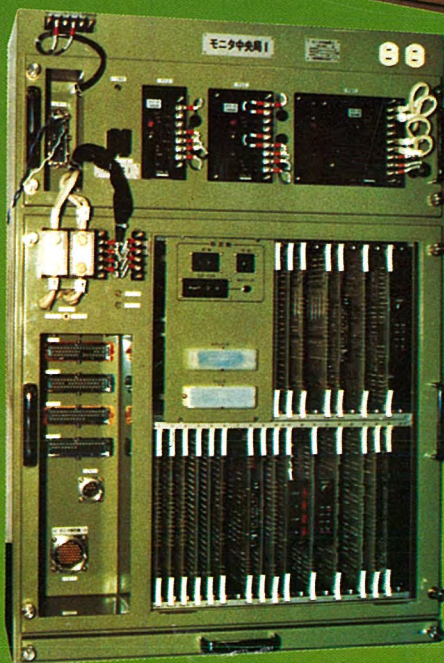
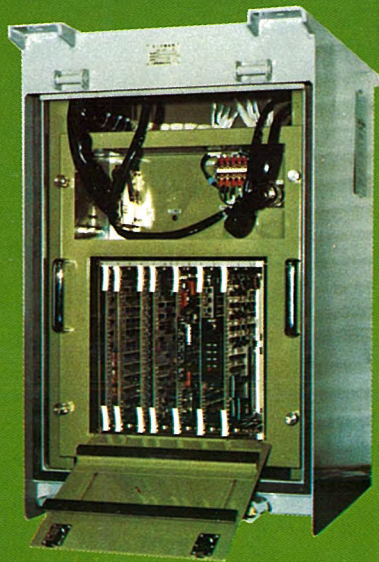


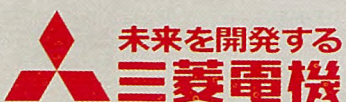
# MITSUBISHI DENKI GIHO

# 三菱電機技報



Vol.54 No.7

電気機器のモニタリング特集



7  
1980

## 電気機器のモニタリング特集

### 目次

#### 特集論文

発電機コンディションモニタ.....	1
朝日美津代・榎本順三・田熊良行・瀬戸幹雄	
かご形3相誘導電動機の回転子導体温度監視装置.....	6
宇野秀也・峯友清博・谷口昭信・松田充記	
ころがり軸受モニタリングシステム.....	9
手島 泰・小泉孝之・宇佐美照夫・藤山辰之・谷口良輔	
油中ガス自動分析装置による変圧器のモニタリング.....	14
山田光洋・埜村雄作・今村 孝・石井敏次・吉原俊彦	
ガス絶縁機器の内部絶縁診断技術.....	19
伊藤俊一・土谷善英・楠本季夫・迎 久雄・松田節之	
鉄道車両用モニタリングシステム.....	23
六藤孝雄・森原健司・中嶋恒弥・小西直行	

#### 普通論文

塊状突極形同期電動機の非同期始動特性.....	31
黒谷 博・加藤之敏・猪谷耕太郎・阪部茂一	
レーダエコーシミュレータの開発.....	35
大橋由昌・近藤倫正・小野 誠	
国内通信用衛星回線交換方式及び制御装置 -SCPC-DAMAシステム-	38
前田良雄・本田 茂・岩橋 努・小松陽二・伊藤修治	
14MVA直接水冷却水車発電機の開発と運転実績.....	43
宇佐見一雄・沢谷賢二	
医療用ライナックML-15MIII形の性能.....	48
高橋勇守・鈴木敏允・金沢正博・朝井克治・菊地 宏	
徳島県防災行政無線システム.....	53
一地方自治体の非常災害及び一般業務用無線電話網の1例-	
桂川 弘・中川幹雄・米田長義	
マルチステップフォーカス電子銃の高解像度カラーディスプレイ管への応用.....	58
竹延眞哉・野阪英荘・鷲野翔一	
サイリスタチップによるパワーモジュール.....	62
山根正熙・大島征一・山本 武・山下信三・石橋清志	

#### 特許と新案.....29

##### 遅延回路

水分散形ワニスを用いて電気泳動により被覆を施す方法  
粒子加速装置

#### 当社の登録特許一覧.....28

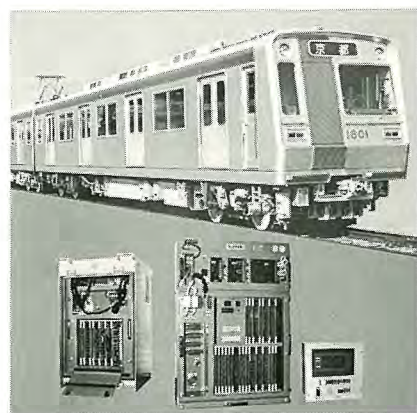
##### スポットライト

水平・鉛直2方向同時振動試験設備.....	65
交通管制用光伝送ITVシステム.....	66
ダブルモールド方式低圧用変流器CW-Lシリーズ.....	67
科学技術庁長官賞を受賞.....	(表3)

### 表紙

#### 鉄道車両用モニタリングシステム

マイクロコンピュータ応用技術と情報伝送技術を駆使した最新形の列車モニタリング装置を製作し、このたび京都市交通局烏丸線向けに全数納入した。列車は高い安全性と信頼性が計画され、車両機器には、ATC/ATOやチョップ制御装置を始め、電気ブレーキ装置(制御装置とのブレーキ力補足演算機能付き)など大幅にエレクトロニクス化が図られている。半導体機器の故障やノイズに基づく一時的な誤動作が低いひん度で発生しても、故障原因や誤動作箇所を的確につかむことは、列車運用並びに保守上、従来に増して重要になっている。この必要性に対して列車モニタリング装置が設備されている。



# アブストラクト

## 発電機コンディションモニタ

朝日美津代・榎本順三・田熊良行・瀬戸幹雄

三菱電機技報 Vol.54・No.7・P1～5

大形発電機の保全のため、機内の局所過熱を早期に発見するモニタ（発電機コンディションモニタ）の機能・特性を明らかにした。更に、熱分解時に有機物より発生する微粒子の質量スペクトルから、過熱位置を決定する方法を確立した。

ここでは、モニタの機能・構造を紹介するとともに、過熱位置決定法の概要について述べる。

## ガス絶縁機器の内部絶縁診断技術

伊藤俊一・土谷善英・楠本季夫・迎久雄・松田節之

三菱電機技報 Vol.54・No.7・P19～22

GISは既に極めて高い信頼性を有しているが、より一層の、性能維持と信頼性向上とを目的にして、運転中に外部から内部絶縁を診断する技術に関西電力(株)と三菱電機(株)とが共同研究を行って開発した。内部異常に伴って発生する部分放電を検出するもので、次の4方式の装置を開発し、実用化した。化学的方式：分解ガスによる呈色反応、機械的方式：容器壁の振動を検出、電気的方式：容器の過渡電位振動を検出、光学的方式：部分放電光を検出。本文では各方式の原理、試験結果、運用法についてその概要を述べる。

## かご形3相誘導電動機の回転子導体温度監視装置

宇野秀也・峯友清博・谷口昭信・松田充記

三菱電機技報 Vol.54・No.7・P6～8

誘導電動機の保護は、1次電流の計測及び固定子温度の検出により行われるが、かご形誘導電動機においては固定子巻線よりも回転子導体の温度上昇が問題になる場合が多い。特に高始動ひん度、高慣性負荷、あるいは、負荷変動幅の大きい電動機の保護として、回転子温度を直接計測する保護装置が必要である。

当社は、このたび回転子導体温度監視装置を製作納入したので、その概要を紹介する。

## 鉄道車両用モニタリングシステム

六藤孝雄・森原健司・中嶋恒弥・小西直行

三菱電機技報 Vol.54・No.7・P23～27

マイクロコンピュータや情報伝送技術を駆使した最も新しい列車モニタリング装置を量産製作し、納入した。列車を高性能化及び高信頼度化するため、車両機器は大幅にエレクトロニクス化されつつある。その反面、常時、機器を監視し、故障原因を適確につかむ必要が増している。この装置は、この要請に答えるもので、機器故障の原因を正確かつ迅速に探索し、乗務員及び保守部門へ正確な情報を伝達して運転及び保守業務を補助するもので、本文に装置の概要を述べる。

## ころがり軸受モニタリングシステム

手島泰・小泉孝之・宇佐美照夫・藤山辰之・谷口良輔

三菱電機技報 Vol.54・No.7・P9～13

各種プラントに設置されている回転機器において、軸受の異常がこれら回転機器の故障原因に占める割合は、かなり大きな値を示している。また近年、各方面でさまざまな設備診断技術が論じられ、システム化も進められている。

このたび、関西電力(株)と三菱電機(株)との間で、ころがり軸受の予防保全を目的とした研究を進め、今回システムを開発し、関西電力(株)の火力発電所に設置した。本文はその概要を報告する。

## 塊状突極形同期電動機の非同期始動特性

黒谷博・加藤之敏・猪谷耕太郎・阪部茂一

三菱電機技報 Vol.54・No.7・P31～34

塊状磁極形同期電動機は、その高始動トルク特性、及び熱的、機械的な堅ろうさが重慣性負荷や高始動ひん度負荷の駆動に適している。更に、高効率で力率改善もできるため、省エネルギーに最適な電動機である。この電動機の非同期始動特性を解析するときの難点は、塊状磁極の非線形磁気特性の取扱いにある。筆者らの解析から導いた理論、及び実験における測定データとの比較・検証の結果を示し、この理論の妥当性を確認したことを報告する。

## 油中ガス自動分析装置による変圧器のモニタリング

山田光洋・埜村雄作・今村孝・石井敏次・吉原俊彦

三菱電機技報 Vol.54・No.7・P14～18

油中ガス分析は変圧器の内部異常を早期に検出し、事故を未然に防止するための最も進んだ技術である。しかし、油中ガス分析は複雑な分析装置と熟練した分析技術者をとる必要とし、測定結果にばらつきのあることが難点である。この点を解決するため、油中ガス自動分析装置と油中可燃性ガス自動測定装置とを開発した。両装置とも採油から分析結果の表示までの全操作を自動的に行う。これらの装置は、1次変電所における現地実証試験によって、変圧器のモニタとして使用できることが確認された。

## レーダエコーシミュレータの開発

大橋由昌・近藤倫正・小野誠

三菱電機技報 Vol.54・No.7・P35～37

搜索、追尾レーダなどではクラッタに埋もれた目標信号の検出が重要であり、これを解決するためには実際のレーダエコーを適確に把握する必要がある。開発したレーダエコーシミュレータは、実環境で得られるレーダエコーをIF帯及びビデオ周波数帯で模擬するもので、特長としてマイクロコンピュータの制御により任意のドップラー成分及び確率分布を持った模擬レーダエコーを発生することができる。この模擬レーダエコーは実際のものに近く、クラッタ抑圧装置などの研究に活用できる。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 54, No. 7, pp. 19~22 (1980)

## Diagnostic Techniques for Gas-Insulated Switchgear Using Partial-Discharge Detection

by Shun'ichi Ito, Yoshihide Tsuchiya, Sueo Kusumoto, Hisao Mukae & Setsuyuki Matsuda

Gas-insulated switchgear is already extremely reliable, and Mitsubishi Electric has cooperated with Kansai Electric Power Co. to further improve its performance and reliability by developing techniques to diagnose the state of the internal insulation from outside the equipment during normal operation. Using diagnostic techniques that detect the partial discharge generated by an internal fault, apparatus using the following four methods has been developed and put into practical use: 1) a chemical method dependent upon the color change of a reagent using cracked gas; 2) a mechanical method detecting the vibration of the metal enclosure; 3) an electrical method detecting transient potential fluctuation within the metal enclosure; 4) an optical method detecting the luminescence associated with partial discharge. The article describes the principles and test results for each method and details their practical utilization.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 54, No. 7, pp. 1~5 (1980)

## A Generator-Condition Monitor

by Mitsuyo Asahi, Junzo Enomoto, Yoshiyuki Takuma & Mikio Seto

Mitsubishi Electric has investigated and established the functions and performance characteristics required of a monitor to detect and give early warning of local overheating in generators. These are important criteria for maintaining large generators in good condition. A new method of locating the site of overheating has also been developed based on mass spectroscopy of the particulate matter generated by the pyrolysis of organic materials. The article introduces the functions and structure of this generator-condition monitor, and describes the method by which the location of overheating can be determined.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 54, No. 7, pp. 23~27 (1980)

## Vehicle-Mounted Monitoring Equipment for Railway Systems

by Takao Muto, Kenji Morihara, Tsuneya Nakajima & Naoyuki Konishi

Mitsubishi Electric has brought into full-scale production and delivered the very latest type of train-monitoring equipment using microcomputers and information-transmission technology. Electronic operation assures the high performance and high reliability required to satisfy the growing demand for improved monitoring equipment and precise determination of the causes of faults. This equipment detects equipment faults promptly and precisely and transmits accurate information to the crew and the maintenance section to facilitate operation and maintenance. The article provides a general discussion of the equipment.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 54, No. 7, pp. 6~8 (1980)

## A Rotor-Temperature Monitoring System for Squirrel-Cage 3-Phase Induction Motors

by Hideya Uno, Kiyohiro Minetomo, Akinobu Taniguchi & Mitsumori Matsuda

Although thermal protection of induction motors usually involves measuring the primary current and detecting the temperature rise of the stator windings, in the case of squirrel-cage induction motors the temperature rise of the rotor conductors is more important for thermal protection than that of the stator windings. The need for a protective device that directly detects rotor-conductor temperatures is particularly great in the thermal protection of heavy-duty cycle motors with high inertia and subject to frequent starting. The article provides a general discussion of a rotor-conductor temperature-monitoring system produced and supplied by Mitsubishi Electric.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 54, No. 7, pp. 31~34 (1980)

## Asynchronous Starting Characteristics of Solid Salient-Pole Synchronous Motors

by Hiroshi Kurotani, Kunitoshi Kato, Kotaro Itani & Shigekazu Sakabe

Solid salient-pole synchronous motors combine high starting-torque characteristics, strong resistance to heat, and mechanical durability. They are therefore suitable for driving high-inertia loads with frequent start-stop cycles. They also ensure energy-saving by their high efficiency and correspondingly improved factory power factors. However, they do present the problem of the analysis of asynchronous starting characteristics in terms of the nonlinear magnetic characteristics of solid salient poles. The article introduces the theory suggested by our analysis and examines its validity as established by data from actual measurements.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 54, No. 7, pp. 9~13 (1980)

## A Monitoring System for Roller Bearings for Rotary Machines

by Hiroshi Teshima, Takayuki Koizumi, Teruo Usami, Tatsuyuki Fujiyama & Ryosuke Taniguchi

Faults in the bearings of rotary machines account for a great majority of the trouble experienced at their installations. Recent years have seen a multiple approach to diagnostic techniques for machinery, and these are now being systemized. Mitsubishi Electric, in cooperation with Kansai Electric Power Co., has investigated the predictive maintenance of roller bearings and developed and installed a system to perform it in a thermoelectric power plant of Kansai Electric. The article gives a general description of the system.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 54, No. 7, pp. 35~37 (1980)

## Development of a Radar-Echo Simulator

by Yoshimasa Ohashi, Michimasa Kondo & Makoto Ono

Accurate identification of radar echoes is essential to the detection of the target signal buried in the clutter affecting search and tracking radar, etc. Mitsubishi Electric has developed a radar-echo simulator in which the radar echo is simulated in a realistic IF-band and video-frequency-band environment. It features microcomputer generation of the simulated radar echo with any desired doppler effect and probability distribution. The simulated radar echo is very similar to those encountered in practice, and is applicable to the investigation of clutter-suppression equipment, etc.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 54, No. 7, pp. 14~18 (1980)

## Automatic Field Monitoring of Dissolved Gases in Transformer Oil

by Mitsuhiro Yamada, Yusaku Nomura, Takashi Imamura, Toshitsugu Ishii & Toshihiko Yoshihara

Dissolved-gas analysis is the most sophisticated technique for the early detection of internal faults in oil-filled transformers and the prevention of accidents. This method, however, generally requires complicated analytical apparatus and a skilled operator, and tends to give readings with a significant degree of dispersion. To resolve these problems, Mitsubishi Electric developed automatic apparatus for dissolved-gas analysis and an automatic apparatus for measuring the total amount of combustible gas in transformer oil. Units of both types of apparatus can operate automatically, from the loading of the oil sample to the indication of the results of the analysis. Field tests at a primary substation have established that they can be used effectively to monitor transformers.

## アブストラクト

### 国内通信用衛星回線交換方式及び制御装置

—SCPC—DAMAシステム—

前田良雄・本田 茂・岩崎 努・小松陽二・伊藤修治

三菱電機技報 Vol.54・No.7・P38～42

国内衛星通信システムでは、一般に多数の小容量局間での通信形態がとられているため、あらかじめ衛星回線を各局に割当てずに、要求があったときに1回線(SCPC)単位で割当てするDAMA方式が適している。

このたび、マイクロプロセッサを用いた経済的なSCPC-DAシステムを試作したので、その特長、構成、機能、性能などについて報告する。

### 徳島県防災行政無線システム

—地方自治体の非常災害及び一般業務用無線電話網の1例—

桂川 弘・中川幹雄・米田長義

三菱電機技報 Vol.54・No.7・P53～57

近年防災に関する社会関心はとみに高まっているが、ここに述べる徳島県防災行政無線システムは、徳島県内全域をカバーする総合無線設備で、移動局を含むすべての無線局が県庁統制局の統制台及び支部の副統制台で統制され、かつトールダイヤル方式にて多重無線、単一无線、自動交換機、統制交換台、遠方監視制御装置及び自動起動発電発電機などを有効に組合せたもので、災害時、平常時を問わず県内防災機関相互を結ぶ大規模な無線通信システムである。

### 14MVA直接水冷却水車発電機の開発と運転実績

宇佐見一雄・沢谷賢二

三菱電機技報 Vol.54・No.7・P43～47

最近の水車発電機は、高速大容量化の傾向がめざましく、従来の冷却方式による容量の限界を突破するために直接水冷却方式が必要である。当社は、昭和45年から回転子水冷却の開発に着手し、昭和53年に中部電力(株)中呂発電所向け14MVA直接水冷却水車発電機を完成した。その後、順調な運転を続け、実測値を確認できたのでこの発電機的设计仕様、構造、製作時の開発・実証試験及び現地運転状況について述べる。

### マルチステップフォーカス電子銃の高解像度カラーディスプレイ管への応用

竹延眞哉・野阪英荘・鷲野翔一

三菱電機技報 Vol.54・No.7・P58～61

高解像度カラーディスプレイ管の現状はテレビ用カラーブラウン管と同様、高輝度、高解像度の方向にある。我々はこの両者を満足させるべく、マルチステップフォーカス電子銃の理論を応用した高解像度管用電子銃を開発した。デルタ方式高解像度カラーディスプレイ管用では画面全面で解像度が約20%改善でき、インライン方式高解像度カラーディスプレイ管用では画面周辺で解像度が約10%改善することができた。

### 医療用ライナックML-15MIII形の性能

高橋勇守・鈴木敏允・金沢正博・朝井克治・菊地 宏

三菱電機技報 Vol.54・No.7・P48～52

近年、放射線治療装置としての線形加速装置(ライナック)の発展は著しく、より高度な信頼性、安全性、精度、操作性が要求されるようになった。そこでクライストロン使用の従来の医療用ライナックML-15MII B形の基本思想を踏襲しながら、新しいモデルを完成させた。特に電子線の長焦点無収差立体収束偏向方式の採用、回路のIC化など新技術を導入し、より高度な信頼性、安全性、精度、操作性等の目的を果たし、従来の高出力、高安定度を維持しておりその概要を報告する。

### サイリスタチップによるパワーモジュール

山根正熙・大島征一・山本 武・山下信三・石橋清志

三菱電機技報 Vol.54・No.7・P62～64

電気機械装置の電力(パワー)制御部の小形化とその製造コストの低減に寄与して、省資源に役立つAC200Vラインで使用できる25A、55A、及び90Aのサイリスタパワーモジュールを国内他社に先駆けて開発、量産化した。よって、その構造、特長、電気的特性、最大定格、信頼性、及び応用について解説する。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 54, No. 7, pp. 53~57 (1980)

## An Integrated Radio-Communications System for Emergencies and General Administration in Tokushima Prefecture

by Hiroshi Katsuragawa, Mikio Nakagawa & Choyoshi Yoneda

Measures to cope with disasters and their aftermath are an urgent current social necessity. The article gives a general description of an integrated radio-communications system provided for emergencies and general administration throughout Tokushima Prefecture. All radio stations, including mobile stations, are controlled from a console at the prefectural administration department and from sub-consoles in the local branches of the administration. The system uses a combination of multiplex and simplex radio subsystems, automatic exchanges, manual exchanges, supervisory equipment and self-starting engine generators. It constitutes a large radio-communications system that interconnects all stations independent of whether there is a state of emergency or not.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 54, No. 7, pp. 38~42 (1980)

## An SCPC-DAMA Satellite-Channel-Switching System for Domestic Telecommunications

by Yoshio Maeda, Shigeru Honda, Tsutomu Iwahashi, Yoji Komatsu & Shuji Ito

In domestic satellite-communications systems, generally characterized by communications between many small stations, it is more convenient to assign free single-channel-per-carrier (SCPC) pairs between stations according to the traffic demand—i.e., using a demand-assignment (DAMA) system—rather than employing a conventional preassigned system. Mitsubishi Electric has developed an economical SCPC-DAMA system adopting microprocessors. The article reports on the characteristics, features, functions and performance of this system.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 54, No. 7, pp. 58~61 (1980)

## Application of the Multistep-Focus Electron Gun to High-Resolution Color-Display Tubes

by Shinya Takenobu, Eisho Nosaka & Shoichi Washino

The need for brightness and high resolution is particularly great both in high-resolution color-display tubes and in color cathode-ray tubes for television sets. Mitsubishi Electric has developed an electron gun for high-resolution tubes based on the theory of the multistep-focus electron gun. The new electron gun gives delta-type high-resolution color-display tubes a 20% improvement in resolution over the whole screen area. In-line high-resolution color-display tubes with the new gun achieve an improvement of about 10% in resolution around the edges of the screen.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 54, No. 7, pp. 43~47 (1980)

## The Development and Operation of a 14MVA Direct-Water-Cooled Hydrogenerator

by Kazuo Usami & Kenji Sawatani

To meet the strong recent trend toward high-speed, large-capacity hydrogenerators, direct-water-cooling systems that exceed the cooling capacity of conventional systems are called for. Mitsubishi Electric has been developing water-cooling systems for rotors since 1970, completing and installing a 14MVA direct-water-cooled hydrogenerator at the Churo power station of Chubu Electric Power Co. in 1978. It has operated satisfactorily ever since. The actual performance figures are now available. The article describes the specifications and the construction of this hydrogenerator, and reports the process of development and production, including evaluation tests, together with the conditions under which it is operated.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 54, No. 7, pp. 62~64 (1980)

## Power-Modules Consisting of Thyristor Chips

by Masahiro Yamane, Seiji Oshima, Takeshi Yamamoto, Shinzo Yamashita & Kiyoshi Ishibashi

Mitsubishi Electric has taken the initiative among Japanese companies in the development and full-scale production of 25A, 55A and 90A thyristor power-modules. They are used in 200VAC lines, contributing to reductions in the size of power-control equipment in electrical machinery, etc. They also offer advantages in manufacturing costs, and enable significant energy savings. The article discusses the construction, features, electrical characteristics, maximum ratings and reliabilities of these modules, and also details how they have been used.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 54, No. 7, pp. 48~52 (1980)

## Performance of the Model ML-15MIII Clinical Linear Accelerator

by Toshimitsu Suzuki, Masahiro Kanazawa, Katsuji Asai, Hiroshi Kikuchi & Takemori Takahashi\*

With the recent significant development of linear accelerators (LINACs) as equipment for use in radiotherapy, the requirements for high reliability, safety, precision and operational performance are becoming more rigorous. To satisfy these requirements, the new Model ML-15MIII has been developed on the basis of the klystron technology used in the previous clinical accelerator, Model ML-15MIIB. The new technological developments incorporated include a double-focusing achromatic bending system, which offers long focus and no aberration and uses integrated circuits combining high reliability, safety, precision and operational performance with the high power and stability that characterized the previous model. The article gives a general description of the new model.

\*Attached to the affiliated hospital of Tohoku University.

# 発電機コンディションモニタ

朝日美津代\*・榎本順三\*・田熊良行\*\*・瀬戸幹雄\*\*

## 1. ま え が き

近年電力需要の急激な伸びに伴い、タービン発電機の単機容量も増大の一途をたどってきた。一方プラントの重要度は増大し、不測の事故・停止が及ぼす経済的、社会的影響の大きさにより、発電機は以前にも増して高い信頼性が要求されてきている。これと並行して、事故防止のための保護システムの重要度が増すとともに、保護システムの多様化が要求されている。

発電機内の絶縁物は、過熱により熱分解を起こし、初期に微粒子を発生する。発電機コンディションモニタ (Generator Condition Monitor 略称 GCM) の原理は、この微粒子を検出することに基づいており<sup>(1)</sup>、機内の局所過熱の早期発見ができる。

GCM は、このように原理的には機内全域の監視が可能である点で、他の測温素子による方法よりもすぐれていると考えられる。

しかしながら、その利用技術に関していえば、感度、過熱物 (過熱位置) の判定方法などに未解明の点も多い。本稿では、GCM の機能・構造を紹介するとともに、モデル試験により明らかにした GCM の特性、並びに微粒子を採取して得た質量スペクトルから過熱位置を推定する手法につき報告する。

## 2. GCM の構造とメカニズム

発電機内に局所的な過熱が生ずると、絶縁物などの有機物質が熱分解を起こし微粒子を発生する<sup>(1)</sup>。GCM はこの微粒子を検出し、警報を発することにより発電機内異常過熱の早期発見を可能にする。微粒子とは、各粒子の大きさを比較した図 1.<sup>(1)</sup>中、condensation

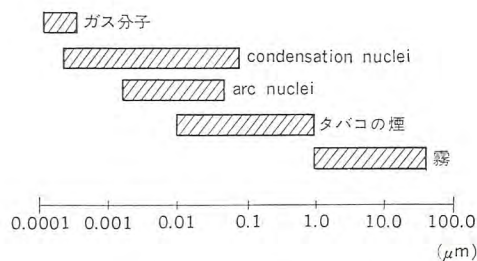


図 1. 粒子の種類と大きさ

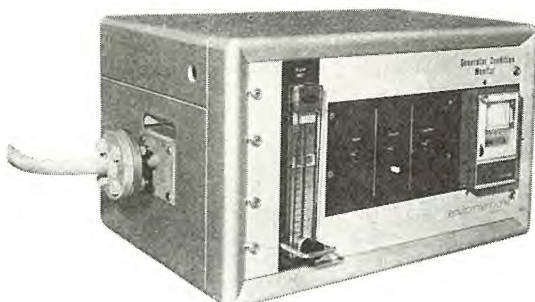


図 2. GCM の外観

nuclei (直径 0.001~0.1 μm) に相当し、ガスより大きな粒子である<sup>(2)</sup>。通常、機内過熱を検知するだけでなく、過熱物 (過熱位置) を知るために、オートサンプリング装置を併用する。図 2. は、オートサンプリング装置を内蔵した GCM の外観を示す。

### 2.1 GCM 本体

図 3. に GCM の原理図を示す。発電機内のフローの差圧を利用して、冷却媒体の水素ガスは GCM に導かれる。イオン化室に入り、ここで低レベルの放射線にさらされてイオン化する。生じた水素イオンはガス流とともに、一定電位に維持された電極を有する集イオン室に運ばれる。

水素イオンは非常に軽い (質量対電荷比が小さい) ので、その大部分は電極に捕えられて電流となり、記録計上に指示される。水素ガス中に絶縁物の熱劣化による微粒子が存在すれば、イオン化室で生じた水素イオンが微粒子に付着し重い (質量対電荷比が大きい) イオンとなる。その結果、電極に捕えられるイオンは大幅に減少し、微粒子の量と比例して電流が減少する。電流があらかじめセットされたレベル以下になれば警報が出る。

イオン化室手前のフィルタ回路は、ガス中の微粒子を除去するためのもので、GCM が発した警報の真偽をチェックする目的で使用される。常時は、フィルタをバイパスする回路を流れるが、警報発生後、フィルタ回路に流れを導き、GCM の指示が正常値に復帰すれば、警報は正

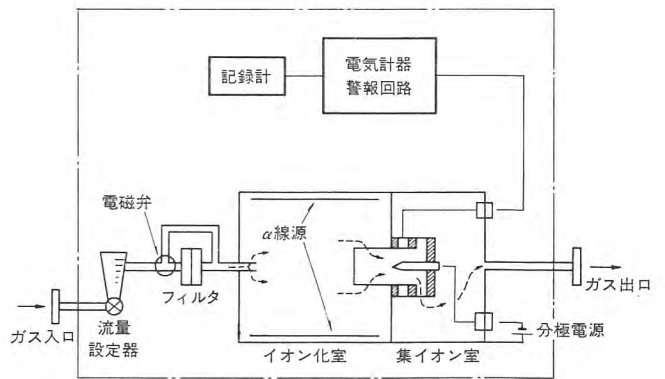


図 3. GCM の原理

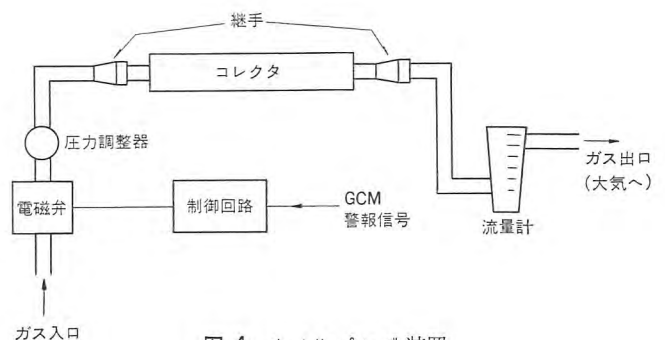


図 4. オートサンプリング装置

\* 中央研究所 \*\* 神戸製作所

しいと判断される。

## 2.2 オートサンプリング装置

GCMにより過熱の存在は検出しても、機内の過熱位置まで知ることはできない。オートサンプリング装置は、過熱物質の種類を推定するためのもので、GCMと併用され、図4.に示すとおりGCMが警報を発するとともに自動的に回路が開き、指定時間水素ガスをサンプリングラインへ導く。

## 3. GCMの特性試験

GCMは機内全域での過熱の検出が可能である点にすぐれた特長をもつが実用にあたってはその特性を十分に(把)握しておく必要がある。GCMの特性に関しては、いくつかの報告により概要を知ることができる<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>。しかし、GCMの感度及び、微粒子のサンプリング・分析による過熱物質の判定手法に関しては、なお十分な検討が必要と思われる。本章ではモデル試験により前者を検討した結果を示し、次章で後者の検討結果を示す。

### 3.1 試験装置の概要

#### (1) 大気圧での試験

図5.に示す装置により各試料を一定昇温速度で昇温させ、微粒子を発生させた。図中グラスファイバフィルタは、発生した微粒子を採取する時に、またFID(水素炎イオン化検出器)はGCMとの感度比較を行う時に接続した。昇温炉はShimadzu Pyrolyzer Model PYR-1Aを改良したものである。昇温管は、CA熱電対を埋め込んだパイレックスガラス管を用いた。試料の温度は、熱電対により正確に測定するとともに、測定点を、温度制御器(HPC-5000、真空理工製)による昇温方式の制御点とした。まずグラスファイバフィルタを除いて試料を所定の場所に置き、N<sub>2</sub>又はH<sub>2</sub>ガス(大気圧状態)を流しながら5~10°C/minで昇温する。GCMにより微粒子の発生を検出した時点の試料温度を、微粒子発生温度として記録する。次にグラスファイバフィルタをそう(挿)入し、全く同一昇温条件で、各材料からの微粒子を採取する。

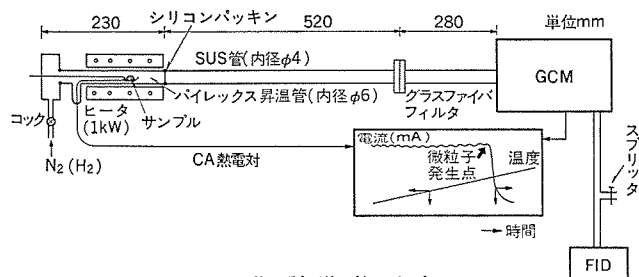


図5. 試験装置A

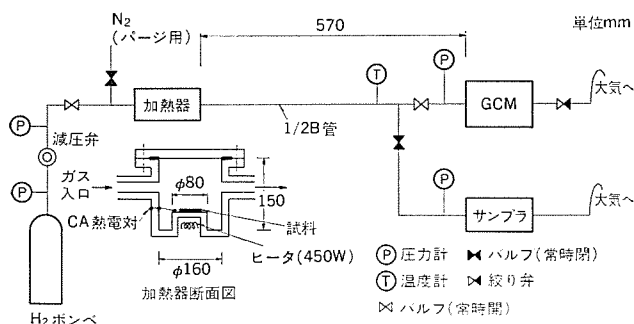


図6. 試験装置B

#### (2) 圧力条件下での試験

図6.に、水素ふんい気圧力条件下での試験装置の概略を示す。配管内をN<sub>2</sub>ガスでパージした後、H<sub>2</sub>ポンプ出口の減圧弁とGCM出口の絞り弁で、加熱器-GCM間の圧力を4kg/cm<sup>2</sup>・g(実機における代表的機内ガス圧)に維持し、GCM内の流量調節器で流量の微調整を行った。ホットプレート上の試料を昇温させ、GCMが微粒子を検知すると、サンプリング前のバルブを開き微粒子を採取する。サンプリングは、グラスファイバフィルタと流量調節弁を内蔵している。試料温度はホットプレート上に設置したCA熱電対により測定した。

### 3.2 GCMと水素炎イオン検出器(FID)との感度比較

感度比較の対象としたFIDは、すぐれた感度(0.1µg)を有し、試料ガス(GCMからの導入ガス)を細い導管で小さい水素炎中に導き燃焼させ、その熱により試料がイオン化されて生じたイオン電流を増幅して有機物を検出する。GCMがある一定範囲の大きさ(0.001~0.1µm)の微粒子だけを検知するのにに対し、FIDは、水や無機ガス以外の有機物を検知する。図5.に示すように、GCMとFIDを接続し、GCM通過後FIDの水素炎が消えない程度にH<sub>2</sub>ガス量をスプリッタにより調節した。図7.(a).(b)に試料を昇温させたときのFID、GCMのチャートを示す。図7.(a)はグラスファイバフィルタを除いた測定、図7.(b)はグラスファイバフィルタを挿入し、GCM、FIDに前記微粒子以上の大きさのものが入らないようにして測定した結果を示した。FIDが検出しているのはガスである。図7.(a)によると、昇温により発生するものにはGCMは146°Cで、FIDは187°Cで感応しており、GCMの感度はFIDに優っていると判断できる。次に、図7.(a).(b)中のFIDチャートを比較すると、微粒子は187°Cで、それ以下の大きさのもの(ガス)は、212°Cで発生していると考えられる。以上のことから、熱分解がおこると、微粒子がガスより先に発生し、しかもその微粒子にはGCMのほうがFIDに

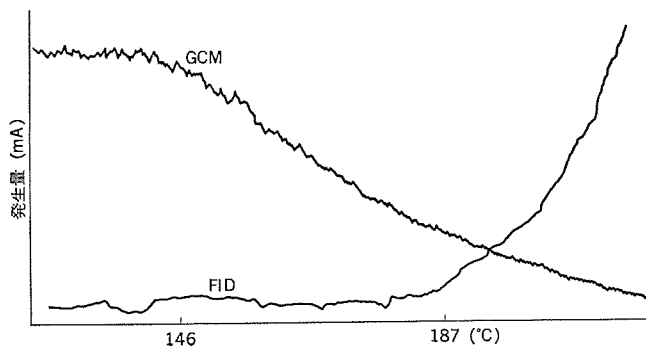


図7.(a) GCM, FIDチャート(グラスファイバフィルタ除去)

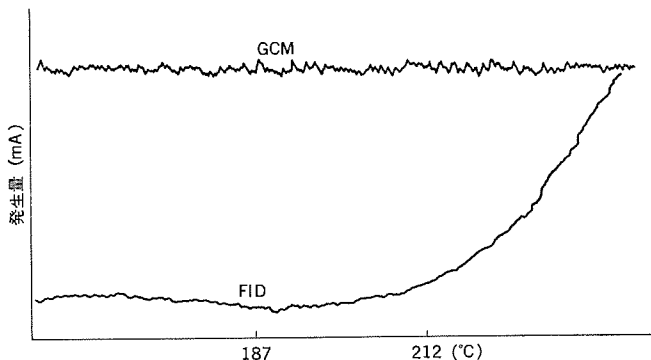


図7.(b) GCM, FIDチャート(グラスファイバフィルタ挿入)



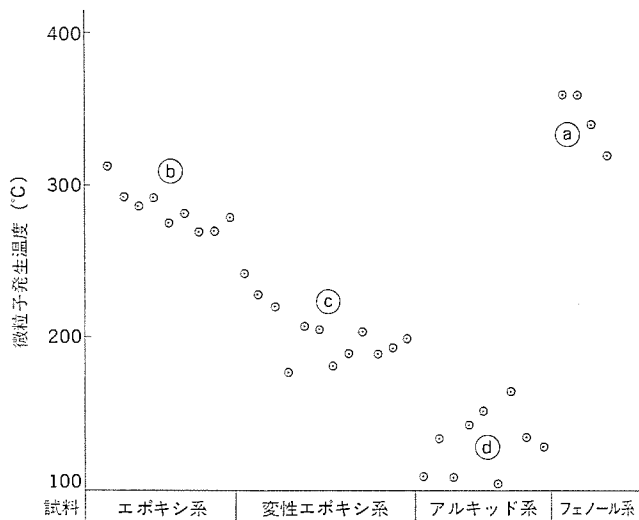


図 8. 微粒子発生温度

比べ低温で感応することがわかり、GCM が、熱分解初期を検知する検知器としては FID に優っている。

### 3.3 使用材料の微粒子発生温度

図 5. に示す装置により  $N_2$  ガス ふんい気大気圧条件下で、発電機に使用される絶縁物の微粒子発生温度を測定した結果を図 8. に示す。微粒子発生温度とは、GCM が微粒子を検知しイオン電流が減少し始めるときの試料温度を指す。微粒子発生温度はばらつきの大い測定値であることは以前報告<sup>(3)</sup>されているが、図 8. によると微粒子発生温度はだまかに 4 つのグループ、①350°C 付近のもの、②300°C 付近のもの、③200°C 付近のもの、④130°C 付近のもの、に分類される。各グループに属するものは①フェノール系樹脂、②エポキシ系樹脂、③変性エポキシ系樹脂、④アルキッド系樹脂である。また、各樹脂の微粒子発生温度は樹脂の耐熱性（熱重量減少率等）と関係があり、微粒子発生温度の高いものほど耐熱性がある。すなわち、微粒子発生温度は単に、各材料中の重合度の少ないものなどの不純物に基づくのではなく、各材料の化学構造と深い関係がある。

## 4. 発生微粒子の採取と過熱位置の決定方法

GCM は高感度の微粒子検出装置で、発電機の局所過熱の検出に適することを示したが、GCM だけでは過熱物の種類を判定することはできない。過熱物の種類がわかれば機内の過熱位置を推定する上で好都合である。この章では、採取した微粒子の質量スペクトルから、過熱物を推定する方法につき検討した結果を述べる。

### 4.1 発生微粒子の採取と質量分析法

図 5. 又は図 6. の装置を用い、3.1 節に示す方法によりグラスファイバフィルタに発生微粒子を採取した。グラスファイバフィルタ表面をかき取ったものを、内径 1~1.5 mm、長さ 9~11 mm のキャピラリーチューブに詰め、質量分析器 (JMS-OISG-2 形・日本電子製) を用い、直接導入法により微粒子の質量スペクトルを測定した。

### 4.2 発生微粒子の質量スペクトルのふんい気効果

おのおの特徴的な化学構造を有する ガラスメラミン・エポキシレジン・コアワニス・ネオプレンを用いて、微粒子の質量スペクトルが、微粒子発生時のふんい気条件により影響を受けるか否かを検討した。実機条件の  $H_2$  ガス ふんい気 ( $4 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$  又は大気圧) で採取した微粒子の質量スペクトルと、 $N_2$  ガス大気圧条件下でのそれを比較した結果を表 1. に示

す。ここで、○印は、両ふんい気での質量スペクトルが同一であることを確認した結果を示す。すなわち、 $H_2$  と  $N_2$  のふんい気で、質量スペクトルには変化がみられない。大気圧と  $4 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$  の圧力の違いは、微粒子発生に影響を与えるだけの効果があるとは考えにくいことから、大気圧  $N_2$  ガス中で発生した微粒子の質量スペクトルは、実機条件  $H_2$  ガス ふんい気でのそれと同一視できると判断される。

### 4.3 発生微粒子の質量スペクトル (フィンガプリント)

以上の基礎実験をもとに、大気圧  $N_2$  ガス ふんい気中で、発電機内

表 1. 各ふんい気での発生微粒子の質量スペクトル比較

試料	ふんい気		
	$H_2 (4 \text{ kg/cm}^2)$	$H_2$ (大気圧)	$N_2$ (大気圧)
ガラスメラミン	○		○
エポキシレジン		○	○
コアワニス		○	○
ネオプレン		○	○

注) m/e は質量分析器中で生成するイオンの質量対電荷比である。

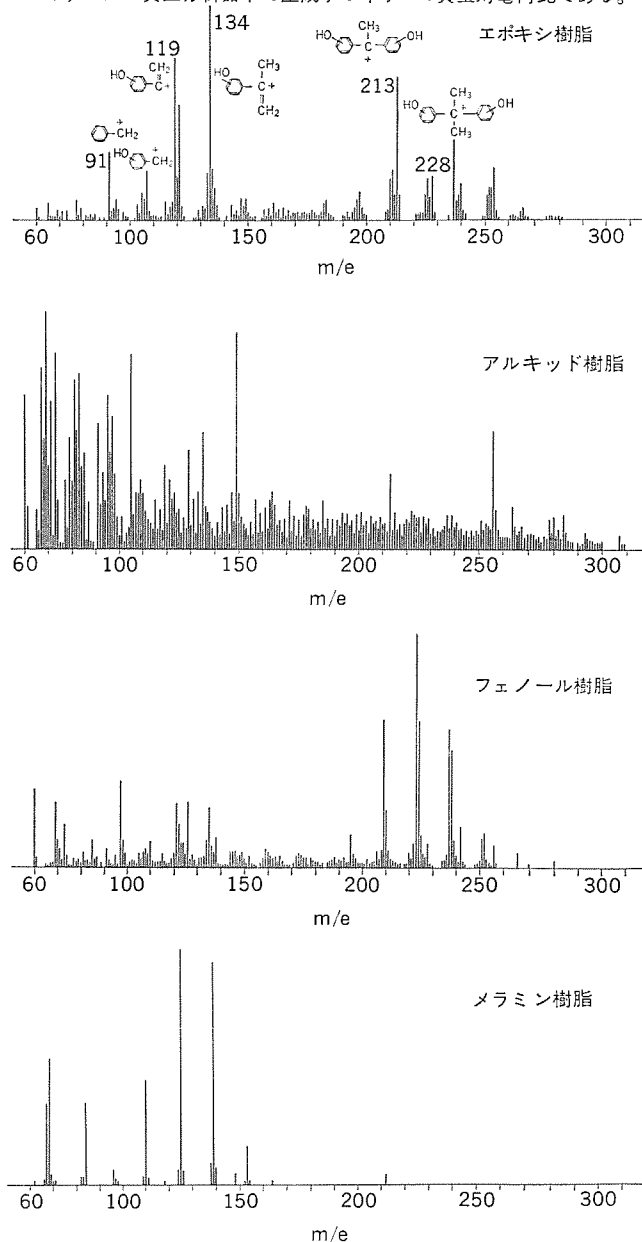


図 9. 代表的絶縁物の熱分解微粒子の質量スペクトル

に使用される主要な絶縁物約50種類について発生微粒子の質量スペクトルを測定した。図9.にその内の代表的なものを示す。各材料の質量スペクトルは、材料の組成に基づく特徴的なパターンを示し、十分なフィンガプリント(指紋)となり得ることがわかる。また、エポキシ樹脂については、各ピークに相当すると考えられる、質量分析器中で生成したイオンを併記した。エポキシ樹脂の過熱時に発生する微粒子で、顕著なピークはm/e 119, 134, 213 などである。図10.に、エ

ポキシ樹脂の熱分解時における化学反応<sup>(4)</sup>を示すが、図9.中に記したイオンの生成は、その化学反応式から、十分予想されるものである。アルキッド樹脂から発生する微粒子の質量スペクトルは、m/e 149, 105のピークが特徴的であり、m/e 149のピークは、フタル酸エステルが質量分析器中で再配列をおこしたことに基づく<sup>(6)</sup>。そのため、フタル酸を酸成分とするアルキッド樹脂から発生する微粒子の質量スペクトルは、m/e 149のピークが大きい。m/e 105, 122はアルキッドの熱分解により生成する安息香酸に基づく。フェノール樹脂の場合、m/e (195, 196) (209, 210) (223, 224) (237, 238)のペアのピークが特徴的であり、各ペア間の差は28である。これは、フェノール分子が質量分析器中でCO(分子量28)を離脱し、元の分子から28を差し引いた位置にピークを持つ質量スペクトルを示すことに基づく<sup>(6)</sup>。メラミン樹脂は図11.に示すように、ベンゼン核を含まないため、m/e 91のベンゼン核に基づくピークがなく、単純で特徴的なパターンを示す。以上、有機物質の熱分解により発生した微粒子の質量スペクトルは、有機物の化学構造が十分反映された極めて特徴的なパターンを示すことが明らかとなった。

#### 4.4 フィンガプリントによる過熱箇所の照合方法

4.3節で注目したm/eに基づいて、各絶縁物の質量スペクトルを分類し、未知の過熱物質の質量スペクトルを照合する方法を検討した。

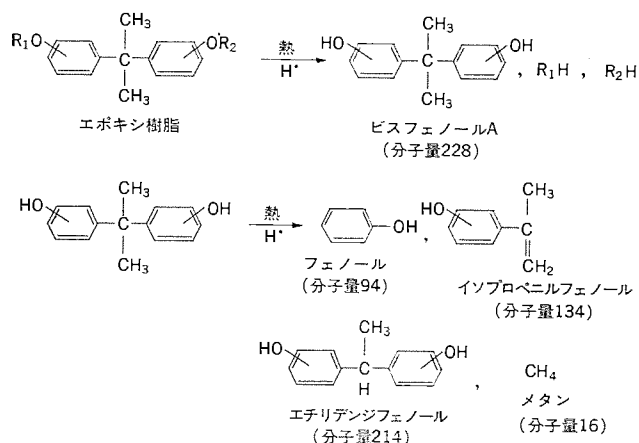


図10. エポキシ樹脂の熱分解反応

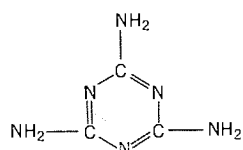
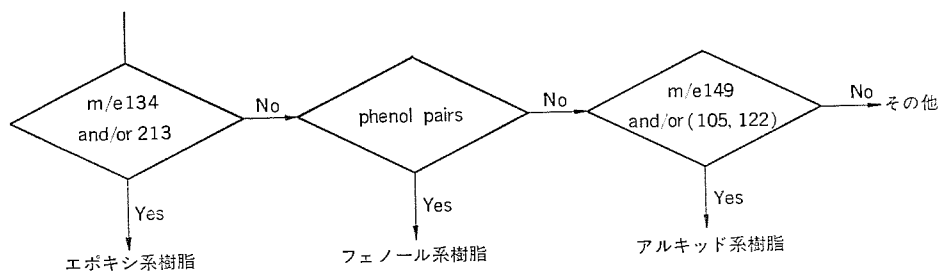


図11. メラミンの化学構造



注) Yes, No というのは、存在の有無ではなく、他と比べて特徴的か否かを意味する。  
and/or 両方又は、いずれか一方が存在することを意味する。  
phenol pairs とは、m/e (195, 196) (209, 210) (223, 224) (237, 238) の組合せである。

図12. 過熱物質照合フローチャート

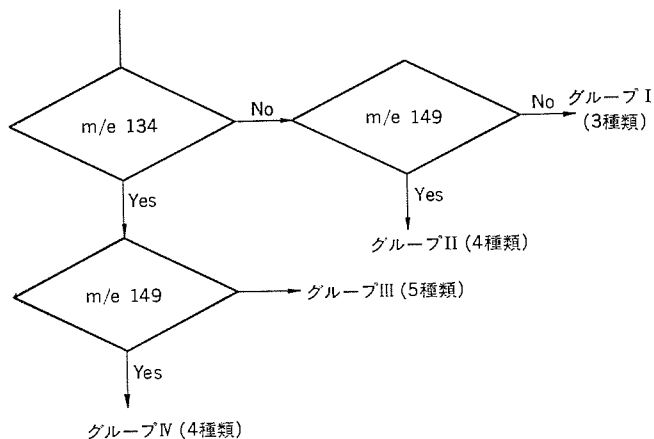


図13. エポキシ樹脂の照合フローチャート

図12.に、照合のフローチャートを示す。すなわち、質量スペクトルで、m/e 134, 213の両方又は一方に特徴的なピークを有するものをエポキシ系グループに、フェノールに特徴的なm/eの組合せにピークを有するものをフェノール系グループに、フタル酸エステルに基づくm/e 149に大きなピークを有するものをアルキッド樹脂系グループに分類した。また、これらの大グループは更に小グループに分類できるが、1例として、エポキシ系グループを更に分類するフローチャートを図13.に示す。このようなフローチャートに従って照合することにより、未知材料の質量スペクトルを、多くとも3~5種類の特定期間材料の質量スペクトルに限定することが可能になることを確認した。それ以上の分類は、質量スペクトルの細部を検討の対象とすれば可能であろう<sup>(7)</sup>が、3~5種類に限定されれば個々の照合でも大した労とはならないと考えられる。

今回報告したフィンガプリントと照合フローチャート、並びに機内絶縁物の配置図により、過熱時に発生する微粒子が捕集されれば、過熱箇所をかなり限定することができると思われる。

#### 5. 使用上の留意点並びに今後の課題

以上、過熱検出器としてのGCMの特性を確認するとともに、捕集した微粒子の質量分析により、過熱箇所の検索が可能であることなどを明らかにした。GCMに関する基本的な特性は、今回の試験結果を含めてほぼ明らかになったが、実機への適用に際しては、なお解決されなければならない問題点があり、それらを使用上の留意点とともに以下に列記する。

##### (1) 真の警報と誤警報の分離

GCMの誤警報の原因としては以下のものが考えられる。

##### (a) ふんい気条件の変化

発電機の機内ガス圧の上昇、あるいは回転数降下時に GCM 指示が低下する。これは、GCM の指示が、圧力・流量により変化する特性をもつためである<sup>(1)(3)(4)</sup>。

#### (b) 非過熱物の検出

GCM は、水分・油分のミスト・ごみ・さびにも感応する。これに関して、ステンレス配管の使用、オイルパートラップの使用によりある程度防止されると考えられるが、実際にどの程度のひん度で影響するかは不明である。捕集・分析すれば判明すると考えられるが、分析までに若干の時間を要する。

#### (c) 故障・電源の外乱

GCM の故障による誤警報は、GCM のフィルタ動作で判断される。

(フィルタ回路にガスを通しても、GCM 指示に変化がなければ故障と判断できる。) また、電源の外乱は一時的な指示変化として表れるので、記録チャート上でチェックできる。

これらの誤警報は、ユーザーが GCM の取扱いの経験を積むことにより、ある程度判定することができるとは、(b) は、今後実機検証でそのひん度を確認する必要があるが、分析までの時間遅れがあるため、リアルタイムでこれらを判定する手段を開発する必要がある。

#### (2) 複合材料の過熱判定

4 章で過熱物検索の対象としたのは単一材料であったが、実機では過熱の場所・範囲によっては 2 種類以上の材料の複合過熱となる可能性がある。単一材料の場合は比較的検索が容易であるが、複合材料になれば検索が極めて困難になると予想される。今後、機内で考えられる 2 種類以上の材料の組合せに対しても、検索法を確立する必要がある。

#### (3) 実機での感度

実機でどの程度の面積が過熱されれば GCM が検出し得るか、あるいはどの程度のサンプリング時間で、質量スペクトルを測定できるだけの濃度の微粒子が捕集されるかを確認する必要がある。文献(3)では、実機で GCM が検出しうる最小過熱面積は、機内容積 60 m<sup>3</sup> の発電機で、125~250 cm<sup>2</sup> であることを明らかにしている。現在、加熱器を組み込んだ実機試験を継続中であり、順次これらを確認しつつある。

## 6. む す び

以上、発電機の局部過熱検出装置である GCM について、主に利用技術の面から検討した結果並びに問題点を述べた。この報告の結論をまとめると以下のとおりである。

(1) GCM は、微粒子検出に関しては、有機物の検出器としてす

ぐれた感度を有する FID よりも更に高い感度をもつ。

(2) 発電機に使用される有機物の微粒子発生温度はその耐熱性に関連し、組成の種類により、いくつか分類される。

(3) 微粒子の質量スペクトルは、微粒子発生時のふんい気ガスの種類 (N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) 及びガスの圧力に無関係である。

(4) 微粒子の質量スペクトルは、材料の組成により特徴的なパターンを示し、材料固有のフィンガプリント (指紋) となり得る。それは、材料の化学構造が十分反映されたものとなっている。

(5) 質量スペクトルの特徴的なピークをとらえる照合法により、未知の質量スペクトルを既知のフィンガプリントの中から、照合できることを明らかにし、未知材料の照合法を確立した。

(6) GCM の使用上の留意点を示すとともに、今後の課題を示した。今後の課題は、誤警報の判定、複合材料の過熱判定、実機での感度確認である。

GCM は、従来の測温素子による方法に比し、検出箇所を限定しない点にすぐれた特徴を有するが、比較的開発の歴史が浅いこと、あるいは誤警報などの問題で、また幾分不確定な要因を含むため、発電機のユーザーに十分なじみの深いものとはなっていない。しかし、機内測温素子による各部温度指示、並びに発電機負荷の状況などをあわせて総合的に判断すると、GCM は過熱の判定に大きな裏付けを与え、その有用性は大きいと考えられる。

今後、モデル実験・実機試験を継続し、残されたいくつかの問題点を解明していく予定である。更に、ユーザーの協力が得られれば、現地における長期運転実績のフィードバックを得て、監視計測器としての信頼性を確認していきたい。

## 参 考 文 献

- (1) C. C. Carson : IEEE Conference Paper, 71 C p. 154
- (2) J. D. B. Smith, D. C. Phillips : Anal. Chem. 48, No. 1, 89
- (3) E. M. Fort : IEEE Conference Paper, C 74, 522-9
- (4) G. F. Skala : Journal de Recherches Atmospheriques, 189 (1966)
- (5) Henry Lee and Kris Neville : Handbook of Epoxy Resins, McGraw-Hill, Inc., New York p. 4~9 (1967)
- (6) J. H. Beynon : Mass Spectrometry and its Applications to Organic Chemistry (1960), Elsevier Publishing Co.
- (7) 第 15 回有機化合物のマススペクトロメトリー 討論会投稿中

# かご形3相誘導電動機の回転子導体温度監視装置

宇野秀也\*・峯友清博\*・谷口昭信\*・松田充記\*

## 1. ま え が き

かご形誘導電動機は、産業プラントの大規模化、高度化、及び省エネルギー化に伴い、その運転・使用方法も多様化している。したがって、電動機の故障は、電動機単体の問題にとどまらず、プラント全体の停止に波及する可能性が大きくなっており、電動機の保護はますます重要なものとなってきている。

一般に電動機の過負荷保護は熱動形・誘導形・静止形などの保護継電器による1次電流検出や固定子巻線の温度を直接検出することにより行われており、適正な選定を行えば一般的な電動機の過負荷保護は可能である。

しかし、かご形誘導電動機のうち高始動ひん度・高慣性負荷又は負荷変動幅の大きい用途においては固定子巻線温度上昇よりも回転子導体の温度上昇が電動機故障原因になることが多い。この回転子導体の温度上昇を通常の保護継電器で検出することは難しく、回転子温度を直接計測する方法が最も良いと考えられている。

## 2. かご形誘導電動機の回転子導体温度による保護の考え方

### 2.1 始動時の問題

かご形誘導電動機を始動する際には、次に表される熱損失  $Q_R$  が回転子に発生し、回転子導体はこの熱損失により温度が上昇する。

$$Q_R = \left( \frac{2\pi n_s}{60} \right)^2 \frac{GD^2}{4} \int_0^1 \frac{T_M}{T_M - T_L} \cdot S d_s(W \cdot S)$$

$T_L=0$  と考えた場合、 $Q_R$  は次式になる。

$$Q_R = \frac{GD^2}{730} \cdot n_s^2 (W \cdot S)$$

ここで  $GD^2$  : 電動機と負荷の  $GD^2$  総和 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )

$T_M$  : 電動機トルク ( $\text{kg} \cdot \text{m}$ )

$T_L$  : 負荷トルク ( $\text{kg} \cdot \text{m}$ )

$S$  : 電動機のすべり

$n_s$  : 同期速度 (rpm)

$GD^2$  の大きい負荷を始動すれば多量の熱が発生し、そのうえ始動中は冷却も不十分であり、回転子導体の温度が高くなる。回転子導体温度が上昇するとエンドリングが図1.(a)の矢印方向に熱膨張し、

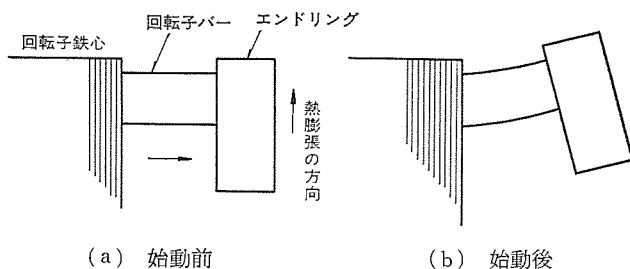


図1. 温度上昇に伴うエンドリングの変形

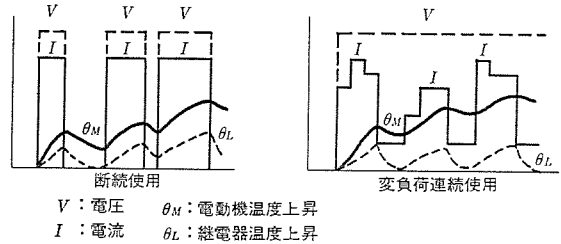


図2. 反復使用時の温度上昇

(b)のように回転子バーを外側に押し広げ、回転子バーとエンドリングに大きな機械的応力を生じ破損の原因になる。これを防止するにはエンドリングの温度上昇を低く抑え、熱膨張を少なくしなければならない。

### 2.2 保護機能の問題

始動時や変動すべり幅の大きい負荷運転時における電動機の回転子バー及びエンドリングの温度上昇の速さは固定子巻線のそれに比べ、10数倍になる場合がある。この結果、回転子導体だけが過熱状態になり勝ちになる。これを防止するには電動機の熱容量を大きく設計することと回転子導体の温度を正確に検出することが必要である。

しかし、一般の保護継電器は固定子巻線側の電流や温度上昇を検出する方法であることと、図2.に示すように電動機と継電器の熱時定数に差があることから回転子導体の温度を正確に検出することは難しい。このため、回転子導体温度を直接計測する方法により最も合理的な保護ができる。

## 3. 回転子導体温度監視装置の種類

### 3.1 テレメタリング方式

回転子導体に取付けた熱電対の出力を増幅しFM搬送波に変換し

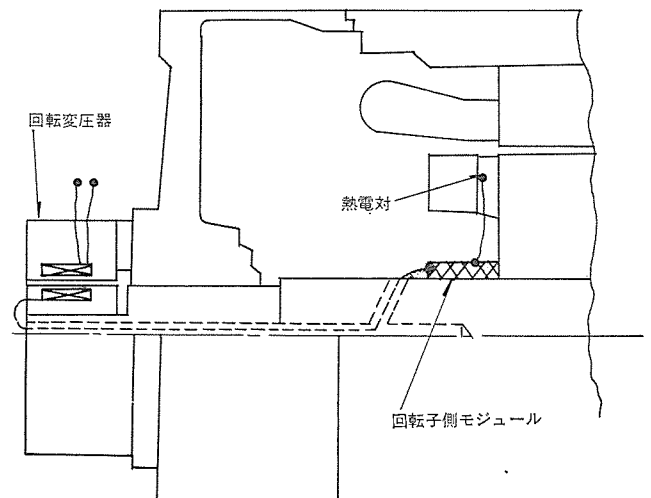


図3. テレメタリング方式

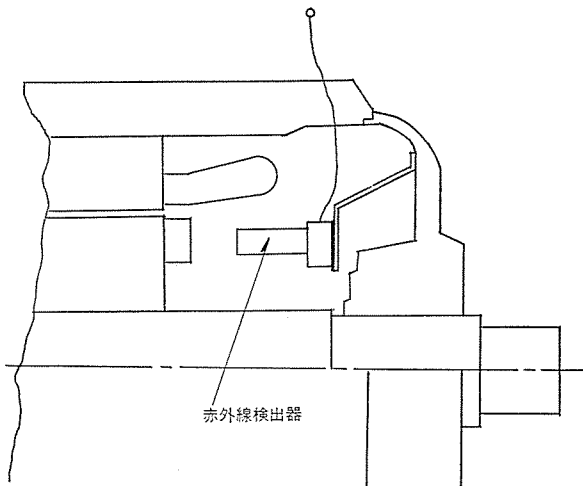


図 4. 放射温度計方式

回転変圧器を介して外部に取り出し、温度に比例した電圧に復調し、温度指示をする方式である(図 3.)。

外に検出素子の信号を FM 変換しアンテナの結合により外部に取り出す方式もある。

### 3.2 放射温度計方式

赤外線検出器を電動機内部の固定部分に取付け、ふく(輻)射エネルギーの量を外部に設けた変換器で温度に換算し表示する方式である(図 4.)。

本文では 3.1 節の回転変圧器を使用した検出方式について紹介する。

## 4. 回転子導体温度検出装置

図 5. に示す回転子温度検出装置ブロック図により動作原理を説明する。電動機の回転子導体が最も高温になる部分に感温素子を埋め込み、熱電対の起電力を回転子側モジュールの増幅器により増幅して信号出力を得る。更に、この信号出力を電動機回転子より外部へ高精度で取り出すために回転子側モジュールの電圧-周波数変換器により周波数変調する。回転変圧器により無接触で外部へ取り出された出力信号は周波数-電圧変換器により電圧信号へ復調し増幅され温度指示計を動作させる。これにより常に回転子導体温度を監視できる。

回転子温度検出装置の機器構成は次のとおりである。

### 4.1 電動機内取付品

かご形誘導電動機の回転子導体に熱電対を取付け、回転軸に設けられた中空孔を通し回転子側モジュール部へ引き出される。

回転軸には回転子側モジュールと回転変圧器の回転軸がオーバハングされる。適用機の仕様を下記に示す。

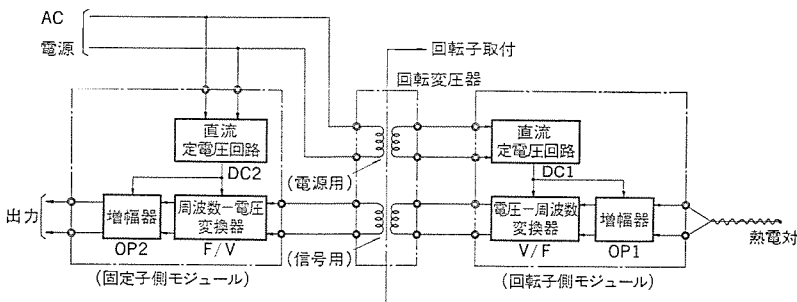


図 5. 回転子温度検出装置ブロック図

電動機： 110 kW 3,300 V 60 Hz 6 極 1,180 rpm  
 B 種絶縁 全閉外扇形  
 生ゴム原料破砕機用  
 熱電対： クロメル-アルメル (CA)  
 熱起電力 約 10 mV/250°C

### 4.2 回転子側モジュール

増幅器と電圧-周波数変換器及び直流電源回路を一体化し、電動機の温度上昇の影響を受けないように回転変圧器側の軸内に埋め込み、周囲温度の高い条件下でも半導体性能が低下することなく運転できる。

電圧増幅倍率 : 約 100

電圧-周波数変換器の出力周波数： 1,800~2,300 Hz

直流電源回路入力(回転変圧器 2 次出力)

: AC 36 V 50/60 Hz

図 6. にこれらの部品を取付けた電動機の断面の一部を示す。図

7. は、この装置を適用した電動機の外観を示す。

### 4.3 回転変圧器

#### (1) パーモイ鉄心

熱電対の熱起電力は、通常の運転においては数 mV であり、信号電流として増幅・変調されたものを固定子側に精度よく伝送するために回転変圧器の鉄心材料には高透磁率のパーモイを使用した。

パーモイは鉄-ニッケルの磁性合金であり、真空溶解・高純度水素焼なましなどのプロセスにより製造される。パーモイの特性は次のとおりである。

組成 ニッケル (Ni) : 50 %  
 鉄 (Fe) : 48.8 %

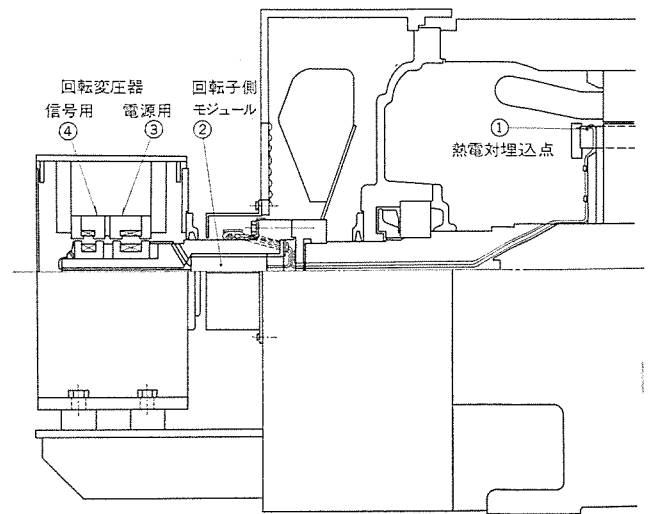


図 6. 電動機側回転子温度検出装置

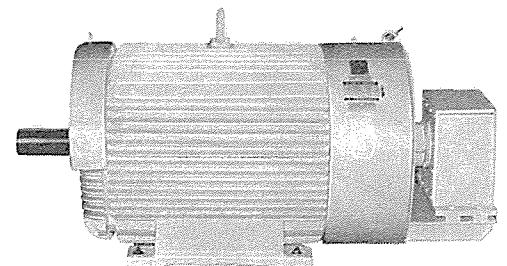


図 7. 回転子温度検出装置を取付けた電動機

その他	: 1.2%
直流磁気特性	
初透磁率 ( $\mu_i$ )	: 6,500
最大透磁率 ( $\mu_m$ )	: 30,000
飽和磁束密度 ( $B_s$ )	: 14,000 ガウス・40°C
保磁力 ( $H_c$ )	: 0.12 エルステド
機械的強度	
引張り強さ	: 50 kg/mm <sup>2</sup>

### (2) 磁気干渉防止

回転変圧器には信号用と電源用の2種類の鉄心が内蔵される。これらの鉄心相互間の磁気干渉を防止するため鉄心の中間及び支持部分には非磁性鋼を使用している。

### (3) コイル

回転変圧器のコイルには耐熱エナメル電線を使用し、対地絶縁はノーマックスシートを主体にしたF種絶縁を採用し信頼性を増すため全閉構造とした。

### 4.4 固定子側モジュール

直流電源回路と周波数-電圧変換器及び増幅器を収納し、回転変圧器出力信号を温度に比例した周波数のパルス信号化し周波数-電圧変換器で再度周波数に比例した電圧信号に変換する。

この出力電圧は回転子温度に比例しており、温度指示計を作動させる。

電源入力 : 100 V 50/60 Hz

信号出力 : 0~10 V

## 5. 回転子温度監視装置の特性試験実施例

### 5.1 組合せ試験

電動機の回転子を拘束し、電動機端子に交流電圧を加え、定格電流の200, 300, 350%電流を通電させ、回転子導体の温度上昇を測定した。

試験結果を図8.に示す。回転子温度監視装置の測定精度を検証するために測定点に埋め込んだ熱電対の熱起電力を直接測定した。一方、所定の回転子温度監視装置の回転子側モジュール、回転変圧器、固定子側モジュールを使用して測定し、両者の測定値を比較した。両者の差は極めて小さく高精度の検出ができることが分かった。

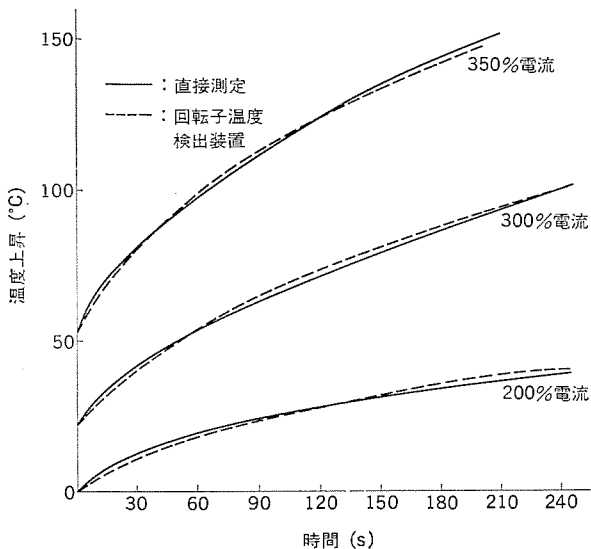


図 8. 拘束時の回転子導体温度上昇

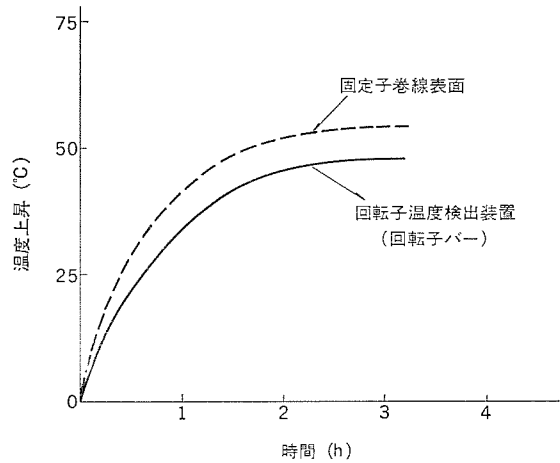


図 9. 温度上昇試験

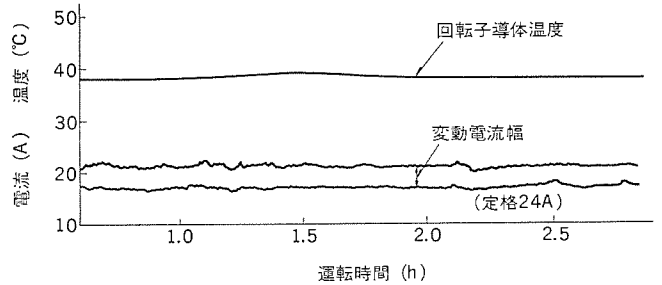


図 10. 負荷運転状況

更に、電動機の温度上昇試験においても回転子導体温度を安定して検出できることを確認した(図9.)。

### 5.2 負荷運転状況

生ゴム原料を破碎する工程において、原料の量、材質のばらつき、あるいはカッタ歯の摩滅状況により、電動機に流れる電流が大きく変化することは避けられない。使用状態における電流と回転子導体の温度上昇は図10.のとおりになり、回転子導体温度指示計を監視することにより運転状況をは(把)握できることを示している。

## 6. む す び

かご形誘導電動機の回転子温度検出による保護方法の原理とその実用例を紹介した。この温度監視装置には次の特長がある。

- (1) 回転子温度を熱電対により直接計測し、これを電圧信号として取り出せるので精度よく温度指示ができる。
- (2) 信号は回転変圧器によって無接触(ブラシレス)で取り出せるので保守不要である。
- (3) 回転変圧器部分を全閉防水構造にできるため設置場所の制約がない。
- (4) 装置は反負荷側軸端にオーバハングして組立てられるのでモータ本体のサイズ変更はない。既設品にも一部の部品を取替えることによりこの装置を取付けできる。
- (5) 温度指示計により回転子温度を常時監視できる。
- (6) 高速応答の計測ができる。

この新しい保護技術は、今後ますます多様化する電動機の安全運転及びプラントシステムの信頼性の向上に役立つものと考えられる。

最後にこの回転子導体温度監視の実用化にあたりご指導いただいた三菱化成工業(株)四日市工場統合施設部、新村、小林、市来の諸氏に対し厚く感謝申し上げます。

# ころがり軸受モニタリングシステム

手島 泰\*・小泉孝之\*\*・宇佐美照夫\*\*\*・藤山辰之+・谷口良輔+

## 1. ま え が き

発電所、化学工場、製鉄所など各種プラントにおける装置、設備には、多かれ少なかれ回転機械が使用されており、しかも重要な役割を果たすものも多く、それらの安定な運転を確保するために、設計、製作、保全に細心の配慮がなされている。しかしながら時として予期しないトラブルが生ずることもあり、これらトラブルの原因解明に対して、従来は事後の詳細な調査解析に待つ場合が多く、稼働率や安全性の低下などによる経済的、社会的損失が大きかった。

最近では故障の早期発見、事故の未然防止(予防保全)、保守作業の合理化に多大の関心が寄せられており、種々の異常検出手段や装置が開発されている。

このため、ころがり軸受に関する種々の異常検出手段や、装置が開発され、軸受異常を早期に発見して対策を施すことにより、機器の突発的な故障を防止することが試みられている。

このたび関西電力(株)と三菱電機(株)との間で、ころがり軸受に起因する回転機器の予防保全を目的とした研究を進め、モニタリングシステムの開発を行った。

このシステムは最大256点までの軸受の振動を、オンラインで集中監視し、振動波形のパターンにより、ころがり軸受の異常内容を診断することができる。しかも全チャネルの2年間にわたるデータをシステムの中に蓄えることができ、異常発生時あるいは随時に取り出して、予測診断を行おうとするものである。

このような、いわゆる監視予防保全システムは、従来大形計算機の領域にあり、コストが非常に高く、このため具体的な実施を遅らせる原因となっていた。

筆者らはこれをマイクロコンピュータに置き換えるとともに、検出系にもローカルモニタリングシステムを採用するなどの検討を加え、多点にもかかわらず、極めてコンパクトで、低コストの装置を製作し、実際に関西電力(株)姫路第二発電所に設置して、システムの信頼性確認と、予測技術の向上を目的として稼働させた。

## 2. ころがり軸受の異常現象と診断技術

軸受の異常現象は、前章にも述べたように、これまでの発生状況などを考慮し次のような状態を想定した。

- (1) 軸受各部分(外輪、内輪、玉)のきず発生
- (2) 油切れ状態
- (3) 異物が混入した状態

まず、図1.に示す工場におけるシミュレーション用軸受試験装置で、正常、異常状態を再現し、得たデータを、プラントにおける平常時の実測データとともに比較検討した。この試験装置は、実機電動機に対応する荷重が掛けられているものであり、異常現象を除去する手段として、回転騒音(音圧)、振動加速度、軸受温度等を測定できるようにになっている。この試験装置で得られた正常軸受のデータは、実機でのデータとレベル差及び波形パターンの相違などほとんどないこ

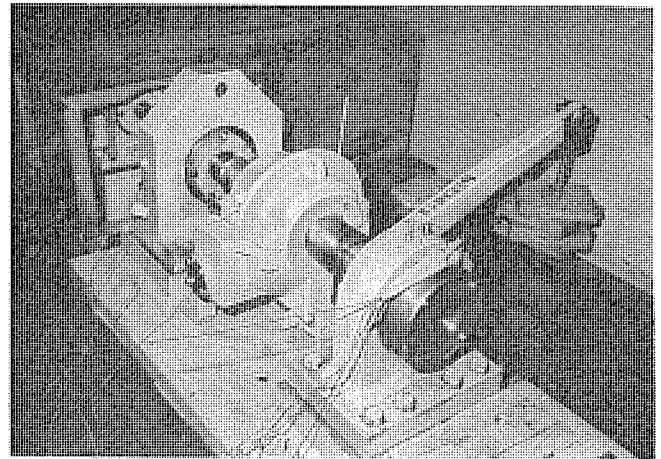


図1. 工場シミュレーション用軸受試験装置

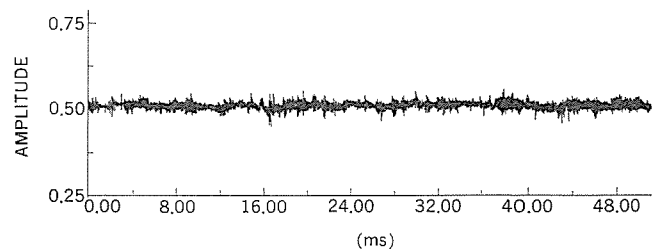


図2. 正常軸受の波形

とが確認された(図2.参照)。

さて、この試験装置で各種異常状態を発生させ、各検出要素から次の結果を得た。

温度： 軸受が異常状態にいたっても時間的追従が遅れ、ほとんど変化を示さず、異常状態の早期検出は困難である。

騒音： 異常状態がかなり進まないと検出が困難である。しかも周囲騒音による誤動作が考えられるため、実用上採用しがたいものである。

振動加速度： 軸受ブラケットで相当部分の振動を、加速度ピックアップで測定した結果、異常の原因に対応した特徴のある信号を得ることがわかり、初期段階からの異常検出が可能と考えられる。

これらの結果から、振動加速度信号による検出方法がもっとも有効であることがわかった。振動加速度による各異常現象を考慮し、得られた特徴は次のとおりである。

(1) きず：軸受部分にきずが発生した場合、軸の回転に伴って衝撃波が発生し、軸受各部分材の過渡振動として共振が誘起される。この共振の発生周期は各部のディメンション、玉数、軸回転数によって次式で表される値と一致している(図3.参照)。

外輪にきずがある場合： $\approx f_c$

内輪にきずがある場合： $\approx f_i$        $\approx$ は玉数

玉の表面にきずがある場合： $\approx 2f_b$

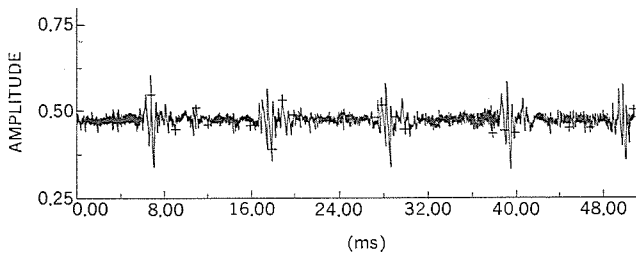


図 3. きず有軸受の波形

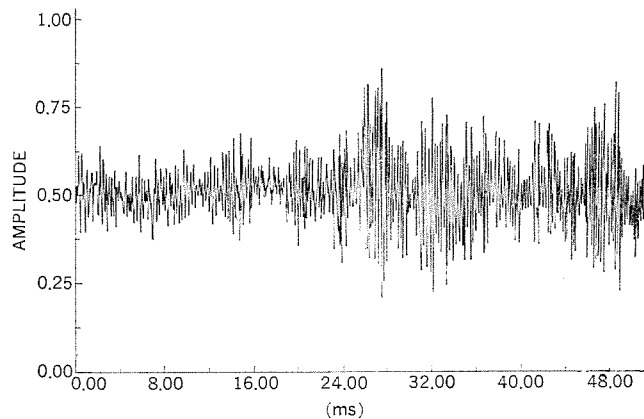


図 4. 油切れ状態の波形

ただし

$$\left. \begin{aligned} f_c &= \frac{f_r}{2} \left(1 - \frac{d}{D}\right) \\ f_b &= \frac{f_r}{2} \cdot \frac{D}{d} \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right) \\ f_i &= f_r - f_c \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $f_r$ : 軸の回転数 sec<sup>-1</sup>  
 $d$ : 玉の直径  
 $D$ : 軸受ピッチの直径

(2) 油切れ状態: 油切れの初期段階では、軸の回転に比例した衝撃波が規則正しくあらわれ、その後徐々に衝撃波の発生ひん度がたかくなり、ピーク値、実効値も増大する。更に周波数構造はホワイトノイズ状となっている(図4. 参照)。

(3) 異物混入: 油切れの場合と似ているが、衝撃波のあらわれ方が初めから不規則である。この場合の特徴は、異物の混入後にピーク値、実効値が急速に増大することである。周波数構造は、ホワイトノイズ状となり、油切れの場合と同様な傾向を示す。

これらの特徴から異状現象を早期検知、診断する技術としては、次のことが考えられる。まず、異常の有無のみの検知であれば、時間軸データのピーク値、実効値に注目すれば可能となろう。この場合に注意しなければならないことは、一時的な雑音による誤った診断をさけることである。このためには、十分な統計処理が必要となってくる。また異常の内容の識別を行うには、もう1段高度なデータ処理が必要と考えられる。すなわち、きず発生の場合には図3. からも明らかなように、特徴のある各種衝撃波をパターン処理により、特徴抽出する診断技術が必要とされている。「油切れ」、「異物混入」の場合には、波形パターンの認識の後、それだけでは判別不可能であるので、適当な時間(このシステムでは2年前のデータまで保存される)さかのぼり、軸受の経時データパターンの処理が必要となってくる。そこで、これらの診断法をマイクロレベルでのアルゴリズムに実現さ

せたものが、次の章で詳しく説明する今回開発した「ころがり軸受モニタリングシステム」である。

### 3. システムの構成と機能

#### 3.1 概要

このシステムはころがり軸受の異常診断機能とともに、監視予防保全技術として現在要求されている合理性、低コスト化、保守性向上を併せ持ち、具体的には次の機能と特徴を有している。

- (1) 異常診断: 軸受異常波形の収録、パターン認識、周波数解析等により軸受の異常原因の究明を行うことができる。
- (2) 高速集中監視: 波形で監視するため、スキャン間隔が短縮され、同時監視に近い集中監視ができる。
- (3) 異常の比較観測: 波形は異常の内容により異なるが、この波形を初期波形、あるいは他の軸受の波形と即座に比較表示することができ、異常発生を的確に捕えることができる。
- (4) データロギング: 軸受の情報はすえ(据)付時から2年間にわたってシステムに記憶され、異常時には自動的に、必要時には任意に取り出すことができ、異常時における予測診断が可能である。
- (5) 調整保守作業の容易性: このシステムでは、現場でのアナログ的調整は一切不要であり、これらはすべて中央監視盤においてチャネルを選択しながら行うことができる。これは保守調整を極めて良好にするとともに、従来のこの種の装置に比べ、システムの小型化と、コスト低減をはかることができる。

- (6) システムの自己診断: この装置では処理システムと検出系に故障が発生したとき異常警報表示を行う。特に検出系の異常診断は特別の検出器を要せず、信号波形の処理だけで行うことができる。
- (7) ケーブル布設費の低減: スキャナを対象機器の周辺に設置することにより、検出器と増幅器への信号線、電源ケーブルの設置費用を大幅に削減している。またスキャナの制御についても、少数信号線によるテレコントロール方式を用いている。

- (8) 検出系の防爆化: ころがり軸受の故障による2次災害を考えると、問題となるのは爆発性危険地域である。検出器の特性から、増幅器は比較的近距离に設置しなければならないため、検出器は本質安全防爆構造、ローカルステーションは本安関連機器としての認定を受けている。

#### 3.2 ハードウェアの構成

このシステムは、図5. に示すように、中央の監視室に中央監視盤を、対象となる回転機器の周辺にローカルステーションを設置する。

##### 3.2.1 中央監視盤

中央監視盤は監視、計測、診断、記録を自動又は手動で操作することができ、次の機器で構成している(図6. 参照)。

- (1) 演算制御システム: 8ビットマイクロコンピュータMUS-11を用い、データ記憶のためのフロッピーディスク、信号処理のための高速演算演算ユニット、及び各種入出力制御のためのデジタル入出力ユニットから構成している。
- (2) 波形収録装置: チャネルを選択するためのスキャナコントロール装置、各チャネルごとにゲイン、検出基準をプログラムするゲインコントローラ、高周波を記憶するウェーブメモリ装置とで構成している。
- (3) 操作パネル: 軸受の異常内容表示、番号表示、各種基準のリセット、表示出力装置の選択スイッチを装備している。
- (4) データ出力装置: 信号波形、処理データの出力のため、オシロスコープ、X-Yプロッタ等を装備している。



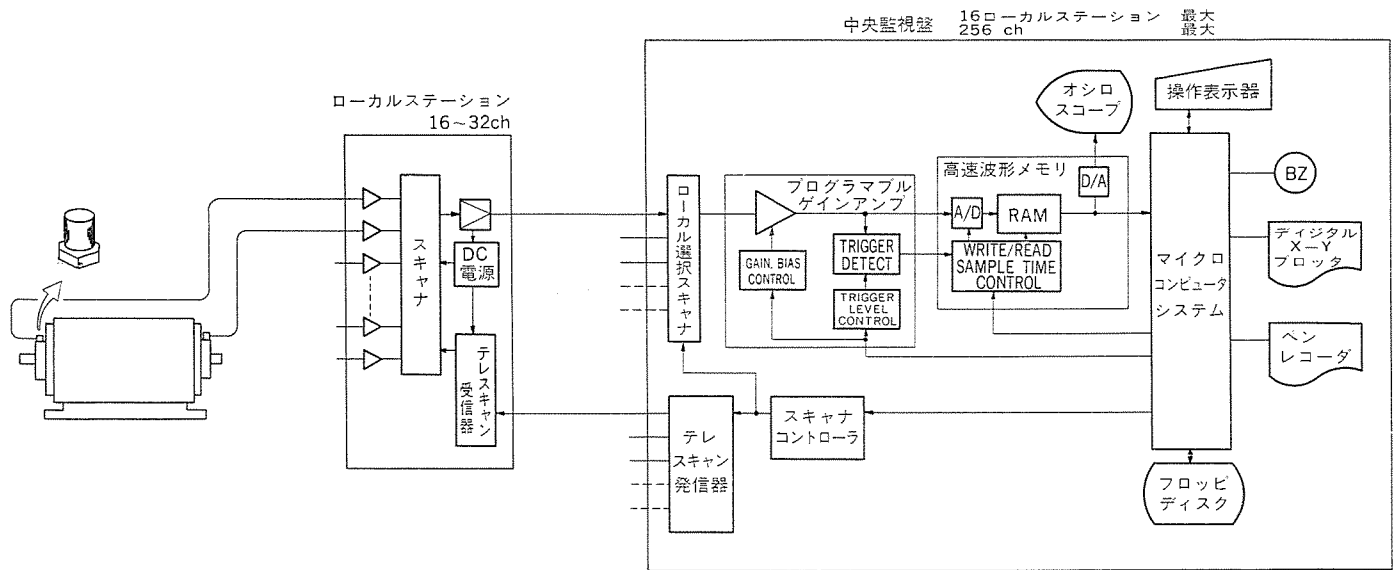


図 5. 軸受集中監視 システム ブロック 図

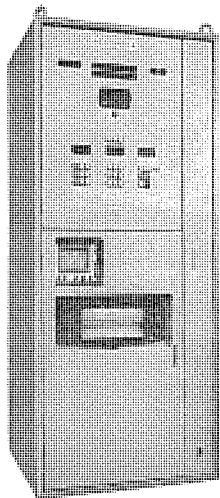


図 6. 中央監視盤

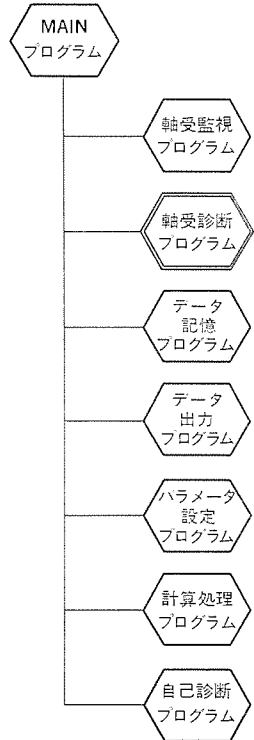


図 7. システムプログラム 構成

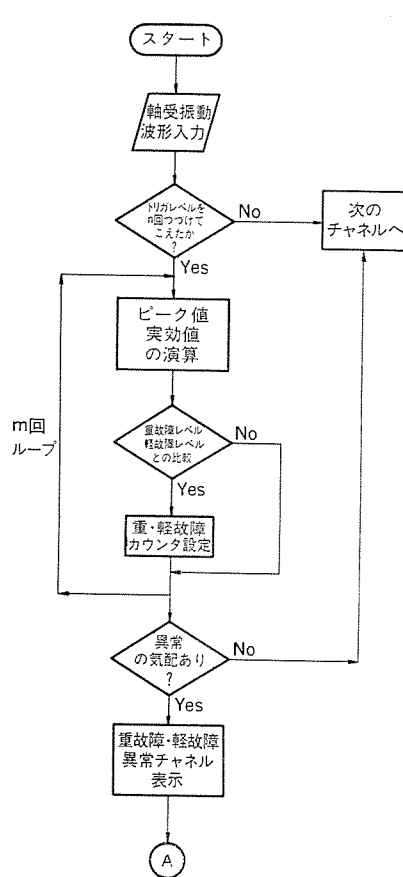


図 8. (a) 異常診断 アルゴリズム

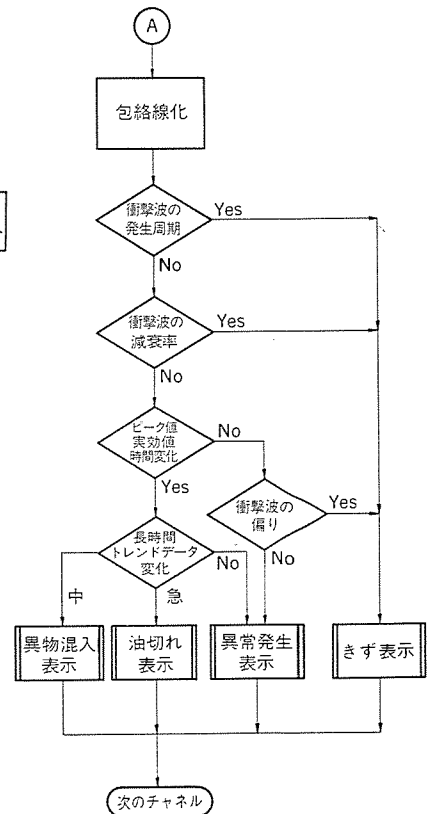


図 8. (b) 異常診断 アルゴリズム

### 3. 2. 2 ローカルステーション

ローカルステーションは、検出器からの信号を増幅し、中央監視盤の指令でチャンネルを選択し送出する。構成機器としては、16ユニットの電荷増幅器、16チャンネルの差動絶縁形半導体スキャナ、信号伝送用バッファ増幅器、及びテレスキャンコントローラである。検出器は圧電形加速度ピックアップで、その特性上インピーダンス変換器を必要とし、一般に、ケーブル長さが限られている。この装置では、これに電荷増幅器を使用し、100mまで延長することができる。

### 3. 3 ソフトウェアの構成

ソフトウェアは、オンライン集中監視とデータ入出力を中心にしたシステムコントロールプログラム、及びころがり軸受の異常内容診断を行う診断アルゴリズムに分けられる。

#### 3. 3. 1 システムコントロールプログラム

システムプログラムは、図7.に示すような構成で運用され、異常検出はハードのトリガ検出機能と、ゲインコントロール機能とを駆使した自動レンジ収録プログラムを用い、高速集中監視を可能にしている。

(1) 軸受監視：キーボードより設定されたゲイン、及びトリガレベル

により異常の特徴を見だし、異常診断プログラムにつなぐもので、トリガチェック、自動レンジ、異常警報表示を行う。

(2) トレンドデータ記憶：時計からのインシャル信号により、時間、日、月別のピーク値、実効値をチャネルごとに編集して記憶する。

(3) パラメータ設定：キーボードから監視に必要なゲイン、検出基準、監視の安否を設定する。

(4) 計算処理：監視、診断、データ出力に必要な演算処理プログラムで、ピーク値、実効値の演算、レンジ変換、高速フーリエ変換などを行う。

### 3.3.2 異常診断アルゴリズム

ころがり軸受の特有な異常現象、すなわち「きず」、「油切れ」、「異物混入」をは(把)握するための異常診断アルゴリズム(図8.参照)について述べる。

異常内容診断の信号処理は、まず振動波形の包絡線化を行う。この包絡線化は、異常内容を診断するのに必要な衝撃波パターンの数式化を主目的とするとともに、単発的な雑音と衝撃波の誤認識を防ぐということも考慮している。このアルゴリズムでは包絡線信号が作成されると異常診断を開始し、まず、きず発生第1の特徴である外輪きず、内輪きず、玉きずのおのおのに対応した衝撃波の発生周期の抽出を行う。この周期性の抽出には包絡線信号で一定の積分値以上をもっている衝撃波が、一定時間に何回発生したかということをも信号処理により求めている。衝撃波の周期性に関しては、このようにして求められた周期と、式(1)で計算上得られる値とを比較し、判定を行っている。きず発生第2の特徴として、衝撃波は急激な減衰率をもって収束するということがある。この特徴は信号処理技術において、衝撃波部分の積分値が小さいということと、ピーク値、実効値の比すなわち波高値が大きいという両方の性質をもった信号と考えられ、抽出されることになる。これらの特徴が抽出されないとき、このアルゴリズムは更に第3の特徴として、衝撃波の偏りに注目する。この偏りの抽出には、信号の正方向成分と負方向成分の面積積分比、及び差を偏りのパラメータとして信号処理を行っている。これら3つの特徴が抽出されれば、このアルゴリズムはきず発生と診断し表示する。

次に「油切れ」、「異物混入」の場合を考えると、この2つの異常現象の振動波形は、2章でふれたようにピーク値、実効値が時間とともに増大し、ホワイトノイズ状になることがわかっている。この特徴は、信号処理において周期性がなく、衝撃波が発生しても減衰率は小さく、波高値も1に近い波形となる。これはきず発生の場合とまったく逆な波形を抽出すればよいことになる。更にピーク値、実効

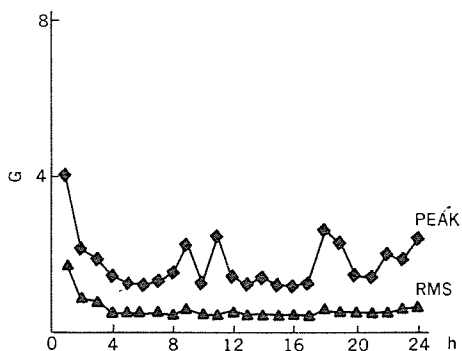


図9. 経時データ例

値の時間変化曲線(図9.)の傾きなどのパラメータから、曲線のパターンを検出し「油切れ」、「異物混入」の診断をください。これらのいずれの波形パターンにも該当しない場合には「異常発生」の表示を行うことになっている。

## 4. このシステムの電力プラントへの応用

このシステムを用いて、実機でのデータ収集を行うため、関西電力(株)姫路第二発電所へ設置した。

対象機器は、発電所燃料ポンプ室にあるポンプ駆動用誘導電動機7台で、いずれもころがり軸受付きの電動機である。また燃料ポンプ室は爆発危険場所となっているため、ローカライズは、図10.

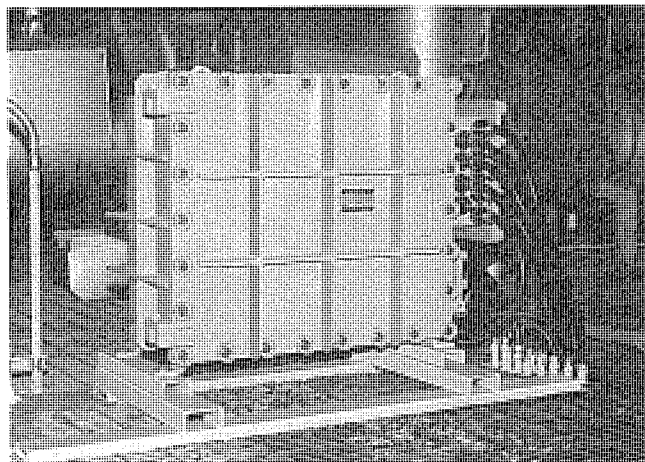


図10. 燃料ポンプ室における設置状況(ローカライズ)

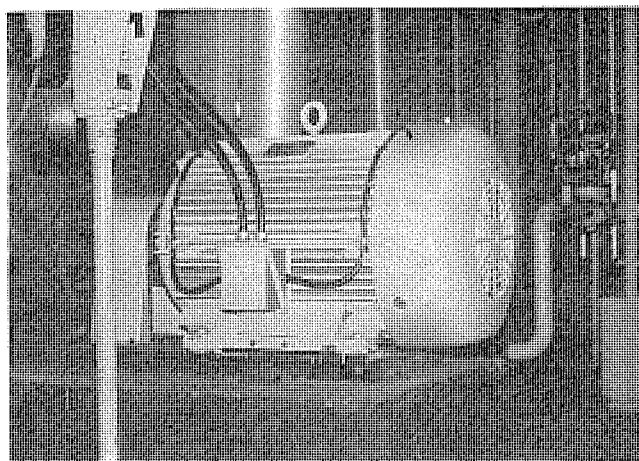


図11. 燃料ポンプ室における設置状況(対象電動機)

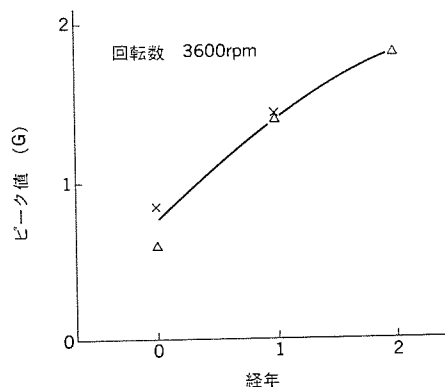


図12. 正常軸受経年変化

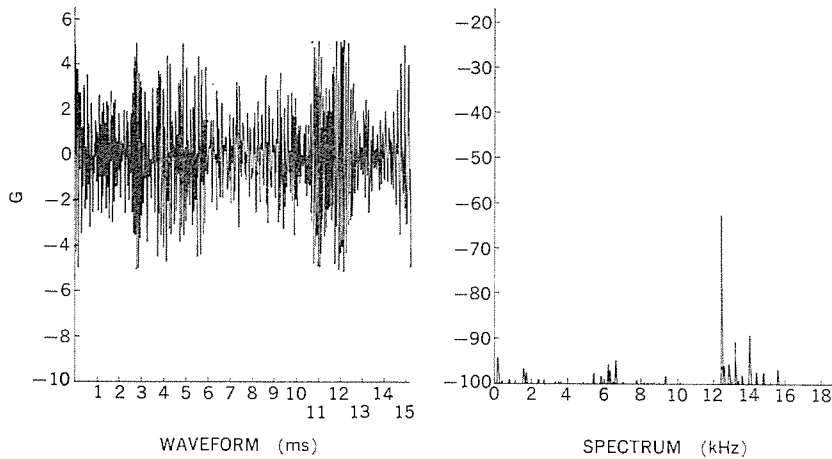


図 13. (a) 異常波形 (2年経過, 3,600 rpm)

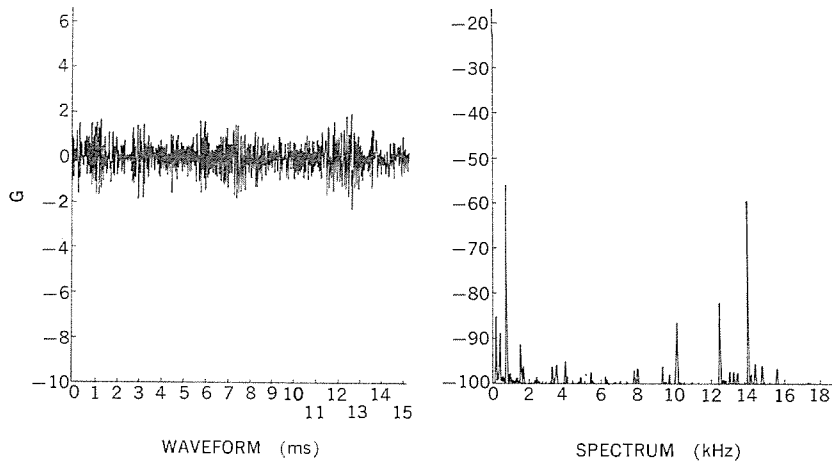


図 13. (b) グリス 給脂後の波形

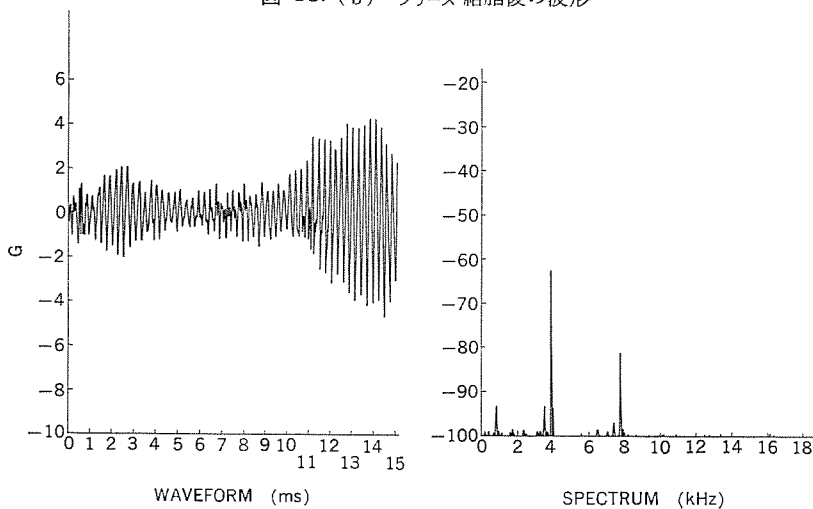


図 14. 異常波形 (1年経過, 1,800 rpm)

に示すように、耐圧防爆構造の容器に収納し、検出素子は本質安全防爆構造となっている。図 11. は対象電動機の一例である。

データ収集の目的は、ころがり軸受の経年変化を得ることにあり、

このため同種の軸受について、2年前に取替えたもの、1年前に取替えたもの、新たに取替えたもの、というように、劣化状況が把握しやすい方法をとった。

システムの稼働開始は、プラントの定期点検後から行い。この時点でのデータ収集を行った。この結果各経年ごとの信号レベルは図 12. のようになっている。これらのデータは負荷と直結した状態のものであるが、初期データを含めて工場における試験装置によるデータと同じ傾向を示している。

今回のデータ収集時に、図 13.(a) に示すように「油切れ」と思われる異常が発見されたが、軸受に給脂することにより、図 13.(b) に示すものに正常状態に回復した。この図のような高い周波数の波形は、非常に大きな振動を示していても、聴覚で判定することは困難であり、むしろ図 14. のような低レベルであっても、低周波振動がある時のほうが、聞こえやすいことが分かった。

### 5. む す び

従来の予防保全においては、監視と診断が別々に行われている。このシステムはこれらの機能を1つにまとめたことに意義がある。このような回転機器の予防保全に関しては、今後も各方面で研究が進められると考えられるが、異常診断技術の分野では、これまでの経験工学を集大成したり、実機での経時データを収集して予測診断にとり入れたり、又はリアルタイムで対応できる故障レベル自動設定技術等、学習機能を持つ診断システムの開発が必要となってくるであろう。

### 参 考 文 献

- (1) 手島, 太田, 谷口: OHM, 66, No. 11 (昭54)
- (2) 曾田: 軸受, 岩波全書
- (3) 島ほか: 第18回 SICE 学術講演会予稿集 (昭54-8)
- (4) D. Dyer and R. M. Stewart: Detection of Rolling Element Bearing Damage by Statistical Vibration Analysis, ASME paper No. 77-DET-83
- (5) James Lock: Maintaining Chemical Plant, Power & Plant in Southern Africa, June (1979)
- (6) Heinz P. Bloch and Robert W. Finley: Using Modified Acoustic Emission Techniques for Machinery Condition Surveillance, Proc. of the 7th Turbomachinery Symposium.

# 油中ガス自動分析装置による変圧器のモニタリング

山田光洋\*・埜村雄作\*・今村 孝\*\*・石井敏次\*\*\*・吉原俊彦†

## 1. ま え が き

送電系統の拡大にともない変圧器の大容量化、高電圧化が進み、万一変圧器に事故が発生した場合には、その影響は極めて大きくなった。したがって、変圧器の内部異常を早期に検出し、事故を未然に防止することが重要である。油中ガス分析は変圧器の内部異常を早期に検出するためのすぐれた方法であるが、変圧器内部異常の早期検出の観点から、油中ガス分析装置にはつぎの事項が要求される。

### (1) 低濃度ガスの分析

内部異常のエネルギーが同じレベルであれば、油中ガスの濃度は容量の大きな変圧器ほど低くなる。したがって、大容量変圧器の内部異常を早期に検出するには、低濃度のガスを分析できなければならない。

### (2) 高抽出率

試料油中のガス濃度が一定であっても、ガス分析によって得られるガスの成分割合は試料油からのガスの抽出割合によって変化する。ガスの成分割合は内部診断に非常に重要であり、信頼度の高い内部診断を行うには、油中ガスを完全に抽出して分析することが大切である。

### (3) 多成分ガスの分析

異常の初期段階においては異常によって発生した油中ガスの濃度が低く、また、ガス分析の検出感度は各成分ガスによって異なるので、できるだけ多くのガスを分析して総合的に診断しなければならない。

### (4) 高精度分析

信頼度の高い診断を行うには、その基になる分析データの精度が高くなければならない。特に、異常の初期段階においてはこのことが重要である。

### (5) 連続自動分析

異常はいつ発生するかわからない。したがって、できるだけ早期に異常を検出するには、分析ひん度を高くする必要があるが、これを経済的に行うには、連続自動分析が適している。

筆者らは種々のランについて検討を行い、その結果、1種類の装置で上記の要求をすべて満たすことは得策ではなく、油中ガス自動分析装置と油中可燃性ガス自動測定装置の2種類を開発し、用途に応じてこれを使いわけける方法が最も実用的であるとの結論に達した。

油中ガス自動分析装置は実験室、分析センターあるいはメンテナンスセンター用として、また、現地監視用としても使用できる。油中可燃性ガス自動測定装置は簡単な装置であり、現地監視用として使用できる。これら2つの装置を併用すれば、広い分野で、より完全な変圧器の保守管理が可能であり、分析技術者の省力化にも役立つ。

## 2. 油中ガス自動分析装置及び油中可燃性ガス自動測定装置

### 2.1 油中ガス自動分析装置

油中ガス自動分析装置は図1.に示すように(1)ガス抽出ユニット、

(2)ガス分析ユニット、(3)データ処理ユニット及び(4)制御ユニットから構成している。試料油は専用の採油容器あるいは現地監視用の場合には金属パイプを通して、変圧器からガス抽出ユニットへ直接導入される。油中ガスはバブリング式抽出器によって試料油から抽出される。抽出されたガスはガス分析ユニットへ導入され、ガスクロマトグラフで分析される。ガスクロマトグラフの出力はデータ処理ユニットへ送られ、こ

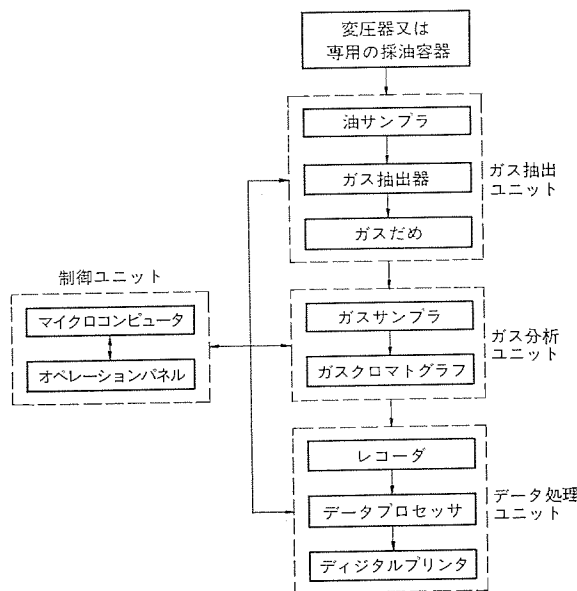


図1. 油中ガス自動分析装置のブロック図

表1. 油中ガス自動分析装置の仕様

項目	仕様
形式	屋外形/屋内形
寸法 (mm)	1,850 W × 1,750 D × 2,300 H
重量 (kg)	約 2,300
電源 (V)	1φ, AC 200
試料油量 (ml)	400
分析所要時間 (分)	約 120
予熱時間 (分)	約 90
バブリングガス	He 及び N <sub>2</sub>
分析条件	TCD-1 対象ガス: O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CO キャリアガス: He 充填剤: MS-5A, 活性炭
	TCD-2 対象ガス: H <sub>2</sub> キャリアガス: N <sub>2</sub> 充填剤: MS-5A
	FID 対象ガス: CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> キャリアガス: N <sub>2</sub> 充填剤: Porapak-Q
測定限界 (ppmV/Voil)	O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> CO, H <sub>2</sub>
	CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
分析精度 (%)	±10

で処理されたあと、分析結果はデジタルプリンタによって打出される。ガス抽出ユニット、ガス分析ユニット及びデータ処理ユニットは制御ユニットのマイクロコンピュータによって制御されている。表1.は油中ガス自動分析装置の仕様を示しており、図2.は正面写真である。各ユニットの詳細は次のとおりである。

(1) ガス抽出ユニット

油中ガス分析では、試料油からのガスの抽出が最も重要な技術の一つである。現在実験室で使用されている抽出器のなかには、抽出能力が高くて、しかも構造の簡単なものがないため、筆者らは図3.に示したバブリング式油中ガス抽出器を開発した。この抽出器の主な部分は流量調整器(E)、バブリング室(B)及びガスだめ(A)であり、これらが電磁弁  $V_1 \sim V_7$  及び金属配管で結合されている。装置全体を真空ポンプで排気したあと試料油 200 ml がバブリング室(B)へ導入される。次に、バブリングガスが流量調整器(E)を通してバブリング室へ導入される。バブリングガスは試料油中で微細気泡となり、試料油中に溶解していたガスはこの微細気泡中へ溶出し、バブリングガスとともにガスだめ(A)へ流れ込む。

バブリング式抽出器の利点は隔膜式変圧器油のようにガス量の少ない試料油の場合でも、ガスだめからガスクロマトグラフへの試料ガスの送り込みが容易であり、また、油中ガスの抽出能力も非常に高いことである。図4.はトリチエリー式抽出器と現在実験室用として抽出能力が最も高いとされているテブラーポンプ式抽出器の抽出率をバブリング式抽出器との比較において示したものである。テブラーポンプ式抽出器とバブリング式抽出器は各成分ガスに対してほぼ同程度の抽出率であるが、トリチエリー式抽出器はこれらより低い抽出率であることがわかる。

(2) ガス分析ユニット

ガス分析ユニットには水素炎イオン化検出器(FID)1個と熱伝導度形検出器(TCD)2個を備えたガスクロマトグラフを使用している。分析対象ガスは  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_6$  及び  $C_3H_8$  の11種類である。分析条件は表1.に示すとおりである。ガスクロマトグラフの校正は11種類のガスを含んだ標準混合ガスによって行われる。

(3) データ処理ユニット

データ処理ユニットはデータプロセッサ、デジタルプリンタ及びレコーダーから構成している。データプロセッサは各成分ガスの同定と油中濃度の計算を行う。レコーダーはガスクロマトグラフの調節及びカラム条件のチェックに使われる。分析結果は各成分ガス名とともに ppm(V/Voil) の単位で表示する。

(4) 制御ユニット

装置のシーケンスは制御ユニットのマイクロコンピュータによって制御している。分析及び校正のインタバル、分析の繰返し回数などの分析条件の設定はオペレーションパネルのスイッチによって行う。分析及び校正のインタバルは3~999時間の間の任意の時間に設定できる。図5.はシーケンスの流れを示している。

油中ガス自動分析装置は装置自身の主要部分を監視しており、もし異常が検出された場合には自動的に停止する。ガスクロマトグラフに関してはカラム恒温そう(槽)、検出器恒温槽及びサンプル計量管の温度、TCDのブリッジ電流、FIDの炎が常時監視されている。抽出ユニットに関してはバブリング室及び抽出されたガスの温度、大気圧、試料の容積及び採油時間が監視されている。その他の項目ではバブリングガスポンプ、キャリアガスポンプ、標準ガスポンプの圧力及び廃油槽の油面などが監視されている。

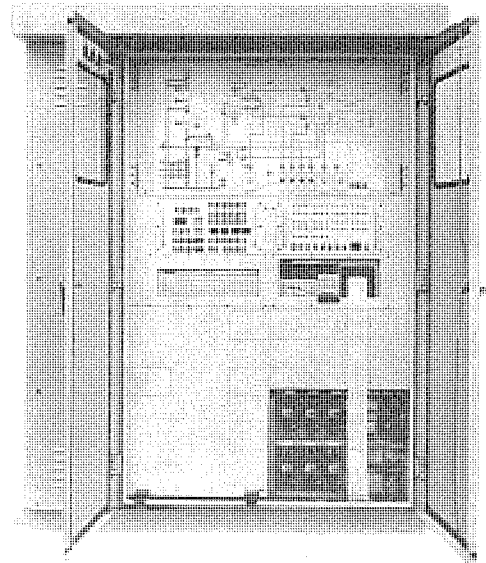
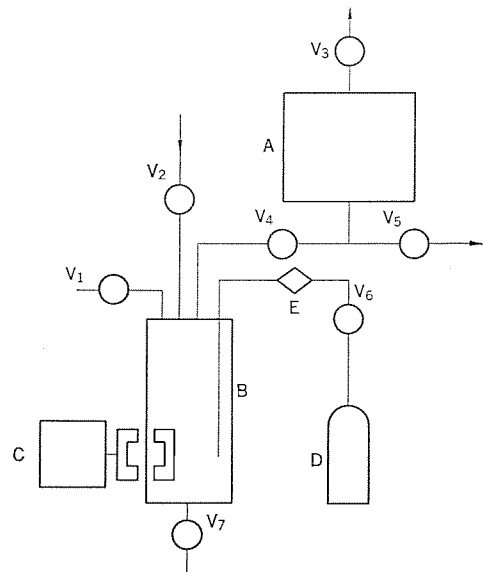


図2. 油中ガス自動分析装置



- A ガスだめ
- B バブリング室
- C スターラ
- D バブリングガスポンプ
- E 流量調整器
- $V_1 \sim V_7$  コック

図3. バブリング式油中ガス抽出器

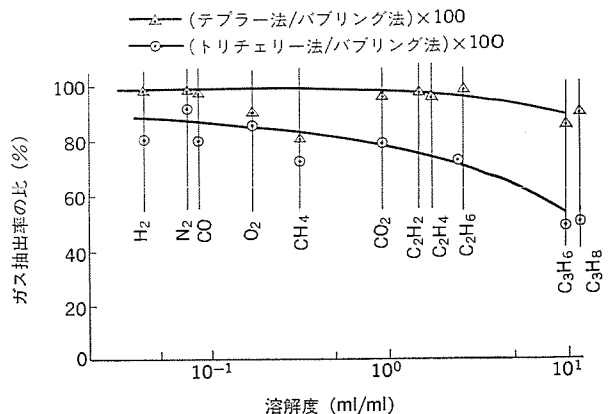


図4. ガス抽出率の比較

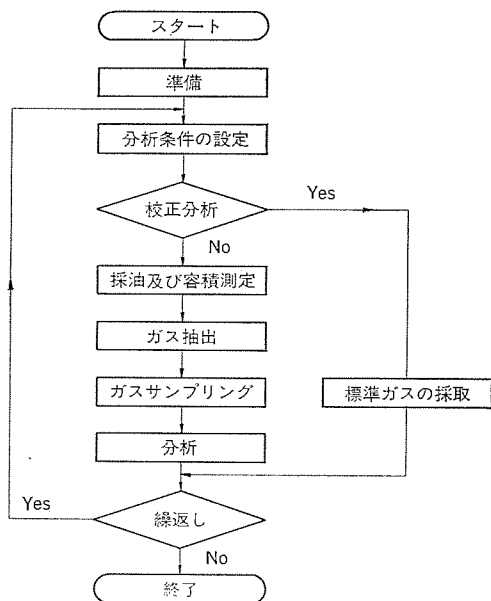


図 5. 油中ガス自動分析装置の流れ図

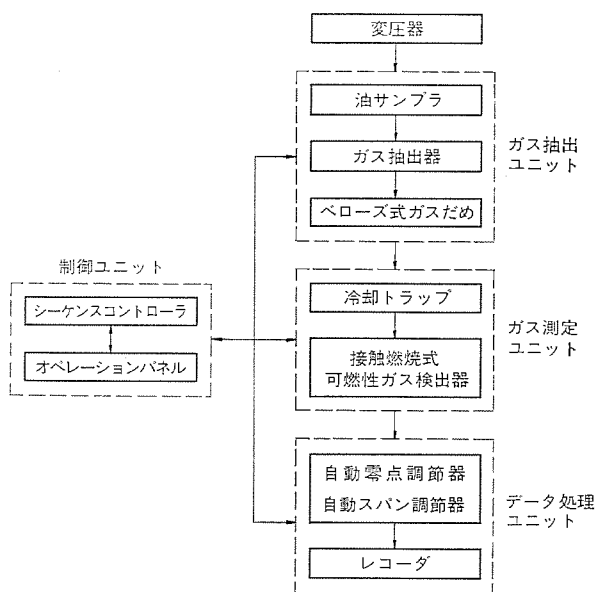


図 6. 油中可燃性ガス自動測定装置のブロック図

電気ノイズの影響をさけるため電子部品は鉄板でしゃへいされており、電源ラインにはノイズカットフィルタ及び絶縁トランスを使用している。また、デジタル入力信号はフォトカプラ及びリレーによって分離されている。

## 2.2 油中可燃性ガス自動測定装置

油中可燃性ガス自動測定装置も図 6. に示すように4つのユニットから構成している。表 2. 及び図 7. は、それぞれ、油中可燃性ガス自動測定装置の仕様及び正面写真を示している。各ユニットの詳細は次のとおりである。

### (1) ガス抽出ユニット

ガス抽出ユニットは油中ガス自動分析装置のガス抽出ユニットとほとんど同じであるが、バブリングガスとしてHe及びN<sub>2</sub>ガスの代わりに空気を使用している点が異なっている。これは、可燃性ガス自動測定装置の検出器は可燃性ガスの検出に空気を必要とするからである。また、この抽出ユニットはガスだめの真空を利用して空気のバブリングを行うため、特殊なペローズ構造となっている。

表 2. 油中可燃性ガス自動測定装置の仕様

項 目	仕 様
形 式	屋 外 形
寸 法 (mm)	800 W×800 D×1,600 H
重 量 (kg)	約 300
電 源 (V)	1 φ, AC 200
試 料 油 量 (mL)	200
測 定 所 要 時 間 (分)	約 60
予 熱 時 間 (分)	約 5
バ ブ リ ン グ ガ ス	空 気
可 燃 性 ガ ス 検 知 器	接 触 燃 焼 式 高 感 度 可 燃 性 ガ ス 検 出 器
検 出 限 界 (ppmV/Voil)	50
測 定 精 度 (%)	±10

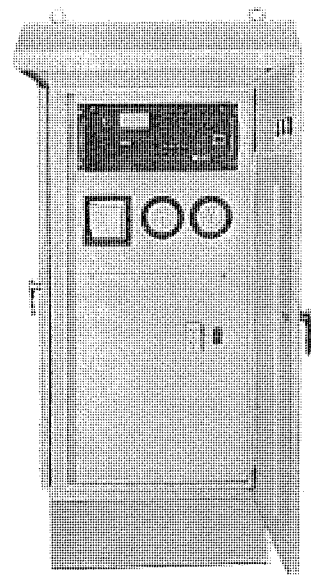


図 7. 油中可燃性ガス自動測定装置

### (2) ガス測定ユニット

ガス測定ユニットには新しく開発した高感度の接触燃焼式可燃性ガス検出器を使用している。可燃性ガス検出器の感度は試料ガス中の水分によって変化するので、水分の影響を除くためコールドトラップを使用している。検出器の校正は標準ガスを用いて、試料ガスの測定の前に必ず実施される。

### (3) データ処理ユニット

データ処理ユニットはレコーダ、自動スパン調節器及び自動零点調節器から構成している。レコーダのスパン及び零レベルはスパン調節器及び零点調節器によって、可燃性ガスの測定の前に自動的に調節される。可燃性ガスの測定結果はレコーダの記録紙に記録される。油中可燃性ガス濃度は測定値を検量線と比較することによって求められる。

### (4) 制御ユニット

装置全体のシーケンスは制御ユニットのシーケンスコントローラによって制御している。測定の周期は即時、1日1回、1週間に1回、1か月に1回のいずれかを選択できる。装置全体は耐ノイズ性、耐候性を考慮して製作している。

油中可燃性ガス自動測定装置も装置自身の主要部分を監視しており、異常が検出された場合には自動的に停止する。油及びガスの漏れ、

採油時間、パブリック時間、標準ガスボンベの圧力、自動スパン調節器及び自動零調節器の動作などが常時監視されている。

### 3. 現地実証試験

#### 3.1 実証試験の内容

実際の環境のもとでの油中ガス自動分析装置及び油中可燃性ガス自動測定装置の適用性を確かめるため、変電所で実証試験を実施した。変電所としては年間を通しての気候の厳しさ、温度変化の大きさを考慮して、山間部の1次変電所を選んだ。対象変圧器としては可燃性ガスの種類が多いこと、可燃性ガス濃度の高いことを考慮して、次の変圧器を選んだ。

- 形式：窒素封入式3相変圧器
- 電圧：250 kV/77 kV/11 kV
- 容量：90 MVA/99 MVA/45 MVA
- 冷却：FOA冷却システム
- 油量：48 kl
- 製造：昭和27年(1952)

現地試験によって調べた主な項目は輸送性、耐候性、耐ノイズ性、分析精度、ガスクロマトグラフのカラム充填剤(填)の寿命、消耗品の補給など要求されるメンテナンスの程度のは(把)握などである。これらの項目を調べるため、油中溶解ガスの分析及び装置の内部点検をあらかじめ定められた周期で、現地試験中に実施した。

#### 3.2 油中ガス自動分析装置に関する現地試験結果

現地試験に先だって、装置は工場から変電所まで120 kmの距離をトラック輸送したが、輸送による装置の異常は何も発生しなかった。

現地試験は油中ガス自動分析装置を変圧器に直結し、52年3月から53年10月まで18か月にわたって実施された。図8. は現地試験における装置の設置状況を示している。現地試験の間に総合点検は4回実施されたが、異常は何も検出されなかった。総合点検の主な項目は油及びガスの漏れ、パブリック時間、パブリックガスの流速、クロマトグラムにおけるピーク分離状態、真空ポンプ及びコンプレッサの能力、キュービクルの外観などである。

現地試験の間に試料油の分析は378回、標準ガスの分析は178回

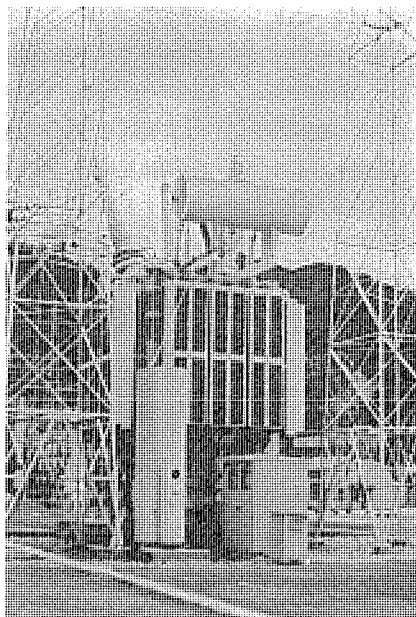


図8. 油中ガス自動分析装置の現地適用試験

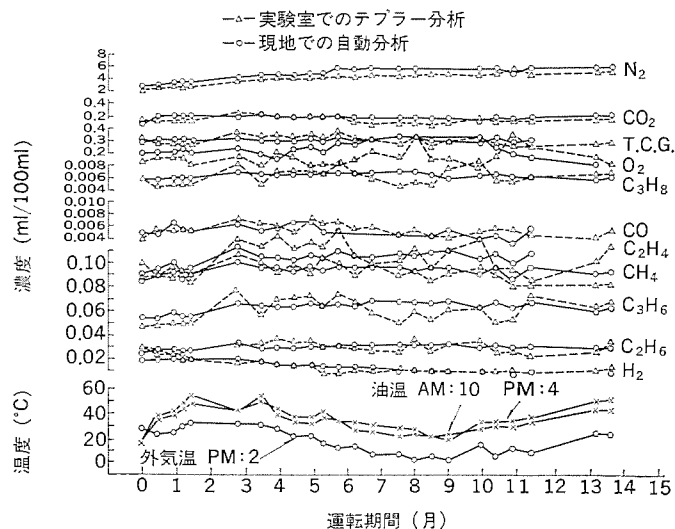


図9. 油中ガス自動分析装置による現地分析の結果

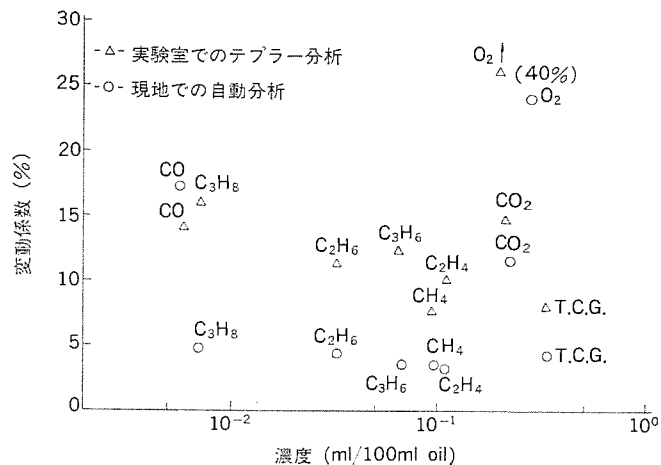


図10. 分析結果のばらつき比較

実施された。図9. は現地分析結果の一部を示したものであり、図には比較のため、専門の油分析会社によって実施された実験室でのテトラポンプ法による分析結果も破線で示している。図10. はこれらの分析結果のばらつきを示している。図9. 及び図10. の結果から、各成分ガスに対する分析結果の値は油中ガス自動分析装置と実験室におけるテトラポンプ分析とでよく一致しているが、油中ガス自動分析装置ではデータのばらつきが小さく、テトラポンプ分析の約半分であることがわかる。

図9. には午前10時と午後4時の変圧器油温及び午後2時における大気温度がプロットされている。油温と大気温度は運転期間に対してほぼ同じ傾向を示しているが、大気温度は $-3^{\circ}\text{C}$ ~ $36^{\circ}\text{C}$ の範囲で、また、油温は $20^{\circ}\text{C}$ ~ $55^{\circ}\text{C}$ の範囲で変化している。ここで注目される点は、大気温度あるいは油温がこのように広範囲に変化しても、油中ガスの分析結果はほとんど一定値を示しているということである。

現地試験によって得られたその他の結果は次のとおりである。ガスクロマトグラフのカラム充填剤は約1年間使用できる。分析結果の精度はガスクロマトグラフの運転方式、例えば、連続運転と間欠運転といったことには影響されず、1か月間稼働休止したあと再起動しても、精度の高いデータが得られる。ガスクロマトグラフの検出器については、FIDに比べてTCDのほうが安定である。FIDについては試料油分析を220回行ったところから出力の変動がみられたが、TCDは現地

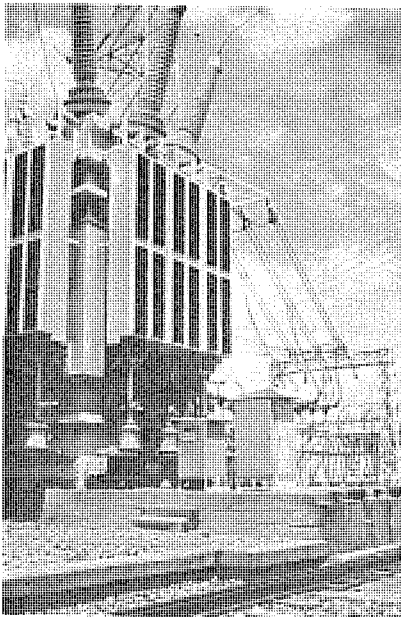


図 11. 油中可燃性ガス自動測定装置の現地適用試験

試験の全期間を通して、安定した出力を示した。

現地試験中に変電所近傍の 275 kV 送電系統への落雷があったが、これに対する誘導防止対策としては変圧器と油中ガス自動分析装置との絶縁及び装置から監視室への信号線ケーブルの完全な接地が有効であることがわかった。キャリアガス、標準ガス及び記録紙といった消耗品は、1日に2回分析するとして、6か月以上もつことがわかった。

### 3.3 油中可燃性ガス自動測定装置に関する試験結果

油中可燃性ガス自動測定装置も工場から変電所まで 120 km の距離をトラック輸送したが、輸送前後の総点検でも特に異常は認められなかった。現地試験は 53 年の 6 月から約 1 年の予定で開始された。図 11. は現地試験における装置の設置状況を示している。現地試験はこれまでに、既に 8 か月を経過しているが異常は皆無であり、総合点検でも異常は出ていない。総合点検の主な項目は油及びガスの漏れ、パブリック時間、真空ポンプの能力及びキュービクルの外観などである。

図 12. は油中可燃性ガス自動測定装置による可燃性ガスの測定結果であり、 $i-C_4H_{10}$  換算値で示している。図には参考のため、変圧器の油温及び大気温度もプロットしている。可燃性ガス測定結果のばらつきは非常に小さく、変動係数は約 5% である。

## 4. 考 察

油中ガス自動分析装置、油中可燃性ガス自動測定装置はいずれも現地変圧器の監視用として実用できることが、現地実証試験によって確かめられた。ここでは、これらの装置の用途について考えてみる。

ガス分析結果の評価方法については多くの報告がある<sup>(1)(2)(3)</sup>。これらの文献によれば、油中可燃性ガスの濃度及び発生速度は内部異常の有無を測定したり、異常の大きさ、あるいはエネルギーを推定するのに有効であり、また発生ガスの種類や各成分ガスの比率は異常の種類や位置の診断に有効であるとされている。

油中ガス自動分析装置を変圧器に直結すれば異常の有無及び異常

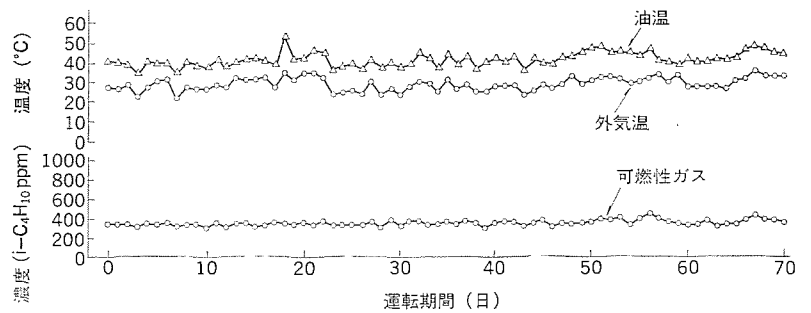


図 12. 可燃性ガス自動測定器による現地測定結果

の種類、異常の大きさなどを診断するのに必要なすべての情報が現地で得られる。一方、油中可燃性ガス自動測定装置は構造が簡単であるので、比較的安い費用で変圧器を監視できるという特徴もっている。したがって、これらの装置の適用の方法としては次のように考えられる。

油中ガス自動分析装置は、原子力発電所あるいは将来の UHV 変電所など幹線系統の重要変圧器の監視用として有用である。また、この装置は分析対象ガスの種類が多く、分析感度、分析精度が高いため、分析センター、実験室あるいはメンテナンスセンターの分析技術者の省力化にも役立つ。一方、油中可燃性ガス自動測定装置は発電所あるいは 1 次変電所の重要変圧器の監視用として有用である。また、この装置は営業運転開始後の変圧器の初期監視用あるいは実験室などにおけるガス分析の結果から何らかの異常が懸念される場合の変圧器の連続監視用として有用である。

## 5. む す び

油中ガス自動分析装置及び油中可燃性ガス自動測定装置は、1 次変電所での 8~18 か月にわたる現地実証試験によって、その実用性能が確かめられた。

油中ガス自動分析装置は分析感度、分析精度が高く、また全操作が自動化されているので、実験室あるいは分析センター等に独立した分析装置として設置すれば分析技術者の省力化に役立つだけでなく、原子力発電所及び将来の UHV 変電所など幹線系統の重要変圧器の監視用としても有用である。

油中可燃性ガス自動測定装置は発電所及び 1 次変電所の重要変圧器の監視用として有用である。また、この装置は営業運転の初期段階における変圧器の監視用あるいは実験室などにおけるガス分析結果から異常の懸念される変圧器の連続監視用としても有用である。

この研究は変圧器の予防保全に関する関西電力(株)と三菱電機(株)との共同研究によるものである。筆者らはワーキンググループのメンバーに対して、関係各位から装置の開発及び現地実証試験の過程で有益なご意見をいただいたことをここに記し、深く謝意を表するものである。

## 参 考 文 献

- (1) American National Standard, ANSI/IEEE C 57, 104-1978, Oct. (1978)
- (2) B. Fallow : Electra, N°42, pp. 31~52
- (3) International Electrical Commission Standard, Publication 599 (1978)



# ガス絶縁機器の内部絶縁診断技術

伊藤 俊一\*・土谷 善英\*・楠本 季夫\*・迎 久雄\*\*・松田 節之\*\*

## 1. ま え が き

ガス絶縁開閉装置 (Gas Insulated Switchgear : 以下, GIS と略す) では, 導電部や接触子などの主要部品が金属容器内に収納され, 従来の大気絶縁機器のように, 風雨や汚損などのような環境の影響を受けないので, 本質的に高信頼度特性を有しており, これまでの統計でも, GIS の事故発生率は, 従来の大気絶縁方式の機器と比べて小さい値になっている。

しかし, GIS は密閉されているので, 目視点検が外部からは不可能である上, 縮小化・集積化されているので, 内部の分解点検がやや困難であり, 長期間, 無保守・無点検で使用されているものが多い。もし, GIS 内部の異常の有無を外部から簡便に診断できれば, 信頼度は更に高められることになる。

このような見地から, 関西電力(株)と三菱電機(株)とは, 昭和52年から共同で“ガス絶縁開閉装置の保守技術に関する研究”を進め, 運転中の GIS の内部異常を外部から診断する技術と装置とを開発した。

これは, GIS の内部に異常が生じた場合に発生することが予想される部分放電を, 化学的・機械的・電気的・光学的に検出しようとするもので, それぞれの検出装置を試作し, 運転中の変電所で実用性能検証試験などを実施した。各方式の原理・試験結果・運用法などについてその概要を述べる。

## 2. 検出装置の開発

### 2.1 GIS における部分放電

GIS では, 内部異常の発生は極めて少ないが, 万一の場合, 起こり得ると想定される故障について模擬試験を行った結果を表 1. に示す。これは, 断路器, 計器用変成器及びガス絶縁母線からなる 77 kV GIS モデルで模擬故障を生じさせ, 発生する部分放電を測定したものである。この結果から, GIS の内部異常の大部分は, 100 pC 以上の連続的に発生する部分放電を検出できれば, 検出可能であることがわかった。

GIS の内部絶縁診断法には, 従来からガス分析法・異常音検出法・部分放電検出法などが適用されているが, これらの方法は工場あるいは実験室などで行われる方法であり, 変電所現地で適用する

表 1. 77 kV GIS モデル における模擬故障と放電電荷

模 擬 故 障	放電電荷 (pC)	発生ひん度 (pps)
(1) 接触子の接触不良	10,000	1,000
(2) 絶縁スペーサにおける放電	11,000	600
(3) 異物の混入		
(a) 鋼 線	40	(間欠的)
(b) M10 ボルト	600	100
(4) 絶縁スペーサのボイド放電	2,800	80

のは難しい。そこで, 我々は, 運転中の GIS に簡便に適用できる, GIS 内部の部分放電を化学的・機械的・電気的・光学的に検出する装置を開発した。なお, 開発に当たり, 特に次の点に留意した。

- (1) 運転中の GIS を金属容器外部から簡便に診断できる。
- (2) GIS の構成機器あるいはガス区分ごとに診断できる。
- (3) 構成機器の構造を変更するなどの設計変更を伴わない。
- (4) 検出装置は, 小形・軽量で, 取扱いが容易である。
- (5) 変電所のノイズレベルの下でも検出できる。

### 2.2 呈色反応法 (化学的検出法)

GIS 内部に部分放電が生ずると,  $SF_4$ ,  $SOF_2$ , HF,  $SO_2$  などの活性な酸性の分解ガスを発生する。放電電荷と分解ガス量との関係を図 1. に示す。これらの分解ガスを検出するには, 従来からガスクロマトグラフなどによる精密ガス分析が行われているが, 変電所現地で適用するのは難しい。そこで, 我々は, 分解ガスによって変色する呈色反応試薬を応用した, 変電所現地で簡便に使用できる検出装置 (ガステッカ) を開発した。なお, 呈色反応試薬には, 多くの試薬の中から高感度で, かつ色変化が容易に識別できるプロモクロゾールパールを選択した。

検出装置は, 図 2. に示すように, 検出素子と検出装置本体とからなる。検出素子は, 呈色反応試薬のアルカリ溶液を担持させたアルミナ粉末をガラス管に封入したものである。この検出素子は, 青紫色

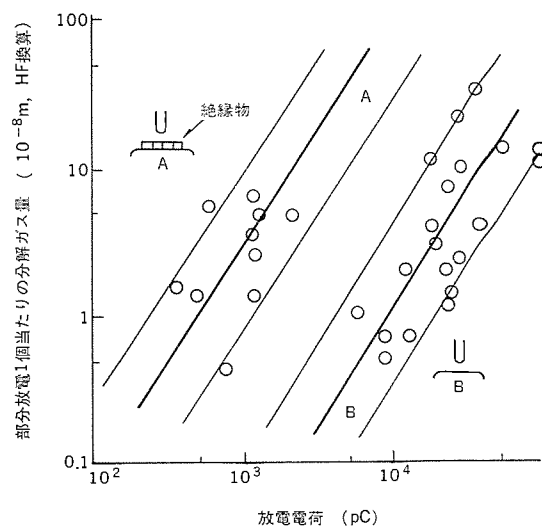


図 1. 部分放電電荷と分解ガス量

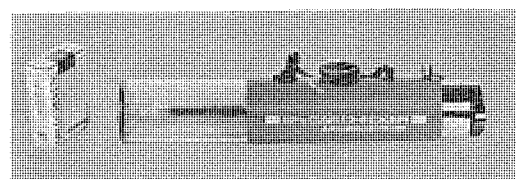


図 2. 呈色反応法検出装置

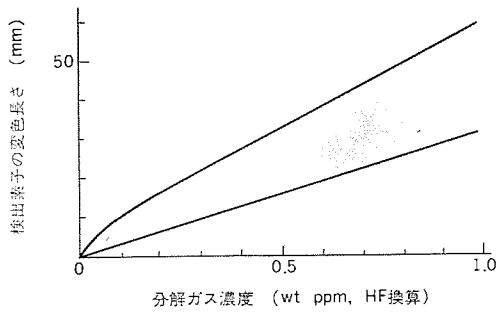


図 3. 呈色反応法検出素子の検出感度

を呈するが、水素イオン濃度 (pH) に応じて変色し、SF<sub>6</sub>分解ガス中の活性な酸性ガスによって黄色ないし黄緑色になる。

検出装置本体は、検出素子を収納・保持するきょう(筐)体と取付部(クイックコネクタ)とからなる。測定操作は非常に簡単で、検出装置をGISの配管口に取付けた後に調整バルブを開き、GIS内部に加圧状態で封入されているSF<sub>6</sub>ガスを検出素子を通して放出させる。通過するガスの流量は一定で、5 l/minになるように調整されている。1回の測定に要する時間は6分で、合計30 lの試料ガスを通過させた後、検出素子の変色長さを調べる。変色長さは、図3.に示すように、分解ガス濃度によって変わり、変色長さから分解ガス濃度を推定することができる。変色検出の限界濃度は、HF(ふっ化水素)換算で0.03重量ppmである。

なお、GIS内部には、水分や分解ガスを吸着するための吸着剤が封入されているので、これが分解ガス濃度に影響するが、部分放電が連続的に発生していれば、1,000 pC程度の部分放電を検出できることを実験及び計算で確認している。

この検出装置の特長をまとめると、次のようになる。

- (1) 検出素子の変色により、部分放電の発生を確実に検出できる。
- (2) 測定操作が簡単で、熟練を要しない。
- (3) 電氣的及び機械的ノイズの影響を受けない。
- (4) 検出装置は、小形・軽量で、持ち運びが容易である。
- (5) 検出素子は、カートリッジ式で、簡単に交換されることが出来る。

### 2.3 振動・異常音検出法(機械的検出法)

GIS内部に部分放電が発生すると、音や振動が生ずる。これらを検出する方法について検討した結果、検出感度と取扱いの容易さことから、圧電形振動加速度計を金属容器外壁に取付ける方法を採用した。

金属容器外壁で検出される振動は非常に小さいので、部分放電による信号と外部ノイズとの識別を行い、高感度化を図る必要がある。そのため、マイクロコンピュータを使用して波形の平均化処理を行って信号とノイズとの識別を行い、測定結果をデジタル表示するような検出装置を開発した。検出装置の外観を図4.に、検出素子の取付状況を図5.に示す。

部分放電による信号とノイズとの識別は、次の方法による。

- (1) 帯域増幅器を用い、機器自体の定常振動、及び周囲の騒音に含まれる低周波成分、並びに電氣的ノイズに含まれる高周波成分を除去する。
- (2) 入力信号のレベル判別を行い、一定レベル以上の信号をノイズとして除去する。

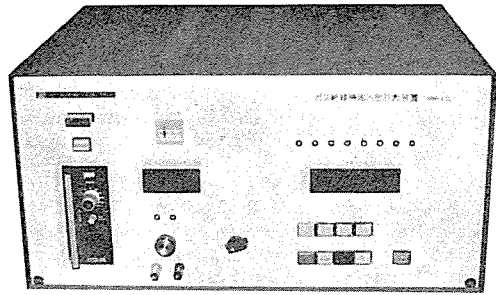


図 4. 振動・異常音検出装置

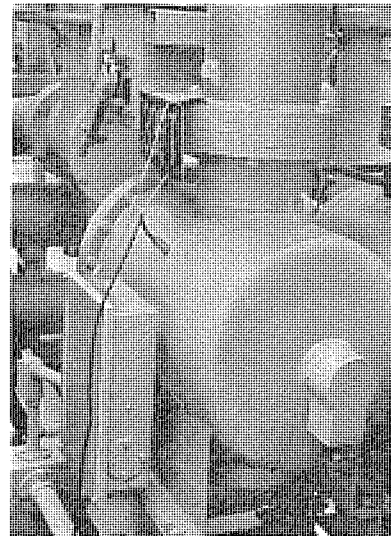


図 5. 検出素子の取付状況

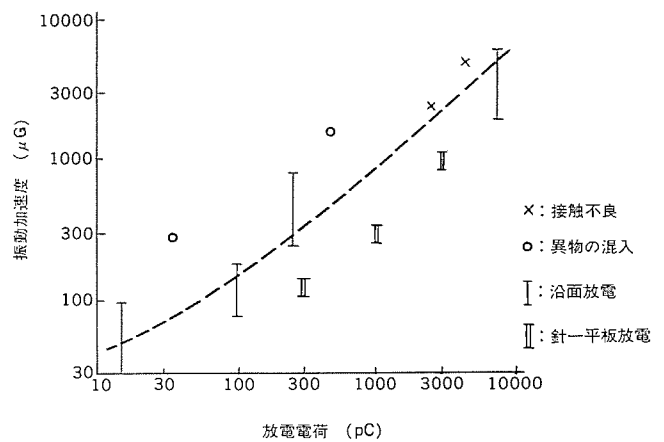


図 6. 放電電荷と金属容器の振動加速度

(3) 供試器の電源周波数に同期させてサンプリングし、波形の絶対値をとって平均化処理を行い、その周期性のパターンを調べる。部分放電波形には明確な周期性がみられるのに対し、ノイズ波形には周期性がないので、信号とノイズとの識別ができる。

77 kV GISモデルに、表1.に示した模擬故障を発生させた場合の、放電電荷と、金属容器表面で検出された振動加速度との関係を図6.に示す。ここで、特徴的なのは、同じ放電電荷でも故障の種類によって振動の伝わり方に差があるので、検出値が異なることである。特に、微小金属片などが存在する場合には、その振動が直接金属容器に伝わるので、高感度で測定できる。

1回の測定に約3分を要し、最小検出感度は、周囲ノイズによって変化するが、50~200 pCの部分放電が検出できる。

この検出装置には、次のような特長がある。

- (1) 検出素子を金属容器外壁に取付けるだけで測定ができ、検出装置の取扱いも簡単であり、熟練を要しない。
- (2) 測定結果がデジタル表示されるので、読取誤差がない。
- (3) 検出素子の取付け場所を変えることによって部分放電の発生場所の標定も可能である。
- (4) 部分放電を伴わない、微小金属片の存在を検出できる。
- (5) 入力信号のレベル判別、及び波形の平均化処理を行うことにより、部分放電による信号とノイズとの識別ができ、高感度で測定ができる。

#### 2.4 外被電極法（電気的検出法）

工場におけるGISの試験では、供試器を大地と絶縁して設置し、シールドルーム内でノイズレベルを低減させ、大形の精密測定器で測定することができるので、部分放電の定量的測定だけでなく、発生場所の標定も可能である。しかし、変電所現地ではこれらの条件が期待できず、特別な測定法が必要になる。我々は、部分放電発生時に金属容器・架台・接地系に高周波電流が流れ、金属容器の電位が過渡的に上昇することに着目し、これを金属容器外壁に絶縁フィルムを介して取付けた電極によって検出する方法（外被電極法）を開発した。

500 kV GISにおける試験状況を図7.に示す。部分放電による金属容器の電位振動を検出し、帯域増幅器で増幅してオシロスコープで波形を観測する。放電電荷は、この波形のピーク値から求められる。77 kV及び500 kVガス絶縁母線に模擬故障を発生させた場合の放電電荷と検出装置出力との関係を図8.に示す。

この方式では、部分放電を電気信号としてそのまま検出するので、放電電荷と検出装置出力との関係は、故障の種類に応じて変わるようなことがなく、一定である。なお、ここで、77 kVと500 kVとのガス絶縁母線について同一放電電荷に対して検出装置出力に差があるのは、金属容器及び接地系のインピーダンスの差によるものと考えられる。

1回の測定に約3分を要し、最小検出感度は、現地のノイズレベルで異なるが、変電所現地試験の結果では、200~300 pCである。



図7. 500 kV GISにおける外被電極法試験状況

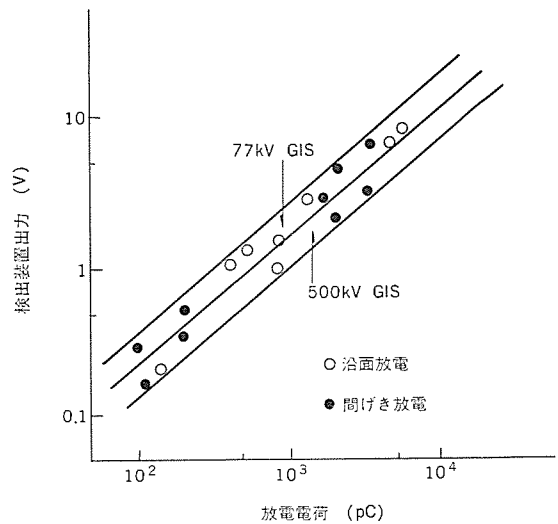


図8. 77 kV, 500 kV GIS母線における放電電荷と外被電極法検出装置出力

この検出装置の特長をまとめると、次のようになる。

- (1) 運転中のGISについても、外被電極を取付けるだけで簡単に短時間で測定できる。
- (2) 部分放電を電気信号としてそのまま検出できる。
- (3) 検出装置は小形・軽量で、携帯用ケースに入れて持ち運びができる。
- (4) バッテリー電源が使用されているので、ノイズの影響を受けにくく、高感度で測定ができる。

#### 2.5 光電子増倍管法（光学的検出法）

部分放電による発光を光電子増倍管で検出する方法である。この方法は、あらかじめGIS内に検出素子を設置するか、金属容器に受光窓を設置する必要があるが、既設のGISにはそのまま適用できないが、外部ノイズの影響を受けないという利点がある。

77 kV GISモデルに直径約5 cmの受光窓を設けて試験した結果では、検出感度は約100 pCであった。ただし、シールドリングでしゃへいされる場合のように、反射光で検出する場合には、検出感度は約1,000 pCであった。

この検出法は、既設のGISには適用できないので、実器へ適用するについては、今後の課題である。

### 3. 変電所で運転中のGISへの適用

GIS本体の改造を必要とする光電子増倍管法を除く各検出法につき、工場で77 kV GISモデルを使用して表1.に示した模擬故障を発生させ、その検出性能を確認した後、変電所で運転中のGISの内部絶縁診断に適用した。

4変電所の500 kV及び77 kV GISの内部絶縁診断に適用して数100点の測定を行ったが、試験したどの機器についても、内部異常は認められなかった。そこで、図9.に示すように、運転中の500 kV GISの近辺に77 kV GISモデルを設置し、内部に部分放電を模擬的に発生させ、変電所現地における各検出装置の性能を検証した結果、数100 pCから1,000 pCの部分放電を検出できることがわかった。

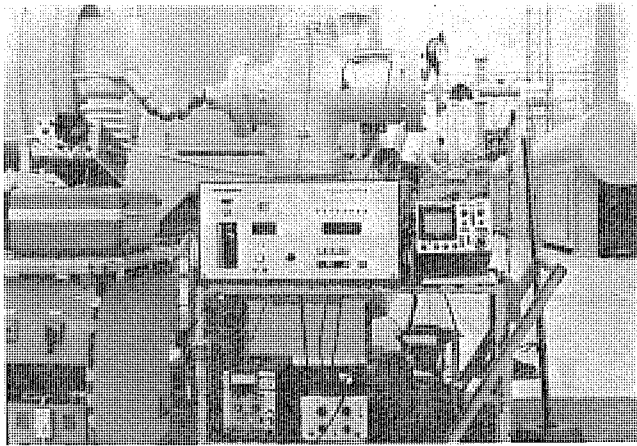


図 9. 500 kV GIS における各検出装置の現地性能検証試験状況

#### 4. む す び

GIS の内部絶縁を監視するため、運転中の GIS について外部から簡便に適用できる、部分放電検出を応用した 4 種類の内部絶縁診断装置を開発した。それらは、呈色反応法、振動・異常音検出法、外被電極法及び光電子増倍管法であり、表 2. のように、それぞれに特徴があるので、次のような適用法が考えられる。

- (1) 呈色反応法は、外部ノイズの影響を受けず、現地における取扱いが極めて簡便であるので、日常点検、あるいは何らかの異常が認められたガス区分を速やかに検査するのに適用する。
- (2) 振動・異常音検出法及び外被電極法は、より詳細に検査するのに適しているため、新設 GIS、あるいは現地で解体・再組立てされた GIS を検査するのに適用する。

表 2. 各検出法の実器への適用性の比較

	呈色反応法	振動・異常音検出法	外被電極法	光電子増倍管法
耐振動ノイズ	◎	○	◎	◎
耐電気ノイズ	◎	◎	○	◎
取扱いやすさ	◎	○	○	—
最小検出感度	約 1,000 pC	約 50~200 pC	約 200~300 pC	約 100~1,000 pC

◎ 非常に優れている      ○ 優れている

(3) 光電子増倍管法については、あらかじめ受光窓を設けるなどの対策が必要であるので、適用するためには、今後、検討を要する。

運転中の GIS については、内部に異常が認められない限り、できるだけ気密を破らないようにするのが望ましく、解体点検の可否を判断するに当たり、今回、開発した GIS の内部絶縁診断装置は極めて有力な手段になるものと考えられる。

最後に、この研究を進めるに当たってご協力をいただいた関係者各位に感謝の意を表する。

#### 参 考 文 献

- (1) 楠本ほか：電気学会絶縁材料研究会資料，EIM-78-80
- (2) 西村，伊藤，楠本，迎ほか：昭和 54 年電気学会全国大会，1,029~1,033
- (3) 中井，楠本ほか：昭和 54 年電気学会関西支部大会，G 3-49
- (4) S. Itoh, S. Kusumoto, Y. Tsuchiya, H. Mukae et al. : IEEE PES 1980 Winter Meeting, F 80 254-3

## 1. ま え が き

近年、鉄道車両では、車両制御装置・ブレーキ装置・自動列車制御装置などにエレクトロニクス化の動きが著しく、列車性能が格段に向上している。しかし、機器を構成する上で部品数が増加する傾向にあり、特に新交通システムや新線計画時にこの傾向がみられるように思われる。

車両における機器の故障は、故障箇所と故障状況とが迅速には(把)握されて処理されないと、すぐさま列車全体に大きな影響を与え、列車運行及び車両修復面に多大の支障を与えることになる。このモニタリング装置は、これらに対応するためのもので、万一、車載機器が故障すると、乗務員に正確な故障情報を与えると同時に、保守部門にも正確な故障データを提供し、短時間に適確な処置を行わせ、列車のダウンタイムを短縮するのに役立たせることができる(図1.)。

ここに、当社が開発、実用化した、マイクロコンピュータ技術と直列伝送技術とを駆使した列車モニタリング装置の概要について紹介する。

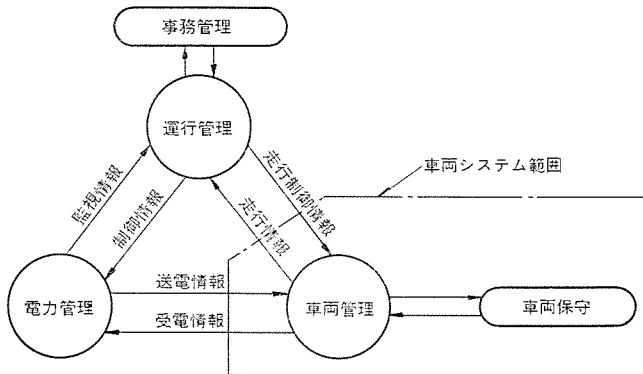


図1. 鉄道車両システム

## 2. モニタリング装置の評価

輸送機関(新交通・地下鉄・郊外電車、その他)の規模、運営者の経営方針や、現在の設備の保守形態によってモニタリング装置の評価は大きく異なるが、次のような面からの評価が重要であると考えられる。

### 2.1 車両保全からの評価

鉄道車両には、大量輸送機関設備として車両機能を保持する保全が必要で、従来から予防保全・事後保全・改良保全が実施されている。特に、輸送機関として旅客サービスを低下させる性格のある事後保全を少なくする努力が図られている。予防保全と改良保全とによって故障と保守量の軽減を図っている。しかし、(a)信頼度の高い機器でも故障する、(b)エレクトロニクス化された機器の故障は偶発的傾向が強い、(c)保守に要する時間のうちの3/4は、故障箇所の発見とその原因究明とに費やされ、残りの1/4が実際の修復に使われている。

これらの傾向にかんがみ、事後保全の重要性とその作業能率とが、今、見直される時期にある。モニタリング装置は、このような状況にある問題の一部に答えることができる。

### 2.2 アベイラビリティ(利用率)による評価

車両のモニタリング装置を車両保守や故障解析に利用した場合、便宜性を単に車両及びその機器の信頼度だけで評価したのでは不十分である。機器の信頼性以外に保修あるいは保全の要素を考えると、便宜性は、信頼度と保全との両面を尺度にする利用率(アベイラビリティ)を用いて表すことができる。利用率は、次式で表される。

$$\text{利用率 } A = \frac{T}{T + T_D} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{1}{1 + \rho}$$

ただし、 $T$ : MTBF(平均故障間隔)、 $T_D$ : MDT(平均休止時間)、 $\lambda$ : 故障率( $\lambda = 1/T$ )、 $\mu$ : 回復率( $\mu = 1/T_D$ )、 $\rho$ : 保守係数( $\rho = \lambda/\mu$ )

以上から、モニタリング対象機器には、保守係数 $\rho$ が大きいものを選定すべきことが分かる。ただし、モニタリング装置自体の保守係数は、モニタリング装置を付加したことによって低減される保守係数より小さくなければならないことは言うまでもない。

## 3. モニタリング装置の機能及び効果

### 3.1 機能

列車の運転及び保守を適確に、かつ能率よく実施するには、営業運転中における車両機器の動作状態を正確に把握することが重要である。モニタリング装置に具備されなければならない機能は、次のとおりである。

- (1) 列車運転中に発生した故障の内容及びその応急処置についての指示表示(運転補助機能)。
- (2) 営業運転中に発生した故障の原因解析に必要なデータの収集と、整理された情報出力(保守部門へのデータ提供機能)。
- (3) 各種車両機器の正常動作監視(いわゆる、モニタリング機能)。
- (4) 列車定期検査後の運転時における車両機器の動作確認データの収集(車両管理部門へのデータ提供機能)。
- (5) 試運転時の制御特性に関するデータの収集(設計部門へのデータ提供機能)。
- (6) 台車及び車体の振動監視データの収集(設計部門、地上設備及び車上機器管理部門へのデータ提供機能)。
- (7) セルフチェック機能。

### 3.2 装置の特徴と利用効果

この装置の特徴とその利用効果は、次のとおりである。

- (1) 営業線で車両に故障が発生したとき、故障データをリアルタイムに収集・記録することができるので、このデータを出力させることで故障原因の追求が容易になる。
- (2) 特に、電子機器に見られる再現性の少ない故障でも、故障データを適確に記録するので、原因追求のための試験走行が不要になる。

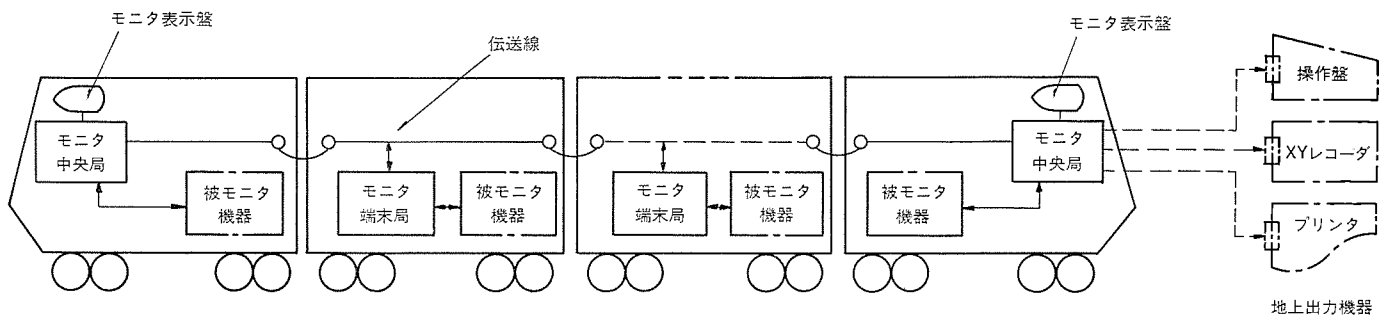


図 2. モニタリング装置概略構成

(3) 走行中における車両機器の使用条件、通常動作及び故障状態のデータを適確に把握し、かつ記録・整理を行うので、車両保全の最適な管理ができる。

(4) 車載モニタリング装置を車両検査システムの端末装置として利用することにより、車両検査の能率化と簡略化とが図れる。

(5) モニタリング装置のハードウェアには、マイクロコンピュータを利用しているので、制御装置・ブレーキ制御装置・自動列車制御装置・電源装置などとのインタフェースを同一ハードウェアで構成できるので、機器の製作や保守が容易である。

(6) 各車両間の情報伝送には、直列伝送方式を採用しているため、最小限の引通し線で多くの情報を伝送できる。このため、各車両機器の故障及び動作状態を先頭車の乗務員は木目細かく知ることができる。

(7) セルフチェック機能を内蔵しているため、装置自体の保守点検を必要としない。

#### 4. 装置の説明

モニタリング装置は、利用者の評価や利用目的に応じて機器の構成が多少異なるが、ここでは代表的な例について述べる。

##### 4.1 モニタリング装置の構成

モニタリング装置の概略構成を図2に示す。この装置は、先頭車に中央局、中間車に端末局を設置し、各端末局は各車の各種車両装置をモニタする。中央局は、端末局の機能を兼ねるとともに、各端末局で収集された情報を集中管理する。もしモニタされている対象機器に異常が生ずると、端末局で収集されたデータは中央局に伝送され、中央局は、これを判断して故障の内容及び処置指示などを運転室のディスプレイに表示する。各局間では、2対の伝送線を使用して制御指令及びデータの授受が行われる。

##### 4.2 機能

この装置は、次に述べる4つの機能を有する。

###### (1) 車両機器故障時の乗務員に対する情報表示

列車走行中に車両機器に故障が発生したとき、故障箇所とその内容及び応急処置指示を乗務員に表示する(図3.)。

###### (2) 故障解析用データ収集及びデータ出力

列車走行中に発生した故障原因の解析を正確かつ迅速に行うため、故障時のデータ収集及びそのデータの出力を行う。プリンタ出力例を図4に、XYレコーダ出力例を図5に示す。

###### (3) 機器動作情報収集及び出力

定期検査後などの試運転時に各車両機器の正常動作を確認するため、列車性能のデータ収集及び出力を行う。

###### (4) セルフチェック

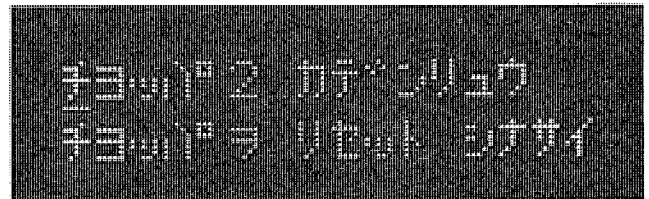


図 3. モニタ表示盤の表示例

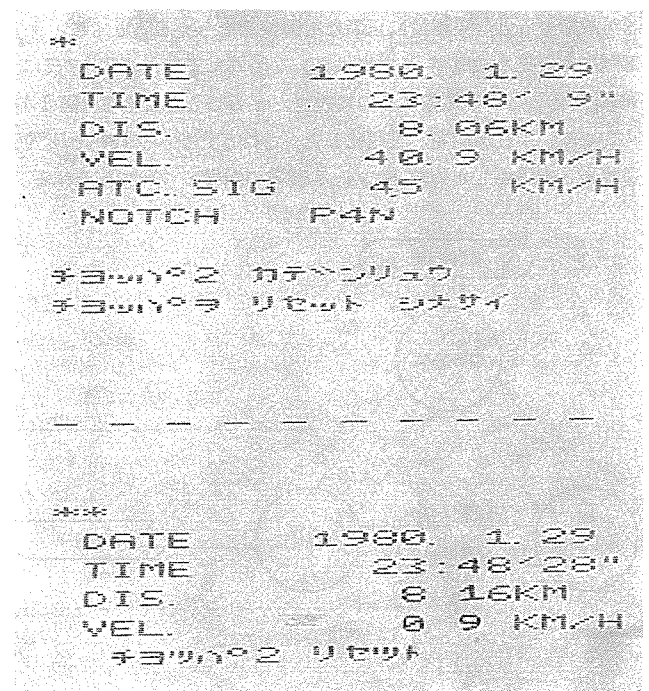


図 4. プリンタへの出力例

モニタリング装置の自己機能チェック及び故障診断を行う。

##### 4.3 モニタリング対象機器及び項目

モニタリングの対象機器及び項目は、故障時の原因追求が比較的難しい機器、列車性能及び故障状態を乗務員が把握し、かつ保守部門が原因を追求する上に必要な項目を中心にして選定した。

###### (1) 全般情報

故障発生時刻、故障発生位置、列車速度、マスコン及びブレーキステップ位置等のデジタル入力15点、アナログ1点。

###### (2) ATC装置

ATC信号、受信部系列故障、速度照査部系列故障、システム常用及び非常ブレーキ出力、電源故障などのデジタル入力27点。

###### (3) 力行制御(チョップ制御)装置

主電動機過電圧、主電動機過電流、転流失敗、制御電源異常、相電

1980. 1. 30	16:28'16"	CAR. NO.1705
S=10.20KM	V=84.1KM/H	ATC. S=75
CHOPPER	OCAR	NOTCH=B7N

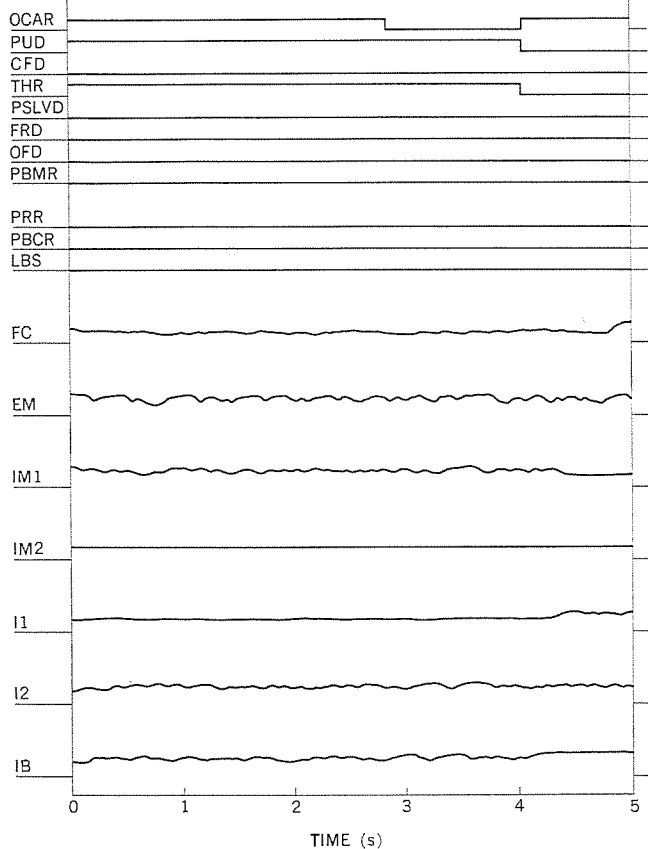


図 5 XY レコーダへの出力例

流不平衡, 架線電圧, 主電動機電圧, 主電動機電流, チョップ開放などのデジタル入力12点, アナログ入力7点。

(4) ブレーキ制御装置

ブレーキ不足, ブレーキ不緩解, 電源故障, 非常ブレーキ, ブレーキシリンダ圧力などのデジタル入力11点, アナログ入力2点。

(5) 電源装置 (MG)

MG 過電圧, MG 過電流, MG 出力電圧, MG 開放などのデジタル入力6点, アナログ入力1点。

(6) 空気ばね装置

空気ばねパンクなどのデジタル入力2点。

表 1. モニタリング装置の主要諸元

項目	主な内容
中央局	<ul style="list-style-type: none"> <li>○鉄道車両用マイクロコンピュータ [M5L 8085 A (i8085 A 相当) 使用]</li> <li>○メモリ容量 ROM 30 K バイト</li> <li>RAM 14 K バイト (含. 不揮発性 RAM)</li> <li>○時刻, キロ程, 車速カウント機能内蔵</li> </ul>
端末局	<ul style="list-style-type: none"> <li>○鉄道車両用マイクロコンピュータ [M5L 8085 A (i8085 A 相当) 使用]</li> <li>○メモリ容量 ROM 8 K バイト</li> <li>RAM 8 K バイト</li> </ul>
伝送回路	<ul style="list-style-type: none"> <li>○Fs 変調による直列データ伝送方式</li> <li>○伝送速度 9.6 K BPS</li> <li>○伝送線 (送信/受信用) 2 対</li> </ul>
モニタ対象機器	チョップ装置, ブレーキ装置, MG 装置, ATC 装置, 空気ばね等
モニタ内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>○中央局 各 67 点 (アナログ 4 点, デジタル 63 点)</li> <li>○端末局 各 26 点 (アナログ 9 点, デジタル 17 点)</li> </ul>
プリンタ	放電印字式 180 行/分 80 字/行
XY レコーダ	高速・高加速度形 100 cm/秒 直線性 ±0.5% 以下

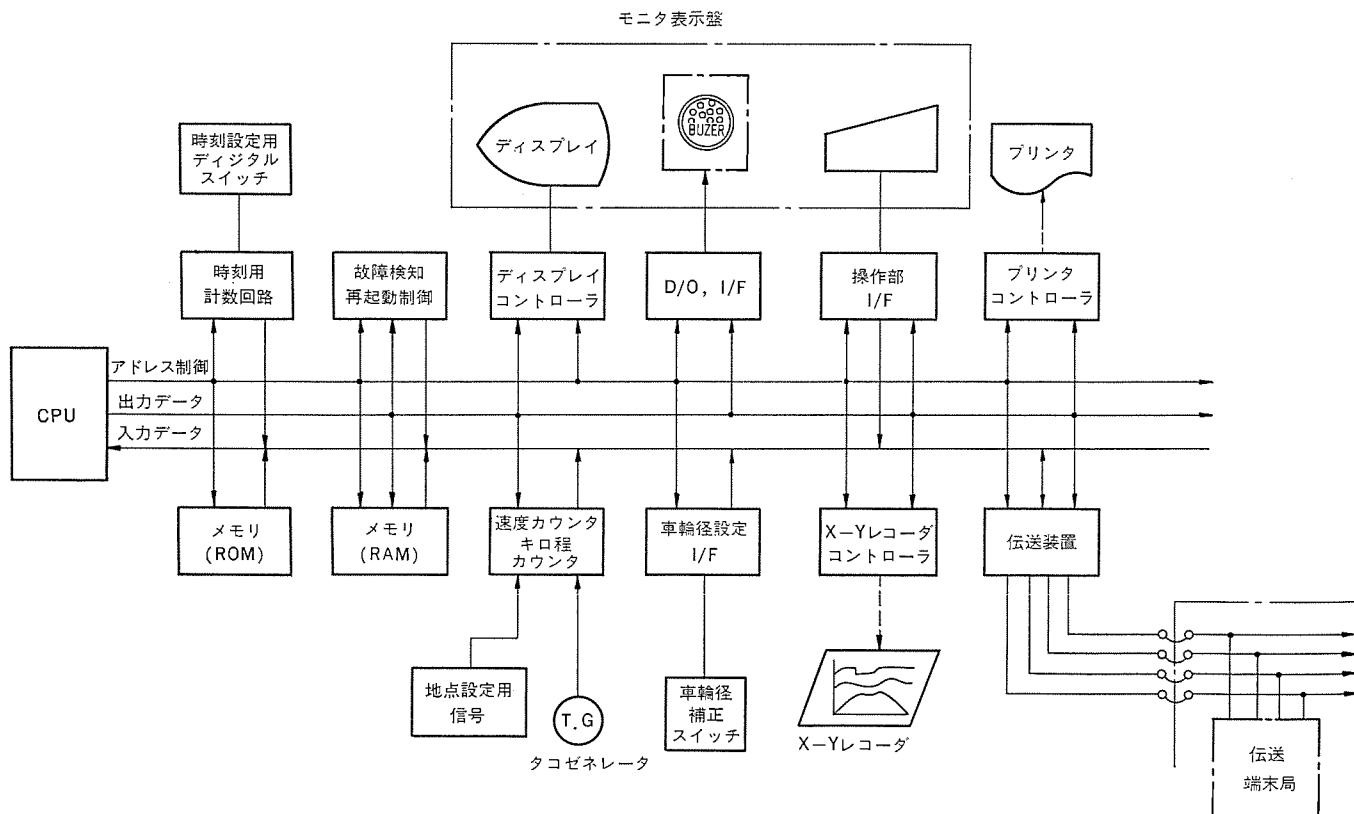


図 6. モニタ中央局ブロック図

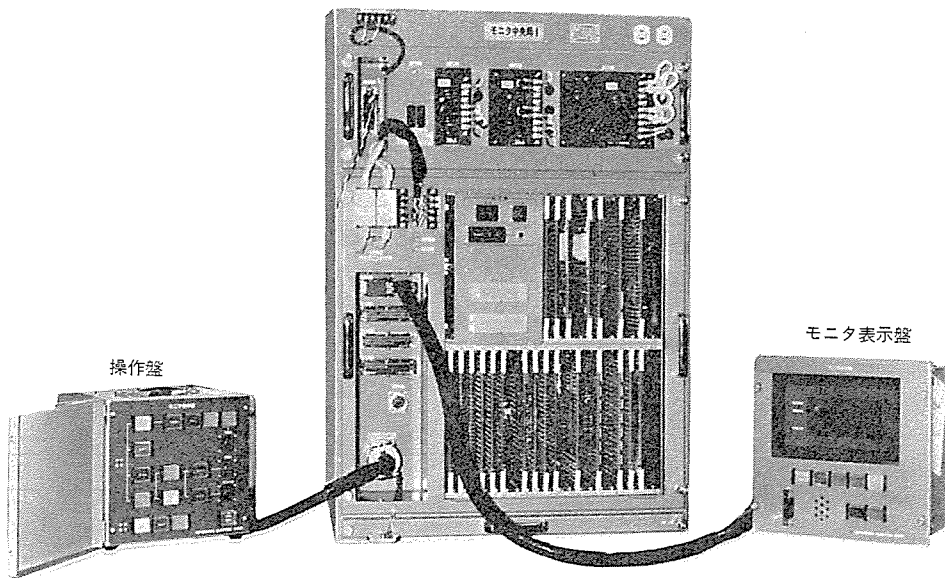


図 7. モニタ中央局外観

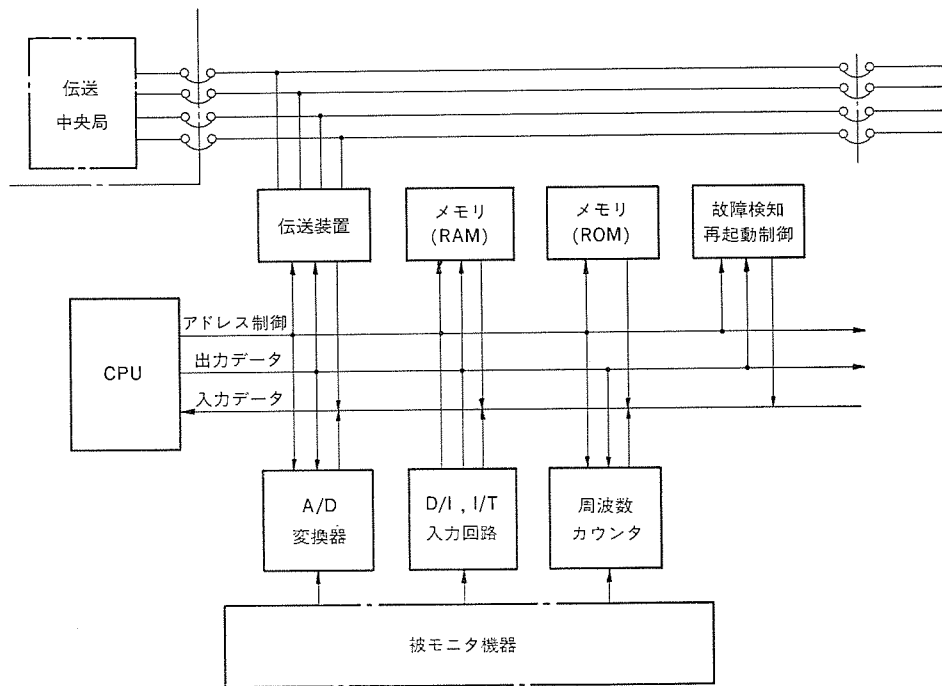


図 8. モニタ端末局ブロック図

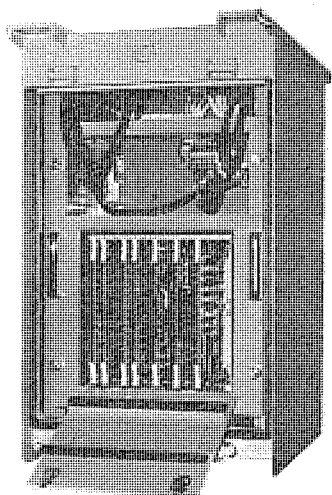


図 9. モニタ端末局外観

#### 4.4 ハードウェアの構成

ハードウェアを設計するに当たり、モニタリング装置に故障が発生した場合、対象機器にその影響が波及しないように十分に考慮を払った。特に、入力部には、デジタル信号のフォトカプラ絶縁、アナログ入力部の高インピーダンス化、計器用変圧器、アイソレーションアンプによるアナログ入力絶縁などを採用した。以下、個々の構成機器について述べる。

##### (1) 中央局

中央局は、演算部・電源部・モニタ表示部で構成し、そのブロック構成を図 6. に、またその外観を図 7. に示す。プリンタ・作図装置・操作盤は、入庫後にデータを出力するときや試運転走行時のみ接続する。

演算部は、鉄道車両用マイクロコンピュータを中心に構成し、各種演算、入出力機器制御、タイマ制御及び伝送制御を行う。メモリは、次の 3 種類から構成する。①各種制御手順及び演算手順を示す一連のアプリケーションプログラムを内蔵する ROM (M5L2716)、②演算及び収集データを一時的に収納する RAM (M5L2114)、③故障時の関連データを収納する不揮発性 RAM (電源が切れてもメモリ内容が破壊されない)。また、時刻カウンタは、バッテリーバックアップしており、乗務員が出庫時に毎回セットする必要がないように配慮している。自己故障検知機能も内蔵しており、常時、マイクロコンピュータの動きを監視し、自己故障を検出する。故障を検出した場合には、モニタ表示器を介して乗務員に故障を知らせる。列車位置・速度カウンタは、速度発電機の出力を利用して位置・速度を検知し、故障時の関連情報や乗務員のモニタ用に使用する。伝送制御回路は、端末局との情報授受を行う。モニタ表示器は、事故時に乗務員にその内容と応急処置の表示・指示を行うキャラクタディスプレイ、ブザー、ランプからなる。コントロール回路は、プリンタ、作図装置、操作盤やモニタ表示盤等のマンマシンコミュニケーション機器を制御する。通常走行時には、故障時の乗務員への情報表示及び故障解析用情報収集モードとして運用する。

自己故障検知機能も内蔵しており、常時、マイクロコンピュータの動きを監視し、自己故障を検出する。故障を検出した場合には、モニタ表示器を介して乗務員に故障を知らせる。列車位置・速度カウンタは、速度発電機の出力を利用して位置・速度を検知し、故障時の関連情報や乗務員のモニタ用に使用する。伝送制御回路は、端末局との情報授受を行う。モニタ表示器は、事故時に乗務員にその内容と応急処置の表示・指示を行うキャラクタディスプレイ、ブザー、ランプからなる。コントロール回路は、プリンタ、作図装置、操作盤やモニタ表示盤等のマンマシンコミュニケーション機器を制御する。通常走行時には、故障時の乗務員への情報表示及び故障解析用情報収集モードとして運用する。

##### (2) 端末局

端末局は、演算部・電源部で構成する。そのハードウェアブロック構成を図 8. に、外観を図 9. に示す。

端末局は、制御装置・ブレーキ装置・自動列車制御装置・電源装置などの各機器に対応している。しかし、ハードウェア構成には、機能ごとにカードを標準化したこととバス方式を採用しているため、各端末局ともほぼ同一構成で、入力点数が異なるのみである。

演算部は、中央局と同じ鉄道車両用マイクロコンピュータ、メモリ、伝送



制御回路、自己故障検知回路と、機器の動作をモニタするアナログ・デジタル信号入力回路とから構成する。アナログ・デジタル信号入力部には、中央局と同様な絶縁が行われるとともに、鉄道車両用としての耐ノイズ性を十分に考慮している。

#### 4.5 ソフトウェア構成

中央局と端末局とのアプリケーションソフトウェア構成をそれぞれ図10、図11. に示す。

中央局の機能は、時刻・列車位置・列車速度等の全般情報の収集、故障内容・応急処置のディスプレイ指示、プリンタ・作図装置のデータ出力制御と、ポーリング伝送の主局制御である。

端末局の機能は、制御装置(チョップ制御)、ブレーキ装置、自動列車制御装置(ATC)、電源装置(MG)等のモニタリング対象機器からの動作データを常時、一定周期で測定している。万一の機器故障発生時には、その故障検知を行うとともに、関連データを編集し、中央局に伝送する。伝送系では従局動作を行う。

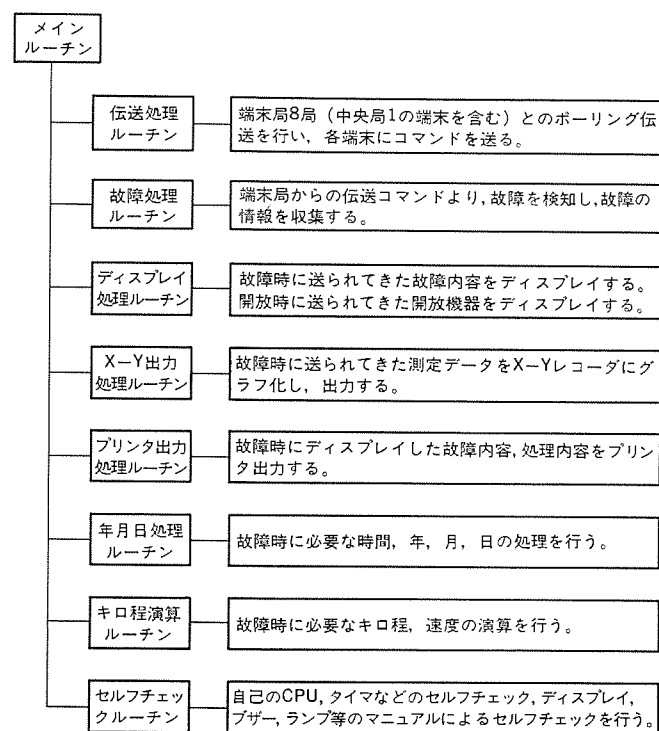


図 10. 中央局 プログラム 構成

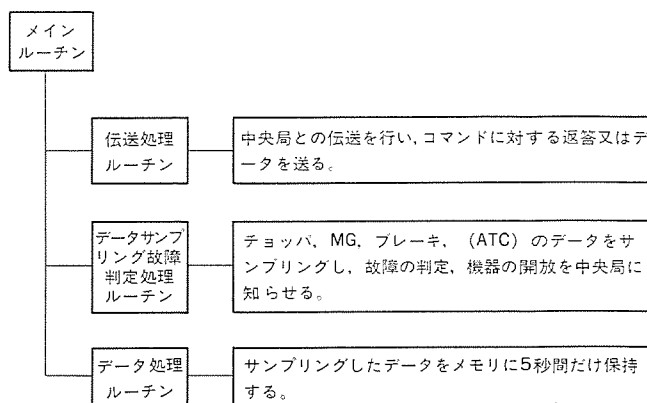


図 11. 端末局 プログラム 構成

## 5. む す び

鉄道車両における車載モニタリング装置の概要について紹介した。この装置は、マイクロコンピュータ応用技術、データ伝送技術、データ処理技術をそれぞれ駆使した応用製品であるが、ハードウェアの開発以外に広い意味でのソフトウェア技術(列車に対する装置の適用方法や利用方法)の開発が特に必要であった。これについてはユーザーから適切なアドバイスが得られ、その指導を得て実用化の域に達することができたように思われる。

今後は、モニタリング装置の機能を高度にし、列車運行能率の向上、並びに電力消費量の節減をめざした高能率な列車運転を実現するためのデータの集積と制御とを行う装置にするために、データの収集とその処理、ソフトウェア及びハードウェアの高信頼度化が課題になる。ここでも、ユーザーの参画が利用面において極めて重要な位置を占めるので、引き続き支援をお願いする次第である。

最後に、今回のモニタリング装置の開発に当たって指導・助言及び開発・実施の機会を与えていただいた帝都高速度交通営団、京都市交通局の方々に深く感謝の意を表す次第である。

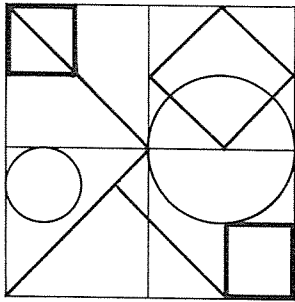
## 参 考 文 献

- (1) 畠中ほか：車両のモニタリングシステム, JREA, 16, No. 11 (昭48)
- (2) 六藤, 森原ほか：マイクロコンピュータ式車上モニタリング・システム, サイバネティクスシンポジウム, No. 15, 703 (昭55-11)

当社の特許

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
877917	静電 フィルタ	{井伊谷鋼一・牧野和孝 田畑則一	877957	半導体装置	{梶原康也・永井精一 萩野浩靖
877918	平衡保護継電装置	高田信治・中嶋安広	877958	イミド環含有エポキシ樹脂の製造方法	{不可三晃・江東昌平 中島博行・西崎俊一郎 森脇紀元
877919	モ-距離継電器	三上一郎			
877920	保護継電装置	中嶋安広・畑田 稔	877959	新規イミド環含有エポキシ樹脂の製造法	{不可三晃・江藤昌平 中島博行・西崎俊一郎 森脇紀元
877921	保護接地方式	岸田光弘			
877922	方向検出継電装置	古谷昭雄			
877923	保護継電器	高田信治	877960	キサゾン環含有エポキシ樹脂の製造法	{不可三晃・江藤昌平 中島博行・西崎俊一郎 森脇紀元
877924	距離継電装置	鈴木 愿			
877925	方向距離継電器	中村欽一			
877926	自動同調装置	西谷芳久・秋元克幸			
877927	パイロット 継電器	三上一郎	877961	キサゾン環含有エポキシ樹脂の製造方法	{不可三晃・江藤昌平 中島博行・西崎俊一郎 森脇紀元
877928	エレベ-タの速度指令発生装置	渡辺英紀			
877929	断線故障検出方式	芝滝壽宏・団幸太郎	880041	直流電動機の制御回路	岩本英雄
877930	振動計	稻荷隆彦・小泉孝之	880269	ハイブリッド会議電話方式	{前田良雄・平沢茂一 石坂充弘
877931	位置測定装置	{稻荷隆彦・林 敏和 伊東 尚			
877932	通板蛇行検知装置	斉藤 豊	880270	光高温測定方法およびその方法に使用する光高温計	{森川鉄也・村井 裕 小林幸人
877933	電圧周波数比率継電装置	古谷昭雄	880271	限流装置	{井上武男・白沢 宗 中崎 正
877934	保護継電装置	高田信治			
877935	保護継電装置	高田信治	880272	回路しゃ断器の制御装置	宇佐美勝洋
877936	アナログ計算機の自動接続装置	中堀一郎・淡野光章	880273	回路しゃ断器の制御装置	宇佐美勝洋
877937	高周波電源の並列運転装置	熊野昌義	880274	電気車制御方式	{石原米彦・芦谷正裕 成戸昌司
877938	充電用交流発電機制御装置	荒金堅次郎	880275	電解加工装置	皿井昭雄・荒井伸治
877939	充電用交流発電機の制御装置	荒金堅次郎			
877940	記憶装置の故障検知方式	松本典明・布施 明	880276	刻印装置	石井 明・佐野賢三
877941	刻印機	早川照馬	880277	光磁気共鳴磁力計	西川 啓
877942	自動刻印装置	{津田栄一・尾崎博規 井上隆之	880278	モード結合型弾性表面波増幅装置	小川智哉・戸村光一
877943	プラズマ 処理装置	阿部東彦・松井 肇	880279	直流電源回路	中村 隆・五十嵐正光
877944	付印装置	{津田栄一・尾崎博規 井上隆之・石井 明	880280	増幅回路	里 治則
877945	燃焼装置	酒井正侃	880281	半導体装置	加藤忠雄・小山 浩
877946	環状薄板 チャック 装置	菰原 智・沢永 寧	880282	光磁気共鳴磁力計	{中山 皎・鈴木栄一 久永誠也・浅野 寛
877947	永久電流 スイッチ	萩野 治	880283	周波数識別装置	西谷芳久
877948	有害ガス 除去 フィルター	吾妻健国	880284	燃焼装置	酒井正侃・原 明
877949	電力制御装置	中村欽一	880285	誘導加熱装置	松尾 茂・安達晴雄
877950	トレンドグラフ 表示方式	大川清人・渡辺 治	880286	多層膜の開孔部形成方法	榎本龍弥・平野 寛
877951	循環経路をもつ反応装置	野田祐久・松岡宏昌	880287	チップ 切り出し方法	阿部東彦
877952	硬化性不飽和ポリエステル樹脂組成物	{不可三晃・江藤昌平 森脇紀元・中島博行 広田 潔	880288	金属薄膜を形成する方法	木村 寛・小宮啓義
			880289	位置決め制御装置	青木正夫
877953	圧縮器	{田中 修・福島 満 大津哲朗	880290	半導体装置の製造方法	石原 理・三井 茂
			880291	物体の位置検出装置	安斉廣成
877954	分周器	杉本維平・清水孝雄	880292	半導体装置の処理方法	早坂吉昭
877955	発電機制御装置	風呂 功	880293	弾性体の製造法	{西崎俊一郎・不可三晃 森脇紀元
877956	軸受装置	仲行敏安	880294	熱硬化性組成物	{不可三晃・森脇紀元 広田 潔・山本 泰

# 特許と新案



## 遅延回路 (特許 第 759603 号)

発明者 竹垣 弘

この発明はトランジスタを用いた遅延回路の改良に関するものである。図 1. において、信号入力端(3)の信号が『0』である場合、コンデンサ(9)は抵抗(4)、ダイオード(7)を介して電圧  $V_C$  (直流電源電圧  $V_B$  とダイオード(7)の順方向電圧降下  $V_d$  との差)まで充電される。この場合、トランジスタ(11)、(17)にはベース電流が流れず、トランジスタ(20)には電流  $i_{ce}$  が流れ、出力信号端(10)の信号は『0』である。時点  $t_1$  において、信号入力端(3)の信号が『1』になると、図 2. に示すように、この時点  $t_1$  からコンデンサ(9)が放電を開始する。この放電電流はトランジスタ(11)を流れず、抵抗(13)を流れる。その後、接続点(12)の電位  $e$  が所定値  $e_0$  に達する時点  $t_2$  でトランジスタ(11)にベース電流が流れ始め、トランジスタ(20)のベース電流が減少して信号出力の信号は『1』となり、時点  $t_1$  と  $t_2$  との間  $\Delta t$  だけ遅延した出力信号を得ることができる。この過程におけるコンデンサ(9)の放電電流  $i$  は式(1)で与えられる。

$$i = \frac{V_C}{R_{13}} (1 - e^{-\frac{t}{CR}}) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $R_{13}$  は抵抗(13)の抵抗値である。

また、時点  $t_2$  における接続点(12)の電位  $e_0$  は

$$e_0 = V_a - h_{re} \cdot V_{CE} \dots \dots \dots (2)$$

ただし、

$$V_a = V_B \frac{R_{15}}{R_{14} + R_{15}} \dots \dots \dots (3)$$

$h_{re}$  はトランジスタ(11)の入力端子開放の場合の逆方向電圧増幅率、 $V_{CE}$  はトランジスタ(11)のコクタ・エミッタ間の電圧、 $R_{14}$ 、 $R_{15}$  はそれぞれ抵抗(14)、(15)の抵抗値。

上述の放電電流  $i$  はトランジスタ(11)に流れないので、その  $h_{ie}$  (出力端子短絡の場合の入力インピーダンス)は遅延時間  $\Delta t$  に影響しない。また、 $h_{re}$  は  $h_{re} \cdot V_{CE}$  の形で影響しこれはトランジスタ(11)のエミッタ・ベース間の電圧降下として現れる。今、トランジスタ(11)及びダイオード(7)として、例えばシリコンから構成されているものを選定すれば、トランジスタ(11)のエミッタ・ベース間の電圧降下とダイオード(7)の順方向降下とはほとんど等しい値となり温度変化などによる影響もほとんど等しくなる。したがって、例えば温度変化によるダイオード(7)の順方向降下の変化に基づくコンデンサ(9)の充電電圧  $V_C$  の変化は、トランジスタ(11)のエミッタ・ベース間の電圧降下の変化によって遅延時間  $\Delta t$  が変化するのを補償するように作用し、トランジスタ(11)の  $h_{re}$  は遅延時間  $\Delta t$  が変化するのを防ぐように作用する。

このように、トランジスタの特性の変化及び温度変化に基づく遅延時間の誤差を除去することができる。

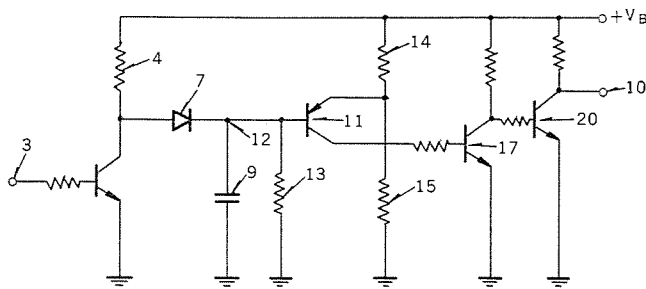


図 1

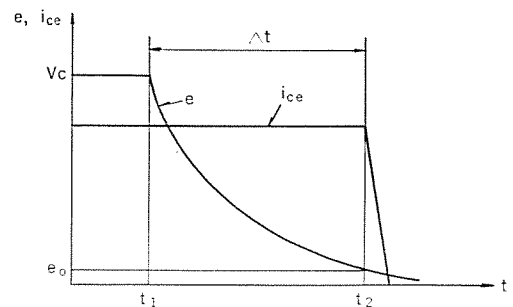


図 2

## 水分散形ワニスを用いて電気泳動により被覆を施す方法 (特許 第 629173 号)

発明者 大西洋 一郎・末 武 隆

この発明は水分散形ワニスを用いて電気泳動により導電部材上に絶縁被覆を施す方法に関するものである。

従来、導電部材上に絶縁を施す方法としては、非水溶媒形ワニス、

水分散形ワニス、あるいは水溶解形ワニスを用いて浸し(漬)又は流動塗装により行う方法などが知られているが、いずれの方法によっても皮膜の厚さを 0.2mm 以上にすることはできなかった。

# 特許と新案

この発明は安価に 0.2~0.5 mm 程度あるいはそれ以上の厚さの良好な皮膜を得る方法を提供するもので、合成樹脂水分散形ワニスを用いて電気泳動により導電部材上に被覆を施し、その後水溶性又は部分的に水溶性の有機溶媒を施与し、乾燥硬化させるものである。

水分散形ワニスを用いて電気泳動により析出された層は通常の浸漬、流動塗装により形成されたワニス層に比して電気泳動過程に随伴する電気浸透現象のため、分散媒の残留する量が非常に少なくなり、皮膜形成過程において必要な分散媒、したがってまた凝結剤の量に不足を来し、硬化過程において多くの亀裂を生じる。このため、水分散形ワニスから電気泳動により析出した層を良好な皮膜に硬化させるためには、皮膜形成素材の層に凝結剤を浸漬又は他の適当な方法で必要な量だけ施与し、その後乾燥硬化させることが必要であることが判明した。上記凝結剤としては水溶性又は部分的に水溶性の有機溶媒で、ある程度析出層を溶解するものが特に有効であり、このような有機溶媒としては実用的にはポリスチレン樹脂ワニスではフェノール、アクリロニトリル樹脂系ワニスではジメチルフォルムアミド、ジメチルアセトアミド等が挙げられる。

この発明の種々の実施例の中から1例を説明する。すなわち、

水 400 部、スチレンモノマ 200 部、過硫酸カリ 2 部、亜硫酸水素ナトリウム 2 部、ラウリル酸エステルソーダ 4 部 (重量%) の配合で 80°C、4 時間乳化重合させて得られたポリスチレン樹脂を水を分散媒として不揮発分 20% に調整したポリスチレン水分散形ワニス浴を作った。このワニスに軟鋼板とこれに対向する電極を浸漬し、鋼板を陽極として直流電圧 30 V を 30 秒間印加し、鋼板上に電気泳動的に樹脂層を析出させた。その後これを温度 50°C に保った凝結剤たるフェノール中に 30 秒間浸漬してから 70°C の炉中で 1 時間の間半硬化させ、更に 200°C で 1 時間硬化させたと同厚さ 0.300 mm の光沢のある良好な硬化皮膜が得られた。

以上のようにこの発明の方法によれば水分散形ワニスを用いて電気泳動的に比較的厚い皮膜を 1 回又は少数回の処理で導電部材上に析出させ、均一で連続した皮膜を得ることができる。このため、例えば回転機の整流子片をそれぞれ適当な厚さに絶縁被覆することにより、従来から使用されてきた高価な整流子間マイカをなくすことが可能となり、更にマイカのそう(挿)入作業が不要となるため作業が簡単となる。

## 粒子加速装置 (実用新案 第 944367 号)

考案者 上田和宏・広三寿・大塩一治

この考案は粒子加速装置に関し、内蔵された電子銃の修理を効率よく行うことを目的とする。

従来、粒子加速装置は、図 1. に示すように、ビーム管(1)と、このビーム管を取付けるフランジ(2)と、このフランジに取付けられた加速管(3)と、この加速管の端部に接続された電子銃(4)と、この電子銃を囲むように台板(13)に取付けられた高電圧電極(14)と、加速管(3)及び高電圧電極(14)を囲むように台板(15)に取付けられるとともに密閉された高圧容器(16)とを備える。電子銃(4)内ではフィラメント(8)などを支持する絶縁物(6)、フランジ(11)がわく(枠)体(5)に固定され、高圧容器(16)内には高圧絶縁ガスが封入されている。

かかる電子銃が故障した場合、まず高圧容器(16)を取外し、更に高電圧電極(14)を取外さなければ修理できない。しかも高圧容器(16)を取外すため高価な絶縁ガスを捨てることになり不経済であった。

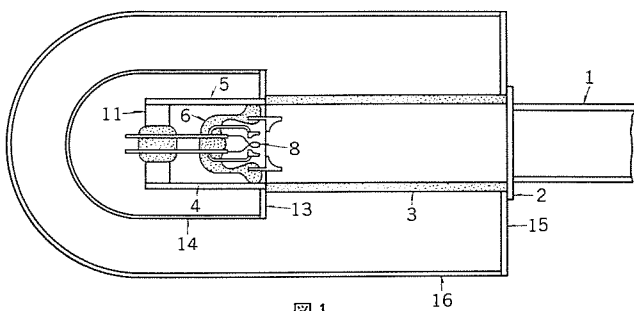


図 1

この考案は上述した欠点を解消するためなされたもので、図 2. に示すように、電子銃本体(21)を加速管(3)を通して外部へ引出せるように構成している。具体的には引出電極(10)をばね(9)で常時押圧することにより電極本体(21)を枠体(5)に固定するとともに、フィラメント用端子(7)と接続端子(17)との係合を外し得るようにして、電子銃(4)の故障時、ばね(19)の押圧力を除くとともにフランジ(2)を取外しておき、電子銃本体(21)が加速管(3)内を通過して外部へ引出されるように構成している。

この考案によれば、電子銃が故障すれば従来のように高圧容器(16)、高電圧電極(14)を取外すことなく、しかも高圧容器内の絶縁ガスを捨て去ることなく、電子銃本体のみを取り出すことにより、効率的に修理することができる。

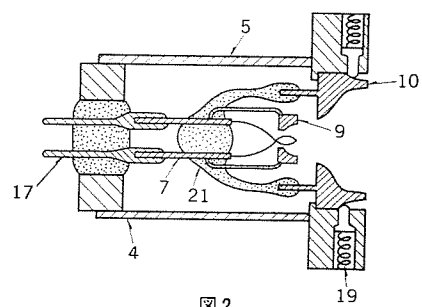


図 2

# 塊状突極形同期電動機の非同期始動特性

黒谷 博\*・加藤之敏\*・猪谷耕太郎\*・阪部 茂\*\*

## 1. ま え が き

塊状突極形同期電動機（以下、塊状突極機と略す）は、高始動トルク特性を有し、熱的、機械的に堅ろうであるため、重慣性負荷や始動ひん度の高い負荷の駆動に適している。従来この形式の同期電動機は、鉄鋼プラントにおける焼結用主排風機や、遠心圧縮機等の重慣性負荷駆動用の高速大容量機に多く採用されてきた。当社においても、これらの分野では出力範囲、数 MW～18 MW にわたって豊富な実績を有している。

しかし、近年省エネルギーの見地から電動機のひん繁な始動が必要となり、高ひん度の始動に耐えうる電動機に対する要求はますます高まりつつある。熱容量が大きく、機械的に信頼性の高い塊状突極機は、同期電動機の本質的な特長である高い効率を有し、また進み力率の採用により工場全体の力率を改善する機能をも兼ね備えている。これらの理由から、従来はかご形始動巻線付きの積層構造が標準であった中・低速の同期電動機に対しても、塊状構造の採用が進められつつある。

塊状磁極は、単一鋼塊又は複数個の厚鋼板で構成されている。このため、塊状突極機の非同期始動特性の解析においては、非線形磁気特性を有する鉄部のうず電流問題を取扱う必要があり、これが解析を難しくしている。この問題については、従来より円筒形回転子を有するタービン発電機の過渡特性研究に端を発し、突極形回転子の同期電動機について多くの研究がある<sup>(1)~(6)</sup>。

当社では、先に述べたような塊状突極機に対する多方面からの要求にこたえるため、始動特性について種々の研究を長年にわたって進めてきた。特に塊状磁極の表皮効果、並びに磁気飽和特性を詳細に考慮した理論研究を行い、実機での豊富な測定データとの比較検証により、この理論による計算が高い精度を有することを確認している。一部実例をまじえながら紹介する。

## 2. 解 析 理 論

突極形同期電動機の非同期始動特性の解析においては、誘導電動機と比べて、下記の本質的な相違があるため誘導機の一般理論は適用できない。すなわち、

- (1) 2軸（直軸，横軸）特性
- (2) 突極性

である。更に塊状突極機の場合には、

- (3) 非積層磁極構造による表皮効果、並びに磁気飽和特性

によって、解析はいっそう困難になる。筆者らは、特に(3)項の取扱いに留意しながら、(1)(2)項に対して有効な手法である Park 氏の理論を用いて解析を行った。

図 1. は塊状突極機の回転子である。

### 2.1 塊状磁極におけるうず電流と磁束の分布

前述のように、塊状磁極の非線形磁気特性のため、塊状突極機の始動特性の解析においては、回転子部分のインピーダンスを正確に計算す

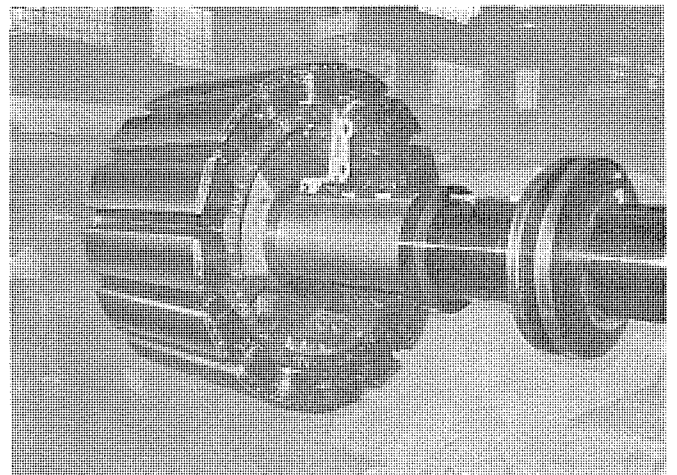


図 1. 塊状突極形同期電動機の回転子

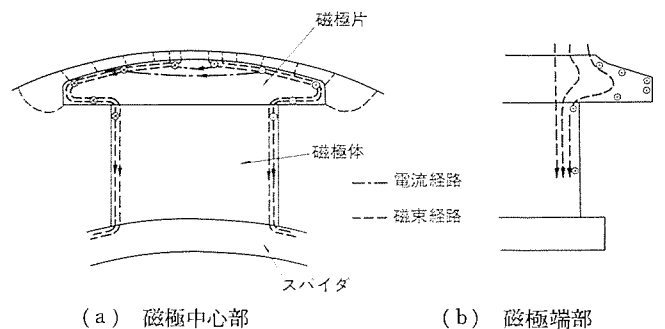


図 2. うず電流，磁束の直軸分

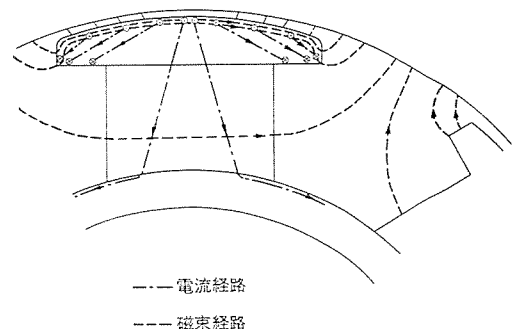


図 3. うず電流，磁束の横軸分

ることが難しい。このインピーダンスを考えるためには、塊状磁極におけるうず電流、及び磁束の分布をは(把)握する必要がある。これらの分布を磁極中心に関して対称な直軸分と、磁極間中心に関して対称な横軸分に分けると、図 2. 及び図 3. のようになる。図中において、1点鎖線はうず電流の流路を、破線は磁束の流路を示す。塊状磁極の磁極片(ポールシュー)、及び磁極体(ポールボディ)の表面近くに誘導されたうず電流のうちで、直軸分は図 2. (b) に示すように磁

極の軸方向先端部において磁極を横断し、磁極片内部で回路を形成する。これに対して、横軸分は図3.に示すように、磁極片内部で回路を形成する成分と、スパイダ部分を経由して隣の磁極へ流れる成分とに分かれる。磁束の直軸分に空けきから磁極片に入り、磁極片及び磁極体の表面近くを通過して界磁巻線と鎖交し、スパイダ部分を経て隣の磁極へ流れ込む。一方、横軸分はその大部分が空けきから磁極片に入り、磁極片の表面近くを通過してこれを横断し再び空けきへ抜ける。

## 2.2 塊状磁極のインピーダンスと等価回路

2.1節の図2.及び図3.に示すように、塊状磁極の表面近くには $sf$ 周波数( $s$ :すべり,  $f$ :電流周波数)のうず電流が流れる。このうず電流は、表皮効果のため塊状磁極内部を一樣に流れることができず、表面からある一定の深さ $\delta$ の薄い層内に発生する。この深さ $\delta$ が、うず電流の侵入深さと呼ばれるものであり、 $sf$ 周波数と磁極材料の透磁率、及び導電率とによって次式で与えられる。

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_{fe} \sigma_{fe}}} \quad (\text{m}) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $\omega = 2\pi sf$

$\mu_{fe}$ : 磁極材料の透磁率 (H/m)

$\sigma_{fe}$ : 磁極材料の導電率 (Ω/m)

磁極片のインピーダンスは、磁極片の全表面にわたって侵入深さに等しい厚みをもった導電層のインピーダンスに近似して考えることができる。この導電層は、無限数の導体からなるかご形回路と見なせる。したがって、磁極片のインピーダンスは、複素インピーダンス表示により次式で表される。

$$Z_{de}(js) = (1 + j\lambda) \sqrt{s} z_{de} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$Z_{qe}(js) = (1 + j\lambda) \sqrt{s} z_{qe} \quad \dots \dots \dots (3)$$

ただし、 $z_{de}$ 及び $z_{qe}$ は電動機の定格と寸法から決まる定数である。 $\lambda$ はインピーダンスのリアクタンス分の抵抗分に対する比、すなわち力率を決定するパラメータであり、これによってインピーダンスの非線形性を示すことになるから、正確に求める必要がある。

Rosenberg氏らのうず電流についての線形理論<sup>(7)</sup>よれば、 $\lambda = 1$ である。しかし、磁気飽和のため線形理論は適用できず、 $\lambda$ は1よりも小さくなる。McConnell氏のLimiting Nonlinear Theory<sup>(8)</sup>によると $\lambda = 0.5$ であり、Agarwal氏<sup>(9)</sup>の塊状鉄体の厚さが侵入深さの2倍以上の場合には、 $\lambda = 0.5$ が成立するとしている。

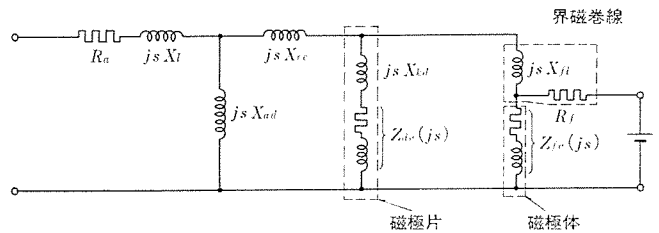
これに対して、Adkins氏やCanay氏<sup>(5)(10)</sup>は、 $\lambda$ が一定値ではないことを示唆しているが、筆者らも侵入深さの変化による深みぞ(溝)効果と磁気飽和によってすべり $s$ に依存するものと考え、下記の手法によって $\lambda$ を求めた。

- (1) 与えられたすべりに対して磁極の表面磁束密度を求め、この値の3/4の値に相当するものとして磁極の透磁率を与える。
- (2) (1)で求めた透磁率を用いて磁極の平均磁束密度を計算し、これが磁極材料の磁化特性(B- $\mu$ 特性)に一致するまでくり返し計算を行う。
- (3) (2)で求めた複素透磁率の虚数部と実数部の比から $\lambda$ を求める。

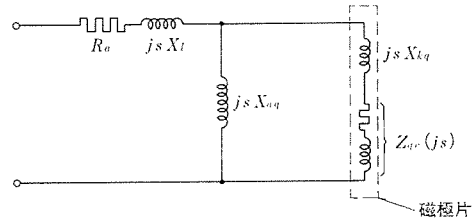
次に磁極体のインピーダンスも同様にして、次式で求められる。

$$Z_{fe}(js) = (1 + j\lambda) \sqrt{s} z_{fe} \quad \dots \dots \dots (4)$$

塊状磁極のうず電流に対するインピーダンスを用いると、塊状磁極機の直軸、及び横軸の等価回路は図4.となる。この等価回路は基本的にはCanay氏<sup>(10)</sup>が提唱しているものと同一原理であるが、塊状



(a) 直軸等価回路



(b) 横軸等価回路

図4. 塊状突極形同期電動機の等価回路

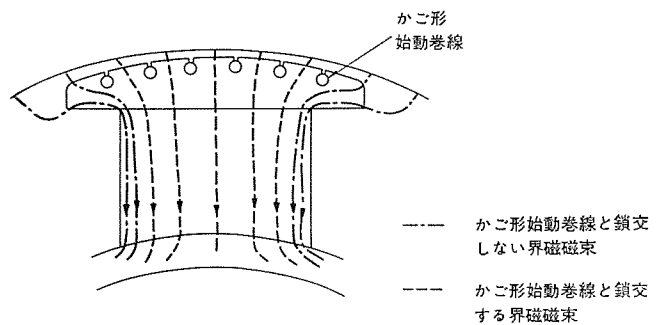


図5. かご形始動巻線と界磁束束

磁極のインピーダンス評価において、上記手法を用いた点にこの研究の独自性がある。図4.(a)の直軸等価回路の回転子回路に通常の同期機の等価回路には見られないリアクタンス $X_{rc}$ が導入されているが、 $X_{rc}$ は突極形同期機においては、一般に負の値となる。これは、図5.のかご形始動巻線付同期電動機の磁束分布から明らかのように、界磁束束の一部がかご形始動巻線の外側を通過するため、界磁巻線と始動巻線の間の鎖交磁束が、固定子巻線と界磁巻線の間の鎖交磁束より少なくなることによる。ただし、塊状突極機の場合には、磁極片の全表面が始動巻線の役目をするので、 $X_{rc}$ の絶対値はかご形始動巻線付同期電動機に比べて、小さくなる。

磁極体のうず電流に対するインピーダンス $Z_{fe}(js)$ は、図4.(a)の直軸等価回路において界磁巻線抵抗 $R_f$ に並列に接続される。このインピーダンスは、界磁巻線が開放された場合に限って有効であり、一般に同期電動機の始動においては、界磁巻線は放電抵抗を介して短絡されるから、考慮しなくてよい。

## 2.3 始動特性計算

図4.の等価回路において、電動機の1次側から見たインピーダンスは、直軸及び横軸について、それぞれ次式で表される。

$$Z_d(js) = R_a + jsX_d(js) \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$Z_q(js) = R_a + jsX_q(js) \quad \dots \dots \dots (6)$$

非同期運転時の電圧方程式は、Park氏の一般式において電圧成分及び電流成分を複素ベクトル表示することにより、次式で与えられる。

$$\begin{bmatrix} \dot{E}_d \\ \dot{E}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a + jsX_d(js) & -(1-s)X_q(js) \\ (1-s)X_d(js) & R_a + jsX_q(js) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_d \\ \dot{I}_q \end{bmatrix} \dots (7)$$

ただし、 $\dot{E}_q = j\dot{E}_d$

このベクトル表示において、各成分の瞬時値は、そのベクトルの実数部で表される。例えば、 $i_d = \Re_e(\dot{I}_d)$  となる。

直軸、及び横軸の電機子巻線の鎖交磁束ベクトル  $\dot{\psi}_d, \dot{\psi}_q$  は、電流ベクトル  $\dot{I}_d, \dot{I}_q$  により次式で与えられる。

$$\begin{bmatrix} \dot{\psi}_d \\ \dot{\psi}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_d(js) & 0 \\ 0 & X_q(js) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_d \\ \dot{I}_q \end{bmatrix} \dots (8)$$

電動機の発生トルクは、鎖交磁束と電流から次式で表される。

$$T = \psi_d \cdot i_q - \psi_q \cdot i_d \dots (9)$$

式(7)~式(9)から、トルクは次式のように表すことができる。

$$T = T_a + T_p(t) \dots (10)$$

ただし、 $T_a = \frac{1}{2} \Re_e(\dot{\psi}_q \cdot \dot{I}_d^* - \dot{\psi}_d \cdot \dot{I}_q^*)$

$$T_p(t) = \frac{1}{2} \Re_e(\dot{\psi}_q \cdot \dot{I}_d - \dot{\psi}_d \cdot \dot{I}_q) \\ = T_p \cos(2s\omega t + \alpha_p)$$

ここで、記号\*は共役複素数を示す。

すなわち、よく知られているように、非同期始動時のトルクは、平均成分  $T_a$  と、2倍のすべり周波数で変化する脈動成分  $T_p$  からなる。

電動機の入力は、次式にて与えられる。

$$P = \frac{1}{2} \Re_e(\dot{E}_d \cdot \dot{I}_d + \dot{E}_q \cdot \dot{I}_q) \\ = P_a + P_p \cos(2s\omega t + \beta_p) \dots (11)$$

電動機入力もやはり、平均成分  $P_a$  とトルクの脈動成分と同一周波数の脈動成分  $P_p$  からなる。

### 3. 解析結果と試験結果の比較

中・低速の突極形同期電動機に塊状磁極を採用した代表例として下記の2台につき、解析と実測との比較結果を報告する。

粗圧延機駆動用 10 MW 8極同期電動機

粗圧延機駆動用 1.5 MW 16極同期電動機

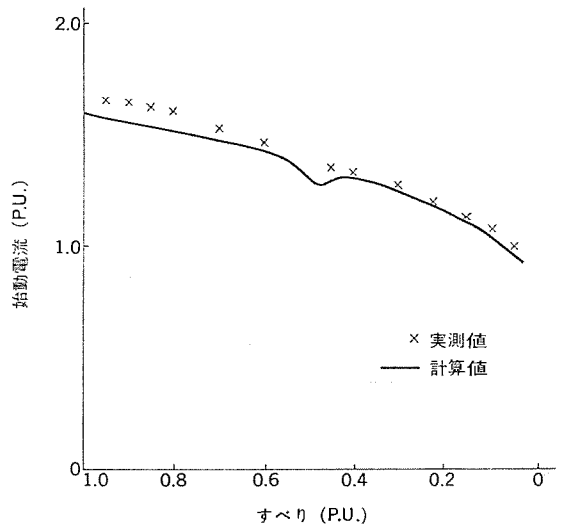
なお、脈動トルクの実測値は、単位法 (P. U.) 表示した場合に、電動機入力の脈動トルクが、すべり 0.5 の近傍以外ではほぼ一致することを利用して求めた。

#### 3.1 粗圧延機駆動用 10 MW 8極塊状突極形同期電動機

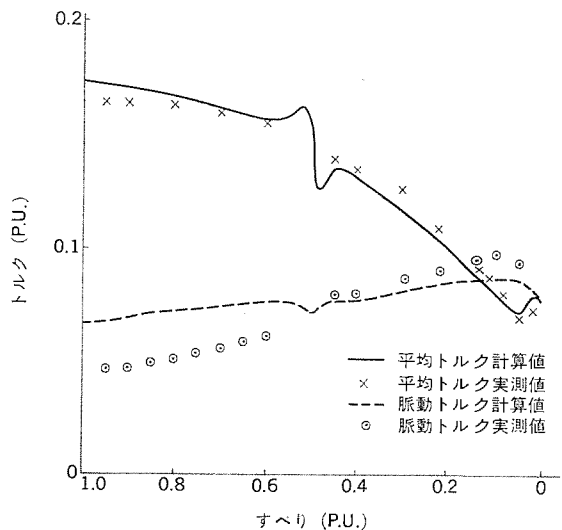
工場における減電圧始動試験の実測値と、この論文に述べた解析法による計算値との比較を図 6. (a) (b) に示す。始動電流、始動トルク、及び脈動トルクのいずれについても、実測値と計算値とはよく一致しており、解析理論の妥当性が確かめられた。

#### 3.2 粗圧延機駆動用 1.5 MW 16極塊状突極形同期電動機

本機では塊状磁極構造の採用にあたって、塊状、積層の2種類の磁極を製作し、おののについて試験を実施した。この際、両者の始動トルク特性をなるべく近づけるため、積層磁極の始動巻線材料には高抵抗銅合金 (固有抵抗  $1.8 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{mat } 20^\circ\text{C}$ ) を採用した。また、両者共に、磁極短絡環付きの状態でも実測した。両者の特性を比較したものを、計算値も併せて図 7. (a) (b) (c) に示す。(a) (b) (c) はそれぞれ、始動電流、平均トルク、及び脈動トルクの特性である。塊状磁極機は積層磁極機に比較して、いずれの特性においても何らそん色がなく、良好な特性を示している。

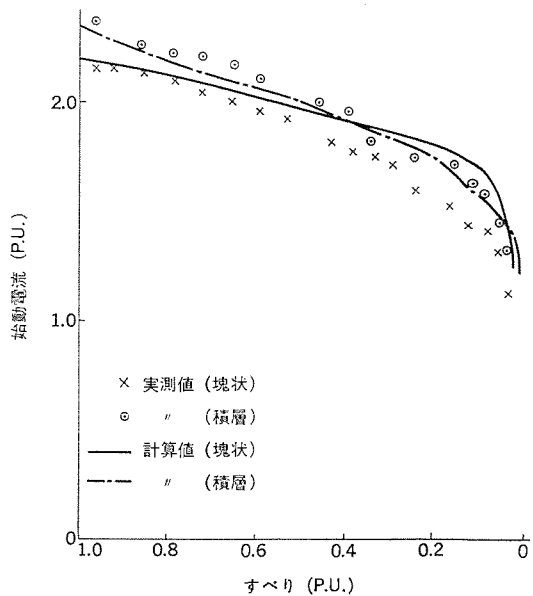


(a) すべり-始動電流特性



(b) すべり-始動トルク特性

図 6. 始動特性 10 MW 8極 電源電圧 0.27 P.U



(a) すべり-始動電流特性

図 7. 始動特性 1.5 MW 16極 電源電圧 0.5 P.U. (その1)

また、いずれの磁極構造においても、計算値は実測値とよく一致している。

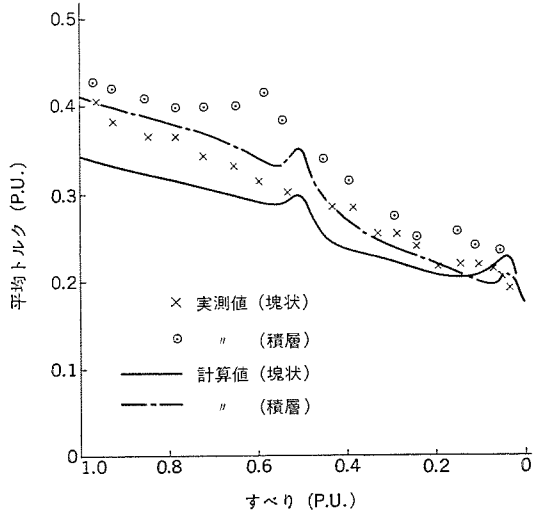
#### 4. む す び

塊状突極形同期電動機の非同期始動特性について、新しい解析理論を開発し、実機での測定データとの比較により、この理論が十分な精度を有することを確認した。更に、塊状磁極構造と積層磁極構造の特性を同一機械において実測・比較し、中・低速の同期電動機に対しても、塊状磁極構造が適用可能なことを確認した。

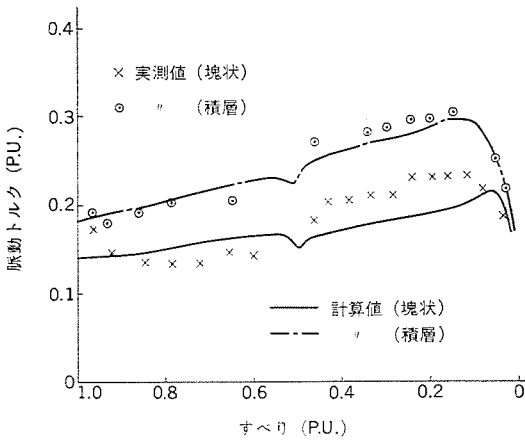
今後も、優れた省エネルギー効果のある塊状突極形同期電動機の改良に一層努力する所存である。

#### 参 考 文 献

- (1) C. Concordia, H. Poritsky : AIEE Trans., 56, pp. 49-58, Jan. (1937)
- (2) A. J. Wood : AIEE Trans., 78, pp. 1666-1673 (1959)
- (3) W. B. Jackson, R. L. Winchester : IEE Trans., PAS-88, No. 7, Jul. (1969)
- (4) W. J. Gibbs : J. IEE, 95, Pt. II, pp. 411-420 (1948)
- (5) G. F. T. Widger, B. Adkins : P. IEE, 115, No. 10, pp. 1471-1484, Oct. (1968)
- (6) 吉田, 野村 : 三菱電機技報, 48, No. 2, p. 213-219 (昭49)
- (7) E. Rosenberg : Elektrotech. und Maschinenbau, 41, p. 317-328, Jun. (1923)
- (8) H. M. McConell : IEEE Trans., PAS-74, pp. 343-349 (1955)
- (9) P. D. Agarwal : AIEE Trans., 78, Pt. I, pp. 169-179 (1959)
- (10) I. M. Canay : Electric Machines and Electromechanics : An International Quarterly, 3 : 21-38 (1978)
- (11) I. M. Canay : BBC Review Vol. 57, p. 134-143 (1970)



(b) すべり-平均トルク特性



(c) すべり-脈動トルク特性

図 7. 始動特性 1.5MW 16極 電源電圧 0.5P.U. (その2)



# レーダエコーシミュレータの開発

大橋由昌\*・近藤倫正\*・小野 誠\*\*

## 1. ま え が き

レーダで地上や海上の目標を捜索及び追尾する場合、特に問題となるのはクラッタ（背景雑音）に埋もれている目標信号を検出することである。これを解決するためには、クラッタを抑圧する必要があり、クラッタ抑圧装置、例えば、CFAR (Constant False Alarm Rate) 受信機、MTI (Moving Target Indication) などの研究に多大な努力がなされている。

この研究を行うにあたって、従来、実環境でレーダの全システムを用いた大規模な実験を必要としていたため研究を効率よく行うことができないなどの難しさがあった。この点を改善する1方法として、室内で模擬レーダエコーを発生し簡単に実験を行うことのできるレーダエコーシミュレータの利用が考えられる。今までのこの種のシミュレータは白色雑音でクラッタを模擬しており、そのクラッタが必ずしも実環境のクラッタに対応しているとはいえなかった。このため、例えば、実環境におけるクラッタの確率分布を必要とするCFAR装置の研究などにはあまり適していなかった。

このたび開発したレーダエコーシミュレータ<sup>(1)</sup>はこれらの問題点を解決するもので、実環境で得られるコヒーレントパルスレーダのエコーを模擬するためにマイクロコンピュータの制御により任意のドップラー成分、ゆらぎ及び確率分布を持った模擬エコーをフィールドデータに適合してIF帯及びビデオ周波数帯で発生することができる。

ここでは、この装置の概要、各部の動作、性能及び動作例などについて述べる。

## 2. 装置の概要と特長

開発した装置は図1.に示すように、6個の部分、すなわち目標信号発生部、クラッタ発生部、白色雑音発生部、出力制御部、同期信号発生部及び電源部より構成し、その外観は図2.に示すとおりである。

それぞれの発生部で発生した目標信号及びクラッタは同期信号発生部で発生されたトリガに同期しており、白色雑音とともに出力制御部に入り、所定のレベルに設定された後加え合わされてIF帯及びビデオ周波数帯で出力される。この装置はマイクロコンピュータの制御により任意の目標信号及びクラッタを発生できることが特長であり、これにより実環境におけるレーダエコーを模擬することができる。

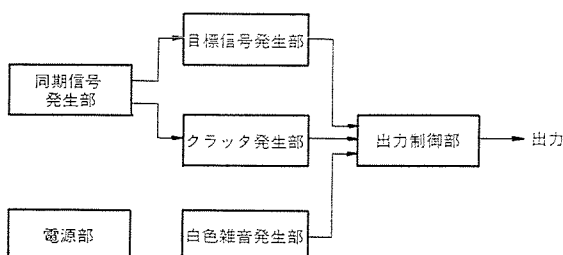


図1. レーダエコーシミュレータの構成

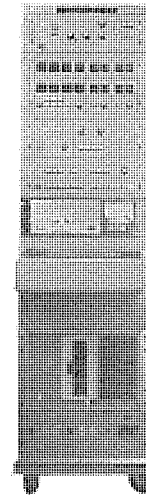


図2. レーダエコーシミュレータの外観

## 3. 各部の詳細設計

この装置のブロック図を図3.に示す。以下、図に基づいて各部の機能、動作及び構成などについて述べる。

### 3.1 目標信号発生部

目標信号発生部は、移動目標信号及び固定目標信号をそれぞれ発生する移動目標発生部及び固定目標発生部、目標信号にゆらぎを与えるゆらぎ変調器、目標信号に減衰を与える関数減衰部、ドップラー周波数を発生するドップラー発生器及びマイクロコンピュータなどより構成する。

移動目標信号及び固定目標信号はそれぞれの目標発生部からマイクロコンピュータの制御によりシミュレーションフィールドにおいて任意の距離及び方位角に発生させることができる。更に、目標信号の広がりには任意に設定することができる。ただし、目標信号波形は方位角方向においてはガウス形、距離方向においては(矩)形波としている。また移動目標信号はゆらぎ変調器によって指定されたある確率分布を持ったゆらぎ信号で変調されており、その振幅は関数減衰部により距離の4乗又は8乗に反比例して減衰する。ドップラー発生器はドップラー周波数の信号を発生して移動目標を模擬している。

### 3.2 クラッタ発生部

クラッタ発生部は紙テープリーダー、フロッピディスク、外部RAM、クラッタにゆらぎを与えるゆらぎ変調回路、クラッタに減衰を与える関数減衰部及びマイクロコンピュータなどより構成し、次に述べる方法で実環境に近い模擬クラッタを発生する。

あらかじめ、紙テープにクラッタの振幅として所要の確率分布の乱数をせん(穿)孔しておき、紙テープリーダーによりフロッピディスクに書込む。このとき、同一の確率分布に従う乱数はフロッピディスクの一定の部分に記憶されるようにマイクロコンピュータによって制御されている。パネル面からクラッタの所望の確率分布を指定すれば、それに対応し

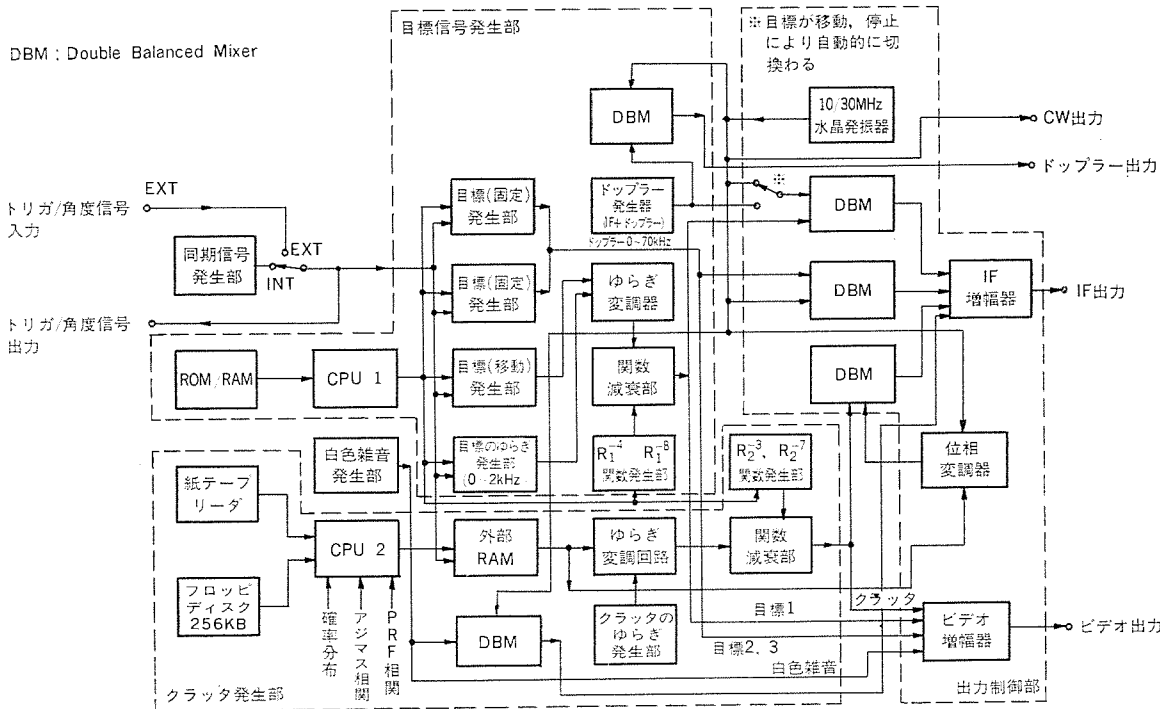


図 3. レーダエコーシミュレータブロック図

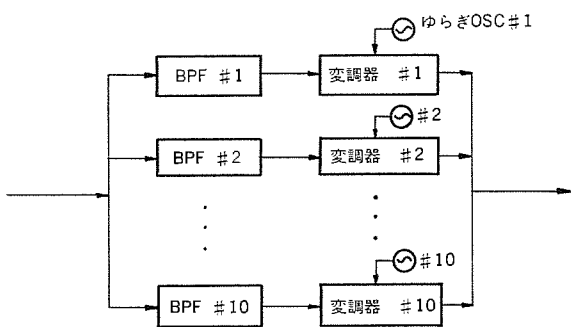


図 4. ゆらぎ変調回路

た乱数はフロッピディスクからマイクロコンピュータの制御により外部RAMに転送され、DMA(Direct Memory Access)方式により同期信号発生部で発生した同期信号に同期して読出されてクラッタ出力となる。更に、ゆらぎを模擬する場合には、図4.に示すゆらぎ変調回路においてクラッタ出力を帯域通過フィルタ(BPF)で10分割し、それぞれのフィルタ出力をゆらぎ信号で変調することにより所要のゆらぎを付加している。クラッタの振幅は関数減衰部により距離の3乗又は7乗に反比例して減衰する。

このようにして得られたクラッタはディスプレイ上に直接、表示することができる。このほか、外部RAMの出力において外部RAMを讀出すアドレスを適当に変えることにより種々のアジマス相関(想定されたアンテナの回転により一定の方位角ごとに統計的に独立したクラッタとすること)及びPRF(Pulse Repetition Frequency)相関(レーダのパルス繰返し周期の整数倍ごとに統計的に独立したクラッタとすること)をパネル面からの指示で与えることも可能である。

3.3 白色雑音発生部

ここでは、レーダの受信機雑音を白色雑音と見なし、ダイオードに電流を流すことによりこの雑音を発生させている。

3.4 出力制御部

出力制御部はビデオ増幅器、IF増幅器、IFキャリア周波数(10MHz

と30MHzの切換え)を発生する水晶発振器及び各種信号を混合するDBM(Double Balanced Mixer)などより構成される。

目標信号、クラッタ及び白色雑音をそれぞれ所定のレベルに設定し、かつ任意の組合せでDBMにより加え合わせる機能を持つ。更に、これらの出力により水晶発振器で発生したIFキャリアを変調してIFにおけるレーダエコーを得ている。

3.5 同期信号発生部

同期信号発生部ではアンテナの方位角走査に相当する角度信号及びPRF信号を発生し、目標信号とクラッタの発生はこれらの信号に同期させている。

4. 性能

以上述べたこの装置の主な性能を表1.に示す。

この装置で模擬されたビデオ出力及びIF出力におけるレーダエコーの

表 1. (a) 目標の主要な性能

項目	性能	備考
1. 距離位置	0.1 km~45 km	
2. 距離幅	(1) 0.01 km~2.99 km (移動目標) (2) 0.01 km~0.99 km (固定目標)	送信パルス幅に相当
3. 角度位置	0.35°~89.7°	
4. 角度幅	0.35°~89.7°	アンテナのビーム幅に相当
5. 移動速度	1 m/s~999 m/s	移動目標のみ
6. 目標の移動によるドップラー周波数	0~70 kHz	
7. ゆらぎ周波数	0~2 kHz	
8. ゆらぎの確率密度関数	(1) ログ・ノーマル (2) レーレー (3) ガウス (4) その他の任意の分布	
9. 減衰特性	$R_1^{-4}$ , $R_1^{-6}$ ( $R_1$ はレーダから目標までの距離)	移動目標のみ
10. 出力レベル	(1) ビデオ(ユニポーラ) 5 V <sub>pp</sub> (50Ω) 最大 (2) IF 5 V <sub>pp</sub> (50Ω) 最大	

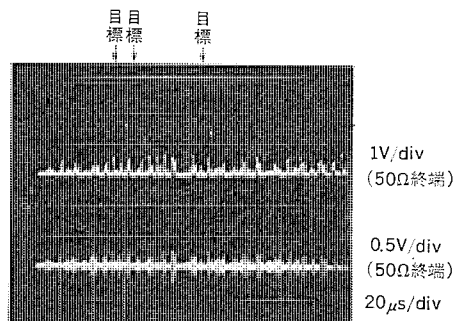
例を図 5.～図 12. に示す。

表 1. (b) クラッタの主要な性能

項目	性能
1. 確率密度関数	(1) ログ・ノーマル分布 (2) レーレー分布 (3) ガウス分布
2. アジマス 相 関	アンテナ走査につれてアジマス方向に相関のあるクラッタを発生
3. 減 衰 特 性	$R_2^{-5}$ , $R_2^{-7}$ (ただし, $R_2$ はレーダからクラッタまでの距離)
4. ゆらぎ周波数	任意
5. 出力レベル	(1) ビデオ (ユニポーラ) $5V_{op}$ (50 $\Omega$ ) 最大 (2) IF $5V_{pp}$ (50 $\Omega$ ) 最大

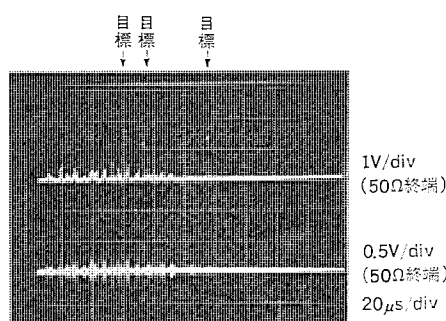
表 1. (c) 白色雑音の性能

項目	性能
1. 周波数帯域	ビデオ出力において 3MHz
2. 出力レベル	(1) ビデオ (ユニポーラ) $5V_{op}$ (50 $\Omega$ ) 最大 (2) IF $5V_{pp}$ (50 $\Omega$ ) 最大



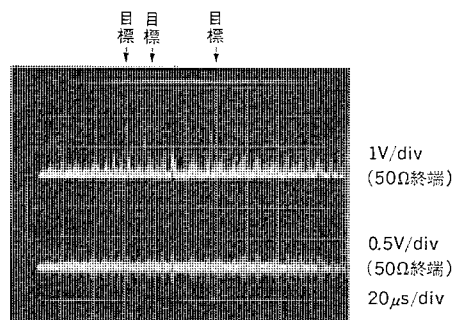
(上段:ビデオ出力, 下段:IF出力, IF=30MHz)

図 5. 目標信号とクラッタ



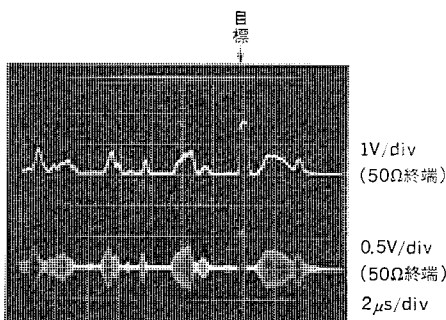
(上段:ビデオ出力, 下段:IF出力, IF=30MHz)

図 6. 目標信号と  $R_2^{-3}$  で減衰したクラッタ



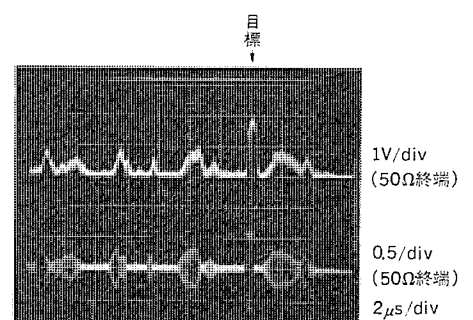
(上段:ビデオ出力, 下段:IF出力, IF=30MHz)

図 7. 目標信号, クラッタ 及び白色雑音



(上段:ビデオ出力, 下段:IF出力, IF=30MHz)

図 8. 目標信号とクラッタ (図 5. を時間軸上で 10 倍に拡大)



(上段:ビデオ出力, 下段:IF出力, IF=30MHz)

図 9. 目標信号, クラッタ 及び白色雑音 (図 7. を時間軸上で 10 倍に拡大)

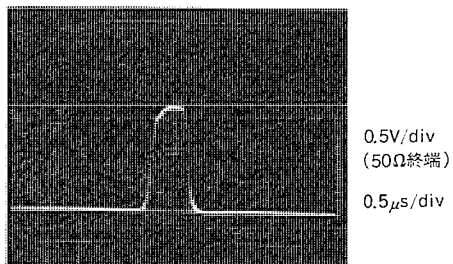


図 10. 目標信号 (ビデオ出力) がレーレー分布に従い 500 Hz でゆらいている様子を表す

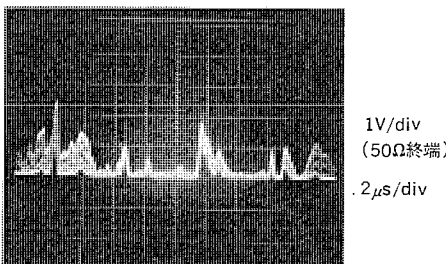


図 11. クラッタ (ビデオ出力) が 100 Hz でゆらいている様子を表す

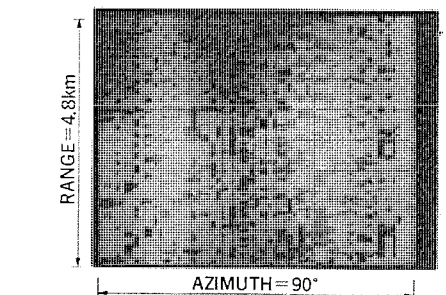


図 12. B スコープ表示によるクラッタ (メモリスコープを使用)

図 5. は距離減衰を考慮しないときの目標信号とクラッタである。図 6. は距離減衰を考慮したときの目標信号とクラッタであり、クラッタの振幅は距離の 3 乗に反比例して減衰する場合を示す。図 7. は図 5. の状態に受信機雑音として白色雑音を加えたものである。図 8., 図 9. はそれぞれ図 5., 図 7. を時間軸上で 10 倍に拡大したものである。ただし、クラッタの確率分布は任意に設定できるが、ここでは 1 例としてレーレー分布の場合を示し、IF キャリアは 30 MHz である。図 10. は目標信号にゆらぎを与えた場合で目標の振幅は 500 Hz で変動しゆらぎの確率分布はレーレー分布である。図 11. はクラッタにゆらぎを与えた場合でこのときのゆらぎ周波数は 100 Hz である。図 12. はクラッタのビデオ出力をメモリスコープを利用して B スコープ表示で示したものである。

## 5. む す び

マイクロコンピュータの制御によって任意のドップラー成分、ゆらぎ及び確率分布のレーダイコーを模擬することができるレーダイコーシミュレータの概要、動作及び性能について述べ、これを用いて得られたいくつかの模擬レーダイコーを示した。

この装置はレーダイコーの理論的な模擬だけでなく、紙テープリーダーからフィールドデータを入力すると実環境で得られるレーダイコーを IF 帯及びビデオ周波数帯で模擬することができるので、クラッタ抑圧装置などの研究の効率化に役立つものである。

## 参 考 文 献

- (1) 大橋, 小野: レーダイコーシミュレータの試作実験結果, 信学会, 宇宙航行エレクトロニクス研資, SANE 79-27 (昭 54)

# 国内通信用衛星回線交換方式及び制御装置

## —SCPC-DAMAシステム—

前田良雄\*・本田 茂\*・岩橋 努\*・小松陽二\*・伊藤修治\*

### 1. ま え が き

衛星を利用した通信システムの商用化に伴い、形態が多様化し、その1つとして、国内衛星通信システム建設の要求が高まっている。これらの国内衛星通信システムの最大の要求は、多数の小容量地球局をシステムに収容し、しかも建設及び運用コストの経済性を高めることである。これらの要求に対処するため、衛星中継器の電力利用効率のよいSCPC (Single Channel Per Carrier, 1音声/1搬送波)方式と、衛星回線網の利用効率のよいDAMA (Demand Assignment multiple Access, 要求割当多元接続)方式とを組合せた方式が注目されている。

当社では、この動向に合わせSCPC-DAMAシステムの研究開発を行ってきたが<sup>(1)(2)</sup>、このたびSCPC方式の使用を前提としたDAMA装置を開発した<sup>(3)(4)</sup>。

開発の重要ポイントを要約すると以下のとおりである。

- (1) 網制御方式として中央局集中制御方式を採用し、遠隔局の建設及び運用コストの低減を図った。
- (2) 中央局は、網制御と回線接続制御の機能分散によるマルチプロセッサ構造とし、遠隔局とハード/ソフトの統一化を図った。
- (3) 網制御、回線接続制御ともマイクロプロセッサによる蓄積プログラム方式を採用し、システムの保守・拡張を容易にした。
- (4) システム内信号方式は、CCITT No. 6信号方式に準拠し、既存のいかなる国内電話網接続信号方式にも対応可能なソフトウェア構成とした。
- (5) 信号の伝送は、すべて64KbpsのCSC (Common Signaling Channel, 共通信号回線)を用い、接続時間の短縮化と誤り訂正符号の採用による伝送信頼度の向上を図った。
- (6) CSCへのアクセス方式は、オープンルーラTDMA (Time Division Multiple Access, 時分割多元接続)方式を採用することにより、同期制御の簡素化と経済性を図った。

### 2. SCPC-DAMAシステムの概要

#### 2.1 システムの概要

従来から用いられている衛星通信方式は、地球局間に衛星回線の周波数帯を固定的に割当て、周波数分割により多重化されたベースバンド信号を1つの搬送波で送るFDM-PAMA (Frequency Division Multiplex-Preassignment Multiple Access, 周波数多重-固定割当多元接続)方式である。この方式は、回線需要の少ない多数の地球局間通信の場合には、回線利用効率の低下ばかりでなく、無通話時の搬送波送出という点から衛星電力をむだに消費するという欠点があった。

これに対し、1搬送波で1音声回線を構成し、この回線群をプールしておき、需要(呼の発生)に応じその都度、発着呼地球局間に回線を設けるSCPC-DAMA方式では、少ない衛星回線で多数の地球局を網内に収容することができる。SCPCの周波数配列例を図1.

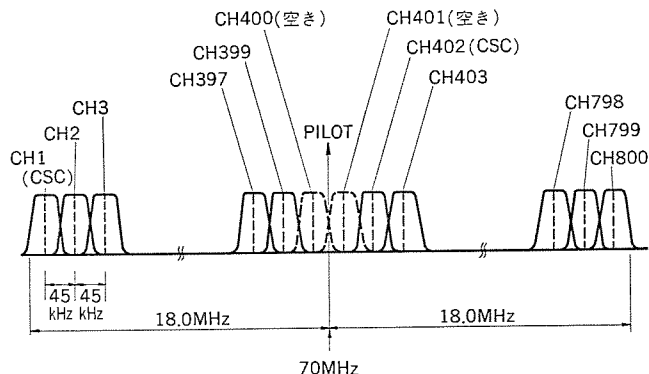


図1. SCPCの周波数配列例

に示す。この方式には、中央局を設け、呼の要求が起こると中央局が往復の周波数を割当てる集中制御形と、各地球局がおのの割当てを行う分散制御形とがある。国際通信においては、中央制御局によってシステムが管理されるという政治上の問題を避けるために後者の方式が採用されており、既にSPADE方式<sup>(5)</sup>として実用化されている。しかし、国内通信では、システム管理を中央局に集中させることにより遠隔局の建設及び運用コストの低減が図れ、システム全体として経済性を有する前者の方式が注目されている。

集中制御形SCPC-DAMAシステムによる通話の接続・解放動作は以下ようになる。加入者がダイヤルを回し、選択信号が地表中継回線を介して地球局に到着すると、地球局は選択信号を、自局アドレス、捕捉トラック番号とともに一連のコードに変換し、回線接続要求信号としてCSCを介して中央局に送る。中央局は、選択信号から着呼加入者が収容されている地球局番を知ると、現在空いているSCPCの上り下り回線1ペア(以後、単に衛星回線と呼ぶ)を選び、この番号と相手局アドレスを含む一連のコードをCSCを介して回線割当信号として発着呼地球局に送る。これを受信した発着呼地球局は、SCPC装置内の周波数コンセーザの発振周波数を指定された衛星回線の周波数にセットすることにより、両局間で1本の通話路が形成されたことになる。実際には、更に地表中継回線の2重捕捉のチェック、通話路の導通試験、着呼地球局と着呼加入者との接続などを行ったのち通話が始まる。通話が終了すると、終話局より通話完了信号がCSCを介して中央局に送出され、発着呼地球局は中央局から送られてくる回線解放信号により、該当衛星回線を解放する。すなわち、SCPC-DAMAシステムは、普通の電話交換局の動作を衛星を介して行う広域交換システムであると言える。

#### 2.2 DAMAシステムのトラヒック処理能力

SCPC回線群をDAMA方式で運用することの利点は、プールした衛星回線を全地球局で共用することにより、必要な衛星回線数の節約が図れることであり、欠点は接続遅延が長くなることである。ここでは、PAMA方式とDAMA方式のトラヒック処理能力を、呼損率と平均接続時間の観点から比較してみる。

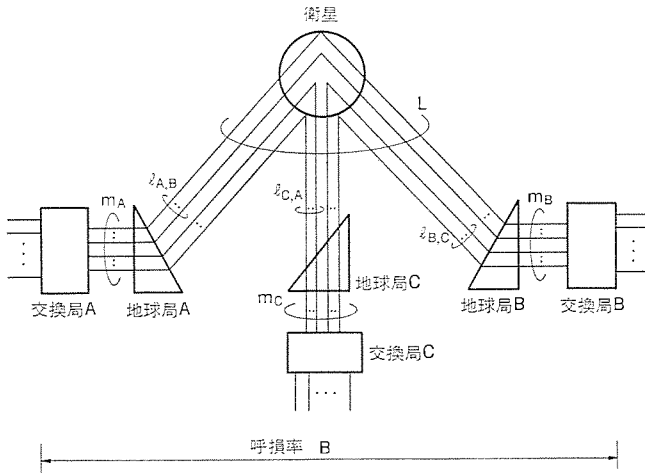


図 2. PAMA 方式のトラヒックモデル

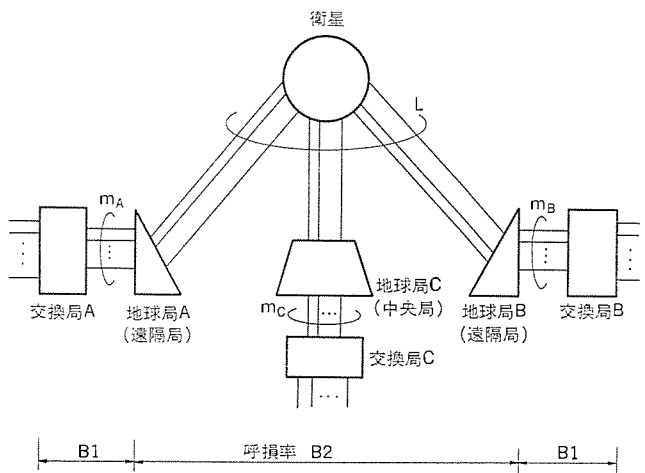


図 3. DAMA 方式のトラヒックモデル

解析に際し、比較を容易にするため、以下の仮定を設ける。

- (1) 1地球局に加わる呼量は、すべての地球局で等しく a アーランとする。
- (2) トラヒック分布は時間的、対地的に一様とする。

2.2.1 PAMA 方式と DAMA 方式における呼損率

図 2. と図 3. に、おのこの PAMA 方式と DAMA 方式のトラヒックモデルを示す。呼損率の計算は、Erlang-B 式に従うものとする。

(1) PAMA 方式における呼損率

$$B = \frac{(a/n-1)!}{1!} \left/ \sum_{r=0}^{n-1} \frac{(a/n-1)^r}{r!} \right. \dots (1)$$

この場合、衛星回線数 L は、 $L = m \cdot n / 2 = 1(n-1) \cdot n / 2$  本となる。ただし、n は地球局数、l は対地球局あてごとに設けた衛星回線数、m は 1 地球局に収容される地表中継回線数である。

(2) DAMA 方式における呼損率

交換局における呼損率 B1

$$B1 = \frac{am}{m!} \left/ \sum_{r=0}^m \frac{a^r}{r!} \right. \dots (2)$$

中央局における衛星回線割当てに伴う呼損率 B2

$$B2 = \frac{(an/2)^L}{L!} \left/ \sum_{r=0}^L \frac{(an/2)^r}{r!} \right. \dots (3)$$

システム全体の呼損率 B

$$B = 2 \cdot B1 + B2 \dots (4)$$

表 1. PAMA 方式と DAMA 方式における所要回線数と平均接続時間との比較

(呼損率 0.01 の場合)

局数	1局当りの呼量 (アーラン)	1局当りの中継回線数		衛星回線数		平均接続時間(秒)	
		PA	DA	PA	DA	PA	DA
10	7.8	36	16	180	54	2.66	4.00
20	16.5	76	28	760	192	2.66	4.39
30	25.2	116	39	1,740	410	2.66	4.78

呼損率

PAMA CT-CT : 0.01

DAMA CT-ES-ES-CT : 0.003-0.004-0.003

(合計 0.01)

表 1. に、システム全体の呼損率を一定 (B=0.01) にした時の、各地球局に加わる呼量及び地球局数に対する各局に必要な地表中継回線数及びシステムに必要な衛星回線数の 1 例を示す。この表から、局数が増すほど、DAMA 方式のトラヒック処理能力が優れていることがわかる。

2.2.2 PAMA 方式と DAMA 方式における平均接続時間

図 4. と図 5. に、おのこの PAMA 方式と DAMA 方式の正常接続設定時の信号シーケンスを示す。交換局 (CT) 間の信号方式として、CCITT No. 5 信号方式を仮定し、また、衛星伝搬遅延を 270 ms、レジスタ接続時間を 600 ms、ダイヤル情報を 8 けた (桁) としている。ここで、発呼側交換局が捕捉信号 (Seizing signal) を送信してから、着呼側交換局にダイヤル情報終了信号 (ST) が到着するまでの時間を、接続時間と定義する。

(1) PAMA 方式における平均接続時間

図 4. から、正常接続設定時における平均接続時間は 2.66 秒である。

(2) DAMA 方式における平均接続時間

図 5. から、発呼地球局 (OES)、着呼地球局 (IES) 共に遠隔局である場合の平均接続遅延は、 $3.61 + W_0 + W_c$  秒となる。

中央局が発呼局あるいは着呼局自身となる場合は、平均接続時間は 1 衛星伝搬遅延分短くなる。CSC は中央局から遠隔局群用と遠隔

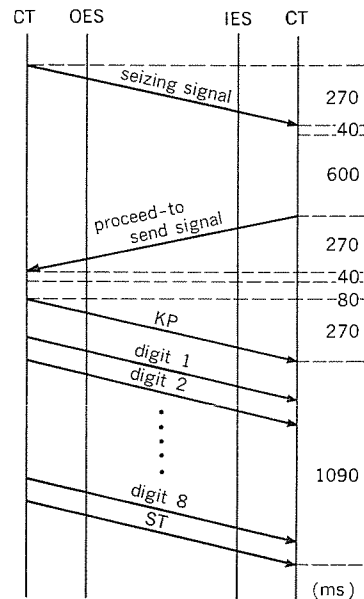


図 4. PAMA 方式の正常接続設定時の信号シーケンス (接続時間=2.66 秒)

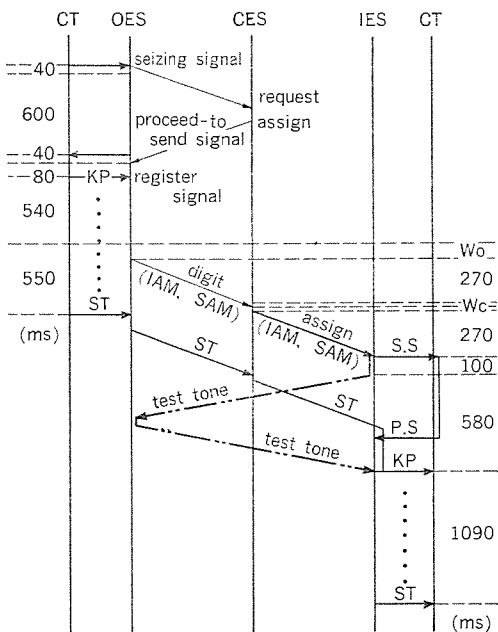


図 5. DAMA 方式の正常接続設定時の信号 シーケンス (接続時間=3.61+W<sub>0</sub>+W<sub>c</sub> 秒)

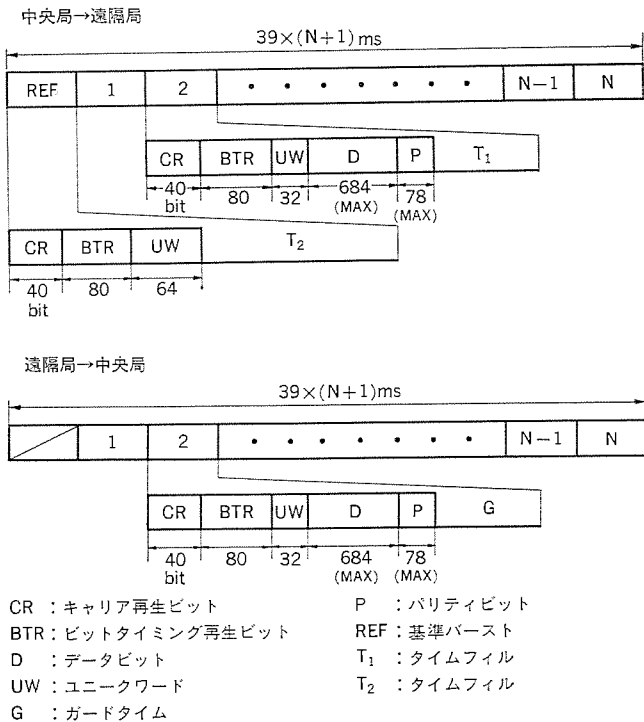


図 6. CSC フレーム 構成

局群から中央局用との2回線あり、フレーム構成は図6.に示したように各遠隔局に固定的に割り当てられたスロットより構成されている。W<sub>0</sub>は発呼局の自局スロット平均待ち時間、W<sub>c</sub>は中央局から発着呼局あての送信スロットの平均待ち時間。この試作システムでは、1スロットで同時にS個(S=16)の信号送出が行えるので、待ち行列理論によるM/D/Sモデルを適用すると、

$$W_0 = W_c = \frac{T_F}{2} + \sum_{j=1}^{\infty} e^{-j\rho} \left\{ \sum_{k=j}^{\infty} \frac{(j\rho)^k}{k!} - \frac{1}{\rho} \sum_{k=j+1}^{\infty} \frac{(j\rho)^k}{k!} \right\} \cdot T_F \quad (5)$$

となる。ここで、T<sub>F</sub>はフレーム長で、スロット長をT<sub>s</sub>、地球局数をn(図6.で、Nは遠隔局数であり、n=N+1となる)とすると、T<sub>F</sub>

=n・T<sub>s</sub>となる。ρは1スロット当たりの平均使用率(トラフィック密度)で、これと1地球局に加わる呼量aとの関係は、発(着)呼率をλ、通話の平均保留時間をhとすると、

$$\left. \begin{aligned} a &= 2 \cdot \lambda \cdot h \\ \rho &= 2 \cdot \mu \cdot \lambda \cdot T_F / S = \mu \cdot \frac{a}{h} \cdot T_F / S \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

となる(ただし、呼損による影響を無視した近似式である)。ここで、μは1回の発(着)呼における正常時の信号伝送回数であり、このシステムでは平均4回である。h=3分、スロット長T<sub>s</sub>=39msとした時の、与えられた地球局数と呼量から求めた平均接続時間を表1.に併記した。この表から、DAMA方式の場合、局数が増すほど平均接続時間が増すが、実用上問題ない値であることがわかる。

局数増加に伴う時間増加分は、ほとんどフレーム長に依存しているため、図6.で示したガードタイムを小さく抑える手段を講ずればフレーム長を短くでき、更に平均接続時間を短縮できる(この試作システムでは、ガードタイムを25msとしている。ガードタイムについては、3.3節参照)。

### 3. 試作システム構成

#### 3.1 試作システムの概要

試作システムの外観を図7.、系統図を図8.に示す。試作システムは中央局に位置する中央局DAMA装置と、遠隔局に位置する遠隔局

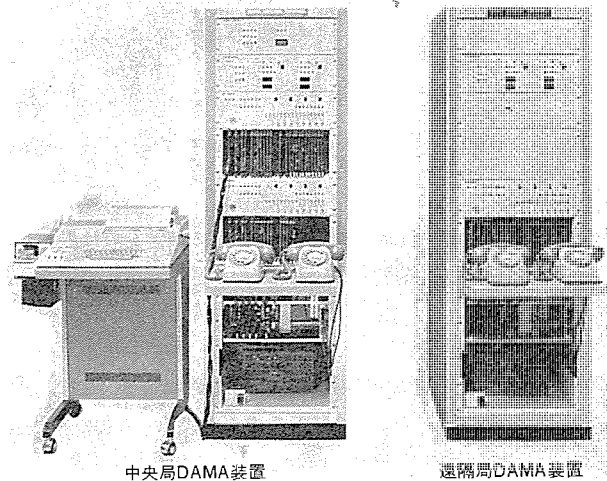


図 7. 試作装置外観

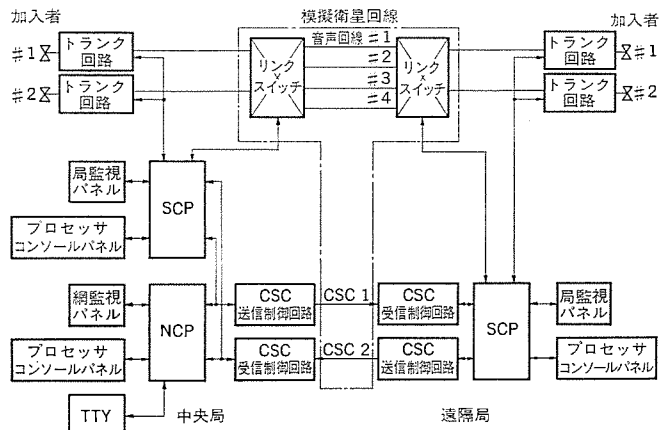


図 8. SCPC-DAMA 試作システム 系統図

表 2. SCPC-DAMA システム の仕様

( ) 内は、試作システム実装分

項 目	性 能 諸 元		
DAMA 回 線 数	max. 400/45 kHz 間隔 (4)		
局 収 容 数	中 央 局	1 (1)	
	遠 隔 局	max. 63 (1)	
接 続 地 上 回 線 数	max. 1,400 (4)		
処 理 呼 量	366 erl/DAMA 400 回線, ES-ES 間呼損率 0.04		
シ ス テ ム 内 信 号 方 式	CCITT No. 6 に準拠		
平 均 接 続 遅 延 時 間	1.8 s/5 局 4.0 s/30 局		
共 通 信 号 回 線 接 装 置	接 続 方 式	オーブンスループ TDMA	
	伝 送 方 式	4 相 PSK	
	伝 送 速 度	64 Kbps	
	帯 域 幅	45 kHz×2	
	フ レ ー ム 長	可変, 1,171 ms/30 局	
	パ ー ス ト 長	可変, max. 14.3 ms	
接 装 置 訂 正 制	符 号	ICSC BG 9-21 E 3/4 畳み込符号	
	訂 正 能 力	2 ビット誤り訂正/拘束長 80 ビット	
プ ロ セ ッ サ 制 御	語 長	命令 8, 16, 24 ビット	
	デ ー タ 長	8 ビット	
	処 理 速 度	1.95 μs (基本命令に対して)	
	記 憶 容 量	max. 64 K バイト	
ム 構 成 プ ロ グ ラ ム	プ ロ グ ラ ム ス テ ッ プ 数	14.5 K バイト	
	タ デ 量 1	中 央 局	12.2 K バイト
		遠 隔 局	1.6 K バイト

DAMA 装置とで構成されている。

各遠隔局は、機能的にみれば通話路系、制御系(局制御プロセッサ(SCP), I/O インタフェースを含む)、伝送系(CSC 装置、符号誤り訂正装置を含む)から構成される。交換局及び加入者系(電話機を含む)を便宜上、各地球局の通話路系に含めた。中央局は、上記の外に、制御系に網制御プロセッサ(NCP)及びテレタイプ(TTY)が加わる。両局は、模擬衛星回線及びCSCにより結ばれ、全体として最小限のDAMAシステムを構成している。模擬衛星回線は、音声回線とCSC回線を、またリンクスイッチは、周波数シンセサイザによる周波数設定を模擬している。更に、CSCを介した情報伝送については約270msの衛星伝搬遅延をソフトウェアで模擬している。

システムの仕様を表2に示す。表中に示した平均接続遅延は、発信加入者がダイヤルし終わってから、相手加入者を呼出している呼出音を聞くまでの実測値(この時間を、通話時間とともにパネル上に表示させている)の平均値である。

### 3.2 SCP と NCP の機能とソフトウェア構成

SCP と NCP は、共に 8 ビットのマイクロプロセッサ M5L 8080 A を使用し、最大 64 バイトの送受信バッファを介して、48 Kbps のデータの送受信制御を行っている。中央局において、NCP から自局 SCP への転送は基準バースト送信時に行い、SCP から NCP への転送は自局 SCP を独立した遠隔局とみなし、衛星伝搬遅延を考慮して他の遠隔局からの送信データと衝突しないような時間帯で行うという時間制御により、簡易で経済的なマルチプロセッサシステムを形成している。また、この方法により、遠隔局と中央局の SCP のハードウェア/ソフトウェアの共通化を達成している。

メモリバッファ間転送の起動方式は、SCP では周期起動、NCP では割込み起動を採用することにより、転送時におけるオーバヘッドの軽減を図っている。すなわち、図9のソフトウェア構成で示したように、SCP はクロック割込周期起動による呼処理タスクの実行を大半の業務としているので、これに整合をとって H レベル 周期起動プログラム群の中で、バッファの送受信完了を示すフラグのスキャンによる周期転送

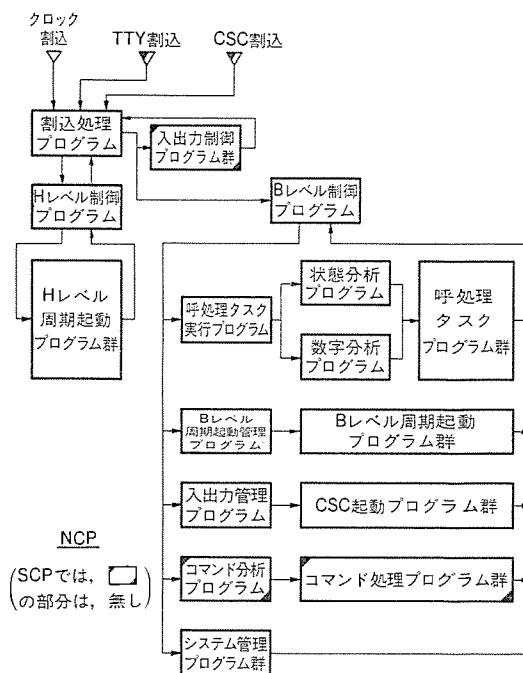


図 9. ソフトウェア構成

を行っている(データの送受信は、1フレームに1度だけであるので、スキャン間隔はフレーム長の数分の1で十分である。この試作システムでは50ms≒1.5スロット長としている)。これに対し、NCPの場合は、毎スロットでデータを送受信する可能性があるため、送信時はスロットごとの割込起動、受信時は受信完了割込起動により、メモリバッファ間転送を行っている。

NCPはこの外、遠隔局及び自局SCPの遠隔制御機能を持っており、中央局に置かれるTTYからのコマンド入力によりCSCを介して、SCPメモリの内容転送、局情報変更が行える。また、診断機能として、NCPは定期的に(この試作システムでは、約5秒)各SCPに対し試験データを送り、応答が受信されないときは、SCPエラーとして、網監視パネル上にアラームランプを点灯させるとともに、TTYにエラーメッセージを出力する。更に、ふくそう(輻輳)制御機能として、トラヒックが輻輳してきてNCP及びSCPが過負荷になり、データメモリがオーバフローに近づくと、バッファビジー信号をSCP-NCP間で送受することによりトラヒックを抑制する機能を持っている。

なお、SCP及びNCPのトラヒック処理能力として、SCPでは地表中継回線96回線収容時におけるCPU占有率が35%、NCPでは衛星回線400回線収容時におけるCPU占有率が70%という解析結果を得ており、現CPU(M5L8080A)1台で十分実用に供しうるとの見通しを得ている。

### 3.3 CSC の機能とハードウェア構成

CSCは、中央局と遠隔局のデータ転送のために用いられる回線で、SCPCの1対を用い4相PSK(Phase Shift Keying)変調により32 Ksymbols/s(64 Kbps)の速度で伝送される。図6で示したように、中央局はフレームごとに同期信号(REF)を送り、これを受信した各遠隔局は、これを基準として情報伝送単位であるスロットを計数し、各局固有の局番と一致したスロット番号の間、データ転送を行うオーブンスループTDMA方式を採用している。この方式は、自局信号と中央局からの同期信号との相対的時間関係から常にバースト同期制御を行うクローズドループTDMA方式と比べると、ガードタイム(地球局位置による衛星伝搬遅延差と、衛星のゆらぎを見込み、遠隔局からの送信

データ同士の重なりが起こらないように設けた保護時間である。この試作システムでは、約 25 ms 設けているが、各遠隔局ごとに、衛星伝搬遅延を考慮した値をプリセットする機能を付加すれば、ガードタイムを 1 ms 以下に抑えることができるが、大きくなるという欠点を持っているが、イニシャルアクイジション（初期捕捉）やバースト同期監視制御が不要であること、フレーム長可変が容易で収容局数の増加に容易に対処できる（この試作システムでは、網監視パネル上に設けたサムホールスイッチによる局数設定により、フレーム長がスロット長の整数倍に可変にできる）などの利点を持っている。

CSC を介したデータの伝搬遅延は約 270 ms にもなるため、伝送誤りは重要な問題となるが、誤り訂正用符号として ICSC（通信衛星暫定委員会）BG-9-21 E<sup>(6)</sup> 規定の 3/4 畳み込符号を用い、拘束長 80 ビット中の 2 ビットまでの誤り訂正を行うことにより、これを解決している（ビット誤り率  $10^{-4}$  の時の訂正後のビット誤り率は、 $2 \times 10^{-9}$  程度になる）。

CSC 装置のブロック図を図 10. に、各回路の主要機能を表 3. に示す。この回路では、IC 数の大幅な削減と基板の共通化を同時に実現していることが特徴である。すなわち、ユニークワード検出回路に用いる一致ビット計数回路と位相状態判定回路に工夫を加えたことによる IC 数の削減（従来回路の約 2/3）と、基準ユニークワードをデータユニークワードの繰り返しパターンとすることによる回路の共有化

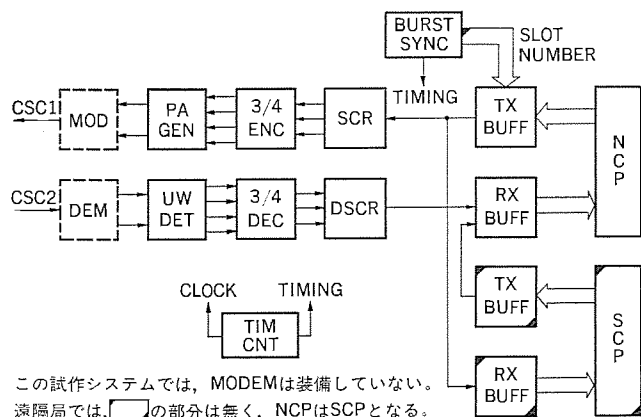


図 10. CSC 装置のブロック図

表 3. CSC 回路の機能

名 称	機 能
PA-GEN	ICSC BG 9-21 E 規定の、76 ビット 2 系列のプリアンプルワード (CR, BTR, UW) を発生する。 ただし、中央局がフレームの先頭に送る基準バースト中のユニークワード (REF-UW) はデータユニークワード (D-UW) を連続 2 回発生する。
UW-DET	ユニークワードを各系列 2 ビットまでの誤りを許して検出する (ICSC BG 9-21 E 規定)。 ただし、遠隔局において、D-UW を 2 度連続して受信すれば、REF-UW として検出する。 4 相 PSK 復調器による位相不確定性を除去する Ambiguity resolution matrix 回路を内蔵している。
3/4 ENC/DEC	ICSC BG 9-21 E 規定の 3/4 畳み込符号を用い、拘束長 80 ビット中の 2 ビットまでの誤り訂正を行う。
SCR/DSCR	ICSC BG 9-21 E で勧告している CCITT V.35 規定のスクランブラ・デスクランブラ。
TX-BUFF	送信バッファ、サイズ可変、最大 64 バイト
RX-BUFF	受信バッファ、サイズ可変、最大 64 バイト
BURST-SYNC	自局バーストの送信タイミングを決定する。 中央局の場合、スロットごとに NCP に送信割込みをかけ、スロット番号を渡す。また、局数のダイヤル設定により、フレーム長を可変にできる。
TIM-CNT	各種カードへ、位相補正 (48 kHz と 32 kHz、送信クロックと受信クロック) したクロック及びタイミング信号を供給する。

により従来回路の半分以下の IC 数で回路を実現している。これにより、プリアンプル発生回路とユニークワード検出回路は、中央局と遠隔局の区別なく統一できる。また、スクランブラとデスクランブラ、及び符号器と復号器は大半の回路が共通であることから、基板の共通化による基板種類の削減を図っており、両者の区別は基板上のスイッチ切換えにより実現している。

### 3.4 システム内信号方式

システム内信号（地球局間信号）は、回線制御信号（衛星回線の接続、切断に関する信号）、中継電話信号（発着呼地球局間で授受される電話信号）及びシステム管理信号（システム内の監視、管理に関する信号）に大別される。回線制御信号及びシステム管理信号の伝送は、通話路と分離された信号専用回線すなわち CSC 回線を設けることが必ず（須）である。中継電話信号は、設定された衛星回線を介して伝送できるが、通話路の設定と選択信号の転送が並列に行える、選択信号の高速伝達ができるなどの理由により、この信号も CSC を介して送る。これにより、監視信号（一般の電話信号における捕捉、応答、終話信号など）を送るための衛星回線ごとの信号装置を省くことができる。

システム内信号方式は、CCITT No. 6 方式に極力準拠し、電話信号は No. 6 信号のフォーマットをそのまま使い、他の信号は、No. 6 の予備信号を割当てている。以下、No. 6 との相違点に着目して、このシステム内信号方式の特徴を列挙する。

- (1) 捕捉信号と選択信号を送る IAM (Initial Address Message) は、No. 6 では複数ユニット構成であるが、この方式では、単一ユニットから成る IAM も設けることにより捕捉信号と選択信号のオーバーラップ転送を可能にしている。これは、国内信号方式が CCITT R 2 方式の場合や、直接電話器と接続される場合に、接続遅延の減少に有効な手段となる。
- (2) No. 6 の CRC 符号による誤り検出再送方式の代わりに、3/4 畳み込符号による誤り訂正方式を採用している。

## 4. む す び

以上、今回開発した SCPC-DAMA システムについて報告した。総合試験の後、約 2 年間構内専用交換機として (稼) 働試験を行っており、その結果信頼度の点からも十分実用に供しうるものであることがわかった。

今後は、SCPC 装置、変復調装置及び国内電話回線網に接続される地表中継回線を実際に装備し、更に総合的な検討を行いたい。

## 参 考 文 献

- (1) 石井, 中西: 衛星通信用小形地球局, 三菱電機技報, 52, No. 2, p. 159 (昭 53)
- (2) 岩橋, 小松ほか: SCPC-DAMA 交換システムにおける CSC アクセス方式について, 昭和 52 年電子通信学会全国大会, No. 1,511
- (3) 本田, 小松ほか: SCPC-DAMA 交換システム—システム構成—, 昭和 54 年電子通信学会全国大会, No. 1,577
- (4) 岩橋, 伊藤ほか: —CSC システム, 同上, No. 1,578
- (5) S. Metzger, 関本: 総合報告, スパード方式, 電子通信学会誌, 57, No. 8
- (6) INTELSAT BG-9-21 E H/5/74 (Rev. 2)



# 14MVA直接水冷却水車発電機の開発と運転実績

宇佐見一雄\*・沢谷賢二\*

## 1. ま え が き

最近の水車発電機の高速度大容量化はめざましく、空気冷却式の製作限界に近い容量の発電機が多数、製作及び計画されている。この限界容量を突破するためには、冷却方法を直接水冷却方式にすることが必要であり、国外ではすでに商用機への本格的適用が始まっている。国内では各社とも小容量の商用機で実績をつくりつつ、将来の高速度大容量機時代へ備えているというのが現状である。

当社は、昭和45年から回転子直接水冷却の開発に取り組んでいたが、実機での製作・すえ(掘)付け及び運転経験を積むために、中部電力(株)中呂発電所向け14MVA直接水冷却水車発電機を製作する機会を与えられ、昭和53年6月運転を開始した。この発電機は運開後約1年半になるが、極めて順調に運転されている。

ここでは、本機の概要と製作するにあたって実施した開発・検証試験及び現地運転状況について述べる。

## 2. 中呂機的设计仕様と構造

### 2.1 設計仕様

中呂機的设计仕様を表1.に示す。直接水冷却機の製作・掘付け及び運転の経験を積むことを主眼としているので、電磁氣的装荷は空気冷却式なみの設計となっているが、直接水冷却方式に関連する機械構造部分には来るべき高速度大容量機時代にそのまま適用できる構造・製作法を採用している。

表 1. 中呂機の仕様

容 量 (MVA)	14	回転速度 定 格 (rpm)	450
電 圧 (kV)	11	無拘束 (rpm)	860
		極 数	16
回 転 子		固 定 子	
外 径 (mm)	2,496	鉄心外径 (mm)	3,170
中空導体寸法 (mm)	23×23 (φ12)	鉄心内径 (mm)	2,520
コイル構造	2×8	鉄心長 (mm)	960
励磁電流 (A)	1,234	スロット数	108
電流密度 (A/mm <sup>2</sup> )	3	コイル構造	5ターンプルコイル
1極当り AT	17,800	導体構成	2中空4中実
冷却水量 (l/min)	30	電流密度 (A/mm <sup>2</sup> )	3.52
通水回路数	1×16	冷却水量 (l/min)	90
流 速 (m/s)	0.3	通水回路数	3×16
水頭損失 (kg/cm <sup>2</sup> )	0.65	流 速 (m/s)	1.37
最大水圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	60	水頭損失 (kg/cm <sup>2</sup> )	3.8
純水導入装置	メカニカルシール呼び径 (mm)		125
	最大圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )		7.5

### 2.2 構造の概要

図1.に本機の組立断面図を、図2.に工場組立中の状況を示す。本機は立軸普通形であり、主な部品の構成は従来の空気冷却式の場合と同様である。空気冷却式の場合と異なる構造部分は主軸先端に回転子に純水を導く純水導入装置を設置していること、機内外に純水系統の水管が多数あること、循環する純水の純度を保持する純水装

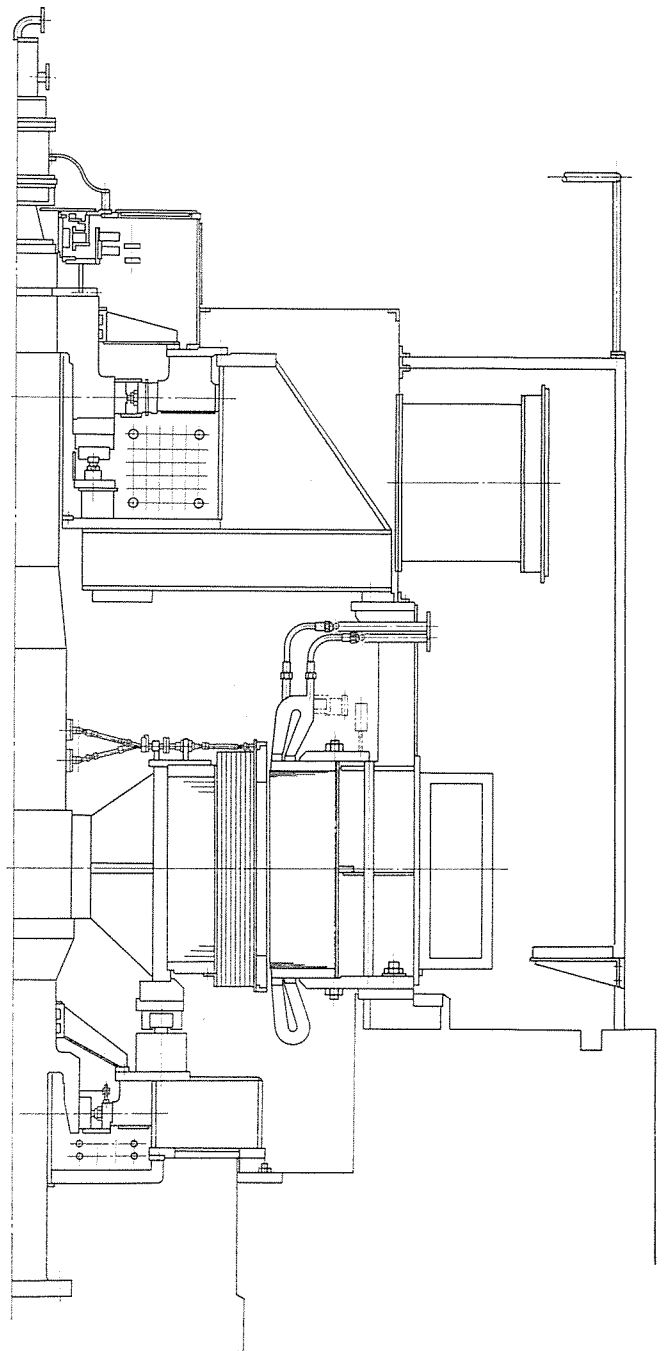


図 1. 発電機組立断面図

\* 神戸製作所

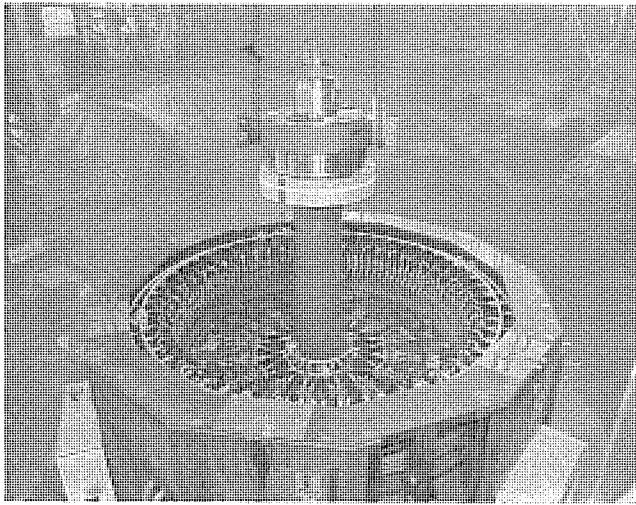


図 2. 工場組立中の直接水冷却水車発電機

置があることである。

界磁巻線を冷却する純水は純水導入装置より主軸内に入り、そこに同心に設けた軸内水管を通して発電機中心に向かい、主軸を半径方向に貫通するラジアルパイプで主軸外周へ出る。次いで主軸の周囲に設置した分岐水管から各極への流路、すなわち、ブランチパイプ、絶縁ホースを通してヘッドから界磁巻線に流入する。冷却を終えて昇温した純水もほぼ同様のもど(戻)り流路を通して排水される。

固定子巻線を冷却する純水は固定子フレームの内側に設けたリングパイプから分岐し、絶縁ホースを通して巻線の上側コイルエンドに設けたヘッドから流入する。掃路も同様である。また本機には空気冷却器とブロワを設置しており、鉄損と機械損を処理している。

本機全体の純水系統は図 3. に示すとおりで、タンクから出た純水はポンプで加圧され、純水冷却器、フィルタを通して機内へ入り、冷

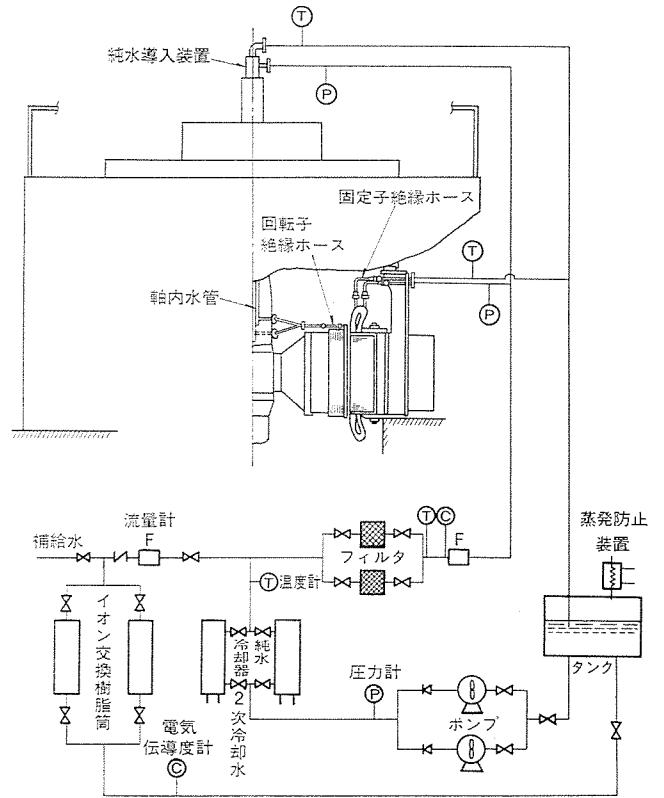


図 3. 純水系統図

却後タンクへ戻ってくる主系統と、純水クーラを出た位置で分流してイオン交換器を通してタンクへ戻ってくる純度保持系統とから成っている。一方、補給水は上水道水を使用し手動で弁を開放しイオン交換器を通してタンクへ入るようになっている。これらの系統の各所に保護装置を取りつけており、その保護装置と警報設定値を表 2. に示す。

表 2. 保護装置とその設定値 (直接水冷却関係)

異常の種類	保護装置	正常値	始動条件	警報値	緩停止値	非常停止値
固定子巻線出口水温 高	サーチコイル	52°C 以下	○	65°C		70°C
界磁巻線出口水温 高	サーチコイル	54°C 以下	○	65°C		70°C
巻線入口流量 低	差圧スイッチ	—	120 l/min 以上			96 l/min
巻線入口電導度 高	電導度計	1 μs/cm 以下	○	5 μs/cm		9.5 μs/cm
巻線出口電導度 高	電導度計	1 μs/cm 以下		5 μs/cm		
純水タンク水位 低	水位計	0 mm 以上	○	-19 mm	-29 mm	
ポンプ吐出圧力 低	圧力スイッチ	7.5 kg/cm <sup>2</sup> 以上		5.0 kg/cm <sup>2</sup>		
フィルタ差圧 高	差圧スイッチ	1.05 kg/cm <sup>2</sup> 未満		1.05 kg/cm <sup>2</sup>		
イオン交換器差圧 高	差圧スイッチ	0.6 kg/cm <sup>2</sup> 未満		0.6 kg/cm <sup>2</sup>		
イオン交換器出電導度 高	電導度計	0.1 μs/cm 以下		0.5 μs/cm		
純水導入装置漏水 多	レベルスイッチ	120 cc/d 以下		1,840 cc		
純水ポンプ漏水 多	レベルスイッチ	240 cc/d 以下		4,100 cc		
2次冷却水量 低	電磁流量計	—	450 l/min 以上		360 l/min	
空気冷却器冷却水量 低	電磁流量計	—	480 l/min 以上		385 l/min	

○印 始動時 警報発生状態が復帰していること。

### 3. 開発事項と検証試験

直接水冷却機の製作にあたっての最重点課題は漏水の起こらない構造、工作法を開発することであった。基本的なデータとしての冷却性能、腐食に関する事項はすでに別途モデル製作、腐食試験などを実施して設計手法を確立しているため、純水流路関係の構造開発・検証に重点をおいた。主なものは純水導入装置、界磁巻線の構造、導体の接続法、回転子用絶縁ホース、軸内水管のシール溶接法、固定子ヘッダ、固定子絶縁ホースなどの開発・検証である。以下各項目について紹介する。

#### 3.1 界磁巻線と回転子用絶縁ホース

界磁巻線は図4. に示すように外形23mm角、中心穴径12mmの中空導体を2列8段に巻いたものである。この巻線は線材の製造能力から単一材で製作することができず、1極あたり2本の線材を接合して製作している。したがって1極の界磁巻線には外側巻線と内側巻線の導体間の接合及び純水の入、出口ヘッダの接合、合計3か

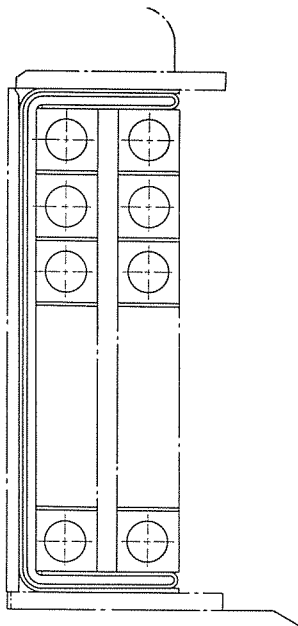


図4. 界磁巻線の素線構成

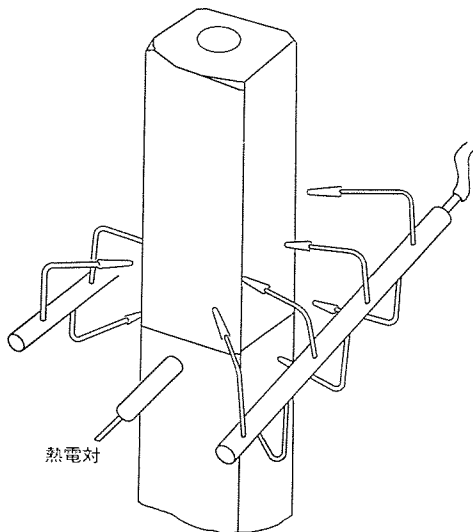
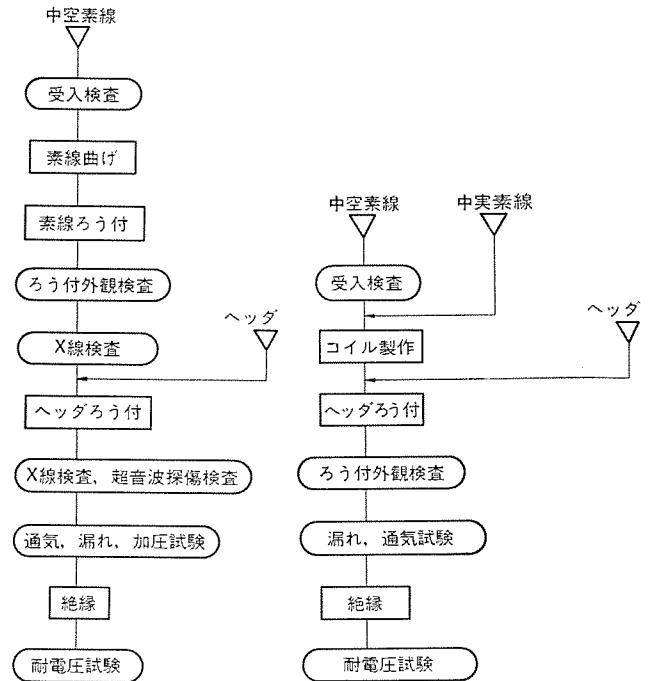


図5. 界磁巻線のろう付方法



(a) 界磁巻線 (b) 固定子巻線

図6. 巻線の検査フローチャート

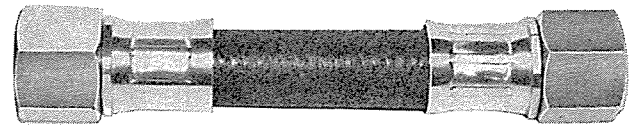


図7. 回転子用絶縁ホース

所の接合部がある。

この接合部は銀ろう付けて接合しているが、この部分の品質確保が重要で、ろう材の選定、継手の形状、ろう付部のすき間、加熱方法及び検査方法などに慎重な検討を加えた。種々の施工試験をくり返した結果、ろう付部の品質を安定化させるためには、適正な加熱方法及び適正なろう付すき間の確保が重要であることがわかり、加熱方法としては、図5. に示すようにマルチーチ方式を採用し、すき間保持のために専用ジグを開発した。マルチーチ方式にすると過熱防止が容易になり、能率もあがる。更にろう付温度の上昇、保持、冷却を自動的に行うようにガス流量、空気量を制御する装置を開発した。専用ジグはすき間を一定に保持するとともに、ろう付姿勢を一定に保つようにした。

この界磁巻線には図6. (a) に示すような種々の試験検査を実施した。特にHeリーク試験、エックス線検査などの検査法の確立のために多くの実験を行った。また、別途ろう付部の疲労試験を実施し、この部分の信頼性を確認している。

回転子用絶縁ホースを図7. に示す。この絶縁ホースはテフロンホースの外周に耐水圧性能を高めるためにテフロン編組を施したものである。この絶縁ホースには遠心力による水圧、伸び、曲げ、温度上昇・下降に伴う伸び、縮み、更に締付作業に伴うねじりが加わるので、引張り試験、ねじり試験、内圧破裂試験、曲げ試験、内圧くり返し試験、定変位くり返し試験などの強度試験を実施した。また、電気特性を確認するため、直流試験、耐電圧試験、浴面せん断試験などを実施した。

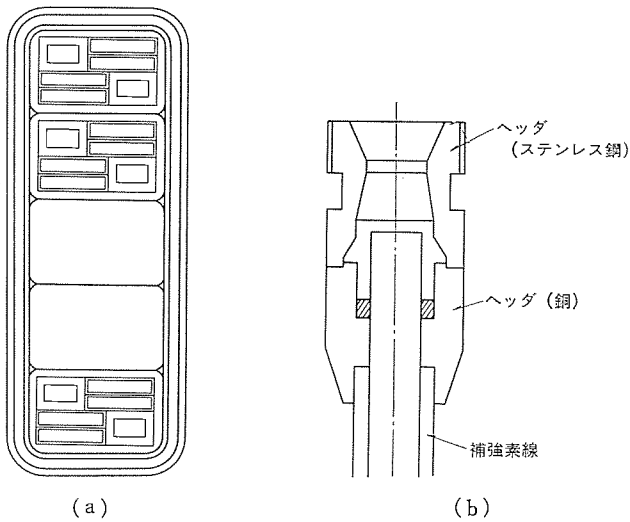


図 8. 固定子巻線素線構成とヘッド及び絶縁ホース

### 3.2 固定子巻線とヘッド

固定子巻線は図 8. (a) に示すように 2 本の中実素線と 4 本の中実素線で 1 ターンを構成した 5 ターンフルコイルである。この巻線の上側コイルエンドには同図 (b) に示す純水を導入するためのヘッドを設けている。ヘッドは銅とステンレス鋼を電子ビーム溶接で接合した複合構造である。このヘッドは素線と接合する部分はろう付けが容易なように素線と同じ材質の銅とし、絶縁ホースと結合する口金部は強度と耐食性の観点からステンレス鋼としている。

複合構造ヘッドの開発にあたっては、銅とステンレス鋼の異種金属間の接合方法について、試作試験をくり返して電子ビーム溶接による方法を開発し、内周側（接水側）の溶接形状を最適なものにするための継手形状、電流の制御方法を確立した。また、電子ビーム溶接部の強度及び耐食性の試験を実施し、ヘッドとして十分使用できることを確認した。

素線とヘッドのろう付けは銀ろうを用い、加熱方法として高周波誘導加熱法を採用した。ろう付姿勢を一定に保持するため専用ジグを開発した。固定子巻線も全本数図 6. (b) に示すような種々の検査、試験を行い、品質の確保に万全を期した。

固定子用絶縁ホースは図 1. からも分かるように L 形状で、材質はテフロンである。このテフロンホースは発電機の運転、停止に伴うヒートサイクルを受け、また、固定子巻線の上側コイルエンドに接続されていることから微少な電磁振動を受ける。そのために静的な強度試験に加え、加振状態（120 Hz で加振）でヒートサイクル（室温↔85℃）試験を行える試験装置を開発し、長期寿命試験を実施し品質を確認した。

### 3.3 軸内水管のシール溶接

主軸の中心を通っている軸内水管は発電機中心位置近くで主軸を貫通するラジアルパイプに接続される。この軸内水管とラジアルパイプとの接続は、機械的強度をねじ構造の締結で確保し、水密性はシール溶接（TIG 溶接）で確保する構造となっている。このシール溶接は主軸内の直接目視不可能な位置で行われ、かつ 1 度溶接すると分解不可能であることからやり直しは許されない。

そこで図 9. に示すような自動的に電極を駆動する専用ジグを開発し、実形状の試験片で溶接をくり返ししながら、溶接部段差の大きさの影響、溶接電流、速度の影響、溶接最終段階での電流切りあげ

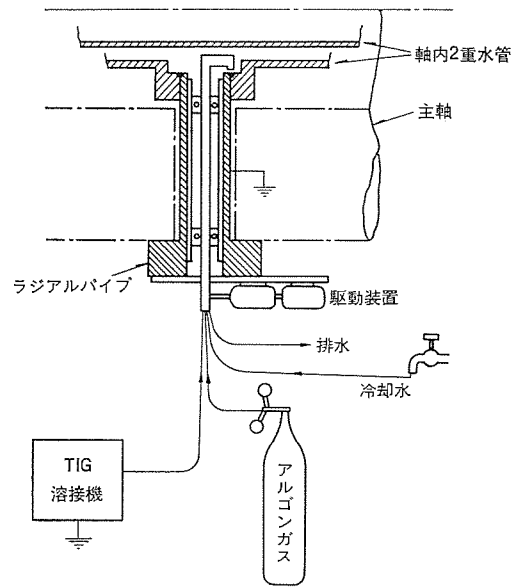


図 9. 軸内水管のシール溶接

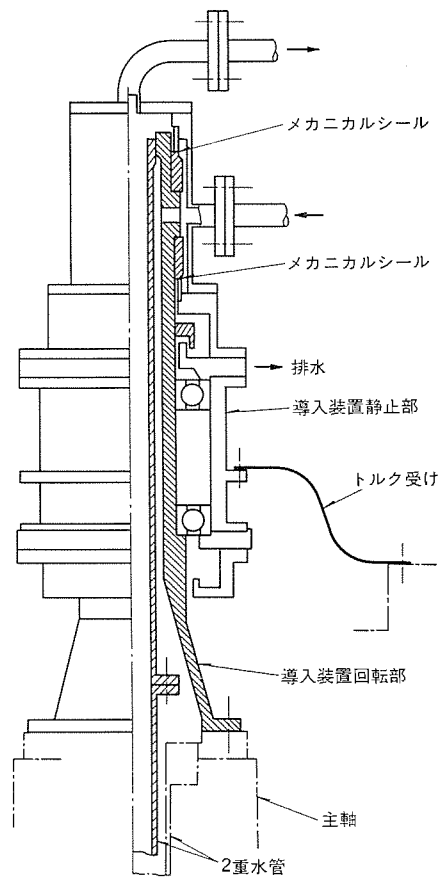


図 10. 純水導入装置

方法などの施工条件を確立して実機を施工した。実機についてはシール溶接施工後にファイバースコープによる目視と、耐水圧試験とを行った。

### 3.4 純水導入装置

この装置は回転子へ純水を導入するための主要な構造で、主として超硬合金鋼と特殊カーボンの組合せからなるメカニカルシールで構成している。この装置の構造の概要を図 10. に示す。主軸先端に導入装

置回転部を同心に結合し、その静止部は、回転部の外周に配置した玉軸受を介して保持する構造になっている。すなわち、主軸が上下あるいは半径方向に振動するとそれにつれて静止部も揺動し、メカニカルシールの回転部と静止部の間に不要な相対変位を生じないような構造である。静止部の全重量による荷重は玉軸受を介して回転部に加わっており、静止部にはトルク受けと称するまわり止めがついている。

この導入装置は本体の製作に先行して製作し、純水装置と組合せて2,000時間の長期運転試験を実施したほか、無拘束速度試験も行った。この運転試験の結果、メカニカルシールの摩耗量は2,000時間で54 $\mu$  (2.7 $\mu$ /100 hr) であり、設計仕様よりも十分小さく、漏水も80 cc (0.04 cc/h) とほとんど漏れがなく、十分使用に耐えることを確認した。また無拘束速度試験の結果でもメカニカルシールからの漏水は認められず、振動、メカニカルシール及び玉軸受の温度などいずれも異常のないことを確認した。特にメカニカルシールの温度は、無拘束速度では定格速度時よりもやや低下する傾向にあることなどが分かり、実機のあらゆる運転条件でも十分安全であることを確認した。

#### 4. 現地運転状況

本機は連系発電所とのダム水位の関係で運転を停止する場合を除きほとんど連続運転されている。昭和53年6月30日から昭和54年12月31日までの運転実績を表3.に示す。運開後、3、6、12、18か月の特別点検を実施しながら本機を運用してきたが、表3.から分かるように現地運転状況はすこぶる順調で、運転可能時間率94.75%は運開直後であることを考慮すると極めて優秀であろう。

水冷関係の異常発生は2件で、これに伴う運転停止時間は68時間であった。1つは2次冷却水不足で、純水冷却器の2次冷却水が木の葉がつまり水量不足になるというものであった。対策として、既設のくし形ストレーナに、もう少し目の細かい逆洗式ストレーナを増設した。他の1つは純水ポンプ漏水多量で、純水ポンプメカニカルシールからの漏水が一時的に多くなったためであり、現在は漏水がほとんどない。

補給水は上水道水をイオン交換器を通してタンクへ毎回約10 $l$ 入れるが、これによる電気伝導度の変化はほとんどない。念のため補

表 3. 運転実績  
(昭和53年6月30日～昭和54年12月31日)

総出力 (kWh)	83,068,000
総運転時間 (h)	9,697
期間時間 (h)	13,180
稼働率 注 <sup>(1)</sup> (%)	73.57
運転不能時間 注 <sup>(2)</sup> (h)	692
運転不能時間率 注 <sup>(3)</sup> (%)	94.75

注 (1) 総運転時間/期間時間

(2) 定検、補修その他で停止した時間

(3) (期間時間-運転不能時間)/期間時間

給後は純水ポンプを手動で駆動し、電気伝導度の確認をしている。なお、補給する上水道水の電気伝導度は約50 $\mu$ s/cmである。これまで9回、総計122 $l$ 補給している。水量の減少の原因は純水ポンプメカニカルシールからの漏水がほとんどである。

#### 5. むすび

上述したように、本機は運開後順調に運転されている。製作・据付け及び現地運転に関して経験を積むという所期の目的は十分達成され、来るべき高速大容量化に十分対処し得る体制が確立された。しかし、画期的な製品の製作にあたっては検証を十分にとり入れた慎重な開発が必要であり、日々進歩している技術もとり入れる必要がある。今後とも関係各位のご指導を得て、よりよい製品をつくるために努力したいと念願している。

おわりに、直接水冷却方式の実機への適用の機会を与えていただき、更に数多くの貴重なご助言をいただいた中部電力(株)関係者各位のご厚意に心から感謝する次第である。

#### 参考文献

- (1) 森ほか：三菱電機技報，49，No. 9，p. 598 (昭50)

# 医療用ライナックML-15MⅢ形の性能

高橋 勇守\*・鈴木 敏允\*\*・金沢 正博\*\*・朝井 克治\*\*・菊地 宏\*\*

## 1. ま え が き

放射線治療装置の普及、発展は、近年著しいものがあり、殊に、1960年代以後は高エネルギー放射線治療が普及してきた。この分野ではテレコバルト、ベータロンがあるが、大線量が得られ、焦点の小さい装置としての線形加速装置(ライナック)の発展は目を見張るものがある。

一方、治療技術、診療技術も発展するとともに、治療装置の一層の信頼性、精度、安全性、操作性が要求されるようになってきた。このような背景と、更にIEC(国際電気標準会議)の討議を背景にして、従来の三菱医療用ライナックML-15MⅡB形の基本設計思想を受け継ぎながら、モデルチェンジを行った。電子ビーム偏向系に、長焦点の無収差立体収束方式を採用し、また大幅にIC化を進めるなど、信頼性、精度、安全性、操作性を、ハード、ソフト面から一層向上させている。

この装置はML-15MⅢ形と呼ばれ、既に各地で順調にか(稼働している。以下、医療用ライナックML-15MⅢ形について報告する。

## 2. 医療用ライナックML-15MⅢ形の概要

ML-15MⅢ形医療用ライナックは、従来のML-15MⅡB形と出力性能に関しては基本的に設計思想を踏襲し、その特長を生かしている。しかし、エレクトロニクス技術の長足の進歩を背景として、従来装

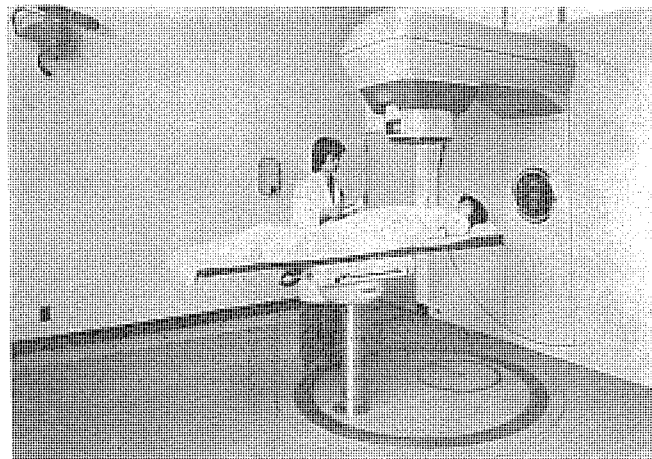


図 1. ML-15MⅢ形ライナック照射部

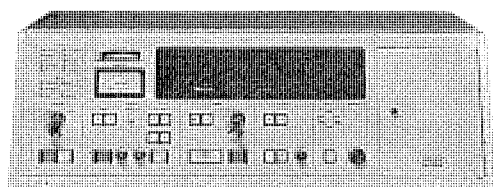


図 2. ML-15MⅢ形ライナック操作器

置のIC化を図り、信頼性の向上を目標として設計された。同時に、装置の小形化、放射線防護に対する安全性の強化とともに、国際的な統一規格を逸速く取り入れている。

図 1. に ML-15MⅢ形の照射部本体を、図 2. にこの操作器(デスクトップ形)の外観を示す。

### 2.1 ML-15MⅢ形ライナックの特長

- (1) ライナックの心臓部であるマイクロ波源に長寿命、高出力のクワイストロンを使用し、放射線出力の安定度が高い。
- (2) 長焦点の無収差立体収束偏向方式の電子ビーム偏向系により放射線発生位置、ビームの入射角の変動が極めて小さい。
- (3) 最大30cm×30cmの照射野に対し、広い領域にわたって、X線出力の分布が平坦(均)である。
- (4) 放射線出力の安定性、再現性が高い。
- (5) 固定、回転照射が容易で、殊に、回転照射(R/deg)はその出力原理に遵って制御するため、再現性が高い。
- (6) 治療用X線の他に、撮影用X線(ライナックグラフィ)モードを持ち、患者に対する放射線防護を高めている。
- (7) X線治療(10MeV)と電子線治療(8~15MeV)が容易に行え、いずれの線種もボタン操作だけで選択できる。
- (8) 加速電子ビームは、エネルギースペクトルがよく、殊に電子線治療における人体内の切れがよい。正常細胞組織への損傷の割合が低減する。
- (9) IC化により装置を小形化し、かつ信頼性が高い。
- (10) 数字表示がデジタル化され、見やすいと同時に計算機への接続が容易である。
- (11) 照射線量の記憶機能を内蔵している。
- (12) 独立2系統の線量モニタ(主副構成形)、バックアップタイマを始めとして、線量率インタロック、照合インタロック、誤操作防止インタロック等、各種の安全性を配慮している。

### 2.2 主な性能

- (1) X線出力
  - (a) 公称X線エネルギー 10 MeV
  - (b) 出力線量率 70~350 R/min (SSD(Source to Surface Distance) 1 mの最大平衡点, 照射野 10 cm×10 cm)
  - (c) 出力安定度 ±2.5% 以内
  - (d) 照射野の大きさ 0×0~30 cm×30 cm
  - (e) 照射野の平坦度 ±3% 以内 (28 cmφの照射野)
  - (f) 線量/角度 0.5~5 R/deg
- (2) 電子線出力
  - (a) 電子線エネルギー 8, 10, 12, 15 MeV (アイソセンタにおいて)
  - (b) 出力線量率 200~1,000 R/min (SSD 1 mの最大平衡点, 10 cm×10 cm ツーパス)

(c) 出力安定度  $\pm 3\%$  以内

(3) 機構的仕様

- (a) 焦点-アイソセンタ 100 cm
- (b) アイソセンタ 床上高 128 cm
- (c) 本体回転角度範囲 390°
- (d) 本体回転速度 0.2, 0.4, 0.8 rpm
- (e) 本体回転中心精度 2 mmφ 以内
- (f) コリメータ 回転角度 270°

3. 装置の構成

この装置は、電子を最高 16.5 MeV まで水平方向に加速し、その後、電子ビームを 270° 偏向して、下方に導き、ターゲットに当てて X 線に変換、又は電子ビームを直接取り出す機構を有するガントリ部、このガントリ部に 6 MW のマイクロ波電力及び各種の電源を供給する電源部、装置の操作・制御を受持つ操作器、並びに治療台、付属品より構成している。構成と配置例を図 3. に示す。

3.1 加速器本体

加速器本体は、電子銃、加速管、270° ビーム偏向系、コリメータ、真空排気系、マイクロ波系で構成したガントリ部、クライストロンを含む高周波電源、各種電源、冷却装置及びガントリ部を水平回転軸のまわりに  $\pm 195^\circ$  の回転機能を付与する回転駆動機構をもつスタンド部から構成している。

3.1.1 電子ビーム加速系

電子銃から、約 50 keV で発射された電子ビームは、スリット部を通過して、加速管に入射する。一方、導波管を通じて、クライストロンから、6MW のマイクロ波電力が供給され、加速管内に高周波電界ができる。電子ビームは、この高周波電界領域の約 1.7 m を通過する間に加速されて、最高 16.5 MeV のエネルギーとなる。

得られる電子線エネルギーは、加速管へのマイクロ波電力とマイクロ波周波数を変えることにより、8 MeV から 16.5 MeV まで変わる。

加速管は、高電界・高位相速度形のパンチャとレギュラセクションを合わせた新設計のもので、パンチャでも電子ビームは加速されるため、

集束磁界なしで十分性能が得られる。

3.1.2 照射ヘッド

加速管から加速されて出た電子ビームは、無収差偏向電磁石により 270° 偏向され、ビーム取出し窓から大気中に取り出される。

電子線照射の場合は、大気中に取り出された電子線は、ステンレス製スキッターで散乱され、線量モニタ及び電子線ツープスを通して患部に照射される。X 線照射の場合は、大気中に取り出された電子線は X 線ターゲットで X 線に変換される。X 線ターゲットで発生した X 線はイコライザで平坦化され、線量モニタ及びコリメータを通して患部に照射される。

X 線ターゲットとスキッターは、円筒の上に互いに直角に配置されモータによって切換駆動される。また X 線イコライザは別のモータによって駆動することにより X 線しゃへい(遮蔽)構造を単純にしている。

コリメータは、X 線の照射野を設定する 2 対の鉛遮蔽体から成る絞り装置、X 線の照射野を合わせる照射野ランプ及び最下端に治療上必要な付属品をつける機構とから成っている。ウエッジフィルタ、シャドウトレイ等はアタッチメントを介してこの最下端の機構に取り付けられるようになっている。

3.1.3 マイクロ波系

マイクロ波系は、本体固定部に設置されたクライストロンの出力を、ロータリジョイントと導波管により加速管に導く系と、クライストロン入力に入力パワーを与えるマイクロ波発振器で構成している。マイクロ波発振器は、板極管 3 CPX 100 A 5 に空洞共振器を通じて正帰還をかけて発振させる装置で、周波数を定める共振空洞の共振周波数の温度依存度は加速管のそれと同じ値にすることにより周波数追従を容易にしている。

3.1.4 クライストロン

最高出力 6 MW のクライストロンで、44% 以上の能率を有しており、コレクタ冷却は純水を用いている。陰極はイオン衝撃に強いマッシュ形を採用し長寿命化をはかっている。クライストロンはマイクロ波の増幅管として用いられており、入出力飽和特性を十分生かす設計で、出力の安定性が極めて高く、保守面も合わせてライナックの心臓部として、高出力、高安定、長寿命と、ML-15 M III 形ライナックの特長を支えている。

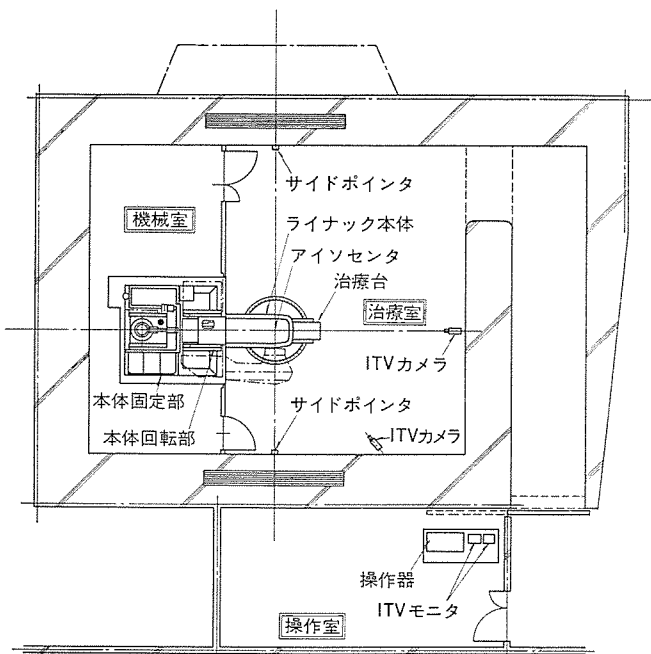


図 3. ライナック構成及び配置例

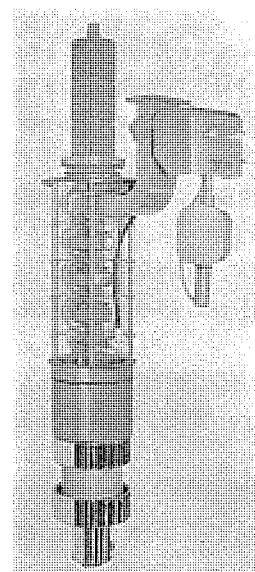


図 4. クライストロン

### 3.1.5 電源部

電源部は、パルス変調器、パルストランスタック及び補助電源で構成し、ライナックに必要なすべての電源類はこの部分にコンパクトに納めている。ライナック全体の電源容量は、AC 200 V, 3 φ, 25 kVA であり高性能化とともに省エネルギーもはかっている。パルス変調器は、クライストロン PV 2012 M 形及び電子銃に、それぞれ -140 kV 及び -60 kV のパルス電圧を供給するためのもので、最高出力 16 MW のライン形パルサである。スイッチング用水素入りサイクロトロンを除いてはすべて半導体化している。更にライナック動作の安定性を保証するため、DEQ (De-Q) 回路を採用し、PFN (Pulse Forming Network) 電圧をフィードバックして電源電圧の変動による PFN 電圧の変動を 0.5 % 以下におさえている。出力パルス電圧の粗調整は主昇圧トランスのタップ切換えによって行われ、微調整としてこの DEQ 回路を併用している。

### 3.2 操作器

ライナックの運転は、患者の位置合わせ以外は、すべてこの操作器で遠隔操作できる。盤面には治療運転に必要な指示計、数値表示、スイッチ類、表示ランプ類が機能的に配置され、また内部は、制御回路、操作シーケンス、設定回路、インタロック回路等が組込まれている。操作器は小形化され、通常の事務机の上に設置できるデスクトップ形にまとめている。

#### 3.2.1 操作器盤面

操作器盤面には、操作設定スイッチ、調整設定ダイヤル、インタロック表示、線量率計及び照射線量カウンタ、照射時間用タイマ、本体角度、照射野表示器及びウエッジフィルタ照合表示等の機能が納められている。操作設定スイッチには、電源の ON/OFF、放射線発生 ON/OFF、非常停止、放射線種・エネルギーの選択、固定・回転照射等の治療方法の選択、照射野の遠隔操作等のスイッチがある。選択スイッチは相互に排他的であり、放射線発生中の選択変更は、放射線発生を拒否するような回路となっている。またキースイッチ及び緊急スイッチを設けてあり不用意又は緊急のとき放射線発生を停止するようにしている。インタロック表示には、機器が運転されるために必要なインタロックの解除 (STAND-BY) と治療に必要なインタロックの解除 (READY) とを区別して表示しており、操作のための判断が容易となっている。線量率計及び照射線量カウンタはそれぞれ 2 系統あり、線量率は 1 つのメータで切換表示、照射線量カウンタは独立に 2 系統あり 4 けた (桁) のデジタルで表示する。表示はカウントアップ方式による積算値で、1 カウントごとに約 1 kHz の発音音を発する。また、不意の停電でも照射線量が記録されるようこのカウンタは記憶回路を内蔵している。線量率は線量率設定ダイヤルで設定するようになっており線量率インタロックを回路に内蔵している。回転照射の場合は単位角度当たりの線量率設定もできる。

表示にはこれらの外に、照射時間用タイマ (3 桁)、本体の角度、照射野 (おのおの 3 桁) ウエッジフィルタの確認表示等がある。

#### 3.2.2 自動制御

操作器にはライナックを最低限医療用ライナックを操作するための最低限の機能の外に、ライナックを安定に動作させる自動制御回路を設けている。

(1) 線量率安定化回路 (ADC)……パルス変調器の安定化、クライストロン安定動作特性、電子銃の安定動作特性、偏向系の安定動作特性等により出力線量率は高い安定度を維持しているが、更にこれらを総合的に安定化するため、線量率をパルスのくり返し周波数に帰還

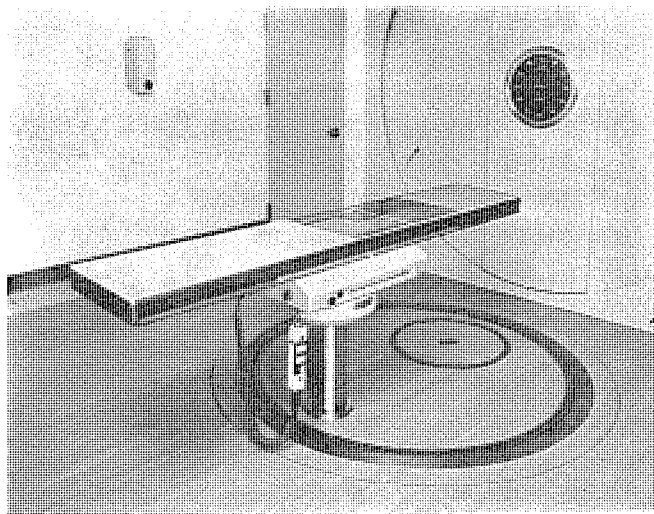


図 5. 1 本脚形治療台 MTC-21 A 形

させ安定化をはかっている。エネルギー変動を伴う入射電子ビーム電流パルス、あるいはパルス高電圧に線量率を帰還する方式は採用していない。

(2) 平坦度制御回路 (AFC)……線量率分布の平坦度を制御するもので、放射線照射野に分割して置かれたモニタチェンバの出力により、偏向系に入射する電子ビームの軌道を制御している。

(3) 周波数制御 (FRC)……最適加速による最大線量率が得られるような制御回路が設けられている。

(4) 線量/角度制御 (R/DEG)……回転照射を行う場合の単位回転角度あたりの線量を制御するもので、線量率と回転速度双方をモニタし、演算しその結果を線量率 (パルスくり返し周波数) に帰還することによって制御しており応答速度の優れた制御ができる。

### 3.3 手持操作器

患者を治療台に横が (臥) させた後、患部に放射線が集中するよう、患者とライナックの位置合わせを行わせるもので、治療台操作などを行う際に合わせて操作する。通常治療台に懸架されており、操作中は放射線発生は行うことはできない。

### 3.4 治療台

治療台は、1 本脚方式 MTC-21 A 形のもの、フロア形式 MTC-11A 形のものを用意し、いずれも支持脚及びアインセンタ軸中心の 2 軸回転方式を採用し照準操作が容易にできるようになっている。1 本脚方式では天板を取り除き、脚を床下に格納することができ、別のストレッチャなどにより治療する場合に便利なものである。(図 5.)

### 3.5 付属品

付属品には大きく分けて、治療前の照準操作に必要なものと、治療効果を助けるものとに分けられる。前者では、フロントポイント、バックポイント、デプスポイント、サイドポイント等、また後者のウエッジフィルタ、X 線ジャドウトレイ、ツープス等があり、これらが数多くそろっている。

### 3.6 冷却装置

パルス変調器、クライストロン、発振器、加速管、パルストランスタック、無反射終端器、ターゲット等を冷却するための装置で、循環水は純水を使用し汚れを防止しており、また、純水の温度は  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  にコントロールされ、ライナック性能の安定化をはかっている。冷却装置はポンプ、熱交換器、温度制御器等で構成する。



## 4. 装置の性能

### 4.1 X線

#### (1) X線線量率

X線線量率は、平坦化された出力により、照射野  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$  において、SSD  $1\text{ m}$  の最大平衡点で定義している。この状態で  $350\text{ R/min}$  が安定して得られ、線量率はパルスくり返し周波数で可変できる。

#### (2) X線エネルギー

X線の標準測定法に基づいて、X線エネルギーを次のようにして定義している。すなわち  $10\text{ MeV}$  X線とは、SSD  $1\text{ m}$ 、照射野  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$  の条件において、深部量百分率曲線を求め、最大平衡点の深さ  $2.5\text{ cm}$ 、 $50\%$  となる深さ  $18.2\text{ cm}$  となるようなX線である。

(図 7.)

この時のターゲット入射電子ビームエネルギーはアルミニウム飛程からほぼ  $10\text{ MeV}$  である。

#### (3) X線線量率の安定度

SSD= $1\text{ m}$  として、ビルドアップさせた状態で線量率を測定したものが図 6. である。測定器には Radocon III 550 形を使用した。 $\pm 2.5\%$  以内の安定度は十分に達成している。

#### (4) 照射野内平坦度

照射野を  $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$  とした、アイソセンタ平面内におけるX線線量率の分布は医用データに示す。ビーム偏向系の特性から、ターゲットに入射する電子ビームの対称性がよく、X線イオン化は、X線束中心軸に対して軸対称の形状となっている。

### 4.2 電子線

#### (1) 電子線線量率

電子線用 ツープス ( $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ ) を取付けた状態で SSD= $1\text{ m}$  とし、最大平衡点における線量率を測定している。いずれのエネルギーの電子線においても  $1,000\text{ R/min}$  を得ることができる。電子線の場合には大線量照射を行うことがあるため、このような高出力を得られるように設計した。

#### (2) 電子線エネルギー

電子線のエネルギーは種々の定義法があり一定していないが、この装置においては、SSD= $1\text{ m}$  のアイソセンタにおける最ひん(頻)エネルギー

として定義している。したがって患者に入射する電子線エネルギー実質の値として定義されている。

SSD= $1\text{ m}$ 、ツープス  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$  を使用し、深部百分率曲線を測定することにより、実用飛程 ( $R_p$ ) を求め次式により計算される値を電子線エネルギーとする。

$$R_p = 0.53 E_{p_0} + 0.2$$

ただし  $R_p$ : 実用飛程 ( $\text{g/cm}^2$ )、 $E_{p_0}$ : 電子線最頻エネルギー ( $\text{MeV}$ )

更に、エネルギーの定義上は表れない数値として、深部量百分率曲線上  $80\%$  に低下する深さが深い ( $15\text{ MeV}$  で  $5.4\text{ cm}$ ) ことから、スペクトルのそろった質のよい電子線が得られている。(図 11.)

#### (3) X線混入率

電子線の照射野内に、X線の混入する割合がX線混入率であるが、 $8\text{ MeV}$  電子線で  $2\%$  以下、 $15\text{ MeV}$  電子線で  $3\%$  以下の混入率となっており、十分に低い値が得られている。

## 5. 医療データ

ML-15 M III 形ライナックで得られた医療用データの中で特に重要な深部量百分率、等線量分布について、図 7.~図 13. に示す。深部量百分率は、SSD  $1\text{ m}$  として、水中を Radocon 550 プローブを走査して求めた。ただし、測定点はプローブを止め、線量計が十分立上ってから測定した。等線量分布曲線は、Mix Dp ファントムにフィルム

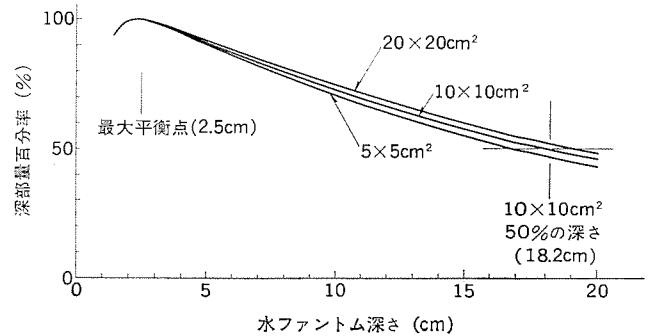


図 7.  $10\text{ MeV}$  X線 深部量百分率曲線

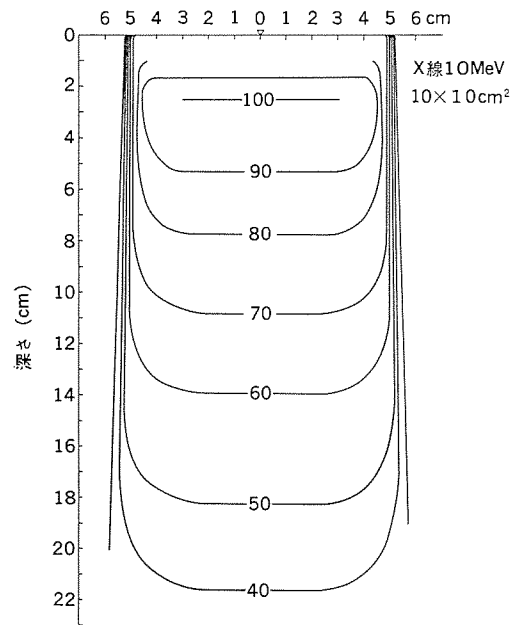


図 8.  $10\text{ MeV}$  X線 等線量分布曲線

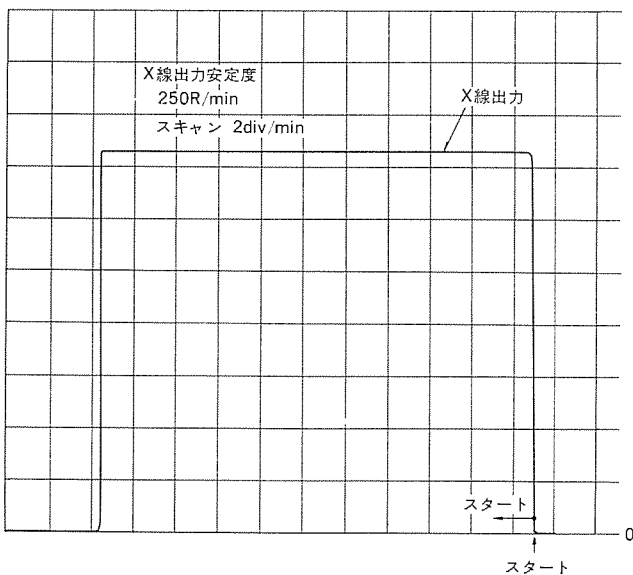


図 6. X線 出力安定度

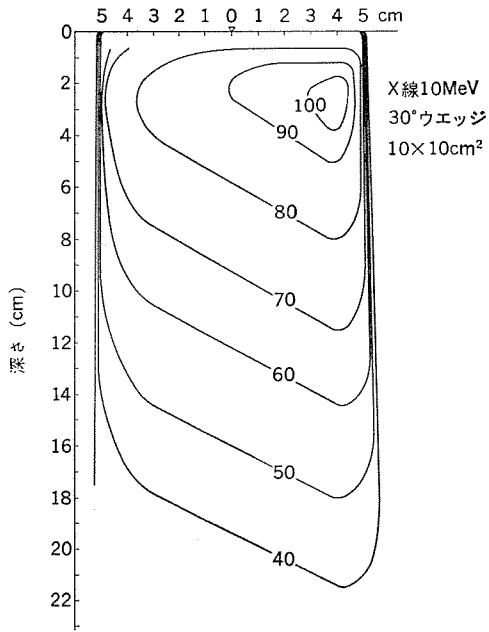


図 9. 10 MeV X 線 ウエッジ による等線量分布曲線

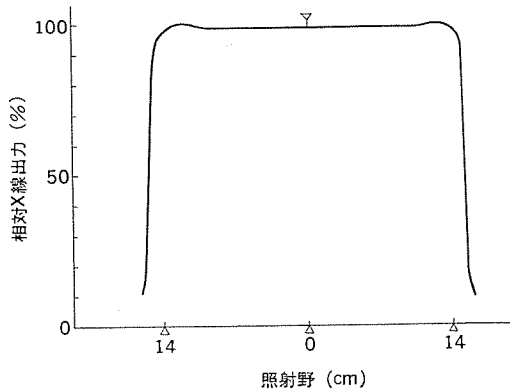


図 10. X 線照射野内平坦度

をはさみ、フィルムの黒化度と深部百分率から求めた。フィルムの等濃度曲線は SAKURA の自動等濃度記録計を用いた。

## 6. む す び

医療用ライナック ML-15 M III 形の構成、性能並びに医用データの一部について報告した。従来機 ML-15 M II B 形の特長であるクライストロン及び高位相速度形加速管の採用などの基本的特長は十分生かされており、新たに採用した、長焦点無収差 270° 偏向系、IC 化した制御系、単純化した電子線入射系及び充実した安全系などはそれぞれ

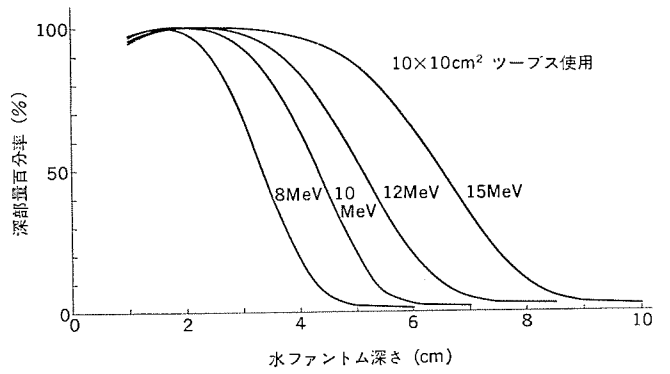


図 11. 電子線深部量百分率曲線

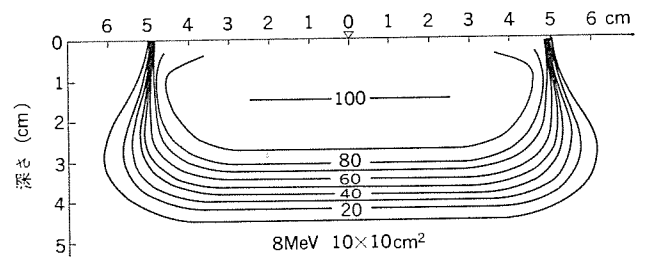


図 12. 8 MeV 電子線等線量分布曲線

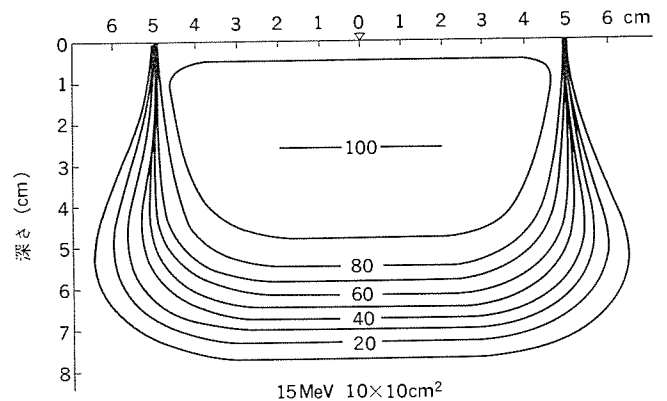


図 13. 15 MeV 電子線等線量分布曲線

れ満足すべき性能を得ている。治療台、付属品なども操作性の向上を図り、治療機本体の操作の単純化と相まって扱いやすい治療機となっている。

この装置の開発にあたり、種々のご助言並びにご協力を賜った東北大学医学部放射線科 菊池章助教、及び関係のかたがたに深く感謝の意を表す。

# 徳島県防災行政無線システム

— 地方自治体の非常災害及び一般業務用無線電話網の1例 —

桂川 弘\*・中川 幹雄\*\*・米田 長義\*\*

## 1. ま え が き

近年防災対策に対する社会の関心はとみに高まりつつあり、この一環として防災行政無線システムを導入運用している都道府県は半数を超えるに至っている。

去る昭和54年4月より全国27番目の府県として運用に入った徳島県の防災行政無線は、昭和51年度の郵政省免許方針の改正を機に、同年度より3か年の事業として実施施工され、災害多発地域には60MHz帯端末回線に2波切換方式を採用して非常時の通話ふくそう(輻輳)を緩和する一方、機器構成については交換機から電源設備に至るまですべて防災行政無線専用の設備とし、幹線局については県庁で集中監視制御できるようにするとともに、将来FAXの導入にも対応できるようにするなどいくつかの特長を有する。

通常は一般行政事務の連絡に使用され、非常時には県災害対策本部局又は災害対策支部局において、全県下又は管轄市町村、県出先機関、防災関係機関などに対し一斉指令通報ができ、また緊急通信優先のための通信統制、緊急割込み及び2波切換え(非常波使用切

換え)使用などが行える。

通話は県庁統制局、支部局、端末局及び地区移動局も含め、トールダイヤルによる同時送受話方式であり、また全県移動系は音声起動による半複信方式を採用して内線電話機からの通話を可能とするなど、一般扱者の操作を容易にしている。

## 2. システム設計

### 2.1 回線設計

#### (1) 概要

県庁へ集中する多重回線を基幹回線として、眉山を中継点として県北部、明神山を中継点として県南部に分割し、北部は眉山より徳島、鳴門、川島、脇町の各支部局及び三好中継局を経由して池田支部局に延長し、更に脇町支部局から竜王中継局を経由する回線と、いったん眉山を経由して見ノ越中継局を経由する回線を構成し県北部の山間部まで含めたほとんどの地域における通信を可能としている。

一方南部は、明神山より阿南、日和佐の各支部局に基幹回線を延長し、鶴林寺中継局及び上那賀中継局によって回線を構成して県南

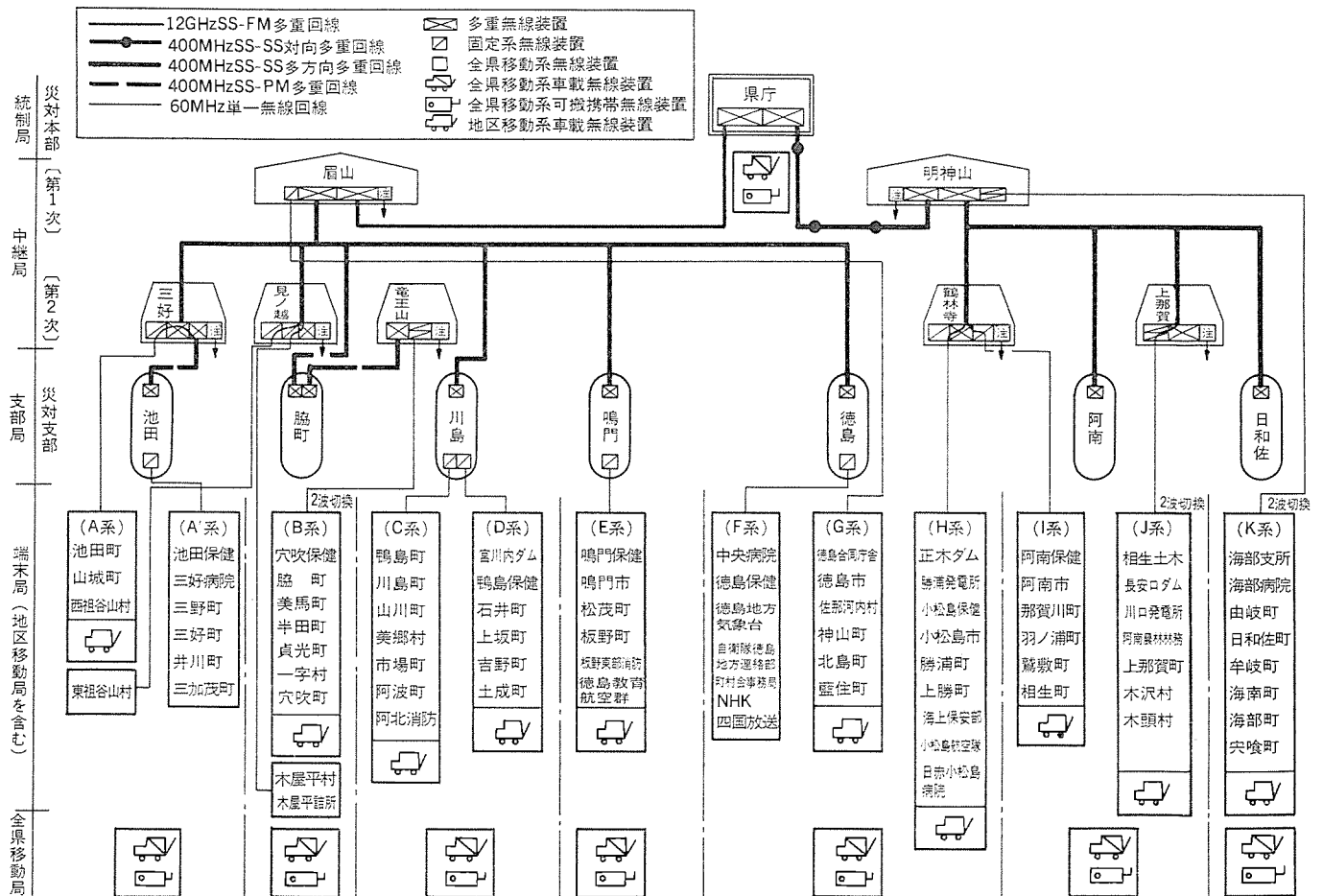


図 1. 徳島県防災行政無線回線系統図

部の山間部までを含めた大部分の地域における通信を確保し、災害の多い山間部地域の広範囲な通信に貢献する回線を構成している。回線構成の概要を図 1. に示す。

使用周波数は、県庁一眉山間は 1.9 km の短距離見通し区間であるため 12 GHz とし、その他の多重回線は 400 MHz 帯 SS-SS 多重及び SS-PM 多重を採用した。端末系及び移動系については 60 MHz 帯とし、非常時の緊急通信にもっとも効果の大きい全県移動系については特に広範囲に通信できるよう中継局の配置に留意した。

(2) 回線系統

回線系統は図 1. に示すように、県庁統制局より 7 支部局への回線、支部局より端末局（固定局 81 局，地区移動局 15 局）への回線、及びこれらを相互に結ぶ 7 中継局への回線で構成される。

全県移動系の回線の系統図を図 2. に示す。全県移動は県北部，中部，南部の 3 系統とし、県庁は全県の移動局と、各支部局は担当区域の移動局と、また同一区域の移動局相互間の通話を可能とする回線構成をとっている。このため、7 中継局全局に全県移動用基地局を設置してほとんど全県のサービスエリアを確保し、車載無線機はもとより可搬無線機による使用をも可能としている。

(3) 回線品質

図 1. の回線系統図より、最大の中継区間数は次のようになる。

- 多重回線 12 GHz SS-FM 又は 400 MHz SS-SS 1 スパン
- 400 MHz SS-SS 又は 400 MHz SS-PM 3 スパン
- 単一固定回線 60 MHz 単一回線 1 スパン

これより多重回線の統制局から支部局又は端末局向けへの最長スパンは 4 スパンとなる。

これら多重区間総合の所要  $S/N+D$  値は最繁時における長時間平均値として 40 dB を標準にすることとし、これを 0 相対レベル点の評価雑音量に換算すると総合で 100,000 pW，1 区間平均 25,000 pW (46 dB) となり、多回線ごとに、次のような雑音配分を行った。

12 GHz SS-FM			
総合雑音	搬送端局	無線装置	熱雑音
1,000 pW	600 pW 62 dB	400 pW 64 dB	100 pW 70 dB
60 dB			準漏話雑音
			150 pW 68 dB
			干渉雑音
			150 pW 68 dB
400 MHz SS-SS			
総合雑音	搬送端局	無線装置	熱雑音
25,000 pW	1,000 pW 60 dB	24,000 pW 46 dB	3,000 pW 55 dB
(46 dB)			準漏話雑音
			20,000 pW 47 dB
			干渉雑音
			1,000 pW 60 dB

以上を標準として回線設計を行い、また単一回線については標準  $S/N$  40 dB，最低限界  $S/N$  30 dB として回線設計を行った結果、ほぼ設計値に近い値が得られた。

(4) 周波数共用，妨害波調査検討

回線構成上の所要周波数は周波数共用の検討結果，多重系として 12 GHz 1 対波，400 MHz 対向多重 1 対波，400 MHz 多方向多重 2 対波，400 MHz SS-PM 多重 2 対波の計 6 対波で，60 MHz 系として端末固定系 8 対波（実際は 8.5 対波が割当てられた）全県移動系 1 対波である。

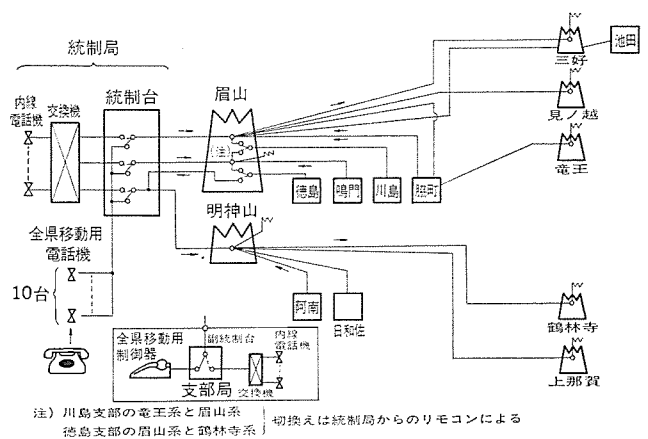


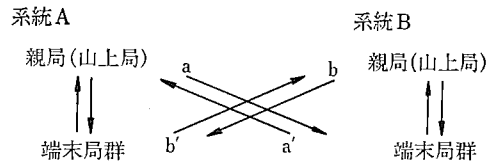
図 2. 全県移動系系統図

このうち、検討区間数をもっとも多く労力を要する 60 MHz 帯の検討につき電算機を利用し、大幅な効率化を図ることができたので以下に概要を述べる。

ア. 周波数共用の検討

12 系統に対し端末固定局 81 局，地区移動局も含めると 96 局となるが、このうち 3 系統は災害多発地区のため，2 対波割当て切替使用する条件で共用検討を行った。

今、共用しようとする系を A，B とするとオーバーチの検討区間は a，a'，b，b' の 4 方向の回線がある。



他系の親局へのオーバーチの場合，その親局の管轄端末局群からの最低受信レベルを  $D$ ，オーバーチによる他系端末局群からの最高受信レベルを  $U$  とし， $D/U$  が所要値を満足するか否かをチェックする。同様に親局より，他系端末局群へのオーバーチの検討を行い，前記 4 方向の回線すべてが  $D/U$  所要値 (25 dB に設定) を満足すれば，それらの系は周波数共用が可能であり，このような組合せを求め 8 対波で構成することができた。

イ. 近県よりのオーバーチ及び近傍局妨害の検討

他県とのオーバーチについては近畿，中国，九州，四国の既設防災無線局の諸元調査を行い，前項と同様の方法で  $D/U$  検討を進め，割当候補波を検討し，次に近傍局による感度低下，相互変調による妨害検討を行う 2 段階の手順により，最終割当候補波を検討した。妨害検討の手順は次のとおりである。

(a) 電算機に次のデータを読み込む

- (i) 県内及び近傍県の無線局データ (局名，緯度，経度，空中線の種類，方向，送信出力，周波数)
- (ii) 徳島県防災行政無線局データ (局名，緯度，経度，空中線の種類，方向，送信出力)
- (iii) 空中線の種類，利得，指向性
- (b) (ii) の各局に対し (i) のデータを読み出し，(iii) の特性を考慮し，受信入力自由空間伝搬として求める。
- (c) 受信入力力が 40 dB $\mu$  を超えるものを選び出す。
- (d) フィルタ特性を考慮し，相互変調妨害となる周波数の組合せ及びその各入力レベルより妨害を生ずるか否かの検討を行う。相

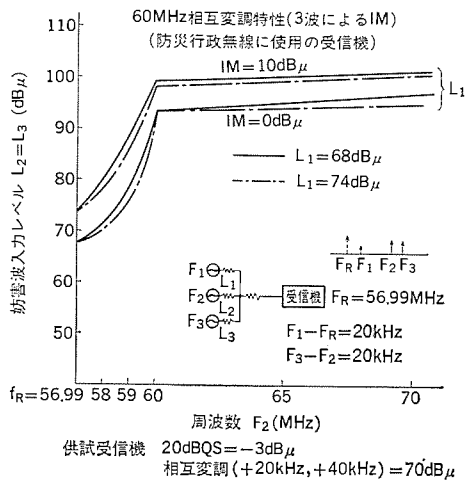


図 3. 相互変調妨害選択度

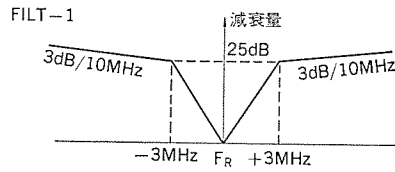


図 4. 相互変調に対する選択度の近似特性

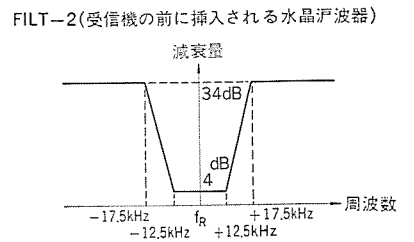


図 5. 水晶濾波器の近似特性

互変調は3次及び5次を検討。

(e) 受信入力80 dBμを超えるものがあるか否か感度抑圧の点からの検討を行う。

(f) (d), (e)を満足する周波数で近傍局に対して、送信、受信周波数が相互変調妨害の関係にないことを確認する。

受信機のRF段のフィルタの特性として、図3.に示すように、3台のSGによりIM一定となる特性曲線と取り、相互変調妨害に対する選択度を求め、図4.のように折線近似し、また送信機が2台以上併設される局には受信機の前に水晶ろ(濾)波器をそう(挿)入しており、この特性を図5.のように折線近似して電算機に入力し、検討を行った。

## 2.2 方式

### (1) 接続方式

#### (a) 固定系

接続方式はすべてトルダイヤルシステムを採用し、自局電話機からのダイヤリングによって直接相手局の電話機に着信するダイヤルイン方式である。

通話の方法は同時送受話方式で、端末系同一グループ内の通話のみは無線周波数の関係でプレストック方式としている。

#### (b) 移動系

移動系は地区移動と、全県移動の2系統がある。

##### (i) 地区移動

固定系加入の移動局で、管轄支部局を介して通話を行い、固定系単一无線区間と同一接続方式である。

##### (ii) 全県移動

統制局及び支部局の内線電話機から統制台又は副統制台の手動接続により全県移動局との通話が可能であり、呼出しはもっとも簡単で確実な音声呼出方式としている。統制局及び支部局側は音声起動方式による複信、移動局側はプレストックボタンによる単信方式であり、音声起動装置は送話時の無線機立上がり遅れによる音声の頭切れを避けるため、ICを使用した音声遅延回路を装備し、明りょう度の劣化を無くしている。また誤起動を避けるため、音声をサンプリングした後、チャージャップし、その出力が比較電圧を超えると送信起動する方式を採用している。

移動局相互間はプレストック方式による直接通信が可能である。

### (2) 番号計画

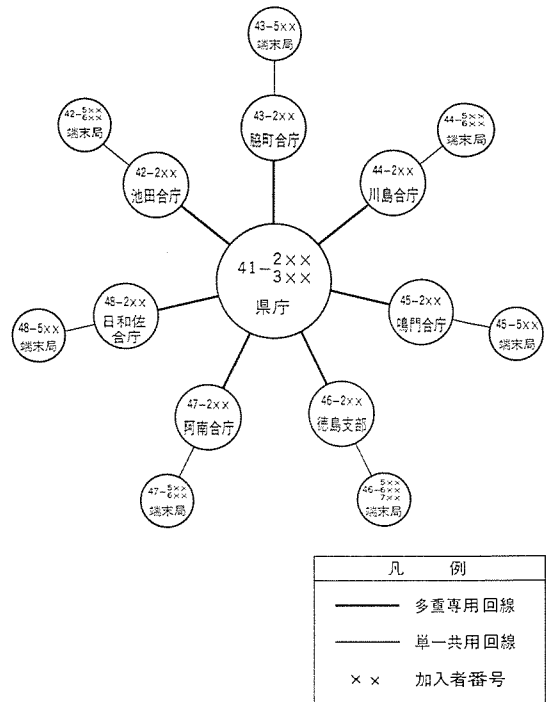


図 6. 番号計画

統制局内又は同一支部局内はダイヤルのけた(桁)数を少なくするため、3桁の内線番号を付与した閉番号方式で、他系への発信はその系の地域識別番号+内線番号とする開番号方式としている。

図6.に番号計画を示す。

### (3) 信号方式

多重無線区間(幹線系)においては帯域外信号OD (Outband-Dial)方式であり、単一无線区間(端末系)は帯域内の多周波信号MF (Multi-Frequency)方式とし、この区間の下り回線は2波直列セレクト方式で、高選択度特性を有する圧電音叉(叉)を使用し回線雑音及び音声による誤動作を防止している。一方、上り回線には4×4タッチトーン信号方式を使用してダイヤル時間の短縮を行っている。

### (4) 一斉指令

一斉指令は気象の予警報及び災害対策本部指示事項などを該当する部署に通報するもので、指令が行われると支部局では統制卓、端末局では親電話機の指令ランプが点灯し、一斉指令受信用スピーカーが動作するとともに、受信もれないようにテープレコーダーが自動的に作動し指令内容を録音する。

また一斉指令時は一斉指令制御信号により、対象支部局の一斉指令用電話機、対象端末局の親電話機のベルが鳴動し、これら電話機のフックが上げられると各局にあらかじめ定められたタイミングで自動的に応答信号を返し、対象局が受令のためフックを上げている間、統制局又は支部局の応答確認ランプが点灯するため、指令者は

応答状態を確認しながら指令通報ができるようになっている。

(5) 通信統制

非常災害時には通信の輻輳と競合が発生するが、これに対処するために統制局及び支部局に通信統制台を設けて、統制台のボタン制御により通信統制が行える。

統制項目は、発信統制、発信統制、着信統制、強制切断、割込み等がある。

統制時は統制員の手動交換による。

(6) 緊急割込み

端末系は1つの電波を共用しているため同一グループ内で同時に2局は使用できず、そのため緊急割込みを可能にする目的から通話の途中で一定時間ごとに通信端末局からの電波を通話に支障ない短時間切断し、緊急割込みの必要を生じた局の電波を優先させて緊急通信を可能としている。

(7) 非常波切換え

災害多発地帯の端末局は、使用電波の2波切換運用が認められており、この2波目は緊急用としての割当てであるため、他系と周波数を共用している。したがってそのままでは混信を生じ緊急時の通話が害されるので、周波数共用の他系の通話を統制局からのリモコン操作によって完全に切断した上で支部局操作により2波目電波の使用に入る。この時、端末系ブロックは電波的には1つの系が2分割された状態となり、それぞれ同時に通話が可能となり、そのブロックの通信の輻輳が緩和された状態となる。

3. 通信設備

3.1 概要

この設備は空中線から無線機、交換機、電話機、電源装置に至るまですべて防災行政無線専用として設置されている。各局間の接続概要を示す総合接続系統図を図7、機器構成を図8に示す。

3.2 各局設備構成の概要

(1) 統制局

県庁敷地内に独立した統制局を設置し、ここに統制指令室、無線室、電池室及び発電機室を配置し、更に専用鉄塔に空中線を取付けている。

通信装置は12 GHz 及び 400 MHz の多重無線装置、及び各中継局、支部局の状態を監視制御する遠方監視制御装置（監視制御台を含む）並びに通信統制台を設置している。図9にこの模様を示す。

予備電源として専用のパッケージ式低騒音形発動発電機を設置し、また、整流器と蓄電池により無線装置系には24V、交換機系には48Vを供給している。

(2) 中継局

統制局—支部局間、支部局—端末局間及び全県移動系の中継回線を構成するための中継局である。

通信設備は、多重無線装置、端末回線用の単一无線装置、全県移動回線用の単一无線装置、被遠方監視装置等より構成される。

予備電源としては県庁と同様の方式とし、また万一の火災発生に備え自動消火装置も設置し万全を期している。図10.に中継局の外観を示す。

(3) 支部局

幹線系を構成する多重無線装置、被遠方監視制御装置、4線式中継交換機、統制卓を設置し、端末回線用の単一无線装置、OD-MF信号変換装置と相まって管内端末局に対する一斉指令と通信統制を行う。また、県庁と同様の予備電源方式を採用している。図11.に統制卓の模様を示す。

(4) 端末局

県出先機関、市町村、防災関係機関等に60MHz帯無線通信装置を設置し、電源は24V蓄電池によるフローティング方式で、予備電源として1kVAの可搬形手動式発動発電機を備えている。

親電話機は通話のほか、一斉指令の受信ができ、テープレコーダを併置して通報内容の録音を可能とし、不在でも後刻内容を確認でき

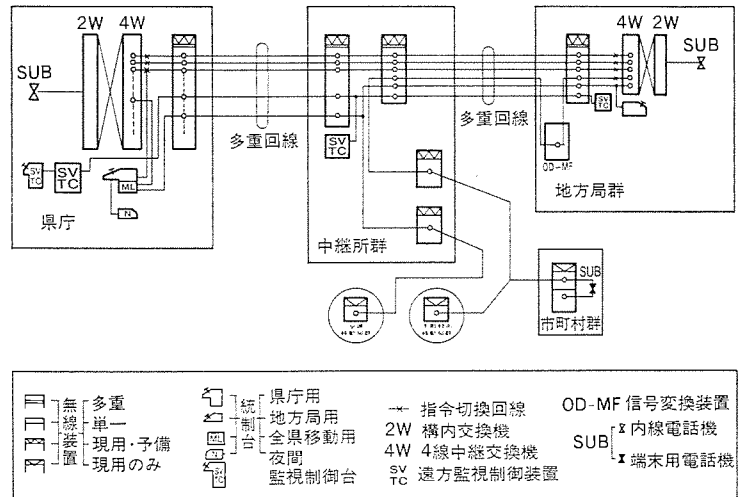


図7. 総合接続系統図

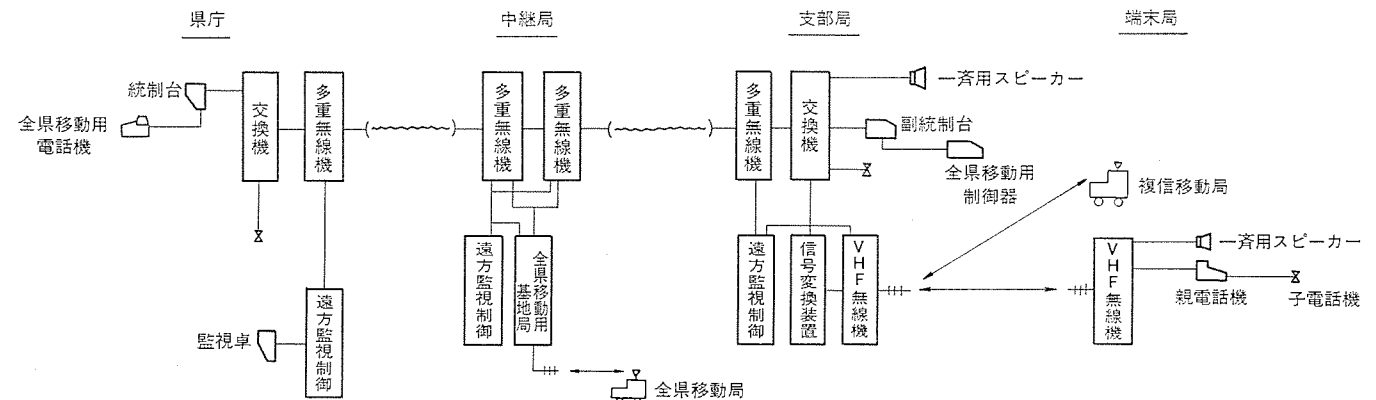


図8. 機器構成図



図 9. 統制指令台



図 11. 支部局統制卓

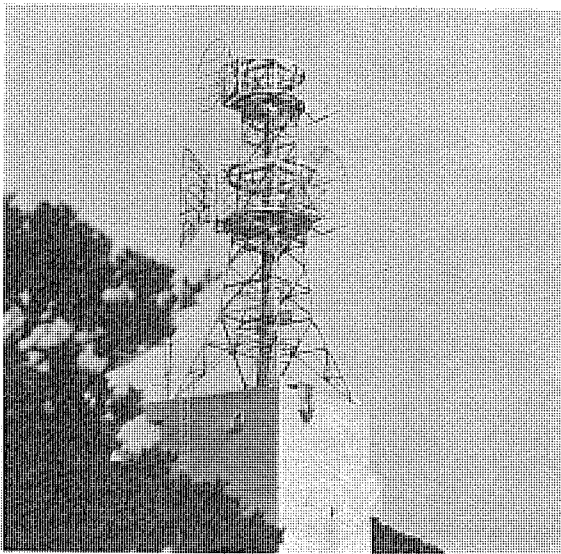


図 10. 中継局外観

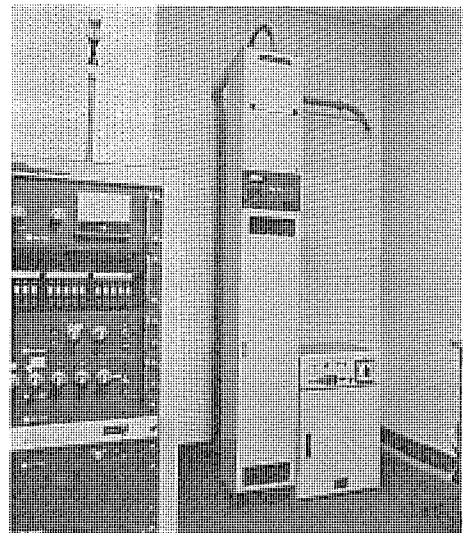


図 12. 端末局無線機, 直流電源装置

るようにし、また最大9台の子電話機が接続され、関係部門に配備されている。親電話機は夜間、宿直室等に設置の夜間用電話機に切換えられ、常時連絡のとれる体制をとっている。図 12. に端末局の主要設備を示す。

(5) 移動局

地区移動局はプッシュホンダイヤルによる同時送受話無線機で、トールダイヤル通話を行う。

全県移動局は音声呼出方式であり、統制局、支部局、同一中継局内の全県移動局相互間の通話が可能であり、通話範囲は県内ほぼ全域をカバーしている。機器は車載形、可搬背負形及び携帯形の3種で用途に応じて選択使用される。

3.3 主要機器仕様概要

(1) 統制局交換装置

多重無線回線	26	扱者回線	2/2
一般電話機回線	100/200	全県移動用電話機回線	10/10
一斉指令回線	7		

(2) 支部局交換装置

多重無線回線	最大 5	単一无線回線	最大 3
--------	------	--------	------

一般電話機回線	20/40	一斉指令受令電話機回線	1
(3) OD-MF 信号変換装置			
端末局選択可能局数	18	選択呼出信号形式	2波直列トーン方式
ダイヤル速度	10 pps		
(4) 端末局装置			
通信周波数	54~68 MHz 内の2波又は4波		
送信出力	0.1/1/5/10/25 W		
親電話機	1台 (テープレコーダー併置)		
子電話機	最大9台		
一斉指令受令用スピーカー	2台		
緊急割込み	親電話機から可能		
交換接続制御素子	8ビット並列処理1チップCPU		
直流電源容量	24V 6A 出力 (18AH Ni-cd 蓄電池内蔵)		

4. む す び

以上、徳島県防災行政無線通信システムの概要について報告した。昨年4月運用開始以来、特に台風シーズンにおける通信には多大の威力を発揮し、山上中継局においては雷害多発時にも無事運用されるなど今後、適切な保守管理運用により、いかにその真価を発揮していくものと期待される。

おわりに、このシステムの計画、実施について終始ご指導を賜った郵政省電波監理局、四国電波監理局並びに徳島県の関係各位に対し深く感謝する次第である。

# マルチステップフォーカス電子銃の高解像度カラーディスプレイ管への応用

竹延 眞哉\*・野阪 英 荘\*・鷲野 翔一\*\*

## 1. ま え が き

コンピュータ 端末機に使用されるディスプレイとしては、ディスプレイ情報の多様化に対応して、モノクロ管からカラー管への移行が進んでいたが、その見やすさの点から、最近カラー表示へ向かう機運が一層高まりつつある。

一方、カラーディスプレイ管へのニーズとしては、以前の2,000文字表示から、4,000文字及び6,000文字表示へと情報量の増加(高密度化)と、できるだけ明るくして使用したいという輝度増大への性能向上要求が大きい。とりわけ水平偏向を高繰返し周波数で使用する時のちらつきを防止するため、長残像特性のよい(螢)光体を使用したカラーディスプレイ管は、現状では輝度が得にくいため、特にこの要求が強い。

高密度化を可能にするには螢光面の絵素数の増加(シャドウマスクピッチの縮小化)とともに電子ビーム直径を小さくして解像度の向上が必要である。また、輝度の増大は螢光面に印加する電圧(高圧)を高くすることにより可能であるが耐電圧等の点から限界があり、電子ビーム電流を増加させる方法が一般に採用される。しかし、電子ビーム電流を増加させると電子ビーム直径が大きくなるため解像度が劣化してしまう。これらの点から小さい直径の電子ビームを発生できる電子銃の開発が、高解像度カラーディスプレイ管の性能向上の点から不可欠のことであった。

テレビ用カラー管の電子銃には、最近種々な方式の開発がなされたが、そのいずれにも言えることは、その設計がコンピュータを使用した数値解析的なものか、若しくは電子レンズの球面収差の減少化のみを図ったものであり、画面上で最小ビーム径を得るための条件を図っての設計とは言い難いことである。

我々は、先にテレビ用カラー管の高解像度化、高輝度化をめざし、新方式多段集束用電子銃の開発に成功したことは既に報告した<sup>(1)(2)(3)</sup>。前の開発においては、電子の運動を位相空間でとらえる、新電子軌道解析理論を提案したが、今回はこの理論を更に発展させ、画面上で最小ビーム径を得るためには主電子レンズ及び主電子レンズへの電子ビームの入射条件はどうあるべきかを明確にし、それにもとづき高解像度カラーディスプレイ管用電子銃の開発を行った。

## 2. 電子ビーム径を決める諸因子<sup>(3)(4)</sup>

ブラウン管用電子銃の電子光学系は図1.のように書くことができる。図で左端は電子ビームの仮想物面であり、電子銃の3極部に相当する。中央は主電子レンズ、右端は画面である。 $a^*$ 、 $b^*$ はそれぞれ仮想物面とレンズ間及びレンズと画面間の距離、 $\phi_0$ 、 $\phi_i$ はレンズの物体側及び像側の空間電位であり、レンズの主要定数を焦点距離 $f_0^*$ 、 $f_i^*$ 、球面収差係数 $K_{s0}^*$ 、 $K_{si}^*$ で与えられるものとする(ここで\*は各値がレンズの半径 $R$ で規格化したことを表す)。物体としての大きさ $R_0^*$ 、最大発散角 $\theta_0$ (ビームの質を表す $\epsilon_N^*$ は $R_0^*\theta_0\sqrt{\phi_0}$ である)をもつ電子ビームを図1.に示す光学系で画面上に集束したときに

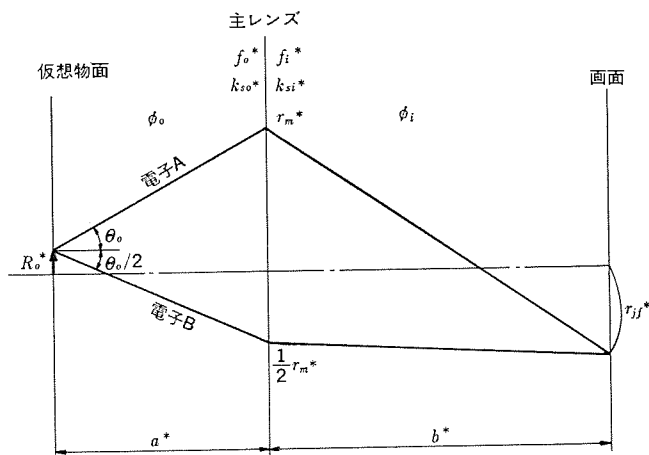


図1. ブラウン管用電子銃の電子光学系

得られる最小ビーム径 $r_{jj}^*$ は次式で与えられる。

$$r_{jj}^* = MR_0^* + \frac{K_e^*}{4} r_m^* \left( r_m^* - \frac{K_m^*}{K_e^*} \right)^2 \quad (1)$$

$$\text{ここで } M = \frac{b^* f_0^*}{a^* f_i^*} \quad K_e^* = (1 - F_e^*) K_{si}^* + MK_{s0}^*$$

$$r_m^* = R_0^* + a^* \theta_0 \quad K_m^* = MR_0^* (K_{s0}^* - K_{si}^*)$$

$$F_e^* = \frac{b^*}{f_i^*} \left( \frac{f_0^*}{a^*} + \frac{f_i^*}{b^*} - 1 \right)$$

$M$ : レンズ倍率、 $K_e^*$ : 実効収差係数、 $r_m^*$ : レンズ主面でのビーム径、 $K_m^*$ : 収差とエミッタンスとの相互作用、 $F_e^*$ : 画面がどの程度 Gauss 像面からずれているかを表す量、である。

図1.は、画面上で $r_{jj}^*$ が得られるとき、画面上でのビーム径を決定している代表電子A、Bの空間軌道も共に示している。電子Aは物体の端 $R_0^*$ から最大発散角 $\theta_0$ で出射する電子であり、レンズ主面において最大ビーム径である $r_m^*$ となり、そのためレンズの球面収差による過剰屈折を受け、画面では中心軸の反対側に達し、 $r_{jj}^*$ なる径を占める。一方、電子Bは物体の端( $R_0^*$ )から最大発散角の約半分電子Aと反対方向に出射する電子で、レンズ主面では電子Aの約半分の径をなし、レンズにより十分な屈折力を受けなのまま画面に達し、 $r_{jj}^*$ なる径を占める。これら2つの電子が画面上で共に同じ径 $r_{jj}^*$ をもつとき、ビーム径は最小となり、 $r_{jj}^*$ になる。この状態からレンズの屈折度だけを大きくすると、電子Aの画面での径が大きくなり、ハローが発生する。逆に弱くすると、電子Bの画面での径が大きくなり、コア径が大きくなる。いずれにしても画面上でのビーム径は大きくなる。

式(1)を、エミッタンス $\epsilon_N^*$ を一定とし、更に $b^*$ とレンズ定数を一定として $R_0^*$ 又は $\theta_0$ を変化して $a^*$ に対してプロットすると図2.が得られる。図中の黒丸につけられた数字は、 $(r_{jj}^*)_{\min}$ が得られる $R_0^*$ 、 $\theta_0$ を基準( $M=1$ )とし、 $R_0^*$ を何倍したかを表す。したがって、 $M$ が大きくなるほど $R_0^*$ は大きくなり、一方 $\theta_0$ は小さくなっ



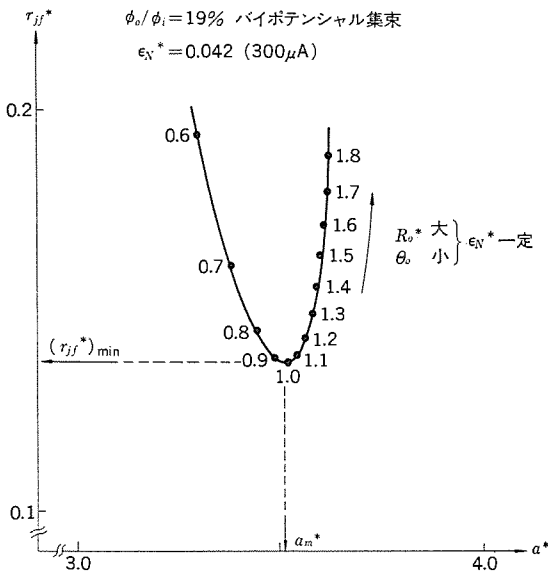


図 2.  $r_{jj}^*$  の  $a^*$  依存性

ていることを示している。図 2. から、わかるように  $\epsilon_N^*$  を一定としたとき  $(r_{jj}^*)_{\min}$  が、適当な  $M$  (したがって  $R_0^*$ ,  $\theta_0$ ),  $a_m^*$  に対して得られる。この最小値  $(r_{jj}^*)_{\min}$  は電子ビームのエミッタンス  $\epsilon_N^*$  とレンズ主要定数  $f_0^*$ ,  $f_i^*$ ,  $K_{s0}^*$ ,  $K_{si}^*$  と  $b^*$  により決められ、得ることが可能な最小ビーム径である。このように  $(r_{jj}^*)_{\min}$  が得られる状態を整合がとれていると呼び、図 2. を整合図と呼ぶことにする。整合のとれる場合の最大発散角  $\theta_0$  を  $\theta_{opt}$  とすると  $\theta_{opt}$  は近似的に式(2)で与えられる。

$$\theta_{opt} \approx 4 \sqrt{\frac{4\epsilon_N^*}{3\sqrt{\phi_i} K_{sr}^* (a^*)^3}} \quad (2)$$

整合図は主レンズに入射する電子ビームの最適入射条件を与えるものであり、電子銃の設計に重要な役割を果たすものであるが、従来の電子銃設計理論で最もあいまいにされていた部分の一つである。この整合をとるための工夫が、最小ビーム径  $(r_{jj}^*)_{\min}$  を得るための必要条件の一つである。

次に整合がとれた場合に得られる  $(r_{jj}^*)_{\min}$  の値を決める他の因子について述べる。 $(r_{jj}^*)_{\min}$  の近似式として次式がある。

$$(r_{jj}^*)_{\min} \approx -b^* \left( \frac{4\epsilon_N^*}{3\sqrt{\phi_i}} \right)^{3/4} \left( \frac{K_{sr}^*}{a^*} \right)^{1/4} \quad (3)$$

- (1) 主電子レンズと画面間の距離  $b^*$   
 一般に  $b^*$  は、ブラウン管の画面サイズと偏向角によって決まる。 $b^*$  の  $(r_{jj}^*)_{\min}$  への依存性は 5 パラメータ中で最大である。
- (2) エミッタンス  $\epsilon_N^*$   
 $\epsilon_N^*$  は 3/4 乗でビーム径に寄与する。一般に  $\epsilon_N^*$  は 3 極部の幾何学的寸法及び動作条件によって決まる。この値を小さくすることは事実上かなり難しいが、3 極部を構成する第 1, 第 2 格子の孔径を小さくすることにより、またビーム変調率(ドライブ電圧/カットオフ電圧)を小さくすることによって若干の減少が可能である。
- (3) 画面電位(高圧)  $\phi_i$   
 高圧  $\phi_i$  を上げるとビーム径が小さくなるのはよく知られた事実である。
- (4) 固有収差定数  $K_{sr}^*$   
 $K_{sr}^*$  は物体側、像側の球面収差係数  $K_{s0}^*$ ,  $K_{si}^*$  により式(4)で与えられ、レンズの構造のみに依存する球面収差の大小を示す量である。

レンズの球面収差が小さければ  $K_{s0}^*$ ,  $K_{si}^*$ 、したがって  $K_{sr}^*$  が小さくなり、ビーム径を小さくできる。

$$K_{sr}^* = K_{s0}^* \sqrt{\frac{\phi_0}{\phi_i}} = K_{si}^* \sqrt{\frac{\phi_i}{\phi_0}} \quad (4)$$

(5) 仮想物面と主電子レンズ間距離  $a^*$

$a^*$  が大きいほどビーム径が小さくなる。ただし  $a^*$  を単に大きくしたのではレンズが強すぎて画面上で集束しなくなるので、レンズとしてはその屈折力を弱くして(したがって焦点距離を長くして)使用する必要がある。レンズの屈折力は、電位比  $\phi_0/\phi_i$  が大きくなれば弱くなるから、高圧  $\phi_i$  を一定にして考えれば  $\phi_0$  が大きく、すなわちフォーカス電圧を高くして使用することになる。最近とられているフォーカス特性の改善は主としてこの方向でなされているものである。

以上の考察から、電子ビーム径を可能な限り小さくするために、電子銃の設計上考慮しなければならない事柄は次のようになる。

- (1)  $(r_{jj}^*)_{\min}$  ができるだけ小さくなるように、前述の 5 つのパラメータ、 $b^*$ ,  $\epsilon_N^*$ ,  $\phi_i$ ,  $K_{sr}^*$ ,  $a^*(\phi_0)$  の値の選定に工夫する。
- (2) 主電子レンズへの入射電子ビームの  $R_0^*$ ,  $\theta_0$  の値を調整し、 $(r_{jj}^*)_{\min}$  が得られるように工夫する。すなわち、主電子レンズと入射電子ビームとの整合を確実にする。

### 3. 高解像度カラーディスプレイ用マルチステップフォーカス電子銃の設計

#### 3.1 諸パラメータの選定

高解像度カラーディスプレイ管の動作ピーク電流は単色で大体 300~500  $\mu A$  の範囲内であり、このビーム電流領域でビーム径ができるだけ小さくなるように諸パラメータを設定する必要がある。前述の 5 つのパラメータ  $b^*$ ,  $\epsilon_N^*$ ,  $\phi_i$ ,  $K_{sr}^*$ ,  $a^*(\phi_0)$  の選定は実際にはそれぞれに制約があり、自由に選定できるものでないが、工夫する事で限界ビーム径  $(r_{jj}^*)_{\min}$  を小さくすることが可能になる。その選定に当たって配慮した事柄について述べる。

(1) 主電子レンズと画面間の距離  $b^*$  及び高圧  $\phi_i$   
 $b^*$  はブラウン管のサイズ及び偏向角が決まれば、ほぼ自動的に決まるものであり、また高圧  $\phi_i$  もブラウン管の耐電圧特性等から制約され選択の余地の小さいものである。

(2) 固有収差係数  $K_{sr}^*$   
 $K_{sr}^*$  はレンズの動作条件には依存しないレンズ固有の収差係数であり、ハイポテンシャルレンズの場合は  $K_{sr}^* = 0.55$  で一定である。ユニポテンシャルレンズの場合はハイポテンシャルレンズよりも大きい中間電極の長さにより変化し、中間電極の長さが長くなるとハイポテンシャルレンズの場合と同じ値に近づく<sup>(2)</sup>。

マルチステップフォーカス電子銃は図 3. にその構造を示すように主レンズにユニポテンシャルレンズを配置し、前置レンズにハイポテンシャルレンズを配置する方式のものであるから、主レンズの中間電極長は、この点を配慮して選定した。

(3) エミッタンス  $\epsilon_N^*$   
 エミッタンス  $\epsilon_N^* (= R_0^* \theta_0 \sqrt{\phi_0})$  を小さくすることは事実上かなり難しいが、 $G_1$  孔径を小さくすることにより若干小さくできる。しかし、それとともに動作ビーム電流領域で最大発散角  $\theta_0$  が大きく ( $R_0^*$  が小さく) なるため、主電子レンズとの整合ができなくなり、動作ビーム電流以下の領域ではビーム径は小さくできるが動作ビーム領域内ではむしろ大きくなってしまふ。図 4. はフォーカス電圧 19% のハイポテンシャルレンズ電子銃の場合に  $G_1$  孔径を小さくした場合の電子ビ-

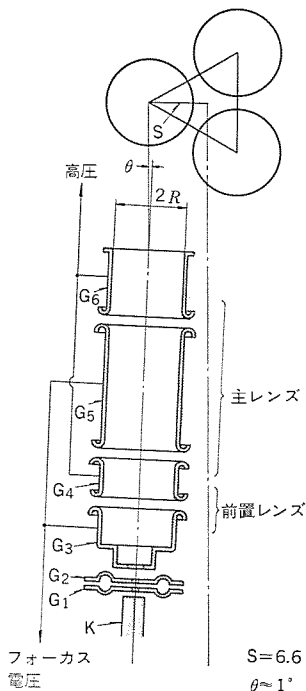


図 3. デルタ方式マルチステップフォーカス電子銃断面図

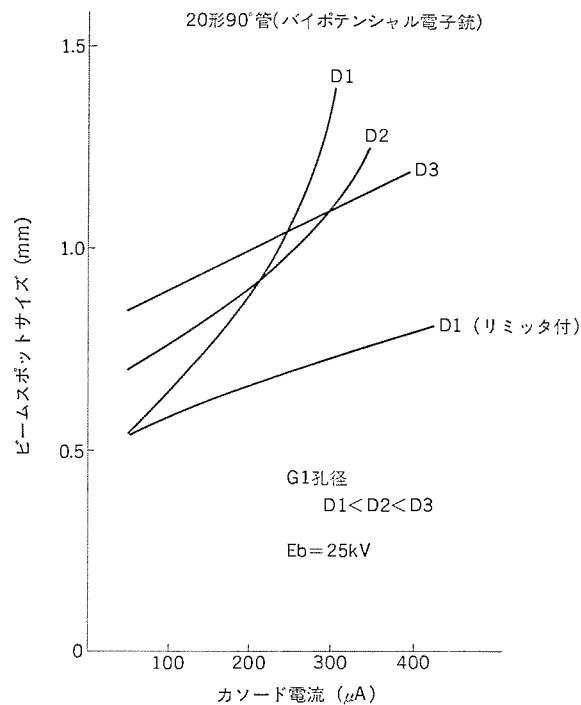


図 4. バイポテンシャル電子銃のG1孔径依存特性

大きくなる。したがって  $M$  が満足できる範囲でフォーカス電圧を高くすることが望ましい。マルチステップフォーカス電子銃ではこれを十分考慮してフォーカス電圧を選定した。これについては次節で詳しく述べる。

### 3.2 整合への配慮

限界ビーム径  $(r_{jf}^*)_{min}$  を小さくするためにはフォーカス電圧を高くし、更に  $G_1$  孔径を小さくすれば可能なことは前節で述べたが、同時に動作ビーム電流領域内で整合がとれなければ  $(r_{jf}^*)_{min}$  を実現することはできない。図 6. からもわかるように、 $(r_{jf}^*)_{min}$  が小さくなる場合の整合条件は最大発散角  $\theta_0$  が小さくなることが必要であり、この点で制約される。 $\theta_0$  を小さくするためには前置レンズを設置するのが有効なことは考えられるが、前置レンズの球面収差が影響するため主レンズ入射時のエミッタンスが増加し、 $(r_{jf}^*)_{min}$  が大きくなる。このため整合がとれてもビーム径が余り小さくできない。

マルチステップフォーカス電子銃は前置バイポテンシャルの位置を仮想物面近傍に配置しているためエミッタンスの増加なく最大発散角  $\theta_0$  を小さくできる。したがって  $(r_{jf}^*)_{min}$  の小さい領域でも整合がとりやすい。この点を活用してフォーカス電圧を 33% まで高くし、しかもこのフォーカス電圧整合がとれる範囲で  $G_1$  孔径を小さくした。

### 4. 新電子銃の構造と特性

前述の設計理論にもとづき開発した高解像度カラーディスプレイ管用電子銃の写真を図 6. 及び図 7. に示した。

図 6. はデルタ方式高解像度カラーディスプレイ管用電子銃で右側は従来電子銃、左側が新開発のマルチステップフォーカス電子銃である。

図 7. はインライン方式高解像度カラーディスプレイ管用電子銃で左側は従来電子銃、右側が新開発のマルチステップフォーカス電子銃である。次に図 8., 図 9. に新電子銃のビームスポットサイズの実測結果を従来電子銃と対比して示した。

図 8. はデルタ方式高解像度 20 形 90 度管でのビームスポットサイズを比

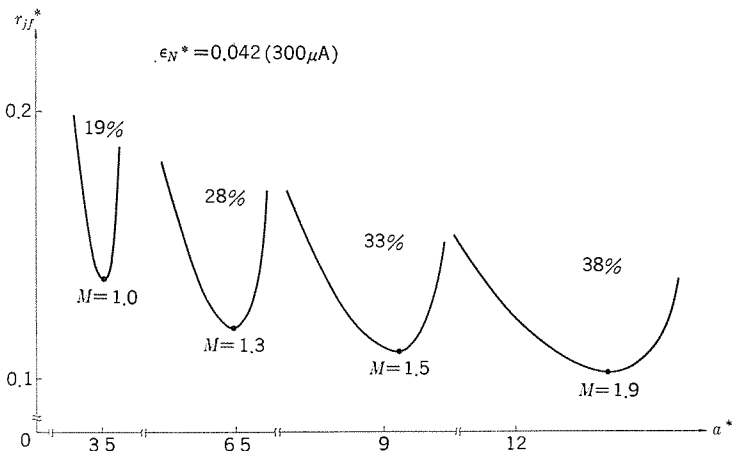


図 5. フォーカス電圧と整合図の変化

径の変化を表したものであり、この状態を示している。整合をとるための 1 つの方法として主レンズの前にビームリミッタを設けて、整合のとれない部分のビーム電流を除去する方法がある。その結果は当然ビーム電流がカットされるため画面に達する電流は小さくなり、明るさが得られない点やフォーカス電極にビーム電流が流れることによる電源への負担が増す等の欠点が生じる。

マルチステップフォーカス電子銃は図 3. に示すように前置バイポテンシャルを設置することにより最大発散角  $\theta_0$  を小さくし、整合をとりやすくした。また、前置レンズの位置を仮想物面近傍に配置することで、前置レンズの球面収差の電子ビームへの影響が小さくなるように配慮している。

(4) 仮想物面と主レンズ間距離  $a^*$  (フォーカス電圧  $\phi_0$ )  
 $a^*$  を大きくするとフォーカス電圧が高くなり、それとともに限界ビーム径  $(r_{jf}^*)_{min}$  が小さくなる。これをフォーカス電圧比  $\phi_0/\phi_i$  をパラメータとして  $a^*$  と  $(r_{jf}^*)_{min}$  の関係で表すと図 5. のようになる。

フォーカス電圧を高くする程  $(r_{jf}^*)_{min}$  は小さくなるとともに整合図は次第に平坦になるが、同時に  $(r_{jf}^*)_{min}$  を与える整合条件  $M$  が

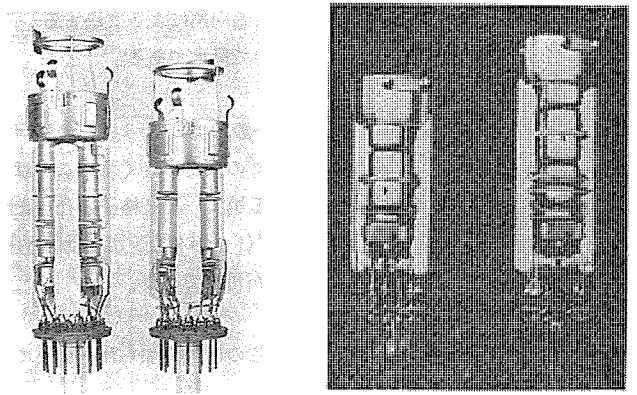


図 6. デルタ方式マルチステップフォーカス電子銃(左側)と従来電子銃(右側)の比較

図 7. インライン方式マルチステップフォーカス電子銃(右側)と従来電子銃(左側)の比較

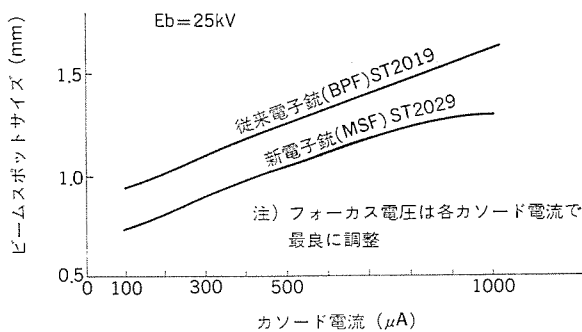


図 8. デルタ方式高解像度 20 形 90 度管での  
ビームスポットサイズ比較

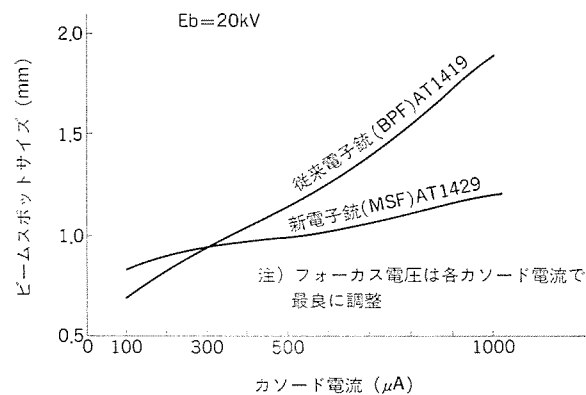


図 9. インライン方式高解像度 14 形 90 度管での  
ビームスポットサイズ比較

較したものである。従来電子銃を採用した ST 2019 (BPF) 形に比べ、新方式電子銃を採用した ST 2029 (MSF) 形のビームスポットサイズはカソード電流 100~1,000  $\mu\text{A}$  の全電流領域でビームスポットサイズが約 20% 小さくなった。これによりディスプレイ文字の高密度化が可能になり、6,000 文字の文字表示が十分可能である。

キャラクタディスプレイ管として使用される場合、カソード電流が普通 300  $\mu\text{A}$  ピーク値程度で使用されている。したがって従来の ST 2019 形の  $I_k=300 \mu\text{A}$  でのビームスポットサイズと、新開発の ST 2029 形のビームスポットサイズが同じになるカソード電流値は約 2 倍となる。すなわち従来の ST 2019 形と同じ解像度を保って明るさを約 2 倍にすることができることになり、文字輝度の向上が図れる。

図 9. はインライン方式高解像度 14 形 90 度管でのビームスポットサイズで比較を示したものである。従来電子銃を採用した AT 1419 (BPF) 形と比べ新方式電子銃を採用した AT 1429 (MSF) 形はカソード電流の変化に対してビームスポットサイズの変化が小さく、 $I_k=300 \mu\text{A}$  以上の電流値ではビームスポットサイズの増加が非常に小さいことが特徴である。これはインライン方式高解像度カラーディスプレイ管の場合、ダイナミックコンバージョンフリーとして使用することと関連している。すなわち水平偏向磁界を相当なピンクッション状とする必要があり、この非斉一な磁界にて偏向を受けると画面周辺部で、いわゆる偏向収差に起因す

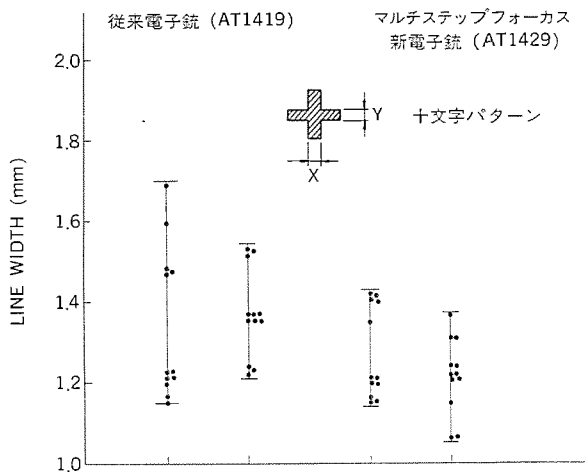


図 10. 画面周辺での線幅比較

る非点収差が発生しやすく、非対称なハローが発生する。これを改善するには電子銃設計を  $(r_{jj})_{\min}$  で動作させるのではなく、最大発散角  $\theta_0$  が  $\theta_{\text{opt}}$  よりも小さくなる状態で動作させるように配慮する必要がある。これは偏向による非点収差を相殺するためであり、このことは動作ビーム電流よりも大きい電流領域でビーム径を小さくすることに一致するためである。

このようにすることによりインライン方式高解像度管の場合、問題であった画面周辺での解像度を 14 形 90 度管で約 10% 改善できた。その実測結果を図 10. に示す。

## 5. む す び

新しい考え方による電子銃の設計理論について簡単に説明し、それから導出された電子ビーム径の限界値と、それを実現するために電子銃設計上配慮しなければならない点を述べた。

これにもとづき、限界まで電子ビーム径を小さくすることが要求される高解像度カラーディスプレイ管についてマルチステップフォーカス電子銃の設計、開発を行った。

デルタ方式高解像度 20 形 90 度管では画面全体にわたりビームスポットサイズが従来よりも約 20% 改善できた。また、インライン方式高解像度 14 形 90 度管の場合、問題であった画面周辺での解像度を約 10% 改善できた。

新方式のこの電子銃の導入により、高解像度カラーディスプレイ管は従来よりも明るくして、なお表示文字数の増加が可能になった。

(昭和 55-4-1 受付)

## 参 考 文 献

- (1) 吉田, 野阪, 鷺野: テレビ学技報, 1, No. 11, p. 31 (昭 53)
- (2) 野阪, 鷺野: 三菱電機技報, 52, No. 6, p. 453 (昭 53)
- (3) S. Washino, Y. Ueyama, S. Takenobu: IEEE Trans., CE-25, 481 (1979-8)
- (4) 鷺野, 竹延: テレビ学技報, 3, No. 30, p. 7 (昭 54)

# サイリスタチップによるパワーモジュール

山根正熙\*・大島征一\*・山本 武\*・山下信三\*・石橋清志\*

## 1. ま え が き

集積回路 (IC) 技術の飛躍的な進歩によって、電気機械装置の制御部は IC 化され、多機能でかつ小形化・軽量化が急速に進みつつある。こうした動向の中で、IC 化された制御部からの信号を受けて動作する電気機械装置の電力 (パワー) 制御部にも、小形・軽量で、保守点検がしやすく、組立工数の少ないことが、強く求められるようになった。その結果、電力制御部の中枢である電力半導体素子は、1個1個を電気機械装置に取付け、配線するのではなく、複数個の素子を内部配線して、1つのパッケージの中に組みこんだモジュールとして使用されはじめた。

本稿では、このたび開発、量産化に成功したサイリスタモジュール TM 25 DZ (チップ当たり電流容量 25 A)、TM 55 DZ (チップ当たり電流容量 55 A) 及び TM 90 DZ (チップ当たり電流容量 90 A) の構造、特長、特性定格、信頼性及び応用例について述べる。これらの開発は、20A 以下のサイリスタで既に豊富な実績を持つガラスパッシベーション技術、はんだろう (銲) 付け、内部絶縁、樹脂封止といった主要製造技術を大面積チップに適用した改良と、最適構造設計により実現したものである。

## 2. サイリスタモジュールの構造と特長

サイリスタモジュール TM 25 DZ、TM 55 DZ、TM 90 DZ の構造は、チップの大きさを除いて同一である。したがって区別する必要のないときは、サイリスタモジュールと記す。

サイリスタモジュールの外形を図 1、図 2 に、内部の接続の様子 (回路) を図 3 に示す。これは 2 個のサイリスタ CR<sub>1</sub> と CR<sub>2</sub> をダブルアーム形、すなわち直列に接続して 1 つのパッケージに組みこんだ構造である。3 個の主端子は、2 個のサイリスタ CR<sub>1</sub> と CR<sub>2</sub> の共通接点である交流入力 AK、サイリスタ CR<sub>1</sub> の陰極 K 及びサイリスタ CR<sub>2</sub> の陽極 A におのおの接続してある。この 3 個の主端子、交流入力端子 AK、陰極端子 K 及び陽極端子 A はラスポーで配線するのに便利のように同一平面上に等間隔に配置した。また交流入力端子 AK は、ゲート端子 G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub> から一番離れたところに配しており、次いで陰極端子 K、陽極端子 A の順に配置して、外部リードをこのモジュールに接続しや

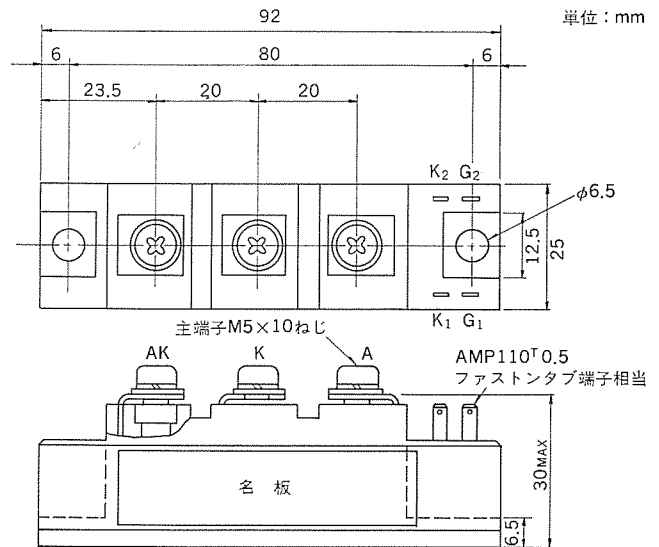


図 2. サイリスタモジュールの外形図

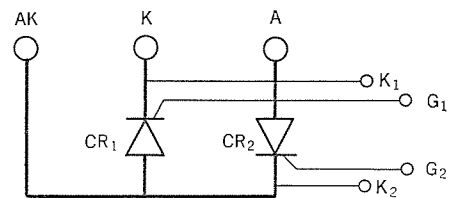
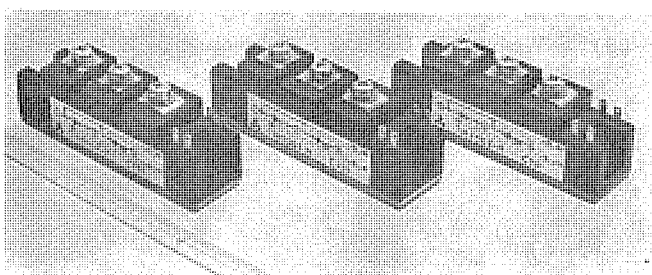


図 3. サイリスタモジュールの内部回路結線図

すいように考慮した。ゲート信号入力端子対 K<sub>1</sub>、G<sub>1</sub> 及び K<sub>2</sub>、G<sub>2</sub> は、主端子から離れた位置にまとめて配置した。このため、ゲート回路は主電極を流れる電流の影響を受けにくい。なおゲート信号部のこれら端子はファストン端子接続とした。外装は、軽量化を考え、樹脂封止形である。このため、サイリスタモジュール間及びサイリスタモジュールと他の電子部品間の絶縁は容易である。

サイリスタモジュールの内部構造を図 4 に示す。サイリスタチップは絶縁体であるセラミック板を介して銅ベースに取付け、また 2 個のサイリスタチップは互いに電気絶縁されている構造とした。サイリスタチップは、露出部をガラスパッシベーションにより安定化し、陰極モリブデン板と陽極モリブデン板にはさんで補強した。これを主電極 AK 及び K の銅板リード上にはんだ付けしてある。この主電極 AK の銅板リードはセラミックにはんだ付けされ、このセラミックを介して銅ベースに取付けられている。一方主電極 K の銅板リードは、このまま主電極にはんだ付けしてある。

ゲート信号入力端子部のゲート端子 G<sub>2</sub>、陰極端子 K<sub>2</sub> はサイリスタモジュール内部の主電極リードに対し、ほぼ直角になるように引き出して、プリント基板上に配線した。最後にこのように組立てた構造物の機械的強度を確保するため、樹脂ケースをかぶせ、内部を難燃性の



左から TM 90 DZ、TM 55 DZ、TM 25 DZ

図 1. サイリスタモジュールの製品写真

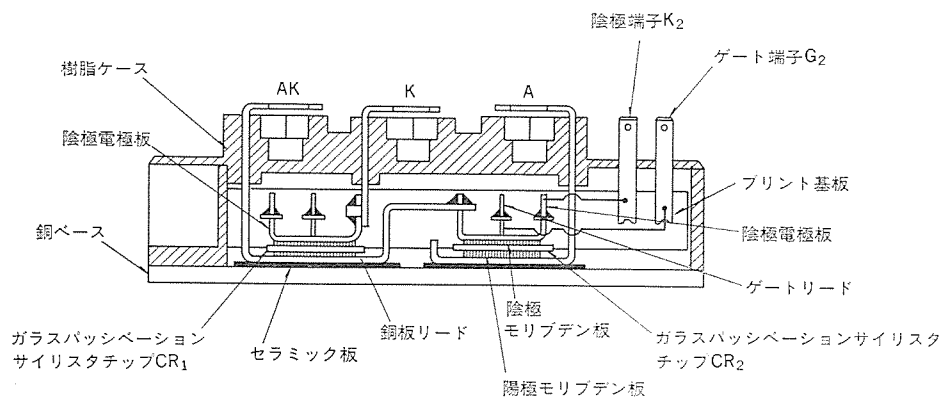


図 4. サイリスタモジュールの内部構造

樹脂で充てん(填)した。

このような構造によって信頼性の高い、樹脂封止形サイリスタモジュールを得るためには、以下の技術が必要である。

- (1) ガラスパッシベーション技術
- (2) モリブデン板の最適形状の検討
- (3) 電気絶縁とも関連して、発生する熱を効率よく銅ベースへ伝導させる設計

以上のような構造により得られたサイリスタモジュールの特長を次にま

とめた。

- (1) ガラスパッシベーション技術の採用により信頼性が高く、電気的特性が安定している。
- (2) 3個の主端子が同一平面上にあり、ブスバーによる配線が可能である。
- (3) ベース絶縁形であるためサイリスタモジュールを取付けるヒートシンクを絶縁する必要がなく、ヒートシンクの共用もできる。
- (4) 主電極とゲート信号端子を分離してあるので耐ノイズ性に優れている。

もちろん、このサイリスタモジュールの採用で、実装される装置の組立工数が減じ、かつまた装置を小形、軽量化できるメリットは改めていうまでもない。

### 3. 最大定格及び電気的特性

サイリスタモジュール TM 25 DZ, TM 55 DZ 及び TM 90 DZ の最大定格と電気的特性の主な数値を表 1. と表 2. に示す。市販されているサイリスタの一般的な最大定格、電気特性とほぼ同等である。絶縁耐力は主端子と銅ベース間で 2,000 V の保証ができる。TM 25 DZ, TM 55 DZ 及び TM 90 DZ は、ピーク繰返し逆電圧とピーク繰返しオ

表 1. サイリスタモジュールの最大定格

記号	形名	TM 25 DZ		TM 55 DZ		TM 90 DZ		単位
		M	H	M	H	M	H	
$V_{RRM}$	ピーク繰返し逆電圧	400	800	400	800	400	800	V
$V_{DRM}$	ピーク繰返しオフ電圧	400	800	400	800	400	800	V

記号	項目	形名	定 格 値			単位		
			条 件	TM 25 DZ	TM 55 DZ		TM 90 DZ	
$I_{T(RMS)}$	実効オン電流			39	86	140	A	
$I_{T(AV)}$	平均オン電流			25	55	90	A	
$I_{TSM}$	サージオン電流			500	1,100	1,800	A	
$di/dt$	臨界オン電流上昇率			100	100	100	A/ $\mu$ s	
$V_{FGM}$	ピークゲート順電圧			10	10	10	V	
$V_{RGM}$	ピークゲート逆電圧			5	5	5	V	
$I_{FGM}$	ピークゲート順電流			2	2	2	A	
$T_j$	接合温度			-40~125	-40~125	-40~125	$^{\circ}$ C	
	絶縁耐力			主端子-銅ベース間	2,000	2,000	2,000	V

\* 1 : TM 25 DZ の  $T_c=93^{\circ}$ C TM 55 DZ の  $T_c=86^{\circ}$ C TM 90 DZ の  $T_a=87^{\circ}$ C

表 2. サイリスタモジュールの電気的特性

記号	形名		TM 25 DZ			TM 55 DZ			TM 90 DZ			単位
	項 目	条 件	最 小	標 準	最 大	最 小	標 準	最 大	最 小	標 準	最 大	
$I_{RRM}$	逆電流	$T_j=125^{\circ}$ C, $V_{RRM}$ 印加	—	—	4	—	—	10	—	—	15	mA
$I_{DRM}$	オフ電流	$T_j=125^{\circ}$ C, $V_{DRM}$ 印加	—	—	4	—	—	10	—	—	15	mA
$V_{TM}$	オン電圧	$T_j=125^{\circ}$ C, 瞬時測定*2	—	—	1.5	—	—	1.35	—	—	1.27	V
$dV/dt$	臨界オフ電圧上昇率	$T_j=125^{\circ}$ C, $V_o=2/3V_{DRM}$	500	—	—	500	—	—	500	—	—	V/ $\mu$ s
$V_{GT}$	ゲートトリガ電圧	$T_j=25^{\circ}$ C, $V_D=6$ V, $R_L=2\Omega$	—	—	3	—	—	3	—	—	3.0	V
$V_{GD}$	ゲート非トリガ電圧	$T_j=125^{\circ}$ C, $V_D=1.2V_{DRM}$	0.25	—	—	0.25	—	—	0.25	—	—	V
$I_{GT}$	ゲートトリガ電流	$T_j=25^{\circ}$ C, $V_D=6$ V, $R_L=2\Omega$	—	—	50	—	—	100	—	—	100	mA
$R_{th(j-b)}$	熱抵抗	接合ベース間	—	—	0.8	—	—	0.5	—	—	0.3	$^{\circ}$ C/W
$R_{th(b-f)}$	接触熱抵抗	ベースフィン間グリーン塗布	—	—	0.2	—	—	0.2	—	—	0.2	$^{\circ}$ C/W
—	絶縁抵抗	DC 500 V メガにて主端子-ベース間	10	—	—	10	—	—	10	—	—	M $\Omega$

\* 2 : TM 25 DZ の  $I_{TM}=75$  A, TM 55 DZ の  $I_{TM}=165$  A, TM 90 DZ の  $I_{TM}=270$  A

つ電圧が共に 800 V あり、AC 200 V ラインに使用することができる。

#### 4. 信頼性

サイリスタモジュールは、2個のサイリスタチップを内蔵しているため、その中の1個が故障しても使用不能となる。そのため、サイリスタモジュールに要求される信頼性は、個々のサイリスタより高くなる。信頼性のデータを表3.に示す。2章に述べたように、このサイリスタモジュールの開発に当たっては、設計及び製造にいくつかの技術上の困難な問題に直面した。しかし量産後のこれら製品の信頼性がほぼ満足すべき結果であるところから、これら技術上の問題はなおむね解決されたものと考えている。個々に信頼性試験の結果からみると、断続通電寿命試験は、過酷な試験条件にもかかわらず良好である。高温電圧印加試験の結果は、ガラスパッケージにより極めて安定な電気特性を示した。温度サイクル試験では、サイリスタモジュールのケースに充填した樹脂がサイリスタチップをはじめ構造全体とよく整合していることを示している。高温高湿試験においても、ガラスパッケージの効果が発揮されて良好な結果となっている。その他機械的な信頼性試験の結果も良好であり、要求される品質・信頼性を満足している。

表3. 信頼性試験結果

形名		TM 90 DZ		
試験項目	試験条件	試料数	故障数	
断続通電	$I_{T(AV)}=90A, T_J=50^{\circ}C\sim 125^{\circ}C$ 15,000 サイクル	10	0	
高温電圧印加	$T_a=125^{\circ}C, V_R=800V$ (ACビーク), 1,000 h	10	0	
温度サイクル	$-40^{\circ}C$ (30分) $\rightarrow$ $+25^{\circ}C$ (10分) $\rightarrow$ $+125^{\circ}C$ (30分) 30 サイクル	10	0	
耐湿性	$60^{\circ}C, RH 90\%$ 1,000 h	10	0	
熱衝撃	$0^{\circ}C$ (5分) $\leftrightarrow$ $100^{\circ}C$ (5分) 30 サイクル	10	0	
振動	20 G, 100~2,000 Hz X, Y, Z 各 2 h	10	0	
落下	75 cm より板上へ 3 回	10	0	
	1 m よりコンクリート上へ 3 回	10	0	
締付	主端子	20 kg·cm	10	0
	モジュール取付	30 kg·cm	10	0
過電流耐量	60 Hz, 1 サイクル, 1,800 A	10	0	

試料数 10 台はサイリスタチップにすると 20 チップである。

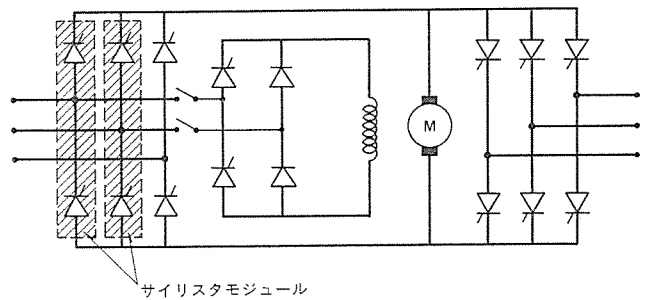


図5. サイリスタレオナード

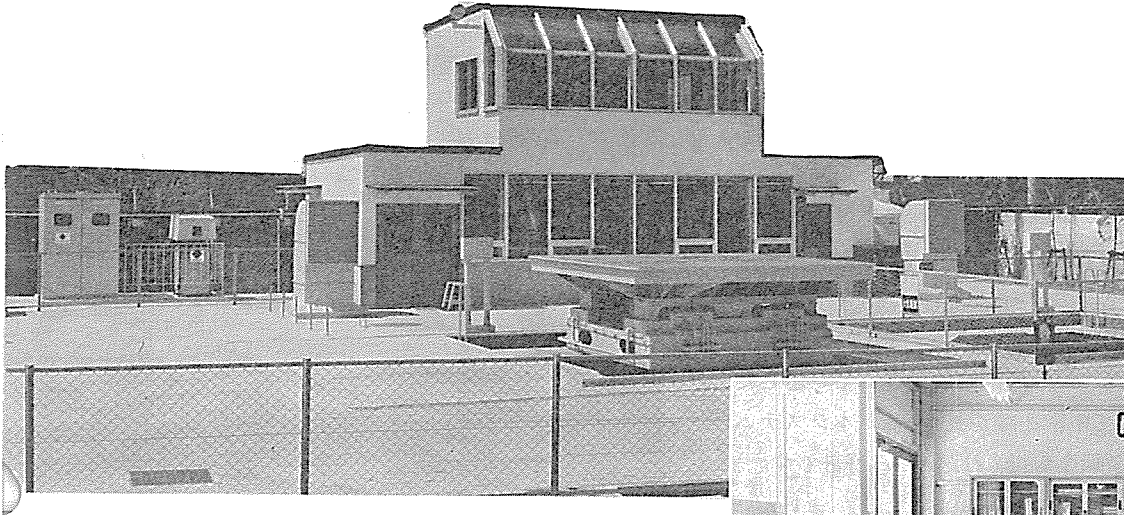
#### 5. 応用例

サイリスタモジュールは、サイリスタの逆並列接続、単相ブリッジ、3相ブリッジ及び直流電動機のレオナード制御による正転逆転のための接続が容易にできる。特に図5.に示すサイリスタレオナードを例にとり、サイリスタモジュールを使用することの利点を説明する。3相ブリッジがモータに対して、互いに逆向きに2回路入っているが、1回路はモータの正転、他の1回路はモータの逆転用であるため、2回路の3相ブリッジが同時に動作することはない。そのため、従来のようにサイリスタごとに冷却フィンが絶縁して取付けていた場合に比べ、サイリスタモジュールは、チップが既に内部絶縁されているので、冷却フィンは全サイリスタモジュールに対して、1個でよく、しかもその大きさは、従来の冷却フィンの合計体積の1/2でよい。更に、従来の冷却フィンは互いに電気絶縁する必要があり、互いに間隔をおいて組みつけていたが、その必要性がなく、冷却フィンの占有空間は更に小さくなる。その結果、図5.のサイリスタレオナードにサイリスタモジュールを用いると、従来の電力(パワー)制御部装置に比べ1/3~1/4に装置を小形化することができる。また図5.に示すようにサイリスタモジュール7台とダイオードモジュール1台で、簡単な配線によりサイリスタレオナードをつくることができる。このように装置の小形化、装置用材料の低減、装置組立工数の削減が可能になる。この観点から外に数値制御工作機械、インバータ装置、整流電源、温度制御装置、調光装置、交流無接点スイッチ、めっき電源、電解用電源など広く応用が期待される。

#### 6. むすび

サイリスタモジュールの構造、電気的特性、信頼性及び応用例について述べた。省エネルギー、省資源が重要な課題となっている現在、サイリスタモジュールはそのものが省資源形の半導体製品であり、電気機械装置の大幅な小形化に寄与するこの製品は時代のニーズにあった製品であるといえる。今後この種の製品の発展と用途の拡大の期待は大きなものがあり、この開発を通して得た貴重な経験を生かして、今後の需要に対処していきたい。

## 大形電気機器の複雑な加振テストが可能 水平・鉛直2方向同時振動試験設備



◀設備全景  
▼制御・計測室



このほど三菱電機では、伊丹製作所内に水平・鉛直の2方向同時加振が可能な振動試験設備を新設し、稼働を開始しました。当社では、変電機器をはじめとするさまざまな電気機器の耐震強度研究を行うため、昭和43年に油圧駆動の大形加振機を設置して多くの成果を収めてきましたが、機器の大形化および機能の複雑化・高度化に伴って、より一層の信頼性向上が要望されるようになりました。今回の水平・鉛直2方向振動試験設備の設計・製作はそれに対応したもので、当社の振動試験能力が大幅に向上し、次のような各種の試験が行えるようになりました。

- 大形電気機器の水平・鉛直の合成振動による耐震強度の検証が可能となり、特に直下形地震に対する検証精度が向上する。
- 500kV級あるいはUHV級の開閉機器等の大形電気機器の全体加振が行える。
- 原子力用電気計装品等について、高震度入力が見込まれる将来プラントにも対応できる耐震強度の検証が行える。
- 大形電気機器の輸送中の振動強度や、車両用電気機器の振動強度の検証が行える。

新設した振動試験機の特長は、まず4m×4mの加振台を2台組み合わせ、一対になるようにしたこと。今回稼働を開始したものは、そのうちの1台ですが、2台目を増設することにより、2台の加振台を連結して並列運転を行い、UHV級の開閉機器などに加振することができ、また、2台の加振台を対向して動かすことにより、ロッキング振動やねじり振動などの複雑な加振が可能となるなど、世界でも初めての高度な振動試験設備となります。

### 特長

- 加振機の構成は、鉛直加振台の上に水平加振台を組み合わせるので、水平・鉛直加振を別々に制御することができます。
- 加振機に積載する供試品の重量や形が変わっても、要望通りの振動が得られるように、ミニコンにより自動的に入力信号の補正をすることができます。
- 鉛直加振台の軸受部を1本の円筒形構造の静圧軸受とし、軸受下面から空気圧をかけ、積載荷重のバラシングを行う構造です。
- 加振周波数域を広くし、一般の電気機器の輸送強度や車両用電気機器の振動強度試験が行えます。
- 加振台を2台連結した際、大形機器を水平2方向に加振できるように、加振台を鉛直軸受部で90°回転できる構造としています。
- 油圧ポンプ室を基礎内の地下に配置し、騒音のしゃ断を図っています。

### 概要

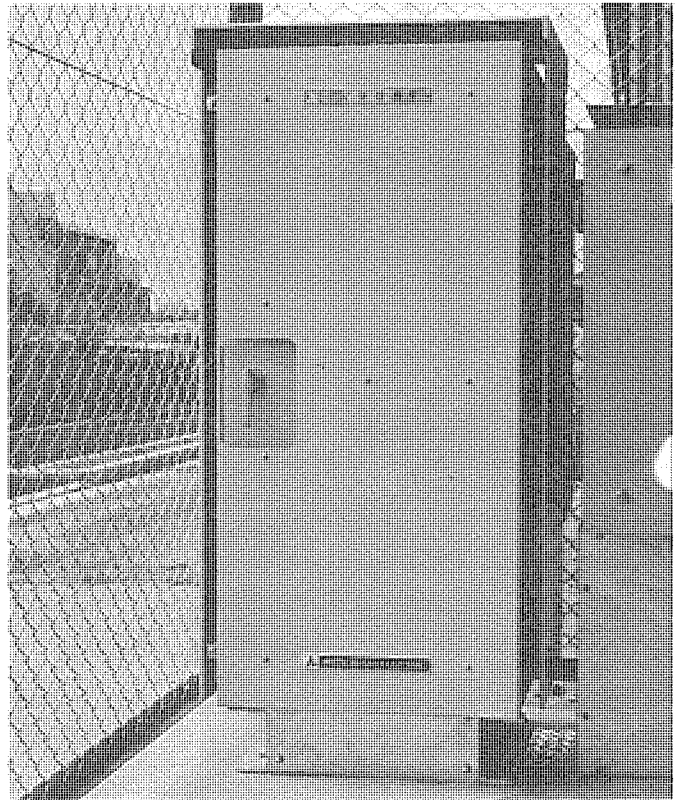
設計・製作	三菱電機伊丹製作所	
方式	電気油圧サーボ方式	
構造	2台の加振機を一対とする。鉛直加振台の上に水平加振台積載	
	1台の性能(今回稼働するもの)	2台の性能(昭和56年末稼働予定)
加振台寸法	4m×4m	11m×4m
加振力	40tonG	80tonG
最大振幅	水平±100mm、鉛直±50mm	同左
最大加速度	水平±2.5G、鉛直±1.25G	同左
積載重量	40ton	80ton
周波数範囲	0.1~30Hz	同左
加振波形	水平・鉛直同時任意波形 同左、およびロッキング振動等の2台の組み合わせ振動波形	

## 阪神高速大阪松原線で活躍する 交通管制用光伝送ITVシステム

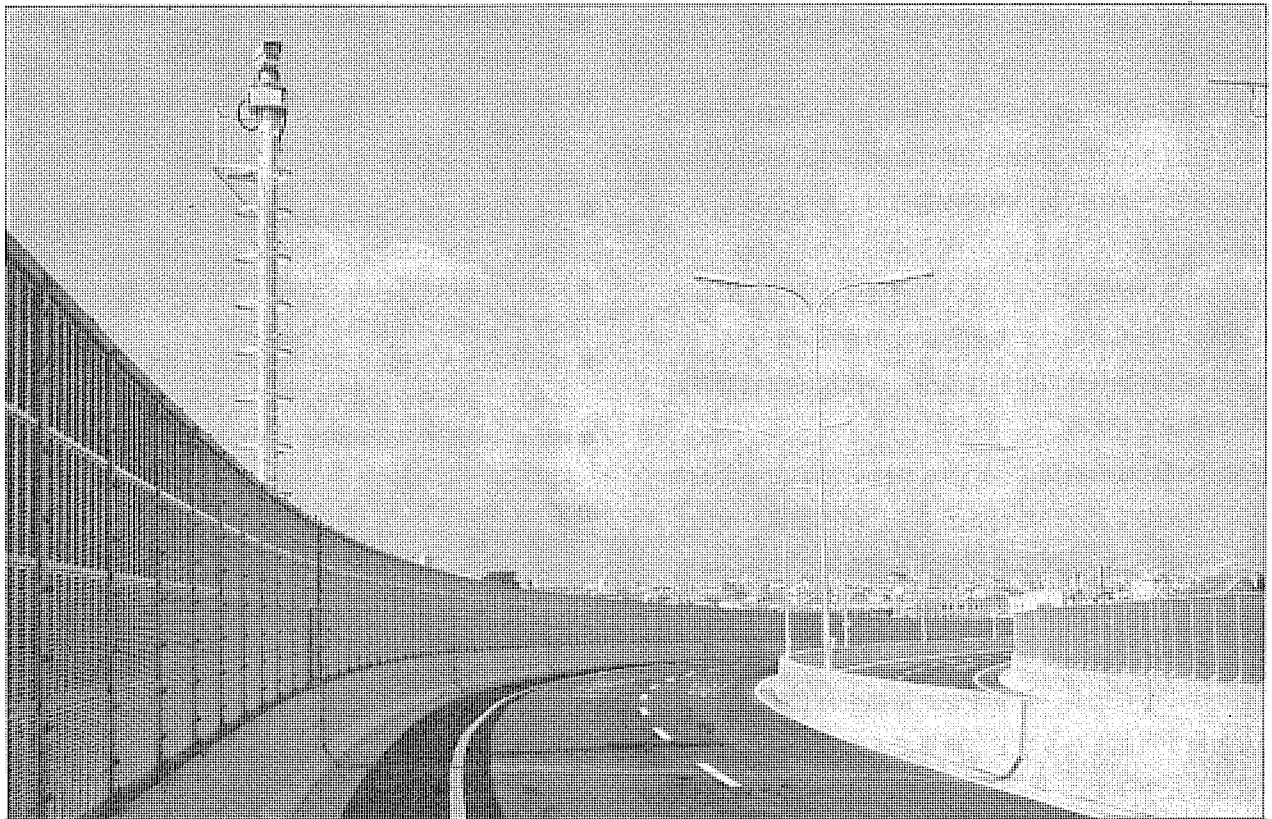
三菱電機では、先ごろ開通した阪神高速道路大阪松原線へ、交通流監視用として、光ファイバ伝送によるITVシステムを納入しました。このシステムは、高速道路上5ヵ所に設置されたITVカメラの映像信号を、中継端局装置まで光伝送して、選択・切換後、再び光信号で中継端局装置間を伝送し、管制センターのモニタ(2台)で監視するものです。光ファイバ2芯で電力線あるいは制御線と複合ケーブルとし、カメラの制御(切換・パンチルト等)は銅線を使用しています。高速道路のITVはこれまでPEFケーブルが一般的に使用されていましたが、光ファイバ伝送によって中継距離が長くなり(本システム最長区間は5.2km)、鮮明な画像が得られたいへん好評です。

### システムの主要諸元

カメラ	高感度形白黒カメラ(回転台・ズームレンズ付)
モニタ	20形白黒モニタ
信号伝送方式	映像 直接光強度変調 制御 周波数偏移変調
光素子	発光 LED 受光 APD(またはPIN PD)
光ファイバ	GI(幹線) SI(支線) コア径 50 $\mu$ m クラッド径 125 $\mu$ m 損失 3.5dB/km以下
伝送距離	最長 14.5km



中継端局装置



ITVカメラ装置



## 低圧用CTにダブルモールド方式を採用した 三菱低圧用変流器CW-Lシリーズ

三菱電機では、このたび画期的な「ダブルモールド方式」採用の低圧用変流器「CW-Lシリーズ」を製品化し、発売を開始しました。この「CW-Lシリーズ」は、優れた絶縁性能を有するシリコンゴムによるモールドと、機械的強度の大きい耐熱ABS樹脂によるケーシングを、それぞれの長所を十二分に生かした状態にドッキングさせた新絶縁方式「ダブルモールド方式」の採用により、信頼性・作業性の向上を一挙に実現し、低圧用CTの新しい時代を開くものと期待されています。

### 特長

- 優れた耐環境性・耐湿性  
シリコンゴムによる全モールド形ですので、オゾン・アルカリ・酸などに対する抵抗性が高く、また、吸湿による絶縁劣化がほとんどないため、きわめて耐湿性に優れています。
- 高い絶縁性能  
ブチルゴムモールドタイプと同等以上の高い絶縁性能を誇る、シリコンゴムによるモールドです。
- 高い機械的強度  
端子部・取付部分は、機械的強度の大きい耐熱ABS樹脂ケーシングにより強固に保持しているため、ブチルゴムモールドタイプに比較して格段に強度が高くなりました。
- 電線の貫通作業が容易(貫通形)  
耐熱ABS樹脂ケーシングのなめらかな表面により、丸窓貫通形では、電線のすべりがよく、貫通作業が容易になりました。
- 貫通穴が大きくなり作業性が向上(貫通形)  
周囲温度40℃基準の600VIV線が容易に貫通します。

### 標準仕様

#### 丸窓貫通形(写真1参照)

形名	定格AT		定格負担VA	階級	周波数Hz	最高電圧V	過電流強度
	二次電流5A	二次電流1A					
CW-5L	100, 120		5	1.0	50/60 共用	1,150	40
	150, 200	100, 120					
	250, 300	150, 200					
	400, 500	250, 300					
CW-15L	150, 180		15	1.0	50/60 共用	1,150	40
	200, 250	150, 200					
	300, 400	250, 300					
	500, 600						
CW-40L	150, 180		40	1.0	50/60 共用	1,150	40
	200, 250	150, 200					
	300, 400	250, 300					
	500, 600						
	750						

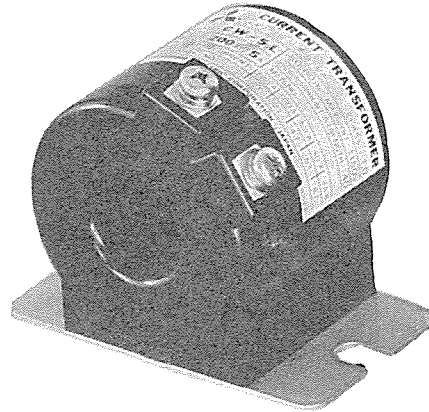


写真1. 丸窓貫通形

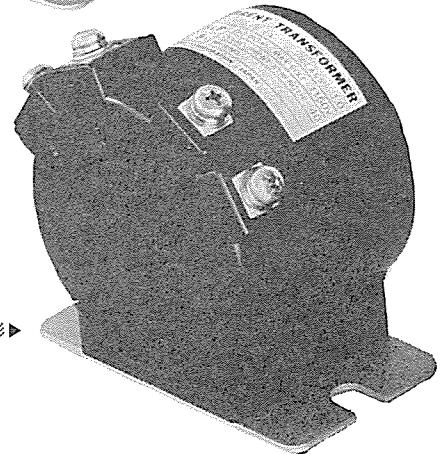


写真2. 一次巻込形

#### 2. 一次巻込形(写真2参照)

形名	定格一次電流A		定格負担VA	階級	周波数Hz	最高電圧V	過電流強度
	二次電流5A	二次電流1A					
CW-5LP	5, 10	3, 5	5	1.0	50/60 共用	1,150	40
	15, 20	10, 15					
	30	20, 30					
CW-15LP	5, 10	3, 5	15	1.0	50/60 共用	1,150	40
	15, 20	10, 15					
	30	20, 30					
CW-40LP	5, 10	3, 5	40	1.0	50/60 共用	1,150	40
	15, 20	10, 15					
	30	20, 30					

#### 3. 検定専用品

形名	定格一次電流A	定格二次電流A	定格負担VA	階級	周波数Hz	最高電圧V	過電流強度
CW-15LS	5, 10, 15 20, 30, 40 50, 60, 75 100, 120, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 750	5	15	1.0	50 または 60	1,150	40

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
880295	チョップ 制御装置	鉄野 治雄	881175	自動変速機の制御装置	辰巳 巧・魚田 耕作
880296	板状 ヒータ	{石井勇雄・村上忠禧 大津幸次郎	881176	交流電動機群の駆動方式	赤松昌彦
880297	界磁 コイルの製作方法	藤原 健三	881177	直流電動機の制御装置	甲木 莞爾・赤松昌彦
880298	直流 アーク 溶接電源	鵜飼 順・水野孝治	881178	異常信号検出装置	{横内通憲・加川広光 倉敷康広
880299	タイマー 回路	尾形 孝	881179	液漕船などのスイングウインチの 制御方式	元木知春
880300	アーク 溶接装置	{梶野幸男・斉藤弘之 高木 茂・橋本進一郎	881180	予想制御装置	盛口全太
880301	電解加工装置	倉橋安則・梶田 勲	881181	車体の帯電保護装置	森原健司
880619	同期機の制御方式	{斉藤 修・迎 久雄 室谷金義・井上昌幸 田辺健児	881182	半導体集積回路	中野隆生
881165	保護継電装置	前田耕二	881183	絶対番地検出装置	佐竹幸雄
881166	地絡保護継電装置	畑田 稔・三宅康明	881184	電圧レベル 信号選択装置	安斉広成
881167	カラーテレビジョン 受像機のコンバー ツ 装置	石井宏和	881185	自動列車制御方式	六藤孝雄
881168	保護継電装置	中村勝己・坂本昌一	881186	プラズマアーク 式回転管円周溶接方 法	鵜飼 順・鉄 豊造
881169	保護継電装置	中村勝己・坂本昌一	881187	発泡性組成物	児玉峯一・高橋一郎
881170	金属グリッド抵抗体用支持棒の製 造法	{井上武男・石井勇雄 村上忠禧・大津幸次郎	881188	親子式 タイマー	林 正之
881171	2線故障用距離継電装置	三上一郎	881189	多層配線接続法	{植松滋幸・近藤久雄 奈良愛一郎・中尾院治
881172	至近端 1線地絡検出継電器	三上一郎	881190	負荷時 タップ 切換器	樋口 昭・古川一弥
881173	自動列車制御方式	六藤孝雄	881191	多層構造被膜の微細加工方法	{植松滋幸・中尾院治 近藤久雄・奈良愛一郎
881174	電場発光素子	大西 勝・吉沢達夫	881192	時計装置	林 正之
			881193	周波数継電装置	高田信治・三宅康明

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 54 No. 8 船用電機品と荷役機械特集

特集論文

- 船用交流発電機の溶接フラシ装置
- サイリスタインバータ式軸発電システムとその応用
- 船用機関部自動化システム
- 船用荷役システム
- 最近のコンテナクレーン用電機品
- クレーン用高圧誘導電動機のサイリスタ制御
- ごみクレーンの自動運転システム

普通論文

- ガス絶縁変圧器の適用と現状
- 省エネルギーのための電子式電力管理用機器
- 家庭用 VTR を用いる PCM 録音再生アダプタ
- 高解像度中間調超高速ファクシミリ 《MELFAS850》
- 3相誘導電動機の簡易電子制御装置 《ファインストップファミリ》
- 壁掛形 《クリーンヒーターエアコン》一冷暖房機一

三菱電機技報編集委員

委員長	喜連川 隆	委 員	柴田 謹三
副委員長	浦 徳 太郎	”	樋口 昭
”	横 浜 博	”	神谷 友清
常任委員	三 輪 進	”	立川清兵衛
”	唐仁原孝之	”	中里 裕 臣
”	増淵悦男	”	柴山 恭一
”	葛野 信一	”	福井 三郎
”	三 浦 宏	”	杉山 睦
”	中原昭次郎	”	瀬辺 国昭
”	桐生 悠一	”	小野 勝啓
”	野畑昭夫	幹 事	本間吉夫
”	的 場 徹	”	足立健郎
”	尾形善弘	7号特集担当	寺 田 真

三菱電機技報 54 巻 7 号

(無断転載を禁ず) 昭和55年7月22日 印刷  
昭和55年7月25日 発行

編集兼発行人 本間 吉 夫  
東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地

印刷所 大日本印刷株式会社

発行所 東京都千代田区大手町2丁目6番2号 (〒100)  
菱電エンジニアリング株式会社内

「三菱電機技報社」Tel. (03) 243 局 1785

発売元 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 (〒101)  
株式会社 オーム社書店  
Tel. (03) 233 局 0641, 振替口座 東京 20018

定 価 1部400円送料別(年間予約は送料共5,200円)

## 三菱電機の大野栄一、岩本雅民が 科学技術庁長官賞を受賞

### 表彰状

科学技術庁長官賞

岩本雅民殿

藤野治之殿

超電導発電機の研究

あなたは右のすぐれた研究業績によって  
科学技術の振興につくられその功績は  
極めて顕著であると認めます  
よって第六回研究功績者表彰を行う  
にあたり本賞を贈り表彰します

昭和五十五年四月十六日

国務大臣  
科学技術庁長官

長田裕



### 表彰状

科学技術庁長官賞

大野栄一殿

サイリスタを用いたインバータおよびチョップの開発

あなたは右のすぐれた業績によって  
科学技術の振興につくられその功績は  
極めて顕著であると認めます  
よって第二十二回科学技術功労者表彰  
を行うにあたり本賞を贈り表彰  
します

昭和五十五年四月十六日

国務大臣  
科学技術庁長官

長田裕



### 第22回科学技術功労者表彰

大野栄一

#### ●サイリスタを用いたインバータおよびチョップの開発

「サイリスタを用いたインバータおよびチョップの開発」に関する業績により、当社応用機器研究所に所属する大野栄一博士が、今年度の科学技術功労者に選ばれました。

大野栄一博士は昭和30年入社後、研究所において磁気増幅器を中心とした制御装置の研究開発に従事しています。30年代後半に出現した電力制御用半導体素子としてのサイリスタの重要性をいち早く察知し、その特長を生かした応用面の開拓に力を注ぎ、特にインバータおよびチョップの技術開発に関して数多くの業績を残しており、国内はもちろん、世界的にも認められています。

その成果は、社内関連部門の協力によって、無停電電源としてのCVCFインバータや、交流電動機の変速駆動に新しい世界を開いたVVVFインバータとして大きく

成長し、さらにまた電気鉄道分野では、帝都高速度交通営団と共同して世界で最も早い時期に、サイリスタ・チョップ電車の実用運転開始に結実し、現在の省エネルギー需要とも適合して地下鉄の標準方式になるとともに、スペイン、メキシコ等への輸出にまで発展をみるに至っています。

今回の受賞は、これらの成果が認められて贈られたものです。

### 第6回研究功績者表彰

岩本雅民

#### ●超電導発電機の研究

超電導線は極低温に冷却することによって電気抵抗がゼロとなり、大電流の通電が可能になります。超電導発電機は界磁巻線に超電導線を適用して鉄心を省き、小形・軽量・短絡比大・高効率など多くの特長を持ち、将来の理想的な発電機として注目されています。一方、回転子内の超電導界磁巻線を極低温に冷却するために、熱しゃ断・熱応力の緩和・軸シール・超電導の安定性などの新しい技術問題を含んでいることも否めません。

今回の研究はこれらの技術的問題を解決して、超電導機として世界最大容量である6250kVA超電導発電機を研究試作し、実験研究によってその性能を確認したものです。

この研究成果は、従来の常識を大きく打ち破るすぐれた性能を持つ超電導発電機の実現の可能性

を実証したものと高い評価を受け、今回の受賞となりました。

なお、本研究は昭和49年度から3年計画で通産省重要技術開発費補助金の交付を受け、富士電機(株)と共同で実施したもので、同社の藤野治之氏と連名受賞となっています。

