブレーキ板とモータ軸を結合するが、反対方向回転の際は結合せず、フリーとなる。

以上の構成により、荷重を上昇させる場合、ブレーキ板は停止しており、モータトルクはビニオンを介してラックに伝えられる。下降させる場合はブレーキ板を回すことになり、M軸にかかるトルク $T_m$ は次式で表される(図2. 参照)。

$$T_m = T_b - T_w' = (\alpha - 1) \cdot T_w'$$

$$\text{ここで } T_b = \alpha T_w'$$

$$T_w' = K \cdot T_w \quad K: \text{歯車比}$$

すなわち、 $\alpha - 1 > 0$ となるように $\alpha$ を設定すれば、下降時にも上昇時と同じようにモータには力行トルクがかることになる。ここで例えば $\alpha = 2$ とすれば、 $T_m = T_w'$ となり上昇と下降時のモータトルク

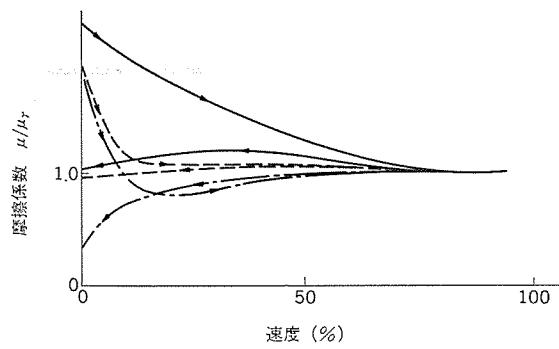
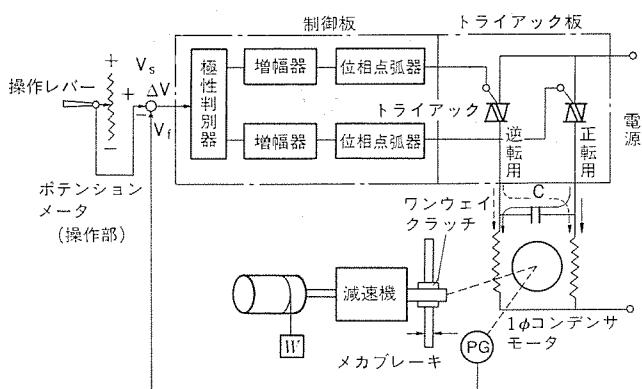


図 3. 速度 - 摩擦係数例



#### 図 4. 制 御 系

は同一となる。実際の装置では省電力の見地より、ほぼ 1 に近い値に設定している。なおモータトルクを零にした場合には荷重はブレーキトルク  $T_b$  で支えられる。

### 2.1.2 メカニカルブレーキの技術的要点

メカニカルブレーキの主な構成要素であるブレーキパット材質及び潤滑油種が最も重要であり、特に次の項目により選定する必要がある。

- (1) 耐摩耗性が良いこと。
  - (2) 摩擦係数大で、静摩擦係数と動摩擦係数の差が少ないとこと。
  - (3) 潤滑油寿命が長いこと。

このことから製品化に際しては、静・動摩擦係数変化の少ないブレーキパット材質及び潤滑油の選定を行い、操作性を良くするとともに、寿命に関する十分な確認試験を行った。

各種ブレーキパット材質と潤滑油との組合せによる速度—摩擦係数特性の実測結果の1例を図3.に示す。

## 2.2 制御方式

## 2. 2. 1 制御系

バランスの制御系を図4.に示す。駆動モータの速度制御は前述の通りモータに力行トルクしかかからないので、正逆切換回路（極性判別回路）と簡単なトライアックの位相制御による1次電圧制御で行っている。

### 2.2.2 動 作

操作レバー（ジブ形ではノブ）の操作により、操作角度に比例した速度指令  $\pm V_s$  が操作部より発せられる。この信号は極性判別器で判別され、正のときは正転側（上昇用）の制御器及びトライアックを、また負のときは逆転側（下降用）のそれを駆動する。一方、ほぼその大きさに対応した速度でモータが回転するようトライアックの点弧角が制御される。

以上の原理により操作 レバー の操作により自由に吊荷の上昇、下降速度を調整できるので、ハンドリング 及び セッティング 時に微速運転し、搬送時に高速運転することにより作業が容易で能率的に行われる。

### 3. アームバランス

### 3. 1 パンタグラフ機構

図5.はアームバランサのパンタグラフ機構原理図である。これは図に示すように  $fe$  と  $bd$  そして  $fb$  と  $ed$  がそれぞれ平行なリンクをなし、点  $a$ 、 $b$ 、 $c$  は一直線上にあるように構成され、節点  $a$ 、 $b$  はガイドみぞ(溝)に沿って(摺)動される。

このパンタグラフ式アーム機構によると次のような機能を持つことができる。

- (1) 荷重点の水平方向移動は水平直線運動となる。
  - (2) 荷重点の垂直方向移動は垂直直線運動となる。
  - (3) 荷重水平分力による水平方向移動力がない。

荷重点がいかなる位置 ( $C \cdots C'$ ) にあっても、荷重による水平分力  $W_2$  は下部水平アームにおいて  $W_6$  と  $W_7$  とが打消し合う。したがって、水平方向には荷重による摩擦抵抗がかかるのみであるから、人力で容易に荷重を動かすことができる。

- (4) 駆動部 a 点にかかる力  $F$  は  $F = l_2/l_1 \cdot W$  となり、一定。  
荷重点 c がいかなる位置にあっても  $F$  は一定である。

(5) 荷重点 c の垂直方向速度  $V$  は  $V = l_2/l_1 \cdot v$  となり、一定。  
 $v$  は駆動源の速度。

### 3.2 解析計算

前項ではパンタグラフ機構をアーム自重が零として理論的に説明した。実際にはアーム自重があり、この自重によってアームは水平方向に流れる。これを補正するため、バランスウェイトを取り付けたり合いを取っ

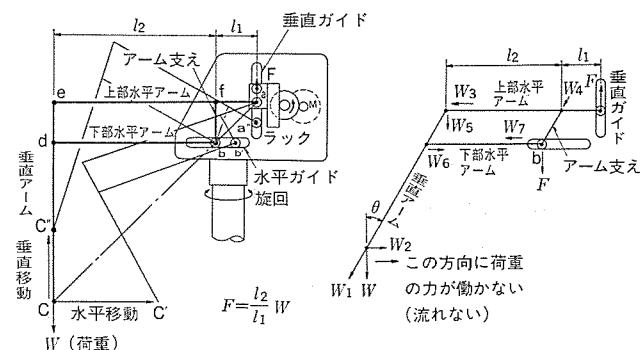


図 5. パンタグラフ 機構

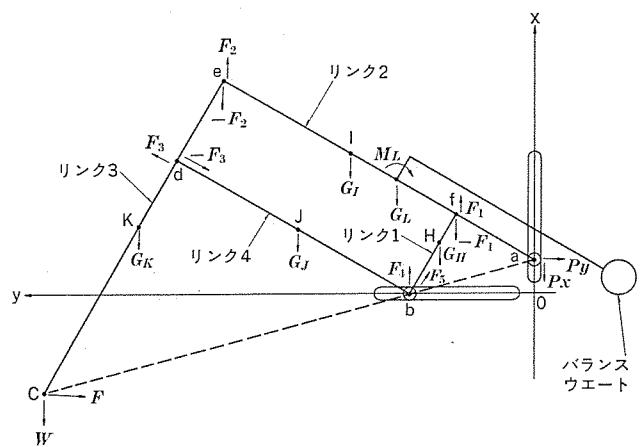


図 6. アーム部のモデル化

ている。

アームの設計に際して、バランスウェートの重量を決定し、アーム部材の強度計算を行うため、ピン結合部に働く力及び荷重負荷点での水平方向力を計算する必要がある。ここではアーム部を4節機構にモデル化し解析計算を行った。アーム部の主要構造部材であるアーム支えをリンク1、上部水平アームをリンク2、垂直アームをリンク3、下部水平アームをリンク4としてモデル化し、図6.に示す。各節は剛節として解析している。

図6.において、x軸は垂直方向ガイドルの中心軸、y軸は水平方向ガイドルの中心軸、原点Oはそれら2軸の交点である。a点は垂直方向ローラフロアの中心軸位置、b点は水平方向ローラフロアの中心軸位置、c点は垂直アームの荷重負荷点である。各リンクは、その各々の対辺が平行をなし、かつa、b、cは一直線上に位置している。

$F_1 \sim F_5$ 、 $P_x$ 、 $P_y$ は4節機構対偶に働く力、 $G_H \sim G_K$ は各節の重量、 $G_L$ と $M_L$ はつり合いおもりの重量及びそれによるモーメント、Wは負荷荷重、Fは負荷点の水平方向力である。

これらの力ベクトルと各力の作用点の位置ベクトルを用いて、外力及び外力のモーメントのつり合い、各節の力及びモーメントのつり合い

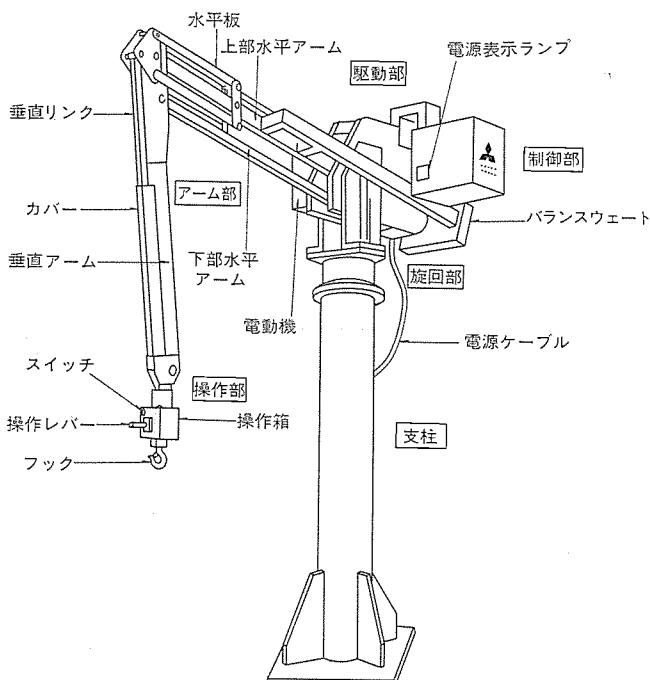


図 7. アームバランサ 全体構成図

表 1. アームバランサ仕様

形名 仕様	BA-100			BA-200			BA-270								
	-101	-102	-103	-201	-202	-203	-271	-272	-273						
最大荷重 (kg)	140	100	75	270	200	150	360	270	200						
上下移動距離 L (mm)	1,100	1,500	2,000	1,100	1,500	2,000	1,100	1,500	2,000						
最大旋回半径 R (mm)	1,500	2,000	2,600	1,500	2,000	2,600	1,500	2,000	2,600						
上下移動速度 (m/min)	0~10	0~15	0~15	0~10	0~15	0~15	0~7.5	0~11	0~15						
アーム旋回角	330° (ストップ付)														
グリップ旋回角	330° (ストップ付)														
電動機 (kW) [電流]	0.35 [10 A]			0.65 [22 A]			0.65 [22 A]								
電 源	AC 単相 200 V, 50/60 Hz														
使 用 率	通電率 25%, 150 回/h 始動														

の各式から連立方程式を導き、解を求めた。この解からアーム荷重点が任意の位置を占めたときの各対偶に働く力と荷重点の水平方向力が決定され、各節の強度計算とバランスウェート重量の決定に使用された。

### 3.3 構成

三菱アームバランサは、図7.の全体構成図に示すように、(1)アーム部、(2)駆動部、(3)旋回部、(4)制御部、(5)操作部、(6)支柱部(オプション)から構成されている。

#### 3.3.1 アーム部

アーム部は前述のパンタグラフ機構と垂直リンク、水平板などからなる「荷重水平保持機構」と前述のアーム自重によるアームの水平方向流れ防止用バランスウェートで構成されている。

#### 3.3.2 駆動部

駆動源はコンデンサン形高低抗単相モータであり、メカニカルブレーキ、減速機を介してラックと結合しアーム先端を上下駆動させている。

#### 3.3.3 旋回部

旋回部はスラスト力、曲げモーメントを2個の円すい(錐)コロ軸受とこれを保持する保持部で受けているので、人力で容易に旋回できる。

#### 3.3.4 操作部

操作部は操作レバー・ポテンショメータ・フックなどから構成されている。フックは他の特殊な“つかみ具”と取換え可能である。

操作レバーは通常ばねにより中点に停止するようになっているが、手で軽く力を加えるだけで上方、下方とも約30度動くようになっている。

この操作レバーにポテンショメータが連結されており、中点で零スピード指令、上方一ぱいで上昇の全速指令、下方一ぱいで下降全速指令が、中間ではその角度に応じた任意の速度指令が出るようになっている。

#### 3.3.5 制御部

制御部にはリレーとトランジスタなど電子部品からなる制御板・トライアック・チョークコイルなどからなるトライアック板、トランス、電源表示ランプなどが納められている。

#### 3.4 仕様

三菱アームバランサの仕様及び寸法を表1.に示す。

#### 3.5 特長

##### 3.5.1 一般的特長

- (1) あらゆる方向からの物品の持ち込みが可能。
- (2) 吊荷はじめ(把持)部の一定方向保持可能。
- (3) 上下動作速度の無段階制御と他の2次元の手操作により吊荷のスムーズな移動と正確な位置決めが可能。
- (4) 3次元同時動作(上下、左右、前後)により移動距離が最短。
- (5) いろいろな取付けや設置が可能で応用範囲が広い。

##### 3.5.2 特長

- (1) 電力節約、安定性良好、調整不要、安全設計

当社独自のメカニカルブレーキ方式により荷重に比例したブレーキ力で停止時に吊荷をがっちり保持し、モータに電流を流さない方式になっているので、

- (a) 平均電力消費が少なく(電力節約)、電動機への負担が軽い。

- (b) 停止時、吊部が上下に移動する心配がない(安定性良行)。
- (c) バランス調整部がなく、現地における制御部分の調整作業が不要である(調整不要)。
- (d) 安全ブレーキ機構になっており、停電時のトラブル発生に際しても吊荷の落下がない(安全設計)。

#### (2) 高信頼性

当社長年の経験と技術による専用特殊電動機、制御装置並びにメカニズムを採用しているので、高性能、高信頼である。

#### (3) 据付け、移動簡単

配管工事をともなう空気式に比べ、電源さえあれば作業条件に応じて最も操作しやすい場所に設置でき、移設が簡単である。また移動ケーブル、トロリーなどの使用により天井走行形、移動台車形などの移動形が容易に構成可能である。

#### 3. 6 用途例

- ・ホイストの使用困難なふところの深い、又は下面取付作業並びに分解作業
- ・水平方向加工(施工)時の工具保持(例えばドリル)
- ・棚(棚)への入出庫作業

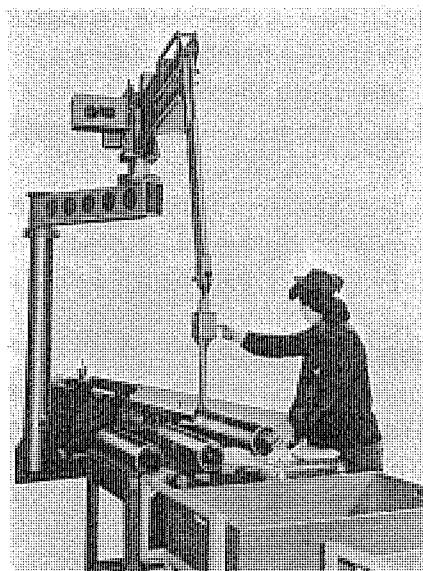


図 8. 使用例 1

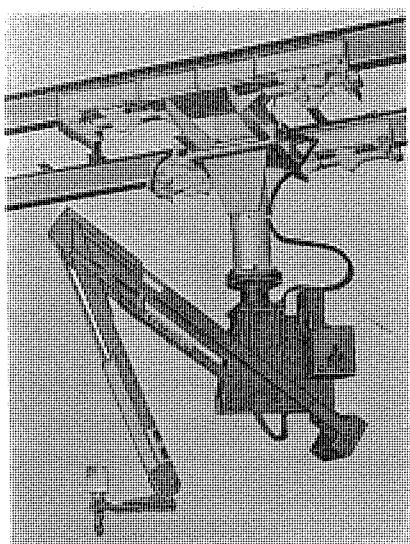


図 9. 使用例 2

- ・工作機械への加工物・治工具の着脱
- ・部品の組立、反転
- ・コンベアラインでの荷物の転送及び揚げ降し
- ・製品・部品の箱詰作業
- ・型合わせ、金型の取換え
- ・鋳物工場での中子の組込み作業
- ・素材・工具類の保持
- ・溶接物の保持

次に使用実例を図 8. 及び図 9. に示す。図 8. は電動機固定鉄心の移送例で、図 9. は天井取付けの使用例である。

#### 4. ジブバランサ

ジブバランサはいわゆるジブクレーンの構造をしているが、駆動源及び制御系にバランサのそれを、更にロープ系はロープトロリー方式を採用するとともに、回転部及び移動部は特に軽い力で回転移動できるよう設計、製作されている。

ロープトロリー方式の採用によりジブの慣性が小さく、水平移動荷重が軽いため、水平面移動の操作性がよくなっている。

旋回台は、支柱上面を水平に設置すれば、ジブが水平になるようになっており、かつ旋回抵抗を適正に設定しているので、放置時にジブが流れることなく、しかも軽い力で回転できる。

以上の構成により、アームバランサと同様、(1)上下動速度の無段階制御と他の2次元の手操作により吊荷のスムーズな移動と正確な位置決め、(2)3次元同時動作(上下、左右、前後)により移動距離が最短にできる特長を有するとともに、アームバランサに比べ、①天井高さが低く取れ、②移動範囲が広い、③低価格などの特長を有する。

表 2. 仕様を、図 10. に全体構成図を示す。

表 2. ジブバランサ仕様

形名	定格荷重(kg)	揚程L(m)	最大旋回半径(m)	巻上速度(m/min)	電動機(kW)(電流A)	電源	ワイヤロープ	本体重量(kg)
BJ-125	125	2.5	2.5	0~15	0.35(10)	単相 200V 50/60Hz	6×W(19) B種Zヨリ φ4	240
BJ-230	230	2.5	2.5	0~15	0.65(22)			360
BJ-300	300	2.5	2.5	0~11	0.65(22)			370

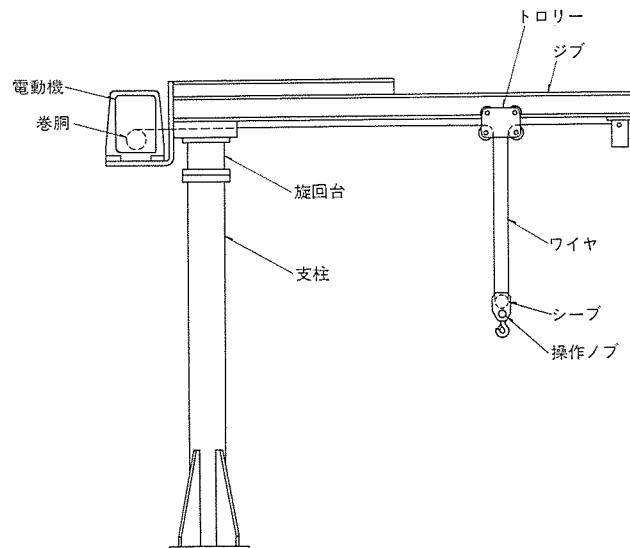


図 10. ジブバランサ全体構成図

## 5. 無重力バランサ

吊荷に手力を加えるだけで吊荷が上下移動し、重い吊荷を手で軽々と移動でき、あたかも無重力のように吊荷を移動できる荷役機が無重力 バランサ である。

これは前述の レバー式の バランサに無重力制御装置（荷重検出器、制御器）をアタッチメント（出荷時）として付加することによって構成できる（アーム形、ジブ形とも）。

制御部はレバー方式と同じ制御箱の中に収納され、荷重検出部は専用の操作箱（アーム形は図11.、ジブ形は図12.）に収納されている。

## 5. 1 原理, 動作

図 13. は無重力 バランサ の原理図である。荷重検出器は吊荷の大きさをひずみ(歪)量に変換する リングとこの歪量を電気信号に変換する 差動トランジスタから構成され、吊荷の大きさに比例した電気信号を発生する。

フィルタは機械系の固有振動数近辺の周波数を減衰するよう設計され、吊荷の移動時に発生する振動成分を吸収し、系の安定を図っている。

荷重検出器からの電気信号は増幅器、フィルタを通り手力・荷重分

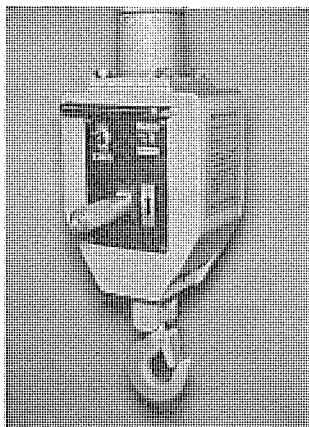


図 11. アーム形無重力 バランサ 操作箱

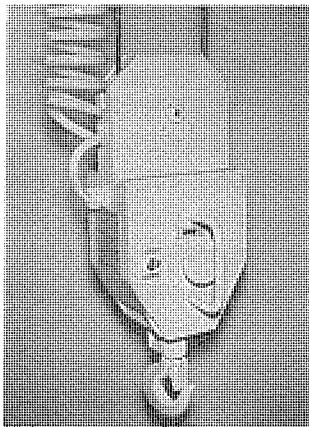


図 12. ジブ形無重力 バランサ 操作箱

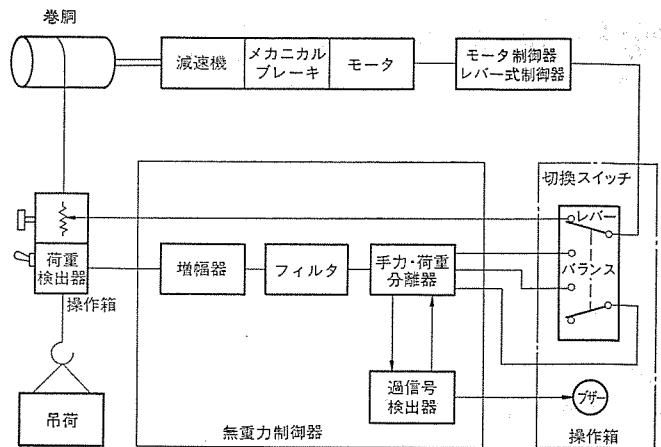


図 13. 無重力バランス原理図

離器に入っている。このとき、切換スイッチがレバー側にあるときは駆動モータは操作レバーからの信号により動作し、手力・荷重分離器はそのときの荷重信号を取り入れるだけの動作をしている。

切換スイッチがバランス側に切換えられると、手力・荷重分離器は直前の荷重信号を基準として、それ以後の荷重変化量を分離し出力する。すなわち、荷重の変化量に比例した電気信号が output される。したがって、吊荷に手力を加えると、荷重変化量としてとらえられ、手力に比例した電気信号が output される。この信号はモータ制御器に入力されているので、モータは手力に応じた速度で回転する。すなわち、手力に応じた速度で吊荷は移動する。切換スイッチがバランス側にあるときは、この系は吊荷を宙吊りにした状態において安定しているので、吊荷を地上に下ろす（着床）ことは不可能である。

過信号検出器は吊荷が着床した瞬時の信号、すなわち荷重と同じ手力で持ち上げたと同じ信号を検出して、バランスモードをレバーモードに切換えて吊荷を着地させている。一方、この装置は、上述の機能により、誤操作による吊荷の引掛け等荷重の異常変化量を検出し動作するので、機械系の安全装置として機能している。

## 6. む す び

人間と同じ動きをして物を運んでくれるものが理想的な運搬機といえる。これに近いものとして、マテハンロボットが普及しつつあるが、価格・ハンドリング・運搬重量などの面より適用範囲は限定される。

人間の上し(肢)で支えきれない中軽量物を上肢の補助的役割を果たし、人間と一体的に移動できる荷役機がここに紹介した バランサ であり、多種少量生産部門における中軽量物の運搬に適している。ここでは紙面の関係で腕の部分についてのみ述べたが、手に相当する“つかみ具”についても供給できる体制にある。また、アームバランサにおいては バラエティー に富んだ設置ができ、多様な場所用途に使用できる。

この種の荷役機が従来なかった使用分野で活躍し、省力化、労働環境改善に貢献するとともに、更に高度な位置制御などの技術を加え、荷役運搬の合理化のみならず生産設備の1つの構成要素とし、多用されるようになることを期待している。

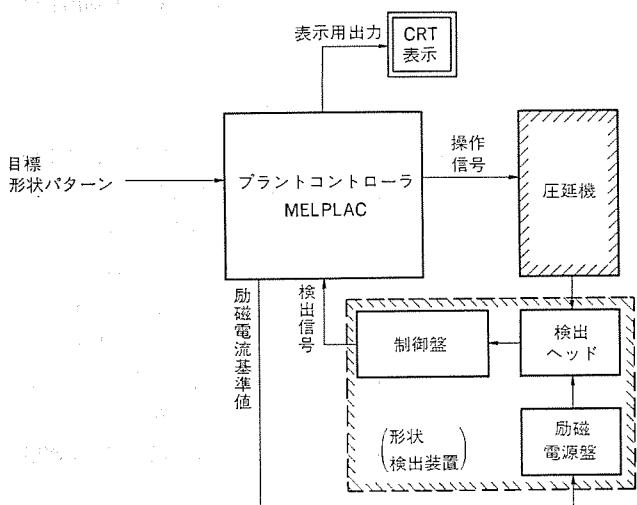
# 冷延鋼板の形状測定と制御

上住好章\*・下田道雄\*・白石彌\*・浜崎芳治\*・渡辺文夫\*\*

## 1. まえがき

当社は非接触式冷延鋼板形状検出装置を昭和51年に製品化し、国産唯一の商品として世界的な普及を目指してきた<sup>(1)</sup>。現在、輸出3台を含む20台の納入実績を持ち、鉄鋼メーカーにおいて品質管理用・形状制御用として使用されている。このたび、当社は制御装置を製作納入する電機メーカーの立場から測定機能の充実のための絶対値化と形状制御機能の簡素化との研究を行い、両機能をまとめてパッケージ化した《MELPLAC》形状測定・制御システムを完成した。このシステムは当社形状検出装置をサブシステムとして有するが、その機器構成・分担機能を図1に示し、特長を下記する。

- (1) 形状検出装置を含む機器の全体を当社製品でまとめた一貫システムである。
- (2) 伸び率及び急峻度演算、すなわち形状測定量絶対値化機能とこの演算結果を利用した形状制御機能との双方を含む。また、絶対値化機能までのシステム構成もできる。
- (3) 形状制御はシステム外部より与えられる目標形状パターンを基準信号とするフィードバック制御方式である。
- (4) 上記フィードバック制御機能はこのシステム内において完結し、上記計算機を必要としない。
- (5) 形状制御用アクチュエータとしては、ロールベンディングはもとより、分割クラント方式にも対応できる。



機器	分担機能
形状検出装置	鋼板張力、分布相対値の検出
プラントコントローラ MELPLAC	(1) 形状測定量の絶対値化演算(伸び率及び急峻度)；励磁電流基準値の生成 (2) 目標形状パターン受信 (3) 形状制御用操作信号の生成 (4) 表示用出力の生成
CRT	急峻度の表示

図1. 《MELPLAC》形状測定・制御システム

## (6) 既存の圧延機への増設も容易である。

すなわち、このシステムの意図するところは、形状検出量の絶対値化機能と形状制御機能とを一括してプラントコントローラ《MELPLAC》に担当させるとともに、形状制御機能については「目標形状パターンの選定」とそれに従う「フィードバック制御機能」との2大機能に分離し、後者の「フィードバック制御機能」に着目してこれをフィードバックAGC(自動板厚制御)なみに簡素化したことであり、実用的価値に重点をおいた扱いやすいシステムである。

以下に、このシステムに含まれる形状検出量絶対値化機能及び形状制御機能の各技術について述べる。

## 2. 形状検出量の絶対値化

当社形状検出装置は、非接触である特長を有するかわりに、鋼板張力又は板厚などの操業条件によって検出ゲインが変化し、形状を絶対値として測定するために操業条件に応じた励磁電流の変更や検出信号スケールの読み替えなどを必要とした。

今回開発した絶対値化技術は検出ヘッド内の電磁石の励磁電流に着目したものである。形状検出装置の出力信号特性、絶対値化の原理並びにフィールド実績について以下に述べる。

### 2.1 形状検出装置の出力信号特性

当社形状検出装置は、冷間圧延機などの高張力操業を行うラインにおいて、鋼板形状が張力分布に変換されておうとつ(凹凸)形状としては見えなくなった(潜在化した)ものを非接触で検出する装置である<sup>(2)</sup>。非接触である特長を持つ代わりに、鋼板張力又は板厚などの操業条件に応じて検出ゲインが異なるので、前記条件に応じての励磁電流の変更や出力信号スケールの読み替えなどを必要とする。

図2.によって検出原理を説明する。図2.(a)において、高張力を印加した鋼板を2個の支持ロールで支持し、ロール間中央部の鋼板を幅方向全域にわたって電磁外力Fで下方に引張る。外力印加点の変位については、ロールスパンLが変位Pに比して大きい場合に図2.(b)のように鋼板の変位曲線を直線で近似できるので、その変位Pは外力Fと鋼板の各部位の張力uとの力のつり(釣)合いによって決まり、検出装置の使用する小さな範囲においてこの変位は外力Fに比例し、張力uに逆比例する。したがって、図2.(c)に示すように、張力uが幅方向に異なる場合は変位Pも対応して分布する。

鋼板形状不良は幅方向の長さの不均一によって生じるが、形状不

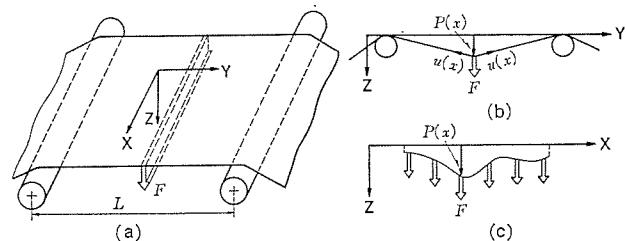


図2. 形状検出装置原理

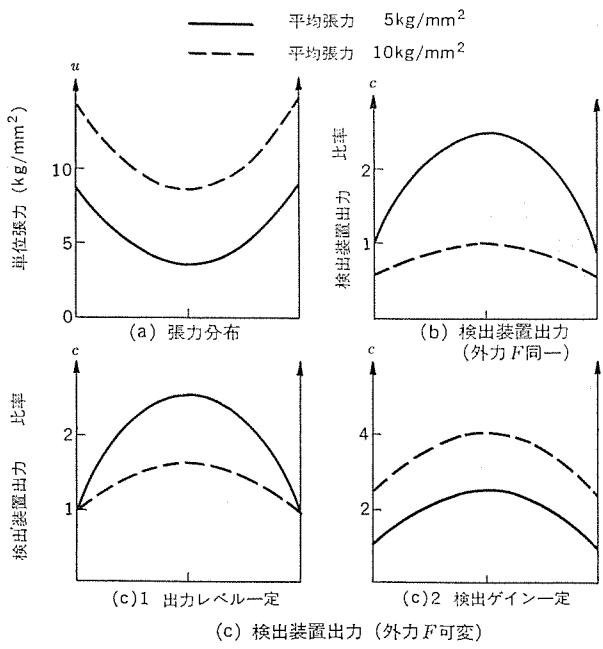


図 3. 検出装置出力の変化

良のある鋼板に高張力を印加した場合は長さの短い部位の張力が高く、伸びた部位の張力が低くなり、伸びと張力差との関係はフックの法則に従うと考えられる。したがって、鋼板の張力分布の測定によって伸び率分布が測定でき、更に張力分布は鋼板の変位分布を測定することにより測定できる。当社形状検出装置は鋼板の変位を鋼板と測定電極との間の静電容量によって測定し、その変位信号を表示又は出力するものである。

図 3. は急峻度 1% (伸び率  $24.7 \times 10^{-5}$ ) の中伸び形状の場合の検出例を示す。図 3. (a)において、実線は印加される平均単位張力が  $5 \text{ kg/mm}^2$ 、また破線は  $10 \text{ kg/mm}^2$  である場合の張力分布を示す。両曲線とも、最大単位張力と最小単位張力との差は伸び率とヤング率との積に等しい約  $5 \text{ kg/mm}^2$  であり、平均張力が増加すると曲線が上方へ平行移動する。図 3. (a)に示す張力分布の鋼板に同等の電磁外力を加えた場合の検出装置出力を図 3. (b)に示す。この出力は張力の逆数となるため、同一形状に対しても張力の違いによって出力レベル及び変化幅ともに異なるが、このことが「相対的測定」と表現するゆえんである。

したがって、形状検出装置を単体として使用する場合には、鋼板張力及び板厚などの操業条件に従って、励磁電流の設定値を変更して電磁外力を調整することが行われる。図 3. (c) はその例を示すが、(c) 1 に示す最低出力一定の表示、(c) 2 に示す変化幅一定の表示などが一般的である。ただし、同一形状であっても張力の違いによって出力が変化する点は前記と同様である。

## 2.2 形状検出装置出力の絶対値化

形状検出装置出力  $c(x)$  は原理的に次式で表される。

$$c(x) = G \cdot \frac{F}{d} \cdot \frac{1}{u(x)} \quad (1)$$

ただし  $F$ : 電磁外力,  $d$ : 鋼板板厚,  $u(x)$ : 鋼板各部位( $x$ )における単位張力,  $G$ : ロールスパン・電子回路ゲインから決まる定数

また、鋼板の張力分布と伸び率との間には次の関係がある。

$$\beta(x) \cdot E = u_0 - u(x) \quad (2)$$

ただし  $\beta(x)$ : 鋼板各部位の伸び率,  $E$ : ヤング率,  $u(x)$ : 鋼

板各部位の単位張力,  $u_0$ :  $u(x)$  の中の最大値, すなわち伸び零の位置の張力

式(1)及び(2)より、伸び率は次式で求められる。

$$\beta(x) = \frac{G}{E} \left[ \frac{1}{C_0} - \frac{1}{c(x)} \right] \frac{F}{d} \quad (3)$$

ここに、 $C_0$  は張力最大部位の形状検出装置出力を表す。

式(3)に基づく形状測定量絶対値化方式の機能ブロック図を図 4. に示す。励磁電流  $I$  は、鋼板の変位量を測定条件内に保つために、張力最大部位の出力  $C_0$  が一定値になるように、閉ループ系を構成して制御される。電磁外力  $F$  は励磁電流  $I$  と板厚  $d$  との関数であるが、図 5. に示す実測値のように、2 次関数式として精度よく計算でき

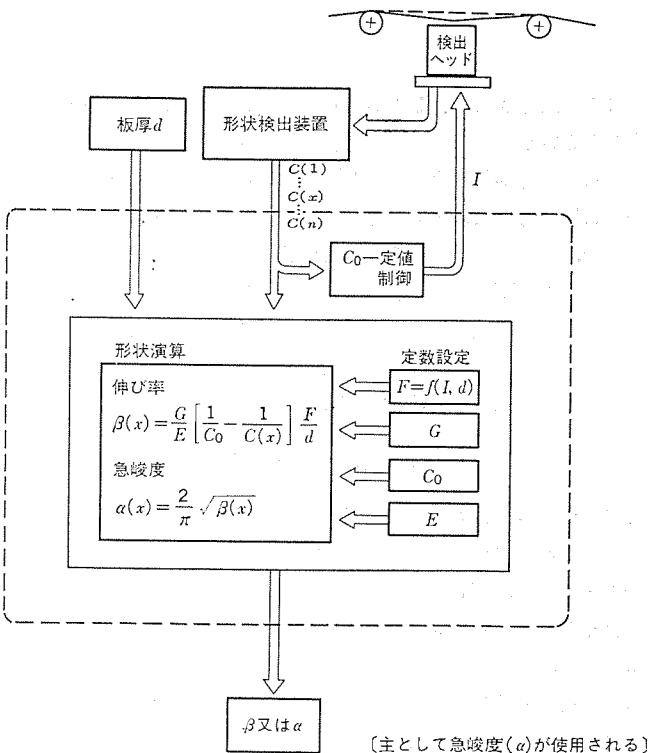


図 4. 形状測定量絶対値化方式機能ブロック図

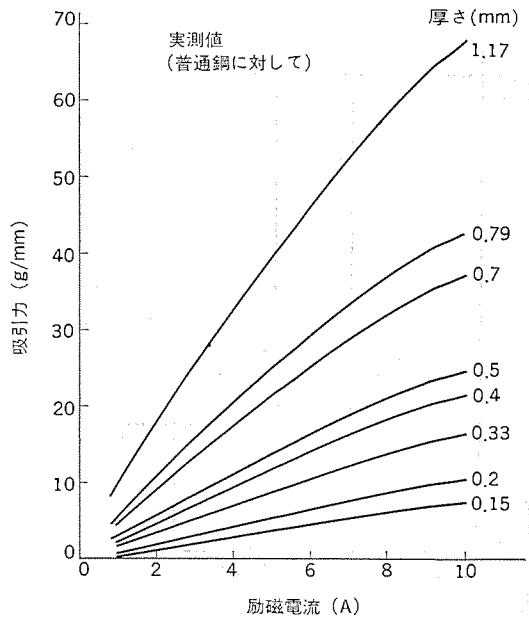


図 5. 電磁外力特性

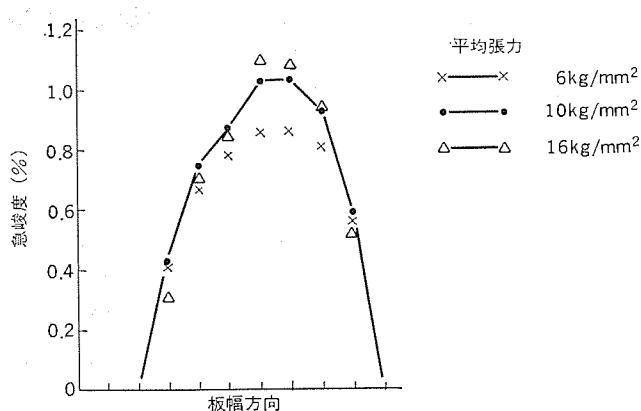


図 6. 形状測定量絶対値比例

ることが確認された。したがって、他の定数とあわせて伸び率又は急峻度という形状に関する絶対値の演算ができる。

形状測定量絶対値化の実績を図 6. に示す。急峻度約 1 %の中伸び形状材に対して、平均張力を 6, 10 及び  $16 \text{ kg/mm}^2$  に変化させたときの、形状測定量及びその変化が示されている。前記平均張力範囲において、測定値演算誤差は  $\pm 0.12\%$  以内である。

ここに述べた絶対値化方式は、形状検出装置にオプションとしてプラントコントローラ《MELPLAC》を追加して、「形状測定量装置」の製品名で既に 3 セットを納入済である。

### 3. 形状制御

形状制御の発達に対しては鉄鋼メーカーなどの実圧延に携わる側からの貢献が殆んどであるが、当社としても電機メーカーの立場から長期間の圧延データを採取した経験を生かし、簡素化された制御方式を開発したので、その成果を紹介する。

#### 3.1 形状制御の考え方

冷延鋼板の形状は板幅方向に数十点に分割された検出端によって検出されるが、測定結果である絶対値化伸び率の板幅方向の分布は複

雑なパターンを示す。一方、形状を制御するための手段（アクチュエータ）

としては、

- (1) 平衡圧下操作（レベリング）
- (2) ロールベンディング操作（インクリース、デクリース）
- (3) 分割ロールクラント弁操作

などがあるが、基本的には前記(1)及び(2)であり、操作アクチュエータとしてはわずか数点である。したがって、形状制御のための操作量の生成とは、制御装置の面から見れば、数十点の測定信号から数点の操作信号を決めるという問題としてとらえることができる。

上記の方法として、計算機による処理方法もあるが、当社としては「直観的なわかりやすさ」及び「制御装置の簡素化」に重点を置いて、形状パターンをモード分離するための直交函数を採用している。この機能ブロック図を図 7. に示す。なお図 7. において、2 章にて述べた絶対値化演算機能がマイナーループとして含まれる。

#### 3.2 モード係数の演算とベンディング・レベリング制御<sup>(3)</sup>

図 7. において、絶対値化伸び率演算による形状測定量のパターンに對して、モード分離すなわちモード係数の演算が行われる。この原理を説明する。

図 8. において、函数  $\beta(x)$  は板幅方向の伸び率を示し、 $x$  は正規化された幅方向位置（板端において  $x = \pm 1$ ）である。ここで次のような展開式を考える。

$$\left. \begin{aligned} \beta(x) &= f(x) + \varepsilon(x) \equiv \sum_{i=0}^m A_i \cdot \varphi_i(x) + \varepsilon(x) \\ A_i &= \int_{-1}^1 \beta(x) \cdot \varphi_i(x) \cdot dx \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (4)$$

ただし、函数  $\varphi_0(x), \varphi_1(x), \dots, \varphi_m(x)$  は次式を満足するように選定する。

$$\left. \begin{aligned} \int_{-1}^1 \varphi_l(x) \cdot \varphi_m(x) dx &= 1 \quad (l=m) \\ &= 0 \quad (l \neq m) \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (5)$$

すなわち、正規化直交条件式(5)を満足する  $m$  次までの正規化直交函数  $\varphi_0(x), \varphi_1(x), \dots, \varphi_m(x)$  に対して、モード係数  $A_0, A_1, \dots, A_m$  が式(4)に従って演算、分離される。また  $\varepsilon(x)$  は  $m$  次までの直交函数表現に乘らない高次項である。直交函数の選定例としては、例えば下式がある。

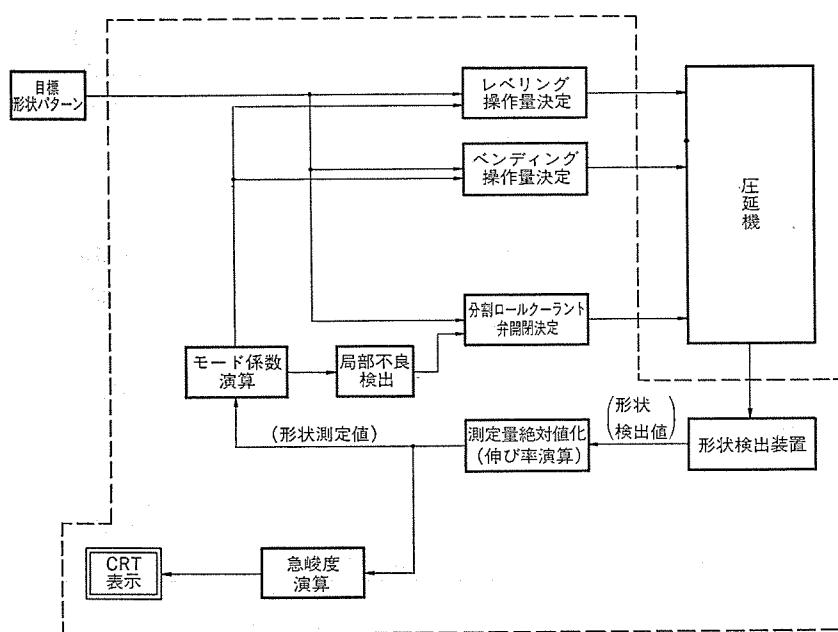


図 7. 形状制御システム機能ブロック図

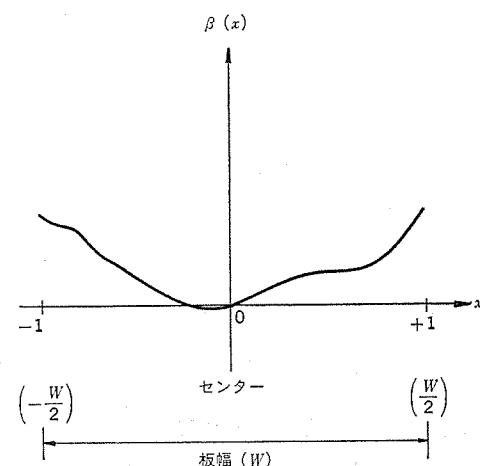


図 8. 板幅方向の伸び率  $\beta(x)$

$$\begin{aligned}
 \varphi_0(x) &= \sqrt{\frac{1}{2}}, \quad \varphi_1(x) = \sqrt{\frac{3}{2}}x, \quad \varphi_2(x) = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{5}{2}}(3x^2-1) \\
 \varphi_3(x) &= \frac{1}{2}\sqrt{\frac{7}{2}}(5x^3-3x), \quad \varphi_4(x) = \frac{1}{8}\sqrt{\frac{9}{2}}(35x^4-30x^2+3) \\
 \dots & \\
 \varphi_m(x) &= \sqrt{\frac{2m+7}{2}} \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor} \frac{(-1)^k}{2^k} \cdot \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \dots (2n-2k-1)}{k!(n-2k)!}
 \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (6)$$

形状修正のためのアクチュエータがロールベンディングとレベリングのみである場合は、4次までの函数  $\varphi_0(x) \sim \varphi_4(x)$  を使用するのみで十分であり、伸び率信号  $\beta(x)$  は4個のモード係数  $A_1 \sim A_4$  によって完全に表現される。なお、係数  $A_0$ （バイアス分）及び高次項  $\varepsilon(x)$  は無視され、制御上は使用されない。

なお、実際の形状検出器は板形状を各チャネルごとに離散的に検出するため、実際に適用される正規直交函数も離散的に取扱われる。すなわち、演算される伸び率信号を  $\beta(i)$ 、ただし

$$\begin{array}{c}
 i = -N, -N-1, \dots, -1, 0, 1, \dots, N-1, N \\
 \uparrow \quad \quad \quad \uparrow \\
 x = -1 \text{ に対応} \quad \quad \quad x = 1 \text{ に対応}
 \end{array}$$

として、関係式をまとめると次のようになる。

$$\begin{aligned}
 \beta(i) &= f(i) + \varepsilon(i) = \sum_{l=0}^4 A_l \cdot \varphi_l(i) + \varepsilon(i) \\
 A_l &= \sum_{i=-N}^N \beta(i) \cdot \varphi_l(i)
 \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=-N}^N \varphi_l(i) \cdot \varphi_m(i) &= 1 (l=m) \\
 &= 0 (l \neq m)
 \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (8)$$

次に、この方式の適用例を示す。図9. 及び図10. は、実際の4段圧延機において、ロールベンディング圧力を変化させた場合の板幅方向の絶対値化伸び率の変化と各々のモード係数  $A_1 \sim A_4$  の変化プロットとを示す。図より判明するように、4次の直交函数展開によって決まる  $A_1 \sim A_4$  の4個のモード係数によって、十分な形状パターンの認識が可能であり、またベンディング圧力を変化させたとき、係数  $A_2$  が最も大きく変化し、他の係数の変化は微少である。その他の諸計測例をも含めて、次のようにまとめられる。

(1) 幅方向に不連続のない形状パターンは4個のモード係数  $A_1 \sim A_4$  の大小関係により容易に識別できる。

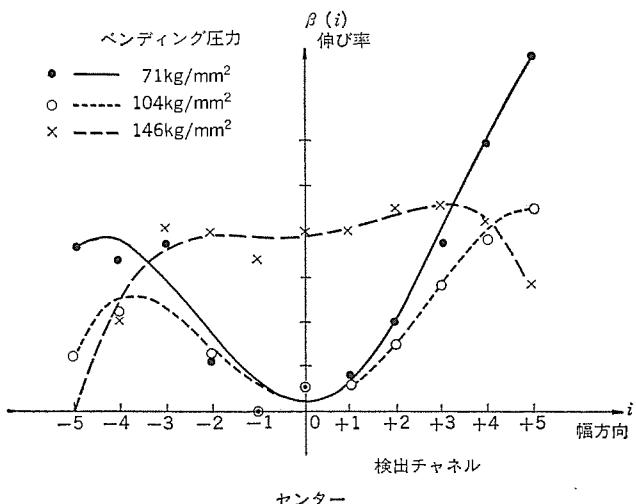


図9. 絶対値化伸び率の変化

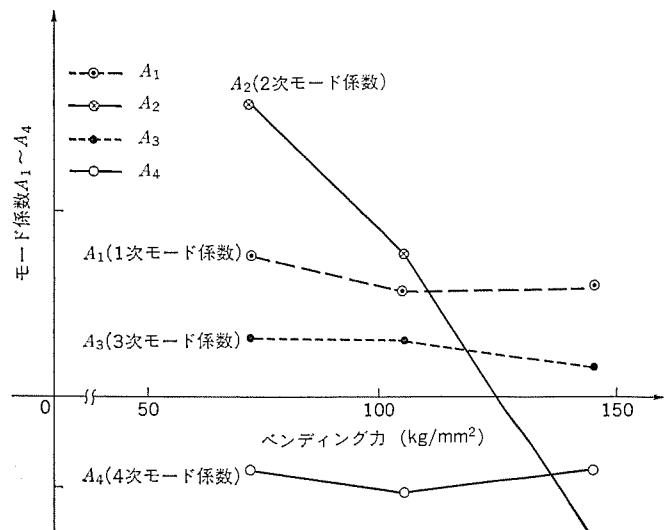


図10. モード係数の変化

- (2) ベンディング圧力の変化は係数  $A_2$  の変化として出現する。
- (3) 圧下 レベリングの変化は係数  $A_1$  の変化として出現する。
- (4) 一定範囲内においては、これらの係数変化はほぼリニアである。

すなわち、この展開法によって、ベンディング及びレベリング各アクチュエータの寄与分が分離できるので、制御は容易である。最適点は  $A_1 \sim A_4$  各係数の絶対値の和が最小になる点にあり、図10. の例においては、係数  $A_2 = 0$  となる点までベンディング圧力を変化させればよい。

制御装置の側から見れば、直交函数によるモード分離の利点として、制御ロジックが極めて簡素化されることが挙げられる。すなわちこの方法においては、最も重要な係数算出式(7)が単に乗算と和算の繰返しで完了するため、プラントコントローラ《MELPLAC》によってすべての機能を遂行することができる。

### 3.3 局部的形状不良の定量化と分割クーラント弁制御

前項に示した4次までのモード分離法によってロールベンディングを主とする形状修正機能が発揮されるが、ベンディングだけで対応しきれない局部的形状不良に対しては同様に限界がある。このために用意されるのが局部的形状不良定量化(検出)とそれに従った分割ロールクーラント弁開閉制御である。

前記の局部的形状不良定量化のために、式(8)を参照して、4次までの直交函数展開に乗らない高次項  $\varepsilon(i)$  に着目する。

$$\varepsilon(i) = \beta(i) - f(i) \quad \dots \quad (9)$$

この  $\varepsilon(i)$  の絶対値の最も大きいものを探索し、そこに局部的な形状不良が存在するものと仮定し、その局部的不良の量を、実測値  $\beta(i)$  と直交函数による展開値  $f(i)$  との誤差を最も少なくする量として定量化する。いま、測定点  $i=l$  において  $\varepsilon(i)$  の絶対値が最大であるとすると、このときの実測伸び率  $\beta(i)$  に対して仮想の伸び率  $\beta'(l)(i)$  を次のように定める。

$$\begin{aligned}
 \beta'(l)(i) &= \beta(i) (i \neq l) \\
 \beta'(l)(i) &= \beta(i) + \Delta \beta'_l (i=l)
 \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (10)$$

同様にして仮想誤差  $\varepsilon'(l)(i)$  を定義する。

$$\begin{aligned}
 \varepsilon'(l)(i) &= \beta'(l)(i) - f(i) = \varepsilon(i) (i \neq l) \\
 &= \varepsilon(i) + \Delta \beta'_l (i=l)
 \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (11)$$

この仮想誤差  $\varepsilon'(l)(i)$  の2乗和

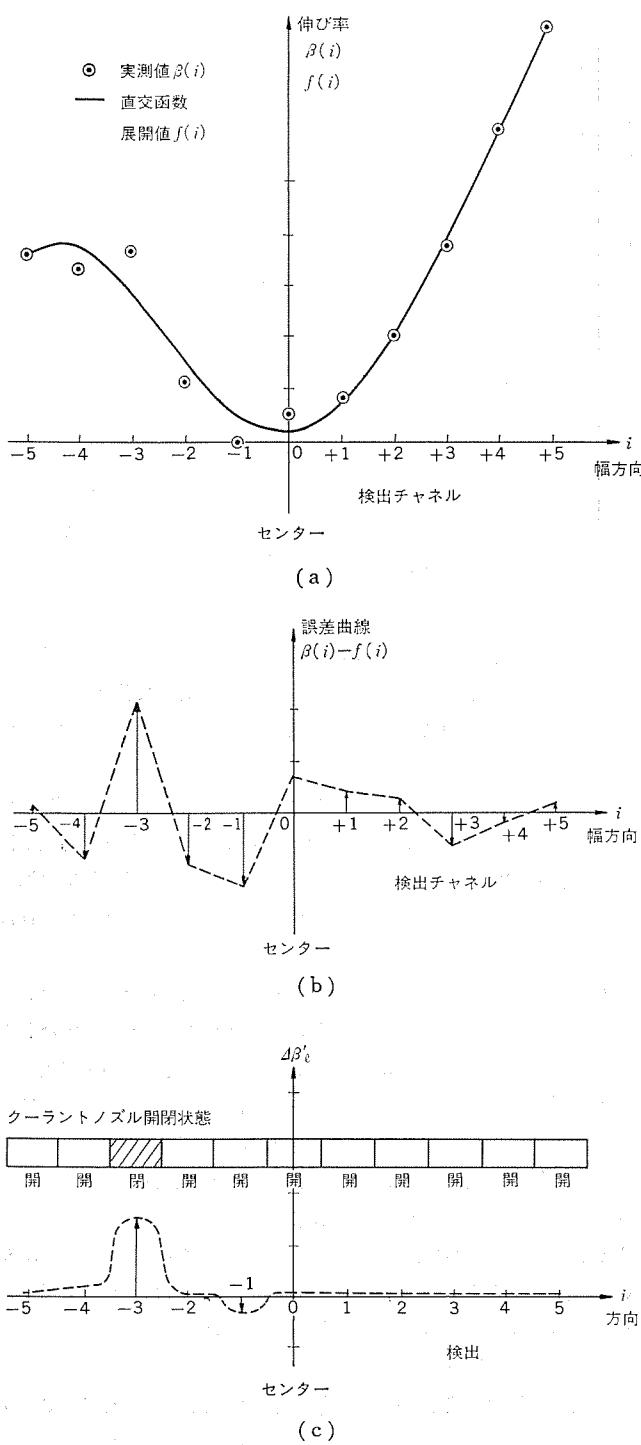


図 11. 局部的形状不良検出

$$\sum_{i=-N}^N [\varepsilon'(l)(i)]^2$$

は式(10)の  $\Delta\beta'_l$  の函数となるが、これを最小ならしめる  $\Delta\beta'_l$  の値を直交函数の性質を用いて求めることができる。

$$\mathcal{A}\beta'_{\ell} = \frac{\varepsilon(\ell)}{1 - \sum_{k=1}^4 [\varphi_{k(\ell)}]^2} \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

同様にして、式(11)における  $\delta^{(1)}(i)$  のうち絶対値が最大であるものを探し、式(10)へ式(12)を繰返し、誤差が十分小さくなるまで行うことにより、局部的形状不良が定量化できる。

図 11. (a)～(c) は分割 クーラント弁を 1箇所のみ閉とし他を開として十分時間を経た状態の形状についてこの方法を適用した例である。図 11. (c) より判明するように クーラント弁が閉となった所に局部不良が存在することが明確である。この方法によって局部的形状不良検出及び定量化ができるので、相対応して クーラント弁開閉の操作信号を作ることができる。

### 3. 4 冷延の全体制御システムの中の位置づけ

3.3節及び3.4節にて記載したように、当社にて完成した形状制御の手法はすべて解析的であり、プラントコントローラ《MELPLAC》にて十分対応できる。したがって、冷延の全体制御システムの中の位置づけとしては、AGC（自動板厚制御）又は主幹制御と同格のDDCコントローラとして、上位計算機より基準信号を受けとて制御するフィードバック制御の一部分と考えることができる。

4. す す び

形状絶対値化及び形状制御の2大項目に分けて、冷延鋼板の形状測定と制御に関する当社の技術の成果を紹介した。

これらは当社独自の技術であり、出願中の関連特許も20余件を数え、今後ますます発達していくものと考える。

当社としては、制御装置の供給者たる電機メーカーとしての寄与を今後とも推進するをめに、関係先各位の御指導を願う次第である。

参 者 文 献

- (1) 外山, 松谷ほか: 鉄鋼プラントにおける電子制御装置の応用, 三菱電機技報, 51, No. 8 (昭 52)
  - (2) 松谷: マグネット外力電極変位式形状検出器, 第 61 回塑性加工シンポジウム論文集 (昭 52)
  - (3) 大場, 渡辺, 下田: 冷間圧延における自動形状制御, 自動制御学会オートメーションシンポジウム予稿 (昭 56)

# 耐震G形コントロールセンター

藤本 隆一\*・佐藤 清\*・杉村 徹\*

## 1. まえがき

原子力プラントは、付近の公衆及び従業員に放射線障害を及ぼさないよう、安全性の確保に対して万全の配慮がなされており、その一環としてきびしい耐震性が必要とされる。また、その他のプラントにおいても、大規模化・システムが進むに従い、地震発生時に災害を最小限にとどめるよう、必要電力の確保やプラントの安全停止機能の必要性が高まっている。

このような状況のもとで、各耐震設計指針の見直しや設定が行われる一方、建屋はもちろんのこと受配電設備や制御盤に関しても、動的設計手法の必要性及び有効性が認識されるようになった。

これに対し、当社でも原子力プラント用電機品を中心に、早くから多自由度振動系の数値解析手法や耐震性実証方法に関して研究開発を行ってきた。

コントロールセンターは各種安全設備や補機電動機群などへ電力を供給する重要な低圧配電盤で、その構造は底面積の割に重心が高く、耐震性が問題とされる盤の1つである。

本稿では原子力プラントを中心として耐震設計指針を紹介し、耐震形コントロールセンターの開発に際し行った一連の耐震設計手法及び実証方法について述べる。

## 2. 耐震設計指針

コントロールセンターなどの盤に対する設計指針としては、

(a) 原子力発電所耐震設計技術指針<sup>(1)</sup>

(b) 変電所などにおける電気設備の耐震対策指針<sup>(1)</sup>

などがあるが、その他一般の電気設備については、現在指針などの検討段階にあり、電気・ガス・水道・石油化学コンビナートなどの各業界においては、最近各社においてそれぞれ耐震設計基準書などを作成し運用している。

### 2.1 原子力発電所の耐震設計技術指針

原子力発電所の耐震設計は、その目的から明らかに、安全上及び経済上の見地から表1に示すように重要度を分類し、それぞれに対応する設計地震力を規定している。

コントロールセンターについては、その目的からAクラスに対しては耐震仕様の盤を適用し、Bクラスに適用するものではなく、Cクラスに

しては標準仕様の盤を適用している。ただし、機能上Cクラスの盤であっても、転倒などによりAクラスの盤に悪影響を及ぼす盤については、機械的強度のみAクラスとして対応している。

また、盤の固有振動数については特に規定されず、盤を加振試験により実証することにより評価していたが、最近では盤の固有振動数が剛領域にあり地震と共振を生じない剛構造化が言われるようになりつつある。

### 2.2 変電所などにおける電気設備の耐震設計指針

変電所などにおいて地震被害により電力の供給に重大な支障をきたさないようにすることを目的とし、水力発電所、火力発電所及び開閉所などでも適用され、特に変圧器・開閉装置・計器用変成器・電力用ケーブル・母線などの主回路設備を対象としているが、コントロールセンターはこれらの機能を確保するための装置として適用を受ける。

配電盤類の設計は静的設計により、水平加速度1.5G(3階以下)と規定されている。これは、地表面加速度を0.3G、建屋の増幅を2倍、盤の応答倍率を2.5倍として求めた値である。

### 2.3 設計上の留意点

上記の指針などをふまえ、盤の耐震設計にあたっては下記の事項を留意する必要がある。

#### (1) 固有振動数

地盤の卓越振動数と建屋の固有振動数をあわせて考え、2~10Hzが盤のすえ(据)付点での卓越振動数域、すなわち床応答曲線が持ち上がる領域として考えられる。一般に1~20Hzが共振領域とされ、固有振動数が20Hz以上の剛領域の盤を剛構造と呼ばれている。剛構造の盤は地震時の応答加速度が小さく、機械的強度及び電気的特性に対して非常に有利である。

#### (2) 電気的機能保持

コントロールセンターは機器を動作及び運転するために必要な電力を供給する機能を有している。地震時にも投入信号により電源を投入できることが要求され、このために盤が十分な機械的強度を有するとともに下記機能を維持することが要求されている。

・投入信号により主回路を閉路できること。

・制御回路より不要な停止信号が発生し主回路を開路しないこと。

#### (3) 機械的強度

振動による加速度が盤に作用した場合、力として働き、構成部材に

表1. 耐震重要度分類と設計地震力

クラス	定義	設計地震力
A	機能喪失が原子炉事故をひき起すおそれのあるもの、及び原子炉事故の際に放射線障害から公衆を守るために必要なもの、安全上特に重要なもの(原子炉格納容器、原子炉停止装置)は通常Asクラス	据付位置の加速度(建物の動的解析から定まる加速度又は建築基準法に定める震度の3倍の加速度)の1.2倍以上の水平地震力と鉛直地震力を同時に不利な方向に作用するを考える。Asクラスは、Aクラスの1.5倍の地震に対して検討する。
B	高放射性特質に関連するもので、Aクラスに属する以外のもの。	動的解析を行う必要のある場合の水平地震力は据付位置の震度の1.2倍から定める。
C	Aクラス及びBクラス以外のもので通常の耐震性を有するもの。	設計地震力は必要と考えられる場合にのみ考慮する。

は応力が発生する。この応力が材料の許容応力以下であることを確認する必要がある。ここで特に注意する点は最大曲げモーメントを生じる盤据付部の基礎ボルト、基礎溶接部である。

#### (4) その他

上記以外に加速度応答倍率、変位応答倍率を小さくする方策、ロッキング振動、局部振動の防止策などについても考慮する必要がある。

### 3. G形コントロールセンターの耐震性能

G形コントロールセンターは表2に示すように、0.2~2.2Gまでの4シリーズを完成し、使用場所、用途、重要度により安全率を考慮して耐震G値により選択している。GX形は標準箱体に補強対策を施し、機械的耐震G値を2倍以上にしているが、電気的耐震G値は若干上がっているにとどまっている。GY形はGX形に対し耐震仕様の補助リレーを使用し、電気的耐震G値を2倍以上にしている。GZ形については、耐震専用に開発した製品であり、固有振動数を十分に向上し剛構造化して、耐震G値を2G以上とした。

表2. G形コントロールセンターの耐震性能

呼称	加振方向	耐震G値(G)		固有振動数(Hz)	外形寸法(mm)			概略重量(kg)	備考
		電気的	機械的		高さ	幅	奥行		
G形	前後	0.2	0.5	9.0	2,300	630	550	300	G形c/c標準タイプ
	左右	0.5	0.5	4.0					
GX形	前後	0.3	1.1	14.3	2,300	630	550	350	箱体のみ耐震仕様
	左右	0.5	1.1	8.0					
GY形	前後	1.1	1.1	14.3	2,300	630	550	350	箱体・Ry耐震仕様 (コンタクタb接点) (はランプ回路のみ)
	左右	1.1	1.1	8.0					
GZ形	前後	2.2	2.2	37.9	2,300	800	800	600	箱体剛構造・Ry耐震仕様 (コンタクタb接点) (はランプ回路のみ)
	左右	2.2	2.2	36.9					

注 (1) 耐震G値は盤設置床面での加速度を示し、共振周波数を含む。

(2) 電気的: 収納器具の誤動作、機械的: 構造部材の損傷。

(3) GZ形の固有振動数はタッピング試験により求めた。

### 4. 耐震設計手法

近年、多自由度系の動的振動問題の解析技術が確立しつつあり、その有効性が認識されてきた。これにより、従来の2~3自由度のモデルでは不可能であった構造の機能を最大に生かして、軽量で高剛性な盤の設計を目標とするようになった。図1にその解析手順を示す。

こうして設計段階において盤の動的挙動が十分検討できれば、適切な盤構造が得られ、設計時間が短縮できるだけでなく、加振試験や改良の時間も短縮できるか又は不要となる。

#### 4.1 振動解析理論の概要

構造系の動的問題は次の多自由度の運動方程式で表現される。

$$[M]\ddot{X} + [C]\dot{X} + [K]X = F \quad (1)$$

ここで、 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ はそれぞれ $n \times n$ 次元の質量、減衰、剛性マトリクスで、 $X$ は変位ベクトル、 $F$ は外力のベクトルである。

有限要素法における質量マトリクス $[M]$ はランプ・マス(LM)とコンシ

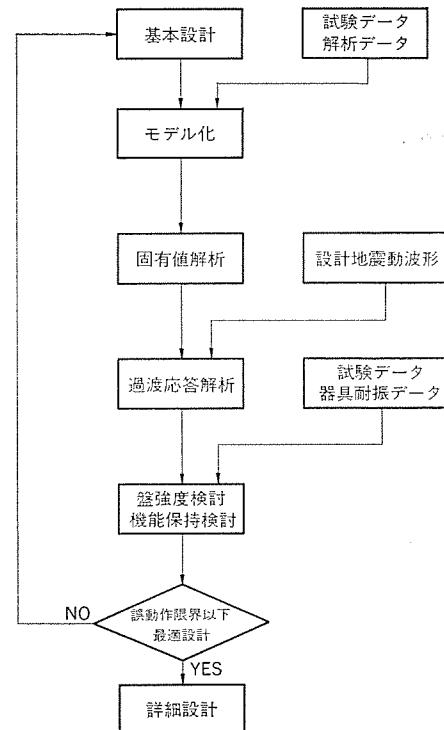


図1. 耐震設計手順

ステント・マス(CM)の2通りの作成方法があるが、両者を併用する場合が多い。LMは分布質量を各節点の集中質量に換算する方法で、CMは要素内部の変位関数 $[N]$ を設定し、

$$[M] = \int \int \int_v \rho [N]^T \cdot [N] dv \quad (\rho: \text{密度}) \quad (2)$$

により作成する。CMは理論的根拠(エネルギー原理)にもとづいて作成されるのに対し、LMはモデル作成者の工学的センスによるところが大きい。盤では主要構造部材をCMでモデル化し、取付器具などは集中質量としLMでモデル化する。

減衰マトリクス $[C]$ は減衰という物理現象そのものが複雑なこともあり、厳密な設定は難しい。減衰の要因として、構造物の内部摩擦によるもの(構造減衰)と周囲の流体の粘性によるもの(粘性減衰)を考えられ、マトリクスの相似性より $[M]$ と $[K]$ の線形結合で構成する比例減衰モデルが用いられる。

固有振動数及び固有振動モードの解析は式(1)でのMCK形の固有値問題を解くことになるが、制御盤などでは減衰が少なく、次の自由振動の式(3)でMK形の固有値問題をそのまま又は標準形に変換して解くのが実用的である。

$$[M]\ddot{X} + [K]X = 0 \quad (3)$$

式(3)で $X = X_0 \cdot E \times P(j\omega t)$ とすると、

$$[M]X_0 = \lambda [K]X_0 \quad \lambda = 1/\omega^2 \quad (4)$$

$[K]$ はコレスキ分解でき、

$$[K] = [S^T][S] \quad (5)$$

とすると、

$$[A]U = \lambda U \quad \lambda = 1/\omega^2 \quad (6)$$

$$[A] = [S^T]^{-1}[M][S]^{-1} \quad (7)$$

$$U = [S]X_0 \quad (8)$$

式(4)はMK形、式(6)は標準形の固有値問題といわれる。

固有値及び固有ベクトルの計算法は数多く発表されているが、大

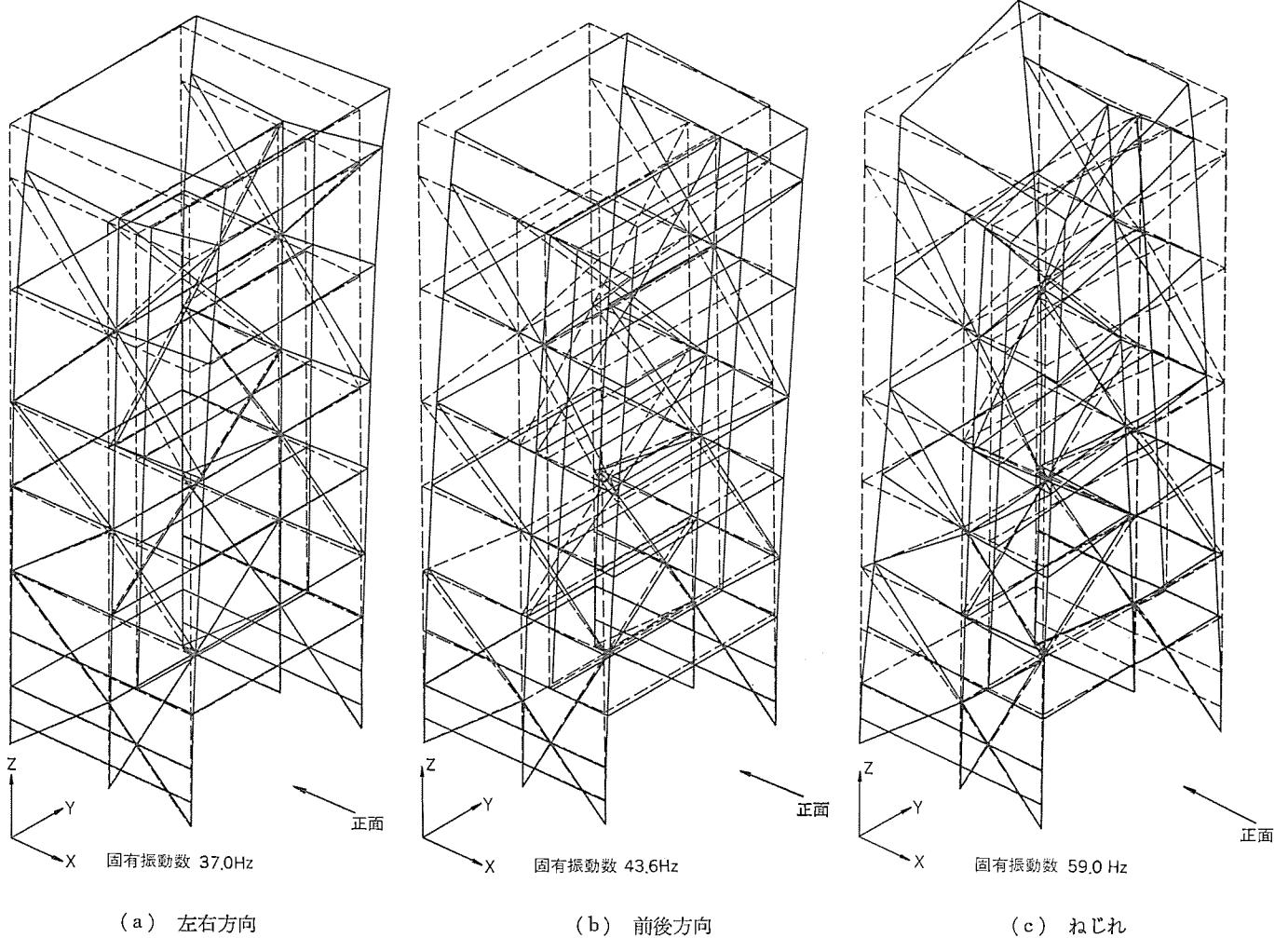


図 2. GZ 形 コントロールセンター 振動 モード

元の問題に適用できるものには逆反復法・並列反復法・サブスペースがあり、いずれもトライアルベクトルと対象とする行列を乗算し、直交化などのプロセスを行ったあと収束判定を行う安定した計算手法である。

地震力による盤の過渡応答の計算には固有振動モードを重ね合わせるモーダルアナリシスと式(1)を直接解く直接積分法があるが、後者は解析する応答時間が長くなると計算時間が多くなることや積分間隔のとり方など数値解析上の難しさがともなうのに対し、モーダルアナリシスは比例減衰を仮定すると、実質的に一自由度系の方程式として解けるため、実用的である。

この動解析により構造系の力学的挙動を忠実にシミュレートするには、解析モデルの設定が重要な問題になり、下記を留意する必要がある。

- (1) 盤の主要構造を正確にモデル化し、構成部材の機械的特性を明確にする。
- (2) 盤の据付強度、構造部材間の接続部強度、盤の基礎部の構造などを部分的な静解析や実験研究により定量化し、動的構造モデルに反映する。
- (3) 部分的な加振試験結果を利用する。

特に多自由度の解析では、その全体的な動的挙動が局部的で複雑な境界条件の影響を強く受ける傾向にあり、上記の(2)及び(3)項の評価を誤るとモデルが現実的でなくなる。

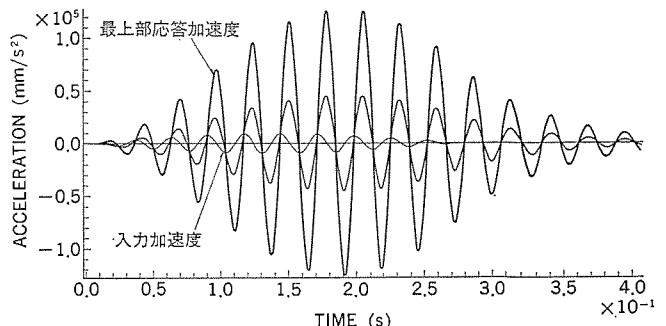


図 3. GZ 形 コントロールセンター 過渡応答計算

#### 4. 2 数値解析結果

耐震形コントロールセンターの開発にあたり、次のステップで数値解析を行った。

- (1) 標準形コントロールセンターの構造解析
- (2) 標準形の構造モデルをベースとして、モデル上での補強及び構造変更による、GX・GY形の構造解析及び設計
- (3) GZ形の構造解析及び設計

振動モードの例として、図2.(a), (b), (c)にGZ形コントロールセンターの左右・前後・ねじれのモードを示す。図3.はGZ形に関する過渡応答計算結果で、この例では正弦ビート波を加振入力としている。図4.(a), (b)は標準形コントロールセンターの基礎部分を有限要素法で静解析した結果で、それぞれ変形モード図及び応力分布

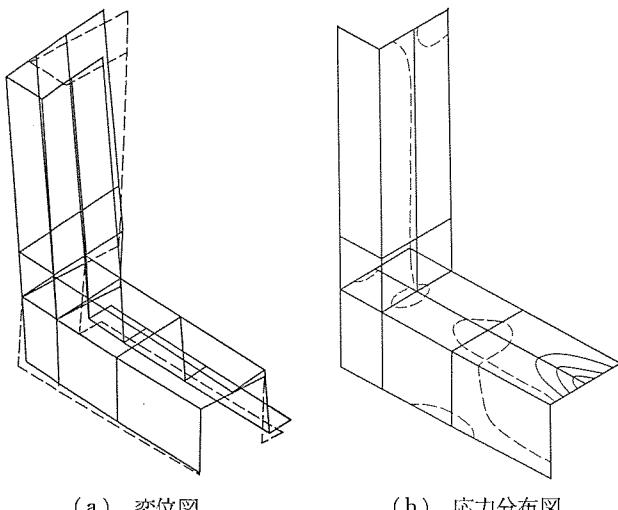


図 4. G形コントロールセンター基礎部静解析

表 3. 固有振動数と加速度応答倍率

固有振動数

	G形 (Hz)		GX・GY形 (Hz)		GZ形 (Hz)	
	計算値	試験値	計算値	試験値	計算値	試験値
第1次モード	4.3 (左 右)	4.0 (左 右)	7.4 (左 右)	8.0 (左 右)	37.0 (左 右)	36.9 (左 右)
第2次モード	7.0 (ねじれ)		10.2 (ねじれ)		43.6 (前 後)	37.9 (前 後)
第3次モード	12.0 (ねじれ)		15.0 (ねじれ)		55.0 (左 右)	
第4次モード	12.5 (前 後)	9.0 (前 後)	16.4 (前 後)	14.3 (前 後)	59.0 (ねじれ)	

加速度応答倍率 (共振時)

	G形		GX・GY形		GZ形	
	計算値	試験値	計算値	試験値	計算値	試験値
左右方向	7.2	5~7	9.0	5~8	12.8	5~9
前後方向	7.1	4~6	4.2	4~6	12.5	7~13

注 計算 (測定) 位置: 盤最上部

入力波形: 正弦ビート波

図である。各モデルでは、このような部分的な解析結果やユニット内の部分振動など長期にわたる実験研究結果を反映させていている。表3に固有振動数及び正弦ビート波の入力に対する共振時の応答倍率を示す。

標準形コントロールセンターの主な解析結果は

- (a) 縦わく(枠)下部に大きな曲げモーメントがかかり、盤の固有振動数や応答に影響を与えている。
- (b) 収納ユニットによる箱体の部分振動が発生することがある。
- (c) 前後方向に比べ、左右・ねじれの固有振動数が低い。

耐震GX・GY形では上記の点を改良し、特に盤下部の曲げ剛性は標準の約2倍にしている。

標準及びGX・GY形がフレーム構造であるのに対し、GZ形は固有振動数20Hz以上の剛構造を実現するために、せん断パネルに面外変形を防ぐフレームを接合した構造をしている。更に、H形の断面構造により左右・ねじれのモードに対処している。最大応力は標準・GX・GY形と同じく盤下部で発生しているが、剛構造の結果、曲げモーメントはほとんど発生せず、小さい応力で抑えられることが判明した。

以上より、加振試験結果と比較してかなり精度のよい解析結果であり、いずれの盤も1度の加振試験で設計段階に意図していた耐震性能を引き出すことができた。また、リレーや電磁接触器などの器具の機能保持に関しても、ユニット内の振動に関する部分的な試験結果や箱体解析結果によりほぼ正しく推定できた。

## 5. G形コントロールセンター加振試験

### 5.1 試験方法

加振試験の手順を図5に、加振試験状況を図6に示す。

#### (1) 掃引試験

加速度一定(約0.2G)の正弦波を5~30Hzまで掃引する。

(a) 盤全体及び各部の固有振動数の測定

(b) 共振応答曲線による各モードの減衰定数の算定

#### (2) 正弦波試験

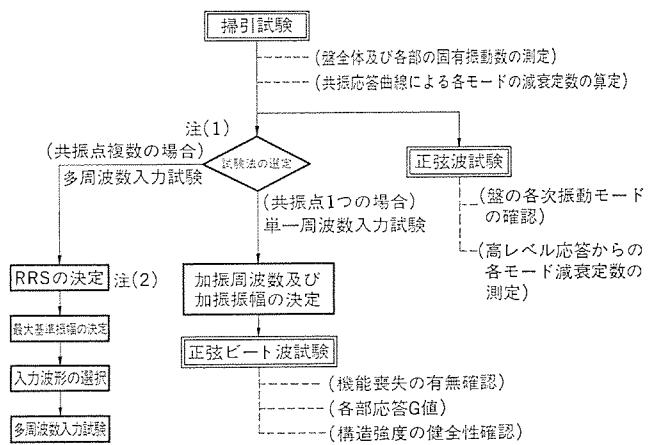
盤の固有振動数での正弦波で加振し、次に加振台を急停止させ供試体を自由振動させる。

(a) 盤の各次振動モードを確認

(b) 自由減衰による減衰定数の算定

#### (3) 機能維持確認試験

单一周波数の正弦波の振幅を正弦変化させた断続正弦ビート波(ビート数: 5ビート、ビート内波数: 10、ビート間隔: 2秒、周波数: 30Hz)



注(1) 同一加振方向で共振応答曲線の最大ピークの50%以上のピーク数  
 (2) RRS - Required Response Spectra

図 5. 加振試験手順

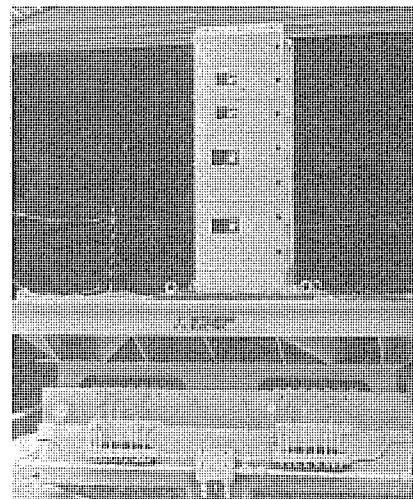


図 6. 加振試験状況 (GZ形)

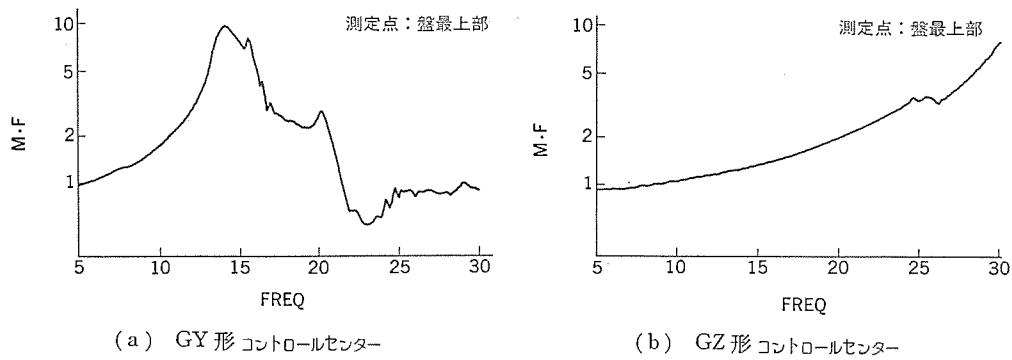


図 7. コントロールセンター 前後方向掃引試験

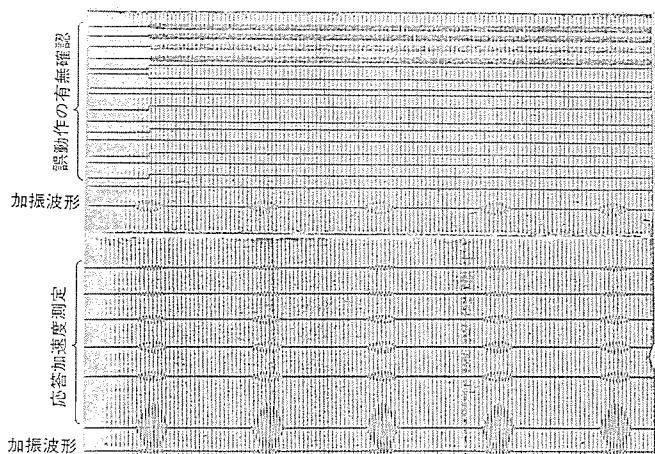


図 8. GZ形コントロールセンター 前後方向 正弦ビート波試験  
(周波数: 13 Hz, 加速度: 2.5 G)

以下の共振点と、5, 7, 9, 5, 13, 17, 22, 30 Hzにより加振する。

- (a) 誤動作の有無の確認
- (b) 各部の応答G値
- (c) 盤構造強度の確認

また、掃引試験で共振ピークが同一方向で5~30 Hz間に複数存在する場合は、多周波入力試験を追加する。

## 5.2 加振台性能

振動試験に使用した加振台の主な性能は、加振力が40 t·G、最大振幅が±100 mm、最大速度が70 cm/s、最大加速度が2.5 G、周波数範囲が0.1~30 Hz、振動波形が任意である。

## 5.3 試験回路

加速度測定は加振台及び盤主要部分に加速度ピックアップを取り付け、ブリッジヘッド及び動ひずみ(歪)計を介してデータレコーダー及びフォトコーダに記録すると同時に、AC/DC変換器と計算機を介してデジタルプロッタ及びディスプレイブラウン管に応答倍率カーブ、モードなどを処理する。電気的機能確認は盤内収納器具の接点をフォトコーダにより確認する。

## 5.4 試験結果と考察

### (1) 固有振動数

掃引試験による固有振動数測定結果を表3. 1c、代表的掃引試験結果を図7. (a), (b)に示す。

GX, GY形コントロールセンターは、G形の有効な補強及び改良により、前後方向で5.3 Hz、左右方向で4 Hz向上している。左右方向は前後方向に比べ低い値となっているが、リレーの誤動作方向が前後方向にあるため、また列盤方向であり問題とはならない。これに

対しGZ形はコントロールセンターとしては他に類を見ない十分剛構造といえる固有振動数を有していることが判明した。

### (2) 減衰定数

掃引試験結果より求めた値は次のとおりである。

GX, GY形: 前後方向5.0%,  
左右方向5.6%

GZ形: 算出不可能(ピークがないため)

また、正弦波試験結果より求めた値は次のとおりである。

GX, GY形: 前後方向7.5%, 左右方向8.1%

GZ形: 前後方向4.5%, 左右方向7.1%

上記に示すとおり良好な減衰性を示すことを確認した。

### (3) 振動モード

共振周波数による応答加速度を測定し、モード図を作成したが、解析によるモード図の図2. (a), (b), (c)によく一致している。

### (4) 機能喪失の有無の確認

共振周波数を含む各周波数における誤動作限界G値を測定した。最も弱点は補助リレーが無励磁状態のb接点である。コントタクタの無励磁状態のb接点も弱いが、この接点はランプ回路のみに使用しているため問題とならない。代表的試験オシログラムを図8.に示す。

### (5) 各部の応答G値

盤自身の剛性が影響を及ぼすのは当然であるが、据付けがボルトか溶接により異なり、あるいはチャンネルベースの有無による違いが大きく影響を及ぼすことが判明した。

### (6) 構造強度の健全性確認

表2.に示す耐震G値において、各盤は機能に支障をきたすような損傷は全く見られなかった。

## 6. む す び

以上、コントロールセンターに関する耐震設計技術指針の現状について述べ、動的振動解析の有効性を示した。基礎・据付部などの振動特性上重要な部分の詳細な解析や実験を組合せることにより、解析精度の向上が図れ、今後の方向としては、耐震設計だけでなく耐震性の実証手法として発展させていくことが考えられる。

## 参 考 文 献

- (1) 電気技術基準調査委員会: 原子力発電所耐震設計技術指針, " : 変電所等における電気設備の耐震対策指針, 電気協会
- (2) 三菱電機(株), (株)三菱総合研究所: VIBRAS Vr. 1 (昭50)
- (3) C. W. McCormic: MSC/NASTRAN USER'S Manual. The MacNeal-Schwendler Corporation (1976)
- (4) MARK-III Training Text. Structural Dynamics Research Corporation (1980)
- (5) 武藤ほか: 日本鋼構造協会第7回マトリクス構造解析法論文集 (昭50-6)
- (6) 松宮ほか: 原子力発電所向け電気計装品の耐震設計, 三菱電機技報, 53, No. 2 (昭54)

# 静止形無効電力補償装置の電力系統への応用

土井 淳\*・藤原 良一\*・阿部 茂\*\*

## 1. まえがき

電源から需要地まで電力を円滑に送るためにはその送電電力に応じた無効電力が必要となる。これは送電系統が主として送電線、変圧器などのインダクタンス  $L$ 、又は送電線対地容量などのキャパシタンス  $C$  よりなるためである。前者によって無効電力が消費され後者によって供給されるが、その量は送る有効電力の量によって変化する。また、無効電力は送電線の  $L$  により消費されるため遠くに送ることができず、ローカルに供給する必要がある。万一無効電力に過不足が生じるとその場所において電圧上昇あるいは電圧低下を招き、場合によつては安定な電力供給に支障をきたすことも考えられる。このような理由から無効電力は有効電力の流れをスムーズにするための「潤滑剤」、あるいは安定な送電を行うための「基盤」であると考えられている。

無効電力の地域的な需給制御をみると、一般に電源側では発電機の励磁制御によって無効電力の連続的かつ応答のよい制御が行われている。これに対して需要地側すなわち受電端においては、並列リクトルと並列コンデンサの ON、OFF による大まかな調整が主であり、まれに同期調相機が用いられる程度である。したがって、日常的な電圧制御には変圧器のタップ制御が用いられている。同期調相機以外のこのような受電端側の電圧制御装置は応答が遅く制御も離散的であるため、急激かつ大きな無効電力変動が予想される場合及び負荷特性が悪く電圧不安定現象を生じるおそれのある場合には、性能が不十分であることが認識されるようになってきた。また、同期調相機は回転機器であるため、保守あるいは電力動搖を生じるという点から好まれないことが多い。

静止形無効電力補償装置 (SVC : Static Var Compensator) はこのような従来の装置に代わるものとして開発された新しい無効電力制御装置である。SVC はサイリスタ制御により直接無効電流を制御するため応答が速く、タイプによっては連続制御が可能である。また、静止機器であるため保持が簡単で、慣性がないため電力動搖も生じない。

SVC はサイリスタ制御リクトル方式、サイリスタ制御コンデンサ方式、両者のハイブリッド方式の 3 つに大きく分けられる。これらは主回路構成が単純で信頼度が高く、海外ではカナダやアメリカなどにおいて実系にかなり用いられはじめている。最近世界に先がけて我が国で実用化試験が進められている SVG (Static Var Generator) は自励インバータ方式の無効電力制御装置で、原理的に無効電力を発生あるいは消費する  $C$  や  $L$  が不要となる特長がある<sup>(1)</sup>。このため、SVG はコンパクト性を生かして、配電系統への応用が考えられている。なお、SVG の特性は SVC と同様に考えることができるため、以下では SVC について話を進めることにする。

ここでは実系において SVC の設置効果を検討する場合に必要な SVC の基本的な事項、すなわち SVC の基本的特性、代表的な用途、効果的な設置場所、必要な容量などについて述べる。

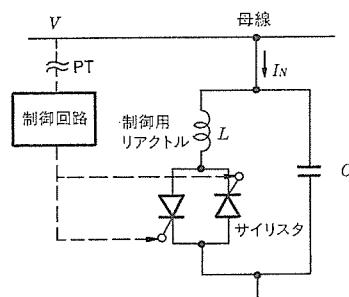
## 2. SVC の特長

### 2.1 基本特性

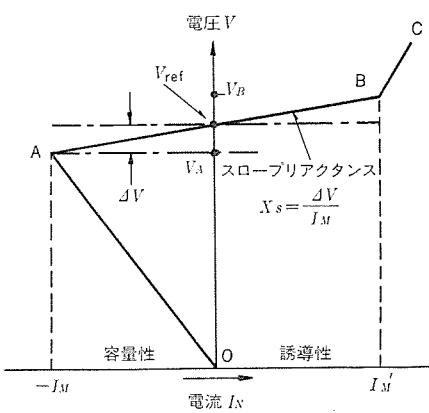
サイリスタ制御リクトル方式の SVC の構成、制御ブロック図、電圧電流特性を図 1. に示す。他の方式の SVC もハードウェア構成が異なるだけで、基本的な制御方式や特性はほぼ同じである。SVC では通常発電機の励磁制御と同様に定電圧制御が行われる。SVC の電圧が設定値  $V_{ref}$  より大きいと、位相制御により SVC は誘導性となり、無効電力を消費して系統電圧を下げるよう働く。逆の場合には無効電力を系統に供給する。この結果 SVC の電圧は、ほぼ一定に保たれる。この定電圧特性は図 1. (b) の線分 AB で示される。SVC が定電圧特性を示すのは動作点が線分 AB 上にある時だけで、電圧が  $V_B$  以上になると SVC は単にリクトルとして、 $V_A$  以下では単にコンデンサとして働く。すなわち、直線 BC 及び直線 OA はそれぞれ SVC の  $L$  容量、 $C$  容量に対応している。線分 AB の傾きは SVC の定電圧特性を決める重要な定数で、スローブリクトンス  $X_s$  と呼ばれる。 $X_s$  の値は SVC の容量、必要な定電圧特性を勘案して決められる。

### 2.2 SVC の種類と特長

電力系統の無効電力制御を目的とした SVC のシステム構成については数多くのものが提案されている<sup>(2)~(5)</sup>。代表的な方式を図 2. に示



(a) 構成及び制御ブロック図



(b) 電圧電流特性

図 1. SVC の構成と特性

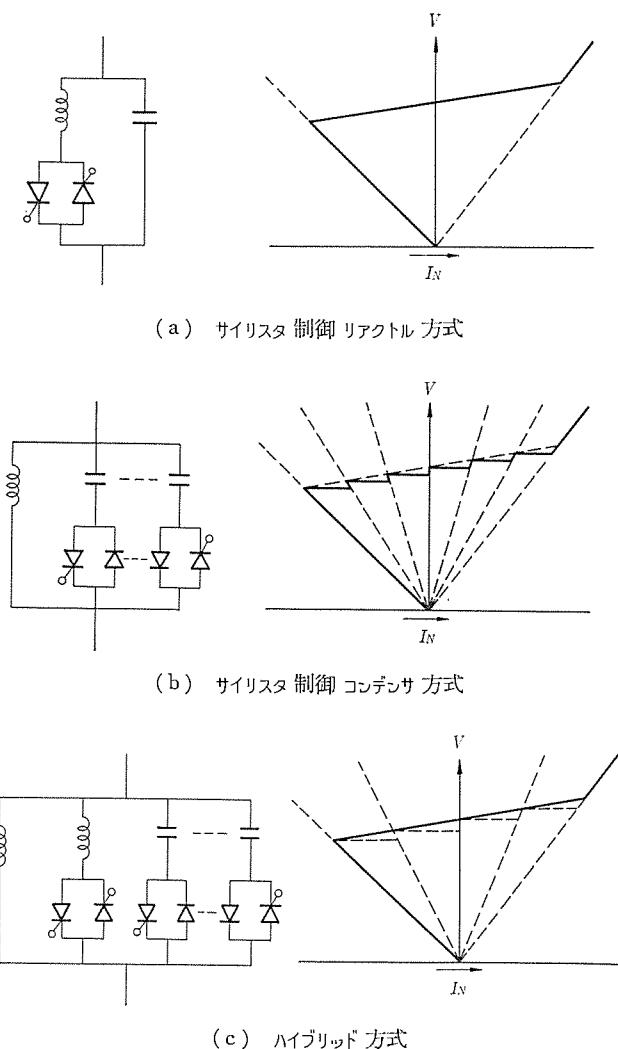


図 2. 代表的な SVC のシステム構成

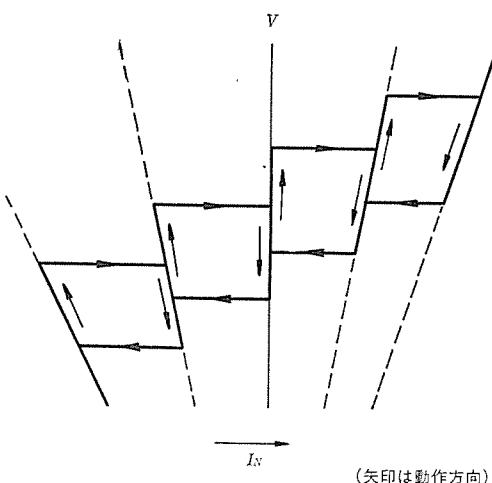


図 3. ヒステリシスを導入したサイリスタ制御コンデンサ方式の電圧電流測定

す。サイリスタ制御コンデンサ方式は数多く分割されたコンデンサのスイッチング操作によって無効電力を制御し、図1.(b)と同様の特性を実現するものである。ハイブリッド方式はサイリスタ制御リアクトル方式の  $L$ ,  $C$  を何段かに分割し、それらのスイッチング操作を併用することにより位相制御するリアクトルの容量を減らした方式である。

サイリスタ制御コンデンサ方式は離散形制御になるため、スロープリアクタ

ンス  $X_S$  を小さくすると、コンデンサが ON, OFF を繰返し、ハンチング現象を生じることがある。これを防ぐためには図3.に示すようなヒステリシスが必要となる。サイリスタ制御リアクトル方式及びハイブリッド方式は連続形制御であるため、このようなおそれはない。

逆に、サイリスタ制御リアクトル方式では、高調波を抑えるため、多相化する必要がある。これに対して、サイリスタ制御コンデンサ方式では高調波の発生はない。また、ハイブリッド方式では、サイリスタ制御リアクトルの容量が小さくなるため、高調波の発生量がかなり少なくなる。

### 2.3 SVC の用途<sup>(5)~(8)</sup>

無効電力制御装置としての SVC は現在受電端電圧の維持、UHV送電及び DC 送電の無効電力源、広域相差角送電といった分野への応用が検討され、一部は実用化されている。特に Hydro Quebec (カナダ) での James Bay Project における SVC の採用が特筆すべきものである<sup>(6)</sup>。この場合、大容量長距離送電において次のような目的を持って積極的に利用されている。

(a) 定常状態における微少な電圧変動の抑制

(b) 事故後の大幅な電圧変動に対して、急速な無効電力の供給による系統の安定度強化、すなわち、

- ・中間調相設置としての送電能力の増加

- ・電圧低下に対する無効電力の供給

- ・1回線開放で生じる無効電力損失の補償

(c) スイッチングあるいは負荷脱落時の過電圧の抑制

このほか、SVC の定電圧制御回路に連系線潮流のフィードバック信号を入れ、系統間の電力動搖を抑えるといった制御もスウェーデンなどで具体的に検討されている<sup>(5)</sup>。

## 3. 電圧安定化制御

### 3.1 電圧不安定現象

最近の電力系統は次のような特長がある。

(a) 電源の遠隔化、負荷の偏在化によって外輪の基幹送電線が長距離、大容量となる。

(b) 空調設備などの普及によって、負荷特性が悪化する。すなわち低力率、定電力特性となる。

このため、外輪線を流れる潮流が増大し、基幹送電線のリアクタンスが変化（1回線開放など）したとき、系統各所での無効電力の需給アンバランスが顕著になる。これによって、里側の電圧変動が従来になく大きくなることがある。将来、受電端電圧の大幅な低下あるいは電圧崩壊といった事態も予想される。したがって、受電端における動的な電圧変動を抑え、健全な運用範囲に維持することが重要な課題となっている。

このような動的な電圧変動に対しては、従来の並列コンデンサ及び並列リアクトルあるいは負荷時タップ切換変圧器などではその応答速度が遅く、変動を抑えることができない。これに対して、SVC は被制御電圧の変動に応じて適正量の無効電力をすばやく供給できるため、電圧安定化効果が期待できる。

### 3.2 制御回路<sup>(9)(10)</sup>

制御回路の構成を図4.に示す。ここで、 $T_V$  は電圧検出の1次遅れフィルタの時定数、 $K_V$  は図1.に示す  $V/I$  特性を実現するためのゲイン（スロープリアクタンス  $X_S$  の逆数）、 $T_D$  はサイリスタ回路のむだ時間遅れ、 $K_N$  は系統特性である。系統特性を含めたサイリスタ制御回路の一巡の伝達関数は次式で表される。

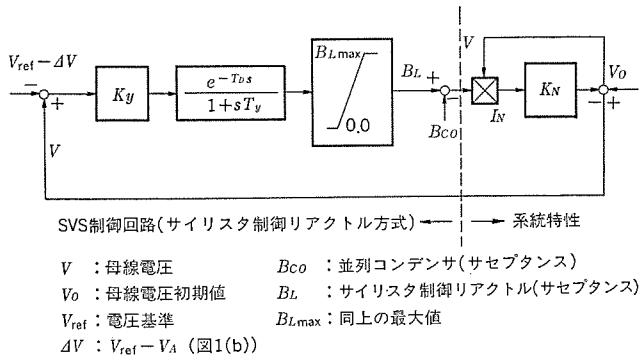


図 4. SVC の電圧制御 ブロック 図

$$\frac{\Delta V}{\Delta V_{ref}} = \frac{K e^{-T_D s}}{1 + T_y s + K e^{-T_D s}} \quad (K = K_y K_N) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで制御回路が安定であるためには、近似的に次式を満たす必要がある。

$$K < 1 + 2T_y/T_D \quad \dots \dots \dots (2)$$

また、制御回路の交差周波数  $\omega_c$  は系統特性を含めて次式で表される。

$$\omega_c = \sqrt{K^2 - 1}/T_y \quad \dots \dots \dots (3)$$

SVC の電圧安定化効果はこの交差周波数  $\omega_c$  が大きいほど効果的であると言える。ある模擬系統実験では安定限界が  $\omega_c = 1,000$  rad/sec 程度であった。そこでゲイン及び位相余裕を考慮すると、

$$\left. \begin{aligned} \omega_c &= 200 \sim 300 \text{ rad/sec} \\ T_y &= 50 \text{ msec (電圧検出 12 相整流)} \\ K &= K_y K_N = 10 \sim 15 \text{ pu} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (4)$$

が、電圧安定化に最も効果的と考えられる。実規模系統では  $K_N$  が数 % 程度であるため、 $K_y$  は数百となり、スローブリアクタンスとしては 1 % 程度となる。

しかし、このような超速応、高ゲインの定電圧制御を用いると、事故などの大幅な電圧変化に対しては、変化後ただちに補償範囲の限界に達することになる。このような場合、制御回路はリミッタに達しており、事故除去後の定電圧制御の回復が遅れるおそれがある。したがって、大じょう(擾)乱時には、定電圧とは別の制御を用意する必要がある。例えば電圧が大幅に低下した時、制御回路を適当な状態(出力零又は事故直前の状態)にロックし、電圧が回復した後、その状態を初期値に定電圧制御を行う方法がある。

### 3.3 電圧安定化効果<sup>(9)(10)</sup>

前章で述べた 3 種の SVC 間の特性比較を行った模擬系統実験によれば、次のような点が明らかになっている。サイリスタ制御リアクトル方式及びハイブリッド方式では何等問題なく電圧安定化される。これに対し、サイリスタ制御コンデンサ方式では電圧制御ループにヒステリシスを設けないと、定常状態でハンチング現象が生じる。ヒステリシスの幅については、系統の電圧特性を考慮して決める必要がある。また、ヒステリシスの導入により、当然電圧変動に対する応答が悪くなる。したがって、電圧安定化制御のためにはサイリスタ制御リアクトルを用いた連続形のものが優れていると言えよう。

電圧安定化のために SVC を実系統に設置するとき、安定化に最も効果的な場所を選ぶ必要がある。送電線インピーダンスが  $\Delta Z$  変化した時、SVC の無効電力変化を  $\Delta Q$  とすれば、系統各所の母線電圧変化  $\Delta V$  は次式で表される。

$$\Delta V + C \Delta Z + \Delta Q = 0 \quad \dots \dots \dots (5)$$

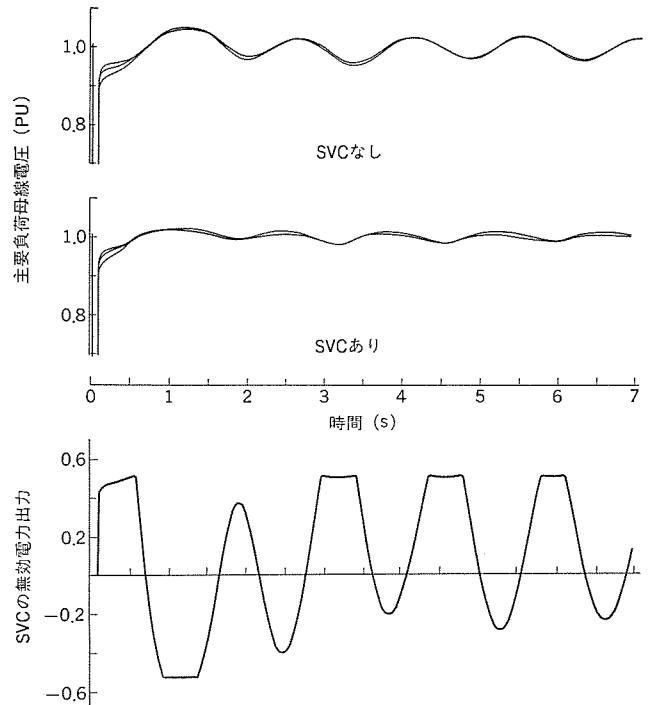


図 5. 電圧安定化効果の解析例

したがって、 $\Delta Z$  が与えられれば、 $\Delta V$  をある範囲内に入るように  $\Delta Q$  を線形計画法によって決めることができる。各母線での  $\Delta Q_i$  の大きさを比べることで、最も有効な場所を選ぶことができる。なお、外輪基幹系と樹枝状の負荷系をもつような系統構成においては、基幹系から負荷系に枝分かれしていく分岐点に設置するのが最もよいという解析結果が得られている。

あるループ系統でのシミュレーション解析例を図 5. に示す。外輪基幹送電線での 3LG(3.5 c/s) - 3LO によって生じる電圧変動は系統容量の約  $\frac{1}{60}$  の SVC の設置により、図 5. に示す程度に抑えることができる。

## 4. 電力動揺の安定化制御

### 4.1 電力動揺の不安定現象

電力系統の信頼度を向上するとともに、予備力を融通して電源設備の効率的な運用を行うために大規模な系統連系が行われている。しかし、連系が広域化すると、両端の系統間の電気的な距離が長くなるため、系統間の電力動揺の減衰が著しく遅くなったり、時としては不安定になることもあります。同期運転を行ううえで問題になる。このような系統間の電力動揺に対して PSS(電力系統安定化装置)が有効であることはよく知られているが、ここで述べる SVC で連系点の無効電力を制御することによっても電力動揺を安定化できる。

### 4.2 電力動揺の安定化制御回路

電力動揺制御では、電圧制御の場合と異なり、基本的には図 6. に示すように連系線の有効電力潮流の変動に応じて SVC の出力を制御することになる。

しかし、連系系統の構成は複雑であり、特性もそれぞれの系統で異なる。そこで、系統ごとに適切な制御回路を設計するため、周波数応答を用いる方法と状態フィードバックを用いる方法の 2 手法を開発した<sup>(11)</sup>。これらの方法を使えば、連系系統の周波数応答を計算したりあるいは固有値計算の後で極を再配置するなどして一定の手順

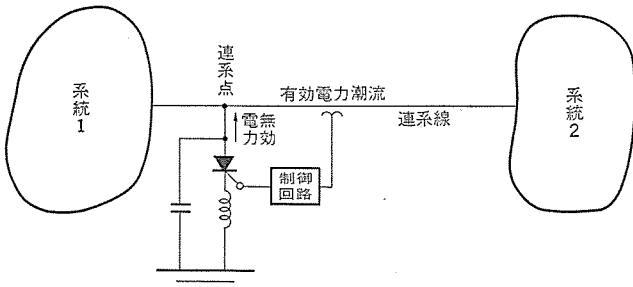


図 6. 電力動揺制御の適用例

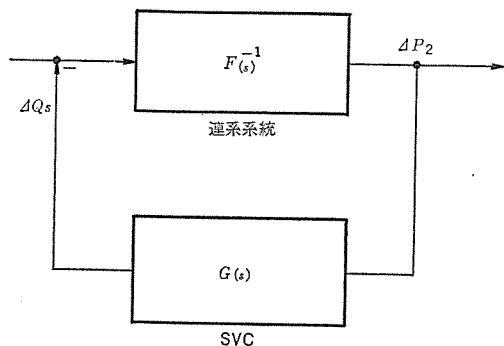


図 7. 系統の ブロック 図

で簡単に制御回路を設計できる。ここでは1例として周波数応答を利用する方法の概略を紹介する。

図 6. の系統を考えることにする。まず連系点から系統1を見たときの伝達関数である式(6)を求める。もちろん、この式には発電機やその制御器である電圧調整器、PSS、調速機のほか、負荷の動特性なども考慮されている。

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta Q_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1(s) & B_1(s) \\ C_1(s) & D_1(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Q_C \\ \Delta V_C \end{bmatrix} \quad (6)$$

ただし、 $\Delta P_1$ 、 $\Delta Q_1$ は連系点から系統1へ流入する潮流の有効分偏差と無効分偏差で、 $\Delta V_C$ 、 $\Delta Q_C$ はそれぞれ連系点の電圧とその位相の偏差を表し、 $s$ は微分演算子を示す。

次に、同様にして系統2を見たときの伝達関数を求める。更に、SVCの無効電力出力偏差を $\Delta Q_S$ と表すと、連系点の潮流に関する式の関係が成り立つ。

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \Delta Q_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta Q_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta Q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1(s) + A_2(s), B_1(s) + B_2(s) \\ C_1(s) + C_2(s), D_1(s) + D_2(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Q_C \\ \Delta V_C \end{bmatrix} \quad (7)$$

同式より、SVCの出力から連系線潮流への伝達関数

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta Q_S} = F(s)^{-1} \quad (8)$$

が容易に計算できる。そして、連系系統の安定性は、

$$F(s) = 0 \quad (9)$$

の根の位置から知ることができる。また、SVCで系統を制御している場合は図7.のブロック図の関係になるので、SVCを含む全系の安定性は、

$$F(s) + G(s) = 0 \quad (10)$$

の根の位置からわかる。そこでナイキストの安定判別法にしたがって、まず $F(j\omega)$ の軌跡を描いて系統の安定性を判断した後、 $F(j\omega) + G(j\omega)$ の軌跡が電力動揺の周波数付近で原点を囲まないよう $G(s)$ を選べば、適切なSVCを設計できる。もちろん、このとき電圧動

揺など他の周波数領域で原点を囲んで不安定になることがないよう注意する必要がある。

#### 4.3 電力動揺の安定化効果<sup>(11)</sup>

我が国における60Hz系統は500kV送電線で連系されたくし形系統をしていることはよく知られている。このようなくし形系統の基本的な形態である図8.の3機くし形系モデルにSVCを適用したときの効果を示そう。まず、系統を簡略化して周波数応答を用いた方法でSVCを設計したところ、連系線潮流の微分値に従って出力を制御する

$$\Delta Q_S = \frac{0.2s}{1+0.1s} \Delta P \quad (11)$$

という制御が有効であることがわかった。また、状態フィードバックを用いる方法で設計してもほぼ同様の結果が得られた。

こうして設計されたSVCを各系統の連系点に設置すると系統の安定度がどのように改善されるか見るため、系統の固有値を計算した結果が表1.である。この系統は3機系であるから両端の系統間の電力が動揺する第1次モードと3つの系統のそれぞれの系統間で動揺する第2次モードの電力動揺があり、SVCがないと第1次モードの固有値実部が正になって不安定になることがわかる。また、固有値実部の変化から、SVCを端の系統に設置すれば第1次モードに、また中央系統に設置すれば第2次モードにそれぞれ効果があることがわかる。

これらのSVCの効果をシミュレーションで示したものが図9.である。それぞれ表1.のケースと対応しており、

(a) SVCがないと系統は安定限界付近にあり、発電機出力( $P$ )や連系線潮流( $P_C$ )はわずかに振動発散している。

(b) SVCを両端系統に設置すると系統は安定になるが、4秒以降の発電機出力波形から第2次モードの振動が残ることがわかる。

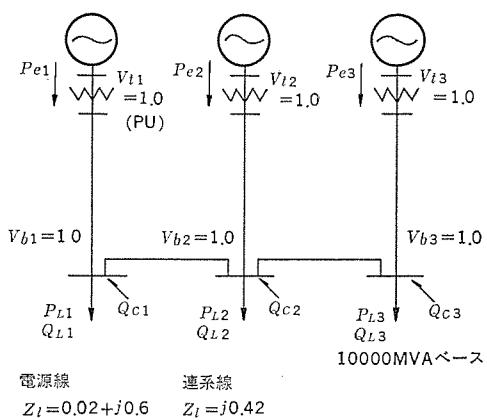


図 8. 3 機くし形系

表 1. 電力動揺の固有値

固 有 値 設 置 場 所	第 1 次 モ ー ド	第 2 次 モ ー ド
な し	$0.1(s^{-1}) + j5.5(\text{rad/s})$	$-0.1(s^{-1}) + j6.4(\text{rad/s})$
端 の 系 統	$-0.3 + j5.7$	$-0.1 + j6.4$
中 央 系 統	$0.1 + j5.5$	$-0.3 + j6.5$
両 端 の 系 統	$-0.7 + j6.0$	$-0.2 + j6.4$
全 系 統	$-0.7 + j6.0$	$-0.4 + j6.5$

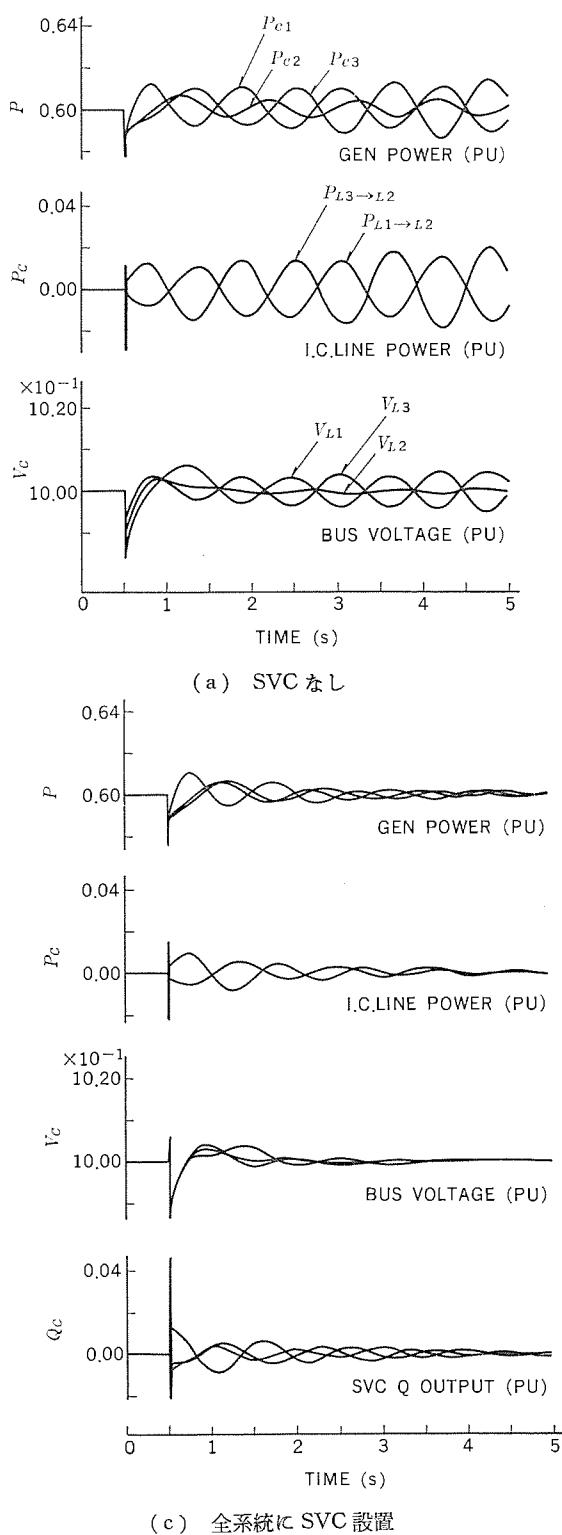
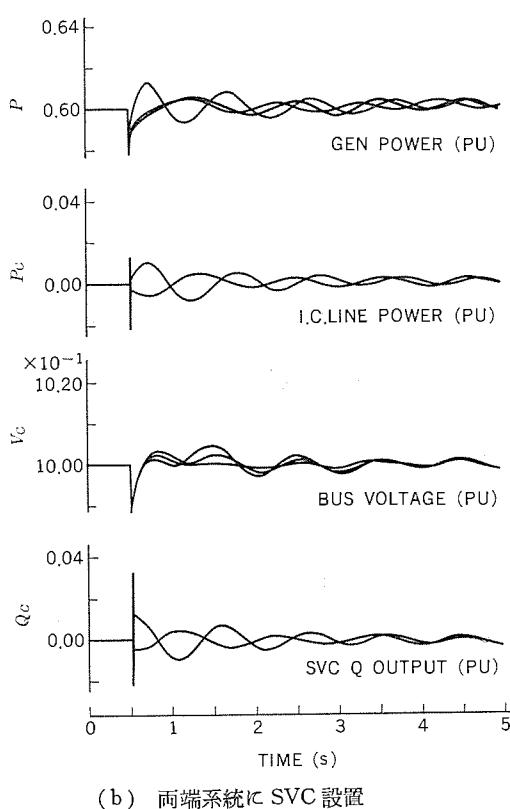


図 9. 3 機くし形系の動揺波形

(c) SVC を中央系統にも設置すると第 2 次モードの減衰も改善され、系統は十分安定になる。

以上の検討から SVC が電力動揺を抑制するのに効果があることがわかる。ところで実際の系統を考えてみると、SVC をどの地点に設置すればより効果的であるかを知ることは重要である。1 つは前述の例でも少し述べているように固有値の感度を使う方法があ



(b) 両端系統に SVC 設置

の悪化が進む今日、受電端の無効電力制御により系統の安定度改善を行うことは大変効果的であると思われる。今後、電圧安定化制御を中心 SVC は広く用いられていくであろう。

終わりに、この論文の作成に際し適切な助言と御指導をいただいた関係各位に謝意を表する次第である。(昭和 56-6-9 受付)

## 参考文献

- (1) Y. Sumi et al : IEEE PES Winter Meeting, WM 81 228-6 (1981)
- (2) A. Th Kefalas, D. Mukhedkar : IEEE PES Winter Meeting, A 78 113-3 (1978)
- (3) CIGRE Working Group 30-01 : CIGRE Paper No. 31-08 (1974)
- (4) K. Reichert, et al : CIGRE Paper, No. 31-08 (1974)
- (5) A. Olwegard, et al : ibid, No. 32-20 (1976)
- (6) R. Elsiger, et al : IEEE PES Winter Meeting, A 78 107-5 (1978)
- (7) J. H. Cronim, et al : ibid A 78 108-3 (1981)
- (8) R. L. HAUTH, et al : IEEE Trans, on PA and S, PAS-97, P. 1955 (1978)
- (9) 伊能, 土井, 木下: 電気学会論文誌B分冊, 100-B, P. 299 (昭 56-6)
- (10) 小貝, 伊能, 木下, 土井: 電気学会研資, SPC-80-24 (昭 55-11)
- (11) 藤原, 阿部, 茂田, 小畑: 電気学会論文誌B分冊, 100-B, P. 101 (昭 56-2)

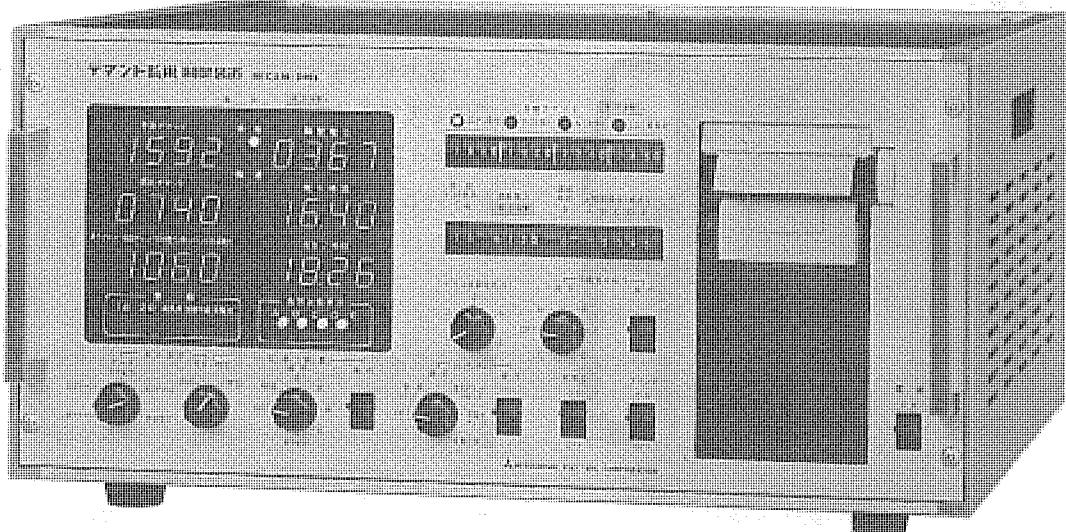
る。各設置候補場所に順次 SVC を設置して固有値計算を行い、不安定な電力動揺モードの固有値に最も感度の高い地点を選ぶ。もう 1 つは潮流計算と固有ベクトルを使う方法である。不安定な電力動揺モードが大きく表れる発電機を固有ベクトルで判定した後、負荷の無効電力変動が前記の発電機の出力に最も影響する地点を潮流計算で決めれば最小容量の SVC で系統を安定化できる。

## 5. むすび

この論文では SVC による電圧安定化制御及び電力動揺安定化制御について述べた。

電源の遠隔地化、誘導機負荷の増大による負荷特性

# 三菱デマンド監視・制御装置 《MICAM-DMX》

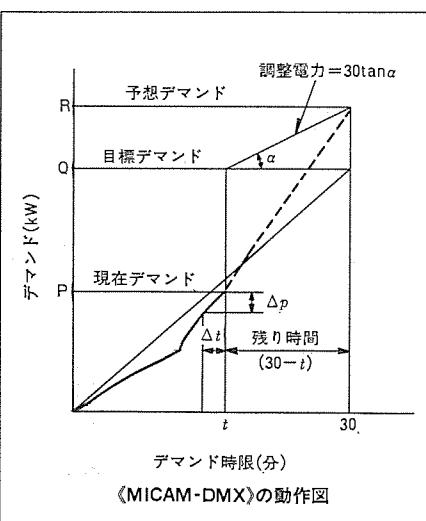


三菱電機では、電力消費の多い工場・ビルの省エネルギー化を推進するため、必要最小限の契約電力を推持するとともに、契約電力の超過防止を行うデマンド監視・制御装置《MICAM-DMX》を発売しました。本装置は契約電力500kW以上のあらゆる業種に適用できるよう、表示機能や制御機能を充実させています。

## 基本原理

発信装置付電力量計のパルス信号、あるいは電力会社の取引用電力量計のパルス信号を検出器を経由して入力し、次の演算を行い、デマンド情報として表示します。

- 現在デマンド(P)
- 予測デマンド(R)
- 調整電力(U)
- 平均電力
- 残りデマンド
- 許容電力



また、演算結果でデマンド値が契約電力値を超過する恐れのある場合、警報や制御信号を出力し、超過を未然に防止します。

## 特長

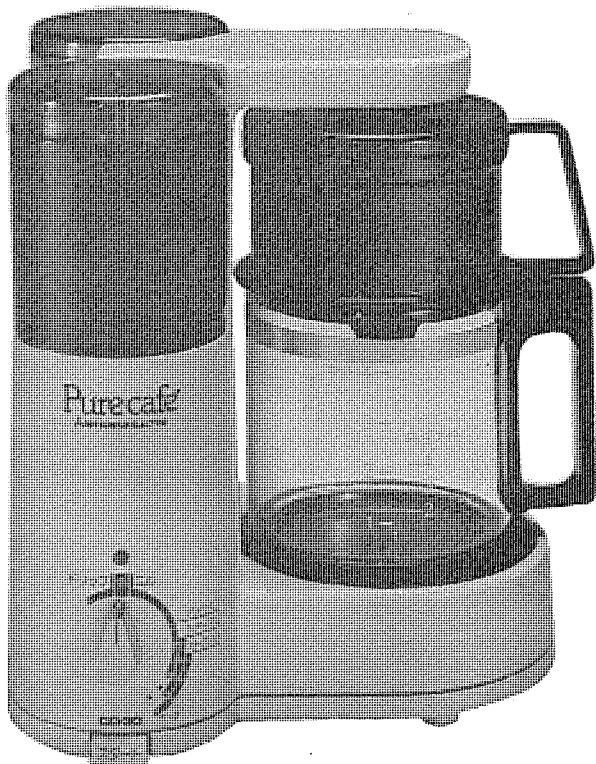
- 高精度で豊富なデータ表示  
デマンド監視に必要なデータをすべて演算して表示します。
- 各種警報出力付
  - ・ 第1段警報（デマンド超過予測警報）
  - ・ 第2段警報（負荷抑制催促警報）
  - ・ 高負荷警報（5分間平均値における過負荷警報）
  - ・ 制御不能警報
- 5回路の負荷制御が可能
- 自動プリンタにより各種データを記録
  - ・ 電力量、デマンドの正時記録
  - ・ 1日合計、月間合計記録
  - ・ 負荷制御記録
  - ・ 停電記録、他
- 高精度な時間帯別管理が可能  
1時間帯から4時間帯まで、いずれの契約にも対応できます。
- 将来の仕様変更にも容易に対応可能  
入力パルス形態の変更、PT比、CT比の変更にも、デジタルスイッチの切り換えにより容易に対応できます。
- 停電補償付  
停電時でも、200時間はすべてのデータを記憶していますから、停電時に時限合せをする必要はありません。
- 遠方監視装置（オプション）  
用シリアルデータ出力付  
遠方監視に便利な表示器が用意されています。（4線式シリアルデータ出力に接続）

## 導入効果

負荷設備の増加により200kWの契約電力アップが計画されていた場合、《MICAM-DMX》の導入により、需要電力を平均化して現契約電力で運用すると、年間約600万円の電気料金が節約できます。（契約電力5200kWのところを、5000kWに抑制した場合の試算例）

スポット  
ライト

渋皮を除去して、豆の持ち味を生かす  
三菱コーヒーメーカー《ピュアカフェ》



CO-30(AW)



CO-20(AW)

今や暮らしに欠くことのできなくなったコーヒー。三菱電機では、このコーヒーを手軽に、そしておいしく作れるミルつきコーヒーメーカーを新発売しました。おいしさの秘訣はコーヒー豆本来の味を阻害する渋皮（シルバースキン）や、粉砕で生じる微粉末を除去できるようにしたことです。さらに、タイマー制御で好みに合せてアメリカンからストロングまで挽き分けることができ、おいしさと使いやすさを大幅に向上。本格派のコーヒータイムを充分に楽しめます。

特長

- 渋皮フィルターの働きで、渋皮と微粉末を除去でき、スッキリした味が得られます。
- アメリカンからストロングまで、好みに合せて挽き分けられます。またCO-30の場合、ミルタイマで挽き方はワンタッチ。
- 4枚刃ミルカッターです早く粉砕、おいしさを逃しません。
- コードリール式のため、あと片付けが簡単です。（CO-30）
- 円筒形カートリッジタンク採用、清掃が容易です。
- 紙フィルタ使用で、おいしさと清掃の容易さを大幅にアップしました。
- アイスコーヒーも作れる表示目盛つきです。
- ドリップ時間も短縮。おいしさだけをスピード抽出します。

標準仕様

	CO-30	CO-20
電 源	100V,50-60Hz	
消費電力	ヒーター505W ミルモーター105W	
定 格	ヒーター連続 ミルモーター1分	
容 量	4カップ(560ml)	
水 容 器	円筒形カートリッジ式	
フィルター	紙フィルター、ドリップ式	
スイッチ	ドリップ-切-ミルタイマー	ミル-切-ドリップ
コ ー ド	コードリール式1.5m	直付1.5m
寸 法	高さ249×幅210×奥行200mm	高さ240×幅210×奥行200mm
重 量	2.0kg	1.8kg
そ の 他	<ul style="list-style-type: none"> <li>●渋皮フィルターつき</li> <li>●4枚刃ミルカッター</li> <li>●自動保温式</li> <li>●ミルモーター安全スイッチつき</li> <li>●アイスコーヒー用目盛つき</li> <li>●清掃ブラシ兼計量スプーンつき</li> </ul>	
色 調	<ul style="list-style-type: none"> <li>●ワインレッド</li> <li>●アーモンドホワイト</li> </ul>	

# スポットライト

## お好みに合せて3シリーズがラインアップ 三菱電子ジャー炊飯器《かまどっ子》

三菱電機では、昭和54年に電子ジャー炊飯器《かまどっ子》を発売してご好評をいただきましたが、このたび、炊飯性能の向上、使いやすさ、経済性などをさらに改良し、市場の多様なニーズに応えるために、新しく《火かげんかまどっ子》、《タイマーかまどっ子》、《かまどっ子》の3シリーズを発売し、機種の拡充を図りました。



NJF-2150形(火かげんかまどっ子)

### 標準仕様

項目	タイプ	“かまどっ子”				“火かげんかまどっ子”			“タイマーかまどっ子”	
形 名	NJF-27	NJF-210	NJF-215	NJF-218		NJF-2100	NJF-2150	NJF-2180	NJF-210T	NJF-218T
電 源										
消費電力 (W)	炊飯	360	510	620	670	510	620	670	510	670
	保温	22(最大60)		26(最大60)		22(最大60)	26(最大60)		22(最大60)	26(最大60)
炊飯容量(ℓ)	0.18(1合) 0.72(4合)	0.18(1合) 1.0(約5.6合)	0.36(2合) 1.5(約8.3合)	0.36(2合) 1.8(10合)		0.18(1合) 1.0(約5.6合)	0.36(2合) 1.5(約8.3合)	0.36(2合) 1.8(10合)	0.18(1合) 1.0(約5.6合)	0.36(2合) 1.8(10合)
機 構 方 式	<ul style="list-style-type: none"> <li>●2度炊き選択スイッチ</li> <li>●電源スイッチ(炊飯・保温・切)</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>●火かげん選択スイッチ(炊きわけ3通り)</li> <li>●電源スイッチ(炊飯・保温・切)</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>●2度炊き選択スイッチ</li> <li>●電源スイッチ(12時間タイマー・炊飯・保温・切)</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>●炊飯・むらし自動方式 (炊飯→むらし→自動保温)</li> <li>●オールシーズン均一保温式</li> <li>●安全装置つき(底サーモスタッフ、温度ヒューズ)</li> <li>●スミフロン加工内釜</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>●炊飯・むらし自動方式 (炊飯→むらし→自動保温)</li> <li>●オールシーズン均一保温式</li> <li>●安全装置つき(底サーモスタッフ、温度ヒューズ)</li> <li>●スミフロン加工内釜</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>●炊飯・むらし自動方式 (炊飯→むらし→自動保温)</li> <li>●オールシーズン均一保温式</li> <li>●安全装置つき(底サーモスタッフ、温度ヒューズ)</li> <li>●スミフロン加工内釜</li> </ul>	

### 特長

- 《かまどっ子》は3シリーズとも、炊き始めからむらし終りまで、カマドの秘伝を生かした工夫がなされています。
- 加熱ムラにより生じる炊きムラを防ぐ“S字ヒーター”と、内釜とヒーターの間に空気層をつくり、内釜全体を熱した空気で包み込んで加熱する“空気対流輻射加熱”、さらにご飯粒のまわりの余分な水分を蒸発させる“2度炊き”とてふっくらとしたおいしいご飯を炊き上げ、“食べ頃チャイム”がご飯の食べ頃をお知らせします。(全機種)
- 選択スイッチにより、お好みの炊き上げが自動的に選べます。  
2度炊き選択スイッチの「強」を選べば2度炊きの入った香ばしいご飯となり、「弱」はおこげの少ないご飯になります。(《かまどっ子》、《タイマーかまどっ子》)
- 少ない量のご飯を炊く時は、火かげん選択スイッチ目盛を「少量」に合せれば、加熱量が自動的にコントロールされ、経済的でしかもおいしいご飯が炊き上ります。中くらいの量を炊くときは「弱」、大量のときは「強」の目盛に合せれば、各々の量に合った最適な2度炊きが入り、おいしいご飯となります。(《火かげんかまどっ子》)
- 炊飯ツマミをワンタッチでセットするだけで、12時間前からの予約炊飯ができ、お出かけの時や忙しい朝にたいへん便利です。(《タイマーかまどっ子》)

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
900626	相変化を利用した熱輸送装置	光岡 宏・木村好男	901826	系統連系方式	平山 尚・木下裕道
900627	全姿勢アーク溶接装置	島田 弥・町田一道 草川一馬	901827	不純物準位測定法	山田郁夫 三木秀二郎・大坪睦之
900628	ダンバー制御装置	小南 貢・根岸宣匡	901828	電力変換装置	小林 凱
900629	トンネル内の換気予測制御装置	松木純也・中堀一郎 渡辺秀雄・梅本隆司 三浦 望	901829	低インピビット電流コアメモリ装置の操作法	水上益良・上坂達生 杉江 啓
900630	曲げ装置	木下壽弘	901830	ランプ制御装置	小嶋鈴夫・石井 真 森 敏
900631	曲げ装置	木下壽弘	901831	アイソレータ	紅林秀都司・折目晋啓 中原昭次郎
900632	酸化性ガスの分解法	岸上一通	901832	電着用水分散ポリウレタンワニスの製造法	柴山恭一・小野 博 地大英毅・佐伯英夫
900633	電気通電加工用パレットおよびパレット取付固定装置	青島富士雄・毛呂俊夫	901833	位相調整器	紅林秀都司・古屋輝雄 奥田滝夫
900634	温度表示材	木村 寛・武藤勝俊 甲斐潤二郎	901834	格子製造方法	高田 宏
900635	蓄熱材	木村 寛・武藤勝俊 甲斐潤二郎	901835	圧縮機の弁装置	宮崎政行・宇佐見一雄
900636	切換開閉器	桶口 昭・堤 長之	901836	誘導加熱用被加熱体	赤松昌彦
901822	エレベータの速度制御装置	渡辺英紀・遠藤義昭	901837	デジタル制御装置	田畠則一・上野隆則
901823	高調波発生用シーザ装置	伊東 尚・富島一成	901838	オゾン発生装置	神河達男
901824	ネットワークプロトコル	梅本隆司	901839	巻取機押えロール制御装置	笠谷洋一
901825	系統連系方式	平山 尚・赤松昌彦 山田郁夫・木下裕道	901840	過電流継電装置	江藤昌平・不可三晃 中島博行・山本 泰 西崎俊一郎
			901841	粉体塗装用樹脂組成物	

&lt;次号予定&gt; 三菱電機技報 Vol. 55 No. 10 上下水道向けシステム

## 特集論文

- 水、水問題と水システム
- 上下水道における監視・制御システムの動向
- 浄水場の監視・制御システム
- 下水処理場の監視・制御システム
- 送配水系統の監視・制御システム
- 農林水産省認め阿賀野川用水集中管理システム
- 上下水道へのオゾン応用機器への適用

## 普通論文

- 配電線を利用した搬送方式の開発
- 三菱高周波オゾナイザ
- 全日本空輸(株)向けとう乗載情報システム
- 国際規格G 3適合高速感熱ファクシミリ『MELFAS 550』
- リアルタイム高エネルギーX線検査システムの開発
- 大出力炭酸ガスレーザ
- サイリスタ式電鉄用セクションストップ装置

## 三菱電機技報編集委員会

委員長	志岐守哉	委員	柴田謹三
副委員長	大谷秀雄	"	樋口 昭
"	横浜博	"	柳下昌平
常任委員	三輪進	"	立川清兵衛
"	唐仁原孝之	"	徳山 長
"	木内孝	"	柴山恭一
"	葛野信一	"	福井三郎
"	三浦宏	"	町井昭宏
"	阿部修	"	瀬辺国昭
"	桐生悠一	"	倉橋浩一郎
"	野畠昭夫	"	竹内守久
"	的場徹	幹 事	諸住康平
"	尾形善弘	"	足立健郎
9号特集担当		桐生悠一	

## 三菱電機技報 55巻9号

(無断転載を禁ず)	昭和56年9月22日 印刷
	昭和56年9月25日 発行
編集兼発行人	諸住康平
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1番2号(〒100) 三菱エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」Tel. (03) 218-2045
発売元	東京都千代田区神田錦町3丁目1番地(〒101) 株式会社オーム社 Tel. (03) 233-0643(代)、振替口座 東京6-20018
定価	1部500円送料別(年間予約は送料共6,700円)

# スポットライト

## 三菱 音声多重 カラーテレビ 《カスタムSシリーズ》22CK-C90W形 18CK-C60W形

「映像と音」というテレビに求められる基本性能の向上に加え、テレビの置かれている生活空間への適応をも重視したデザインで好評を博している《カスタムSシリーズ》に、この

ほど22形の22CK-C90W、18形の18CK-C60Wの2機種を加えて新発売しました。これで《カスタムSシリーズ》は、26形から18形までのフルラインアップを完成しました。



22CK-C90W形



18CK-C60W形

### 特長

#### ●シティ感覚の斬新なスリムデザイン

オーテレビタイムにも、リビングにその存在感を静かに語れることをテーマにしたデザイン。スピーカーグリルを始め、デコラティブな装いを排したシンプルなフラットフェイス。それでいてメカニカルな表情があふれる新感覚のデザインです。

#### ●スーパーウーファー・3アンプ3Dシステム

音響設計の理想を追求した、スーパーウーファー・3アンプ3Dシステムを採用。重低音専用アンプと専用スピーカーで大形平面振動板を駆動させ、重低音を再生します。これにより、臨場感や広がり感などの迫力を決定する重低音がより明確になりました。(22CK-C90Wに採用)

#### ●操作のしやすい新着脱リモコン

ワンタッチでリモコン収納ボックスが操作しやすい角度に回転、そのまま操作できます。

#### ●ハイコントラストシステム

スマートドガラスの採用により、コントラストを大幅に改善。明るいお部屋でも、よりクリッキリと鮮明な映像が楽しめます。

#### ●音声多重内蔵

コンパクトなボディでステレオ、二重音声放送が受信可能です。

### 標準仕様

形 名	22CK-C90W	18CK-C60W
選局方式	電子チャンネル選局(12局)	
リモコン	赤外線パルスコード方式、 着脱式ダイレクトリモコン	
ブラウン管	22形100度偏向 マルチックス4	18形90度偏向 マルチックス4
シャーシ	MU100シャーシ	MUシャーシ
消費電力	125W	95W
音声出力	25W(6+6+13)	12W(6+6)
スピーカー	スーパーウーファー(17×17cm) 1 ウーファー2、トゥイーター2	フルレンジ(16cm) 2
音声多重	ステレオ、二重音声	ステレオ、二重音声
外形寸法	61.2×91.7×41.2	50.4×83.7×48.4