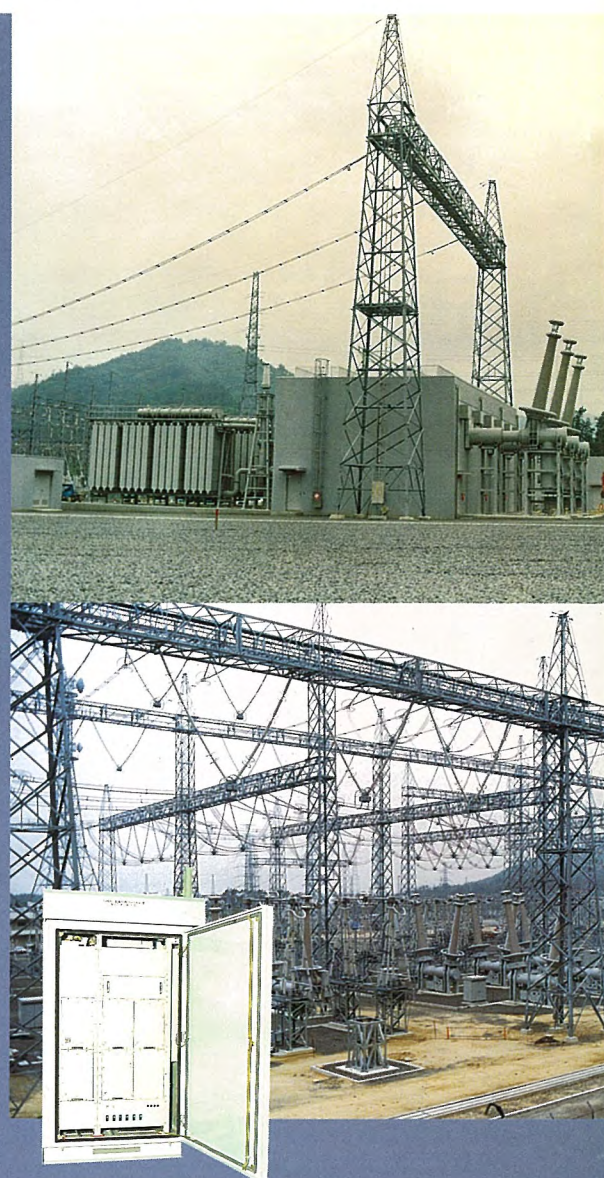
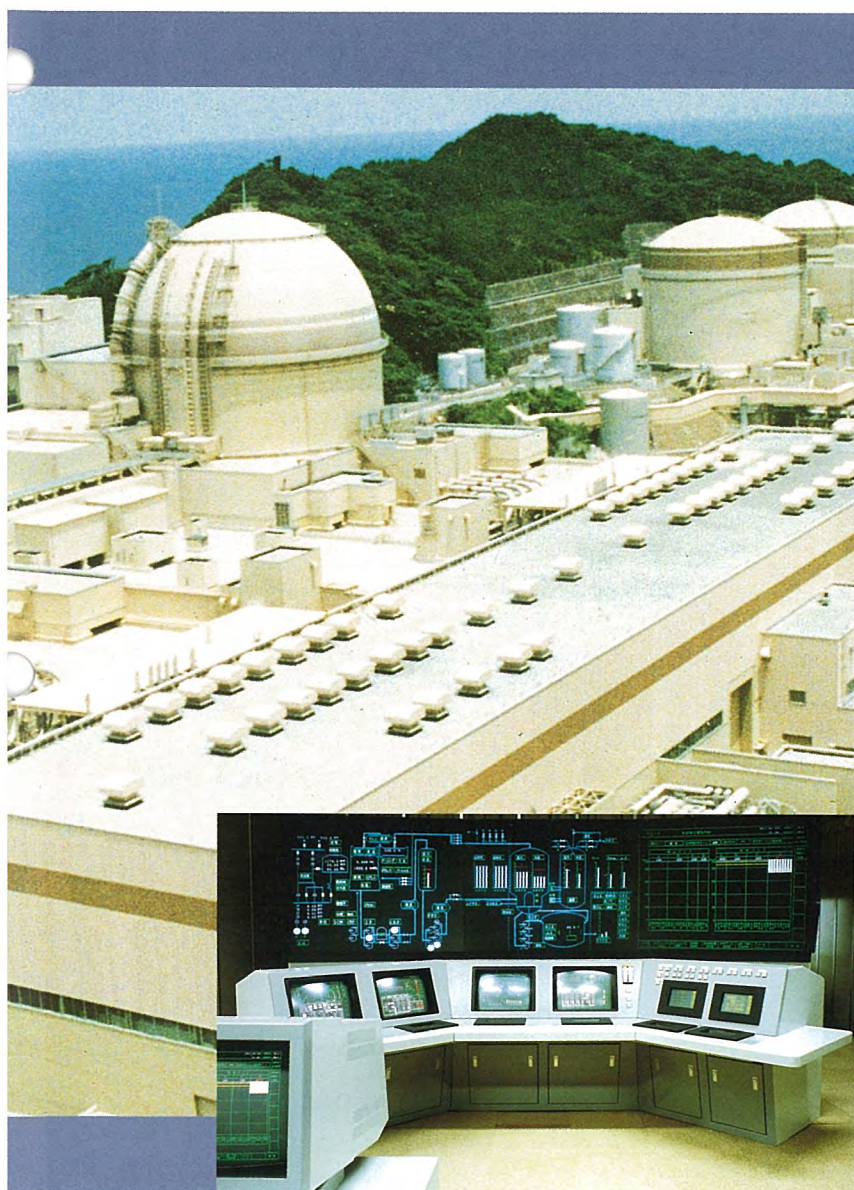


# MITSUBISHI 三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.66 No. 12

12  
1992

## 特集 “原子力電気計装” “変電機器の予測保全”



## 特集 “原子力電気計装” “変電機器の予測保全”

### 目次

#### 原子力電気計装特集論文

安全運転のための計装システムの構築……………	1
若林二郎	
次期原子力プラント電気計装設備に向けての取組……………	2
松宮正幸	
新型中央計装システム……………	5
谷 衛・小橋秀一・伊藤 徹・今瀬正博・小笠原 誠	
次期原子力プラント向け計装制御保護システム……………	11
山脇雅彦・赤木克己・北村 久・稲積義則・高嶋 誠	
原子力発電プラント保全技術……………	15
片山俊彦・池田郁夫	
原子力業務技術支援管理システム……………	21
大屋 正・阿部紀彦・松原武廣	
統合制御監視システム MELTAC-CJ……………	26
下里正夫・松尾慶一・田中浩一・小倉啓七・先間直樹	

#### 変電機器の予測保全特集論文

変電機器の予測保全技術への期待と将来展望……………	33
河村達雄	
変電設備予測保全の展望……………	34
山内高雄・塩見 實	
変圧器の予測保全技術……………	37
牧野芳弘・難波貞雄・吉川 徹・内藤貞夫・今井満夫	
ガス絶縁開閉機器の予測保全技術……………	45
細川育雄・小林晴彦・青木 浩・石辺信治・小原正利・金田佳男	
受変電用開閉機器の診断技術……………	51
早丸秀吉・酒井道雄	
次期変電所における予測保全と監視制御システム……………	58
前川 洋・平河宏之・篠原秀雄・上窪康博	
ニューラルネットワークによる GIS の異常診断への適用……………	63
萩 宏美・泉井良夫・小林誠治	
日新製鋼(株)製鉄所向け熱間圧延プラント制御システム……………	68
橋原 寛・森 敏明・吉田二三男・岡部淳一郎・當間健次	
“MELCOM80” 販売のための情報サービスシステム	
総合販売情報支援システム DS-LAND……………	75
内藤貴雄・金谷勇二・湊川喜雄	
全日本空輸(株)納めスケジュールモニタリングシステム……………	81
渡辺俊雄・小島生正・井上悦次・熊谷秀光・神原隆宏	
超高速 5 秒電送 G3 ファクシミリ MELFAS F1……………	86
瀬政孝義・木野茂徳・曾我巖哉・田淵浩史・川田智之	
16kbps LD-CELP 音声コーデックモジュール……………	91
河野典明・矢島 久・浅井 敬・長瀬平明・内藤悠史	
零レンジサイドロープパルス圧縮超音波探傷法……………	96
和高修三・永塚 勉・三須 幸一郎・木村友則・小池光裕	

#### 特許と新案

圧力監視装置、避雷器用漏れ電流検出器……………	101
光スイッチ……………	102

### スポットライト

特別高圧用 C-GIS GX-20V (キュービクル形ガス絶縁開閉装置)……………	32
油入変圧器用油中ガス監視装置……………	108
パイプ内面形状センサ……………	(表 3)
三菱電機技報 66 巻総目次……………	103

### 表紙

#### 原子力電気計装

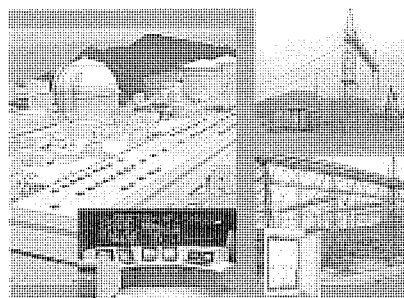
左の写真は関西電力(株)大飯 3, 4 号機発電所(3号:平成 3 年 12 月運開, 4号:平成 5 年 2 月運開予定)と、次期プラント向けプロトタイプ新型中央制御盤。

この大飯 3, 4 号機の計装制御システムにおいては、運転・保守面で使いやすく、かつ安全性確保及び信頼性の向上要求を実現すべく、新計装制御設備(改良型中央制御盤、デジタル計装制御設備等)を適用した。

次期原子力プラント計装制御設備に向けては、これまでの建設経験をもとに技術改良と先端技術を取り込み、システム機能そのものの高度化はもとより、安全性確保、信頼性・稼働性のより一層の向上、異常/事故の未然防止を目標に技術開発に取り組んでいる。

#### 変電機器の予測保全

四国電力(株)と三菱電機(株)は平成元年から共同で変電所運転保守支援システムの開発を進めてきたが、このたび 500kV 変電所の建設にあたり、讃岐変電所に同システムの据え付けを完了した。右の写真は、設備診断装置、外観監視装置及びその上位系であるエキスパート処理装置から構成される 500kV 気中変電所の大規模運転保守支援システムである。



三菱電機技報に掲載の技術論文では、国際単位“SI”[SI 第 2 段階(換算値方式)を基本]を使用しています。ただし、保安上、安全上等の理由で、従来単位を使用している場合があります。



## アブストラクト

### 次期原子力プラント電気計装設備に向けての取組

松宮正幸

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 2～4

原子力発電所の安全性確保，信頼性向上はもとより，より使いやすく安心できるシステムニーズにこたえていくため，発電所全体にわたってトータルシステムとして，プラント運転保守の集中一元管理と最適な機能役割分担に基づいたシステム構築を図ることを基本として，技術開発・改良に取り組んできている。本稿では，次期プラントに向けての電気計装設備の技術動向とその取組について概括する。

### 統合制御監視システム MELTAC-CJ

下里正夫・松尾慶一・田中浩一・小倉啓七・先間直樹

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 26～31

原子力向けデジタルコントローラ MELTAC シリーズの高信頼性／高保守性設計思想を踏襲し，かつ小型・低価格・オープン化を追求した汎用計装システム MELTAC-CJ を開発した。

このシステムでは，最新 GUI (Graphical User Interface) の導入による視認性の良い立体イメージ画面の実現，高性能 CPU の採用による高速シーケンス制御・計装制御の統合，最小ハードウェア構成での二重化対応，運転監視とエンジニアリング機能の統合を図った。

### 新型中央計装システム

谷 衛・小橋秀一・伊藤 徹・今瀬正博・小笠原 誠

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 5～10

次期原子力プラント向け新型中央計装システムの主要部として，新型中央制御盤及びマンマシンシステム(運転ガイダンスシステム)を開発した。これらは，運転信頼性向上(ヒューマンエラー防止)，運転ワークロード低減等を設計目標に，コンパクト型の運転コンソールと，知識工学を応用したガイダンスシステムを実現したものであり，発電所運転員による運転検証で目標の達成を確認した。この論文は各システムの概要と検証について紹介する。

### 変電設備予測保全の展望

山内高雄・塩見 實

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 34～36

変圧器やガス絶縁開閉機器の状態監視保全は予測保全と呼ばれ，各機器の異常を初期の軽微な段階で見付けろるために，各種センサを開発し，物理的・化学的現象を利用した実用化研究が進められている。今後とも保全業務の省力及び省人化のために，予測保全への要求が増していく。将来の変電所の保全のためには，個々のセンサの開発とともに電算機を用いた総合的なアルゴリズムが必要となる。

### 次期原子力プラント向け計装制御保護システム

山脇雅彦・赤木克己・北村 久・稲積義則・高嶋 誠

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 11～14

次期原子力プラント向け計装制御システムでは，制御系に加えて原子炉安全保護系をデジタル化し，制御保護装置及び新型中央制御盤をプラント全域通信システムで結合した総合デジタル化システムを構築し，運転操作監視性・信頼性・保守性・プラント稼働率の向上を図る計画としている。

本稿では，総合デジタル化システムのうち，計装制御保護システムについて，機能実現の基本方針，技術開発の状況を紹介する。

### 変圧器の予測保全技術

牧野芳弘・難波貞雄・吉川 徹・内藤貞夫・今井満夫

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 37～44

油入変圧器の診断技術については，従来から寿命の予測に役立つ主要ガス成分として用いられている CO<sub>2</sub>，CO を精度良く求める方法とフルフラールに着目した新しい手法について述べる。

液冷式ガス絶縁変圧器の異常診断技術として異常様相の識別が可能な診断図法を開発した。

また，油中ガスによる監視方法や負荷時タップ切換器の駆動軸トルク波形による特性診断を利用した監視技術について述べる。

### 原子力発電プラント保全技術

片山俊彦・池田郁夫

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 15～20

原子力発電プラントの安全運転の継続，設備利用率の向上のために取り組んでいる予防保全活動の概要を紹介するとともに，最近開発されてきた予防保全技術の具体例として，保全業務で収集される機器データ(外観検査データ，数値データ，五感データ，センサからの信号データ等)から知識処理技術を応用し，機器の異常徴候による異常早期診断を行う設備診断支援システムについて紹介する。このシステムは，適用範囲が広く，設備保全の成果が期待できる。

### ガス絶縁開閉機器の予測保全技術

細川育雄・小林晴彦・青木 浩・石辺信治・小原正利・金田佳男

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 45～50

SF<sub>6</sub> ガス絶縁開閉機器の異常診断装置の開発は昭和50年代初頭から行われており，これまでに十数箇所の変電所に納入し，数々のデータ集積を行ってきた。予測保全のための監視・診断に用いられるセンサは，各機器に適したものが用いられている。ガス遮断器には加速度形部分放電センサ・開閉特性センサが，GIS には電圧差動形部分放電センサが用いられている。避雷器は漏れ電流と動作電流の監視で予測保全ができる。

### 原子力業務技術支援管理システム

大屋 正・阿部紀彦・松原武廣

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 21～25

原子力発電所における運転管理，保守管理業務領域からプラントの信頼性向上をねらった技術支援管理システムの構築について述べる。具体的に導入例を紹介するとともに，導入後も拡大するこの領域のシステムについて，拡大例や新システム，新技術例を説明し，この分野の動向を説明する。そして，今後の方向についても要求される技術要素及びシステム構成について概観する。

### 受変電用開閉機器の診断技術

早丸秀吉・酒井道雄

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 51～57

定格電圧 3.6～36kV の C-GIS・スイッチギヤ・遮断器に関し，劣化要因・劣化プロセス・故障モード分析を行い，現状の診断技術を各劣化要因対応で分類した。さらに，診断技術の動向に関して述べた。特に常時監視項目として，既に製品化又は検討中のものを紹介し，併せて今後の課題アイテム，及び予測保全システムの考え方について示した。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.26~31 (1992)

## The MELTAC-CJ General-Purpose Instrumentation and Control System

by Masao Shimozato, Keiichi Matsuo, Koichi Tanaka, Keishichi Ogura & Naoki Sakima

The corporation has developed the MELTAC-CJ general-purpose instrumentation and control system to meet the objectives of compact dimensions, low cost, and open architecture. The system represents an extension of the design philosophy of the highly reliable and easily maintained MELTAC Series digital controllers. The system's graphic user interface provides the operator with easily interpreted 3D color images to gauge system status. The system's high-performance CPU integrates high-speed programmable sequencing functions with instrumentation and control functions. A highly reliable redundancy architecture has been achieved using a minimal amount of additional hardware.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.2~4 (1992)

## Development of Electrical and Instrumentation System for Next-Generation Nuclear Power Plants

by Masayuki Matusmiya

The corporation is developing and improving technologies for electrical and instrumentation systems of next-generation nuclear power plants with the aim of satisfying contemporary needs for simpler, certain operation with greater safety and reliability. The author sees these goals as best achieved by the use of an integrated information system for the entire power plant that combines plant operation and maintenance functions, and appropriately assigns them to the instrumentation systems. The article surveys recent trends and development activities in instrumentation and control equipment technology.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.34~36 (1992)

## Trends in Predictive Maintenance for Substation Equipment

by Takao Yamauchi & Minoru Shiomi

Research is underway on implementing predictive maintenance technology for substation transformers and gas-insulated circuit breakers. Sensors and associated technologies are being developed to detect the physical and chemical phenomena that accompany the early stages of equipment abnormalities. Demand for this technology is increasing because of its potential to reduce manpower requirements for substation maintenance. Future substation maintenance systems will require not only various kinds of sensors but comprehensive algorithms to enable computer analysis of this data.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.5~10 (1992)

## A New Main Control-Board System

by Memoru Tani, Shuichi Kobashi, Toru Ito, Masahiro Imase & Makoto Ogasawara

The corporation has developed a new main control-board that incorporates an operator guidance system for the next generation of nuclear power plants. The design objectives were to improve plant operation reliability operator workload and incidence of human error. Features include a compact operation console employing CRTs and a knowledge-engineering based operator-guidance system. The system was evaluated and passed testing by nuclear power-plant operators. The article introduces system features, validation methods and test results.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.37~44 (1992)

## Predictive Maintenance Technology for Transformers

by Yoshihiro Makino, Sadao Nanba, Toru Yoshikawa, Sadao Naito & Michio Imai

The article reports on methods to precisely measure the concentrations of CO<sub>2</sub> and CO gases to determine the service-life of oil-filled transformers, as well as a new method based on furfural. Further, diagrammatic method to determine the progress of abnormalities in liquid gas-insulated transformers has been developed. The article also covers technologies for monitoring gases dissolved in insulating oil and shaft torque waveforms of tap changers while in service.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.11~14 (1992)

## An Instrumentation, Control and Protection System for Next-Generation Nuclear Power Plants

by Masahiko Yamawaki, Katsumi Akagi, Hisashi Kitamura, Yoshinori Inazumi & Makoto Takashima

The corporation plans to employ all-digital technology in the reactor safety protection system as well as the control system for next-generation nuclear power plants. A plant-wide digital network will link control, protection and main control-board equipment, making the plant easier to operate and supervise. Digital technology will improve reliability, simplify maintenance procedures, and raise the plant's load factor. The article covers the basic implementation concepts and the state of technologies applicable to such systems.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.45~50 (1992)

## Preventive Maintenance Technology for Gas-Insulated Switchgear

by Ikuro Hosokawa, Haruhiko Kobayashi, Hiroshi Aoki, Shinji Ishibe, Masatoshi Ohara & Yoshio Kaneda

The corporation has been developing fault-diagnostic equipment for SF<sub>6</sub> gas-insulated switchgear since the early 1950s. With equipment delivered to more than ten substations, an abundance of fault data has been collected and utilized in development work. Sensors for monitoring and diagnosis are selected to match the target equipment. Accelerometer partial-discharge sensors and interrupter sensors are used for gas circuit breakers, and voltage-differential partial-discharge sensors for gas-insulated switchgear. Preventive maintenance of arresters has also been made possible.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.15~20 (1992)

## Maintenance Technology Based on Diagnostic Systems for Nuclear Power Plants

by Toshihiko Katayama & Ikuro Ikeda

The article introduces a fault diagnostic-support system and preventive maintenance procedures developed to ensure nuclear power plant operations with greater safety, reliability and higher load factors. The system employs knowledge-processing technology to provide early warning of failures based data collected during preventive maintenance activities (including visual inspection data, numerical data, data from maintenance personnel observation, and signals from sensors). The technology can be applied to improve maintenance procedures for a wide range of industrial plants.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.51~57 (1992)

## Diagnostic Technology for Medium-Voltage Switchgear

by Hideyoshi Hayamaru & Michio Sakai

The corporation has investigated the causes and processes of aging, and associated failure modes of Metal-enclosed switchgear and circuit breakers with ratings of 3.6~36kV and developed diagnostic technology for each type of aging. The article reports on these advances and other trends in diagnostic technology, introducing continuous-monitoring products, both proposed and commercially available. Basic concepts and future development issues of predictive maintenance technology are also discussed.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.21~25 (1992)

## Nuclear Power Station Technical Support and Management Systems

by Tadashi Oya, Norihiko Abe & Takehiro Matsubara

The article discusses technical support and management systems aimed at raising the reliability of nuclear power plants by contributing to improvements in the operation and management administration fields. In describing trends in this field, the article covers new systems as well as system expansion and new-technology issues, which allow system expansion after installation. The article also surveys future directions in terms of new elemental technologies and system configurations that will be required.

## アブストラクト

### 次期変電所における予測保全と監視制御システム

前川 洋・平河宏之・篠原秀雄・上窪康博

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 58～62

予測保全と監視制御の最近の技術動向を踏まえて、次期変電所の総合システム構想の方向性を展開した。

現行の変電所機器の予測保全システムの技術動向と、機能高度化に向けた課題を抽出し、変電所監視制御システムとの情報の融合化を図ることによって問題点の解決と運転者への情報支援の充実化が達成可能と考える。さらに今後想定される主回路周辺装置の電子化の方向に関しても、上記視点から示唆を加えた。

### 全日本空輸(株)納めスケジュールモニタリングシステム

渡辺俊雄・小島生正・井上悦次・熊谷秀光・神原隆宏

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 81～85

全日本空輸(株)に納入したダイヤ統制支援システム“スケジュールモニタリングシステム”について報告する。

このシステムはミニコンピュータ、エンジニアリングワークステーション、高精細静止画伝送装置によってハイブリッドに構成したマルチメディアシステムであり、コードデータ、イメージデータ、音声を統合して扱うことにより、航空会社における重要な業務であるダイヤ統制業務を支援している。

### ニューラルネットワークによる GIS の異常診断への適用

荻 宏美・泉井良夫・小林誠治

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 63～67

学習、適応、自己組織化といった新しい情報処理の機能をもつニューラルネットワークを用いて GIS 内部異常診断の基礎的検討を行った。GIS に装着した加速度センサ出力を FFT により、スペクトルに変換して時間平均などの正規化の後、ニューラルネットワークに入力する。ニューラルネットワークは工場実験で収集したデータ(異物混入や接触不良等)によって学習されており、異常と正常識別や 6 種類の異常識別を行ったところ良好な結果が得られた。

### 超高速 5 秒電送 G3 ファクシミリ MELFAS F1

瀬政孝義・木野茂徳・曾我巖哉・田潤浩史・川田智之

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 86～90

“MELFAS F1”は、ファクシミリネットワークの中核機として、高速性・操作性・高画質化といったファクシミリとしての本質を徹底的に追求した普通紙記録方式の新世代 G3 ファクシミリである。当社独自の高性能画像圧縮方式“F1 コード”採用による超高速 5 秒電送、大型ディスプレイによるかんたん操作、誤差拡散方式及びスーパー SIZE<sup>2</sup>Q による超高画質など、基本性能で数多くの特長をもっている。

### 日新製鋼(株)呉製鉄所向け熱間圧延プラント制御システム

檜原 寛・森 敏明・吉田二三男・岡部淳一郎・當間健次

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 68～74

大規模かつ高度な圧延設備と制御システムで構成される熱間圧延プラントの新鋭化工事を完遂した。プロセスコンピュータとプラントコントローラの全面更新は、ラインの生産量を維持しつつ、ライン停止を最短とし、円滑に完成するために、操業しながら並行調整ができる制御システムを構築した。仕上 F 7 ミル増設では、ミル駆動に AC ドライブを採用した。

### 16kbps LD-CELP 音声コーデックモジュール

河野典明・矢島 久・浅井 敬・長瀬平明・内藤悠史

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 91～95

国際標準に準拠した 16kbps LD-CELP (Low-Delay Code Excited Linear Prediction) 音声コーデックモジュールを開発した。本稿では、同モジュールのもつ主要機能の実現方式について述べるとともに、その特性を紹介する。このモジュールは、様々な装置に容易に適用できる高い汎用性とインチャネルシグナリング伝送機能等の多くの付加機能をもっており、名刺サイズの基板に実装されていることから、適用装置の小型化に寄与している。

### “MELCOM80”販売のための情報サービスシステム 総合販売情報支援システム DS-LAND

内藤貴雄・金谷勇二・湊川喜雄

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 75～80

当社は、オフコン販売会社との間をネットワークで結び、製品情報・技術情報をオンラインで提供する総合販売情報支援システム DS-LAND を構築した。本稿では、この DS-LAND システムの概要、キーワード検索、あいまい(曖昧)検索等の検索機能、配布先マスタ、機密保護マスタによる配信方式、情報区分チェック、情報機密フラグチェックによる機密保護方式等について述べる。

### 零レンジサイドローブパルス圧縮超音波探傷法

和高修三・永塚 勉・三須 幸一郎・木村友則・小池光裕

三菱電機技報 Vol. 66・No. 12・P 96～100

高減衰材料や外来雑音の多い環境下での超音波探傷の精度向上には、パルス圧縮技術を用いて SN 比を改善する方法が有望である。従来、レンジサイドローブのない圧縮パルスを得るため、相補系列を用いる方法が検討されている。しかし、この系列は限られた系列長でしか存在しない。相補系列が存在しない系列長において、零レンジサイドローブを得られる新系列があることを見いだした。新系列について述べ、レンジサイドローブ相殺効果及び SN 比改善効果を確認した実験結果を示す。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.81~85 (1992)

## A Multimedia Schedule Monitoring System for All Nippon Airways Co.,Ltd.

by Toshio Watanabe, Ikumasa Kojima, Etsuji Inoue, Hidemitsu Kumagai & Takahiro Kambara

The article reports on a multimedia schedule monitoring system delivered to All Nippon Airways. The system, which consists of a mini-computer, workstations and high-resolution still-image transmission system, can transmit text, image, and voice communications essential for the airline's scheduling support services.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.58~62 (1992)

## Monitoring and Control System and Predictive Maintenance System for Electrical Power Substations

by Hiroshi Maekawa, Hiroyuki Hirakawa, Hideo Shinohara & Yasuhiro Uekubo

The article surveys current trends in technology for monitoring and control and predictive maintenance systems for electrical power substations, then suggests future directions for the total systems anticipated for next-generation substation equipment. The article examines technical trends and problems in current predictive maintenance systems for substation equipment, then suggests that next-generation systems will address these problems with integrated maintenance, monitoring and control systems that will also provide more extensive information and operator-guidance facilities. Increasing use of solid-state devices in main circuit peripherals will facilitate this integration.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.86~90 (1992)

## The MELFAS F1: An Ultrafast, Five-Second G3 Facsimile

by Takayoshi Semasa, Shigenori Kino, Itsuya Soga, Hiroshi Tabuchi & Toshiyuki Kawata

The corporation has developed the MELFAS F1, a new-generation plain-paper G3 facsimile featuring high-speed, easy operation and high-quality image rendering. It is intended for use at key nodes in high-volume facsimile networks. The corporation's proprietary F1 image-compression algorithm enables documents to be transmitted at a rate of five seconds per page. High-resolution is realized by use of an error-diffusion technique and a super [sequential image zone estimated]<sup>2</sup> quantizer (Super SIZE<sup>2</sup> Q). Operation is simple using the unit's large-screen display.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.63~67 (1992)

## Application of Neural Networks to Fault Detection Systems for Gas-Insulated Switchgear

by Hiromi Ogi, Yoshio Izui & Seiji Kobayashi

The corporation has conducted basic research on the application of neural networks with the novel properties of learning, adaptation and self-organization for diagnosing abnormalities in gas-insulated switchgear. Fast Fourier transforms were used to convert the output of accelerometers installed on gas-insulated switchgear to frequency distributions normalized by time averaging and then applied to a neural network. The networks recognize abnormal phenomena associated with patterns in these inputs using data collected during factory testing. They can reliably differentiate normal and abnormal equipment states, and correctly distinguish between six different failure modes.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.91~95 (1992)

## A 16-Kbit/s LD-CDEP Codes Module

by Noriaki Kawano, Hisashi Yajima, Takashi Asai, Yoshiaki Nagase & Yushi Naito

The corporation has developed a 16-Kbit/s LD-CELP (Low-Delay Code Excited Linear Prediction) Codec Module that conforms to (CCITT Recommendation 6.728). The article describes the implementation of the principal functions and the module's performance characteristics. The module features a general-purpose design that allows its use in many kinds of equipment, and has support functions that include in-band signaling. The module mounts on a printed circuit board the size of a business card, which will contribute to the miniaturization of hardware in many applications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.68~74 (1992)

## A Hot Strip Mill Control System for the Kure Works of Nisshin Steel Co.,Ltd.

by Hiroshi Narahara, Toshiaki Mori, Fumio Yoshida, Jun'ichiro Okabe & Kenji Toma

The corporation has completed modernization of a large, advanced hot-strip mill facility and its control system. Entirely new process-control and plant-control computers were used to implement a control system that can perform most system adjustments while the line operates under the existing control system. This has sustained productivity with minimal line stoppage. An AC motor drive system equipped with a cycloconverter has also been installed in the new F7 mill.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.96~100 (1992)

## Non-Destructive Ultrasonic Pulse Compression Testing with Zero-Range Sidelobes

by Shuso Wadaka, Tsutomu Nagatsuka, Koichiro Misu, Tomonori Kimura & Mitsuhiro Koike

Non-destructive ultrasonic pulse compression testing systems are useful for testing highly absorbent materials or for testing in noisy environments as they provide significant improvements in S/N ratios. Complementary codes of conventional systems were previously used to generate compression pulses without range sidelobes employing complementary sequences, however those codes only existed at specific lengths. The authors have found new sets of testing codes that provide zero-range sidelobes in lengths for which complementary codes do not exist. The article introduces the new code sets, describes tests used to verify the range sidelobe cancellation and discusses S/N ratio improvements.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 12, pp.75~80 (1992)

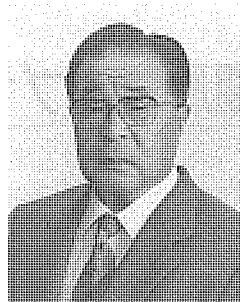
## DS-LAND: A Total Sales Information System for the MELCOM 80 Information Service System

by Takao Naito, Yuji Kanaya & Yoshio Minatogawa

The corporation has set up a network between Mitsubishi Electric and Offcon Sales Company (a computer sales company), and established a total sales information system (DS-LAND) for online supply of product and technical data. The article introduces DS-LAND, covering the keyword and synonym-search functions, message transmission methods, (which employ address lists and security protection lists), and security protection function (which include data category checks and private data flags).

## 安全運転のための計装システムの構築

京都大学 名誉教授  
舞鶴工業高等専門学校 校長  
若林 二郎



近年、地球の環境破壊が大きな問題となり、CO<sub>2</sub>を放出しないエネルギーとして原子力発電に対する期待が高まってきた。しかし、TMI-Ⅱやチェルノブイル発電所の事故により、原子力発電の安全性に対する不信が世界的に高まった現状では、まず安全運転に関する技術開発を進め、それを基礎として社会的信頼性の回復をはかることが大切である。

チェルノブイル発電所はプラント設計にも問題があり、西側諸国では安全審査にパスしないようなものだったが、TMI-Ⅱの事故は米国で発生しただけに、技術的にも非常に深刻に受け止められた。従来、原子力発電所の安全性は工学的安全防護設備や格納容器などのハードウェアで確保することを基本としていたが、TMI-Ⅱの事故を契機に、運転員の判断・操作などを含めた、プラントの運用管理のためのソフトウェア的システムの重要性が再認識された。

原子力発電所の電気計装システムは、プラントの脳神経系統のような役割をはたすもので、それから得られる情報を自動制御系に入力したり運転員の判断・操作に利用して、プラントを維持管理している。最近の計装システムでは検出系の信号を計算機処理して、直接計測していない重要な状態量を推定したり、プラントの将来の状態を予測して、最も適切と考えられる制御操作を、自動制御系によってあるいは運転員の判断・操作を介して行うようになっている。この技術はセンサ技術の進歩に加えて、計算機技術、情報処理技術、メディア技術などの進歩と共に著しい進歩が続けているが、如何に計算機が進歩しても、すべての問題に対して人間の能力を超える計算機は期待し難く、また自動制御系の誤動作も皆無にはできないため、全自動化によるプラントの運用管理には問題があり、将来においても何らかの形で人間の判断・操作が介在することになると考えら

れる。

一方、人間が介在する以上 Human Error (HE) を全くなくすることはできない。HE が発生した時にそれを検出してリカバリー操作を指示したり、HE による異常の拡大を自動系によって抑えることなども含めて、機械と人間の役割分担の最適化について検討が進められ、また HE の発生確率を小さくするため、人間工学や認知科学の知見を反映した Human Interface (HI) の開発が進められている。しかし、問題が重大になる程人間の心理的ストレスが高くなり、HE の発生確率が急激に高まることはよく知られているので、あるレベル以上の事故はできるだけ自動系で対処し、人間の作業は監視・確認が中心になることが望まれよう。また、HI を介した対話を通じて人間のストレスレベルを推定し、何らかの方法でそれを制御する方法の開発が今後期待される。

TMI-Ⅱの事故から十数年、原子力発電所の計装システムは著しい進歩を遂げつつあるが、今後チェルノブイル発電所のような事故が世界のどこかで再度発生すれば、世界の原子力発電の前途は致命的影響を受けると考えられる。したがって、安全運転のための新しい計装システムの機能を、既設の原子力発電所にフィードバックするための技術開発および、旧ソ連型原子力発電所への技術支援の一環として、これらの発電所にも適用しうる技術の開発が、当面の重要課題と考えられる。

原子力発電所の電気計装システムの開発研究は、他の複雑な工学プラントの計装システムの改善にも大きな波及効果をもつと期待される。工学プラントが存在する限り、その高信頼化はゴールのない課題で、これを支えるソフトウェア的技術である電気計装システムの研究の一層の発展を期待している。

# 次期原子力プラント電気計装設備に向けての取組

松宮正幸\*

## 1. ま え が き

原子力発電所は、平成4年12月現在 運転プラント41基、約3,324万kWの設備容量をもち、全発電電力量の25%以上に達している。また、平成4年8月の夏期ピークに対して、原子力発電が過去最高の稼働率で安定運転することによって電力供給を支えたことは、安定したエネルギー源としての中核的な地位を占めるに至っていることを示している。

今後も地球規模の環境改善とエネルギー資源の長期的有効利用の観点から、原子力発電が長期にわたり電力供給の中で重要な役割を担うことが期待されている。そのためには、プラントハードウェアの高信頼性維持と安全運転の継続のみでなく、発電所の運転・保守管理をする人々にとって使いやすく安心できるシステムとするとともに、広く公衆からも理解してもらえるプラントとして実現していく必要がある。

加圧水型(PWR)原子力発電所に中央計装、プラント全域通信システム、計装制御設備、発電機、開閉所など発電所内のほとんどすべての電気計装設備を供給する当社は、計装制御を中心としたシステム機能そのものの高度化の段階から更に一歩進め、発電所全体にわたるトータルシステムを対象として、プラント運転保守の集中一元管理と最適な機能役割分担に基づいたシステム構築を図ることを基本とし、安全性確保、信頼性・稼働性のより一層の向上、異常/事故の未然防止を目標に技術開発、改良に取り組んできている。

また、プラント電気機器、プラント建設工法についても大容量化、高信頼性化技術はもとより、プラント系統、環境条件に対応したプラント機器及び建設工法の合理化に向けての技術開発、改良にも取り組んでおり、PWRプラント電気計装設備の高度化に向けて技術改良を進めてきている。

以下、これまでのプラント運転経験・実績を踏まえ、次期プラントに向けて研究開発を進めてきている技術を中心に、技術動向とその取組について概要を紹介する。

## 2. 電気計装システム動向

### 2.1 総合デジタル化システム

総合デジタル化システムについては、①人間と機械が密度高くかわりあう運転監視制御システム、②プラントの中核神経系を担う計装制御保護システム、及び③設備の異常/故障を未然に防止する運転保守管理システムの3システムに体系化し、これまでの建設経験に基づく改良技術と最新研

究開発成果を取り込み、

- I. プラント運転保守の一元管理を基本とした各システム及び設備の機能役割分担の最適化と高信頼度運用
- II. 安全性確保と信頼性/稼働性及び点検保守性のより一層の向上

を基本方針とし、システムの開発に取り組んできている。

このシステムの全体構成を図1に示す。

具体的開発目標は以下のとおりである。

#### (1) 運転信頼性向上

運転監視操作性向上(ヒューマンエラー低減、運転員負担軽減)を目的とした新型中央制御盤、知識工学応用運転支援システムの適用によるヒューマンファクター上の配慮を払い、また制御保護機能の面からは高い信頼性・演算機能をもつデジタル式制御保護装置の適用によって、プラント全体としての運転信頼性向上を図る。

#### (2) 人間と機械の役割分担の最適化

プラント運転管理の最終判断は人間が行うことを基本方針とし、運転員作業分析に基づく運転監視制御の計算機化項目として、

- (a) 現状の運転員作業の多くを占める監視/確認作業の計算機化
- (b) 運転操作量の多い起動停止時を含めた運転自動化範囲の拡大
- (c) デジタル化設備の演算機能を生かした運転余裕の拡大、制御性の向上

などを行い、人間と機械の役割分担の最適化を図る。

#### (3) 機能の分散と情報の統合化

プラント全体にわたって、運転監視制御・制御保護装置の役割分担を機能単位に見直すとともに、万一の故障時の影響範囲の局所化、制御処理の適正化(連続制御とシーケンス制御の統合、演算処理の適正化)、ケーブル処理の適正化(プラント側から中央側へのケーブル物量を低減)を考慮して機能・設備の分散化を図る。

また、各分散単位では多重化によって必要な信頼性を確保する。

さらに、光多重伝送技術によるプラント全域通信システムを導入することにより、運転監視・制御保護装置を有機的に結合し、情報管理を一元化して運転保守の集中管理を可能とする。

#### (4) 原子炉保護装置信頼性の向上



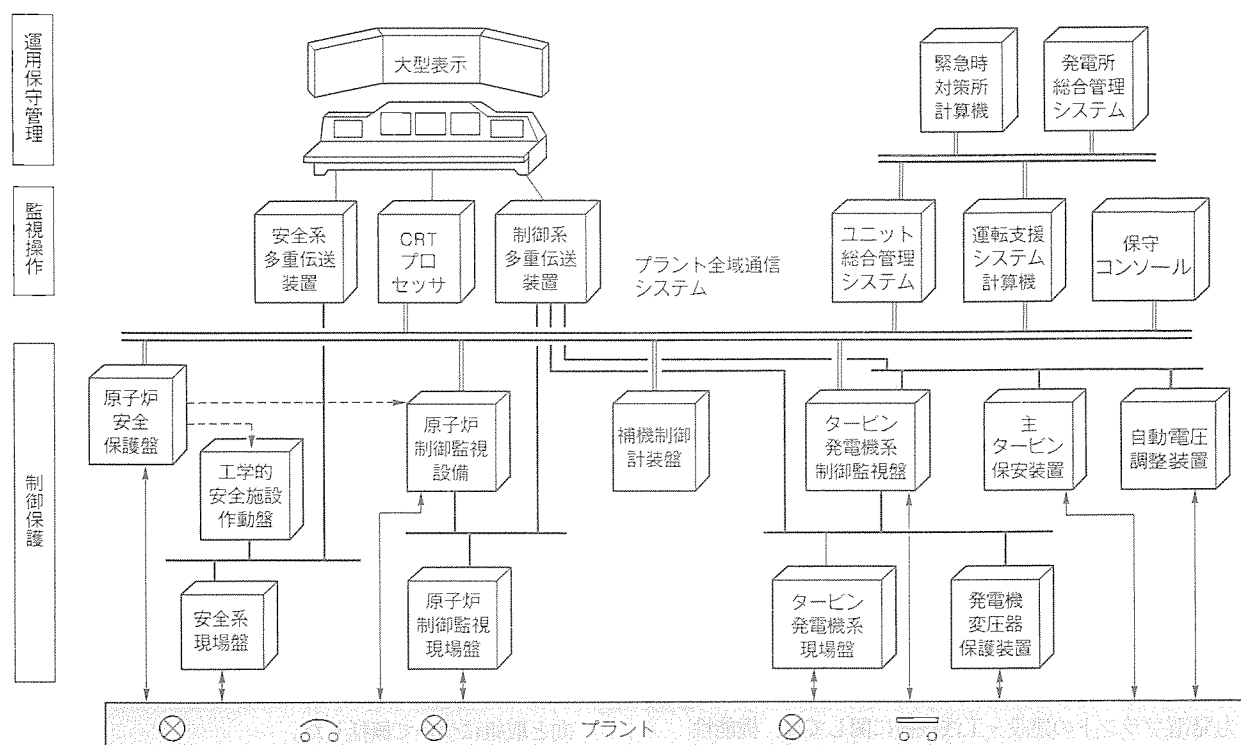


図1. 総合デジタル化システム概念

最新の原子力発電プラントで適用したデジタル式原子炉制御装置の特長を生かすとともに、原子炉保護装置としての機能を強化している。

- (a) 固着故障の起きないダイナミックロジック採用による安全性の向上
  - (b) ソフトウェア、ハードウェア両面からの自己診断によるセンサ信号／アクチュエータを含めた故障検出
  - (c) 安全保護ロジック等の試験の自動化
  - (d) ロジックや設定点の可視化による保守性の向上
- などにより、保守のヒューマンファクター上の考慮を払いつつ原子炉保護装置の信頼性向上を図る。

#### (5) 異常／事故未然防止

総合デジタル化システムの保全性を向上させ、高信頼性を確保するためにプラント全域通信システムによって保全情報を集中的に管理、試験／記録の自動化を図り、装置の健全性確認の集中管理を可能とする。

また、プラント設備保全業務による高信頼性維持のために機器データの知識処理技術を応用した異常兆候認知による異常診断支援を可能とする。

#### (6) 保守保全業務支援

原子力発電プラントの保守・管理・判断等の人による保全作業の効率化・省力化を目指して、情報処理技術・知識処理技術等を活用した保守保全業務支援システムの開発を進めている。

#### (7) 運転・保守の総合支援

更に将来に向けては、今日まで開発を進めてきた原子力発

電プラント運転監視制御システム技術に加えて、知的制御技術、マルチメディア技術等の最新の計算機利用技術を取り入れ、自動制御方式を柔軟にして容易には性能低下を来さない耐故障性をもった自動化技術、プラント機器の運転情報を“欲しい時に、欲しい情報を、欲しい形で”提供する情報提供技術、等を実現するプラント運転・保守の総合的支援システムの開発に取り組んでいる。

## 2.2 プラント電気機器

プラント出力の大型化、安全性・信頼性・保守性の向上を目指した次期原子力プラント向けに、より信頼性の高い大容量機器、事故時の特殊環境に対する耐力を向上したプラント電気機器の技術開発、改良を行っている。また、異常／故障の未然防止のための異常診断技術の開発を進めている。

### (1) 機器の大容量化

プラント出力大型化に伴い出力135万kW級タービン発電機、8,000HP級一次冷却材ポンプモータ等、機器の大容量化が求められており、先行プラントの建設及び運転保守経験の中で蓄積した技術改良を基に、更に高い信頼性をもつ大容量機器の製品化開発を進めている。

### (2) 電源構成の適正化

発電所の主回路は、発電機負荷開閉器を設けることにより、起動変圧器回路を不要とした簡素化構成を基本とし、また所内電源系統については、補機の大容量化や安全防護系の多重性及び独立性はもとより、プラント運用・運転を踏まえた電源構成の適正化を図っていく。また、計装電源系統についても新しく導入する総合デジタル化計装制御設備の機能分担、

多重化構成等と整合を図った系統構成を計画する。

### (3) 耐環境性の向上

“より安全に”を目指し、原子炉格納容器の圧力バウンダリを構成する電気ペネトレーション等“より過酷な”環境条件に耐え得る製品の研究開発に取り組んでいる。

### (4) 保守・保全の高度化

安全でかつ稼働率の高いプラントの運転を実現するためには、機器の予防保全は不可欠のものである。

そこで、自動的に機器データ・点検検査データを収集、管理編集して、異常原因推論を行い、分析評価を支援する機器診断システムや電気設備の巡視点検ロボットなどを開発している。

さらに、保全の高機能化を目的として、信号データ解釈提供技術・経験内容の分析評価への反映技術、点検保全に関する画像情報提供技術等を駆使した保全システムの開発を進めている。

## 2.3 プラント建設・工法

原子力発電プラントの建設・工法技術に関しては、機能的／居住性を考慮した中央制御室環境設計技術を導入、さらに電気盤室への免震床の適用、建設工事の合理化工法等について検討を進めている。

### (1) 中央制御室のトータルデザイン適用

原子力発電所の中央制御室は、運転・監視のための作業を行う場として、機能的で居住性の高い高品質な作業環境であることが求められている。

これについては、中央制御室のマンマシンインタフェース改善に加え、中央制御室を対象として、機器の合理的な配置、室内の形態、内装(天井・床・壁)の色彩調和、照明方式、空調等を総合的に検討する中央制御室のトータルデザインに

より、高品質な作業環境の実現を図る。

### (2) 電気計装設備耐震設計の免震床適用

原子力発電所の重要な機器については従来から耐震設計上の配慮をしているが、特に中央計装設備について、国の指導の下で今後の原子力発電所に適用が予想される免震床を用いた加震試験を行い、免震床の有効性を確認するとともに、免震床の適用メリットを生かした合理的な中央計装設備設計とする計画である。

### (3) 現地工事・工法の改善

原子力発電所の電気計装設備の建設工事については、前述の総合デジタル化システムの配線設備合理化に加えて、機器・配線設備のユニット化・モジュール化による建設工期短縮、工事計画のCAE化による工事設計品質向上などの開発検討を進めている。

## 3. む す び

以上、次期原子力プラントに向けての電気計装設備技術動向と取組について概括した。

原子力発電が基幹エネルギーとして更に定着化し、長期的なエネルギー源としての位置を確固たるものとするために、より一層安全で信頼性の高い製品・システムを追求し、供給していくことが当社に課せられた責務であると考えており、三菱重工業(株)、三菱原子力工業(株)と共に、その実現に向けて総力をあげて取り組む所存である。

また、発電所の建設や運転中の発電所の改善、共同研究等を通して御指導、御助言をいただいている電力会社関係各位に対し、深く謝意を表するとともに、今後とも一層の御指導、御協力をお願いする次第である。

# 新型中央計装システム

谷 衛\* 今瀬正博+  
小橋秀一\*\* 小笠原 誠++  
伊藤 徹\*\*\*

## 1. ま え が き

原子力発電所は中央制御室に多数のプラントプロセス・機器の情報を集中し、運転員はこれらの情報を監視することにより、通常運転時はもとより異常時・事故時においても適切な判断・意志決定を行い、必要な操作を行っている。最新プラントではCRT／計算機技術の活用、中央制御盤の機能分割等により、各運転モードにおける監視操作エリアを大幅に縮小し、運転員の負担軽減、運転信頼性向上を図っている。

次期プラントに向けては、これらの更なる向上を図るべく、三菱電機(株)、三菱重工業(株)、三菱原子力工業(株)は、最新のマンマシンインタフェース技術、知識工学等を適用し、新型中央計装システムの主要部である、新型中央制御盤及び運転支援システムを開発した。

新型中央制御盤は、関西電力(株)、北海道電力(株)、四国電力(株)、九州電力(株)、日本原子力発電(株)と共同で、運転支援システムは、通産省補助事業“原子力プラントマンマシンシステム開発”によって開発した。昭和62年度から本格的開発に着手し、平成3年度にはプラントシミュレータと組み合わせたプロトタイプにより、発電所運転員の協力を得て、システムの検証・評価を実施し、開発としての最終仕様をまとめた。

## 2. 開 発 目 標

原子力発電プラントの運転信頼性を一層向上するために、人間(運転員)と機械(中央計装システム)との役割分担について分析するとともに最新技術を適用し、人間の特性と整合がとれ、最大限の能力が発揮される中央計装システムの開発を目指した。

### 2.1 新型中央制御盤の開発目標

新型中央制御盤は、最新プラントへ適用済みの改良型中央制御盤から以下を改善することを目標に開発を実施した。

- (1) プラント監視操作性向上
- (2) 運転員の負担軽減
- (3) 総合デジタル化と整合のとれた中央制御盤

これらの目標を実現するために、タッチオペレーションを基本とした新型中央制御盤を実現した。

### 2.2 運転支援システムの開発目標

運転支援システムは、運転員のプラント運転時の監視、判断(運転要領や運転訓練等で蓄積した記憶とプラント状態と

の比較・照合、推定、予測情報の処理)、操作、確認フローにかかわる肉体的、精神的負担を軽減し、的確な運転を図るために次の開発目標を設定した。

- (1) プラント監視操作性向上
- (2) 運転員の負担軽減
- (3) 運転品質の向上(運転員への依存性を低減する等)

以下では、3章に新型中央制御盤、4章に運転支援システムにつき、開発内容を紹介する。

## 3. 新型中央制御盤

### 3.1 新型中央制御盤の機能

新型中央制御盤は、プラント監視操作の容易化を図るため、監視操作の一体化、監視操作項目の削減、運転自動化範囲の拡大、運転支援機能導入等により、人間の役割分担としてはプラントトータルの監視・判断に集中できるシステムとすることをねらいとした。

#### 3.1.1 基本技術

新型中央制御盤開発に際して、中央制御室(運転クルー)に入力されるプラント監視情報、及び外部からの伝達・指示情報、中央制御室(運転クルー)での情報処理フロー(監視・操作・伝達・指示)並びに運転員間の役割分担、中央制御室外への出力をタスク分析し、具体的改善項目を抽出した。

次に新型中央制御盤構築に関して遵守すべきルールを要求品質表にまとめ、改善案適用時のチェックリストとして活用した。

一方、最新のマンマシンデバイスを調査すると同時に改善項目に対する以下の手法を選定し、妥当性確認を行った。

- (1) 改善手法の選定
  - (a) 監視・操作の一体化と画面リクエストの容易化

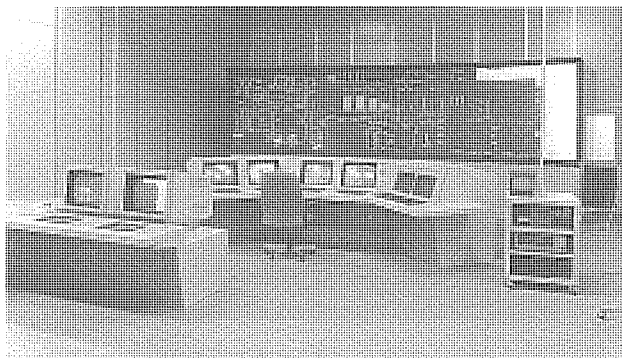


図1. 新型中央計装システムのプロトタイプ全景

- 操作器のソフト化(タッチオペレーション化)
- 監視・操作一体化画面の導入
- 運転タスク分析に基づく CRT 画面関連性評価と画面から直接関連画面を呼び出せる関連画面リクエストの導入
- (b) 計算機による監視の自動化(集約監視)
  - プラントトリップ時(緊急停止)などの定型的監視・確認行為の計算機化と、この結果の集約表示
- (c) 運転タスク分析に基づく自動化項目の抽出
- (d) 中央制御盤のコンソール化
  - 通常時/事故時を通じた全運転モードシットダウンオペレーション
  - 人間工学的に評価された形状
- (e) 運転クルー共通認識の容易化
  - 大型表示装置による警報・恒常監視キーパラメーター一体化表示
  - 大型表示装置による監視強化パラメータの選択表示
  - 視覚/聴覚的にクルー間コミュニケーションを最適化したコンソール配置
- (2) 改善仕様の妥当性確認
  - (a) タッチオペレーション
    - プラント制御性に関し、タッチパネル、マウス、従来型ハード器具の比較を実施し、有意な差異はないとの評価からタッチパネルを採用した。

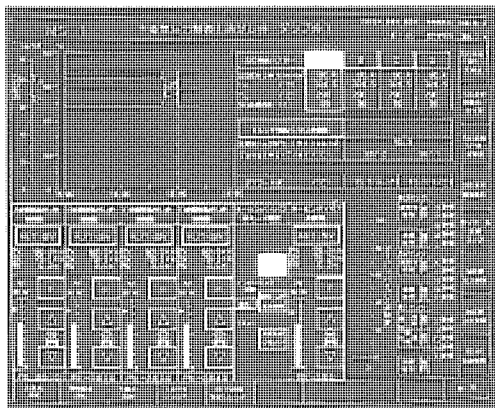


図 2. 監視操作一体化 CRT 画面例



図 3. 安全系パネル CRT 画面例  
(OK モニタによる監視の自動化)

- タッチパネル上のタッチエリアサイズを実験によって評価し、ミスのないサイズを選定、ルール化した。
- (b) 中央制御盤形状と配置
  - 中央制御盤形状とその配置を人間工学設計基準等によって評価し、最適化を図った。
- (c) 大型表示装置
  - 大型表示装置でのプラント監視にかかる視認性確保のために文字サイズ等を検証評価し、画面構成上のルールを策定した。

### 3.1.2 新型中央制御盤の構成と基本仕様

新型中央制御盤は、運転員コンソール、当直長コンソール、補機員コンソール、保守・定検コンソール、大型表示装置等から構成される。プロトタイプでは主要な構成要素である当直長、運転員コンソールと大型表示装置を製作・検証した。プロトタイプの全景を図 1 に示す。以下ではこれらについて概要を述べる。

#### (1) 運転員コンソール

運転員は、プラント状況を監視し、異常発生時には的確な対応操作をとる必要があるが、このため、集約的な監視操作を可能とするため、従来の主盤、原子炉補助盤、タービン発電機補助盤等を統合し、シットダウンオペレーション用のコンパクトなコンソールとした。

##### (a) 監視操作用 CRT

監視用 CRT 画面による情報提供に加えて、監視・判断・操作・確認のタスクをスムーズに実行するため、監視操作一体化画面によってプラント監視及び操作を可能とした。操作はタッチパネルによるものとし、操作に際して監視が必要なパラメータを運転のタスク分析によって抽出し、同一画面上に表示することにより、これを実現した。画面例を図 2 に示す。

また、警報に関しては、警報多発時における重要警報の識別性を改善した警報抑制ロジックを採用した。初期の警報の認知は大型表示装置で行い、詳細は警報専用 FDP (Flat Display Panel) によることとした。

さらに、プラント緊急停止等の際に運転員の監視負担が急増することからこれを軽減するため、プラントシーケンス動作確認を計算機で実行させ、その結果を図 3 に示すように“OK/NG” (良/否) で集約表示する。これにより、運転監視におけるピーク負荷の大幅低減を実現した。

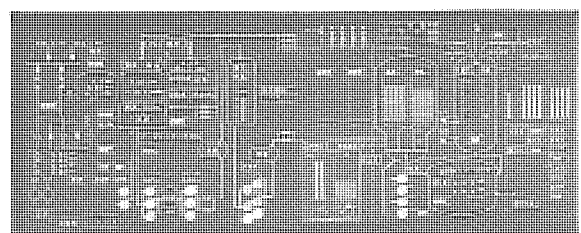


図 4. 大型表示装置画面例(系統画面例)



## (b) 安全系監視操作パネル

安全系に関しては、耐震性要求等から CRT の適用は難しいため、フラットディスプレイ（プロトタイプでは EL ディスプレイ）によって監視操作機能を実現した。分離性の要求から(a)の CRT で実現した非安全系とは分離し、ソフトウェアについてもデジタル式原子炉保護系に適用したソフトウェアと同様の検証性の高いソフトウェアを適用した。操作スイッチは、非安全系と同様に、タッチパネルによってソフト化した。

## (c) ハードウェアスイッチ

プラント緊急停止等、重要度・緊急度の高いシステムレベルのシーケンス起動スイッチ、及び長時間連続操作が必要な制御棒操作等のスイッチは、従来どおりハードウェアスイッチを採用した。

## (2) 当直長コンソール

当直長の役割はプラント全体の状況、運転クルーの作業状況を的確に把握し、運転クルーを指揮・監督するとともに、必要によっては外部との連絡を行うことにある。

こうした当直長業務を行うため、当直長コンソールは以下の機能を具備する仕様とした。

### (a) 監視用 CRT

運転クルー各員（特に運転員）と同一の種類／内容の情報を監視可能な機能として運転コンソールと同一の CRT 画面をもつものとした。ただし、当直長は操作を行わないため、監視専用とした。

### (b) 通信端末

所内用に加え、中央給電指令所等、外部との連絡手段をもつものとした。

## (3) 大型表示装置

大型表示装置は、CRT オペレーションにより、恒常監視情報が表示されなくなることから生じる不安要素の解消、運転クルー間の共通認識情報の提供を目的として設置することとした。グラフィック系統画面上に恒常監視パラメータを表示するとともに、系統上に代表警報を配置し、警報発信の認知を容易化した。異常時の監視強化パラメータ等のクルー間共通認識の強化及び容易化のため、選択画面表示エリアも設置した。大型表示装置画面例を図 4 に示す。

## 4. 運転支援システム

### 4.1 運転支援システムの機能

運転支援システム（原子力プラントマンマシンシステム：以下“MMS”という。）は、運転要領書に定められた監視、判断、操作、確認行為の確実な実行（特にプラント事象に応じた監視強化パラメータ選

択と判断）を容易化し、重要な操作についてはその実行を計算機でチェックすることで、プラントの運転信頼性向上を図ることをねらいとしている。

#### 4.1.1 基本技術

運転支援が有効なプラント事象とその情報提供方法について判断プロセスの観点から分析を行い、通常時、異常時・事故時、保守時（運転中）の各運転モードごとに支援対象を選定した。支援機能を実現するために必要な基本技術として以下の項目を抽出し、開発を実施した。なお、基本技術開発に関しては、前報で紹介済みのためここでは項目のみ示す。

##### (1) プラント異常診断／ガイド技術

- 知識工学応用プラント異常診断／ガイド技術
- オンライン診断技術（実時間性／連続稼働性確立）

##### (2) プラント状態予測シミュレーション技術

- 並列処理適用による高速シミュレーション技術
- 異常規模推定モデル、運転員対応操作の反映等の予測シミュレーション技術

##### (3) 運転員の認知過程モデル化技術

- プラント重要機能モデルによるプラント機能階層モデルの情報表示への適用技術

##### (4) マンマシン対話技術

- 連続音声認識技術

##### (5) 知識ベース管理／検証技術

- プラントデータ編集管理技術

#### 4.1.2 全体機能構成

MMS の機能は運転モードに対応した

##### (a) 通常時運転支援システム

##### (b) 異常時・事故時支援システム

##### (c) 保守支援システム

及びマンマシンインタフェース部を統括する

##### (d) 最適運転監視システム

さらに、上記各機能を実現するための知識ベースを管理する

##### (e) プラントデータ編集管理システム

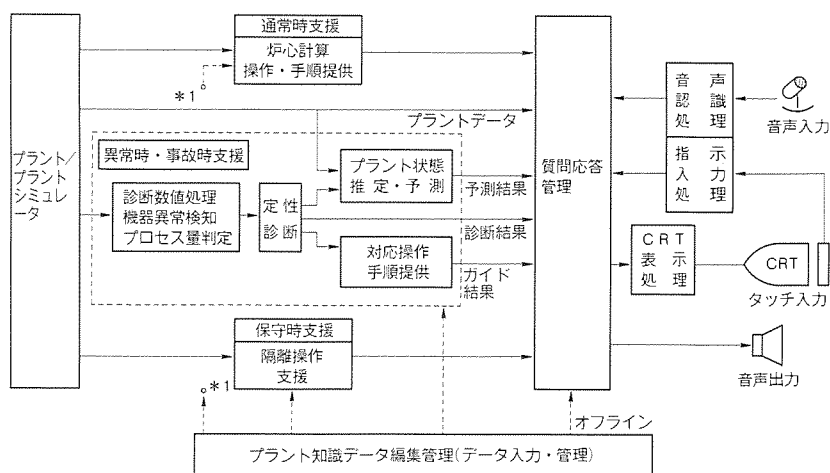


図 5. マンマシンシステムの機能構成

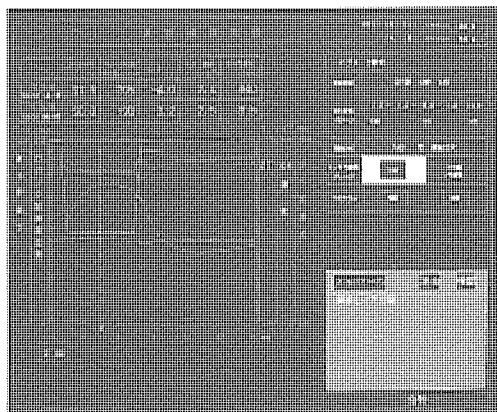


図6. 通常時支援システム動作例

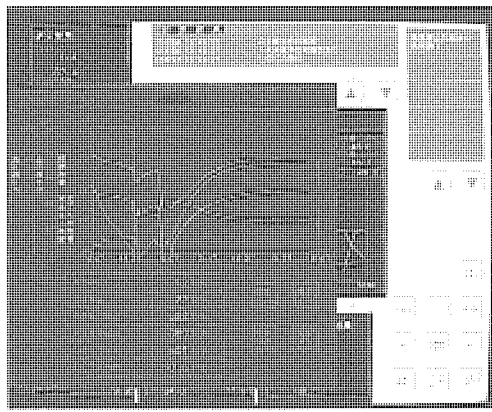


図7. 異常時・事故時支援システム動作例

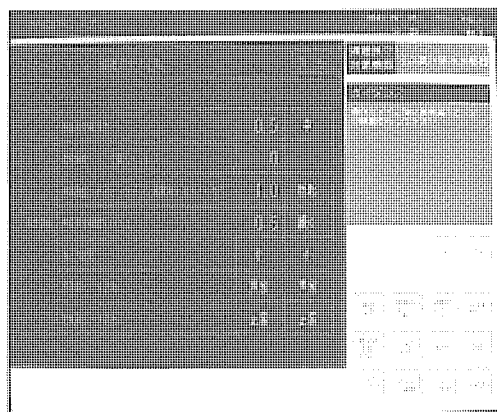


図8. 保守支援システム動作例

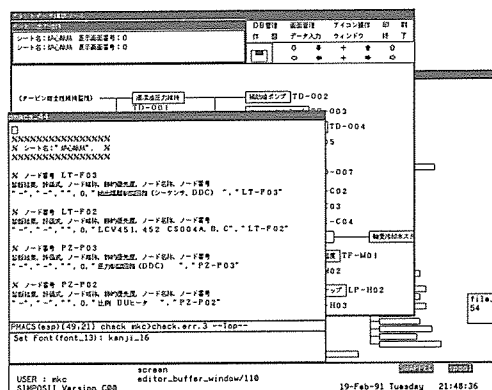


図9. プラントデータ編集管理システム動作例

から構成される。各機能の構成を図5に示す。以下、各機能のねらいと基本的な仕様を示す。

#### 4.1.3 通常時運転支援システム

通常運転時では運転員の介入を必要とするプラント起動・停止過程や負荷追従運転時における予測計算や確認・操作に関する運転支援情報を提供する。

特に、電力系統等の外的要因でプラントが停止した場合の再起動運転や将来の負荷追従運転等では、種々の制約条件下でプラント状態予測負担を一層低減することが望まれる。そこで炉心状態の予測により、最適な再起動（負荷追従）をガイドする支援機能を実現した。

また、運転管理基準や適切な状況判断に基づく、プラントシステム／装置／計装等の機能健全性の点検（サーベイランステスト）や、ポンプ等の補機の切替え運転管理（ローテーション管理）も運転員の重要な役割であり、実施前後の条件確認の計算機化を主体とした支援機能を実現した。

システムの動作例として、負荷追従運転支援機能の例を図6に示す。

#### 4.1.4 異常時・事故時支援システム

プラントに何らかの異常が発生した場合に、異常の早期検知及びその原因同定を行い、適切な対応操作を運転員にガイドすることにより、異常の拡大防止を図るための的確な運転操作を支援する。

また、いわゆる異常診断／操作ガイド機能に加えて

- 複合事象検知機能（プラント停止状態の異常等の検知）

- 誤操作検知機能（安全上重要な操作の誤操作の検知）

を設けることで、思い込みによるミスを回避するなど、一層の運転信頼性向上を図った。

さらに、異常診断結果を踏まえ、プラント状態の推移を予測する予測シミュレーション機能を設け、プラントトリップまでの時間余裕や計測不能パラメータ（漏えい量等）情報を提示する。

システムの動作例として、一次冷却材漏えい

い事象（原子炉を直接冷却する冷却系統の漏えい事象）の場合を図7に示す。

#### 4.1.5 保守支援システム

プラント運転中の故障機器隔離保守における運転員の判断・確認の確実化を図る。このシステムは、主として以下の機能から構成される。

- (1) 隔離判断支援機能
  - 故障機器の隔離要否／可否の判定支援
- (2) 隔離操作支援機能
  - 隔離後整定値予測機能
  - 隔離範囲設定機能
  - 運転保守要領書自動検索提示機能

システムの動作例として、高圧給水加熱器の細管漏えいの場合を図8に示す。

#### 4.1.6 最適運転監視システム

4.1.3～4.1.5項に述べたプラント運転モードごとの支援機能により、各種の支援情報が生成されるが、これを運転員へ最適な形態で提供するために最適運転監視機能を実現した。

これは原子力プラントの機能モデル（プラント重要機能モデル）に従い、異常事象に対応した監視パラメータを自動表示する機能、タッチパネルや音声認識・告知装置等によって最適なマンマシンインタフェースを提供する機能等から構成される。これらにより、診断ガイド等の支援情報とともに、パラメータの確認を容易化し、監視操作性の一層の向上を実

現した。

#### 4.1.7 プラントデータ編集管理システム

以上述べた各支援機能は各種のプラントデータ、運転員から得た知識ベースを利用するため、このシステムでは、これらのデータベースを一元的に管理し、その信頼性を確保する必要がある。そこで、データベースの入力、各サブシステム向け編集、及び管理（検証）の各機能を実現した。システムの動作例を図9に示す。

### 5. 検証・評価

開発目標の達成度を検証するために、標準運転手順を用いた机上でのヒューマンエラー率、及び運転員負担に関する定量評価と、プラントシミュレータと組み合わせたプロトタイプを用いた運転員検証による定量評価（机上評価の前提条件の確認を含む。）、さらにアンケートによる定性評価を実施した。

検証事象については、新型中央盤では監視・操作がふくそう（輻輳）して運転員の負担が大きい事象を中心に、運転支援システムでは判断負担が大きい事象を中心に選定した。

また、従来、運転検証での運転員行動分析（OSD）は計算機での操作記録、プラント挙動記録とVTRによる運転員監視記録を時系列に従って解析する必要があるため、多大な時間と労力を要していたが、図10に示すように計算機とVTRデータを結合したデータ収集解析システムを開発し、運転員動作（CRT リクエスト・対応操作・監視対象）、プラント動作、支援システム動作の各データの収集と、OSDの作成を半自動化し、精度向上と省力化を図った。

#### 5.1 新型中央制御盤の検証評価

##### (1) 運転信頼性評価

運転信頼性向上に関しては、マンマシンシステム評価用として一般的に用いられ、実績のあるTHERP手法によって評

価した。

##### (2) ワークロード評価

ワークロードは、従来、肉体的ワークロードとしてウォークスルー（移動距離）等を指標として評価してきた。しかし、新型中央制御盤では、CRTによるシットダウンオペレーションとなることによってその種の負担は大幅に低減され、CRT画面リクエスト等の負担が中心となるため、CRTによる監視操作回数を指標として評価することとした。

また、運転員の情報処理負担にかかわる負担を定量評価するため、この評価方法を検討し、“人間情報処理モデル”を適用することとした。この人間情報処理モデルは、人間を一種の情報処理系と考え、外部から刺激が与えられ、それに対して行動を起こす過程を、

- (a) 情報入力・受容（知覚システム）
- (b) 判断・意志決定（認知システム）
- (c) 動作処理（運動システム）

の各過程でモデル化し、各過程で必要な情報処理時間（標準的な時間が算出されている。）を計算することにより、情報処理にかかわる負担を定量的に示すものである。この手法により、標準的な運転操作手順を定めれば、運転員の行う内部処理を定量化できるため、これを情報処理ワークロードの指標とした。

##### (3) 評価結果

ワークロード及び運転信頼性向上に関する評価結果を表1に示す。いずれも従来の制御盤に比べ、監視操作の一体化、計算機による監視の自動化効果等により大幅に低減している。

また、定性評価として実施した運用にかかわる運転員アンケートではおおむね好評を得たが、改善要望に対しては警報用FDP設置等の改善仕様を示し、反映の妥当性を確認する

表1. 新型中央制御盤検証結果

評価項目	改良型中央盤 →新型中央盤
肉体的負担低減 (運転員行動分析)	約1/4低減
情報処理負担低減 (人間情報処理モデル)	約1/5低減
人間過誤率 (THERP)	約1/4低減

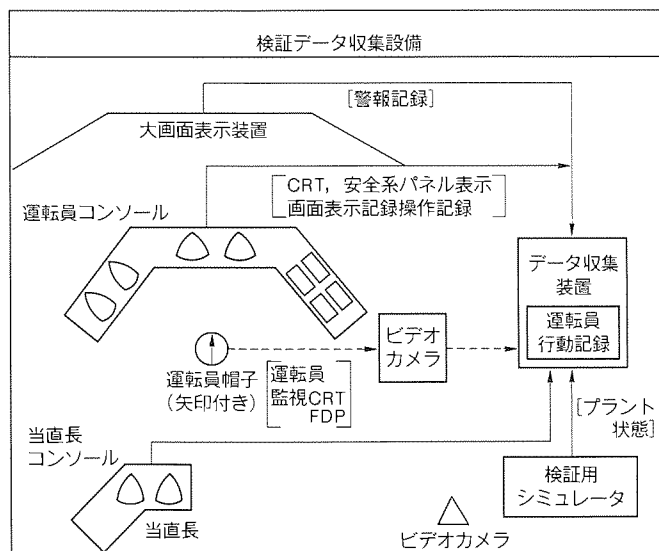


図10. 検証データ収集解析システム

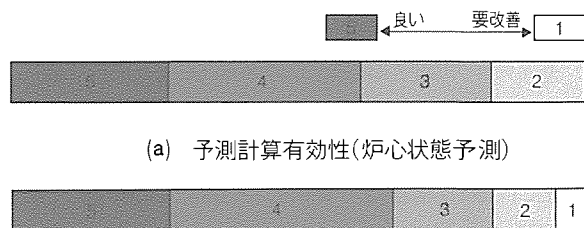


図11. 通常時支援システム定性評価例

表2. 異常時・事故時支援システム定量評価例

設計目標(評価手法)		定量指標	効果
ワークロード 低 減	肉体的ワークロード (運転員行動分析)	監視操作回数	約1/3低減
	精神的ワークロード (人間情報処理モデル)	情報処理時間	約1/3低減
人間過誤率低減(THERP)		人間過誤率	約1/2低減
運転品質向上 (事象検知/事象収束時間計測)		事象検知時間	全クルーが早期に検知可能。
		事象収束時間	均一化効果を 確認。

再アンケートを実施することで開発としての最終仕様を設定した。

## 5.2 MMS の検証評価

MMS の検証は、

- (1) 設計者による機能検証(所定の機能が設計どおり実現されていることの確認)
  - (2) 発電所運転員による有効性検証
- を実施した。ここでは(2)の有効性検証について述べる。

### 5.2.1 検証方法

検証は、支援システムの有無のケースについて模擬運転データを比較評価することによって実施した。このため、検証はMMSの有無の両ケースを同一プラント事象に対して実施することとした。この際、両ケースの実施順序の影響も評価するためスケジュールを考慮した。

定量値は、事象検知時間の差異等、可観測の値はOSDから直接求め、ヒューマンエラー率、運転員の負担は標準運転要領から机上分析によって求めた。

机上分析手法は、新型中央制御盤同様、運転信頼性向上に関してはTHERP、肉体的ワークロードに関しては監視操作回数、精神的ワークロードに関しては人間情報処理モデルを適用した。

### 5.2.2 検証結果

#### (1) 通常時支援機能検証結果(定性評価)

アンケートによる定性評価例として、負荷追従運転に関する結果を図11に示す。この結果、この機能について概ね良好との結果を得た。特にこの機能のねらいとした

- 条件設定(負荷追従時の計画負荷変更パターン等のデータ入力)容易化
- 高精度炉心計算に基づくほう素濃度調整ガイド

に関して高い評価を得た。

#### (2) 異常時・事故時支援機能検証結果(定量+定性評価)

##### (a) 定量評価

定量評価結果を表2に示す。表では各設計目標に対して検証で得られた結果を一覧にしている。この結果、運転員

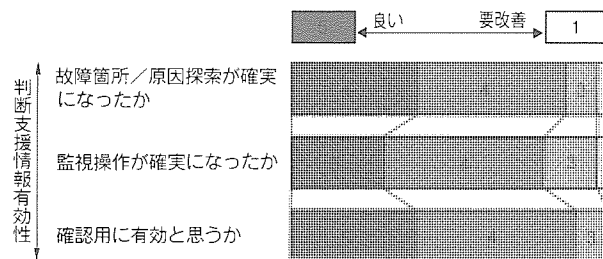


図12. 異常時・事故時支援システム定性評価例



(a) 隔離判断理由妥当性



(b) 支援機能の妥当性(隔離操作支援情報の十分性)

図13. 保守支援システム定性評価例

の負担、運転信頼性とも大幅な改善効果をもつことを確認する一方、運転品質向上の観点からは、MMSによって事象の検知に要する時間の短縮化、事象収束時間の均一化が図られることが示された。

#### (b) 定性評価

アンケートによる定性評価結果を図12に示す。アンケートは、設計目標に対応した効果を確認する項目、検証事象ごとに効果を確認する項目等を設定した。図に示されたとおり、支援情報の有効性が確認された。

### 5.2.3 保守支援機能検証結果(定性評価)

アンケートによる定性評価結果を図13に示す。図からこのシステムの有効性、すなわち隔離判断及び隔離操作に対してこのシステムが作業の確実な実施に有効であることが確認された。

## 6. む す び

次期プラント向け新型中央計装システムの主要な構成要素である、新型中央制御盤及び運転支援システムの開発を実施した。両開発とも、平成3年度に発電所運転員による運転検証を実施し、仕様の妥当性、支援機能の有効性を実証するとともに、改善点を抽出し、実機設計に向けての知見を得た。

新型中央計装システムは次期プラントへの適用へ向けて運用方法を中心とした検討を実施してゆくとともに、既設、建設中プラントへの部分適用を進めていく。

なお、この開発は、通商産業省、PWR各電力会社の御協力、御指導を得て成されたものであり、ここに深く感謝の意を表する。



# 次期原子力プラント向け 計装制御保護システム

山脇雅彦\* 稲積義則\*\*  
赤木克己\* 高嶋 誠\*\*\*  
北村 久\*

## 1. ま え が き

最新の加圧水型原子力発電 (PWR) プラントでは、プラントの主要な制御系をデジタル化することで運転自動化範囲の拡大を行い、多重化システム技術、分散化、自己診断機能の採用による信頼性と保守性の向上、多重伝送によるケーブルリングの合理化を図っている (図1)。

次期原子力プラント向けの計装制御システムでは、制御系に加えて原子炉安全保護系をデジタル化し、原子炉制御保護装置、タービン・発電機制御保護装置及び新型中央制御盤をプラント全域通信システムで結合し、デジタル技術がもつ信頼性・情報伝達性・保守性上のメリットを最大限に生かした総合デジタル化システムを構築し、より一層の安全性・経済性・運転操作監視性・信頼性・保守性・プラント稼働率の向上を図る計画としている。

本稿では、総合デジタル化システムのうち、計装制御保護システムについて、役割分担とその機能を実現する上での基本方針、技術開発状況、及びプラント保護機能の信頼性向上を目的に、次期プラントで初めて採用するデジタル式原子炉安全保護装置について紹介する。

## 2. 計装制御保護システム

### 2.1 基本方針

原子力発電プラントにおける最重要課題である安全性確保とプラントの安定運転を実現するため、次期原子力プラント向け計装制御保護システムには、これまでの建設及び運転の経験に基づく改良技術と最新研究開発成果を取り込み、

- 安全性確保と信頼性／稼働性及び点検保守性のより一層の向上
- プラント運転と保守の一元管理を基本とした機能役割分担の最適化と高信頼度運用

を基本方針とする。

システムの構築に当たっての具体的設計方針を以下に示す。

#### 2.1.1 機能分散

原子力プラントの制御はプラントの系統、装置に応じた複数の制御機能によって実現されている。次期原子力プラント向け計装制御システムでは、このプラント制御機能を、故障発生時の危険分散とプラント稼働性の確保を目的に制御機能を分散させた構成とする。

機能分散に当たっては、万一の故障発生によって制御設備の1分散がその機能を喪失しても、それによる外乱がプラントの安全性に影響を及ぼさないように最適化する。また、機能の分散によって個々の装置の処理負荷を低減することで、制御系に要求される応答性を確保する。

#### 2.1.2 プラント情報一元管理

多様かつ大量の情報を容易に伝達できるデジタル化設備の特長を生かし、制御保護装置と運転監視システムをプラント全域通信システムによって結合することで運転監視制御だけでなくプラント運用管理に必要な情報の一元管理を可能として、プラント運用・保守に必要な情報を効率的に提供可能とする。さらには、安定した電力供給を目的とした設備の運用・保守・管理業務の機械化によるプラント運用の高度化に対応可能とする。

#### 2.1.3 設備高信頼度化

システムの高信頼度化 (MTBF 100年以上) を達成するた

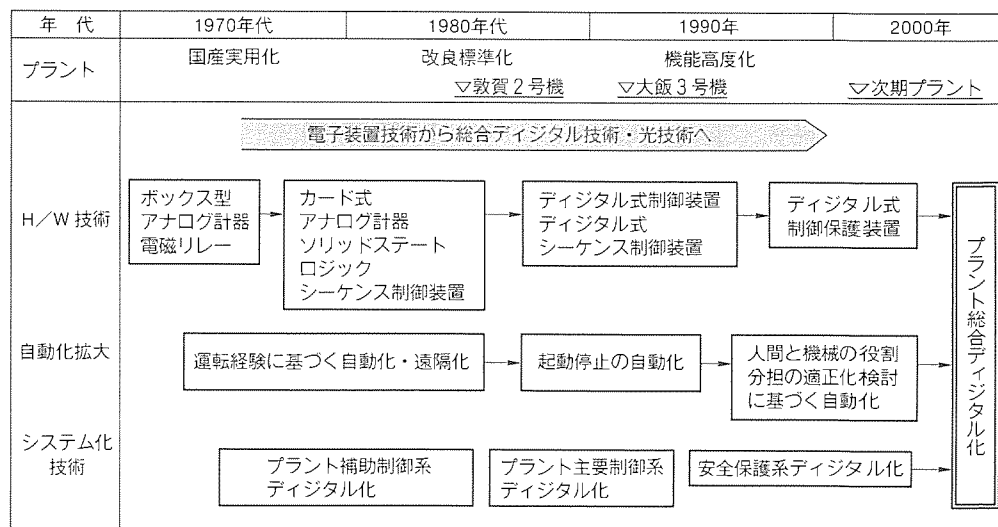


図1. 運転監視・計装制御技術の変遷

めに下記設計とする。

- (1) ハードウェア・ソフトウェア両面からの自己診断機能の充実により、故障検出率を高める。
- (2) 制御保護装置を重要度に応じて多重化構成(制御系二重化、保護系4チャンネル化)として単一故障発生時にもプラントを正常に運転制御、保守することを可能とする。
- (3) デジタル式制御保護装置のソフトウェアは割込みのない定周期実行とし、制御保護ロジックをシンボル化言語(POL)で製作することにより、ソフトウェアを可視化して検証性を高めた設計とする。

#### 2.1.4 保守・保全の高度化

デジタル化装置の特徴を生かした全自動試験装置の採用(保護ロジック試験の自動化)等によって保守を容易とし、保守作業にかかわるヒューマンエラーの低減を図る。

さらに、従来は盤設置場所でのみ確認可能であった詳細自己診断情報(故障箇所、故障原因等)をプラント全域通信システムを通じて集約し、各装置の保全情報を集中管理可能とする。また、保守・保全作業にかかわる支援情報(保守作業手順、詳細故障情報等)を表示する保守コンソールを設置することで、MTTRの短縮、保守ワークロードの低減等の保守・保全の高度化を図る。

#### 2.1.5 運転自動化範囲拡大

デジタル化設備の特徴である高度な演算機能を生かして最近の原子力プラントでは、原子炉起動・停止の自動化など、運転自動化を拡大している。さらに、次期原子力プラント向

け計装制御設備では、運転員の負担低減及び人間と機械の役割分担の最適化を目的として自動化範囲の拡大を図る。

#### 2.1.6 設備基本仕様の統一

計装制御保護設備の全面的デジタル化により、各設備の基本的システム仕様を同一仕様とすることができる。これにより、各設備を機能分類し、同一分類内で設備を統廃合することにより、設備の適正化を図る。また、設備基本仕様の統一により、予備品の削減、保守作業の容易化を図る。

### 2.2 システム構成

次期プラント向け計装制御保護システムの構成を図2に示す。計装制御保護システムは、先に述べた内容を基に、分散・階層化システムを構成しており、プラント運用保守管理にかかわるシステムと新型中央制御盤をプラント全域通信システムで結合する構成としている。

#### 2.2.1 新型中央制御盤

次期プラントの中央制御盤には、運転員の負担低減とヒューマンエラーの低減を目的として、

- 従来、ハードウェアスイッチによって行われていた中央制御室からの操作のソフトスイッチ化による監視と操作の一体化及び盤のコンパクト化
- プラント全体状態情報及び運転クルー間の共通認識情報を提供する大型表示装置の採用
- 運転支援情報を提供するマンマシンシステムの導入を図ることにより、運転操作監視性を更に向上させた新型中央計装システムの適用を計画している。計装制御保護システ

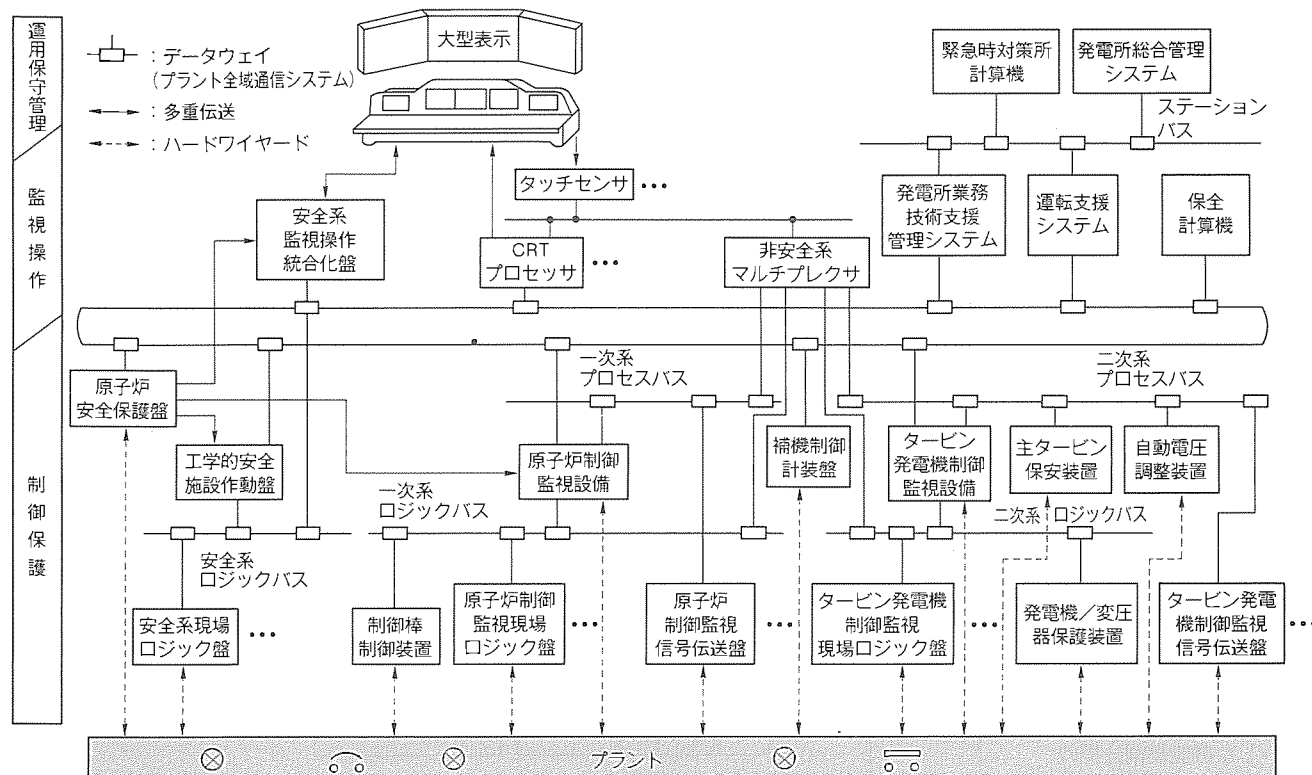


図2. 総合デジタル化システム構成

ムは、この新型中央制御盤とのインタフェースを最適化するため、監視にかかわる情報を最上位のネットワーク（ユニットバス）に集約させるとともに、マルチプレクサを設置して運転員による手動操作に対する応答性を確保する。

### 2.2.2 制御装置

制御装置は国内最新プラントでの経験をベースにデジタル化技術の適用範囲を更に拡大し、運転自動化の拡大と設備信頼性の向上を図り、下記を特長とする。

#### (1) 演算処理の適正化

制御機能では従来独立して実行していたプロセス制御とシーケンス制御を統合することでプラントの系統・設備構成と調和した演算処理形態に適正化する。

#### (2) 分散構成

各制御装置（原子炉制御装置、タービン・発電機制御装置）内で、制御機能を複数の演算処理部に分散させることで、故障時のプラント制御機能喪失の影響を軽減させる。また、処理負荷を分散することで必要な制御応答性を確保する。

#### (3) 分散配置

センサ・アクチュエータとインタフェースする入出力部を現場に分散配置し、演算処理部と多重伝送ネットワークにより接続することで、ケーブル物量の合理化を図る。

### 2.2.3 保護装置

プラントの安全を維持する機能をもつ安全保護装置はプラント安全性向上、信頼性・保守性の向上を目的として次期プラントで初めてデジタル化技術を適用する計画である。デジタル式原子炉安全保護装置の詳細は3章で述べる。

### 2.2.4 プラント全域通信システム

プラント情報伝送には光等を用いた多重伝送技術を適用し

たプラント全域通信システムにより、新型中央計装システム・制御保護設備を結合する計画である。

プラント全域通信システムは、プラント運転及びプラント状態監視に要求される応答性・信頼性を考慮し、プラント運用保守管理、監視操作、制御保護に階層化された各装置に対応する階層化ネットワークで構成されており、プラント内信号ケーブル物量の合理化を図っている。

最上位のネットワーク（ユニットバス）には運転監視にかかわる情報を集約し、プラント運用に必要な情報を一元化する。このネットワークに必要な計算機設備を接続することで、発電所業務技術支援管理システムほか、発電所サポートシステムの構築が容易となる。

## 3. デジタル式原子炉保護装置

### 3.1 デジタル式原子炉保護装置の概要

原子炉保護装置は、万一、原子力発電所に異常が発生した際に、プラントを安全に停止させる機能をもつもので、この原子炉保護装置にデジタル化技術を適用することにより、

- (1) 原子炉保護装置の信頼性向上
- (2) 限界熱流束比 (DNBR)、線出力の直接演算による保護機能の向上
- (3) 安全保護ロジック試験の全自動化による保守性の向上の実現を図った。

原子炉保護装置は原子力発電所の安全に最も重要な機能を果たすもので、デジタル化技術を適用するに当たっては、

- (a) システム構成技術  
(信頼性、応答時間、診断・試験機能ほか)
- (b) ソフトウェア検証技術
- (c) 耐震性・耐環境性の実証

について技術開発検証を行う必要があるが、これまでに電力会社との共同研究、(財)原子力

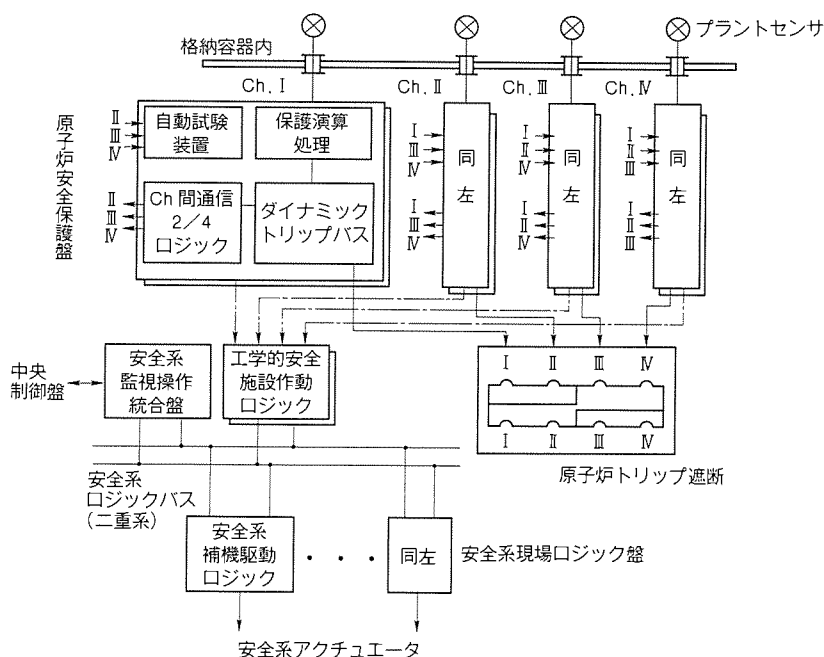


図3. デジタル式原子炉保護装置のシステム構成

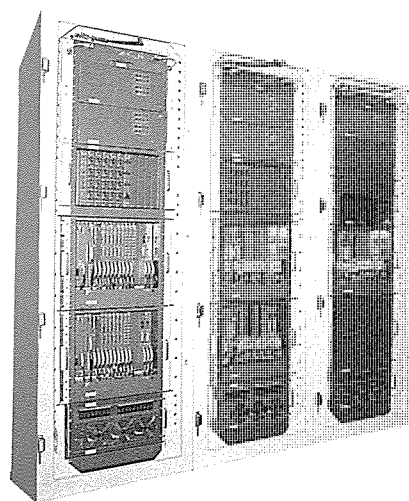


図4. デジタル式原子炉保護装置プロトタイプ装置の外観

発電技術機構(旧原子力工学試験センター)での実証試験等を経て原子炉保護装置のデジタル化に必要な技術開発を完了している。

### 3.2 デジタル式原子炉保護装置のシステム構成

デジタル式原子炉保護装置(Integrated Protection System:IPS)の特長を以下に示す。

#### (1) 多重化構成

光多重伝送インタフェースにより、物理的・電氣的に分離された4チャネルの多重化構成とし、原子炉トリップロジックを2/4バイパス機能付き多数決ロジックを採用することにより、単一故障による機能喪失を防止する。

#### (2) フェイルセーフ設計

原子炉トリップ信号出力回路にパルスの有無により、トリップ状態を判定するダイナミックトリップバスを採用するなどフェイルセーフ機能を強化する。

#### (3) 高信頼度ソフトウェア

検証性の高いソフトウェア構成(割込みなし、定周期実行)を採用するとともに、保護ロジックをシンボル化言語(POL)で記述することでソフトウェアを可視化し、高信頼性を確保する。

#### (4) 保守性の向上

装置内蔵の全自動試験装置により、安全保護ロジック試験を自動化して保守性を向上させる。

#### (5) 耐環境ハードウェア

装置は、耐ノイズ・サージ性(IEEE472, JEC-210準拠)、耐震性(耐震クラスA<sub>0</sub>)を確認、実証したハードウェアによって構築する。

#### (6) 光多重伝送の全面的採用

システムの各装置間の情報伝送には光多重伝送を全面的に採用することで、耐ノイズ性・分離性を確保するとともに、ケーブル物量の削減を図る。

デジタル式原子炉保護装置のシステム構成を図3に、プロトタイプ装置の外観を図4に示す。

### 3.3 ソフトウェア検証

原子炉保護装置は、原子力発電所の安全に最も重要な機能を果たすので、デジタル化技術を適用するに当たっては、ハードウェアのみならずソフトウェアについてもその健全性を十分に確認しておく必要がある。このため、PWR5電力会社(関西電力(株)、北海道電力(株)、四国電力(株)、九州電力(株)、日本原子力発電(株))と三菱3社(三菱重工業(株)、三菱原子力工業(株)、三菱電機(株))と共同で、“改良型原子炉保護装置ソフトウェア検証手法に関する研究”を実施した。この研究において、原子力プラント安全系に要求される機能がシステム設計要求段階からソフトウェア・ハードウェア詳細設計段階まで間違いなく展開され、製品に組み込まれていることを検証するため、設計・製作の各段階に対応した検証(Veri-

表1. デジタル式原子炉保護装置実証試験項目

試験項目	試験条件
安全保護機能試験	各種条件下で安全保護機能を維持することを確認(通常状態、ノイズ印加状態、加振状態、ほか)
加速寿命試験	20年相当の寿命加速後に機能維持を確認(60℃×1,940h)
耐震試験	(1) 設置床最大加速度: 水平方向 16.7m/s <sup>2</sup>  1.7G  垂直方向 4.9m/s <sup>2</sup>  0.5G  (限界地震に相当) (2) 地震波形: 正弦ビート波及び人工地震波
耐ノイズ試験	(1) 電源ノイズ: IEEE472 2.5kV 以上 (2) 誘導ノイズ: IEEE472 2.5kV 以上 (3) 静電ノイズ: IEC Pub.801-2 4kV (4) 雷インパルス: JEC-210, 212 4kV

fication)と最終システムが要求仕様を満足していることを確認する健全性確認(Validation)を組み合わせたソフトウェア検証手法(V&V手法)を確立し、その有効性を確認した。

このV&V手法の基本方針は、日本電気協会の電気技術基準調査委員会で審議され、“安全保護系へのデジタル計算機の適用に関する指針: JEAG 4609”として制定された。

### 3.4 実証試験

さらに、デジタル式原子炉保護装置がそのプラント供用期間を通じて要求される信頼性をもつことを実証するため、上記のV&V手法によって製作検証されたデジタル式原子炉保護装置に対して、(財)原子力発電技術機構で通商産業省の委託事業として、加速寿命試験、耐震試験、事故時環境模擬試験、耐ノイズ試験等の実証試験を昭和62年から約4年間実施した。この実証試験により、デジタル式原子炉保護装置の機能性能を確認し、その信頼性を実証した。表1に実証試験項目とその内容を示す。

## 4. む す び

以上、次期原子力プラント向け計装制御保護システムの基本方針、技術開発状況について紹介した。

実機適用に向けてはPWR5電力会社(関西電力(株)、北海道電力(株)、四国電力(株)、九州電力(株)、日本原子力発電(株))と三菱3社(三菱重工業(株)、三菱原子力工業(株)、三菱電機(株))との共同研究“次期プラント向け総合デジタル化システム保全の高度化”等の場で、プラント運用方針、定期検査・保守・保全方針ほか、電力会社の運用管理方針と協調のとれたシステムとしていくとともに、応答性能・インタフェース性能ほかのシステム全体として満足すべき基本機能性能の検証を行っていく予定である。

今後とも、電力会社の御指導、御助言を賜り、より一層の安全性、信頼性及び運転性の改善に寄与するシステム開発に努めていく所存である。



# 原子力発電プラント保全技術

片山俊彦\*  
池田郁夫\*\*

## 1. ま え が き

我が国における運転中の加圧水型原子力発電プラントは、現在19基を数え、設備容量は合計約1,500万kWとなり、電力の安定供給の大きなウエートを占めるに至っている。

プラントの安全運転の継続、設備利用率の向上のためには徹底した予防保全活動の取組が肝要である。現在までに蓄積してきた各種データの活用、新技術及び新知見の導入によって設備の異常徴候を早期にとらえ、不適合発生を未然に防止すべく、原子力発電設備保全技術の高度化の検討を進めている。

この論文では、保全管理に対する取組の概要と、最近の具体例として、徴候ベースの設備診断支援システムの技術について紹介する。

## 2. 保全管理の取組

保全管理には、①予防保全、②事後保全に大別されるが、重要設備については、プラント運転への影響が特に大きいので予防保全を原則としている。表1に原子力発電プラント電気・計装設備における保全管理の取組を示す。

保全管理は、①経年劣化対策、②信頼性向上対策、③保守管理の高度化に大別できる。経年劣化対策としては、有寿命部品の定期取替え、定検データ及び運転データ等の活用による劣化度の把握による補修(取替えを含む。)がある。信頼性向上対策は、日常の事故未然防止及び再発防止の活動をベースに、中長期的には新技術・新知見の適用を図るべく検討を行い、実機の更新・グレードアップを進めている。また、点検作業の自動化等の保守管理の合理化についての技術開発を進めている。このような活動により、検討された改善案については、納入電機品の仕様及び数量等の情報並びに改善保修経歴を電算化したMELRAP-N(Mitsubishi Electric Company Reliability & Availability up-grading Program-Nuclear)システムを運用し、予防保全推奨項目をアウトプットすることで、客先提案を行っている。

## 3. 設備診断支援

### 3.1 システム構成

現状の原子力プラントにおける設備保全業務は、技術者による巡視点検と年1回の定期点検を中心に十分実施されている。これらの保全業務で収集される機器データには、外観検

査データ、数値データ、五感データ、センサからの信号データなどがある。そこで、収集データから知識処理技術を応用し機器の異常徴候による異常早期診断を行うことを目的に、設備診断支援システムは異常診断知識データベース、データ収集の機械化、データの一元管理、データの統計的解析、データ解釈知識データベース、及び保守点検項目管理支援等一連の保全作業支援を行う機能から構成した。

#### (1) 知識の整理・蓄積

専門家のもっている知識を整理蓄積し、多数の人が利用できるようにすることにより、専門知識の共有化、専門家並みの判断処理を実行する。

#### (2) プラントデータの蓄積

点検データを一元管理することにより、体系だった診断、保守支援の実行を行う。

#### (3) 異常徴候の早期診断

異常による対応操作を要求される状態に至る前に機器の情報を提示することにより、余裕をもった対応操作、保守準備への対応を図る。

#### (4) 保守点検の均一化

専門家の知識を有効に利用できるので保守点検作業、異常診断技術の高度化、均一化が可能である。

#### (5) 定量的な技術の伝承

専門家の知識を伝承し、更にアップグレードすることによる異常診断のグレードアップを図る。

図1に上記特長をもつ診断ルール、システム管理、知識データベース、信号解釈ブロック、推論エンジン及びデータ収集設備からなるシステムの構成を示し、図2にモータの点検支援・診断システムとして開発したシステムの波形表示画面例を、図3にシステム管理画面例を示す。

### 3.2 機能構成

設備診断支援システムは図4の機能により、異常診断支援を行うシステムを構成している。

### 3.3 処理フロー

このシステムの代表的処理フローは図5に示したとおりであり、現場でのデータ収集、収集データの診断支援システムへの伝送、伝送データ管理値以内での統計解析・解釈<sup>(1)(2)</sup>、解釈結果からの診断ルールによる異常部位推論・提示<sup>(3)(4)</sup>を行うオフラインシステムである。データは数値、日本語、信号波形とした。保守技術者によって収集されたデータは診断支援システムにおいて平均値・積分・周波数解析などの統

\*本社 \*\*制御製作所(工博)

計処理を行う。併せて、信号ノイズ、トレンド認知、除去、複数データの比較認知など知的解釈処理を行う。診断結果とともに診断過程、異常に関連したデータの提示を支援する。設計者、技術保守員の専門家の知識獲得及び運転経験知識反映は異常徴候と原因の相関マトリクスとして抽出整理し、診断プロダクションルールとして知識データベース化するシステムとした。

### 3.3.1 データ収集

現場に携帯しデータを収集する機能であり、以下の機能で構成している。

#### (1) 手入力方法

日常点検で実施している計器読取りデータ及び異音や汚れ具合などの五感データの入力を対象とし、ハンディデータサンプリング画面に表示された項目に従い、キーボードによって入

表 1. 原子力発電プラント電気・計装設備保全管理の取組

活 動 内 容	
<div> <div>経年劣化対策</div> <div> <div>経済性・信頼性等の総合評価により部品／装置の更新</div> <div> <div>保全管理</div> <div>信頼性向上対策</div> <div>保守管理の高度化</div> </div> </div> </div>	<div>定検データの活用</div> <div>①異常徴候発見・余寿命診断のための定検データのトレンド管理 ・タービン発電機(固定子絶縁) ・加圧器ヒータ(絶縁抵抗) ・RCP モータ(振動, フライホイール締代, ターニングトルクほか) ・計器用電源(サイリスタ絶縁抵抗) ・発電機/モータ冷却器チューブ ECT ・プリントカード(電気特性, 雑音解析法, マージナルボルテージ法)</div>
	<div>運転データの活用</div> <div>①運転中の性能評価と経年管理(異常の早期発見と保全計画への反映) ・発電機(水冷却固定子差圧) ・変圧器油中ガス ・GIS 内部コロナ測定 ・RCP モータ(コイル温度, 振動, 軸受温度, 油面ほか) ・RMS 異常診断</div>
	<div>故障実態の把握</div> <div>①故障(フィールド)統計による再発防止策の検討 ②他プラントへの水平展開の要否検討 ・低圧モータの全閉化</div>
	<div>劣化度調査と寿命評価</div> <div>①劣化モードの抽出と重要性評価及び各重要劣化モードに対する点検手法, 寿命診断手法の検討 ②実機/部品サンプリングによる経年劣化度調査と寿命診断技術の開発 ・タービン発電機固定子/回転子コイル(ポリエステル)絶縁 ・高圧モータ(ポリエステル)絶縁 ・コントロールセンター部品 ・SR 形補助リレー ・配電盤部品 ・変圧器冷却器</div>
	<div>有寿命部品の定期取替え</div> <div>①定期取替部品一覧表による管理 プラントの定期検査着手 6 か月前に提出</div>
	<div>事故未然防止再発防止</div> <div>①国内他プラント不適合水平展開 ②海外不適合水平展開(INPO 情報等) ③他分野(火力・変電ほか)不適合水平展開</div>
	<div>新技術の開発と適用</div> <div>①新素材, 新製品, 新技術の開発と適用 ・ブラシレス励磁機フラバックダイオード ・タービン発電機耐 SCC リティエンゲリング ・静止形保護リレー ・デジタル式制御装置 ・CRDM-CS ダブルホールド ②新設プラント適用技術の既設プラントへの反映 ・ANN ラックマイクロプロセッサ化 ・ANN 抑制装置 ・プラント計算機機能強化 ③他分野(火力・変電)で実績のある技術の適用 ・高圧モータケーブルのコネクタ化</div>
	<div>輸入品・生産中止品対策</div> <div> <div>輸入品対応</div> <div>①部品輸入調達 ②国産化 部品交換 : RCP モータ上/下ブラケット, モータ絶縁更新 国産代替部品: GEMCO スイッチ 全体取替え : 原子炉トリップ遮断器盤, (機能向上) 原子炉保護/制御計器ラック及びリレーラック</div> <div>生産中止品対応</div> <div>①セカンドソースのある部品の選定 ②装置寿命到達までの保守部品のストック又は部分改造 ③生産中止品の通知と保守体制の確立</div> </div>
	<div>保守の合理化</div> <div>①点検作業の自動化/省力化(カード試験装置, ループ試験装置, RMS 密封線源校正装置, T/G 分解門形クレーン) ②保守管理の高度化(技術支援管理システム) ③被曝低減(RCP 軸受給油設備, モータケーブルコネクタ化)</div>

力する。

## (2) 自動信号入力機能

詳細点検で実施している点検項目を対象とし、アナログ信号波形をAD変換の上、ディジタル信号としてハンディデータサンプラに入力する。

## (3) 入力データ表示確認機能

データ収集時に収集対象機器・項目を表示し、内容確認を行う。また、入力した数値データ及び信号波形を表示し、現場での収集データ確認が可能である。

## (4) 付属機器

ハンディデータサンプラの画面には過去のデータ、管理値

データを表示する補助的な機能をもっている。

## 3.3.2 信号自動解釈

収集データに対し各種統計処理を行い、結果を保守技術員に分かりやすい形態で提供するためにデータを自動解釈する機能で、図6に示す信号処理と知識処理を融合したシステム(SIPS)とし、以下の機能から構成している。

### ●信号処理ブロック

周波数解析や積分などの信号処理を行う。信号処理コマンドとして下記がある。

trend	トレンド除去
period	ピリオドグラム法

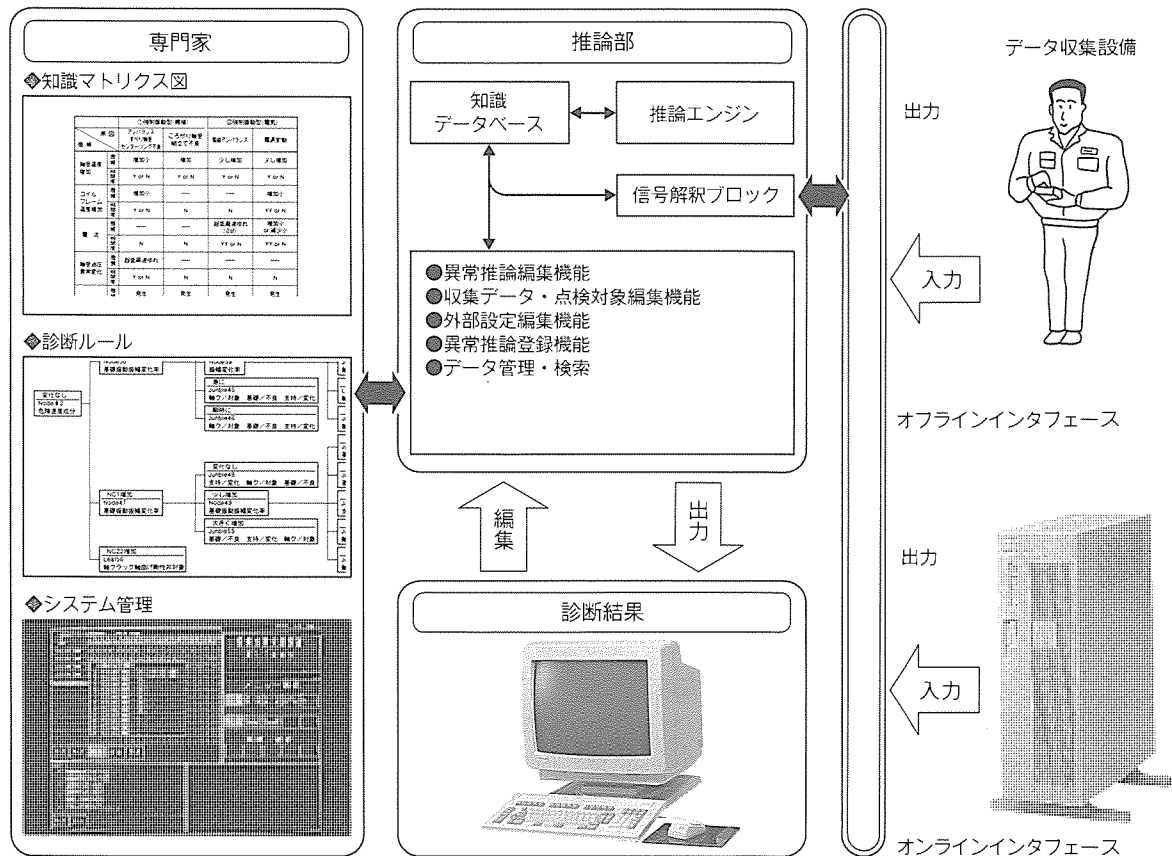


図1．システム構成

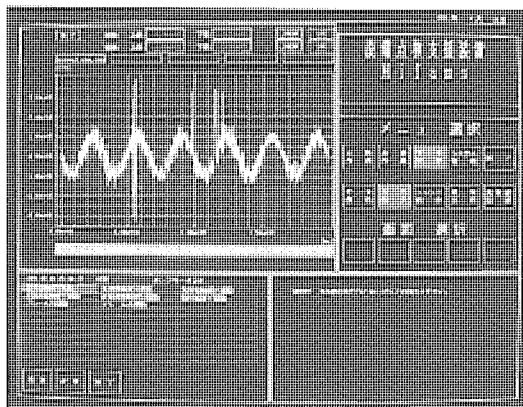


図2．データ表示 CRT 画面例

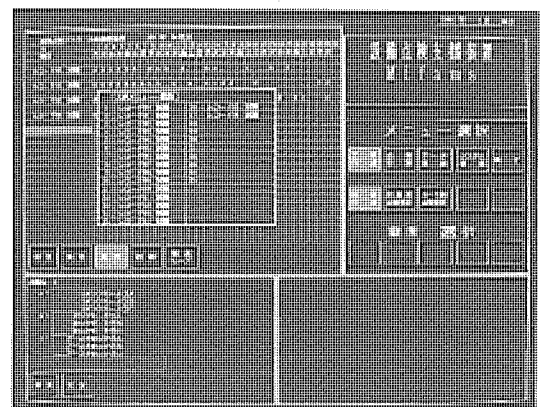


図3．システム管理 CRT 画面例

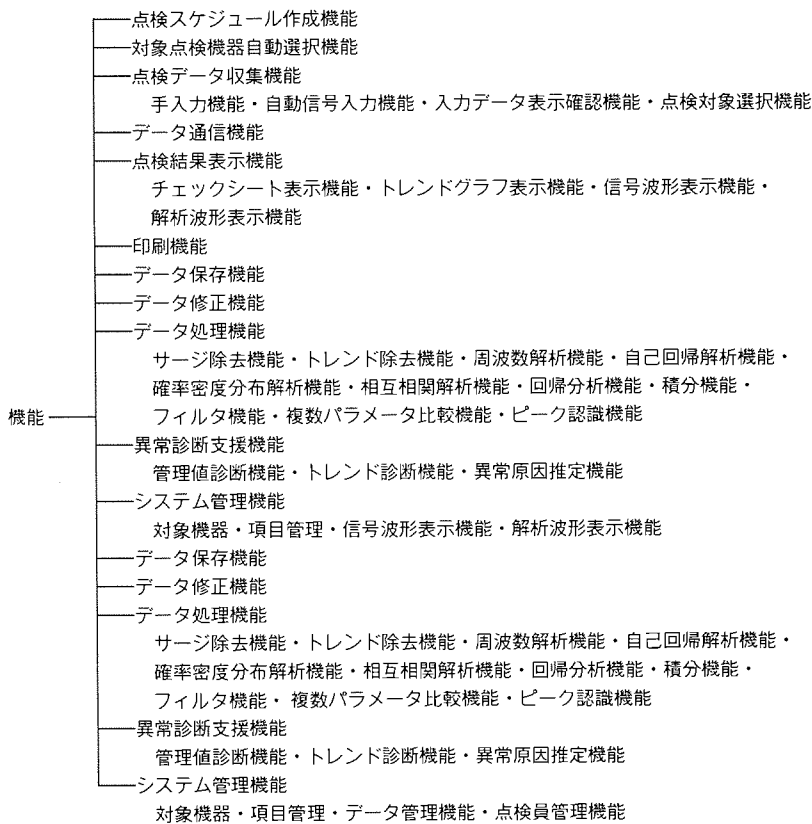


図 4. 設備診断支援システム機能

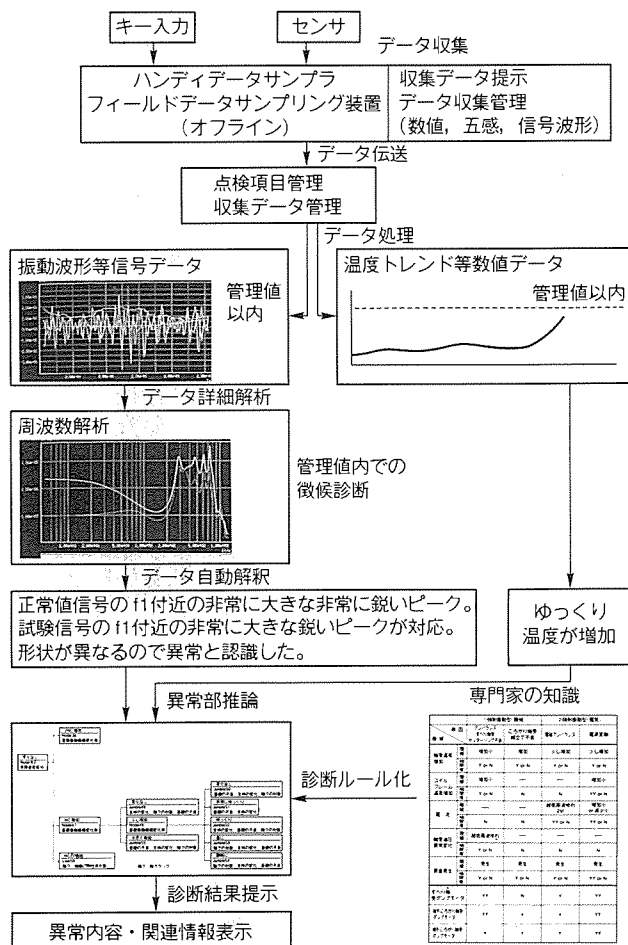


図 5. 処理フロー例

mem	周波数解析 (最大エントロピー法)
differ	平滑化微分
schalor	信号のスカラ倍
add	信号の加算
moment	信号の統計量
armodel	自己回帰モデル
autocor	自己相関関数
arerror	残差
smooth	平滑化
devrow	標準偏差列
whiteness	白色性検定指標列
histgram	確立密度分布 (ヒストグラム)
crosscor	相互相関関数
division	信号の除算
delsurge	サージ除去

#### ●知識処理ブロック

ピーク認識などの知識処理を行う。知識処理コマンドとして下記がある。

peak	スペクトルピーク認識
disorder	ピーク比較異常診断
surge	サージ検出

#### ●グラフ表示ブロック

信号データのグラフ表示を行う。グラフ表示コマンドとして下記がある。

graphic	グラフ表示
---------	-------

解釈結果からデータ推論知識によってデータの異常内容を認知し、提示する機能をもっている。

#### (1) 管理値診断機能

収集波形データの RMS 値、とがり度及び収集数値データについて、設計データ及び保守経験をベースに設定した各機器・項目の管理値との比較を行い、プロダクションルールによる収集データの異常を検出する。

#### (2) トレンド診断機能

各機器・項目に対しデータベースに存在する過去のデータを用いて回帰分析・相関解析を行うことで相互相関のあるデータ間のトレンド診断を行い、傾向変化を検出する。トレンド診断の知識ベースはモータ設計者、及び保守経験を診断に反映させるためニュアンスをメンバーシップ関数として表現したファジールールである。

#### (3) 自己回帰診断機能

過去のデータから作られた自己回帰モデル



をベースに予想されるデータと、収集信号データとの統計的性質の変化を抽出し、データ管理値以下における統計的性質の変化を検出し異常徴候を認知する。

#### (4) 確率密度分布診断機能

機器の特徴的徴候として軸受の傷については、設計上の知

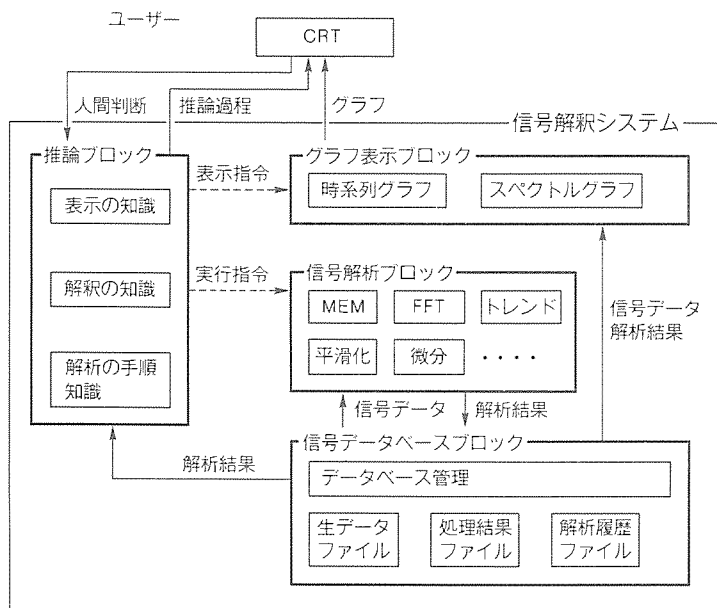


図6. 信号解釈システムの構成

		①強制振動型(機械)		②強制振動型(電気)	
原因 徴候		アンバランス すべり軸受 センターリング不良	ころがり軸受 組立て不良	電磁アンバランス	電源変動
軸受温度 増加	徴候	増加小	増加	少し増加	少し増加
	相関度	Y or N	Y or N	Y or N	y or N
コイル フレーム 温度増加	徴候	増加小	—	—	増加小
	相関度	y or N	N	N	YY or N
電 流	徴候	—	—	超低周波ゆれ (2sf)	増加小 or 減少小
	相関度	N	N	YY or N	YYY or N
軸受油圧 異常変化	徴候	超低周波ゆれ	—	—	—
	相関度	y or N	N	N	N
異音発生	徴候	発生	発生	発生	発生
	相関度	Y or N	Y or N	Y or N	YY or N
すべり軸受 ポンプモータ		YY	N	Y	YY
縦形ころがり軸受 ポンプモータ		YY	Y	Y	YY
横形ころがり軸受 ポンプモータ		Y	Y	Y	YY

注 Y: 相関あり, YY: 相関大, YYY: 非常に相関大, y: 相関小, N: 相関なし

図7. 相関マトリクス図例

識として振動波形の振幅確率密度分布、波形のとがり度の変化が顕著であることが分かっており、異常認知の手法として、波形データから振幅確率密度分布などの変化を検出する。

#### 3.4 診断知識データベース

解釈されたデータから異常部位を推論し提示するための診断を行う知識は、当社で開発したAI ツール“ERIC”の上で診断ルールとして構築した。診断ルールは設計上の知識、一般文献の知識及び保守経験上の知識からなっており、各知識は数値で記述できるものとニュアンスで表現されるものがある。このシステム開発では、ニュアンスをルールに確信度として取り込むため、異常徴候と原因をマトリクスで表現し、各々の相関度合を相関マトリクス内で10段階での重みとして設計、一般文献、保守経験知識を整理し、各知識を含んだ診断本として生成した。点検対象としてすべり軸受、縦形ころがり軸受、横形ころがり軸受の代表モータについて作成した相関マトリクスを図7に、この図をベースに生成した診断本の一例を図8に示す。診断本には、相関マトリクス作成時に入力した異常徴候と原因との相関度合に関する情報が含まれており、診断結果を相関度合の重い順に提示することにより、より確信度合の高い原因から順次提示することができる。

診断ルールの構築及び保守において最も重要なポイントは、異常事象の発生時における各種測定データの変化とその原因に関する知識の獲得及び反映である。これらの診断知識データベースは、システム作成時にその時点での知識に基づいて生成するが、保全活動を行うにつれて獲得できる点検保守作業経験、プラント固有の知識、運用形態、環境などの条件を診断本に反映していくことが望まれる。このシステムでは知識の獲得と点検保守作業経験を診断ルールに反映・学習させるために、相関マトリクスの徴候の修正、相関度合の変更などの手法によって診断ルールのアップグレードを図ることとし、ユーザー固有の診断知識を獲得することが可能である。

#### 3.5 ま と め

以上、原子力発電所における予知保全を目的とした設備診断支援システムの基本機能をもったシステムの技術紹介を行った。

今後は、このシステムのオンライン化対応、最適現場データ収集装置の開発、直感的診断ツールの開発等を進め、更に最適な診断支援システムへの発展を進めている。

#### 4. む す び

以上、現状の保安全管理の活動概要と最近の予防保全技術の事例として、設備診断支援システムについて紹

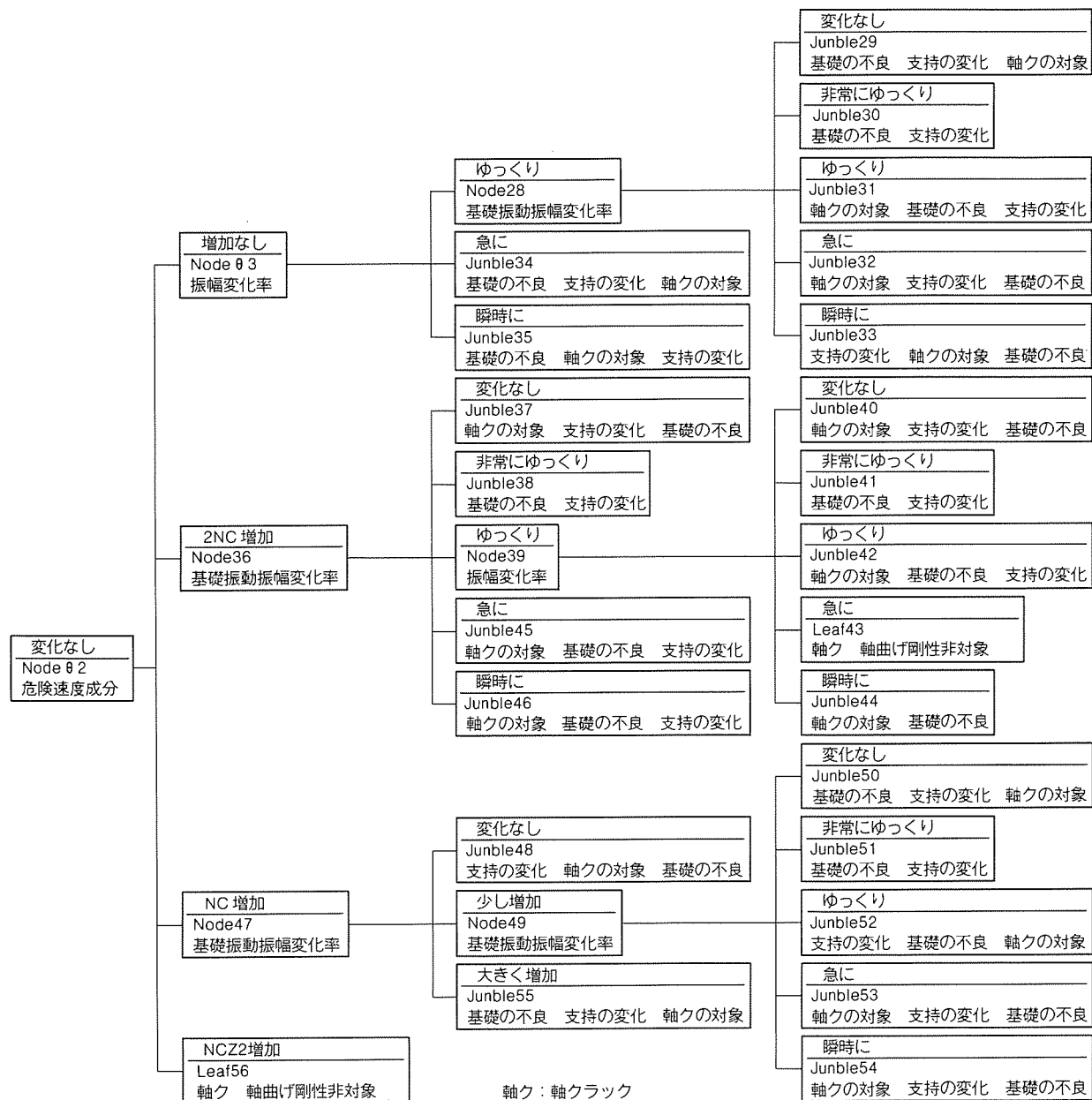


図 8 . 診断木例

介した。各設備の不適合発生の未然防止の実現のためには、現状の保安全管理だけでは不十分であり、まだまだ多くの技術開発が必要である。これら新しい技術の早期確立はもとより、現状の保全活動を広く適用し、改良を図っていくことも重要である。そのためには更に一層ユーザー、メーカーが一緒になって取り組んでいく必要がある。

最後に本システムの開発は(株)四国総合研究所との共同研究で実施したものであり、貴重な御助言、御指導を賜った(株)四国総合研究所 野上たけき殿はじめ関係者各位に深く感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

(1) 木村佑二, 犬島 浩, 犬房和夫, 安江 悟: 予防保全技

術, 三菱電機技報, 64, No. 3, 237~241 (1990)

- (2) 犬島 浩: 信号処理に基づくプラント診断エキスパートシステム構築ツール—信号解釈システム—, 三菱電機技報, 64, No. 5, 432~435 (1990)
- (3) 犬島 浩: 信号処理に基づくエキスパートシステム構築ツール, 電気学会論文誌, 110-C, No. 8, 479~483 (1990)
- (4) 振動騒音研究会: 回転機械の振動・騒音その原因と対策・解析・調査・診断, 経営開発センター出版部
- (5) 竹垣盛一, 石岡卓也: 知的制御システム, 海文堂 (1990)

# 原子力業務技術支援管理システム

## 1. ま え が き

原子力発電所では、電力の安定供給を行うとともに、より一層高い安全性、稼働率を達成するために、プラントの運転監視制御領域における自動化・高度化のみならず、運転管理・保守管理分野を含めた発電所業務全体からの品質向上対策の検討が進められている。例えば図1に示すように、運転員にとって最近のプラントの運転監視は、プラント計算機(PCCS)を主体としたシステムの中で、プラント設備からのオンライン情報に基づいて監視、操作を行っており、自動化が進んでいるが、運転員の業務全体から作業形態を見た場合、オフライン系では手作業部分も多く、プラントの信頼性を一層向上させるという観点からこの領域の業務機械化は最近の進歩の著しい技術シーズを取り入れて、今後重点的に実施されていくと考える。

ここでは、オフライン系と呼んでいる運転管理・保守管理業務領域を対象とし、技術者を支援する業務の機械化である技術支援管理(Technical Support and Management:TSM)システムの最近の状況を紹介するとともに、ますます拡大するこの領域の今後の動向について述べる。

## 2. システムの位置付け

TSMシステムの位置付けは、サイトの技術者が日々従事している運転管理・保守管理業務を対象とし、計算機応用技術の適用によって技術支援を行うことを目的としており、その主旨は既報<sup>(1)</sup>で紹介している。

原子力発電所業務の機械化のねらいは、省力化・効率化を中心として実施されてきたが、ここで説明するTSMシステムは、これらの目的に加えてプラントの信頼性向上の観点からプラントに直接従事する技術者・管理者の業務を運用・管理面から支援を行うことを目的としてシステムを構築するものである。具体的には、従事者の能力を最大限に発揮できる環境・設備を提供し、作業負担の軽減、ヒューマンエラーの低減を図り、作業品質の向上に寄与できるようにすることにある。

例えば、運転管理では、プラントの異常を早期に見付けるために、プラントパラメータを中長期にわたって定量的に把握できるシステムの構築、また保守作業では、設定された定期点検期間内に設備の保守作業を完了するために、一連の作業である隔離作業・保修作業・試運転等を効率良く高品質に

実施するシステム構築等である。

このビジネスで扱う領域は、柔軟な作業形態が要求されるため、現状では多くの部分が人手で実施されていること、また運用はユーザーのノウハウに基づき実行されていることが特徴といえる。最近の目覚ましい計算機関連技術の進歩により、人間系を対象としたこの分野も計算機活用によってきめ細かなユーザーニーズにマッチした支援システム構築が急速に可能になっている。

TSMシステムは、社内の横断的業務処理の観点から導入されたOA計算機システムによるサイト業務の効率化に加えて、図2に示す範囲を対象としてユーザーのノウハウを可能な範囲から機械化し、オンライン系に加えてオフライン系からもプラントの信頼性向上を図ろうとするものであり、以下具体的に実機として導入したシステム例を紹介する。

## 3. システムの概要

### 3.1 基本機能とシステム構成

TSMシステムの基本機能は、次の四つのシステムに分類できる。

- 運転支援/管理システム
- ドキュメント管理システム
- 保守支援/管理システム
- 上位情報伝送システム

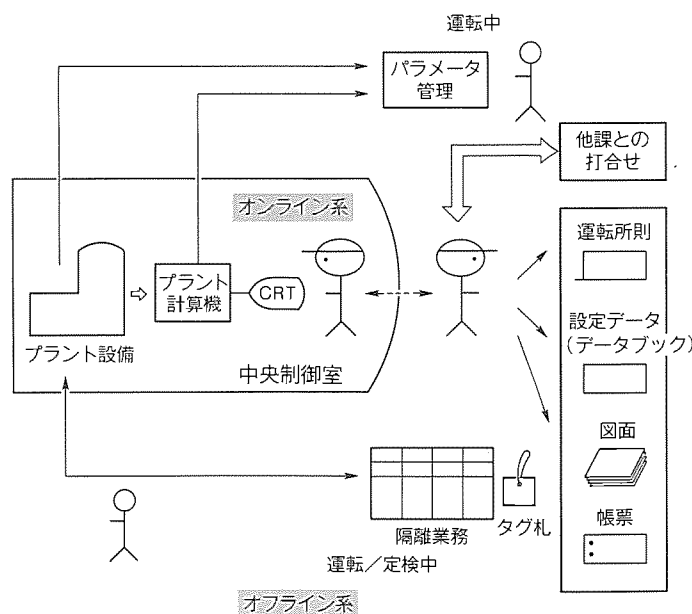


図1. 運転員の業務

これらのシステムを実現する基本システム構成を図3に示す。

TSM システムは、対象とする情報源としてプラントパラメータのような数値データのみならず、図面（イメージ、ベクトル）情報、写真情報等マルチメディア情報を扱うこと、さらにシステムの導入は段階的に実施されることを考慮に入れる必要があり、TSM 計算機は目的に応じて、複数のサーバマシンから構成される。端末は上記のようなマルチメディアをベースとした情報を高速・高解像度で扱うため、エンジニアリングワークステーション（EWS）を適用することを基本とする。EWS は、汎用の LAN を介して TSM 計算機と連係される。

### 3.2 システム例

TSM システムの納入例を以下に紹介する。

#### (1) 運転パラメータ監視システム

PCCS からステーションバス経由でデータ収集を行い、運転パラメータを中長期にわたって一元管理し、機器の経年変化、異常徴候の検出容易化を図るシステムである。PCCS で

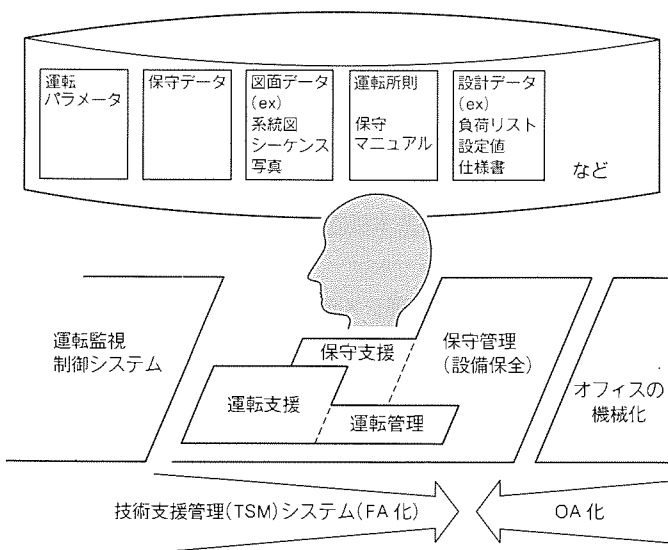


図2．技術支援管理(TSM)システムの対象領域

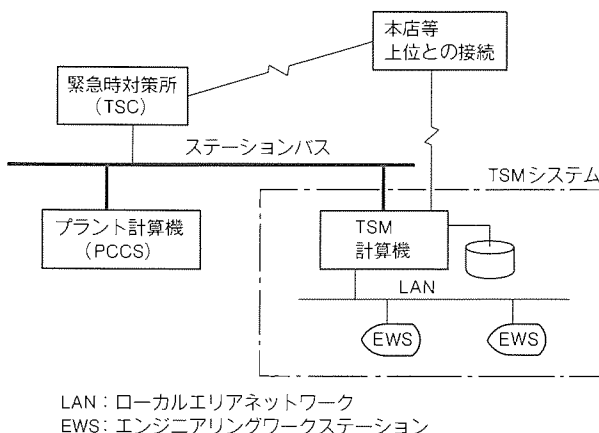


図3．技術支援管理(TSM)システムの基本システム構成

扱うアナログ信号を1分周期で収集処理し、日常管理、年間管理、長期管理及びリアルタイム管理機能を実現している。また、光ディスクによって数年に及ぶデータ保管が可能となっている。図4にシステム構成を示す。このシステムは、主機2ユニットに対して共通に1システムの構成である。図5はEWSのCRT画面例を示す。グラフ表示では任意なパラメータ設定や、X-Y軸上のスパン設定も自由に設定可能であり、使う側の意志を可能な限り反映したマンマシンインタフェースを提供している。

#### (2) システム隔離管理システム

業務調査・分析作業に続き、プロト機による機能性・操作性等の評価を経て、実用機システムを四国電力(株)伊方発電所1/2号機向けに製作・納入した<sup>(2)</sup>。系統図をベースとした一括隔離作業を中心に機械化を図り、操作票、作業タグ等の自動作成を可能としている。このシステムの導入により、

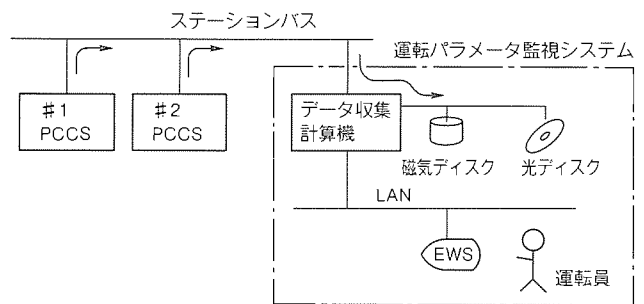
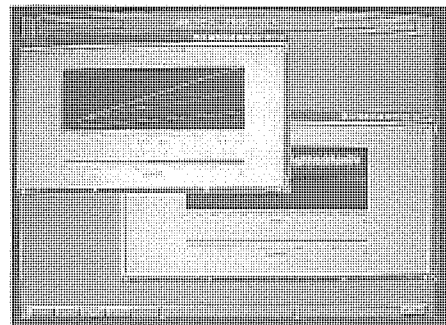
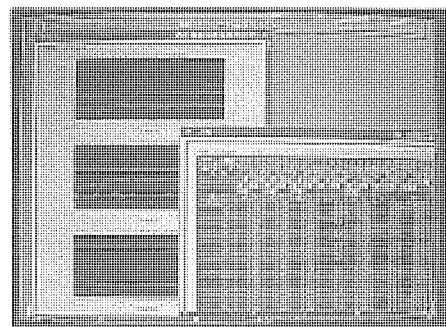


図4．運転パラメータ監視システムのシステム構成



(a) 1号機と2号機の比較



(b) グラフとデータ表

図5．運転パラメータ監視システムのCRT画面例

集中作業時の負担軽減とともに、系統図を含む隔離情報データの一元管理によって多くの帳票、タグ札作成作業の品質向上を実現している。図6にシステムの全景、図7にシステム構成を、また図8にCRT画面例を示す。このシステムは、納入後1号機の第12回定検で従来の手作業と併用して試用され、2号機の第8回定検から実運用に入った。

## 4. システムの拡大

### 4.1 システムの拡大

一たびシステムを導入して運用を始めると、使い勝手に対する具体的改善要求が出てきたり、更に具体例の出現で機械化のイメージが描け、これが刺激となり他システムや他部門の機械化を促したりしてシステムは拡大していく。例えば、応答性の改善や、使用者の入力負担を軽減すべく他システムで既に入力済みのデータを有効に活用する連係化等のニーズがある。

メーカー同様ユーザー内でこの分野の機械化を推進される方々にとっては、使用者から発せられるこれらのシステム改善・拡大に対するコメントやニーズに対してスピーディに対応できるかどうか、目的とするシステム構築を最終的に達成できるかの分岐点になる。従来のシステムのように、一たびシステムを納入した後は、ある期間使いきる運用方法と異なり、現場の声を反映しスピーディに対応し改良していくことがこの分野の特徴といえるし、目的を達成するための大切なポイントと考える。システム納入後の拡大例及びニーズを反映した新規システム・新技術例を以下に示す。

### 4.2 システム拡大例

#### (1) 異機種間接続

四国電力(株)伊方発電所1/2号機向けとして、運転データ管理システム(ODMS)と呼ばれる運転帳票作成システムを当社が納入した。また、これとは別に他社が水質管理システムを担当し、それぞれ個別に導入・運用されていた。ODMSにおいて、手入力しているデータの中で、別システムである水質管理システムで自動収集されているデータがかなりあるため、両システムを連係することを検討し、イーサネットLANを介して両システムを連係し、関連データを自動転送して手入力作業を不要とした。システム構成を図9に示

す。このように、システムの責任をもつ担当部門での業務処理の高度化が容易な個別システム構築の中から異機種間接続により、他システムのデータの利用が可能となった。

#### (2) ネットワーク化

先に、3.2節(1)で紹介した運転パラメータ監視システムの拡大例を次に紹介する。

ステーションバスを介してPCCSから収集したデータは運転員向け用途のみならず、発電所の各課で利用できる有効なパラメータを含んでいる。関西電力(株)大飯発電所3/4号機向けとして、各課の応用業務用に対応すべく図10に示

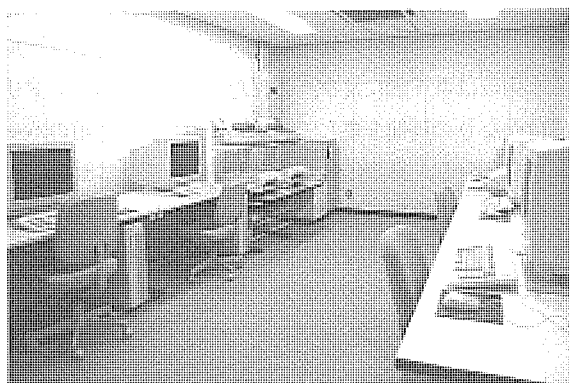


図6. 系統隔離管理システムの全景

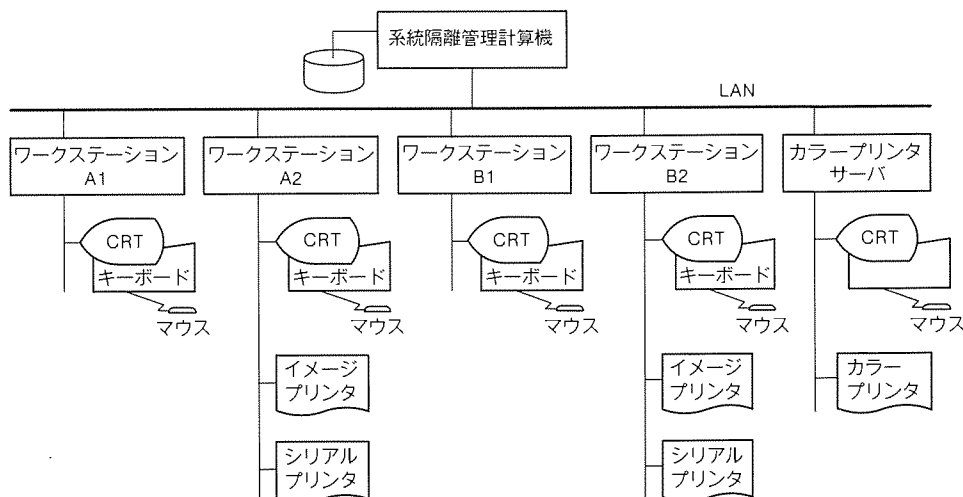


図7. 系統隔離管理システムのシステム構成

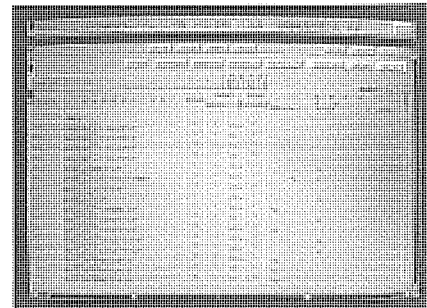
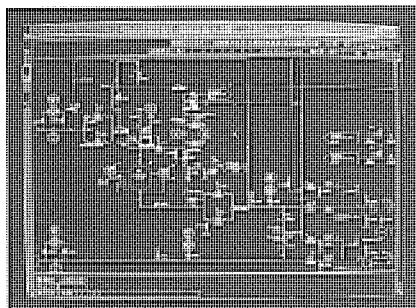


図8. 系統隔離管理システムのCRT画面例

すようにネットワーク化を図り、収集したパラメータを自由に各課で活用できるシステムを納入した。なお、TSM システムの端末はEWS を主体としているが、今後はスペース性の観点から高性能化の著しいパソコンの活用も考えられる。当社のノート型パソコン MAXY 上で実現した汎用ソフトウェアである Excel<sup>(注1)</sup> 活用による運転パラメータの表示例を図11に示す。

### (3) 系統図の高速表示

プラントの系統図は、作業の基本となる図面であり、電子化(ベクトル化)によってその応用範囲も広くなり、その一例として系統隔離支援システムへの適用がある。この中で系統図の使用頻度の多さから、表示・スクロールの一層の高速化が要求されている。1枚の系統図で表示されるシンボル数と文字列数は数千個に及び、これだけの情報量のハンドリングにはかなりの時間を要している。このため、専用のハードウェアを適用し、高速化を実現している。当社は世界最高水準のEWSと当社のCAD技術の適用により、専用のハードウェアを適用することなく、EWS上で実用機として提供できるスムーズスクロールを開発した。さらに、このシステム上で系統図と現場写真を連係させ(図12参照)、業務の高度化に対応できる技術も提供できるようになっている。

なお、既存の系統図の電子化方式として、系統図自動認識方式を開発し<sup>(3)</sup>、入力迅速化・効率化を図っている。

## 5. システムの今後

### 5.1 計算機の高度な活用

極端な言い方ではあるが、この領域はシステムの運用を開始した時点から、すぐに新しいニーズが幾つも発生し、システムの早急な改善が求められる場合が多い。これらの新しいニーズの対応いかんではせっかく開発したシステムが積極的に使われなくなる場合もある。投資する側にとっても、また

メーカーにとっても対応の検討が要求される。しかしながら、対象が人間系の作業領域を扱っている限りこの問題を完全に解消することは難しいと考えるが、このような事態を少なくするためには、システム構築の初期段階から客先と一体となり、導入ステップの設定と各ステップでの目標をきちんと関係者に徹底し、各開発ステップでの位置付けを明らかにしてシステム開発を進めることが大切と考える。

したがって、システム導入後も次ステップの開発等の継続した投資が必要となってくる。このような投資の増大に伴い、現在の手作業で実施している部分の処理を計算機で置き換えるだけでなく、計算機の真の能力を最大限に活用し、新しいものを生み出し、一層の信頼性向上に寄与することが、投資効果の観点から重要となってくる。

### 5.2 要求される技術

今後の高度化に対応していくためには、各種情報を扱いやすい形で電子化するとともに、ユーザーのノウハウのみなら

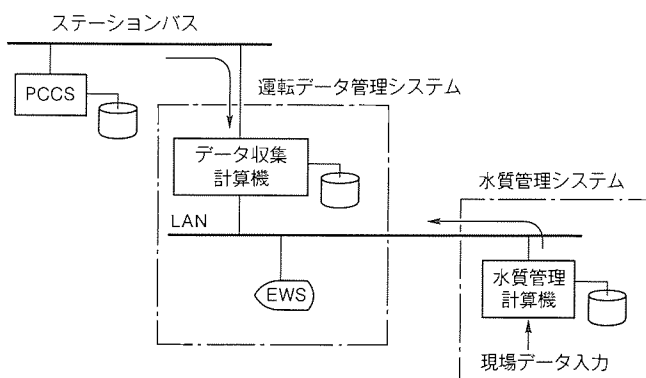


図9. 運転データ管理システムと水質管理システムをLANを介して連係したシステム構成

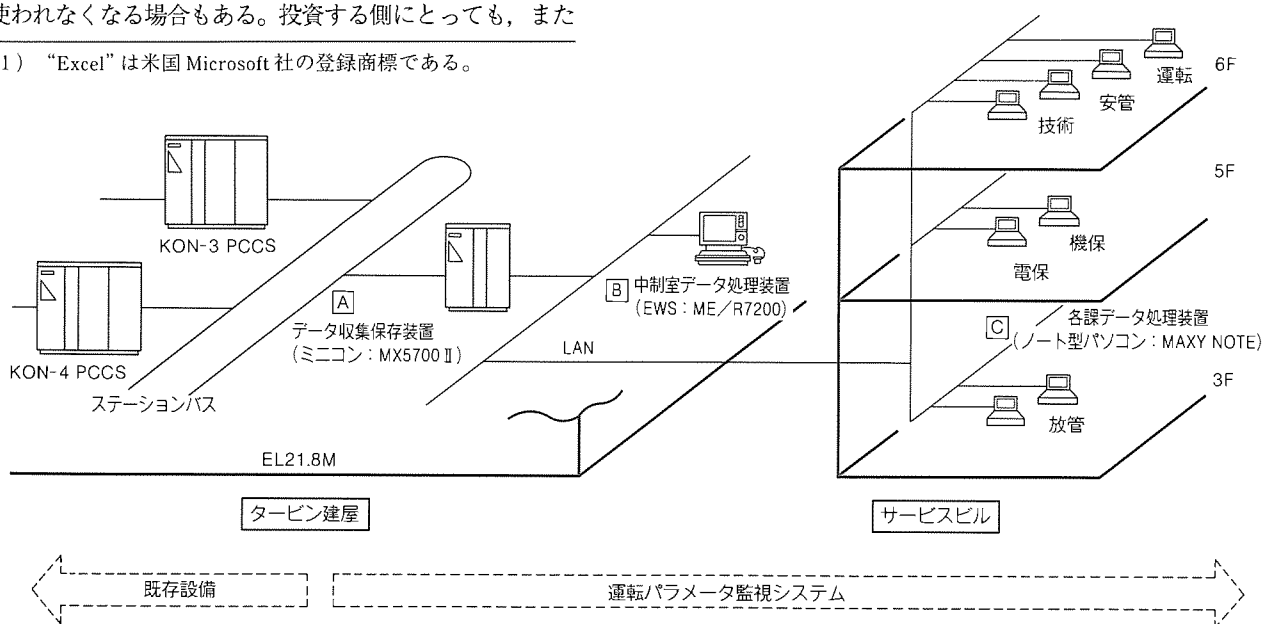


図10. 運転パラメータ監視システムを発電所全体で活用したシステム構築例



ず、メーカーのノウハウをシステムに取り込み、各業務処理で人間の思考を支援する機能を強化し、より品質を高めることが重要となってくる。これらを実現する技術として、特に次のような技術開発が要求される。

- マルチメディア技術
- 知識処理技術

また、業務処理範囲の広がりに対処し、システムを経済的にスムーズに拡大したり、データベースの有効管理と効率的運用等を実現するためには次の技術が必要となる。

- ネットワーク技術
- 分散システム環境下でのデータベース技術

### 5.3 システム構成

業務のシステム化ニーズが拡大する中で、操作性・応答性・経済性・スペース性等を考慮したシステム化のねらいは次のようになる。

- (a) 他課システムへの影響を少なくして、各課の固有業務の高度化へのスムーズな展開
- (b) 発電所としてのデータベースの共有化と一元管理
- (c) 端末 (EWS) の共用化
- (d) 高速応答性

運転管理・保守管理業務を対象としたシステムを、組織対応でシステム化した場合のシステム構成例を図13に示す。発電所として共通のデータベースを管理するサーバ群と、各課に密着したデータを蓄える各部門サーバ群を高速LANを介してネットワークで相互に連絡し、また各端末 (EWS) では複数の業務が一つのEWSで共用化できる等で上記のねらいを実現しているシステムである。

## 6. む す び

以上紹介したように、TSM システムは個別システムから発電所全体での運用を考えた総合化されたシステム作りに移ろうとしている。技術シーズの進歩を考えればこのような運用形態への推移のテンポは一段と加速され则认为る。

システムは拡大の方向に進んでいるが、現状の計算機の活用程度は、現在の手作業領域での機能の置き替えというのが実態であろう。しかし、このようなプロセスを経て計算機の活用慣れにより、次ステップでは計算機の能力を最大限に活用し、人間の思考・判断を支援する新しい技術支援の形態が生み出され、本当の意味での高度な計算機活用の時代が近づいてくるものと考ええる。

この領域はユーザー中心の業務処理を対象としており、今後共に各ユーザーと一体となった検討の中で業務内容の理解

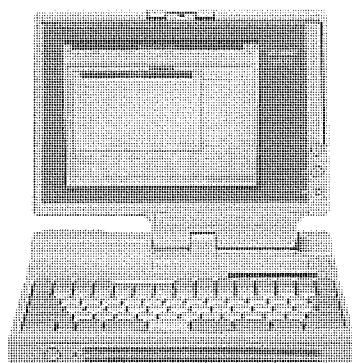


図11. 運転パラメータ監視システムをノート型パソコンで活用している例

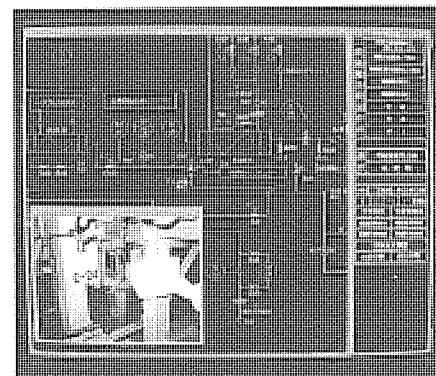


図12. 高速系統図表示と現場写真を連係した CRT 画面例

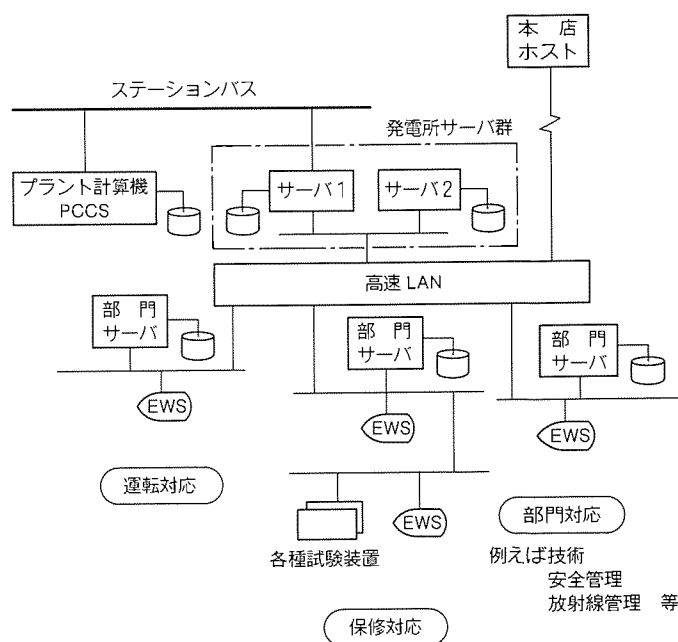


図13. 今後の技術支援管理(TSM)システムのシステム構成案

を一層深めていくとともに、プラントメーカー及び計算機メーカーとしての当社の立場を最大限に生かし、最新の技術を反映したTSM システムを提案していきたいと考える。

最後に、この分野の開発・製作に際し、御指導いただいた関西電力(株)、四国電力(株)、九州電力(株)、及び各電力の関係各位に深く感謝するとともに、引き続き御指導等をお願いする次第である。

## 参考文献

- (1) 大屋 正, 阿部紀彦: 原子力発電所技術支援管理システム, 三菱電機技報, 64, No. 3, 232~236 (1990)
- (2) 大谷克己, 伊藤繁文: 原子力発電所系統隔離管理システム, 火力原子力発電 (1992-6)
- (3) 柴山純一, 二俣 隆, 前田 暁: プラント系統図面の自動入力方式, 電学論C, 112, No. 1 (1992)

# 統合制御監視システム MELTAC-CJ

下里正夫\* 小倉啓七\*  
松尾慶一\* 先間直樹\*\*  
田中浩一\*

## 1. ま え が き

原子力発電プラント計装制御システムにおける高信頼性と稼働性の要求を実現させるため、当社では原子力向けデジタルコントローラ MELTAC-N<sup>(注1)</sup>を開発し、PWR プラントの主要計装制御システム用に納入してきた。

次期原子力プラント (APWR) では、保護系を含めたプラント計装制御設備のすべてをデジタル化し、運転・監視・制御での高度化・省力化を更に拡大させていく計画である。

一方、原子力周辺設備・試験研究施設等向けには MELTAC-C<sup>(注1)</sup>があり、中規模計装システムとして汎用性・拡張性・経済性を実現してシリーズ化してきた。

今回、MELTAC シリーズにおける高信頼性・高保守性設計思想を踏襲し、かつ、小型・低価格でオープン性を追求した計装システム MELTAC-CJ<sup>(注1)</sup>を開発した。

本稿では、その特長・機能・構成について紹介する。

## 2. 統合制御監視システム MELTAC-CJ

### 2.1 統合制御監視システムの背景

工業用デジタル計算機による直接デジタル制御 (DDC) が実現され、さらにそれが分散型計装システム (DCS) へと発展するにつれ、プロセス計装システムは自動化・省力化を主目的として急激なデジタル化が進められてきた。

原子力発電分野においても 1980 年代に入って、特に周辺設備を中心に DCS によるデジタル化システムが相次いで導入され実運用されている。

一方、近年における

- マイクロプロセッサの急激な高性能・高機能化
- エンジニアリングワークステーション (EWS) を中心とする計算機のダウンサイジング (小型) 化
- 標準化ソフトウェア (S/W) ・標準ネットワーク化

の動きは DCS を更に小型・低価格で使いやすいものとし、ユーザーが汎用の DCS を任意に組み合わせて、各システムに最適の計装システムを自由に構築する

機運が高まっている。

すなわち、従来のメーカー専用ハードウェア (H/W)、専用 S/W、及び専用データ通信によるクローズした専用 DCS から、異機種・他メーカーと容易に接続でき、また汎用 S/W を容易にシステムに組み込むことにより、柔軟で高性能の DCS への変革が要求されている。

### 2.2 MELTAC-CJ の設計方針

MELTAC-CJ は、これら汎用計装システムに要求される小型・低価格化・汎用化 (オープン化) と高信頼性を、原子力計装設備における経験・実績をベースに両立した統合制御監視システムである。

MELTAC-CJ の設計方針を表 1 に示す。

#### (1) システムのオープン化

汎用計装システム分野では、制御装置の汎用化に伴い、他装置や他システムと容易にしかも確実に結合できることが要求されている。これらオープン化指向にこたえるため、オペレータステーション (OPJS) に汎用 EWS を適用し、業界標準である UNIX OS<sup>(注2)</sup>と X ウィンドウを適用した。更に

(注 1) MELTAC : Mitsubishi Electric Total Advanced Controller (N : Nuclear, C : Commercial, CJ : C-Junior)

(注 2) UNIX は UNIX System Laboratories, Inc が開発し、ライセンスしているオペレーティングシステムである。

表 1. MELTAC-CJ の設計方針

要求レベル	MELTAC-CJ の設計方針
制御装置の汎用化 他装置・他システムとの接続の 容易性=オープン性	汎用 UNIX OS と 標準ネットワーク IEEE802.3 の適用
使いやすさ・見やすさ 操作習熟期間の短縮 誤操作防止	最新 GUI (Graphical User Interface) の適用 立体イメージ画面の適用によるリアル感、 視認性の向上
高信頼性・高保守性	●MELTAC シリーズの高信頼・高保守性設計 思想の踏襲 ●最小 H/W 構成によるコントローラの二重化
高性能化	高性能 CPU による高速シーケンス制御と計装 制御の統合
多様化 制御から管理までの多様なシス テム要求に柔軟に対応	汎用 EWS と標準 UNIX OS を適用 ●汎用 S/W の適用を容易化
容易なエンジニアリング システム改良、拡張の容易性	運転監視とエンジニアリング機能を統合 ●操作性の良いビュービルド機能とエンジ ニアリング機能 (システムビルダ、データベ ース、POL 機能) を内蔵
小型・低価格化	コンパクトな H/W 構成 汎用シーケンサ (MELSEC) の入出力部と ME/RISC シリーズ EWS の適用

データベースには、OSI に準拠した IEEE 802.3 の標準ネットワークを適用し、また標準プロトコルである TCP/IP を採用した。

## (2) 最新マンマシンインタフェース技術の導入

汎用計装システムでは、オペレータの運転操作が容易で、かつ誤操作が防止できるよう、使いやすさや CRT 画面の見やすさが要求されている。これにこたえるため、このシステムでは、最新 GUI (Graphical User Interface) の適用により、立体イメージ画面を採用し、リアル感・視認性を向上した。さらに、画面内の任意タッチ操作により、順次関連詳細画面に展開可能とするハイパーリンク機能によって操作性を向上させた。また、CRT には、タッチオペレーション機能搭載の 20 インチカラー高分解能ものを適用した。

## (3) 高信頼性・高保守性

システムの高信頼性・高保守性を確保するため、原子力向け計装システムで実績のある MELTAC シリーズの下記設計思想を踏襲した。

- 監視／制御レベルの階層化分割と制御機能の分散化構成
- コントローラでは割込みを用いない定周期制御処理の適用
- MELTAC シリーズ共通グラフィック POL の適用による制御 S/W のビジュアル化 (制御プログラムを計装ブロック図感覚で作成・モニタリング可能とした。)
- 装置異常発生時にも運転継続状態で異常箇所の修理を可能な設計

また、コントローラの最小 H/W 構成での二重化により、高信頼性と小型・低価格化を実現した。

## (4) 高性能化

高速シーケンス制御と計装制御を同一コントローラ上で実現可能とするため、コントローラ用に高性能 32 ビット CPU (i 486) を採用し、処理能力・処理速度の向上を図った。制御 S/W はグラフィック POL を使い、シーケンス制御と計装制御処理が同一保守画面上で任意に混在して作成可能である。

## (5) 多様化

制御から管理までの多様なシステム要求に柔軟に対応可能とするため、汎用 EWS と標準 UNIX OS を適用することにより、汎用 S/W が容易に搭載できる設計とした。

## (6) エンジニアリング機能

ユーザー自身がシステム改良・拡張ができるようにするため、このシステムでは運転監視とエンジニアリング機能を統合し、操作性の良いビュービルダ機能とエンジニアリング機能を OPSJ に内蔵した。エンジニアリング機能には、システムビルダ機能・データベース機能・グラフィック POL サポート機能を含んでいる。

さらに、OPSJ 機能動作中にマルチウィンドウでエンジニアリング機能画面を同一 CRT に表示させることにより、運転・操作性を向上させた。

## (7) 小型・低価格化

コントローラ部の小型・低価格化を実現するため、業界トップシェアの汎用シーケンサ (MELSEC) の入出力部を適用した。また、計装制御に必要なアナログ入出力の拡充を図り、コンパクトな H/W 構成を実現した。オペレータステーションには、小型・高機能の ME/RISC シリーズ EWS を適用し、コストパフォーマンスの向上を図っている。さらに、より小規模・小型システム向けに、簡易型オペレータステーションやラップトップ型保守ツール等のメニューをそろえ、システム規模に応じたフレキシブルなシステム構成を可能とした。

## 3. MELTAC-CJ のシステム構成

MELTAC-CJ のシステム構成を図 1 に示す。最小システム構成は、プロセス制御装置であるフィールドコントローラ (FCSJ) 1 台と保守ツール装置 (PP) 1 台であり、一方、最大システム構成は、FCSJ 4 台とプロセス運転監視装置である OPSJ 4 台の構成である。さらに、データウェイの二重化を

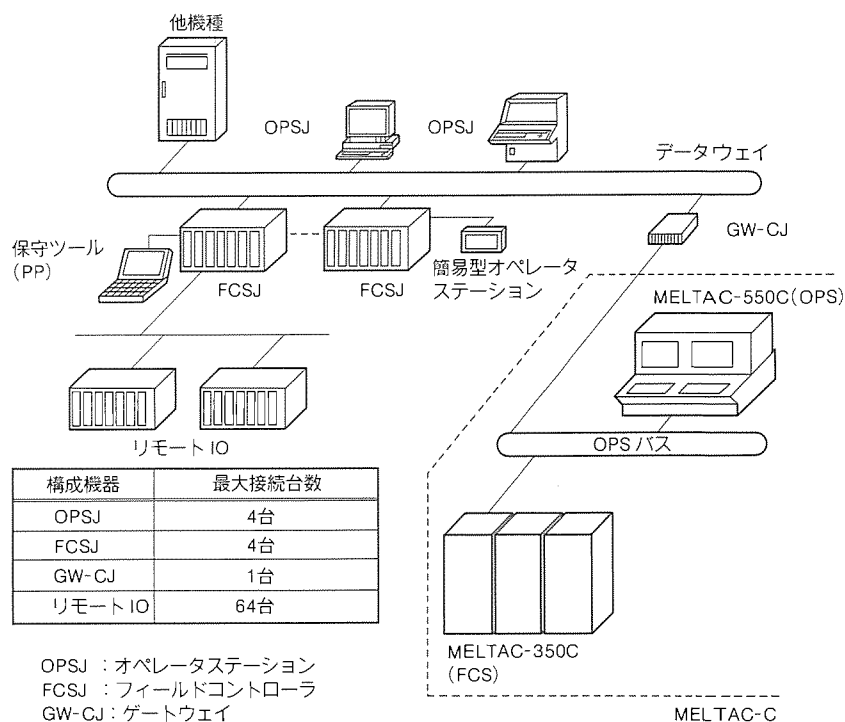


図 1. MELTAC-CJ のシステム構成

含めフレキシブルなシステムが構築できる。また、簡易型オペレータステーションと組み合わせたシステム構成も可能である。

MELTAC-CJ システムは、既存の MELTAC-C システムとゲートウェイ (GW-CJ) を介して接続し、プロセスデータを収集できる。また、オープン化指向のデータウェイを適用したため、MELTAC-CJ 内のデータを他のネットワーク及び他の汎用コンピュータに転送することもできる。このように、MELTAC-CJ は高い拡張性をもっている。

#### 4. OPSJ

OPSJ は、デスクトップ型の小型でコストパフォーマンスに優れたプロセス運転監視装置である。EWS をベースにし、プロセス計装に必要なメニューであるタッチパネル、ファンクションキーボード、各種プリンタ、ブザー等を付加し、プラント運転監視に必要な機能を搭載している。

##### 4.1 OPSJ の特長

OPSJ は、以下の三つの特長をもっている。

第1に、最新の GUI 技術を駆使した立体イメージスイッチを採用し、例えば、タッチ操作対象のボタン象形に関してはすべて陰影を付けたことにより、運転員のリアル感の向上、画面操作に対する親和感の向上、操作修得期間の短縮を図った。また、画面上の任意の位置から関連画面へ自由に展開できるハイパーリンクの画面展開思想を採用した。これにより、枚数が多い系統図についても、系統図から制御器やトレンドグラフ等の関連画面へ、又は系統図から更に詳細系統図へと階層的に展開できる。特に、系統図ではユーザーが任意のエリアに画面展開ボタンを登録可能とし、自由な画面展開を設定できるようにした。また、グラフ、制御器、弁等の象形にもタッチ操作により、詳細画面への展開又は操作ウインドウの呼出し等の処理が行えるようにし、画面展開の操作性、親和性を向上させた。制御器画面例を図2に示す。

第2に、業界標準 GUI 基礎技術の一つである X ウインドウを用い、あるウインドウでプロセス監視・操作中に他のウ

インドウではプラント保守を行うといった、オペレータ機能とエンジニアリング機能の統合を実現した。従来は、オペレータ機能とエンジニアリング機能が一つのマシンに統合されていたとしても、同時に機能できなかった。

第3に、オープン性追求のため業界標準 S/W を採用するようにした。例えば、UNIX を基本 S/W の核とし、ユーザーに対して豊富なアプリケーション S/W を提供できるようにした。ここでプロセス監視・操作に要求される応答性 (例えば画面切替え 1 秒程度、1 秒ごとのデータ収集など) を実現するため、スワッピング防止 (主メモリ上にリソースロック)、プロセスプライオリティ制御、プロセス数・ウインドウ数・メモリサイズの固定化等の技術を駆使した。また、ネットワークには、前述のとおり、OSI 準拠の IEEE 802.3 の標準ネットワーク上に標準プロトコルである TCP/IP を採用することにより、他機種との接続を容易にした。

以上、大きな特長を三つ述べたが、このほか、OPSJ は、優れたマンマシン I/F を実現するため、大画面の拡大・縮小機能及びスムージングスクロール機能やユーザー要求を満足できる豊富なグラフメニュー (トレンド、棒、レーダ、円グラフほか) をもっている。

##### 4.2 OPSJ の H/W アーキテクチャ

OPSJ は、ワークステーションをベースにし、タッチパネル付き高分解能 20" CRT を用いたコンパクトな H/W 構成としている。このタッチパネルと併用又はバックアップ用として、マウス、ファンクションキーボードが接続できる。また、漢字プリンタ、レーザプリンタ、フロッピーディスク、磁気テープ等 OPSJ として必要な周辺装置がシステム要求に合わせて接続可能である。

##### 4.3 OPSJ の機能

OPSJ の機能は大きくオペレータ機能とエンジニアリング機能に分かれ、さらにオペレータ機能は監視機能、操作機能、帳票機能に分かれる。表2に OPSJ 画面メニューを示す。また、図3に OPSJ 画面体系を示す。

###### 4.3.1 オペレータ機能

###### (1) 監視機能

警報には、プラントの信号異常を検知するプロセス警報とネットワーク状態、OPSJ 及び FCSJ の機器異常を検知するシステム警報の2種類がある。OPSJ では警報履歴のシステム、タグ、時間による条件検索表示及び印字を可能とした。警報が発生するとポップアップウインドウが自動表示され、また各々の警報の履歴がディスクに格納され、その情報を後に条件検索で編集し、帳票印字が可能である。

また、トレンドには高速トレンド、リアルタイムトレンド、バッチトレンド、ヒストリカルトレンドの4種類があり、各々サンプリング周期のメニューが豊富で、8点単位に設定できる。また、タイムマーク指定、コメント指定、トレンド1点強調表示など機能充実を図った。さらに、高速トレンド

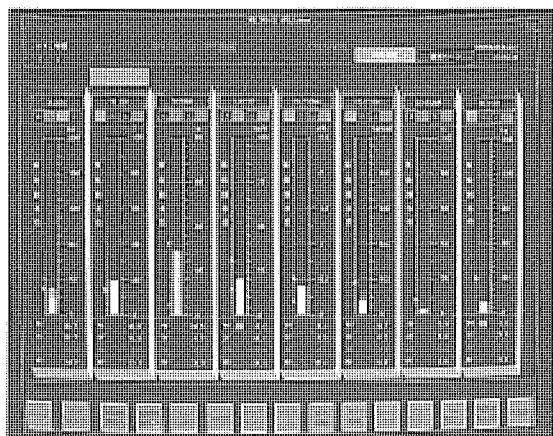


図2. オペレータステーション画面例1

機能の付加により、制御周期でのシーケンス制御データ、PID 制御データのトレースを可能とした。

## (2) 操作機能

OPJS の操作機能には、制御器操作、補機操作等のプロセス制御操作と警報、トレンド、スクロール、タグ操作等の画

面操作及び画面展開操作がある。

特に画面展開操作に関しては、前述のとおりハイパーリンク的操作 I/F の導入によって操作性を向上させており、以下に示す 4 種の画面展開操作により、構成している。

(a) オペレーショントップ画面から、システムに対応する

画面 (集合警報、制御器・指示計画面、系統図) へ階層的に展開するもの

(b) 系統図画面間のように自由に画面と画面のリンクが行え、画面展開するもの (ハイパーリンク的画面展開)

(c) 最新警報画面から、制御器・指示計画面、リアルタイムトレンド画面へと関連する画面を自動検索して展開するもの

(d) システムに共通する画面にメニュー展開していくもの

OPJS は、上記(a)~(d)の画面展開機能を組み合わせることにより、ユーザーの立場に立った使いやすい画面操作を可能としている。

また、タグ機能に関して OPJS では監視プロセス信号をすべてタグ一元管理している。タグには、各々データベースにプロセス警報値 (PH, PL), タグ名称, 工学単位等をもち、タグを指定するだけで、タグの情報がデータベースから自動抽出可能とした。

## (3) 帳票機能

OPJS は、トレンド記録、イベント記録、日報、月報等の各種帳票基本機能を備え、システムに応じて適用可能としている。

## 4.3.2 エンジニアリング機能

OPJS では、システム変更、保守時の対応を容易とするため、系統図等のユーザー定義画面作成、コントローラ内ロジックのグラフィック POL 図作成、制御器・指示計等の標準画面の割付け、タグ定義、各種メッセージの登録/削除/変更等のエンジニアリング機能を備えている。これらの

表 2. OPJS 機能

オペレータ機能	監視機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>システム警報 (ネットワーク状態, コントローラ状態)</li> <li>プロセス警報 (警報ウインドウ, 集合警報, 最新警報)</li> <li>状態監視 (制御器・指示計, 系統図, トレンドほか)</li> <li>ヒストリカル (システム警報, プロセス警報, オペレータ操作, タグ値, ガイダンス)</li> <li>CRT 画面自動展開</li> <li>ガイダンス (ヘルプウインドウ, ガイダンスウインドウ)</li> <li>タグ (登録タグ一覧, タグ情報一覧, 札掛け一覧, 収集タグ一覧)</li> <li>システム状態 (ネットワーク状態, コントローラ状態)</li> </ul>
	操作機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>制御器操作 (SV, MV 設定, 札掛け設定, A/M, C/V 切替え)</li> <li>弁・補機操作 (開/閉, 自動/手動, ロック)</li> <li>警報操作 (確認/リセット)</li> <li>トレンド操作 (点登録, コメント, タイムマーク, 点強調, 拡大/縮小)</li> <li>画面展開 (システム選択, 画面選択)</li> <li>スクロール操作, 拡大/縮小操作, シフト操作 (大画面)</li> <li>タグ操作 (タグ探索, タグ呼出し)</li> </ul>
	帳票機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>トレンド記録 (高速トレンド, リアルタイム, バッチ, ヒストリカル)</li> <li>CRT 画面記録</li> <li>イベント記録 (システム警報, プロセス警報, 機器運転, タグ動作)</li> <li>ページ記録 (ヒストリカル情報, 各種警報, 機器運転等...)</li> <li>帳票 (日報/月報/年報)</li> </ul>
エンジニア機能	保守機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>システム情報設定 (システムビルダ)</li> <li>コントローラ情報設定 (FCS ビルダ)</li> <li>グラフィックス画面作成 (特殊画面, 系統図)</li> <li>制御器・指示計定義 (OPS ビルダ)</li> <li>オペレーショントップ画面定義</li> <li>ガイダンスメッセージの定義</li> <li>タグ定義</li> <li>日付, 時刻設定</li> <li>パスワード設定</li> </ul>

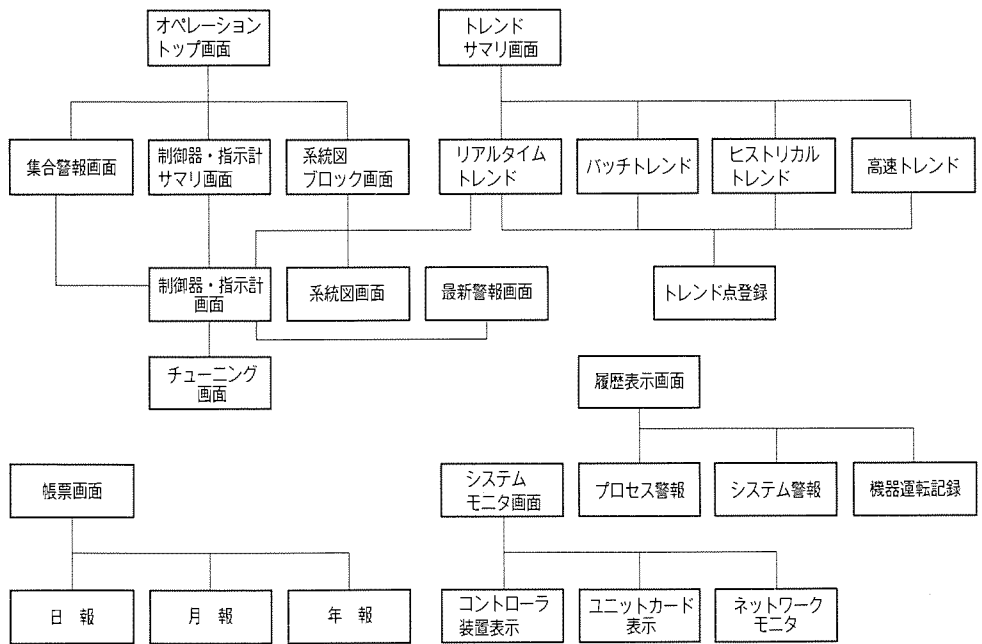


図 3. OPJS 画面体系

三菱電機技報・Vol. 66・No. 12・1992



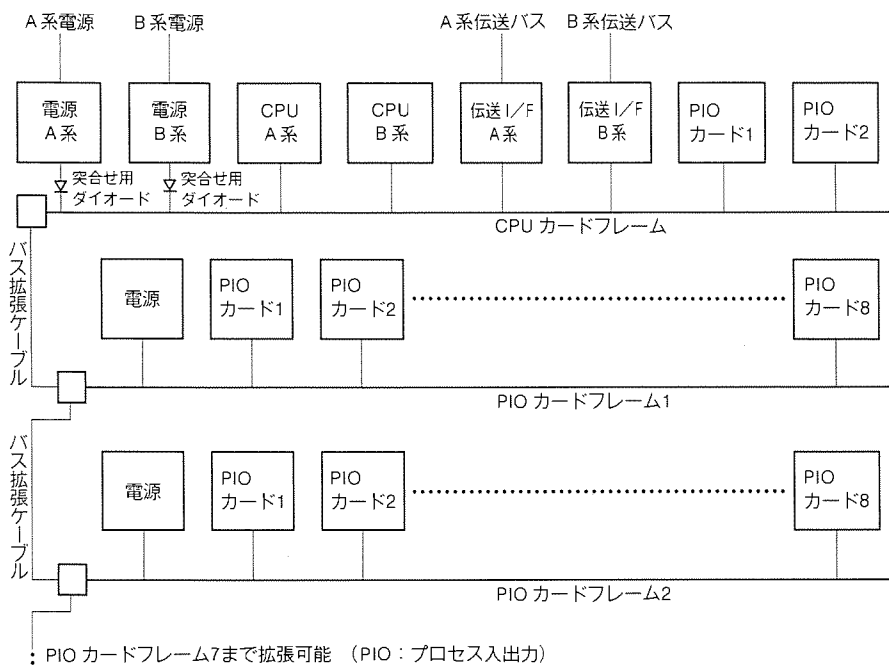


図6. FCSJのハードウェア構成

(5) 制御ロジックの記述には、原子力向けデジタル制御システムで実績のある MELTAC シリーズ共通のグラフィック POL 言語を使用し、またプログラムの生成及び保守は、OP SJ 又はラップトップ型保守ツールを用いて行う。

#### 5.1.4 コストパフォーマンス

プロセス入出力部に、MELSEC を適用することで、コストパフォーマンスの良いコンパクトなシステムの構成を可能とした。また、1カード当たりの入出力点数が多く、シグナルコンディショナ部を入出力カードに内蔵しているため、コンパクトなシステムの構築が可能である。さらに、MELTAC-CJ では盤内配線レスにより、品質を向上させる設計としている。

#### 5.2 FCSJ の H/W アーキテクチャ

FCSJ の H/W 構成を、図6に示す。CPU 部は、同一カードフレームに CPU カードを2枚実装することにより、容易に待機冗長の二重化構成が実現できる。制御系の CPU と待機系の CPU は、マザーボードを介して、系切替えのための信号をやりとりしており、制御演算を実行している CPU に故障が発生した場合、故障した方の CPU はバスを放棄するとともに、バスアクセス権を待機系の CPU に引き渡すことにより、自動的に待機系への切替えを行う。また、制御系の CPU と待機系の CPU は、互いの2ポートメモリを介して、制御演算に必要なデータのトラッキングを行う。電源、伝送インタフェース部及び伝送バスも二重化することにより、単一故障時も自動運転可能な設計としている。

カードフレーム1段にはカードが8枚まで装着でき、拡張 PIO カードフレームは、最大7段まで接続できる。

#### 5.3 FCSJ の機能

FCSJ は、以下の機能をもっている。

##### (1) プラントの制御

アプリケーション S/W のロジックに基づいて、プロセス入力（トランスミッタ入力、RTD 入力、熱電対入力等）に応じて、プロセス出力（補機の ON/OFF 信号、弁開度信号等）を出力する。

##### (2) プラントの監視

プロセス入力を取り込み、伝送バスを介して OPSJ に伝送する。

また、アプリケーション S/W で設定した警報設定点をオーバーした場合、警報信号を伝送バスを介して OPSJ に伝送する。

##### (3) 自己診断機能

H/W 検出による自己診断として、タイムアウト、ウォッチドグタイマを、S/W 検出による自己診断として、CPU 健全性チェック、ROM サムチェック、RAM リード/ライトチェック、実行時間オーバー等の故障検出を行う。

検出した故障は、OPSJ（伝送バス経由）、又は小型 EL ディスプレイ（RS-232C 通信経由）で表示する。

## 6. む す び

統合制御監視システム MELTAC-CJ について、その特長・構成・機能について紹介した。

MELTAC-CJ は、高信頼性・高保守性を追求する原子力プラント向け計装制御システム MELTAC シリーズの下位機種であり、高信頼性とコストパフォーマンスを両立したシステムである。

さらに、MELTAC-CJ はオープン化指向の設計としており、MELTAC シリーズや MELSEC シリーズとの組合せ、及び豊富な汎用 S/W の導入や異機種との接続を容易に実現できるシステムである。

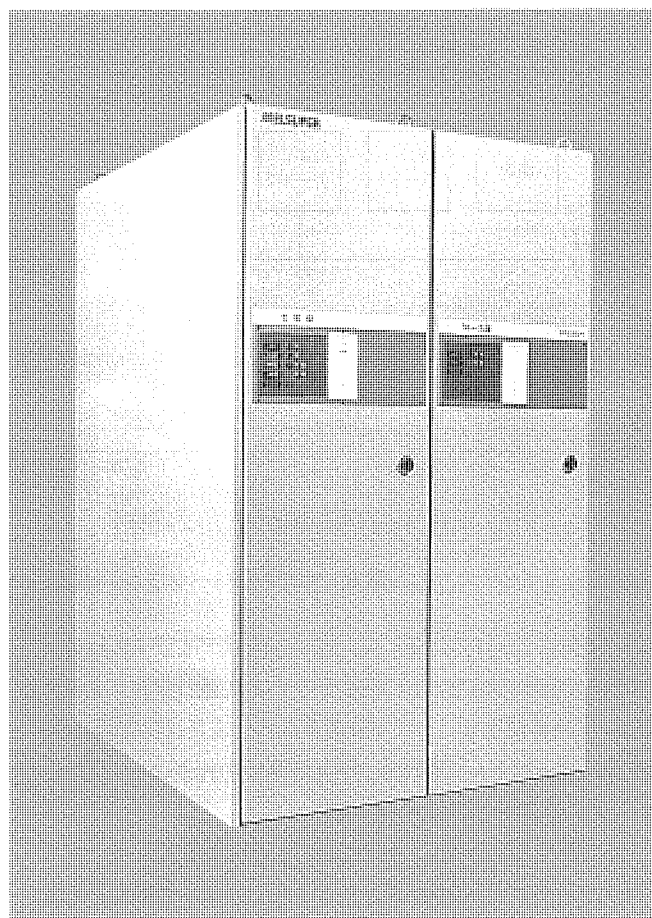
原子力にて培った高信頼性・高保守性をベースとして、その上に最新汎用技術を積極的に導入していくことにより、より使いやすい計装システムの実現に向けて今後とも努力していく所存である。

# スポットライト 特別高圧用C-GIS GX-20V (キュービクル形ガス絶縁開閉装置)

最近のインテリジェントビル納入品に代表されるように、特別高圧受配電設備については、高い安全性、OA・FA対策としての高信頼性、地価・増設更新対策としての有スペース性、人手不足・人件費対策としての省メンテナンス性がますます強く求められてきています。従来の空気絶縁閉鎖配電盤に比べ、C-GISは上記のニーズをより満たしており広く使用されるようになってきていますが、三菱電機ではこのたび、さらに信頼性を向上させるとともに多様な受配電設備電気室に合わせて構成を最適とすることができる新型C-GISを開発しました。

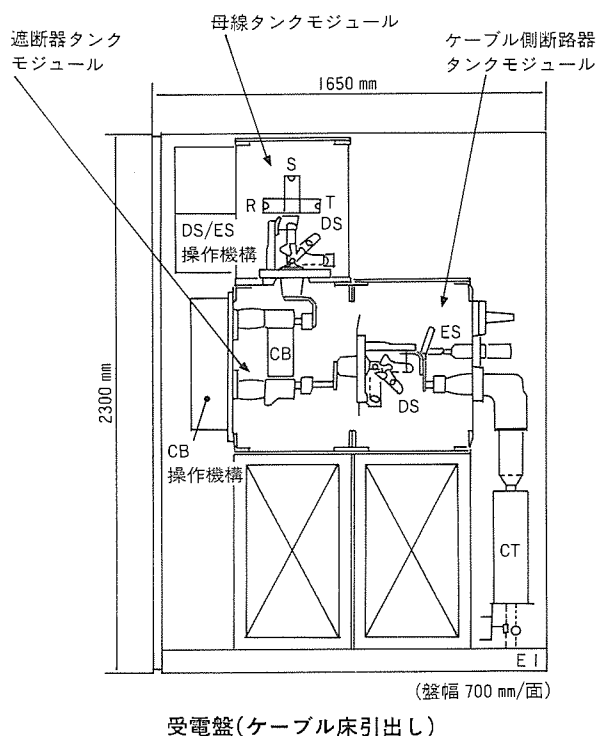
## 特長

- 断路器・ガス区画を機能統合、一体注型絶縁物にて構成。主回路を単純化し、信頼性を向上しました。
- 標準化したタンクモジュールの組み合わせによりC-GISの構成をフレキシビリティに富んだものとし、設備構成の最適化と省スペース化を可能としました。
- 断路器・接地開閉器操作機構を単純化し、動作信頼性を向上しました。
- 小型軽量・長寿命の真空遮断器（VCB）を搭載しました。



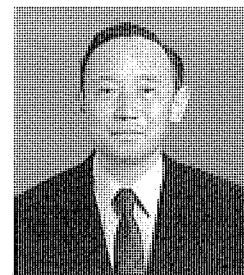
## 仕様

形名	GX-20V
準拠規格	JEM 1425
定格電圧	24kV
絶縁階級	20号B
商用周波耐電圧(1分)	50kV
雷インパルス耐電圧	125kV
定格ガス圧力(20℃)	0.15Mpa {0.5kg/cm <sup>2</sup> -g}
定格周波数	50/60Hz
定格電流	630A
定格短時間耐電流	25kA(1s)
使用条件	標準仕様状態



## 変電機器の予測保全技術への期待と将来展望

東京大学 名誉教授  
芝浦工業大学 教授  
河村 達雄



我が国においては、社会の高度成長期における電力需要の増大に伴って、超高压275kV が開始されて以来、急速な送電電圧、送電容量の拡大が実現している。これに伴って、変電用機器の設置台数は急激に増大して、現在に至っている。

高度成長の時代から、安定成長への移行を迎えている今日においては、電力需要も急激な増大から低い成長へと移っているが、このような時期においては、変電設備の更新の頻度が低下するため、現在稼働している変電設備の円滑な運用と信頼性の確保が重要な問題となっている。

このような社会的要請から、変電設備の保守の合理化をはかり、事故の未然防止と安全性の確保を実現する必要がある。保守の目的は、従来は、事故が発生した後に対応する事後保全が主体であったが、最近では、変電機器・設備の異常の兆候や将来起こり得る事態をあらかじめ予知して、必要な方策を設定、実施する予測保全の考え方が取り入れられている。

変電設備の診断に当たっては、設備を停止せずに外部診断を実施し、予測保全の観点から、センサを利用して、複雑な物理的、化学的な各種の現象を検出し、コンピュータシステムを利用して、センサによって得られた大量の情報の伝送や処理を実現し、これによって、変電機器や設備の効果的な診断や監視を行うことが可能となってくる。

予測保全を効果的に実現するためには、変電用機器や設備の監視の項目とこれを検出するセンサの種類、レベルに

ついでの信頼できる資料が必要となる。このためには、変圧器、ガス絶縁開閉装置、遮断器、断路器や避雷器など、各種の機器についての特有の異常の兆候の解析、また、絶縁性能、機械性能などに関連した新しいセンサの開発や感度についての開発が必要となる。

診断・監視システムの開発に当たっては、関連する現象の解明を行い、過去における知識の集積をはかることがまず必要となる。このためには、単にメーカーのみならず、ユーザー、大学、研究所を含めた研究の成果に基づいて、現象に関する新しい知見をもとめるとともに、検出用のセンサの開発、性能向上について研究を行うとともに、基礎的なデータの集積をはかる必要がある。

センサの開発、高性能化とともに、変電所の運転保守支援システムの高性能化をはかる必要がある。このためには、情報処理の高度化や光技術の広汎な適用が必要となる。これらの知識を総合した AI 技術の適用拡大によって、変電機器の予測保全技術の高度化と高度にインテリジェント化した変電所が実現できる。

我が国の変電技術は、厳しい社会、環境条件に対処する技術開発の結果、そのレベルは世界のトップレベルにあると言える。このことは、国際会議などにおける我が国からの積極的な寄与からみて、明らかに知ることができる。

今後この分野がますます進歩、発展することをこの分野に関係する者として、大いに期待したい。

# 変電設備予測保全の展望

山内高雄\*  
塩見 實\*

## 1. ま え が き

近年は情報化が一段と進み、信頼性の高い良質の電力供給が求められる一方、電力系統の大規模化に伴って膨大な数に至った変電設備の保全業務量がますます増大傾向にあることから、効率的な保全方策が求められている。予防保全も異常や故障の兆候を測定して対策を実施する、いわゆる予測保全技術の確立が必要とされるようになってきた。

このような状況の中で、変圧器、開閉機器等の状態を常時監視するセンシング技術、センサ情報を受けて周囲の環境情報と合わせて総合判断する診断技術、変電所の保守運転の中に診断結果を取り込むシステム化技術などが検討され、その適用が本格化しつつある。ここでは予防保全の現状を把握するとともに、変圧器及びガス絶縁開閉機器の予測保全を支える診断技術とセンサ技術の当社の最新動向を紹介し、次期変電所への適用について展望してみたい。

## 2. 予防保全の現状

予防保全には広範な意味があり、信頼性用語 (JIS Z 8115) での管理上の分類は図1のとおりである。

変電機器の時間計画保全は、機器据付け後の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保守点検が該当する。これらの保守点検基準は、開発段階で実施する電氣的・機械的寿命試験や、耐環境試験の結果から設定される。さらに、重要部品については、実際に長期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、保守点検基準の適正化を図っている。

当社の予防保全システム“MELRAP-S” (Mitsubishi Electric Corporation Reliability and Availability Upgrading Program-Substation) は、上記の定期点検と同調作業で、既設変電所機器のより一層の信頼性維持・向上させることを目的に、経年劣化対策、最新設計適用等をシーズとして、既設品の信頼性向上策、保守性向上策などに関する推奨項目を提案し、それらを機器の履歴などとともに電算機を用いてデータベース化した予防保全システムである。この予防保全システムは、各変電所納入機器を機種分類し、機種に必要な予防保全項目を定めて、変電所ごとの納入リストをキーに、変電所別・納入機器別の予防保全項目をアウトプットすることを基本としており、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で処理されるので、

多数の変電所納入機器に対して、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できる。

(3) 推奨項目には、信頼性向上・性能向上・経年劣化対策の項目が含まれているので、総合的な変電所の改善資料としても活用できる。

(4) 予防保全実施履歴をアウトプットしているので、機器の経歴表として利用できる。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<sup>(1)</sup>。

この“MELRAP-S”による予防保全は発足以来4年を経過し、着々と成果を挙げつつある。特に初期故障期間を過ぎた旧形機種では、現在までの保守実績を踏まえた内容による予防保全の継続は効果的であり、今後とも、予測保全とも呼ばれている状態監視保全とともに車の両輪として活用していく必要がある。

## 3. 予測保全の最新技術

当社における予測保全技術への取組は、昭和50年代初頭に変圧器の油中ガス分析装置やGIS内部異常診断装置を開発しており、昭和60年に四国電力(株)北松山変電所に各種のセンサを備えた本格的な予測保全システムを納入した。その後、各電力会社の御指導のもとに多数の納入実績を得ることができ、現在、十数箇所の変電所で稼働中であり、予測保全に関するノウハウを蓄積している<sup>(2)</sup>。

以下に、変圧器、開閉機器に関する最新の監視・診断技術を、絶縁、通電、開閉性能等に分類して紹介する。

### 3.1 絶縁性能予測

(1) 油入変圧器における油中ガス分析が劣化診断に威力のあ



図1. 信頼性用語での管理上の分類

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、ガス成分量の分布パターン分析によって、劣化原因を接触不良加熱、アーク放電、絶縁物劣化等に分類する方法も提案されている。また、オンラインの自動監視用としては、事故の早期発見と故障進展の把握を目的として、可燃性ガスの総量を測定するTCG (Total Combustible Gas) 装置を早くから実用化しているが、最近では可燃性ガスの総量に加えて、内部放電のキーガスであるアセチレン ( $C_2H_2$ ) も検出可能な自動監視装置が開発され、劣化予測能力が一段と向上している。

ほかにも劣化の程度を推定するために、内部点検によって絶縁物の一部をサンプリングして重合度測定をしたり、油中CO、CO<sub>2</sub>ガス量から絶縁紙の劣化診断が可能である。特に最近ではCO、CO<sub>2</sub>のほかに油中フルフラール等のフラン類の分析により、脱気処理した経歴のある変圧器においても、寿命診断できる方法を研究中であり有望視されている。

さらに、油中部分放電試験が有力な内部異常診断試験として慣用的に行われているが、オンラインの自動監視用としても、電気信号及び音響信号の異種センサ間の同期をとって検出する方式の、部分放電監視装置を使用している。

(2) ガス絶縁変圧器においても内部異常時に発生する分解ガスの分析が有効であり、油入変圧器と同様にガス成分量の分布パターン分析によって劣化原因を特定する方法の研究が進んでいる。ガス絶縁変圧器の場合は、SF<sub>6</sub>ガス、冷却媒体のパーフルオロカーボン (C<sub>8</sub>F<sub>16</sub>O)、絶縁用PET (ポリエチレンテレフタレート)、PPS (ポリフェニレンサルファイド) フィルム等の使用により、油入変圧器とは異なるガス成分の分布となるが、過熱、部分放電、アーク放電の識別の見通しが得られている。

(3) GIS の場合は内部に部分放電が生ずると、活性な酸性の分解ガスを発生するので、この分解ガスによる呈色反応試薬 (色変化) を応用した検出装置 (ガスチェッカ) があり、オフラインではあるが内部異常の確認用に多く使用されている。

また、内部で発生している部分放電を直接検出する方式には、次の2種類があり、自動監視装置又はポータブル形として使用されている。

(a) 電圧差動形：部分放電パルスが進行波として伝搬し、タンクの接続部で発生する電位差を検出するもので、広い範囲にわたる検出が可能である。

(b) 加速度形：部分放電による振動を、タンク壁に取り付けたひずみゲージ方式加速度センサで検出するもので、局部的な検出が可能である。

なお、加速度形部分放電検出装置の出力データを、学習したニューラルネットワークに入力することにより、異常と正常の判別が可能であり、さらに異物が高圧導体に付着しているか、タンク内壁に付着しているか、接触不良による部分放電であるかなどの識別の可能性が研究されている。

### 3.2 通電性能予測

(1) 変圧器において接触不良による過熱や部分放電が発生した場合には、3.1節に記載したようにガス成分量の分布パターン分析によって予測が可能である。もちろんオフラインであれば巻線抵抗、接触抵抗の測定による検出も可能となる。

(2) GIS においても同様に、接触不良による部分放電の発生は3.1節の検出装置で予測が可能である。また、接触不良・接続不良に起因する主回路抵抗の増大がある場合には、タンク外面の局部温度上昇を熱電対センサ又は赤外線カメラで検出することも可能であり、オフラインであれば主回路抵抗の測定が効果的である。

### 3.3 開閉性能予測

(1) 負荷時タップ切換器についてオンラインで駆動軸トルクと、電動機電流及び駆動時間を検出し、その出力パターンを分析することにより、切換開閉器、タップ選択器、操作機構等の部位ごとの異常を識別する方法が構築されている。

(2) GCB の開閉性能自動監視装置としては、次の2種類があり、実用化されている。

(a) 動作時間検出形：制御回路に取り付けた電流センサで、引外しコイル・投入コイルの通電電流継続時間を計測し、制御回路及び操作装置の電磁弁関連の異常を検出する。既設のGCBにも容易に取付けが可能である。

(b) ストローク検出形：上記の通電電流時間のほかに、光センサで操作装置可動部の移動量の時間的变化も計測し、操作装置全体の異常、開極・閉極不完全を検出する。既設のGCBに取り付けるには改造が必要である。

また、これらの監視装置による識別限界を確認するため、超高压実機GCBによる、電磁石弁棒固着、絶縁ノズル脱落、ロッドの連結ピン脱落、グリスの塗布忘れ、接触部の面荒れ等の異常模擬試験を実施するとともに、主回路抵抗測定などによる検出の可能性についても検討している。もちろん、オフラインであれば一連の開閉試験により、性能診断が可能である。

## 4. 次期変電所への展望

現状の予防保全も、新しく始まりつつある予測保全も、それを支える技術は社会の要請にこたえて進歩していることが分かる。情報化が一段と進み、安定化した将来の社会では、信頼性の高い良質の電力供給が求められる。一方、多種多様でブラックボックス化しつつ更に増加する電力設備と、熟練者が減ってなお減少する保守要員数の関係からは、無保守無点検化を指向した機器の納入とともに、保守点検の省力化がますます強く求められるであろう。

これらの要求にこたえられる次期変電所の運転保守はどうあるべきかを検討するために、まず現状レベルの概念をまとめたものを図2に示す。省人化の対象は巡視と点検と運転であるが、それぞれが省力化されつつ機能向上していくために、保全技術のあるべき方向を探ってみることとする。

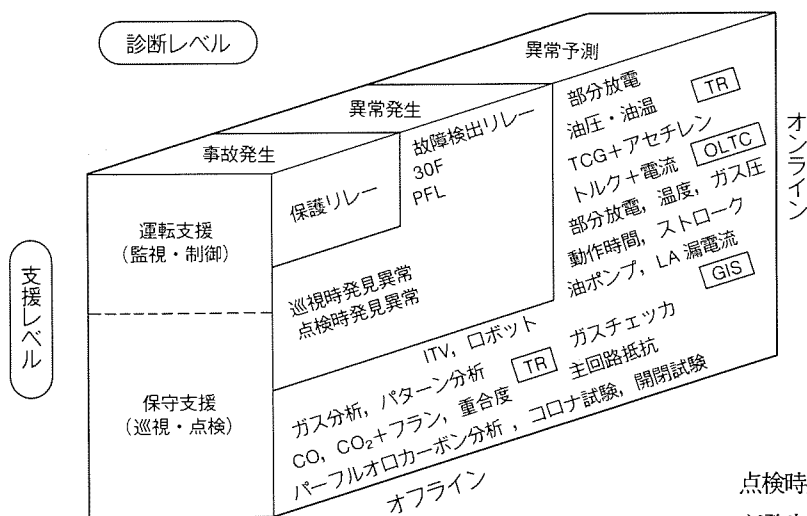


図2. 変電所の設備診断、業務支援の概念

巡視は保守の基本であり、障害発見のほとんどを五感による巡視に頼っているのが現状であるが、これを省人化するためにはどんな技術や設備が必要となるのであろうか。

視覚によるメータの読取りは、油面・ガス圧・油圧等であるがこれらはオンラインセンサで置き換えることにより、容易にトレンドが得られむしろ異常の軽微な段階で、個人差や見落としのない確実な検出が可能になる。しかし、メータそのものは組立て、据付けに必要なものが多く、なくなることはないであろう。ITV カメラや局部過熱検知用の赤外線カメラ、コロナ放電検知用超音波マイク等を搭載した巡視ロボットや固定ロボットが、台風のときでも監視を続けるならばむしろ機能アップした巡視が可能になる。しかし、センシング機能の高度化を確実なものとするためには、小型で電源が要らずノイズ・サージに強い光センサ化の促進や、より精度の良い診断装置の開発などが必要である。

点検業務は手入れや検査、測定、試験による診断のほか、機器を分解して部品の取替えや補修を行わなければならない。まず扉を開けて内部を点検する。雨水の浸入などは湿度、温度のセンシングで対応できるが、虫などの侵入に対するチェックや、におい、音などは困難であろう。部品取替え、分解組立ての省人化も難しい。しかし、分解組立作業後の健全性確認についてはどうだろうか、元通りに再組立てできたか、運転に入ってよいか。人手を避けられない部品であるだけに入念なチェックが必要である。ポータブル形確認装置や、点検ガイダンスがあれば信頼度も上がり、省力化が可能なのではなかろうか。今後、研究していかなければならない部分である。

点検時期も定期保全から脱皮しなければならないが、センシングによる対応ができるならば、それぞれの設備が置かれた環境や使用状態に合わせた個別管理が可能となり、効率向上につながるようになる。

変圧器は、運転中の内部温度と時間の積算をメドに、ガス

分析やフルフルールの計測等による余寿命診断を行いつつ、劣化状況に合わせた点検時期を余裕をもって設定できるようになる。

GISの絶縁、通電異常は、高感度のSF<sub>6</sub>分解ガスセンサの開発により、確実な検出が可能になるので、内部点検をしなくても安心して運転を継続することができるであろう。

負荷時タップ切替器や遮断器、断路器などの開閉機器類は、開閉電流と回数の積算により、コンタクトの摩耗を予測しながら点検時期を設定できる。たとえ油漏れ、ガス漏れなどの障害が発生しても、漏れ量を把握しながら当面の運転継続の可否を判断できるし、未経験のトラブルに遭遇した場合でも、軽微な障害の段階で点検の必要性を告知されることであろう。

運転業務の省力化・効率化には、事故発生時の事故点標定が効果的である。特に事故点の把握に長時間を要するGISは重要であり、センサの一層の小型、高性能化が望まれるところである。予測保全情報を検索して事故原因を推測し、事故ガイダンスを含めた運転支援システムにより、効率的な復旧操作も可能であろうが、諸情報を総合すれば自動切替えも可能ではなかろうか。

予測保全システムがコンピュータシステムになり、巡視支援システム、保守支援システム、運転支援システムの明確なCPU分割が運転・保守の一元化に混乱を来すようになれば、これらは一体化されて監視制御システムの高機能化となり、設備自身が予測保全機能付き機器となっていくことも考えられる。今後の研究成果が期待される場所である。

## 5. む す び

変電設備の予測保全に関し、主として変圧器と開閉機器を採り上げ、その動向を述べた。これらの技術は、需要家のニーズにこたえるべく、すなわち、高い信頼性・優れた性能・経済性を目指して開発が続けられてきている。今後も、この方向に向かい、光・電子・情報処理など、新しい技術を取り入れながら、なお一層の向上に努力を続けたい。

これらの新技術開発は、電力会社を始め多くの需要家との共同研究によるものが多い。関係各位にお礼申し上げるとともに、今後の御指導をお願い申し上げます次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 高橋宏次：電力機器予知・予防保全の技術展望，三菱電機技報，60，No. 6，371～372（1986）
- (2) 但田昭司，細川育男，佐久間秀一，福原好博，篠原秀雄：変電機器の監視・診断装置，三菱電機技報，63，No. 10，819～824（1989）



# 変圧器の予測保全技術

牧野芳弘\* 内藤貞夫\*  
難波貞雄\* 今井満夫\*  
吉川 徹\*

## 1. ま え が き

高度情報化社会が形成される情勢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変電機器中枢をなす変圧器においても、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、更に質的にも高度な対応が要求されてきている。このため、変圧器運転中の情報に基づく異常の早期発見を目的として予測保全技術の確立と、その技術を基盤とした予測保全システムの構築が急務である。

当社ではこのような情勢に早くから備え、変圧器のガス分析による異常診断技術及び予測保全技術の確立、並びに負荷時タップ切換器の診断技術の確立に取り組んできた。

ここでは、これら異常・寿命診断技術を述べるとともに、これらの技術をもとにした監視技術について最近の技術を紹介する。

## 2. 異常・寿命診断及び監視技術の開発経緯

表1は、当社における変圧器の異常・寿命診断及び監視技術の開発経緯を示したものである。

変圧器の内部異常検出技術は、原理的には材料からの熱分解ガスを分析する化学的検出方法、過電流や接地電流などを

測定する電気的検出方法、及び音・圧力などを測定する機械的検出方法の三つに分類できる。

これらの方法のうち、化学的検出方法は、他の方法よりも異常検出の感度が高く、放電及び過熱のいずれの異常現象もとらえることができる。このことから、変圧器では材料からの分解ガスを分析して、発生ガス量やガスの種類から内部異常や寿命を診断する方法が、今後有効な方法として実用化されていくものと考えられる。

### 2.1 油入変圧器の異常診断

油中溶解ガス分析が油入変圧器の保守管理技術として実用化され始めたのは、1960年代である。

1970年代に入ると、500kV級の大容量変圧器が運用開始され、それに合わせて、変圧器の状態を必要十分な頻度と精度で継続監視できる実器直結形の精密自動分析装置や、油中可燃性ガス総量(TCG)から異常を検出するオンラインTCG装置を開発した。

1980年代には、変圧器の監視装置として、音響法による部分放電位置標定装置を開発した。また、電動機電流値や動作時間の測定を基にした負荷時タップ切換器監視装置を開発した。

1990年代に入ると、ガスセンサを使用したオンラインTCG装置の有効性が実証されるに伴い、可燃性ガス総量のほかに

表1. 異常・寿命診断及び監視技術の開発経緯

項目		年	'60	'65	'70	'75	'80	'85	'90	'95
油入変圧器	異常診断	診断基礎技術	▲ 診断技術の実器適用開始  電協研第36巻1号(油中ガス分析による油入機器の保守管理)刊行  ▲							
		診断装置	▲ 精密自動分析装置開発完了 ▲ オンライン TCG 装置開発完了 ▲ アセチレン付き TCG 装置開発完了 ▲ 音響法による部分放電位置標定装置開発完了 ▲ 6成分監視装置開発完了							
	寿命診断 (診断基礎技術)	<----- CO, CO <sub>2</sub> による診断技術の開発 フルフルールによる診断技術の開発								
		診断基礎技術	▲ ガス分析による診断法の開発完了(ステップ1) ▲ 診断図表の構築(ステップ2) ▲ 診断の高感度・高精度化(ステップ3)							
ガス絶縁変圧器	異常診断	診断基礎技術								
負荷時タップ切換器診断基礎技術・監視装置			▲ 装置化(動作時間・電流監視) ▲ 装置化(駆動軸トルク監視) トルク波形及び電動機電流による診断基礎技術							

ガスの種類も識別して、異常の有無だけでなく、異常の種類も診断できる装置を開発している。

## 2.2 ガス絶縁変圧器の異常診断

ガス絶縁変圧器の異常診断技術の開発は、77 kV、40 MVA の蒸発冷却式ガス絶縁変圧器の開発に合わせて着手した。

1970 年には、SF<sub>6</sub>ガス中の分解ガス成分を分析して診断する方法を、ガス絶縁変圧器の内部異常診断技術として実用化した。

1990 年に入り、275 kV、300 MVA の液冷却式ガス絶縁変圧器の開発に合わせて、図表を用いて放電か過熱かを識別する診断方法を新たに開発した。また、このガス絶縁変圧器には、駆動軸トルクの大きさを測定し、その変化から異常を検出する負荷時タップ切換器監視装置を取り付けている。

## 2.3 変圧器の寿命診断

油入変圧器は、30 年程度の寿命が期待されている。最近では、1950 年代後半から高度経済成長期に製作された 30 年を経過する変圧器が増えている。その数が多いことから、変圧器の寿命診断への関心が高まっている。

ガス絶縁変圧器については、異常診断技術の開発に注力されている段階であり、寿命診断技術の開発は今後の課題である。

油入変圧器の寿命は、絶縁紙の機械的強度に依存すると考えられている。このため、絶縁紙の機械的強度と相関関係のある絶縁紙劣化成分の発生量を求めて、変圧器の余寿命を推定する方法が研究されている。

1980 年に入り、絶縁紙劣化成分である CO<sub>2</sub> 及び CO の発生量に着目した寿命診断方法の研究を始めた。その後、油中の CO<sub>2</sub> 及び CO は、絶縁紙に吸脱着する現象のあることが見つかった。この現象を考慮し、絶縁紙からの CO<sub>2</sub> 及び CO 発生量を精度良く求める方法の研究を行っている。

1990 年に入り、絶縁紙劣化成分の一つであるフルフラールに着目した寿命診断方法を研究し始めた。フルフラールについては、IEC でも測定方法の規格化が検討されている。

## 3. 診断技術

### 3.1 油入変圧器の診断技術

油入変圧器に使用している材料のうち、ケイ素鋼板や銅などの金属材料は経年的な特性低下はない。大型変圧器の絶縁油については、隔膜式、窒素封入式などの劣化防止装置によって劣化が少ない。また、劣化しても容易に取り替えることができる。絶縁紙については抵抗率・誘電正接・破壊電圧などの電気的特性の経年的低下は少ないが、引張強度・伸び・破裂強度などの機械的特性は経年とともに低下していく。絶縁紙は容易に取替えができないので、絶縁紙の劣化が変圧器の寿命とされている。

絶縁紙の劣化度を調べるには、絶縁紙を変圧器から採取して、機械的特性を測定するのが適切である。しかし、機械特

性試験には、かなりのサンプル量が必要である。そこで、絶縁紙の引張強度と相関関係にある絶縁紙の重合度が劣化度を推定する指標となっている。重合度の測定は、1 g 程度であれば十分である。

絶縁紙の重合度による寿命診断は、直接絶縁紙の劣化度を見ているので高い信頼性がある。絶縁紙が採取できるのは、変圧器の内部点検の際に限られる。そこで、運転中の変圧器については絶縁油を採取して、油中の CO<sub>2</sub>、CO から変圧器の寿命診断をする方法が検討されてきた<sup>(1)(2)</sup>。これは CO<sub>2</sub> 及び CO が絶縁紙からの生成ガスで、絶縁紙の重合度と相関があることによる。

絶縁紙が劣化するとアルコール、アルデヒド、カルボン酸などの成分が生成する。これらのうち、近年ではフルフラールと絶縁紙の劣化特性との関係が検討されつつある<sup>(3)(4)</sup>。

ここでは、CO<sub>2</sub>、CO 又はフルフラールによる寿命診断で、診断精度向上を図る上で考慮すべき事項について述べる。

#### 3.1.1 CO<sub>2</sub>、CO による寿命診断

稼働変圧器の油中 CO<sub>2</sub> 濃度は、採油温度が低い冬場は低く、高い夏場は高くなることを経験する。この現象は、油温の変化に伴って、CO<sub>2</sub> が油中の絶縁紙に吸脱着することに起因している。

以下に、油中 CO<sub>2</sub> と CO の絶縁紙への吸脱着現象について述べる。

図 1 は、十分に脱気した絶縁油と絶縁紙とを実際の変圧器相当の比率で金属容器に充てん（填）した後、これに一定量の CO<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> を注入し、その後、油温を変化させながら油中ガス濃度を経時的に調べた結果を示したものである。

各ガスの注入量は、実際の変圧器で一般に観測される濃度比率になるように調整し、油温は、30℃→80℃→60℃→

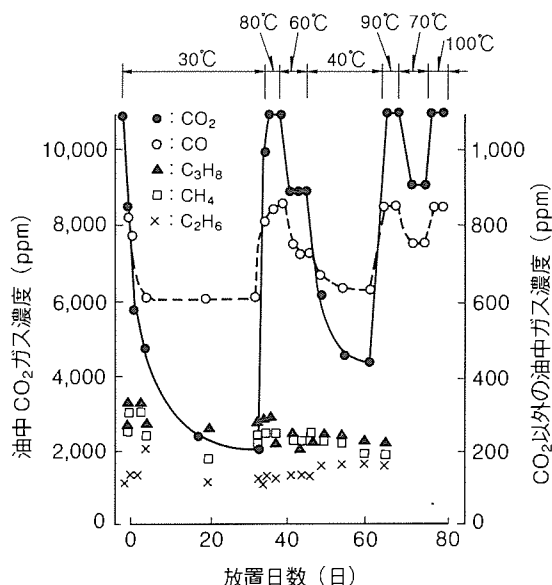


図 1. 油中ガス濃度の経時変化

40℃→90℃→70℃→100℃の順に変化させた。

油温の変化に伴って、油中ガス濃度に変化が見られるのは、CO<sub>2</sub>、CO のみで、炭化水素ガスの変化はあまり見られていない。CO<sub>2</sub>とCO は油温が高いほど、油中ガス濃度は増大する傾向を示す。

図1の結果では、80℃、90℃及び100℃の油中ガス量が、初期濃度とほぼ同じ値になっていることから、80℃以上の高温では絶縁紙への吸着はなくなっている。

図1を基にして、図2にCO<sub>2</sub>濃度とCO濃度の温度依存性を示す。油中ガス濃度の温度依存性の直線部は、次のArrhenius式で表せる。

$$M = M_0 \exp(-E/RT) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $M$ は絶対温度 $T$ の油中ガス量(ppm)、 $R$ は8.318J/mol・K {1.987cal/mol・deg}である。

80℃及び採油温度 $T$ の油中ガス量はともに式(1)で表せる。したがって、それぞれ温度の式(1)を作り、両者の差から、採油温度 $T$ のガス量で80℃のガス量に換算する次式が得られる。

$$M(\text{CO}_2) = M_1 \exp\{2,260(1/T - 0.0028)\} \dots\dots\dots (2)$$

$$M(\text{CO}) = M_2 \exp\{560(1/T - 0.0028)\} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $T = 273 + t$ 、 $t$ は油温(℃)であり、0.0028は80℃

の絶対温度の逆数である。式(2)は油温 $t$ ℃で採取したときの油中CO<sub>2</sub>量 $M_1$ が、80℃では $M(\text{CO}_2)$ になる。式(3)も同様に、油温 $t$ ℃で採取したときの油中CO量 $M_2$ が、80℃では $M(\text{CO})$ になる。

油中のCO<sub>2</sub>濃度が採油温度で変化する現象は、実際の変圧器でも観測される。その例を図3に示す。図は1955～1979年に製造され、運転経歴及び酸化劣化防止方式が異なる4台の正常変圧器について、油中CO<sub>2</sub>を2年間追跡調査した結果である。

CO<sub>2</sub>やCOは、正常変圧器でも徐々に増加するので、調査に際しては、この影響を考慮し、負荷の小さな変圧器を対象に選択した。その結果、初めて採油したときの濃度に比べ、約2年後に採油したほぼ同じ温度の濃度は、微増であった。いずれの変圧器についても、CO<sub>2</sub>濃度に温度依存性が見られる。図3はCO<sub>2</sub>についてプロットしたが、COについても同様の結果が得られている。

また、図3には図2の結果もプロットして示す。吸脱着模擬試験データと実変圧器データとは、油中CO<sub>2</sub>濃度の温度依存性の傾きがほぼ一致している。吸脱着模擬試験結果は吸着の活性化エネルギーを表すので、両者は同じ現象と思われる。

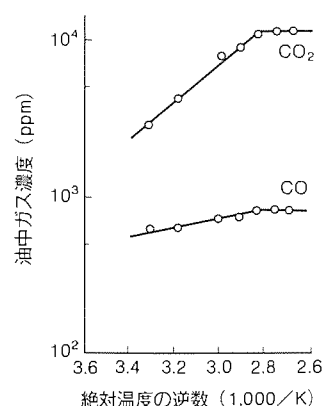


図2. CO<sub>2</sub>濃度とCO濃度の温度依存性

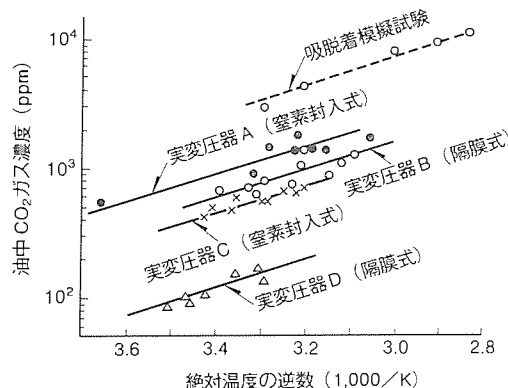


図3. 実変圧器油中CO<sub>2</sub>量と温度との関係

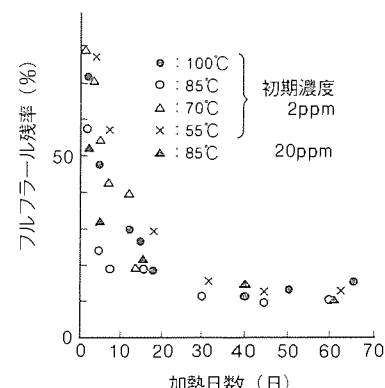


図4. フルフラール残率の経時変化

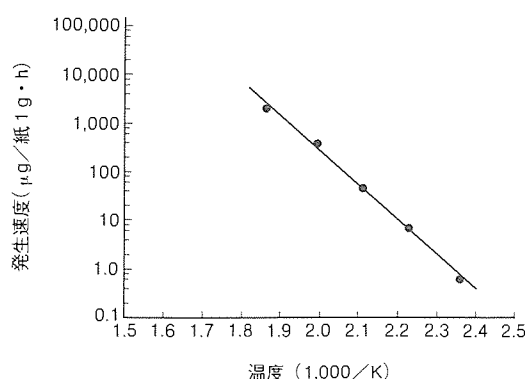


図5. 絶縁紙の加熱温度とフルフラール量の発生速度

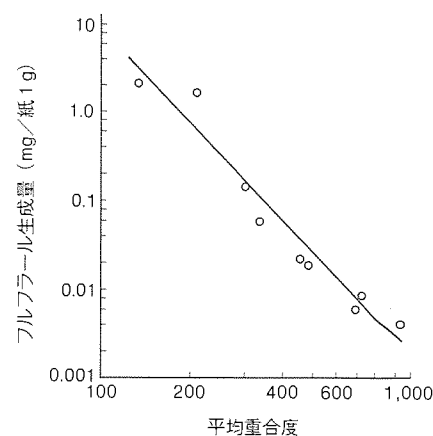


図6. 絶縁紙の重合度とフルフラール量

従来から、油中の $\text{CO}_2$ 及び $\text{CO}$ の分析を基にした変圧器寿命診断は、精度が悪いと言われていた。これには、絶縁紙に対する油中 $\text{CO}_2$ 及び $\text{CO}$ の吸脱着現象が一因となっていると考えられる。油温が $80^\circ\text{C}$ 以下の変圧器平常運転温度範囲では、 $\text{CO}_2$ 及び $\text{CO}$ が絶縁紙に相当量吸着されるので、吸着現象を考慮しない従来の方法では、これが $(\text{CO}_2+\text{CO})$ 全発生量算出上の誤差となっていた。

吸脱着現象を考慮して、前述の換算式で油中 $(\text{CO}_2+\text{CO})$ 量を補正すれば、絶縁紙に吸着されない条件下の油中 $(\text{CO}_2+\text{CO})$ 量を求めることができる。このような方法を用いて、絶縁紙からの $(\text{CO}_2+\text{CO})$ 全発生量を算出することによって、寿命診断の精度向上を図ることができる。

### 3.1.2 フルフラールによる寿命診断

近年、フルフラールと絶縁紙の劣化特性との関係が検討されつつある。ここでは、フルフラールの絶縁紙への吸着、絶縁紙の重合度とフルフラール量との相関など変圧器の寿命診断をするための基礎検討について述べる。

前述の $\text{CO}_2$ と $\text{CO}$ は、絶縁紙によく吸着する性質がある。絶縁紙が分解して生成するフルフラールも、絶縁紙に吸着さ

れる可能性がある。この点については、以下の実験によってフルフラールの絶縁紙への吸着現象を調べた。

乾燥した新品の絶縁紙に、脱気した絶縁油を注入し、密封容器に詰めた。絶縁油は2 ppmと20 ppmになるようにフルフラールを添加した。絶縁紙と絶縁油の比率は、実変圧器相当とした。そして $55\sim 100^\circ\text{C}$ で放置して平衡吸着濃度を求めた。

結果を図4に示す。図から、油中フルフラールは時間とともに減少して、絶縁紙に吸着されることが分かる。平衡濃度となる油中フルフラール残率は、温度によらずまた初期濃度にもよらず、約15%に収れんしている。このことは、 $100^\circ\text{C}$ 以下の油温では、絶縁油に15%、絶縁紙には85%のフルフラールが存在していることを示している。この性質は寿命診断にとって大変都合の良いものであり、分析して得られた油中フルフラール濃度を100/15倍すれば、フルフラールの全発生量が求められる。

図5に、絶縁紙の加熱温度とフルフラールの発生速度を、図6に絶縁紙の重合度とフルフラール生成量との関係を示す。絶縁紙の重合度は、銅エチレンジアミン法(日本電機工業会規格 JEM 1455)で測定した。

図5から、絶縁紙の加熱温度が高くなるにつれて、フルフラールの発生速度は速くなっている。また、フルフラールが

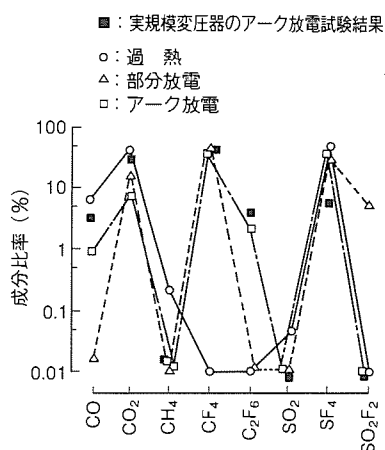


図7. ガスパターン

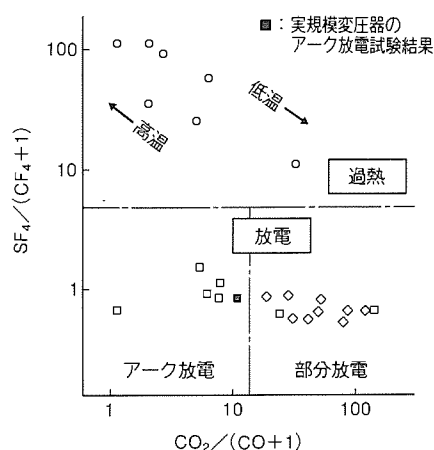


図9. 成分比率による診断図

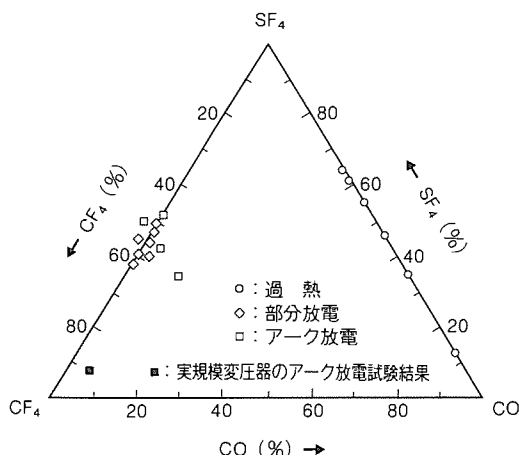


図8. 三角図法による診断図

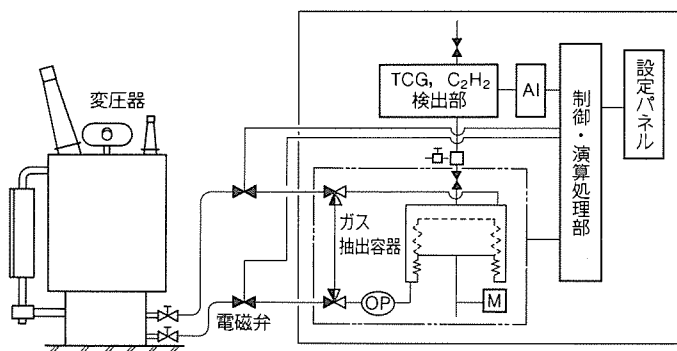


図10. 油中ガス監視装置の構成

増加するとともに、重合度は直線的に低下している。この関係を利用すれば、絶縁紙から発生するフルフラール量を知ることによって、絶縁紙の重合度を推定できることになる。

以上述べたように、油中フルフラール量から絶縁紙の劣化度が推定できる。また、前述の方法で油中フルフラール濃度を換算すれば、絶縁紙からのフルフラール全発生量を正確に求められる。

したがって、フルフラールに着目した変圧器の寿命診断方法は、 $\text{CO}_2$ 及び $\text{CO}$ を基にした従来法とともに、有効な寿命診断方法として早期実用化が望まれる。

### 3.2 ガス絶縁変圧器の診断技術

ガス絶縁変圧器は、優れた防災性から都市部で需要が伸びている。ガス絶縁変圧器には、純ガス式と液冷却式がある。純ガス式は絶縁媒体及び冷却媒体として $\text{SF}_6$ ガスのみを使用する。

液冷却式は絶縁媒体として $\text{SF}_6$ ガスを使用し、冷却媒体としてパーフルオロカーボン液を使用するもので、大容量ガス絶縁変圧器に適用される。

ガス絶縁変圧器の予測保全にかかわる異常検出法は、ガス分析、電磁波計測、音響計測の方式が考えられている。これらの中で、ガス分析による異常検出法は部分放電、アーク放電、過熱など広範囲の異常現象をとらえることができる。さらに、異常の種類も弁別できる可能性もあって、ガス分析による異常検出及び診断は、有望な手法と考えられる<sup>(5)</sup>。

ここでは、ガス分析による液冷却式ガス絶縁変圧器の最新の異常診断技術について述べる。

#### 3.2.1 異常様相の識別

ガス分析によるガス絶縁変圧器の異常診断の考え方は、内部異常が起こると、材料からの熱分解物が生成することに基づいている。

絶縁冷媒でコイルを直接冷却する液冷却式ガス絶縁変圧器

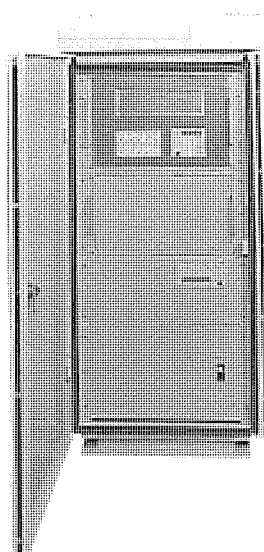


図11. 油中ガス監視装置の外観

では、 $\text{SF}_6$ ガスとフッ素化合物である絶縁冷媒との分解成分が生成する。このようなタイプのガス絶縁変圧器での分解成分の検出方法としては、絶縁冷媒を未処理のまま分析する方法、絶縁冷媒溶解成分を抽出して分析する方法、絶縁冷媒上空間ガス( $\text{SF}_6$ ガスのほかに絶縁冷媒にかかわる蒸気成分も含む。)を分析する方法などが考えられる。

異常診断技術を確立するには、異常の指標となる成分を明確にさせるとともに、異常の有無だけでなく、異常様相を判断できる診断方法が望まれる。

以下に、絶縁冷媒上空間ガスの分析結果から異常を診断する幾つかの例を述べる。これら診断方法は、種々の条件で過熱や放電の異常模擬試験で得られた分解ガスを基に構築し、実規模変圧器の模擬異常を適用して、この診断手法を確認したものである。

診断に使用する成分は、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CF}_4$ 、 $\text{C}_2\text{F}_6$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{SF}_4$ 及び $\text{SO}_2\text{F}_2$ であり、これらはガスクロマトグラフで分析した。

#### (1) ガスパターン図法による診断

図7はガスパターン図による診断法を示す。過熱、アーク放電、部分放電はそれぞれ異なったパターンとなっている。発生が少ないガスの状況を分かりやすくするため、縦軸は対数目盛りになっている。縦軸は横軸の全ガス総量に対する割合を表している。図中の0.01%ライン上のプロットは成分比率が0.01%以下を示している。アーク放電では $\text{C}_2\text{F}_6$ 、部分放電では $\text{SO}_2\text{F}_2$ の比率が高く、過熱では $\text{SF}_4$ の比率が高いものの $\text{CF}_4$ の比率が低い等の特徴が見られる。

#### (2) 三角図法による診断

図8は三角図を取り入れて考案したものである。データベースに種々の計算式を登録して計算させた結果、三角図上で、過熱と放電による異常の判別が最も顕著に表せる成分として $\text{CF}_4$ 、 $\text{SF}_4$ 及び $\text{CO}$ を選択した。

$\text{CF}_4$ と $\text{CO}$ は絶縁冷媒である $\text{C}_8\text{F}_{16}\text{O}$ の分解成分、 $\text{SF}_4$ は $\text{SF}_6$ の分解成分である。図から分かるように、アーク放電と部分放電との区別はしにくいものの、放電と過熱とは明らかに識別できるのが大きな特徴である。

#### (3) 成分比率図法による診断

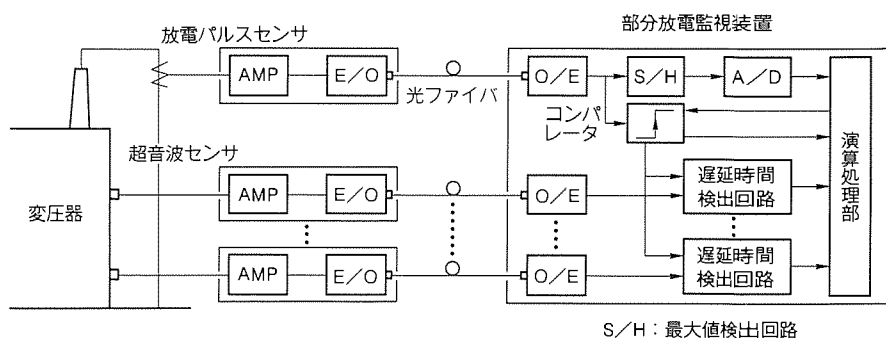


図12. 部分放電監視装置の構成

図9に成分の比率で表した別な診断図を示す。この診断図も三角図法と同じようにデータベースに各種の計算式を入れて、アーク放電、部分放電、過熱の現象が識別できる条件を検索して考案したものである。

$SF_4/(CF_4+1)$  は過熱と放電、 $CO_2/(CO+1)$  では温度の高低・アーク放電・部分放電の識別ができる。この診断では、放電と過熱が明確に識別できるほか、アーク放電と部分放電とはかなり識別できている。

図7～図9に示した■印は、診断例として、77kV、30MVA 実規模変圧器で紙・フェノールを介したアーク放電による絶縁破壊試験のガスに適用した場合を示している。いずれの診断法についても異常様相がほぼ的中している。

実際の診断では、各種の診断法を併用することによって、アーク放電、部分放電及び過熱の識別を、更に高い確度で診断できると考えられる。

#### 4. 監視技術

変圧器の監視技術は、予測保全の有効な手段として、異常の兆候を初期の段階で検出するとともに、異常の内容を的確に把握して対策をたてることを目的に開発が進められており、各種の監視装置が実用化されつつある。

ここでは、油入変圧器を中心にガス絶縁変圧器、負荷時タップ切換器等において内部異常検出に効果的な最新の監視技

術について述べる。

##### 4.1 油入変圧器監視

変圧器本体の監視項目は、異常の早期発見に効果のある項目、及び巡視・点検の効率化の観点から選択される。

###### (1) 油中ガス監視

油中可燃性ガスの総量 (TCG)、及びアセチレン ( $C_2H_2$ ) など内部放電検出のキーガスの検出機能をもつ監視装置が実用化されており、異常検出能力が飛躍的に向上している。最近が多成分分析タイプの監視装置も製品化されつつあり、オンラインで異常の早期検出ばかりでなく異常の種類 (異常部位) の推定が可能となると思われる。図10に、油中ガス (TCG,  $C_2H_2$ ) 監視装置の構成例を示し、また図11にこの外観を示す。

###### (2) 部分放電監視

変圧器の重大事故の要因となる絶縁上の異常の前駆現象として、局所的な絶縁異常すなわち部分放電がある。部分放電検出は変圧器の課電状態下での絶縁異常検出が可能であることから、工場試験でも採用されている。

その放電電荷量が小さく、頻度が低い領域で検出すれば、異常を最小限に抑えることができる。図12において、部分放電発生時に生ずる放電パルスを高周波CT等で検出し、油中を伝搬してくる超音波を変圧器タンク壁に設置された複数の超音波センサによって検出し、図13のように放電パルス信号検出時を基準にした超音波信号の遅れ時間を測定する。この遅れ時間から放電発生位置が変圧器内か外かを弁別し、内部で発生したと判定した場合、複数の遅れ時間から発生位

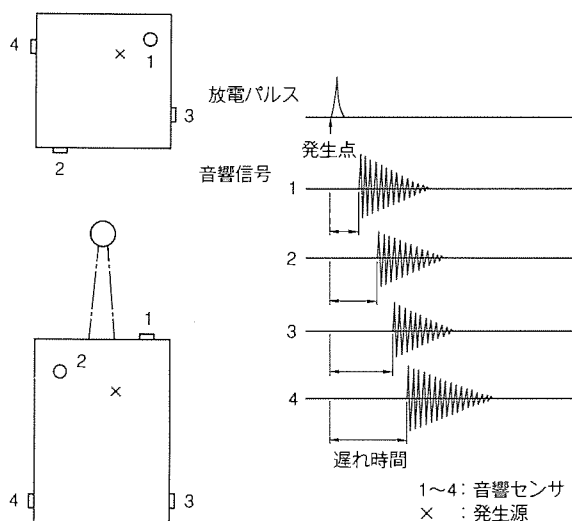


図13. 音響信号の検出波形例

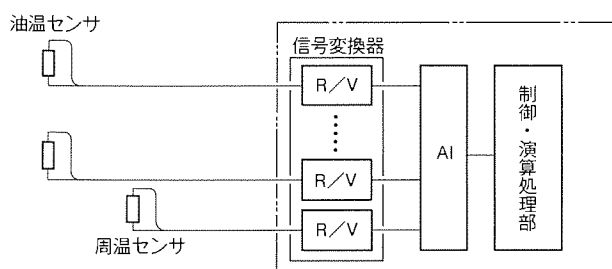


図14. 油温監視装置の構成

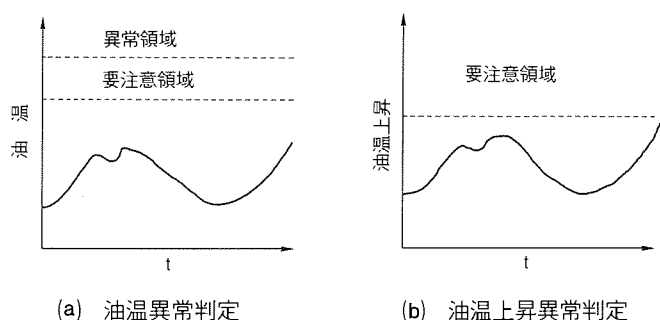


図15. 油温監視装置の異常判定

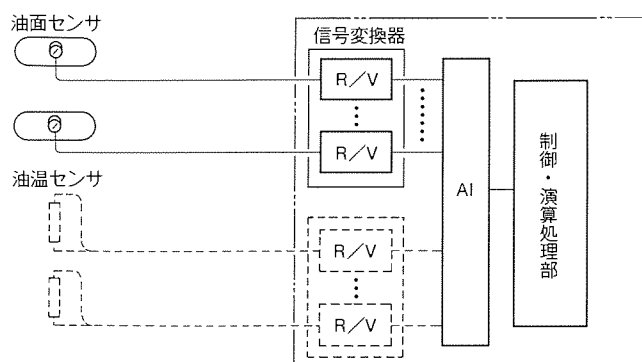


図16. 油面監視装置の構成



置を標定する。また、電流パルスのレベルや放電頻度を検出し、その経時変化を監視することで異常の進展具合を診断する。

(3) 油温監視

変圧器油温度及び周囲温度を短時間周期で測定し、油温レベルや油温レベルの各相間の比較、又は周囲温度を基準とした温度上昇値を判定基準値と比較判定することにより、変圧器内部の異常又は冷却装置の異常を効果的に検出する。また、従来、人によって巡視点検されていたものを、自動化、省力化するという効果もある。

図14、図15に装置の構成及び異常判定例を示す。

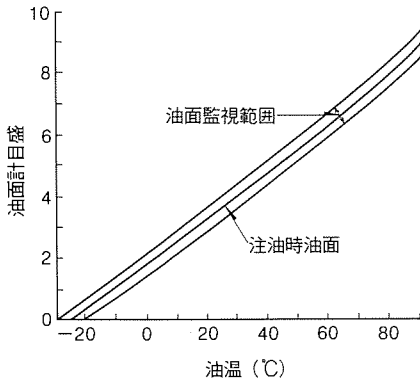


図17. 油面監視装置の異常判定

表2. ガス絶縁変圧器の監視項目

項目	内容
負荷状況	電圧、電流、タップ位置
温度	周囲温度、防音壁内温度、ガス温度、冷媒温度、鉄心温度
ガス圧力	各ガス区分ごとの圧力
タップ切換器動作状況	駆動モータ電流 連結軸トルク
補機運転状況	冷却ファン運転台数 送液ポンプ軸受け状態
ガス分析	各ガス区分ごとに自動分析

(4) 油面監視

変圧器油面及び油温度を短時間周期で測定し、正常時の油面-油温特性から管理値の超過の有無、油面レベルの各相間の比較等により、漏油を早期に検出する。また、従来、人によって巡視点検されていたものを、自動化、省力化するという効果もある。図16、図17に装置の構成及び異常判定例を示す。

4.2 ガス絶縁変圧器監視

ガス絶縁変圧器の監視は、現状、実運用データを取得する目的で、表2に示す項目について実施されている<sup>(6)</sup>。図18に監視装置の外観を示す。今後は監視の最適化を図り、監視項目の絞り込みが必要である。

4.3 負荷時タップ切換器(LTC)監視

LTCは静止器である変圧器において主回路の一部を構成する唯一の可動機器であり、LTCの信頼性が変圧器の信頼性を左右するといっても過言ではない。このLTCの信頼性維持は、従来では運用と保守によって行っていた。近年、運転中のLTCを監視し、異常を早期に検出する監視装置が製品化されている。

図19のように、LTC動作には6パターンがあり、この6パターンに対して各々トルク管理値を設定しておいて、図

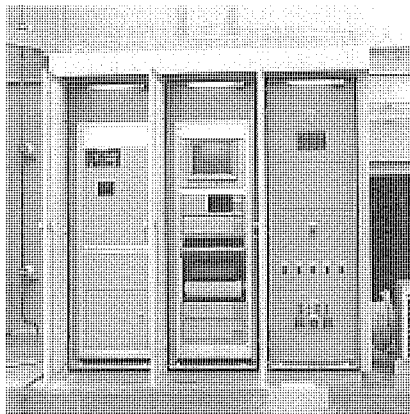


図18. ガス絶縁変圧器監視装置の外観

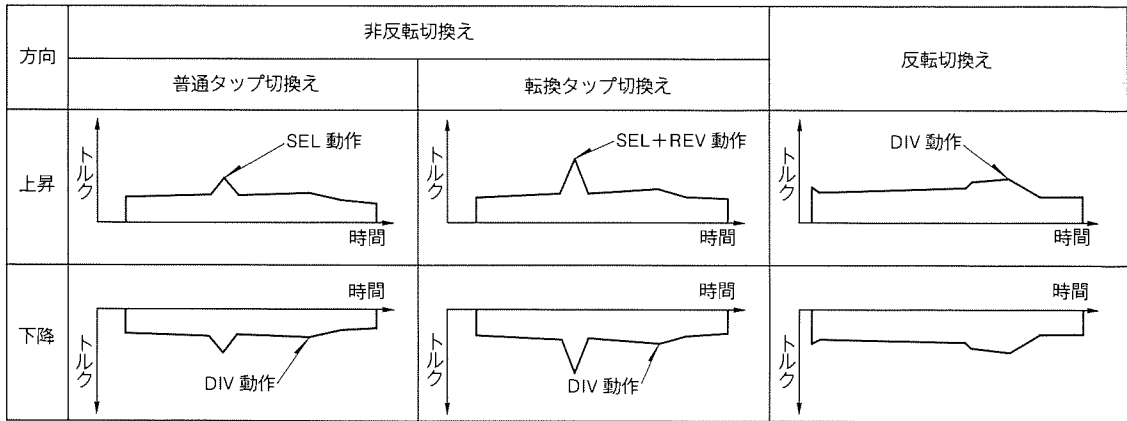


図19. LTC 動作パターン

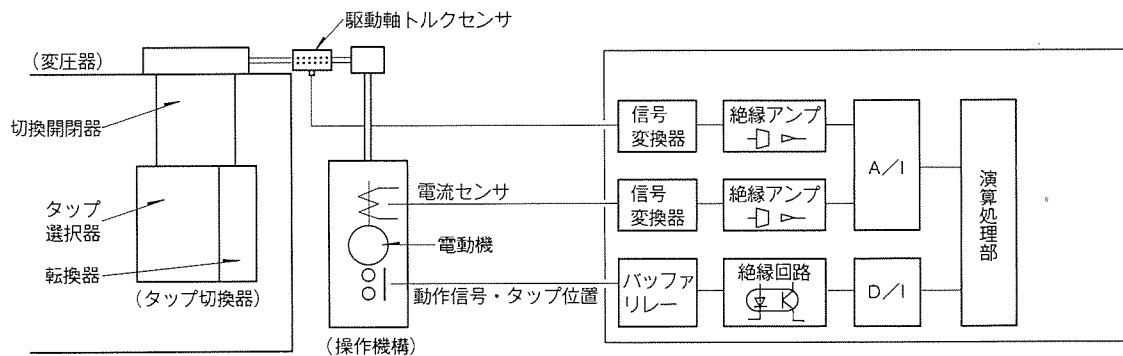


図20. LTC 監視装置の構成

20のようなLTCの駆動軸に設置したトルクセンサにより、計測した軸トルク値を管理値と比較して異常を診断する。最近では、図21のトルク波形例で示すように、タップ切換時に動作シーケンスのトルク値が変化することに注目し、トルク波形から異常の有無だけでなく、異常発生部位の標定を行う<sup>(7)</sup>診断機能をもつ装置が製品化されている。

また、従来からタップ切換時の電動機電流値や動作時間を検出し、操作機構部・伝達機構部の異常の有無を判定する監視方法が実施されている。

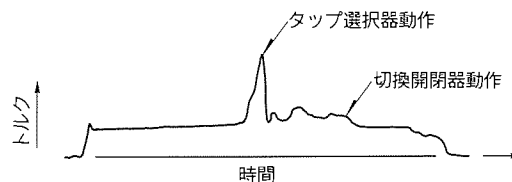


図21. 駆動軸トルク検出波形例

## 5. む す び

ここに油入・ガス絶縁変圧器及び負荷時タップ切換器における最新の予測保全技術について紹介した。これらの技術は変圧器の保全業務の省力化と異常の早期発見にますます役立てられると考える。

今後ともこれら予測保全技術の研究開発並びに適用化に取り組んでいく所存であり、関係各位の御指導、御協力をお願いしたい。

## 参 考 文 献

- (1) 田村良平, 姉帯 仁, 石井敏次, 河村達雄: 経時生成ガスによる絶縁紙の劣化診断, 電気学会論文誌A, 101, No. 30 (1981-1)
- (2) 牧野芳弘, 原 隆志, 宮本晃男: 炭酸ガスによる変圧器の寿命診断, 電気学会絶縁材料研究会資料, EIM-90-13

(1990-2)

- (3) Shroff, D. H., Stannett, A. W.: A Review of Paper Aging in Power Transformer, IEEE Proc., 132 (1985)
- (4) 後藤勝彦, 張替武司, 太田延幸, 月岡淑郎: 油入変圧器に使用される絶縁紙の劣化とフルフルールの関係, 平成2年電気学会全国大会, No. 826
- (5) 長谷川泰三, 別井孝司, 大西修一, 牧野芳弘, 林 哲, 宮本晃男: 大容量液冷却式ガス絶縁変圧器の異常診断, 電気学会論文誌B, 111, No. 7 (1991)
- (6) 長谷川泰三, 吉田良男, 大西修一, 光庵豊一, 中澤宏司, 江草克巳: 超高压大容量送液風冷式ガス絶縁変圧器の完成, 平成3年電気学会全国大会, No. 915
- (7) 長谷川泰三, 別井孝司, 大西修一, 伊藤克明, 吉田和夫, 今井満夫: 負荷時タップ切替器の異常診断法の開発, 平成2年電気学会電力エネルギー部門全国大会, No. 233

## ガス絶縁開閉機器の予測保全技術

細川育雄\* 石辺信治\*  
小林晴彦\* 小原正利\*  
青木 浩\* 金田佳男\*

## 1. ま え が き

当社では、昭和40年に我が国で最初のガス遮断器（以下“GCB”という。）を納入して以来、エネルギーの蓄積効率の高いトーションバー式のばね操作装置（BM形）<sup>(1)</sup>や油中混入空気の影響を排除した常時高圧安定回路方式の油圧操作装置（OM形）の採用により保守点検業務の省力化を図ったGCB、各種解析技術や新材料を適用した新形Dシリーズ消弧室の採用によって更に高性能化・小型化を実現したGCB<sup>(2)</sup>など、数々の新しいGCBを製品化し、昭和59年に10,000台、平成3年に20,000台を納入している。

ガス絶縁開閉装置（以下“GIS”という。）も、昭和43年に我が国で初めて設置されて以来、既に24年を経過し、特高クラスから超超高圧はもちろんのこと、UHV変電所にも適用が計画され<sup>(3)</sup>、GCBとともに変電機器の主流となっており、5,800ベイ以上（平成4年3月現在）が使用されている。

系統の過電圧保護のため使用される避雷器は、当初、炭化けい素（SiC）抵抗体と続流遮断能力の高い直列ギャップの組合せで構成されていたが、非直線抵抗特性の優れた酸化亜鉛素子で構成された酸化亜鉛形避雷器が昭和50年代の初めに発電所用として導入された。その優れた保護特性、エネルギー処理能力、耐汚損性及び小型・軽量等多くの利点が認められ、酸化亜鉛形避雷器は今や全電圧階級に採用されるようになり<sup>(4)</sup> GIS用避雷器だけでも3,100相以上（平成4年3月現在）が納入されている。

いずれもガス絶縁機器の縮小性及び高信頼性により、普及が飛躍的に進んだためであるが、ガス絶縁開閉機器運転中の各種情報に基づく異常の早期発見や機器の保守業務の効率化及び省力化のために予測保全技術も欠くことができない要求となってきている。当社では、このような情勢にいち早く取り組み昭和50年代初頭にGIS内部異常診断装置を開発し、本格的な監視システムを、昭和60年、四国電力（株）北松山変電所に納入した<sup>(5)</sup>。以来、各電力会社の御指導のもとに十数箇所の変電所への納入実績を得ており、センサから得られたデータと機器の異常状態との関係の情報を蓄積しつつ、より高度で信頼性の高いセンサ及びアルゴリズム開発を進めている。

ここでは、ガス絶縁開閉機器を代表する

GCB、GIS及び酸化亜鉛形避雷器について、予測保全を支える監視・診断装置の原理、適用例、適用に当たっての問題点及びその解決策につき、実フィールドでの実績を踏まえて紹介する。

## 2. 監視・診断装置の考え方

監視・診断装置は、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に対し、事故復旧に要する時間の短縮のため事故点標定機能が付加される場合もある。

基本的には外部診断方式で機器の状態検出を行う。検出センサの取付けは、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している。したがって、既設機器への取付けも比較的容易である。センサからのデータ処理は、分散処理方式としており、センサ出力の演算をするマイクロプロセッサを機器近傍に配置し、センサの独立性を高めている。これによって一部分が故障しても他への波及を限定でき、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となる。

ガス絶縁開閉装置に必要な監視項目は、異常の早期発見、巡視点検の省力化及び事故の拡大防止の観点から各機器に対して表1に示すような項目が例として挙げられる<sup>(5)</sup>。

タンク型GCB及びGISは、主要部分が密封金属容器内に収納されており、耐環境的に高信頼性をもっている。また、主な絶縁要素であるSF<sub>6</sub>ガス及びエポキシ系注型絶縁物においても、通常の使用条件では、ほとんど劣化を考慮する必要はない。しかし、万一事故又はその兆候が発生した場合、密閉容器であるため、内部状態の診断、事故点の標定及びすみ

表1. ガス絶縁開閉機器の監視項目

機 器	異常の早期発見	巡視点検の省力化	異常事故時の即応処置
GCB DS/ES	・操作装置特性監視 ・投入・引外しコイル異常監視 ・部分放電監視 ・ガス圧力監視	・操作装置特性監視 ・操作装置寿命監視 ・コンタクト消耗監視 ・ガス圧力監視	・遮断器のアーク時間監視
GIS	・部分放電監視 ・ガス圧力監視 ・分解ガス監視 ・異常振動監視	・ガス圧力監視	・故障点標定 ・故障ゾーン標定 ・温度異常監視
酸化亜鉛形 避雷器	・漏れ電流監視	・漏れ電流監視 ・動作電流監視	・動作電流監視 ・動作責務 (エネルギー監視)

やかな復旧作業が困難になるという問題がある。したがって、より初期の段階で異常の兆候を見だし、事故を未然に防止するための予測保全技術、及び事故発生時の迅速な復旧作業を可能にするための事故点標定技術の高度化が重要となる。

GCB は、消弧室部が高速で動作して  $\text{SF}_6$  ガスを圧縮し、アークに吹き付けて冷却消弧するため、その遮断性能は消弧室可動部の動作特性に大きく影響を受ける。このため、ガス圧力の監視とともに開閉時の動作特性の監視が重要となる。断路器 (DS) 及び接地開閉装置 (ES) についても同様に可動部の動作特性がその性能に影響を与える。

酸化亜鉛避雷器については、劣化すると抵抗分漏れ電流が増加するため、劣化の早期検出のためには欠くことのできない監視項目である。

以下、監視・診断装置の詳細について説明する。

### 3. GCB の予測保全技術

GCB は、 $\text{SF}_6$  ガスのもつ優れた絶縁性能と消弧性能に加えて、電界解析、アーク現象解析、操作装置の動作解析等の解析技術の進歩によって小型・高性能化が進められている。

小型・高性能化とともに、常に最適な状態を保つ必要性が高まり、設計、製作、試験及び据付けに至るすべての工程で、より高度な技術と管理が要求されている。GCB の最適な状態を監視し、予測保全に利用するためには、絶縁性能と遮断性能を確保するための開閉性能についての監視が必要となる。

絶縁性能については、GCB タンク内に、万一不測の状態が生じたとき、 $\text{SF}_6$  ガス圧力の低下以外で絶縁性能の低下が発生した場合には、多くの場合部分放電を伴うため、部分放電発生の有無を判定することによって GCB 内部の絶縁性能の健全性の確認が可能となる。

GCB のもう一つの重要な機能である遮断性能は、 $\text{SF}_6$  ガスの封入圧力、遮断部の寸法・形状に加えその動作特性に大きく影響される。このため、気温や操作圧力などが異なる条件下でも動作特性は、遮断性能保証の観点から、定められた許容範囲内にあることが必要条件であり、動作特性の監視が

重要となる。

ここでは、上記の絶縁性能と遮断性能を監視するセンサについて紹介する。

#### (1) 絶縁特性センサ

絶縁特性を監視するセンサとしては、ガス圧力センサと部分放電センサがある。ガス圧力は、現在でも密度スイッチで監視しており、圧力センサに置き換えることでガス圧力のオンライン連続監視ができ、警報が出る前段階で的確に状況把握ができる。部分放電センサとして GCB に適用できる代表的なものは、加速度センサである。

加速度センサの構成を図 1 に示す。加速度センサ素子で検出されたタンク壁の高周波微小振動はアンプで増幅後、バンドパスフィルタにより、部分放電による信号成分が多く含まれていると考えられる周波数帯域 10~20 kHz の周波成分のみ取り出す。その後、図 2 に示すように部分放電が、ある程度主回路電圧の位相に同期して発生するという特性を利用して、一周ごと同期加算平均が行われる。このように処理された信号の最大値などに基づいて異常の発生の有無を判定する。

検出感度は外部周囲環境 (バックグラウンドノイズ) の影響により、工場内と現地変電所間に違いが生じることもある。

このため、最終的な部分放電の有無の判定はガスチェッカなどの別のセンサを併用して行っている。

#### (2) 開閉特性センサ

GCB 制御回路の制御電流通電時間を計る動作時間センサと、GCB 操作装置の動きを直接計測し、併せて制御電流通電時間も計測するストロークセンサの 2 種類がある。動作時間センサは、制御電流を計測するため、制御回路の異常及び操作装置の電磁弁関連の異常が主たる監視対象となる。スト

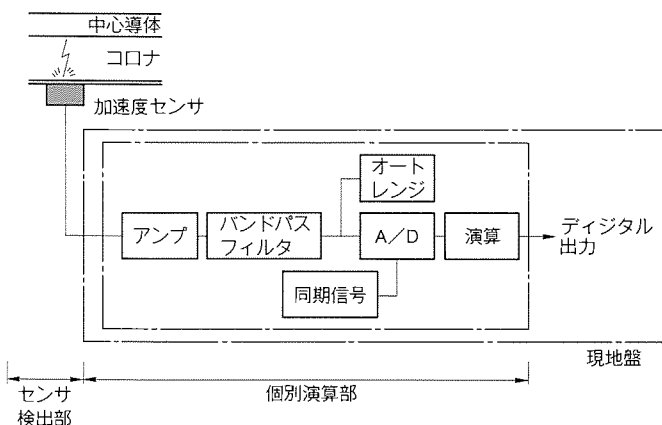


図 1. 加速度センサ構造

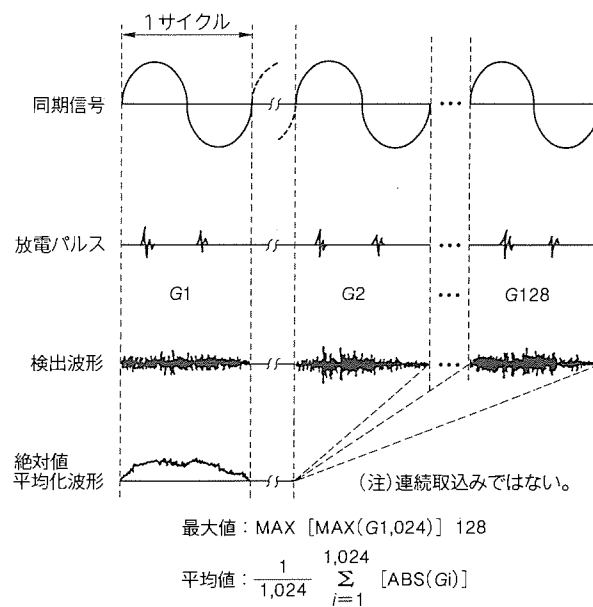


図 2. 信号処理手順

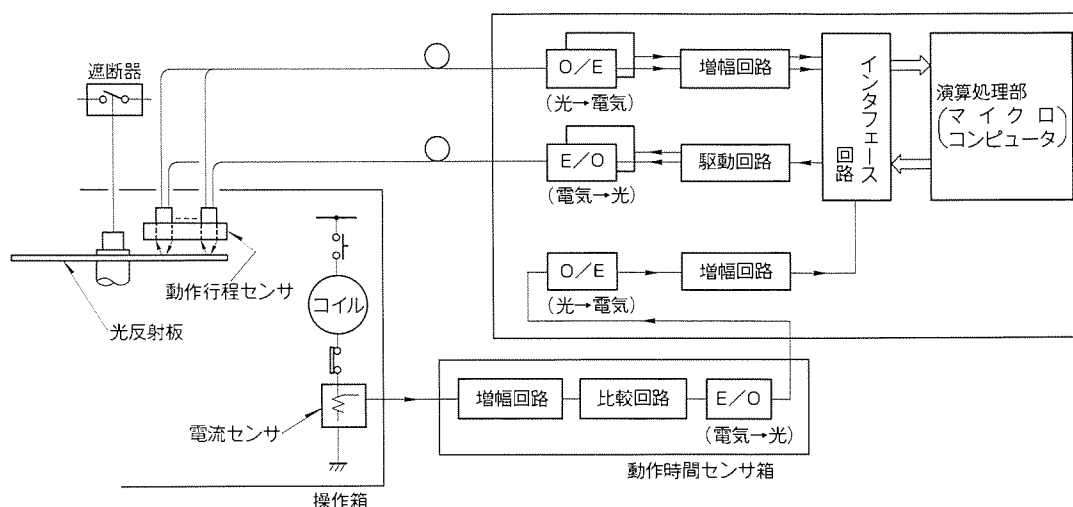


図3. ストロークセンサ構成

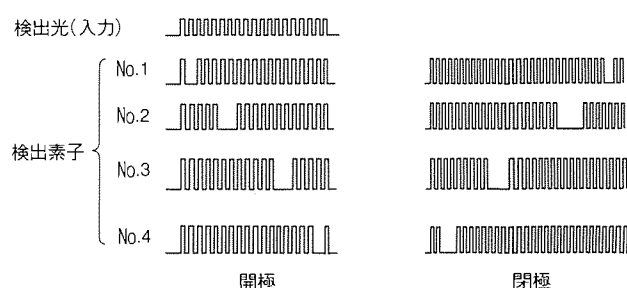
ロックセンサは、制御回路及び操作装置全体が監視対象となる。動作時間センサは、制御回路に電流センサを取り付けるだけなので、既設のGCBにも対応できる。ストロークセンサは、操作装置の可動部に直接又は連結機構を介して取り付けられるため、既設のGCBに取り付けるためには多少改造が必要となる。

ストロークセンサの構成を図3に示し、測定原理を図4に示す。駆動回路で一定周期ごとに動作行程センサにパルス光を送り、光反射板での反射光を増幅回路で検知する。GCBの動作がなければ反射光はあるが、動作が発生すると光反射板が回転し、反射板上に設けたマークが動作行程センサを横切ると反射光がなくなる。これを利用してGCBの動作を検出する。動作行程センサを光反射板の回転方向に複数個設けておくことで、GCBの移動距離時間特性トラベルを一定間隔で検出できる。

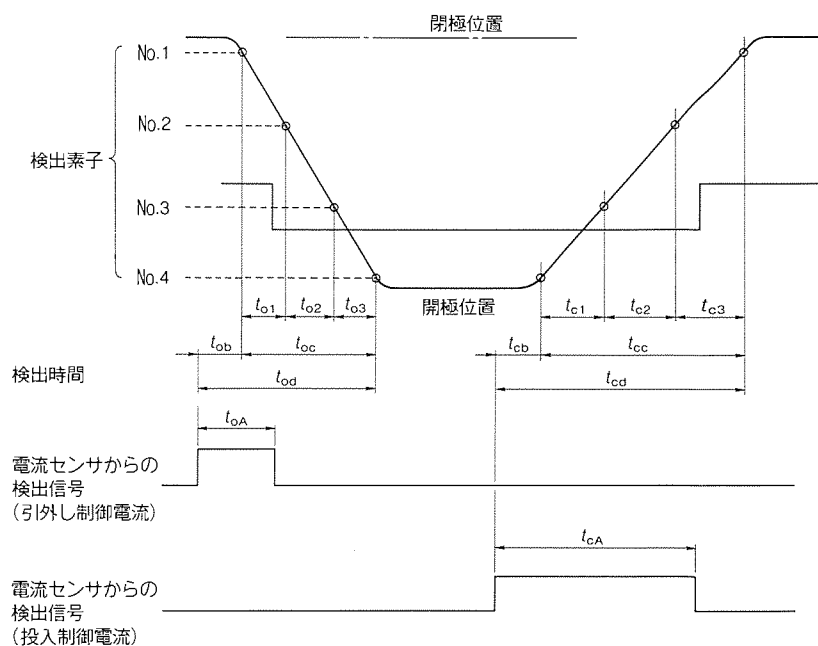
このようにして得られた動作行程センサの信号と、動作時間センサの信号の時間差から、開閉特性の異常の有無を判定する。計測誤差は±0.2msであり、判定方法は、工場出荷時の試験結果を基準値として各種操作条件を加味した形で変動幅（例えば±20%）を決定し、動作責務を考慮しつつ、その範囲から外れたら異常の可能性があると判定している。

#### 4. GISの予測保全技術

GISの絶縁性能に関しては、GISにとって致命的ともい



(a) 動作工程検出信号



(b) 動作工程（トラベル）

図4. ストロークセンサ測定原理

る絶縁破壊の前駆現象である部分放電（万一混入した金属異物、浮遊電極等）に起因）や、ガス圧力の低下等の検出が考えられる。部分放電検出には、電気的（タンク電位変動、静電分圧ほか）、機械的（タンクの機械的振動ほか）及び化学的

(分解ガス)方式があり、ガス圧力低下検出にはガス圧力センサ等による方式がある。

通電性能に関しては、接触不良、接続不良に起因して生じる主回路抵抗の増大による容器外面の局部温度上昇又は部分放電の検出等が考えられ、前者については赤外線カメラ等による検出方式がある。

GISの事故点標定技術としては、GIS内部で短絡又は地

絡事故が発生したときアーク近傍から生じる圧力波又は内圧上昇を検出する方式のほか振動加速度、容器外周磁界の検出等の方式もある。

ここでは予測保全技術としては、絶縁破壊の前駆現象として多くの場合に発生していると考えられる部分放電の検出方法の内、GISの絶縁取付スペーサ部に適用する電圧差動センサに関して、また、事故点標定技術としては衝撃圧力センサについて述べる。

#### (1) 絶縁特性センサ(電圧差動センサ)

絶縁特性を監視するセンサとして、電圧差動センサを紹介する。電圧差動センサの構成を図5に示し、信号処理手順を図6に示す。

部分放電によるサージ波は、GISのタンク内部を伝搬し、タンク間の絶縁取付部で電位となってスペーサの両端に現れるが、これをタンク外被に取り付けた電極によって電位差として検出し、差動アンプで増幅する。その後、ノイズ除去を行い、検波回路で電位差のピーク値のみを信号として取り出す。電位差のピーク値は部分放電電荷量と一定の関係があり、ピーク値の個数は部分放電発生状態の目安となるため、一定周期間の個数、大きさなどで異常の有無の判定を行っている。

検出の方式から見て比較的外部ノイズの影響は受けにくいですが、最終的な部分放電の有無の判定には、ガスチェッカ等の別のセンサの併用が必要となる。

#### (2) 衝撃圧力センサ

このセンサは、GIS内部事故発生時のアークエネルギーによるガス圧力の急激上昇を検出する。このガス圧力の変化量は、事故電流値とガス区分容積で決まるため、GISガス区分ごとに詳細な計算が必要となる。

図7に衝撃圧力センサの構成を示す。タンク内で地絡等によりアークが発生すると、ガス圧力が短時間に急上昇する。この圧力上昇は、配管によって衝撃圧力センサのベローズ内に伝わるが、イコライザによってベローズ外には伝わらない。そのため、ベローズ内外に圧力差が発生し、ベローズが変位することでマイクロスイッチが閉じ、この信号によって地絡事故が発生したことを判定する。

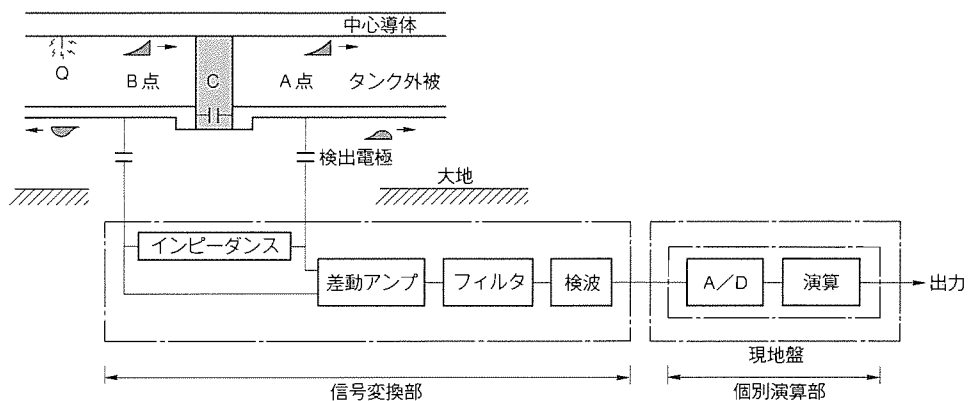


図5. 電圧差動センサ構成

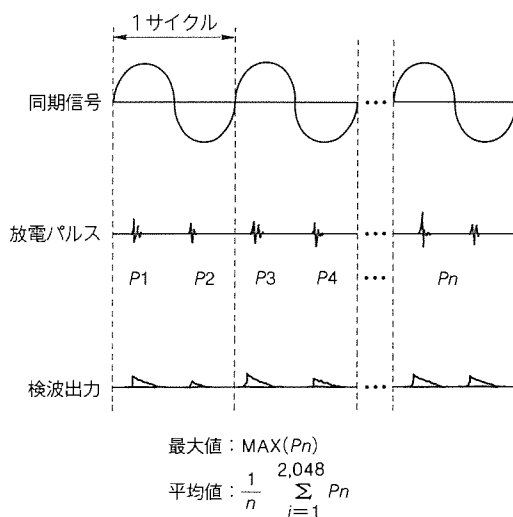


図6. 信号処理手順

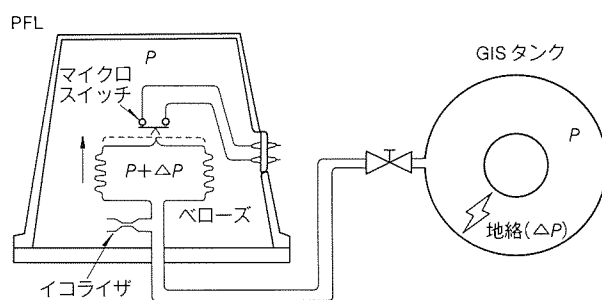


図7. 衝撃圧力センサ構成

### 5. 酸化亜鉛形避雷器の予測保全技術

酸化亜鉛形避雷器の優れた保護特性は、その中に数十～百数十枚直列に使用されている酸化亜鉛素子(ZnO素子)の優れた非直線抵抗特性による。このZnO素子は、高純度のZnOを主成分に、添加物として微量の $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CoO}$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{Sb}_2\text{O}_3$ などの金属酸化物を加えた混合物を、造粒・成形した後、 $1,000^\circ\text{C}$ 以上の高温で焼成した焼結体である。その微細構造をみると、 $10\mu\text{m}$ 程度のZnO粒子の間に $\text{Bi}_2\text{O}_3$ を中心とする添加物からなる高抵抗の粒界層があり、この粒界層が



ZnO 素子の非直線抵抗特性に寄与していると考えられている。系統電圧下では、避雷器にかかる電圧は ZnO 素子中の多数の粒界層に加わっており、避雷器には数十～数百  $\mu\text{A}$  の抵抗分漏れ電流が流れている。

避雷器の劣化は、実系統で種々の電気的ストレスを受けることによって起こる。電気的ストレスとしては、

- (a) 常時運転電圧
- (b) 雷サージ
- (c) 開閉サージ
- (d) 短時間交流過電圧

が挙げられるが、(c)と(d)は避雷器の動作電流値が(b)に比べて小さくあまり影響を与えないため、通常は(a)常時運転電圧と(b)雷サージが劣化の主要因として考えられる。避雷器が劣化すると、上記粒界層の抵抗が低下して抵抗分漏れ電流が増加する。

ここでは、避雷器の劣化検出のための漏れ電流センサと、劣化の主要因である雷サージ動作電流を計測する動作電流センサについて述べる。

#### (1) 漏れ電流センサ

避雷器の劣化による漏れ電流の変化を避雷器の接地回路に設けた電流センサによって検出し、抵抗分電流を計測する。漏れ電流センサの構成を図8に示し、その検出原理を図9に示す。

避雷器の接地回路に設けたCTによって漏れ電流を検出し、避雷器タンク内に内蔵した分圧器により、主回路電圧を取り出す。この電圧に基づいて、漏れ電流を同期整流することで抵抗分漏れ電流を抽出し、抵抗分漏れ電流の値によって避雷器の異常の有無を判定する。

#### (2) 動作電流センサ

避雷器の放電電流を接地回路に設けたCTによって検出し、ピーク電流を計測する。併せて、放電回数を計測する。避雷器動作電流センサの構成を図10に示す。

### 6. 予測保全システム

予測保全システムの実際の構成例を図11に示す。ここでは、監視項目として表1に従って次のような項目を選択している。

- 部分放電監視 (GCB/GIS)
- ガス圧監視 (GCB/GIS)
- 操作装置特性監視 (GCB)

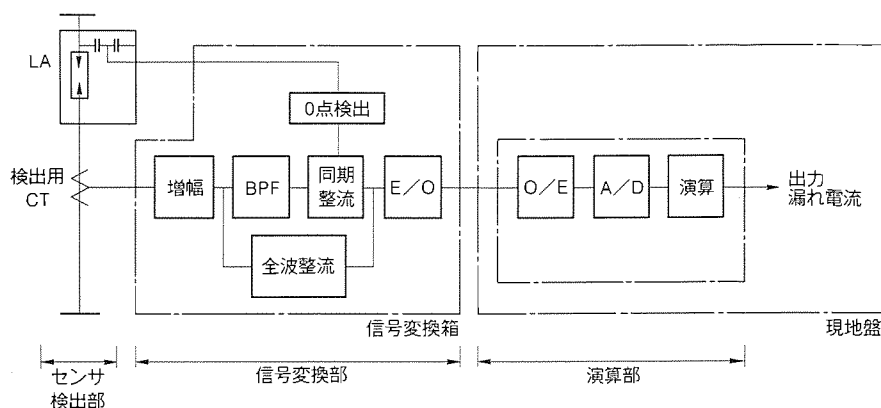
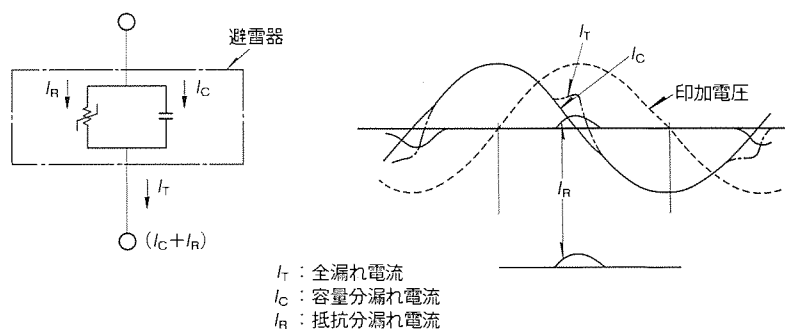


図8. 漏れ電流センサ構成



(a) 避雷器等価回路

(b) 電圧・電流波形

図9. 漏れ電流の検出原理

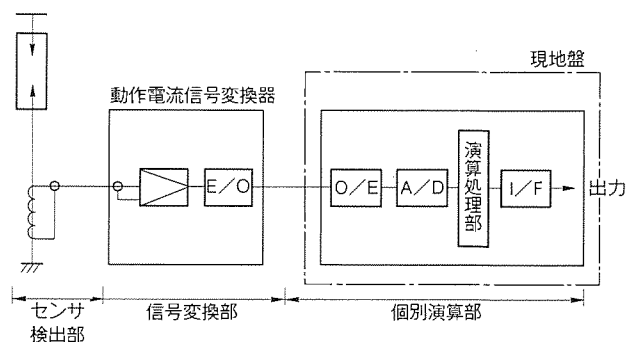


図10. 避雷器動作電流センサ構成

- 温度異常監視 (GCB)
- 漏れ電流監視 (LA)
- 故障点標定 (GIS)

現地盤では、各種センサからの計測データの一次判定を行い、判定結果と計測データを本館盤に出力する。本館盤では、現地盤から伝送されてきたデータなどの表示と保存を行うほか、一次判定の組合せ診断も行う。

また、このシステムは、アーク光を画像処理によって検出する事故区間標定用 ITV と巡視点検用の移動点検車を備えている。センサ及び故障表示器 (30 F) の情報の組合せ処置、異常検出時のガイダンス内容の適切化、事故区間標定の詳細化等により、より高度な処理も可能である。

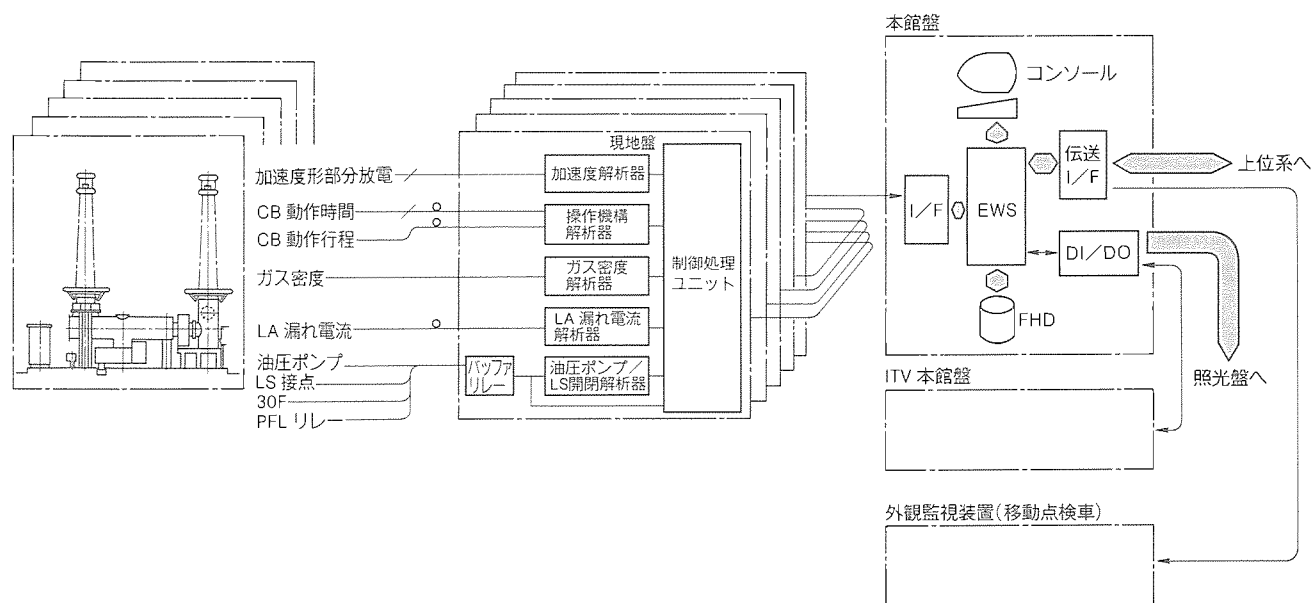


図11. システム構成例

## 7. む す び

以上、ガス絶縁開閉機器の予測保全技術を支える GCB、GIS 及び酸化亜鉛形避雷器の代表的センサについて紹介した。予測保全のためには、GCB 及び GIS では、潜在的な不良が経年することにより、万一前駆現象を現したとき検出し、また酸化亜鉛形避雷器では劣化が進行する途中で検出することになるため、保全のための時間的な余裕も考慮して検出することが必要である。したがって、センサの高信頼性とともな判断基準が重要となる。

今後とも、センサ技術及びシステム適用技術の開発・実用化を進めていく所存であり、使用者各位の御指導・御協力をお願いしたい。

## 参 考 文 献

(1) 伊吹恒二, 岸田良二, 奥野満晴, 斎藤伸朗: ガス遮断器

の技術動向, 三菱電機技報, 63, No. 10, 793~797 (1989)

- (2) 米沢 毅, 杉山 勉, 平野良樹, 吉積敏昭, 瀬戸山達夫: 新形550 kV, 300 kV ガス遮断器シリーズにおける小型化・高信頼度化技術, 三菱電機技報, 66, No. 5, 596~602 (1992)
- (3) 松田節之, 高塚桂三, 沼 芳伸, 山本 宏, 平河宏之: ガス絶縁開閉装置の技術動向, 三菱電機技報, 63, No. 10, 798~803 (1989)
- (4) 宇治田 克, 藤原幸雄, 望月幹夫, 下村哲明: 避雷装置の技術動向, 三菱電機技報, 63, No. 10, 809~814 (1989)
- (5) 但田昭司, 細川育男, 佐久間秀一, 福原好博, 篠原秀雄: 変電機器の監視・診断装置, 三菱電機技報, 63, No. 10, 819~824 (1989)

# 受変電用開閉機器の診断技術

早丸秀吉\*  
酒井道雄\*

## 1. ま え が き

受変電用開閉機器は、電力需要家への電力供給設備として重要な役割を担っている。近年、コンパクト化・不燃化等のニーズに基づき、当該機器としては真空遮断器 (VCB) 等が多く適用され、気中絶縁スイッチギヤにおける VCB 多段積形が一般化しているとともに、ガス絶縁開閉装置の採用が拡大基調にある。

このような遮断器の多段積化やガス絶縁による密封化は、従来から実施されてきた外部点検では、十分な機器の健全性の確認が困難となりつつある。他方、電力の安定供給は更に重要になり、機器の診断についても短時間の停電や運転状態で精度の高い診断を行えることが望まれている。

本稿では、上記をふまえ受変電用開閉機器と位置付けられ

る定格電圧 3.6~36 kV の遮断器、スイッチギヤに関し、劣化と故障モード、診断技術の現状と動向を以下に紹介する。

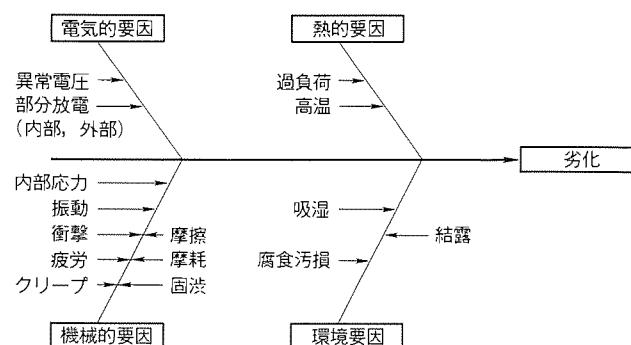


図1. 開閉機器の劣化特性要因

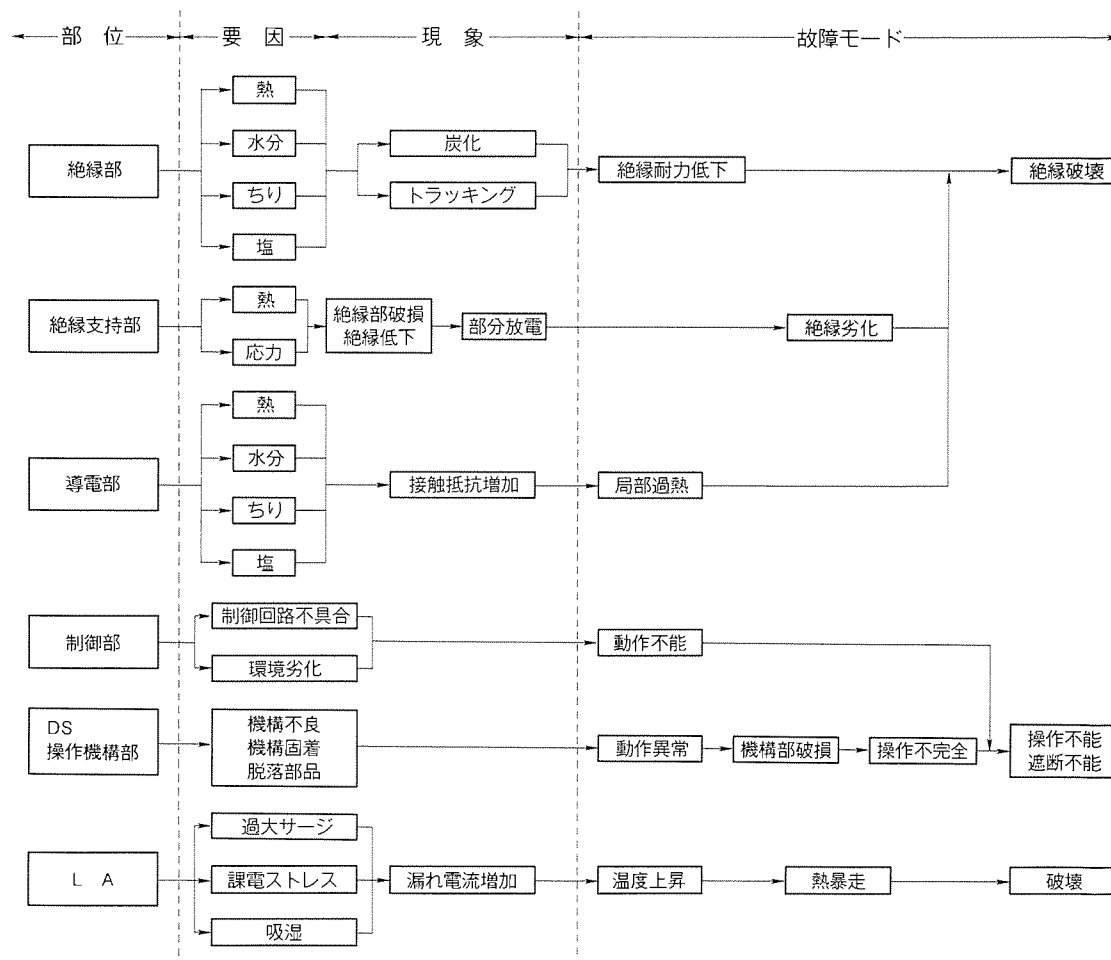


図2. スwitchギヤの劣化プロセス

## 2. 劣化要因と故障モード

受変電用開閉機器は、定期的な保全を実施すれば機器の延命化を図ることができるが、絶縁物・機構部品等で各種要因に起因したストレスによって劣化を伴う。

受変電用開閉機器の劣化は、図1の開閉機器の劣化特性要因に示すように、部分放電に代表される電氣的要因、過負荷・過熱に代表される熱的要因、応力・振動・衝撃・疲労に代表される機械的要因、吸湿・汚損・結露に代表される環境的要因の4大要因に分類される。これらの各要因は単独で起こるケースは少なく、相互に関連した複合劣化の形態で進行することが多い。例として、図2にスイッチギヤの場合、図3に真空遮断器の場合の劣化プロセスと故障モードを示す。

受変電用開閉機器の主機器である遮断器は、ガス絶縁スイッチギヤ用と気中絶縁スイッチギヤ用に大別される。気中絶縁スイッチギヤとして使用する遮断器は引出構造を採用されることが多く、引出構造の遮断器は、一般に部品の交換及び

修理して期待寿命を全うする修理系部品と、基本的に交換及び修理できない非修理系部品から構成される。

消弧方式の違いによる遮断器の種類は、油遮断器(OCB)、磁気遮断器(MBB)、真空遮断器(VCB)、SF<sub>6</sub>ガス遮断器(GCB)などがあるが、その消弧方式の相違によって寿命を決める要因も大きく変わる。

表1に各種遮断器の劣化部位・劣化要因・劣化形態・障害現象・修理／非修理系区分を示す。

## 3. 現状の診断技術

受変電用開閉機器の性能を継続的に維持するためには、適切な保守・点検が必要である。表2に現状の遮断器保守基準を示す。一般には、製造者の規定した巡視点検項目・普通点検項目、細密点検項目にそって、部品の破損・変形・損耗等を点検し、劣化した部品については部品の交換を実施することにより劣化防止・延命化が可能となる。

しかし、これらの保守・点検では事故の未然防止や設備・

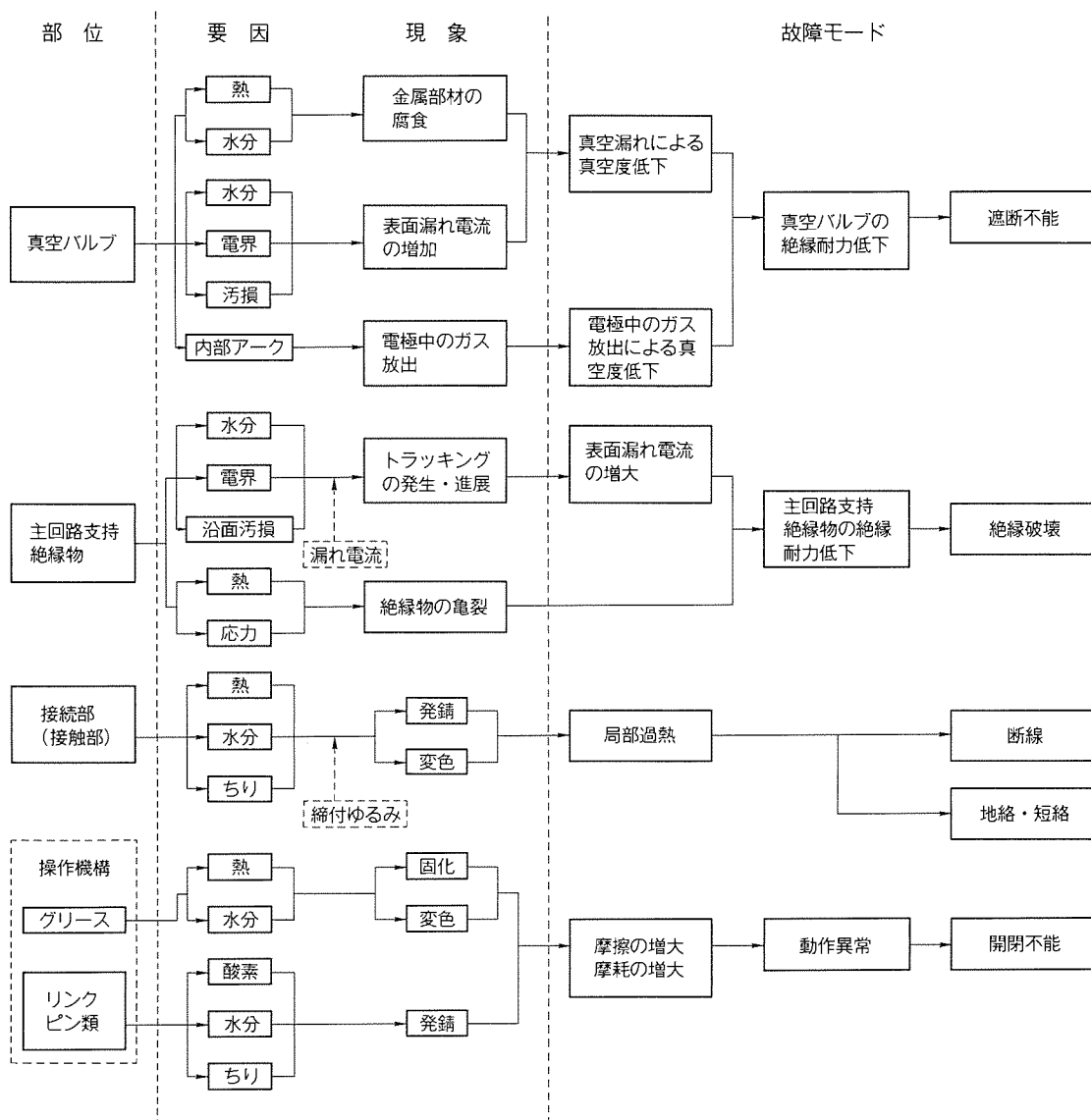


図3. 真空遮断器の劣化プロセス

機器・部品の劣化の程度、余寿命の予測までは十分把握することができない場合もある。診断技術も、こうした背景をもとに急速に進歩してきた。特に設備を停止して行う診断では、数多くの診断装置が開発され実用化されている<sup>(1)</sup>。

表3に、現地又は工場で実施する場合の現状の遮断器診断項目と診断方法を示す。これらの診断項目は多くは設備停止を必要とし、多くの診断計測項目・多くの診断対象部位に対する診断時間と労力は多大なものとなっている。

一般に、設備診断は外部点検と分解点検に分類されるとともに巡回点検・普通点検・細密点検に分類され、相互の関連は表4のようにになっている。

受変電用開閉機器の状態評価のためには、これらの点検はいずれも不可欠であるが、最近の停電がなかなかつかめない実態(平成3年の日本電機工業会(JEMA)のアンケート調査報告<sup>(2)</sup>によれば、停電可能時間は8時間以下の事業所が約70%を占めている。)と更に熟練保守技術者が減少しつつある現状を考えると、外部点検・分解点検項目をできるだけ減少させること及び異常現象の兆候を事前に把握することが重要なポイントとなる。

こうした背景から、現状の設備診断技術は、大きくは次の二つのニーズから急速に進歩している。

- (1) 保守の省力化を進める。
- (2) 事故の未然防止を図る。

事故の未然防止は早期発見が基本であり、その具体化はセンサ技術などを応用した常時監視方式と、従来から設備を停止して実施している各種診断データに基づく診断技術の向上が挙げられる。

#### 4. 診断技術の動向

受変電用開閉機器の診断技術としては、次の二つの動向がある。

- (1) 情報化の流れに適合した診断のシステム化・省力化

停電診断で取得したデータの処理方式の高度化を図るためのシステム化や、診断のための各種計測項目の自動化等が挙げられる。

- (2) 常時監視による診断の高度化・省力化

停電診断というスポットデータの取得管理から、稼働中の機器の状態を常時計測し、リアルタイムなデータ取得により、

表1. 遮断器の劣化形態

遮断器の種類	劣化部位	劣化要因	劣化形態	障害現象	修理系 非修理系
OCB	絶縁油	環境	吸湿・酸化	耐電圧低下→ 遮断性能低下	修
		電流開閉	熱分解・汚損		
	パッキン	経年	永久変化・劣化	漏油	
	消弧板	電流開閉	ガス噴出口消耗	遮断性能低下	
	アーク接触子	電流開閉	熱溶損・汚損		
MBB	タンク・配管	環境	腐食	漏油	非
	消弧板	電流開閉	汚損又は熱破壊	遮断性能低下	非
	アーク接触子	電流開閉	熱溶損・汚損		修
VCB	真空バルブ	環境	真空漏れ	耐電圧低下→ 遮断性能低下	非
		電流開閉	電極中のガス放出で真空度低下		
GCB	タンク・配管	環境	腐食	漏ガス	修
	SF <sub>6</sub> ガス	環境	ガス漏れ	耐電圧低下→ 遮断性能低下	
	接点	電流開閉	アースにより劣化主成	開閉動作性能低下	
	ノズル	電流開閉	ガス噴出口消耗	遮断性能低下	
全機種共通	操作機構	リンク・ピン ラッチ結合部	開閉動作	連結部の摩耗・変形	非
		環境	じんあいの付着・発せい(錆)	開閉不具合 動作速度低下	
		経年	グリース固化・変形・破損		
		締付部	開閉振動	ゆるみによる整定値・位置狂い	
	通電接触部 (気中露出部)	開閉動作	じんあい・変形・破損	開閉不具合	非
		環境	腐食・じんあい・異物・付着・ グリースの変質	接触不良→過熱	
	ブッシング	開閉振動	ゆるみ		非
		環境	汚損・飛来物による損傷	絶縁低下	
	絶縁物	環境	セメンチング部破損	漏気・漏ガス・支持機能低下	非
		環境	汚損・吸湿・変形・クラック	絶縁低下	
	ダンパ	経年	永久変化・劣化	漏油・漏気	非
	操作制御部	コイルモータ	環境	吸湿・腐食	修
		リレー・コンタクト	環境	接点の汚損・腐食	
		コンデンサ	経年	熱劣化・容量抜け	
		ヒューズ	電流通電・経年	劣化・溶断	
		補助スイッチ	環境	接点の汚損・腐食	
		配線	経年	劣化	
		配線接続部	開閉振動	断線	
			締付部のゆるみ	開閉不具合	非

表2. 現状の遮断器保守基準

点検項目	点検内容 (方法)	巡視	普通点検	細密点検
外部一般	開閉表示器・開閉表示灯の表示	○	○	
	異音・異臭等の発生有無	○	○	
	端子部の過熱変色の有無	○	○	
	ブッシング、がい管の亀裂、破損の有無及び汚損状況	○	○	
	設置ケース、架台等の塗装の状況、発錆損傷の有無	○	○	
	温度異常の有無(温度計)	○	○	
	ブッシング端子の締付状態(機械的チェック)	○	○	
操作装置及び制御盤	止弁の状態異常	○	○	
	圧力計の指示(空気・油・ガス圧計)	○	○	○
	動作回数計の指示(操作装置・油ポンプ・ガスコンプレッサ)		○	○
	操作箱及び盤内の湿潤、水たまり、発錆の有無及び汚損の状況		○	
	給油、清掃		○	○
	低圧回路配線の締付状態	○	○	
	開閉表示の状態確認		○	○
	操作前後の圧力計の読み(空気・油・ガス圧)		○	○
	漏気、漏油の有無		○	○
	動作計の動作確認		○	○
	スプリングの発錆、変形、損傷の有無(手入れ)	○	○	○
	ストローク係合部の点検(調整)	○	○	○
	各締付部ピン類の異常の有無		○	○
	補助開閉器の点検(手入れ)		○	○
測定・試験	絶縁抵抗の測定		○	○
	接触抵抗の測定			○
	ヒータ断線の有無		○	○
	継電器作動試験		○	○
	開閉特性試験(投入・開極時間・三相不ぞろいの測定及び試験)		○	○
	最低動作圧力、電圧測定		○	○
	引外し自由試験		○	○
	圧力開閉器の試験(空気・油・ガス)		○	○
	圧力計のチェック(計器・誤差・試験)		○	○
	空気・油・ガスの消費量測定		○	○
	アキュムレータ容量測定		○	○
	漏気試験			○

表3. 現状の遮断器診断項目と診断方法

	診断項目	診断方法	一次診断 (現地)	二次診断 (工場)
1	絶縁抵抗測定	●絶縁物に直流電圧を印加したときの (1) 絶縁抵抗(1分間値) (2) 絶縁抵抗の時間特性 (1分間値と10分間値の比較) (3) 絶縁抵抗の電圧特性を測定する。	○	○
2	開閉動作特性試験	●時間測定器又はオシログラフによる投入時間、開極時間の測定	○	○
3	接触抵抗測定	●ダブルブリッジによる抵抗測定 (異常があれば分解点検)	○	○
4	接触部の温度監視	●サーモテープ、サーミスタ、赤外線温度計などにより、通電部の温度を活線状態で監視する。	○	×
5	分解点検	●細密点検や事故電流遮断時に可能な範囲で分解点検 ●接触子など消耗部品の手入れ又は交換、パッキン交換、グリスアップなど。	△	○
6	消弧媒体の特性調査 (SF <sub>6</sub> ガス、絶縁油など)	●SF <sub>6</sub> ガスの水分測定、純度測定 (必要により吸着材の交換など) ●絶縁油の破壊電圧測定 (必要により絶縁油の交換など)	△	○
7	制御回路試験	●制御電源を生かして入-切制御、自動遮断トリップフリー動作の確認	○	○
8	漏れ電流測定	●直流電圧を印加した時の漏れ電流を測定し、絶縁物の吸湿状態をチェックする。	△	○
備考	(1) ○：可能、△：現地では不可能な事項もある、×：不可能 (2) 一次診断(現地)は、現地での検査、測定(細密点検レベル)をいう。 二次診断(工場)は、工場持ち込みでの分解検査、測定をいう。			

スポットではとらえられない故障の予兆を検出し、診断の高度化・省力化を図ることが挙げられる。

以下、上記二つの動向についてその概要を述べる。

#### 4.1 情報化の流れに適合した診断のシステム化・省力化

受変電設備の停電点検に関しては、前述のように各種の診断装置が製品化され現在活用されているが、取得したデータ等は、当該設備で策定された設備診断基準等に基づき判定処理されている。また、診断装置は診断の対象となる各機器・回路へ逐次設置・設定するという時間と労力を要するものとなっている(言い替えば、開閉制御システムと独立したものとしての利用が大半である)。

しかし、近年の情報化・システム化の動向と同期し、診断技術においても次の二つのシステム化の動向が予測される。

##### (1) 広域な受変電用開閉機器診断データのデータバンク化

各需要家対応で適用される受変電用開閉機器の診断は、前述のように各設備対応のデータとその判定基準のもとに運用され、診断データの共有化はあまり図られていない。

したがって、今後電話回線等の広域通信網というインフラのもと、各需要家対応の診断データを集中化し、データバンクとしてこれら豊富なデータに基づき、向上した診断レベルで設備管理を行う広域システム化の動向が予測される。

##### (2) 開閉制御システムへの統合化

受変電設備のインテリジェント開閉制御システムのベースとなるソフトウェア(S/W)を介在させたシリアル伝送・デジタル開閉制御システムで、診断はS/W(システム)メニューの一つとして構成されることが考えられる。その概念を図4に示すが、開閉制御システムバスを利用して既存の診断装置とのインタフェースをもって、順次複数の診断計測項目を計測し、さらに計測対象となる各回線を順次自動的に切り替え、これら多数の診断データをシステム親局で一括データ保持する診断システムである。このようなシステムは、今後受変電用開閉制御システムのインテリジェント化の動向にあって

表4. 設備診断の分類

	巡視点検	普通点検	細密点検
外部点検	○	○	○
分解点検	—	○	○

注 ○は実施を意味する。

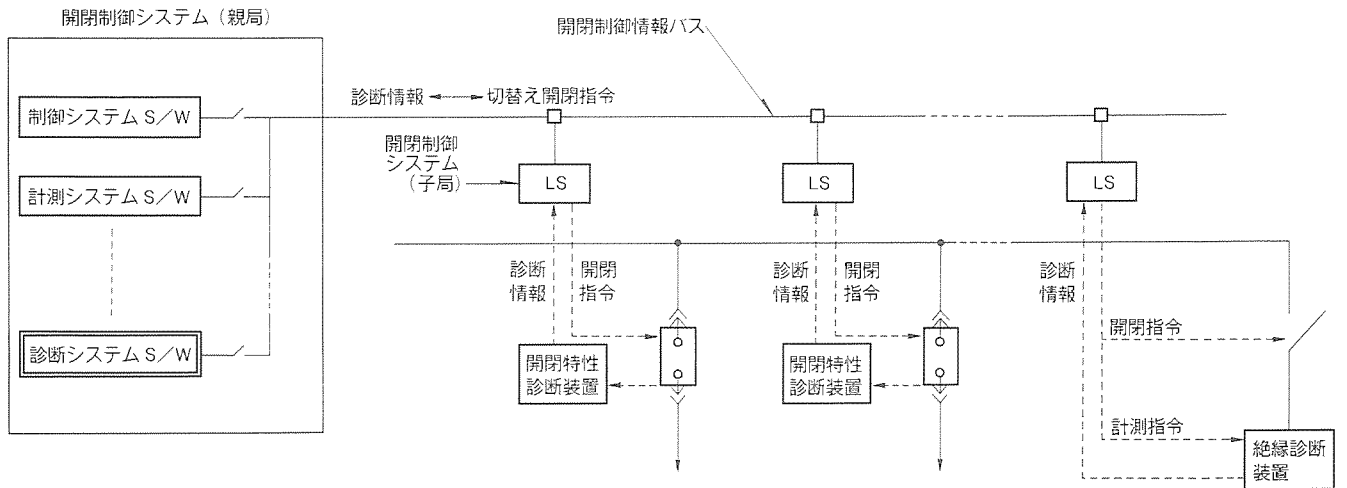


図4. 受変電用開閉機器の自動診断システム

は容易に構築でき、診断計測の自動化・省力化が進むものと考えられる。

4.2 常時監視による診断の高度化・省力化

受変電用開閉機器の監視項目としては、絶縁・通電・開閉機能の3重要機能が挙げられ、各種方式が既に提案されているがその一例を表5に示す<sup>(3)</sup>。

(1) 絶縁監視

受変電用開閉機器の絶縁監視は、機器自体の監視として絶縁支持物のトラッキングや部分放電等が挙げられ、受変電設備全体としてその関連設備も含めると、ケーブル等の固体絶縁物等の絶縁特性のトレンド監視も含めた監視が必要となる。

トラッキングや部分放電という放電を伴う絶縁異常及びケーブルの絶縁監視に関しては、表6に示す各種検出法が提案されている<sup>(4)</sup>。

表6のケーブルを主体とした絶縁特性監視の中で  $\tan \delta$  法、低周波重畳法等は系統中性点から固有の電源を印加・注入し、出力電流値とその位相角によってその絶縁特性を計測するものであるが、接地線を介したこのような電源注入方式による受変電用開閉機器の絶縁特性監視方式も同様に提案されている<sup>(5)</sup>。

(2) 通電機能監視

通電機能監視は、導体の接続・接触部の接触抵抗の増大に伴う当該部分の異常過熱を検出することであるが、検出方式としては、バイメタル・形状記憶合金などに代表される異常過熱による物体の変形を利用したものと、サーモラベル等に代表される物体の変質を利用したものに大別される。

表5. 受変電用開閉機器の監視項目と診断区分

監視目的	項	監視項目	適用技術(センサなど)	常時監視方式	活線診断方式	停電診断方式
絶縁異常	1	真空度低下	真空バルブ内の部分放電をC分圧で検出する。 真空チェッカーによるチェック	○	○	○
	2	ガス圧低下	温度センサと圧力センサでガス密度の変化をみる。	○	○	○
	3	部分放電	部分放電試験器によるチェック 電磁波をアンテナで検出する。 超音波(AE)センサによるチェック	○	○	○
通電異常	4	局部過熱	局部過熱によるガス圧上昇を検出 サーモラベル十色検出 目視による変色チェック	○	○	○
	5	接点消耗	CT電流とリレー動作回数から、累積遮断電流を検出する。 ゲージによる測定	○		○
	6	開閉動作	遮断器開閉極時の動作時間を検出し、正常時と比較する。	○		○
動作異常	7	トリップコイル断線	トリップコイルに微小電流を通電し、断線有無を検出する。	○	○	
	8	制御回路異常	制御回路に微小電流を通電し、回路異常の有無を検出する。 シーケンスチェック	○		○
	9	動作回数	遮断器補助接点の信号により、動作回数をカウントする。	○	○	○
上記以外の異常	10	分解ガス	分解ガス分析			○
	11	異音・異常振動	振動・加速度センサ	○	○	
	12	異臭	臭センサで発煙以前の挙動として樹脂類の分解ガスを検出する。	○	○	

図5は、物体の変形を利用した異常過熱検出方式の例を示すが、これは異常温度となるとバイメタルが変形し、音発生装置から固有周波数に音圧ピークをもつ音が発生し、この音を受音部で検出・判定し、接点出力される構成としている。異常過熱の監視対象部位に前述の音発生装置を取り付け、この部位と隔離された場所に受音装置を取り付け、この間は音を信号媒体としていることから、高圧充電部分の異常検出が可能な装置となっている。同様な方式で光を信号媒体として検出する方式も各種提案されている。



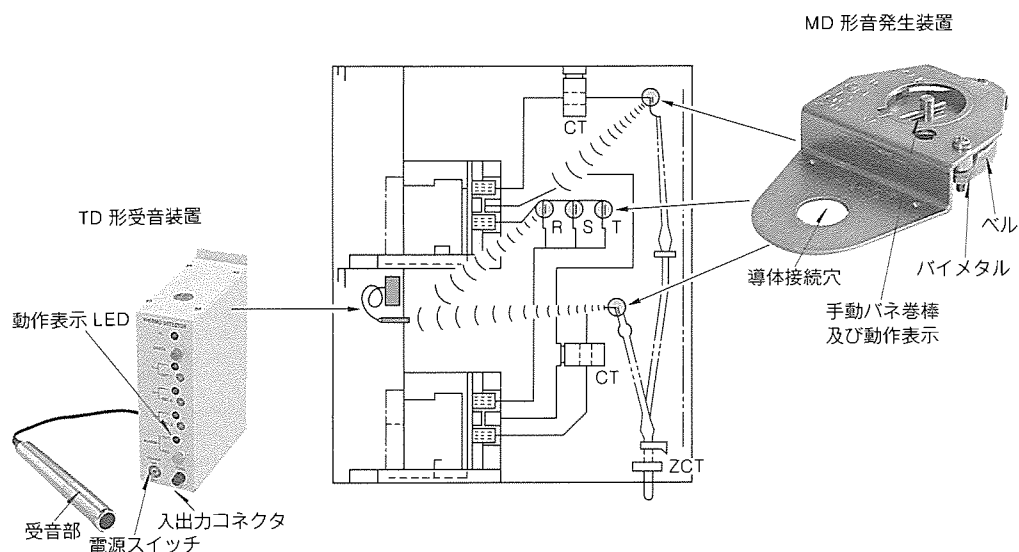


図5．異常過熱検出装置

表6．絶縁監視項目と検出法

絶縁監視項目	検出法
放電	放射電磁波検出法
	超音波検出法
	部分放電パルス検出法
	タンク(高周波)電位振動検出法
	放電光検出法
	分解ガス検出法
	接地電流検出法(漏れ電流計測を含む。)
固体絶縁特性	tan δ 法
	直流成分法
	直流重畳法
	低周波重畳法

以上、現在提案されている代表例を述べたが、このほかに既に製品化されている光サーミスタや、加熱物体の温度と放射電磁波ピークの関係を利用した単色形放射温度計測(サーモグラフィー等)の応用・適用も今後の動向として考えられる。

### (3) 開閉機能監視

受変電用開閉機器の開閉機能監視とは当該開閉器の動作の健全性を監視することである。監視項目としては、主として次の二つが挙げられる。

- (a) 開閉動作機構と連係する電磁コイル(通常は開放優先から引外し用コイル)が断線していないことを監視する。
- (b) 投入時間・開極時間の計測とそのトレンドを把握することで、開閉動作機構の健全性を監視する。

図6、図7は遮断器開閉特性監視装置の構成及び外観の例を示す。図6に示すように、当該装置は引外し用コイルに微小電流を注入して電流通電の有無

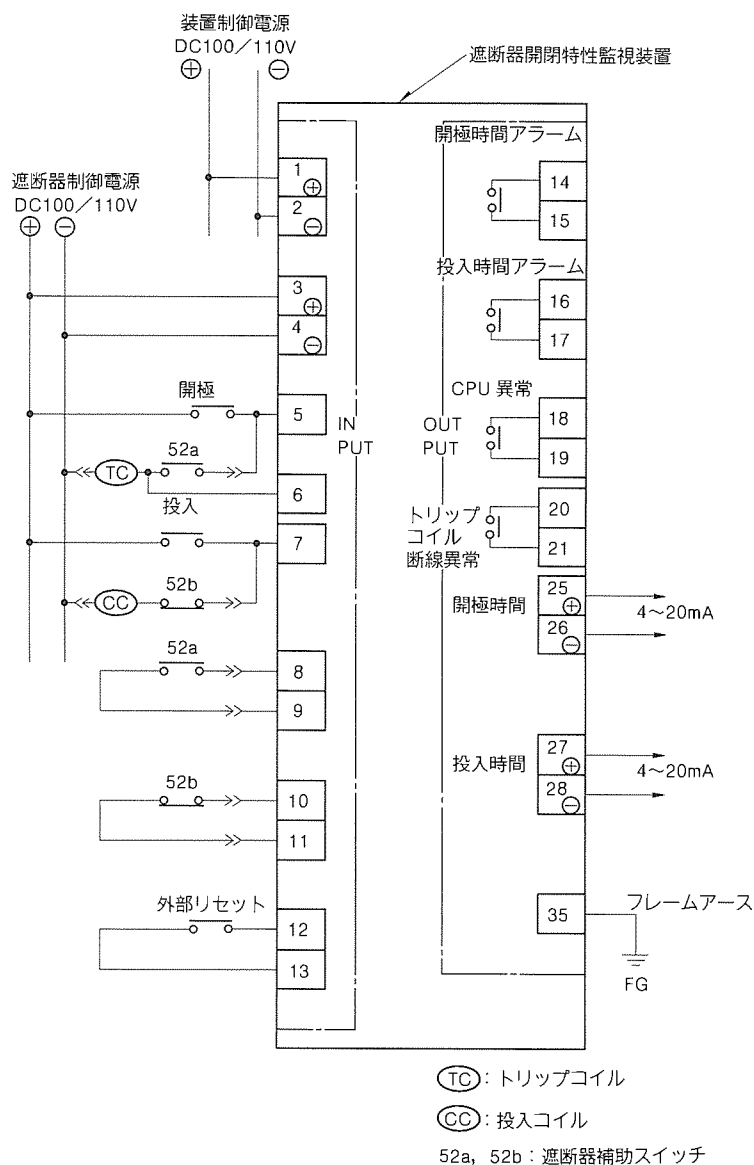


図6．遮断器開閉特性監視装置の構成

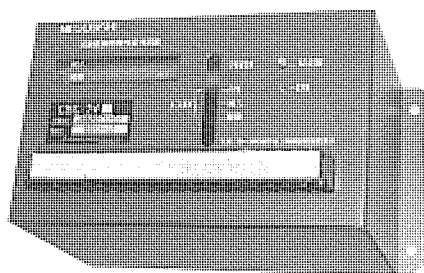


図 7. 遮断器開閉特性監視装置の外観

によって断線を監視し、開閉動作機構と直結・連動する補助接点の動作から開・閉極時間を監視する装置となっており、既設開閉器にも制御回路配線の一部変更で容易に適用できる装置となっている。

また、出力仕様としては、コイル断線用の接点出力及びあらかじめ設定した動作時間との比較に基づく開・閉極動作時間異常に対する接点出力の計三つの接点出力と、トレンド監視のためのデータ出力として、動作時間に対応した計装用アナログ出力（2点）が出力可能な装置となっている。

また、開閉機能の監視に対し、開閉器の累積遮断電流による接点消耗度の予測や、開閉器動作機構の直接的な光位置検出方式により、開閉特性を計測する方式等も提案されている。

#### 4.3 今後の動向

以上のように、開閉制御システムの一つのサブシステムとして、構成される形態への展開及び常時監視方式の展開は更に進み、今後は図 8 に示すようにこの両者の合理的な融合化を図った統合化システムへ昇華すると考えられる。

### 5. む す び

受変電用開閉機器の新しい診断技術として、各種のセンサを利用した診断システムが開発され、一部が適用されているが、この診断システムは、今後更に適用が拡大していくものと予想される。

実用化に向けて必要な検討項目は、

- (1) 異常・劣化現象の進展プロセスの解明と適用センサの決定

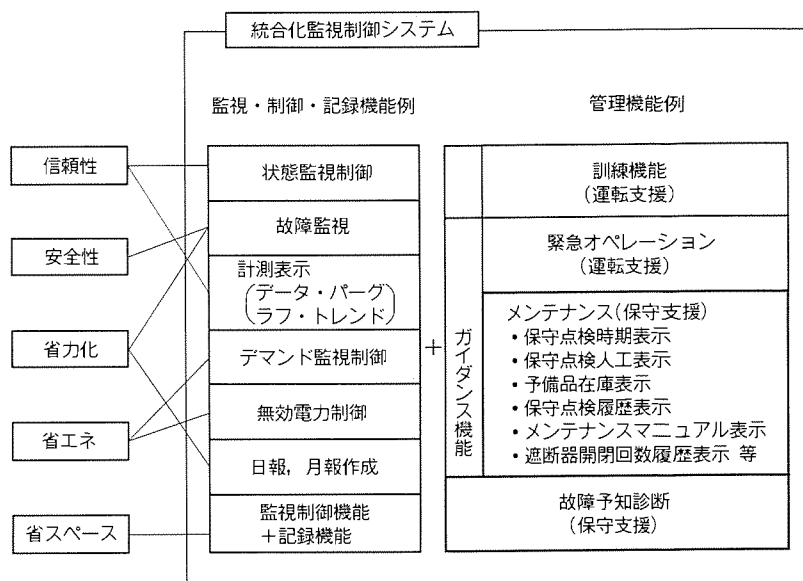


図 8. 受変電用開閉機器の統合化監視制御システムの概念

- (2) 異常・劣化現象とセンサ出力との関係把握
  - (3) 診断アルゴリズムの確立と AI・ファジー等の知識処理技術の応用
  - (4) システム信頼度の向上と設計基準の確立
- などが考えられる。

これらの諸問題を解決することによって、受変電用開閉機器の、よりの確な診断が可能となり、さらに高信頼度化、保守点検の省力化・効率化が実現できるものと考ええる。

### 参 考 文 献

- (1) 固体絶縁物絶縁劣化判定試験法調査専門委員会：絶縁劣化診断試験方法定格電圧 3.3 kV および 6.6 kV の回転機および電力ケーブルについて、電気学会技術報告、Ⅱ部 182号 (1984)
- (2) 重電保全専門委員会：受変電設備の保全に関するアンケート調査報告書、日本電機工業会、23 (1991)
- (3) 早丸秀吉：遮断器、建築保全、No. 79, 53～60 (1992)
- (4) センサ技術適用専門委員会：電力設備へのセンサ技術適用、電気共同研究、46, No. 4, 165 (1990)
- (5) 山田直也、木村 健：絶縁診断装置の開発、平成 3 年電気学会全国大会、No. 1266, 10～89 (1991)

# 次期変電所における 予測保全と監視制御システム

前川 洋\* 上窪康博\*\*\*  
平河宏之\*  
篠原秀雄\*\*

## 1. ま え が き

1980年代以降に“変電機器の予測保全システム”に関する具体化構築の動きが活発になり、1990年代に各所で本格的実用が進められている。

1975年ごろにマイクロプロセッサと光通信が新技術として登場し、1980年代に入って電力分野で適用拡大が顕著に進んだことが、最近の技術状況のインフラ充実ステージと見られることもできる。

従来、変電機器に関する当該分野の自動化は、経験・専門性・異常検知ノウハウが絡み、かつ実現に向けては電子センサの発達・検出処理装置の発達・情報の収集処理システムの発達が不可欠であったため、前記の新技術の登場を待たなければ技術的にも経済的にも構築が困難な状況にあった。

マイクロプロセッサと光通信の発達は、変電機器の予測保

全のための自動化システムを思考する技術者にとって、ソフトウェアとして異常検知ノウハウを具体化できることを連想させ、また、厳しい電気・磁気環境の機器近傍のマイクロプロセッサから変電所マンマシンに情報を集約する手法をも連想させた。

一方、変電所の設備は、主回路ではますます大容量化・高信頼化が進むとともに、全 GIS 変電所の建設が進められ、また、保護制御では逐次デジタル化が進められた。

以上の技術環境の下で、予測保全システムと監視制御システムの検討構築の作業がこの10年間に電力各社で進められ、現在のステージに達している。

本稿では、以上の技術環境・達成技術・技術課題を踏まえて図1に示す将来の変電所システムを考えた場合、予測保全システムの充実化、保守箇所のオンライン情報センター化が想定され、具体化に向けてどのような技術状況が予想される

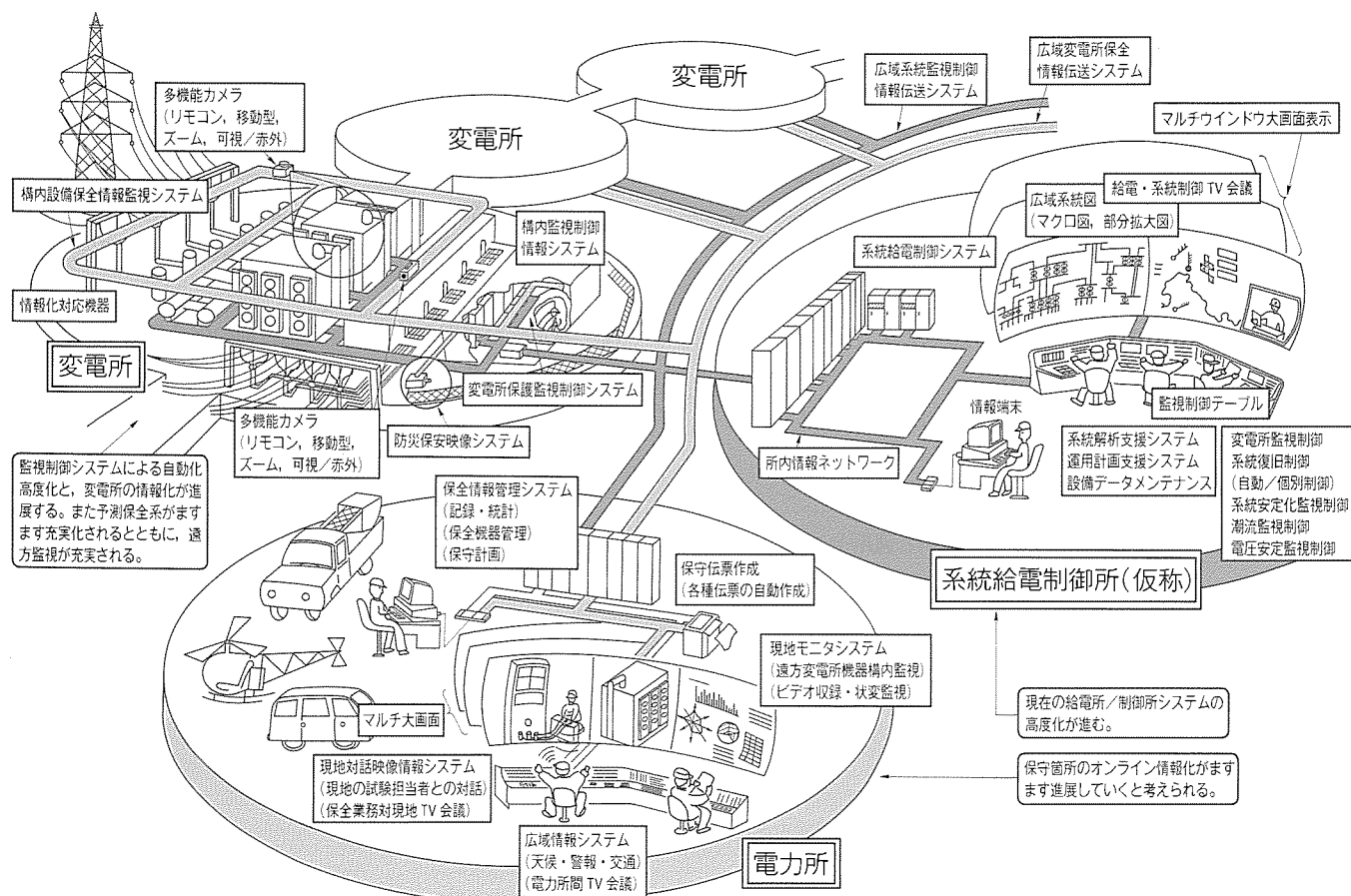


図1. 次期変電所システムの総合イメージ

かを展開した。また、監視制御システムの高度化が進みつつあり、予測保全システムとの総合化についても言及し、今後のシステム構築の方向性に関する筆者らの提案としてまとめた。

## 2. 予測保全システムの目的と課題

### 2.1 予測保全システムの目的

まず、予測保全システムに期待されている機能が、どのような内容であるかを明確にしておく。

#### (1) 設備状況

変圧器、遮断器、断路器、GIS 及び調相器と各種の所内電源設備などの変電所機器は、その設備の開発の歴史的経緯もあり一様ではないが、変圧、回路開閉などの基本機能の実現のため、内部に可動機構部や各種の絶縁部分が存在したり、空気、ガス、油などの絶縁媒体の循環補給システムを具備していたりする。また、設備容量の大型化に伴い、機器自体が構造物としても極めて大型サイズとなっている。

これらは、機構上の摩耗、絶縁状態の何らかの要因による劣化、各種配管類での万一のリーク発生などによる機能の低下（構内故障）に至る可能性を秘めているといえる。

#### (2) 障害要因と影響

近年、機器設計製作にかかわる絶縁技術、構造設計技術、加工技術のハイテク化によって、旧来の設備信頼度に比して極めて高信頼度の製品供給が可能となった。

しかし、設備に侵入する物理的又は電気的條件が定格設計値以上の予期せぬストレス誘発要因となり万一の障害発生に至ることを想定すると、機器の設備容量が極めて大きい状況にかんがみ、電力供給維持への影響は大きくなる傾向にあるといえる。

#### (3) 既設設備での対応

予測保全を実施していない既設設備の場合、周期的に定期点検を実施し、汚損の清掃、付属部品の消耗検査と交換などのスクリーニングを実施する。併せて機器のストレス誘発要因が認められないかを検査する。

設備の運用中に前記の予期せぬストレス誘発要因によって設備故障となった場合、保護装置の動作に至る。保護装置動作時は、母線、変圧器などの内部に重要障害が発生しており、大掛かりな修理作業が必要になる。また、変電所で上記の状況が発生すると、設備の長期間の部分停止が必要であるため、系統運用の信頼度低下を来す原因となる。

#### (4) 予測保全実施設備の対応

設備の異常発生を未然に検知することを行うので、保護装置の動作に至る以前に臨時の点検に持ち込むことが期待できる。予測保全システムでは、各種センサを用いて設備のストレス誘

発要因を常時計測監視し、設備の設計仕様から運用許容度の正常／異常判定を自動実行する。以上のように、予測保全の目的とするところは、故障発生以前にその予兆を捕らえて臨時点検に持ち込み、設備本体の交換が必要な保護動作故障を回避することで、修復のための時間とコストを低減することである（図2）。

### 2.2 予測保全システムの課題

予測保全システムは、以上のように異常検知の対象となる現象を利用し、具体化するアウトプットが、故障の発生予測であったり、故障発生部位の推定であったり、故障の原因推定であったりと様々な側面が要求されている。

現在“技術高度化途上のステージ”にあり、既に技術導入されている各種予測保全センサと処理システムは、検出対象となる現象に的を絞って効果が期待できる方式として確認できたものである。

故障の発生予測、部位推定、原因推定など技術の高度化に関しては以下の構築課題がある。

#### (1) 故障現象の把握

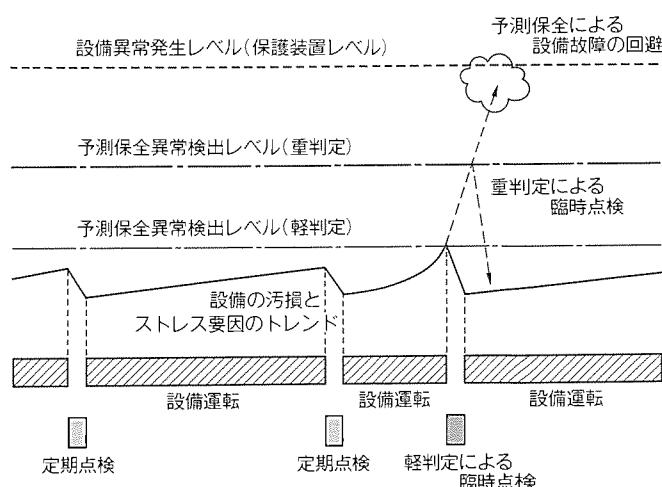


図2. 予測保全実施効果の概念図

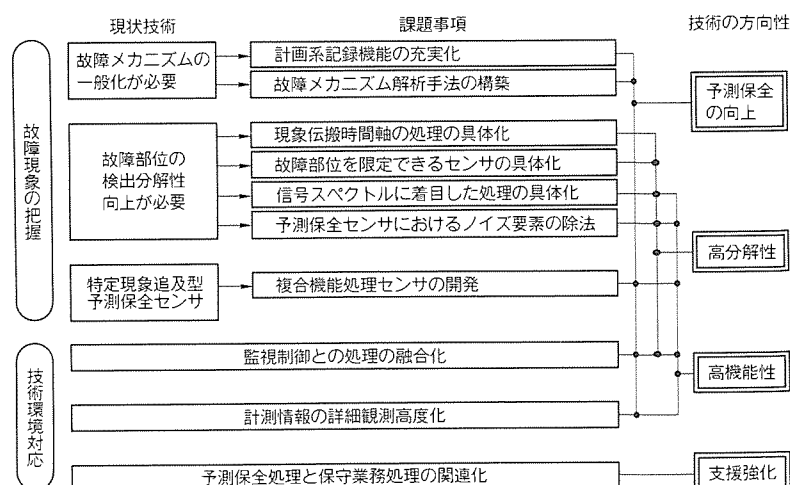


図3. 予測保全の現状技術と課題事項

故障現象を解析計算によって求めようとする、故障系のモデル化が極めて高度な問題であることに遭遇する。すなわち、故障自体が物性物理の現象であり、故障の存在する領域の同定と、構造のモデル化、電気現象のモデル化、解析の対象周波数の決定などが必要となる。さらに、故障発生現象は、これを捕らえることに専念した観測系を準備し、多くの故障例を蓄積しなければ、一般化(現象固有の伝達函数の加味)が困難なことである。このため予測保全システムの具体化に当たって下記の属性を備えたシステムの技術構築を進めることが重要である。

- (a) 機器故障メカニズムの一般化把握対応機能
  - (b) 機器故障部位摘出の高分解性システム手法
  - (c) 複数の現象から特定原因事象の導出手法
- (2) 技術環境の変遷への対応

今後の系統機器の技術変遷(制御出力回路の静止化、計測入力回路への光技術適用化及び予測保全システムの総合化など)を考慮したとき、これに伴って予測保全システム自体も質的な下記の対応が求められる。

- (a) 監視制御システム入出力部との融合化
  - (b) 計測情報の取り込みと異常検出処理の多元化
  - (c) 予測保全情報と保守業務支援情報の統合化
- 以上の課題に関して現状技術との相関を図3に示す。

### 3. 監視制御システムの対応

#### 3.1 最近の変電所監視制御システム

近年、監視制御システムの技術が急速に進展した結果、光LANによる情報収集系を核とした“変電所総合デジタル制御方式”の導入が急ピッチで進められている。

これは、図4に示すように光スターカップラを用いて放射状の双方向多局間伝送を可能とするもので、光ファイバでデジタル制御盤と光スターカップラを接続するだけで、そのデジタル制御盤の変電所システムへの参入工事が完了となる方式である。

従来の装置間情報の受け渡しを補助リレー又は計測回路用金属線結合としていた方式に比べ、インタフェース工事と接続装置自体の変更工事が大幅に省力できる方式となっている。

#### 3.2 次期監視制御システムに求められる課題

このように監視制御システムのファームウェア技術が一つのステップを上った時期にあるが、次期システムに求められる課題として、“変電所にもますます情報化志向と省力化が進んでいく過程で、現状の監視制御情報に加え設備の状態と保守情報出力の充実化が求められる傾向にある。”ことが挙げられる。すなわち、旧来の監視制御における状態表示、選択制御、計測記録の枠組みに加えて、各種予測保全情報、設備メンテナンス支援情報、加工した設備データベースの提供などが求められていく傾向にある。

現在、変電所の支援システムとして、運転支援、監視支援、保守支援、保安支援、巡視支援、業務支援及び保護リレー整定などの各種支援システムが暫時実用化構築されているが、これらの支援システム技術が高度化途上にあり、技術の変遷

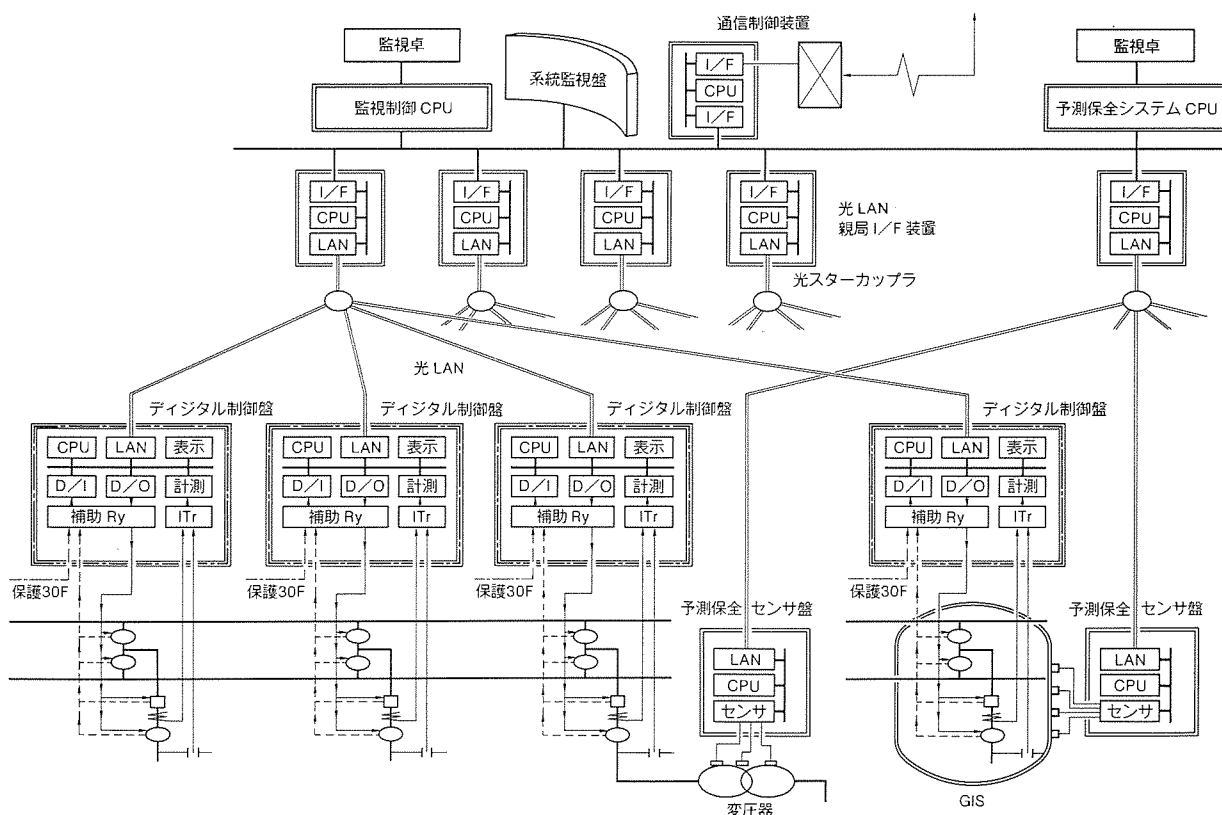


図4. 光LAN適用変電所総合デジタル制御方式と予測保全システム

が想定されるため監視制御システムとの間で一線が写|かれて  
いる状況である。

次期変電所のシステムは、これらの各種支援情報をシステム機能の1アイテムとして選択できるマンマシンシステムをもつと想定される。

このとき、予測保全システムの課題に対応して監視制御システムを含めた総合化が重要な課題となる。図5に次期変電所システム構築に向けた充実化機能項目を示す。

#### 4. 次期システムの具体化方向

予測保全システムの目的と課題及び今後の変電所監視制御システムに対する要請事項について述べた。次に課題の解決策とともに、次期変電所システムの具体化に関する技術の方向性について幾つかの提案を行う。

##### 4.1 機器故障メカニズムの把握対応機能の充実

予測保全システムの現状方式では、特定の現象検出によって異常の発生予兆を捕らえることが一般的である。機器の高信頼化が進んだため異常現象に遭遇することが極めてまれであり、想定外の現象記録を獲得することは困難である。このため、予測保全センサ装置自体で詳細情報を獲得する機能を充実すること、長期の情報保存及び随時読出しが可能なシステム構成を採ることが重要である。

##### 4.2 故障部位把握分解性の向上(新30F)

機器個別の軽故障30F(30F：故障警報器具番号)、予測保全センサ、監視制御システムによる設備状態情報を総合的に組み合わせることによって、機器異常部位の特定化と原因の分析アルゴリズムを充実することが期待されている。異常部位の特定と原因分析の具体化に当たっては、

- (a) 設備の異常に関する保守員の知識情報の展開
- (b) 機器軽故障30Fの守備設計範囲情報の展開
- (c) 予測保全センサが検出し得る機器範囲情報の展開
- (d) 監視制御システムの通電・開閉など状態情報との相関

など、現在各方面で推進中の知識工学手法を変電所分野で実用的に適用し、新30Fとして変電所の監視室及び遠方監視箇所へ設けたCRT画面に情報提供する方式を採用することである。

##### 4.3 監視制御システム入出力部と

##### 予測保全情報の融合化

現在、電力各社で構築している総合デジタル監視制御システムは、図4のシステム構成がほぼ標準形として構築過程にあると思われる。電力会社によって①機器近傍にデジタル制御装置を分散配備する方式、②機器近傍にはワイヤードインタフェースを配備し、建屋内にデジタル制御装置を集中配備する方式などが採用されている。

一方、予測保全センサ装置は機器の微小な電気・物

理現象を捕らえる必要から、機器近傍に設置する方法を電力各社とも一般形として採用している。

監視制御機能の運用上のプライオリティから、監視制御情報収集系と予測保全情報収集系が系統的に相互に分離した構成が採られている。このことは、前述のごとく予測保全センサ装置自体で、監視系情報との結合によって詳細情報を獲得するには下記のような不向きな状況ができる。

- (a) 相互の時間同期性が保証しにくい情報になる。
- (b) 機器近傍で監視系の情報を利用するには、上位システムから情報の再分配が必要になる。
- (c) 上位処理装置で設備単位の結合要素情報を作る処理が複雑となる。

現在の“予測保全情報収集系と監視制御情報収集系の分離方式”においては、制御装置の分散配備方式と集中配備方式の特徴を生かした適用を推進することとなるが、上記の予測保全情報の高精細化のほか今後変電所に適用される下記の新技術の出現を考慮すると、監視制御情報と予測保全情報の一体化が次期変電所の採るべき形態と考える。

- (1) 光ポテンシャルトランスフォーマ(P T)、光カレントトランスフォーマ(C T)の実用化による機器近傍での情報変換
- (2) 開閉器の光信号制御化(当面は制御回路の光化)によるインタロック処理を含めた現地キュービクルの電子盤化

図6に監視制御情報と予測保全情報の一体化を目指す現地キュービクルの構成案を示す。

##### 4.4 変電所運用情報提供の充実

主回路機器と保護制御システムがますます専門化・高度化・自動化していくと、変電所の設備情報、運転情報、保守情報、故障時の処置要領、定期巡視・臨時巡視の細目など情報量が極めて膨大になる。

このため、次期変電所システムでは下記の各種変電所運用情報の提供を充実していくことが重要である。

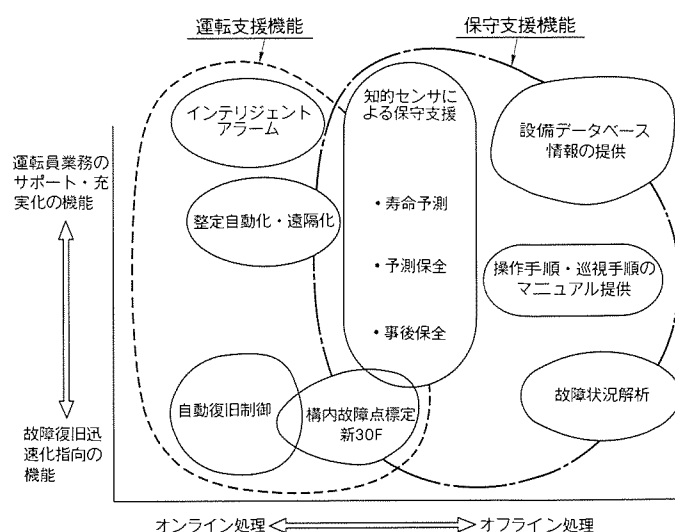


図5 次期変電所システム構築に向けた充実化機能項目

- (a) 変電所監視制御，支援システムのソフトウェアとして生成する設備DB（データベース）と規則（ルールベース）をビジュアルにCRTに表示し，詳細情報から即座に運転員が判断できるように情報提供を行う。
- (b) 各種予測保全システムの検出原理と，異常検出時に警報の判定根拠や物理観測データを提供する。
- (c) 各種処置が必要になったとき，該当機器のどの部分に臨時点検部品（部位）が存在するかをビジュアルにCRTに表示し業務の支援を行う。
- (d) 設備の各種の補充材料の充当など主回路機器はもとより，ポンプ室，電源室，給水関係など変電所運用にかかわる設備のメンテナンスカルテル情報を要求時に随時提供する。
- (e) 定期点検計画書画面，事務引継ぎ画面，報告書作成画面など公式書類画面を様式とチェックポイント付きで提供し，業務の支援を行う。

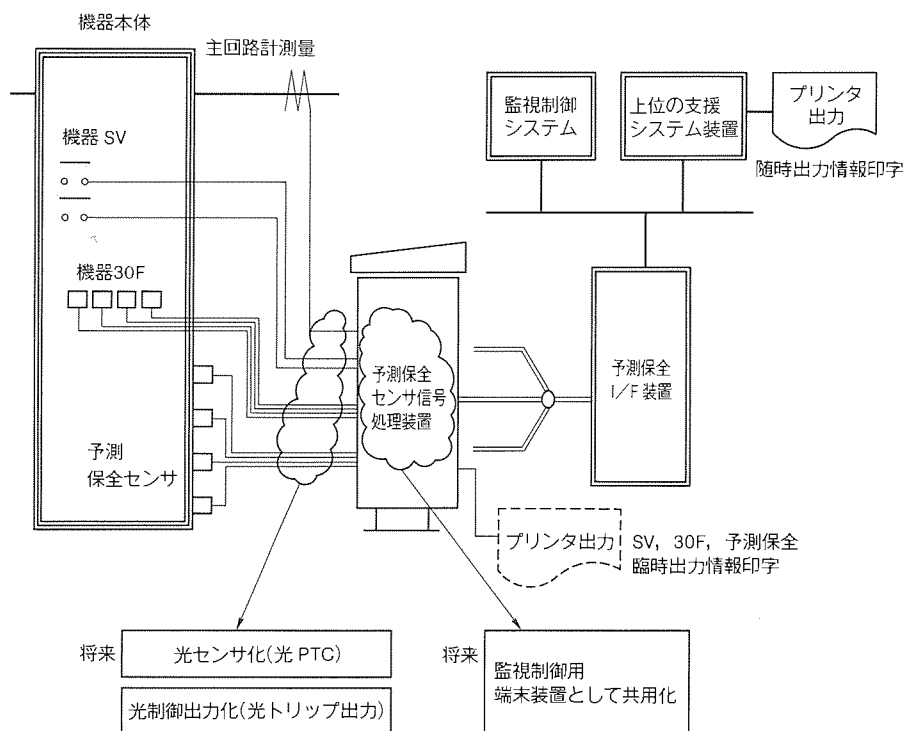


図6．予測保全情報の詳細化と将来の監視制御系との共用化

## 5. む す び

現在，新型変電所のシステムでは，総合デジタル監視制御装置と支援装置の導入が進められている。次世代変電所システムではこの流れを更に進めて“総合静止化”と“監視制御と支援情報の併用化”の両面を兼ね備えた形態が採られていくと考える。

この場合，監視制御の信頼性を損なわず，予測保全システムの最適信頼度の分散配備を推進することによって，上記の総合機能をもつシステムを経済的に建設することが可能と思われる。

現在推進中の技術をベースに，改善点・強化点を見いだすとともに，新技術対応の開発を促進し，より信頼性の高い次期変電所システムの構築に向け努力していく所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 大橋信富美，鈴木 守，前田隆文，吉田敬史，柳瀬秀史，安齊俊夫：光LANを用いた変電所全デジタル保護制御システム，三菱電機技報，62，No. 10，885～890（1988）
- (2) 熊野彰司，坪内元孝，合田忠弘，竹垣盛一，京本寿美恵：変電所運転支援エキスパートシステムの開発，人口知能学会研究会SIG-KBS 9003-9，81～90（1990）
- (3) 野口秀夫，上窪康博，上田 広：電力系統制御・保護シ

ステム，三菱電機技報，66，No. 7，706～711（1992）

- (4) 江川 武，加藤 徹，羽馬洋之，土江 瑛，平河宏之：中部電力(株)豊根開閉所納め高信頼度形550 kV GIS，三菱電機技報，66，No. 5，589～595（1992）
- (5) 伊吹恒二，岸田良二，奥野満晴，斉藤伸朗：ガス遮断器の技術動向，三菱電機技報，63，No. 10，793～797（1989）
- (6) 松田節之，高塚桂三，沼 芳伸，山本 宏，平河宏之：ガス絶縁開閉装置の技術動向，三菱電機技報，63，No. 10，798～803（1989）
- (7) 三浦良和，塩野克己，祖開克二：変圧器の技術動向，三菱電機技報，63，No. 10，804～808（1989）
- (8) 城後 譲，丸谷朋弘，大沼昭栄，高塚桂三，岩淵 修：300 kV 全三相一括型ガス絶縁開閉装置，三菱電機技報，61，No. 10，814～819（1987）
- (9) 担田昭司，細川育雄，佐久間秀一，福原好博，篠原秀雄：変電機器の監視・診断装置，三菱電機技報，63，No. 10，819～824（1989）
- (10) 浜中俊二，藤村 洋，担田昭司，杉尾敏子，塩野克己：変電設備保全支援システムの実変電所への適用，三菱電機技報，63，No. 6，491～495（1989）
- (11) 担田昭司，比舎 博，小島康昭，塩野克己：変電機器における予防保全—監視システム—，三菱電機技報，60，No. 6，394～401（1986）



# ニューラルネットワークによる GISの異常診断への適用

荻 宏美\*  
泉井良夫\*\*  
小林誠治\*\*\*

## 1. ま え が き

近年、技術や社会システムが電力にますます依存するようになり、電力システムの安定な制御やそれを構成する各機器の信頼性が非常に重要になりつつある。例えば、GIS (Gas Insulated Switchgear : ガス絶縁開閉装置) では、事故が発生してから対処を考えるのではなく、事故が起こりそうならばその前兆をとらえあらかじめ事故を予測して防止しようという予測保全の考え方<sup>(1)</sup>が、機器の信頼性を高め、また保守を容易にするために重要視されている。

予測保全を行うためには、精度が高く信頼性の良いセンサを機器の適切な所に設置して、そのセンサ出力をうまく生かすように情報処理する必要がある。しかし、従来よく用いられる方法は基本的にはレベル判定法であり、センサの出力があるいき値よりも大きいならば機器になんらかの異常が発生したと考え、センサ出力が小さいならば正常に動作していると考える。このような方法では、異常が発生していないのにセンサ出力に含まれる雑音のために正常を異常と判定する誤判定の防止が困難であり、また、どのような事故がどこにいついかなる原因で発生したかというような微細な判定は非常に難しい。

一方、生体の神経系を模倣したニューラルネットワークが注目を集め、従来の情報処理の手法を越えた何かができるのではないかと期待されている<sup>(2)(3)</sup>。ニューラルネットワークでは、対象に対する知識がなくても、学習データさえ十分にあればニューロン間の結合重みを学習アルゴリズムで変更することにより、対象とするモデルを自己組織化することができる。また、動作原理が本質的にアナログなので、未知のデータが入ってきたとしても、補間によってなんらかの適切な答が得られるなどの特長がある。

そこで、この論文では、GISの予測保全システムにおいて、特に異常原因の同定にニューラルネットワークを適用する基礎的な試みを行った。まず、ただ一つのニューラルネットワークを用いてセンサ出力のスペクトルを入力として異常原因を出力とする簡単な適用を行い、次にニューラルネットワークをモジュール化して、各モジュールが段階的に異常原因を同定する適用を行う<sup>(4)</sup>。

## 2. GISの予測保全

予測保全の基本的な考え方は、事故が起こり機器に重大な

損害が発生してから対処するよりも、事故の前兆をとらえあらかじめ適切な処置を施した方が、全体として経済的でまた信頼性も高いというものである。機器になんらかの原因で異常になったとすると、通常は、まず微小な兆候が現れ、次第にそれが大きくなり、最終的に短絡などの重大障害を引き起こす。すなわち、予測保全システムでは、つかまえることのできる前兆が小さければ小さいほどシステムとしての性能が良いということになる。この性能はさらに、センサ自体の性能とセンサ出力を処理する情報処理の性能の二つに分けて考えることができる。

異常の現象として部分放電を考えると、音、光、熱、ガスの分解、電磁波、突発電流など様々な兆候が発生するので、センサでこれらを検知すればよい。具体的には、機械的な振動を検知する加速度センサ、電圧の変化を検知する部分放電センサ、絶縁ガスの分解を検知するガスチェッカなどがある。

一方、センサ出力の情報処理に関しては、従来の手法は基本的にはレベル判定である。すなわち、センサ出力があらかじめ定めたいき値よりも大きければ異常であると判定し、いき値よりも小さければ正常と判定する。通常、異常のときはセンサ出力は大きいので、レベル判定によれば異常は非常に精度良く異常であると判定できる。しかし、センサ出力が大きいからといって必ずしも異常であるわけではなく、正常であるにもかかわらず雑音のためにセンサ出力が大きくなり、

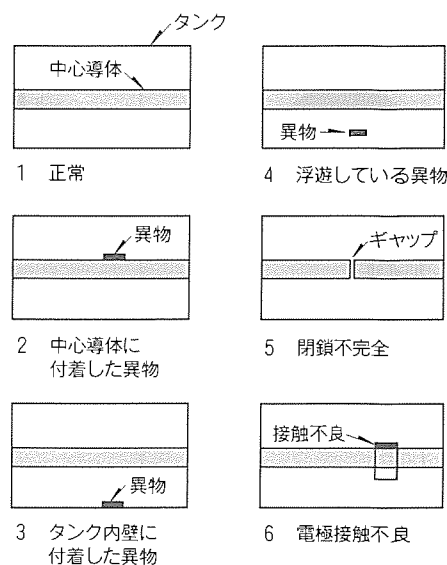


図1. 異常のモデル

結果として正常を異常と誤判定する場合がある。また、判定できるのは、異常か正常かだけであり、異常を更に詳細に知ることは難しく、より高度な処理アルゴリズムの開発が期待されている。

### 3. 試験データ

試験データは、図1に示すような正常を含む6個の異常のモデルを想定し、工場実験によって得た。異常としては、タンク内部に金属異物が存在する場合と接触不良を想定した。異物の存在は、GISの中心導体か又はタンク内壁に固定した場合とどこにも固定せずに浮遊している場合の3種類でモデル化した。接触不良は、中心導体が完全に閉じずわずかなギャップが存在する閉鎖不完全の場合と電極の接触不良を想定したモデルである。

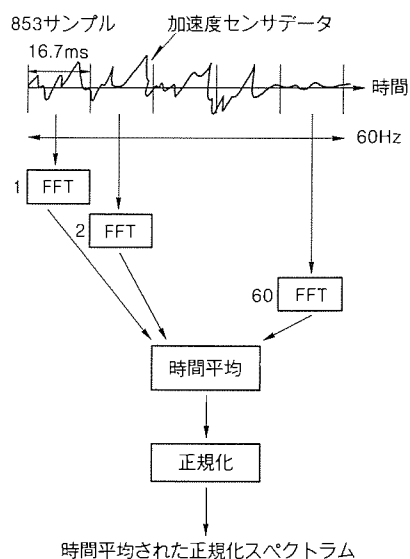


図2. 前処理

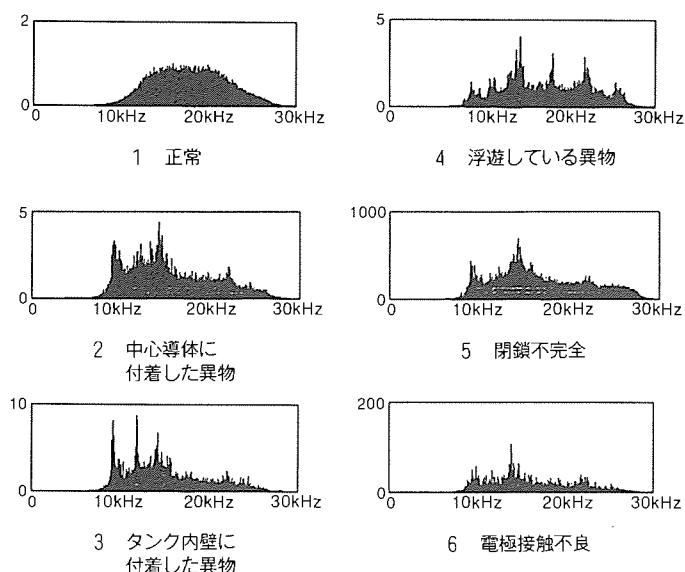


図3. スペクトラムの例

これらの異常原因はいずれも部分放電を引き起こし、それがGIS内部の絶縁ガスを振動させ、結果的にタンク自体を微妙ではあるが機械的に振動させる。ここでは、センサとして加速度センサを用いており、この機械的振動を加速度の変化として検知している。図2に示すようにセンサ信号は60 Hz電源で、1/60秒の1サイクルで853点サンプリングされる。この後、FFT (Fast Fourier Transform) によってスペクトルに変換され、不必要な雑音を低減するために更に1秒間平均される。図3に時間平均されたスペクトルを示す。ニューラルネットワークに入力する際には更にスペクトル強度の正規化を行うが、図に示しているのはこれを行う前の状態である。なお、図で縦軸のスケールが各々異なっていることに注意されたい。

### 4. 簡単な適用

簡単なニューラルネットワークの適用を図4に示す。用いているニューラルネットワークは3層のフィードフォワード型<sup>(5)</sup>で、入力層、中間層、出力層は各々、64、50、6ニューロンとなっている。加速度センサのスペクトラムは1,024次元なので密度変換によって入力層の64次元に変換している。また、ニューロンの入力大きさが通常0から1なので、スペクトラムの最大振幅を1に正規化している。出力層の各ニューロンは異常原因に対応している。

ニューロンの出力はアナログ値なので、ニューラルネットワークの性能を評価するために、出力値に対する解釈を図5のように定義する。図では出力ニューロンが6個あり、その中から1個の異常原因を同定する。正しい異常原因は最左端のニューロンに対応している。正しい出力ニューロンは1を

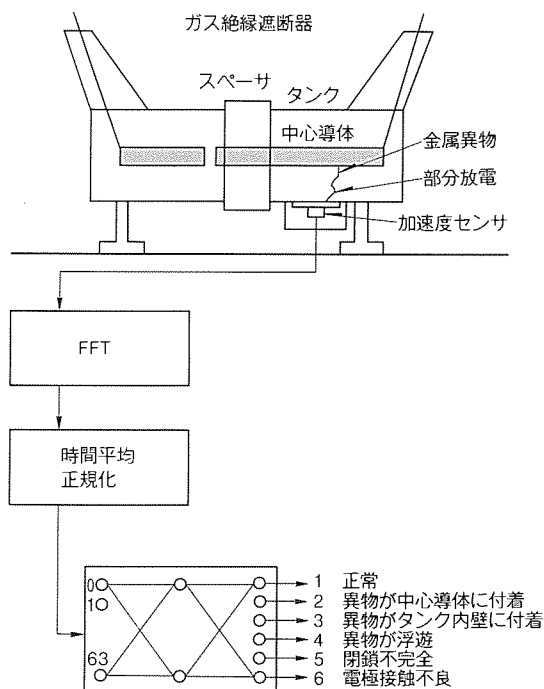


図4. 簡単なニューラルネットワークの適用

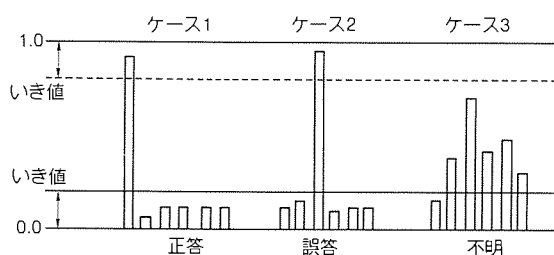


図5. いき値の定義

出力し、それ以外のニューロンは0を出力するのが理想的である。そこで、ここでは、いき値を設定し、1を出力すべきニューロンは1からいき値以内の値、0を出力すべきニューロンは0からいき値以内の値で、1を出力しているニューロンが一つで特にそのニューロンが正しい原因に対応しているときを正答ということにする。図では、ケース1が正答である。ケース2は1を出力しているニューロンは一つではあるが、正しい原因とは異なる原因の出力ニューロンなので誤答となる。それ以外は、正答でもなく誤答でもないので不明と定義する。

## 5. モジュール型ニューラルネットワーク

前節では、センサのスペクトルを入力として原因を出力とするような簡単なニューラルネットワークの適用について述べたが、保守員の思考過程や保守手順、ニューラルネットワークの学習時間などを考えると、木構造で原因を推定した方がより適切であると思われる。

保守員の思考過程は恐らくは階層的ではないかと推定される。センサの出力をみて、まず、正常か異常かの判断を行い、もし、異常ならば、どのような異常であるかを考えると思われる。また、保守手順に関しても、GISが正常でないと判断したならば、運転を停止して直ちに保守しなければならない。このときに重要なことは、故障原因を詳細に推定することではなくて異常を見落とさないことである。したがって、詳細な故障原因の追及はひとまずは保留してよい。ただし、運転停止後には、故障原因やその場所が特定できていると保守には大変有益である。このように、保守手順もまた階層的になっていると考えられる。

木構造分類は、ニューラルネットワークの学習時間の低減や精度の向上にも役立つ。階層的に分類するときは、各段階、

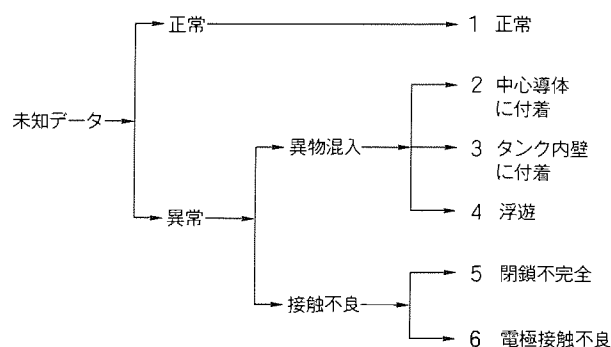


図6. 異常状態の木構造分類

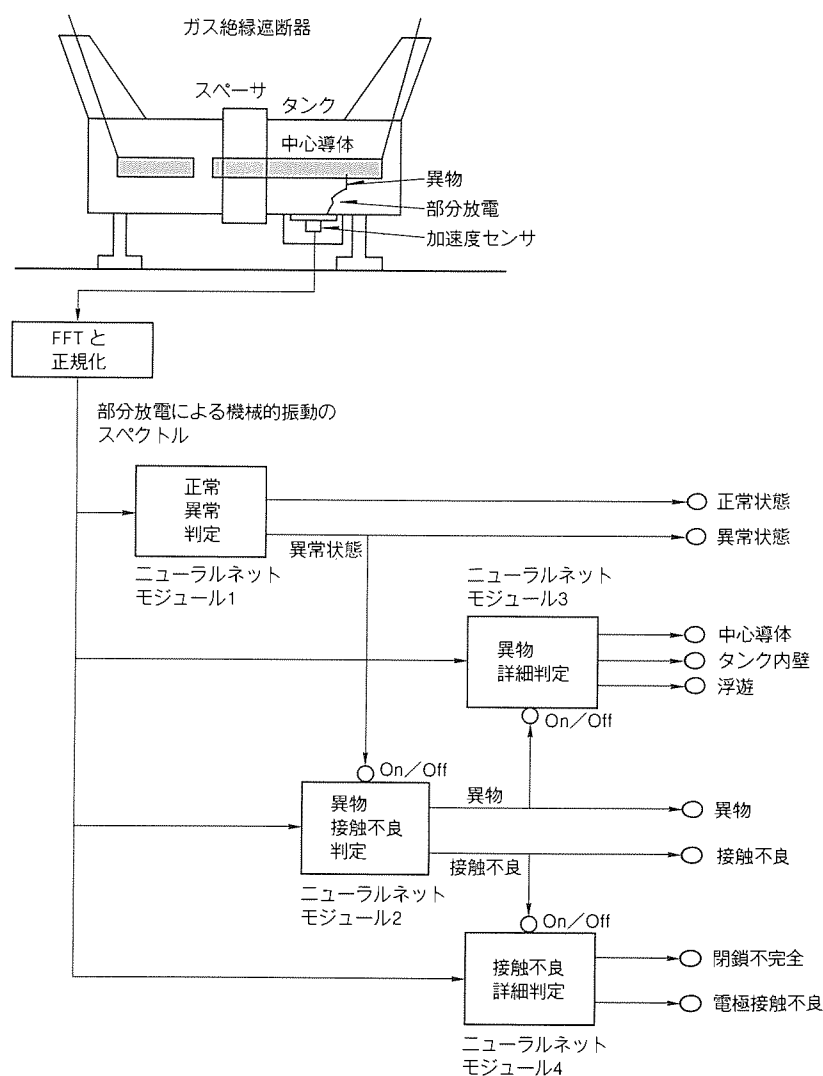


図7. モジュール型ニューラルネットワーク

すなわち木構造の各ノードで分類すべきカテゴリの数が、直接すべてを分類するときと比較して少なくなる。例えば、2進木の場合は各ノードで分類すべきカテゴリ数は2個である。通常、一度に多数に分類するよりも、2個に分類するほうがはるかに容易なので、その学習も容易で速度も速いであろうと推定される。図6にGISの異常原因を推定する木構造の一例を示す。センサ出力が入力され、まず正常か異常かを判

定し、異常と判定されたならば、その原因を異物の混入によるものか、又は接触不良によるものかを判定し、各々について更に詳細な判定を行う。

図7に木構造分類を行うモジュール型ニューラルネットワークを示す。センサ出力のスペクトルは、まずモジュール1に入力され、そこで正常か異常かを判定する。モジュール1の構造を図8に示す。正常に対応するニューロンの出力がいき値よりも大きければ、GISは正常と判定される。逆に、異常に対応するニューロンの出力がいき値よりも大きければ、GISは異常であると判定され、詳細を知るためにモジュール2が起動される。

モジュール2は構造的にはモジュール1と同じで、入力層にはやはりセンサ出力のスペクトルが入力され、異常原因が異物混入か、接触不良かを判定する。もし、異物混入に対応するニューロンの出力が大きければモジュール3が起動され、接触不良に対応するニューロンの出力が大きければモジュール4が起動され、より詳細に異常原因を同定する。例として、モジュール2がその子供のモジュールをどのように起動するかを図9に示す。なお、木構造で異常原因を分類した場合には、最終結果のみならず、各ノードでの判定結果をすべて用いることができる。

## 6. シミュレーション実験による評価

いき値が0.1の場合のシミュレーション結果を図10～図12に示す。学習データの個数は可変であり、3節に示した方法で得た約100個の試験データから乱数でランダムに選択した。各図における正答率などの数値は、学習データによって学習させたニューラルネットワークを、試験データのうち学習データに使用しなかったデータ、すなわち、未学習データによって評価した結果である。簡単な適用では1回の試行、モジュール型ニューラルネットワークでは3回の試行による平均値を表している。

図10によると、簡単な適用とモジュール型ニューラルネットワークの双方について、学習データが増すほど正答率が向上することが分かる。おおよそ全体の80%以上の学習データを用いると80ないし90%の正答率が得られる。いき値が小さいので、誤答はほとんどなく大部分が不明となる。モジュール型は簡単な適用に比較して、学習データが少なくても正答率が低下しにくいことが分かる。これは、モジュール化により、木構造の各ノードで分類すべきカテゴリ数が減ったので分類が容易になったためである。なお、選択率90%の所で簡単な適用の方が正答率が良いが、これは試行回数が少ないための誤差であると思われる。いき値を大きくすると評価基準が甘くなるので正答率は向上するが、逆に誤答率が増える。

図11はモジュール3の学習時間を示している。用いた学習アルゴリズムはモーメント付きの誤差逆伝搬法で、学習レ

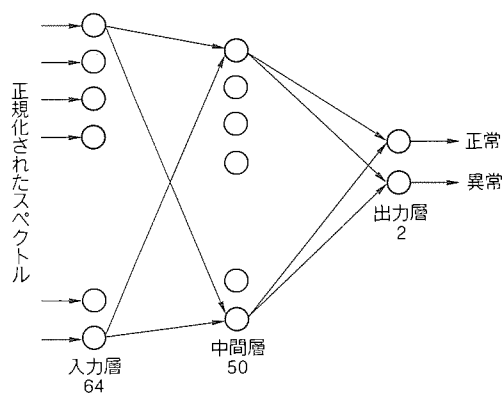


図8. モジュール1の構造

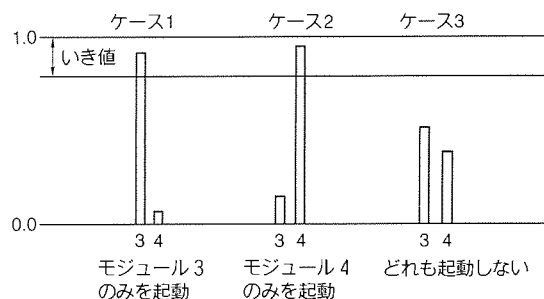


図9. 各モジュールの起動

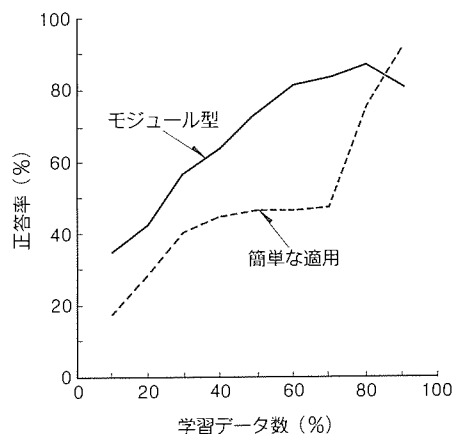


図10. 正答率

ート等のパラメータは学習データ数に応じて動的に調整されている。選択率90%のとき、簡単な方は約10時間、モジュール型の方はモジュール1から順に約10分、1時間、2時間、15分である。モジュール型の学習は各モジュールについて並列に実行できるので、全体としては学習時間の最も長いモジュール3で規定される。ただし、例えばモジュール4については接触不良に関連する学習データだけで学習が可能であるなど、各モジュールについて必要な学習データだけあればよい。

図11に示すように、モジュール型は簡単な場合に比較して約5倍学習が高速である。学習時間が長いというのは、そのモジュールに対応する分類が難しいということであり、異

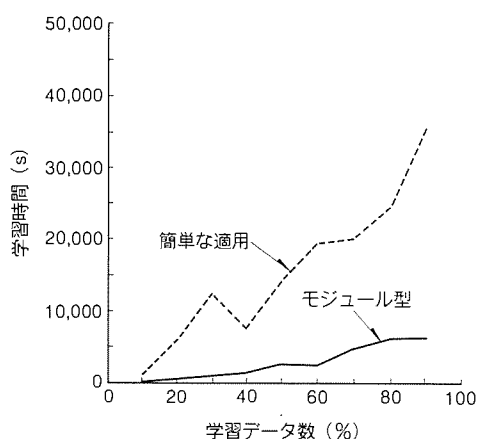


図11. 学習時間

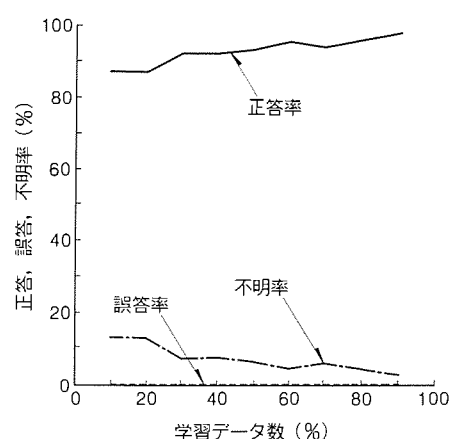


図12. モジュール1の正答率

物混入時の異物位置の同定がかなり難しいということを示している。なお、この速度差はモジュール構造に起因するものなので、任意の高速学習アルゴリズムを各ニューラルネットワークに適用した場合でも、モジュール型の相対的な優位性は変わらない。

図12に各モジュールの性能を示す一例として、正常か異常かを判定するモジュール1の正答率を示す。この分類は比較的容易だったので学習データがかなり少なくても高い正答率を示している。誤答率はこの場合ほとんどゼロである。なお、正答率の良さという観点からは、モジュール1, 4, 2, 3の順でデータ1個当たりの学習時間の短い順になっている。

## 7. む す び

この論文では、GISの予測保全システムにおける異常診断へニューラルネットワークの適用を試み、センサ出力を入れると異常原因を直接出力する簡単な適用に加え、異常原因を木構造に推定するモジュール型ニューラルネットワークを検討した。シミュレーション実験により、特にモジュール型ニューラルネットワークでは、①学習データが少なくても精度があまり落ちないこと、②各モジュールが個別に学習でき、またいきなり詳細な分類を行わず段階的に分類するので、学習時間が大幅に短縮できることを示した。

これらの基礎的な検討結果は、GISの予測保全へのニューラルネットワーク適用の有用性を示していると思われる。ただし、実際の運用に際しては、GISのタンク構成の違い、設置場所に特有の環境雑音、想定外の異常原因等を考慮する必要がある、これらは今後の検討課題と考えている。

## 参 考 文 献

- (1) 電気学会：遮断器の信頼性および診断技術，電気学会技術報告（Ⅱ部）第290号
- (2) DARPA：DARPA Neural Network Study, AFCEA International Press, Fairfax, Virginia (1988)
- (3) 泉井良夫，田岡久雄：ニューロおよびファジー技術の応用，電力システムへの応用，電気学会誌，111，No. 1，17～19 (1991)
- (4) 荻 宏美，田中秀雄，穂本能彬，泉井良夫，田岡久雄，坂口敏明：モジュール型ニューラルネットワークによるGISの故障診断への適用，平成3年度電気学会電力・エネルギー部門大会，57 (1991)
- (5) Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., Williams, R. J.: Learning Representations by Back-Propagating Errors, Nature, 323, No. 9, 533～536 (1986)

# 日新製鋼(株)呉製鉄所向け熱間圧延プラント制御システム

橋原 寛\* 森 敏明\*\* 吉田二三男\*\* 岡部淳一郎\*\* 當間健次\*\*

## 1. ま え が き

鉄鋼業の圧延プラントは、最終製品に近接しているため、ユーザーの厳しい要求にこたえるべく、日々に制御システム等の改善が行われている。しかしながら、このような改善作業の量的な積み重ねによっても、システムの陳腐化に対抗することが困難になったときには、ニーズに対応するための設備の不連続的な更新による新鋭化が必要となる。近年における国内外でのこの種の新鋭化工事の高まりは、更に厳しくなりつつあるユーザーニーズに対応し、プラントとしての機能の質的向上を図るための構造的な動きであるといえよう。

本稿で紹介する日新製鋼(株)呉製鉄所の熱間圧延プラントは、昭和57年に稼働を開始したが、このような背景のもとに、生産性の向上、製品品質の向上及び薄板厚への対応等を目的として、このたびプラント全体にわたる新鋭化工事を完遂した。

熱間圧延プラントは製鉄所の生産設備の中核であるため、新鋭化工事に必然的に随伴するライン停止は、上流・下流プラントに大きい影響を与える。今回は設備の生産量を維持しつつ新鋭化工事を実施するため、1か月以上の長期間のライン停止が不可能であり、短期間の停止を複数回設けて順次改造する手法をとった。さらに、熱間圧延プラントは大規模かつ高度な圧延設備と制御システムで構成されているため、このような改造を行う場合、各段階における中間的なシステム

の認識と構築とを行い、機能的な整合性を確保しつつ移行することが必ず(須)の条件である。このため、全体の休止期間を最短とし、かつそれぞれの休止期間後の立ち上げを円滑にすることを目的として、操業しながら新システムを調整できることを特長とする並行調整システムを構築した。

以下に、新鋭化の概要、特徴及び制御システムの並行調整の方法について述べる。

## 2. 概 要

### 2.1 新鋭化の概要

新鋭化の主要項目は以下のとおりである。

- (1) 加熱炉の増設：1基
- (2) 仕上圧延機F7ミルスタンドの増設
- (3) プロセスコンピュータシステムの全面更新(総括制御、品質制御)
  - (a) プロセスコンピュータの更新：7台“M 350-60/600”
  - (b) コンピュータ用データウェイの更新：“MDWS-60F”
  - (c) コンピュータ・リモート入出力用データウェイの新設“MDWS-600S2”
  - (d) コンピュータ用PIOの更新：約6,000点
- (4) プラントコントローラシステムの全面更新(圧延プロセスの直接デジタル制御)

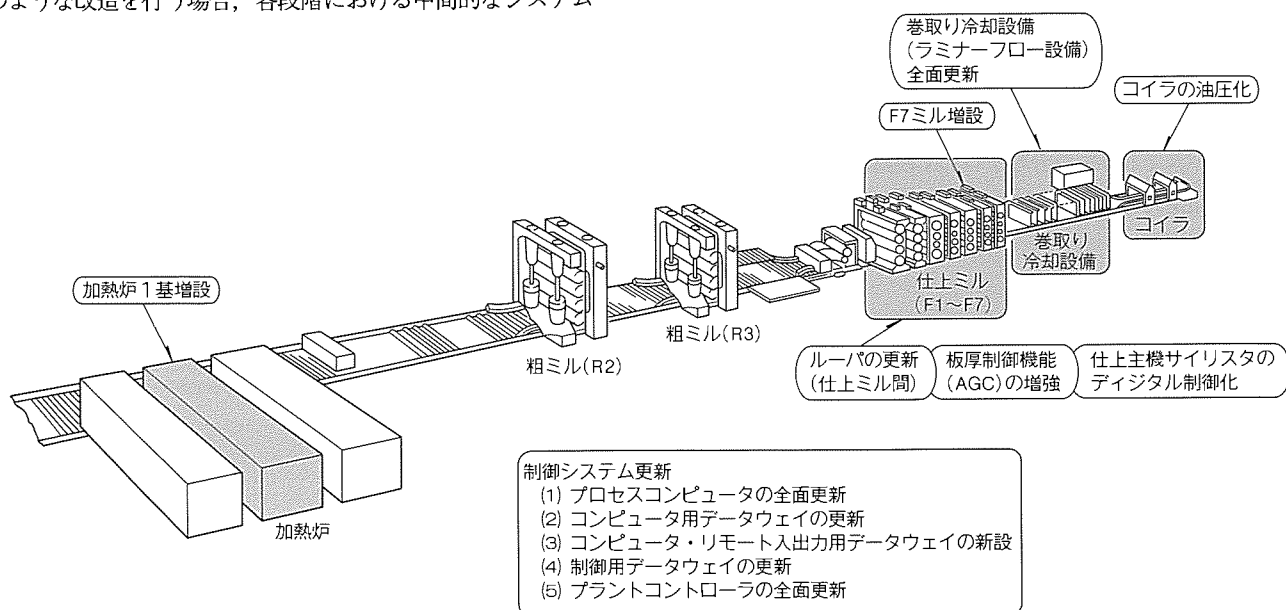


図1. 新鋭化の概要

- (a) プラントコントローラの更新  
：30台“MELPLAC システム”
- (b) 制御用データウェイの更新：“MDWS-600S2”
- (c) プラントコントローラ用PIOの新設・更新  
：約3,000点(約27,000点は既設流用)
- (5) ルーバ駆動／制御システムの更新(低慣性モータ，多変数制御ルーバ)
- (6) 巻取り冷却設備(ラミナーフロー設備)と制御モデルの全面更新
- (7) コイラユニットロールの油圧駆動，制御化
- (8) 仕上主機サイリスタのデジタル制御化
- (9) 板厚制御(Automatic Gage Control)に新機能採用

図1に新鋭化の概要を示す。

## 2.2 制御システム更新の特徴

新鋭化の特徴を以下に紹介する。

### (1) システム更新の手法

熱間圧延プラント規模のプラントコントローラとプロセスコンピュータとを同時に全面的に切り替えるには，一般に1か月以上のライン休止を必要とするが，今回は前者を先に6日間のライン休止を利用して切り替え，半年後に後者を11.5日間のライン休止を利用して切り替えた。ただし，新設加熱炉は早期稼働が必要であったため，加熱炉関係のプラントコントローラ4台とプロセスコンピュータ2台は4.5日間のライン休止を利用して同時に立ち上げた。

### (2) プラントコントローラ

プラントコントローラの切替えに際し，短期間のライン休止で円滑に切り替えることを目的として，新設プラントコントローラの並行調整を実施した。すなわち，既設コントローラは既設のコンピュータ及び既設のデータウェイに接続された状態でプロセスの実制御を行い，これと並行して新設コン

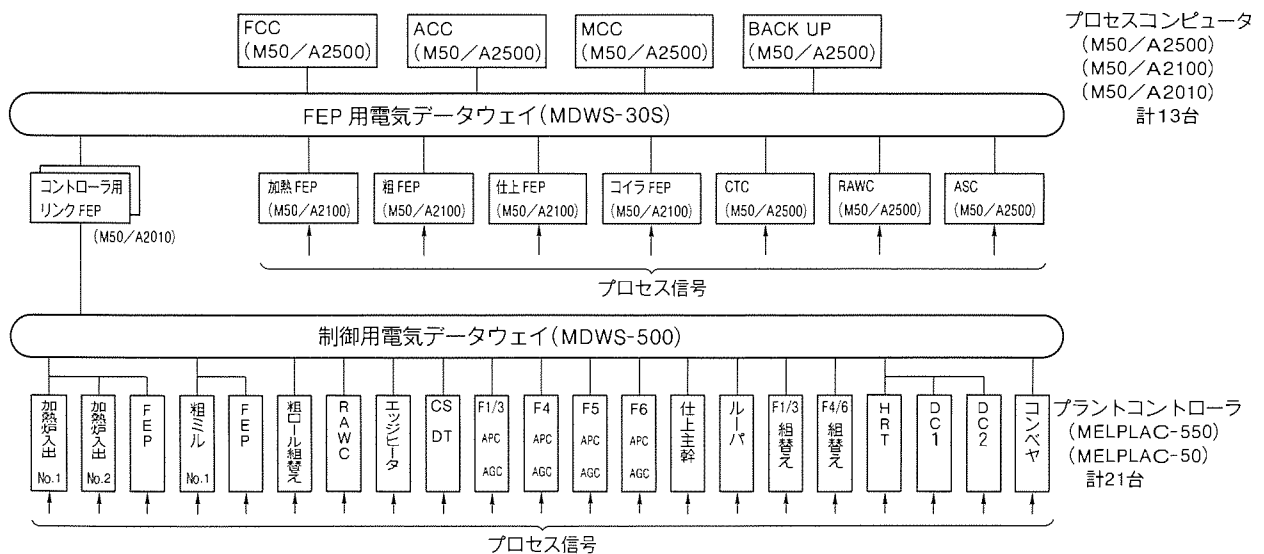
トローラを，新設データウェイに接続した状態でオンラインモニタ調整をするという方法をとった。オンラインモニタ調整とは，操業中のプロセス信号を入力してソフトウェア(S/W)をモニタし，調整するものでオフライン調整よりも優れたタイミング調整ができる。既設コンピュータからの指令は，既設データウェイと新設データウェイをゲートウェイで接続して，新設データウェイ経由新設コントローラにも与えることとした。既設コントローラに入力される信号は，新設コントローラにも入力されるよう，新設・既設コントローラ間を伝送路で結合した。このような並行調整システムを事前に構築し，約半年間のオンラインモニタ調整後，プラントコントローラを更新した。

S/Wは既設コントローラと同一のPOL(Problem Oriented Language)言語を使用し，既設S/Wを流用して完成度を高め，PIOは既設約27,000点を流用して工事工数を軽減し，ライン休止の最短化を図った。

### (3) プロセスコンピュータ

プロセスコンピュータの切替えに際しても，同様に並行調整が可能なシステム構成とした。既設コンピュータの入力を新設コンピュータにも入力されるよう(リモート入出力用データウェイ経由)，入力信号を増幅して接続した。また，既設コントローラとインタフェースしている信号(既設制御用データウェイ経由)は，新設コントローラともインタフェースを行うよう(新設制御用データウェイ経由)システムを構成し，約半年間の並行調整後，プロセスコンピュータを短期間のライン休止で円滑に更新した。

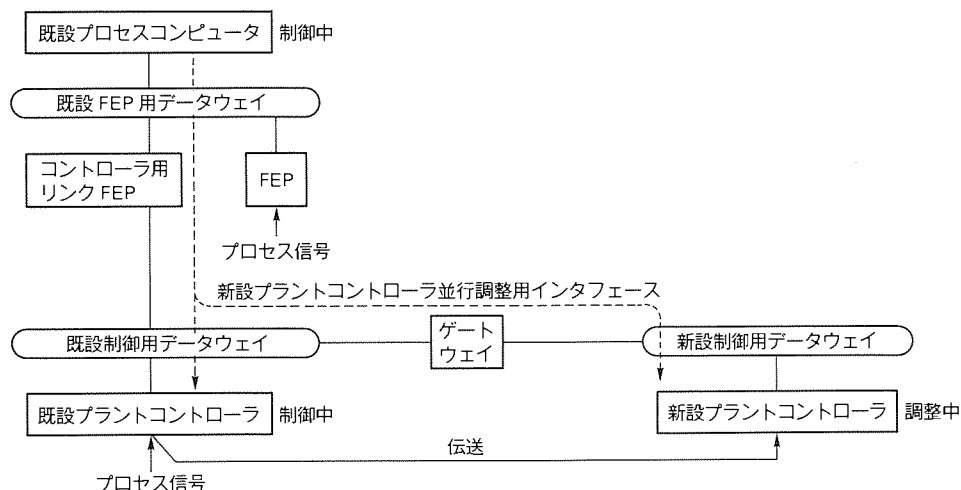
図2(a)～(d)は制御システムの切替えであり，(a)は既設制御システム，(b)は新設プラントコントローラ並行調整システム，(c)は新設プロセスコンピュータ並行調整システム，(d)は新鋭化完成後システムの構成を示し，(a)～(d)の順序で



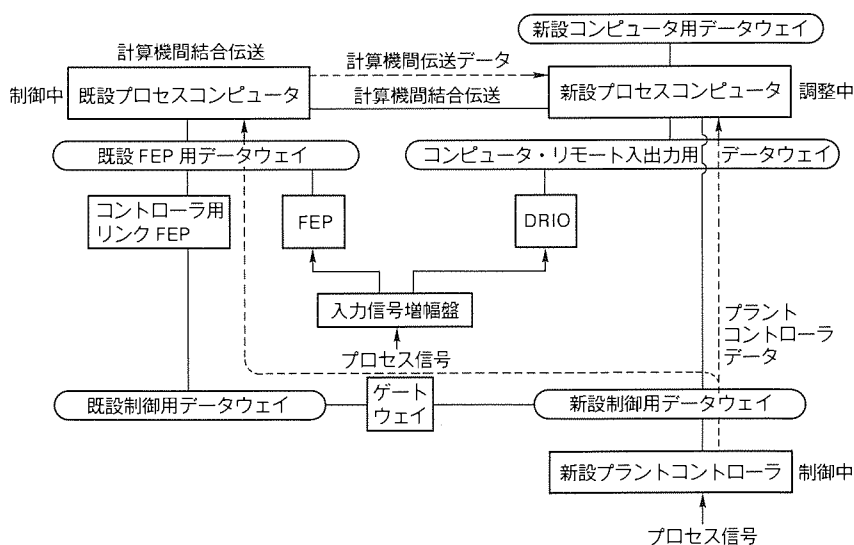
(a) 既設制御システム

図2. 制御システムの切替え

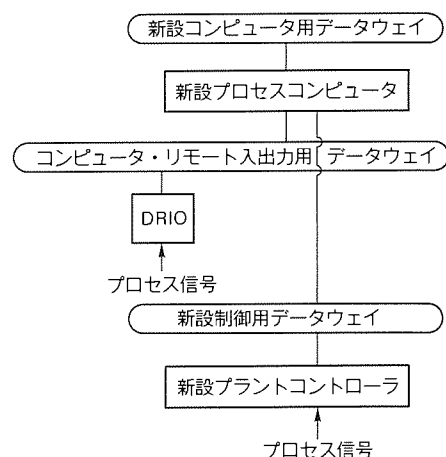




(b) 新設プラントコントローラ並行調整システム



(c) 新設プロセスコンピュータ並行調整システム



(d) 新鋭化完成後システム

図 2. 制御システムの切替え

更新した。図 3 は新鋭化工事完成後の詳細な制御システム構成を示す。表 1 に新鋭化工事全体工程を示す。

### 3. プラントコントローラ更新

プラントコントローラの切替えと、新機能を短期間のライン休止で円滑に立ち上げるために、次の調整支援システムを構築した。

#### 3.1 オフライン調整

オフライン調整は S/W 設計後、オフラインでテスト用プラントコントローラにその S/W を実行させて出力が機能仕様書 (運転方案) と一致するようにチェック・調整する。この支援ツールとして、プラントコントローラに接続し、プロセスのパルス、アナログ、ビット信号の模擬入力が容易にできるイメージ I/O 装置を設けた。

#### 3.2 オンラインモニタ調整 (並行調整)

オフライン調整後、微妙な制御信号のタイミングをチェッ

クするため、実稼働中の信号を使用したオンラインモニタ調整を行った。既設コントローラでプラントを制御しながら新設コントローラにも操作中の実プロセス信号 (プロセスコンピュータからの信号も含む。) を入力し、新設プラントコントローラの S/W を調整する。既設コントローラと新設コントローラの出力を比較することで、新設コントローラ S/W の既設相当の機能をチェックすることができた。

図 4 (a) にプラントコントローラ並行調整システムを示す。既設プラントコントローラの I/O カードをリモート I/O 化し、既設・新設コントローラ間を伝送で結合する。既設コントローラでプラントを制御中に既設コントローラから新設コントローラへプロセス信号を入力するが、新設コントローラの制御出力はプラントへ影響しないシステムとした。既設プロセスコンピュータから既設プラントコントローラへの設定信号は、データウェイ経由新設コントローラにもインタフェースした。調整支援プラントコントローラを設け、既設・

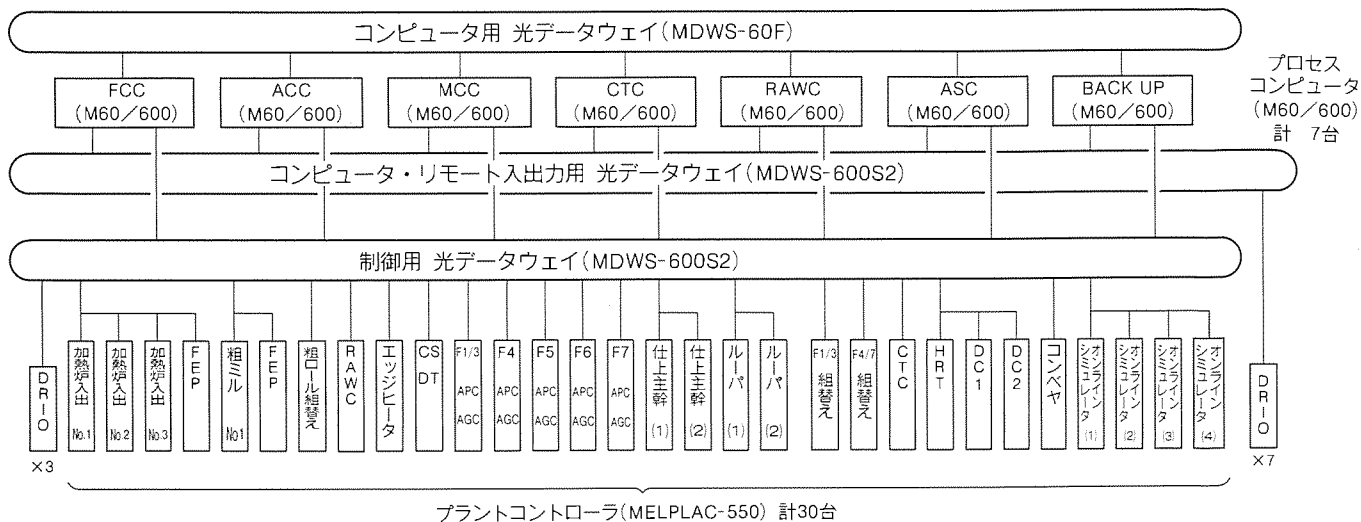
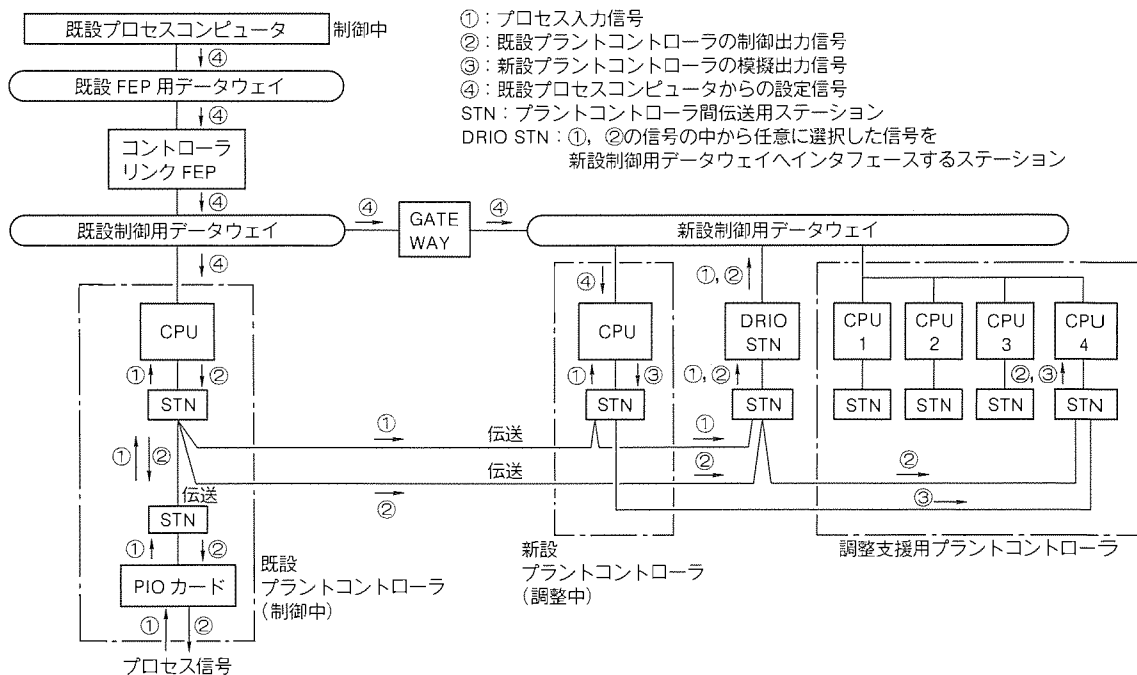


図 3 . 日新製鋼(株)呉製鉄所の制御システム構成 (新鋭化工事完成後)

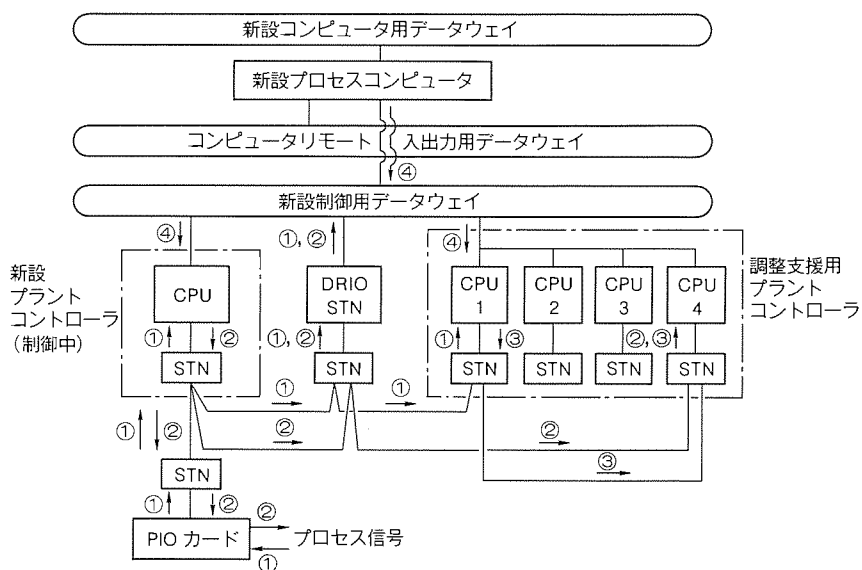
表 1 . 日新製鋼(株)呉製鉄所の新鋭化工事全体工程

工事内容	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	月
ライン休止期間												4日				4.5日							6日						11.5日						12日	
加熱炉 1 基増設		スタート									改造工事					加熱炉完成																				
F 7 ミル増設				スタート																								F 7 ハウジング							F 7 完成	
プラントコントローラ更新				スタート										出荷							並行運転テスト														F 7 完成	
プロセスコンピュータ更新		スタート													出荷						試験							並行運転テスト							F 7 完成	



(a) 新鋭化中

図 4 . プラントコントローラ並行調整システム



(b) 新鋭化後

図4. プラントコントローラ並行調整システム

新設コントローラの出力信号を伝送でインタフェースして、両者の出力を自動比較することができる。調整支援用プラントコントローラは、新鋭化後コントローラの3CPU マルチシステムの並行調整に対応でき、これに比較用1CPU を加え、4CPU マルチシステムとした。比較する出力をCRT で指定でき、比較して異なった出力信号をCRT へ表示する。また、調整支援プラントコントローラは、両者の出力を記憶して、CRT へのトレンド表示やチャート用アナログ出力ができる。今回この調整支援プラントコントローラを使用して、既設ビット出力(約13,000点)の自動比較を行い、効率的な調整ができた。

### 3.3 システム更新後のオンラインモニタ調整 (並行調整)

図4(b)に新鋭化後のプラントコントローラ並行調整システムを示す。新設プラントコントローラのS/Wを開発・改造するとき、調整支援用プラントコントローラを使用して並行調整ができる。新設プラントコントローラのプロセス入力信号を伝送で調整支援コントローラ(CPU1~3)へ入力する。また、プロセスコンピュータからプラントコントローラへの設定信号も調整支援コントローラ(CPU1~3)へ並行入力する。調整支援コントローラ(CPU1~3)に新設プラントコントローラ用に改造するS/Wを入れ、旧S/Wでプラントを制御している新設コントローラの制御出力と調整支援コントローラ(CPU1~3の内1CPU)の模擬出力を比較し、改造S/Wの既設機能のチェックを行う。両者の出力信号を伝送で調整支援コントローラ(CPU4)へインタフェースして自動比較することができる。

### 3.4 コールドラン調整(総合シミュレーション)

設備改造後やライン休止後、実圧延を行う前に機械設備及び制御システム全体のシミュレーションを行い、機械/電気

の動作を調整・確認する。コールドランシミュレータは、実スラブの動きを模擬するもので、HMD(Hot Metal Detector)信号やメタルイン信号などの圧延材のトラッキング信号を模擬的に自動発生することにより、あたかも圧延材がライン上を進行して行く状況を造り出す。プロセスコンピュータ及びプラントコントローラなどの制御システムはシミュレータが発生する模擬トラッキング信号に基づき、実圧延と同様な制御を実行し、設備を実動作させるため、実圧延に近い状態の確認が可能である。

## 4. プロセスコンピュータ更新

プロセスコンピュータの更新については、既設機能を確実に移植し、新機能を短期間のライン休止で円滑に立ち上げるために次のシステムを構築した。

### 4.1 既設と新設コンピュータの並行調整システム

既設コンピュータの入力信号及び受信データを新設コンピュータにも並行入力し、新設コンピュータの出力をテスト用ラインプリンタやCRTへ出力し、既設と比較できるシステムを構成した(図2(c))。センサ信号などのプロセス信号は入力信号増幅盤で既設と新設コンピュータへ(コンピュータリモート入出力用データウェイ経由)並行入力する。計算機間伝送データは比較的負荷の低い既設コンピュータ経由で新設コンピュータへ入力する。プラントコントローラからは新設制御用データウェイ経由入力する。既設コンピュータで実作業しながら、新設コンピュータの出力が実作業に則したタイミング、内容となるように両者が出力したラインプリンタやCRT情報を調整員が比較チェック・調整して確実にシステムを更新した。また、調整中の新設コンピュータの出力信号がプラント側へ影響しないシステムとした(S/W, H/W両面から出力防止)。

### 4.2 S/W機能移植

S/Wについては次の手順・仕様で更新した。

#### (1) モデル新/旧機能の分離立ち上げ

コンピュータシステムの機能には、ノンコントロール機能(トラッキング機能など)とモデル機能(プラントコントローラへの設定機能など)がある。モデル機能の精度(目標値に対する設定誤差)の確保及び向上は、製品の品質(寸法、材質)に大きく影響する。また、モデル機能はトラッキング情

表 2 . プロセスコンピュータ並行調整時の信号の取扱い(新鋭化後)

	オンラインシステム	オンラインテストシステム
プロセスデータ入力	実入力	オンラインシステム用の実信号と同じ信号を取り込む
プロセスデータ出力	実出力	LP 又はトレースファイルへ出力
CRT 入出力	オンラインシステム接続 CRT との入出力	テストシステム接続 CRT との入出力
帳票出力	オンラインシステム接続 OTW へ出力	テストシステム接続 OTW との入出力
上位計算機回線データ	オンラインシステム接続通信回線で実入出力	入力：オンラインシステムのデータを実入力 出力：LP へ出力

表 3 . F7 ミルモータ仕様

出力	6,000kW
回転速度	300/1,050 r/min
過負荷	200% O.L. 1min

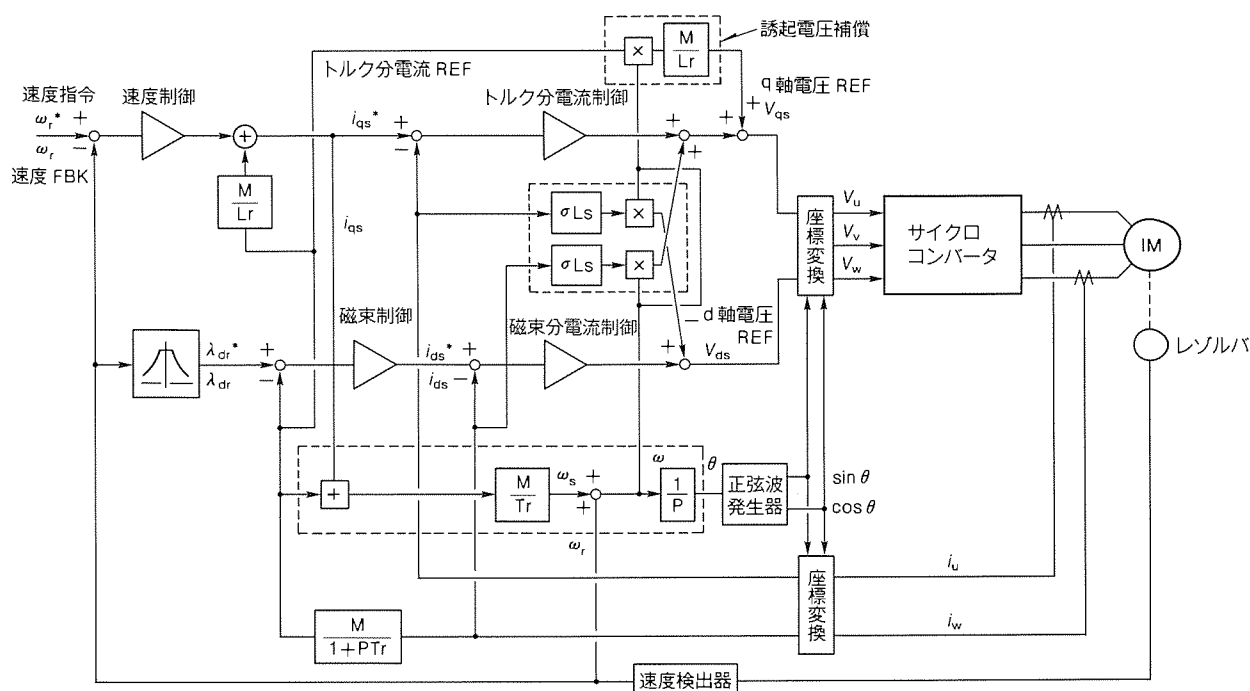


図 5 . サイクロコンバータの制御ブロック図(IM)

報に基づき演算されるなどノンコントロール機能に大きく依存する。ノンコントロール機能とモデル新機能を同時期に立ち上げるには長期のライン休止を要するため、約半年間の並行調整でノンコントロール機能とモデル旧機能を立ち上げた後に、モデル新機能を立ち上げた。

## (2) アプリケーション S/W・インタフェースの互換性

標準セミベシック S/W は、新/旧コンピュータで異なるが、既設アプリケーション S/W を変えずに新規標準セミベシック S/W とインタフェースできるように、インタフェース変換用セミ S/W を設けた。これによって、既設のアプリケーション S/W の大部分を流用し、短期間で確実な移植ができた。

## 4.3 新鋭化後の並行調整システム

新設コンピュータシステムは図 3 のように各機能をコンピュータ単位で分散し、コンピュータ間をデータウェイで結合した分散型システムである。このシステムはオンラインテ

ストシステムの導入により、操業中に改造・増設 S/W の並行調整が容易にできる。オンラインテストシステムはテスト用コンピュータにオンラインコンピュータのディスクメモリの内容をコピーし、オンラインコンピュータで操業しながらプロセス信号をテストコンピュータに並行入力し、テストコンピュータの出力信号を監視して S/W の動作確認を行うものである。表 2 にプロセスコンピュータ並行調整時の信号の取扱い(新鋭化後)を示す。F 7 ミル増設に伴う仕上モデル新機能の改造は、このシステムを使用して完成した。

## 5. 仕上ミルへのサイクロコンバータの適用

この新鋭化工事で、仕上げ F 7 ミルを増設し、既設仕上げ F 1 ~ F 6 ミルのサイリスタ装置をデジタル制御化した。今回増設した F 7 ミルは最終スタンドであり、また小径ワークロール対応であるためモータ最高回転速度が 1,050 r/min と高いことが特徴である。

表4. ドライブ比較表

	AC ドライブ	DC ドライブ
モータの構成 (Top 1,050 r/min)	単機 (IM) モータ設置スペース小	モータ分割 モータ設置スペース大
変換器	循環電流方式サイクロコンバータ×1	デジタルサイリスタレオナード×1 界磁盤×4
速度制御応答 (rad/s)	60	10~30
トルクリップル (%)	≒ 0	≒ 0
電源力率	0.5 (IM)	0.72
電源高調波	大	小
保守性	メンテナンスフリー	ブラシ交換等必要

F7ミルモータの仕様を表3に示す。このミルモータをACドライブ又はDCドライブで構築した場合の比較と各ドライブの特徴を表4に示す。

F7ミル駆動システムとして、DCドライブに比べてベクトル制御を用い速度制御応答が高く、モータ構造が簡単でモータ保守性が良く、モータ設置スペースが小さいACドライブ(IM駆動循環電流方式サイクロコンバータシステム)を採用した。ACドライブのサイクロコンバータブロック図を図5に示す。

このF7ミルモータは大容量、高回転速度であり、DCドライブシステムでは単機製作限界を越えるためにモータを分割する必要がある。既設の、モータ設置スペースに制約があるこのプラントでは、DCドライブシステムの適用は困難であった。

また、モータ最高回転速度が高いため、その回転周波数(17.5Hz)が機械系固有振動数付近に達し、軸共振を生じるおそれがある。機械系固有振動数を引き上げモータ回転周波

数との差を大きくするために、ACモータの回転子径を小さくしGD<sup>2</sup>を下げ、モータ軸を太くし、また材質も剛性の高いものとした。その結果、問題となる軸共振も発生せず順調に稼働している。

## 6. む す び

日新製鋼(株)呉製鉄所熱間圧延プラントにおける、大規模な新鋭化工事を紹介した。今後も、製品の高品質化、多品種化、及び省力化を目的とする様々な新鋭化が求められる。

三菱電機(株)は、従来の豊富な経験と技術力をもとに、新システムの開発にも傾注し、多様な新鋭化にこたえていく所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 大塚貞正, 吉田二三男, 三浦敬一, 渡辺文夫: 熱間圧延プラント用電機品, 三菱電機技報, 64, No. 12, 978~984 (1990)

# “MELCOM80”販売のための情報サービスシステム 総合販売情報支援システム DS-LAND

内藤貴雄\* 金谷勇二\*\* 湊川喜雄\*

## 1. ま え が き

オフィスコンピュータビジネスでは、業界全体として間接販売に依存する割合が高い。したがって、メーカーとしては、いかに良い製品を作るかといったテーマに加え、いかに製品情報を迅速かつ正確に販売会社に伝達できるかが、間接販売を支援する上での重要なテーマの一つとなっている。

これを実現するために、当社は、全国の販売会社をネットワークで結んだ総合販売情報支援システムDS-LANDを構築した。

本稿では、DS-LANDシステムの概要、必要情報を絞り込むための検索機能、必要情報を配布するための配信方式、特定の一方又はグループの相手先にだけ情報を伝達できる機密保護方式等について述べる。

## 2. 概 要

### 2.1 システム概要

総合販売情報支援システムDS-LANDは、当社が提供する製品及び技術情報のオンラインデータベースサービスを行うために開発された。

データベースマシンとして全国の販売会社と当社の主要拠点に“MELCOM80”（以下“M80”という。）を設置し、M80の支援サービス網であるDS-NET（Dynamic Support Network system）による総合ネットワークを構築している。図1にDS-LANDのシステム概要を示す。

DS-LANDによって次の機能を提供する。

#### (1) 製品情報、技術情報のオンライン化

日々発生する製品情報及び技術情報は、センターで登録され全国に分散しているデータベースをオンラインで自動更新する。

#### (2) データベースの分散化

販売会社及びサテライトセンターには、最新1年分の情報が常時データベース化されており、必要に応じていつでも検索及び取出しが行える。また、センターでは5年分の情報がデータベース化されているので、発

生後1年を超える情報についてもオンラインで検索及び取出しが行える。

### 2.2 ネットワーク構成

図2にDS-LANDのネットワーク構成を示す。

### 2.3 ハードウェア構成

DS-LANDホスト（販売会社側のシステム）に必要な最小機器構成を表1に、そのシステム構成を図3に示す。

### 2.4 ソフトウェア構成

DS-LAND（販売会社側のシステム）に必要なソフトウェア構成を表2に示す。

### 2.5 サービス情報

サービス情報のメニューは、1992年4月現在、表3のようになっているが、今後、新しいサービス情報メニューを増やしていく予定である。

### 2.6 データの流れ及び各拠点の機能

データのセンターへの登録から、サテライトセンター、販売会社への流れを図4に示す。また、各拠点での機能を表4に示す。

### 2.7 機 密 保 護

DS-LANDでは、サービス情報の配信又は検索時に以下の機密保護機能を実現している。

- (1) DS-LAND加入者及びDS-NETで設定したパスワードが一致した場合のみ配信、検索ができる。
- (2) 登録情報を一般情報と特定情報に分類し、機密保護を行う。登録情報の機密コードが“1”の場合は特定情報で当社

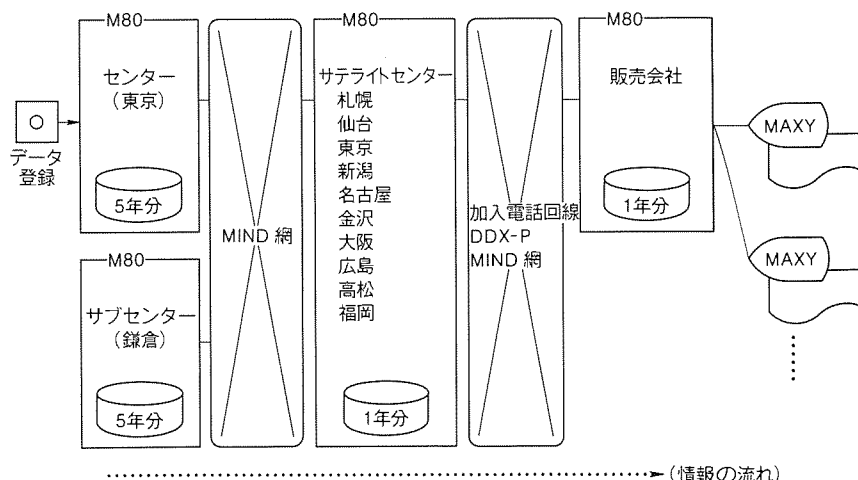


図1 DS-LANDのシステム概要

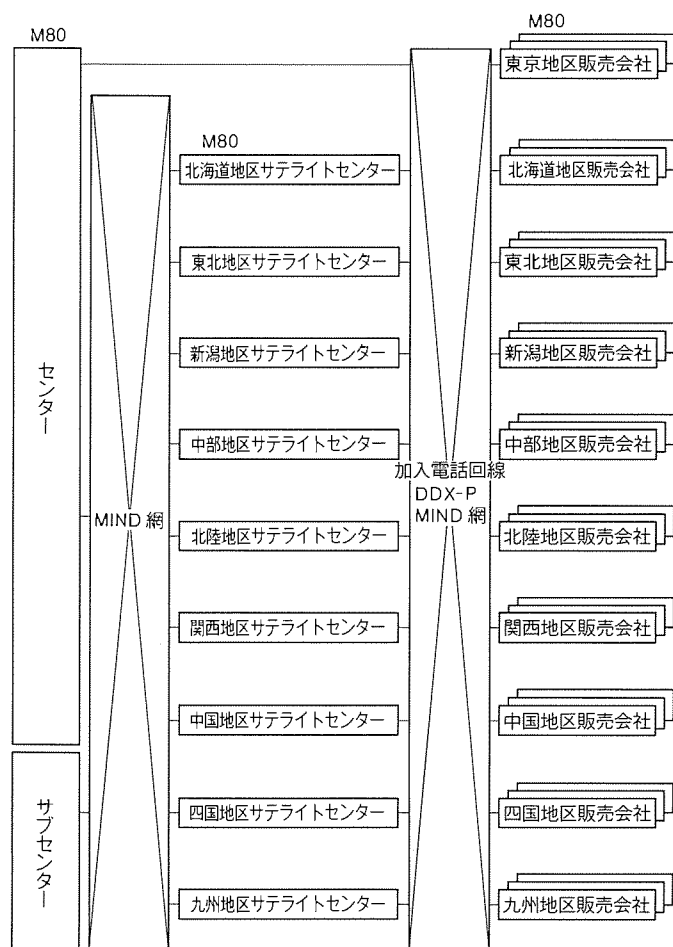


図 2. DS-LAND のネットワーク構成

表 1. 機器構成

中央処理装置	M80/Gモデル以降
主記憶装置	4Mバイト以上
フレキシブルディスク装置	3.5インチ×1
固定ディスク装置	200Mバイト以上(OS含む)
カセットストリーミング テープ装置	×1
ワークステーション装置	MAXY(D/T)×1
プリンタ装置	MAXY 接続プリンタ×1
通信制御装置(モデム含む)	×1(回線の種類で選択)

内のみを対象とし、“1”以外(スペース含む。)は一般情報であり、以下の機密保護を行う。

- (3) 登録情報に特定ユーザー指定がある場合は、そのユーザーのみ配信・検索ができる。
- (4) 登録情報は機密保護マスタファイルで配信、検索の機密保護を行う。

### 3. サービス情報の検索機能

#### 3.1 中継機能

過去1年以内の情報についてはローカルのデータベースで検索することができるが、過去1年以上5年以内の情報につ

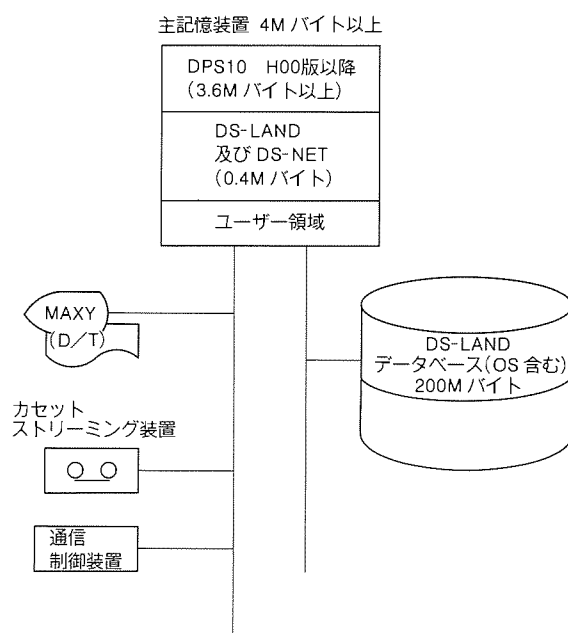


図 3. DS-LAND のシステム構成

表 2. ソフトウェア構成

オペレーティングシステム	DPS10 H00版
DS-LAND	DS-LAND A00版
DS-NET	DPS10遠隔管理システム D00版 (DS-NET ホスト側/ユーザー側)
MAXY 関連	MS-DOS*1 V3.2 MAXY-BIND 又は 端末エミュレータ <M4374AX> A1-MARK III

注 \*1 “MS-DOS”は米国 Microsoft 社の登録商標である。

いては DS-NET の問合せ中継機能を使い、オンラインでサテライトセンターを経由してセンターのデータベースを検索することができる(図5参照)。

#### 3.2 メニュー選択

情報の検索はメニューでの選択方式を採っており、検索対象とする情報を絞って検索することができる。また、メニューは2階層になっており、各々のメニューで全情報を対象とした検索も可能である(図6参照)。

#### 3.3 資料番号指定

資料番号のあいまい(曖昧)指定による検索が可能である。この機能により、登録情報の資料番号体系での絞り込んだ検索ができる(図7参照)。

#### 3.4 期間指定検索

資料の発行日又はデータベースへの登録日による範囲指定検索が可能である(図7参照)。

#### 3.5 キーワード検索

##### 3.5.1 キーワード検索の機能

キーワード(任意の文字列)指定による曖昧検索が可能である。このキーワードには複数指定が可能であり、すべての



表3. サービス情報

1992年4月現在

区分	情報種別	サービス情報	内 容	作成管理部門
オ フ コ ン	A 01	公文	営業部門発行の公文	販売部門
	B 01	営業通知, 公文	営業部門発行の営業通知及び公文	販売部門
	B 02	セールスノート	セールスノートの概要	〃
	B 03	グリーンブック	グリーンブックの概要	〃
	B 04	M80ニュース	M80ニュースの概要	〃
	B 05	セールスハンドブック	セールスハンドブックの概要	〃
	B 06	D-LINKAGE 流通ドキュメント	販売会社開発ソフトの業種リーフレットの概要	〃
	B 07	D-LINKAGE 流通ソフト	販売会社開発ソフトの提案ガイドの概要	〃
	B 08	広報文	広報文	〃
	B 09	M80 Q & A	SE 部門発行のQ & A 集	SE 部門
	B 10	システム設計ガイド	システム設計ガイドの概要	販売部門
	B 11	要求出荷プログラム	無償配布の要求出荷プログラム	製品製作部門
	B 12	FSST 登録案内及び修正情報	修正情報集登録案内及び修正情報	〃
	B 13	MELCOM 照会書(個別回答)	MELCOM 照会書(C 配布)	〃
	B 14	SIDR・ALRT	修正情報及び緊急修正情報	〃
	B 15	技術情報連絡書	CE 部門発行の技術情報	〃
	B 16	技術保守変更通知書(CN)	CE 部門発行のC/N(チェンジノート)情報	〃
	B 17	デモシステム	デモシステムの概要	SE 部門
	B 18	S/W パートナー会情報	ソフトウェアパートナー会情報	〃
パソコン	C 01	営業通知, 公文	営業部門発行の営業通知及び公文	販売部門
	D 01	営業通知, 公文	営業部門発行の営業通知及び公文	販売部門
	D 02			
	D 03			
	D 04			
POS	D 05			
EWS	E01	営業通知, 公文	営業部門発行の営業通知及び公文	販売部門

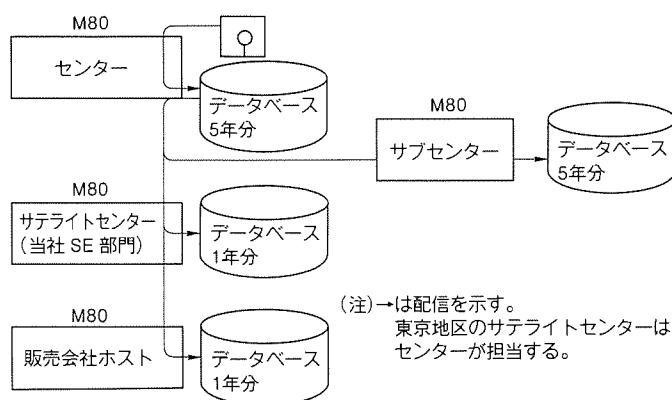


図4. データの流れ

表4. 各拠点の機能

名 称	機 能
センター	DS-LAND システムの維持, 管理 サービス情報の登録, 配信 データベースの管理 東京地区のサテライトセンター機能
サブセンター	サービス情報の検索, 保管 (センターのデータベースバックアップ)
サテライトセンター	サービス情報の検索, 保管 販売会社ホストへのサービス情報配信
販売会社ホスト	サービス情報の検索, 保管

- キーワードの前後のスペースは自動的にカットする。
- キーワードの先頭と末尾の漢字シフトはカットする。

このキーワード分解規則の特長としては漢字とANが混ざった文字列であっても、また、指定されたキーワードが文字列の一部分であってもサーチされる点である。

## (2) キーワード文字列のサーチ方式

キーワード文字列のサーチ方式には次の二つの機能がある。

- 分解された文字列のすべてが登録情報のキーワードの文字列内にあるものをサーチする(AND 条件)。
- 分解された文字列のどれか一つが登録情報のキーワードの文字列内にあるものをサーチする(OR 条件)。

キーワードのAND 条件又はOR 条件による検索ができる(図7参照)。

## 3.5.2 キーワード検索の方式

キーワードとしては256 バイトまでの任意の文字列が入力でき、キーワード文字列の分解規則によってキーワード文字列を分解し、データベースのキーワード領域をサーチする。

### (1) キーワード文字列の分解規則

- セパレータはAN(英数字)のコンマ、カナの読点、漢字ANのコンマ、漢字カナの読点とする。

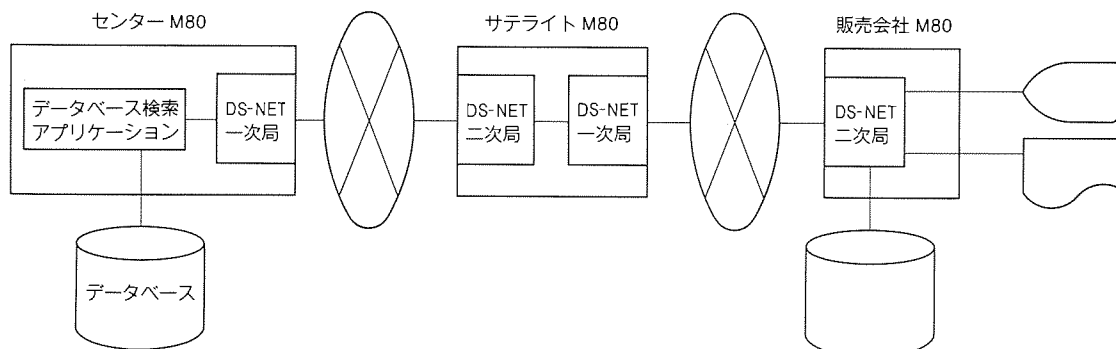


図 5 . 中継機能

** D S - L A N D (総合販売情報支援システム) **				92年10月02日			
		登録件数	最新件数			登録件数	最新件数
01 ---	共通情報		47	0	01 ---	営業通知	506
02 ---	オフコン情報	10,829	0	0	02 ---	セールスノート	23
03 ---	パソコン情報	184	0	0	03 ---	グリーンブック	31
04 ---	SA (POS) 情報	35	0	0	04 ---	M80 ニュース	0
05 ---	エンジニアリング・ワークステーション情報	0	0	0	05 ---	セールスハンドブック	1
					06 ---	D-LINKAGE 流通ドキュメント	120
					07 ---	D-LINKAGE 流通ソフト	32
					08 ---	広報文	2
					09 ---	M80 Q&A	289
					10 ---	システム設計ガイド	8
					11 ---	要求出荷プログラム	1
					12 ---	FSS T登録案内及び修正情報	14
					13 ---	MEL 照 (個別回答)	6,998
					14 ---	S I D R ・ A L R T	2,132
					15 ---	技術情報連絡書	524
					16 ---	技術保守変更通知書 C N	125
					17 ---	デモシステム	20

番号を選択して下さい。 --> ☐ (99 ---> 全情報対象)

F0:終了 F7:BACK F8:NEXT

図 6 . メニュー構成

#### 4. 配信・受信方式

日々の登録情報はトランザクションファイルとして生成され、センターからサテライトセンターへ、さらにサテライトセンターから販売会社ホストへM80の自動運転機能の時刻指定予約ジョブ起動によって自動配信される。

トランザクションの配信を行うプログラムは配布先マスタを参照し、配布区分に対応するトランザクションファイルを配信する(図8、図9参照)。ただし、トランザクションの配信の際には機密保護マスタを参照し、トランザクションファイル内の各情報ごとに機密保護のチェックを行い、配信可能情報のみを配信する。

なお、配布先マスタでは1か月間の配信結果(フラグ)と最新の配信日を管理しており、トランザクションファイルの配信と配布先のデータベースへの更新ジョブ起動が正常に完了したら、その結果を配布先マスタへ更新する(図9参照)。

#### 5. 機密保護方式

##### 5.1 配信時の機密保護

配信時には以下の機密保護チェックを行う。

##### (1) 情報区分チェック

情報区分チェックはサービス情報の一次メニューレベルでのチェックを行うもので、配信先のユーザーコード及びトラ

\*\* D S - L A N D (総合販売情報支援システム) \*\* 92年10月02日  
(営業通知)

◇資料番号  (メタキャラクタ\*の指定可)

◇発行日  -->  (FROM=ALL'9' --> 最新発行情報)

◇登録日  -->  (FROM=ALL'9' --> 最新登録情報)

◇キーワード (キーワードの間隔はA/N又は漢字', 'が必要)

☆キーワード複数指定をOR条件としたい時は、キーワード入力後F6を押下して下さい。  
☆全件表示したい時は、F5を押下して下さい。

F0:終了 F3:初期画面 F5:全件表示 F6:OR条件

図 7 . 検索条件指定画面の指定例

ンザクション内の各情報の情報区分をキーとして機密保護マスタを参照し、未登録の場合はサービス情報の一次メニューレベルで配信を行わない。

##### (2) 情報機密フラグチェック

情報機密フラグチェックはサービス情報の二次メニューレベルでのチェックを行うもので、情報区分チェックと同様に機密保護マスタを参照し、トランザクション内の各情報ごとに情報機密フラグテーブルの該当箇所でのチェックを行う。

◎機密保護マスタ内の該当情報の情報機密フラグ="\*"のときは、サービス情報の二次メニューレベルで配信を

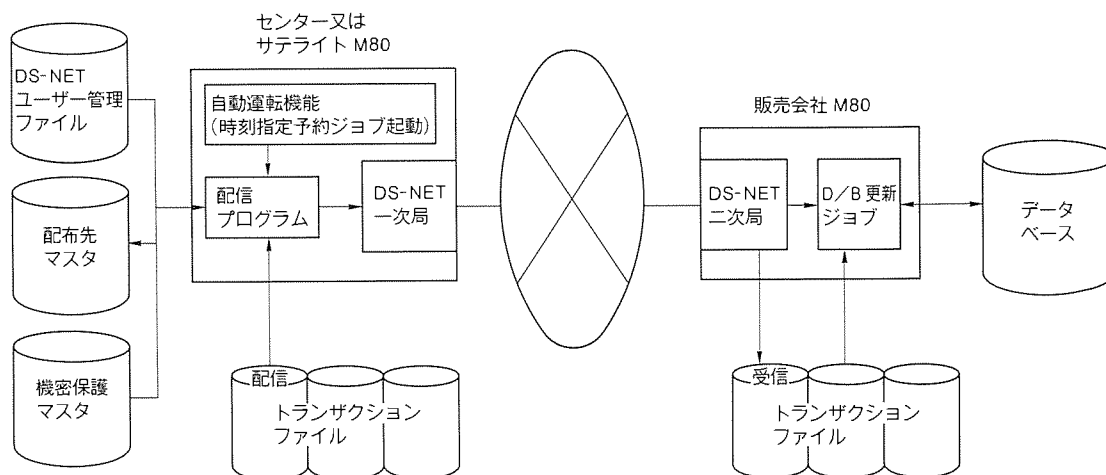


図 8 . トランザクションの配信・受信の処理概要

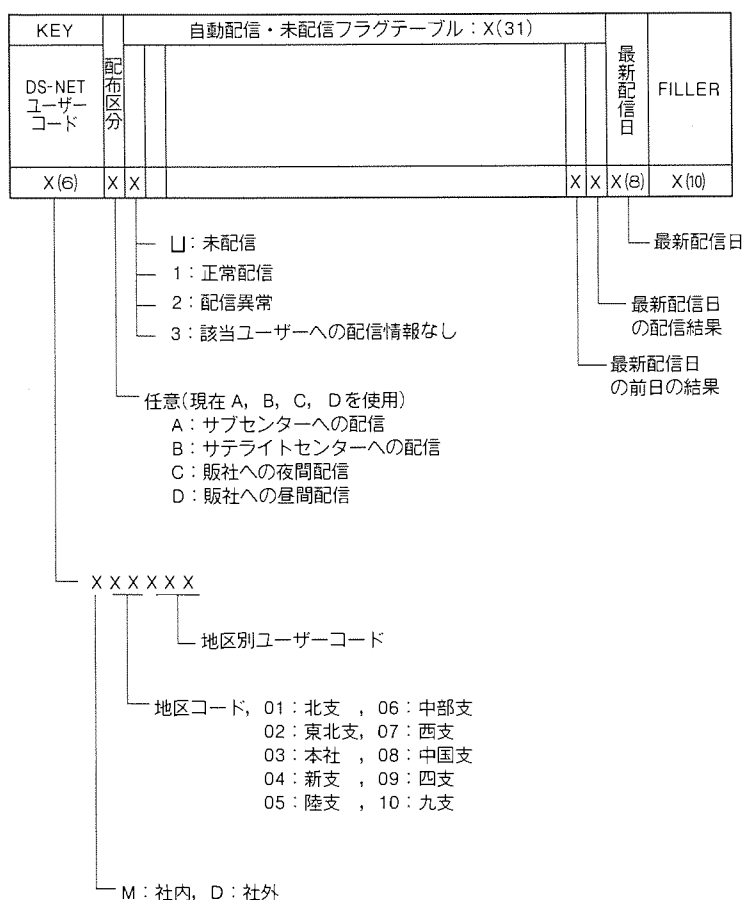


図 9 . 配布先マスタファイルレイアウト

行わない。

- 機密保護マスタ内の該当情報の情報機密フラグ＝“\*”以外のときは、トランザクション内の情報に情報機密フラグが設定されているときのみ一致するかチェックを行い、一致した場合のみ、その情報の配信を行う。

## 5.2 検索時の機密保護

DS-NET の問合せ機能を使ったセンター又はサテライトセンターへのリモート検索時のみ配信時と同様な機密保護チ

ェックを行う (図10 参照)。

### (1) 情報区分チェック

情報区分チェックはサービス情報の一次メニューレベルでのチェックを行うもので、問合せ元のユーザーコードで機密保護マスタを参照し、登録されている情報区分に対応するサービス情報の一次メニューのみ表示する。

### (2) 情報機密フラグチェック

情報機密フラグチェックはサービス情報の二次メニューレベルでのチェックを行うもので、配信時と同様に機密保護マスタを参照し、次のチェックを行う。

- 機密保護マスタ内の該当情報の情報機密フラグ＝“\*”のときはサービス情報の二次メニューにそのメニューの表示を行わない。
- 機密保護マスタ内の該当情報の情報機密フラグ＝“\*”以外のときは、データベース内の情報に情報機密フラグが設定されているときのみ検索条件に該当する情報ごとに情報機密フラグテーブルの該当箇所と一致するかチェックを行い、一致した場合のみ、その情報の検索をすることができる。

## 6. DS-LAND の効果

### 6.1 情報提供のスピードアップ化

従来は、営業通知、MELCOM 照会書、修正情報集 (FSST) 等の情報は支社までは私送便、支社から販売会社までは営業マンの手持ち又は郵便で配達されていた。それに要する日数は、支社まで 2 日、販売会社まで 4～10 日かかっていた。

DS-LAND では、これが翌朝には支社、販売会社まで情報が送られ、2～10 倍のスピードアップが図られた。

特に、1 日を争う重要情報の提供に DS-LAND の効果が発揮されている。

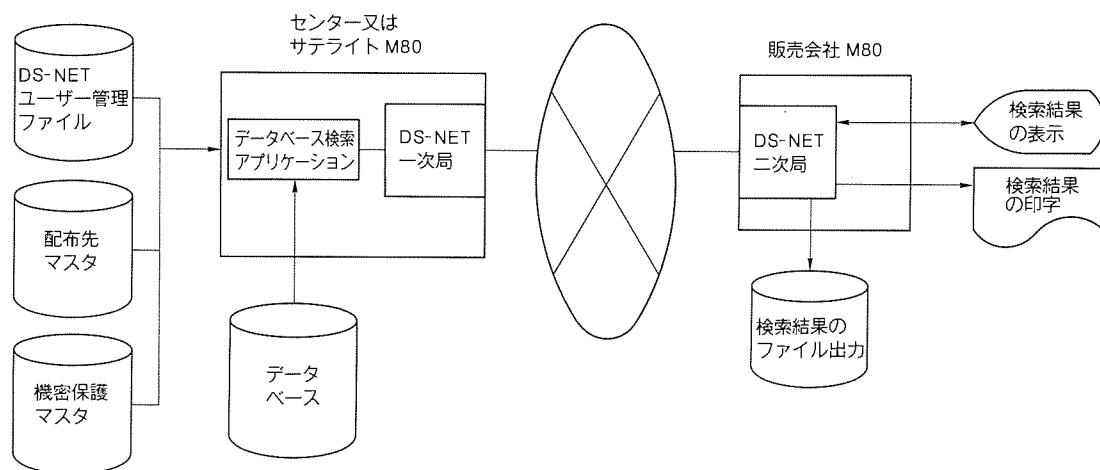


図10. リモート検索のシステム概要

No.	資料番号	** 営業通知	発行日	登録日	** 情報種別	92年10月02日 ヒット件数 0002件
1.	801-921-265-0168		92/06/26	92/06/29	B01	
M80	GSファミリセールスノート (EEL2) 送付の件					
2.	801-921-265-0168H		92/06/26	92/06/29	B01	
M80	GSファミリセールスノート (EEL2) 送付の件 (販売会社殿向)					

資料番号 @2 出力先デバイス番号 RP22

F0:終了 F3/F4:初/KW画面 F7/F8:BACK/NEXT F10:印刷 F11:メニュー出力  
F13/F14:行UP/行DOWN F15:詳細印刷

図11. 表題一覧の例

資料番号	B01-921-265-0168H	詳細情報	表示画面
M80	GSファミリ	セールスノート (EEL2) 送付の件	

拝啓 時下ますますご清祥の事とお喜び申し上げます。  
平素は三菱オフコンの拡販に格別のご尽力を賜り厚く御礼申し上げます。  
さて、三菱オフコンMELCOM80セールスノート (EEL2) が完成致しましたので、ご案内申し上げます。  
本資料は、製品の概要、仕様、使用上の注意等について解説しておりますので、精々ご活用下さいませようお願い申し上げます。  
敬具

記

別途送付資料 (弊社担当営業がお届け致します。)

資料番号 出力先デバイス番号 RP22

F0:終了 F3/F4/F5:初/KW/一覧画面 F7/F8:BACK/NEXT F10:印刷 F11:メニュー出力  
F13/F14:行UP/行DOWN F15:文書出力

図12. 登録情報の内容例

## 6.2 FDD, 紙の節約

従来, FDD の配布は, 修正情報集 (FSST), 緊急修正情報 (ALRT) を支社, 販売会社に年間約 4,000 枚に達していた。

一方, 紙の配布は, 営業通知, MELCOM 照会書など, 年間約 20 万枚に及んでいた。

DS-LAND により, これらの配布のためのコピー作業, 送料及び FDD, 紙の節約ができるようになった。

また, 支社, 販売会社では, これらの紙, FDD の保管の必要がなくなり, 保管スペースの節約になっている。

## 6.3 関連情報検索の容易化

検索の方法には, キーワード検索, 発行日/登録日検索, 資料番号検索があり, これによって関連情報の検索が容易に行える。

例えば, 1992 年 6 月 27 日から現在までに登録された EEL (EDUET & EXCEL<sup>(注1)</sup> LINKAGE) 関係の登録情報を見たい場合, 図 7 で登録日 (from-to) と “EEL” をキーワードとして指定すると, 表題一覧が図 11 のように 2 件検索される。その中で, 見たい資料の番号 (図 11 の例では @2) を指定すると図 12 のように見ることができる。

(注 1) “EXCEL” は米国 Microsoft 社の登録商標である。

## 7. む す び

DS-LAND 加入の販売会社が 100 事業所を超えた。今後, 登録情報の内容の充実化, 新しいサービス情報メニューの追加等, 販売会社の意見を聞き, DS-LAND システムが販売会社に, より有効に活用していただけるように改善していく所存である。

# 全日本空輸(株)納め スケジュールモニタリングシステム

渡辺俊雄\* 小島生正\* 井上悦次\* 熊谷秀光\* 神原隆宏\*\*

## 1. ま え が き

航空機の運航業務は、“安全性”“正確性”“経済性”といった旅客サービスや収益に密接に関連する要素を考慮して最適に行われる必要があり、航空会社間の競争の激化によってますます重要性が増大してきている。

しかし、航空機の運航には、運航乗務員・客室乗務員・整備士等の多数の部門が関連しており、機材の故障や気象状況の悪化等によってダイヤが乱れた場合の統制業務には、高度な判断力と的確な調整力が必要とされる。

このダイヤ統制業務は、従来からシステム化されておらず手作業によって実施されてきたが、航空機の大型化や路線数及び運航便数の増大により、業務が複雑化するとともに負荷が増大しており、羽田空港及び成田空港の拡張や新関西国際空港の開港といういわゆる三大プロジェクトの完成時にはもはや手作業だけでは対応困難な状況になってきた。

こうした負荷の増大に対応するため、当社は全日本空輸(株)の指導のもと、運航状況のビジュアル化による監視業務及び調整業務の効率化を目的としたダイヤ統制支援システム“スケジュールモニタリングシステム”(以下“SMS”という。)を開発・納入した。

以下ではSMSの概要について紹介する。

## 2. ダイヤ統制業務とSMSのねらい

### 2.1 ダイヤ統制業務

航空機の運航には図1に示すとおり、様々な部門が関連している。そのなかでダイヤ統制センターはダイヤの総合運用管理にかかわる業務とそのコントロールを行う部門であり、大きく分けて以下の三つの業務がある。

- (a) 月次ダイヤの設定
- (b) 定時性確保に関する計画・運用・総括管理とその調整
- (c) 空港使用に関する総括管理

上記の業務のなかで最もウエートが高いのが(b)の定時性確保に関する業務であり、従来は図2に示すような業務形態で行われていた。

#### (1) 運航状況の監視

各地のステーションコントロール担当者(ターミナル統制担当者及び運航管理者)が空港系ホストに入力した実績データを文字情報で確認し、就航チャートと呼ばれる紙面に実績を手で記入していた。

#### (2) 部門間の調整

公衆網及び自営回線に接続された電話やインターホンによる音声のやりとりで調整を行っていた。

#### (3) 運航実績を基にしたケーススタディと実運用への反映

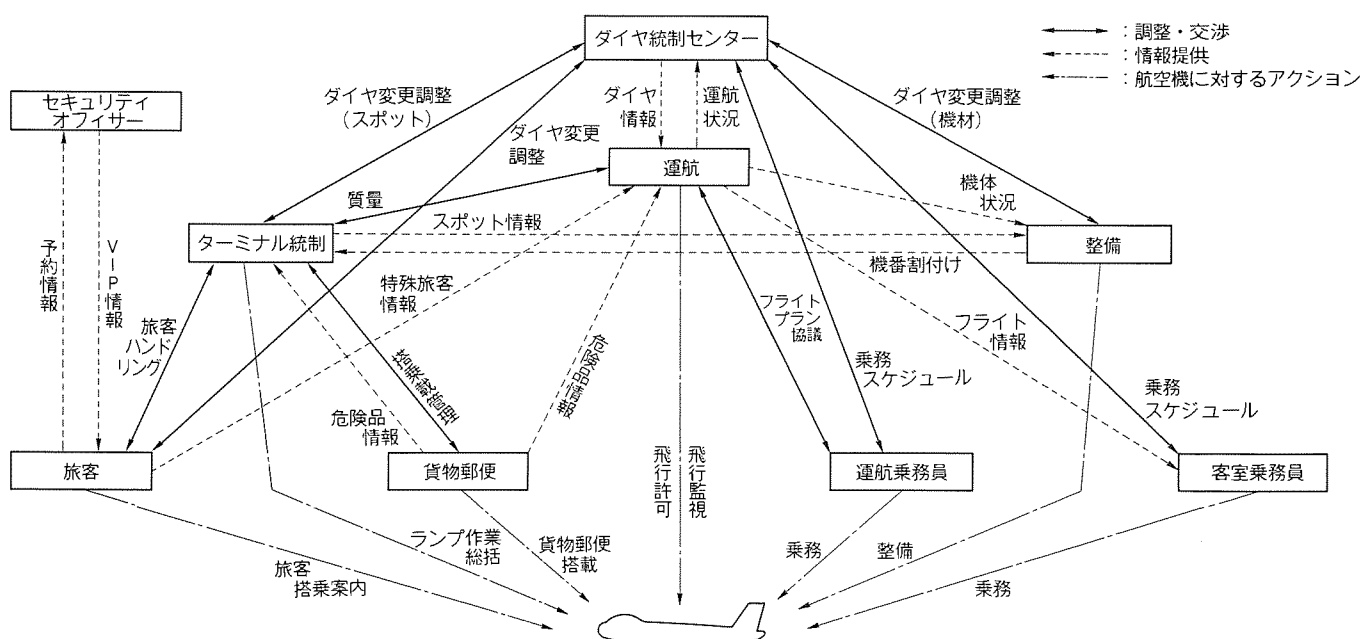


図1. ダイヤ統制業務部門関連図

運航状況の監視に使用した就航チャートをそのまま保存管理し、当該チャートと担当ダイヤの統制者の記憶を基にケーススタディを実施し、今後の対応への参考としていた。

以上述べたように、従来の業務はほとんどが人手の作業によって行われているため、便数の増加に比例してダイヤ統制者の負荷は増大していた。一方、航空会社間の競争の激化に伴い、運航ダイヤを変更する場合は、より適切により速やかに変更することが求められてきている。

このため、ダイヤ統制者の負荷を削減させ、適切なダイヤ変更を行うための立案作業に重点をおけるようにシステムの構築による業務形態の改善を行う必要があった。

## 2.2 SMS のねらい

SMS は従来の手作業中心の業務をシステム化し、業務の効率化によって今後の便数の増大などに対処するとともに、より適切なダイヤ変更を迅速に行える環境を整備することをねらいとして開発された。SMS を導入した場合の業務形態

を図3に示す。

### (1) 運航状況の監視

画面上に表示される就航チャートにより、運航状況の監視を行うことができる。また、単純な時刻変更計算等はこの画面上でビジュアルに確認することができる。

### (2) 部門間の調整

画面上の就航チャートをそのままのイメージで調整先部門の画面にも表示させ、音声と画面上での文字や記号等の意思伝達のための書き込みにより、調整を行うことができる。

### (3) 運航実績を基にしたケーススタディと実運用への反映

画面上のデータを電子的に保存し、容易な検索によって再び表示することにより、ケーススタディを実施し、今後の対応への参考とすることができる。

## 3. SMS の構成と特長

### 3.1 SMS の全体構成と特長

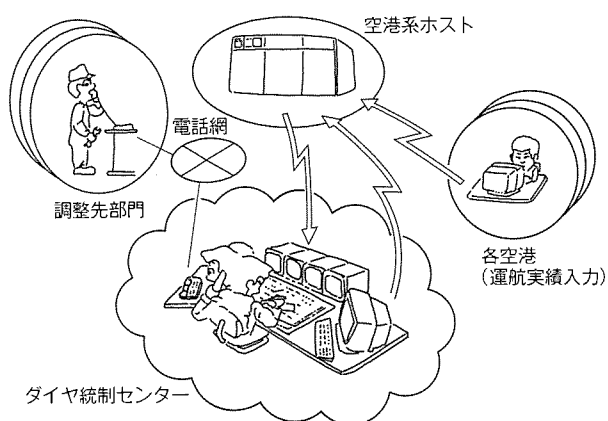


図2. 従来のダイヤ統制業務形態

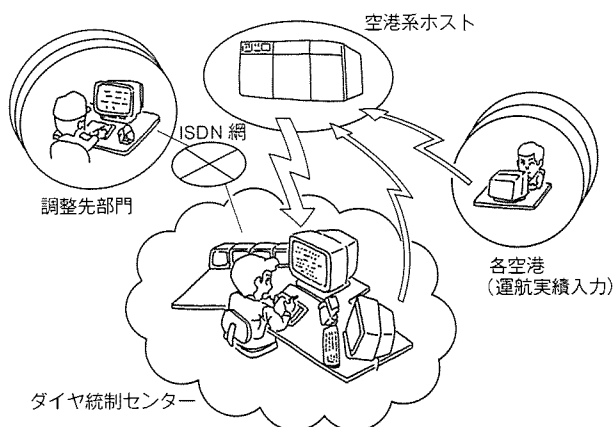


図3. SMS 導入後のダイヤ統制業務形態

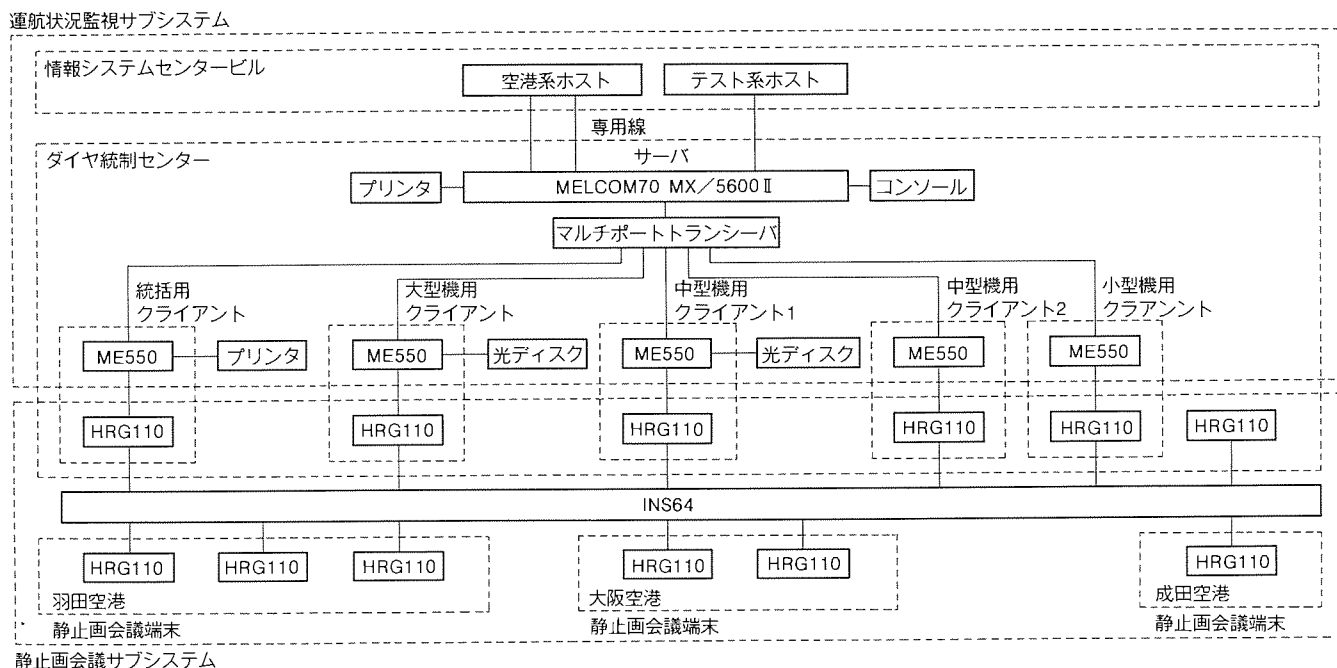


図4. SMS 全体構成

上記のねらいのもと、図4のような構成でSMSを構築した。SMSは以下のような特長をもっている。

#### (1) ハイブリッド構成によるマルチメディアシステム

上記のねらいに基づき、運航状況監視サブシステムと静止画会議サブシステムの二つのサブシステムから構成されているが、運航状況監視サブシステムの画面を静止画会議サブシステムに直接取り込める等、コンピュータと通信システムとを統合したハイブリッドな構成となっている。

また、扱うデータはコードデータ、イメージデータ、音声であるというマルチメディアシステムである。

#### (2) 分散処理システム

空港系ホストとの通信や運航データの管理を行うサーバとチャート表示や静止画会議を行うためのクライアントから構成され、機能分散を行った分散処理システムとなっている。

また、クライアント間でもプリンタや光ディスクの共用などが実現されている。

#### (3) ネットワーク構成の最適化

空港系ホストとサーバ間は専用線、サーバとクライアント間はEthernet<sup>(注1)</sup>、静止画伝送装置間はINS64と、データ量と利用目的からネットワークを使い分けている。

### 3.2 サーバの構成

サーバは32ビットスーパーミニコンピュータである“MELCOM70 MX/5600Ⅱ”で構成される。サーバのハードウェア構成を図5に示す。サーバは以下のような特長をもっている。

#### (1) 信頼性の向上

航空機の運航は国際線も含めれば24時間365日であり、それに対応した連続運転を実現するために以下のような構成を採っている。

(a) UPS(無停電電源装置)を設置している。

(b) ディスクの二重書きを行っている。

(c) 空港系ホスト回線の二重化を行っている。

さらに、システムログをインテリジェントシステムコンソールのFDDへ保存することにより、万一の障害時の解析を容易にしている。

#### (2) テストモードの確保

将来の機能拡張等に対応するため、空港系ホストのテスト機とも接続しており、本番用とは独立したソフトウェアを動作させることが可能である。これにより、本番稼働中に業務に影響を与えることなく並行してテストを行うことが可能である。

### 3.3 クライアントの構成

クライアントはワークステーションである“ME550”と、高精細静止画伝送装置である“HRG-110”から構成される。クライアントのハードウェア構成を図6に示す。クライアントは以下のような特長をもっている。

#### (1) オープンアーキテクチャの採用

ワークステーションとしてはOSにUNIX<sup>(注2)</sup>、サーバとの通信にはTCP/IP<sup>(注3)</sup>、画面制御にはX Windows<sup>(注4)</sup>、といった業界標準を採用し、将来性を確保している。

#### (2) 高速処理、高精細表示機能の提供

(注1) Ethernetは米国ゼロックス社の登録商標である。

(注2) UNIXオペレーティングシステムは、UNIXシステムラボラトリーズ社が開発し、ライセンスしている。

(注3) TCP/IPは米国テキサス・インスツルメント社の登録商標である。

(注4) X Windowsはマサチューセッツ工科大学(MIT)の登録商標である。

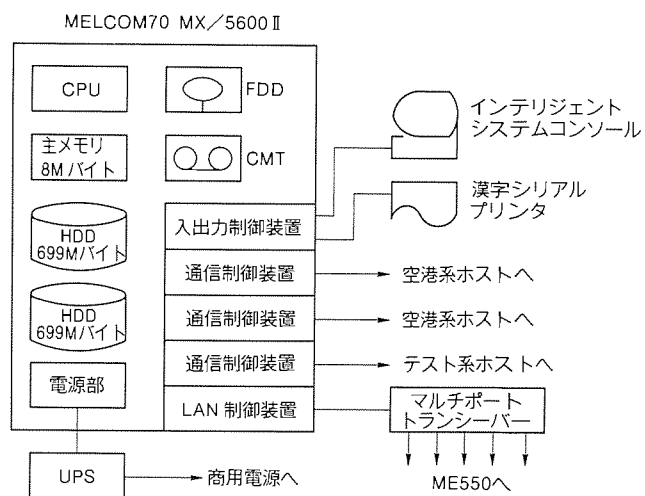
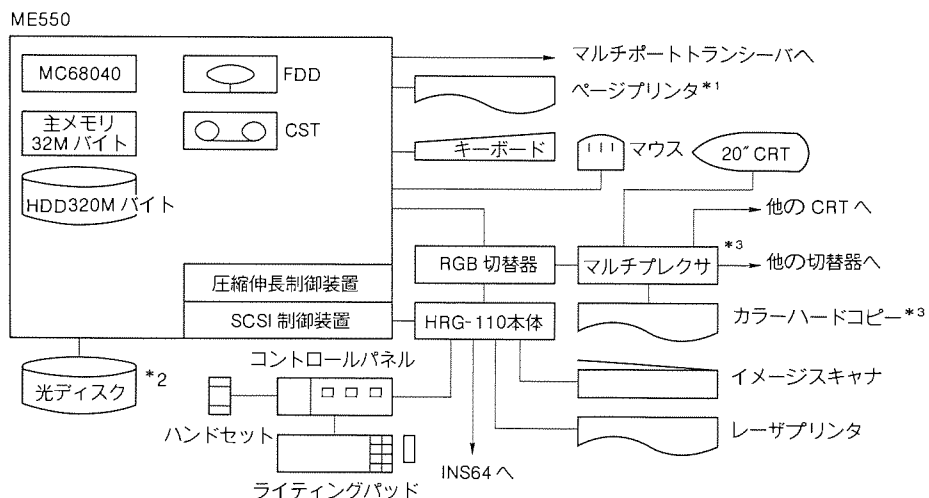


図5. サーバハードウェア構成



注 \*1 ページプリンタは5台中1台に接続

\*2 光ディスクは5台中2台に接続

\*3 マルチプレクサ+カラーハードコピーは端末3台/2台で共有(計2台設置)

図6. クライアントハードウェア構成

ME 550 の高速処理により、大量の便に対する複雑な運航状況に対しても余裕をもって処理を行っている。また、高精細画面表示により、従来の就航チャートと同等のイメージを画面上に表示している。

#### (3) ME 550 と HRG-110 との連携

ME 550 のイメージ圧縮／伸長装置により、圧縮した運航状況の画面イメージデータを SCSI 制御装置によって HRG-110 に転送することが可能である。これにより、運航状況の監視画面そのものを高精細なまま調整先部門に伝送することが可能となった。また、逆に HRG-110 から ME 550 側にイメージデータを転送することにより、ME 550 側の光ディスクに調整結果のイメージを保存することができる。

#### (4) ディスプレイ及びカラープリンタの共用

ME 550 の画面と HRG-110 の画面をオートスキャン仕様の 20 インチモニター 1 台で表示することが可能である。また、カラープリンタを複数のクライアントで共用して使用可能である。これにより、設置スペースの削減が実現できた。

#### (5) イメージ及び音声の転送が可能

HRG-110 により、原稿及びテレライト用のイメージデータと会議用の音声データを、INS 64 を利用して遠隔地の HRG-110 に転送することが可能である。これにより調整先部門との意思疎通の確実性が向上した。

#### (6) 充実したテレライト機能

HRG-110 のライティングパッド上にスタイラスペンで指定することにより、実線及び点線の 2 種類の直線と、フリーハンド曲線を、3 色の色で原稿に対する注釈として重ね書きすることができる。これにより、お互いの意思をビジュアルに表現することが可能である。

なお、調整先の各部門には図 7 に示すとおり、静止画面会議端末のみが設置されている。

### 4. SMS の機能概要

#### 4.1 サーバの機能概要

サーバの機能は空港系ホストからの運航実績データの受信と受信したデータの管理である。構成上の特徴と同様に連続運転を考慮したテストモードの確保とバックアップ機能の装

備が特徴となっている。

#### (1) 空港系ホスト通信機能

空港系ホストから計画ダイヤや運航実績を受信するための通信を行う。なお、通常時には 2 本の回線を上りと下りに分けて使用しているが、片方の回線が障害になった場合には 1 回線で両方のデータを送受信する。また、この空港系ホスト通信部は本番系とテスト系の二つのソフトウェアを独立して動作させることにより、テストモードが構成できる。

#### (2) データ管理機能

受信したデータを蓄積し、クライアントからの要求に応じて必要なデータを送信する。このデータ管理部は本番系／テスト系データの 2 種類をそれぞれディスクに二重書きしている。また、ワークステーションからの検索指示により、該当するデータを抽出して印字することが可能である。

#### (3) バックアップ機能

ホストからのデータ受信が不可能な場合に、ワークステーションから運航実績データを仮入力して運用することが可能である。また、ホストからのデータ受信が回復した場合には、再びホストからのデータをもとにした運用に戻すことが可能である。

### 4.2 クライアント部機能概要

クライアントの機能は、運航状況の表示と静止画面会議が中心である。容易な操作性を実現するため、ワークステーション側ではプルダウンメニューとマウスによる操作が、静止画面伝送装置側ではライティングパッド上でのスタイラスペンによる操作が中心であることが特長となっている。

#### (1) 運航状況表示機能

サーバから受信したデータをもとに、従来の就航チャートと同様のチャートを表示する機能である。

チャートは各ダイヤ統制官ごとに機種パターンを選択して表示可能であり、また見やすさの観点から 6、12、18 時間の三つの時間幅で切り替えて表示可能である。さらに、チャート上のパターンを指定することにより、該当する便に対する詳細の文字情報を画面上に表示することができる。

図 8 に運航状況表示の画面表示例を示す。

#### (2) 警告表示機能

以下のようなダイヤ上の異常が生じた場合に上記チャート上に警告を表示する機能である。

##### (a) 標準作業時間不足

機材の到着遅れにより、次便の出発予定時刻までの間隔が短くなり、各空港及び機種ごとに定められている標準作業時間が確保できない場合に表示される。

##### (b) 機材未割付け

他の便に振り向けた結果、該当便に対する機材が確定していない場合に表示される。

##### (c) 空港運用時刻超過

遅れにより、該当機材の最終便の到着時刻が到着空港の

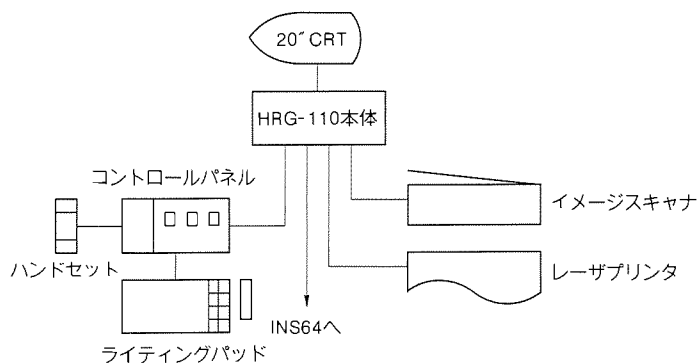


図 7. 静止画面会議端末ハードウェア構成



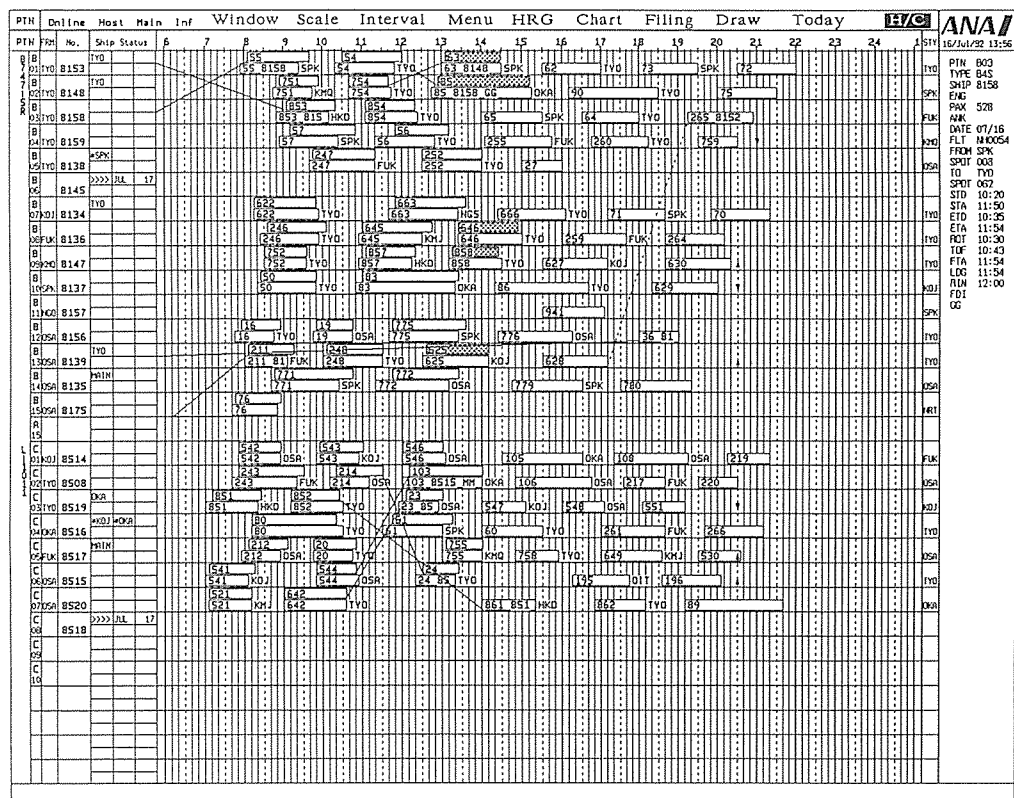


図 8 . 運航状況表示画面例

運用時刻を超過する場合に表示される。

#### (d) 実績未入力

当該便の出発予定時刻を 30 分以上経過しているのに実績データがホストから送信されない場合に表示される。

#### (3) 発着時刻変更計算機能

予定時刻を変更した場合や機材の変更を行った場合の最終到着時刻を計算し、計算結果をチャートとしてビジュアルに表示する機能である。

一つの機材について計算する機能と、二つの機材を入れ替えた場合について計算する機能がある。

#### (4) 静止画同時会議機能

ダイヤに異常が発生した場合に遠隔地の関連部門と打合せを行う機能である。

ワークステーション上の運航状況表示画面を高精細静止画伝送装置に転送し、INS 64 で高精細静止画伝送装置間を接続することにより、運航状況監視画面をもとに、文字や記号等の重ね書き及び音声による打合せが可能である。

また、イメージスキャナから手書き原稿を読み込んで伝送することも可能であり、運航状況以外の打合せにも利用可能である。

#### (5) 静止画会議結果ファイリング機能

静止画会議で重ね書きなどを行った結果のイメージを光ディスクに保存する機能。

高精細静止画伝送装置からワークステーションの磁気ディスクに一時的にファイルしておき、必要なものをコメント付

きで光ディスクに保存することが可能である。後日、必要な場合には日付やコメントによって検索し、再び高精細静止画伝送装置に転送して表示や印刷を行うことが可能である。

#### (6) 運航実績ファイリング機能

当日の運航実績を光ディスクに保存する機能である。保存したデータは日付や機種名によって検索して再表示することが可能である。保存データを再表示した場合の画面イメージは運航状況表示機能により、表示される画面そのままである。

## 5. む す び

SMS は 1992 年 4 月から運用が開始されており、就航チャートの作成及び管理のための負荷軽減、ダイヤ異常の早期発見と他部門との調整作業の迅速化及び確実化といった効果を上げているが、さらに実運用での評価を踏まえ、機能の追加や操作性の改善等も継続して行っている。

また、現在 SMS は国内線のダイヤ統制にのみ適用されているが、今後は国際線への適用についても検討されている。また、運航ダイヤの変更計画立案といったダイヤ統制者の思考や判断を支援するためのシミュレーション機能の充実や、過去の運航実績の統計処理等についても対応していく予定である。

最後に、SMS の開発に当たって御指導、御協力をいただいた、全日本空輸(株)、全日空システム企画(株)、(株)エー・エヌ・エー・コミュニケーションズの関係各位に深く感謝する。

# 超高速 5 秒電送 G3 ファクシミリ MELFAS F1

瀬政孝義\* 木野茂徳\* 曾我巖哉\*\* 田淵浩史\*\* 川田智之\*\*

## 1. ま え が き

“MELFAS F1” (FA-9050) は、企業活動の効率化に不可欠なファクシミリによる通信ネットワークの中核機として、その本質を徹底的に追求した新世代 G3 普通紙ファクシミリである。大企業のファクシミリ通信網におけるセンターマシンリプレース需要から、サブコピー機として 1 台 2 役を望む中規模のオフィスまで幅広い層をターゲットとする。

製品コンセプトを、ファクシミリの本質“SAFE”の追求におき、当社が誇る符号化技術 (F1 コード) を核として、すべての構成要素に最高の技術を傾注している。

- SPEEDY … 高速読取り, 超高速 5 秒電送
- AMENITY … かんたん操作
- FAITHFUL … コピーマシンを越えた超高画質
- ECONOMICAL … 電話料金・待ち時間の節約

## 2. MELFAS F1 の特長

### 2.1 超高速 5 秒電送

新しいエントロピー符号化法である算術符号 (F1 コード) を初めて搭載し、14.4 kbps 高速モデムを使用することにより、標準原稿の 5 秒電送を達成している。さらに、学習機能をもたせた当社独自の通信手順の採用により、前後のコンタクト時間を含めた通信時間も 9 秒と短縮され、電話料金を大幅に節約できる。

F1 コードは実運用で伝送される文書、特に写真や高解像度が必要な符号量の多い文書においてその実力を一層発揮し、従来の符号化 (MMR) に比べて 5 % から 80 % 程度に伝送すべき情報量を圧縮できるので、MELFAS F1 は高画質化と電送時間短縮という相反する二つの要求を同時に満足することに成功した。

### 2.2 超 高 画 質

16 ドット/mm × 15.4 本/mm の高解像度、64 階調誤差拡散方式の中間調処理及び文字の部分と写真などの中間調部分を自動的に分離し、最適な 2 値化処理を行うスーパー SIZE<sup>2</sup>Q (Super [Sequential Image Zone Estimated]<sup>2</sup> Quantizer) の採用により、コピー機の画質を越える超高画質を実現している。

また、受信画においても画像平滑化処理によって、ファクシミリ特有の量子化による“ギザギザ”を自然な曲線に補正し、同じファクシミリから同じ原稿を受信しても、他のマシ

ンに比べて美しく再現できる。

### 2.3 かんたん操作

多機能であっても使いやすい操作を目指して、20 文字 × 15 行の大型ディスプレイを採用し、ポップアップメニュー選択式のかんたん操作を実現している。また、キャラクタによる状態表示、月ごとのイラスト表示、女性キャラクタによるガイダンス等によって、人に優しいヒューマンインタフェースとした。

図 1 に MELFAS F1 の外観を示す。

## 3. 電気部の構成

MELFAS F1 は、センターマシンとしての基本性能を徹底追求するため、積極的に新方式・新技術を採用し、コンパクトなきょう (筐) 体に収納するための大規模 LSI 開発を行っている。中核となる LSI は、読取り制御、符号・復号制御等の新規開発 LSI のほか、14.4 kbps 高速モデムなどがある。

図 2 に MELFAS F1 のハードウェア構成を示す。

### 3.1 読取り制御

読取り制御 LSI では、1 画素単位の不均一補正・解像度補償、視覚特性に合わせた γ 補正処理、像域分離、適応 2 値化などにより、高精細かつ高い階調性をもった画像読取りを実現している。ここでは、このうち像域分離と 2 値化手法について詳述する。

文字や図形を主体とする白黒 2 値の画像だけでなく、写真などの中間調画像や印刷物等の網点画像についても高品位に伝送するため、当社は 2 値領域と中間調領域の混在原稿に対する適応 2 値化手法を開発し、装置に搭載して好評を得ている<sup>(1)</sup>。しかし、カタログなどで用いられる網点画像については網点周波数の折返しひずみであるモアレが発生し、画質

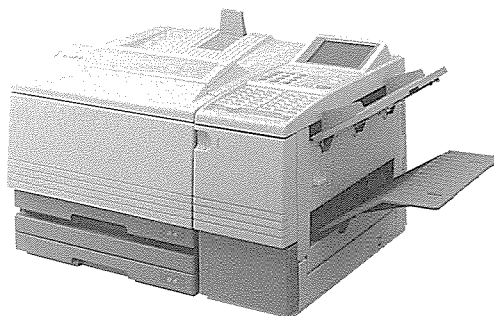


図 1. MELFAS F1 の外観

劣化を起こしていた。

今回、MELFAS F1の製品化に当たり、スーパーSIZE<sup>2</sup>Qと称する文字と網点、写真が混在した画像に対する適応2値化手法を開発してLSI化を図り、いずれの領域においても極めて高品位な記録画を得ることができた<sup>(2)</sup>。

この方式のねらいは、誤差拡散法をベースにした2値化誤差の補正処理を伴ったディザ処理により、極めて高品位な階調再現を実現するとともに、領域判定を連続量で扱い、2値化処理を連続的に変化させて、従来、領域判定が困難な部分でみられた記録画像の不自然さを解消すること、さらに網点

画像に対しても平滑化フィルタの使用によってモアレ発生を抑えることにある。

図3にMELFAS F1及び従来装置での網点を含む画像の記録例を示す。

### 3.2 符号化・復号制御

ファクシミリ用符号化法としては、白から黒、黒から白への変化点を有意とする変化点モデルと、文字画像を対象とした固定ハフマン符号が組み合わされたMH (Modified Huffman)・MR (Modified READ)・MMR (Modified MR)符号化方式が標準化され、各社のG3機及びG4機で用いられている。

これら符号化方式は、文字や図形などの通常のオフィス文書には適しているが、擬似中間調処理を施した画像など文字画像と著しく性質の異なる画像に対しては、圧縮効果が極めて悪くなっている。

これに対し、当社は十数年前に符号化すべき対象画素の周囲の画素パターンごとに対象画素の白又は黒の出現確率が定まると考えるマルコフモデルと、適用する符号を切り替えることにより、どのような画像に対してもモデルの情報量に等しい符号長を実現できる汎用ハフマン符号セットを組み合わ

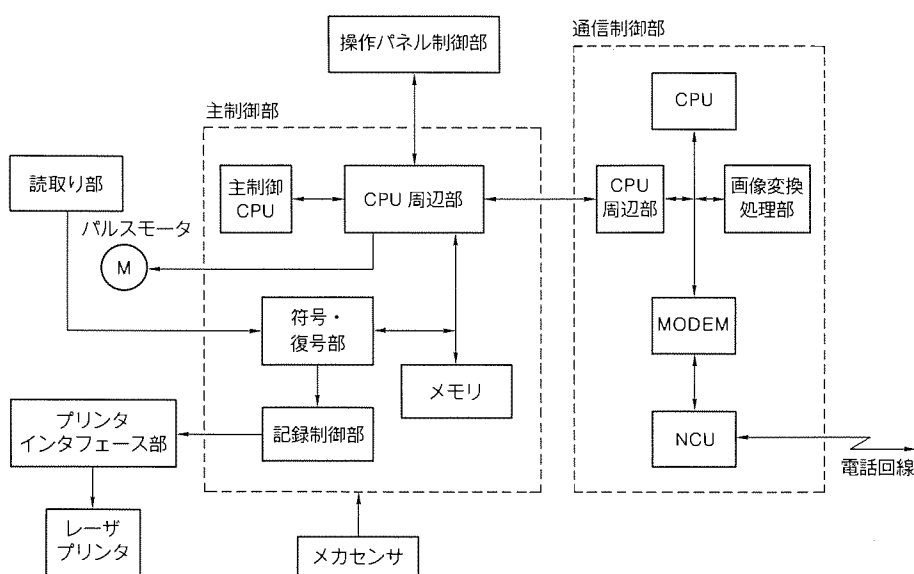


図2. MELFAS F1のハードウェア構成



(a) MELFAS F1



(b) 従来装置

図3. 記録画像

せた符号化手法を提案している<sup>(3)</sup>。このマルコフモデルは、変化点モデルより汎用性に優れた方式であり、この違いを図4に示す。

一方、ISO と CCITT の共同専門家会合において2値画像符号化の検討が行われており、そこではマルコフモデルと算術符号の組合せを新しい標準方式に採用することになった。この算術符号の標準化候補として当社から日本統一案として提案したものが上記汎用ハフマン符号セットを算術符号に拡張したMELCODEであり<sup>(4)</sup>、MELFAS F1ではこのMELCODEを“F1コード”としてLSI化して搭載している。

F1コードはパターンごとの白又は黒の出現確率の推定値を実際に出現した画信号系列に応じて更新する学習機能をもっており、種々の画像に対して高い汎用性をもっている。表1にF1コード及び従来標準の中で最も圧縮比の高いMMR符号化による2値画像及び擬似中間調画像の圧縮比の比較を示す。F1コードは文字画像で約30%、擬似中間調処理を経た画像では3～30倍の圧縮比の向上が得られる。この結果、従来A4判1ページの通信に10～20分の時間を要していた高精細な擬似中間調画像も、30秒～数分程度の実用的な時間で伝送可能となった。

なお、上記算術符号の国際標準としては、MELCODE及び他2社から提案された各符号の演算方式や学習方式の簡易さと符号化効率との関係が調査され、結果的にそれぞれの長所を取り入れたQM-Coderが採用されている。

3.3 記録制御

記録方式は、レーザプリンタによる普通紙記録を採用し、解像度16ドット/mm×15.4本/mmに対応することができる。ここでは、高品位な記録画を実現する画像の平滑化処理について述べる。

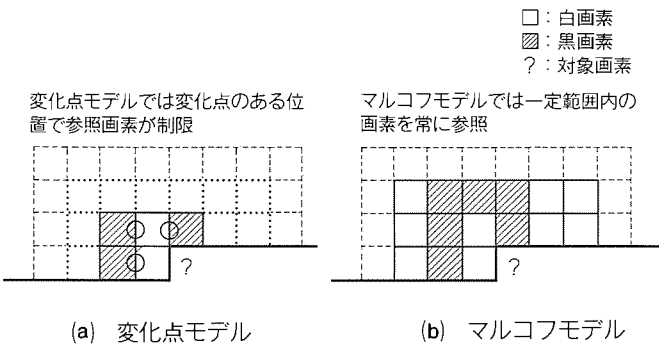


図4．参照モデル

表1．F1コード及びMMR符号化による圧縮性能

		文字画像 (CCITT 標準原稿)					中間調
		手紙	回路図	グラフ	日本文	平均	
圧縮比*	F1コード	36.4	63.8	43.7	9.4	38.3	12.9
	MMR	28.4	47.5	30.8	7.4	28.5	0.58
F1コード/MMR		1.28	1.34	1.42	1.27	1.34	22.2

注 \*圧縮比＝画素数／符号ビット数

従来のファクシミリでは、記録部のもつ解像度よりも低い解像度で受信した場合、受信画素を単純拡大して記録するのが一般的であったために、斜線部分が階段状になるなどの問題があり、記録画質に改善の余地があった。

そこで、MELFAS F1では、このような画像の“ギザギザ”を自然で滑らかな曲線に補正する画像平滑化処理LSIを開発した<sup>(5)</sup>。

このLSIは、処理画素を中心とした参照ウインドウ(5×3画素)の画素パターンに基づき、中心の処理画素を複数画素に変換処理する。ただし、中間調モードの場合、白黒の濃度比が変わるような変換処理をすると階調特性が劣化するため、参照ウインドウの画素パターンによって中間調画像と判断した場合は単純拡大を行う。図5に平滑化例を示す。この平滑化処理により、記録画質が大幅に向上することが分かる。

3.4 通信制御

通信時間削減のためにF1コードに加え、CCITT規格準拠のV.17及びV.33をサポートする14.4 kbps高速モデムを採用している。この結果、従来最高速とされていたA4標準原稿の6秒電送を大きく上まわる“5秒電送”を実現している。さらに、トータルの通信コストでの効果を高めるため、図6に示すように、前後の手順を大幅に短縮し、標準G3に比べて半分以下の9秒で送信を完了することができる。

4. 機構部の構成

4.1 意匠・デザイン

外装デザインの設計思想は、不特定多数のユーザーがより簡単に、よりスピーディーに操作できること、及び広くユーザーに受け入れられるものであることを基本としている。また、開発の効率化を図るため送受信部と記録部(プリンタ部)を完全分離している。

マンマシンインタフェースとしての操作部は次のような特長が挙げられる。

(1) 大型ディスプレイ採用によるかんたん操作を実現している。

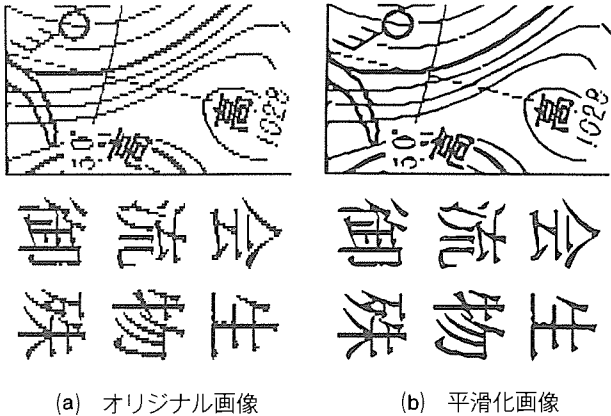


図5．平滑化処理例(拡大図)

- (2) 切替パネルを用い108か所のワンタッチダイヤルを実現している。さらに、誤操作防止のため、各キートップ部にLEDランプを点灯させている。
- (3) センターマシンとしての使われ方を考慮してワンタッチダイヤル部を最前列に配置している。

#### 4.2 駆動部の特長

##### (1) 高速化

従来の定電圧駆動から新規のドライバICを採用し、定電流駆動とした。

##### (2) 低騒音化

低速動作時のモータ駆動電流(チョップ基準電流値)を下げ、モータ発生トルクと機構系負荷トルクのバランスを保った。また、ギヤ列中にウレタンゴム性のダンパ部を設け、モータの振動がローラ類に伝達しない構造とした。

図7に機構部の構成を示す。

### 5. ソフトウェアの構成

MELFAS F1のソフトウェアは、次の利点・効果から、オブジェクト指向の設計手法を導入している。

#### <利点>

- (1) インタフェースが簡素化できる。
- (2) オブジェクト間の独立性が非常に高い。
- (3) 階層化が高度に実現可能である。

#### <効果>

- (1) 開発効率の向上(工期の短縮)

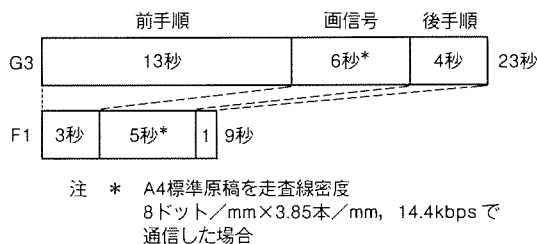


図6. 通信時間の比較

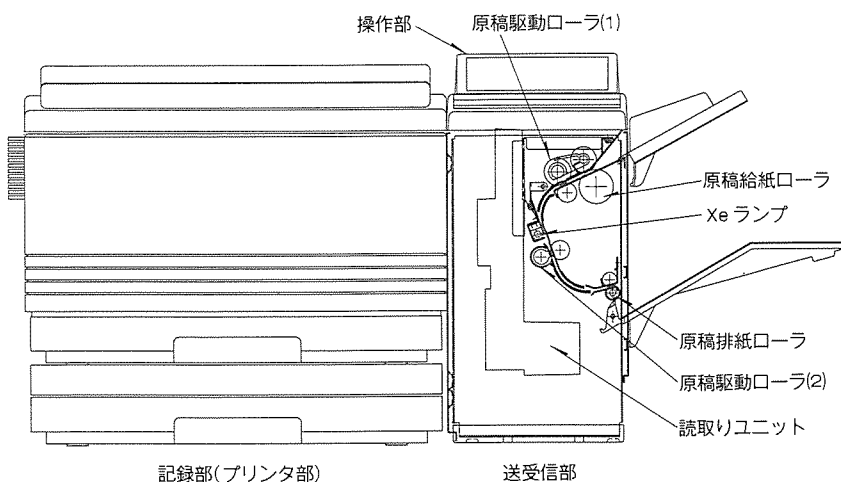


図7. 機構部の構成

##### (2) 品質の向上

##### (3) 資産流用性の向上

ここではソフトウェア構成・実装について述べた後、特長的なヒューマンインタフェースとデュアルアクセス制御について述べる

#### 5.1 オブジェクトの構成・実装上的特長

図8に端末制御ソフトウェアの構成を示す。端末制御ソフトウェアは、スキャナ部、プリンタインタフェース部、通信制御インタフェース部、通信管理部、ヒューマンインタフェース部及び文書管理部の6つのオブジェクトから構成されていて、次のような実装上的特長がある。

- (1) 端末全体のシーケンス制御部分が存在しない。
- (2) オブジェクト指向に基づくインスタンスの生成(メモリ領域の獲得)に備えて、リアルタイムモニタのメモリ管理部に、ブロック単位のメモリ管理機能に加えて、バイト単位のメモリ割当て・解放機能が追加されている。
- (3) 通信制御インタフェース部、スキャナ部、プリンタ制御部は、次の理由から従来の手続き型としている。

- (a) 送信原稿をメモリ蓄積することなく直接送信する場合、文書データが時間的制約によって生成・消去されるため、静的な文書オブジェクトの定義が満たされない場合がある。
- (b) 論理だけではなく、時間に基づくシーケンス制御を必要とするLSIやハードウェアの制御ソフトウェアについては、手続き型プログラムのほうが、インサーキットエミュレータを用いたデバッグが容易である。

- (4) オブジェクト指向言語は使用せずC言語を用いている。また、メッセージとメソッドの対応表を生成し、メッセージを受け取るオブジェクトのメソッド選択機能を実現している。さらに、ソフトウェア開発者にオブジェクト内容へのアクセス方法を徹底することにより、オブジェクト指向によるソフトウェア開発を実現している。

#### 5.2 大型LCD制御とヒューマンインタフェース

ヒューマンインタフェース表示制御は、大型LCD6画面分のメモリによるオーバラッピングウィンドウ(透過モード)によって実現している。ヒューマン

インタフェース部は、

- (1) FAXウィンドウズアプリケーション部
- (2) FAXウィンドウズベース部
- (3) LCD制御部
- (4) その他

から構成されており、LCD制御部は、メモリ管理とLCD表示制御を実行し、汎用のウィンドウ関数(例えばcreate\_window()やshow\_window()など)をFAXウィンドウズベース部に提供する。FAXウィンドウズベース部は、FA

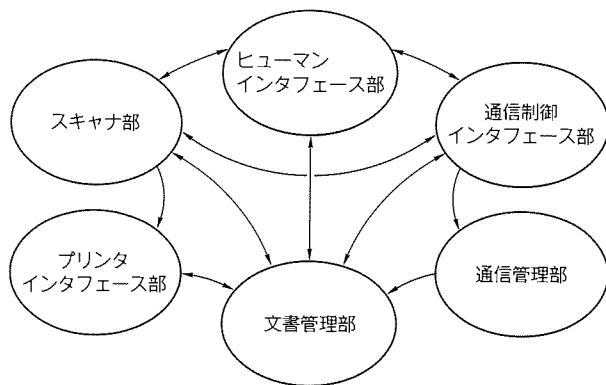


図8. 端末制御ソフトウェアの構成

X ウィンドウズアプリケーションに使用される更に高位なウィンドウ関数群 (例えば、解像度表示アイコン等の各種アイコンの表示を指示する SetWnd (&struct) 関数や、ファクシミリ通信状態表示用の StatusWnd (Status, String, Length) 関数などを提供する。

また、FAX ウィンドウズアプリケーションの開発用に PC 上でのエミュレーション環境が用意されており、エミュレーションは、FAX ウィンドウズベース部の関数を PC 表示用関数に置換することで実現される。

### 5.3 デュアルアクセス制御

5.1 節で示したように、各機能を実現している6つのオブジェクトは、互いにメッセージを送りあって、端末全体のシーケンス制御なしに非同期に各処理を行っている。このため、MELFAS F1では“FAXを受信している最中に、送信原稿をメモリに読み込ませる。”“メモリの内容が送信されている間にコピーをとる。”といったデュアル動作を容易にしている。また、通信制御インスタンス (RAM 領域) を二つ用意

することで、マルチチャネルによる通信も可能な設計となっている。

## 6. む す び

MELFAS F1の開発によって、ビジネスセンターマシンとしてのヘビーデューティ機能に要求される基本性能の充実に、新符号化技術の確立と画質の飛躍的向上によって実現できた。今後は、G4機及び多機能高級機、さらに普及機にまでF1コードと高画質化技術を適用することにより、F1ファミリーを拡大・展開していく予定である。

## 参 考 文 献

- (1) 小野文孝, 泉 信行, 岩男裕幸, 西山幸和, 石原幹久: 本格派多機能普及機ファクシミリ《MELFAS 700シリーズ》, 三菱電機技報, 63, No. 12, 1044~1048 (1989)
- (2) 瀬政孝義, 高橋利至, 吉田雅之, 小野文孝: 文字/網点/写真混在画像の2値化表現-像域分離変数を用いた連続的適応2値化, 画像電子学会誌, 20, No. 5, 476~483 (1991)
- (3) 大西良一, 上野 裕, 小野文孝: 近接画素相関を利用するファクシミリ信号帯域圧縮の最適設計, 電子通信学会論文誌, 61-B, No. 8, 745~752 (1978)
- (4) 小野文孝, 木村智広, 木野茂徳, 吉田雅之: 算術符号型 MELCODE, 電子情報通信学会春季全国大会, A-152 (1989)
- (5) 今中良史, 瀬政孝義, 小野文孝: ファクシミリ受信画像の平滑化処理による高画質化, 画像電子学会年次大会, 18 (1991)

# 16kbps LD-CELP 音声コーデックモジュール

河野典明\* 矢島 久\* 浅井 敬\*\* 長瀬平明\*\*\* 内藤悠史\*

## 1. ま え が き

近年、ネットワークのデジタル化に呼応して、高能率音声コーデックの実用化も本格的な段階を迎え、様々な分野で使用されるようになってきた。これに伴い、符号化方式の標準化も大きな課題となっており、電気通信に関する国際標準化機関である CCITT (Comite Consultatif Internationale Telegraphique et Telephonique : 国際電信電話諮問委員会) は、これまで電話音声を対象にした、64 kbps PCM 方式 (勧告 G.711) を始めとする各種の音声符号化方式の標準化を行ってきた。今回、テレビ会議/電話システムなどからの強い要請にこたえ、16 kbps の伝送速度の音声符号化方式の標準化を進め、LD-CELP (Low-Delay Code Excited Linear Prediction : 低遅延符号励振線形予測) 音声符号化方式の勧告 (Recommendation G.728) の技術的な審議を完了した。日本においても TTC (The Telecommunication Technology Committee : (社) 電信電話技術委員会) が、同勧告を基に JT-G 728 として標準化作業を進めている。

当社では、上記勧告に準拠した音声コーデックを DSP (Digital Signal Processor) を用いて開発し、多くの付加機能をもたせ、小型モジュール化した。以下にこの LD-CELP 音声コーデックモジュールを紹介する。

## 2. LD-CELP 方式 アルゴリズムの概要

従来の CELP 方式は、予測係数算出のために必要な入力音声信号のバッファリングサイズが大きく、それに伴い符号化処理遅延が大きかった (80 ms 程度)。一方、LD-CELP 方式は従来の CELP 方式にバックワードの適応動作を導入し、入力音声信号のバッファリングを 5 サンプルと小さくすることにより、符号化の低遅延化 (2.5 ms 程度) を実現している。これに伴い、従来の CELP 方式では伝送していた予測係数等の補助情報の伝送も不要となり、符号器から復

号器に伝送される情報は、最適励振ベクトルインデックス (10 ビット) のみとなっている。以下、図 1 に従ってアルゴリズムの概要を説明する。

図 1 に LD-CELP 符号器・復号器の機能ブロック図を示す。符号器において、入力信号である  $\mu$  則又は A 則 PCM 信号はリニア PCM 信号に変換された後、5 サンプルを 1 組 (以下この 1 組を“ベクトル”という。) としてベクトルバッファに蓄えられる。ベクトルバッファに蓄えられている入力ベクトル波形に最も近い波形を合成できる励振ベクトルを探し出すために、励振ベクトルコードブックに蓄えられている、7 ビットの波形情報と 3 ビットの利得情報の計 10 ビットで形成される 1,024 個の励振ベクトルについて、それぞれ利得調整を行った後合成フィルタに印加し、合成音声ベクトルを得る。この 1,024 通りの合成音声ベクトルと入力ベクトルとの差をとり、誤差信号ベクトルを算出する。この誤差信号ベクトルを更に人間の聴覚の特性に合った評価ができるように聴覚重み付けフィルタで補正した後、それぞれのベクトルに対する平均二乗誤差を算出する。最適な励振ベクトルとして、平均二乗誤差が最小となる励振ベクトルを選択し、このベクトルのインデックス (10 ビット) のみを符号器から出力する。5 サンプル時間 ( $125 \mu\text{s} \times 5 = 625 \mu\text{s}$ ) ごとに 10 ビットの伝送を行うので 16 kbps の伝送速度となる。最適励振ベクトルを選択した後、バックワード利得適応器、バックワード合成

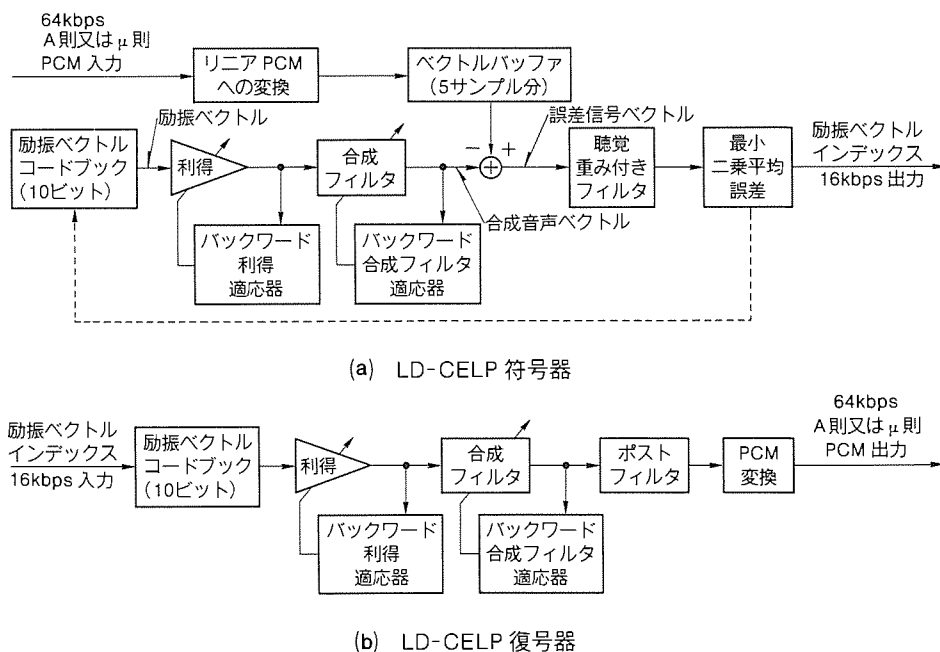


図 1. LD-CELP 機能ブロック図

フィルタ適応器には最適励振ベクトルにより生成されるベクトルを逐次入力し、これらのベクトルから合成フィルタ、励振利得の適応を各々行う。バックワード利得適応器、バックワード合成フィルタ適応器で算出される予測係数の更新は4音声ベクトル周期ごとに行う。

復号器では符号器が送信したベクトルインデックス(10ビット)を受信し、符号器と同一の励振ベクトルコードブックからそのインデックスに対応する励振ベクトルのみを読み出す。図1に示されるように、励振ベクトル発生から合成音声出力までの構成は、符号器と復号器で全く同一であり、受信ベクトルに対応して読み出した励振ベクトルを用い、符号器と全く同一の処理により、合成音声ベクトルとして復号する。次にこの復号音声ベクトルを、聴感上の品質を向上させるためにポストフィルタに通す。ポストフィルタから出力された5サンプル分の復号音声信号を、5サンプルの $\mu$ 則又はA則PCM信号に変換して出力する。バックワード利得適応器、バックワード合成フィルタ適応器で算出される予測係数の更新は、符号器と同様4音声ベクトル周期ごとに行う。

### 3. LD-CELP 音声コーデックモジュール

#### 3.1 モジュール化の目的

以下の三つの目的を達成するため、LD-CELP 音声コーデックのモジュール化を行った。その詳細を以下に述べる。

##### (1) 汎用性のあるコーデックの実現

コーデックと外部回路とのインタフェース(以下“I/F”という。)を容易にするため、市販PCMコーデックチップのI/F仕様に準ずる仕様を採用した。このI/Fの採用により、このコーデックを応用装置に適用する場合、コーデック内のDSPとの複雑なI/F仕様に煩わされることなく、モジュールI/F仕様に従って設計すればよく、様々な装置に容易に適用することが可能である。

##### (2) コーデックの小型化

両面実装モジュールとして小型化することにより、このモジュールを適用する装置の一層の小型化が可能となる。

##### (3) 多くの付加機能の実装

このモジュールに多くの付加機能を実装することにより、適用装置の範囲が広がるとともに、装置自身の機能向上を図ることができる。これらの付加機能の詳細については次節以降で紹介する。

#### 3.2 モジュール機能仕様

表1にこのコーデックモジュールの機能仕様を示す。主な機能について以下に述べる。

##### 3.2.1 内部同期及び外部同期動作機能

伝送路を介して対向する符号器・復号器を動作させるには、両者の適応フィルタの更新

タイミングを同期させる必要がある。内部同期方式とは、16 kbpsの符号化データ列に周期的に同期ビットを挿入し、復号器側でその同期ビットを検出し、符号器・復号器間で同期をとる方式である。一方、外部同期方式では16 kbpsの符号化データのほかに、同期情報を別チャンネルで伝送することにより、符号器・復号器間で同期をとる。この二つの同期方式の選択が可能である。

##### 3.2.2 インチャネルの補助信号伝送機能

###### (1) 100 bps シグナリング伝送機能

この機能は勧告G.728に規定されている機能であり、100 bpsのシグナリング伝送を別途シグナリング伝送用チャンネルを設けることなく、16 kbpsの符号化データ伝送チャンネルを使用して行うことができる。

###### (2) ダイアルパルス伝送機能

勧告G.728に規定されている100 bpsシグナリング伝送機能では不可能な10 pps方式又は20 ppsのダイアルパルス信号の波形伝送を、16 kbpsの符号化データ伝送チャンネルを使用する当社独自のインチャネル多点サンプリング方式により、伝送することができる。

図2に、LD-CELP 音声コーデックモジュールの機能ブロック図を示す。

### 4. 主要機能の実現方式

#### 4.1 音声符号化・復号機能

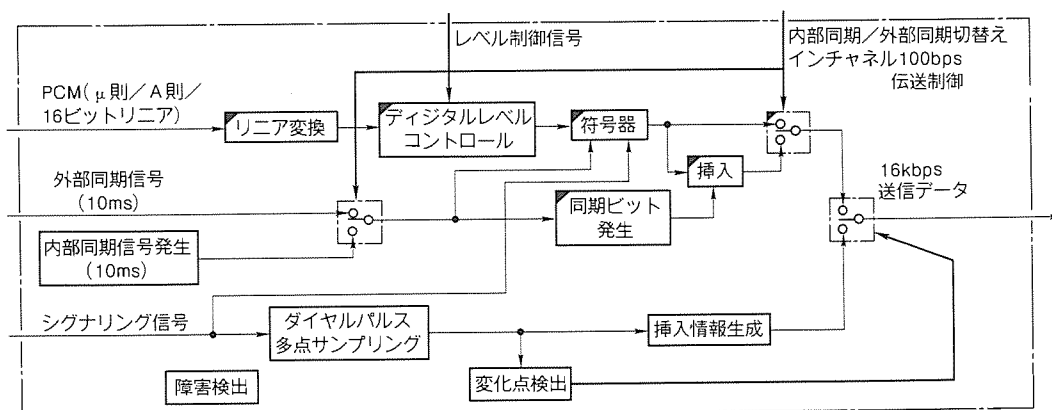
LD-CELP方式音声コーデックの実現には、32ビット精度の浮動小数点演算が必要である。DSPとしては最小命令サイクル65 nsの32ビット浮動小数点演算方式のDSPを採用した。

2章で述べたように、音声の符号化単位は1音声ベクトル時間(入力の5 PCM サンプルに相当)単位であり、各フィルタ係数の更新周期は4音声ベクトル周期である。勧告草案で

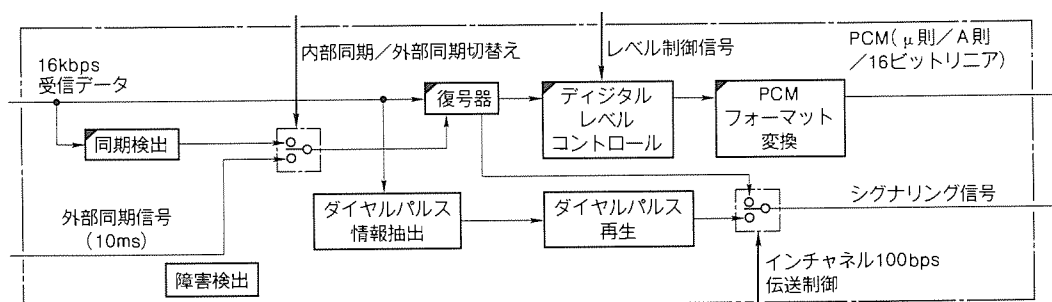
表1. コーデックモジュールの機能仕様

No.	機 能	仕 様
1	音声符号化・復号機能 コーデック内フィルタ ON/OFF機能	CCITT 勧告 G.728 準拠 LD-CELP 方式 モデム信号伝送に対し、聴覚重み付けフィルタ及び ポストフィルタをOFFにすることが可能
2	内・外同期機能	内部同期方式又は外部同期方式で動作可能
3	インチャネル補助信号 伝送機能	100bps でシグナリング情報を伝送可能 ダイアルパルス(10pps, 20pps)信号の伝送が可能
4	音声レベル制御機能	デジタル設定によるデジタル音声信号レベルの 制御が1 dB 単位で設定可能。 符号器側: (−3 dB ~ +11 dB) 復号器側: (−15 dB ~ +3 dB)
5	PCM入出力インタフェース フォーマット切替機能	A 則, $\mu$ 則, 16ビットリニア PCM フォーマットの選択が可能
6	PCM 側, 伝送路側 インタフェース機能	多重化及び連続データ入出力が可能
7	障害検出機能	ウォッチドグタイマ, クロック断検出等
8	保守機能	PCM 側ループバック, 伝送路側ループバック





(a) 符号器側機能ブロック



(b) 復号器側機能ブロック

図2. LD-CELP音声コーデックモジュール機能ブロック図

は、係数更新周期を第1音声ベクトルから第4音声ベクトルに分割し、いずれのベクトルのときにどの処理を行うかを記述してある。1音声ベクトル周期は0.625msであり、DSPの命令サイクルは65nsであるので、LD-CELPアルゴリズムを実時間で実現するには、各音声ベクトル周期に割り当てられた処理を9,615命令サイクル以内で終了しなければならない。勧告に従って各処理を1～4音声ベクトルに配分したところ、ベクトル周期間で処理負荷に偏りがあり、実時間処理の可能な9,615命令サイクルを超えてしまうベクトル周期があることが判明した(図3参照)。そこで、LD-CELP方式のアルゴリズムの原理的な面から再検討し、勧告に記述されるアルゴリズムとの互換性を保ちながら、各ベクトル周期に対する処理割当ての再配分を行ったところ、各音声ベクトル周期で9,615命令サイクル以内の処理で実現できるようになった(図3参照)。図から明らかなように、LD-CELP符号化・復号アルゴリズムを実時間で実行した後でも、まだ各音声ベクトル周期について約1,000サイクルの余裕がある。この余裕を他の付加機能実現に使用した。

#### 4.2 内部同期機能

内部同期に関して勧告で規定されている点は以下のとおりである。

- (1) 同期ビットの挿入周期は $N \times 4$ ベクトル周期とする( $N=4:10\text{ms}$ が推奨周期)。

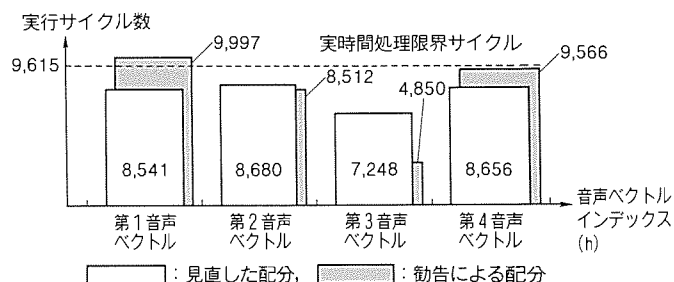


図3. 適応周期内での音声ベクトル時間の処理負荷

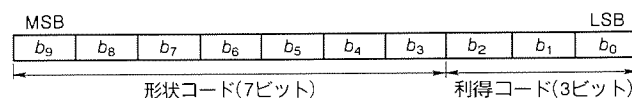


図4. 最適コードブックインデックスのビット構成

- (2) 図4に最適コードインデックスのビット構成を示す。形状コードインデックスのMSBビット(図4中、 $b_9$ ビット)の代わりに、周期的に同期ビットを挿入し、同期ビットの値を検索コードインデックスのMSBビットの値とする形状コードブックの上半分又は下半分を検索することを推奨している。

上記提案は検索されるコードインデックスの発生頻度が、コードブックの上半分と下半分で等しいという想定に立っている。その妥当性を確認するため、最適形状コードインデックスの発生頻度の調査を行った。

表2に示す10か国語音声信号、及び高域周波数群・低域周波数群の信号強度をそれぞれ-5dBm0とする12種のDTMF信号(1信号時間長1分、合計信号時間長12分)を符号器に入力し、最適形状コードインデックスの発生頻度を調査した。表3に $b_9$ ビットが“1”、“0”である比率を示す。表3は全10か国語音声信号及び全DTMF信号の各々に対する値を示している。個々の国語の音声信号及び個々のDTMF信号についてもほぼ同様の値が得られており、表3の偏りは特定の信号に限られるものではないことが判明した。

この結果、同期ビット挿入時のコードブック検索範囲を“64~127”に固定する方式をとれば、全コードブックを検索した場合に得られる最適形状コードと同一のインデックスを選択する可能性は約80%となることが判明した。

挿入される同期コードの値でコードブック検索範囲を規制する勧告方式と、同期ビット挿入時の検索範囲をコードブックの上半分(64~127)に固定する上記方式を比較した場合、いずれの方式でも検索するコードインデックス数は半分であるが、上記方式を採用した場合のほうが、より良い音質を得られることが判明した。

また、前述の内部同期に関する勧告の2点の規定のみでは内部同期機能を実現することはできない。同期ビット挿入周期、同期パターン、そして前方保護段数、後方保護段数を決定する必要がある。CCITTで国際ISDN接続時の回線の伝送誤り率は、 $10^{-6}$ 以下となるよう規定されているが、それよりも悪い回線品質の回線を想定し、伝送誤り率を $10^{-5}$ と仮定して、下記項目を決定した。

- (a) 同期ビット挿入周期：10ms(CCITTの推奨どおり)
- (b) 同期パターン：8ビット
- (c) 同期保護段数

前方保護：2段、 後方保護：3段

以上の仕様により、伝送誤り率 $10^{-5}$ の回線で、平均ミスフレーム間隔1,157日、誤同期確率 $9.5 \times 10^{-6}$ 、同期引込時間240~250msとなり、実用上十分な性能をもつ内部同期方式が実現できた。

#### 4.3 ダイアルパルス

##### 伝送機能

20ppsのダイアルパルス波形を規定内の波形ひずみで伝送するには、およそ800Hz以上でサンプリングする必要があり、100bpsの伝送機能(表1、第4項参照)ではダイアルパルス

表2. 試験音声信号

言語	男性(名)	女性(名)	継続時間
米語	4	4	3min 26s
アラビア語	4	4	2min 12s
中国語	4	4	2min 34s
英語	4	4	2min 44s
フランス語	2	2	3min 45s
ドイツ語	4	4	2min 38s
日本語	4	4	3min 32s
ノルウェー語	4	4	2min 50s
ロシア語	4	4	3min
スペイン語	4	4	3min
計	38	38	29min 28s

注 この音声信号は、NTTアドバンステクノロジー(株)から販売されている“20か国語音声データベース”のコンパクトディスクによって収録されたものを使用。

表3. 形状コードインデックス $b_9$ ビットの“0”/“1”の発生比率

信号	$b_9$	単位：%	
		“0”	“1”
音声信号(全サンプル)		22.23	77.77
DTMF信号(全サンプル)		23.22	76.78

表4. LD-CELP音声コーデックモジュールの諸元

符号化速度	16kbps
サンプリング周波数	8kHz
対向伝送遅延	5ms(回路遅延を含む。)
外部同期周期	10ms
内部同期周期	10ms
内部同期保護段数	前方保護2段、後方保護3段
引込時間	240~250ms
PCM側I/F	64kHz~20MHzクロックI/F
伝送路側I/F	16kHz~20MHzクロックI/F
使用部品	DSP 2個、メモリチップ 8個、 発振器 1個、132ピンゲートアレー 1個
モジュールサイズ	85mm×55mm

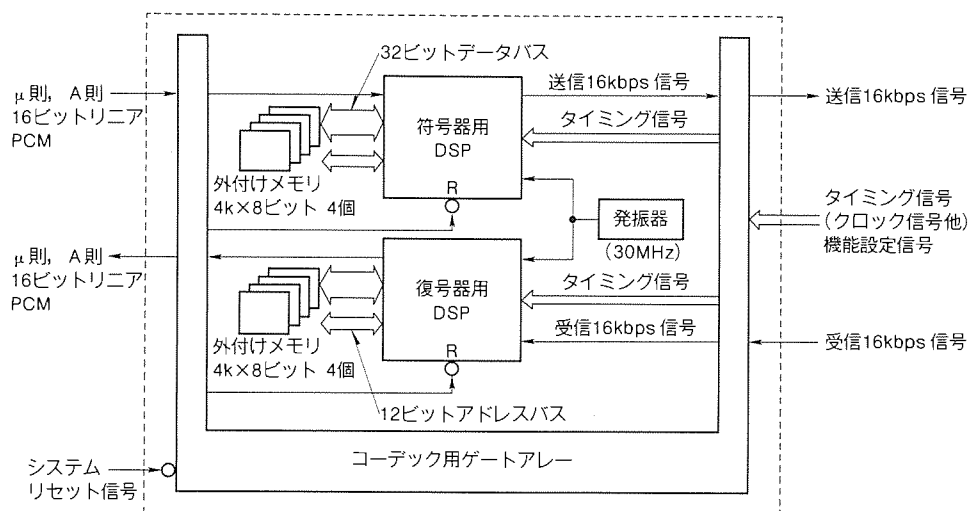


図5. LD-CELP 音声コーデックモジュールのハードウェア構成

信号の波形伝送は不可能である。そこで以下に示す方式をオプション機能として採用した。

このLD-CELP コーデックの内・外部同期周期は10msである。符号器側でダイヤルパルス信号を1kHzで多点サンプリングし、10ms 期間に相当するその10サンプルのダイヤルパルス情報の変化点(“1”から“0”又は“0”から“1”)を検出したときのみ、該当10ms 期間の符号化データに替えて、ダイヤルパルス情報挿入フラグ、及び上記10サンプルのダイヤルパルス情報を挿入して伝送する。

復号器側では10msの受信ビット系列から上記ダイヤルパルス情報挿入フラグを検出すると、変化点を含んだ上記10サンプル分のダイヤルパルス情報を抽出し、再生して出力する。次のダイヤルパルス情報挿入フラグを検出するまでは、上記再生出力値は保持される。

#### 4.4 デジタル音声信号レベル制御機能

従来、デジタルI/Fで接続される機器間、例えばEPBXと高能率音声コーデックを搭載した音声伝送装置間等で、デジタル信号での音量合わせが困難であったが、この機能を設けることによって音声伝送装置においてこれが可能となる。この機能は、DSPに外部からレベル制御値を与え、DSP内部で演算を行うことにより、音声信号レベルを制御している。この制御は送受独立に設定可能である。

### 5. LD-CELP 音声コーデックモジュールの諸元

表1に示したコーデックモジュール各機能の実現のため、DSP 2個、外付けメモリ 8個、ゲートアレー 1個、発振器 1個を使用した。表面実装部品を採用し、モジュール基板にこれらを両面実装することによってこのモジュールの小型化を実現した。表4にこのモジュールの諸元を示し、図5にそのハードウェア構成を示す。図6は今回開発したこの音声コーデックモジュールの外観である。

### 6. 音 質 評 価

今回開発したLD-CELP 音声コーデックモジュールについて主観評価を行い、CCITT 勧告 G.721 32 kbps ADPCM 方式とはほぼ同等の品質が得られていることを確認した。図7に客観評価として、CCITT 勧告 G.712に規定されている Method 1 (正弦波法)による入力レベル対 SN 比特性評価を行った結果を示す。図中(a)は通常の音声伝送モードであり、(c)は比較のためのμ 則 PCM コーデックの特性である。音声伝送モード(a)は約30dBのSN比が得られている。(b)はモデム信号等の非音声信号を伝送するために聴覚重み付け

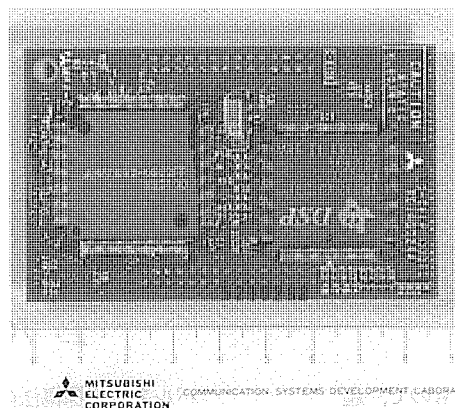


図6. LD-CELP 音声コーデックモジュール

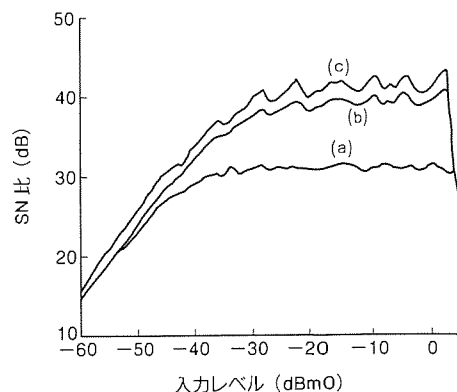


図7. LD-CELP 音声コーデックの SN 比特性

フィルタ及びポストフィルタをOFFにするモード(表1第2項参照)の特性である。同モードでは、客観評価上は音声伝送モードよりも良いSN比が得られているが、量子化ひずみ音がかなり目立っている。主観評価では、同フィルタをONにした音声伝送モードのほうが明らかに良い通話品質であることが確認された。

### 7. む す び

以上、CCITTの勧告に準拠した16 kbps LD-CELP 符号化方式音声コーデックモジュールについて、その概要を述べた。このモジュールは、当社製マルチメディア多重化装置“MELMUX”の最新機種に既に実装され出荷されている。このコーデックは当社製テレビ電話/会議装置“MELFACE”への適用も予定されており、今後更に多くの通信装置への適応が期待できる。

このモジュールのコーデックは浮動小数点演算アルゴリズムに準拠しているが、これと互換性のある固定小数点演算アルゴリズムの標準化がCCITTで引き続き行われている。同アルゴリズムが勧告化されれば、それに準拠する実用化を行い、一層の小型化・低消費電力化を図る予定である。

### 参 考 文 献

- (1) Draft Recommendation on 16 kbit/s Voice Coding, CCITT Contribution COM-XV TD. 62 (1991-11)
- (2) 矢島 久, 河野典明, 内藤悠史, 長瀬平明: LD-CELP 音声コーデックモジュール, 信学会秋季大会, B-569 (1992)
- (3) 河野典明, 矢島 久, 内藤悠史: LD-CELP 音声コーデックの内部同期方式の一検討, 信学会秋季大会, B-568 (1992)
- (4) Mitsubishi Electric Corp.: A Statistical Characteristic of LD-CELP Shape Codebook Used in Draft Re. G. 728, CCITT Com. XV-175 (1992-2)

# 零レンジサイドローブパルス圧縮超音波探傷法

和高修三\* 永塚 勉\*\* 三須 幸一郎\*\* 木村友則\*\* 小池光裕\*\*\*

## 1. ま え が き

超音波探傷は、レーダと同様の原理を用いたもので、超音波パルスを金属などの試験体内に送信し、試験体内の欠陥などの音響的不連続部から反射されるエコーを受信して試験体を非破壊で検査するものである。

超音波探傷では、従来、探触子を駆動する送信信号としてインパルスを用いたパルスエコー法が用いられてきた<sup>(1)</sup>。しかし、この方法は、送信電力が小さいので雑音に弱い欠点がある。これに対し、パルス圧縮を用いた探傷法は、幅の広い変調パルスを送信することによって送信電力を大きくし、さらにエコーに相関処理を施すことにより、幅の狭いパルスに変換して表示するものである<sup>(2)~(5)</sup>。これにより、従来のパルスエコー法と比較して、同等の距離分解能を保ったまま、探傷感度を向上できる特長があり、減衰の大きい試験体の探傷や外来雑音の多い環境下における探傷の精度向上に有望である。

パルス圧縮探傷法では、エコーの相関処理結果として得られる圧縮パルスにレンジサイドローブと呼ばれるサイドローブがあると、そのレベルによってシステムのダイナミックレンジが制限される。これを避け、レンジサイドローブのない圧縮パルスを得るため、従来、送信信号の変調に相補系列を用いる方法が検討されている<sup>(2)~(5)</sup>。しかし、相補系列は限られた系列長でしか存在せず<sup>(6)</sup>、系列長の選択自由度が小さい。このため、一つの探触子を超音波の送受信に兼用する一探法にパルス圧縮を適用した場合、系列長に比例して決まる所要 SN 比改善量を実現するには、短い系列を繰り返して用いて検査時間が長くなるのを犠牲にするか、又は長い系列を用いて系列長に比例する検査不能時間が長くなるのを犠牲にする必要があった。

今回、相補系列の存在しない系列長で、送信信号変調用の系列として、4 個以上の偶数個の系列からなり、レンジサイドローブのない圧縮パルスを得られる新しい系列の組合せがあることを見いだした。これにより、系列長 50 以下で、零レンジサイドローブが得られる系列長を、従来の相補系列の 9 種類に、新たに 12 種類追加することができ、検査時間及び検査不能時間の短縮が可能になった。

本稿では、パルス圧縮探傷法の原理と零レンジサイドローブを得られる新しい系列について述べ、レンジサイドローブの相殺効果と SN 比改善効果を確認した実験結果を示す。

## 2. パルス圧縮探傷法の原理

パルス圧縮探傷法の原理を図 1 を参照しながら説明する。パルス圧縮探傷法では、送信信号として幅の広い変調パルスを用いて探触子を駆動する。送信信号の例を図中に示してある。この送信信号は、長さが 4 の系列  $\{a\} = \{++--\}$  により、位相変調されたパルスである。試験体内の音響的不連続部で反射され探触子によって受信されたエコーは、相関処理された後、表示される。

送信信号のパルス幅が長いので、送信電力が大きく、高い SN 比が得られる。従来のパルスエコー法と比較した SN 比改善量は、送信信号の変調に用いた系列の長さに比例する<sup>(2)(3)</sup>。

また、相関処理により、時間軸上に広がっていたエコーのエネルギーは時間軸上の 1 点に圧縮される。圧縮されたパルスは圧縮パルスと呼ばれる。図中に示すように、圧縮パルスは幅の狭い主ローブをもっている。したがって、従来のパルスエコー法と同等の距離分解能が得られる。

しかし、圧縮パルスには、主ローブの両側にサイドローブがある。このサイドローブは、時間サイドローブ又はレンジサイドローブと呼ばれる。圧縮パルスにレンジサイドローブがあると、そのレベルによってシステムのダイナミックレンジが制限される欠点がある。

## 3. 零レンジサイドローブパルス圧縮探傷法

### 3.1 相 補 系 列

圧縮パルスのレンジサイドローブのレベルは、送信信号の変調に用いる系列の自己相関関数のサイドローブによって決

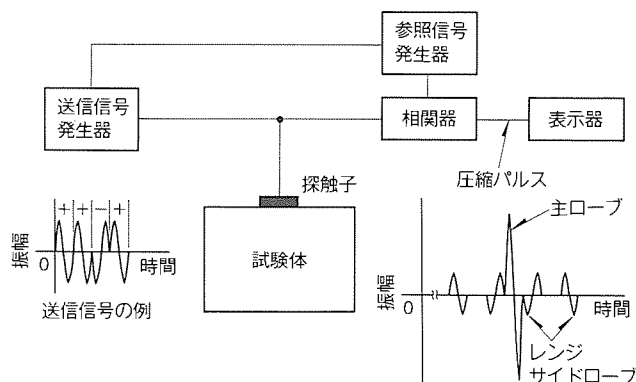


図 1. パルス圧縮探傷法の原理

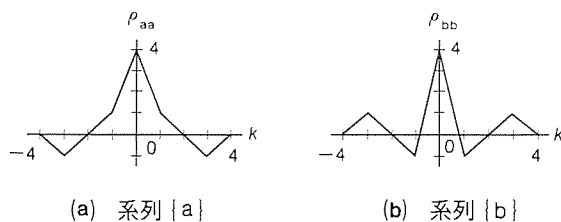


図2. 相補系列の自己相関関数の例

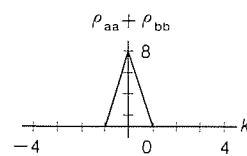


図3. 図2に示した自己相関関数の加算結果

まる。レンジサイドローブのない圧縮パルスを得るため、従来、送信信号の変調に相補系列が用いられている<sup>(2)~(5)</sup>。相補系列は、長さの等しい二つの有限長の系列{a}と{b}とからなり、各々の系列の自己相関関数を加算するとサイドローブが相殺され、零になる系列である<sup>(6)</sup>。図2及び図3に例を示す。

図2(a)及び(b)は、それぞれ相補系列 {a}={+++-}及び {b}={++-+} の自己相関関数である。図3は、これら二つの自己相関関数の加算結果である。図2(a)及び(b)に示した自己相関関数とも、主ローブ(中央の鋭いピーク)の両側にサイドローブがある。しかし、図3に示すように二つの自己相関関数を加算すると、サイドローブは相殺され零になっている。したがって、送信信号の変調に相補系列を用いれば、原理的にレンジサイドローブのない圧縮パルスを得ることができる。

しかし、相補系列を用いたパルス圧縮を、超音波探傷で広く用いられている、一つの探触子を超音波の送受信に兼用する一探法へ適用する場合、次の問題がある。一探法では、図4に示すように、送信信号が受信回路側に一部漏れ込むので、送信信号が継続している時間は検査不能時間となる。この検査不能時間を短縮するには、送信信号の継続時間を短くする必要がある。送信信号の変調に用いる系列として、短い系列を使用する必要がある。一方、パルス圧縮によるSN比改善量は、送信信号の変調に用いる系列の長さに比例する<sup>(2)</sup>。このため、所要SN比改善量を得るには、短い系列を繰り返して用いて検査時間が長くなるのを犠牲にするか、又は長い系列を用いて検査不能時間が長くなるのを犠牲にする必要がある。これを解決するには、相補系列の存在しない系列長で、零レンジサイドローブを与える新しい系列があれば望ましい。

### 3.2 新系列

相補系列が存在しない系列長で、相補系列以外に零レンジサイドローブが得られる系列があることを見いだした。この新しい系列は、計算機を利用して次の手順によって探した。

(1) ステップ1: 系列長  $N$  を与え、この系列長をもつすべての系列を洗い出した。

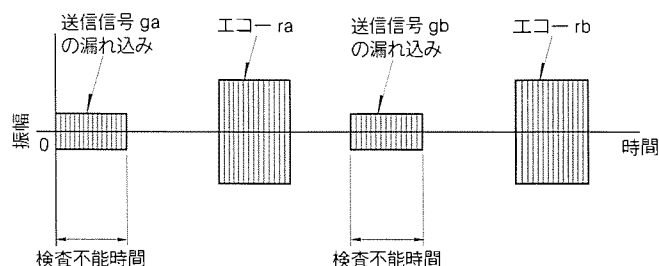


図4. 送信信号の受信回路への漏れ込み

表1. 組合せの数  
( $N$ : 系列長,  $M$ : 系列の数)

	$M=4$	$M=6$	$M=8$
$N=3$	1	0	1
$N=5$	5	0	35
$N=6$	21	48	517
$N=7$	34	0	9,194
$N=9$	477	未検討	未検討

表2. 系列の例 ( $N=5, M=4$ )

系列{a}	{-, -, +, -, +}
系列{b}	{-, -, +, -, -}
系列{c}	{-, -, -, +, +}
系列{d}	{-, -, -, +, -}

- (2) ステップ2: 同一の自己相関関数をもつ系列は同一の系列と見なし、異なる自己相関関数をもつ系列を洗い出した。
- (3) ステップ3: 組み合わせる系列の個数  $M$  (4以上) を与え、ステップ2で洗い出した系列の中から  $M$  個の系列を選び、これらの系列の自己相関関数を加算し、加算結果でサイドローブが零になるか否かを判定した。  $M$  個からなる系列のすべての組合せについてこの判定を行い、零サイドローブの条件を満たす組合せを新しい系列として出力した。

相補系列が存在しない系列長  $N=3, 5, 6, 7, 9$  について、 $M=4, 6, 8$  とした場合の、組合せの数を表1に示す。相補系列の存在しない系列長で、多数の新しい系列が存在している。表2は、 $N=5, M=4$  の場合の系列の例である。図5(a)~(d)は、それぞれ、表2に示した系列{a}~{d}の自己相関関数である。これら四つの自己相関関数には、いずれもサイドローブがあるが、図6に示すように四つの自己相関関数を加算すると、サイドローブは相殺され零になり、主ローブ

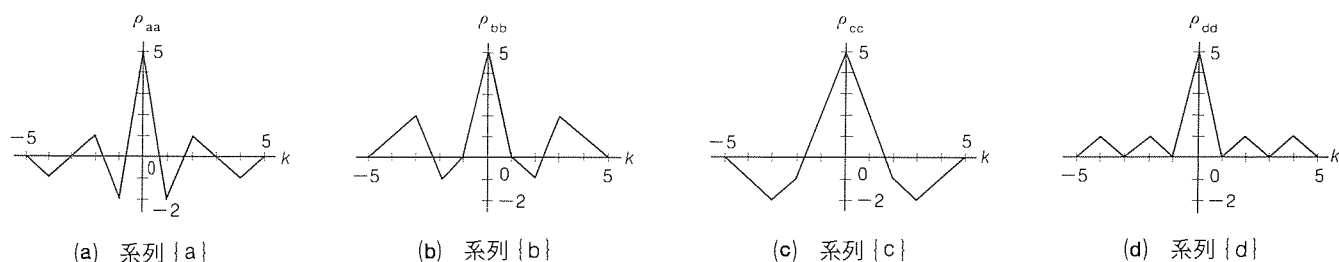


図5. 新系列の自己相関関数の例

ブのみ残っていることが分かる。

なお、 $p$  を整数として、系列長  $N$  の新系列から系列長  $2^p N$  の新系列を生成することができ<sup>(7)</sup>。したがって、新系列は長さ50以下で、相補系列が存在しない  $N=3, 5, 6, 7, 9, 12, 14, 18, 24, 28, 36, 48$  の12種類の系列長で少なくともも存在する。

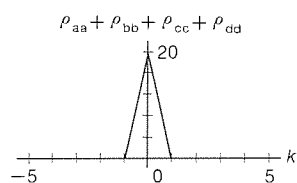


図6. 図5に示した自己相関関数の加算結果

#### 4. 送信信号の繰り返しとエコーの信号処理

表2に示した系列を用いた場合を例にとり、送信信号の繰り返しとエコーの信号処理手順について述べる。図7(a)~(d)に、それぞれ、表2に示した系列{a}~{d}を用いて位相変調した送信信号  $ga \sim gd$  を示す。キャリアの周波数は探触子の中心周波数に合わせる。これら四つの送信信号  $ga \sim gd$  を、図8(a)に示すように、繰り返して発生させ探触子を駆動する。これに対応して、図8(b)に示すように、異なる四つのエコー  $ra \sim rd$  が繰り返して受信される。図中、 $\tau_0$  は試験体中の反射源まで超音波が往復する時間である。四つのエコー  $ra \sim rd$  を、それぞれ独立に、参照信号  $ua \sim ud$  を用いて相関処理する。相関処理により、圧縮された四つの圧縮パルス  $Ca \sim Cd$  を記憶し、レンジサイドローブを相殺するため加算した後、表示する。

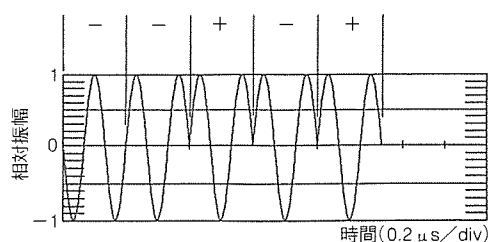
### 5. 実験結果

#### 5.1 構成

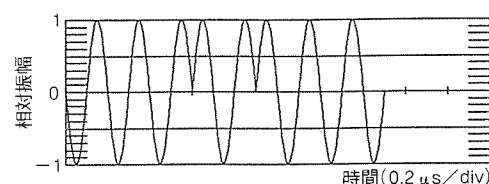
送信信号の変調に、3章で示した新系列を用いることによるレンジサイドローブの相殺効果、及びパルス圧縮によるSN比改善効果を確認するため、装置を構成して実験した。

図9に装置構成を示す。計算機、波形発生器、送信用電力増幅器、探触子、受信用増幅器、A/D変換器、及び表示器とから構成している。

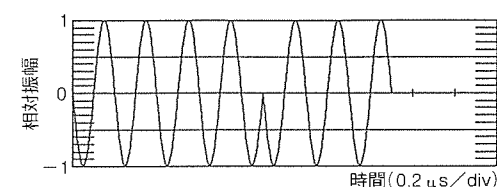
送信信号は次のようにして発生した。まず、図7(a)~(d)に示した送信信号  $ga \sim gd$  にそれぞれ対応する4個の離散時間信号(波形データ)を計算機内で発生させた。次に、これら4個の波形データを波形発生器の4個のチャンネルの波形メモリにそれぞれ記憶した。波形発生器内で、4個のチャネ



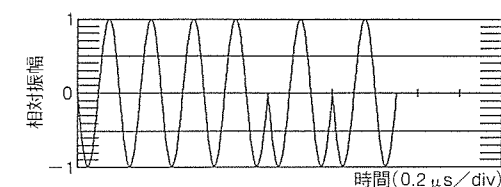
(a) 系列{a}に対応する送信信号  $ga$



(b) 系列{b}に対応する送信信号  $gb$



(c) 系列{c}に対応する送信信号  $gc$



(d) 系列{d}に対応する送信信号  $gd$

図7. 送信信号

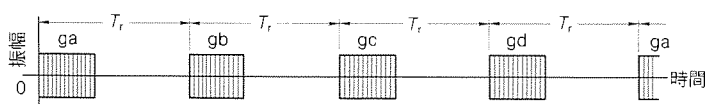
ルのデータを順次切り替えた後、D/A変換することにより、図8(a)に示すように、周期  $T_r$  で送信信号  $ga \sim gd$  を順次繰り返して発生させ、送信用電力増幅器を介して探触子を駆動した。

探触子によって受信したエコーは、受信用増幅器で増幅した後、A/D変換し、エコーの信号処理は計算機内で行った。エコーの相関処理に用いる参照信号には、底面エコーをあらかじめ測定し、これを記憶して用いた。

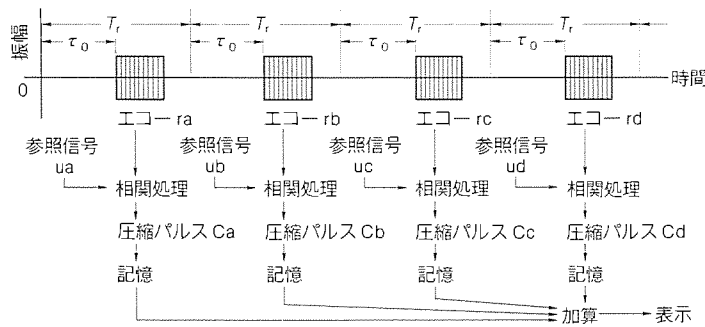
#### 5.2 実験結果

##### (1) レンジサイドローブ

探触子には、中心周波数5MHzの広帯域探触子を用いた。



(a) 送信信号の繰り返し



(b) エコーの受信と信号処理手順

図8. 送信信号の繰り返しとエコーの信号処理

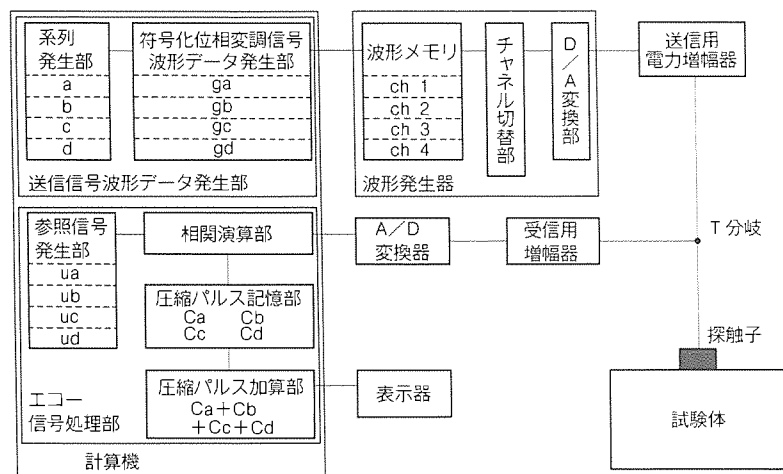
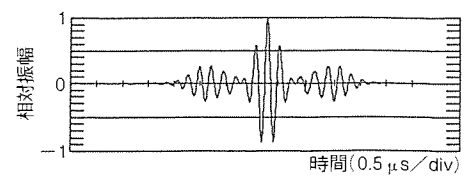
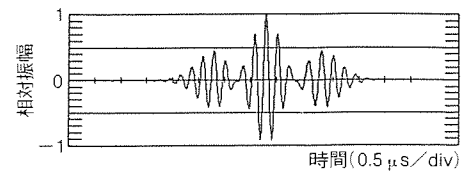


図9. 装置構成

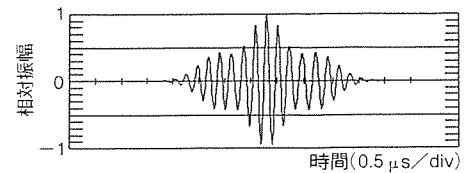
試験体には鋼材を用いた。送信信号  $ga \sim gd$  にそれぞれ対応する受信底面エコー  $ra \sim rd$  を、図10(a)～(d)に示す。これらのエコーの波形は、図7(a)～(d)に示した送信信号の波形とは異なっている。この波形の差は、探触子の帯域が有限であることに起因して生じたものである。従来、エコーの相関処理に用いる参照信号には、送信信号自身が用いられている<sup>(2)(3)</sup>が、ここではあらかじめ測定し記憶した底面エコーを用いた。この信号処理は、エコーを整合フィルタに通すことに相当するので、従来のように、送信信号自身を参照信号として用いるよりもSN比を向上できる<sup>(5)</sup>。図10(a)～(d)に示したエコー  $ra \sim rd$  を、それぞれ相関処理して得られた4個の圧縮パルス  $Ca \sim Cd$  を図11(a)～(d)に示す。図12に、これら4個の圧縮パルスの加算結果を示す。加算することにより、図11(a)～(d)に示した各圧縮パルスにおいて残っていたレンジサイドローブはほぼ相殺され、主ローブのみ残っていることが分かる。



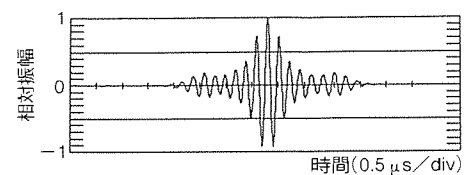
(a) 系列 {a} に対応するエコー ra



(b) 系列 {b} に対応するエコー rb



(c) 系列 {c} に対応するエコー rc



(d) 系列 {d} に対応するエコー rd

図10. エコー測定結果

## (2) SN 比

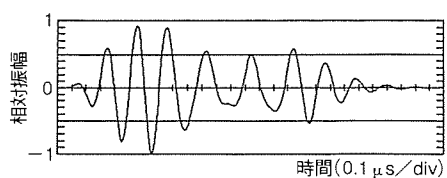
SN比改善効果を確認するため、欠陥のある試験体を用いて実験した。図13(a)にパルス圧縮法による測定結果を示す。同図(b)は従来のパルスエコー法によるエコー測定結果である。

(a)と(b)とを比較すると、従来のパルスエコー法を用いた(b)では、欠陥からのエコーは雑音に埋もれて識別できないが、パルス圧縮を用いた(a)では欠陥からのエコーを明確に識別できていることが分かる。

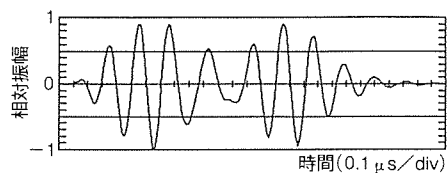
## 6. む す び

パルス圧縮探傷法の原理と、レンジサイドローブのない圧縮パルスが得られる送信信号変調用新系列について述べた。この系列を従来の相補系列と組み合わせると、検査時間や検査不能時間の短縮が可能となる。さらに、新系列を用いた送信信号の発生法及びエコーの信号処理方法を示し、装置を構成し、新系列を用いることによるレンジサイドローブの相殺効果、及びパルス圧縮を用いることによるSN比改善効果を実験によって確認した。

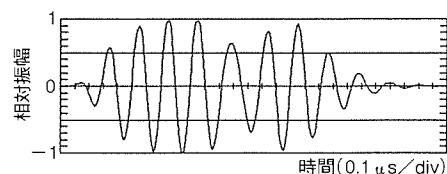
パルス圧縮探傷法は、従来のパルスエコー法と同等の距離分解能を保ったまま探傷感度を向上できる利点があるので、



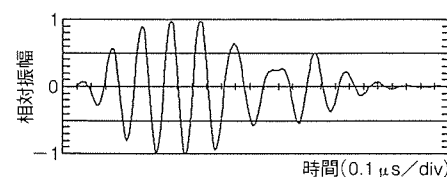
(a) 圧縮パルス(系列 {a} に対応)



(b) 圧縮パルス(系列 {b} に対応)



(c) 圧縮パルス(系列 {c} に対応)



(d) 圧縮パルス(系列 {d} に対応)

図11. 圧縮パルス測定結果

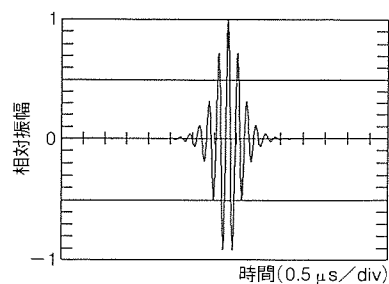
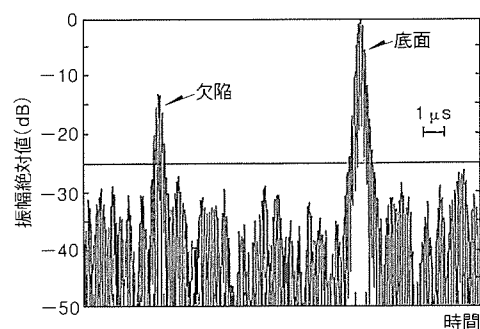
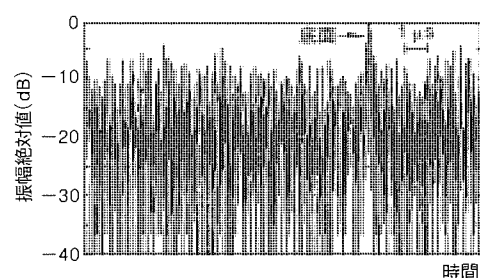


図12. 図11に示した圧縮パルスの加算結果



(a) パルス圧縮による測定結果



(b) 従来のパルスエコー法による測定結果

図13. パルス圧縮探傷法と従来のパルスエコー法との比較

今後、高減衰材の探傷や外来雑音の多い環境下での探傷に重要な技術となるものと期待される。

## 参考文献

- (1) 日本学術振興会製鋼第19委員会編：超音波探傷法，日刊工業新聞社（1974）
- (2) Lee, B. B., Furgason, E. S. : High-Speed Digital Golay Code Flaw Detection System, Ultrasonics, **21**, No. 4, 153~161（1983）
- (3) Hayward, G., Gorf, Y. : A Digital Hardware Correlation System for Fast Ultrasonic Data Acquisition in Peak Power Limited Applications, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr., **35**, No. 6, 800 ~ 808（1988）
- (4) 竹内康人：分散圧縮方式送受信による超音波像，電子情報通信学会，超音波研究会資料，No. US 89-5（1989）
- (5) Wadaka, S., Nagatsuka, T., Misu, K., Urasaki, S.,

- Koike, M. : An Ultrasonic Pulse Compression System for Nondestructive Testing using Complementary Series Phase Modulation, Japan. Jour. Appl. Phys., **29**, Suppl. 29-1, 212~214（1990）
- (6) 宮川 洋，岩垂好裕，今井秀樹：符号理論，474~499，昭晃堂（1979）
- (7) Wadaka, S., Nagatsuka, T., Misu, K., Koike, M. : New Sets of Testing Codes Providing Zero Range Side-lobes for Ultrasonic Pulse Compression Nondestructive Testing Systems, 5th International Symp. on Nondestruct. Character. of Materials, Proc. in Non-destruct. Test and Evalu., Paper No. 6A4 (to be published)





# 特許と新案\*\*\*

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
特許営業グループ Tel/(03)3218-2137

## 圧力監視装置 (特許 第1513443号)

発明者 丸谷朋弘

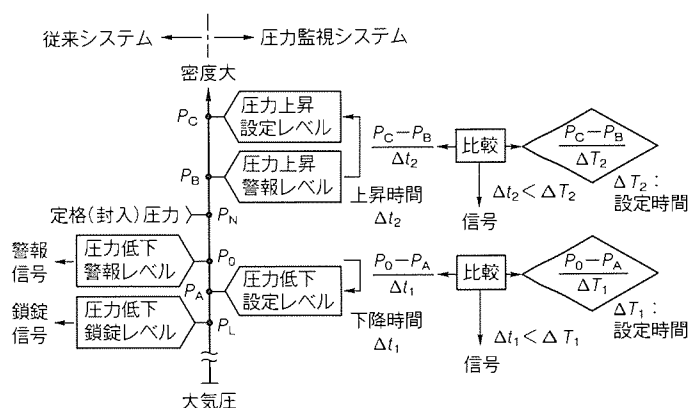
この発明は、ガス絶縁開閉装置における圧力監視装置に関するものである。

従来のガス絶縁開閉装置では、図の左側部分に示すようにガス圧力スイッチを用い、定格圧力  $P_N$  に対して警報レベル  $P_0$  まで圧力が変動すると警報信号を出力し、また鎖錠レベル  $P_L$  に達すると鎖錠信号を出力して機器を系統から切り離していた。

この発明は上記機能に加え、近年の高信頼性設計の要求を考慮し、圧力変化の時間的速度も監視して事故検知、予知等を可能にした圧力監視装置を提供するものである。すなわち、この発明による圧力監視装置は、図の右側部分に示すように圧力の2点間の下降時間  $\Delta t_1$  及び上昇時間  $\Delta t_2$  を検出するシステムを追加しており、そのため、圧力低下設定レベル  $P_A$  及び二つの圧力上昇設定レベル  $P_B$ 、 $P_C$  が設けられている。そして、各圧力設定点により検出された下降時間  $\Delta t_1$  及び上昇時間  $\Delta t_2$  は、あらかじめ設定されたそれぞれの下降設定時間  $\Delta T_1$  及び上昇設定時間  $\Delta T_2$  と比較され、それぞれ設定時

間より小さい場合には異常信号を出力するものである。

以上のように、この発明によれば、異常が発生した場合修復を行うかあるいは事故として切離しを必要とするかを合理的に判断することが可能になり、システムの信頼性が著しく向上する効果がある。



## 避雷器用漏れ電流検出器 (実用新案登録 第1795723号)

考案者 井田芳明

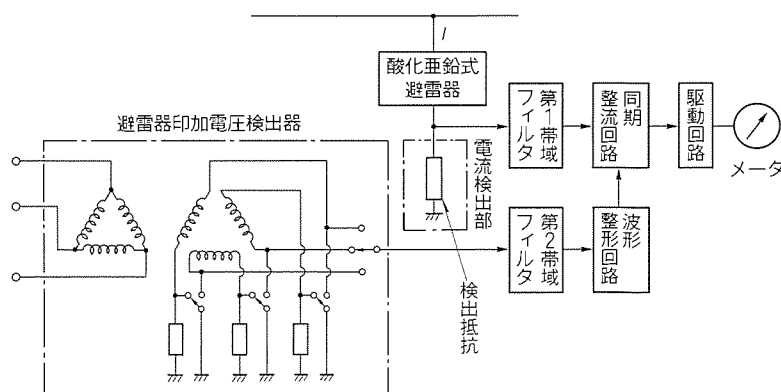
この考案は、酸化亜鉛を主成分とする焼結体を使用した避雷器、特にその避雷器用漏れ電流検出器に関するものである。

従来のこの種の装置は、避雷器に印加される電圧信号を送電線路に設けられた巻線形計器用変圧器 (PT) 又はコンデンサ形計器用変圧器 (PD) の二次側出力線から検出していたが、PT 又は PD は送電線路に多数設けられていないため避雷器の設置場所が制限され、また PT 又は PD の短絡事故を防止する必要上、回路部品の増加に伴う価格高が生じる欠点があった。

この考案は、上述のような欠点を除去するためになされたもので、特に三相の送電線路に接続された避雷器について、三相絶縁トランスを介して検出器自体の電源供給源とするとともに、その電圧の位相情報が送電線路と相似であることを利用して避雷器に印加される電圧信号として使用するものである。すなわち、図のように構成されたこの考案にかかわる回路について、酸化亜鉛式避雷器を流れる電流  $I$  は静電容量により流れる充電電流と抵抗分電流の合成電流であり、正常時は充電

電流が支配的である一方、避雷器が劣化すると抵抗分電流が増加しその合成電流は90度進みの状態から避雷器印加電圧の位相に近づく。したがって、その電圧位相で合成電流を同期整流することにより抵抗分電流だけを検出し、これを駆動回路出力を通じてメータを動作させるものである。

以上のように、この発明によれば、多数設置されている電源供給源を利用するため検出器の設置場所の制限が少なく、また検出器の低価格化が図れるという効果がある。





# 特許と新案\*\*\*

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

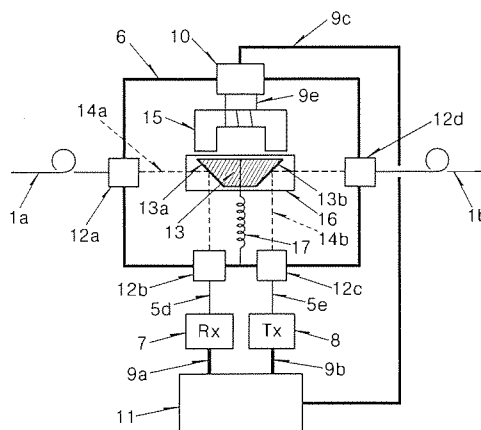
有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
特許営業グループ Tel (03) 3218-2137

## 光スイッチ (特許 第1386983号)

発明者 布下正宏, 野村良徳

この発明は光ファイバ伝送光データウェイに必要な光データステーション用光スイッチに関するものである。従来の光データステーションは単極双投の光スイッチ2個又は光スイッチ1個と光分岐点1個の組合せによって構成され、装置が大型、高価になるばかりでなく、光信号に対する挿入損失がかなり大きかった。

この発明は上記のような欠点を除去するためになされたもので、図の実施例に示すように、光ファイバ伝送路(1a)、(1b)、コリメート用レンズ内蔵光コネクタレセプタクル(12a)、(12c)、集光用レンズ内蔵の光コネクタレセプタクル(12b)、(12d)、端末装置(11)の光路上に、電磁石(15)により駆動される可動鉄片(16)に固定された反射鏡(13)が設けられている。電磁石(15)が励磁されると可動鉄片(16)を吸引し、反射鏡(13)は光路中に挿入された状態に保持され端末装置(11)に入力される。電磁石(15)の励磁電流を切ると可動鉄片(16)はバネ(17)により引き戻され、光路は端末



装置(11)をバイパスする。

以上のようにこの発明によれば、光データウェイ用の光データステーションが小型、安価にでき、しかも挿入損失などの性能が著しく高いものが得られる。

## 〈次号予定〉三菱電機技報 Vol. 67 No. 1 特集 “技術の進歩”

- 研究・開発
- 電力・エネルギー
- 民生・産業用システムと機器
- 宇宙開発と衛星通信
- 情報・通信

- 半導体と電子デバイス
- 建築関連設備・システム
- 交通
- 家電関連機器

### 三菱電機技報編集委員

委員長	山田 郁夫
委員	永田 謙蔵
〃	白井 健三
〃	谷 豊文
〃	風呂 功
〃	大原 啓治
〃	松村 恒男
〃	鈴木 幹雄
〃	小野 修一
〃	鳥取 浩
〃	岡田 久雄
幹事	長崎 忠一
12月号特集担当	阪上 武温
	塩見 實

### 三菱電機技報 66 巻12号

(無断転載を禁ず)

1992年12月22日 印刷  
1992年12月25日 発行

編集兼発行人	長崎 忠一
印刷所	千葉県市川市塩浜三丁目12番地 (〒272-01) 菱電印刷株式会社
発行所	東京都港区新橋六丁目4番地9号 北海ビル新橋 (〒105) 三菱電機エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」 Tel.(03) 3437局2692
発売元	東京都千代田区神田錦町三丁目1番地(〒101) 株式会社 オーム社 Tel.(03) 3233局0641代, 振替口座東京 6-20018
定価	1部 721円 (本体 700円) 送料別 年間予約は送料共 9,373円 (本体 9,100円)

# 三菱電機技報 (1992年 第66巻) 総目次

1号 技術の進歩特集	5号 特集“超電導の進展”	9号 カーエレクトロニクス/化合物半導体特集
2号 メモリ・マイクロコンピュータ特集	6号 光記録技術特集	10号 特集“新しいコミュニケーションを開くカラー画像”
3号 特集“生産技術の革新”	7号 計測・制御技術特集	11号 特集“燃料電池”
4号 アンテナ技術特集	8号 上下水道システム技術特集	12号 特集“原子力電気計装”“変電機器の予測保全”

## 〈技術の進歩特集〉

号	ページ	号	ページ
1. 研究・開発	1 .....21	6. 半導体と電子デバイス	1 ..... 83
2. 電力・エネルギー	1 .....42	7. 建築関連設備・システム	1 ..... 99
3. 民生・産業用システムと機器	1 .....50	8. 交通	1 .....107
4. 宇宙開発と衛星通信	1 .....60	9. 家電関連機器	1 .....116
5. 情報・通信	1 .....68		

## 特集論文

### 〈メモリ・マイクロコンピュータ特集〉

1. メモリ・マイクロコンピュータの現状と動向	平林庄司	2 .....132
2. 64Mビット DRAM 技術	宮本博司・諸岡毅一・有馬秀明・蜂須賀敦司	2 .....139
3. 16Mビットフラッシュメモリ技術	寺田 康・味香夏夫・中山武志・小林真一・宮脇好和	2 .....145
4. 学習機能付きニューロチップ	有馬 裕・村崎充弘・山田 強・前田 敦	2 .....150
5. 大規模並列処理用データ駆動型マイクロプロセッサ	小守伸史・田村俊之・浅井文康・佐藤尚和・高田英裕	2 .....154
6. 16Mビット DRAM	有本和民・日高秀人・平山和俊・若宮 互・野崎雅彦	2 .....160
7. 4Mビット バイト/ワードワイド DRAM	長瀬功一・源城英毅・豊本英晴	2 .....165
8. 低消費電力 4 M ビット CMOS スタティック RAM	藤田維明・塘 一仁・須賀原和之・福本晃二・浮田 求	2 .....171
9. 超高速256K ビット BiCMOS SRAM	塩見 徹・大林茂樹・本田裕己・石垣佳之・桃澤正哉	2 .....176
10. 高速ページモード16M ビットマスク ROM	牧原浩泰・香田憲次・外山 毅・山内直樹	2 .....181
11. 高速高密度メモリモジュール シリーズ	田原次夫・福元孝和・宮武秀司	2 .....185
12. G <sub>MICRO</sub> M32ファミリー及びソフトウェア	小山和美・日向純一・坂本直史・有園武志・亀井達也	2 .....191
13. G <sub>MICRO</sub> M32/100 のページプリンタへの応用	山内直樹・大橋伸一郎・中嶋純子・的場成浩・松山景洋	2 .....200
14. VTR ソフトウェアサーボ用16ビットマイクロコンピュータ	林 和夫・尚永幸久・武部秀治・山田園裕・元吉啓登・鈴木次男	2 .....205
15. SCSI 専用コントローラ	堀 俊彦・須田眞二・小林 洋・遠藤茂行・川嶋健司	2 .....214
16. 8ビットマイクロコンピュータ“38000シリーズ”	竹内 稔・阿部 稔・林 良紀・石丸善行・武部秀治	2 .....221
17. ワンチップマイクロコンピュータの応用技術とソフトウェア	山田園裕・川原林 隆・松井秀夫・藤沢行雄・浅野真弘・玉木浩子	2 .....229
18. 超高集積 DRAM 用キャパシタ誘電体膜形成技術	小林清輝・中野 豊・福本晃二・林出吉生・奥平智仁	2 .....236
19. 位相シフトリソグラフィ技術	吉岡信行・宮崎順二・楠瀬治彦・青山 哲・Maailce Op de Beeck	2 .....241
20. 先端デバイス開発における信頼性評価解析技術	三橋順一・小守純子・石井達也	2 .....246
21. 0.5mm 厚 TAB パッケージとその応用	寺岡康宏・島本晴夫・立川 透・竹村誠次・上田哲也・御萩如 英也	2 .....251
22. ユーザーニーズにこたえる販売・生産統合情報ネットワーク	奥野治臣・続木捷雄・山本武夫	2 .....256
23. 最先端工場における生産システム	山崎雅敏・青木利明・御堂洋一	2 .....261

### 特集 〈生産技術の革新〉

1. 生産技術の展望	田岡恒雄	3 .....274
2. 換気扇工場 CIM 化	後藤在利・竹節 敏・木村哲夫・目賀田正宏・三木昌康	3 .....277
3. ノーヒューズ遮断器の多品種量産系 CIM ライン	岩田年勝・岩崎 誠・小島和彦	3 .....281
4. プログラマブルコントローラ工場の CIM 化	水野孝治・中野宣政	3 .....287
5. 市場対応型生産システムの構築	秋山雄一・二見真人・岡本尚郎・小山克己	3 .....293
6. 流通センターにおける FA システム構築	松尾克己・横山佳士・大塚哲也・江塚清春	3 .....298
7. 検査・調整の自動化技術	火原辰則・水野修児	3 .....302
8. ファジー制御放電加工機	中村和司・尾崎好雄・佐々木史郎・森田 温	3 .....307

9. ディスプレイモニタ品質管理ネットワークシステム	岩本 博・林 政明・岩高宏樹・山本国晴	3	311
10. 最近の新方式加工技術事例	山本一英・山下幹生・山本隆志・永野 均・松野克則ほか	3	316
11. ビーム応用表層加工	町田一道・田中正明	3	324

#### 〈アンテナ技術特集〉

1. アンテナ技術の現状と動向	片木孝至・折目晋啓	4	383
2. 科学衛星追跡用 S/X 帯共用 20m アンテナ	廣澤春任・市川 満・横山幸嗣・別段信一・尾市友紀・島脇 豊・村瀬文義	4	392
3. 電波ホログラフィによる 45m 電波望遠鏡の鏡面精度の評価	浮田信治・柴田克典・増田剛徳・出口博之・蛭子井 貴	4	401
4. 名古屋大学新 4 m 短ミリ波望遠鏡	福井康雄・別段信一・森 浩道・宮脇啓造・榊原 修	4	407
5. NTT DYANET 用 30/20GHz 帯デュアルビームアンテナ	森広芳照・堀 俊和・青木克比古・吉川義彦・早川喜夫	4	413
6. 衛星通信受信用平面アンテナ	茶谷嘉之・原田 明・舟田雅彦・大塚昌孝	4	419
7. マイクロ波中継回線用三枚反射鏡オフセットアンテナ	山田吉英・古野孝允・増島俊雄・比嘉盛男・宮林哲也・牧野 滋	4	423
8. フェーズドアレイアンテナ技術	佐藤真一・春山鉄男・菱沼 進・宮崎守泰	4	432
9. GTD を応用したアンテナ解析技術	砂原米彦	4	439
10. アンテナ計測評価技術	折目晋啓・白松邦昭・青木俊彦・井上正人・出口博之・片木孝至	4	444

#### 特集 〈超電導の進展〉

1. 超電導線材	久保芳生・藤原二三夫・宇都宮 真・佐藤 建・田口 修・中林美明	5	500
2. 小型ヘリウム冷凍機技術	吉村秀人・長尾政志・稲口 隆・森津一樹・松本隆博	5	506
3. 断熱技術	天野俊之・尾原昭徳・藤本泰司・松本隆博	5	509
4. 核融合炉用超電導マグネット	齊藤龍太・田戸 茂・長谷川 満・豊田勝義・市原 直・湊 恒明	5	513
5. 高エネルギー物理研究用超電導機器	川口武男・村井 隆・津田芳幸・井上功一・久野和雄・神代哲哉・霧生明弘	5	520
6. 高磁界超電導マグネット	津田芳幸・川口武男・守田正夫・久保芳生・黒田成紀	5	526
7. 超電導エネルギー貯蔵 (SMES)	豊田勝義・川口武男・市原 直・神代哲哉	5	530
8. 超電導発電機	上田明紀・平尾俊樹・小林 俊・吉村秀人・守田正夫	5	534
9. 超電導の交流応用	守田正夫・中村史朗・山田忠利・久保芳生・藤原康夫・岸田卓也	5	542
10. MRI 用超電導マグネット	渡邊次男・武智盛明・森津一樹・島田友二・山田忠利・中村史朗	5	546
11. 磁気浮上式鉄道用超電導マグネット	地蔵吉洋・沖 雅雄・山口 孝・守田正夫	5	551
12. 産業装置用超電導マグネット	湊 恒明・豊田勝義・尾原昭徳・黒田成紀	5	556
13. 超電導デバイス	児島一良・高見哲也・黒田研一・谷村純二・片岡正行・和田 理	5	559
14. 高温超電導膜のデバイス及び線材応用	内川英興・吉新喜市・松野 繁・今田勝大・渡井久男ほか	5	564
15. 高温超電導線材	宮下章志・樋熊弘子・宇佐美 亮・梅村敏夫・宇都宮 真・谷村純二・佐藤 建	5	570
16. 高温超電導のエネルギー応用	横山彰一・下畑賢司・森 貞次郎・中村史朗・山田忠利・松野 繁・江川邦彦	5	575

#### 〈光記録技術特集〉

1. 光記録技術の展望	梅田義明・菅原 宏	6	610
2. 大容量化技術	伊藤 修・乙武正文・名井康人・島元昌美	6	614
3. 光ディスク装置用レーザ光源	島 顕洋・有本 智・石森 彰・入江 満・宇多小路 雄	6	619
4. 光変調オーバーライト光磁気ディスク	深見達也・徳永隆志・中木義幸・堤 和彦・伊藤正也	6	624
5. 90mm 光ディスク装置におけるドライブ制御技術	吉本恭輔・清瀬泰広・小川雅晴・小柳公之・中根和彦・古川輝雄	6	629
6. 90mm 光ディスク装置用 LSI	阪口康則・中島輝也・児玉幸夫・香川仁志・小林 洋・中根和彦	6	634
7. 分離方式リライタブル光ヘッド	竹下伸夫・唐木盛裕・藤田輝雄・尾崎 寛・田所通博	6	639
8. CD-R 用光ピックアップ	篠田昌久・吉原 徹・中村恵司・松野雄史・佐藤拓磨	6	643
9. 130mm 光ディスク装置	林 成男・近藤潤一	6	647
10. 光ディスク媒体の信頼性評価技術	土橋 勝・浅川益雄・進藤紘二・羽島一夫・都出 結花利	6	651
11. 光ディスク応用装置	本吉健郎・上野 昇・尾崎 稔	6	657

#### 〈計測・制御技術特集〉

1. 計測・制御技術の展望	弘中一光	7	692
2. 計測制御におけるユーザーインタフェース	清宮忠昭・山脇克己・館 精作	7	696
3. 宇宙ロボットの制御技術	小山 浩・吉田憲正・井上正夫・山田克彦・田中健一・宮崎友宏	7	701

4. 電力系統制御・保護システム	野口秀夫・上窪康博・上田 広	7	706
5. 工業プラントの知的制御・エキスパートファジーツールとセメントキルン制御への適用事例	中村治雄・緒形 仁・竹垣盛一・石岡卓也・本野英明	7	712
6. サーボ系のオートチューニング	岩崎隆至・森田 温	7	717
7. 次世代汎用インバータ“FREQROL-A シリーズ”	杉島栄一・岩崎政彦・今中 昌・小山正人・足立栄之資	7	721
8. 家電製品への知的制御技術の応用	大塚洋俣・鈴木浪平・皆川良司・杉本泰彦	7	728
9. 交通流画像計測	谷口博康・関 明伸・古澤春樹・斉藤光夫	7	732
10. 半導体ウェーハの微細パターン検査	中嶋恵治・阪本雅彦・小坂宣之	7	736

#### 〈上下水道システム技術特集〉

1. 上下水道システムにおける最近の技術動向	盛口全太・寺沢昭夫・田中久雄	8	780
2. 上水道総合管理システム	長田俊二・後藤隆久・田中隆行	8	784
3. 下水道総合管理システム	嶋岡正浩・松田春紀・濱口能任・木下貢一	8	789
4. 上下水道の監視制御システムと計装機器	古屋鍵司・森 俊吾・成原弘修・畑 健・佐野光俊	8	795
5. 上下水道における情報伝送システム	吉原秀樹・中島弘善・前永敏郎	8	802
6. レーダ降雨情報システム	井上省三・浜津享助・今井靖泰	8	809
7. 上下水道システムへの AI 応用	築山 誠・泉井良夫・中村泰明・前田和男・野々山めぐみ	8	814
8. 上下水道における設備情報管理システム	若月秀樹・石崎 貴・森 研一・米本孝二	8	819
9. オゾン高度処理の設備計画と技術動向	久川義隆・納庄貞宏・江崎徳光・田村哲也・池田 彰	8	823
10. 農業水利施設総合管理システム	花田吉男・長尾健史・橋本秀樹・島原幸邦・北原貞守	8	829

#### 〈カーエレクトロニクス特集〉

1. カーエレクトロニクス技術の展望	弘中一光	9	870
2. 自動車用エアフローセンサ	岸本雄治・多田靖夫	9	873
3. 光学式燃料性状センサ	小河賢二・鈴木尋善	9	878
4. 自動車用電子制御ユニットの信頼性保証	池淵和宏	9	882
5. 電動パワーステアリングシステム	和田俊一・原 忠之・高下伸一・井沢克充	9	887
6. 半導体加速度センサ	番 政広・瀬々倉 孝・荒木 達・山本雅裕・大西正義	9	892
7. 移動体通信の動向	一ノ瀬友次・児山淳弥・佐藤一美・栗生和宏	9	896
8. 車載用音声認識装置	森廣義晴・下谷光生・金子和磨	9	901
9. 地磁気センサの応用	大沢 孝・種子島一史・木下英彦・滝田英徳	9	905
10. 空気清浄システム	八木 修・山本敏夫・西本幸生・三好帥男	9	912

#### 〈化合物半導体特集〉

1. 半導体レーザの現状と動向	池田健志	9	917
2. MOCVD/LPE 成長法による 1.3 $\mu\text{m}$ Fabry-Perot レーザ	吉田一臣・樋口英世・水落 均	9	920
3. ファイバンプ励起用 1.48 $\mu\text{m}$ 高出力レーザ	村上隆志・中島康雄・高木和久・後藤勝彦	9	924
4. 光周波数分割多重(FDM)用レーザアレー	石村栄太郎・武本 彰・大石敏之・渡辺 斉・中島康雄	9	928
5. 光ディスク用可視光レーザ	有本 智・渡辺 斉・神里 武・西村隆司	9	931
6. 量子効果デバイス用材料技術	早藤紀生・大倉裕二	9	935
7. BS コンバータ用超低雑音 HEMT	細木健治・中野博文・巳浪裕之・服部 亮・加藤隆之	9	939

#### 特集 〈新しいコミュニケーションを開くカラー画像〉

1. カラー画像で新しいコミュニケーションを開く	大西良一・立木武彦・大西 勝	10	952
2. 300形ハイビジョンビデオプロジェクター LVP-3001HD	中川隆司・荒浜英夫・奥田博志・山辺俊樹・正親 功	10	955
3. ハイビジョン静止画ディスクシステム	山本 博・高木 満・松田文男・中山裕之・水谷芳樹	10	961
4. ハイビジョン CG 用高速画像生成システムとその応用	大西啓修	10	965
5. ビジュアルプレゼンテーションシステム	富田 悟・秦 淑彦・尾崎 稔	10	970
6. カラー動画通信システム	村上篤道・浅井光太郎	10	974
7. EWS におけるマルチメディア表示技術	亀山正俊・田中 敦	10	978
8. マッピングシステム用高速イメージプロセッサ	青木 尚	10	983
9. フルカラープリンタ	大西 勝・福本 宏・小田啓介・山田敬喜・高桑 聖	10	987
10. カラーディスプレイモニター	木戸正克・長峯 卓・谷添秀樹・菅原 喬	10	991
11. カラーイメージセンサ	畑部悦生・浜口忠彦・山下博實・富田法行	10	996
12. カラー TFT 液晶ディスプレイ	高橋盛毅・飛田敏男・石津 顕・高砂隼人・石谷普朗	10	1000

## 特集〈燃料電池〉

1. 三菱電機における燃料電池開発の現状と展望……………河村博敏・西山 槐 11 ……1040
2. リン酸型燃料電池の製品化……………河村博敏・宇佐見一雄・留井英明・水本洋一・大谷 徹 11 ……1046
3. リン酸型燃料電池のセル技術……………松本正昭・三好英明・光永達雄・光田憲朗・荒金 淳・塩田 久 11 ……1050
4. リン酸型燃料電池の燃料改質装置……………土居邦宏・藤本路奥・都留 潔・梶本照男・佐々木 明 11 ……1055
5. 燃料電池用インバータと連系装置……………留井英明・武田 淳・朝枝健明・宮下武司 11 ……1060
6. オンサイト用燃料電池発電システム……………田熊良行・飯田博文・池田辰弥・糸山 保 11 ……1064
7. 分散配置用燃料電池発電システム……………水本洋一・田熊良行・武田 淳・福本和美 11 ……1070
8. 溶融炭酸塩型燃料電池のセル技術……………吉岡省二・西村 隆・藤田洋司・細川純一・漆畑広明・村橋俊明 11 ……1076
9. 溶融炭酸塩型燃料電池の内部改質スタック技術……………井出 弘・松村光家・岡田達典・宮崎政行・言上佳秀・向井正啓 11 ……1081
10. 内部改質溶融炭酸塩型燃料電池のシステム化技術……………佐々木 明・松本秀一・藤塚正史・篠木俊雄 11 ……1086

## 特集〈原子力電気計装〉

1. 次期原子力プラント電気計装設備に向けての取組……………松宮正幸 12 ……1140
2. 新型中央計装システム……………谷 衛・小橋秀一・伊藤 徹・今瀬正博・小笠原 誠 12 ……1143
3. 次期原子力プラント向け計装制御保護システム……………山脇雅彦・赤木克己・北村 久・稲積義則・高嶋 誠 12 ……1149
4. 原子力発電プラント保全技術……………片山俊彦・池田郁夫 12 ……1153
5. 原子力業務技術支援管理システム……………大屋 正・阿部紀彦・松原武廣 12 ……1159
6. 統合制御監視システム MELTAC-CJ……………下里正夫・松尾慶一・田中浩一・小倉啓七・先間直樹 12 ……1164

## 特集〈変電機器の予測保全〉

1. 変電設備予測保全の展望……………山内高雄・塩見 實 12 ……1172
2. 変圧器の予測保全技術……………牧野芳弘・難波貞雄・吉川 徹・内藤貞夫・今井満夫 12 ……1175
3. ガス絶縁開閉機器の予測保全技術……………細川育雄・小林晴彦・青木 浩・石辺信治・小原正利・金田佳男 12 ……1183
4. 受変電用開閉機器の診断技術……………早丸秀吉・酒井道雄 12 ……1189
5. 次期変電所における予測保全と監視制御システム……………前川 洋・平河宏之・篠原秀雄・上窪康博 12 ……1196
6. ニューラルネットワークによる GIS の異常診断への適用……………荻 宏美・泉井良夫・小林誠治 12 ……1201

## 普通論文

1. アイスクリュー製造用パッチブレンディングシステム……………浜島良策・小川賢治・山下 茂 3 ……333
2. 新形気中遮断器 Super AE……………久常文之・石井和宏・石川尊義・飯尾 司・玄羽康司 3 ……339
3. アモルファス柱上変圧器……………富樫義弘・酒井 潔・大村俊次・池田英男 3 ……346
4. 整備実習用トレーナシステム……………高橋善計・細貝浩行・八百板利文・小畑英治・今井葉子 3 ……353
5. タイ王国バンコク首都警察局納め191番緊急通報受付指令通信システム……………広富禎臣・石橋一郎 3 ……361
6. MELCOM80オフィスコンピュータ用“三菱人事情報システム”……………玉木 遡・喜多村重昭・舟橋孝則・尾西忠昭 3 ……368
7. リレーショナルデータベースプロセッサ“GREO”を用いた高速 SQL システム  
……………岩崎浩文・安藤隆朗・佐藤重雄・伏見信也・小宮富士夫 3 ……373
8. 残額印字式プリペイドカードシステム……………外山 肇・小村 明・山田敬喜・岩井滋雄・荒巻 淳 4 ……453
9. 愛知県企業庁納め東三河水道事務所無線テレメータ設備……………鈴木敏明・吉原秀樹・内藤茂之・三木次美 4 ……459
10. 三菱統合一元化 SE システム……………神河達男・渡部徹雄・杉谷 穰・小宮山正洋・根木伸治 4 ……467
11. 溶接用炭酸ガスレーザ発振器……………大谷昭博・西田 聡・葛本昌樹・水野正紀 4 ……473
12. 三菱インテリジェントビルシステム“マイバスインテグラ”……………藤原誠司・八島耕司・保里康一・井上証策 4 ……477
13. アクセスコントロールシステム……………大森 正・宮田 実 4 ……481
14. ダブルドライブスーパーバス方式スピーカシステム……………興野 登・大塚 功・高橋政典 4 ……487
15. 東京都防災情報システム……………今井直治・金子訓士・岸田和之・森田俊二・今飯田 哲 5 ……581
16. 中部電力(株)豊根開閉所納め高信頼度形550kV GIS……………江川 武・加藤 徹・羽馬洋之・土江 瑛・平河宏之 5 ……589
17. 新形550kV, 300kV ガス遮断器シリーズにおける小型化・高信頼度化技術  
……………米沢 毅・杉山 勉・平野良樹・吉積敏昭・瀬戸山達夫 5 ……596
18. 特注形乗用エレベーター“ACCEL-AI”……………大窪正一・宮西良雄・富所 誠・山崎幹弘・金森 修 6 ……663
19. “MELFANET”光ディスクファイリング機能付きファクシミリ情報通信システムの構築  
……………岡本俊也・高柳 勉・野村信夫 6 ……668
20. マルチメディア文書処理システム DOCMASTAR 登場……………土田泰治・池田信之・桜井 宏・難波 奈須夫・大坪邦彦 6 ……672

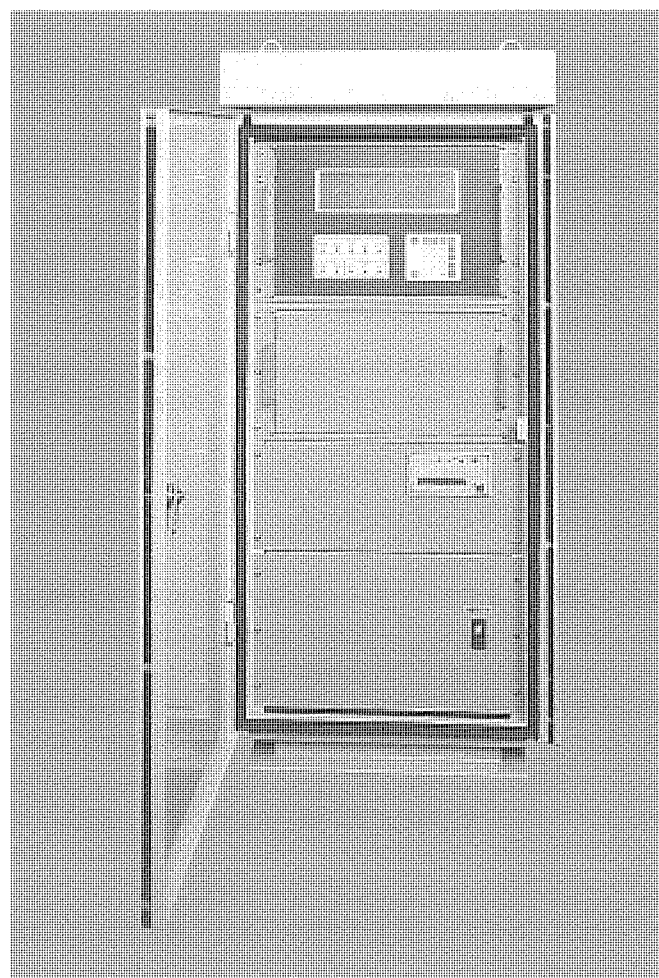
21. 大規模高速回路シミュレータ MICS	谷沢元昭・石川多恵・小崎左智子・池田三喜男・小谷教彦	6	676
22. 並列推論マシン PIM のアーキテクチャ	中島克人・益田嘉直・中島 浩・近藤誠一・武田保孝・村澤 靖・小森隆三	6	682
23. クライアント／サーバシステム通信ソフトウェア(I)端末通信管理プログラム編一	田村敏之・岩田政春・茂木 浩・砂田英之	7	741
24. クライアント／サーバシステム通信ソフトウェア(II)サーバ通信管理プログラム編一	田村敏之・安田秀朗・岡野信之・青山尚美・泉 佑市	7	745
25. 三菱新統合 OA システム	居駒哲夫・持田英男・有吉一雄・宮部 潤	7	749
26. 三菱新統合 OA システムを利用した中部電力(株)納め工事・資材・経理総合システム	大村孝史・丸山博義・白石俊介・伊藤友博	7	755
27. 鉄鋼プラントにおけるエキスパート技術を用いた操業支援システム	吉田幸彦・杉谷 稔・犬島 浩・島川博光・吉川幸司	7	762
28. 四国電力(株)讃岐開閉所納め自動巡視ロボット	竹中俊夫・竹下博志・森本広海	7	766
29. 三菱高速光 LAN“MELNET R100”システム技術	多々良浩司・佐藤浩之・馬場義昌・森木嘉宏・板垣寛二	8	834
30. ISDN ネットワーク接続サポート	黒畑幸雄・吉尾智誓・吉崎正幸・浜田 敬	8	840
31. カラービデオプリンタ CP-11	小池 清・中川邦彦・渡部一喜・加納公生・梶野一樹	8	844
32. VTR の可動ヘッド用小型アクチュエータ	中津公秀・古石喜郎・金川裕志・岡田克巳	8	848
33. 高速・高精度換気シミュレータ	野沢栄治・池島 薫・古藤 悟	8	853
34. ファクシミリ用サーマルヘッド F, Q シリーズの量産技術	臼井義博・浦崎貴実・上崎勝人・會田一男・依田博樹	8	858
35. 大容量空気冷却タービン発電機 新シリーズ MB-3000	中島左千夫・井島耕一・村井幸雄	10	1004
36. 西武鉄道(株)向けダイヤ作成装置	高荷英利・武井 勉・館 精作・熊野昌義・棟田恭弘	10	1009
37. ホームエレベーターのシリーズ化	金森 修・加藤博士・杉山美樹・安部芳典	10	1014
38. 1 ボード版リレーショナルデータベースプロセッサ“GREO”	笠原康則・山岸義徳・中込 宏・石合哲郎・伏見信也	10	1019
39. アメフラシ学習の神経活動計測と情報論的解析—新しいニューロコンピューティングアルゴリズムに向けて—	中島道夫・山田 訓・塩野 悟・柳浦真美子・前田満雄	10	1024
40. S-VHS VTR のデジタルオーディオ技術	石田雅之・松谷清志・増渕洋一・石田慎宣・平田健一	10	1029
41. 送電線点検作業への画像処理技術の適用—電線異常箇所自動判定装置—	外岡宏章・小林益一・竹中俊夫・山本健司	11	1090
42. ファームバンキング専用端末機	斎藤 弘・加藤祥一	11	1095
43. 三菱 B/NET 電力エネルギー管理システム・集中自動検針システム	有信一郎・川口真由・鎌田一郎・山崎清熊・岩崎清光	11	1100
44. オートフォーカス制御用16ビットマイコン M37708E4AGP	大西賢治・原田大次郎・上水流 政利・尚永幸久・玉木浩子	11	1106
45. 三菱統合ネットワーク管理システム	青野英樹・村田 篤・原田 優・河村浩光・鬼塚裕一郎	11	1112
46. 国際標準テレビ会議端末を収容する多地点テレビ会議システム	中井教詞・松田茂信・秋田康貴・岡 進・佐藤美穂子	11	1115
47. TFT 負荷型第二世代 1 M ビット中速(低消費電力)SRAM	池田和也・有田 豊・山下正之・小久保信幸・南 ふゆみ	11	1120
48. 地球資源衛星 1 号搭載合成開口レーダ用アンテナ	水溜仁士・赤石 明・尾形慶照・久田安正・根本幸昭	11	1126
49. 日新製鋼(株)製鉄所向け熱間圧延プラント制御システム	檜原 寛・森 敏明・吉田二三男・岡部淳一郎・當間健次	12	1206
50. “MELCOM80”販売のための情報サービスシステム総合販売情報支援システム DS-LAND	内藤貴雄・金谷勇二・湊川喜雄	12	1213
51. 全日本空輸(株)納めスケジュールモニタリングシステム	渡辺俊雄・小島生正・井上悦次・熊谷秀光・神原隆宏	12	1219
52. 超高速 5 秒伝送 G3 ファクシミリ MELFAS F1	瀬政孝義・木野茂徳・曾我巖哉・田淵浩史・川田智之	12	1224
53. 16kbps LD-CELP 音声コーデックモジュール	河野典明・矢島 久・浅井 敬・長瀬平明・内藤悠史	12	1229
54. 零レンジサイドローブパルス圧縮超音波探傷法	和高修三・永塚 勉・三須 幸一郎・木村友則・小池光裕	12	1234

# スポットライト 油入変圧器用油中ガス監視装置

変圧器などの油入機器における内部異常を早期に検知することは、受変電機器の高信頼運転の維持にとって重要であり、この手段として油中ガス分析が採用されています。しかし、従来の油中ガス分析は、変圧器から油を採取し、分析専門会社などにおいて分析する方法がとられているため、即応性に欠けることや、多頻度分析での経済性が低いなどの欠点がありました。三菱電機では変圧器に直結し、変圧器内部異常検出に最も有効である油中総可燃性ガス濃度(TCG)および放電に対してキーガスとなるアセチレンガス濃度を多頻度で測定が可能な、油中ガス監視装置を製品化しました。本装置は、オプションにて、CO<sub>2</sub>濃度および可燃性ガス成分(H<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)濃度を測定対象とすることもできます。

## 特長

- 変圧器内部異常検出に最も有効であるTCGとアセチレンガスを測定します。
- 循環採油方式のため、測定後の油を変圧器に返送するので油を消費しません。
- 周期設定による自動測定、外部起動による即時測定が可能です。
- 配管接続により、既設変圧器にも容易に設置できます。
- 外部デジタル出力により、変電所監視システム等への組み込みができます。
- ガス濃度レベルのみでなく、増加傾向の異常診断処理機能ももっております。



## 仕様

項 目		内 容
一 般	据 付 け 場 所	屋外
	寸 法 (mm)	600×600×1300
	重 量 (kg)	約250
	電 源	AC200V 1kVA(オプションによりDC電源可能)
	設 置 環 境 (°C)	-20～40
ガス抽出	採 油 方 式	循環採油方式
	取 付 け 台 数	1台/油区分
	ガ ス 抽 出 方 式	ベローズによる真空平衡抽出方式
	ガ ス 抽 出 時 間 (分)	約40
ガス測定	検 出 セ ン サ	高感度熱線型半導体式センサ
	測 定 対 象 ガ ス	総可燃性ガス量(TCG)、アセチレン(C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )
	測 定 範 囲	総可燃性ガス量(TCG)：20～10,000ppm アセチレン(C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )：2～2,000ppm
	再 現 精 度	±20%以内
	測 定 時 間 (分)	約10
制御・データ処理	測 定 起 動	周期測定：1～99時間あるいは1～99日 即時測定：マニュアル操作にて随時に測定を実施 外部起動測定：外部遠隔操作に測定を実施
	装 置 校 正	校正ガス測定により実施(周期自動校正はオプション)
	判 定 処 理	TCG、および各成分レベル、TCGトレンド、アセチレン有無
	マンマシンインタフェース	表示：LCDデジタル表示(40文字×4行) キーボード：22キー
外部I/F	警 報 接 点	油中ガス濃度警報、装置故障
	伝 送 イン タ フ ェ ー ス	光RS-232Cインタフェース



# スポットライト パイプ内面形状センサ

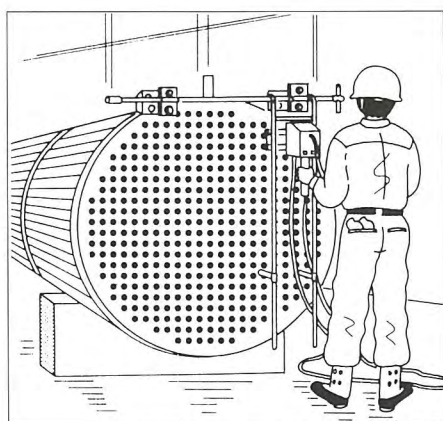
三菱パイプ内面形状センサは、各種プラントで使用されている熱交換器パイプの内面劣化状態を高精度で検査するものです。石油精製や化学プラントで多用されているパイプ類は、使用しているうちに内部が腐食したり、付着物が堆積し劣化を起こすため、劣化による事故を防止するため定期的な検査が必要とされています。従来方式である超音波や渦電流を利用したセンサによる検査では、水などの媒体の必要性や感度が低い等の問題が指摘されていました。三菱パイプ内面形状センサはこれらの問題点を解決するために東燃機と共同開発したもので、レーザ光によるサークルパターン方式と呼ぶ新しい光学式センサです。

## 原理

直径13.4mm (3/4インチパイプ用) のセンシングヘッド内に、半導体レーザと超小型テレビカメラ及び特殊光学系を埋め込み、半導体レーザからの光束をリング状のスリットパターン (サークルパターン) にしてパイプ内壁全周に投影します。この投影像を超小型テレビカメラで撮像してパイプ内壁全周のプロフィールをビデオ画像としてとらえます。このビデオ画像を専用の画像解析ユニットにより数値化してパイプ内面腐食状態を見やすく定量的に表示します。

## 特長

- 光のリングでパイプ内面プロフィールを高精度計測
- 高速画像処理で1mmごとの高分解能計測
- パイプ内面腐食状況を定量的に画面表示
- 独自の発射メカによるスムーズな送り込み
- 現場に適した操作性

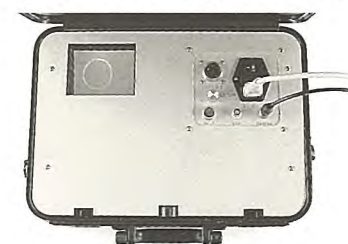


多管式熱交換器検査例

## 仕様

	1インチ用	3/4インチ用
計測範囲	φ18.0~φ25.4	φ14.5~φ19.0
分解能	±0.1mm	
計測ピッチ	円周方向、長さ方向共1mm	
計測時間	30mm/s	

## サークルパターン発生ユニット



## パイプ内面プロフィール



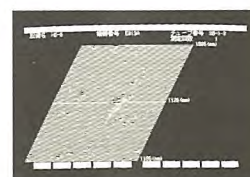
サークルパターン像

内視鏡による観察像



センサヘッド

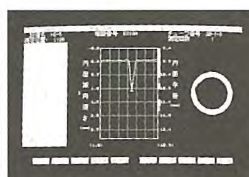
## 画像解析ユニット



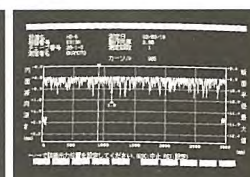
3次元腐食分布グラフ



腐食分布疑似カラーグラフ



任意断面腐食分布グラフ



最大減肉値グラフ

## センサ発射メカユニット



ユニット	外形寸法 (幅×高さ×奥行)	重量
サークルパターン発生ユニット	360×290×160mm	3kg
画像解析ユニット	510×420×260mm	17kg
センサ発射メカユニット	450×360×180mm	6kg