

**MITSUBISHI**

# 三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.60 No.6

**6**

**1986**

## 電力機器の予防保全特集



## 電力機器の予防保全

### 目次

#### 特集論文

電力機器予知・予防保全の技術展望……………	1
高橋宏次	
タービン発電機及び水車発電機の予防保全……………	3
伊藤裕之・柴崎和則・植松 豊・佐野賢三・村井幸雄	
発電機の異常監視システム……………	9
天笠信正・植松 豊・免太 享・斉藤博士	
電動機のDSS対策と余寿命推定……………	15
中尾 憲・脇本康夫	
配電盤機器の劣化寿命……………	19
諸岡謙修・矢野 修・高田信治・広崎吉彦・久保田 寛	
変電機器における予防保全—監視システム—……………	24
但田昭司・比舎 博・小島康昭・塩野克巳	
電力機器監視用センサ……………	32
伊吹恒二・島田基博・東横良旺	

#### 普通論文

エンジンランジェント シミュレーションシステム……………	38
神保健作・米倉善彦・徳永治久	
ユーテルサット TDMA 基準局……………	41
中西道雄・伊藤久明・梅田義明・藤野 忠・内藤悠史	
三菱オフィスコンピュータ	
《MELCOM 80》システム 1 のハードウェアとソフトウェア……………	47
柴原芳信・青砥久志・富沢研三	
リモートコントロール送信機専用プロセッサ……………	52
須田眞二・本郷勝信・小林 洋	
中規模構内光伝送方式用諸装置……………	57
—32Mbps CSMA/CD 光LAN—	
江口真行・渡辺 晃・北山忠義・伊東 尚・小山勝行	
三菱簡易形パターン検査装置《MELCESS-I》……………	63
中島利郎・亀井光仁・橘 幹夫・竹谷和也	

特許と新案……………	72
空気調和機	

#### スポットライト

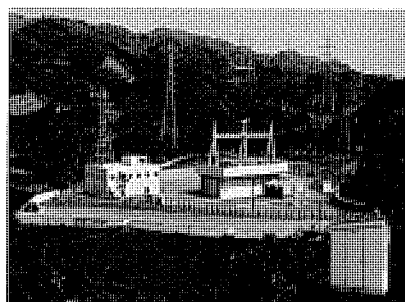
三菱汎用シーケンサ《MELSEC-A》シリーズ……………	67
中部電力(株)殿浜岡原子力発電所向け500kV 1200MVA 3号主要変圧器……………	68
人工知能用ソフトウェア搭載三菱汎用スーパーミニコンMX/2000, MX/3000……………	69
高速CMOSロジックIC M74HCシリーズ……………	70
三菱ビデオテックスターミナルVT220……………	71
三菱通信会議システムカラー静止画タイプB-VQ……………	73
三菱マルチワークステーション M3300シリーズ……………	74
三菱ローカルエリアネットワーク《MELNET B10》……………	(表3)

#### 表紙

##### 変電所監視システム

表紙は、四国電力(株)殿北松山変電所を示す。本変電所は地域環境との調和、コンパクト化を目指すのはもちろんのこと、無人変電所として運用の信頼度を一層向上させるべく監視システムを導入した最新鋭の変電所である。

本監視システムは現場に小形計算機を配置した分散処理形であり、主要機器に設置された各種センサの出力を監視箱(表紙右下)内で処理し、光データウェイにより本館へ上げて、本館内計算機で情報を処理している。





## アブストラクト

### 電力機器予知・予防保全の技術展望

高橋宏次

三菱電機技報 Vol.60・No.6・P1～2

事故の未然防止。電力供給の信頼度向上、保守の省力化などの観点から、電力機器の予知・予防保全に対する技術の確立の必要性は高い。従来、巡視と定期的点検によって行われていた予防保全を、より信頼性高いものとするため、機器内部の異常徴候レベルを外部診断技術などにより把握する予知保全の技術開発が推進されている。本文では、予防保全の現状と、予知保全の技術開発状況について述べ、今後の予知・予防保全のあり方につき検討する。

### 配電盤機器の劣化寿命

諸岡謙修・矢野 修・高田信治・広崎吉彦・久保田 寛

三菱電機技報 Vol.60・No.6・P19～23

昭和59年度に関西電力(株)と三菱電機(株)は、「配電盤機器の劣化寿命」について共同研究を行い、一応の成果を得たので、その結果について述べる。対象機器は、補助リレー、ノーヒューズブレーカ、故障表示器、指示計器、コントロールスイッチ、保護リレー、サーマルリレー、電磁接触器などで、納入後10～20年程度のものを発電所からサンプリングし、現状調査、劣化加速試験などを行い、その結果を統計処理して各機器の劣化寿命年数を推定した。

### タービン発電機及び水車発電機の予防保全

伊藤裕之・柴崎和則・植松 豊・佐野賢三・村井幸雄

三菱電機技報 Vol.60・No.6・P3～8

タービン発電機及び水車発電機は発電プラントの重要機器として、早くから予防保全の考え方を取り入れた保守が行われている。しかし近年省エネルギー、省資源の追求から既設プラントの重要性が高まり、予防保全もより一層の高度化が要求されている。本稿では予防保全から一段進めた予知保全としての発電機の診断・寿命予知法、異常監視装置の現状及び既設機器の近代化計画の具体例を紹介する。

### 変電機器における予防保全一監視システム

但田昭司・比舎 博・小島康昭・塩野克巳

三菱電機技報 Vol.60・No.6・P24～31

変電機器は、高信頼度・高機能化が追求され密閉化・複合化が進められてきており、設備保全として予防保全監視が重要となってきた。ここでは、エレクトロニクス技術、センサ技術など先端技術を適用した監視システムについて検討を行った。更に変圧器と開閉機器の不具合現象の調査、異常進展の分析が進められており、その結果をもとに開発されている、主にオンラインの監視・診断技術について代表例を紹介する。

### 発電機の異常監視システム

天笠信正・植松 豊・兎太 享・斉藤博士

三菱電機技報 Vol.60・No.6・P9～14

最近の発電プラントは、発電機の高信頼性はもちろんのこと、発電機の状態を常に監視し、万一異常が生じた場合には初期軽微故障の段階で早期に異常箇所を検知し、重大事故に至る前に処置を講ずるためのシステムが要求されている。このため、発電機の運転保守省力化を含めた発電機監視計測制御システムの実用化を検討中である。ここでは、この一環として開発した発電機運転中の異常監視装置について述べる。

### 電力機器監視用センサ

伊吹恒二・島田基博・東横良旺

三菱電機技報 Vol.60・No.6・P32～37

良質の電気を安定に供給する必要性はますます高まっており、これに伴い、電力機器の予知保全技術及びそれを支える機器監視用センサの開発・実用化が進められている。ここでは、予知保全に用いられる電力機器の情報とそれを検出するためのセンサという面から、最近の各種センサ及び光ファイバセンサの動向をとらえ、センサの適用上の注意や信号処理方法を挙げ、一例として、GISにおける予知保全用センサの適用例を紹介する。

### 電動機のDSS対策と余寿命推定

中尾 憲・脇本康夫

三菱電機技報 Vol.60・No.6・P15～18

最近ではミドル火力を中心にDSS(毎日発停)運用を行うケースが増加している。既設の電動機をDSSに転用する場合は、絶縁劣化による寿命のほかに、始動頻度の増大に伴う電動機各部の機械的・熱的応力のチェックや疲れ寿命に対する検討を行って、対策を打つ必要があるが、これには余寿命の推定を行い、対策項目の優先順位付けが不可欠である。本稿では、当社で実施しているDSS対策と余寿命推定の概要について述べる。

### エンジントランジェント シミュレーションシステム

神保健作・米倉善彦・徳永治久

三菱電機技報 Vol.60・No.6・P38～40

米国におけるヘビーデューティエンジンの排気ガス規制変更に伴い、自動車メーカー各社はエンジン・ダイナモメータシステムでトランジェントサイクルの自動運転によるエンジンの性能評価試験が必須となった。当社はこの要求を満たすべく、エンジン及びダイナモメータの制御に予測・学習制御を導入した新しい試験システムを開発し、自動車メーカーに納入した。このシステムにより、過渡状態を含むトルク、回転数の自動運転のトレース精度が飛躍的に向上し、エンジン試験の高精度化、効率化に貢献できた。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 6, pp. 19 ~ 23 (1986)

## The Service Life of Power-Distribution Switchboard Appliances

by Kenshu Morooka, Osamu Yano, Nobuharu Takata, Yoshihiko Hiroasaki & Hiroshi Kubota

The article describes the results of research on the service life of power-distribution switchboard appliances such as auxiliary switches, no-fuse breakers, failure annunciators, meters, control switches, protective relays, thermal relays, and magnetic contactors. This research has been conducted by Mitsubishi Electric in cooperation with Kansai Electric Power Co., Ltd. The research used samples of switchboard appliances, some of which have been in use for 10 to 20 years since their installation, for inspection and life-acceleration tests. The service life of these appliances has been estimated by a statistical study of the inspection and test results.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 6, pp. 1 ~ 2 (1986)

## Trends in Predictive and Preventive Maintenance Technologies for Power Apparatus

by Koji Takahashi

There is a growing demand for improved predictive and preventive maintenance technologies for power apparatus to ensure the continuity of electricity supplies. Many preventive maintenance methods have already been developed using diagnostic techniques to detect the existence, and relative seriousness, of abnormal operating states in this kind of apparatus. These have already taken the place of less reliable methods relying upon supervision and periodic inspection by maintenance engineers. The article discusses recent developments in preventive maintenance and technological progress in predictive maintenance, and their future prospects.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 6, pp. 24 ~ 31 (1986)

## The Latest Developments in Predictive and Preventive Maintenance Technologies for Substations (On-Line Monitoring Systems)

by Shoji Tada, Hiroshi Hisha, Yasuaki Kojima & Katsumi Shiono

In the quest for higher reliability and performance, recent substations have become more completely enclosed and increasingly complex. There is therefore a corresponding need for more sophisticated systems of predictive and preventive maintenance. The article discusses a monitoring system which uses the most advanced electronic and sensor technology. Failures of transformers and switchgear and analyses of abnormal states have also been studied to incorporate the results into new products. The article also deals with typical examples of on-line monitoring and diagnostic systems.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 6, pp. 3 ~ 8 (1986)

## Preventive Maintenance of Turbine Generators and Hydrogenerators

by Hiroyuki Ito, Kazunori Shibasaki, Yutaka Uematsu, Kenzo Sano & Yukio Murai

The concepts of preventive maintenance were soon introduced to the turbine and hydrogenerators that play such a key role in many power-generation plants. Recent demand for energy conservation has directed attention toward plants already installed, with the aim of introducing more sophisticated methods than present-day preventive maintenance. The article introduces predictive maintenance, a significant advance over preventive maintenance. This predictive maintenance includes diagnostic and service-life estimation for generators. The article also discusses both recent equipment for monitoring abnormal conditions and the modernization of generator equipment already in operation, with some examples.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 6, pp. 32 ~ 37 (1986)

## The Latest Developments in Sensors for Electric-Power Equipment Diagnostic Systems

by Koji Ibuki, Motohiro Shimada & Yoshio Higashimaki

There is an increasing demand for good, stable supplies of electricity. This calls for predictive maintenance technologies to be used with electric-power equipment and the associated sensor devices that play such a key role in monitoring this equipment. The article discusses recent trends in sensors including optical devices that monitor electric-power equipment, along with the factors affecting their suitability for particular applications and the methods of processing the resultant signals. The article also adds an example of sensors applied to the predictive maintenance of gas-insulated substations.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 6, pp. 9 ~ 14 (1986)

## A Generator-Monitoring System

by Nobutada Amagasa, Yutaka Uematsu, Susumu Uda & Hiroshi Saito

Power-generation plants need equipment-monitoring systems that increase the reliability of operation, detecting any abnormal states at earlier stages and preventing them from evolving into serious malfunctions. One practical way of meeting this demand is a method for monitoring and controlling generators that also achieves savings of manpower in their operation. The article introduces such a system for monitoring generator operation.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 6, pp. 38 ~ 40 (1986)

## An Engine Transient-Condition Simulation System

by Kensaku Jimbo, Yoshihiko Yonekura & Haruhisa Tokunaga

Changes in the U.S. exhaust-emission regulations for heavy-duty engines require automobile manufacturers to conduct engine-performance testing in transient cycles using the engine-dynamometer system. Mitsubishi Electric has developed a new testing system with predictive and learning control for engines and dynamometers, and delivered it to automobile manufacturers. This system has improved trace accuracy for torque and revolutions per minute under a variety of conditions, including transient conditions, resulting in engine testing with higher accuracy and efficiency.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 6, pp. 15 ~ 18 (1986)

## Preventive Maintenance for Daily Start and Stop Operations and Life Estimation of Large Induction Motors

by Satoshi Nakao & Yasuo Wakimoto

Daily start and stop (DSS) operation has found widespread use in power plants, particularly medium-load thermal-power plants. Changing the operation of induction motors over to DSS operation needs a system to check motor service life in terms of insulation deterioration, mechanical and thermal stress, and component fatigue life. This involves compiling a list of maintenance procedures in the correct order of priority. The article gives a brief description of DSS operations and service-life estimation in use by Mitsubishi Electric for large induction motors.

## アブストラクト

### ユーテルサットTDMA基準局

中西道雄・伊藤久明・梅田義明・藤野 忠・内藤悠史

三菱電機技報 Vol.60・No.6・P41～46

ユーテルサット（EUTELSAT：欧州電気通信衛星機構）は、ESA（欧州宇宙機関）が打ち上げたECS衛星を用い、120Mbps TDMA（Time Division Multiple Access）通信システムにより、欧州域内において2.5万電話回線相当を供給している。TDMA基準局設備は、TDMA通信システムの中核を担う重要設備であり、このほどイタリアとスペインの両地球局に納入した。本稿では、この設備の機能、構成及び性能について概説する。

### 中規模構内光伝送方式用諸装置

—32M bps CSMA/CD 光LAN—

江口真行・渡辺 晃・北山忠義・伊東 尚・小山勝行

三菱電機技報 Vol.60・No.6・P57～62

100×100ポートの光スターコプラを用い、32Mbpsの高速伝送を行う優先順位付きCSMA/CD方式のスター形光ローカルエリアネットワークである中規模構内光伝送方式に使用する装置の概要について紹介する。この方式は日本電信電話公社（現、NTT）とトラックIII調達手続により協同開発したものである。

### 三菱オフィスコンピュータ《MELCOM 80》システム1のハードウェアとソフトウェア

柴原芳信・青砥久志・富沢研三

三菱電機技報 Vol.60・No.6・P47～51

三菱オフィスコンピュータ《MELCOM 80シリーズ》のローエンド機種として、M80／システム1を開発した。システム1は、これまでのオフィスコンピュータ機能（OS：DPSⅣ）とOA処理機能（OS：MP／M-86™）を同時動作させながら、五つの処理機能を持った多機能コンパクトオフィスコンピュータである。本稿では、システム1のハードウェア、ソフトウェアの概要及び特長について報告する。

### 三菱簡易形パターン検査装置《MELCESS-I》

中島利郎・亀井光仁・橘 幹夫・竹谷和也

三菱電機技報 Vol.60・No.6・P63～66

テレビカメラとコントローラを組み合わせた簡易形のパターン検査装置について報告する。この装置は信号処理方式として被検査パターン中の必要最小限の領域のみを照合する簡易パターンマッチング法を採用するとともに、汎用コントローラの構成を基本として検査システムを構成した。これにより、検査対象の汎用性、高速処理、低価格などの機能を併せもつ自動検査が可能となり、従来自動検査のメリットが少ないとされていた簡単な検査への適用が期待できる。

### リモートコントロール送信機専用プロセッサ

須田眞二・本郷勝信・小林 洋

三菱電機技報 Vol.60・No.6・P52～56

当社はこれまで、TV、VTRを中心としたリモートコントロールLSIシリーズを開発し市場をリードしてきたが、このたび世界で初めて、ソフト変更により伝送フォーマットあるいはビット数の異なった複数のシステムのコントロールやキーの多重押し機能など、セットメーカーの様々な仕様要求に短期間でこたえることができるリモートコントロール送信機専用プロセッサM50460-×××Pシリーズ及びM50461-×××SPシリーズを開発したので報告する。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 6, pp. 57 ~ 62 (1986)

## A Medium-Scale 32Mb/s CSMA/CD Fiber-Optic LAN

by Masayuki Eguchi, Akira Watanabe, Tadayoshi Kitayama, Sho Ito  
& Katsuyuki Koyama

The article introduces a priority CSMA/CD star-type optical local-area network that enables transmission at a high speed (32Mb/s). This fiber-optic LAN was jointly developed by Nippon Telegraph and Telephone Corporation and Mitsuibishi Electric in accordance with NTT's procurement procedures.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 6, pp. 41 ~ 46 (1986)

## TDMA Reference and Monitoring Station (TRMS) Equipment for EUTELSAT

by Michio Nakanishi, Hisaaki Ito, Yoshiaki Umeda, Tadashi Fujino  
& Yushi Naito

EUTELSAT (the European Telecommunications Satellite organization) uses the ECS satellite to provide up to 25,000 telecommunications channels in the European region through the 120Mbps Time-Division Multiple-Access (TDMA) communication system. Mitsubishi Electric has delivered, to ground stations in Italy and Spain, TDMA reference and monitoring station equipment which plays a critical role in the TDMA telecommunications system. The article discusses the features, configuration, and performance of this equipment.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 6, pp. 63 ~ 66 (1986)

## A Simplified Pattern-Inspection System

by Toshiro Nakajima, Mitsuhiro Kamei, Mikio Tachibana & Kazuya Taketani

The article describes a simplified pattern-inspection system that combines a TV camera with a controller. The equipment incorporates a simplified pattern-matching method that matches the smallest possible necessary area in the inspected pattern, and a general-purpose controller. This enables automatic inspection of a wide variety of patterns at higher speeds, in addition to making lower costs possible. The new pattern-inspection system is expected to find applications considered impossible by conventional automatic inspection.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 6, pp. 47 ~ 51 (1986)

## The Hardware and Software of the MELCOM 80 Model 1 Computer

by Yoshinobu Shibahara, Hisashi Aoto & Kenzo Tomizawa

The Model 1 is the low-end model of the MELCOM 80 Series small business computers. This compact computer offers five simultaneous-processing capabilities while allowing DPS IV (Dynamic Processing System IV) and MP/M-86<sup>TM</sup> operating systems to run concurrently. The article describes this new model with emphasis on its hardware, software, and other features.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 60, No. 6, pp. 52 ~ 56 (1986)

## Processors for Remote-Control Transmitters

by Shinji Suda, Katsunobu Hongo & Hiroshi Kobayashi

Mitsubishi Electric is a leading manufacturer of LSIs for the remote control of TV sets and videotapes recorders. The Corporation recently developed the M50460-XXXP and M50461-XXXSP series of remote-control transmitters that allow programmable control of multiple systems with various kind of transmission formats and bit numbers, and multiple key-pressing functions. These features improve flexibility in specifications, resulting in shorter product-delivery periods. The article deals with these new processor series for remote-control transmitters.

## 1. ま え が き

事故の未然防止、電力供給の信頼度向上、保守の省力化など、電気事業者のニーズからも、機器の信頼度向上、センサ・計測技術の向上及び機器の残存寿命予知技術の向上など機器製造者の立場からも、電力機器の予知・予防保全技術に対する関心、必要性が高まっている。

従来、大形回転機については、予防保全の考えが取り入れられ、計画的な定期検査、細密分解点検や取替工事が行われてきている。近時、設備の老朽化が進んできたこと、長時間連続運転や頻繁な起動停止運転などの苛酷な運転を行っていることから、より適正な保全工事の実施の検討と、そのための機器診断技術や寿命評価技術の技術開発を推進している。変電機器についても、当初は、巡視点検により異常を早期に発見し修理する方法、あるいは、故障が発生した後に修理するいわゆる『事後保全』を主体に運用されていたが、現在は、定期的に点検を実施し、詳細な点検・手入れや部品交換を実施する『予防保全』が取り入れられてきた。更に、電力のより安定な供給の要求、機器のより一層の信頼度向上の要求などから、巡視・点検などの保守と同時に、機器内部を外部から診断して異常徴候レベルを把握して『予知保全』を行う技術開発が進められ、今後は、『予防保全』と『予知保全』が併用されていくことになる。

当社は、昭和58年度から事業用火力発電所を対象に、電子計算機を用いた予防保全システム《MELRAP-T》(Mitsubishi Electric Corporation Reliability & Availability Up-Grading Program-Thermal)<sup>(1)</sup>を導入しており、その後水力プラント、原子力プラントについても完成、変電機器についても検討中である。この予防保全システムは、事業者納入した電機品について、既納プラントのユニットごとに、随時予防保全の全項目がアウトプットされ、機器固有の履歴管理が常時行われるシステムである。このシステムを活用することにより、既納製品のQA、QCに関するシステムティックなフォローと、予防保全サービスの徹底を達成することができる。

これら予防保全を実施する一方、より信頼度の高い、より効率的な保守方法として、予知保全技術の開発が推進されている。機器の異常を予知するには、機器を停止させて診断する方法と、機器を停止せずに運転状態のままで、外部から内部を診断する方法がある。現在開発を進めているのは、運転中の機器を外部から診断する技術の開発であり、機器内部の異常を早期に、かつ的確に発見できること、外部から診断するため、できるだけ雑音の影響が少ないこと、診断される機器は、従来機器から新形機器など多くの機器を対象にすることができるなどが具備すべき条件となる。

この特集号では、このように進められている予防保全の中で、より信頼度の高い『予防保全』を実施し、『予知保全』を可能にするための機器の診断技術や寿命評価、それに必要なセンサ技術などについての当社の技術開発状況を紹介する。

## 2. 予防保全の現状

電力機器に要求される高信頼性を確保するためには、開発設計段階から、製造・据付及び運転中の保守を含めた信頼性向上のシステムが必要である。昭和53年4月から昭和58年3月までの5年間の事故・障害の実態調査<sup>(2)</sup>によれば、全事故の41%が設計、製作もしくは保守不完全に起因したものであり、全障害の84%が同様な原因に起因するものである。

製品そのものの信頼性は、その設計段階で織り込まれる割合が高いが、そのため設計段階では、FDR (Formal Design Review) の実施による各分野の専門家の知見の反映、FTA (Fault Tree Analysis) による事故原因の摘出と対策、FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) による事故発生時の影響度と致命度の事前検討を実施してきた。

製作・施工面でも、作業手順、チェックリストの整備など品質管理面での強化を行っている。

機器据付後の点検としては、設備の性能維持のため、機器の再調整、点検・手入れ、構成部品の交換などを定期的に行う。これらの保守基準は、開発段階で実施する電氣的・機械的寿命試験や、耐環境性試験の結果から設定される。更に重要部品については、実際に長時間使用された実機からサンプリングを行い、劣化度合を調査し、保守基準の適正化を図っている。

当社の予防保全システム《MELRAP》には、発電プラントごとに、機器固有の保全履歴情報が体系的に収集管理されており、あらゆる機器の予防保全活動が、計画的・効率的に実施できるよう、システムティックにデータ整理がされている。これらのデータは、必要に応じて、顧客に提出する予防保全項目一覧表としてアウトプットされ、当社と顧客の間での技術説明打合せにて検討される。この予防保全システムは次の特長をもつ。

- (1) 基本的予防保全項目が機械的に電算機にて処理されるので、多数の納入機器に対して、横断的、かつ、手落ちなく予防保全項目をピックアップすることができる。
- (2) 機械的にピックアップされた予防保全項目に対し、当該機器固有の条件を加えて、予防保全項目の決定及び点検時期などの情報を提供することができる。
- (3) 推奨項目には、信頼性向上、性能向上、定検作業改善、経年劣化対策、法規対策などの項目が含まれており、総合的なプラントの改善資料としても活用することできる。
- (4) 予防保全実施履歴が記録されているので、プラントの経歴表としても利用することができる。また、必要な予防保全項目は当該年度だけでなく、時期を付して数年先まで記入してあるので、長期的な予防保全計画にも利用することができる。

このように当社の予防保全システム《MELRAP》は、コンピュータによるシステムティックなフォロー体制を構築し、品質保証情報の集中化、一元化が達成できると共に、予防保全活動の円滑化と効率化を図る

ことができ、電力機器のより信頼性向上に寄与することができる。

### 3. 予知保全技術の現状

予知保全は、必要な点検や取替工事を実施する一方で、機器を運転停止させることなく、機器外部から、簡単な方法で、機器内部の異常徴候を、できるだけ正確かつ早期に発見できることが第一の機能目標となる。

予知保全の目的は、現在実施している巡視や保守点検時に行っている各種の監視・測定をセンサ・計測、更にコンピュータによるデータ処理を用いて実施し、より精度の高い、事故・障害の未然防止、保守の省力化、点検時期や取替時期の把握を行おうとするものである。

発電機の予知保全として、異常監視システムを開発した。このシステムでは、従来から測定している温度や振動量などの発電機の各種状態量のほか、発電機コイルの温度差の高精度の測定や局部過熱、コイル層間のレアショットや部分放電、界磁回路の諸量（電圧、電流、温度など）、軸絶縁及び発電機内部の湿度や水素ガス漏えいなどを測定し、発電機の異常監視に利用している。

変電機器については、多くの機種や異った構造のものがあることから、それぞれの機器固有の監視方法を検討している。監視する機器の性能としては、機器機能として最も重要な絶縁機能、通電機能、開閉機能などが挙げられる。

絶縁機能を監視する方式としては、絶縁破壊の前駆現象として発生する部分放電が代表的な検出項目として挙げられる。部分放電が発生すると、高周波の放電電流が発生すること、音（振動）、光、及び分解ガスを発生することから、それぞれの機種に応じて、検出しやすく、S/N比の特性の良い方法を採用している。複数のセンサを用いて位置評定をしたり、1以下のS/N比の信号からデータ処理を行って必要な信号をとり出すこともできる。変圧器の油中ガス分析やガス絶縁機器の分解ガス監視は、機器の内部診断の有効な手段である。

通電機能については、温度を測定することが通常の手段である。温度センサについては、熱電対、サーミスタ、サーモパイル、焦電素子や光ファイバ温度センサなど、各種のセンサがあり、それぞれの機器で使いやすいセンサを利用することができる。

開閉機能は遮断器、断路器などにとって最も重要な機能の一つであるが、遮断器、断路器とも、全故障中の操作機構系に起因する故障の占める率は高く、操作機構系の監視は重要な監視項目の一つである。開閉機能を簡単に監視する方法として、制御電流の通電時間を測定する方法や、操作機構のストローク特性を測定する方法などを挙げる事ができる。

### 4. 今後の課題

事故の未然防止、電力供給の信頼度向上、保守の省力化に対する必要性はますます高まっており、そのためには、計画的・定期的な点検を実施し、詳細な点検や部分の取替を行う予防保全技術の確立を図らなければならないが、より一層の目的達成のためには、機器の外部からの診断技術や寿命評価技術、それに必要なセンサ技術の開発推進が重要課題である。

#### (1) 予知・予防保全技術の確立

回転体部品や、これを支持する軸受など重要な構造部品については、定期的な点検もしくは非破壊検査を実施し、性能の健全性を確認する必要がある。また、運転中に万一異常を生じた場合、早期に異常が発見できれば、重大事故を回避することができる。

変電機器では、高信頼度・メンテナンスフリー機器の開発が推進されており、長時間インタバルの保守点検が指向されている。いずれの場合にも、正確な点検時期の選定と機器内部の異常を早期に発見することが必要である。このことは、機器の高信頼度の維持、事故・障害の未然防止のみならず、機器不具合の復旧の省力化、機器寿命の延長、点検インタバルの延長などにもつながることとなる。

#### (2) センサ技術の向上

新しい予知保全技術を開発するためには新しいセンサの開発を必要とするが、センサとして具備すべき条件としては、小形・軽量であり、それが用いられる電力機器が置かれる環境から影響を受けることなく機能を発揮することが要求される。すなわち、使用される環境としては、電磁界、温度変化、振動のある条件の下に高信頼度、長寿命に耐えなければならない。

故障を予知するセンサは、それが使用される機器が劣化しはじめる兆しの段階で検出すべき現象を捉える必要があり、このため、故障予知用センサは高感度でなければならない。また、弱い信号から正確に状態を把握するための信号処理手法の開発も必要である。

### 5. むすび

電力供給の安定供給、機器の信頼度向上、保守の省力化のニーズから、定期的な点検や取替による『予防保全』と、機器の定量的な状態を把握する『予知保全』の適正な組合わせが必要である。今後これらの実績と技術開発により、より信頼性ある機器の運用を達成したい。

### 参考文献

- (1) 高田ほか：火力発電プラントの予防保全システム《MELRAP-T》，三菱電機技報，58，No. 6（昭59）
- (2) 電気協同研究：変電設備信頼度向上対策，第41巻 第5号（昭61）



## 1. ま え が き

タービン発電機や水車発電機は、その故障が直ちに発電支障につながるなど社会的な影響が大きいため、早くから予防保全の考えが取り入れられ、定期検査や計画的な分解点検、信頼性向上のための設備改良などが実施されてきている。特に最近では次の理由により、保全の高度化が強く要求されるようになってきた。

- (1) 発電機の老朽化： 低成長経済のもと新規設備が抑制され、全設備に占める老朽発電機の割合が増加している。例えば火力用発電機では、設備容量で運転開始後15年以上経過が1/3、10～15年が1/3を占めている。
- (2) 運用条件の過酷化： 原子力や石炭火力は、ベース負荷運用で定期検査から定期検査まで、約1年間ほとんど全負荷で連続使用される。一方、石油火力や水力は電力需要に対応して急激な負荷変動をうけ、頻繁な起動停止を行っているものが増加している。
- (3) 保全の効率化： 省資源のため保全に要する費用、保全のための設備停止期間を最小化し、また保全のインターバルを長くする必要がある。

このような要求にこたえるため、機器診断技術や寿命予知、状態監視装置などの技術開発が行われており、また最新技術を既設発電機に適用して近代化が図られている。

本稿ではこれら発電機保全の最近の動向を、具体的事例を中心に紹介する。

## 2. 発電機の機器診断技術と寿命予知

発電機の構成部品種類は1万件にも達し、絶縁材や構造材などその性質が大きく異なっており、全体を一律に扱うことは不可能である。したがって発電機の診断は個々の部品ごとに最適な方法で実施する必要がある。

## 2.1 固定子コイル

高電圧が印加される固定子コイル絶縁は、マイカを基材として樹脂を含浸する絶縁システムが採用されている。以前はアスファルトなどの天然樹脂を用いたコンパウンドコイルが主流であったが、昭和30年代初めポリエステル樹脂が開発され、昭和40年代後半にはエポキシ樹脂に置き換えられ、熱的・電氣的・機械的特性が大きく向上した。固定子コイル絶縁は、熱的・電氣的・機械的及び環境的要因によって経年的に劣化し、破壊電圧値が低下する。固定子コイルの診断はこの破壊電圧値を推定することであり、表1.に示すように各種の試験法が提唱されている。単一の試験では推定精度が出ないため、各種試験を組み合わせ総合的に判定する方法が一般に用いられている。以下アスファルトコンパウンドコイルとポリエステルレジンコイルの診断法について述べる。

## 2.1.1 アスファルトコンパウンドコイル

アスファルトコンパウンドコイルでは、多数の実機データが統計的に調査されており、非破壊試験結果と破壊電圧値の間に密接な相関が認められている。この相関から我が国では、表1.に示す判定基準が広く利用されている<sup>(1)</sup>。実際には非破壊試験の結果と運転履歴及びコイル

表 1. 固定子コイル絶縁の各種診断法

診 断 法	内 容
破 壊 試 験	実機からコイルを抜き取り、破壊電圧値を測定し寿命を推定する。
耐 電 圧 試 験 (1) 交流電圧試験 (2) 衝撃電圧試験 (3) 直流電圧試験 (4) 極低周波電圧試験	コイルに高電圧を印加しそれに耐えることを確認する。 (1) 運転周波数又はそれに近い周波数の交流高電圧を印加する。 (2) 衝撃波高電圧を印加し、異常電圧に対して耐えることを確認する。 (3) 直流高電圧を印加する。試験装置を小形化できる。 (4) 極低周波の電圧を印加する。
非破壊絶縁特性試験 (1) 直流試験 (2) 誘電正接試験 (3) 交流電流試験 (4) 部分放電試験	<p>コイルの破壊電圧予想値以下の電圧を印加し、劣化程度を診断する。</p> <p>(1) 電圧-時間特性から成極指数 (P. I.) を求め、吸湿乾燥程度を判定する。P. I. が1.5以下から乾燥の必要がある。 絶縁抵抗-電圧特性から直流破壊電圧値を推定する。</p> <p>(2) 電圧-<math>\tan \delta</math> 特性から吸湿、乾燥、汚損、劣化程度を判定する。 <math>\Delta \tan \delta</math> (試験電圧での <math>\tan \delta</math>) - (低電圧での <math>\tan \delta</math>)</p> <p>(3) 電圧-充電電流特性から電流増加率 (<math>\Delta I</math>)、電流急増電圧 (<math>P_{t1}</math>, <math>P_{t2}</math>) を求め、劣化程度の判定と破壊電圧値の推定を行う。 最近では AIA により <math>\sigma</math> を求めて劣化判定を行うこともある。</p> <p>(4) 見かけの放電電荷量により絶縁性能の判定を行う。 試験電圧での最大放電電荷量 <math>Q_{max}</math></p>
物 理 化 学 的 試 験 (1) 熱重量分析 (2) 赤外分光分析 (3) 機内の分解ガスモニタリング	<p>絶縁物の物理化学的变化を検出して劣化程度を判定する。</p> <p>(1), (2) 実機から絶縁をサンプリング (微量で可) し、分析して劣化程度 (主として熱劣化) を判定する。</p> <p>(3) 運転中の機内のガスを分析し、微粒子があれば過熱点があると判定する。</p>
外 観 検 査	コイル表面の変色、汚損、クラックの有無や支持物のゆるみなど
運 転 履 歴 の 調 査	運転時間、起動停止回数、運転中の温度他の記録、使用環境など 各運転条件を考慮した絶縁劣化推定式 (又は推定曲線) から破壊電圧値や余寿命を推定する。

最高試験電圧	E				1.25E/ $\sqrt{3}$
定格電圧E(kV)	3.3	6.6	11	6.6	11
$\Delta \tan \delta$ (%)	0.7	6.5	6.5	0.9	2.5
$\Delta I$ (%)	4.0	8.5	12.0	2.5	5.0
$P_{t2}$	$\leq E$				
$Q_{max}$ (クーロン)	—	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-8}$

の外観点検結果から総合的に判定するのが一般的である。

2.1.2 ポリエステルレジンコイル  
レジンコイルが実用に供せられてから現在まで、経年劣化による事故は発生していないが、初期のものでは既に運転開始後 20～30 年を経過し、劣化状態を把握し更新を計画すべき時期にきている。

診断法としてアスファルトコンパウンドコイルで実績のある非破壊試験の準用が考えられるが、レジンコイルではその結果と破壊電圧値の相関が明確ではなく、今後の研究課題である。そこで現在では発電機の運転履歴から破壊電圧値を推定する方法と、実機からサンプルコイルを抜き取り破壊試験を行う方法が行われている。運転履歴から推定する方法は、環境的なものを除き経年劣化の要因が運転時間に依存するものと、起動停止や負荷変動などのヒートサイクルに依存するものとに分かれることに着目する。モデルコイルによる加速劣化試験（経年劣化要因を実機より過酷にし、短時間で劣化させる試験）の結果から、運転時間及びヒートサイクルによる劣化の係数を定める。当社の初期のポリエステルレジンコイルの残存耐電圧値（実機の推定破壊電圧値を初期破壊電圧値で除した値）は次式で与えられる<sup>(2)</sup>。

$$V=100-1.73T-4.06N \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $V$  : 残存耐電圧値 (%)

$T$  : 運転時間 ( $\times 10^4$  h)

$N$  : 起動停止回数 ( $\times 10^3$  回)

なお、基準となる初期値は、初期データの  $3\sigma$  下限値とする。この方法は水素冷却タービン発電機のように、環境的要因の影響の少ないものについては特に有効である。

実機からサンプルコイルを抜き取り、破壊電圧値を求める方法はより直接的であるが、発電機全体のコイルの最低破壊電圧値を精度良く推定するためには、1 台当たり 10～20 本程度のサンプルコイルを抜き取る必要があり、すべての実機で行うのは経済的ではない。そこで何台かの発電機からサンプルコイルを抜き取り、破壊電圧値と発電機の運転履歴との相関を求めることにより、他の発電機の劣化状態を推定することが考えられる。水素冷却タービン発電機では、既に表 2. に示す実測データが得られており、このデータから求めた破壊電圧値と運転時間、起動停止回数との関係を図 1. に示す。式(1)と図 1. の結果はよく一致しており、水素冷却タービン発電機について運転履歴から破壊電圧値をかなり精度良く推定できる。発電機に必要なとされる破壊電圧値を、新しい発電機の耐電圧試験値  $2E+3$  kV ( $E$  は定格電圧値) と考えると、起動停止回数の少ない機械では、運転時間 17～20 万時間で破壊電圧値がこのレベルまで下ってくる。起動停止回数が増加すると、その分短い運転時間で破壊電圧値がこのレベルに達する。このように、発電機の運転履歴から固定子コイルの更新時期を決めることができる。なお、固定子コイルの巻替えは発電機所で実施することができる。

空気冷却タービン発電機や水車発電機では、サンプルコイルの抜取り例が少なく、今後のデータ蓄積が待たれる。

表 2. 水素冷却タービン発電機サンプルコイルの破壊電圧値

発電機	運転年月	容量 (MW)	定格電圧 $E$ (kV)	運転履歴		絶縁耐圧実測データ <sup>*1</sup>			3 $\sigma$ 下限値劣化率推定値 ( $\bar{Y}-3\sigma$ ) <sup>*2</sup> ( $\bar{Y}_i-3\sigma_i$ ) 式(1)から推定 (%)	実測データに基づく重帰帰の信頼区間からの推定値 (99.9%信頼) $Y_{min}^{*1}$ (%)
				起動停止回数 (回)	運転時間 (時間)	平均値 $\bar{Y}$ (%)	最大値 $Y_{max}$ (%)	最小値 $Y_{min}$ (%)		
A	S 37-10	175	18	207	110,000	79	83	76	75	57
B	S 33-1	75	13.2	4,219	100,889	68	78	51	61	42
C	S 31-2	66	13.2	5,565	103,637	63	76	59	55	36
D	S 32-9	75	13.8	3,050	100,535	71	85	55	66	47
E	S 37-7	156	18	213	125,424	86	90	76	72	55
F	S 30-9	75	13.8	3,376	106,971	62	75	55	63	45
G	S 37-6	156	18	360	158,157	73	83	53	64	48
H	S 37-10	175	18	909	149,802	69	80	55	64	48

注 <sup>\*1</sup> データは初期平均値で規格化

<sup>\*2</sup>  $3\sigma$  下限値は初期値の  $3\sigma$  下限値で規格化している。

個々の機械でばらつきはあるが  $Y_i \approx 1.4(Y_i - 3\sigma_i)$

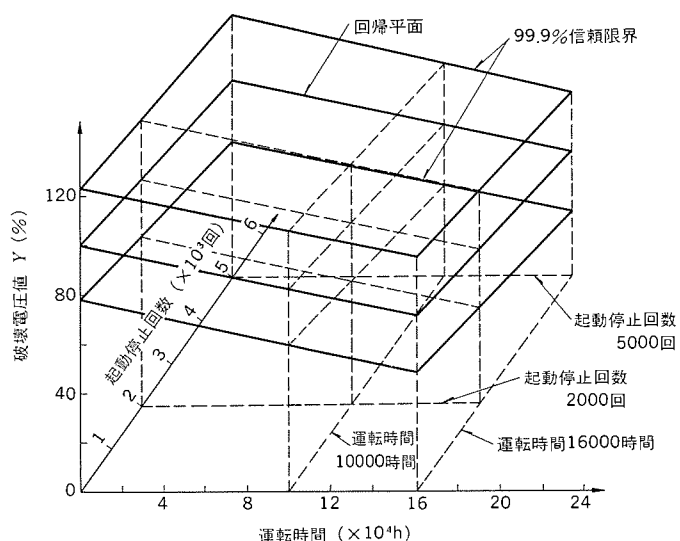


図 1. 水素冷却タービン発電機固定子コイルの破壊電圧値と運転履歴の関係（実機データからの回帰）

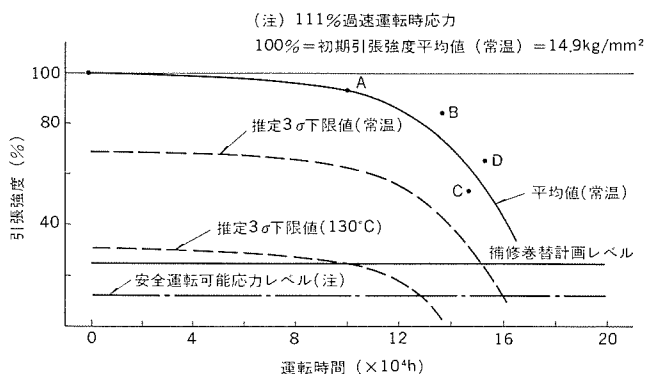


図 2. タービン発電機用天然樹脂系スロットセル強度の経年劣化

## 2.2 回転子コイル

回転子コイル絶縁に運転中に加わる電圧は数百 V 以下であり、電気的な劣化を考慮する必要はないが、強大な遠心力を受けるため機械的な劣化が問題となる。使用されている絶縁物が発電機の構造により多岐にわたっており、各々の劣化データをもとに更新を計画する必要がある。図 2. は古いタービン発電機に使用されている天然樹脂と、マイカの組合せによる対地絶縁（スロットセル）の引張強度の運転時

表 3. 構造部品の経年劣化要因と非破壊試験法

機種	部 品 名	部 位	劣 化 要 因	非 破 壊 試 験 法	試 験 時 期
タービン発電機	回転子軸	ジャーナル部	ねじり応力による疲労	段落部 PT	回転子引き抜き時
		ティース部	ウエッジと当たり面のフレットニング	外周から UT	回転子引き抜き時
		中心穴		ウエッジを引き抜き PT 又は MT	中心穴点検実施時
	リテーニングリング	かん合部	遠心応力による欠陥の拡大	中心穴から VT, UT, MT	運転時間 100,000 時間経過時
			結露雰囲気による応力腐食割れ及び遠心応力の繰り返しによる欠陥の拡大	外周, 側面から UT	回転子引き抜き時
	回転子ウエッジ	肩 R 部	回転子のたわみによって生じる高サイクル応力と遠心力による低サイクル応力の組合せ	軸から取り外し内周 PT	中心穴点検実施時
				外周から UT	回転子引き抜き時
	カップリング	かん合面	ねじり応力, 回転子曲げ応力によるかん合面のフレットニング	ウエッジを引き抜き PT	UT で欠陥検出時
	ブロワブレード	根元 R 部	遠心応力による疲労	端面から UT	回転子引き抜き時
	口出しリード	リード導体	分解組立による曲げ応力	PT	回転子引き抜き時
共通	軸受	ホワイト接着面	ヒートサイクルによるホワイトと裏金の剥離	VT 必要に応じ PT	回転子引き抜き時
		表面		UT, PT	回転子引き抜き時
	シールリング	ホワイト表面全体	しゅう動傷ほか熱応力による変形	VT, PT, 傷見ゲージ, 寸法計測	
水車発電機	主軸	カップリング部	ねじり応力による疲労	PT	オーバーホール時
		ジャーナル部			
		かん合根元部			
	スバイダボス	リブ溶接部	遠心応力, 起動停止の慣性力及びスラスト荷重変動による疲労	PT, MT	オーバーホール時
	ボールクランパ	根元部	遠心応力による疲労	PT	オーバーホール時
	ダンパ巻線	ろう付け部	ヒートサイクルによる疲労	PT	オーバーホール時
	ファン	溶接部	遠心力による疲労	PT	オーバーホール時
	ブラケット	リブ溶接部	スラスト荷重変動力による疲労	PT, MT	オーバーホール時
	軸受	ホワイト接着面	ヒートサイクルによるホワイトと裏金の剥離	UT, PT	オーバーホール時
		表面	しゅう動傷	VT	
共通	冷却器 (水素, 空気, 油)	細管	腐食	ET, 耐圧試験	
			振動力による疲労割れ	耐圧試験	

備考 PT: 染色探傷試験, UT: 超音波探傷試験, VT: 目視点検, MT: 磁粉探傷試験, ET: 渦流探傷試験

間による劣化を示すもので, 12 万時間程度を越えるものでは早い機会に更新を計画する必要がある。

### 2.3 構造部品

回転体部品やこれを支持する軸受などの重要な構造部品は, その破壊の波及の影響が大きいため, 劣化要因を考慮して定期的に非破壊検査を実施し, 健全性の診断を行うことが重要である。劣化要因は起動停止による遠心応力やヒートサイクルなどの低サイクル応力のほかに, 回転時のたわみに起因する高サイクル応力や停止時の環境条件に起因する応力腐食など多岐にわたっている。

表 3. に重要部品の劣化要因と検査方法を示す。検査で欠陥が発見された場合, 欠陥の性状を詳細に調査し, その部品の劣化要因と予測される運用条件から欠陥の進展速度を求め, 寿命を評価して必要な対策を決定する。

### 3. 発電機運転中の異常監視装置

発電機の運転中に万一異常を生じた場合, 早期に異常箇所が発見され, 重大事故に至る前に処置を講ずることができれば, 二次的な災害を防ぎ, 停止期間を短縮し保全費用の削減ができる。このような観点から, 発電機の運転保守の省力化を含めた総合的な発電機監視システム(図 3.)の開発が進められている。このシステムの一環として, 開発した発電機運転中の異常監視装置を表 4. に示す。

#### 3.1 固定子温度差モニタ

従来から固定子コイル温度は, 発電機の主要な監視項目として計測

表 4. タービン発電機の異常監視装置

監視装置		監視機能
発電機	固定子コイル温度差モニタ	各固定子コイルの温度差を負荷に応じて監視し, コイル断線などの異常を早期検知する。
	発電機高周波モニタ	放電によって生ずる高周波信号を検出し, 発電機内の異常を早期検知する。
	発電機コンディションモニタ	発電機内の過熱によって生ずる微粒子を検出し, 発電機内の異常を早期検知する。
	発電機界磁計測モニタ	ブラシレス励磁方式において, 発電機の界磁接地の連続監視及び界磁電圧・電流の計測をテレメータにより行う。
	軸絶縁モニタ	発電機の軸一軸受間の軸電圧を測定し, 軸絶縁異常を監視する。
	発電機内湿度モニタ	発電機内水素ガスの湿分を監視し, 高湿度状態における不具合を防止する。
励磁変流機	整流回路異常モニタ	回転整流器回路のブリッジアーム喪失(BAF)を監視する。

されているが, 絶対値の監視では早期の異常発見が難しい。この装置では以下の方法で温度差を監視警報し精度を上げる。

- (1) 発電機試運転結果から温度差の少ない 2 素子ごとの組にする。
- (2) 組内の 2 素子の温度差を監視し, 制限値を越えると警報する。

#### 3.2 発電機高周波モニタ

発電機の固定子コイルは, それ自身のインダクタンスと対地静電容量, 中性点接地装置のインダクタンス, 静電容量とからなる共振回路を形成

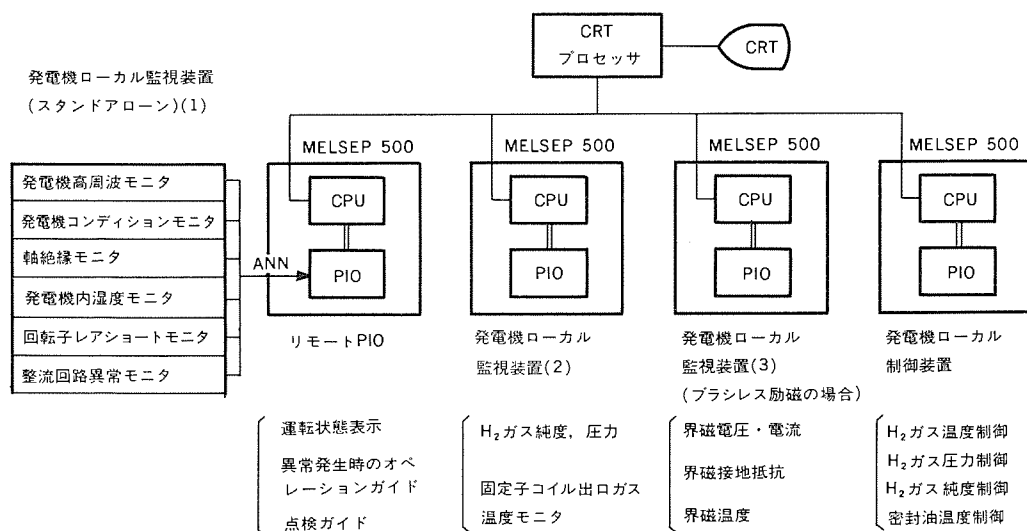


図 3. 発電機監視制御システムの構成

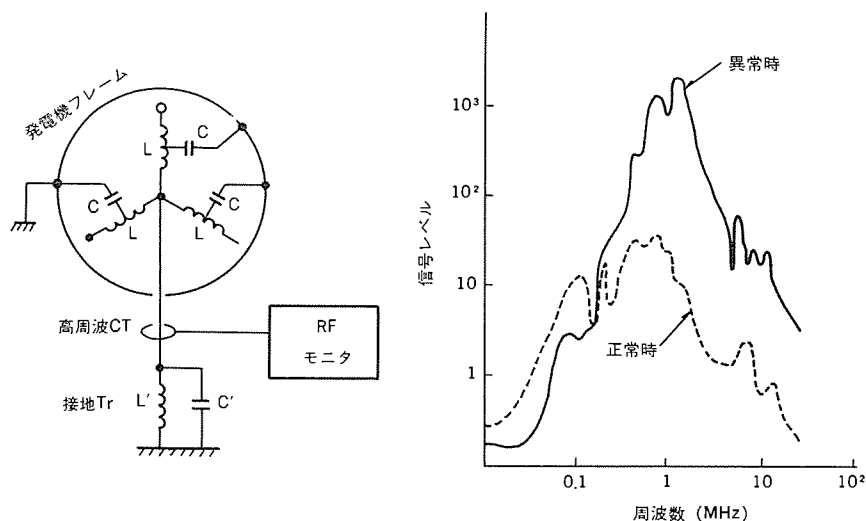


図 4. RF モニタの原理図

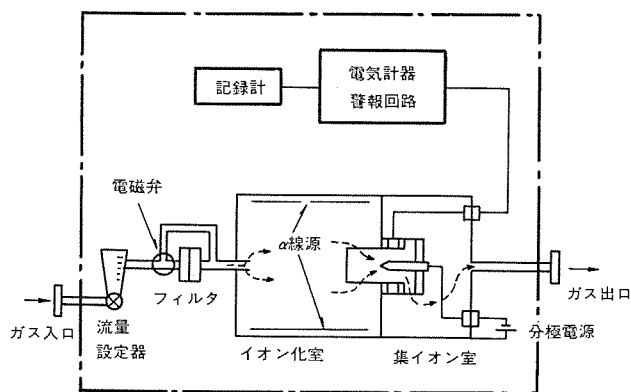


図 5. GCM の原理

しており、低レベルの電流が流れている。発電機内部で絶縁の損傷や導体の疲労破壊を生じると、微小アークを生じ、この共振周波数の電流レベルが増大する(図 4.)。発電機高周波モニタ(Radio Frequency Monitor: RF モニタ)は特定の周波数に着目し、電流があるレベルに達すると警報を発する。

工場で実機を利用し、固定子コイル導体の微小アーク模擬試験を行った結果、共振周波数の電流レベルが約 20 dB 変化することがわかった。

### 3.3 発電機コンディションモニタ

発電機内に局所的な過熱が生じると、絶縁物などの有機物質から微粒子が生じる。発電機コンディションモニタ(Generator Condition Monitor: GCM)はこの微粒子を検出し、警報を発生する装置で図 5. に原理図を示す。発電機からのガスが GCM のイオン室に入り、低レベルの  $\alpha$  線でイオン化され、集イオン室で電極に捕集され、イオン電流が流れる。微粒子が混入すると、ガスイオンに微粒子が付着し、電極に捕らえられるイオンが減少し、イオン電流が減少する。この電流値があるレベル以下になると警報を発する。

GCM は従来の測温素子と異なり、過熱場所を限定しないで、早期に過熱を発見できる優れた特長をもっている。微粒子の質量分布が過熱した材料や温度によって固有のパターンをもっていることから、警報発生時にガスをサンプリングし過熱位置を推定することもできる<sup>(3)</sup>。

3.4 発電機界磁計測モニタ  
ブラシレス励磁方式の発電機の界磁諸量(界磁電圧・電流・温度)を直接計測する方法として、スリップリングとブラシの接触部を設けずテレメータを使用する。最近では精度を上げ動作を安定させるため従来の FM (Frequency Modulation) 方式に変え、伝送信号をデジタル化したマルチ PCM (Pulse Code Modulation) 方式を採用している。

3.5 軸絶縁モニタ  
一般に発電機の軸受は、軸電流による電食を防止するために絶縁が施されている。この装置は発電機の軸にブラシを接触させ、軸電圧の主成分である交流電圧を計測し、あるレベル以上になると警報を発する。接触部があるのでソレノイドを用いて自動間欠計測を標準としている。

3.6 発電機内湿度モニタ  
発電機内の湿度が高くなり結露するような状態になると、絶縁物その他に悪影響を与える。この装置は酸化アルミナ表面に金電極を蒸着した湿度センサを用い、湿度変化を素子のアドミタンス変化として検出し露点温度に換算する方式としている。

3.7 ブラシレス励磁機整流回路異常モニタ(ブリッジアーム喪失監視装置)  
ブラシレス励磁機は発電機界磁に直流電流を供給するため、回転子に整流回路を搭載している。この整流回路は三相全波整流の 6 アームで構成され、各アームはダイオードとヒューズからなる整流素子複数個で構成されている。

従来整流回路の異常は、ヒューズの動作表示器をストロボスコープを用いて目視確認しているが、この装置は交流電流の流れる回転子軸上導体の電流を固定側の電流検出電磁ピックアップで検出し、異常を自

動警報するものである。電流検出器の出力信号は変換回路でパルスに変換されカウントされるが、もしアーム1本が故障すると、出力信号の波形がひずみ、変換回路で発生するパルス個数が減少する。パルス個数が規定値より少ない場合、ブリッジアーム喪失の警報を発する。

#### 4. 発電機の主な予防保全項目

一口に発電機といっても、使用条件その他で要求される内容が大幅に異なってくる。ここで水素冷却タービン発電機、空気冷却タービン発電機及び水車発電機の予防保全項目について説明する。

##### 4.1 水素冷却タービン発電機

水素冷却タービン発電機は、主として事業用の火力・原子力発電用として使用された大容量機が多く、電力供給の面から信頼性が最優先される。

原子力用タービン発電機は、定期検査から次の定期検査まで1年以上はば全負荷で運転するため、特に信頼性が重視される。また、最近では定期検査の期間を短くし、設備の稼働率を向上させる動きがあり、適切な時期に必要な十分な予防保全を実施するとともに、万一に備え予備品の充実や補機の二重化などを行うことが大切である。また、運転開始後10年以上経過したものでは、回転子・固定子の主要部分の一部を分解し、より精密な点検を計画実施する必要がある。

火力用タービン発電機は、使用する燃料や接続する系統の要求などの諸条件により、ベース負荷運用のもの、毎日起動停止(Daily Start and Stop: DSS)や週末起動停止(Weekly Start and Stop: WSS)などの変動負荷に対応するもの、停止期間が長くピーク負荷や大容量機の停止時に運転するものなど運用形態は多岐にわたっており、これら運用形態に適合した予防保全を実施する必要がある。また、運転開始後長年月を経過した発電機も多く、2章で述べた方法により機器の診断を行い、寿命を考慮した更新・改修を行うことが大切である。更新・改修にあたっては、信頼性向上、省エネルギー、省力化などを考慮して最新技術を反映する。表5.に水素冷却タービン発電機の予防保全項目の代表事例を示す。

##### 4.2 空気冷却タービン発電機

空気冷却タービン発電機は、比較的過酷な条件下で使用される場合が多く、また構成部品の劣化の進行度合も使用環境、運用方法などにより大きく影響されるため、予防保全計画にあたっては各機対応の特殊条件を加味して検討することが必要である。近年、自家用発電設備においても絶縁の更新時期を迎える老朽機が急増しており、予防保全の重要性が高まっている。一方、従来ベース負荷用として運用していた発電機を、予防保全工事を契機としてDSSなどの経済性を考慮した運用方法へ変更する計画も増加している。既設の空気冷却タービン発電機は、連続運転を前提として製作されており、DSSのような頻繁な起動停止による過酷な応力の繰り返しに対しては、それなりの対策が必要である。また、工場の操業上、低負荷連続運転を実施する場合には、発電機はもともと全負荷近くで最高の効率となるため、極端な効率低下を招き、発電原価が増加する。

上述のように、従来と異なった運用方法を採用するにあたっては、単に機器の延命のための予防保全工事では不十分であり、積極的な改良が必要である。更に付属機器をも含めた全体の構成部品の協調も大切で、発電機設備全体について、将来の交換部品の入手難易度、保守の容易性、補機動力の運転コストなどをきめ細かく検討し、設備の近代化を図る必要がある。表6.に空気冷却タービン発電機の運用方法の変更、あるいは近代化に伴う改良事例を示す。これらの改良工事は機器の休止期間を短縮するため、絶縁更新工事などと合わせて実施することが望ましい。

##### 4.3 水車発電機

水車発電機はタービン発電機より古い歴史をもっており、それだけ老朽機も多い。一時、水主火従から火主水従へ移行する時代に、水車発電機の保守は旧性能を保持するだけとする考え方もあったが、近年省エネルギー、クリーンエネルギーとして水力発電が見直され、積極的な近代化改修が計画されるようになってきた。特に水力発電所は出水率によって負荷が決まり、発電機効率の向上が可能出力を増すことになる。また、無人化される発電所も多く、省力・省人化も重要である。

表 5. 水素冷却タービン発電機の予防保全・近代化事例

予 防 保 全・近 代 化 計 画	既 設 機 器 の 使 用 上 の 問 題 点	改 良 案
発電機運用条件変更への対応	ベース負荷運用で製作された発電機がDSS運用や長期待機など異なった条件で運用されている。	1. DSS運用への対応 (1) 軸受オイルリフトの追設 (2) ガス及び密封油温度調節の自動化 (3) 高応力部分の詳細点検と寿命予知 2. 長期待機運転への対応 (1) 停止中ガス乾燥システムの設置
既設発電機の高効率運用	火力発電では燃料費を削減するため高効率運用への要求が高まっている。	1. 発電機の高効率化改造 (1) 固定子コイル設計最適化による負荷損低減 (2) 高効率ブロワの採用と通路最適化による風損低減 (3) 低損失軸受採用による軸受損低減 (4) ガス冷却器冷面積増加による水量低減(補機動力減) 2. ガス圧力・純度維持装置の設置による高ガス純度運転
直流励磁機のブラシレス励磁機への取替え	発電機のトラブルはスリップリングやコミュテータのしゅう動部分に発生することが多い。 発電所によっては系統の変化に伴い安定度が不足し、即応性の良い励磁機が要求される。	1. ブラシレス励磁機に取替え、信頼性向上及び省力化を図る。 2. 必要に応じ即応性の良い励磁系とする。
原子力機の回転子精密点検	原子力用発電機も古いものでは運転開始後10年以上を経過しており、突発故障を防ぐために精密点検を実施する時期にきている。	回転子引き抜き機に次の点検を行う。 (1) 軸中心穴の点検、ティース部の点検 (2) リテーニングリングの点検 (3) ウェッジの点検 (4) コイルエンド接続部の点検
予備品の充実	万一、突発故障発生時、停止期間を最短にする必要がある。	主要部品の予備品を保持しておく。 例 (1) 予備励磁機 (2) リードプッシング



表 6. 空気冷却 タービン 発電機の予防保全・近代化事例

予 防 保 全・近 代 化 計 画	既 設 機 器 の 使 用 上 の 問 題 点	改 良 案
発電機運用条件変更への対応	ベース負荷運用で製作された発電機が DSS 運用され、異なった条件で運用されている。	DSS 運用への対応 (1) 回転子層間絶縁のエポキシ化による強度の向上。 (2) リテーニングリングの内周側絶縁にテフロン加工を施し、コイルの熱伸縮によるストレスを低減。 (3) 回転子コイルに銀入銅の使用によるクリープ特性の向上。
低負荷連続運用への対応	工場エネルギー節減のため全負荷連続運用が変更され、負荷減少による効率の低下が大きい。	1. 発電機冷却用ファンの羽根枚数を削減し、風損を低減する。 2. 空気冷却器を小形化し、冷却水循環動力を低減する。
直流励磁機の整流器励磁方式への取替え	ブラシ、スリップリング、コミュテータなどの保守に手間がかかる。火花、カーボン粉、誘導障害の発生要因となる。	ブラシレス励磁方式あるいはサイリスタ励磁方式へ変更し、信頼性、保全性の向上を図る。
空気冷却器の高性能化により、信頼性の向上、動力コストの低減を図る。	冷却水の使用量が多いし、漏水検知が困難である。	1. プレートフィンタイプの小形高性能空気冷却器を採用し、冷却水量を低減する。 2. 漏水検知器付き二重冷却管を採用し、信頼性の向上を図る。

表 7. 水車発電機の予防保全・近代化事例

予 防 保 全・近 代 化 計 画	既 設 機 器 の 使 用 上 の 問 題 点	改 良 案
既設発電機の高効率化・性能向上	老朽化している発電機が多く、環境条件、使用条件も製作時から変化しており、現状に最適な機器とする必要がある。	1. スクラップアンドビルド (S&B) 現状の条件を考慮し、鉄管、水車、発電機一式を前提として、最新技術を採用した最適化設計を行い、性能向上を図る。 2. 発電機固定子コイル、コア更新 固定子の最適化設計を行い、鉄損ほかの損失を減らし効率向上を図る。 1, 2 のいずれを採用するかは機械の老朽化その他の条件を考慮して総合的に判定する。
発電機軸受油槽を自蔵化し、省エネルギー、省人を図る。	既設循環式潤滑方式では各軸受への給油量の手動調整が必要であり、無人化などの妨げとなっている。また構成機器が多くメンテナンスに労を要し、補機動力を必要とする。	軸受油槽を自蔵化することにより下記の点が改善される。 (1) 軸受潤滑が安定し、油量の手動調整が不要となる。 (2) 油の漏えい箇所が減り、ペーパー漏えい対策が容易となる。 (3) 補機動力を削減できる。
直流励磁機の整流器励磁方式への取替え。	ブラシ、スリップリング、コミュテータなどの保守に手間がかかる。火花、カーボン粉、誘導障害の発生要因となる。	ブラシレス励磁方式あるいはサイリスタ励磁方式へ変更し、信頼性、保全性の向上を図る。

固定子 コア、コイル の更新の場合には、最新設計技術を使ってスロット数・寸法その他の最適値を選定することやコア材質のグレードアップにより、鉄損、銅損を減らして効率を向上できる。

省力・省人化の面から、従来問題の発生しやすかったスリップリングやコミュテータを省くブラシレス励磁方式や、重力式油循環軸受系統の調節を不要にして信頼性向上と油漏れ防止を有利にするため、軸受油槽内に貯油され自己潤滑を行う軸受油自蔵化などを採用し、近代化を図っていくことが必要である。

表 7. に水車発電機の近代化・予防保全工事事例を示す。一般に水車発電機の分解点検（オーバーホール）は6～10年ごとに実施されるので、上述した改修予防保全はこのオーバーホールと同時に実施することが望ましい。しかし、ブラシレス励磁方式への変更は、比較的短時間の停止期間で実施できるので、オーバーホール以外での実施も可能である。

## 5. む す び

発電機の予防保全は、近年、予防から予知の段階へ進んできており、

機器の寿命診断や異常監視システムが重要なテーマとして取り上げられている。ここではその一端を紹介するとともに、実際の発電機の予防保全事例を述べた。

本稿でも触れたように、寿命予知や異常監視は発電機が実際に過去どのように使用されたか、また、今後どのように使用されるのかを正確に把握しないと十分な成果が得られない。そういう意味でメーカーの考える予防保全とユーザー側のそれが、ばらばらでは本当の予防保全は不可能である。我々メーカー側として今後運転履歴や予防保全履歴など発電機個々の経歴を十分に把握管理し、各個ごとの予防保全を心がけ、ユーザー側と一体となって予防保全の高度化に努力する所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 発電機巻線劣化判定基準，電中研技術報告 No. 67001 (1967)
- (2) 平林ほか：三菱電機技報，54，No. 3，p. 212 (昭55)
- (3) 朝日ほか：三菱電機技報，54，No. 7，p. 479 (昭55)

## 1. ま え が き

タービン発電機の大容量化が進められるにつれ、プラントの重要度は増大し、不測の事故・停止が及ぼす社会的・経済的影響が大きくなるため、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。また、最近の火力発電プラントにおいては、中間負荷運用化が多くなり、起動停止の頻度及び負荷変化の増大によって、発電機は過酷な運用を課せられつつある。このような状況下では、発電機そのものを信頼性高く設計・製作するのはもちろんのこと、発電機の状態を常時監視し、重大事故に至る前の初期軽微故障の段階で異常を検知する技術が必要かつ重要であり、これらのニーズに対応するため、種々の監視装置の開発を進めてきた。

ここでは、発電機の運転保守省力化を含めた発電機の高信頼度運転のための各種オンラインモニタについて紹介する。

## 2. タービン発電機の保護・監視システム

図1、図2に全体システムを示す。各種モニタ装置、制御装置は単独で設置運用するとともに中央にCRTを設置し、各装置と接続することにより、各モニタ装置、制御装置の情報を中央に集め、集中的な監視を行う。図2における発電機ローカル監視装置(1)の情報は、PIO装置を経由してCRTへ送られる。発電機ローカル監視装置(2)、(3)、発電機ローカル制御装置、PIO装置には当社のマイクロコンピュータ

《MELSEP 500》を使用し、発電機の各種データはデータ伝送回路によりCRTに送られる。

現在、発電機ローカル監視装置(1)、(2)及び発電機ローカル監視装置(3)、PIO装置のアルゴリズムの開発を進め、実用化の検討段階に入っている。

## 3. 発電機異常監視装置

発電機異常監視装置の個々の装置の原理、構成、特長について述べる。

### 3.1 固定子コイル温度差モニタ

水素内部冷却発電機においては、固定子コイル出口ガス温度の監視が固定子コイル異常の早期発見に重要な役割を果たす。しかしながら、出口ガス温度は発電機負荷に応じて変化し、また、負荷変動に対する温度上昇変化の時間遅れもあるため、従来の絶対温度監視システムだけでは、固定子コイル内部異常の早期発見には不十分である。そこで、各コイル出口ガス温度の温度差を監視することによって、固定子コイル素線の一部断線などの異常を負荷変動の影響を受けずに早期に検知することが可能となる。

通常、各固定子コイルの出口ガス温度は、正常な場合でも定格負荷で4～5℃程度のばらつきを示す。これら測温素子間のばらつきによる影響を少なくし、監視精度を上げるために、以下の方法により温度差を監視・警報するシステムとしている。

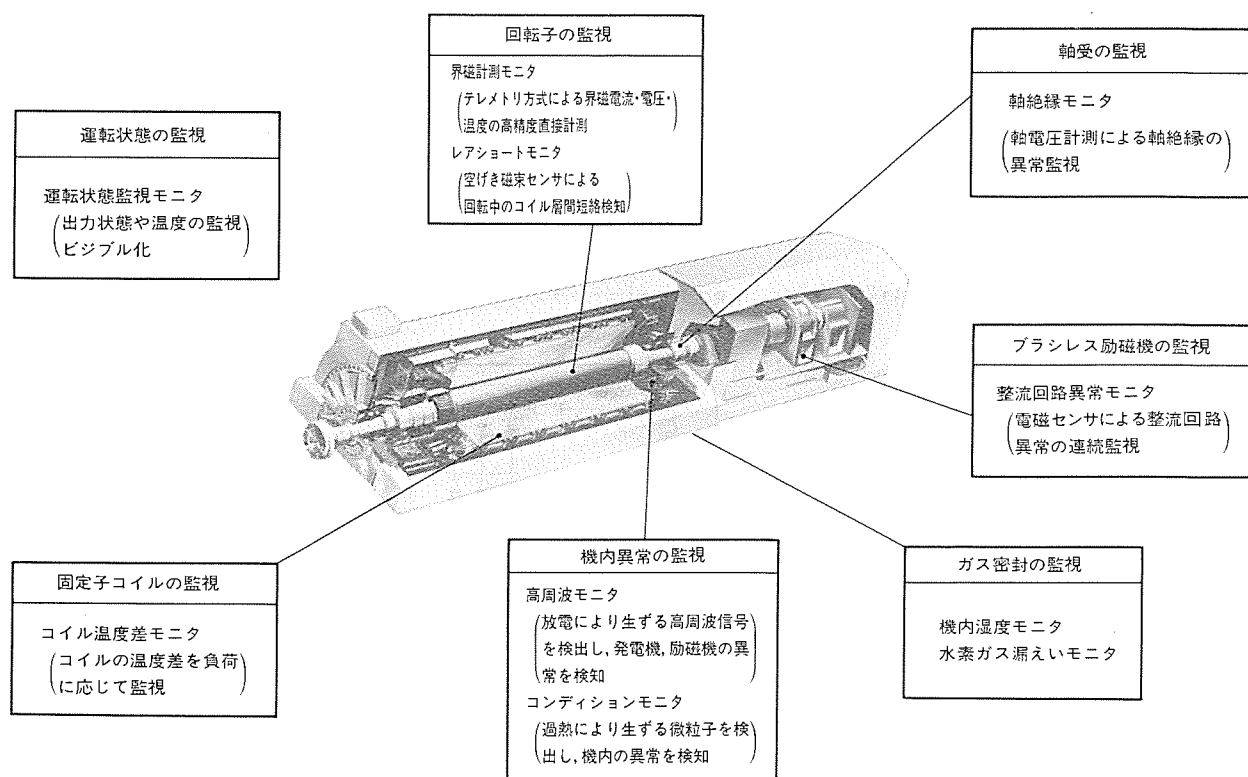


図1. タービン発電機の保護・監視システム

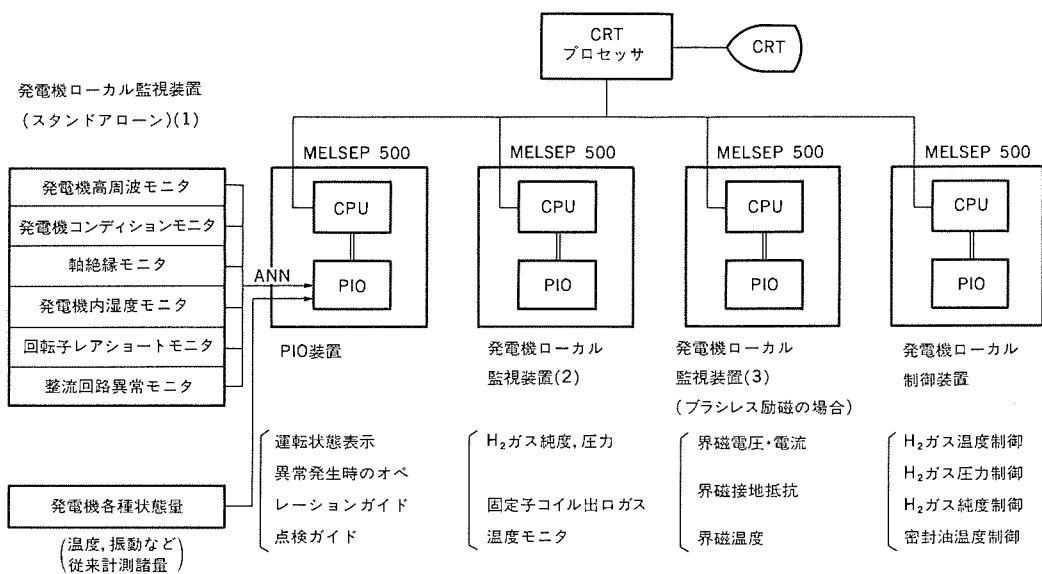


図 2. 発電機監視計測制御システムの構成

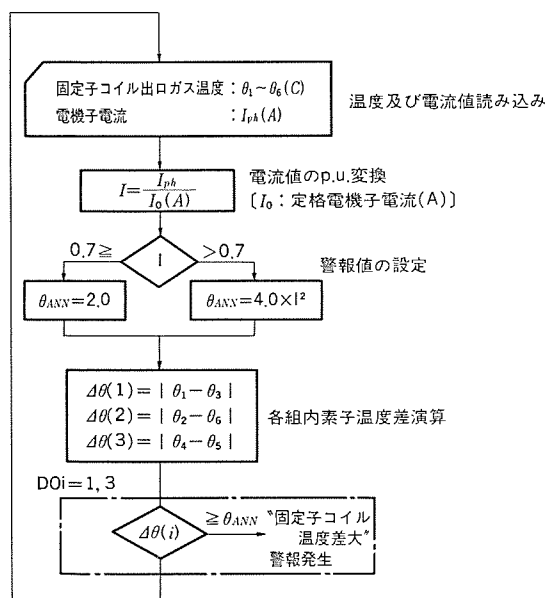
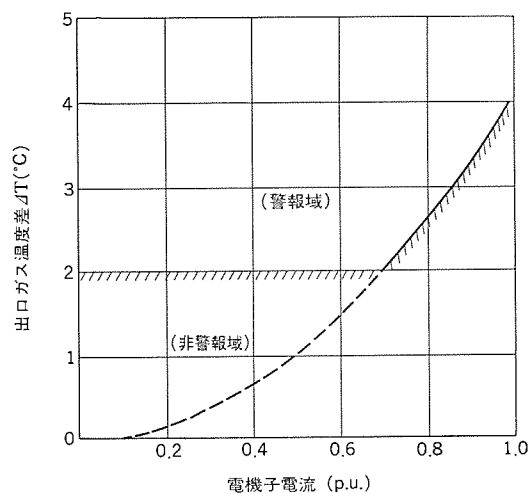


図 3. 論理回路図



各組2点間の温度差警報設定は、次式による。  
 $\theta_{ANN} = 4.0 \times I^2$  ( $I > 0.7 \text{ p.u.}$ )  
 $\theta_{ANN} = 2.0$  ( $I \leq 0.7 \text{ p.u.}$ )  
 (但し、 $I = 1.0 \text{ p.u.}$ は定格電流)

図 4. 警報設定値例

(1) 発電機試運転結果から、温度差の少ない2素子ずつを、組にする。

(2) 上記各組内の2素子間の温度差を監視し、温度差が制限値を越えた場合に警報する。

この装置の論理回路と警報設定値例を図3、図4.に示す。電流の入力として各相の値を入れることにより、電流アンバランスに帰因する温度差も補正することができる。

### 3.2 発電機界磁計測モニタ

ブラシレス励磁方式の発電機において、発電機回転子の界磁諸量(界磁電圧、界磁電流及び界磁コイル温度)を直接計測することは、計測のためのスリッピングとブラシを回転子に設ければ可能であるが、これではブラシ方式の利点を阻害することになる。

このため、当社では非接触形のマルチPCM方式テレメータを開発した。原理及び構成を図5.に示す。従来のFM方

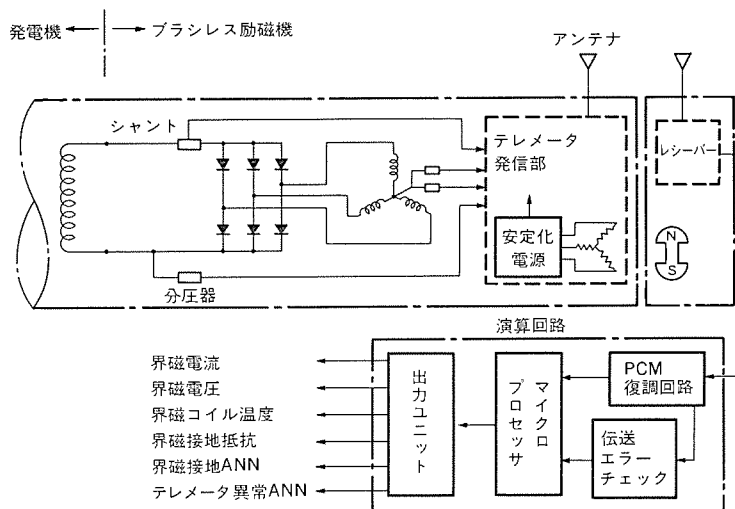
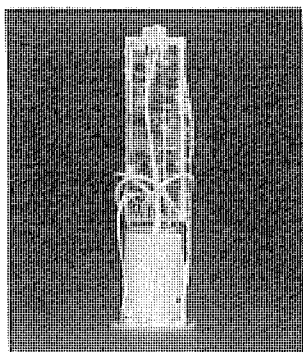
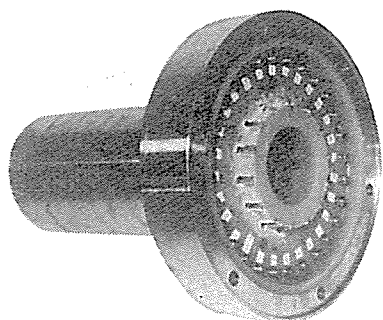


図 5. 界磁テレメータシステムの原理と構成



(a) 電子回路 (モールド 前)



(b) 回転部組立品

図 6. テレメータ 回転部

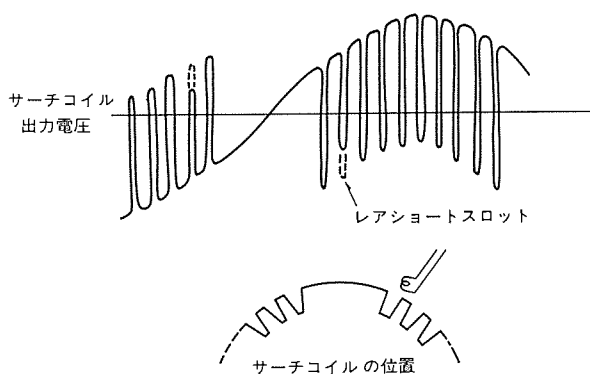
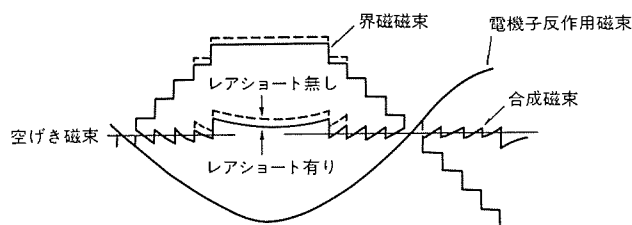
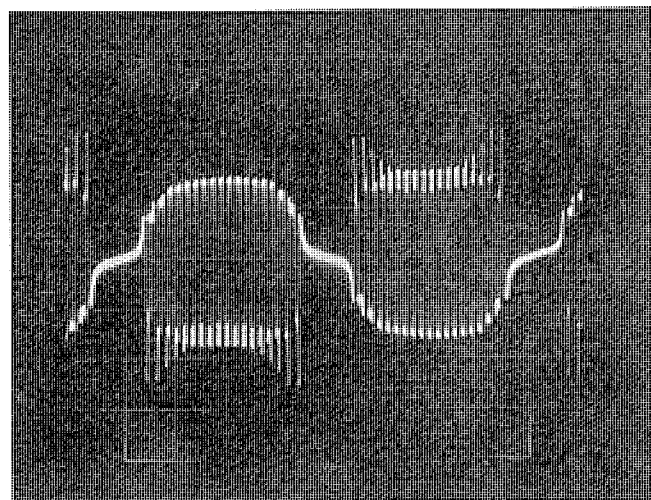


図 7. 原理 図

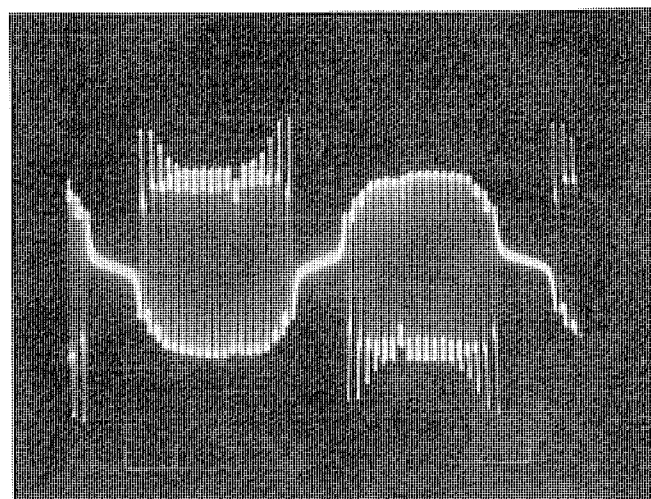
式などに比べ、伝送信号をデジタル化しているため、精度が高く動作も安定している。送受信アンテナは外部からの誘導障害を受けないよう、同心円コイルとし軸内に取り付けている。テレメータの電源は交流励磁機からとることも可能であるが、テレメータ自身の異常が界磁回路へ影響を及ぼさぬよう、独立した専用の永久磁石発電機を設けている。図 6. にテレメータ回転部（トランスミッタ）を示す。

### 3.3 回転子コイルレアショートモニタ

この装置は、界磁磁束波形を回転子表面近傍に設けたサーチコイルにより観測し、回転子のN極とS極の磁束波形を比較することにより、回転子コイルのレアショート（層間短絡）を検出するものである。発電



(a) レアショート 無し



(b) 1 ターンレアショート

図 8. レアショート 実測例

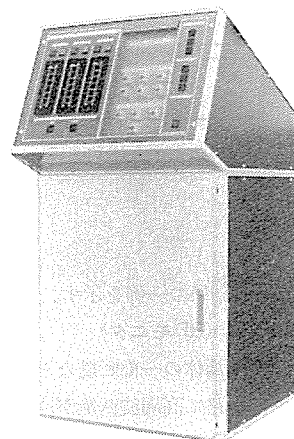


図 9. RF モニタ 概観

機回転子の表面近傍には回転子コイルによるスロット漏えい磁束が存在し、この漏えい磁束は界磁電流とスロット内のコイル巻回数との積にほぼ比例する。したがって、層間絶縁の損傷などによりコイルが短絡すると、コイルの巻回数が減少するためスロットの漏えい磁束も減少する。

回転子コイルレアショートモニタは、回転子コイルの層間短絡をスロット漏えい磁束の変化としてとらえるもので、これにより層間短絡の有無、及び短絡の発生したスロット位置を判別できる。図 7. に原理図を、

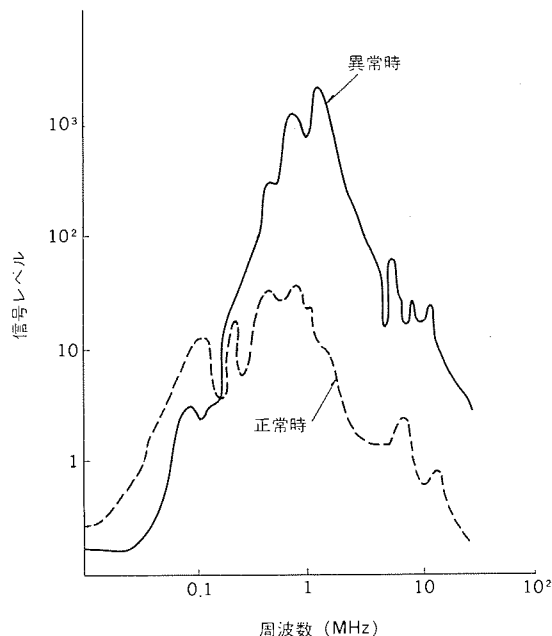
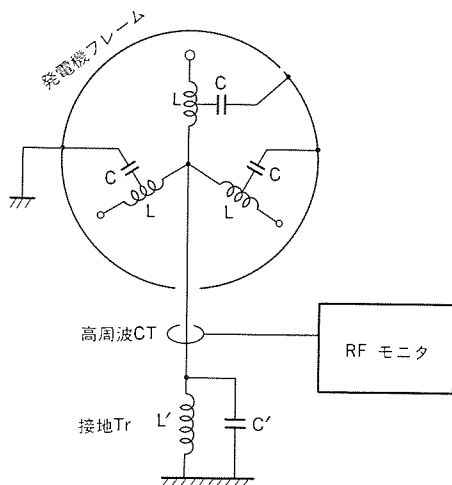
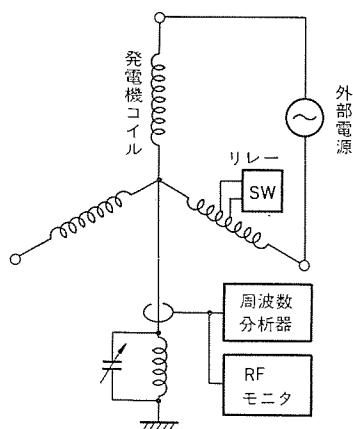
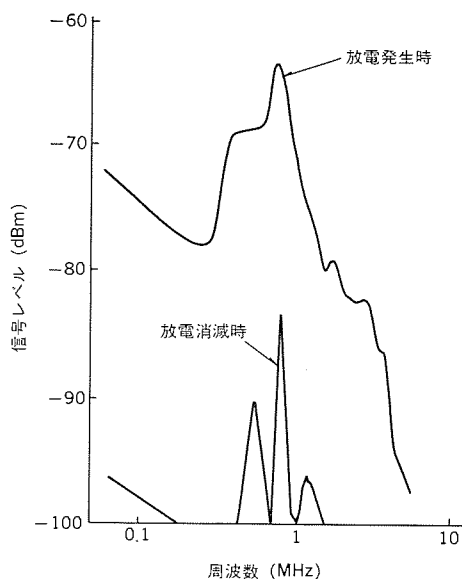


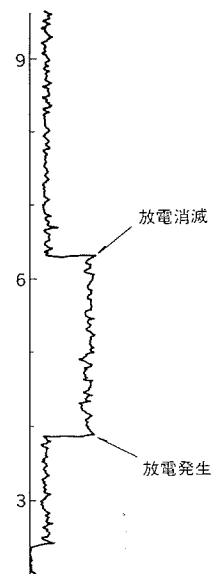
図 10. 原理図



(a) 模擬試験回路



(b) 周波数特性



(c) モニタ出力チャート

図 11. コイル部分断線検知模擬試験

図 8. に実機を使った試験結果の一例を示す。

### 3.4 発電機高周波モニタ (RF モニタ)

発電機内部で絶縁の損傷、導体の一部断線などが生ずると、そこで放電が生じ発電機中性点回路に高周波電流が流れる。RF モニタは、この高周波の特定周波数を監視することにより、運転中の発電機内部の異常を早期に検知できるようにした装置である。図 9. にモニタ本体の外観を示す。

発電機の固定子コイルは対地静電容量を介して、図 10. のように中性点回路と結合している。この共振周波数は、 $L$ 、 $L'$ 、 $C$ 、 $C'$  によって定まり、コイル素線が一部断線したり、絶縁損傷により部分短絡するとその部分で放電を生じ、この放電は高周波成分を含むため、中性点を流れる共振周波数信号レベルが増加する。RF モニタは、中性点回路に挿入した高周波 CT によりこの信号レベルを監視し、正常値を越えたときに警報を発する装置である。このモニタの監視

可能周波数帯域は 100 kHz～3 MHz で、監視精度を上げるため、任意の 3 点の周波数を同時監視できるようにしている。また、不要な警報を発しないよう警報回路に時間遅れをもたせている。

固定子コイル巻線中の実機を利用して、コイル導体の微少アーク放電発生の模擬試験を行った結果の一例を図 11. に示す。これは、固定子コイル素線の一部を開放し、その間にバッテリー動作のスイッチリレーを入れてコイルの部分断線を模擬したものである。

### 3.5 発電機コンディションモニタ (GCM)

発電機内に局所的な過熱が生じると、絶縁物などの有機物質が熱分解して微粒子を発生する。GCM はこの微粒子を検出して、警報を発することにより発電機内の異常過熱を早期検知するものであり、既に海外では広く用いられている。図 12. に GCM の原理を示す。

発電機内のブロー差圧を利用して発電機内の水素ガスを GCM に



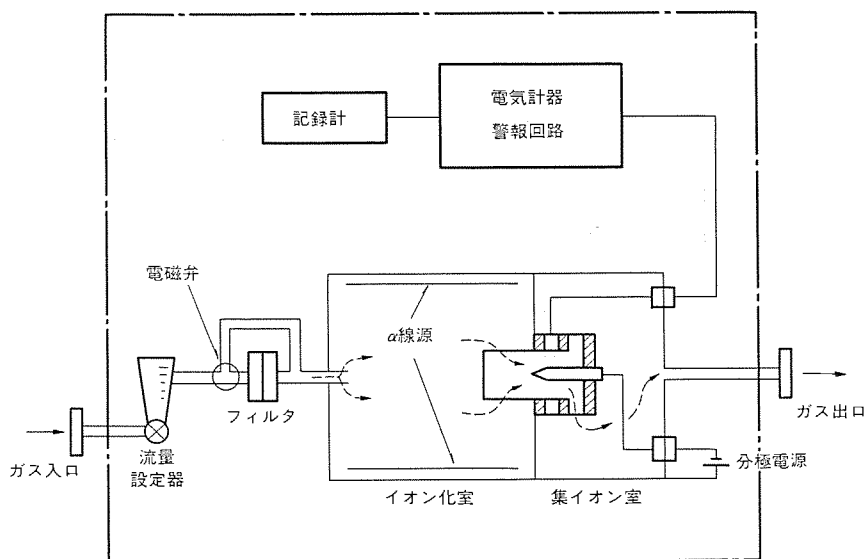


図 12. GCM の原理

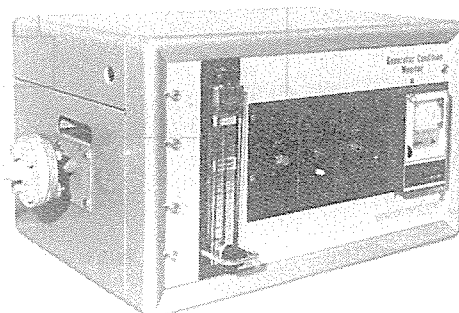


図 13. GCM の外観

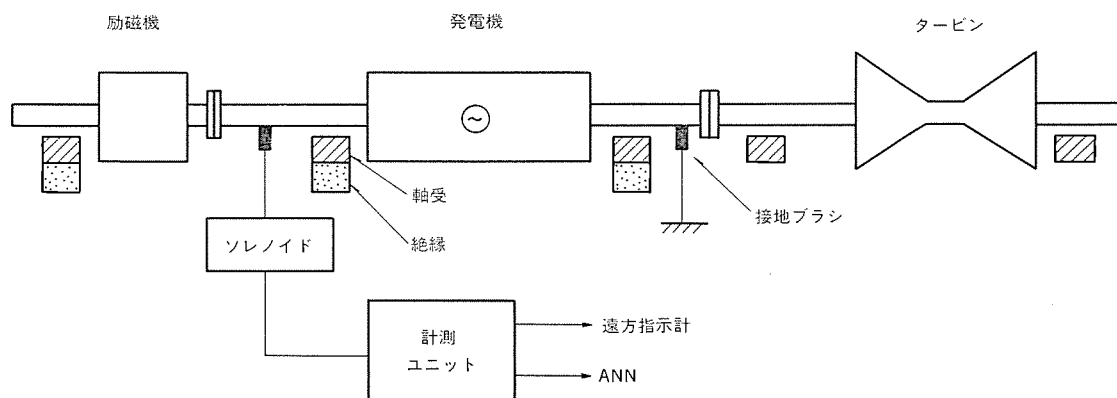


図 14. 軸絶縁モニタの原理と構成

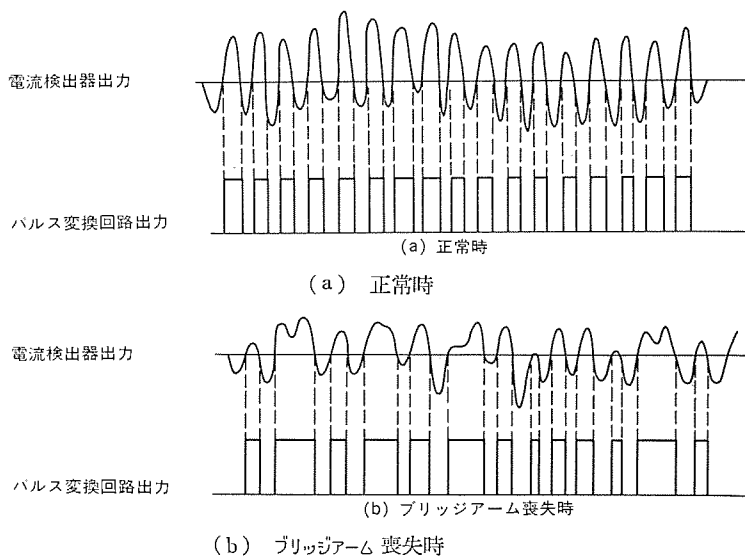


図 15. ブリッジアーム喪失検出信号波形

導き、GCM 内のイオン化室に入れる。ここで、水素ガスは低レベルのα線によりイオン化され、集イオン室の電極に捕えられ、イオン電流が流れる。絶縁物の過熱により発生した微粒子が混入すると、水素イオンが微粒子に付着して重くなるので、電極に捕えられる水素イオンが減少し、イオン電流が減少する。この電流が、あるレベル以下になると警報を発する。通常、この警報レベルは、正常値の約 60 % に設定している。

GCM の概観を図 13. に示す。GCM は従来の測温素子による過熱検出方法に比べ、検出箇所を限定しない点に優れた特長をもっている。

### 3.6 軸絶縁モニタ

一般に、発電機の軸受は、軸電流による軸受の電食損傷を防止するため絶縁が施されている。

この装置は、発電機の軸電圧を監視することにより、軸絶縁の異常を検知するものである。発電機軸電圧の成分は直流分と交流分があるが、通常軸電圧としては交流分の方が大きく現れるため、計測ユニットの内部で直流分を除去し、交流分のみ計測し、計測値が正常レベル以下に下がった場合に警報を発するシステムとしている。運転方法はソレノイドによる自動間欠計測を標準としている。

図 14. に軸絶縁モニタの原理と構成を示す。

### 3.7 ブラシレス励磁機整流回路異常モニタ

(ブリッジアーム喪失監視装置)

ブラシレス励磁装置では図 5. に示したように、発電機界磁へ直流電流を供給するため、回転子に整流回路を搭載している。この整流回路は三相全波整流回路で、6アームで構成され、各アームはダイオードとヒューズから成る複数回路で構成されている。ブリッジアーム喪失監視装置は、一つのアームを構成しているダイオード又はヒューズがすべて破損したことによる整流回路としての異常を自動的に検出し警報を出す装置である。

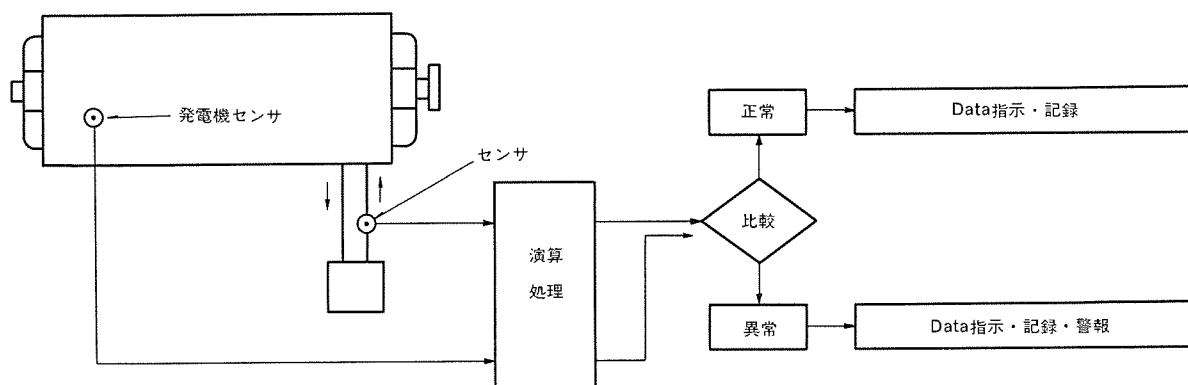


図 16. 発電機湿度モニタの構成

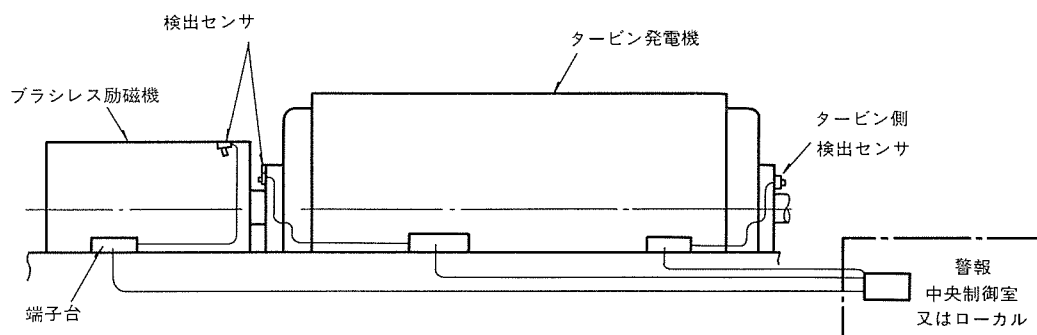


図 17. 検出センサ取付位置

交流励磁機の交流出力電流は、軸上に配列した導体を通して整流回路に流れる。固定側に電磁ピックアップを設け導体に流れる電流を検出する。電流検出器の出力信号を変換回路でパルスに変換し、そのパルス個数をカウンタで数える。もし、アームが1本故障すれば、電流検出器の出力波形にひずみを生じ、パルス個数が減少する。したがって、パルス個数が規定値より少ない場合、ブリッジアーム喪失として警報を発する。図 15. に検出信号波形の一例を示す。

### 3.8 発電機内湿度モニタ

発電機内の湿度が高くなると、機内で結露し、絶縁物の絶縁抵抗低下の原因となったり、またライニングリングの応力腐食割れを誘発するおそれもある。従来は、発電機内の湿度監視としては、ガス乾燥器の吸湿程度を吸湿材の色彩変化で確認するのみで、定量的な計測監視は行っていなかった。

この装置は湿度センサを用いて定量的に湿度監視を行うものである。湿度センサとしては、酸化アルミナ表面に金電極を蒸着した素子を使用し、この素子のアドミタンスの湿度による変化を露点温度に換算する方式である。図 16. に発電機湿度モニタの構成を示す。

### 3.9 水素ガス漏えいモニタ

発電機内の水素ガスが機外に漏えいすると、空気と水素の混合気体が形成される。この混合気体の水素ガス濃度が4%以上となり、更に何らかの点火源が存在すれば、爆発又は発火現象が生じるおそれがあり、最悪の場合は二次災害へと波及する可能性もある。

この装置は、検出装置を図 17. に示すように発電機軸封部及び

励磁機ハウジング内に取り付け、水素ガスの漏えい又は滞留を初期の段階で検出し、水素ガス濃度が爆発下限濃度（水素ガス濃度4%）に至る前に警報を発するものである。

## 4. む す び

以上、発電機のオンライン監視・計測・制御システムの概要と各異常監視装置の原理・特長について紹介した。

プラントを安全かつ効率的に運用していくためには、単に異常の早期検知のみならず、迅速かつ適切な判断、対応が必要である。このためには、更に新しい異常監視装置の開発を進めるとともに、異常診断、オペレーションガイドといったソフトウェアの充実が必ず（須）であり、今後の重要な課題として取り組んでいく考えである。

今回紹介したような新技術の検証は実機での実績が非常に重要であり、ここにユーザーのより一層の御指導と御支援をお願いする次第である。

## 参 考 文 献

- (1) F. T. Emery et al.: IEEE Trans. Vol. PAS-100, No. 12, p. 4974 (1981-12)
- (2) 朝日ほか：三菱電機技報 54, No. 7, p. 479 (昭55)
- (3) 谷口ほか：三菱電機技報 55, No. 3, p. 223 (昭56)
- (4) 羽倉ほか：三菱電機技報 53, No. 2, p. 129 (昭54)

1. ま え が き

近年、既設の火力発電（特にミドル火力）が揚水発電のように電力需要のピーク時のみ稼働するという負荷調整用として運用されるケースが増えてきている。

このため、既設の火力発電プラント機器の始動・停止の頻度が従来に比べて多くなり、毎日発停（Daily Start and Stop：以下、DSSと称す）の運用に供されるケースが生じてきている。既設の火力発電プラントを負荷調整用として運用する際には、電動機についてDSS運用に対しても従来の運用と同等の信頼性を維持できるように各種検討を行い、必要に応じて対策を実施すべきであるが、これには始動頻度が増加した場合の各部の余寿命の推定を行い、対策項目の決定や優先順位付けを行うことが不可欠である。

以下に当社の行っている DSS 対策と、余寿命推定のアルゴリズムについて、その概要を述べる。

## 2. 既設火力発電プラントの動向と余寿命推定の必要性

近年、発電コストの比較的に安い原子力は、通商産業省の意向を受けた改良標準化計画に沿った最新鋭プラントの運開と、各種信頼性向上対策による稼働率の着実な向上により、従来の火力に代わりベースロードになりつつあり、最近では600 MW級の石油火力発電所が、建設当初から負荷調整用として計画・運用されるケースも見受けられるようになっている。また、火力においても燃料の多様化と熱効率の向上が図られつつあり、液化天然ガス（LNG）・石炭発電プラントや

複合サイクル発電（ガスタービンからの排熱をボイラで回収し、蒸気タービンを回す二段組合せの発電方式）プラントが今後増加してゆくものと思われる。

これらの周囲を取り巻く環境の変化に伴い、既設の石油火力発電プラントは、負荷調整用として運用されるケースが多くなりつつある。これらのプラントには納入後15～20年以上経過しているものも多く、設備の信頼性の維持と有効活用のための予防保全を計画的に実施してゆく一方で、従来と運用パターンが大きく異なるDSSにも耐えられる設備に改造してゆく必要に迫られている。

当社では、昭和 58 年度から事業用火力発電所を対象に電算機を用いた予防保全システム《MELRAP-T》(Mitsubishi Electric Corporation Reliability and Availability Up-Grading Program-Thermal)を導入しており、高圧電動機についても図 1. のように、各発電ユニットの機種ごとに固有の予防保全項目と必要実施周期をデジタル化した情報を顧客に提供し、顧客の計画的な予防保全工事に寄与してきている<sup>(1)</sup>。

一方、発電所が DSS 運用に移行する際に DSS 対策が必要となるのは、高圧電動機のほかにもボイラ・タービン回りをはじめ多くの機器があるため、各 DSS 対策の必要実施時期を見極め、費用と保守サイクルとの見合いで、緊急性の高いものから優先的に処置してゆくことが必要となっており、機種ごと、対策項目ごとの優先順位付けが必要となっている。

00-000-03

子 防 保 全 項 目 一 覧 表

〇〇 見取値 NO.3

→5000

場 所	機 種 コー ド	代 表 機 種 名
長電	320-H0500B、0R	高圧カボ形電熱機

三菱電機株式会社

機 種 名 オ ー タ ー 製 造 番 号	保 全 コ ー ド	予 防 保 全 項 目	新 規 更 改	周 期 (年)	製 作 年 間 (日)	使 用 年 間 (日)	実 施 経 費 及 び 実 施 予 定								費 料 単 位	備 考
							B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8		
							1	2	3	4	5	6	7	8		
635860 1963		01 4 固定子コイルの清掃漏出し処理及びワニス処理		1CV	25										CNC85718	
		02 4 固定子コイル固定物及び縛り線の積み点検		4V		1	79	●			●				CNC85719	
		03 4 固定子コイル固定物及び縛り線の積み点検			14	3									CNC85719	
		04 4 固定子コイル新製巻		15V	60	35	79								CNC85720	
		05 5 回転子棒、エンドリングの点検		4V		1	79	●			●				CNC85721	
		06 5 回転子棒、エンドリングの点検				3	●								CNC85721	
		09 5 スベリ軸受の点検		2V		1	●	●		●		●			CNC85723	
		10 5 スベリ軸受の点検				35									CNC85723	
		11 4 スベリ軸受下部品の取置				75					○				CNC85724	
		12 4 オイルリング下部品の取置				30					○				CNC85724	
		17 9 DCS運用の場合の計算推定				60	10								CNC85727	
		635861 1963		01 4 固定子コイルの清掃漏出し処理及びワニス処理		1CV	25									
02 4 固定子コイル固定物及び縛り線の積み点検				4V		1	80	●	●		●				CNC85719	
03 4 固定子コイル固定物及び縛り線の積み点検					14	3									CNC85719	
04 4 固定子コイル新製巻				15V	60	35				●					CNC85720	
05 5 回転子棒、エンドリングの点検				4V		1	●	●			●				CNC85721	
06 5 回転子棒、エンドリングの点検						3	●	●							CNC85721	
09 5 スベリ軸受の点検				2V		1	80	●	●		●		●		CNC85723	

保 全 コー ド

0. 生産中止後特種品

1. 事故未起防止

2. 事故防止適用

3. 省力化・自動化

(1) 2 新製巻理由

7. 定検作業改善

8. 省力化・高効率化

9. 定検中の重点点検

10. 定検中の重点点検・改善

実 施 経 費

● 実 施 済

★ 計 画 中

☆ 未 実 施

実 施 予 定

○ 計 画 中

● 未 実 施

● 未 実 施

費 料 単 位

○ 計 画 中

● 未 実 施

● 未 実 施

図 1. 予防保全システム《MELRAP-T》のアウトプット例

### 3. 高圧電動機の DSS 対策

既設の高圧電動機を DSS 運用に供する際に検討を要する代表的な項目としては、

- (1) 固定子 コイルエンド 部
- (2) 回転子 バー 及び エンドリング (短絡環)
- (3) 固定子口出線
- (4) 軸及び軸端 キー 部
- (5) 軸受

などがあるが、特に(1)～(3)は DSS 運用に伴う始動頻度の増加により、大きなストレスを受ける回数が増加するため、寿命消費を十分、検討する必要がある部位である。

#### 3.1 固定子コイルエンド部

電動機の固定子コイルの絶縁劣化の要因となる因子としては、機械的・電氣的・熱的・環境的のストレスなどが考えられ、これらが相互に複雑に絡み合った複合ストレスとして作用する。この複合ストレスは機器の使用条件に依存するが、絶縁体内部の経年劣化について、当社では稼働年数 10 年以上の約 100 台の実機データをベースにして、その診断手法を提案するとともに<sup>(2)</sup>、予防保全実施推奨周期を表 1. のように定めている。つまり、電動機全体の絶縁劣化を考慮した余寿命を、限定されたストレスによるストレス強度モデルを用いて予測することは困難であるが、ここでは、電動機の構造上及び特性上始動時の電磁力による機械的ストレスが集中するコイルエンド部に限定して、ストレス強度モデルを用いることとした。

コイルエンド部に作用する電磁力は、電流の大きさの二乗に比例し電源周波数の 2 倍で振動するため始動時に最大となり、その大きさは定格運転時の 20 倍以上にも及ぶ。この事は、コイルエンド部に作用する電磁力のうち始動時のものが支配的であることを意味しており、DSS 運用による頻繁な始動が、固定子コイルエンド部の絶縁物に大きな機械的ストレスを与えて劣化を促進させていることがわかる。この機械的ストレスは絶縁物のひずみという形で現れるが、このひずみを小さく抑えるためにはコイルエンド全体の剛性を高める必要がある。

これには、モデルによるコイルの曲げ疲労試験を実施して、S-N 曲線 (繰返し作用するひずみと絶縁破壊に至るまでの繰返し数 N

の関係を示す曲線) を求める一方、複雑なコイルエンド部の電磁力分布の計算及び構造解析を実施し<sup>(3)</sup>、ひずみレベルの高いものについては間隔片をコイル間の最適位置に追加挿入することで対処している。また、間隔片の追加挿入では十分な剛性が得られないものや、絶縁診断によりかなり劣化が進んでいると判断されるものについては、固定子コイルを巻き替えるように推奨している。劣化の進行を知るためには、経時的な絶縁診断データが必要となるが、前述の多数の実機データをベースとして概略の巻替え周期を求めたものが表 1. である。

#### 3.2 回転子バー及びエンドリング (短絡環)

回転子バーとエンドリングとの接合部に働く応力としては、

- (1) 回転子バーに働く電磁力によるもの
- (2) エンドリングの熱膨張によるもの
- (3) エンドリングの遠心力によるもの

などがあり、(1)は回転子バーが電磁力により回転子溝内で振動することで生じるものであり、その大きさは電流の二乗に比例し周波数はすべり周波数の 2 倍である。当社では、スウェッジ加工と呼ばれる方法で回転子バーを溝内に確実に固定することで、(1)の応力に対処している<sup>(3)</sup>。本件は一般の予防保全項目としても大切であり、加工率をベースとした管理基準を設け、不足していればスウェッジの増打ちを行うとともに、定期点検時に回転子バーの緩みチェックを実施するよう推奨している。DSS 時も基本的に同一の対処法をとっている。

一方、(2)、(3)は主に始動時のエンドリングの温度上昇による熱膨張と運転中の遠心力で、エンドリングが外径側へ膨張することにより生じるものであり、始動停止 1 回に対し 1 サイクルの低サイクル疲労として取り扱う必要のある応力である。この応力については、電動機寿命の総始動回数に対する疲労強度以下に抑える必要があるため、当社では実機回転子から切り出した回転子導体で疲労試験を実施し、材料の S-N 曲線を求める一方、この応力を弾性計算式を用いた計算プログラム<sup>(4)</sup>を用いて算出し、その値の妥当性をチェックしている。DSS 運用により始動回数が増え、その回数での許容応力を計算応力が上回る場合には、エンドリングの熱容量を大きくし、熱応力を始動頻度の増加に対しても十分安全なレベルまで低減させることも必要となる。

#### 3.3 固定子口出線

固定子コイルから端子箱内端子までの口出線には、導体が耐熱絶縁ゴムで被覆されたゴム絶縁口出線が用いられているが、この絶縁ゴムは熱により劣化が生じる。熱的ストレスとしては、定格運転時と始動時の二つに大別できる。一般的に言えば、負荷の慣性 ( $GD^2$ ) が小さくて始動時間の短い電動機に用いられる口出線の耐熱寿命に対しては、定格運転時の温度上昇が支配的因子となり、負荷の慣性 ( $GD^2$ ) が大きくて始動時間の長い電動機に用いられる口出線については、始動時の温度上昇が支配的因子となる。したがって、後者のケースでは、始動頻度の増加が口出線の寿命消費に大きく影響を与えることになる。DSS 運用に際し、始動頻度の増加で耐熱寿命が不足すると考えられるものについては、口出線のサイズアップ又は材質の変更で寿命消費に対し、安全なレベルまで熱ストレスを下げることで対処している。

#### 3.4 軸及び軸端キー部

かご形誘導電動機では、始動時の過渡トルクとして定格トルクの 2 倍程度から、大きいもので数倍の軸トルクが発生するため、DSS 運用

表 1. 電動機固定子巻線の子防保全実施推奨周期例

(単位: 年)

絶縁保護方式 子防保全項目	DR (ポリエステル)		DF と DR (エポキシ)		コンベショナル	
	全閉	開放	全閉	開放	全閉	開放
バインド又は縛りひも緩み点検・補修	4	4	4	4	4	4
絶縁補強	12	10	—	13	10	8
コイル新製巻替	17	15	20	18	15	13

備考 1. DF については、採用開始して約 20 年で、絶縁劣化の実機データが数少ないため、今後得られるデータに基づき必要に応じて修正していくものとする。

2. 点検・補修実施時に絶縁抵抗・PI・tan δ 測定を推奨する。

による始動頻度増が軸及び軸端キー部に与える影響についても十分注意する必要がある。このトルクは、電気-機械系シミュレーションにより定量的に把握が可能<sup>(5)</sup>であるが、負荷機械の軸系データが必要となる。

### 3.5 軸受

すべり軸受（自己給油）は、回転数が下がってくると軸と軸受の金属接触の確率が高くなっていく。負荷の慣性が大きいのものは、特に低速回転で軸が回転している時間が長いため、DSS運用により油濁りや軸受焼損の可能性が生じてくる。このような電動機については、強制給油潤滑方式の軸受に変更することを検討する必要がある。

## 4. DSS運用時の余寿命推定

前章で電動機のDSS対策の代表的なものについてその概要を説明したが、これらはすべて始動回数が増加することによる各部の寿命消費が検討対象となっており、この点に注目してこれらの項目に限定した余寿命推定のアルゴリズムを設定した。

従来は、DSS対策の項目決定を新規製作のDSS運用機としての判定基準を満足するか否かにより行っていたが、この方法は、

- (1) 判定時までの運用経歴が十分に反映されてない。
  - (2) 顧客の対策緊急度のランク（優先順位）付けの要求に対応できない。
  - (3) 一般の予防保全計画との関連付けが難しい。
- などの点で不十分なものであった。

そこで今回、前章で述べた3項目のそれぞれについて、一般によく用いられる寿命消費の考え方（累積則による劣化量予測）を適用することとした。この方法において寿命消費  $G$  は、

$$G = \sum \frac{t_i}{L_i} \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $t_i$  :  $i$  というストレスを受ける時間又は回数

$L_i$  :  $i$  というストレス下の寿命時間又は回数  
と表され、 $G=1$  となるときその寿命は消費された（余寿命が零となる）と考える。いま、判定時までの運用経歴に基づきその時点での寿命消費率  $G_1$  を求めると、(図2.)

$$G_1 = \sum \frac{t_i}{L_i} = \frac{t_1}{L_1} + \frac{t_2}{L_2} \dots\dots\dots (2)$$

ここで  $\sigma_1$  : 定格運転時にかかるストレスレベル  
 $\sigma_2$  : 始動時にかかるストレスレベル  
 $L_1$  :  $\sigma_1$  というストレスレベルにおける寿命  
 $L_2$  :  $\sigma_2$  というストレスレベルにおける寿命  
 $t_1$  : 運転経歴から算出した  $\sigma_1$  というストレスレベルのかかる

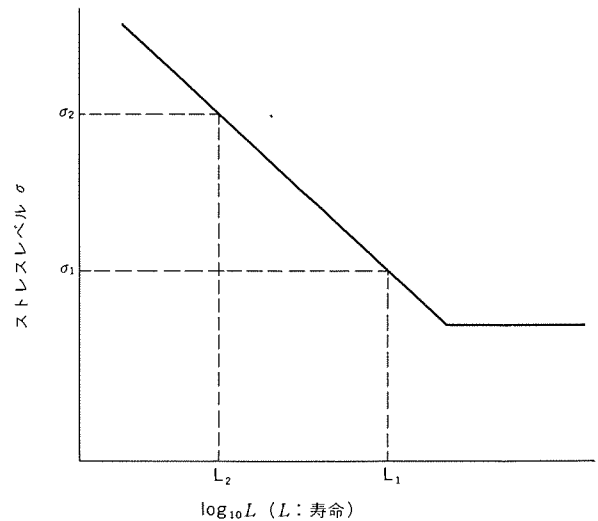


図2. S-N曲線

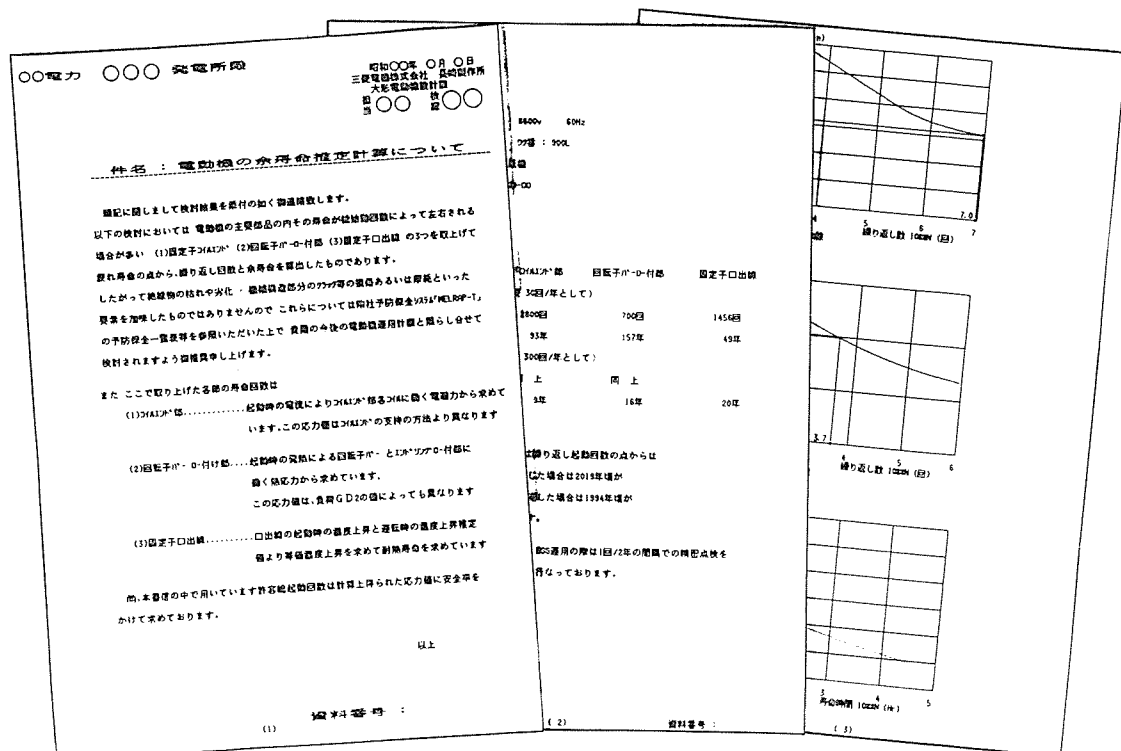


図3. 電動機の余寿命推定計算書アウトプット例



回数

$t_2$ : 運転経歴から算出した $\sigma_2$   
というストレスレベルの  
かかる回数

と表され,

$$t_2 = (Y \times N \times S) \times k \dots\dots (3)$$

$$t_1 = Y(1 - N \times S) \times k \dots\dots (4)$$

ここで  $Y$ : 稼働時間  $N$ : 始動頻度  
 $S$ : 始動時間  
 $k$ : 時間当たりのストレス繰り  
返し数

となる。次にこの時点における寿命残  
存率  $G_2$  を求めると,

$$G_2 = 1 - G_1 \dots\dots\dots (5)$$

と表すことができる。そこで、この  
 $G_2$  をすべて消費するのが DSS 運用開  
始後  $Y'$  時間稼働した時点であるとす  
ると,

$$G_2 = \frac{t_3}{L_1} + \frac{t_4}{L_2}$$

$$= \frac{1}{L_1} \{ Y'(1 - N' \times S) \times k \} + \frac{1}{L_2} \{ (Y' \times N' \times S) \times k \} \dots\dots (6)$$

ここで  $t_3$ : DSS 運用  $Y'$  時間で  $\sigma_1$  というストレスレベルのかかる回  
数

$t_4$ : DSS 運用  $Y'$  時間で  $\sigma_2$  というストレスレベルのかかる回  
数

$N'$ : DSS 運用における始動頻度

が成立する。この式(6)を解くことで DSS 運用開始後の余寿命  $Y'$   
を求めることができる。余寿命  $Y'$  は同一発電所の電動機であって  
もその納入年・運用経歴・設計内容・実施済予防保全項目などにより  
異なったものとなってくる。

このように、検討対象の各電動機の対策項目ごとに推定余寿命を  
計算・アウトプットすることにより、今までの運用経歴を踏まえた上  
での対策項目の緊急度のランク付けや、一般の予防保全計画との整  
合が可能となり顧客の予算計画や定検工事計画への織り込みが容易  
となった。現在これらの計算は、大形計算機とパソコンを用いて実施  
しており、顧客の要求により実費で図 3. のようなアウトプットを提供  
している。

なお、アウトプットされた余寿命年数のもつ意味について説明を加  
えておく。一つは、余寿命年数が DSS 運用開始後 5 年とアウトプット  
されていた場合、5 年間は放置しておいても不具合が発生せず、5  
年経った時点で不具合が多発するかとすると必ずしもそうではない  
ということである。何故ならば、この年数が電動機の始動停止の回  
数増加に伴う寿命消費増のみに注目しているものであり、経年劣化  
などの因子が考慮されていないため、年数算出にあたって一定の  
安全率を織り込んでいるため、必ずしも記載年数で疲労破壊に至る  
とは限らないからである。そしてもう一つは、寿命残存率が零に近  
づいたもの(経年劣化も含めて)は、その部位を交換して寿命残存

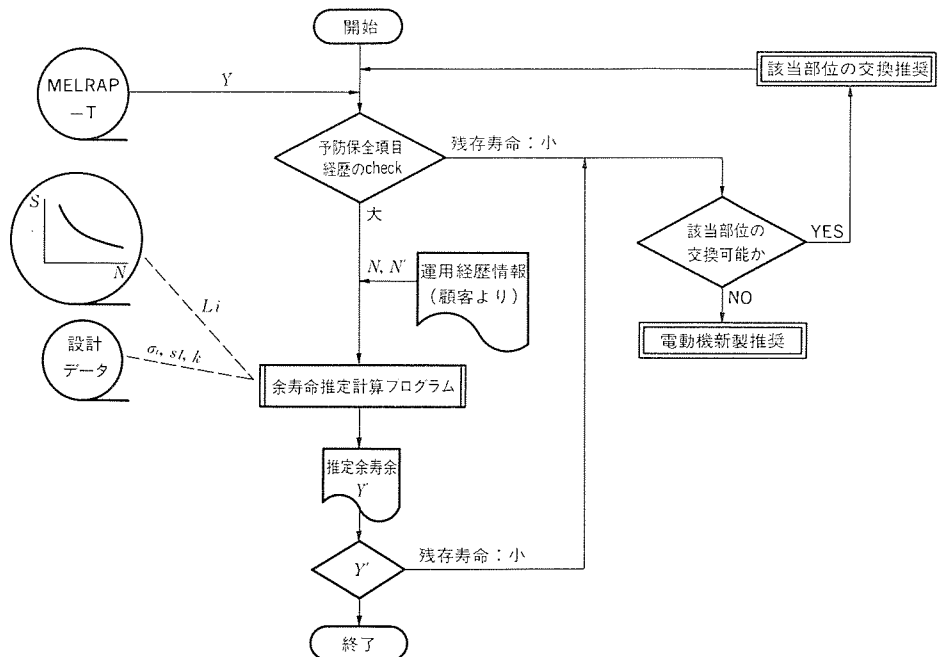


図 4. DSS 対策項目の余寿命推定フローチャート

率を向上させない限り対策の効果は期待できないということである。  
以上を十分認識した上で、この計算結果を活用することが大切であ  
る。この余寿命推定のフローチャートを図 4. に示す。

## 5. む す び

以上、既設の高圧電動機を DSS 運用に供する際の対策項目とその  
余寿命推定アルゴリズムの概要を説明した。

今後、既設の火力発電プラントがますます DSS 運用に移行してゆ  
くと考えられることから、そのプラントに用いられている数多くの電  
動機の DSS 対策工事を、タイムリーかつ計画的に実施してゆくことの  
重要性は増大してゆくものと考えられる。一方、発電プラントの DSS 運  
用はまだその歴史が浅く、解決してゆかなくてはならない技術課題  
も多く残されているが、電動機もその例外ではない。今後とも社会的  
ニーズにこたえるべく、顧客との技術交流や情報交換を行うととも  
に新技術の開発に努めることにより、電動機のより一層の信頼性の  
向上と高い品質の確保を図ってゆく所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 高田ほか: 火力発電プラントの予防保全システム《MELRAP-T》, 三菱電機技報, 58, No. 6 (昭 59)
- (2) 平林ほか: 高圧交流電動機固定子巻線絶縁の経年劣化とその診断, 三菱電機技報, 56, No. 9 (昭 57)
- (3) 森永ほか: 火力発電所納め高圧電動機の信頼性向上, 三菱電機技報, 56, No. 10 (昭 57)
- (4) 田村ほか: 高速かご形回転子の強度, 三菱電機技報, 51, No. 6 (昭 52)
- (5) 新良ほか: 誘導電動機の過渡現象及び異常現象の直接的シミュレーション, 三菱電機技報, 48, No. 10 (昭 49)

## 1. ま え が き

発電所で使用されている配電盤取付機器は、機種、台数とも多数にわたっており、現場での使用状態における寿命は、これまでほとんどデータもなく、取替基準も明確でないため、現場における機器の取替周期にばらつきがみられた。一方、既設発電プラントは、今後相当長期の運転が予測されることから、経年プラントの効率的長寿命化が必要であり、最適更新時期の選定が重要な課題となってきた。

このような背景から、昭和59年度に関西電力(株)と三菱電機(株)は、「配電盤機器の劣化寿命」に関して共同研究を行ったので、その結果について述べる。なお、劣化度調査、加速劣化試験で得られたデータは、可能な限り回帰分析、ワイブル(ハザード)解析などの統計手法を用いて寿命推定を行った。

## 2. 調査・試験結果の概要

## 2.1 寿命推定のプロセス

調査・試験・データ分析は、次に述べる手順で行った。

## (1) サンプル機器の選定

故障時にプラントに与える影響度評価、以前に実施済みである劣化調査データの把握、形式及び設置場所別の検討を行い、サンプル機器と形式を選定した。サンプル機器は、15種類、約260個に及んだ。また、過去に調査済みであった保護リレーとコントロールスイッチについては、データの分析と寿命評価を行った。

## (2) 調査・試験内容の検討

選定した機器について、形式ごとに調査・試験の内容について検討したが、特に加速劣化試験については、各機器ごとに劣化モードを想定して試験方法を定めた。各機器に対する代表的な調査・試験項目は表3.を参照されたい。

## (3) 調査・試験の実施

上記検討に基づき、該当する発電所からサンプルを行い、各機器ごとに劣化度調査、加速試験を行った。

## (4) データ分析

劣化度調査・加速試験結果は、回帰分析、ワイブル(ハザード)解析などの統計的手法を可能な範囲で利用して、劣化度推定を行った。

表 1. 配電盤機器の寿命一覧(その1)

No.	機 器 分 類		寿 命 (年)			サ ン プ ル 数 (個)			備 考
	名 称	原 理 (代 表 形 名)	屋 内		屋 外	屋 内		屋 外	
			空 調 有 り	空 調 無 し		空 調 有 り	空 調 無 し		
1	補 助 リ レ ー (タイマ含む)	(SR シリーズ)	17	14	—	16 (2) 〔14年〕	46 (20) 〔14年×41個 5年×5個〕	—	・個数( )内は常励コイルで内数 ・タイマは4年ごとに時限調整のこと
2	ノーヒューズブレーカ	(NF シリーズ)	—	16	—	—	12 〔13～20年〕	9 〔推定12～20年〕	・定検ごとに機械的開閉動作を行うこと
3	故 障 表 示 器	(沖4号)	13	—	—	12 〔14年〕	—	—	
4	指 示 計 器 1 (電圧計, 電流計) (無効電力計)	可動鉄片, 可動コイル／ビボット式, リボン式	24	7	—	15 〔10～25年〕	12 〔13～25年〕	—	
5	指 示 計 器 2 (電力量計)	精 密 級 (MWS-FDR)	14	—	—	13 〔15～20年〕	—	—	
6	コントロールスイッチ	(M 形シリーズ)	23	—	—	29 〔5～11年〕	—	—	
			13,000 回	—	—				
7	保 護 リ レ ー	機械形／有極要素, 誘導円板要素, バランスビーム	19	—	—	25 〔17～18年〕	—	—	・持ち帰り時点で基準外特性が発生しており, 定検時調整を行うこと
8	サーマルリレー	(MW シリーズ) (TH シリーズ)	—	18	—	—	11 〔13～21年〕	—	・4年ごとに動作時間調整のこと
9	電 磁 接 触 器	(N, S, S-A) シリーズ)	—	14	11	—	11 〔13～21年〕	6 〔8～16年〕	

注 (1) サンプル数欄の[ ]内はサンプルの使用年数を示す。

(2) サンプル採集箇所 屋内(空調有り)…中央盤, 屋内(空調無し)…コントロールセンター, パワーセンター, 屋外…トランスクラウド

表 2. 配電盤機器の寿命一覧 (その 2)

No.	機 器 分 類		寿 命 名 (年)			サ ン プ ル 数 (個)			備 考
	名 称	原 理 (代 表 形 名)	屋 内		屋 外	屋 内		屋 外	
			空 調 有 り	空 調 無 し		空 調 有 り	空 調 無 し		
1	電力量計用パルス変換器	240 パルス/h (QR-70 形)	30	—	—	2 〔15年〕	—	—	※コンデンサ容量低下（3 形式共通） ・リレーは 7 年ごとに交換要
		4,200 パルス/h (QR-80 形)	30	—	—	2 〔15年〕	—	—	・水銀リレーのため交換不要
		4,800 パルス/h (QR-80 H 形)	30	—	—	3 〔 3 年〕	—	—	・リレーは 3 年ごと交換要
2	制 御 用 変 圧 器 (C/C 用)	(NC 形 C/C 用)	—	50	—	—	5 〔21年〕	—	※BDV（絶縁破壊電圧）の低下
		(E 形 C/C 用)	—	25	—	—	6 〔13年〕	—	
3	低 圧 変 流 器 (C/C 用)	(CW-15 R 形)	—	40 以上	—	—	3 〔13年〕	—	※熱加速30年相当を加えたが、絶縁劣化、tan δ、誤差は小
4	電 源 ク リ ッ プ (C/C 用)		—	20	—	—	12 〔13～21年〕	—	※接触圧力の低下（2.5 kg 以下）
5	電 線 (C/C 用)		—	40	—	—	40 本 〔13～21年〕	—	※被覆の伸び低下（150％ 以下） ※圧着端子の引張強度にばらつきが増加
6	コントロールセンタ ーユニット (短絡試験)	(NC 形)	—	20 以上	—	—	3 台 〔21年〕	—	※電磁接触器劣化によりアーク吹出しで地絡発生したが、致命的ではないと判定
		(E 形)	—	13 以上	—	—	3 台 〔13年〕	—	
7	コントロールセンタ ーの箱体	(NC 形)	—	20 以上	—	—	2 面 〔21年〕	—	※扉ガタ等の構造上に問題あったが、メンテナンスで対応可能 ・パッキンの定期取替要す
		(E 形)	—	13 以上	—	—	2 面 〔13年〕	—	
8	変圧器冷却盤の箱体		—	—	20	—	—	1 面 〔25年〕	※チャンネルベース腐食、耐圧低下、発錆、ボルトのトルク低下（増締め不能等の致命的劣化あり）

注 (1) C/C: コントロールセンターを示す。

(2) 備考欄の※印: 寿命決定の劣化主要因。

(3) 他は表 1. と同様に記載した。

なお、寿命判定基準は、できるだけ公知の基準類 (JIS など) を採用した。

## 2.2 寿命調査結果の概要

各種の配電盤に比較的共通して使用される機器の寿命年数とサンプリ  
ング数を表 1. に示し、次章以下で寿命推定について詳述する。

なお、表 2. に特殊機器、サンプリング数の比較的少ない機器につい  
ての調査・試験結果を参考までに記載する。

## 3. 劣化度調査・試験項目と結果概要

配電盤機器の寿命一覧表 (表 1.) に記載した機器について、代表的  
な調査・試験項目、使用したサンプル数、調査・試験結果の概要を表  
3. に示す。

## 4. 寿命推定の詳細

表 3. の調査・試験項目のうち、寿命推定の KEY POINT を各機  
器ごとに説明する。

### 4.1 補助リレー

補助リレーの寿命は、接触抵抗の増大による接触信頼度 (1 接点当  
たりの故障率) によって決定される。接触信頼度の初期値は、 $0.05 \times 10^{-6}$  以下 (JIS C 5442 の Q 水準) であり、自己コイルを負荷とす  
る JIS C 4531 の遅延回路による接触信頼度試験 (表 3. の試験 No.  
6) のサンプルデータは、屋内 (空調有り) で故障率  $0.26 \times 10^{-6}$ 、屋内  
(空調無し) で  $0.52 \times 10^{-6}$  であった。寿命判定を JIS C 5442 の N  
水準 ( $0.5 \times 10^{-6}$ )、信頼度水準 60% で行った結果を図 1. に示す。

なお、N 水準は具体的には、次のような前提で 1 発電プラントが、  
1 年間に 1.2~3 回接触不良を発生するレベルである。

$$1 \text{ プラントのリレー数} (2,000 \sim 5,000) \times \text{接点/台} (6)$$

$$\times \text{年間動作回数} (200) \times 0.5 \times 10^{-6}$$

$$= 1.2 \sim 3 \text{ 回/年}$$

コイル寿命を巻線の BDV (絶縁破壊電圧) 劣化により、直線帰帰  
(90% 信頼度) を使って分析した結果は、常時励磁コイルで 20 年、  
常時非励磁コイルで 24 年である。

表 3. 配電盤機器の調査・試験結果概要

No.	主 要 試 験 項 目  機 器 名 称		1	2	3	4	5	6	7	8			備 考	
			外 観 検 査	絶 縁 抵 抗	耐 電 圧	内 部 構 造	接 触 抵 抗	開 閉 加 速 試 験	高 温 加 速 試 験	機器個別の主要試験項目				
										判 定	ル サ ン プ 数			
1	補 助 リ レ ー	判 定	—	—	—	—	*△ <sub>20</sub>	*△ <sub>20</sub>	*△ <sub>19</sub>	①動作電圧	*△ <sub>7</sub>	43	試験 No.6 は接触信頼度テスト No.7 はコイル寿命テスト	
		サンプル数	—	—	—	—	20	20	24	②主要寸法	○	10		
2	ノーヒューズブレーカ	判 定	× <sub>2</sub> △ <sub>19</sub>	○	○	× <sub>12</sub> △ <sub>9</sub>	—	× <sub>1</sub> △ <sub>5</sub>	—	①内部抵抗	*× <sub>0</sub> △ <sub>6</sub>	21		
		サンプル数	21	21	21	21	—	6	—	②温度上昇	*× <sub>2</sub> △ <sub>3</sub>	11		
										③熱動引外し	*× <sub>7</sub>	21		
3	故 障 表 示 器	判 定	△ <sub>2</sub>	—	—	—	*× <sub>1</sub>	*× <sub>1</sub>	—	①シーケンステスト	*× <sub>1</sub>	12		
		サンプル数	12	—	—	—	3	5	—	②接触抵抗 (加速)	*× <sub>2</sub>	3		
4	指 示 計 器 1	判 定	○	○	—	○	—	× <sub>2</sub>	*× <sub>3</sub>	①許容差	*× <sub>11</sub>	27		
		サンプル数	27	27	—	12	—	11	3	②尖鋭摩耗	× <sub>1</sub>	11		
5	指 示 計 器 2	判 定	○	○	—	—	—	—	○	①器 差	○	13	試験 No.7 5個…120°C (絶縁) 3個…80°C (電子部品)	
		サンプル数	13	13	—	—	—	—	8	②回転加速	*× <sub>2</sub>	5		
6	コントロールスイッチ	判 定	△ <sub>19</sub>	—	○	—	△ <sub>1</sub>	*× <sub>4</sub>	*× <sub>2</sub>	①操作性	△ <sub>6</sub>	39	試験 No.6…10 <sup>4</sup> ~2×10 <sup>4</sup> 回で 不良 4 個 No.7…11.2~22.4 年で 不良 2 個	
		サンプル数	39	—	39	—	39	10	10	②分解部品チェック	△ <sub>3</sub>	39		
7	保 護 リ レ ー	判 定	—	—	*× <sub>3</sub>	—	△ <sub>12</sub>	○	△ <sub>4</sub>	①接点劣化	△ <sub>4</sub>	7	試験 No.8…③ リレー内部トランスの劣化	
		サンプル数	—	—	12	—	12	3	5	②軸受劣化	○	7		
										③絶縁特性	△ <sub>2</sub>	7		
8	サ ー マ ル リ レ ー	判 定	—	○	○	*× <sub>4</sub> △ <sub>3</sub>	—	—	—	①動作時間	*× <sub>3</sub>	11	試験 No.4 の × <sub>4</sub> は手動開閉 テストでリセット不能のもの	
		サンプル数	—	11	11	11	—	—	—	②過負荷耐量	*× <sub>1</sub>	11		
										③ヒータ溶断耐量	*△ <sub>7</sub>	7		
9	電 磁 接 触 器	判 定	△ <sub>17</sub>	○	○	*× <sub>14</sub> △ <sub>3</sub>	—	—	*△ <sub>7</sub>	①吸引落下電圧	*× <sub>6</sub>	17		
		サンプル数	17	17	17	17	—	—	7	②閉路遮断	*× <sub>1</sub>	12		

注 ○…劣化はほとんど認められない

△…劣化が認められる (基準内, 劣化進行度 小)

×… (基準外, 劣化進行度 大)

\*…主たる寿命推定要因

(記号の添数字はサンプル数中の劣化個数)

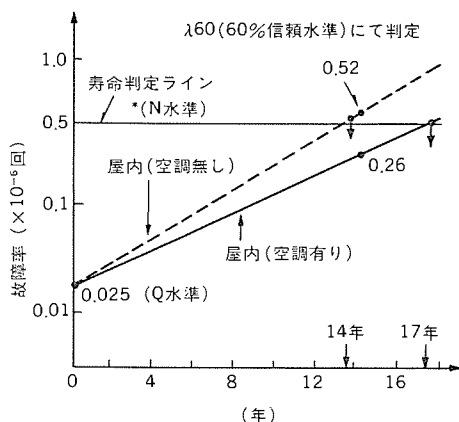


図 1. 補助リレーの接触信頼度試験による寿命推定

## 4.2 ノーヒューズブレーカ (NFB)

NFB の寿命は、温度上昇の原因である接触抵抗の増加によって決定される。NFB 端子の温度上昇は、JIS C 8370 規定の 50°C を限界としたとき、接触抵抗限界は 1 mΩ であり、回帰直線を利用して寿命分析した結果を図 2. に示す。なお、持帰り時点にて 200% 電流による引外し (熱動引外し) 試験で、不動作 5 台、ロング (動作時間) 不良 2 台 (21 台中) が発生しているが、毎年の定期検査で接触子の開閉を行い、引外し部の円滑な動きを維持する条件で、この項目は寿命推定から除外した。

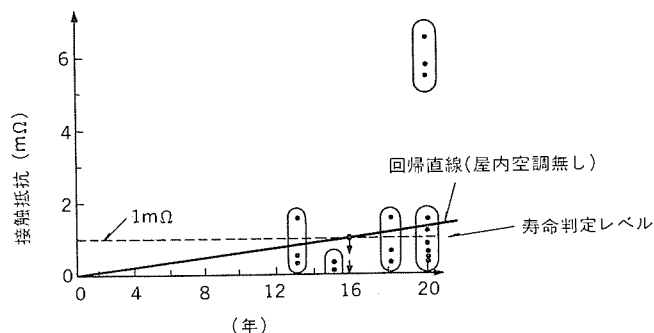


図 2. ノーヒューズブレーカの接触抵抗試験による寿命推定

調査、試験による寿命推定は、経歴の不明確な屋外サンプル品を除いた。

## 4.3 故障表示器

故障表示器の寿命は、内蔵リレーの接触抵抗増大 (開閉加速、シーケンス試験の不良も同じ原因) によって決定される。接触抵抗の不良限界は、JIS C 5440 に基づき、100 Ω を寿命限界とし、シーケンス試験では動作不良でもって不良とした。サンプル 12 台中の不良 4 件をワイプ形累積ハザード確率紙を用いて解析した結果を図 3. に示す。

確率紙から形状パラメータ  $m=7.6$ 、平均寿命  $MTTF=16$  年、が得られ、 $m>1$  からデータは摩耗期にあることが判明する。90% 信頼度水準 (累積故障率が 10% となる年数) で寿命判定し、寿命は 13 年 (図 3. では 12.7 年) となった。

## 4.4 指示計器 1 (電圧計、電流計、無効電力計)

指示計器 1 の寿命は、指針 (可動部) のパランスの狂いに起因する誤差の増大によって決定される。誤差の不良限界は、JIS C 1102 に

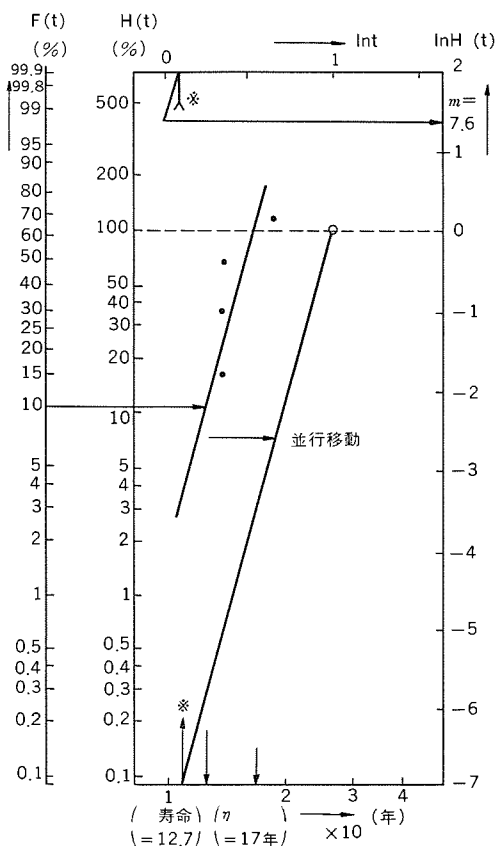


図 3. 故障表示器の接触抵抗試験による寿命推定

に基づき  $\pm 1.5\%$  によった。誤差の定義は次の式による。

$$\text{誤差} = \frac{(\text{標準目盛値}) - (\text{実測値})}{\text{最大目盛値}} \times 100\%$$

誤差を回帰分析し、90%信頼度で判定した結果を図 4. に示す。測定点には、かなりのばらつきが見られ、相関係数  $r$  は空調有りのとき、 $r=0.57$ 、空調無しの場合、 $r=0.74$  であるが、空調有りの場合も、あえて回帰直線によって分析した。なお、バランスの狂いは、製作時にバランス調整のために付加されるウエイト(おもり)の経年的重量変化によるものであり、バランス機構は、リボン式、ピボット式に共通であるので、寿命推定に当たっては方式の差はない。

最大目盛値に相当する入力を ON 2 秒、OFF 2 秒の開閉加速試験でせん(尖)軸の摩耗が認められるが、JIS C 1102 に基づく誤差 0.6% に達するのは約 31~40 年であった。

#### 4.5 指示計器 2 (精密級電力量計)

電力量計の寿命は、摩耗に起因する軽負荷変動誤差によって決定される。回転加速試験による軽負荷変動の寿命限界は、JIS C 1216 に定めた 0.5% によった。軽負荷変動は、負荷 5%、力率 1 の入力を与えて誤差測定を 20 回行い、誤差の最大値-最小値で表示するもので、回転部の摩耗を判定する方法である。軽負荷変動の誤差を回帰分析し、90%信頼度で判定した結果を図 5. に示す。

#### 4.6 コントロールスイッチ

コントロールスイッチの寿命は、開閉(操作回数)加速試験による開閉操作機能の喪失及び高温加速試験による機構部品のクラック発生によって決定される。開閉加速試験では、操作回数を 1,000 回/年として扱った。得られたデータを、操作回数と寿命年に分けてワイブル形累積ハザード確率紙を用いて解析した結果を図 6. に示す。

確率紙によれば、寿命年数については形状パラメータ  $m=8.55$ 、平

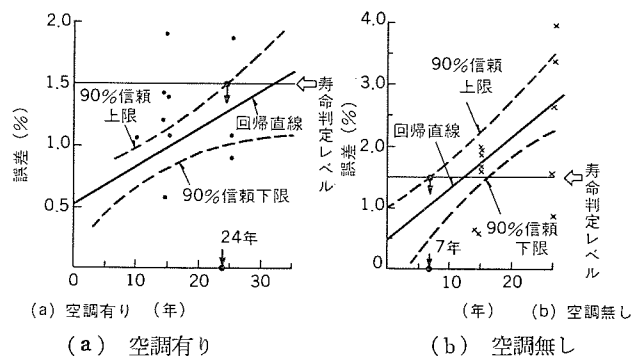


図 4. 指示計器 1 の計器誤差による寿命推定

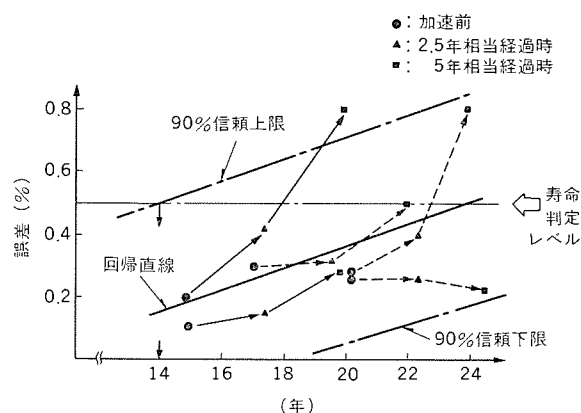


図 5. 指示計器 2 の軽負荷変動誤差による寿命推定

均寿命  $MTTF=29.3$  年が得られ、 $m>1$  からデータは摩耗期にあることが判明する。90%信頼度水準(累積故障率が 10%となる年数)でもって寿命判定し、寿命は 23 年(図 6. では 23.4 年)となる。

同様に、操作回数については、 $m=3.27$ 、 $MTTF=24,220$  回が得られ、 $m>1$  からデータは摩耗期にあることが分かる。90%信頼水準で寿命判定し、寿命は 13,000 回(図 6. では 13,400 回)となる。

#### 4.7 保護リレー

機械式保護リレーの寿命は、絶縁耐圧劣化によって決定される。耐圧試験は 1 秒(商用電源)で不良となった値を使った。判定基準としては、 $1 \times 40 \mu s$  の標準インパルス(立上り  $1 \mu s$ 、減衰  $40 \mu s$ )に関する JEC-210「直流開閉サージ」3 kV を採用した。1 秒耐圧を標準インパルス耐圧値に変換する換算係数は、社内データから 2.1 (インパルス RATIO=1.48) を採用し、インパルスに換算して図 7. に示した。インパルスへの換算係数に関しては、電協研報告書(昭和 51 年 8 月号第 32 巻 第 2 号)に、インパルス RATIO は  $1.0 \sim 2.1$  に分布し、中心は  $1.2 \sim 1.3$  であることが示されており、今回採用した値は妥当であると考えられる。

$$\text{インパルス RATIO} = \frac{\text{標準インパルス耐圧}}{1 \text{ 秒耐圧 (rms)} \times \sqrt{2}}$$

なお、絶縁耐圧低下のほか、動作特性のずれ、接点ギャップの拡大、電磁石の発せい(錆)、制御スプリングの垂れ下りなどの劣化が認められたが、定量的評価は困難であった。

#### 4.8 サーマルリレー

サーマルリレーの寿命は、サーマルリレーが動作する前に、ヒータが溶断する電流を規定するヒータ溶断耐量によって決定される。ヒータ溶断耐量の判定基準は、JIS C 8325、JEM-1356 に示されている 8 倍以上



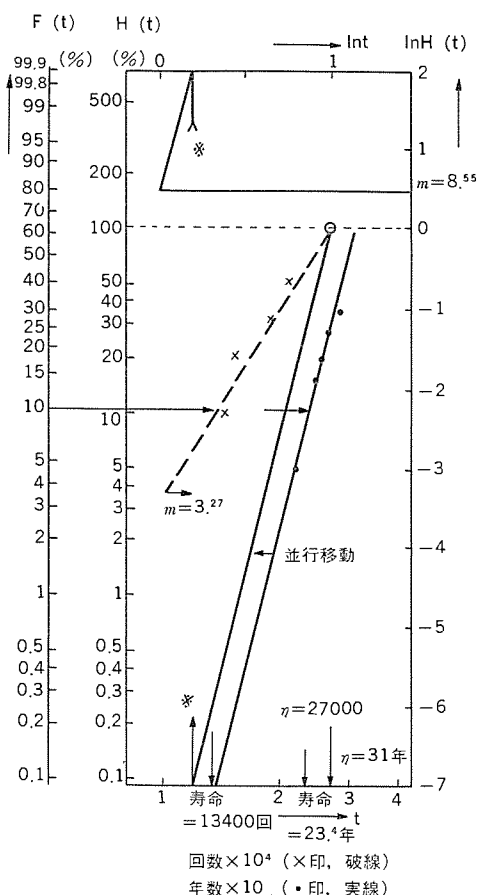


図 6. コントロールスイッチの開閉加速・高温加速試験による寿命推定

であることによった。この値はモータの始動電流に耐える過負荷耐量が8倍以上であることと同じである。ヒータ溶断耐量(定格電流の倍数で表示)を回帰分析し、90%信頼度で判定した結果を図8.に示す。サーマルリレーの動作時間誤差大が発生しているが、これは調整可能であり、4年ごとに動作時間を調整するという前提で寿命判定項目から除外した。

#### 4.9 電磁接触器

電磁接触器は、サンプルの持帰り時点で、機構部品にさび、腐食、モールド品の変形、ゴム製品の劣化が著しく、屋内(空調無し)の14年使用のものに、クロスパー破損(3個)、屋外の11年使用のものに、コイルスプール破損(1個)があった(いずれも各6個中)。最低吸引電圧も85%以下を満足できないものが、持帰り時点で屋内(空調無し)の21年使用のものに4個(5個中)、屋外の11年使用のものに2個(2個中)発生している。

以上を考慮して、持帰り時点で寿命と判断し、屋内(空調無し)で14年、屋外で11年を寿命とした。なお、コイルのBDV(絶縁破壊電圧)の劣化は、試験データを回帰分析し、90%信頼度で判定して、

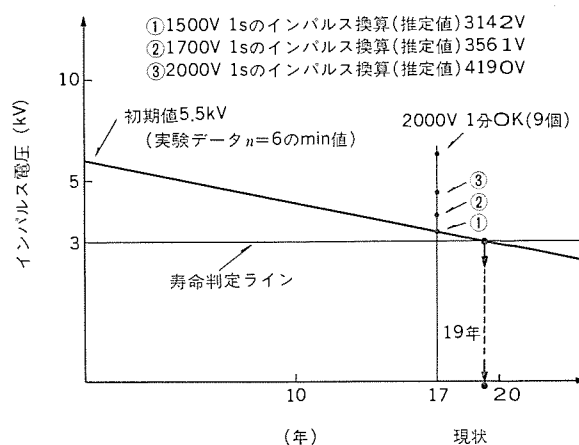


図 7. 保護リレーの絶縁耐圧試験による寿命推定

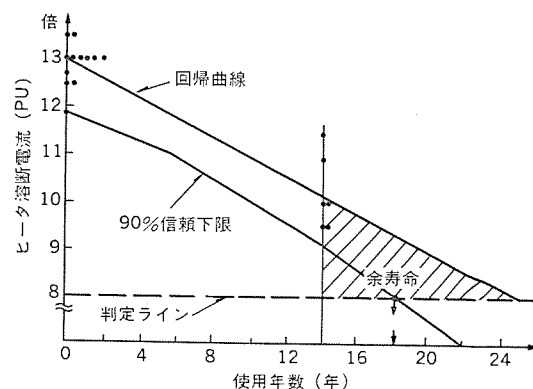


図 8. サーマルリレーのヒータ溶断耐量による寿命推定

屋内(空調無し)で26年、屋外で17年の寿命となった。

#### 4.10 その他の機器

表2.に記載した機器、配電盤についても、表1.の機器と同様に、劣化度の調査、試験を行ったが、紙面の関係で詳細な説明は省略する。表2.の機器、配電盤は、サンプル数が少ないなどの難点はあるが、データに基づいたものであり、それらの寿命年数は当面参考値として利用できるものと考えている。

### 5. む す び

限られた期間と費用の範囲ではあるが、納入後10~20年のサンプルに対する劣化度調査、試験結果について述べたが、予防保全にたずさわる技術者に、本稿がいささかでも役立てば望外の喜びである。

多種類の機器、部品が取り付けられている配電盤の寿命評価は、第一歩が踏み出された段階であり、分析技術の向上を含めて、なお一層の努力を続ける所存である。

最後に、この劣化度調査、試験に関し御協力いただいた関係各位に深く感謝申し上げる。

## 1. ま え が き

高度情報化社会が形成される社会情勢の変化から、電力の安定供給に関する要求は一段と重要度を増してきている。このような状況下で、電力システムの中でも非常に重要な位置づけにある変電機器は、より一層の高信頼度化が望まれることは言うまでもない。一方では、変電所の設備増加と無人化の推進により、運転・保守要員一人当たりの設備量が増加し、更に、質的にも高度な対応が要求されてきており、従来方式での設備保全が困難になりつつあると考えられる。このためには、変電機器自体の高信頼度化も必要であるが、日常の巡視点検の精度向上、機能拡大並びに診断技術の導入などを目的とした予防保全システムすなわち監視システムの導入も急務であると考えられる。

こうした監視システムを実現するために、飛躍的發展を遂げているエレクトロニクス技術や光応用技術を応用して、変電機器にセンサを直付けしてセンサ出力信号を現場に分散配置した診断用のマイクロプロセッサ(以下、 $\mu P$ とよぶ)で演算処理する。そして、その診断結果を光伝送によって本館へ伝え、異常を軽微な段階で早期に発見しようとするのが既に行われている。図1.にこのようなシステムを適用した変電所の例を示す。<sup>(1)</sup>

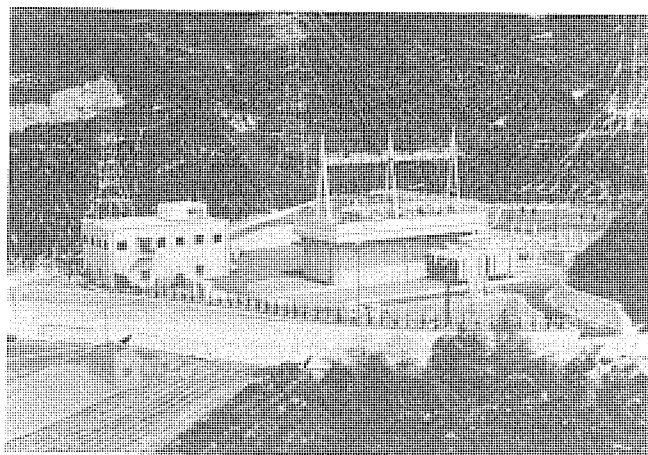


図1. 監視システム適用例

ここでは、変電機器の予防保全監視の考え方、監視システムの構成例、変圧器・開閉機器の具体的監視方法について述べる。

## 2. 変電機器の予防保全監視の考え方

現在、変電所の設備保全は巡視点検により、異常を早期に発見して調整・修理を行う予防保全か、あるいは運転監視で支障が出た場合に修理交換する事後保全が一般的である。

一方、高信頼度・高機能化が追求されて密閉化・複合化しつつある変電機器は、いったん故障が発生すると故障箇所の発見が困難で停電時間や停電範囲が大きくなるという問題がある。他方、90%以上の変電所が無人化されており<sup>(2)</sup>、更に超高圧系の変電所の無人化も進められつつあり、これからの変電機器の保全方法は予防保全面から見直す必要が生じてきている。供給支障の防止から現状の問題点を分析してみると、次の点に集約される。

- (1) 巡視点検時の判断レベルの不均一(カン・コツによる判断)
- (2) 監視は接点情報によるものが多く、定量的データが少ない。
- (3) 有人変電所では1回/日の巡視点検、無人変電所では2回/月の定期点検で、限られた時間だけの点検及び点検内容となる。
- (4) 点検困難箇所(高所、地下、狭あい部)がある。

以上の検討から、予防保全監視として考慮すべき重要事項を整理すると表1.のとおりになる。このような事項を達成するためには、監視システムの導入が不可欠で異常の予兆を早期に検出して機器の延命化を図り、また、突発的な事故についても状況を把握して波及範囲を最小限に留めるようにする。

監視システムを実際に構成するには、機器ごとの不具合現象の調査、異常の進展の分析、センシング技術の調査及び適用上の課題と対策の検討が必要であるが、実現手段としては、センサと $\mu P$ をベースにした監視システムを導入目的に合わせて構築する。このような予防保全監視を導入しても、変電所の巡視点検のすべてを代行することは困難であり、重点監視対象の考え方を導入するとともに、経年劣化する部品はメンテナンスで更新するなどの考え方とも協調をとる。重要監視対象としては、可動部分をもつ機器、長期間連続運転された機器、特に重要地区に電力を供給する回線の機器などが考えられる。

なお、監視システムは、変電所の上位システムなどとの容易な結合ができるようにしておく必要がある。

表1. 予防保全監視として考慮すべき事項

機 能 ・ 性 能 の 拡 大	信 頼 性 の 向 上	省 力 化 ・ 無 人 化
1. 変電所運転状態の把握 (1) 母線運用の合理化 (2) 機器の過負荷運転  2. 緊急時の即応処置(事故の拡大防止) (1) 被害状況の迅速把握 (2) 停電部分と停電時間の局限 (3) 復旧の迅速化	1. 機器異常の早期発見 (1) 機器の高精度点検 (2) 異常判断レベルの均一化  2. 点検時期の最適化 (1) 点検時期、点検箇所の表示	1. 保守員の代行  2. 過酷環境条件下(台風、豪雪など)の点検監視  3. 監視困難箇所(高所、地下、狭あい部など)の点検監視

### 3. 監視システムの構成

#### 3.1 監視システムの基本的考え方

監視システムは、機器が故障に至る前に異常の軽微な段階で検出することを主目的とし、突発的な事故に至った場合は、波及を最小限に留めるため事故箇所の検出も考慮する。このようなシステムを実現するため、基本的な考え方を次に示す<sup>(2)</sup>。

- (1) 外部診断方式：状態検出をするセンサは、物理センサや画像センサを用い、物理センサの取付けは、機器本体の信頼性を損なわないように、原則として機器の主回路部に貫通孔を新たに設けないようにする。この方式では、既設機器への取付けも比較的容易である。
- (2) 分散処理方式：各種センサごとに個別データ処理を必要とするため、センサ出力の演算処理をするμPを機器近傍に配置する分散処理方式を取り、センサの独立性を高める。これによって一部分が故障した場合、他への波及を限定でき、またセンサ増設時にもシステムを

停止せずに対応することが可能である。

以上のような考え方で構成する監視システムでは、監視対象項目はたくさん考えられるが、効果的な監視をするために導入目的と被監視機器からセンサを選別すると、一例として図2. のようになる。

#### 3.2 監視システムの構成例

監視システムの適用実績を表2. に示すが、ガス絶縁形変電所（以下、GISとよぶ）と気中絶縁形変電所に適用した場合で監視システムの構成に違いがあり、以下ではその違いも含めてそれぞれの特徴について述べることにする。

##### 3.2.1 ガス絶縁形変電所への適用例

GISは気中絶縁形と比較して、主回路機器間が近接していることから、センサ同志も近接してくるので、構内監視盤の演算処理用μPで多数のセンサの処理をするのが合理的である。図3. に構成例を示す<sup>(1)</sup>。

このシステムは、センサ系と画像系（ITV）で構成され、本館側では

保護継電器盤との照合や二つの系の連携処理をする。センサ系は、本館盤と電圧階級又は複数ユニットごとに設置する構内監視盤からなり、センサの出力信号をセンサの種類対応のμPで演算し、データの蓄積処理をした後、本館へ異常の有無と測定データを光データウェイを介して伝送する。本館盤では、表示、印字及び日報作成などを行う。なお、テレコン盤を介して上位の制御所で状況を把握することも考えられる。この例では、本館統合形のシステムを述べたが、マンマシンインタフェースの機能を構内監視盤にもたせることにより現場完結形のシステムにもなる。その場合は、異常を接点信号によって本館へ伝えるようにして、本館にて異常を確認後構内監視盤で詳細を知ることができる。

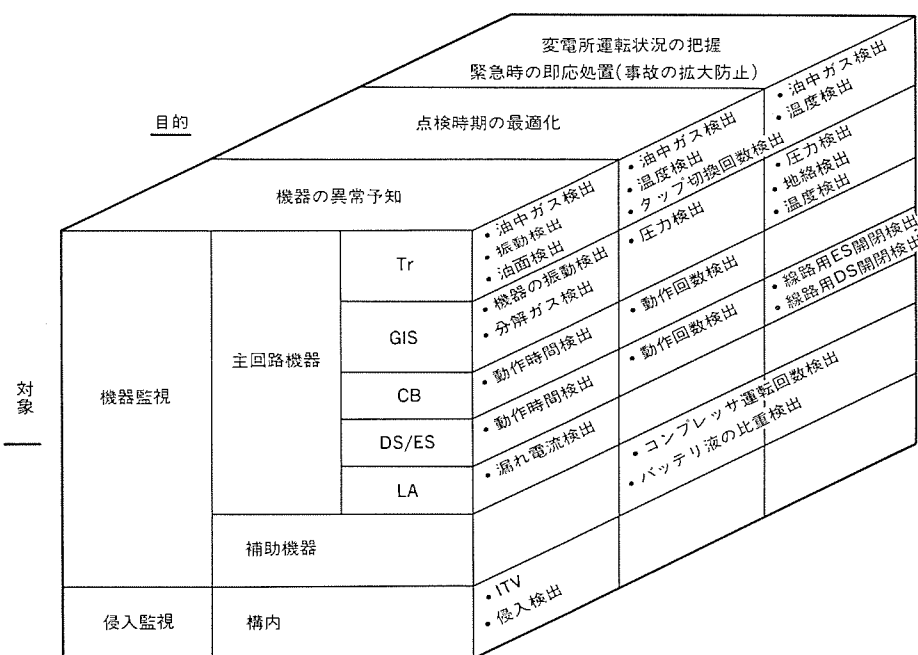


図2. 監視対象と手段

表2. 監視システムの適用実績

適用例 内 容	例 1	例 2	例 3	例 4	例 5
件 名	変圧器デジタル監視装置	変電機器監視装置 (当社伊丹製作所構内)	変電機器監視システム	変圧器監視装置	GIS 予防保全システム
電 圧 階 級	500 kV	84/72 kV	187/66 kV	220/110/66 kV	275 kV
対 象	Tr, 500 kV LA	84/72 kV GIS, Tr	187/66 kV GIS, Tr	Tr	300 kV GIS
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Tr 油中可燃性ガス総量の監視</li> <li>・ Tr 油面の監視</li> <li>・ LA 漏れ電流の監視</li> <li>・ 各監視データの光伝送</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GIS, Tr の内部診断 (音, 振動, TCG) (CB の動作時間)</li> <li>・ 事故検知</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GIS, Tr の内部診断 (音, 振動, TCG) (CB の動作時間)</li> <li>・ 事故検知</li> <li>・ 構内監視 (ITV)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Tr 油中可燃性ガス総量の監視</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 遮断器の動作時間</li> <li>・ 内部異常振動の監視</li> <li>・ 事故検知</li> </ul>
システム構成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構内監視盤</li> <li>・ 光伝送</li> <li>・ (本館)他メーカー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構内監視盤</li> <li>・ 光伝送</li> <li>・ 本館盤</li> <li>・ (テレコン接続)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構内監視盤</li> <li>・ 光伝送</li> <li>・ 本館盤</li> <li>・ テレコン接続</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Tr モニタ盤</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構内監視盤</li> </ul> <p>(61 年 6 月 納入予定)</p>

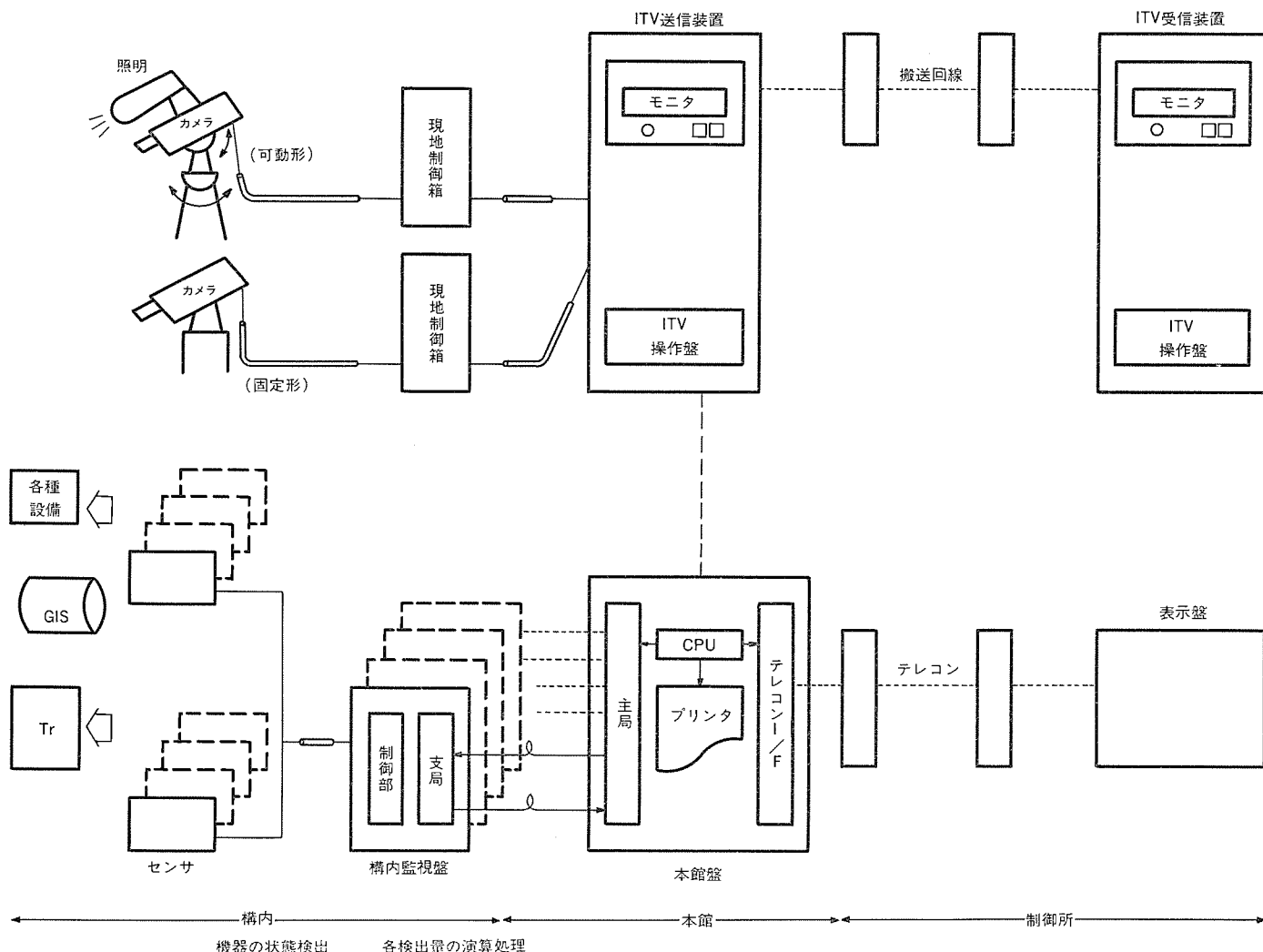


図 3. ガス 絶縁形変電所への適用例

### 3. 2. 2 気中絶縁形変電所への適用例

この例では監視対象機器としては、可動部分をもつ遮断器と最重要機器の変圧器を選定している。システムの構成は、機器間が離れているのでセンサからの出力信号を演算処理するモニタ盤を機器ごとに設置し、これらを統合する構内中継盤を経由して本館盤に光データウェイを介して伝送することが有利である。本館側の機能は前項の場合と同様であり、更に現場完結形のシステムにすることも可能であるばかりでなく、機器対応のモニタ盤のみでも効果的な監視が期待される。

このような監視システムによって、例えば遮断器の動作時間、操作回数並びに変圧器の局部加熱、部分放電などの監視を行っていく。図 4. に例を示す。変圧器本体に近接して設置されたモニタ盤で変圧器の油中可燃性ガスの総量を測定している。

### 3. 3 システム適用上の配慮点<sup>(3)(4)</sup>

監視システムを適用する上で必要な配慮事項のうち、重要な点について述べる。

(1) 耐環境性：センサ及び構内監視盤は、ほとんどの場合屋外適用であるので、気象、日射の影響を受ける。そのため、盤を二重構造として、直射日光の遮へい効果を高めて温度上昇を抑える。また、MOS IC のように低消費電力形部品を使うことにより回路の発熱を少なくし、電源の低容量化により電源部の発熱も抑制する。また、周囲温度も高く盤内発熱も多い場合には、熱交換器を使用して温度



図 4. Tr モニタ 盤 (TCG 装置)

上昇を抑えることもある。

(2) 耐ノイズ性：主回路機器に近接して  $\mu P$  など電子回路を設置するので、大電流による誘導やサージ・ノイズ対策に特に注意を払う必要がある。まずセンサについては、静電・磁気シールドを施し絶縁取付けをする。ノイズ・サージの厳しい環境下のセンサについては、光センサを適用する。また、予防保全を主目的とする監視の場合、異常を軽微な段階で検出するので、異常の処置には時間的余裕があり、

したがってノイズ・サージによるセンサの一時的計測不能は許容することとも可能である。運転に伴う連続的ノイズは、機器の各種現象を把握しておくことにより、フィルタで除去したり、ソフトウェアによる演算処理によって除去するようにしている例もある<sup>(5)</sup>。

盤内ではサージ対策として、信号の入出力間は補助継電器やホトカプらにより絶縁をとり、必要に応じ信号の入口にサージ吸収器を設置する。電源に関しては、ノイズフィルタを介して盤内に供給して、必要に応じて絶縁トランスを入れる。また、盤内配線は、電源線と信号線、信号線でも入力と出力用は極力分離し、ノイズ・サージの影響を少なくする。

(3) 発展性・拡張性：将来のセンサ発展に対応して、新しいセンサの導入が可能にする。また、変電所の増設に合わせて拡張できるようにする。

(4) 長期安定性：厳しい環境下で電子部品を使用するため、裕度は十分にとるが、更に重要部品については、交換・補修用に予備品を保管する。

(5) 保守体制：主回路機器と異なり構造が複雑でブラックボックス化が避けられないので、専門の保守要員を育成し、顧客の定期点検ニ

ーズに応じられるようにする。

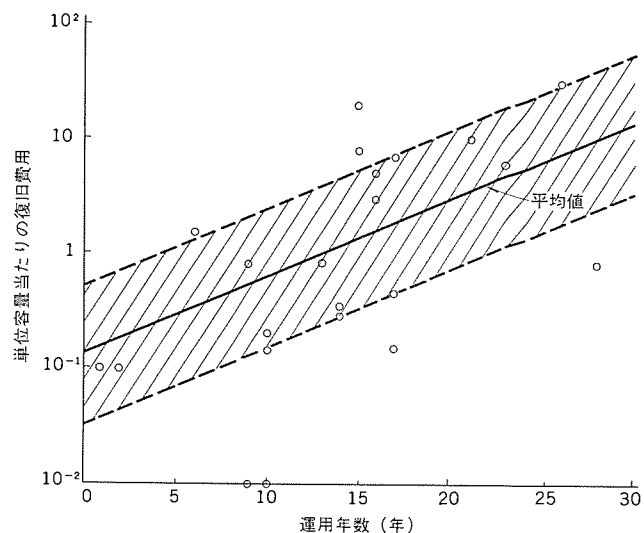
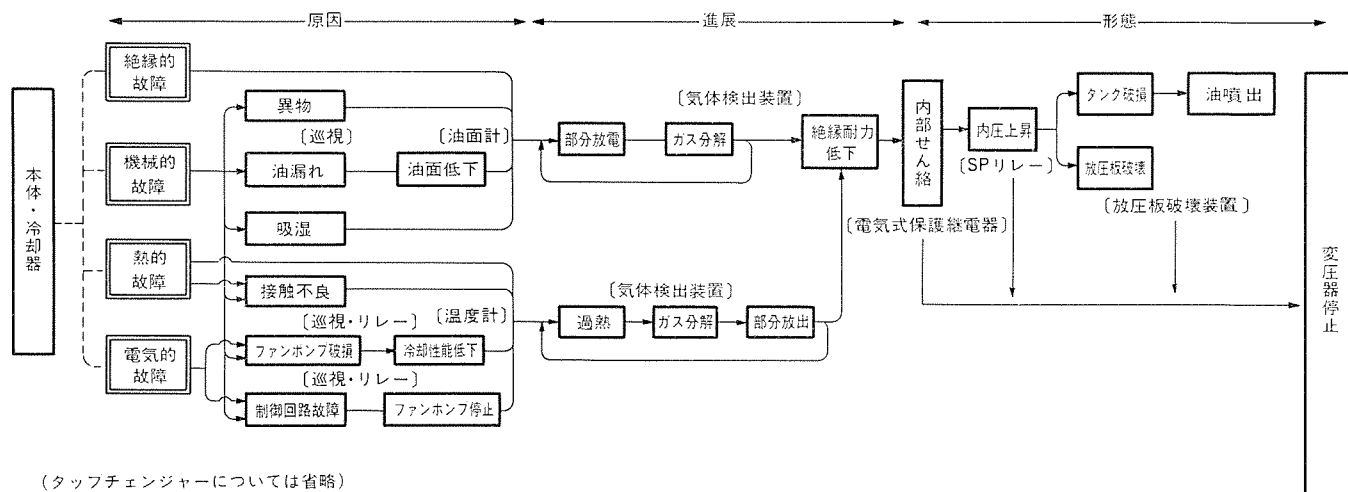
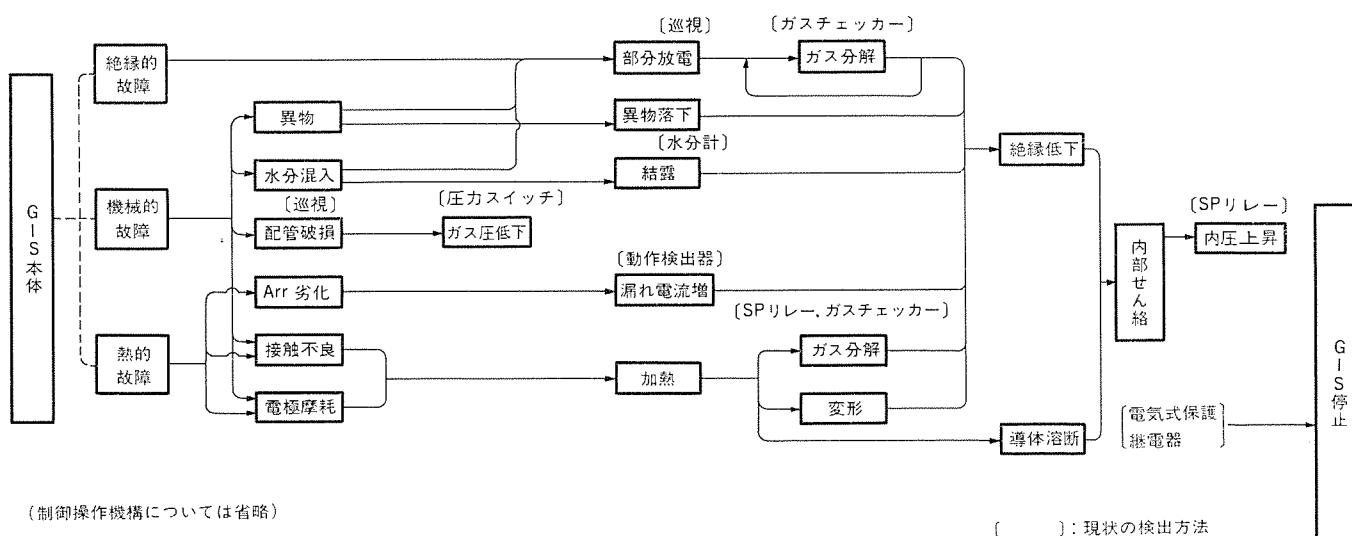


図 5. 運転年数と障害復旧費用



(a) 変圧器故障の進展形態



(b) GIS 故障の進展形態

図 6. 機器故障の進展形態

## 4. 変圧器監視

### 4.1 事故様相の分析と評価

最近の変圧器の事故様相データを抽出し、分析評価すると次の事柄が判明した。事故様相は、①瞬時的な事象による障害（例：雷撃など）、②運転経過により進展拡大して起こった障害、③初期の管理ミスと思われる障害（例：締付不良など）に3分類されたが、②が8割強を占めた。また、図5.に示すように、使用年数が10年程度以上のものが約8割と多く、更に復旧費用は、使用年数が多いほど大きくなる傾向がある。

以上の実状（通常運転下で時間をかけて進展拡大する障害が多数ある）から、監視システムは、進展現象を内在した適格な情報を捕そくし、その予兆を追跡する必要のあること、更に、保守の向上と支援のねらいが必要なこと、監視システムの導入のタイミングなどについて示唆を与えている。

次に機器故障の進展形態に対し、現用の保護や保守形態との比較を行ってみた。絶縁上あるいは熱的な故障要因が、時間経過とともに呈する物理現象を“原因・結果”で推論し、機器停止に至るまでその進展形態を展開したのが図6.である。どの物理現象をどの段階で捕そくしているかがポイントであるが、図の〔 〕内は巡視も含めた現状の検出方法で、当然、効果的に作用していると評価される。

しかしながら、巡視はカン・コツの個人判断に依存する問題、また、計器類は設定値オーバーによる動作のものが多く、予兆や進展現象を捕そくするには十分ではないといえる。したがって、予防保全監視は現状の検出を踏まえ、予兆や進展現象を捕そくする機能を持ち、より深層化させた効果ある情報を取り扱う方向が必要である。

### 4.2 監視項目選別の考え方

どのような項目を監視すべきか、抽出を解析的に行うため、更に絶縁や熱的故障などをその開始点となる要因群まで細分し、当初要因事象群から、各経由事象、最終事象の順に FTA 手法に従い並べてみた。図7.はその一部分であるが、FTA 図上には各事象のほか時間をかけて進行し、不具合進展の条件となる制約ゲートも存在している。この制約ゲートに注目し、制約ゲートの内容を何らかの形で捕そくしその進展状況により処置すれば、障害事象の進展を止めることができ、機器を事故に至らせないで延命化できる。したがって、監視項目の候補として、FTA 図の制約ゲートの内容を予兆現象として捕そくすることとし、また事故進展に伴う予兆現象の変化の監視により、処置を指示するとすれば、監視システムの有効性が発揮されることになる。

なお、より下段の制約ゲートほど、より前段階の処置が行えるので予兆現象捕そくとしては高価値であり、また上段の制約ゲートに関しては、広範な不具合事象の帰結として発生するもので、広範事象の予兆現象として価値を持っている。

この観点から、制約ゲートの内容を監視項目として網羅することが、理論的に抜けがなく正しいが、実際の運用に際し、監視の情報としての適格性を評価する必要がある、

- (1) 事故率、障害度、復旧費用などに対する評価による監視項目の重み配分。
  - (2) 劣化による不具合現象と管理に起因する不具合事象の分離。
  - (3) 現用リレーが効果的に不具合を検出しているものの評価。
  - (4) より広範な事象を監視し、検出ができる情報の優先。
- の諸点などが監視項目の絞り込みの要因となる。

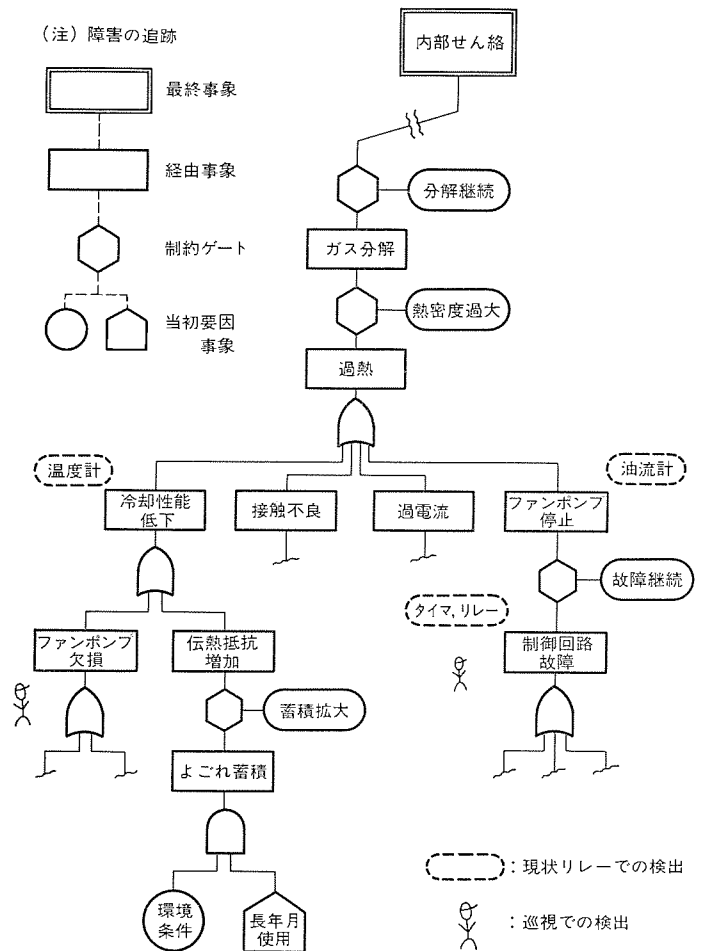


図7. 変圧器 FTA (部分図)

### 4.3 監視・診断技術の展開

高度な外部診断技術が、現在各方面で研究されているが、専門的技術や知識を要し、高価な装置によるものも多い。フィールド向け監視システムは、変圧器本体と同等以上の信頼性を確保する必要があり、一つの方法として、機能を限定し目的の階層化に検討を加え、装置を簡略かつ堅ろう化、更に小形化して実現している。前述の考え方と選別手順に従い、監視項目を抽出し、当社で研究継続しているものの中から、変圧器関係のサブシステムについて数例を紹介する。

#### 4.3.1 可燃性ガス監視 (TCG 装置)

油中ガス分析が変圧器の診断に威力あることは周知で、運用も電協研第36巻第1号にまとめられ、各ユーザー、メーカー共活用している。当社で開発した TCG 装置は、電気協同研究会で検討された運用の一つである総可燃性ガスの指標にのっとり、可燃性ガスの総量を測定するものである。TCG 装置は、事故内容の診断を多種類ガス分析装置へゆだね、事故の早期発見と故障進展の把握を機能目的としているので、簡略なハードウェアで構成し、信頼性を確保しながら低価格を実現している。変圧器と1:1の対応を基本とし、現場据置き、自動形のため、人為的な誤差は除去できる。運転は周期自動測定のほか、過電圧、過負荷、外部短絡など変圧器が過酷運転を被った際、変圧器の性能を即刻把握できるよう随時起動が行えるなど、多くの特長をもっている。

可燃性ガスの増加程度は一般的には緩やかであるが、不具合の生じた場合、その程度によって相違すると思われる。図8.は、増加の様相から変圧器を破壊に至らしめることなく修理処置が行えたデ

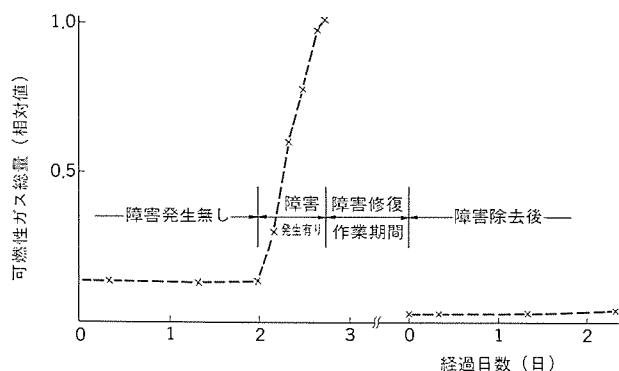


図 8. TCG の増加様相

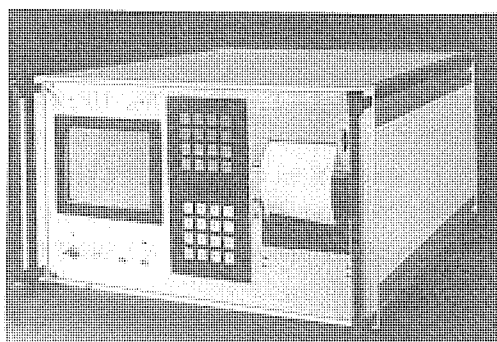
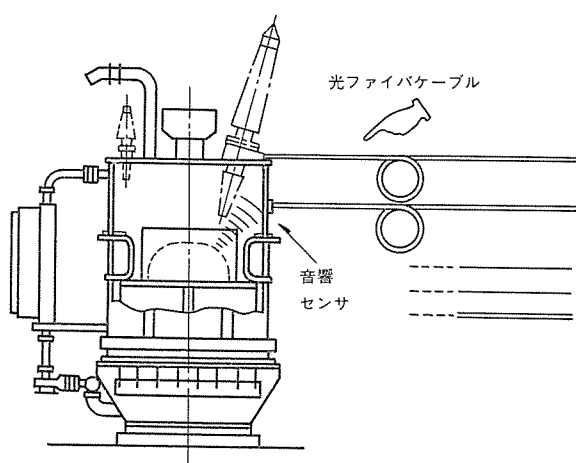


図 9. 部分放電装置

ータ例で、緊急時には比較的短時間周期の測定が必要となろう。この TCG 装置は、ガスレベルだけでなく、増加傾向も監視する機能を持たせており、緊急時には短い周期で連続的に発生傾向を監視し、変圧器の許容運転時間の推定が可能である。また、タッチチェンジャーの活線浄油機並みの大きさと設置が容易で、その簡便さと高精度から、既に内外顧客への約 20 台が納入され、運転されている (図 4. 参照)。

#### 4. 3. 2 油面・温度上昇監視

現用 センサ 出力信号を高度に活用して、状態把握や異常の進展度と処理の指示をするものである。油面監視は、運転温度や油面位置を検出し、油の熱膨脹収縮で生ずる油面変動を正常値と比較し、油漏れを発見するもので、油面下限になって警報が出る現状の方法より、早期発見が期待できる。温度上昇監視は、更に周囲温度、負荷率、冷却器運転状態を入力し、冷却能力を演算比較することで、冷却器状態 (よごれ、欠損など) を検出する効果を持ち、冷却器の運転制

御の高度化が図れる システム である。

#### 4. 3. 3 部分放電監視

部分放電は、絶縁破壊の前駆現象として発生することから、工場試験では部分放電試験が慣用的に行われており、異種 センサ 間の同期をとって内部放電を検出し、時間的ずれから異常部の位置評定を行うこの方式も、開発試験で多用され、現地向けにも各方面で研究が行われている。フィールドでの運用にあたり、環境ノイズの分離やレベルと増加傾向の異常判定アルゴリズムに、今後の研究の焦点があてられるものと思われる。

図 9. の装置は、センサ装置間を光ファイバケーブルで接続し耐ノイズ性を向上させており、ディスプレイ、タッチキー、プリンタを装備して、取扱いを容易にしている。装置は小形軽量で携帯に適するほか、他の装置へ組み込み、据置形としても運転可能な構造にしている。

### 5. 開閉機器監視

#### 5. 1 事故様相の分析と評価

開閉機器も変圧器と同様に事故様相データを抽出し、分析評価して機器それぞれの傾向を把握することができるが、GIS については比較的歴史の浅い機器であるため、変圧器と比べて事故件数が格段に少なく、具体的な事故事象を導くことが困難である。しかしながら GIS では、いったん内部事故が発生すると密閉機器という特徴上、事故箇所の特定の困難さ、復旧作業の工程の多さなどにより、機器停止時間が長くなるという問題があり、障害の早期発見による事故防止が特に重要である。

数少ない障害件数を分析した報告<sup>(6)</sup>から、GIS 事故の特徴をみると次の項目が挙げられ、監視項目の選定に役立つ。

- (1) 絶縁破壊と動作不良の割合が大きい。
- (2) 内部機器と操作機構に起因する事故の割合が大きい。
- (3) 据付け、製作不良などの人為的要素による故障の割合が大きい。

人為的なものは管理面の改善によって防止するのが望ましいが、これらの故障も検出可能な前兆現象を伴うものも多いので、監視対象として取り上げることができる。

#### 5. 2 異常進展による監視項目の選定

どのような監視項目を選定すべきかは、前章で述べた変圧器を対象とした場合と考え方は同じであるので、ここでは GIS 特有の事項について紹介する。

機器内部で不具合が発生すると、振動・音・熱・光・におい、などいわゆる五感対応の現象と、更に微小電流、圧力上昇、分解ガス発生などの物理現象が発生し、機器異常に進展していく。これらの進展形態を展開したのが図 6. (b) である。前章で述べたように、監視システムを導入する場合、不具合が軽微な段階、すなわち予兆現象を捕そくしようとする、図 6. に示すように検出ポイントが多くなり、したがってセンサの数が増加する。不具合の進展段階でしかも機器異常に至らない適当な時点で、予兆現象を捕そくしようすると監視項目を限定することができる。したがって、障害事象要因の重み配分から監視項目を絞り込むと、①SF<sub>6</sub>ガス分解、②部分放電、③温度上昇、④漏れ電流、⑤コンタクト劣化、⑥トラブル (時間、回数含む) などが挙げられる。実際の適用に際しては、監視システムの導入目的も考慮しながら、上記監視項目をベースに機器の特徴を考慮して選定するのが望ましい。

次に比較的使用例の多い監視サブシステムについて紹介する。



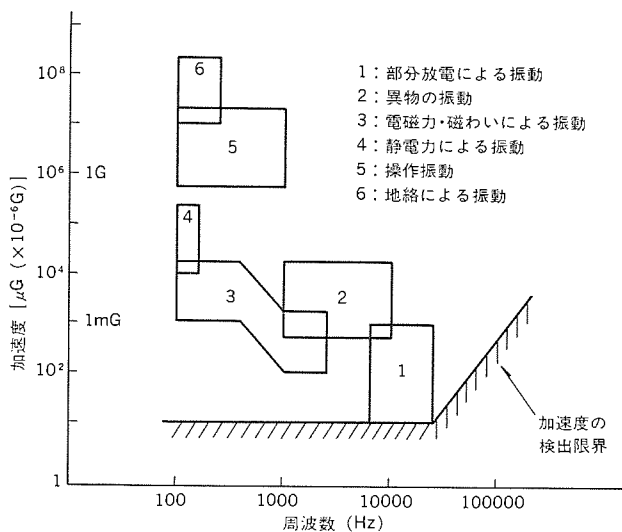


図 10. 振動の分類

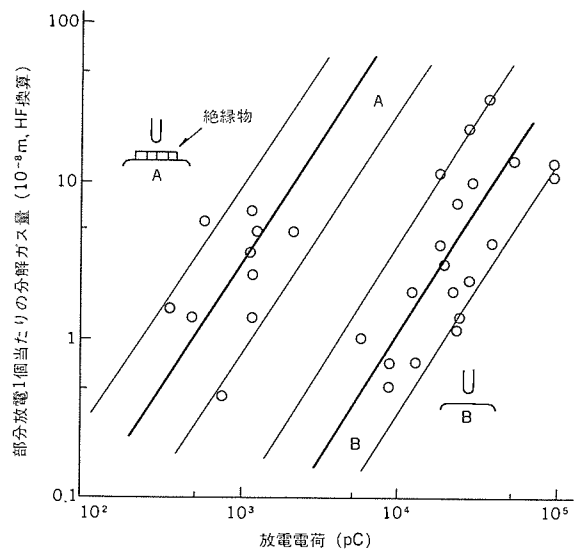


図 12. 部分放電電荷と分解ガス量

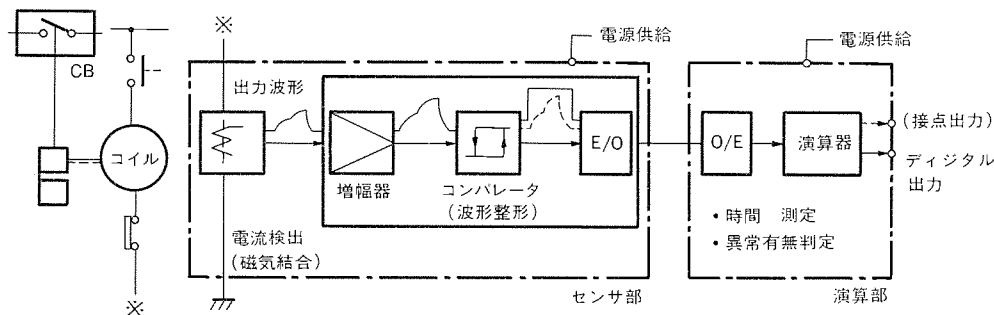


図 11. 遮断器動作時間センサブロック図

立つものと考え。図 11. に示すように、遮断器動作時の振動やサージ電圧の影響を避けるため、電流の検出を行う磁気センサ部と演算部を光伝送によって接続し、電流の検出部は電磁誘導を受けないように、二重の遮へいやコンパクトに構成するなど種々の対策を施している。

### 5. 3. 3 分解ガス監視<sup>(9)</sup>

GIS 内部に部分放電が生ずると、 $\text{SF}_6$ 、 $\text{SOF}_2$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{SO}_2$  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 12. に示す。この分解ガスによって変色する呈色反応試薬を応用した検出装置（ガスチェッカ）があり、GIS の定期点検に用いたり、異常振動を検出した場合に内部異常であることを確認する方法として有効である。

GIS 内部の  $\text{SF}_6$  ガス通過後の検出素子の変色長さを調べることで、分解ガス発生を監視する。この方法は、電気的及び機械的ノイズの影響を受けずに、検出素子の変色により部分放電の発生を容易にかつ確実に検出できる点に特長がある。今後は、オンライン化することが課題である。

### 5. 3. 4 避雷器漏れ電流監視<sup>(10)</sup>

酸化亜鉛形避雷器の非直線性の経時変化の有無を、抵抗分漏れ電流の測定により監視する。酸化亜鉛素子の初期の抵抗分電流は、常規使用状態では数  $\mu\text{A}$  ～数十  $\mu\text{A}$  であるが、長時間の課電や過酷な動作などから酸化亜鉛素子の非直線性が徐々に変化することが考えられ、その場合には抵抗分電流は増加する。漏れ電流検出装置は、全漏れ電流（抵抗分漏れ電流＋容量分漏れ電流）を検出抵抗により電圧信号に変換する。この信号をバンドパスフィルタに通し商用周波数成分のみ取り出し、一方、同相の PD (PT) 二次側から電圧検出し、この電圧位相で全漏れ電流を同期整流することにより、抵抗分漏れ電流のみを抽出する。この電流をディジタル変換し、光信号にかえ光ファイバケーブルで伝送し構内監視盤で監視する（図 13.）。

### 5. 3. 5 地絡監視<sup>(11)</sup>

GIS は、その主要機能部分が  $\text{SF}_6$  ガスを封入した金属容器内に密閉

## 5. 3 監視方法

### 5. 3. 1 部分放電・異常振動監視<sup>(5)</sup>

GIS 内部で接触不良などによる部分放電が発生したり、微小金属片などが存在するタンク壁に振動が現れる。図 10. に示すようにこの振動は微弱であるが、平常時の振動と異なり周波数は数 kHz ～数十 kHz、レベルは  $10 \sim 10^4 \mu\text{G}$  である<sup>(7)</sup>。この振動を検出するセンサとしては、感度と取付けの容易さから圧電形振動素子を選定し、タンク外壁に取り付ける方法をとる。タンクの異常振動をこのセンサで検出し、機器の定常振動などの低周波成分をフィルタで除去した後、外部ノイズとの識別処理を行う必要があり  $\mu\text{P}$  で波形の平均化処理を行っている。

### 5. 3. 2 遮断器開閉動作時間監視<sup>(8)</sup>

遮断器の全故障の 80% は操作機構に起因するとの報告があり<sup>(6)</sup>、操作機構の監視は重要である。顕著な現象としては、

- (1) 操作指令から動作完了までの時間変化
- (2) 動作の時間的変化（トラブル）の異常
- (3) 操作指令から動き始めるまでの時間の増大がある。

遮断器の操作機構の異常を簡単に見つける方法として、①制御回路の通電時間を測定する方法と、②操作機構の移動時間特性を測定する方法がある。前者は、構造が簡単で判断方法も単純であることから積極的に採用され出している。後者は、工場で遮断器の良否判別に多く用いられた方法であるが、最近では光センサなどを用いて変電所において使用できるものが開発されており、診断の高度化に役

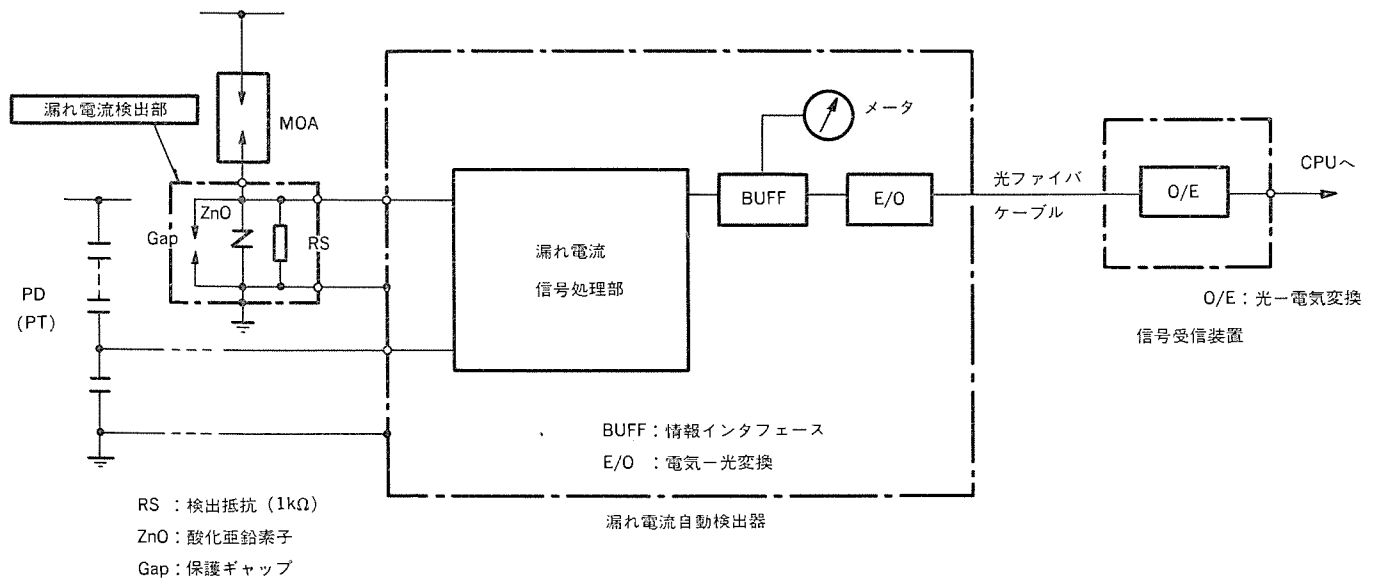


図13. 漏れ電流監視装置 ブロック図

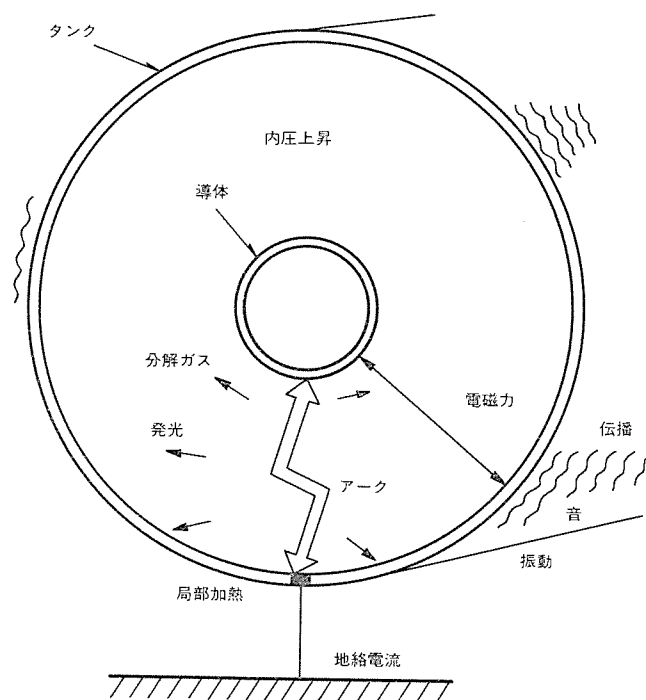


図 14. GIS 地絡時の現象

されているので、従来の大気絶縁に比べて高信頼性の特性を持っており、信頼度は十分評価されているが、前述のように事故が発生した場合には、地絡箇所を特定化することが困難であることから、特に重要な変電所では地絡検出センサを用いている。

GIS の内部で万一地絡すると、図 14. に示す副次的現象が発生する。電流を CT で検出する方法は適用上の課題が多く、直接の現象であるアーク光は、検知するのにタンクを貫通する構造が必要であり好ましくない。従来から圧力上昇を検出するのに SP リレー が用いられているが、非接地系の場合には事故電流が小さく圧力上昇も低

いので適用に制限があり、耐サージ性に優れる光センサで地絡に対する応答の速い音の振動を検出する方法も実用化した。複数個の光センサの振動の検出順位を演算し、保護継電器の動作とも照合して、上位の順位の近傍を地絡箇所として推定する。将来は、センサの特性も更に向上し、より高度の演算処理により、緊急時対応の表示が精度良くできるようになると思われる。

## 6. む す び

ここに述べた変電機器における予防保全監視は、至近年度で実現できることを念頭に、考え方、システム構成、センシング技術についてふれた。これらの技術は容易に適用できることから、社会情勢の変革を背景に急速に普及し、電力供給の信頼度向上と保全業務の改善に役立てることができると考える。

更に将来は、ますます適用拡大が想定され、保全業務変革、変電機器の高度運用に一層こたえられるようになると思われる。

## 参 考 文 献

- (1) 藤本ほか：三菱電機技報，59，No. 11，p. 795 (昭 60)
- (2) OHM，69，4，p. 25 (昭 57)
- (3) 塩田ほか：電気学会全国大会，1222 (昭 60)
- (4) 吉永ほか：電気・情報関連学会連合大会，5-3 (昭 60)
- (5) 小沢ほか：電気学会全国大会，1211 (昭 60)
- (6) 電気協同研究，第 33 巻，第 4 号 (昭 52)
- (7) N. Okutsu et al. : IEEE PAS-100，No. 6 (1981)
- (8) 細川ほか：電気学会全国大会，1213 (昭 60)
- (9) 伊藤ほか：三菱電機技報，54，No. 7，p. 497 (昭 55)
- (10) 石辺ほか：電気学会全国大会，1221 (昭 60)
- (11) 比舎ほか：電気学会全国大会，1214 (昭 60)

## 1. ま え が き

最近のエレクトロニクス急速な普及に伴う電力需要構造の変化により、電圧・周波数の変化の少ない良質の電気を、停電なしで安定に供給する必要性は、ますます高まっている。これを受けて、電力設備の新設に当たっては、より信頼性の高い機器を適用するとともに、現有設備の劣化状態を劣化の進行の途中で的確に把握し、必要な対策を効果的に施すための予知保全技術の開発が進められている。

予知保全技術は大きく分けて、センサ技術とそれを適用するシステム技術とから成っている。ここでは、予知保全のための電力機器監視用センサについて、検出すべき情報とセンサの原理という観点から、最近の動向をとらえるとともに、最近、各方面で開発・実用化が進められている光ファイバセンサについて紹介する。

更に、このようなセンサを電力機器の予知保全用に適用する場合の注意事項や、情報をより的確な判断に供するための各種信号処理方法を挙げ、最後に GIS における適用例を紹介する。

## 2. センサの動向

## 2.1 予知保全用診断情報

電力機器の予知保全のための診断に利用される情報としては、機械的、電気的、光、温度情報などが挙げられ、これらを検出するために用いられる物理・化学的原理及びセンサの一例と合わせてまとめたものを表 1. に示す。表中の振動・音・変位・圧力・電流・温度などは、特に多くの電力機器の状態診断に利用される重要な情報であり、検出手段も数多く考えられている。

## (1) 振動・音

可動部をもつ回転機などではもちろん、機器が正常な運転状態にあるときには、常時、同じようなパターンの振動を繰り返し、異常発生時には、その振動パターンが変化する。一方、変圧器や GIS のような静止機器においても、構成機器の動作時に発生する振動以外に、通常、微小な静電・電磁振動などがあり、更に内部の異常が発生すれば、これらの振動に加えて異常な信号を発生するケースも多数報告されている。このような通常の運転状態を反映する振動は、機種や異常の種類に応じて、周波数・振幅などが異なるので、的確な状態判断に欠くことのできない情報である。このため、適用されるセンサの種類も多く、情報の処理についても広く研究が行われている。

## (2) 変位

水車の圧油装置、回転機の軸受潤滑油、変圧器などの油面は変位情報の代表的なものである。また、機械的な可動部分のある機器においては、可動部の変位特性の測定により、状態監視のための重要な情報が得られる。機器の特性や対象とする部位に応じて、変位量や変位の速さが異なり、それぞれに適した検出の手段が要求される。

## (3) 圧力

水車の圧油装置の油圧、火力・原子力発電設備の炉内及び各種流体の圧力、GIS の絶縁媒質である  $\text{SF}_6$  ガスの圧力及び開閉機器操作用

油圧・空気圧など、電力機器の圧力情報は枚挙にいとまがないくらいであり、センシングの方法も多岐にわたっている。

## (4) 温度

発電機のコイル温度、各種回転機の軸受温度、冷却媒体の温度、各発電プラントの炉内又はそれぞれのプロセスにおける各部の温度、変圧器の油温、GIS のタンク温度など、対象の温度、部位に応じて、接触方式又は非接触方式など各種の計測方法が適用されている。

## 2.2 検出用センサ

一方、これらの情報を検出するためのセンサとしては、セラミックセンサ、半導体センサ、電磁式センサ、光ファイバセンサなど、各種の素子が開発されている。各々のセンサの例と検出原理を表 2. に示す。

前述の電力機器の診断に用いられるセンサとしては、セラミックセンサ、半導体センサなどが広く適用されているが、代表的なものについて以下に述べる。また、最近、各種光ファイバセンサの開発・実用化が進められており、電力機器監視用センサとしても一部では実用化され、今後、更に適用される機会が増えることが期待されている。そこで、光ファイバセンサの最近の動向についても紹介する。

## 2.2.1 セラミックセンサ

加速度、圧力、ひずみなどの測定に利用されるセラミックセンサとして、セラミック圧電素子が挙げられる。これは強誘電体セラミック材料を焼結した後、直流高電圧を印加して分極操作を行い極性を与えたもので、機械的なひずみを与えると自発分極が変化する現象(圧電効果)をもっている(図 1. 参照)。圧電素子の厚さ、形状などを変えることにより、検出の周波数特性、感度特性などを調整することができる。このようにして加速度計、超音波マイクなど目的に応じた各種センサが作られている。一例として、セラミック圧電素子を用いた加速度センサを GIS に取り付けた状態を図 2. に示す<sup>(1)</sup>。また、ニッケル、コバルト、マンガンなどの遷移金属酸化物を主成分として成形・焼結したセラミックスは、半導体的性質をもち、温度に応じてキャリアの電子数が増減する性質を示す。この現象は温度を計測するためのサーミスタ素子として利用されている。

一般に、磁性体はキュリー温度付近で強磁性から常磁性に転移するが、セラミックスの一種である Mn-Cu 系や Mn-Zn 系のフェライトでは、そのキュリー温度が常温付近にあるものもあり、この温度を境界にして磁気特性が大幅に変化する。このような特性を利用した温度検出センサも作られている。

$\text{SnO}_2$ 、 $\text{ZnO}$  などの金属酸化物を主成分とする焼結体は、n 形半

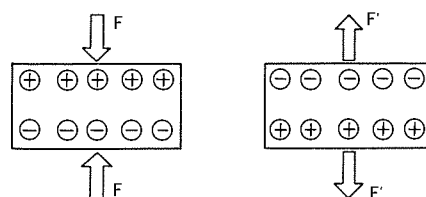


図 1. 圧電効果の原理

表 1. 電力機器監視に必要な情報と検出方法・センサ例

情 報			検 出 の 方 法	セ ン サ 例
機 械 的 情 報	位 置・長 さ・変 位		1. 入射波と反射波の時間差, 波形変化 2. 音響・電磁波の共振現象 3. ギャップの変化による静電容量の変化 4. ギャップの変化による電磁結合の変化 5. ギャップ・長さの変化による抵抗変化 6. マーカーによる反射光の検出	超音波マイクロメータ 超音波厚さセンサ 静電容量式センサ 電磁誘導コイル ストレインゲージ 光電センサ
	振 動・加 速 度・音		1. 入射波と反射波の周波数のずれ (光・音) (ドップラー・シフト) 2. 電磁誘導による電圧発生 3. 圧電素子による電圧発生 4. 遮光板・反射板による光ビームの変調	レーザドップラー計 電磁誘導コイル セラミック圧電センサ 光ファイバ加速度センサ
	圧 力		1. 感圧部と機械-電気変換素子の組合せ 感 圧 部: 金属ダイヤフラム, ベローズ 変換素子: ストレインゲージ, 差動変圧器 2 シリコンダイヤフラムによるピエゾ抵抗効果	ストレインゲージ圧力センサ  シリコンダイヤフラム形圧力センサ
電 気・ 磁 気 情 報	電 界		1. 静電誘導による誘起電圧 2. ボッケルス効果による透過光強度の変化	静電電圧計 光ファイバ電界センサ
	電 流・磁 界		1. ホール効果による誘起電圧 2. 電磁誘導による誘起電圧 3. 半導体の抵抗変化 4. 強磁性体の抵抗率変化 5. ファラデー効果による偏光面の回転	ホール素子 電磁誘導コイル 磁気抵抗素子 磁気抵抗素子 光ファイバ磁界・電流センサ
光 情 報	光		1. ホトダイオード抵抗値変化 2. ホトトランジスタ状態変化 3. 光導電効果 4. 光電子放出効果 5. 焦電効果	アバランシェホトダイオード シリコンホトトランジスタ CdS セル フォトマルチプライヤ BaTiO <sub>3</sub> 焦電光センサ
環 境 情 報	温 度	接 触 形	1. 温度上昇による熱起電力 2. 温度上昇による金属抵抗変化 3. 温度上昇による半導体抵抗変化 4. フェリ磁性-常磁性転移 5. 異種金属の膨脹率差 6. p-n 接合の温度特性 7. キュリー温度付近の誘電率の変化 8. 半導体の光吸収端波長の温度による変化	熱電対 白金測温抵抗素子 サーマスタ 感温リードセンサ バイメタル トランジスタ温度計 感温コンデンサ 光ファイバ温度センサ
		非 接 触 形	1. 焦電効果利用による赤外線検出 2. 熱起電力による赤外線検出 3. 半導体抵抗変化による赤外線検出	焦電形温度センサ サーマモバイル サーマスタボロメータ
	湿 度		1. 吸湿による抵抗変化  2. 吸湿による伸縮	セラミック湿度センサ 有機高分子湿度センサ 塩化リチウム湿度センサ 毛髪湿度センサ
	ガ ス		1. 半導体抵抗変化 2. 接触燃焼による白金線抵抗変化	SnO <sub>2</sub> ガスセンサ 白金線

表 2. 各種 センサ の 検出原理

セ ン サ の 種 類		検 出 原 理
セラミック センサ	1. セラミック圧電素子 2. サーミスタ 3. 感湿フェライト 4. ガスセンサ 5. セラミック湿度センサ 6. セラミック絶対湿度センサ 7. 多機能 (温度・湿度) センサ 8. 多機能 (湿度・ガス) センサ	圧電効果 (素子に加わるひずみに比例して電圧を発生する) 温度に対する指数的抵抗変化特性 キュリー温度でのフェリ磁性 $\leftrightarrow$ 常磁性転移による磁気特性変化 気体分子吸着による抵抗変化 水分吸着による抵抗変化 水蒸気物理吸着による誘電率変化 温度による誘電率変化と湿度による抵抗変化 湿度による抵抗変化と高温でのガス吸着による抵抗変化
半導体 センサ	1. ホール素子 2. 半導体磁気抵抗素子 3. 半導体ストレインゲージ 4. 有機サーミスタ 5. p-n 接合温度センサ	ホール効果 (素子に磁界を加えると電流と磁界に直角に電圧を発生する) 磁気抵抗効果 (半導体の磁気抵抗が磁界によって変化する) ピエゾ抵抗効果 (半導体のひずみにより抵抗が大きく変化する) 有機半導体の導電性の温度変化 p-n 接合部の接合電圧又は接合容量の温度依存性
電磁式 センサ	1. 電磁誘導コイル 2. 磁性素子 3. 磁性素子 4. 強磁性金属磁気抵抗素子 5. ウィーガント線 6. 磁気酸素メータ 7. トルクセンサ	電磁誘導による電圧発生 フェリ磁性-強磁性転移 電流による磁化の反転 磁気抵抗効果 ウィーガント効果 (交番磁界の変化を検出してパルスを出力する) 常磁性体である酸素を磁界により吸引する 回転軸に接着された磁性薄帯の磁気ひずみ効果
光 センサ	1. 光導電セル 2. ホトダイオード 3. ホトトランジスタ 4. 光電管・光電子増倍管 5. 焦電素子	光導電効果 (光を照射すると導電率が增える) 光起電力効果 (p-n 接合に光を照射すると起電力を発生する) 光起電力効果 (p-n 接合に照射された光で発生した起電力が増幅される) 光電子放出効果 (真空中の光電陰極に光を照射すると光電子が放出される) 焦電効果 (温度変化により誘電体の自発分極が変化し、表面に電荷が発生する)
光ファイバ センサ	1. 光ファイバ電界・電圧センサ 2. 光ファイバ磁界・電流センサ 3. 光ファイバ温度センサ 4. 光ファイバ加速度センサ 5. 光ファイバ回転センサ	ポッケルス効果 (電界により速軸成分と遅軸成分の光の位相ずれを生じる) ファラデー効果 (磁界により偏光面の回転を生じる) 半導体の光吸収端波長特性の温度による変化 慣性系に取り付けた光遮へい板による光強度の変化 回転による誘起電圧を光ファイバ電圧センサに入力する

導体特性を示す セラミックス で、 気体分子を多孔質の表面に吸着すると結晶粒界の電位障壁の高さが変化し、抵抗が変化する性質があり、ガスセンサに利用されている。例えば、 $\text{SnO}_2$  に検出感度向上のため Pd などが添加された ガスセンサ 素子は、メタン、プロパン、一酸化炭素、水素などの可燃性 ガス を検出するためによく用いられている。なお、検出感度は、材料の組成や焼結条件、及び対象とする ガス の種類などによっても異なっている。

このように、セラミックス の特性には温度、環境などで変化するものが多く、これらはセンサとして利用するのに適するものが多く、その安定した性質などもあり、今後とも広く電力機器の診断用として適用されて行くと思われる。

### 2.2.2 半導体センサ

半導体は、外力によりひずみを生じると、比抵抗が変化する ピエゾ抵抗効果をもっている。これは、金属のように、ひずみによる形状

の変化に対応して抵抗が変化するのと異なり、半導体の場合は、ひずみにより半導体の エネルギーバンド 構造が変化し、キャリア 濃度が変化するために、比抵抗が大きく変わる現象である。また、p 形半導体と n 形半導体とはその変化が逆になる。このような現象を利用して半導体 ストレインゲージ が作られている。半導体 ストレインゲージ の材料としては一般にシリコン が用いられ、最近ではストレインゲージ とそれに必要な温度補償回路、増幅回路及び圧力を受ける ダイアフラム をすべてシリコン 基板上に構成したシリコンダイアフラム 形圧力センサ が作られている。その断面構造を図 3. に示す<sup>(2)</sup>。

また、半導体に電流を流した (x 軸方向) 状態で、z 軸方向に磁界を加えると、電流と磁界の両方に直角な y 軸方向に電界が発生する現象はホール効果と呼ばれる。この現象をもつホール素子としては InAs, GaAs, InSb その他があり、これらは磁界・電流測定、無接点スイッチ その他に用いられている。そのほか、表 2. で光センサに

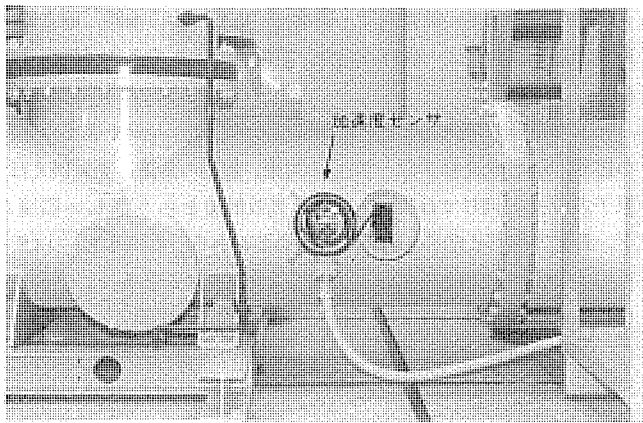


図 2. 圧電素子適用加速度 センサ の GIS 設置例

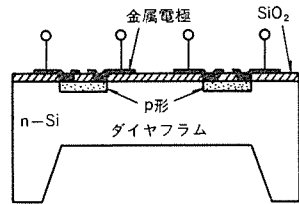


図 3. シリコンダイヤフラム 形圧力 センサ の断面構造

分類したものの中でも、半導体の光導電効果を用いた光導電セル、光起電力効果を用いたホトダイオード、ホトトランジスタなど、半導体が重要な役割を果たしている。

このように、半導体センサは、圧力・磁気・温度その他の外部の影響に敏感であるという半導体の物性を利用したものであり、元素半導体、化合物半導体の結晶技術、材料技術などを利用してセンサの高機能化・集積化も可能であることから、温度依存性などを実用上問題ないレベルに解決することにより、小形・高信頼性・高機能のものを得ることができ、電力機器用センサとしても、適用拡大が図られていくものと考えられる。

### 2.2.3 光ファイバセンサ

光ファイバセンサは、種々の光学現象を利用して各種物理量を計測するセンサで、大別して光ファイバ自体が検出素子となる方式と、光ファイバを強度変調された光の伝送路として用い、光ファイバ端面又は送受光用光ファイバ間に光学的センサを配置する方式とがあるが<sup>(3)</sup>、ここでは後者の方式で図4に示すような構成のものを対象として考える。したがって、このセンサは下記のような特長を一般的にもっている。

- (a) 電磁ノイズ、高電圧など厳しい環境下での計測が可能である。
- (b) センサ部は本質的に安全・防爆である。
- (c) センサ部への電源の供給が不要である。
- (d) センサ部が小形・軽量であり、被計測環境を乱さない。

表1. に列挙された機器の検出情報のうち、物理量を計測するセンサはいずれも光ファイバセンサ化が原理的に可能であり、数種のものは汎用計測器として実用化されている。以下に最近の成果を含めて、光ファイバセンサの原理と製品例を紹介する<sup>(4)</sup>。図5. にこれらの製品例の外観写真を示す。

#### (1) 光ファイバ電界・電圧センサ

$\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  のような圧電性単結晶は、x, y, z 軸の主屈折率が印加電界に比例して変化するポッケルス効果をもっている。この結晶中を通過する直線偏光波の結晶の二つの軸方向成分の間には、印加電界

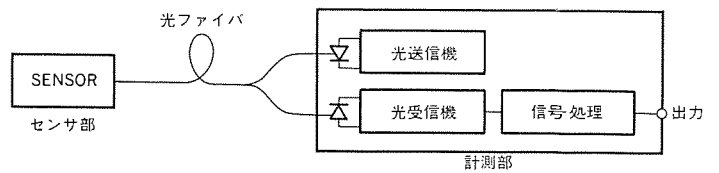


図 4. 光ファイバセンサの構成

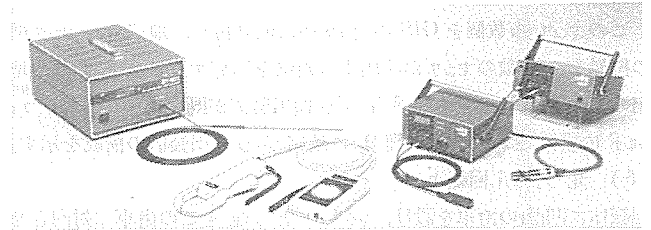
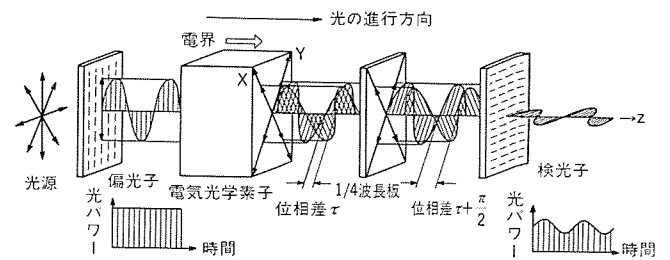
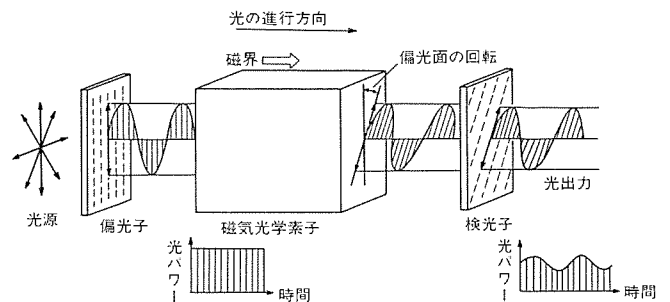


図 5. 光ファイバセンサ製品例 (左から、光ファイバ温度センサ、電流センサ、電圧センサ、回転センサを示す。)



(a) 電界・電圧センサ



(b) 磁界・電流センサ

図 6. 光ファイバ電界・電圧、磁界・電流センサの原理

に応じて位相差が生じる。この現象を利用して、電界を光強度の変化に変換する方式の光ファイバ電界・電圧センサの原理を図6.(a)に示す。

#### (2) 光ファイバ磁界・電流センサ

鉛ガラスのような磁性体に磁界が印加された状態で、磁性体内を印加磁界と平行に直線偏光波が伝搬するとき、印加磁界に比例して光の偏光面が回転するファラデー効果を生じる。この現象を利用して、磁界を光強度に変換する方式の光ファイバ磁界・電流センサの原理を図6.(b)に示す。

#### (3) 光ファイバ温度センサ

半導体は光吸収端波長  $\lambda_g$  を持ち、これより短い波長の光をほとんど吸収する。また、 $\lambda_g$  は温度が上昇すると長波長側に移行する。このような半導体の光吸収端波長の温度依存性により、光温度センサ部での透過光強度が温度上昇とともに低下する現象を利用した光

ファイバ温度センサの原理を図 7. に示す。なお、温度によって透過光強度が変化する短波長の光を信号光、温度に関係なく透過光強度が変化しない長波長の光を参照光として用いることにより、光温度センサ部以外で生じる誤差を除去している。

#### (4) 光ファイバ加速度センサ

光路中に、光遮へい板を取り付けたおもりと板ばねによって構成された慣性系を設けることにより、振動加速度に比例した光強度変化を得る光ファイバ加速度センサの原理を図 8. に示す。

このセンサ複数個を GIS のタンク壁に取り付け、地絡時のタンク壁の振動を、複数のセンサが検出する順位を演算することにより、地絡の発生箇所を推定する地絡ゾーン検出装置が既に実用化され、フィールドに設置されている。図 9. に地絡ゾーン検出装置の構成を示す。

#### (5) 光ファイバ回転センサ

回転体に凹凸の歯車を設け、マグネットとコイルをこの歯車に対向させると一種の発電機が構成され、歯車の回転に応じて検出コイルを通過する磁束が変化し、検出コイルに誘起電圧が発生する。この誘起電圧の変化は歯車の歯数及び回転数と一定の関係にあり、電圧を上述の光ファイバ電圧センサで検出するようにして、光ファイバ回転センサを実用化した。製品例を図 5. に示す。

### 3. センサ適用上の注意

予防保全のための電力機器監視用センサの選定に当たっては、対象とする検出量の変動範囲・周波数、所要の感度・精度・応答速度な

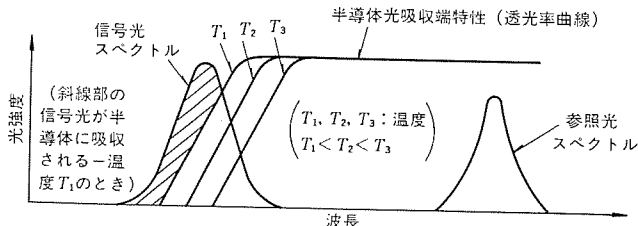


図 7. 光ファイバ温度センサの原理（半導体の光吸収端特性と発光素子スペクトル）

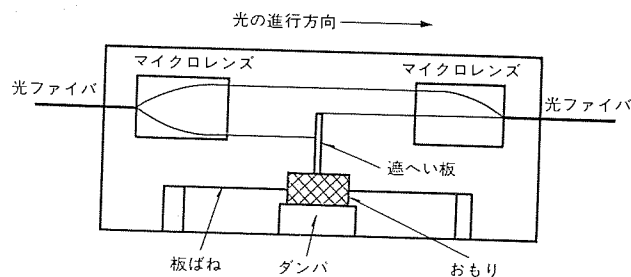


図 8. 光ファイバ加速度センサの原理

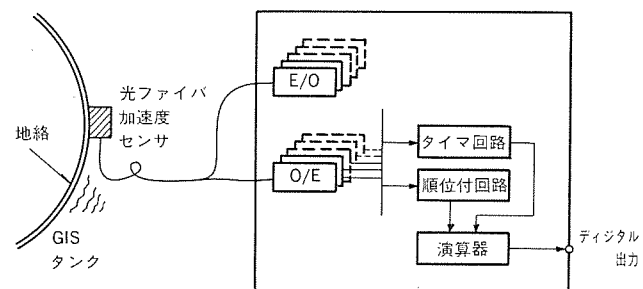


図 9. 地絡ゾーン検出装置の構成

どの機能と、センサの設置場所・環境に対応して耐環境性、耐久性、寿命などの信頼性と、保守点検性、経済性などを総合的に検討する必要がある。

センサの適用に当たっては、使用環境に応じて、日射や発熱の影響の緩和、誘導電流やノイズ・サージの対策、振動の対策、更に例えば、原子力プラント向けでは高温・高圧・高放射線という厳しい環境など、各電力機器に応じた対策を施す必要がある。このうち、ノイズ・サージ対策の実施例としては、下記のようなものがある。

- (1) 電源入力部へのノイズカットトランスの適用
- (2) いわゆるダーティ部用とクリーン部用の電源の分離
- (3) ノイズフィルタの適用
- (4) ツェナダイオード、酸化亜鉛形避雷器などのサージ吸収器の適用
- (5) ホトカブラの適用
- (6) サージ吸収用コンデンサの適用
- (7) 一点接地方式の採用
- (8) 信号線としてのツイストペア線、シールド線の適用
- (9) センサの光センサ化
- (10) 光伝送方式による信号伝送

### 4. 信号の処理

電力機器に設置された各センサから出される、そのままの信号（原始情報）のみで、機器の状態を診断することは、必ずしも容易ではなく、それぞれの信号に適した処理を行って初めて判断が可能となるのが普通であり、そのために、原始情報を加工するプロセスを設ける必要がある。以下に、幾つかの例について説明する。

#### (1) 周期性信号を強調する処理

例えば、機器内部で生ずる部分放電の場合には、類似の振動が繰り返し発生し、しかも、この振動が主回路電圧と一定の位相関係を持つ傾向があり、このことを利用すると、信号を直接見るよりも判断しやすい形に加工することも可能である。

図 10. に GIS 内部部分放電などでタンク壁に生ずる微小振動（周波数：数 kHz～数十 kHz、加速度： $10 \sim 10^4 \mu\text{G}$  程度）をセラミック圧電素子を用いた加速度センサで検出する装置構成の例を示す<sup>(1)</sup>。ここでは、センサからの入力を増幅した後、機器の定常振動などの低周波振動成分を高域通過フィルタで除去し、その後、主回路と同じ電源電圧に同期して加速度波形をサンプリングして、その絶対値波形を求め、それを複数回重ね合わせて平均波形を求めている。この平均化処理によって、機器の主回路電圧の周期性と関連のない振動を除去し、部分放電の検出を容易にすることが可能となる。

#### (2) 一過性信号の取扱い

場合によっては、通常起こり得ない突発的な一過性の過大信号が発生することもあるが、これによって誤った判断をすることのないようにするため、統計的にみて母集団と明らかにかけ離れた過大入力サンプリングされた場合には、その過大信号を無効にすることがある。

#### (3) 時間間隔の算出

信号の種類によっては、原始情報の波形の変化をとらえるよりも、①ある一定の信号レベルを越えている継続時間、②ある一定の信号レベルよりも低い状態の継続時間、③ある一定の信号レベルを越えてから再びそのレベルを越えるまでの時間、④異なる二つの信号レベルの間にある状態の継続時間、など時間間隔を求めることが機器の状態判断を容易にする場合も多い。



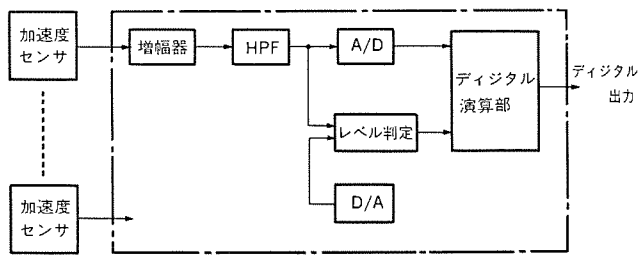


図 10. 加速度検出装置の回路構成

#### (4) 差動演算

機器が正常な状態ではほぼ等しく、機器が異常な状態になるとお互いに異なるような性質をもつ二つの信号を差動演算することも有効な方法であり、よく用いられている。

### 5. 適用の実例

最近、各電力機器において、前述の各種センサ技術とマイクロエレクトロニクス技術とを組み合わせ、予知保全・監視システムの適用が盛んに行われている。ここでは、一例としてGISの監視項目とセンサの例を紹介する<sup>(1)</sup>。

#### 5.1 GISにおける適用例

GISは遮断器・断路器・接地開閉器・母線・変流器・計器用変圧器・避雷器・ブッシング又はケーブルヘッドなどから構成される複合機器である。GISを運転したままで、オンラインで行われている監視項目としては下記のような例がある。

##### (1) SF<sub>6</sub>ガス圧力

例えば、20℃におけるガス圧力として、遮断器は定格圧力5 kgf/cm<sup>2</sup>、警報圧力4.5 kgf/cm<sup>2</sup>、操作鎖錠圧力4 kgf/cm<sup>2</sup>、その他の断路器、母線などは定格圧力4 kgf/cm<sup>2</sup>、警報圧力3 kgf/cm<sup>2</sup>などに設定されており、遮断性能や絶縁性能確保の上から基本的な監視項目である。

##### (2) 操作用圧力

遮断器・断路器・接地開閉器などの操作用動力源としては、油圧・空気圧・電動ばね・その他が用いられており、これらの操作用圧力の監視は重要である。

##### (3) 部分放電

GISの絶縁性能の診断には、部分放電を監視することが有効である。

##### (4) 開閉動作時間

遮断器・断路器・接地開閉器などで遠方操作されるものは、開閉時の動作時間を見ることにより、異常診断が可能である。

##### (5) 避雷器漏れ電流

酸化亜鉛形避雷器は、常規対地電圧では絶縁物と同等の抵抗特性をもち、容量性電流が大半を占め、抵抗分電流は数μA～数十μA程度である。長期間の課電や過酷な動作などにより、酸化亜鉛

素子の非直線性が変化すると抵抗分電流が増加する。したがって、この抵抗分電流を監視することにより、素子の劣化を診断できる。

上記の監視項目に対応して使われているセンサを挙げると次のようなものがある。上記(1)項、(2)項については、ガス密度検出器や油圧・空気圧スイッチなどが用いられている。(3)項については、前述したように図10.に示す構成でセラミック圧電素子を用いて部分放電時の加速度を検出する装置が実用化されている。(4)項については、遮断器などに操作指令が出てから動作が完了するまでの制御回路の通電時間をCTにより検出し、開閉動作時間の測定や、設定値との比較による異常の有無の判定を行う装置が実用化されている。(5)項については、酸化亜鉛形避雷器の漏れ電流を検出抵抗を用いて電圧信号に変換したものを、印加電圧位相で整流し、平均値として容量分電流をキャンセルして抵抗分電流を取り出す方式の自動監視装置が実用化されている。

#### 5.2 今後の方向

各電力機器の監視項目の内、現在、オンラインでの常時監視が行われていない項目についても、それに適した監視用センサの開発・実用化により、常時監視に組み入れられ、機器の予知保全を万全のものにし、信頼性の向上に寄与して行くことが期待される。

最近の各種センサ技術の進展はめざましいものがあり、予知保全監視用センサの開発に当たっては、それらの成果を取り入れて、信頼性の高いものを適用して行く必要がある。

### 6. む す び

電力機器の予知保全の分野から、予知保全用診断情報とそのための検出センサという観点で、最近の各種センサの動向をとらえ、また、新しいセンサ技術の一つである光ファイバセンサの最近の開発・実用化例を紹介した。予知保全のためのセンサは、対象の劣化が進行する途中で、保全のための十分な余裕をもって検出することが必要であり、今後とも、センサ技術及びシステム適用技術の開発・実用化を進めて行く所存であり、使用者各位の御指導・ごべんたつを重ねてお願いする次第である。

### 参 考 文 献

- (1) 藤本ほか：新しい変電所の構成“四国電力(株)北松山変電所への監視システムの適用”，三菱電機技報，59，No. 11，p.795（昭60）
- (2) 藤定：半導体センサとその応用，電気評論，66巻11号 p.956（昭56-11）
- (3) 久間ほか：光ファイバ応用センサ，電気学会雑誌，102，No. 5，p.380（昭57）
- (4) 久間ほか：光ファイバセンサ，三菱電機技報，58，No. 7，p.495（昭59）

# エンジンランジェント シミュレーション システム

神保健作\*・米倉善彦\*\*・徳永治久\*\*

## 1. ま え が き

近年、我が国の自動車産業における技術進歩は著しく、世界各国から注目されているのは周知のとおりである。これは自動車メーカー各社が社会的要求にこたえて、排気ガス性能や安全性の改善、燃費向上、騒音低減などの研究開発に力を注いできた結果であろう。

1983 年末、米国 EPA（環境保護庁）は大気汚染防止法の委託に基づき、1984 年形車以降、総重量 8,500 ポンド以上の車両に搭載される HDE（ヘビーデューティエンジン）に対し、排気ガス規制を変更した。その最大の特徴は、エンジンの試験方法が従来の定常試験（13 モードテスト）から、車両が実際に道路走行をした場合のエンジンの運転状態をシミュレートした過渡試験（トランジェントサイクルテスト：1199 モード）に変更されたことである。これに伴い、トラックメーカー各社はエンジン試験のためのダイナモメータ設備を高機能化する必要が生じてきた。

当社はこれにこたえて、ダイナモメータによるエンジン試験システムで蓄積した技術をもとに、現代制御理論を応用したエンジンの予測、学習制御を新しく導入し、過渡状態シミュレーションを短時間でできる自動運転システムを開発、納入した。このシステムは、エンジンの開発及び EPA 認証用として好評を博している。

## 2. 過渡試験の内容

EPA の定める HDE の過渡試験は、実際に車両で一般路上を走行した運転データをもとに作られたもので、20 分間の過渡運転スケジュールとなっている。これは図 1. に示すとおりで、発進、停止、加

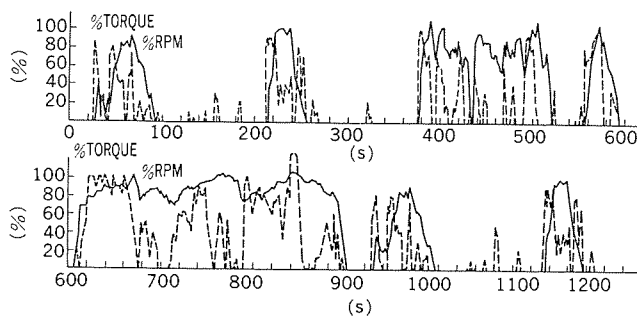


図 1. 過渡運転スケジュール

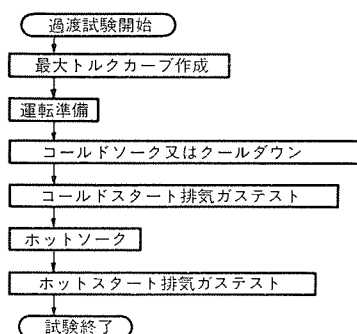


図 2. テストシーケンス

表 1. 回帰分析結果の許容値

	回転数	トルク	馬力
$x$ に対する $y$ の標準誤差 (SE)	100 rpm	最大エンジントルクの 13 %	最大馬力の 8 %
回帰線の傾き ( $m$ )	0.970~1.030 1.030	0.83~1.03 (ホット) 0.77~1.03 (コールド)	0.89~1.03 (ホット) 0.87~1.03 (コールド)
相関係数 ( $r^2$ )	0.970~1.000	0.880~1.000 (ホット) 0.850~1.000 (コールド)	0.910~1.000
回帰線の $y$ 切片 ( $b$ )	$\pm 50$ rpm	$\pm 15$ FT. LBS	$\pm 5.0$ HP

減速を含む運転中の 1 秒ごとのエンジン回転数、軸トルクを規定したものである。図 2. はその試験のフローを示す。

試験はコールド及びホット状態でを行い、回転数、トルク指令値に対するフィードバック信号のデータを収録する。運転終了後、そのデータにより最小二乗法を用い、下記の方程式を得て直線回帰を行う。

$$y = mx + b$$

$y$  : フィードバック値

$m$  : 回帰直線の傾き

$x$  : 指令値

$b$  :  $y$  の切片

排気ガステスト運転の有効性は、回転数、トルク、馬力のそれぞれのデータが、上記回帰式の  $m$ 、 $b$  及び  $x$  に対する  $y$  の標準誤差 (SE) と相関係数 ( $r^2$ ) について、表 1. に示す許容値を満たしているかどうかで判定される。この運転が従来の一般的な過渡試験（10 モード、L A-4 モード試験、など）と異なるのは下記の点である。

(1) エンジン単体にダイナモメータを直結した過渡状態のシミュレート運転である。

従来はエンジンに付随したトランスミッションや車両を介したもので、車速指令に対し一定の誤差以内に入れるシミュレート運転であった。

(2) そのため、運転は従来に比べて 4~5 倍の変動指令に基づいた追従性が要求される。

(3) エンジンの回転数及び軸トルクを同時に制御する必要がある。

(4) この 2 変数は変動要素が多く相互に干渉する制御要素である。

これらの理由から、ダイナモメータには加減速度に対する応答性の向上が、また制御システムには制御応答性能の向上が要求される。これらの向上なしに、従来の試験システムでこの過渡試験を行っても良好な運転結果を得ることは難しい。

## 3. 試験システムの特長

HDE に対する排気ガステストの自動試験システムは、図 3. に示すように試験エンジン、ダイナモメータ、それらを制御するコントローラ、排気ガス分析装置、データロギング及び検査判定を行うコンピュータにより構成されており、試験エンジンとダイナモメータは前述の過渡運転スケジュールに従って自動運転される。

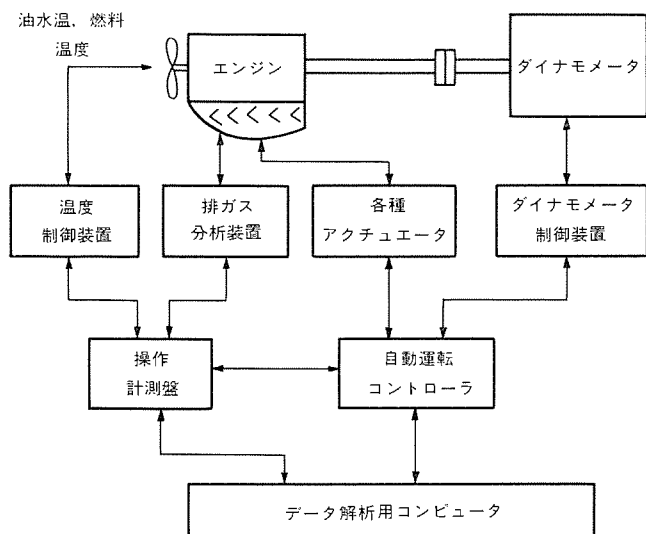


図 3. 自動試験システム構成図

このシステムではトレース精度の向上を短時間でなし得るように、次の特長をもたせている。

- (1) 低慣性、高トルクダイナモメータの採用
- (2) 過渡高精度形 ハイブリッドトルクセンサの採用
- (3) 制御システムの高度化
- (4) 多種多様なエンジン試験への自動化

#### 4. ダイナモメータ仕様

このシステムでダイナモメータに要求される項目は次のとおりである。

- ・400 馬力以下の試験エンジンに対応した吸収容量が確保されること。
- ・低慣性で 2,000 rpm/s 以上の加減速運転が可能なこと。
- ・トルク計測精度は EPA 規定値 ( $\pm 0.5\%$  FS) を保証できること。

これらを受けて、このシステムでは次のように配慮した。

- (1) 低慣性直流ダイナモメータの採用

ダイナモメータの定格は次のとおりとした。

- (a) 350 kW, 2,000/4,000 rpm, 15 分定格
- (b) 連続定格 220 kW
- (c) 静圧揺動軸受方式
- (d) 回転子 GD<sup>2</sup> 24.5 kg・m<sup>2</sup>

- (2) 過渡高精度形 ハイブリッドトルクセンサの採用

定常精度のすぐれたダイナモ揺動トルク（ロードセルにより検出）と、応答性のよい電氣的理論計算トルク（当社 MATOC トルクセンサ）を合成させたハイブリッドトルクセンシングシステムを採用しダイナモメータトルクとした。

ロードセルは試験対象エンジンの多様性に対応して、計測範囲の異なる大小 2 台を設置し自動切換を行える構造とした。

- (a) ダイナモトルク検出器応答時定数 30 ms
- (b) 計測精度（静的検量） $\pm 0.2\%$  FS

- (3) 合成軸トルクフィードバック

エンジンダイナモメータにおける軸トルクの検出は、エンジンとダイナモメータを接続する軸上に伝達形トルク計（いわゆる軸トルクメータ）を設置して行うのが一般的である。しかし汎用の軸トルクメータを用いた場合、ダイナモメータ軸系のねじり振動固有値が 10~15 Hz 程度と想定され、装置固有の振動によるトルク変動がトルク制御及び計測の応答性を低下させる要因となることが予想された。

このため、このシステムでは軸トルクメータを用いず、上記(2)項の

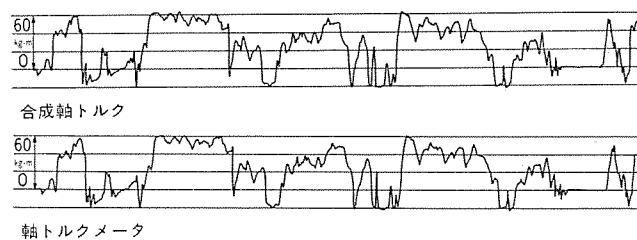


図 4. 過渡運転・軸トルク検出データ

ダイナモメータトルクと回転角加速度から理論的軸トルクを合成計算したものを軸トルクフィードバックとした。なお、軸トルクメータは上記合成軸トルクの較正、検定用として、保守時のみ使用することとしている。

図 4. に検定時の比較データの一部を示す。図の軸トルクメータ信号は、上記固有振動を除去して検出されたものであり、同図の合成軸トルク信号とよく一致している。このデータから合成軸トルク信号が軸トルクセンサ信号として十分機能することが実証され、また振動問題を起こしやすい軸トルクメータとの置換を可能にしている。

#### 5. 制御システム仕様

前述の過渡試験において、運転のトレース精度を容易に達成させるためには、従来以上の制御応答性能が要求される。そのためには、制御応答の向上を困難にしている下記制御系の問題を解決する必要がある。

- (1) エンジン制御

制御対象であるエンジン特性は非線形要素を多分に含み、かつ、種類ごとに多種多様な特性を示している。図 5. にディーゼルエンジンの非線形特性の一例を示す。この一例からもわかるように、エンジン出力トルクとスロットル開度の関係はエンジン回転数をパラメータとする特性をもっている。

- (2) 制御系の相互干渉

エンジン回転数と軸トルクのトレースをエンジン制御及びダイナモメータ制御で行う場合は、両者の制御系に相互干渉が存在する。そのため、それぞれ独立した二つの線形制御系と見なして構成した従来の PID 制御方式では、試験エンジンに対応し制御応答を上げるための制御定数のチューニングが複雑かつ困難であった。

これらの問題に対し、当社ではデジタルコントローラを採用して、各種の制御を DDC (Direct Digital Control) 化し、従来の PID 制御

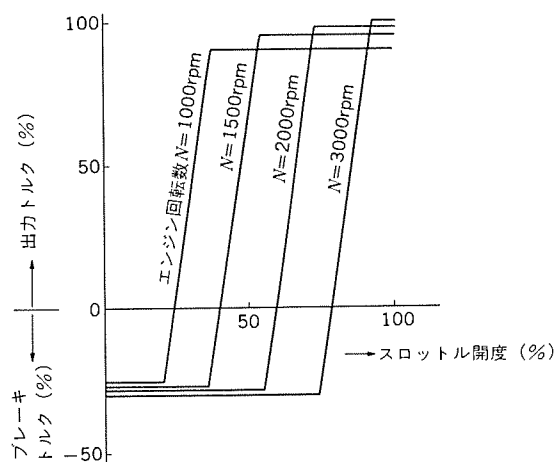


図 5. ディーゼルエンジンの静特性モデル

に加え、予測・学習的な制御機能を導入し、運転結果のトレース精度向上を図っている。

以下、特長とされる制御要素について説明する。

## 5.1 予測制御

### (1) 制御定数モデルの自動選択

試験エンジンの最大トルク、過給機の有無、ガバの種類、車両重量などの簡単なエンジン諸元を入力することにより、エンジン特性モデル及び最適制御定数を自動的に選択し制御を行う。これにより多種多様なエンジンに対し、その都度調整をすることなく短時間に安定した運転を行うことができる。

### (2) 非線形特性に対する制御

上記のエンジン特性モデルから、エンジン出力トルクはスロットル開度とエンジン回転数のパラメータを用いて予測され、この予測値から非線形特性に対しての最適制御定数が制御系に与えられる。

### (3) 制御量のプリセット機能

シミュレート運転においては、運転中、エンジン及び動力計の制御モードを切り換えながら運転を行う必要がある。そのため、従来は制御モードの切替に伴うトレース精度の悪化が発生していた。そこで、エンジン回転数を観測しながら、エンジン特性モデルにより予測した制御量をプリセットし、運転を行うことにより制御モード切替時の目標値（指令値）からの逸脱を少なくしている。

## 5.2 学習制御

この制御方式はエンジン及びダイナモメータの運転状態を繰り返し学習することによりトレース精度の向上を図るものである。その手法はまず、それぞれの制御に影響を与えているであろう各種観測データ（エンジン回転数、トルク、スロットル開度など）から、制御系全体の動特性を推定する。

次に、以下で述べる推定結果の影響係数を用いて運転に補正をかける。ここで推定は下記行列式を用いた重回帰モデル式によって行われる。

$$y_i = a_{ij}x_j + b_i$$

但し、 $y_i$  = 回転数、トルクのフィードバック値

$x_j$  = 回転数、トルクの指令値及びスロットル開度などの観測値

$a_{ij}$ ,  $b_i$  = 影響係数

このモデル式は、指令値に対するフィードバックのみでなく、相互の干渉も含み、入力 $x_j$ の出力 $y_i$ に対する影響度を定量的に推定したものである。

## 6. 運転結果

図6.にHDEにおける過渡試験の運転結果を示す。図はエンジン回転数とトルクの変化が最も過渡的な3山目における学習1回目の運転チャートである。ここで、REFは過渡運転の指令値であり、FBKは実際の運転結果である。図7.は学習回数に対する回帰分析結果の推移を示す。回数を重ねることにより、精度向上が図られていることがわかる。

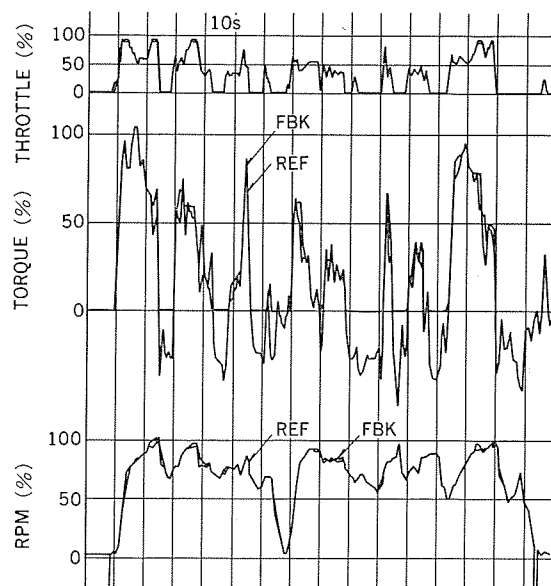


図 6. 学習運転結果

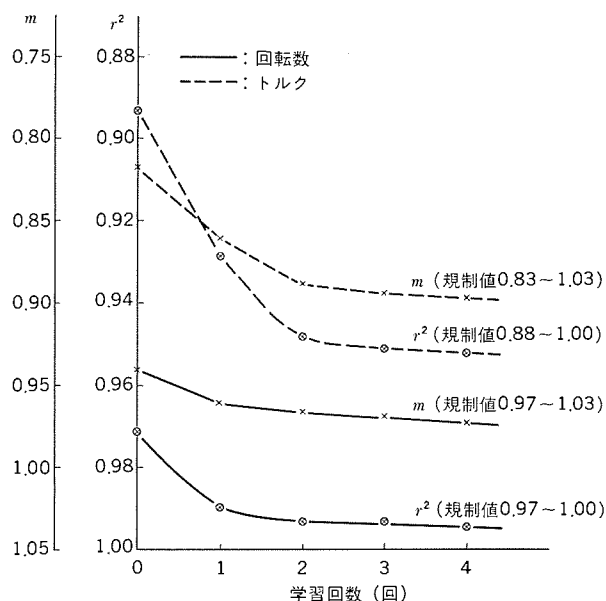


図 7. 直線回帰分析結果（ホット試験）

## 7. むすび

以上のように、新しい制御手法を導入することにより、従来、困難であったエンジンの過渡状態シミュレート運転を可能にすることができた。今回はHDEの排気ガステストを対象として開発されたが、この成果は他のより忠実な運転を必要とする過渡試験にも応用できる。当社では、エンジン研究・開発の一環である自動試験システムにおいて、今後とも一層の高精度化、効率化のニーズにこたえ、研究を重ねていく所存である。

最後にこのエンジン・トランジェントシミュレーションシステムの計画時点から種々御指導いただいた運輸省交通安全公害研究所葭原部長殿をはじめとして、ユーザー関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

# ユーテルサットTDMA基準局

中西道雄\*・伊藤久明\*・梅田義明\*\*・藤野 忠\*\*\*・内藤悠史\*\*\*

## 1. ま え が き

ユーテルサットは欧州内24か国(1985年現在)の加盟国をもち、ECSを用いた欧州地域の電気通信サービスを提供している。ECSは14/11GHzの周波数帯を用い、幹線通信用にはインテルサット(International Telecommunications Satellite Organization: 国際電気通信衛星機構)が同時期に導入した120Mbps TDMA通信システムに準拠した、完全なデジタル通信方式が採用されている。

衛星通信におけるTDMA通信方式については、1965年以来、約20年間にわたり、インテルサットを始

めとし各方面で方式の研究、装置の開発が行われてきた結果、1981年によりやくインテルサットによって、商用サービス用TDMAシステム仕様書が制定された。

これに続いてユーテルサットにおいてもこれに準じた仕様書が制定され、いずれも1985年に運用を開始する予定でシステムの構築を開始した。これらのTDMAシステム仕様書は、TDMA基準局用及びトラフィック局用の2本の仕様書で構成され、TDMA同期制御の複雑な制御処理の大半を基準局設備に課し、多数のユーザーが設置するトラフィック局設備を大幅に簡略化したことが特徴である。

これら世界の国際商用通信衛星の2大機構が、期せずしてほぼ同一のTDMAシステムを構築しようとしている中で、今回ユーテルサットからTDMA基準局(TRMS)を受注し、システム設計、ハードウェア及びソフトウェアの開発、装置の製作、及びイタリア、スペインの両サイトに納入する一連のプロジェクトに従事する機会を得た。以下、この基準局設備に関してシステムの概要、機器の構成、及び性能について記述する。

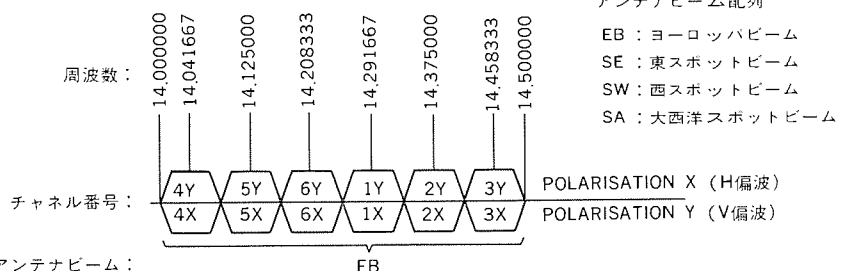
## 2. ユーテルサット TDMA システム

ユーテルサットTDMAシステムは、図1.に示すECS搭載の12個のトランスポンダのうち、最大7個を占有して運用される。これらのトランスポンダは、図2.に示すように、ダウンリンクは3個のスポットビームのいずれかに、また、アップリンクはいずれもヨーロッパビームに接続されて運用される。

TDMA基準局はこれら3個のスポットビームのうち、2個が各々重なっているイタリア、スペインに1局ずつ配置された。これは、ユーテルサットTDMAシステムの信頼度が基準局に全面的に依存し、その役割が重要であるため、局

単位の冗長系をもたせる必要があること、及び両基準局を西ビーム内に属する共通トランスポンダを用いて結び、相互に必要な情報を交換する必要があることによる。これら二つの基準局は、システム運用上、一方が第一基準局(PRTと称する)、もう一方が第二基準局(SRTと称する)として役割を分担し、冗長系を形成するほか、いずれの局もフランスのパリに設置されるCSC(Communications System Control Center)と地上回線で結ばれている。PRTは、各トランスポンダのTDMAフレーム内で第一基準パース(PRBと称する)を、また、SRTは第二基準パース(SRBと称する)を送信する。PRT、

アップリンク



ダウンリンク

アンテナビーム：  
チャンネル番号：  
アンテナビーム：

周波数：

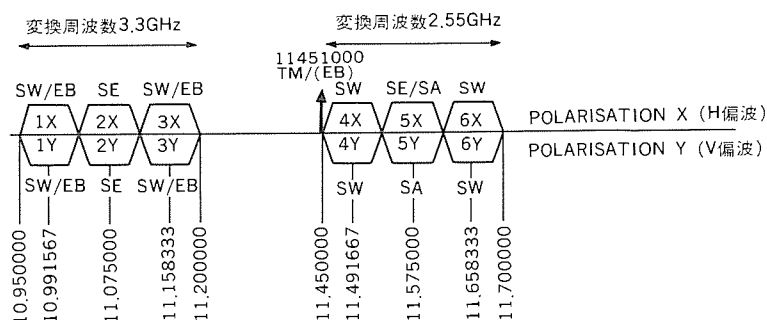


図1. ECS 搭載 トランスポンダ の 配置

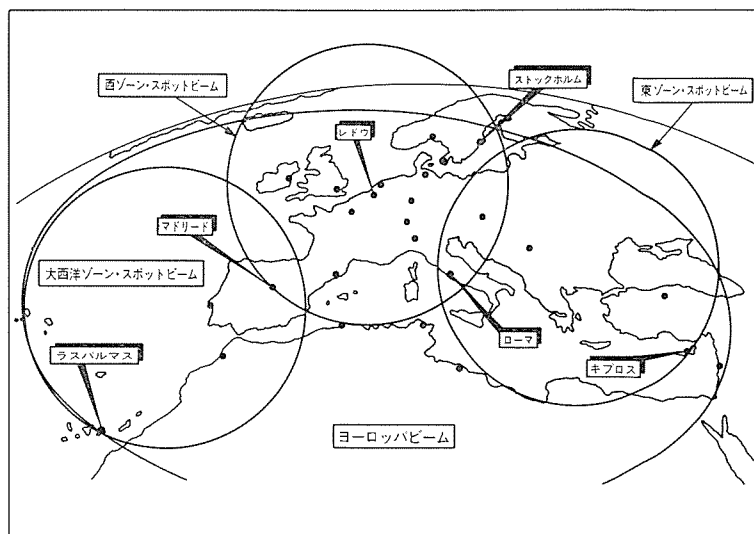
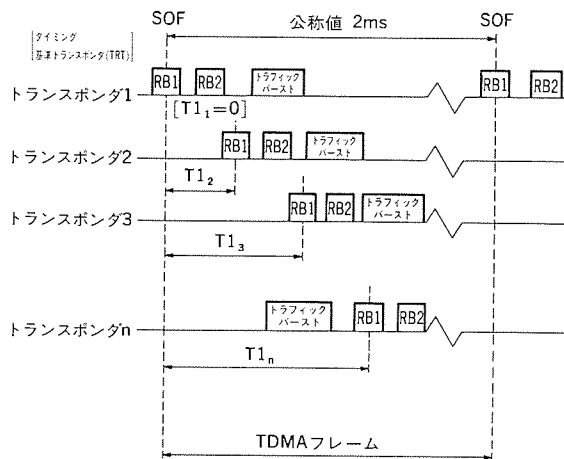


図2. ECS の ビーム 照射 パターン

表 1. ユーテルサット TDMA システム の主要諸元

1. フレーム長	: 2ms
2. マルチフレーム長	: 32ms (16 フレーム)
3. 標準ビットレート	: 120.832 Mbps
4. 標準シンボルレート	: 60.416 Mband
5. 変調方式	: 4相 PSK 変調
6. 復調方式	: 同期検波
7. 変調コーディング方式	: 絶対位相変調
8. パーストフォーマット	: 図 3. に示す
9. 位相不確定除去	: ユニークワード検出による
10. 送受信スペクトラム整形	: 送受信それぞれに BT=1 の $\sqrt{40\%}$ cosine ロールオフ
11. 初期アクイジション	: 基準局制御によるハイレベルアクイジション。衛星位置予測は、ラウンドトリップ遅延時間測定とアンテナ角度データによる
12. 定常パースト同期制御	: 基準局制御によるフィードバック方式
13. エネルギー拡散	: CCIR 353-2 準拠
14. 最大ホッピングトランスポンダ数	: 送信 7 受信 6
15. 基準パースト数	: 2
16. 最大送信パースト数/トラフィック局設備	: 16
17. 最大受信パースト数/トラフィック局設備	: 32
18. 最大制御トラフィック局数	: 29



T1<sub>i</sub>: i番目トランスポンダとTRTとのタイミング関係

形式番号及び ビットタイミングシグナス	ユニーク ワード(UW)	TTY	SC	VOW	VOW	CDC	基準 パースト
176	24	8	8	32	32	8	シンボル数
形式番号及び ビットタイミングシグナス	ユニーク ワード(UW)	TTY	SC	VOW	VOW	トラフィック データ	トラフィック パースト

図 3. TDMA フレーム 及び パーストフォーマット

SRT は TDMA フレーム 同期捕そくのサポート 以外は、独立に、それぞれに割り当てられた機能を実行し、PRT に障害が発生し機能を果たし得なくなった際には、SRT が PRT に役割交代してシステムの運用の継続性を保つ。各基準局は、それ以外にシステムのハウスキーピング機能として、全 TDMA パースト信号の品質を、連続して監視する機能をもっている。これらの品質監視データは処理され、異常を検出した際には警告を発し、また、両基準局から CSC へ通知される。

ユーテルサット TDMA システム の主要諸元を表 1. に、TDMA フレーム及びパースト構成を図 3. に示す。

### 3. 基準局総合システム

基準局が TDMA システム 上担う主要機能は以下のとおりである。

(1) TDMA システム の各種 タイミング 信号を作成し、基準パースト(P

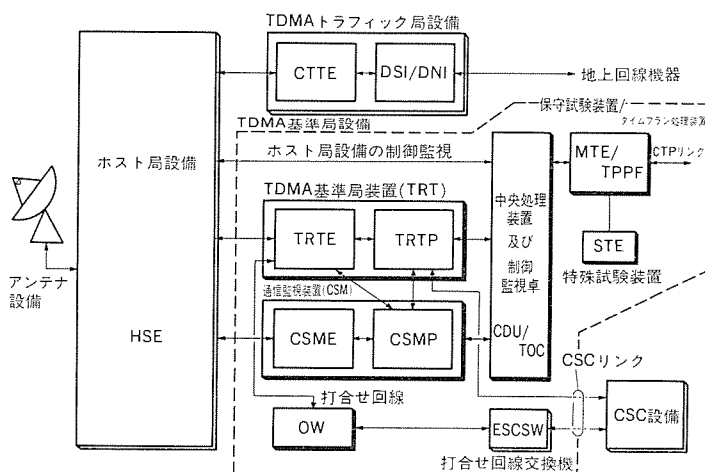


図 4. TDMA 基準局 (TRMS) の系統図

RB 又は SRB) に乗せて各 トラフィック 局設備に衛星回線経由で分配する。

(2) ESA の TTC 局 (衛星追跡管制局) から衛星の軌道 データを受け、地球局 アンテナデータ 及び ROP (基準局運用 パラメータ) を処理して衛星の位置決定を行い、全 トラフィック 局設備 (最大 29 局) に与える送信 タイミング 制御用の制御遅延量  $D_n$  の計算を行う。

(3) 基準 パースト 内の制御遅延 チャンネル (CDC と称する) を通じて、各 トラフィック 局に対してパースト 送信許可を与え、同時に各 トラフィック 局に対し、順次制御遅延量  $D_n$  の指定を行う。更に、各 トラフィック 局からの送信パーストの TDMA フレーム 内での位置誤差の検出、同期捕そく制御のサポート を行う。

(4) 各パーストの異常検出処理を行い、システム 運用上必要な停波制御 (SDNTX) をサービスチャンネル (SC と称する) を通じて行う。

(5) パーストタイムプラン (BTP と称する) 及び自動 トラフィック 回線変更のための切換一斉指令を、カウントダウン 方式により行う。

(6) TDMA システム のハウスキーピングのため、全パースト (最大 192 パースト) の周波数、衛星 EIRP 及び疑似 BER の計測記録処理を行い、規定値から外れたパースト に対し警告を発する。

各基準局 (TRMS) は以上の機能を果たすため、図 4. に示す機能ブロックから構成されている。また、この基準局の中核を占める TDMA 基準局設備は以下のサブシステムから構成されており、その系統図を図 5. に示す。

(a) TDMA 基準局 (TDMA Reference Terminal : TRT) サブシステム

(b) 中央処理 (Central Diagnostic Unit : CDU) サブシステム 及び制御監視卓 (Terminal Operation Console : TOC)

(c) 通信監視 (Communications System Monitor : CSM) サブシステム

(d) 保守試験装置 (Maintenance and Test Equipment : MTE)、タイムプラン 処理装置 (Time Plan Processing Facility : TPPF) 及び特殊試験装置 (Special Test Equipment : STE)

上記のサブシステムのうち、基準局設備の中核を担う TRT、CDU は完全冗長系で構成され、冗長系機器の自動/手動の切換制御はすべて CDU にて行われる。図 6. に、例としてイタリアフィノ局に設置された基準局装置の機器配置を示す。スペイン グアダハラ局にも同一の機器が設置されている。

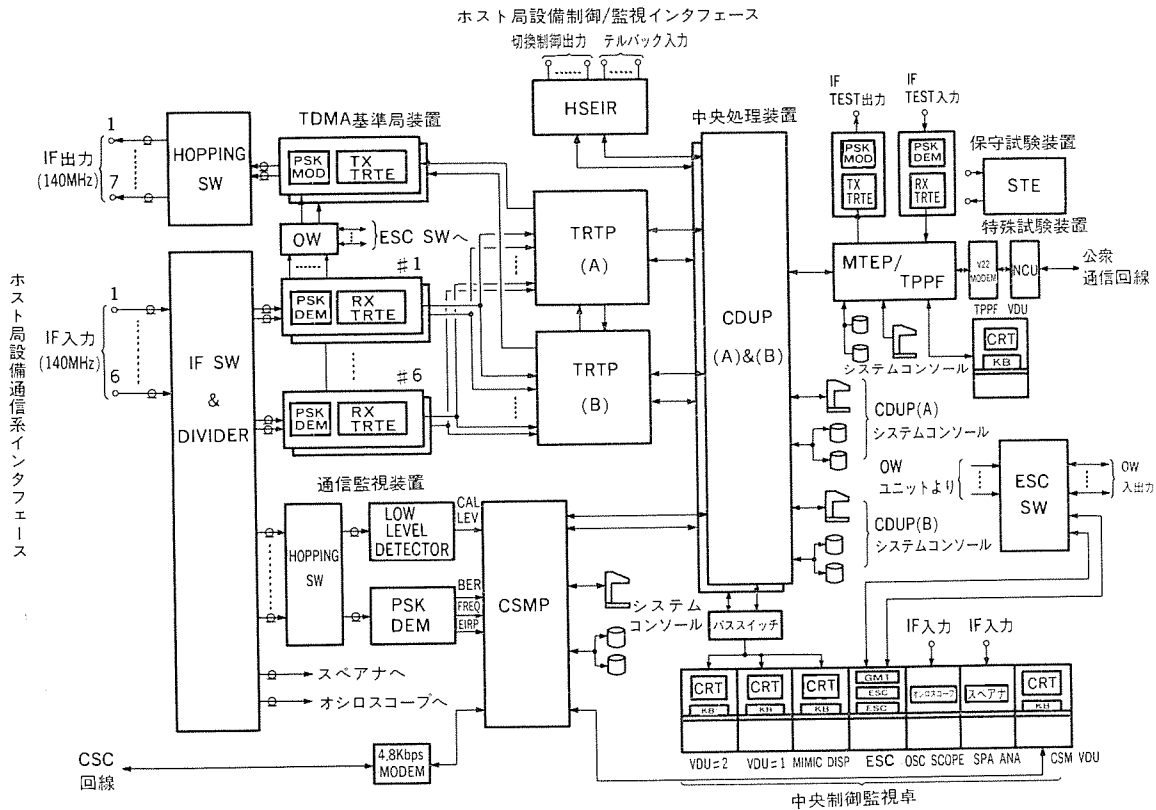


図 5. TDMA 基準局設備の系統図

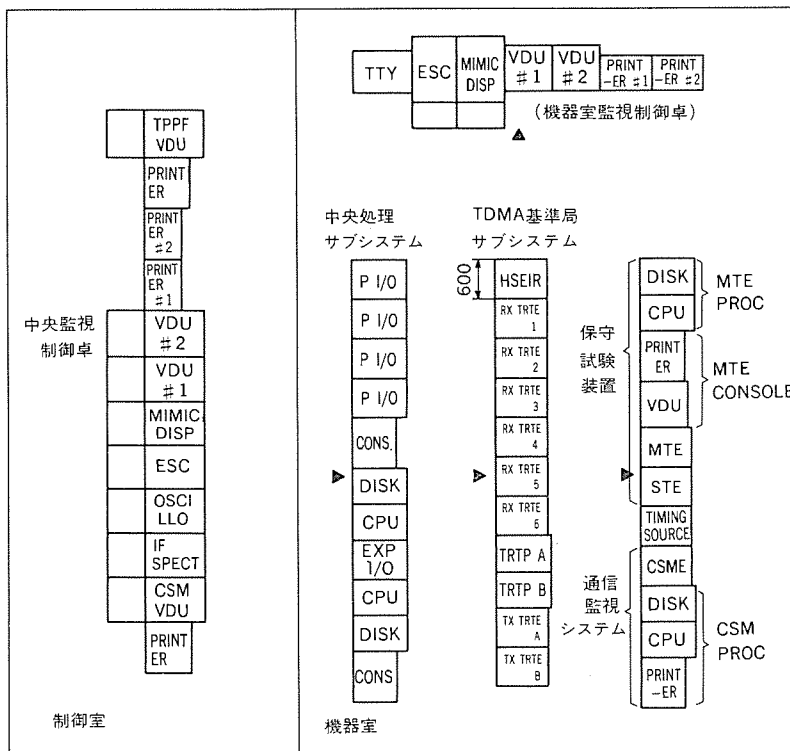


図 6. ユーテルサット TDMA 基準局設備の機器配置

#### 4. TDMA 基準局 (TRT) サブシステム

TRT サブシステムは、図 7. に示すように TRTP, TX TRTE, RX TRTE 及びクロック発生装置 (Timing Source) から構成されている。TRTP と TX TRTE は、冗長システム上同一切換単位として構

成され、A 系、B 系の 2 組で構成されている。RX TRTE は、6 個の受信トランスポンダ系それぞれ個別に冗長構成を採り、TRTP の A、B 両系に並列に接続されている。

クロック発生装置は冗長系で構成され、TRTE に対し高安定 ( $\pm 1 \times 10^{-11}$  以上) の 60.416 MHz システムクロックを供給する。TRTE と TRTP は、組み合わせて TDMA ネットワークの同期制御機能を遂行する。表 2. に各機器の機能分担を示す。

##### 4. 1 TRTP (TRT Processor)

TRTP はミニコンピュータで構成され、TX TRTE 及びすべての RX TRTE と、DMA (ダイレクトメモリアクセス) データラインを介して結ばれている。TRTE との間で必要な情報の交換は、毎マルチフレーム (32 ms) を単位として行われ、TDMA ネットワーク制御機能は TRTP のソフトウェアにより遂行される。TRTP は、CDUP と別の DMA データラインで結ばれ、必要な情報の授受を行う。

##### 4. 2 TX TRTE (Transmit TRT Equipment)

TX TRTE は、TDMA 送信バーストの処理を行うもので、端局装置と IF ホッピングスイッチに大別される。図 8. に構成を示す。

##### (1) 端局装置

TX TRTE は内蔵する制御プロセッサを介し、TRTP から 32 ms ごとにデータを受け取る。このプロセッサは CDC/SC メッセージの作成、送信タイミングの決定、バーストの送信及び停止、ラウンドトリップ時間測定開始及び停止の指令などを実行する。また、TRTP からバーストタイムプランを受け取って編集し、端局装置内に分配する。



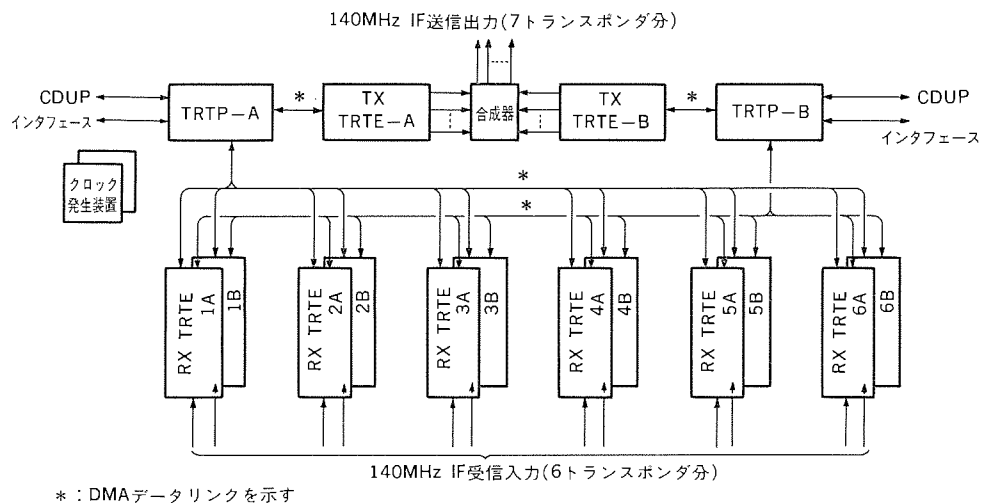


図 7. TRT サブシステムの構成

表 2. TRTP/TRTE の機能分担

機 能	TRTP	TX TRTE	RX TRTE
TDMA ネットワーク制御手順			
・トラフィック局同期制御	○		
・自局送信同期制御	○		
・SDNTX 送出制御	○		
・バーストタイムプラン変更制御	○		
・基準局役割交代制御	○		
・衛星位置計算	○		
送信バーストの作成, 変調		○	
衛星折返し伝搬時間測定		○	
受信バーストの復調, 検出			○
バースト受信状態監視			○
受信バーストの位置測定			○
受信同期制御			○

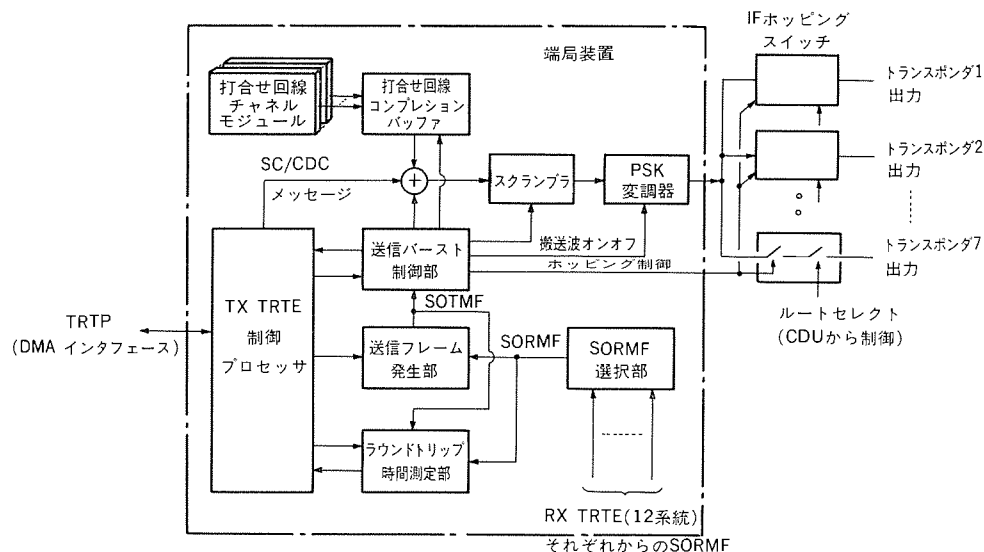


図 8. TX TRTE の構成

SORMF 選択部は、すべての RX TRTE が出力する受信マルチフレームタイミング (SORMF) の中から、システム内で使用するただ一つの SORMF を選択する。送信フレーム発生部は、選択された SORMF を使って送信マルチフレームタイミング (SOTMF) を作成し、送信 TDM A フレームを決定する。送信バースト制御部は、送信 TDMA フレーム内で、定められた位置及びフォーマットに従ってバーストを送信するた

めの、種々の制御信号を発生する。これらの制御信号により、端局装置内各部から必要なデータが読み出され、送信バーストが作成される。この送信バーストは PSK 変調器により、4 相位相変調波として IF 帯信号に変換される。ラウンドトリップ時間測定部は、衛星の位置を特定し、各トラフィック局の初期アキュジションをサポートするのに必要なデータを、TRTP に提供する。

## (2) IF ホッピングスイッチ 部

IF ホッピングスイッチ部は、7 個の衛星トランスポンダに、基準バーストを 1 個ずつ分配して出力するための

ものである。端局装置の送信バースト制御部で作成されるホッピング制御信号により、スイッチが時分割でオン、オフ制御される。このスイッチの動作速度は、駆動回路も含めて 50 ns 以下である。ホッピングスイッチには、冗長系切換選択のためのスイッチも内蔵されており、CDUP により直接制御される。

## 4. 3 RX TRTE (Receive TRT Equipment)

一系統の RX TRTE の構成を図 9. に示す。PSK 復調器は受信 IF バースト信号を同期検波方式にて復調し、デジタルデータを再生する。図 10. に代表的なビット誤り率特性を示す。

UW (ユニークワード) 検出器は復調されたデータの中から基準バーストとトラフィックバーストを区別して検出し、UW 検出パルスを出力する。特に基準バーストの UW 検出パルスは、受信 TDMA フレームを決定するのに用いられる。受信フレーム発生部と受信同期プロセッサは、受信 TDMA 同期確立手順を実行する。受信バースト制御部は、UW 検出用のアパーチャゲート及び復調されたデータを各部へ分配するために必要な制御信号を、バーストタイムプランに従って発生し、復調されたデータは、この制御信号によって各部へ書き込まれる。

BER プロセッサは、各受信バーストの受信状態 (BP : Burst Present) の監視、及び UW 部分を利用したビット誤り率測定を行う。バースト位置測定部はトラフィック局から送られるバーストの受信位置を 1 シンボル単位で測定し、測定結果はトラフィック局バーストの送信タイミング制御のための情報として、A 系及び

B 系の TRTP に、DMA リンクを経由して送られる。制御プロセッサは TRTP から送られるバースト位置測定に関するパラメータ、あるいはバーストタイムプランなどを受け、各部へ分配する。更に、受信同期状態、ビット誤り率/BP 情報、バースト位置測定結果、受信された SC 及び CDC メッセージなど、TRTP が TDMA ネットワーク制御手順を実行する上で必要な情報、及び RX TRTE 各部のアラーム情報を TRTP へ転送する。

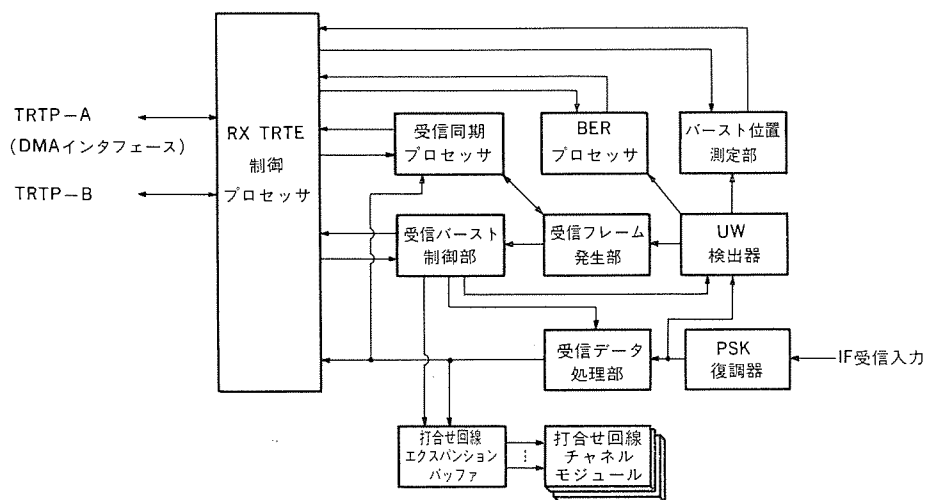


図 9. 各 RX TRTE の構成

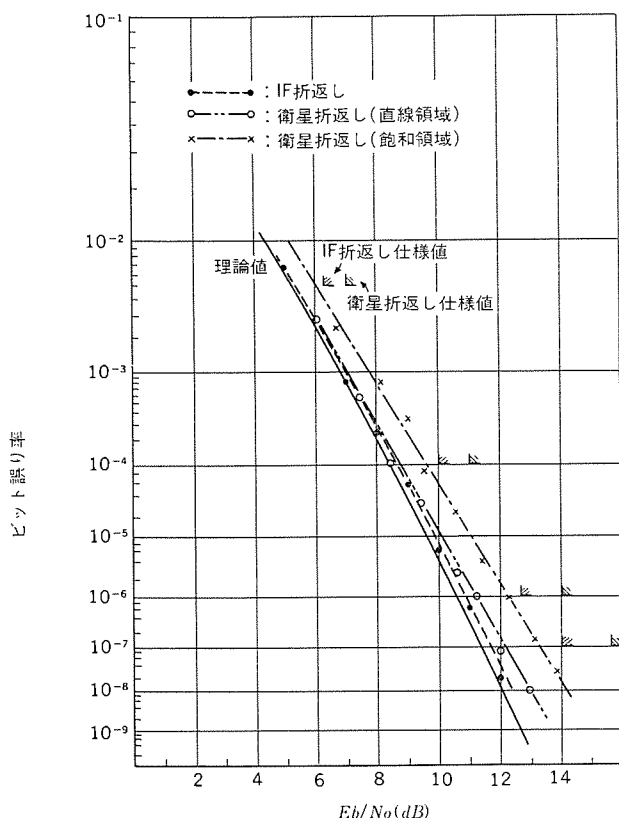


図 10. 4 相 PSK 変復調器のビット誤り率特性

## 5. 中央処理 (CDU) サブシステム

CDU サブシステムは、冗長構成のプロセッサ (CDUP) 及びホスト局との監視制御インタフェース (HSEIR と称する) 機器から構成される。CDUP は汎用ミニコンピュータ 2 台を用い、冗長構成運用のため、プロセッサ相互の監視により現用/予備切替判断を行っている。CDU の主な機能を以下に示す。

- (1) 基準局設備内の冗長構成機器の現用/予備切替制御
- (2) ホスト局 RF 設備 (HPA, LNA, 周波数変換器, 折返し試験設備など) の状態監視及び冗長系切替制御。特に、受信系設備についてはバーストの受信状態を判定し、自局の障害と他局の障害を識別し切替制御を行う。

- (3) TRTP から受け取るデータのうち、必要なものを CSMP に転送する。
- (4) TOC からのオペレータコマンドに応じ、ホスト局設備を含めた各設備の手動による制御を行い、状態を表示する。TDMA ネットワーク上の状態変化、各設備の状態変化などのイベントを TOC に出力する。
- (5) バーストタイムプランを TPPF から受け取り、TRTP 及び CSMP へ分配する。

ホスト局設備の状態監視及び切替制御は、パラレル入出力装置 (P I/O) を介して行い、32 ms のマルチフレームタイミングに同期して切替制御が行われる。

HSEIR は、現用 CDUP からの制御信号のみを選択するスイッチを内蔵している。CDUP は、基準局設備内の各サブシステムと DMA データリンクで結合されている。TOC とのインタフェースは、プロセッサバスを、パススイッチを介して延長することにより行われる。

## 6. 通信監視 (CSM) サブシステム

CSM サブシステムは、図 11. に示すように、TDMA ネットワーク制御に直接関与しないため、冗長構成は採っていない。このサブシステムのうち RF CSME は、アンテナ局舎に設置される。CSM の機能を以下に示す。

### (1) 送信バースト電力の測定

RF CSME が実行する機能である。TX TRTE から送られるバーストゲート信号により、HPA 出力電力をサンプル検出して監視を行い、7 個の送信トランスポンダ別に電力を測定する。

### (2) 受信バーストに対する監視

6 個の受信トランスポンダから受信される最大 192 個のバーストに対して、次の項目について監視を行う。

- (a) 衛星放射電力 (EIRP)
- (b) 搬送波周波数
- (c) ビット誤り率 (疑似 BER 測定法、及び UW 検出時の誤りビット数の積算による方法)
- (d) バースト受信状態 (BP)
- (e) 受信 SC 及び CDC メッセージの内容

項目 (a), (b), 及び (c) の疑似 BER 測定は、図 11. の CSM E にて行われ、その他のデータは TRTP/CDUP 経由で、RX TRTE から得られる。また、各受信トランスポンダは、CSME に内蔵されたホッピングスイッチにより、2 秒間ずつ監視が行われる。上記 (a), (b), (c) に関する測定原理を以下に説明する。

### (1) 衛星 EIRP の測定

衛星 EIRP の測定は、受信バースト電力を CSME の EIRP モニタ部で検出することにより行う。電力検出は、受信バーストを遅延検波法で復調した後、搬送波再生シーケンス部分をサンプリングすることにより行う。ホスト局受信設備の利得較正は、RF CSME から較正用無変調信号を、TDMA バーストから 30 dB 以上低いレベルで挿入することにより行う。

### (2) 搬送波周波数の測定

PSK 復調器で作成される再生搬送波 (140 MHz) 信号の周波数を、

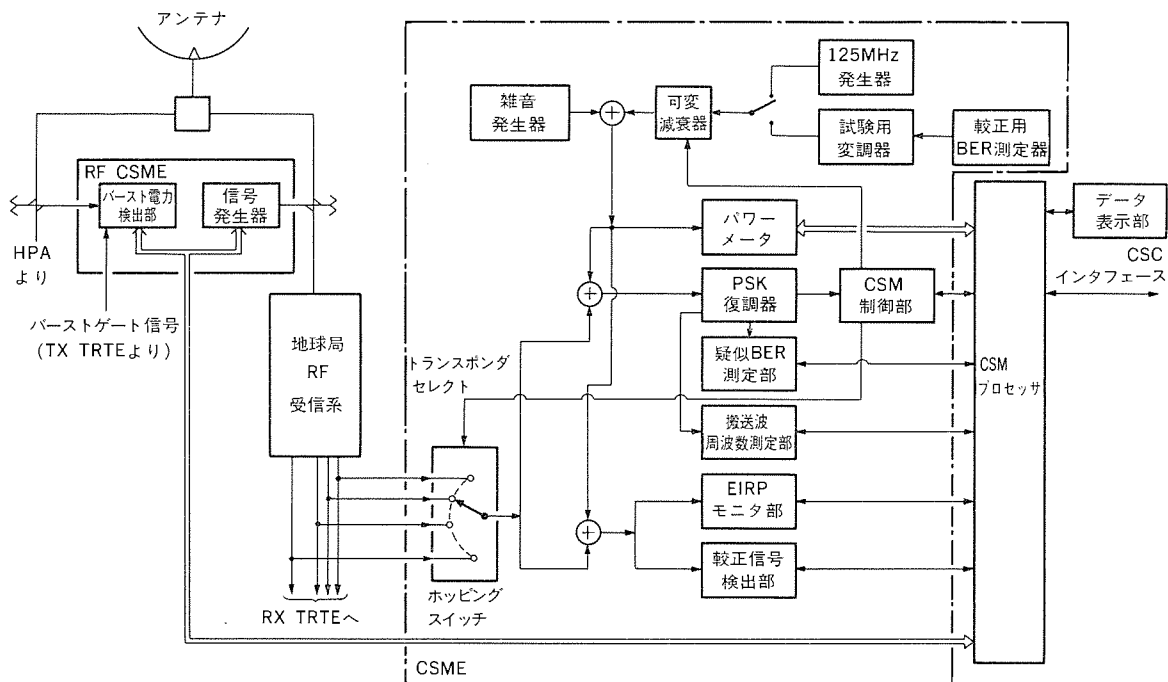


図 11. CSM の構成

バーストが存在する期間に測定し、多数フレームにわたって積算することにより結果を得る。精度は5分間の測定で、トラフィックバーストに対し、 $\pm 300$  Hz である。

### (3) 疑似 BER 法によるビット誤り率の測定

測定法は一般にオフセットサンプリング法といわれているもので、PSK復調データの再生を行う際のサンプリングタイミングを、故意に最適点からずらせ、疑似的にビット誤りを発生させてこれを計数し、真のビット誤り率に換算する方法を用いている。

疑似 BER 測定法には、UW などの固定パターン中のビット誤りを計数する方法に比較し、短時間で低いビット誤り率を推定できる利点がある。

以上のような各種パラメータの測定及び監視結果は、中央監視制御卓の表示部に出力されると同時に、ユーテルサットの CSC へ定期的に、あるいはアラームメッセージとして随時送られる。

## 7. 中央監視制御卓 (TOC)

TOC は基準局設備のオペレーティングフェースを与えるもので、次のような機器から構成されている。

- (1) TRT システム、ホスト局設備の監視制御を行うための CRT プリント及びキーボード
- (2) 打合せ回線電話盤、時刻表示、IF 波形及びスペクトラム監視機器
- (3) CSM サブシステムからの測定及び監視結果の表示を行うための CRT、プリンタ及びキーボード
- (4) バーストタイムプランの CSC からの受信、及び基準局内各装置への分配を行うための CRT 及びキーボード

図 12. に TOC の外観を示す。

## 8. 保守試験装置 (MTE/STE)

TRT サブシステムの保守 (修理) を行う目的で、他サブシステムとはオ

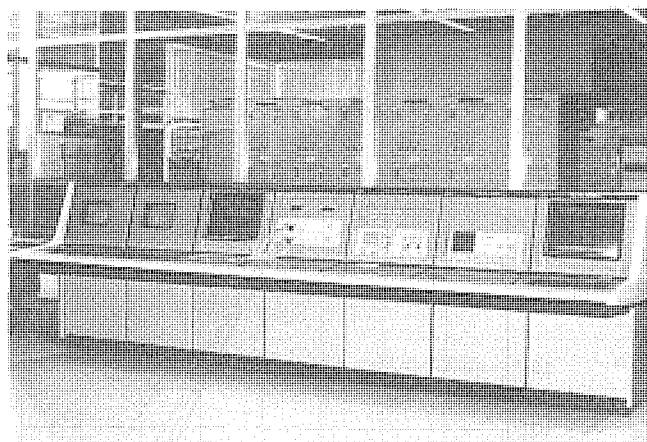


図 12. 中央監視制御卓の外観

フラインで設置されている。この装置は、MTEP と呼ばれるミニコンピュータ、TRTE (TX 及び RX 各一式) 及び特殊試験装置 (STE) から構成されている。MTEP 及び STE は、故障した TRTE の修理を容易にするためのデータ発生及び解析ツールを提供しており、MTTR を大幅に短縮している。また、MTEP は、CSC からバーストタイムプランを受信し、管理するプロセッサとしても使用される。

## 9. む す び

ユーテルサット基準局に関してその概要を報告した。この基準局は既に10局以上のトラフィック局の参加を得て、TDMA ネットワーク制御に関する試験も終了し、1986年からの運用開始に向けて順調な進捗をみせている。

終わりに、このシステム仕様に関し、種々御指導いただいたユーテルサットプロジェクトマネージャー Mr. Celebiler 氏をはじめとする関係各位に感謝する。

# 三菱オフィスコンピュータ《MELCOM80》システム1のハードウェアとソフトウェア

柴原 芳信\*・青砥 久志\*・富沢 研三\*

## 1. ま え が き

《MELCOM 80》システム1は、当社オフィスコンピュータ（以下、オフコンとよぶ）《MELCOM 80 シリーズ》の最下位機種として、当社が永年培ってきたオフコンのノウハウを集約するとともに、オフコン処理とOA処理のマルチ動作が可能な今日のOA時代にマッチした多機能オフコンである。

近年、オフコンの需要は、設置台数、金額において大規模オフコンと小規模オフコンの伸びが予想を上回り、二極化が進む傾向が顕著になった。とりわけ、300万円未満の小規模オフコンの伸びが著しい。

これは一つには、小規模オフコンの性能の向上、多機能化が進み、これまで中規模オフコンを利用していたユーザー層が小規模オフコンに向いつつあること、また、小規模オフコンの低価格化により、ビジネスパソコンのユーザー層が小規模オフコンに切り換わりつつあること、需要層が拡大してきていること、などと分析される。

《MELCOM 80》システム1は、文書作成、各種統計資料の作成、グラフ作成などの非定形OA処理機能を充実させるとともに、事務処理、伝票発行といったオフコンの日常定形業務における処理時間の短縮、処理能力の一層の強化を図った小規模オフコンの最新鋭機として開発した。

これにより、オフィスオートメーション（OA）の浸透により、ますます要求が高まってきている小規模オフコンに対する非定形OA処理機能の充実や、ビジネスパソコンでは成し得なかった定形業務の高性能化を一挙に満足させた本格的オフコンを完成させたものである。

本稿では、システム1のハードウェアとソフトウェアについて紹介する。

## 2. システムの特長

《MELCOM 80》システム1は、次のような特長を持っている。

### (1) 二つの中央処理装置（CPU）を搭載したシステム

システム1は、メインプロセッサとしてオフコン機能処理用CPU、サブプロセッサとしてOA機能処理用CPUの二つのCPUを搭載している。この二つのプロセッサを独立して同時に動作させ、オフコン機能とOA機能の並行処理を可能とし、高性能オフコンを実現するとともにOA機能を効果的に融合させた。

### (2) ソフトウェア資産の継承

システム1のオフコン処理では、DPS IV (Dynamic Processing System IV)、OA処理では拡張日本語MP/M-86™<sup>1</sup>の二つのオペレーティングシステム（OS）を使用する。DPS IVではCOBOL、RPG II、プログレス IIなどの言語をサポートし、従来の《MELCOM 80 シリーズ》（DPS IV）で作成したプログラムは、そのままシステム1上で動作可能とさせた。また、シリーズの上位機であるシステム30、40とはソースプログラムレベルで互換性を持たせた。更に、当社の他のファミリーマシンであるOAワークステーション、《オフィスターミナル》M 5000シリーズで動作する豊富なOAパッケージは、そのままシステム1上で動作可能とさせた。

### (3) 多機能システム

システム1は使用目的によって、五つの処理機能を実現させた多機能オフコンである。

- (a) オフコン機能
- (b) 日本語ワードプロセッサ機能
- (c) OAソフトウェア処理機能
- (d) ワークステーション機能
- (e) リモートワークステーション機能

### (4) コンパクトきょう（筐）体化による省スペースシステム

システム1は薄形5インチ固定ディスク装置、薄形5インチフレキシブルディスク装置を採用し、このディスク装置と基本部ハードウェアを幅54cm、奥行43cm、高さ15cmのデスクトップ筐体に収納し、省スペース化を図ったコンパクトマシンである。

## 3. システムの位置づけ

システム1は《MELCOM 80 シリーズ》の最下位機としてスタンドアロン機能を持つとともに、同軸ケーブルを用いてシリーズの上位機（システム10、20、30、40）に接続し、OAワークステーションとしての使用も可能とさせた（図1.）。

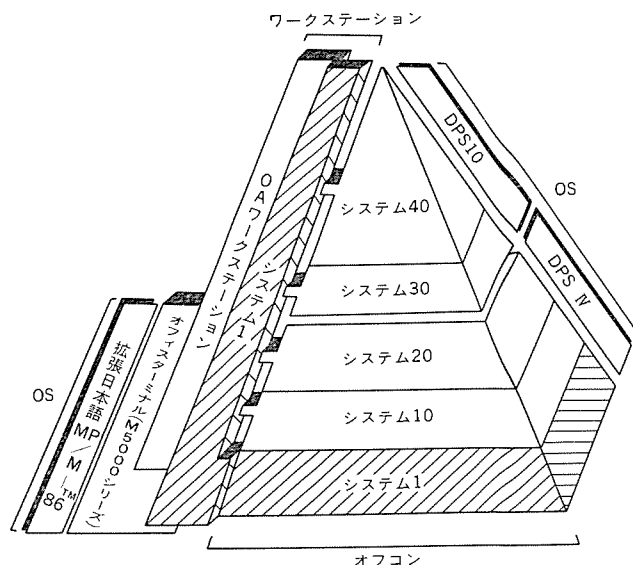


図1. システムの位置づけ

## 4. 運用形態

### 4.1 五つの処理形態

#### (1) オフコン

DPS IVのもとに運用させ、OSの業務選択メニューから業務を選択して、給与計算、伝票発行、仕訳データ入力といった日常の定形業務を行う。

#### (2) 日本語ワードプロセッサ

拡張日本語MP/M-86™のもとに動作させる日本語ワードプロセッサ

\* 計算機製作所

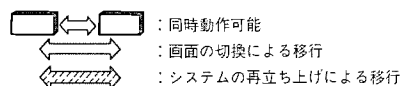
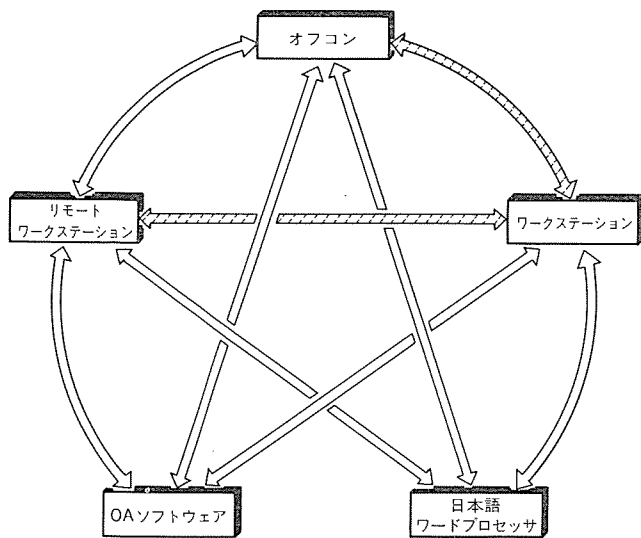


図 2. 運用形態の移行イメージ

《MELWORD-J》を使用して文書作成を行うことができる。システム 1 をワープロとして使用するものである。

### (3) OA ソフトウェア処理

拡張日本語 MP/M-86™ のもとに動作させる本格的な各種の OA パッケージを使用して統計資料、グラフ作成などを行うことができる。システム 1 をパーソナルコンピュータとして使用するものである。

### (4) ワークステーション

他機種をホスト計算機として、高速のデータ転送を可能とした同軸ケーブルで接続されたインライン処理用のワークステーション（端末装置）として使用することができる。

### (5) リモートワークステーション

他の《MELCOM 80 シリーズ》をホスト計算機として、専用回線、又は加入電話回線を経由した遠隔地ワークステーション（端末装置）として使用することができる。

## 4.2 運用形態の切換

システム 1 には使用目的により前述のような五つの運用形態があり、これらは簡単な操作で切り換えることができ、その大半は同時に運用することを可能とさせた。図 2. に運用形態のイメージを示す。

このように運用形態を切り換えることにより、一例として次のような業務処理を実現させた。

(1) オフコンでパッチ処理、例えば伝票発行しながら、日本語ワープロを使用して文書作成を行う。

(2) 文書作成中にその作業を一時中断し、在庫問合せなどの画面を扱う業務を行い、また元の作業を続行するといった画面の時分割使用をする。

システム 1 では、このような運用形態の切換を行うことによって、各種マルチ機能、効率的な業務処理が実施できる。

## 5. ハードウェア

### 5.1 システムの概要

システム 1 の外観を図 3. に、仕様を表 1. に示す。基本部はコンパクトなデスクトップタイプにまとめ、全体的には操作性、デザインにおいて

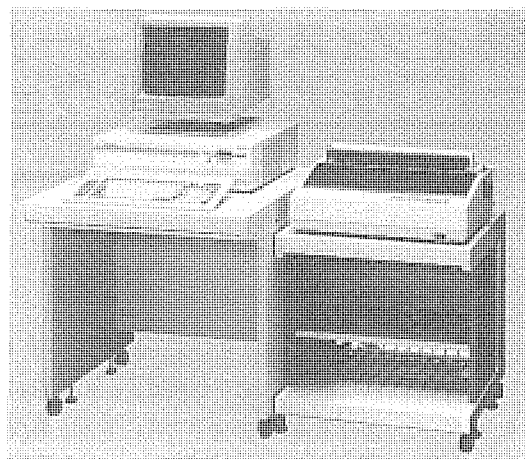


図 3. システムの外観

表 1. システム 1 の仕様

項 目		主 な 仕 様	
中央処理装置	メインプロセッサ	演算制御素子 主記憶素子 容 量	カスタム LSI LSI MOS 256 K ビット/チップ 512 K バイト
	OA サブプロセッサ	演算制御素子 主記憶素子 容 量	i 8086-2 LSI MOS 256 K ビット/チップ 896 K バイト
内蔵ディスク	固定ディスク (5 インチ)	容 量 台 数	22 M バイト 1 台
	フレキシブルディスク (5 インチ)	容 量 台 数	1 M バイト (両面倍密) 1 台
ディスプレイ装置		使 用 CRT 表示文字数 表示可能字種 表示制御	14 インチモノクロ又はカラー 英数・カナ(半角) 横 80 字×縦 25 行 日 本 語 (全角) 横 40 字×縦 25 行 英数・カナ(半角) 256 文字 内 字/外 字 3,489 字/128 字 モノクロ 高輝度/通常輝度/非表示 カ ラ ー 8 色 ブリンク表示/反転表示/その他けい線 表示
キ ー ボ ー ド		OA JIS キーボード又は ワンタッチスクリーンキーボード	
増設ディスク	固定ディスク (5 インチ)	容 量 台 数	22 M バイト 1 台
	フレキシブルディスク (5 インチ)	容 量 台 数	1 M バイト (両面倍密度) 1 台
	フレキシブルディスク (8 インチ)	容 量 台 数	1 M バイト (両面倍密/片面単密度) 1 台
プ リ ン タ 装 置		40 字/秒, 60 字/秒, 70 字/秒 日本語プリンタ	
グラフィック制御装置		横 1,120 ドット×縦 700 ドット ドット単位, 直線, 円, 弧, 四辺形	
オプション入力装置		ID カードリーダー ハンド OCR バーコードリーダー	
単回線通信制御装置		伝 送 方 式 適 用 回 線	調歩同期式 (300~9,600 bps) 独立同期式 (1,200~19,200 bps) 加入電話, 専用, DDX
ハイレベル通信制御装置		伝 送 方 式 適 用 回 線	調歩同期式 (300~9,600 bps) 独立同期式 (1,200~48,000 bps) 加入電話, 専用, DDX
O S		DPS IV, MP/M-86™	
電 源 仕 様		AC 100 V/7.0 A	

のような設置場所でも使えるようにコンパクトな使いやすい設計となっている。

### (1) 中央処理装置

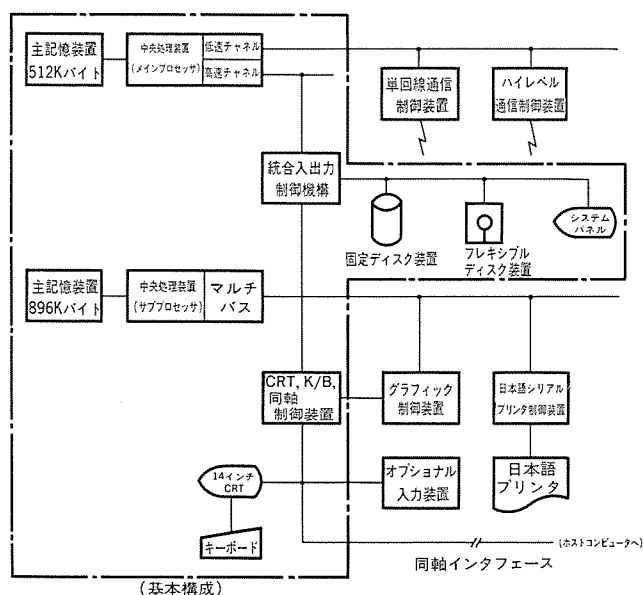


図 4. システム 1 のハードウェア構成図

オフコン処理用メインプロセッサとして、カスタム LSI、OA 処理用サブプロセッサとして汎用マイクロプロセッサ (i8086) の二つの CPU を採用し、高性能なオフコンとともに、オフコン処理と OA 処理の独立、同時動作を実現させている。

## (2) 主記憶装置

オフコン処理用記憶装置として 512 K バイト、OA 処理用記憶装置として 896 K バイトの二つで構成されている。記憶素子は、256 K ビット DRAM を採用し、高密度化を図っている。

## (3) 外部記憶装置

基本筐体に、記憶容量 22 M バイトの薄形 5 インチ固定ディスク装置 1 台と、記憶容量 1 M バイトの薄形 5 インチフレキシブルディスク装置 1 台を内蔵させ、また、オプションとして、同様の固定ディスク装置 1 台、及び 5 インチフレキシブルディスク装置、又は 8 インチフレキシブルディスク装置 1 台を接続可能とさせた。

## (4) ワークステーション装置

高品位な日本語処理ができる日本語シリアルプリンタ装置、連続伝票と単票 (自動給紙機能付き) が同時処理可能な OA 日本語プリンタ装置、本格的グラフ処理、図形処理が可能なグラフィック制御機構、各種用途に使用可能な ID カードリーダー装置、バーコードリーダー装置、ハンド OCR (光学文字読取り) 装置など多彩な入出力装置を準備している。これらは、システム 1 の持つ各種処理形態に応じて選択使用できるようになっている (図 4.)。

## 5.2 ディスク装置の共用化

### 5.2.1 固定ディスク装置の分割使用

システム 1 では、1 台の固定ディスク装置を二つの OS によって共用させている。装置のデータ記録領域は、各々 OS 用に定められた容量分、専用のフォーマットがなされ、各 OS の専用領域として分割させている。したがって、双方の OS はこの各専用領域を処理対象の固定ディスク装置として書き込み/読出し処理を実施する。図 5. は固定ディスク装置分割使用の概念を、表 2. は各 OS の容量配分を示したものである。

### 5.2.2 フレキシブルディスク装置の共用

固定ディスク装置と同様に、システム 1 では 1 台のフレキシブルディスクドライブを二つの OS によって共用させている。二つの OS の持つソフトウ

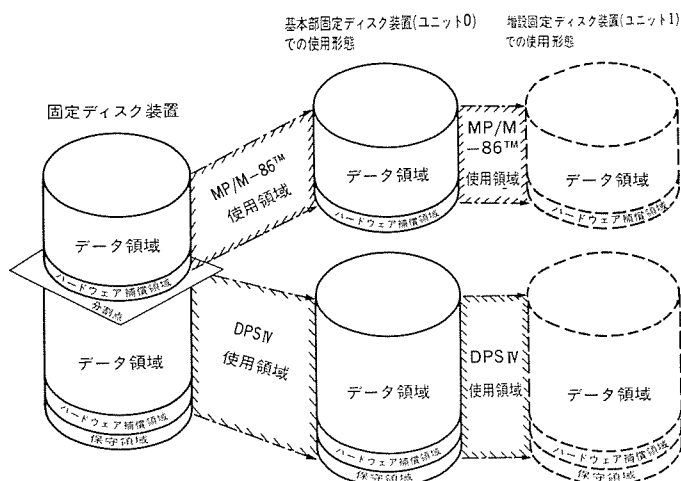


図 5. 固定ディスク装置分割使用の概念図

表 2. 固定ディスク装置分割使用における容量配分

項 目	DPS IV			拡張日本語 MP/M-86™	
	データ領域	ハードウェア補償領域	保守領域	データ領域	ハードウェア補償領域
セクタ長	1,024 バイト			512 バイト	
セクタ数/トラック	9 セクタ			17 セクタ	
トラック長	9,216 バイト			8,704 バイト	
トラック数/シリンダ	4 トラック			4 トラック	
シリンダ長	36,864 バイト			34,816 バイト	
シリンダ数/OS	484	10	1	115	2
容 量/OS	17,842 M バイト	0,368 M バイト	36,864 バイト	4,0038 M バイト	69,632 バイト
総 容 量	18.247 M バイト			4.073 M バイト	

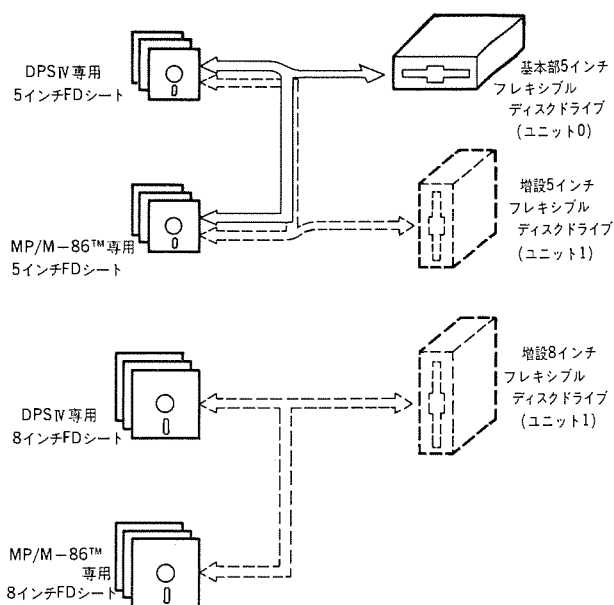


図 6. フレキシブルディスク装置共用の概念図

エアファイル構造の違いにより、フレキシブルディスクシート (以下、FD シートとよぶ) は、各々 OS 専用シートとなる。したがって、双方の OS (ソフトウェア) の運用、処理手順に従って該当する FD シートを 1 台のフレキシブルディスクドライブに着脱し、処理していく。この方法は、5 インチフレキシブルディスク装置、8 インチフレキシブルディスク装置の双方で同様であり、図 6. はシステム 1 におけるフレキシブルディスク装置の共用の概念

を示したものである。

### 5.3 固定ディスク装置のフォーマット

従来の《MELCOM 80 シリーズ》における磁気ディスク装置の記録媒体上のフォーマットは、256 バイト/セクタであり、OS(DPS IV)はこれに基づいて開発され現在に至っている。システム1では、従来のこのインタフェースを保ちソフトウェア資産をそのまま継承しつつ、ディスクの実効データ容量の拡大化を図るため、ソフトウェア⇄制御装置間インタフェースは従来の 256 バイト/セクタ、制御装置⇄デバイス間インタフェースは 1,024 バイト/セクタとすることを採用した。

ソフトウェア⇄デバイス間のインタフェースの整合(変換)は、統合入出力機構が行い、これによってディスクの実効データ容量を従来フォーマット比 13% (15.8 M バイト→17.8 M バイト) アップを実現させた(図 7.)。

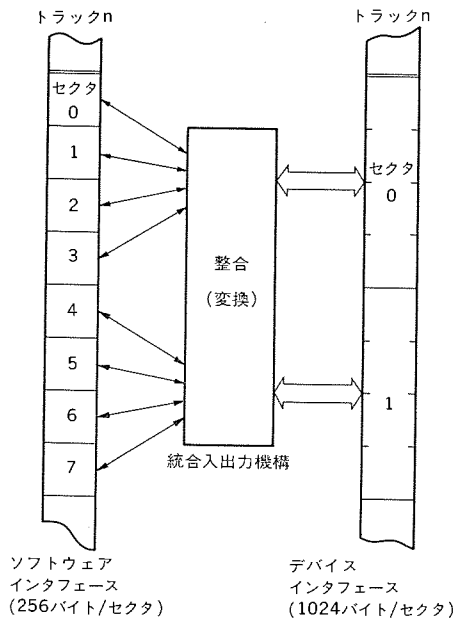


図 7. 固定ディスク装置フォーマット整合概念図

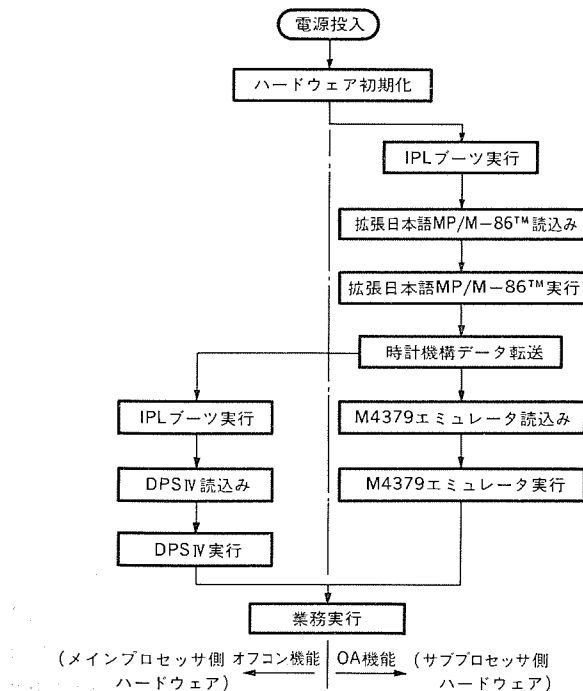


図 8. システムの IPL

5.4 システムのインイシャルプログラムロード (IPL) と時計機構  
システム1は前述のように二つの OS を搭載し、各々独立同時動作を可能とさせている。このためシステムの IPL は、OA 機能とオフコン機能の同期化を行っている。一方、時計機構においても同様のことがいえ、二つの OS が扱う日付、時刻の同期化も行っている。このシステムでは OA 機能側に時計機構をもたせ、データをオフコン機能に転送し、日付、時刻の同期化を図るとともに、このデータ転送を IPL 実行時に行って二つの機能の同期化も行った。図 8. はシステム1における IPL 時の動作状態遷移を示したものである。

## 6. ソフトウェア

システム1のソフトウェア体系を図 9. に示す。

### 6.1 DPS IV

システム1のオフコン機能の OS は、上位機システム 10, 20 と互換性を保つため同じ OS (DPS IV) を使用している。DPS IV は昭和 57 年 10 月に従来の DPS III を一新した OS として出荷され、その後市場のニーズにこたえるため、各種の改良を積み重ねたこのクラスのオフコンでは、最高級の OS である。

#### 6.1.1 DPS IV の特長

##### (1) 上位機とのソフトウェア互換

システム1は上位機への移行が容易に行われるように、ソフトウェアの互換性を考慮している。つまり、システム1で動くプログラムは、上位機システム 10, 20 上でもそのまま動作させることができる。また、システム 10, 20 上で動いているプログラムを、システム1へそのまま移行できる。更にシステム 20 の上位機であるシステム 30, 40 とは、ソースプログラムのレベルで互換性を保っている。

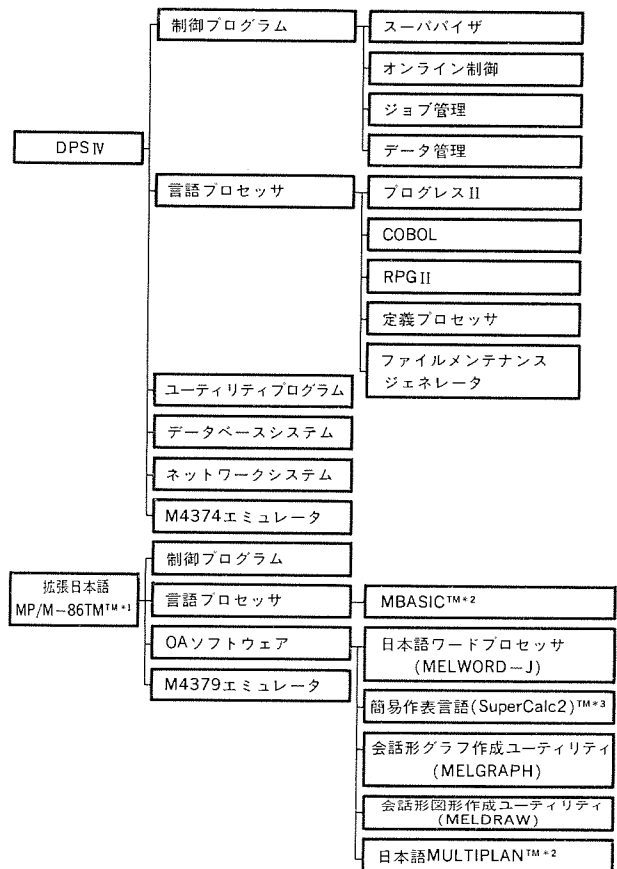


図 9. ソフトウェア体系



## (2) データベース、データ管理

論理ファイルアクセスを中心としたリレーショナル形データベースの利用が可能である。また、回線接続されているホスト計算機のファイルを、自由にアクセスできるリモートファイルアクセス機能が完備している。

## (3) 豊富な機能のプログラミング言語

あらゆる処理を簡単にプログラミングできるプログレス II をはじめ、COBOL、RPG II といった事務処理用言語がそろっている。また、会話形エンドユーザー言語 DUET II により、非定形業務処理を簡単にこなすことができる。

## (4) マンマシンインタフェース重視

メニュー画面方式の採用により、定形業務の運用を簡単にしている。また、ジョブを選択するメニューは、階層構造をとることができユーザーで自由なメニュー設計が可能である。

## (5) ネットワーク機能

ネットワーク管理機能によって、遠隔地にあるホストコンピュータとデータ通信処理を行うことができる。通信プログラムは、リモートファイルアクセス機能により、ホストコンピュータのファイルを自システムのファイルとして扱うことができる。

## 6.2 拡張日本語 MP/M-86™

システム1のOA機能は、拡張日本語 MP/M-86™ のもとに実現される。このOSは、米国デジタル・リサーチ社で開発されたMP/M-86™をベースに、日本語処理機能、画面管理機能、端末機能などを強化するとともに、性能向上を図ったOSである。

表3.にOA機能の概要と機能を示す。

表3. OAソフトウェアの機能

OAソフトウェア	概 要	機 能
日本語ワードプロセッサ (MELWORD-J)	日本語文書の作成を行う。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・文書作成、編集、印刷、保存機能</li> <li>・レイアウト表示機能</li> <li>・略語登録機能</li> <li>・表計算機能</li> <li>・並べ換え機能</li> <li>・図形、グラフ差し込み機能</li> </ul>
簡易作表言語 (Super Calc <sup>2</sup> ™)	表を利用したデータの集計、計算が行えるビジネスツールである。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表形式</li> <li>・計算機能</li> <li>・並べ換え機能</li> <li>・かな漢字変換機能</li> <li>・コピー機能</li> <li>・移動、削除、挿入機能</li> <li>・分割表示機能</li> </ul>
日本語 Multiplan™		
会話形グラフ作成ユーティリティ (MELGRPH)	会話形式でビジネスグラフの作成が行える。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・会話形式グラフ作成</li> <li>・日本語表示機能</li> <li>・保存、印刷機能</li> <li>・自動実行機能</li> <li>・グラフの種類 棒グラフ、折れ線グラフ、円グラフ、内訳図、積み上げグラフ、レーダーチャート</li> </ul>
会話形図形作成ユーティリティ (MELDRAW)	会話形式で図形の作成が行える。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・会話形図形作成</li> <li>・フリーフォーマット</li> <li>・塗りつぶし機能 (色、模様指定)</li> <li>・保存、印刷機能</li> </ul>
プログラミング言語 (MBASIC™)	会話形の高水準言語であり、プログラム作成が行える。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・会話形言語</li> <li>・日本語処理機能</li> <li>・グラフィック機能</li> <li>・ミュージック機能</li> </ul>

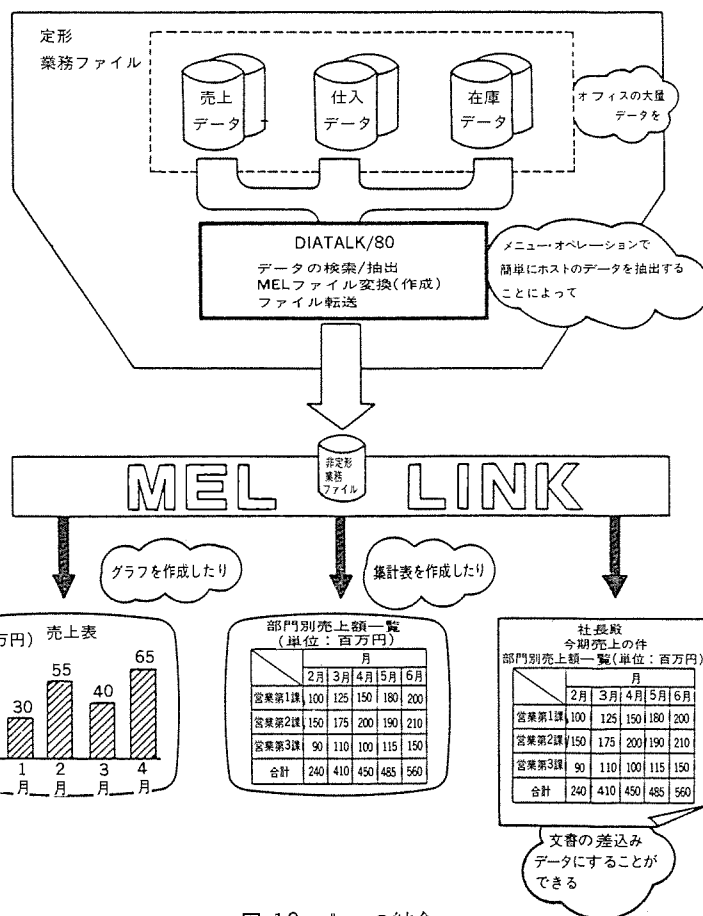


図10. データの結合

## 6.3 DPS IV とOAソフトウェアのデータ結合

システム1ではオフコン処理で作られたデータは、OAソフトウェアで利用することができるようにしている。オフコン処理で作られたデータは、DPS IV のもとで動作する《DIATALK/80》により、拡張日本語 MP/M-86™ 上で動作する《MELINK》を経由して《MELGRA PH》、《MELWORD-J》、Super Calc<sup>2</sup>™<sup>3</sup> に渡すことができる。

## 7. む す び

本稿では《MELCOM 80》システム1のハードウェア、ソフトウェアについて報告した。システム1は、今日のOA時代にマッチした当社のオフコンのローエンドマシンとして、事務処理の合理化、効率化に大きく寄与するものと期待される。

今後は、ユーザー各位のニーズ、市場動向とともに更に性能の向上、機能の充実、信頼性の向上、使いやすさの追究など開発を推進していく所存である。最後に今回の開発にあたって、御指導、御支援をいただいた関係各位に深く謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 背尾, ほか: 三菱電機技報, 59, No. 6, p. 56 (昭60)
- (2) 繁沢, ほか: 三菱電機技報, 57, No. 8, p. 11 (昭58)

<sup>\*</sup>1 MP/M-86™ は Digital Research 社の商標  
<sup>\*</sup>2 MBASIC™, Multiplan™ は Microsoft 社の商標  
<sup>\*</sup>3 Super Calc<sup>2</sup>™ は Computer Associates 社の商標

# リモートコントロール送信機専用プロセッサ

須田 眞二\*・本郷 勝信\*・小林 洋\*

## 1. ま え が き

リモートコントロール機能は、TV、VTR、ステレオ、エアコンなどに用いられ、製品の多機能化とイメージアップの重要な役割を果たしている。リモートコントロールの伝送方式は、従来の超音波を用いた周波数分割方式に代わり、命令数が多くでき、かつ誤動作の少ない、赤外線を用いたパルスコード変調方式が主流になってきている<sup>(1)</sup>。

当社は、これまでTVリモートコントロールシステム用LSI M58480Pシリーズ<sup>(1)</sup>及びM50119Pシリーズ、応用分野の拡大を図ったM50110Pシリーズ<sup>(1)</sup>、セットメーカーごとにカスタムコードを設け機器間の干渉をなくしたM50142Pシリーズなどを開発し、市場をリードしてきた。ところが、近年、市場においては、リモートコントロールシステムの応用分野の拡大、リモートコントロール機能の多機能化及びTV、VTRとオーディオシステムを一つのリモートコントロール送信機で操作するというような複合化が進んでおり、それらの市場要求を満たすために、それぞれの機能を持った専用LSIをランダムロジック回路で個々に開発するのは、ばく大な設計パワーと開発費を要する。

そこで当社は、ソフト変更により、リモートコントロール伝送フォーマットあるいはビット数の異なった複数のシステムのコントロールやキーの多重押し機能など、セットメーカーの様々な仕様要求に短期間でこたえることができる、リモートコントロール送信機専用プロセッサM50460- $\times\times\times$ Pシリーズ及びM50461- $\times\times\times$ SPシリーズを世界に先がけ開発した。

ここでは、上記リモートコントロール送信機専用プロセッサのハード構成、ソフト開発手法、及びM50460- $\times\times\times$ PシリーズとM50461- $\times\times\times$ SPシリーズの特長とファミリーについて述べる。

## 2. リモートコントロール送信機専用プロセッサ

M50460- $\times\times\times$ Pシリーズ及びM50461- $\times\times\times$ SPシリーズは、構成の異なった伝送コード出力、複数のカスタムコード出力、二重押しキー出力などの種々の仕様を、ソフトウェア開発により短期間で開発を可能とした、リモートコントロール送信機専用CMOS 4ビットプロセッサである。ソフトウェア開発に際しては、効率良くプログラム作成、デバッグ、実装評価を行えるソフトウェア開発支援ツールを準備している。

### 2.1 ハード構成

M50460- $\times\times\times$ Pシリーズ及びM50461- $\times\times\times$ SPシリーズは、リモートコントロール送信機に用いるプロセッサであるので、特に次の点に注目して開発を行った。

- (a) 低電源電圧動作を可能にするため、内部回路構成及び内部回路に用いているトランジスタの大きさの最適設計を行った。
- (b) キー入力時以外は発振及び内部回

路の動作を完全に停止し、消費電力を極力少なくした。(スタンバイ状態の設置)

(c) 携帯用機器で問題になる振動あるいは衝撃による電源の瞬断に起因するプログラムの暴走を防止するためのハード回路を内蔵した。

(d) キースキャン出力用Fポートを指定するレジスタとRAMのアドレスを指定するレジスタを同一にし、キー入力読み込み時のプログラムステップの効率化を図った。

M50460- $\times\times\times$ PとM50461- $\times\times\times$ SPのハード構成は、ほぼ同等であるので、ここでは図1に示すM50461- $\times\times\times$ SPのブロック図を代表にとり、その主要部について説明する。

#### (1) CPU

2進加減算、比較、論理演算、ビット処理などを行うことができ、演算結果はレジスタAに転送される。レジスタBは処理に対する補助レジスタで、レジスタAのデータの一時記憶に使用することができる。

#### (2) ROM

8ビット構成のマスクROMで、ユーザーの指定する命令コードを格納する。

#### (3) プログラムカウンタ

ROMのアドレスを指定するカウンタで、ROMに書かれている命令の読み出しシーケンスを決定する。ポリノミアルカウンタを用い、回路の素子数を減らしコストの低減化を図った。

#### (4) スタックレジスタ

サブルーチンを呼び出したときに、呼び出し前のプログラムカウンタの内容を、もとのルーチンに戻るまで一時記憶するためのレジスタである。

#### (5) データメモリRAM

各種の処理データ、制御データの記憶部であり、1語を4ビットで構成している。また、全メモリ領域に関してビット処理が可能である。

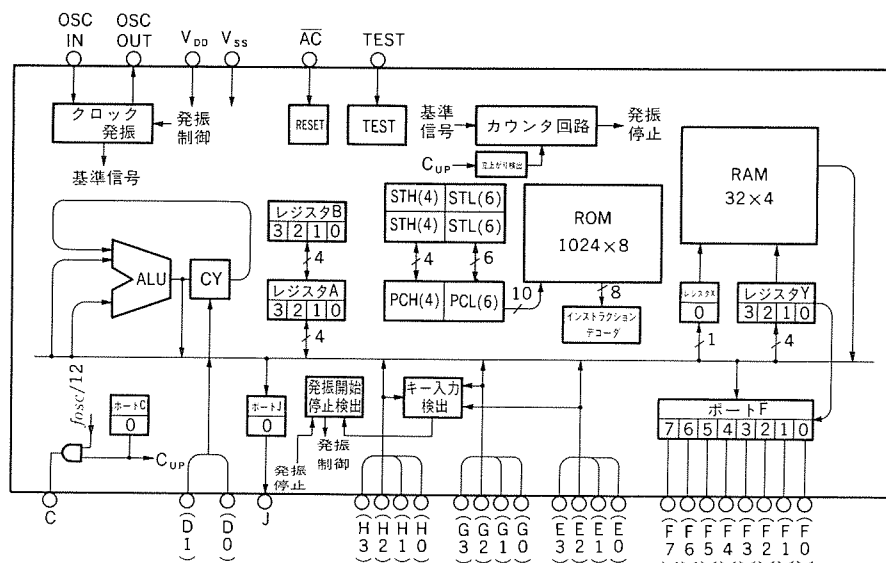


図1. M50461- $\times\times\times$ SPのブロック図

## (6) レジスタ X, Y

レジスタ X, Y により RAM のアドレス及び キースキャン 用出力ポート F のビット位置を指定することができるので、キースキャン 出力のプログラムを効率よく作成することができる。

## (7) 出力ポート C (送信信号出力)

リモートコントロール 送信信号を出力するポートで、 $f_{osc}/12$  ( $f_{osc}$  は発振周波数) の周波数の搬送波の信号を出力する(搬送波については、シリーズの各形名により異なるので、3.2 節及び 4.2 節のファミリーを参照のこと)。

## (8) 入力ポート D (システム 拡張用入力)

構成の異なった伝送コードの切換、カスタムコードの切換など、システム 拡張用の入力である。

## (9) 出力ポート J (システム 拡張用出力)

入力ポート D と同様のシステム 拡張用出力である。

## (10) 入力ポート E, G, H (キー入力)

プルアップ抵抗を内蔵しており、キーマトリクス のキー 入力用として使用することができる。なお、スタンバイ時に“L”を入力すると、スタンバイ状態を解除し、発振回路は発振を開始する。

## (11) 出力ポート F (キースキャン 出力)

8 個のビット 単位 of 出力機能を持ち、出力部には1ビット 単位 of ラッチがあり、ポート F のビット 指定はレジスタ Y により行うことができる。出力は N チャンネルオープンドレイン 出力で、キーマトリクス のキースキャン 出力として使用できる。スタンバイ時、出力は“L”の状態 で待機しており、キースイッチ を通じて入力ポート E, G, H のどれかの端子に“L”を伝え、スタンバイ状態は解除され、出力ポート F はすべてオープン 状態となる。以降、プログラムにより、アクティブ“L”のキースキャン 出力として、ポート F を使用することができる。したがって、入力ポート E, G, H と出力ポート F を組み合わせることにより、スタンバイ状態を考慮したリモートコントロール 送信機のキーマトリクス を容易に構成することができる。

## (12) スタンバイ 状態

リモートコントロール 送信機の電池の消耗を極力抑えるため、キー 入力がなく、送信信号を出力していないときは発振回路の発振を停止し低消費電力化を図っている。また、M 50461- $\times \times \times$ SP シリーズは、ROM の容量が大きく複雑な機能を行わせることができるので、スタンバイ時に RAM のデータをバックアップするようにしている。

スタンバイ状態になると、プログラムカウンタは 0 番地に設定され、出力ポート C, F, J はすべて“L”になる。スタンバイ状態の解除は、キー 入力用ポート E, G, H に“L”を印加することにより行う。以下にスタンバイ状態時についてまとめる。

(a) 発振回路発振停止

(b) プログラムカウンタは 0 番地

(c) ポート C, D の出力ラッチ“L”

(d) キースキャン 出力用ポート F 出力ラッチ“L”

## (13) カウンタ 回路

発振回路から得られる基準信号をカウントするカウンタ回路で、下記に述べる動作を行う。(図 2. 参照)

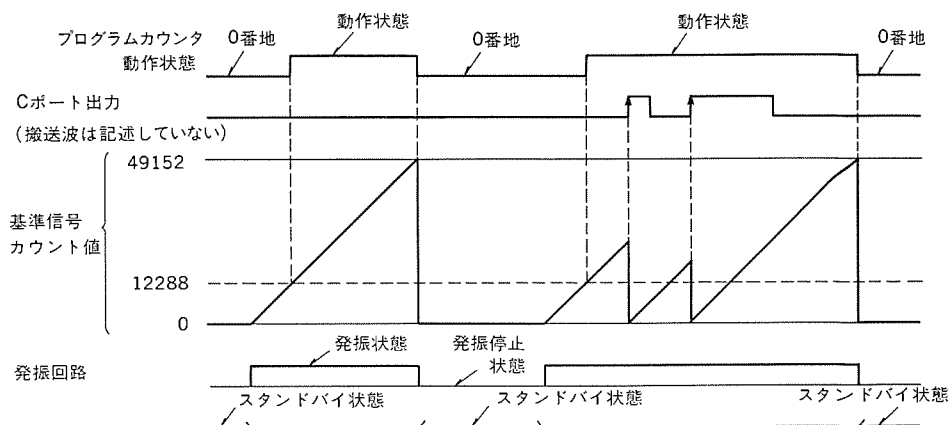


図 2. カウンタ 回路 カウント 値と スタンバイ 状態の関係 (M 50461- $\times \times \times$ SP)

### (a) スタンバイ 状態解除時

スタンバイ状態では発振回路は発振を停止しているが、キー 入力動作(入力ポート E, G, H が“L”を検知したとき)をすると発振回路は発振を開始する。通常、発振回路においてセラミック 発振子を使用するが、発振開始時の発振周波数は一定でないため、動作として不安定な期間を防止する必要がある。この不安定な期間での動作を防止するために、発振開始時点から 12,288 クロックの基準信号をカウントした後にプログラムカウンタは 0 番地から動作を開始する。また、この期間はキー 入力時のチャタリング防止期間としても有効である。

### (b) 送信信号出力のないとき

カウンタ回路のカウント数が 49,152 クロックに達する前に、送信信号出力ポート C が“L”→“H”に変化しなければ強制的にスタンバイ状態となる。カウント数が 49,152 クロックに達する前に、ポート C が“L”→“H”(搬送波によるものではなく、命令により変化する場合)に変化すると、カウンタ回路のカウント値は 0 となり、0 から再び基準信号のカウントを開始する。これはノイズなどによりプログラムカウンタが、正規のシーケンスを実行できなくなるといった暴走状態から抜け出すための回路として使用している。なお、上記説明におけるように、プログラムカウンタの暴走を防止するための回路としてもカウンタ回路を使用しており、カウント値はプログラムに左右されないよう固定している。

## 2.2 ソフト開発手法

リモートコントロール 送信機専用プロセッサは、一つの送信機で構成の異なった複数の伝送コードを出力するというような、ユーザーの希望する仕様を、ソフトウェアを変えることにより開発を可能とする。また、従来のリモートコントロールシステムからマイクチェンジする場合でも、このプロセッサを用いて容易に開発することが可能である。

図 3. にリモートコントロール 送信機専用プロセッサのソフト開発時におけるゼネラルフローの一例を示す。このフローを用いてソフト開発の手順を簡単に説明する。

### (1) イニシャライズ

ハード的には、リセット時あるいはスタンバイ状態解除時は、一部のレジスタ類しか値が定まらないので、ソフトで最初に各レジスタ類の値の初期設定を行う。

### (2) キー 入力処理

ポート F からキースキャン 出力を行い、ポート E, G, H はキー 入力によ

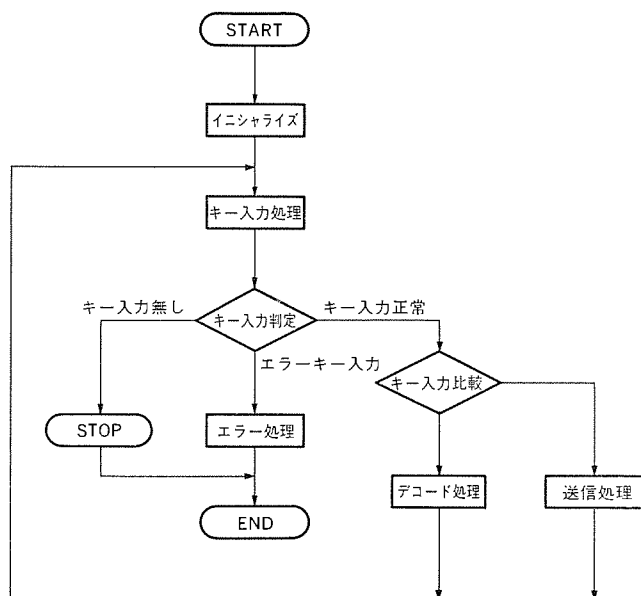


図 3. リモートコントロール 送信機専用 プロセッサプログラムのゼネラルフロー

る入力レベルの変化を読み取る。ポート E, G, H で読み取るデータは、ポート F のキースキャン出力のタイミングに合わせて読み取る。

### (3) キー入力判定

読み取ったキー入力、正規のキー入力として認められるかどうかの判定を行う。キー入力無しと判定すれば、スタンバイ状態に戻り、正規のキー入力でなければ（例えば、仕様にない二重押しキーなど）エラー処理を行いスタンバイ状態に戻る。

### (4) キー入力比較

キー入力判定の結果、正規のキー入力であれば前回のキースキャンで入力したキー入力と比較する。前回のキー入力と一致していなければキー入力処理へ戻る。前回のキー入力と一致していれば送信処理を行う。

### (5) 送信処理

キー入力に対応した伝送コードを出力する。この場合、伝送コードの構成が異なるものもソフト処理にて設定することが可能である。

## 2.3 ソフトウェア開発支援ツール

M50460-×××P シリーズ及び M50461-×××SP シリーズにおいて、効率の良いソフトウェア開発支援ツールを用意している。

### (1) クロスアセンブラ

アセンブラ言語で書かれたプログラムは、当社製クロスアセンブラ装置 PC9100 に、キーによりインプットしてソースファイルを作成できる。オブジェクトデータは EPROM (M5L2732K 又は M5L2764K) に書き込む。

### (2) プログラムデバッグ装置

プログラムデバッグ装置は、当社製汎用デバッグ装置 PC4000 に専用基板を装着する

ことにより構成することができる。

### (3) 評価基板

評価基板は評価チップを外部 ROM モードで働かせ、ROM データ内蔵の最終チップと同等の動作確認を行えるようにしたものである。PC9100 により、オブジェクトデータを書き込んだ EPROM を評価基板に接続し、評価対象の送信機の基板とケーブルで接続することにより、実装状態でのプログラム評価が可能である。

## 3. M50461-×××SP シリーズ

### 3.1 特長

M50461-×××SP は、1K 語×8 ビット ROM、32 語×4 ビット RAM を持つプロセッサであり、スタンバイ時の RAM データバックアップ機能、12×8 のキーマトリクスを容易に構成できる機能（ポート D を用いて更に拡張可能）を持っている。また、システムの拡張用に入力ポート D を 2 本、出力ポート J を 1 本持っている。概略仕様とハードウェアのブロック図をそれぞれ表 1、図 1 に示す。

M50461-×××SP は、大きな容量のメモリをもち、また、大きなキーマトリクスを構成できるので、複数の伝送方式の信号やカスタムコードを送信でき、TV・VTR 共用リモコンなど、複数のシステムのコントロールも可能である。また、多機能のリモートコントロールシステムの構成にも対応できる。図 4 に M50461-×××SP のチップ写真を示す。

### 3.2 ファミリー

M50461-×××SP シリーズは、ポート C 出力信号の搬送波、あるいは信号波形の違いにより表 2 に示すような 4 種のファミリーを持って

表 1. M50461-×××SP と M50460-×××P の概略仕様

項 目	形 名	M50461-×××SP	M50460-×××P
構 造		CMOS シリコンゲート	CMOS シリコンゲート
電 源 電 圧 (V)		2.2~5.5	2.2~5.5
発 振 周 波 数 (kHz)		455 又は 480	455 又は 480
命 令 実 行 時 間 (μs)		17.58 (発振周波数 455 kHz 時) 16.67 (発振周波数 480 kHz 時)	17.58 (発振周波数 455 kHz 時) 16.67 (発振周波数 480 kHz 時)
基 本 命 令 数 (個)		42	37
R O M		1,012 語×8 ビット	500 語×8 ビット
R A M		32 語×4 ビット	16 語×4 ビット
RAM データバックアップ機能		あ り	な し
スタックレジスタ		2 レベル	2 レベル
出 力 ポ ー ト (本)		10 (ポート C: 1 本 ポート J: 1 本 ポート F: 8 本)	9 (ポート C: 1 本 ポート F: 8 本)
入 力 ポ ー ト (本)		14 (ポート E: 4 本 ポート G: 4 本 ポート H: 4 本 ポート D: 2 本)	4 (ポート E: 4 本)
入 出 力 ポ ー ト (本)		—	1 (ポート D: 1 本)
キ ー マ ト リ ク ス		8×12 (ポート D を使用し拡張可)	8×4 (ポート D を使用し拡張可)
ピ ン 数 (本)		30	20

いる。M50461- $\times\times\times$ SP の搬送波は、 $f_{osc}/12$  であり、これは  $f_{osc}$  を 455 kHz (又は 480 kHz) にしたとき 38 kHz (又は 40 kHz) になる。この搬送波周波数は、市場で最も使われているものである。また、M50469- $\times\times\times$ FP の搬送波は、 $f_{osc}/8$  である。一方、M50466- $\times\times\times$ SP はポート DO により、ポート C の出力を  $f_{osc}/12$  搬送波出力モード、又はパルス幅  $4/f_{osc}$  の単発パルス出力モードに切り換えられる。また、M50468- $\times\times\times$ SP は、同様にポート DO により、ポート C の出力を  $f_{osc}/11$  搬送波出力モード、又は搬送波が  $f_{osc}$  でパルス幅  $8/f_{osc}$  の信号出力モードに切り換えられる。ファミリー各品種のポート C の出力波形を図 5. に示す。

#### 4. M50460- $\times\times\times$ P シリーズ

##### 4.1 特長

M50460- $\times\times\times$ P は、M50461- $\times\times\times$ SP の ROM 及び RAM の容量とポートの数を少なくし、コストパフォーマンスの良いリモートコントロールシステムを構成することを目的として開発したものである。M50460

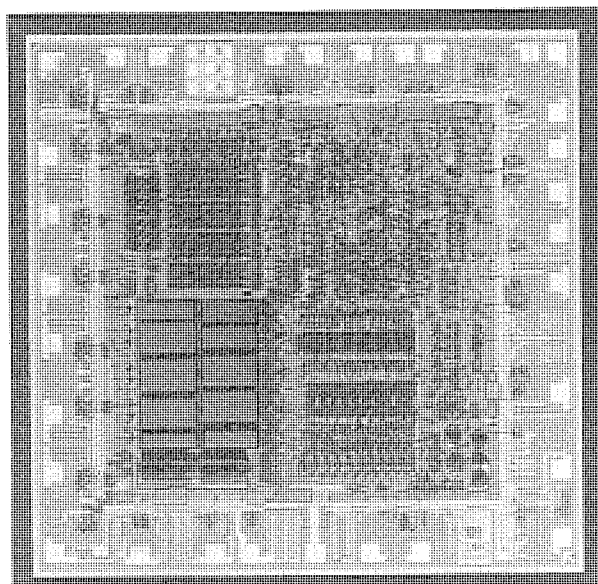


図 4. M50461- $\times\times\times$ SP のチップ写真

表 2. M50461- $\times\times\times$ SP, M50460- $\times\times\times$ P シリーズのファミリー一覧

〈M 50461-×××SP シリーズ〉		
形 名	ポ ー ト C 出 力 搬 送 波	パ ッ ケ ー ジ
M 50461-×××SP/FP	$f_{osc}/12$	*30 ピン プラスチックモールド DIL シュリンクパッケージ (30 P 4 B)  *32 ピン プラスチックモールド フラットパッケージ (32 P 2 W)
M 50466-×××SP	$f_{osc}/12$ 又はパルス幅 $4/f_{osc}$ の単発パルス	
M 50468-×××SP	$f_{osc}/11$ 又は搬送波 $f_{osc}$ でパルス幅 $8/f_{osc}$	
M 50469-×××SP/FP	$f_{osc}/8$	
〈M 50460-×××P シリーズ〉		
形 名	ポ ー ト C 出 力 搬 送 波	パ ッ ケ ー ジ
M 50460-×××P/FP	$f_{osc}/12$	*20 ピン プラスチックモールド DIL パッケージ (20 P 4)
M 50465-×××P/FP	$f_{osc}/8$	*24 ピン プラスチックモールド フラットパッケージ (24 P 2 W)

注  $f_{osc}$  : 発振周波数

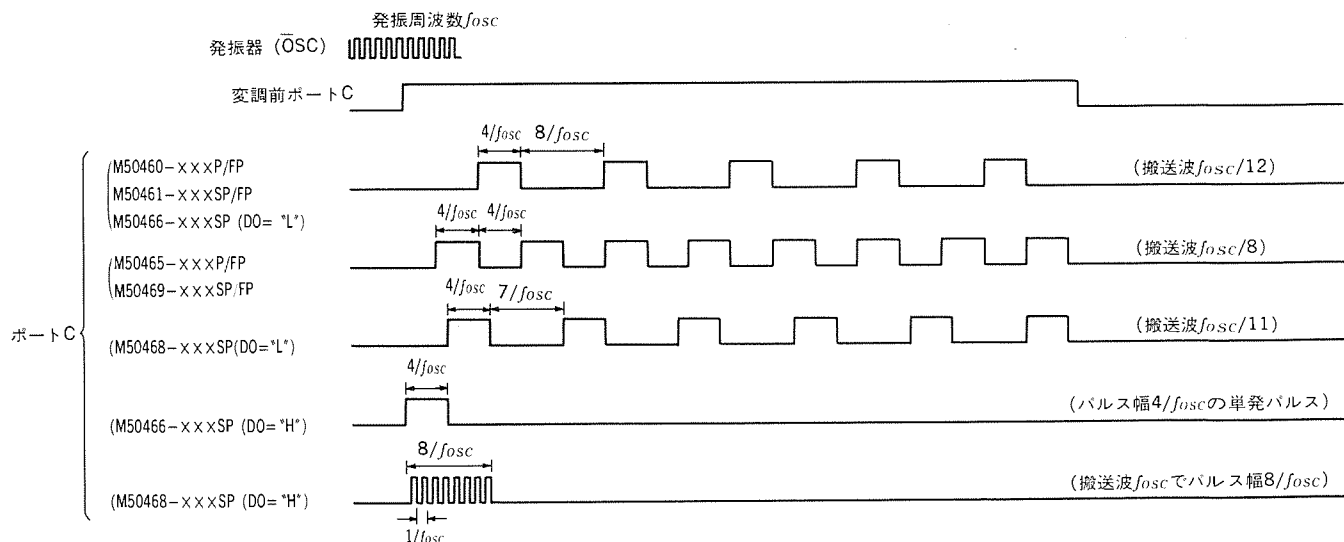


図 5. M50461- $\times\times\times$ SP, M50460- $\times\times\times$ P シリーズポート C の出力波形

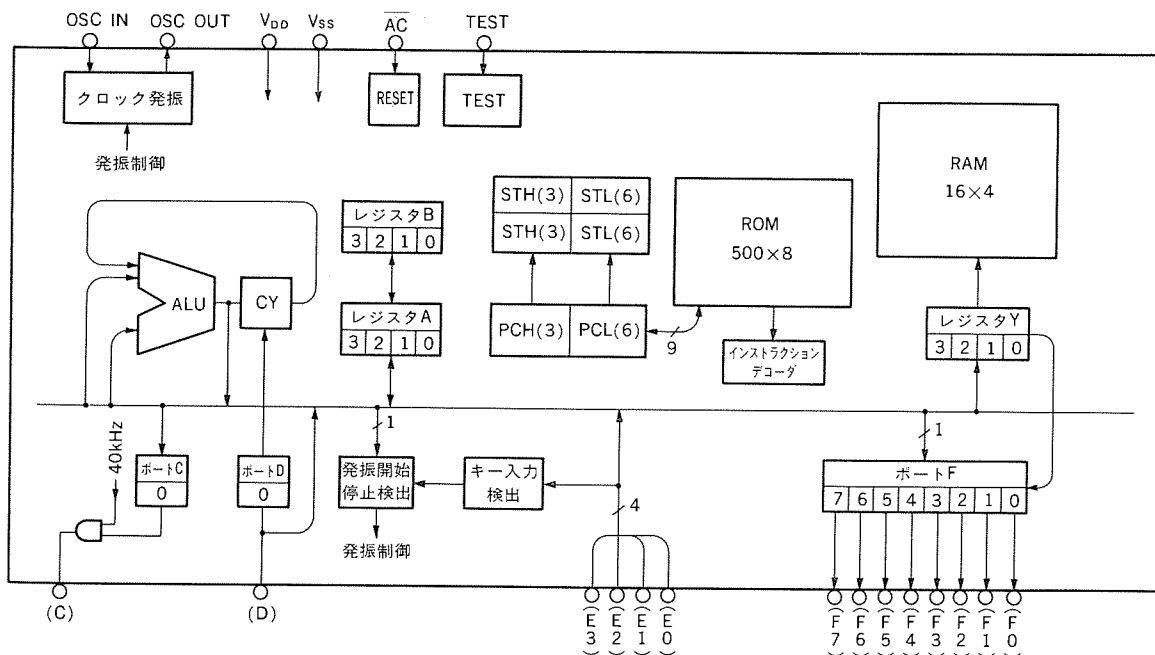


図 6. M50460- $\times \times \times$ P のブロック図

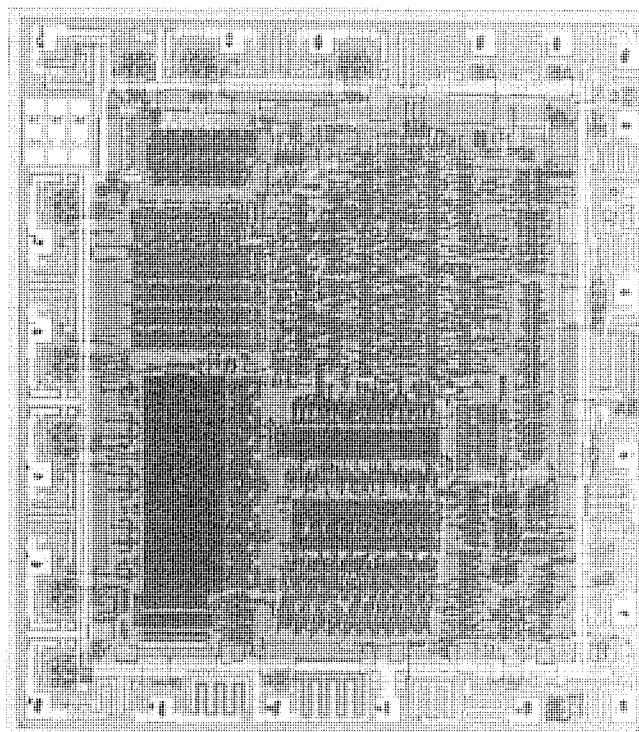


図 7. M50460- $\times \times \times$ P のチップ写真

$\times \times \times$ P のメモリ容量は、ROM が 0.5 K 語  $\times$  8 ビット、RAM が 16 語  $\times$  4 ビットであり、 $4 \times 8$  のキーマトリクスが容易に構成できる（更に、ポート D の使用により最大 2 倍に拡張できる）。また、システムの拡張用に入出力ポート D を 1 本持っている。ただし、スタンバイ時の RAM データのバックアップ機能は持っていない。M50460- $\times \times \times$ P の概

略仕様とブロック図、チップ写真をそれぞれ表 1.、図 6.、図 7. に示す。

#### 4.2 ファミリー

M50460- $\times \times \times$ P シリーズは、ポート C 出力信号の搬送波の違いにより表 2. に示すような 2 種のファミリーを持っている。M50460- $\times \times \times$ P、M50465- $\times \times \times$ P の搬送波は、それぞれ  $f_{osc}/12$ 、 $f_{osc}/8$  である。なお、シリーズ各品種のポート C の出力波形を図 5. に示す。

#### 5. む す び

以上説明してきたように、このたび開発したリモートコントロール送信機専用プロセッサ M50460- $\times \times \times$ P と M50461- $\times \times \times$ SP 及びそれらのファミリーは、

- (1) ソフト変更によりセットメーカーの様々な仕様要求に短期間でこたえることができる。
  - (2) 低い電源電圧での動作が可能である（1.5 V の小形乾電池 2 本直列での動作が可能である）。
  - (3) キー入力時以外は発振を停止し、消費電力を極力少なくしている。
  - (4) 携帯用機器で問題になる振動あるいは衝撃による電源電圧の瞬断に起因するプログラムの暴走を防止する回路を内蔵している。
- などの特長を持っており、今後、リモートコントロールシステムの応用分野の拡大、多機能化及び複合化に役買うものと期待される。

(昭和 61-2-5 受付)

#### 参 考 文 献

- (1) 小林ほか：多機能リモートコントロール用 LSI シリーズ、三菱電機技報、53、No. 12 (昭 54)

# 中規模構内光伝送方式用諸装置 —32Mbps CSMA/CD 光LAN—

江口 真行\*・渡辺 晃\*・北山 忠義\*\*・伊東 尚\*\*・小山 勝行\*\*\*

## 1. ま え が き

オフィス、工場における情報伝送に対するニーズは年々増大しており、その増加に柔軟に対応する手段としてローカルエリアネットワーク (LAN) が脚光を浴びている。LAN の構成方式は多数提案されているが、伝送路には光ファイバがその広帯域性、低損失性、無誘導性、絶縁性、細心軽量性などの諸点で同軸ケーブルより優れているため適用される例が多くなっている。

LAN の形状にはリング形とバス形とがあり、光ファイバを伝送路に用いる場合にはバス形は通常光スターカプラを使用したスター形のネットワークとして構成され、次のような特長がある。

- (1) 伝送路を受動素子のみで構成できるので信頼性が高い。
- (2) 必要なノードだけを動作させることにより、対応するノード間の通信が可能な分散形の交換を行い高信頼な網を構築できる。
- (3) CSMA/CD 方式の採用により通信制御を簡易化できる。

代表的な CSMA/CD 方式の LAN には Ethernet\* がある<sup>(1)</sup>。Ethernet は元来同軸ケーブルを用いる設計のため、伝送速度は 10 Mbps (メガビット/秒) である。ここでは光ファイバが広帯域である特長を生かして、伝送速度を 32 Mbps と高速化し、更に、通信制御も優先順位付き CSMA/CD とし、遅延時間の短縮を図った中規模構内光伝送方式を開発した<sup>(2)(3)(4)</sup>。この方式は日本電信電話公社 (現、NTT) とトラック III 調達手続により協同開発した LAN であり、以

下、そのシステム構成、光伝送系を構成する光スターカプラ、光電変換部及び光中継器並びに通信制御系の各構成要素について開発結果の概要を紹介する。

## 2. システム構成

中規模構内光伝送方式は、受動形光スターカプラを用いたスター形 (論理的にはバス形) の LAN である。図 1. に示すように各種端末を収容できる通信制御アダプタ及び専用線と接続するための外線アダプタを、光スターカプラと光電変換部から構成される光伝送系により相互に接続する形態を基本としている<sup>(4)</sup>。ここで、一つの通信制御アダプタの光電気変換部の光送信器から送出された光信号は、光スターカプラにより各通信制御アダプタ (送出した自局も含めて) の光電気変換部の光受信器に均等に分配される。

このように、この方式では伝送路を共用するため、二つ以上の通信制御アダプタの同時送信はデータの正しい伝達を妨げる。そのため、伝送路上に信号がないことを確認後 (Carrier Sense)、全アダプタに信号を送出し (Multiple Access)、各アダプタは信号のあて先を読み自局あてのデータのみを取り込む通信制御を行う。各アダプタ間の信号伝搬時間が有限のため、2 局以上が同時に送信を開始した時はそれを検出 (衝突検出; Collision Detection と呼ぶ) して送信を停止し、各アダプタは再度衝突を起こさないようにそれぞれ異なる時間待機後再び送信を試みる。すなわち、いわゆる CSMA/CD 方式の通

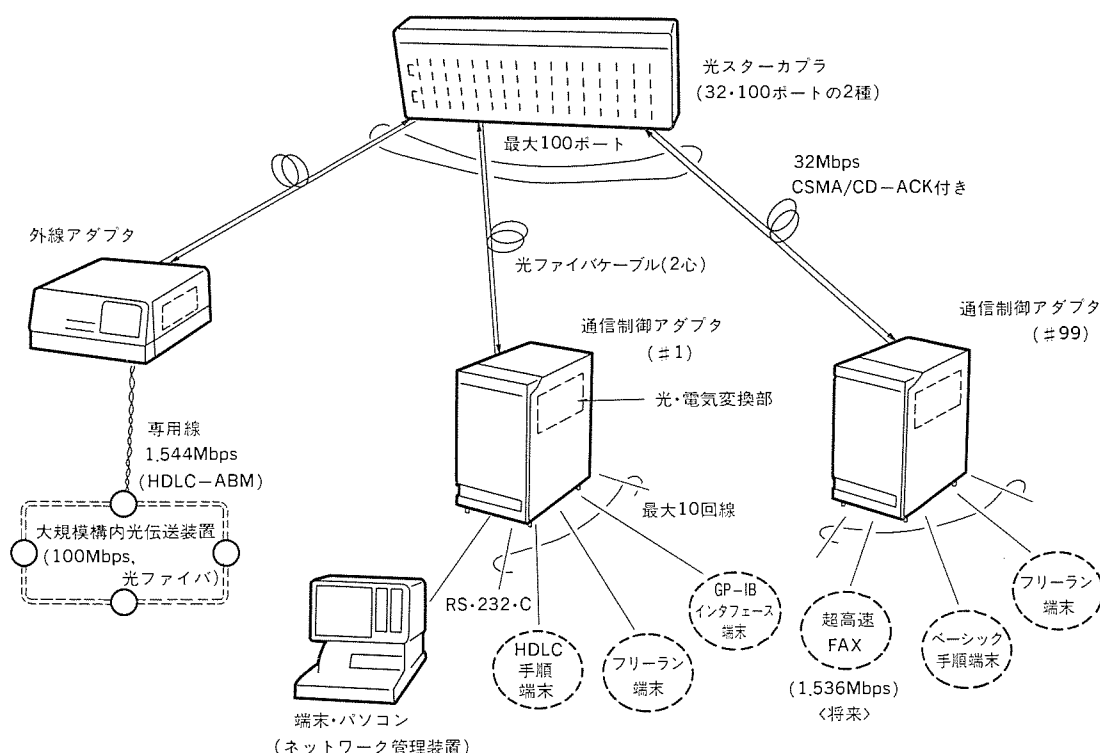


図 1. 中規模構内光伝送方式用諸装置のシステム構成図

\* Xerox 社の登録商標

信制御により制御機能を簡略化している<sup>(1)</sup>。更に次のような新しい機能を開発してシステムの高性能化を図っている。

(1) 挿入損失、損失偏差が少なく、多ポート(32/100ポート)の受動形光スターカプラを採用している。このため、伝送路は受動素子のみで構成され、信頼性が高いLANシステムを構築できる。

(2) 衝突検出(CD)にダイパルス/パルシャルレスポンス変換による符号則違反(CRV: Coding Rule Violation)検出方式を用いて検出可能な主信号/衝突信号のレベル差を拡大し布設時の光送受信レベルの無調整化を可能にした<sup>(2)(3)</sup>。

(3) CSMA/CD方式を改良し、優先順位付きCSMA/CD/ACK方式を実現した。ACK応答付きであるためレスポンスが高速化されている<sup>(4)</sup>。

(4) 外線アダプタを用いてNTTの高速デジタル伝送サービス(1.5

Mbps)を経由してLAN間の接続が可能である。

(5) 1システムで最大990台までの端末装置が接続可能で、ビル構内におけるOAシステムなどの中規模システムに適している。

また、次の各機能の付加により適用領域の拡大と操作性の改良を図っている。

(1) DDXパケット交換網接続の非パケット端末(NPT)用にサービスされるHDLC手順、デリミタクラス手順などのインタフェース及びフリーラン、 GPIBインタフェースを持つデータ端末を接続できる。

(2) ネットワークの運用管理を行うマシンインタフェースにパソコン《MULTI 16モデルⅡ》を採用、充実した機能を提供している。

(3) 更に大規模なシステム構成を可能にするため光中継器を開発した。図2.に示すように光中継器は、前述の基本システムを100システム接続し直径2kmのネットワークの構築を可能とする。また、高速伝送特性を生かして電話サービスを行う音声PADの開発も行った。

中規模構内光伝送方式の主な仕様を表1.に示す。

### 3. 光伝送系

光伝送系は光スターカプラ及び光電気変換部及び光中継器から構成される。

#### 3.1 光スターカプラ

光スターカプラは任意の入力端子から入力された光信号を、すべての出力端子に均等に分配する機能を持つ受動形的光回路部品であり、図3.に示すようにミキサと二つのファイバレーにより構成される。ミキサは光導波路となるガラス薄板を、それより屈折率を低く選んだガラスブロックで囲ったものである。入力ファイバレーからミキサに入射した光信号は、ミキサの上下左右の各面で多数回の全反射を繰り返して出力端面に均一な強度分布を作り、そこに接続された出力ファイバレーを構成するすべての光ファイバに均等に分配される。

今回開発した光スターカプラは、ミキサとして透明性と均一性に優れたガラス薄板に入出力光ファイバレーを密着した一体化構造を採用している<sup>(5)</sup>。これにより光スターカプラの過剰損失を低く抑え、分配の均一性及び高信頼性を確保している<sup>(6)</sup>。入出力端子数は32及び100の2種類がある。

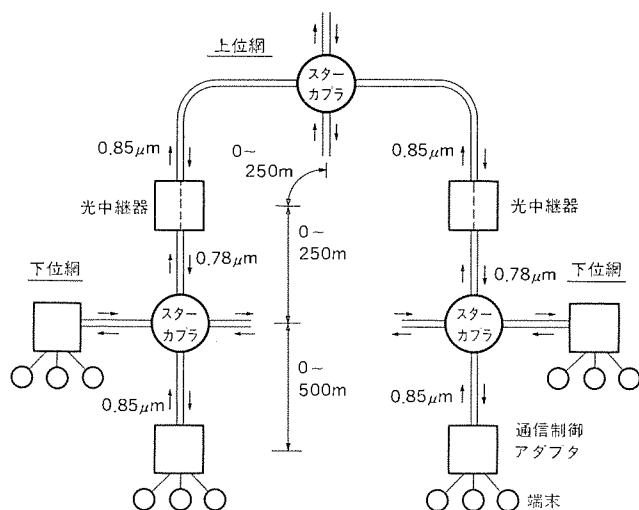


図2. 光中継器を用いるときのシステム構成

表1. 中規模構内光伝送方式用諸装置の主な仕様

伝送路形状	スター状(光スターカプラ使用)
伝送媒体	光ファイバ, GI形 コア径50μm
光スターカプラ方式	受動形
光スターカプラ・ポート数	32ポート, 100ポートの2種
伝送距離	光スターカプラを中心として半径500m以下(アダプタ・アダプタ間1km以下) 光中継器を用いることにより半径1kmまで拡張(アダプタ・アダプタ間2km以下)
伝送速度	32,064 Mbps
伝送アクセス方式	優先順位付き* CSMA/CD, ACK応答付き
伝送系通信方式	1:1通信, 1:n(同報), 半二重通信
伝送フレーム	最小80バイト 最大1,500バイト
誤り制御方式	CRC-32による誤り検出, ACK応答監視方式
端末インタフェース	① HDLC-UA2手順: 2,400~9,600 bps 同期式 ② デリミタ・クラス手順: 200~1,200 bps 調歩式 ③ フリーラン: 200~9,600 bps 調歩式 ④ Basic-H/F手順: 200 bps, 300 bps, 1,200 bps 調歩式 ⑤ GP-IBインタフェース
専用線インタフェース	1.544 Mbps, HDLC-BA, 全二重, ツイストペアケーブル使用
電源	AC 50/60 Hz, 100 V±10%
構造・寸法(mm)	通信制御アダプタ 床上設置可搬形 740(H)×500(W)×730(D) 外線アダプタ 卓上形 250(H)×500(W)×600(D)

注 \* 短少パケットを長大パケットに優先して伝送する方式(衝突検出時のバックオフタイムが短い)。

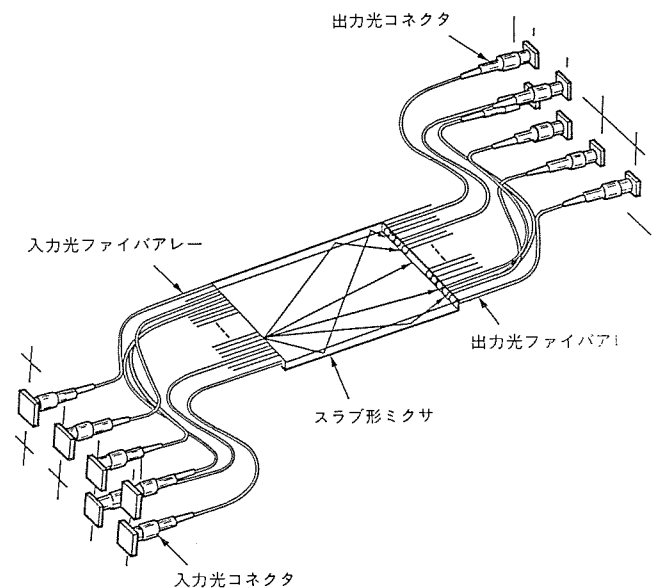


図3. 光スターカプラの内部構造(ミキサ内の矢印は光信号の軌跡を示している)



図 4. に過剰損失（挿入損失から理論分配損失を差し引いた損失）のヒストグラムを、図 5. に過剰損失の温度依存性を示す。過剰損失は入出力光コネクタ 2 個分の損失を含んで 4.8 dB 以下、分配損失の偏

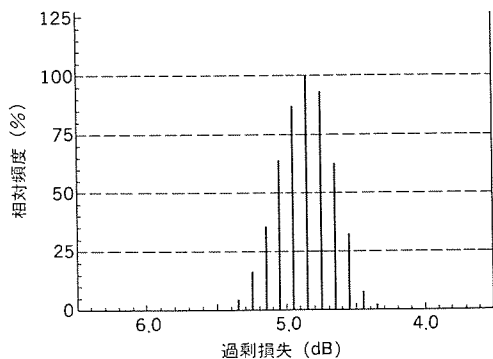


図 4. 光スターカプラの過剰損失のヒストグラム  
(過剰損失は入出力端子のすべての組合せに対するもので、入出力コネクタ 2 個分の損失を含んでいる)

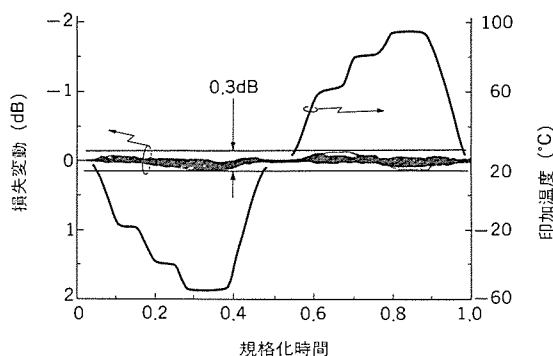


図 5. 光スターカプラの過剰損失の温度依存性  
(入出力コネクタ 2 個分の損失変動を含む入出力端子すべての組合せについての変動である)

差は入出力端子のすべての組合せに対し  $\pm 0.7$  dB 以下である。過剰損失の温度変動は  $-55 \sim +95^{\circ}\text{C}$  という広い温度範囲において入出力光コネクタ 2 個分の変動を含む入出力端子すべての組合せに対して  $\pm 0.15$  dB 以下が実現されている。

### 3.2 光電気変換部

#### 3.2.1 方式

光電気変換部は 32 Mbps のパケットデータをバースト（間けつ的）伝送する機能及び衝突を検出する機能をもっている。両機能を同時に効果的に果たす方式として、送信側でダイパルス（Dipulse : DP）符号化し、受信側でパルシャルレスポンス（Partial Response : PR）変換（厳密には PR(1, -1) 変換）してバースト信号の復号及び衝突検出を容易にしている<sup>(2)</sup>。この伝送方式を DP-PR 変換と称する。

表 2. に DP-PR 変換符号則を示す。パケットデータのバースト光伝送における重要な課題は、光信号が単極性信号であるために生ずる信号の直流分が受信部 AC 結合増幅部で遮断されるときに発生する直流レベル変動を、受信開始から短時間に抑圧し受信不能時間を短縮することである。PR(1, -1) 回路は入力信号を伝送路速度に対して 1 ビット遅延し入力信号と差分をとる回路であり、原理的には同 2 ビット以内に出力の直流分変動が除去される回路である。送信側

表 2. DP-PR 変換の符号則

	伝送情報				CRV挿入
原データ	0 0	0 1	1 0	1 1	① 1
ダイパルス符号	1 0 1 0	1 0 0 1	0 1 1 0	0 1 0 1	0 0 0 1
PR (1, -1) 回路出力					
識別出力	x 0 1 0	x 0 1 1	x 1 1 0	x 1 0 1	x 1 1 1
CRVパターン	x 0 0 0	x 0 0 1	x 1 0 0	x 1 1 1	—
復号データ	0 0	0 1	1 0	1 1	1 1

注 ○：CRV挿入ビット △：CRV判定タイミング △：データ識別タイミング  
↓：CRVが発生する干渉 x：前ビットに依存することを示す  
///：雑音の多い中位レベル

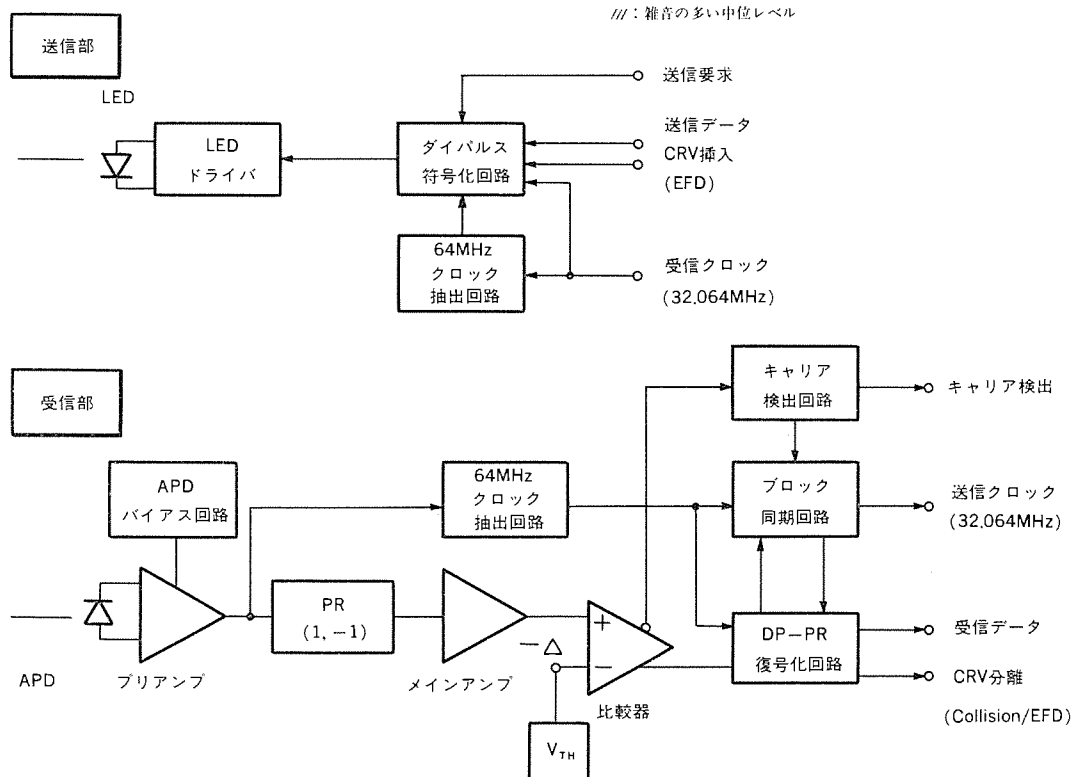


図 6. DP-PR 衝突検出機能付き光送受信器の構成

でDP符号化された信号はPR (1, -1) 回路出力の後半のビットを2値識別することにより送信データは容易に復号される。

衝突検出方式は通信制御アダプタの設置条件に無関係に回路設定が可能な大きな衝突検出可能信号レベル差が得られる方式が望ましい。ここでは、上記PR(1, -1) 回路出力の前半のビットが3値に変換され、その中位レベルが受信信号強度によらず一定であることを利用している。すなわち、同回路出力を中位レベルに近接して、しきい値を接定した比較器で識別する。しきい値と中位レベルとが近接しているため、微少な衝突信号でも、表2.のCRVパターンに示すように中位レベルに相当する2ビット目に符号則違反が発生する。

### 3.2.2 構成

図6.に光電気変換部の構成を示す。送信部は通信制御アダプタの送信制御部から送信要求信号が入力されている間、送信データをDP符号化し、LEDにより光信号に変換して光ファイバへ送出する。CRV挿入信号はDP符号化時にCRVを与えるもので、パケットの終結を示す終結デリミタ送出時に使用する。

受信部はAPDで光電変換後、PR変換、増幅された信号は中位レベルの負側に近接した、しきい値(-4)に設定された比較器により識別再生する。ブロック同期回路は、DP符号化されたデータの後半のビットに同期して32MHzクロックを再生する。同期方式はパケット受信開始から10ビット目まではCRVパターンによる同期検出及び引込み動作を行い、11ビット目以降はそのパケットが終了するまで同期状態を固定する方式である。ここで用いたDP-PR変換の回路構成は次の特長をもっている。

(1) LEDの応答速度の不足及びファイバの材料分散による帯域制限のために生ずる受信パルス幅の広がりによって、PR変換出力の中位レベルの識別位相余裕不足を補償するため、LEDドライバの波形補正を行い、図7.に示すような良好な受信波形を得ている。

(2) PR変換出力の中位レベルの雑音を低減し、識別しきい値を中位レベルに近接し衝突検出の高感度化を図るため、GaAs FETを用

いた広帯域低雑音プリアンプ(帯域80MHz、入力換算雑音2.3pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ )を使用している。

(3) 受信ダイナミックレンジ拡大のため、PR(1, -1)回路に微調機能を付加し、中位レベルの温度変動を抑圧している<sup>(7)</sup>。

### 3.2.3 性能

開発した光電気変換部の主要性能を表3.に示す<sup>(8)</sup>。ファイバ内入力光スターカプラのポート数の差による分配損失差分だけ異なる2種類が用意されている。最小及び最大受光電力は符号誤り率が $10^{-10}$ 以下、非衝突時CRV発生率が $10^{-8}$ 以下となる受信電力範囲を示す。検知可能衝突信号レベル差は疑似ランダムパタンの主信号に対して、衝突信号が識別サンプリング点で干渉振幅が最も小さくなる位相で衝突(図7.(c)参照)した場合に<sup>(9)</sup>、CRV発生率が $10^{-2}$ 以上となる主信号に対する衝突信号のレベル差で規定している。

図8.に衝突検出特性と非衝突時のCRV発生率特性を示す。識別しきい値は最小受信信号電力である-45dBm peakの衝突信号を干渉振幅が最小となる位相においても検出できるように、ファイバ

表3. 光電気変換部の主要性能

	設 計 目 標 値	試作結果(標準値)
信号伝送速度	32.064 Mbps	
伝送路符号	ダイバース符号	
光ファイバ	GI 50/125 $\mu\text{m}$	
発光素子	LED (0.85 $\mu\text{m}$ ) [0.85 $\mu\text{m}$ , 0.78 $\mu\text{m}$ ]	
受光素子	Si-APD	
衝突検出方式	ダイバース・パースシャルレスボンス変換時CRV検出	
ファイバ内入力	-9~-10 dBm (100ポート) [-10~-11 dBm]*1 -15~-16 dBm (32ポート)	-9.5 dBm [-10.5 dBm] -15.5 dBm
最小受光電力	-45 dBm 以下 [-44 dBm 以下]*2	-47 dBm [-45 dBm]
最大受光電力	-34 dBm 以上 [-33 dBm 以下]*2	-30 dBm [-20 dBm]
検知可能衝突信号レベル差	8 dB 以上 [8 dB 以上]	9 dB [9 dB]

注 光レベルはピーク値を示す。[ ] 内は光中継器

\*1 中継部-1(図9.)の値、中継部-2はこれより-1.5dBした値である。

\*2 中継部-1(図9.)の値、中継部-2はこれより-1.0dBした値である。

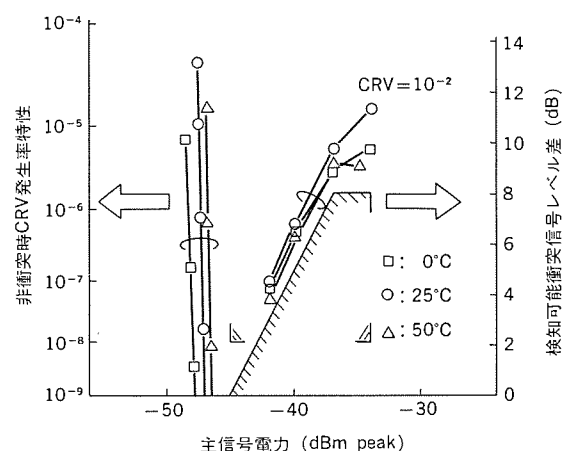


図8. 衝突検出特性と非衝突時CRV発生率特性  
(試験パターン: 疑似ランダム信号2<sup>10</sup>-1, 衝突条件は最悪位相, ファイバ 0 km)

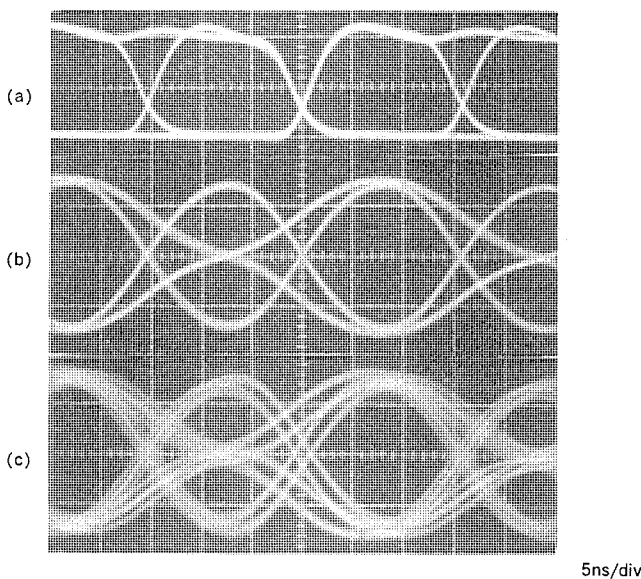


図7. 光出力波形, PR(1, -1) 回路出力波形  
(a)光出力, (b)PR(1, -1) 回路出力波形(非衝突)  
(c)PR(1, -1) 回路出力波形(衝突)  
(主信号: -37 dBm peak, 伝送路長 1 km)  
(衝突信号: -45 dBm peak, 伝送路長 500 m)

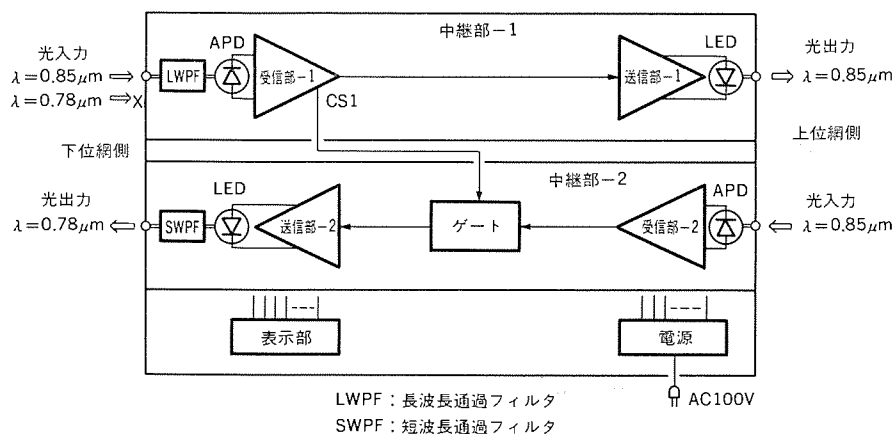


図 9. 光中継器の構成

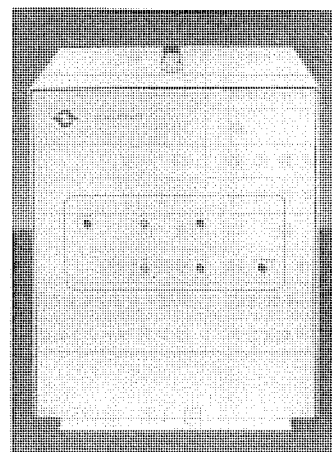


図 10. 光中継器の外観

包絡線の最小振幅（0ピーク値の30%）に設定している。このように設定すると主信号電力が最大の -34 dBm の場合は、識別レベルは信号 0ピーク値のわずか 2.3% となるにもかかわらず、温度 0～50℃ においても光電気変換部は安定な CRV 検出動作を行っていることがわかる<sup>(9)</sup>。衝突信号の主信号に対する位相は実際にはランダムであり、更に大きな信号レベル差の衝突検出が可能である。

### 3.3 光中継器

図 2. に示したように、複数の基本システム（下位網と呼ぶ）のスターカプの入出力ポート間を、中継用のスターカプを介して接続（この部分を上位網と呼ぶ）してシステムの拡張を図るのに光中継器が用いられる。光中継器の構成及び外観を図 9.、図 10. に示す。上位網一下位網の双方向に対する光中継機能と信号巡回を防止する機能を持ち、100 個の基本システムにより構成される直径 2 km のシステムを提供する<sup>(10)</sup>。

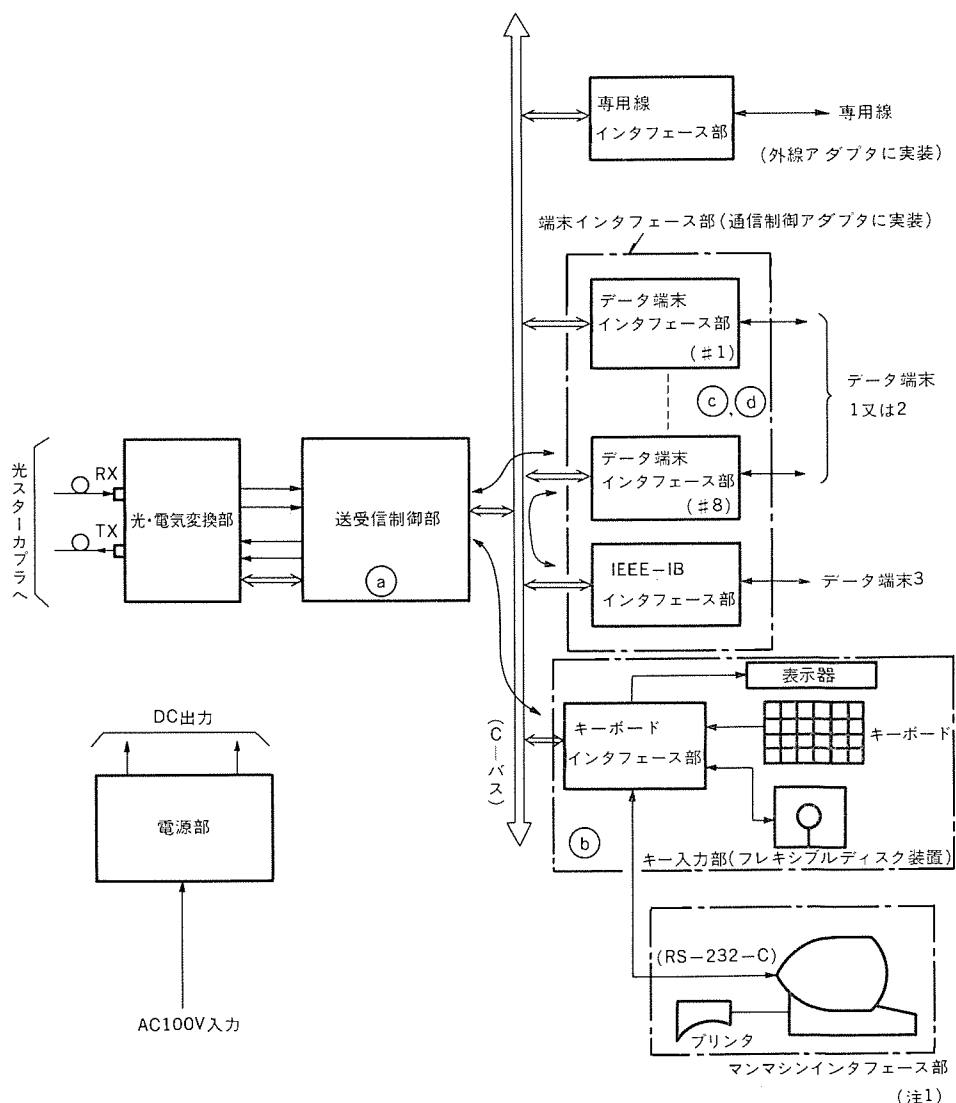
#### (1) 信号の中継

上位網のスターカプ及びそれに接続された伝送路の伝送損失を補償する。中継は 3R 方式である。また、衝突検出（光電気変換部と同一方式による）及びその伝達並びに符号則違反の伝達（終結デリミタ伝達等）などの機能を持っている。

#### (2) 信号巡回防止

光中継器の上位網側及び光電気変換部の光出力波長は 0.85 μm である。一方、光中継器の下位網側への光出力波長は 0.78 μm が選ばれ、光中継器の下位網側受信器の光検出器には、波長 0.85 μm の光を選択透過する光フィルタ(LWPF)を挿入して、上位網側の信号が下位網側で巡回するのを防止している（波長変換ゲート方式）。また、下位網側のキャリア検出信号（図 9. の CS1）で上

位網からの信号をブロックして上位網側での信号巡回を防止している。

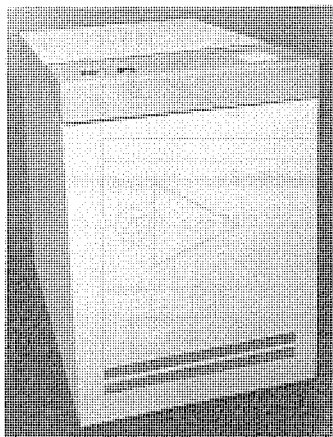


(注1) マンマシンインタフェース部はシステムに1台のみ接続

表 4. C-バスの仕様

項 目	仕 様
データ転送速度	4 MBps (メガバイト/秒)
距 離	10 m
接 続 機 器 数	63
バ ス 信 号 線	16 本
制 御 局	な し
誤 り 制 御	垂直パリティ
バ ス 占 有 方 式	共通クロックによる衝突回避方式
データ転送方式	N 対 N ブロック転送

図 12. 通信制御アダプタの外観



他の伝送方式にそのまま適用できる。

(3) 各部の処理の負荷が分散されているため、従来生じやすかった中央 CPU の処理能力によるネックが軽減される。

(4) 端末インタフェース部の新規開発や機能拡張(例えば音声パケット用インタフェース装置)を、他のインタフェース部に影響を与えることなく実施できる。

(5) 各装置上で動作するプログラムは、アダプタ内蔵のフレキシブルディスクからのローディング方式をとっており、機能変更、修正に柔軟に対応できる。

(6) ケーブル類の接続、プリント基板の着脱は側面アクセス方式とし、保守を容易にしている。

## 5. む す び

100×100ポート受動形光スターカプラ、DP/PR変換を用いて高感度で符号則違反を検出し、衝突を検知する光電気変換部及び光中継器から構成される光伝送系と、優先順位付きCSMA/CD方式を用いて制御され、各種のインタフェースの端末機器を収用可能な通信制御アダプタ及び高速デジタル伝送サービス接続用外線アダプタから構成される伝送速度32Mbpsのバス形LAN;中規模構内光伝送方式についてその装置の開発結果について述べた。

光スターカプラは $4.8 \pm 0.7$  dBという低い過剰損失と損失偏差を実現した。光電気変換部は主信号より8dB以上小さい信号の衝突検出し、無調整で直径1kmの光伝送系を構築することを可能にした。また、光中継器を用いてこれを2kmまで拡張可能である。

光伝送系、通信制御アダプタ及び外線アダプタを組み合わせた現場試験がNTT横須賀電気通信研究所により同厚木電気通信研究所構内において実施され、所期のシステム性能と操作性が確認され、このシステムの実用性が実証されている。

最後に、この開発にあたり御指導いただいた、日本電信電話(株)通信網第一研究所、伝送システム研究部島田前部長(現基礎研究所)、光伝送研究室小山前室長(現研究開発本部)、橋本室長、箕輪主幹研究員(現海洋通信研究室)、袴田主任研究員、藤井主任研究員(現海洋通信研究室)並びに小口研究主任の各位に深く感謝の意を表す。  
(昭和60-6-14受付)

## 参 考 文 献

- (1) D. R. Boggs and R. M. Metcalfe: Comm. ACM, 19, p. 395 (1976)
- (2) 小口ほか: 信学技報, CS 83-110 (1984)
- (3) K. Oguchi, Y. Hakamada: Electron. Lett., 20, No. 25/26, p. 1062-1063 (1984)
- (4) 袴田ほか: 通研実報, 34, p. 877~892 (1985)
- (5) 藤井ほか: 昭59信学光・電波部全大, No. 339
- (6) 伊東ほか: 昭60信学総全大, No. 2605
- (7) 北山ほか: 昭59信学通信部全大, No. 750
- (8) 小口ほか: 昭59信学通信部全大, No. 176
- (9) 本島ほか: 昭60信学総全大, No. 2593
- (10) Y. Hakamada, K. Oguchi: Electron. Lett., to be published.
- (11) 渡辺ほか: 昭60信学総全大, No. 1795

## 4. 通 信 制 御 系

### 4. 1 システムの実現方式

通信制御アダプタ及び外線アダプタに必要な機能は、次のようなものである。

- (1) 伝送路へのアクセス……CSMA/CD/ACKの制御(図8.④)
- (2) 網管理……網内状態監視, 各種診断, プログラムロードなど(図8.⑤)
- (3) 網内プロトコル……データのパケット化と送達確認(図8.⑥)
- (4) 端末制御……端末装置とのインタフェース(図8.④)

従来の一般的実現方式は集中制御方式で、中央のCPUが上記処理の大部分を実行し、(1), (4)の一部を外付けされた入出力制御装置が実行していた。それに対しこのアダプタでは、図11.に示すように分散処理指向の汎用バス:C-バス(Communication-Bus)に次に示すような装置を機能分散させた形で接続している<sup>(1)</sup>。

- (1) 送受信制御部……伝送路へのアクセス制御(光電気変換を含む)
- (2) キー入力部……網管理処理の実行
- (3) 端末インタフェース部……網内プロトコルと端末制御

C-バスは、バスを管理するマスタ局をもたず、任意の装置間で自由にデータ転送が可能な並列バスである。C-バスの仕様を表4.に示す。

送受信制御部は、キー入力部及び端末インタフェース部から発生したパケットを光電気変換して中継する機能をもっている。つまり送受信制御部はC-バスを論理的に遠方へ拡張するための装置である。キー入力部、端末インタフェース部は、C-バスをバス状ネットワークとみなし動作する。キー入力部はアダプタ内の状態監視を行う。マスタとなるキー入力部がシステム内に1個存在し(アダプタのスイッチによる設定)、他のキー入力部の情報を定期的に収集する。端末インタフェース部は、端末制御のほかに網内プロトコルも実行する。

### 4. 2 通信制御アダプタ/外線アダプタの構成

通信制御アダプタ及び外線アダプタの構成は図11.に示したとおりである。図12.に通信制御アダプタの外観を示す。通信制御アダプタと外線アダプタの違いは基本的には収容可能なプリント基板のスロット数だけと考えてよい。特長は以下のとおりである。

- (1) 分散制御方式のため各部の独立性が高く、バグの切り分け、試験調整、性能評価が容易である。
- (2) キー入力部、端末インタフェース部は伝送媒体を意識しないので(C-バスだけを意識しているので)、送受信制御部を交換すれば、

# 三菱簡易形パターン検査装置《MELCESS-I》

中島 利郎\*・亀井 光仁\*・橋 幹夫\*\*・竹谷 和也\*\*

## 1. ま え が き

生産ラインにおける各種検査工程の中で、視覚による検査は最も利用例が多く重要な手法であるが、その大半は人間の目視に依存しており、単調で疲労の多い作業であること、検査員の体調や熟練度に検査結果が影響を受けることなどの問題点をもっていた。このような生産ラインにおける視覚作業は、単純な識別作業と複雑な認識作業に大別される。例えば部品の定位置決め確認、所定の加工がなされていることの確認、異物混入の検査、コンベヤ上の農水産物のランク分けなどが前者に属し、作業内容は単純であるが高速処理を要求される。また、きず検査、光沢検査、部品の姿勢識別などが後者に属し、人間のパターン認識能力と競争できる高度なレベルの処理能力が要求される。

一方、最近の情報処理技術の進歩に伴って、このような視覚検査を自動化するための各種開発例が報告されているが<sup>(1)</sup>、広く普及するには至っていない。その大きな原因として、これらの開発例による装置では、各種生産ラインに適用可能とするために基本的に必要とされる条件（検査速度が速い、検査対象に制限が無い、小規模生産システムにも採用できる価格）を、同時には満足していないことがあげられる。

これに対処するため、三菱簡易形パターン検査装置《MELCESS-I》では、高速・汎用の検査方式として、あらかじめ教示されたマスタパターンとの照合方式を採用するとともに、汎用コントローラの構成概念をベースとして、テレビカメラを直結した新しい処理回路を開発したもので、製品・部品の検査、ランク分け、種類分けなど、前述の単純な視覚作業の自動化に適用可能である<sup>(2)</sup>。

## 2. 仕様及び特長

この装置の仕様を表 1. に、基本的な機能仕様を表 2. に各々示す。この装置では一般の生産現場にそのまま適用できるように、入出

表 1. 装置仕様

使用カメラ	ビジコンカメラ（標準）
使用プロセッサ	8ビット、マイクロプロセッサ
電源	AC 100V, 単相 50/60 Hz 許容電圧変動 ±10%
使用温度範囲	0~40°C
使用周囲湿度	30~85% RH 結露しないこと
瞬時停電	15ms (15ms 以上はイニシャルスタート)
入力信号	
①カメラ読み込みトリガ	DC 24V, 無電圧 a 接点 又はオープンコレクタ
③条件設定 (3点)	DC 24V, 無電圧 a 接点 又はオープンコレクタ
出力信号 (4点)	ホトカプラ絶縁, オープンコレクタ 出力 DC 24V, 50~100mA

表 2. 装置の基本的な機能仕様

マスタ画面数	2画面
1マスタ画面の教示点, ライン	①点照合 max 20点
	②ライン上の照合 max 10ライン
	③長さによるランク分け 測長結果により大中小の3ランク及びランク外
	④種類分け max 20点/種類×4
標準処理時間 (画像の取り込み時間 を含み、検査結果が出 力されるまでの総所用 時間)	①点照合 50ms/20点
	②ライン上の照合 80ms/10ライン
	③長さによるランク分け 50ms/測長
	④種類分け 80ms/4種類
	⑤①~④の処理を複合 100ms
画面分解能	H 256×V 200 画素
カメラの同期方式	外部同期方式, ノンインタレース

表 3. 装置の特長

高速処理と融通性の共存	少数データからなるマスタパターンとの照合を行う方式で、検査対象に制限が無く高速処理が可能
簡単な操作	①教示、テストランなどのオフラインモードにメニュー選択方式を採用 ②マスタパターンの教示はカーソル操作で実行可能 ③カメラの視野合せ、照明の調整時は CRT による画像モニタ可能 ④テストラン機能により、動作レベルでの調整が容易 ⑤実際の処理画像上で動作状態の確認が可能であり保守が容易
検査対象、作業内容が瞬時に切替可能	標準でマスタパターンを2枚持っており、ラインの段取替えや混合生産にリモートコントロールで対応可能
検査結果がそのまま利用可能	一般の生産ラインの機械制御装置と直接インタフェース可能な I/O 機能を標準装備
正確な2値画像	専用に設計した高級な画面読み込み回路により正確な2値画像が得られる
低 価 格	小規模生産システムにも適用可能な低価格

力信号の電気的条件や耐環境性に配慮がされている。また表 2. から明らかなように、複数の検査モードをもち、しかも 50ms (1,200 個/分) というこれまでに例を見ない高速処理が可能となっている。その他、表 3. にまとめて示すように三菱簡易形パターン検査装置《MELCESS-I》は、これまでの視覚検査装置に無い数多くの特長をもっている。

## 3. 装置の概要

この章ではこの装置の詳細に関して、検査方式、装置構成上の特長とともに、作業員の行う検査準備作業を簡略化するために備えられたオフライン機能について紹介する。

### 3.1 検査方式

この装置は検査の基本原理としてパターンマッチング法を採用している。パターンマッチング法とは、図 1. に示すようにあらかじめ教示・登録されているマスタパターンと検査パターンを直接照合（重ね合せ）して、

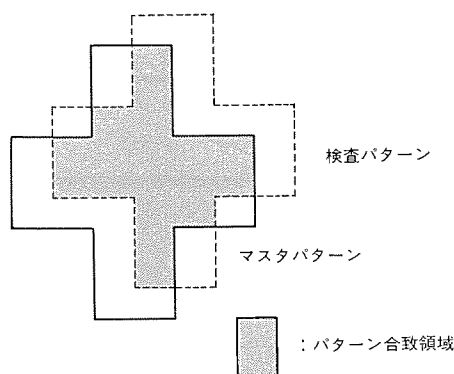
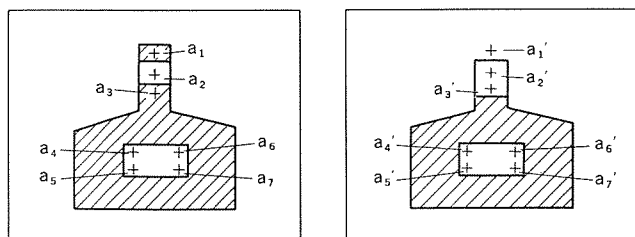


図 1. パターンマッチングの原理



(a) マスタパターン (b) 被検査パターン

図 2. 点照合の原理

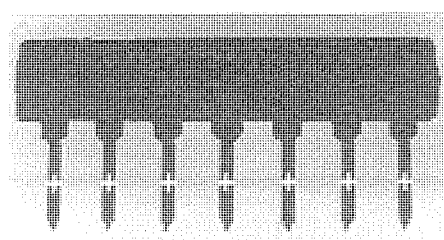
その合致性を判定するもので、画像データを加工せずにそのまま扱うことから、極めて直観的な処理技術で、検査対象への融通性・教示の容易性・保守の容易性などに優れ、実用性の観点から生産現場向きの手法といえる。一方この装置の適用対象である単純視覚作業を調査した結果、作業員は必ずしも検査対象（画像）の全領域は見えておらず、実際には特定のキーポイントを数箇所チェックしている例が多く、しかも検査速度が高速になるにつれてその傾向が強くなることが明らかとなった。この結果を受けてこの装置では、実用性を損なわずに処理の高速化を実現するために、下記の検査方式を採用した。

#### (1) 点照合

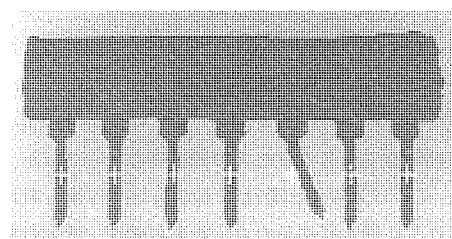
この検査方式は、パターン上の検査すべき領域を複数のキーポイントで代表させ、マスターパターンと被検査パターンのキーポイント上の情報を点照合するものである。この装置では最大 20 点までのキーポイントを設定することができる。この検査方式の原理を図 2. に示す。図の例において、マスターパターン上で  $a_1 \sim a_7$  までの 7 点のキーポイントが作業員によって教示されると、各点上の画面の白黒情報及び各点の画面内の位置情報が登録される。この状態で被検査パターンが照合されたとき、 $a_1'$ ,  $a_3'$  の各点上の画面の白黒情報が、登録されているマスターパターンの該当する  $a_1$ ,  $a_3$  各点の情報と合致しないことから、この被検査パターンは不良と判定され。以上のように、この検査方式では画面の中で処理(照合)する場所を改定することにより、扱うデータ量を削減して検査の高速性を実現しており、標準で 50 ms/20 点 (1,200 個/分) の処理能力をもっている。図 3. (a), (b) にこの検査方式の適用例を示す。ここでは、IC パッケージを検査対象としており、ピンの切損、曲がりなどを検査する。図 3. (a) がマスターパターンを示し、図中の十字マークが設定したキーポイントである。図 3. (b) はピンの曲がり不良をもつ被検査パターンで、キーポイント上で異常が検出されることは明らかである。

#### (2) ライン上の照合

この検査方式は、図 4. に示すように検査領域をキーポイントからライン



(a) マスタパターン



(b) 被検査パターン

図 3. 点照合の適用例

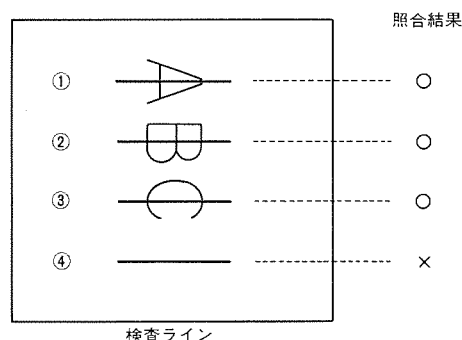


図 4. ライン上の照合の原理

ン状に拡大し、ライン上のパターンの有無を判定するものである。検査領域は水平方向 8 画素を最小単位としたラインで構成しており、設定できる検査ラインは最大 10 本である。図 4. の例において、ライン状の検査領域が作業員によって教示されると各ラインの画面内の位置情報が登録される。この状態で被検査パターンが取り込まれると検査ライン上の画面の白黒情報が読み取られ、この例のように白地に黒色の文字が印刷されている場合、すべての検査ライン上に黒の画素があれば良、いずれかの検査ラインに黒の画素がなければ不良と判定する。図 4. において、①～③までのラインは正常、④のラインは異常と判断し全体で不良判定がなされる。この検査方式では、8 画素を一まとめにした信号処理をしているので、検査領域をラインへ拡大したことに伴う処理時間の増加を抑制することが可能となり、標準で 80 ms/10 本 (750 個/分) の処理速度を実現している。

#### (3) 長さによるランク分け

この検査方式の原理を図 5. に示す。図に示されているように、まず検査領域が作業員によって教示される。次に被検査パターンの検査領域内の画素のうちあらかじめ作業員によって設定された画面情報（画面白黒のいずれか）を持つもののみを計数することによって、パターンの長さを測定し、その計数結果と作業員が設定した基準値との大小比較により被検査パターンのランク分けを実施する。この方式では標準で 50 ms/測長 (1,200 個/分) の処理速度を実現している。

#### (4) 種類分け

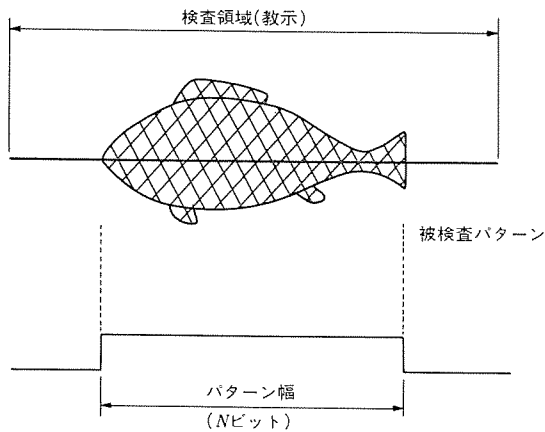


図 5. 長さによる ランク 分けの原理

この検査方式は点照合を応用したもので、最大 4 種類の種類分けを行う。この方式では、個別に最大 20 点までキーポイントの設定を行ったマスタパターンをもち、被検査パターンがどの種類に属するものかを、キーポイント上の画面の白黒情報の組合せが一致するマスタパターンの選択によって認識するものである。なお、この検査方式では標準で 80 ms/4 種類 (750 個/分) の速度で処理を行うことが可能である。

#### (5) 複合モード

この方式は上記した検査方式 (点照合、ライン上の照合、長さによるランク分け) を組み合わせたもので、1 回の取り込みによって得られた被検査パターンに対して順次別々の検査を実施し、総合的に判断するものである。ここでは 1 回の取り込みで得られたデータを複数の検査に共用することにより、各検査を個別に実施するのに比べてデータ読み込み時間が省略できることから、標準で 100 ms/検査 (600 個/分) の処理時間を実現できた。

なお、この装置において、マスタパターンは標準で 2 枚までもっており、遠隔操作での切換により、検査対象や作業内容の変更を瞬時に行うことが可能であり、ラインの段取り替えや混合生産などに簡単に対応できる。

### 3.2 装置の構成

この装置のブロック構成を図 6. に、外観を図 7. に示す。この装置は図 6. に示すように、コントローラ、テレビカメラ、CRT モニタ、キーボードから構成されている。

#### 3.2.1 コントローラ

コントローラではテレビカメラからの映像信号を受けて、あらかじめ設定した検査方式でパターンの検査処理を行い、結果を外部の機械制御装置へ出力する。このコントローラは汎用のコントローラのハードウェア構成をベースにして、下記の回路ブロックを付加することにより構成しており、主制御部分に汎用回路を採用することにより大幅なコストダウンを実現した。

##### (1) ビデオインタフェースブロック

このブロックは図 8. に示すように、前処理回路、イメージ変換回路、DMA 制御回路、タイミング制御回路で構成されている。前処理回路は、テレビカメラの (レンズ系から発生する) 映像信号のひずみ (通称、シェーディングひずみ) を補正し、画面全領域にわたって均一なレベルでデジタル化を行う機能をもっている。また、イメージ変換回路は時系列の映像信号を、メモリへ格納するために単位時間ブロックごとに編集して、最終的に 8 ビットの平行信号に変換する機能をもっている。DMA 制御回路は、上記映像信号が入力されると同時にコン

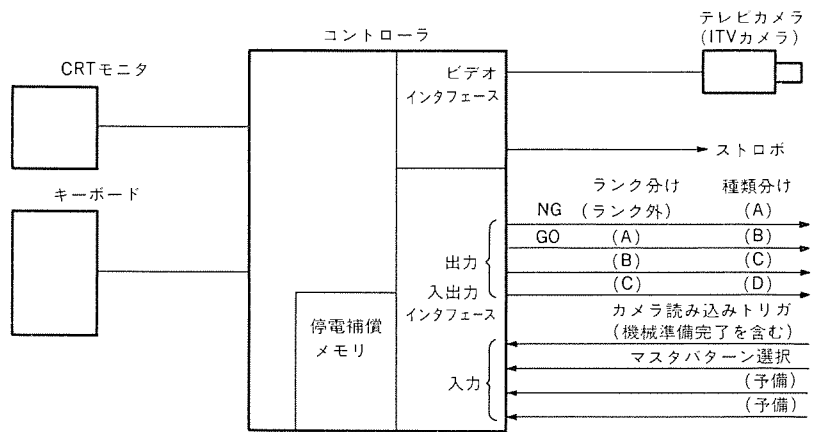


図 6. 装置のブロック構成



図 7. 三菱簡易形パターン検査装置《MELCESS-I》の外観

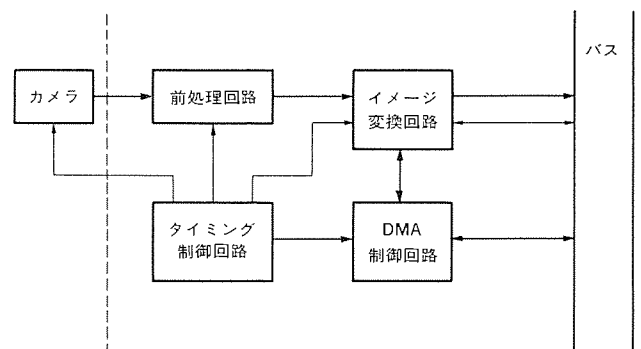


図 8. ビデオインタフェースブロックの構成

ローラとのタイミングをとりながらデータ転送を開始し、1 画面分のデータを実時間でコントローラのメモリへ転送する機能をもっている。以上のように回路を構成することによって、このブロックはデジタル化した映像信号を実時間でコントローラ内のメモリへ転送する機能をもつことができ、従来の視覚検査システムにみられたビデオメモリを省略 (すなわち、コントローラ自身のメモリがビデオメモリを兼用) することを可能とした。タイミング制御回路はテレビカメラへの外部同期信号を発生するとともに、前処理回路とイメージ変換回路の動作タイミングの制御を行うものである。なお、このビデオインタフェースブロックは、外部同期によるノンインタレースのサンプリング方式を採用して位置ずれのないパターンの取り込みを実現している。またストロボ駆動信号も発生させて

おり、必要に応じてストロボとの組合せで高速移動物体の静止画像を得ることもできる。

### (2) 入出力 インタフェースブロック

このブロックは、検査に必要な条件の設定信号を外部から取り入れたら、検査結果を外部の機械制御装置へ出力する機能をもっている。外部からは被検査物体が所定の位置に到達したことを示す外部トリガ信号とマスタパターンの遠隔切換信号を入力する。また外部制御機器へ出力する信号としては、実施した検査に対応した出力様式を設定しており、点及びラインの照合では被検査パターンの良・否の2種類の信号、長さによるランク分けでは三つのランク及びランク外の4種類の信号、種類分けでは設定した種類に応じて最大4種類の信号をそれぞれ出力する。なお、これら外部機器との接続信号は、既設の設備、機械との接続を考慮し、無電圧a接点又はオープンコレクタを採用している。この結果、この装置と外部機器との間では中継機器などを必要とせず、直接接続することが可能である。

### (3) 停電補償メモリ

停電補償メモリは、作業員が教示したマスタパターン上の検査領域に関する情報や、検査判定条件に関する設定値などを格納する機能をもっている。このメモリは、バッテリーによって停電補償されており、一度教示した内容は、次に作業員が別の条件を設定するまでの間、自動的に保持されている。

#### 3.2.2 テレビカメラ

この装置では、検査パターンの入力装置として汎用の工業用ビデオカメラを用いている。一般の用途にはこのカメラで十分対応可能であるが、高精度計測を行う場合には、温度、電圧などの変動に伴う画像のひずみが問題となる。このような場合には、固体二次元撮像素子を用いることによってひずみの発生を無くし、更に高精度なパターンの位置測定精度を得ることができる。

#### 3.2.3 CRT モニタ・キーボード

この装置では検査方式の選択、検査の設定条件はすべてキーボードから入力され、CRTモニタに表示される。特に、作業員の行う教示作業を簡略化するために、CRTモニタ画面上に表示されたマスタパターンに対して、作業員がキーボードからカーソルを制御し教示作業を行う方式をとっている。なお、CRTモニタとキーボードはオンライン動作時には不要であり、取り外しておくこともできる。

### 3.3 オフライン機能

この装置のオフライン機能は、①スライスレベル設定機能、②教示機能、③テストラン機能からなり、実際にオンラインで行う検査の準備及び検査条件の確認を行うもので、CRTモニタとキーボードを用いた、メニューあるいはメッセージによる対話形式を採用している。

#### (1) スライスレベル設定機能

作業員はこの機能を利用して、テレビカメラからの映像信号を2値化するスライスレベルの最適値を決定する。この作業時には、自動的に一定の周期で繰り返し画像の読み込みが行われ、CRTモニタへ読み込んだ画像が逐次表示される。またCRTモニタにはカメラの有効視野範囲も表示され、作業員はカメラの視野、レンズの絞り、照明条件などの調整を行いながら最適な画像が取り込めるようにスライスレベルの決定を行う。

#### (2) 教示機能

この機能は、検査において判定の基準となるマスタパターンの作成・確認・消去などを行うときに利用され、マスタパターンを直接教示するための14種類のメニューと、完成したマスタパターンを一括データとして扱う3種類のメニューから構成されている。前者の14種類のメニューにより、表2.に示した検査機能中の、点照合、ライン上の照合、長さによるランク分け、種類分け(種類A, B, C, D)の各マスタパターン7種類に対し、それぞれ教示モードと消去モードを指定することができる。教示モードと消去モードは、マスタパターンの教示、消去、修正作業に利用され、特に修正は修正作業の効率化を図るために、マスタパターンに不具合があった場合には、該当するマスタパターン上のすべての検査領域を設定し直すのではなく、不要部分のみを消去モードを使って消去した後、必要な検査領域のみを追加する形式をとっている。残る3種類のメニューとして、現状のマスタパターンの確認を行うメニュー、マスタパターンを一括消去するメニュー、教示完了したマスタパターンを停電補償メモリに収納するメニューがある。なお、この機能ではCRTモニタ画面に被検査物体の画像が表示されており、作業員はその画像を見ながら作業することができる。

#### (3) テストラン機能

テストラン機能は、教示終了時、設定した教示内容が作業員の意図どおりに動作することを確認するためのテスト運転に使用するもので、マスタパターンをCRTモニタ画面上に表示するとともに、設定した条件で検査を実施して判定結果の表示を行う。なお、この機能は、装置の保守時において装置動作が教示内容を維持していることを確認する作業にも利用できる。

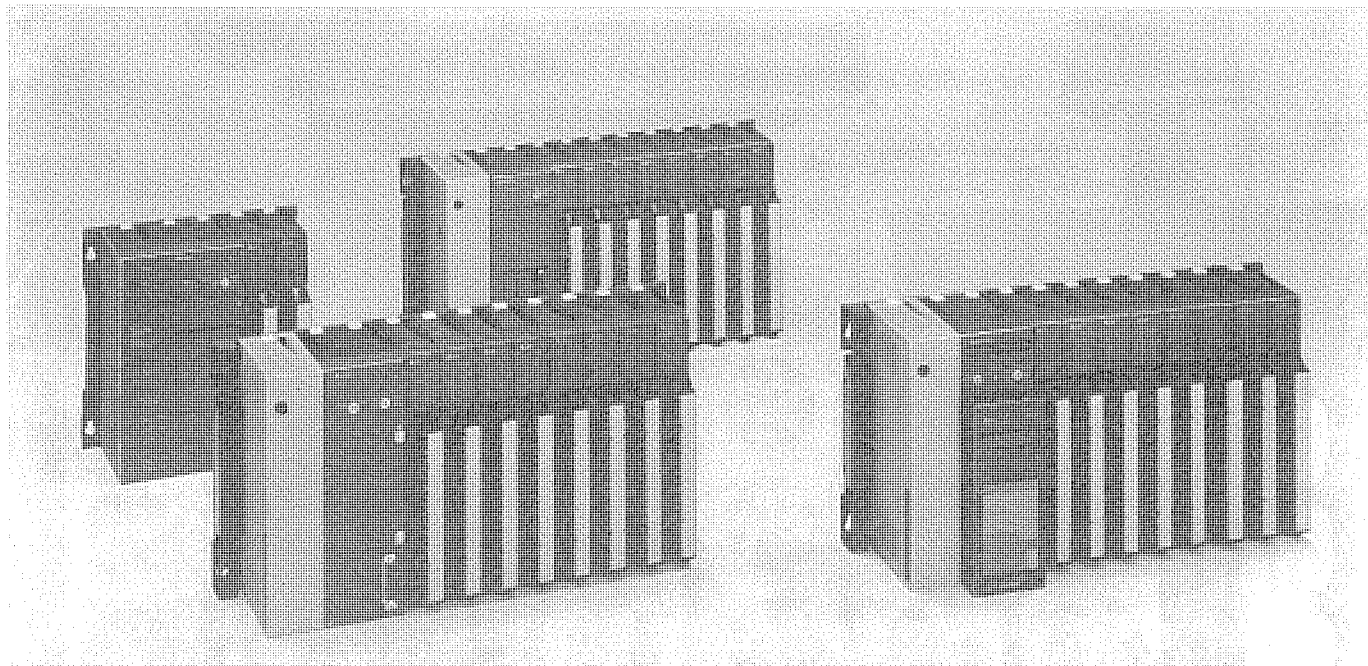
## 4. む す び

視覚検査装置を特徴づける最大の要因は、そのパターン処理方式にあり、それに伴って決定される処理速度、汎用性、操作の簡易性、価格などが装置の評価基準となる。しかしながら、視覚検査装置はその性能を目視検査能力と比較されながら進歩してきており、人間に近い処理機能を追求するほどに、処理速度は遅く、装置は複雑・高価で、しかも専用的となっていた。一方、人間の視覚検査作業の特徴は、マクロな作業(試料の粗選別、位置、姿勢の認識など)とミクロな作業(局所的な検査作業)が共存していることにあり、最近ではこれらの各機能を複数の装置に分担して、システムとしての性能を評価する例が増えている。例えば、位置・姿勢を認識する装置では検査機能をもたず、また検査装置では一定の範囲内に位置決めされた試料を対象としている。ここに紹介した三菱簡易形パターン検査装置《MELCESS-I》もこのタイプの検査装置に属し、単純な視覚検査作業を自動化する目的で開発されたもので、汎用性、高速処理、低価格の3条件を同時に満たした初めての装置として、今後各種生産ラインでの利用が期待できる。

## 参 考 文 献

- (1) オートメーション, 29, No. 7, p. 31~97 (昭59)
- (2) 中島ほか: 第27回自動制御連合講演会予稿集, p. 517 (昭59)





このたび三菱電機は、汎用シーケンサ《MELSEC》シリーズに、これまでのKシリーズをさらに高機能化、高性能化し使い勝手を向上したAシリーズをラインアップしました。

このシリーズは、入出力28点から2048点まで5機種で構成されており、プログラミングと周辺機器の共用、高度なデータリンクシステムなど、最高水準の汎用シーケンサとして幅広くFAシステムに対応可能です。

### 特長

- 入出力28点から2048点まで5機種で構成され、単体機械制御から大規模制御システムまでカバーできるフルラインアップで、シリーズ化されています。
- 各機種ともRAS機能(R:Reliability-----信頼性、A:Availability-----稼働性、S:Serviceability-----保守性)を徹底的に追求し、総合的な使い勝手の向上を図っています。
- A1～A3Hまでの4機種はCPUに16ビットマイクロプロセッサを採用し、高機能演算と豊富な自己診断機能、高速演算を実現しています。
- 260種(A3の場合)の演算命令をもち、16、32ビットの四則演算と論理演算およびデータ処理、プログラム分岐制御、文字処理、故障診断などに威力を発揮します。
- マイコンプログラム、割込処理、ポーズ、リモートRUN、ステータスラッチ、サンプリングトレース、オフラインスイッチなどの豊富なCPU機能をもち、高速処理、デバッグ、トラブルシュートなどに有効です。

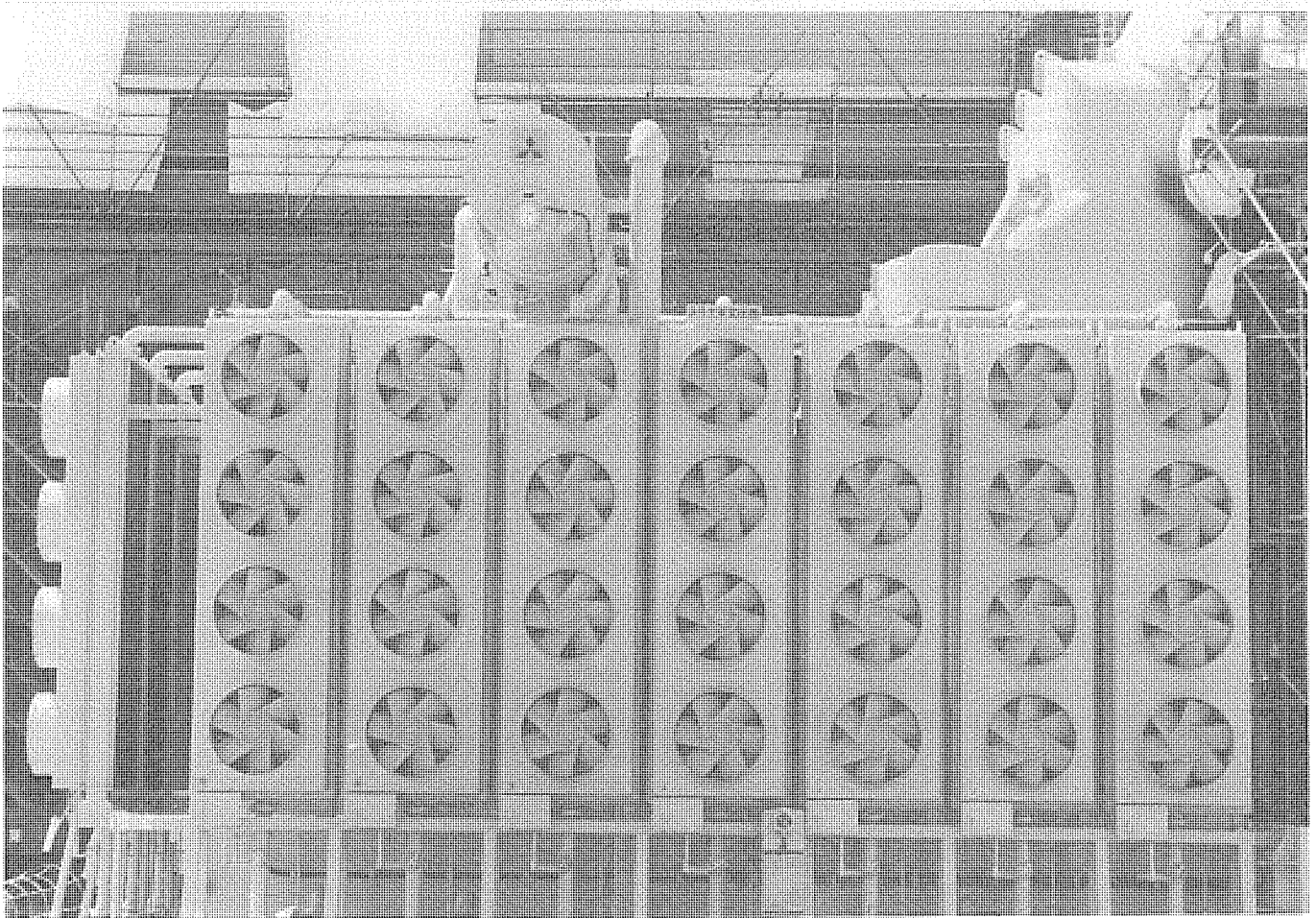
- 28種の豊富な入出力ユニットがあり、制御対象により適合した接続が可能です。特に32点のパワーの入出力ユニットは、スペース節約と経済性の面で有効です。
- A/D、D/A、高速カウンタ、位置決めなど豊富な特殊機能ユニットがあり、アナログ制御、位置決め制御など、量の制御に適用できます。
- 全機種、最大65局の光ファイバケーブルまたは同軸ケーブルによるデータリンク《MELSEC-NET》が可能で高度なシーケンサ間リンクシステムを構築することができます。また、全機種ともRS-232C、RS-422による計算機リンクができます。
- CRT付きのグラフィックプログラミングパネル(A6GPP形)は16ビットCPU、フロッピーディスク、1Mバイトのメモリ内蔵で、豊富なプログラム操作が可能です。さらにこのA6GPPはフロッピーディスクによりKシリーズにも使え、図面作成装置やプログラム自動作成の高級ソフト《MELSAP》などに幅広く使えるようにしてあります。

### 概略仕様

	機 種				
	A0J2	A1	A2	A3	A3H※
入 出 力 点 数	28～336点	256点	512点	2048点	
メモリ容量(ステップ)	7K	6K	14K	30K×2	30K
シーケンス命令実行時間	4.4～5.6μs/s	1.25μs/ステップ			0.4μs/ステップ
応用命令実行時間	数100μs/命令	数10μs/命令			数μs/命令
タイマ点数	128点	256点			
カウンタ点数	128点	256点			
データレジスタ点数	512点	1024点			
内部リレー点数	2048点				

※近日発売

## 中部電力株 殿 浜岡原子力発電所向け 500kV 1200MVA 3号主要変圧器



このたび、三菱電機では、中部電力株 殿 浜岡原子力発電所・3号機用として、国内最大容量級の500kV1200MVA主要変圧器を完成。現地に納入いたしました。

この変圧器は、当社高電圧大容量器の標準である外鉄形構造をベースに最新の理論解析及び製造・試験技術を適用して製作されており、国内最高水準の低損失化を実現しています。また、新形高効率冷却器の適用により、補機損低減、台数低減を図っています。さらに低騒音仕様に対して遮音特性がよい簡素な一重鉄板防音壁の適用により、配置上も極めて合理的な設計となっています。

### 特長

- UHV機器開発に際して確立した理論解析及び絶縁等の各種技術の開発成果を、変圧器全体に活かし、損失面で従来比80%を実現。プラントの高効率化に威力を発揮します。
- 送油風冷式冷却器は、油側、空気側冷却効率を改善したユニットに、翼形断面ファンを取付けた新形高効率冷却器の適用により補機損を低減し、プラントのランニングコストの削減を図っています。
- 高効率冷却器及び簡素な一重鉄板防音壁の採用に加えて外鉄形変圧器の特長を生かした周辺GIS直結ブッシングの上部タンク取付けなど配置上極めて合理的な設計となっており、プラント敷地の有効利用、基礎建設費の低減が図れます。

### 仕様

項 目	仕 様
形 式	三相 外鉄形 送油風冷式
定 格 容 量	1200MVA
定 格 電 圧	1次:21.5kV 三角形 20号A 2次: 500kV 星 形 500号L
絶 縁 階 級	1次:20号A 2次:500号L—NAC70kV
騒 音 仕 様	75ホン
インピーダンス	14%
製 造 年 月	昭和61年 1 月

三菱電機が開発した新世代のコンパクトスーパーミニコンMELCOM 70 MX/2000およびMX/3000は、AI（人工知能）システム開発用高級言語PROLOGを大幅に機能拡張したPROLOG-Rを搭載し、FORTRANを中心とした従来形の計算機システムと密接したAI応用システムの開発を容易にしています。また、PROLOG-R言語で書かれ、豊富な機能をもつエキスパートシステム構築ツールを有し、その実用性は、計算機ハードウェア診断のノウハウを搭載したエキスパートシステムの開発に示されています。

#### 特長

- MX/2000、MX/3000はAIにも利用できる汎用スーパーミニコン
  - AI言語として、Lisp、Prolog、VEGAMS（ベガMS）を搭載しています。
  - 従来言語（FORTRAN、C、Pascal）も搭載しており、相互にインタフェースが自由にできます。
  - 従来系のデータベースやリレーショナルデータベースを、AI系からアクセスすることができます。
  - エキスパートシステム構築ツールは、Prologコンパイラで高速に実行できます。
  - スーパーミニMXシリーズ共通の豊富なデバイスや入出力装置のレポートリから自由に選べます。
  - PI/Oも利用できます。
- MX/2000、MX/3000に搭載のPROLOG-Rはリアルタイム向きの機能を大幅に拡張
  - タスク化が可能であり、多重世界を実現できます。
  - FortranタスクとPrologタスクの相互起動が可能です。
  - FortranサブルーチンをPrologに組み込むことができます。
  - Fortran系ファイルをPrologからアクセスが可能です。
  - Prologタスク間の共通の述語型データベースが構築でき、相互にデータの送受信可能です。
  - 起動が短時間に可能です。
  - GC（ガーベジ・コレクション/コンパクション）が必要ない高速ASSERT/RETRACTが用意されています。
- エキスパートシステム構築ツールは豊富な機能を装備
  - 前向き推論と後向き推論機構をもっており、推論の状況に応じて切りかえができます。
  - 低価格な端末で、豊富なマンマシンI/Fをもち、それらを目的に応じて選ぶことができます。
    - ①通常のTTYインタフェース（表示、入力）
    - ②メニュー方式（表示、入力）
    - ③ガイド画面方式（表示、入力）
    - ④図形による表示（表示）
    - ⑤簡易型マルチスクリーン（図形とテキストの同時表示、入力）
    - ⑥日本語による判りやすい表示（表示、入力）
  - 知識の入力が容易なマルチスクリーンエディタ（MSE）が利用できます。
- M60シリーズの計算機診断エキスパート・システムが搭載可能
  - 計算機のハードウェアの異常状況から、保守員のレベルに応

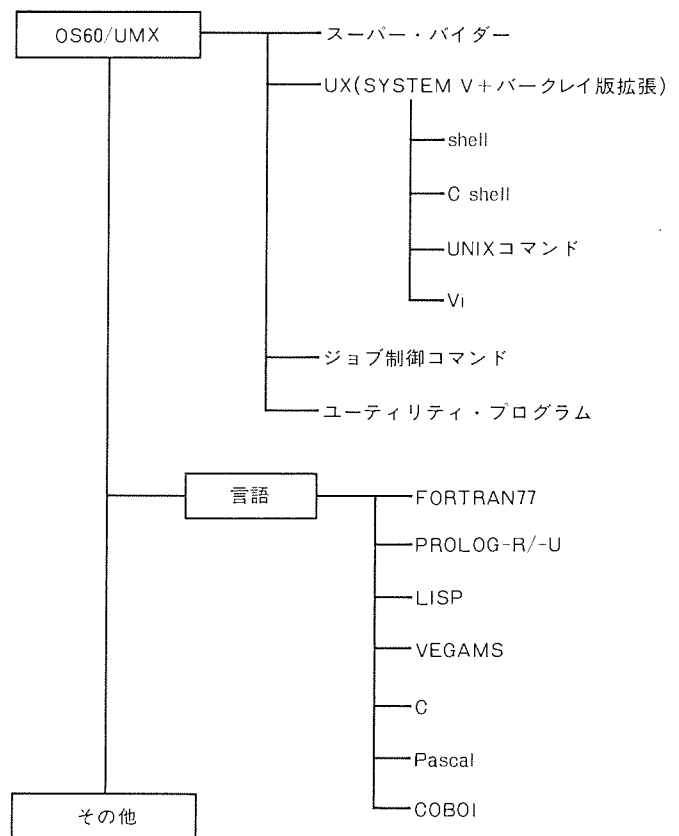
じた診断と処理のアドバイスができます。

- エキスパート・システム構築支援ツールの上に、計算機ハードウェア診断のノウハウを蓄積しています。
- 現在はCPU異常のみに対応しますが、容易に知識を追加蓄積し、レベルアップを図ることができます。

#### 計算機診断エキスパートシステムの例

- ②ステップ1（後向き推論部）  
オペレータとの対話で、種々な徴候から、CPUが異常らしいと判断するに至る手順を、メニュー画面をもとに示します。
- ③ステップ2（前向き推論部）  
オペレータとの対話で、アラームメッセージデータをガイド画面から入力して、異常の発生したと思われるモジュールまたは、PCB群に到達する手順を示します。
- ④ステップ3（後向き推論部）  
再びオペレータとの対話で、その他の状況判断にもとづき、異常を発生したと思われるPCBに到達します。（メンテナンス方法も表示できます。）

#### ソフトウェア構成（部分）



M74HCシリーズは、3 $\mu$ mシリコンゲートCMOSプロセスを用いた高速CMOSロジックICです。このシリーズは、低消費電力、広動作電源電圧範囲、広動作温度範囲および高雑音余裕度等のCMOSロジックの特長を有した上で、スイッチングスピードおよび出力駆動能力をLSTTLと同等に設定しています。直流および交流電気的特性は、国際標準規格 (JEDEC Standard NO.7) に適合しています。

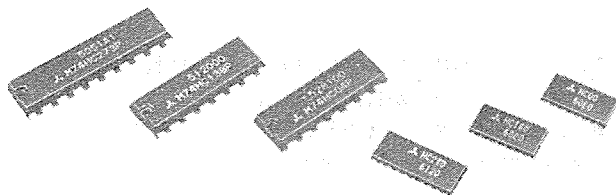
また、このシリーズは、CMOSデバイスの最大の欠点であったラッチアップをパターンレイアウトの工夫等で改善し、実使用上、ラッチアップフリーとなっています。さらに、保護回路の改良により、静電破壊耐圧は全品種、全端子で $\pm 3$  kV以上を実現しています。

一方、パッケージは、DIPタイプ(M74HC00Pシリーズ)のほか、システムのコンパクト化に対応すべく、表面実装時の熱ストレスに耐えうる信頼性の高いSOPタイプ(M74HC00FPシリーズ)を製品化しています。SOP製品の外形寸法は、EIAJ規格(Flat Dip Form A 300mil)に準拠しています。また、JEDEC規格準拠のSOPタイプの製品化も予定しています。SOP製品の出荷時の包装形態には静電防止処理され

たチューブと自動挿入に便利なテーピングの2種類があります。

製品一覧表に示すように、M74HC00Pシリーズは、5月現在71品種を量産中で、昭和62年度中に合計139品種の製品化を予定しています。また、M74HC00FPシリーズは、5月現在22品種を量産中で、昭和61年度中に合計43品種の製品化を予定しています。

以上のように、M74HCシリーズは、民生および産業用デジタル機器の広い範囲で、その応用が期待されています。



M74HC00Pシリーズ製品一覧表

回路機能	形 名
G A T E / I N V E R T E R	INVERTER M74HC00P*, M74HC04P*, M74HC05P, M74HC04P
	NAND M74HC00P*, M74HC03P*, M74HC10P*, M74HC20P*, M74HC30P*, M74HC133P, M74HC00P
	AND M74HC08P*, M74HC09P, M74HC11P*, M74HC21P
	NOR M74HC02P*, M74HC27P*, M74HC4002P*, M74HC4078P*,
	OR M74HC32P*, M74HC4075P*, M74HC4078P*
	EXCLUSIVE OR M74HC86P*
	EXCLUSIVE NOR M74HC266P*, M74HC266AP
	AND-OR-INVERTER M74HC51P*
	SCHMITT TRIGGER M74HC14P*, M74HC132P*
	BUFFER DRIVER M74HC125P, M74HC126P, M74HC240P*, M74HC241P*, M74HC244P*, M74HC365P*, M74HC366P*, M74HC367P*, M74HC368P*, M74HC540P, M74HC541P, M74HC4049BP*, M74HC4050BP*, M74HCT240P, M74HCT241P, M74HCT244P
BUS TRANSCEIVER	M74HC242P*, M74HC243P*, M74HC245P*, M74HC640P*, M74HC643P*, M74HC645P, M74HC646P, M74HC648P
	FLIP-FLOP M74HC73P*, M74HC74P*, M74HC76P*, M74HC107P, M74HC109P*, M74HC112P*, M74HC113P, M74HC114P*, M74HC173P*, M75HC174P*, M74HC175P*, M74HC273P*, M74HC374P*, M74HC377P, M74HC534P*, M74HC564P, M74HC574P
LATCH	M74HC75P, M74HC259P*, M74HC279P, M74HC373P*, M74HC375P, M74HC533P*, M74HC563P, M74HC573P
COUNTER	M74HC160P*, M74HC161P*, M74HC162P*, M74HC163P*, M74HC190P, M74HC191P, M74HC192P, M74HC193P, M73HC390P*, M74HC393P*, M74HC669P, M74HC4017P, M74HC4020P, M74HC4022P, M74HC4024P*, M74HC4040P
SHIFT REGISTER	M74HC164P*, M74HC165P, M74HC166P, M74HC194P, M74HC195P, M74HC299P, M74HC323P, M74HC395P, M74HC397P
DECODER	M74HC42P*, M74HC137P*, M74HC138P*, M74HC139P*, M75HC154P, M74HC155P, M74HC237P*, M74HC238P, M74HC4511P, M74HC4514P, M74HC4515P, M74HC4543P, M74HCT138P
ENCODER	M74HC147P, M74HC148P
MULTIPLEXER	M74HC151P*, M74HC153P*, M74HC157P*, M74HC158P*, M74HC251P*, M74HC253P*, M74HC257P, M74HC258P, M74HC298P, M74HC354P, M74HC356P
ANALOG SWITCH	M74HC4051P, M74HC4052P, M74HC4053P, M74HC4066P
MULTIVIBRATOR	M74HC123P, M74HC221P, M74HC4538P
OTHERS	M74HC85P*, M74HC280P*, M74HC283P, M74HC670P, M74HC688P*

\* 量産中(71品種)

### 特長

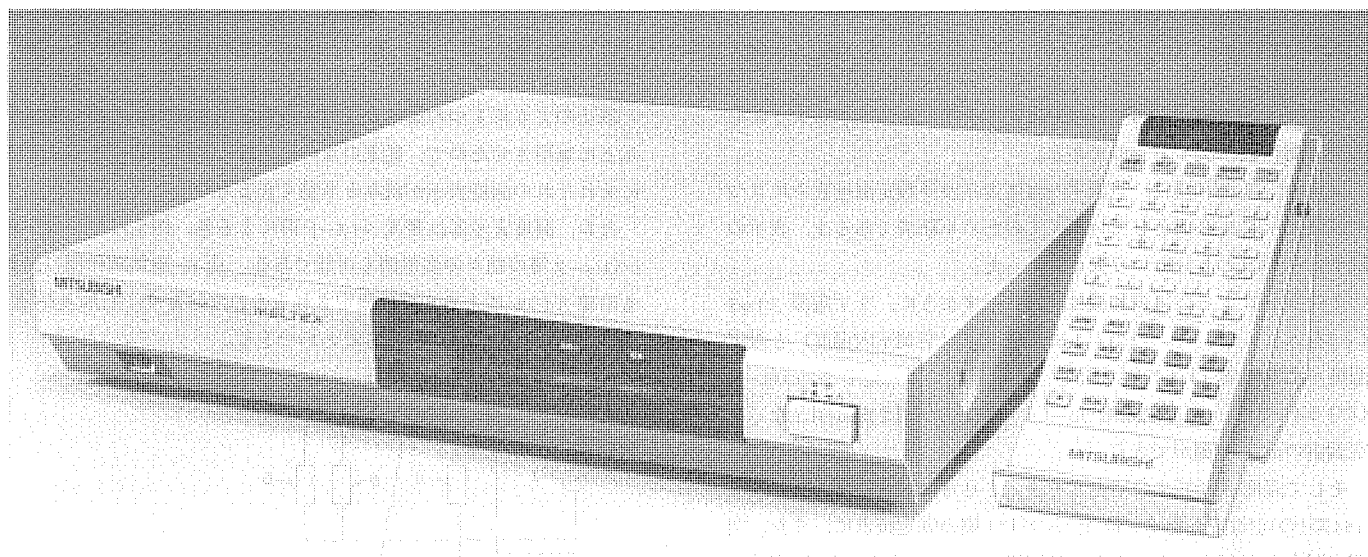
- 高速動作 8ns/ゲート(標準、Vcc=5V)
- 低消費電力 0.1nW/ゲート(標準、静止時、Vcc=5V)
- 高雑音余裕度 Vccの30%(最小)
- 高出力駆動能力 74LSTTL 10回路駆動可能(バッファは15回路)
- 広動作電源電圧範囲 Vcc=2~6V
- 広動作温度範囲 Ta=-40~+85°C
- 高ラッチアップ耐量  $\pm 300$ mA以上(電流注入法、入出力端子、Vcc=7V)
- 高静電破壊耐圧  $\pm 3$ kV以上(MIL-STD-883C METHOD 3015)
- 国際標準規格に適合 JEDEC Standard NO.7
- 74LSTTLシリーズ(一部はCMOS 4000Bシリーズ)とピン配列が同一。

M74HC00FPシリーズ製品一覧表

回路機能	形 名
G A T E / I N V E R T E R	INVERTER M74HC04FP*, M74HC04FP*, M74HC05FP
	NAND M74HC00FP*, M74HC10FP*, M74HC20FP*, M74HC30FP*
	AND M74HC08FP*, M74HC11FP*
	NOR M74HC02FP*, M74HC27FP*
	OR M74HC32FP*
	EXCLUSIVE OR M74HC86FP*
	AND-OR-INVERTER M74HC51FP
	SCHMITT TRIGGER M74HC14FP*
	BUFFER DRIVER M74HC125FP, M74HC240FP, M74HC241FP, M74HC244FP, M74HC365FP, M74HC367FP*, M74HC368FP
	BUS TRANSCEIVER M74HC243FP, M74HC245FP
FLIP-FLOP	M74HC74FP*, M74HC174FP*, M74HC175FP*, M74HC273FP, M74HC374FP
LATCH	M74HC373FP
COUNTER	M74HC161FP*, M74HC163FP*, M74HC390FP, M74HC393FP
SHIFT REGISTER	M74HC164FP, M74HC166FP, M74HC595FP
DECODER	M74HC42FP, M74HC138FP*, M74HC139FP*
MULTIPLEXER	M74HC157FP*, M74HC237FP
MULTIVIBRATOR	M74HC123FP

\* 量産中(22品種)

## 三菱ビデオテックスターミナル VT220

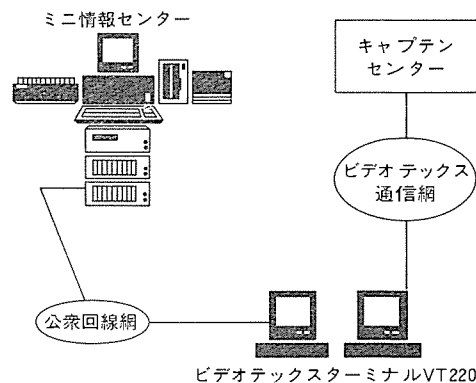


三菱ビデオテックスターミナルVT220は、オフィスや家庭にあるどんなテレビともつながることができる、薄形のビデオテックスターミナルです。簡単な操作で、欲しい情報をすぐキャッチ。コストパフォーマンスにもすぐれた、気軽な情報ターミナルです。

### 特長

- 16色カラー、248×204ドットの美しい画面です。
- ワイヤレスリモコンキーパッドで、離れたところからでも、簡単操作で画面を検索できます。また、オプションとしてワイヤードリモコンも用意しています。
- 画面番号記憶機能によって、最大26画面まで記憶し、すばやく呼び出せます。
- 自動発信機能によって、ワンタッチで10箇所の情報センターと接続できます。
- キャプテン情報のほか、テレビやビデオ画像もプリントできるテレビプリンターをオプション装備します。

### 使用例



### 仕様

表示方式	ハイブリッド方式(文字はコード方式、図形はパターン方式)
端末のランク	ランク2
表示ドット数	248×204ドット(横×縦)
着色単位	文字は文字単位、図形は4×4ドットのミニブロック単位
表示色	16色(8色、2階調)
文字種	英数字、ひらがな、カタカナ、モザイク、漢字(JIS第一水準)キャプテン用記号
文字サイズ	8×12ドット(小形)、8×24ドット(中形) 16×24ドット(標準)、16×48、32×24、32×48ドット(拡大)
表示文字数	496字(小形)、248字(中形)、120字(標準)
表示モード	固定及びスクロール
入力方法	ワイヤレスリモコンキーパッド、またはワイヤードキーパッド
伝送速度	4800bps(下り)、75bps(上り)
テレビインタフェース	21ピンマルチコネクタ、ビデオ信号コネクタ RF信号(1あるいは2チャンネルのうち1つ選択可能)コネクタ
表示方法	ノンインタレース/インタレース切換 背面のスイッチによって設定可能
ダイヤル送受信信号	10pps、20pps、プッシュボタン信号のうち1つ選択可能
回線接続方法	自動発信による自動接続
ダイヤル番号	10個までプリセット
通信網	ビデオテックス通信網、一般電話網、専用線
画面番号記憶	26個
外形寸法	350×350×60(幅×奥行×高さ)
重量	3.85kg(本体のみ)
消費電力	12W
付属品	1. ワイヤレスリモコンキーパッド 2. RGBケーブル 3. フィーダーケーブル 4. RFケーブル 5. 整合器
別売品	1. ワイヤードキーパッドP31 2. テレビプリンターSCT-P50 3. テレビ15C360



# 特許と新案 有償開放

有償開放についてのお問合せ先 三菱電機株式会社 特許部 TEL (03) 218-2136

## 空 気 調 和 機 (実用新案 第 1557840 号)

考 案 者 新 間 充・渡 辺 宏 之・藤 井 学・高 橋 修

この考案は、空調室内温度と設定温度とを共に表示できるようにした空気調和機に関するものである。

従来の空気調和機は、空調室内温度表示及び設定温度表示に2つの温度表示器を必要としていた。このため不経済である上、表示の読みとりが煩わしいという欠点があった。

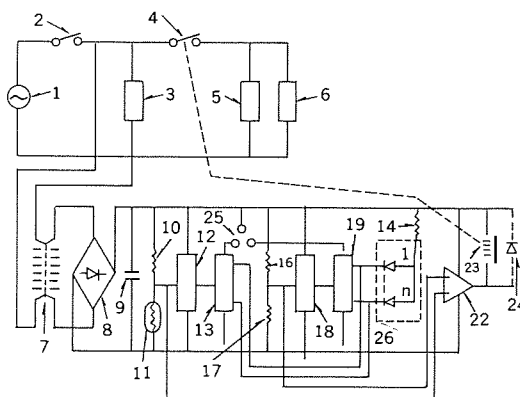
この考案による空気調和機は、図に示すように、まず電源スイッチ(2)を入れたら、サーミスタ(11)による電圧(空調室内温度)と設定温度可変抵抗器(17)による設定(設定温度)とに応じてコンパレータ(22)が作動し、温度調節用リレー(4)の接点が開または閉となって空調室の温度制御ができる。

そして温度表示器に設定温度を表示させたい場合には、切換スイッチ(25)の可動接点をA/Dコンバータ(19)側の固定接点に、また、空調室温度を表示させたい場合には同様にコンパレータ(13)側の固定接点にそれぞれ切換接続することにより行うことができる。

この場合、切換スイッチをトランジスタ又は電界効果形トランジスタ等からなるアナログスイッチで構成すれば、空調室内温度と設定温度を自動的に交互に表示することが可能で、2種類の点滅表示信号を常時監視することができる。また、切換スイッチの自動切換え周波数を10 Hz以上にすれば、操作者の眼の残像作用によって設定温度と空調室内温度が同時に点灯表示できる。

以上のように1つの温度表示器を空調室内温度表示と設定温度表示とに兼用させたので、従来のものに比較して経済的になるとともにそれぞれの温度表示が読みとり易くなるものである。

なお、温度表示器は発光ダイオード群による他、例えば数字表示器、レベルメータ等の種々の変形例も可能である。更に空気調和機の熱源も冷凍サイクルによるものに限定されるものではなく、石油及びガス等の熱源のものにも適用することができる。



### 〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 60 No. 7 システム OA 特集

#### 特集論文

- システム OA の現状と展望
- 《MELCOM》統合 OA アーキテクチャ
- 《MELCOM EX シリーズ》統合 OA 基本ソフトウェア
- 《MELCOM 80 シリーズ》統合 OA 基本ソフトウェア
- 《MELCOM》統合 OA におけるワークステーション
- 《MELCOM》統合 OA システムにおけるローカルエリアネットワーク
- 《MELCOM》統合 OA におけるイメージ処理

#### ●《MELCOM》統合化 OA パッケージ

- 研究所における OA システム
  - エンジニアリング部門における分散形 OA システム
- #### 普通論文

- 関越トンネルの監視制御システム
- ソフトウェア設計ツール
- 高画質 VHS ビデオ用信号処理 IC
- FOIL 軸受におけるテープ浮上特性機構

#### 三菱電機技報編集委員

委員長 鶴田 敬二  
委員 峯松 雅登  
" 松村 充  
" 三 道 弘 明  
" 高 橋 宏 次  
" 藤 井 学  
" 三 輪 進  
" 郷 鉄 夫  
" 高 橋 誠 一  
" 杉 岡 八 十 一  
" 木 戸 一 之  
幹 事 岡 田 俊 介  
6 月 号 特 集 担 当 高 橋 宏 次

#### 三菱電機技報 60 巻 6 号

(無断転載を禁ず)

昭和 61 年 6 月 22 日 印刷  
昭和 61 年 6 月 25 日 発行

編集兼発行人 岡 田 俊 介  
印 刷 所 東京都新宿区榎町 7  
大日本印刷株式会社  
発 行 所 東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 2 号 (〒 100)  
菱電エンジニアリング株式会社内  
「三菱電機技報社」 Tel. (03) 243 局 1767  
発 売 元 東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番 地 (〒 101)  
株式会社 オーム社  
Tel. (03) 233 局 0641(代), 振替口座東京 6-20018  
定 価 1 部 500 円送料別 (年間予約は送料共 6,700 円)



このたび三菱電機では、地理的に離れた場所における会議・打合わせを容易に行える通信会議システム カラー静止画タイプB-VQを開発いたしました。高精細・鮮明な大画面カラー画像表示、人物・物体・書画の通信、画像の蓄積および検索、ポインタ操作、高速な画像伝送(約30秒)等により、効率的な会議・打合せを行うことができます。現在一般に使用されている通信回線が使用可能なので、早期に通信会議システムを設置でき、しかも運用コストを低く押さえることができます。

### 特長

- 高精細なカラー静止画を左右2台の28インチ・カラーディスプレイに表示します。2台のディスプレイには異なった画像が表示できます。
- 高能率な当社独自のベクトル量子化方式による画像符号化を採用していますので、経済的・効率的・高精細・鮮明な画像を伝送することができます。
- 図面を見ながら、イラストを見ながら、物体を見ながらなど、視覚がポイントの会議・打合わせに最適です。
- 表示中の画像に対しポインタ表示ができ、指摘箇所を相手に示すことができます。
- 約75枚までの画像を長期に蓄積することができます。よく使用する画像、会議・打合わせの進行促進のためあらかじめ準備しておく画像等を蓄積します。これらの画像の表示は伝送速度に

関係なく約10秒で完了します。

- 通信回線には3.4kHz(S)の専用線を使用します。速度は19.2kb/sを実用速度としますが、9600b/sでも使用可能です。この専用線は全国的に広く行きわたっており、地域的な制限なしに通信会議システムを設置することができます。また高速デジタルサービスとの対応も可能です。
  - 室の大きさはおよそ7m×7.5m、人数は片局10人程度の会議・打合わせが可能であり、これより小規模にすることもできます。
- ※この他にカラー静止画タイプB-Wもあります。

### 利用例

- 企画会議 ● 設計の打ち合わせ ● 研究会議
- デザインの打ち合わせ ● 映像相談所
- カタログショッピング ● 映像美術館
- 映像プレゼンテーション ● 図書館情報サービス
- ローカル広告放送 ● 写真ライブラリ

### 基本仕様

映像入出力	アナログRGB
解像度(画素数)	横525ドット×縦480ライン
伝送速度	9600/19.2k/48k/56k/64kbps
符号化方式	ベクトル量子化方式
誤り制御	CRCチェック(自動誤り再送訂正)
回線インタフェース	V.24/V.28 G703
音声	別回線を使用
使用環境	5℃～35℃ 20～80%RH
電源	AC100V±10%、50/60Hz単相



三菱マルチワークステーションM3300シリーズは、豊富なOA機能を持ち、幅広い利用形態に対応できる本格的ワークステーションです。

### 特長

#### ●高機能・高性能

- CPUにi80286-8 (8MHz) を採用。
- 主メモリは最大5 MBまで拡張が可能。
- 1120×756ドットの高解像度ディスプレイを採用するとともに高性能グラフィックプロセッサを標準装備し、高速描画が可能。

#### ●多様化するネットワーク機能への対応

ホストコンピュータと接続する各種端末エミュレータ、マイクロメインフレーム・リンク機能の利用が可能。通信手段として、BSCポーリング、BSCコンテンツンション、パソコン間通信、JCA手順等を幅広く完備しています。

#### ●OAソフトウェアを完備

三菱統合化ソフトウェア・シリーズ(MELLINK/ws、A1・MARK II、Maltigrath他)、汎用OAソフトウェア(日本語Multiplan、SuperCalc<sup>2</sup>他)を数多く使用できます。

#### ●最大4ジョブの並行処理が可能

OSとして、拡張日本語コンカレントCP/M-86を採用、最大4ジョブの並行処理を実現しています。バンク切替方式により1ジョブあたり最大448KBのメモリ空間を提供します。また、メモリを高速ディスクファイルとして利用できるメモリディスク機能を備えています。



#### ●本格的定形業務処理への対応

ジョブ管理機能、データ管理機能を備えており、CCBOLやBASIC言語でデータ管理機能を利用することができます。さらに見易い24ドット明朝体表示のディスプレイ装置、ワンタッチキーボード、最大40MBの内蔵形大容量固定ディスク装置あるいは、OA日本語プリンタなどを使用して、オフィスコンピュータ並みの本格的業務処理システムの構築が可能です。

Multiplanはマイクロソフト社、SuperCalc<sup>2</sup>はコンピュータアソシエイツ社、コンカレントCP/M-86はデジタルリサーチ社の登録商標です。

### 本体装置

形 式	M3305-A12	M3303-A12	M3303-A20
C	P	U	
メ モ リ	システム ROM	16ビットマイクロプロセッサ i80286-8(8MHz)	
	日本語文字 ROM	32KB	
	R A M	JIS第1、第2水準文字を含む約7300字	
	ビデオ RAM	1.5MB標準実装	
補助記憶装置(内蔵)	テキストRAM32KB (4KB×8面)、グラフィックRAM512KB (モノクロ)、2048KB (カラー)	5.25インチ 1MB×1台	
	固定ディスク装置	5.25インチ 20MB×1台	
イン タ フェース	シリアルインタフェース	RS232C 1チャンネル 調歩同期 (ASYNC)	
	パラレルインタフェース	セントロニクスインタフェース 1チャンネル (DMAデータ転送可能)	
オプションスロット		6	5
プロセッサ	プロセッサ	高速演算機構 i80287-8	
	R A M	512KB、1MB、2MB 最大2枚迄 (4MB)	
	通信制御装置	手動内蔵型 (BSC-C、BSC-P、SDLC、DDX-PT)、公衆・特定・構内回線/DDX (回線交換/バケット) 300~9600bps、AA型NCU接続インタフェース、全二重/半二重、調歩同期/独立同期	
	同軸制御装置	0.5Mbps/1Mbps M5000EV、MELCOM80シリーズとの接続	
オプション	LAN制御装置	10Mbps MELCOM80/DPS10との接続	
	補助記憶装置	5.25インチ 1MB×1台又は 20MBストリーミングMT 1台	5.25インチ 1MB×1台又は 20MBストリーミングMT 1台
	固定ディスク装置	5.25インチ 20MB×1台	5.25インチ 20MB×1台
	電源	AC100V±10V、50/60Hz±1Hz、ACケーブル3m、2極接地	AC100V±10V、50/60Hz±1Hz、ACケーブル3m、2極接地
設置条件	消費電力	450VA	350VA
	動作時温度	5~35℃、湿度40~80%	5~35℃、湿度40~80%
外形寸法	幅	160×奥行400×高さ255 (縦置)	幅380×奥行386×高さ155
	重量	約19kg	13.5kg

### その他オプション機器

品 名	形 式	仕 様
フレキシブルディスク装置 (外付)	M6847	5.25インチ 1MB×2、電源内蔵
	M6848	8インチ 単密度(1S)/倍密度(2D)両用、電源内蔵
ハンドOCR	M6908	読取り字種 OCR-Bフォント 0~9、C、E、N、S、T、V、X、+、<、> 読取り文字数 4~9文字、読取り速度 7.6~33cm/秒
	M6909	バーコード規格 NW-7、読取り字種 0~9、- (マイナス)、/、\、(ピリオド)、:、+ データ長 5~30文字、読取り速度 15.0~75.0cm/秒 JAN、CODE39、2out of5
IDカードリーダー	M6907	カード規格 JIS-B-9560 JIS II形銀行規格磁気カード、手動式 5~80cm/秒
イメージスキャナ	M6001	CCDによる原稿台固定平面走査方式、原稿サイズ、最大A4 読取機密度 240dpi/200dpi/180dpi (プログラム指定)、読取速度 約11秒以下
パソコン通信アダプタ	M6050	パソコン通信手順(1~5レイヤー)内蔵、通信速度 4800/2400bps、通信方式 半二重モデム及びAA形NCU内蔵

### キーボード(鍵盤)

形 式	M6900	M6901	M6902
名 称	JIS・OAキーボード	JISキーボード	ワンタッチキーボード
キー 数	データ入力キー48、ファンクションキー16、テンキー19、画面制御キー21、制御キー24	データ入力キー48、ファンクションキー16、テンキー19	データ入力キー48、ファンクションキー16、テンキー14
キー配列	JIS配列準拠		専用配列
傾き調整	6°、10°、15°の順斜角の設定が可能		
マウス (オプション)	メカニカル読取方式、分解能0.25mm/パルス、追従速度200mm/秒		マウスインタフェース無し

### プリンタ

形 式	M6225-1	M6227-1	M6226-1
印刷方式	ワイヤードットマトリックス方式		
印字速度	英数カナ	120字/秒	264字/秒
	高密度英数カナ	60字/秒	132字/秒
文字構成	英数カナ	13(横)×18(縦)ドット、136/行、1/10インチ	13(横)×18(縦)ドット、136/行、1/10インチ
	高密度英数カナ	12(横)×24(縦)ドット、136/行、1/10インチ	12(横)×24(縦)ドット、136/行、1/10インチ
文字ピッチ	英数カナ	24(横)×24(縦)ドット、90/行、3/20インチ	24(横)×24(縦)ドット、90/行、3/20インチ
	日本語	24(横)×24(縦)ドット、90/行、3/20インチ	24(横)×24(縦)ドット、90/行、3/20インチ
用 紙	用紙幅	4.5~16インチ	4.5~16インチ
	複写枚数	3枚(含、オリジナル)	5枚(含、オリジナル)
紙 送 り 機 構	①スプロケットフー45~15インチ可変	①スプロケットフー45~15インチ可変	①スプロケットフー45~15インチ可変
	②フリクションフー	②フリクションフー	②フリクションフー
そ の 他	外形寸法(mm)	(幅)512×(高さ)130×(奥行)275	(幅)550×(高さ)168×(奥行)438
	重量	7.2kg	18kg
電源	AC100V 50/60Hz 1.1A	AC100V 50/60Hz 1.9A	AC100V 50/60Hz 1.9A
	電源	AC100V 50/60Hz 1.1A	AC100V 50/60Hz 1.9A

### オプションインタフェース他

品 名	仕 様
MULTI 16 インタフェース	シリアルインタフェース
	パラレルインタフェース
	パラレルインタフェース
	パラレルインタフェース
RC232C	
パラレル入出力インタフェース	
自動電源制御装置	

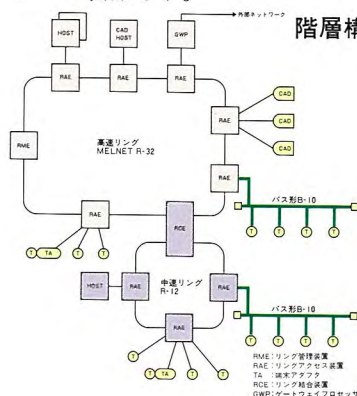
### ディスプレイ(表示装置)

形 式	M6310	M6312	M6311
画 面 表 示	カラー	カラー	モノクロ(グリーン)
	14インチ	14インチ	14インチ
画 面 サ イ ズ	表示文字数	英数カナ80文字×25行+システム行2行、漢字40文字×25行+システム行2行	表示文字数
	表示文字種	英数カナ(半角)256種、漢字(全角)JIS第1水準、第2水準、外字768種	表示文字種
テ キ ス ト 表 示	文字フォント	英数カナ11×19ドット、漢字24×24ドット(明朝体)、外字28×28ドット	文字フォント
	野線種	アンダーライン、オーバーライン、抹消線、左縦線、右縦線、左カラム	野線種
表示制御	高輝度、通常輝度、非表示、プリンタ表示、反転表示、マーク	高輝度、通常輝度、非表示、プリンタ表示、反転表示、マーク	高輝度、通常輝度、非表示、プリンタ表示、反転表示、マーク
	画面数	4画面(32KB)	4画面(32KB)
表示色	8色	8色	グリーン
	解像度	1120×756ドット	1120×756ドット
グラフィック	画面数	4画面(2048KB)、分割表示可能	4画面(512KB)、分割表示可能
	表示色	カラーパレット制御により4096色中16色を選択可能	グリーン
描 画 機 能	高性能グラフィックプロセッサによる高速描画が可能	高性能グラフィックプロセッサによる高速描画が可能	高性能グラフィックプロセッサによる高速描画が可能
	描画機能	直線、折線、多角形、円、楕円、塗りつぶし	直線、折線、多角形、円、楕円、塗りつぶし
画 面 合 成	テキストとグラフィックの合成可能(スーパーインポーズ)	テキストとグラフィックの合成可能(スーパーインポーズ)	テキストとグラフィックの合成可能(スーパーインポーズ)
	角度調整	チルト角度(上、下5°~15°)、水平回転角度(±30°)	チルト角度(上、下5°~15°)、水平回転角度(±30°)
ディスプレイ制御装置	カラーディスプレイ制御装置2スロット	モノクロディスプレイ制御装置2スロット	モノクロディスプレイ制御装置2スロット
	マルチスキャン装置	有	有



# 三菱ローカルエリアネットワーク 《MELNET B10》

このたび三菱電機では、中小規模のオフィス・工場・研究所の構内通信に最適なローカルエリアネットワーク《MELNET B10》を開発しました。従来、各部門ごとに設置・運用されていた計算機・端末に《MELNET B10》を接続することにより、高速で信頼性が高く、経済的なローカルエリアネットワークが容易に構築することができます。《MELNET B10》は、OA/FA/LAシステムの高度化・複合化の基盤となる構内ネットワーク製品です。



MELNET B10  
基本形システム



## 特長

## ●国際標準に適合した通信方式

《MELNET B10》の通信方式は10Mb/s、CSMA/CD方式。国際標準(IEEE802仕様)に適合していますので汎用性が高く、将来に渡って安心してご使用いただけます。

### ●豊富な計算機・端末接続方式

当社計算機(MELCOM EXシリーズ、MELCOM70 MXシリーズ、MELCOM80シリーズ、オフィスターミナル、マルチワークステーション)は各々チャネル直結LANアダプタにより、大量データの短時間転送など10Mb/sの快適さを満喫できます。また、直結LANアダプタをもたない既設端末も、TIA(端末接続アダプタ)により経済的に、かつ容易にLANへ収容できます。

### ●先を見越した拡張性

《MELNET B10》1システムがカバーする範囲はおおよそビル1棟分（最大2.5km）。多くのビルが広大な敷地内に分散する工場の場合は、ビル間を高速光ファイバLAN《MELNET R32》で結ぶことにより拡張可能。もちろん、全国ネットワークの構築に対しても広域網ゲートウェイ装置で対応できます。中小規模から大規模へ、そして全国展開まで階層的に拡張することができます。

## ●高信頼性ネットワークシステム

苛酷な電気的環境での工場内には、《MELNET B10》光ファイバ LANを使用してノイズをシャットアウト。通常のオフィス環境では経済的な同軸ケーブルで充分であり、高信頼性を発揮します。《MELNET B10》運転中はバス管理装置が常にLANシステム全体と各装置の状態を監視していますので、万一の障害時でも迅速な復旧に対応できます。

伝送仕様

項 目	諸 元	
	同軸LAN	光LAN
伝送媒体形状 ネットワーク形式 伝送方式 通信最大距離	同軸ケーブル バス形 ベースバンド max1024 (リモートリピータ使用時)	光ファイバケーブル スター形 光強度変調 max 500m
伝送速度 通信方式 アクセス方式 通信プロトコル 通信形態 接続ステーション数	10Mbps パケット多重方式 IEEE802.3(CSMA/CD)準拠 IEEE802.2(LLC)準拠 1:1 1:N N:N	
	max1024 (max接続TR)	max32 (max接続OTR)

## TIAの機能仕様

項 目		諸	元
T	I A 台 数		max100台
総	端 末		max1000台
収	容 端 末 数		max18台
端末インタフェース		物理インタフェース	V.24/V.28, X.20/X.21
		接 続 制 御	代行ダイヤル、キャラクタダイヤル PVC(相手固定接続) 代表番号接続
		通 信 速 度	100bps~48Kbps
		同 期 方 式	調歩同期、独立同期、フレーム同期
		伝 送 手 順	無手順、BSC, SDLC, HDLC、 X.28, X.25
電 源		AC100±10V, 50/60Hz 300VA以下 ACケーブル平行3極プラグ付き,	
環 境 条 件		温 度 5~35℃ 湿 度 20~80%	
外 形 (mm)		W480×H150×D425	
消 費 電 力		300VA以下(最大実装構成時)	