

# MITSUBISHI DENKI GIHO

# 三菱電機技報



Vol.56 No.10

発電プラント特集

 未来を開発する  
三菱電機

**10**  
1982

# 三菱電機技報 Vol.56 No.10 1982

## 発電プラント特集

### 目次

#### 特集論文

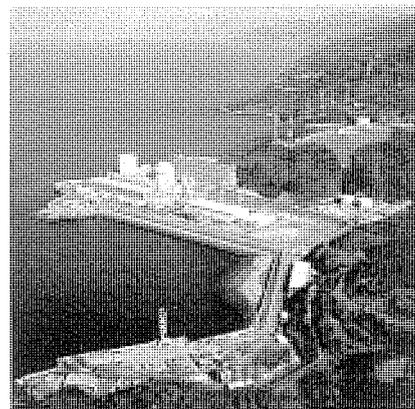
改良型原子炉保護装置“ANCAP80保護系” 岡野美彦・平山進義・長谷川雅言・松本雄二・馬場彰憲	1
PWR型原子炉用炉内温度計装置 松尾慶一・片山俊彦・森本広海・馬場彰憲	5
PWRプラント廃棄物処理系のデジタル制御・監視システム 上田敏晴・瀧上一行・下里正夫・高沢一男	9
原子力プラント多機能シミュレーションシステム 三木哲志・荻野敬迪・牧戸正紀・佐々木和則・峯尾佳幸	14
中小水力発電への誘導発電機の適用 加古文敏・川口和孝・大釜寛修	19
中小水力発電所向け運転制御装置 有本 満・山本潤二・畑中康睦・稲田純一・岡 仁志	23
水力発電所用総合監視装置 山田光洋・堀田悌二・山本潤二・芥 和弘・山内克彦	27
四国電力(株)分水系各発電所納め出力自動制御装置 坂本 寛・監崎 章・芥 和弘・西川正治・三宮靖典	32
火力発電所納め高圧電動機の信頼性向上 森永恭光・沖田哲夫・田島正明・岩瀬 直	37
相生火力1号最新鋭中間負荷火力の電気設備と自動化の概要 山岡隆三・妻鹿恒雄・谷口政弘・赤木一夫・山下武宏	42
集光形太陽光発電システム 牧野鐵雄・大野義隆・神尾昌司・田中伸雄・坂田末男	47
<b>普通論文</b>	
高圧配電線用電撃防止器 遠藤光一・望月友良・加藤博明・増田直毅	55
抵抗溶接機用漏電遮断器 有信一郎・近藤邦昭・赤木則夫	59
5インチ固定ディスク装置M4863 深尾忠一郎・浜 敬三・坂井英明・菊地清秋・馬場 宏	64
密閉形カードユニットの新冷却法 中尾一成・藤井雅雄・長久竹彦・桜井治夫・羽仁 潔	68
パターン計測応用の新形果実・野菜選別システム 滝沢恒治・平林守男・半田一郎・向井文章・永田博俊	72
<b>特許と新案</b>	53
炊飯器	
送風機	
単相誘導電動機	
当社の登録実用新案一覧	52, 80
<b>スポットライト</b>	
三菱掃除機《風神》TC-805形	78
三菱VTR《ファンタスシリーズ》	79
三菱高解像度2色ファクシミリ《MELFAS》	(表3)

### 表紙

#### 四国電力(株)伊方発電所全景

伊方発電所は愛媛県の佐田岬の瀬戸内海側に位置し、2基のPWR（三菱軽水減速軽水冷却加圧水形）プラントが稼働中である。1号機は昭和52年9月に、2号機は昭和57年3月に、それぞれ営業運転を開始し、ともに高稼働率にて運転中でその運転実績は高く評価されている（出力は566MW/基）。

一部を除きプラント設備はすべて国産化され、信頼性、保守性を向上させているとともに、2ユニットに対し2台の起動変圧器を設けるなど、柔軟なプラント運転ができるよう設計されている。なお2号機においては中央制御室に運転操作性の向上のため、最新の技術を取入れたCRTを設置しているのも、このプラントの特長の一つである。



## アブストラクト

### 改良型原子炉保護装置“ANCAP80保護系”

岡野美彦・平山迪義・長谷川雅言・松本雄二・馬場彰憲  
三菱電機技報 Vol.56・No.10・P1～4

原子力発電所の、①安全性向上②稼働率向上③運転中の試験機能の拡大と自動化を目指し、三菱重工業㈱、三菱原子力工業㈱、三菱電機㈱の3社共同で改良型原子炉保護装置“ANCAP80保護系”を開発した。この装置は、保護系の4チャンネル化、バイパス管理機能の採用、試験機能の拡大などのシステム面、並びにバイパス管理用光伝送方式の開発、マイクロコンピュータによる自動試験装置の開発などハードウェア面の両面より改善を図っている。

### 中小水力発電への誘導発電機の適用

加古文敏・川口和孝・大釜寛修  
三菱電機技報 Vol.56・No.10・P19～22

石油代替エネルギーの国家的要求に基づき、中小水力発電が見直されている。中小水力発電に適した発電機として、最近再び脚光を浴びてきた誘導発電機について、同期発電機と対比しながら、その特長や系統上の問題を中心として適用上の留意点を述べる。併せて、中小水力用発電機の最近の傾向と中小水力用誘導発電機として、住友共同電力㈱に立て軸デリア水車駆動の2,070kW、14極を納入したのでその概要を紹介する。

### PWR型原子炉用炉内温度計装装置

松尾慶一・片山俊彦・森本広海・馬場彰憲  
三菱電機技報 Vol.56・No.10・P5～8

原子炉用炉内温度計装装置は、原子炉の炉心出口温度を計測監視する装置である。炉心出口温度監視強化のためマイクロコンピュータを用いて、マンマシンインタフェースの改善、測定方式の改善、並びに監視機能の拡大を図った炉内温度計装装置を開発した。なお、この装置は耐震性も備えた監視装置である。

### 中小水力発電所向け運転制御装置

有本 満・山本潤二・畑中康陸・稲田純一・岡 仁志  
三菱電機技報 Vol.56・No.10・P23～26

近年、脱石油化から自然エネルギー回収の一つとして、中小水力発電所の建設が叫ばれているが、kW当たりの建設費が高いために、そのコスト低減のための研究開発が進められている。

本稿では発電所の運転制御装置に関して、最新の標準化方式と簡素化について紹介し、また圧油を省略して大きな経済性と保守の容易さを図るガイドベーン制御用電動サーボモータ方式の開発並びに汎用シーケンサの利用による制御盤のコンパクト化について述べている。

### PWRプラント廃棄物処理系のデジタル制御・監視システム

上田敏晴・瀧上一行・下里正夫・高沢一男  
三菱電機技報 Vol.56・No.10・P9～13

PWR型原子力発電所の廃棄物処理系を対象に、運転操作の自動化、制御の自動化及び監視の集中化により運転性を改善したデジタル制御・監視システムを開発した。このシステムは、制御用計算機によるシーケンス制御、プロセス制御のDDC化、運転監視用計算機及び高速データウェイによる運転状態監視の集中化、並びに両者を統合するCRTを主体としたオペレータコンソールにより運転性の改善を実現している。

### 水力発電所用総合監視装置

山田光洋・堀田悌二・山本潤二・芥 和弘・山内克彦  
三菱電機技報 Vol.56・No.10・P27～31

自動化の進展に伴い、水力発電所の運転は概ね水系ごとに親制御所から遠隔集中制御されるようになったが、設備の日常保守は依然として制御所保守要員の巡視点検に依存している。今回、点検ルーチンの主要部分を自動化し、これに設備の異常診断機能も付加したものを開発することにより、主要機器の状況を常時リアルタイムで監視して、無人発電所の運転信頼度の向上に資する総合監視装置を開発した。

### 原子力プラント多機能シミュレーションシステム

三木哲志・荻野敬迪・牧戸正紀・佐々木和則・峯尾佳幸  
三菱電機技報 Vol.56・No.10・P14～18

原子力発電プラントの新しい計装制御システムの研究開発ツールとして「原子力プラント多機能シミュレーションシステム」を開発した。このシステムは計算処理部と操作盤とで構成し、原子力プラントの挙動を高精度かつ実時間で模擬できるとともに動特性解析を効率よく進めることができるなどの特長をもっている。基本的なプラント特性の検討と運転模擬を実施し、開発ツールとしての有効性を確認した。

### 四国電力㈱分水系各発電所納め出力自動制御装置

坂本 寛・監崎 章・芥 和弘・西川正治・三宮靖典  
三菱電機技報 Vol.56・No.10・P32～36

四国電力㈱分水系4発電所の水系制御用として、プラントコントローラ(DCN-70)を用いた機能分散型出力自動制御装置を納入した。この装置は、制御所より全発電所の起動(停止)指令、及び一発電所の出力目標値を一斉に与えるだけで、各発電所に設置された出力自動制御装置が、水系の状態変化に応じて自所の主機に起動(停止)指令、負荷増減指令を与え、安定な水系の制御を可能とした。また現地試験により、この装置が良好な制御を行うことを確認した。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 19~22 (1982)

## Induction Generators for Medium- and Small-Scale Hydroelectric-Power Plants

by Fumitoshi Kako, Kazutani Kawaguchi & Hironobu Okama

Medium- and small-scale hydroelectric-power generation has been reviewed to meet the national need for energy resources that can replace oil. The article describes induction generators (which are attracting attention particularly in comparison with conventional synchronous generators), the electrical distribution network they serve, and some details of typical applications. The article also deals with recent trends in generators for medium- and small-scale hydroelectric-power plants and Mitsubishi Electric's 2,070kW, 14-pole induction generator with a vertical Deriaz water turbine that has been delivered to the Sumitomo Kyodo Electric Power Co.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 1~4 (1982)

## An Advanced Nuclear-Reactor Control and Protection System

by Michihiko Okano, Michiyoshi Hirayama, Masakoto Hasegawa, Yuji Matsumoto & Akinori Baba

Mitsubishi Heavy Industries, Mitsubishi Atomic Power Industries and Mitsubishi Electric have jointly developed an improved nuclear-reactor protection system named ANCAP80 that provides enhanced availability and extended, automatic testing functions for nuclear-power stations. This novel protection system is provided with system advantages that include four channels, a bypass control function, and extended testing functions. The system is also provided with sophisticated hardware such as an optical transmission system for bypass control and automatic testing equipment using a micro-computer.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 23~26 (1982)

## Control Equipment for Medium- and Small-Scale Hydroelectric-Power Plants

by Mitsuru Arimoto, Junji Yamamoto, Yasuchika Hatanaka, Jun'ichi Inada & Hitoshi Oka

There is a great demand for medium- and small-scale hydroelectric-power stations in an environment that calls for energy resources that can replace oil. Research and development has concentrated on reducing the high initial construction costs per kW. The article introduces the most modern methods of standardizing and simplifying the control equipment of hydroelectric-power stations. The article also describes the development of servomotors for guide-vane control that dispense with hydraulic fluid, reducing costs and facilitating maintenance, and the reduction in scale of control panels using general-purpose sequence controllers.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 5~8 (1982)

## In-Core Temperature Instrumentation Equipment for Nuclear-Power Reactors

by Keiichi Matsuo, Toshihiko Katayama, Hiromi Morimoto & Akinori Baba

The in-core temperature instrumentation equipment for nuclear-power reactors measures and supervises the core-outlet temperature of the reactor. Using a microcomputer, this equipment provides improvements in the man-machine interface, the measurement system itself, and supervisory functions. The equipment is designed to withstand earthquakes.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 27~31 (1982)

## Total Monitoring Systems for Hydroelectric-Power Plants

by Mitsuhiro Yamada, Teiji Hotta, Junji Yamamoto, Kazuhiro Akuta & Katsuhiko Yamauchi

Developments in automation have allowed supervisory control of hydroelectric-power plants for each river system from a single control center. However, the maintenance of facilities and on-site inspection still remain the responsibility of engineers of the control center. Recently, major inspection routines have been automated and diagnostic functions developed for abnormal operations. These routines and functions are incorporated in the total monitoring system that conducts real-time supervision of the state of key equipment. The total monitoring system has clearly improved the operational reliability of unmanned hydroelectric-power plants.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 9~13 (1982)

## A Digital Control and Monitoring System for PWR Waste-Disposal Systems

by Toshiharu Ueda, Kazuyuki Fuchigami, Masao Shimozato & Kazuo Takazawa

Mitsubishi Electric has developed a digital control and monitoring system for PWR waste-disposal systems. This novel system has improved operability due to its automated operations and control, and integrated supervisory functions. The system includes other features to improve operability: sequence control by a control computer, direct-digital process control, integrated supervision of operation states by a supervisory computer and a high-speed dataway, and CRT interfacing between the computer and dataway.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 32~36 (1982)

## Automatic Power-Control Equipment for the Bunsui River Power-Station Group of Shikoku Electric Power Company

by Hiroshi Sakamoto, Kenzaki Akira, Kazuhiro Akuta, Masaharu Nishikawa & Yasunori Sannomiya

Mitsubishi Electric has delivered to Shikoku Electric Power Company function-distributed automatic power-control equipment using a plant controller (DCN-70) for control of its four linked hydroelectric-power stations. This equipment allows integrated control from a central station through start/stop commands and power-setting values for each substation. Upon receiving the information from the equipment, the automatic output controller for each power station provides its turbine with start (or stop) and load increase (or decrease) commands, thus stabilizing power-station control. Field testing has proved that the equipment gives satisfactory control.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 14~18 (1982)

## A Multifunctional Simulation System for Nuclear-Power Plants

by Tetsushi Miki, Takamichi Ogino, Masanori Makido, Kazunori Sasaki & Yoshiyuki Mineo

This multifunctional simulation system has been developed as a new tool for research and development of instrumentation and control systems in nuclear-power plants. The system, which consists of a calculation section and an operation section, features highly accurate, real-time simulation of nuclear-power plants and efficient analysis of plant dynamics. As a result of studies of the basic plant characteristics of the system and its simulation of plant operations, the system has proved an effective tool for research and development of instrumentation and control systems.

## アブストラクト

### 火力発電所納め高圧電動機の信頼性向上

森永恭光・沖田哲夫・田島正明・岩淵 直

三菱電機技報 Vol.56・No.10・P37～41

発電コストの低い原子力発電のベースロード化に伴い、火力発電所では、電力需要のピーク時のみ稼働するという負荷調整の運用がなされてきている。また一方では発電所特有の母線切替があり、一般の機器に比較してかなり運転条件が厳しい。この苛酷な運転に対し、いかにして機器の信頼性を向上させるか、その技術開発に地道な努力を重ねている。ここでは高信頼性を確保するために、いかなる新技術を高圧電動機に導入しているかを紹介する。

### 抵抗溶接機用漏電遮断器

有信一郎・近藤邦昭・赤木則夫

三菱電機技報 Vol.56・No.10・P59～63

抵抗溶接機回路においては、制御回路の故障やサイリスタなどの制御素子が破壊した場合に通電が連続して行われ、溶接トランスやその配電線に異常なストレスがかかるため非常に危険である。

当社では、地絡保護、短絡保護に加え、この異常な通電に対しても保護が可能な抵抗溶接機用漏電遮断器NV-TAシリーズを開発したので、その仕様及び性能の概要を紹介する。

### 相生火力1号最新鋭中間負荷火力の電気設備と自動化の概要

山岡隆三・妻鹿恒雄・谷口政弘・赤木一夫・山下武宏

三菱電機技報 Vol.56・No.10・P42～46

火力発電の中間負荷負担責務は近年ますます重要となってきた中で、関西電力(株)相生火力1号は、我が国でも代表的な最新鋭省エネルギー形中間負荷火力として、最新の技術を駆使し建設されたプラントである。本稿では中間負荷火力に要求される性能とは何か、そしてこのプラントの電気設備及び自動化設備についてどのような新技術を採用して厳しい要求を満たしているかについて紹介する。

### 5インチ固定ディスク装置M4863

深尾忠一郎・浜 敬三・坂井英明・菊地清秋・馬場 宏

三菱電機技報 Vol.56・No.10・P64～67

パソコン、普及形オフコン、ワードプロセッサなどの専用機、端末装置などの中心的ファイルとして超小形固定ディスクの需要が急速に拡大している。この要求にこたえ5インチ固定ディスクが昭和55年末から市場に出現し、超小形軽量、高信頼性、低価格で人気を集め昭和58年には記憶容量30Mバイト以下の固定ディスク領域で台数比30%の市場が期待されている。

本稿は市場の要求にこたえて当社が開発した5インチ固定ディスクの特長、仕様の概要を紹介する。

### 集光形太陽光発電システム

牧野鐵雄・大野義隆・神尾昌司・田中伸雄・坂田末男

三菱電機技報 Vol.56・No.10・P47～51

本文は、交流出力500Wの実験用集光形太陽光発電システムについて述べている。当システムは、ガリウム砒素(GaAs)太陽電池アレーを搭載した追尾機構、マイクロコンピュータを適用した太陽光追尾制御装置、太陽電池出力(直流)を交流に変換するインバータ、バッテリー、及びデータロガーから構成されている。著者らは当システムが発電装置単体として良好な性能であることを確認するとともに、発電システムとしての各種データ収集を開始した。

### 密閉形カードユニットの新冷却法

中尾一成・藤井雅雄・長久竹彦・桜井治夫・羽仁 潔

三菱電機技報 Vol.56・No.10・P68～71

電子装置の高密度実装化による発熱量の増大と信頼性向上に対処するために、密閉化されたカードの新冷却法を開発した。このカードユニットは、耐環境性に優れ、粉じん(塵)及び腐食性の雰囲気下においても使用可能で、カード上の部品からの発熱は、熱伝導性、装着性に優れたTFラバーを介してヒートシンクから放熱する。詳細な伝熱設計と実装試験により、その冷却効果が確認された。このユニットは工業用プラントコントローラに導入予定である。

### 高圧配電線用電撃防止器

遠藤光一・望月友良・加藤博明・増田直毅

三菱電機技報 Vol.56・No.10・P55～58

高圧配電線における活線作業時の万一の電撃事故から作業者を救済するための高圧配電線用電撃防止器を開発した。本器は三相高圧配電線路において電撃事故が発生した場合に、事故相を高速で検出し、その相を強制的に接地することにより人体への通電時間を最小限にとどめて安全を確保しようとするものである。

ここでは、本器の生体に対する電撃軽減性能などの種々の検証結果も交えてその概要を説明する。

### パターン計測応用の新形果実・野菜選別システム

滝沢恒治・平林守男・半田一郎・向井文章・永田博俊

三菱電機技報 Vol.56・No.10・P72～77

パターン計測技術を応用してメロン、ジャガイモ選別システムを開発した。メロン用は二重トラッキング方式により選別ラインの大幅削減を可能とし、また箱詰のスペースファクタを良くするような判定方式を採用し流通の合理化を図った。ジャガイモ用は間接(光学的)重量計測方式により品物の傷みを無くし、また手選別と並列運用しプラント全体の処理能力、自由度を向上させるとともに、両選別データの同時処理を行いユーザー側の事務処理の能率向上を図った。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 59~63 (1982)

## Earth-Leakage Circuit Breakers for Spot-Welding-Machine Circuits

by Ichiro Arinobu, Kuniaki Kondo & Norio Akagi

If faults in the control circuits and control elements, including thyristors, in a spot-welding machine develop while it is in use, they may allow continuous energizing, which can cause unusual stresses on the transformer and circuits of the spot-welding machine. To prevent this potentially dangerous energizing as well as earth leakage and short circuiting, Mitsubishi Electric has developed Series NV-TA earth-leakage circuit breakers. The article deals with the specifications and functions of the new series.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 37~41 (1982)

## The Reliability of High-Voltage Induction Motors for Thermal-Power Plants

by Yashumitsu Morinaga, Tetsuo Okita, Masaaki Tajima & Tadashi Iwabuchi

With the base load carried by nuclear-power plants, thermal-power plants have operated under load control designed to cope only with the peak hours of demand. Thermal-power plants use bus-transfer units designed to operate under more stringent conditions than normal equipment. Many efforts have been made to improve the reliability of this equipment for thermal-power plants, including the bus-transfer units. The article discusses some new motors recently introduced to improve the reliability of thermal-power plants.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 64~67 (1982)

## The Type M4863 5-1/4" Fixed-Disk Drive

by Chuichiro Fukao, Keizo Hama, Hideaki Sakai, Kikuchi Kiyooki & Hiroshi Baba

There is a growing demand for miniature fixed-disk drives for key files of personal computers, small-business computers, word processors, and other terminals. Since their appearance on the market at the end of 1980, our 5-1/4" fixed-disk drives have drawn special attention because of their compactness, light weight, high reliability, and low price. It is expected that this type of disk will account for some 30% of the total market share for fixed disks of 30M-bytes or less by 1983. The article gives the features and specifications of a 5-1/4" fixed-disk drive developed by Mitsubishi Electric to meet this market demand.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 42~46 (1982)

## The Electrical System and the Fully Automated, Computerized System of the Modern Intermediate-Load Unit of the No. 1 Aioi Power Station

by Kozo Yamaoka, Tsuneo Mega, Masahiro Taniguchi, Kazuo Akagi & Takehiro Yamashita

Intermediate-load use of thermal-power plants has become increasingly important. The No. 1 Aioi Power Station of The Kansai Electric Power Co. is a typical Japanese intermediate-load thermal-power station that uses the most up-to-date technology. The article discusses the functions called for by an intermediate-load power station and the new technology the station's electrical and automation systems require to meet the stringent operational demands.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 68~71 (1982)

## A New Cooling System for Closed-Card Units

by Kazushige Nakao, Masao Fujii, Takehiko Nagahisa, Haruo Sakurai & Kiyoshi Hani

To meet the demand for greater heat-transmission capacity and reliability arising from the higher-density installation of sophisticated electronic equipment, Mitsubishi Electric has developed a closed-card unit with a new cooling system. The novel card unit has an excellent ability to withstand hostile environmental conditions and is usable in dusty and corrosive atmospheres. The heat from components on the card is discharged from the heat sink through TF rubber with excellent thermal conductivity and adhesion. The cooling effect of the closed-card unit was determined by simulation and verified by detailed heat-transmission testing. The card unit is intended for incorporation in industrial-plant controllers.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 47~51 (1982)

## An Intensified Photovoltaic Power System

by Tetsuo Makino, Yoshitaka Ono, Masashi Kamio, Nobuo Tanaka & Sueto Sakata

The article describes an experimental intensified photovoltaic power system that provides an output of 500W AC. The system is composed of a sun-tracking mechanism with a GaAs photovoltaic power array, a sun-tracking controller using a microcomputer, a transistor-inverter to change the DC output to AC, batteries, and a data logger. The authors have confirmed that the system functions satisfactorily as generating equipment. The article also presents some of the data gathered from the experiment.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 72~77 (1982)

## A New Fruit and Vegetable Sorting System Using Pattern-Recognition Techniques

by Tsuneji Takizawa, Morio Hirabayashi, Ichiro Handa, Fumio Mukai & Hirotohi Nagata

The Yanagihara Works and Mitsubishi Electric have jointly developed a sorting system for melons and potatoes by utilizing a pattern-recognition technique. The system for sorting melons uses a double tracking system that eliminates many processes on the sorting line. It also uses a method to improve the space factor in melon packaging. The other system for sorting potatoes uses an indirect (optical) weight-scale method to prevent potatoes from being damaged during the sorting process. It is intended for parallel operation of manual and mechanical sorting to improve handling capacity and flexibility. The data for both manual and mechanical sorting are processed simultaneously to streamline the user's data handling.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 56, No. 10, pp. 55~58 (1982)

## Electric-Shock-Preventive Apparatus for High-Voltage Distribution Lines

by Koichi Endo, Tomoyoshi Mochizuki, Hiroaki Kato & Naoki Masuda

The Tokyo Electric Co. and Mitsubishi Electric have jointly developed electric-shock-preventive apparatus for high-voltage distribution lines. This apparatus is intended to protect workers from accidents during hot-line jobs. In cases where an electric-shock accident occurs on a high-voltage electric line of one of three phases, the apparatus detects it at high speed and forcibly grounds the fault phase, thus minimizing the time during which the human body is energized. The article explains the rationale of the reduction of electric shocks to the human body, and cites various results that have already been established.

# 改良型原子炉保護装置“ANCAP80保護系”

岡野 羨彦\*・平山 迪義\*\*・長谷川 雅言\*\*\*・松本 雄二\*\*\*・馬場 彰憲\*

## 1. ま え が き

原子力発電所のユニット容量の増大及び原子力発電の系統容量に占める割合が増加するにつれて、原子力発電所の安全性向上のみならず、稼働率向上、信頼性向上が電力安定供給上ますます重要になってきている。

原子力発電所の各種計装制御装置の中でも重要な原子炉保護装置は、従来から安全性確保の観点から多重化保護回路及びプラント運転中の保護機能試験回路を備えて十分な安全性が確保されているが、プラントの稼働率向上の観点から、より高い信頼性と稼働率が求められている。

このため三菱重工業(株)、三菱原子力工業(株)、三菱電機(株)の3社共同で、システム及びハードウェアの両面から原子炉保護装置の一層の改善に取組み、①安全性の向上、②プラント稼働率向上、③プラント運転中の試験機能の拡大と自動化を図った改良型原子炉保護装置“ANCAP 80 保護系”(Advanced Nuclear Control and Protection System 保護系)を開発した。以下にこの保護装置の特長、システム構成、機能及び主要構成機器について紹介する。

## 2. “ANCAP 80 保護系” 基本設計方針

安全保護回路の最重要機能は、原子炉の安全確保のため原子炉を安全に停止することである。このため安全保護回路は保護用検出器から原子炉停止回路まで、単一故障により保護機能を喪失しないための多重性と、相互干渉が起らないための分離、独立性、及び保護機能のプラント運転中試験機能を備えた設計としている。

改良型原子炉保護装置“ANCAP 80 保護系”は上記基本設計方針に加え、更に一層の安全性向上と稼働率向上のため下記の基本設計方針のもとに開発した。

- (1) プラント運転中の保護機能健全性確認試験時に、単一故障を想定しても原子炉保護機能を喪失しない。
- (2) プラント運転中の

保護機能健全性確認試験時に、単一故障を想定しても原子炉トリップなどの誤作動を回避する。

- (3) プラント運転中の保護機能健全性確認試験の試験範囲を拡大するとともに試験の自動化を図る。
- (4) 実績ベースの最新ハードウェアで構成する。
- (5) 分離の強化に関する最新技術を導入する。

## 3. “ANCAP 80 保護系” のシステム構成及び機能

### 3.1 安全保護回路の4チャンネル化

原子炉保護回路は、保護用検出器から異常時に保護信号を発生する比較部分に至るまで、単一故障で保護機能を失うことのないように多重性を持たせることを要求されている。これらの多重チャンネル及びトレインに対しては、相互干渉が起らない分離・独立性を有する設計でなければならない。また、プラント運転中にも計測チャンネル及びトレインのすべてが試験できる必要がある。

上記の従来からの要求に加え、更に稼働率向上のために、

- (1) あるチャンネルの試験中に、他のチャンネルあるいはトレインに単一故障を想定しても原子炉保護機能を喪失しない。
- (2) 試験中、他のチャンネルあるいはトレインに単一故障を想定しても原子炉トリップなどの誤作動を起さない。

などの設計方針を満足するシステム構成とした。すなわち、図1. 安全保護系構成概念図に示すように、保護用検出器から計測チャンネル及

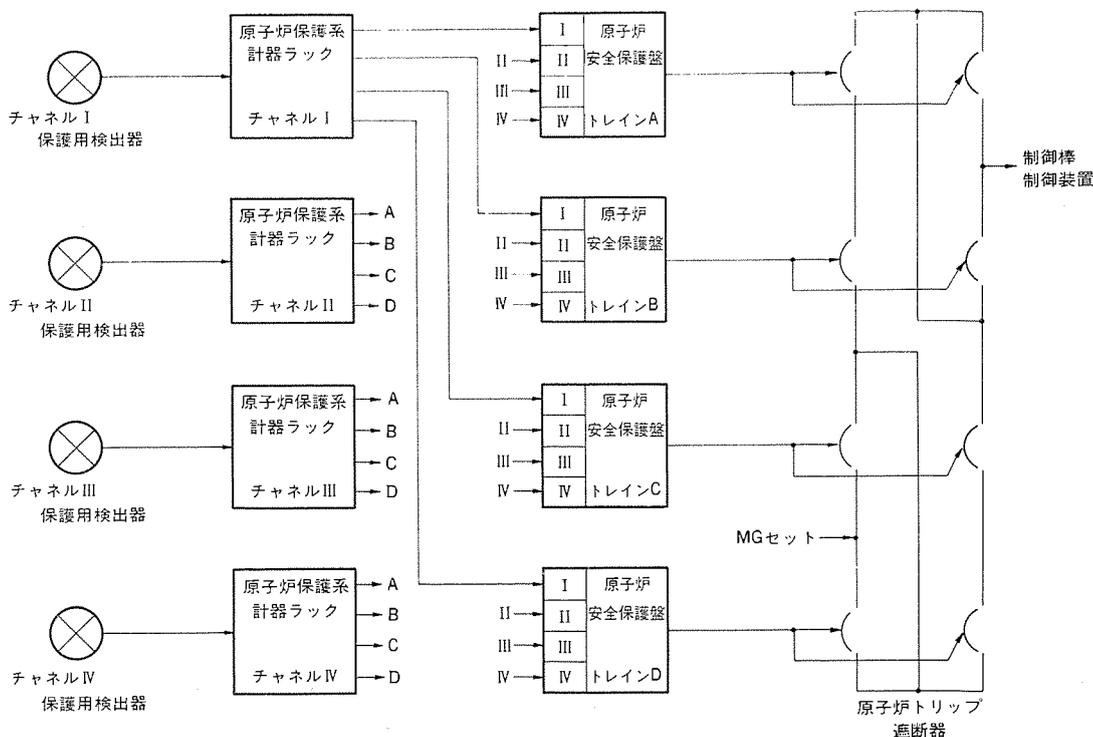


図1. 安全保護系構成概念図

びトレインまですべての原子炉保護回路に対して、4チャンネル(チャンネルI, II, III, IV)化、4トレイン(トレインA, B, C, D)化を行った。

原子炉保護装置において計測チャンネルは比較器を備えており、保護信号発生時、設定値を超えるものに対してトリップ要求信号を原子炉安全保護盤に伝える。

原子炉安全保護盤は2 out of 4論理回路の原子炉トリップ回路構成とし、4チャンネル中、2チャンネル以上の計測チャンネルからのトリップ要求信号に対して、初めて原子炉トリップ遮断器作動信号を発する。更に、この原子炉安全保護盤は原子炉遮断器の2 out of 4構成に対応して4トレイン構成としている。

このように ANCAP 80 保護系においては、保護用検出器から計測チャンネル及びトレインまで4チャンネル化、4トレイン化を行っているため、プラント運転中に単一故障を想定しても誤った原子炉トリップを発生しない。また逆に正常なトリップ要求信号に対して、原子炉トリップ機能を喪失することもない。更に、プラント運転中の試験や保守のため、1チャンネルあるいは1トレインを切離し(バイパス)でも、残り3チャンネル又は3トレインで2 out of 3論理回路を構成することにより、十分な安全性を確保するとともに、次節に述べるバイパス管理を行うことにより、試験中の単一故障による誤トリップ及び保守中の誤トリップを防止できプラントの稼働率向上が期待できる。

### 3.2 バイパス管理機能

バイパス管理機能とは、上流側回路からのトリップ信号の有無にかかわらず下流側回路に対し、ノントリップ(非トリップ)状態信号を伝達する機能である。

バイパスは、検出器の保守点検時あるいは計器ラックテスト時にはチャンネル部バイパスを、原子炉安全保護盤テスト時にはトレイン部バイパスを行う。これは、スイッチ操作による手動バイパスあるいはテスト中の自動試験装置からの自動バイパスが可能である。しかしながら、チャンネル部あるいはトレイン部における多重バイパスは、安全保護系の2 out of 4論理回路に要求されている“多重性維持”を喪失することになり安全性の面で避けなければならない。このためバイパス管理機能が必要となる。

バイパス管理を人為的に行うことは困難であるため、バイパス数にかかわらず常に安全保護系の多重性を有する設計とする“自動的”なバイパス管理ロジックが必要である。

この装置では、互いに他チャンネルあるいは他トレインのバイパス状態を監視することにより、表1.に示すように第1番目にバイパス要求のあったチャンネルあるいはトレインについてだけバイパスを許可し、2チャンネルあるいは2トレイン以上の同時バイパス要求に対しては、2番目あるいは3番目にバイパスされた側が強制的にトリップ状態となる

表 1. バイパス管理機能

チャンネル 状態	I	II	III	IV	トリップロジックの構成	備 考
通常時	N	N	N	N	2/4	* : 原子炉トリップ状態 N : ノーマル B : バイパス状態 T : トリップ状態 (バーシャルトリップ状態)
1チャンネルバイパス	B	N	N	N	2/3	
2チャンネルバイパス	B	T	N	N	1/2	
3チャンネルバイパス	B	T	T	N	0/1*	
4チャンネルバイパス	B	T	T	T	0/0*	

設計としている。このようなバイパス管理機能を備えることにより、安全性を損なうことなくプラント運転中の試験及び保守を可能とした。

### 3.3 試験機能の拡大及び試験の自動化

原子炉保護装置は原子炉の安全確保のための最重要装置であり、プラント運転中に、その機能の健全性を確認するため周期的に機能確認試験を実施することが望ましい。このため原子炉保護装置の中でも試験対象回路数が多く、かつ種々の試験項目のある原子炉保護系計器ラックについて、プラント運転中に自動的に各種試験を実施できる自動試験装置を開発した。原子炉保護装置の中の原子炉安全保護盤については、その試験内容は単純な論理回路試験であるため、従来通りの内蔵試験回路で試験を行うこととした。

新たに開発した自動試験装置は、プラント運転中試験の実施時に必要なバイパス指令を出すとともに下記内容の試験を自動的に行うことができる。

#### (1) 設定値確認試験

##### (a) 比較器試験

保護信号を発する比較器にランプ状に上昇又は下降する試験信号を印加し、許容範囲内で正常に作動するか否かを試験する。

##### (b) ダイナミック試験

保護回路にランプ又はステップ状の試験信号を印加し、その過渡応答特性が許容範囲内であるか否かを試験する。

##### (c) スタティック試験

保護回路に種々の組合せの模擬入力試験信号を印加し、保護回路各部の定常状態の電位が許容範囲内にあるか否かを試験する。

#### (2) バイパス部試験

バイパス管理論理回路部がすべての入力論理信号の組合せに対し、正常に作動するか否かを試験する。

#### (3) 光伝送部試験

バイパス状態信号のチャンネル間伝送に使用している光伝送部が正常に作動するか否かを試験する。

この自動試験装置によって試験時間の短縮が可能となり、試験期間中の保護装置のバイパス時間を短縮できるため試験時の安全性向上及び稼働率向上の面で寄与できる。また試験機能の拡大及び試験の自動化により、試験内容の充実、拡大、試験員による誤操作、測定ミスの撲滅が期待できるほかに、操作性向上、省力化が達成できた。

## 4. “ANCAP 80 保護系”の構成機器

### 4.1 安全保護回路

改良型原子炉保護装置は、従来の原子炉保護系計器ラック(MELNAC)、炉外核計装(NIS)、原子炉安全保護盤(SSPS)、原子炉トリップ遮断器などを、保護系4チャンネル化、4トレイン化に伴い、バイパス管理部、自動試験装置などの新技術を駆使して有機的に結合した装置である(図2.)。表2.に ANCAP 80 保護系構成を示す。原子炉保護系計器ラックは、従来からの MELNAC カード構成による保護系演算回路のほかに、従来の NIS 盤に収納されていた核計装保護系演算回路を各チャンネルごとに分割して収納し更にバイパス管理部を付加したものである。原子炉安全保護盤は従来の SSPS を 2 out of 4 論理回路に変更するとともにバイパス管理部を付加したものである。また原子炉トリップ遮断器は、バイパス遮断器を含め4台の遮断器で1 out of 2 論理構成であったものを8台の遮断器で2 out of 4 論理構成とした。

上記のように改良型原子炉保護装置は、既に原子力発電所で使用

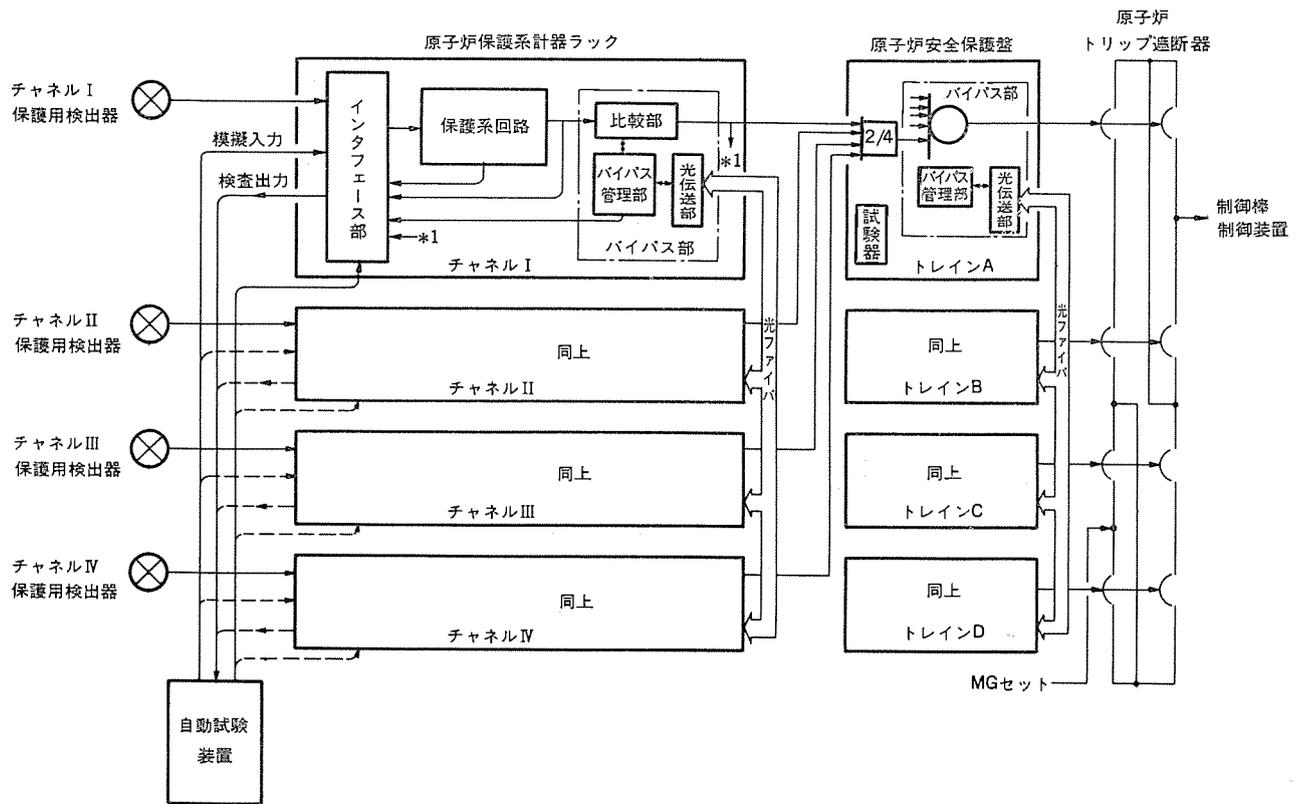


図 2. ANCAP 80 保護系ハードウェア構成

表 2. ANCAP 80 保護系構成

装置	構成要素	内容
原子炉保護系計器ラック	MELNAC 演算処理部	MELNAC カードによる保護系回路構成
	NIS 演算処理部	線源領域, 中間領域, 出力領域の計測チャンネル内蔵
	バイパス部	信号伝送方式 1対1対向 (光伝送) チャンネル部バイパス機能
	自動試験インタフェース部	アナログ入力, デジタル入力 アナログ出力, デジタル出力
自動試験装置	C P U	16ビットマイクロプロセッサ 64KワードICメモリ
	オペレータズパネル	9インチCRT, プリンタ カセットMT, キーボード
	タイプライタ	出力印字
原子炉安全保護盤	入力リレー部	計器ラック比較器作動信号を入力
	ロジック部	2 out of 4 ロジックによる原子炉トリップロジック及び工学的安全施設作動ロジックを構成
	試験器	ロジック部テスト機能
	出力リレー部	工学的安全施設作動回路
原子炉トリップ遮断器	バイパス部	信号伝送方式 1対1対向 (光伝送) トレイン部バイパス機能
	遮断器	2 out of 4 原子炉トリップ機能

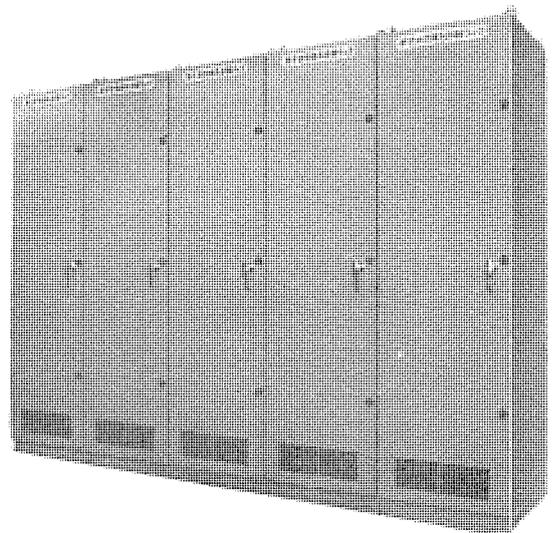


図 3. 原子炉保護系計器ラック試作品

#### 4.2 バイパス部光伝送装置

原子炉保護装置は、安全性確保の面から保護系チャンネルの多重性とチャンネル間の独立性を保証しなければならない。一方バイパス管理を行うためには、チャンネル間相互のバイパス状態信号の授受が不可欠である。保護チャンネルの多重性、独立性を確保しつつチャンネル間でバイパス状態信号を相互に伝送するための光伝送方式を開発した。

図 4. にチャンネル間バイパス状態信号伝送系ブロック図を示す。バイパス状態信号は1対1対向で各チャンネルの電気/光変換器, 光/電気変換器で送・受信している。また、電源断, 入出力線の断線などに対しては、相手チャンネルにバイパスモード信号を伝送する方式としたフェイルセーフ設計としている。電磁誘導, 耐ノイズ性などを含めた優れた

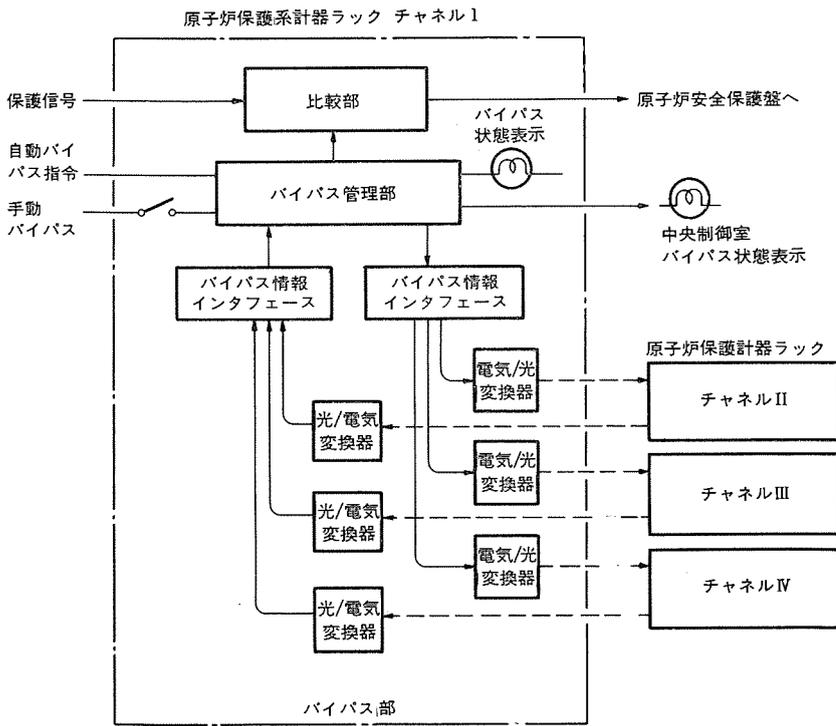


図 4. 原子炉保護系計器ラックバイパス部ハードウェア構成

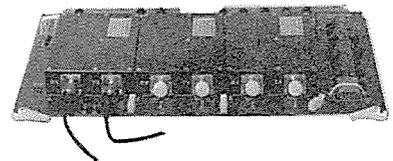


図 5. 光アイソレーションカード外観

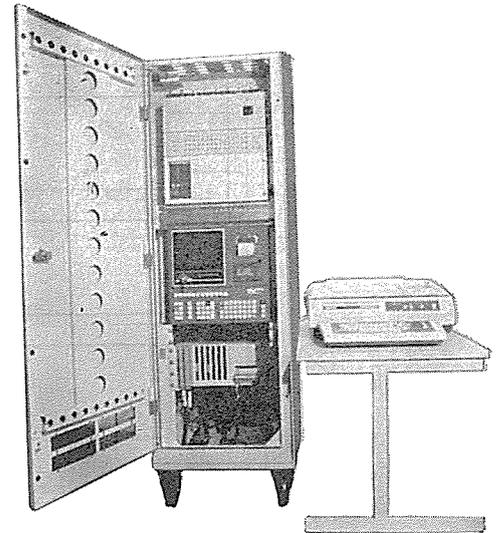


図 6. 自動試験装置外観

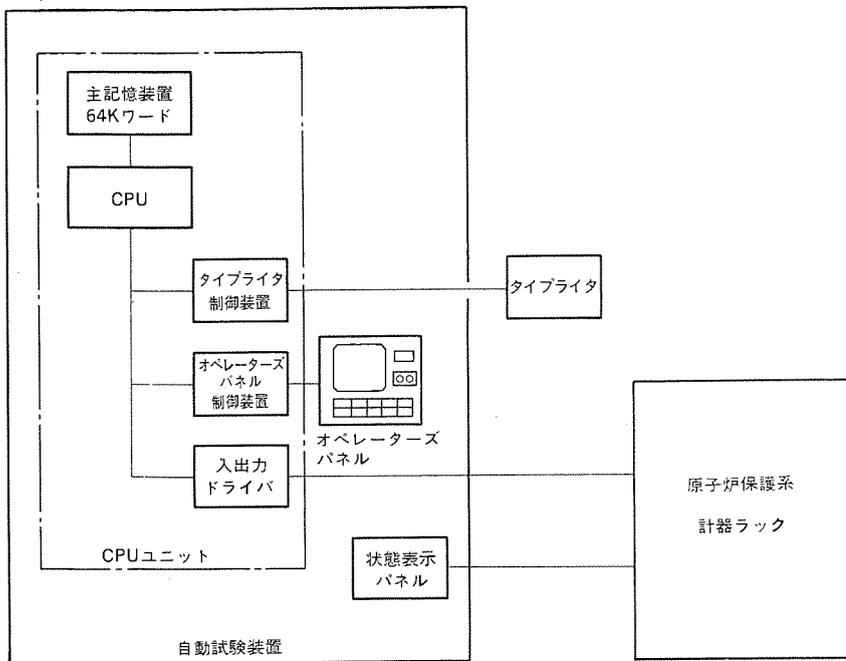


図 7. 自動試験装置ハードウェア構成

電気的分離性能及び物理的分離を備えた光伝送方式により保護信号のみでなく、チャンネル間の電源も完全に分離することができた。

この装置に使用している光伝送器については、難燃性、耐環境性、耐震性などの実証試験を実施し、原子炉保護系仕様としての性能を確認しており十分信頼性を有するものである。

#### 4.3 自動試験装置

自動試験装置(図6.)の主要部は、電力用として実績のある当社《MELCOM 350-50シリーズ A 2010》マイクロコンピュータで構成し、試験

条件の設定、試験進行状態のモニタ及び試験結果表示のためのCRT並びに試験結果の印字作表のためのプリンタなどを備えている。

この試験装置は、原子炉保護系計器ラック4チャンネルに対し1台設置し、試験は各チャンネルごとに実施する。その際数本のケーブルコネクタ接続変更のみで試験実施可能となるため、この装置の自動試験機能と合わせて、大幅な試験時間の短縮と省力化が期待できる。またこの試験装置と接続する原子炉保護系計器ラックの自動試験装置インタフェース部の分離性能については、自動試験装置側の種々の故障を想定した組合せ試験を実施し、その分離性能を検証している(図7.)。

### 5. む す び

改良型原子炉保護装置“ANCAP 80 保護系”について、システム及びハードウェア両面からの改善点について述べた。この改良型原子炉保護装置は通常運転時の安全性を低下させることなく、プラント運転中試験時の誤動作率を1~2けた(桁)改善しており、プラントの稼働率向上が期待できる。

今後原子炉制御保護装置に対する信頼性向上、稼働率向上の要求はますます強くなるものと予想される。この装置が原子力発電所の安全性、稼働率向上に一層寄与することを期待している。

# PWR型原子炉用炉内温度計装装置

松尾 慶一\*・片山 俊彦\*・森本 広海\*・馬場 彰憲\*\*

## 1. ま え が き

加圧水型原子炉の炉心監視の一つとして、炉心出口温度の監視がある。従来の炉心出口温度計は通常運転時の炉心状態監視を目的としていたが、米国のスリーマイル・アイランド原子力発電所での事故を契機として、事故時においても炉心冷却状態を監視する必要がでてきた。

このため、従来の炉心出口温度計装の機能に加えて一次冷却材喪失事故を想定した場合でもその機能を失うことなく、炉心の冷却状態が監視でき、かつ事故時監視計器として十分な信頼性及び監視機能を持つものを開発した。具体的には、

- (1) マンションインタフェースの向上
- (2) 炉心温度測定方法の改善
- (3) 耐震性の向上

を基本設計目標とした。

以下、この計装装置の機能、構成及び特性について述べる。

## 2. 機 能

加圧水型原子炉においては、原子炉における温度状態の監視は原子炉容器の冷却材入口／出口温度と炉心出口温度により行っている。冷却材入口／出口温度は、冷却材配管中に設けられた測温抵抗体により測定し、冷却材の状態を監視する。一方、炉心の出口温度は、図 1. に示すとおり原子炉内の上部炉心板に設置された熱電対により測定している。この熱電対は、燃料集合体の上部に位置する上部炉心板に設置されており、炉心出口の冷却材温度をより直接的に測定でき、炉心出口の温度分布の状態も監視することができるもので

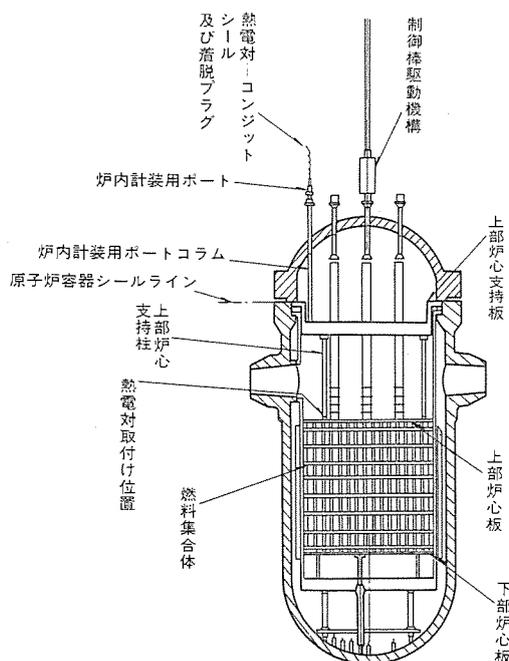


図 1. 熱電対配置図

ある。

最近、TMI 事故を契機に各種監視計器の見直しが行われた結果、炉心出口温度計については、事故時、炉心出口温度を監視できる機能が要求されるようになった。

このような要求に対しこの装置は、炉心出口温度の監視機能を強化するとともに耐震性についても考慮し、事故時の監視計器として十分信頼性の確認できる装置である。

## 3. システムの構成

炉内温度計装装置のシステム構成は図 2. に示すとおり、温度測定素子としての熱電対 (T/C) 群、熱電対の冷接点温度補償を行うよう一定温度に保持した恒温槽 (RJB) 及び熱電対からの信号をデジタル演算処理する炉内温度計装盤で構成している。

原子炉の上部炉心板にプラントのループ数により異なるが、3ループの場合 39 点の温度測定用熱電対 (クロメル・アルメル形) を配置し、この熱電対からの信号を CA 補償導線により 4 台の RJB に導いている。この RJB 内には、RJB 内の温度を測定して、炉心出口温度測定用熱電対の冷接点温度補償を可能とするよう測温抵抗体を設けている。

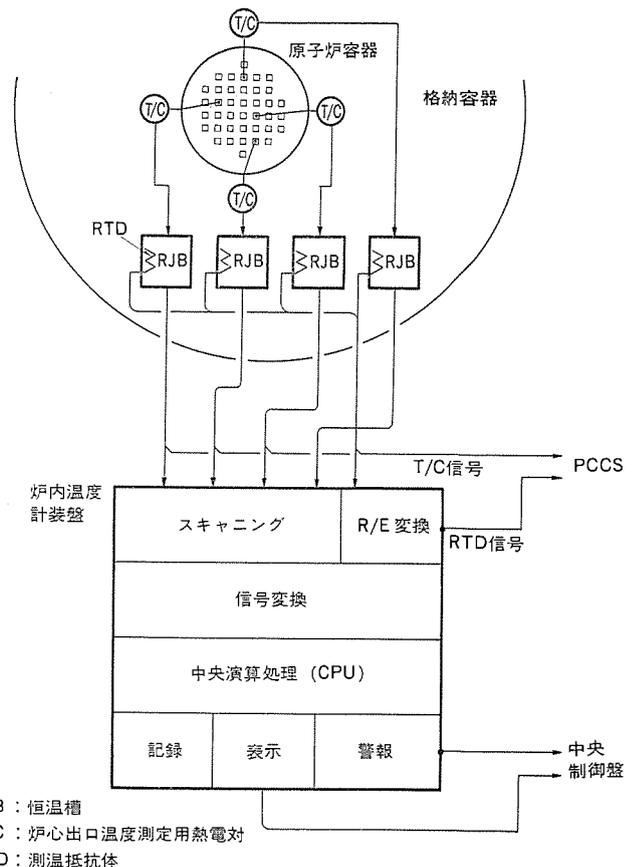


図 2. 炉内温度計装装置システム構成図

炉内温度計装盤はマイクロコンピュータをベースとし、炉心出口温度測定用熱電対からの電圧信号とRJB内測温抵抗体からの抵抗信号を入力演算処理し、各々の炉心出口温度、平均温度、最高温度、最低温度あるいは温度偏差を表示・監視する機能を備えた装置である。

また炉心出口温度測定用熱電対信号はこの炉内温度計装盤から分岐し、直接プラントコンピュータシステム(PCCS)にも伝送している。また、熱電対の冷接点補償用のRJB内測温抵抗体信号についても、抵抗/電圧変換後PCCSへ伝送している。PCCSでは炉内温度計装盤と同様の演算処理を行い、炉心出口温度を監視している。炉内温度計装盤側では、この抵抗/電圧変換ユニットの供給電源に故障が発生しても、PCCS側での監視機能が損なわれないよう供給電源を二重化するなどの考慮を払い、炉内温度計装盤とPCCSにおける多重監視の機能を損なわないようにしている。

#### 4. 特長

この装置ではマイクロコンピュータの有する演算処理機能とハードウェア技術を駆使して、要求される仕様を達成することができた。設計において、特に配慮した項目とその特長は次のとおりである。

##### 4.1 マンマシンインタフェースの改善

炉内温度計装盤では操作と監視に必要な計器と器具類を操作表示ユニットに集中させて、マンマシンインタフェースを改善した。具体的な改善項目を次に示す。

###### (1) 監視強化

- (a) 炉心出口の温度状態表示灯を設けて、①熱電対の異常状態、②炉心出口温度の任意の熱電対を選択した場合、炉心出口のマップ上に配置された該当表示器を点滅させてどの位置に相当するか、を容易に確認できるようにした。
- (b) 各種ステータスランプを設けて装置の状態を容易に確認できるようにした。
- (c) 炉心出口最高温度及び炉心位置、炉心出口最低温度と炉心位置、炉心出口平均温度を表示できるようにした。

###### (2) 保守操作性の向上

熱電対及び測温抵抗体除外スイッチを設けて、異常な熱電対あるいは測温抵抗体を測定から容易に除くことができ、残りの熱電対で平均温度、最高温度あるいは最低温度の監視ができる構成とした。

##### 4.2 冷接点温度補償方式の採用

RJB出口信号は炉心出口での温度測定用熱電対の起電力とRJBでの冷接点熱電対の起電力の差電圧となる。炉心出口の温度を正確に測定するには冷接点温度を一定に保っておくか、あるいは冷接点の温度を測定し、この温度により熱電対の出力を補償する必要がある。

RJB内温度は、プラント通常運転中、冷接点温度が一定となるよう格納容器内通常温度より高い温度(71°C)に制御されている。しかし、一次冷却材喪失事故時には、RJBの周囲温度が上昇してRJB内温度を71°Cに保持できないことも考えられる。この装置では、RJB内温度を測温抵抗体により測定し、RJB内温度が71°Cからずれると、この測温抵抗体からの信号(RJB温度)による冷接点温度補償をマイクロコンピュータのプログラムに従って自動的に行う機能を持たせている。

この冷接点温度補償方式により、プラント運転中は炉心出口温度を精度よく測定できるとともに、一次冷却材喪失事故時でも機能を失うことなく炉心冷却状態の監視が可能となった。

##### 4.3 高精度リニアライズ方式の採用

一般に、熱電対の起電力(電圧)と温度の関係は非直線性を有し、誘起される起電力は温度の複雑な多項式で表される。この装置では、マイクロコンピュータの演算処理能力により、熱起電力と温度の関数を約50本の折線に分割して近似関数を求め、直線近似法によるリニアライズ方式を採用している。これは次の特長を有する。

- (1) 高速のリニアライズが可能。
  - (2) 測定全範囲にわたり精度の平均化及び任意の精度選択が可能。
  - (3) 起電力/温度変換のみならず温度/起電力の変換が容易。
- 一方、RJB内の測温抵抗体の抵抗/温度変換も上記と同じ直線近似法によりリニアライズを行っている。

以上により熱電対起電力から温度変換の精度を向上させることが可能となった。

##### 4.4 測定レンジ切換方式の採用

炉心出口の温度監視強化の一つとして、炉心出口温度の測定範囲の拡大がある。この測定範囲の拡大は測定の精度(°C単位)を低下させる。この装置では、測定範囲の拡大に伴う精度の低下を改善するため、入力レンジの異なる2種類のアナログ入力カードを装備し、熱電対からの入力信号のレベルにより自動的に他方のアナログ入力カードに切換えるよう構成し、測定レンジの拡大とA/D変換の精度の改善を行っている。

##### 4.5 テスト機能の充実

炉内温度計装盤では一定時間おきに内蔵の基準電圧をアナログ入力カードに印加し、基準電圧が正常に温度に変換出来ているか否かを確認している。このテストは通常、自動的に行っているが、手動でも行うことができる。また、操作表示ユニットでは熱電対及び測温抵抗体除外スイッチを設け、装置の運転中でも熱電対と測温抵抗体のセン

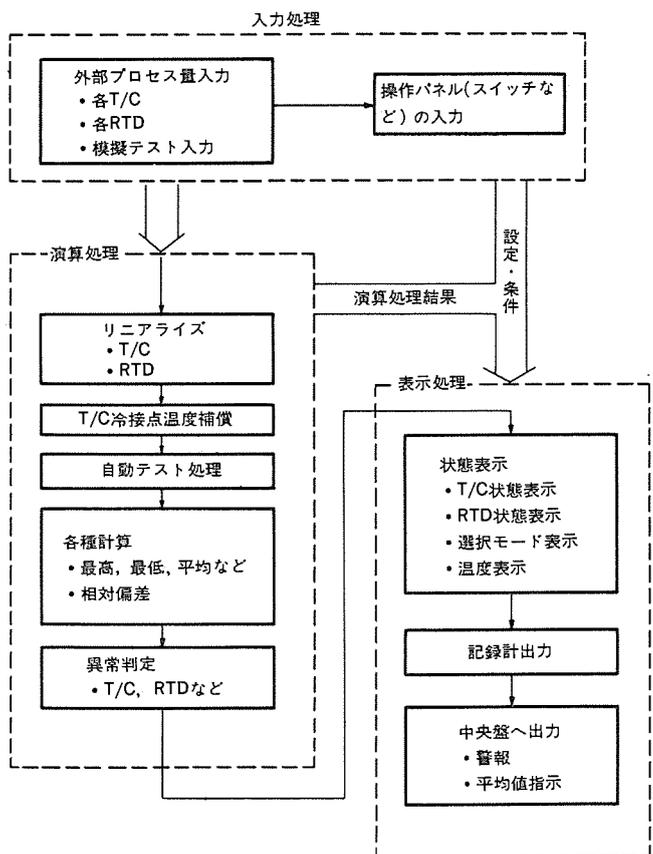


図3. マイクロコンピュータの機能構成

サチェックを可能とした。

#### 4. 6 耐震性

炉内温度計装盤は、耐震性についてもできるだけ考慮した設計としている。

以上、この装置の機能と特長を述べたが、これらは主としてマイクロコンピュータのソフトウェア処理により実行している。マイクロコンピュータの処理機能を図3.に示す。

### 5. 仕 様

炉内温度計装盤は、図4.に示すようにマイクロコンピュータユニット、マンマシンインタフェースとなる操作表示ユニット及びレコーダユニットで構成している。以下、仕様について述べる。

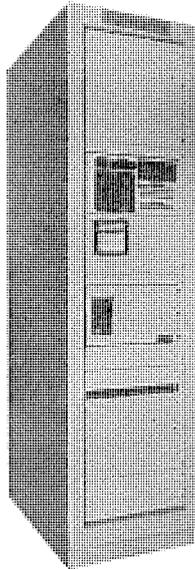


図 4. 炉内温度計装盤外観

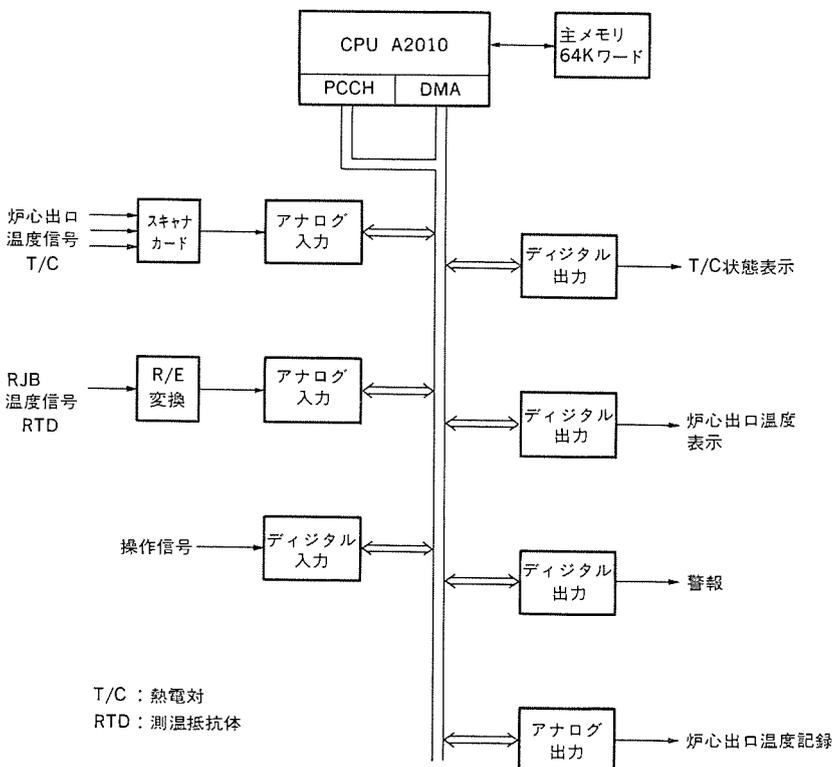


図 5. マイクロコンピュータの構成図

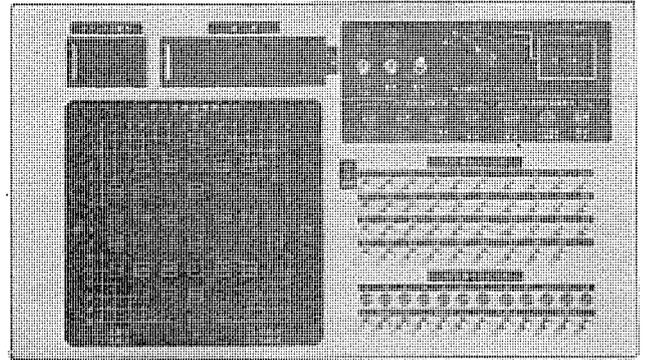


図 6. 操作表示ユニット外観

#### 5. 1 マイクロコンピュータユニット

マイクロコンピュータは、《MELCOM 350-50 A 2010》の耐震タイプを使用している。マイクロコンピュータの構成を図5.に示しているが、主要機器の仕様は次のとおりである。

- (1) CPU カード : 16ビット ビットスライス処理
- (2) 主メモリカード : 64Kワード 半導体メモリ
- (3) スキャニングカード : 12点/カード
- (4) アナログ入力カード : 4点/カード 積分形  
(低レンジ用 0~12.5 mV  
高レンジ用 0~50 mV)
- (5) アナログ出力カード : 4点/カード (出力レンジ ±10 V)
- (6) デジタル入力カード : 32点/カード (ポイント絶縁)
- (7) デジタル出力カード : 32点/カード (ポイント絶縁)

#### 5. 2 操作表示ユニット

操作表示ユニットは炉心出口温度の状態を一括して表示するもので、このユニットの外観を図6.に示す。

- (1) デジタル温度表示器

各熱電対の炉心出口温度はデジタルにより表示する。表示する熱電対は手動により選択されるが、そのほかに次のモード選択を備えている。

- (a) 炉心出口の平均温度
- (b) 炉心出口の最高温度
- (c) 炉心出口の最低温度
- (d) 炉心出口の各温度 (各熱電対選択)
- (e) RJB内の各温度 (各测温抵抗体選択)

- (2) 炉心出口温度の状態表示パネル

炉心出口の各温度測定点の配置とその測定点に対応させた熱電対状態 (正常, 注意) を表示する。

#### 5. 3 レコーダユニット

炉心出口の平均温度、最高温度及び最低温度を連続記録する。

炉内温度計装盤の概略仕様を表1.に示す。

### 6. 検 証

この装置の開発では実機相当の装置を試作し、その機能と性能の検証試験を行った。検証試験はハードウェア性能、ソフトウェア機能、システム機能及び耐震性能について実施した。

耐震試験については図7.に示す耐震フローに従

表 1. 炉内温度計装盤仕様

項目	仕様
入力点数	熱電対 (ASTM E 230 typeK) 最大 54 点 測温抵抗体 (JIS C 1604 Pt 100Ω) 最大 12 点
測定レンジ	炉心出口温度 (熱電対) 40~1,300°C (冷接点 71°C) RJB 内温度 (測温抵抗体) 0~200°C
冷接点温度補償	冷接点の温度が規定内であれば一定温度補償とし、冷接点温度が規定から外れると RJB 温度で補償する。
表示機能	(1) 炉心出口各部温度 (選択) (2) 炉心出口最高温度と炉心位置 (3) 炉心出口最低温度と炉心位置 (4) 炉心出口平均温度 (5) 各 RJB 内温度 (デジタル5桁表示)
表示精度	(1) 炉心出口温度表示 40~370°C ±0.5°C 370~1,300°C ±2.0°C (2) RJB 内温度表示 ±0.5°C
サンプリング周期	5秒/39熱電対 以内
記録	(1) 炉心出口最高温度 (2) 炉心出口最低温度 (3) 炉心出口平均温度
警報	(1) 炉内温度計装盤異常警報 (2) 炉内温度計装盤注意警報 (3) テスト警報
中央制御盤表示	炉心出口平均温度 (アナログ又はデジタル表示)
テスト機能	一定時間おきに基準電圧を読み込み、その電圧値が正確に温度に変換できているかどうかを確認する。
耐震性	有
電源	AC 115V ±5%
消費電力 (VA)	最大 1,200
外形寸法 (mm)	600(W)×1,000(D)×2,300(H)

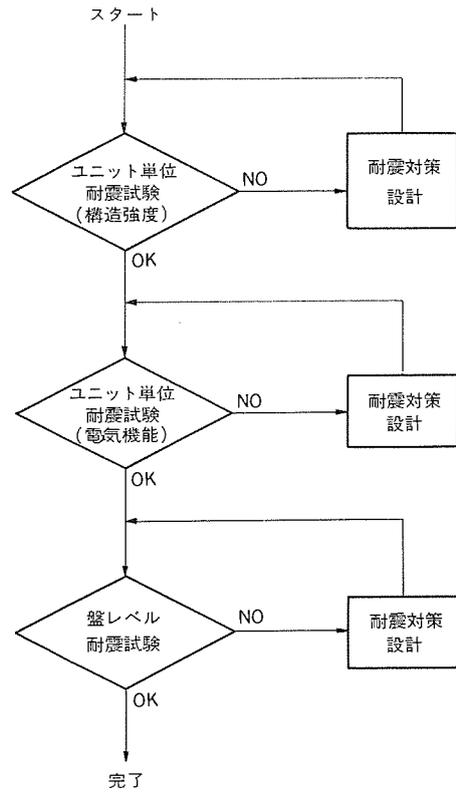


図 7. 耐震試験フロー図

- (2) 減衰定数測定
- (3) 振動モード測定
- (4) 強度試験
- (5) 機能試験

## 7. むすび

マイクロコンピュータの採用により、炉心出口温度の監視拡大、測定方式の改善、マンマシンインタフェースの改善を図り、併せて耐震性についても十分考慮された炉内温度計装置を開発することができた。

この装置の開発により炉心出口温度の監視性が向上し、併せて一次冷却材喪失事故時での監視が可能になった。今後の炉心出口温度監視の強化と安全性の確保に貢献できるものと期待される。

最後に、この装置の設計、製作にあたり多大な御尽力をいただいた三菱重工業(株)殿、三菱原子力工業(株)殿の関係者各位に深く感謝する次第である。

って行い、具体的には次の項目を実施し、その耐震性能を検証した。

### (1) 掃引試験

# PWRプラント廃棄物処理系のデジタル制御・監視システム

上田 敏晴\*・ 淵 上一行\*・ 下里 正夫\*・ 高沢 一男\*\*

## 1. ま え が き

PWR型原子力発電所の廃棄物処理系及びほう酸回収系は、多くの蒸発器、タンクなどのプロセス量制御とポンプ、弁などのシーケンス制御を要するシステムであり、しかもシステム内機器相互間で協調した運転制御を要するため、運転の自動化、監視の集中化による運転性の改善が求められていた。

このため、計算機制御とCRT表示装置を利用して、運転操作の自動化、制御・監視の集中化を更に進めて運転性を向上させ、運転員の負担軽減を実現させたデジタル制御・監視システムを開発したのでその概要を紹介する。

## 2. システムの概要

### 2.1 システム構成

このシステムは、運転監視を行うオペレータコンソール（操作盤）、運転監視機能を管理・統括するオペレータコンソール用計算機盤（OCC）、制御機能をもつフィールドコントロール用計算機盤（FCC）、出力増幅用リレー

を収納するフィールドコントロール出力リレー盤及びその他周辺装置で構成し、その全体構成図を図1.に示す。

#### (1) オペレータコンソール

オペレータコンソールでは、CRT及びキーボードが各6台と照光式押ボタンスイッチを設けており、自動モードスイッチによる自動運転操作、CRTによる集中監視と制御を行う。またDDC(Direct Digital Control)制御に必要なPID(比例、積分、微分)定数の設定、変更もオペレータコンソールより可能である。オペレータコンソールの外観を図2.に示す。

#### (2) OCC

OCCは、上記CRT画面の表示及び運転に必要な情報を記録するタイプライタの制御を行うもので、中央演算処理装置(CPU)及び補助メモリで構成している。これらは負荷分散形の二重系構成とし、単一故障時にもCRT表示などの機能喪失することなく運転継続が可能である。OCCは、二重化されたデータウェイにより、制御用計算機であるFCCと接続され、監視系と制御系の機能による階層化を図っている。

なお計算機のハードウェア構成を図3.に示している。

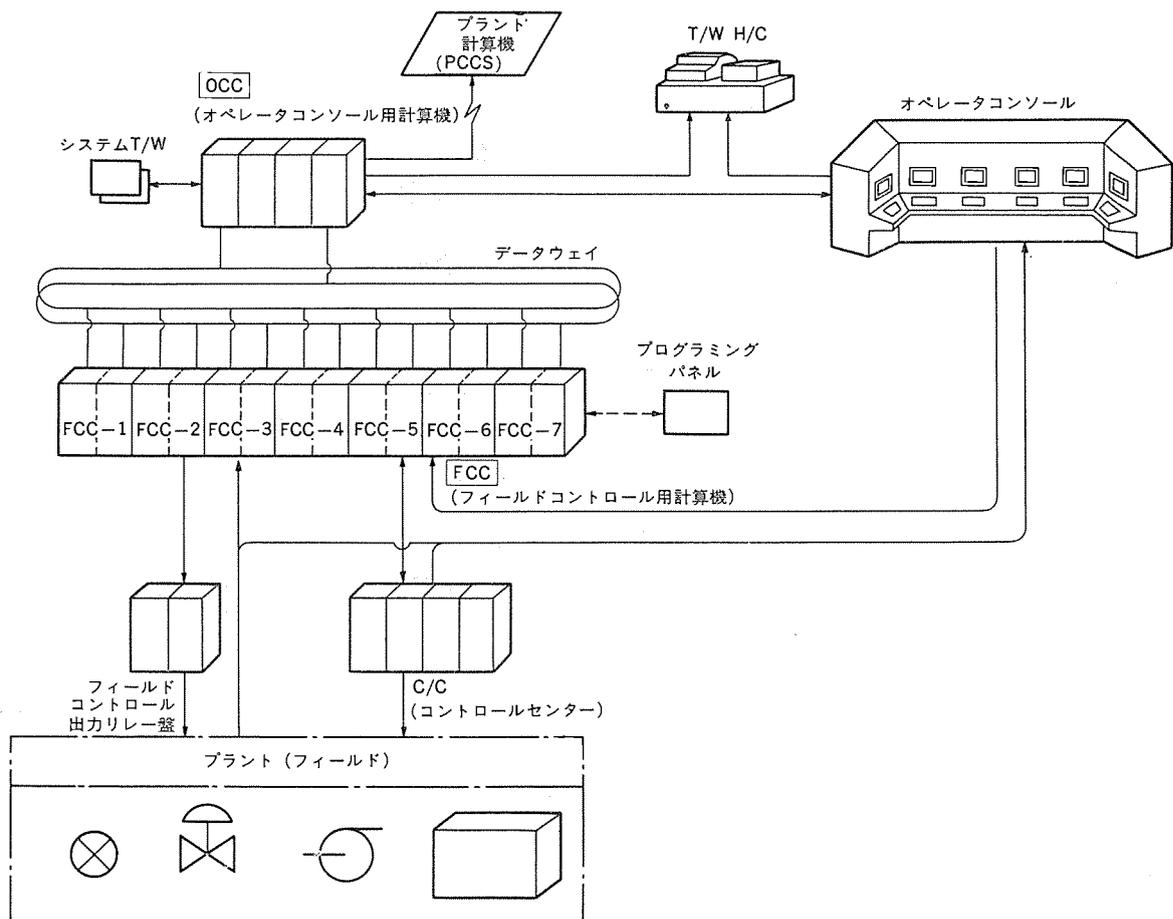


図1. 廃棄物処理系 デジタル 制御・監視 システム 構成図

(3) FCC

FCCは、補機のシーケンス制御、プロセスのフィードバック制御を行う制御主体の計算機盤である。FCCのCPUは待機冗長形の二重系構成とすることにより、単一故障時にもプロセスにじょう乱を与えることなく、自動的にバックアップ系に切換えられ、運転継続を可能としている。FCC外観を図4.に示す。

(4) フィールドコントロール出力リレー盤

ポンプ、弁などの制御用オン/オフ信号は、接点容量増幅のためバッファリレーを介して出力させている。このリレー盤はバッファリレー収納用の盤である。

2.2 システムの特長

このシステムが目指した主要機能とそれを実現するための方策を図5.に示し、その設計内容について以下に述べる。

2.2.1 運転性の向上

運転性を向上させるために、次のような設計を行っている。

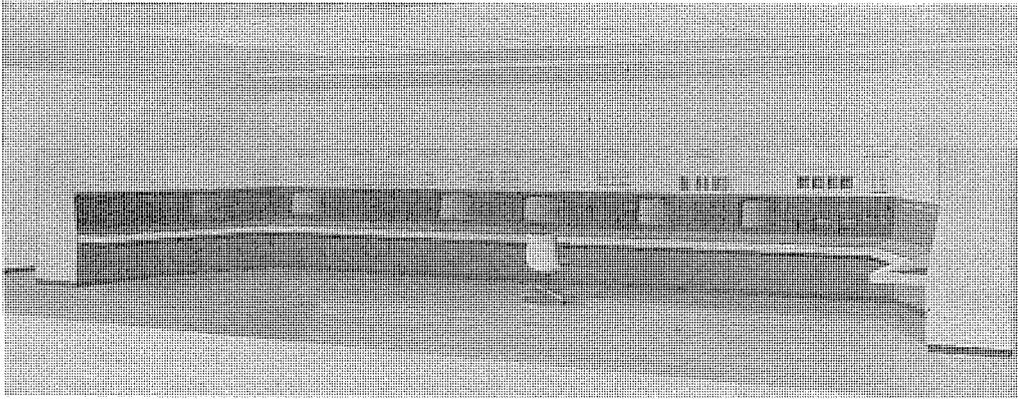


図 2. オペレータコンソール 外観

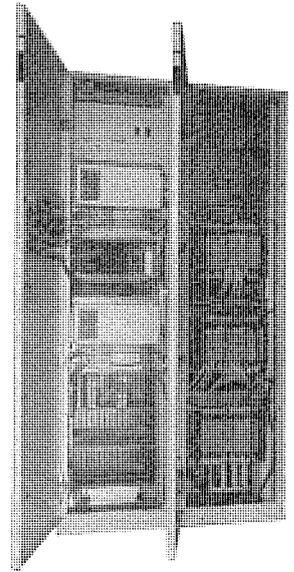


図 4. フィールドコントロール用計算機盤外観

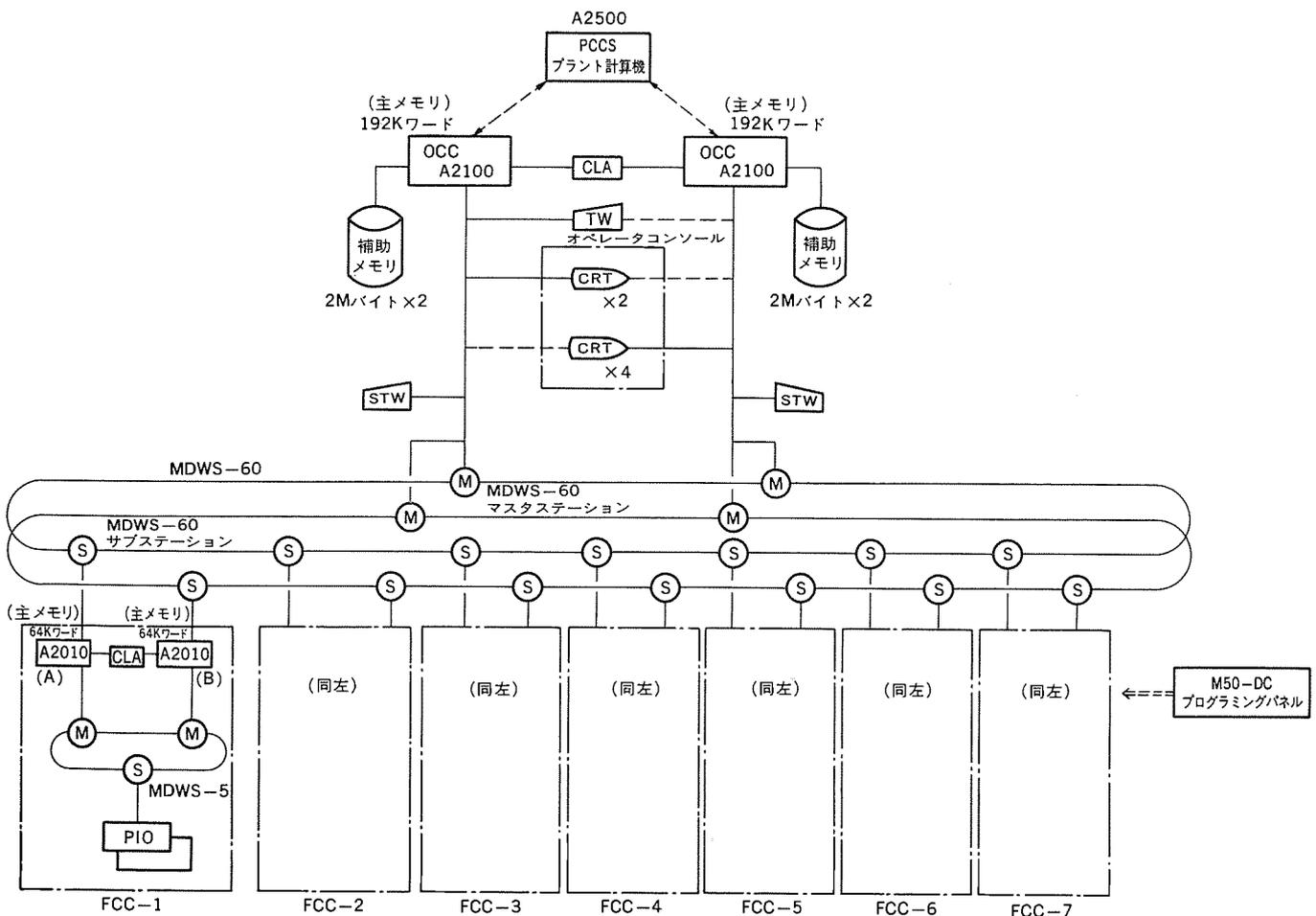


図 3. 計算機ハードウェア構成図

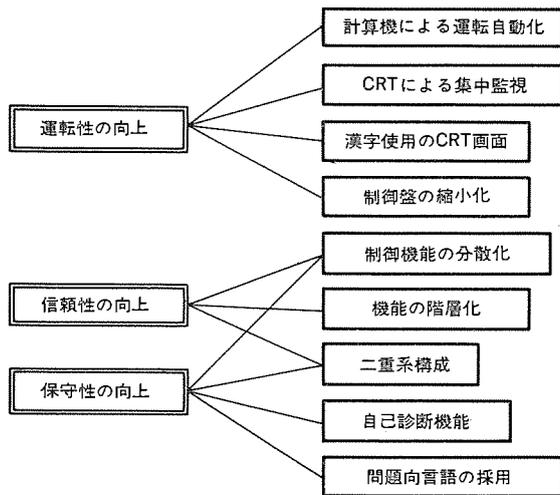


図 5. 主要機能と対応方策

(1) 従来は各制御盤を現場に分散配置していたが、このシステムでは、これらの制御盤を専用操作室にオペレータコンソールとして集中、一体化するとともに、CRT 導入による従来計器の削減により盤自体を縮小化した操作盤としている。

(2) オペレータコンソールの設計においては、操作器具の配置、配列、盤の形状の人間工学的検討により マンマシンインタフェースを改善し、廃棄物処理設備全体の集中監視を可能としている。

(3) 計算機制御の採用により、従来のアナログ計器では難しかった高度で複雑なプログラム、制御などが可能となり、運転の自動化とともに大幅に運転性を向上させている。

自動化の範囲は、

(a) システムの運転モードの変更に際し、制御盤での操作や現場での機器操作を必要とする複雑なシステム補機の運転

(b) 装置の全自動運転

で、これらの運転をオペレータコンソールからのワンタッチ操作で、自動遠隔運転を可能としている。また、個別スイッチも設けることにより、単体試運転調整時の運転を容易にしている。

(4) 使用する CRT に関しては、次のような考慮をし運転性の向上を図っている。

(a) 高密度カラーグラフィック CRT を使用し、大幅な漢字表示の採用により簡素で視認性の高い画面とする。

(b) 画面はキーボードにてワンタッチでリクエスト可能とし、緊急操作時にも十分対応できるようにする。

(c) 調節計、指示計は、従来計器と形状、操作方法を合わせることで、運転員への違和感を少なくしている。

(d) CRT はオペレータコンソールに 6 台設置し、操作性を考慮して CRT 2 台を 1 グループとすることにより、表示内容を互いに補充できる構成とする。

### 2.2.2 信頼性の向上

信頼性を向上させるために、次のような設計を行っている。

(1) CRT 表示の機能をもつ OCC は負荷分散形の二重系構成とし、CPU の単一故障に対しても連続して CRT 表示を可能としている。

(2) 制御機能をもつ FCC は待機冗長形の二重系構成とし、データをトラッキングしているため、CPU の単一故障時にもプロセスにじょう乱を与えることなく、自動的に、かつパンプレスにバックアップ系に切換えて運転を継続させている。このバックアップは、計算機に豊富な

自己診断機能を設けることにより演算処理の故障を早期に検出し、警報を出すとともに、故障時には自動的にバックアップ系に切換えるものである。

(3) OCC の機能は監視主体に、FCC は制御主体に機能を分担させ、階層化構成とすることにより、OCC の両系停止があっても直接 FCC の制御に波及することなく運転は継続できる。

(4) FCC は、制御対象である廃棄物処理設備の装置対応で分散化することにより、機能の独立、故障波及範囲の局所化を図っている。また、同種の装置 (サブシステム) は、別の FCC にて制御させることにより、システム全体としての機能維持が達成できるようにしている。

(5) 入出力装置は、故障が発生しても局所化することと経済性を考慮して一重化としているが、更に故障時の影響が最小となるように、自動制御回路入力と手動バックアップ入力は同一カードとせず、出力についても多重化している機器、装置の出力は別の出力カードとするなどの対策をとっている。

### 2.2.3 保守性の向上

保守性を向上させるために、次のような設計を行っている。

(1) OCC、FCC には自己診断機能を充実させ、故障発生時には故障内容をオペレータコンソールに代表表示させるとともに、タイプライタには故障内容と故障箇所などの詳細内容を印字させることにより、保守性を向上させている。

(2) CPU など二重化している機器の故障の場合には、自動的に待機系に切換わるので、運転継続のまま故障カードの取替えにより保守が可能である。

(3) FCC は、分散制御、最適のグルーピング化により、一つの FCC システム故障時にも故障範囲を局所化でき、保守時の影響を少なくすることができる。

(4) FCC のプログラムは、付属のプログラミングパネルにてオンパワー状態で可能である。このプログラムは、問題向言語 (POL) を使用することにより、計算機などの専門的な知識なしに容易にプログラムの作成、確認、修正、照合及びオンラインモニタが可能である。オンラインモニタ機能を利用することにより、シーケンス制御、フィードバック制御の状態をダイナミックに監視することができ、試験調整を効率よく進めることができる。

## 3. システムの機能と仕様

このシステムの機能は、OCC により制御される CRT を主体とした監視機能、タイプライタ、ハードコピーによる情報記録機能及び FCC による制御機能に分けられる。ここでは、これらの機能、計算機内部での処理方法及びシステムの仕様について述べる。

### 3.1 システムの機能

#### 3.1.1 監視機能

プラント監視を行うオペレータコンソール設置のカラーグラフィック CRT は、プラントと運転員とのマンマシンインタフェースの点で重要な役割を果たしている。CRT では、補機の運転状態、プロセス状態、警報状態などの監視が可能で、主要パラメータはデータウェイにてプラント計算機にも伝送している。このシステムでは、

(a) ポンプ、弁の運転状態を示す押ボタンスイッチ用表示灯は、現場からの信号で直接点灯させる。

(b) 重要警報は、オペレータコンソール上部に固定警報窓を設け、FCC から直接点灯させる。

などの処置をとることにより、監視機能をもつ OCC、CRT の故障

時でも最終的なプラント状態を確認することができるようにしている。

CRTを利用した監視機能の主な項目は次のとおりである。

(1) 系統図表示

従来の制御盤グラフィック部に代わるもので、各サブシステム単位を原則として1枚の画面で系統図を表示し、ポップや弁の動作状態、プロセス量のデジタル表示により系統状態の監視を行う。

(2) 調節計・指示計表示

従来の制御盤設置の調節計及び指示計に代わるもので、制御弁を操作する際に必要な調節計及び表示された調節計に関連する他のプロセス量の指示を棒グラフの形で同時に表示することができる。調節計・指示計表示画面の一例を図6に示す。

(3) トレンドグラフ表示

プロセス量の時間的経過を一括してトレンドグラフで表示するものである。各監視グループ当たり1画面6点のトレンド表示が可能で、表示させ

るパラメータはキーボードにより選択可能である。

(4) 警報表示

従来の制御盤警報窓に代わるもので、各サブシステムごとに窓形式で1画面に表示する。この画面は手動リクエスト表示であるが、このほかに警報発生と同時にCRT下部に自動表示も行う。この自動警報表示は、1監視グループでのCRT2台で4個まで同時に表示可能である。警報表示画面例を図7に示す。

なお、警報のうち重要度の高い警報は、CRT表示とは別にオペータコンソール上に従来タイプの固定警報窓として残している。

(5) 制御定数調整表示

フィードバック制御ループにおける調節計のPID定数の決定にあたっては、設定値あるいは操作量をキーボードにより変更し、そのときのプロセス量の過渡特性をトレンドで表示し、最適PID定数の設定を可能としている。制御定数調整表示例を図8に示す。

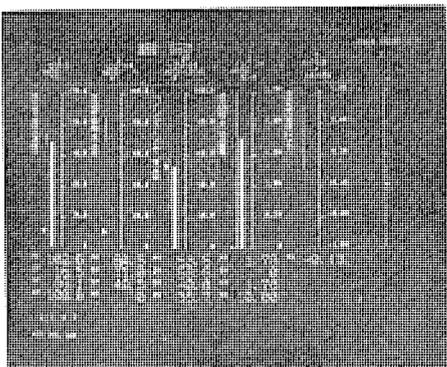


図 6. 調節計・指示計表示画面例

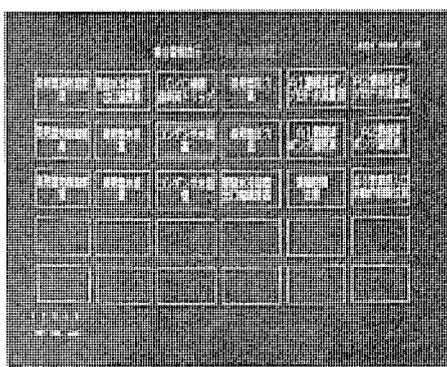


図 7. 警報表示画面例

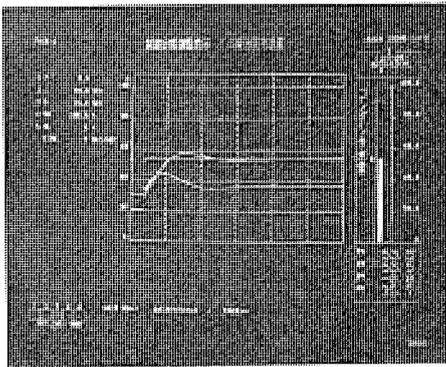


図 8. 制御定数調整画面例

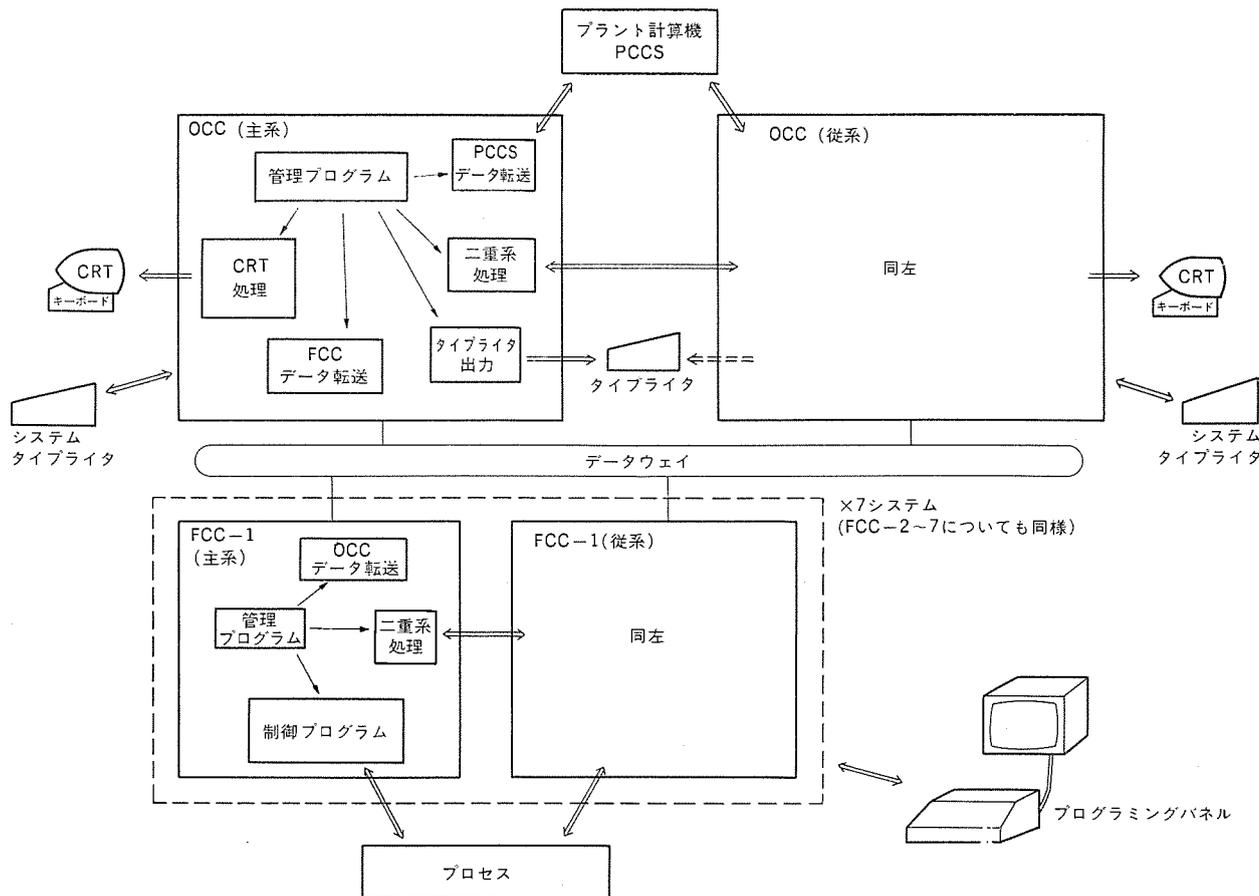


図 9. 計算機ソフトウェア構成図

### 3.1.2 記録機能

プラント状態の記録は、OCCにより制御されるタイプライタ及びハードコピー装置の出力機能による。タイプライタは警報、補機運転・停止などの状態変化に応じて、自動的に指定フォーマットで出力し記録するのである。ハードコピーは表示中のCRT画面をハードコピー装置にプリントし、記録として残すことができる。

### 3.1.3 制御機能

このシステムでの制御機能は、シーケンス制御機能とフィードバック制御機能に分けられ、両機能はすべてFCC内の制御プログラムによるのみ実行させ、監視用のOCCとは機能上独立している。

#### (1) シーケンス制御機能

FCC内のシーケンス制御プログラムにより実行するもので、ポンプ、弁の起動・停止出力はバッファリレーを介して出力させている。FCC内の制御プログラムは、ソフトウェアを単純化し信頼性を上げるため周期的に実行している。また、二重系FCCのパンパレス切換えを可能とするため、従系FCCへのデータ転送も周期ごとに行っている。同時に、プラントの監視に必要な情報はデータウェイ経由でOCCに送信している。

#### (2) フィードバック制御機能

フィードバック制御もシーケンス制御と同様で、FCCでの周期的演算結果をプラントへアナログ信号として出力することにより実行する。

### 3.2 計算機ソフトウェア

FCC及びOCC内におけるソフトウェア構成及び処理フローを図9.に

示す。図に示すように、OCC内では管理プログラムのもとでFCCデータ転送、プラント計算機(PCCS)データ転送の各プログラムを周期的に実行している。一方、CRTの表示、タイプライタの印字出力、二重系処理の各プログラムについては、リクエスト発生時に起動し、自動的に処理を行わせる。このリクエストの種類として、プロセスの状態変化に伴う警報、補機の起動・停止、運転員によるCRT画面リクエストあるいはシステムタイプライタよりの操作などがある。

また、FCC内でもOCCと同様に、制御、OCCへのデータ転送、二重系処理の各プログラムが制御周期ごとに順次起動し、シーケンス制御及びフィードバック制御を実行させている。

### 3.3 システムの仕様

このシステムの仕様を表1.に示す。

## 4. 検 証

制御システムと実機廃液蒸発装置との組合せ試験を三菱重工業(株)と共同で実施し、デジタル制御の運転性、信頼性、保守性を含めた総合的性能を検証した。検証は、このシステムの重要課題である運転性と保守性の確認が十分行えるよう、運転経験者により実施し、次の事項を確認した。

#### (1) 運転性での検証事項

(a) CRT主体のオペレーターコンソールにおいて、一連の運転操作で最適なマンマシンインタフェースがとれること。

(b) 計算機による自動シーケンス制御、フィードバック制御がプログラムどおりに実行でき、制御定数の調整によりプロセスを最適に制御できること。

(c) CRT画面において、表示内容、視認性、操作性は良いか。

#### (2) 信頼性での検証事項

(a) OCCの片系ダウンでも監視・制御に支障がないこと。

(b) FCCの片系ダウン時にバックアップ系に切替わり、プロセスに影響なく運転継続できること。

(c) OCCが両系ダウンしても、FCCの制御機能及びプロセスに影響しないこと。

#### (3) 保守性での検証事項

(a) 制御システム各部に強制的に故障を発生させ、自己診断機能、故障波及範囲及び故障復旧時間の確認。

(b) 保守時におけるプログラミングパネルの有効性。

## 5. む す び

以上、最近のPWR型原子力発電所の廃棄物処理系に適用したデジタル制御システムの構成、機能について述べた。このシステムの開発は三菱重工業(株)、三菱原子力工業(株)と三菱電機(株)が共同で進めたもので、設計者と運転員の一体となった検討により、一層の運転性向上を図ることができ、信頼性の高い自動化システムを実用化することができた。

最後に、このシステムの開発にあたり御指導をいただいた関西電力(株)殿、三菱重工業(株)殿及び三菱原子力工業(株)殿の関係者各位に謝意を表する次第である。

表 1. システム仕様表

No.	構成装置	機 器	仕 様	数 量
1	オペレーター コンソール	CRT	M 2398 20インチ カラー(7色) 4,800画素 文字:英,数,カナ,漢字(512種)	6 台
		自動モードス イッチ	照光式押ボタンスイッチ	1 式
2	OCC	CPU	MELCOM 350-50 A 2100 語長:16ビット/語	2 台
		メ モ リ	MOS-IC 384Kバイト	2 台
		補助メモリ	磁気ディスク 4Mバイト	2 台
		データウェイ	MDWS-60 15Mバイト/s	1 式
3	FCC	CPU	MELCOM 350-50 A 2010 語長:16ビット/語	2台×7 セット
		メ モ リ	MOS-IC 128Kバイト	2台×7 セット
		入 出 カ ユ ニ ッ ト	デジタル入力カード:32点/枚 デジタル出力カード:32点/枚 アナログ入力カード:4点/枚 アナログ出力カード:4点/枚	1 式
		プログラミン グ装置	POL言語によるプログラム	2 台
4	周辺装置	タイプライタ	M 2215-2 80字/秒 163字/行	1 台
		ハードコピー 装 置	M 2298 ドットインパクト方式 プリント時間 約60s	1 台

# 原子カプラント多機能シミュレーションシステム

三木 哲志\*・荻野 敬迪\*\*・牧戸 正紀\*\*・佐々木和則\*\*・峯尾 佳幸\*\*

## 1. ま え が き

原子力発電プラントにおける最重要課題の一つである安全性の確保や信頼性、及び稼働率の向上を達成するために、計算機技術を始め、最新のエレクトロニクス技術を駆使した新しい計装制御システムの開発が強力に推進されている。このような技術開発を行う際に、プラントの挙動を高精度で模擬できるとともにマンマシンインタフェースが完備しており、効率的にプラントの特性を分析したり、開発された技術の有効性を検証したりすることの可能なシミュレータが大きな威力を発揮する。

このたび、上記機能を具備した原子力プラント多機能シミュレーションシステムを開発し、動作確認試験を完了したのでその概要を報告する。なお今回開発したシステムはPWR(加圧水型)プラントを対象としているが、高速増殖炉プラントのシミュレーションにも転用可能である。

## 2. 開発目的と特長

このシステムの開発目的は、原子力プラントの新しい計装制御システムを研究開発する際のツールとして活用していくことにあり、以下に列記する特長を有している。

(1) PWRプラントの挙動を高精度かつ実時間で模擬しているため、

プラント制御特性の解析や運転操作性の評価検討が行える。

(2) 解析結果を実時間で磁気テープに格納し、それらを直ちにCRT上に表示したり、プラント特性パラメータをファイル管理し、CRTを介して容易に修正することが可能なため、詳細かつ効率的に動特性解析を行うことができる。

(3) 豊富なプロセス入出力装置を備えているため、制御システム・診断システムなどと結合することにより、これらの原子力プラントに接続した場合の検証評価が実施できる。

このシミュレーションシステムを利用した技術開発としては次のようなものが考えられる。

(1) 新しい運転訓練用シミュレータ

運転訓練シミュレータ用プラント動特性コードの開発及びその妥当性の検証。

(2) 異常診断システム、運転支援システム

諸種の異常診断技術、予測技術、運転ガイド技術とその実行ソフトウェアの開発及び検証。

(3) デジタル制御システム

原子力プラントのデジタル制御システムに対応した新しい制御方式の検討及び検証。

(4) 新形中央監視制御盤

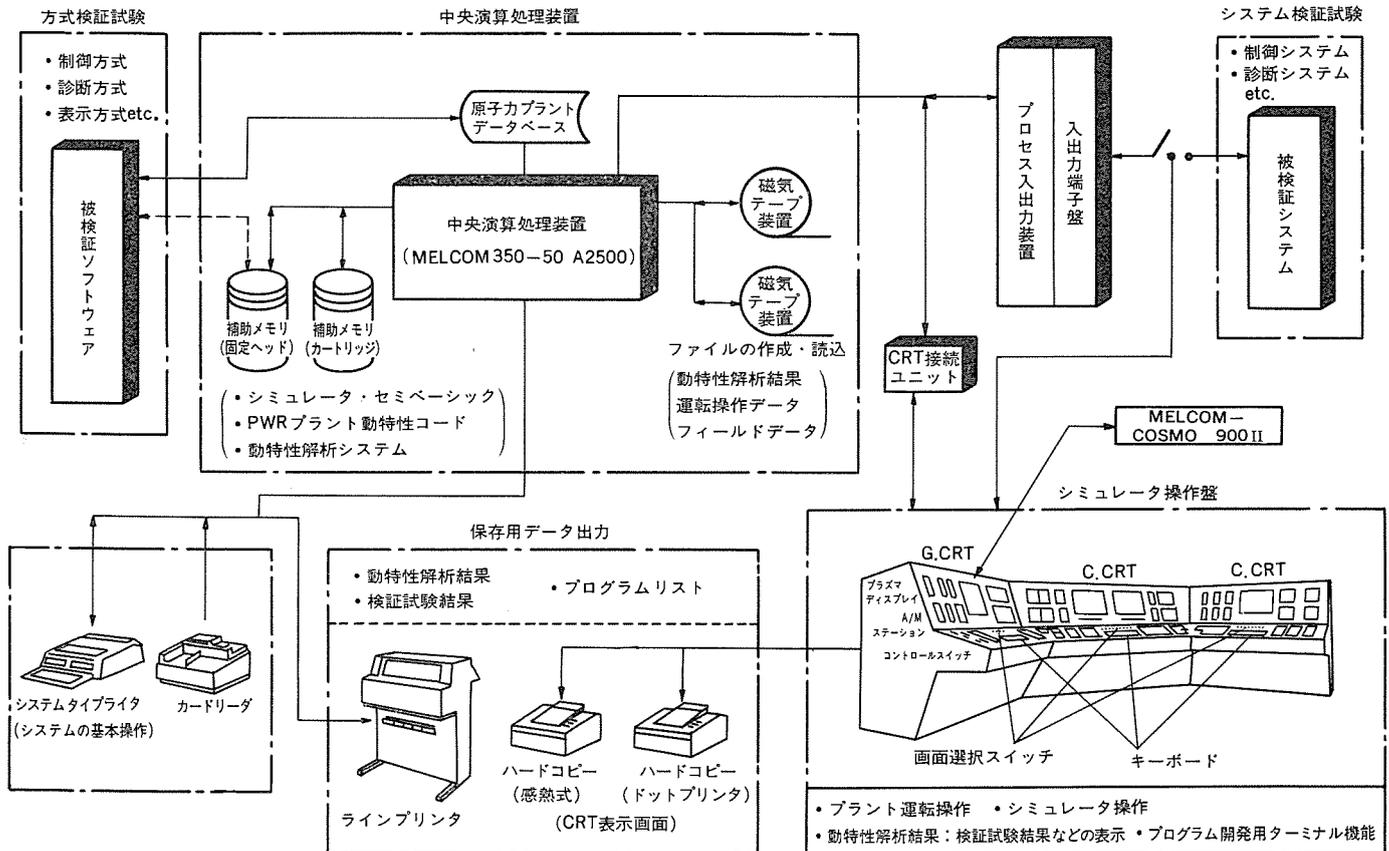


図 1. 原子力プラントシミュレーションシステム構成

人間工学的観点からみた最適な CRT 活用法、制御盤のレイアウトなどの検討及び評価。

### 3. システム構成

システム構成及びシステム外観をそれぞれ図 1、図 2. に示す。このシステムはシミュレーションプログラムを処理する計算処理部、原子力発電所の中央制御盤を模擬した操作盤及び両者を接続するインタフェース部とで構成している。

#### 3.1 計算処理部

(1) 中央演算処理装置として工業用計算機の最上位機種である《MELCOM 350-50 A 2500》を採用しており、これを使ってシミュレータ管理、プラント模擬、CRT 表示プログラムなどシステムで必要とするすべてのプログラムの演算処理を行っている。

(2) プログラム及びデータ格納用として磁気ディスクと磁気テープを備えており、解析結果のファイリング、アクセスなどを効率よく行うことができる。

#### 3.2 操作盤

(1) 運転操作上重要な操作器を組み込んでいるとともに開発用とし



図 2. 原子力プラントシミュレーションシステム外観

て汎用操作器を備えており、現在盤上にない操作器も前もって対応付けた番号を指定することにより該当操作を可能にしている。このため通常出力運転時だけでなく起動・停止、異常・事故時の運転操作の検討を行うことができる。操作器はコントロールスイッチ、調節器 A/M (Auto/Manual) Station, R/M (Remote/Manual) Station, 指示器 (プラズマディスプレイ) などで構成し、運転操作が円滑に行えるように盤面上に配列している。これらは各々モジュール化されており容易に取換え可能である。

(2) カラーキャラクタディスプレイ 3 台、グラフィックディスプレイ 1 台の計 4 台の CRT 装置が組込まれており、CRT 画面選択スイッチを押すことにより、その時点で運転操作上最も必要とする画面を直ちに選択表示することができる。

(3) CRT 画面を見ながら、CRT キーボードから対話形式で運転の開始/終了、解析データファイル作成要求などすべてのシステム操作を行うことができる。

(4) ハードコピー装置を備えており、任意の CRT 画面を永久保存することができる。

#### 3.3 インタフェース部

(1) A/D 変換器、接点入力、接点出力、アナログ入力、アナログ出力処理装置で構成するプロセス入出力装置を介して操作盤と計算機との間のデータ交換を実行する。

(2) 同装置を介して異常診断システムやデジタル制御装置など新規に開発した被検証システムと接続して動作確認、検証を行うことが可能である。

### 4. 機能構成

機能構成を図 3. に示す。このシステムは、下記に示すように原子力プラントの計装制御技術の開発を効率よく進めていくのに必要な数多くの機能をもっている。

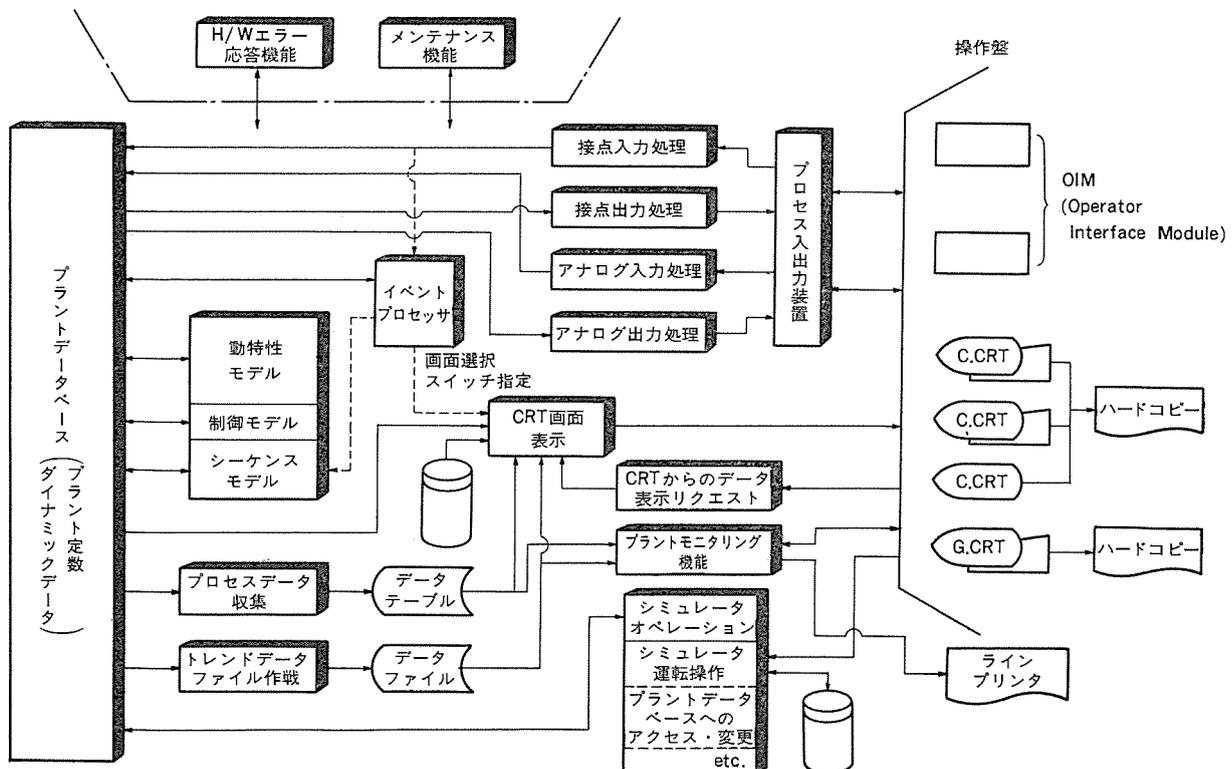


図 3. 原子力プラントシミュレーションシステム機能構成

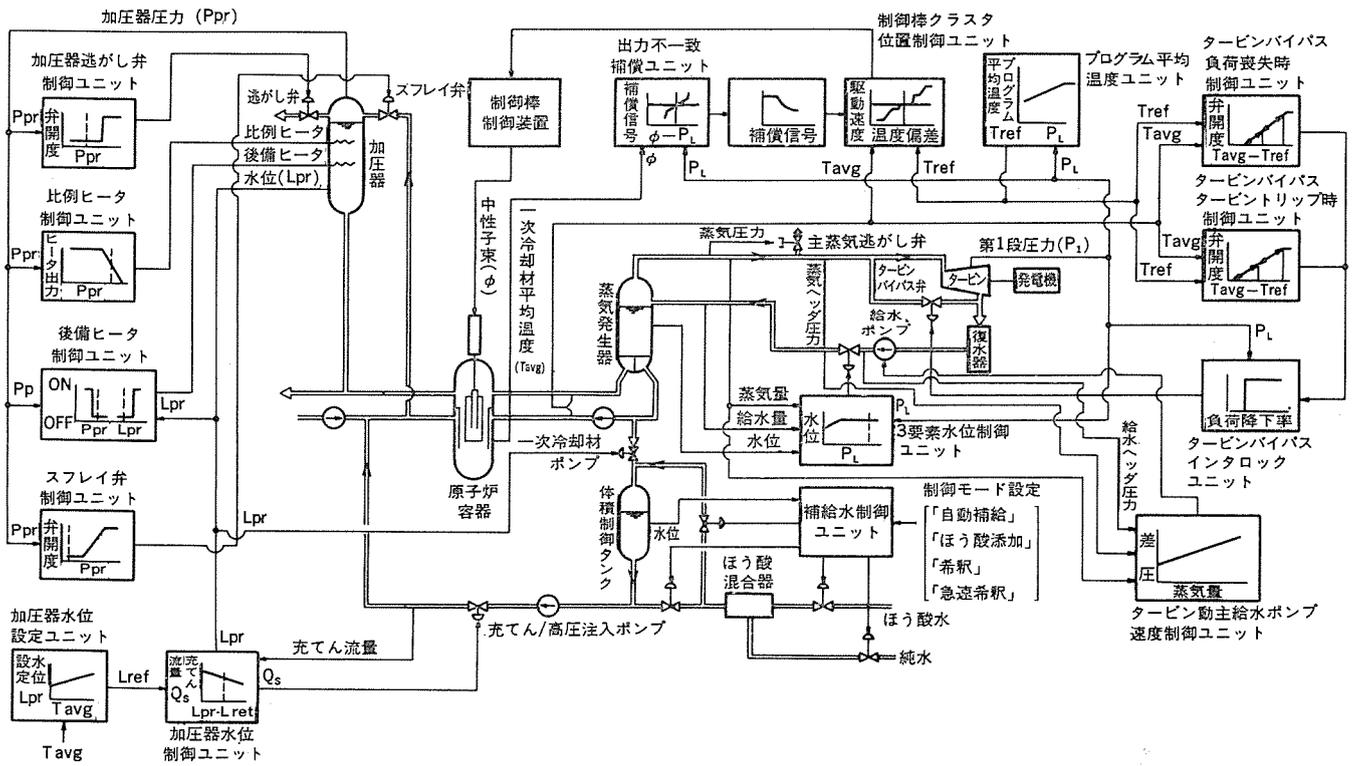


図 4. PWR プラント制御系統

#### 4.1 シミュレータオペレーション

##### (1) 運転管理

初期状態のセット/セーブ、フリーズ、ゴーなどシステムそのもの運転管理を行う。

##### (2) マルファンクション挿入

マルファンクション項目と 1:1 対に対応しているマルファンクション番号、挿入要求時点から実際にそれが実行されるまでのタイムディレイ、挿入位置、厳しさの程度を表すパラメータなどを設定し、挿入要求することによって複数のマルファンクションを連続して発生させることができる。

#### 4.2 マンマシンインタフェース

(1) 中央制御盤を模擬した操作盤と原子力プラントを模擬したプラント動特性とはプロセス入出力装置を介して有機的に結合されており、盤面に設置された CRT、指示器を見ながらコントロールスイッチを操作することにより、実物の中央制御盤と同様の運転操作を行うことができる。更に、シミュレータにおいては前述のようにマルファンクションの挿入が容易なため、異常状態の運転操作を簡便に検討できる利点がある。

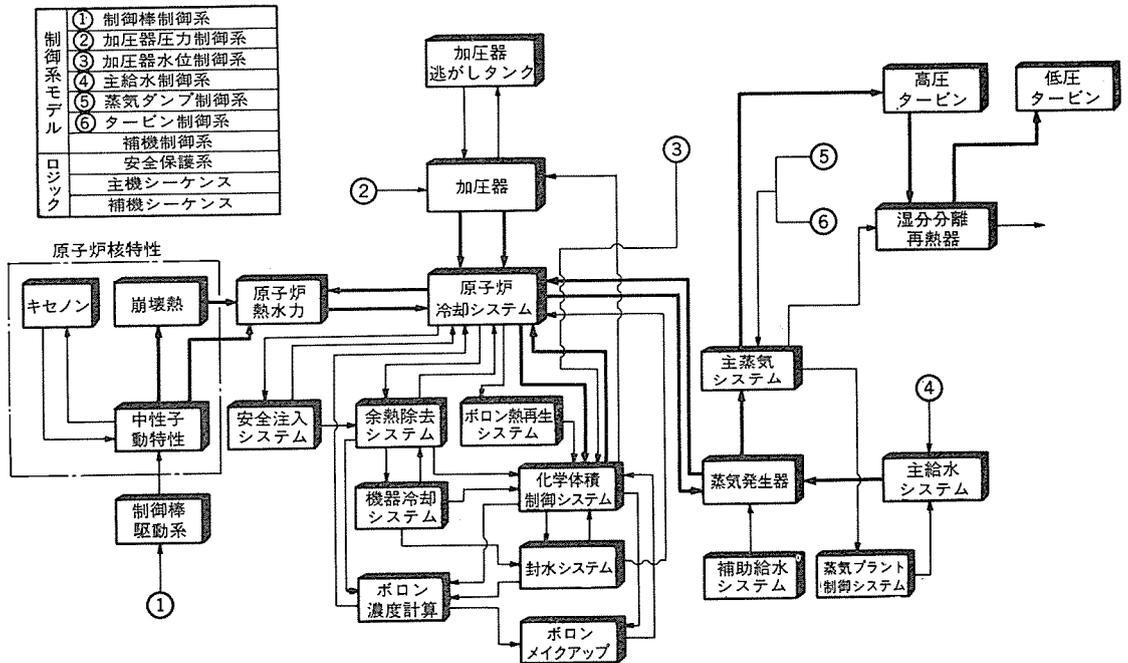


図 5. PWR プラント動特性モデル構成

(2) CRT 画面選択スイッチが押されたとき、直ちにに対応する CRT 画面を表示するとともに、プラントの状態によって時々刻々変化するデータを一定周期で自動的に更新したり、色の変更、点滅などによってアラーム表示する機能も持っている。

#### 4.3 プラント特性の模擬

##### (1) 模擬系統

図 4., 図 5. に PWR プラント制御系統と動特性モデル構成とをそれぞれ示す。図から分かるように、PWR プラントの制御性の解析や運転操作性の評価検討のために必要となるすべての系統を網羅してい

る。これらの系統においては主要機器だけでなく制御系、シーケンスなど運転制御に関連するすべての要素を忠実に模擬している。更に、この系統と電力系統とを結合して相互に及ぼし合う影響を解析・評価することも可能である。

(2) 運転模擬の範囲

運転範囲としては、このシミュレータを利用した技術開発項目を考慮して以下のように選択した。

(a) 起動・停止運転

温態停止状態から臨界操作を経て出力運転に至るまで及びその逆の各運転操作を主として手動操作により実行する。

(b) 通常出力運転

通常自動制御系により全出力運転されているが、必要に応じて負荷変更運転により各種の出力運転が可能である。

(c) 異常及び事故時の運転

異常診断技術、事故時予測技術、運転ガイド技術などの開発を遂行するために必要となるすべての事象模擬している。挿入可能なマシナクションとしては、原子炉トリップに至らない比較的軽微な故障から小 LOCA (Loss of Coolant Accident) のように原子炉トリップ後、安全注入信号が出され、安全注入システムが動作するような重大事故までバリエーションに富んでいる。異常事故時の模擬をする際に必要な原子炉トリップ条件及び安全注入条件はすべて実プラント設定値を採用しており、またトリップ後の補助給水ポンプの自動起動、蒸気ライン隔離など要求される安全保護動作も実プラントと同様すべて模擬している。またセンサ故障、制御系故障については、異常診断技術の開発上必要となるためきめ細かく模擬している。

4.4 プラントモニタリング

操作員の要求に応じて任意の時刻に CRT 上にプロセスデータの現在値表示/アラーム表示/トレンド表示を行うとともにラインプリンタ上にロギングを行う。

4.5 動特性解析

実時間で磁気テープに解析データファイルを作成し、その内容を解析終了後直ちに CRT 上にアナログトレンド表示し、オフラインで動特性解析結果を詳細に検討することができる。また、プラント特性パラメータをマスタファイルに入れて管理することにより CRT を介して容易に修正可能である。このため動特性や制御系のパラメータサーベイを効率よく実行することができる。

5. ソフトウェア構成

図 6. にソフトウェア構成を示す。タイムシェアリングオペレーティングシステムのもとに各種プログラムが統轄管理されている。

5.1 シミュレータ管理プログラム

シミュレータセミベシックとも呼ばれ、下記に示すようにシミュレータに特有な諸機能をつかさどるプログラム群で構成している。

(1) ユーザーシンクロナイザにより動特性モデル、制御系モデル、ペリオディックシーケンス、プロセスデータ

収集など周期的に起動されるプログラムのタスク管理を行う。

(2) スイッチを押すことにより生じる接点入力の変化に応じてイベントシーケンス、CRT 画面表示プログラムに起動をかける。

(3) CRT キーボード操作を受けつけ、シミュレータオペレーション、プラントモニタリング、メンテナンスなどの諸機能を実行する。

5.2 動特性プログラム

図 5. に示したように PWR プラントの動特性に影響を与える一次・二次系の主要な系統をすべて含んでいるが、ここでは特に重要な系統のモデルの概要について述べる。

(1) 原子炉

図 7. に原子炉動特性モデルを示す。原子炉炉心モデルは、中性子動特性モデルと熱流モデルに分割できる。中性子動特性モデルでは、軸方向に 18 分割し、各メッシュで遅発中性子 6 群とし、修正 1 群拡散方程式を用い、軸方向中性子束分布及び核分裂出力分布を模擬している。反応度効果としては、燃料の燃焼度、制御棒の効果のほかドップラー効果、冷却材温度効果、ほう素濃度効果及びケノン効果を考慮している。半径方向出力分布についても、マシナクションにより挿入された制御棒による半径方向中性子束テイルト及びケノン振動を考慮している。熱流モデルでは、軸方向は 1 点近似し、半径方向は燃料棒を 2 分割、冷却材を 1 分割してエネルギーバランスより燃料棒温度、冷却材温度などを模擬している。

(2) 一次冷却材系統

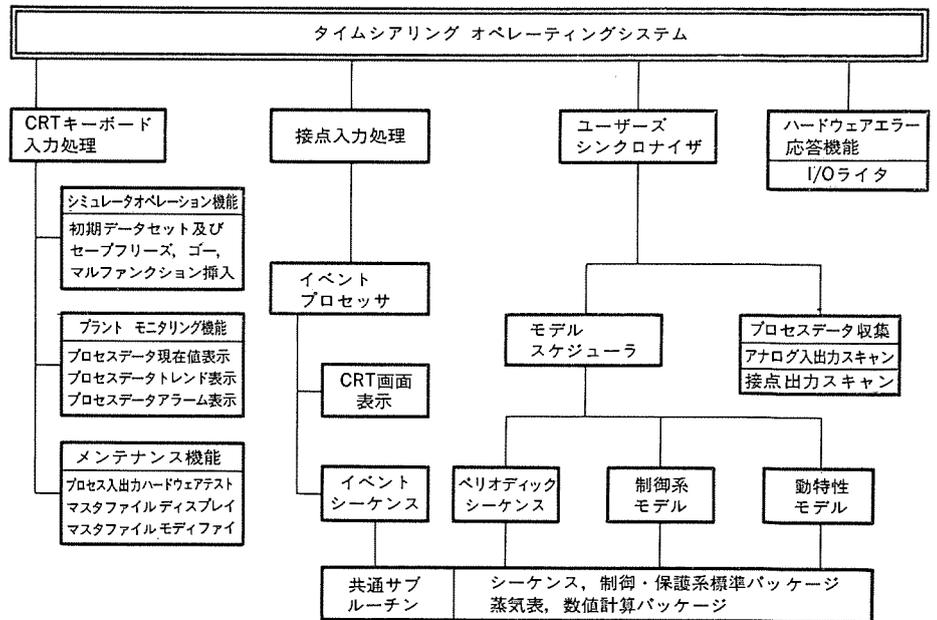


図 6. 原子力プラントシミュレーションシステムソフトウェア構成

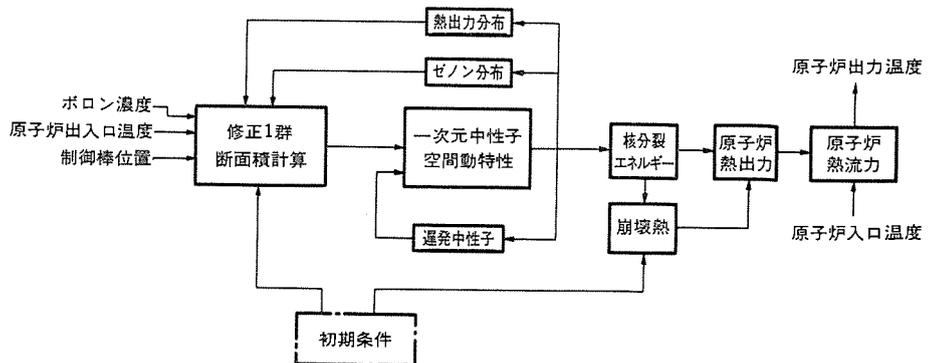


図 7. 原子炉動特性モデル

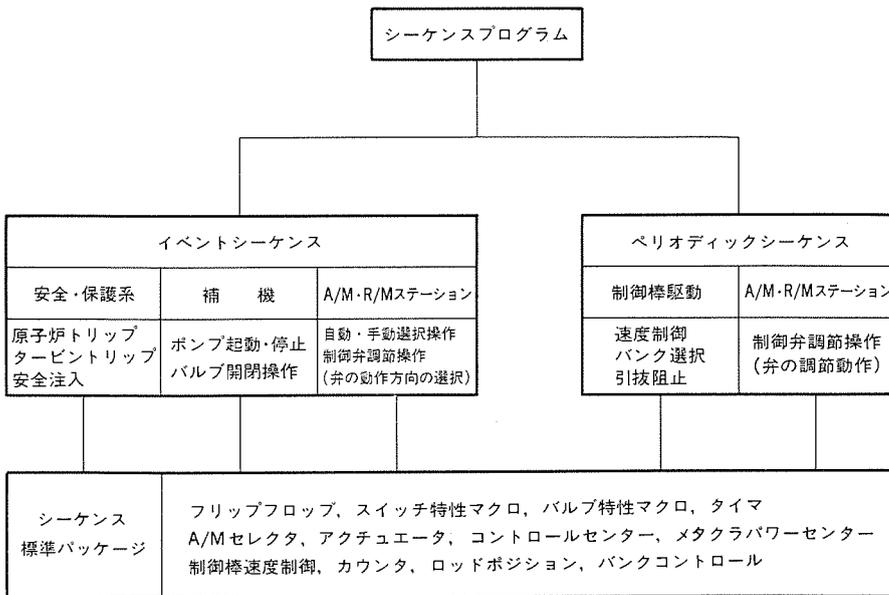


図 8. シーケンスプログラムソフトウェア構成

一次冷却材モデルは熱モデルと流動モデルに分割できる。熱モデルでは、原子炉容器上部プレナム部でのミキシング効果及び原子炉冷却材ポンプの発生熱量などを考慮してエネルギーバランスより各部の温度を模擬している。流動モデルでは、通常運転時流動、逆流及び自然循環を模擬している。

### (3) 加圧器

加圧器モデルは、フラッシング、凝縮効果なども考慮して液相部及び気相部で質量保存則、エネルギーバランスより温度、水位を模擬している。圧力は加圧器内は飽和状態と仮定して模擬している。また、加圧器モデルでは、プラント起動時での満水状態、冷却材損失事故に起因する空状態も模擬している。

### (4) 蒸気発生器

蒸気発生器モデルは集中定数1点近似モデルを用いており、一次側と二次側の熱伝達関数は蒸気発生器熱貫流率の三次関数として模擬している。蒸気発生器内蒸気圧力は飽和状態にあるとし、水位は蒸気泡の効果も考慮して模擬している。

### 5.3 制御系プログラム

制御棒制御系、加圧器圧力・水位制御系、主給水制御系、蒸気ダンパ制御系、タービンEH制御系をはじめ原子力プラントに必要なすべての制御系を網羅している。制御系モデルはPIDコントローラなどの基本的な制御要素だけでなく、飽和、不感帯、ヒステリシス、非線形ゲインなどの非線形要素も忠実に模擬している。

### 5.4 シーケンスプログラム

図 8. にシーケンスプログラムソフトウェア構成を示す。シーケンスプログラムは操作盤又はプラントに状態変化があったときのみ起動されるイベントシーケンスと周期的に必ず起動されるペリオディックシーケンスに分けることができ、これらは標準パッケージと呼ばれる数多くの共通サブルーチンを共有している。具体的には、プラントの運転パラメータが安全限界を越えると直ちに安全保護指令を出す安全保護系をはじめ、補機、A/M・R/Mステーション、制御棒駆動シーケンスで構成し、PWRプラントの諸種のシーケンス動作を忠実に模擬している。

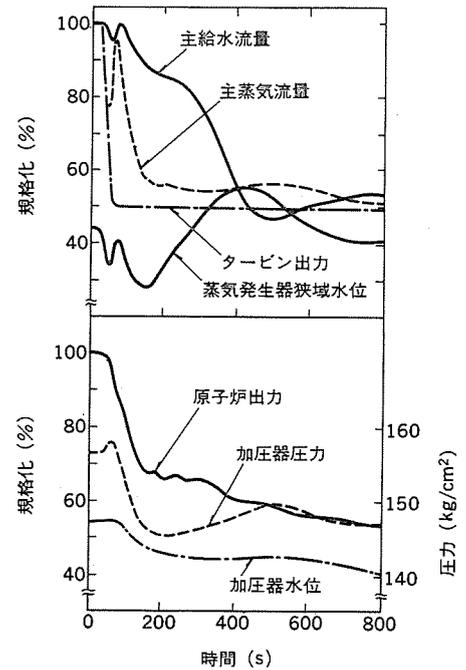


図 9. 解析結果例

### 5.5 CRT画面表示プログラム

CRT画面はプラント状態により時々刻々変化する可変画面と常に一定な固定画面で構成するが、これらはVIPPS (Virtual Picture Processing System) と呼ばれるサポートソフトウェアを利用して表示される。

### 6. 解析結果の検討

種々のケースについて解析を行った結果、以下の事項が確認できた。

- (1) 解析結果は物理的に妥当であるとともに、詳細解析コードの結果とよく一致していた。
- (2) 全機能を実時間で処理することが可能である。
- (3) 動特性解析専用機として利用する場合には、全プラントの解析を実時間の1/2以下で処理することが可能である。

解析結果の一例として、図 9. に100% 負荷で定常運転しているとき、ステップ状に50% だけ負荷が喪失したときの結果を示す。

### 7. むすび

基本的なプラント特性の検討と運転模擬を実施し、開発ツールとしての有効性を確認した。信頼性、安全性の一層の向上を図るとともに大容量化と大幅な燃料節減をねらいとしたAdvanced PWRの開発計画が進められつつあり、以前にも増して新しい計装制御システムへの要求が強くなってきている。我々は、これらの状況に適確に対応するため、このシミュレータを駆使して新技術、新システムの開発に積極的に取り組んでいく所存である。

最後にこのシミュレーションシステムの開発に当たり、多大の御協力並びに御指導いただいた三菱重工業(株)殿、三菱原子力工業(株)殿、(株)原子力発電訓練センター殿の関係者各位に深く感謝の意を表する次第である。

# 中小水力発電への誘導発電機の適用

加古文敏\*・川口和孝\*・大釜寛修\*

## 1. ま え が き

中小水力発電はクリーンかつ無限の循環エネルギーであり、長期にわたって安定した供給が期待できることから、石油代替エネルギーの一環として開発を促進することが国家的課題となっている。

我が国の残存水力発電可能箇所は約2,340地点で、総出力1,850万kW、約600億kWhであり、そのうち単体出力10,000kW以下が約65%を占めているので、中小水力発電の開発は大きな意味もっている。

中小水力の明確な定義はないが、1,000~20,000kW以下程度の容量のものを中小水力と呼んでいる。中小水力発電の場合ランニングコストは低いので、インシャルコストをいかに低くできるかが焦点となる。従来より同期発電機がもっぱら採用されてきたが、価格・保守などの優位性で最近誘導発電機が適用されるケースが増えている。そこで、中小水力発電用誘導発電機についてその特長と適用上の留意点を述べる。併せて、中小水力発電機の傾向と最近納入した中小水力用誘導発電機を紹介する。

## 2. 誘導発電機の特性

誘導発電機は構造が簡単で堅ろうかつ保存の容易なことで知られる誘導電動機を同期速度以上で外部から駆動することにより容易に発電機となるものである。したがって、その特性も誘導電動機の場合の特性式のすべりを負にすることによって表される。

図1.に誘導発電機の等価回路を示す。これより固定子1相の電流は、

$$I_s = V_t \left( \frac{Z_r' Y_0 + S}{Z_r' + S Z_s + Z_s Z_r' Y_0} \right) \dots\dots\dots (1)$$

となる。また発電機のトルクは、

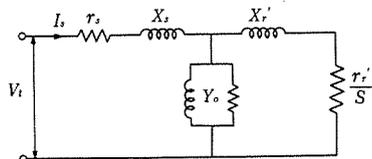
$$T = \frac{m S r_r' V_t^2}{2\pi f \times \{ (r_r' + S r_s)^2 + S^2 (x_r' + x_s)^2 \}} \dots\dots\dots (2)$$

である。

発電機の出力は図2.に示すように電圧・周波数が一定であれば回転数に依存しているので、水車の回転数を上昇させると出力も増加する。誘導発電機は励磁電流に相当する無効電力を外部から供給する必要があり、単独運転はできない。励磁電流が大きければ大きい程、すなわち極数が多くなればなる程力率は低下する。端子電圧に対して、誘導発電機は進みの力率となり負荷率に応じて力率は変化する。図3.に誘導発電機の特性を示す。

誘導発電機の端子周波数は系統周波数であり回転数には無関係である。また、図2.の出力は電圧の2乗に比例して変化するので、最大出力を定格出力の160%以上に設計し、電圧変動に対する安定性をもたせている。

図4.は系統に誘導発電機を接続した場合のベクトル図である。この図から、系統力率は発電機を接続する前に比べて低下することがわかる。したがって、力率改善用のコンデンサを並列に接続するのが



- $I_s$  : 固定子1相の電流
- $V_t$  : 端子電圧
- $Y_0$  : 励磁アドミッタンス
- $Z_s$  :  $r_s + jX_s$  (固定子1相の漏えいインピーダンス)
- $Z_r'$  :  $r_r' + jX_r'$  (回転子1相の漏えいインピーダンスの固定子換算値)
- $m$  : 相数
- $f$  : 周波数
- $S$  : すべり

図1. 誘導発電機の等価回路

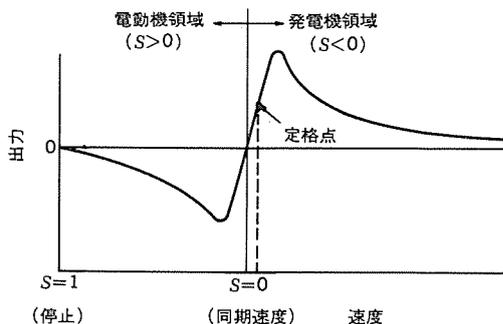


図2. 誘導機の出力と速度の関係

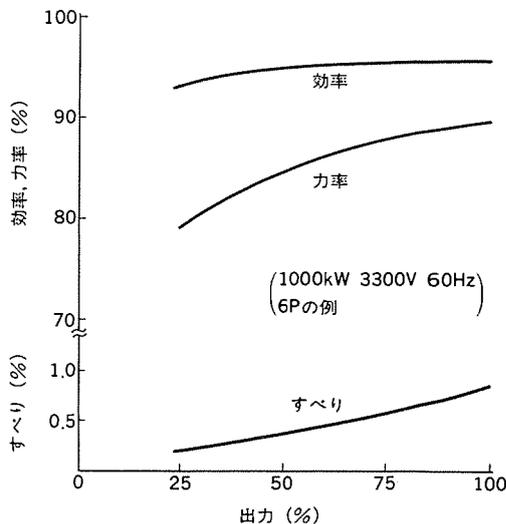


図3. 誘導発電機の特性

一般的である。

## 3. 誘導発電機の構造

誘導発電機の構造は誘導電動機の構造とほとんど同じである。通常、誘導電動機のように起動トルクを発生し、負荷を速度ゼロから駆動

\* 長崎製作所

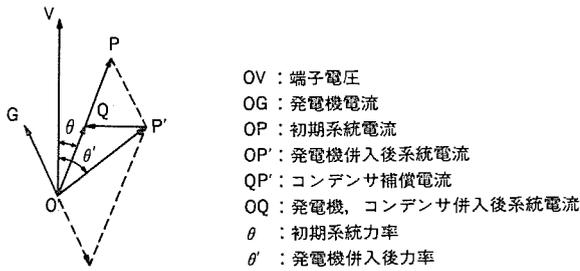


図 4. ベクトル図 (系統との並列時)

する必要がないため機械的衝撃は少なく、二次導体発熱による熱心力も小さい。したがって、誘導電動機より機械的・熱的影響が低い。しかし誘導電動機と異なり、負荷遮断時には必ず速度上昇があり、水車の無拘束速度には耐える構造とする必要があるため、遠心力による応力や振動特性には十分注意を要する。

横軸誘導発電機の構造断面図を図 5. に示す。誘導発電機の回転子は二次導体として回転子棒が各溝に打込まれ、その端部は短絡環で短絡されており、元来高速に適する強固な構造となっている。過速度がより大きい場合には、この短絡環を高強度の支持環で保持するとともに鉄心や導体の材料強度も上げている。

#### 4. 誘導発電機と同期発電機の比較

水車発電機としては従来より同期発電機が多く採用されている。表 1. に誘導発電機と同期発電機の比較をまとめた。誘導発電機は付帯設備が少なく、構造が堅ろうであり、運転の操作・保守が容易なことから、常時無人運転されることの多い中小水力発電所に最適の発電機であるといえる。

#### 5. 誘導発電機適用上の留意点

誘導発電機は前に述べたように種々の利点を備えているが、適用にあたっては次に述べる送配電系統の問題について十分に検討することが必要である。

##### 5.1 併入時突入電流

誘導発電機を系統へ併入する場合、回転速度を同期速度近傍に合わせて併入するが、発電機自身は無励磁の状態であるから併入時には定格電流の 6 倍程度の突入電流が流れる。この突入電流は数サイクルで減衰するが、突入電流による電圧降下が一般配電線に接続されている他の機器に対して悪影響を及ぼさないようにする必要がある。併入時のすべりを小さくすれば、突入電流の持続時間は短くなるが電流の最大値は変わらない。したがって、併入時の回転速度を同期発電機のように微調整してもあまり意味はなく、通常は同期速度の ±3% 程度以内で十分である。持続時間を更に短くしたい場合にはすべり調整装置を設ける。当社の MSLC 形 スリップ 制御装置は発電機のすべりを小さくするように水車のガイドベーン 制御装置にせん速信号を与え、すべりがある値 (例えば ±0.25%) 以下になると発電機遮断器に投入指令を出すものである。

突入電流の最大値が問題になる場合は併入用限流リアクトルを設ける。ただし、リアクトルの時間定格は非常に短かくてよい。図 6. は誘導発電機を併入したときの電流オシログラムの一例である。

##### 5.2 力率改善と自己励磁現象

誘導発電機は励磁に必要な無効電力を系統から受けるので、系統の力率を低下させる。また、発電機容量が比較的大きい場合には無効電力による系統の電圧変動も問題になることがある。この対策とし

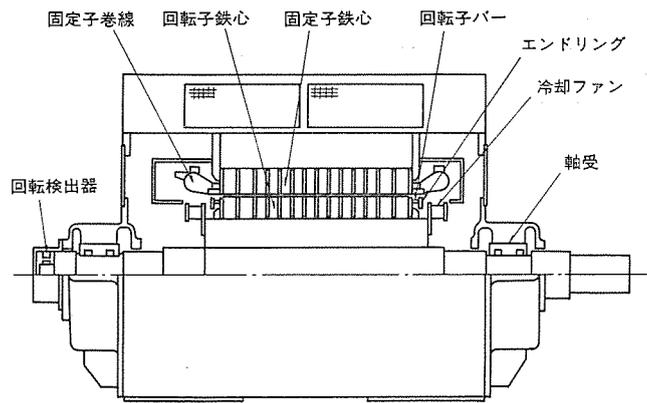


図 5. 横軸誘導発電機構造図

表 1. 誘導発電機と同期発電機の比較

項目	誘導発電機	同期発電機
1. 構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・励磁機まわり不要</li> <li>・保守, 点検が容易</li> <li>・回転子が, かご形構造であるため堅ろうで高速化が容易</li> <li>・空隙が比較的小さい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・励磁機, 回転整流機が必要</li> <li>・界磁導体絶縁が必要</li> <li>・空隙は比較的大きい</li> </ul>
2. 寸法, 重量	・小形軽量	—
3. 単独運転	・励磁電力を外部より供給する必要があるが不可。	・単独, 並列運転とも可能
4. 力率	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低速機ほど低く, 進み力率となる。</li> <li>・系統上の力率は無効電力分だけ必ず低下するので, コンデンサの設置が必要になることがある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接続される負荷の力率によって定まるが一般的には 90~80% で遅れ電流を供給。</li> <li>・励磁量の調整により負荷率に合わせて力率を調整することができる。</li> </ul>
5. 負荷変動	・急激な負荷変動やモータリングに対しても安定した運転が可能。	・急激な負荷変動の場合には脱調することがある。
6. 系統併入	<ul style="list-style-type: none"> <li>・系統との電圧位相を合わせる必要はない。</li> <li>・併入時には突入電流が流れるので電源系統が弱い場合には限流リアクトルを設ける必要がある。</li> <li>・併入時のすべりによる突入電流の大きさは変わらないが, 電圧降下に影響する時間を短くするため同期速度近傍で併入するのが望ましい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自動同期併入装置により電圧位相を合わせて併入する必要がある。</li> <li>・併入時の電氣的, 機械的のショックはほとんどない。</li> </ul>
7. 事故時	・系統の短絡事故の場合, 過渡電流は流れるが, 持続的な短絡電流は流れない。	・系統の短絡事故の場合, 時間とともに減衰する過渡電流と持続短絡電流が流れる。
8. 制御装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調速機 (カバナ) が不要にできることがある。</li> <li>・励磁装置が不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・励磁装置が必要</li> <li>・自動同期併入装置が必要</li> </ul>

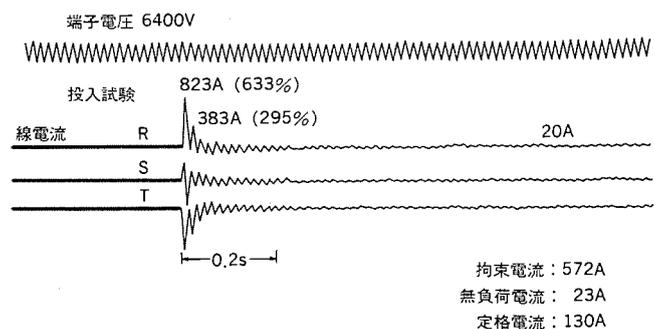


図 6. 系統併入時突入電流 オシログラム

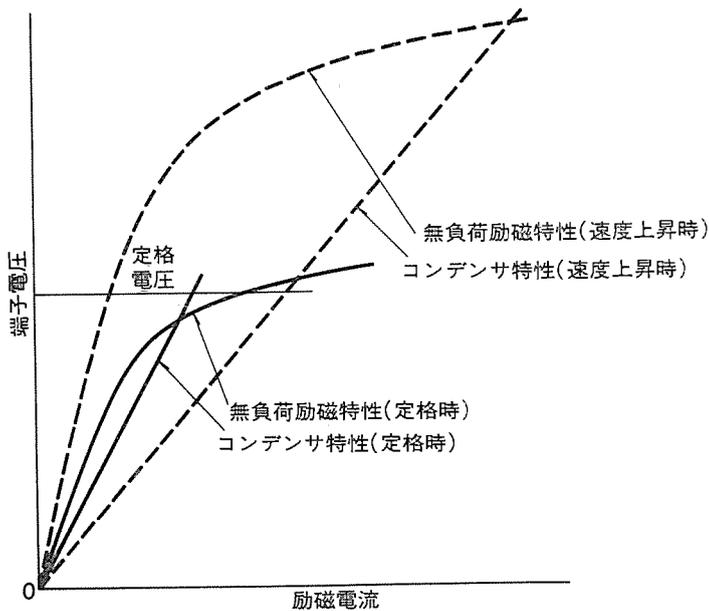


図 7. 発電機無負荷励磁特性とコンデンサ特性

て力率改善用コンデンサを設置するのが一般的である。その場合には次に述べる自己励磁現象による高電圧の誘起に注意しなければならない。

発電機の端子にコンデンサを接続したままで回転昇速させると、発電機の残留磁気によって自己励磁を起し、電圧を発生することがある。残留磁気による電圧は同期速度において定格電圧の0.5~1.0%程度であるが、コンデンサの容量が大きい場合はこの程度の残留電圧でも自己励磁によって高電圧になるばかりでなく、系統併入時の電圧位相の同期検定も必要になってくる。また、コンデンサが接続されたままで負荷遮断が行われ、負荷遮断後の速度上昇により周波数が高くなって、より自己励磁が起りやすくなる。中小水力発電機では、固有GD<sup>2</sup>で設計されることが多く、無拘束速度が300%近くのものもあり、この過電圧も大きくなる。図7.に誘導発電機の無負荷励磁特性曲線とコンデンサ特性の関係を示す。

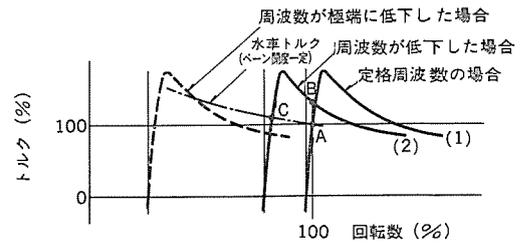
このような自己励磁現象を防止するために、コンデンサは発電機遮断器の系統側に設けるか、又はコンデンサを単独に投入、解列できるようにしている。

### 5.3 系統条件と発電機の安定性

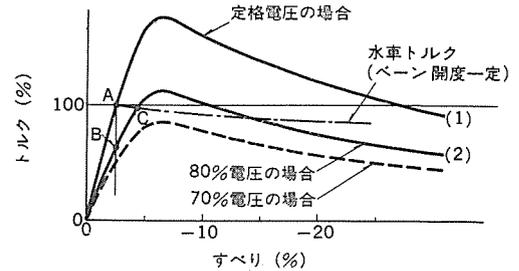
誘導発電機の出力はすべりと端子電圧に依存するので、系統の周波数や電圧が変動すると図8.に示すように特性が変化する。例えば、トルク特性が(1)から(2)に変化すると、発電機の運転点はA点からB点を経てC点に移動する。周波数又は電圧が大きく低下して新しいトルク特性が破線で示すように変わった場合は、新しい安定点が得られず、発電機は逸走する。

図9.は発電機の至近端で三相短絡事故が発生した場合のシミュレーションの一例であり、大きな電圧降下と周波数変動を受けた場合の誘導発電機の挙動を示したものである。発電機の安定性は最大出力を大きくするか、GD<sup>2</sup>を大きくし、故障除去時間を短くすることで高められるが、いずれも価格への影響が大きい。

一般に、中小容量発電所は事故によって低電圧や停電になった場合は、低電圧継電器によっていったん発電機を停止し、系統復旧後に再起動し併入することが多いので安定度を高めることは少ない。また、正常時の系統の電圧降下と周波数変動に対しては、電力系統の安定している我が国ではほとんど問題になることはない。



(a) 周波数変動によるトルク特性の変化



(b) 電圧変動によるトルク特性の変化

図 8. 系統変動による特性変化

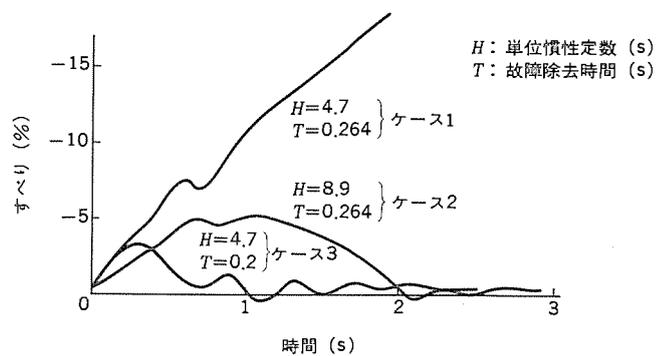


図 9. 至近端三相短絡時のシミュレーション例

## 6. 中小水力発電機の傾向

中小水力発電プラントでは、インシヤルコストをいかに低減するかが非常に重要である。このため中小水力発電機は次のような傾向にある。

### 6.1 F種絶縁の採用

F種絶縁の採用により従来のB種より発電機の小形・軽量化が可能となり、発電機自身の経済性が向上する。また発電所への輸送を容易にし、発電所建屋の縮小化、天井クレーンの容量低減にもつながり総合的に経済性の向上が図れる。

当社の誘導発電機は、巻線を鉄心溝に挿入し、結線後固定子全体を含まする全含浸方式「ダイヤポキ」絶縁を標準として採用し、絶縁性能及び機械的信頼性を向上させている。

### 6.2 発電機固有GD<sup>2</sup>の採用

一般に水車発電機は、負荷遮断時の速度上昇率を一定値以下に抑えるため、水車側より必要なはずみ車効果(GD<sup>2</sup>)を発電機に要求される。このGD<sup>2</sup>の値は管路条件により異なるが、特に大きな値を要求される場合は発電機の体格ひいては価格に大きな影響を与える。したがって発電機GD<sup>2</sup>は、発電機を最も経済的に設計した場合の回転子をもつGD<sup>2</sup>(これを発電機の固有GD<sup>2</sup>と呼ぶ)とし、このGD<sup>2</sup>での速度上昇を許容することとすれば発電機の経済性は向上する。この場合、負荷遮断時の速度上昇は無拘束速度に近くなるの

で、それに十分耐える強度設計とする必要がある。

発電機固有  $GD^2$  より大きな  $GD^2$  を要求されると、F種絶縁を採用し小形化を図ろうとしても、要求  $GD^2$  が大きいと小形化ができずF種絶縁採用の意味がなくなる。すなわち、固有  $GD^2$  の採用によりはじめてF種絶縁による小形化が可能となる。

### 6.3 横軸機の採用

横軸発電機を採用することにより、基礎及び発電機構造が簡単、据付けが容易となり経済性の向上が図れる。

### 6.4 立て軸発電機における水車分解方法

従来立て軸発電機は水車分解時、発電機の固定子を移動することなく水車ランナを取外すことができるように、発電機固定子内径を水車のつ(吊)り上げ最大寸法より大きくしていた。この方法では発電機の体格が大きくなり、またF種絶縁や固有  $GD^2$  を採用する利点なくなり、経済性が著しく損なわれる。したがって、水車分解時には発電機固定子を移動する方法が採用されつつある。

## 7. 中小水力発電への適用例

中小水力プラントへの適用例として、住友共同電力(株)黒瀬発電所にデリア水車駆動の2,070 kW 誘導発電機を納入したので、その概要を紹介する。

### 7.1 発電所概要

設置場所 愛媛県西条市兎之山、加茂川水系

発電所 半地下式鉄筋コンクリート造り

送電方式 ダム水路式

制御 遠隔常時監視制御

発電量 8,960 MWh (年間)

有効落差 51 m

最大流量 5 m<sup>3</sup>/s

水車 渦巻デリア水車

### 7.2 発電機仕様

定格出力 2,070 kW	定格回転速度 522 rpm
電圧 3,300 V	周波数 60 Hz
極数 14	定格電流 425 A
絶縁 F種	定格効率 95.5 %
定格力率 85 %	形式 立て軸全閉内冷形
重量 15.8 t	無拘束速度 1,350 rpm

### 7.3 特長

(1) 発電機に要求される  $GD^2$  を固有  $GD^2$  とし、負荷遮断時の速度上昇を無拘束速度まで許容し、誘導発電機の高速耐力の長所を生かしている。

(2) F種絶縁を採用し、小形・軽量化するとともに全含浸方式《ダイエポキシ》絶縁としたので絶縁の信頼性が向上している。

(3) 落差変動が51~26 mと大きいと、広範囲の出力にわたって常に高い水車効率が保てるデリア水車を採用している。

### 7.4 構造

図10.に発電機構造断面図を示す。スラスト軸受は上部に位置し、水車スラスト、発電機回転子及び水車回転部の重量を支持している。下部に取付けられたブレーキ装置は、発電機低速時のブレーキやジャッキアップに使用される。発電機上端には圧油導入装置が取付けられており、ランナーの角度を変化させるための圧油管が発電機軸中心を貫通している。

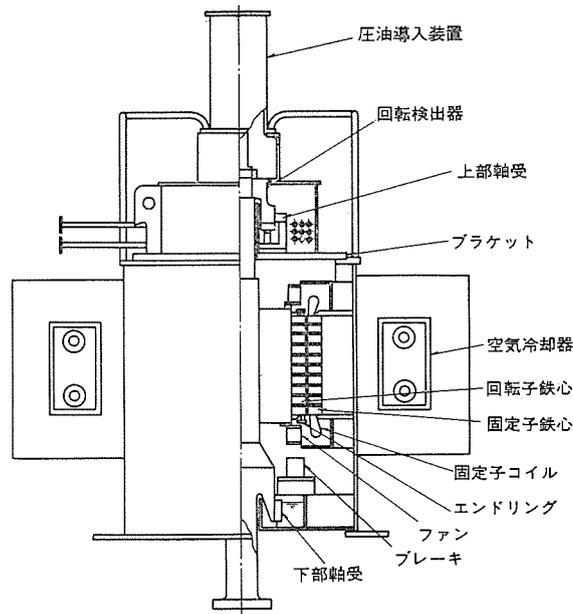


図 10. 2,070 kW 誘導発電機構造図

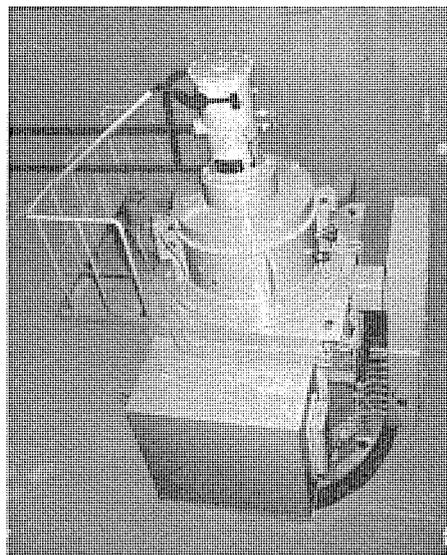


図 11. 2,070 kW 誘導発電機現地外観

発電機の回転子は、負荷遮断時の無拘束速度に耐えるよう短絡環の外周を強度の高い支持環で補強している。また突入電流の減衰を早くするため、速度微調整用のスリップ制御装置も備えている。

## 8. む す び

石油代替エネルギーの一つとして最近中小水力発電が見直されてきた。従来より水車発電機としては同機発電機が多く採用されている。しかし、中小水力発電の開発促進の決め手はインシヤルコストをいかに低減するかにある。このような背景から中小水力用発電機として誘導発電機が多く採用されるようになってきた。誘導発電機は単独運転ができない、無効電力を系統より受けるなどの欠点はあるが、発電機本体が安価、付帯設備が少ないなどのためインシヤルコストが低減できる。また構造が堅ろう、保守が容易などの利点も備えている。したがって誘導発電機は中小水力発電に適した発電機といえることができ、その需要は今後更に拡大するものと思われる。

# 中小水力発電所向け運転制御装置

有本 満\*・山本潤二\*\*・畑中康睦\*\*・稲田純一\*\*・岡 仁志\*\*

## 1. ま え が き

近年、脱石油化から自然エネルギー回収の一つとして、中小水力発電所の建設が叫ばれているが、kW当たりの建設費が高く、そのコスト低減のための研究開発が進められている。当社での開発経緯は表1.に示すように、ユーザーとの共同研究を主に設備の標準化、簡素化が進められてきた。本稿では特に運転制御装置に関し最新の状況を紹介します。特長的なことは、ガイドベーン駆動装置として従来の圧油式サーボモータに代わって、大きな経済性と保守の容易さを図る電動式サーボモータの開発を行ったこと、及び汎用シーケンサの利用により各種制御機能を一体化し、制御盤をコンパクト化したことである。

表 1. 中小水力技術開発経緯

昭和	55年度	56年度	57年度
中小水力システム技術に関する実用化開発(水車関連設備)	水位調整器試作 標準仕様書案作成	スピーダレスガバナ試作 一体化制御盤の検討	既設プラントでの実証テスト 一体化制御盤試作
電源開発(株) 中小水力共同研究(発電機)	立軸発電機の標準化	横軸発電機の標準化	
関西電力(株) 中小水力共同研究	パッケージプラントの検討 電磁ブレーキ、風冷軸受の検討 制御システムの簡素化		
当社中小水力用装置開発		電動サーボ、シーケンサの試作開発テスト	

## 2. 運転制御装置の概要

中小水力プラントの運転制御装置には監視制御盤、保護継電器盤、调速機及び自動電圧調整器(AVR)などがある。簡素化の対象としてまず主回路接続方式があげられる。無人発電所となるので運転上最小限必要な計器だけを設け、何らかの故障発生時には原則として非常停止とし、保護継電器としては確実に動作をする最終バックアップ継電器だけを設けるものとしている。図1.に単線接続図の一例を示す。計器は電圧計、電力計及び電力量計だけで、保護継電器は過電流(51)、過電圧(59)及び地絡(64B)の各継電器だけである。同期検定器は通常使用する機会がほとんどないことから可搬式とし、監視盤のスペースを省略している。従来のプラントに採用されている発電機比率差動継電器や界磁喪失継電器などは省略し、バックアップとしての過電流継電器に依存している。

励磁方式はメンテナンスフリーとするためにブラシレス励磁方式を標準としている。励磁電源変圧器は所内低圧回路に接続し、初期励磁回路を省略して経済性を図っている。中小水力プラントでは運用上一定力率運転が一般に行われるので、自動力率調整回路(APFR)が用いられる。これはシーケンサによりプログラミングすることができる。

调速機には一般に分類されているA~C級とスピーダレス调速機としてのD級がある。これらは従来の電気油圧式调速機を前提に定義

されているが、中小水力用としては簡易なC級又はD級相当を考えている。流れ込み式発電所では水位調整運転がなされるので、スピーダレス调速機と水位調整機能をもてばよい。従来は水位調整器としてアナログ演算器で構成した単機能の装置が使われていたが、今回の中小水力ではシーケンサの採用によりデジタル演算で処理ができる。ダム式発電所ではプログラムコントロール運転が一般に行われ、これも従来の単機能のコントローラに代わってシーケンサで処理ができる。単独運転が要求される場合は调速機本来の周波数制御を行う必要があるが、中小水力用水車発電機の慣性定数が小さいために、サーボモータの開閉速度を少々早くしても負荷変動に伴う過渡的な周波数変動はかなり大きくなり、負荷の要求に応じられるかどうか十分に検討を要する。

中小容量機では一般にガイドベーン操作力が比較的小さく、電動サーボモータの採用が可能である。従来の圧油式サーボモータに代わってこの電動サーボモータを採用すれば、圧油ポンプセット、圧油タンク、集油タンク、コンプレッサ、油圧式アクチュエータ、油圧制御用ソレノイド及び複雑な配管類をすべて省略できるので、極めて大きな設備の簡素化が図れる。次章ではこの要求に沿って当社で開発した電動サーボモータ制御システムについて述べる。

中小水力プラントでは建屋をコンパクト化あるいはパッケージ化して、土木建築費を低減し据付日程を短縮し、経済性が図られる。特にパッケージ化に当たっては主機、主回路及び監視制御の三つのパッケージハウスに分離し、それぞれ独立して標準化を図ることができる。監視制御装置の標準化では上述の監視計器及び保護継電器の簡素化に加え、汎用シーケンサによ

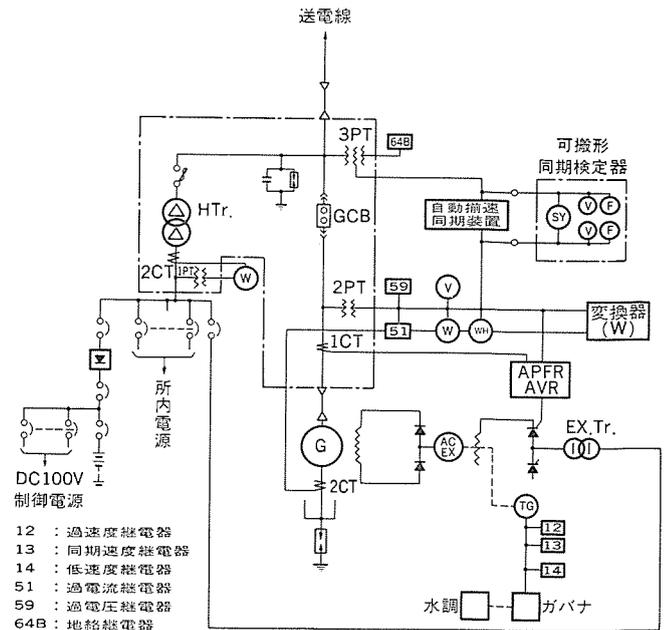


図 1. 中小水力プラント単線図例

\* 三菱重工業(株) \*\* 三菱電機(株)制御製作所



動サーボモータを直結した装置で行った。シーケンサに水車始動停止シーケンス、スピードレスタバナ、水位調整運転及び単独運転のプログラムを書き入れ、発電機模擬装置及び水槽模擬装置と組合せて、水車の始動から水位調整制御による定常運転に至るまで一連の制御特性を検証した。図5はこの試験中の状況を示す。

水車ガイドベーン 負荷模擬装置は皿ばねを使用し、サーボモータ開度に対応して負荷が実機相当に変化する。ガイドベーン開度はシリンダロッドに連動したポテンショメータから得ており、発電機模擬周波数に対応した出力電圧及び水槽模擬水位に対応した出力電圧とともにシーケンサにA/D変換を介して入力する。シーケンサからはDCサーボモータのコントローラに対し上げ又は下げの信号が出される。

図6.に水車始動から水位調整運転までのシミュレーションを示す。まず水車始動指令が与えられると、ガイドベーンを全閉から起動開度まで開き、水車が回転を始めると無負荷開度まで戻す。水車回転速度が上昇すればシーケンサによりほぼ定格速度に近づけるための速度粗調整を行い、自動揃速同期装置による系統への並入を容易にしている。始動から速度粗調整までを①の部分に示す。実プラントではこれにつづき自動揃速同期を行い、発電機遮断器(CB)を投入する。

次に水位調整運転はガイドベーン開度及び水位を入力し、CB並列後水位調整制御により水位に応じた負荷をとる。水槽への水の流入量の変化によって水槽水位が変動するが、これに応じて水車の負荷制御がハンチングなしで行われなければならない。図6.の②は水位調整運転の例である。このケースでは水車始動時に水槽水位が上限で

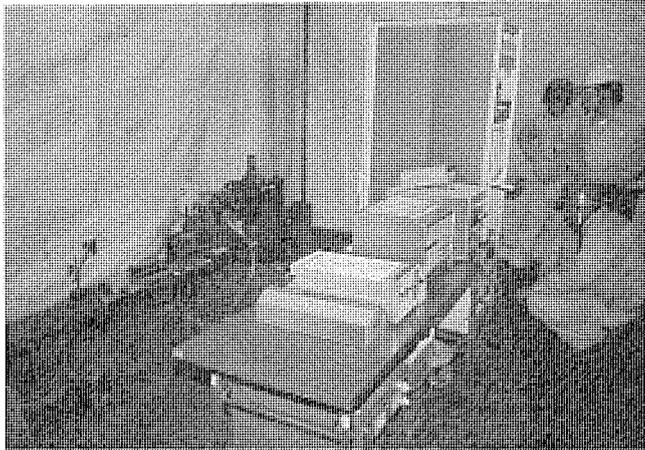


図5. 電動サーボモータ制御特性試験状況

オーバーしており、流入水量は40%である。水位調整制御によりガイドベーンが100%まで開き、流入量との差によって水槽水位が下がり始める。水槽水位に応じてガイドベーン開度が徐々に閉じ始め、やがて流入量40%とバランスする。

単独運転は基本的に上記速度粗調整と同じプログラムで構成され、負荷の変化に応じて周波数が一定に保たれるよう動作する。水車発電機の慣性定数が小さいため、急激に大きな負荷変動があると、必然的に一時的な周波数変動が大きく生ずる。

### (3) 電動機直接駆動試験

常時、所内AC電源により電動サーボを駆動しているが、もしこのAC電源が喪失した場合にはバックアップとしてDC100Vバッテリーによりガイドベーンを所定の位置にもっていけることが必要である。この試験の結果、1ストロークの所要時間はDC100Vで約20s、70Vで約30sであり、発電所非常停止時にはシーケンサを介さず直接DC電源を電動サーボに与え、ガイドベーンを全閉できることが確認できた。

### (4) 振動特性試験及び解放試験

振動特性は各部分とも200Hz以上の高い固有振動数であり、水車からの加振源に対して共振の可能性はない。また運転約1か月後の解放試験ではボールねじ、ベアリング、ギヤなどにいささかの摩耗もみられなかった。

## 4. シーケンスコントローラの応用

中小水力発電所向けに適用されるシーケンスコントローラは信頼性が高いことに加えて、安価であること、小形であることが要求される。ここでは、小形汎用シーケンサ《MELSEC-K》を中小水力発電所向け制御装置に応用したので、そのシステム概要と特長について述べる。

### 4.1 システム構成

図7.にシーケンサユニットの外観を、図8.にそのシステム構成を示す。

### 4.2 ハードウェア仕様

- |             |                            |
|-------------|----------------------------|
| (1) 制御方式    | ストアードプログラム方式               |
| (2) 命令数     | 26種類                       |
| (3) 演算時間    | 5.6μs/ステップ                 |
| (4) プログラム容量 | 最大4,096ステップ                |
| (5) 一時記憶点数  | 254点                       |
| (6) 入出力点数   | 最大512点                     |
| (7) 自己診断機能  | 演算渋滞監視, 異常マシンコード検出, 電源異常検出 |

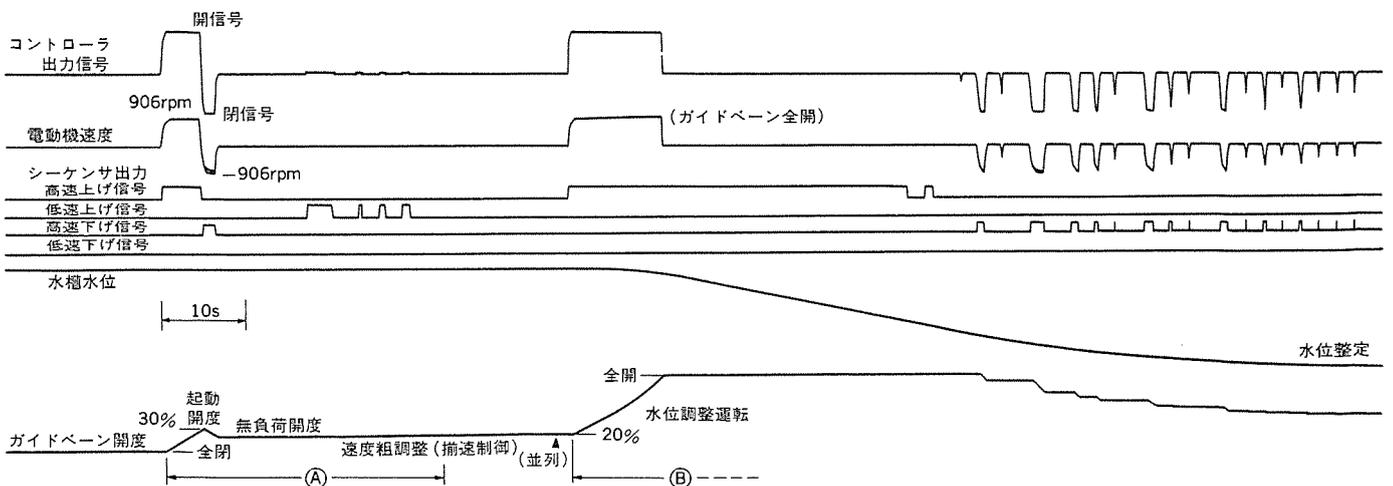


図6. 水車始動から水位調整運転までのシミュレーション

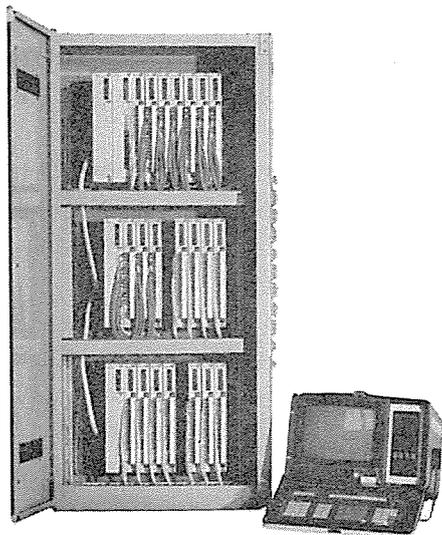


図 7. シーケンサユニットの外観

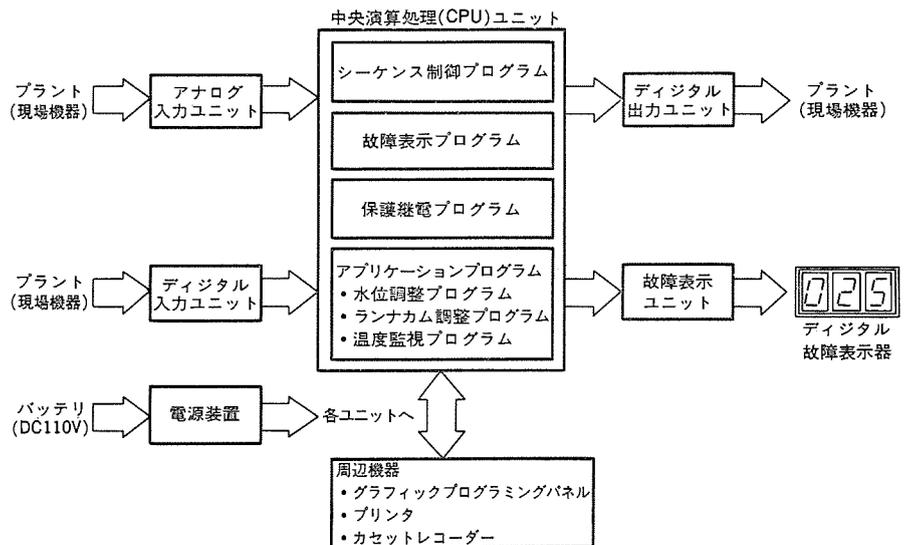


図 8. システム構成図

#### 4.3 ソフトウェア仕様

各プログラムの機能について次に述べる。

##### (1) シーケンス制御プログラム

主機の起動、停止をつかさどる機能である。

##### (2) 故障表示プログラム

プラントの各種故障を検出し、外部へ故障番号を表示する機能である。

##### (3) 保護継電プログラム

主回路の過電圧、過電流、低電圧などを検出する機能である。

##### (4) アプリケーションプログラム

プラントの要求に応じて、次のプログラムが準備されている。

###### (a) 水位調整プログラム

水槽水位に応じて、発電機出力を調整する機能である。

###### (b) ランカム調整（高能率運転制御）プログラム

カプラン、デルリア水車のランカの開度を、落差に応じて最高効率となるよう調整する機能である。

###### (c) 温度監視プログラム

総合監視の一部として各軸受温度を監視する機能であるが、単に絶対値を検出するのではなく温度の時間的変化を監視し、異常な温度変化が認められたならば即座に主機を保護する機能である。

#### 4.4 システムの特長

次に、このシステムの特長について述べる。

##### (1) 補助装置の削減

従来、一つのハードウェアとして存在した水位調整装置、ランカム調整装置などが、他の機能を含めてわずか一つのCPUユニットで処理できるため、単独の装置は不要となる。

##### (2) 保護継電器の削減

外部には、バックアップとしての過電流継電器のみ設置し、過電圧、低電圧保護については、シーケンサに処理させることによりこれらの継電器が一切省略できる。

##### (3) 故障表示方式の改革

従来、故障項目ごとに数十から百数十個にも達するターゲット式故障表示器を設置していたが、故障項目を番号表示（例えば、過電流は1、温度上昇は25を表示）させることにより、大量の故障表示器が3けた（桁）のデジタル表示器わずか1個に置き換えられる。

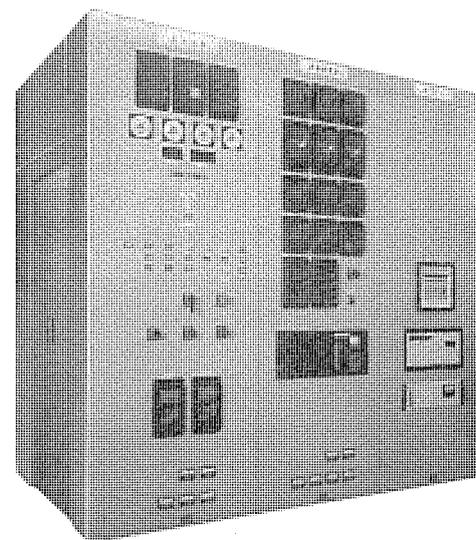


図 9. 中小水力向け配電盤（盤内にシーケンサを収納）

##### (4) 総合監視機能の実現

軸受の時間的溫度監視など従来高価なハードウェアを必要とした機能が、データ命令を駆使することにより容易に実現できる。

##### (5) 保守の容易さ

プログラムの書込み、読出し、修正及び実行中のモニタは、グラフィックプログラミングパネルによって容易に行える。

図 9. にこのシーケンサを組込んだ配電盤の外観を示す。

## 5. む す び

従来、水力プラントの設計は自然条件を相手にするために、一品一品手造りのオーダー対応であった。最近中小水力発電の見直しから建設費低減のための方策と標準化の指向がユーザーとメーカーの共同により進められつつある。電動サーボの採用やシーケンサの適用もその一貫であり、今後の実績をふまえて常用されていくと思われる。このことは国内で1千箇所以上もあると言われている開発地点に、将来明るい見通しをつけるものと期待される。

## 参 考 文 献

- (1) 服部ほか：動力，31，No. 154（昭56-1）

# 水力発電所用総合監視装置

山田光洋\*・堀田悳二\*・山本潤二\*\*・芥和弘\*\*・山内克彦\*\*

## 1. ま え が き

自動化の進展に伴い、水力発電所の運転はおおむね水系ごとに親制御所から遠隔集中制御されるようになったが、設備の日常保守は依然として制御所保守要員の巡視点検に依存している。発電所の増加と遠距離化につれて、運転機器の状況を十分把握し、安定した監視レベルを維持するための対策が求められている。これに呼応して発電所巡視点検ルーチンの主要部分を自動化し、更に設備の異常診断機能をも付加したシステムを開発することにより主要機器の状況をリアルタイムで監視して、無人発電所の運転信頼度の向上に資することができ

る。今回、関西電力(株)と三菱電機(株)との共同研究により、上記目的に適合するシステムの検討を進め、総合監視装置として開発、試作した。これを木曾川水系読書発電所に設置して約2年間フィールドテストを行った。

## 2. 開発の概要

水力発電所の監視及び保護は、従来からほぼ定形化されたシステムがとられている。例えば発電機の運転状態は電圧計、電流計、電力計及び本体各部の温度記録計など各種の計器により監視しており、故障発生時には各種保護継電器や温度スイッチなどが動作して発電機を停止している。この場合、保護レベルは電流、温度といった単一の監視対象に対して、かなり高い所に1ポイント設定されており、一般にこれらの保護継電器が動作した時には、機器は大きな損傷を受けていることが多い。機器が故障に至るまでには、通常運転状態と何らかの異なった傾向が現れて記録計などに示される。また運転員や巡視点検員は熟練した五感も働いて、未然に事故を防ぐことができるが、リアルタイムで監視することはできない。

このような現状において、総合監視装置は従来の保護システムと運転員による監視システムの中間を埋める役割を果たすことを期待している。すなわち主要な機器の状態を関連ある種々の環境条件の関数としてとらえ、常時リアルタイムで監視する。この監視アルゴリズムは、実際の巡視点検業務内容をベースに分析し、点検員の意見と過去の点検日誌を調査し、必要に応じて実測した諸データを基に設定したものである。アルゴリズムの処理は、最近技術進歩の目ざましいマイクロプロセッサを利用している。

今回の試作装置を図1に示す。総合監視の対象となる主要機器とアルゴリズムは、各プラントごとに多少の差は生じるが、試作装置はどのプラントにも共通する次の項目を対象とした。

- (a) ステータコイル温度と冷却効果の関連を監視する。
- (b) スラストメタル焼損の前兆を検知する。
- (c) 圧油装置の正常な運転状態を監視する。
- (d) 排水ポンプ、コンプレッサ、漏油ポンプの正常な運転モードを監視する。
- (e) 主軸振動の負荷による変動パターンを監視する。

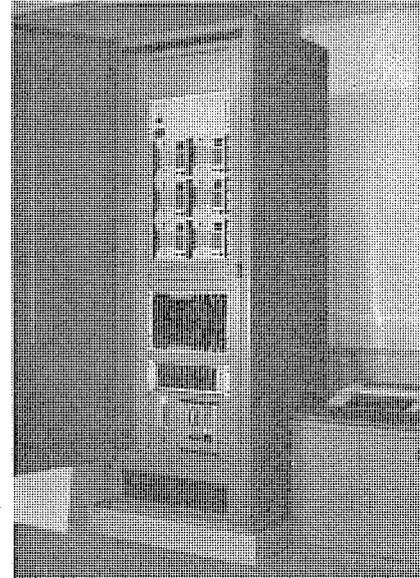


図1. 総合監視装置

(f) 主要変圧器油温の状態変化を監視する。  
次にこれらのアルゴリズムについて述べる。

## 3. 異常診断アルゴリズム

モデル発電所の設計諸元と運転保守記録を調査し、表1に示す入力情報から異常診断のための実用的なロジックを策定した。入力情報は絶えずこのロジックにより照査され、異常判定時には判定結果とその時のデータを出力表示する。

### 3.1 ステータコイル温度監視

発電機負荷電流、冷却水入口温度、風道出口空気温度の実測値よりステータコイル温度の目標値を算出し、これとステータコイル温度の実測値を比較し、実測値が温度上昇設定値を超過すれば温度高と判定する。冷却効果の異常検出のため発電機負荷電流と冷却水入口温度の実測値より風道出口空気温度の目標値を算出し、これと風道出口空気温度の実測値を比較し、実測値が温度上昇設定値を超過すれば温度高と判定するロジックも付加した。

ロジックは次式を展開して作られた。

$$\theta_D = \theta_{qi} + W_{LOSS} \times \frac{1}{K_1} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_A}})$$

$$\theta_C = \theta_D + W_{LOSS} \times K_2 (1 - e^{-\frac{t}{\tau_C}})$$

$$W_{LOSS} = aI^2 + b$$

ただし  $\theta_D$  = 風道出口空気温度,  $\theta_{qi}$  = 冷却水入口温度,  $\theta_C$  = ステータコイル温度,  $I$  = 発電機負荷電流,  $K_1, K_2, \tau_A, \tau_C, a, b$  = 定数

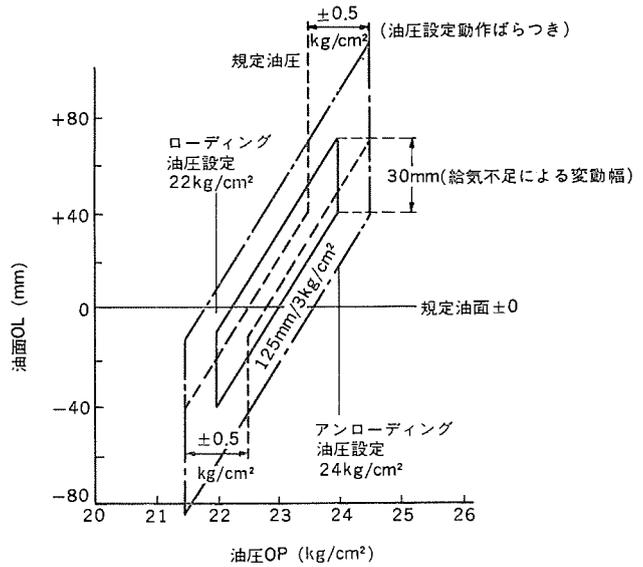
### 3.2 軸受メタル温度監視

#### (1) メタル温度監視

スラストメタル, 下部メタル, 水車メタルともその温度は発電機負荷依存

表 1. 機器状態監視に必要な入力情報

No.	監視項目	入 力	センサ	個数	取 付 場 所
001	ステータコイル温度	負 荷 電 流	I 変換器	1	主 配 電 盤 発 電 機
		コ イ ル 温 度	R T D 変換器	3	
		風 道 温 度	R T D	1	
		冷 却 水 温 度	変換器	1	
002	スラストメタル温度	冷 却 水 温 度	R T D 変換器	1	発 電 機 主 配 電 盤
		メ タ ル 温 度	R T D	1	
		主 機 停 止	変換器	1	
		主 機 停 止	補助リレー	1	
003	下部メタル温度	冷 却 水 温 度	—	—	002 兼用 発 電 機
		メ タ ル 温 度	R T D 変換器	1	
004	水車メタル温度	冷 却 水 温 度	—	—	002 兼用 水 車
		メ タ ル 温 度	R T D 変換器	1	
005	圧油装置	油 圧	圧力変換器	1	圧 油 タ ン ク 圧 油 タ ン ク (モータ電流により判断) ( " ) ( " ) ( " ) 主 配
		油 面	ポテンショメータ	1	
		#1. モータ電流	電流変換器	1	
		#2. モータ電流	電流変換器	1	
		#1. ローディング時間	—	—	
		#2. " "	—	—	
		非常停止スイッチ	補助リレー	1	
		(86-1, 86-2, 95)	—	—	
			—	—	
			—	—	
006	排水装置	#1. モータ電流	電流変換器	1	(モータ電流により判断) ( " ) ( " ) ( " ) ( " )
		#2. モータ電流	"	1	
		#1. 運転時間	—	—	
		#2. " "	—	—	
		#1. 運転回数	—	—	
		#2. " "	—	—	
007	主機振動	発 電 機 軸 振	振動検出器	3	発 電 機 水 車 主 配 電 盤
		水 車 軸 振	同 上	3	
		発 電 機 出 力	W 変換器	1	
			—	—	
008	主変圧器	A 相 温 度	R T D	1	主 変 圧 器 " " " " " "
		B 相 " "	R T D	1	
		C 相 " "	R T D	1	
		外 気 温	R T D 変換器	4	
009	圧縮空気系	コ ン プ レ ッ サ	補助リレー	1	コ ン プ レ ッ サ 制 御 盤 " " (同上補助リレーにて判断) ( " )
		#1. 運転時間	—	—	
		#2. " "	—	—	
		#1. 運転回数	—	—	
010	漏油返油ポンプ	運 転 時 間	補助リレー	1	漏 油 返 油 ポ ン プ 制 御 盤 (同上補助リレーにて判断)
		運 転 回 数	—	—	



アンローダ 上下限油圧	下限 上限 22~24kg/cm²
油面/油圧変化率	125mm/3kg/cm²
上下限油圧設定ずれ	±0.5kg/cm²
給気不足による油圧変動	30mm
関数形	OL=OP+B

図 2. 圧油槽油圧油面変域設定図

3.3 圧油装置監視

圧油タンクの油面、油圧は正常時は図 2. のように一定の平行四辺形の領域内にあるので、この領域を設定値以上に逸脱した場合に異常と判定する。またローディング時間とアンローディング時間が基準値より外れた場合及び圧油ポンプモータの負荷電流値が基準値を外れた場合に異常と判定するロジックも付加した。

3.4 排水ポンプ、コンプレッサ、漏油ポンプ動作監視

排水ポンプの運転時間と運転回数は個別にみれば季節的に変化しており降雨量に関係しているようであるが、1回当たりの平均運転時間は四季を通じて一定のバンド内にあることがわかった。モデル発電所では1週間の総運転時間と総運転回数の比が200~500秒/回の範囲をはみ出した場合、排水ポンプ吐出能力異常と判定した。コンプレッサ、漏油ポンプもほぼ同様の考え方でロジックを作った。

3.5 主機の振動監視

いくつかの発電所の各種振動を調査したが、軸頂部と水車軸の軸振れの絶対値を監視するのが適しているという結論を得た。この振動値は発電機負荷に対し一定のパターンを示すので、設定パターンより大きな振動が発生すると異常と判定することにした。

3.6 主要変圧器の温度監視

モデル発電所の主要変圧器は特別三相形で各相の油温の相間温度差は負荷、外気温に関係なく一定のバンド内にあることがわかった。温度監視は、相間温度差及び各相油温の外気温に対する上昇値が設定値を超えると異常と判定することにした。油中のガス分析にもアプローチしたが、高価でこの装置には適さないので検討対象から外した。

4. システム構成

4.1 概要

図 3. にこのシステムのブロック図を示す。システムは大別すると次のも

性は少なく冷却水入口温度に対して直線で近似できる。各メタル温度の目標値を冷却水入口温度の実測値から一次式により算出し、各メタル温度の実測値が温度上昇設定値を超えれば温度高と判定する。

(2) メタル温度変化率監視

スラストメタル焼損時における記録温度計の温度変化の様子を詳細に調べてみると、主機停止時回転数の低下とともにメタル温度も漸減すべきところ、停止の初期や途中で一次的に温度上昇傾向になっており、この現象がメタル焼損時の2~3日前より現れている。この現象に着目し主機停止時に毎分0.5 deg 以上の温度上昇が発生すれば異常と判定するロジックを作った。

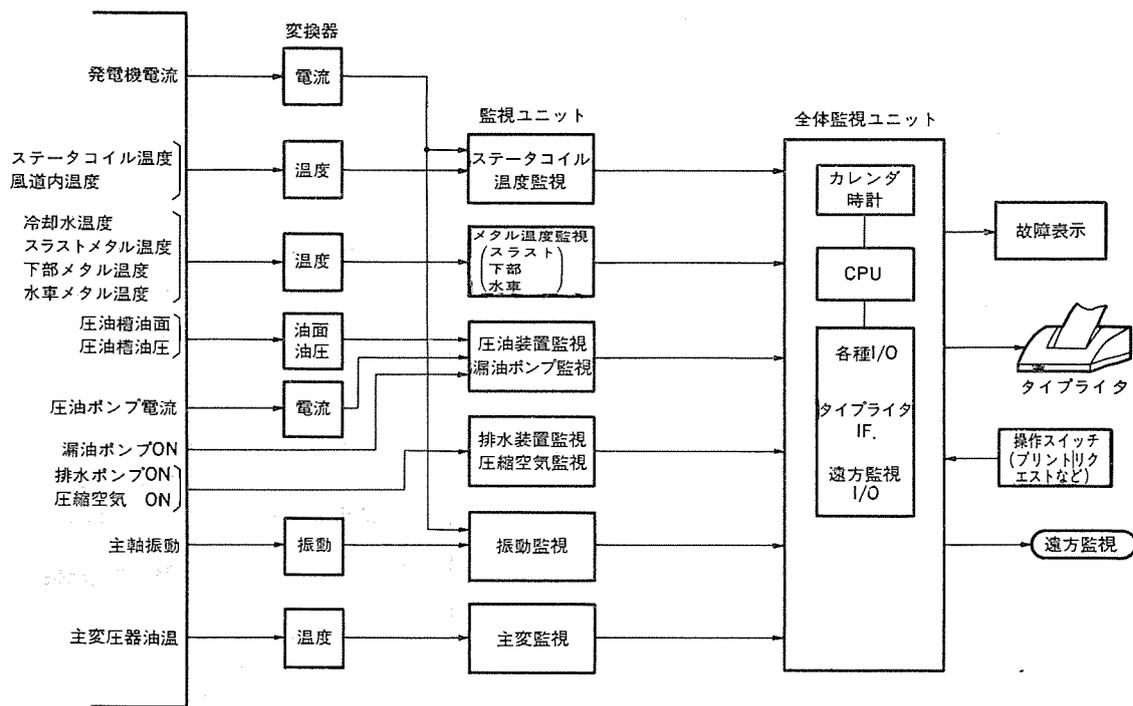


図 3. 総合監視システムブロック図

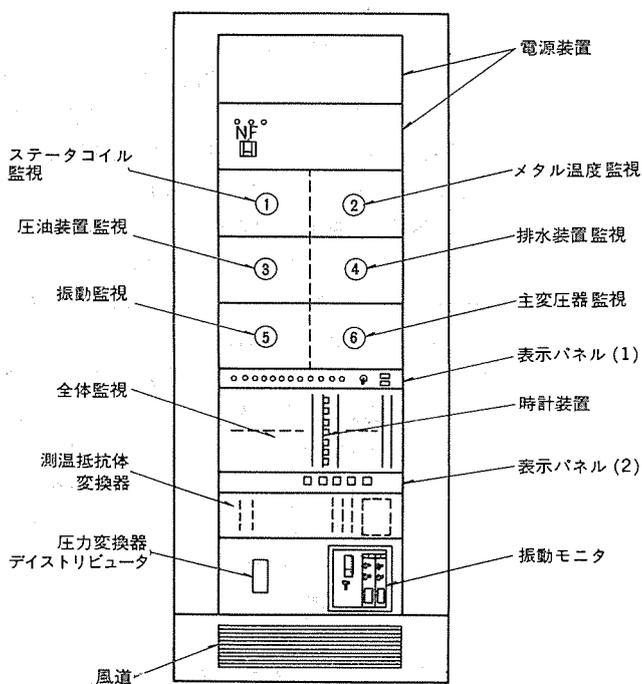


図 4. 総合監視盤機器構成図

ので構成している。

- (1) 変換器, 検出器
- (2) 監視ユニット (マイクロプロセッサ使用)
- (3) 全体監視ユニット (マイクロプロセッサ使用)
- (4) タイプライタ
- (5) 操作及び表示器

これらは発電所の各所に点在する各種物理量を、検出器と変換器で統一した電気信号に変換し、6台の独立した監視ユニットに入力する。監視ユニットはマイクロプロセッサを使用し、各監視項目ごとに決められたアルゴリズムに従って演算処理を行い、目的とする項目の監視を行

表 2. 概略仕様

項目	仕様
1. 周囲温度	0~40°C
2. 湿度	95% RH 以下 (ただし、結露なし)
3. 監視ユニット	
(1) CPU	8ビットマイクロプロセッサ (M5L8085P)
(2) プログラムメモリ	4K バイト (PROM)
(3) データメモリ	ROM 2K バイト RAM 1.3K バイト
(4) 入出力点数	AI 16点最大 AO 2点 # DI 44点 # DO 55点 #
4. 全体監視ユニット	
(1) CPU	8ビットマイクロプロセッサ (M5L8085P)
(2) メモリ	(コアメモリ)
(3) 入出力	DI 192点 DO 32点
5. タイプライタ	
(1) 印字桁数	132文字
(2) 印字速度	100キャラクタ/秒
(3) インタフェース	RS 232

う。また全体監視ユニットは各監視ユニットからの出力データを収集し、データのプリントアウト、表示、遠方監視装置とのインタフェースも行う。図 4. にこの装置の外観図を示す。

#### 4.2 仕様

表 2. に装置の概略仕様を示す。

#### 4.3 機能

監視ユニットから全体監視ユニットへの出力データは温度、時間、電流などの数値データと、温度異常、時間オーバー、電流異常などのビットデータがある。全体監視ユニットでは、この異常を示すビットデータを監視しているとともに、排水ポンプ、メタル温度上昇傾向、空気圧縮機については一日あるいは一週間のデータの蓄積処理を行って異常の有無を監視している。これらの監視で異常を検出した場合、次の三つの出力がなされる。

DATE TIME	1982:02:06	10:33
POWER	68 MW	
AIR TEMP.	00 DEG	
WATER TEMP.	02 DEG	
(STATOR COIL TEMP.)		
01 STATOR COIL TEMP.A	59 DEG	
02 STATOR COIL TEMP.B	56 DEG	
03 STATOR COIL TEMP.C	56 DEG	
04 COOLER TEMP.	21 DEG	
(METAL TEMP.)		
05 THRUST	55 DEG	
06 LOWER GUIDE	48 DEG	
07 TURBIN GUIDE	35 DEG	
08 DELTA TEMP.+	.. ..	
(PRESSURE OIL SUPPLIER)		
09 PRESSURE	22 ATM	
10 LEVEL	-055 MM	
11 #1 MOTOR CURRENT	12/07 AMP	
12 #2 MOTOR CURRENT	00/00 AMP	
13 #1 LOADING TIME	010 SEC	
14 #2 LOADING TIME	000 SEC	
15 #1 UNLOADING TIME	000 SEC	ERROR
16 #2 UNLOADING TIME	000 SEC	
(DRAIN OIL)		
17 ON TIME / CYCLE	511 SEC	
18 SIGMA N	054	
(DRAIN PUMP)		
19 ON TIME / CYCLE	425 SEC	
20 SIGMA N	024	
21 #1 MOTOR CURRENT	00 AMP	
22 #2 MOTOR CURRENT	63 AMP	
(AIR COMPRESSOR)		
23 ON TIME / CYCLE #1	000 SEC	
24 SIGMA N	000	
25 ON TIME / CYCLE #2	524 SEC	
26 SIGMA N	001	
(MAIN TRANSFORMER)		
27 A	26 DEG	
28 B	31 DEG	
29 C	28 DEG	
(VIBRATION 1/1000MM)		
30 A-X	0259	
31 A-Y	0232	
32 D-X	0033	
33 D-Y	0037	
34 D'-X	0115	
35 D'-Y	0115	

図 5. タイプアウトフォーマット I

DATE	POWR	AIR	WATR	COOL	SC-A	SC-B	SC-C	THRS	LOWR	TURB	TRSA	TRSB	TRSC	VIBA	VIBD	VIBD
81,10,9	79	16	14	34	79	76	76	60	52	38	47	54	49	323	57	14.7
81,10,10	80	18	14	34	79	76	76	60	52	38	49	56	53	328	56	14.8
81,10,11	80	21	12	33	78	76	76	60	51	38	50	56	53	327	55	15.0
81,10,12	80	21	12	33	77	74	74	60	51	38	56	57	53	324	55	15.0
81,10,13	80	23	12	33	77	75	75	60	51	38	52	58	55	326	55	15.3
81,10,14	80	22	13	33	78	75	75	60	52	38	51	57	54	324	55	14.9

図 6. タイプアウトフォーマット II

- (1) 総合監視盤内の異常項目表示ランプの点灯
- (2) 全監視項目のデータと異常表示をタイプアウト
- (3) 遠方監視装置へ異常が発生したこと知らせる接点出力

この内(1)と(3)については異常現象が発生している間、出力されるが、(2)については異常が発生した時点でタイプアウトする。

タイプアウトについては上記異常時の出力データ(フォーマット I)のほか、毎日 0 時に前日のデータの内、最高値を日報としてタイプアウトする(フォーマット II)。タイプアウトはプリントリクエストスイッチを押すことにより、任意の時にフォーマット I で各部の計測データを記録することができる。図 5. にタイプアウトのフォーマット I、図 6. にフォーマット II の例を示す。

### 5. 現地試験結果

試作監視装置は約 2 年間のフィールドテストにより、装置の信頼性、システムの有用性、診断ロジックの適否などを検証した。当初、事前調査不十分、整定値不良などに起因するトラブルの発生もあった。特に各監視アルゴリズムに種々の改良を要する点が見出されたが、実測によるデータの蓄積と検討により、実用に即した方式を得ることができた。以下にその要点と問題点を述べる。なお、実証期間中にシステムが正動作し監視対象機器の異常を予知した実績は 3 件である(水車メタル温度検出器異常 1、水車軸振れ異常 2)。

#### 5.1 ステータコイル温度監視

監視アルゴリズムに順次改良検討を加え、最終的にはクーラー冷却パイプのつまりなどによる冷却器系統の冷却効果の異常とステータコイル又はコアの異常によるコイル温度異常を判別できる 2 系列方式とした。現地での冷却水量減少試験結果は良好であった。なお、始動前の停止継続時間によりコイル温度、風道温度が始動直後の目標値と異なるため、誤警報を発生する

問題があったので、図 7. に示すように始動後 1 時間経過し、かつ負荷電流が一定値を超えてから適用することとした。

#### 5.2 軸受メタル温度監視

各メタルともその温度の負荷依存性は小さく、冷却水温の変化に対して直線近似になるので、運転中の監視基準を設定することは容易であった。なお、温度検出器は機器の同一部位測定用として設置したものでも据付状態の相違により出力がばらつくので、監視基準を設定する上でプログラムによる絶対値補正を必要とした。

#### 5.3 圧油装置の運転状態監視

油圧、油面の相関実測より正常運転範囲を定め、この領域を外れて運転すると警報を発生するものとしたが、

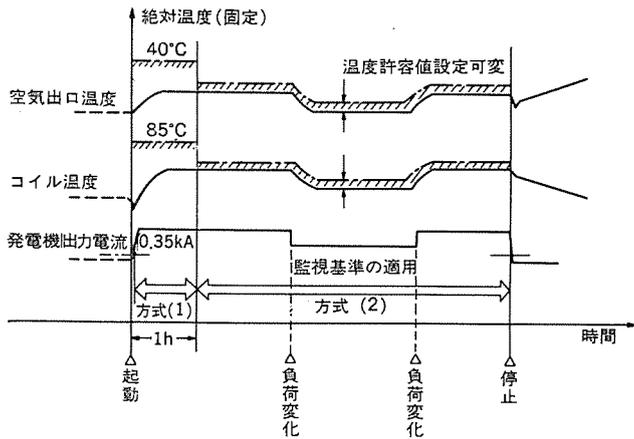


図 7. スタータコイル 温度監視状態図

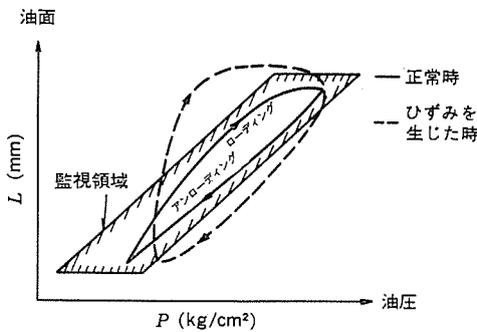


図 8. 油圧—油面の相関監視状態図

油圧検出器の設置場所が圧油取出口から離れていたため、配管中の油中に混在した空気により図 8. に示すように特性ひずみを生じた。これは配管を極力短縮することにより改良した。また、油面検出方式としては今回のようなフロート式に比べ、より汎用性があり精度も高い静電容量式油面計の検証も行い好結果を得た。

5.4 排水ポンプ、コンプレッサ、漏油回収装置の運転状態監視  
経年変化によるポンプ能力の低下、建屋の異常漏水や配管系統の漏気などについて常時監視するアルゴリズムを採用したが、それぞれの機器の1日又は1週間単位の平均動作時間、動作回数に関し有用なデータを得ることができた。

### 5.5 主軸振動（軸振れ）監視

振幅の大きい軸頂部と水車軸振れを監視したが、そのセンサの固定法として、水車ピットパーレルに溶接した大きなビーム上に取付けた。これは軸振動の絶対値を監視するためであるが、このような設備は実用上問題がある。汎用性を考えると、水車メタルカバーに固定して相対振動をとりだす方法がよいと考え実際に試みた。結果はメタルカバー振動が軸振動に比べて約1けた(桁)大きい数値となり適切な監視ができないことが判明した。したがって今後の適用にあたっては何らかの方法で固定部振動の少ない取付場所を選ぶ必要がある。

### 5.6 主要変圧器油温度監視

主機停止後の継続時間が長くなると、相間温度差が通常値から大きく外れていく傾向があるので、停止後の監視を除外した。

## 6. 考 察

この装置の有効性及び実用性は上述のとおり明らかとなったが、フィールドテスト期間中に生じた機器の異常例が少ないため、臨床処置の適切さについては更に実績を積む必要がある。ハードウェア上注意すべきはセンサ類の適用方法であり、振動検出など取付部によっては期待するデータが得られない場合がある。また温度検出では検出対象の温度時定数を考慮しなければならない。各種アルゴリズムに含まれる定数値の設定については十分な事前調査が必要であるが、設置後のデータ集積に基づいて徐々に最適値設定に変更できるよう運用面を考慮したソフトウェアも必要である。親制御所からの遠方監視については、今回は既設回線の関係上2項目のみにまとめて表示したが、実用化に当たっては項目数を追加し、制御所にロギングタイプライタを設置することになる。

## 7. む す び

今回の開発は、水力発電所総合監視方法のあり方として、実用に即した一つのアプローチを得たものとする。特に一般水力のみならず、大容量揚水発電所の信頼性向上に対してもこの研究の成果は十分生かせるものであり、プラント—タル監視制御の主要な一要素となることが期待される。

終わりにこの研究に当たって貴重な御意見と諸データの収集に御協力いただいた関西電力(株)の関係者各位に深く感謝の意を表す。

# 四国電力(株)分水系各発電所納め出力自動制御装置

坂本 寛\*・監崎 章\*\*・芥 和弘\*\*・西川正治\*\*・三宮靖典\*\*

## 1. ま え が き

近年の半導体技術の進歩により、水力発電の分野においても、マイクロプロセッサを用いたプラントコントローラが進出し、特に複雑な制御が要求される揚水発電所などに納入されている。プラントコントローラの一般的な特長は既に数多く紹介されているが、プログラマブルであるため、複数の発電所における異なった内容の数値制御、シーケンス制御が共通のハードウェアで実現できることや、リレーシーケンス制御装置と比較して、高度な制御が高い信頼性をもって行えるなど数多くの長所がある。

本稿では、そのプラントコントローラの長所を生かした一例として、水系の中間に点在し、えん(堰)堤、調整池の貯水容量が小さく、しかも複雑な制御を必要とする、四国電力(株)分水系の4発電所に納入した出力自動制御装置の概要について紹介する。

## 2. 分水系の水路構成

本稿でとりあげる分水系の発電所配置を図1.に示す。このうち、今回の分水系出力自動制御の対象としたのは、上流側から長沢発電所、分水第一発電所、分水第二発電所及び分水第三発電所(以下、長沢PS、分一PS、分二PS、分三PSと略す)の4発電所である。これら4発電所の認可出力、発電機台数などを表1.に示した。

これらの4発電所は直列一貫水系で結ばれているが、各発電所間の水路構成には各々異なった特徴がある。

### 2.1 長沢PS～分一PS間の水路構成

長沢PS～分一PS間の水路構成には次のような特徴がある。

(1) 長沢PSより放流された水は吉野川を流れるため、長沢PSから吉野川取水堰堤(以下、吉野堰堤と略す)の間で約20分の流下時間遅れがある。

(2) 吉野堰堤の貯水容量がほとんど無いため、長沢PSの放流量は分一PSの使用水量から大森川取水堰堤(以下、大森堰堤と略す)へ流入する自然残流を差引いた水量とほぼ同一であることが必要である。なお自然残流量はトオノ石水位から計算で求められる。

(3) 吉野堰堤、大森堰堤を経て分一PS水槽までが、圧力ずい(隧)道で結ばれていることから、吉野堰堤の水位上昇によるいつ(溢)水又は、大森堰堤水位低下による圧力隆道への空気吸込みを避けなければならない。

(4) 分一PSが最大出力で運転中、吉野堰堤水位は損失水頭のため、大森堰堤水位より約1.3m高くなる。

### 2.2 分一PS～分二PS間の水路構成

分一PS～分二PS間の水路構成には、次のような特徴がある。

(1) 分一PS放水庭は貯水容量がほとんど無く、放水庭底部より比較的低い水位で溢水に至るため、分一PSよりの放流量が分二PSの使用水量より多ければ、ただちに危険水位まで上昇する。

(2) 中間水槽の水位により、分一PS放水庭と分二PS間

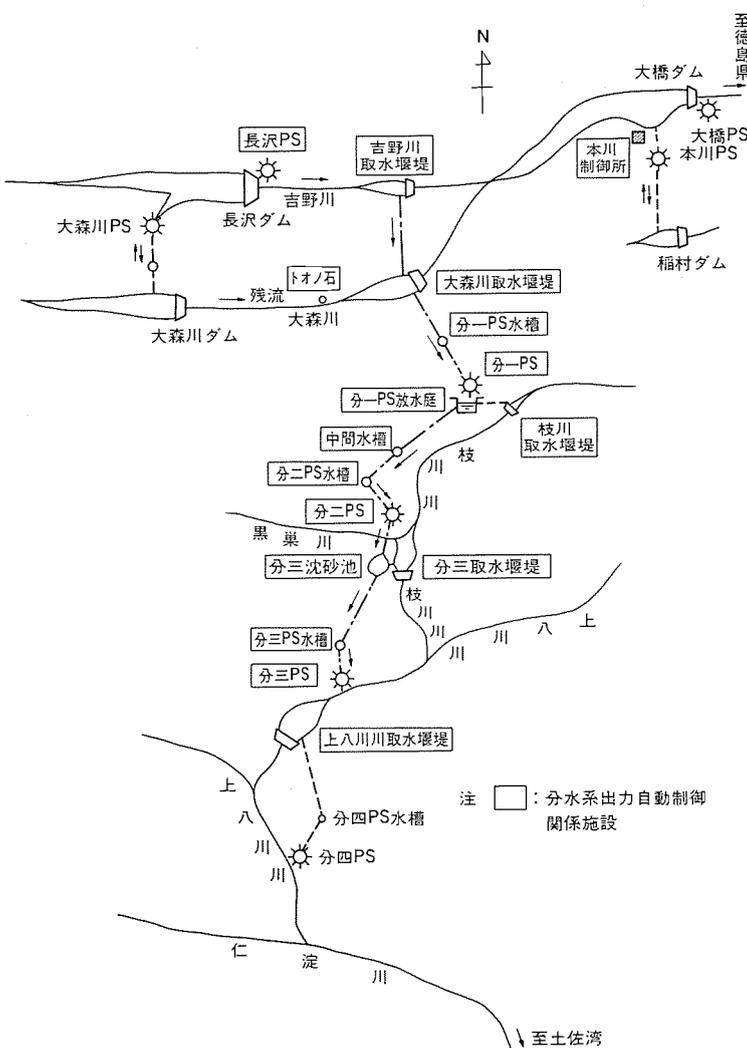


図1. 分水系発電所配置図

表1. 分水系4発電所諸元

発電所名	発電所形式	認可出力 (kW)	発電機台数 (台)	水車形式	運転開始年
長 沢	ダム式	5,000	1	立て軸 フランス	1949
分水第一	水路式	26,600	3	横軸 ベルトン (復流両輪)	1940
分水第二	水路式	7,500	2	立て軸 フランス	1941
分水第三	水路式	10,900	2	立て軸 フランス	1941

を流下する水が連続となって圧力水路となる場合と、水が連続せず圧力水路にならない場合の両方のケースが存在するものと考えられる。

(3) 分一PS～分三PSの各水槽の中で、水槽水位が低下して鉄管中に空気を吸込む可能性は分二PS水槽が最も高い。

### 2.3 分二PS～分三PS間の水路構成

分二PS～分三PS間の水路構成には、次のような特徴がある。

分三沈砂池及び沈砂池に隣接する分三取水堰堤の貯水容量が小さいため、坂川川への溢水を防止するよう、分三PSの使用水量を分二PSの放流量とほぼ同一にする必要がある。

なお、分三PSから放流された水は本稿で説明する分水系出力自動制御の範囲外となるが、上八川川取水堰堤より取水され、分水第四発電所を経て上八川川へ放流される。

## 3. 従来の分水系の制御方法

従来、分水系各発電所には分一PSを親局とする遠方監視制御装置が設置され、特に長沢PS、分一PS、分二PS及び分三PSにはアナログ演算方式の出力自動制御装置が設置されていた。この装置により、従来分水系では下記に示す方法で出力自動制御が行われていた。

(1) 長沢PS～分三PSを起動する場合、各発電所の主機が並列して水系の状態が十分安定するまでの起動操作、負荷調整操作は運転員によって行われ、安定後、出力自動制御装置を「使用」とした。

(2) 大森川や枝川川などの自然残流は、運転当日の出水状態を運転員が判断して、残流量設定器を設定することにより出力自動制御装置へ入力していた。

(3) 水系中の発電所にトリップ事故が発生すると、各堰堤、調整池の溢水防止の対策は運転員により各発電所の負荷調整を行っていた。

以上の制御方法は、そのまま従来の出力自動制御装置の限界を示すものであったが、このほかにも従来の装置には下記のような問題点があった。

(4) 装置内の特殊回路のため保守に手間がかかり、遠制装置も含めて装置が老朽化してきた。

(5) 分一PS～分三PSの各水槽の水位計がフロート式のため、変化速度の大きい水槽水位に対する水位計の追従が十分でなかった。

このため、昭和56年の本川制御所の運転開始により、遠制親局が分一PSから本川制御所（以下、制御所と略す）に代わることを機に、出力自動制御装置の新設、取替えを行うことになった。

## 4. 新出力自動制御装置

### 4.1 出力自動制御装置に要求される機能

以上で説明した分水系の水路構成に対して十分対応でき、従来の装置の限界を補って水系中の発電所の負荷調整を行うためには、従来以上に複雑な制御が要求される。したがって、このたびの出力自動制御装置は下記のような機能を満足している必要がある。

(1) 無人発電所に設置して複雑な制御を行うため高い信頼性を有し、自己診断機能の付加など保守の簡素化が

なされていること。

(2) 比較的距離の近い4発電所に各々装置が設置されるため、装置のハードウェアが4発電所にわたって統一できること。

(3) シーケンスロジックの変更、タイマの時限の変更あるいは数値制御における設定値の変更が現場で平易に行えること。

### 4.2 出力自動制御装置へのプラントコントローラの適用

上記の条件を満足するハードウェアとして、揚水発電所などで高度な制御を行うために開発されたプラントコントローラ(DCN-70)を出力自動制御装置に適用することとした<sup>(1)</sup>。長沢PSから分三PSまでの4発電所は、プラントコントローラの設置時期、担当する制御の範囲、情報の系統、電源などが異なっているため、同一のハードウェアによる装置でありながら各発電所ごとにシステム構成が異なっている。各発電所の出力自動制御装置の機能及びシステム構成などについて表2.にまとめた。

表2.における各CPU(太枠で示す)の機能を下記にまとめた。

REGユニット：調整制御ユニットとも称し、水系の出力自動制御を行うために、自所の主機に対する起動、停止指令に関する論理制御、自動負荷調整制御を担当する(長沢PS～分三PSの全発電所に設置)。

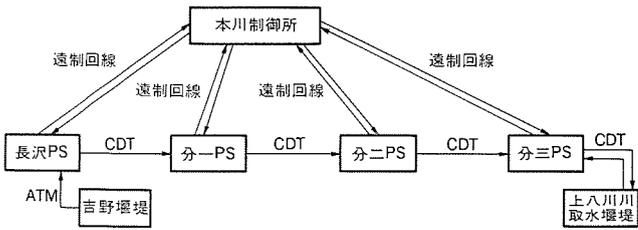
SEQユニット：シーケンス制御ユニットとも称し、各発電所の主機に対する起動、停止シーケンスを担当している。主機1台に対して1個のSEQユニットがあり、従来の自動制御盤にとって代わるものである(長沢PS、

表2. 各発電所の出力自動制御装置の機能及びシステム構成

	長沢PS	分一PS	分二PS	分三PS
出力自動制御装置の機能	起動/停止シーケンス シーケンスモニタ 出力自動制御 遠制子局機能 CDT	起動/停止シーケンス シーケンスモニタ 出力自動制御 遠制子局機能 CDT	出力自動制御 CDT	出力自動制御 CDT
出力自動制御装置のシステム構成 (太枠内がCPU)				
電源	TC, CDTユニット : DC110V その他 : AC100V (CVCF)	TC, CDTユニット : DC110V その他 : AC100V (CVCF)	DC110V (共通)	DC110V (共通)
装置設置時期	1980 (SEQユニットとDI, AI, DO) 1981 (その他)	1981	1981	1981
特記事項	・SEQユニット, 共有バス二重化	・CDTは共有バスに接続せず	遠制装置は別置	・両方向CDT (分三PS～分四堰堤間) ・遠制装置は別置

表 3. 各発電所の運転モード及び運転機能

発電所名	モード	運 転 機 能
長沢 PS	除 外	制御所又は現場より起動/停止 負荷制限運転
	自 動	分一 PS 出力目標値より自所の出力目標値算出 吉野堰堤水位により目標値を補正して運転
	ALR	制御所又は現場より起動/停止 長沢 PS 出力目標値通りの運転
分一 PS	除 外	長沢 PS に同じ
	自 動	分一 PS 出力目標値を受信し、 吉野堰堤水位により目標値を補正して運転
	応 水	大森堰堤水位により自動起動/停止 及び水調運転
分二 SP	除 外	長沢 PS に同じ
	自 動	分一 PS 出力より自所の出力目標値算出 分一 PS 放水産水位により目標値を補正して運転
	応 水	分一 PS 放水産水位により自動起動/停止 及び水調運転
分三 PS	除 外	長沢 PS に同じ
	自 動	分二 PS 出力より自所の出力目標値算出 分三 PS 沈砂池水位により目標値を補正して運転
	応 水	分三 PS 沈砂池水位により自動起動/停止 及び水調運転



注 遠制回線は上下方向とも二重化

図 2. 分水系情報伝送路

分一 PS のみ設置。

TC ユニット : 遠制子局機能ユニットであり, 制御所との情報のやりとりを行う。SEQ ユニットの設置されている長沢 PS, 分一 PS のみに設けられている。

CDT ユニット : 各発電所の主機の運転状態又は各発電所に伝送される水位, 雨量あるいは SV (表示入力) 情報を, 下流側の発電所又は分三 PS 下流の上八川川取水堰堤に伝送するために, 水の流下方向と同じ方向 CDT を設けている。ただし, 分三 PS~上八川川取水堰堤間は両方向とした (長沢 PS~分三 PS の全発電所に設置)。

LOG ユニット : ログユニットとも称し, 発電所の設備監視を行う目的で設置されている。遠制ポジション表中の各項目の状況変化, 補機の起動停止, 軸受などの温度上昇を付属のタイプライタにタイプアウトする (分一 PS のみに設置)。

各発電所の出力自動制御装置内の CPU をすべて共有バスで結合し, 各 CPU 間の情報の交換を容易にした。ただし分一 PS については装置内の CPU の数が多いため, REG ユニット, SEQ ユニット及び TC ユニットのみを共有バス結合とした。なお, 分一 PS, 分二 PS 及び分三 PS の各水槽については, 水位計をピエゾレジスタンス式のものに取替えを行い, 水槽水位の急激な変化に追従が可能となった。

図 2. に各発電所相互間及び制御所一発電所間の情報伝送路を示す。

### 5. 出力自動制御装置による制御方法

本章では, 前章で述べた出力自動制御装置内に, 問題向制御用言語 (POL) を用いてプログラムの形で入力されている制御方法について説明する。2 章で説明した分水系の水路構成及び 3 章で説明した従来の制御方法を検討した結果, 下記に示す制御方法により出力自動制御を行うこととした。

#### 5.1 出力自動制御のモード

表 3. に示すように, 各発電所ごとに 3 種類のモードを設け, 特に長沢 PS~分三 PS の 4 発電所を一貫制御するモードを「自動」モードと称する。

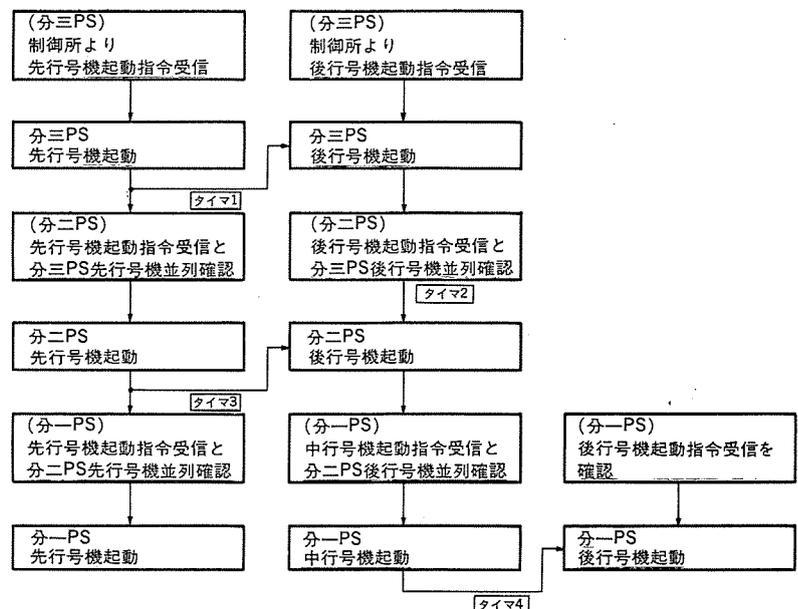
#### 5.2 「自動」モードの制御方針

「自動」モードでは各堰堤, 調整池の水位を溢水又は空気吸込みが生じないような安全水位に保つことを第一目的とする。

#### 5.3 「自動」モードでの起動, 停止方法

制御所からは, 先行起動号機ごと, 後行起動号機ごとに, 4 発電所に対して一斉に起動指令が与えられる。各発電所の装置は上記の制御方針に従い, 制御所, 遠制経由で伝送される下流側発電所の並列状態を確認の上, 自所の主機に起動指令を与える。各発電所の起動フローの概略を図 3. に示す。ただし長沢 PS については, 制御所から起動指令が与えられ, 次の停止指令が与えられる間, 吉野堰堤水位により自動起動, 自動停止を行う。

停止の場合又は運転台数減少の場合は, 停止指令が 4 発電所に対して一斉に与えられる点は起動の場合と同一で, 上流側発電所の号



タイムNO.	カウントを開始する条件
1	分三PS 先行号機並列
2	分三PS 2台並列
3	分二PS 先行号機並列
4	分一PS 中行号機並列

図 3. 分一 PS~分三 PS の「自動」モード起動フロー

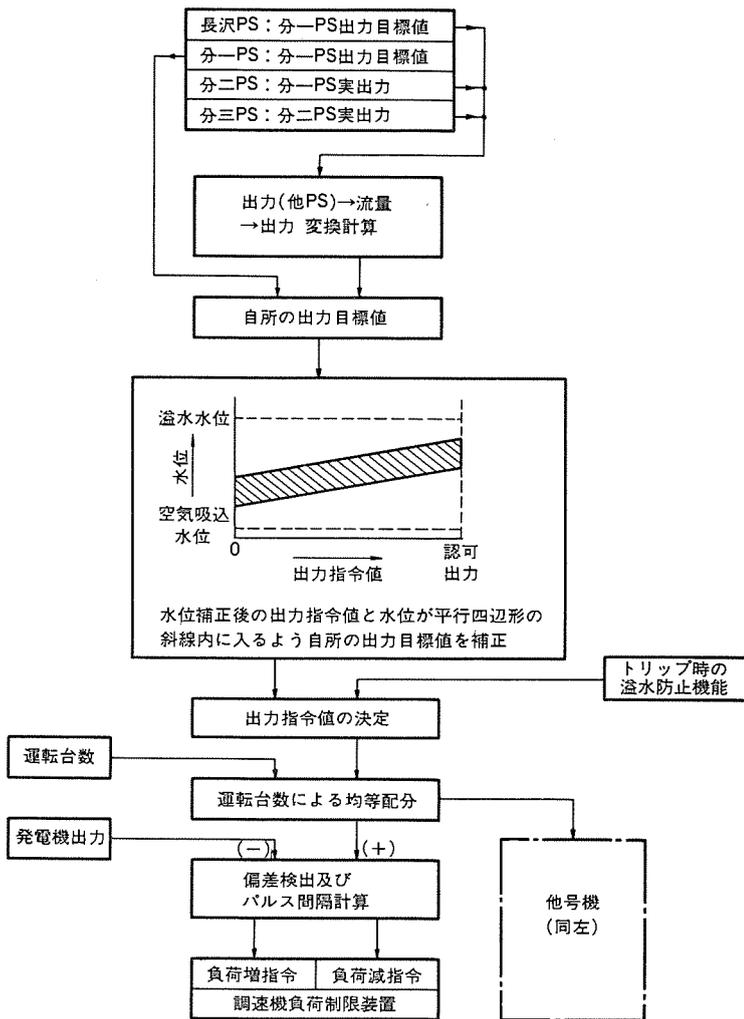


図 4. 「自動」モードにおける出力制御方法

機から停止操作に入っていく。

#### 5.4 「自動」モードでの出力制御方法

各発電所の装置内で行われている自所の主機に対する出力制御方法を、4発電所共通のブロック図として表現したものが図 4. である。この図に従って出力制御方法を順を追って説明する。

(1) 「自動」モードのもとでは、分一PSの出力目標値を制御所より分一PSと長沢PSへ伝送し、長沢PSでは分一PS出力目標値により分一PS必要水量を計算し、その必要水量から大森川残流を差引いた分を自所の放流量として、自所の出力目標値を算定する。分二PS、分三PSは上流側発電所実出力よりその放流量を求め、自所の出力目標値を算定する。

(2) (1)項により算定された自所の出力目標値通りに運転すれば、各堰堤、調整池の水位が安全水位から逸脱する可能性のある場合には5.2節の制御方針に従い、安全水位範囲を保って運転できるように、水位によって出力目標値を補正して出力指令値を決定する。

(3) 最上流の長沢PS以外の発電所で、発電機重故障、主変圧器重故障によりトリップ事故が発生した場合は、中間の堰堤及び放水庭からの溢水を防止するため、その上流側の全発電所の装置の操作を次のように自動的に行う(溢水防止機能)。

(a) トリップ事故発生時の発電所で主機が全台トリップした場合上流側の全発電所の主機は全台普通停止。

(b) トリップ事故発生時の発電所で、運転続行中の主機がある場合

上流側の全発電所の主機が全台、トリップ台数に応じて負荷を絞り込んで待機。

なお上記の操作は復旧操作までの運転員の暫定的な処置である。

(4) 上記(2)項又は(3)項(b)により、各発電所ごとの出力指令値が最終的に決定するので、指令値を運転主機台数で均等配分して各主機ごとの出力指令値を求める。この指令値と各主機実出力を比較し、出力が指令値に追従するよう負荷制限電動機(77M)にパルスにて負荷増又は負荷減の指令を与える。ただし(3)項(b)の場合のようにトリップ発生の場合は、77Mに負荷減の連続指令を与える。

#### 5.5 「自動」モードの場合の異常処理

(1) 出力自動制御装置の装置故障(電源装置故障、CPU異常)の場合は、出力自動制御装置を「除外」モードにする。長沢PS、分一PSのようにSEQユニットがあり、SEQユニットまで装置故障が及ぶ場合は、並列時は装置ロックによる現状維持運転、起動・停止途中の解列時には発電機重故障により主機を急停止させる。

(2) 遠制装置故障、CDT故障(電源装置故障、表示回線断、表示渋滞など自所の装置に関する異常)の場合は負荷調整装置(77)への増減指令をロックする。

(3) 制御所あるいは他の発電所より制御所を経由して伝送されてくるSV、TM(計測入力)情報や直接装置に入力される数値情報の不良(フラグON、スケールオーバーなど)についてはSV情報は無視し、TM、数値情報については前値ホールドを行う。

上記の異常処理方法は長沢PSの「ALR」モード、分一～分三PSの「応水」モードの場合もほぼ同一である。なお異常の発生時、負荷調整装置(77)に対する増減指令ロック、数値情報の前値ホールドにより水系の状態が安全でない方向へ制御されることを防止するため、モードの如何によらず運転員による手動負荷調整が可能なるよう考慮されている。

## 6. 現地試験

以上で説明した制御方法の効果を確認するため現地試験を行った。その項目は大別して次のようになる。

(1) 「自動」モードによる各発電所の単独試験(上流側発電所の出力に対する追従性の確認)。

(2) 「自動」モードによる4発電所一貫制御における自動起動停止試験及び出力変化試験。

(3) 「自動」モードによる4発電所一貫制御における下流側発電所でのトリップ事故発生時の溢水防止機能動作の確実試験。

(4) 長沢PSの「ALR」モード(出力目標値追従運転モード)試験、分一～分三PS個別の「応水」モード試験。

各モードにおける出力制御、自動起動停止制御、「自動」モードに特有の出力目標値又は上流側発電所出力への追従機能、下流側発電所のトリップ事故発生時の溢水防止機能などが目的通り動作して、各堰堤、調整池の水位は安全水位範囲に保たれ、試験結果は良好である。図 5.、図 6. に代表的な試験結果を示す。

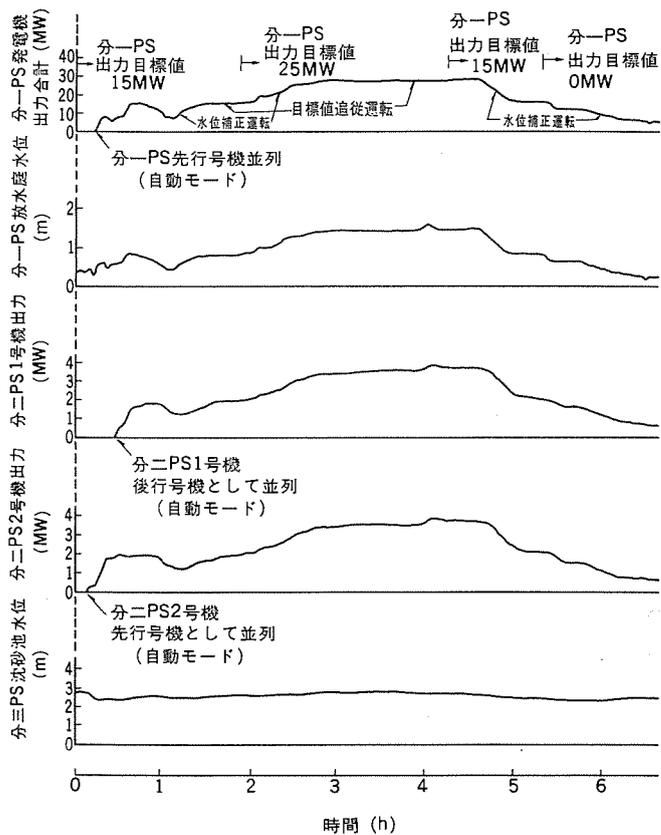


図 5. 分一 PS, 分二 PS 出力目標値追従確認試験結果 (自動モード)

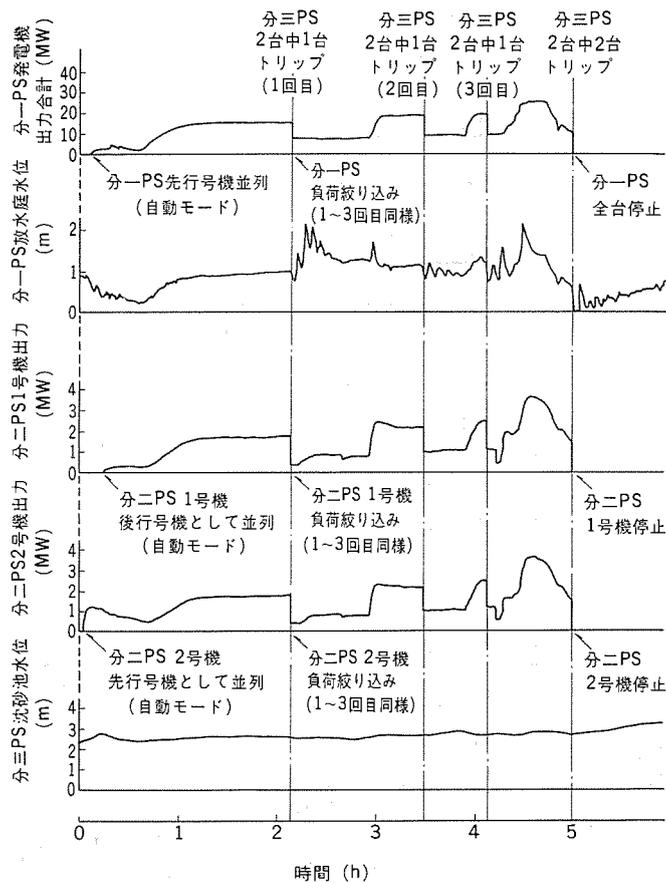


図 6. 分一 PS, 分二 PS 溢水防止機能確認試験結果 (自動モード)

## 7. む す び

以上、分水系 4 発電所に納入したプラントコントローラ(DCN-70)による出力自動制御装置について紹介した。複雑な水路系を流下していく水を制御するこの出力自動制御装置は、同一のハードウェアで各発電所の装置を統一し、水系全体の制御方針を明確に定めることにより、複雑な制御を高度な機能を持って実現することができた。今後、このような制御にプラントコントローラのような電子制御装置を導入するに

あたり、装置のハードウェアの統一を図ること、従来の運転方法を検討のうえ、装置による制御方針を明確にし、装置の担当区分を規定することの 2 点がますます重要になっていくであろうと考えられる。

最後にこの装置の設計、製作にあたり、多大な御意見、御尽力を賜った四国電力(株)の関係各位に深く感謝する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 池田ほか：三菱電機技報，55，No. 5，P. 372 (昭 56)

# 火力発電所納め高圧電動機の信頼性向上

森永 恭光\*・沖田 哲夫\*・田島 正明\*・岩瀬 直\*

## 1. ま え が き

電力需要は、経済の安定成長の下で着実な増加の傾向にあり、これに対応するため、原子力を中心に火力・水力など電源の多様化が進められている。このようななかで発電コストの低い原子力がベースロードとして、火力・水力が電力需要のピーク時のみ稼働するという、負荷調整用としての運用がなされてきている。

このため火力発電プラント機器の始動・停止の頻度が従来に比べて多くなり、機器に対してかなり運転条件の厳しいものとなっている。新設プラントにおいては、毎日発停 (Daily Start and Stop : 以下、DSS と称す) を前提として計画が進められているところもある。また既設プラントにおいても DSS の運用が検討されてきている。

火力発電所納めの電動機は、現在でもかなり品質レベルの高いものとなっているが、このような運転方法の変化に伴い更に高い品質の要求がなされてきている。最近の電動機は、これらのニーズにこたえるために新技術の導入を図っているためその概要を紹介する。

## 2. 火力発電プラントの動向

石油危機のなかで燃料の確保が困難になってきている一方、国際エネルギー機関 (IEA) が脱石油の方針を打出していることから、今後の火力発電は液化天然ガス (LNG)・石炭に移行していくものとみられる。また、熱効率向上から複合サイクル発電 (ガスタービンからの排熱をボイラで回収し蒸気タービンを回す二段組合せの発電方式) を導入するプラントが増えてくるものと思われる。

近年、発電コストの低い原子力発電が安定した稼働にあることから、原子力が従来の火力に代わりベースロードになりつつある。そういう状況のなかで、現在では 600 MW 級の火力発電で負荷調整の運用がなされているプラントも見受けられる。しかしながら原子力発電の建設においては、立地条件、地域住民との協力などで難しい点もあり、最近ではベースロード用としての最新鋭大形石炭発電プラントの建設も指向されてきている。

これからは発電コストの低い原子力、熱効率の高い新鋭火力発電が主流をなし (ベースロードとして)、従来の火力発電所は負荷調整用として運用されていく傾向にある。

## 3. 高圧電動機の技術的対応

発電プラントにおける電動機は、

- (1) 高頻度始動
- (2) 母線切換運転
- (3) 耐環境性

などの過酷な条件のもとでもなおかつ高い技術的信頼性が要求される。当社においては火力発電プラントの社会性を留意し、多くの納入実績をベースに信頼性を高めるための種々の検討を行っている。

### 3.1 絶縁、巻線

絶縁にかかるストレスとしては、電気・熱・機械・化学 (環境) 的要

因がある。電動機の場合頻繁な始動、発電プラント特有の母線切換えなどがあり、そのとき流れる大きな過渡電流に対し種々の検討が必要となる。また、雰囲気としても水素冷却方式の発電機のように、コイル表面が常に清浄な状態に保たれているのとは違って、吸湿、塩害、じんあい (塵埃) などにさらされる場合が多い。このような過酷なストレスに対して高い信頼性を得るために、真空加圧含浸方式である《ダイエポキシ》絶縁 (DF 絶縁) を昭和 41 年に業界に先がけて採用し<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>、高い評価を得てきている。

このたび図 1. に示す世界最大級の大口径含浸槽を設置し、ほとんどすべての回転機に、信頼性の高い DF 絶縁が適用できるようになった。全含浸絶縁処理方式の大形機への適用拡大にあたっては、コイルが含浸レジンでコアと接合されているため、温度の上昇に伴う各材料の熱膨張率の違いによる全体的挙動を把握しうえるための機械的信頼性の検証が重要である。そこで、導体・絶縁物・コアを全含浸レジンで一体としたモデルの引張試験とその解析を行い、全含浸コイルの力学的挙動を解明した。その結果、引張荷重がかかった場合のコイルの変形挙動に及ぼすコアの影響について次のことがわかった<sup>(5)</sup>。

- (1) 全含浸コアモデルの変形挙動は、導体・絶縁物・コアの三者が完全に接着された力学モデルで説明される。
- (2) 引張荷重による絶縁破壊のプロセスが把握された。つまり導体・絶縁物間には高いせん断応力が発生し、両端からすべりが生じる。また同時に、中央部で高い引張りひずみが発生し、亀裂が生じて破壊に至る。この応力はコイルの長大化に無関係である。
- (3) コアは、その剛性が低いため、コイルの変形挙動にほとんど影響を及ぼさない。

この結果をもとに大形実機大のモデルを用いて、実機レベルの 2 倍の熱応力を発生させたヒートサイクル試験を実施し、以下に示すように DF 絶縁の高い信頼性を確認した<sup>(6)</sup>。

- (1) コイル絶縁表面とコア間の熱伝導が良く、コイルとコアは一体

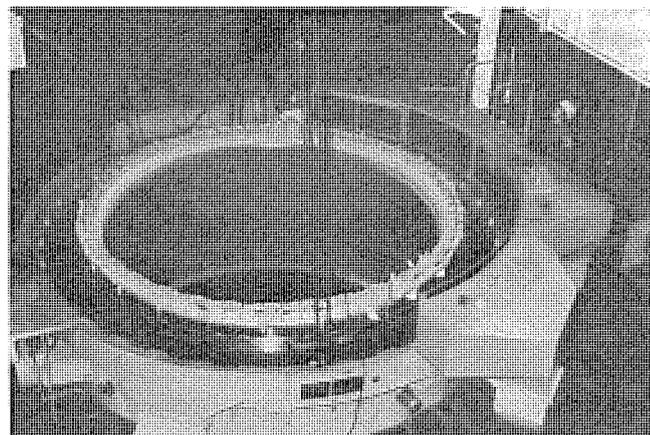


図 1. 大形真空加圧含浸設備

\* 長崎製作所

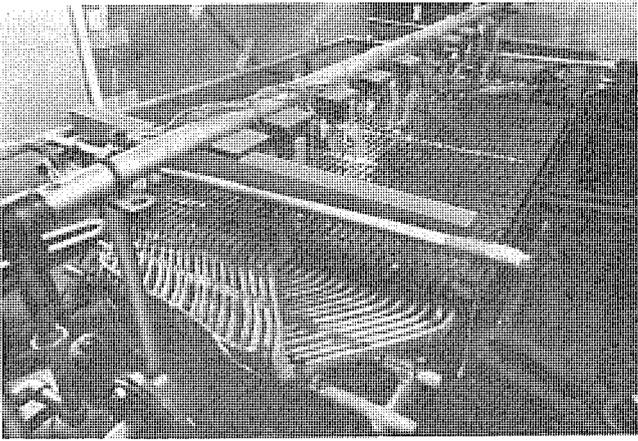


図 2. モデルによるヒートサイクル試験

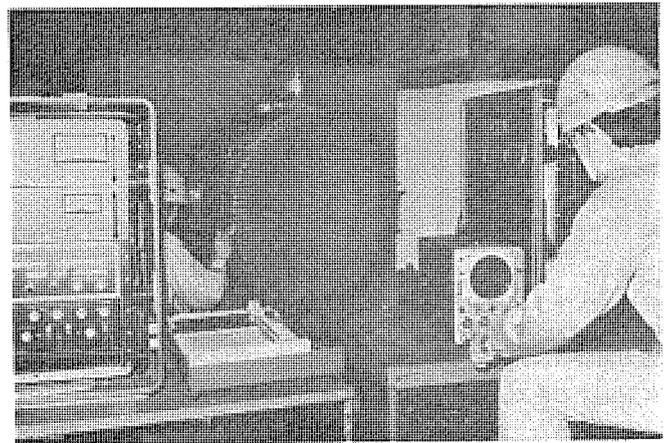


図 4. コイルエンドの加振試験

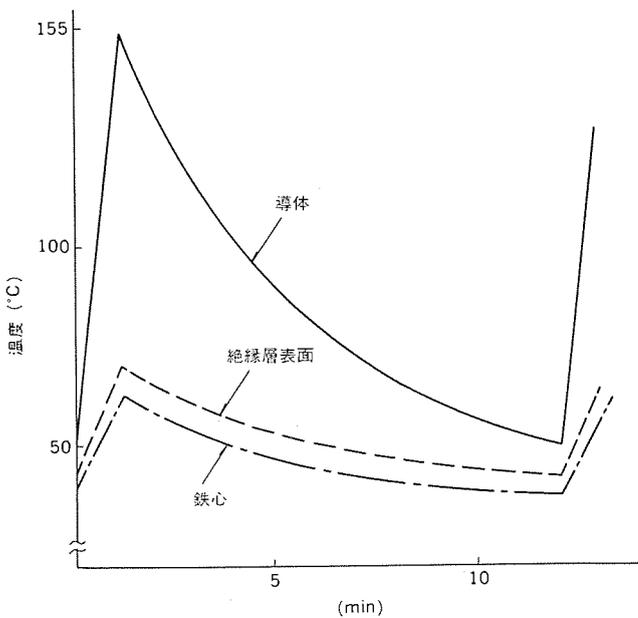


図 3. ヒートサイクル時の温度分布

に動き相対的なずれは生じない。

(2) コア内部中央に熱ひずみ、コア端部で絶縁と導体間にせん断応力が発生したが、運転時に予想されるヒートサイクル回数を経ても絶縁物の非破壊特性、耐電圧特性ともに良好な結果を示した。

ヒートサイクル試験の状況を図 2., 図 3. に示す。また一方、電動機の大形化、始動頻度の増加に伴い、過渡的な電磁力によってコイルエンド部に発生する大きな機械的ストレスを考慮することが重要となってきた。コイルエンド部の機械的信頼性を高めるには、電磁加振力とコイルエンド部の機械的特性を正確に把握することが必要である。

このために大形計算機を駆使し複雑な形状を有するコイルエンド部の電磁界解析・構造解析を行っている。またモデルによるコイルの曲げ疲労試験、大形実機大のモデルを用いた全電圧直入始動試験による電磁力分布・応力分布の測定、コイルエンド振動特性の把握と段階的に研究を進めてきた。電磁加振力に対するコイルエンドの共振は、加振力の周波数とコイルエンドの固有振動数及びそれらのモードが一致した場合に起る。これに対し、DF 絶縁は以下に示すように設計どおりの高い信頼性を有することを確認した。なお、図 4. にコイル

エンドの加振試験状況を示す。

- (1) 同一モードのコイルエンドの固有振動数は、電磁加振力の周波数に対し十分高い。
- (2) 電磁加振力の周波数において、コイルエンドは十分な動剛性を有する。
- (3) 始動及び母線切換時の大きな過渡的電磁加振力に対し十分な安全率を有する。

以上のように、電動機の大形化、始動頻度の増加に対しても、理論解析とその試験検証によって絶縁・巻線の信頼性が確認できるようになったため、今後は更に高い信頼性を有する電動機の製作が可能となった。

### 3.2 固定子

固定子はトルクを発生するコア・コイルを支持するとともに、回転子を支える軸受を固定する重要な部品である。したがって、その剛性は電動機全体の振動レベルを左右する。安全な運転を行うためには、電氣的・機械的な励振力あるいは始動時・母線切換時に発生する大きな過渡トルクに対して十分な剛性をもたせる必要がある。横形機は当然のことながら、循環水ポンプ・復水ポンプなどの駆動用として使用される大形立て形電動機は、構造上重心位置が高くしかも固定子の支持及びフランジ結合部の剛性が他の部位に比べて弱くなるため、振動面で十分注意しなければならない。

したがって、電動機自身の質量及び電磁気の不釣合による励振力、現地でポンプなどと直結して運転される際の流体からの励振力との横振動共振を避け、また過渡トルクとのねじり共振を避けることが重要である。そのためには、設計時点で振動特性を正確に予測せねばならない。

立て形電動機については、その必要性から固定子の振動解析、固定子と回転子を連成させた全体系の振動解析<sup>(7)</sup>、実機での加振試験、及びプラスチックモデルによる静剛性・動剛性試験を行っている。図 5. にプラスチックモデルによる試験状況を示す。

### 3.3 回転子

#### (1) 回転子バー及び短絡環

かご形誘導電動機の回転子導体には運転中に電磁力、遠心力、熱応力などが作用する。特に回転子バーと短絡環の接合部近傍には高い応力が生じやすく、十分な対策を施す必要がある。回転子導体に作用する電磁力は、電流の 2 乗に比例し 2 倍のすべり周波数で振動する。また一般に定格電流の 5～7 倍にも及ぶ始動電流が流れること

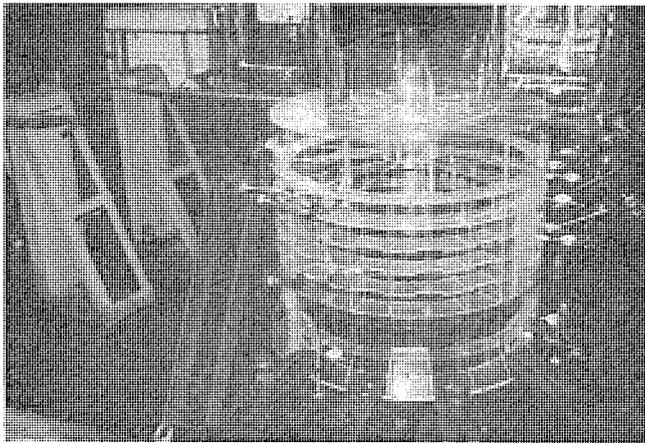


図 5. 固定子のプラスチックモデルによる剛性試験

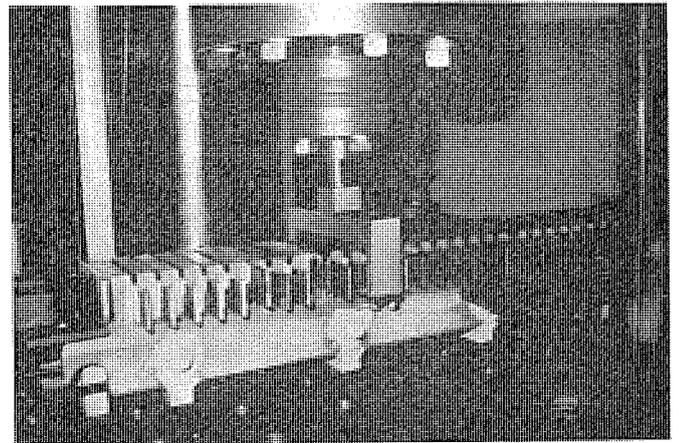


図 7. スウェッジ効果確認試験

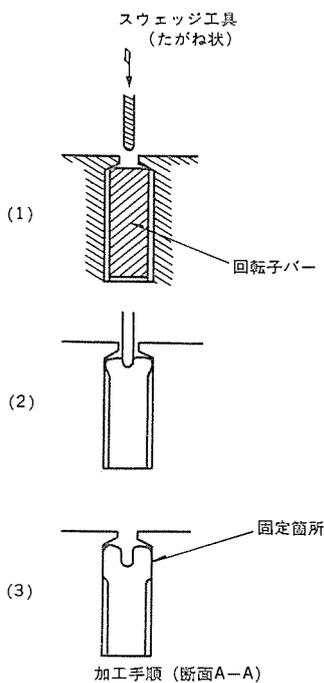
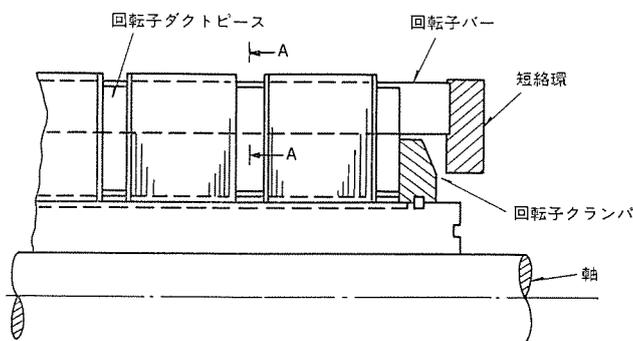


図 6. 回転子バーのスウェッジ加工

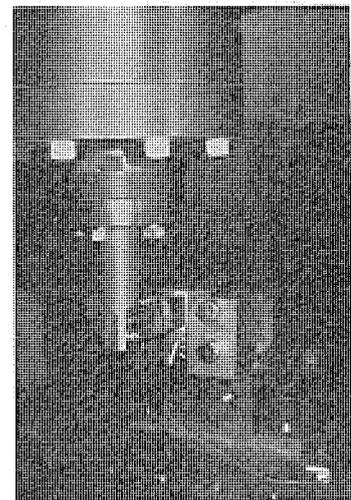


図 8. 回転子導体の疲労試験

から、電磁力は定格時に比べ相当大きなものとなる。このことは、特に始動時間の長い重慣性負荷（ファンなど）駆動用の電動機において、電磁加振力の影響が大きいことを意味しており、回転子バーが回転子溝内に確実に固定されていない場合は、回転子導体接合部が高サイクル疲労破壊（バー切損事故）に至ることがある。そのため当社ではスウェッジ加工と呼ばれる方法で回転子バーを回転子溝内で確

実に固定している。図 6. にスウェッジ加工を示す。

この方法は回転子バー上面をたがね状工具で打据える、あるいは同一断面形状を有するローラにて加圧し塑性加工するものである。スウェッジ加工は回転子バーの固定効果とともに回転子バーから鉄心への熱伝達を良くし、バー全体の温度上昇を抑えバー上下の温度差による熱応力軽減の効果も有している。この加工は当社独自で開発した全自動スウェッジ加工専用機により実施しており、品質の安定を図っている。なおスウェッジ加工の効果の検証については図 7. に示すスウェッジ効果確認試験モデル及び実機データに基づき定量的に把握している。また製作時にはスウェッジ加工率（バー断面積に対する加工量の比）の計測と打診法による振動応答の測定により万全を期している。

一方、熱応力と遠心力は始動停止 1 回に対して 1 サイクルの低サイクル疲労として取扱う必要がある。これらは主に始動時の短絡環の温度上昇による熱膨張と運転中の遠心力で、短絡環が外径側へ膨張することで生じる。この熱応力と遠心力で回転子導体接合部に生じる応力は、電動機寿命の総始動回数に対する疲労強度以下に抑える必要がある。この応力を疲労強度以下にするために、始動時の短絡環の温度上昇を低く抑えるとともに遠心力による応力が低くなるように各部の形状・寸法を決めている。

なお各部の応力は、最新の解析技術を駆使した計算プログラム<sup>(8)</sup>に

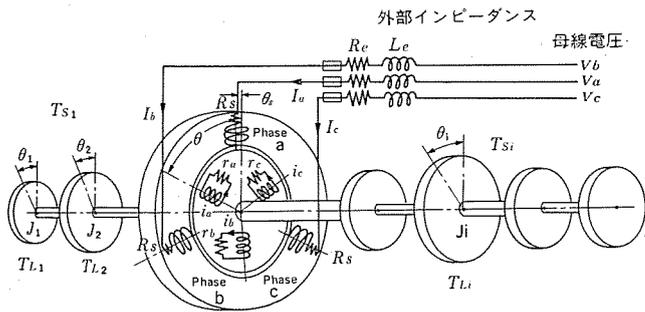


図 9. 誘導電動機による駆動系の電気-機械系 シミュレーション



図 10. 軸トルクの測定

より精度よく求めることができる。また、実機回転子より切出した回転子導体で疲労試験を行い、その結果を設計データとしているので信頼性の高い回転子を製作することができる。図 8. に疲労試験状況を示す。

### (2) 軸系の機械的強度

軸の設計にあたっては、危険速度の検討や各部の強度計算など細心の注意が必要である。特にかご形誘導電動機の場合、始動時や母線切換え時の過渡トルクにより、軸系によっては定格トルクの数倍の軸トルクが発生することがある。このトルクは図 9. に示す電気-機械系シミュレーションにより計算<sup>(9)</sup>でき、その軸トルクに対し十分な安全率を見込んで軸寸法・キー寸法などの決定を行い、軸が始動の繰返しに対しても低サイクル疲労破壊を生じないようにしている。

また、軸系のねじり、固有振動数が電源周波数の近傍に存在し大きな軸トルクが発生するような場合は、軸系全体の設計を変更し軸トルクのレベルを下げて信頼性の向上を図っている。更に実機に対しても始動時の過渡的な軸トルクを計測し、このシミュレーションプログラムの妥当性を検証している。図 10. は実機における軸トルクの測定状態を示す。

なおこのシミュレーションプログラムでは、始動時のほかに母線切換え、二相短絡、三相短絡時などのシミュレーションにも使用できる。

### 3.4 軸受

電動機に使用される軸受として、すべり軸受ところがり軸受があることは周知のとおりである。電動機の故障については断片的に種々の調査・報告がなされているが、電気使用合理化委員会の報告によると、電動機の故障原因のうち軸受に起因するものが、給油不良によるものを含めると全体の約 3分の1 を占めている。このように軸

受の信頼性は、電動機の安全な運転に対して重要な要素となっている。

#### (1) すべり軸受

すべり軸受は本来流体潤滑によって成立する軸受である。したがって、その信頼性は軸受面にかかると安定した油膜を形成するかによる。電動機を始動するとき、軸受に油膜が形成され軸が油膜によって支えられるような回転数に達するまで、軸と軸受の間で金属接触が発生するのは避られない。したがって、最近の電動機に対する高頻度始動の要求に対して、軸受は始動時の摩擦を考慮した対策が必要となる。

当社では、理論解析<sup>(10)</sup>・試験装置による基礎試験などをおして、このような要求に対応した軸受の研究を進め<sup>(11)</sup>、種々の運転条件に対し信頼性の高い軸受を供給している。その一つとして、オイルリング給油軸受の低速域におけるリングの安定した回転と油量の確保のために考案し、当社特許となっているテフロン製オイルリングガイドの採用がある。

#### (2) ころがり軸受

ころがり軸受は、グリースの補給及び排出を簡単かつ安全に行えるか否かが、運転性を左右する大きな要素となってくる。ハウジング構造の改善によりグリース油滑の信頼性を向上させるとともに、これらが容易に行えるようにすることによって、運転中の安定した潤滑を維持できるものとしている。

## 4. 既設電動機の信頼性向上対策

長期間運転された電動機では、各部の経年劣化や始動頻度の増加傾向などの運転条件の変化から、従来の信頼性レベルを維持することが難しくなる場合がある。このような諸条件の変化に対する既設電動機の信頼性向上対策について述べる。

### 4.1 絶縁、巻線

電動機の心臓部である固定子コイルは、長期運転中に機械・電気・熱・環境的ストレスを受け絶縁劣化を生じる。特にコイルエンド部の絶縁劣化が著しい。これは始動時の過渡電流により大きな機械的ストレスを受けること、コイルエンド部が構造的に汚損しやすいたく大きな要因と考えられる。DSS 運用のような高頻度始動を実施した場合、従来のベースロード時に比べて数倍に及ぶ機械的ストレスを受ける。このストレスの繰返し増加によって、絶縁物の応力が疲労限度に対して十分な安全率が得られない場合は、コイルエンド部の剛性を増す必要がある。

前章で説明したように、コイルエンド部の機械的信頼性については精度の高い評価技術を有しているため、既設機については、この解析方法でチェックし応力レベルの高いものは、間隔片をコイル間の最適な位置に追加挿入している。また、絶縁の経年劣化の評価については、稼働年数 10 年以上のものが約 100 台についての実機での絶縁特性データをベースとしている。つまり  $\tan \delta_0$  値は稼働年数とともに減少し、 $\tan \delta_0$  は増加する傾向にある。これはコイル表面の汚損、吸湿の影響などが考えられ、コイルを洗浄乾燥すれば特性は回復する場合が多い。しかしながら、稼働年数が 20 年近いものは経年劣化が進行し回復が得られない現象にある<sup>(12)</sup>。

以上のようなことから、既設の電動機については、定期的な絶縁診断を行いその経年変化を把握したうえで絶縁を強化(補強)するか、信頼性の高い「ダイヤポキシ」絶縁によるコイル新製替替の実施を推奨している。

## 4.2 回転子

回転子は新製の場合と基本的に同じ思想で対処している。すなわち、回転子バーは、スウェッジ加工率で管理し更に打診法でその効果を確認している。また、回転子導体接合部の熱応力が大きいものには短絡環の熱容量を大きくし、始動時の熱応力を始動頻度の増加に対しても十分安全なレベルまで下げている。

## 4.3 軸受

すべり軸受（自己給油）は、回転数が下がってくると軸と軸受の金属接触の確率が高くなっていく。特に重慣性負荷駆動用電動機の場合、低速域で軸が回転している時間が長く、オイルリングによる潤滑油揚油量が減少してくると油濁りや軸受焼損の可能性もでてくる。この対策として、摩擦係数の小さいテフロン製オイルリングガイド付きの軸受と交換するか強制給油潤滑方式の軸受にする方法を実施している。

なお以上述べた対策のほかにも既設電動機をDSS運用化する場合には、予防保全を含む各部の精密点検・補修を実施し電動機自体の信頼性を十分高いレベルまで向上させることが重要である。

## 5. む す び

信頼性向上対策のための新技術の導入について、その概要を述べた。これからの発電所は、社会的使命からくる安全性の確保のため、ますます高い信頼性が要求されてくるであろう。こういう状況のなかで新たに製作する電動機、既に稼働中の電動機についていかに新技術の導入を図り信頼性を高めていくかが重要となってくる。

今後とも、社会的ニーズにこたえるべく新技術の開発に努め、信頼性の高い電動機を供給する所存である。(昭和57-8-2受付)

## 参 考 文 献

- (1) 柴田ほか：新しい誘導電動機の絶縁(ダイエポキシ絶縁)，三菱電機技報，40，No. 6 (昭41)
- (2) 平林ほか：最近の高圧電動機絶縁，三菱電機技報，48，No. 3 (昭49)
- (3) 美藤ほか：11 kV 級回転機全含浸絶縁の開発，昭和51年電気学会全国大会 611
- (4) 越場ほか：交流高圧電動機用絶縁の最近の動向，三菱電機技報，53，No. 8 (昭54)
- (5) 福永ほか：全含浸コイルの引張特性，昭和57年電気学会全国大会 263
- (6) 上田ほか：大形全含浸絶縁のヒートサイクル試験，昭和57年電気学会全国大会 260
- (7) 菅波ほか：立形電動機の振動解析，三菱電機技報，55，No. 3 (昭56)
- (8) 田村ほか：高速かご形回転子の強度，三菱電機技報，51，No. 6 (昭52)
- (9) 新良ほか：誘導電動機の過渡現象及び異常現象の直接的シミュレーション，三菱電機技報，48，No. 10 (昭49)
- (10) 菅波・沖田：潤滑油の再循環を考慮したすべり軸受の性能解析，日本機械学会第53期通常総会 (昭51)
- (11) 菅波・沖田：ジャーナルすべり軸受の温度上昇に及ぼす給油量の影響，日本機械学会第54期通常総会 (昭52)
- (12) 岩淵ほか：交流高圧電動機固定子巻線絶縁の経年変化とその診断，昭和57年電気学会全国大会 259

# 相生火力1号最新鋭中間負荷火力の電気設備と自動化の概要

山岡隆三\*・妻鹿恒雄\*\*・谷口政弘\*\*\*・赤木一夫\*\*\*・山下武宏\*

## 1. ま え が き

我が国の電源設備においては火力・原子力を主体として建設が進められてきているが、原子力発電の設備比率の増大により、時々刻々の負荷変動に対しては火力で需給の調整を行うという中間負荷分担責務が火力に厳しく課せられるようになってきた。そのため、既設火力については中間負荷を分担する運用に適用できるよう検討を加えるとともに、新鋭火力についても営業運転開始当初より中間負荷火力としての性能を備えたものとせざるを得ぬ状況にある。

中間負荷火力に要求される性能は、最近のエネルギー事情による高効率化と併せ次のようなものである。

- (1) 毎日起動・停止といった頻繁な起動・停止に耐え、信頼度が高いこと。
- (2) 容易かつ信頼性の高い起動・停止操作ができること。
- (3) 起動・停止に要する時間が短いこと。
- (4) 急速な負荷変動に追従でき、最低負荷での安定かつ高効率運転が可能なこと。
- (5) 起動損失が少ないこと。

関西電力(株)相生火力発電所は以上のような性能を備えた、我が国においても代表的な最新鋭省エネルギー形中間負荷火力であるので、その電気設備と自動化設備の特長について紹介する。

## 2. プラント概要

関西電力(株)相生火力発電所は、昭和54年7月に着工以来、順調な建設工事のもとに、1号機(原・重油火力、出力375MW、2、3号機も同一)は昭和57年4月に初並列が行われ、9月に営業運転を開始した。2、3号機は各2か月遅れの工程で建設が進められている。このプラントは営業運転開始当初より本格的な中間負荷火力として設備面、運転制御面及び環境対策面で新技術が取り入れられている。表1.に電気設備を中心とした主要設備の機器仕様を示す。

### 3. 電気設備の特長と設計上の考慮点

中間負荷火力では、高頻度起動・停止に対する機器の十分な耐力と起動・停止における運転・操作面での信頼性が高いことが重要な要求性能であり、電気設備に対する主な配慮点は次のようになる。

(1) 従来火力では必ず必要とした起動・停止時の所内電源切換えが省略でき、起動・停止操作の信頼性を高める簡素な所内電源構成を採用した。

(2) 発電機及び補機電動機を中心として高頻度起動・停止に対する十分な耐力を有する設計とした。

以下にこれらの概要を述べる。

#### 3.1 所内回路構成

図1.に所内電源構成を示すがその特長は次のようである。

(1) 主変圧器と発電機との間に発電機遮断器(以下、GMCB)を

表1. 主要電気設備仕様

項 目		定 格 事 項
発 電 機	形 式	横置、回転回磁、三相同期タービン発電機、水素内部冷却式
	定 格 容 量 力 率、短 絡 比 定 格 電 圧 回 転 数 水 素 圧 力 励 磁 方 式	420,000 kVA 90%, 0.58 以上 17,000 V 3,600 rpm 4 kg/cm <sup>2</sup> ブラシレス励磁方式
ガ ス 絶 縁 変 電 所 (GIS)	275 kV 回路	母線方式 定 格 電 圧 定 格 電 流 定 格 短 時 間 電 流 定 格 ガ ス 圧
	77 kV 回路	母線方式 定 格 電 圧 定 格 電 流 定 格 短 時 間 電 流 定 格 ガ ス 圧
変 圧 器 設 備	主変圧器	形 式 定 格 容 量 一次電圧/二次電圧 インピーダンス電圧
	所内変圧器	形 式 定 格 容 量 一次電圧/二次電圧 インピーダンス電圧
開 閉 装 置	M/C	形 式 定 格 電 圧 母線定格電流 定 格 遮 断 電 流
	P/C	形 式 定 格 電 圧 母線定格電流 定 格 遮 断 電 流
非 常 用 発 電 機	C/C	形 式 定 格 電 圧 母線定格電流 定 格 遮 断 電 流
	非常用発電機	形 式 定 格 容 量 力 率 定 格 電 圧 回 転 数

設けている。GMCBは、関西電力(株)と三菱電機(株)との共同研究により発電機主回路用としては世界で初めてSF<sub>6</sub>ガスを消弧媒体に使用した低圧大電流回路用遮断器である。このGMCBは相分離母線とたわみ導体で容易に接続できる構造にしてあるため、発電機と主変圧器との間に相分離母線の一部として設置されている。GMCBの主仕様を表2.に示す。このようなGMCBを設置したことにより、起動・停止時の発電機の系統への並列・解列操作はGMCB

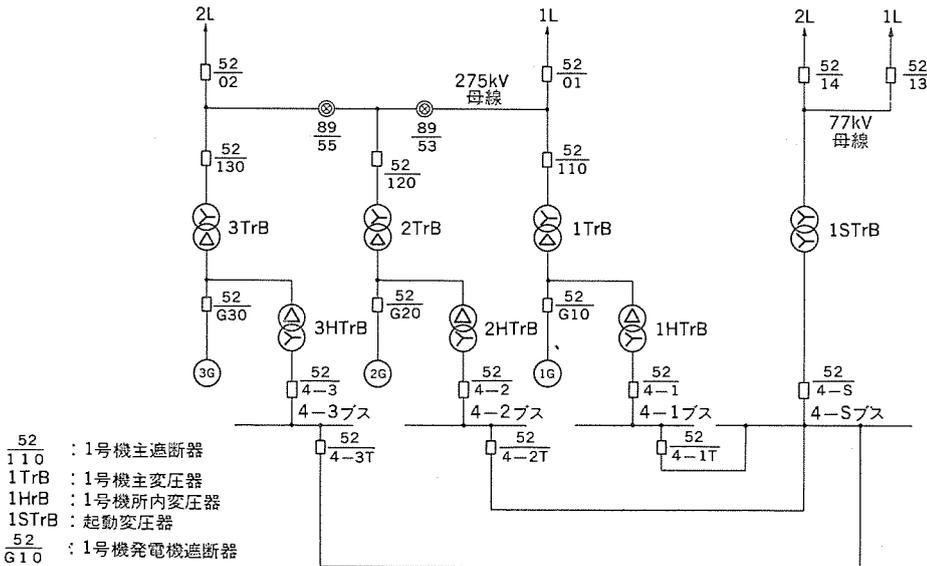


図 1. 所内電源回路構成

表 2. 発電機遮断器 (GMCB) 仕様

項目	仕様及び定格事項
(a) 形式	相分離ガス遮断器
(b) 相数	三相
(c) 操作方法	投入—空気, 遮断—ばね
(d) 絶縁階級	20号B
(e) 定格電圧	24kV
(f) 定格電流	16kA
(g) 遮断電流	110kA
(h) 遮断時間	5サイクル
(i) 短時間電流	110kA
(j) 投入電流	275kA
(k) 動作喪失	CO-(3分)-CO
(l) 制御電圧	DC 100V
(m) 操作圧力	15kg/cm <sup>2</sup>
(n) 温度上昇	
・導体部	65°C
・外被	30°C
(o) 冷却方式	自冷式
(p) 引外し自由方式	電氣的機械的

により行えるため、所内母線は常に所内変圧器を通して給電される。したがって従来プラントにおける起動・停止時の電源確保のための起動変圧器と所内変圧器との所内電源切換は必要とせず、毎日のプラントの起動・停止の運転上の信頼度は高くなっている。

また、GMCB 周りのユニットインタロックは図 2. のようになっている。すなわち、ボイラ、タービンの機械側事故に対しては GMCB を自動トリップし、所内給電はそのまま主変圧器、所内変圧器（以下、主変・所変）を通して行われる。275kV 母線、発電機及び変圧器などの電気側事故に対しては主遮断器をトリップして、GMCB は時限において自動遮断することとしている。また送電線事故時には主遮断器を遮断し所内単独運動が行われる。

(2) また、従来起動変圧器は各ユニットごとに又は2ユニットに対し1台のスプリット形三巻線変圧器が設けられていたが、GMCB の採用により3ユニットに対し二巻線変圧器1台のみが設置されている。そして、この起動変圧器容量は3ユニットの共通補機用電力と1ユニットの起動・停止時の所要電力分とを供給可能な容量としている。これにより、万一の275kV 特高回路の故障による3ユニット同時トリップやユニットの主変・所変の故障による所内給電の停止時のユニット安全停止のための電源確保が行われ、また故障修復後の迅速なユニ

ットの再起動を可能としている。

以上のように所内電源回路が構成されているので毎日の高頻度起動・停止に対し高い信頼性を有し、運転操作が簡略化され、省スペース化が図られている。

### 3.2 電気設備の耐力向上

電気設備については常に新技術の採用により信頼性の向上に努めているが、中間負荷火力では更に高い信頼性を要求されるため、過去の不具合に対する技術的改良を十分反映し、かつ実証された新技術を採用した上で、更に高頻度起動・停止に対する耐力向上策をとっている。特に発電機、電動機について基本的な設計上の考慮点をあげれば次のようになる。

(1) タービン発電機については従来から10<sup>4</sup>回以上(毎日起動・停止するとして

30年)の疲労寿命を目標として設計されているが、頻繁な起動・停止に対して次の熱的・機械的条件を満足するものとしている。

(a) 遠心力の繰返し、コイルの熱膨張の繰返しに対して疲労寿命が十分あること。

(b) 起動・停止時の昇速、降速中の軸振動及び負荷変化による軸振動変化は最良の状態に維持されること。

(2) 電動機については周囲温度状態からの連続2回起動を1サイクルとして、これが10<sup>4</sup>サイクル可能なものとし、

(a) 遠心力、熱応力、電磁力の繰返し及びコイルの熱膨張の繰返しに対して疲労寿命が十分であること。

(b) 起動時及び定常運転中の振動の低減を図ること。

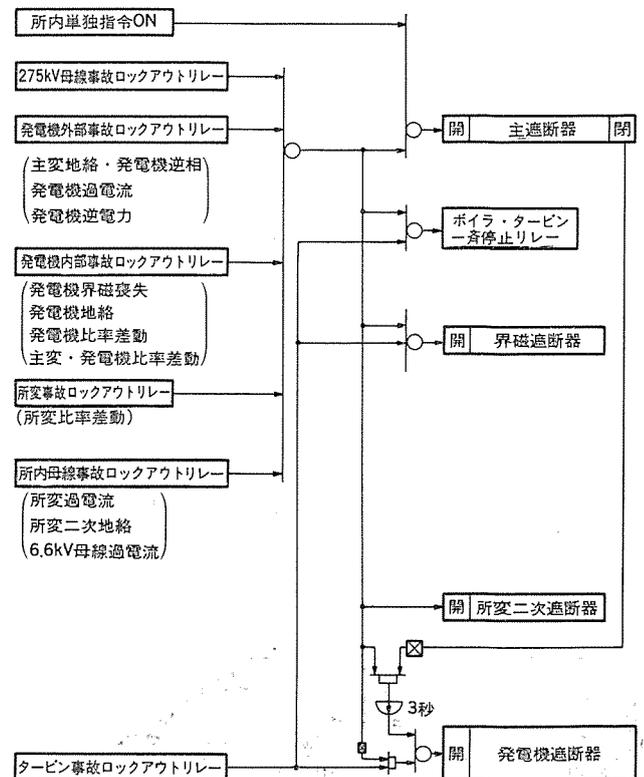


図 2. GMCB 周りのユニットインタロック図



盤と自動化システムの基本的な考え方は図3.に示す。ここでは自動化システムの概要にふれ、中心的役割を担う計算機システムと中央制御盤についての特にマンマシンインタフェースの特長及び自動化監視方法を主として紹介する。

#### 4.1 自動化システムの概要

自動化システムは制御用計算機を主体に、機能的に独立したサブロー制御装置群で構成し、サブロー制御装置はアナログ制御装置、デジタル制御装置及びデジタルシーケンサ又は電磁リレーによるシーケンス制御装置からなっている(図4.)。ユニットの起動・停止操作は運転員の主要ブレイクポイント確認操作により、計算機が操作タイミングを判断して各サブローごとに起動指令や設定値を与える方式をとっている。

自動化の範囲は深夜及び週末停止からのプラント起動～通常運転までの操作、通常運転中のルーチン操作及び通常運転から深夜、週末及び長期停止までの操作を含み、広範囲にわたるほとんどすべての操作を自動化の対象としている。なお、この自動化方式は計算機主体のシステムであるが、万一の計算機の不調やサブローの部分的不具合の場合でもユニットの運転が継続できるよう、従来に増してサブ

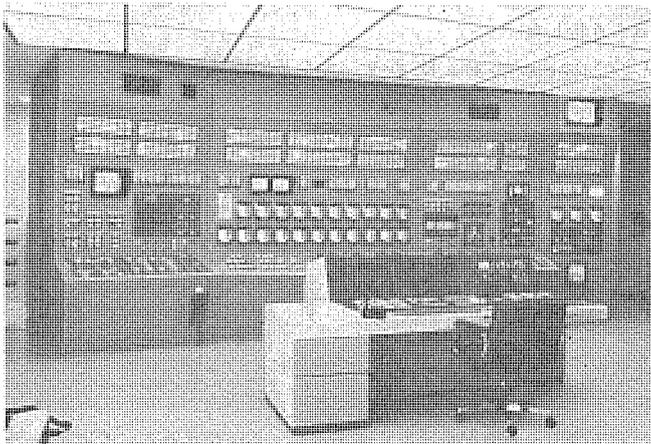


図5. 中央制御盤の全景

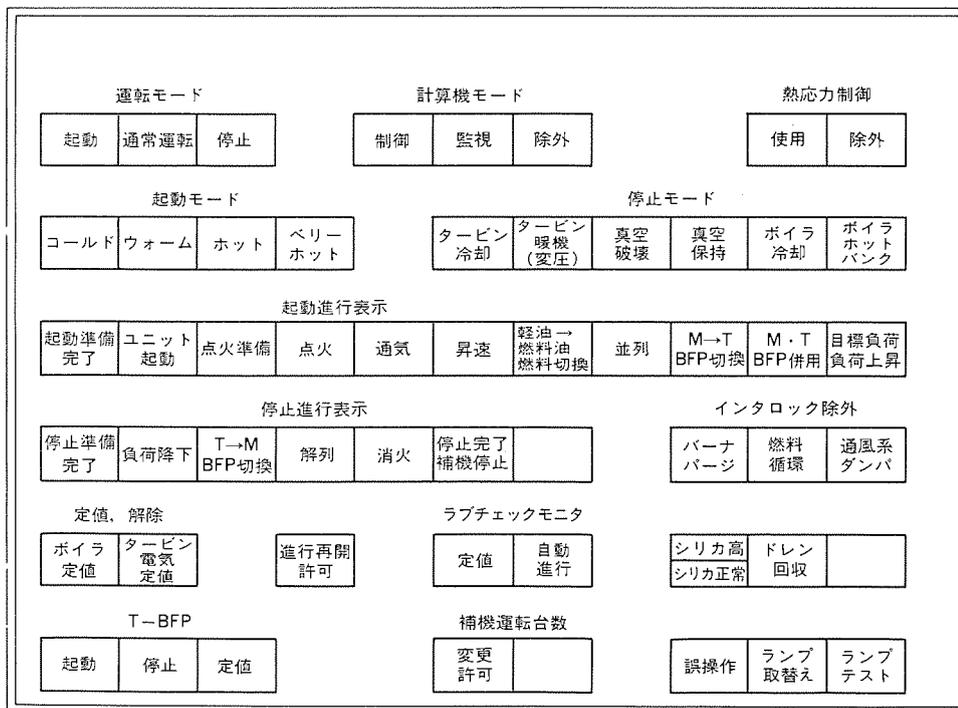


図6. 自動化コントロールパネル

ロー制御装置の機能を充実させている。

#### 4.2 中央制御盤とマンマシンインタフェース

マンマシンインタフェースの中核としての中央制御盤はBTG盤と自動化盤とで構成し、原則として一人運転を可能とする設計としている。中央制御盤の設計に当たっては人間工学における各種実験や研究成果を十二分に取入れ、盤形状、色彩、天井照明方式などについて中央制御室全体のトータルデザインを行い、更にプラント並びに制御装置の異常時における円滑かつ迅速確実な操作性を評価するために、実物大モデルにより経験豊富な運転員、試運転指導員などによるデザインレビューを実施して、盤形状及び盤面取付機器の配置を決定した。図5.に中央制御盤の全景を示す。

自動化盤にはCRT、自動化コントロールパネル(図6.)、ABC統括監視パネル、ページング及び主要補機の動作表示パネルほかを設けている。運転員は座ったままで前方のBTG盤全体が監視でき、正常状態での運転監視はこの自動化盤で行われる。

BTG盤には、計算機故障時でも運転が継続可能となるよう従来とほとんど同じ機能を持たせているが、記録計、指示計、調節計の計器類は小形化し、操作スイッチは十分な信頼性試験の上で選定した小形照光式押ボタンスイッチを一部の切換スイッチを除いて所内電源回路を含め全面的に採用している。これにより、盤の小形化を図り、運転監視の総合効率を高めている。

マンマシンインタフェースを最高の状態に維持して運用を容易にし、信頼性を高めるために次の機器を有効に活用している。

##### (1) グラフィックカラーディスプレイ(CRT)とハードコピー

プラントデータ監視のための系統図表示、集約図形表示、グラフ表示のほかに読みやすい大きさの漢字表示を採用し、漢字文による警報表示、サブロー進行表示用としてCRTを使っている。

また計算機の制御ロジックチャートを運転員の要求により表示させ、運転操作を助勢するとともに制御ロジックチャート上の色別表示により制御の進行状況を制御ロジックに沿って監視できるようになっている。

また、キーボードから対話形式によってこの制御ロジックを改善・修正できる。その他、ユニット起動スケジュール計算機能のためのスケジュール表示などの機能を持ち、ハードコピー装置は以上の画面の記録機能を有している。

##### (2) 音声告知装置及びチャイム

ユニットの運転状態における主要ブレイクポイントについて計算機が操作する一定時間前、又は操作完了後に音声告知装置によりページングを通して所内に通報する。また、計算機の制御指令出力のためにチャイムにより運転員へのCRT画面の確認要求をするようになっている。

#### 4.3 自動化監視方法

自動化システムの部分的不調時、運転員の対応が迅速かつ適確に行え、ユニットの運転が円滑に継続できるよう渋滞監視、修復助勢機能を次

のように強化している。

#### (1) サブルーブ進行渋滞監視

サブルーブごとに渋滞監視機能を備え、各ステップの起動開始から完了までの時間を監視してステップごとの進行状態が検出できるようにしている。渋滞発生に伴い、BTG 盤のアナシユータと計算機のチャイムで警報を発し、CRT には自動的に渋滞サブルーブ名称とステップNo. を見やすい漢字文で表示し、T/W に記録する。この情報で、運転員はサブルーブモニタチャートを参考に BTG 盤の計器動作表示灯の確認、並びにサブルーブ制御装置内の点検などの処置を講ずる方式としている。

サブルーブモニタチャートは当該サブルーブの進行条件とその進行条件の成立の有無をハードウェア対応で確認する手段を一覧表にしたものである。一方ハードウェア側は自動化シーケンス制御装置には動作状態が外部から容易に判別できる小形パワーリレーを採用し、デジタルシーケンスには入出力の状態がランプにより個々に判別できる I/O カードを採用するなどして渋滞原因の除去の迅速化を図っている。また、各サブルーブは渋滞原因が除去された後ではスムーズに進行を再開できる回路構成をとっている。

#### (2) ユニット進行渋滞監視

計算機による全自動運転中に渋滞が発生すると運転員にチャイムで告げるとともに、渋滞した該当ブレイクポイント名称又は主要操作補機名とこれに対応した制御ロジック No. を CRT に漢字文で表示する。運転員は CRT に計算機の制御ロジックのチャートを出し渋滞原因すなわち入出力信号の有無をロジックチャート上の色別表示により確認できるようになっている。そしてサブルーブと同様に、異常原因が除去された後は継続してユニットの進行は再開される。

#### 4.4 制御用計算機

広範囲かつ深い全自動化を成功させるために計算機システムを構成する上で特に高信頼性、高速処理性の実現を重点目標においた。表 3. に制御用計算機のハードウェア仕様を示すが、主な特長は次のとおりである。

(1) 制御用計算機《MELCOM 350-50 A 2500》は、二重系負荷分担方式を採用することによりシステムの信頼性と処理応答性の向上を図っている。

(2) 表 3. にみるように主メモリ、共有メモリ容量を大幅に増量して基本的には通常運転状態では補助メモリを必要としない構成になっている。これにより信頼性の向上を図りまた CRT 画面を瞬時に表

表 3. 制御用計算機仕様

主要項目	細目	仕様
形式	MELCOM 350-50 A 2500	
主記憶装置	IC メモリ	384 K ワード×2式
補助記憶装置	ディスクバック	4 M ワード×2式
共有メモリ装置	IC メモリ	256 K ワード
プロセス入出力	アナログ入力	700 点
	パルス入力	64 点
	接点入力	1,024 点
	割込接点入力	64 点
	アナログ出力	8 点
	接点出力	256 点
	パルス幅出力	32 点
周辺機器	入出力タイプライタ	2 台
	出力タイプライタ	4 台
	グラフィック CRT	2 台+1 台 (モニタ TV)
	ハードコピー	1 台
	フレキシブルディスク	2 台
	音声告知装置	1 台
	コンソール類	1 式

示させることを可能とし、プラントの監視・制御信号を高速処理できるようにした。

(3) ソフトウェアシステムはデータベースを基に構築されており、仕様レベルの情報でプロセス入出力点や制御ロジックなどの改良、追加が簡単にできるよう考慮されている。また、二重系システムを採用しているため、計算機保守時、対象系のみ停止して保守が可能となっている。これらの手段により保守及び拡張性を従来よりも一段と向上させている。

## 5. む す び

今後原子力比率の増大により、深夜帯における電力需給の差の拡大に対する調整は火力に頼ることになり、既設火力においても深夜及び週末停止の回数が増えることが予想される。既に、一部の火力ユニットは逐次改良して中間負荷を分担する運用に適用できるものにする計画が進められているが、最新鋭の相生火力 1 号で採用した最新の技術を十分反映してゆきたいと考えている。

## 参 考 文 献

- (1) 森, 谷口ほか: 最新鋭大容量火力の中央制御盤, 三菱電機技報, 54, No. 5 (昭 55)

# 集光形太陽光発電システム

牧野 鐵雄\*・大野 義隆\*\*・神尾 昌司\*\*・田中 伸雄\*\*・坂田 末男\*\*

## 1. ま え が き

太陽光エネルギーは無公害、無尽蔵であることから将来的に有望なエネルギー源として、各方面において太陽光発電システムの実用化を目標とした基礎研究や各種のデータ収集が行われている。特に太陽電池などの価格低下が将来的に実現すると、小規模の太陽光発電装置が普及して送配電系統と並列に接続されることが予想される。したがって、このような場合に起こりうる諸現象や問題点などについては十分に解明しておくことが必要である。

このような背景のもとで、中部電力(株)と三菱電機(株)は共同研究を推進し、太陽光発電装置の電気的特性の把握、システムの最適構成方法の研究、運転制御方法の研究などを行うために実験用の集光形太陽光発電システムを開発した。著者らは、まず第1ステップとして、当システムが発電装置単体として良好な性能であることを確認したので以下にその概要について述べる。

## 2. システムの概要

このシステムは、太陽電池アレー<sup>(1)</sup>を搭載した追尾機構、マイクロコンピュータを採用した太陽光追尾制御装置、太陽電池出力を交流に変換するインバータ、バッテリー及びデータロガーで構成した交流出力500Wの太陽光追尾式の集光形発電装置である。

ガリウムヒド(砒)素(GaAs)太陽電池と集光倍率125倍のフレネルレンズを組合せた太陽電池アレーは、アジマス・エレベーション(Az・El)マウントによる2軸追尾方式の追尾機構に搭載し、夏至南中時(太陽光が最も強い時)において650Wの直流電力を発生する能力を有している。太陽光追尾制御装置はカレンダークロックデータを内蔵したマイクロコンピュータを用い、ニューカムの方程式により太陽視位置の計算<sup>(2)(3)</sup>を行って太陽電池アレーの方向が常に太陽光に対して垂直になるように追尾機構を制御する。また、インバータは太陽電池の発電電力を交流系統や一般の独立負荷に供給し、しかも高調波電圧の大幅な抑制を図る

表 1. システムの概略仕様

項目	仕 様	
太陽電池アレー	方 式	フレネルレンズによる集光形
	集 光 倍 率	125倍
	太陽電池	AlGaAs-GaAs ヘテロフェース形
	電 気 的 特 性	開放電圧: 130 V 最大出力: 650 W
追 尾 機 構	追 尾 方 式	Az・El マウントによる2軸追尾
	追 尾 範 囲	Az 軸: ±124° (南を0°とする) El 軸: 0~90° (天頂を90°とする)
	追 尾 速 度	6°/min, 4°/min, 2°/min
	耐 風 速	追尾時: 15 m/s 退避時: 60 m/s (水平位置ロック)
太陽光追尾制御装置	演 算 方 式	カレンダークロック内蔵 ニューカムの方程式
	演 算 CPU	M5L8085A (8ビット)
	追 尾 誤 差	±0.2° 以下 (機械的誤差を含む)
	追 尾 期 間	10年
イ ン バ ー タ	方 式	PAM による自動式
	定 格 出 力	電圧: 100 V 単相, 周波数: 60 Hz 電力: 500 W
	効 率	80% 以上
	高 調 波 電 圧	各次 1%, 総合 2% 以下 (25次以下)
負 荷	交流系統又は独立負荷	

ために、チョップ付きの高周波変調による PAM 方式とした。更に制御モードとして、最大電力制御モード、定電力制御モード、定電圧制御モードの3種類を備えており、いずれも自動式インバータ<sup>(4)</sup>として動作する。

このシステムの概略構成を図 1. に、概略仕様を表 1. に示す。

## 3. 構 成

### 3.1 集光形太陽電池アレーと追尾機構

このシステムの発電素子としては、高温まで特性劣化が少ないこと、開放電圧が大きく同一出力に対する電流が小さいことなど、集光形に適している GaAs 太陽電池を採用した。この太陽電池は AlGaAs-GaAs ヘテロフェース構造の素子4個をセラミック基板の銀めっき電極上にはり付けた構成としており、大電流に対する直列抵抗が小さくなるように設計したものである。

集光ユニットは前述の太陽電池と集光レンズを組合せたものであり、アルミ製バスケットの片面に集光レンズを、対向面にはヒートシンクに取付けられた太陽電池を配置しており、集光レンズはアクリル樹脂製のフレネルレンズを用いている。このレンズは凸レンズの曲面をいくつかの同心円に分割することにより、凸レンズの口径が大きくなっ

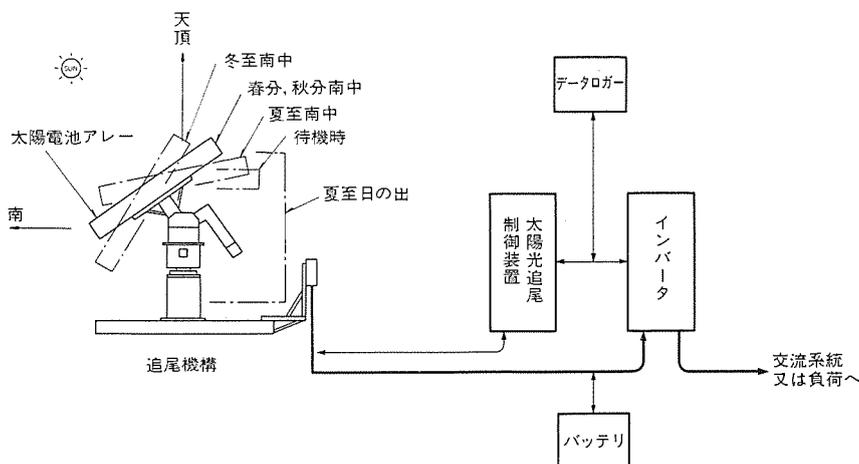
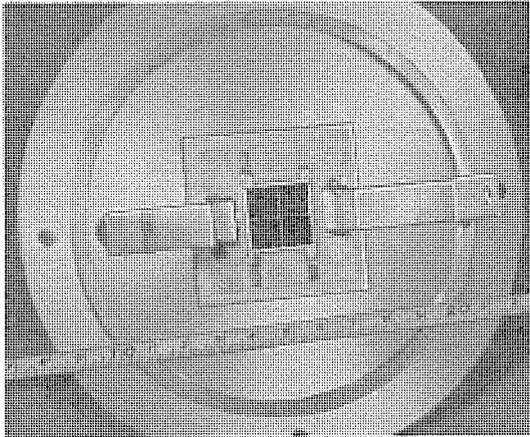


図 1. システムの概略構成

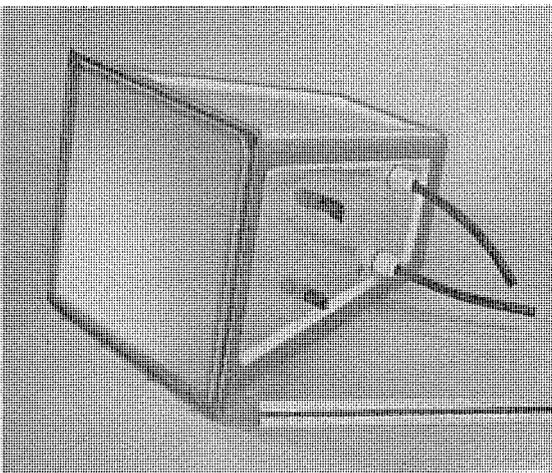
\* 中部電力(株) \*\* 三菱電機(株)伊丹製作所

でも肉厚が厚くならないという特長がある。取付け方法は太陽電池側が曲面、太陽光入射側が平滑面となるようにしている。

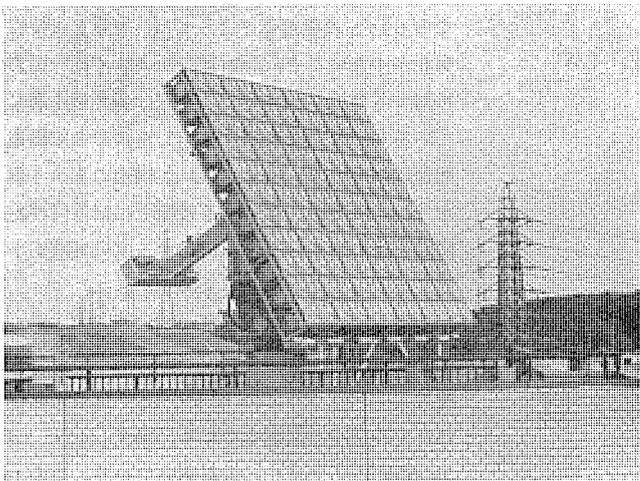
なお、それぞれの太陽電池には並列にバイスダイオードを接続し、鳥や建物の一部が太陽光の入射を部分的に遮断した場合に太陽電池自身に逆電圧が印加されるのを防止している。このようにして構成された集光ユニットは通気性を有していると同時に、内部に浮遊じんあい(塵埃)や雨水が侵入しないような構造としており、集光レンズ



(a) GaAs 太陽電池



(b) 集光ユニット



(c) 太陽電池アレー

図 2. 集光形太陽電池アレー

の表面側のみを清浄で長期間にわたって発電能力を維持できるようにしている。太陽電池アレーは、軽量鉄鋼フレーム上に前記集光ユニットを縦11列、横12列、計132個搭載して構成し、130個を直列接続して発電用に、他の各1個を電池温度測定用と開放電圧測定用に用いている。また、それぞれの集光ユニットには出力端子と接続された電池特性チェック端子を設けている。集光形太陽電池の外観を図2に示す。(a)は太陽電池、(b)は集光ユニット、(c)は太陽電池アレーである。

太陽電池アレーを太陽直達光線に垂直に対向させるための追尾機構は、水平面上に垂直に立てられた軸の回転により太陽の方位(アジマス:  $A_z$ )を、この軸に直交する軸の回転により太陽の高度(エレベーション:  $E_L$ )を追尾するいわゆるアジマスエレベーション( $A_z \cdot E_L$ )マウントと呼ばれる2軸追尾方式を採用した。この方式はPedestal方式とも呼ばれるもので、搭載アレーの寸法などの制約から数kW程度の発電が限度であると言われているが、小規模発電に関してはその他の方式(赤道儀式など)に比べて装置がコンパクトにでき、据付時の設置精度を容易に出せるという利点を有している。

追尾駆動部は  $A_z \cdot E_L$  軸とも、それぞれ定格60W可変速インダクションモータ、平歯車と二段ウォームギヤの組合せによる減速機、出力軸に直結したロータリエンコーダで構成している。最終段のウォームギヤは太陽電池アレーが受ける風トルクに対して十分な強度を有し、またバックラッシュの小さいものを選定している。太陽を追尾するための速度は最大で  $1.2^\circ/\text{min}$  (夏至南中時刻の  $A_z$  軸回転速度)であり、強風時あるいは保守時のアレー移動に必要な速度に比較して極めて小さいため、駆動モータとして可変速モータを採用した。太陽光追尾時は低速、アレー移動時は高速で駆動し、追尾精度の確保とアレー移動時間の短縮化を図っている。

なお、平均風速が  $15 \text{ m/s}$  以上になった場合には、 $E_L$  軸駆動モータを高速駆動してアレーを水平状態にすると同時に、ロック装置を作動させて自動的に  $E_L$  軸を固定し、強風に対する保護が迅速に行えるようにしている。

### 3. 2 太陽光追尾制御装置

#### 3. 2. 1 機能

太陽光追尾制御装置は主として次に示す機能をもっている。

- (1) 天文計算による追尾機構の  $A_z \cdot E_L$  軸太陽光追尾制御
- (2) 太陽電池の温度計測
- (3) 太陽視位置の  $A_z \cdot E_L$  軸の角度表示
- (4) 太陽電池アレー追尾機構の  $A_z \cdot E_L$  軸角度とカレンダー情報の出力

#### 3. 2. 2 構成

制御装置の外観を図3に示し、構成及び概略フローを図4に示す。制御動作は基本的にシステム制御盤の制御信号に従って太陽光追尾制御をしながら太陽光追尾に関する各種データや動作状態がディスプレイによってモニターできるようになっており、単体でも手動によって太陽電池アレーを搭載した追尾機構を動作させることができるようになっている。主制御は8ビットマイクロコンピュータにより行い、内蔵のカレンダーロックのデータに従いその時々刻々の太陽視位置を計算により求め、設置後10年間自動追尾ができるようにプログラムしている。

#### (1) 制御部

8ビットマイクロコンピュータを中枢とし、太陽視位置計算用各種データメモリ、プログラムメモリ、算術演算用LSI及び入出力制御用I/Oを備えている。

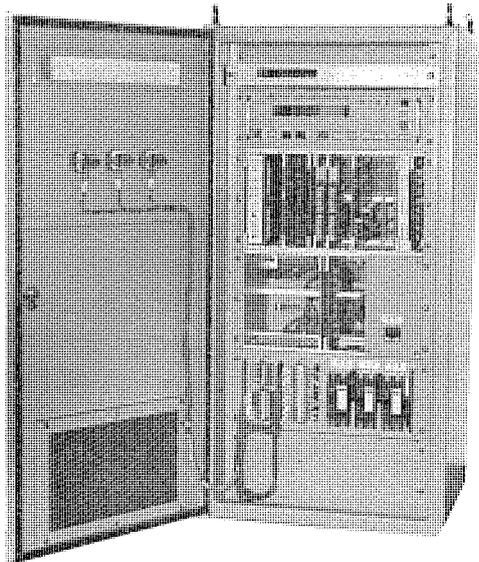


図 3. 太陽光追尾制御装置外観

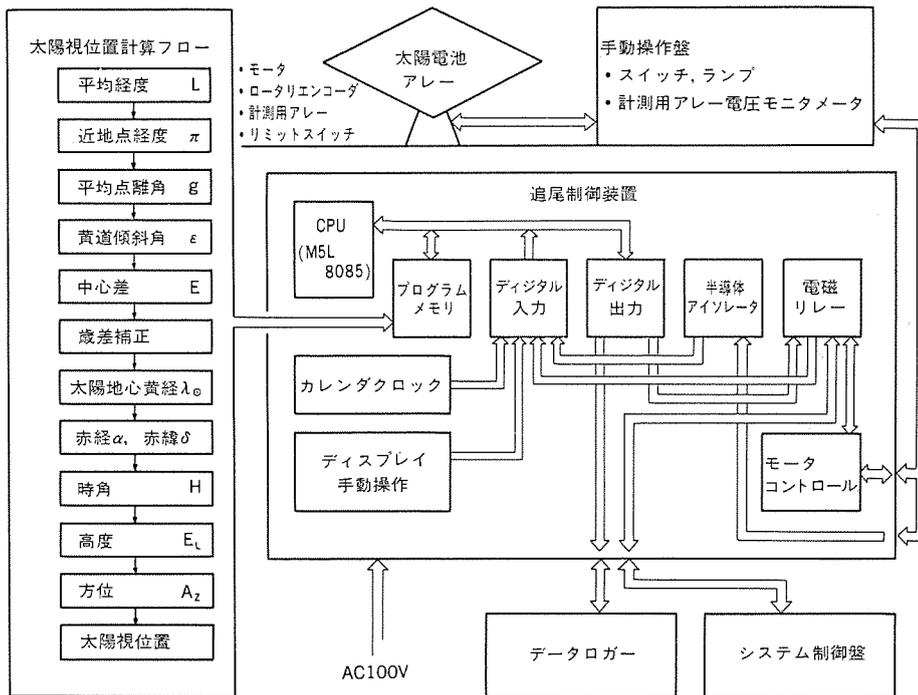


図 4. 太陽光追尾制御装置の構成と概略フロー

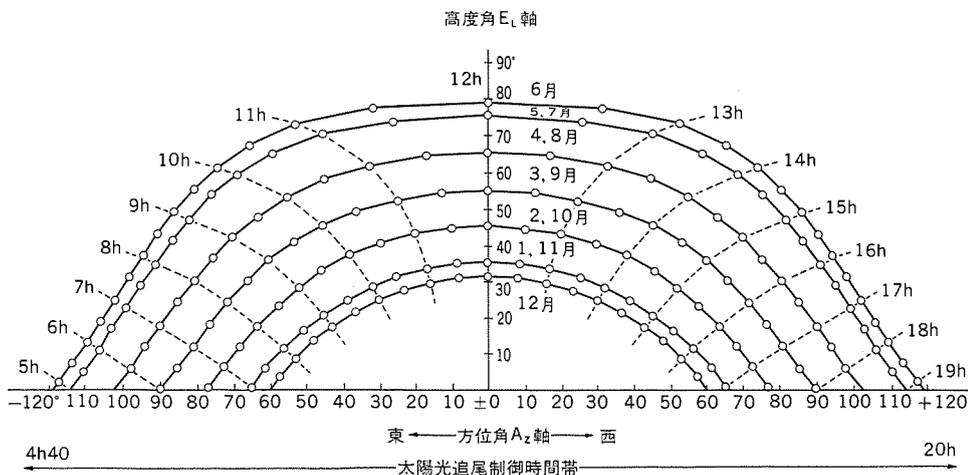


図 5. 北緯 35° における太陽視位置

(2) 手動操作パネル、ディスプレイモニタ

24文字の蛍光表示ディスプレイにより、太陽光追尾に関する各種データや動作状態表示のほか単体での太陽電池アレー追尾機構の手動操作が可能である。

(3) カレンダー、クロック

太陽光追尾の基準となる JST (日本標準時) により、年、月、日、時、分、秒の表示及びデータ出力を行う。

(4) モータコントロールユニット

太陽電池アレー追尾機構のインダクションモータ制御用で制御部により制御される。

3.2.3 追尾制御動作

(1) 動作モード

通常は時間帯の変化により「自動追尾」と「夜間待機動作」を繰返すが、強風時には「回避動作」となる。ほかに「追尾停止」や「手動操作」などのモードも有している。

(2) 太陽視位置計算

JST のデータと太陽電池アレーの設置されている緯度、経度をもとに天文計算を行い、太陽高度が 0~15° の場合には大気による光の屈折誤差を補正した太陽視位置を求めるようにしている。

(3) 追尾範囲

(a) 追尾時間帯

北緯 35° 付近の年間における太陽視位置を図 5. に示す。追尾時間帯は 4 時 40 分~20 時までとし、日の出 30 分前には追尾準備のため太陽電池アレー追尾機構を日の出方向へ制御する。

(b) 追尾角度

追尾機構の角度制御範囲はアジマス軸(方位)が ±124° 及びエレベーション軸(高度)が 0~90° であり、ロータリエンコーダによってこれを検出するようにしている。

(c) 追尾速度

高速時 6°/min、中速時 4°/min、低速時 2°/min の速度を有し追尾中は誤差が約 0.1° を越えないように低速制御を行う。

(d) 追尾精度

太陽視位置は計算プログラムによる誤差として ±0.01° であり、追尾制御分解能は、0.09°、太陽電池アレー追尾機構の位置誤差は最大 0.1° である。総合誤差としては、マイクロコンピュータによるフィードバック制御を行った結果、±0.2° 以下という値が得られている。

3.3 インバータ

太陽電池が発生する電力は直流であり、この電力を交流系統や一般の独立負荷に供給するには直流→交流の電力変換装置が必要である。このような変換装

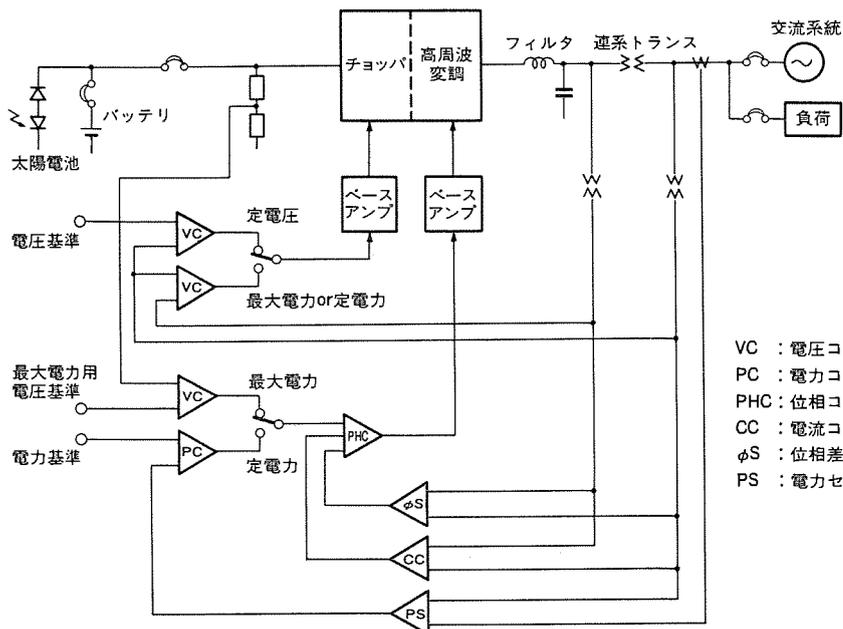


図 6. インバータブロック図 (保護部を除く)

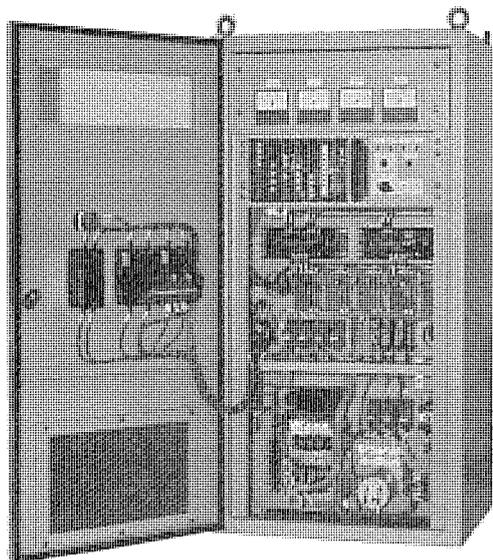


図 7. インバータ外観

置は一般にインバータと呼ばれており、このシステムでは出力容量が500Wと小さいことから、トランジスタをスイッチング素子としたインバータを採用している。

このシステムにおけるインバータの回路ブロックを図6.に、外観写真を図7.に示す。

今回採用したインバータは昇圧チョッパ部、高周波変調部、フィルタ部、連系トランス部及び制御部で構成しており、主要機能や特長について以下に示す。

### 3.3.1 主回路方式

#### (1) 自励式

交流システム又は一般の独立負荷のいずれにも電力を供給できるようにし、かつ交流システムと接続する場合には、有効電力はもとより無効電力の制御も可能なように自励式とした。

#### (2) PAM

インバータの出力電圧を制御する場合、導通角を制御する方法と、導通

角を固定にして直流電圧を制御する方法があり、後者をPAM (Pulse Amplitude Modulation) 方式と呼んでいる。

PAM方式では、固定する導通角に特定の条件を付加することによって低次高調波をほとんど零にすることができる、という特長がある。今回は、出力電圧の半サイクル期間中に7個のパルスを発生する、いわゆる7パルスモードと呼ばれる高周波変調方式を用いて直流を交流に変換し、昇圧チョッパによって電圧を制御しており、フィルタの併用により高調波電圧の含有率を大幅に抑制している。

### 3.3.2 制御方式

発電システムとしての運用方法に柔軟性をもたせるために、3種類の制御モードを備え、必要に応じていずれかの制御モードを選択できるようにした。

#### (1) 最大電力制御モード

太陽電池からとり出せる電力は、日射量が一定の場合でも太陽電池の電圧-電流特性に従って変化し、特定の電圧(又は電流)において最大値を示すような特性をもっている。最大電力制御モードでは、太陽電池の出力電圧が上述の特定の値になるように交流システムへ供給する有効電力を制御しており、結果として太陽電池から最大の電力をとり出すことができ、発電システムとして高効率な運用が可能である。

#### (2) 定電力制御モード

太陽電池が発生する電力は日射量の値、すなわち天候条件によって左右される不安定な電源である。定電力制御モードでは、太陽電池と並列にバッテリーを接続することにより、このような不安定な電源からでも一定の電力を安定に交流システムへ供給するような運用が可能である。

#### (3) 定電圧制御モード

起電力をもたない一般の独立負荷に対して、一定の交流電圧を安定に供給し、他の交流システムと接続しない独立した電源系としての運用が可能である。

### 3.3.3 保護方式

太陽電池、インバータ、交流システム又は独立負荷のいずれにも異常が生じて、相互間を迅速に切離し異常の範囲が拡大しないように、各種保護機能をインバータ内部に設けている。入出力過不足電圧保護、入出力過電流保護、周波数異常保護などの一般的な保護機能のほかに逆圧保護機能を備えていることは大きな特長である。

逆圧保護の目的は、システムが交流システムと接続された状態で運転しているときに系統電圧が無電圧になっても確実に保護動作を行うことにある。これは、インバータの動作が交流システムの電圧を基準として動作する他制式から自制式に移行することによって生じる制御系の発散現象を逆利用したもので、新しい保護方式である。

## 4. 試験結果

集光形太陽電池アレーの電圧-電流特性の一例を図8.に示す。太陽電池アレーから得られた最大出力( $P_{max}=V_{OP} \times I_{OP}$ )は618Wであり、このときの条件は図8.に示すとおりである。ただし、 $P_{in}$ は

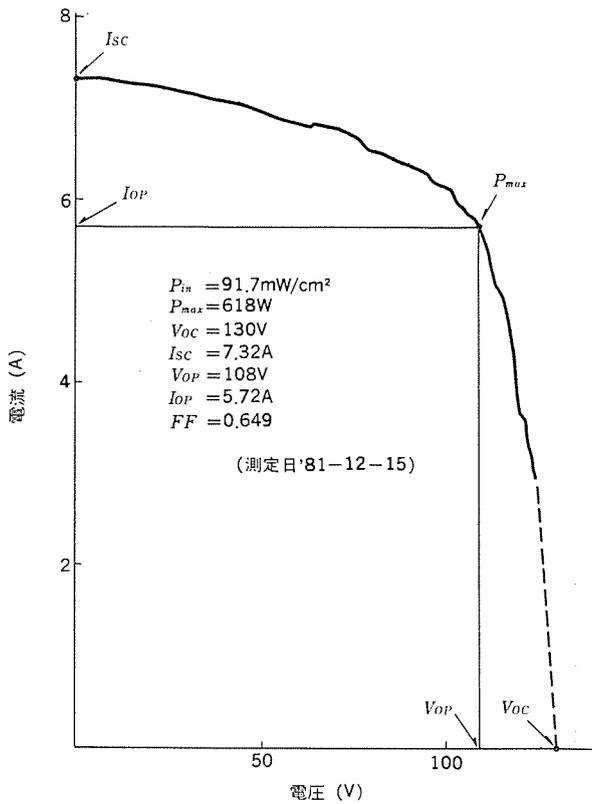


図 8. 太陽電池アレー 電圧-電流特性

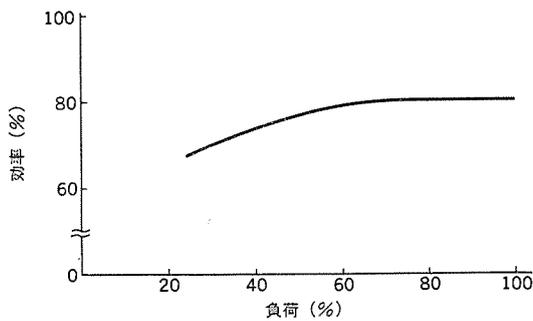


図 9. インバータの効率

太陽光入力,  $V_{oc}$  は開放電圧,  $I_{sc}$  は短絡電流,  $FF$  は曲線因子を示す。図 8. から推定される太陽電池アレーの効率は単一素子の効率と比較してやや低くなっている。これは素子 130 個を直列にした場合, 効率の悪いものの影響を強く受けるためである。

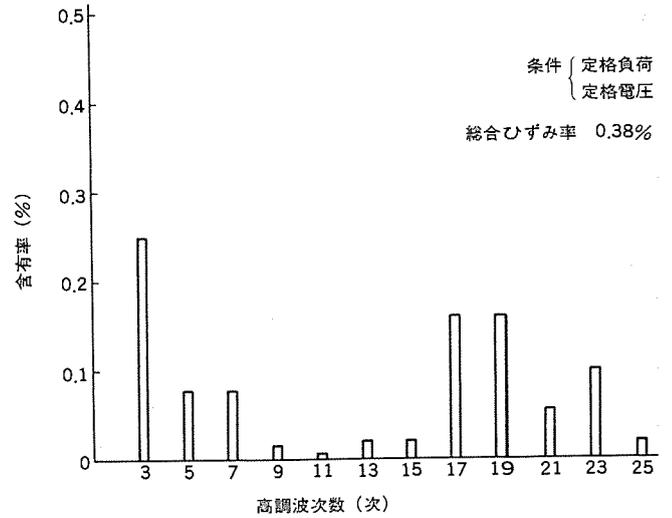


図 10. 高調波電圧の含有率

次に, インバータの効率及び高調波電圧の試験結果を図 9. 及び図 10. に示す。効率はほぼ 80% と仕様を満足しており, 高調波電圧についても各次 0.3% 以下に抑制することができ, 良好な結果であった。なお, システム全体を組合せた状態で実施した動作試験においても安定に動作することを確認した。

## 5. む す び

著者らは, まず第 1 ステップとして小規模な太陽光発電システムを開発し, 装置単体での性能が良好であることを確認した。今後は, システムの運用面における技術的な課題を中心に, 長期的な各種データの収集を行いつつ, システムの大容量化, 高効率化, 低コスト化など実用装置を目指した研究を重ねていく予定である。

最後にこのシステムの開発にあたって, 御尽力いただいた関係者各位に深く感謝の意を表する次第である。

(昭和 57-8-2 受付)

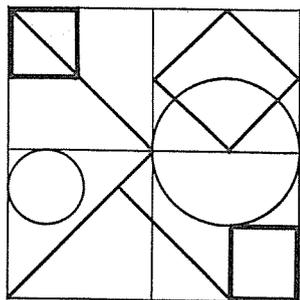
## 参 考 文 献

- (1) 吉田ほか: 集光形 1kW GaAs 太陽光発電アレー, 電子通信学会論文 ED 80-100 (昭 55)
- (2) 渡辺: 数理天文学, 恒星社
- (3) 長谷川: 天文計算入門, 恒星社
- (4) 矢野ほか: 自励式サイリスタインバータによる無効電力発生装置, 制御変換装置研究会資料 PCC-79-2

当社の登録実用新案

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1263392	屋内外接続用壁面器具	市川昌次	1263443	電子装置用筐体	原 邦 芳・本田純一
1263394	半開窓用施錠装置	鈴木太八郎	1263444	速結電線接続器	岩 沢 清・大下裕司
1263395	電気分配機構付磁石発電機	多田靖夫	1263445	内燃機関点火装置	多田靖夫・増本賀英
1263396	冷凍機用油分離器	神頭徳治	1263446	全閉外扇形電動機	{葛西東海男・鈴木好弘 早川益美・堀内勝彦
1263397	発光素子の光指向特性判定装置	{三井興太郎・石津 頭 須崎 渉	1263447	蒸発冷却式半導体装置	鎌田 勉
1263398	半導体装置	山本 勇	1263448	貫通金具	大久保永造
1263399	空調機露受装置	川口忠明	1263450	冷媒分配器	森 美喜男
1263400	照明器具のソケット取付機構	浅田三郎・小藤広志	1263451	電気制御盤のユニット引出装置	野々山昭治
1263401	起動用抵抗器の保護装置	神田政典	1263452	高所照明器具の着脱装置	本 莊 黎之・村井正近
1263402	端子装置	藤 井 洋・石川尊義	1263453	充電発電機の制御装置	松本新太郎
1263404	半導体 ウェハバケット 補助具	{藤井正晴・広瀬芳彦 永井広武・桜井弘美	1263460	内燃機関点火装置	千葉聖一
1263405	電子同調選局装置	荒木 将	1263462	蓄熱暖房機	大塚信夫・松岡文雄
1263407	移動式油 タンク	{木名瀬武男・矢野 勇 北古賀秀敏	1263463	回転電機の短絡装置	山之内政文・掛水典義
1263408	端子装置	元木義明・和田安司	1263464	回転電機の短絡装置	山之内政文・掛水典義
1263410	半導体保持装置	木下 剛	1263465	回転電機の短絡装置	山之内政文
1263411	回転電機のたわみ軸接手	山之内政文	1263467	内燃機関点火装置	千葉聖一
1263412	電動機の銅板製 ブラケット	中西恵之助・樋口芳則	1263476	内燃機関用点火断続器装置	大西正義
1263413	水片取出し装置	飯野良一・西沢敏造	1263478	直並列変換装置	山中彪生・津吉信夫
1263414	永久磁石式直流機の着磁コイル固定装置	三浦邦治	1263479	FM 信号のドロップアウト補正装置	{大垣克一・金場 豊 田中邦磨
1263415	引紐形 スイッチ	根岸昭康・岩 沢 清	1264055	誘導加熱装置	藤室雅司
1263416	燃焼機の制御回路	熊谷健司	1264066	誘導加熱装置	藤室雅司・新見明彦
1263417	樹脂 モールド 変圧器	塚本忠之	1265332	注文情報処理装置	北野 満
1263418	治 具	{藤井正晴・藤沢正人 今仲清治	1265336	直流電源装置	鷲尾二郎
1263419	照光模擬母線装置	立石俣夫	1265337	電気機器の収納容器	{鹿野義郎 角田聖治
1263420	照光模擬 シンボル 装置	立石俣夫	1265339	駆動用ケーブルの駆動機構	岩 井 優
1263425	電気機器の端子台	中島利夫	1265342	符号読取装置	高橋広光・荒井義雄
1263426	力率自動調整装置	渡辺京治	1265348	マイクロ波電力分配統合器	森 芳 一
1263427	コード 掛け具	斉藤隆司	1265352	回転電機の刷子移動制御装置	菅間一公・水溜和哉
1263428	冷蔵庫	保坂征宏	1265353	アンテナ 副反射鏡支持装置	塚田憲三
1263429	ヘアードライヤー 用 アタッチメント	{長 嶺 元・川合輝一 大竹 操	1265354	端子台	飯田 博
1263430	電気回路の接地装置	久保修造・藤本侃四郎	1265355	変圧器用 タップ 切換接続装置	栗柄茂樹
1263432	しゃ断器の取付装置	桜田 武・稲垣嘉明	1265356	電子部品用ソケット	川口克二
1263433	母線導体支持装置	宮地哲郎	1265363	オープン	{増田元昭・山尾恭右 浅野 忠・知久隆雄
1263434	油輸送用浮コンテナの緊急停止装置	{矢野 勇・木名瀬武男 田山寛三・北古賀秀敏	1265364	移動電圧停止検出回路	西谷芳久・三橋康夫
1263435	被溶接物の表側と裏側との雰囲気気圧力差制御装置	鶴 飼 順・水野孝治	1265365	高周波加熱器	高橋恒夫
1263436	半導体 ウェハ 処理装置	{井戸上貴・藤沢正人 草野祐次・広瀬芳彦	1265366	高周波加熱器	田村邦夫・小野清隆
1263437	細線接合強度測定装置	小倉正久・御堂洋一	1265368	電子 レンジ	小川 昇・慶野長治
1263438	接地装置	富沢幸一・久保修造	1265376	簡易形水中 マニピュレータ	三富至道
1263441	内燃機関点火装置	多田靖夫	1265378	半導体装置	河内弘重
			1265384	加熱装置	松尾 茂
			1265656	暖房装置	伊藤利朗・野間口有
			1265657	内燃機関点火装置	山本一智
			1265659	電気 スイッチ	渡辺睦夫・寺田光彦
			1265663	ギヤポンプ 装置	吉村多喜男・大窪純治

# 特許と新案



## 炊飯器 (実用新案 第1309334号)

考案者 大沢和夫・小池利男・川田幸男

この考案は、内釜を収納した本体と、この本体の上部開口を開閉自在に覆う蓋体と、この蓋体の上面に設けた把手の側端部に回転自在に装着され、本体に先端鉤部を着脱自在に係合させた掛け金とから成る炊飯器に関するものである。

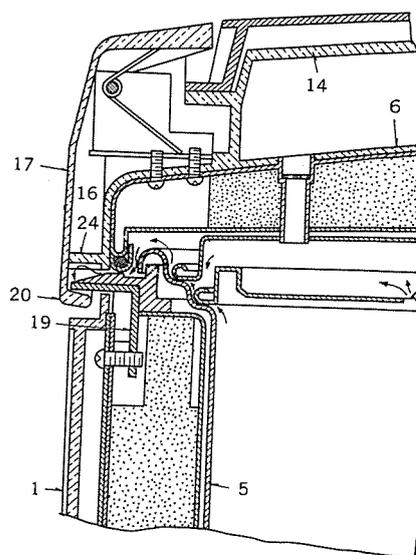
従来のこの種の装置は、炊飯によって内釜内に発生する水蒸気が本体と蓋体との周縁部から流出した場合に掛け金と把手との間に侵入し、その取付部材等に蒸気による悪影響がでていた。

この考案は、この従来の方法にかえて図に示すように、内釜(5)を収納した本体(1)と、この本体(1)の上部開口を開閉自在に覆う蓋体(6)と、この蓋体(6)に固定され側端部に一部が開いた空所(16)を形成した把手(14)と、この把手(14)の空所(16)内にその開口を覆うよう回転自在に装着され、本体(1)の受け金(19)に先端鉤部(20)を着脱自在に係合させた掛け金(17)とからなり、把手(14)または掛け金(17)には掛け金(17)の先端鉤部(20)と受け金(19)との係合時に把手(14)及び掛け金(17)で覆われた空所(16)の下端開口部を閉塞状とする仕切板(24)を一体に設けたものである。

したがって、この方法は従来のものと比較して次のような特長がある。

(1) 把手または掛け金にはその空所の本体側の端部をその接合により略閉塞状とする仕切板を一体に設けたので、炊飯時において内釜内に発生した水蒸気の一部が本体の周縁と蓋体の周縁との間から

把手の掛け金部分に流出した場合に、この水蒸気が把手と掛け金との間に侵入することは極力阻止され、掛け金のばねあるいはその取付部材等を蒸気の悪影響から効果的に保護することができる。



## 送風機 (実用新案 第1226807号)

考案者 長嶺元

この考案は、送風を変向自在に集中吐風させると共に吐風量を調節自在となし、その取扱性を良好とし、かつ安全性を高めた利便な送風機に関するものである。

従来のこの種の装置は、吐風圧によって握り部が挿入しづらくなったり、浮きあがったりした。また、吐風が遮断されて、ヒータが赤熱し安全面からも問題があった。

この考案は、この従来の方法にかえて図に示すように、吸込口(2)を有する吸気室(3)と排出口(4)を有する排気室(5)とをブロー(6)を介して連通させるとともに、排出口(4)には該排出口(4)からの送風をその先端握り部(8)へ導く可撓ホース(7)を接続し、かつこの握り部(8)を着脱自在に保持すると共に、装着時における握り部(8)からの吐風を外側へ逃す貫通孔(16)を有するホルダー(10)を設け、該ホルダー(10)を操作することにより排気室(5)と外部を連

通する開口を調節するように構成する。また、本体ケース(1)に固定された外周の一部に連通孔(13)、中央部に貫通孔(16)を有する断面皿状の突出筒体(14)に回転自在に挿着し、かつ、ホルダー(10)の回転により連通孔(12)、(13)で構成される開口の大きさが調節されるように構成する。(15)は脚である。つまみ部(11)を持ってホルダー(10)を回転させて連通孔(12)、(13)を閉鎖するようになり、電源スイッチを閉じると、ブロー(6)が駆動して外気を吸込口(2)→吸気室(3)→ブロー(6)→排気室(5)→排出口(4)→可撓ホース(7)→握り部(8)と順次通過させて握り部(8)から集中吐風する。

したがって、この方法は従来のものと比較して次のような特長がある。

(1) 毛髪をほぐしたり整えたりする時などのように握り部を短時間手から離したい時は握り部をホルダーに差し込み保持させるだけの

# 特許と新案

- 簡単な操作で安定な状態で載置でき、再び引き出して使用できる。
- (2) 握り部が可撓ホースの吐風端に接続されているので、この握り部が人為的に自在の方向に向けられ吐風方向が容易に変換できるので操作性がよい。
- (3) 握り部からの吐風風量を調節できるようにしてあるため、好みの風量を得ることができる。

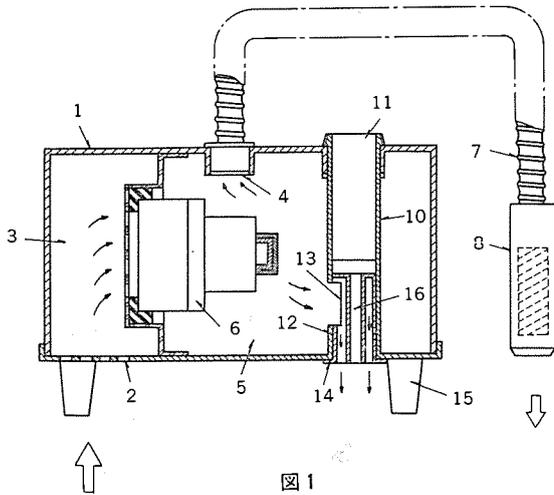


図 1

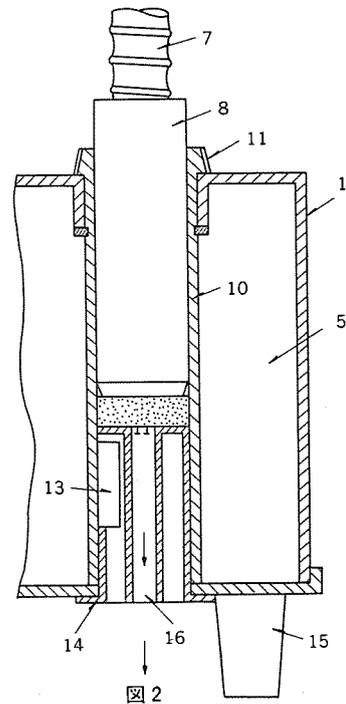


図 2

## 単相誘導電動機 (実用新案 第 1306615 号)

考案者 野口昌介

この考案は、タップ切換によって速度調整を行う単相誘導電動機に関するものである。

従来のこの種の装置は、外部に速度調整用リアクトルを直列に挿入してタップ切換を行うものと内部に速度調整巻線を設けてこれのタップ切換により速度調整を行うものがあった。

この考案は、この従来の方法にかえて図に示すように、タップ切換スイッチ(5)の可動接点側は直列なる補助巻線(2)の一端に接続され、また、この補助巻線(2)の他端はコンデンサ(3)を介して主巻線(1)のS、S極の一端に接続されている。主巻線(1)の両端にかかる供給電圧を、この主巻線(1)の分割された巻線  $N_1'$ 、 $N_1''$ 、 $S_2$  によって変化させた状態で補助巻線(2)に加え、これによって、実質的に主巻線(1)と補助巻線(2)の巻数を変換させた形にして、所定の速度トルク特性を得ようとするものである。すなわち、補助巻線(2)に全電圧が印加されるタップIが最も高い速度トルク特性を示し、また、補助巻線(2)に最も低い電圧が印加されて、巻数比が最も小となる形のタップIIIが最も低い速度トルク特性を示し、さらにまたタップIIはこれの中間的特性を示すものである。

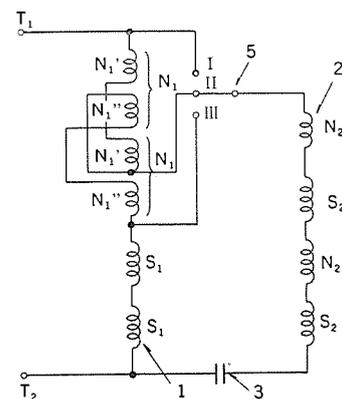
したがって、この方法は従来のものと比較して次のような特長がある。

- (1) 速度調整用リアクトルや、速度調整巻線を必要としないので、

製作工数が減少するばかりか、材料費が節減されるので、原価低減に貢献する。

(2) 主巻線を利用して速度制御を行うようにしたので、巻線の利用率が高い。

(3) 回転子の回転に対してタップ切換時に振動を与えることが少ないから騒音発生が少なく、ファン用モータとして多用される電動機として低騒音の速度切換機能を持つものが得られる。



# 高圧配電線用電撃防止器

遠藤光一\*・望月友良\*・加藤博明\*\*・増田直毅\*\*\*

## 1. ま え が き

近年の電力需要の増大に伴い、電力の供給停止は非常に大きな問題となってきた。そのために高圧配電系統における諸工事が、やむを得ず活線又は活線に近接した状態で行われることもあり、その際に万一の感電事故災害から作業者を救済するという事は非常に重要な課題である。感電事故災害を防止する方法として、現在のところ保護具、防具などを使用して作業をしているが、作業者の錯覚や防護不足などによる感電事故が時として発生する現状にある。そこでこのような事故の極減を期すために、東京電力(株)では配電線路及び作業者感電事故災害の実態分析と基本的原理の解析結果に基づき、次に示す原理の電撃防止器の実用化について検討してきた。三菱電機(株)は昭和55年度より本研究の委託を受け、作業の都度、現場に運搬し設置できる可搬形の電撃防止器の開発を進めている。

電撃防止器とは、三相高圧配電線にて発生する感電事故において、人体への通電時間を最小限にとどめることにより、安全を確保しようとするものである。これまでのところ実用試作器(図1.)の製作を完了し、実用性能を検証するために実規模と等価の配電線により基本性能試験、特殊地絡試験及び実際に動物を用いての電撃軽減性能の検証試験を実施したところ良好な結果が得られている。

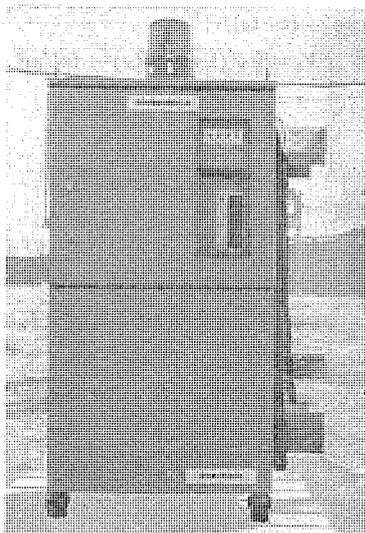


図1. 電撃防止器概観

## 2. 電撃防止器の概要

高圧配電線における感電事故は、そのほとんどが人体を介しての地絡現象に起因するものである。地絡事故発生の際には変電所リレーにより検出しゃ断しているが、感電事故の防止を目的としたリレー感度、しゃ断速度ではないことから、万一の感電事故の際にはほとんど保護することができず、また他の地絡事故検出との協調面も考慮すると変電所リレーとは別の方式を検討することが必要であった。

感電事故は人体に電流が流れるために発生するもので、これを防止する方法としては次の二つが考えられる。

- (1) 感電事故の発生した回路を電源回路からしゃ断する。
- (2) 感電相を強制的に接地し、人体に印加される電圧を零にする。(地絡電流のバイパス回路を作る。)

(1)の方法は、低圧回路における漏電しゃ断器で適用されているが、高圧において現行の配電線に適用する場合には、開閉器の改良及び取替えなど実用面で多くの問題があり、また動作速度も(2)の方法に比べて遅いため、(2)の方法により開発を進めている。

また今回の開発においては、特に次の2点を主体に開発を進めた。

- (1) 地絡相検出性能及び精度の向上
- (2) 小形、高信頼度の高速投入器の開発

(1)については、事故時に発生する零相電圧を利用した検出方法を工夫改善し、また常時発生している残留零相電圧の影響を除去する機能も有した高感度な地絡相検出回路(地絡検出部)を開発した。(2)についても、電磁反発力を利用した機械式高速投入器(強制接地部)の開発により小形、高速化が可能となった。

## 3. 構 成

本器の主な構成要素としては、分圧部及び上述の地絡検出部、強制接地部がある。またこのほかに、主開閉器(保護ヒューズ付き)、電源トランスなども含まれる。図2.に示すように、高圧配電線から高圧ケーブルにより電撃防止器に高圧を引き込み、主開閉器、保護ヒューズを介して、分圧器及び高速投入器に接続される。分圧器の出力

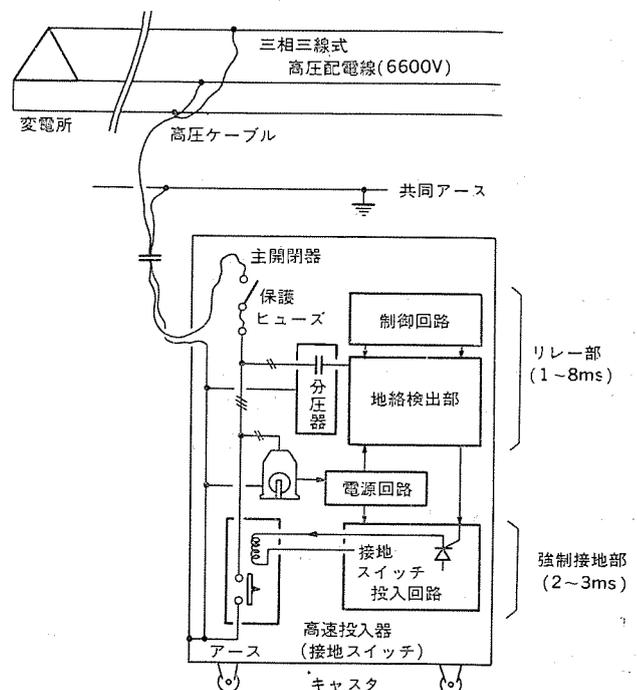


図2. 電撃防止器構成

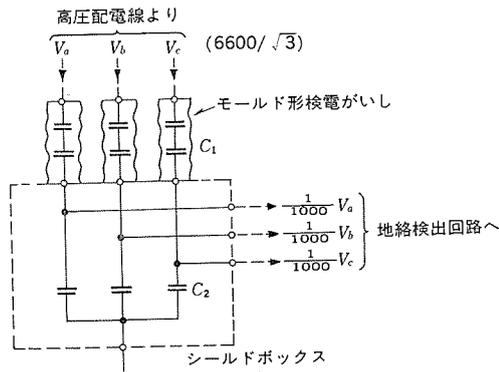


図 3. 分圧器の構成図

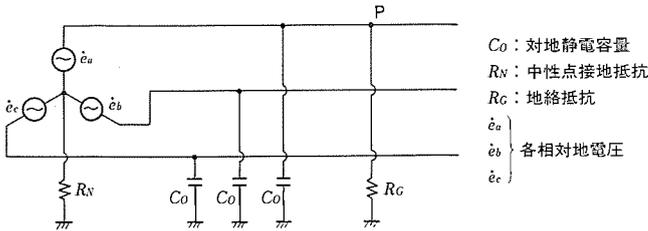


図 4. 地絡模擬回路

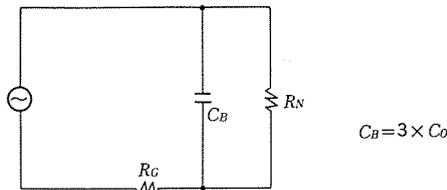


図 5. 零相等価回路

により地絡検出部が地絡相を判別し、接地スイッチ投入回路により高速投入器（接地スイッチ）を動作させる。

### 3.1 分圧部

分圧部は容量形分圧器であり、高压の各相電圧（対地間 3,800 V rms）を電子回路（地絡検出部）に入力可能なレベル（±15 V 以内）に分圧する作用をする。基本構成を図 3. に示す。図において、高压の各相電圧を  $E$  とした場合、分圧部の出力電圧  $E_0$  は次式で示される。

$$E_0 = E \cdot C_1 / C_2 \dots \dots \dots (1)$$

$C_1$  には耐電圧性能に優れたエポキシモールド形の検電がいしを、 $C_2$  には通常のセラミックコンデンサを用いている。 $C_1, C_2$  の値はそれぞれ約 250 pF, 0.25 μF とし、分圧比を 1/1,000 とした。

### 3.2 地絡検出部

地絡検出部は、感電事故（地絡事故）発生時の線路の現象から地絡事故の有無と地絡相を検出する作用をし、電撃防止器全体の特性に大きな影響を与える。このような点を考慮して、高速でかつ信頼度の高い検出方法について研究した。

#### 3.2.1 地絡事故現象

地絡事故発生時の顕著な現象として、各相電圧の不平衡による零相電圧の発生があげられる。

図 4. は三相高压配電線において、A 相の任意の一点 P で地絡事故が発生したときの配電系統の状態を模擬した回路であり、これを零相についての等価回路にしたものが図 5. である。これらの回路から、地絡事故時には次式にて示される零相電圧が発生する。

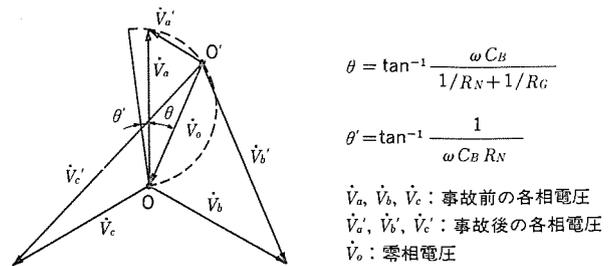


図 6. 一線地絡時のベクトル関係図

$$\dot{V}_0 = -\frac{\dot{V}_a}{\sqrt{(1+R_G/R_N)^2 + (\omega C_B R_G)^2}} \cdot \varepsilon^{-j\theta} \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{ただし } \theta = \tan^{-1} \omega C_B R \begin{cases} R = 1/(1/R_N + 1/R_G) \\ C_B = 3 C_0 \end{cases}$$

この零相電圧と各相電圧のベクトル関係を示したものが図 6. であり、零相電圧は地絡抵抗  $R_G$  及び静電容量  $C_B$  により、同図中破線にて示す円線図上を動く。

実際の配電線においては、上述の定常的な現象に加えて、線路の各定数 ( $C_B, R_N, R_G$ ) 及び地絡事故の発生位相などに依存した過渡的な現象も発生する。健全時の各相電圧を式 (3) に示す。

$$\begin{cases} v_a(t) = E \cdot \sin(\omega t + \varphi) \\ v_b(t) = E \cdot \sin(\omega t + \varphi - \frac{2}{3}\pi) \dots \dots \dots (3) \\ v_c(t) = E \cdot \sin(\omega t + \varphi - \frac{4}{3}\pi) \end{cases}$$

$$\text{ただし } E = 6,600 \times \sqrt{2} / \sqrt{3} \text{ (V)}$$

したがって、A 相にて地絡事故が発生した場合の過渡現象まで含めた零相電圧  $v_0(t)$  は式 (4) にて示す形となる。

$$v_0(t) = -V_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi - \theta) + V_0 \cdot \sin(\omega t_G + \varphi - \theta) \cdot \exp\{-(t-t_G)/\tau\} \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{ただし, } \begin{cases} V_0 = E / \sqrt{(1+R_G/R_N)^2 + (\omega C_B R_G)^2} \\ \tau = C_B \cdot R \\ \theta = \tan^{-1} \omega \tau \\ t_G = \text{地絡事故が発生した時刻} \end{cases}$$

#### 3.2.2 検出原理

以上のような地絡事故現象から地絡事故の発生及びその相を検出するのであるが、線路容量  $C_B$  及び地絡抵抗  $R_G$  が共に大きい場合は、零相電圧及び各相電圧の変動は非常に少なく、これらの信号をそのまま使用して検出することは非常に困難である。そこで、今回はこれらの信号にアナログ演算を施した量により検出する方法を検討した。

具体的には、まず最初に各相電圧から位相が  $\alpha$  だけ遅れた電圧  $u_a, u_b, u_c$  (以後参照電圧とする) を考える。(式 (5) 参照)

$$\begin{cases} u_a(t) = E \cdot \sin(\omega t + \varphi - \alpha) \\ u_b(t) = E \cdot \sin(\omega t + \varphi - \frac{2}{3}\pi - \alpha) \dots \dots \dots (5) \\ u_c(t) = E \cdot \sin(\omega t + \varphi - \frac{4}{3}\pi - \alpha) \end{cases}$$

図 7. に、この参照電圧も含めた事故時のベクトル関係を示す。この図からもわかるように、零相電圧の各参照電圧方向成分（零相電圧に相当するベクトルと各参照電圧に相当するベクトルとの内積）を考えると、事故相に相当する成分のみが絶対値の大きい負の値をとり、他相に関してはほぼ零に近い値か正の値をとる。これらのことから地絡事故の発生及び地絡相を検出する。更に、このままの状態

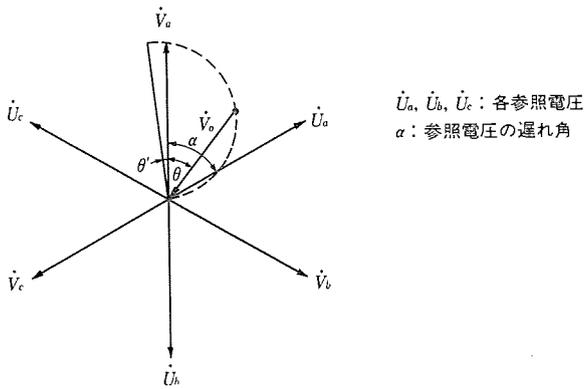


図 7. 検出原理図

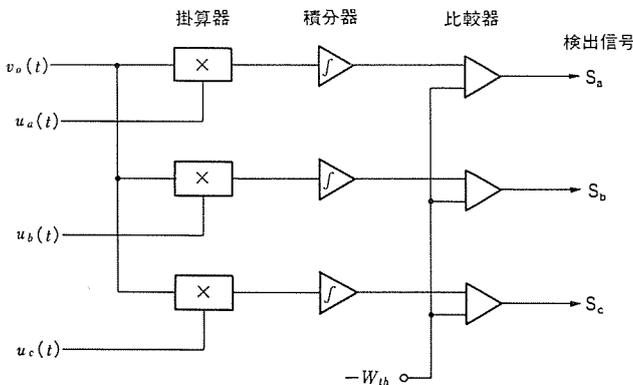


図 8. 地絡検出部構成概略図

では瞬時的なノイズによる誤動作及び回路の精度上の問題もあるので、これらの諸量に時間積分を施し、これらの積分量により検出する。(式(6)参照)

$$\begin{cases} W_a = \int v_0(t) \cdot u_a(t) dt \\ W_b = \int v_0(t) \cdot u_b(t) dt \dots \dots \dots (6) \\ W_c = \int v_0(t) \cdot u_c(t) dt \end{cases}$$

これらの各積分量の中で、地絡直後負の方向に増加するものがあるときは、それに対応した相で地絡事故が発生したものと判定する。この方式に基づく検出回路の構成の概略を図 8. に示す。これにより 1~7 ms 程度での検出が可能となった。

### 3.3 強制接地部

強制接地部は、感電事故が発生した相を強制的に接地して、人体への印加電圧を零にするためのものである。したがって以下の条件を満足するものでなければならない。

- (1) 開極時の絶縁耐力が高く、高インピーダンスである。
- (2) 高速投入が可能であり、かつ残留電圧が零である。

以上の点をかんがみて、電磁反発力を駆動力として直接利用する方法を検討した。

強制接地部は高速投入器とその投入回路からなる。高速投入器は図 9. に示すように、駆動コイルにコンデンサの放電電流を流したときに発生する磁界と非磁性体に誘起される渦電流との電磁反発力により可動接点を直接駆動している。図 10. に試作装置の外観を示す。6.6 kV 高圧配電線への適用を考え、気中絶縁により 6 号 B 級の絶縁耐力を確保するために、高低圧電極間のギャップ長を 20 mm として

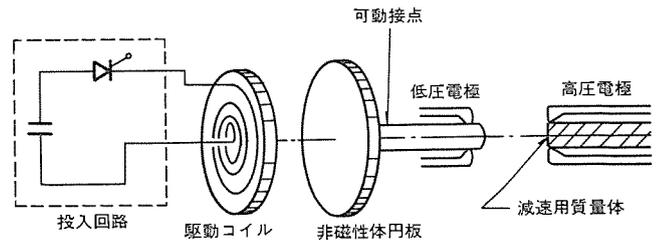


図 9. 高速投入器原理図

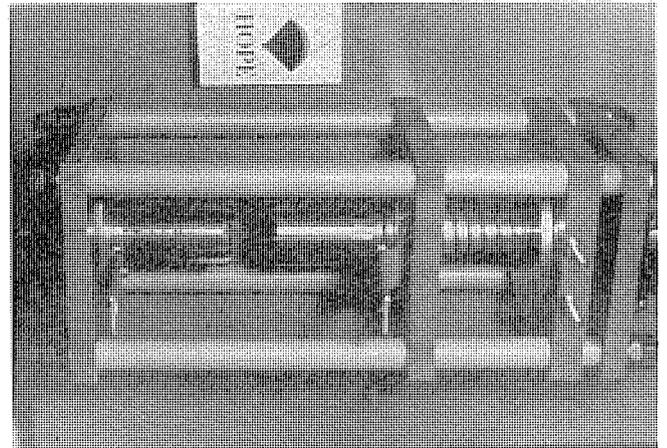


図 10. 高速投入器概観

いる。20 mm のギャップを 2 ms 程度で導通させるためには、10 m/s の投入速度が必要であるが、上記のように電磁反発力を直接利用することにより 10 m/s 以上の投入速度を得ることが可能となった。また投入時のチャタリング対策として、図 9. に示すように高圧電極をフィン形状にするとともに、可動接点が高圧電極に接触する直前に可動接点を質量体に衝突させ、可動接点の速度を急激に減速させることにより、高圧電極に衝撃力が加わらないようにしてチャタリングを防止している。また、この質量体と可動接点の衝突時の衝撃力に対する機械的強度の問題もあるが、可動接点に高力アルミニウムを使用することにより解決でき、1,000 回の寿命を保証している。

また投入回路は図 9. の中で破線で囲んだ部分であるが、基本的にはコンデンサとサイリスタからなる。地絡検出部からの信号により検出相のサイリスタがオン状態になり、コンデンサの放電電流が高速投入器の駆動コイルに流れ、高速投入器が動作する。

以上の方式を適用することにより、2~2.5 ms 程度での高速投入が可能となった。

### 3.4 その他

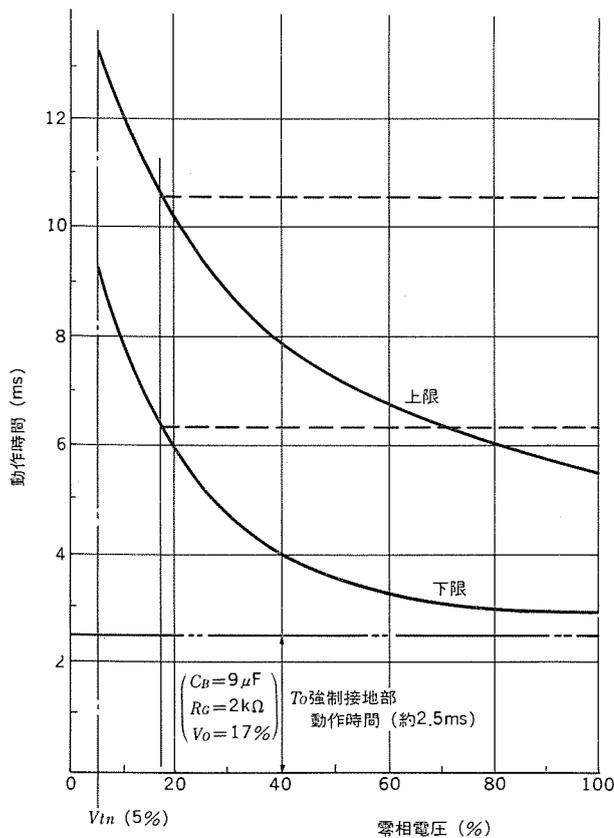
以上の主要部とは別に、実際に現場で電撃防止器を安全に運転するために次に示すものが必要である。

#### 3.4.1 電源トランス

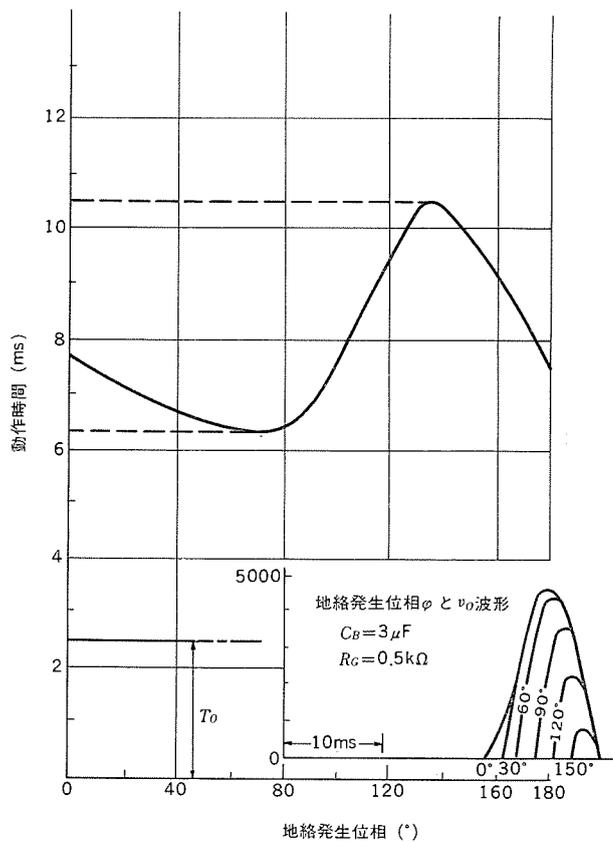
本器を高圧配電線に接続した状態で、内部の各機器(地絡検出部、強制接地部など)を駆動するための電源(AC 110 V)を作り出している。これにより、運転の際にバッテリーなどの内部電源及び外部からの別電源を必要としない。

#### 3.4.2 主開閉器(保護ヒューズ付き)

主開閉器は、上記電源トランスの負荷電流を開閉するためのものであり、本器を安全に取扱うのに欠くことができない。また、ヒューズは電撃防止器内部での異相地絡事故に対する保護を目的としている。



(a)  $V_0$ - $T$  特性



(b)  $\phi$ - $T$  特性

図 11. 基本性能試験結果

#### 4. 試験項目と結果

##### 4.1 基本性能試験

既に述べたように、感電災害は人体を介しての地絡現象に起因するものである。そこで人体を純抵抗性とみなし、抵抗地絡時の電撃防止器の動作速度を基本性能としている。図 11. (a), (b) は基本性能試験結果を示すものである。図 11. (a) は地絡時に発生する零相電圧と動作時間との関係 ( $V_0$ - $T$  特性と称する) を示しており、 $V_0$  の値が小さくなるにつれて動作速度が低下している。図 11. (b) は同一種類の地絡事故 (この図では  $C_B=9\mu\text{F}$ ,  $R_G=2\text{k}\Omega$ ,  $V_0=17\%$ ) において、地絡発生位相と動作時間の関係 ( $\phi$ - $T$  特性と称する) を示している。これらの図によると零相電圧が 15% 程度発生する場合には最大でも 10 ms 程度で動作している。

##### 4.2 特殊性能試験

上記の基本性能とは別に、実線路での特殊状況下における安定動作を確認するために次の試験を実施したが、そのいずれにおいても良好な結果が得られた。

###### 4.2.1 電圧不平衡性能

各相対地静電容量及び負荷の不平衡などの理由により、各相電圧が不平衡な状況での動作性能。

###### 4.2.2 間欠地絡性能

不良がいし、ケーブルなどにより間欠性の地絡現象を発生させた場合の動作性能。

###### 4.3 生体を用いた電撃軽減性能

これは本器の最も重要な課題であり、昨年及び今年二度にわたり実施した。試験では、うさぎと犬を用いて各種条件にて実施したが、すべてにおいて良好な結果が得られており、本器の生体に対する電撃軽減効果の大きさが確認できた。

#### 5. むすび

感電災害の防止を図るための電撃防止器の開発に着手し、実用試作器の設計、製作に成功した。その結果、4 章にて述べたような性能が得られた。これとは別に地絡検出部のみを実線路に長期間設置して、検出部の感度と実線路の状況との協調度も調査した。この結果、この試作器は基本的には実用化の見通しが得られている。しかし、本器を現場に適用するには動作信頼度など若干の問題も残されている。今後は、更に適用上の検討を加えた高信頼度の実用器を開発してゆく予定である。

終わりに、本器の開発にあたり御尽力いただいた東京電力(株)及び三菱電機(株)関係者各位に深く感謝の意を表する次第である。

# 抵抗溶接機用漏電遮断器

有信 一郎\*・近藤 邦昭\*・赤木 則夫\*

## 1. ま え が き

近年、人身保護・設備財産保護の両見地から漏電遮断器の有用性の認識が高まり、法的な設置義務づけとあいまって電気設備・電気工事業界はもとより、一般住宅から工場、学校、病院に至るまで広範囲に使用されてきている。また、漏電遮断器の種類や性能についても技術的進歩はめざましく、多様化・高性能化・高品質化が進められている。しかし工場設備、中でも抵抗溶接機のように非常に特殊な条件下で使用される設備に対しては、一般の漏電遮断器では十分な保護が期待できず、一部に特殊仕様として個別に開発・改良が進められているにすぎない。

当社では、このような様々な市場の要求に対応できる多様化製品の開発の一環として、比較的需要の多い抵抗溶接機（特にスポット溶接機）回路に適用できる漏電遮断器 NV-TA シリーズを開発したので、その仕様・性能の概要を技術的考察をふまえ紹介する。

## 2. 抵抗溶接機用漏電遮断器 NV-TA シリーズ

抵抗溶接とは、部材に大電流を流し発生するジュール熱により溶接するもので、短時間の断続通電をするのが特徴である。また図 1. に示すように、抵抗溶接は溶接に際し大電流を必要とし、サイリスタ（古いものではイグナロン）などの電圧制御素子を用いて波形制御及び通電時間（サイクル）制御を行い、最適な溶接条件を設定するのが一般的である。

したがって、このような電路に設置する漏電遮断器は、波形制御された大電流の断続通電に耐え、かつ安定な性能を要求される。また、溶接機のトランスや配電線が 50% 使用率を基準に選定される（JIS C 9305：抵抗溶接機通則）ので、制御回路の故障やサイリスタなどの制御素子が破壊した場合にはトランスや配電線に全負荷がかかり、機器の寿命を短かくさせて発熱や絶縁劣化も懸念され非常に危険であり、

このような異常な通電に対し保護機能が要求される。しかし、一般の過負荷保護機能を有する配線用遮断器（NFB）や漏電遮断器では動作時間が長く、完全な保護が期待できない。抵抗溶接機用漏電遮断器 NV-TA シリーズは、地絡保護、短絡保護に加え、この異常通電の保護をも可能としたものである。

### 2.1 仕様と特長

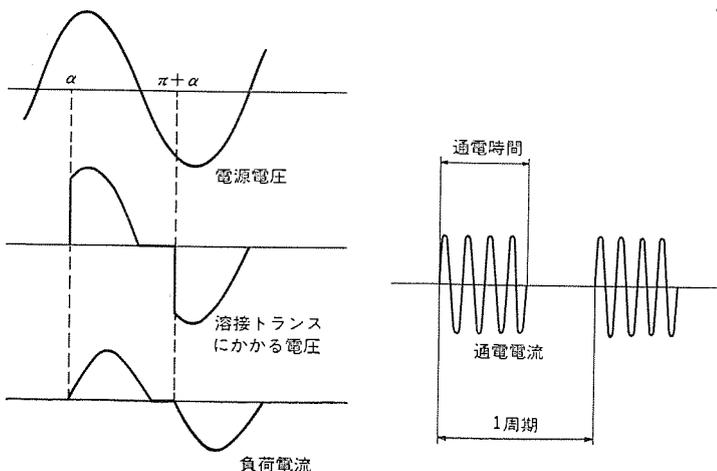
NV-TA シリーズの仕様を表 1. に、その外観を図 2. に示す。これらは、次のような特長を備えている。

#### (1) 電流検出方式を採用

専用 CT で、電路に流れる溶接電流を直接検出する。

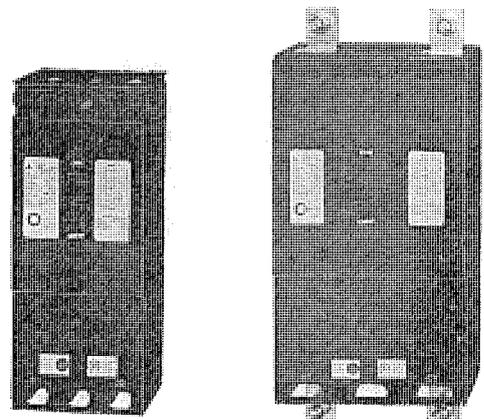
表 1. 抵抗溶接機用漏電遮断器の仕様

形 名		NV 225-TA	NV 400-TA
フレームの大きさ (A)		225	400
極 数		2	2
定格通電電流 (A)		225	400
定格電圧 (使用範囲) AC (V)		200(160~242) 415(320~484)	
臨時引外し電流 (A)		固定 3,000	固定 6,000
定格遮断電流 (asym) (kA)	AC 200 V	50	100
	AC 415 V	35	50
地絡検出部	定格感度電流 (mA)	30 (200, 500)	
	定格不動作電流 (mA)	15 (100, 250)	
	動作時間 (s)	0.1 以下	
	平衡特性 (A)	3,500	6,500
タイマ部	タイマ駆動方式	電流検出方式	
	起動信号入力 (A)	5 以上	
	通電時間設定範囲 (s)	(50 Hz 0.2~1.4) (60 Hz 0.17~1.1) 10~70 サイクル連続可変	
	最大復帰時間 (s)	0.1 (溶接間隔は 0.1 s 以上必要)	
	設定時間誤差 (s)	設定値の ±20%	
繰返し精度 (s)	±0.02		
端子接続方式		圧着端子・バー端子用	バー端子付
標準付属品		端子取付用ボルト	
製品重量 (kg)		7.5	13



(a) 位相制御波形 ( $\alpha$ : 点弧角) (b) 通電時間制御波形

図 1. 位相制御波形と通電時間制御波形の例



(a) NV 225-TA 形 (b) NV 400-TA 形

図 2. 抵抗溶接機用漏電遮断器の外観

(2) 溶接条件に合わせた時間設定が可能

専用の電子式タイマにより、タイマ動作の設定時間を10~70サイクルの間で連続的に可変でき、溶接条件に合わせて最適な保護ができる。

(3) 一体化してコンパクト

電子式タイマなどすべての機能を内蔵し、標準形の漏電遮断器と同一寸法としコンパクトな一体形とした。

## 2.2 構造と動作原理

NV-TAシリーズは、図3.及び図4.に示すように、瞬時引き外し装置のみ付き(マグオンリー)二極遮断器部、漏電検出部、異常通電検出専用タイマ及び地絡動作、異常通電検出作用の電磁引き外し装置で構成しており、通電電流検出用の専用CTは図5.に示すように、瞬時引外し機能を有するトリップユニット部の片側にコンパクトに装着している。

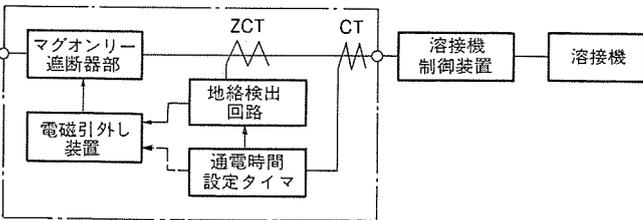


図3. NV-TAシリーズ機能ブロック図

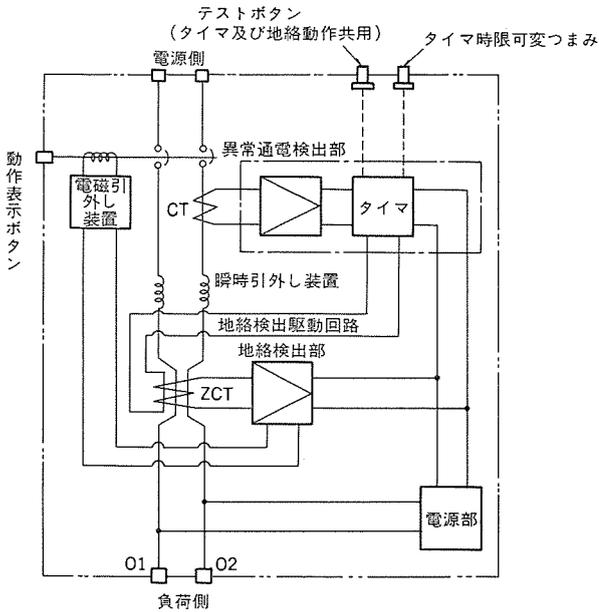


図4. 内部接続図

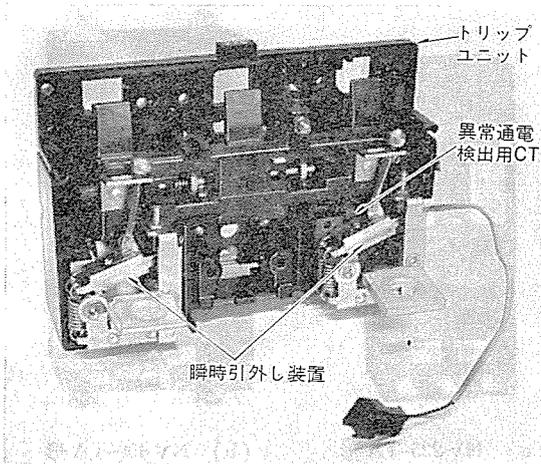


図5. トリップユニット部の外観 (NV 225-TAの例)

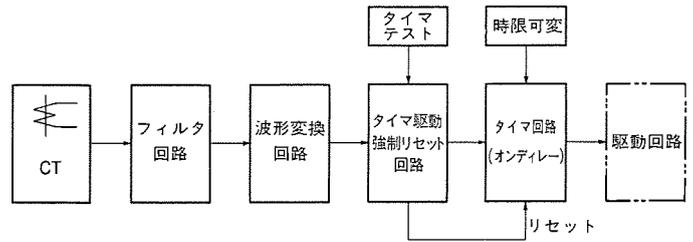


図6. タイマ部の機能ブロック図

着している。

次に動作原理について開発の考慮事項をふまえて、機能別にその概要を述べる。

### (1) 異常通電に対する保護機能

異常通電とは、制御回路の異常、サイリスタの破壊により所定の通電時間以上の通電が行われた状態をいうが、この異常通電の検出は、溶接トランス一次側の通電電流を直接CTによりピックアップしてタイマ回路を駆動し、所定のタイマ設定時間を経過した後も通電が連続して行われた場合には直ちに動作信号を発生させ、漏電検出部を介して電磁引き外し装置が駆動して遮断器を自動遮断する。

図6.にタイマ部の機能ブロック図を示す。専用CTによってピックアップされた通電電流の信号は、CTの残留磁気エネルギーの影響を無くするためのフィルタ回路から波形変換回路を介して、タイマ駆動・強制リセット回路へ送られ、タイマ回路を駆動する。このタイマ回路は、いわゆるオンディレイ形であって、所定のタイマ設定時間以内に通電が停止すると強制リセット回路が働いて、瞬時にリセットし次の通電に備える。したがって、動作時間の設定値は溶接時間より多少長めに設定しておく。

### (2) 地絡事故に対する保護機能

NV-TAシリーズの地絡検出方式は、いわゆる電流検出方式を採用しており、零相変流器(ZCT)により地絡電流を検出し、地絡検出回路を介して地絡電流が所定の値を超えた場合に電磁引き外し装置を励磁して、遮断器を自動遮断する。また地絡検出部には、当社が開発した漏電遮断器専用のICを使用しており、ZCTの出力信号は増幅器を介して波形変換回路に送られ、レベル判別器に入力するように構成している。

この場合、抵抗溶接機回路は負荷が位相制御されており、制御素子の負荷側電路の地絡電流も当然位相制御されるので、地絡検出機能としては、この点も十分考慮されていなければならないが、NV-TAシリーズでは、点弧角120~150°程度までの位相制御された地絡電流に対し検出能力をもつよう設計しており、通常使用される30~60°程度の点弧角における地絡電流の検出には、何ら支障なく十分な地絡保護能力をもたせている。

### (3) 短絡事故に対する保護機能

遮断器の負荷側で短絡事故が発生した場合は、瞬時引き外し装置が働き、瞬時に遮断器を自動遮断する。この場合の瞬時引き外し電流の値は、溶接機の過渡突入励磁電流に対し誤動作しないよう決定しなければならないが、NV 225-TAでは3,000 A、NV 400-TAでは6,000 Aを標準にしている。

### 2.3 CTによる通電電流の検出

NV-TAシリーズに採用した通電電流検出用CTは、鉄心にけい素鋼板を用いた閉磁路CTであって、図5.に示したように遮断器のトリップユニット内に装着している。また、CTの一次巻線はトリップユニット

の瞬時引外し用導体と共用することにより貫通形 CT を構成しており、二次巻線は外部磁界・ノイズなどの外部からの誘導を避けるため、2分割巻きを行いその影響を低減している。

貫通形 CT の一次側インピーダンスを  $\dot{Z}_p$ 、二次側インピーダンスを  $\dot{Z}_s$ 、相互インピーダンスを  $\dot{Z}_m$ 、二次巻線を  $W_2$ 、巻数比  $1/W_2=a$ 、二次側の負担インピーダンスを  $\dot{Z}_b$  とし一次側、二次側の電圧、電流にそれぞれ添え字 1, 2 をつけるものとする、周知のように下式が成立する。

$$\dot{V}_1 = \dot{Z}_p \dot{I}_1 + \dot{Z}_m \dot{I}_2 = \dot{Z}_p \dot{I}_1 + a \dot{Z}_m (\dot{I}_0/a) \dots\dots\dots (1)$$

$$\dot{Z}_s \dot{I}_2 = \dot{Z}_m \dot{I}_1 + \dot{Z}_b \dot{I}_2 = \dot{Z}_m \dot{I}_1 + (\dot{Z}_m/a) \dot{I}_0 + \dot{V}_2 = 0 \dots (2)$$

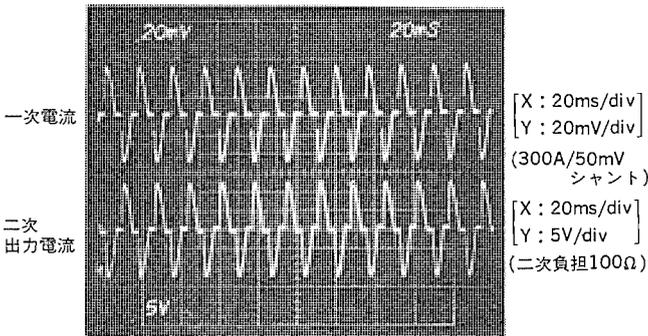
ここで 
$$\begin{cases} \dot{I}_0 = a \dot{I}_1 + \dot{I}_2, & \dot{V}_2 = \dot{Z}_b \dot{I}_2 \\ \dot{Z}_1 \dot{I}_1 = \dot{Z}_p - a \dot{Z}_m & \dots\dots\dots (3) \\ \dot{Z}_2 \dot{I}_2 = \dot{Z}_s - \dot{Z}_m/a \end{cases}$$

よって一次、二次電流の関係は次式で与えられる。

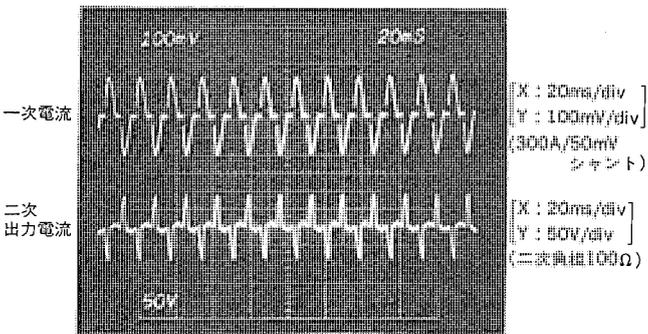
$$\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = -\frac{1}{a} \left[ 1 + \frac{\dot{Z}_m}{a} (\dot{Z}_2 + \dot{Z}_b) \right] \dots\dots\dots (4)$$

したがって、CT の変流比  $\dot{I}_1/\dot{I}_2$  は巻数比に正確には一致しないことが分かる。これは CT の励磁電流の影響によるもので、誤差を小さくするためには、励磁電流を小さくする必要があるが、貫通形 CT を構成する都合上一次アンペア回数を大きくとれないため、鉄心材料を良質なものを使用するなどして対策しているが、励磁アドミタンスの影響を無視することはできない。また、抵抗溶接機回路の通電電流は一般に非常に大きい、CT の検出機能としては小電流から大電流（数 A ～ 数千 A）まで検出範囲の広いものが必要であり、小形 CT を使用する場合は、鉄心の飽和に関しても十分に考慮する必要がある。

すなわち CT のもつ検出機能として、小電流領域で通電電流のレ



(a) 一次電流 100A の場合



(b) 一次電流 800A の場合

図 7. CT の二次出力波形の例（純抵抗負荷、点弧角：約 60°）

ベルに判別と通電時間の測定を行い、大電流領域では単に通電時間の測定のみを使用するように構成しており、かつ飽和点をできるだけ上げるため、CT の二次負担を大電流領域で低減するようにしている。また通電電流が位相制御されるため、CT の二次出力の波形はひず（歪）むが、この歪に対してもタイマ部の入力回路で波形変換を行い、波形処理方法の改善によるタイマ機能に影響しない方式を採用して CT の小形化を図っている。

図 7. に NV-TA シリーズに採用した CT の二次出力波形の例を示す。これより、100A 程度までは飽和しておらず、800A では既に飽和領域に入っていることが分かる。

## 2. 4 特性と性能

### (1) 通電電流のピックアップ特性

通電電流のピックアップ特性を図 8. に示す。同図より明らかなように、回路力率が低くなるとピックアップ電流感度が鈍化し、また点弧角が大きくなるとピックアップ電流感度が鋭敏となる傾向をもつ。しかし、一般に抵抗溶接機回路の力率は、0.4～0.6 であり、点弧角も 30～60° 付近の制御が一般的であるので、通常の使用に際しては特に問題とはならない。また、ピックアップ電流の周囲温度特性を図 9. に示す。これより -10～80°C まで非常に安定であり、良好な特性を示していることが分かる。

### (2) タイマの動作時間特性

図 10. にタイマの動作時間の周囲温度特性を示す。タイマの動作時間（サイクル数）の上限の 70 サイクル及び下限の 10 サイクルに設定した場合、共に -10～80°C の範囲で非常に安全であることが分かる。このタイマ動作は、溶接期間中常に動作を繰返すので、繰返し精度の安定

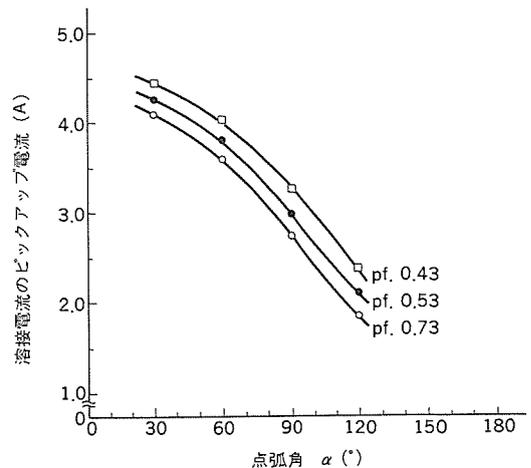


図 8. 溶接電流のピックアップ特性の例

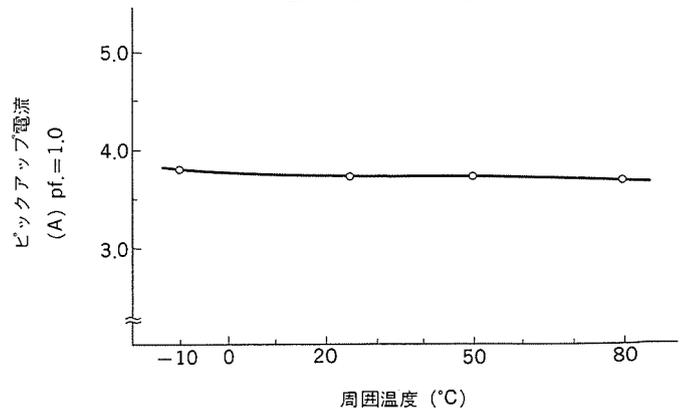


図 9. ピックアップ電流の周囲温度特性 (Typ.)

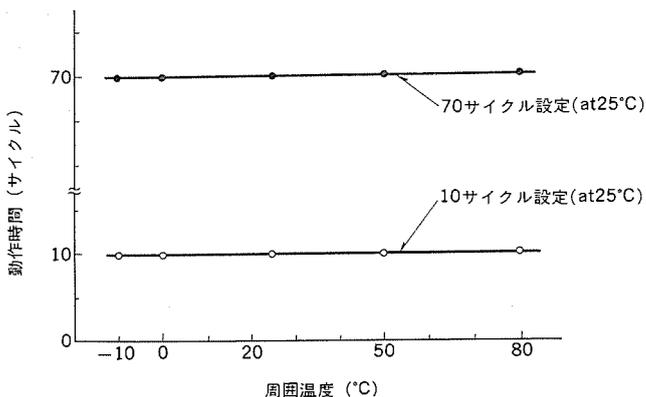


図 10. タイマ動作時間の周囲温度特性 (Typ.)

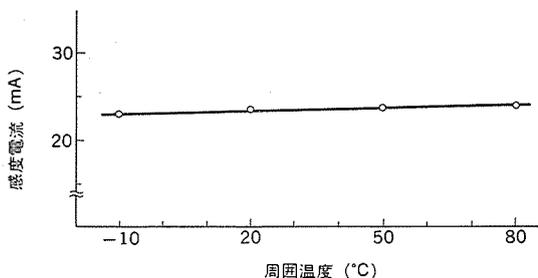


図 11. 感度電流の周囲温度特性 (Typ.)

性も重要な性能である。また、データは省略するが繰返し精度も非常に安定であることを確認している。次に、回路の信頼性についても、タンタルコンデンサの採用、デレーティングを十分行うなど経年変化に対しても十分に考慮した設計を行い、信頼性の高いものとしている。

(3) 感度電流特性

感度電流の周囲温度特性を図 11. に示す。温度特性に影響する要因は、ZCT、電子部品個々の温度特性に左右されるが、ZCT との組合せで温度補償を行った漏電遮断器専用 IC を採用することによって、感度電流の周囲温度特性は非常に安定している。

次に、抵抗接溶機回路で考慮する必要のある地絡電流が位相制御

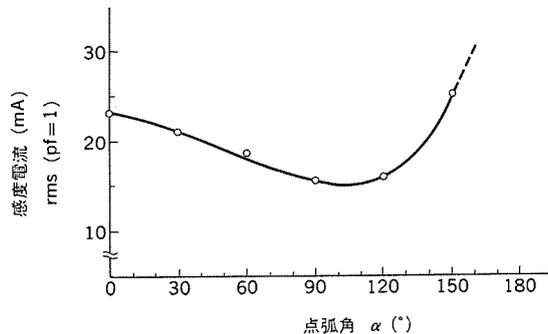


図 12. 地絡電流が位相制御された場合の感度電流特性 (Typ.)

表 2. 感度電流とピックアップ電流の外部磁界の影響

遮断器と外部磁界母線との配置 ( $I=2,500\text{Arms}$ , $A=5\text{cm}$ )	感度電流特性 (mA)							ピックアップ電流特性 (A)						
	$I=0$	測定電流との位相差 (°)						$I=0$	測定電流との位相差 (°)					
		0	60	120	180	240	300		0	60	120	180	240	300
	22.0	23.0	21.0	19.5	20.0	23.5	24.5	3.8	3.5	3.5	4.1	3.7	3.4	3.4
	22.0	21.5	22.5	21.3	23.2	23.2	21.0	3.8	3.8	3.9	3.8	3.8	3.5	3.5
	22.0	22.4	22.3	21.5	21.7	22.3	22.5	3.8	3.9	3.7	3.4	3.6	3.6	3.9

された場合の感度電流特性を図 12. に示す。これより点弧角が大きくなるにつれて感度電流実効値が低下し、点弧角 110° 付近から再び鈍化する傾向を示している。これは、位相制御された地絡電流には多くの高調波が含まれており、特に急しゅんな電流の立上がりの影響によるものと考えられる。しかし実用面では、サイリスタの点弧角が 30~60° 付近で使用されるのが大半であり、実用上は支障ないことを確認している。また動作時間特性については、データは省略するが、0.1 s の最大動作時間に対し十分余裕のある値であることを確認している。

#### (4) 平衡特性

平衡特性は、ZCT の残留電流特性に基因するもので、この特性が悪いと大きな過渡突入励磁電流などで誤動作をまねくことがあり、適切な対策が必要である。

抵抗溶接機回路に流れる電流は、溶接機の容量・使用率によって異なるが、一般に短時間に熱的等価電流(定格電流)の数倍から十数倍の非常に大きい電流が流れる。また溶接機トランスを負荷にもつため、投入位相によっては直流分の重量とトランスの鉄心の飽和のため過渡突入励磁電流が流れる。最近の溶接機では、この突入電流による保護機器の誤動作防止と溶接条件の安定化のため、同期投入方式を採用しているものが大半であるが、この場合でも、電流の定常状態の実効値と過渡状態での最大波高値との比が $\sqrt{2}$ ~2 倍程度であり、非同期投入方式ではその比が 4~20 程度にも達することが実測されている。

したがって抵抗溶接機用漏電遮断器は、このような大電流に対し誤動作しないことが要求される。NV-TA シリーズでは、この ZCT の残留電流特性を低減するため一次導体の構造・配置、磁気シールドの強化、ZCT の二次負担の低減などを図り平衡特性を大幅に改善している。

#### (4) 耐外部磁界性能

NV-TA シリーズに用いている ZCT や通電電流検出用 CT は、共に高透磁率材料からなっており、磁界やノイズの影響を受けやすいので、そのような外乱に対して適切な処置が必要である。表 2. に NV-TA シリーズの感度電流とピックアップ電流に対する外部磁界の影響について、それぞれの位相差をふまえて示している。

感度電流の耐外部磁界性能については、平衡特性の改善で用いた ZCT の磁気シールドが効果を発揮しており、いずれの方向の位置関係に対しても、またいずれの位相差に対しても非常に安定であることがわかる。

また、ピックアップ電流の耐外部磁界性能については、CT の構造を改善し二次巻線の分割巻きを行い、外部磁界に対しては巻線出力が相殺し、通電電流の磁界に対しては巻線出力が重畳するように構成

することによって、その影響を低く抑えることができた。表 2. から分かるように、ZCT の耐外部磁界性能と同様、いずれの方向に対しても良好なデータが得られており、実用面では全く問題とならないことが分かる。

### 3. 適用

抵抗溶接機は、ほとんどのものが位相制御素子や電極を冷却するために水冷式を採用しているものが多く、水気や湿気のある場所に設置されたとみなされ、また溶接機の絶縁電線や移動電線に作業者が容易に触れるおそれがある場合や、溶接機に使用するキャプタイケールを地上に施設する場合など、法的にも漏電遮断器の設置が義務づけられている(電技 41 条, 156 条)。

また感度電流、動作時間については、スポット溶接機は人が直接作業する場合が多く、感電保護の観点から高感度・高速形のもので望ましいため、NV-TA シリーズでは定格感度電流 30 mA、動作時間 0.1 s 以内のものを標準としている。また最近では抵抗溶接機(特にスポット溶接機)は、小規模の企業から自動車業界に至るまで非常に多く使用されているが、自動車業界を中心とした抵抗溶接機のロボット化など技術革新の進む中で、今後共にその数は増大してゆくと考えられる。また、自動化などによって設備の動作責務も過酷となり、万一事故が発生した場合は他の設備への波及効果も大きくなるため、保護機器に対する期待も必然的に大きくなり最適保護機能が必要となってきている。

このような背景から、この抵抗溶接機用漏電遮断器 NV-TA シリーズを使用することで、抵抗溶接機回路の理想的な保護が可能となり、回路の安全性が高められる。

次に、抵抗溶接機の中で溶接時間の長いシーム溶接機回路に NV-TA シリーズを適用する場合は、シーム溶接の特長である数サイクルごとの通電・休止が数秒から数分間続く状態を検出する必要があり、スポット溶接機のような短時間タイマでは対応できないので、シーム溶接機回路に対しては 1~10 s 及び 30~90 s の長時限タイマを開発し、タイマ部を取換えることで対応できるように配慮している。

### 4. むすび

以上、新形抵抗溶接機用漏電遮断器 NV-TA シリーズの製品とその性能について紹介した。

漏電遮断器は、感電保護・火災保護などの保護機器としてその普及はめざましいものがあり、その性能はもとより安全性、信頼性などの向上が図られている。今後も、特殊用途の製品も含め、需要家各位の要望にこたえ得る製品の研究開発を行い、漏電遮断器の一層の発展に努力したい。



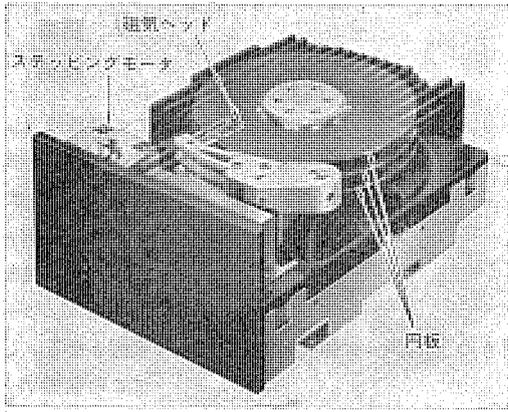


図 1. 5 インチ 固定 ディスク 装置 M4863

タはバッファモードで速度制御することも可能とし、平均位置決め時間は 75 ms と高速である。磁気ヘッドの浮上量が 0.5~0.64  $\mu\text{m}$  と微小なため完全防塵埃密閉構造をとっており、特にスピンドル回転軸受のオイルミスト、ヘッドアームピボット軸受のダストシール、更には呼吸フィルタの二重化、そして内部空気循環機構など完璧な防塵対策をとっている。

この装置はパソコンに搭載される例が多く、取付方向が一定でない点を考慮しフレキシブルディスク同様、縦置、横置のいずれも可能としている。また縦置、横置の区別なく振動を吸収するために縦置、横置共用の防振ゴム 5 個を内蔵している。

一方、搭載機器に実装され輸送、運搬される際には、ヘッドをデータゾーンからかけ離れた SHIPPING ゾーンに持って行くことにより輸送運搬時の衝撃などでデータの破壊が起きることを防止している。SHIPPING ロックの際はコントローラからの指令、若しくはマニュアルシークにより、所定のゾーンに位置決めした後、フロントパネルからのSHIPPINGクランプを操作してクランプする。

以下ヘッド位置決め機構、ディスク回転機構、防塵冷却機構、防振処置及び電気回路部などについて、5 インチ 固定 ディスク 装置 M4863 の技術的ポイントを述べる。

### 5. ヘッド位置決め系

ヘッド位置決め系の構成を図 2 に示す。磁気ディスク装置のヘッド位置決め方式にはリニアアクセス方式とロータリアクセス方式の二つの方式がある。いずれの方式も一長一短があるが、この装置では機構が小形にできる点、及び位置決め系の軸受部の摩耗・摩擦が極めて小さい点を重視し、ロータリアクセス方式を採用した。

運動の駆動源にステッピングモータを使用し、そのモータのキャプスタンにスチールバンドを巻きつけアクチュエータアームに連結し、アクチュエータアーム

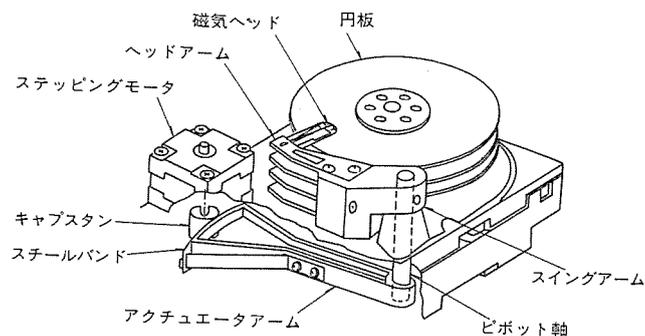


図 2. ヘッド位置決め機構

ムをロータリアクセスさせる。このアクチュエータアームの回転中心軸(ピボット軸)他端にスイングアームを取付け、そのスイングアームにヘッドアームを固定し、ヘッドアーム先端にヘッドジンバルアセンブリを取付ける構成である。

一般的に、サーボ面をもたないオープンループ位置決め方式の磁気ディスク装置は、周囲温度が変化すると部材の線膨長係数の違いで、円板上に書かれたデータトラックとステッピングモータで位置決めするヘッドが相対的にずれ、リードエラーを生じる可能性がある。また、ロータリアクセス方式はリニアアクセス方式と比較すると、この温度変化によるオフトラック発生機構が複雑となり、更に内周トラックと外周トラックとでオフトラック量が異なるという欠点がある。M4863 ディスクでは、コンピュータによるシミュレーション計算を行うことにより、内外周トラックの温度変化によるオフトラック量がほぼ均一になるように適用可能な構成材を選んだ。このとき、ステッピングモータ軸まわりの慣性モーメントが大きくなるとヘッド位置決め時のダンピングに影響を及ぼすため、できるだけ比重の小さいアルミニウム系材料を使用するよう考慮した。更にステッピングモータとヘッドを連結している部材の一つであるアクチュエータアームをバimetall 構造とすることにより、温度変化によるオフトラック量をほぼ 0 にする温度補償機構をとっている。

位置決め速度は回路ボード上に内蔵しているマイクロプロセッサに図 3 の速度プロフィールを記憶させ、加速、定速、減速のバッファモードシーク制御を行い平均位置決め速度 75 ms を達成している。

一方 75 ms を達成するためには、ステッピングモータ停止時の振動をいかに抑えるかが一つの要点となる。この装置はロータリアクセス方式であるため、リニアアクセス方式より摩擦トルクが小さく、位置決め方向によるヒステリシスは小さくなるが、位置決め時のダンピング特性は悪くなる。

そこでダンピングを抑えるために表 2. に示す各種ダンパの検討を行

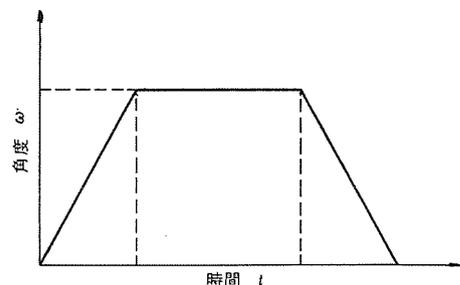
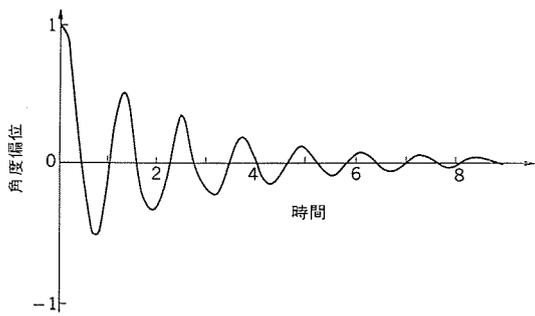


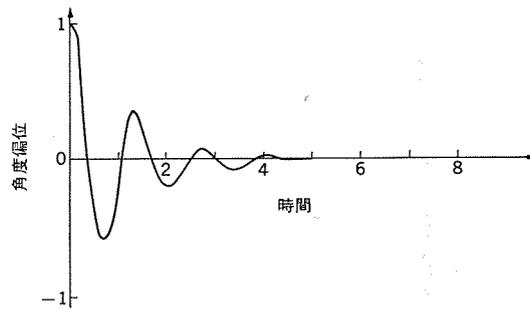
図 3. バッファモードシークプロフィール

表 2. ダンパ比較表

	原理・特長	概略図
摩擦ダンパ	<ul style="list-style-type: none"> <li>シャフトに摩擦を与える</li> <li>回転方向の違いでヒステリシス発生</li> </ul>	
粘性ダンパ	<ul style="list-style-type: none"> <li>オイルの中でシャフト直結の羽根を回す</li> <li>粘性トルクが大きく、ステッピングモータのトルクを上回る</li> </ul>	
慣性・摩擦ダンパ	<ul style="list-style-type: none"> <li>フリーイナーシャとマグネットの摩擦を利用</li> <li>ヒステリシスなし、摩擦トルク小</li> </ul>	
慣性・粘性ダンパ	<ul style="list-style-type: none"> <li>フリーイナーシャとオイルの粘性を利用</li> <li>ヒステリシスなし、粘性トルク小</li> </ul>	



(a) オイルダンパなしのステップモータ軸の振動



(b) オイルダンパ付きのステップモータ軸の振動

図 4. オイルダンパの効果

い、その結果、装置仕様を満足でき安定性のある慣性粘性ダンパを採用し、ダンピング特性を改善した。

図 4. に、慣性粘性ダンパをステップモータにつける前後のダンピング特性を示す。縦軸の角度偏位、横軸の時間は正規化してある。

### 6. ディスク回転機構

DC ブラシレスモータをベースに直結ビルトイン方式としたアウトロータ方式を取り、ロータの外周を回転停止時のブレーキドラムと併用している。またロータの下には回路ボード冷却用のファンを取付けている。このスピンドルモータは、この装置の要となり位置決め精度、振動、ヘッド浮動安定性などすべての基準となるものであり、超精密回転体である。

この装置は、サーボ位置決め方式でないために円板のラジアル振れが直接位置決め精度に影響する。またアキシャル振れはヘッドの浮動安定性に影響し、読出し波形のモジュレーションが大きくなり、リードマージンが低下するばかりかヘッドクラッシュの要因ともなる。このことから軸振れを数  $\mu\text{m}$  以下という超精密加工の極限に抑える必要がある。また振れそのものは、繰返し性のある成分と繰返し性のない成分とに分けられる。この装置のように円板を交換しない固定ディスク装置では、繰返し成分は余程大きくない限り問題とはならないが、トラック密度が 256 tpi とオープンループ位置決め系では従来になく大きいため、スピンドル部の加工、組立精度を上げ、非繰返し成分を十分小さく抑え込んだ。

更に環境温度変化に伴いケーシング、軸受、主軸などの材質の違いから発生する熱膨張による軸受のすき(隙)間が軸振れに悪影響を及ぼす点を考慮し図 5. の構造とした。この構造の要点はビルトイン方式にして構成部品を少くし、構成部品間の膨脹差をなくし、更にベースに軸受と同等の部材を同時鋳込することにより膨脹差による軸受とケーシングの隙間をなくし、軸振れ発生要因を少なくしている点である。

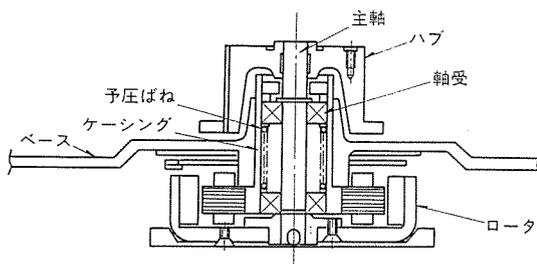


図 5. スピンドルモータ構造

### 7. 防塵、冷却機構

この装置はコンタクトスタート、ストップ方式であり、更にヘッドの浮上ギャップが  $0.5\sim 0.64\mu\text{m}$  と微小なため微細な塵埃の混入はヘッドクラッシュの要因となる。したがってこの装置のヘッドディスクルームは完全防塵密

閉構造をとっている。

図 6. に密閉構造の概略を示す。外気が流入するおそれのある経路として、カバーとベースのシール部、各部品のねじ締結部が考えられるが、シール部には金型で抜いたつなぎ目のないパッキンを用い、ねじ締結部はできる限り少なくし密封性を高めた。更にスピンドル及びピボットに用いているベアリングからグリスが飛散する可能性があるが、回転数が 3,600 rpm と高いスピンドルには磁性流体をベアリングの上段に設置し、回転数が 15 rpm と低いピボットには特殊なグリスを注入することで、グリスの飛散を防いでいる。

また、円板が回転しだすと円板の遠心力で外周の空気圧が高くなり中心部は圧力が低くなる。そこで円板中心部上のカバーにプレスフィルタを設けて呼吸することにより、円板回転時ディスクルーム内の圧力は、中心部で外気圧と同じ、また外周では外気圧以上となる。このことにより仮にリークが発生した場合、空気流はプレスフィルタ→ディスクルーム→リーク箇所→外気という経路をとり、ディスクルーム内には汚れた外気は流入することはない。更にこのプレスフィルタには二重の構造をもたせ、外気側のフィルタはフィールドでの交換を可能としている。このため塵埃の多い環境での使用にも耐えられる。

一方、円板回転時の各円板の熱膨脹を均一にするために、図 7.

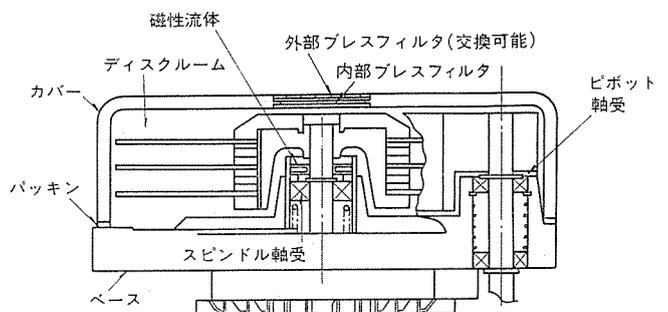


図 6. 密閉構造の概略図

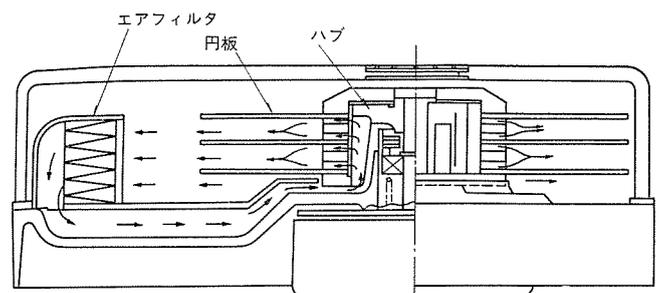


図 7. エア循環機構

に示すように各円板間に内から外へと流れる空気流を生じさせている。この空気流は円板の高速回転による圧力差を利用しているため、ブローを必要としていない。また、循環経路内に高精度なエアフィルタを内蔵し、プレフィルタで透過した塵埃を更にもろ過する配慮をしている。

## 8. 電気回路部

コントローラとの接続インタフェースは3種類用意され、業界標準となりつつあるシーガートテクノロジー社のST 506インタフェース及びシュガート社のSA 600インタフェースについては、1枚の回路基板上でスイッチ切換えにて選択可能としており、ミニFDD相当インタフェースについてはオプション基板対応としている。

以下ST 506インタフェースを例にとりその内容を説明する。

### 8.1 構成

電気回路部は2枚のプリント基板で構成する。

(1) 主基板は情報記録再生部、シーク制御部、回転検出部、フォルト検出部、インタフェース部を有する。

(2) 副基板は、主基板の指令を受けて4相スピンドルDCブラシレスモータの回転をアナログ制御する機能回路を有する。

### 8.2 情報記録再生部

この装置は小形軽量化するため回路構成も簡素化しており、装置外部とのデータの授受はMF(Modified Frequency Modulation)モードで行う。したがってコントローラ側では、①MFデータの変復調回路、②高記録密度(7,900 bpi=311ビット/mm)を安定に実用化するための記録前補償(Write Precompensation)回路を用意する必要がある。コントローラ側のハードウェア負担が一見大きく思えるが、ディスク装置を複数台接続制御した場合のトータルコストは、この方式を採用した方がメリットがあり共通な高度機能回路はコントローラ側に集中する思想に立ったFDD以来既になじみのものである。

MFデータの記録再生系は、当社のM 2883(80 Mバイト)、M 2860(50 Mバイト)で蓄積されたウインチェスタ技術を生かした回路構成を採用している。記録は、MFデータを記録再生ヘッドのコアギャップ(ギャップ長1.4 μm、ギャップ幅81.3 μm)により磁気ディスク(円板外形130 mm)の磁性層に記録する。磁気ヘッドの記録電流は、外周側55 mA、内周側47 mAであり、それぞれ最適な分解能と重ね書き特性を發揮できる使用法を行った。

再生は、磁気ヘッドから得られた1 mV前後の微小再生出力を、ヘッドアーム上よりS/N比の確保に注意深く設計したFPC(フレキシブル配線板)にて高忠実度プリアンプに伝送した後、不要な高周波帯ノイズを低域フィルタで除去しピーク弁別回路に送る。デジタル化して得られた信号は、磁気再生アナログ信号中に含まれる第三高調波成分による疑似パルスを含んでいる場合がある。そこでショルダリング除去回路で信号処理した後、パルス幅規制をし高忠実度伝送に適した差動伝送回路でインタフェースライン上へ送出する。

### 8.3 シーク制御部

この装置はシーク方法として、①ノルマルモードシーク、②バッファモードシークのいずれかを選択でき、バッファモードの場合は高速シークによりシークタイムを大幅に短縮できる。

#### (1) ノルマルモードシーク

入力するSTEPパルスの周期3 ms MINでステッピングモータが駆動されシークするモードである。

#### (2) バッファモードシーク

STEPパルスを周期11~200 μsで送って装置側のバッファに予め記憶させ、装置側ではこのSTEPパルス数に応じた速度プロフィール制御を行うことにより、ステッピングモータを高速駆動するモードである。これはパルス応答速度に制限のあるステッピングモータを、スローアップ、スローダウン制御することにより巧みに実現している。これら制御には、当社の8ビットマイクロコンピュータM 5 L 8039 P-6と周辺LSIを採用し、ST 506に比しコントローラ側の負担を大幅に軽減することに成功した。

なおバッファモードの使用法でもう一つ重要なことは、先にSTEPパルスを送って、シークの終了はSEEK COMPLETE信号を待つという構成をとるため、複数台接続の場合、同時にオーバラップシークさせることができ、システムの効率を高めることが可能である。

ノルマル/バッファモードの判別は、STEPパルスが200 μs以上か否かで自動判別する。

## 9. 防振機構

この装置はミニフレキシブルディスク装置と取付互換性を特長としているので、縦置、横置いずれの方向も可能としている。したがって両方向に設置されても支障のないような防振機構を必要とする。この装置は合計5個の防振足を装備している。横置きの場合は3個の防振足で垂直方向の防振に役立つようになっている。一方縦置の場合は2個の防振足で垂直方向の防振に役立ち、3個の防振足で水平方向の防振に役立つ。実装状態を図8に示す。

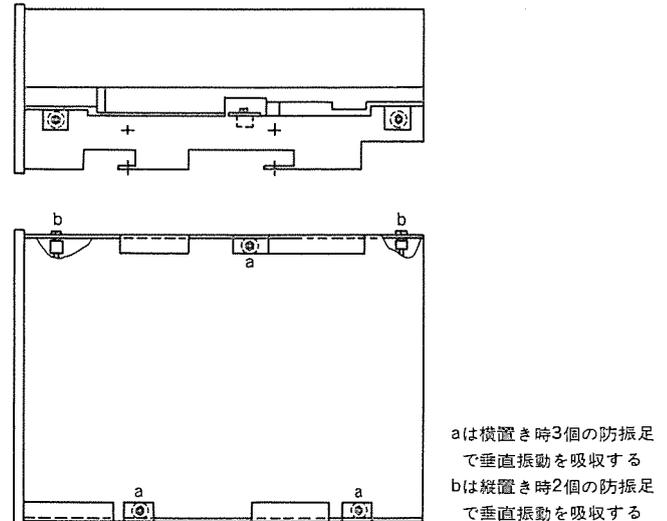


図 8. 防振構造模擬図

## 10. む す び

5インチ固定ディスク装置M 4863は以上のような構成からなっており、小形大容量、高速、高信頼性を実現しており、今後ますます市場の需要にこたえていくものである。

また5インチ固定ディスク分野も10 Mバイトにとどまらず、既に米国などでアナウンスされているように20 Mバイト、30 Mバイトと容量アップされるのは時間の問題であり、当社としても市場の要請に先んじた大容量化、高速化技術を鋭意研究開発中である。

# 密閉形カードユニットの新冷却法

中尾一成\*・藤井雅雄\*\*・長久竹彦\*\*\*・桜井治夫\*\*\*・羽仁 潔+

## 1. ま え が き

最近、電子機器におけるシステムの機能アップに伴い、電子部品の高密度実装化による発熱密度の増大によって電子部品の温度上昇が急激になりつつあり、電子部品及び電子機器における熱信頼性の確保が必要になってきている。また、電子機器の分野における機能の分散化が進むにつれて、電子機器そのものを比較的環境条件の悪い場所へも設置したいという気運が高まってきている。このように、熱信頼性の確保並びに電子機器の分散設置の要求からも新しい冷却方法の開発が望まれている。

従来、キャビネット内に装着されたカード上の電子部品を冷却する場合、キャビネットの出入口や各カードが配列された段と段の間にファンを設置することにより、キャビネット外の空気をキャビネット内に通し、強制空冷にてキャビネット外に電子部品の熱を放散させている。

しかし、キャビネットの設置される場所は常に電子計算機室や生産管理制御室などのように、温度、湿度、じんあい(塵埃)の調整や対策が厳しく行われているとは限らない。例えば、船舶の機関室、製鉄所及び製粉所などのように塩分を含む環境や導電性のガスやミスト、粉塵が発生し、それらが空气中に浮遊している場所に設置されている場合も少なくない。

そのような環境下においては、カード上の抵抗、IC その他電子部品の装着箇所及び配線箇所は導電性・腐食性のガスやミストを含む粉塵が、キャビネット外より流入後付着する。そして付着した部分が腐食したり、絶縁破壊することにより、電子部品の機能及び寿命が著しく劣化するという問題が生じている。また、保守点検が常時期待できない場所、例えば変電所におけるキャビネット内の電子部品を冷却する場合は、ファンの保守点検や取替え作業のないことが望ましい。

以上の問題や要望を解決するための方法としては、キャビネット自身を全密閉化する方法と、キャビネット内の発熱電子部品をある単位ごとにまとめそれらを密閉化する方法の二つが考えられる。前者の例としては、フロンの沸騰冷却を利用した二相流自然循環ループを全密閉化したキャビネット内に設置し、キャビネット内の電子部品からの熱をキャビネット外に放散するものであり、既に開発されている<sup>(1)</sup>。

そこで今回は後者の方法を採用し、カード1枚単位の密閉化を図り、熱伝導率、電気絶縁性及び装着性に優れた新開発品の“TFラバー”を用いた密閉形カードユニットを開発した。

ここでは、開発した密閉形カードユニットの構造及び特長とその実装試験結果について述べる。

## 2. 密閉形カードユニット

### 2.1 構造及び特長

密閉形カードユニットの断面図を図1.に示す。密閉形カードユニットは、IC、抵抗及びその他電子部品が装着されているカードとカードからの発熱を外部に伝える“TFラバー”(Thermo-Functional Rubber)と

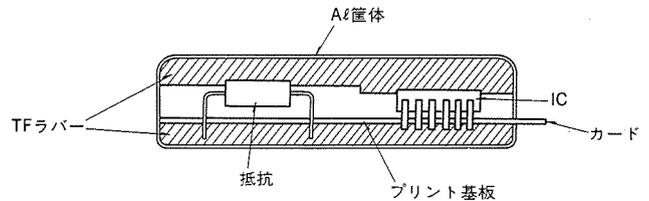


図1. 密閉形カードユニット断面図

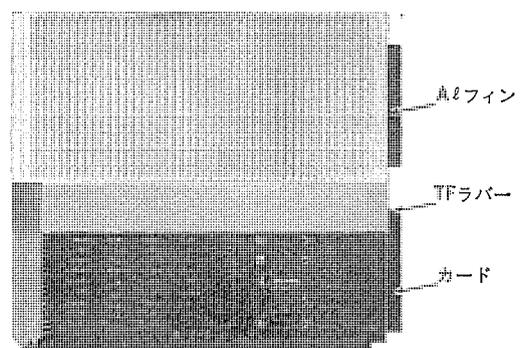


図2. 密閉形カードユニットのカットモデル外観

呼ばれる熱伝導性ラバー及びそれらを囲むように加工したAl(アルミニウム)きょう(筐)体で構成している。Al筐体はヒートシंकとして用い、そのカード1枚あたりの発熱密度に応じて平板若しくはフィン形状が選ばれる。図2.は密閉形カードユニットのカットモデルの外観を示す。放熱能力を向上させるため、Al筐体表面はフィン形状をしている。ただし、この単体及び実装試験において用いたAl筐体表面は、すべて平板形状である。

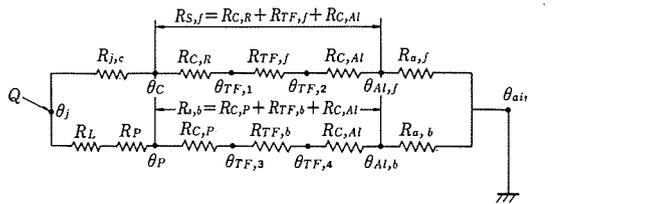
熱は、カードの発熱電子部品(IC、抵抗、その他電子部品)装着側では“TFラバー”を介してAl筐体から周囲空気へ、カードの配線面側では発熱電子部品のリード線を通してプリント基板へ伝わり、更に“TFラバー”を介してAl筐体から周囲空気へ放熱する。

次に密閉形カードユニットの特長を列挙する。

- (1) 密閉形としたため耐環境性に優れる。
- (2) カードの発熱量の小さい場合は、自然空冷によって十分に冷却効果がありファンが不要である。
- (3) モールドタイプとは異なり、“TFラバー”は装着及び脱着が容易にでき、部品交換が可能である。
- (4) オープンラックの使用が可能となり、ラックは構造物としての強度を有する骨組みだけの簡易な構造で済む。
- (5) 強制空冷の場合でも従来必要とされていたエアフィルタが不要となり、更にカードユニットの整列配置により全体的な圧力損失が小さくなるとともに効率的な冷却を実現できる。
- (6) Al筐体表面に冷却コイルを用いた水冷及び油冷方式の採用が簡単であり、二相流自然循環ループとの併用も可能である。

### 2.2 熱の伝達経路

図3.に密閉形カードユニットにおける熱の伝達経路を示す。前節で簡



- $\theta_j$  : 発熱部温度  
 $\theta_c$  : ケース温度  
 $\theta_{TF}$  : TFラバー温度  
 $\theta_P$  : プリント基板温度  
 $\theta_{Al}$  : Al 筐体表面温度  
 $\theta_{air}$  : 周囲空気温度  
 添え字  
 f, 1, 2 (カード電子部品装着側)  
 b, 3, 4 (カード配線側)
- $Q$  : 発熱量  
 $R_{j,c}$  : 発熱部—ケース間の熱伝導に基づく熱抵抗  
 $R_{c,r}$  : ケース表面とTFラバーの接触に基づく熱抵抗  
 $R_{TF}$  : TFラバー内の熱伝導に基づく熱抵抗  
 $R_{a,f}$  : Al 筐体と周囲空気間の自然対流熱伝達 (若しくは強制対流熱伝達) 及びふく射熱伝達に基づく熱抵抗  
 $R_{c,p}$  : プリント基板とTFラバーの接触に基づく熱抵抗  
 $R_{c,Al}$  : TFラバーとAl 筐体の接触に基づく熱抵抗  
 $R_s$  : TFラバー据付け熱抵抗  
 $R_L$  : 電子部品リード線内の熱伝導に基づく熱抵抗  
 $R_P$  : プリント基板内の熱伝導に基づく熱抵抗

図 3. 密閉形カードユニットの熱の伝達経路

単に熱の伝達経路を述べたが、ここでは以下に発熱電子部品として IC を考えた場合について詳細に述べる。

一つは、カードの電子部品装着側において、IC 内部で発生した熱が発熱部—ケース間の熱伝導に基づく熱抵抗  $R_{j,c}$ 、IC ケース表面と“TF ラバー”の接触に基づく熱抵抗  $R_{c,r}$ 、IC ケース表面上に装着された“TF ラバー”内の熱伝導に基づく熱抵抗  $R_{TF,f}$ 、“TF ラバー”と Al 筐体の接触に基づく熱抵抗  $R_{c,Al}$  を経て、最後に Al 筐体と周囲空気間の自然対流熱伝達 (若しくは強制対流熱伝達) 及びふく射熱伝達に基づく熱抵抗  $R_{a,f}$  を経て、周囲空気に放熱される経路である。

他の一つは、カードの配線側において IC のリード線の熱伝導に基づく熱抵抗  $R_L$ 、プリント基板内の熱伝導に基づく熱抵抗  $R_P$  を経てプリント基板に伝えられた熱が、プリント基板と“TF ラバー”の接触に基づく熱抵抗  $R_{c,p}$ 、プリント基板と Al 筐体間に装着された“TF ラバー”の熱伝導に基づく熱抵抗  $R_{TF,b}$ 、“TF ラバー”と Al 筐体の接触に基づく熱抵抗  $R_{c,Al}$  を経て、更に Al 筐体と周囲空気間の自然対流熱伝達 (若しくは強制対流熱伝達) 及びふく射熱伝達に基づく  $R_{a,b}$  を経て、周囲空気に放熱される経路である。上の二つの熱の伝達経路において、Al 筐体の熱伝導に基づく熱抵抗は他の熱抵抗に比べて微少であることから無視している。

$R_{S,f}(=R_{c,r}+R_{TF,f}+R_{c,Al})$  及び  $R_{S,b}(=R_{c,p}+R_{TF,b}+R_{c,Al})$  は据付け熱抵抗と呼ばれ、ここで開発した密閉形カードユニットの場合、その強制空冷時において全熱抵抗の最大 2/3 を占め、発熱体及びヒートシンクとその間の介在物との装着状況によってその値は大幅に変化する。したがって、介在物としては次節で示すような性質をもつ材料が必要となる。

### 2.3 “TF ラバー”の一般特性

ここで、この密閉形カードユニットに用いた熱伝導性ラバー“TF ラバー”について述べる。密閉形カードユニットの機能を十分に発揮させるためには下に示すような性質を持つ熱伝導性材料が必要となる。

- (1) 熱伝導性に優れること。
- (2) 電気絶縁性に優れること。
- (3) 放熱部との装着性に優れること。
- (4) 耐食性、耐防水性に優れること。

表 1. “TF ラバー”の性質

項	目	測定値	測定法	
比	重 (g/cm <sup>3</sup> )	2.2	JIS K 6220	
熱	伝導率 (W/(m·K))	1.05	非定常法	
機	械	硬	度	JIS K 6301
		引張強度 (MPa)	1.43	
		伸び (%)	52	
		引裂強度 (MPa)	0.98	
電	氣	誘電率	25°C	JIS K 6911
			5.85	
		誘電正接 (%)	120°C	
			5.47	
体積固有抵抗 (Ω·cm)	1.79×10 <sup>14</sup>	3.58×10 <sup>12</sup>		
破壊電圧 (V/mm)	2.35×10 <sup>4</sup>	1.68×10 <sup>4</sup>		

注 1 W/(m·K)=1/1.163 kcal/(m·h·°C)

1 MPa=10.1972 kg/cm<sup>2</sup>

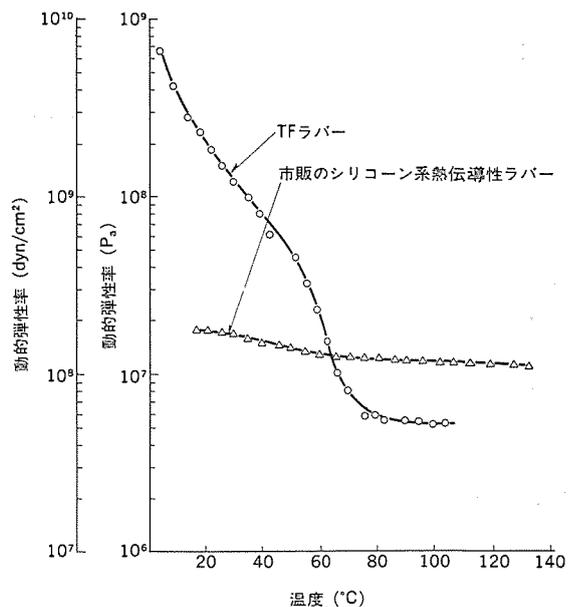


図 4. “TF ラバー”の動的弾性率温度特性

“TF ラバー”は、電気絶縁性、耐熱性、耐水性に優れたポリオレフィン系エラストマーと特殊な Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系フィラーで構成した新規の熱伝導性ラバーであり、上述した性質を備えている。“TF ラバー”は表 1. に示したように熱伝導性、機械的性質、電気的性質に優れ、しかもカードユニットに装着する際、加熱により軟化するため装着が容易になる。図 4. は市販のシリコン系熱伝導性ラバー (熱伝導率 1.2 W/(m·K)) と“TF ラバー”の動的弾性率の温度特性を示している。“TF ラバー”は常温では市販の熱伝導性ラバーより高い弾性率を示しているが、65°C 付近で逆転し、80°C 付近では非常に低い弾性率となる。更に 80°C 以上の領域では弾性率の変化は小さくなりほぼ一定の値に落ちつく。一方、市販のシリコン系熱伝導性ラバーの弾性率の変化は非常に小さい。この性質がシリコン系ラバーの特徴であるが、この密閉カードユニットに適用する場合には大きな欠点となる。

すなわち、凹凸のある電子部品を実装されたカードの電子部品装着側あるいは電子部品のリード線が突出したカードの配線側に装着させる場合、大きな力を必要とし、装着しても完全に接触しない部分が生じる。“TF ラバー”はこの点を大きく改良された熱伝導性ラバー

であり、60~80°Cの加熱と小さな力であらゆる形状と容易に密着し、密着後も接触面の形状をそのまま保ち続け、据付け熱抵抗を下げる効果がある。

### 3. 単体試験

密閉形カードユニット単体の冷却効果を調べるために、一定周囲空気温度条件においてカード発熱量を3種類設定し、主要電子部品などの表面温度を測定した。あわせて、従来のカードを使用して同一電子部品の表面温度測定を行い、その冷却効果と比較した。密閉形カードユニットの場合のAl筐体から周囲空気、従来の場合の発熱電子部品表面から周囲空気への放熱形態は、ともに自然空冷である。供試用カードの大きさは300mm×320mmである。

図5は密閉形カードユニットと従来形カードの各発熱量における主要な電子部品表面温度の周囲空気温度に対する温度上昇値の例を示している。従来形カードでは発熱量の増加とともに、電子部品A(発熱量大)と電子部品B(発熱量小)の温度上昇値の差がますます大きくなっているが、密閉形カードユニットではその差の開きが小さく、カード上電子部品間で均熱化されていることが分かる。

これは“TFラバー”やAl筐体によって各電子部品の温度上昇が平均化されたため、各電子部品を最適冷却するためには、例えば“TFラバー”を分離したり、Al筐体の厚みを変化させて部品間の熱抵抗を変化させればよい。また、電子部品の周囲空気温度に対する平均温度上昇は密閉形カードユニットの場合と従来形の場合ほとんど差がなく、密閉形にすることによる冷却特性の低下がないことが分かる。この理由は従来形カードに比べて、密閉形カードユニットでは“TFラバー”の挿入によって据付け熱抵抗分だけ全熱抵抗が増大するが、逆にカードをAl筐体で囲むことにより空気流れが円滑になることから、Al筐体から周囲空気への熱伝達が促進され、全熱抵抗としてはほとんど同じになったと考えることができるからである。

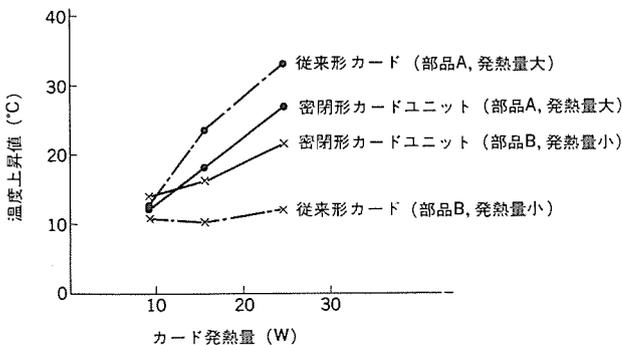


図5. 電子部品表面温度上昇値(単体試験)

### 4. 実装試験

#### 4.1 概要

単体試験に続いて、密閉形カードユニットを複数個配列した場合の実装状態における冷却効果を評価するために、以下に示す実装条件冷却条件で実装試験を行った。

実装試験に使用したカードはCPU、メモリ、通信用、入力カードの4種類(発熱量 約10~35W)合計12枚である。それらのカード若しくは密閉形カードユニットは、上下2段に各実装状態においてほぼ同一な位置に配列されている。各カードにおける主要な電子部品、

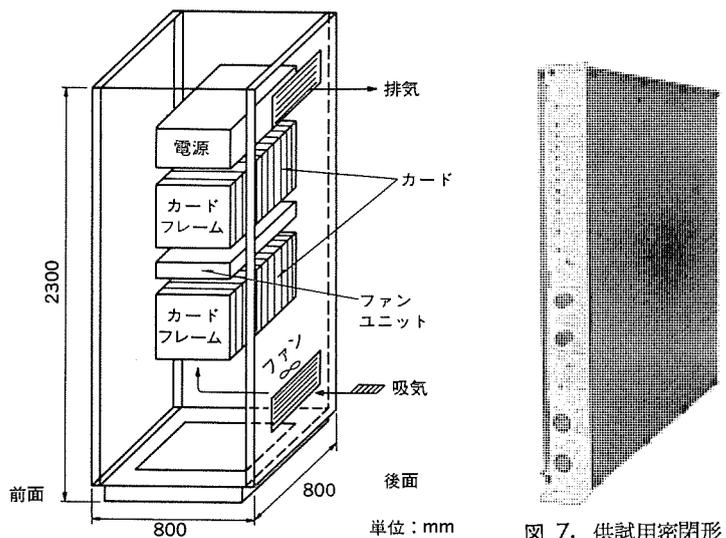


図6. 従来形キャビネット構成

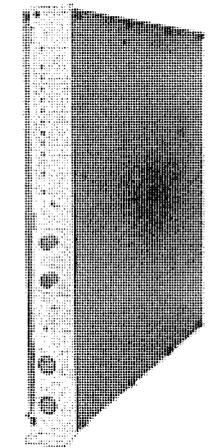


図7. 供試用密閉形カードユニットの外観

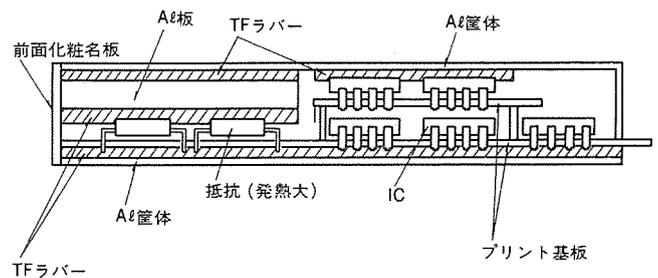


図8. 供試用密閉形カードユニット断面図

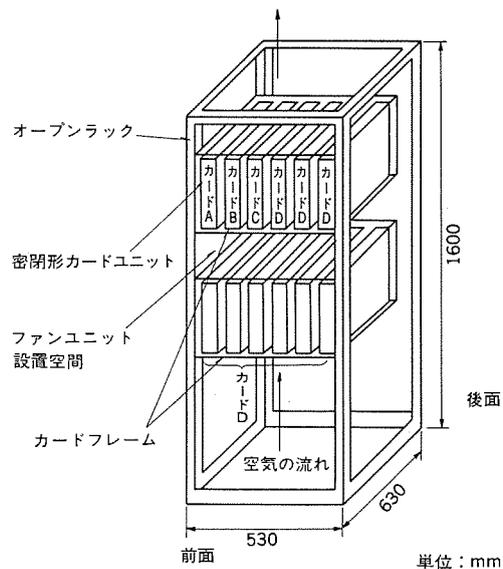


図9. 密閉形カードユニット実装試験構成

プリント基板及びAl筐体表面の各温度を各条件のもとですべて同一箇所にて測定し、その冷却特性を比較した。

#### 4.1.1 従来形キャビネット内強制空冷方式

図6に供試用従来形キャビネットの構成を示す。キャビネットの寸法は縦800mm×横800mm×高さ2,300mmである。図に示すように、キャビネット後面のパネル下部に取付けたファンにより空気取入口から吸込まれた周囲空気は、カードフレームに装着したカード間を通過し、電子部品の発熱により温められながら上昇し、最後に後面のパネル上部の空気排気口からキャビネット外へ放出する。空気取入口、空気排

気口には塵の侵入を防ぐためにエアフィルタを設けている。

#### 4. 1. 2 密閉形カードユニット方式

図 7. に供試用密閉形カードユニットの外観を示す。カードユニットの Al 筐体表面は平板であり、筐体表面にはふく射による放熱を促進するために黒色塗装を施している。

図 8. に供試用密閉形カードユニットの断面を図示する。これはカードが 2 段配列した場合の構成であり、前述した構成とほぼ同じである。ただし、Al 筐体から電子部品表面までの間隔が広い部分には“TF ラバー”をすべて用いるのではなく、図のように高热伝導体である Al 板を“TF ラバー”と“TF ラバー”の間に介在させて、熱伝導に基づく熱抵抗の軽減を図っている。

##### (1) 密閉形カードユニット自然空冷方式

図 9. に実装試験の構成を示す。オープンラック寸法は縦 530 mm×横 630 mm×高さ 1,610 mm である。密閉形カードユニットにしたため、従来形キャビネットのような側板、前扉、上下板などの密閉構造物は必要なく、図に示すようなオープンラックの使用が可能となっている。カード A, B, C, D はカードの種類を示す。

##### (2) 密閉形カードユニット強制空冷方式

強制空冷の場合の実装試験構成は図 9. とほぼ同じであり、必要に応じてファンユニットを付加し、更にダクト構造とすることで冷却能力を向上させている。

#### 4. 2 冷却特性

4. 1 節で説明した実装条件、冷却条件のもとで行った実装試験の結果を以下に述べる。図 10. に、上段に設置した各種類のカード若しくはカードユニット上の主要電子部品の表面温度の周囲空気温度に対する温度上昇値の代表例を示す。図より冷却特性の良い順に並べると、密閉形強制空冷、従来形強制空冷、密閉形自然空冷の順になる。ただし、発熱量の小さいカード (10 W, 15 W) の電子部品においては、密閉形自然空冷は従来形強制空冷と同程度の温度上昇値を示し、各電子部品の許容温度以内であることから十分に実用に供しうる。更に温度を下げたい場合には、Al 筐体の表面をフィン形状とし放熱面積を増大させるなどすればよい。

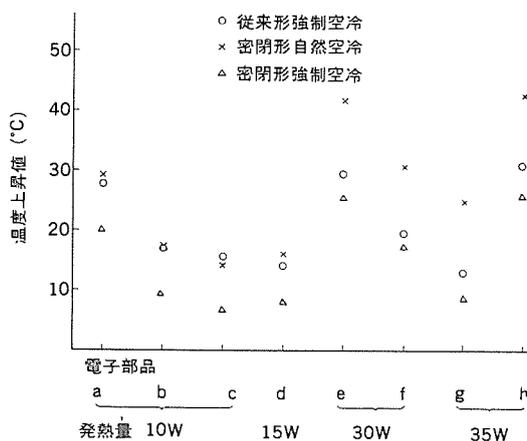


図 10. 電子部品表面温度上昇値 (実装試験)

発熱量の大きいカード (30 W, 35 W) の電子部品においては、密閉形自然空冷は従来形強制空冷に比べて最大約 14°C の温度上昇がある。また、密閉形強制空冷は従来形強制空冷に比べて 2~5°C の温度低下がある。これは図 9. の実装試験の構成に示すようにオープンラックを使用したことにより、従来形キャビネットにおける空気取入口、空気排気口の形状やキャビネット内に塵を流入させないためのエアフィルタの設置などの空気流路形状による圧力損失が軽減されたため空気が通りやすくなり、従来形強制空冷に比べて冷却効果が増したと思われる。

またこの実装試験における電子部品の表面温度は、すべて上段のカード若しくは密閉形カードユニットに対して測定されているが、これらの電子部品の冷却に寄与する周囲空気は、下段の電子部品の発熱により既に周囲空気よりも温度上昇している。したがって下段に設置した電子部品の表面温度は、その温度上昇分だけ上段の同一種類のカードの電子部品に比べて低い温度を示すと考えられる。この試験では密閉形自然空冷の場合、上下段カードユニットの中間 (図 9. ファンユニットの設置空間) の空気は周囲空気より平均 14°C の温度上昇があった。

## 5. む す び

今回の平板形状の Al 筐体を用いた密閉形カードユニットの単体及び実装試験の結果、発熱量の小さいカード (10~15 W) の各電子部品の温度上昇値は、ファンを用いない自然空冷の場合、従来形強制空冷と同程度であり、十分に電子部品の許容温度以内に抑えられていることが確認され、密閉形カードユニットの有用性が確かめられた。

また密閉形強制空冷の場合においては、従来必要とされていたエアフィルタや密閉構造物としての従来形キャビネットが不要となり、更にユニットの整列配置により、全体的な圧力損失が小さくなるため従来形強制空冷に比べて冷却特性が増すことが分かった。

更に、密閉形カードユニットの Al 筐体表面に冷却コイルを用いた水冷、油冷方式の採用や、二相流自然循環ループとの併用により冷却特性の向上を図ることもできる。構造的には、従来形キャビネットなどの密閉構造物は必要なく、オープンラックの使用が可能となること、また密閉形カードユニットに“TF ラバー”を用いたことにより、モールドタイプと異なり部品の交換が容易であるなどの長所がある。

以上、ここで述べた新開発の“TF ラバー”を用いた密閉形カードユニットは耐環境性に優れ、発熱量によっては自然空冷で十分に冷却が可能であり、ファンや密閉形キャビネットが不要となること、また強制空冷時においては、従来形に比べてその冷却特性が向上する点で、今後、密閉形カードユニットの用途の拡大が期待できる。この密閉形カードユニットは、当社工業用プラントコントローラ《MEL-PLAC-300》に導入予定である。

## 参 考 文 献

- (1) 藤井ほか：三菱電機技報，53，No. 4，P. 318 (昭 54)

# パターン計測応用の新形果実・野菜選別システム

滝沢恒治\*・平林守男\*・半田一郎\*\*・向井文章\*\*\*・永田博俊+

## 1. まえがき

大部分の農産物はその流通過程において品質（味わい、姿形などの要素）、大きさ（長さ、重量などの要素）などに応じて何らかの方法で選別されている。その選別作業は一部機械化されているが、大部分はもっぱら人手により行われているのが現状であり、農産物の最盛期には人にとって過酷な労働となっている。

人手による選別は、多くの判定要素を瞬時に認識し総合的判断に基づき行うことができるという長所はあるものの、個人差、気分、体調、疲労などにより選別精度のばらつきが見られる。また、一人当たりの処理能力もあまり高くはない。したがって、省力化の声とあいまって選別作業の自動化の需要は従来よりかなり多いが、人間が行っている判断基準は意外と複雑であり、これを機械に行わせるには大形又は中形計算機が必要とされ、経済性、処理時間などの面で実現性に乏しかった。一部機械化されているものは、選別判定要素が単純で選別精度に対する要求がさほど厳しくなく、取扱いの簡単なものに限られていた。

しかし、近年の半導体製造・利用技術の発達によりマイクロコンピュータ（以下マイコンと略す）が各方面に進出してきており、選別作業においても判定要素をマイコンが高速に処理できるように工夫し、かつ限定することにより機械にとって比較的高度な選別も高速、安価に行うことができるようになった。

このような背景の下に三菱電機（株）は、きゅうり選別システムに代表されるマイコン利用の三菱パターン計測・選別システム《MELSORT》を昭和53年に開発・製品化して農産物選別作業の自動化を押し進めてきたが<sup>(1)</sup>、このたび新たに《MELSORT》応用の新形野菜・果実選別システムとして、じゃがいも、メロン選別システムを開発・製品化した。

これらの開発により《MELSORT》応用の農産物選別システムのレパートリーが増え、今後ますます農産物流通過程の合理化、省力化の需要に応じられるようになった。

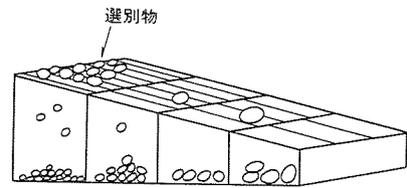
## 2. 従来の自動選別方式の原理と問題点

従来から使用されている自動選別機の代表的なものを以下に示す。

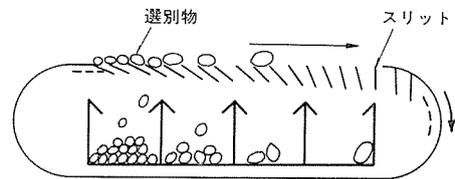
### 2.1 スリット式

図1.(a)にスリット式選別機の概念を示す。選別物供給側(上流側)から反対側(下流側)に向かって下りこう(勾)配でかつその間隔が徐々に広がるようにスリットを配置し、供給側から投入された選別物が滑ったり転がったりしながら下流に向かって移動していく過程で、小さい物は供給側に近い方の、また大きい物は下流側に近い方のスリット間隔(隙)から下に落ちる原理を利用して選別物の大小の選別を行うものである。

図1.(b)は図1.(a)の変形で、スリットが移動しながら徐々にその間隔を広げていくもので、やはり小さいものは供給側、大きいものは下流側のスリット間隔から下に落ちる原理を利用して選別を



(a) スリット式



(b) 移動スリット式

図1. スリット式選別機の原理

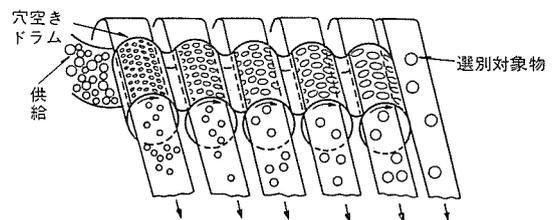


図2. ドラム式選別機の原理

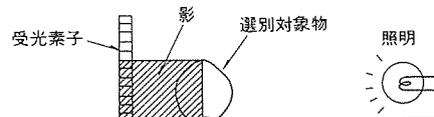


図3. 光線式寸法計測機の原理

行うものである。図1.(a)、(b)は、いずれも構造が簡単で安価に大量処理を行う場合に適しており広く使われているが、スリットを擦り抜ける際の皮むけ傷付きなどのおそれがあることや、真球でない選別物の場合は同一選別物でもスリット通過時の向きによって選別結果が異なるという欠点がある。したがってこの方式は選別精度に対する要求があまり厳しくなく、傷付きにくいものに使われている。

### 2.2 ドラム式

図2.のように、供給側から下流側に向かって穴の径が大きくなるような穴空き回転ドラムを回転させて、小さいものは穴の径の小さいドラムから、大きいものは穴の径の大きいドラムから落下させて選別を行うもので、原理的にはスリット式と同じであるが、主にみかんなどのような丸くて皮が厚く傷付きにくいものに使われている。

### 2.3 光線式

図3.のように選別物をはさんで照明装置、受光素子を配置させ、選別物により光がさえぎられる受光素子の数により選別物の大きさを計測し選別するもので、これは非接触にて計測が行われる特長はあるものの、選別物の向きによって選別結果が異なる場合がある

し<sup>(2)</sup>、スリット式と同様に代表寸法により選別を行うため選別精度はあまり高くない。

### 3. 新形選別システムの概要

#### 3.1 基本的システム構成

新形選別システムの基本的構成を図4.に示す。システムの基本的動作は下記のとおりである。

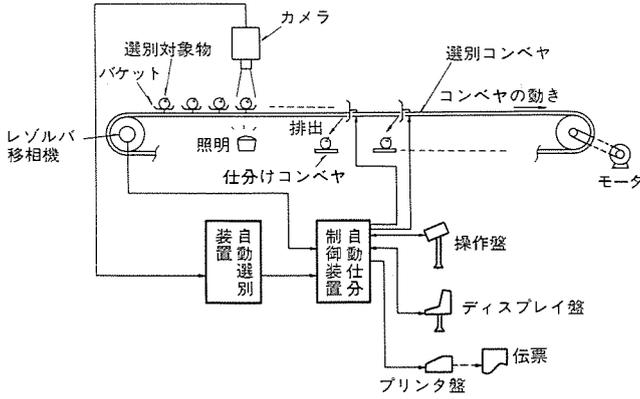


図4. 新形選別システムの基本的システム構成図

- (1) カメラにて撮影した選別物映像を自動選別装置のパターンメモリに二値化映像として記憶する。
- (2) 二値化映像を基に選別に必要な各種計測・演算を行い等階級判定を行って、その結果を自動仕分け制御装置に送る。
- (3) 自動仕分け制御装置にて当該仕分けコンベヤ(排出コンベヤ)上へ選別物が排出されるようバケットを制御する。
- (4) 生産者ごとの荷受伝票、一日の選別結果である日計伝票を発行する。

以上が基本的な流れである。なお、カメラ直下位置(測定位置)から選別物の排出位置までの位置追跡(トラッキング)はレゾルバ移相機からの距離信号により行う。またこの距離信号をもとに選別コンベヤのチェーン伸び量を計算し、チェーン伸びによる排出位置の「ずれ」は自動補正される。

#### 3.2 主な特長

新形選別システムは従来の選別方式と比較し下記のような大きな特長がある。

- (1) 選別物の全体形状から、ユーザー側の要求する判定要素に従って各種計測・演算を行うので、ユーザー側の選別基準に対応できるフレキシビリティを持っている。
- (2) 選別判定処理はソフトウェアで行うため、処理時間が許す限りかなり複雑な測定・演算も可能である。そのため高い精度で選別が行える。
- (3) いったん選別基準値を設定すれば精度のばらつきは原理的に無い。
- (4) 形状寸法計測は光学的に非接触で行うので、皮の薄い柔らかいものでも傷みを生じること無く選別できる。
- (5) 選別物の大小によらず高速に処理できる。

受入伝票			
サトイモ	01	メークイン03	No. 0000
選別年月日		00000000	
組合員コード		0000000000	
品種コード		00	
コンテナ数		000	
機械選	1	個数	0
集荷	1	持込	0
等級A	1	等級B	0
階級		重量 kg	
3L		000000	
2L		000000	
L		000000	
M		000000	
S		000000	
2S		000000	
3S		000000	
合計		000000	

上記のとおり受入致しました。

図5. 荷受伝票(じゃがいも選別の事例)

(6) 生産者ごとの荷受伝票及び一日の日計伝票は自動的に発行され、荷受データはカセットテープを介してユーザー側の管理用上位計算機に受渡し可能であるので、事務の合理化が図れる。また、将来は上位計算機と直接リンクすることも可能である。

図5.にじゃがいも選別システムにおける荷受伝票例を示す。

### 4. じゃがいも選別システム事例

新形野菜・果実選別システムを応用して実際にじゃがいも(メークイン)を選別しているシステムの一例を紹介する。

#### 4.1 主な仕様

- (1) 最高選別能力 : 約38,000個/h・セット
  - (2) 選別コンベヤ速度 : 18.3m/min
  - (3) バケット条数 : 4条/セット
- 注 条とはカメラ下を一定方向に移動する計測対象の流れの数である。
- (4) バケットピッチ : 114.3mm
  - (5) 寸法計測単位 : 1.2×1.2mm(バケット進行方向×それと直角方向)
  - (6) 照明方式 : 透過光方式<sup>(3)</sup>
  - (7) 選別要素 : 重量(形状寸法よりの間接重量)
  - (8) 仕分け処理内容 : 重量による7階級仕分け

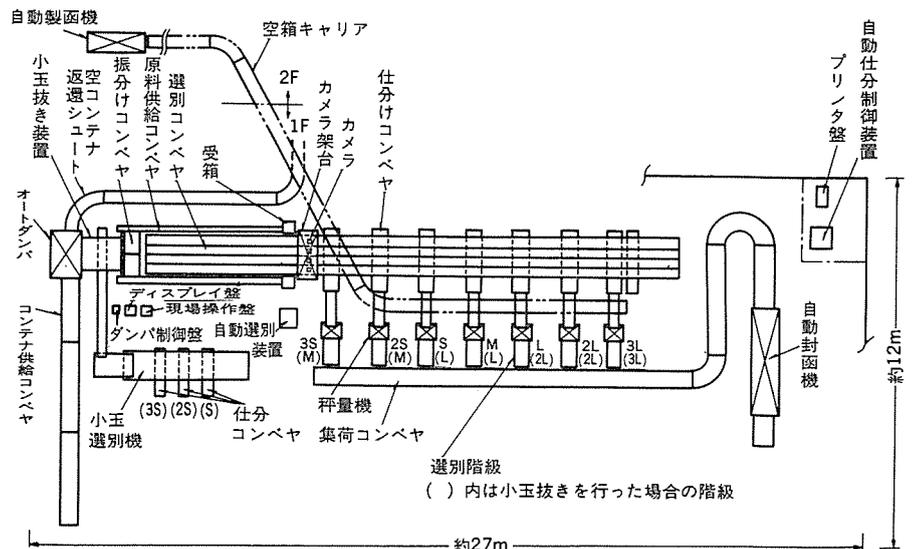


図6. じゃがいも自動選別システムレイアウト事例

内訳	5～10g	3Sクラス
	10～20g	2Sクラス
	20～50g	Sクラス
	50～80g	Mクラス
	80～110g	Lクラス
	110～150g	2Lクラス
	150g以上	3Lクラス

#### 4.2 システムレイアウト

ジャがいも（メークイン）選別システムの納入・稼働例の全体レイアウトを図6.に示す。

#### 4.3 システムの流れ

選別物の流れに従ったシステムの流れを図7.に示す。ある程度人が介在する必要はあるものの、選別は自動で行い、受入れ→選別→仕分け→箱詰→計量→封函→出荷までの作業が一貫して合理的にできるようになっている。また最盛期（処理量が多いとき）には、S又は2Sクラス以下の小玉は他の選別方式で処理できるようにしシステム全体の効率化を図った。

#### 4.4 間接重量計測法

形状寸法より厳密に重量を計測（演算）しようとするれば、選別物を三次元的（立体的）にとらえ体積を計算し比重を掛けて重量を求めることになるが、三次元的（立体的）に映像をとらえるにはセンサ（カメラ）が複数必要になり、また処理装置が非常に大形かつ高価になり演算時間も長くなるため、実用上問題がある。したがって、選別物の形状の特徴をつかまえ、二次元的（平面的）形状より厚さを推定して重量を計測するアルゴリズムを開発し、単一カメラによる簡単な計測と処理で重量選別を行う方法を実用化した。

ジャがいも（メークイン）の形状はおおよそ図8.のようになっている。図において長さをA、幅をB、高さ（厚さ）をCとすると、1台のカメラで形状計測をする場合、(a)平面図のA、B方向の寸法計測が最も容易である。このA、B寸法よりC寸法を算出し、立体的形状をもって精度の良い重量計測を行う手法を開発、適用した。

更に、計測重量の実重量との誤差を極力少なくするため、各種の計測値補正手法を適用し、その結果このシステムでの選別による重量計測誤差は、全階級（3L～3S）にわたって数%以内に収まるといふ好結果を得た。

#### 4.5 他の選別方法との併用

最盛期のこのシステムでの処理量不足を想定して、S又は2Sクラス以下の小玉は別の選別方式（人手又は他の機械選別機）にて選別し、このシステムではM又はSクラス以上の大玉のみを選別することも可能としてある。この場合、事務処理の合理化のために荷受伝票は全階級一括処理してまとめて発行する必要がある。このため、他の選別方式による選別結果はオペレータによりこのシステムに入力し、このシステムでの選別結果と合わせて伝票発行するようにしてある。このようにすることにより、事務処理を煩わせることなく選別施設全体の処理能力向上を図った。

#### 4.6 バケツ形状

重量をより正確に演算するには、カメラから見た選別物の投影面積が最大になるようにバケツに置かれる必要があり、またこの状態が一番安定している。したがって選別物をランダムに投入したときに、おのずと一番安定した状態になるようなバケツ形状を考え図9.に示すバケツを採用した。

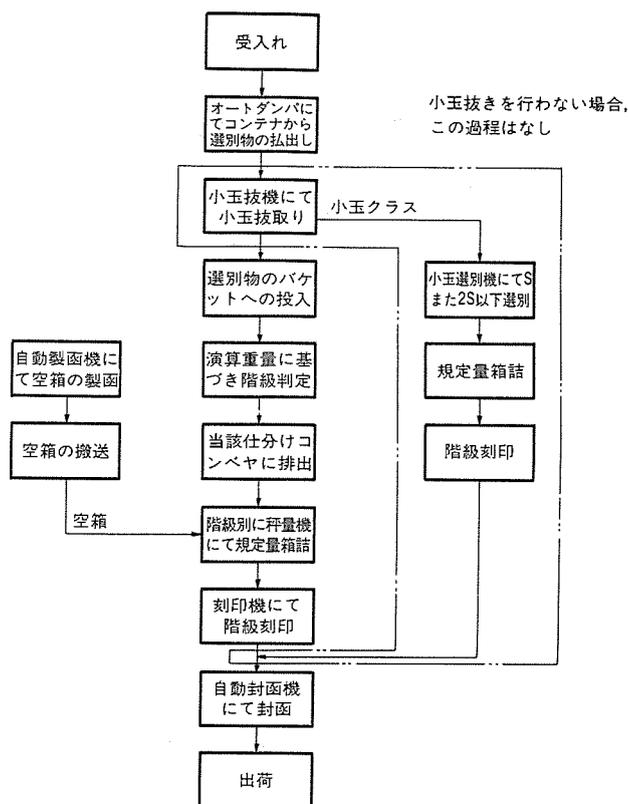


図7. ジャがいも自動選別システムの流れ（事例）

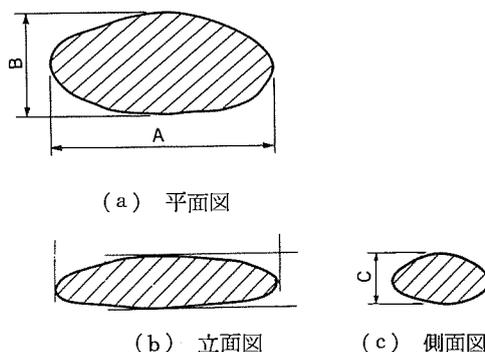


図8. ジャがいも（メークイン）外形図

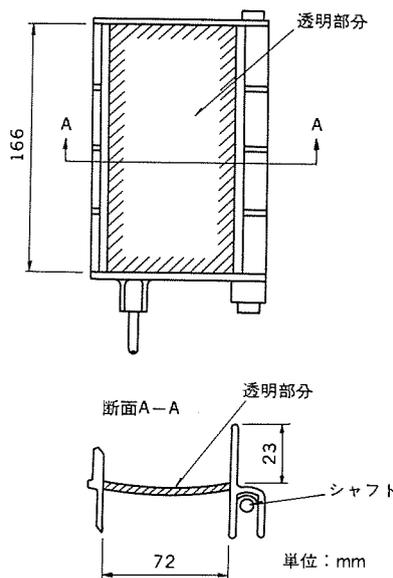


図9. ジャがいも用バケツ形状

### 5. メロン選別システム事例

ここでは プリンスメロン、 キンショメロン を選別している システム の一例を 紹介する。

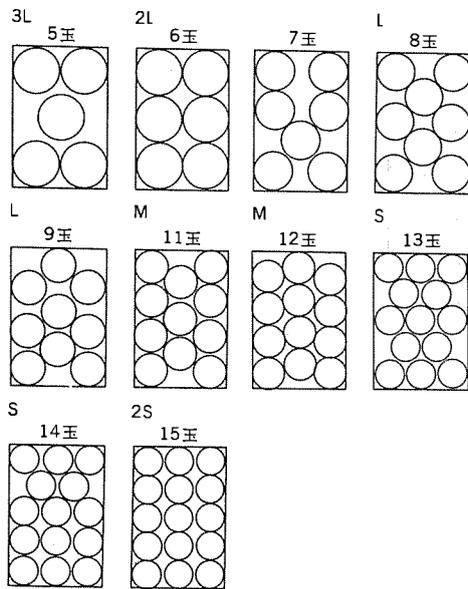
#### 5.1 主な仕様

- (1) 最高選別能力 : 約 30,000 個/h・セット
- (2) 選別コンベヤ速度 : 20 m/min
- (3) バケット条数 : 4条/セット
- (4) バケットピッチ : 158.75 mm
- (5) 寸法計測単位 : 1.6×1.2 mm (バケットの進行方向と直角方向)

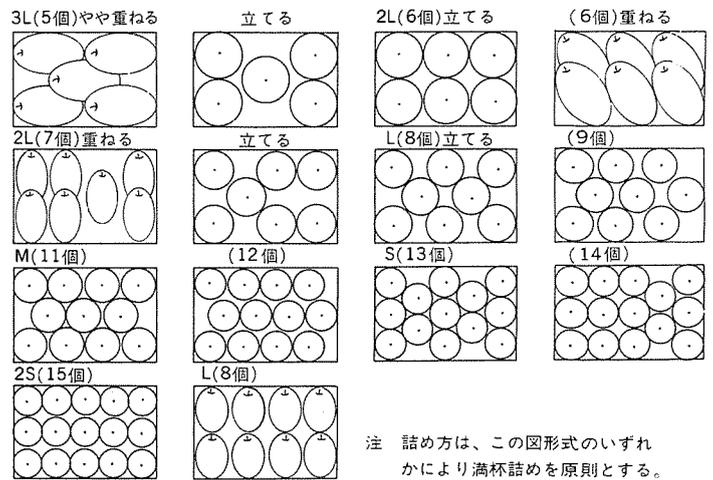
- (6) 照明方式 : 透過光方式
- (7) 選別要素 : 最大直径と体積の組合せ  
(長さと同体積, 又は長さ と最大直径の組合せに切換えることも可能)

- (8) 仕分け処理内容 : 4等級6階級仕分け  
階級内訳 (1箱に隙間無く詰めたとときの個数の差異)

5個/箱	3Lクラス
6~7個/箱	2Lクラス
8~9個/箱	Lクラス
11~12個/箱	Mクラス
13~14個/箱	Sクラス
15個/箱	2Sクラス



(a) プリンスメロン



注 詰め方は、この図形式のいずれかにより満杯詰めを原則とする。

(b) キンショメロン

図 10. メロン 階級別詰方要領例

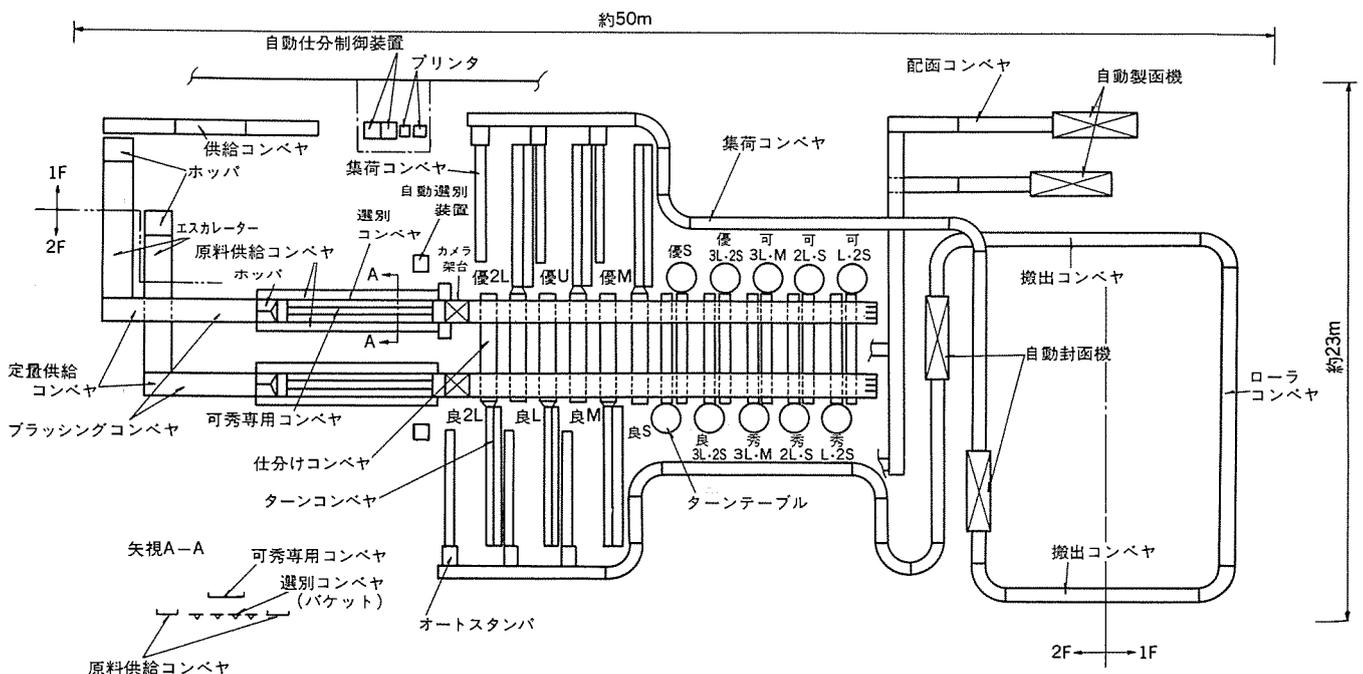


図 11. メロン 自動選別 システムレイアウト 事例

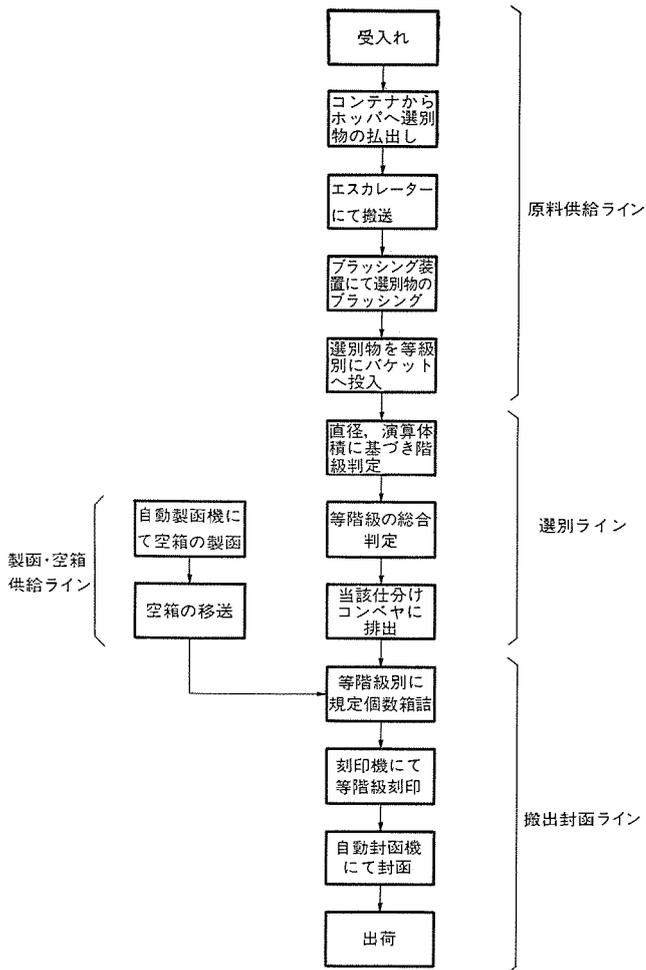


図 12. ムロン自動選別システムの流れ (事例)

等級内訳 (目視判断による品質の差異)  
秀, 優, 良, 可

図 10. にムロンの階級別箱詰要領の一例を示す。

### 5.2 システムレイアウト

ムロン選別システムの納入・稼働例の全体レイアウトを図 11. に示す。このシステムは選別装置を 2 セット導入し、選別ライン (バケット条数) は 4 条 × 2 セット = 8 条、最高選別能力は約 30,000 個/h・セット × 2 セット = 約 60,000 個/h という大規模なものになっている。

### 5.3 システムの流れ

全体システムの流れを図 12. に示す。全体を大別すると原料 (選別物) 供給ライン、選別ライン、搬出封函ライン及び製函・空箱供給ラインより構成され、それらが合理的に配置されている。

### 5.4 選別方法

バケット上のムロン形状は図 13. のようになっている。階級はまず選別物の最大直径で一次階級を判定し、次に体積を計測し図 14. のように最大直径で定めた一次階級の体積範囲に納まっているか否かを判断し、上限以上なら 1 階級アップ、下限以下なら 1 階級ダウンを行い最終階級を決定する。

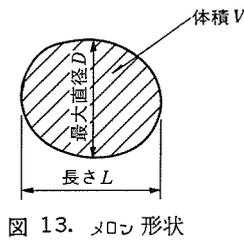


図 13. ムロン形状

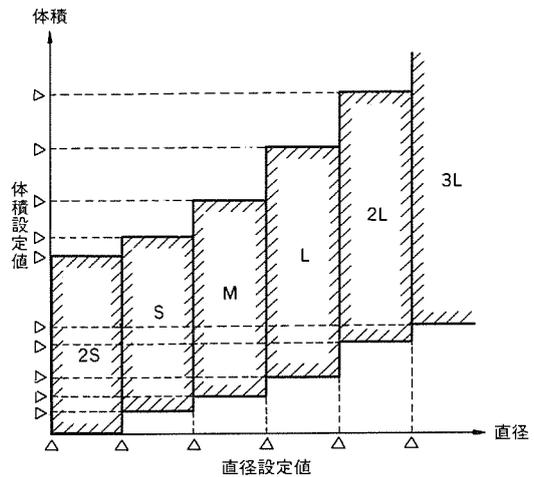


図 14. ムロン選別基準

最大直径は選別物の映像より求めることができるが、体積を求めるには演算が必要である。体積を演算する方法として、ムロン中央部分は数分割の円筒、両端部分は円すいに近似させて演算した。実測値との誤差は数%以内に収まっている。

### 5.5 二重トラッキング (二重位置追跡) 方式の適用

納入事例において、総合的な処理量から要求される選別ライン数 (条数) は装置 1 セット当たり 4 ライン (条) である。等級は 4 等級あるので 1 ライン 1 等級に割り振ればシステムは大変単純になるが、4 等級のうち「優」、「良」で全体の 70~90% 占めるため、1 ライン 1 等級の場合、「秀」、「可」ラインの稼働効率が下がり全体の処理能力も減少する。そこで図 15. のように「秀」・「良」ライン、「優」・「可」ライン各々 2 ライン設けることにし、全体の処理能力向上を図った。

したがって 1 ラインで 2 等級のものを選別することになり、等級の判定は人が行うが、仕分け段階で等級の区別をして排出する必要がある。このように等級を区別して階級を判定する方法 (すなわち等階級選別方法) として、下記の二重トラッキング (二重位置追跡) 方式を考案し適用した (図 15. 参照)。

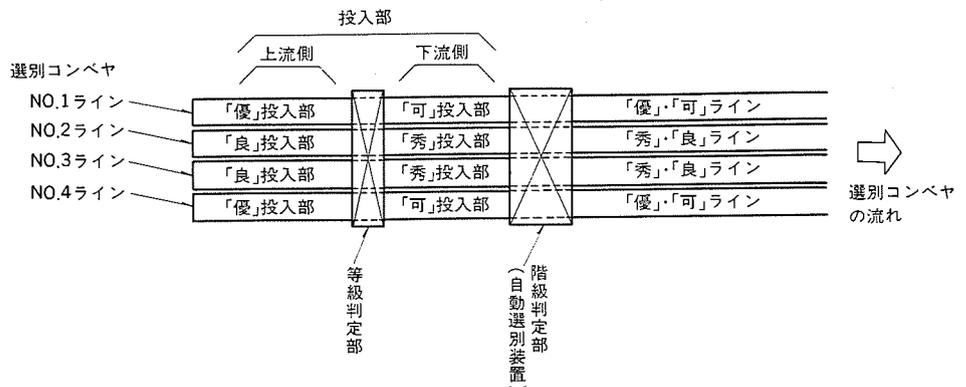
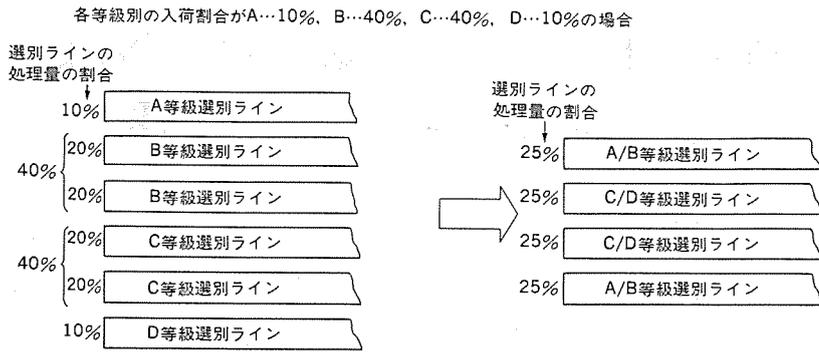


図 15. 二重トラッキング方式の選別ライン



(a) 通常方式 (b) 二重トラッキング方式  
 図 16. 通常方式と二重トラッキング方式の選別ライン

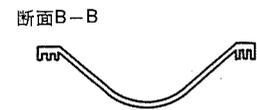
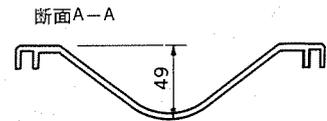
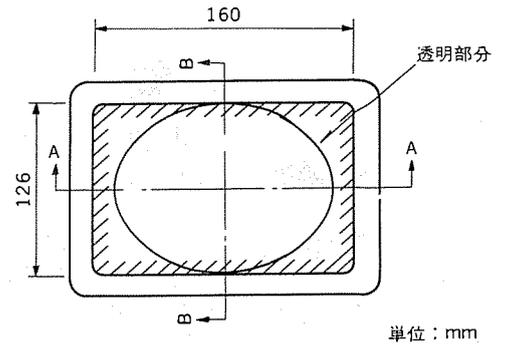


図 17. メロン用バケツ

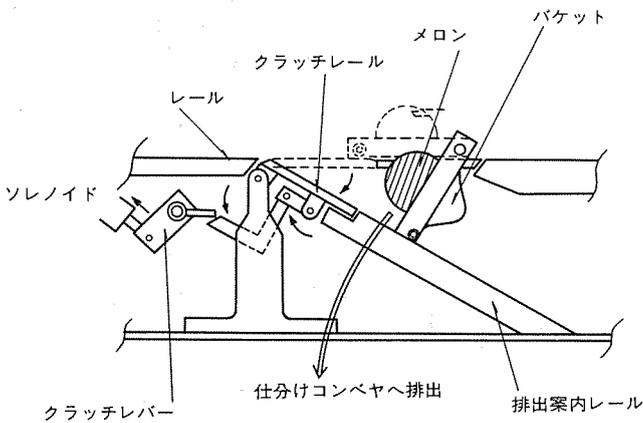


図 18. メロン用排出機構

- (1) 選別コンベヤの投入部(バケツに選別物を載せる部分)を上流/下流側に分け、各々の所でそれぞれ定まった等級の選別物を投入する。
- (2) 投入部上流側でバケツに投入された選別物と下流側で投入された選別物の等級が記憶される。
- (3) バケツ位置を追跡し選別物がカメラ位置(階級判定部)に達すると、形状寸法及び体積から階級を判定し、記憶していた等級と組合せて等階級を決定する。
- (4) バケツ位置を追跡し続け、選別物が所定の等階級の排出位置に到達するとバケツが緩やかに反転し、選別物が仕分けコンベヤ上に排出する。

事例のように、総合的処理量から選別ラインは装置1セット当たり最低4ライン必要で4等級のうち2等級の品種が圧倒的に多く、残り2等級の品種がわずかな場合、同程度の処理能力のもとで二重トラッキング(二重位置追跡)方式を採用しない場合の選別ラインは図16.(a)のようになり、二重トラッキング方式を採用すると図16.(b)のようになる。これから分かるように二重トラッキング方式により設備の大幅削減が可能となった。

### 5.6 バケツ形状

メロンを大きさによらず安定して保持するために図17.のような円すい形のバケツを採用した。

### 5.7 排出機構

メロンの皮は柔らかく傷付きやすいため、仕分けコンベヤ(排出コンベヤ)にメロンを排出する際は衝撃を与えない必要がある。そのため図18.のような排出機構を採用した。

## 6. む す び

《MELSORT》は、パターン計測応用の汎用性のある計測・選別システムである。計測、選別処理はソフトウェアで行っているため、上記2件の事例に見られるように従来の装置では無理であった複雑な処理もマイコンのソフトウェアを開発することにより可能となった。

現在まで農業、漁業関係の第一次産業分野における計測・選別に幅広く応用されているが、今後更にこの分野はもとより広く一般産業の分野での活用が期待される。

### 参 考 文 献

- (1) 野村ほか：三菱パターン計測選別システム《MELSORT》の開発製品化とその応用、三菱電機技報、53、No. 12 (昭54)
- (2) 野村：野菜選別技術の新しい方向、農経新報、3月号(春号) (昭56)
- (3) 野村：パターン計測技術応用の農産物形状自動選別システム、映像情報インダストリアルサイエンス、13、11/12号 (昭56)

## 静かな運転音「49ホン」+ゴミ捨て簡単な「クルッポン」採用の 三菱掃除機《風神》TC-805形



買い増しや買い換え需要が主である顧客の声は①吸じん力が強いこと②チリ処理が簡単なこと③音が静かなこと。この3つに集約され、これがセールスポイントにもなっています。チリ処理では、チリ捨て簡単な「クルッポン」を発売以来、大変好評を得ています。本機種は、更に「ブロワモータの改善」と「ブロワモータ回りの二重消音方法」により静音化を図っています。

### 特長

- 住宅環境基準50ホンを下まわる音の静かな運転音「49ホン」
- ゴミ捨て簡単な「クルッポン」の採用  
コードを引き出すとフィルターのチリ落しが自動的に行われ、同時にクルッポン機構部のゼンマイに力が蓄えられます。ゴミ捨ての時、クルッポンボタンを押すと前フタが開き、もう一度押すと「クルッポンカッター」が回転して、ゴミが簡単に捨てられます。
- 前からゴミ捨て  
前フタが開くのでゴミ捨ての時、フィルターを外すわずらわしい作業がありません。

- ダストアラーム付  
ゴミがいっぱいになると、ダストアラームが鳴ります。
- 「吸う吸うブラシ」付  
床ブラシは、首部が上下左右に動き、ブラシを床面につねにピッタリと密着させ、効率よくゴミを吸い込みます。「吸う吸うブラシ」は楽な姿勢で掃除ができます。また、このブラシには、吸込力をアップする「吸う吸うプレート」が付きましましたので、しっかりとゴミをキャッチします。
- 「タッチスイッチ」付ホース  
握ればON、離せばOFFの「タッチスイッチ」付ホース。節電効果と使いやすさを同時に実現しました。

### 標準仕様

- 消費電力 500W
- 吸込仕事率 150W
- 運転音 49ホン
- 外形寸法 長さ439mm、高さ310mm、幅224mm
- 本体重量 5.1kg
- 色 ベージュ、グリーン、レッド

# スポット ライト

置き場所自由なビデオ

## 《フリーファンタス22G》HV-22G形



57年度の国内向けビデオの新製品として、すでに発売済の据置形普及機HV-55Gと高級機HV-77Gに引き続き、これまでのホームビデオの概念をうち破った新しい感覚のビデオ《フリーファンタス22G》を新発売しました。部屋から部屋へ、部屋から外へ、置き場所を選ばないファッショナブルなビデオです。

### 特長

#### ●ファッショナブルで斬新なデザイン

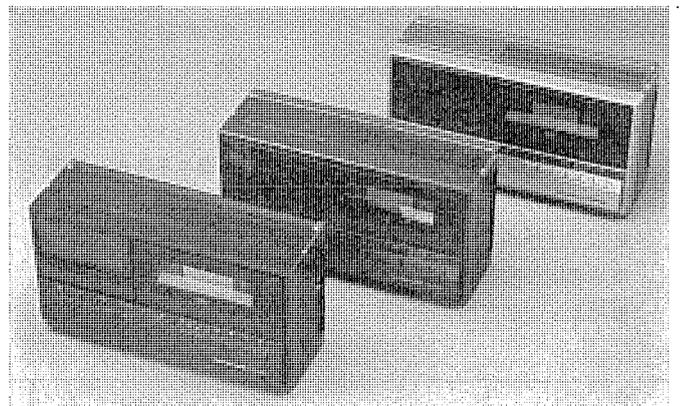
パーソナルユースにマッチした新感覚のデザインです。色調もシルバー、赤、黒の3色を採用しています。また、カセットの出し入れは、前面から操作できるフロントオープンローディングですから、テープの走行、残量がひと目で確認できます。

#### ●持ち運び自由な3電源方式

家庭用AC電源のほかに、屋外では専用バッテリー、カーバッテリーも使用できます。もちろんキャリングハンドル、カメラ接続端子も備えていますから、屋外でのカメラ撮りも自由です。

#### ●ワンタッチアンテナ結合器

一度アンテナ線を接続しておけば、ビデオへの接続、取りはずしがワンタッチでできます。したがって、ビデオを移動する際のアンテナ線の接続替えのわずらわしさがありません。



#### ●基本画質重視の4ヘッド

標準モード、3倍モード、それぞれに最適の専用ヘッドを設けた4ヘッド方式です。基本計画が向上するとともに、標準、3倍モードのどちらでもノイズバーの少ない、美しいスピードサーチができます。

#### ●その他の特長

- 離れた所から操作のできるリモコンユニットつき。
- 番組の予約が楽しめる、1日1番組のプログラムタイマーつき。
- 現在時刻や録画予約を停電から守る、停電補償電池(約30分)つき。
- 乱れない美しいつなぎ録りのできるFE機構つき。
- 録画済のテープのあとから音声を入れることのできるアフレコ機構つき。
- テープが終りになると、自動巻戻しをするオートリワインドつき。

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1265664	ギヤポンプ装置	吉村多喜男・大窪純治	1265724	電圧切換回路	村山 昇・津波勝一
1265665	回転体の固定装置	辻村頼光	1265726	内燃機関点火装置	二宮厚博
1265670	フィルター装置	長嶺 元・南日国伸	1265727	回転電機の通風路装置	福吉拓雄・池田悌二
1265671	極低温低雑音増幅装置	白幡 潔・武富大児	1265728	電気機器制御盤	野々山昭治
1265672	箱形配電盤	野村 聡	1265729	制御盤	西 仁瀨
1265674	エレベータかご室の照度調整装置	加藤光雄	1265730	冷凍装置	木下 実
1265675	二重ダイヤル盤	堀尾則泰	1265732	可動部配線構造	杉原繁樹・森 高明
1265679	全閉形回転電機の冷却装置	東 和彦	1265733	エレベータの乗場装置	池田 弘
1265681	換気扇のスピナーロック装置	井口武夫	1265742	磁性楔	川口五郎・柴田美夫
1265688	回転電機の軸受装置	加納幹大	1265747	発電機用電圧調整器	徳永芳則
1265690	照明器具用セード	長沼真吾	1265748	シュミット回路	山下雄義
1265691	カラーテレビジョン装置	大塚洋俣・大竹登志男	1265756	エレベータの呼登録装置	高村 明・兼松 豊
1265693	電磁石	前原利昭・松本広行	1265758	マンコンベヤの速度制御装置	加藤孝雄・釜池 宏
1265694	ばね装置	永井寿博	1267383	カラーブラウン管	川口武夫
1265700	中継端子装置	中島義充・浜田 孝	1267406	パルス発生装置	小林照朋
1265702	ヒートポンプ式エアコンディショナの霜取駆動回路	{太田 誠・藤井 学 渡辺 進・笠原文彦	1267414	集塵装置	{加藤 悟・南日国伸 鶴谷嘉正
1265703	ヒートポンプ式エアコンディショナの霜取駆動回路	{太田 誠・藤井 学 渡辺 進・笠原文彦	1267423	電流制限装置	{伊藤利朗・宮本紀男 村井 裕・和田勇一
1265706	密閉形電動圧縮機	忠 五雄	1269335	電気あんま器	川合輝一・橋本 一
1265707	高周波加熱器	{慶野長治・小沢徳二 臼井輝夫	1269336	電気あんま器	川合輝一・橋本 一
1265708	閉鎖配電盤におけるインターロック装置	斉藤好司・徳永光彦	1269337	電気あんま器	川合輝一・橋本 一
1265714	選択作動回路	小島正典・中野正照	1269338	ベルト式動力伝達装置	{永淵一美・大村信昭 綱島朝次・萬豆正孝
1265715	選択作動回路	小島正典	1269343	箱枠体	小島悟平・佐藤源司
1265721	半密閉形二段圧縮機	山崎泰彦	1269346	変調器	松田英昭・杉江清和
1265722	回転電機の放熱装置	柳内芳彦	1269348	しゃ断器の鎖錠装置	杉中輝明
			1269349	電磁連結装置	小林良治

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 56 No. 11 省エネルギー特集

- 巻頭言
- 電力分野における省エネルギー
- 産業用設備の省エネルギー
- ビル・店舗設備の省エネルギー
- 交通分野における省エネルギー
- 家庭用電気品の省エネルギー
- 半導体素子の省エネルギーへの役割

<p>三菱電機技報編集委員</p> <p>委員長 志岐守哉 委員 野村兼八郎</p> <p>副委員長 岸本駿二 " 山内 敦</p> <p>" 三浦 宏 " 柳下昌平</p> <p>常任委員 佐藤文彦 " 立川清兵衛</p> <p>" 峯松雅登 " 徳山 長</p> <p>" 田中克介 " 柴山恭一</p> <p>" 葛野信一 " 早瀬通明</p> <p>" 井上 通 " 荒野苗也</p> <p>" 阿部 修 " 瀬辺国昭</p> <p>" 吉田太郎 " 倉橋浩一郎</p> <p>" 野畑昭夫 " 小原英一</p> <p>" 的場 徹 幹事 諸住康平</p> <p>" 尾形善弘 " 足立健郎</p> <p>10号特集担当 高橋宏次</p>	<p>三菱電機技報 56 巻 10 号</p> <p>(無断転載を禁ず)</p> <p>昭和 57 年 10 月 22 日 印刷</p> <p>昭和 57 年 10 月 25 日 発行</p> <p>編集兼発行人 諸住 康平</p> <p>印刷所 東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地</p> <p>大日本印刷株式会社</p> <p>発行所 東京都千代田区丸の内 2 丁目 1 番 2 号 (〒100)</p> <p>菱電エンジニアリング株式会社内</p> <p>「三菱電機技報社」Tel. (03) 218 局 2045</p> <p>発売元 東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (〒101)</p> <p>株式会社 オーム社</p> <p>Tel. (03) 233 局 0643(代), 振替口座東京 6-20018</p> <p>定 価 1 部 500 円送料別 (年間予約は送料共 6,700 円)</p>
---	--



我が国における一般事務用のファクシミリの利用は、実に目覚ましいものがあります。しかし、ファクシミリ利用効果の大きい印刷出版業界向けの用途には、優れた画像品質を必要とすることと、校正文字を赤色で再現する必要があります。従来のファクシミリの性能と実用性を大幅に向上させた高画像品質、赤・黒2色再現の高速ファクシミリの実現が、業界より強く望まれていました。

三菱電機では、業界のニーズをいち早く製品開発に組み入れ、すでに、自治体、新聞業界ですぐれた実績のあるMELFAS 850、880の画像処理技術に加え、新たに赤・黒2色読取・記録技術を確認。高解像度2色ファクシミリMELFAS8500を製品化しました。

このMELFAS8500シリーズは、印刷出版業界のほか、一般会社・新聞社・自治体などの精密印刷物・設計図面・号外版・印鑑証明など、高画像品質プラス二色再現が望まれる用途に利用できます。

### 特長

- 正確な校正に不可欠の「赤」「黒」2色  
赤と黒の2色が鮮明に再現されます。校正や変更、指定が赤字のまままで明確に伝わり、校正業務が迅速で、正確にすすめられます。
- 6ポヤルビがくっきり鮮明  
走査線の密度は、12×12本/mm。一般事務用ファクシミリの2倍以上の高解像度を実現し、6ポイント(写植9級)ヤルビなど、小さな文字も鮮明に再現します。
- A3版までそのままワイド電送
- 大量の校正原稿を短時間に高速電送
- 必要な場所に自由なネットワーク  
一般の加入回線に接続できるため、校正業務に必要な場所にネットワークを自由に組むことができます。
- 当社製FA-850、880と相互交信可。

て	校正	校正	活字交換のこと
と	定数 (恒数, 不変数, 常数)	散塵 (散塵)	電源 (電源)
丁重 (鄭重)	手付け	天性 (天成, 天生)	天性 (天成, 天生)
(停顿) 停滞	*手付金	(恬淡) 淡泊, あっさり	(恬淡) 淡泊, あっさり
丁寧 (丁寧)	撤退 (*撤退)	転倒 (顛倒)	転倒 (顛倒)
(距離) ぬかすみ	手伝い	(伝播) 広がる, 波及, 伝わる	(伝播) 広がる, 波及, 伝わる
定年 (停年)	*手続	天引き	天引き
停泊 (碇泊)	徹底 (*徹底)	*天引貯金	*天引貯金
体よく (態よく)	手取り	(天賦) 天分, 生まれつき	(天賦) 天分, 生まれつき
*出入口	*手取金	でんぶん (電粉)	でんぶん (電粉)
手入れ	手直し	(貼付) はり付ける	(貼付) はり付ける
手打ち	手並み	店舗 (店舗)	店舗 (店舗)
*手打式	手習い	(順木) 始末, てんまつ	(順木) 始末, てんまつ
手落ち	手抜かり	(天祐) 神助, 天の助け	(天祐) 神助, 天の助け
手がかり (手掛かり, 手懸り)	手始め	(伝送) 2色ファクシミリで	(伝送) 2色ファクシミリで
てがる (手柄)	手放す (手離す)	伝送する	伝送する
(敬儀心) 敬対心, 負けん気	手はず (手筈)	電送 2色ファクシミリで	電送 2色ファクシミリで
通材通所 (通才通所)	手放し	電送する	電送する
できごと (出来心)	手控え	ファクシミリの場合は可	ファクシミリの場合は可
(溺死) 水死	*手引	電送も使う	電送も使う
的中 (道中)	*手引書		
できばえ (出来栄え)	手回し		
できめん (腹面)	手回り		
摘要 ... 要点をあげる	*手回品		
適用 ... あてはめ用いる	出迎え		
できる (出来る)	*出迎人		
手ぎわ (手際)	手持ち		
手こたえ (手応え)	*手持金		
手こる (手煩)	*手持品		
手こわい (手強い)	手もと (手許)		
出張 ... 抹消のこと	照らし合わせる		
手さげ (手揚げ)	*照し合せ	照合	照合
でし (弟子)	照らす		
手すり (手摺)	照らし出す		
*手刷 (ケラの項参照)	照り		
手助け	*照返し		
手遣い	手分け		
手帳 (手帖)	点景 (添景)		
的確 (*適確)	天険 (天険)		
		【と】	
		度合い	
		間い	
		間い合わす	
		*間合せ	
		*間合せ状	
		統括 (統轄)	
		冬季 (冬期)	
		(動悸) 鼓動, どうき	
		道具立て	
		(鐘儀) あこがれ	
		同工異曲 (同巧異曲)	
		(搭載) 積載, 積む	
		(洞察) 見抜く, 見通す, 明察	
		同士 ... 男同士	
		同志 ... 同志をつのる	
		同志討ち (同志打ち)	