

MITSUBISHI

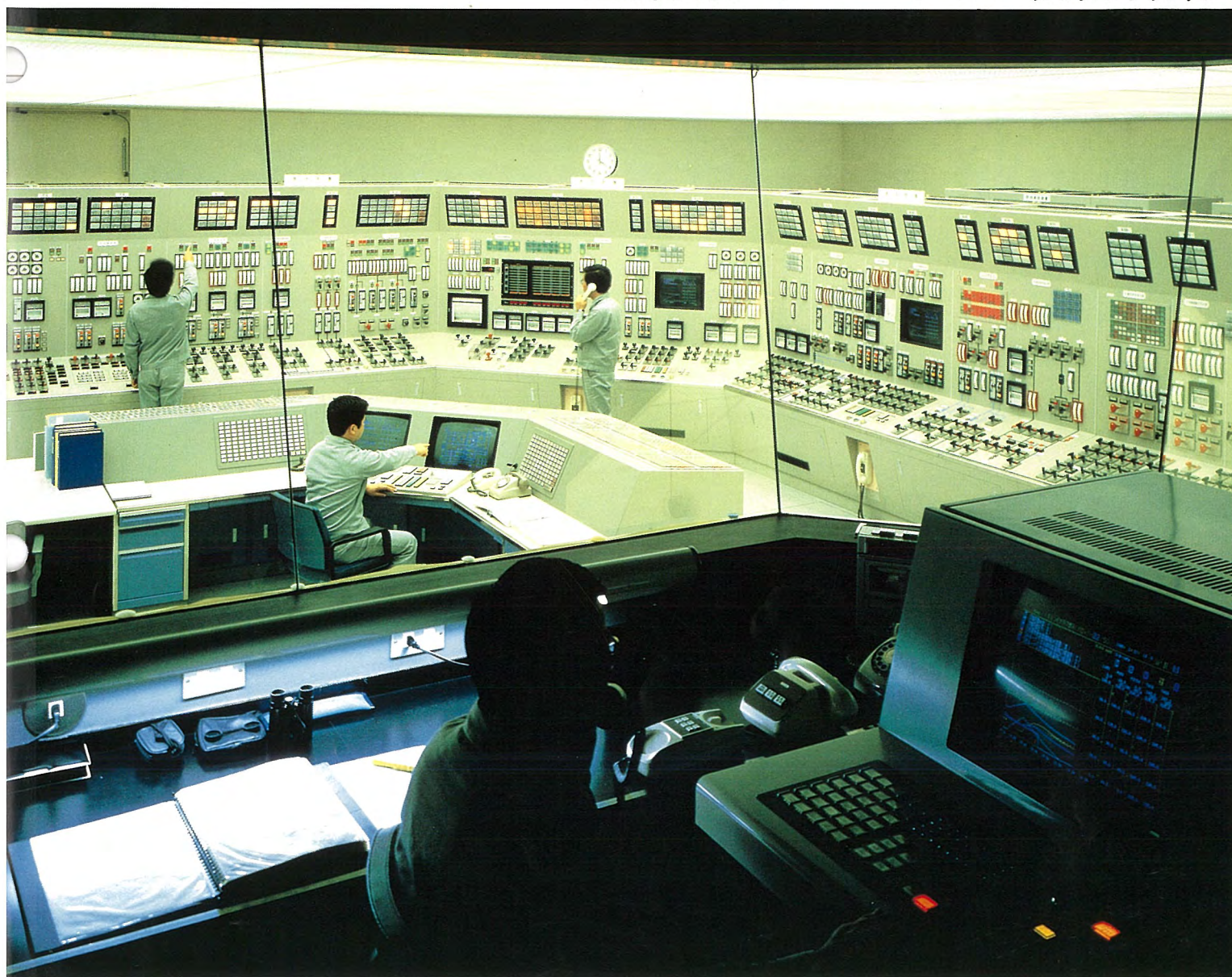
三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.59 No.4

4

1985

産業用シミュレーション技術特集



三菱電機技報

Vol.59 No.4 1985

産業用シミュレーション技術特集

目次

特集論文

シミュレーション技術の動向……………	1
武田捷一・坂口敏明	
PWR原子力発電所運転員訓練用シミュレータ……………	3
若林繁久・中石博和・水谷 茂・佐藤孟生・中植康裕	
火力発電所運転員訓練用シミュレータ……………	8
坂本文雄・浜田利勝・望月美彦・	
東京電力(株)納め給電技能訓練用シミュレータ……………	13
御山健二・団 幸太郎・山西麻雄・中村正則・堀内龍男	
最近の鉄道車両運転訓練システム……………	19
成戸昌司・吉村元由・長井成吉・星野正光	
鉄鋼プラントにおける加熱炉のシミュレーション解析……………	24
若宮宣範・鶴田 誠・住野知子	
トンネル内換気系シミュレーション……………	28
植木源治・藤村弘志・水谷次雄・中崎勝一・古藤 悟	
プロセス制御系向きブロック図形式シミュレータ“MICRO SIMPLE”……………	34
斉藤美邦・小澤純一郎・今井孝夫	

普通論文

福島県納め鮫川水系ダム統合管理設備……………	38
植高洋一・羽子岡 蓄・沢本義裕・竹野宏平・岩根真一	
三菱ビル遠隔監視システム《メルセントリーU》……………	43
中谷 譲・徳井一雄・杉山鉄男・豊田一雄・宮田敏夫	
車いす乗用ステップ付きエスカレーター……………	47
石田松彦・中山正明・治田康雅・井上証策	
新形(82形)テレビ中継放送装置……………	52
田中忠明・木村 準・森 繁朗・児山淳弥・安永敏郎・伊藤俊平	
薄形5インチ固定ディスク装置MR521/MR522……………	57
津村日出男・馬場 宏・河村千秋・水野正博	
高速大容量1Mビット マスクROM……………	61
松尾龍一・金子正秀・藤本 稔・安東 亮	
特許と新案……………	68
トンネル内の換気予測制御装置	

スポットライト

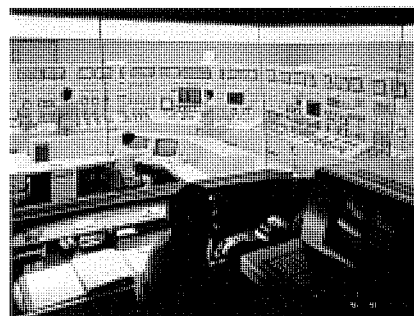
三菱モートルBASEEFA Type N……………	65
900MHz帯用小型高周波高出力混成集積回路……………	66
三菱コンパクトディスクプレーヤDP-105形……………	67
三菱車両推進システム総合試験設備……………	(表3)

表紙

PWR原子力発電所運転員訓練用シミュレータ

原子力発電所の運転員に対する訓練は近年急速に増加しており、これに対処する目的のため当社は、(株)原子力発電訓練センターにPWR原子力発電所運転員訓練用シミュレータを納入した。このシミュレータは国産初の本格的なPWR運転訓練用シミュレータであり、模擬範囲や機能など従来シミュレータに比べ拡充し、またCRT表示システムの導入により訓練効果の高いものとなっている。

表紙は、インストラクター室(指導員室)からながめたもので、インストラクタコンソールからの操作・指示により訓練を行っている様子を撮したものである。



アブストラクト

シミュレーション技術の動向

武田捷一・坂口敏明

三菱電機技報 Vol.59・No.4・P1～2

シミュレーション技術は、従来、システムの挙動解析が中心であったが、近年計算機関連技術の急速な進歩により、大規模なシステムや複雑なプラントの実時間シミュレーションが可能になった結果、運転訓練用、教育用シミュレータなどの新システムに応用されつつある。

本稿ではこうしたシミュレータを構築するハードウェア、ソフトウェア及びシステム技術についてその動向を述べる。

最近の鉄道車両運転訓練システム

成戸昌司・吉村元由・長井成吉・星野正光

三菱電機技報 Vol.59・No.4・P19～23

鉄道車両の運転従事者の教育には知能面と技能面がある。教育は生徒に興味を持たせることにポイントがあり、視聴覚プラス触覚による教材を用いるのが有効である。教育に対する考察として教育、訓練のパターン及び教育の基本要素と対応技術を述べ、最近の納入事例から実際面では、どのような構成で利用されているかを三例につき紹介する。うち二例は知能面を主体としながら技能面も訓練するもので、他の一例は線路映像のついた技能訓練用である。

PWR原子力発電所運転員訓練用シミュレータ

若林繁久・中石博和・水谷 茂・佐藤孟生・中植康裕

三菱電機技報 Vol.59・No.4・P3～7

原子力発電所の安定運転のために運転員の資質の維持・向上は必須であり、そのためにシミュレータによる運転訓練は欠かせないものとなっている。訓練用シミュレータには訓練機能とともに訓練に十分な精度が求められている。本稿では(株)原子力発電訓練センターに納入した国産初の本格的PWR(加圧水型)原子力発電所運転員訓練用シミュレータについて、システム概要・構成とともに、主として一次系統のモデルについて紹介する。

鉄鋼プラントにおける加熱炉のシミュレーション解析

若宮宣範・鶴田 誠・住野知子

三菱電機技報 Vol.59・No.4・P24～27

エネルギー消費産業である鉄鋼プラントで、圧延ラインはエネルギー消費の大なる工程である。我々は、圧延ラインの省エネルギー化の中の最重要テーマである加熱炉のエネルギー減少化を対象にして、炉内における熱収支に基づく炉内温度モデルと、炉内の鋼材伝熱モデルとを組み合わせ、加熱炉の動特性をも表現する加熱炉シミュレータを作成した。また、非線形最適化手法を組み合わせ、エネルギーを最小とする加熱パターンの解析・検討を報告する。

火力発電所運転員訓練用シミュレータ

坂本文雄・浜田利勝・望月美彦

三菱電機技報 Vol.59・No.4・P8～12

火力発電所運転員訓練シミュレータは、火力プラントの技術進歩や石油から石炭へのエネルギー変遷に伴って、その模擬範囲が拡大し、訓練機能も充実してきた。最近、国内外のユーザーの利用目的や用途の違いによる多様化の傾向が目立っている。付属プラントや変電プラントの運転訓練も出来る大規模なものから、ボイラ運転専用、また、基本的な運転訓練用のものなどを開発してきた。本稿ではこれらのなかから、代表的な3種類のシミュレータを紹介する。

トンネル内換気系シミュレーション

植木源治・藤村弘志・水谷次雄・中崎勝一・古藤 悟

三菱電機技報 Vol.59・No.4・P28～33

道路トンネルの換気制御システムの制御手法を確立する開発ツールとして換気系シミュレータを開発した。シミュレータの利用によりセンサから制御システム構築に至るまでのシステム検討及び制御手法の設計が行え、より良い換気制御システムが実現できる。

換気制御手法の検討のため一次元モデルを開発し、異常時の熱流体挙動把握や換気制御手法の検討のため三次元モデルのシミュレータを開発中である。

東京電力(株)納め給電技能訓練用シミュレータ

御山健二・団 幸太郎・山西麻雄・中村正則・堀内龍男

三菱電機技報 Vol.59・No.4・P13～18

電力系統の拡大・複雑化に伴って、系統運用は高度化しており、また電力供給の信頼度向上に対する社会要請は、一段と高まっている。このため電力各社においては、給電自動化の推進が図られている。一方、系統運用者の技術・技能の維持・向上も重要な課題として再認識されている。ここに、世界最大規模・最高性能の給電技能訓練用シミュレータを開発し、東京電力(株)に納入したシステムの概要、特長、機能とハードウェア構成について述べる。

プロセス制御系向きブロック図形式シミュレータ

“MICRO SIMPLE”

斉藤美邦・小澤純一郎・今井孝夫

三菱電機技報 Vol.59・No.4・P34～37

パーソナルコンピュータ《MULTI 16II》を使い、ブロック図を図形として入力してシミュレーションできるシステムを開発した。シミュレーションの対象は、主にプラントのディジタル制御系を想定しており、制御対象のプロセスも含めて同時にシミュレーションが可能である。ディスプレイとタブレットを有効に使っており、すべてメニュー方式による高い操作性を備えている。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 4, pp. 19 ~ 23 (1985)

A Computer-Aided Training System for Railcar Operation

by Masashi Naruto, Motoyoshi Yoshimura, Seikichi Nagai & Masamitsu Hoshino

The education of railcar operators involves the development of both knowledge and proficiency. Education of any sort must excite the interest of the students and is best accomplished with the help of audiovisual aids and hands-on experience. The article discusses technology applicable to educational essentials and patterns of knowledge and training, and introduces three recently delivered examples of configurations in which such technology is being used today. Two of these focus on knowledge plus proficiency training and the third provides experience with a screen visual simulator.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 4, pp. 1 ~ 2 (1985)

Future Trends in Simulation Technology

by Shoichi Takeda & Toshiaki Sakaguchi

Simulation technology used to be applied primarily to analysis of the motions of systems, but the great strides in computer-related technology of recent years now permit real-time simulation of large-scale systems and complex plant conditions. One result is the growing application of simulation technology to new systems for training and education. The article discusses this trend in relation to simulator hardware, software, and systems engineering.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 4, pp. 24 ~ 27 (1985)

Simulation Analysis for Iron-and-Steel Plant Reheating Furnaces

by Yoshinori Wakamiya, Makoto Tsuruda & Tomoko Sumino

A major portion of the tremendous amount of energy consumed by the iron-and-steel industry is used in the rolling-line process. Energy conservation in this area centers on reducing the energy consumption of reheating furnaces. With this object in mind, Mitsubishi Electric has created a reheating-furnace simulator that combines a temperature model based on furnace-heat balance and a furnace-steel heat-transfer model, effectively expressing the dynamic behavior of reheating furnaces. The article also reports on the analysis and investigation of energy-minimizing heating patterns by a combination of nonlinear optimization methods.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 4, pp. 3 ~ 7 (1985)

A Training Simulator for Operators of PWR Nuclear-Power Plants

by Shigehisa Wakabayashi, Hirokazu Nakaishi, Shigeru Mizutani, Takeo Sato & Yasuhiro Nakau

The stable operation of nuclear-power plants requires the maintenance and improvement of operator skills, for which training by simulator has become indispensable. Training simulators must provide both the necessary training functions and sufficient simulation accuracy. The article introduces Japan's first domestically produced, full-scale PWR (pressurized-water reactor) nuclear-power-plant operator-training simulator, located at the Nuclear Training Center Corp. The discussion includes an overview of the system and focuses on a primary system model.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 4, pp. 28 ~ 33 (1985)

Simulation for Aerodynamics and Ventilation

by Motoharu Ueki, Hiroshi Fujimura, Tsugio Mizutani, Katsuichi Nakasaki & Satoru Koto

Mitsubishi Electric has created a ventilation-system simulator to serve in the development of road-tunnel ventilation-control systems. The simulator permits the study of all phases of ventilation control, from sensors to control-system construction, as well as the design of improved methods of control. The Corporation has developed a one-dimensional model for the study of ventilation-control methods and is working on a three-dimensional model for determining and controlling heat-flow behavior under abnormal conditions.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 4, pp. 8 ~ 12 (1985)

A Thermal-Power-Plant Operator-Training Simulator

by Fumio Sakamoto, Toshikatsu Hamada & Yoshihiko Mochizuki

Technological advances in thermal-power plants and the transition from oil to coal have spurred the expansion and improvement of the functions provided by thermal-power-plant operator-training simulators. Recent years have seen a pronounced trend toward diversification as the needs of domestic and foreign users grow and change. Large-scale systems permitting training in the operation of plant associated facilities and transformer substations, as well as simulators for boiler operation and basic training, have been developed. The article introduces three representative types of thermal-power-plant simulators.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 4, pp. 34 ~ 37 (1985)

SIMPLE-G: A Block-Diagram Simulator Using a Personal Computer

by Yoshikuni Saito, Jun'ichiro Ozawa & Takao Imai

Mitsubishi Electric has developed a block-diagram simulation system which uses the corporation's MULTI 16II personal computer. Intended primarily for industrial-plant digital-controller simulation, the system permits the simultaneous simulation of controlled processes. Display, tablet, and complete menu functions provide superior operability.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 4, pp. 13 ~ 18 (1985)

A Large-Scale Dispatcher-Training Simulator for the Tokyo Electric Power Co.

by Kenji Miyama, Kotaro Dan, Asao Yamanishi, Masanori Nakamura & Tatsuo Horiuchi

The expansion and increasing complexity of electric-power systems have been accompanied by higher levels of power-system operation and growing consumer demand for a more dependable power supply. This has prompted power companies to attempt the automation of power-system operations while at the same time reemphasizing the cruciality of maintaining and improving operator proficiency. The article describes the outlines, features, functions, and hardware configuration of the world's largest, highest-performance dispatcher-training simulator, which was developed for and delivered to the Tokyo Electric Power Co.

アブストラクト

福島県納め鮫川水系ダム統合管理設備

植高洋一・羽子岡 蕃・沢本義裕・竹野宏平・岩根真一

三菱電機技報 Vol.59・No.4・P38～42

近年、ダム諸量処理装置、ダム放流設備制御装置などのダム管理設備の導入事例が増大している。今回、福島県に納入した鮫川水系ダム管理設備は、高柴ダム、四時ダムの両ダムで各ダム個別の運用管理を行うほか、統合管理所での両ダム利水放流量の最適配分、洪水量把握のための流出予測などの統合管理機能を備えたものであり、その内容について紹介する。

新形（82形）テレビ中継放送装置

田中忠明・木村 準・森 繁朗・児山淳弥・安永敏郎・伊藤俊平

三菱電機技報 Vol.59・No.4・P52～56

昭和44年に開発したIC化テレビ中継放送機は、NHK及民放に3,500局以上使用されてきている。この間放送メディアにも音声多重放送、文字多重放送が加わり、FAXも新に加わろうとしている。このため従来の性能品質では、これらニューメディアに十分対応しきれなくなってきたおり、新しく高性能な82形テレビ中継放送装置を開発製品化したので紹介するものである。

三菱ビル遠隔監視システム《メルセントリーU》

中谷 譲・徳井一雄・杉山鉄男・豊田一雄・宮田敏夫

三菱電機技報 Vol.59・No.4・P43～46

ビル遠隔監視システム《メルセントリー》の上位機種となる《メルセントリーU》を開発した。監視・制御点数200～500で、3,000～10,000㎡程度の規模のビルに適したシステムであり、《メルセントリー》と同じく、菱電サービス(株)と総合警備保障(株)による全国的な監視・出動サービス体制が整備されているので、ビル管理業務の省力・合理化が可能である。

薄形5インチ固定ディスク装置MR521/MR522

津村日出男・馬場 宏・河村千秋・水野正博

三菱電機技報 Vol.59・No.4・P57～60

パソコン、オフコンなどの外部記憶装置として小形大容量の磁気ディスク装置の需要が急速に拡大している。本稿では、外形寸法は薄形5インチフレキシブルディスク装置と同一としながら、ステッピングモータを使用したサーボ方式を採用することにより、最大記憶容量25.5Mバイト、平均アクセスタイム85msを実現した薄形5インチ固定ディスク装置MR521/MR522の特長、仕様の概要について紹介する。

車いす乗用ステップ付きエスカレーター

石田松彦・中山正明・治田康雅・井上証策

三菱電機技報 Vol.59・No.4・P47～51

通常のエスカレーターに、車いす乗用特殊ステップを組み込んで、必要な時、係員によってシステムを切り換えることにより、車いす使用者が利用できるエスカレーターを開発した。

本稿では、この新しいシステムを持つエスカレーターの仕様と設置上の留意点、及びシステム、構造、機能などの概要と特長を紹介する。

高速大容量1Mビット マスクROM

松尾龍一・金子正秀・藤本 稔・安東 亮

三菱電機技報 Vol.59・No.4・P61～64

近年、半導体メモリ素子は約1年半で2倍という驚異的なスピードで大容量化が進んでいる。なかでもマスクROMは、常に大容量化の最先端を歩んできた。今回、超微細化プロセス技術と低電力高速化回路設計技術を組み合わせて、当社最大容量のメモリ、1Mビット マスクROM M5M231000- $\times\times\times$ Pを開発したので、その回路構成及び動作特性などについて説明する。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 4, pp. 52 ~ 56 (1985)

The Type 82 TV Transposer

by Tadaaki Tanaka, Hitoshi Kimura, Shigeo Mori, Atsumi Koyama, Toshio Yasunaga & Shumpei Ito

The integrated-circuit TV transposer developed in 1969 is now used by over 3,500 television stations in Japan, both government (NHK) and commercial. Its technology, however, cannot keep up with the recent growth in the broadcasting media of sound multiplex and teletext applications, as well as new uses of facsimile transmission. The article introduces the new, high-performance Type 82 TV transposer created to meet these "new media" needs.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 4, pp. 38 ~ 42 (1985)

A Dam-Management System for the Samegawa River Basin

by Yoichi Uetaka, Shigeru Haneoka, Yoshihiro Sawamoto, Kohei Takeno & Shin'ichi Iwane

Recent years have seen the proliferation of dam data-processing equipment, dam-discharge system controllers and other dam-management systems. The article introduces a dam-management system delivered to Fukushima Prefecture for the Samegawa River basin. This total management system provides for discrete-operations management of the Takashiba and Yotsuji dams, as well as for centralized control of such functions as optimum distribution of dam-discharge and flood run-off prediction for both dams.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 4, pp. 57 ~ 60 (1985)

The MR521 and MR522 Half-Height, 5-1/4" Hard-Disk Drives

by Hideo Tsumura, Hiroshi Baba, Chiaki Kawamura & Masahiro Mizuno

The demand for compact, high-capacity magnetic-disk drives as external storage devices for personal and business computers is growing dramatically. The article presents the features and specifications of the MR521 and MR522 half-height, 5-1/4" hard-disk drives. These new devices have dimensions identical to half-height, 5-1/4" flexible-disk drives and, with the use of a stepping-motor closed-loop servo system, provide a maximum storage capacity of 25.5M-bytes and an average access time of 85ms.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 4, pp. 43 ~ 46 (1985)

The Melsentry-U Remote-Monitoring System

by Yuzuru Nakatani, Kazuo Tokui, Tetsuo Sugiyama, Kazuo Toyoda & Toshio Miyata

The Melsentry-U is a superior version of the Corporation's Melsentry remote-monitoring system for buildings. The new system can handle 200 ~ 500 monitoring and control points in 3,000 ~ 10,000m² of building space. Like the Melsentry, it is supported in Japan by the nationwide monitoring and dispatching services of Ryoden Service Co. and Sogo Keibi Hoshio Co., thus serving for labor saving and rationalization in building-management operations.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 4, pp. 61 ~ 64 (1985)

A High-Speed, High-Density 1M-Bit Mask ROM

by Ryuichi Matsuo, Masahide Kaneko, Minoru Fujimoto & Ryo Ando

Semiconductor memories are currently said to be doubling in capacity at the astounding rate of once every one-and-a-half years, and the pacesetter is unquestionably the masked ROM. Mitsubishi Electric has combined ultrafine processing technology and low-power, high-speed circuitry design to produce its highest-density memory device to date, the M5M231000-XXXP 1M-bit mask ROM. The article describes the new product's circuit configuration and operating characteristics.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 4, pp. 47 ~ 51 (1985)

A Wheelchair Escalator

by Matsuhiko Ishida, Masaaki Nakayama, Yasumasa Haruta & Shosaku Inoue

Mitsubishi Electric has developed an escalator easily converted to wheelchair use. The otherwise conventional escalator has a section of steps that can be called by an escalator operator whenever needed for wheelchair use. The article gives the specifications and conditions for installation of escalators equipped with this new system and provides an overview of the system, its construction, functions, and special features.

1. ま え が き

ディジタル 情報処理技術の飛躍的發展に伴って、シミュレーションという言葉も広く普及し、身近なものとなりつつある。同時にシミュレーション技術の進歩は、驚くべき広範な分野で種々の問題解決にその威力を発揮し、我々の周囲でも気付かぬ内にその恩恵に浴していることが多い。このように身近な技術となったシミュレーションについて、その発展の過程を振り返りつつ今後の技術動向などを探ってみることにする。

Simulate という言葉は、「振るをする」、「模倣する」の意味であるが、その名詞である Simulation という言葉の本来の意味は、辞書によれば「偽物」「模造品」とあり、あまり良い意味には使われなかったようである。しかしこれは現在の「シミュレーション」という言葉のルーツをもまたよく言い表している。すなわち、対象物の性質や現象を調べるためにその「模造品」を作製し、それで実験を行ったのがシミュレーションの原点と考えられ、現在でも航空機の模型風洞実験や船舶の水槽実験などで広く用いられている。したがってシミュレーション技術の原点は、目的にかなった良い「模造品」を作ること、この点は昔も今も変わっていない。

一方、このようなミニチュアのレプリカによっていた時代には、シミュレーションの実施に多くの制約が存在したが、アナログ計算機、次いでディジタル計算機の出現によってその様相は一変した。計算機という手段の出現によって、「模造品」は実物のミニチュアである必要がなくなり、対象物の中の目的とする機能部分のみを抽象化して、模倣した数式モデルに取って変えられる。これに伴って技術の中心も、適切な数式モデルの構築と効率の良い求解法へと移ってゆく。またこのような手段の変化の意味は非常に大きく、シミュレーションをする対象への制約も基本的に取り外す結果となった。模倣できる対象は広範囲に広がり、単に工学的な対象にとどまらず、大規模な自然現象から人間組織の現象、社会経済現象、更には地球上に物理的に実現不可能な状況の模倣にまで及び、人間の知的活動のシミュレーションまで取りざたされるようになってきている。

このようにシミュレーションの対象が広がってくると、その用途も自ずと広がってくる。当初の用途が、主として対象物の起こす現象の解明、検証であったのに対して、更にシステムの計画、設計や運用の最適化にも広く利用されるようになった。同様の考え方によって、組織現象や社会経済現象のシミュレーションがより良い政策決定を探索する手段としても利用されている。一方、シミュレーションは、人間という意志決定者と深いインタラクションを持つシステムの分野にも利用され始めている。種々のプラントなどの運用において、高度の判断、決定能力が要求される異常時の操作を訓練するための教育訓練システムなどがその典型であるが、企業の経営者や軍隊の作戦指揮官の意志決定能力を訓練するビジネスゲームや、戦争ゲームなどもその例である。

以上のようにシミュレーション技術に関しても技術の進歩がその用途を拡大し、それがまた新たな技術開発を刺激するパターンが見られる

が、拡大する用途に応じて要請される技術的課題も多く多岐にわたっている。それらのすべてに言及することは不可能なので、以下では最近比較的注目され、実用化の広がり出した産業プラントなどを対象とした教育訓練用途のシミュレーションを中心に、その技術的課題の幾つかを紹介しながら、この分野の今後の動向を考えてみることにする。

2. シミュレーション/シミュレータ技術の課題

産業プラントなどのシミュレータには、プラントで発生する現象の再現というシミュレーション技術本来の課題とプラント操業/運転の効率化、質的向上という課題とがある。シミュレータの一般的な構成としては、プラント模擬系、プラント運転系、運転員訓練系がある。シミュレータの用途・目的に応じて、これら3系への重点のおき方が決まり、シミュレータの規模・内容は大幅に変わる。例えば、プラント運転ノウハウの開発に重点がある場合は、模擬系及び運転系に視点が、プラント運転員の訓練が重要視される場合は、訓練系及び運転系に視点が集まることになる。

プラント模擬系は、シミュレーション技術が最も発現される場であり、目的に応じた適切な機能モデルの設定とそれを実現するハードウェアの選定が「かぎ」となる。プラント運転系は最近のディジタル化傾向を受けて、実機をそのまま使う場合もある。また人間の操作遅れが重要な影響を及ぼすとき、プラントのディジタル模擬系との整合を考える必要があるとされている⁽¹⁾。プラント訓練系は訓練のノウハウが具現化される部分であり、時と共に進化するため対話性、保守性に優れている必要がある。

産業用シミュレーション/シミュレータに対して要求される共通の技術課題の中で最も基本的なものを挙げれば、

- (1) より速く (高速性)
- (2) より本物らしく (真実性)
- (3) より使いやすく (操作性)
- (4) より作りやすく (製작성)

となろう。ここでは主として産業プラント/システムを対象とし、リアルタイムでその挙動や周囲環境を模擬する教育訓練用途のものを念頭においてその現状、動向を述べてみる。

2.1 高速性の実現

対象となるプラント/システムの挙動を高速にシミュレートするのに、例えばCray-1のようなスーパーコンピュータを用いるのはコストパフォーマンスに難点があり、現時点ではVAX 11に代表される32ビットスーパーミニコンで実現するのが妥当であろう。対象システムの規模がそれほど大きくなく、このクラスのミニコンでリアルタイムシミュレーションが可能であれば問題がないわけであるが、大規模システム(例えば電力系統、上水網など)に対しては計算能力が不足することもあり得る。

このような場合には、①アレープロセッサを付加して高速化を図る、②特別に設計された並列プロセッサにより高速化を図ることが考えられる。前者のAP-120 Bに代表されるアレープロセッサによる高速化の

* 中央研究所(工博)

ポイント は、パイプライン 構造にある。もともと アレープロセッサ は、FFT など ベクトル 長の長い信号の処理向けに開発されているため、ネットワーク 構造の問題に単純に適用すると ベクトル 長の短い演算に終わってしまい、思ったほど高速化できないことが多い。したがって使用する アレープロセッサ のアーキテクチャを十分理解し、そのアーキテクチャを最大限利用する シミュレーションアルゴリズムを開発する必要がある。微分方程式に対しては、積分手法を工夫し定数行列演算による求解法の実現、代数方程式に対しては、ノードの番号付けの工夫による LDU 分解のパイプライン化が有効であろう。このようなアルゴリズムの改善により、例えば 20 機程度の電力系統動揺の実時間解析が可能になっている⁽¹⁾。

後者の並列 プロセッサによる高速化は、今のところ、概念設計の域を出ていない。一つのアプローチは、シミュレーションアルゴリズムのシストリックアーキテクチャへの写像である。比較的簡単な演算器からなるセルを 2 次元に配置し、通信は隣接するセル間同志のローカルな通信に限定することで通信コストを下げるとともに、多数のセルによる並列演算によって高速化を図るものである。ベクトルの内積、行列の積、逆行列の計算などのシストリックアルゴリズムが提案されている。シストリックアーキテクチャは、正規性が高いため VLSI 向きであり、今後の研究開発が期待される。他のアプローチは Transputer⁽²⁾ の利用である。Transputer は命令セットの小さい RISC 形の プロセッサで、高速の RAM を内蔵したチップである。Transputer をネットワーク状に配置すれば、プログラム言語 Occam で記述されたソフトウェアを並列に実行できる。シミュレータの高速化への応用は今後の課題である。

2.2 真実性の実現

教育訓練用 シミュレータは運転員の訓練用に用いる場合と、教育用に用いる場合で真実性の実現に大きな違いがある。訓練の目的は運転する技能を向上することにあるから、訓練用 シミュレータは本物の運転室そのものを可能な限り忠実に再現すればよい。つまり物理的なレプリカを作ることにある。したがって運転員の視覚、聴覚、触覚など実際の運転時に感ずる刺激を忠実に再現する必要がある。この種のシミュレータとして、フライトシミュレータ、給電シミュレータ、プラントシミュレータなど多数が実用に供されている。

一方、教育用 シミュレータにおける真実性の実現は、今のところ十分ではない。これは教育の目的は運転する対象の理解にあるにもかかわらず、理解という心理的側面に真実性をどのように実現するかがよく分かっていないためであろう。しかし、最近の認知心理学の進歩により、理解するとはどういう心理なのか少しずつ解明されてきている。Fodor によれば、理解とは単にイメージが作り出されることではなく、類推や比喩を介して既に理解していることからの全部と結びついた状況だという⁽³⁾。こうした成果は、教育用 シミュレータにおいて真実性を実現する方向を示唆している。

2.3 操作性の向上

訓練用 シミュレータの場合、運転員にとっての操作性は既定であるが、訓練者にとっての操作性は重要なポイントである。訓練開始前の各種シナリオや状況の設定が容易にできる必要がある。また訓練中は被訓練者以外の運転員による自主操作の実行、電話などによる連絡への応答など、むしろ訓練者の方が忙しい場合が多い。訓練終了後は訓練結果の評価、任意の時点からのプレイバック機能などが不可欠である。

教育用 シミュレータの場合は、単に機器の操作が出来るだけでなく、シミュレータが“inspectable”になっているのが望ましい。米国では steamer と呼ばれる艦船の推進機関に関する大変優れた教育用シ

ミュレータが開発された⁽⁴⁾。今後はコンピュータの専門家ではないユーザーがシミュレータをあれこれ「触れる」ようにするヒューマンインタフェースが重要になる。その意味で MIT で研究中のメディア技術は⁽⁵⁾注目に値する。

2.4 製作性の向上

教育訓練用 シミュレータは、対象の複雑化と教育訓練機能の高度化によりシミュレータそのものが大規模で、かつ複雑なシステムになりつつある。ここでは、シミュレータのソフトウェア開発の側面を考えよう。シミュレータを構成する要素として、

- (1) プラント/システムの自然現象のシミュレーション
- (2) 運転用システムのシミュレーション
- (3) 教育訓練機能
- (4) マンマシンインタフェース

がある。このうち、(1)は解析用、あるいは運転用に既に開発され実用に供されているシミュレータそのものである。(2)も運転用システムそのものである。当面は Fortran ベースで開発されるものと思われる。(3)、(4)では従来は本格的に扱っていなかった多様なデータ例えば、訓練のシナリオ、教育用として対象となるプラント/システムの記述、グラフィックディスプレイに表示されるウィンドウ、アイコン、イメージ、文字などを容易に扱えるソフトウェア環境が必要になる。その意味でシステム開発におけるプログラミングパラダイムをよく見直してみることが大事である。任意の対象と対象間の関係記述に適した関数形言語(Lisp)、知識ベース開発に適したプロダクショナルルール形言語(OPSS)、論理形言語(Prolog)、グラフィックディスプレイに適した対象指向形言語(Smalltalk)⁽⁶⁾などシミュレーションの対象物の性質に適したプログラミングスタイルが明らかになりつつある。今後、シミュレータの製作性はシステム開発環境としてどのようなパラダイムを取り入れてゆくかにかかっているといえよう。

3. むすび

シミュレーション技術は、ディジタル情報処理技術の進歩とあいまって短期間に飛躍的に向上したが、本稿では教育訓練用途のものを中心にその現状や新しい試みなどを紹介した。シミュレーションは今後も新しいメディア技術などと結びついて、よりトータルな環境の「模倣」へと発展が期待され、多くの分野でその利用が身近なものとなると考えられる。

参考文献

- (1) 石谷：シミュレーション工学Ⅱ シミュレーション技法、シミュレーション 3 巻 3 号、p. 147~155 (昭 59)
- (2) 田岡ほか：アレープロセッサに適した高速過渡安定度計算手法、電学論、59-B 36、p. 297~304 (昭 59)
- (3) I. Barron, et al: "Transputer does 5 or more MIPS even When not used in parallel" Electronics, November 17, p. 109~115 (1983)
- (4) J. Fodor: "Modularity of mind" The MIT Press (1983)
- (5) J. Hollan, et al: "Steamer: an interactive inspectable simulation-based training system", The AI Magazine, Summer, p. 15~27 (1984)
- (6) R. Bolt: "The human interface where people and Computers meet" Lifetime Learning Publications (1984)
- (7) A. Goldberg: "Smalltalk-80" Addison-Wesley Publishing Co. (1984)

PWR原子力発電所運転員訓練用シミュレータ

若林 繁久*・中石 博和*・水谷 茂**・佐藤 孟生***・中植 康裕***

1. ま え が き

発電プラントの運転員に対する教育・訓練にシミュレータが用いられ、その効果が大いことはよく知られている。原子力プラントにおいても我が国ではPWR用、BWR用それぞれシミュレータを用いて運転員に対する訓練が行われている。PWR運転訓練用シミュレータとしては、昭和49年に(株)原子力発電訓練センター(NTC)に米国ザイオン発電所をモデルプラントにしたシミュレータが設置されて以来、現在まで使用されている。

1979年の米国TMI発電所の事故以来、シミュレータの必要性が一層認識されることとなった。このため、今後ますます増大するシミュレータによる運転訓練に対処するという要請に応じて、当社は新たにNTC 2号シミュレータを納入した。

このシミュレータは、国産初の本格的PWR(加圧水型)運転訓練用シミュレータであり、人間工学的配慮による操作性の向上、カラーCRT表示システムの大幅導入、更に三菱電機(株)の最新のシミュレーション技術を駆使し、従来のシミュレータに比べ、広い模擬範囲、高い精度とシミュレータ機能の拡充などが図られている。

このシミュレータによる訓練は、昭和59年3月から開始され多くの運転員に利用されている。本稿ではこのシミュレータの概要・構成とともに主として一次系統モデルについて紹介する。

2. シミュレータシステム

2.1 シミュレータ概要

このシミュレータのモデルプラントは、三菱第2次改良標準化プラントであり、また誤操作、誤判断の防止や異常の早期発見、運転員の負担軽減などの強化を基本方式とした関西電力(株)高浜発電所3号機である。従来のプラントに比べて具体的な改善、強化のポイントとしては、

- (1) 補助監視コンソールの設置
- (2) 中央制御盤寸法の縮小化
- (3) 誤操作、誤判断の防止のためのスイッチハンドルの色や形による種類分けやパネルのミミック化
- (4) CRT設置による監視機能の強化などがあげられている。これら改善内容はこのシミュレータにおいても実機同様にとり入れられており、実機に即した訓練が可能なものとなっている(図1.)。

また、初期状態項目を豊富にしプラントの冷態状態から全負荷運転、トリップ後の状態に至るまで、あらゆる状態からの訓練が任意に開始できることや、事故モードについても機器、検出器の故障から冷却材の喪失などの事故及びそれらの組合

せによる異常時への対応操作の訓練が行えるなど、従来に比べシミュレータ機能及び訓練内容の拡充を図ったものとなっている。

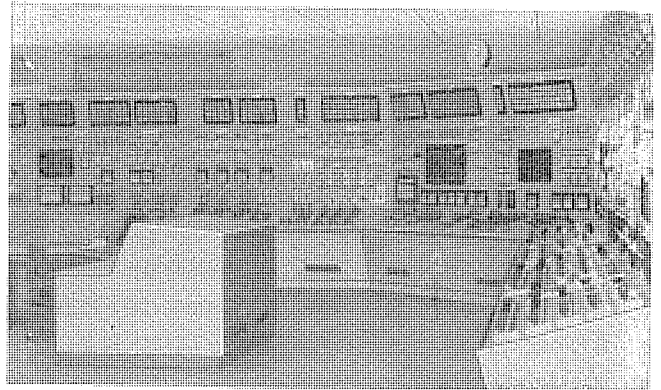


図1.(a) 制御盤

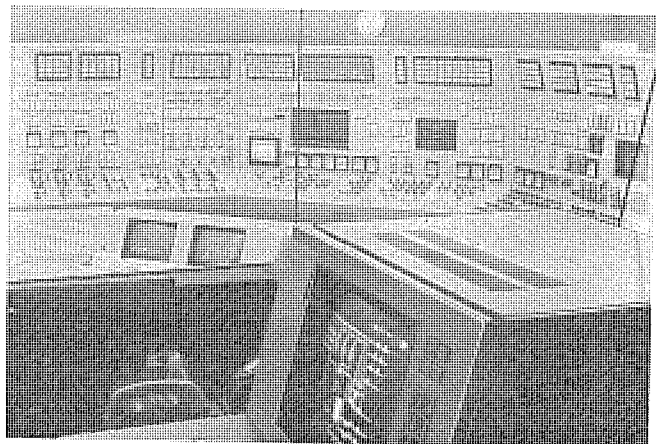


図1.(b) インストラクタ室から見たインストラクタコンソールと制御盤

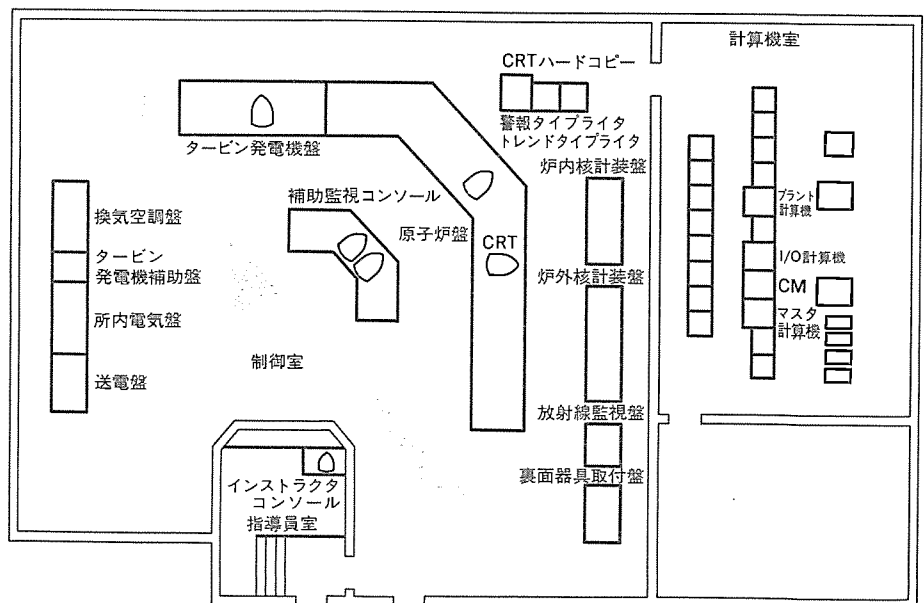


図2. シミュレータ機器配置図

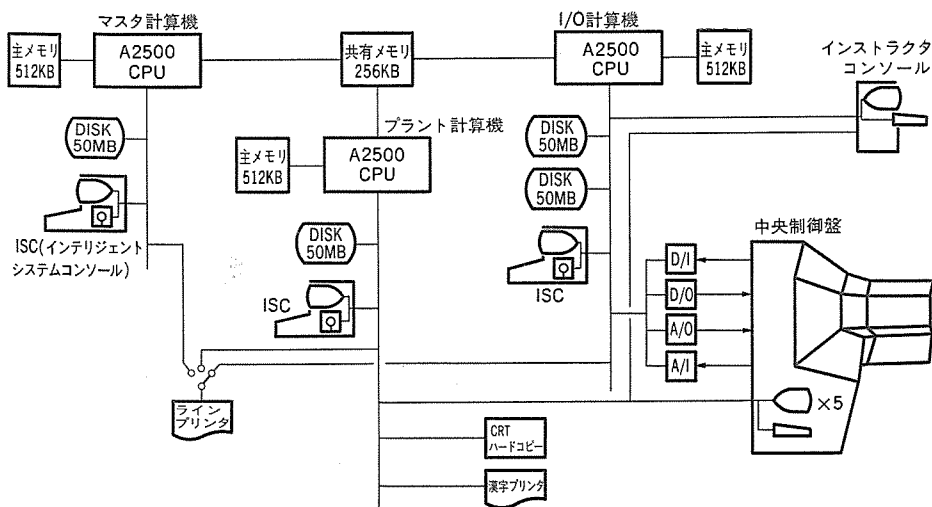


図 3. 計算機 システム 構成

模擬した範囲も通常のプラント起動・停止、異常時操作にかかわる中央制御盤（原子炉盤、タービン発電機盤、電気関係の盤）に加え、格納容器の換気空調や核計装、放射線計装なども詳細に模擬しており、事故時の格納容器内挙動及び処置操作、計装の操作など広範囲にわたる訓練が可能なものとなっている（図 2.）。

2. 2 計算機システム

計算機システムは、共通メモリを中心とした 3 台の計算機《MELCO-M 350-50・A 2500》による負荷分担形システムであり、それぞれの計算機の機能分担は次のとおりである。

- | | |
|---------|-------------------------|
| マスタ計算機 | ・一次系、二次系プラントモデルの演算処理 |
| I/O 計算機 | ・模擬操作盤との入出力処理 |
| | ・シーケンス処理 |
| | ・インストラクタコンソール機能処理 |
| プラント計算機 | ・CRT を中心としたプラント計算機機能処理 |
| 共通メモリ | ・計算機間共通データの記憶（プラント状態変数） |

また高速応答を実現するため、システムを構成するすべての計算機に大容量主メモリを採用している。またマスタ計算機ではモデルプログラムを主メモリ置きとしている。操作盤と計算機間は大量のプロセス入出力が接続されているが、高密度実装のプロセス入出力カードを使用しコンパクトで保守性の高い操作盤-計算機インタフェースを構成している（図 3.）。

プラント計算機機能の模擬範囲としては、訓練と直接関係ない一部の機能を除き、データ処理機能、一次系運転監視機能、負荷追従プログラム機能、二次系運転監視機能、性能計算、一・二次系共通運転監視、記録及び CRT 表示、リクエスト機能など実機のほぼ全機能にわたっている。CRT 表示においては、マンマシンインタフェース強化のための機能として、模擬範囲外の点を除き、警報表示、系統機器モニタ、事故時ステータスマニタ、主要パラメータサマリ、ガイダンス、分析診断データ表示などの画面を模擬している。

3. シミュレーションモデル

3. 1 模擬範囲

原子力プラントすべてを模擬することは、経済的・技術的に容易なことではない。その結果、シミュレータの目的に合わせた模擬範囲の選択が必要となる。

この報告のシミュレータは、原子力発電所における中央制御室の運転訓練を目的とすることから模擬範囲を次のように考えて設計した。

(1) 現象的模擬範囲

(a) 現象的模擬範囲は、経過時間が 0.25 秒以上の現象を対象とした。但し、操作に対しては瞬時に応答させ、運転感覚を損なわないように配慮してある。

(b) 核燃料の燃焼度変化は BOC（サイクル初期）、MOC（サイクル中期）、EOC（サイクル末期）に分けて模擬してあるが、プラント自体の経年変化については模擬外とした。

(2) 空間的模擬範囲

(a) 各系統の補機・弁・検出器のうち中央制御盤への指示、記録、表示及び操作に関係する部分を模擬した。

(b) 各系統の容器・熱交換器・ローカル調節器・逆止弁・機械式安全弁などは、中央操作と関係なく模擬した。

(c) 訓練内容・事故訓練項目の関連操作で必要となる現場操作機器は模擬した。

(3) 機能的模擬範囲

(a) 各補機の電源・制御電源は各種別ごとに区別して模擬した。

(b) 各弁の電源又は空気源及びこれらの喪失時開閉状態を考慮した。

(c) 制御系、保護系のトリップ及びチャンネルの区分を考慮した。

3. 2 シミュレーションモデル

PWR 型原子力発電用訓練シミュレータでは、蒸気発生器を境界にして原子炉側を一次系、タービン側を二次系と呼んでいる。ただし、制御系に関しては、一次系に多大な影響を及ぼす主蒸気、主給水系統の制御も一次系としている。本章では、原子力発電用訓練シミュレータの特徴である一次系について述べる。

3. 2. 1 模擬系統

一次系モデルは、温度、圧力、流量などプラント諸量を計算する動特性モデルとプラント制御を模擬する制御モデルとに分かれており、動特性モデルで模擬している系統は、炉心、一次冷却材系統、安全注入系統、格納容器スプレー系統、補機冷却水系統、補機冷却海水系統及び格納容器系統などの 11 系統であり、中央制御室で操作される系統はほとんど模擬されている。なお制御モデルは実機に即してロジックを模擬しており、本稿では省略する。

3. 2. 2 モデル構成

一次系モデルは図 4. に示すように、上記の模擬系統を更に機能別に分割し、それぞれのプラント諸量を受け渡すことによりプラント全体の動きを表している。

(1) 炉心モデル

炉心モデルの主要な機能は、核分裂による中性子束分布計算、熱発生による冷却材への伝熱計算及び核計装のパラメータ計算である。これらの機能を模擬するために、炉心を軸方向に分割し核計算を行い、半径方向に分割して熱計算を行っている。

中性子束分布計算では制御棒位置、減速材温度、燃料棒温度及びキセノンなどの毒物による反応度変化を考慮し、遅発中性子 6 群を含

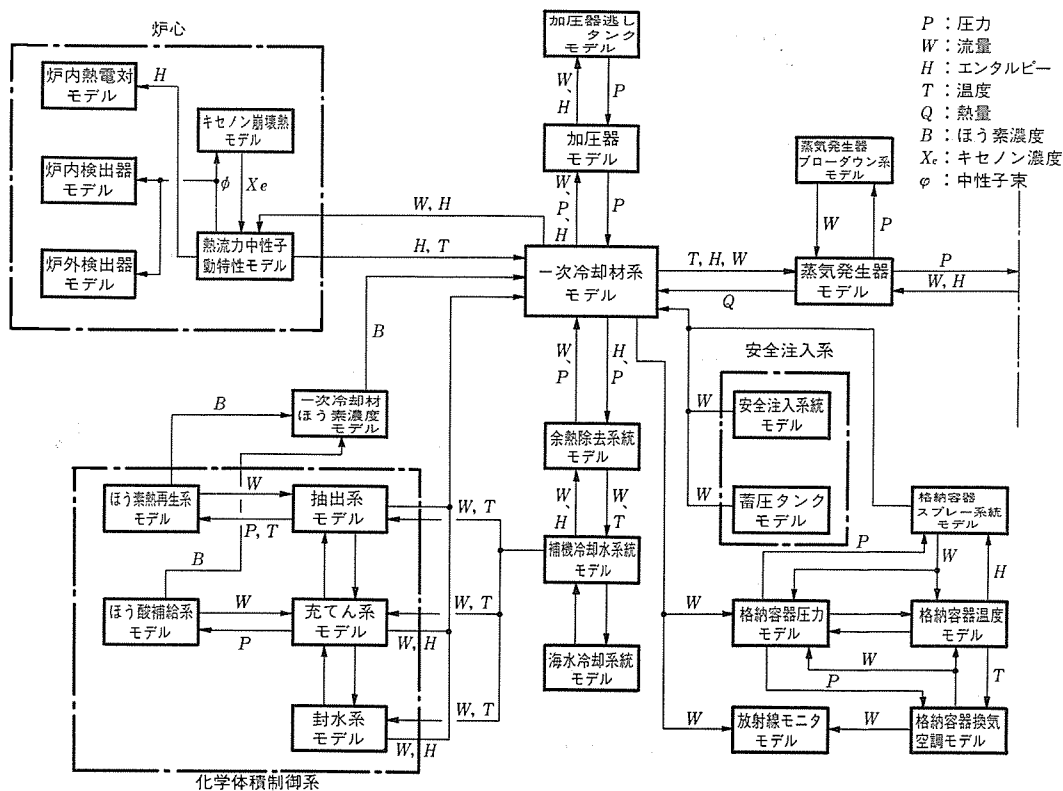


図 4. 一次系モデル構成図

表 1. 記号説明

記号	単位	意味
v	cm/s	中性子速度
ϕ	個/cm ² ・s	中性子束 (ϕ/v =中性子個数)
k	—	個有値 (実効増倍率)
β	—	遅発中性子発生割合 (トータル)
ν	—	核分裂中性子生成率
Σ_f	cm ⁻¹	マクロ核分裂断面積
Σ_a	cm ⁻¹	マクロ吸収断面積
λ_i	s ⁻¹	遅発中性子先行核の崩壊定数
C_i	個/cm ³	先行核の濃度
V	—	演算子 (空間一次微分)
J	個/cm ² ・s	流れの密度
S	個/s・cm ³	中性子源発生中性子数
Q_n	W	炉心発生熱量 (核分裂による)
F	jule/eV	単位変換係数
V_c	cm ³	炉心体積
κ	eV/個	単位核分裂当りの発生熱量
H_{RCS}	BTU/lb	ループ内各ブロック比エンタルピー
M_{RCS}	lb	液体質量
W_I	lb/s	流入流量
H_I	BTU/lb	流入流体のもつ比エンタルピー
W_O	lb/s	流出流量
Q_{IN}	BTU/s	流入熱量
Q_{OUT}	BTU/s	流出熱量
M_{PR}	lb	加圧器内各相での蒸気又は液体質量
H_{PR}	BTU/lb	の比エンタルピー
Q_{PR}	BTU/s	出入質量差
H_{PRI}	BTU/lb	蒸気又は液体流入流体のもつ比エンタルピー
W_{PRI}	lb/s	蒸気又は液体流入流量
J	lb-ft/BTU	熱の仕事当量
V	ft ³	加圧器内各相の体積
P_{PR}	Psia	加圧器内圧力
Q_{SG}	BTU/s	蒸気発生器伝熱量
Δt	°F	一・二次側平均温度差
L_{SG}	%	蒸気発生器水位
W	lb/s	配管内流量
C_v	—	弁係数
ΔP	Psia	弁前後圧力差
G	—	液体の比重

式(1), 式(2)の核的動特性方程式を基本に計算している。

$$\frac{1}{v} \cdot \frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{k} (1 - \beta) \cdot \nu \cdot \sum_f \phi - \sum_a \phi + \sum_{i=1}^6 \lambda_i \cdot C_i - V \cdot J + S \quad (1)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i}{k} \cdot \nu \cdot \sum_f \phi - \lambda_i \cdot C_i \quad (2)$$

ただし、記号の意味は表 1. の「記号一覧」を参照、以下各式においても同様とする。

熱計算では炉心内の全中性子束から核分裂数を計算し、核分裂 1 個による発生熱量を乗ずることにより全発生熱量を計算している。

$$Q_n = F \cdot V_c \cdot k \cdot \sum_f \phi_n \quad (3)$$

また崩壊熱に対しては、崩壊熱に寄与する核種を 8 群として模擬している。

(2) 一次冷却材システムモデル

一次冷却材システムモデルの主要な機能は、一次冷却材ポンプ特性による循環流量計算及び熱輸送における各配管部の温度計算である。ただし、ここでは一次冷却材は常にサブクール状態とし、飽和状態でないと仮定している。循環流量は各ループ独立に計算を行い、通常時、逆流量、自然循環時のそれぞれの動きをポンプヘッドと管内圧損変化により模擬している。温度計算では各ループを 6 ブロック、原子炉容器内を 4 ブロックに分割することにより、詳細な温度分布計算を行っている。また各部放熱、一次冷却材ポンプ発熱量も考慮し式(4)のヒートバランス式を解くことにより、一次冷却材のエンタルピーを求め更にそのエンタルピーから圧縮水の温度を蒸気表から求める。

$$\frac{d}{dt} (H_{RCS} \cdot M_{RCS}) = W_I \cdot H_I - W_O \cdot H_{RCS} + Q_{IN} - Q_{OUT} \quad (4)$$

(3) 加圧器システムモデル

加圧器システムモデルの主要な機能は、加圧器内の温度、圧力、水位計

算である。加圧器モデルでは一次冷却材の体積変化、及び充てん、抽出などの流量差によるサージ流量、ヒータ、スプレー、逃し弁、安全弁による効果をすべて模擬している。加圧器内の状態は気相部と液相部の2相について、それぞれ以下のエネルギーバランス式を解くことによりエンタルピーを求めているので、ループからサブクール状態の一次冷却材が加圧器に流入した場合の気相と液相の過渡的な温度相違も表すことができる。

$$\frac{d}{dt}(H_{PR} \cdot M_{PR}) = Q_{PR} + \sum H_{PRI} \cdot W_{PRI} + \frac{1}{J} \cdot V \cdot P_{PR} \dots\dots\dots (5)$$

圧力については、上記のエネルギーバランスから求めたエンタルピーから求めた蒸発量とスプレーによる凝縮量により蒸気の質量を求めて、その比容積に対する飽和圧力として求めており、急激な水位変化による圧力の過渡的な応答も表すことができる。

(4) 蒸気発生器系統

蒸気発生器モデルの主な機能は、一次冷却材と二次側の給水との熱伝達計算及び器内の圧力・水位計算である。熱伝達は一次側及び二次側の対数平均温度差に熱伝達係数と伝達面積とを乗じて求められるが、熱伝達係数は平均温度差の関数、また伝熱面積は水位の関数となっており、出力変化、水位変化における熱伝達量の変化をよく表している。

$$Q_{SG} = f_1(\Delta t) \cdot f_2(L_{SG}) \cdot \Delta t \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 f_1 : 熱伝達係数関数

f_2 : 伝熱面積関数

器内圧力は、飽和状態の下で圧力を算出するエネルギー平衡、質量平衡式を用いて求める。また水位は、蒸気流量に対応する沸騰部保有気泡量及び質量増減による成分を合成したものとしており、蒸気流量が変化したときの水位の応答も表すことができる。

(5) 補助系統モデル

化学体積制御系や余熱除去系統など配管網における圧力・流量は、タンクや一次冷却材ループを模擬した等価電気回路網に置換して圧力を求め、式(7)により流量を求める。また流体の慣性も考慮している。

$$W = C_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{G}} \dots\dots\dots (7)$$

3.3 事故時の模擬方法

原子力発電用訓練シミュレータでは、事故時の対応操作訓練のため、事故の模擬も重要である。このシミュレータでは一次冷却材喪失、蒸気発生器細管漏えい、主蒸気管破断事故、主給水管破断、加圧器気相部破断の各事故を発生させることが可能であり、事故の程度も選択できる。

(1) 一次冷却材喪失事故

一次冷却材喪失事故は、小さなスプリット破断と完全ゼロチン破断の2種類が発生可能である。ゼロチン破断の場合は、一瞬にして加圧器が空となり飽和状態となる。この時の圧力は、解析結果に基づき事故後の時間の関数として求め、温度はその圧力の飽和温度である。またスプリット破断の場合でも加圧器が空になった場合は、飽和状態となるので、その後の圧力は原子炉頂部の温度に対する飽和圧力を示す。温度は熱平衡計算により求めるが、ループ内での蒸気発生の影響を考慮している。

(2) 蒸気発生器細管漏えい事故

蒸気発生器細管大漏えい事故では、加圧器が空になり、いったんル

ープが飽和状態になった後、再度水位が上昇し通常状態に戻ることもあるため、圧力支配点が原子炉頂部と加圧器の間を移行するが、この圧力支配点の圧力が系を支配するように模擬し、圧力が不連続とならないようになっている。

(3) 主蒸気管破断・主給水管破断事故

主蒸気管破断事故では、瞬時完全破断の場合、すべて蒸気で漏えいするとして模擬するとエネルギー平衡式から求めた蒸気発生器器内圧が、実際以上に下がすぎるため、クオリティ計算を行い液体として漏えいする分を考慮する。このクオリティ計算は蒸気発生能力を考慮した漏えい蒸気流量の関数として求めている。

主給水管破断事故においても、クオリティ計算により蒸気と液体との漏えいを考慮した模擬を行っている。

(4) 加圧器気相部破断事故

加圧器気相部破断事故の場合も、その破断の程度を任意に選べるが、その程度によってはループ内が完全に飽和状態となる。このケースは加圧器の挙動についてTMI-2の事故と類似するものであり、加圧器の水位が上昇する特徴がある。このモデルでは、ループの各部の温度が加圧器圧力に対する飽和温度に接近すれば、ボイドの発生による効果を考慮して模擬している。このボイド効果により、ループ内の一次冷却材体積が増加し、加圧器へのサージ流量が発生し、加圧器水位が上昇し満水状態を現すことができる。

4. シミュレータ試験と特性

運転訓練は、プラントの一般的教育と異なり、実際の運転現場で運転するのと同じことが行われるため、当然シミュレータもそれにこたえる機能と精度をもつ必要がある。特にプラント模擬の真実味を増すためにも、過渡的な現象に対して定性的及び実時間的動作に十分に考慮しなければならない。以上から訓練シミュレータとして必要な条件は、①実時間模擬であること、②模擬現象は連続性をもつこと、③操作訓練に十分な精度をもつことなどである。特に精度について“ANSI/ANS-3.5-1981”に、重要パラメータについては静的に±2%、過渡的な現象には物理的な法則に反しないことなどが定められている。このシミュレータにもこの規定を適用し、十分な精度をもっていることが確認された。

このシミュレータでは下記のような試験を実施した。

(1) 静特性調整試験

プラントの安定状態(定格負荷、1/2負荷、臨界状態、温態停止、冷態停止など)での主要パラメータの設計値とシミュレータの実行値とが一致するように調整する。

(2) 動特性調整試験

プラントの運転手順に従って、冷態停止状態から定格負荷、定格負荷から冷態停止状態まで運転を行い、過渡的な現象が物理法則に従い定性的に正しく連続的に変化し、ある特定な状態(冷態停止、温態停止、臨界状態、定格運転)に維持できるように調整する。この場合でも変化後の静特性は、定量的に一致することを確認する。

(3) 事故特性試験

事故時(一次冷却材喪失事故、蒸気発生器細管漏えい事故、主蒸気管破断事故、主給水管破断事故、加圧器気相部破断事故)については、オフライン解析コードにより解析した現象と、同じ条件でシミュレータのマルファンクションを実行させた時発生する現象とを比較し、それぞれのプラントパラメータの挙動が一致することを確認する。

以上の3種の試験により調整されたこのシミュレータの特性は、通

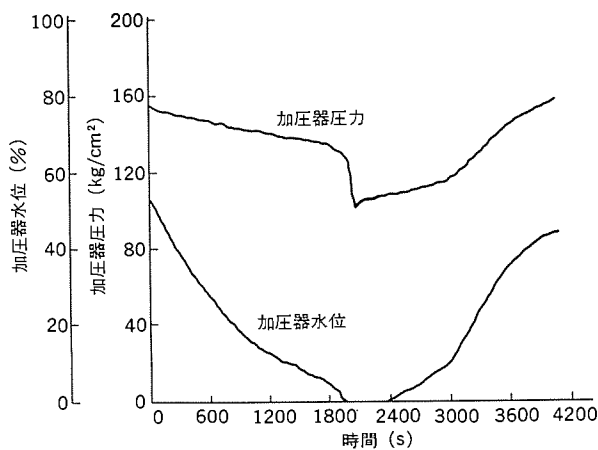


図 5. 一次冷却材喪失事故特性 (低温配管 1/2 インチスプリット 破断)

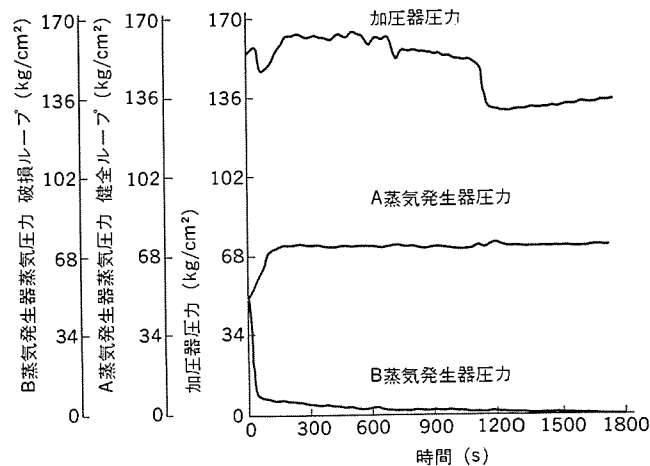


図 8. 主給水管破断事故特性

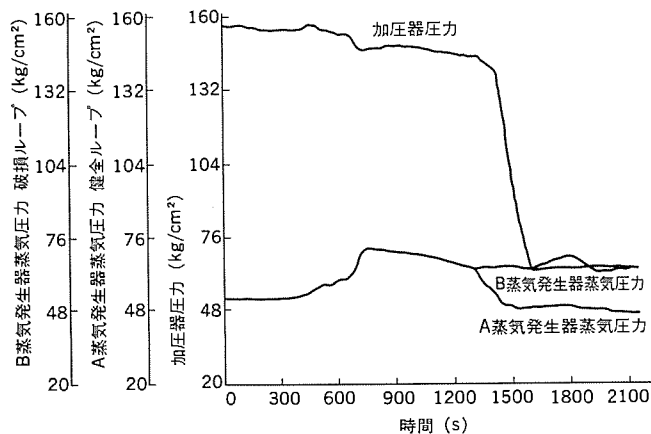


図 6. 蒸気発生器細管漏えい事故特性

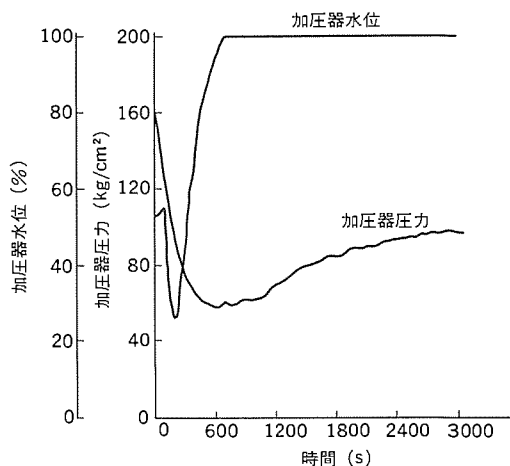


図 9. 加圧器気相部破断事故特性 (等価口径 1.4 インチ 破断)

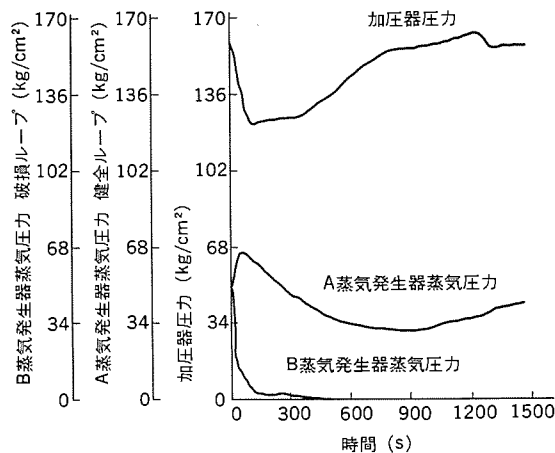


図 7. 主蒸気管破断事故特性

常運転訓練のみならず異常時運転訓練に対しても十分な精度をもっている。また事故特性についても物理的に妥当であるとともに、オフライン解析コードの結果とよく一致している。

シミュレーション結果として、各種事故時の主要パラメータ特性を図 5. ～図 9. に示す。

5. む す び

以上 PWR 原子力発電訓練用シミュレータの構成と、そのモデルについて紹介した。

このシステムは特に従来に比べ、より広い訓練模擬範囲、より高い精度を考慮して設計されており、既に多くの運転員の方々の訓練に用いられて好評をいただいている。今後更に多くの訓練に使用され PWR 原子力発電所の安定運転に大いに寄与することを期待して止まない。

終りにのぞみ、このシミュレータの計画当初から、多大の御協力、御指導いただいた(株)原子力発電訓練センター殿、三菱重工業(株)殿、三菱原子力工業(株)殿の関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

火力発電所運転員訓練用シミュレータ

坂本文雄*・浜田利勝*・望月美彦**

1. ま え が き

我が国では昭和41年にドラム形ボイラユニットのアナログ計算機を使用した火力発電所運転員訓練用シミュレータが設置された。このシミュレータは17年間にわたり、延べ10,000名の運転員の技能向上と火力プラントの安全運転に貢献した。その後も火力技術の進歩は目覚ましく、操作性、制御性及び監視性の進んだ新鋭の火力発電所の運転員訓練のニーズにこたえ、デジタル式の訓練用シミュレータが開発され、普及してきた。

運転訓練シミュレータは、火力プラントの技術進歩や石油から石炭へのエネルギー変遷に伴って、模擬範囲が拡大されると同時に訓練機能もますます充実されてきた。またユーザーの利用目的や用途により、様々なタイプの訓練用シミュレータが登場してきた。

2. 動 向

我が国の火力発電所運転員訓練用シミュレータでは、昭和51年に全デジタル式のものが開発された。特に火力発電プラント用では、ドラム形ボイラユニットと貫流形ボイラユニットの、二つの発電プラントが訓練できるユニット切替方式が主流で、各電力会社の研修センターに教育設備として設置されている。その主目的は各電力会社の総合的な教育カリキュラムに編入されて、独特な位置を占め、各電力会社の教育設備として、新人教育、再教育や職場研修用にと使用されている。国外において、例えば東南アジア、中近東、アフリカ諸国では電力需要が急速に伸びており、石炭への燃料切替とあいまって新規プラントの運転要員の確保が急務となっている。アメリカ、オーストラリアなどは、大形最新鋭の石炭火力発電プラントが次々と建設されており、対象プラントを運開する前にシミュレータを製作し、訓練を開始し、運転要員を育成するケースが多くなっている。

また、貯炭場の選炭操作や純水処理装置操作など、発電プラント運転員の操作範囲外である付属設備の操作訓練も、模擬対象とする総合的な発電システム用シミュレータの要求が多くなっている。中近東では、火力発電プラントに海水淡水化プラントを組み合わせたものが多く、淡水化プラントの訓練も対象範囲とする場合が多い。

最近の新設火力発電プラントでは、訓練用シミュレータを併設するケースが増えている。これは前述のような要求に加えて、訓練用シミュレータによる教育効果が広く認識されてきたことを意味しており、シミュレータはコスト的にも発電プラント建設費の1~2%程度と教育器材として十分引き合うものになったためと考えられる。

3. 最近のシミュレータ設備

以下各設備について最近の注目すべき事項について述べる。

3.1 制御盤、操作盤及び訓練室

シミュレータは、中央制御室での操作が訓練の中心である。訓練効果をあげる上で、実機を運転しているのと同じ感覚で訓練できることが重要であり、そのため種々の工夫がされてきた。また、中央制御

室運転員の訓練のみではなく、保守員の訓練が行えるように実機と同じプラント制御装置を導入し、中央制御室の機器以外に計器室の一部をも実装し、模擬したシミュレータも製作された。シミュレータの訓練効果をあげ、訓練範囲を広くする意味では発電所の系統を表示したグラフィックCRTによる現場操作を模擬し、訓練の対象としている。排煙監視モニターテレビやボイラ火炉の燃焼状態をテレビに写し、モニターする炉内テレビの模擬は、ビデオディスク方式により忠実度をあげている。

3.2 計算機

プロセス入出力処理及び実時間処理に優れた制御用計算機(ミニコン又はスーパーミニコン)によるシステムを採用している。大容量の主メモリの採用と効率的な演算分割により実時間性を強化し、また大容量補助メモリによりデータ処理機能を増強するとともに、プログラム開発と保守の容易性を持ったシステムとなっている。

3.3 シミュレーションモデル

模擬範囲の拡大と共に、モデルソフトウェアの量は増加の一途をたっており、更に模擬精度の要求も高くなっている。実時間性を損なわないで、しかも高精度モデルを持ったシステムが要求されている。

3.4 指導員用機能

シミュレータにおいて最も重要なことは、第1にいかに効率的な訓練をするかということであり、第2に指導員機能をいかに使いやすくするかである。そのため当社では、カラーCRTを使用した会話形指導員卓を標準的に採用している。離れた所からシミュレータを操作できるリモートインストラクタ装置も有効である。

シミュレータを特徴づける機能の一つは、事故(マルファンクション)を指導員が任意に発生させることができることである。設定方法は、各項目を単独で用いるもの以外に、複数の項目をグループ化して発生順序と発生タイミングを設定するもの(グループマルファンクション)がある。主要なプラント状態量の標準値と、訓練結果の値とを同一CRT画面上に表示し、両者の偏差をみて訓練評価をする。プラントの主要な運転状態時に、運転状態の相異をモニターするなどの訓練評価機能が重要視されている。

このほかにインストラクタを援助する機能、自習用のCAI(Computer Aided Instruction)機能も充実しつつある。これらは、プラントの起動・停止操作において、次に操作すべき項目を計算機が指示したり、次の運転状態に進行するための未完操作項目を表示したり、また、単に運転操作手順を表示する機能などである。

パラレルシミュレーション機能は、ボイラ、タービンを分割し、それぞれの運転員が独立に、同時に、別の操作訓練を行えるようにしたものである。

4. シミュレータの種類

本稿では次の3種類の運転訓練シミュレータを最近の実例に沿って、最新の技術とともに紹介する。

(1) レプリカシミュレータ

レプリカシミュレータとは、実機の複製シミュレータを意味し、実機と同じ

環境の中で実機を運転しているのと同じ感覚を与えて訓練の効果をあげようというものである。最近では、その模擬範囲が拡大され、発電所の付帯設備である水処理設備や貯運炭設備、更には変電設備までが含まれる場合が多くなっている。

(2) 中規模シミュレータ

初心者には、発電プラントの基本原理を教えること

が目的の小規模シミュレータがあり、基礎訓練用又はジェネリックシミュレータと呼ばれている。中規模シミュレータはレプリカシミュレータと小規模シミュレータの中間に位置付けられ、特定のモデルプラントを複製しないでレプリカ並の性能を持たせたものである。

(3) 分離形シミュレータ

レプリカシミュレータのアイソモード又はパラレルモードでは、例えばボイラの点火昇温訓練と、タービンの昇速操作訓練を同時に行うこともできる。分離形シミュレータは、もう一歩進んで石炭ボイラ専用シミュレータ、EHC (Electro-Hydraulic Controller) 訓練シミュレータのように単独の分離形シミュレータとしたものである。

5. レプリカシミュレータ例

石炭だ(焚)き火力発電プラントを核として、受変電設備、500 kV 変電所、コールハンドリング、造水、水処理、復水脱塩の各プラントをも模擬範囲とした、大規模レプリカ火力運転訓練シミュレータの例として、インドネシア電力庁向けシステムを紹介する。

5.1 モデルプラント概要

モデルプラント	スラヤ (Suralaya) 火力発電所
ボイラ	カナダB&W社製、ドラム形 石炭焚き、再熱、自然循環、平衡通風、ドラム形
タービン	三菱重工業製、400 MW、3,000 rpm 復水再熱タービン、タービンバイパス付き
発電機	三菱電機製、471 MVA、0.85 PF、23 kV、50 Hz
計装制御	カナダベレー社製、協調制御、パナ制御 DAS (Data Acquisition System)
受変電設備及び500 kV 変電プラント	BBC
造水プラント	笹倉製作所製 多段フラッシュ形ブライン循環式
水処理プラント	日本オルガノ社製
復水脱塩プラント	日本オルガノ社製
コールハンドリング	シーメンス社製

5.2 システム概要

システムは発電プラントと付属プラントに大別される。前者は主制御盤、所内電機盤、共通制御機、発電プラント用 DAS コンソール、所内用 DAS コンソールからなり、主制御室に設置され、500 kV 変電所盤は別室に設置されている。後者はコールハンドリング制御機、コールハンドリングミミック盤、造水プラント制御盤、及び水処理・復水脱塩制御盤によ

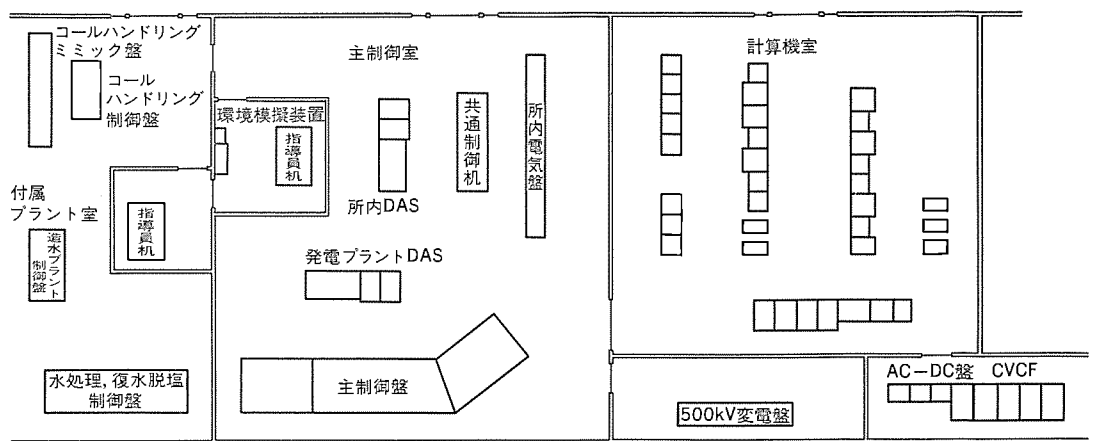


図 1. スラヤ シミュレータ 配置図

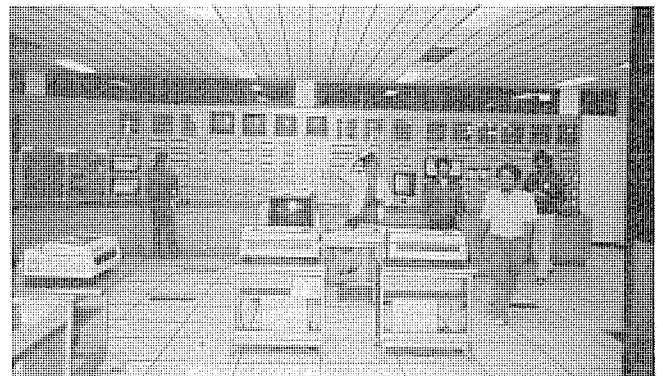


図 2. スラヤ シミュレータ 発電プラント 制御盤

り構成され、付属プラント室に設置されている。指導員盤は、それぞれに設置されている。運転員の訓練は発電プラントと付属プラントの全模擬システムを同一システムとして同期させて、実機を運転しているのと同じ環境のもとで行われる。計算機システムは制御用計算機《MELCOM 350-50/A 2500》を4台使用し、機能分散形マルチ計算機システムを採用している。これらの計算機は共通メモリで結合し、更に大容量主メモリを採用することにより、実時間性を良くしている。(図 1.)

5.3 訓練機能

一つのシステムに二つの指導員盤を設置する特殊な構成としており、各々の訓練機能が競合するのを防止するよう考慮している。基本的には、発電プラント用指導員盤に優先権を持たせている。例えば初期値設定、フリーズ/ラン、バックトラック、リプレイ、スナップショット機能などがこれらに当たる。ただし、これらの機能を付属プラント用指導員盤に移管することもできるようにした。マルファンクション、ローカル操作、レコーダー停止機能などは各々の指導員盤の分担範囲で独立して有効としている。

5.4 発電プラントモデル

シミュレータの模擬範囲は原則的には、発電所の中央制御室内に設置されている操作盤、監視装置のすべてを模擬し、これらの操作盤、監視装置とを通じ運転員がインタフェース可能なプラントの系統、補機類の動作、特性のすべてを模擬対象範囲として取り扱っている。運用面からみると、シミュレータが模擬する運転状態は、プラントの完全冷機状態から定格出力運転、停止操作はいくまでもなく、復水器逆洗、予備機起動切替操作のような特殊運転操作、更に各種の事故時の状態模擬も可能である(図 2.)。

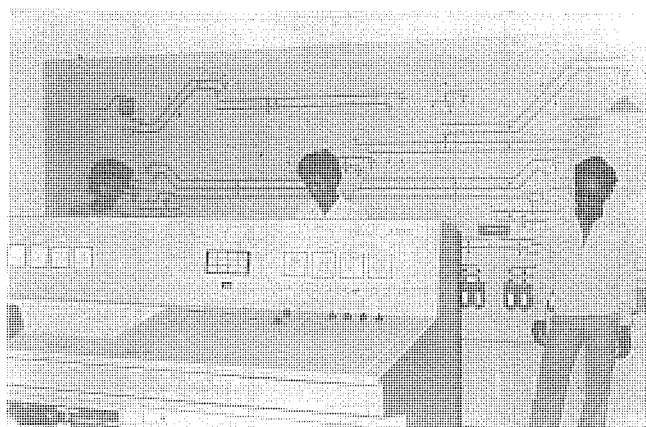


図 3. スラヤ シミュレータコールハンドリングプラント 制御盤

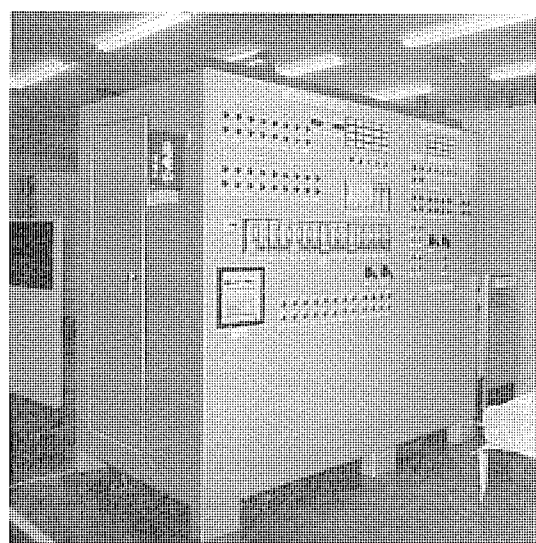


図 4. スラヤ シミュレータ 造水 プラント 制御盤

模擬モデルの構成は、プラント動特性を模擬する動特性モデル、シーケンスロジックモデル、ABCなどの制御システムモデル及びプラント計算機機能模擬モデルとに機能分割されたモデルで構成している。

5.5 変電プラントモデル

主変圧器から、500 kV グリッドを始め、500/150 kV の降圧変圧器、150/6 kV の起動変圧器を含めて潮流計算を行い、実時間模擬を提供している。潮流モデルは、無限大母線電圧、発電機内部誘起電圧及びその位相角から系統内各部の電圧、及び変圧器や送電線を通る有効電力、無効電力、電流などを計算するモデルである。実時間シミュレーションを実現するために状態変化を検出して、処理を行うイベント部と周期的に計算を行うペリオディック部に分けて演算効率をあげている。

5.6 コールハンドリングプラントモデル

コールハンドリングプラントモデルは、船からホッパに陸揚げされた石炭をベルトコンベヤにより、貯炭場に運び、ここから更にベルトコンベヤにより主配炭ホッパ、ユニット配炭ホッパを通じて、パンカに供給する設備すべてを取り扱っている。コールハンドリングプラントの模擬も、動特性モデルとシーケンスロジックモデルの二つに分けて実時間性を損なわないようにしている(図3.)。

5.7 造水プラントモデル

それぞれが100%稼働可能な2基の脱塩装置を備えた造水プラントが

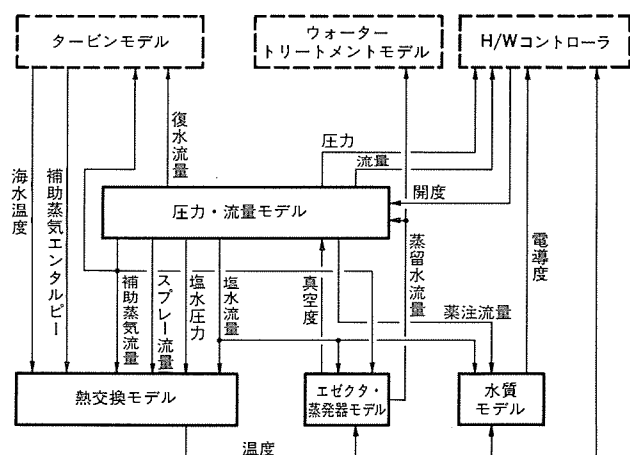


図 5. 造水プラントモデル 構成図

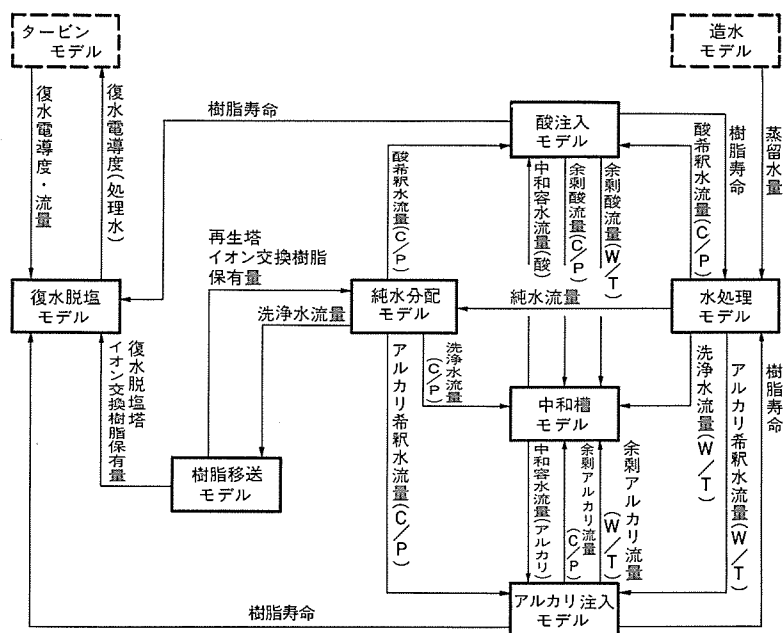


図 6. 水処理・復水脱塩プラントモデル 構成図

組み合わせられ、脱塩装置の加熱源としては、発電プラントの蒸気が使われている。ここで作られた淡水は、ボイラ補給水、発電所内使用水、居住地内使用水などに供されている。これらをすべて模擬の範囲としている(図4.)。造水プラントの模擬は、プラントの動特性を計算するシミュレーションモデルとプラントを制御する実機と同じハードウェアのコントローラを導入することによって実現している。

シミュレーションモデルは、機能的に四つに分割される(図5.)。

5.8 水処理・復水脱塩プラントモデル

水処理、復水脱塩モデルは、主として七つのサブモデルから構成されている(図6.)。

6. 中規模シミュレータ例

昭和59年8月エジプト電力庁向けに出荷した中規模可搬形シミュレータについて述べる。特長としては、

- (1) システムは高性能ミニコンピュータ《MELCOM 350-50/A 2350》1台を使用し、オンラインでもソフトウェア開発が行えるようにしている。
- (2) 盤面は機能的に3分割し、ミミック方式とすることにより、トレーニング効果の向上をねらっている。

(3) 記録計は1台も設置せず、保守の容易さとシステムの拡張の容易さをねらっている。記録はCRTのアナログトレンドにより行うようにしている。

(4) アナログ入力を使用しないように設計し、初期値設定の高速化を図っている。

(5) インストラクタCRTはカラーの会話形式とし、使いやすい方式にしている。

(6) プロセス入出力は制御盤内収納のリモートプロセス入出力方式として、移動性の良さとコンパクト化を行っている。

(7) DC電源は、小容量の電源装置を分散して制御盤内に設置し、スペースファクタを改善している。

6.1 モデルプラント概要

ボイラ 石油/ガス 焚再熱、自然循環、強制通風、フロントバーナ、ドラム形

タービン 300 MW, 3,000 rpm, 復水再熱タービン、タービンバイパス付き

発電機 353 MVA, 0.85 PF, 20 kV, 50 Hz

6.2 システム概要

システム構成は、制御用ミニコンピュータ《MELCOM 350-50/A 2350》を1台使用し、主メモリ1MBを搭載している。計算機キャビネットは2面構成とし、移動式としている。補助メモリとして46MBの固定ディスク及び磁気テープ装置を装備している。プロセス入出力はデジタル

入力600点、デジタル出力720点、アナログ出力240点として設計している。周辺装置はプログラマ用ターミナル(CRT、キーボード、フロッピー付き)、指導員用カラーCRT、キーボードとプリンタ、及び制御盤取付けのカラーCRTである。制御盤取付けCRTはアナログトレンド記録を行う。制御盤は3面構成とし、それぞれUCL(1,500mm幅)、UCC(2,500mm幅)及びUCR(2,100mm幅)と呼称し、移動性、操作性と訓練効果の良さを考慮した。UCLは煙風道、燃料系統操作制御用、UCCはボイラ・タービン主要操作、制御用、UCRは発電機操作、制御及びタービン監視用としミミックパネルと操作パネルにそれぞれ分かれ

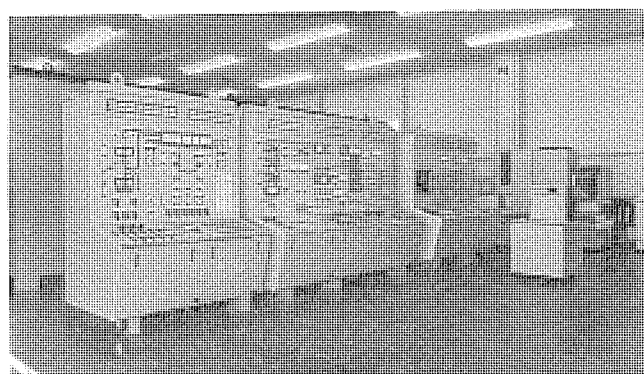


図7. エジプト電力庁向け中規模シミュレータ発電プラント制御盤

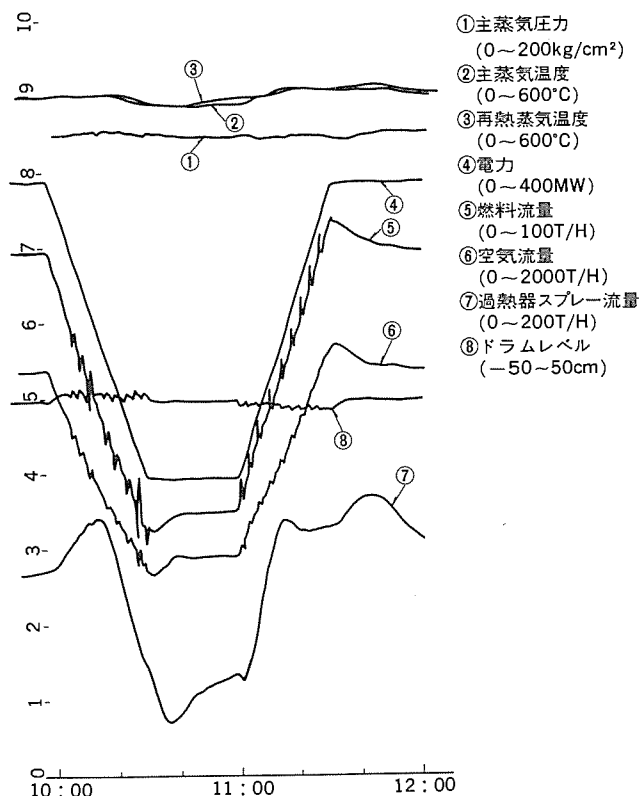


図8. 負荷変化テスト記録

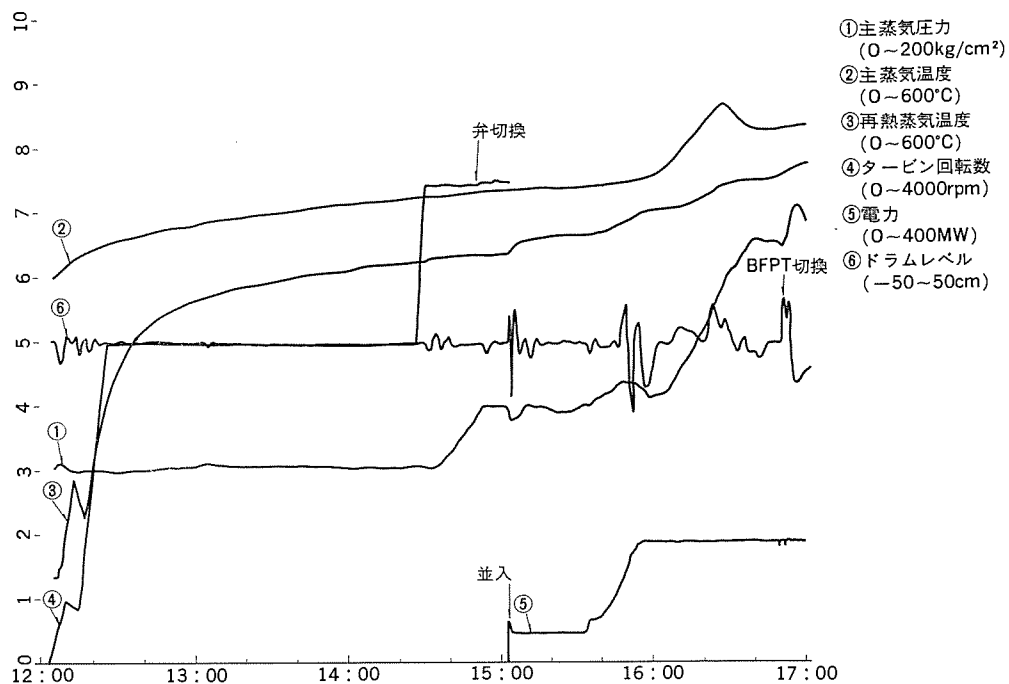


図9. 冷態起動テスト記録

ている(図7.)。

6.3 訓練機能

訓練機能は精選し次のものとした。機能はすべてCRTとキーボードにより操作される。

- | | |
|--------------------|----------------|
| (1) 初期値設定 | (2) 初期値セーブ |
| (3) 不正スイッチチェック | (4) マルファンクション |
| (5) グループマルファンクション | (6) 条件設定(外部条件) |
| (7) パラメータ表示 | (8) フリーズ/ラン |
| (9) スナッチショット/リジューム | (10) バックトラック |

(11) ファストモード

(12) 運転記録

6. 4 テスト結果

このシステムのテスト結果の一例として、負荷操作時(図 8.)及びタービン起動から 25% 負荷までのプラント起動時(図 9.)の記録を示す。このシミュレータの試運転の実績により、初心者級の運転員から技能者レベルまで広く運転訓練に供するに十分であると評価されている。

7. 石炭ボイラ運転員専用火力運転訓練シミュレータ

次に、分離形シミュレータの例として、昭和 60 年 4 月運開予定の某電力会社向けの石炭焚きボイラ運転員専用火力訓練シミュレータについて紹介する。

7. 1 モデルプラント概要

ボイラ専用シミュレータのため、タービン及び発電機は、その主要機能のみを簡略模擬している。ボイラについては西条発電所 2 号機ボイラを模擬している。

(モデルボイラ仕様)

形式	石炭焚き、単胴自然循環形再熱式ボイラ、平衡通風
蒸発量	840,000 kg/h
再熱蒸気量	675,429 kg/h
蒸気温度/圧力	過熱器出口 571°C/175 kg/cm ² g
	再熱器出口 541°C/37.3 kg/cm ² g
給水温度	節炭器出口 285°C
(最大連続負荷時、石炭専焼時)	

7. 2 システム概要

計算機は制御用ミニコンピュータ《MELCOM 350-50/A 2200》を 1 台使用し、主メモリ 512 KW, 補助メモリ 46 MB の(固定ディスク)を使用している。プロセス入出力はデジタル入力 640 点、デジタル出力 832 点、アナログ出力 304 点である。周辺装置はプログラマ用ターミナル(CRT, キーボード, フロッピー付き), 指導員用カラー CRT, 指導員用リクエストパネル, 出力タイプライタを使用している。制御盤はボイラ制御用に 1 面(4,160 mm 幅)にまとめて設置し、ボイラの運転を中心にして設計したユニークな盤である(図 10.)。

7. 3 訓練機能

訓練機能には通常のシミュレータ制御機能のほかに訓練状況監視機能も持たせている。

(1) シミュレータ制御機能

シミュレータ起動/停止, フリーズ/ラン, 初期条件のセット/セーブ(15 種類), スナップショット/リジューム(5 種類), バックトラック, 不正スイッチ表示, マルファンクションセット/リセット(100 項目), 倍速/実時間, 条件設

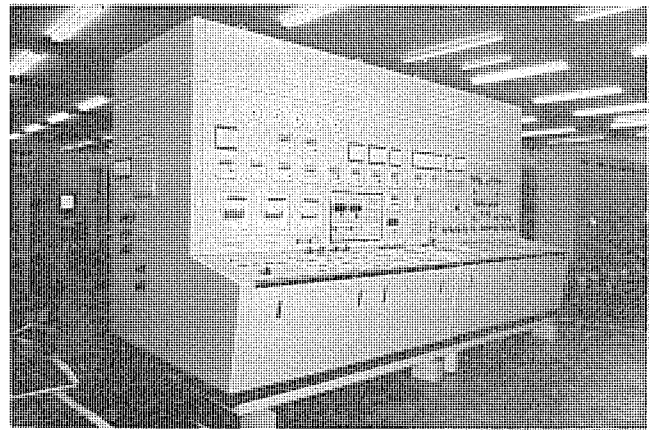


図 10. 某電力会社向け石炭ボイラ専用シミュレータ制御盤

定(記録計電源入・切, 二重化装置使用・除外その他), 時刻変更

(2) 訓練状況監視機能

運転記録, アナログドレンド, デジタル表示, データ印字, グループ印字

8. む す び

以上、最近の火力訓練シミュレータの多様化傾向を示す三つのシステムについて述べてきた。

今日では、航空機や原子力発電と同様に火力発電の分野においても運転訓練シミュレータが重要な役割を担っており、その投資効果も十分に認識されている。

今後、ますます多様化するシミュレータへの要求に対し、最新のシステム技術と広範囲なプラント技術に加えて、新しい柔軟なシミュレーション技術により対応していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 佐藤ほか：火力発電所運転員訓練用デジタルシミュレータ, 三菱電機技報, 50, No. 9 (昭 51)
- (2) 制御保守員訓練機能を付加した 100 万 kW 火力発電所運転員訓練用シミュレータの開発, 火力原子力発電, 32, No. 1 (昭 56)
- (3) シミュレータ構成技術, 電気学会雑誌, 103 巻, 6 号 (昭 58)
- (4) 発電プラント訓練用シミュレータ, システムと制御, 27, No. 4 (昭 58)
- (5) 川畑ほか：発電プラント運転訓練用シミュレータの最近の動向, 三菱電機技報, 57, No. 5 (昭 58)

東京電力(株)納め給電技能訓練用シミュレータ

御山 健二*・団 幸太郎**・山西 麻雄**・中村 正則**・堀内 龍男**

1. ま え が き

電力系統はますます大規模化、複雑化が進み、電力への依存度増大に加え、社会環境の変化もあいまって、より一層電力供給の信頼度向上と効率的運用が要請されている。このため、給電所員が実系統を扱う場合と同じ状態で、系統運用技術・技能訓練を行いうる訓練用シミュレータの実現が緊急の課題となっていた。ここに紹介する東京電力(株)納め給電技能訓練用シミュレータは、昭和55年9月から東京電力(株)と三菱電機(株)が共同研究を行い、昭和59年2月に運用開始したもので、最新鋭の工業用計算機と超高速計算用アレープロセッサを適用した規模・性能ともに画期的なものであり、緊迫した臨場感のもとで、極めて実務に近い動的な系統運用の訓練を行い、実戦的スキルを短期間で身につけることができるものである。

2. 開発の背景

2.1 電力系統の運用体制

東京電力(株)の電力系統においては、千葉・福島方面の火力・原子力発電所で発電した大電力を500kV、275kVの基幹送電線を経由して、首都圏を含む需要地域に供給している。その需要規模は年々増大しており、昭和59年夏には最大電力が35,700MWに達している。この電力系統の運用体制は、図1に示すとおり中央給電指令所・系統給電指令所・店所給電所の3階層から構成され、発電所・変電所・送電線などはその電圧階級及び規模に応じて各階層の給電所から運用されている。

2.2 訓練用シミュレータの必要性

電力系統は大規模・複雑化が進み、日常の系統運用は極めて高度な技術的判断力を必要としている。特に事故発生時には、その社会的影響が甚大なため、給電所員は事故復旧の迅速・的確な処置をとれる高度な技術・技能を要求される。しかしながら、最近では電力設備

の信頼度向上などから事故の発生頻度が極めて少なくなっており、従来に比べて実務体験の積重ねを通じて技術・技能を修得・蓄積することが困難となってきた。

このため、給電所員に訓練用として実務に近い体験が容易に得られる訓練用シミュレータの実現が待望されていた。このようなシミュレータを活用することにより、系統事故や系統操作による系統状況の変化を目のあたりに見ながら、「状況の把握」、「復旧方針の確立」、「復旧操作の指令」などを緊迫した臨場感のもとで、極めて実務に近い動的な訓練を行うことができ、その結果、実系統の事故に直面しても自信を持って対応できる実戦的スキルを獲得することができる。

3. シミュレータの機能と構成

3.1 システムの概要

3.1.1 開発目標

給電技能訓練用シミュレータは、給電所員の系統運用に関する実戦的な技術・技能の短期修得と事故時における沈着・冷静な判断力、果敢な実行力の養成を目的とすることを念頭において、以下の開発目標を設定し、系統シミュレーション手法を始めとする膨大かつ複雑なソフトウェア並びに経済的なハードウェアの開発を行った。

(1) 電力系統の静的・動的特性を、十分な精度でかつ実時間で模擬できること。

実際の給電所における情報更新周期と同程度の3秒周期の電力系統シミュレーションを開発すること。

(2) トレーナ業務である訓練シナリオの作成、訓練の実施、訓練結果の評価などが容易にできること。

特に訓練実行時の状況監視・電気所員の代行など、複雑・多量なトレーナ業務を迅速、的確に実施するため高度な対話処理、自動処理を開発すること。

(3) 被訓練者に対し臨場感を与えるため、系統情報の更新周期、マンマシン装置などは実際の給電施設と極力同一にすること。

訓練に当たっては、被訓練者が自分の給電所に勤務しているのと同様の感覚を持てることが重要であり、このため実際の給電自動化システムと同じハードウェア、ソフトウェアとすること。

3.1.2 基本機能

シミュレータの基本機能は図2に示すように、訓練管理機能、系統模擬機能及び給電指令機能から構成される。訓練管理機能は訓練をサポートする機能であり、訓練機能と電気所代行機能からなる。系統模擬機能は電力系統のシミュレーション機能であり、設備機器モデルと電力系統計算を含んでいる。給電指令機能は給電自動化システムの主要機能である系統監視機能、操作指令機能などから構成される。

3.1.3 模擬対象系統

このシミュレータでは、中給・系統給・店所給の3階層すべての給電所員を訓練するために、模擬系統として表1に示す4系統を用意している。基幹系統は、中給・系統給所員を訓練対象として500kV、275kV系統を忠実に模擬している。供給系統は、19箇所の店所給

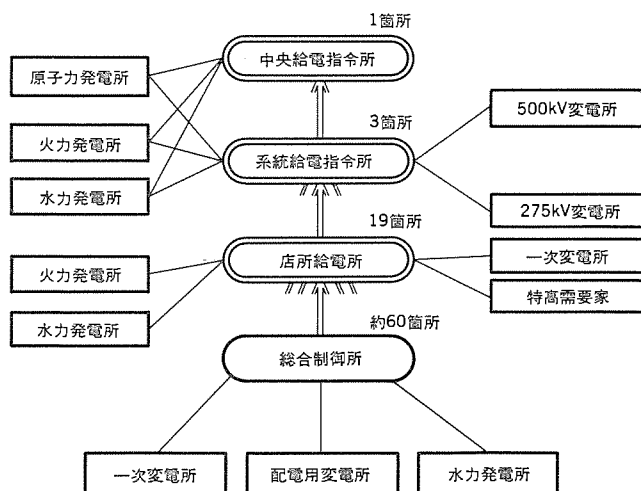


図1. 電力系統の運用体制

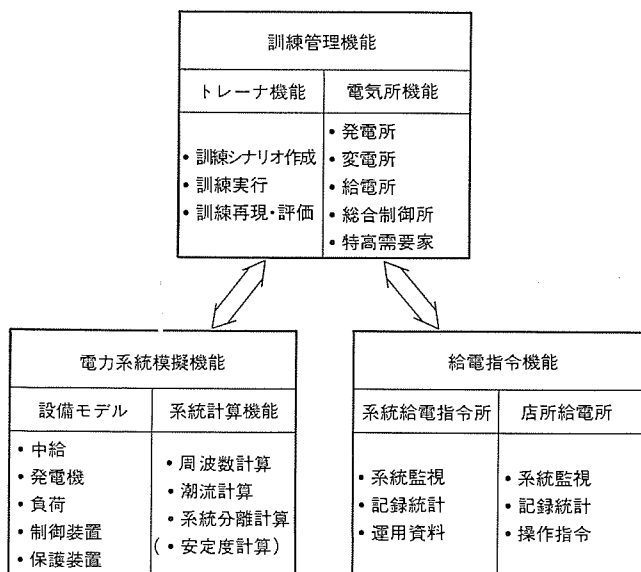


図 2. 基本機能

表 1. 模擬対象系統とその規模

模擬対象系統	訓練対象者	系統規模 (昭和 59 年 2 月現在)			
		発電機数	負荷数	母線数	ブランチ数
基幹系統	中央・系統給電指令所員	95	140	510	768
供給系統	都内系統	0	60	294	386
	周辺系統	10	42	211	332
	外辺系統	12	49	259	370

電所員を訓練対象とし、系統構成の特性やその設備形態から都内系統（都内の地中線路主体の系統）、周辺系統（二次系火力を含む架空・地中線路混在の系統）及び外辺系統（小水力を含む架空線路主体の系統）の 3 種類の標準モデル系統を用意した。

3. 1. 4 システムの特長

(1) 大規模系統の高速・高精度 シミュレーション

大規模な 500 kV、275 kV 基幹系統の系統変動を忠実に表すため、実際の給電所における情報更新周期と同程度の 3 秒周期の高速・高精度 シミュレーションを、高速潮流計算プログラムの開発とアレプロセッサの採用により実現した。

(2) 豊富な訓練支援機能

訓練シナリオの作成、訓練実行時の状況監視、電気所員の代行、及び訓練評価などの複雑、多量なトレーナ業務に対して豊富な支援機能をもって、トレーナ業務の迅速、的確な処理に成功した。

(3) 臨場感のある訓練の実現

前記(1)、(2)項に加え給電盤、CRT を組み込んだ指令台、電話卓の形状や配列並びに CRT 画面フォーマットなどは、給電自動化システムと極力同一としているため、被訓練者に対し、あたかも自分の給電所に勤務しているかのような臨場感を与えることができた。更に系統事故発生時に訓練室の照明を一瞬暗くする照明模擬や、電気所における遮断器開閉操作音の受話器への注入などの機能もある。

3. 2 ソフトウェア機能

3. 2. 1 訓練管理機能

(1) 運転モード

このシミュレータは、中立・基本データ設定・訓練準備・訓練実行・訓

表 2. 訓練条件設定項目

設定項目	内 容 例	設定項目	内 容 例
訓練件名	訓練年月日時ピーク総需要対象系統	O L R	検出伝送タイマ 受信制御内容
系統構成	CB・LS 開閉状態 (目的指令機能有)	火力系統 分離装置	検出周波数 単独運転成功/不成功
発電機	基準出力値・運転停止条件	AC 連系	東北系総需要・連系点・等価定数
負 荷	各負荷母線の日負荷曲線 ピーク負荷	DC 連系	常時融通電力・EPPS動作 条件
V Q C	運転基準 VQ の 24 時間パ ターン	試 送 電	対象発電所
自主操作	全停・復電時自主操作手順	作業件名	要求箇所・作業設備・予定 日時
パターン 出力電源	24 時間出力パターン	事故条件	事故設備・事故種別 動作 CB と保護リレー

練再現の 5 モードで運転される。中立モードは、モード間の遷移時に通過する待機モードである。基本データ設定モードは基本データとなる系統運用条件を作成するモードである。訓練準備モードは、基本データあるいは登録済みの訓練ケースをコピーした後、系統運用条件の変更、事故条件の設定、事故前後の系統計算を行い、新しい訓練ケースを作成するモードである。訓練実行モードは、トレーナが作成した訓練ケースで被訓練者が、状況を判断し電話を通じて各電気所に対し給電指令を発信し、系統の復旧操作訓練を行うモードである。訓練再現モードは、訓練効果を更に高めるために訓練実行内容を電話連絡も含めて再現を行うモードである。

(2) 訓練シナリオの作成

訓練ケースの設定項目は、表 2. に示すとおりであるが、代表的支援機能として給電指令用語の一つである目的指令による系統構成の設定機能と潮流状態の作成機能について述べる。系統構成の設定機能では個々の CB、LS の開閉状態を設定できるだけでなく、作業停止・使用などの「目的指令用語」により、複数 CB、LS の開閉状態を一度に設定することができる。潮流状態の作成機能では、系統の各地点の負荷量は、総需要と訓練開始時刻を設定すれば、日負荷曲線から決定され、これに見合った各発電機の発電電力が、DPC 配分論理により、自動的に決定される。また、母線電圧は VQC 制御論理により、VQC の基準電圧・無効電力設定値に近くなるように、調相設備投入量、変圧器タップ値が自動的に決定される。

(3) 訓練実行

訓練の実施中にはトレーナは、被訓練者からの事故状況の問合せや給電指令に対応して多数の発・変電所及び他給電所の勤務員の業務を代行するため、次の論理などによりトレーナの支援を図っている。

(a) 被訓練者が、電話で電気所を呼び出している時に、その電気所名称をトレーナの CRT 画面に自動表示し、代行すべき電気所を事前に知らせる。

(b) 事故の発生した電気所の単線図画面下部に動作リレーとトリップ CB 名称を表示し、事故状況を容易に確認できる。

(c) 発・変電所の全停時又は復電時において、電気所員が自主的に行う開閉操作は、あらかじめ設定した開始条件と操作手順に従って一定間隔で自動的に実施される。

(4) 訓練の再現・評価

訓練実施後における訓練内容の評価・検討を支援するものとして、訓練再現機能と評価資料作成機能がある。再現機能は訓練実行モ

ドで行った訓練内容の全部あるいは重要部分を、電話連絡内容を含めて、自動的に再現することができる。また再現途中からの訓練移行機能により訓練実行モードへ移り、復旧手順を変更して再訓練を行うことができる。評価資料作成機能は、復旧の迅速性、的確性を表す停電電力、停電電力量の推移グラフ、電気所別電話回数のグラフ及び機器操作、リレー動作、テレメタ異常の履歴などを自動的に作成する。

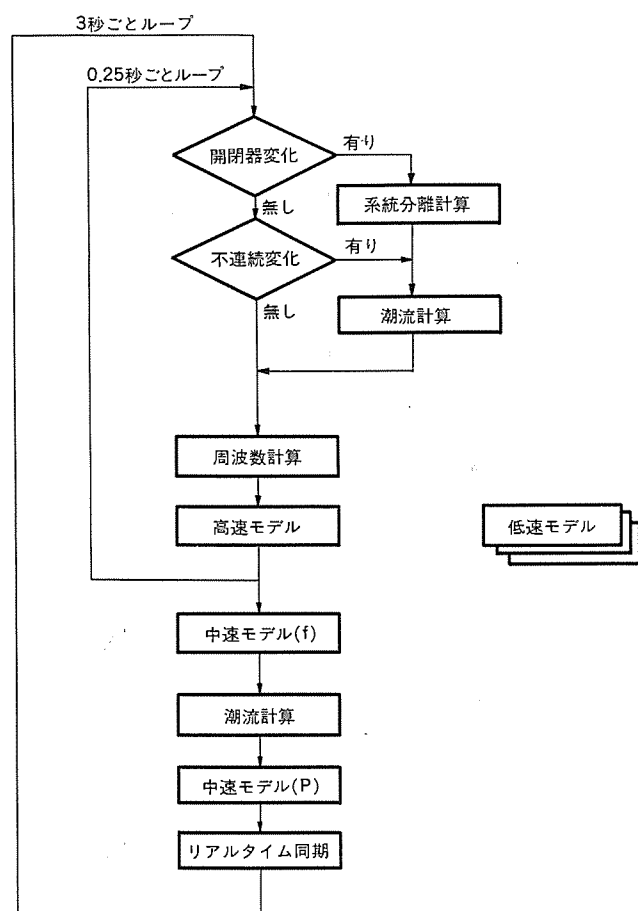


図 3. 電力系統模擬フロー

表 3. 設備モデル一覧

分類	高速モデル	中速モデル	低速モデル
発電機	ガバナ・タービン	バランス調整 f 限界, V 限界, P Q 限界 界磁喪失リレー ローカル AFC	出力制御(MW/分) AVR パターン設定
負荷	—	負荷脱落	日負荷曲線設定 負荷復旧/回復
保護装置	OLR 火力系統 分断装置	検出・転送・制御	—
制御装置	VQC	自動積分	変圧器制御 VQC パターン設定
連系	AC 連系 DC 連系	等価発電機・f 限界 EPPS	P 限界 — 連系線目標値セット 常時融通電力セット
中給	—	AFC	DPC
自主操作	—	—	全停復電操作

3. 2. 2 系統模擬機能

系統模擬機能は発電機、負荷などの設備モデルと系統計算機能から構成され、それぞれの実行周期の違いから高速・中速・低速の3レベルに大別され、図 3. に示すフローで実行される。周波数計算は、0.25 秒ごと、潮流計算は 3 秒ごとに実行し、周波数計算に応動するモデルは高速モデルと中速モデル(f)があり、それぞれ 0.25 秒、3 秒ごとに実行され電圧、潮流に応動する中速モデル(p)は 3 秒ごとに実行される。その他に低速モデルがあり、3 秒を越える所要周期で実行されるが CB の状態変化あるいは不連続変化(負荷脱落)時には、系統分離計算と潮流計算がその都度実行される。

(1) 設備モデル

設備モデルは表 3. に示すものがあり、これらの中で代表的な発電機モデルと負荷モデルについて述べる。

(a) 発電機モデル

発電機モデルは「ユニット単位模擬」、「発電所単位模擬」、「パターン運転模擬」の3種類としている。「ユニット単位模擬」は火力・原子力発電機ユニットに適用し、ガバ・タービンなどを詳細に模擬している。「発電所単位模擬」は、水力発電機への給電指令が発電所単位であることから、水力発電機に適用し、発電所内の運転ユニットを1ユニットに集約し、「ユニット単位模擬」と同一の模擬を行う。「パターン運転模擬」は小容量発電機に適用し、24時間の出力パターンに従って、出力のみを変化させる模擬としている。

(b) 負荷モデル

負荷モデルは負荷変化、電圧特性、負荷遮断・復旧、負荷脱落・回復の内容を模擬している。負荷変化は日負荷曲線に従って1分間隔で、有効電力、無効電力を模擬する。電圧特性は定電力と定インピーダンス特性の合成で模擬し、電圧が85%以下の場合強制的に定インピーダンス特性のみとする。負荷遮断・復旧は事故による負荷遮断の模擬とその遮断負荷の復旧模擬である。負荷の復旧はブレーナの起動により、一定時間特性で自動的に処理する。負荷脱落・回復は電圧低下による負荷脱落とその回復の模擬であり、電圧が80%以下となった場合に、一定比率の負荷を自動的に脱落させ、電圧が回復すると一定時間特性で自動的に回復させる処理を行う。

(2) 系統計算機能

(a) 潮流計算

潮流計算のフローは図 4. に示すとおり、文献(1)の手法をベースとし、高速化を図るために初期値として位相角 θ を直流法により求め、電圧の大きさは、1.0 P. U. を用いて収束回数を大幅に減少させている。なお潮流バランスを計算するために、需給アンバランス量である系統の加速力を発電機の慣性定数比で各発電機ごとに分配している。更に潮流計算ロジックをすべてアレープロセッサで実行することにより、220ノード、254ブランチの系統規模を収束精度0.15%で、計算時間1秒以下の性能を実現した。

(b) 周波数計算

分離系統ごとに単一周波数として計算する。積分きざみ幅は0.25秒、積分公式は台形公式を用い、3秒ごとの潮流計算結果から系統の加速力と発電機の電氣的出力を取り込み、図 5. のブロック図で計算する。潮流計算しない積分ステップでは、発電機の電氣的出力を制動係数 D (負荷の周波数特性定数を使用)を用い、外挿により算出している。

(c) 安定度計算

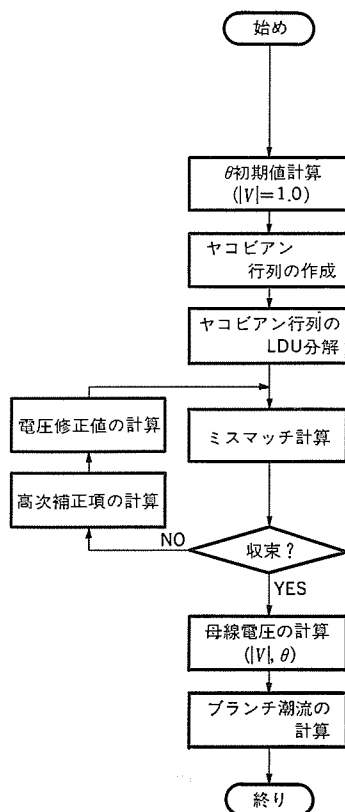


図 4. 潮流計算概略フロー

安定度計算は事故の発生により、系統脱調が生じ、系統分離に至る様相を忠実に模擬する機能であり、脱調保護リレーの動作判定(CBを含む)を行い、事故条件の設定データに自動的に追加する。この機能により、実際の電力系統の動きと合致した状況で実践的な訓練を行うことができる。また、安定度計算の進行状況を順次、給電盤に表示させ、事故時の系統動揺状況をリアルに把握できる

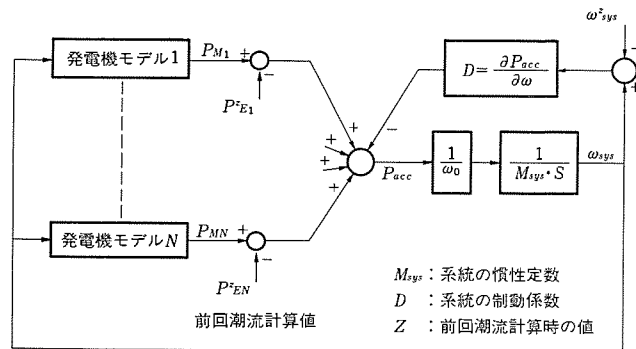


図 5. 周波数計算ブロック図

表 4. 給電指令機能一覧

系統給電指令所	店所給電所
<ul style="list-style-type: none"> ・系統監視機能 <ul style="list-style-type: none"> ○潮流・電圧監視 ○OLR 動作監視 ○事故・停電監視 ○系統分離監視 ・記録統計機能 ・運用資料機能 	<ul style="list-style-type: none"> ・系統監視機能 <ul style="list-style-type: none"> ○潮流・電圧監視 ○OLR 動作監視 ○事故・停電監視 ・記録統計機能 ・操作指令機能 <ul style="list-style-type: none"> ○操作手順の作成 ○操作指令の実行

ようにしている。

3. 2. 3 給電指令機能

系統給と店所給の給電自動化システムのソフトウェア機能である給電指令機能については、事故時の復旧操作訓練に不可欠な系統監視機能を中心として、表 4. に示す各機能をもっている。

3. 3 ハードウェア構成

このシミュレータのハードウェア構成は、大規模系統の高精度・高速シミュレーション並びにトレーナ、被訓練者に必要なマンマシンインタフェース機能を効率的に実現するため、訓練管理機能・系統模擬機能・給電指令機能を、それぞれ1台の計算機で分担処理させる経済的な機能分散

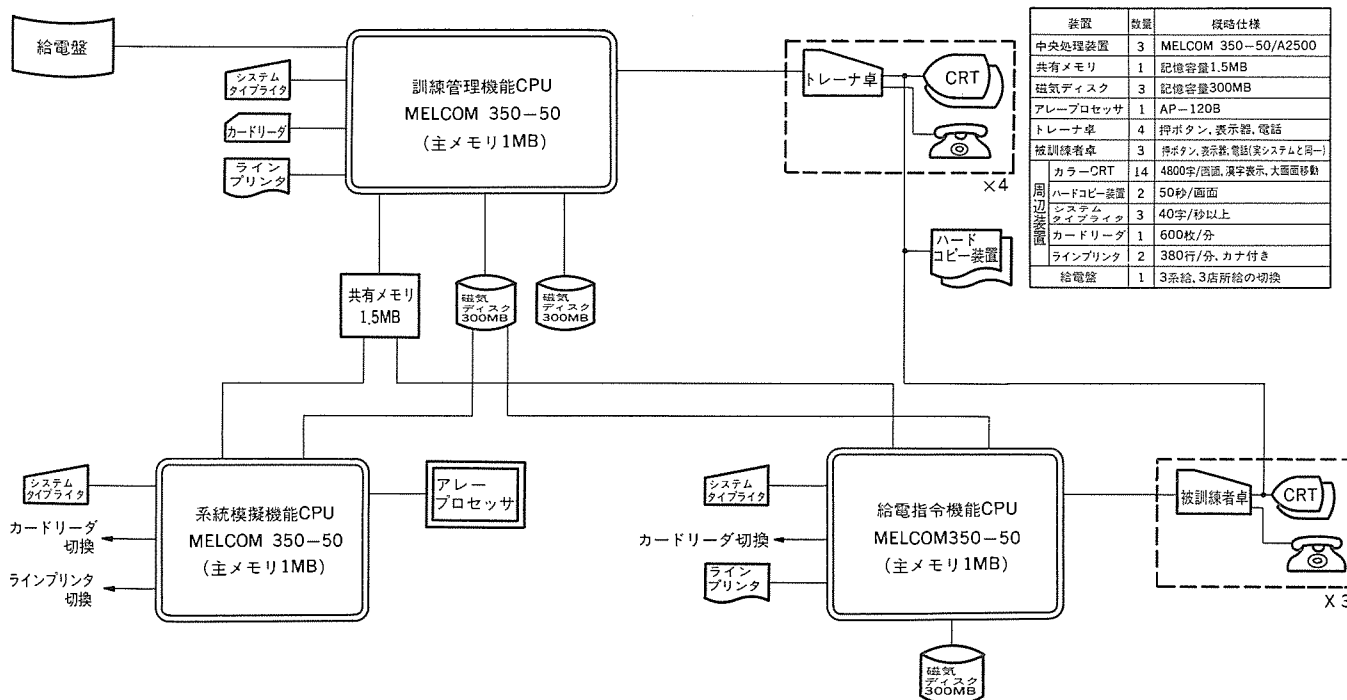


図 6. ハードウェア構成図

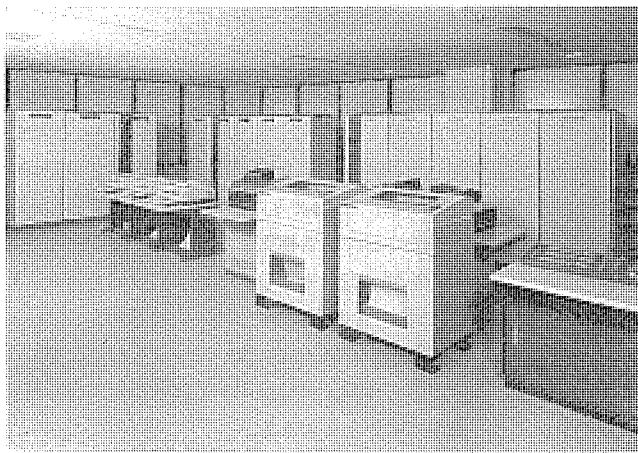


図 7. 計算機室

形システムとした。

ハードウェア構成を図 6. に、計算機室を図 7. に示す。給電盤は、図 8. に示すように A, B, C の 3 面を回転切換して、5 系統を表示する方式としている。ハードウェア構成の特長は、下記のとおりである。

- (a) 3 機能を計算機 3 台で機能分散し、並列処理することにより、シミュレータに不可欠な高速性の確保、ソフトウェアの単純化、プログラム・データのメンテナンス性の向上を実現した。
- (b) 電力系統の実時間模擬のため、アレープロセッサを適用し、潮

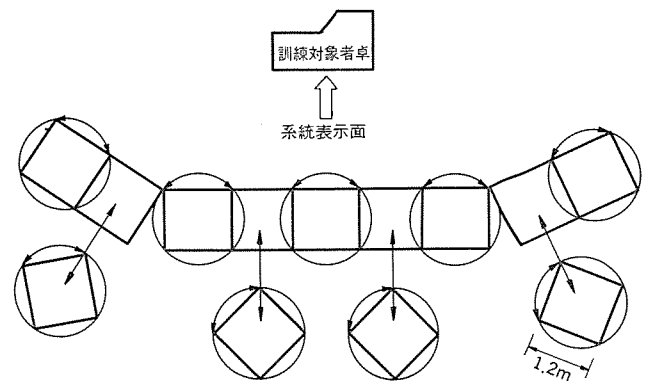


図 8. 給電盤（四面柱移動回転表示系統切換方式）

- A面：東部（系給）、西部（系給）の合同系統
- B面：東京（系給）系統
- C面：都内、周辺、外辺、3 標準系統
- D面：メンテナンス用扉

流計算を高速に行えるようにした。

- (c) 計算機間で、共通に使用する電力系統状態のデータは、共有メモリに配置し、処理の高速化と記憶容量の削減を図った。
- (d) 被訓練者卓は大規模事故訓練を可能とするため、当直者人数に合わせて 3 卓とし、トレーナ卓は被訓練者に対して臨場感を与えることも含め前項 3. 2. 1 節(3)で述べたトレーナ業務を迅速、的確に実行するため、被訓練者卓より 1 卓多い 4 卓とした。

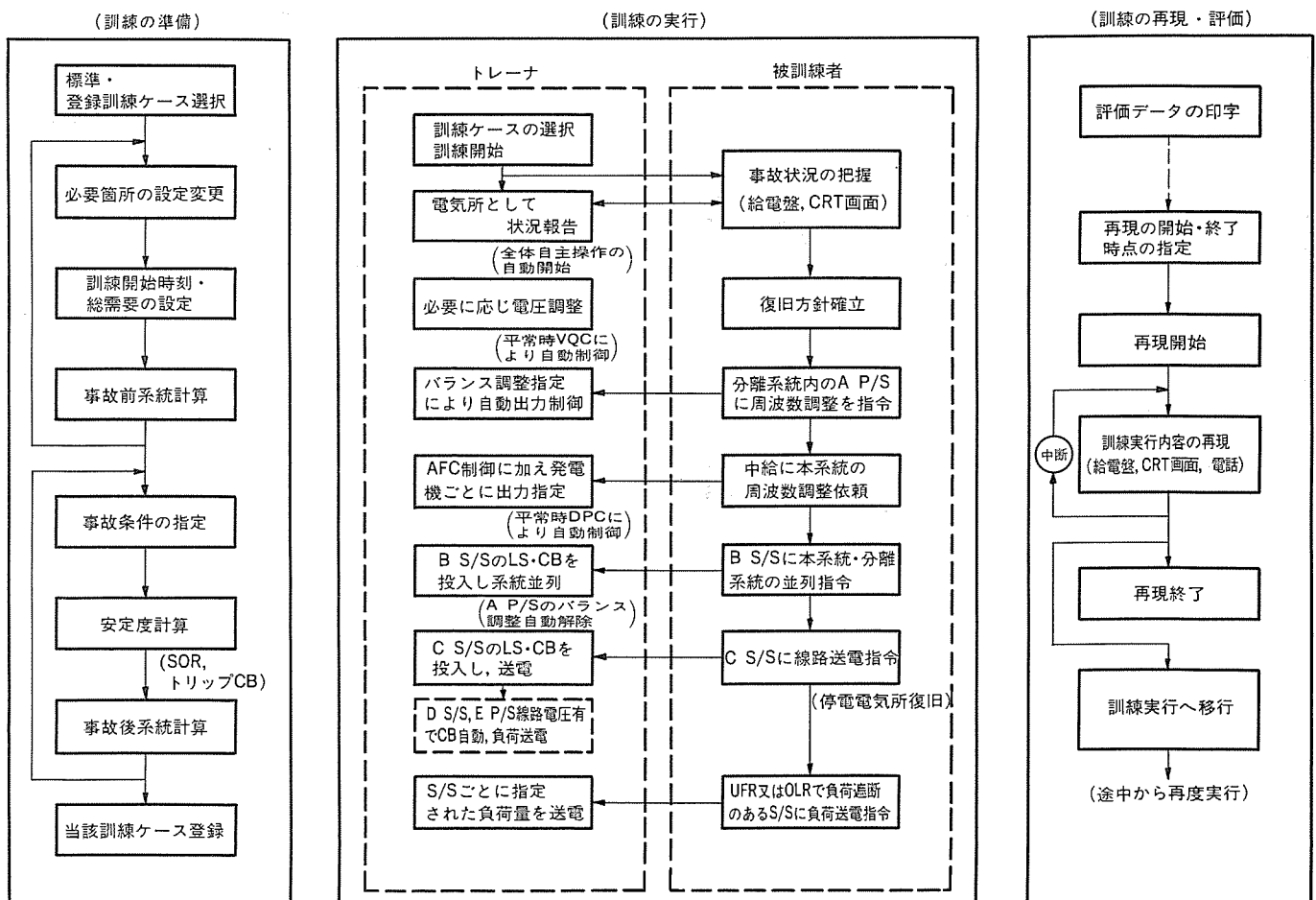


図 9. シミュレータによる訓練フローの一例

4. シミュレータによる訓練

4.1 訓練コース

東京電力(株)の給電技能訓練センターにおける訓練コースは、表5.に示すとおりチーム訓練コース、個別訓練コース、技能認定コース、東電

表 5. 訓練コース

チーム訓練コース		給電所当直班を対象に、大規模事故時の復旧操作を当直長以下チーム全員で臨機応変に処置するための訓練コース。
個別訓練コース	初級コース	給電所初級者を対象に、平常時の系統操作、簡単な事故復旧処置など系統運用の基礎を訓練するコース。
	中級コース	中堅の給電所員を対象に、簡単な事故から複雑な事故まで、各種事故の復旧処置の基本訓練を主体とするコース。
	上級コース	給電所当直長クラスを対象として、複雑な事故などの復旧操作を臨機応変に処置するための訓練コース。
現業技術・技能認定コース	A級認定コース	当直長クラスの給電技術・技能認定対象者に、実技の補充研修と確認を行うコース。
	B級認定コース	中堅クラスの給電技術・技能認定対象者に、実技の補充研修と確認を行うコース。
大学部専修科研修コース		東電学園大学部専修科の研修生を対象に、電力系統の現象及び事故復旧処置の概要を主体に研修するコース。
給電運用一般研修コース		給電所員以外の発・変電所員などを対象に、電力系統の現象と系統運用全般について研修するコース。

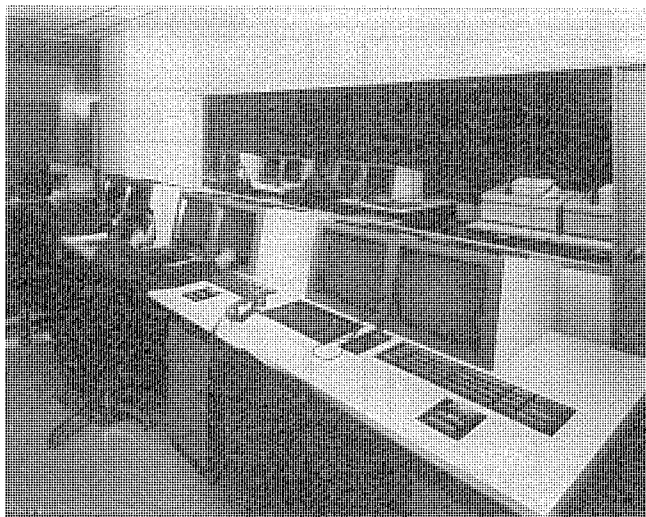


図 10. トレーナ室(後側)と被訓練者室(前側)

学園研修コースと一般研修コースの5コースである。

4.2 訓練の手順

シミュレータによる訓練フローの一例を図9.に示す。訓練の手順としては、まず訓練の準備段階ではトレーナにより、訓練シナリオの作成、事故後系統計算を用いた訓練内容の事前確認、訓練ケースの登録を行う。訓練の実行段階では、登録済みの訓練ケースを選択して訓練を開始し、訓練対象者とトレーナ(各電気所員の代行)が電話を介して給電指令の発・受信を繰り返しながら、系統事故復旧を行う。訓練の再現・評価段階では、まず訓練の評価データに基づき、トレーナの指示のもとで訓練対象者が訓練内容について検討を行う。更に必要な場合には、訓練内容の再現、再現途中から訓練の再実行を行い、訓練効果をより一層上げることができる。

図10.に訓練の実施状況を示す。

5. むすび

今後とも、電力系統の巨大化・複雑化に対応するため、電力各社においては系統運用の自動化が積極的に推進されて行くものと思われる。しかしながら、極めて発生頻度の少ない、複雑な系統事故の復旧については、現時点では最終的には給電所員の判断力、実行力に頼らざるを得ないと考えられる。したがってこれら給電所員の技術・技能の維持、向上を目的とする訓練用シミュレータの重要性がますます高まるものと考えられる。今回東京電力(株)給電技能訓練センターに納入した給電技能訓練用シミュレータは、世界最大規模、最高性能であり、ここで開発された大規模シミュレーション技術、訓練シナリオの作成、実行と評価のためのマンマシンなどのソフトウェア技術などは訓練用シミュレータの方向性を決定するものと確信している。

最後に、システムの開発、製作、調整に当たり多大な御尽力をいただいた東京電力(株)と三菱電機(株)の関係者各位に深く感謝する。なお、このシミュレータの給電盤は、山友工業(株)により、開発・製作されたことを付記する。

参考文献

- (1) 岩本, 田村: 非線形性を保存した高速潮流計算法, 電気学会論文誌 B, 53-B 24
- (2) 土谷ほか: 電力系統運用シミュレータ, 三菱電機技報, 54, No. 12 (昭55)
- (3) 煤孫ほか: 大規模給電技能訓練用シミュレータ, 電気学会電力技術研究会, PE-84-108
- (4) 煤孫, 辻: 給電技能訓練用大規模シミュレータ, 電気学会誌, No. 1 (昭60)

最近の鉄道車両運転訓練システム

成戸 昌司*・吉村 元由*・長井 成吉*・星野 正光**

1. ま え が き

鉄道車両用 シミュレータ は、研究開発用からここで採り上げる教習訓練用まで種々のものが導入されている。教育の対象者は、一般に鉄道車両の運転従事員（運転士、車掌又は列車防護のための乗務員、当該駅長、信号掛など）を主体としているが、車両検修員などを含め幅広く利用されている。

鉄道車両の運転従事員に対する教育訓練は、日本では地方鉄道運転規則に基づいて実施されているが、なかでも動力車操縦者は、国の資格試験に合格した者となっている。動力車操縦者の育成については、運輸大臣の指定を受けた動力車操縦者の養成所で行われており、ここで養成された者については、試験の全部又は一部が免除される特権が与えられている。以下、鉄道車両の運転従事者に対する教育内容を分類し、これに対応する基本要素と技術を検討するとともに、この分野にわれわれが納入したものを紹介する。

2. 教育、訓練のパターン

鉄道車両の運転従事者に対する教育は、図 1. に示すようなパターンとして表すことができる。

まず、教育は知能に関するもの（Ⅰ、Ⅱ象限）と、技能に関するもの（Ⅲ、Ⅳ象限）に区分できる。前者は一般に教育と言われる分野であり、後者は訓練に属するものである。知能教育には、普通学科（Ⅰ象限）と、鉄道車両に関するもの（Ⅱ象限）があり、技能訓練には運転操縦（Ⅲ象限）と故障処置対応（Ⅳ象限）がある。実際の教育は、非常に広範囲であり一義的に限定できないが、大きく分類区分したこれら四つの象限にわたって、教育、訓練することにより運転操縦者の教育が完成するといえる。

この分類法は平面的要素として示したが、実際面では生徒側の経験的要素を加味して、更に立体的な構成となるよう考えるのが妥当である。また、一度だけの教育でなく定期的に繰り返して研修を行うことにより、高度な教育効果が身につくものと考ええる。

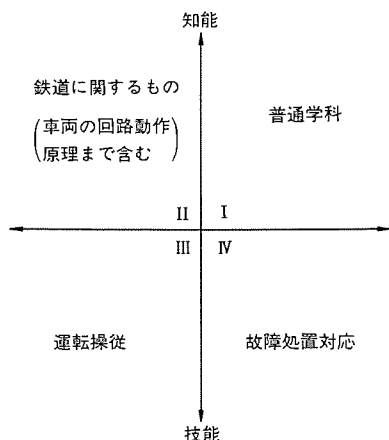


図 1. 運転従事者に対する教育、訓練のパターン

このような教育パターンに対し、学習の形態としては同時に多人数（40名以下）が学習する集団の場合と個人の場合とがある。このような中であって教習装置を導入する場合に、教育・訓練パターンのどの部分に適用するかによって内容が大幅に異なったものとなる。

図 1. の教育・訓練パターンのうち、教習装置の導入によって特に教育効果を高めることができるものとして、Ⅱ～Ⅳ象限をあげることができる。

3. 教育の基本要素とその対応技術

最近の車両には電子機器が大幅に取り入れられており、実際の機器を見るだけで、その動作を理解することは、むずかしくなっている。特に新人の教育を行うに当たっては、視聴覚に訴えけるとともに触れることにより体得できる教材を用いることが、十分な理解を得て教育効果を大きく上げる方法であるといえる。

また、技能訓練でも、知能面を加味した形態をとることにより、興味をもって取り組むことができることから一層教育効果を高めることができる。教育・訓練の基本要素を整理し、前に述べた教育効果を高める手法を考慮しながら、基本要素を実現する技術をまとめると表 1. のとおりとなる。

運転訓練システムを計画する場合は、どの要素について、どんな効果を期待するかをまず考え、表 1. の中から選択、組合せすることにより規模を決めることができる。教育、訓練のパターン及び表 1. の技術を背景に、我々が最近納入した事例について以下紹介し、運転訓練システム導入検討時の参考に供したい。

表 1. 教育の基本要素と対応技術

番号	基本要素	期待する効果	対応技術
1	原 理	チョップ制御の原理などを専門外の者でも容易に機能を理解させる。	ビデオテープ（ディスク）による映像とナレーションを用いる。
2	回路図の動作	機器が動作して行く手順に興味をもって理解させる。	パネルに回路図を描きランプの点滅で動作部を表示（電照盤）又は CRT 上に回路図を表示し色変化により電流の流れを説明して行く。
3	運 転 操 縦	運転台計器を見ながら力行・ブレーキのハンドル扱いを体得する。	ハンドル状態に合わせ運転台の計器類を走行状態にシミュレーションして表示する。
4		線路映像及び運転台計器を見ながら力行・ブレーキのハンドル扱いを体得する。	ビデオディスクに線路映像情報を記録しておき運転台操作と連動して路線映像を上映する。
5	故障処置対応	車両の故障が発生した場合、どのように処置するかを体得する。	あらかじめ何種類かの故障を設定できるようにしておき、設定した故障状態を「運転操縦（上記番号 3, 4）」に準じて故障情報として示し処置が正しければ故障を解除する。
6	機器の構造及び動作	外観・構造・動作状態を現品を見て修得する。	実物機器を見やすい状態に展示する。必要に応じ断面模型を用いる。

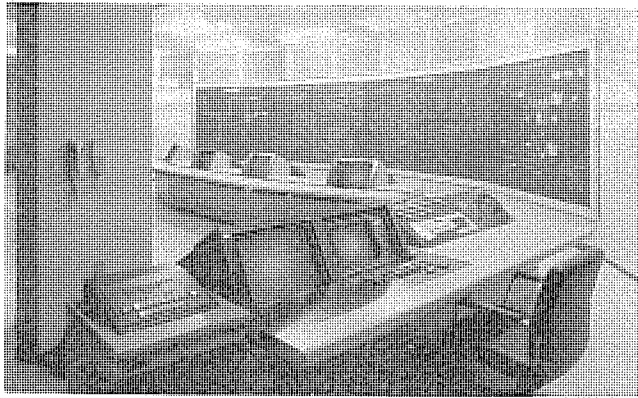


図 2. 札幌市交通局納め教習装置 (教師操作卓(手前), CRT 卓(中央), 電照盤(右))

- (1) 札幌市交通局納め電車教習装置
- (2) 帝都高速度交通営団納め電車教習装置
- (3) 大韓民国鉄道庁納め シミュレータ

4. 札幌市交通局納め電車教習装置⁽¹⁾

この装置は先に述べた教育・訓練パターン⁽¹⁾の区分からは、Ⅱ～Ⅳ象限に該当し、教育の基本要素の区分からは、1～3及び5に相当するものである。すなわち知能教育としては、回路図の動作や機器の構造の学習を行い、技能面では運転準備や運転操作などの訓練のほか、故障処置対応についても教習を行うものである(図 2.)。

対象車両は東西線 6000 系で、図 3. のシステム構成に示すとおり計算機(ミニコン)を用いて、電照盤と CRT による視聴覚教材及び短縮車両(1編成の車両を前後の運転台を残して車長を短縮したもの)、実物機器による可動教材を制御するもので、これらの機器を図 4. の配置としている。この装置は川崎重工業(株)と共同製作したものである。詳細内容は参考文献に示すもので紹介しているので、ここでは基本形態の紹介にとどめる。

4.1 特 長

- (1) 大形電照盤の採用により、車両の推進回路をこれに表示した。

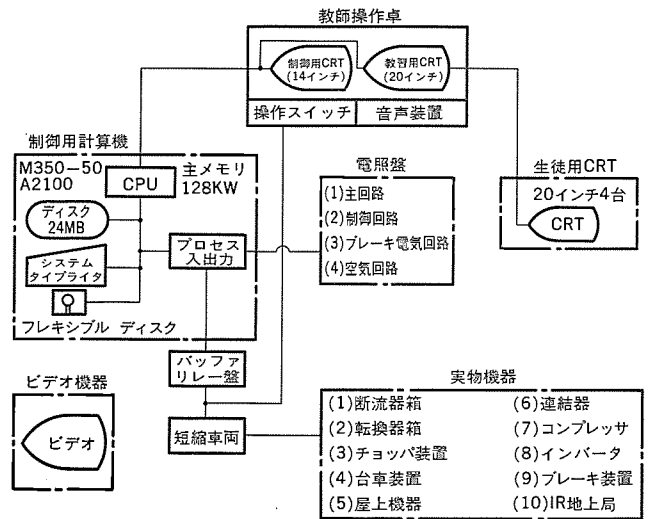


図 3. システム 構成図

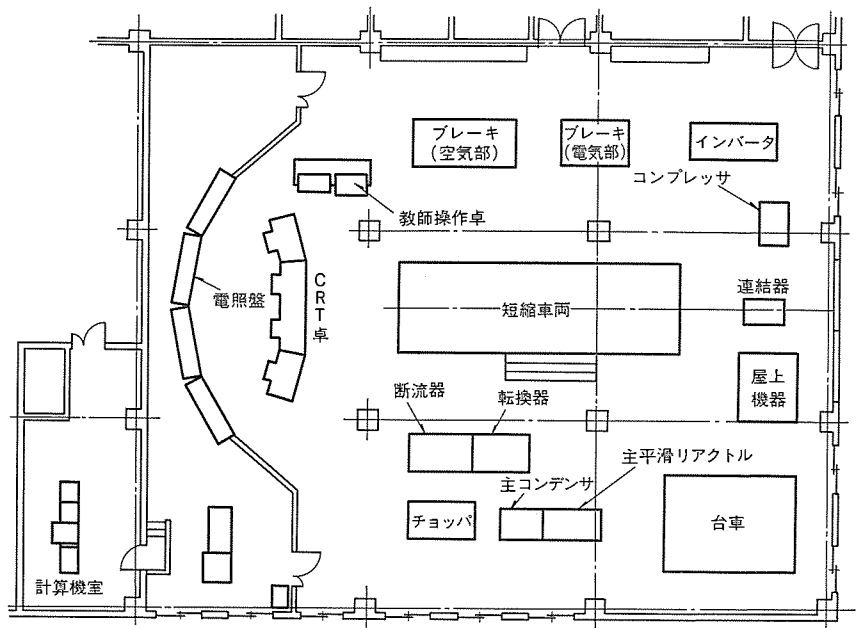


図 4. 教材室の機器配置

- (2) 20 形 CRT を採用し電照盤に表示しない回路を表示するほか、運転台操作状態を表示して運転台に入らない生徒も学習できるようにした。
- (3) 回路図の動作はナレーションを聞きながら学習できる。

表 2. 教習項目と機器の動作

No.	機 器 教 習 項 目	教 師 操 作 卓			電 照 盤	CRT 卓 (20 インチ)	短 縮 車 両	実 物 機 器	備 考
		操 作 ス イ ッ チ	制 御 用 CRT	音 声 装 置					
1	回 路 説 明 (電 照 盤)	○	○	○	○				単独・連動(自動) 連動(手動)
2	回 路 説 明 (CRT)	○	○	○		○			
3	運 転 操 作 (手動運転)	○	○			○	○	○	ATC 自動 ATC 手動
4	運 転 操 作 (自動運転)	○	○			○	○	○	ATO 運転
5	運 転 準 備	○		○		○	○	○	教 習 実 習
6	運 転 台 交 換	○				○	○	○	
7	模 擬 故 障 (電 照 盤)	○	○	○	○	○			
8	模 擬 故 障 (短縮車両)	○	○			○	○	○	

注 ○: 動作する機器を示す

4.2 教習の概要

教習内容の概要と使用機器を表 2. に示すが、教習項目は 150 項目以上にも及ぶが教師操作卓で任意に設定して教習を行うものである。

5. 帝都高速度交通営団納め電車教習装置⁽²⁾

この装置は先にあげた教育・訓練パターン⁽¹⁾の分類からは、II～IV 象限に該当し、教育の基本要素の区分からは 1～3 及び 5 に相当するものである。すなわち知能教育に関しては回路図の動作を学習し、技能面では運転操作のほか、故障対応訓練を行うものである。帝都高速度交通営団の教習所には、各線車両に対応する教習装置が設置されているが、ここでは千代田線 6000 系及び有楽町線 7000 系電車の教習装置について紹介する(図 5.)。

5.1 特長

- (1) チョップ制御装置、ブレーキ装置、ATC 装置などの機種別にそれぞれ個別に教習を行うので、範囲を限定して学習できる。
- (2) 知能教育面が重点となっており、視聴覚に加えて触覚の併用により生徒に興味をもって対応させることができる。
- (3) マイクロプロセッサを分散配置しており、取扱いが簡単である。

5.2 システムの概要

このシステムは次の四つの教材から構成しており、それぞれ独立して使用できるようになっている。

- (1) VTR 教材
- (2) チョップ制御装置教材
- (3) CS-ATC 教材
- (4) ブレーキ装置教材

図 6. にシステムの構成を示す。これは VTR 教材とチョップ制御装置教材について示したもので、CS-ATC 装置教材及びブレーキ装置教材については、チョップ制御装置教材とほぼ同等である。この中で教師操作卓は、各教材 1～4 共通で利用するものであり、模擬運転台及び故障処置盤は、教材 2～4 共通利用となっている。回路図は電照盤(照光盤)に表示されており、電流の流れをランプの点滅で示す。この回路図の動作表示制御、模擬運転台機器及び実物機器のシミュレーションは、8ビットマイクロプロセッサによって行っている。

5.3 VTR 教材

32 形 CRT (図 5. 中央部のもの) と 3/4(インチ)カセットテープの使用により、鮮明で明るい画面を提供している。テープ内容としては、チョップ制御、電気指令ブレーキ、CS-ATC についての原理と、標準の故障処置(現車で撮影したもの)の学習である。これらにはナレーションがついており、特に初心者向きに製作している。

5.4 チョップ制御装置教材

回路図の動作を学習するものとして電照盤をもっている。これには主回路及び制御回路を描いており、電流の流れをランプの照光で示している。このほか教師操作卓、模擬運転台、故障処置盤、実物機器(断流器、転換器類)などを備えている(図 5.)。

教習項目は大別して、回路動作(自動的に進段するもの及び手動でステップごとに進段するもの)、運転操作及び故障処置がある。故障処置は、生徒が運転台でハンドル扱い中に教師が操作卓から任意の項目を選んで故障を設定して、模擬的に故障現象を運転台に発生させ、生徒に処置の判断を行わせるもので 39 項目の設定ができる。

5.5 CS-ATC 装置教材

CS-ATC(車内信号付き自動列車制御装置)は、高度に電子化され



図 5. 帝都高速度交通営団納め教習装置(電照盤(奥)、操作卓・運転台・故障処置盤(前))

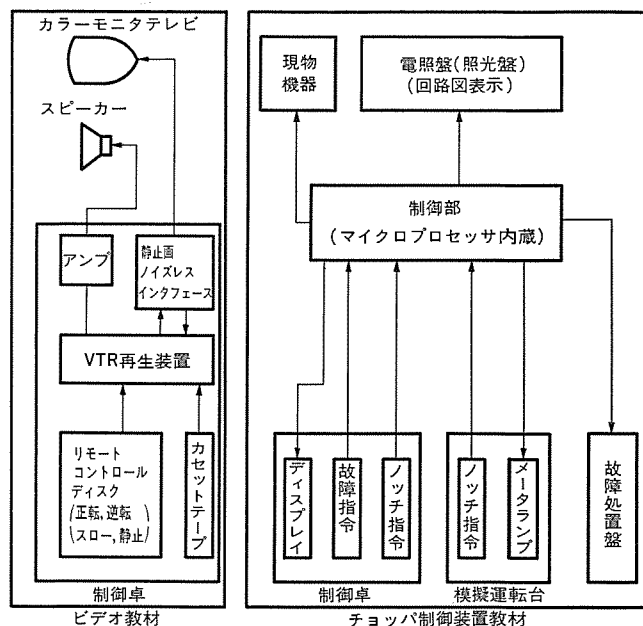


図 6. システム構成図

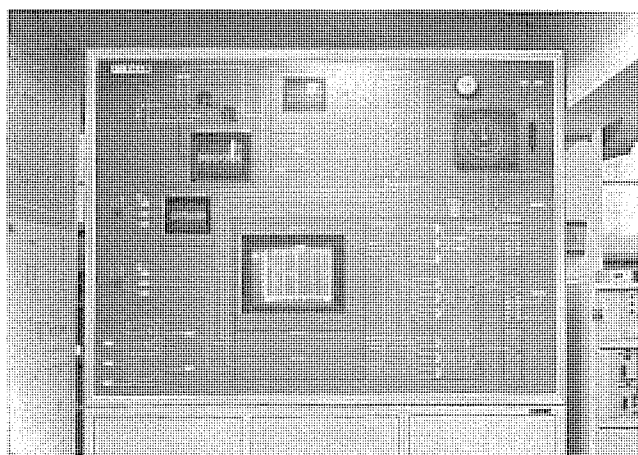


図 7. CS-ATC 装置教材表示盤

ている機器のため、個々の回路動作を学習するのではなく、各部分の機能を視聴覚に訴えて教習する方法をとった。それは軌道上の信号電流の波形と列車の速度を示す速度発電機の出力を受けて、どのように処理されて行くかを CRT に波形で示すようにした。図 7. に示すように、表示盤上に回路の構成を表示し 4 台の CRT を配置

した。出力としては、車内信号機の点灯、速度計表示、ブレーキ指令などで各回路間の動作はランプの照光で示している。

教習内容としては、ATC装置の動作をナレーション付きで自動的に進段しながら教習する場合のほか、手動進段により教師の解説で行うことができる。運転操作は、ATC制限速度を教師操作卓から任意に設定して行い、故障処置についても他の教材と同様に教習できる。

6. 大韓民国鉄道庁納め機関車シミュレータ

この機関車シミュレータは、先に述べた教育・訓練パターンの区分からはⅢ、Ⅳ象限に該当し、教育の基本要素の区分からは、4及び5に相当する。すなわち線路映像を見ながら運転操作の訓練を行うほか、故障処置についても教習するものである。大韓民国鉄道庁納めシミュレータは、米国GM社製のGT26CW形ディーゼル電気機関車を精密に模擬したもので、同庁交通公務員教育院に設置され、運転士の訓練に使用されている。

以下、図8.に示す機器構成に沿って、このシミュレータの構成、機能/性能、及び特長を紹介する。また、図9.にブロック図を示す。

6.1 模擬運転室

模擬運転室は、通常の教室に設置して多人数を訓練するために、図10.のようなオープンタイプとなっているが、内部の運転台及び電気機器盤については、外観、機能ともに実車を精密に模擬しており、運転台のレバー、スイッチ類を操作することによって、あたかも実際の機関車を運転しているかのような感覚（計器、表示灯類の作動及び音響）が得られる。また、ATSシステムについても模擬されている。

主要機器は、実車部品を使用しているが、空気系統の制御レバー

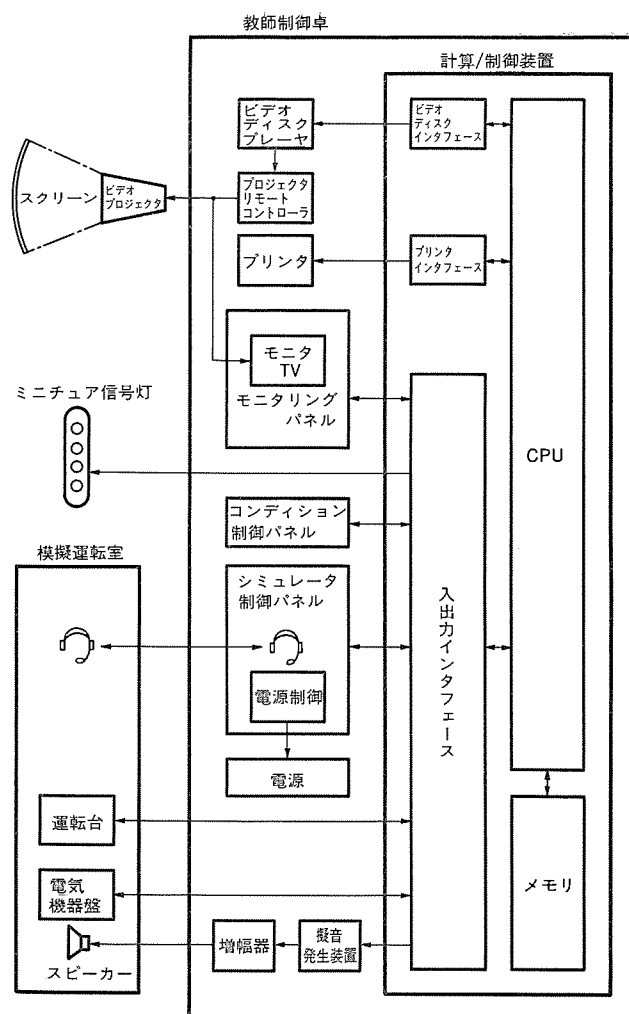


図9. 機関車シミュレータのブロック図

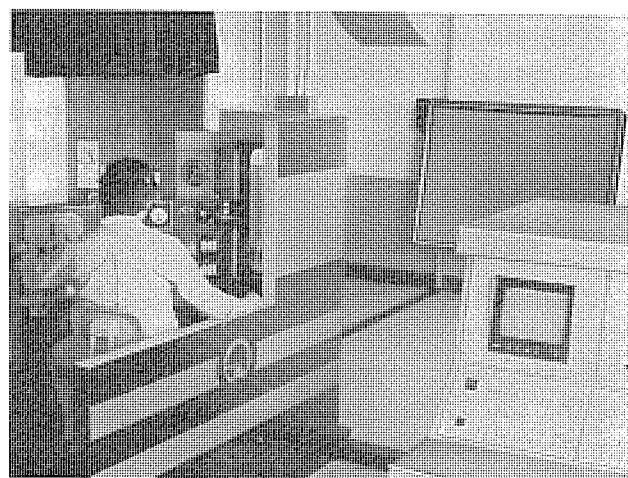


図10. GT26CWシミュレータ

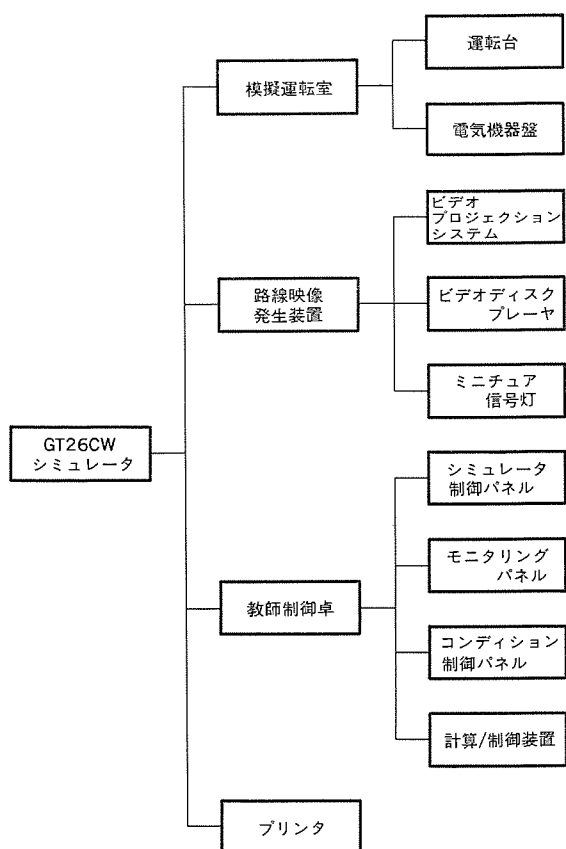


図8. 機関車シミュレータの機器構成

には、ポテンショメータを付加するなどの改造を施しており、また計器は、すべて電流計あるいは電気サーボに置きかえている。運転室の床には、前後2個のスピーカーが取り付けられており、ディーゼル発電機、オイルポンプ、電動機、ブレーキ排気、ブロフ、ホーン、ベル、等の機関車自体が発する音響のほか、レール摩擦、レール継目、ポイント、トンネル、鉄橋の通過音、対向車とのすれ違い音などの擬音が、機器の操作や列車の速度、路線の状況に合わせて発生される。

電気機器盤には、エンジン制御盤、リレー、コンタクタ、サーキットブレーカ、

ヒューズ、電源スイッチ類が、実車同様に配置されている。これらの機器は、運転台機器の操作及び後述する教師制御卓からの模擬故障導入によって、実車と同様に作動するため、故障の発見及び応急処置の訓練が可能である。ただし、リレー単体の動作不良や、ヒューズの動作などの故障については、表示灯を設けることによって模擬している。

このほか、模擬運転室には、教師との連絡用通話装置や、後述する路線映像発生装置の補助ディスプレイが設けられている。

6.2 路線映像発生装置

運転台の前方に、ビデオプロジェクションシステムを設け、ビデオディスクに収録されている実路線の映像を投影している。スクリーンは、72インチの湾曲形を使用し、映像が運転者から見て最も明るくなり、かつ、視点が実車運転時と一致するように配置されている。

スクリーンの脇には、ミニチュアの信号灯が取り付けられており、ATSシステムによる自動点灯や、教師による信号設定が可能である。なお、路線映像の解像度は、実風景を見る場合と比較して、どうしても落ちるのはやむを得ないが、このシミュレータでは、本来（実車では）かなり遠方から読めるであろう速度やカーブの曲率標識を生徒が見落とすことのないよう、模擬列車位置に合わせて表示する数値ディスプレイを設けることによって、これを補っている。

路線映像は、客先要望の韓国内5路線を、40 km/hあるいは60 km/hの定速で30分間走行してビデオテープに収録したものを、ビデオディスクに再録し、これを模擬列車の走行速度に合わせてコンピュータ制御し、再生している。光学式ビデオディスクプレーヤを用いているため、従来の映画やVTRを使用した方法では困難であった低速走行時の模擬、頭出し、バックが容易に行え、かつ、停止状態の模擬をいつまで続けていても支障がない（すなわち、無接触方式なので、記録媒体—ディスク—の寿命が、半永久的である）。

6.3 教師制御卓

教師制御卓は、教師がシミュレータを監視／操作するためのパネルを表面に備えているほか、このシミュレータの制御に必要な、ほとんどすべてのハードウェアを内蔵している。

(1) シミュレータ制御パネル

シミュレータの電源の投入と監視、路線の選択と頭出し、訓練生との通話や擬音の音量を調整するための、スイッチ、表示灯、ノブ、等が配置されている。

(2) モニタリングパネル

路線映像用のモニタTV、運転台の各レバー、スイッチ類がどの位置に設定されているかを示す表示灯及び路線のこう配、指定速度、模擬列車速度、ブレーキシリンダ圧力、電動機負荷電流を表示する計器が配置されている。

(3) コンディション制御パネル

模擬故障導入、信号灯制御、けん引重量設定のためのスイッチが配置されている。模擬故障は、エンジン、電気、ブレーキの各系統に、計20項目の設定が可能であり、生徒が適切な回復処理を行うと自動的に解除される。けん引重量設定スイッチでは、単機(126 t)から1,760 tまでの切換が可能であり、模擬列車の加速特性、ブレーキの効き具合、電動機の負荷電流、等に影響を与えるだけでなく、客車と貨車とのブレーキ特性の切換をも兼ねている。

(4) 計算／制御装置

コンピュータは、Z80デュアルCPUによるデジタル方式であるが、CRT、キーボード、外部メモリは、使用していない（すなわち、プログラム及びデータは、すべてROMベースである）ので、客先ではコンピュータの存在を意識せずに運用できる。運転台操作機器の操作情報は、時々刻々コンピュータに入力され、ディーゼルエンジン、発電機、電動機の各特性曲線、及びそれらの制御回路、空気圧系統を、リレー1個、バルブ1個にいたるまで実車通りに模擬しているプログラムに代入されて計算／処理され、再び運転室に戻されて、計器、表示灯を作動させるとともに、擬音発生装置（全電子式のシンセサイザ）や、ビデオディスクプレーヤに送られる。

コンピュータには、また、ビデオディスクプレーヤのフレーム番号に対応した路線情報（駅、ATSセンサ、ポイント、鉄橋、等の位置、制限速度、等々）が記憶されており、模擬列車の走行位置に合わせて、信号灯の点灯色や擬音を制御している。

6.4 プリンタ

運転操作、速度、所要時間、信号やATSの確認、故障への対応時間、ホーンの鳴動操作、等を訓練後に、定量的な形でプリントアウトするプリンタが設けられており、教師の負担軽減と生徒の反省材料として役立っている。

7. む す び

日本では知能面に重点をおいた教習装置が多く用いられてきたが、線路映像を含むシミュレーションにより技能面も合わせて教習する方向に移行しつつあり、特に海外でその傾向が強いといえる。教育の重要性の認識はますます高まっており、ここに示した各システムは時代の要請に合致したものと確信する。今後更に多様化すると予想される教育のニーズに対応して取り組んで行く所存である。

終りに貴重な機会を与えていただいた関係各位に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 岸ほか：三菱電機技報，57，No. 9，p. 630（昭58）
- (2) 友安ほか：サイリスタチョップ制御装置教材の開発，1980年度鉄道におけるサイバネティクシンポジウム

鉄鋼プラントにおける加熱炉のシミュレーション解析

若宮 宣範*・鶴田 誠*・住野 知子*

1. ま え が き

石油ショック以来、各産業における省エネルギー化の要請は非常に大きいものがある。エネルギー消費産業である鉄鋼プラントにおいてもこれは例外ではない。鉄鋼プラントの中でも圧延ラインは、エネルギー消費の大きな工程であり、その中でも特に鋼材を圧延に適した温度まで加熱する加熱炉は、圧延ライン全体の約半分のエネルギーを消費している。この加熱炉のエネルギー減少化は、圧延ラインの省エネルギー化の中でも重要なテーマの一つである。この検討は、ハードウェア、ソフトウェアの両面からのアプローチが必要であるが、検討にあたっては加熱炉の持つ特性を十分表せる加熱炉シミュレータが必要となる。

我々は、この加熱炉を対象として炉内における熱バランスに基づく炉内温度モデル、炉内に存在する鋼材の伝熱モデル、鋼材の炉内搬送モデルとを組み合わせ、加熱炉の動特性をも表現できる加熱炉シミュレータを作成した。また、この加熱炉シミュレータにLP計算を繰り返して使用する非線形最適化手法を組み合わせ、鋼材を各種制約条件を満足させ、目標抽出温度まで加熱するのに必要なエネルギーを最小とする加熱パターンを求める最適昇温曲線計算プログラムを作成し、シミュレーション解析・検討を行ったのでここに報告する。

2. 加熱炉システム概要

図1.に加熱炉システムの概要を示す。加熱炉は通常装入側から予熱帯、加熱帯、均熱帯の三つの制御帯から構成されており、燃焼用バーナは図1.に示すように各帯の抽出側に設けられているタイプと、鋼材の流れに直角方向からのタイプの2種が存在する。鋼材は装入端から装入温度 θ_{IN} で装入され、各帯を通過する中で、圧延に適した抽出目標温度まで加熱される。抽出目標温度には、抽出目標平均温度 θ_{OUT}^* と抽出目標均熱度 $\Delta\theta_{OUT}^*$ （鋼材内部の最高温度と最低温度との差）の二つが存在する。加熱炉制御は、この両者の条件を満たして鋼材を焼き上げるために、ヒートパターンを計算し各制御帯に対して炉温設定値を与え、各バーナはこの炉温になるように流量

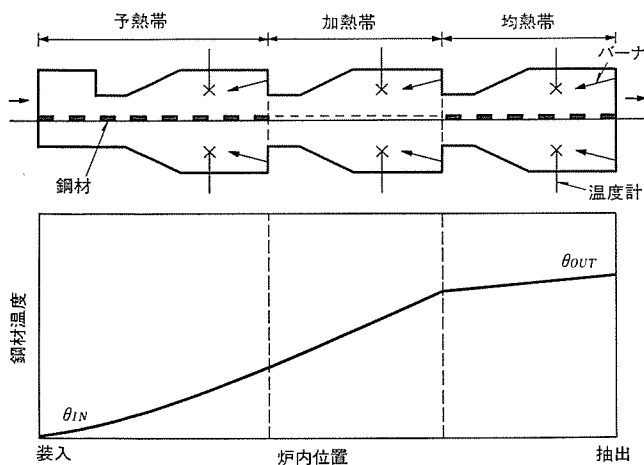


図1. 加熱炉システムの概要

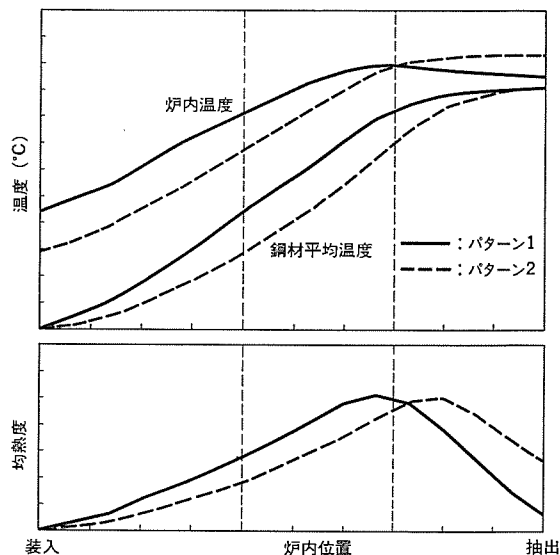


図2. ヒートパターンと均熱度の関係

を制御する。

図2.に鋼材の平均温度と均熱度の関係を示す。ヒートパターンは、同一抽出平均温度を得るためには、図2.に示すパターン1よりも後段負荷であるパターン2の方が、装入端からの排ガスエネルギーが減少するため有利とされている。しかし均熱度は後段負荷にすればするほど、図で見られるように大きく残ることになり、圧延工程に悪影響を及ぼす。そのため、目標均熱度を維持して省エネルギー化を図るには、両者の兼ね合いを検討することが重要になってきた。

3. 加熱炉のモデル概要

加熱炉の数学モデルは、以下のモデル群から構成されている(図3.)。加熱炉シミュレータの構成モデルとして、

- (1) 炉内温度分布計算機能
- (2) 炉壁温度分布計算機能
- (3) 鋼材温度分布計算機能
- (4) 鋼材搬送計算機能

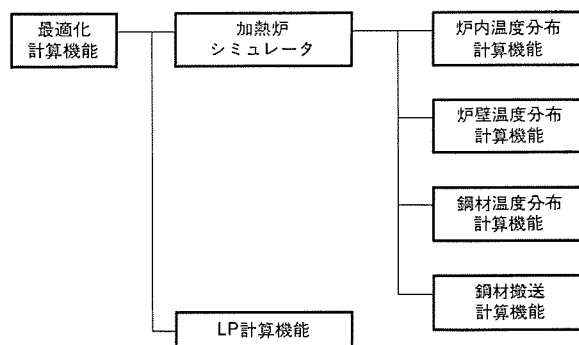


図3. 解析プログラムの機能構成

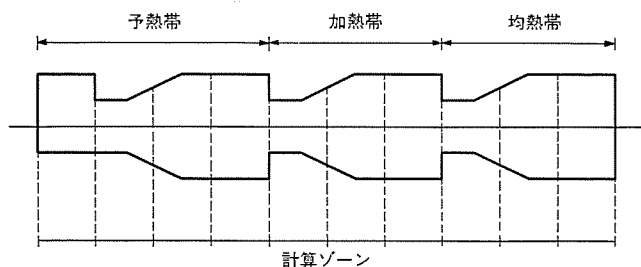


図 4. 加熱炉の計算ゾーン分割

上記加熱炉シミュレータとLP計算とを組み合わせることで最適昇温曲線を得るための、

(5) 最適化計算機能

の五つのモデル群である。以下各モデルについて説明する。

3.1 炉内温度分布計算機能

図 4. に示すように加熱炉を炉長方向に分割し、分割された各計算ゾーン内では均一なガス温度とする。各計算ゾーンごとにふく射伝熱、ガス流れによる熱移動、対流伝熱、発熱分布を考慮して、熱バランス方程式を構成し、非定常の非線形連立方程式を NEWTON 法にて各時間ステップごとに収束計算する。

熱バランスの基礎方程式を次に示す。

$$\begin{aligned}
 & C_{pg} \cdot \gamma_g \cdot V_j \cdot \frac{dT_{gj}}{dt} \\
 &= A_j \cdot \gamma_A \cdot C_{pA} \cdot \theta_A \\
 &+ W_{fj} \cdot \gamma_f \cdot C_{pf} \cdot \theta_f \\
 &+ H_n \cdot W_{fj} \\
 &+ C_{pg} \cdot \gamma_g \cdot G_{j+1} \cdot \theta_{g,j+1} \\
 &- C_{pg} \cdot \gamma_g \cdot G_j \cdot \theta_{g,j} \\
 &+ \sum_k RIFW_{k,j} \cdot S_{wk} \cdot \sigma (T_{w,k}^4 - T_{g,j}^4) \\
 &+ \sum_i RIFS_{i,j} \cdot S_{si} \cdot \sigma (T_{s,i}^4 - T_{g,j}^4) \\
 &+ \sum_l RIFG_{l,j} \cdot \sigma (T_{g,l}^4 - T_{g,j}^4) \\
 &+ h \cdot S_{wj} (\theta_{wj} - \theta_{gj}) \\
 &+ h \cdot \sum_m S_s (\theta_{sm} - \theta_{gj}) \\
 &- Q_{WLOSS,j} \dots \dots \dots (1)
 \end{aligned}$$

t : 時間

θ : 温度(°C)

T : 絶対温度(K)

C_p : 比熱

γ : 比重

V : 計算ゾーン体積

A : 空気流量

W : 燃料流量

H_n : 燃料の発熱量

G : 燃料ガス流量

$RIFW$: ガス—炉壁間ふく射伝熱係数

$RIFS$: ガス—鋼材間ふく射伝熱係数

$RIFG$: ガス—ガス間ふく射伝熱係数

σ : ステファンボルツマン定数

S : 表面積

Q_{WLOSS} : 水冷損失熱量

h : 対流熱伝達率

g : ガスを示すサフィックス

A : 空気を示すサフィックス

f : 燃料を示すサフィックス

w : 炉壁を示すサフィックス

s : 鋼材を示すサフィックス

j, k, l : 計算ゾーンを示すサフィックス

i, m : 鋼材番号を示すサフィックス

3.2 炉壁温度分布計算機能

炉壁は、炉長方向には図 4. の計算ゾーンに分割され、厚み方向には一次元熱流とした非定常熱伝導方程式を解いて内部温度分布を求めている。

3.3 鋼材温度分布計算機能

炉温、炉壁からの熱流束を基にして、炉内に存在する全鋼材について、厚み、幅方向の以下に示す二次元非定常熱伝導方程式を差分計算で解いている。

(1) 表面熱流束

$$\begin{aligned}
 q_i &= \sigma \cdot \sum_j RIFS_{i,j} (T_{g,j}^4 - T_{s,i}^4) \\
 &+ \sigma \cdot \sum_k RIFWS_{i,k} (T_{w,k}^4 - T_{s,i}^4) \\
 &+ h \cdot (\theta_{g,j} - \theta_{s,i}) \dots \dots \dots (2)
 \end{aligned}$$

$RIFWS$: 炉壁—鋼材間ふく射伝熱係数

(2) 熱伝導方程式

$$C_{ps} \cdot \gamma_s \cdot \frac{d\theta_s}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_s \cdot \frac{\partial \theta_s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_s \cdot \frac{\partial \theta_s}{\partial y} \right) \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{\partial \theta_s}{\partial x} \bigg|_{x=0} = \frac{q_i}{\lambda_s} \dots \dots \dots (4)$$

C_{ps} : 鋼材比熱

γ_s : 鋼材比重

λ_s : 鋼材熱伝導率

x : 鋼材の厚み方向座標

y : 鋼材の幅方向座標

なお式(1)～式(4)において各物性値には、すべて温度依存性をもたせて計算している。

3.4 鋼材搬送計算機能

鋼材は装入側から抽出側へ順次搬送され、抽出端から抽出スケジュールによって各タイミングで抽出される。この機能は、この炉内に存在する全鋼材の時々刻々の位置を計算するものである。

3.5 最適計算機能

図 3. に示すように、前述の加熱炉シミュレータとLP計算を使用して鋼材の最適加熱パターンを求める機能である。加熱炉シミュレータ自身は、非線形方程式の組み合わせであり、最適化を行うためには非線形最適化の手法が必要となる。ここでは、まず基準燃料流量を設定し、加熱炉シミュレータにて基準流量まわりの炉温及び鋼材温度の感度を計算し、線形化を行いLP計算により最適流量を計算する。この最適流量を基準流量と比較し収束していなければ、再度基準流量を修正して同様の処理を行うというLP計算の繰返し方法を用いて、非線形の最適化計算を行っている。この最適化計算機能フローを図 5. に示す。

LP計算での制約条件は以下のとおりである。

(1) 評価関数

$$\Phi = \sum C_i \cdot W_{fi} \rightarrow \text{最小} \dots \dots \dots (5)$$

C_i : 係数

W_{fi} : 各帯燃料流量

(2) 制約条件

$$\theta_L^* \leq \theta_{OUT} \leq \theta_U^* (\text{抽出温度 上/下限}) \dots \dots \dots (6)$$

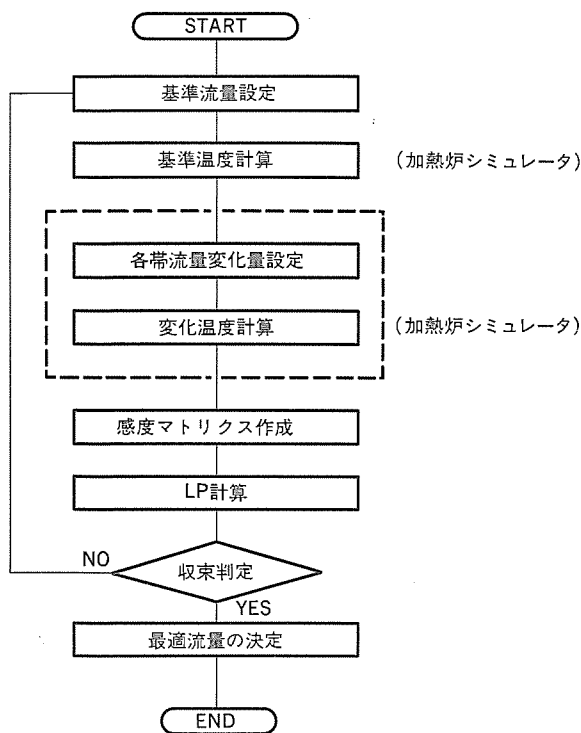


図 5. 最適化計算機能フロー

$$\Delta\theta_{OUT} \leq \Delta\theta_{OUT}^* (\text{均熱度}) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\theta_{ojL} \leq \theta_{oj} \leq \theta_{ojU} (\text{炉温 上/下限}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$W_{fiL} \leq W_{fi} \leq W_{fiU} (\text{燃料流量 上/下限}) \quad \dots\dots\dots (9)$$

但し

$$\theta_{OUT} = \theta_{OUT}^0 + \sum \left(\frac{\partial \theta_{OUT}}{\partial W_{fi}} \right) \cdot \Delta W_{fi} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$\Delta\theta_{OUT} = \Delta\theta_{OUT}^0 + \sum \left(\frac{\partial \Delta\theta_{OUT}}{\partial W_{fi}} \right) \cdot \Delta W_{fi} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\theta_{oj} = \theta_{oj}^0 + \sum \left(\frac{\partial \theta_{oj}}{\partial W_{fi}} \right) \cdot \Delta W_{fi} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$W_{fi} = W_{fi}^0 + \Delta W_{fi} \quad \dots\dots\dots (13)$$

であり、0 は基準燃料流量での各値を示す。

4. シミュレーション結果

4.1 加熱炉シミュレータの精度

図 6. に炉内温度分布の計算結果、鋼材最高温度、最低温度の計算結果と、各実測結果との比較を示す。図中実線は実測値であり、破線は計算結果を示している。炉内全域において、鋼材温度の計算誤差は最高、最低温度とも 15℃ 以内である。また炉内温度分布の計算誤差も 25℃ 以内であり、良好な精度で鋼材温度、炉内温度の計算が行われている。この結果から、この加熱炉 シミュレータは、炉の特性を十分表現しており解析に使用できることが確認された。

4.2 LP 計算の収束性

目標温度まで加熱するエネルギーを最小とする非線形最適化に、ここでは LP 計算の繰返し手法を用いている。この LP 計算の収束状況を図 7. に示す。同一条件（板厚、在炉時間、抽出目標温度）で基準燃料流量の初期値を変化させて、3 ケースの計算結果を示している。3 ケースとも、繰返し回数 2 回で 10% 以内、3 回で 1% 以内、4 回で同一の最適流量に一致し、非線形の最適化が良好に行われていることを示している。

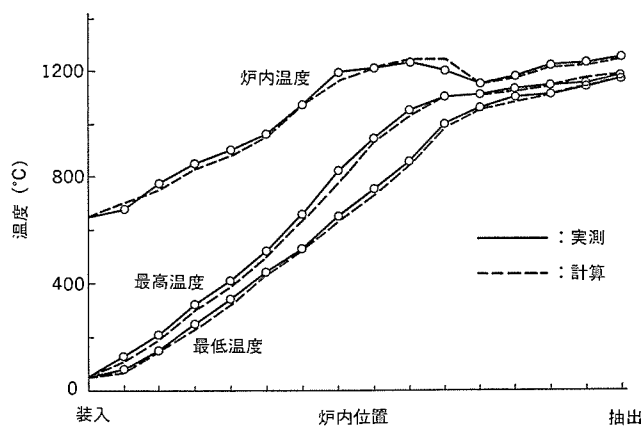


図 6. シミュレーション と実績比較の例

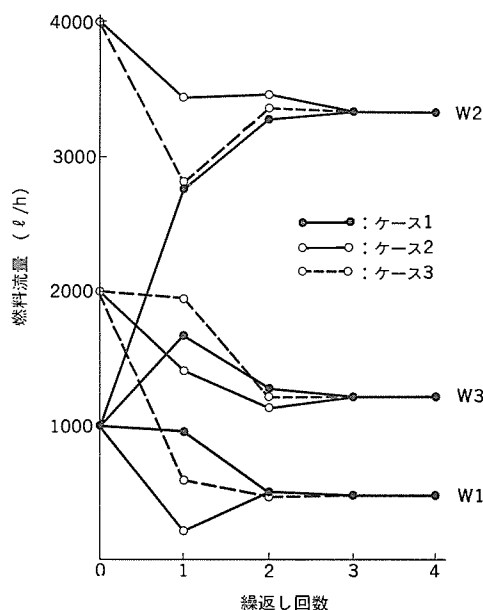


図 7. LP 計算の収束状況

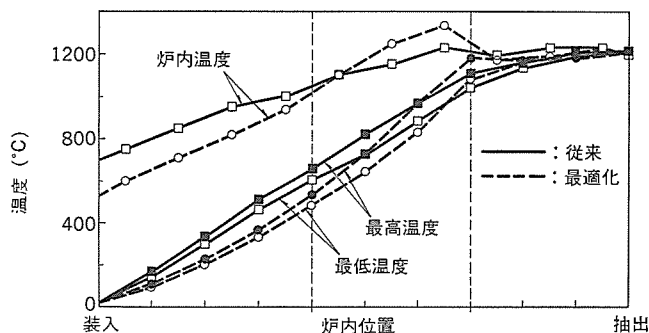
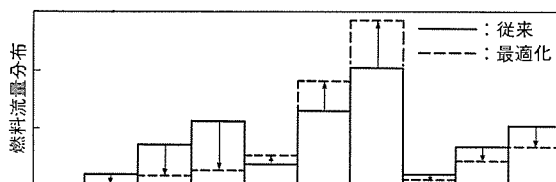


図 8. LP による燃料最適化の例

4.3 LP による燃料流量の最適化

LP の繰返しによる燃料流量の最適化のシミュレーション結果の一例を図 8. に示す。これは、鋼材寸法 200 mm²、目標抽出温度 1,200℃、均熱度 30℃、在炉時間 70 分の場合である。燃料は各帯ともすべて

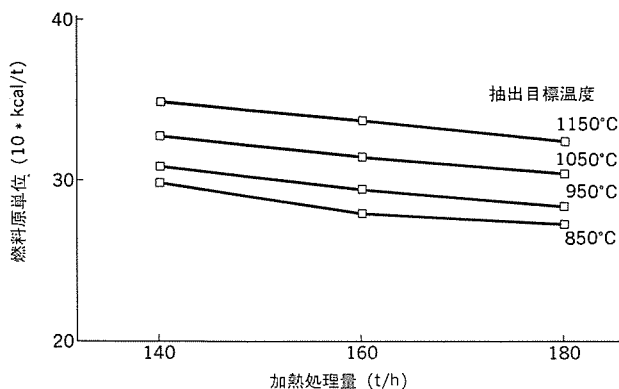


図 9. 加熱処理量と燃料原単位の関係

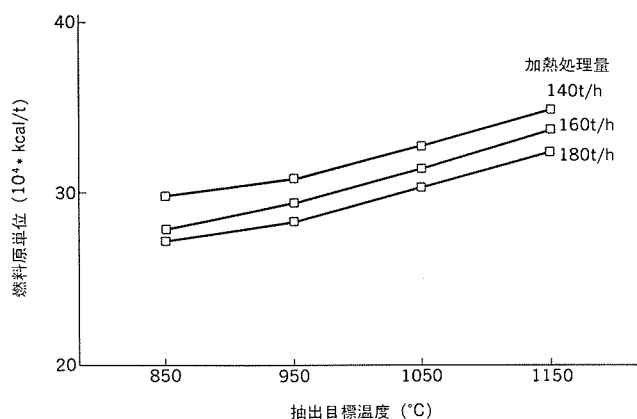


図 10. 抽出目標温度と燃料原単位の関係

重油であり、評価関数としては燃料の総流量を採っている。図中、□印実線は、従来の加熱パターンであり、○印破線は最適化を行った結果である。従来のパターンと比較して、予熱帯、均熱帯、の流量を下げて加熱帯の流量を増加させている。予熱帯を下げて加熱帯を増加させることにより、従来より後段負荷のパターンになっていることがわかる。後段負荷であれば、より均熱帯の流量を増加させる方が望ましいのであるが、各帯の燃料分布を見ると抽出側での燃料分布が大きく、均熱帯での燃料を増加させると抽出端近傍での温度上昇が大きくなり、均熱度が維持できなくなる。そのため、このシミュレ

ーション結果では、予熱帯を下げて加熱帯の流量を増加することにより、加熱帯出側でほぼ鋼材を目標温度まで加熱し、均熱帯では鋼材内の温度差を減少させるというパターンになっている。

この場合、同一抽出条件を実現し燃料流量の総和を約4%減少することが可能という結果が得られている。既に述べたように、均熱帯での燃料流量の増加は、均熱帯での燃料投入分布（発熱量分布）によって制限されている。この投入分布を変更することにより、一層の後段負荷、燃料流量の減少が可能となる。

4. 4 燃料原単位と各種条件の関係

図 9. は LP 最適化により、各条件で計算された最適流量時の鋼材加熱処理量と燃料原単位の関係の一例を示している。この例では、抽出目標温度に関係なく、加熱処理量を増加させた方が燃料原単位が減少し、炉としての効率が良いことを示している。

図 10. は同様に最適流量時の鋼材抽出目標温度と、燃料原単位の関係の一例を示している。いずれの加熱処理量の場合でも、抽出目標温度の低下に伴っての燃料原単位の減少は大きく、50°C 目標温度を下げることによって約3%の燃料原単位の減少になることが示されている。

5. む す び

加熱炉の特性を表現する加熱炉シミュレータ、鋼材加熱エネルギーを最小とするための LP 計算を用いた非線形最適化の手法と、そのシミュレーション結果について述べた。これらの手法、結果は、オンラインでの加熱炉燃焼制御モデル及びその検討に反映されている。今後は、更にモデル及び制御方式のレベルアップを図り、より一層省エネルギーのための検討を行っていく所存である。 (昭 60-1 受付)

参 考 文 献

- (1) H. C. Hottel, E. S. Cohan : Radiant Heat Exchange in a Gas-filled Enclosure : Allowance for Nonuniformity at Gas Temperature ; AIChEJ 4, No. 1 (1958)
- (2) 日本鉄鋼協会 熱経済技術部会編：連続鋼片加熱炉における伝熱実験と計算方法 (昭 46)
- (3) 日本鉄鋼協会 熱経済技術部会編：加熱炉炉内伝熱解析法の基礎と応用 (昭 57)

トンネル内換気系シミュレーション

植木 源治*・藤村 弘志*・水谷 次雄**・中崎 勝一***・古藤 悟***

1. ま え が き

高速道路の発達に伴い恵那山トンネルを初めとする長大トンネルが幾つかあり、今後とも道路交通の拡大、最短ルートの開拓などから長大トンネルの需要は増加するものと思われる。高速道路の長大トンネルは運転者の安全確保、サービス向上、通行能力の確保のため非常に多くの設備が設けられている。

最近、我が国では建設費の低減と省エネルギーをねらって、長大トンネルでも縦流換気方式のトンネルが採用され始めている。縦流式のトンネル換気を実用化するには、従来恵那山トンネル⁽¹⁾などで確立されている横流換気制御方式をベースとした換気制御を行い、更にセンサから制御システム構築に至るまでのシステム検討、及び制御手法の改良も含め事前に十分な検討が必要となる。

ここでは、換気制御手法の検討を行うために作成した換気モデル、汚染モデル、交通モデル及び制御モデルからなるトンネル換気系シミュレータを紹介する。これは平常時のみならず異常時の換気制御手法の検討が行える。更にトンネル内の空気の流れを、より詳細に解析できるシミュレータについて三次元モデルの概要を紹介する。

2. トンネル換気制御概要

道路トンネルを運用するには、自動車の排ガスから運転者及び保守員の安全を守るための換気設備が必要である。従来2km以上の長大トンネルでは、トンネル断面の車道空間天井部に換気ダクトを設けた横流換気方式が多く用いられてきた。横流式では送気と排気が車両の流れと直角の方向に行われ、排出ガスなどは短時間で排気されるため、換気制御性能を把握する換気シミュレーションモデルは容易に構成できる。

しかし、この方式では換気ダクトが占める部分の土木工事及び換気設備に多額の費用を要するほか、換気機運用の運転費用が多くなるため、最近では換気風を車道内縦方向に流す縦流換気方式が長大トンネルでも主流となっている。しかも換気機は立坑、集じん室のファン及びジェットファンと多様化し、また自動車の通行方式も対面あるいは一方交通とがあり換気流が複雑になるばかりでなく、排出ガスは車道内に長時間滞留するため換気制御性能を把握するには、複雑な換気シミュレーションモデルが必要である。

2.1 換気方式

縦流換気方式は立坑のないトンネルあるいは立坑のあるトンネルでは集中排気式又は送排気式が採用される。

(1) 縦流換気方式(図1.(a)参照)

ジェットファンを天井に取り付け、台数制御により風量制御を行う方式で自然風や車両のピストン力を利用した換気方式である。

(2) 集中排気縦流換気方式(図1.(b)参照)

立坑に設けた換気機により集中排気を行う方式で、自然風や車両の流れがあっても常にトンネル中央に向う縦流を得るため、トンネル天井にジェットファンを取り付け、換気機やジェットファンの制御により風量

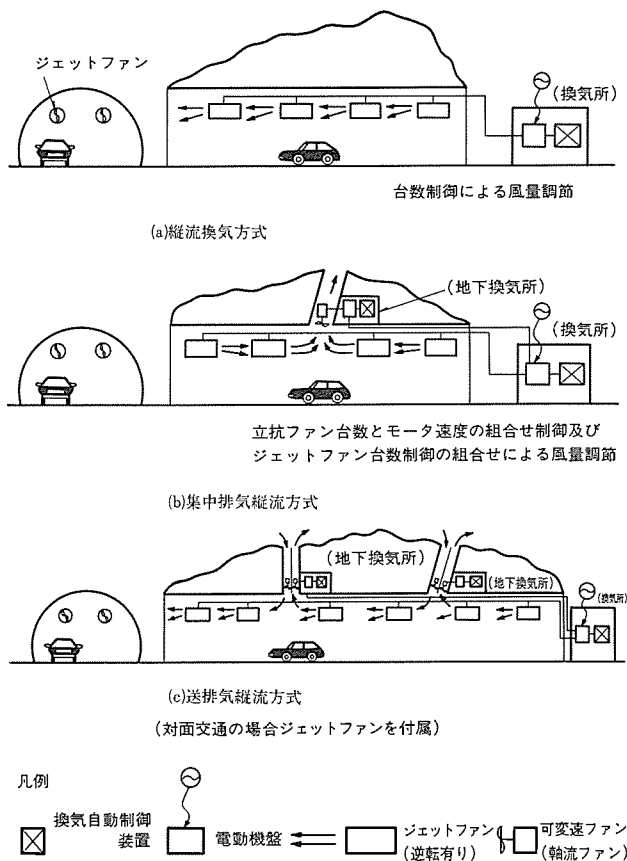


図 1. 縦流換気方式

調節を行う。

(3) 送排気縦流換気方式(図1.(c)参照)

長大トンネルで換気区画を複数に分ける必要があって、立坑、斜坑に換気機を設け送排気運転を行い、換気機やジェットファンの制御により風量調節を行う。

2.2 換気制御法

換気制御で省エネルギー運転するための基本は、要求換気量の的確な把握と適正風量の調節にある。従来の各種換気方式の問題点、欠点を示し最適風量制御の概要を述べる。

(1) 制御精度の向上

通行車両台数によって常に変動する排ガス量に対し、最小運転費でトンネル環境を最適に維持するには、換気風量を自動制御する必要がある。換気に必要な電力は、換気風量のほぼ3乗に比例するため最適風量に抑制しなければ運転電力は大幅に増加する。また設定値と基準値の偏差と運転電力との関係は、設定濃度下降率のほぼ3乗に比例する。すなわち、風量制御方法あるいは制御精度は換気電力を大きく左右する。

(2) 風量制御方式

換気制御方式は段階制御方式と連続制御方式に大別される。連続的

に変化する要求換気量に対し、適正な風量が得られる連続制御方式が、運転電力費の面からみて望ましいことは明白である。しかし、この方式は制御系及び換気系の設備費が、段階制御方式に比べ多少かさむため長大トンネルへの適用例が多い。

(3) 圧力制御

縦流換気方式のトンネルで対面交通に供用する場合、通行車両のピストン力が縦流換気方向とは逆向きに作用するため、通行車両の台数、車速あるいは上下交通比率などからトンネル内圧力を計算し、これを打ち消すための圧力制御を必要とする。圧力制御はトンネル内に設けたジェットファンの台数制御にて行うが、うまく調節できないと立坑、集じん室の換気機を適正に調整しても要求換気量をトンネル内に供給できなくなる。

(4) 換気周期

トンネル内の刻々変化する交通量と汚染濃度に追従して、換気風量を調節する場合、換気量決定の演算ロジックの機能、換気設備の性能限界、制御効果の遅れ、交通量予測誤差、汚染濃度測定誤差などが存在するため最適制御とする制御周期が重要である。

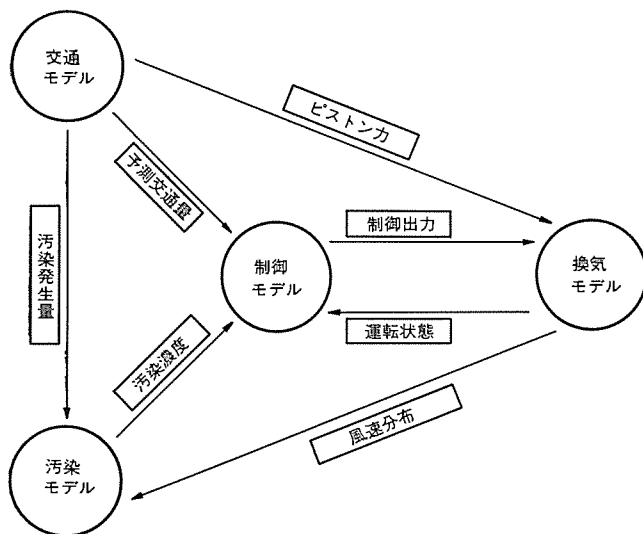


図 2. 換気シミュレータの構造

3. シミュレーションモデル

シミュレーションモデルは制御手法確立のための一次元モデルと、異常時を詳細に解析する三次元モデルについて述べる。

3.1 一次元換気系シミュレーションモデル

換気系シミュレータは、トンネル空間をトンネル軸方向のみ扱う一次元モデルとして扱うが、自然風の変化やトンネル内を通行する車両が、ダイナミックに変動したときの換気状況及び汚染物質の濃度変化あるいは異常時の煙濃度分布などを把握できるものとしている。

換気系シミュレータの構造⁽²⁾を図2に示すが、換気モデル、汚染モデル、交通モデル及び制御モデルからなっている。換気モデルは制御モデルから換気機の運転状態を、交通モデルから車両のピストン力を求める情報を受けとり、車道内あるいは立坑の風速分布を力学モデルを用いて計算する部分である。

汚染モデルは、換気モデルから得た風速と交通モデルから得た汚染発生量からトンネル内の汚染濃度の空間分布の時間変化、あるいは異常時には煙濃度の空間分布の時間的変化を計算する部分である。

制御モデルは、汚染モデルから得られる汚染濃度の値と、交通モデルから得られる予測交通量とから換気機の最適風量を求め換気機に制御出力する部分である。

3.1.1 換気モデル

換気モデルはトンネル内あるいは立坑の空気を、質量をもった空気柱とみなし、これに外力が働くことと加速され車道内風速あるいは立坑の風速を変化させるものとする。すなわち、質量、外力、加速度間にニュートンの第2法則を適用し各部の風速分布を求める。外力は表1に示す計算式を用い、外力を求めるには自然風、換気風量あるいは車道内風速を必要とする。

トンネル内を走行する車群の状態によって、立坑下の圧力分布が時々刻々と変化するため、圧力変動により立坑風量は影響を受ける。この影響を考慮するため、立坑換気機の圧力-風量特性（換気機昇圧力）を用いている。車道内、立坑などで構成されるループにニュートン法を適用し、非線形連立方程式を作りこれを解くことにより各風速を求める。

3.1.2 交通モデル

交通モデルはトンネル内の上下交通状況を模擬し、これに対応した排

表 1. 外 力 の 計 算 式

外 力 の 種 類	計 算 式	記 号 説 明
ピ ス ト ン 力	$\frac{\rho}{2} A_e [n^+ (V_i - V_r)^2 - n^- (V_i + V_r)^2] \dots\dots\dots (1)$	A_e = 自動車の等価抵抗面積 A_b = ノズル吹出し口面積 A_j = ジェットファン吹出し口面積 D = トンネル代表寸法 L = トンネル長 n^+, n^- = 下り, 上り車両台数 Q_b = 換気機風量 Q_r = 車道内風量 V_r = 車道内風速 V_j = ジェットファン吹出し速度 V_i = 車両走行速度 V_w = 自然風による車道内風速 β = ノズル吹出し角度 λ = 管摩擦損失係数 ξ = 入口損失係数 ρ = 空気の密度
ノ ズ ル 昇 圧 力	$\rho Q_b (Q_b \cos \beta / A_b - 2 V_r + Q_b / A_r) \dots\dots\dots (2)$	
ジェットファン昇圧力	$n \eta \rho V_j A_j (V_j - V_r) \dots\dots\dots (3)$	
自然風による昇圧力	$\frac{\rho}{2} A_r \left(1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right) V_w^2 \dots\dots\dots (4)$	
管摩擦損失による抵抗力	$\frac{\rho}{2} A_r \left(1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right) V_r^2 \dots\dots\dots (5)$	
送排気ファンの昇圧力	$K_1 (Q_b - Q_0)^3 + K_2 \dots\dots\dots (6)$	

表 2. 交通モデル計算式

種 類	計 算 式	記 号 説 明
区 間 密 度	$\rho_j(n+1) = \rho_j(n) + \frac{\Delta t}{\Delta x_j} \{q_{j-1}(n) - q_j(n)\} \dots\dots\dots (7)$	ρ_j = 区間 j の交通密度 u_j = 区間 j の空間平均速度 q_j = 区間 j 出口の交通量 u_c = 平衡速度 Δx_j = 区間 j の距離 Δt = 時間幅 n = 時間ステップ
空 間 平 均 速 度	$u_j(n+1) = u_j(n) - \Delta t \left[u_j(n) \frac{u_j(n) - u_{j-1}(n)}{(\Delta x_j + \Delta x_{j-1})/2} + \frac{1}{T} \left\{ u_j(n) - u_c(\rho) + \frac{v}{\rho_j(n)} \frac{\rho_{j+1}(n) - \rho_j(n)}{(\Delta x_j + \Delta x_{j-1})/2} \right\} \right] \dots\dots\dots (8)$	
交 通 量	$q_j(n) = \rho_j(n) u_j(n) \dots\dots\dots (9)$	

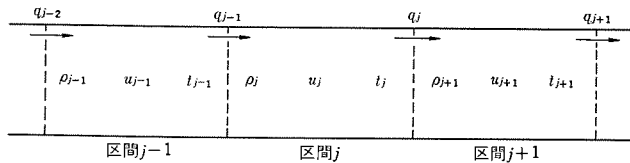


図 3. 道路区間

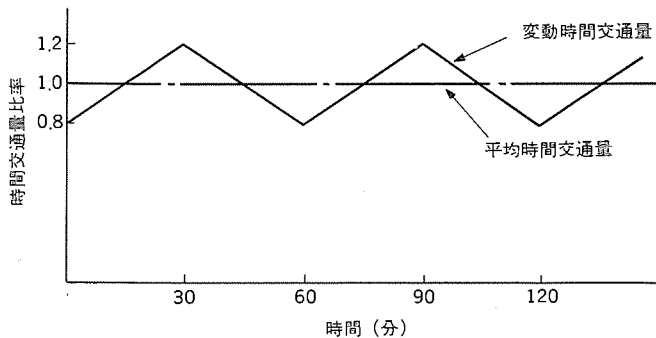


図 4. 交通条件

出ガス量あるいはピストン力を求める部分である。交通モデルはシミュレータにて生成するか、あるいは実測交通データを用いて作成する。平常時のモデルは、Isaksen & Payne のモデルに基づくマクロモデルを使用しており、図 3. に示すように縦続接続した道路区間の区間密度、空間平均速度、交通量のダイナミクスは表 2. に示す。

交通流の発生は図 4. に示すように時間交通量を変動させ、各時刻ごとの変動は乱数発生にて処理している。モデルではトンネルを 100 m ほどの小区間に分割し、時間ステップは 10 秒としている。異常時のモデルは、事故発生地点より前方の車はそのまま走行を続け、後方の車は個々の車が信号機などの状況に応じて停止するミクロなモデルを扱う。

3. 1. 3 汚染モデル

汚染モデルはトンネル内のばい煙、CO ガスあるいは火災による煙などの汚染濃度を、時間的及び空間的に求める部分である。汚染発生量の交通モデルから得られた大形車、小形車の交通密度、区間速度を用いて求め、煙については発煙曲線を用いる。空間濃度分布はトンネル断面内では濃度が一様であるとして、軸方向のみについて考える。トンネル内汚染物質の濃度の時間的空間分布は、一次元の対流拡散問題として扱え、次のように表せる。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -u \frac{\partial c}{\partial x} + D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + q \dots\dots\dots (10)$$

ただし u = 車道内風速 t = 時間
 D = 拡散係数 x = トンネル軸方向の位置
 c = 汚染物質濃度 q = 汚染物質の発生量

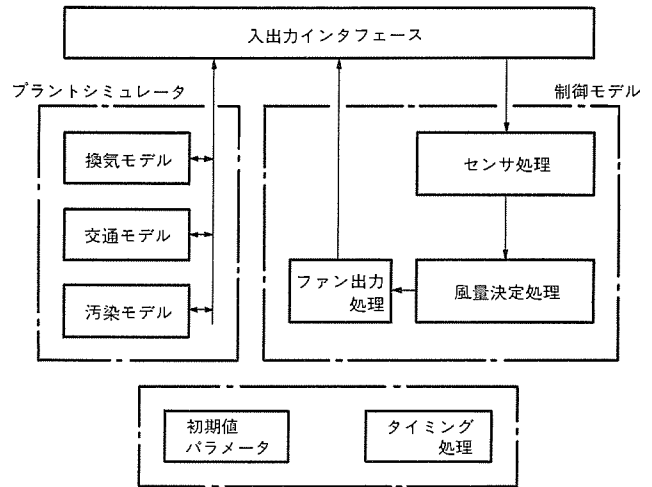


図 5. 制御モデルの機能構成

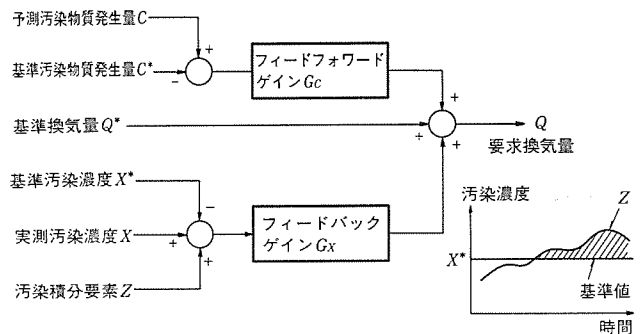


図 6. 最適レギュレータ制御方式

3. 1. 4 制御モデル

制御モデルは汚染濃度、交通量、風速などを取り込み、換気制御量を決定し、換気モデルに演算結果を出力する部分である。平常時は汚染濃度フィードバック制御あるいは交通量予測フィードフォワード制御などの制御モデルを、異常時にはトンネル内の避難環境を維持するための換気制御モデルを組み込み、シミュレーションを実施し制御手法の良し悪しの確認に利用する。

制御モデルの機能構成は、図 5. に示すようにプラントを模擬した換気モデル、交通モデル、汚染モデルとのインタフェース、種々のプログラムを起動させるタイミング処理、初期値・パラメータ設定、センサ情報の処理を行い、これらの情報を用いて換気風量を決定し換気設備に制御出力する部分からなる。

(1) 汚染濃度フィードバック制御

トンネル内の汚染濃度を基準値以下に保持するため、計測値との偏差信号から風量ノッチを決定する。計測値は交通現象の変化状況から遅延しており、また換気制御効果の遅れ時間などがあることから制

御性は良好でない。

(2) 交通流予測 フィードフォワード制御

換気予測制御の基礎となるトンネル内交通量予測は、トンネルの上流下流の交通流計の時系列計測データを時々刻々取り込み、ARMA (Auto Regressive Moving Average) モデルを適用して行っている。この予測交通量に基づきトンネル内排ガス量を予測し換気量を決定する。

(3) 最適レギュレータ制御

汚染濃度フィードバック制御では、車両1台あたりの排ガス量パラメータの相違などから生じるトンネル内汚染濃度の基準値からのオフセットを吸収するため積分特性をもたせ、またこれに交通量予測フィードフォワード制御を組み合わせた最適レギュレータ制御により換気量を決定する。最適レギュレータ制御のブロック図を図6.に示す。

(4) 異常時制御

火災発生などの異常発生に対し、換気機をどのように制御すれば避難環境が維持できるか、制御アルゴリズムを組み込み、シミュレーションを実施し制御手法の検討に利用する。

3.2 三次元換気系シミュレーションモデル

トンネル内の微妙な空気の流れ(火災など)の現象解析には、非定常三次元熱流体を扱うシミュレーションモデルが有用である。モデルは $k-\epsilon$ 乱流モデルを導入して運動方程式やエネルギー保存式などを差分化し、圧力補正法、ADI法 (Alternating Direction Implicit Method)、三重対角行列法、更にはBCIM (Boundary Condition Indicator

Method) を使うことによってこれらの問題に対処できるプログラムの概要を紹介する。

(1) モデルの概要

- (a) 解析モデルは三次元任意形状境界条件の流れである。
- (b) 三次元非定常、粘性、乱流、圧縮性の任意の流れである。
- (c) 乱流モデルはゼロ方程式モデルである乱流粘性一定モデル及び2方程式モデルである $k-\epsilon$ モデルを用いる。

(2) モデルの基礎式

三次元換気シミュレーションモデルに用いる基礎式は、表3.に示すように非定常三次元熱流体基礎式として連続の式、運動量保存式、エネルギー保存式、化学種 j の保存式などを用い、乱流のモデルは $k-\epsilon$ モデルを用いている。

(3) 離散化方程式

基礎式を差分化するため、中心差分と風上差分の長所を組み合わせたHybrid-Scheme⁽³⁾を使用する。

(4) 解法アルゴリズム

差分式を解くためにこの解析では圧力補正法⁽³⁾を採用している。運動方程式を解くには、圧力分布が必要であるため圧力場を仮定して運動方程式を解いておき、次に得られた速度を使って連続性を調べ、連続性を満たさない分を補正圧力とし仮定した圧力場を修正する。以下この手順を繰り返し、すべて連続性を満たせばそれを解とする。

(5) 方程式の解法

離散化方程式をADI法により3項間の漸化式とし、三重対角行列法によって2項間の漸化式として、各離散方程式をImplicitに解いている。シミュレーションの精度を向上させるため、トンネルを模擬した風洞によって実験を行い、実験結果との整合性を確認しながら作成を進めている。

表3. モデルの基礎式

連続の式 $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0$				
運動量、エネルギー、化学種 j の保存式、混合分率、 $k-\epsilon$ モデルの一般形は次式で表され、式中のパラメータは下表に示す。				
$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u\phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w\phi) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial z}\right) + S\phi$				
種別	パラメータ	ϕ	Γ	$S\phi$
運動量保存式	x 軸	u	μ_{eff}	$-\frac{\partial p}{\partial x} - \rho g_x$
	y 軸	v	μ_{eff}	$-\frac{\partial p}{\partial y} - \rho g_y$
	z 軸	w	μ_{eff}	$-\frac{\partial p}{\partial z} - \rho g_z$
エネルギーの保存式	h	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_{h,eff}}$	S_h	
化学種 j の保存式	m_j	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_{m_j,eff}}$	R_j	
混合分率式	f	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_{f,eff}}$	0	
$k-\epsilon$ モデル	乱れエネルギー	k	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_{k,eff}}$	$G_k - \rho\epsilon$
	消散速度	ϵ	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_{\epsilon,eff}}$	$C_1 G_k \frac{\epsilon}{k} - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k}$
$G_k = 2 \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right\} + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2$				

4. シミュレーション結果

4.1 一次元換気シミュレーション

換気制御性能を確認するため、図7.に示すトンネルモデルでのシミュレーション結果を示す。レギュレータ制御の平常時換気シミュレーション結果を図8.に示すが、(a)は車道内風速、(b)、(c)は換気機風量、(d)~(f)はばい煙濃度、(g)、(h)はCO濃度及び(i)~(l)は交通流の時間変化を表している。換気機の動き及び濃度変化のグラフから制御性は良好と判断できる。図9.は風速制御のシミュレーション結果を示すが、風速制御が良好に行われていると判断できる。

4.2 三次元換気シミュレーション

三次元シミュレーションの実施と風洞実験とを行い対比しながら精度向上に努めているが、ここでは熱流挙動の簡単なシミュレーション例を示すこととする。

図10.に示すように、トンネル断面が正方形で斜線を施した底面が100°Cに加熱され、無風状態から急に0.5 m/sの風が流れた場合

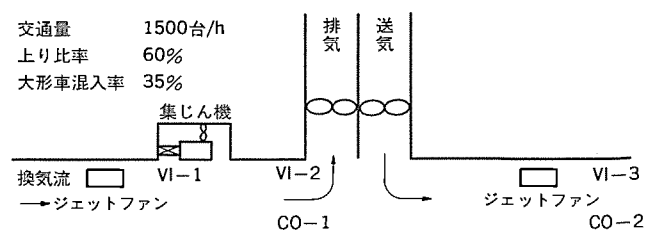


図7. トンネルモデル (縦流換気方式)

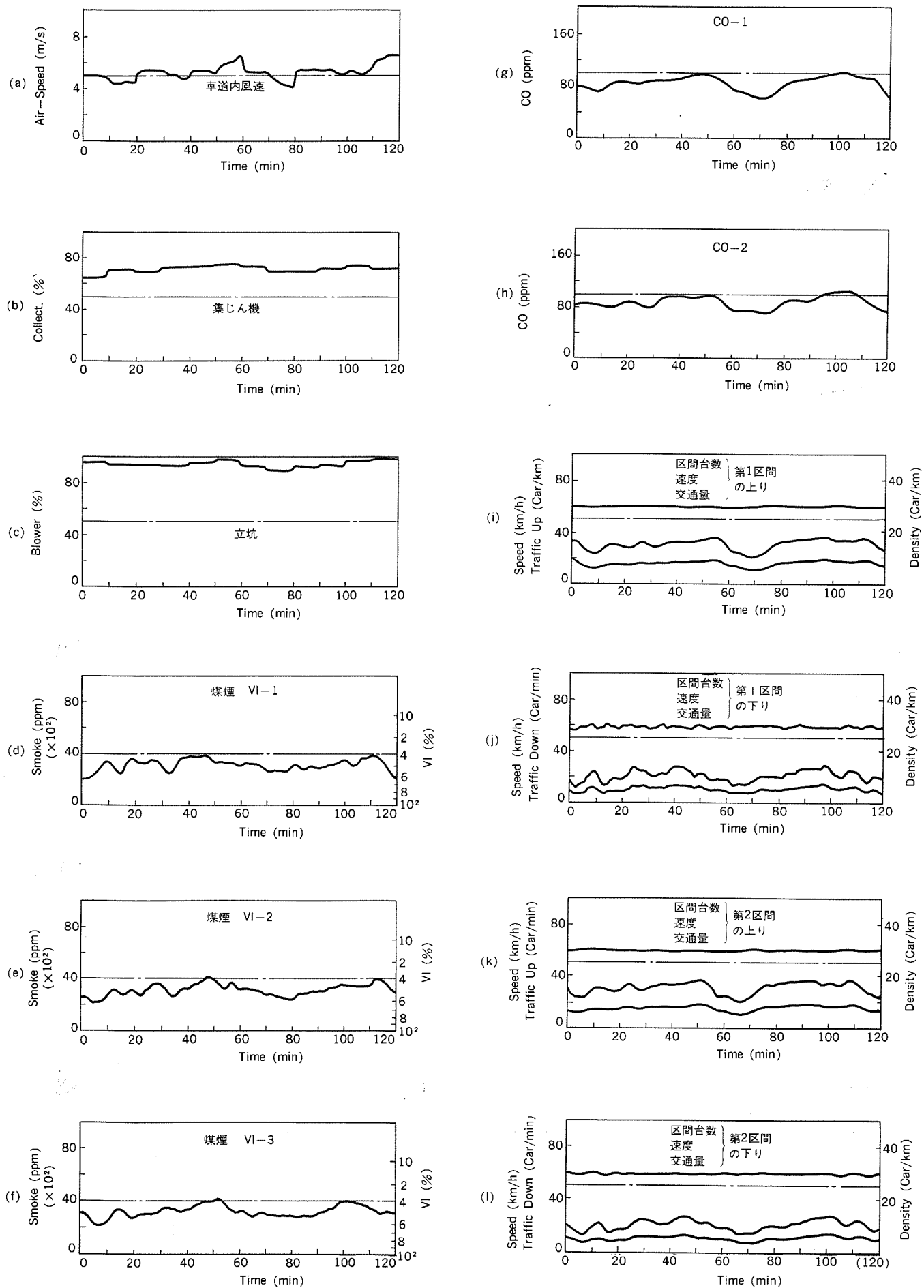


図 8. 平常時換気 シミュレーション 結果

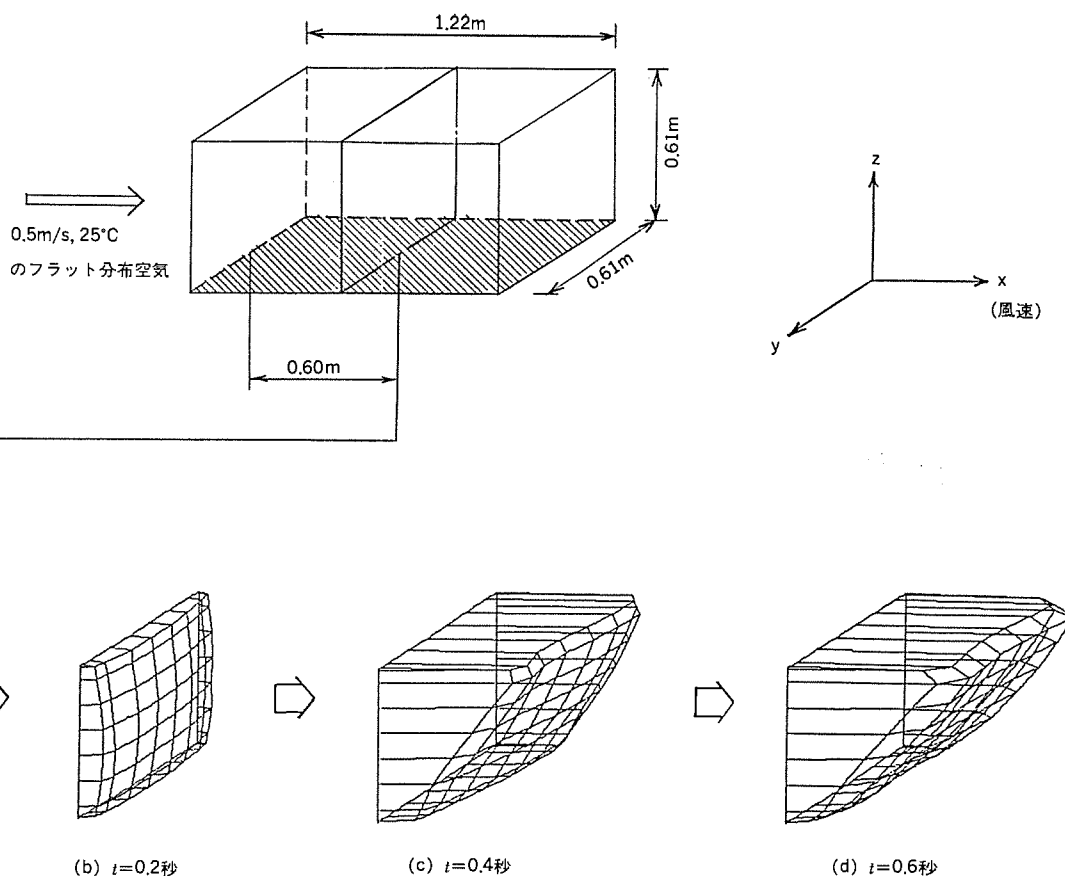


図 10. 三次元換気 シミュレーション

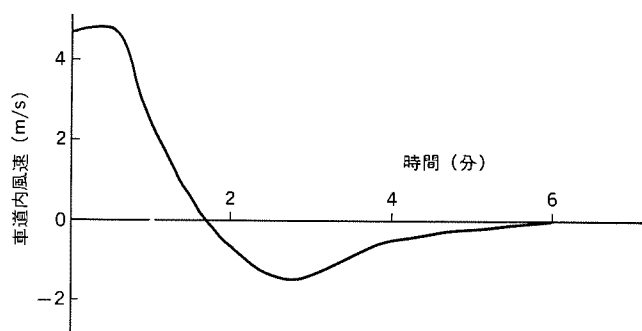


図 9. 風速制御 シミュレーション 結果

のシミュレーション結果を示す。1断面($x=0.6\text{ m}$)に注目して、(a)0.05秒、(b)0.2秒、(c)0.4秒、(d)0.6秒の時刻における風速分布を示しているが、結果は明らかなように、加熱面(底面)の反対側(天井面)の風速が早くなっている。

5. む す び

縦流換気方式における平常時及び異常時の換気制御手法を確立するため、一次元シミュレータを利用してトンネル換気制御システムの設計検

討を進めている。今後はシミュレーション結果とトンネルでの実測結果とを照合し、より精度の高いシミュレーションモデルへとレベルアップを図っていきたい。

三次元シミュレータは自動車トンネルの火災を想定して、熱流体の挙動がシミュレーションできるツールとして検討中であり、風洞実験と並行して開発を進め、更には自動車トンネルの熱流体解析に限らずかなり広範囲な流体を扱う分野の適用へと発展させたい。

最後にこのシミュレーションの開発にあたり、御尽力いただいた関係者各位に深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 植木ほか：長大道路トンネルにおける新しい換気制御法，土木学会論文報告集，No. 265 (昭52)
- (2) H. Ohashi, A. Mizuno, I. Nakahori, M. Ueki : A new Ventilation method for the Kan-etsu road tunnel, BHRA, 4th International Symposium on the Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels, P. 3547 (1982)
- (3) S. V. Patankar : Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, 1980, McGRAW-HILL Book Company.

プロセス制御系向き ブロック図形式シミュレータ“MICRO SIMPLE”

斉藤美邦*・小澤純一郎**・今井孝夫***

1. ま え が き

当社の《MACTUSシリーズ》などに代表されるプロセスコントローラは、近年の電子技術の向上によりデジタル方式が主流となっている。その結果コントローラは単なる制御機能だけではなく、エンジニア向けの高度な支援機能までも装備するようになった。《MACTUSシリーズ》を例にとると、それらの支援機能のうちの一つとして、ブロック図形式による制御アルゴリズムの組込み（すなわちコントローラのプログラミング）が、プログラミングパネルあるいはエンジニアリングコンソールから可能となっている。

一方、プログラミングの上流に位置する制御アルゴリズムの設計・検証段階を支援するCAE (Computer Aided Engineering) システムは、従来大形計算機を中心として構成されてきた。しかしこの分野でもマイクロプロセッサの高機能化・高性能化が原動力となって、大形計算機による一括処理やTSS (Time Sharing System) 処理に代って分散処理の時代が始まろうとしている。分散処理方式の特長は、エンジニア一人一人の手元に十分な計算能力を持つ情報処理システムを置き、机上作業の延長として気軽に利用してもらうことを目標としている点にある。そのため、CAEシステムのユーザーインターフェースは、エンジニアの日常の作業方式をそのまま処理システム上に実現することが理想的である。すなわち、文字情報よりは視覚情報が、コマンド入力的方式よりはメニュー選択による方式がより望ましい。

今回筆者らは上記のような背景をふまえ、当社のパーソナルコンピュータ《MULTI 16 II》を使い、コントローラの制御アルゴリズムを図式表現のままで入力・編集し、シミュレートするシステム“MICRO SIMPLE” (Simulator for Plant Engineering) を開発した⁽¹⁾ (図1. 参照)。このシミュレータは、制御アルゴリズムの設計からプログラムの検証までを統一的に支援することを目標としており、次のような特長をもっている。

- (1) ブロック図表現を使っているので、エンジニアが抵抗なく利用できる。
- (2) デジタル制御系（離散系）と制御対象のプロセス（連続系）を同時にシミュレートできる。

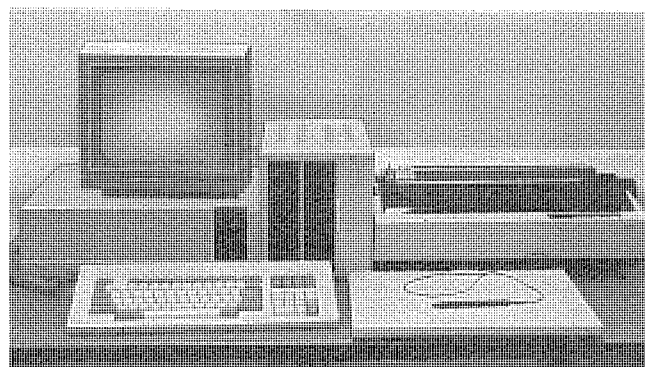


図1. “MICRO SIMPLE”の外観

- (3) メニュー選択方式を採用し、操作性が良い。
- (4) 社内に広く普及したパーソナルコンピュータを使用しているため、エンジニアが手軽に使える。

以下に、その概要を紹介する。

2. シミュレータの目的

制御が大規模化・高度化するに伴い、制御系の精度・信頼度に対する社会的要求はますます厳しいものとなっている。また企業的には、その品質を定められた期間内で達成する必要がある。この両面を実現させるためには、制御系を実際のプラントに適用する以前に、製作中の主要な段階で制御系を検証するための支援システムが必要となる。

制御系の製作過程は、大きく、

- (1) 制御系そのものの製作
- (2) 制御対象のプロセスのモデル化

の二つに分けられる（図2. 参照）。今回のシミュレータは、この双方の過程のうちの検証段階で利用することを目的としている。

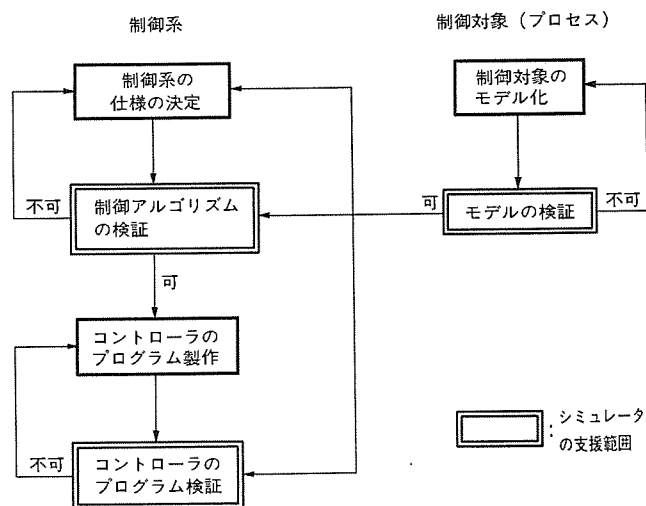


図2. 制御系の製作手順

3. シミュレータの機能

3.1 シミュレーション対象の表現

制御対象となるプロセスは時間的に連続系であるが、一方制御系の大部分はサンプリング制御を行うデジタルコントローラが採用されており、この場合はシミュレーション時間の進行は離散的となる。このシミュレータはこの両者を扱うことができ、連続系と離散系の接続部分にはサンプラ（連続系→離散系の変換）及びホールド機構（離散系→連続系の変換）を明示的に挿入して分離することとした。

シミュレーション対象の表現方法は、連続系・離散系ともに統一的に扱えて、しかもエンジニアにとってなじみやすいブロック図を採用し、微分方程式・差分方程式・伝達関数などの記述方法は使わなかった。しかも制御系側のブロックは、当社のプロセスコントローラ《MACTUS》

システム操作メニュー									CANCEL	承認	拒否	終了
	図	形	全体移動	図	面	ブロック管理情報	画面表示	パラメータ指定				
	入力	削除	移動	入力	格納	指	定			↑		
	接続線	分岐線	表示指定	コメント	□←	↓	□→			←	スクロール	→
セグメント選択メニュー					出	力	指	定			↓	
					→□	↓	↓	□←				
	AND	ASW	BUMP	DBND	EEP	EXOR	FGEN	FILT	LATOFF	LATON		
	ONF2	ONF3	OR	PIDP	PIDV	PLS	RAMP	RANDN	RANDU	RDEAD		
	RINT	RLAG	RLIMIT	RLIN	RNAND	RNOR	RNOT	RSEC	SDEAD	SINT		
	SLAG	STEP	SWICH	TIMER	X1	X2	TIME	Const	Sample	Hold		
	+	-	・	÷	..	SQRT	ABS	SIN	COS	TAN		
	ATAN	LOG	EXP									
		ユ	一	ザ		定	義	関	数			
	FUNC0	FUNC1	FUNC2	FUNC3	FUNC4	FUNC5	FUNC6	FUNC7	FUNC8	FUNC9		

図 3. タブレットメニュー

表 1. ブロック一覧

区 分		種 類
離散系	コントローラ	PID, ON-OFF など 4 種
	論理関数	AND, OR など 6 種
	入力処理	SAMPLE, FILTER など 5 種
	出力処理	HOLD など 3 種
	シーケンス制御	TIMER など 5 種
	関数	離散系・積分など 3 種
連続系	積分関連	積分器, 1 次遅れなど 3 種
	外乱関数	乱数など 4 種
	その他	リミッタなど 3 種
共通	四則, ベキ乗	+, -, *, ÷, **
	標準関数	SQRT, SIN など 8 種
	任意関数	折線関数, ユーザー関数
	その他	定数発生など 3 種

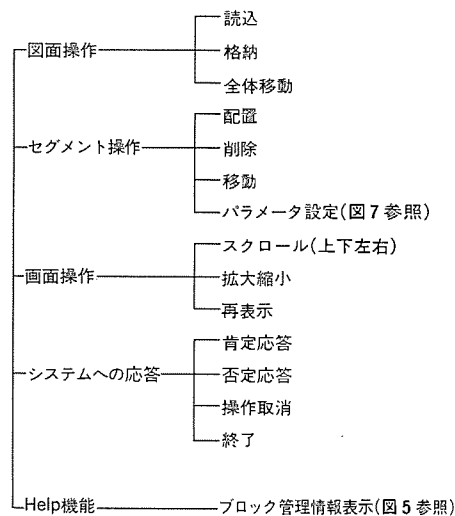


図 4. システム操作メニューの体系

ブロック名: PIDV

入	1 2 3	偏差 プロセス値 自動(=1.0)/手動(=0.0)スイッチ
出	1	出力値
パラメータ	1 2 3 4 5 6	ゲイン 積分時間 (≠0.0) 微分ゲイン 出力上限 出力下限 サンプリング時間 (>0.0)

図 5. ブロック管理情報の表示例

リーズ」の制御機能と一対一の対応を付けることによって、コントローラのプログラム製作段階との関係がよくなるように配慮している。ブロックの一覧表を表 1. に示す。

3. 2 ブロック図の入力・編集

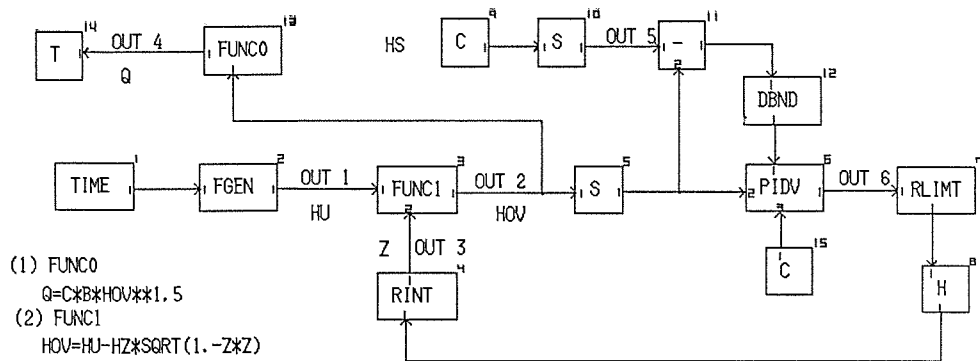
ブロック図の入力・編集操作は、グラフィックディスプレイ画面上に表示されるガイダンスに従って、タブレット上のメニューを選択することによって進められる。メニューは、

(1) システム操作メニュー

(2) セグメント選択メニュー

に大別できる(図 3. 参照, 上段がシステム操作メニュー, 下段がセグメント選択メニュー)。システム操作メニューの体系は、図 4. のとおりである。

1 枚のブロック図面は、ディスプレイ画面 16 枚分の大きさの仮想画面内で作成できる。実際に表示する部分を仮想画面の内を上下左右に移動することができ、また表示倍率を変更して拡大縮小することも可能である。



タブレット上のメニューを選択して下さい。

図 6. ブロック図の表示例

ブロック名: PIDV

	コ メ ン ト	指定	数値/変数名
1	ゲイン	変数	KP
2	積分時間 ($\neq 0.0$)	変数	TI
3	微分ゲイン	変数	TD
4	出力上限	数値	2.00000E-02
5	出力下限	数値	-2.00000E-02
6	サンプリング時間 (>0.0)	数値	10.000

番号入力

--- "0"で承認します。 ---

図 7. パラメータ設定画面の表示例

セグメントには、次の種類が用意されている。

- (1) ブロック (64 種)
- (2) ブロック間接続線
- (3) シミュレーション結果表示指定シンボル
- (4) コメント文字列

ブロック図の例を図 6. に示す。

3.3 シミュレーション機能

入力された各ブロックは自動的に順序付けが行われ、システム内部で表形式に整理される。この表をシミュレーションの開始時刻から終了時刻までの間、指定された時間ステップ

でインタプリティブに順次実行していくことにより、シミュレーションが行われる。ブロックの順序付けは、各ブロックの出力を計算するためにはブロックの入力値がすべて確定している必要があるために行うもので、この順序付け機能によりエンジニアはブロックの入力順序に気を使う必要がなくなる。ブロック図によって構成されるシステムの微分方程式系の数値解法には、4 次の Runge-Kutta-Gill 法を使っている。

制御系を設計している段階で、プロセス側まで含めてシミュレートできるので、コントローラのパラメータ調整もある程度まで可能である。このような目的では、パラメータ値を種々に変更しながらシミュレートして最適値を求めることが行われるが、このシミュレータはこの目的に対応して、次の二つの方法でパラメータ値の設定が可能である。

- (1) ブロック図作成時にパラメータ値を固定する。
- (2) ブロック図作成時はパラメータを変数としておき、シミュレーション時に値を指定する。

双方とも、専用のパラメータ設定画面により、会話的に設定・変更が

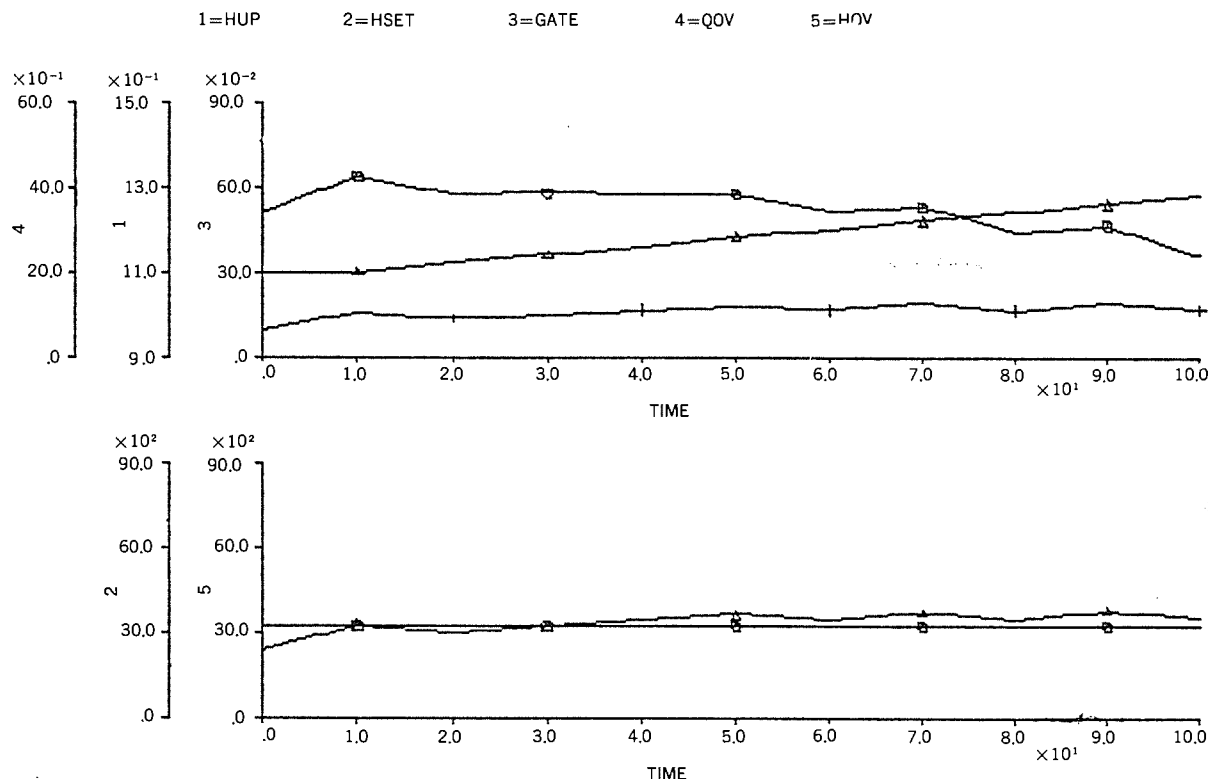


図 8. シミュレーション結果の表示例

可能である(図 7. 参照)。

3. 4 出力機能

シミュレーション結果の時系列データは、一度ファイルに保存され、指定された仕様に依りて随時出力することが可能である。出力仕様の各種パラメータの指定も、設定画面によって操作性良く行うことができる。出力の例を図 8. に示す。

4. システム構成

4. 1 ハードウェア構成

ハードウェア構成を図 9. に示す。当社の 16 ビットパーソナルコンピュータ「MULTI 16 II」の標準的な構成に、A4 サイズのタブレットを付加した身軽な構成となっており、大形計算機や大形グラフィックディスプレイとの接続を必要としないので、エンジニアの身近にあるシステムを使用してシミュレーションをすることができる。

ブロック図の入力・編集作業中は、ほとんどタブレットを使ったメニュー選択とポインティング(ディスプレイ画面上の位置指定)操作のみでシステムとの会話ができるように設計されている。一方、シミュレーション及び出力の段階では、パラメータ値などの入力が多いことを考慮して、ディスプレイ画面に表示されるメニューをキーボードから順次選択していくことによって処理を進めていくようになっている。

4. 2 ソフトウェア構成

全体は大きく分けて次の三つのモジュールから構成されている。

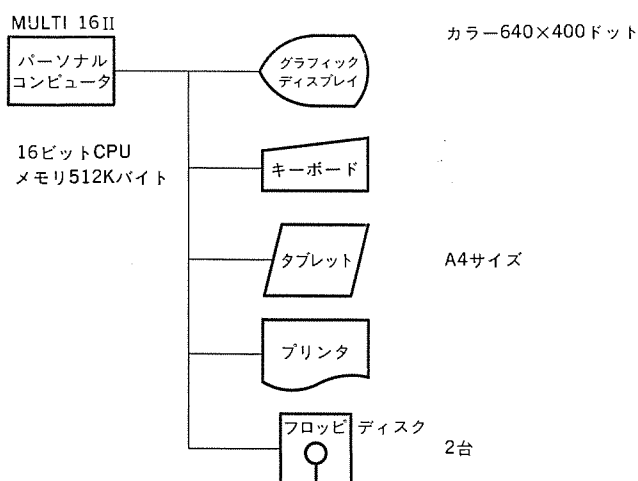


図 9. ハードウェア構成図

- (1) ブロック図入力・編集モジュール
- (2) シミュレーション実行モジュール
- (3) 結果表示モジュール

これらの大部分は FORTRAN 77 で記述されているが、ディスプレイに図形を表示するための部分は、良好な応答性を確保するためにアセンブリ言語で記述されている。シミュレーション実行モジュールは、各ブロックに対応した 60 余りのサブルーチンのライブラリを持っており、ブロック図から変換されたシミュレーション情報に従ってそれらを順次呼び出していく。

更に高度なシミュレーションの必要性があるエンジニアのために、このシミュレータは“SIMPLE-M” (SIMPLE, Modular Version) と呼ばれるオープンエンデッドな構造のシステムも用意している。すなわち、シミュレーション実行モジュールと結果表示モジュールの各サブルーチンは、インタフェースが公開されており、ブロック図に対応するサブルーチンを順次呼び出していく FORTRAN プログラムをエンジニアが作成すれば、ディスプレイを使った会話形操作法は“SIMPLE-G”から引き継いだまま、自由度の高いシミュレーションをすることも可能である。

5. む す び

パーソナルコンピュータによるブロック図のシミュレーションシステム“MICRO SIMPLE”の概要を紹介した。現在はパーソナルコンピュータによる単独システムであるが、制御システムの設計から検証までの全製作過程を支援するツールとして、今後プロセスコントローラと直接接続し、制御アルゴリズムやデータを相互に授受できるように方向へ機能を拡張していく必要がある。また、電子技術の進歩は目覚ましいものがあり、パーソナルコンピュータにおける

- (1) 演算の速度
- (2) 主メモリ、並びにディスクファイルの容量
- (3) ディスプレイの表示機能

などの制約は、急速に解消していくものと思われる。この流れは、スーパーパーソナルコンピュータともいえるエンジニア向けワークステーションにより現在既に実現されつつあり、このシステムもそのような成果を取り入れつつ、機能と操作性の向上を目指していきたい。

参 考 文 献

- (1) 齊藤ほか：日本シミュレーション学会第4回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス講演集、P. 5-8 (昭59)

福島県納め鮫川水系ダム統合管理設備

植高 洋一*・羽子岡 蕃**・沢本義裕**・竹野宏平***・岩根真一***

1. ま え が き

都市の工業化、人口の過密化により、工業用水や上水道の水資源としてダムの重要性は、年々増大する傾向にある。また洪水調節としての防災面からも、ダムの運用の高度化に対する要求は著しく、ダム諸量処理装置やダム放流設備制御装置などのダム管理設備が導入される事例が増えつつある。

福島県では、洪水調節と工業用水・上水道用水の確保を目的として、昭和37年に高柴ダム、昭和58年に四時ダムを完成しているが、両ダムの最適利水配分・流出計算などの統合管理を目的として、鮫川水系ダム管理事務所を設立し、統合管理設備の導入、稼働を開始したので、その内容について紹介する。

2. システムの概念

2.1 背景

鮫川は福島県浜通り南部を流れる当地域最大の2級河川である。昭和16年7月に関東、東北部地方にかけて、みぞうの災害に見舞われ、同水系でも死者10名、行方不明5名、家屋倒壊175戸、堤防の決壊箇所48に及ぶ大災害を被った。さらに、戦後地域開発が目ざましい勿来地区に災害が続発したため、鮫川総合開発事業の一環として、鮫川本川に洪水調節と工業用水・上水道用水の確保を目的とした高柴ダムが、昭和37年に完成した。

また、昭和39年には重工業地帯として、発展途上にある当地区を中心に、新産業都市の指定を受け、これに伴って進出企業の急増、市街地の発展が進行した。このため洪水調節・工業用水・上水道用水の供給をする新たなダム建設が地元民から強く要望されるところとなり、高柴ダムに次いで四時ダムが昭和58年に完成した。鮫川水系に高柴ダム、四時ダムと、二つの多目的ダムが完成したことにより、

洪水時：両ダムの放流タイミングの監視・指示

渇水時：利水放流量の最適配分

を行う必要性が新たに生ずることになった。

四時川は高柴ダム下流の沼部地区で本川に合流しているため、洪水調節においては、洪水の立上り、ピーク流量に合わせて、合流点以下の流量が滑らかに変化するように放流開始の段階から調整する必要がある。そのためには、各ダムの流量変化・制御推移を監視して、十分な状況判断を行うことが大切である(図1.、図2.)。

一方、各種利水は、四時ダムが完成することで、日量146,500 m³を新たに確保する必要がある(図3.)。特に渇水時では、上流からの流量が激減するため、高柴ダム320万 m³、四時ダム370万 m³の利水容量を調節して供給しなければならない。したがって、各ダムの流入量、利水容量を十分把握し、最適配分量を算出して利水放流量の制御を行う必要がある。

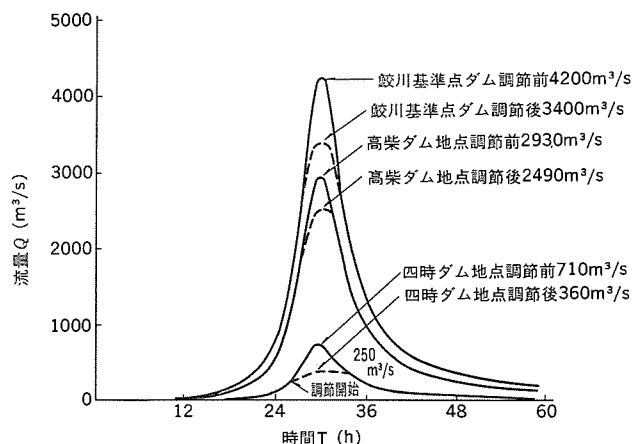


図1. 洪水調節図

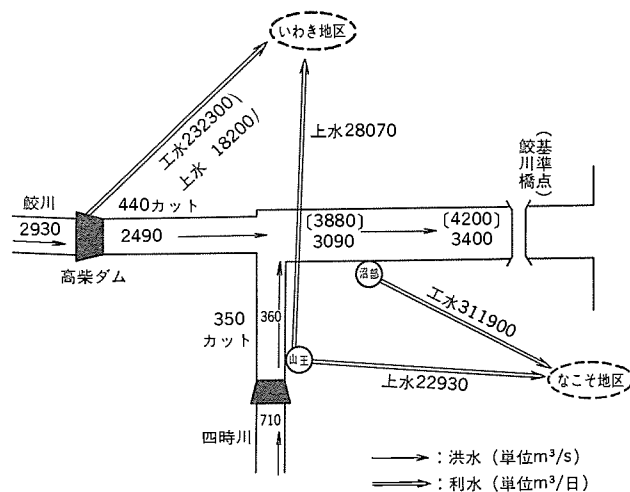


図2. 計画洪水流量配分図

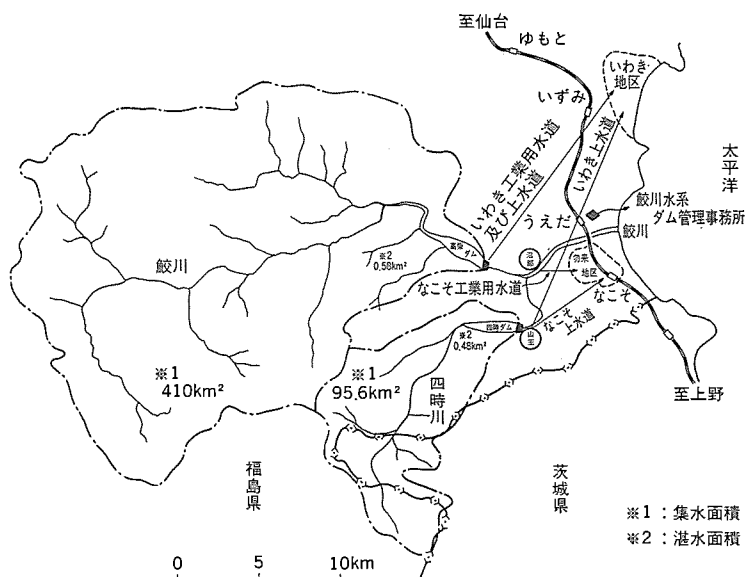


図3. 流域概況図

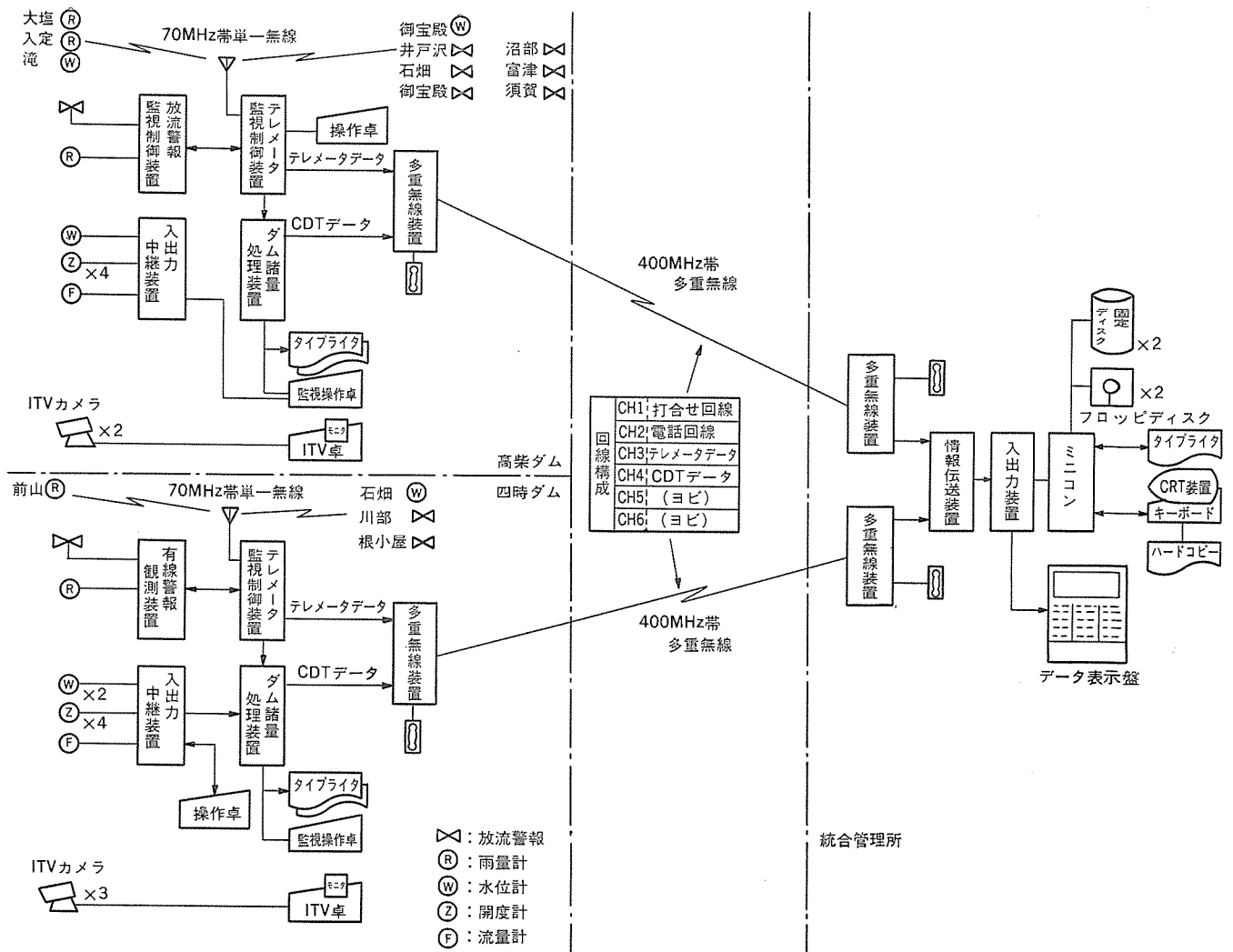


図 4. 鮫川水系 ダム 統合管理 システム 構成図

表 1. システム 構成機器主要諸元

装置	諸元
多重無線装置	形名: 三菱 ME-04 D063 X 多重・変調方式: SS-PM 方式 通話回路数: 6 ch 空中線電力: 10 W
情報伝送装置	C D T 受信部: 伝送速度 1,200 b/s, チャンネル数 2 ch テレメータ受信部: 伝送速度 25 b/s, 50 b/s, チャンネル数 各 1 ch 試験部: データ表示機能, 設定機能
入出力装置	形名: MELFLEX I/O C D T・テレメータ入力部: ワードシリアル・ビットパラレル 4 方路 スイッチ入力部: 32 点 装置異常入力部: 32 点 ラング出力部: 144 点 デジタル表示出力部: ワードシリアル・ビットパラレル 1 方路 メンテナンス部: データ表示・設定機能, 定数設定機能, メモリ表示機能 時計部: 月・日・時・分・秒出力 (月差 30 秒)
中央処理装置	C P U 部: MELCOM 70/30 C (主記憶容量 512 KB) システム監視部: CPU 各種警報表示, フロッピディスク起動入力 固定ディスク部: 38 MB×2 フロッピディスク部: 8 インチ×2 その他: CRT 装置接続部, 入出力タイプライタ接続部, 入出力装置接続部
データ	寸法 (mm): 2,250 (H)×1,600 (W)×600 (D) デジタル表示: 25 量 (時刻表示, 転送データ表示, 演算データ表

装置	諸元
データ表示盤	ラソの表示: 123 点 (ダム状態表示, システム状態表示) 他: 引き出し形試験部
C R T 装置	形名: MELCOM M 2393 画面サイズ: 20 インチ 表示文字数: 4,800 文字 色の数: 8 色 他: 漢字表示機能, グラフィック機能, ライトペン入力機能
ハードコピー装置	方式: 感光式 ビーム時間: 約 18 秒 用紙サイズ (cm): 21.6×27.9
入出力タイプライタ	形名: MELCOM M 4210 印字方式: 活字インパクト式 印字速度: 80 字/秒 印字種類: 128 文字
無停電電源装置	方式: サイリスタ切換無瞬断方式 出力電圧精度: ±2% 以内 出力周波数精度: ±2% 以内 容量: 7.5 kVA
自家発電装置	出力: 力: 三相 3 線式 200 V (20 kVA) 燃料タンク容量: 20 l

鮫川ダム統合管理システムは、このような背景から生まれたもので、高柴・四時両ダムから情報入力して、上記の機能を果たすことを目的としている。

2.2 システム構成

このシステムの構成は、図 4. に示すとおりで、高柴・四時ダム（以下、各ダムと呼ぶ）には、建設省標準仕様に準拠したテレメータ放流



図 5. ダム統合管理設備

警報装置、ダム諸量処理装置などがダム完成時に設置されており、今回綾川水系ダム管理事務所（以下、統管と呼ぶ）にミニコン《ME LCOM 70/30 C》を主体とした統合管理システムを構築した（図5、表1.）。

3. システムの特長

3.1 システム構成上の特長

(1) 分散形システム構成

このシステムでは、“放流設備の操作はダム側で行う”ことを基本としており、処理の内容をこの基本条件に合わせて、

一次処理（ダムごとの諸量演算と記録など）：各ダム

二次処理（統管管理に関する演算と記録など）：統管

と分散させている（各処理用計算機は無停電電源装置で、無瞬断無停電化されている）。

この方式の採用により、システムの信頼性が高まると同時に、洪水時など操作制御の頻度が高まるときに、各々の作業に専念することができる。

(2) 400 MHz 帯 SS-PM 多重無線

分散形システムの場合、重要なことは、分散された拠点間の情報交換が密に行われているか否かである。そのためこのシステムでは、400 MHz 帯 SS-PM 多重無線を用いた専用伝送路を各ダムと統管との間に各々設けている（チャンネル構成は図4. 参照）。

この伝送路は全二重回線であり、相互にデータ伝送・通話が同時にできるため、すべて統管からの指示でシステムを運用することが可能であり、更に将来、遠隔からの操作・制御が追加できるように考慮されている。

(3) 伝送速度

伝送方式は、建設省標準の CDT 方式を採用しているが、2.1 節でも述べたように、統管では各ダムの状況を正確に把握する必要があるため、各ダムで演算された一次処理データに限らず、放流設備の開度や状態、警報装置の制御結果など各ダムで監視している情報をすべて統管へ転送している。そのため情報量が多くなるので、1,200 b/s（ビット/秒）の伝送速度を採用している。

(4) メモリの二重化

生データ（テレメータで収集しているデータ、放流設備などの状態データ）と処理データ（ダム諸量データ）は、2か月分（一部集計処理を行っている）固定ディスク装置へ格納して、バックアップ及び過去データの表示を可能としている。更に固定ディスク装置を二重化して、相互バックアップを行い信頼性を上げている。

なお、過去の洪水データは、フロッピーディスク装置を用いて入出力を可能としており、この処理もフロッピーディスク装置を2ドライブ用意してデータ入出力の操作を簡易化している。

3.2 システム機能上の特長

(1) テレメータデータによるバックアップ

このシステムは分散処理方式を採用しているため、各ダムのダム諸量処理装置が故障した時は、統管では一次処理データを受信できなくなり、機能が減少するおそれがある。そのため、このシステムでは CDT データのほかに、各ダムでダム諸量処理装置に入力しているテレメータデータ（ダム水位を含む）をも統管へ転送して、一次処理の代行ができるよう考慮している。

(2) 河川水位一流量換算

各ダムから送られてくる当該地区の河川水位から河川流量の算出を行っている。この計算に用いられる定数は、CRT 装置上で任意に変更が可能である。

(3) 流域平均雨量の算出

統管では、流域をダムごとにとらえた流域平均雨量の算出ばかりでなく、全流域を一つにとらえてティーン分割を行った全流域平均雨量を算出する処理を行っている。

(4) 流出計算（洪水時の出水予測）

洪水の立上り及びピーク流量を事前に把握するため、過去の洪水データを用いて、貯留関数法により時間雨量から流出量を推定する機能を持っている。この機能は、CRT 装置を用いて対話形式で行えるものである（図6. 参照）。

(5) 流量配分（渇水時の利水配分）

四時ダムの完成によって、いわき、勿来両地区への上水道用水日量 34,200 m³、勿来地区への工業用水日量 112,300 m³ を新たに確保しなければならない。特に勿来地区工業用水は、四時川合流点以下の沼部ポンプ場から取水しているため、渇水時においても、各ダムの状況に合わせてこの取水量を不足させないようダム放流量の制御を

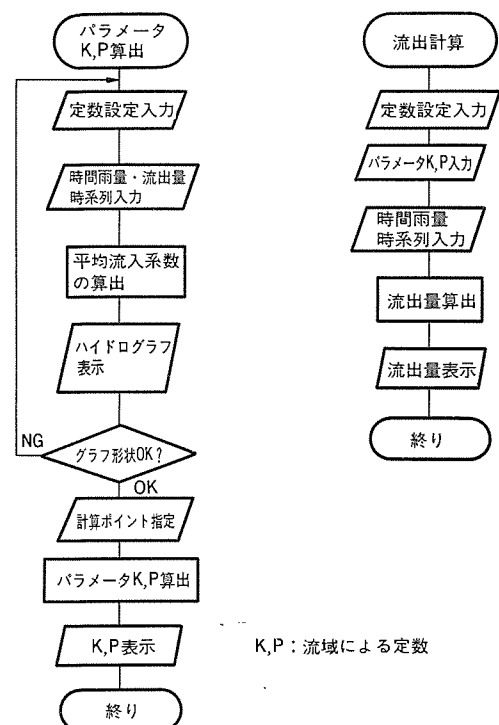


図 6. 流出計算フロー

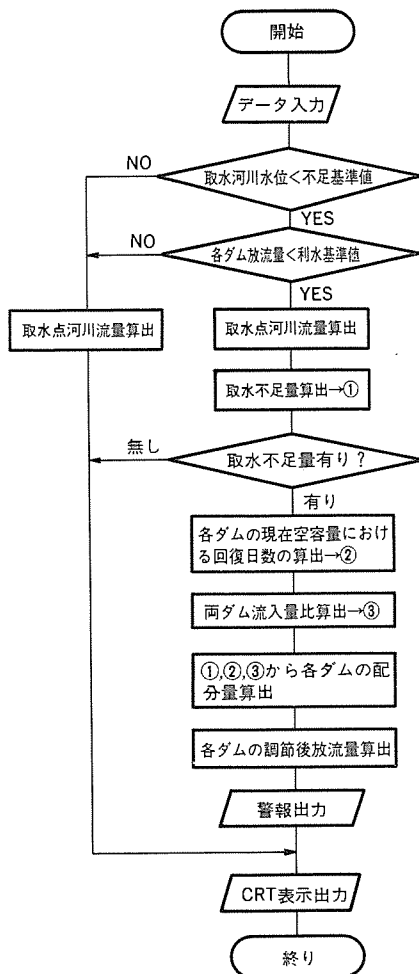


図 7. 利水配分計算 フロー

する必要がある。

そこで、各ダムの流入量と貯水容量の比率から、沼部ポンプ場での不足分を各ダムに最適配分させて、放流量を算出する機能を持たせている。この機能では、利水の不足分を常時監視し、不足量発生時には警報を出力して各ダムへの放流指示を促すシステムとなっている(図 7. 参照)。

4. システムの機能

4.1 データフロー

図 8. に中央処理装置のデータフローを示す。

(1) データ入力処理

高柴・四時両ダムから CDT 転送されるデータは、入力データファイル上で逐次更新される。また正時に CDT 転送データが欠測した場合は、3.2 節で述べたように CDT 転送データに換わりテレメータデータを入力データファイルに入力する。

(2) データ格納処理

各ダムからの正時でのデータは、正時データテーブル(主メモリ上)及び月データファイル(固定ディスク上)に格納される。ただし、固定ディスク装置に格納できる正時データエリアは、2か月分(今月及び先月分)用意しているため、データの長期保存が必要となきには、入出力タイプライタに出力される格納要求のメッセージに従い、毎月1回、手動により先月分データのフロッピーディスクシートへの格納操作を行う。

(3) データ演算処理

入力データファイル上のデータと設定した各上限値との比較処理や河川

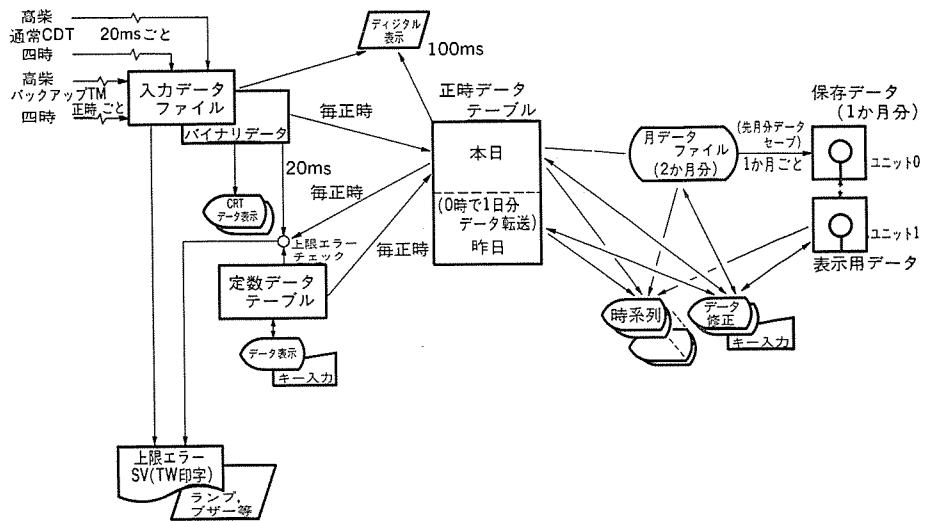


図 8. データフロー

表 2. CRT 画面一覧

画面名称	内 容
画 面 案 内	各画面の一覧表。表示時刻の任意設定は本画面で行う。
定 数 一 覧 表	各種演算用定数、警報値を設定、表示する。(2枚構成)
デ ー タ 確 認	ダム諸量表の欠測データなどの修正を行う。(2枚構成)
雨 量 表	24時間分の各雨量を表形式で表示する。
雨 量 グ ラ フ	48時間分の各雨量を棒グラフで、累積雨量をトレンドグラフで表示する。(2枚構成)
水 位・流 量 表	24時間分の各河川水位及び流量を表形式で表示する。
水位・流量グラフ	48時間分の各河川水位及び流量をトレンドグラフで表示する。
ダ ム 諸 量 表	24時間分の各ダムのダム諸量を表形式で表示する。(2枚構成)
ダム諸量グラフ	48時間分の各ダムのダム諸量をトレンドグラフ、棒グラフを用いて表示する。(2枚構成)
ダ ム 状 況 図	現時点の各ダムのダム諸量をダム模式図、表を用いて表示する。(2枚構成)
流 域 概 況 図	各雨量・河川流量を中心としたデータを流域模式図上に表示する。(2枚構成)
利 水 配 分 図	渇水時の両ダムへの放流配分を中心とした各データを流域模式図上に表示する。
流 出 計 算	貯留関数法を用い流出量を算出表示する。定数算出用表、流出量表、貯留量グラフ各1枚

水位・流量換算のほか、正時データにより3.2節で述べた流域平均雨量、渇水時の各ダムの流量配分の算出や流出計算処理を行う。

(4) データ出力処理

データ表示盤には、逐次更新される入力データファイルから直接出力される。また CRT 装置には入力データファイルからのほか、必要により正時データテーブル、月データファイル及びフロッピーディスクシートからデータが出力される。

4.2 アナウンスメント印字

入出力タイプライタを用いてソフトウェアの保守のほか、以下に示すような統合管理システムとしての各種アナウンスメントの印字出力を行っている。

(1) CPU スタート・ストップ 時刻

(2) 装置異常が発生した場合、その発生時刻と内容

(3) データごとに設定した上限値の発生時、その発生時刻と内容

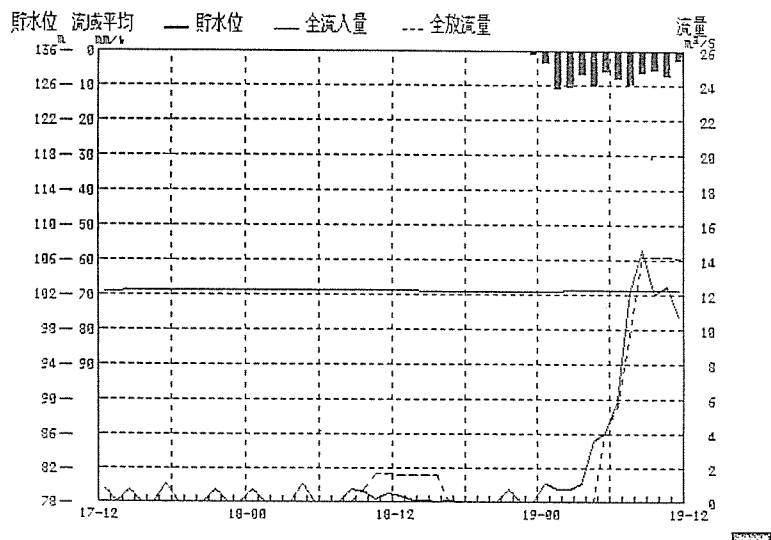


図 9. CRT 画面例 (1)

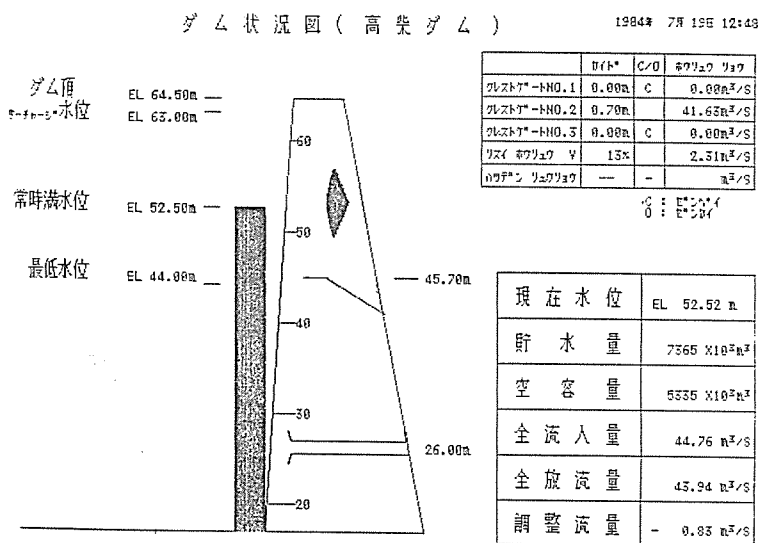


图 10. CRT 画面例 (2)

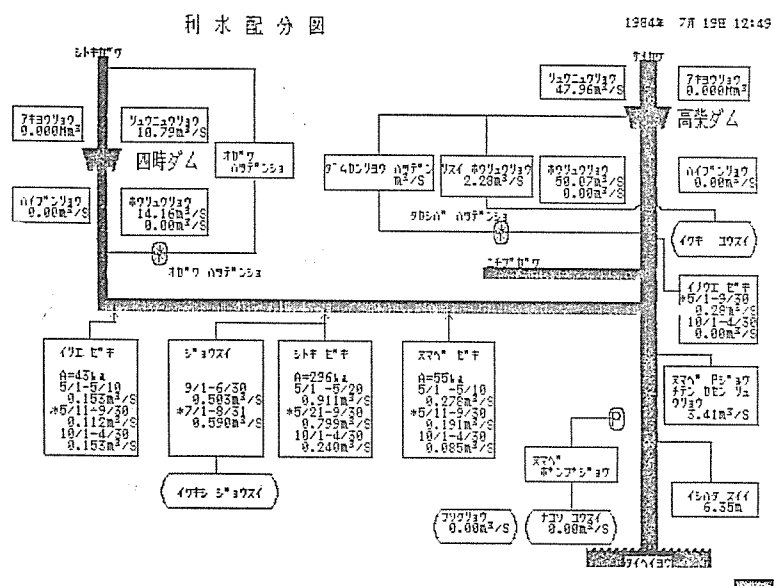


图 11. CRT 画面例 (3)

- (4) 放流警報制御時，その時刻と内容
- (5) ゲート・バルブ 操作終了時，その時刻と操作内容及び最終開度
- (6) 利水配分計算結果
- (7) フロッピディスクシート への先月分 データ 格納 メッセージ (格納操作が行われるまで毎朝 1 回出力)

4.3 CRT 表示

20 インチカラー CRT 装置により、ダム 諸量、雨量の表示のほか前述したように利水配分計算結果及び流出計算結果の表示をそれぞれに適した形で表示出力している。また、トレンドグラフやデータ表のように時系列的にデータを表示する画面では、時刻の設定入力あるいはソフトキーの操作により、任意の時点にさかのぼって表示することができる。表 2. に画面一覧表を、図 9., 図 10., 図 11. に CRT 画面例を示す。

5. む す び

複数のダムに対する統合管理の一例として、鮫川水系ダム統合管理設備について紹介した。今後、利水の高度運用への要求あるいは防災管理面から、ダムの統合管理に対する必要性は、増大の一途をたどるものと考えられる。この工事の完成にあたり御指導、御協力をいただいた福島県土木部殿をはじめとする関係各位に深く感謝するしだいである。

三菱ビル遠隔監視システム《メルセントリー-U》

中谷 譲*・徳井一雄**・杉山鉄男**・豊田一雄***・宮田敏夫+

1. ま え が き

中小ビル、マンションにおける管理の省力化向けに昭和58年発売した三菱ビル遠隔監視システム《メルセントリー》は、社会のニーズに適合して好評を得ている。今度このシリーズの第2弾として中規模ビル向けに、三菱ビル遠隔監視システム《メルセントリー-U》を開発した。《メルセントリー-U》は、《メルセントリー》で行っている監視サービス体制（設備関連は菱電サービス(株)、防犯・防災は総合警備保障(株)）と中規模ビル向けに多様な計測・制御機能を持つコンピュータコントロールの中央監視装置を組み合わせたシステムである。

《メルセントリー-U》では、三菱電機(株)と総合警備保障(株)との提携により、従来では分離されていた設備監視と警備監視の一体化が可

能となり、設備投資の削減や監視室スペースの減少、更には設備と警備を連動することによる照明などのエネルギー管理の容易性など種々のメリットを出せるようになった。

2. 開発の意図と特長

《メルセントリー-U》の開発で、ビル管理・運営の時代の流れを先取りして、最新のシステムと最高のサービスを提供することを基本的コンセプトとした。すなわち、

- (1) 単にビル機能を向上するのみでなく、徹底的に合理化を目指し、可能な限り無人化による管理方式を追求する。
- (2) 高度情報化社会の中でのビル管理システムを追求し、通信システムの利用を最大限考慮する。

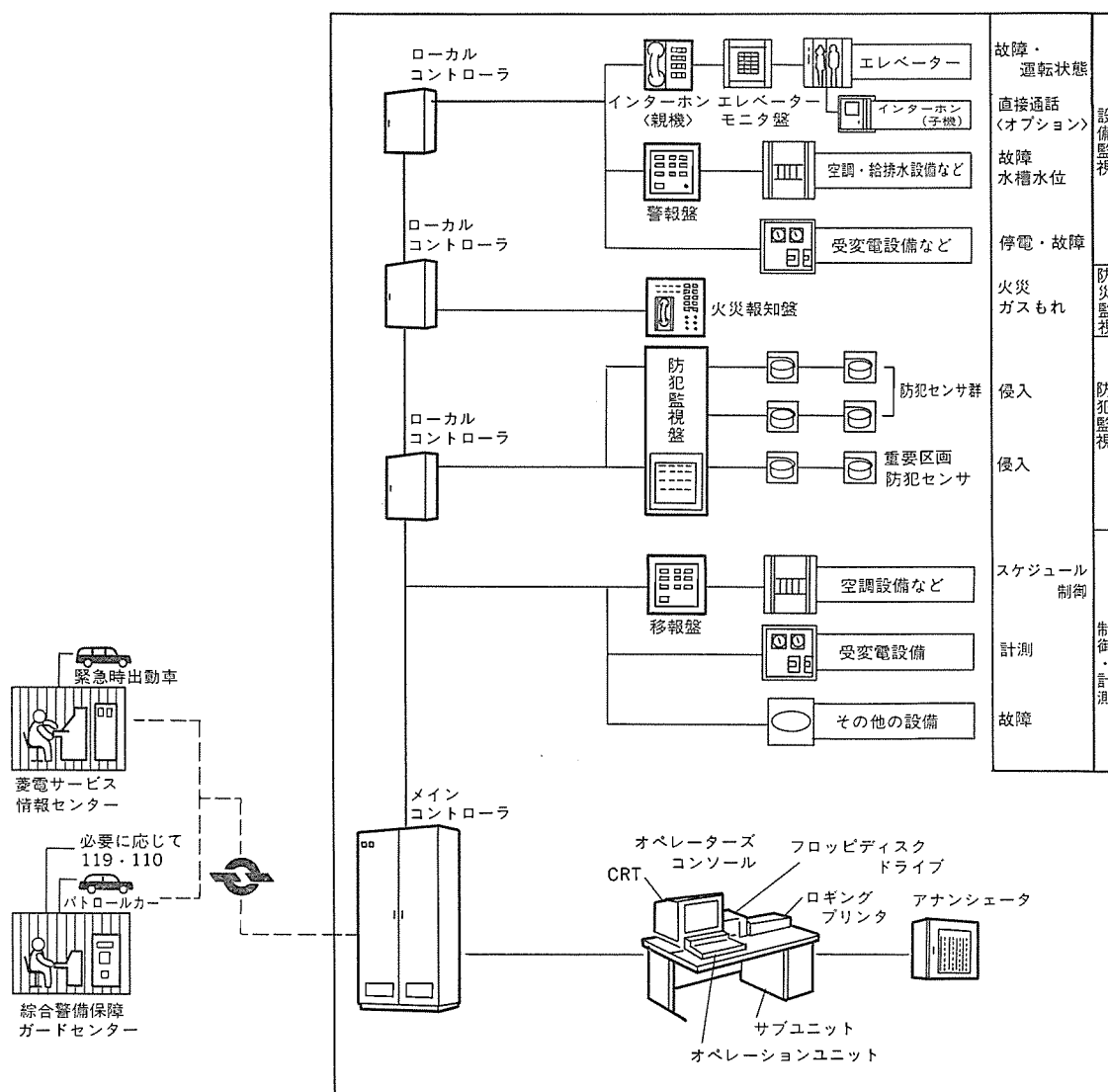


図1. 《メルセントリー-U》モデル400システム構成図

* 三菱電機(株)本社 ** 同稲沢製作所
*** 総合警備保障(株) + 菱電サービス(株)

(3) 単調作業、夜間作業を機械化し、集中化することによりヒューマン性の追求をするとともに、テナントへのサービス向上を目指している。

次に《メルセントリー-U》の特長を、システムと機器に分けて述べる。

2.1 システムの特長

(1) ビル内設備とセキュリティを総合したビル管理システムであるため、別々に導入した場合と比べ設備投資の低減が図れる。また、設備を連動した空調などのテナント別管理を行うことにより、きめの細かい管理を目指すことができる。

(2) バックアップサービス(設備関連を菱電サービス(株)、防犯・防災関連を総合警備保障(株))を持つことにより、有人・無人管理併用が可能となり、管理人の省力化が推進できる。

(3) このシステムは、ビル内設備及びセキュリティの監視・制御・計測を行うものであるが、これに加えて設備メンテナンス、清掃、受付業務などのビル竣工後のビル管理等についても一括引き受けができる。これにより、顧客の管理業務の合理化に役立つことができる。

2.2 機器の特長

(1) 《メルセントリー-U》にはコストパフォーマンスを追求したモデル200と、CRTを採用して有人管理用に表示機能を向上したモデル400の2機種がある。モデル200を設置後、モデル400に拡張することも可能である。

(2) パソコンとの接続が可能のように、標準インタフェースを装備しているので、パソコンとの組合せにより任意の帳票や伝票を作成できる。

(3) 電話回線を利用した通信機能を標準装備しているので、いつでも菱電サービス(株)、総合警備保障(株)のバックアップサービスが受けられる。

(4) 遠隔監視のみを行うシステムから、省エネルギー制御も一括して行うシステムまで準備している。

3. システムの構成

《メルセントリー-U》モデル400のシステム構成を図1に示す。遠隔監視情報は電話回線を通じて、設備関係は菱電サービス(株)情報センターに、防犯・防災関係は総合警備保障(株)ガードセンターに伝送される。構成で、オペレーターズコンソール部のCRT、フロッピーディスクドライブ、サブユニットを除去するとモデル200になる。

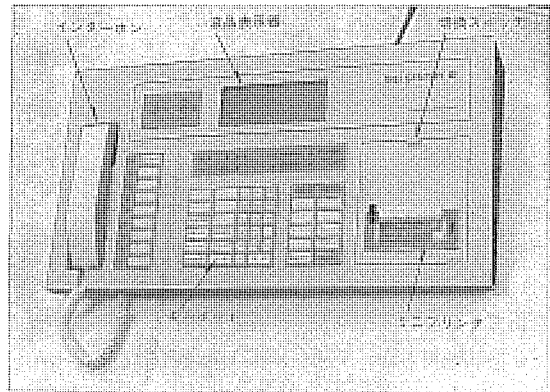
以下に主要機器(図2、表1.)について説明する。

(1) メインコントローラ

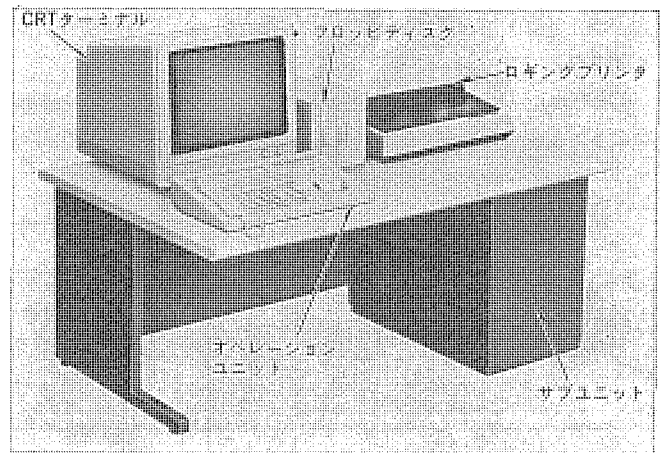
このシステムの中心機器であり、メインプロセッサに16ビットCPU、周辺制御プロセッサに8ビットCPU、さらに電話回線との通信プロセッサに8ビットCPUと合計3個のマルチCPUで構成し、エレベーター、受電設備など各種設備の異常・故障検出、防犯・防災用センサの状態検出、受電電力量などの計測・空調設備等の制御機能をもつと共に、異常・故障情報を一般加入電話回線を通じて、自動的に各監視センターに通報する。

(2) オペレーションユニット

メインプロセッサに8ビットCPUを用い、テンキー、ファンクションキー、液晶表



(a) オペレーションユニット



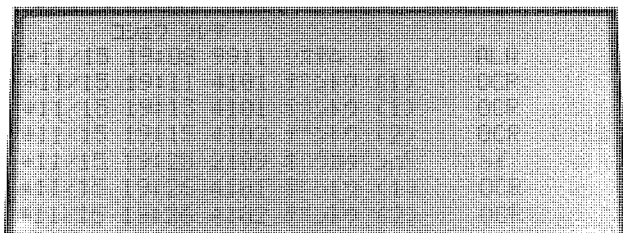
(b) オペレーターズコンソール

図2. 《メルセントリー-U》の主要機器

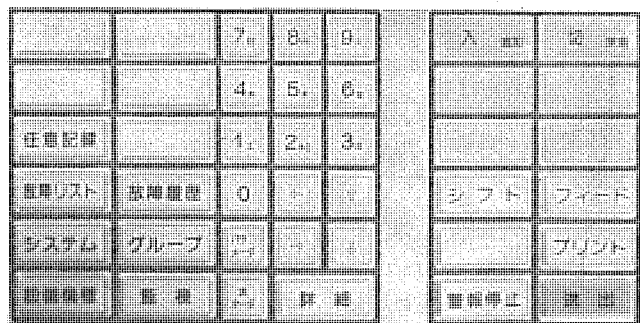
表1. 主要機器の仕様

装置名	仕様	電源	外形
メインコントローラ	(1) CPU部	AC 100 V 50/60 Hz 500 VA	W : 1,000 H : 1,950 D : 550
	(2) 通信回線		
	(3) PIOカード		
	(4) PIOカード		
	カード名		
	仕 様		
	カード当りの入出力点数		
	DI		
	PI		
	DO		
オペレーションユニット	AI	AC 100 V 50/60 Hz 25 VA	W : 625 H : 340 D : 40~115 (傾斜形)
	AO		
	(5) 停電補償		
	メモリ		
	動作		
	(1) CPU部		
	(2) 液晶表示器		
	(3) ミニプリンタ		
	(4) キーボード		
	(5) インターホン		

示器、集約表示灯、警報ブザー、ミニプリンタ、インターホンで構成し、特に習熟した知識がなくとも操作しやすいようにした。キー操作により、設備稼働状態、故障履歴の液晶表示器での確認、スケジュール

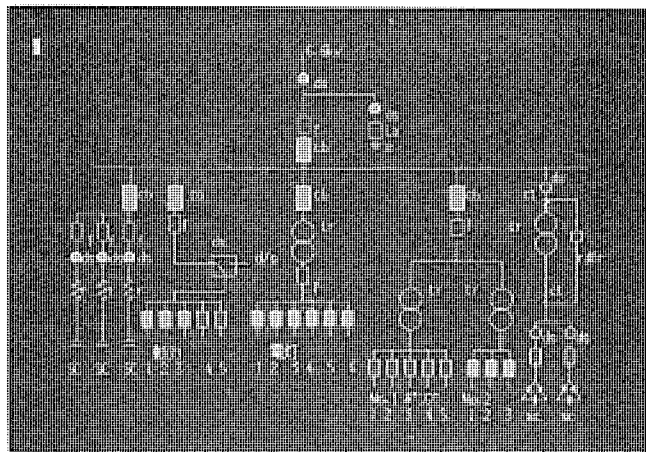


(a) 液晶表示部

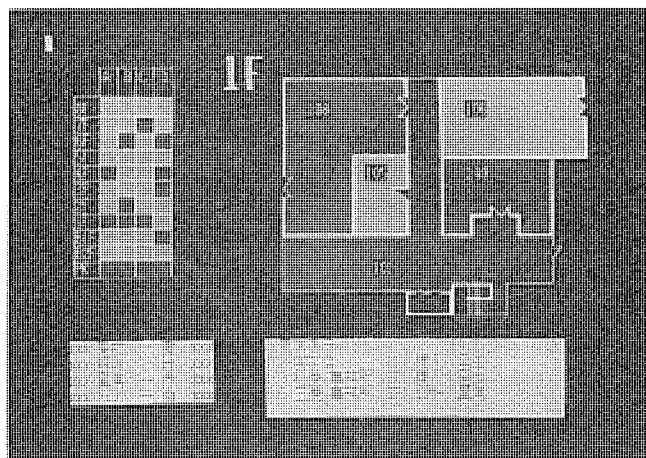


(b) キーボード

図 3. オペレーションユニット



(a) 受変電系統図



(b) 防犯系統図

図 4. CRT 画面例

の変更などが可能で、ミニプリンタに記録させることもできる。さらに、異常を常時監視しやすいように、6個の集約表示灯を設けた。また、インターホンによりエレベーターのかご内との通話ができる。図 3. にキー部分と液晶表示器の表示例を示す。

(3) ローカルコントローラ

8ビットCPU、メインコントローラとの通信インタフェース及び各設備、センサとのインタフェースによって構成している。メインコントローラでは、約250点の入出力点数が可能であるが、それ以上の入出力点数が必要な場合、又は多数のケーブルを集中して布設することが費用的に困難な場合などに分散して設置する。

(4) オペレータズコンソール

CRT、フロッピーディスクと、それらを制御するサブユニット及びオペレーションユニットを専用デスクに一体形に組み込んでおり、CRTへのグラフィック表示により、ビル内状況をより詳細に素早く把握することができる。モデル400は標準装備で、図4.にそのCRTの画面例を示す。

(5) アナウンスエータ

重要な監視項目を常時表示するためのランプパネルで、ランプの個数が32個のものと、64個の2種類がある。

4. システムの機能

《メルセントリー-U》は、ビル内設備機器、防犯・防災機器の故障、異常の遠隔監視機能に加えて、制御・計測といったビル内での管理機能を拡大、強化したものである。

以下に《メルセントリー-U》の主な機能について説明する。

(1) 一般設備の監視

エレベーターを始めとする受電設備、給排水設備などの故障、異常を監視し、異常を検出した場合は、オペレーションユニットの液晶表示器に表示し、ミニプリンタに自動記録するとともに、あらかじめ設定してある緊急異常の場合は、電話回線を通じて菱電サービス(株)情報センターに自動通報する。

(2) 防犯・防災

(a) ビルの出入口や重要場所に、侵入検知センサを設け、侵入を検知した場合。

(b) 火災と消火設備の異常接点を取り入れ、その異常接点が動作した場合。

ミニプリンタに自動記録するとともに、総合警備保障(株)ガードセンターに自動通報する。図5.に故障異常入力発生時の動作フローを示す。

(3) 保守ガイダンス

オペレーションユニットに専用のファンクションキーを設け、現在の故障リスト、過去の一定期間内に発生した異常・故障の故障履歴をワンタッチで読み出すことにより、故障時、保守時の対応をやりやすくした。

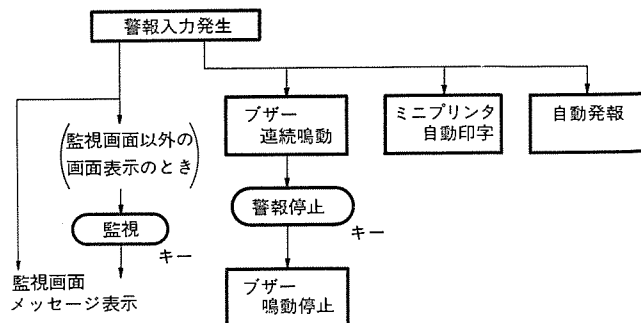


図 5. 警報発生時の処理フロー

(4) スケジュール 制御

空調、照明などをタイムスケジュールによって自動起動・停止させる。同じスケジュールで稼働開始・停止する設備については、一つのグループにまとめて設定することができる。最大設定グループ数は、モデル200で8グループ、モデル400で16グループである。曜日、特定日、休日、年間のスケジュールが設定可能であり、ビルの特休日や特殊出勤日などに合わせて、オペレーションユニットのキー操作により任意に設定ができる。

(5) 上下限監視・デマンド監視

(a) 温度や電圧、電流などの上下限値をあらかじめ設定しておき、計測値が設定値を外れた場合。

(b) 最大需要電力量が契約電力を超過しないように単位時間の使用電力量を計測し、規定値以下になるように監視し（デマンド監視）規定値を超えた場合。

オペレーションユニットに警報を出し、ミニプリンタに自動記録する。

(6) シーケンス 制御

オプションとして空調、共通部照明などいろいろなシーケンス制御機能をもっている。例えば複数テナントのビルにおいて、全テナントが警戒状態になった場合、共通部照明を自動的に切る。その後に、1テナントでも警戒を解除すると、自動的に照明を点灯させる。などのシーケンス制御ができる。

(7) 出入口 シャッタの遠隔開閉

オペレーションユニットのキー操作により、設備の遠隔操作ができる。例えば、出入口のシャッタ付近を、ビル管理室からITVによって監視し、安全を確認の上、管理人室から遠隔でシャッタを開閉する。

(8) 室調の外気取入れ制御

室内のCO₂濃度を計測し、許容値よりも大きければ、外気を取入れ量を多くし、小さければ少なくし、外気を取入れ量を必要最小限に抑えることにより、省エネルギーを図り最適な空調を行う。

5. 管理・監視サービス

管理・監視サービスは、メンテナンス専門会社の菱電サービス(株)と警備会社の総合警備保障(株)の2社による全国的なサービス網と、技術力・機動力・豊富な経験を活用する。この2社のサービス体制を活用することにより、監視サービス、設備メンテナンス及び常駐警備業務の対応が可能となった。これらのサービス体制と《メルセントリー-U》とのコンビネーションにより、より確実なビル管理体制が整い省力化が可能となる。

(1) 監視 サービス

監視サービスは、エレベーター、空調・冷凍設備、給排水設備、及び受変電設備などビル設備の遠隔監視から異常発生時の出動・処置までの設備監視業務と、ビルの異常侵入、火災及びガス漏れなどの遠隔監視から異常発生時の出動・処置までの警備監視業務にわかれる。設備監視業務は菱電サービス(株)が、警備監視業務は総合警備保障(株)が、それぞれ専門の分野を担当する。この業務内容を表2.に示す。

(2) 設備 メンテナンス

設備メンテナンスは、昇降機設備、空調・冷凍設備をはじめ、給排水設備、受変電設備、防災設備などに至るビル設備全般の保守・点検、

表 2. 監視 サービス 業務

項目	設備監視業務	警備監視業務
監視	・監視センター（菱電サービス(株)情報センター）でビル設備の異常を24時間監視する。	・監視センター（総合警備保障(株)ガードセンター）でビルの異常侵入・火災などの異常を24時間監視する。
出動指示	・異常を受信すると、最寄の事業所、ビル所在地、過去の故障経歴をディスプレイして、迅速な出動指示と適切な作業指示を行う。	・異常を受信すると、現地近辺に待機するパトロールカーに出動指示と作業指示を行う。
出動	・エレベーターのかん詰め故障発生時、かご内の乗客との通話対応をする。	
処置	・最寄の事業所に待機する出動要員は、監視センターからの指示により現場に急行する。	・パトロールカーに待機する出動要員は、監視センターからの指示により現場に急行する。
システム点検	・現地に到着した出動要員は、異常の確認をするとともに、応急処置を行い事態の拡大防止にあたる。	
	・異常の内容により、顧客の定めた緊急連絡者へ異常内容を連絡するとともに、必要に応じ関係機関(110番、119番)へ通報し緊急出動を要請する。	
	・定期的に技術者を派遣し、システム及び各機器の機能及び動作点検を行う。	

法定検査、故障修理、改修工事などを菱電サービス(株)が中心に担当する。それら設備メンテナンスは、豊富な経験と優秀な技術力を持つ技術者が対応するとともに、コンピュータシステムを導入して、ビル仕様や故障経歴などを総合管理し、保守作業の効率化や品質の向上に努めている。監視サービスとの一体化により、ビル設備の管理・安全確保がより一層充実する。

(3) 常駐警備

常駐警備は総合警備保障(株)が担当し、日ごろから訓練された実務経験豊富なガードマンが対応する。常駐警備はガードマンをビルに常駐勤務させ、各種警報表示盤の監視、ビル内巡回による火気不始末の点検や施錠の点検などによる火災・盗難防止及び異常事態発生時の関係機関への通報・連絡などの業務を行い、警備対象内の財産・人命の保護にあたる。《メルセントリー-U》との一体化により、警備をより一層確実にする。

(4) その他

上記、監視サービス、設備メンテナンス及び常駐警備に加え、下記業務も要求に応じて行える体制にある。

- (a) 空気環境測定、清掃及び害虫など防除業務などの環境衛生業務
- (b) 設備常駐管理業務
- (c) 各種設備計画コンサルティング業務

6. む す び

以上、三菱ビル遠隔監視システム《メルセントリー-U》の概要について紹介した。ビル機能の複雑化によってビル管理システムは、小形ビルといえども必要となり、その内容はビル運營業務の情報処理と一体化を余儀なくされてゆくであろう。《メルセントリー-U》が設備管理とセキュリティシステムを統合化したシステムとして、上記の方向を目指したものであるが、今後更にビル管理業務の合理化に向けて種々の開発を進めて行く所存である。

車いす乗用ステップ付きエスカレーター

石田松彦*・中山正明*・治田康雅*・井上証策**

1. ま え が き

福祉施設の充実が推進される社会動向を背景に、当社では長年培ってきたエスカレーター製作技術とエレベーター制御を応用して、車いす乗用ステップ付きエスカレーターを開発し、昭和60年に(株)小田急百貨店(新宿西口デッキ)、日土地伏見名古屋ビル(地下鉄連絡道)、横浜市交通局(高速1、3号線駅)に納入する。

ここに車いす乗用ステップ付きエスカレーター(以下、車いすエスカレーターと称す)の概要を紹介する。

2. 仕 様

車いすエスカレーターの外観を図1、設置図を図2、基本仕様を表1。

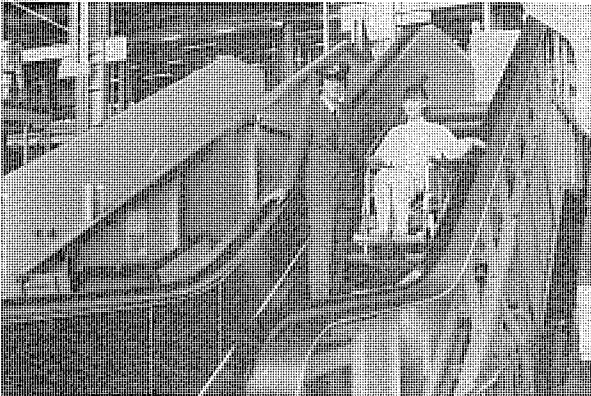


図1. 車いす乗用ステップ付きエスカレーターの外観

に記載した。なお、標準エスカレーターと同一の仕様は記載を省略した。

表1. 主な仕様と設置上の注意事項

形 名	1200 形エスカレーター	
傾 斜 角	30°	
欄 干	内 側 板	鉛直平面不透明パネル
	有 効 幅	1,150 mm
ステップ	標 準 幅×奥 行	1,004×408 mm
	車いす乗用幅	761 mm 車いす乗用特殊ステップ 1 セット(3 段)の組み込みあり
	速 度	通常運転時 30 m/min, 車いす用運転時 15 m/min
	人 数	通常運転時 9,000 人/時, 車いす用運転時 10 人/時(平均)
輸送能力	車いす最大寸法	JIS 9201 大形又は相当品(重量 150 kg…使用者含む)
	運 転 方 向	上り, 下り切換可能
	備 考	エスカレーターが同じフロアに上り, 下り用を複数台設置される所では, その内の下り用を車いすエスカレーターにすることが利用度や経済性からみて適当と考えられる。

設置計画時の注意	<p>標準エスカレーターとは, 次の点が異なっており, 設置を計画する際に配慮を要する。(図 2. 参照)</p> <ul style="list-style-type: none">・トラスの上部長さ〔TJ〕, 下部長さ〔TK〕, 中部深さ〔FC〕が大きい・欄干の中部傾斜部分でスカートガード高さが大きく, 外観が若干異なる。(図 8. 参照)・建築側天井高〔OH〕を広く明ける必要がある。・乗降床床板近傍に, 車いす使用者の待機スペースを要する。・車いす用運転時に, 一般乗客の乗り込みを一時ストップする設備が必要。
----------	--

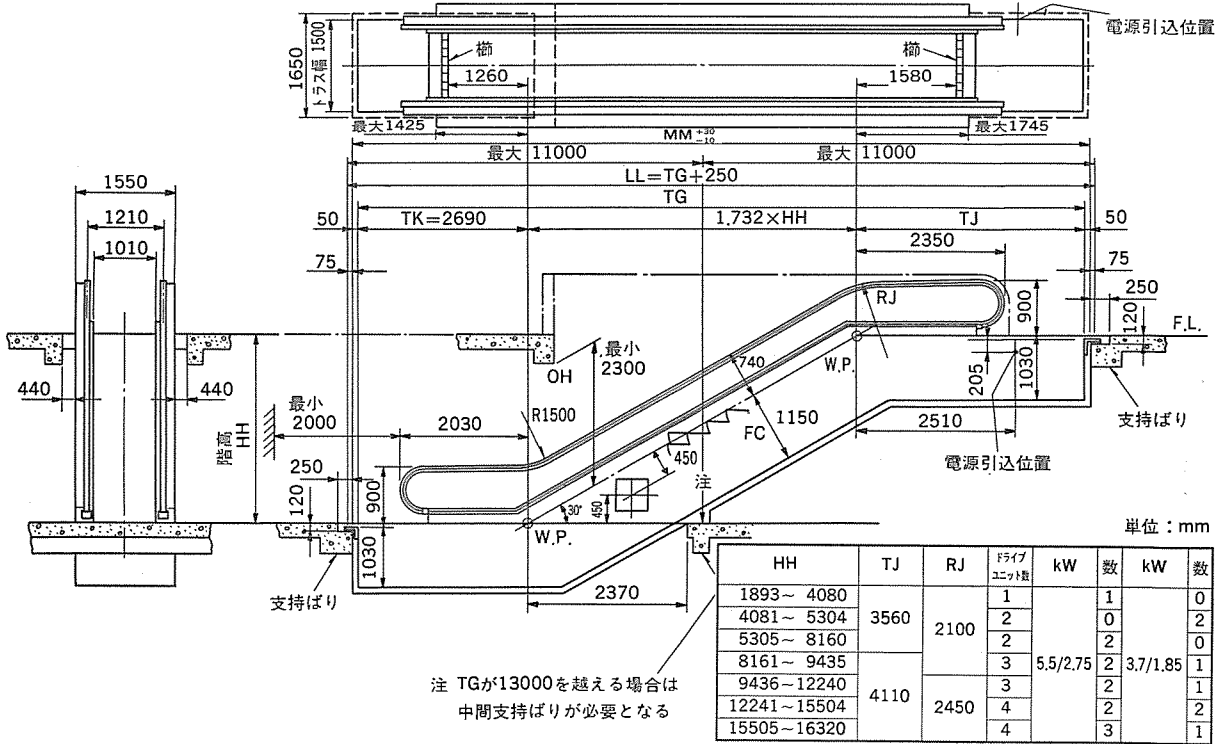


図2. 車いす乗用ステップ付きエスカレーターの設置図

3. 特 長

この車いすエスカレーターには下記の特長がある。

3.1 設置効果

(1) エスカレーターを設置する建物であれば、車いす使用者の交通の便を図る階段昇降装置やエレベーターなど特別な昇降設備を別途に設置することを省ける。

(2) 車いす使用者の交通動線が健常者と同じになり、昇降施設が分散しないので、建築計画、施設管理が容易になる。

3.2 システムの特長

(1) 通常運転時の機能は標準エスカレーターと同じである。

(2) 簡単なスイッチ操作によってこのエスカレーターは、車いす使用者が利用できる運転モードに切り換わる。

(3) 車いす使用者の乗降は、エスカレーターの運転をいったん停止させて行う。車いす乗車時の速度は、通常運転の1/2の低速に自動的に切り換わる。

(4) 車いすを積載する一組の特殊ステップは、ステップ3段で構成され、車いす乗り込みスペースが広い。

(5) 車いす用運転時、特殊ステップ上に車止めが自動的に出る。

(6) 車いす用運転を行う際のシーケンス制御をマイクロコンピュータ化した。

4. 装置の概要説明

車いすエスカレーター 独自の装置について、構成と機能、基本仕様や考え方を述べる。

4.1 装置の構成

車いすエスカレーターの本体には、図3.に示すように標準エスカレーターに、次の機器が付加されている。

走行するステップの側には、

(1) 一連の標準ステップの間に、車止めステップ、フォークステップ、傾斜ステップと称するそれぞれ構造と機能が異なる特殊ステップが3段連続して配置されている。

(2) 更に標準ステップの間に誘導板付き特定ステップが2段組み込まれている。

一方固定側のトラス内には、

(3) 上部及び下部の2箇所に仕掛装置

(4) 傾斜部に、特定ステップに対応する近接スイッチ群

(5) ステップの往路側に傾斜ステップ専用ガイドレル

(6) ドライブユニットには極数変換電動機

(7) 上部及び下部の2箇所に、行き過ぎ制限スイッチ（図示略）が設置されている。

欄干には、

(8) 乗降口に運転切換スイッチ及び車いす用運転スイッチ

(9) 傾斜部に非常停止スイッチ（図示略）が装備される。

また、車いすエスカレーターの周辺に必要な設備として、次の装置がある。

(10) 乗降口前に、一般乗客の乗り込みを一時ストップする装置（図示略）

(11) 乗降口付近に車いす使用者到着通報装置（図示略）

4.2 車いす使用者の乗車方式についての検討

車いすを積載するステップの方式については色々な案がある。それら案の中の代表的なものを図4.に示す。この度開発した方式は安全性、経済性、設置上などを比較検討し、案Fとした。その車いす乗り込み寸法図を図5.に示す。車いすの脱輪を防ぐ車止めも設けることとした。

ステップの幅については、車いすの最大幅が650mmあり、また、車いすの乗ったステップの横を人が通る必要もあるので、それらを考慮するとステップ幅は、1,000mm程度は必要である。車いす使用者

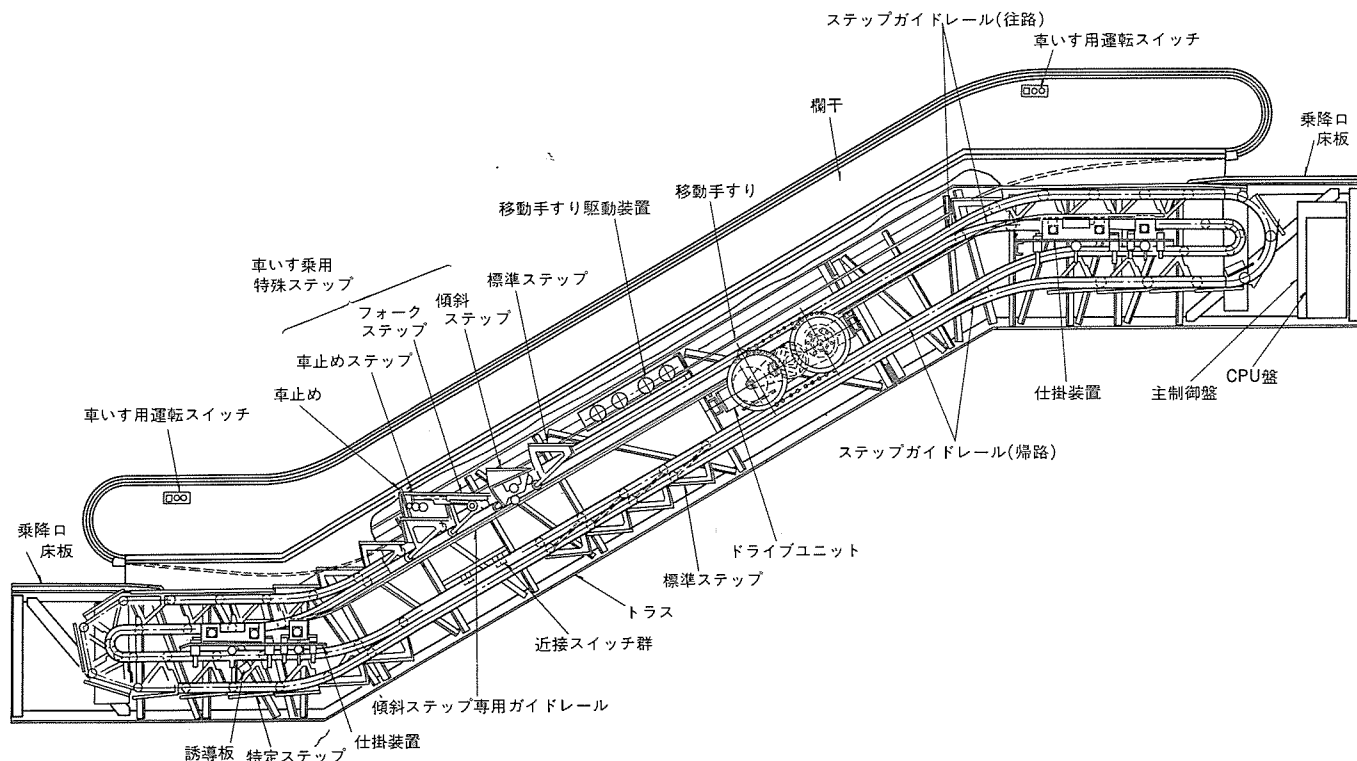


図3. 車いすエスカレーターの全体構成図

案	方式説明	車いす積載状態図		検討結果
		上り運転	下り運転	
A	標準ステップ①に車いすを積載した場合			<ul style="list-style-type: none"> 車いすの傾きが急になって乗り難い 下り運転では車いすの自在輪がステップから外れる
B	車いす支持部材をステップ①に装備する方式			<ul style="list-style-type: none"> 支持具の突出部とステップとの間に空けが生じて、ステップが階段上から水平状に移行する際に空けに物が挟まれるおそれがあり、対策を要する
C	ステップ③をせり上げてステップ②とステップ2段で水平面を構成する方式			<ul style="list-style-type: none"> 下り運転では車いすの自在輪がステップから外れるおそれがある。したがってこの場合も車いすは上向き（後向きに進行することになる）に乗る必要がある。
D	ステップ③と④をせり上げてステップ②とステップ3段で水平面を構成する方式			<ul style="list-style-type: none"> せり上がったステップ④の下に空所が生じ、その空所に物が落込むおそれがあり、空所をふさぐ対策を要する
E	ステップ③をせり上げステップ⑤を沈下させてステップ②と3段で水平面を構成する方式			<ul style="list-style-type: none"> 沈下したステップ⑤のため隣接するステップ①の下に空所が生じ、その空所に物が落ち込むおそれがあり、空所をふさぐ対策を要する
F	ステップ③をせり上げステップ②とステップ2段で水平面を構成し更にステップ⑤を傾斜させスペースを拡張する方式			<ul style="list-style-type: none"> D, Eのような空所が出来ない
G	標準ステップ①の間に大形ステップ⑥を組み込む方式			<ul style="list-style-type: none"> 構造上エスカレーターの外形が肥大して建物内に設置するについて支障がある 製品価格が相当高くなる
H	ステップ全段大形ステップ⑥を組み込む方式			<ul style="list-style-type: none"> Gと同じ

図 4. 車いす積載状態検討図

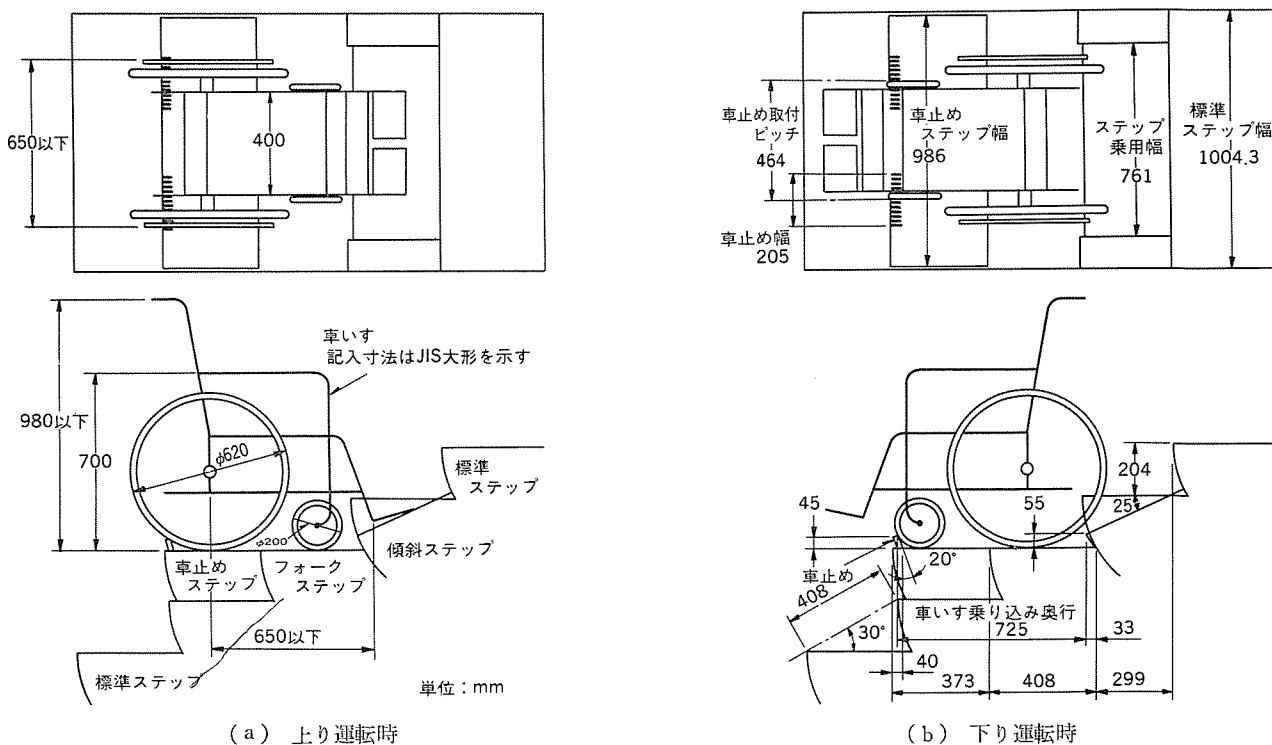


図 5. 特殊ステップと車いす乗り込み寸法図

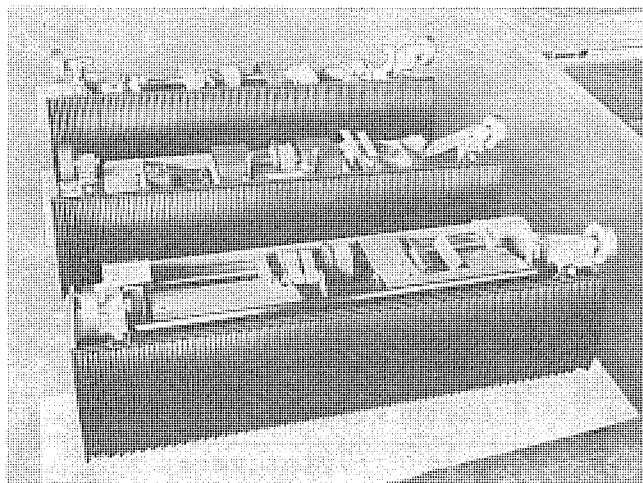


図 6. 特殊ステップ (手前から車止めステップ, フォークステップ, 傾斜ステップの順)

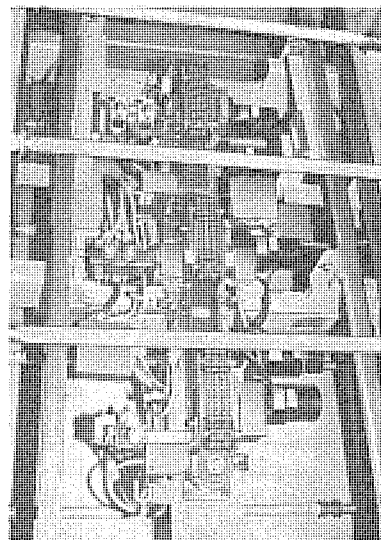


図 7. 仕掛装置

のステップへの乗降については、運転状態で乗降することは、どの案でも危険を伴うため、いったん停止させて乗降することにした。

4. 3 主要機器の構造と機能

車いすエスカレーターの主要機器について構造と機能を説明する。

4. 3. 1 フォークステップ (図 3., 図 6.)

フォークステップには、フォークの動きを仕掛装置に伝達するカム、フォークの不安定な運動を防止するロック装置などで構成されるフォーク機能が内蔵されている。また、ステップの中心部に駆動力を仕掛装置から受けるためのスプロケットが設けられている。

車いす用運転時には、ライザ前面からフォーク 2 本が突き出し、車止めステップと連結して 2 段のステップが水平面を形成する。これにより、車いすを安定に運ぶことができる。

4. 3. 2 車止めステップ (図 3., 図 6.)

車止めステップは本体ステップの中に収納されており、車いす用運転時に、隣接するフォークステップのフォークによって持ち上げられる。この車止めステップは、踏み板とライザ及び特殊な内部機構で構成されている。内部機構は踏み板の下に装備され、フォークステップのフォークと結合するホルダ、車止めと車止めの動きを仕掛装置に伝達するカム、車止め機構の不安定な動きを防止するロック機構などを備え、更に、フォークステップと同様のスプロケットが設けられている。くし(櫛)歯状の車止めは、車いすがステップ上から脱輪することを防ぐ目的で車止めステップの前縁部に設けられており、自動で突き出し引き込む。

4. 3. 3 傾斜ステップ (図 3., 図 6.)

傾斜ステップは、ステップの中間部分が回転して傾斜する構造になっている。これにより、上昇時には車いすのフットレストが、また、下降時には車いすの動輪が入るスペースが形成され、車いすを安全に積載できる。

4. 3. 4 仕掛装置 (図 7.)

これは特殊ステップを通常状態から車いすを積載できる状態に切り換えるために、仕掛け機構を作動させる装置である。この装置は駆動機構と昇降機構から構成されており、エスカレーターの上部及び下部にそれぞれ一組ずつ設けられている。

駆動機構は 3 段の特殊ステップを個々に駆動するモータとローチェンとからなる動力伝達機構を備えている。また、特殊ステップのカムの動作を検知するスイッチ群やロック機構を解錠するアームも設けられている。昇降機構は、駆動機構をモータで昇降させる機構である。

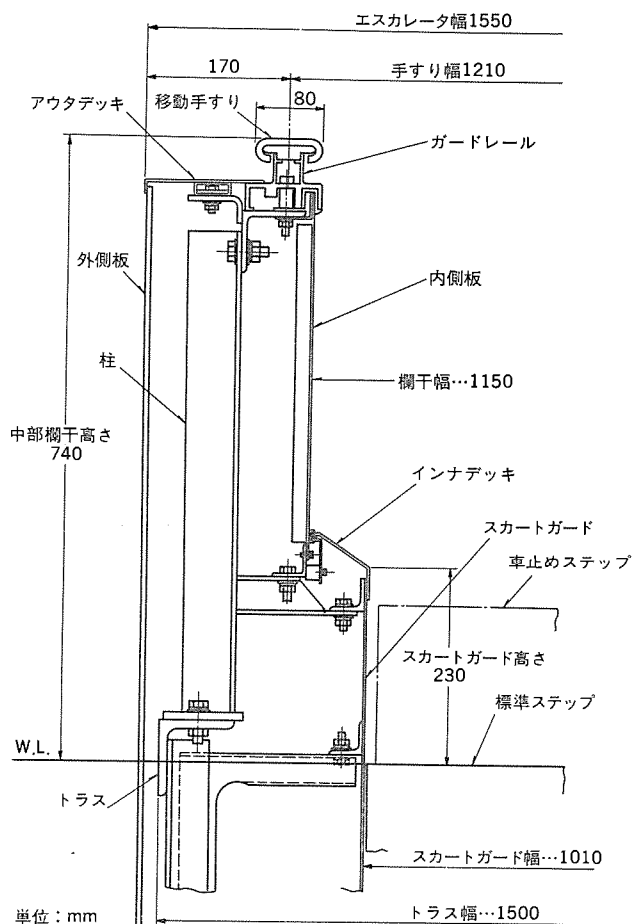


図 8. 欄干断面構造図 (30° 傾斜部)

車いす用運転を行う際には、駆動機構が上昇して特殊ステップのスプロケットと駆動機構のローチェンとが噛み合って動力の伝達が可能な状態となる。エスカレーター運転中は降下して噛合いが外れ元の位置に納まる。

4. 3. 5 欄干 (図 8.)

使いやすさと安全面を考慮して次の点を配慮した構造にした。

- (1) 内側板は鉛直パネル形を採用し、特殊ステップに車いす使用者を乗せた時、係員がその横を通行できるスペースとした。
- (2) スカートガードは斜辺部を高くし、車いす用運転時に車止めステ

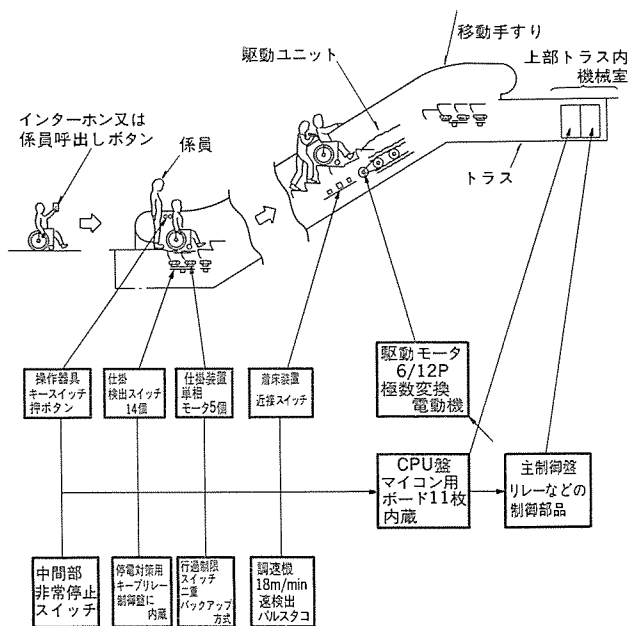


図 9. 制御装置関係構成図

アップがせり上がった場合、その側面も標準ステップと同様にスカートガードでふさいだ。

(3) 車いす用運転操作盤を乗降口の内側板に設け、係員の操作の便を図った。

(4) 斜辺部に車いす用運転時のみ有効な非常停止スイッチを配備した。

4. 3. 6 制御装置

制御装置の構成を図 9. に示す。車いす用運転の制御はシーケンス制御である。複雑な制御を行う必要があるため、また、スペースの面から制御ユニットを小形化するため 8ビット CPU を使用した。プログラム規模は約 9 K バイト、システムの演算速度は約 30 ms である。また、仕掛装置の動作や安全面などにも様々な工夫をこらしている。

上下部の定位置に特殊ステップを乗降口に自動着床させるために、特定ステップに設けた近接スイッチ用誘導板と帰路側の定位置に設けた近接スイッチにより、特殊ステップが着床ゾーンに入ったことを検出している。仕掛装置は、昇降機構用モータ、特殊ステップ駆動機構用モータなど、上下部合わせて 10 個設けられているモータによって動作する。また、各部の動きを時限で管理し、タイムアップ時、1 秒程度の反転動作を数回繰り返す構成にして、動作中に「せり」などの不具合を生じさせなくしている。

停電対策として、仕掛装置動作開始時と完了時に入る各キーブレイク 2 個を備え、停電が仕掛装置係合中に発生したか、分離中か、車いす用運転中であつたかの区分をし、復帰時にスイッチ操作で、現状からの継続動作をさせるようにしている。

更に、車いす用運転の速度 15 m/min が過大になった場合に、エ

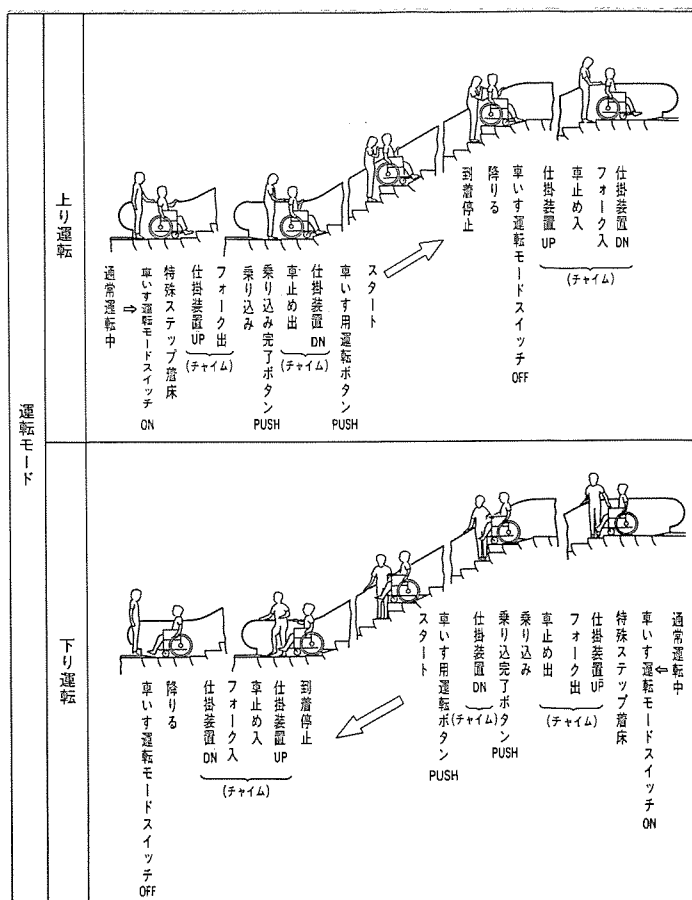


図 10. 車いす用運転要領

スカレーターを停止させる装置（調速機）や特殊ステップが着床ゾーンを行き過ぎたとき作動する二重に設けた行過制限スイッチなどの安全装置を付加している。

5. 運 転

車いす用運転は係員によって行い、一般乗客がエスカレーターに乗り込んでこないように乗降口を仕切ることが必要である。この運転要領を図 10. に示した。運転途中に緊急停止させたい場合に備えて、車いす用運転時のみ有効な停止スイッチを欄干に適当な間隔で配置してある。1 回の運転所要時間は、階高 4 m のエスカレーターで平均約 4 分である。続けて車いす用運転で往復させることもできる。なお、通常運転の要領は一般のエスカレーターと同じである。

6. む す び

以上、安全性について十分考慮した車いすエスカレーターの概要を紹介した。

世界で最初に誕生したこの車いすエスカレーターが普及して、福祉施設の充実に貢献できれば幸いである。

新形(82形)テレビ中継放送装置

田中 忠明*・木村 準*・森 繁朗*・児山 淳弥**・安永 敏郎**・伊藤 俊平**

1. ま え が き

テレビ (TV) 中継放送所は、現在全国に NHK、民放を合わせて 10,000 局以上設置され、全国津々浦々で複数のテレビ放送を楽しむことができる。この TV 中継放送機として、昭和 44 年に当時画期的な IC 化中継放送装置 (サテライト装置) の開発を行ったが、その設計思想と品質、信頼性に高い評価を得て今日までに 3,500 局以上の局で使用されている。この間性能改善などにかかわる何回かのマイナーなモデルチェンジはあったものの、ほぼ開発時の形態を保ちながら現在に至っている。

一方この間、社会の進展は激しく、放送メディアにも音声多重放送、文字多重放送がニューメディアとして加わり、更に FAX 放送の研究も進められている。NHK では、昭和 58 年度で TV サテライト局の計画的な置局は完了したが、昭和 40 年代に建設された古い装置の更新が進められつつある。この機会をとらえ、上記各種ニューメディア及び昭和 60 年施行予定の新電波法に対応しうる新形 (82 形) TV 中継放送装置の開発を行った。この装置は IC 化中継放送装置の基本的思想を引き継いで、従来装置との互換性を考慮した上位互換機種である。

82 形装置は送信出力 1~30 W の装置であるが、この論文では三菱電機(株)で製作した基本装置及び 10 W 装置を中心に述べる。

2. 設計の要点

2.1 性能の向上

(1) 隣接妨害波除去能力の向上

電波割当てのひびく (逼迫) により、TV サテライト局の隣接妨害波による障害事例が増加してきている。この点にかんがみ、装置に隣接妨害波除去能力をもたせる。

(2) 群遅延特性の平坦化

文字多重放送に対し、映像信号帯域内の群遅延ひずみを平坦化して良好な波形伝送を可能としている。また等化器の映音分離フィルタで生ずる色副搬送波帯域内の群遅延ひずみ特性を平坦化し、色信号ひずみを低減する。

(3) 音声多重放送、FAX 放送への対応

次項直線性の改善のほか、等化器の映音分離用フィルタの広帯域化 (音声抽出 BPF の広帯域化、音声除去 BPF の音声除去帯域の広帯域化) により、これらニューメディア対策に対応できるようにする。

(4) 直線性の改善

従来ともすれば、基本装置と電力増幅部が互いのひずみを打ち消し合って、ひずみの所要値を確保しがちだったのを改め、基本装置の直線性の大幅な改善を行い、装置ひずみが各部のひずみの和で

所要値を確保できるようにする。

(5) 入力レベル範囲の広ダイナミック化

受信入力が多い局では、固定減衰器を使用して装置入力レベル範囲へ入れるようにしているのを改め、受信入力を直接装置入力とできるように、入力レベル範囲を定格入力 ± 20 dB まで可能とする。

(6) 無線設備規則変更への対応

昭和 60 年から スパリアス 規格が変更され、規格値が厳しくなるが、直線性改善などにより十分な対応を可能とする。また周波数安定度についても 2 倍に安定化する。

2.2 機能の集約とオプションユニットの排除

(1) 送信部内に等化器機能をもたせて、等化器ユニットをなくし、基本装置は受信部と送信部の 2 ユニット構成とする。

(2) IF ノッチフィルタ及び入力ノッチフィルタの機能を基本装置にもたせることにより、これらオプションユニットを不要とする。

(3) 受信部を入力フィルタと一体化構造としてシールドを強化し、オプション使用している受信シールド箱を不要とする。

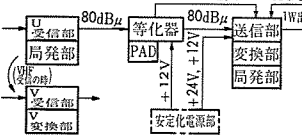
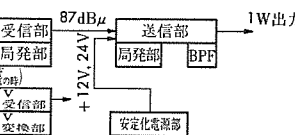
(4) 受信部入力レベル範囲を広くし (40 dB) 受信アンテナと入力フィルタ間に挿入しているレベル調整用固定減衰器を不要とする。

(5) 準精化、BF 化はオプションユニット追加により、容易に可能な構成とする。

2.3 保守性の向上

(1) 従来数多く使用されてきている 77~81 形の各ユニットとは、構造及び電気的インタフェースにおいて原則的な互換性を可能とした (表 1. に 81 形装置との互換性についてまとめている)。

表 1. 81 形、82 形基本装置用ユニットの互換性

No.	ユニット名	81 形基本装置	82 形基本装置
	(系統)		
1	受信部	(1) 82 形受信部でバックアップできる。ただし、IF 出力が 87 dB μ となるのでレベルゲイに注意 (2) 等化器の入力は 90 dB μ まで使用可	(1) 81 形受信部でバックアップできる
2	局発部及び VHF 変換部	(1) 82 形ユニットでバックアップできる	(1) 81 形ユニットでバックアップできる (2) 周波数の安定度がわずかに変わる ($\pm 0.5 \times 10^{-6}$ \rightarrow $\pm 1 \times 10^{-6}$)
3	等化器と送信部	(1) 等化器及び送信部をとりはずし、82 形送信部を実装する。 (2) 82 形送信部はチャンネル帯域カバー範囲に限定があるので要注意 (3) 送信部は所定チャンネル BPF 及び局発部 (81 形のものでも可) を装着する (4) AGC は内部 AGC とし、電源は送信部から供給する	(1) 81 形の等化器と送信部本体、送信チャンネルの変換部とを実装する (2) 電源は送信部から +12V も供給する。 (3) 隣接妨害波の多い局にあっては IF-BPF (又は IF-NF) を併用する必要がある (4) BPF は使わないが、局発部は必要なので本体に差し込み使用する (5) AGC は内部 AGC により設定、方結を使用して外部 AGC 化もできる
4	送信変換部	上記等化器、送信部の場合と同様な処置が必要	
5	BPF		上記等化器と送信部の場合と同様な処置が必要

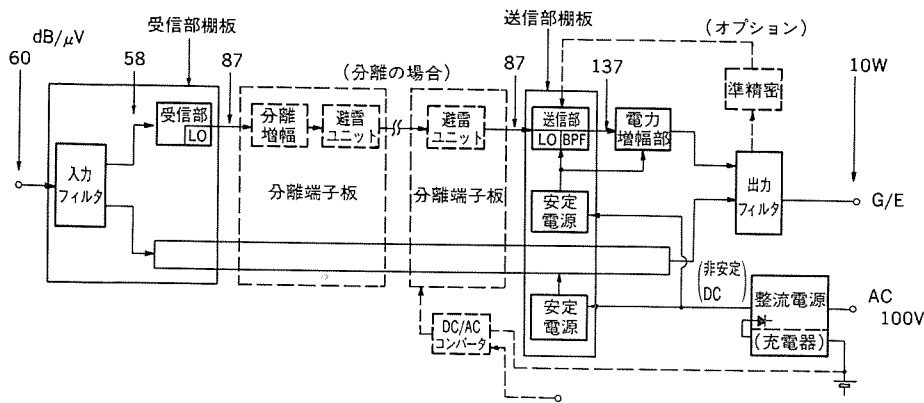


図 1. 82 形装置の系統

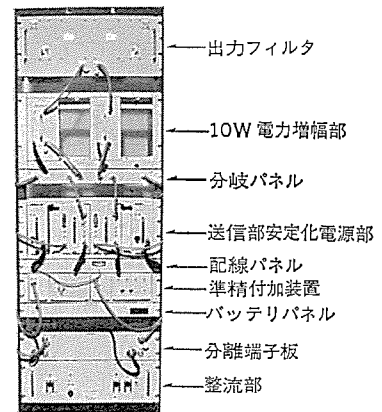


図 2. 装置架実装例 (分離構成の送信局)

(2) 基本装置の特性改善により、各部のひずみの和が装置のひずみとなるように特性配分を行い、性能保守面の向上を図った。

3. 構成と性能

3.1 構成

この装置の系統を図 1. に、また 10 W 装置の架実装例を図 2. に示す。

(1) これらの図は総合、教育の 2 波構成を示している。各装置は 1 台方式で冗長系はない。構成品はできる限り多チャンネルでの使用を可能とし、保守拠点で共通予備ユニットを持つようにしている。

(2) 図 2. は送受分離局の送信所装置の例であり、オプションの準精付加装置 (本体、分岐パネル、バッテリーパネル) を組み込んでいる。

(3) 基本装置の範囲は、入力フィルタ～送信部、安定化電源部である。

(4) 送受分離構成局においては、分離端子板 (送信所用各 1)、D/A コンバータが付加される。

3.2 性能

装置の性能を表 2. に示す。性能上の主な点は次のとおりである。

(1) 上下隣接波の 65 dB 以上減衰量確保

これにより、定格入力 +10 dB の希望信号 (D 波) に D/U = -5 dB の妨害波 (U 波) が印加されても、送信出力端ではこれを D 波に対し -60 dB 以下に減衰させ、電波法スプリアス規格を満足するとともに、帯域内で生ずるビートも -60 dB 以下に抑えている。

(2) スプリアス規格は、変更後の無線設備規則に対応できるようにしている。

(3) 920 kHz ビート、S/バズビート、NF についても改善を図った。

(4) 送信周波数の安定化を図り、従来装置 ± 2 kHz に対し、 ± 1 kHz と 2 倍の安定化を図っている (U 受信、U 送信のとき)。

4. 主要構成品の説明

4.1 受信部

受信部は VHF 受信部と UHF 受信部の 2 種類ある。これら受信部は、全チャンネルカバーする受信部本体と、これにプラグインする VHF 変換部及び UHF 局発部 (チャンネル専用部) とからなる。受信部の系統を図 3. に、その外観を図 4. に、また性能を表 3. に示す。性能上の主な特長は次のとおりである。

(1) 新しく開発した SAW フィルタにより、隣接妨害波除去機能と入出力フィルタなどで生ずる群遅延ひずみの補正機能を持たせた。こ

表 2. 82 形装置の性能規格

項 目	性 能
送 信 周 波 数	VHF 又は UHF テレビチャンネルのうち指定の 1 チャンネル
送 信 出 力	1 W, 3 W, 10 W, 30 W (映像同期せん頭値)
受 信 周 波 数	VHF 又は UHF テレビチャンネルのうち指定の 1 チャンネル
受 信 基 準 入 力	60 dB/μV (映像同期せん頭値)
入出力インピーダンス	50 Ω
中 継 方 式	ヘテロダイン周波数変換増幅方式
中 間 周 波 数	映像搬送波: 17.75 MHz, 音声搬送波: 22.25 MHz
電 源	単相交流 100 V, 50 Hz 又は 60 Hz
送 信 周 波 数 偏 差	± 1 kHz 以内 (受信周波数基準)
振 幅 周 波 数 特 性	Fv-0.75 MHz ~ Fv+4.75 MHz において偏差 2.5 dB 以下
隣 接 波 減 衰 特 性	上下隣接 Fv-1.5 MHz 以下において 65 dB 以上 Fv+1.5 MHz 以上において 65 dB 以上
	上下隣接 Fv-7.5 MHz 以下において 75 dB 以上 Fv+7.5 MHz 以上において 75 dB 以上
帯 域 内 ビ ー ト	-60 dB 以下
ス プ リ ア ス 特 性	-63 dB 以下 (但し、Fv+920 kHz において -40 dB 以下)
V/A 比 等 化 特 性	定格入力 ± 20 dB 以内で V/A 比 ± 10 dB において ± 0.5 dB 以内
920 kHz ビ ー ト	カラーバー各色にて -36 dB 以下
DG	APL 10~90% において 10% 以下
DP	APL 10~90% において ± 10 度以下
同 期 圧 縮	10% 以下
同 期 波 形 ひ ず み	10% 以下
副チャンネル S/バズビート	39 dB 以上
A G C 特 性	定格入力 ± 20 dB 以内において定格出力 ± 0.5 dB 以内
S/N 比	55 dB 以上 (ハム雑音)
雑 音 指 数	4 dB 以下 (受信部最大利得において、入力フィルタを除く)
入 力 検 知	設定範囲: 入力 30~45 dB/μV ON/OFF ヒステリシスは ± 1 dB 以内
出 力 安 定 度	定格出力 ± 0.5 dB 以内

注 次の範囲内で上表に定めた性能を満足する。

●周囲条件 温度 -10~+45°C, 湿度 45~90%

●電源電圧 $\pm 10\%$ (AC 入力)

また -20~-10°C, +45~+60°C の温度範囲においても著しい画質の劣化がないこと。

の SAW フィルタの特性例を図 5. に示す。

(2) AGC 機能をもち、定格入力から +20 dB アップまでの入力レ

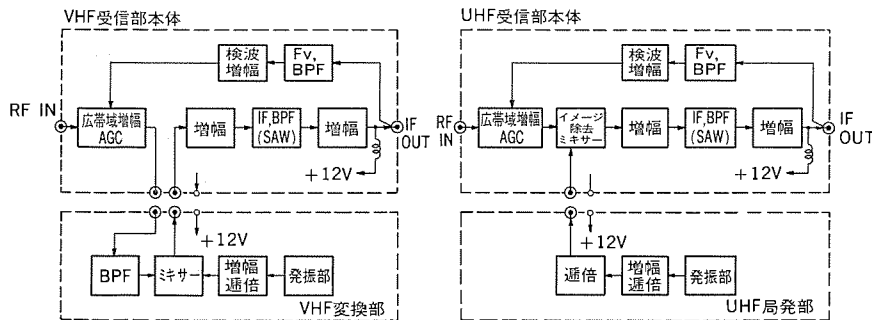


図 3. 受信部系統図

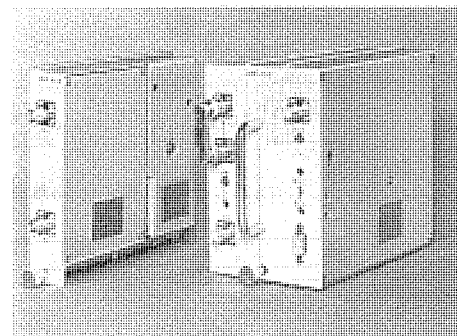


図 4. 受信部(左), 送信部(右)の外観

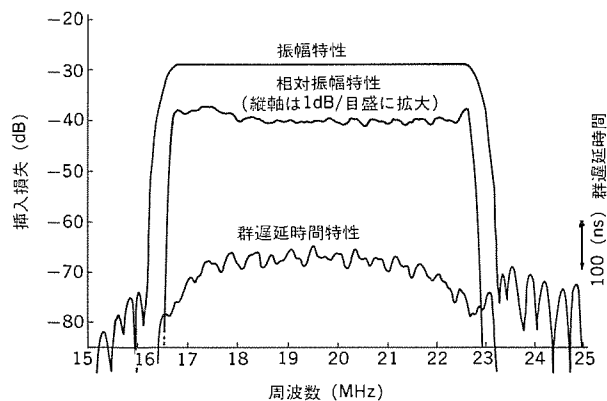


図 5. 受信部 SAW フィルタの特性例

ベル変動に対し、これを一定の出力レベルとしている。定格入力以下の入力に対しては、送信部の AGC により出力レベルを一定とする。

(3) UHF 受信部では広帯域 イメージ除去 ミキサーを採用し、全チャンネルにわたってイメージ周波数雑音による NF の劣化を防ぎ、良好な NF 値を確保している。

4.2 送信部

送信部は VHF 送信部と UHF 送信部の 2 種類あり、それぞれが受信部からの IF 信号を所要のチャンネルに変換するとともに基本装置出力 (1 W) を得ている。UHF 送信部の系統を図 6. に、その外観を図 4. に示す。UHF 送信部は広帯域チャンネルをカバーする送信部本体と、これにプラグインして使用する UHF 局発部、UHF, BPF (チャンネル専用部) とからなる。送信部は 4 種類で UHF チャンネル全域をカバーできるが、それぞれ上又は下の隣接バンドでも使用できる。

- (a) 送信部本体に VA 比等化機能を持たせている。この等化機能は測定時等不要となることもあるので、等化機能直通をスイッチ切換にて可能としている。
- (b) 等化部出力の IF 信号は、パネル前面に U リンクで引き出し、無線通報装置との接続を可能としている。
- (c) AGC は映音混合の内部 AGC のみとし、従来の外部/内部 AGC の併用に比し簡略化を行った。
- (d) 局発部は受信部に使用のものと同じであり、従来の 77~81 形ユニットと互換性がある。
- (e) UHF, BPF は、送信ミキサー出力の局発漏えい信号等不要成分を除去するものですべて受動素子で構成し、送信部本体にプラグインして装着する構造としている。
- (f) 送信部出力端にはアイソレータを挿入し、負荷変動に対し特性の安定化を図っている。

表 3. 受信部の性能規格

項 目		VHF 受信部	UHF 受信部
入 力	周 波 数	1~12 CH の指定の 1 波	13~62 CH の指定の 1 波
	レ ベ ル	58 dB/μV (映像同期せん頭値)	
	インピーダンス	50 Ω (不平衡)	
出 力	周 波 数	映像: 17.75 MHz, 音声: 22.25 MHz	
	レ ベ ル	87 dB/μV (映像同期せん頭値)	
	インピーダンス	50 Ω (不平衡)	
電 源 電 圧		DC +12 V (出力端子より DC 重畳) ±5% 以内	
A G C 特 性		定格入力 +20 dB 以内において定格出力 ±0.5 dB 以内	
入 力 V S W R		1.5 以下	1.7 以下
局 発 信 号 漏 洩		RF 入力端子において 50 dB/μV 以下	
出 力 安 定 度		±0.5 dB 以内	
雑 音 指 数		利得 29 dB において 4.0 dB 以下	
出 力 端 整 合		VSWR 1.3 以下に適合	
振 幅 周 波 数 特 性		Fv-1.5 MHz 以下において -30 dB 以下 Fv-0.75 MHz~Fv+4.75 MHz において 偏差 1.0 dB 以下 Fa+1.5 MHz 以上において -30 dB 以下	
920 kHz ビ ー ト		カラーバー各色にて -55 dB 以下	
隣 接 波 相 互 変 調		定格入力 +10 dB で D/U -5 dB 以上の上下隣接妨害波が同時に存在するとき 帯域内ビート -60 dB 以下	
周 波 数 偏 差		局発周波数安定度 ±0.5×10 ⁻⁶ (-10~+45°C において)	
群 遅 延 時 間 特 性		リップルの平均値で Fc を基準に Fv において 25±20 ns 以内	
受 信 チャンネル変更		チャンネル専用部の交換により直ちに受信チャンネルの変更ができ、本項の各性能を満足する	

送信部の性能を表 4. に示す。性能上の主な特長は次のとおりである。

- (1) VA 等化器の映音分離用映像信号抽出 BPF として SAW フィルタを採用し、受信部同様隣接妨害波除去機能を持たせた。この SAW フィルタ採用により、映像信号及び色信号帯域内の群遅延ひずみを平坦化できたので、従来オプションとして使用してきた群遅延等化器は不要である。この SAW フィルタの特性例を図 7. に示す。この特性図でも示すように、この BPF は音声信号を広帯域 (22.25 MHz ±130 kHz) にわたって除去し、FAX 放送によるスペクトラムの広がりに対し問題がないよう考慮している。また逆に音声信号抽出用水晶 BPF も同様に広帯域化している。
- (2) 電力増幅部はひずみ低減のかぎ(鍵)となる部分であり、最終段も含め、ほぼ A 級増幅器としひずみ低減を図った。またその性能の安定化を図るために、電力増幅部の入出力端にはアイソレータを挿入した。このため使用帯域の制限を生じたが、安定に高性能を確保

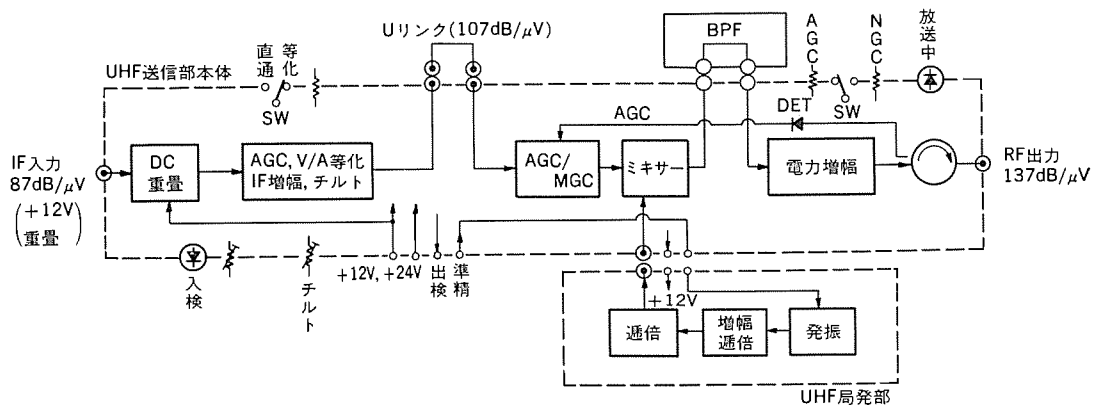


図 6. UHF 送信部の系統図

表 4. 送信部の性能規格

項 目		性 能	
入力	周波数 レベル インピーダンス	映像17.75MHz、音声22.25MHz 87dB/μV（映像同期せん頭値） 50Ω（不平衡）	
1F入力	レベル インピーダンス	107dB/μV（映像同期せん頭値） 50Ω（不平衡）	
1F出力	レベル インピーダンス	107dB/μV（映像同期せん頭値） 50Ω（不平衡）	
出力	周波数 レベル インピーダンス	VHF又はUHF TVチャンネルのうち指定する1チャンネル 137dB/μV（映像同期せん頭値） 50Ω（不平衡）、VSWR1.4以下に適合	
電源電圧		DC+12V、+24V	
出力安定度		定格出力±0.5dB以内	
AGC特性		定格入力±5dB以内において定格出力±0.5dB以内	
振幅周波数 特性	映像系	F _V -1.5MHz以下において-35dB以下 F _V -0.75MHz~F _V +4.0MHzにおいて偏差1.5dB以内 F _V +4.0MHz~F _V +4.08MHzにおいて+0.5dB~-3.0dB以内 F _A +1.0MHz以上において-35dB以下	「等化」
	音声系	F _A ±50kHz以内において偏差0.5dB以内 F _A ±100kHz以内において偏差2.0dB以内 F _A ±400kHzにおいて-20dB以下 F _A ±1.0MHzにおいて-35dB以下	F _A 分離 フィルタ 特性
	総合	F _V -0.75MHz~F _V +4.75MHzにおいて偏差1.0dB以下	「直通」
	帯域内ビート	-60dB以下	
スプリアス特性		-35dB以下（ただしF _A +920kHzにおいて-40dB以下）	
チルト		F _V 基準にF _V +4.5MHzにおいて±2dBまで可変可能	
920kHzビート		指定バンド内においてカラーバー各色で-43dB以下 指定バンド外においてカラーバー各色で-36dB以下	
雑音指数		利得70dBにおいて17dB以下	
群遅延時間特性		リップルの平均値でF _C ±1.75MHz以内において0±20ns以内	
入力検知		映像定格入力-15〜30dBに設定可能	
出力検知		定格出力-6〜-10dBにおいて表示（消灯）及び外部接点	
同期圧縮		5%以下	
同期波形ひずみ		5%以下	
微分利得		APL10〜90%において5%以下	
微分位相		APL10〜90%において±5度以下	
音声 多重特性	副チャンネル S/Pバースビート	指定バンド内において-48dB以下 指定バンド外において-38dB以下	
	クロストーク （主と副）	100Hzで55dB、1kHzで55dB、5kHzで50dBを結んで規定される 値以上	

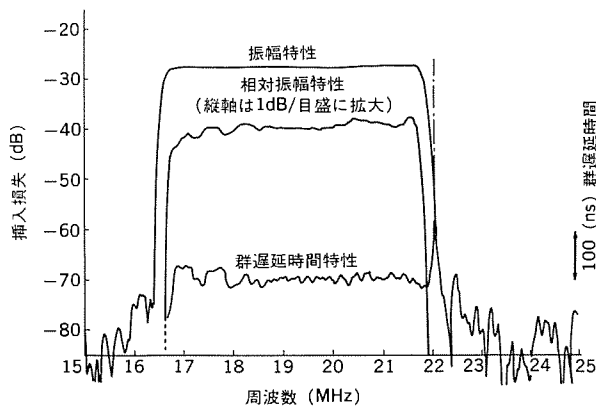


図 7. 送信部映音分離 SAW フィルタの特性例

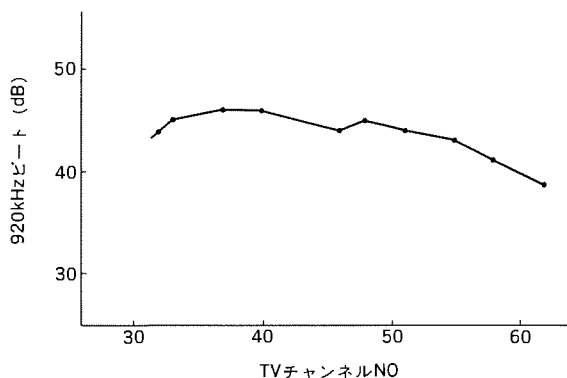


図 8. 送信部 PA 部の 920 kHz ビート特性例 (HL 用)

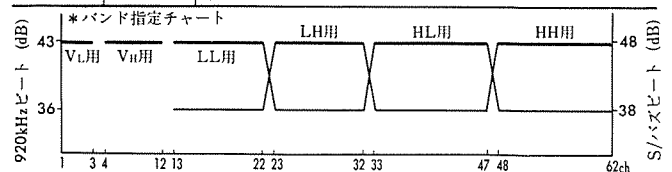
できた。代表的なひずみである 920 kHz ビートの広帯域特性について図 8. に示す。

4. 3 電力増幅部

電力増幅部についても、920 kHz ビート、S/Pバース特性などの改善を行った。図 9. に 10 W 電力増幅部の外観写真を、表 5. にその性能を示す。この電力増幅部についても従来の 81 形との互換性を考慮している。

4. 4 安定化電源部

従来電源部の中に含めていた安定化電源部を 1 ユニット化し、送信部ユニットと同じ棚板へ収容するようにした。これは送受信部と電源部を一体とみなすことにより、この間のインタフェースで生ずる S/N などの問題をなくすことに役立っている。安定化電源部は BF 化が容易なように、入力電圧範囲は DC 30~65 V の広範囲にわたり、安定化出力電圧 +12 V(max 2 A), +24 V(max 5 A) を得ている。



+24 V 出力は電力増幅部にも供給する。安定化方式として、スイッチングレギュレータ方式を採用して高効率化し (80% 以上)、小形で容量の大きな電源を可能としている。

4. 5 入出力フィルタ

入力フィルタは受信部と一体化構造とするとともに、追加ノッチフィルタが不要となったので、小形化を図った。UHF 受信アンテナが 2 波共用の場合は、このフィルタに分波機能ももたせている。

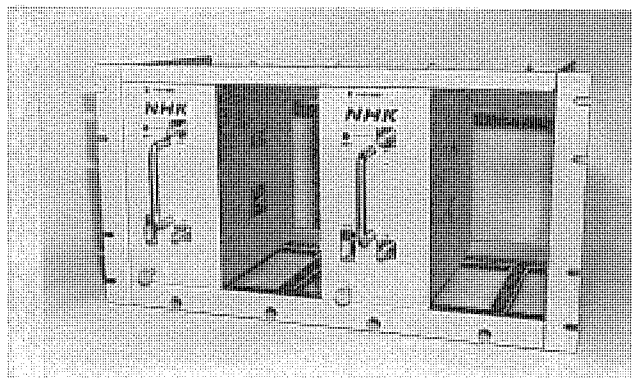


図 9. 10 W 電力増幅部の外観

出力フィルタは、外部 AGC 機能をなくしたので、従来使用してきた AGC 帰還用映像信号抽出回路をなくした。また 2 波合成機能ももっている。出力端の一部を方結でとり出し、モニタ出力端子としている。この端子は各種測定用のモニタ端子として使用できる。

5. む す び

従来の IC 化サテライト装置が、過去 15 年間常に現役機種として、非常に数多くの局で使用されており、保守用の予備ユニットも数多く配備されている状況のもとでは、これら装置との互換性を無視した設計はできなかったが、逆にこのサテライト装置の最大の特長（共通チャンネル化、共通予備化）を生かして、最新のデバイスを使用し、次世代に要請される各種性能を満たす 82 形 TV 中継放送装置を完成することができた。

今後この機種を TV 中継放送装置の主要 1 機種として、旧機更新の際に使用してゆく予定であるが、品質ばらつき状況、フィールドにおける運用状況などのデータを集め、より品質、性能、信頼性の向

表 5. 電力増幅部の性能規格

項 目		性 能
入 力	周 波 数	UHF テレビチャンネルのうち指定の 1 波
	インピーダンス	50Ω (不平衡), VSWR 1.5 以下
	レベ ル	137 dB/μV (映像同期せん頭値)
出 力	周 波 数	入力周波数と同じ
	インピーダンス	50Ω (不平衡), VSWR 1.4 以下に適合
	レベ ル	148 dB/μV (映像同期せん頭値)
電 源 電 圧		DC +24 V (±5% 以内)
出 力 安 定 度		定格出力 ±0.5 dB 以内
帯 域 内 ビ ー ト		-60 dB 以下
ス プ リ ア ス 特 性		-30 dB 以下 F _A +920 kHz において -40 dB 以下
920 kHz ビ ー ト		カラーバー各色において -37 dB 以下
副チャンネル S/バズビート		41 dB 以上
過 入 力 特 性		定格 +10 dB 短時間入力に対し異常のないこと
負 荷 特 性		出力端開放及び短絡に対し異常のないこと
振 幅 周 波 数 特 性		偏差 1.0 dB 以下
同 期 圧 縮		5% 以下
同 期 波 形 ひ ず み		5% 以下
微 分 利 得		APL 10%~90% において 5% 以下
微 分 位 相		APL 10%~90% において 5 度以下
出 力 検 知		定格出力 -6~-10 dB において表示及び外部接点

注 上記性能は次の指定バンド内において各項目を満足すること

LL 13~22 ch	HL 33~42 ch
LH 23~32 ch	HM 43~52 ch
	HH 53~62 ch

上を目指してゆきたい。

終りに、この装置の開発に終始御指導をいただいた NHK 技術本部の関係各位に厚く御礼申し上げる。

薄形5インチ固定ディスク装置MR521/MR522

津村日出男*・馬場 宏*・河村千秋*・水野正博*

1. ま え が き

5インチ固定ディスク装置は、パソコンの小形軽量化に伴って従来の厚形から薄形への需要が高まりつつあり、米国を中心に製品発表が相次ぎ、現在では国内においても10社近くが製品発表している。こうした市場動向に先駆け、当社は昭和57年7月から本格出荷した厚形M4863の技術を生かし、薄形MR521/MR522を開発した。この装置は薄形5インチ固定ディスク装置としては、業界でもトップクラスの記憶容量(MR521:12.75Mバイト, MR522:25.5Mバイト)で高速化(アクセスタイム平均85ms)及び高記録密度(9,201BPI, 690TPI)を実現した製品であり、パソコン、普及形オフコン、ワードプロセッサなどの外部記憶装置として広範囲な業務を可能としている。

本稿ではこの装置の特長、仕様及び開発技術の要点を述べる(図1.)。

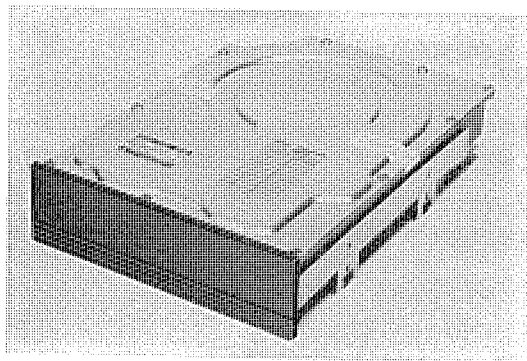


図 1. MR 521/MR 522 の外観

2. 特 長

この装置の特長は次のとおりである。

- (1) 最大25.5Mバイト(アンフォーマット時)の記憶容量をもっている。
- (2) 平均シークタイム85msの高速アクセス性能を実現している。
- (3) 5Mb/s(メガビット/秒)の高速データ転送が可能である。
- (4) 小形・低価格ながらウィンチェスタ技術による高信頼性を有している。
- (5) トラック0の検出は埋込サーボパターンにより行い、光学式センサをなくし、信頼性を向上した。
- (6) 薄形ミニフレキシブルディスク装置と同一の外形及び取付寸法で、従来の厚形のスペースに2台設置可能である。またフレキシブルディスク装置と同一のDC電源で動作可能である。
- (7) 磁気ヘッドの位置決めには、スチールベルトを用いたシンプルなアクチュエータ機構、及びマイクロステップ駆動のステッピングモータを用いた埋込サーボ方式を採用することによって、高精度(トラックピッチ36.8μm)な磁気ヘッド位置決め系を実現した。

表 1. 基本仕様

TYPE		MR 521	MR 522
項 目			
最大記憶容量*	総記憶容量(Mバイト)	12.75	25.5
	面容量(Mバイト)	6.37	6.37
	トラック容量(B/Tk)	10,416	10,416
デ ィ ス ク	ディスク枚数(枚)	1	2
	記憶可能面数(面)	2	4
	シリンダ数(シリンダ)	612	612
	総トラック数(トラック)**	1,224	2,448
磁気ヘッド	R/W用ヘッド数(本)	2	4
記 録 方 式	方 式	MFM	
	最大ビット密度(bPI)	9,201	
	トラック密度(tPI)	690	
	データ転送速度(Mb/s)	5	
処 理 時 間	シーク時間最小(ms)	18	
	平均(ms)***	85	
	最大(ms)***	199	
	ディスク回転数(rpm)	3,536	
外形寸法, 重量	平均回転待ち時間(ms)	8.48	
	幅×高さ×奥行(mm)****	146×41.3×203.2	
電 源	重 量(kg)	1.6	
	—	DC+5V±5% 0.7A TYP 最大 1.5A DC+12V±5% 1.0A TYP 1.2A TYP 最大 1.5A 起動時 3.0A	
信 頼 性	回復可能エラーレート	10 ⁻¹⁰	
	回復不可能エラーレート	10 ⁻¹²	
	シークエラーレート	10 ⁻⁶	
	MTBF(h)	11,000	
	MTTR(h)	0.5	
環 境 条 件	動作時温度(°C), (°F)	5~45, 41~113	
	動作時湿度(% R.H.)	8~80	
インタフェース	—	ST 506 インタフェース相当	

注 * 記憶容量は Unformat の値

** 代替トラックを含む

*** 平均セトリング時間を含む

**** フロントパネルは含まない

3. 仕 様

この装置の基本仕様を表1.に示す。

4. 装 置 概 要

この装置は薄形ながら磁気ディスク(以下、単にディスクという)を2枚まで実装している。磁気ヘッド(以下、単にヘッドという)は各ディスク面に1個ずつあり、ステッピングモータの0.5ステップ角度で1トラック進むようにヘッドアームを揺動させ、埋込サーボ方式によって精度良く所定のトラックに位置決めする。またシーク時には、ステッピングモータを加速・減速制御をすることにより、アクセスタイムの高速化を図っている。ヘッドは、浮上量が0.4~0.5μmと微小なため完全防じん密閉構造をとっており、更に内部空気循環系路の中にアブソリュートフィルタ

を設けて、じんあいの除去を行って信頼性を向上させている。

以下、ディスク回転・防じん機構、ヘッド位置決め系、情報記録再生及びインタフェース部など、薄形5インチ固定ディスク装置MR521/MR522の技術的特長を述べる。

5. 機構部

5.1 ディスク回転・防じん機構

ディスクを回転させるスピンドルモータとして、DCブラシレスモータを採用した。ディスクは上記モータのハブ面に直接取り付けられて回転(3,536 rpm)される。したがってスピンドルモータの軸振れは装置の性能に大きくかわる。ラジアル振れは直接位置決め精度に影響する。アキシャル振れはヘッドの浮上安定性に影響し、読出し波形の劣化(モジュレーションの発生によるリードマージンの低下)を起こす。またヘッドの浮上安定性が悪くなると、ヘッドクラッシュの要因ともなる。また振れそのものは、繰返し性のある周期性成分と繰返し性のない非周期性成分とに分けられる。

この装置では、トラック密度が690 TPIと非常に高いためラジアル振れ、アキシャル振れ共十分小さく抑え込む必要があった。MR521/MR522はこの振れを、①ベアリングの管理、②予圧(アキシャル/ラジアル)量の管理、③軸受クリアランスの管理を行うことにより、周期性振れを8 μm 以下、非周期性振れを1.3 μm (周期性のある温度変動分1 μm を含む) 以下を実現している。

この装置は、コンタクトスタート・ストップ方式であり、更にヘッドの浮上ギャップが0.4~0.5 μm と微小なため、微細なじんあいの侵入でさえもヘッドクラッシュの要因となる。したがってヘッド、ディスクを収納した密閉ルームは完全防じん密閉構造を採用している。図2に密閉構造の概略を示す。外気が流入するおそれのある経路として、カバーとベースのシール部、各部品のねじ締結部が考えられるが、シール部には金型で抜いた継目なしのパッキンを用い、ねじ締結部はできる限り止り穴にして密封性を高めた。さらに、スピンドルモータは3,536 rpmと回転数が高く、ベアリングからグリースが飛散することを防ぐために、磁性流体シールをベアリングの上段に設置した。

またこの装置は、密閉構造であるため温度変化によってヘッド、ディスクを収納した密閉ルーム内と外気との間に圧力差を生じリークが発生しやすくなる。この圧力差の発生を防ぐため、プレスフィルタを設け呼吸させる方式をとった。ディスクは、最大2枚まで実装可能(MR522)であり、ディスク回転時の各ディスクの熱膨張を均一にするため、図2に示すようにディスクの間の内から外へと流れる空気流を生じさせている。この空気流は、ディスクの高速回転による圧力差を利用した自然循環流である。また循環系路内にアブソリュートエアフィルタを内

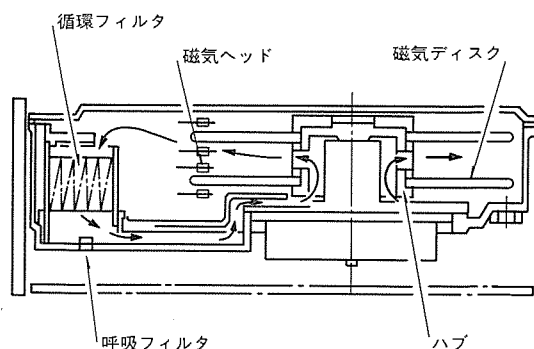


図2. エアフィルタレーションシステム

蔵し、プレスフィルタを透過したじんあいを更にろ過する配慮をしている。

5.2 ヘッド位置決め系

ヘッド位置決め系の構成を図3に示す。磁気ディスク装置のヘッド位置決め方式には、リニアアクセス方式とロータリアクセス方式の2種類がある。いずれの方式も一長一短があるが、この装置では機構が簡素で安価にできる点、小形にできる点、及び位置決め系の軸受部の摩擦・摩擦が極めて小さい点を重視し、ロータリアクセス方式を採用した。

運動の駆動源にはステッピングモータを使用し、そのモータのキャプスタンにスチールバンドを巻きつけ、アクチュエータアームに連結する。このアクチュエータアームに、ヘッドを固定したヘッドアームを取り付けて円弧状にアクセスする構成である。

(1) 高トラック密度化

一般に周囲温度が変化すると、部材の線膨脹係数の違いでディスク上のデータトラックとステッピングモータで位置決めするヘッドが相対的にずれる。この装置では限られた材料・寸法の範囲内で、上記温度変化によるオフトラック量を最小にするため、シミュレーション計算を数次にわたって行った。更に、埋込サーボ情報(ディスクの各面に前もって記録した位置情報)を検出して、ヘッド位置を補正する方式を採用することにより、オフトラック量の極小化を図り、当社従来品M4863の2.7倍の高トラック密度化を実現している。

(2) 高速位置決め

また、高速位置決めを実現するために、

(a) ステッピングモータ軸回りの慣性モーメントを極力小さくすることが必要で、アクチュエータアーム、アームヘッドの重心を極力ピボット軸に近づく構造にした。

(b) ステップモータの停止時の振動をいかに抑えるかが重要で、これには前機種M4863ディスク装置(厚形)で実績のある慣性・粘

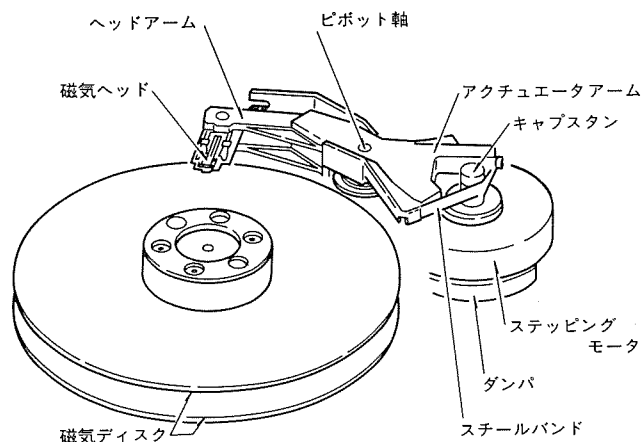


図3. ヘッド位置決め機構図

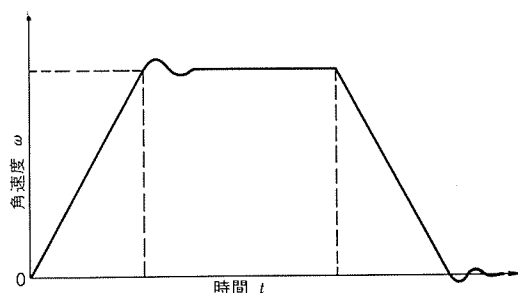
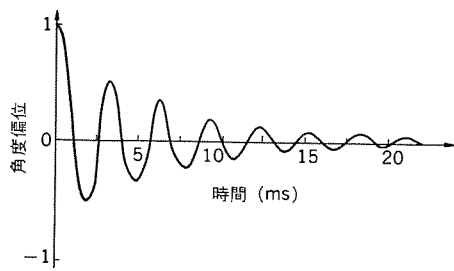
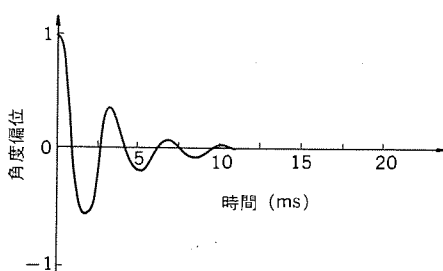


図4. パッファドモードシークプロフィール



(a) ダンピング制御なしのステッピングモータ軸の振動



(b) ダンピング制御を行ったときステッピングモータ軸の振動

図 5. ダンピング制御の効果

性ダンパ方式を採用するとともに、最適なダンピング特性が得られるようにマイクロコンピュータによりタイミングをコントロールした。

(c) ステッピングモータ駆動方式には、マイクロコンピュータによるバックアップモード制御を内蔵し、平均アクセスタイム 85 ms を達成している。

6. 電気回路部

6.1 概要

コントローラとの接続インタフェースは、5 インチ固定ディスク装置業界標準である ST 506 インタフェースを採用し、位置決め制御には埋込サーボ情報を用い、ステッピングモータをマイクロステップ駆動により制御する方式(埋込サーボ方式)を採用している。

電気回路部は 1 枚のプリント基板で構成し、情報記録再生部、位置決め制御部、回転制御部、フォルト検出部、インタフェース部などがある。機能ブロック図を図 6. に示す。

6.2 情報記録再生部

情報記録再生部は、小形高密度化を達成するために、ヘッドアームをマウントするアクチュエータアーム上に設けられたリードライアントプ(ヘッド IC)とプリント基板上の波形成形部から構成される。装置外部とのデータの授受は、MFM(Modified Frequency Modulation)モードで行う。

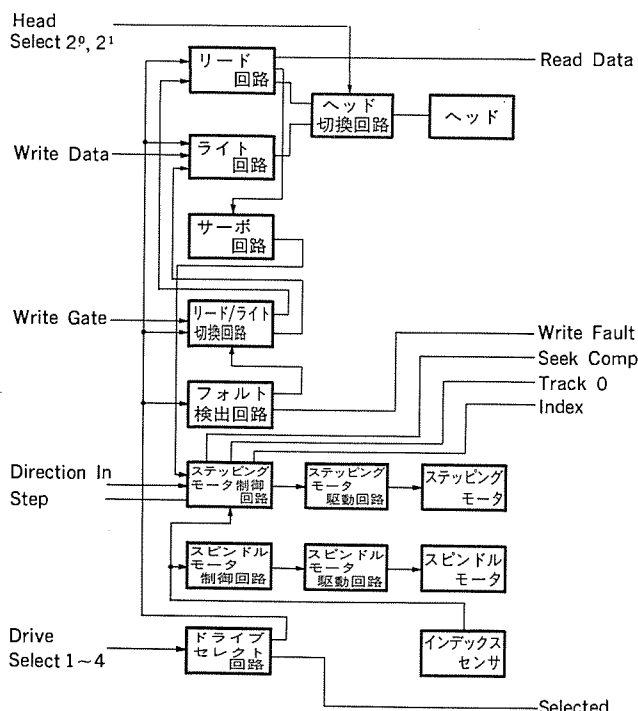


図 6. PCA の機能ブロック図

記録再生系は、当社の M 2860 (50 M バイト), M 4863 (10 M バイト) で蓄積されたウインチェスタ技術を生かした回路構成を採用している。記録はコントローラから受信した MFM データを、ヘッドのコアギャップ(ギャップ長 1.14 μm , ギャップ幅 27.6 μm)により磁気ディスクの磁性層に記録する。ヘッドの記録電流は、外周側, 内周側で、それぞれ最適な重ね書き、分解能特性を発揮できるように、マイクロコンピュータでトラック位置を判断し、

記録電流を切り換えている。再生はヘッドから得られた 1 mV 前後の微小再生出力をスイングアーム上のヘッド IC で増幅し、ひずみや S/N の劣化なしに主増幅回路に伝達し、不用な高周波帯域ノイズを低域通過フィルタで除去した後ピーク弁別回路に送る。ここでデジタル化した信号は、シュルダリングノイズ除去回路で信号処理した後、差動伝送回路でインタフェースラインに送出する。

6.3 位置決め制御部

この装置では、従来品の 2 倍以上の 690 TPI という高トラック密度を安価に実現するために、ステッピングモータを用いた埋込サーボ方式を採用した。位置決め系のブロック図を図 7. に示す。この方式は、サーボ信号用にサーボ面としてディスク面を専有することがないため、この装置のように実装ディスク枚数が少ない場合(最大 2 枚)でも大容量化が可能となる特長を持っている。

以下、位置情報検出系、ヘッド駆動系、ショック系について述べる。

(1) 位置情報検出系

この装置に使用しているサーボ信号は、インタフェースラインに送出されるインデックス信号の直前、300 μs にわたり図 8. のように、あらかじめ記録されている。この区間は、外部からのデータ記録により、サーボ信号を破壊されないように、装置内部で外部からの書き込みを禁止している。データ領域は業界標準である 10,416 B/Tk (バイト/Tk) 及び 5 Mb/s (メガビット/秒) を確保するために、スピンドルモータの回転数を通常の 3,600 rpm から 3,536 rpm に落として設定した。

サーボ信号は、二つの領域に分離されていて、それぞれがオントラック位置から 1/2 トラックずらして記録されている。ヘッドがオントラック上に位置決めされると、サーボ信号の読出し波形は図 8. a のように $V_A = V_B$ となるが、オフトラックが発生すると、b 又は c のように $V_A \neq V_B$ となる。この信号 $V_A - V_B$ の符号及び大小からヘッドとデータトラックの相対的な位置ずれ量及び方向を検出することが可能となる。信号 V_A, V_B の処理は、D/A コンバータ及びマイクロプロセ

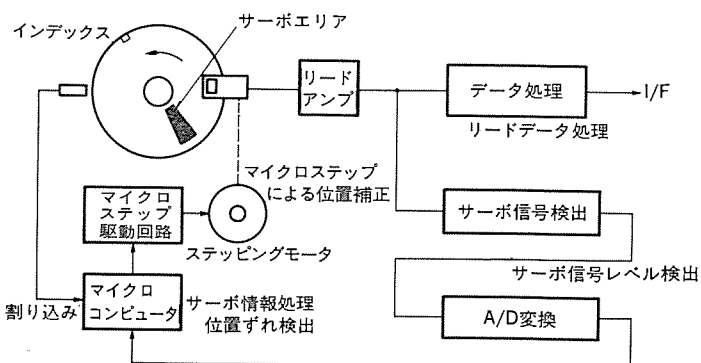


図 7. 位置決め制御部ブロック図

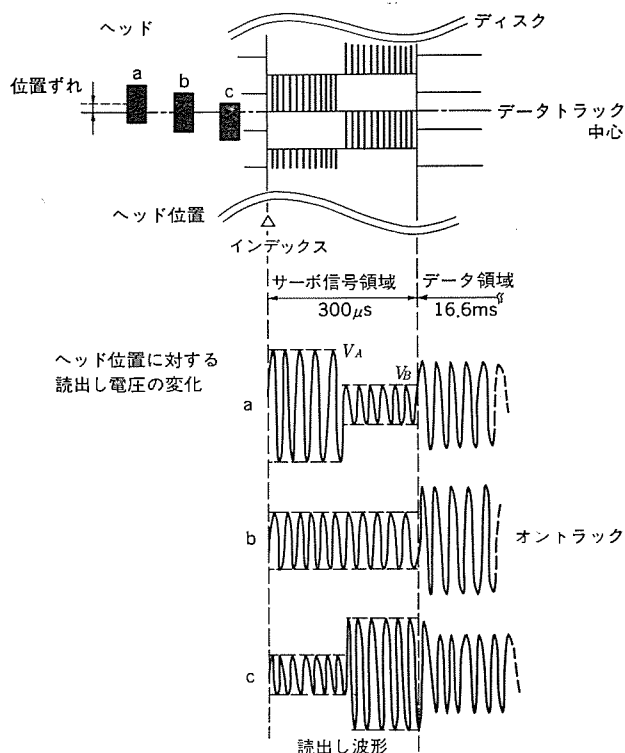


図 8. 埋込サーボパターン

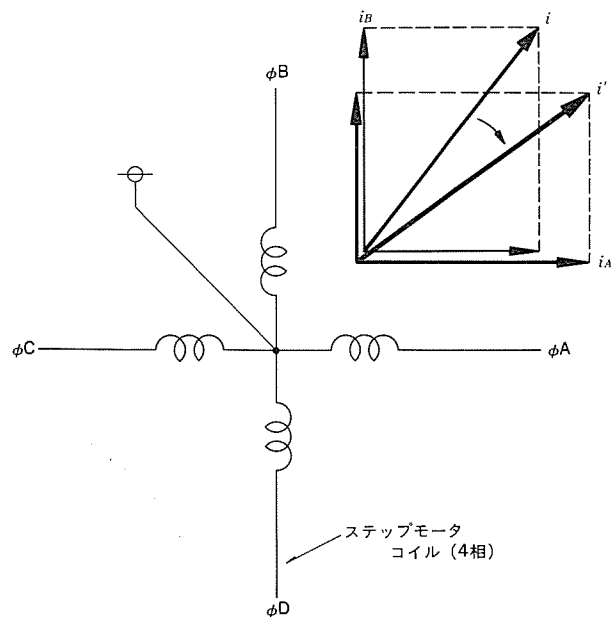


図 9. マイクロステップ駆動の原理

ッサによりデジタル処理され、ヘッドがオントラックに位置決めされるようにフィードバックされる。

(2) ヘッド駆動系

この装置では、ステップモータによってヘッドの微小角位置決めを行うため、PWM(Pulse Width Modulation)方式によるマイクロステップ

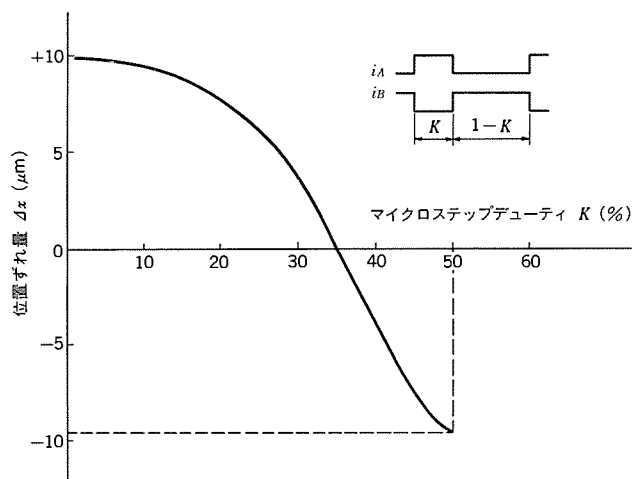


図 10. マイクロステップデューティとオフトラック量の関係

駆動を行っている。通常ステップモータで位置決めを行う場合、図 9. に示すように、A、Bの二つの相のコイルを同時に励磁することで、A、B相の中間に停止させる(2相励磁)。この装置においては、A、B相のコイルに互いに反転したパルス(1.2kHz)を与え、更にこのパルスのデューティを変化させ、二つの相の発生力にアンバランスを与えることで微小角位置決めを実現している。パルスのデューティに対する位置の変化を図 10. に示す。

マイクロステップ制御を行うためのパルスは、マイクロプロセッサによって生成しており、パルスデューティは、前記検出系での検出結果からマイクロコンピュータによってヘッド正規のトラック上に来るように調整される。以上の方法によって位置決め精度 $\pm 2 \mu\text{m}$ を達成している。

(3) シーク系

この装置でのシーク制御は、マイクロプロセッサを用いたバッファードモード機能で行われ、高速アクセス(平均アクセスタイム 85 ms)を実現している。コントローラからのシーク命令は、パルスにて伝送され、これは装置内のバッファカウンタで計数される。このパルス数に応じた最適シークプロフィールをマイクロコンピュータにて設定することにより、最高速のスルーアップ、スルーダウン特性の得られるモータ駆動タイミングを出力している。さらに、目標トラックに接近したところで、逆相ダンピング、遅延ダンピングなどのほかに、マイクロステップ駆動への切換タイミングを適切に与えることで、位置決め時の系の振動を最小限にとどめている。

機械的な位置決めが完了した後、最初のサーボ信号を読み取り、位置決め精度の確認を行った後、シーク完了信号を出力する。環境温度の変化などにより、位置決め精度が所定の範囲を満足しない場合は、サーボ信号により位置補正を行い、再度位置決め精度を確認するようにし、データの保全に努めている。

7. む す び

薄形5インチ固定ディスク装置MR 521/MR 522では、高精度位置決め機構及び埋込サーボ方式を採用することにより、大容量、高信頼性を実現しており、今後ますます市場の需要にこたえていくものである。

高速大容量1Mビット マスクROM

松尾 龍一*・金子 正秀*・藤本 稔*・安東 亮*

1. ま え が き

近年、半導体メモリ素子は約1年半で2倍という驚異的なスピードで大容量化が進んでいる。なかでも、MASK-ROM (Mask Programmable Read Only Memory) は、常に大容量化の最先端を歩んできた。当社においては、16 K、32 K、64 K (24ピンと28ピンタイプの2機種)、128 K、256 K ビットの容量の機種を開発し市場に供給してきた。

ところで、ここ数年の間に、MASK-ROM はその高性能化・高信頼化・コストダウンにより幅広くマイクロプロセッサシステムに組み込まれ、ROM 市場を EPROM (Erasable and Programmable Read Only Memory) と2分する地位を確保し、その使用量は急増加している。また、OA 機器が普及し国内での日本語情報処理の急速な発展に伴って漢字プリンタ、CRTディスプレイなどの端末装置に不可欠な漢字パターン発生用メモリとして、M(メガ)級の大容量 MASK-ROM の要求が強い。

筆者らは、昭和58年に高速64 Kビット・128 KビットマスクROM、昭和59年に高速256 KビットマスクROM を本誌で紹介したが、今回更に最新の微細化プロセス技術と低電力高速化回路設計技術を組み合わせ、高速動作を維持した上に4倍の集積度をもつ高速大容量1 MビットマスクROM M5M 231000- $\times\times\times$ Pを開発した(形名中の $\times\times\times$ は、ROMの内容によって割り当てられる3けたの10進数である)。

ここでは、高速大容量1 MビットマスクROM M5M 231000- $\times\times\times$ Pについて、その製品概要、回路構成、動作特性などについて紹介する。

2. M5M 231000- $\times\times\times$ P の製品概要

今回開発した1 MビットマスクROM M5M 231000- $\times\times\times$ Pの主な特長は次のとおりである。

- (1) 大容量1 Mビット : 131,072 ワード \times 8ビット
- (2) 高速アクセスタイム
ノーマル、 \overline{CE} モード : 最大 250 ns
ページモード : 最大 150 ns ($A_0\sim A_4$)
- (3) 低消費電力 : 動作時平均 200 mW
待機時平均 75 mW
- (4) 広い電圧マージン : $V_{cc}=5V\pm 10\%$
- (5) \overline{CE} のコントロール信号でOR接続が容易
- (6) 全入出力端子は、TTLコンパチブル
- (7) パッケージは、標準28ピンDIL(Dual in Line)

当社の64 KビットマスクROMから1 MビットマスクROMまでを比較したピン接続図を図1に示す。1 MビットマスクROMの新たな上位アドレス端子 $A_{15}\sim A_{16}$ は、従来製品の1ピン(N.C.)・22ピン(\overline{OE})に割り当てられ、電源及びその他のコントロール信号は全く同じピン接続になっており、従来製品からの切替が極めて容易なもの

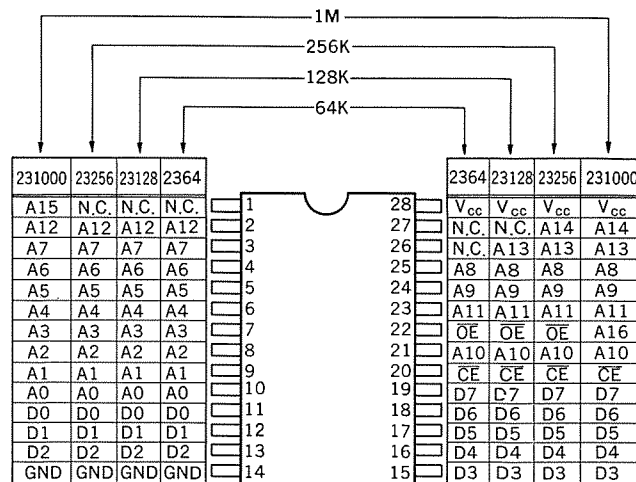


図1. 当社の64 KビットマスクROMから1 MビットマスクROMまでのピン接続図

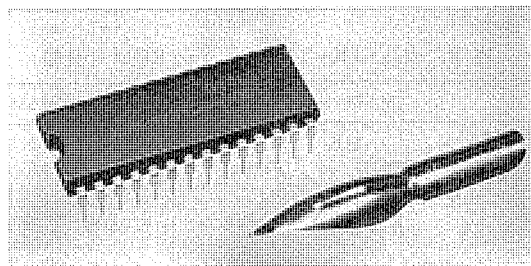


図2. M5M 231000- $\times\times\times$ Pのパッケージ外形

となっている。パッケージ外形写真を図2に示す。パッケージは低応力樹脂モールドを採用している。

3. 回路構成と高性能化技術

3.1 回路構成

1 MビットマスクROM M5M 231000- $\times\times\times$ Pのチップ写真を図3に示す。チップサイズは、 $7.13\times 7.56\text{ mm}^2$ である。周辺回路及びボンディングパッドは、チップの上辺と下辺に集めるよう工夫し、横方向のサイズが短くなっている。メモリセル群は、中央のXデコーダをはさんで左右に512 Kビットずつ配置している。

次にブロック回路図を図4に示す。データ出力は、1ワード8ビット($D_0\sim D_7$)あるので、128 Kワードの選択に17本のアドレス入力信号($A_0\sim A_{16}$)が必要となる。チップイネーブル信号(\overline{CE})は、チップ内回路全般の起動、待機と出力パッファをコントロールしバス競合を回避できる。電源は5 V単一電源(V_{cc})である。

3.2 高性能化技術

1 MビットマスクROMでは、高速・低電力化などの高性能化が表1に示す技術的ポイントを用いてなされている。

第1に内部回路は、チャンネル長(L_{eff})=1.5 μm の高性能NチャンネルMOSトランジスタを用いている。ソースドレインの形成には、ひ素の

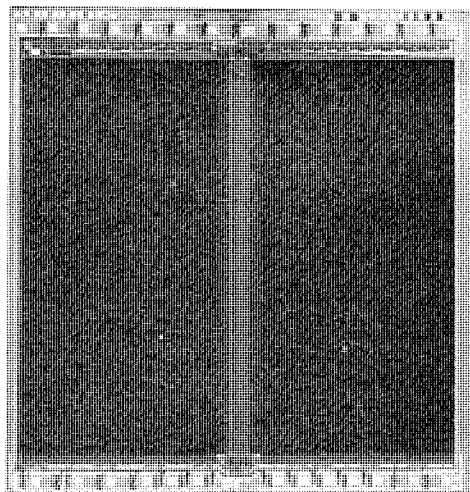


図 3. 1 M ビット マスク ROM M5M 231000-
×××P のチップ

表 1. 1 M ビット マスク ROM の技術的 ポイント

- ・チャネル長 (L_{eff})=1.5 μ m, ゲート酸化膜厚 (T_{ox})=350 Å
- ・高速ブートストラップ回路
- ・高速センスアンプ回路
- ・アドレスエッジトリガ回路
- ・0 V_{th} トランジスタ

表 2. 当社 64 K~1 M ビット マスク ROM の比較

	M5M 2364P	M5M 23128P	M5M 23256P	M5M 231000P
メモリ容量	64 K 8,192 × 8 ビット	128 K 16,384 × 8 ビット	256 K 32,768 × 8 ビット	1 M 131,072 × 8 ビット
プロセス	N-MOS	N-MOS	N-MOS	N-MOS
チャネル長 (L_{eff}) (μ m)	3	2.5	2.0	1.5
メモリセルサイズ (μ m ²)	150	100	65	35
チップサイズ (mm ²)	21.2	23.2	31.4	53.9
電源電圧	5 V \pm 10 %	5 V \pm 10 %	5 V \pm 10 %	5 V \pm 10 %
アクセスタイム (max) (ns)	250	250	250	250
動作時電力 (Typ) (mW)	200	200	200	200
待機時電力 (Typ) (mW)	50	75	75	75

イオン注入を行い、ゲート酸化膜厚 (T_{ox}) は約 350 Å と薄くなっている。

第2に内部回路で大きな負荷を充放電する必要があるチップイネーブル回路、プリデコーダ回路、Xデコーダ回路などは、ブートストラップ回路を全面的に採用し高速動作を実現している。またゲートと配線には、低抵抗ポリシリコンを用いて配線による遅延を少なくしている。

第3に電流センスタイプの高感度・高速センサアンプを用いている。また、 $A_0 \sim A_4$ のアドレスに関しては、特に高速のプリデコーダを介して高速センスアンプとビット線の切換を高速動作するように工夫したので、高速ページアクセスが実現した。

第4にアドレス入力信号の立上り、立下りを感じて、内部回路の一部をダイナミック動作させるアドレスエッジトリガ回路を内蔵している。この結果、アドレスシーケンス及びデータパターンのアクセスタイム依存性をなくしている。

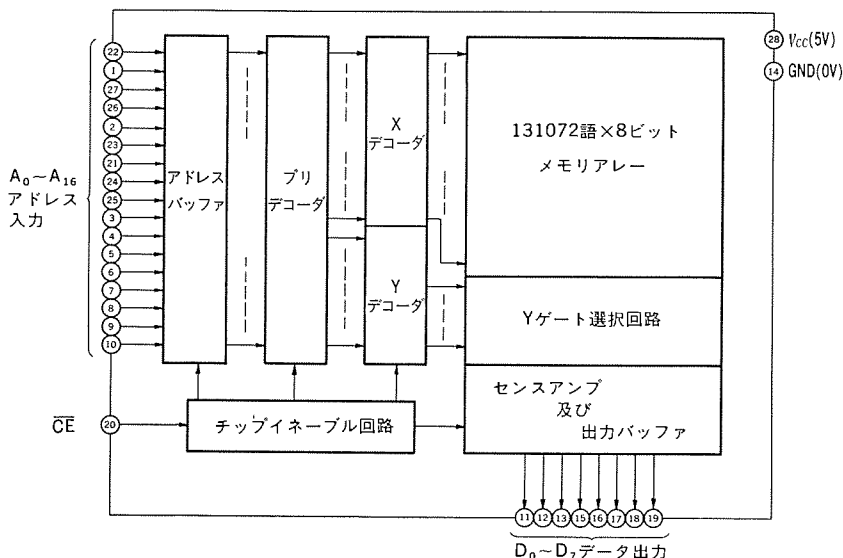


図 4. M5M 231000-×××P のブロック回路図

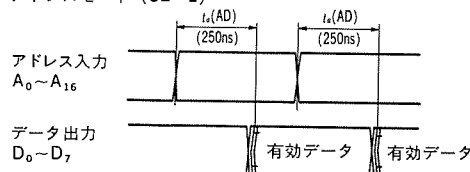
第5に内部回路全般のロードトランジスタに、しきい値が約 0 V のトランジスタを用いて、低電力化が可能になっている。これにより、ドライバトランジスタが ON しても無駄に消費する電力は大幅に削減され、標準使用時 200 mW と低消費電力が実現できた (表 2.)。

4. 動作諸特性

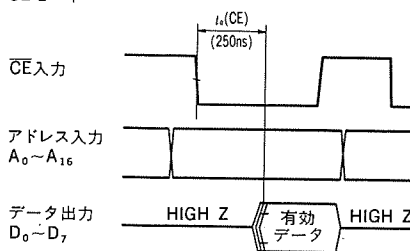
4.1 読出し動作モード

読出し動作は、変化する入力信号によってアドレス、 \overline{CE} 、ページモードの3種類が存在する。各モード時のタイミングチャートを図 5. に示す。完全スタティック動作でアドレスアクセスタイム " $t_a(AD)$ " と \overline{CE} アクセスタイム

・アドレスモード ($\overline{CE}=L$)



・ \overline{CE} モード



・ページモード ($\overline{CE}=L$)

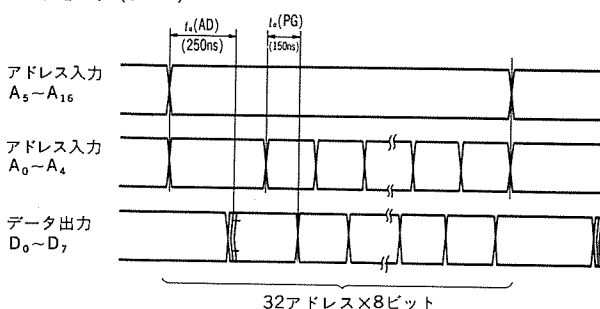


図 5. M5M 231000-×××P の読出し タイミングチャート

△“ $t_a(CE)$ ”は、最大 250 ns と高速を誇っている。また ROM としては、世界初の高速ページモード機能があり、 $A_0 \sim A_1$ のページアクセスタイム“ $t_a(PG)$ ”が最大 150 ns と高速で動作する（先頭アドレスのアクセスタイム“ $t_a(AD)$ ”は最大 250 ns）。

4.2 アクセスタイム

標準サンプルにおける電源電圧(V_{CC})に対する前記3種類のアクセスタイムの変化を図 6. に示す。図から電源電圧 5 V のアドレスアクセスタイム“ $t_a(AD)$ ”は 130 ns, \overline{CE} アクセスタイムは“ $t_a(CE)$ ”は 145 ns, ページアクセスタイム“ $t_a(PG)$ ”は 80 ns といずれも極めて高速である。アクセスタイムの周囲温度依存性を図 7. に示す。図からアクセスタイムの温度による変化量は、アドレスと \overline{CE} アクセスタイムが $0.4 \sim 0.5$ ns/1°C, ページアクセスタイムが $0.3 \sim 0.4$ ns/1°C といずれも安定な動作をしていることがわかる。

4.3 DC 特性

電源電流（動作時及び待機時）の電源電圧依存性を図 8. に示す。

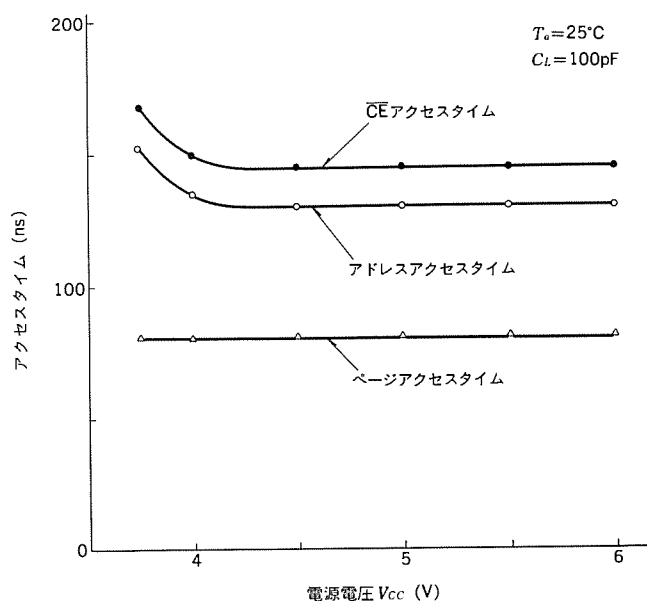


図 6. アクセスタイムの電源電圧依存性

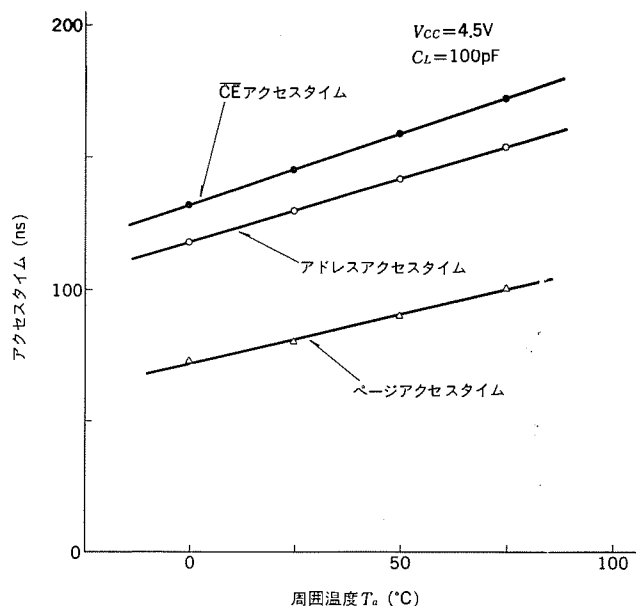


図 7. アクセスタイムの周囲温度依存性

図から V_{CC} 4~6 V において動作時の I_{CC} は 37~43 mA で、待機時の I_{CC} は 14~16 mA である。電源電流（動作時及び待機時）の周囲温度依存性を図 9. に示す。図から周囲温度 0~75°C において動作時の I_{CC} は、43~38 mA で待機時の I_{CC} は 15~13 mA である。すなわち実使用における動作時の消費電力は、約 200 mW で待機時の消費電力は約 75 mW と極めて低消費電力となっている。

出力電圧 (V_{OH} , V_{OL}) の出力電流 (I_{OH} , I_{OL}) 依存性を図 10. に示す。出力電圧及び出力電流は、規格上 1 TTL コンパチブルであるが、十分な出力電圧と電流駆動能力をもっている。

5. む す び

マイクロプロセッサの出現とともに、その固定用メモリとして発展してきたマスク ROM は、大容量化・高速化・低消費電力化の道を歩んできた。更に近年、国内での日本語情報処理の急速な発展に伴って端末装置に不可欠な漢字パターン発生用メモリとして、磁気テープ・フロ

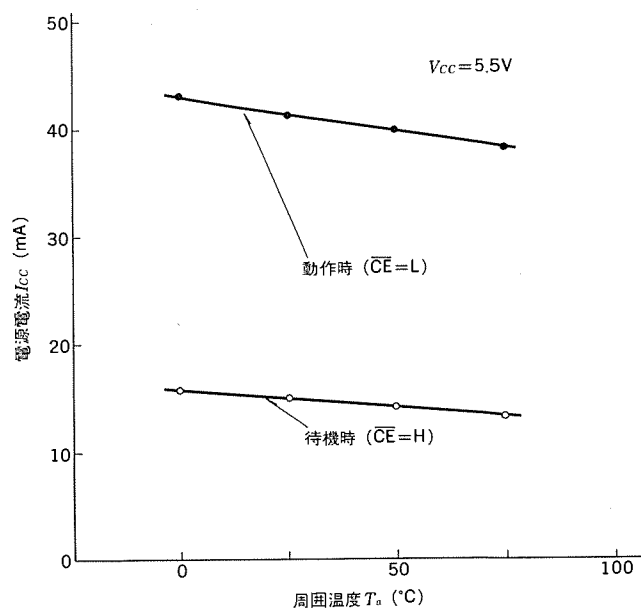


図 8. 電源電流（動作時及び待機時）の電源電圧依存性

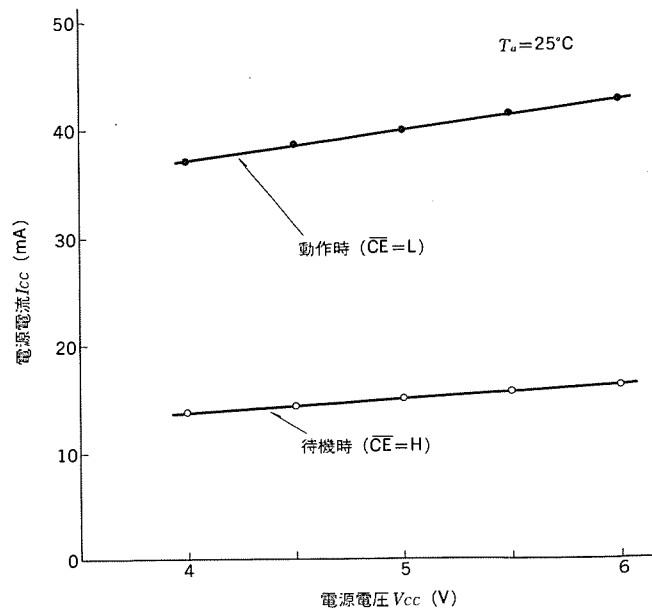


図 9. 電源電流（動作時及び待機時）の周囲温度依存性

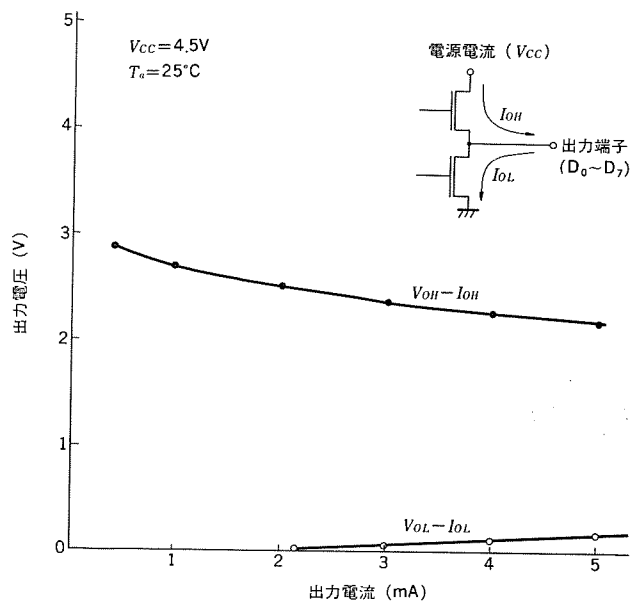


図 10. 出力電圧 (V_{OH} , V_{OL}) の出力電流 (I_{OH} , I_{OL}) 依存性

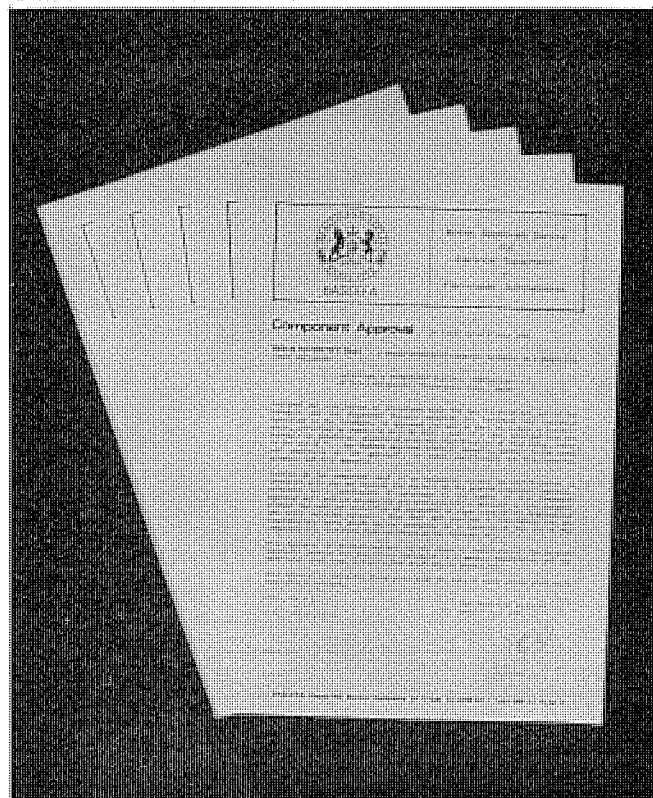
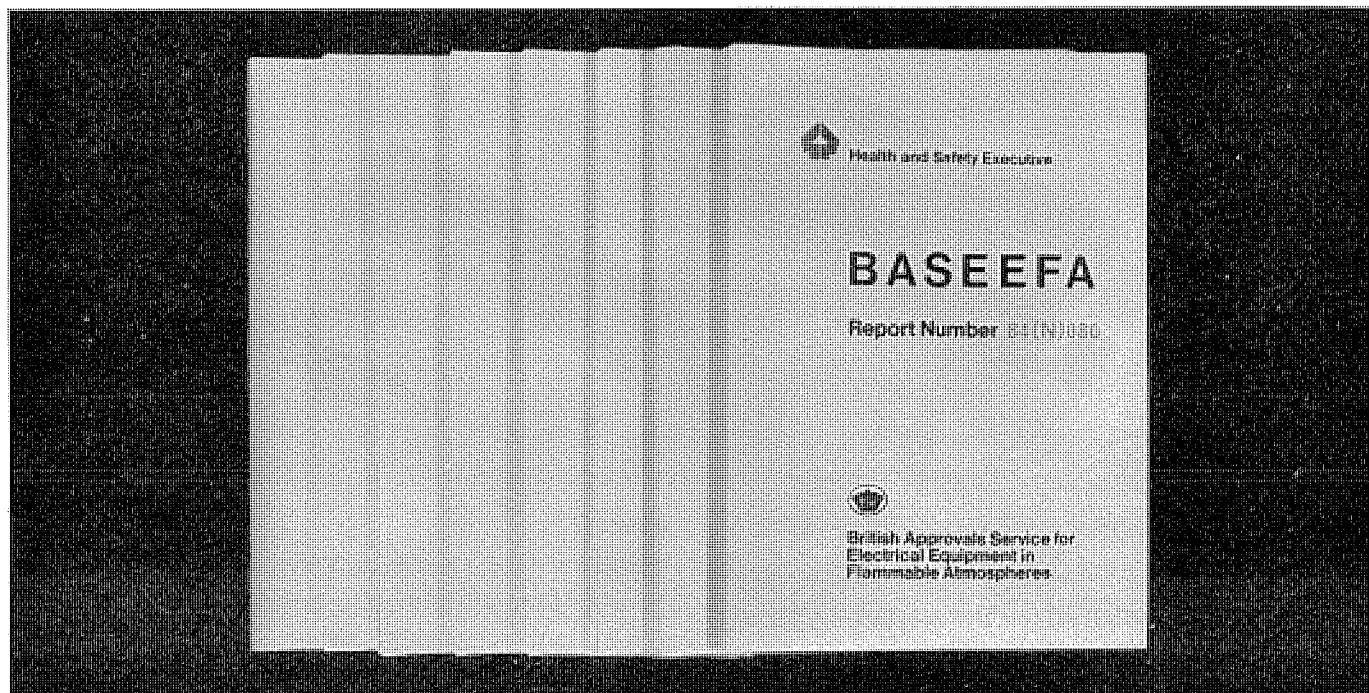
ッビディスクなどに比べて、はるかにアクセスが速く、コンパクトである大容量マスク ROM の要求が一段と強い。今回、最新の微細化プロセス技術と低電力高速化回路設計技術の組合せで、最大アクセス時間 250 ns, 32 アドレス×8 ビットを高速で動作させるページモード：最大ページアクセス時間 150 ns の読出し特性をもつ 1 M ビットマスク ROM M5M 231000- $\times\times\times$ P を開発・製品化した。

今後は、更に 2 M・4 M ビットと大容量化が行われるが、2 M ビット以上になると、28 ピンパッケージでデータ出力とアドレスを共有した I/O マルチプレクス又は 40 ピンパッケージで 16 データ出力、更にはフラットパッケージ化、CMOS 化、高速アクセス機能化など多様化し、その応用範囲は更に拡大していくことだろう。

参 考 文 献

- (1) 松尾ほか：三菱電機技報，57，No. 5，p. 398 (昭 58)
- (2) K. Takizawa, et al：A 1 Mb ROM with On-Chip ECC for Yield Enhancement, ISSCC (1983-2)
- (3) F. Masuoka, et al：An 80 ns 1 Mb ROM, ISSCC (1984-2)
- (4) 松尾ほか：三菱電機技報，58，No. 10，p. 729 (昭 59)
- (5) 小池：1.2M ビットマスク ROM，チップイノベーション 1984，電子材料 1 月号 (昭和 59)

三菱モートルType N BASEEFAより証明取得

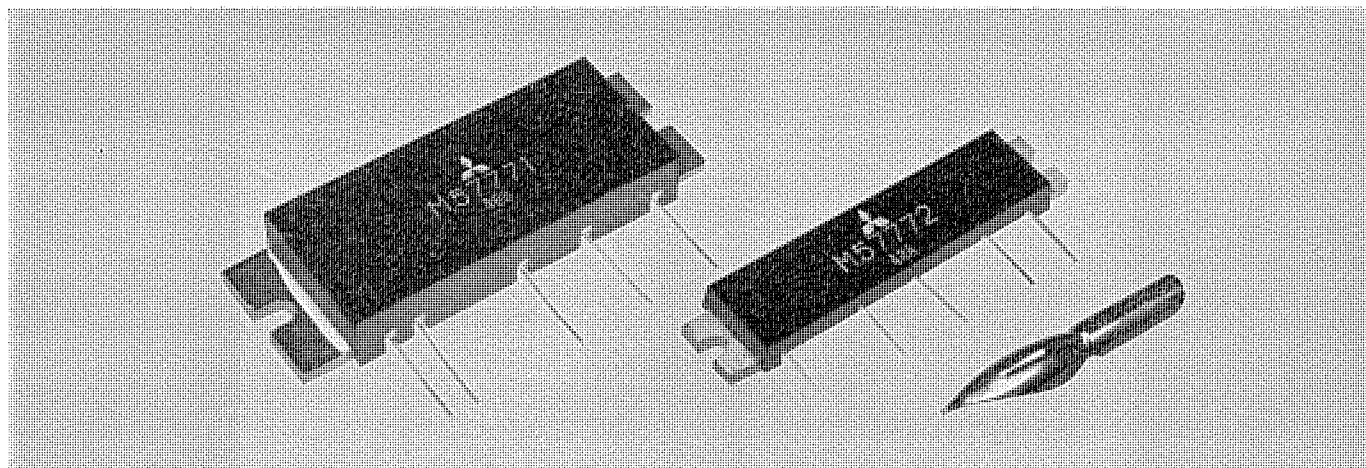


このたび、三菱電機のモートル・スーパーライン（E、FH、Rシリーズ）及び大形F4シリーズを対象としたtype N（^{注①}ノンスパーキングモータ）は、英国のBASEEFA（^{注②}防爆検定機関）より、検定合格証の認定を受けました。これは、書類審査、実機テスト、工場監査を含む審査を経て、当社の技術と品質管理が評価されたもの。一度認定されると、その後は個別に申請することなく当社の責任において合格証を付け出荷することができます。認定対象は、小形の80フレームから大形の800フレームまで当社モータのほぼ全領域をカバーしています。さらに、このモータに取り付ける端子箱も標準タイプの他に相絶縁タイプや相分離タイプなどの特殊品も含めてComponent Approvalを得ているので多様な客先仕様にも対応できます。輸出機の場合、防爆形式としてはノンスパーキングを指定されるケースが多く、またBASEEFAの認定は国際的にも権威があるため、当社モータの評価はさらに高まるものと期待されています。

注①：防爆形式の一つであり、第2種危険場所に使用される機器に対する安全規定により、通常運転時に火花を発する部分がなく、事故時にも破損部分から火花を発することがないような材料、構造面で考慮されているモータ。

注②：BASEEFA=British Approvals Service for Electrical Equipment in Flammable Atmospheres

900MHz帯用 小形高周波高出力混成集積回路



無線通信機送信部の無調整化——これは無線機メーカーにとって長年の課題でした。これを見事に解決したのが、このたび三菱電機が開発した900MHz帯パーソナル無線機送信段一体形高周波高出力混成集積回路（2品種）です。この集積回路は、従来、個別トランジスタを5～6個、あるいはドライブ段を個別トランジスタ2～3個、及び出力段側を1個の電力増幅用混成集積回路で構成していたものを、1パックの混成集積回路にまとめたものです。VCOの出力から直接7～8Wの高周波出力が得られるので、セットの小形化が図れると同時に面倒な送信部の調整が不要となり、セットの生産効率を大幅に向上させることができます。

車載用のM57771と携帯用のM57772の2タイプがあります。

M57771 仕様

最大定格（ $T_c=25^\circ\text{C}$ ）

項 目	記 号	条 件	定 格 値	単位
動 作 電 圧	V_{cc1}		11	V
動 作 電 圧	$V_{cc2,3}$		17	V
消 費 電 流	I_{cc1}		0.4	A
消 費 電 流	$I_{cc2}+I_{cc3}$		3	A
入 力 電 力	P_{in}	$Z_G=Z_L=50\Omega, V_{cc1}\leq 8V$	7	mW
出 力 電 力	P_o	$Z_G=Z_L=50\Omega$	10	W
動作ケース温度	$T_c(op)$		$-30\sim+110$	$^\circ\text{C}$
保 存 温 度	T_{stg}		$-40\sim+110$	$^\circ\text{C}$

電気的特性（ $T_c=25^\circ\text{C}$ ）

項 目	記 号	条 件	特 性 値			単位
			最小	標準	最大	
出 力 電 力	P_o	$f=903\sim 905\text{MHz}$	8	9		W
総 合 効 率	η_T	$V_{cc1}=8V$	33	38		%
2次スプリアス強度		$V_{cc2}=V_{cc3}=12.5V$			-30	dB
入力定在波比	P_{in}	$P_{in}=1mW$			2.8	—
出力定在波比	P_{out}	$Z_G=Z_L=50\Omega$		2		—
負荷変動試験		$f=903\sim 905\text{MHz}, V_{cc1}=9V$ $V_{cc2}=V_{cc3}=15.2V, P_o=8W$	20:1			—

●M57771

車載用5Wパーソナル無線機送信部用の混成集積回路。シリコントランジスタ5段で構成されており、標準動作電圧12.5V（初段電圧8V）で、1mWのVCO出力で、8W以上の電力まで増幅します。

●M57772

携帯用5Wパーソナル無線機送信部用の混成集積回路。動作電圧7.2V、1mWのVCO出力で、7W以上の高周波電力が得られます。電力制御は初段電源電圧で行うことができ、出力7W時の総合効率38%以上と高性能です。とくに動作電圧が7.2Vと低電圧なため、初段に三菱電機が世界に誇る高性能GaAsFETを採用し、高利得を実現。初段GaAsFET、以降、高性能低電圧動作シリコントランジスタ4段の5段構成です。

M57772 仕様

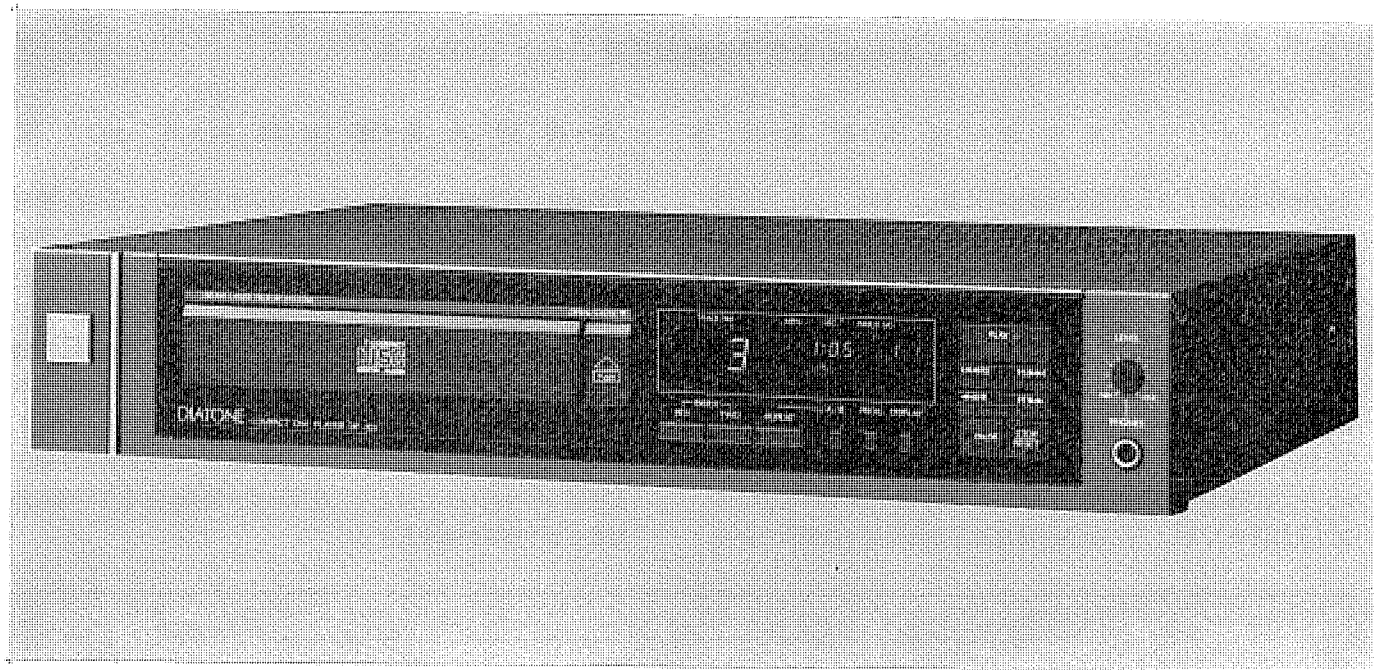
最大定格（ $T_c=25^\circ\text{C}$ ）

項 目	記 号	条 件	定 格 値	単位
動 作 電 圧	V_{cc1}		9	V
動 作 電 圧	$V_{cc2,3}$		11	V
消 費 電 流	I_{cc}		5	A
入 力 電 力	P_{in}	$Z_G=Z_L=50\Omega, V_{cc1}\leq 7.2V$	7	mW
出 力 電 力	P_o	$Z_G=Z_L=50\Omega$	10	W
動作ケース温度	$T_c(op)$		$-30\sim+110$	$^\circ\text{C}$
保 存 温 度	T_{stg}		$-40\sim+110$	$^\circ\text{C}$

電気的特性（ $T_c=25^\circ\text{C}$ ）

項 目	記 号	条 件	特 性 値			単位
			最小	標準	最大	
出 力 電 力	P_o	$f=903\sim 905\text{MHz}$	7	8		W
2次スプリアス強度		$V_{cc}=7.2V$			-30	dB
入力定在波比	P_{in}	$P_{in}=1mW$			2.8	—
出力定在波比	P_{out}	$Z_G=Z_L=50\Omega$		2		—
総 合 効 率	η_T	$f=903\sim 905\text{MHz}, V_{cc2}=V_{cc3}=7.2V$ $P_{in}=1mW, P_o=7W, Z_G=Z_L=50\Omega$	38	40		%
負荷変動試験		$f=903\sim 905\text{MHz}, V_{cc1}=7.2V$ $V_{cc2}V_{cc3}=9V, P_o=8W$	20:1			—

三菱コンパクトディスクプレーヤ DP-105形



DP-105形は当社のCDプレーヤの第3世代機で、第2世代機のDP-103形で好評を得たサウンドポリシーをそのまま受け継ぎ、さらにプログラム選曲やインデックスサーチなどの選曲機能を付加することにより商品力を強化した製品です。

DP-105形には、当社独自の光ピックアップと専用サーボICを搭載することにより、安定した再生能力を実現するとともに8ビット・6Kバイトのワンチップマイコンの機能を最大限に活用して、優れた操作性を持たせています。

特長

- 最大30曲までのランダムプログラム選曲が可能。
- 一つの曲番内でインデックス指定の頭出しができるインデックスサーチ機能付。
- 4モードのリPEAT機能が可能。
 - ①ディスク全曲リPEAT
 - ②1曲リPEAT
 - ③プログラム選曲リPEAT
 - ④任意2点間リPEAT
- レベルコントロール付ヘッドホン出力端子付。
- モータドライブのスライディングトレイ方式のディスクローディング機構採用。

仕様

方 式	コンパクトディスクプレーヤ
サンプリング周波数	44.1kHz
誤り訂正方式	CIRC方式
復調方式	EFM方式
D A 変換	16ビット 直線
周波数特性	5~20,000Hz ±0.5dB
ダイナミックレンジ	94dB以上 (1kHz)
高調波含有率	0.003%以下 (1kHz、0dB)
外形寸法 (mm)	424×79×300 (W×H×D)
重 量	5.3kg
消費電力	18W

トンネル内の換気予測制御装置 (特許 第900629号)

発明者 松木純也・中堀一郎・渡辺秀雄・梅本隆司・三浦望

この発明は道路トンネルの換気制御装置に関し、特にトンネル内の汚染状況を予測することによりトンネル内環境を最少エネルギーで最適に維持しようとする装置に係るものである。

従来では道路トンネルの換気制御装置は、煙霧透過率(VI値)、CO濃度の計測データによるフィードバック制御機能が主流であった。この方法は10~15分の換気制御効果の遅れが影響してハンティング現象は避けられず、換気機の運転頻度の高い割にトンネル内環境指標が不安定であった。このようなことから、本発明は、トンネル上流の交通量カウンタ、地点速度計から得られる時々刻々の車速データを伝送装置により計算機に入力し、トンネル内各区分毎・各時間毎の自動車の密度

平均速度の状態推定をカルマンフィルタ理論を適用し、オンライン推定し、予測の高速処理を行なわせ、トンネル内各地点の自動車廃ガス発生量を予測し、換気量を計算して制御を前広に行なうようにしたものである。この装置によってトンネル内の環境を許容値内に安定して、かつ、換気機の消費電力を最少にするオンライン換気予測制御を実現し得る。実際の制御ロジックとしては予め設定された汚染状況の基本パターンに対する最適制御モードをオフラインでシミュレーションしておき、実際の汚染量(VI、COの値)との差に応じて換気制御量を修正する機能も併せ持つものであり、計算周期や制御周期を含め最適制御装置となり得る特徴を有する。

誤字修正
Vol. 59 No. 2 p. 62 (196) 左欄5行目
正：万能簡易言語 誤：不能簡易言語

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 59 No. 5 冷凍・空調特集

特集論文

- 冷凍・空調技術の展望
- 空調の気流・温度分布シミュレーションシステム
- 大形環境試験設備
- シングルスクリュー圧縮機
- 冷蔵庫用小形ロータリ圧縮機
- インバータ制御冷凍機
- 汎用パッケージエアコン New Pシリーズ
- 産業空調用パッケージエアコン PAT・PWT-Bシリーズ

- 複数台集中設置形パッケージエアコン室外機
 - 薄形天吊りカセット式パッケージエアコン
 - ヒートポンプ式浴室衣類乾燥ユニット
- 普通論文
- NC工作機械用ワーク着脱ロボット
 - 電子ビーム溶接におけるオンライントラッキングシステム
 - 三菱パーソナルコンピュータ《MULTI16 II》日本語コンカレントCP/M-86

三菱電機技報編集委員				三菱電機技報 59 巻 4 号	
委員長	馬場 準一	委 員	馬場 俊晃	(無断転載を禁ず)	
副委員長	岸本 駿二	"	山内 敦		
"	三浦 宏	"	武富 大児	昭和 60 年 4 月 22 日 印刷	
委 員	峯松 雅登	"	瀬辺 国昭	昭和 60 年 4 月 25 日 発行	
"	翠川 祐	"	竹内 政和	編集兼発行人 岡田 俊介	
"	三 道 弘 明	"	徳 山 長		
"	大年 倉 像	"	柴 山 恭一	印 刷 所 東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地 大日本印刷株式会社	
"	吉田 太郎	"	永井 昭夫		
"	川井 尚	"	小原 英一	発 行 所 東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 2 号 (〒 100) 菱電エンジニアリング株式会社内	
"	立川清兵衛	"	尾形 善弘		
"	的 場 徹	幹 事	岡田 俊介	発 売 元 東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (〒 101) 株式会社 オーム社	
"	田中 克介	4 号特集担当	寺 田 真		
"	野村兼八郎			Tel. (03) 233 局 0641(代), 振替口座東京 6-20018	
"	酒井 靖夫				
				定 価	1 部 500 円送料別 (年間予約は送料共 6,700 円)



このたび伊丹製作所内に車両推進システム総合試験設備を新設、稼動を開始しました。これは、電機品から走行装置、車体まで含めた車両全体の総合的な組合せ試験を可能にした設備です。現車走行と等価な状態で車両の振動特性などの機械的性能あるいは坂道発進など種々の電氣的性能の確認が行えます。さらに、実路線走行に対応した運転をすることにより、現車走行時の各機器の温度上昇あるいは消費電力量の予測、誘導障害の確認などが可能です。また備え付けられたコンピュータにより、即時に計測データの処理が行えるようになっています。

設置仕様

ホイールベース	mm	1600～3000
ゲージ	mm	1000～1680
許容荷重	ton	36(1台車当り)
軌条輪	外径 mm	1000
	偏心量 mm	0～2
	最高回転数 rpm	850(定格10分)
	最高速度 km/h	160
フライホイール	G D ² kgm ²	570×2(1台車当り)
	最高回転数 rpm	3400(定格10分)

試験項目

温度上昇試験
過渡変動試験
騒音試験
主電動機脈動トルク測定試験
力行・制動(回生)試験
粘着性能試験
空転・滑走試験
自励振動試験
車輪径差試験
走行装置、車体の走行安定性確認試験
走行装置、車体の応力・振動測定試験
走行装置の加振試験
勾配起動試験
誘導障害試験