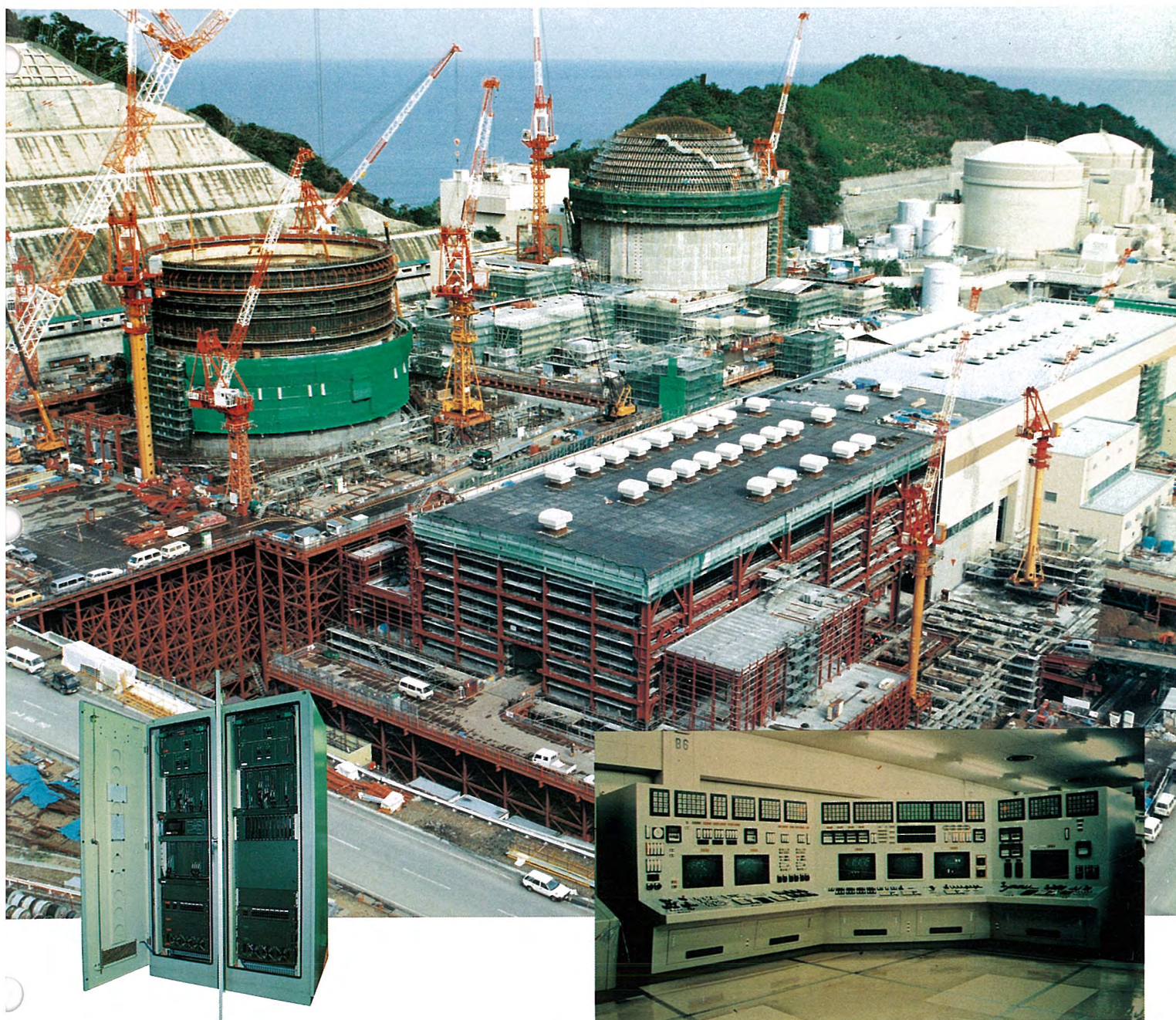


# MITSUBISHI 三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.64 No.3

3  
1990

## 原子力発電所計装制御システム特集



技術がつくる 高度なふれあい **SOCIO-TECH**



## 原子力発電所計装制御システム特集

### 目次

#### 特集論文

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| デジタル計装制御システムの導入にあたって .....      | 1  |
| 鷲見禎彦                            |    |
| 原子力計装制御の展望 .....                | 2  |
| 松宮正幸                            |    |
| 大飯 3・4号機向け計装制御システム .....        | 4  |
| 岡崎 旦・松宮正幸・路次安憲                  |    |
| 大飯 3号機向け計装制御システム総合組合せ試験 .....   | 9  |
| 細見諦石・山本義博・服部憲治・松本雄二・湯上邦雄ほか      |    |
| 将来プラント向け総合計装制御システム .....        | 13 |
| 犬房和夫・小橋秀一・山脇雅彦                  |    |
| 高速増殖炉もんじゅ発電所向け計装制御システム .....    | 18 |
| 赤野 健・土肥 明・和田守啓・河原憲一             |    |
| 原子力向け汎用計装制御システム《MELTAC-C》 ..... | 22 |
| 上田敏晴・深見晴男・松尾慶一・馬場彰憲・下里正夫        |    |
| 原子力計測制御設備の自動化システム .....         | 28 |
| 早川利文・福光裕之・藤田和彦                  |    |
| 原子力発電所技術支援管理システム .....          | 34 |
| 大屋 正・阿部紀彦                       |    |
| 予防保全技術 .....                    | 39 |
| 木村佑二・犬島 浩・犬房和夫・安江 悟             |    |
| 巡視点検ロボット .....                  | 44 |
| 竹中俊夫・大屋 正                       |    |

#### 普通論文

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 三菱FAコントローラ《MELSEC-LM7000》 ..... | 50 |
| 葛西由夫・宇丹大二・大西作幸・高橋俊哉・岩田恭伸・新藤研二   |    |
| 三菱オゾンプール浄化装置 .....              | 56 |
| 佐々木利彦・田中政之・納庄貞宏・四元初男            |    |
| 国土庁中央防災無線網衛星通信系用地球局設備 .....     | 60 |
| 岡野弘志・高橋 司・渡辺修身・有田雅雄・加藤栄二郎       |    |
| 衛星通信用ビットレート可変型モデム .....         | 66 |
| 井上誠也・富士 剛・三宅 真・村上圭司・伊藤久明        |    |
| 浴室用換気・暖房・乾燥システム .....           | 71 |
| 鶴飼 誠・牛越康徳・可知忠勝・松井 進             |    |
| ICリードフレーム用新銅合金MF224 .....       | 76 |
| 橋爪公男・中西輝雄・北風敬三・久保園健治            |    |
| 新しい構造用ウレタン系接着剤の開発及び .....       | 81 |
| エレベーター意匠パネルへの適用                 |    |
| 原賀康介・西川哲也・山本和美・服部勝利・勢力峰生        |    |

#### 特許と新案

|                        |    |
|------------------------|----|
| 接続電線の製造装置、ゴルフ練習器 ..... | 87 |
| 電子機器収納容器の密閉カバー .....   | 88 |

#### スポットライト

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 重低音強調用IC M51134P .....           | 86    |
| 電磁コンタクタ方式二次抵抗始動器 .....           | 89    |
| 加速度形部分放電検出装置 .....               | 90    |
| ビデオカメラ用ホワイトバランスIC M52941FP ..... | (表 3) |

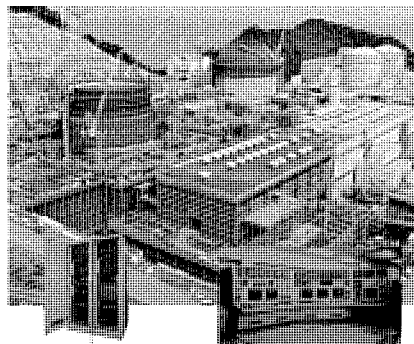
#### 表紙

##### 関西電力㈱大飯発電所 3・4号機と デジタル計装制御設備

関西電力㈱大飯 3・4号機は、これまでのPWRの運転経験を踏まえたさまざまな改良や先端技術を取り入れ、安全性・信頼性のより一層の向上を目指して建設が進められている。

計装制御システムにおいては、最新のマイクロエレクトロニクス技術を大幅に取り入れ、運転・保守面で使い易く、かつより高度な安全性、信頼性の要求を実現すべく、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）を適用している。

表紙は建設中の大飯 3, 4号発電所（背景）と、改良型中央制御盤（右下）及びデジタル計装制御盤（左下）を示す。



## アブストラクト

### 原子力計装制御の展望

松宮正幸

三菱電機技報 Vol.64・No.3・P2～3

原子力プラントの計装制御分野では、最近のマイクロ エレクトロニクス技術の目覚ましい進歩により、安全性・信頼性の向上はもとより、より使いやすいシステムへのニーズに答えるため、システム改良や技術開発が行われている。こうした取組は、従来のプラント運転・制御を中心とするシステムの高度化だけでなく、保守や運営管理も含めたより広いトータルシステムに発展し、発電所の運転・運用の信頼性向上に、より一層寄与することが期待されている。

### 原子力向け汎用計装制御システム《MELTAC-C》

上田敏晴・深見晴男・松尾慶一・馬場彰憲・下里正夫

三菱電機技報 Vol.64・No.3・P22～27

《MELTAC-Cシリーズ》は、原子力発電所向け主要計装制御システムの設計思想をベースに、経済性を追求した原子力向け汎用計装制御システムである。

《MELTAC-C》では、その基幹を成すマンマシン インタフェース機能を初めとした豊富なファミリーの組合せにより、高機能で使いやすく信頼性の高いシステムを構築することができる。

### 大飯3・4号機向け計装制御システム

岡崎 旦・松宮正幸・路次安憲

三菱電機技報 Vol.64・No.3・P4～8

大飯3・4号機の計装制御システムは、安全性・信頼性のより一層の向上を目指して、CRT主体運転監視で改良型警報表示を備えた中央計装システム、機能分散方式で重要度に応じた多重化構成の全デジタル計装制御システム、4チャンネル・4トレン化保護システムを適用している。本稿では、これらシステムの設計方針・特長などについて紹介する。

### 原子力計測制御設備の自動化システム

早川利文・福光裕之・藤田和彦

三菱電機技報 Vol.64・No.3・P28～33

原子炉炉心管理に必要な中性子束分布を測定する新型炉内核計測装置及び原子力プラントの安全を維持する原子炉安全保護装置の試験設備(全自動試験装置)に、マイクロコンピュータを適用し、測定及び試験の自動化を図った。新型炉内核計測装置は、検出器の二重化、手動操作バックアップ及び自己診断の充実により信頼性の高いシステムを実現している。本稿では、システムの概要、特長について紹介する。

### 大飯3号機向け計装制御システム総合組合せ試験

細見諦石・山本義博・服部憲治・松本雄二・湯上邦雄ほか

三菱電機技報 Vol.64・No.3・P9～12

原子力プラントの中枢神経である計装制御システムに対し、最新の要素技術、システム技術、マンマシン技術、異常診断技術及びシミュレータ技術を適用した“PWR新計装設備”の開発・製作を完了し、工場最終確認として各装置をプラントシミュレータと組み合わせた総合組合せ試験を実施し、新計装設備の総合的な機能・性能の確認を実施し良好な結果を得た。装置間の信号インタフェースの工場事前確認により、現地試験の合理化が可能となった。

### 原子力発電所技術支援管理システム

大屋 正・阿部紀彦

三菱電機技報 Vol.64・No.3・P34～38

原子力発電所では、高い安全性、高い稼働率及び経済性を達成するために、プラント運転監視制御分野の高度化・自動化のみならず、発電所運営管理分野の機械化が要求される。ここでは、運営管理分野のうち、運転管理、保守管理を中心とした、サイト技術者の業務を支援する機械化システムである“技術支援管理システム”の考え方を示し、その開発例を紹介するとともに、このシステムの今後の展望について述べる。

### 将来プラント向け総合計装制御システム

犬房和夫・小橋秀一・山脇雅彦

三菱電機技報 Vol.64・No.3・P13～17

現在、建設中のPWRプラントの制御系は、デジタル化装置で構成されている。将来プラントでは、原子炉保護系をデジタル化するとともに、デジタル装置の適用範囲の拡大による総合デジタル化を目指している。また、中央計装に関しては、運転信頼性、操作性を更に改善すべく人間に近い推論・判断・応答を可能とする知識工学を応用したマンマシンシステムを鋭意開発中である。

### 予防保全技術

木村佑二・犬島 浩・犬房和夫・安江 悟

三菱電機技報 Vol.64・No.3・P39～43

原子力発電設備は運開後20年を超える時代を迎え、安全性、信頼性の維持、向上のため、プラントの経年劣化対策、長寿命化対策、異常診断等、予防保全技術の確立が急務である。この取組として、各設備の寿命評価実施と適正な保全の確立、異常・劣化の診断技術の確立等、電力会社とメーカーとの協調のもとで、実用化に向け鋭意推進中である。

### 高速増殖炉もんじゅ発電所向け計装制御システム

赤野 健・土肥 明・和田守啓・河原憲一

三菱電機技報 Vol.64・No.3・P18～21

高速増殖炉もんじゅ発電所は、国家プロジェクトとして、国内メーカーと協同して建設を進めているが、三菱電機㈱は、もんじゅ計装制御システムの主要な設備の設計・製作を担当した。これらの設備は、高速増殖炉であるがゆえに必要な技術開発、検証を実施した上で、システム設計、機器設計を行った。本稿では、主要な三菱電機㈱担当設備につき、設計の経緯、設備概要を含め、その技術的な特徴について述べる。

### 巡視点検ロボット

竹中俊夫・大屋 正

三菱電機技報 Vol.64・No.3・P44～49

原子力発電所の信頼性向上・高稼働率維持のため、巡視点検の重要性は高まっており、監視強化・被曝低減・省力化の観点で巡視点検のロボット化が期待されている。本稿では、開発システムの例として、格納容器内点検ロボット及び核融合臨界プラズマ試験装置JT-60の真空容器内点検・補修ロボットについて紹介するとともに、ITVカメラと赤外線カメラを搭載し、画像処理技術によって異常を自動的に検出する自動巡視点検ロボットの試作概要を報告する。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 22 ~ 27 (1990)

## The MELTAC-C General-Purpose Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants

by Toshiharu Ueda, Haruo Fukami, Keiichi Matsuo, Akinori Baba & Masao Shimozato

These systems are based on the design of major instrumentation and control systems while achieving substantial economic advantages over custom systems. Customers may construct reliable, easy-to-use functionally high-level facilities by selection from among many types of equipment based mainly on a man-machine interface function.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 2 ~ 3 (1990)

## A Review of Instrumentation and Control Systems Used in Nuclear Power Plants

by Masayuki Matsumiya

Recent developments in microelectronic technologies have made dramatic contributions to the safety and reliability of nuclear power plants by improving the quality of plant instrumentation and control systems. A great deal of work has also focused on making the plants easier to run. Recent work emphasizes establishing total systems, including maintenance and management, for power plants. This represents a broadening of previous development efforts that concentrated on plant operation and control. The new systems can be expected to substantially improve power-plant reliability.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 28 ~ 33 (1990)

## Automatic Control and Measurement Systems for Nuclear Power Plants

by Toshifumi Hayakawa, Hiroyuki Fukumitsu & Kazuhiko Fujita

The Corporation has used microprocessors to construct a highly automated neutron flux-mapping system and a fully automatic test system for reactor-protection systems. Both systems significantly advance the state of the art in reactor-core management. The new systems include special features for enhanced reliability: dual detectors, a manual-operation mode, and self-diagnostic functions. The article introduces the design and features of these systems.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 4 ~ 8 (1990)

## An Instrumentation and Control System for the Ohi Nuclear Power Station

by Akira Okazaki, Masayuki Matsumiya & Yasunori Roji

An all-digital instrumentation and control system has been delivered to the Ohi Nuclear Power Station Nos. 3 and 4. The system incorporates a central computer with a CRT monitor and an improved warning-display panel. The instrumentation and control equipment comprises a redundant-microprocessor-based distributed architecture that boosts system reliability and safety. The protection system is a four-channel, four-train system. The article reports on the features and design philosophy of these systems.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 34 ~ 38 (1990)

## Technical Support and Management Systems for Nuclear Power Stations

by Tadashi Oya & Norihiko Abe

Sophisticated automatic monitoring and control capabilities and computerized operation management are needed in nuclear power plants to boost plant safety and availability and to reduce operating costs. The article covers the areas of operation management and maintenance management within the larger category of operational administration. The concept of technical administration support—that is, the use of computerization to support the on-site technician's operations—is introduced. The article also suggests the direction of future development.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 9 ~ 12 (1990)

## A Total Verification and Validation Test of the Instrument and Control System for the Ohi Power Station's PWR No. 3

by Teisuke Hosomi, Yoshihiro Yamamoto, Kenji Hattori, Yuji Matsumoto, Kunio Yugami, Koichi Watanabe & Hiroshi Uchide

The Corporation has completed verification and validation of an instrumentation and control system for pressurized water reactor No. 3 at Ohi Power Station. The state-of-the-art system, developed and manufactured by Mitsubishi Electric, employs the latest in device, system, user-interface, fault-diagnosis, and simulation technologies. Each subsystem was linked to a sophisticated plant simulator during verification, and the tests included complicated interactions between system components. The results satisfied the specifications. On-site testing was simplified by verifying the performance of the signal-interface units in the factory.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 39 ~ 43 (1990)

## Preventive Maintenance Engineering

by Yuji Kimura, Hiroshi Inujima, Kazuo Inufusa & Satoru Yasue

Nearly twenty years after nuclear power plants first began operation in Japan, there are pressing needs to improve preventive-maintenance engineering capabilities to cope with plant aging, to extend plant operating lives, and to improve diagnostic capabilities. The Corporation has been working with electric power companies to develop practical measures in the areas of estimated life expectations for plant equipment, and the establishment of both appropriate maintenance regimes and diagnostic technology to detect abnormalities and degradation.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 13 ~ 17 (1990)

## Total Instrumentation and Control Systems for Future PWR Plants

by Kazuo Inufusa, Shuichi Kobashi & Masahiko Yamawaki

The control systems for PWR plants under construction in Japan employ digital equipment. The future generation of PWR plants will employ digital equipment in the reactor-protection systems and many other new areas so that the plant receives the benefits of full digital operation. The main control room will ensure easier and more reliable operation. A sophisticated computer system with a knowledge-based man-machine system under development at Mitsubishi Electric, will provide human-like abilities to infer, decide, and respond.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 44 ~ 49 (1990)

## Inspection Robots

by Toshio Takenaka & Tadashi Oya

Inspections of nuclear power plants make it possible to achieve and maintain high levels of plant reliability and availability. The Corporation is developing robots to perform inspection tasks. The benefits of robot use include maintaining higher surveillance levels, reducing occupational radiation exposure, and reduced labor costs. The article introduces two fully developed products: a remote-inspection robot for use inside nuclear reactor containment vessels, and a remote inspection and repair robot for use inside the vacuum vessel of the JT-60 nuclear-fusion critical plasma test reactor. It also describes a prototype automatic inspection robot that detects abnormalities using video and infrared cameras and an image-processing system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 18 ~ 21 (1990)

## An Instrumentation and Control System for the Monju Fast-Breeder Power Plant

by Tsuyoshi Akano, Akira Doi, Morihiro Wada & Ken'ichi Kawahara

The Monju breeder-reactor power plant is being constructed as a national technology-development project by several major manufacturing companies working jointly under Japanese government auspices. Mitsubishi Electric has received the contract for design and production of key equipment for the Monju reactor's instrumentation and control system. New technologies specific to breeder reactors have been developed and verified, and the instrumentation and control system design completed at the system and equipment levels. The article reports on the design process, describes the system equipment, and highlights important technical features.

アブストラクト

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>三菱FAコントローラ《MELSEC-LM7000》</p> <p>葛西由夫・宇丹大二・大西作幸・高橋俊哉・岩田恭伸・新藤研二</p> <p>三菱電機技報 Vol.64・No.3・P50～55</p> <p>現在、FAの中核を担う役割を果たす汎用シーケンサの応用システムにおいて、その上位に位置するFAコントローラは不可欠なコンポーネントとなっており、</p> <p>このたび、三菱汎用シーケンサ《MELSEC-Aシリーズ》と親和性が高く、モニタリング機能とパソコン機能、GPP（グラフィックス プログラミングパネル）機能を持ち、32ビットCPUとマルチタスクOSを搭載したFAコントローラを開発した。このFAコントローラの機能、特長を紹介する。</p> | <p>浴室用換気・暖房・乾燥システム</p> <p>鶴飼 誠・牛越康德・可知忠勝・松井 進</p> <p>三菱電機技報 Vol.64・No.3・P71～75</p> <p>浴室ゾーンの多用途化に伴い、衣類乾燥を中心とした乾燥室としての浴室利用が注目されるとともに快適化への追及も高まっており、特に寒冷地やシルバー市場を中心とした浴室の冬季寒さ対策としての暖房が求められてきた。また、建物保全としての強制換気は、結露やカビの発生を防ぐのに有効である。これらの換気・暖房・乾燥の三つの機能を1台で行える製品を開発したので、その概要と性能評価結果について紹介する。</p>                                |
| <p>三菱オゾンプール浄化装置</p> <p>佐々木利彦・田中政之・納庄貞宏・四元初男</p> <p>三菱電機技報 Vol.64・No.3・P56～59</p> <p>遊泳プールの水質や遊泳環境改善要求が高まっている。この期待にこたえるために、オゾンを経水浄化処理の核としてシステム構成したオゾンプール浄化装置を製品化した。この装置による水質改善効果として、大幅な透視度のアップや汚濁有機物の低減が実現できることが確認された。ここでは、現状の水質状況、欧米との水質基準の比較を示すとともに、この装置導入事例のデータを紹介しながら、水質改善への取組について報告する。</p>                                            | <p>ICリードフレーム用新銅合金MF224</p> <p>橋爪公男・中西輝雄・北風敬三・久保蘭健治</p> <p>三菱電機技報 Vol.64・No.3・P76～80</p> <p>MF224は、Cuを主成分に重量％でNi 2.4％、P 0.16％、Si 0.4％を含有する合金で、マトリクス中にNi<sub>3</sub>(SiP)<sub>2</sub>などの微細な金属間化合物が均一に分散し、優れた強度と熱伝導性を示す。特に、強度は銅系リードフレーム材の中では最高級で、42アロイ（Fe-42％Ni）に匹敵し、さらに成形異方性が小さいため、特に表面実装タイプで小型パッケージの代表であるQFP用に適している。</p>    |
| <p>国土庁中央防災無線網衛星通信系用地球局設備</p> <p>岡野弘志・高橋 司・渡辺修身・有田雅雄・加藤栄二郎</p> <p>三菱電機技報 Vol.64・No.3・P60～65</p> <p>国土庁では防災通信用に、災害現場から直接、準動画像を始めとする災害情報の伝達を地上災害の影響を受けずに行える衛星通信の広域性、同報性等の特長に着目して衛星通信系の整備を開始した。統制局である中央局及び可搬局は当社が製作・納入し、昭和63年6月に運用を開始した。高能率符号化した準動画像伝送は、衛星回線においても動き追従性に優れた良質の画像が得られ、今後ますます増大するであろう衛星通信を利用した画像伝送のモデルとなるものである。</p>              | <p>新しい構造用ウレタン系接着剤の開発及びエレベーター意匠パネルへの適用</p> <p>原賀康介・西川哲也・山本和美・服部勝利・勢力峰生</p> <p>三菱電機技報 Vol.64・No.3・P81～85</p> <p>典型的な多種少量生産品であるエレベーターの意匠パネルを効率的に生産するために、種々のパネル材質に対して優れた接着特性が得られる構造用ウレタン系接着剤及びプライマーを新たに開発した。また、表面材の種類にかかわらず基本構造を標準化し、製造方法を統一した。さらに、軽量で剛性の高い補強材や薄肉高強度表面材の採用により軽量化を実現した。新しい意匠パネルは、従来のパネルと同等以上の性能を持つことが確認された。</p> |
| <p>衛星通信用ビットレート可変型モデム</p> <p>井上誠也・富士 剛・三宅 真・村上圭司・伊藤久明</p> <p>三菱電機技報 Vol.64・No.3・P66～70</p> <p>インテルサット ビジネス衛星通信サービス（IBS）用チャネルユニットとして、衛星通信用ビットレート可変型モデムを開発・実用化した。このユニットは、64Kbps～2.048Mbpsの範囲でそのビットレート及び符号化率（1／2又は3／4）が、ユニット前面テンキー又はリモート制御により容易に変更可能である。このモデムの開発により衛星通信における回線容量の変更に対し、迅速・容易かつ安価に対応することが可能となった。</p>                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 71 ~ 75 (1990)

## A Ventilation, Heating, and Drying System for Bathroom Use

by Makoto Ukai, Yasunori Ushikoshi, Tadakatsu Kachi & Susumu Matsui

This system is designed for the ventilation of bathrooms to remove moisture and prevent mildew growth, provide warmer bathrooms in cold weather for the comfort of elderly people, and for making bathrooms suitable for drying clothes indoors.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 50 ~ 55 (1990)

## The MELSEC-LM7000 Factory-Automation Controller

by Yoshio Kasai, Daiji Utan, Sakuyuki Onishi, Toshiya Takahashi, Yasunobu Yuwata & Kenji Shindo

Complicated sequencer-operated factory-automation systems require the use of a factory-automation controller to implement high-level control. The Corporation's latest factory-automation controller employs a 32-bit micro-processor to support a multitasking operating system. The system is highly compatible with the Corporation's series of MELSEC-A general-purpose programmable controllers. The system supports monitoring functions, general-purpose computing (like a personal computer), and a graphics programming panel. The article introduces the controller's functions and features.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 76 ~ 80 (1990)

## MF224, a New Copper Alloy for IC Lead Frames

by Kimio Hashizume, Teruo Nakanishi, Keizo Kitakaze & Kenji Kubozono

MF224 contains 2.4% Ni, 0.16% P, and 0.4% Si by weight. A trace of inter-metallic compounds such as  $\text{Ni}_3(\text{Si}, \text{P})_2$  is distributed uniformly throughout the matrix, giving the alloy exceptional strength and thermal conductivity. The strength of the alloy, the highest among lead-frame materials to date, is comparable to that of 42 Alloy (Fe with 42% Ni). The alloy also possesses small anisotropy in its bending properties, making it suitable for the lead frames of QFPs and other surface-mounting packages.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 56 ~ 59 (1990)

## An Ozone Pool-Purification System

by Toshihiko Sasaki, Masayuki Tanaka, Sadahiro Noshio & Hatsu Yotsumoto

The Corporation has developed a commercial pool-purification system using ozone that meets demand for higher water quality in swimming pools and greater hygiene in associated facilities. The system has been verified to improve water transparency and reduce the concentration of polluting organisms in pools using conventional purification techniques. The article reports on current pool-water-quality levels and cleanliness standards in the United States and Europe, lists performance data of an ozone-purifier installation, and discusses water-purification technology and how to improve it.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 81 ~ 85 (1990)

## The Development of New Structural Urethane Adhesives for Use in Elevator Panels

by Kosuke Haraga, Tetsuya Nishikawa, Kazumi Yamamoto, Katsutoshi Hattori & Mineo Seiriki

The Corporation has developed new urethane-based structural adhesives and primer products with enhanced adhesive properties. The products simplify the production of decorative panels for elevators, which are produced in a large variety of small lots. The new urethane compounds make it possible to use identical assembly procedures for assembling all panel types regardless of the finishing material. Decorative panels made using the new urethane compounds were tested and found to match the performance of previous panels. Thanks to the use of lightweight, rigid reinforcing materials and thin, high-strength finishing materials, substantial weight savings are achieved.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 60 ~ 65 (1990)

## The Earth-Station Facilities of the National Land Agency's Disaster-Prevention Radio Communications System

by Hiroshi Okano, Tsukasa Takahashi, Osami Watanabe, Masao Arita & Eiijiro Kato

Japan's National Land Agency has begun development of a satellite-communications system for disaster-prevention. The interim goal is a system that can transmit digital band-compression TV pictures immediately from disaster sites without risk of disruption—an application to which satellite communications are especially suited. Mitsubishi Electric has produced a fixed earth station for the central control and mobile earth stations installed and delivered in June 1988. The digital band-compression TV signal is encoded using a highly efficient algorithm that yields excellent picture quality and dynamic traceability over the satellite channel. The system is especially significant as a prototype for other satellite-based moving-picture communications systems.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 3, pp. 66 ~ 70 (1990)

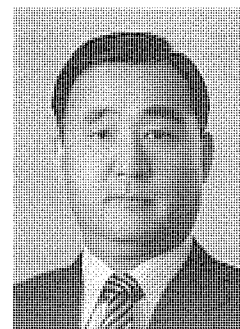
## A Variable-Bit-Rate Modem for Satellite Communications

by Seiya Inoue, Tsuyoshi Fuji, Makoto Miyake, Keishi Murakami & Hisaaki Ito

The Corporation has developed and commercially produced a 64kbps to 2.04Mbps variable bit-rate modem with 1/2 and 3/4 coding rates for use as a channel unit in earth stations for Intelsat Business Service (IBS) applications. The bit rate and coding rate may be easily altered by either a ten-key pad on the modem or by remote control. The modem realizes a swift, easy, and inexpensive means of adjusting to variations in the capacity of satellite channels.

## デジタル計装制御システムの導入にあたって

関西電力株式会社  
常務取締役 鷺見 禎彦



近年の我が国経済の活況を背景に、電力需要は増勢を強めており、将来のエネルギーの安定確保が、ますます重要な課題となっている。現在、関西電力では、1990年代の主力電源として大飯3・4号機（1180MW×2基）を建設中であるが、本プラントは、これまでの運転経験をふまえたさまざまな改良や、先端技術を取り入れた安全性・信頼性の非常に高いプラントとして期待されるものである。

特に本プラントの計装制御システムにおいては、運転・保守する我々電力会社のニーズと最新技術であるマイクロエレクトロニクスなどメーカーのシーズを取り入れたデジタル計装制御システムと、データ多重伝送システムなどデジタル技術を大幅に採用することによって、使用する人間と調和の取れたシステムを目指し開発された世界的にも注目されるプラントであると確信する。このデジタル計装制御システムでは、制御系統を二重化し、一方の系統が故障すると自動的に他の系統に切り替わるとともに、故障箇所を自分で表示する、いわゆる自己診断機能を持っており、システムの信頼性と保守性を非常に向上させている。さらに、プラントの運転監視を司る中央制御室については、CRTを主体とした監視装置を採用して運転員の監視を充実させるとともに、運転状態に応じて分割された中央制御盤の構成とするなど、ヒューマンエラーの対策に万全を期している。

今回これらのシステムの開発導入にあたっての特徴は、

まず設計段階において当社発電所の運転員並びに保修員により、実物模型を使ったマンマシンインタフェースの検討を行い、次にプラントシミュレータと組み合わせた各システムごとの検証を行い、最終的にデジタル計装制御システム・中央制御盤・プラントシミュレータを接続した、プラント実規模での総合組合せ試験を工場段階において実施し、あらかじめ性能を確認したことであり、この意義は大きい。今後の運転開始を目指した現地試験を控え、さらなる品質確保のために、三菱電機、関西電力ともども、一致協力して進めていきたい。

現在三菱グループと当社共同で、改良型PWRプラントの開発とともに、計装制御の分野では、知識工学を応用したマンマシンインタフェースの一層の改善や、デジタル化に向け、改良を鋭意進めているところである。技術がますます進歩する中で、大規模システムの計装制御の分野においては、特に、人間と機械を含めたシステム全体の信頼性向上といった観点からのシステム開発が重要なポイントであり、この点についても三菱電機の技術力を、大いに期待するところである。

最後に今回のデジタル計装制御システムの開発、並びにこの実証試験に多大の努力を払われた関係者一同にお礼を申し上げるとともに、三菱電機のさらなる発展を祈りつつ筆を置くことにする。

# 原子力計装制御の展望

松宮正幸\*

## 1. ま え が き

原子力の発電量に占めるシェアは、昭和63年度において全国ベースで32%に達し、電力供給の中核的地位を占めるに至っている。原子力発電所の数が増えるに従い、その安全性確保及び信頼性向上がますます重要になるとともに、使用者側からはより使いやすいシステムとしていくニーズがある。

特に計装制御分野では、最近のマイクロエレクトロニクス技術の目覚ましい進歩により、こうしたニーズに答えるため、各方面でシステム改良や技術開発が行われている。こうした取組は、従来のプラント運転・制御を中心とするシステムの高度化だけでなく、下記に示すように保守や運営管理も含めたより広いトータルシステムに発展し、発電所の運転・運用の信頼性向上に、より一層寄与することが期待される。

- (1) 従来プラント計装制御システムは、プラントの運転、すなわち監視・操作・制御の支援を目的とし、定められたロジックに従って動作するシステムを中心に展開されていた。
- (2) 今後は、プラント運転や保守のより高度な支援を行うため、プラント全域計装・制御通信システムによる情報伝送と知識ベース型の情報処理システムが導入される。
- (3) さらに、情報・知識ベースを介して、運転と保守領域を結合したシステムが構築され、発電所全体で一元化されたデータベースに基づく運営・管理が可能となる。

以下、原子力計装制御分野の技術動向と今後の展望を述べる。

## 2. プラント運転支援

### 2.1 運 転 監 視

最近のプラントでは、CRT監視を主体とした運転監視と運転モード対応の盤構成を特徴とした改良型中央制御盤が適用されて、運転操作監視性の向上と運転員の負担軽減が図られている。この目標を更に一層押し進めるために、最新のマンマシンデバイスや知識応用技術を使って、コンパクトな中央制御盤とそれに組み込む運転支援システムの開発が進められている。これらの開発における主要な技術課題は、次のとおりである。

#### (1) プラント監視制御の一層の中央集中化と自動化

中央集中化による監視情報と操作項目の増加に対応するために、CRT画面からの操作(ソフトスイッチ)、監視操作一体型の画面構成等により、プラントのCRTオペレーション化を図る。また、プラント運転の自動化を拡大する。

#### (2) 多様なメディアを使った情報提供と対話機能

高精度CRT、大型スクリーン、音声技術等を用いてプラント監視の集約化と運転員の思考過程に適合した双方向的な対話機能を実現する。

#### (3) プラント異常の早期検知、原因同定とプラント状態予測

現在、運転員の知識・経験に頼っている部分も、知識応用診断技

術の開発により、異常の早期検出・原因同定を可能にするとともに、高速シミュレータ等によって異常発生時のプラント状態のより正確な予測を含む監視を可能にする。

#### (4) プラント全体の知識に基づく運転操作のガイダンス

知識工学技術を応用して、プラントの設計知識や運転員の経験知識を計算機に組み入れ、プラント全体の知識に基づく柔軟かつ適切な診断や運転操作ガイダンスを提供できるようにする。

#### (5) 運転点検支援

プラントの信頼性を維持するため、運転管理基準や状況判断に基づく設備の健全性確認点検や予備機のローテーション管理が重要であり、これら運転中の機器運用・点検についてもより適切な管理支援機能が期待される。

### 2.2 制 御 ・ 保 護

制御システムは、原子力発電所のプロセスを制御するものであるが、最近のプラントではマイクロコンピュータを用いたデジタル装置で構成され、運転自動化範囲の拡大、多重構成、分散化や診断機能による信頼性の向上、保守性の向上、多重伝送によるケーブルングの合理化等が実現されている。

原子炉安全保護システムは、原子炉を安全に停止するためのものであり、単一故障により機能を喪失しないよう多重性とシステム間の分離・独立性を備えた設計としているが、さらに運転中の機能確認試験の自動化や試験時の管理機能を強化し、信頼性の一層の向上が図られている。

原子炉制御システムについては、今後予想されるより多様でかつ効率的な運転に対応するため、下記の技術が必要になると考えられる。

#### (1) プラント知識に基づく制御技術

機器・装置間の協調をとり、最適に自動化を実現する技術、プラント過渡状態を修復する方向に自動的に動作する制御技術。

#### (2) 制御装置のフォールトトレラント化

装置故障時の効率的なバックアップ構成・アルゴリズムの確立と復旧操作の自動化。

#### (3) 設備のインテリジェント化と保守性の向上

センサ・アクチュエータを含めた設備のインテリジェント化と診断機能の高度化。

さらに、原子炉安全保護系については、従来ソリッドステートで構成されていたシステムのデジタル化開発が進められている。安全系へのソフトウェアロジックの適用にあたっては、ソフトウェアの検証と健全性の確認が重要であり、指針に従った手順・手法により製作・検証した改良型原子炉安全保護システムの実証試験を原子力工学試験センターで実施中である。

安全保護系のデジタル化により、

#### (1) 自己診断機能、試験機能による信頼性の向上

#### (2) 原子炉出力計測から直接余裕を評価することによる原子炉保護の高精度化



(3) 多重伝送技術による制御系、安全系を含めたプラント全域通信システムの確立が期待される。

### 3. プラント保守支援

#### 3.1 機器の異常診断

原子力発電所を構成する機器の健全性を確認すること、あるいは故障を早期に発見し、故障の進展を未然に防止することは、運転信頼性の確保・稼働率の向上にとって重要である。このため、構成機器の異常状態を監視検出するシステムが開発されつつあるが、今後の課題として下記が考えられる。

##### (1) 徴候ベースによる診断

機器の状態を継続的に監視して、最適なタイミングで予防保全措置をとる状態保全へ移行するためには、異常検出を故障発生ベースから徴候ベースに進める必要がある。徴候ベースの状態診断を行う技術として、信号処理技術の高度化や対象機器の知識データを活用して診断を行うシステムの開発が進められている。

##### (2) 劣化診断

機器の経年変化を評価して必要な予防保全策をとることが、プラントの高い信頼性を維持するために必要である。他方、機器をより長く効果的に使用することが経済性から求められ、診断に基づく合理的な運用が望まれる。経年対策として、定期点検やサンプリング調査によるデータの蓄積に伴い代替基準の再評価が進められているが、運転履歴、保守履歴や定期試験データ、故障統計等とリンクさせたより総合的なシステムに発展していくものと思われる。

#### 3.2 保守管理

原子力発電所においては、設備に関する多量の図面・書類に加えて、特に厳しい品質管理を実施しているために、日々の点検保守や技術管理等の業務に伴う情報量は膨大なものになる。このような状況から、プラントの保守管理・技術管理を中心とした業務の信頼性向上、効率化を目的に、業務の機械化が検討されており、運転記録管理システム、図面管理システム、計器・カード管理システム、作業管理システム等が部分的に導入されつつある。現状は、スタンドアロンの業務処理の機械化が中心であるが、今後、機械化の対象が関係部門間にまたがる業務へ拡大していくため、トータルシステムとして、より使いやすかつ効率性を追求したシステムの構築が課題であり、以下にその概要を示す。

##### (1) 効率的な設備投資

目的ごとの独立システムの集合から、関係システムの統合、連係化によるデータベースの一元化、設備の共用化が必ず(須)である。

マルチメディア データベース技術の向上、伝送の大容量高速化、エンジニアリング ワークステーションの高性能低価格化等、発電所の多様な業務に対応できるシステムを効率的に実現する環境が整いつつある。

##### (2) 機能の高度化

システムの拡大に伴い、より複雑あるいはより高度な判断がいる業務を支援するものとして、知識応用技術を用い、システム全体としてデータや知識の効率的な蓄積と処理を図る必要がある。

##### (3) システムの広域化

分散化したシステムをネットワークで結合することにより、情報・データの広域利用が加速される。

### 4. プラント運転・保守統合化システム

プラントの稼働率向上、運営の高度化のためには、運転や保守を支援する機能間の連携をより密にし、一元化されたデータによるプラント状態認識の共通化と管理の効率化が望まれる。例えば、運転中の異常検知から異常拡大を防止するための操作、保守のための準備操作、保修後の復旧操作等一連の作業を的確に行うためには、運転・保守両面から支援システムの結合が必要である。

このためには、以下のシステム構築と技術開発が必要である。

(1) 分散した運転支援システムと保守支援システムのネットワークによる連動とデータの一元管理化

(2) プラントの異常検知から保修、復旧操作までの一連の判断と作業を支援するガイダンス技術

### 5. む す び

以上、原子力計装制御分野の技術動向と今後の展望について述べた。

原子力発電の定着化に伴い、一層安全で信頼性の高いものにすることが重要であり、こうしたニーズに答える製品・システムを供給することが、当社の社会的任務であると考えている。

特に計装制御分野は、最近のマイクロ エレクトロニクス技術の進歩と情報処理技術の高度化により、発電所の運転・運用の高度化・信頼性向上に一層寄与することが期待され、三菱重工業㈱、三菱原子力工業㈱とともに、その実現にむ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を通して、こうした活動に対し御指導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しだいである。

## 大飯 3・4 号機向け計装制御システム

岡崎 旦\*  
松宮正幸\*\*  
路次安憲\*\*

## 1. ま え が き

関西電力(株)大飯 3・4 号機は、これまでのPWR技術の集大成として、安全性・信頼性のより一層の向上を目指して建設が進められている。

プラントの中枢神経系である計装制御システムにおいては、高度な安全性、信頼性の要求を実現すべく“PWRプラント新計装設備(改良型中央計装システム、デジタル計装制御システム、4チャンネル・4トレンド保護システム)”を適用している。

新計装設備は、最新の要素技術(マイクロコンピュータ、伝送、画像処理)を基盤に、システム構築技術、マンマシン技術、異常診断技術及びシミュレータ技術を応用展開して、電力共同研究等の研究成果を反映させるとともに、これまでのPWRプラントの建設・運転の経験も踏まえて実現させたものである。

以下に、新計装設備の特長を主体に、概要について紹介する。

## 2. 計装制御システム全体構成

大飯 3・4 号機の新計装設備は、以下の方針で構築している。

- (1) プラントの監視操作を行う中央計装(中央制御盤)とプラント制御保護を行う制御装置・保護装置及び現場の検出器・駆動装置に階層化し、監視操作は中央に集中させて監視操作性を向上させるとともに、制御保護装置は分散させることによりシステムの信頼性を高める。
- (2) 監視操作機能においては、運転監視性向上の目的で中央制御盤の運転モード(通常運転、起動/停止、事故等)別分割、CRT主体運転監視を取り入れるとともに自動化範囲の拡大を図る。さらに、

プラント異常時等の警報多発時の運転員の負担軽減と誤判断防止を目的に警報表示方式を改善する。

- (3) 制御はプラント信頼性(稼働性)の向上と保守性向上を目的に、全デジタル化方式とするとともに分散システムを適用する。さらに、制御装置は重要度に応じた多重化構成をとる。

- (4) 保護機能については、プラントの安全性と稼働性の両面での向上を図るために4チャンネル・4トレンド構成(安全保護系)を採用する。

装置には実績のある半導体化保護回路を採用し、マイクロセッサベースの自動試験機能を備える。

- (5) 監視操作レベル、制御保護レベル、現場の検出駆動レベルの相互間の情報伝送には、多重データ伝送システムを採用し大量の情報をデータウェイで伝送することにより経済性向上を図るとともに、効率的で一元化した全体システムを構成する。

図1に全体構成を示す。

## 3. 中央計装システム

## 3.1 設計方針

中央制御室は、運転員(マン)とプラント(マシン)の接点と位置付けられ、人間と機械の適正な役割分担の改善—マンマシンインタフェースの改善—が重要である。中央計装システムは、以下の項目をねらいとして設計している。

- (1) 運転員の負担軽減
  - 運転員移動距離の縮減
  - 自動化・操作の簡略化
- (2) ヒューマンエラーの低減

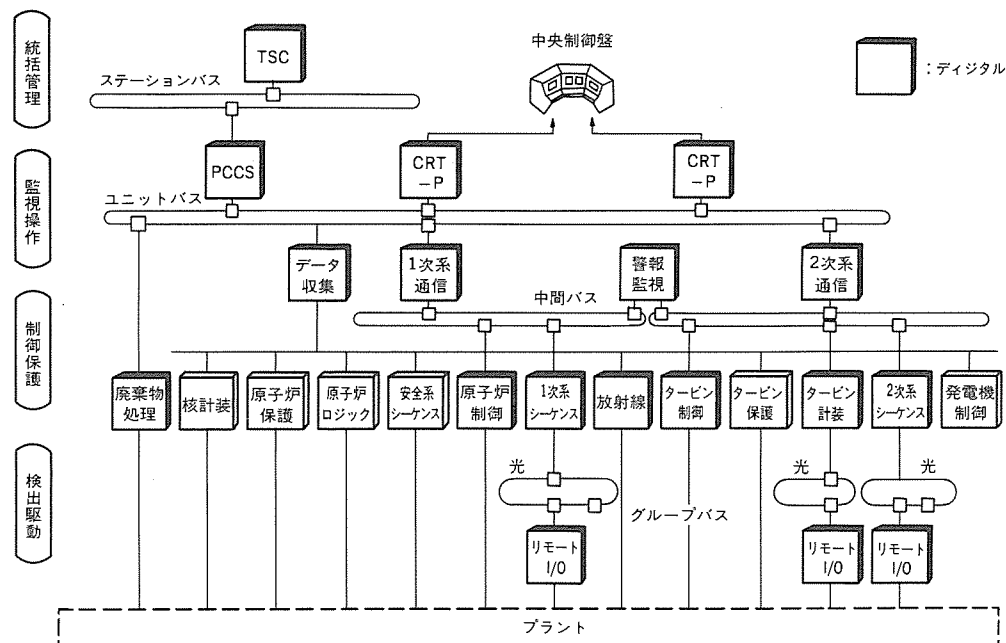


図1. 大飯3号機計装制御システムの全体構成

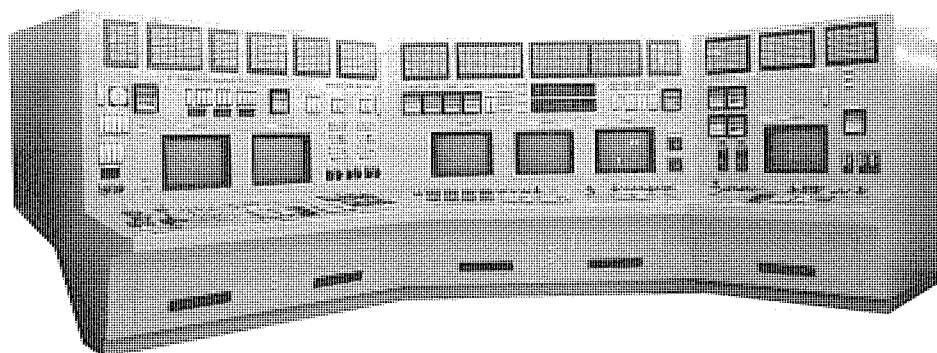


図 2. 中央制御盤（主盤）

表 1. 改良型中央制御盤による効果

| 項 目         | 効果（在来盤に比べ） |
|-------------|------------|
| 運転員の常時監視エリア | 1/4～1/5    |
| 運転員の移動距離    |            |
| 通常運転時       | 1/4        |
| 異常時／事故時     | 1/3        |
| 潜在的監視ミス     | 1/2        |

表 2. 警報識別のロジック

| 項 目             | ルール                                                | 例                                                                      |
|-----------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 通 常 警 報         | ①因果関係<br>“原因” … “赤”<br>“結果” … “緑”<br>“黄”           | 充てんポンプトリップ …… “赤”<br>↓<br>充てん流量低 …… “緑”                                |
|                 | ②多段警報<br>“高位” … “赤”<br>“低位” … “緑”                  | 水位、圧力高・高発信時は<br>水位、圧力高・高 …… “赤”<br>水位、圧力高 …… “緑”                       |
|                 | ③モード変化<br>原子炉トリップ、<br>SI信号など発信<br>時意味のない警<br>報を“緑” | 原子炉トリップ発信 …… “赤”<br>↓<br>制御棒落下に伴う警報<br>タービントリップに伴う警報 …… “緑”<br>パーシャル警報 |
| ファーストアウト<br>警 報 | 第一原因 … “赤”<br>後続警報 … “緑”                           |                                                                        |

表 3. 改良型警報システムによる効果

| 項 目         | 効 果                            |
|-------------|--------------------------------|
| 重要な警報の発信数   | 事故・事象によらず常に20個以下<br>(従来の20%以下) |
| 警報確認時の人間過誤率 | 従来の約1/3に低減                     |
| 事象検知時間      | 従来の約1/3に低減                     |
| 警報の利用率      | 従来の約2倍に向上                      |

- 誤操作防止
- 監視性の向上（情報の集中／集約表示）

### 3.2 改良型中央制御盤

運転モード別盤分割，すなわち，①通常運転時の監視操作を行う主盤，②起動停止時あるいは事故時の監視操作を行う補助盤に分割することにより，運転員の監視範囲の縮減と操作時の移動距離の低減を図っている。図2に主盤の例を示す。発電所の運転員によるプラントシミュレータと組み合わせた実時間検証の結果，表1に示す効果が確認できた。

また，運転員への情報は，CRTに集約して表示することによりプラント運転監視性の向上を図っている。特長は以下のとおりである。

#### (1) 運動モードと監視目的の分析に基づいた3階層の表示画面体系

- プラントレベル総合監視情報
- 関連システム情報
- 系統・機器ごとの詳細情報

#### (2) 画面目的の緊急度の分析に基づいた画面の自動表示体系

#### (3) 表示要素の形状の視認性検証に基づいた画面構成基準の策定とフルグラフィックCRTの採用

(4) CRT画面の平均的な呼出し，更新時間は各々1秒とし，このための高速処理を分散形CRTプロセッサシステムにより実現

### 3.3 自動化範囲の拡大

PWRプラントの起動・低出力運転の監視・操作回数の低減を目的に原子炉の加熱・冷却の自動化及び主タービン自動昇速・出力上昇の自動化を導入した。

自動化に当たっては各モードごとにブレイクポイントを設け，一つのモードが完了した時点で運転員による確認行為を入れ，次のモードに進む方式としている。さらに，自動化各モードの進行に合わせ，プラント状態，各制御対象機器の作動状況などをCRT画面に表示することにより，マンマシンインタフェースの適正化を図っている。

自動化により監視・操作回数は，次のように大幅に低減される。

- 原子炉      監視 約1/2      操作 約1/3
- タービン    監視 約1/15    操作 約1/5

### 3.4 改良型警報システム

プラントの異常／事故時のような警報多発時のヒューマンエラー低減を目的に，重要な警報とそうでない警報の識別を行う改良型警報システムを開発し適用している。識別は，特定の故障シナリオに依存しない，警報間の単純な因果関係のロジック（表2）を用い，LEDを使用した警報窓の赤・黄・緑の3色の変化を利用して，警報を次の3種類の情報に分類表示するものである。

“赤”……その時点で最も重要な警報。運転員に操作を要求する。  
“黄”……その時点で注意喚起を要する警報。運転員に確認を要求する。

“緑”……その時点で重要度の低い警報。必ずしも確認操作を要求しない。

本システムの検証は実機規模の制御盤とプラントシミュレータを組み合わせ実施したが，その結果，表3に示すように重要警報の識別の容易性が図れることが確認できた。

### 3.5 視環境設計

運転員のストレスを軽減し，常に安定した状態で能力を発揮するには，中央制御盤のマンマシンインタフェースの改善に加え，運転

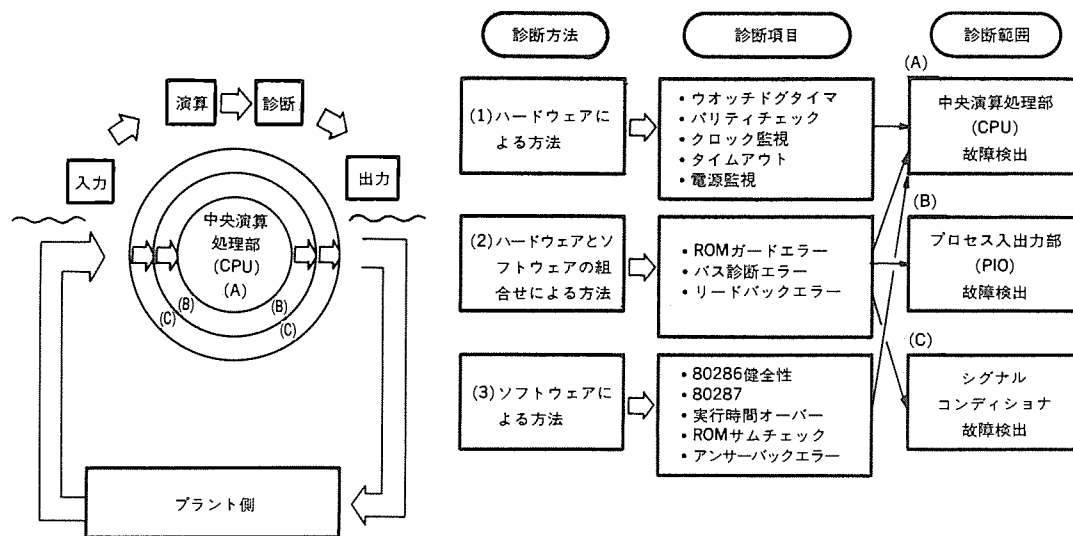


図3. 自己診断機能の内容

員の活動の場としての最適な業務空間の提供が必要である。この観点から、中央制御室の視環境（色彩・照明）の改善設計を実施した。

- (1) 適切な照度確保に加え、中央盤計器、CRT視認性に重点をおいた照明方式（器具種類、配置含む）の採用。
- (2) 運転員等のアンケートに基づき、望ましいデザインイメージ及びカラーイメージを色彩調和設計として展開。
- (3) 中央制御室ミニチュアモデル（1/20）による視環境検証を通じた中央制御室の色彩・形状の決定。

#### 4. デジタル計装制御システム

##### 4.1 設計方針

原子炉の制御及びタービン発電機の制御は、原子力発電所の制御のなかで中枢的な役割を成しており、これらの制御系のデジタル化に際しては、故障発生時の安全性と稼働性確保の観点から分散システムを適用し、次の方針により設計した。

##### (1) 安全性

1 グループの故障を想定した場合にも、外乱が“運転時の異常な過渡変化”事象以内に限定できるようなグループ分散とする。

##### (2) 信頼性

単一故障によるプラントの誤トリップを防止するため、サブシステム単位での信頼性目標値(MTBF100年)を満足する設計とする。

##### (3) 保守性

システムとしての信頼性を確保するため、故障の修復時間(MTTR)が30分以内となる設計とする。

#### 4.2 《MELTAC》の高信頼度設計

デジタル計装制御システムは、原子力向けに開発したデジタル制御装置《MELTAC》(Mitsubishi Electric Total Advanced Controller)により構築している。高信頼度設計としては、故障を発生させないよう機器固有の信頼性を上げることはもとより、万一故障が発生した場合にも、その影響を最小限とするよう分散かつ多重化し、さらにプログラムにバグを潜ませないようビジブルでシンプルなソフトウェア構成とした。

##### 4.2.1 機能分散

危険分散と制御処理に対する要求（入出力サンプリング時間300ms）から、原子炉制御系8グループ、タービン発電機制御系3グル

ープとし、そのほかにシーケンス制御系、補機制御系等、全38グループで分散制御する設計とした。

##### 4.2.2 多重化による信頼度向上

##### (1) 待機冗長二重化システムの採用

単一故障発生時にも、プラントを正常に運転制御し、かつ、運転継続のまま保守を可能とするためには、制御装置を二重化、あるいは三重化する必要がある。《MELTAC》では、異常発生時にはマイクロプロセッサ内蔵の自己診断機能により、自動的に待機系に切り替える待機冗長二重化方式を採用した。この方式は、待機系が健全であることはもとより、いかに故障検出できるかがシステムの信頼性に大きく影響してくるが、充実した自己診断機能を持つことにより、システムの要求信頼度目標（サブシステムのMTBF100年）を満足することができる。また、経済性の点で三重化に比べて有利であるばかりでなく、物量が少ないため保守頻度も少なくなる。

##### (2) 二重化システムの構成

各計測制御設備に対する信頼度要求と経済性を考慮し、《MELTAC》ではフレキシブルな二重系構成を可能としている。

中央演算部 (CPU) は、一重化及び二重化が可能であり、プロセス入出力についても、一重化、二重化あるいは部分的二重化が選択できる設計としている。原子炉制御系ではCPUを二重化し、入出力はプラントの安全性、稼働性に影響を与える信号については二重化、プラント監視信号は一重化としている。さらに、故障発生時、プラントの稼働性に直接影響を与える重要なアナログ入力信号に対しては、片系二重化（部分的四重化相当）照合方式により故障検出している。故障発生時には、自己診断機能により自動的に待機系に切り替え、プラント運転を継続するとともに、二重系の両系故障時には、フェイルセーフ設計として自動的に手動に移行する設計とし、制御出力をその状態に保つこととしている。このように、デジタル制御による多重化技術、診断技術を駆使しシステム信頼度を従来プラントに比べて1けた向上させた。

##### 4.2.3 耐ノイズ/サージ設計

《MELTAC》では、標準化したプリント基板の組合せにより、制御装置、シーケンサ、あるいはリモート入出力装置等の応用システムを構築する。1台のマイクロプロセッサで複数のループの制御を行うDDCでは、信号ラインや電源ラインから侵入するノイズ/サー



ジはコモンモード故障，あるいは誤動作を誘発する可能性があり，耐ノイズ／サージ設計が重要となる。《MELTAC》では，4 kVインパルス耐圧(JEC-210) 及び2.5kV振動減衰電圧(IEEE-Std472)に耐える設計としている。これを実現するため，フィールド信号の入出力ラインにシグナル コンディショナを設置し，絶縁・サージ吸収を行っている。

#### 4.2.4 ソフトウェア設計

《MELTAC》は高信頼性の制御用ソフトウェアとして，定周期性と実証性を重視した設計とした。プログラムは，基本プログラムモジュールと各制御系に対する応用プログラムにより構成し，割り込

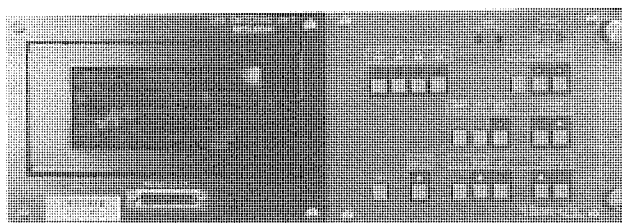


図4. プラズマディスプレイ

みを使用しないシングルタスク方式とした。これにより，マネジメントシステムの下で，プログラムは周期的に起動され，全パスの動作検証が可能な構成となっている。また，応用プログラムはプラントシミュレータと組み合わせ，全制御系に対し実プラントと同様の条件下での検証を実施している。

#### 4.2.5 保守性の向上

二重化システムの信頼度を確保するためには，保守時間を短縮し故障発生時にも，片系の停止時間を極力短くすることが重要である。このため，自己診断の内容と故障表示の充実を図った。

##### (1) 自己診断

故障検出の確率を上げるため，自己診断には，ハードウェア，ソフトウェア両面から種々の診断方式を取り入れている。図3に自己診断機能の内容を示す。CPU部の故障については，一つの故障モードに対し複数の自己診断機能で検出し，また入出力部に対しても，出力信号の読み返し（リードバック）等の診断により検出率を高めている。故障の検出評価に際しては，FMEA手法により解析するとともに，模擬故障試験により自己診断機能を確認した。

##### (2) プラズマディスプレイによる故障表示

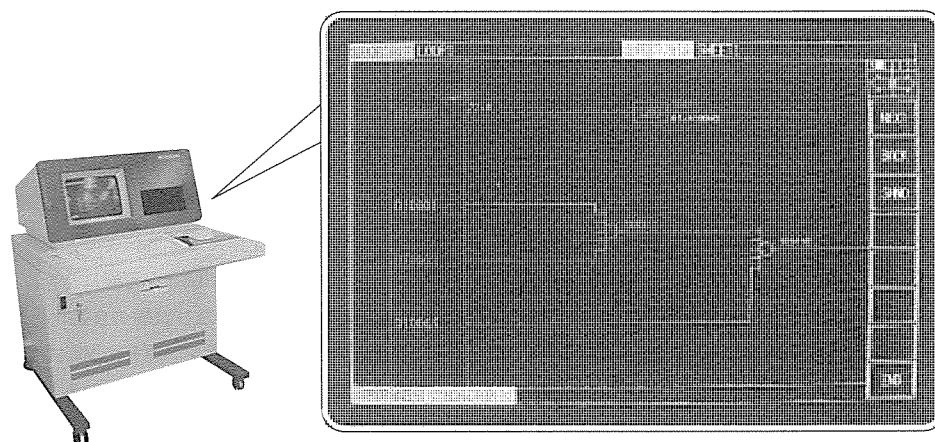


図5. 可視化保守ツール

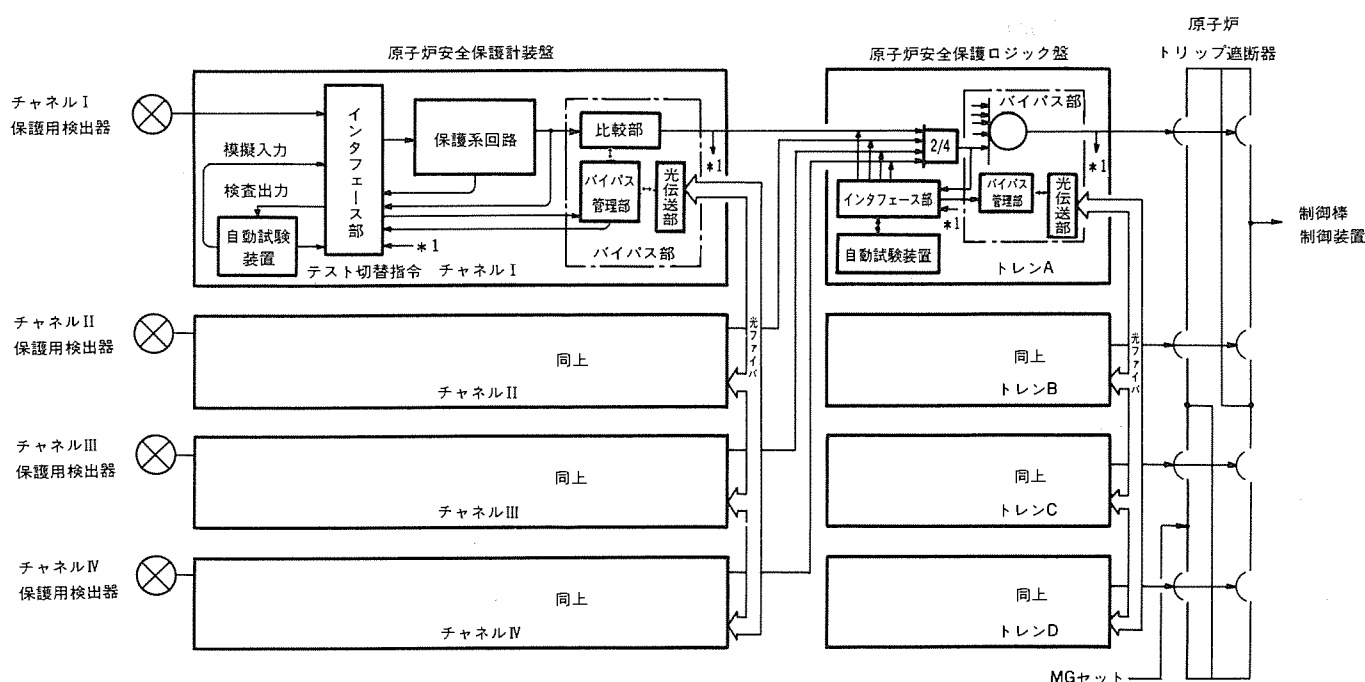


図6. 改良型原子炉保護システムの構成

表 4. バイパス管理機能

| 状態          | チャンネル | I | II | III | IV | トリップロジックの構成 | 備 考                                                                  |
|-------------|-------|---|----|-----|----|-------------|----------------------------------------------------------------------|
| 通 常         | 時     | N | N  | N   | N  | 2/4         |                                                                      |
| 1 チャンネルバイパス |       | B | N  | N   | N  | 2/3         | *：原子炉トリップ状態<br>N：ノーマル<br>B：バイパス状態<br>T：トリップ状態<br>{バーシャルト}<br>{リップ状態} |
| 2 チャンネルバイパス |       | B | T  | N   | N  | 1/2         |                                                                      |
| 3 チャンネルバイパス |       | B | T  | T   | N  | 0/1*        |                                                                      |
| 4 チャンネルバイパス |       | B | T  | T   | T  | 0/0*        |                                                                      |

プラント運転中の故障に対し、修復時間を最短にするため、故障発生時には異常を発生したプリントカードの種類、故障内容、及び実装位置をプラズマディスプレイに表示する(図 4)。この情報により短時間の修復が可能である。また、故障の記録保存と故障発生順序の時系列的確認のため、保守用タイプライタを設置している。

### (3) 可視化保守ツール

保守時には、デジタル制御装置内部のデータやプログラム処理の確認、あるいは修正が必要な場合があり、保守ツールを使用する(図 5)。この保守ツールは、ヒューマンエラーの低減に役立つことを目的とし、従来のこの種のツールの欠点であったテーブル方式や、シンボルブロック方式に代わり、計装ブロック図と同じシンボルで表現するよう改良したものである。保守員は、特別なプログラム言語や記号を使って解釈する必要がなく、CRTにカラー表示されたアナログ演算やシーケンス演算の処理内容を従来と同様の計装エンジニアリング感覚で確認できる。

### 4.3 検 証

新計装デジタル制御システムは、基本構成要素の開発からシステムとしての検証までステップバイステップで検証を重ねてきた。開発段階では、基本ハードウェア、基本ソフトウェア検証、プロトタイプでの装置検証、及び原子力発電所実フィールドでの確認を行い、実機適用に際し問題ないことを確認した。実機段階では、全制御系の応用プログラム検証とシステム試験、さらに総合組合せ試験により品質を確認している。

## 5. 改良型原子炉保護システム

### 5.1 設 計 方 針

安全保護回路の最重要機能は、原子炉を安全に停止することである。このため、単一故障により保護機能を喪失しないような多重性と、これらの多重チャンネル及びトレン相互間の分離、独立性、及びプラント運転中試験機能を備えた設計としている。

- (1) 任意のチャンネルの試験中あるいは保守中に、他のチャンネルあるいはトレンに単一故障を想定しても原子炉保護機能を喪失しないこと。また、原子炉トリップなどの誤動作を起こさないこと。
- (2) 保護機能健全性確認試験の自動化を図る。

### 5.2 システム構成及び機能

#### 5.2.1 4チャンネル・4トレン化

図 6 に示すように、保護用検出器から計測チャンネル及びトレンまでのすべての原子炉保護回路に対して、4チャンネル(チャンネルI, II, III, IV)化、4トレン(トレンA, B, C, D)化を行っている。

使用ハードウェアは、多数のプラントにおいて稼働実績の高い三菱アナログコントローラ(MELNAC)及び半導体式原子炉保護装置(SSPS)をベースとしている。

原子炉安全保護計装盤はアナログ信号の各種演算処理及び信号比

較器を備えており、4重の構成としている。プラントパラメータが設定値を超えるものに対して、トリップ信号を原子炉安全保護ロジック盤に伝える。

原子炉安全保護ロジック盤は、論理演算処理を行う機能を持ち、同様に4重化構成としている。各盤は2 out of 4 論理回路の原子炉トリップ論理回路構成とし、4チャンネル中2チャンネル以上の計測チャンネルからのトリップ信号に対して、原子炉トリップ遮断器作動信号を発する。さらに、原子炉トリップ遮断器は8台、4トレン構成としており、2 out of 4 で初めて原子炉トリップが作動する。

このように、4チャンネル、4トレン構成を行っているので、プラント運転中に単一故障を想定しても誤った原子炉トリップを発生することもないし、保護機能を喪失することもない。さらに、プラント運転中の試験や保守のため、1チャンネルあるいは1トレンを切離(バイパス)しても、残り3チャンネル又は3トレンで2 out of 3 論理回路を構成することにより、十分な安全性を確保できる。さらに次項で述べるバイパス管理を行うことにより、試験中あるいは保守中の単一故障による誤トリップを防止でき、プラントの稼働率が向上できる。

### 5.2.2 バイパス管理機能

表 4 に示すように、1チャンネルバイパス時は、下流側回路に対し、ノントリップ(非トリップ)状態信号を伝達し、2チャンネル以上バイパス時はトリップ状態信号を伝達する機能が、バイパス管理機能である。バイパスは、チャンネル部及びトレン部に設けられ検出器の保守点検時あるいは保護計装盤テスト時にはチャンネル部バイパスを、保護ロジック盤テスト時にはトレン部バイパスを行う。このようなバイパス管理機能を備えることにより、安全性を損なうことなくプラント運転中の試験及び保守を可能にした。

### 5.2.3 試験機能の拡大及び試験の自動化

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

- (1) 原子炉安全保護計装盤自動試験装置
  - 設定値確認試験
  - バイパス部機能確認試験
  - 光伝送部試験
- (2) 原子炉安全保護ロジック盤自動試験装置
  - ロジックテスト
  - 入力リレーテスト
  - トリップ遮断器テスト

いずれもデジタル制御システムと共通のハードウェアを使用している。この自動試験装置によって試験時間の短縮が可能となり、試験時の安全性向上及び稼働率向上の面で寄与できる。

## 6. む す び

大飯3・4号機をこうし(嚆矢)とする新設プラント向けに開発・適用した新計装設備の設計方針・特長等の概要について述べた。将来的には、この新計装設備を既設プラントにも適用して原子力プラントの安全性、信頼性及び保守性のより一層の向上に資したいと念じている。

最後にこれらのシステムの開発・実用化に当たり、多大なる御指導と御尽力をいただいた三菱重工業㈱、三菱原子力工業㈱を始めとする関係各位に深く感謝する次第である。

# 大飯 3 号機向け計装制御システム 総合組合せ試験

細見諒石\* 松本雄二\*\* 打出博士\*\*  
山本義博\* 湯上邦雄\*\*  
服部憲治\*\* 渡部幸一\*\*

## 1. ま え が き

大飯 3 号機の計装制御システムは、本誌特集の別稿で記載のとおり大幅なデジタル化とデータ伝送システムを採用している。これら全体システムの総合的な機能、性能、信頼性、保守性等の評価を、あらかじめ工場段階で確認することをねらいとして総合組合せ試験を実施した。

総合組合せ試験は工場段階最終試験として、データ伝送システムで結合された中央計装システムとデジタル計装制御システムを、プラントプロセスを模擬するプラントシミュレータと組み合わせ検証するものである。

以下に、総合組合せ試験のシステム構成、試験内容等について紹介する。

## 2. 総合組合せ試験のねらい

### 2.1 位置付け

新計装デジタル計装制御システムの開発は大別して、ハードウェア、ソフトウェアの基本構成要素の開発、プロトタイプを試作して装置の性能及び耐力を評価する装置試験、プラントシミュレータと組み合わせて制御性を確認するシミュレータ検証とステップバイステップで開発・設計・検証を実施してきた。また、開発検証の最終確認として、実プラント環境下での装置長時間安定性と健全性を確認するフィールド検証を、関西電力大飯発電所第 2 号機で 16 か月にわたり実施し、実機適用に際し問題ないことを確認した。

実機製作段階では、製作過程での品質の作り込みに主眼をおき、原子力としての品質管理に基づくプリント基板の製造はもとより、実機搭載全制御プログラムを対象とした応用プログラムの検証、並びに各装置単位でハードウェアとソフトウェアを組み合わせたシステム試験など各段階で検証を実施してきた。

総合組合せ試験は、装置単体の試験検証終了後、中央制御盤やプ

ラント計算機システムを始めとする中央計装システムとプラント制御監視をつかさどるデジタル計装制御システム、及びPWR原子力プラントを模擬するプラントシミュレータを組み合わせ、工場試験の最終段階として総合的なシステム機能・性能の確認を実施するのである（図 1）。

### 2.2 目的

総合組合せ試験は、新設計要素の総合的な検証、現地試験の合理化を目的とし、次のような観点から実施した。

#### (1) 機能・性能確認

新設計要素としては、時分割デジタル多重伝送を基本とした信号伝送やプラント起動・停止の自動化等がある。信号伝送については、中央計装システムと計装制御システム及びシステム内の各装置のインタフェースの確認と中央監視信号等の応答性確認、及び警報処理・演算処理等を含めた各装置間での信号の運動性確認を実施する。また、自動化については、関連装置とプラントシミュレータを組み合わせ実運転状態を模擬し総合的な確認を行う。

#### (2) 信頼性・保守性確認

装置故障発生時、所定の装置故障情報が発信すること、中央運転監視表示機能が設計意図どおりであること、及びプラントが運転継続可能であることを確認する。また、故障発生後の復旧処置がプラント運転継続のまま実施可能であることを確認する。

#### (3) 現地試験の合理化

総合組合せ試験で各装置間の信号インタフェースを確認することにより、従来のプラントでは現地据付け・配線後実施していた装置間インタフェース試験（スタティックループ試験）を削減し、現地試験の合理化を図る。

## 3. 総合組合せ試験システム構成

総合組合せ試験の全体システム構成を図 2 に示す。システムは、中央運転監視を行う中央計装システム、プラントの制御を行うデジタル計装制御システム及びPWR原子力プラントを模擬するシミュレータに区分できる。

### 3.1 中央計装システム

中央計装システムは、原子力プラントにおけるマンマシンインタフェースの媒体として位置付けられ、中央制御盤、プラント計算機システム（PCCS）及び中央制御室警報監視盤（ANC）で構成される。

中央制御盤は、電力共研“制御監視システムの強化に関する研究”の成果をベースとした改良型中央制御盤で、盤面上に 9 台の CRT を配置し運転員にプラントデータを提供する。

PCCSは複数のプロセッサによる機能分散型システムであり、工業用計算機（M60/300）を適用したデータ収集用計算機（DASP）、エンジニアリング計算機（ENGP）、CRTプロセッサ（CRTP）及びマイクロプロセッサを適用した中央制御室警報監視盤（ANC）と情報伝送盤（RCU、TCU）で構成される。これらは、二重化構成のユ

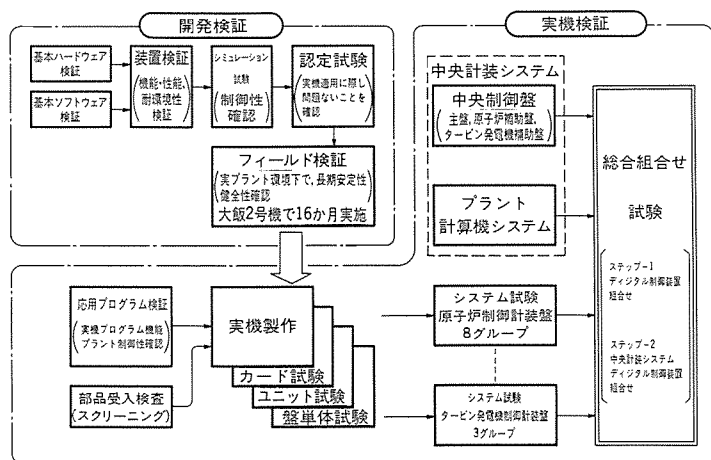


図 1. デジタル制御システムの検証

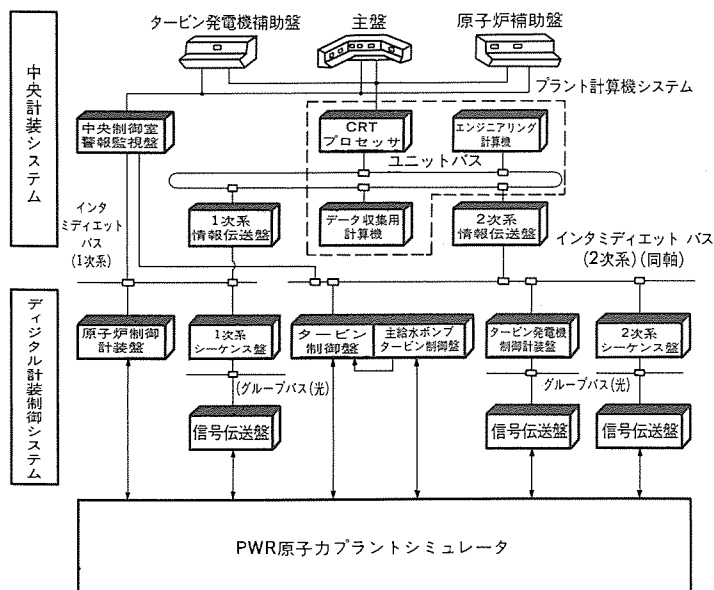


図2. 総合組合せ試験システムの構成

表1. 伝送機能試験結果

|       | 項目               | 確認点数                     |
|-------|------------------|--------------------------|
| ステップ1 | プロセス信号のCRT表示機能試験 | アナログ 746点<br>デジタル 2,297点 |
|       | 警報表示機能試験         | 1,398点                   |
|       | 装置間インタフェース試験     | 178点                     |
| ステップ2 | プロセス信号のCRT表示機能試験 | アナログ 831点<br>デジタル 2,739点 |
|       | 警報表示機能試験         | 1,642点                   |

表2. 信頼性・保守性試験結果

|      | ステップ1                                                       | ステップ2                                                                         | 結果 |
|------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 装置故障 | ●分散単一故障：36ケース<br>●インタミディエイトバス故障<br>●両系ダウン：32ケース             | ●分散単一故障：22ケース<br>●両系ダウン：14ケース                                                 | 良  |
| 電源断  | E <sub>1</sub> 及びE <sub>2</sub> 母線<br>CVCVF/AVR電源断<br>：4ケース | E <sub>1</sub> 及びE <sub>2</sub> 母線<br>CVCVF/AVR電源断並びに<br>計算機用CVCVF故障<br>：6ケース | 良  |

表3. CRT表示機能総合試験結果

| CRT表示機能            | ①負荷急減 | ②プラントトリップ | ③安全注入作動 | ④BO発生 |
|--------------------|-------|-----------|---------|-------|
| 自動表示機能             | ○     | ○         | ○       | ○     |
| 補機動作確認機能           | —     | ○         | ○       | ○     |
| BOシーケンス<br>SIシーケンス | —     | —         | ○       | ○     |
| 結果                 | 良     | 良         | 良       | 良     |

デジタル制御装置で構成され、信号伝送はデータウェイによる多重伝送方式を適用し図2に示すとおり、現場との信号送受信を行う信号伝送盤（RIO）と各制御装置間にグループバス（光）、デジタル計装制御システムと中央計装システム間にインタミディエイトバス（同軸）を設け、前節の中央計装システムも含め、階層化分散システムを形成している。

デジタル計装制御システムは、装置機能喪失した場合プラントの安全性を損なわない（安全性の確保）、プラント誤トリップ防止の確保の観点から機能分散化、待機冗長方式の二重化構成としている。

### 3.3 原子力プラントシミュレータ

シミュレータは、中央制御盤から操作されるプラント全システムをモデル化したものであり、通常時から事故時まで広範囲にわたって実時間で精度の高いシミュレーションを実現している。

システムは、共有メモリを中心とした3台の計算機とインストラクタコンソールからなり、インストラクタコンソールからシミュレータの制御（フリーズ／ゴー）、総合組合せ試験各装置との接続／切離し、プラント初期状態の設定、マルファンクション（一次冷却剤喪失、SG細管漏えい（洩）等）入力が可能である。

応答性は、リアルタイムでの割り込み処理とモデルスケジューリングを有効に利用して高速化を実現しており、中央制御盤からの操作に対し違和感のない応答性を確保している。

## 4. 総合組合せ試験実施内容

総合組合せ試験は、ステップバイステップの考え方を基本として、デジタル計装制御システムと原子力プラントシミュレータを組み合わせたステップ1とステップ1に中央計装システムを加えたステップ2の2段階で実施した。

### 4.1 ステップ1

デジタル計装制御システムの信号インタフェースの確認、多重伝送の性能評価、分散システムの故障時の挙動とプラントへの影響評価及びプラント稼働中の故障修復作業確認を下記試験項目に区分して実施した。

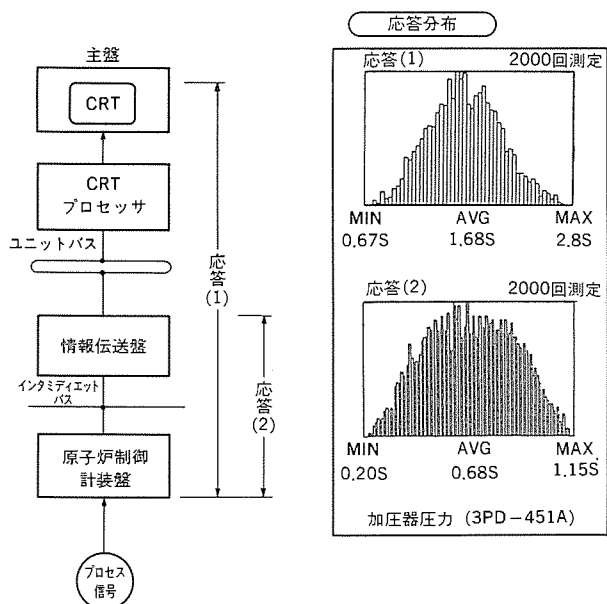


図3. 応答性確認試験結果（例）

ユニットバスに結合されデータの送受信を行っている。

### 3.2 デジタル計装制御システム

プラント計装制御システムは、マイクロプロセッサを適用したデ

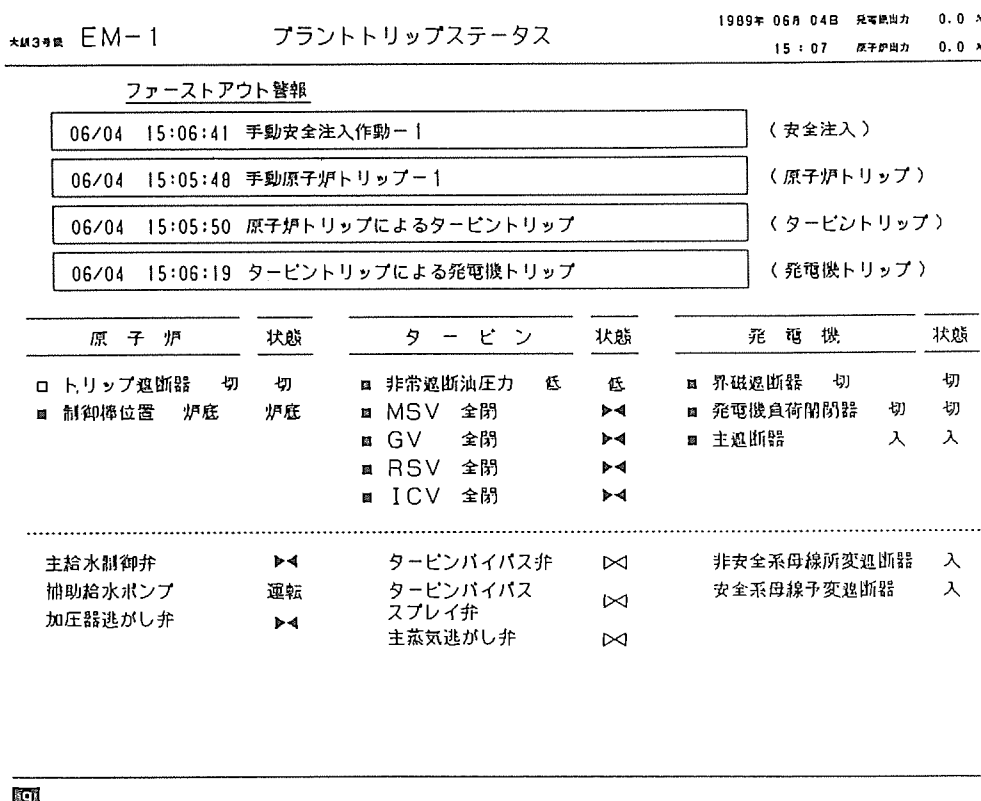


図4. CRT表示機能総合試験 (CRT自動表示画面例)

- (1) 伝送機能試験
- (2) 応答性確認試験
- (3) 信頼性 (保守性) 試験

#### 4.2 ステップ-2

信号発信元から中央へ伝送される運転監視データ (CRT表示, 警報表示, 指示計/記録計表示) のインタフェース確認と各装置間の連動性確認, CRT表示及び警報表示の応答性確認, 装置故障時の表示への影響確認, 自動化 (ヒートアップ/クールダウン, タービン自動昇速) 機能確認, プラント異常・事故時のCRT表示機能確認を下記試験項目に区分して実施した。

- (1) 伝送機能試験
- (2) 応答性確認試験
- (3) 信頼性 (保守性) 試験
- (4) 自動化対応CRT表示機能試験
- (5) CRT表示機能総合試験
- (6) 故障試験

#### 4.3 試験結果

- (1) 伝送機能試験

ステップ-1, ステップ-2 を通じて, 組合せ試験対象設備の全データについて信号インタフェースが計画どおり実現されていることを確認した (表1)。

- (2) 応答性確認試験

信号発信元からCRT表示及び警報表示までの応答時間を各信号ルート別 (全14ルート) に各々2,000回測定し応答分布を求め, 設計目標値 (CRT表示: 最大4秒, 警報表示: 最大2秒) 以内で伝送されていることを確認した (図3)。

- (3) 信頼性・保守性試験

各装置単位での故障あるいは計装用電源断事象を発生させ, 二重系を構成する装置の常用系から待機系への自動切替え, 装置故障表

示, 警報表示及びCRT監視データに付与されるデータ不信頼マーク等が正しく機能すること, 並びにプラント継続運転に影響のないことを確認した。また, 故障修復に伴う故障同定, 養生, カード交換等の一連の操作・処置がプラント運転中に可能であることを確認した (表2)。

- (4) 自動化対応CRT表示機能試験

原子炉系のヒートアップ/クールダウン及び主タービン, 主給水ポンプタービンの自動化機能について, 各ブレイクポイントでの操作を実施し, CRT自動化画面表示機能が正しく機能することを確認した。

- (5) CRT表示機能総合試験

プラント異常・事故時の運転員への情報提供確認の目的で, ①負荷急減, ②プラントトリップ, ③安全注入作動, ④ブラックアウトの各事象発生を原子力プラントシミュレータで模擬し, 各事象発生時に関連するCRT表示機能 (自動表示, 状態表示, データ収集機能等) が正しく機能することを確認した (表3, 図4)。

- (6) 故障試験

二重化された装置の両系電源断, 両系CPU故障, 及び自動化機能作動中又は所内単独移行中の片系故障を想定し, プラントへの影響, 警報表示等について確認を行った (図5)。

- (7) 運転員による運転操作性確認

運転員による運転操作性確認としてプラント トランジェント事象, 自動化機能に関する運転操作を実施し, CRT主体運転の妥当性確認を実施した。

## 5. 総合組合せ試験の成果

中央計装システム, デジタル計装システム及び原子力プラントシミュレータを組み合わせた総合組合せ試験により, 次の観点で新設計検証と総合的な機能・性能確認が達成できた。



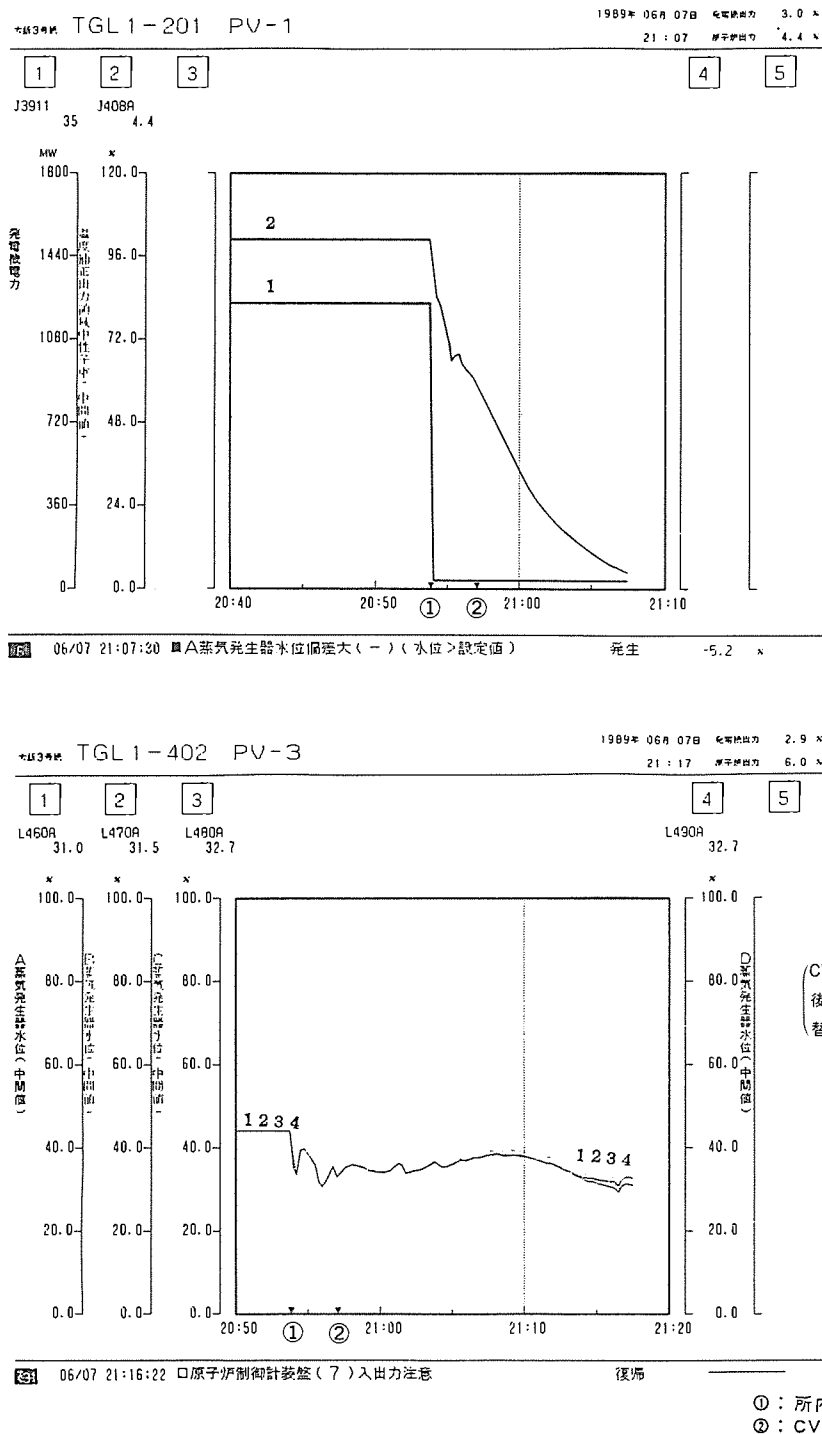


図 5. 故障試験結果 (例) (所内単独運転移行時のCVCF電源断事象発生)

# (1) 総合的な機能・性能

- (a) 各装置間の信号インタフェースと応答性の確認
- (b) プラント自動化機能と運転員への情報提供
- (c) 運転員による運転操作確認

# (2) 信頼性

- (a) 装置故障時の運転員、保守員への情報提供の確認
- (b) 全グループ片系故障時でもプラント正常運転継続を確認
- (c) 1グループの両系故障時、手動モードへ移行することの確認

# (3) 保守性

- (a) 隔離・養生等、プラント運転と同様の条件下での保守作業確認
- (b) 保守時の誤動作のプラントプロセスへの影響評価

## 6. む す び

中央計装システムとデジタル計装制御システムの総合組合せ試験について、試験目的、内容及び成果について紹介した。

原子力発電プラントの新計装制御設備に対する信頼性、保守性、運転操作性は、ますます重要になっている。工場段階の検証は、今回紹介した総合組合せ試験で終了し、現在は、現地据付け・調整・試運転段階を迎え最終実機確認中であり、現地試験を通じて原子力発電プラントに対する期待に答えていく所存である。

終わりに、総合組合せ試験の計画・実施に当たり多大なる御指導と御尽力をいただいた三菱重工業㈱、三菱原子力工業㈱を始めとする関係者の方々に深く感謝する次第である。

# 将来プラント向け総合計装制御システム

犬房和夫\*  
小橋秀一\*  
山脇雅彦\*

## 1. ま え が き

現在、建設中のPWRプラントの計装制御システムでは、監視操作の中央集中化並びに制御系のデジタル化により安全性、運転操作性、信頼性、保守性の向上とともに自動化範囲の拡大を実現している。将来プラント向けの中央計装システムでは安全性、運転信頼性、操作性、保守性を更に改善すべく、知識工学を応用したマンマシンシステムの開発並びに監視操作機能の統合を図ったコンソールタイプのコンパクトな盤を計画中である。また、計装制御システムでは、制御系に加え、原子炉安全保護系をデジタル化する等、デジタル化技術の適用範囲拡大による総合デジタル化を目指し、より一層の安全性、信頼性の向上を図る。

本稿では、これら新技術を適用したときの全体構成と技術の開発状況について紹介する。

## 2. 将来プラント向け計装制御システムの全体構成

将来プラント向け計装制御システムで計画中の全体構成（図1）は、現在建設中のプラントでのシステム構築概念を踏まえ、階層構成による機能分割と多重化により安全性、信頼性を確保するとともに、多重伝送適用の拡大により、これまで以上に各階層間、各システム間のつながりの強化並びに信号伝送の合理化を図る計画である。

監視操作機能については、全中央盤を統合し、更に2～3mのコンソール盤によるコンパクト化を実現するため、従来盤面に取付けていた指示計、表示灯、操作スイッチ類に代え、CRT画面のマルチウインドウ化による集約表示やタッチセンサを使用した操作のソフト化を進めている。このために非安全系用としてCRTプロセッサと非

安全系マルチプレクサ盤並びに安全系用としてプラズマディスプレイ制御設備と安全系マルチプレクサ盤を配置し、下位のシステムに操作指令を与えると同時に、下位から伝送されたプラント情報をCRTやプラズマディスプレイに表示するよう構成する。また、さらにより人間に近い形でプラントの状態を思考、判断し、この結果を対話方式で運転員へガイダンスするマンマシンシステムを適切に採用することで、より一層の運転信頼性の向上を図ることも計画している。

計装制御システムについては、特に従来アナログ装置で構成していた原子炉安全保護系をマイクロプロセッサで構成することにより、原子炉安全保護機能のより一層の信頼性向上を図るとともに、制御系についても従来以上にデジタル化範囲を拡大することによりプラント総合デジタル化を目指している。これにより、安全性、信頼性、運転操作性、保守性の向上、装置のコンパクト化、配線の合理化とともに、負荷追従運転等プラントの運用に関する多様な高度化要求にも対応が可能なシステム構築を計画している。

## 3. 知識工学応用マンマシンシステム

### 3.1 概 要

国内の総発電電力量に対する原子力発電の比重が高まるにつれ、原子力発電所の安全性、信頼性をなお一層向上させることが望まれており、このためには運転員が持つ運転判断・操作の能力を強化・補完する運転支援システムが必要とされている。この社会的要請に答え、三菱重工業㈱、三菱電機㈱及び三菱原子力工業㈱は、共同で通商産業省補助事業“原子力発電プラント マンマシンシステム開発”を昭和59年度から推進しており、昭和61年度にその概念設計（フ

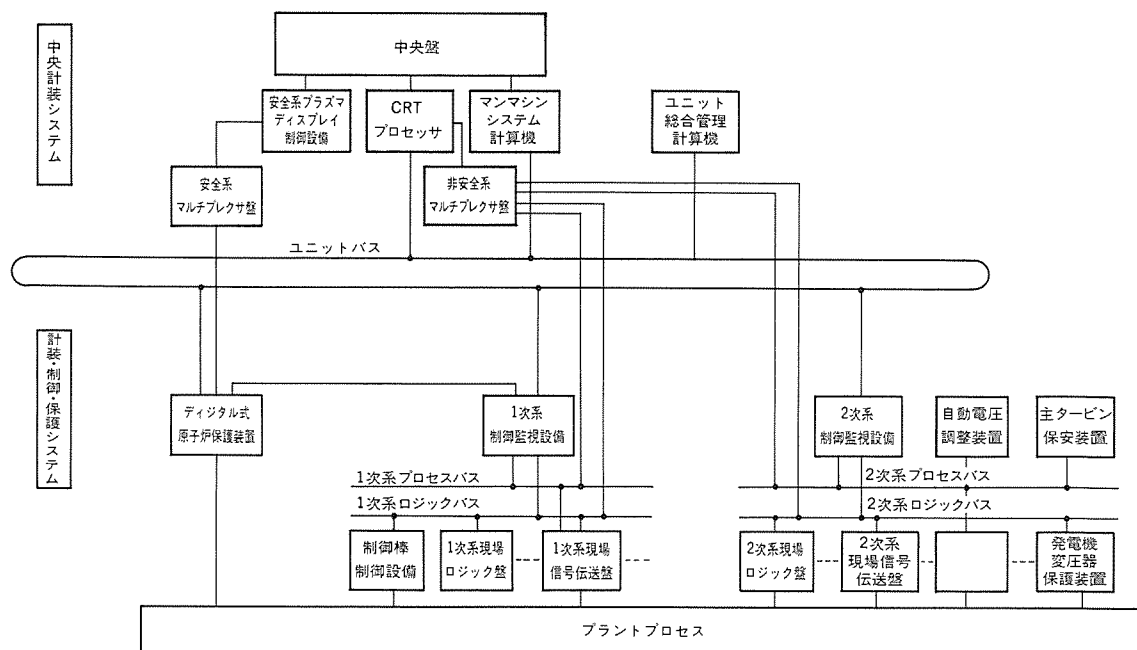


図1. 将来プラント向け総合計装制御システムの全体構成

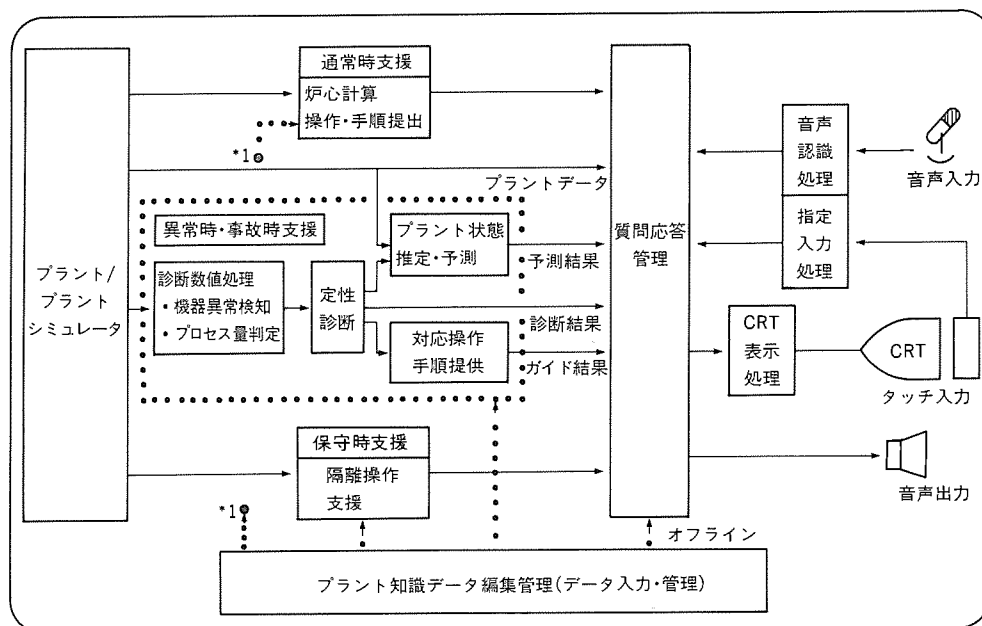


図 2. 機能構成

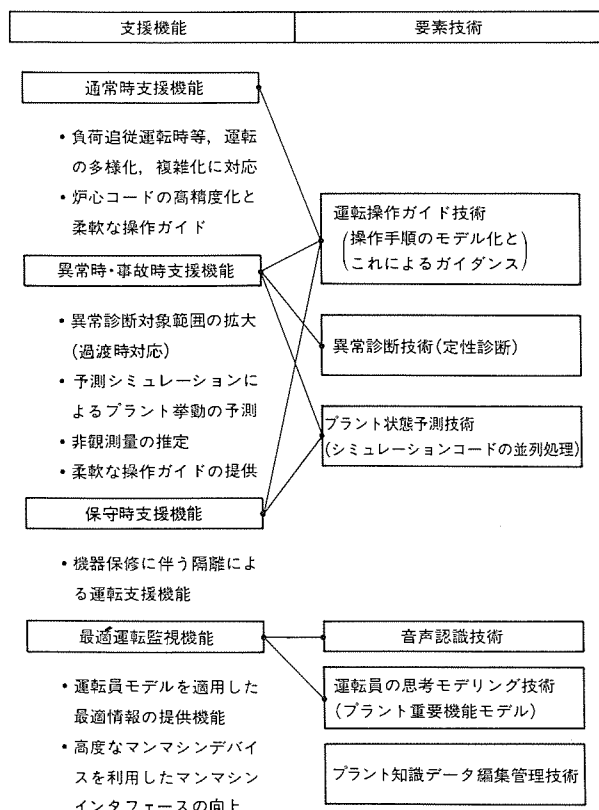


図 3. 支援機能と要素技術

イージビリティ スタディ)を完了し、引き続き昭和62年度から実用化システムを5か年計画で実施中である。この章では、知識工学を中心とした計算機利用技術及び認知特性を考慮に入れた人間工学を積極的に導入することにより、人間に近い推論・判断を可能とした診断・ガイド機能とその実現方式、並びに運転員とシステムとのマンマシン インタフェースの開発状況について紹介する。

### 3.2 システムの機能と要素技術

マンマシンシステムが対象とする運転支援機能を下記に示す。

#### (1) 通常時運転支援

プラントの最適な再起動手順の探索及び再起動計画の作成。起動停止時及び負荷追従運転時における柔軟な操作ガイダンスの提供。

#### (2) 異常時、事故時運転支援

異常、事故の早期発見・原因同定及び事故の拡大を防止し、安全停止のための適切な操作ガイダンスの提供。

#### (3) 保守時支援

プラントの構成機器に異常が生じた場合、その機器をプラント運転中に安全かつ効率的に保守するための隔離範囲の推定、プラント運転への影響推定、及び隔離操作手順提供に関する支援。

#### (4) 最適運転監視

システムが各種支援結果を的確に把握することによって、運転員の質問に対し、これを理解し適切な情報を提示するマンマシン インタフェースの提供。図2にマンマシンシステムのシステム機能構成図を示す。

上記機能を実現するために必要な四つの下記要素技術開発を実施してきた。

#### (1) 運転員の思考モデリング技術

プラントの状態に対する運転員の思考プロセスに従って、異常診断結果、操作ガイドなどの運転支援情報を運転員に理解しやすく提供するためにプラントの機能を階層的に規定したプラント重要機能モデルを開発した。

#### (2) 診断ガイド技術

プラントの機能若しくは異常事象を階層的にモデル化した知識ベースに従って推論し、異常原因の同定とプラント整定操作に必要なガイドを行う。

#### (3) プラント状態予測技術

プラントに異常が発生した後の異常進展予測、機器を隔離した場合のプロセスパラメータの整定値予測を行う。

#### (4) 音声認識技術

運転員とシステムとの音声による対話をスムーズに行い、CRT画面のリクエストや診断要求等のシステムへの指示を迅速にするため従来から適用されてきた音声告知装置に加えて、特定話者からの連続音声による入力を可能とし、構文解釈による文の認識を可能とす

る音声認識装置を開発した。

#### (5) プラントデータ編集管理技術

マンマシンシステムで利用する診断・ガイダンス提示に必要なプラントデータを一元管理し、運転員の持つ知識等の構築編集を支援するツールを開発した。

これらの支援機能と要素技術の関係及び、要素技術の課題と現状

表 1. 要素技術の課題と成果

|               | 課 題                            | 成 果                                       | 今後の課題                             |
|---------------|--------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|
| 運転員の思考モデリング技術 | 運転員の思考プロセス                     | プラント重要機能モデルとして実現                          | 有効性の検証方法                          |
| 診断ガイド技術       | 異常診断<br>対策事象の拡大                | 定性モデルによる過渡時診断付随故障へ対応                      | 知識ベース構築<br>(プラント全系への拡張)           |
|               | オンライン推論                        | 記号処理—数値処理統合化により、1秒応答で診断                   |                                   |
|               | 柔軟なガイド提供                       | 階層化ベトリネットによる操作手順のモデル化                     |                                   |
| 予測技術          | 安価で高速(実時間の10倍程度)なシミュレータエンジンの実現 | 並列処理マシンの適用と、タスクスケジューリング技術により目標を達成         | 予測シミュレータへの具体的適用                   |
| 音声認識技術        | 連続音声認識で、実用レベル(90%)の認識率実現       | 500単語で95%認識率達成(現場環境下)                     | 音響知識獲得等、周辺ツールの整備<br>実環境への適用性向上    |
| プラントデータ編集管理技術 | プラントデータ、推論用知識ベースの入力・編集、管理      | 汎用的なデータ入力ツールとして、図形データ(系統図等)、操作手順等の入力機能を実現 | ツールとしての実運用各サブシステムに特化した支援機能(編集・検証) |

での成果概要を各々図 3 及び表 1 に示す。

### 3.3 開 発 状 況

この開発は以下に示す四つのフェーズに分けて、推進中である。

#### (1) フィージビリティ スタディ……昭和59～昭和61年度

- ミニモデルによる開発構想の妥当性確認
- 要素技術開発項目の抽出

#### (2) 機能設定と要素技術開発……昭和62～平成1年度

- システム基本機能の設定
- 運転員の思考モデリング技術
- 診断ガイド技術
- プラント状態予測技術
- 音声認識技術
- プラントデータ編集管理技術

#### (3) プロトタイプ製作……平成1～平成2年度

- システム設計・製作
- データベース構築

#### (4) 検証・評価……平成3年度

フィージビリティ スタディでは、運転員とシステムとのマンマシン インタフェースの改善の観点から、運転員思考プロセスに基づいた情報提供方式の妥当性確認を行った。同時に、システム構築上必要とされる要素技術として前述の各技術を抽出した。

機能設定と要素技術開発のフェーズでは、運転員の思考モデリング技術に加えて、変化中のプラント状態に適用可能な異常診断ガイド技術、並列プロセッサによる高速シミュレーションを可能とする予測技術等の要素技術開発に目をつけた。また、基本機能をニーズ、シーズの両面から検討し、システム基本機能を設定した。現在、平成3年度に実施する検証に供するシステムのシステム設計・製作を中心に進めている。

### 3.4 今後の展開

今後は、検証手法を確立するとともに、プラントシミュレータに



図 4. 原子力発電プラント マンマシンシステム モデル

よる動的検証を実施し、このシステムの確立を図る予定である。

#### 4. デジタル式原子炉保護装置

##### 4.1 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も、プラントを安全に停止させる機能を持っている。原子炉保護装置は計測制御系設備（非安全系）とは物理的及び電氣的に分離され、非安全系のいかなる故障によっても安全保護機能に影響が及ばないようにし、また多重化により単一故障が起こっても安全保護機能が失われることのない設計としている。また、更にフェイルセーフの思想を全面的に採用し、より一層の安全性を図る設計としている。

このように、原子力プラントの中で重要な機能を果たす原子炉保護装置に、マイクロプロセッサを適用したデジタル式原子炉保護装置を開発した。

この装置は、アナログ式の改良形原子炉保護装置で実現した機能に加え、下記特長を持っている。

- (1) 原子炉保護信頼性並びに試験性のより一層の向上
- (2) 運転余裕の拡大（限界熱流束比、線出力密度の直接演算による保護機能の強化）
- (3) 多重伝送によるインタフェースの簡素化及びケーブル量削減

また、この装置は安全保護機能をソフトウェアにより実現するのでソフトウェアの信頼性確保が重要であり、原子炉保護装置に適用するソフトウェアの検証方法を研究・開発した。

##### 4.2 システム構成

デジタル式原子炉保護装置の全体構成を図5に示す。図に示すように、デジタル式原子炉保護装置は下記の主要装置から構成されている。

- (1) 原子炉安全保護盤
- (2) 工学的的安全施設作動盤
- (3) 安全系現場ロジック盤

##### (4) 安全系マルチプレクサ盤

原子炉安全保護盤は、原子炉トリップに関する入力処理・保護演算、2/4多数決論理による原子炉トリップ出力及び非常用炉心冷却機能に代表される工学的的安全施設作動系の入力処理を実行する。この盤は、物理的・電氣的に分離された4チャンネルによる多重化構成としており、他チャンネルとのインタフェースには光多重伝送を使用している。

工学的的安全施設作動系は、電氣的・物理的に分離された2トレン独立構成となっており、工学的的安全施設作動盤、安全系マルチプレクサ盤及び現場に分散される複数の安全系現場ロジック盤から構成される。

工学的的安全施設作動盤は、4チャンネルの安全保護キャビネットから光多重伝送されてくる信号を入力し、工学的的安全保護ロジック演算を実行して同一トレンの安全系現場ロジック盤にシステムレベルの工学的的安全施設作動信号を出力する。

安全系現場ロジック盤は、工学的的安全施設作動盤及び安全系マルチプレクサ盤から必要な信号を入力し、補機レベルのロジック演算を実行し補機作動信号を出力する。

安全系マルチプレクサ盤は、中央制御盤からの手動操作信号を安全系現場ロジック盤に出力するとともに、補機状態信号を入力し中央制御盤に安全系補機の動作状態を表示する。

これらキャビネット間のデータ伝送は、二重化された光データハイウェイを介して行い、さらに出力安全系現場ロジック盤をプラント内の最適位置に分散配置することでケーブル量の大幅削減を可能としている。

デジタル式原子炉保護装置は、以下に示すように従来型装置の設計思想を踏襲した上でマイクロプロセッサの機能を活用することで、アナログ式原子炉保護装置に比べて更に高い信頼性を達成している。

- (1) システムに多重性と独立性をもたせることで、単一故障による

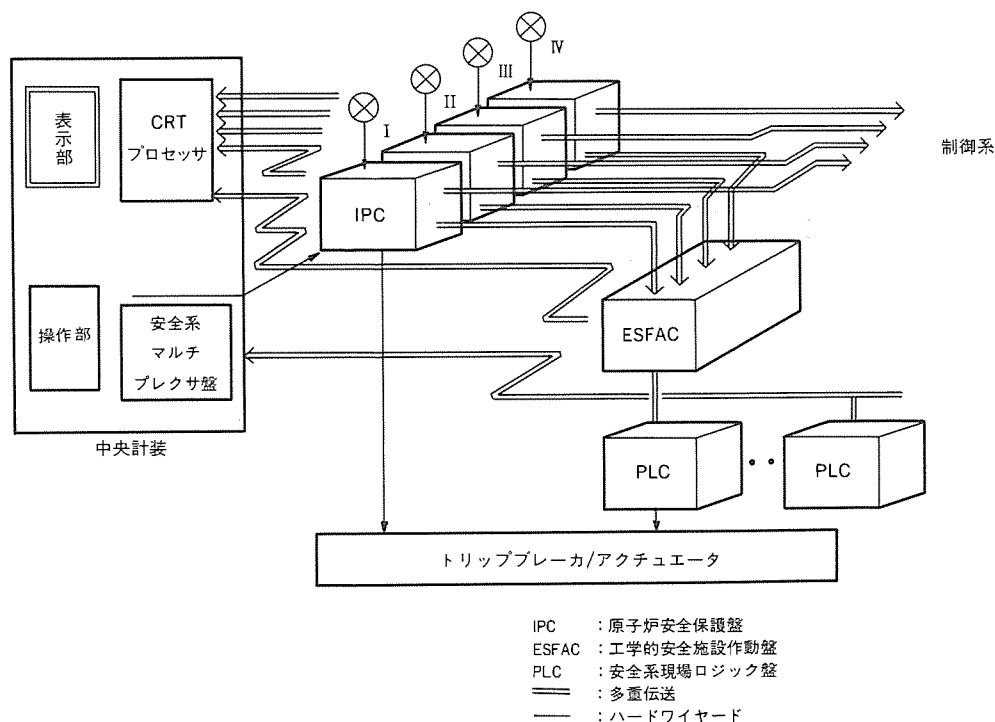


図5. デジタル式原子炉保護装置の全体構成

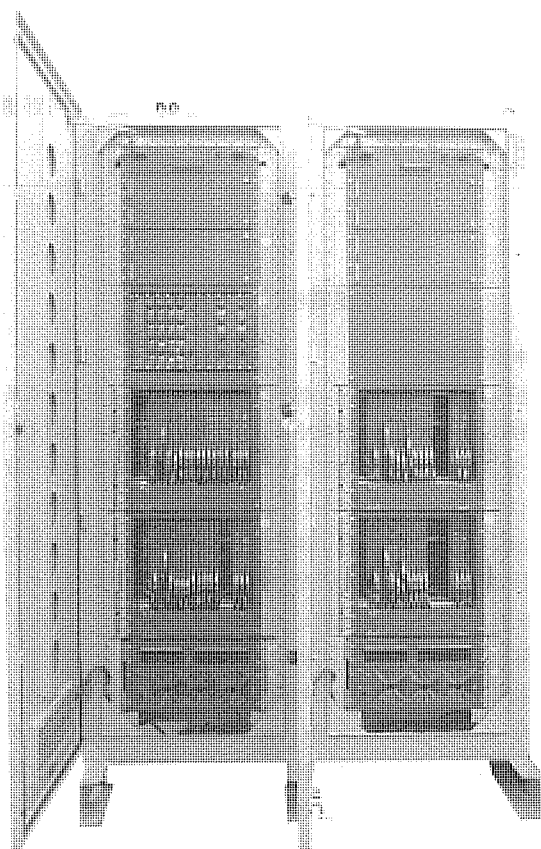


図 6. デジタル式原子炉保護装置

機能喪失を防止する。

- (2) ダイナミック トリップバス(パルスの有無によるトリップ状態の判定)の採用により、原子炉トリップ機能をフェイルセーフとする。
- (3) 原子炉トリップと工学的安全保護演算部分にバイパス機能付き 2/4ロジックと適用することで試験保守時の誤トリップ、誤動作の防止を安全性を維持する。
- (4) マイクロプロセッサによるオンライン自己診断により、故障の早期発見及び故障箇所の特定を可能とする。
- (5) マイクロプロセッサを利用した全自動試験装置を備えることで定期試験の完全自動化が可能となり、操作員の負担を軽減することでヒューマンエラーの発生を防止する。

現在、デジタル式原子炉保護装置は、全体システムの開発を完

了し、(財)原子力工学試験センターで実証試験中である。

#### 4.3 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、マイクロプロセッサを適用するに当たって、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㈱、北海道電力㈱、四国電力㈱、九州電力㈱、日本原子力発電㈱)と三菱 3 社(三菱重工業㈱、三菱電機㈱、三菱原子力工業㈱)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 (Verification) 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 V&V 手法 (Verification & Validation 手法) を確立し、その有効性を確認した。

この V&V 手法は、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：JEAG4609”として制定されている。

デジタル式原子炉保護装置は、この V&V 手法を用いて検証される。

#### 4.4 今後の展開

デジタル式原子炉保護装置の実機への適用に向け、V&V 手法によって検証された装置がその供用期間を通して要求される信頼性を持つことを実証しておく目的で昭和 62 年から(財)原子力工学試験センターにおいて、この装置の実証試験が進められている。この試験では熱エージング試験、耐震試験、事故模擬試験等を実施し、装置の機能・性能を確認してその信頼性を実証するものである。

デジタル式原子炉保護装置の外観を図 6 に示す。

### 5. む す び

以上、将来プラント向け計装制御システムに適用するべく開発中の新技術について紹介した。今後これらのシステムは実機への適用に向け、検証を中心として進める段階にさしかかっている。今後共、通商産業省、(財)原子力工学試験センター、電力会社などの御指導、御助言を賜り、より一層の安全性、信頼性並びに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。



# 高速増殖炉もんじゅ発電所向け計装制御システム

赤野 健\* 河野憲一\*  
土肥 明\*  
和田守啓\*

## 1. ま え が き

もんじゅは、実験炉常陽に引き続く電気出力28万kWの高速増殖原型炉である。もんじゅは、国家プロジェクトとして国内メーカーが分担して開発に当たってきたが、計装制御システムの設計は、安全審査関連設計に始まり、制御盤運転操作性向上検討、配置調整設計等の基本設計を経て、詳細に設計が進められてきた。この間、昭和59年には、契約が締結されると同時に、本格的な設計・製作が開始された。一方、もんじゅは、設工認（科学技術庁対応）、工認（通商産業省対応）の二重規制となっており、昭和60年8月の第1回設工認に続いて第6回まで、また工認も第1回から第8回まで順調に認可されてきた。

現在、三菱電機㈱では、主要な担当設備の製作が完了し、現地に輸送済みであり、今後現地作業が今までも増して増加していくことになる。

もんじゅの建設工程を図1に示す。以下に、三菱電機㈱が国内メーカーと協調を取りながら担当した計装制御システムの概要とその特徴を主に説明する。

## 2. もんじゅ計装制御システムの概要

もんじゅ計装制御システムは、プラントと運転員のマンマシンインタフェースを担う中央制御盤並びにプラントの運転性、安全性を確保する制御・保護設備、原子炉計装、1次・2次冷却系計装、水・蒸気系計装等で構成され、三菱電機㈱はこれらの主要部分である中央制御盤、プラント制御設備、安全保護系設備、中性子計装等の設計・製作を担当した。

計装制御システムの概要を図2に示す。次章以降に代表的な設備である中性子計装、安全保護系設備、プラント制御設備、中央制御盤の特徴を述べる。

## 3. 三菱電機担当設備の特徴

### 3.1 中性子計装

中性子計装は、表1に示す線源領域系、広域系、出力領域系、燃料装荷系の4計測系から構成される。前者の3計測系は図3に示すように原子炉容器外に常設されており、原子炉停止状態から原子炉定格出力の120%までの約10けたの中性子束レベルの計測をし、運転時の監視、安全保護系信号、原子炉制御系信号等に用いられる。一方、燃料装荷系は燃料初装荷時の炉心監視、臨界確認のために原子炉容器内に設けられた案内管の中に検出器を挿入して計測し、初期炉心構成後は案内管とともに撤去される。

線源領域系は4本のBF<sub>3</sub>比例計数管を束ね、1本の検出器を構成することにより、約30cps/n/cm<sup>2</sup>・sの感度を実現している。また、検出器は冷却材及び構造材の放射化によるガンマ線を遮へい（蔽）し、高速中性子をサーマル化するため、減速遮蔽体の中に設置し、感度の向上を図っている。さらに、前置増幅器は検出器に最も近い格納容器内の炉上部ピット室に設置する等SN比の向上に配慮を払っている。また、前置増幅器収納箱及び三重同軸ケーブルについては、熱エージング試験、耐放射線試験、加振試験及び耐雰囲気試験を実施し、十分な耐環境性を持つことを実証した。

広域系は核分裂計数管を用いており、パルスモードとキャンベルモードを自動的に切り替えることにより、約10<sup>-6</sup>%～120%炉出力の約8けたに及ぶ範囲を計測できる。さらに、広域系には出力領域系における安全保護系の多重性完備の要求から、検出器の電流信号を計測するDCモードが設けられている。出力領域系は定格出力においても、軽水炉に比べると中性子束対ガンマ線比が小さいためガンマ線補償型電離箱を用い、安全保護系用と計測制御用を独立させ、合計5チャンネルで構成されている。なお、広域系及び出力領域系の検出器は線源領域と同様、感度向上のため、減速体の中に設置されて

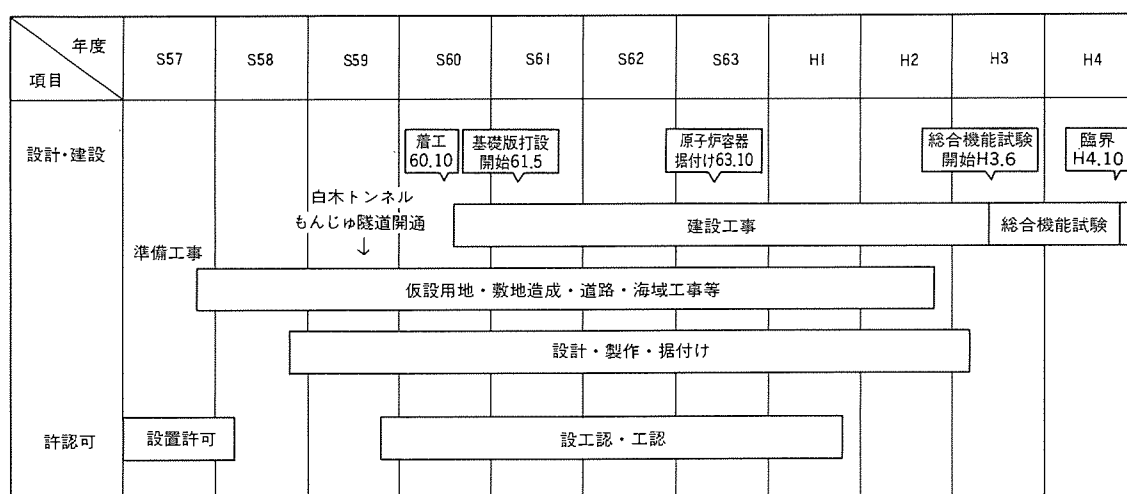


図1. もんじゅの建設工程

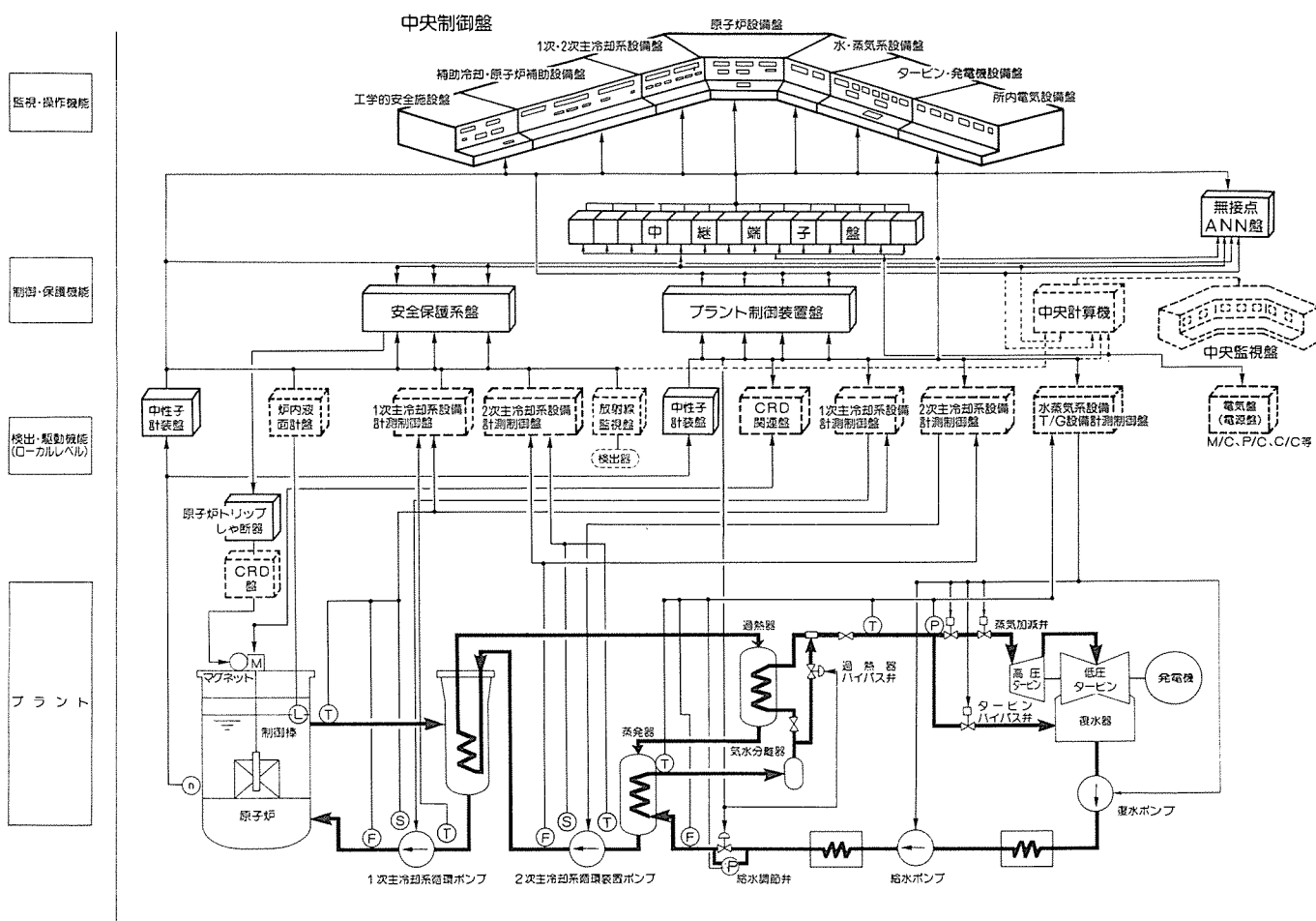


図2. もんじゅ計装制御システムの概要 (図中に実線で囲まれた盤が三菱電機(株)担当)

表1. 中性子計装のシステム構成

| 計測系     | チャンネル数           | 測定範囲                                                   | 検出器種別                 | 検出器設置場所 | 主な機能                                                                                                          |
|---------|------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 線源領域系 | 2                | 約10 <sup>-8</sup> %<br>~<br>約10 <sup>-3</sup> %<br>炉出力 | BF <sub>3</sub> 比例計数管 | 炉外      | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 炉停止時の末臨界状態の監視</li> <li>● 起動、停止時の中性子束レベルの監視</li> <li>● PAM</li> </ul> |
| 2 広域系   | 3                | 約10 <sup>-6</sup> %<br>~120%<br>炉出力                    | 核分裂計数管                | 炉外      | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 起動、停止時及び出力運転時の中性子束レベルの監視</li> <li>● 原子炉運転中のP.R.M.との多様性</li> </ul>    |
| 3 出力領域系 | 安全保護系3<br>計測制御系2 | 約1~120%<br>炉出力                                         | ガンマ線補償型電離箱            | 炉外      | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 出力運転時の中性子束レベル、及び変化率の監視</li> <li>● 原子炉出力制御の補助信号</li> </ul>            |
| 4 燃料装荷系 | 2                | (10~10CPS)                                             | B-10 比例計数管            | 炉内(仮設)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 燃料初装荷時の中性子束レベルの監視、及び臨界の確認</li> </ul>                                 |

いる。

これら3計測系は、中央制御室に設置された中性子計装盤に収納される。中性子計装盤は、従来のドロアタイプから最新のPWRプラントに適用されているカードバスケットタイプに変更することにより、操作性、保守性の向上を図った。

燃料装荷系の検出器は、原子炉容器内のナトリウム中に設けられた2本の案内管に挿入されるため、耐高温性(燃料初装荷時のナト

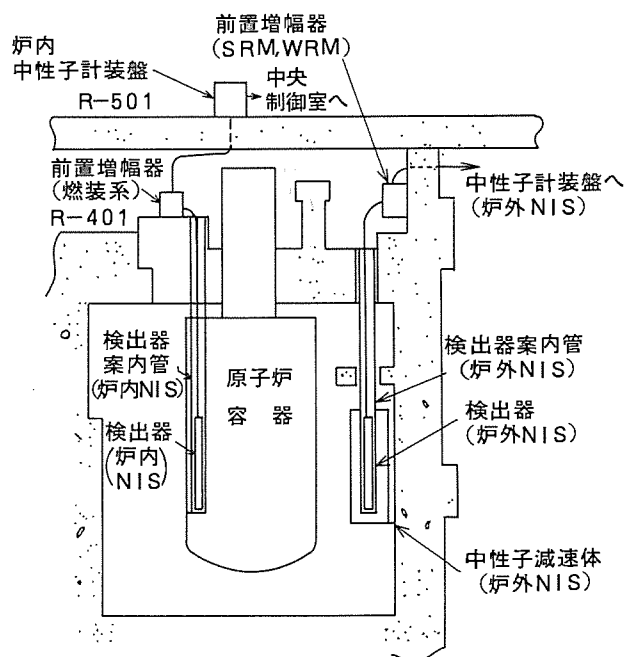


図3. 中性子検出器の配置

リウム温度約200°C)が要求され、もんじゅ用に開発されたB<sup>10</sup>比例計数管を使用している。また、計装回路は検出器同様仮設備として運転床上に設備して使用することになっている。

昭和63年3月の減速体を皮切りに案内管、前置増幅器、中性子計

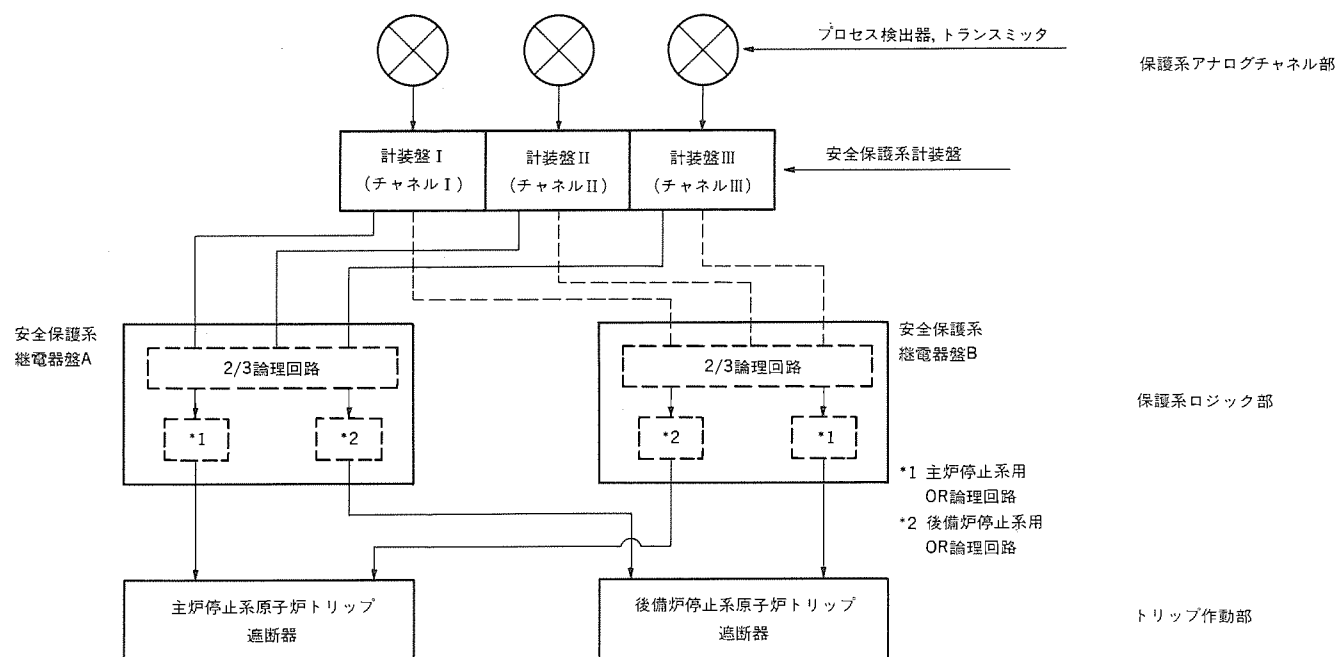


図 4. 安全保護系設備の基本構成

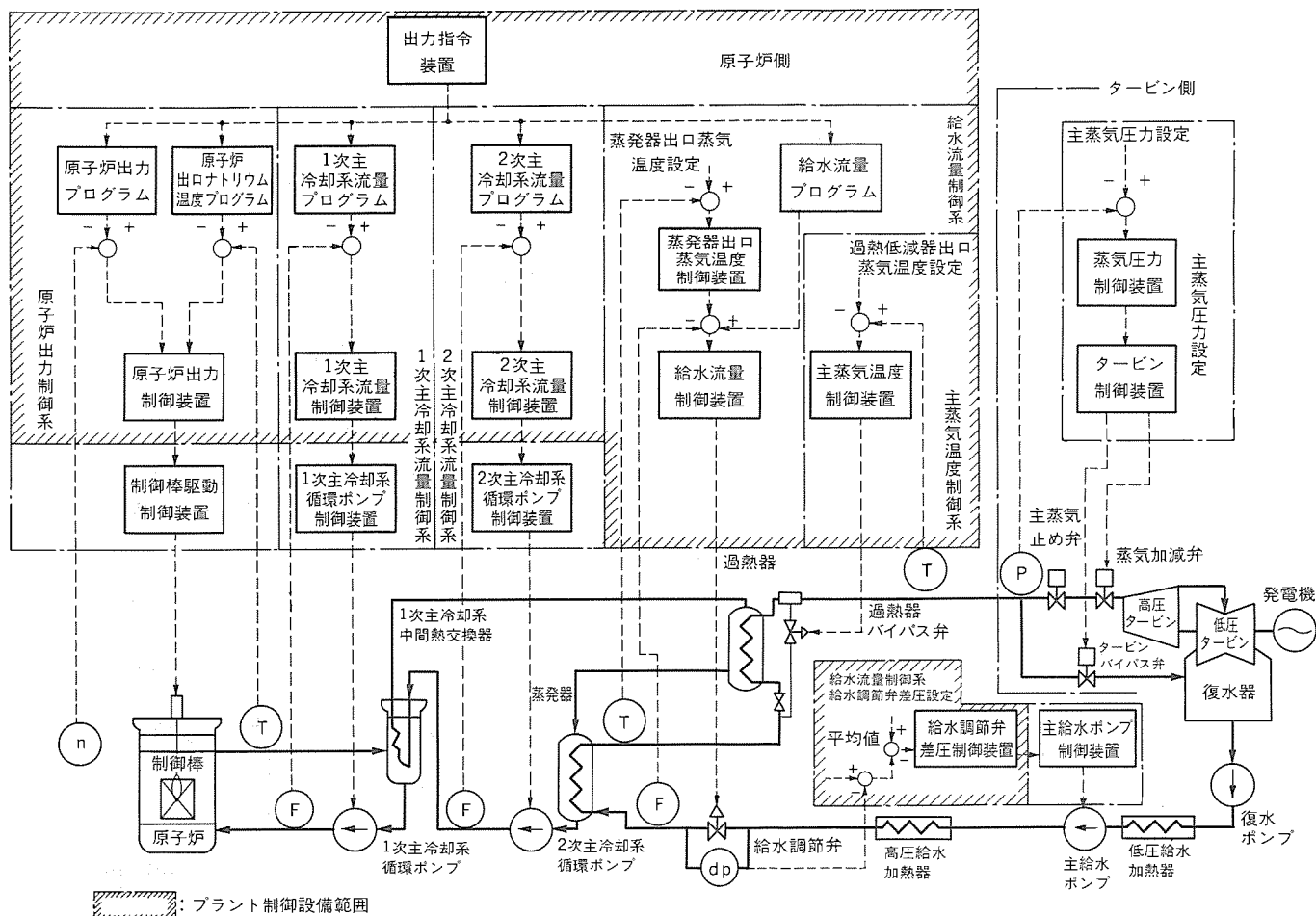


図 5. プラント制御系系統図の説明図 (3 ループのうち, 1 ループを示す。)

装盤等の主要機器, 盤の据付けを完了しており, 平成 2 年秋の燃料装荷系, 各検出器, その他中性子計装取扱機等の機械品の据付けを残すだけとなっている。

### 3.2 安全保護系設備

安全保護系設備は, 図 4 に示す保護系アナログチャンネル部, 保護

系ロジック部及びトリップ作動部から構成される。保護系アナログチャンネル部は, 3 チャンネル構成, 保護系ロジック及びトリップ作動部は, 2 トレイン構成を基本とし, 多重性を持たせている。さらに, 原子炉を停止させるシステムは, 主及び後備のそれぞれ独立した 2 システムで構成され, トリップ作動部も個別の原子炉トリップ遮断器を

設けている。保護系ロジックもこれに対応して各トレインにおいて個別のOR論理回路を設けている。

### 3.3 プラント制御設備

プラント制御設備は、図5に示す出力指令装置、原子炉出力制御系、主冷却系流量制御系、給水流量制御系、主蒸気温度制御系、主蒸気圧力制御系から構成される。

出力指令装置は、出力変更に際し、下位の制御系に対して出力指令値を一括して与える。

原子炉出力制御系は、原子炉容器出口ナトリウム温度と出力領域中性子束の信号によって微調整棒に駆動速度の指令を与え、原子炉容器出口ナトリウム温度を出力指示値に応じた値に維持できるように制御する。

主冷却系流量制御系は、1次、2次主循環ポンプに指令を与えることにより、流量を出力指令値に応じた値に維持できるように制御する。

給水流量制御系は、蒸発器出口蒸気温度と給水流量の信号によって、給水調節弁開度指令を与えると同時に、蒸発器出口蒸気温度が一定となるよう、給水流量を出力指示値に応じた値に維持できるように制御するとともに、給水調節弁出入口差圧が一定となるように給水ポンプに指令を与える。

主蒸気温度制御系は、主蒸気温度が所定の値を超えた場合に蒸発器出口蒸気を一部過熱器をバイパスして主蒸気温度の上昇を抑制するように、過熱器バイパス弁の開度を制御する。主蒸気圧力制御系は、主蒸気圧が一定となるように蒸気加減弁、タービンバイパス弁を制御する。

このような制御系構成により、出力に応じて流量を可変制御し、原子炉出入口温度差、原子炉出口ナトリウム温度をほぼ一定の温度幅で制御することにより、運転時の熱過渡現象を緩和し、熱輸送系の無駄時間を改善している。

三菱グループは、出力指令装置を頂点とする段階システムのうち、出力指令装置から原子炉出力制御装置、1次及び2次主冷却系流量制御装置、蒸発器出口蒸気温度制御装置、給水流量制御装置、給水調節弁差圧制御装置及び主蒸気温度制御系までの中枢制御部分を担当している。これらの設備は、プラントの制御系の中で、最も重要なものの一つであるとともに、流量可変制御方式等軽水炉プラントとの相違があること、また、高速増殖炉国産初の自動制御装置であることの理由で、工場製作段階においてプラント制御設備盤とシミュレータを組み合わせたシミュレーション試験を実施し、良好な制御性を持っていることを確認した。シミュレーション試験用動特性コードは、従来からある実時間動特性コードを設計解析結果を基に整備、改修したものである。今後、現地での総合機能試験等により系統側と組合せ性能確認試験を予定している。

### 3.4 中央制御盤

中央制御・監視システムは、集中監視機能を持つ中央監視盤と手動操作機能を主体とする従来形の中央制御盤（盤の形式、規模は、既設の80kW級PWRプラント相当）及び中央補助盤で構成される。

中央監視盤がCRTを主体に水・蒸気系タービン発電機設備の自動

化操作、通常運転時の出力変更、プラント運転状態の統括監視等を担当するのに対し、中央制御盤は、

- (1) プラント起動から停止までの主要設備の通常監視・操作
- (2) プラント過渡変化時等の監視・操作

の機能を担当している。

もんじゅは、冷却材にナトリウムを使用することから、軽水炉に比べ、2次主冷却系、補助ナトリウム系、カバーガス系、予熱系等を持ち、システム構成が複雑である。

そのため、中央制御盤は、実物大モックアップ盤による設計検証を行った。主な検証作業は、次のとおりである。

- (1) 系統側の設計要求に基づく操作器・監視計器の員数確認
- (2) システム設計、系統設計を考慮した盤面配列、ミミック、器具配列の検証
- (3) 盤構造、取付器具条件等、ハードウェアの製作を考慮した設計検証
- (4) NUREG-0700等を基に操作性・視認性を考慮した人間工学的検証
- (5) 通常運転時等の各運転要領書に基づく運転操作性検証
- (6) 製作設計と運転要領書との整合性検証
- (7) 実験炉常陽経験者等を含めた運転操作性検証

中央制御盤製作に当たっては、国内メーカーで系統設備・電気計測設備設計を分担していることから、設計・製作から製作完了に至るまでの間、多岐にわたるインタフェース調整を重ね、中央制御盤製作に反映した。

盤内の配線方式は、PWR標準を基本にし、モジュールスイッチとブレハブケーブルにより盤内結線を極力少なくし、隣接スイッチ間の分離を合理的に行うことにより、盤のコンパクト化を図った。

また、取付器具及び表示システムについては、新設PWRプラントと同種のものを全面適用し、下記の特長を持たせている。

- (1) 小型化モジュールスイッチの採用によるミミックの見やすさと盤面スペース活用
- (2) 小型自動／手動切替ステーションの適用と盤面スペース活用及びデザインの向上
- (3) 表示灯類及び警報表示窓のLED化によるランプ寿命の向上と低電圧化（低消費電力、低発熱量）
- (4) マイクロプロセッサ化警報システムの採用によるシステムの信頼性・メンテナンス性の向上

中央制御盤出荷に続いて、同一盤面の運転訓練シミュレータ盤を製作し、シミュレータ用計算機と組合せ試験を進めている。

このシミュレータにより、もんじゅの試運転に先立ち、運転操作訓練が行われる予定である。

## 4. む す び

以上、三菱電機㈱が国内メーカーと協調を取りながら担当した計装制御システムの概要とその特徴を述べた。

この計装制御システムの設計・製作に当たっては、動力炉・核燃料開発事業団、日本原子力発電㈱の方々に、種々の御指導、御べんたつをいただいたことに対し、深甚の謝意を表する次第である。

## 原子力向け汎用計装制御システム《MELTAC-C》

上田敏晴\* 馬場彰憲\*  
深見晴男\* 下里正夫\*  
松尾慶一\*

## 1. ま え が き

原子力発電プラントの主要な制御対象である原子炉系統、タービン系統の制御・監視機能には、マイクロコンピュータを用いたデジタル制御監視装置による分散制御システムを適用している。制御・監視装置には、制御対象の重要性及び故障発生時の影響を考慮して、高い信頼性と保守性が要求される。

《MELTAC-C》(Mitsubishi Electric Total Advanced Controller)シリーズは、原子力発電所向け計装制御システムの設計思想をベースに、高い信頼性、機能性、保守性を達成するとともに、経済性を追及した汎用計装制御システムである。

原子力周辺設備等、原子力関連設備への適用をねらいとした《MELTAC-Cシリーズ》は、従来の計装制御システムの機能に加え、多様なシステム要求に対して機能の統合化、高性能化を図るとともに、管理機能を持つフレキシブルなシステム構築を可能としたシリーズである。

本稿では、《MELTAC-C》の特長とその機能について述べる。

## 2. 《MELTAC-C》のシステム構成と特長

## 2.1 システム構成

《MELTAC-C》は、幅広いユーザーのニーズにきめ細かく対応できるようにコンポーネントを組み合わせることにより、大規模システムから小規模システムまで自由にシステム構築可能な構成としている。図1に代表的なシステム構成例を示す。また、システムを構成するコンポーネントを表1に示す。

## 2.2 特 長

プラント及び工場では、より効率的に生産するために単に現場での自動化のみならず、生産管理や工場事務の効率的運用を目指し、情報の集中化、統合化が進められている。

このような情報の集中、統合化が進められる中で、制御システムは従来のように単にプロセスコントロールというよりも、統合化された情報システムの中核を担う重要な位置付けとなってきた。このような動向、ニーズに対応するために開発を行ったのが、《MELTAC-C》である。

以下に《MELTAC-C》システムの特長について述べる。

## 2.2.1 統合化

## (1) 電気制御・プロセス制御の統合

従来、シーケンス制御、プロセス制御は別々の装置を適用して、システムを構築していたが、《MELTAC-C》ではシーケンス制御、プロセス制御を意識せずに自由に制御を行えるような構成としている。具体的には、シーケンス制御ロジックの記述をNEMA方式とし、NEMA記号の組合せでシーケンス制御ロジックの構築を行い、しかもプログラミング画面上でも、プロセス計装用シンボル(PID, LAG等)との混在を行えるようにしている。

## (2) 情報処理機能の統合

従来、大規模システムでは、制御装置の上位にプロセスコンピュータを設置して、ゲートウェイを経由して制御システムのデータを収集することにより行っていた情報処理機能を、《MELTAC-C》のシステム機能に組み入れる構成としている。

具体的には、フィールドコントロールステーション(FCS)、オペレーターズステーション(OPS)と同様に《MELTAC-NETWORK》(OPSバス)に直接、接続されるコンピュータステーション(CPS)を設けた結果、従来のゲートウェイを経由してプロセスコンピュータと接続する場合に比べ、ネットワーク内のデータベースが共有化でき、さらに大容量のデータを高速、効率的に処理できる。

## (3) FAコントローラの統合

《MELTAC》では、フィールドコントロールステーションの下位に汎用プログラマブルコントローラを接続し、小規模な現場レベルでの制御にフレキシブルに対応可能な構成とした。さらに、FA統轄コントローラとしての機能をフィールドコントロールステーションに持たせ、FAコンピュータの機能を、オペレーターズステーション及びコンピュータステーションで処理できる構成としている。

## 2.2.2 リモート入出力ステーション

大規模システムにおいては、現場センサとフィールドコントロールステーション間のケーブル及びケーブル布設コスト低減を図るために、現場とフィールドコントロールステーション間に光ファイバケーブルによる多重伝送化を図り、分散構成としている。現場信号の入出力装置としては、リモート入出力ステーションにより構成する。

リモート入出力ステーションは1～3面程度で構成し、多重化も可能である。

## 2.2.3 マンマシンインタフェース(MMI)の高度化

《MELTAC》システムのMMIとしては、オペレーターズステーションに代表されるが、オペレーターズステーションは単に運転情報表示のみならず、コンピュータステーションで高度に加工した生産管理情報を、オペレータに供給することができる。

また、これらの高度な情報をオペレータが、一目で判定しやすいような日本語を主体とした表示とするために、高密度CRTを適用するとともに、操作に関しても人間工学的に十分検討を重ね、誤操作・誤判断を行わないようなCRTタッチオペレーションとハードスイッチの組合せ操作としている。さらに、オペレーターズステーションでの画面展開はデータベースに関連画面を登録し、その情報で画面展開を行う構成とし、例えば、警報発生時にはワンタッチで警報を復旧できる画面に展開できるように考慮した。

## 2.2.4 フレキシブルなシステム構成

《MELTAC-C》は、表1に示すコンポーネントを組み合わせ、ユーザーのニーズにきめ細かく対応した制御・監視システムを構築できる。

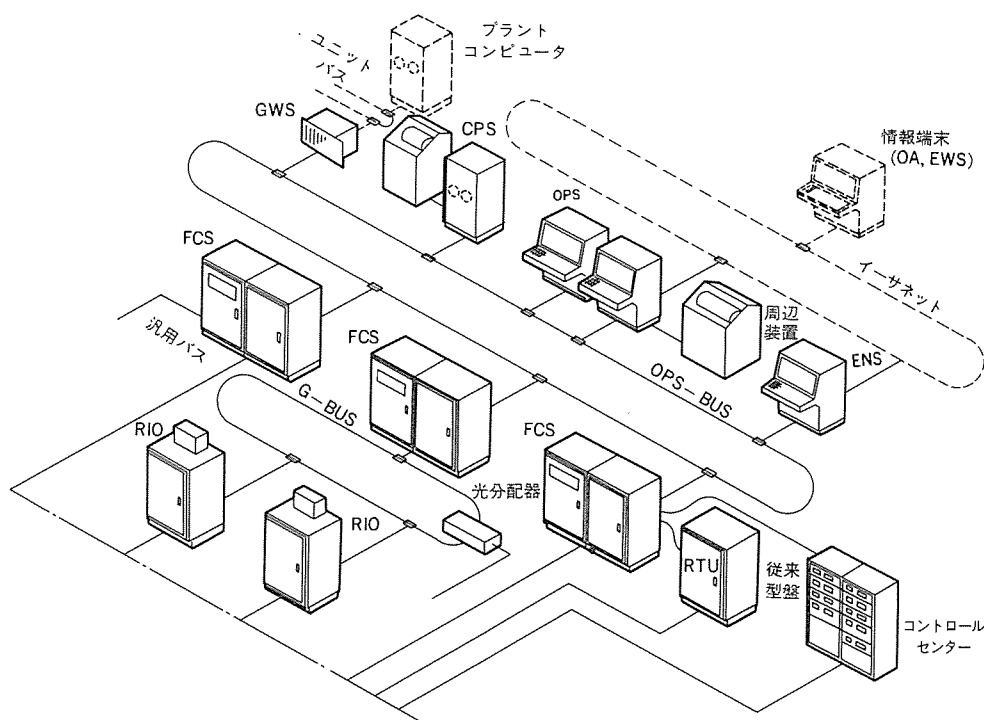


図1.《MELTAC-C》のシステム構成例

表1.《MELTAC-C》構成コンポーネント

| 名 称                       | 型 名                                       | 略 称 |
|---------------------------|-------------------------------------------|-----|
| オペレータズ<br>ステーション          | MELTAC-500C<br>MELTAC-550C                | OPS |
| フィールド<br>コントロール<br>ステーション | MELTAC-300C<br>MELTAC-350C                | FCS |
| リモート入出力<br>ステーション         | MELTAC-200C                               | RIO |
| リモートターミナル<br>ユニット         | MELTAC-210C                               | RTU |
| エンジニアリング<br>ステーション        | MELTAC-100C<br>MELTAC-150C<br>MELTAC-700C | ENS |
| コンピュータ<br>ステーション          | MELTAC-800C                               | CPS |

各コンポーネントは、高速・大容量のOPSバスで接続し、各コンポーネントが共有して使用するデータベースは、データウェイの同報通信にアサインし、ハードウェア的には分散処理システムであるが、ソフトウェア処理的には各システムを密結合とし、システムリソースの一元化を図っている。

### 3. マンマシン インタフェース機能

#### 3.1 機能概要

マンマシン インタフェース(MMI)として、ユーザーフレンドリな環境を実現するために高速な画面切替え(約0.5秒)、漢字表示主体のきめ細かいグラフィック画面表示が要求され、統合化オペレーション用に特化した高速高機能描画システムを構築した。マルチウ

インドウ、スムージング スクロール、大画面表示、画面展開用タッチパネル、誤操作防止を実現する最終実行指令操作ファンクションキー等を生かした統合化オペレーション機能がリアルタイムマルチタスクOS上に設計され、ワンマン オペレーションを実現している。

また、運転用画面と管理用画面をCRT画面上に呼び出すC-ウィンドウ機能は、統合化MMIを実現し、高速大容量(10Mbps)の通信路(二重化可能)に接続されたすべての装置と有機的に情報交換できるとともに、オペレータの管理範囲を拡大することによって、省力化・少人数化・省スペース化等のユーザーニーズに答えている。

#### 3.2 機能と特長

オペレータズ ステーションは、運転員の負担軽減と誤操作防止を基本設計思想とする装置である。

##### (1) CRT表示機能

20インチの高分解能CRT(1,280×1,024ドット)を採用し、日本語特に漢字主体のきめの細かい16色表示のグラフィック画面(プラント画面等)をオペレータズ ステーションごとに300枚表示することができる。各画面の任意の位置に最大4個のウィンドウ画面(図2)を表示でき、ベース画面はもちろんのこと画面上のマルチウィンドウ画面も任意の位置に移動できるスムージング スクロール機能を備えている。大画面表示は、4倍、横3倍、横2倍、縦2倍の画面が表示でき、スムージング スクロール機能によって画面全体を監視することができる。

また、運転員に違和感を感じさせない画面切替時間として平均0.5秒を実現している。

トレンド記録機能は、1秒周期の高速リアルタイムトレンド、イベント発生時にトレンド記録を開始するバッチトレンド、長時間のデータを記録するヒストリカルトレンドがある。トレンド記録点は、オペレータズ ステーションごとに最大2,340点持ち、大容量のトレンド記録要求に答えている。トレンド画面は、プロセスの瞬時値をデジタル表示するとともに指示計感覚のバーグラフも表示する。



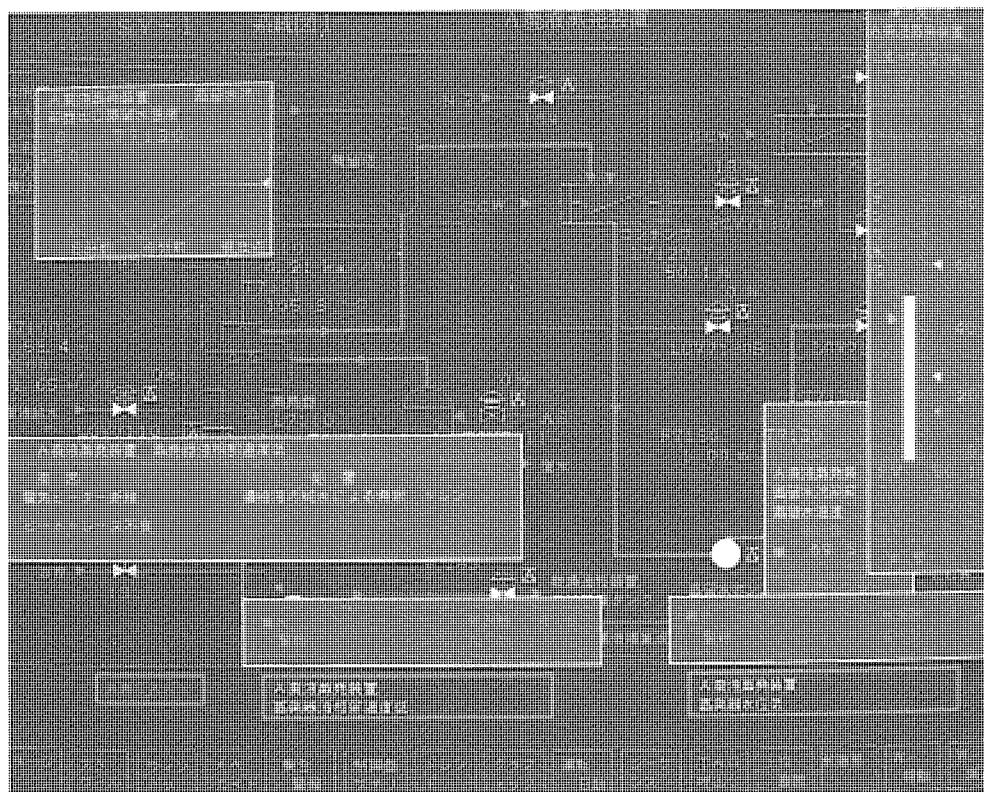


図 2. マルチウィンドウ表示画面例

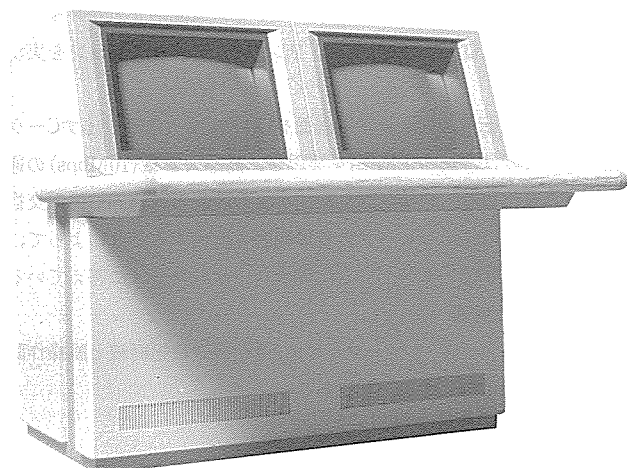


図 3. オペレーターズ ステーション (2 連タイプ)

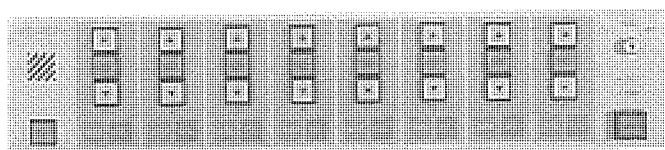


図 4. キースイッチパネル

警報表示機能としては、最新警報表示画面、集合警報表示画面、警報ヒストリカル表示画面があり、警報の確認・操作及び状態遷移の表示ができる。各画面には警報テロップエリアがあり、警報に関連した画面に展開することなく警報発生を認知できる。警報発生時警報ポップアップ ウィンドウ (図 2 参照) が表示され、警報に関連した画面へワンタッチで展開できる。

## (2) 操作性

オペレーターズ ステーションは、人間工学を採り入れ、操作性を

考慮した小型の操作卓 (図 3 参照) であり、誤操作防止を考慮した操作、簡便な操作並びに機能的に階層化された操作によりワンマンオペレーションを実現している。

セキュリティ管理及びポンプ等の最終操作用実行キー・制御器画面の制御器に 1 対 1 に対応した制御器操作キーによる誤操作防止機構は、キースイッチパネル (図 4 参照) で一元管理される。専用キーボード (図 5 参照) を使用したワンタッチ画面展開、さらにタッチパネルの画面展開によりオペレーション基本画面から機能的に階層化された画面への展開ができる。

また、運転員をサポートするオペレーションガイド機能、ヘルプウィンドウ機能等を備えている。

## (3) プログラム作成機能

ビュービルド機能として、オフラインの対話形式によるグラフィック画面作成ができる。

配管等の部品並びにユーザー登録した部品等を用いて作成する固定画作成機能、タッチキーエリアの割付、数値等の可変画作成機能を持っている。また、可変画表示のシミュレーションができ、演算コマンド (四則演算、条件等) の使用もできる。

## (4) 最先端技術

32ビット 80386CPU 上にマルチタスク リアルタイム OS を搭載し、処理の高速化、またグラフィック標準インタフェースである CGI (Computer Graphic Interface) による高機能的な描画を実現している。さらに、マルチプロセッサによる処理の分散化・高速化対応ができる。

# 4. 計装・制御機能

## 4.1 機能概要

フィールド コントロール ステーションは、計装制御 (I) と電気制御 (E) を融合化し、1 台のコントローラ上で制御演算が可能とな

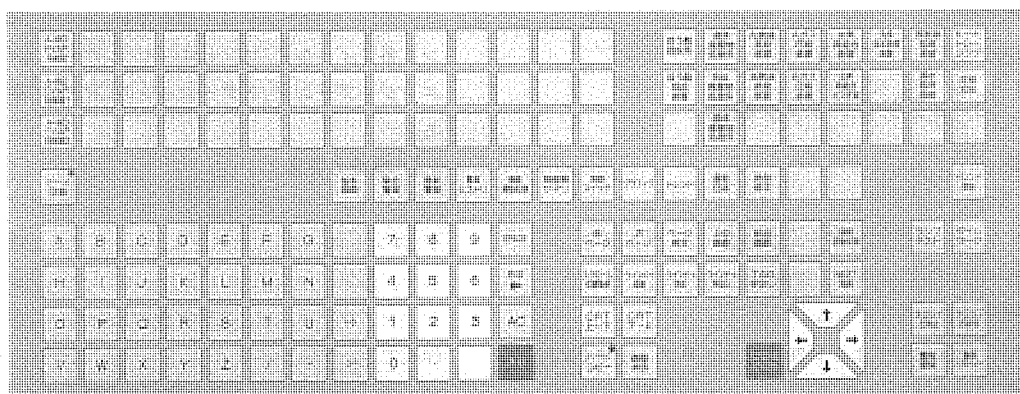


図 5. ファンクション キーボード

表 2. 自己診断内容とプラズマ表示例

| No. | 故 障 内 容                 | プラズマ表示             |         |
|-----|-------------------------|--------------------|---------|
|     |                         | 第3行目               | 第4行目    |
| 1   | タイムアウト                  | TIME OUT ERR       | —       |
| 2   | CPU健全性チェック、CPUエラーIT     | CPU CARD FAIL      | —       |
| 3   | 零除算                     | ZERO DEVIDE        | —       |
| 4   | 実行時間オーバー                | EXEC TIME OVER     | —       |
| 5   | バッテリー異常                 | BATTERY VOLT LOW   | CF : SL |
| 6   | ROM ガードエラー、ROM エラー      | ROM CARD ERR       | CF : SL |
| 7   | バス診断エラー                 | SYSTEM BUS ERR     | —       |
| 8   | パリティエラー<br>(シェアドメモリカード) | SHARED MEMORY FAIL | CF : SL |
| 9   | タイムアウト<br>(シェアドメモリカード)  | DATA LINK ERR      | —       |
| 10  | センサエラー                  | SENSOR ERROR       | CF : SL |
| 11  | WDTエラー (A/O)            | AO CARD ERR        | CF : SL |
| 12  | リードバックエラー (A/O)         | AO CARD FAIL       | CF : SL |
| 13  | リードバックエラー (D/O)         | DO CARD FAIL       | CF : SL |
| 14  | レジスタR/Wエラー (D/I)        | DI CARD FAIL       | CF : SL |
| 15  | CPU/PIO電源断              | CPU/PIO PS FAIL    | —       |
| 16  | 共通PIO電源断                | PIO PS FAIL        | —       |
| 17  | ファン故障                   | FAN FAIL           | —       |

っている。アプリケーション プログラムは作成、変更を容易にする  
とともに、ヒューマンエラーの防止とソフトウェア信頼性を向上さ  
せるとの観点から高級言語POLを用いている。

プログラム作成者は、計装ブロック図やインタロック線図を書い  
たり、読む感覚でプログラムを作成することができる。かつ、その  
データは言語を意識しない同一タグでアクセス可能であり、データ  
の一元化を図っている。また、各フィールド コントロール ステ  
ーションは、OPSバスに直結されているためデータリンクが可能であ  
り、互いのフィールド コントロールの制御情報を用いたプラント全  
体の最適運転が可能である。

#### 4.2 機能と特長

フィールド コントロール ステーションには16ビットCPUを適  
用した《MELTAC-300C》と32ビットCPUを適用した《MELTAC  
-350C》がある。いずれも計装・制御機能として要求される高い信頼  
性、機能性、保守性を実現しており、種々の特長を持っている。

##### 4.2.1 信 頼 性

###### (1) ソフトウェア信頼性

ソフトウェアは構造化、階層化を図り、FCSにとって最も重要な  
制御処理の定周期性を確保するために、プロセス事象の検知・制御  
処理を周期的サンプリングに基づくシングルタスク処理としており、

割り込みやマルチタスク処理は適用していない。また、制御プロ  
グラムはRAM若しくはROMによる運用が可能であり、運転開始以降  
はROM運用をすることにより、不要なプログラム変更の防止やソフ  
トウェアの信頼性向上を図ることができる。

###### (2) 冗長化システム構成

単一故障によるシステムダウンを防止するためシステムの要求に  
応じて、CPU部、PIO部、電源、データウェイの二重化、一重化構  
成を任意に選択できるので、経済性規模に応じた高信頼度システム  
の構築が可能である。

###### (3) 耐ノイズ性

プロセス入出力カード(PIO)は、フォトカプラを用いた絶縁を行  
っており、IEEE472準拠のノイズに適合する高い耐ノイズ設計を行  
っている。

###### (4) フェイルセーフ設計

システムを二重化構成にした場合、主系に故障があった場合はバ  
ンプレスに待機系に切り替わり、正常に運転制御を続行することが  
できる。また、オプション機能として補機の制御に影響を与える故  
障が発生した場合に、あらかじめ定められたフェイルモード(故障  
時強制開、閉、起動、停止、現状保持)に移行し、補機の手動運転  
を可能にするパワーインタフェース カードをメニュー化している。

###### (5) 耐環境性

プロセス信号までの距離が長距離にわたる場合、配線工事量低減  
の観点から耐環境仕様(耐じんあい、耐温度、耐湿度)のリモート  
入出力ステーション(RIO)を設置し、空調のない環境条件下でも高  
い信頼性を持っている。

##### 4.2.2 機能性、保守性

###### (1) 使いやすいソフトウェア言語

制御プログラムのソフトウェアは特別な計算機の知識なしに、計  
装ブロック図やインタロック線図を読む感覚で作成することのでき  
る使いやすい問題指向性言語(POL)を用いており、エンジニアリ  
ングステーションのCRTと対話しながらプログラムを作成するこ  
とができる。

###### (2) 自己診断機能の充実

ソフトウェア、ハードウェアに関連する故障を豊富な自己診断機  
能(表2参照)により自動的に検知し、カード単位までの故障検知  
とフィールド コントロール ステーションの運転状態の監視を可能  
としている。診断内容は前面のプラズマディスプレイに表示し、容  
易に故障内容を同定することができる。

###### (3) オンパワーカード交換

万一、カード故障が発生した場合には、運転状態（オンパワー）のままカード交換を行うことができる。

## 5. エンジニアリング機能

### 5.1 機能概要

《MELTAC-C》のエンジニアリングステーションは、システム生成、制御アプリケーションプログラムの作成、システム保守、システム管理にかかわるエンジニアリング機能全般を備えたもので、システム全体の構築機能を持っている。

ハードウェアは、図6に示すように20インチグラフィックCRT、キーボード/マウス、ハードディスク、フロッピーディスクドライブから構成される。

制御アプリケーションプログラムの作成は、計装ブロック図をイメージした高級言語POLを用いてエンジニアリングステーションのCRT上で作画のイメージで行われる。

フィールドコントロールステーション、オペレータズステーション

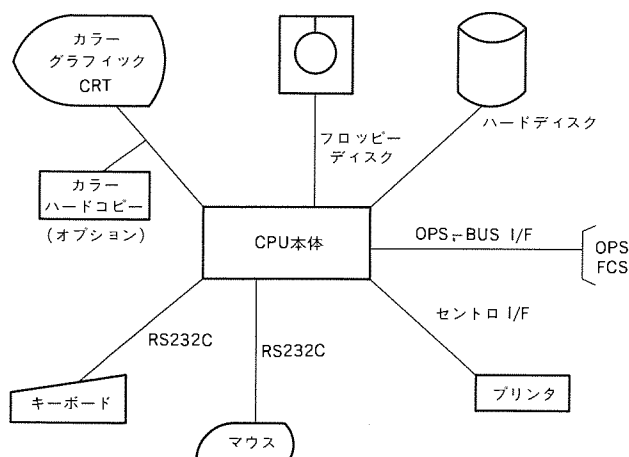


図6. エンジニアリングステーションのハードウェア構成

間には、OPSバスにより接続され、エンジニアリングステーションと各フィールドコントロールステーション間の接続切替は、エンジニアリングステーションのCRT上で簡単に行うことができる。

### 5.2 機能と特長

エンジニアリングステーションは、OPSバスにより各フィールドコントロールステーションのシステム生成を行うことができる。また、各フィールドコントロールステーションの制御アプリケーションプログラムは、高級言語POLを用いて従来の図面イメージで作成でき、フィールドコントロールステーションの制御アプリケーションプログラムの高信頼化を実現している。

入出力のモニタ、制御アプリケーション/入出力の実行/停止等のシステム保守機能、制御アプリケーションプログラムの変更禁止、機能のロック等のシステム管理機能を持っている。

#### (1) システム生成

各フィールドコントロールステーションのプロセス入出力情報、通信情報を設定し、それら設定情報をOPSバス経由で各フィールドコントロールステーションにダウンロードする。これにより、各フィールドコントロールステーションに入出力処理、通信処理が実行される。

#### (2) 制御アプリケーションプログラム作成

各フィールドコントロールステーションの制御アプリケーションプログラムを、計装ブロックをイメージした高級言語POLを用い、エンジニアリングステーションのCRT上でマウスにより作画イメージで作成する（図7参照）。また、制御アプリケーションプログラム内の各POLのパラメータもテーブル形式で設定でき（図8参照）、制御アプリケーションプログラムの信頼性を向上させている。作成された制御アプリケーションプログラムは、コンパイル後（エンジニアリングステーション上で実施）、OPSバス経由で各フ

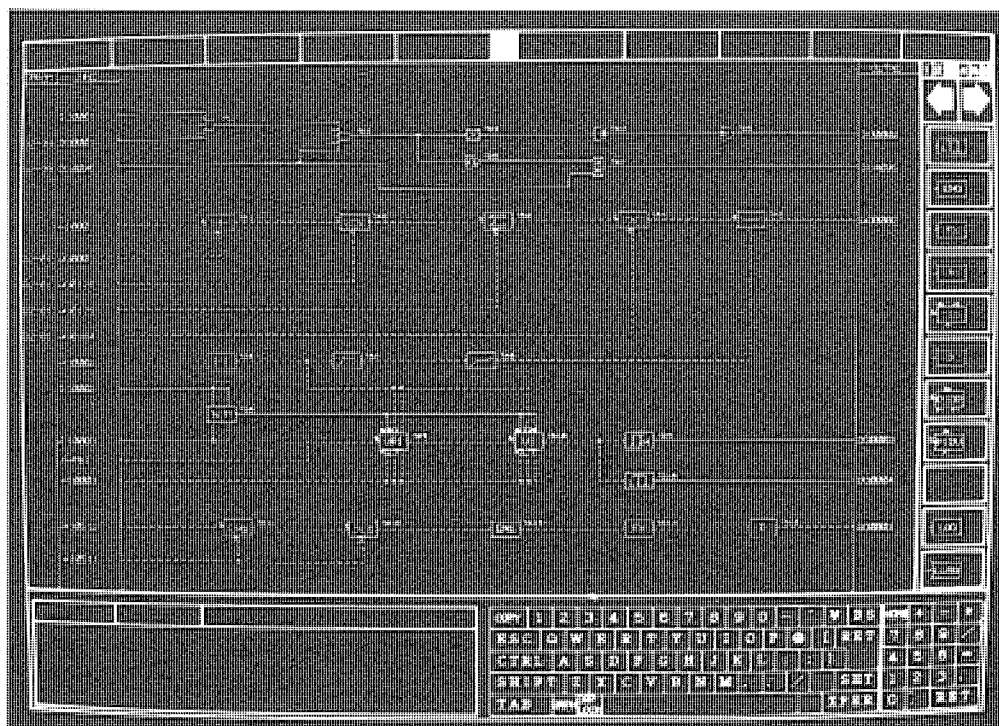


図7. 制御アプリケーションプログラム作成画面例

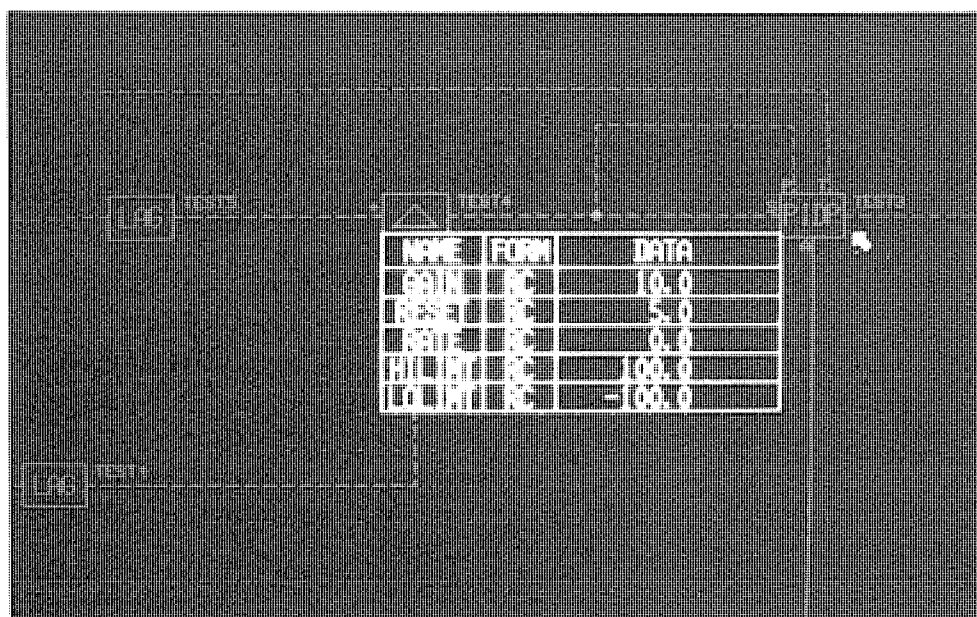


図 8 . POLパラメータ設定画面例

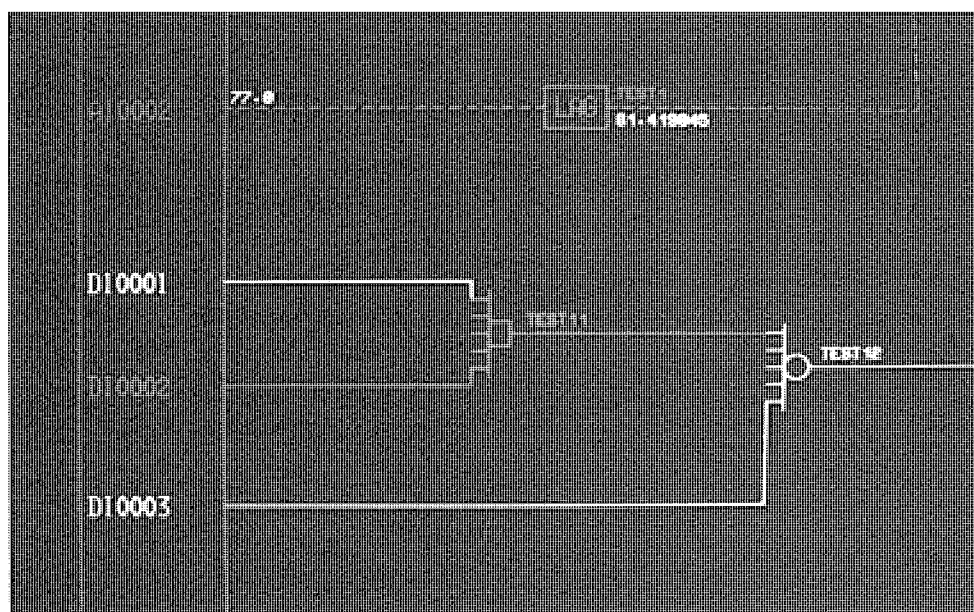


図 9 . モニタリング画面例

フィールド コントロール ステーションへロードされる。

### (3) システム保守

各フィールド コントロール ステーションの入出力状態及び制御アプリケーション プログラムの状態のモニタリングを行う。モニタリングの形態としては、制御アプリケーション プログラムのイメージ (図 9 参照)、トレンド、テーブル形式がある。

また、入出力処理、制御アプリケーション プログラムの実行/停止の制御も行う。

### (4) システム管理

操作者登録及びパスワードによる各処理のロック、制御アプリケーション プログラムの変更禁止、各種フィールド コントロール ステーション情報/制御アプリケーション プログラムのバージョン管理を行う。

## 6. む す び

原子力向け汎用計装制御システム《MELTAC-C》について、その機能と特長を紹介した。計装制御システムは、運転員の負担軽減、機能の高度化・複雑化、またシステムの高信頼性に対する要求がますます強まっており、機能の分散化・階層化が進められている。

《MELTAC-C》は、その基幹を成すマンマシン インタフェース機能を初めとした豊富なファミリーの組合せにより、高機能で使いやすく信頼性の高いシステムを構築することができる。計装制御システムの高度化への要求に伴い、知識工学応用の高度な制御処理、情報処理技術へのユーザーニーズはますます高まるであろう。

原子力で培った高い機能性・信頼性・保守性をベースにして、汎用製品としての経済性を実現し、ユーザーフレンドリーなシステムを提供していく所存である。

# 原子力計測制御設備の自動化システム

早川利文\*  
福光裕之\*  
藤田和彦\*

## 1. ま え が き

加圧水型原子力発電プラントにおいて、原子炉出力を監視する装置や原子炉の安全保護にかかわる装置を定期的に試験をする装置に、マイクロコンピュータを適用し、自動化による省力及び信頼性の向上を図っている。

この論文では、原子炉の炉心管理に必要な中性子束の分布測定をする新型炉内核計測装置及び原子炉安全保護装置を自動的に試験する全自動試験装置について述べる。

炉内核計測装置は、従来、すべて手動による選択及び操作によって中性子束の分布を測定していた。マイクロコンピュータを備えた

表 1. 新型仕様と三菱従来品との仕様比較

| No. | 項 目                                        | 新型仕様                                          | 三菱従来型仕様                              | 新型の特長                            |
|-----|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1   | 運転操作                                       | 自動（手動による検出器の駆動可能）（CRT／キーボードの操作により自動測定が可能）     | 手動（共通制御パネルで測定が可能）                    | 操作性の向上／省力化<br>検出器の自動及び手動操作が可能    |
| 2   | 状態表示機能<br>(1) 状態機能<br>(2) 表示灯              | ソフトワイヤード<br>(1) CRTディスプレイ<br>(2) 表示パネル（LED表示） | ハードワイヤード<br>(1) 表示灯パネル<br>(2) 表示灯パネル | 表示が見やすい。                         |
| 3   | 検出器保護機能<br>(1) 手動バックアップ機能<br>(2) フェイルセーフ機能 | (1) 有り<br>(2) 有り                              | (1) 無し<br>(2) 無し                     |                                  |
| 4   | 検出器 挿入カウント機能                               | 有り                                            | 無し                                   | 検出器の挿入回数が見え分る。                   |
| 5   | 記録                                         | アナログ記録計                                       | 同左                                   |                                  |
| 6   | プラント計算機とのデータリンク                            | フロッピーディスクの採用によりプラント計算機とのデータリンク無し              | データ伝送有り（アナログ伝送）                      | 配線数の減少<br>プラント計算機にインタフェース回路がいらぬ。 |

## 2. 新型炉内核計測装置

マイクロコンピュータを備えたこの装置は、従来に装置の比べ、表 1 のように多くの特長を備えている。

### 2.1 システムの概要

このシステムは、図 1 のシステム構成図に示すように、以下の主な機器から構成されている。

- (1) 検出器
- (2) 5 通路選択装置、15 通路選択装置
- (3) 切替ユニット
- (4) 駆動装置
- (5) 新型炉内核計測装置盤
- (6) 引抜きリミットスイッチ、安全リミットスイッチ

### 2.2 駆動系統と検出器

検出器は、幾つかの系統（駆動系統）に分かれ、駆動系統ごとに

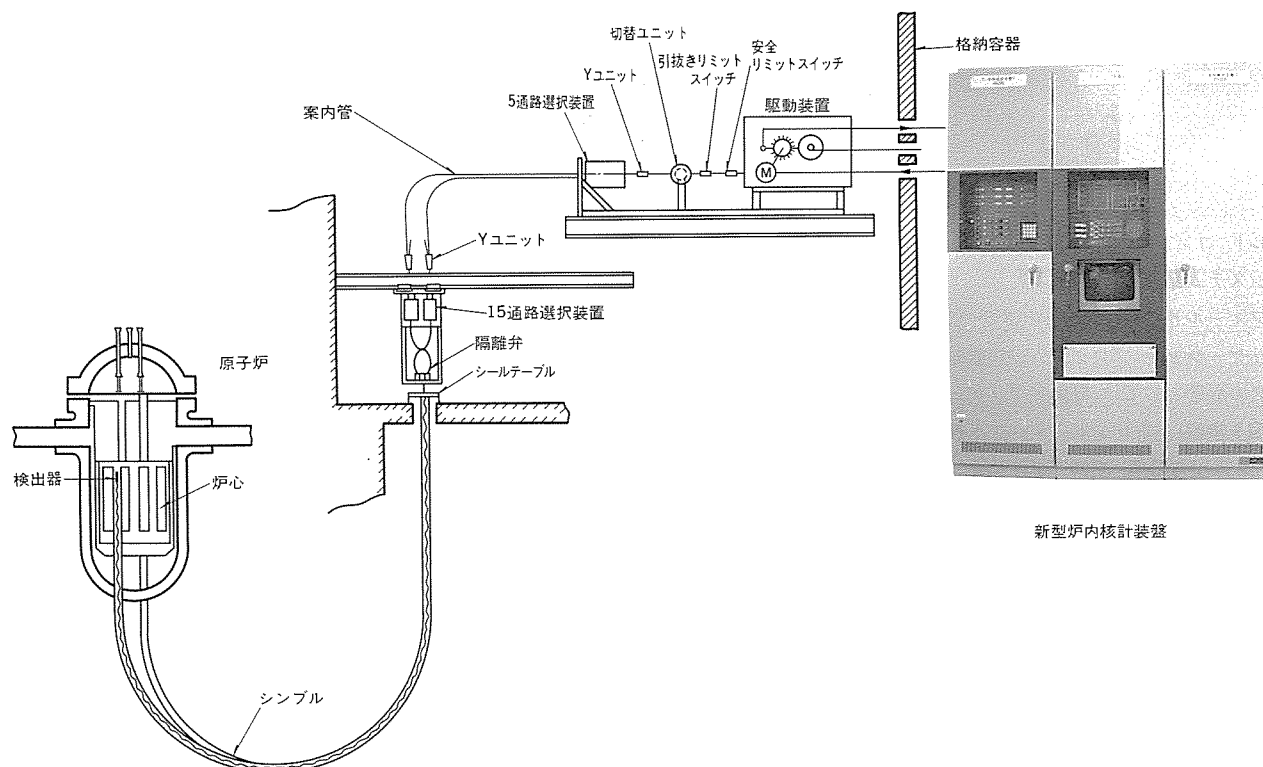


図 1. システム構成



2本の検出器（1本は予備）がある。検出器を原子炉内に挿入するための系統は、図2に示す構成となっている。新型炉内核計測装置の駆動系統は、従来に比べて次のような特長がある。

- (1) 検出器がすべての測定点に挿入できる。
- (2) 15通路の採用により、駆動系統の構成を簡素化している。
- (3) 検出器は、従来、予防保全としてプラント定検時に取り替えてきたが、検出器の二重化により、検出器の異常がプラント運転中に発生しても、新型炉内核計装盤での操作で検出器の切り替えができるため、検出器の寿命限界まで使用することができる。

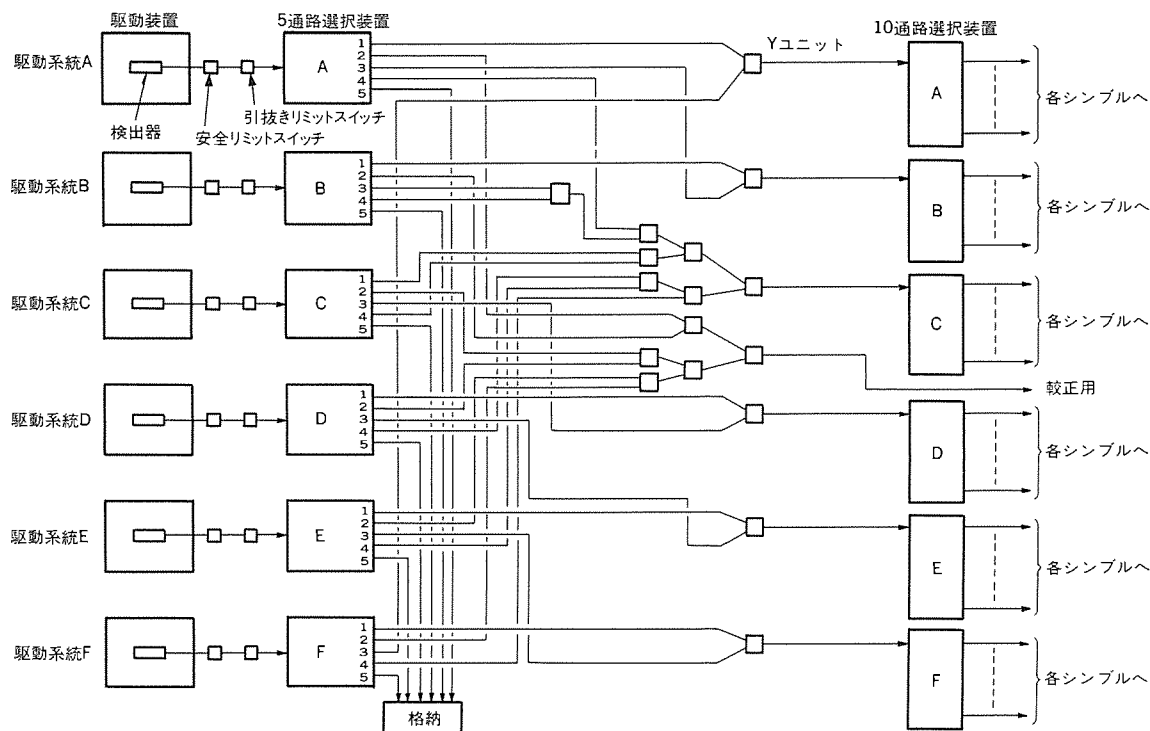
## 2.3 新型炉内核計装盤

新型炉内核計装盤は、図3に示すように盤3面で構成され、内部の機器は、ユニット化されている。

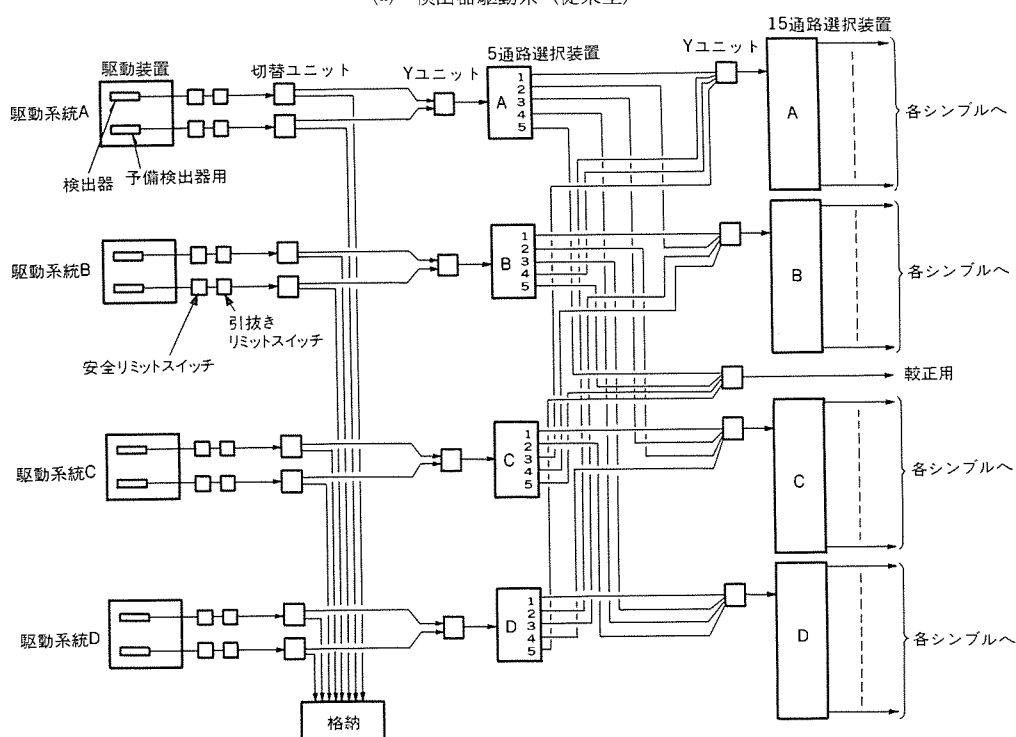
機器の内部は、図4に示すように主にプリントカードから構成されている。

新型炉内核計装盤は、大別して自動測定部、手動測定部、共通部に分けられる。

自動測定部は、マイクロコンピュータ、CRT&キーボード、ディスク装置等から構成されている。手動測定部は、手動用操作パネル



(a) 検出器駆動系（従来型）



(b) 検出器駆動系（新型）

図2. 検出器駆動系統図

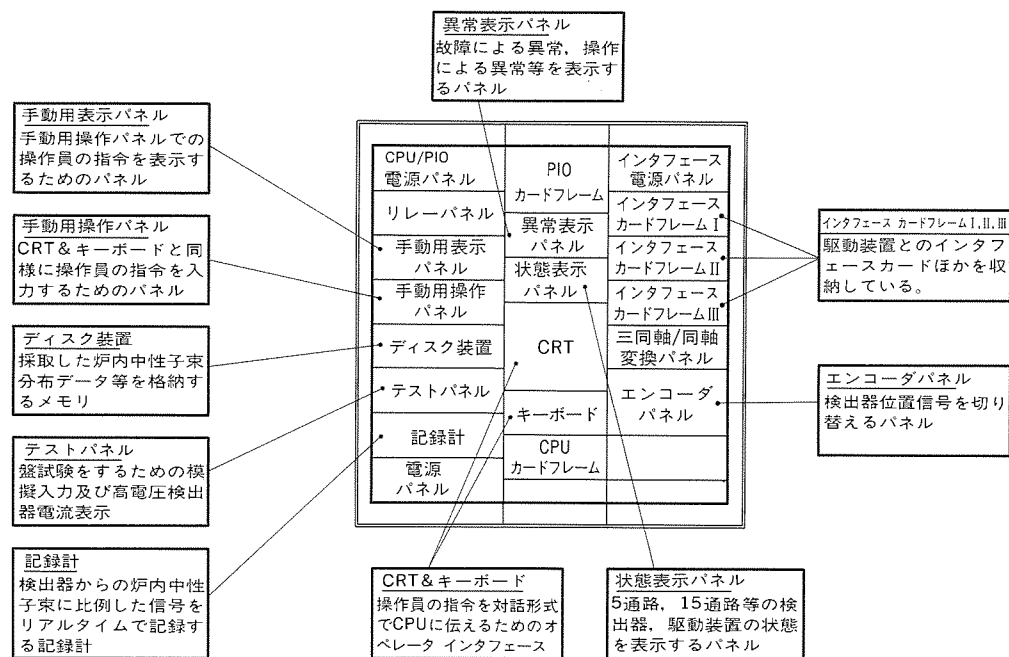


図3. 新型炉内核計装盤のユニット配置

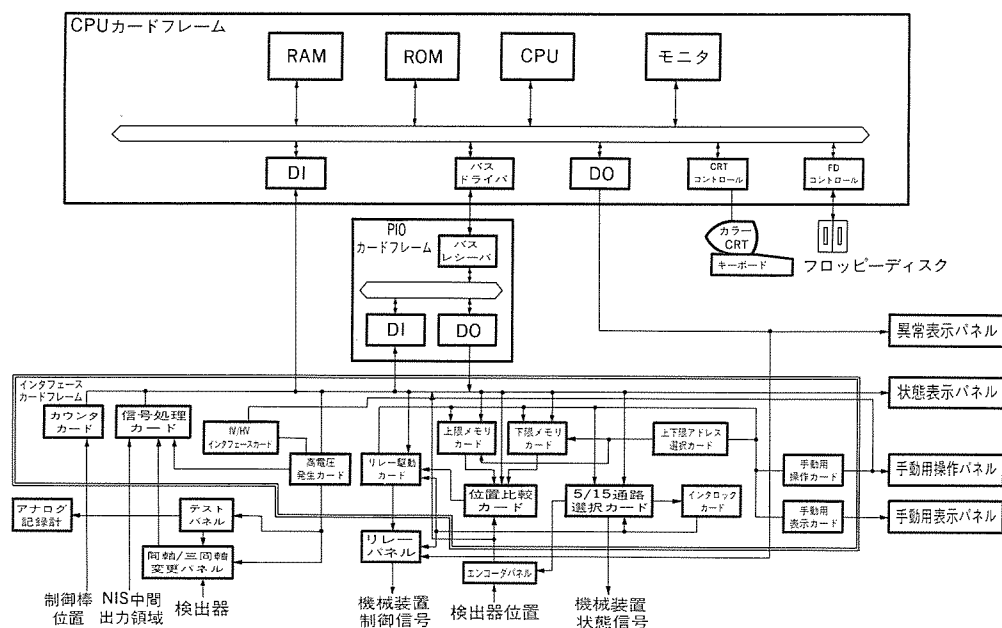


図4. 新型炉内核計装盤の概略ブロック図

表2. 検出器の駆動モード

| 検出器駆動モード | 検出器駆動速度 | 検出器移動位置       | 記録動作 |
|----------|---------|---------------|------|
| 挿入モード    | 高 速     | 引抜き位置→炉心下限位置  | —    |
| 走査モード    | 低 速     | 炉心下限位置→炉心上限位置 | —    |
| 記録モード    | 低 速     | 炉心上限位置→炉心下限位置 | 実施   |
| 引抜きモード   | 高 速     | 炉心下限位置→引抜き位置  | —    |

と手動用表示パネル及び共通部とのインタフェースをしているプリントカード、手動表示カード、手動操作カードから構成される。共通部は、電離箱の原理で中性子束分布を検出する検出器に高電圧を供給する高電圧発生カード（最大DC200Vの電圧発生ができる。）と検出器からの微小電流を処理し、デジタル信号に変換する信号処

理カード及び中性子束分布を測定する部位である炉心内計測範囲を記憶する上下限メモリカード等から構成されている。

#### 2.4 検出器駆動モード

検出器は、駆動装置内にある同期モータにより原子炉の通路へ挿入又は引抜きされる。検出器の速度は、低速（3.66m/分）と高速（36.6m/分）の2種類の速度がある。また、検出器を駆動するモードは、表2に示す“挿入モード”、“走査モード”、“記録モード”及び“引き抜きモード”に分けられる。

検出器が引抜かれた時、駆動装置の手前で確実に停止するように引き抜きリミットスイッチと呼ぶリミットスイッチを通路上に配置している。通常は、引抜きリミットスイッチで検出器駆動が停止するよう新型炉内核計装盤に監視回路（リレー駆動カード）を設けている。引抜きリミットスイッチの故障が発生すると、検出器の引抜きが停止せず駆動装置内のモータに巻き込まれるため、引抜きリミッ



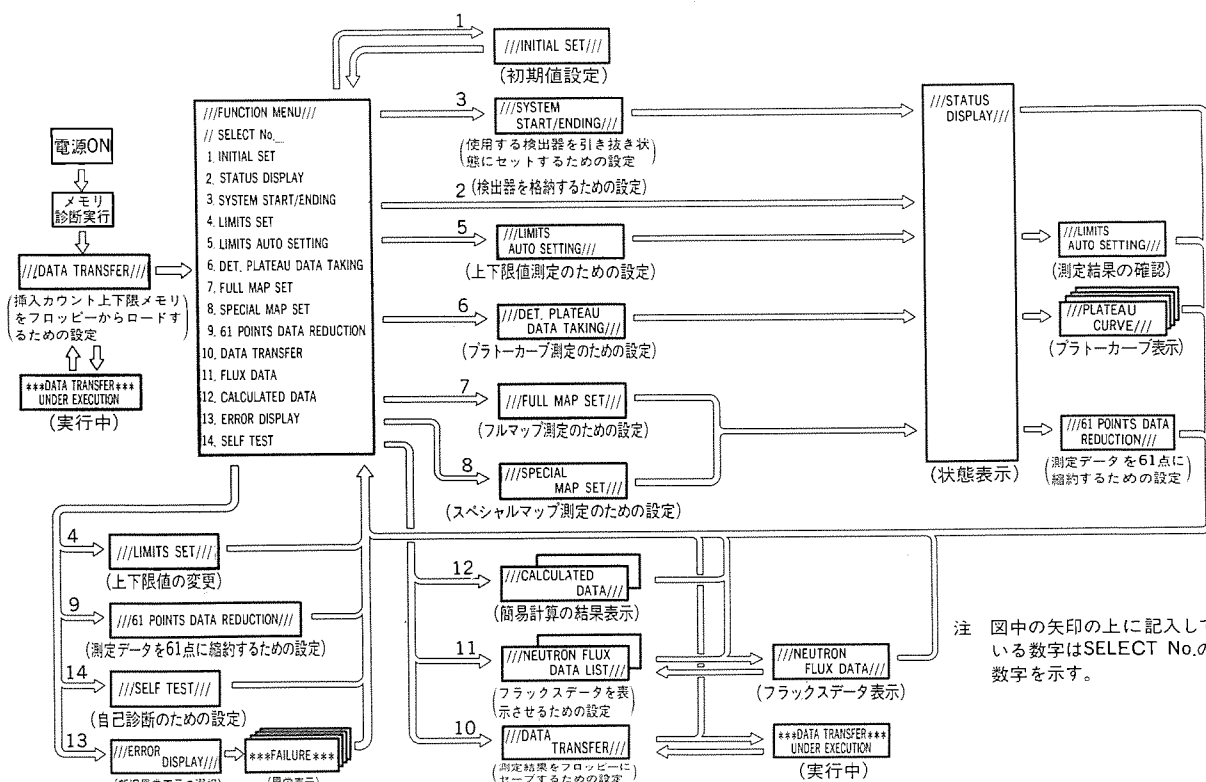


図 5. CRT画面遷移図

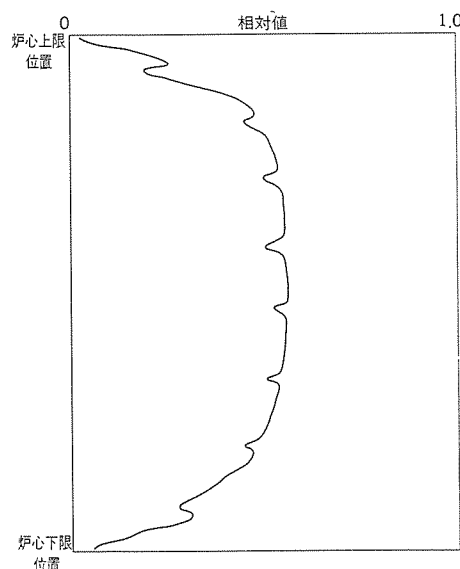


図 6. 中性子束分布の出力例

トスイッチのバックアップとして安全リミットスイッチがあり保護している。したがって、安全リミットスイッチは、通常は動作しない。

## 2.5 自動測定

自動測定は、CRT画面とキーボードにより対話形式で、初期設定や実行メニューの選択を行うことができる。CRT画面は、図5のように移り変わる。自動測定は、操作員の意図を完全に機能させるため、以下に述べる実行可能なメニューを準備し、操作性の向上を図った。

### (1) 初期設定

試験日時、外部からの入力である制御棒位置の初期設定、駆動系統ごとの印加電圧の設定、検出器挿入回数の補正回数の補正等システム起動するのに必要なデータを設定する。

### (2) 状態表示

検出器印加電圧や駆動装置の状態を表示する。

### (3) システム初期化

検出器の位置を測定開始前に、引抜きリミットスイッチの位置まで引き抜き、測定がすぐ開始できる状態にする。また、測定終了後、検出器を格納位置にすることが可能である。

### (4) 上下限值表示

中性子束分布の測定に必要な原子炉の炉心の測定範囲を示す上下限値を表示する((5)の測定結果を表示する。)。また、上下限値の再設定もキー入力で可能である。

### (5) 上下限值測定

中性子束分布の測定に必要な原子炉の炉心の測定範囲を、自動的に測定する。

### (6) プラトー特性

プラトー特性のデータを自動的に採取する。電流レンジは、走査モードで自動設定する。1V間隔で指定された電圧値まで検出器電圧を上昇させ、データを採取するとともに記録計も自動で動作開始、停止の制御を行う。

### (7) フルマップ

決められたシーケンスで、通路に検出器を挿入し、中性子束分布を測定する。データは、炉心有効長をカバーするよう約300点のデータを採取する。電流レンジ、記録計の制御は、プラトー特性と同様自動である(図6)。

### (8) スペシャルマップ

操作員が選択した通路のみ検出器を動作させ、中性子束分布を測定する。

### (9) データ伝送

上下限メモリカード及びマイクロコンピュータ内のメモリ(RAM)とフロッピーシート間のデータ伝送を行う。

(10) 測定データ抽出

別置きの大型計算機で実施する炉心管理用の入力データとするため適切な点数を抽出する。

(11) 中性子束分布データ

(10)で抽出したデータを測定点ごとに表示する。表示する測定点は、操作員が自由に選択できる。

(12) 簡易計算

測定データの良否の目安とするため、測定点ごとの軸方向ピーキングファクタ (Fz)、軸方向オフセット (AO)、積算電流値を算出する。

軸方向ピーキングファクタ (Fz) = 測定値最大値 / 測定値平均値

軸方向オフセット (AO) = (炉心上部での電流積算値) - (炉心下部での電流積算値) / 積算電流値

(13) 異常表示

ソフトウェア及びハードウェアの自己診断機能により、検出された異常を表示する。

(14) セルフテスト

マイクロコンピュータ及びその周辺カードを自己診断し、その結果を表示する。

2.6 手動操作

手動操作は、“半自動”と“手動”の二つの操作がある。“半自動”は、検出器の駆動速度、記録計の動作が駆動モードの選択スイッチ (挿入・走査・記録・引抜き) の選択で自動的に動作する。“手動”は、検出器の駆動速度“高速”、“低速”の選択、記録計動作の開始・停止の選択等、すべて手動で操作する。

2.7 検出器の保護

複数の検出器 (最大4本) が同時に駆動するので、誤って同一通路に挿入して検出器を破損させることを防止する機能を持っている。このシステムでは、検出器破損防止のための監視をソフトウェア、ハードウェア (インタロックカード) で行っている。また、検出器を通路に挿入中5通路選択装置、15通路選択装置が回転し検出器を破損しないようインタロックカードで保護している。

2.8 フロッピーシートへのデータ格納

フロッピーシートは、8インチ両面倍密又は片面単密のシートを

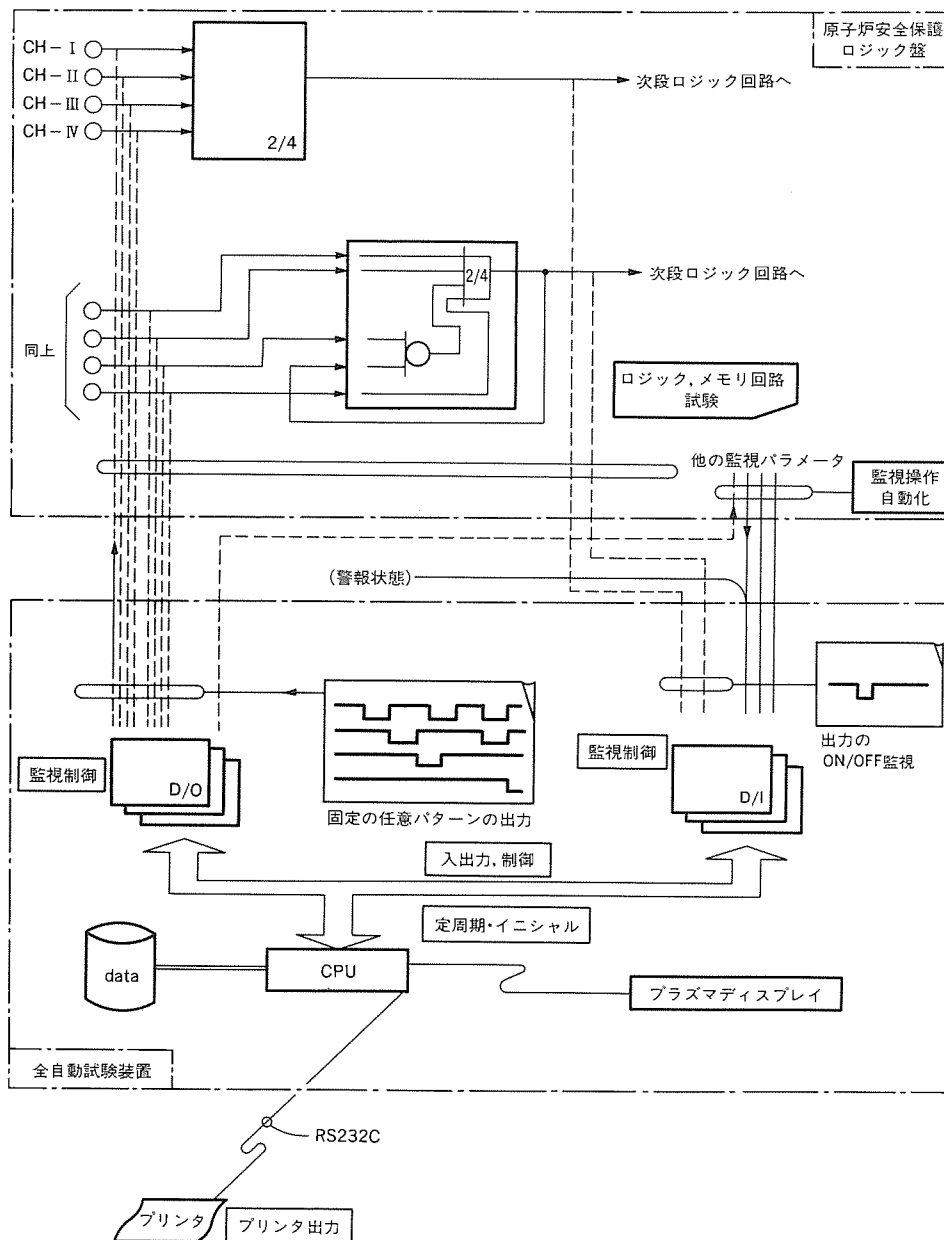


図7. 全自動試験装置の基本構成

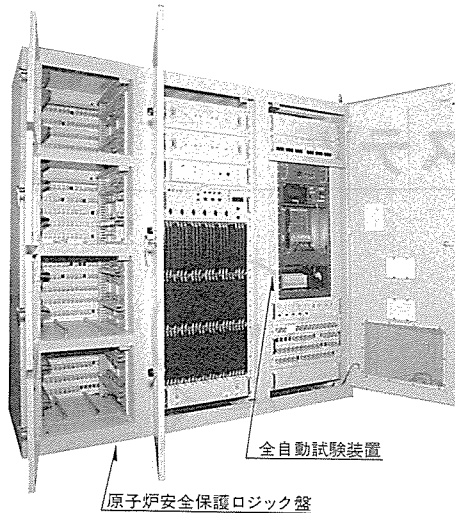


図 8. 全自動試験装置の外観

使用する。データはEBCDICコードで、フォーマットはIBMフォーマットに準拠している。フロッピーディスクドライブは、“ドライブ0”と“ドライブ1”の2台ある。“ドライブ0”は、中性子束分布に比例した検出器電流、制御棒位置等を格納する。“ドライブ1”は、原子炉炉心測定範囲の上限値、下限値及び検出器の挿入回数を格納する。

フロッピーシートへのデータ格納は、従来プラント計算器で処理していた。データ収集からフロッピーシートへのデータ格納まで一貫した処理を炉内核計装盤で行うことにより、測定値のデータ取扱いの簡素化が図れた。

### 3. 原子炉安全保護ロジック全自動試験装置

#### 3.1 自動試験装置の基本設計方針

原子炉安全保護装置は、プラント運転中に機能の健全性を確認するため、周期的な機能確認試験を実施している。このうち、2 out of 4 論理回路構成の原子炉安全保護ロジック回路については、従来は手動操作で試験を実施していた（図7）。

これに対し次の改善を図り、全自動試験を導入するものとした。設計基本方針は、下記の3項目である。

- (1) 手動操作の煩雑さの低減化と人的ミスの防止
- (2) 試験時間の短縮化、これによる保護系装置バイパス時間の短縮化に伴う安全性の向上
- (3) 試験員の削減（省力化）

#### 3.2 試験機能の拡大及び自動化

新たに開発した全自動試験装置は、プラント運転中、安全かつ確実に自動的に試験を実行することができる。試験内容は、以下の5項目である。

##### (1) バイパス管理ロジックテスト

原子炉安全保護ロジック回路は、多重化されており、出力のバイパス状態は、相互に管理する方式としているが、このバイパス管理論理回路が、正常に作動するか否かを試験するとともに、バイパス信号の伝送部についても健全性の確認を行う。

##### (2) ロジックテスト

2 out of 4 論理回路にすべての組合せの模擬入力信号を印加し、出力状態が正常か否かを試験する。なお、このとき中央制御室に発

信する警報については、運転員に必要なものの以外は選択的に抑制している。

##### (3) 自己保持回路テスト

原子炉保護安全装置の論理回路のうち、出力状態を保持する回路について自動的に機械試験を行う。また、試験完了後は、試験を実行する前の状態に自動的に復帰する。

##### (4) 入力回路テスト

計測チャンネルからのトリップ信号受信回路は、多重化されている。入力チャンネル個別に全種のトリップ信号を一括して模擬入力し、論理回路に正常に受信されていることを確認する試験を行う。

##### (5) トリップテスト

原子炉安全保護ロジック回路の出力により作動するトリップ遮断器回路も、2 out of 4 論理構成である。論理入力の各々に自己保持機能を持っているが、ロジック回路を実動作あるいはリセット動作させた場合にトリップ遮断器が正常に動作することを確認し、健全性を試験する。

以上のとおり試験機能を分割し、かつ自動化することにより、試験時のプラント安全性及び稼働率の向上の面で寄与することができる。また、試験機能の自動化を行ったので、試験内容が充実し、試験員の誤操作や測定ミスの撲滅が期待でき、操作性の向上と省力化が達成できた。

図7に全自動試験装置の基本構成を示す。

#### 3.3 全自動試験装置の機器構成

図8に示す全自動試験装置の主要部分は、原子力プラント向けに開発され制御装置に適用されている《MELTAC-Nシリーズ》のマイクロコンピュータを使用し、試験条件の設定、試験進行状態のモニタ及び試験結果を表示するため、プラズマディスプレイを備えている。また、試験結果の印字のためのプリンタも付加することが可能である。

この試験装置は、原子炉安全保護ロジックキャビネット4トレインに対し個々に1台収納し、試験は各トレインごとに実施する。これにより、試験対象設備の限定化、準備・復旧を含めた総合的な試験時間の短縮と省力化が期待できる。また、自動試験装置と入出力信号を授受するインタフェース部には、ソリッドステート式の多入出力I/Oカード・パワーインタフェースカードを設置し、ハードウェアの削減及び試験装置と安全保護ロジック回路との分離を実現している。また、自動試験装置の機能については、装置故障も含めた論理回路との組合せ試験による機能検証を実施しており、プラント運転中に使用する装置として十分信頼性を持つことを確認している。

## 4. む す び

マイクロコンピュータを適用した新型炉内核計測装置及び原子炉安全保護ロジック全自動試験装置は、測定・試験の効率向上、信頼性の向上等、多くの特長を備えているが、炉内核計測装置においては、炉内温度計装との統合、操作部の別置き等、多様化している客先ニーズに対応すべく、なお一層の努力をしていく考えである。

全自動試験装置については、他機種への応用を図り、原子力計装システムの試験効率化等、より積極的に推進したい。

最後に、これらの装置の開発にあたり御協力をいただいた三菱重工㈱神戸造船所並びに三菱原子力工業㈱の関係者各位に謝意を表す。

# 原子力発電所技術支援管理システム

大屋 正\*  
阿部紀彦\*

## 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、一層の高い安全性、高い稼働率及び経済性を達成するために、プラントの運転監視制御領域における高度化・自動化のみならず、運転管理・保守管理等の発電所（プラント）運営管理分野での業務の機械化が要求される。この機械化にあたっては、図1に示すように、発電所トータルとしてバランスのとれたシステムの構築が重要となる。

本稿では、発電所運営管理システムを構築する各システム（図2）の中で、主要業務を占める運転管理及び保守管理を中心とした技術者の業務を支援する“技術支援管理システム（TSM：Technical Support and Management Systems）”を紹介する。

## 2. 技術支援管理システムの位置付けと特徴

### 2.1 位置付け

技術支援管理システム（TSMシステム）は、サイトの技術者が日々従事している運転管理・保守管理を中心とした業務の技術支援を行うことを目的とする機械化システムである。もちろん、管理者もこのシステムを使い、管理業務を実施する。そのねらいは、業務の品質向上及び生産性の効率化にある。さらに、働きやすい職場環境作りというニーズにマッチすることも大きな目標である。このシステムは、緊急時の場合に必要とされる業務支援の機能も織り込み、設備の有効活用を図るものである。

この分野の機械化の現状は、パソコンによるスタンドアロンの業務処理や、本店ホストと連係された端末による集中型業務処理であり、業務範囲は限られた領域での機械化であったり、個々で重複したデータベース（D/B）の運用、利用時間の制約更に応答性の悪さ等、ますます機能が高度化する分野の機械化に対して多くの課題を抱えはじめた。今後、機械化の対象が各課間にまたがる業務へと拡大するとともに、コード情報に加えてイメージ情報を扱うニーズへの展開、レスパーパー化等を実現していくためには、本店ホストの機能分担を明確にするとともに、発電所全体レベルでのシステム構築を行う必要がある。

このような状況を踏まえ、TSMシステムは、運転制御に直接関係するオンライン系の業務でもなく、また一般事務処理業務以外の技術者のオフライン寄りの技術業務を支援するための基幹となる機械化システムを実現する環境の総称である。図3に発電所全体におけるTSMシステムの位置付けを、図4にその役割を示す。運転情報の多くはプラント計算機で収集されており、ステーションバスを経由してオンラインで収集される。また、保守関係の情報は、保守バス経由で収集されたり、TSMシステム内のワークステーション（WS）から入力される。収集されたデータはTSM計算機に蓄積され、運転・保守等の業務支援用として活用され、その結果が再びプラントの運転・保守管理に反映される。このようにTSMシステムは、プラント全体の運転・保守にかかわる業務の1サイクルを支援

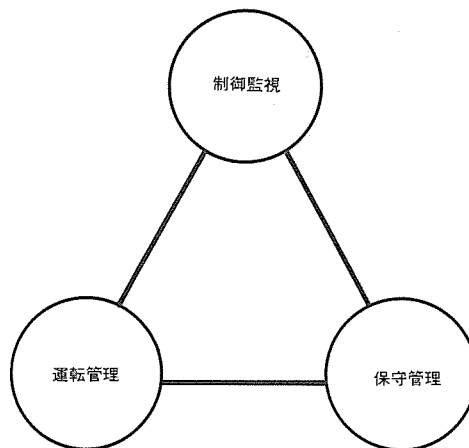


図1. 発電所トータルシステムの確立

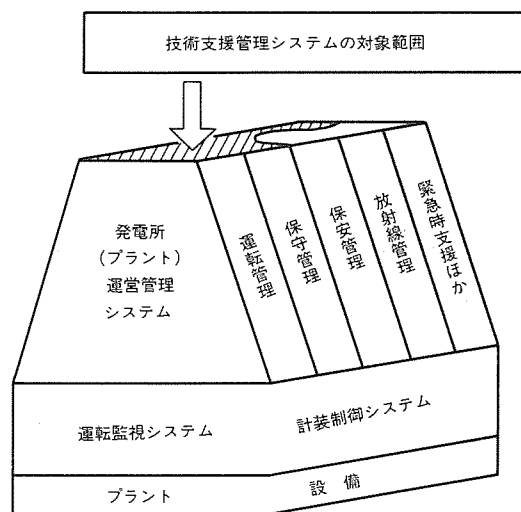


図2. 発電所運営管理システムと技術支援管理システム

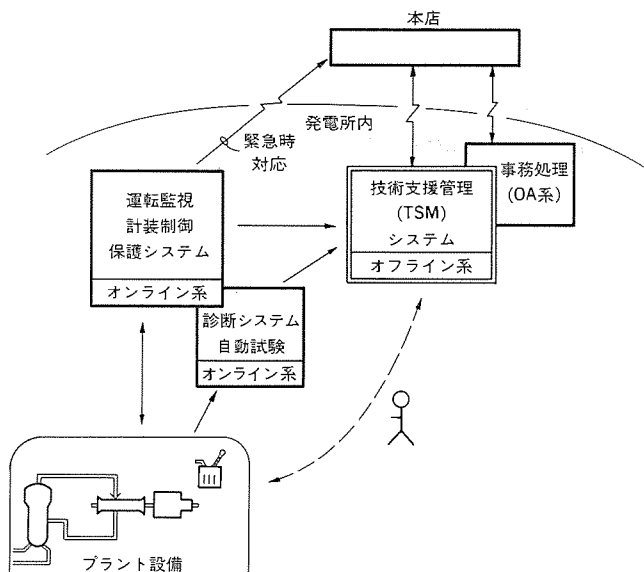


図3. 技術支援管理システム構成の位置付け

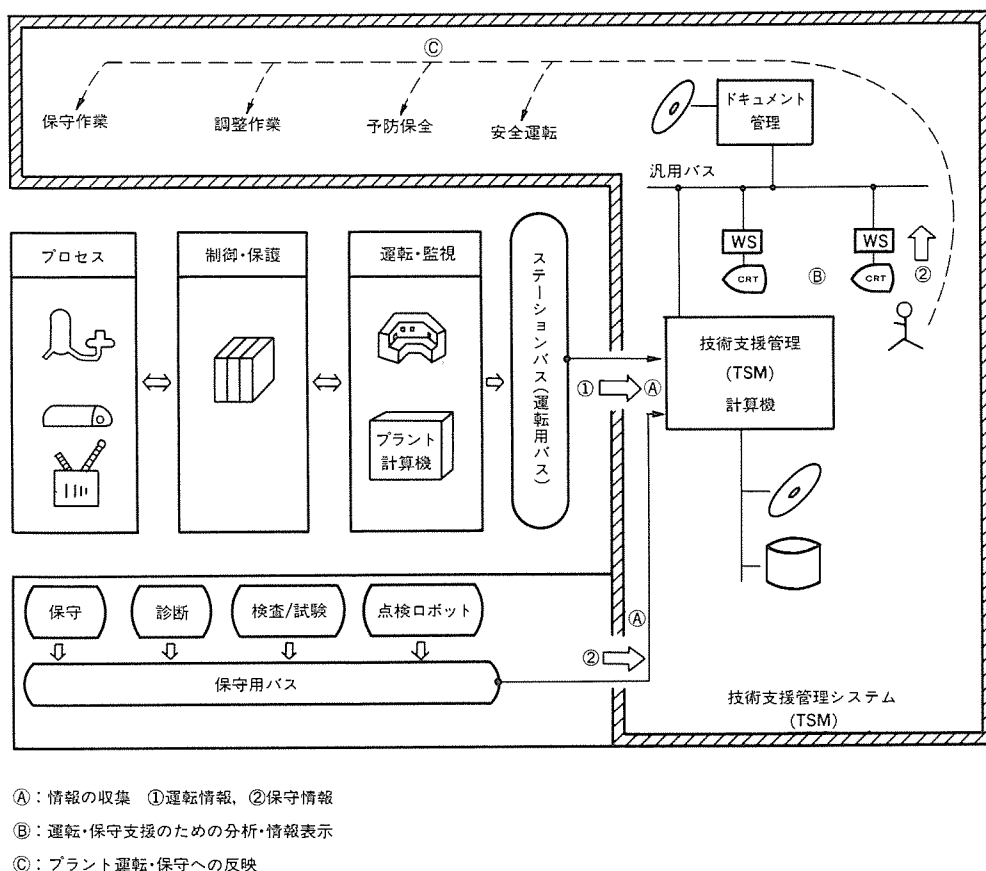


図4. 技術支援管理システム (TSM) の役割

する重要な役割を担うものである。

## 2.2 特徴

以上の位置付けからTSMシステムの基本となる特徴を次に示す。

- (1) データの一元管理：運転データ、保守データ、図面データ等
- (2) 各種データ：コード情報、イメージ情報、音声データ等
- (3) マンマシン性に優れたインタフェース
- (4) レスパー化：電子決裁、電子メール等
- (5) 上位システムとの連係＝本店ホストほか
- (6) 24時間運転

## 3. システム機能と基本システム構成

### 3.1 システム機能

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。

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

#### (1) 運転支援システム

プラント運転／監視データを蓄積するとともに、これらのデータを有効に使う、例えば帳票類の自動作成や異常時の原因究明等を図るシステムである。情報の多くは、ステーションバスを経由してオンラインでTSM計算機に入力される。業務処理は、事務本館又は中央制御室等の現場にあるWSを使って行う。ドキュメント管理システムとの連係により、図面と運転情報を駆使した効果的な業務遂行が可能となる。

#### (2) 保守支援システム

設備保全管理システムを中心としたシステムであり、各種作業処理（例えば、作業票の発行／運用処理、隔離業務支援、点検データの傾向分析等）や発生する多量の経歴データ管理等を行うものである。データ入力の多くはWSから入力されるものが多く、マンマシン性の良い入力装置及びソフト処理が要求される。今後、情報検索や隔離作業に系統図をベースとした処理手法が有効であり、図面自動読取りやCAD技術をベースとした図面処理機能が必要となる。また、LANと各所に配置されるWSの組合せにより、例えば管理区域内外との情報の入出力処理連絡が大幅に効率化されるといった効果も出てくる。

#### (3) ドキュメント管理

図面類を主体としたイメージベースでのファイル化を行い、情報の一元管理による品質確保、検索時間の短縮化、さらにWSとの連係によるレスパー化を実現する。さらに、他業務への利用も可能とする図面編集機能も要求される。

#### (4) 上位情報伝送システム

本店等上位システムへ情報を伝送する機能である。逆ルートとして本店からの情報の伝送もあるが、TSMシステムは、情報源である発電所ごとに設置され24時間体制で運用されることを基本としたデータベース管理が行われるため、アクセス頻度は少ないと考える。

### 3.2 基本システム構成

TSMシステムの基本構成は、要求される機能から図5に示すようになる。システムの特徴を改めて示すと次のようになる。

#### (1) データ収集

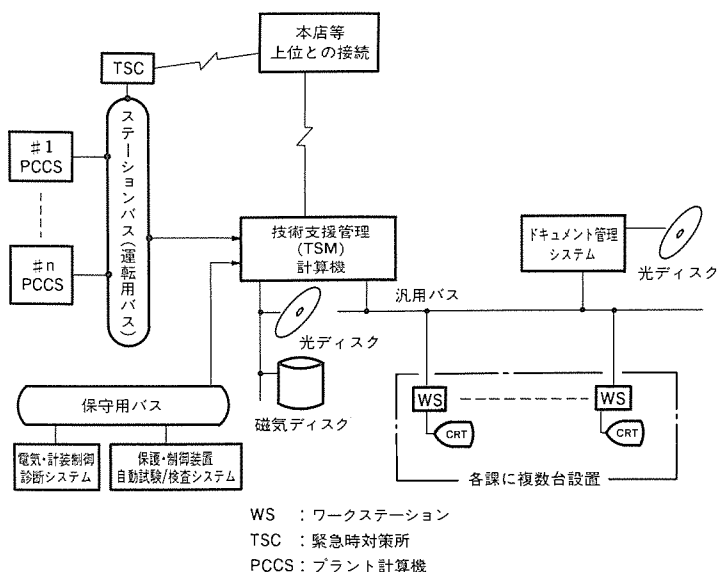


図5. 技術支援管理システム (TSM) の基本システム構成

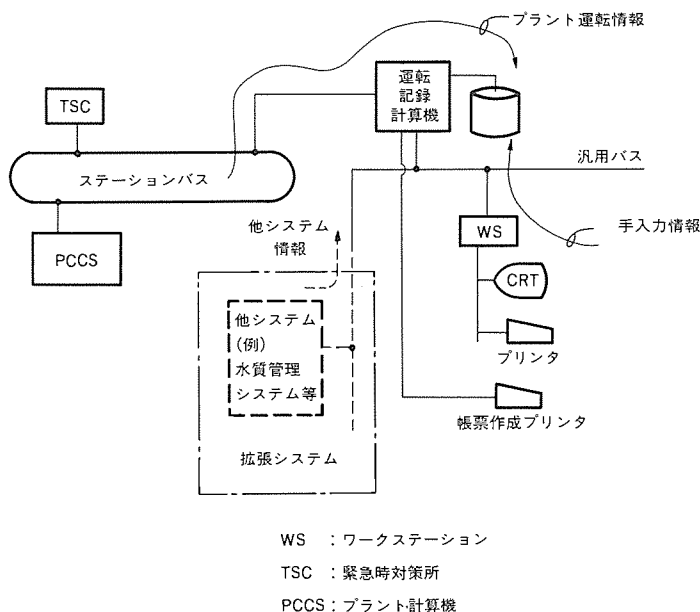


図6. 運転記録管理システム構成

- (a) プラント運転データ：ステーションバス経由でオンライン入力
- (b) 保守データ：保守用バス、WS経由 (ハンディターミナル等)
- (c) 図面データ：ドキュメント管理システムによるイメージ入力

(2) 運用性

- (a) TSM計算機は全体のデータ管理及び24時間運転
- (b) 汎用バスを介して各計算機との接続による情報の相互運用

(3) マンマシン性

- (a) WSとして高解像度CRTを用いたエンジニアリングWS (EWS) の適用
- (b) WSに各種入力装置の適用 (イメージOCR, ハンディターミナル等)

(4) 拡張性

- (a) WS1台から順次拡張可能なシステム構成

3.3 技術支援管理システム例

TSMシステムの具体的事例を以下に紹介する。

(1) 運転記録管理システム

このシステムは、運転支援システムの一例である。現在運転速報、

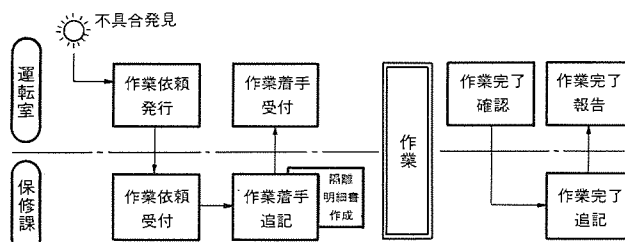


図7. 作業管理プロトシステム機能構成

原子炉やタービン関係の日誌等の作成は、プラント計算機からの日誌データや現場での計測データを収集し、手作業で作成しているケースが多い。このシステムは、既に多くのデータを収集している計算機 (例えば、プラント計算機) と直接TSMシステムと接続し、データの収集と帳票作成の自動化を図るものである。自動化されていないデータについては、WSから直接入力となるが、今後の機械化の進展により、ネットワーク化による自動化の範囲は拡大すると考える (図6参照)。

(2) 作業管理システム

設備保全管理システム開発の第一ステップとして、作業票の発行、管理にかかわる業務の機械化を目指し、関西電力㈱と共同で作業管理プロトシステムを試作した<sup>(1)</sup>。このシステムの機能範囲を図7に示す。このシステムは、作業票業務におけるキーボードレス、レスペーパーを考慮した機械化システムである。また、このシステムでは、この作業票業務に伴う隔離明細書、タグ札の発行及びこれらの処理を検討する際の過去の情報検索、図面検索をも可能としたシステムを実現している。システム構成を図8に、帳票へのイメージ添付例及び系統図からの帳票作成例を図9に示す。

(3) 隔離業務支援システム

隔離業務は対象とする設備範囲が広く、作業の実施にあたっては広い知識と豊かな経験を必要とされ、AI応用等高度な技術が要求される機械化ニーズの高い分野である。手作業、繰り返し作業で多くの時間を費やしている作業分野として、系統図を使った隔離区分決定、隔離系統図作成がある。この部分の機械化のためには、作業のベースとなる系統図の計算機入力技術の開発が必要である。当社は、図10に示すように、既設系統図の自動読取り技術<sup>(2)(3)</sup>及びこの入力された系統データを新図面入力用CADとデータ構造で互換性を持たせ修正を容易にさせる技術、さらに隔離業務に特有の配管の色づけ、弁の開閉や点検機器シンボルの表示技術を開発した。

4. 技術支援管理システムの今後

発電所は、電気エネルギーを製造する工場であり、生産管理面から安全性、信頼性及び経済性の高度化が一層要求される。運転制御を直接つかさどるオンライン領域でのシステムの充実のみならず、運転管理、予防保全推進及び保守作業等のオフライン分野での品質向上、生産性の効率化も発電所トータルとしての成果を出すためには重要となる。今後、オフライン分野を対象とする高度化を推進して行くにあたり、効率的な設備投資と機能の高度化を実現する支援システムの確立が当面の重要課題と考えられ、以下その概要について述べる。

4.1 効率的な設備投資

機械化のための設備投資がコストパフォーマンスに優れた結果を生むためには、今までのように各機能、システムごとに独立した計

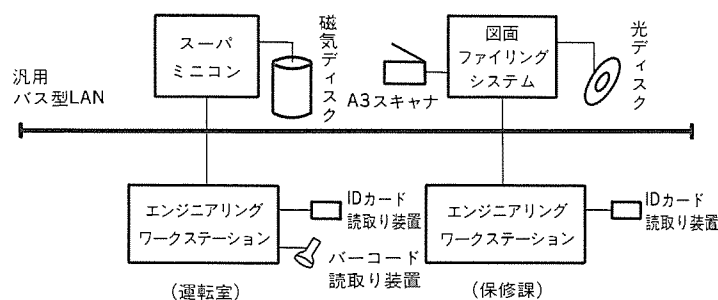
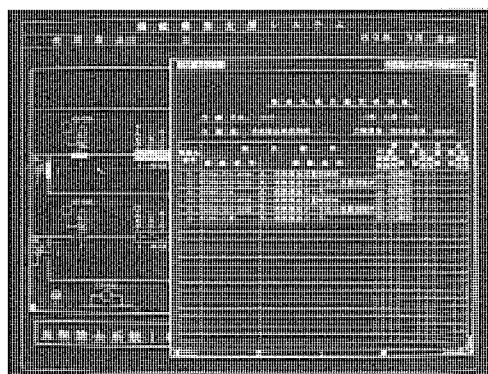
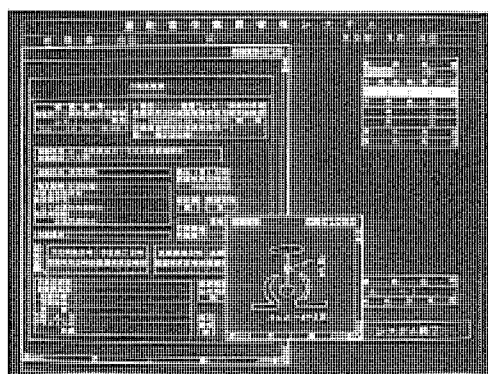


図8. 作業管理プロトシステムのシステム構成



(a) 系統図面 (CAD図面) から帳票作成例



(b) 帳票へのイメージ添付例

図9. 作業管理プロトシステム帳票のCRT画面表示例

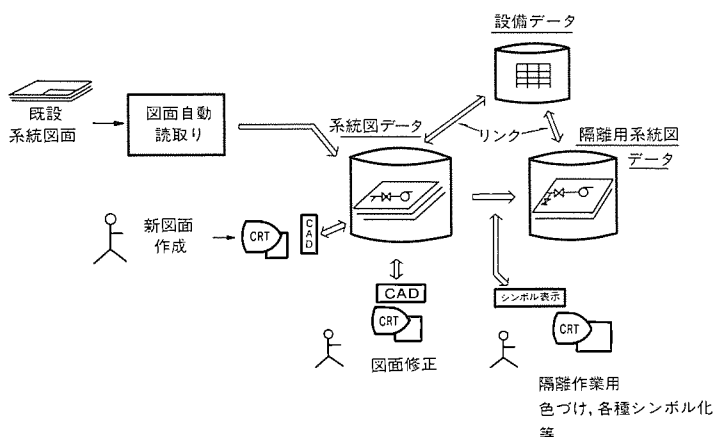


図10. 隔離業務支援システム構築を支える

システム図面自動読取り/CAD基本技術の概要

算機システムを配置するのではなく、設備の共用化、連係化による

システム機械の導入が重要となってくる。原子力発電所は大規模ながら、例えば保守業務面からその中味を見れば多品種少量の設備を対象とするものであり、機械化が難しいと考えられがちな分野でもある。TSMシステムは、このような対象のシステム化をねらったコンセプトのもとに構築されるものである。

今後のシステム構築を、放射線管理システムを例にとって説明する。現在、このシステムは、独立したシステムとして構成されているが、今後のシステムは、放射線管理に要求される最小限の機能は専用システムでコンパクトに構築するとともに、よりオフライン的業務はTSMシステムとの連係によるシステム構築で実現することを提案するものである。すなわち、このような連係されたシステム作りの発想が、データベースの一元化、WSやプリントサーバの活用による多くの設備の共用化を可能とし、結果として効率的設備投資、情報の有効活用、配置スペース問題の改善に大きく寄与するものである(図11参照)。特に今後の機械化の対象は、非定型業務領域を対象とする分野が多く、機械化の定着そしてそれによる機械化の効果が現れてくるのはシステム導入後数年先になると考えられる。初期段階での投資効果を良くするためにもTSMシステムの活用による共用化、連係化を図り、さらに拡張性に優れたシステム構築作りが重要となる。この実現のためには、サイトにおける各課間の機械化をまとめ調整を行う専任の組織作りが必要となってくると考える。

これらを実現する技術については、OSI (Open Systems Interconnection) による異機種間接続技術、コードとイメージ情報を扱うマルチメディア データベース構築技術、高速大容量化を可能とする光磁気ディスク、更には高速大容量伝送を可能とするLAN開発と基盤技術開発が実現に向けて着々と確立されている。

さらに、WS特にエンジニアリングWS (EWS) の高性能低価格化による適用拡大により、集中型から分散型システム構築へのシフトを加速させる環境条件が整いつつある。これらのシステム構築に対しては、システムアクセス性の厳格化、機密保護も重要な技術となる。

#### 4.2 機能の高度化

機械化の初期段階は、手作業領域を対象とした分野からのスタートであり、業務範囲もグループ、係といった限られた範囲内の業務を対象としたものである。機械化の定着化とともに、複雑な高度の判断がある業務分野への拡大及び課間にまたがる業務が対象となってくる。

対象業務の高機能化及び拡大といった要求に対して、システムも成長し、複雑になってくる。特にこの分野の機械化対象業務は、設備供給メーカーのノウハウとともに、電力会社の運用・保守ノウハウによるところが大であり、後者についてはメーカーも初期の業務調査、分析の段階から参画させてもらい、使う側に立った実用機システム作りを段階的なアプローチにより構築することが重要と考える(図12参照)。

業務の高度化に対応する他の面として、技術者の判断、分析等を支援するものとして、AI応用技術の導入が研究段階を経て実現されている。当社では、AI専用マシンPSIをはじめとして、TSMシステムの各計算機上でも知識処理ができる高性能化を推進している。さらに、発電所で扱う多くの図面をハンドリングできる機能の充実、現場の異常状況を点検ロボットや電子カメラでとらえたイメージ情報についても画像処理技術等の情報処理の高度化を図り、TSMシステムの中で扱えることを考えている。



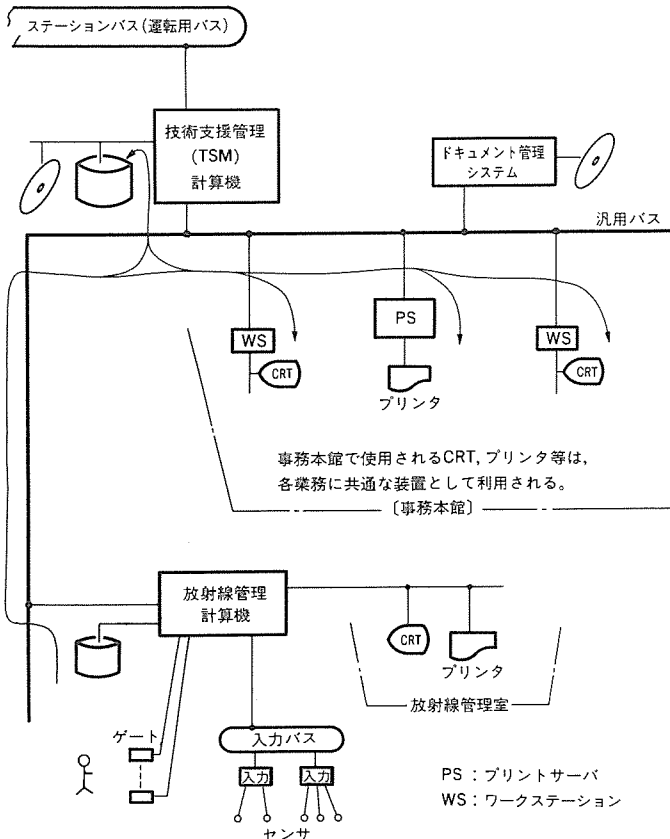


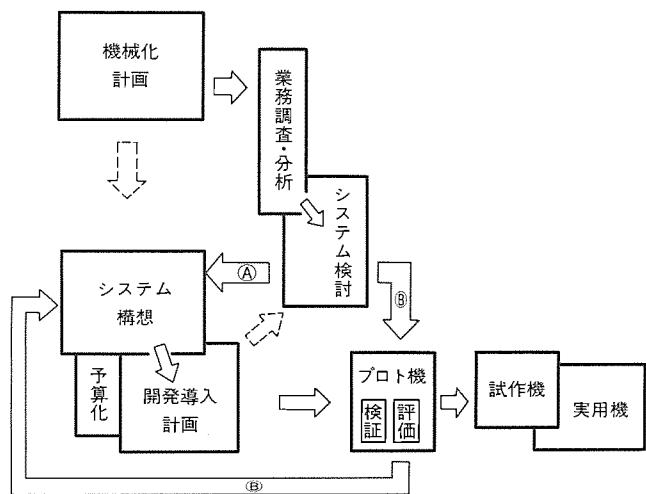
図11. 技術支援管理システム (TSM) と他システムとの共用化・連係化による効率的なシステム構成例

## 5. む す び

業務の品質向上, 生産性の向上, 更に働きがいのある職場作り等の観点から, 発電所の運転・保守管理分野の機械化は, 小規模システムの段階を終え, プラントの建設時点から, 発電所全体レベルでの運用を考えた大規模なシステム導入の検討が行われている。

システムの具体的導入にあたっては, 機械化による投資効果を定量化することの難しさ, 及び省力化の効果がすぐ現れない等, この分野の投資に対する厳しい評価がある。さらに, システム導入により, 受益者となるはずのサイトの技術者にとって, 初期段階ではデータ入力作業や業務形態の変更等により一時的に負担増となることもあるため, 積極的になりづらい面もある。また, 機械化にあたっては, 運用ルールの見直し, 更には組織変更等と多くの作業を要し, 課題も多い。

世の中の情報化の波は, 多くの顧客に対するサービス性を要求される金融・交通・流通分野, 効率的生産性を確保するための製造業分野がけん(牽)引車となり前進している。エネルギー分野の核であ



注 プロト機の開発については, 対象業務, システム構成の難易度に応じ実施の可否を決める。実施の場合でも, ①と②の二つの流れがある。①の流れが普通であるが, システム化の難しい対象については, ②の流れにより機械化のイメージの一例を具体化する方法もある。

図12. システム構築のステップ

る原子力発電所でも安定な電力供給といった大きな社会的使命から上記のような課題はあるものの, この分野の充実が必ず(須)と考える。投資に対する効果評価は, 定性的な表現ではあるが, ある量以上の設備(例えば, WS台数)の導入と, 使用者の利用技術の向上により, 確実に効果が出てくると考えている。

電力会社のこの分野に対する計画・導入を加速していただくために, 当社はプラントメーカー及び計算機通信機メーカーとして, 機械化のシステムイメージをより具体化し, 最新の技術を反映したTSMシステムとして提案していきたいと考えている。

最後に, この分野の開発に関し, 御指導いただいている関西電力(株), 四国電力(株), 並びに各電力会社の関係各位に深く感謝するとともに, 引き続き御指導をお願いする次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 今内ほか: 原子力発電所作業管理プロトシステムの開発, 平成元年度火力原子力発電大会
- (2) 前田ほか: 図面の自動読取におけるシンボル認識の一手法, テレビジョン学会技術報告, 10, No.45 (1987)
- (3) 前田ほか: 系統図自動入力における対話修正方式, 情報処理学会第39回全国大会 (1989)

# 予防保全技術

木村佑二\* 安江 悟\*\*\*  
犬島 浩\*\*  
犬房和夫\*\*\*

## 1. ま え が き

現在、我が国における運転中の加圧水型原子力プラントは、17基を数え、徹底した予防保全により好調な運転実績を持っている。

一方、原子力プラントが運転後20年、発電時間10万時間を超える時代を迎え、我々は設計時、予想していなかった事象を可能な限り事前に把握し、不適合発生を未然に防止すべく、原子力発電設備の予防保全技術の高度化の検討を進めている。

この論文では、予防保全技術向上の取組として、電気計装設備の寿命評価技術及び診断技術、診断装置などについて紹介する。

## 2. 寿命評価研究

原子力発電設備の全般にわたる経年劣化対策の検討を行うに当たり機器の部品段階までの深掘りと、過去の貴重な運転経験や、類似研究調査活動の成果も踏まえ、関西電力㈱と共同して体系的に寿命評価の研究を進めている。

- ①原子力発電設備の重要機器の部品に起こりうる劣化事象の抽出
- ②抽出した事象に対する寿命評価技術の検討と寿命予測の実施
- ③寿命予測結果から保全内容・設計の見直しを行い、より最適な

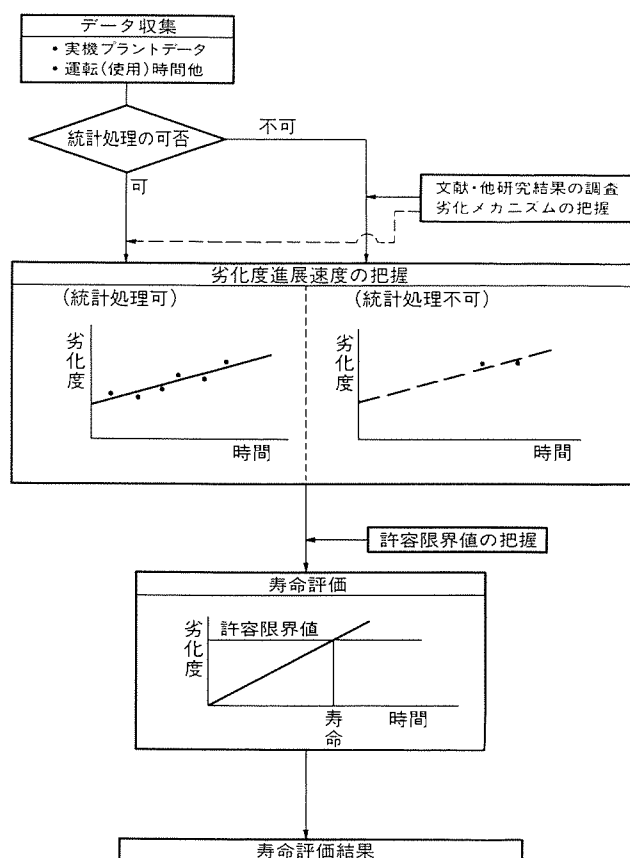


図1. 傾向管理による寿命評価

## 保全方法の確立

上記内容について以下に説明する。

### 2.1 重要機器の部品に対する劣化事象の抽出

#### (1) 部品への展開

原子力発電設備の全機器の中から、プラントの安全性及び信頼性の観点から重要機器を選定し、この機器ごとに信頼性ブロック図を作成し、部品に展開する。

#### (2) 劣化事象の抽出

信頼性ブロック図により展開された各部品に対し、“設計の知見” “過去の不適合事例” 及び “他研究における調査・開発” 等により劣化事象を列挙し、“プラント出力への影響の有無”、“劣化事象の発生の可能性” 等から、重要劣化事象を抽出する。

### 2.2 寿命評価

抽出した事象を対象に、既存技術、文献及び他研究の成果を基に、各劣化事象ごとの発生メカニズムを踏まえた上で、以下の手法により寿命評価を行う。

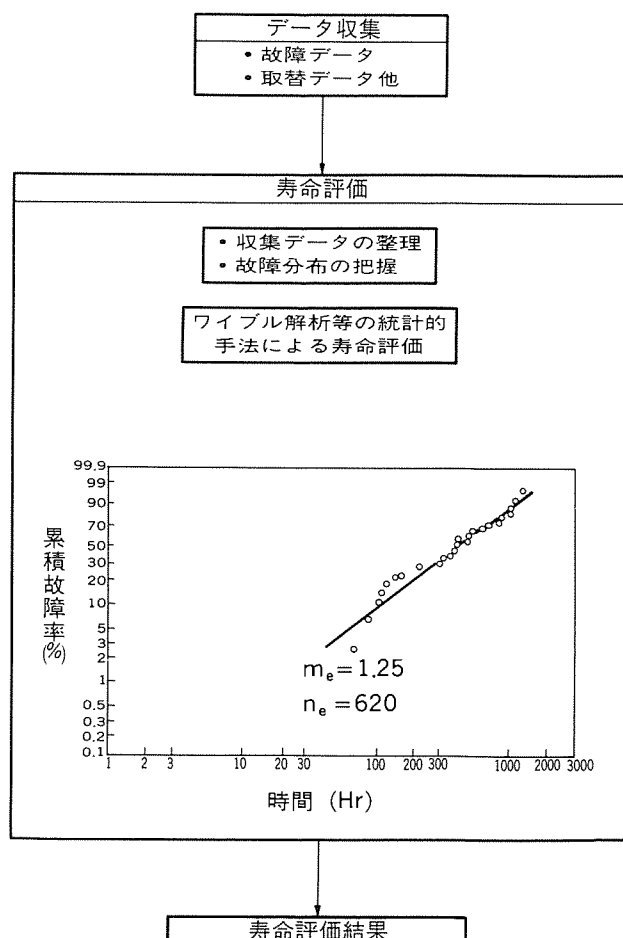


図2. 統計的手法による寿命評価

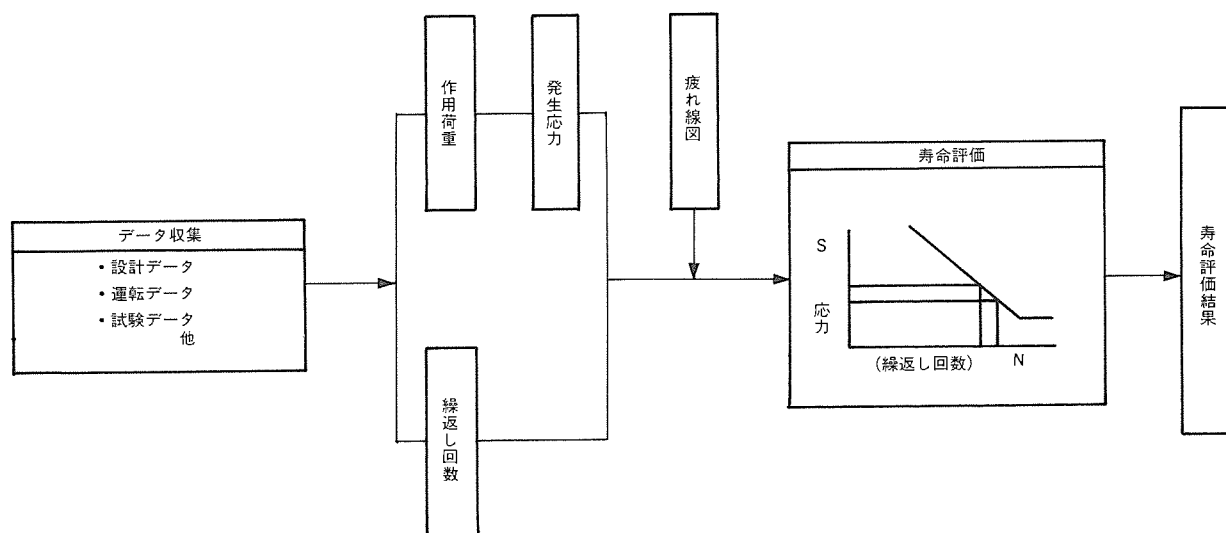
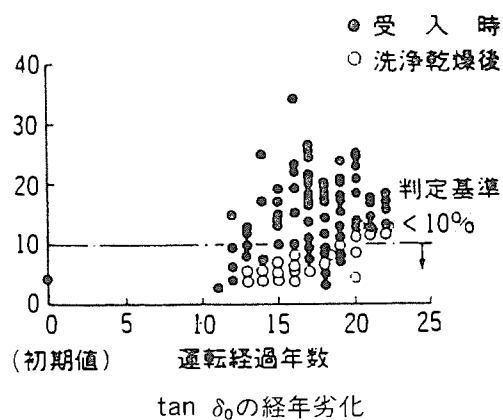
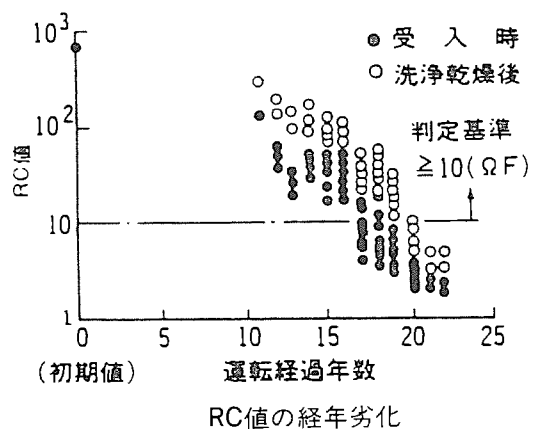
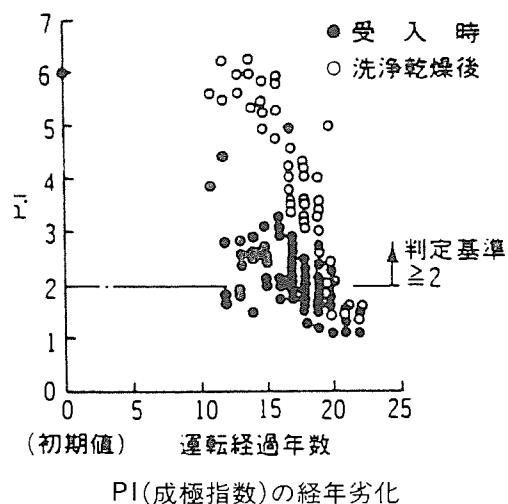
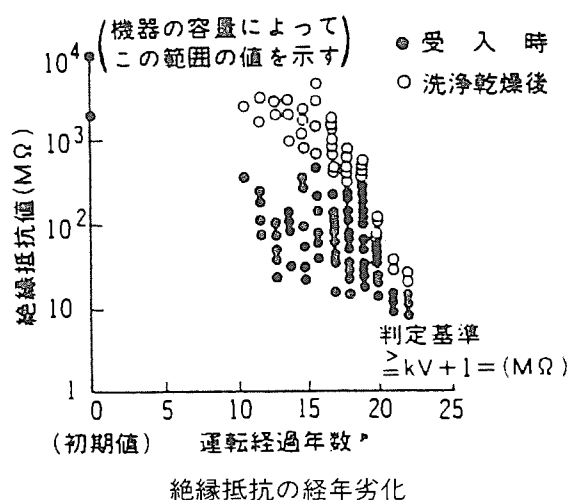
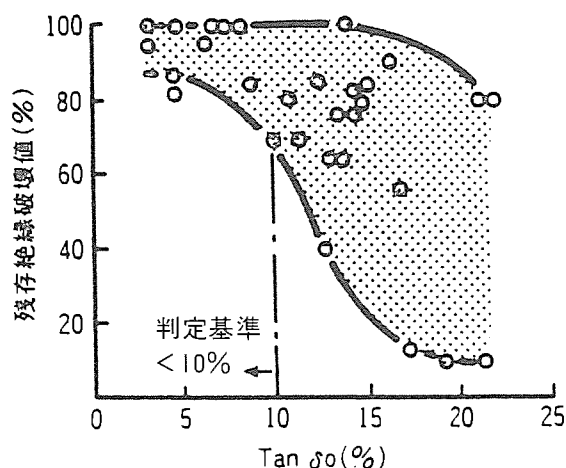


図3. 解析による寿命評価

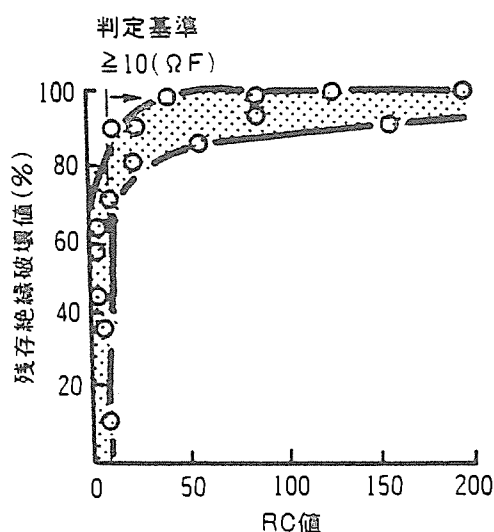


(a) 非破壊絶縁特性の変化と運転年数の関係

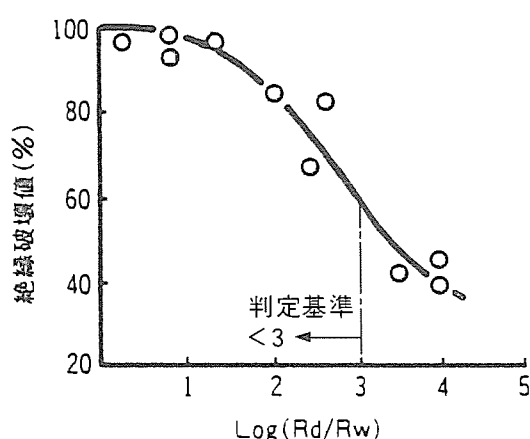
図4. ポリエステル(単体含浸)絶縁劣化診断



$\tan \delta_0$ と残存絶縁破壊値の関係



RC値と残存絶縁破壊値



絶縁抵抗の変化と絶縁破壊値の関係

(b) 非破壊絶縁特性と絶縁破壊値の関係

図4. ポリエステル（単体含浸）絶縁劣化診断

### (1) 傾向管理による寿命評価

既存のデータ（実機データあるいは他産業のデータ、文献データ等の既存データ）を用い、劣化度と運転時間からなるグラフを作成し、劣化進展速度を把握し、許容限界値に到達する時間を推定し、寿命評価を行う。概念図を図1に示す。

### (2) 統計的手法による寿命評価

故障データ、取替え実績データ等の収集を行い、各データの有効性の確認を行うとともに故障形態の把握の上、ワイブル解析等により、故障発生確率等を勘案して、寿命評価を行う（図2参照）。

### (3) 解析による寿命評価

既存データを対象に、設計データ・運転データ・試験データを収集し、このデータを基に、応力解析・疲労解析等の各種解析を行い寿命評価を行う。また、必要により加速劣化試験をも加え、さらに高い精度の評価を行う（図3参照）。

## 2.3 総合評価

寿命評価結果を各機器レベルごとにまとめ、現状保全内容、現状設計の考え方の整理を行うとともに、他産業、国内外原子力プラント及び原子力不適合実績等との比較を行いながら、“点検方法・点検周期”“取替周期”及び“設備改善”の検討を行い、原子力プラントの安全性、信頼性の維持向上を図る。

## 3. 設備診断技術

### 3.1 高圧電動機（絶縁劣化診断技術）

原子力発電所で使用されている高圧電動機の絶縁方式は、当社の場合、ポリエステル絶縁（コイル単体含浸；DR絶縁）とエポキシ絶縁（コア・コイル一体含浸；DF絶縁）の2種類がある。両者では、製造プロセスの違いにより、適用する劣化診断法は異なる。

#### 3.1.1 DR絶縁劣化診断技術

使用実績10～22年の97台の実機モータ絶縁試験を行い、絶縁特性の変化と絶縁破壊値の関係から、その劣化特性の判定基準を制定した（図4参照）。

〔判定基準〕（昭和57年制定）

- (1) 絶縁抵抗 (Meg)  $\geq kV + 1$  (MΩ)
- (2) 成極指数 (PI)  $\geq 2$
- (3) RC値（絶縁抵抗×静電容量） $\geq 10$  (Ω・F)
- (4)  $\tan \delta_0 < 10\%$
- (5)  $\log(R_d/R_w) < 3$

$R_d$ ：乾燥状態の絶縁抵抗

$R_w$ ：吸湿状態の絶縁抵抗

#### 3.1.2 DF絶縁劣化診断技術

使用実績6～17年の61台の実機モータ絶縁試験及びモデルコイルによる加速劣化試験を行い、絶縁特性の変化と絶縁破壊値から判定基準を制定した（図5参照）。

〔判定基準〕

- (1) 最大放電電荷量 ( $Q_{max}$ )  $< 10^5 PC^*$   
絶縁内層部のボイド等の劣化診断に適用
- (2) 絶縁抵抗 (Meg)  $\geq 1,000$  (MΩ)\*
- (3) 成極指数 (PI)  $\geq 2$
- (4)  $\tan \delta_0 < 10\%$
- (5) RC値（絶縁抵抗×静電容量） $\geq 10$  (Ω・F)\*
- (6)  $\log(R_d/R_w) < 3^*$

\*は機器容量により見直しを実施する。

以上のように、各機器ごとの絶縁特性を定期点検時に測定し、それらのトレンドを把握した上で、総合評価を行いコイルの巻替え等、予防保全を実施する。

### 3.2 プリントカードの診断技術

従来プリントカードの故障予知は、故障寿命分布の解析等、過去の事例の統計的解析による手法しかなく、個々の電子回路の故障を予知する手法はなかった。このため、関西電力㈱との共同研究により、プリントカードの劣化徴候を従来よりも高感度で早期に検知する手法を検討・開発した。以下にその概要を紹介する。

#### 3.2.1 マージナルボルテージ法

TTL-ICを搭載したデジタルカードについては、正常な論理動作をする最小動作電圧（マージナルボルテージ、MVと記す。）に着目したマージナルボルテージ法が有効である。図6に示すように、TTL-ICが劣化するとMVがシフトすることが確認されており、MVのシフトによりプリントカードの異常を高感度で検知可能である。

#### 3.2.2 雑音解析法

オペアンプを搭載したアナログカードについては、ICの経年変化により図7のように内部雑音が増加することが確認されており、この微小な内部雑音の変化をとらえて、異常を高感度で検知する雑音解析法が有効である。

マージナルボルテージ法、雑音解析法とも異常を高感度で検知する手法であるが、すべての故障モードに対して有効であるわけでは

ない。カード単体試験を自動化し、試験の高速化、均質化を図ることにより、定検ごとの試験データのわずかな変化をとらえ、劣化徴候を検知する手法等も合わせて総合的に評価するシステムを製品化する予定である。

## 4. 診断装置

近年、プラントの長寿命化、長サイクル運転等稼働率の向上を背景として、設備の異常徴候データによる診断をベースとした予知保全のニーズが高まりつつある。

設備の異常診断には、1980年代に発展した知識処理がこれを実現する有力な手段である。知識処理では、まず簡単な問題とその解決方法を定式化し、知識データベースに蓄えておく。複雑な問題が与えられたとき、それを簡単な問題に分解し、知識データベースを参照しながら部分問題を解決していき、複数の部分解を組み合わせてはじめの問題を解決する。あらかじめ多くのパターンを知識データベースに保有させておくことにより、解決できる問題の幅が広がり、設備の異常徴候データから、その原因を判定する診断が可能となる。しかしながら、これを活用するためには、データを異常と正しく認識した上で、推論を開始できることが条件となる。

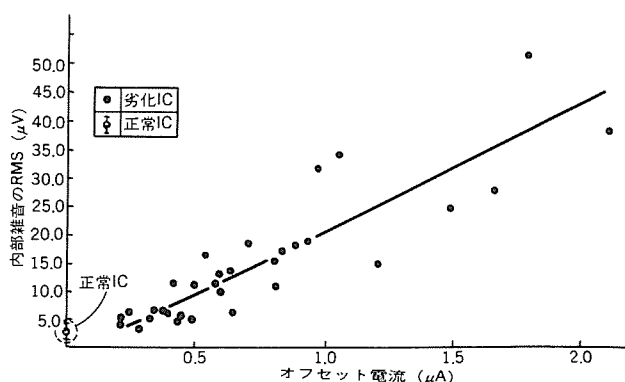


図7. 劣化ICにおけるオフセット電流と内部雑音の関係

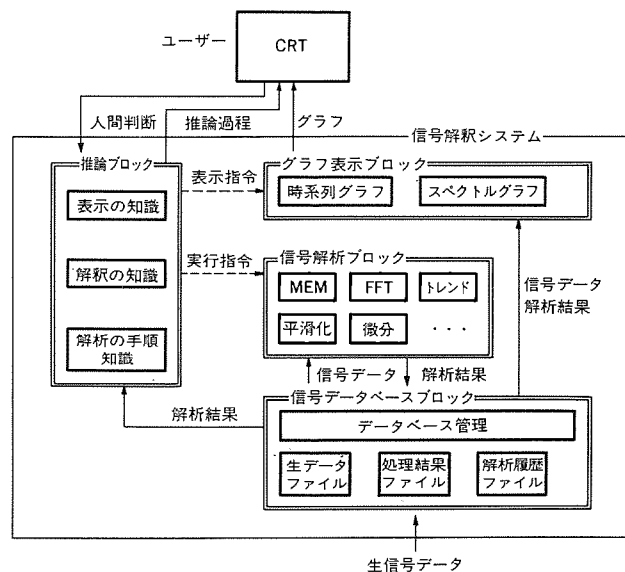


図8. 信号解析のシステム構成

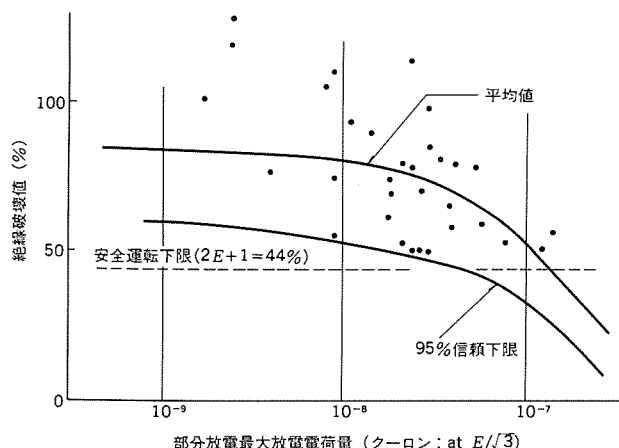


図5. エポキシ（全含浸）絶縁劣化診断

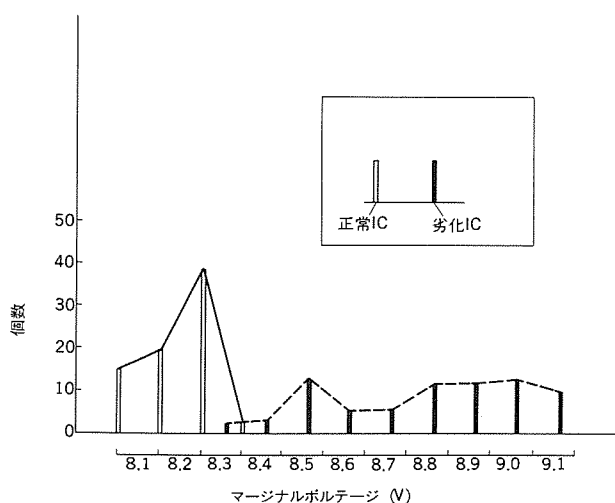


図6. 正常、劣化デジタルICのマージナルボルテージ分布

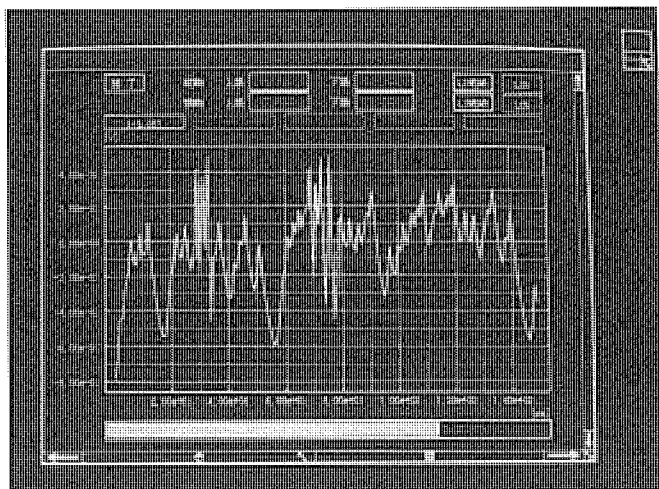


図9. 白色雑音

当社は、従来の信号処理技術と構造の複雑な問題に有効である知識処理技術を統合し、信号をあらゆる角度から解析して、その信号の総合的解釈を行うシステムを開発したので紹介する。

#### 4.1 信号解析システムの構成

信号解析システムは、推論、信号解析、信号データベース及びグラフ表示の四つのブロックから構成される。システム構成を図8に示す。

##### (1) 推論ブロック

解析手順の決定、全体の制御を行うブロックである。推論ブロックは、実時間知識処理ツールの上に構築している。

##### (2) 信号解析ブロック

データの異常認識を行うため、スペクトル計算・ピーク検出・雑音除去などの各種信号処理アルゴリズムを実現するプログラムの集合ブロックである。

##### (3) 信号データベースブロック

信号の生データや信号処理解析データを、蓄積管理するブロックである。

##### (4) グラフ表示ブロック

生データや解析結果をディスプレイ上でグラフ表示するブロックである。グラフの拡大・重ね合わせ等、各種表示操作を行う。

#### 4.2 適用例

このシステムにおいて得られたデータが、異常であると認識するためには、種々の信号解析が必要であるが、一例として自己解析モデルを用いた異常認識法を示す。

一例として、自己回帰モデル (ARモデル) による信号の異常認識法を示す。プラントプロセスから計測された信号の異常は、一般には信号計測値 (二乗平均値) から求め、ある値より大きいときに判定する手法が多く使用されている。しかしながら、経験豊かな技術者が、信号の具合がいつもと違うことから異常を発見するように、計測値が低くとも信号の統計的性質が変化したときには、異常の徴候を示している場合があり得る。この変化の判定に、信号の揺らぎ具合を数個のパラメータで数式化したARモデルを用いるのが有力

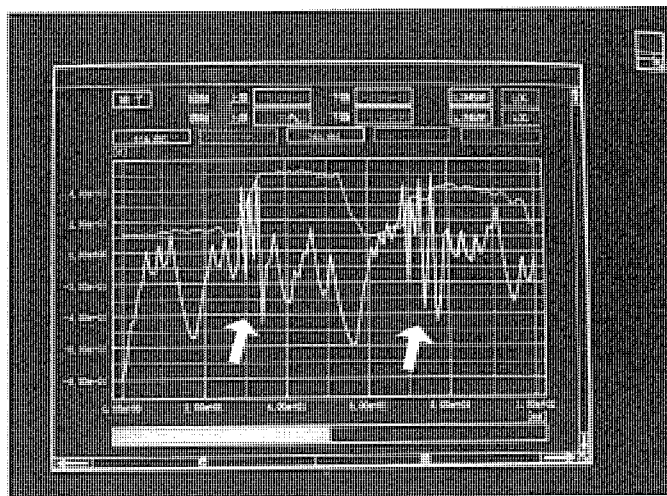


図10. ARモデル認識結果

である。例題とする信号を図9に示す。この信号は、白色雑音に2次のデジタルフィルタを通じた信号で、30-35点目と70-80点目付近をただの白色雑音で置き換えてある。視覚的には区別しにくいですが、統計的には全く異なる。ARモデルによる認識結果を図10に示す。明らかにこの部分が異なることを、台形の立ち上がり部分に異常が現れるようにしている。このグラフは、予測誤差の白色性検定指標と呼ばれる指標であり、正常に対する近さを表している。

実際には、プラントが正常に稼働しているときにそのARモデルを作成しておき、信号を入力するたびにこのARモデルを使用し、指標を計算して異常を認識することができる。この方法は一般的な方法なので、どのような信号にも使うことが可能である。

#### 4.3 今後の課題

以上紹介した信号解析システムと、いわゆる専門家の知識を搭載したエキスパートシステムとを有機的に組み合わせて、知識応用診断システムを構築し、十分なフィールドデータを蓄積することにより、これまで以上に、徴候による異常の早期発見に威力を発揮することが期待される。

## 5. むすび

以上、現状の予防保全技術開発の取組について紹介した。これらの技術を確認し、事前に保全対策を構ずることにより、原子力プラントの安全性・信頼性がより向上され、広く社会のニーズにこたえるものであると確信する。

終わりに、これら予防保全技術開発・運用に当たり、御指導、御尽力賜った関係各位の方々に深く感謝の意を表す次第である。

## 参考文献

- (1) 電気協同研究, 32, No.2 (1976)
- (2) 平林ほか: 三菱電機技報, 56, No.9 (1982)
- (3) 岩淵ほか: 電気学会九州支部連合大会, 111 (1982)
- (4) 岩淵ほか: 電気学会一般産業研究会, GID-88-6 (1988)
- (5) 岩淵ほか: 電気学会全国大会, 288 (1985)

# 巡視点検ロボット

竹中俊夫\*  
大屋 正\*

## 1. ま え が き

原子力発電所を始めとする各種プラントにおいて、信頼性をより一層向上させ、高稼働率を維持するためには、プラントの状態を常時的に把握し、早期予防保全を可能とすることが重要である。このため、各種計装システムによる連続監視のほかに、運転員・保守員による巡視点検が実施されているが、設備の近代化・高機能化に伴い巡視点検の自動化の要求が高まってきている。殊に、原子力の分野では、放射線や高温などの環境条件から人の立入りが制約される場所があり、監視強化・被ばく低減・省力化の観点で巡視点検のロボット化が期待されている。

本稿では、上記ニーズに基づいて開発した点検ロボットとして、関西電力㈱、三菱重工業㈱及び当社が共同開発し、高浜発電所で確証試験中の格納容器内点検ロボット<sup>(1)</sup>と、日本原子力研究所の御指導により開発・実用化した核融合臨界プラズマ試験装置JT-60の真空容器内点検、補修ロボット<sup>(2)</sup>について紹介するとともに、点検機能強化・オペレータの負担軽減を目指して赤外線カメラを搭載し、画

像処理による自動判定化を試みた自動巡視点検ロボットの試作システム<sup>(3)</sup>、及び適用範囲の拡大のため開発した無軌道移動装置<sup>(4)</sup>、架空線移動装置<sup>(5)</sup>について概要を報告する。

## 2. 格納容器内点検ロボット<sup>(1)</sup>

### 2.1 目 的

この装置は、運転中の格納容器内を人に代わって各種センサを搭載した点検車を走行させ、監視強化・被ばく低減を図ることを目的とする。

### 2.2 システム構成及び仕様

システム構成は、図1に示すように点検ルートに沿って敷設するレール、テレビカメラ・マイクロホン・温度計・湿度計・放射線量計などのセンサを搭載する4両構成の点検車、点検車を駆動するための駆動装置、制御盤、操作監視盤から構成され、中央制御室からの遠隔操作で点検を行う。装置の仕様を表1に示す。

### 2.3 特 長

(1) レールを含めて点検車の通過断面寸法が、幅30cm・高さ35cmと

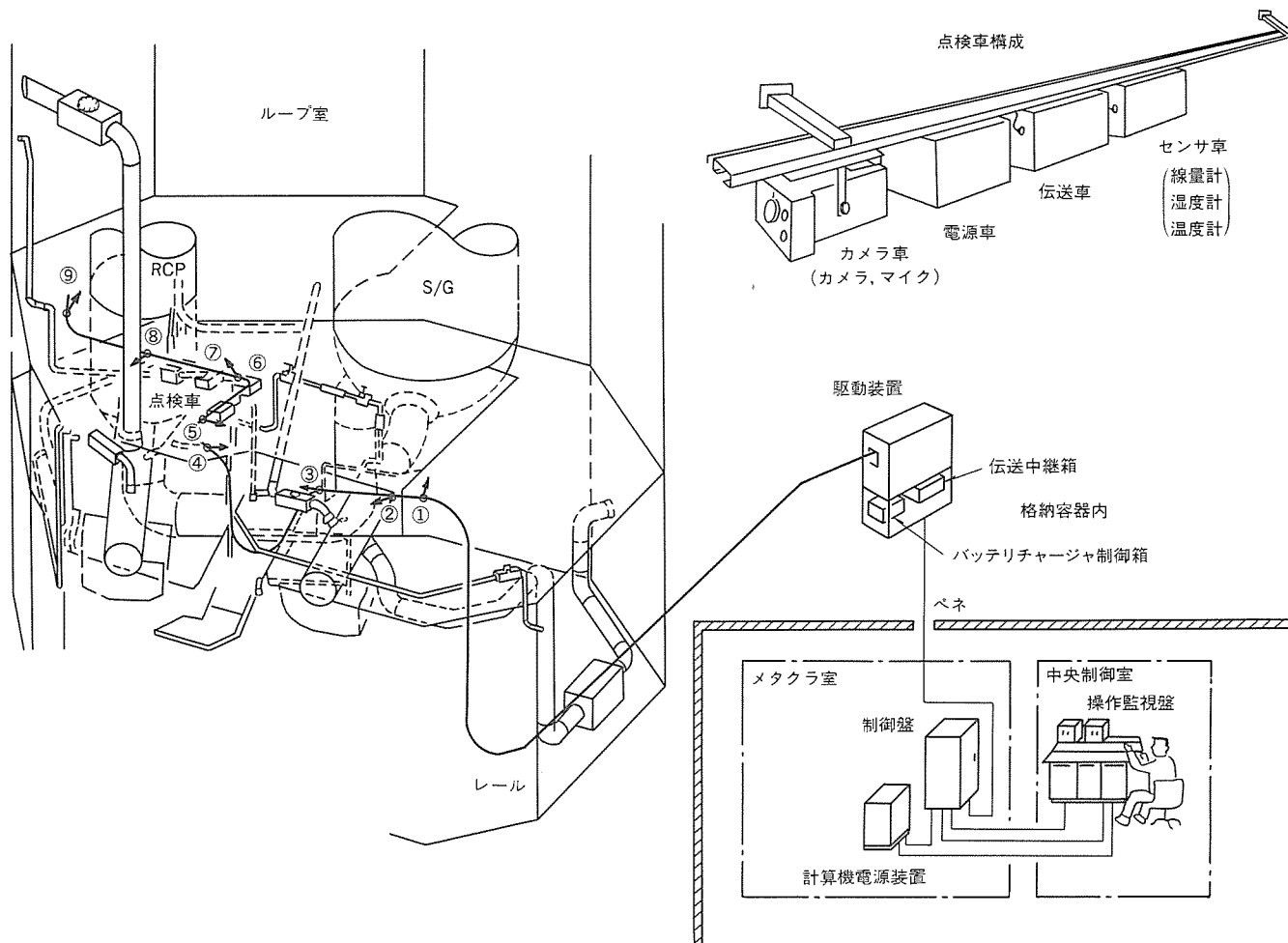


図1. 格納容器内点検ロボットのシステム構成



表 1. 格納容器内点検ロボットの仕様

| 分 類    | 項 目     | 実用機仕様及び機能                                |
|--------|---------|------------------------------------------|
| 基本システム | 制 御 方 式 | (1) 計算機による自動制御<br>(2) 操作員による手動制御         |
|        | 点 検 方 式 | (1) 画像、音響の遠隔監視<br>(2) 温度、湿度、放射線量、振動の自動計測 |
| 点検車    | 給 電 方 式 | バッテリー方式                                  |
|        | 通 信 方 式 | 近接結合無線                                   |
|        | 通過断面積   | 300mm×350mm以下                            |
| 駆動部    | 駆 動 性 能 | (1) 最小回転半径：水平方向600mm<br>垂直方向800mm        |
|        |         | (2) 走行速度：最大0.4m/秒（速度切換付き）                |
|        |         | (3) 他力駆動方式                               |
|        |         | (4) 登坂能力：垂直                              |
| 耐環境性能  | 温 度     | 70℃                                      |
|        | 湿 度     | 100%RH                                   |
|        | 放 射 能   | 4×10 <sup>5</sup> R                      |

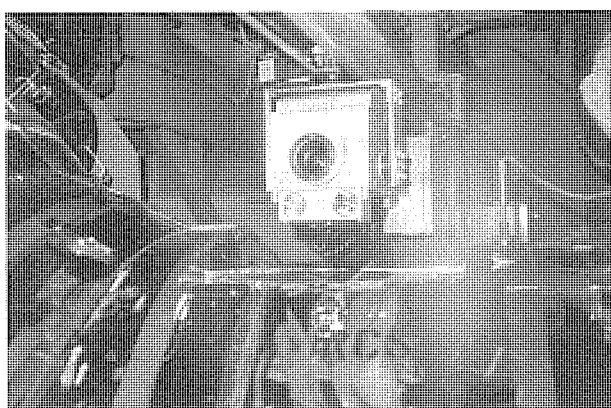


図 2. 格納容器内点検ロボットの確認試験状況

表 2. 真空容器内点検・補修ロボットの仕様

|         |                            |
|---------|----------------------------|
| 自 由 度   | 4                          |
| 全 長     | 15m                        |
| アーム長さ   | 1.8m                       |
| 観 察 方 式 | ファイバースコープ式                 |
| 補 修 方 式 | TiCコーティング                  |
| 環 境 条 件 | 温度 300℃                    |
|         | 圧力 1×10 <sup>-3</sup> torr |

示す。

### 3. 真空容器内点検・補修ロボット<sup>(2)</sup>

#### 3.1 目 的

日本原子力研究所那珂研究所に設置されている臨界プラズマ試験装置JT-60の真空容器内表面第一壁には、プラズマ中への不純物混入による放射損失を低減するため、炭化チタン膜がコーティングされているが、プラズマショットにより損耗するために点検・補修が必要である。この装置は、この炭化チタンの再コーティングを主目的とした装置で、“その場コーティング装置”と呼ばれているが、真空容器内の真空を保持した状態で第一壁の観察を行い、損耗箇所を把握してチタン-アセチレンの反応蒸着法によって第一壁上に炭化チタン膜を生成するものである。

#### 3.2 システム構成と仕様

システム構成は図3に示すように、真空容器上部のポートから挿入して壁面にアプローチする約15m高のアーム、壁面観察用のファイバースコープ、チタン蒸発源、ガス注入システム、制御装置、計算機操作盤から構成され、アームは計算機によって目的位置に自動制御される。装置の仕様を表2に、外観を図4にそれぞれ示す。

#### 3.3 特 長

- (1) プラズマ実験終了後の高温・高真空の状態で使用できるため、実験を効率的に進めることができる。
- (2) チタンのみの蒸発によって第一壁上に活性なチタン膜を生成し、水素のゲッタ作用により、真空度を向上させるチタンフラッシュ用として使用することができ、実際に効果を上げている。
- (3) 真空容器内のアームの状態は、三次元ディスプレイによって立体表示されること、アーム各部と真空容器内壁の位置関係は計算機によって常時監視され接触を回避するよう制御されること、壁面の座標を入力すると真空容器内の最適位置にアームを自動的に位置決

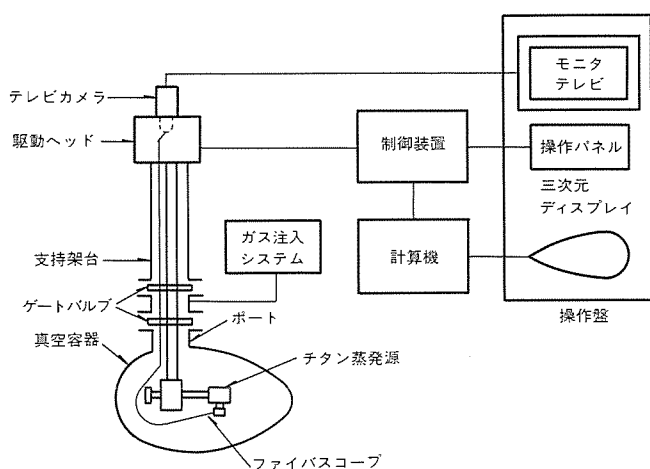


図 3. 真空容器内点検・補修ロボットのシステム構成

小さく、狭あい(隘)なプラント内の細部の点検が可能である。

(2) レールの着脱が容易で、プラントの定検作業に支障を与えることなく、効果的なルート設定が可能である。

(3) テレビカメラ・マイクロホンによる遠隔点検のほか、温度計・湿度計・放射線量計による環境の自動計測が可能である。

この装置は、現在共同研究先である関西電力(株)高浜発電所に試験設置して確認試験を実施中である。確認試験機の設置状況を図2に

めすることなどの機能を持ち、操作性に優れている。

この装置は、昭和62年2月に日本原子力研究所那珂研究所に納入

し、実用に供している。

#### 4. 自動巡視点検ロボット

##### 4.1 目的

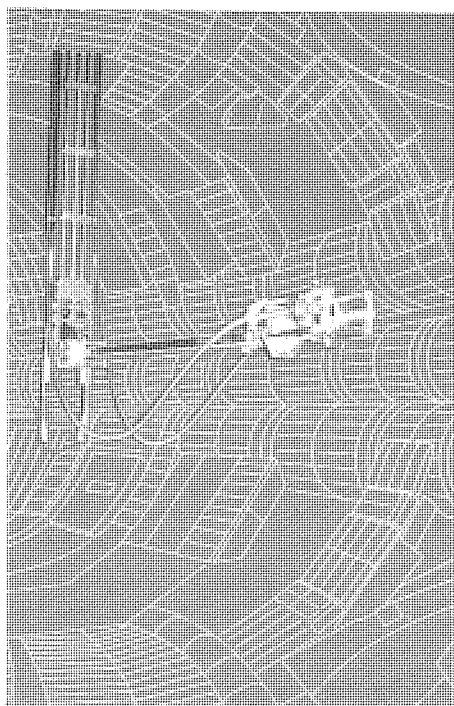
これまでに紹介したロボットは、点検は人がモニタテレビを見て行うため、運転中は常時ブラウン管を注視していなければならず、オペレータの負担が大きいこと、見落としが発生する等の問題があった。このため、この装置は、画像処理技術によって画像中の異常を自動的に検出することにより、オペレータの負担を軽減し、省力化効果の向上を図るとともに、従来の可視カメラに加えて最近急速に性能の向上している赤外線カメラを搭載して、人間の目ではとらえることのできない熱的異常を検知するなどの高付加価値化を図ることを目的として開発した。

##### 4.2 システム構成と仕様

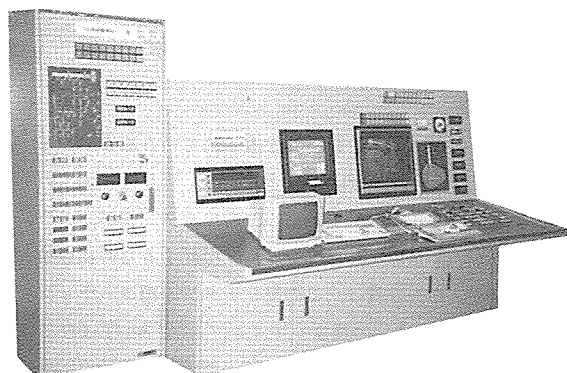
試作システムの構成を図5に示す。移動システムは、ここでは制御建屋のような平地走行を対象とし、車輪走行式の移動台車上にITVカメラと赤外線カメラを搭載し、バッテリー駆動で走行する。制御システムは、移動システムの制御とマンマシンを行うCPUと画像処理用のイメージプロセッサを備え、移動システムとは無線で通信する。装置の仕様を表3に、外観を図6にそれぞれ示す。

##### 4.3 特長

(1) 画像処理手法の工夫により、軽微な蒸気もれや水もれの検出ができるほか、基準画像との間で位置ずれがあっても補正して正しく



(a) アーム部（真空容器内）



(b) 制御盤（計測調整室に設置）

図4. 真空容器内点検・補修ロボットの外観

表3. 自動巡視点検ロボット試作システムの仕様

| 項目     |           | 仕様                         |
|--------|-----------|----------------------------|
| 移動システム | 移動方式      | 車輪走行式                      |
|        | 給電方式      | バッテリー式                     |
|        | 通信方式      | 無線（電波）式                    |
|        | 搭載センサ     | ITV+赤外カメラ                  |
| 制御システム | CPU       | ワークステーション                  |
|        | イメージプロセッサ | 512×512×8ビット<br>(高速演算機構付き) |
|        | 回転台制御     | デジタルサーボ式                   |
|        | 移動台車制御    | 白線追従式                      |

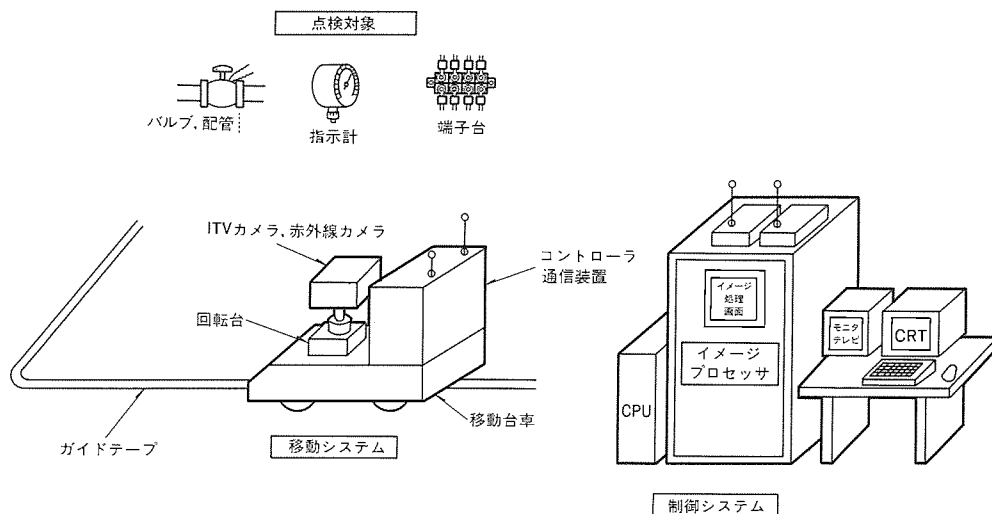
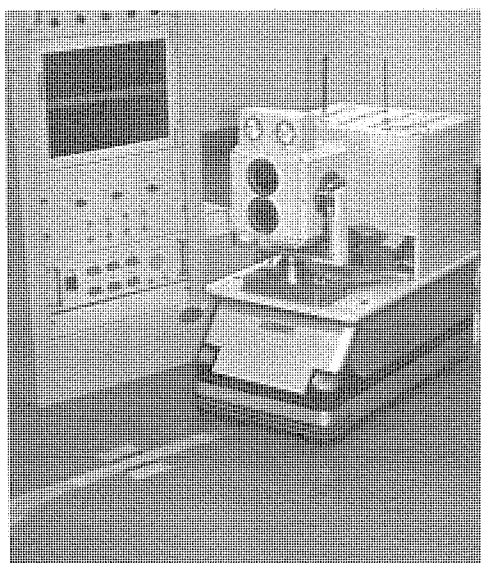


図5. 自動巡視点検ロボット試作システムの構成

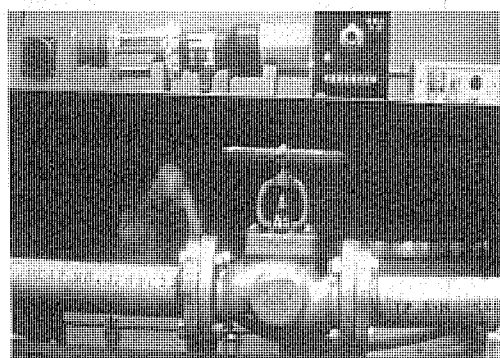


(a) 移動システム

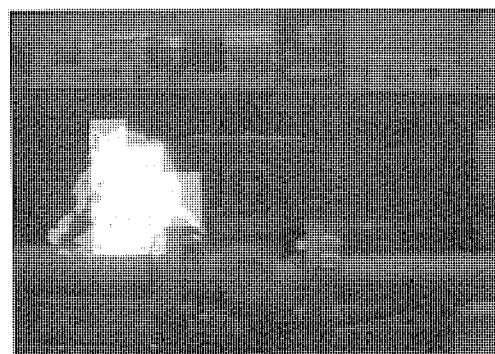


(b) 制御システム

図 6. 自動巡視点検ロボット試作システムの外観

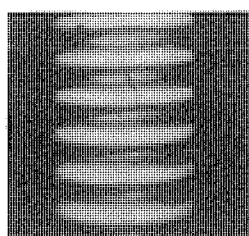


原 画

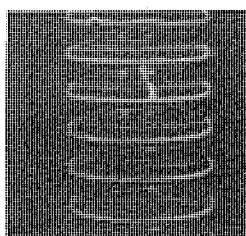


蒸気もれの検知結果

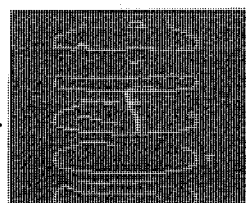
(a) 画像変化抽出検査



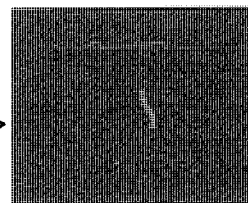
原 画



微分画像

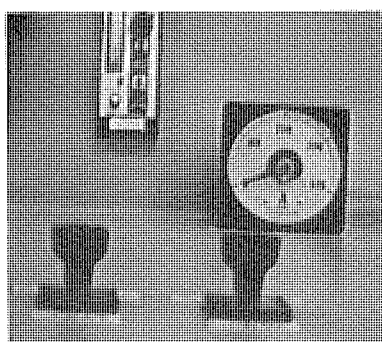


輪郭線抽出

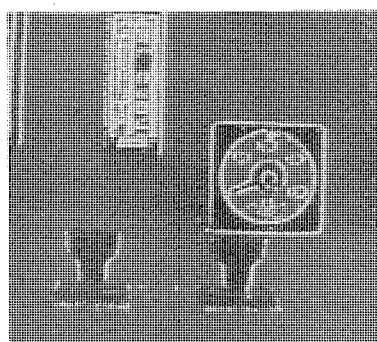


割れ欠け部抽出結果

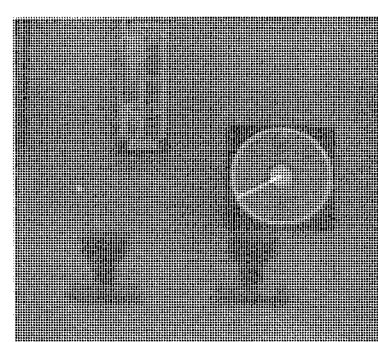
(b) 輪郭形状検査



原 画



輪郭線抽出



指針検出結果

(c) 指示計の自動読取り

図 7. 自動巡視点検ロボットの画像処理例

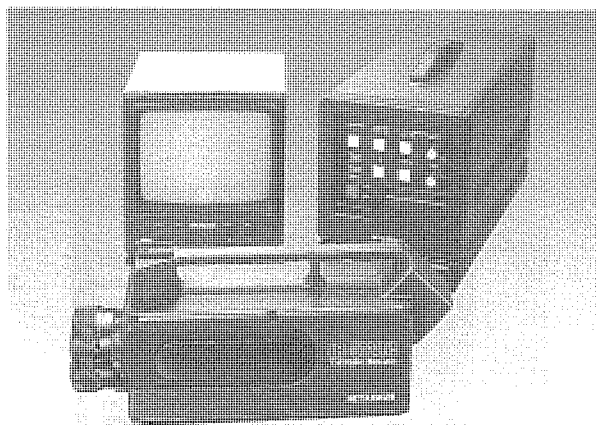


図 8. 三菱サーマルイメージャIR-5120Cの外観

表 4. 三菱サーマルイメージャIR-5120Cの仕様

|               |                                                      |
|---------------|------------------------------------------------------|
| 赤外線検知器        | シリコンショットキーバリア固体撮像素子IRCS                              |
| 画素数           | 512×512                                              |
| 検知波長          | 3~5μm帯                                               |
| 赤外線レンズ        | f: 50mm, F: 1.2                                      |
| 雑音等価温度差(NETD) | 0.15°C (27°C黒体, 50mmレンズ)                             |
| 視野角           | 約14°(水平)×約11°(垂直) (50mmレンズ)                          |
| フィールドタイム      | 1/60秒                                                |
| 冷却方式          | スターリングサイクルクーラ                                        |
| 画像表示          | 白黒 256階調                                             |
| ディスプレイモニタ     | 9インチ白黒                                               |
| 映像出力          | RS-170白黒出力                                           |
| 環境条件          | 温度: -10°C~+50°C<br>湿度: 95%RH以下<br>(ただし, モニタは80%RH以下) |
| 入力電源          | DC22~28V, 250W                                       |
| A C アダプタ      | 入力: A C 100V 50/60Hz, 300VA                          |

判定できる。

- (2) 赤外線カメラにより、機器の過熱等の熱的異常を自動的に検知する機能を持つ。
- (3) 点検対象の登録は、教示モードによって実際にロボットを移動させて、画像を取り込みながら行うので、だれでも容易にできる。
- (4) 移動システムは、バッテリー駆動の無線通信式としたため、特殊な工事が不要で、簡便に設置できる。

#### 4.4 画像処理内容<sup>(4)</sup>

試作システムにより、現在実現している画像処理機能を下記する。

##### (1) 画像変化抽出検査

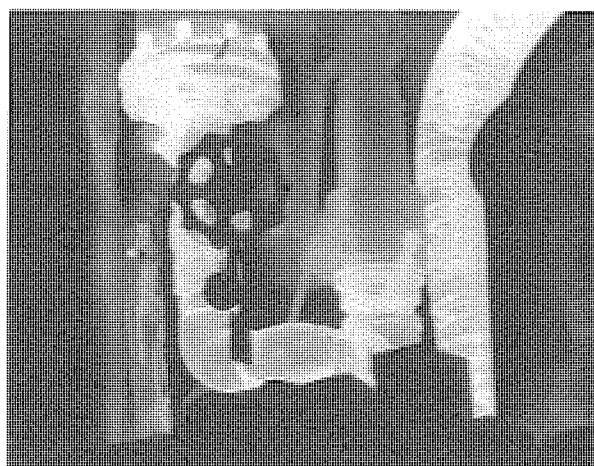
これは、連続的に入力される画像間の差分をとり、画像の変化を抽出するもので、図7(a)にこのシステムによる蒸気もれの検出例を示す。ここでは、連続20枚の画像の差を累積してわずかな画像の変化を抽出できるようにしている。この検査は、このほかに水もれの検査や侵入物の検知等にも活用できる。

##### (2) 輪郭形状検査

これは、入力画像に微分処理を施して輪郭線を抽出し、正常な輪郭と異なる成分があれば異常として検出するもので、図7(b)にこれによるがいし(碍子)の割れ欠け検査の例を示す。この検査は、画像中の特定の 패턴の位置を検出して位置ずれを補正し、正常時の輪郭との差分をとることで、一般の形状比較検査に拡張できる。

##### (3) 指示計の自動読取り

これは、入力画像の輪郭線から、あらかじめ教示した指示計と合



(a) ボイラ室配管の熱分布  
(熱蒸気の通っている高温箇所が白く見えている。)



(b) 工作機械の加工中の過熱状況  
(ボール盤で鉄板に穴を明けているところで、  
工具、ワーク、切粉が高温になっているのが分かる。)

図 9. 三菱サーマルイメージャIR-5120Cによる画像例

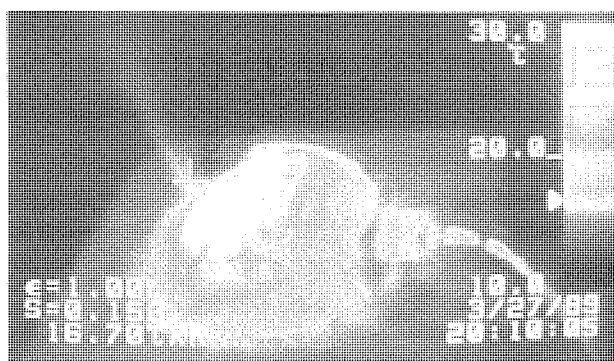
致するパターンの位置を求め、その中心から放射状に長さの分布を求めることで針の方向を読み取るもので、図7(c)に円形メータでの指示検出例を示す。この指針の方向から、指示値を演算して自動的に記録したり、正常範囲を外れるときに警報を発するなどの処理を行っている。

#### 4.5 赤外線カメラによる点検内容

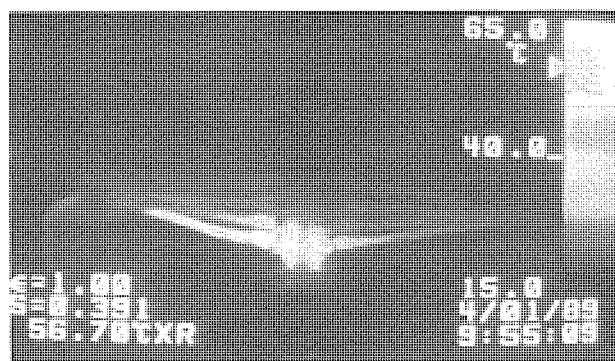
赤外線カメラは、物体から放射される赤外線をとらえて映像化するもので、対象物体の表面温度分布が映像として得られる。当社では、三菱サーマルイメージャIR-5120Cという高解像度でスターリングサイクルクーラ(ガスボンベ不要)を使用した半導体式の赤外線カメラを製造販売しており、設備診断分野での応用が期待されている。IR-5120Cの外観を図8に、仕様を表4に、撮像例を図9にそれぞれ示す。

自動巡視ロボットの試作システムでは、赤外線カメラによってプラントの熱的異常を自動的に検出することを試みている。この例として、図10に熱蒸気の検知と端子接続部の接触不良による過熱検知の例を示す。試作システムは、ITVカメラによって対象物の位置を検出し、その位置を基準として赤外画像中の特定の部位の温度を測定し、正常時と比較することにより、異常を検知するようにしてい



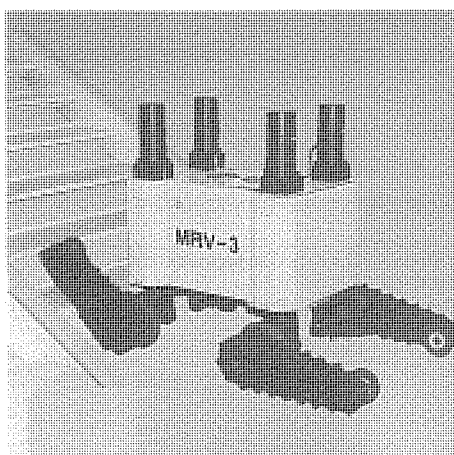


(a) 熱蒸気の検知

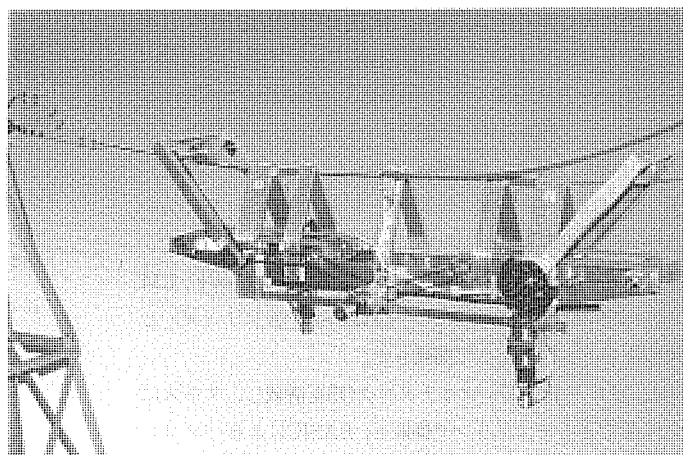


(b) 端子接続部の過熱検知

図10. 赤外線カメラによる異常検知例



(a) 無軌道移動装置<sup>(5)</sup>



(b) 架空線移動装置<sup>(6)</sup>

図11. 移動システムの開発例

るので、位置ずれがあっても正しく判定される。

#### 4.6 移動技術

上記試作システムは、移動システムを車輪走行式としたために平地でしか使用できないが、実際のプラントでは階段や障害物があるなどの制約のある所が少なく、今後の適用範囲の拡大のためには特殊な空間条件にも対応できる柔軟な移動システムが必要になる。このため当社では、図11に示すように階段や不整地に対応できるクローラ式の無軌道移動装置<sup>(5)</sup>や架空線を鉄塔などを乗り越えて移動できる架空線移動装置<sup>(6)</sup>を開発しており、今後これらとの組合せによって様々なニーズに答えられるようにしていきたいと考えている。

#### 5. む す び

以上、遠隔式点検ロボットの開発システム二例と、画像処理による自動判定化を試みた自動監視点検ロボットの試作システム及び関連技術として移動装置二例を紹介した。ロボットシステムは、多くの要素技術を組み合わせて実現するものであるが、各要素技術はまだまだ人間の代わりをするレベルにはない。しかし、一度に高いレベルをねらっても結局実用化に結びつかないという面もないため、技術の育成のためにも現存する技術での導入を進め、改善を図って

いくというアプローチが必要であると考えており、電力会社各位の御指導をお願いする次第である。なお、ここで紹介した技術は、原子力以外の一般電力分野、工業分野でも応用できるものであり、様々な分野に適用できる装置へ発展させたいと考えている。

最後に、格納容器内点検ロボットの開発に関し、御指導いただいた関西電力(株)及び三菱重工業(株)、真空容器内点検・補修ロボットの開発に関し、御指導いただいた日本原子力研究所の関係各位に対し深く感謝の意を表する。

#### 参 考 文 献

- (1) 青木ほか：原子炉格納容器内遠隔点検ロボット，三菱電機技報，59，No.10 (1985)
- (2) 小原ほか：日本原子力研究所納めJT-60 “その場コーティング装置”，62，No.4 (1988)
- (3) 竹中ほか：平成元年度電気学会全国大会，1592
- (4) 八木ほか：平成元年度電気学会全国大会，1593
- (5) Hagiharaほか：Remote Systems and Robotics，59-64 (1987-3)
- (6) 樋口ほか：第6回ロボット学会学術講演会，1507 (1988-10)

# 三菱FAコントローラ《MELSEC-LM7000》

葛西由夫\* 宇丹大二\* 大西作幸\* 高橋俊哉\* 岩田恭伸\* 新藤研二\*

## 1. ま え が き

汎用シーケンサ(プログラマブルコントローラ、PCともいう)は、自動車産業をはじめ、化学・食品・鉄鋼・電機産業など幅広く工場で使用され、その需要は急速に拡大し、今年年間1,000億円を超える市場となってきた。シーケンサは、単一機械を制御するマシンコントローラとしてばかりでなく、複数の機械やラインを制御するラインコントローラとしての用途にも拡大している。さらに、工場のFA(Factory Automation)化・CIM(Computer Integrated Manufacturing)化の進展に伴い上記マシンコントローラやラインコントローラ用のモニタリング装置として、またラインコントローラとホストコンピュータの間に位置する中間コントローラとして、FAコントローラの需要が高まっている。

本稿で紹介するFAコントローラ《MELSEC-LM7000》(以下、LM7000という)は、三菱汎用シーケンサ《MELSEC-Aシリーズ》との優れた親和性をもつ製品として開発した。

LM7000は、32ビットCPUとマルチタスクOSを搭載し、マウスにより容易に作画できるモニタリング機能と、BASICによるパソコン機能、そして《MELSEC-Aシリーズ》のプログラミング(GPP)機能の3機能をもたせている。また、同Aシリーズ用《MELSEC-NET》を始めとする各種ネットワーク接続用のオプションボードなども同時に製品化している(図1)。

## 2. 開発のねらい

《MELSEC-Aシリーズ》を使用されている数多くの顧客から寄せられた具体的要求と、一般的な市場の動向を基に、以下に挙げる項目に重点をおきLM7000を開発した。

### (1) 《MELSEC-Aシリーズ》との優れた親和性の実現

《MELSECNET》インタフェースボードにより《MELSECNET》のマスタ局とローカル局のいずれにも使用でき、最大2ループへの接続まで構成できるようにし、複数の《MELSEC-Aシリーズ》に対する統括制御を可能とした。LM7000がマスタ局のときは、全子局(ローカル局)に対してサイクリック伝送によるリンクデバイス(B/W)の伝送のほかに、トランジェント伝送によるシーケンスプログラムのアップロード/ダウンロード、ワードデバイス(タイマT、カウンタCなど)とビットデバイス(入力X、出力Y、内部リレーMなど)の読出し、書込みを可能にした。

さらに、シーケンサボードとLM7000のCPUをバス接続し、シーケンサ機能(MELSEC A 3NCPU相当)を内蔵可能とした。

### (2) モニタリング機能、パソコン機能、GPP機能が1台のマシン上で実現

マウスを用いて対話的に作画するモニタリング機能により、製造ラインにおける複数シーケンサの制御状態の監視モニタリングがプログラムレスで可能である。さらに、ユーザー-BASICプログラミング(パソコン機能)により、複数のシーケンサからのデータ収集や

加工、ファイルへの格納、プリントアウトなどがモニタリング機能と並行に処理可能とした。また、GPP機能によりシーケンサとの間のシーケンスプログラムのアップロード/ダウンロードとシーケンサ内部データのモニタ、テストなどを可能とした。

### (3) 上位接続用回線、及び汎用ネットワーク接続の実現

それぞれBSC<sup>注1</sup>、SUMINET<sup>注2</sup>、インタフェースボードによりホストコンピュータとFAコンピュータ、また他のFAコントローラ(他社製を含む。)とのネットワーク接続をBASICのルーチンコールにより可能とした。

### (4) 盤内収納形(パネルインタイプ)の実現

電源電圧、使用周囲温度と湿度、耐振動と衝撃、ノイズ耐量などの外部環境仕様と取付方法(パネル取付形)をシーケンサ《MELSEC

注1 BSCはBinary Synchronous Communicationの略で、IBM社の持つコンピュータ接続用回線プロトコルである。

注2 SUMINETは、住友電気工業㈱の登録商標である。



図1. LM7000の外観(デスクトップタイプ)

表1. LM7000の機能

| 形 名       | 機 能                                 | モニタリング機能 | パソコン機能 | GPP機能 |
|-----------|-------------------------------------|----------|--------|-------|
|           | 立上げ寸法                               |          |        |       |
| デスクトップタイプ | A7LMS-DH                            | HD       | ○      | ○     |
|           |                                     | SRAMディスク | ○      | ○     |
|           |                                     | ROMディスク  | ○      | ×     |
|           | A7LMS-D                             | FD       | ×      | ×     |
|           |                                     | SRAMディスク | ○      | ×     |
|           |                                     | ROMディスク  | ○      | ×     |
| パネルインタイプ  | A7LMS-F<br>A7LMS-FR21<br>A7LMS-FP21 | SRAMディスク | ○      | ×     |
|           |                                     | ROMディスク  | ○      | ×     |

注 ○は使用可能、×は使用不可を示す。

表 2. LM7000の仕様

| 形 名                   |                       | A7LMS-DH                                            |                            | A7LMS-D      |         | A7LMS-F/FR21/FP21               |  |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------|--------------|---------|---------------------------------|--|
| 使用周囲温度                |                       | 10～40℃                                              |                            |              |         | 0～55℃                           |  |
| 使用周囲湿度                |                       | 10～90%RH（結露なきこと）                                    |                            |              |         |                                 |  |
| 耐振動<br>(JIS C 0911準拠) |                       | FDD動作時                                              | FDD非動作時                    | FDD動作時       | FDD非動作時 | 1g                              |  |
|                       |                       | 0.2g                                                | 0.5g                       | 0.5g         | 1g      |                                 |  |
| 耐衝撃 (XYZ方向)           |                       | 2g                                                  | 10g                        | 10g          | 10g     | 10g                             |  |
| 冷却方式                  |                       | 強制風令                                                |                            |              |         |                                 |  |
| 電源電圧                  |                       | AC85～132V 50／60Hz                                   |                            |              |         | AC85～132V／AC170～264V<br>50／60Hz |  |
| 瞬停許容時間                |                       | 10ms                                                |                            |              |         |                                 |  |
| ノイズ耐量                 |                       | ノイズ電圧1,500Vp-p, ノイズ幅1μs, ノイズ周波数25～60Hzのノイズシミュレータによる |                            |              |         |                                 |  |
| CPU                   |                       | i80386 (32ビット) 16MHz                                |                            |              |         |                                 |  |
| メモリ                   | 主メモリ                  | 4Mバイト—DRAM（標準装備, 最大8Mバイトまで増設可能）                     |                            |              |         |                                 |  |
|                       | システムROM               | 64Kバイト                                              |                            |              |         |                                 |  |
| FD                    | FDD                   | 3.5インチFDD 1台                                        |                            | 3.5インチFDD 2台 |         | オプション<br>(A7MFD-35)             |  |
|                       | 適用FDD                 | 2DD (1Mバイト), 2HD (2Mバイト)                            |                            |              |         |                                 |  |
|                       | FDフォーマット時容量           | 720Kバイト (2DD), 1.4Mバイト (2HD)                        |                            |              |         |                                 |  |
| HD                    | HD                    | 3.5インチ×1台                                           |                            | —            |         | オプション<br>(A7HD-35)              |  |
|                       | HDフォーマット時容量           | 40Mバイト                                              |                            | —            |         |                                 |  |
| シーケンサ機能               |                       | オプション                                               |                            |              |         | A3NCPU相当内蔵                      |  |
| オプション<br>ボード          | SRAMディスク              | SRAM 2Mバイト バッテリバックアップ付き                             |                            |              |         |                                 |  |
|                       | ROMディスク               | EPROM 2Mバイト                                         |                            |              |         |                                 |  |
|                       | MELSECNET<br>インタフェース  | 伝送速度 1.25Mバイト/秒, ループバック機能付き（光／同軸ケーブル）               |                            |              |         |                                 |  |
|                       | BSCインタフェース            | 伝送速度 最大19.2Kバイト/秒, コンテンション方式                        |                            |              |         |                                 |  |
|                       | RS-422/RS-232Cインタフェース | 伝送速度 最大9.6Kバイト/秒, RS 422/RS-232C 各1チャンネル装備          |                            |              |         |                                 |  |
|                       | SUMINETインタフェース        | 伝送速度 2Mバイト/秒 トークンリング方式 (NSB-11 接続可能品)               |                            |              |         |                                 |  |
|                       | シーケンサボード              | A3NCPU相当, MELSECNET/MINI内蔵 (伝送速度 1.5Mバイト)           |                            |              |         |                                 |  |
|                       |                       | リンクボード                                              | MELSECNETインタフェース（光／同軸ケーブル） |              |         |                                 |  |
| 外形寸法 (mm)             |                       | 480(W)×150(H)×420(D)                                |                            |              |         | 480(W)×380(H)×150(D)            |  |

注 BSC, SUMINETインタフェースは, パソコン機能でのみ使用が可能。

-Aシリーズ》と同一として盤内収納形を実現した。

### 3. LM7000の概要

LM7000は, デスクトップタイプとして, ハードディスク (以下, HDという。), フロッピーディスク (以下, FDという。) 各1台付きと, HDなしでFD2台付きの2機種と, パネルインタタイプとして, シーケンサボードに《MELSECNET》のリンクボード無しの1機種と, 有りの場合のその使用媒体 (光, 又は同軸ケーブル) の違いによる2機種の計5機種をシリーズ化した。表1にLM7000の機能を示す。LM7000は, 現場指向のFAコントローラとして, 特に一般的な現場環境に耐えるように外部環境仕様について考慮した。表2にLM7000の仕様を示す。

#### 3.1 システム構成

図2にLM7000のシステム構成例を示す。LM7000は, 《MELSECNET》, 《MELSECNET/MINI》の各ネットワークを介して接続される《MELSEC-Aシリーズ》, センサ, アクチュエータ, インテリジェント機器から構成されるマシンコントローラ群の統括制御を行い, また上位ホストコンピュータ, FAコンピュータ, 同位のFAコントローラなどとBSC, SUMINETなどの汎用回線, ネットワークを介してデータ接続ができる。

以上のようにLM7000は, FA化・CIM化のシステムに応じた階層分散構成の構築を可能とするFAコントローラである。

#### 3.2 ハードウェア構成

図3に代表例として, A7LMS-DHタイプのハードウェア構成を

示す。DHタイプは, システムボードとFD/HDコントローラボード, CRTコントローラボードを標準装備している。

システムボードには, 80386 (32ビット) CPUと主メモリ2MバイトのDRAM, システムROMの64Kバイト, タイマ素子, キーボードコントローラなどを搭載している。キーボードは, 汎用キー (A7KB) と現場指向のシートキー (A7OP) のいずれかが使用でき, キーSWによるキーボードの入力ロック機能を持っている。

FD/HDコントローラボードには, 40MバイトのHD1台と3.5インチのFD1台とを標準接続し, プリント接続用としてセントロニクスタイプとRS-232Cタイプのインタフェースを装備している。

CRTコントローラボードには, マウス用インタフェースも装備している。

主メモリは, システムボードの2Mバイトと拡張主メモリの2Mバイト (A7MM2) の合計4Mバイトを標準とする。また, 拡張主メモリを6Mバイト (A7MM6) の装備にすることにより, 最大8Mバイトまで増設可能である。

オプションボード用スロットとして6スロット持ち, SRAM/ROMディスク, 《MELSECNET》, BSC, RS-422/RS-232C, SUMINETインタフェースボードとシーケンサボードが装着できる。

Dタイプは, HDがなくFDを2台標準装備したものである。

パネルインタタイプは, シーケンサボード (MELSEC A3NCPU相当) を標準装備とし, FD/HDコントローラボードはオプション扱いとなる。シーケンサボードは, 3スロット占有するためオプショ



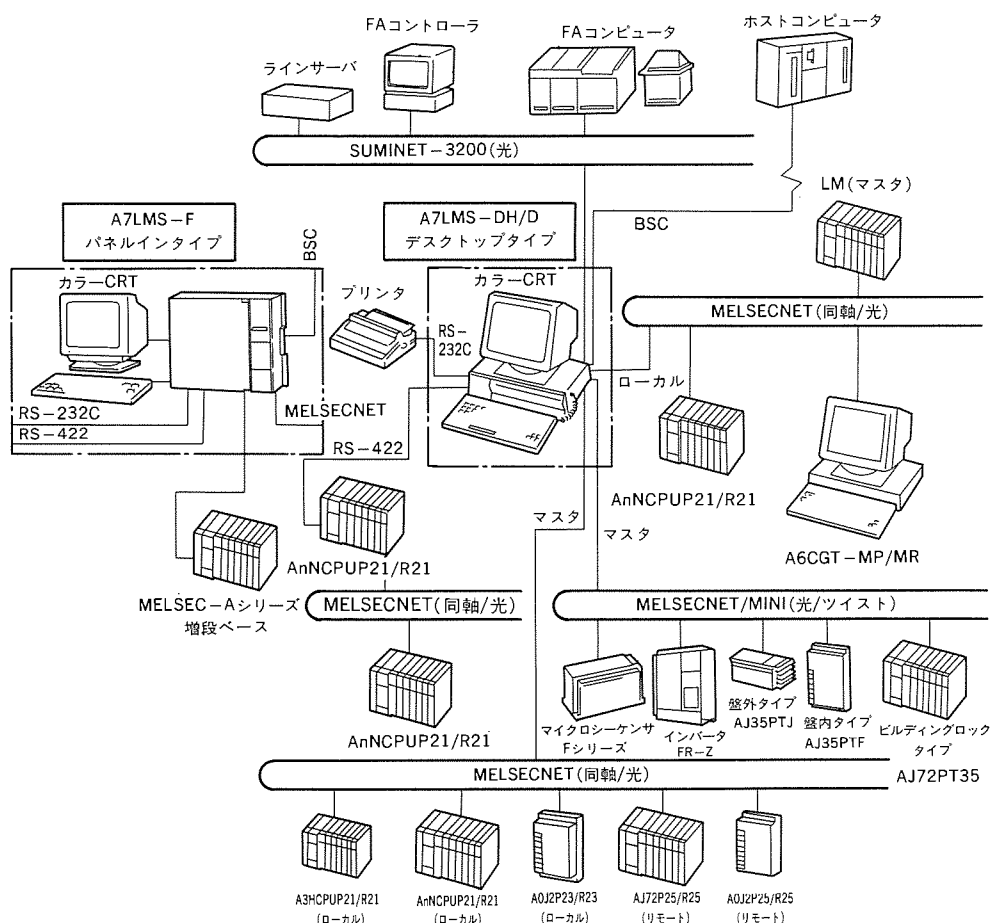


図 2. LM7000のシステム構成例

ンボード用スロットは4スロットである。パネルインタイプは、SRAM/ROMディスク立上げを前提としており、デバッグ時など必要に応じてFD/HDコントローラボードを装着し、可搬形FD (A7 MFD-35) と可搬形HD (A7 HD-35) とを組み合わせて用いる。

### 3.3 ソフトウェア構成

図4にソフトウェア体系を示す。ソフトウェアは、基本ソフトウェアパッケージとオプションボードソフトウェアパッケージ、アプリケーション (モニタリング機能、パソコン機能、GPP機能) ソフトウェアパッケージから構成されている。

#### 3.3.1 基本ソフトウェアパッケージ

複数タスクの処理を同時にこなすマルチタスクOSとして、日本語コンカレントDOS-386<sup>注3</sup>を、日本語処理には連文節カナ漢字変換可能なコンカレントFSX-386<sup>注3</sup>を、また640×480ドット/16色のカラーグラフィックス処理には、日本語GEM<sup>注3</sup>を採用している。

さらに、基本ソフトウェアユーティリティは、各種オプションボード、アプリケーション対応のソフトウェアパッケージの登録、自動立上げ設定、時計などのシステムセットアップ、各ディスク対応のフォーマット設定、バージョンとシステムエラーなどのシステム情報表示、ROMディスクの生成やHDヘッド退避などのディスクメンテナンス機能を持っている。

#### 3.3.2 オプションボードソフトウェアパッケージ

各種オプションボード (MELSECNET, BSC, RS-422/RS-232C, SUMINET, シーケンサボードなど) に付属しているソフトウェアパッケージはボードのシステムプログラムとボードユーティリ

注3 日本語コンカレントDOS-386、コンカレントFSX-386、日本語GEMは、デジタルリサーチ社の登録商標である。

ティにより構成され、前記基本ユーティリティでソフトウェアパッケージ登録を行い、ボードユーティリティで以下の機能がメニュー方式で使用できる。

- (1) 《MELSECNET》のリンク範囲、リフレッシュ時間間隔などのパラメータ設定
- (2) オンライン/オフライン/テストモード、局番などの状態表示とボードの制御ステータス表示
- (3) 《MELSECNET》上の各局 (ノード) 対応のオンライン/オフライン状態を示す回線モニタリング
- (4) BSCなどの交信テキストのオンライントレース
- (5) BSC, RS-422, RS-232C, SUMINETなどの各インタフェースレベルにおける、折り返しテストによる自己診断

以上のように、回線モニタリング、オンライントレース、自己診断機能などをボードユーティリティとして充実させ、トラブルシューティングを容易にした。

#### 3.3.3 モニタリング機能ソフトウェアパッケージ

マシンコントローラやラインコントローラとしての《MELSEC-Aシリーズ》の制御状態を《MELSECNET》を介し把握し、これを基にグラフィック表示でラインの監視モニタを行う。図5に機能構成、図6にモニタ条件を設定している作画例を示す。その機能について以下に説明する。

- (1) プログラムレスによる作画機能

モニタ画面の作成、モニタ条件の設定などをマウス又はキーボードにより対話形式で行うことができ、特に図形の描画・移動・拡大・縮小などの機能により作画効率を向上させた。

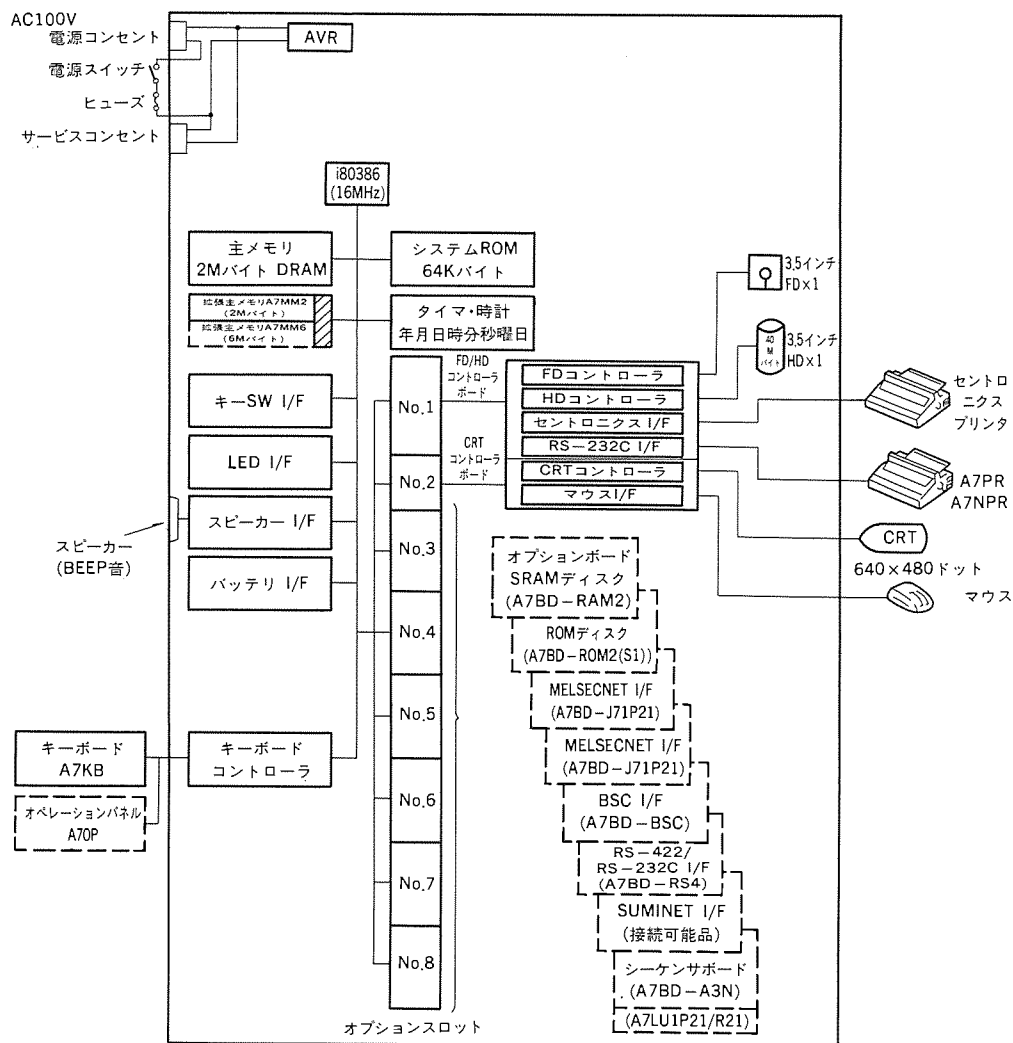
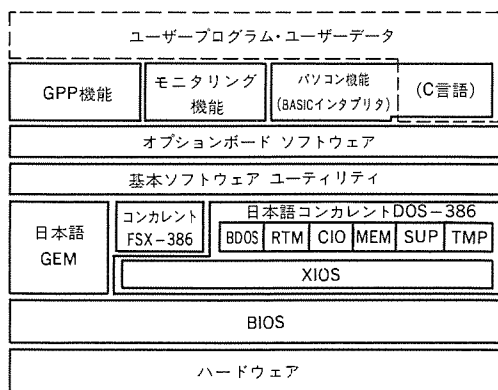


図 3. ハードウェアの構成 (A7LMS-DH)



BIOS : Basic input OUTPUT system  
 XIOS : External input output system  
 GEM : Graphics environment manager  
 FSX : Foreign Language system extention  
 BDOS : Basic disk operating system  
 RTM : Realtime monitor  
 CIO : Charactor input output  
 MEM : Memory management  
 SUP : Supervisor  
 TMP : Terminal message process

図 4. ソフトウェア体系

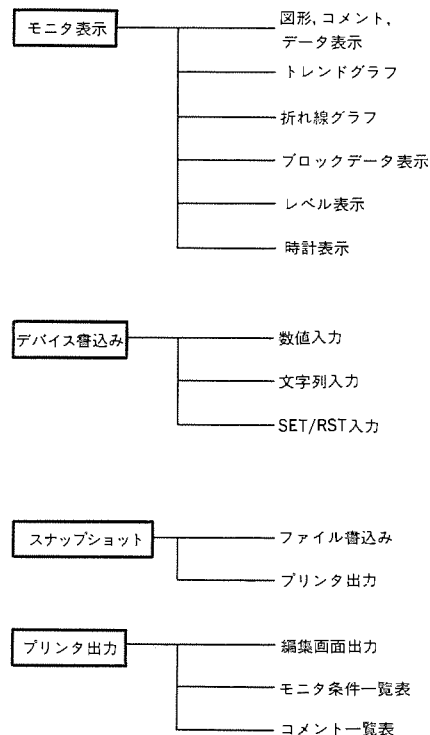


図 5. モニタリング機能ソフトウェアの機能構成

## (2) 作画データの流用機能

他のモニタ画面で作成した図形（図形とそのモニタ条件）の他画面への流用を可能とし、作画効率を向上させた。

## (3) ビルドイン監視機能

《MELSECNET》インタフェースボードとRS-422インタフェースボードに接続された複数の《MELSEC-Aシリーズ》やシーケンサボードの制御状態（リンクデバイス、ワードデバイス、ビットデバイス）を、同一画面上でモニタができる。モニタ表示メニューとしては、図形、コメント、テキストデータのほかにトレンドグラフ、折れ線グラフ、レベル表示が選択できる。

## (4) 設定入力機能

デバイス書込み機能により、モニタしながら《MELSEC-Aシリーズ》の現在値や設定値の変更（数値入力）、ワードデバイスへの文字列入力、ビットデバイスの強制ON/OFF（SET/RST入力）が可能であり、端末入力装置としても使用できる。

## (5) スナップショット機能

モニタ画面の瞬時の状態をファイルに格納し、必要に応じてモニタを継続しながらその内容をプリンタ出力ができ、ラインの稼働状況、運転状態の解析、更にはトラブルシュートなどに有効である。

## (6) パソコン機能によるデータ処理、画面制御機能

LM7000の拡張リレー（EM1,024点）、拡張レジスタ（ED4,096点）

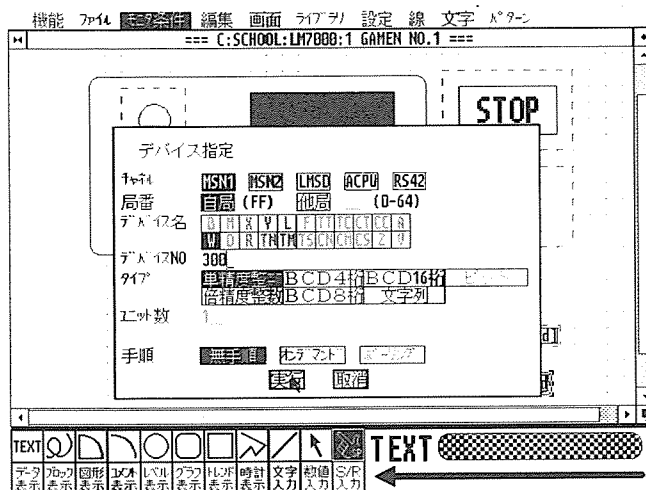


図 6. モニタ条件を設定している作画例

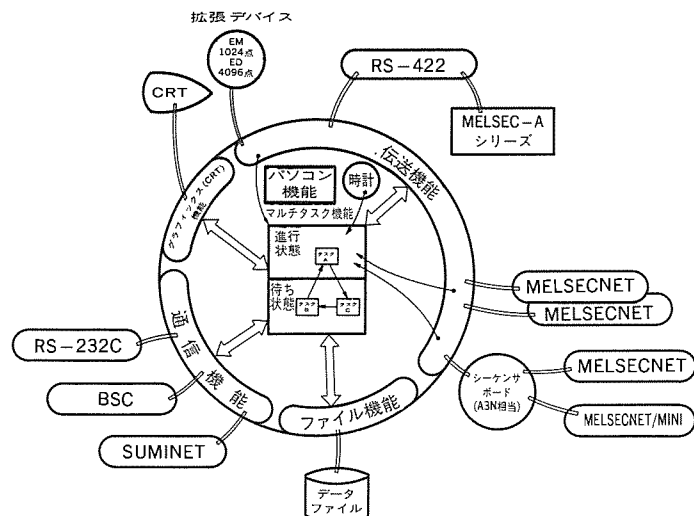


図 7. パソコン機能ソフトウェアの機能

の共用メモリデバイスを用いて、モニタリング機能と次節で述べるパソコン機能間で以下のデータ授受が可能である。

(a) モニタリング機能のデバイス書込み機能により、パソコン機能への設定入力ができる。

(b) パソコン機能（すなわちBASICプログラム）で、各種インタフェースボードを介して、上位FAコンピュータ、同位FAコントローラとの交信により得たデータを加工しモニタリング機能に出力し、モニタリング表示中の画面に合成し表示ができる。

(c) モニタ画面自体の切替えなど、モニタ機能に割り込んでBASICプログラムによる直接の画面制御ができる。

### 3.3.4 パソコン機能ソフトウェア パッケージ

モニタリング機能と並行にインプリアタ方式によるユーザー作成のBASICプログラム（最大11タスク）のマルチタスク処理を可能としている。また、コンパイル方式によるC言語プログラム（最大16タスク）もサポートしている。なお、このパッケージは、モニタリング機能パッケージとの共存、又は単独機能としても動作できる。

BASIC命令のレパートリーとしては、一般的にパソコンで使用しているBASIC（全197命令）にマルチタスク制御に関する命令10種類と、オプションボードの入出力に関する6種類の専用命令を追加した。BASICインプリアタは、今後の特殊命令の追加にバージョンアップなしで対応可とするため、アプリケーション部とオプションボードシステム プログラム間のパラメータ/データ授渡しにトランスペアレンジ（透過法）を保つように構築している。このBASIC言語のサポート機能について以下に説明する。図7に機能図を示す。

#### (1) ZIN・ZOUT命令による伝送機能

RS-422インタフェースボードに接続された複数の《MELSEC-Aシリーズ》及び内蔵するシーケンサボード、又は《MELSECNET》に接続された《MELSEC-Aシリーズ》に対して、その全デバイスの読出し、書込みとシーケンスプログラムのアップロード、ダウンロードがZIN, ZOUT命令により可能である。また、《MELSECNET》上、及び自身の拡張デバイス（EM/ED）の読出し、書込みに使用する。

#### (2) ZSEND・ZRECEIVE命令による通信機能

RS-232C, BSC, SUMINETインタフェースボードに接続されたRS-232C機器、ホストコンピュータ、FAコンピュータなどとのデータ送受信をZSEND・ZRECEIVE命令によりサポートする。

#### (3) マルチタスク制御機能

(a) ZWAIT-EVENT命令により処理を中断し、ZPROCESS命令であらかじめ設定されたシーケンサボード内の出力（Y）、《MELSECNET》上のリンクリレー（B）、拡張リレー（EM）がONしたとき、又は特定のZSIGNAL命令が実行されたときに、先に中断していたプログラムが再開される。さらに、ZWAIT-TIME, ZWAIT-DELAY命令により、指定時刻、指定時間の経過によって中断したプログラムの再開を行う。ZEVENT命令により設定されたイベントの有効/無効を制御できる。

(b) ZSTART命令によりプログラムの起動、ZURGENCY命令による各タスクの優先順位の設定変更、ZRESERVE, ZRELEASE命令を使用して排他制御による資源の確保と解放が可能である。

(c) 各タスク間のデータ授受用として拡張デバイス（EM/ED）、各タスク間のメッセージ授受用としてキューファイル（全6個）が使用できる。

#### (4) ファイル機能

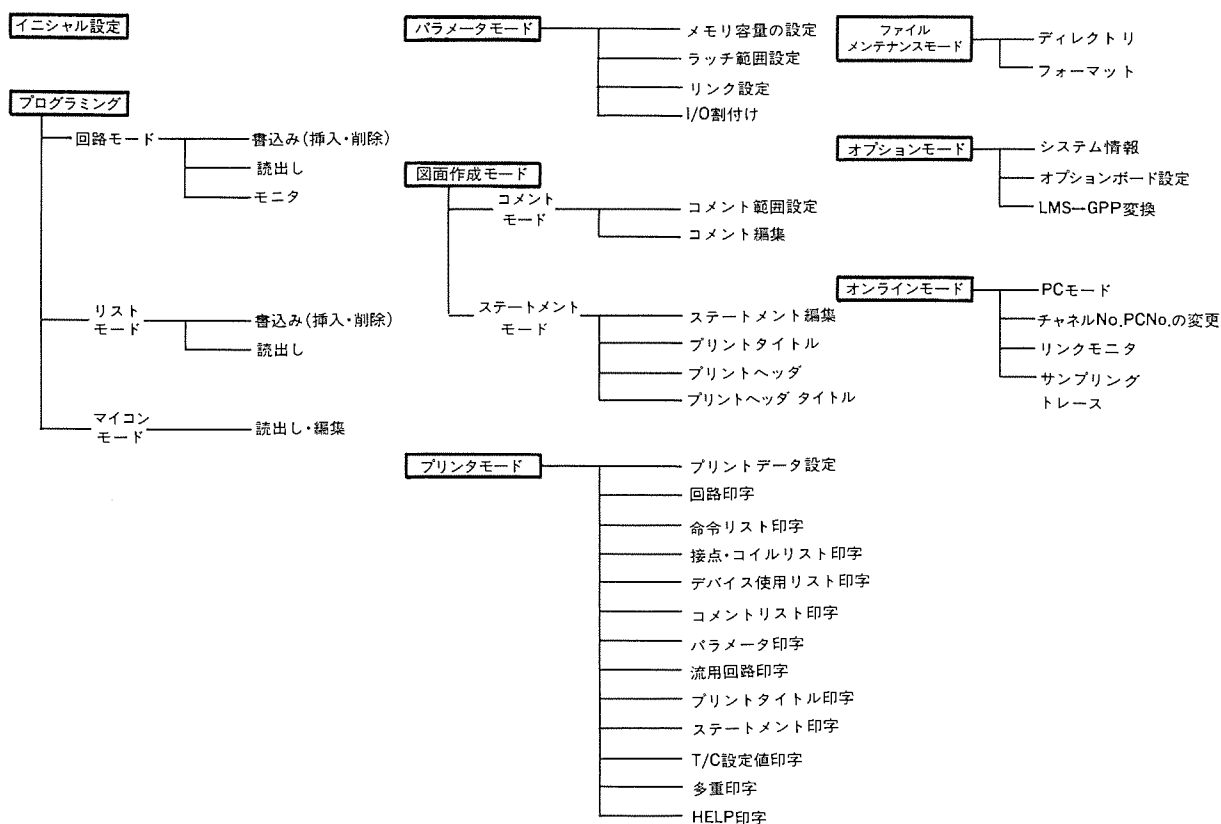


図 8. GPP機能ソフトウェアの機能構成

シーケンシャル、ランダム、インデックス シーケンシャル (ISAM) ファイルをサポートしている。ディレクトリーは、MS-DOSと同様なツリー構成をサポートする。

#### (5) グラフィックス機能

モニタリング機能で表示中の画面に合成し、グラフィックス表示することができ、さらにモニタリング機能での画面表示を禁止しての画面表示がBASICプログラムにて可能である。

#### 3.3.5 GPP機能ソフトウェア パッケージ

《MELSEC-Aシリーズ》のシーケンスプログラム開発及びオンライン機能を持っている。図 8 にその機能構成を示す。その機能を以下に説明する。

##### (1) メニュー選択機能

ウインドウメニュー、ファンクションキー対応選択メニュー方式の併用により、モードの切替え、機能の選択を容易にした。

##### (2) 充実したプログラミング機能

ブロック指定による回路、命令リストのコピー、挿入、削除が可能であり、回路を作成しながらデバイスの漢字コメント、行コメント (ステートメント)、回路注釈 (ノート) などの作成・修正ができる。

##### (3) オンライン機能

RS-422インタフェースボード、《MELSECNET》を経由してプログラムのアップロード/ダウンロード、プログラム実行モニタリング、割り込み操作によるデータの強制書き込み、出力オンオフなどのテストができ、また回路モニタ上のデータ表示としてワードデバイスの2進、8進、16進の表示切替えと、32ビットデータの一括表示

が可能である。

##### (4) シーケンス回路図生成における制御盤CAD対応の表現機能

回路・命令リストに漢字によるデバイスコメント、行コメント、回路注釈、プリントタイトル、ページ注釈 (プリントヘッダ) を付加して印字ができ、さらに接点、コイルリスト、デバイス使用リストがカナ、漢字コメント付きでの印字が可能である。

##### (5) プリンタ出力とのデュアルポート機能

プリントアウトしながら回路の作成、モニタなどのデュアル操作が可能である。

##### (6) HELP機能

各モード、機能に対する操作ガイダンス、及びエラーメッセージに対するトラブルシューティングをHELPの機能としてビルドインしており、マニュアルレスでの操作を目指した。

## 4. む す び

以上紹介した《MELSEC-LM7000》は、FAコントローラとして、今後工場のFA化・CIM化に欠くことのできないコンポーネントとして、その需要はますます拡大すると予想される。今後、高位置言語MELSAPII (IEC準拠、SFC言語サポート) 機能、故障診断機能などの各種ソフトウェア パッケージと、MAP、GPIBなどの汎用ネットワーク、及び配電機器用の省配線ネットワークであるB/NETなど専用ネットワーク対応のオプションボードの品ぞろえ、モニタリング機能、パソコン機能、GPP機能の機能拡充になお一層努力する所存である。

# 三菱オゾンプール浄化装置

佐々木利彦\* 田中政之\* 納庄貞宏\* 四元初男\*\*

## 1. ま え が き

国内では、生活の向上から更に一步進んで健康づくりの関心が年々高まっている。その中で水泳は全身運動であり、健康増進への効果の点でも注目されていることから、施設の建設・利用者が増えてきている。また、この業界の経営者・利用者の要求が高級指向化しており、現状のプール及び室内環境に対し、更に快適で清浄なプールを求める声が高まっています。ここでは、上記の期待にこたえるために、現状の水質状況、欧米との水質基準の比較、数値解析、評価を示すとともに、当社オゾナイザを用いたオゾンプール浄化装置を導入した場合の大幅な水質改善効果について、その導入事例のデータを紹介しながら報告するものである。なお、この装置を導入したユーザーからは、大きな評価を得るとともに飛躍的に受注を伸ばしている。

## 2. 国内水質基準

現状の水質基準は、厚生省が昭和59年度に遊泳プールの実態調査を行い、その結果を踏まえて従来の基準を改正した「遊泳用プールの衛生基準」(昭和61年5月30日に通知)に基づいている。

現状の水質は、衛生的におおむね良好な水質が保たれていると考えられるが、更に快適で清潔なプールを求める声が高まっている現実をとらえ、より快適な水質を確保することは、国民に快適な水泳の場を提供し、ひいては国民の健康増進に寄与するものとして、厚生省を中心にプールアメニティ プロジェクト(プール環境改善計画)が設立(昭和63年4月)され、より快適で清浄なプール水質を確保するための作業が開始された(当社は幹事会社となっている。)

## 3. プール水質改善への取組

当社は、オゾン発生装置、オゾンを用いた高度水処理プラントの納入実績では国内一であるが、プールにおけるオゾン適用については、昭和50年当初に事業計画と一部実験を行った。ところが、当時は、まだ生活環境や水質改善機運が高まっていない時代であったためか、一時中断した。しかし、昭和50年代後期から飲料水などの臭気、異臭味などの問題がクローズアップされはじめ、相応してプールの水質改善要求の兆しが出てきた。これを受け、再度昭和59年からプール水の水質改善システム、装置の実用化の開発をスタートした。同年に代々木オリンピックプールにおいて、効果確認試験を実施し、昭和61年10月に第一号機を納入した。

しかし、以後2年間は数台の実績で想定した売行きより非常に低い伸び率であった。その原因を調査した結果、実験で確認していた水質評価項目である殺菌、透視度、異臭の除去は評価を受けたものの、オゾンによる効果で最も期待された有機物の除去特性が、不安定であることが判明した。有機物とオゾンの反応定数は、有機物の種類ごとに異なる。この反応定数が低いほど有機物とオゾンとは、反応しにくい特性となる。この反応定数の低い有機物の量が、意外

とプール水に多く含まれていることが綿密な調査により判明した。したがって、オゾン単独処理では有機物の除去が不安定であり、反応定数の低い有機物の除去に有効なバイオ技術(生物酸化処理)とオゾン処理技術を複合し、確実に有機物の除去のできるオゾンプール浄化システム(ハイグレードタイプ)(図1)を昭和63年3月に装置として製品化した。

このハイグレードタイプを導入した店舗のすべてに水質評価、環境改善評価を得、おかげで現在では、全国で年間100台近くの受注となり、期待される商品となってきた。

## 4. 現状の水質と課題

### (1) 一般に塩素臭がきつい

塩素は汗や尿から排出される窒素化合物と結合して、ジクロロミン、トリクロライドなどの塩素化合物を生成し、それが強い塩素臭を放ち目に刺激を与える元凶とされている。したがって、結合の前駆物質の除去(例えば、入泳前の排尿、シャワー洗浄)や水中に混在した汚濁物質や化合物の分解除去を積極的に行わせ、低減させることが必要となっている。

### (2) 過マンガン酸カリウム消費量(以下、 $\text{KMnO}_4$ と呼ぶ。)

$\text{KMnO}_4$ (有機物の量を示す。)は、現状の水道水では3mg/l付近であり、これに比べると格段に汚濁している。また、プールによっては、水質基準をオーバーしている所も多い。一般に有機物が多く、これに塩素を加えると有機塩素化合物(THM:トリハロメタン等)が生成される。THM、 $\text{KMnO}_4$ 低減は、水質改善の中では重要な課題となっている。

### (3) 透視度が一般的に低い

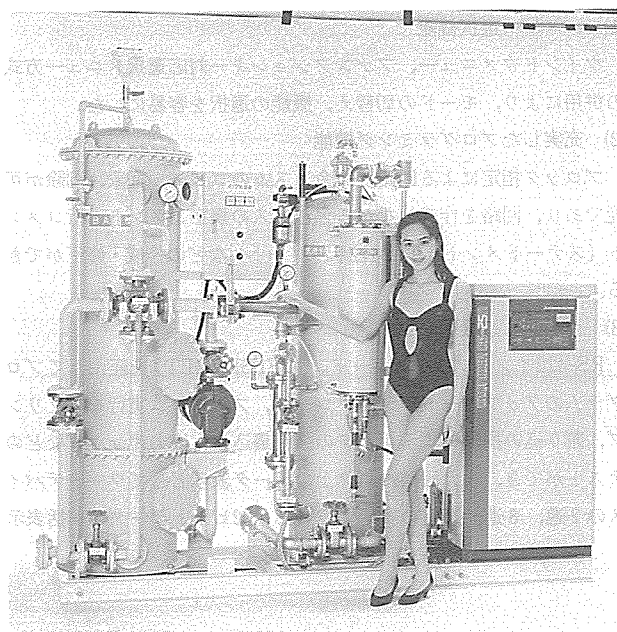


図1. 三菱オゾンプール浄化装置(ハイグレードタイプ)

表 1. 水泳プールの水質基準

| 項 目                                           | 厚生省基準*                                                                 | DIN 19643**                                                                                                                                                                                              | SIA 385***                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 一 般 細 菌                                       |                                                                        | 100個/ml以下(20±2)°C<br>100個/ml以下(36±1)°C                                                                                                                                                                   | 1,000個/ml以下                                                                                                                                                                     |
| 大 腸 菌 群                                       | 試料10mlずつ5本について試験し陽性は2本を越えてはならない。                                       | 検出されないこと。(36±1)°C<br>(100ml中)                                                                                                                                                                            | 10個/100ml以下                                                                                                                                                                     |
| 大 腸 菌                                         |                                                                        | 検出されないこと。<br>(E.Coli) (36±1)°C<br>(100ml中)                                                                                                                                                               | 検出されないこと。<br>(E.Coli) (100ml中)                                                                                                                                                  |
| 緑 の う ( 農 ) 菌                                 |                                                                        | 検出されないこと。<br>(Pseudomonas aeruginosa) (36±1)°C<br>(100ml中)                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                 |
| 色 度                                           |                                                                        | 波長436nmにおける分光吸収係数<br>0.5以下                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                 |
| 濁 度                                           | 5度を超えてはならない。                                                           | 0.5TE/F以下<br>(角度90°の散乱光で測定, Formalin濁度標準<br>液に比例した濁度値)                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                 |
| 透 明 度                                         |                                                                        | プールの底全体が完全に見えること。                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                 |
| pH                                            | 5.8~8.6でなければならない。                                                      | 6.5~7.8                                                                                                                                                                                                  | 7.3~8.0                                                                                                                                                                         |
| アンモニウム<br>(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) 濃 度 |                                                                        | 0.1mg/ℓ 以下                                                                                                                                                                                               | 0.3mg/ℓ 以下                                                                                                                                                                      |
| 硝酸イオン<br>(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) 濃 度  |                                                                        | 20mg/ℓ 以下<br>(注入水のNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度を越える分)                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                 |
| CODMn                                         |                                                                        | 0.75mg/ℓ 以下<br>(注入水の値を越える分)(注1)                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                 |
| KMnO <sub>4</sub><br>消 費 量                    | 12mg/ℓ を超えてはならない。                                                      | 3mg以下<br>(注入水の値を越える分)(注1)                                                                                                                                                                                | 屋外プール: 8mg/ℓ<br>屋内プール: 5mg/ℓ<br>(いずれも注入水の値を越える分)                                                                                                                                |
| 尿 素                                           |                                                                        |                                                                                                                                                                                                          | 1.0mg/ℓ 以下                                                                                                                                                                      |
| 硬 度                                           |                                                                        |                                                                                                                                                                                                          | 10~25フランス硬度(注2)                                                                                                                                                                 |
| 残 留 塩 素                                       | 遊離残留塩素は、0.4mg/ℓ 以上(総残留塩素の場合は、1.0mg/ℓ 以上)であること。また、1.0mg/ℓ 以下であることが望ましい。 | 遊離塩素<br>0.3~0.6mg/ℓ (オゾン利用の場合は0.2~0.5mg/ℓ)<br>結合塩素<br>6.5≤pH≤7.2: 0.3mg/ℓ 以下<br>(オゾン利用の場合は: 0.1mg/ℓ 以下)<br>7.2<pH≤7.8: 0.5mg/ℓ 以下<br>(オゾン利用の場合は: 0.2mg/ℓ 以下)                                             | 遊離塩素<br>pH7.3~7.7: 0.2~0.5mg/ℓ<br>pH7.7~8.0: 0.3~0.5mg/ℓ<br>総塩素<br>pH7.3~7.7: 0.3mg/ℓ 以下<br>pH7.7~8.0: 0.4mg/ℓ 以下<br>二酸化炭素(Cℓ <sub>2</sub> O <sub>2</sub> として)<br>0.05~0.10mg/ℓ |
| 酸化還元電位                                        |                                                                        | (対3.5mKCℓカロメル電極)<br>6.5≤pH≤7.5: 700mV以上<br>(海水では650mV以上)<br>7.5≤pH≤7.8: 720mV以上<br>(海水では670mV以上)<br>(対Ag/AgCℓ 3.5mKCℓ電極)<br>6.5≤pH≤7.5: 750mV以上<br>(海水では700mV以上)<br>7.5<pH≤7.8: 700mV以上<br>(海水では720mV以上) | pH7.0~7.5: 650~700mV<br>pH7.5~8.5: 700~730mV                                                                                                                                    |

\* : 厚生省衛生局通達「遊泳用プール衛生基準について」(昭和61年5月)

\*\* : 西ドイツのDIN規格Nr.19643 (1984年4月) のプール内水の基準 (浄化水の基準は省略)

\*\*\* : スイスのSIA Norm385/1規格 (案) (1981年)

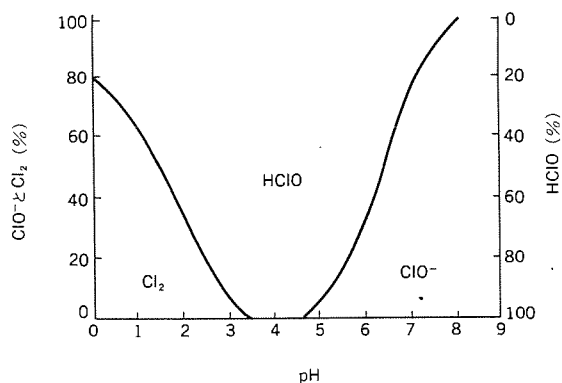
(注1) ただし、注入水のCOD値が0.5mg/ℓ (O<sub>2</sub>) 又は、2mg/ℓ (KMnO<sub>4</sub>消費量) 以下の場合、当該の値としてCOD0.5mg/ℓ 又は、2mg/ℓ (KMnO<sub>4</sub>消費量) が適用される。(注2) 1フランス硬度=10mg/ℓ as CaCO<sub>3</sub>

図 2. pHによる0.01N塩素水の解離組成曲線

透視度の管理としては、「底のラインが見えること。」として管理指導されているが、水深が1m程度しかないため、基準上では問題ない場合が多い。しかし、一般には水中透視度で10m前後であり、この

状態の水は、濁った状態で清浄感がない。透視度劣化原因としては、原水の水質や水着、汗などから排出される色素・浮遊懸濁物・有機物・細菌・プール底のたい(堆)積物の拡散等の複合要素で劣化が起これと考えられる。

## 5. 欧米、特に西ドイツと日本の比較

水質基準の比較は、表1に示すように日本の基準に比べて厳しく、数値と水質の管理項目が多く設定されている。注目すべきは、プール水のKMnO<sub>4</sub>が、補給水のKMnO<sub>4</sub>プラス3mg/ℓ以下と低く、有機塩素化合物等の弊害の配慮がなされていることである。また、pH値は中性近くに設定され、pH値が高いほど残留塩素濃度が高く設定されている。これは、図2に示すように残留塩素の組成がpHにより変化するため、ClO<sup>-</sup>はHClOの約1/80しか殺菌力がないためである。pHが高いほどClO<sup>-</sup>の割合が増え殺菌力が低下するため、残留塩素濃度を高く設定される。しかし、必要以上に塩素濃度が高くならないように、pH値の上限を低く設定している。

西ドイツでは、上記水質の達成のための標準的なシステムフローとして、図3に示すようにろ(濾)過装置のほかにオゾンと活性炭を主系統に用いている。プール内の循環には、オーバフロー方式が採用され、滞留部分(死水)ができないよう、配慮されている。濾過装置はほとんど砂濾過であり、濾過速度も30m/h程度とゆるやかに設定され、微細懸濁物の補そくが考慮されている。また、微細浮遊懸濁物の補そくに凝集剤が用いられる等、汚濁物質の除去や透視度改善に必要な手法が採られている。

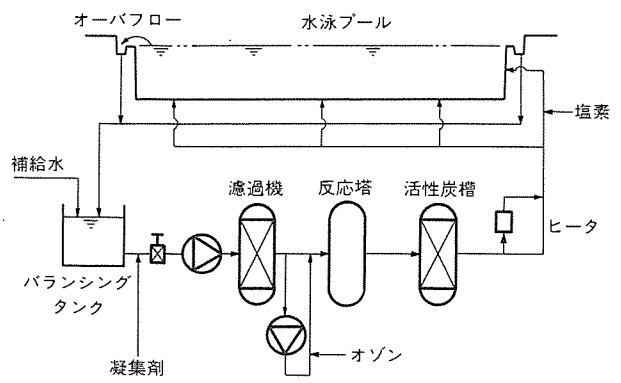


図3. DIN基準の標準フロー例

このシステムは、我々も上水のオゾンによる高度処理プラントや排水設備等の数多くの経験から、また国内の某大型プールで、西ドイツと当社方式を比較した経験を持っており、このシステムが持つ欠点や日本の国内事情に合わない点を知る結果となった。その主な点を列記してみると、全量オゾン処理のため、

- (1) オゾン反応槽、活性炭槽(ほぼ砂濾過機と同等の大きさのもの)の2塔が追加となり、地価が高く、一般に狭い機械室となっている日本では収納が難しい。
- (2) 循環水の全量を活性炭に通すため、塩素が循環系ですべて吸着除去され、塩素の消費量が多い。
- (3) (2)により塩素イオン濃度が高くなる。
- (4) オゾン注入率が循環水量に対し、 $1\text{ gO}_3/\text{m}^3$ と高く、殺菌や汚濁物分解に必要なオゾン濃度は、処理対象によって異なるが、システムが単一であるため高い値をとっていると判断される。したがって、オゾンの容量が大きくなる(当然、設置スペース大で、価格も割高となる。)
- (5) 容量の大きなオゾン(プールへ流出している点から見れば過剰)で流出防止に活性炭槽(役割としては、この他汚濁物の吸着もある。)を設けているが、ここではオゾンも塩素も吸着除去されるため、微生物が増殖し一部プールへ流出する(ただし、後塩素で滅菌される

表2. “三菱ハイグレードオゾン浄化システム” 納入店舗と水質アベレージ評価

| 項 目                 |             | A 店                           | B 店                            | C 店                           | D 店                           |
|---------------------|-------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| プール容積 (m³)          |             | 360                           | 360                            | 157                           | 200                           |
| 濾 過 器 種 類           |             | けい藻土                          | けい藻土                           | けい藻土                          | 砂濾過                           |
| 入 泳 者 平 均 (人)       |             | 約500                          | 約500                           | 約150                          | 約200                          |
|                     |             | max. 850                      | 750                            | 300                           | 350                           |
|                     |             | min. 450                      | 250                            |                               | 100                           |
| 入 泳 者 数 (人)         | 導 入 前       | Ave.427<br>max.548<br>min.219 | Ave.486<br>max.723<br>min.266  | Ave.179<br>max.247<br>min.149 | Ave.239<br>max.389<br>min.145 |
|                     | 導 入 後       | 未集計                           | Ave.566<br>max.689<br>min.445  | Ave.210<br>max.270<br>min.183 | Ave.204<br>max.316<br>min.160 |
| 補 給 水 (m³/d)        | 導 入 前       | Ave.32.1                      | Ave.37.4                       | Ave.29.5                      | Ave.14.3                      |
|                     | 導 入 後       | Ave.19.6                      | Ave.19.0                       | Ave.9.2                       | Ave.12.7                      |
|                     | 低 減 量       | Ave.12.5                      | Ave.17.8                       | Ave.20.3                      | Ave.1.6<br>水位一定制御             |
| 過マンガン酸カリウム消費量 (ppm) | 導 入 前 (プール) | Ave.6.7<br>max.8.5<br>min.4.7 | Ave.8.7<br>max.11.2<br>min.5.9 | Ave.5.3<br>max.6.5<br>min.3.2 | Ave.6.6<br>max.8.5<br>min.5.3 |
|                     | 導 入 後 (プール) | Ave.4.1<br>max.5.3<br>min.2.1 | Ave.5.2<br>max.5.9<br>min.4.3  | Ave.3.6<br>max.5.0<br>min.2.6 | Ave.3.1<br>max.5.8<br>min.1.5 |
|                     | (オゾン処理水)    | Ave.2.7                       | Ave.3.7                        | Ave.2.9                       | Ave.2.4                       |
|                     |             |                               |                                |                               |                               |
| 透 明 度 (m)           | 導 入 前       | Ave.11.3                      | Ave.18.6                       | Ave.6.9<br>(コース14m)           | Ave.9.7                       |
|                     | 導 入 後       | Ave.19.7                      | Ave.19.1                       | Ave.13.5                      | Ave.21                        |



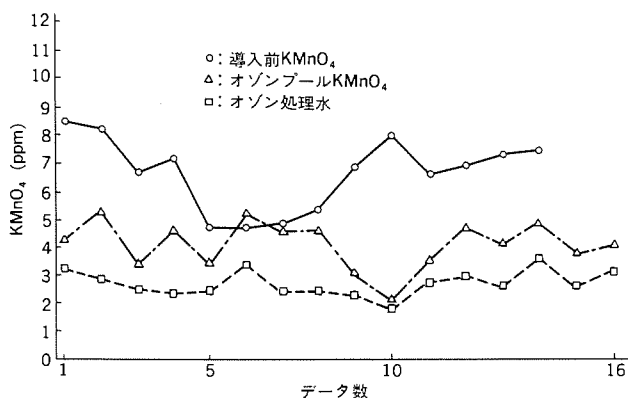
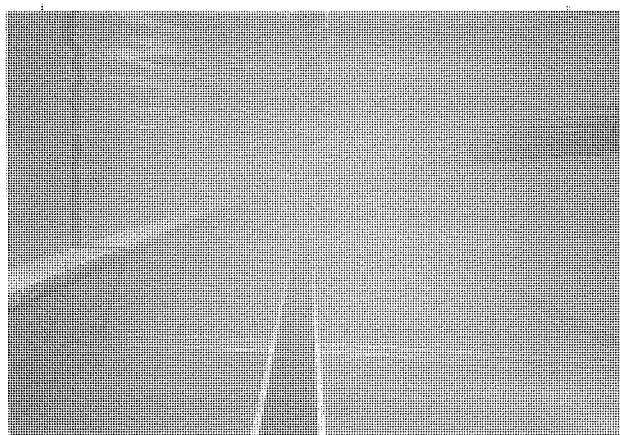
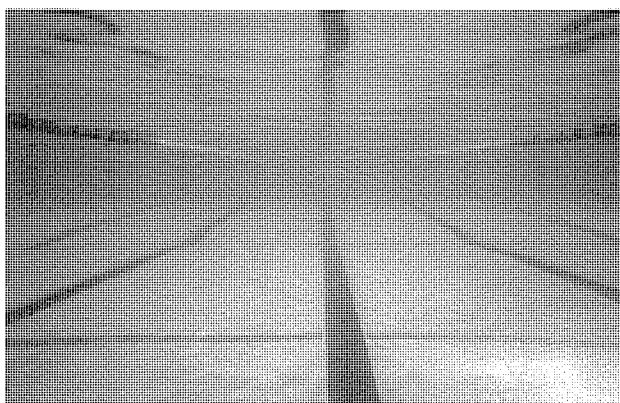


図4. A店KMnO<sub>4</sub>オゾン導入効果の比較



(a) 導入前



(b) ハイグレードタイプ・導入後

図5. 水中透視度写真

が、塩素が切れると細菌がプール内へ持ち込まれることになる。)

## 6. 三菱オゾンプール浄化システム (ハイグレードタイプ)

オゾン+バイオ技術を複合し、狭い設置条件の国内事情に合致し、かつDIN水質基準と同等な水質が得られるシステム(図1)を完成させたもので、多くの導入事例の中から、4店舗の導入前後のデータを表2及び図4、また水中写真を図5、システムフローを図6にそれぞれ紹介する。

図6は、国内の標準的なプールのフローに三菱オゾンプール浄化装置(ハイグレードタイプ)を付加したシステム、図5(a)は導入前

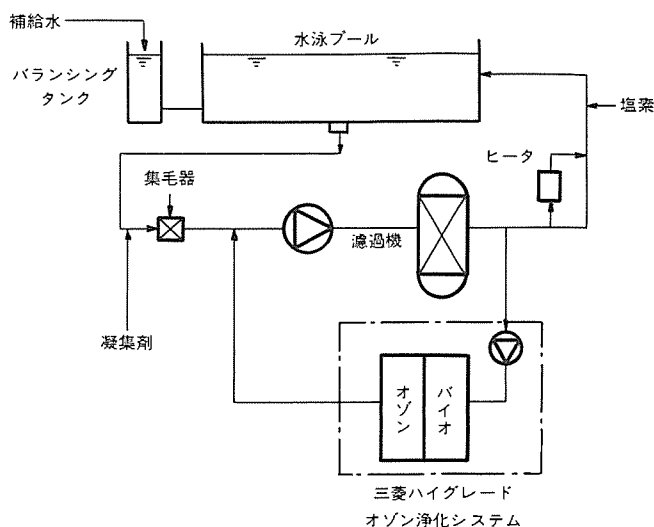


図6. 国内の標準的なフロー

水中透視度写真、図5(b)は導入後水中透視度写真、表2はハイグレードタイプ導入店舗の概要と導入前後の水質の評価、図4は表2の店舗Aにおける導入前後のKMnO<sub>4</sub>の効果比較とハイグレードタイプ処理水のKMnO<sub>4</sub>の効果を示すグラフである。

図6で簡単にシステムフローを説明すると、プール水の循環は循環ポンプによりプール底から引き抜かれ集毛器で粗大浮遊懸濁物を補そく、さらに濾過機で微細な浮遊懸濁物を補そくし、水温調整のヒータを経てプールに返送される。プールの水位低下や、基準の水質が維持できなくなったときは、バランシングタンクから補給水(一般には水道水)が補給される。薬品としては、濾過装置が砂濾過の場合は凝集剤が使用され、砂濾過のメッシュでスルーする微細浮遊懸濁物をフロック化して補そくする。また、滅菌剤として塩素剤(一般には次亜塩素酸ナトリウムが多く使用されている。)が注入され、プール内の滅菌のため一定の濃度に保たれている。

ハイグレードタイプのオゾンプール浄化システムは、微細な浮遊懸濁物を除去した濾過循環水の10%をブースタポンプで分岐し、バイオ処理とオゾン処理と直列処理させる。このバイオ+オゾン処理では、有機物の除去、塩素化合物の除去が行われる(図4におけるオゾン処理水のKMnO<sub>4</sub>の値は、この水質で、ほぼ水道水と同程度の水質が得られている。)。また、オゾン処理した水はオゾン含有した水(オゾン水)として、循環ポンプのサクシオン側に返送する。ここでは、オゾン水による循環水の殺菌・脱色・脱臭を目的とした処理を行わせる。このように、三菱オゾンプール浄化システムは、分岐処理のため小型で、かつプール水の汚濁成分を十分に除去し、清浄なプール環境を提供するとともに好評を得ている。

## 7. む す び

プールにおいて、清浄な水を得るためには、目的とした効果を確実に発揮する装置を導入することは絶対条件である。しかし、またプール内に堆積物が残らない循環方式やプール底の十分な清掃、pH、残留塩素管理、凝集、濾過など、総合的要素により、きれいな水は造られ維持されることを忘れてはならない。最後にこの事業の一層の発展を念じつつ、製品開発に多大な御協力と援助をいただいた関係各位に対し、ここに深く感謝する次第である。

# 国土庁中央防災無線網衛星通信系用地球局設備

岡野弘志\* 高橋 司\* 渡辺修身\* 有田雅雄\* 加藤栄二郎\*

## 1. ま え が き

国土庁は、大規模地震の発生が予知された場合や非常災害が発生した際に、地震災害警戒本部や非常災害対策本部を設置し、災害応急対策、災害に関する情報の収集、必要な指示の伝達等を指定行政機関、指定公共機関等と行う必要があり、これらとの通信手段の確保のため“中央防災無線網”が整備されている。

中央防災無線網は、固定通信系、移動通信系、画像伝送系及び衛星通信系から構成されている。ここに紹介する衛星通信系は、地上災害の影響を受けずにテレビジョン画像を始めとする防災情報の収集、伝達及び直通の通信回線の設定が可能であることに着目し、応急対策本部（国土庁）と通信が途絶した被災地等との間の情報伝達手段の確保、また中央防災無線網の中枢である固定通信系が被災した場合のバックアップ用として、通信衛星CS-3の運用開始（3a：昭和63年5月、3b：同12月）に合わせて整備が行われた。

この装置は、昭和62年度に衛星通信系の統制局である国土庁中央局及び全国移動が可能な可搬局の各1局が製作され、昭和63年6月から運用が開始されている。なお、中央局のバックアップ用として、都内に立川局、また東海地震対策強化の一環として名古屋市内に東海局の設置が予定されている。

図1に国土庁中央防災無線網・衛星通信系の構成を示す。

## 2. 中央防災無線網・衛星通信系システム

### 2.1 要求条件

衛星通信系に対する基本的要求条件は、次のとおりである。

- (1) 通信衛星CS系を利用したKa帯送信30GHz帯、受信20GHz帯通信システムである。
- (2) 対象とする衛星の中継器は、図2に示す“CS-3 Kバンド中継器周波数配列”のF9とし、そのうちの国土庁に割り当てられた1ユニットバンド（周波数帯域6.12MHz）を使用する。
- (3) 割当ユニットバンド内には、可搬局から中央局（又は立川局）への画像信号1CH、電話信号10CH、中央局（又は立川局）から可搬局への電話信号10CH、中央局・立川局・東海局間の電話信号20CH、及び統制局から各子局へのパイロット信号1波を同時配置可能とする。
- (4) 降雨による年間回線瞬断率は1%以下とする。
- (5) 可搬局は全国で運用可能とし、通常はトラックに搭載され移動するがヘリコプター等の航空機への搭載も可能とする。
- (6) 中央局の電話系端末は、固定通信系の交換機と接続する。

### 2.2 システム設計

以上の要求諸条件を実現するために、次に示す各種トレードオフ等のシステム検討を行った。

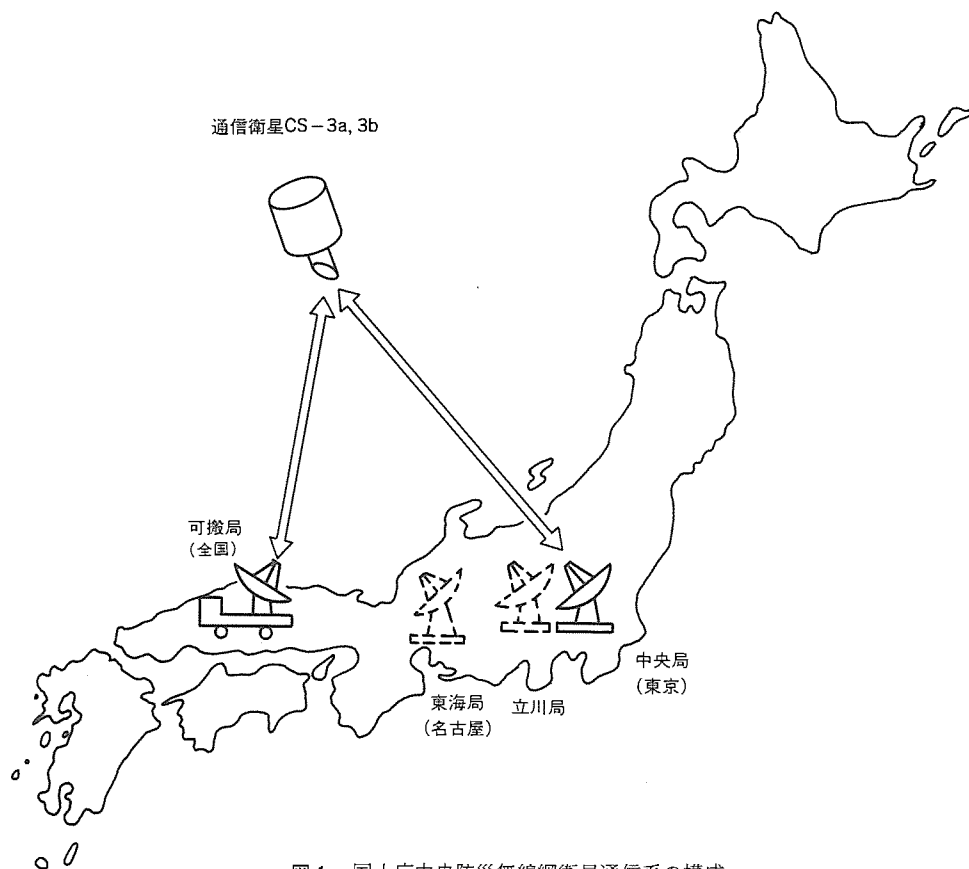


図1. 国土庁中央防災無線網衛星通信系の構成

### (1) 画像伝送方式

画像伝送は、静止画から完全動画まで種々の伝送方式が実用化されているが、どの方式を採用するかは動き追従性、占有周波数帯域幅等から決定する必要がある。

動き追従性からみると、通常のFM画像伝送方式では最低約18MHzの帯域を必要とするため6.12MHzの中継器割当帯域ではいかんともしく、一方、静止画レベルでの低速画像では占有帯域は問題にならないが、動き追従性の面で災害情報の伝達に適さない。

現在、デジタル画像情報帯域圧縮技術による画像伝送装置としては、情報速度6.3Mbps、1.544Mbps、768kbps、384kbps以下64kbpsまで実用化されている。情報速度の決定に際し、中継器割当帯域及び動き追従性等の比較検討を実施した。その結果、6.3Mbpsについては、このシステムに許される画像信号の占有可能帯域が約2.4MHzであることから除外された。次に、各種情報速度における動き追従性の比較をした結果、1.544Mbpsのほか768kbpsでも災害情報伝達の実用に供されることが確認され、ベクトル量子化技術による準動画伝送方式を採用した。

### (2) 電話伝送方式

中継器上の周波数スロット間隔に対応させた情報速度32kbpsの電話回線は、災害現場と防災関係機関及び防災関係機関相互間の直

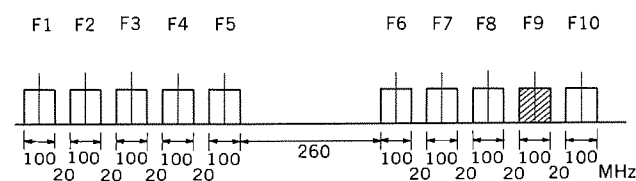


図2. CS-3 Kバンド中継器周波数配列

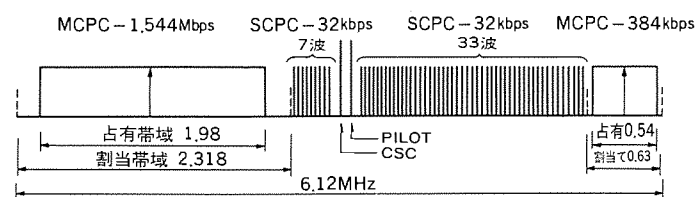


図3. ユニットバンド (F9-Ub2) 周波数配列例

通の連絡回線であり、各々の回線容量は要求条件どおり10CHと20CHである。

なお、災害現場からの電話伝送は、前述のように画像信号を含む可搬局送信信号の中継器上の割当帯域が約2.4MHzすなわち情報速度にすると1.544Mbps相当であるため、通常の768kbpsの画像伝送時に10CH確保することとし、より動き追従性の良い画像を必要とする場合、画像は1.544Mbpsモードに切り替えて、この帯域を画像信号で占有させて対応することとした。

### (3) 通信方式

可搬局からの送信信号は、画像1CH及び電話信号10CHであるが、SCPC (Single Channel Per Carrier) 方式による複数波の同時送信を行うと所要送信電力に対しバックオフが十分に確保できないため、画像と電話信号を多重化したMCPC (Multi Channel Per Carrier) -PCM/PSK方式とし、情報速度1.544Mbpsの伝送を行う。また、可搬局への電話回線10CHについても同様に多重化し情報速度384kbpsのMCPC方式とした。なお、固定局間の電話回線全20CHについては、情報速度32kbpsのSCPC方式を予定している。

### (4) 中継器周波数配列

割当ユニットバンド内の周波数配列 (一部計画を含む。) は図3に示すとおりであり、両端部に準動画像/電話回線を多重化したMCPC波 (情報速度: 1.544Mbps) 及び電話回線のみを多重化したMCPC波 (同384kbps) を各1波、中央部に電話回線のSCPC波 (同32kbps) を40波及びパイロット信号、CSC (Common Signaling Channel) 信号を各1波ずつ配置している。

### (5) 通信形態

衛星通信系の通信形態は図4に示すとおりであり、可搬局と中央局が通信衛星を介して対向することにより、全国の災害現場等からの準動画像を国土庁に設置される災害対策本部に伝送することができる。

設置が予定されている立川局は、中央局が被災した場合のバックアップ局となるものであり、この場合の可搬局の運用地域は主に都心及びその周辺部となることが予想される。中央局及び立川局は、準動画像の伝送に関しては受信のみとなっている。

また、東海局と中央局 (又は立川局) との間、及び中央局と立川局との間に計20CHの電話回線 (同32kbps) を予定している。

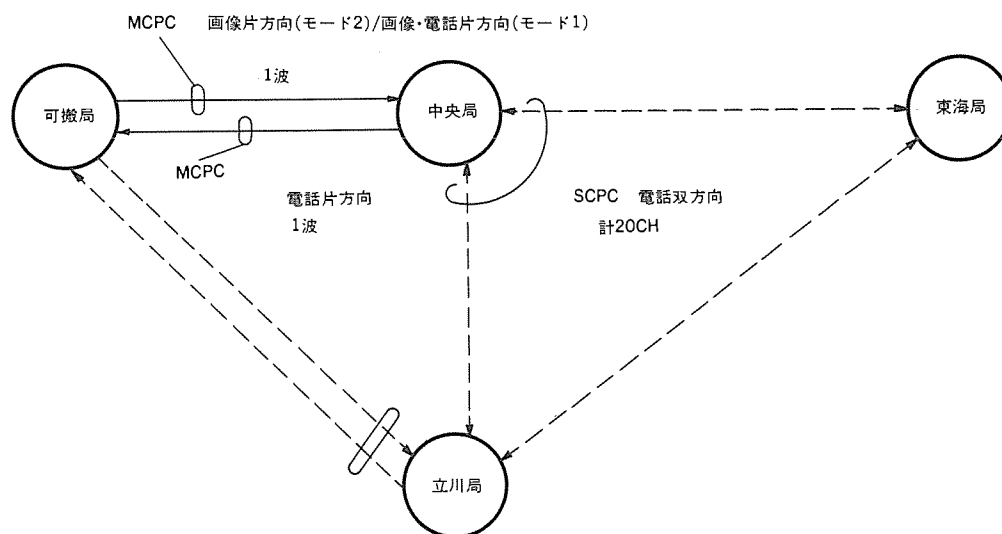


図4. 衛星通信系の通信形態

## (6) 中継器許容入力

通信衛星CS-3の飽和出力は、1中継器当たり約8dBWであり、バックオフの4dB及び等価入力雑音による寄与などを考慮すると国土庁に割当ての1/5中継器相当で中継器許容入力は-113.4dBWである。

## (7) 回線設計

衛星通信系の限界回線品質は、画像信号でBER(符号誤り率) $10^{-6}$ 以下、電話信号で $10^{-4}$ 以下とし、これを満足するための所要回線総合C/Noは画像/電話信号(1.544Mbps)で68.8dB・Hz、電話多重信号(384kbps)で61.4dB・Hz、電話信号(32kbps)で51.0dB・Hzである。なお、降雨による不稼働率は、要求条件である1%以下とした。

計算結果から地球局の規模としては、可搬局の場合、全国を運用

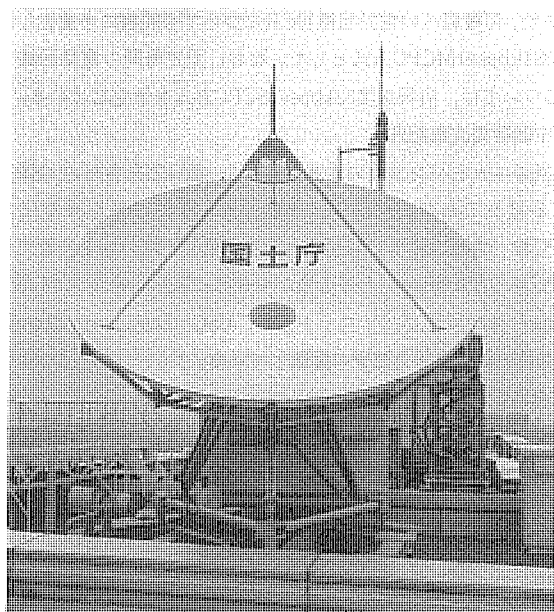


図5. 中央局5m300W形アンテナの外観

対象地域とし通常のトラック搭載のほかにはヘリ搭載輸送が可能等から、その機動性を重要視してアンテナ径を2mφ相当、送信機飽和出力を20Wとしたコンパクトな2m20W形とすることができた。中央局は、全国移動のコンパクトな可搬局との対向及び地方局間等との電話回線20CH伝送の確保、更に将来、衛星通信システムの拡充・強化等に柔軟に対処できるよう、統制局として5m300W形を導入することとなった。

## 3. 中央局設備の概要

### 3.1 主要性能諸元

5m300W形アンテナの外観を図5に、主要性能諸元を表1に、またブロック図を図6に示す。

中央局は霞ヶ関の中央合同庁舎第5号館に設置され、その端末は中央防災無線網の交換機を介して固定通信系により防災関係機関等と結ばれており、国の防災対策の中核を担うものである。中央局の

表1. 中央局の主要性能諸元

| 要 目             | 性能・諸元                                                                                                                      |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 地 球 局 形 式       | 5m 300W, 固定型                                                                                                               |
| 通 信 方 式         | 送信 MCPC-PCM/PSK-384kbps<br>モード1: 電話, ファクシミリ (32kbps) 10CH 片方向                                                              |
|                 | 受信 MCPC-PCM/PSK-1.544Mbps<br>モード1: 低速画像 (768kbps) 1CH片方向<br>電話, ファクシミリ (32kbps) 10CH 片方向<br>モード2: 高速画像 (1.544Mbps) 1CH 片方向 |
|                 | 送受信 SCPC-PCM/PSK-32kbps…… (将来)<br>: 電話, ファクシミリ (32kbps) 20CH 双方向                                                           |
| 周 波 数 範 囲       | 送信 28.40~29.00GHz                                                                                                          |
|                 | 受信 17.77~19.45GHz                                                                                                          |
| 最大実効放射電力 (EIRP) | 71.9dBw (28.80GHz)                                                                                                         |
| 受 信 G / T       | 33.1dB/k (19.00GHz)                                                                                                        |
| 耐風速性能           | 運用 30m/s以下 (瞬間)                                                                                                            |
|                 | 非破壊 80m/s以下 (瞬間)                                                                                                           |
| 全 消 費 電 力       | 20kVA以下 (融雪 9kVA含む。)                                                                                                       |

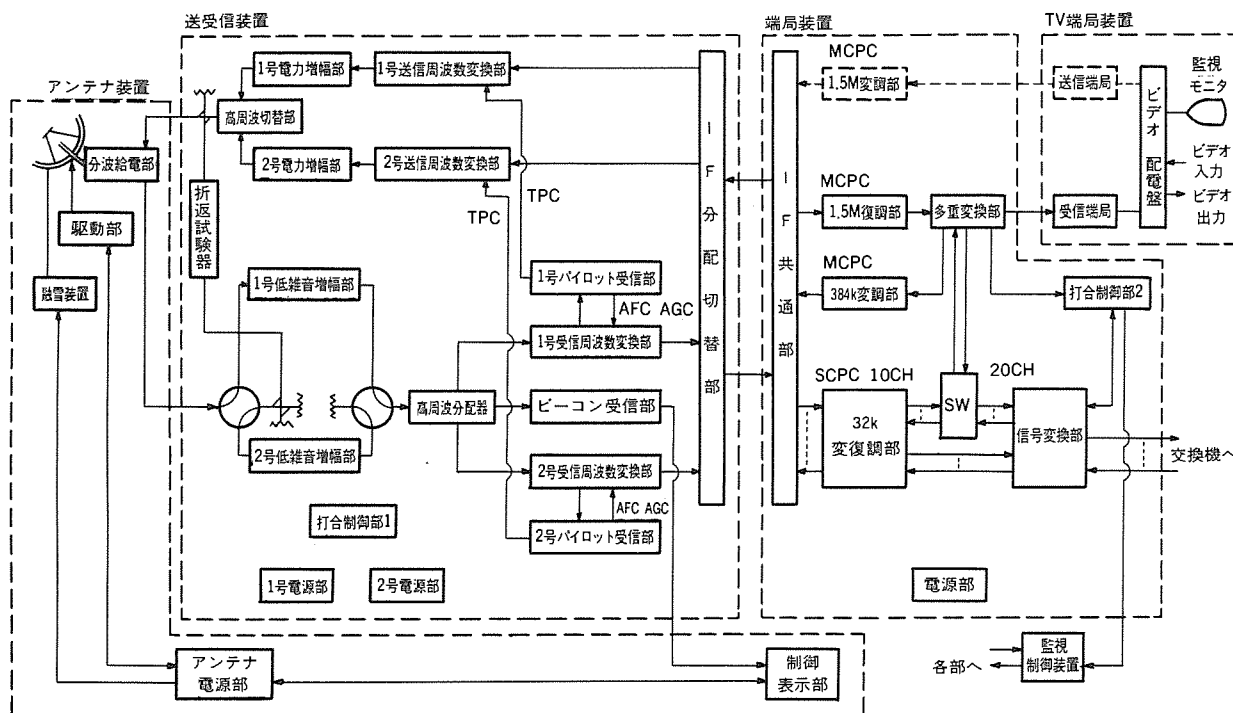


図6. 中央局ブロック図

対向局は現在、可搬局のみであるが立川局、東海局等の設置に対応できるよう機器の増設を計画中である。

### 3.2 各部の設計・性能

#### 3.2.1 アンテナ装置

アンテナ装置は、直径5mの高能率鏡面修整を施したカセグレン形である。対象とする通信衛星が東経132°及び136°の静止軌道上にあるため、限定駆動方式を採用して装置の簡易化を図っている。なお、設置場所が地上高110mの庁舎屋上であるため、瞬間風速80m/sでも耐えられる構造とした。また、反射鏡部への着雪・結氷を未然に防ぎ、通信回線の性能低下を防止するため融雪装置を設けている。融雪装置は、アンテナ近傍に設置した降雪検知器により水分・温度を検出し降雪の検知を行い、融雪ヒータへ供給する電力をヒータ部のサーモスタットと併せて制御している。表2にアンテナ装置の主要性能諸元を示す。

#### 3.2.2 送受信装置

送受信装置は、低雑音増幅部、電力増幅部、送受信周波数変換部、パイロット受信部、ビーコン受信部等から成り、主要部は信頼性向上のための冗長構成とし、アンテナ装置背面の高周波シェルト内に収容している。

以下に主な機器の主要性能について述べる。

##### (1) 低雑音増幅部

地球局のシステム雑音温度は、低雑音増幅部入力段の雑音温度が支配的であるため、入力段には常温動作の超低雑音素子HEMT（高電子移動度トランジスタ、三菱製《MGFC4403》）増幅器を使用して、所要帯域で220K以下の雑音温度を実現している。また、全体は防滴構造のケース内に収容しているため、長期間にわたる高信頼性を持っている。表3に低雑音増幅部の主要性能諸元を示す。

##### (2) 電力増幅部

電力増幅部は、30GHz帯用としては国内最高の飽和出力350W型TWT（結合空洞型進行波管）を採用し、MCPC波1波とSCPC波最大22波を同時増幅する際に生じる相互変調雑音電力が搬送波電力に対し規定値以下となるよう所要のバックオフを確保している。表4に電力増幅部の主要性能諸元を示す。

##### (3) 送受信周波数変換部

送受信周波数変換部は、周波数変更の容易さ、装置の小型化のために高次局発を送受信共用とした二重周波数変換方式を採用している。また、送信周波数の安定化を図るため、高次局発及び送信系低次局発には高安定水晶発振器を使用している。一方、受信系低次局発には、パイロット受信機からのAFC誤差電圧により制御されるVCXOを使用しており、受信周波数の変動分を吸収し出力IF信号周波数を一定に保っている。表5に送受信周波数変換部の主要性能諸元を示す。

#### 3.2.3 MCPC-PCM/PSK端局装置

この装置は、端局系デジタル信号と140MHz帯4相位相変調波の間の変換を行うものであり、384k変調部、1.5M復調部、多重変換部、信号変換部等から構成されている。この装置の特長を以下に示す。

- (1) 1台のシェルフに変復調機能、誤り訂正機能、フレーミング機能、インタフェース機能をすべて収容した小型化設計を行っている。
- (2) 変調器の波形整形フィルタはデジタル化により、小型化、動作の安定化を図っている。
- (3) 復調部にはヴィタビ復号器を用い、低いC/Nでの安定動作を

可能にしている。このため、キャリア再生、クロック再生、AGC回路をデジタル化して低C/Nでの動作を確実にするとともに、小型化、動作の安定化を図っている。

(4) ヴィタビ復号器では伝送路上で生じた誤りを訂正するために、符号化率1/2、拘束長7の畳み込み符号化を行って送信し、受信側では8値軟判定データによるヴィタビ復号化を行っている。このような誤り訂正により、誤り率 $1 \times 10^{-5}$ が誤り訂正を行わない場合より約5dB低いC/Nで得られている。また、ヴィタビ復号器中の加算・比較・選択回路（ACS）は、カスタムLSI化により大幅な小型化を行っている。

(5) 変復調器に用いた周波数シンセサイザは、22.5kHzステップごとの周波数に設定可能であり、また低い位相雑音特性を実現している。

表6にMCPC-PCM/PSK端局装置の主要性能諸元を示す。

#### 3.2.4 TV端局装置

TV端局装置は、768kbps及び1.544kbpsの伝送速度で映像を符号化して伝送できる画像伝送装置MVC-4000を使用しており、中央局には受信専用の受信端局、可搬局には送信専用の送信端局から構成されている。この装置は映像の圧縮伝送だけでなく、音声及びデー

表2. アンテナ装置の主要性能諸元

| 要 目     | 性能・諸元                                       |
|---------|---------------------------------------------|
| アンテナ方式  | コルゲートホーンレフ給電、鏡面修整カセグレンアンテナ                  |
| 追尾駆動方式  | ステップトラッキングによる自動及び手動                         |
| 駆 動 範 囲 | Az: $\pm 10^\circ$ 以上, EL: $\pm 5^\circ$ 以上 |
| 利 得     | 送信 61.4dB以上                                 |
|         | 受信 58.0dB以上                                 |
| 雑 音 温 度 | 65K以下                                       |
| サイドロブ特性 | CCIR Rec.465-2, 580-1準拠                     |
| 偏 波     | 送信 左旋円偏波                                    |
|         | 受信 右旋円偏波                                    |
| 融 雪 能 力 | 30cm/日                                      |

表3. 低雑音増幅部の主要性能諸元

| 要 目   | 性能・諸元          |
|-------|----------------|
| 周波数帯域 | 17.77~19.45GHz |
| 雑音温度  | 220K以下         |
| 利得    | 40dB以上         |

表4. 電力増幅部の主要性能諸元

| 要 目     | 性能・諸元                         |
|---------|-------------------------------|
| 周波数帯域   | 28.4~29.01GHz                 |
| 飽和出力    | 52.0dBm以上                     |
| 小信号利得   | 66.0dB以上                      |
| 帯域内利得偏差 | 1.5dB <sub>p-p</sub> /36MHz以下 |
| スプリアス   | -50dBc以下                      |

表5. 送受信周波数変換部の主要性能諸元

| 要 目   | 性能・諸元                                  |
|-------|----------------------------------------|
| 送 信 系 | 入力周波数 140 $\pm$ 36MHz                  |
|       | 出力周波数 28.40~29.01GHzの指定の $\pm$ 36MHz帯域 |
|       | 利得周波数特性 1dB <sub>p-p</sub> /36MHz以下    |
|       | 局発周波数安定度 $\pm 1 \times 10^{-7}$ /月以内   |
| 受 信 系 | 入力周波数 18.60~19.20GHzの指定の $\pm$ 36MHz帯域 |
|       | 出力周波数 140 $\pm$ 36MHz                  |
|       | 利得周波数特性 1dB <sub>p-p</sub> /36MHz      |

表 6. MCPC-PCM/PSK端局装置主要性能諸元

| 要 目          | 性能・諸元                                           |
|--------------|-------------------------------------------------|
| 変調方式         | 4相位相変調                                          |
| 伝送速度         | 819.2kbps                                       |
| 送信可能チャネルスロット | 3,200スロット                                       |
| チャネル周波数間隔    | 22.5kHz                                         |
| スクランブル       | IESS-309 4.4.5節準拠                               |
| 誤り訂正         | IESS-309 4.4.3節準拠<br>(レート 1/2畳み込み符号)            |
| 復調方式         | 4相同期検波                                          |
| 入力波中心周波数     | 104MHz + (22.5kHz × $n$ ) ( $n=0\sim3,200$ の整数) |
| 復調特性         | IESS-309 4.4.2節及び4.4.4節準拠                       |
| 復調信号速度       | 3.277Mbps                                       |

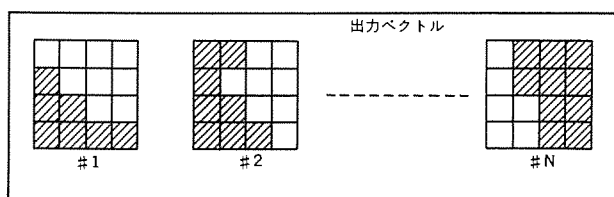
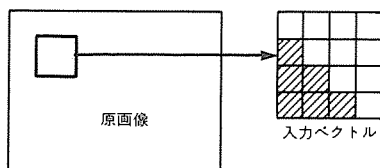


図 7. 画像のベクトル量子化概念

表 7. TV端局装置の主要性能諸元

| 要 目 | 性能・諸元                                                                                                                                |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 伝送  | 伝送速度<br>1.544Mbps又は768kbps<br>回線インタフェース<br>CMI又はX21<br>多重化<br>映像、音声、制御データの多重化伝送<br>(255,239) BCH符号による2重誤り訂正、3相イン<br>伝送路エラー対策<br>タリーブ |
| 映像  | 入出力信号<br>NTSCカラーテレビジョン信号、IV <sub>pp</sub> 、75Ω、不<br>符号化方式<br>ダイナミック多段ベクトル量子化<br>解像度一動画(Y)<br>352画素×240ライン                            |
| 音声  | 入出力信号<br>4kHz帯域アナログ音声信号<br>符号化方式<br>CCITT G721準拠 ADPCM 32kbps                                                                        |

タも多重化して伝送することが可能であり、再生画像は動き追従性に優れた高品質画像が得られる。

#### (1) 画像の帯域圧縮方式

画像の帯域圧縮方式としては、“フレーム間差分適応ベクトル量子化方式(AVQ)”を採用しており、画像の冗長成分を取り除き高い圧縮を得ている。ここでは、AVQの基幹を成す“ベクトル量子化技術”について説明する。

ベクトル量子化とはサンプルを複数個まとめてブロック化し、そのブロックを単位として量子化を行う手法であり、理論的データ圧縮限界に近い方式であることが知られている。また、耐雑音性に優れ、量子化誤差がランダム化されるため特に画像信号を対象とした場合にはSN比に比べて視覚的に良好な画像が得られる、などの利点がある。画像のベクトル量子化の概念を図7に示す。ここでは、原画像から  $4 \times 4 = 16$ 次元のパターン（入力ベクトル）を切り出し、

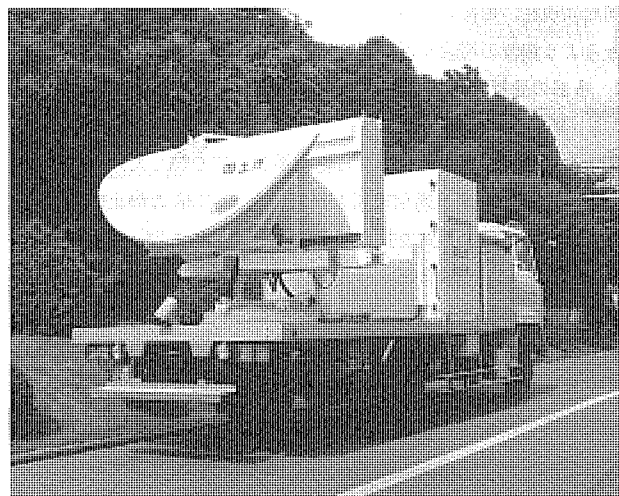


図 8. 可搬局（2m20W形）の外観

表 8. 可搬局の主要性能諸元

| 要 目            | 性能・諸元                                                                                                                      |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 地球局形式          | 2m20W, 可搬型                                                                                                                 |
| 通信方式           | 送信<br>MCPC-PCM/PSK-1.544Mbps<br>モード1: 低速画像(768kbps) 1CH 片方向<br>電話、ファクシミリ(32kbps) 10CH 片方向<br>モード2: 高速画像(1.544Mbps) 1CH 片方向 |
|                | 受信<br>MCPC-PCM/PSK-384kbps<br>: 電話、ファクシミリ(32kbps) 10CH 片方向                                                                 |
| 周波数範囲          | 送信 28.40~29.00GHz                                                                                                          |
|                | 受信 17.77~19.20GHz                                                                                                          |
| 最大実効放射電力(EIRP) | 64.1dBw (28.80GHz)                                                                                                         |
| 受信G/T          | 25.5dB/k (19.00GHz)                                                                                                        |
| 耐風速性能          | 運用 30m/s以下(瞬間)                                                                                                             |
|                | 非破壊 60m/s以下(瞬間)                                                                                                            |
| トラック           | 3.75t, 4WD                                                                                                                 |
| 電源             | PTO 発電装置 100V AC, 単相, 12kVA                                                                                                |
|                | 可搬型発電機 100V AC, 単相, 10kVA (別置)                                                                                             |
|                | 商用 100V AC, 単相                                                                                                             |
| 交換機            | 局線 10回線                                                                                                                    |
|                | 内線 40回線                                                                                                                    |
| 全消費電力          | 10kVA以下                                                                                                                    |
| 総重量            | 7.75t                                                                                                                      |

あらかじめ用意された標準パターン群（出力ベクトル）の内から最小ひずみを与えるパターン、すなわち最も近似度の高いパターンを探索する。こうして決定したパターンが量子化出力であり、そのパターンに対応するラベルが符号化情報である。標準パターンは、送信側、受信側で同一のものを用意しているので符号化情報のみを伝送すればよく、効率の良い符号伝送が可能である。装置に用いているフレーム間差分適応ベクトル量子化器は、連続する1枚1枚の画像の差分（フレーム間差分）信号系列にベクトル量子化を適用することによって高効率な画像符号化を行うと同時に、動画の局所的な空間的・時間的性質に基づき、符号化済みの前フレーム内のブロック群などから出力ベクトルを生成するダイナミックベクトル量子化器(DVQ)と多段接続することにより更に優れた符号化性能を得ている。

#### (2) 伝送方式

画像の帯域圧縮として高能率符号化を行っているため、回線品質が低い場合には、再生画品質の劣化が著しくなる。このため、BCH符号による誤り訂正機能及び各種誤り検出部から制御されるディマンドリフレッシュ機能によって、通常回線品質で十分な再生画品質が得られる。

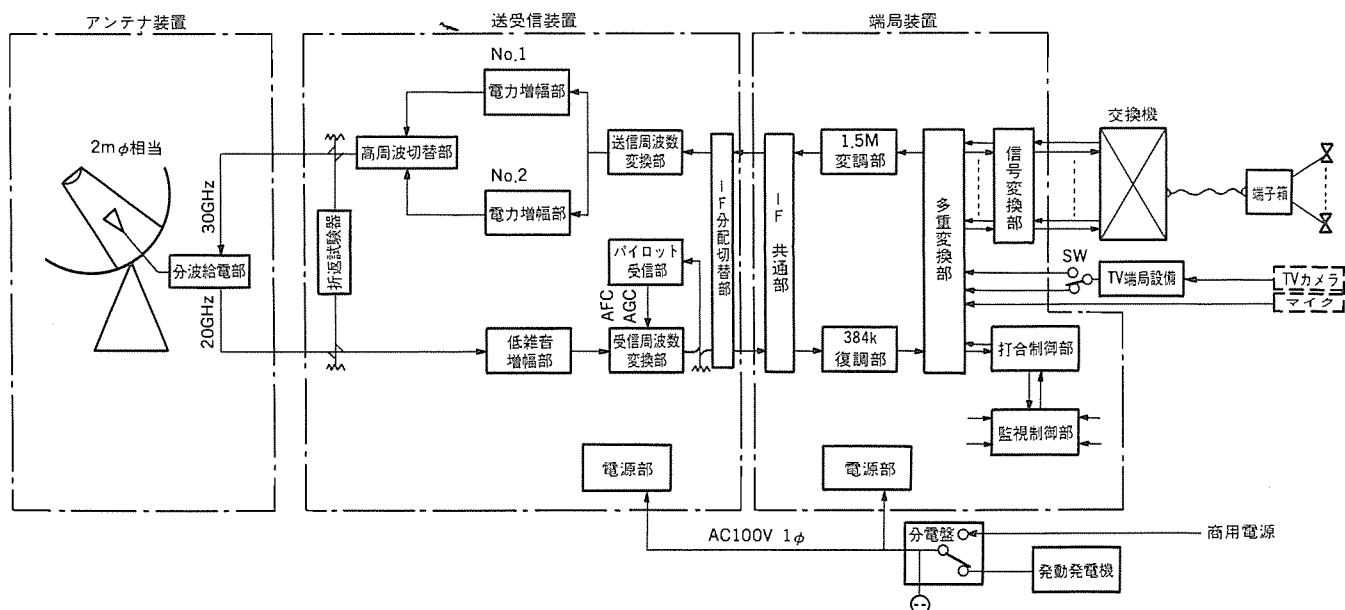


図9. 可搬局ブロック図

表9. アンテナ装置の主要性能諸元

| 要 目      | 性能・諸元                      |
|----------|----------------------------|
| アンテナ方式   | コルゲートホーンレフ給電、鏡面修整カセグレンアンテナ |
| 追尾駆動方式   | 手動                         |
| 駆動範囲     | Az: ±90°以上, EL: ±10°以上     |
| 利得       | 送信 57.1dB以上                |
|          | 受信 53.6dB以上                |
| 雑音温度     | 70K以下                      |
| サイドローブ特性 | CCIR Rec.465-2, 580-1      |
| 偏波       | 送信 左旋円偏波                   |
|          | 受信 右旋円偏波                   |

表10. 電力増幅部の主要性能諸元

| 要 目   | 性能・諸元          |
|-------|----------------|
| 周波数帯域 | 28.64~29.01GHz |
| 飽和出力  | 41.4dBm以上      |
| スプリアス | -50dBc以下       |

質が得られるよう対策が施されている。

表7にTV端末装置の主要性能諸元を示す。

#### 4. 可搬局設備の概要

##### 4.1 主要性能諸元

2 m20W形可搬局の外観を図8に、主要性能諸元を表8に、またブロック図を図9に示す。

可搬局は、3.75tのトラックに搭載した状態で東京都立川市にある立川広域防災基地政府災害対策本部予備施設内に常置しており、地震防災対策強化地域を始めとする全国の災害現場に出動できる体制をとっている。

災害現場等から準動画像1CH（運用モード1：768kbps低速画像又は運用モード2：1.544Mbps高速画像の二者択一）及び音声信号10CH（運用モード1の場合のみ可能）を衛星回線で国の対策本部が設置される中央局又は立川局に直接伝送できて、衛星通信システムの特長である広域性・高品質・多元接続・同報性などをいかに発揮できるものである。

##### 4.2 各部の性能

可搬局の各部は、3章で述べた中央局と基本的に同等であり、ここでは相違するアンテナ装置、送受信装置について述べる。

###### 4.2.1 アンテナ装置

アンテナ装置は、直径2mφ相当の横長だ円形（長径2.36m、短径1.70m）とし、衛星捕そくが一軸駆動で可能なように配慮している。なお、主反射鏡は折り畳みなしでトラック荷台部に搭載できており、現場到着後の設営時間短縮にも寄与している。表9にアンテナ装置の主要性能諸元を示す。

###### 4.2.2 送受信装置

送受信装置は、低雑音増幅部、電力増幅部、送受信周波数変換部、パイロット受信部等から成り、主要部はアンテナ装置背面の高周波ボックス内に収容されている。ここでは、中央局と性能が異なる電力増幅部について述べる。

電力増幅部は、画像1CHと電話10CHを多重化し1波送信とすることで、電力増幅部では複数波の同時増幅時に比べ所要バックオフを小さくすることができることから増幅器飽和出力の有効活用ができ、これによりKa帯用としては汎用タイプの飽和出力20W型TWTの使用を可能とし、全国を移動する可搬局として小型・軽量化に寄与している（表10）。

#### 5. む す び

通常、動画テレビ信号をディジタル伝送する場合、100Mbps程度の情報レートを必要とするが、高能率符号化技術による情報レート1.544Mbpsのベクトル量子化方式を採用した結果、動き追従性に優れた良質の画像が得られた。また、災害現場等に移動する手段として通常のトラックのほかにはヘリ搭載輸送を可能としており、衛星通信システムの広域性のほかに地上災害を受けにくい特長と併せて、災害情報の伝達手段として大いに有効であると期待している。

終わりに当たり、この地球局設備の計画・設計・製作に多大な御指導・御協力を賜った国土庁防災局を始め関係各位に深く感謝の意を表する。



# 衛星通信用ビットレート可変型モデム

井上誠也\* 富士 剛\* 三宅 真\*\* 村上圭司\*\* 伊藤久明\*

## 1. ま え が き

近年、衛星通信におけるデジタル化は、回線設定の柔軟性、高速データ伝送に対する需要の高まり、地上系のデジタル化等と相まって急速な立ち上がりを見せている。例えば、INTELSATにおいてもIDR (Intermediate Data Rate)、IBS<sup>(1)</sup> (INTELSAT Business Services) 等のデジタル衛星通信サービスがこの2～3年で急速に普及しつつある。衛星通信のデジタル化に最も本質的にかかわる部分は変復調器 (モデム) であるが、従来はそのビットレートが固定されているものが多く、回線容量変更の必要性が生じて柔軟に対応することが容易でなく、部品の交換や工場での再調整が必要であった。

今回、筆者らは、一切ハードウェアの変更及び再調整が必要なく、ユニット前面のテンキー操作又はリモートからの制御信号のみでそのビットレートが容易に変更可能な、衛星通信用ビットレート可変型モデムを開発した。さらに、筆者らは、このモデムを最近のVLSI技術及び表面実装技術を駆使して、当社の従来のものに比べ40%の大きさに小型化し、また同時に、軽量化・低消費電力化・高信頼度化を図った。このモデムの開発により、衛星通信における回線容量の変更に対し、迅速・容易かつ安価に対応することが可能となった。

この論文では、今回開発した衛星通信用ビットレート可変型モデムの特長と構成及び用いられている技術について述べ、また得られた特性について評価・検討を行う。

## 2. 概要と構成

今回開発した衛星通信用ビットレート可変型モデムは、チャンネルユニット (CH UNIT) MS2100と称し、外観を図1に示す。同図には架実装例も示してあり、非冗長構成の場合1架当たり12台のチャンネルユニットが実装可能である。チャンネルユニットの大きさは、幅480mm×高さ89mm×奥行き420mmであり、重量は8kg、消費電力は約120Wである。

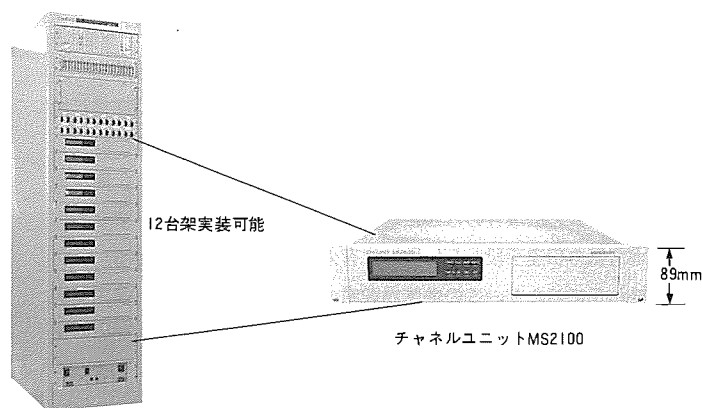


図1. チャンネルユニットMS2100の外観と架実装例

このユニットは、インテルサット標準仕様IESS-309に規定されたIBSオープンネットワーク仕様<sup>(2)</sup>に準拠し、64Kbps～2.048Mbpsの地上系デジタル信号と140MHz帯又は70MHz帯4相位相変調 (QPSK) 波の間の変換を行うものであり、変復調器 (モデム) とオーバーヘッド フレーミング回路を含んでいる。このユニットの主要性能を表1に、系統図を図2に示す。

このユニットの特長を以下に示す。

- (1) 表1に示すすべての情報速度に対し、チャンネルユニットの変復調速度及び誤り訂正符号化率を、ユニット前面のテンキー操作又はリモート制御により容易に変更可能とした。
- (2) 1台のユニットに変復調機能、誤り訂正機能、IBSフレーミング機能、地上系インタフェース機能、監視制御インタフェース機能をすべて収容した小型化設計を行った。
- (3) デジタル回路の大部分を表2に示す4Kゲートから17.5Kゲートまでの7種のカスタムLSIで構成し、また表面実装部品を使用して当社従来比40%に小型化した。
- (4) 地上系インタフェース機能をインタフェースコネクタ付きのプラグインカードに集約し、地上系インタフェースの変更に対しカード差し替えにより容易に対応可能とした。

### 2.1 構成

このユニットの送信側は、地上系からのデジタル信号入力に対しフレーム同期信号、マルチフレーム同期信号、その他制御信号を付加して16/15倍に速度変換しIBSフレームフォーマットを作成後、さらにスクランブル、畳み込み符号化、QPSK変調を行って140MHz帯又は70MHz帯のIF信号として衛星側に出力する。

また、受信側はQPSK波を同期検波により復調後軟判定ビット復号化を行い、デスクランブル及びフレーム同期、マルチフレーム同期の確立を行った後、制御信号及びデータの分離を行う。分離されたデータは、プレジオ/ドップラーバフファによりクロックの同期変換が行われた後、地上系デジタル信号として出力される。

このユニットでは、衛星側に送出される送信データ及び地上側に送出される受信側データが、①地上側からの入力データから抽出したクロック、②外部から供給されるクロック、③ユニット内部のクロック、④衛星側から受信したデータから抽出したクロックのいずれかに同期可能である。また、プレジオ/ドップラーバフファの容量を2～32msの範囲で2msのステップで選択可能とし、スリップ単位についても1～16msの範囲で1msのステップで選択可能となっている。

このユニットの地上側とのインタフェース条件は、①2.048Mbps及び1.544Mbps多重化インタフェースと②64K×n (n=1, 2, 4, 6, 8, 12, 24, 30, 32) シリアルインタフェースを満足することである。2.048Mbps及び1.544Mbps多重化インタフェースの場合は、多重化されたビット列の中から情報ビットレートに応じて必要なタイムスロットのデータのみ衛星側に送出する。この場合、オクテットタイミングの保持が可能である。

表 1. チャネルユニット MS2100 の主要性能

| 項 目                   | 性 能                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 情報速度 (bps)         | 64K, 128K, 256K, 384K, 512K, 768K, 1.536M, 1.544M, 1.92M, 2.048M に対し可変。                                                                                                                                   |
| 2. 入出力 IF 中心周波数       | $140\text{MHz} \pm 22.5\text{kHz} \times n$ ( $n=0, 1, 2, \dots, 1,600$ ) 又は $70\text{MHz} \pm 22.5\text{kHz} \times n$ ( $n=0, 1, 2, \dots, 800$ )                                                       |
| 3. 変復調方式              | 4 相位相変調 (QPSK) / 同期検波                                                                                                                                                                                     |
| 4. 誤り訂正方式             | 符号化率可変 (1/2 又は 3/4), 拘束長 7 畳み込み符号化 / 軟判定ビタビ復号化                                                                                                                                                            |
| 5. 誤り率特性              | 図 9                                                                                                                                                                                                       |
| 6. オーバヘッド率            | 1/15                                                                                                                                                                                                      |
| 7. 地上系デジタル信号インタフェース   | ① 多重化インタフェース<br>- 2.048Mbps (CCITT G.703, G.704, G.732)<br>- 1.544Mbps (CCITT G.703, G.704, G.733)<br>② 64K × nbps シリアル インタフェース<br>- CCITT G.703 Codirectional<br>- CCITT X.21<br>- CCITT V.35<br>- RS449 |
| 8. プレジオ / ドップラーバッファ容量 | 2 ~ 32ms (2ms ステップで可変)                                                                                                                                                                                    |

表 2. チャネルユニット MS2100 に使用のカスタム LSI

| 名 称                            | 用 途        | 機 能                                                                         | ゲート数  |
|--------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1. デジタルフィルタ LSI <sup>(a)</sup> | QPSK 復調器   | 波形整形 (8ビット, 24 次 FIR フィルタ)                                                  | 17.5K |
| 2. 復調器 LSI                     | QPSK 復調器   | キャリア再生, クロック再生, AGC                                                         | 8K    |
| 3. メトリック計算 LSI <sup>(a)</sup>  | ビタビ復号器     | 枝メトリック計算 ACS (加算比較選択) (32 回路)                                               | 17K   |
| 4. バスメモリ LSI                   | ビタビ復号器     | バスメモリ (32 段)                                                                | 17K   |
| 5. 符号同期 LSI                    | ビタビ復号器     | 符号の同期 疑似誤り率測定                                                               | 4K    |
| 6. ベースバンド LSI                  | ベースバンド 処理部 | IBS フレーム多重化 / 分離化 プレジオバッファ制御 スクランプラ / デスクランブラ                               | 7K    |
| 7. インタフェース LSI                 | ベースバンド 処理部 | CCITT G.704, G.732, G.733 準拠, 2.048Mbps / 1.544Mbps インタフェース フレーム多重化 / 分離化機能 | 5K    |

注 上表(3), (4)は参考文献を参照されたい。

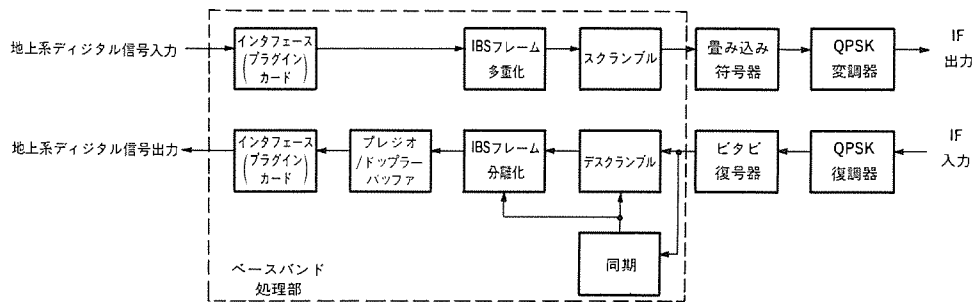


図 2. チャネルユニット MS2100 の系統図

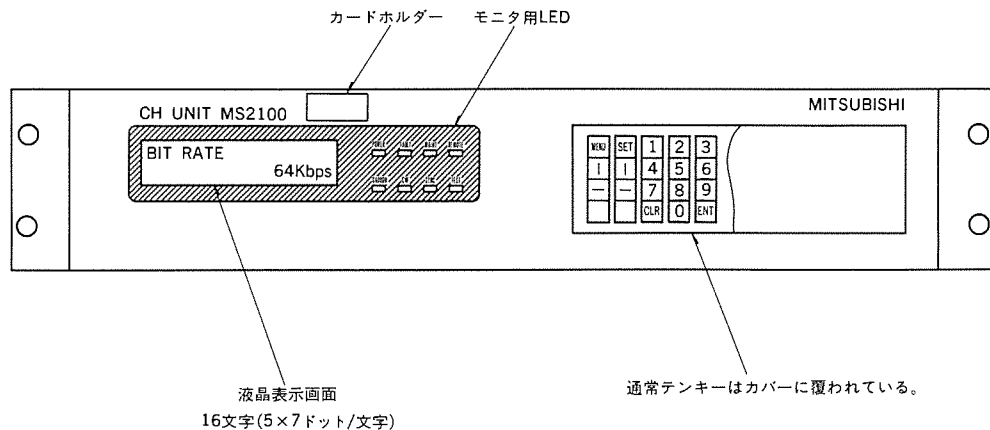


図 3. チャネルユニット MS2100 の前面パネルフェース

## 2.2 操作表示

このユニットの前面パネルフェースを図 3 に示す。このユニットの操作表示は大部分同図に示すテンキーと液晶画面により可能であり、操作表示の容易化を図った。液晶画面は四つのメニュー、①警報表示、②モニタ表示、③モード設定表示、④パラメータ設定表示により構成されている。警報表示は警報の内容の詳細を表示し、モニタ表示は受信回線状態（例えば、誤り率など）を表示する。モード設定表示は、ローカル / リモートモードの切替え等を設定表示するためのものであり、パラメータ設定表示はユニット内部の各種パラメータ（例えば、送受信周波数、ビットレート、ほか）を設定表示するためのものである。図 3 には、パラメータ設定表示画面の一

例として、ビットレートの設定表示を行う画面を示す。

## 2.3 監視制御インタフェース

このユニットにおいては、EIA 規格 RS485 による電氣的インタフェース条件、調歩同期 (9.6Kbps) 及びポーリング手順により、リモートからの監視制御が可能である。さらに、プロトコルの異なる監視制御装置とインタフェースすることを可能とするために、チャネルユニット 12 台分の監視制御信号を収集 / 分配し、監視制御信号のプロトコル変換を行うためのインタフェース変換ユニットを開発した。

図 4 にインタフェース変換ユニットの概念図を、表 3 にインタフェース変換ユニットの仕様をそれぞれ示す。

### 3. QPSK変調器

#### 3.1 構 成

QPSK変調器のブロック図を図5に示す。畳み込み符号器より入力されたPch, Qchのデータは、各々変形6次バターワース特性を持つROMフィルタによって波形整形され、D/A変換された後アナログLPFにより高調波が除去される。アナログLPF出力信号によってQPSK変調された搬送波は、周波数シンセサイザを用いて周波数変換された後、BPF、可変アッテネータを通して送信IF信号として出力される。送信周波数として $140 \pm 36\text{MHz}$ 又は $70 \pm 18\text{MHz}$ 、周波数ステップとして $22.5\text{kHz}$ 又は $25\text{kHz}$ のいずれかが、それぞれ選択可能である。また、可変アッテネータによって、送信レベルを0.1dB

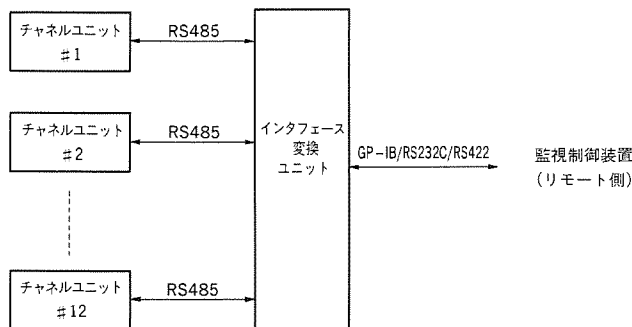


図4. インタフェース変換ユニットの概念

表3. インタフェース変換ユニットの仕様

| 項 目           | 仕 様                                                                                              |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. チャンネルユニット側 |                                                                                                  |
| (1) 最大接続台数    | 12台                                                                                              |
| (2) 監視制御周期    | 1秒                                                                                               |
| (3) インタフェース条件 | RS485, 調歩同期, 半二重<br>9.6Kbps, ポーリング手順                                                             |
| 2. 監視制御装置側    |                                                                                                  |
| (1) 監視制御周期    | 1秒                                                                                               |
| (2) インタフェース条件 | ① GP-IB (IEEE488バス)<br>② RS232C, 調歩同期, 全二重<br>4.8Kbps, 無手順<br>③ RS422, 調歩同期, 全二重<br>4.8Kbps, 無手順 |

ステップで30dB可変とできるように構成した。

#### 3.2 特 性

今回開発を行ったQPSK変調器では、ハードウェアの変更なしで32Kbaud～6 Mbaudまでのビットレートの変更が可能である。そのために、上述のように波形整形をROMフィルタで行い、またアナログLPFとして電圧制御により帯域が可変なものを新たに開発した。このアナログLPFは、ビットレートに応じてカットオフ周波数を連続的に変更できる4次バターワースフィルタであり、その周波数特性を図6に示す。同図から制御電圧に応じてフィルタのカットオフ周波数が変化していることがわかる。

また、この変調器の送信スペクトルを図7に示す。同図のスペクトルは、それぞれ情報速度256K, 512K, 768K, 1.536M, 2.048Mbpsにオーバーヘッドビットを付加して16/15倍にし、符号化率1/2の畳み込み符号化を行った場合のスペクトルであり、各スペクトルはすべてインテルサット規格<sup>(2)</sup>を満足している。

### 4. QPSK復調器

#### 4.1 構 成

図8にQPSK復調器のブロック図を示す。この復調器において、キャリア再生、ビットタイミング再生、AGC、受信フィルタ等の大部分をデジタル化・VLSI化し、小型化を図るとともに可変ビットレートの機能を実現した。

##### (1) 復調演算部

キャリア再生部、ビットタイミング再生部、AGCは図8の復調演算部に位置し、1個の8KゲートカスタムLSIにより構成されている。このLSIには上記機能のほかに、受信キャリアの周波数偏差を計算する機能と受信C/Nを計算する機能が備えられている。

キャリア再生部は、デジタル化されたコスタスループで構成され、そのループ帯域がビットレートに応じて切り替えられる。また、その周波数引き込み範囲を $\pm 25\text{kHz}$ とし、周波数差が存在する場合に引き込み速度を速くするために、位相検波器が周波数検波器として動作するように構成した。

ビットタイミング再生は、復調ベースバンド波形を用いてPLL (Phase Lock Loop)を制御する方式である。可変ビットレートに対応するために、発振周波数可変範囲の広い電圧制御発振器 (VCO)を用いてPLLを構成した。

また、AGCは復調ベースバンド波形のナイキスト点の振幅が一定となるように、バリオロッサを制御する方式である。

##### (2) 受信フィルタ

受信フィルタは、アナログ回路で構成したLPF (アンチエイアシ

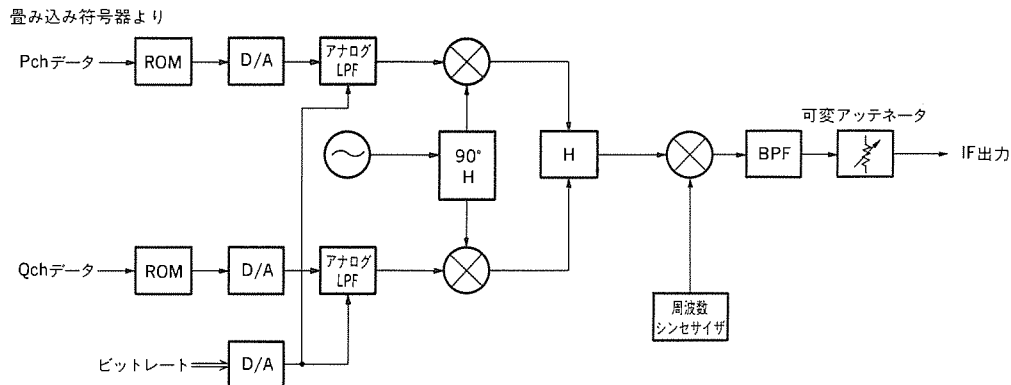


図5. QPSK変調器ブロック図

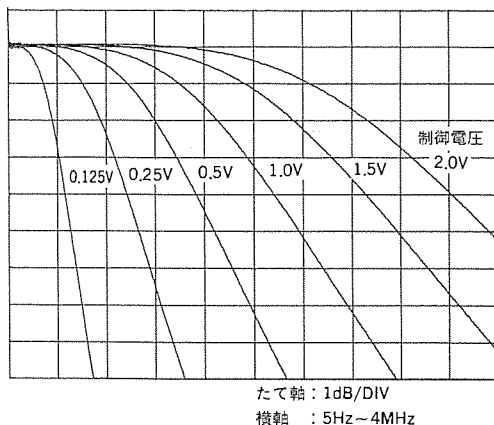


図 6. アナログLPF周波数特性

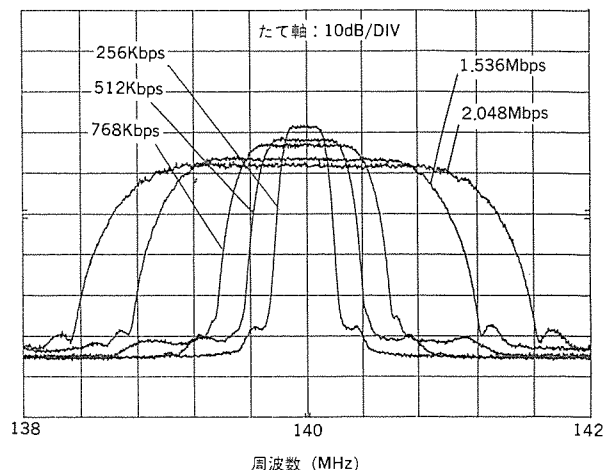


図 7. 送信スペクトル

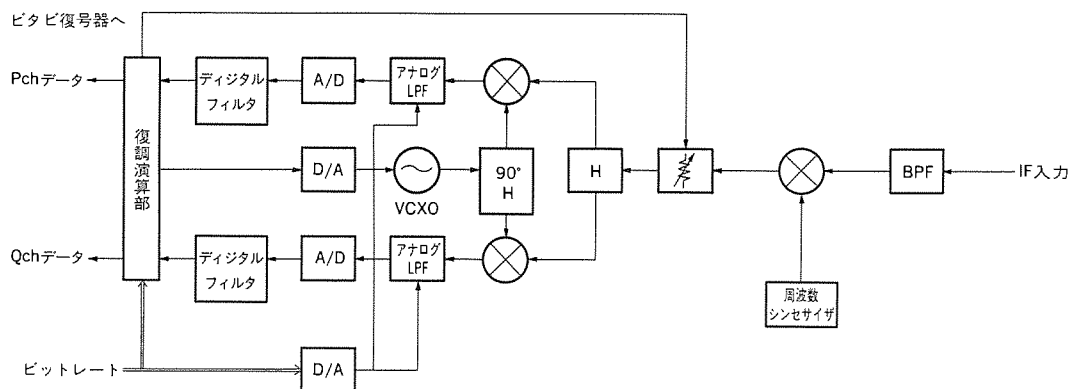


図 8. QPSK復調器ブロック図

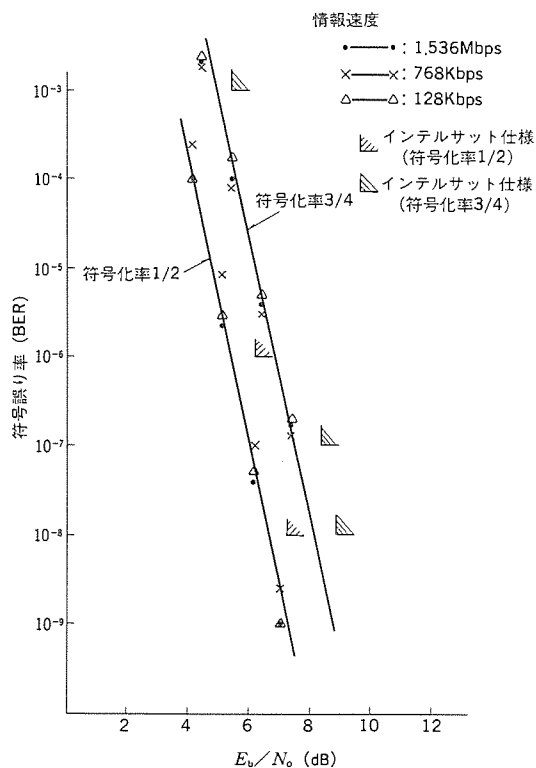


図 9. 符号誤り率特性

構成され、アンチエイシング フィルタには 3 章 QPSK 変調器で述べた電圧制御帯域可変アナログ LPF と同一のものが用いられている。また、デジタルフィルタを 17.5K ゲートのカスタム LSI<sup>(9)</sup> で構成し、上述の電圧制御帯域可変アナログ LPF と組み合わせることによって、可変ビットレートへの対応を可能とした。

#### 4.2 特 性

今回開発した QPSK 復調器においては QPSK 変調器と同様に、ハードウェアの変更なしで 32Kbaud ~ 6 Mbaud までのビットレートの変更が可能である。この復調器の  $E_b/N_0$  対ビット誤り率特性を図 9 に示す。同図は符号化率 1/2 及び 3/4 の畳み込み符号化—ビタビ復号器と組み合わせた場合の特性で、128Kbps, 768Kbps, 1.536Mbps の情報速度についてのデータである。図 9 から符号化率 1/2, 3/4 の場合ともに良好な特性を得ていることがわかる。

### 5. ビタビ復号器

ビタビ復号器は、ゲート敷き詰め方式による高集積度 LSI 5 個(メトリック計算 LSI 2 個、パスメモリ LSI 2 個、符号の同期 LSI 1 個)により構成され、大幅な小型化と低消費電力化が図られている。ビタビ復号器のブロック図を図 10 に示す。

#### 5.1 メトリック計算 LSI<sup>(4)</sup>

QPSK 復調器で 4 ビット (16 値) 軟判定された Pch 及び Qch のデータは、2 個のメトリック計算 LSI に供給される。それぞれのメトリック計算 LSI は、枝メトリック計算回路と 32 状態分の ACS (Add Compare Select=加算比較選択) 回路とから構成される。ACS 回路

ング フィルタ) と、変形 6 次パターワース特性を持つ 8 ビット、24 タップの FIR (Finite Impulse Response) デジタルフィルタとで

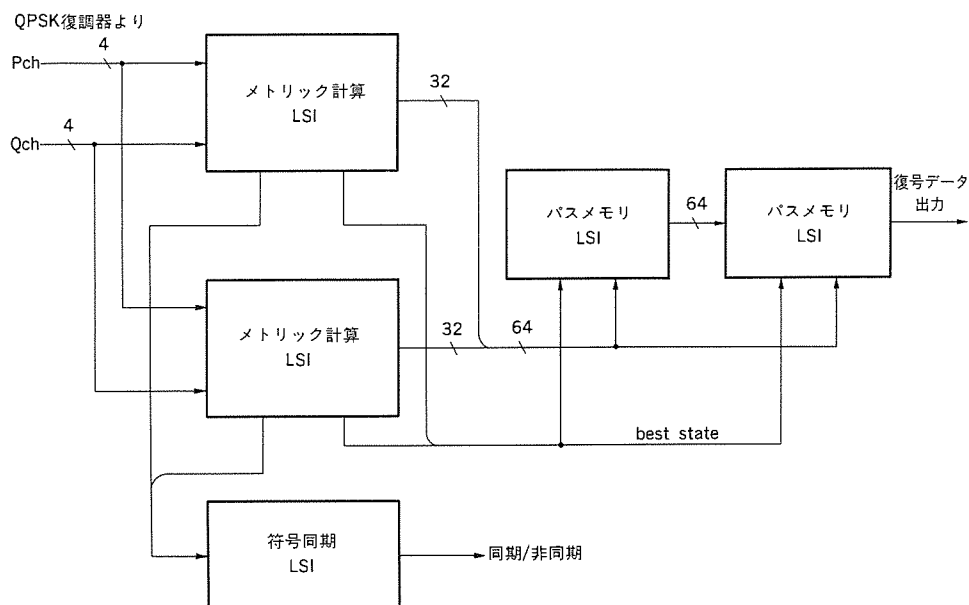


図10. ビタビ復調器ブロック図

のパスメトリックは、そのとりうる値の範囲を制限することにより<sup>(5)</sup>、ACS回路のハードウェア規模の削減が図られている。メトリック計算LSIは、ゲート数17Kで、281ピンPGAパッケージに実装されている。

## 5.2 パスメモリLSI

2個のメトリック計算LSIから出力された64ビットの選択信号は、2個のパスメモリLSIに供給される。パスメモリLSIは、レジスタエクスチェンジ法によるものであり、LSI1個が32段のパスメモリを構成している。このビタビ復調器では、符号化率3/4パンクチャド符号を考慮してパスメモリLSIを2個縦続接続し、打ち切りパス長を64とした。最後に、パスメモリからの復号データは、メトリック計算LSIからの最ゆう状態(“best state”)情報に基づいて出力される。パスメモリLSIのゲート数は17K、パッケージは281ピンPGAである。

## 5.3 符号の同期LSI

符号の同期LSIは、ACS回路の内部から符号の同期情報を取り出して積分し、符号の同期/非同期を判定する機能を持ち、ゲート数は4K、パッケージは80ピンQFPである。

このLSIは上記機能のほかに、ビタビ復号後の誤り率が復号前の誤り率に比べ格段に良いことを利用して復号前の誤り率を測定し、復号後の誤り率に換算する疑似誤り率測定機能を持ち、オンラインでの回線ビット誤り率の監視が可能である。

## 6. ベースバンド処理部

MS2100のベースバンド処理部は、図2におけるインタフェースからスクランブル/デスクランブルまでの部分のデジタル回路であり、大部分の回路を2個のカスタムLSI(表2におけるベースバンドLSIとインタフェースLSI)で構成し小型化した。

ベースバンドLSIはゲート数7Kで、160ピンQFPパッケージに実装され次の機能を持つ。

- (1) IBSフレーム多重化/分離化
- (2) スクランブル/デスクランブル

- (3) クロックPLL用分周回路
- (4) プレジオブッファのメモリアドレス制御
- (5) 各種アラームの検出

また、インタフェースLSIは、ゲート数5Kで160ピンパッケージに実装され次の機能を持つ。

- (1) CCITT勧告G.704, G.732に基づく2.048Mbpsデータのフレーム多重化/分離化及び各種アラームの検出
- (2) CCITT勧告G.704, G.733に基づく1.544Mbpsデータのフレーム多重化/分離化及び各種アラームの検出(12フレーム マルチフレーム及び24フレーム マルチフレームの両方に対応可)

## 7. む す び

インテルサット ビジネス衛星通信サービス(IFS)用チャネルユニットとして、衛星通信用ビットレート可変型モデムを開発・実用化した。このユニットはIFSシステムのみならず、各種の中速度ディジタル衛星通信システムに適用可能である。この開発により、回線容量の変更に対し迅速・容易かつ安価に対応することが可能となった。

最後に、この製品の開発に当たり御指導、御協力いただいた当社関係各位に感謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- (1) 巻田ほか：ビジネス衛星通信サービス(IFS)用無線設備、三菱電機技報, 61, No.12, p.932(1987)
- (2) INTELSAT EARTH STATION STANDARDS(IESS) Document IESS-309 (Rev.1A)
- (3) 藤野ほか：衛星通信用符号化モデム用LSI、三菱電機技報, 61, No. 9(1987)
- (4) 三宅ほか：バーストモード伝送用符号化率可変ビタビ復調器とそのLSI化、電子情報通信学会技術研究報告, IT87-21
- (5) 三宅ほか：パスメトリックのビット数を削減したビタビ復調器の特性、電子情報通信学会論文誌B, J71-B, No.4, p.555(1988)

# 浴室用換気・暖房・乾燥システム

鵜飼 誠\* 牛越康徳\* 可知忠勝\* 松井 進\*\*

## 1. ま え が き

近年、住宅の高層化、大気汚染、共働き夫婦の増加など様々な社会環境の変化から、洗濯した衣類を昼夜の区分や天候にかかわらず室内で乾燥したいというニーズが高まってきている。その中にある、浴室ゾーンの多用途化に伴い、衣類乾燥を中心とした乾燥室としての浴室利用が注目され、電気ヒータータイプ、温水コイルタイプ、ヒープンタイプなどの各種機器が販売されている。また、浴室の高級化指向の中での快適性追求も高まっており、寒冷地やシルパー市場を中心とした浴室の冬季の寒さ対策ニーズがクローズアップされてきている。また、建物保全としての強制換気は、結露やカビの発生を防ぐのに有効である。

今回開発した“浴室用換気・暖房・乾燥システム”は、前記の換気・暖房・乾燥の三つの機能を1台で行えることを実現させたものであり、ここでは開発の概要と実使用における性能評価結果について述べる。

## 2. 特 長

浴室用換気・暖房・乾燥システム (V-130BZD) の主な特長は次のとおりである。

### (1) 浴室を衣類乾燥室として利用

1kWシーズヒーターを内蔵し、18cmシロッコファンの強循環流により温風乾燥をするため衣類を傷めずに自然に乾燥する。同時に換気機能となるシロッコファンを運転させ、高温空気を排出するため効率良く乾燥することができる。

### (2) 冬季でも洗い場を暖かく保てる暖房機能

900W (450W×2本) 耐湿形赤外線クオーツヒーターを内蔵し、ふく射暖房と18cmシロッコファンの微風流での温風暖房により浴室を暖かく保つ。また、ふく射暖房は体感温度アップにも効果的であり、入浴中での暖房効果としては有効である。

### (3) 浴室保全に欠かせない換気機能

9.5cmシロッコファンにより強制換気をするので、結露やカビによる内装材の傷みを防ぐことができる。

### (4) 換気・暖房・乾燥は、それぞれ独立して運転可能

同こん(栴)しているコントロールスイッチにより、3機能の運転制御が独立して行え、必要に応じて選択が可能である。

### (5) コンパクト設計

天井内本体枠は、42cm角、高さ19.6cm、浴室内グリル厚みは1.5cmと薄形コンパクトで施行性が向上し、浴室内もスッキリしている。

### (6) 二重の安全装置付き

それぞれのヒーターに対し、温度過昇防止用オートカットと温度ヒューズを設け、また、誤結線などによる過電流保護用として電流ヒューズを内蔵し、二重の安全装置付きとしている。

## 3. 構成と仕様

図1に今回開発した浴室用換気・暖房・乾燥システムの外観、図2にシステムの構造、表1に仕様を示す。

このシステムは、ユニットバス等の天井面に固定した本体に換気専用の9.5cmシロッコファンと循環用の18cmシロッコファンを備えており、循環用風路の途中に1kWシーズヒーターと、さらに反射板に取り付けたクオーツヒーターを設けた構造としている。室内側にグリル、背面側にリレーを含む電装品を取り付け、換気用ファンの吐出口部分には、ダクト接続口を経由して屋外に接続するダクトと結び付ける構成である。

### 3.1 システムの動作

#### (1) 換気

換気用ファンの回転によりグリルの吸込口から浴室内の湿気を引き、ダクト接続口から屋外に排出される。

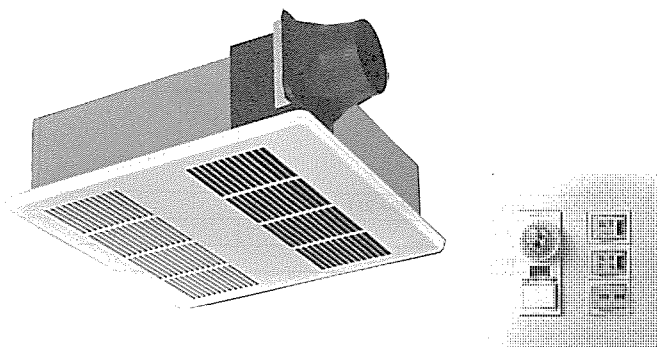


図1. V-130BZDの外観 (右側はコントロールスイッチ)

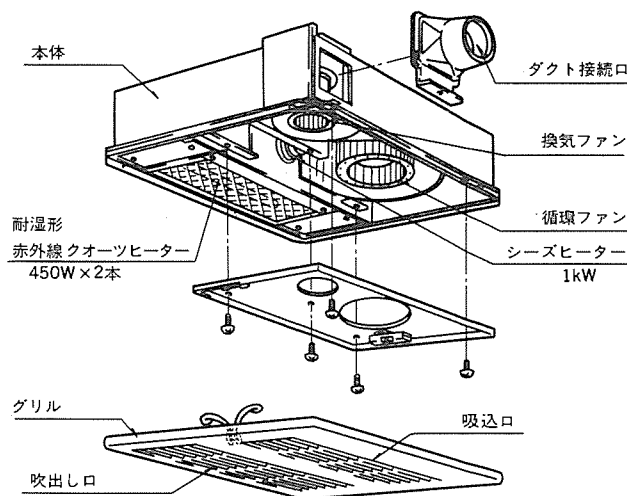


図2. システムの構造

## (2) 暖房

反射板に取り付けられたクオーツヒーターは、浴室天井部分から洗い場に向かって赤外線スポット照射し、反射板の角度により入浴者に対して直接赤外線暖房を行う。同時に、循環用送風機において不快を与えない微風を送っている。

## (3) 乾燥

循環用送風機を運転してグリル吸込口から吸い込み、吹出し口から下方に向かって吹き出す風に1kWシーズヒーターによる加熱を行い、温風として浴室につ（吊）るした洗濯物に直接当てることで乾燥を行う。なお、浴室内で発生した水蒸気は、同時に運転する

換気用送風機により屋外に排出され、温風により蒸発した湿気を排出する構造である。

これらの操作は、浴室外に設けたコントロールスイッチで換気モード、暖房モード、乾燥モードを選択して行う。

## 3.2 安全性

1kWシーズヒーターと900Wクオーツヒーターを内蔵した構造であり、取付場所もユニットバス等の天井裏のいんべい部であることから、安全性については二重の安全構造を採用している。それぞれのヒーターに対して、温度過昇防止用オートカットと温度ヒューズを二重に設け、また誤結線などによる過電流保護用として電流ヒューズを内蔵し、さらに換気用送風機、循環用送風機のモータ内部に温度ヒューズを内蔵している。

## 3.3 コントロールスイッチの動作

付属されているコントロールスイッチは、2個用埋込ボックスに取付け可能な構造として、12時間ON/OFFタイマーと換気用電源スイッチ、暖房乾燥用電源スイッチ、暖房乾燥切替スイッチから構成されており、機能別運転体系は、

- (1) 換気モード：換気用送風機のみ運転
- (2) 暖房モード：クオーツヒーター、循環用送風機（微風）運転
- (3) 乾燥モード：シーズヒーター、循環用送風機（強風）運転、換気用送風機運転

以上のような運転体系をコントロールスイッチにより制御する。

図3に結線図を示す。

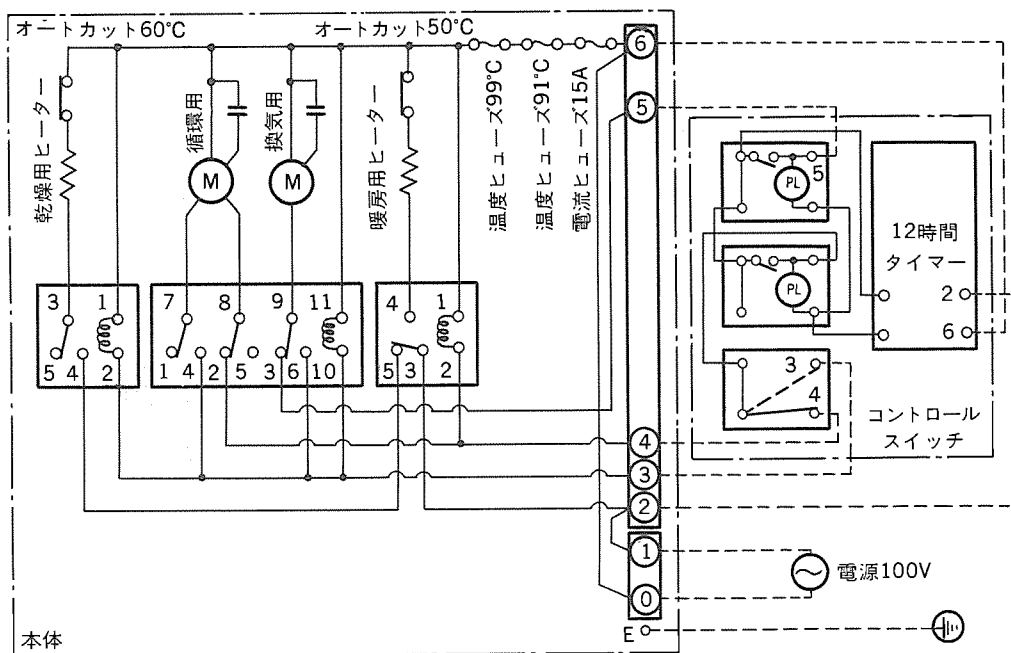
## 4. 性能評価と使用例

浴室という限られた環境空間の中で、換気・暖房・乾燥のそれぞれの機能を最大限発揮するため、浴室暖房のエコロジー改善と乾燥スピードの改善に主眼をおいた。

このシステムを開発するに当たり、幾つかの規定を満足しなければならないが、なかでも東京消防庁の指導基準を重視した。製品設

表1. V-130BZPの仕様

| 項目           | 仕様                                                                                                                 | 備考                        |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 換気           | 送風方式<br>風量<br>騒音<br>消費電力<br>シロッコファン<br>100/102m³/h<br>32/33ホン<br>11/12W                                            |                           |
| 暖房           | 加熱方式<br>発熱量<br>送風方式<br>風量<br>騒音<br>消費電力<br>電気ふく射式<br>774kcal/h<br>シロッコファン<br>102/96m³/h<br>29/28ホン<br>917/918W     | 耐湿形赤外線クオーツヒーター<br>450W×2本 |
| 乾燥           | 加熱方式<br>発熱量<br>送風方式<br>風量<br>騒音<br>消費電力<br>電気温風式<br>860kcal/h<br>シロッコファン<br>230/220m³/h<br>46/45ホン<br>1,032/1,054W | シーズヒーター1kW                |
| 安全機能         | オートカット 2個<br>温度ヒューズ 2個<br>電流ヒューズ 15A                                                                               |                           |
| コントロールスイッチ   | 12時間ON/OFFタイマー<br>換気スイッチ<br>暖房スイッチ<br>乾燥スイッチ                                                                       | 付属品                       |
| 外形寸法 (mm)    | 480×480×211                                                                                                        |                           |
| 重量 (kg)      | 9                                                                                                                  |                           |
| ダクト接続パイプ(mm) | φ100                                                                                                               |                           |



\* 破線は客先で工事を行うケーブルを表す。

図3. 結線図



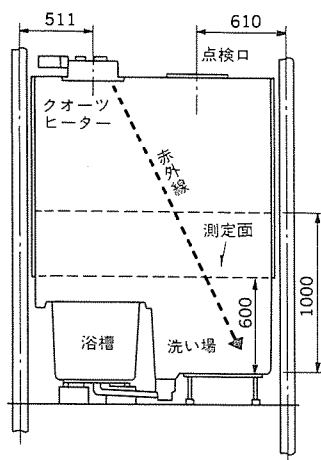


図4. 暖房時の概念

試験条件と測定方法

- ・外気温度  $-1.0^{\circ}\text{C}$
- ・浴室の大きさ  $1.6 \times 1.6 \times 1.99\text{H (m)}$
- ・運転時間 2.0h経過後

単位: mm

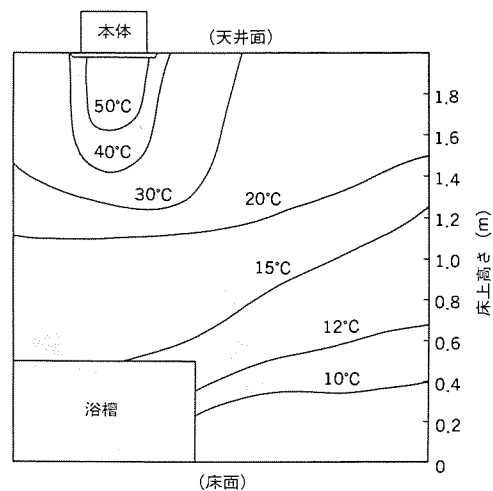
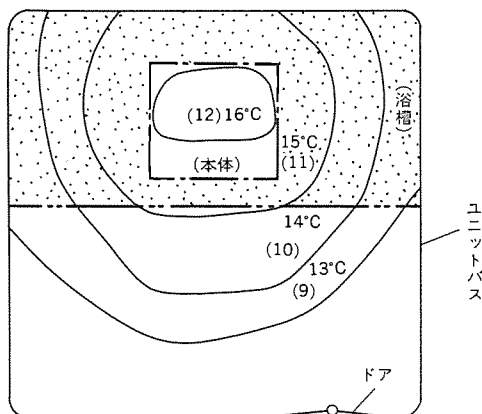


図5. 浴室中央の垂直温度分布

■ 暖房効果(床面から0.6mのポイント)



■ 暖房効果(床面から1.0mのポイント)

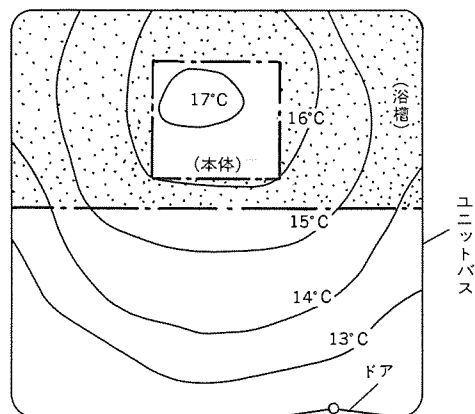


図6. 水平面温度分布 (( )内は1時間経過後)

計上のポイントとなる内容は次のとおりである。

- (1) 外かく表面温度は、 $100^{\circ}\text{C}$ 以下とすること。
- (2) 電熱装置の容量は、 $1.5\text{kW}$ 以下とし過熱防止装置を設けること。
- (3) 送風機が故障等により停止した場合は、電熱装置・電源を遮断するものであること。
- (4) 温風吹出し温度は、 $95^{\circ}\text{C}$ 以下とすること。
- (5) 容易に点検及び整備ができる構造とすること。

以上のような目標、制約事項を踏まえ、最適な設計をするために各種性能評価を行った。以下、これらの項目の詳細について説明する。

#### 4.1 暖房

##### (1) 製品仕様決定のポイント

従来方法は、天井面から入浴者に対して温風を吐出し直接採暖を行っていたが、その温風は条件によっては寒さを体感させる欠点があった。特に冬場の入浴時において、使用頻度の高い暖房機能の改善は不可欠である。この問題点を次の方法で解決した。

- 防湿形赤外線クオーツヒーターの導入
- 赤外線スポット照射

反射板により洗い場に赤外線のかく射を集中させ、暖房効果を得る。

##### (2) 結果

図4にユニットバス標準取付状態、図5に中央垂直面の温度分布、図6に床面0.6m、1.0mの水平面の温度分布を示す。

これから、本体吐出部近傍で $50^{\circ}\text{C}$ 、洗い場で $10 \sim 13^{\circ}\text{C}$ となり広い範囲で熱の広がりがあることがわかる。送風は微風速(浴室内気流速 $0.1 \sim 0.2\text{m/s}$ )で、暖房はふく射が支配的であるため、実際に肌で感ずる温風は数値以上の効果があることを確認した。図5、図6の値は2時間運転後の結果を示しており、コントローラによる予備運転の必要性がある。

#### 4.2 乾燥

##### 4.2.1 製品仕様決定のポイント

浴室内での乾燥は、天井面からの温風下に洗濯物を吊るした状態で乾燥を行うため温風吹出し部からの距離により乾燥度が異なる。これは、温風の当たり具合が大きく影響しているからで、乾燥スピードに寄与する大きな要素である。したがって、浴室内での乾燥スピード向上のために、吹出し温風の風量・風速・吹出し角度、及び同時に運転する換気扇の換気量をパラメータとして次の項目の検討

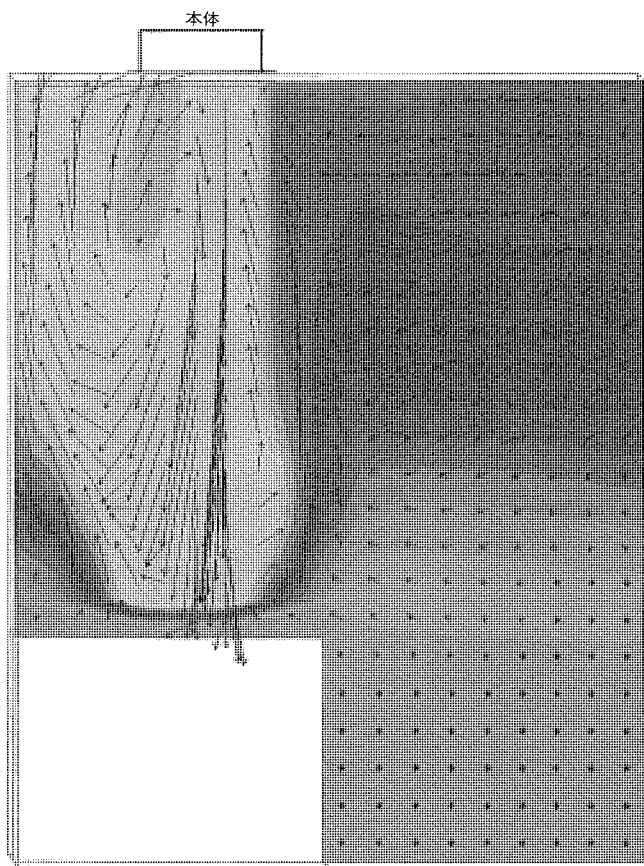


図7. CAEによる吹出し風速のシミュレーション例

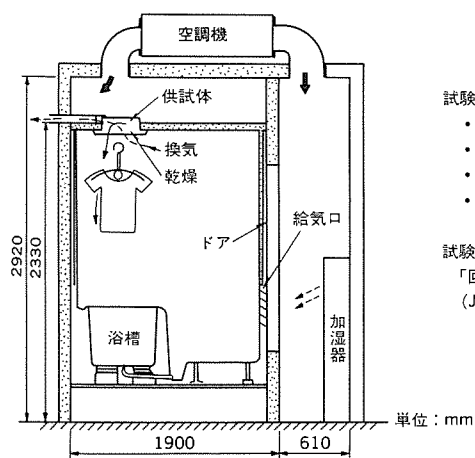


図8. 試験室の概要

を行った。①洗濯物と吹出し口の位置、②吹出し風速と乾燥時間、③換気量と乾燥時間、④ヒーター容量と乾燥時間

また、図7に示すCAEによる吹出し風速のシミュレーションにより、事前に改善の方向性を得た。なお、仕様決定に当たっては、東京消防庁の指導基準及びフィールドテストによる騒音を基準としている。

#### 4.2.2 結果

図8は乾燥時間試験の試験室概要である。

##### (1) 乾燥スピードに関する要因

図9は、運転時間と浴室内に吊り下げられた衣類の重量変化を示

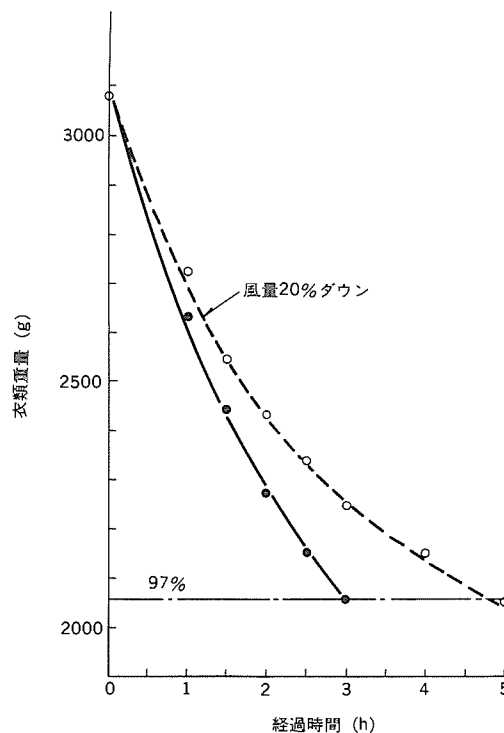


図9. 衣類重量の変化

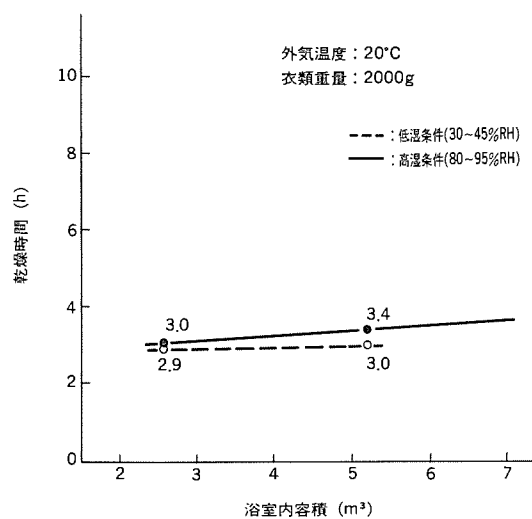


図10. 容積変化に対する乾燥時間

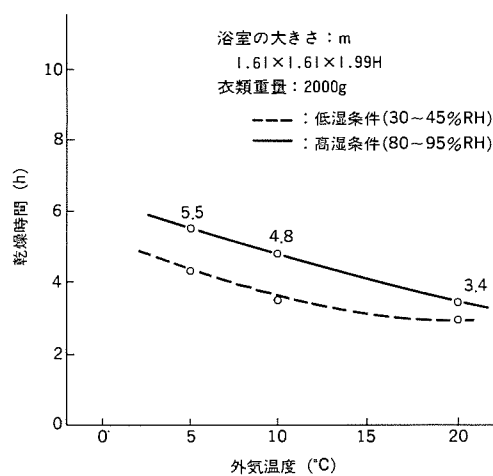


図11. 外気温度に対する乾燥時間

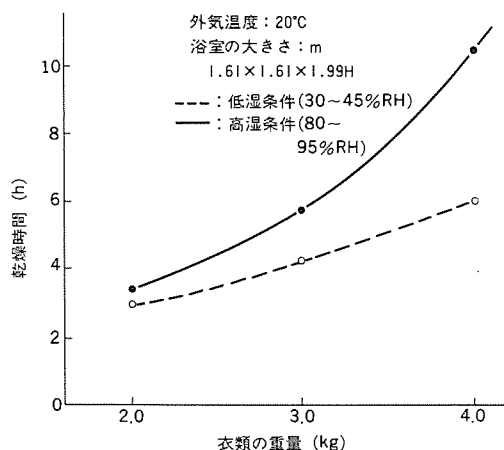


図12. 衣類重量に対する乾燥時間

したものである。ユニットバスの大きさ、外気温度により多少異なるが、システム運転開始から約3時間後に、洗濯物の乾燥度が97%に達する。運転直後は乾燥スピードが直線的であり、1.5時間以降はなだらかな曲線をえがいている。これは、衣類の乾燥が温風吐出口に近い部分から始まり順に下方へ移るため、衣類の下端が温風吐出口近傍よりも乾きにくいことを意味する。

図9に示すように、温風吐出風速を20%小さくすると、1.5時間乾燥時間が延びる。吐出風速を大きくすれば乾燥時間短縮化に極めて有効であるが、更に風速をアップすると騒音が大きくなる、温風温度が低下する、本体がコンパクトにならない等の問題があり、現在の仕様に決定した。

#### (2) 外部要因による乾燥時間への影響

図10は、ユニットバスの大きさと乾燥時間の関係を示したものである。浴室内容積が7m³程度までの範囲なら顕著な差はなく、これは衣類に直接温風を当てているからである。

図11は、浴室外部の温度の影響を試験した結果で、外気温度が高いほど乾燥時間が短く、冬季と夏季では約1時間の差が出ることを確認した。

図12は、衣類の重量を変えて乾燥時間を測定した結果である。衣類重量に比例して乾燥時間も長くなるが、室外が高湿条件においては重量が増すと極端に時間が長くなる傾向にある。これは、衣類間のすき間が小さいために温風が均一に当たらず、低湿条件下（30~50%）ではその影響が小さいことを示している。その他の試験によ

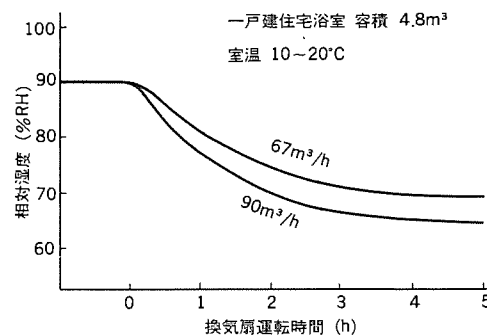


図13. 換気による相対湿度の変化

れば、同重量でも繊維の種類や形状がちがうと乾燥時間が異なり、例えばジーパン、綿作業服とつなぎの作業服では約1時間乾燥時間が遅れ、また浴室壁面の結露状態から衣類の乾燥を開始すると、壁面乾燥状態に比べ30分強遅れた。

#### 4.3 換気

浴室は、水や湿気が長時間とどまるため、住宅の中で最も傷みが早い場所である。部屋の密閉度が高く、カビの発生、建材の腐食などを防ぐには、換気扇による強制的な換気が不可欠である。図13は、一般浴室における排湿効果を測定したものである。換気扇の風量により多少異なるものの、入浴後3時間以上換気扇を運転すれば相対湿度は外気と等しくなり（平衡状態）、浴室の内部は乾燥することがわかる。換気運転時、コントロールスイッチ部のタイマー運転により時間選択ができ、少なくとも3時間以上の運転が住宅の保全に効果的である。

## 5. む す び

安全に関する規定を満足させて、浴室の高級化、多用途化ニーズの一環として開発したこのシステムは、初期の目的とした暖房・乾燥・換気機能を1台の製品で実現することができた。生活における快適さからゆとりへの意識変化から、このシステムで代表されるようなサニタリーゾーン機器の高性能化への要求は、ますます強まるであろう。これに対処するためには、暖房・乾燥・換気技術を含めた広い意味での空気アメニティの追求が必要である。今後もこのシステム開発で培った技術をもとに、次世代のシステムを開発していく予定である。

# ICリードフレーム用新銅合金MF224

橋爪公男\* 中西輝雄\* 北風敬三\* 久保菌健治\*\*

## 1. ま え が き

近年の電子機器の高性能化、小型化、多機能化へのニーズの高まりに伴い、IC実装分野においても、パッケージの小型化と多ピン(リード)化への推移と同時に表面実装タイプのQFP (Quad Flat Package) やSOP (Small Outline Package) といったパッケージが増えるとの予測<sup>(1)</sup>がなされている。これらのパッケージの中で、特にQFP用のリードフレーム (以下、L/F材という。) 材としては、強度面で優れる42アロイ (Fe-42%Ni) が主に使用されているが、熱伝導性が著しく低いことや材料価格が高いなどの問題があり、このため熱伝導性に優れ、かつ高強度で安価な銅系L/F材の開発が強く求められている。

IC L/Fは、ICチップを乗せて固定し、チップを外部回路と電気的に接続するための枠構造で、ICパッケージの構成要素であり、QFP用のL/F材に要求される主要特性としては、次のようなものがある。

- (1) リードの変形を起こしにくい高強度であること。
- (2) リードの4方向化に対応して成形加工性及び強度の面で異方性が小さいこと。
- (3) 放熱性を良くするために熱伝導性が高いこと。
- (4) 耐熱・耐食性などの多面的な信頼性が高いこと。

熱伝導性 (導電性に比例する。) の優れる高強度銅合金としては、析出硬化型のCu-Ni-Si合金、いわゆるコルソン合金<sup>(2)</sup>と呼ばれるものがあり、一方、Cu-Ni-P合金に関しても多数の特許が出願<sup>(3)</sup>されている。前者はNi-Si、後者はNi-Pの微細な金属間化合物の析出により強度と導電性を向上させ得ることが知られている。

筆者らは、QFP対応のL/F用銅合金 (主要仕様: 引張強さ ( $\sigma_B$ ) > 65kgf/mm<sup>2</sup>, 熱伝導率 ( $\kappa$ ) > 0.4cal/cm・s・°C) の開発を目標に、Cu-Ni-P-Si系合金について組成や加工・熱処理条件と諸特性の関係などの詳細な検討を行い、Cu-2.4%Ni-0.16%P-0.4%Si合金 (商品名 MF224) の開発に成功し、製品化した。

この論文では、MF224合金のQFP用L/F材としての $\sigma_B$ や $\kappa$ などの基本特性を中心に、この合金の組織観察による強化機構の概略について述べ、併せて他の実用面の諸特性についても報告する。

## 2. 試料及び実験方法

供試材は、Cuを主成分に重量%でNi2.4%、P0.16%、Si0.4%を配合して高周波溶解後、連続鍛造により造塊し、溶体化処理(800°C)と冷間加工を繰り返して0.25mmの厚さの板材に仕上げた。なお連続熱処理炉での800°Cの最終の溶体化処理に続いて、バッチタイプの熱処理炉で450°C、2時間の時効処理を施した後、圧下率37%で仕上げ圧延を行った。表1に試料の化学分析値を示した。

この試料を用いてQFP用L/F材に必要な諸特性として引張強さ、繰返し曲げ性などの機械的特性並びに導電率、熱伝導率などの物理的特性、さらに信頼性面から重要な耐食性、マイグレーション感受

性などについて評価した。また、同合金の強化機構の解明のため、透過電子顕微鏡を用いて微細組織観察及び析出相の構造解析を行った。透過電子顕微鏡による組織観察用薄膜は次の手順により作製した。まず、対象試料を硝酸とリン酸の1:1の混合溶液中で板厚が0.03mmになるまで化学研磨を行い、次に-30°C以下に冷却した硝酸とメタノールの1:2の溶液中で窓枠法により電解研磨を行った。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 引張強さと熱伝導率

MF224合金で得られた基本特性としての引張強さと熱伝導率の関係を他の代表的な実用L/F材の特性とともに図1に示す。ここで、MF224合金は最適条件で時効処理後、圧下率37%の冷間加工を施したもの(H材)についての特性であり、他の材料もH材の特性を示した。図から明らかなように、現在実用されているL/F用銅合金の場合は、高強度と高熱伝導性を兼ね備えたものではなく、この両特性は一般的に逆比例の関係にあった。今回開発したMF224合金は、高強度と高熱伝導性を併せ持つ合金であり、引張強さ70kgf/mm<sup>2</sup>、熱伝導率0.43cal/cm・s・°Cを示し、開発目標を共に満足するものであった。また、42アロイと比較してMF224合金は引張強さは同レ

表1. 試料の化学組成

| (wt%) |      |      |       |       |    |
|-------|------|------|-------|-------|----|
| Ni    | P    | Si   | Pb    | Fe    | Cu |
| 2.38  | 0.17 | 0.38 | 0.005 | 0.001 | 残  |

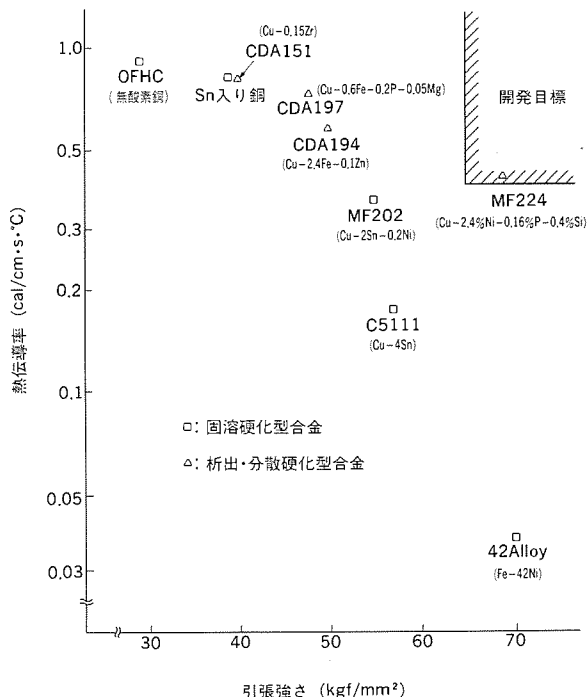


図1. 各種実用L/F材の引張強さと熱伝導率

ベルであり、熱伝導率は10倍という極めて優れた特性を持つことがわかる。

### 3.2 引張特性及び導電率と時効温度の関係

MF224合金を溶体化処理 (800°C, 数分) 後, 350~500°Cで時効処

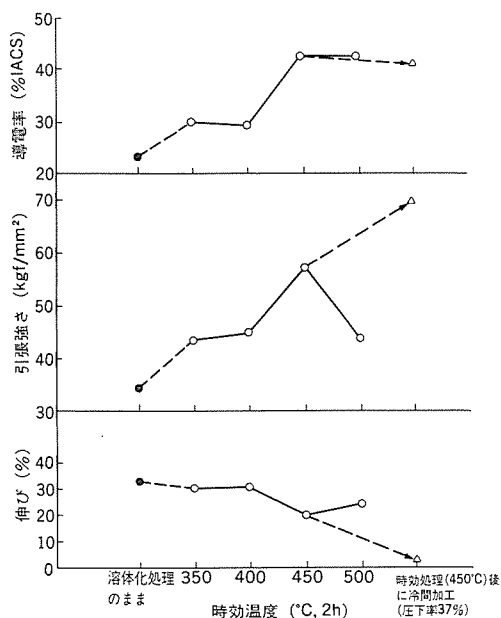
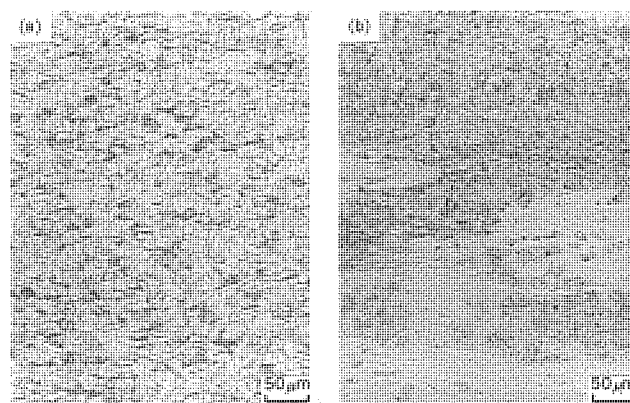


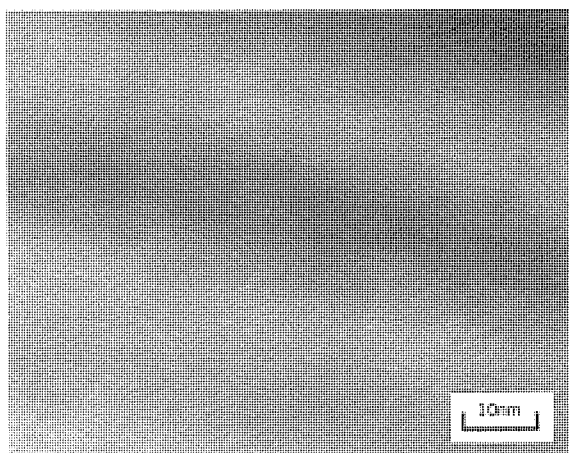
図2. MF224合金の引張特性及び導電率と時効温度の関係

理したときの引張特性及び導電率の時効温度との関係を図2に示す。この図には、時効処理によってピーク強度が得られる450°C時効処理後に37%の圧下率で冷間加工を行ったときの各特性の変化も示した。この合金は溶体化処理後に時効処理を施すと、析出硬化現象により、引張強さ、硬さなどの機械的強度及び導電率、熱伝導率などの物理的性質の顕著な向上が認められた。図2にみられるように、450°Cで時効処理することによって引張強さは溶体化処理状態より約24 kgf/mm²向上し、導電率は約19%IACS増大した。また、450°C時効後に冷間加工 (圧下率37%) を行った場合、引張強さは時効状態よ

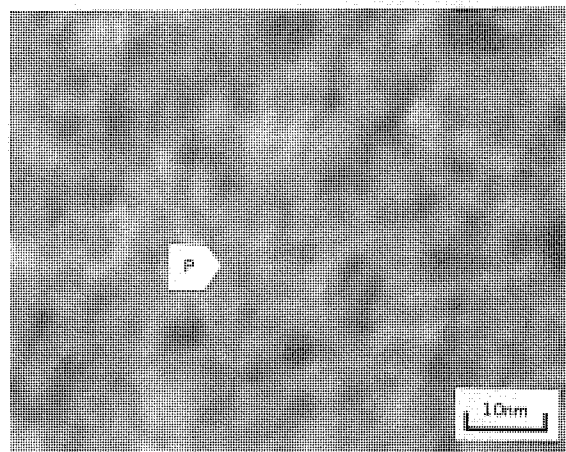


(a) Cu-2.4Ni-0.16P-0.4Si合金 (b) Cu-1.5Ni-0.32P合金

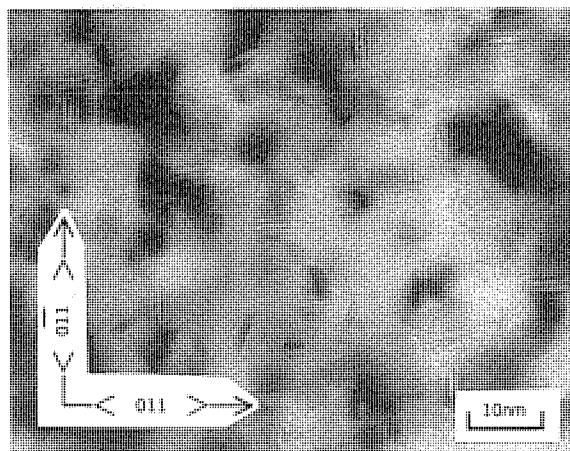
図3. MF224合金(a)及びCu-Ni-P合金(b)の光学顕微鏡組織



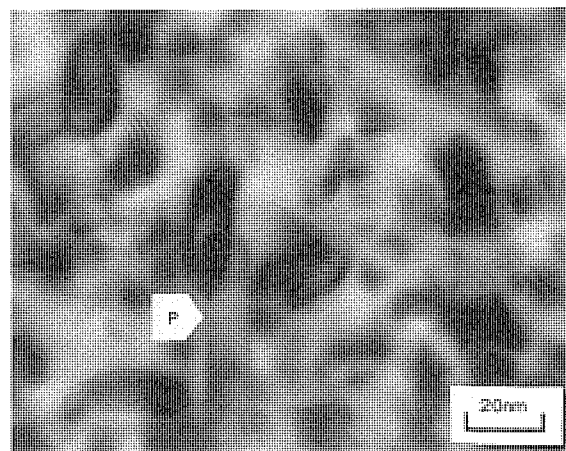
(a) 溶体化処理状態



(b) 350°C



(c) 450°C



(d) 550°C

図4. 時効処理温度の異なる試料の透過電子顕微鏡組織 800°C溶体化処理後各2時間の時効処理

り更に大幅に向上し、70kgf/mm<sup>2</sup>という優れた値が得られた。一方、導電率は最高強度の450°Cでの時効状態よりわずかに減少するものの42%IACSの優れた値を示した。

### 3.3 光学顕微鏡による組織観察

MF224合金の開発に至るまでの過程でCu-Ni-Pの3元合金についても検討を行ったが、開発目標に対して熱伝導率は満足したものの機械的強度が不十分であった。このため、Cu-Ni-P-Siの4元合金へ研究対象を移した経緯がある。MF224合金(a)及び参考としてCu-Ni-P合金(b)の光学顕微鏡組織を図3に示す。(a),(b)共に450°C×2h時効処理後、37%の冷間加工を施した状態の組織である。MF224合金の組織は結晶粒の大きさが一様で、かつ比較的微細であるが、Cu-1.5Ni-0.32P合金は不均一な組織を呈している。両合金の強度面の差はこれらの組織の違いからも示唆される。

### 3.4 電子顕微鏡による組織観察

この合金の基本特性の測定結果から、この合金は42アロイに匹敵、若しくはこれを超える強度及び熱伝導性を持つことが明らかになったが、これは微細な析出相の生成によることが考えられる。

析出硬化型合金は、過飽和固溶体の相分解によってGPゾーン又は変調構造の生成に続いて中間相から平衡相の析出に移行する場合と、

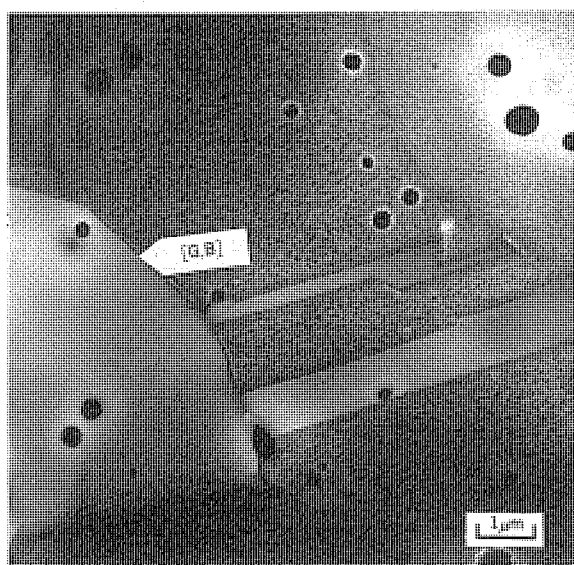


図5. 550°Cで時効処理した試料の透過電子顕微鏡組織

核生成から直接平衡析出相に移行する場合の二つの過程があり、変調構造の生成や微細な中間相又は平衡相を均一に分散析出することによって高强度合金の得られることが報告<sup>(4)</sup>されている。そこでMF224合金のL/F材として優れた基本特性を持つ要因を明らかにするために、透過電子顕微鏡により内部組織観察を行い、析出相の成長過程と結晶構造について調べた。

図4は、溶体化処理後の時効処理温度を変えたときの析出状態の変化を示す透過電子顕微鏡組織である。

図2の時効処理温度と引張強さとの関係を示すグラフでは、450°Cで最高強度を示したが、これに組織観察結果を対応させると、350°C(図4(b))では2~3nmという極微細な析出粒子(P)が生成し、最高強度を示す450°C(図4(c))では約5nmとなる。これらの析出粒子はしま(縞)模様を示すことから、形は厚さの薄い円板状で、この周囲に整合ひずみによるコントラストの変化が見られる。さらに、時効温度が上昇するにしたがって図4(d)に見られるように析出粒子は大きく成長し、短冊形に変化している。

このような観察結果から、この合金の強化機構は、マトリクスに比べて塑性変形の起こりにくい微細析出粒子がマトリクス中に均一に分散して、変形に伴う転位の動きを阻害することによるものと考えられる。

その他、顕微鏡組織的に機械的強度を左右するものとして結晶粒界の状態があり、結晶粒界に沿った比較的大な粒状析出物と、この析出に伴う結晶粒界両側に無析出帯が生じた場合に、その部分で応力集中を起こして破壊を生じやすくなり、じん(靱)性(材料のねばり強さ、すなわち強度が高いレベルで成形能が良好な性質)に悪影響を及ぼす<sup>(5)</sup>ことが知られている。

この合金の結晶粒界の状態について調べた結果が図5であるが、結晶粒界(G.B)に沿った粗大析出粒子と無析出帯は認められない。このような結果が、結晶粒内の微細析出粒子とともに、優れた機械的特性を示す要因と考えられる。

図4で見られた時効温度の上昇に伴う析出粒子の成長によりマトリクス内の溶質原子のき(稀)薄化が進み、その結果として導電率が向上し、L/F材として好ましい特性が付与される。これについては、図2で時効温度とともに導電率の増加が見られたことから明らかである。

次に、結晶粒内の析出物がどのような結晶構造を持ち、どのよう

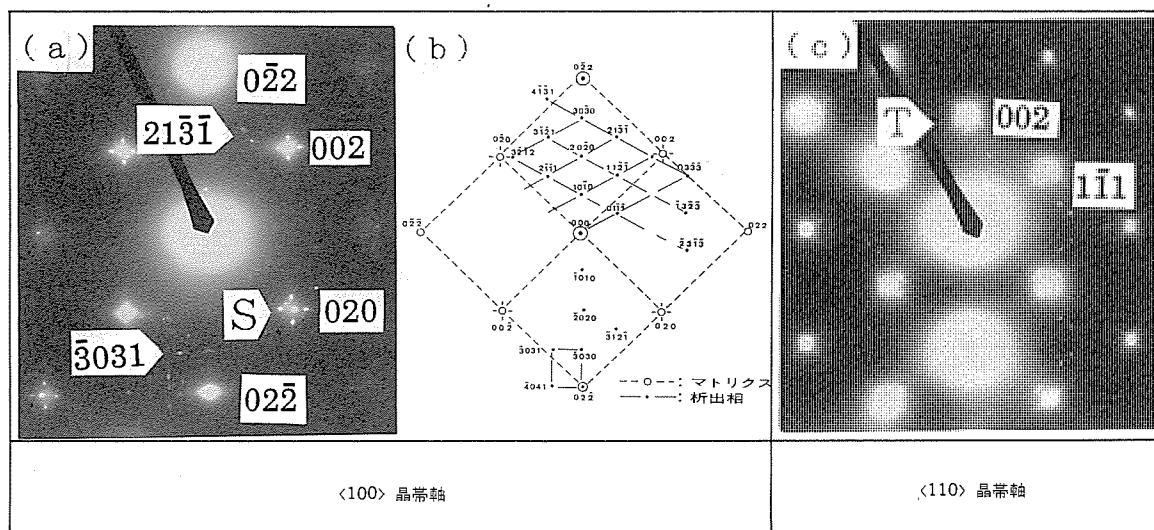


図6. 550°Cで時効処理した試料の電子線回折図形

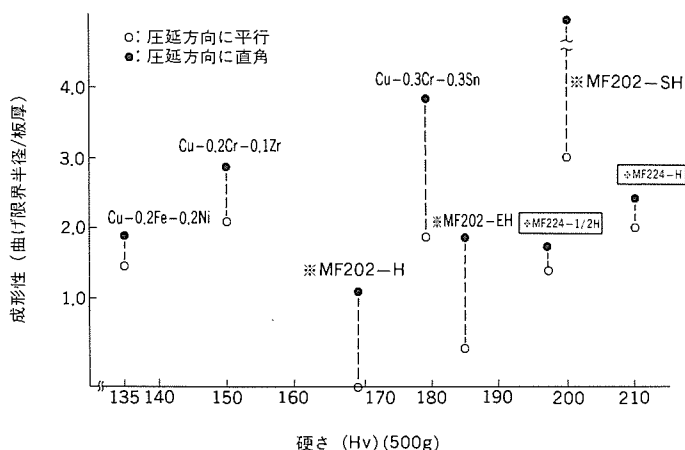


図7. MF224合金と実用銅系L/F材の成形性の硬さ  
(※印は当社製L/F材)

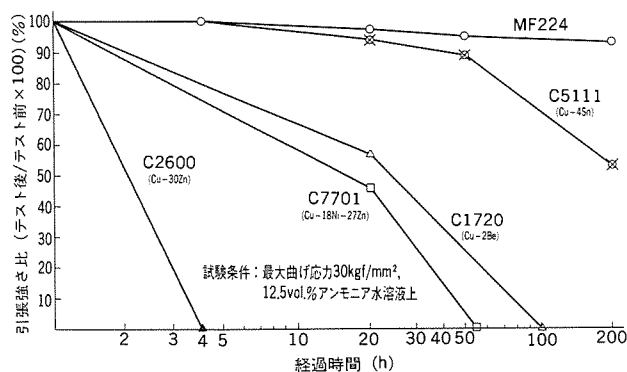


図8. MF224合金と実用銅合金の耐アンモニア応力腐食性

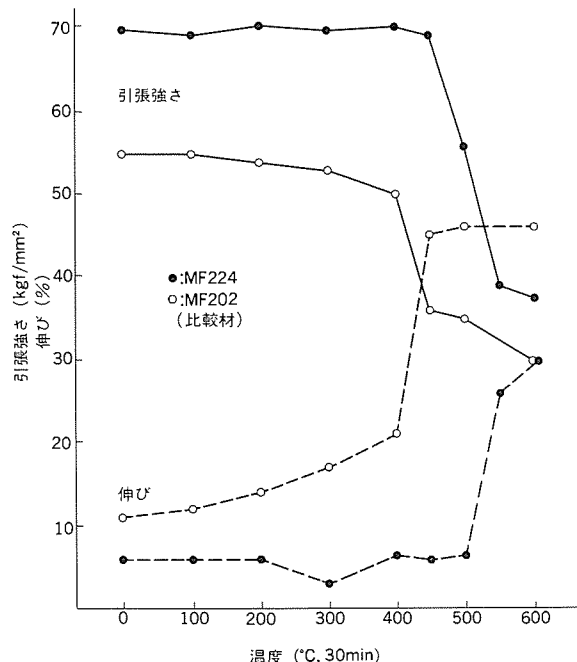


図9. MF224合金の軟化特性

な化合物であるかについて制限視野電子線回折により調べた結果を図6に示す。時効温度が450°Cまでは析出相の明確な回折はん(斑)点が見られなかったが、500°C以上では図6(a)に示すように明るいマトリクスの回折斑点のほかに析出相の多数の小さくて淡い回折斑点が見られた。この中から規則的に配列した回折斑点を見出し、そ

れぞれに指数付けしたのが図6(b)である。この指数付けによる解析から析出相の結晶構造は六方晶であり、格子定数として $a=6.0\text{\AA}$ 、 $c=15.2\text{\AA}$ が得られた。この値は、Ni-Si系化合物の中で $\text{Ni}_5\text{Si}_2$ に近いことから、析出粒子はこの化合物のSiの一部がPと入れ代わり、 $\text{Ni}_5(\text{Si}, \text{P})_2$ となっていると推定される。

このほかに図6(a)の析出相の特徴を示す回折斑点として $\{200\}$ 回折点の四方にサテライト斑点(S)が見られ、また図6(c)の $\langle 110 \rangle$ 晶帯軸電子線回折図形では、析出相に関係するストリーク(T)が母相の $[111]$ 結晶方向に伸びているのが認められた。このことから、析出粒子の晶へき(癖)面(マトリクスの特定の結晶面に沿って析出が起こる場合、その特定の結晶面を晶癖面という。)は $\{111\}$ 面であり、このマトリクスの結晶面に沿って析出粒子が成長することが明らかになった。

以上の電子線回折の結果では、六方晶の回折斑点のみが見られ、その他中間相などに相当する回折像が見られなかったことにより、この合金の析出過程は、析出核から直接、平衡相に移行・成長するものとする。

#### 4. 実用面で必要なその他の特性

QFP対応のL/F用MF224合金の実用の際に必要な特性として、成形性(曲げ加工性)、耐熱性、耐応力腐食感受性などを調査した。

##### 4.1 成形性(曲げ加工性)

図7にMF224合金と実用銅系L/F材についての成形性(曲げ加工性)と硬さとの相関を示す。成形性は、JIS B 7778に定められているVブロック法により90度V曲げを行い、板厚に対して割れを生ずることなく曲げ可能な限界半径を求め、評価した。図中の○印は圧延方向に対し平行の、●印は直角方向の成形性を表す。

MF224合金は、高い硬さを持つにもかかわらず成形性が良好で、また圧延方向に対して平行・直角方向での成形性の差、すなわち成形異方性が他のL/F材に比べて極めて小さい。このことは、素材を曲げ加工した際に、曲げ角度などの方位による差やばらつきが少ないことになり、特にQFPのように4方向にリードを曲げ加工するパッケージにおいては好適な材料である。

##### 4.2 耐アンモニア応力腐食性

図8は、MF224合金と比較材として代表的な実用銅合金についての耐アンモニア応力腐食試験結果である。試験は、CES(通信機械工業規格)に定められているCES-A法に準じて12.5vol.%のアンモニア水溶液をデシケータ底部に入れ、その雰囲気ガス中において30kgf/mm<sup>2</sup>の曲げ応力を与え、所定時間ごとに引張試験を行って試験前の各材料の引張強さを基準に、その低下率をもって耐食性を評価した。

MF224合金は、C5111合金やC1720合金などに比べて応力腐食感受性が小さく、耐食性の面でも非常に優れている。

##### 4.3 耐熱性

図9にMF224合金の耐熱性をMF202合金と比較して示した。比較材のMF202合金は約300°Cで軟化が始まるのに対し、MF224合金の場合は450°CとMF202合金よりも軟化開始温度で約150°C高い水準にある。このことは、ICのアセンブリ時の加熱を伴う工程においても、より高い熱的信頼性が確保されることになる。

##### 4.4 マイグレーション感受性

ICパッケージは高密度実装の進展に伴ってますます小型化し、リードピッチ間隔も従来の2.54mmから1.0、0.8、0.65mmへと狭くな



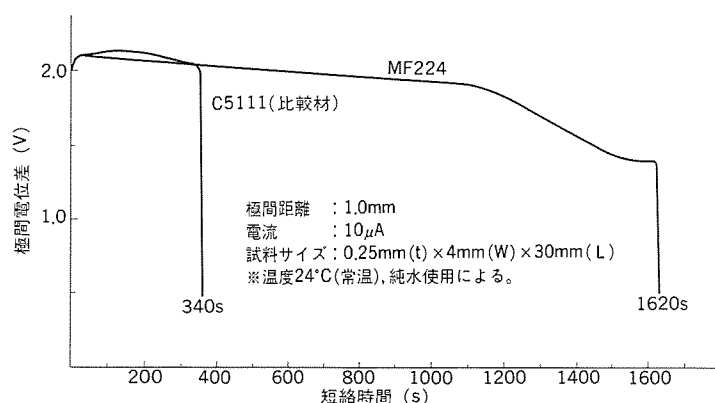


図10. MF224合金のマイグレーション特性

| 試料     |             | 硬さ(Hv)<br>(500g) | 繰返し曲げ数(回) |  |  |  |  |  |  |  |
|--------|-------------|------------------|-----------|--|--|--|--|--|--|--|
| MF224  | H<br>37%OH  | 213              | 平均値5.5回   |  |  |  |  |  |  |  |
|        | EH<br>15%OH | 168              | 5.9       |  |  |  |  |  |  |  |
| MF202  | EH<br>15%OH | 185              | 4.8       |  |  |  |  |  |  |  |
|        | SH<br>85%OH | 200              | 4.3       |  |  |  |  |  |  |  |
| CDA194 |             | 138              | 3.4       |  |  |  |  |  |  |  |
| 42アロイ  |             | 196              | 6.3       |  |  |  |  |  |  |  |

試験条件  
 曲げ回数: 回/180度1往復  
 試片: 0.25(t) × 7(W) × 20(L) (mm), 圧延方向に平行  
 試片数: 各試料5本  
 荷重: 500g

図11. MF224合金と代表的な実用L/F材の繰返し曲げ性

表2. MF224合金と実用L/F材との諸特性の比較

| 合金名                                          | 開発材                                 | 従来材(1)                     | 従来材(2)           |
|----------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|------------------|
|                                              | MF224                               | CDA194                     | 42アロイ            |
| 組成 (wt%)                                     | Ni 2.4<br>P 0.16<br>Si 0.4<br>Cu 残り | Fe 2.4<br>Zn 0.12<br>Cu 残り | Ni 42<br>Fe 残り   |
| 引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )                  | 70                                  | 45                         | 68               |
| 導電率 (%IACS)                                  | 42                                  | 65                         | 3                |
| 熱伝導率 (cal/cm・s・°C)                           | 0.43                                | 0.59                       | 0.036            |
| 繰返し曲げ回数<br>(500g, 回/180°, 1往復)               | 5.5                                 | 3.4                        | 6.3              |
| はんだめっき耐熱はく離性<br>(150°C, 大気中→90°V曲げ, R 0.2mm) | 1,000h時点で、はく離した。                    | 500hで、はく離した。               | 1,000h時点で、はく離なし。 |
| 耐マイグレーション性<br>(短絡までの時間)                      | C5111の5倍                            | —                          | —                |
| 軟化開始温度 (°C)                                  | 450                                 | 400                        | 650              |

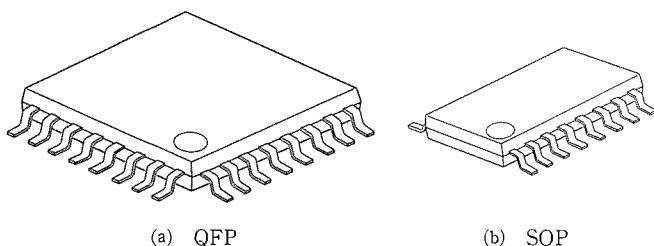


図12. QFP, SOPの外形

る傾向にある。また、これと同時にインナリード間隔も更に狭ピッチ化になってきている。このことは、マイグレーション現象による短絡の危険性が増す方向にあり、信頼性の面から極めて重要な問題となることが予想される。マイグレーション (Wet Migration) 特性は、板厚0.25mm、幅4mm、長さ30mmの短冊片2枚を電極として短冊片の端面を1mmの電極間距離をとって固定した後、その間げき部に純水を満たした状態で電極間に10μAの直流電流を通電し、短絡するまでの時間を計測し評価した。

図10は、C5111合金を比較材としてマイグレーション現象による短絡時間を調べた結果であるが、MF224合金の耐マイグレーション性はC5111合金の約5倍と著しく優れている。

#### 4.5 繰返し曲げ性

図11は、MF224合金と代表的な実用L/F材について、MIL-STD-883Bに定められている方法に準じて行った繰返し曲げ試験結果である。試験は、0.25mm (t) × 7mm (W) × 20mm (L) 寸法の試片に荷重500gをかけ、破断するまでの曲げ回数を求めた。なお、繰返し数は180度の往復曲げを1回として数えた。

MF224合金の繰返し曲げ性は、42アロイより若干劣るもののMF202合金とほぼ同等で、CDA194合金よりも優れている。

## 5. MF224合金

QFP対応のL/F用銅合金としてCu-2.4%Ni-0.16%P-0.4%Si合金を開発し、MF224合金の商品名で昭和63年12月に製品化した。MF224合金の機械的・物理的特性などを代表的な実用L/F材と比較して表2に示す。

MF224合金は、マトリクス中への微細な金属間化合物の均一な分散析出により、優れた強度と熱伝導性を示し、特に強度は、現在実用されている銅系L/F材の中では最高級で、鉄系の42アロイ (Fe-42%Ni) に匹敵し、さらに成形異方性が小さいなどの特長を持つため、ASIC (Application Specific Integrated Circuit: 特定用途向けIC) やマイコンに多用される多ピンの表面実装対応のICパッケージ、なかでもQFP用のL/F材として最適な銅合金といえる。

## 6. む す び

MF224合金のQFP用L/F材としての機械的・物理的特性などの基本特性を中心に同合金の強化機構の概略と、さらに実用面で必要となる諸特性について紹介した。

MF224合金は、図12に示すような表面実装タイプで小型パッケージの代表であるQFPやSOPなどのICパッケージ用L/F材として42アロイの代替に、さらに高強度、高導電率で安価のため、例えばスイッチ、コネクタなどのL/F材以外の分野にも広範な用途が期待される。

## 参 考 文 献

- (1) 坂本: 日本金属学会会報, 24, 494 (1985)
- (2) 日本金属学会編: 非鉄材料II, 155 (1965)
- (3) 例えば, 特開昭58-104148号公報及び特開昭58-15528公報など
- (4) 村上: 日本金属学会会報, 13, 479 (1974)
- (5) 日本伸銅協会編: 銅及び銅合金の基礎と工業技術, 228(1988)



# 新しい構造用ウレタン系接着剤の開発及びエレベーター意匠パネルへの適用

原賀康介\* 西川哲也\* 山本和美\*\* 服部勝利\*\* 勢力峰生\*\*

## 1. ま え が き

エレベーターの主要パーツであるかご室の壁・扉、乗場の扉などの意匠パネルは、近年の高級化指向の高まりにつれて意匠・寸法仕様の多様化が著しく、典型的な多種少量生産品となっている。そこで、多種少量生産を効率良く行い、顧客ニーズに柔軟に対応することが必要となってきた。また、省エネルギー化やエレベーターシステムの小型軽量化も要求されており、これらの要求に答えるためにかご室の重量を軽減することは、従来から大きな課題であった。

そこで、従来は表面材の材料特性に応じて種々の構造がとられていた意匠パネルの構造を簡素化して標準化し、製造方法を統一することにより、多種少量生産の効率化を図り、また軽量高剛性補強材の採用や高強度表面材の採用による薄肉化により軽量化を図ることとした。

これらを実現するためには、薄板でもひずみの出ない低硬化収縮性、焼付け塗装にも耐える耐熱性、塩ビ鋼板のような熱に弱い意匠材料にも影響のない低温硬化性、各種材料に対する優れた接着強度と耐久性、さらに優れた作業性を持つ構造用接着剤が不可欠である。そこで、接着剤の開発に取り組み、新しい構造用ウレタン系接着剤を完成させた。

以下に、構造用ウレタン系接着剤の開発のポイント及び開発した接着剤の諸特性、新しいエレベーター意匠パネルの構造・性能・製造工程について述べる。

## 2. 構造用ウレタン系接着剤の開発

### 2.1 開発の留意点

エレベーターの意匠パネルの製造においては、変性アクリル系の構造用接着剤が既に10年以上にわたって使用されており、これまで不良の発生が全くないという実績が得られている<sup>(1)(2)</sup>。そこで、新しい構造用接着剤の開発に当たっては、この構造用変性アクリル系接着剤と同等以上の性能を確保できるように次の点に留意した。

- (1) 鋼板、ステンレス鋼板、塩ビ鋼板、亜鉛めっき鋼板に共通して適用できること。
- (2) 接着強度は特にはく離強度、衝撃強度が優れていること。
- (3) 破壊状態は接着剤の凝集破壊であること。
- (4) 耐湿性に優れ、20年以上にわたり実用強度を維持できること。
- (5) 耐クリープ性、耐疲労性に優れること。
- (6) 薄板においても接着剤の硬化収縮によるひずみが発生しないこと。
- (7) 焼付け塗装に耐える耐熱性を持つこと。
- (8) 塩ビ鋼板は熱に弱いので、塩ビの耐熱許容温度以下で短時間に硬化できること。
- (9) 自動化に適していること。

### 2.2 接着剤の開発

開発目標をクリアできる樹脂として、ウレタン樹脂に着目して開

発を進めた。なお、ウレタン系接着剤で金属を接着する場合はプライマーが必要であり、一般に加熱硬化タイプのプライマーが使用されるが作業性に難点があるため、今回の開発ではスプレーで塗布するだけですぐに使用できるプライマーの開発にも注力した。

その結果、プライマーとしては、リン酸エステル系の金属密着性改良剤を主成分とし、耐湿性向上のために微量の塩ビ系ポリマーを添加した1液溶剤タイプを開発した。このプライマーは粘度が非常に低く、溶剤は室温ですぐに乾燥するので、スプレーで薄く塗布するだけですぐに接着が可能である。

一方、ウレタン樹脂はポリエーテル型のポリオールとMDI（ジフェニルメタン ジイソシアネート）系のイソシアネートプレポリマーからなる2液型とした。イソシアネート基は、空気中に含まれる水分と非常に反応しやすく、水分と反応すると二酸化炭素を発生し

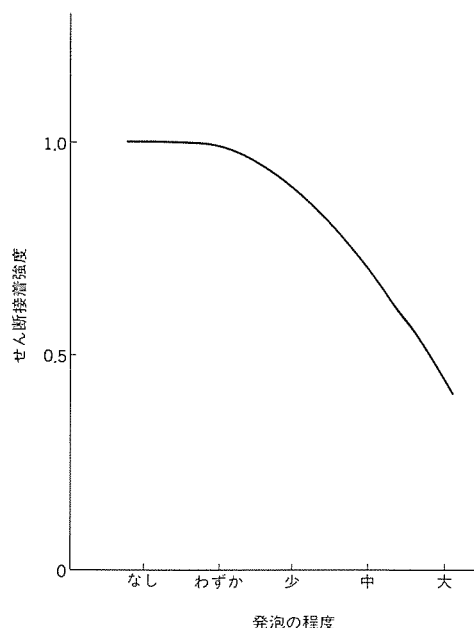


図1. 構造用ウレタン系接着剤の発泡の程度とせん断接着強度の関係

表1. 各種の材料における構造用ウレタン系接着剤の接着強度と破壊状態及びプライマーの効果

| 被着材料    | プライマー | はく離接着強度<br>(kg/25mm) | せん断接着強度<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 破壊状態         |
|---------|-------|----------------------|----------------------------------|--------------|
| 鋼板      | 有り    | 23                   | 274                              | 凝集破壊<br>界面破壊 |
|         | 無し    | 0                    | 110                              |              |
| ステンレス   | 有り    | 17                   | 288                              | 凝集破壊<br>界面破壊 |
|         | 無し    | 0                    | 153                              |              |
| 塩ビ鋼板    | 無し    | 22                   | 236                              | 凝集破壊         |
| 亜鉛めっき鋼板 | 無し    | 18                   | 228                              | 凝集破壊         |

注 オープンタイム5分、すべて焼付け塗装無し

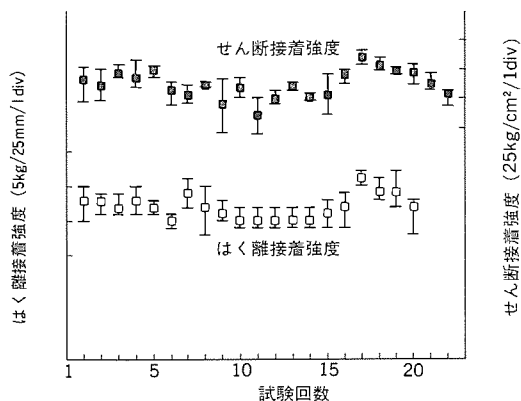


図2. 構造用ウレタン系接着剤の接着強度の再現性  
(被着材料：塩ビ鋼板)

表2. 構造用ウレタン系接着剤の高温暴露及び  
実塗装ライン通過による接着強度の変化

| 加熱温度     | 加熱時間 | はく離接着強度<br>(%) | せん断接着強度<br>(%) |
|----------|------|----------------|----------------|
| 加熱なし     | —    | 100            | 100            |
| 170°C    | 20分  | 110            | 100            |
|          | 30分  | 110            | 104            |
|          | 50分  | 110            | 104            |
| 185°C    | 20分  | 110            | 106            |
|          | 30分  | 105            | 99             |
|          | 50分  | 105            | 98             |
|          | 80分  | 100            | 98             |
|          | 120分 | 95             | 94             |
| 200°C    | 50分  | 95             | 68             |
| 実塗装ライン通過 |      | 110            | 104            |

注 被着材料：鋼板、オープンタイム5分

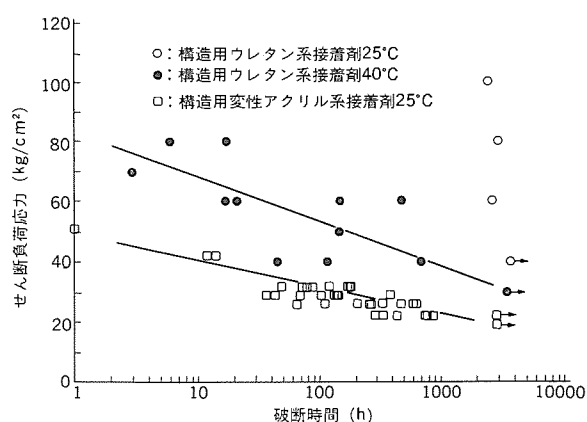


図3. 構造用ウレタン系接着剤と構造用変性アクリル系接着剤の  
クリープ破断特性の比較

て接着剤が発泡し、図1に示すように、接着強度が低下するという問題を持っている。湿度が高い場合や接着剤を塗布してからは(貼り合わせまでの時間(オープンタイム)が長い場合に発泡が起こりやすい。そこで、ウレタン系接着剤では、通常、空気中の水分がイソシアネートと反応する前に水分を吸着させてしまう吸湿剤が添加されているが、今回開発した接着剤では、発泡防止と接着特性を両立させるために、吸湿剤の種類及び配合量を検討し最適化した。

また、耐熱性と接着特性を両立させるために、架橋剤の配合につ

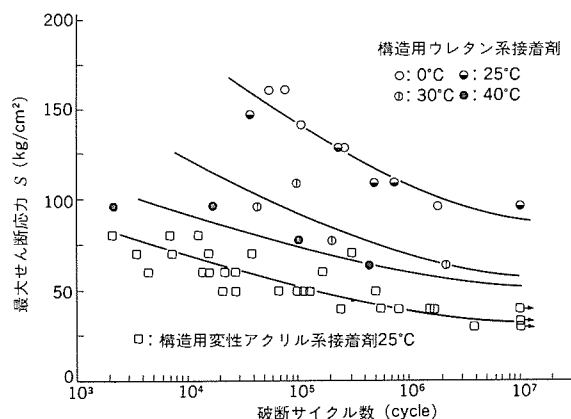


図4. 構造用ウレタン系接着剤と構造用変性アクリル系接着剤の  
疲労破断特性の比較

いて検討し最適化を図った。

## 2.3 開発接着剤の諸特性

### 2.3.1 接着強度

表1に、開発した構造用ウレタン系接着剤の各種の材料におけるせん断接着強度、はく離接着強度、破壊状態を示した。鋼板、ステンレス鋼板については実際にはプライマーを塗布して使用するが、比較のためにプライマーを塗布しない場合の結果も示した。この結果から、鋼板、ステンレス鋼板におけるプライマーの塗布効果は非常に大きく、いずれの材料においても優れた接着強度と破壊状態が得られていることがわかる。

図2には、開発接着剤の塩ビ鋼板におけるはく離接着強度、せん断接着強度の再現性試験の結果を示した。試験片の作製日は、すべて異なりオープンタイムはいずれも5分である。各回のサンプル数は5個で、図中に示した範囲は5個中の最大値と最小値である。この結果から、接着強度の再現性は非常に高いことがわかる。

また、衝撃接着強度も構造用変性アクリル系接着剤を上回る優れた性能を持っている。

### 2.3.2 焼付け塗装耐熱性

鋼板は接着後焼付け塗装がなされるため、接着部も高温にさらされる。表2に、接着剤硬化後の鋼板試験片を、高温暴露及び実際の塗装ラインに流した場合の接着強度の変化を示した。この結果から、十分な焼付け塗装耐熱性を持っていることがわかる。

### 2.3.3 耐久性

図3には、構造用ウレタン系接着剤の25°C及び40°Cにおけるクリープ破断試験の結果を、構造用変性アクリル系接着剤の25°Cの場合と比較して示した。25°Cにおける構造用ウレタン系接着剤の耐クリープ性は、構造用変性アクリル系接着剤よりも非常に優れており、40°Cにおいても構造用変性アクリル系接着剤の25°Cの場合より優れていることがわかる。

図4には、構造用ウレタン系接着剤の0°C、25°C、30°C、40°Cにおける繰返し疲労試験の結果を、構造用変性アクリル系接着剤の25°Cの場合と比較して示した。試験は、1,000サイクル/分で0 kg/cm²←→5 kg/cm²の繰返し引張りせん断応力を負荷して行った。クリープ試験と同様に、25°Cにおける構造用ウレタン系接着剤の疲労特性は、構造用変性アクリル系接着剤よりも非常に優れており、40°Cにおいても構造用変性アクリル系接着剤の25°Cの場合より優れていることがわかる。

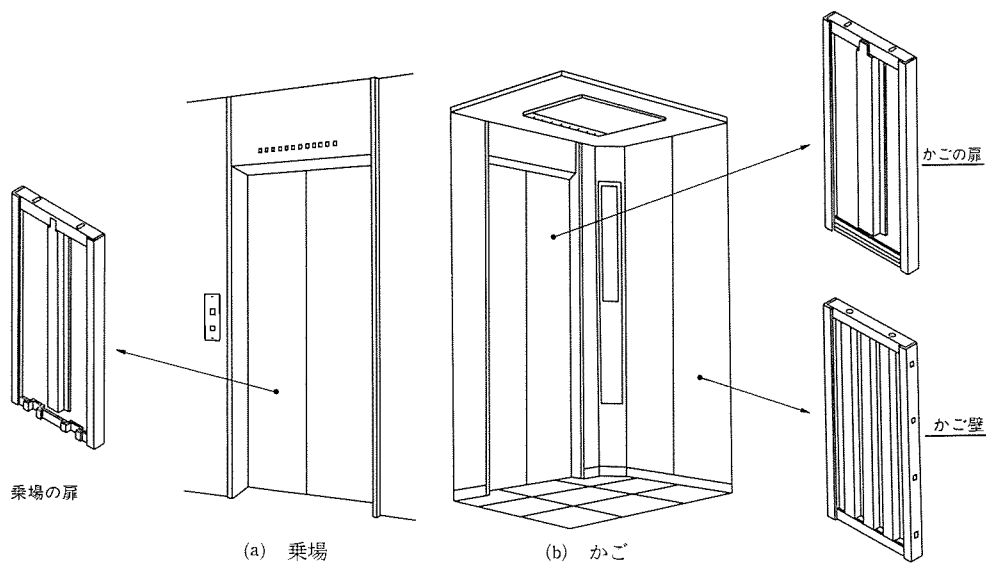


図 5. 構造用ウレタン系接着剤の適用対象意匠パネル

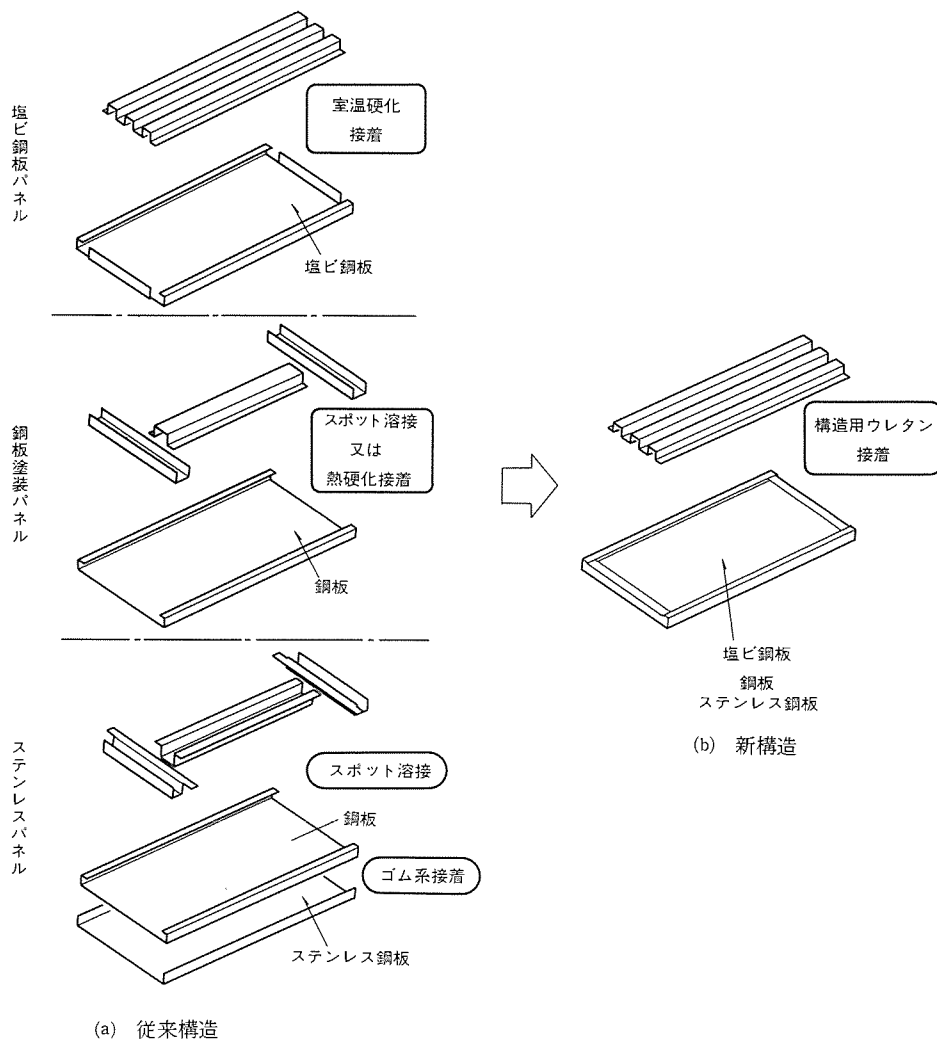


図 6. 意匠パネルの基本構造

また、耐湿性も構造用変性アクリル系接着剤と同等以上の性能を持っていることが確認されている。

### 3. エレベーター意匠パネルへの適用

#### 3.1 新意匠パネルの構造・材料設計

新しい構造用ウレタン系接着剤の開発及びエレベーター意匠パネルへの適用・原賀・西川・山本・服部・勢力

今回開発した構造用ウレタン系接着剤を適用した意匠パネルは、図 5 に示すかご室の壁、扉パネル及び乗場の扉パネルである。

従来の意匠パネルは、かご室の壁を例にとると図 6 に示すように、表面材の材料特性に応じて種々の構造がとられていた。塩ビ鋼板パネルでは高温加熱ができないため、室温硬化型の構造用変性アクリ

表 3. 塩ビ鋼板のコーティング材料による構造用ウレタン系  
接着剤の接着特性の比較（プライマーなし）

| コーティング<br>材 料 | 測定温度<br>(°C) | はく離接着強度<br>(%) | 破 壊 状 態       |
|---------------|--------------|----------------|---------------|
| A             | -20          | 18             | 界面破壊, クラック発生  |
|               | -10          | 32             | 界面破壊, クラック発生  |
|               | 0            | 55             | 凝集+界面, クラック発生 |
|               | +25          | 77             | 凝集破壊          |
| B             | -20          | 86             | 凝集破壊          |
|               | -10          | 73             | 凝集破壊          |
|               | 0            | 86             | 凝集破壊          |
|               | +25          | 100            | 凝集破壊          |

表 4. 亜鉛めっき鋼板の種類と構造用ウレタン系接着剤の  
はく離接着強度の比較（プライマーなし）

| めっき<br>の種類    | めっき後処理               | メーカー | はく離接着強度の比較 (%) と破壊状態 |          |
|---------------|----------------------|------|----------------------|----------|
|               |                      |      | +25°C測定              | -20°C測定  |
| 溶融<br>亜鉛      | 普通クロメート              | A    | 100 界面               | 40 界面    |
|               | 普通クロメート              | B    | 85 界面                | 0 界面     |
|               | 普通クロメート              | C    | 55 界面                | 0 界面+P   |
|               | 特殊クロメート              | C    | 100 界面+凝集            | 30 界面+P  |
| 電気<br>亜鉛      | 無 処 理                | C    | 0 界面                 | 0 界面     |
|               | 無 処 理                | D    | 0 界面                 | 0 界面     |
|               | 普通クロメート              | D    | 25 界面                | 0 界面     |
|               | 普通クロメート              | C    | 55 界面+凝集             | 60 凝集+界面 |
|               | リン酸塩処理               | C    | 100 凝集               | 105 凝集   |
|               | 樹脂コーティング<br>複合コーティング | C    | 80 凝集+界面             | 75 界面+凝集 |
| Fe-Zn<br>アロイ化 | 無 処 理                | E    | 110 界面+凝集            | 0 全面P    |
|               | 特殊クロメート              | C    | 0 全面P                | 0 全面P    |
| 合金            | 特 殊 処 理              | E    | 150 凝集               | 140 凝集   |

注 P: めっきと素材鋼板間の破壊

ル系接着剤によりコルゲート状補強材が接合され、鋼板塗装パネルではスポット溶接や熱硬化型接着剤によりハット形などの補強材が接合され、ステンレスパネルでは意匠面のひずみの点から、スポット溶接により組み立てられた鋼板パネル上にゴム系接着剤で、更にステンレス意匠板が接着される構造が採られていた。新しい意匠パネルでは、新しく開発した構造用ウレタン系接着剤を用いることにより、表面材の種類にかかわらず、コルゲート状補強材を表面材に直接接着する構造に統一することができた。

パネルの軽量化を図るためには、薄板で軽量のコルゲート状補強材を採用するとともに、表面材の薄肉化を行った。新しいパネルの板厚は、塩ビ鋼板パネルでは従来の1.2mmから0.8mmとなり、ステンレスパネル、鋼板塗装パネルでも従来に比べて2～3割低減された。なお、表面材や補強材を薄肉化すると、パネルの剛性や強度の低下や振動騒音の増加などの問題が生じる。これら問題に対しては、高張力鋼板の採用や、パネルの厚さをレイアウト上差し支えない範囲で厚くするとともに、コルゲート状補強材をパネルのほぼ全面に接着して複合構造化してダンピング特性を改善することで解決した。

接着剤の持つ性能を最大に発揮させ信頼性の高い接着製品を得るためには、接着される材料の表面状態が使用する接着剤に適していることが非常に重要である。鋼板、ステンレス鋼板ではプライマーの塗布により接着表面の最適化を図ったが、塩ビ鋼板及び補強材（亜鉛めっき鋼板）については、材料表面の最適化を検討することによりプライマーなしでの信頼性の高い接着を実現した。塩ビ鋼板では、塩ビ鋼板の製造段階でコーティングする有機コーティング材料について検討した。表3に、2種類のコーティング材料について、接着

表 5. パネル表面の局部強度試験結果

|       | 表面材        | 表面のへこみ量 |
|-------|------------|---------|
| 新パネル  | 高張力鋼板0.8mm | 1.02mm  |
| 従来パネル | 普通鋼板1.2mm  | 1.21mm  |

強度と破壊状態の温度特性を比較したが、低温における特性に大きな差があることがわかる。亜鉛めっき鋼板では、表4に示すように、各種の亜鉛めっき鋼板を比較検討して最適品を選定した。

接着部の寸法は、耐久性とくに耐湿性に対して大きく影響する。そこで、接着部の寸法と耐湿劣化の関係について検討し、長期間にわたり高い接着信頼性を確保できる寸法として、最低接着しろを25mmとした。

### 3.2 新意匠パネルの特性

エレベーターのパネルは、荷物の運搬時における台車の衝突やいたずらによる打撃などにより、パネルの表面が大きく変形しない強度（局部強度）が必要である。表5に、従来のパネルと新しいパネルの局部強度の比較を示した。先端に直系10mmの鋼球が取り付けられた0.5kgの重りを0.5m上から落下させた時のパネル表面のへこみ量を測定したものである。この結果から、新しいパネルでは表面材を薄肉化したにもかかわらず高張力鋼板を採用したため、従来パネルより優れた局部強度を持っていることがわかる。

振動騒音については、図7に示すようなかご加振試験装置により、かごをロープでつ（吊）り下げてかご枠の上はり（梁）中央に電磁加振器をセットしてランダム波加振を行い、周波数と騒音レベルの関係を求めた。図8に、従来のパネルを用いたかごと新しいパネルを用いたかごの騒音レベルの比較を示した。この結果から、新しいパネルを用いたかごでは軽量化、薄肉化したにもかかわらず、従来品と有意差のない性能を持っていることがわかる。

パネルの剛性については、パネルの組立て厚さを従来のものより約10%増加することにより、従来と同等以上の性能が得られている。

また、いずれの表面材においてもパネル表面のひずみは全く問題のないレベルが得られている。これは、今回適用した接着剤は、比較的硬い硬化物を形成するが硬化収縮率が小さいために、硬化収縮応力が小さいためである。

### 3.3 新意匠パネルの製造工程

図9に、新しい意匠パネルの製造工程を示した。各種の材質、形状・寸法のパネルが同一工程で製造される。プライマーは、鋼板、ステンレス鋼板のみにスプレー塗布され、塩ビ鋼板、亜鉛めっき鋼板には塗布されない。接着剤は、図10に示すように、専用の塗布ロボットにより、接着部の形状・寸法に応じて塗布パターン、吐出量を自動的にコントロールして塗布される。補強材を貼り合わせた後、加圧状態で加熱硬化がなされる。補強材の形状・寸法にかかわらず接着部に均一な加圧が自動的に行われる。

接着の品質確保のために、接着剤の塗布から補強材貼り合わせまでの工程は、温度・湿度が管理された接着室内で行われる。塗布装置は、主剤と硬化剤が常に適正な配合比になるように、それぞれ流量の計測・管理がなされ、また、ミキサー内でのゲル化を防止するために、塗布終了時点からの時間計測により自動洗浄がなされている。

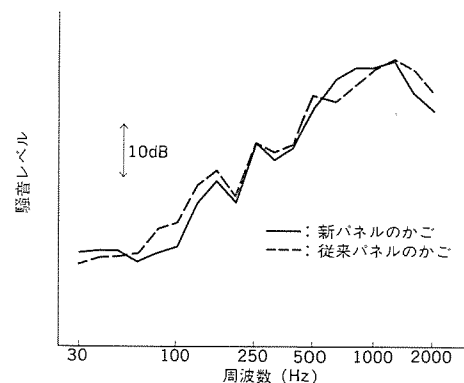
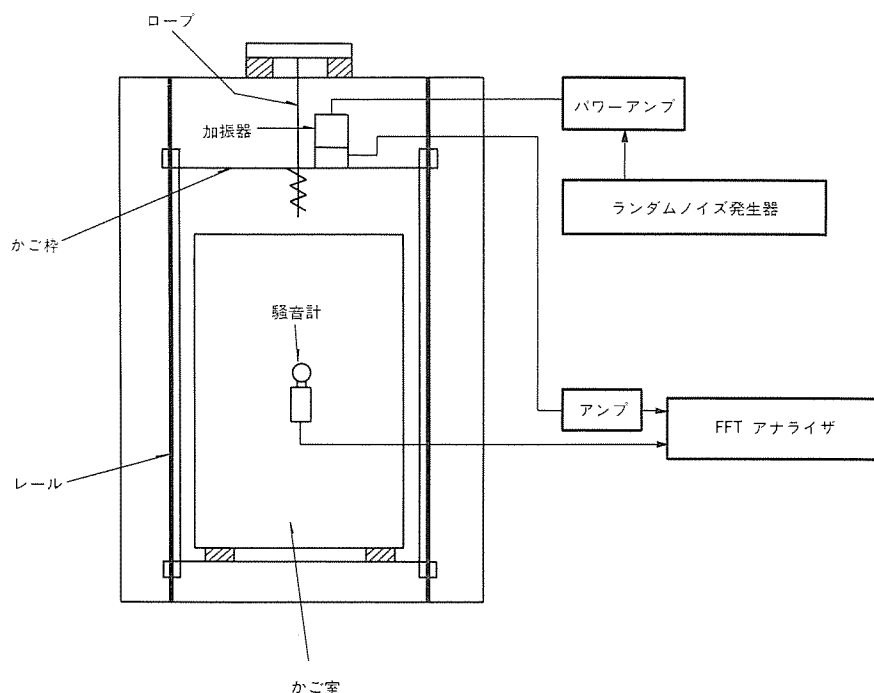


図 8. かご加振試験結果

図 7. かご加振試験方法

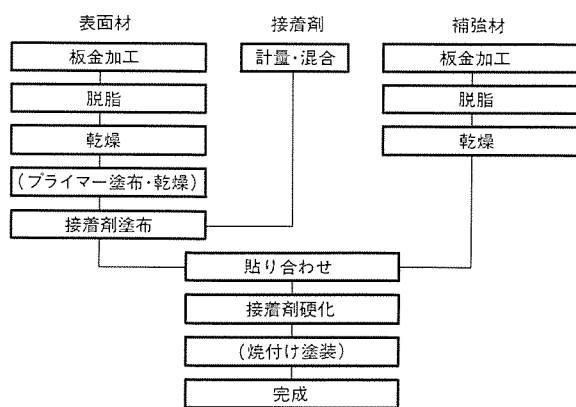


図 9. 新しい意匠パネルの製造工程

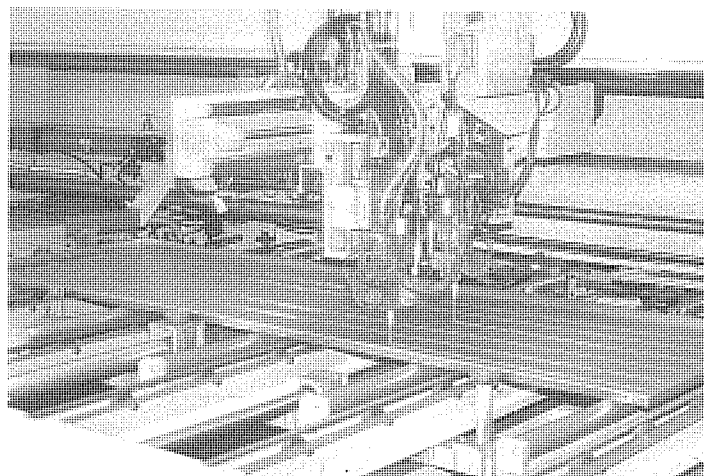


図10. 接着剤塗布状況

#### 4. む す び

典型的な多種少量生産品であるエレベーターの意匠パネルを効率的に生産するために、種々のパネル材質に対して優れた接着特性が得られる構造用ウレタン系接着剤及びプライマーを新たに開発した。また、表面材の種類にかかわらず基本構造を標準化して製造方法を統一した。さらに、軽量化を図るために、軽量高剛性補強材の採用や、高張力鋼板の採用による表面材の薄肉化を行った。

新しいパネルの開発により、部品点数や図面枚数が半減し、工期も短縮され、多種少量生産品の効率的な生産が実現し、今後の意匠

の多様化にも柔軟に対応できる体制が確立された。また、従来品と同等以上の性能を確保しながら約25%の重量低減も達成された。

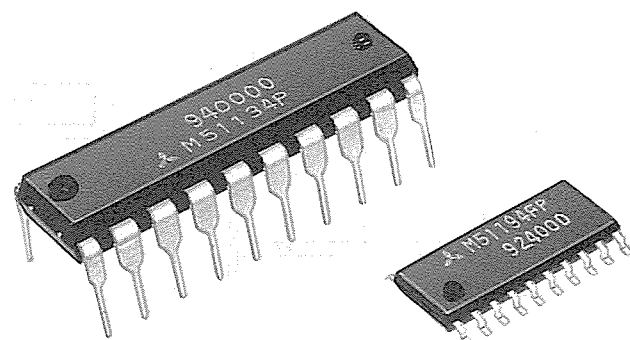
終わりに、この開発に当たり、多大な御協力をいただいた関係各位に、深く感謝の意を表する次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) 原賀ほか：三菱電機技報，55，No.3，p.58(1981)
- (2) 原賀ほか：第27回接着研究発表会講演要旨集（日本接着協会），p.21(1989)

# スポットライト 重低音強調用IC M51134P

このたび開発した M51134P は、音楽ソフトで減衰している基音成分(重低音)をその倍音成分から復元することで重厚な低音を生み出すICです。音質における重低音再生は現在のAV機器のトレンドになっていますが、従来はトーンコントロールにより、重低音強調を行なっていました。M51134Pでは復元した基音成分を付加することにより低音に量感が増し臨場感のある重低音再生が実現できます。重低音強調用として設計された半導体集積回路で20ピンデュアルインラインモールドパッケージに封入。感度調整用アンプ、フリップフロップ回路、LPF、VCA、エンベロープ検出回路を1チップに内蔵しており、このICを使用することにより高い効果が得られます。なおフラットパッケージ版の M51134FP もあります。

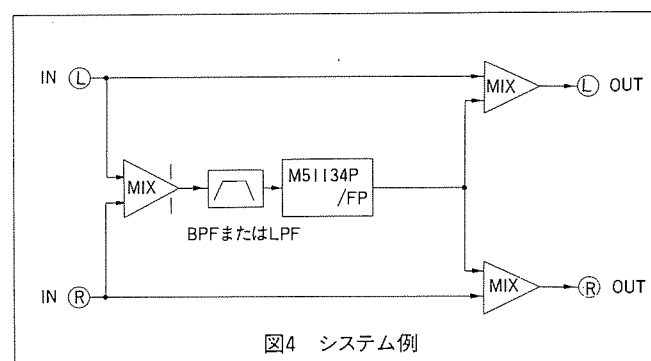
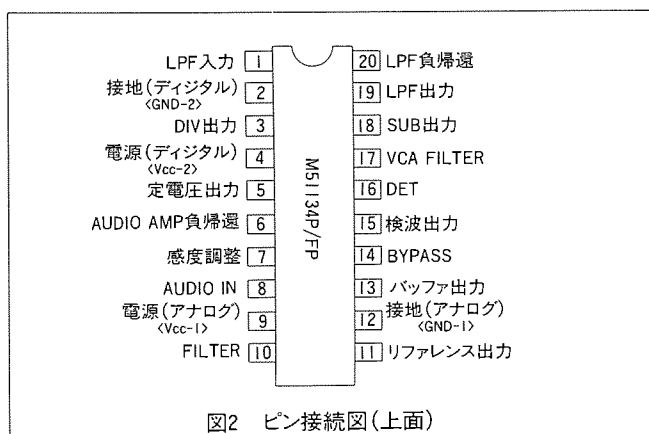
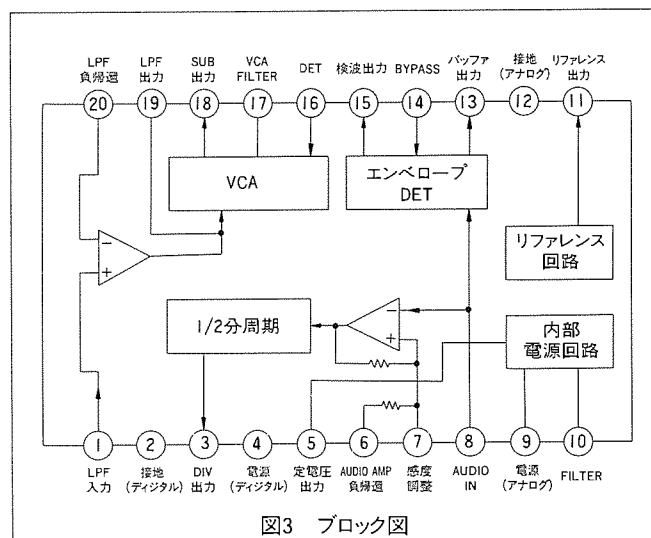
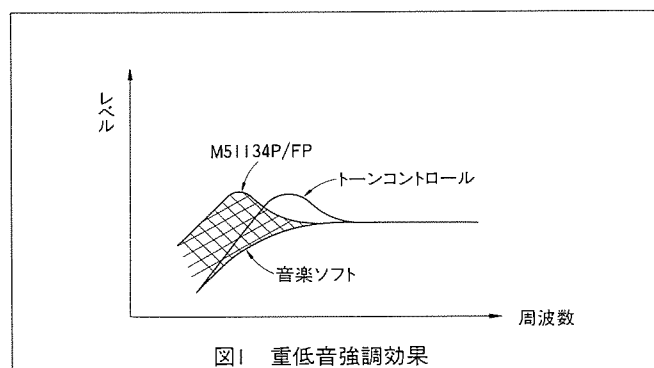


## 特長

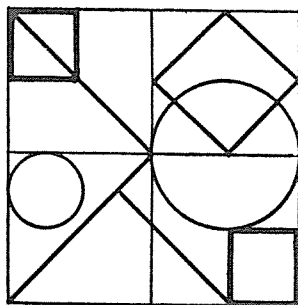
- きわめて低雑音……………-93dBV
- 大きな最大許容入力電圧……………3Vrms(THD=2%時)
- 入力感度調整端子により入力感度を可変できます。
- エンベロープ検出回路により入力レベルに応じたレベル設定が可能です。
- VCAを外部よりコントロールできるので任意にレベル設定が可能です。

## 用途

Hi-Fiステレオ、Hi-Fi VTR、TV、CDラジカセ、レーザーディスクなど。



D



# 特許と新案 有償開放

有償開放についてのお問合せ先 三菱電機株式会社 知的財産渉外部 TEL (03) 218-2139

## 接続電線の製造装置 (特許 第1359853号)

発明者 井上 隆之, 岩佐 辰弥, 草野 健次, 柳掘 純一郎

この発明は、特に電気制御盤、配置盤、分電盤などの盤内器具間を接続する接続電線の製作システムに関するものである。即ち、図1に示す装置において、電線選択供給装置(22)により接続電線製作に必要な色、線径の異った電線群(21)の中から必要な電線を選択し、電線測長供給測定(23)を介してマーキング装置(24)に供給し、この電線に配線情報をマーク付けした後、切断皮剥装置(26)により

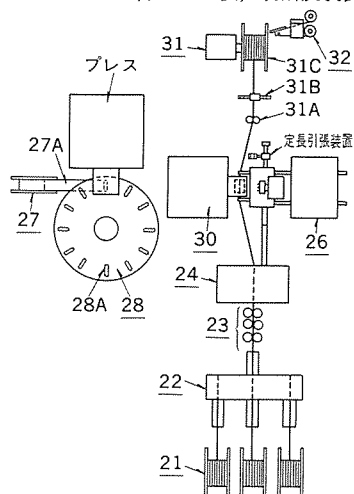


図1. 装置概略配置図…圧着状態

電線の両端末部を切断皮剥する。一方、圧着端子素材となるフープ材(27)を、2組異常の加工成形治具(28A)を有する圧着端子加工成形装置(28)に供給し、制御装置の指示に従い任意に選択された加工成形治具により、フープ材(27)に図2に示すような所定の形状寸法の圧着端子を加工成形し、そのうちの1組を切断した後、圧着装置(30)により前記切断皮剥された電線の両端末部に圧着する。その後、端末処理された電線をテンション機構(31A)、トラバース機能(31B)を有する電線巻取装置(31)に連続的に巻取り、配線作業順に仮連結した所定の接続電線の製作が完了する。次にラベル印字貼付装置(32)により、このドラム(31C)に巻かれている電線の内容をラベルに印字し、これをドラム側面に貼付する。なお、上記接続電線製作システムの制御指令は、上位計算機の配線情報をもとに、下位計算機により行われる。

従って、この発明によれば、作業車の間接作業が省力化されると共に、圧着機は作業の共用化がはかれ、多品種の接続電線が安価に製作できる。

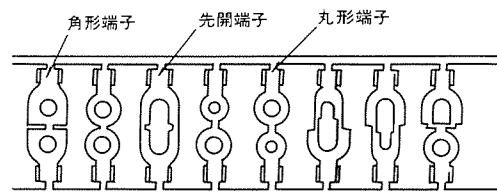


図2. 圧着端子

## ゴルフ練習機 (特許 第1393811号)

発明者 安田 佳則, 高瀬 明生, 小川 幸治, 堤 孝夫, 田口 博識

この発明は、ゴルフ練習機の特に表示部制御に関するものである。

即ち、図1に示す如く、センサユニット内に組み込まれた四つのセンサの上をクラブヘッドが通過する瞬間を検出し、マイコン処理によって、インパクト時の諸データを測定し、表示部に①ヘッドスピード、②フェースアングル、③ヒッティングエリア、④ブロー、⑤キャリー、⑥ボール飛出し方向、⑦ボール落下点での距離ずれを表示するが、特にこの発明では正規のスイングを行った場合のみ自動的に表示部の表示内容を更新するようにした。先ず、制御回路を初期状態にリセットし、センサB、Dにおいてクラブヘッド検知信号が検知されたか否かを判断し、YESの場合はこれらセンサからヘッド速度を算出する。このヘッド速度が一定範囲にあるかどうかを判断して、NOの場合には正しくないスイングとしてS2に戻る。一方、

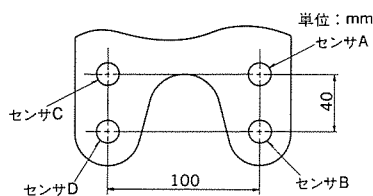


図1. センサユニット内のセンサの位置

YESの場合は正しいスイングとして諸情報の演算を行い、制御回路内の中央演算処理回路のデータを記憶するRAM部、及び表示部をリセットする。次に表示部、RAM部がリセットされたかを判断し、NOの場合はS7を繰り返し実行し、YESになったところでRAM部に諸情報の演算結果を記憶し、この内容を表示部に表示する。

従って、表示されたスイング情報をいちいちリセットボタンを操作せずにリセットすることができ、煩わしさが解消される。また、正規のスイング以外ではスイング情報がリセットされないため、不用意なデータ消去することがなくなる。

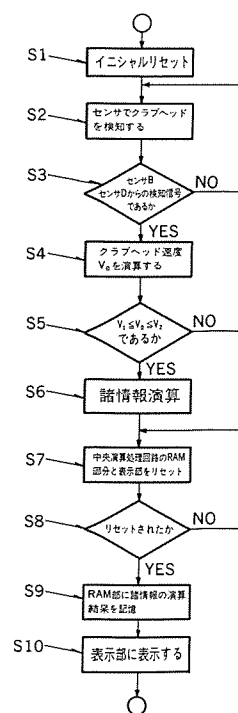


図2. リセット信号発生フローチャート



## 電子機器収納容器の密閉カバー (実用新案登録 第1714848号)

考案者 城 利隆

この考案は、図1に示すような電子機器を収納した容器の前面に取り付けられた密閉カバーの改良に関するものである。

即ち、電子機器(2)～(5)を収納した容器(1)の前面(1a)に取り付けられる密閉カバーは、枠体から構成されるが、この考案による枠

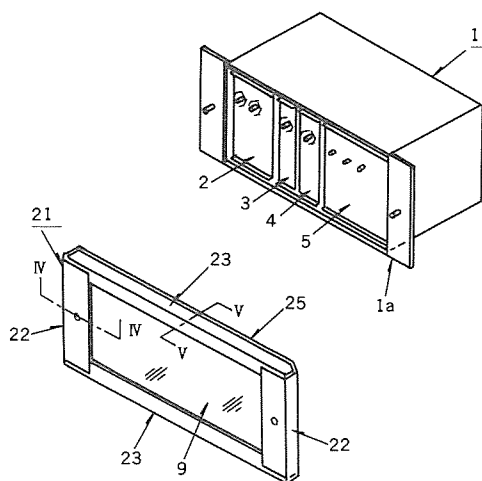


図1.

体(21)は、各々図2、図3に示すような断面形状で、長尺の帯状に形成された合成樹脂成形材からなり、枠材を所要長に切断してなる一対の縦枠(22)と一対の横枠(23)とからなり、縦枠(22)には、透明板(9)をはめ込む溝部(22b)とパッキン(25)をはめ込む溝部(22c)を、また横枠(23)にも透明板(9)とパッキン(25)を各々はめ込む溝部(23b)、(23c)を形成し、これら縦枠(22)と横枠(23)を組み合わせ結合することにより、枠体(21)を形成する。

従って、この考案によれば、多種多様な収納容器に即応して安価に製作できると共に、作業工程が減少し、作業効率が向上する。

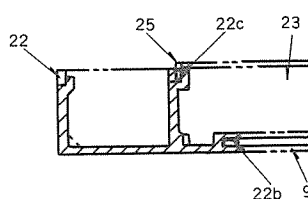


図2. 図1のIV-IVの断面図

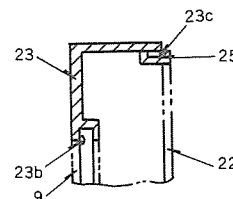


図3. 図1のV-V断面図

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 64 No. 4 空調と快適性特集

### 特集論文

- 快適性を考える
- 空調環境技術の展望
- 空調機における冷房時の涼感コントロール
- 石油ファンヒーターの快適制御
- 室内空間における騒音計算プログラム
- 室内環境と空気清浄
- オフィス空間における快適空調システム
- 《フリーコンボマルチ》システムの構築
- 住宅用《ロスナイ換気暖房システム》

### ●列車内空調システムとその制御

### ●安眠マットの快適制御

### 普通論文

- 加工分野向けCAD/CAM統合システム
- EXオンライン端末分散処理機能《CIMSII/DS》
- 部品化による生産性向上を目的とした高生産言語AII
- M6269 OA日本語プリンタ装置
- 超高速16ビット ワンチップマイクロコンピュータ
- 2線式テレビドアホン
- 表面-界面切削法による塗膜物性評価システム

### 三菱電機技報編集委員

|         |       |
|---------|-------|
| 委員長     | 山田 郁夫 |
| 委員      | 名畑健之助 |
| 〃       | 福岡 正安 |
| 〃       | 宇佐美照夫 |
| 〃       | 風呂 功  |
| 〃       | 大原 啓治 |
| 〃       | 松村 恒男 |
| 〃       | 紅林秀都司 |
| 〃       | 吉岡 猛  |
| 〃       | 鳥取 浩  |
| 〃       | 柳下 和夫 |
| 幹事      | 長崎 忠一 |
| 3月号特集担当 | 山中 芳宣 |

### 三菱電機技報64巻3号

(無断転載を禁ず)

1990年3月22日 印刷

1990年3月25日 発行

|        |                                                                                            |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 編集兼発行人 | 長崎 忠一                                                                                      |
| 印刷所    | 東京都新宿区榎町7<br>大日本印刷株式会社                                                                     |
| 発行所    | 東京都千代田区大手町二丁目6番地2号 (〒100)<br>日本ビル 650号室<br>三菱電機エンジニアリング株式会社内<br>「三菱電機技報社」Tel.(03) 218局2806 |
| 発売元    | 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 (〒101)<br>株式会社 オーム社<br>Tel.(03) 233局0641(代), 振替口座東京6-20018               |
| 定価     | 1部721円 (本体700円) 送料別<br>年間予約は送料共9,373円 (本体9,100円)                                           |

# 電磁コンタクタ方式採用の スポットライト 二次抵抗始動器



巻線形誘導電動機の始動装置としては、従来主にカム形コンタクタ方式の始動器が使用されてきました。このたび三菱電機では、コンパクト化、メンテナンス性を考慮して電磁コン

タクタ方式を採用した、22kW～450kW用二次抵抗開始器のシリーズ化を完成しました。

## 特長

### ●高い信頼性

電磁コンタクタを採用しているため、従来のカム形コンタクタ方式のような摺動部分や回転部分がありません。従って高い信頼性を得ることができます。

### ●取扱いが容易

従来のカム形コンタクタ方式は、機構が複雑なため、組立、調整に熟練を要していましたが、電磁コンタクタ方式の場合は、構造が簡単のためメンテナンスが容易です。

### ●コンパクト設計

電磁コンタクタ盤と抵抗器を一体形の盤構成とすることにより、従来のカム形コンタクタ方式に比べ据付面積で70%、重量で60%程度に小形・軽量化しました。

## 仕様

- (1)外被構造：防滴保護形(JP21)
- (2)周囲条件：周囲温度  $-5 \sim +40^{\circ}\text{C}$   
湿度 85%RH以下
- (3)適用規格：JISC8325、JEM1023
- (4)塗装色および仕様：ページ系(5Y7/1)  
メラミン焼付(半ツヤ)

## (5)定格表

| 電動機<br>容量(kW) | E2(V)/I2(A)<br>(参考値) | 盤形名    | 抵抗器形名    | 適用                                               |
|---------------|----------------------|--------|----------|--------------------------------------------------|
| 22～55         | 460/70               | MC-70  | NSG/041S | ポンプ<br>ブロワー<br>コンプレッサー<br>クラッシャー<br>その他<br>} 始動用 |
| 75            | 360/120              | MC-120 | NSG/041S |                                                  |
| 110           | 530/120              | MC-120 | NSG/041S |                                                  |
| 150           | 580/150              | MC-150 | NSG/041S |                                                  |
| 200           | 640/180              | MC-180 | NSG/151S |                                                  |
| 250           | 730/200              | MC-200 | NSG/151S |                                                  |
| 300           | 670/260              | MC-260 | NSG/261S |                                                  |
| 400           | 780/300              | MC-300 | NSG/261S |                                                  |
| 450           | 750/350              | MC-350 | NSG/361S |                                                  |

E2：二次電圧 I2：二次電流

(6)許容 $GD^2$ ：Hコンスタントで5以下(下表の条件下の場合)

| 負荷トルク特性 | 電 動 機<br>第1ノッチ尖頭電流 | 最 高 速 度 で の<br>負 荷 ト ル ク |
|---------|--------------------|--------------------------|
| 二乗トルク負荷 | 100%               | 60%以下                    |
| 定トルク負荷  | 200%               | 100%以下                   |

$$H \text{コンスタント} = \frac{GD^2 (Ns)^2}{730 \cdot kW \times 10^3}$$

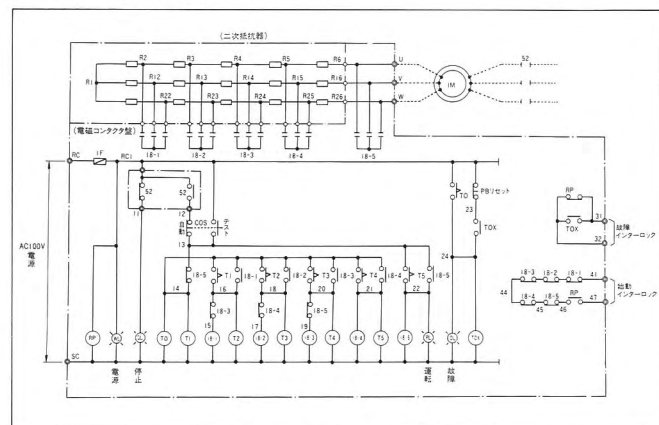
Ns：同期速度(rpm)

kW：電動機出力(kW)

$GD^2$ ：はすみ車効果( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )

- (7)始動条件：・二次抵抗器は5段平衡短絡で6ノッチです。  
・室温状態から連続2回の始動ができます。

## 基本シーケンス図





# スポットライト 加速度形部分放電検出装置



加速度形部分放電検出装置は、ガス絶縁機器の内部異常により生じる部分放電に伴うタンク壁の微小振動を加速度センサで検出するものです。加速度センサで検出された微小振動は、電気信号に変換した後、フィルタによりタンク壁の電磁振動等の影響を除去します。このようにして得られた信号を電源周期に同期させ、一定サイクル期間取込んだ後、絶対値加算および平均化処理を行うことで外部ノイズの影響を除去し、数値化します。この値を予め定めた判定基準値、また

## 特長

### ●GISおよびタンク形機器に適用可能

定格電圧・電流・構造に関係なく、測定したい箇所へ容易にセットできます。

### ●高感度の性能を発揮

平均化処理によりノイズ除去がすぐれています。

### ●小形で計量な携帯形の採用

持ち運び可能なアタッシュケースに収納しました。

### ●操作は簡単、見やすい表示

操作手順は日本語表示、測定結果は見やすい数値・グラフで表

はバックグラウンドノイズと比較し、判定します。これらの計測結果はLCDに数値・グラフ(波形)として表示され、グラフによる周期性の確認(部分放電発生時は周期性のあることが多い)・他相の計測結果との比較を行うことで、部分放電発生の有無を判定します。なお、装置の操作方法もLCD表示され、対話形式で操作できます。

示されます。

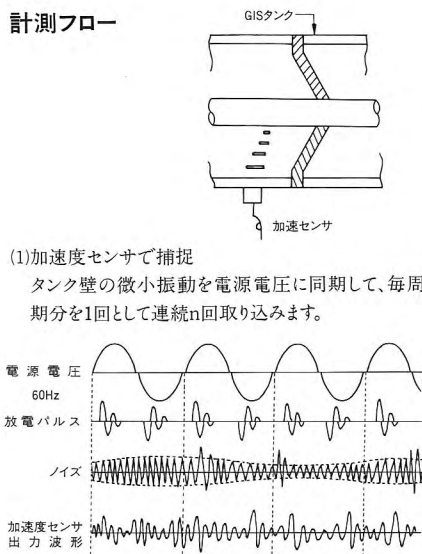
### ●機能の充実

伝送インタフェース機能を持っており外部出力が可能です。さらに自己点検機能も有しています。

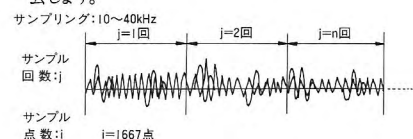
## 仕様

| 項 目       | 内 容                   |
|-----------|-----------------------|
| 測 定 セ ン サ | 加速度センサ                |
| 計 測 範 囲   | 20～2500 $\mu$ G       |
| 測 定 時 間   | 30秒                   |
| 電 源       | AC100V、30VA (50・60Hz) |
| 寸 法 ・ 重 量 | 350W×470L×90H(mm) 6kg |

## 計測フロー

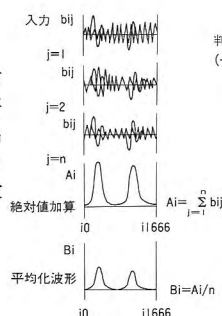


(2)バンドパスフィルタによるノイズ除去  
通電電流によるタンク壁の電磁振動等の影響を除去します。



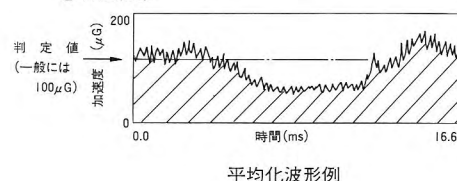
### (3)平均化処理

一定回数取り込んだ信号を絶対値加算し、平均化して特徴点を抽出します。同時に、最大値・平均値および平均化波形を算出します。



### (4)表示内容

- ①加速度値  
最大値: MAX (Bi)  
平均値:  $(\sum_{i=1}^{1666} Bi) / 1667$
- ②グラフ: 平均化波形
- ③判定結果



平均化波形例



# ビデオカメラ用オートホワイト スポットライト バランスIC M52941FP

ビデオカメラのオートホワイトバランスは、人間の目の色順応機能に当るもので、どのような照明下でも被写体が自然な色合いに映るよう自動的に調整する機能です。近年のビデオカメラはますます小形・軽量化が進む一方で、オートフォーカス、オートホワイトバランス機能などの高性能化が図られています。このような状況に対応するため、三菱電機では高度なRGBカラーフィルタ技術とBi-CMOS技術により、マイコンと接続し容易にシステム構成のできるRGBカラーセンサ内蔵のオートホワイトバランスIC M52941FPを開発しました。M52941FPは、RGBカラーセンサと信号処理回路をワンチップ化し、10ピン透明モールドミニフラットパッケージに封入することで、セットの小形・軽量化と高性能化にお応えしています。

## 特長

### ＜構造＞

#### ●RGBカラーセンサオンチップ

RGBカラーフィルタオンチップのフォトセンサと信号処理回路をワンチップで実現しています。

### ＜光学特性＞

#### ●RGBカラーフィルタオンチップ

耐光性、耐熱性にすぐれた独自材料のRGBカラーフィルタをチップ上に写真製版で製造することで、非常に安定した分光感度特性を実現しています。

#### ●広動作照度範囲

MOS入力アンプの採用とチップ上遮光膜形成により、1～10万lxでの動作が可能です。

### ＜信号処理回路＞

#### ●温度補償回路の内蔵

温度依存性のないホワイトバランス制御電圧を出力します。

#### ●引算回路の内蔵

G成分に対するR成分とB成分の比の電圧を出力します。

#### ●G出力回路の内蔵

照度情報となる温度補償されたG出力信号を出力します。

#### ●マルチプレクサ回路の内蔵

R/G、B/G、G出力を1ピンに切り替えて出力します。

#### ●出力バッファ回路の内蔵

直接マイコンのA/D変換器と接続できます。

#### ●色温度ゲイン切替回路の内蔵

R/G、B/G出力の色温度ゲインを3種類に切替え可能です。

#### ●フリッカ検出回路の内蔵

光源のフリッカに同期したパルス信号を出力します。

#### ●急速充電回路の内蔵

電源立ち上げ時に積分コンデンサの急速充電が可能です。

### ＜電源＞

#### ●低消費電力

電源電圧5V使用時、消費電力22mW。

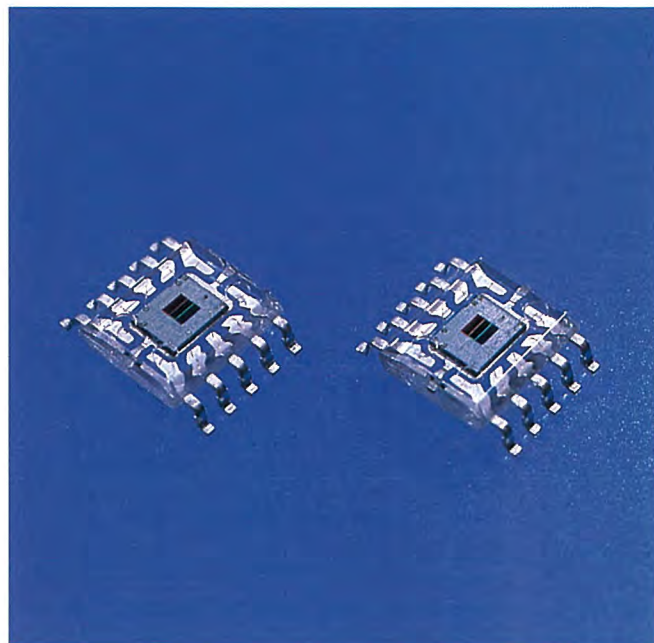
### ＜外形＞

#### ●10ピン透明樹脂ミニフラットパッケージを採用しました。

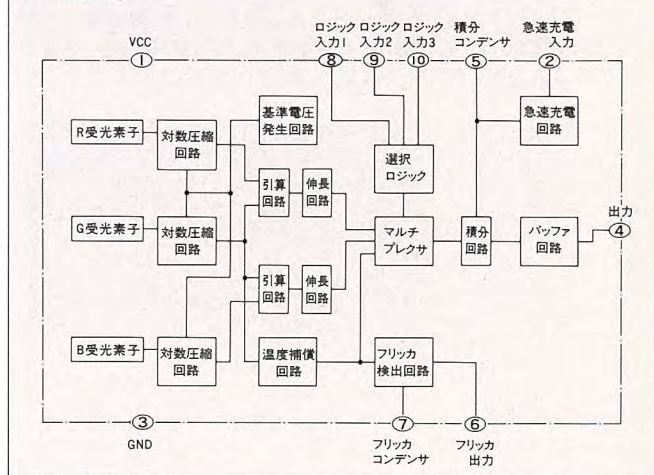
セットの小形化、軽量化がはかれます。

### 用途

- ビデオカメラ
- 電子スチルカメラ
- その他、色温度検出装置



## ブロック図



## 応用回路図

