

MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報



Vol.57 No.4

工業用計算機システム
《MELCOM 350-60》特集

工業用計算機システム《MELCOM 350-60》特集

目次

特集論文

- 工業用計算機《MELCOM 350-60》モデル500のハードウェアシステム…………… 1
朱雀二郎・黒田健児・下間芳樹・科野順蔵・渡辺信也
- 工業用計算機《MELCOM 350-60》の基本ソフトウェア…………… 5
小川義高・菊竹秀夫・野村晃男・大原 彰・池山茂樹
- 工業用計算機《MELCOM 350-60》のソフトウェア開発支援システム…………… 10
加藤幸男・小林 博・竹田栄作・David.G.BLIESNER・大久保忠雄
- 工業用データウェイシステム《MDWS-60》…………… 15
松本正弘・那須昭吾・池山茂樹・三野容志郎

普通論文

- 原子炉核計装用高温核分裂計数管—電離箱の開発…………… 21
友田利正・深草伸二・山下進一・若山直昭・山岸秀志
- 韓国KETRI（電気通信研究所）納め大容量短絡試験設備…………… 26
辺 勝鳳・林 重雄・合田啓治・斎藤博士・斎藤伸朗
- 韓国KETRI（電気通信研究所）納め6,000MVA短絡発電機…………… 31
田中正昭・田熊良行・河相成孝
- 24kV及び36kV, 40kA大容量ガス遮断器と閉鎖配電盤…………… 37
堤 透・片山 明・古林 昇・長谷川 裕
- インバータ駆動時の電動機の機械的諸特性…………… 43
竹下光夫・佐藤公夫・柳沢公人・清水正義
- 《MELCOM-COSMO 900 II》の高速ベクトル演算処理システム…………… 48
益田嘉直・森 伯郎・藤掛 遵・佐々木良男
- 《MELCOM 80》ビジネスグラフシステム…………… 53
富沢研三・太田将夫・高橋真理・川上孝仁
- ソフトウェア品質評価支援システム“SQUARE”…………… 57
中山俊英・佐伯正夫
- 高出力GaAs FETのパルス動作特性…………… 61
大橋光雄・酒寄隆雄・鈴木 武・西岡保彦・斎藤日出夫
- MASS付カーラジオ RX-240SY形…………… 64
池田洋介・井上弼文・金森一憲

特許と新案…………… 19, 70

アナログ—デジタル変換装置
中継増幅器を用いた通信装置

スポットライト

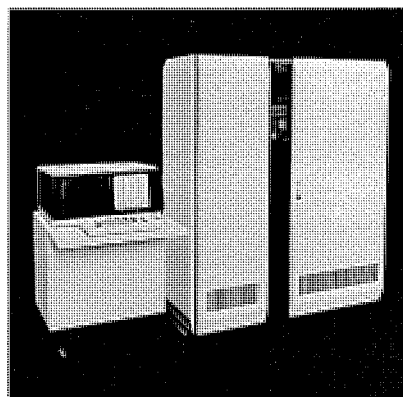
- 三相35kVAモールド式アモルファス変圧器…………… 20
- 三菱音声合成学習機《さんすうめきめき》、《えいごめきめき》…………… 68
- 《エレドラヒーボン霧ヶ峰》MSHEシリーズ…………… 69
- 三菱オープンレンジRO-1000形、電子レンジRR-50形……………（表3）

表紙

32ビット工業用計算機《MELCOM 350-60》

この計算機は、工業用計算機としては最上位の32ビットアーキテクチャを採用した高速大容量のマシンであり、昭和57年5月より発売を開始した。

最近のシステムの大規模化、高度化などに対応し、加算時間、95ナノ秒と100ナノ秒を切る高速性と、最大実装記憶容量16Mバイトを実現し、基本言語として構造化FORTRAN77を採用し、OSを意識せずプログラミングが可能な方式をとるなど、使いやすさを徹底させて開発した最新鋭の計算機システムである。更に各種の高信頼化機構を付加し、工業用として、電力、鉄鋼などの産業、交通、水処理など広い分野への適用を計画している。



アブストラクト

工業用計算機《MELCOM 350-60》モデル500のハードウェアシステム

朱雀二郎・黒田健児・下間芳樹・科野順蔵・渡辺信也

三菱電機技報 Vol.57・No.4・P1~4

32ビット工業用の計算機《MELCOM 350-60》モデル500を開発した。この計算機は《MELCOM 350シリーズ》の最上位機種であり、160Kバイトのキャッシュ、5段のパイプライン制御を使用し95nsの加算速度と5 μ sの正弦関数の計算速度をもち、今までの《MELCOM 350-50/A2500》に比べて2.5倍の性能向上をもつ。また16Mバイトの主メモリは、プログラム/データの常駐化を促進しシステムの高速度化、単純化が可能となった。

原子炉核計装用高温核分裂計数管-電離箱の開発

友田利正・深草伸二・山下進一・若山直昭・山岸秀志

三菱電機技報 Vol.57・No.4・P21~25

高速炉、高温ガス炉など新型炉の核計装に高温でも動作する中性子検出器が必要とされている。我々は、高性能の動作特性と優れた耐熱性を両立させた核分裂計数管-電離箱の開発に成功した。これは原子炉の起動領域から出力領域までの広い計測範囲をカバーできるものであり、温度依存性もなく600℃で長期間の使用が可能である。また信号パルス幅は、約100nsと狭いため10⁶R/hの高いガンマ線環境下でも支障なく中性子の計測ができる。

工業用計算機《MELCOM 350-60》の基本ソフトウェア

小川義高・菊竹秀夫・野村晃男・大原 彰・池山茂樹

三菱電機技報 Vol.57・No.4・P5~9

32ビット工業用計算機《MELCOM 350-60》の基本ソフトウェアは、リアルタイム性能の向上、ソフトウェアの信頼性向上及び使いやすさを目的として開発した。

本稿では基本ソフトウェアの体系と中核となるスーパーバイザとファイルシステム、基本応用ソフトウェアパッケージとしてマンマシンシステム、センサベース管理システム、通信回線管理システム、分散制御システムについてその特長と高速化/高信頼化手法について述べる。

韓国KETRI(電気通信研究所)納め大容量短絡試験設備

辺 勝鳳・林 重雄・合田啓治・斎藤博士・斎藤伸朗

三菱電機技報 Vol.57・No.4・P26~30

韓国KETRIへ納入した大容量短絡試験設備を紹介する。短絡1/2サイクル後6,000MVAの短絡発電機を有しており、試験電流は50kAまで、電圧は直接試験で3.6~25.8kV、合成試験で全点試験34.5~170kV、ユニット試験230~362kVまで可能である。三菱電機㈱は計測装置を含む全設備を納入した。

この設備は韓国の国家的プロジェクトとして、今後の同国電気機器産業の発展に大きく貢献することが期待されている。

工業用計算機《MELCOM 350-60》のソフトウェア開発支援システム

加藤幸男・小林 博・竹田栄作・David.G.BLIESNER・大久保忠雄

三菱電機技報 Vol.57・No.4・P10~14

32ビット工業用計算機《MELCOM 350-60》のソフトウェア開発/保守を支援するシステムは、ソフトウェアの生産性向上、信頼性向上を図るものである。システムの計画段階から製作、調整、改造に至るライフサイクルのサポートを目指し、エディタ、コンパイラはもとよりデータ/ファイル定義、CRT画面作成、エラー解析、性能評価、バージョン管理、シミュレート、ホストプロセッシングなどのツールを採用している。

韓国KETRI(電気通信研究所)納め6,000MVA短絡発電機

田中正昭・田熊良行・河相成孝

三菱電機技報 Vol.57・No.4・P31~36

韓国KETRI向けに短絡発電機を製作し、1982年9月に現地性能試験を終了した。本機は短絡容量6,000MVA(三相突発短絡1/2サイクル後、対称分)と世界でも最大級の短絡発電機である。本機の設計・製作に当たっては既に実績のある4極、円筒回転子、空気冷却方式をベースに最新のタービン発電機製作技術を適用した。

本稿では短絡発電機及び補機(潤滑油系統など)の特性、構造の概要並びに工場試験・現地試験結果について報告する。

工業用データウェイシステム《MDWS-60》

松本正弘・那須昭吾・池山茂樹・三野容志郎

三菱電機技報 Vol.57・No.4・P15~18

工業用計算機システムの分散化指向に対する工業用の通信システムとして、従来のデータウェイとは異なった方式のデータウェイを開発した。このデータウェイは、共有メモリの概念を採用し、他の計算機のメモリを直接読出し、書込みできることや、通信装置のアドレスをプログラム設定できるなどの特長を有し、今後の分散制御システムの有力なツールとなるものである。

24kV及び36kV、40kA大容量ガス遮断器と閉鎖配電盤

堤 透・片山 明・古林 昇・長谷川 裕

三菱電機技報 Vol.57・No.4・P37~42

発電設備の大容量化に伴い、特別高圧領域の開閉装置も大容量化の要求が増えつつある。これらの需要にこたえるべく定格電圧24kV及び36kV、定格遮断電流40kAのガス遮断器と収納閉鎖配電盤を開発した。この遮断器は単圧式パツファ形消弧室の最適設計により、従来の空気遮断器に比べ飛躍的な小形軽量化に成功し、収納閉鎖配電盤自体の小形化が図れ、信頼性、安全性の向上に加えて省スペース、保守の省力化などのニーズに適合するものである。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 4, pp. 21~25 (1983)

The Development of High-Temperature Fission-Counter Chambers for Nuclear-Reactor Control and Protection

by Toshimasa Tomoda, Shinji Fukakusa, Shin'ichi Yamashita,
Naoki Wakayama & Hideshi Yamagishi

The instrumentation for fast-breeder reactors, high-temperature gas reactors, and similar n-w reactors requires neutron detectors capable of operating at high temperatures. The authors have succeeded in developing fission-counter chambers possessing both improved operating characteristics and high heat resistance. The measurement range of these chambers is wide enough to cover all reactor conditions from start-up to full power. Measurements using them show no temperature dependence, and the chambers can withstand long-term operation at temperatures up to 600°C. In addition, the narrow, 100ns pulse width enables neutron measurement to be performed under gamma-ray dosages of up to 10⁶R/h.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 4, pp. 1~4 (1983)

The MELCOM 350-60 Model 500 Industrial Computer System

by Jiro Sujaku, Kenji Kuroda, Yoshiki Shimotsuma, Junzo Shinano
& Shinya Watanabe

The article describes the 32-bit MELCOM 350-60 Model 500 industrial computer recently developed by Mitsubishi Electric. The MELCOM 350-60, the top-of-the-line Series 350 computer, possesses a 160KB cache memory and uses a five-level pipeline system. Addition is performed in 95ns while sine calculations take 5μs, 2.5 times faster than its predecessor, the MELCOM 350-50 A2500. By making the program data resident in the 16MB main memory, system structure has been simplified, with a corresponding increase in speed.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 4, pp. 26~30 (1983)

High-Power Testing Facilities for KETRI

by Sung Bong Byon, Shigeo Hayashi, Keiji Goda, Hiroshi Saito
& Shinro Saito

The article discusses the high-power testing facilities delivered to the Korea Electrotechnology and Telecommunications Research Institute (KETRI). The short-circuit generator can produce 6,000MVA one half-cycle after a short circuit, enabling test currents of up to 50kA to be used. The maximum voltages available are 3.6~25.8kV for direct tests, 34.5~170kV for full-pole synthetic tests, and 230~362kV for unit tests. The entire system, including instrumentation, was produced by Mitsubishi Electric. This equipment is expected to be of great value in South Korea's national-development project for the electrical-equipment-manufacturing industry.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 4, pp. 5~9 (1983)

The Basic Software of the MELCOM 350-60 Industrial Computer

by Yoshitaka Ogawa, Hideo Kikutake, Akio Nomura, Akira Ohara
& Shigeki Ikeyama

Software for the 32-bit MELCOM 350-60 industrial computer was developed with the aim of improving real-time performance, increasing software reliability, and simplifying usage. The article introduces the main features of the software system and describes how speed and reliability were raised in the basic software organization comprised of the central supervisor the file system, and the semibasic software package consisting of the man-machine interface system, sensor-base management system, data-communications management system, and distributed-control system.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 4, pp. 31~36 (1983)

A 6,000MVA Short-Circuit Generator for KETRI

by Masaaki Tanaka, Yoshiyuki Takuma & Shigetaka Kawai

In September 1982, after producing a short-circuit generator for the Korea Electrotechnology and Telecommunications Research Institute (KETRI), the authors conducted on-site performance tests. The generator possesses a 6,000MVA short-circuit capacity, (symmetrical component one half-cycle after a 3-phase sudden short circuit), which places it among the largest in the world. Generator design and construction were based on a proven air-cooled, 4-pole, cylindrical-rotor design produced using the newest turbine-generator-manufacturing technology. The article discusses the characteristics and construction of the generator and its lubrication system and reports on the results of factory and field testing.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 4, pp. 10~14 (1983)

The Software-Development System for the MELCOM 350-60 Industrial Computer

by Sachio Kato, Hiroshi Kobayashi, Eisaku Takeda, David G. Bliesner
& Tadao Okubo

The development of a software-development and maintenance-support system for the 32-bit MELCOM 350-60 has increased the system's software productivity and reliability. This system is aimed at providing support over the full software life cycle—from the system-planning stage through production, modification, and subsequent upgrading. Based on an editor and a compiler, the software-development system includes tools for data/file definition, CRT display generation, error analysis, performance evaluation, version management, simulation, host processing, and other functions.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 4, pp. 37~42 (1983)

24kV and 36kV, 40kA Large-Capacity SF₆-Gas Circuit Breakers and Metalclad Switchgear

by Toru Tsutsumi, Akira Katayama, Noboru Kobayashi
& Hiroshi Hasegawa

Growth in power-plant and substation capacity has led to increasing requirements for large-capacity, medium-voltage-class switchgear. To meet these needs, Mitsubishi Electric has developed 24kV- and 36kV-rated gas circuit breakers and metalclad cubicles with a rated interrupting-current capacity of 40kA. By optimizing the design of a puffer-type (single-pressure) arcing chamber, a large reduction in size and weight has been achieved over conventional air-blast circuit breakers, cubicle size has been reduced, and reliability and safety improved. These advances have permitted the manufacture of circuit breakers and switchgear capable of meeting current needs for space-saving and reduced-maintenance requirements.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 4, pp. 15~18 (1983)

The MDWS-60 Industrial Dataway System

by Masahiro Matsumoto, Shogo Nasu, Shigeki Ikeyama & Yojiro Mino

A novel dataway system has been developed as a communications system for industrial distributed computer systems. Based on the concept of shared memory, this dataway system permits direct read and write operations on the memory of other computer systems, programmed setting of communications-unit addresses, and other features, making it a powerful tool for distributed control systems.

アブストラクト

インバータ駆動時の電動機の機械的諸特性

竹下光夫・佐藤公夫・柳沢公人・清水正義

三菱電機技報 Vol.57・No.4・P43～47

高調波成分をもったひずみ波電圧、電流のインバータで小形誘導電動機を駆動した場合の電動機の振動、騒音、損失による熱影響について解析し、その実験結果を説明した。特に振動、騒音については時間高調波による電磁加振力を重点に、熱解析については損失の形態を明らかにし、通風熱解析を例題をもって解説した。

ソフトウェア品質評価支援システム“SQUARE”

中山俊英・佐伯正夫

三菱電機技報 Vol.57・No.4・P57～60

フィールドでの故障に関する種々のデータから学びとった教訓・情報を、品質管理サイクルの中核に位置する品質管理部門がその立場を生かして各作業段階へ適切にフィードバックしていくことは、ソフトウェア製品品質向上のための重要かつ効果的な施策である。“SQUARE”は、柔軟かつ多角的な集計・分析・レポート機能によってフィールド故障データベースに基づく品質向上施策を強力に支援するとともに管理業務の省力化、管理密度の向上を実現した。

《MELCOM-COSMO 900 II》の高速ベクトル演算処理システム

益田嘉直・森 伯郎・藤掛 遵・佐々木良男

三菱電機技報 Vol.57・No.4・P48～52

科学技術計算の進展に伴い、高速ベクトル演算処理に対する要求が高まってきている。当社では汎用電子計算機《MELCOM-COSMO 900 II》に付加機構として内蔵アレー処理装置を開発し、併せて自動ベクトル化FORTRANコンパイラを作成した。これらによりベクトル計算や行列計算を容易に高速処理することができ、性能価格比の大幅な向上をみた。

本稿では、高速ベクトル演算処理システムの概要、特長及びコンパイラの方式、利用効果について紹介する。

高出力GaAs FETのパルス動作特性

大橋光雄・酒寄隆雄・鈴木 武・西岡保彦・斎藤日出夫

三菱電機技報 Vol.57・No.4・P61～63

現在開発中の6 GHz帯CW出力5 W以上の内部整合形高出力GaAs FETのパルス動作特性を検討した。ドライブ方式、素子構造、パルス条件などとパルス特性との関連及びCW特性との比較を行った。アップサイドダウン構造素子をドレインパルス動作させた場合、CW動作と比較して、直線電力利得1.2dB、出力電力3.4W、付加電力効率13%の特性向上があった。

《MELCOM 80》ビジネスグラフシステム

富沢研三・太田将夫・高橋真理・川上孝仁

三菱電機技報 Vol.57・No.4・P53～56

オフィスオートメーションの推進に伴い、その中核機器であるオフィスコンピュータから出力される情報も表形式のものから、イメージに訴えるグラフ化された資料へと広がってきている。《MELCOM 80》日本語では標準のディスプレイやプリンタ装置に図形出力機能をもたせ、各種グラフを作成するビジネスグラフシステムを開発した。このシステムは日本語データ処理と図形処理とを隔合させ、簡単に美しい資料を出力できる特長がある。

MASS付カーラジオRX-240SY形

池田洋介・井上弼文・金森一憲

三菱電機技報 Vol.57・No.4・P64～67

電子同調式カーラジオにおいて、電波が弱くなると自動的に、より強く、かつ同一内容の放送局に切替わるMASS、及びワンタッチで電界強度の強い局5局をメモリし、その中の最も強い局から順次受信することのできるオートメモリ機能を開発した。

本稿は業界で初めての、この二つの機能が搭載された三菱自動車工業(株)向けカーラジオRX-240SYについてその概要を述べる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 4, pp. 57~60 (1983)

SQUARE: A Software Quality-Control Support System

by Toshihide Nakayama & Masao Saeki

An effective policy for the improvement of software quality will necessarily incorporate a means of feeding back the lessons learned and the information acquired from failures in the field to the software quality-control department. This department, with its central role in the quality-control cycle, can then ensure that the information is incorporated appropriately at each stage of the development process. The Mitsubishi SQUARE (Software Quality and Reliability Evaluator) system provides flexible, multipurpose summarizing, analytical, and reporting functions to achieve improved software quality control by using a database for on-site failures. It also offers labor savings and enables more efficient management.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 4, pp. 43~47 (1983)

The Mechanical Characteristics of Industrial Motors Driven by an Inverter

by Mitsuo Takeshita, Kimio Sato, Kimito Yanagisawa
& Masayoshi Shimizu

When a small induction motor is driven by an inverter, the non-sinusoidal voltage and current components in the form of high-frequency harmonics causes motor vibration, noise, and power loss. The article discusses the testing and analysis of these factors and, in particular, clarifies the noise-loss mechanism through thermal analysis of magnetomotive forces caused by time-dependent harmonics. These findings are illustrated by examples of ventilation and thermal analysis of small induction motors.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 4, pp. 61~63 (1983)

Pulsed Operation of High-Power GaAs FETs

by Mitsuo Ohashi, Takao Sakayori, Takeshi Suzuki, Yasuhiko Nishioka
& Hideo Saito

The authors investigated the pulse-operation characteristics of internally matched GaAs FETs possessing 6GHz-band CW outputs of at least 5W. The study correlates pulse characteristics with the mode of operation, device structure, and pulse condition, and compares these characteristics with the CW characteristics. It established that drain-pulse operation of an upside-down structure element gives an improvement in RF performance over CW operation of the same structure, as shown by a linear power gain of 1.2dB, an output power of 3.4W, and a 13% increase in power-added efficiency.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 4, pp. 48~52 (1983)

The High-Speed Vector-Processing System of the MELCOM-COSMO 900II

by Kanae Masuda, Hakuro Mori, Jun Fujikake & Yoshio Sasaki

Progress in scientific and technical calculations has lead to a growing demand for high-speed vector calculations. Mitsubishi Electric has developed an integrated array processor and automatic-vectorizing FORTRAN compiler as an option for the MELCOM-COSMO 900II computer system. This facilitates the performance of vector calculations and matrix calculations, achieving significant gains in cost-effectiveness. The article outlines the high-speed vector system, includes discussion of compiler structuring, and cites examples of effective system application.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 4, pp. 64~67 (1983)

The Model RX-240SY MASS Car Radio

by Yosuke Ikeda, Narifumi Inoue & Kazunori Kanamori

Mitsubishi Electric has developed an electronically tuned car radio, the RX-240SY, with innovative MASS (Microcomputer Automatic Station Selector) and auto-memory functions. When the field strength of the station being listened to in the car drops, the MASS function automatically selects a stronger station carrying the same program. The RX-240SY also has an auto-memory function that memorizes five stations and automatically selects them in the order of descending field strength. The article discusses this innovative car radio fitted to Mitsubishi Motor Co. automobiles.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 4, pp. 53~56 (1983)

The MELCOM 80 Business-Graphics System

by Kenzo Tomisawa, Masao Ota, Shinri Takahashi & Takato Kawakami

Advances in office automation have been accompanied by an increasing trend toward the display of data in the form of visually attractive graphic reports rather than the tables produced by most small business computers. The MELCOM 80 Office Land system incorporates a business graphics system that includes Japanese-language (*kanji*) display devices and printers with a full range of graphic-output capabilities. The combination of *kanji*- and graphic-data processing simplifies the production of attractive hardcopy business graphics.

工業用計算機《MELCOM 350-60》モデル500のハードウェアシステム

朱雀二郎*・黒田健児*・下間芳樹*・科野順蔵*・渡辺信也*

1. ま え が き

近年の半導体技術とソフトウェア技術との目覚ましい進歩によって、一つにはデータウェイを中心とした分散処理ネットワークシステムが経済的に構築でき、地域的にも機能的にもますます分散処理の傾向が強まってきた。

一方、分散システムの中核となる中央の計算機には、システム全体の協調と効率の面から大量の情報が集められると同時に、高度な処理が要求されている。特に工業用計算機システムにおいては、システムの動きに対してリアルタイムに応答する能力が重要視されるため、大規模のプログラム、データを容易に扱える能力はもちろんのこと、それらを高速に処理できることが必ず(須)条件となる。しかしながら、従来の性能では高速処理が要求される機能については、ソフトウェアの生産性を犠牲にしてもアセンブラ言語で記述せざるを得なかった。そこで、次の新たな要請としてリアルタイム性能を十分に維持しつつ、ソフトウェアの生産性向上をねらってすべて高位言語で記述できる高性能、高信頼性計算機システムが求められている。

工業用計算機システム《MELCOM 350-60/500》(以下、M-60と称す)は、それらの要請を満たすため新たに開発したものであり、《MELCOM 350シリーズ》の最上位に位置し、今までの最上位機種であった《MELCOM 350-50/A 2500》の2.5倍の性能と、高い信頼

性をもつ32ビットのリアルタイム計算機システムである。

また、更にこれらの機能、性能の著しい向上の結果、最近ではCAD/CAMなどの設計、製造システムやファクトリーオートメーションに代表される生産管理システム、更には産業分野だけではなく、画像処理やラボラトリオートメーションなどの研究開発分野においても脚光を浴びている。(図1、図2)

2. 特 長

以上のような要請のもとに開発されたM-60システムの主な特長は次のとおりである。

(1) 大量の情報処理に適した32ビットマシン

大規模なプログラムと大量のデータを容易に扱えるようにするために32ビットマシンとし、論理空間の拡大、主メモリ実装も最大16Mバイトとシステム拡張にも十分対応できるものとした。

(2) 高速処理性能

置換えをプログラムで制御できる128Kバイトのスタティックキャッシュと、通常の置換えアルゴリズムで動作する32Kバイトのダイナミックキャッシュとを併用することによって、リアルタイム性能と高スループットとを同時に実現している。特に使用頻度の高いOS(オペレーティングシステム)やユーザープログラムをスタティックキャッシュに常駐させることによって100%のヒット率を保証することができる。

また、5段のパイプライン制御の採用とすべてのプログラムを高位言語で記述することを目的として、工業用計算機としては画期的な演算速度(加算:95ns、浮動小数点加算:300ns)を実現した。高位言語で記述しても従来以上の高い性能を得ることができ、プログラムの生産性、保守性を向上できる。

(3) RAS (Reliability, Availability, Serviceability) 機能の充実 ECC機構はもちろん、命令再実行、キャッシュメモリの自動縮退などハードウェア故障に対するシステム稼働率の向上や、16層の主メモリ保護リングにより、各ソフトウェアのレベル付けを行ってソフトウェアの信頼性をも向上している。また、256レベルのプログラムトレース機構をも内蔵し、エラー時のプログラム解析能力は従来に比較して格段に向上した。

(4) シリーズ互換

M-60では、《MELCOM 350-50》(以下、M-50と称す)シリーズとのソフトウェア互換性の維持をも重視し、M-50の基本命令はすべてサポートされている。また、入出力機器も《MELCOM 350シリーズ》全体として互換性があり、M-50システムからの移行、M-50システムとの分散処理システムの構築、M-60上でのM-50ソフトウェアの保守などシステムの拡張性、保守性に富んでいる。(表1)

3. システムの構成

M-60のシステム構成を図3に示す。M-60は負荷分散指向に基づいて設計しており、データ転送を行うMバスの下にCPU、チャネル、メモリが接続される構成になっている。共通メモリの下で複数のCPUが負荷分散処理したり、データウェイを介して地域的にも分散処理を

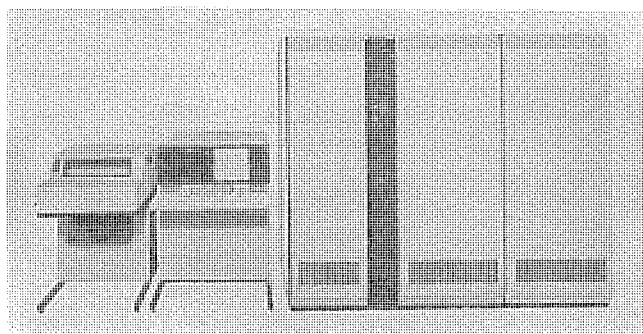


図1. M-60の概観

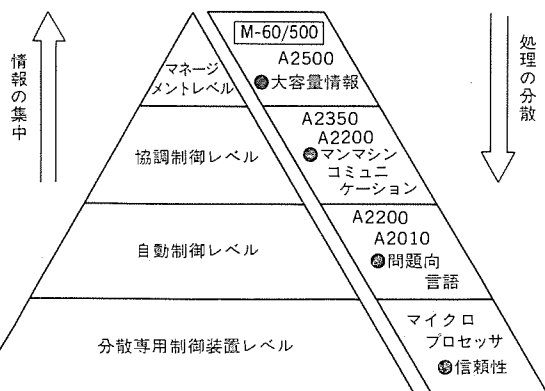


図2. 制御システムの機能階層

表 1. M-60 CPU 仕様

主メモリ	記憶素子	MOS-IC	割込み	8レベル+割込み要因コード (各レベルに対して、最大16レベル可能)
	最大容量	8/16Mバイト(増設単位1Mバイト)		
	実効サイクルタイム	250ns/8バイト		
	誤り制御方式	ECC		
コモンメモリ	メモリ保護機構	16レベルリング保護機構	入出力チャンネル	セレクトチャンネル マルチプレクサチャンネル インテグレートッドファイルアダプタ データウェイアダプタ コンピュータリンクージアダプタ
	最大8台のCPUからの共有可能 その他の仕様は主メモリに準じる			
演算部	論理素子	LSI, MSI, SSI	リアルタイム機能	監視時計機構(ウォッチドグタイマ) タイマ機構, エマージェンシ出力 メモリ保護機構, 特権命令チェック 自動/遠隔イニシアルプログラムローディング アドレスサーチ機構(アドレスサーチ割込みを含む)
	制御方式	マイクロプログラム		
	命令	命令数		
		形式		
		語長		
	データ形式	単精度, 倍精度固定小数点データ 単精度, 倍精度浮動小数点データ 固定長論理データ(ビット, バイト, ワード, ダブルワード) 可変長文字データ	デバッグ機能	不正アドレスチェック 不正命令チェック トレース
	アドレス方式	ページ方式		
	レジスタ	24(32ビット)		
	演算時間	固定小数点加算 0.095 μ s 固定小数点乗算 0.3 μ s 浮動小数点加算 0.3 μ s 浮動小数点乗算 0.5 μ s		設置環境 条件
				温度 0~40°C 湿度 20~80% RH

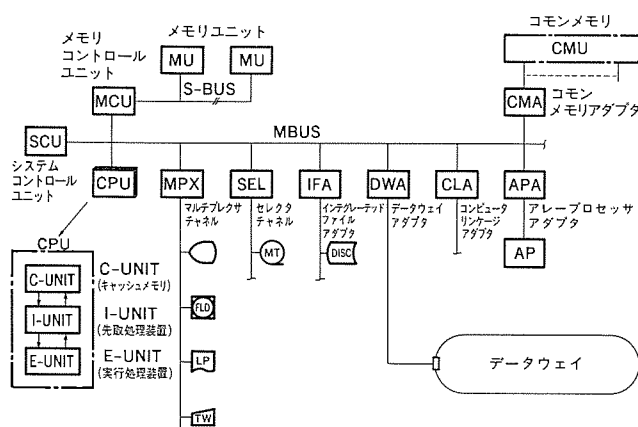
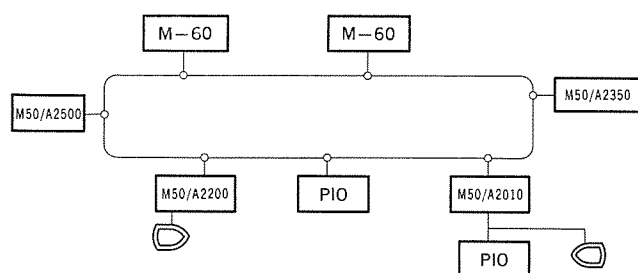


図 3. M-60 システム 構成



- M-60上でのM-60/M-50計算機のプログラム開発
- ダイレクト ローディング
- リモートCPUのメモリRead/Write
- データ/ファイルの転送

図 4. M-60 のデータウェイによる分散システム構成

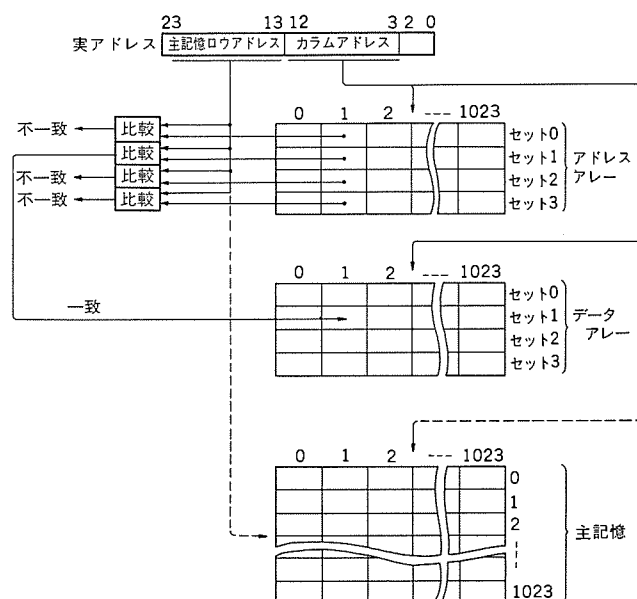


図 5. ダイナミック キャッシュメモリ の構造

4. ハードウェアシステム

4.1 CPU (Central Processing Unit)

CPU は、キャッシュメモリを内蔵したC-UNIT、命令の先取処理を行うI-UNIT、命令を実行するE-UNITで構成し、CPUとチャンネルの並列動作だけでなくCPU内部も並列動作を可能にし高速化を実現している。

4.1.1 キャッシュメモリ (C-UNIT)

キャッシュメモリは、高速な処理装置と大容量ではあるが比較的低速な主記憶装置との間にあって、使用頻度の高いプログラムやデータを保持しておく高速緩衝記憶である。

M-60のキャッシュメモリは、先取処理装置、実行処理装置からのクロックごとの連続リクエストを受け付け可能なように、内部でパイプライ

行うマルチコンピュータシステムが容易に構築できる(図4.)。

ン処理を行っている。データメモリの容量は160Kバイトで、32Kバイトのダイナミックキャッシュと128Kバイトのスタティックキャッシュからなる。一般にプログラムの挙動が予想し難い場合は、確率的にキャッシュのヒット率を上げることが重要である。このようなプログラムの高速化にダイナミックキャッシュを導入した。

ダイナミックキャッシュは図5.に示すように、1ブロック8バイト、1,024列×4行で構成している。マッピングアルゴリズムにはセットアソシアティブ方式、入替えアルゴリズムはLRU(Least Recently Used)法を採用し、高いヒット率を実現している。この形のキャッシュメモリは、ほとんどの汎用大形・中形機で採用されているが、プログラムの局所性を利用し確率的なスループット向上が目的であり万能とは言えない。リアルタイム制御の分野では、ある事象が発生した時に起動されるタスクの応答性が問題であり、OSも含めて一度しか実行されない命令列はキャッシュメモリの効果が薄く、別のプログラムやデータを追い出すという点でキャッシュの無効化と同様の結果を招く。

工業用分野の応用ではプログラムが比較的固定化されており、高い頻度で周期的に実行されるプログラムやスーパーバイザなどは、動作が推定できるプログラムと言える。M-60ではこのようなプログラムのために、スタティックなキャッシュメモリを128Kバイト導入した。図6.にこのキャッシュメモリの構造を示す。キャッシュメモリは16Kバイト×8個のブロックからなり、主記憶と実アドレスのページ単位で対応が付けられる。主記憶とキャッシュメモリのデータ転送のために、コネクタキャッシュ、ディスクコネクタキャッシュ、リバースキャッシュ命令が用意されている。スタティックキャッシュメモリに対する書込みは、主記憶に同時に書かれることがなく(ストアイン方式)連続した書込みで主記憶サイクルネックになることがなく高速である。

ダイナミック方式に対するスタティック方式の利点は、リプレイスがプログラムの制御下におかれているため、キャッシュメモリに配置すべきプログラムをプログラマが指定できることと、このようなプログラムはその実行速度を確率的にでなく保証できることである。M-60ではスーパーバイザをスタティックキャッシュメモリ上に配置しており、ダイナミックキャッシュでのコールドスタート時に比較して1.76倍の改善を達成している。一方、スーパーバイザの中でタスク管理機能が頻繁に起動されるが、実際のシステムで測定した結果、要求中約60%がディスパッチ不要で、元のプログラムを続行すべきであった。タスク管理機能がスタティックキャッシュに

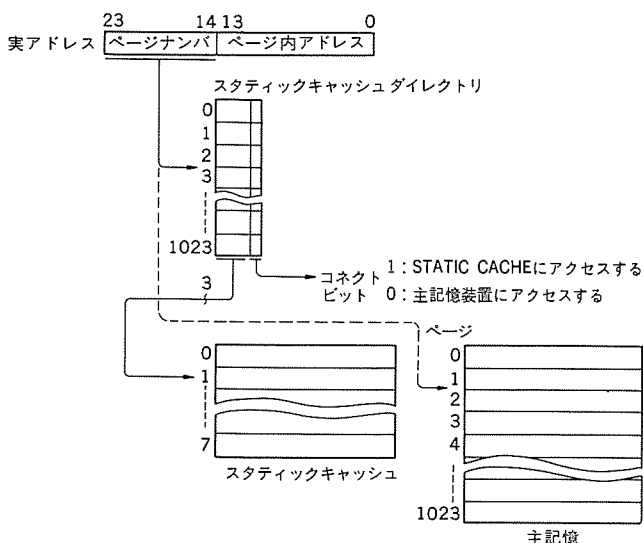


図 6. スタティック キャッシュメモリの構造

配置されていることから、ダイナミックキャッシュに格納されている元のプログラムのリプレイスはほとんど行われず、元のプログラムを続行する場合にキャッシュインのまま実行できる。

以上のように2種類のダイナミックキャッシュとスタティックキャッシュを併用し、その使い途を考慮することにより、リアルタイム制御分野におけるキャッシュメモリの有効性を大きく向上することができた。

4. 1. 2 先取処理装置 (I-UNIT)

高速化に対する全体的な思想は、リアルタイム処理を中心とした工業用計算機システムにおけるプログラムの動き、特質を十分に分析して高速化のポイントを絞ることが性能/価格比を向上する重要なファクターであるとしている。その意味で前項に述べた2種類のキャッシュメモリシステムはその典型であり、この項で述べるパイプライン処理、浮動小数点演算強化の上に立った関数プロセッサなどもシステムの特質を十分に考慮して設計されたものである。

命令の処理は一般に、①命令の読出し、②命令の解釈、③オペランドアドレス計算、④オペランド読出し、⑤命令の実行の五つの要素に分解できる。それらに要する時間が命令実行時間を決定するものであり、①～⑤の時間を極力短縮すべきである。

M-60では図7.に示すように、①～⑤の各要素を並列動作させること、すなわち5段階のパイプライン動作を行わせることにした。その並列動作を効果的に機能させるためには各要素の時間が短かく、かつ理想的には同一時間である必要がある。そのために一つの要素の最小単位を95 nsと、工業用計算機としては初めて100 nsを切った。命令/オペランドの読出し(①、④)を実効的に短縮するために、前項で述べたキャッシュメモリのほかに16バイトの命令バッファを導入した。命令の種類による①～④までの命令実行に至る準備と、⑤の命令実行との処理時間のばらつきを平滑化し、並列動作を更に効果的に行うために前処理済の命令とオペランドを格納しておくキューを設けている。

4. 1. 3 実行処理装置 (E-UNIT)

実行処理装置のハードウェア構成を図8.に示す。実行処理装置は前項で述べたようにキューに準備した命令と、そのオペランドを受けとり命令の実行を行う処理装置である。

M-60では高速演算を実現するため、同時実行が可能な三つの演算器と乗算器を並列に配置し、高度な並列処理を行っている。このための制御には、64ビットの水平形マイクロプログラムを採用し、同一実行サイクルでの演算動作を多重化させて処理に必要な実行サイクル数

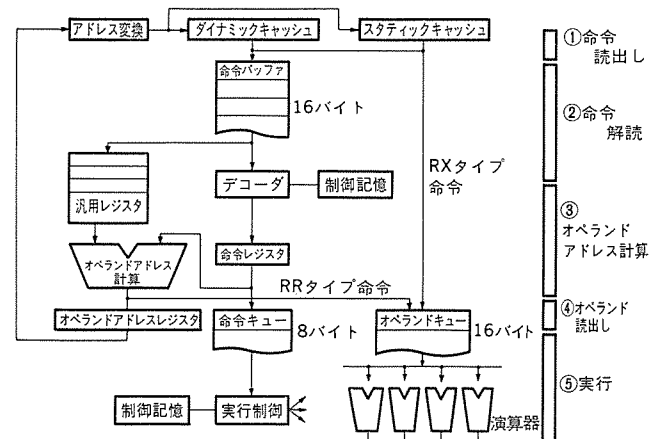


図 7. M-60におけるパイプライン制御

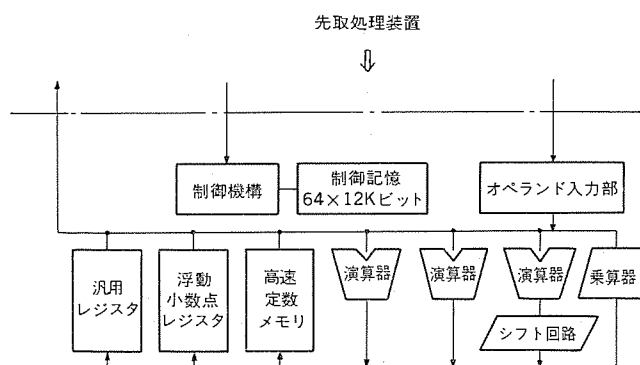


図 8. 実行処理装置の内部構造

が最小となるようにした。

更に、M-50 で実績のある高速定数メモリと演算のオーバラップ動作を用いたアルゴリズムにより関数演算の高速化を行った。これは、関数プロセッサとしてユーザーに提供し高位言語による記述でも高い性能を得る目的をより十分に達成することができた。

また、処理の高速化には OS の処理速度についても改善を図らなければならない。このため割込処理命令、キュー命令、ビットストリング命令などを OS 用大形命令として用意し、情報処理システムの性能強化を図っている。

4.2 チャンネル

工業用計算機の扱う情報量の増大傾向に対処するためには、CPU の能力だけでなく大量の入出力データを高速かつ高効率に転送する技術が要求される。M-60 の入出力システムでは、この課題に対処するために、次の特長を備えている。

- (1) マイクロプロセッサを用いて、入出力機器の特質に合った独立チャンネル方式を採用することにより、入出力処理における CPU に対する妨害をなくした。
- (2) チャンネルに、メモリバスの転送能力を最大限に引き出せるようなデータバッファリング機構を持たせることにより、メモリアクセスの回数を少なくし、データ転送時において CPU 及び複数のチャンネル間に起こる競合の頻度を低く抑えた。
- (3) ダイナミックチャンネルアドレス変換機構の採用により、OS の負荷を軽減した。

また、異常発生時における障害情報収集能力の充実、更にマイクロ診断機能の導入により RAS 機能を向上した。

なお、M-60 のチャンネルには、MPX、SEL、CLA、IFA、DWA など機能に合った多数のレポートリを用意している。

4.3 RAS 機能

M-60 では、オンラインリアルタイム計算機に要求される高信頼性をトータ

ルシステムとして実現することを前提に、回復機能・修復機能の充実を図っている。

(1) 障害検出機能の強化：障害を検知するためのパリティチェック、バスの時間監視などの機構を設けるとともに、障害注入機構により障害検出機能のチェックも行っている。

(2) エラー自動訂正機能：主記憶装置のデータに 1 ビット誤りが検出されると、ECC 機構により 1 ビット誤りを自動訂正する。

(3) 命令の再試行機能：命令実行中の障害に対しては、16 回の命令再試行を行う。

(4) 自動縮退運転：キャッシュメモリについては、障害発生時にその一部を切り離して運転を継続する。主記憶装置に 2 ビット以上の故障が発生した場合は、その故障部分を含むページを切り離しシステムの運転を継続する。

(5) 制御メモリ・制御テーブルの修復機能：制御メモリや制御テーブルの障害は自動修復を行い、命令再試行時の成功率を向上させている。

(6) ログアウト機能：障害を検出すると、プログラムによる回復処理のための障害情報を主記憶へ格納するとともに、保守や故障解析のための詳細な障害情報もログアウトされる。

(7) トレース機能：CPU と独立に動作するトレース機構を内蔵しており、256 レベルの信号値の変化を連続的に記録し、故障解析のための詳細情報としている。

(8) 二重化構成：ディスククロスコール、データウェイの二重化、共有記憶装置の二重化構成により、システム構成上の高信頼化手段を提供している。

5. む す び

M-60/500 は、十数年にわたる工業計算機のハードウェア、ソフトウェア両面にわたる実績を元に開発した、高性能 32 ビットリアルタイム計算機である。工業用計算機の分野はもとより、画像処理、CAD などの技術計算をはじめとする広範な分野にも十分にこたえることのできる計算機システムである。

今後ともあらゆる分野での計算機利用技術動向を踏まえ、顧客のニーズにこたえられるよう努力する所存である。

参 考 文 献

- (1) 米沢ほか：《MELCOM 350-50》工業用計算機システム、三菱電機技報、52、No. 3 (昭 53)
- (2) 武藤ほか：《MELCOM 350-50》工業用計算機システムモデル A 2500、三菱電機技報、54、No. 2 (昭 55)
- (3) 2 種のキャッシュ・メモリ採用などでリアルタイム処理を高速化した 32 ビット工業用コンピュータ、日経エレクトロニクス、No. 302 (昭 57)

工業用計算機《MELCOM 350-60》の基本ソフトウェア

小川 義高*・菊竹 秀夫*・野村 晃男**・大原 彰*・池山 茂樹*

1. ま え が き

計算機技術の発展に伴い工業用計算機分野も拡大し、上は大容量データを扱うマネージメントのレベルから、下はマイクロプロセッサによる分散専用制御装置まで幅広い広がりを展開している。オペレーティングシステム60（以下、OS60と称す）は高速処理、大容量記憶、拡張性、信頼性、保守性、生産性といった各種の要求に答えるべく開発された32ビット工業用計算機《MELCOM 350-60》（以下、M-60と称す）の基本ソフトウェアシステムである。このOSはハードウェアと同時設計を行い、ハードウェアの性能を十分に引き出すよう、きめ細かく配慮された機能をもつことを特長としている。

2. 開 発 意 図

工業用計算機のソフトウェアは、制御に使用されるものとシステムの運用を支援するものとに大別できる。M-60では前者のリアルタイム系のソフトウェアに対しては、高速化、高信頼化を目標とし、後者の支援ソフトウェアは使いやすさを目標とした。

2.1 高速化

リアルタイム制御システムにおけるOSは、ユーザーに便利な機能を用意すればするほど高頻度で使用され、そのオーバーヘッドがシステムの負荷に占める割合が増大する。実測データではOSの負荷が50%というシステムも珍しくない。ユーザーにM-60の高速性を享受してもらうため、M-60のソフトウェアでは次のような点に留意して高速化を図った。

(1) キャッシュ/パイプラインなどハードウェアを生かす方式

スーパーバイザ用に開発されたキャッシュメモリ上にスーパーバイザを配置した。このためスーパーバイザのキャッシュのヒット率は96.6%に向上した。また分岐命令の使用は、パイプラインによる先取りが有効に働くように、分岐の確率により判断して命令を使用した。FORTRAN 77で記述したプログラムをこのキャッシュに常駐できるようにした。そしてFORTRAN 77では、関数命令、サブルーチン命令などの高機能の命令を多数採用した。

(2) 大容量メモリの有効利用

スーパーバイザ、データ管理、FORTRANの実行時サブルーチン、基本応用ソフトウェアパッケージなどをすべて主メモリ常駐化し、全システムで共有可能とした。主メモリファイルの考え方も導入し、また主メモリをディスクと同一のアクセス方法で使える仮想ディスク方式の採用により、ディスクアクセスをほとんどなくすることも可能となった。

(3) アルゴリズムの改善とファームウェア化

スーパーバイザにおけるハッシングの使用や、ファイルシステムにおけるB-Treeなど高速化アルゴリズムを採用し、これらの一部はファームウェアとした。

(4) 最適化コンパイラの採用

FORTRAN 77では、定数式のコンパイル時計算やDOループ内の不変式のはじき出しなどを行う。

これらの手法の結果、スーパーバイザのタスク起動は《MELCOM 350 50/A 2500》に比べて1/5の時間で行える。

2.2 高信頼化

工業用計算機の信頼性は、基本ソフトウェアの信頼性とユーザーの作成する応用ソフトウェアの信頼性の両方が向上してはじめて達成される。このためM-60のソフトウェア作成時には、次の点を目指とした。

(1) 基本ソフトウェアの全バステスト

ハードウェアの動作をそのままソフトウェアで実現したシミュレータを作成し、すべてのプログラムをこのシミュレータ上にて動作させ、各プログラムのすべての命令が一度は実行されることを確認した。このシミュレータ上では、ディスクを始め各種デバイスもシミュレートし割込みもシミュレートする。これにより今までテストの行いにくかったハードウェアの故障時のソフトウェアの動作、ソフトウェアの並列動作などを自由に組合せてテストできた。

(2) ユーザープログラムインタフェースチェックの強化

ユーザープログラムの信頼性向上対策としては、ユーザーのミスを早期に検出し、これをシステム的な影響がないように局所化することが望ましい。このためスーパーバイザ、基本応用ソフトウェアパッケージなどとユーザープログラムのインタフェースでは、パラメータの数、形式、限界、使用権、書き込み権のチェックを徹底して行った。このためユーザーへのエラー報告の種数は、今までのOSに比べて3倍強となっている。

(3) ハードウェアの保護機能利用

M-60の16層のリング保護機構を利用して、各ソフトウェアの層づけを行い、他のソフトウェアをあやまって破壊することを防いだ。入出力装置に対しても書き込み保護の領域を設けている。

(4) 多重論理空間

各プログラムに独立の論理空間を与えることにより、各プログラムは他のプログラムがアクセスできないようにして、相互破壊を防いでいる。

3. ソフトウェア体系

ソフトウェアの構築にはユーザーから見て理解しやすい体系を目指し、ソフトウェアの体系とドキュメントの体系及びシステムの供給/生成といった作業が統一された概念で行えることを目標とした。ソフトウェアの構造は、各プログラムコンポーネントの独立性を高め、また基本応用ソフトウェアパッケージは他の基本応用ソフトウェアを介さず、直接スーパーバイザを使用する形にしてオーバーヘッドの減少を図った。

3.1 ドキュメント体系

図1にOS60のドキュメント体系を示す。ドキュメントは基本部とオプション部よりなり、基本部についてはすべての操作、エラーメッセージを一冊のドキュメントに集約した。オプション部のソフトウェアは選択して導入可能のため、それぞれのソフトウェアに対応してドキュメントを用意した。ただし操作、エラーメッセージは統一した様式を使用しているため、ユーザーはその部分のみ集めてまとめることも容易である。

3.2 ソフトウェア構造

構造を図2に示す。この特長は従来のハードウェア中心、OS中心の構造をユーザー中心にとらえなおしたことにある。そしてユーザーインタフェースはFORTRAN 77の基本言語に含まれたもののみとし、機

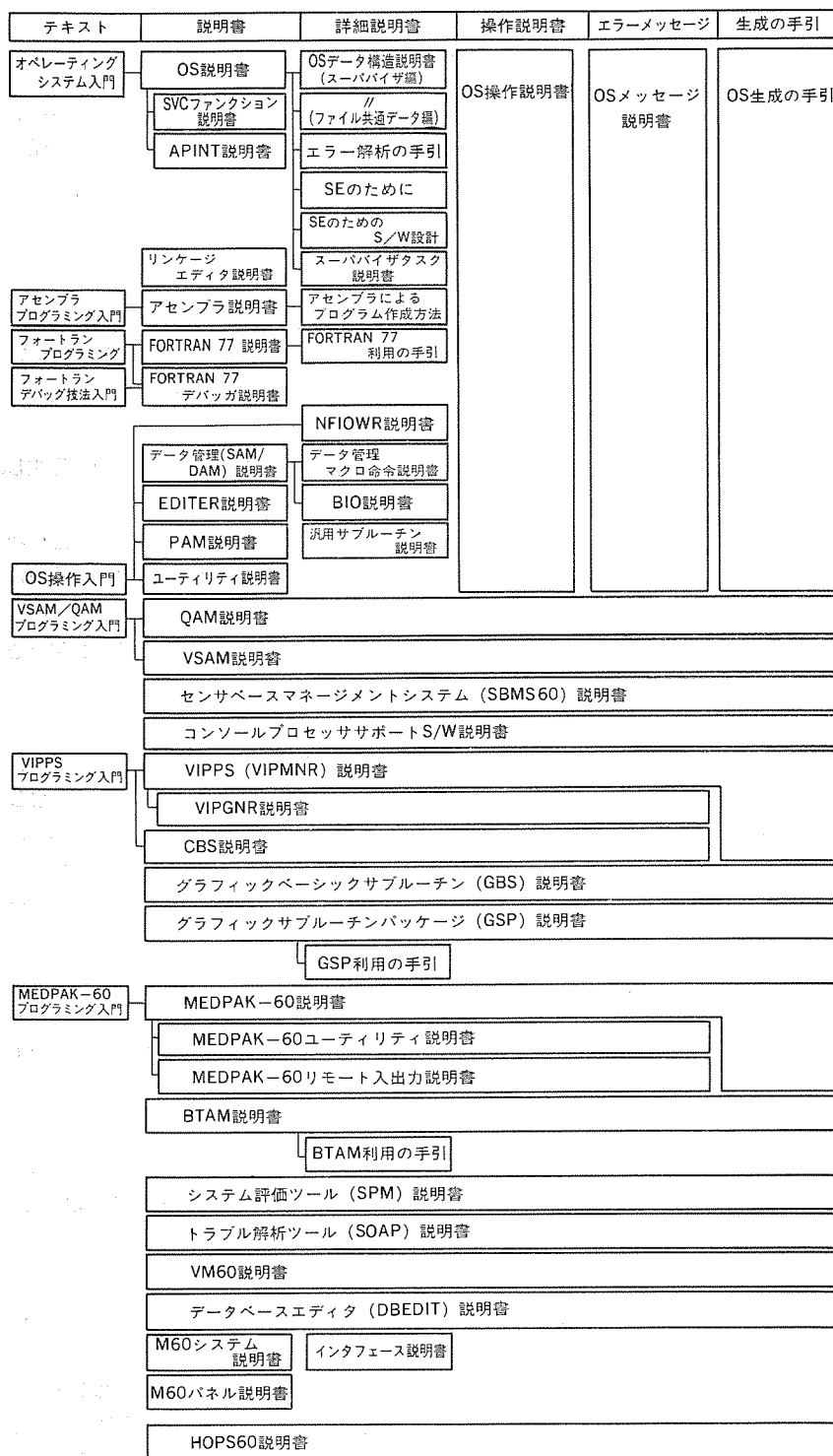


図 1. ドキュメント体系

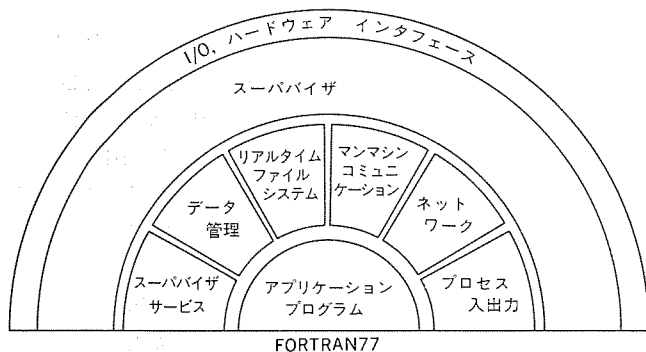


図 2. ソフトウェア構造

種特有の拡張機能などは不要でありわかりやすくしている。

4. スーパーバイザ

オペレーティングシステムの中核部であり、タスク管理、割込み管理など、システムを制御する基本的なサービスを行う。

4.1 タスク管理

スケジューリング方式は、事象の発生ごとに優先順位を調べ、常に実行可能状態のタスク群のうち、最も優先順位の高いものを実行させる優先順位スケジューリングと、一定時間ごとに順次CPU使用権を与える会話形プログラム開発に適したラウンドロビンスケジューリングを併用している。また、実行時に一部機能の制限を行うデバッグレベルを設けることによりオンライン運転の妨害を防いでいる。

4.2 メモリ管理

論理空間と実空間をページ単位に対応させる方法をとっている。このため、プログラムもデータも論理空間上に連続であっても、実空間上は連続している必要はなく、効率の良い主記憶の使用が可能となっている。プログラムは主記憶に常駐させることも、起動時に主記憶を確保しディスク装置からロードする非常駐とすることも可能であり、起動頻度の高いプログラムを常駐化することにより、高速応答性に答えることができる(図3.)。

4.3 割込み/タイマ管理

割込みの制御は、一括してスーパーバイザによって管理されるが、各システムごとに異なるユーザーの処理ルーチンをシステムに登録することが可能となっている。また処理ルーチンもFORTRANで記述することができる。タイマ管理の機能としては、時間あるいは時刻を指定したタスクの起動(周期起動も可)、タスクの実行遅延、時間経過報告、時刻の設定/補正を行うスーパーバイザマクロ命令を用意している。

4.4 異常管理

異常処理には、ハードウェアの異常などシステムで一括処理すべきものと、各タスクで独自の処理が必要なものとがある。プログラムチェック発生時の処理、強制終了に対する後処理をユーザーが記述し、あらかじめシステムに登録することが可能となっている。

4.5 システム管理

プログラムの開発、作成を行いシステムに組込む際には、そのプログラムの版名、作成日付などをもとに管理しなければならない。ソースプログラムで指定した版名情報(作成年月日など)が、そのまま翻訳連繫編集後のプログラムに付加されるため、従来よりも確実なモジュール管理が可能となった。

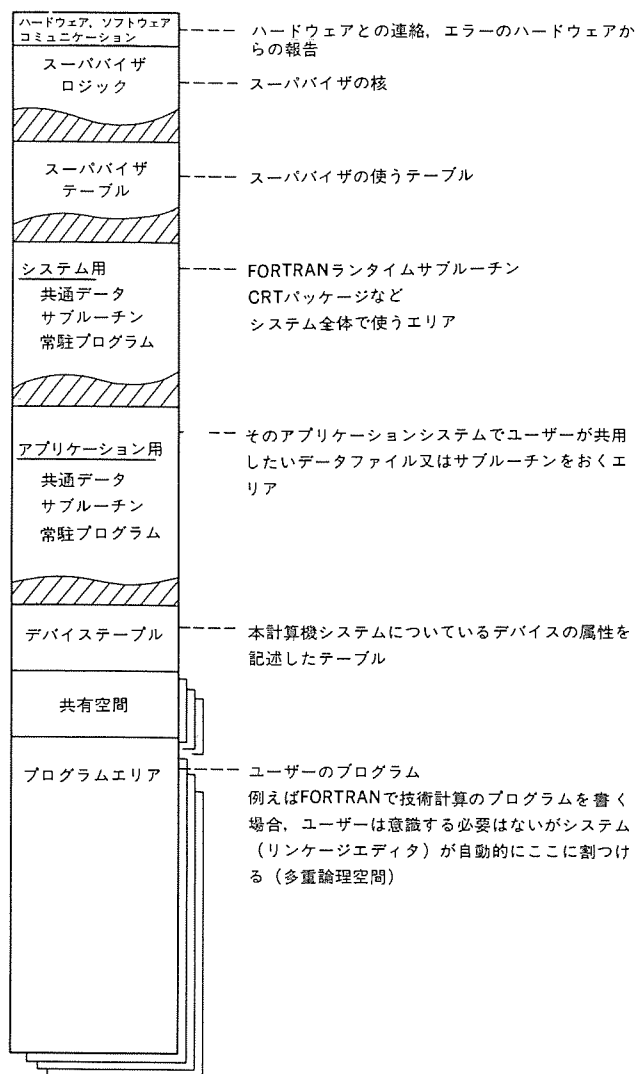


図 3. 論理空間の構成

5. ファイルシステム

ファイルシステムとしては、FORTRAN の READ/WRITE 文で処理可能な順編成ファイル(SAM)と、直接編成ファイル(DAM)及びプログラムのロードモジュールやオブジェクトモジュールなどの格納、検索を行うための、区分編成ファイル(PAM)が標準で、また生成消滅の激しいデータを高速に処理するための高速リアルタイムファイル(QAM)、及び大量データを処理する大容量ファイル(VSAM)がオプションとして用意している(図 4., 表 1.)。

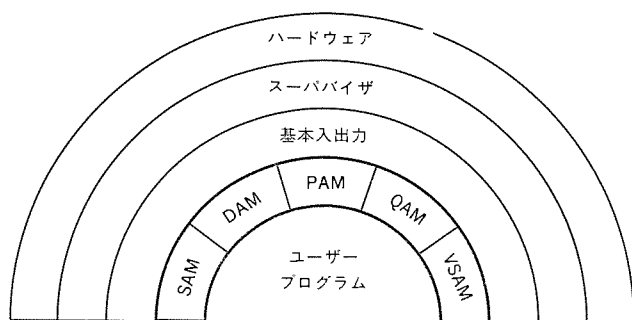


図 4. M-60 におけるファイルシステム

表 1. ファイルシステムと特長

分類	アクセス方式	ファイル編成	特長
基本ファイルシステム	SAM (Sequential Access Method)	順編成	- FORTRAN READ/WRITE 文で処理が可能。 - ディスク上のファイル以外に、タイプライタ、ラインプリンタ、CRT、磁気テープ、フレキシブルディスクなどもサポート。 - パスワードによる機密保護と二重書きによるデータ保全。
	DAM (Direct Access Method)	直接編成	- FORTRAN READ/WRITE 文で処理が可能。 - ディスク上のファイルのみサポート。 - パスワードによる機密保護と二重書きによるデータ保全。
	PAM (Partition Access Method)	区分編成	- モジュール（ロードモジュール、オブジェクトモジュール）の管理に使用。 - Tree-形の階層構造をもつ。
高速リアルタイムファイル	QAM (Queue Access Method)	直接編成 巡回編成 鎖状編成	- 生成、消滅の激しいリアルタイム処理に適している。 - 待行列処理とインバートインデックスによる高速なデータ検索機能を提供。 - 主記憶、ディスクいづれにもファイルを作成できる。 - データウェイ (MDWS-60) で接続された遠隔計算機の主記憶上のファイルもアクセス可能。 - 二重書きとチェックポイント・セーブ機能によるデータ保全。 - アクセス頻度などの集計データによる最適化が可能。 - ファイルの生成、削除、レコード検索などには会話形の問合せプログラム (QAMS) が準備されている。
大容量ファイル	USAM (Virtual Storage Access Method)	順編成 直接編成 キー順編成	- 大容量のデータを取扱うのに適している。 - キー順編成ではインデックス部に B-tree 構造を採用し、大容量のデータに対しても効率の良い検索が可能。 - 二重書きによるデータ保全。 - アクセス頻度などの集計データによる性能評価が可能。

6. 基本応用ソフトウェアパッケージ

6.1 CRT 処理パッケージ (VIPPS)

CRT ディスプレイ用のサブシステムである VIPPS は、基本的な機能、概念を M-50 と同一とし、互換性を重んじた。VIPPS は、画面管理サブシステム(VIPMNR)と画面作成サブシステム(VIPGMR)の二つで構成し、更に VIPMNR の下位サブルーチンである CRT ベーシックサブルーチン(CBS)も利用することができる。M-60 の VIPPS では、CRT 表示を高速化することを最重要視して、ここに労力を注ぎ、広い論理空間を活用することにより、M-50 と比べて CPU 占有時間が 1/3～1/5 となった(図 5.)。

6.2 センサベースパッケージ (SBMS 60)

SBMS 60 は、工業用計算機システムには必ず(須)なプロセス入出力装置を、効率よくアクセスするためのシステムである。ユーザーインタフェースは ISA (Instrument Society of America) の提案に基づき使用しやすしいものとした。また従来はアセンブラで書いていたプロセス割込ルーチンを FORTRAN 77 で記述できるように考慮したり、プロセス入出力装置ハードウェアの試験を簡単に行えるユーティリティを用意することによって、ユーザーにとってコンパクトでかつ使いやすしいものとなっている。

6.3 分散処理システムパッケージ (MEDPAK 60)

分散処理システムパッケージ(MEDPAK 60)は、データウェイ《MDWS-60》で接続された M-60/M-50 分散システムのサポートを行うパッケージで

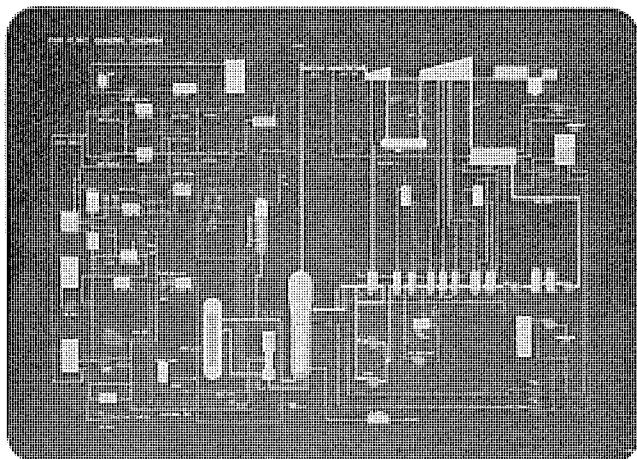


図 5. VIPPS による CRT 表示画面

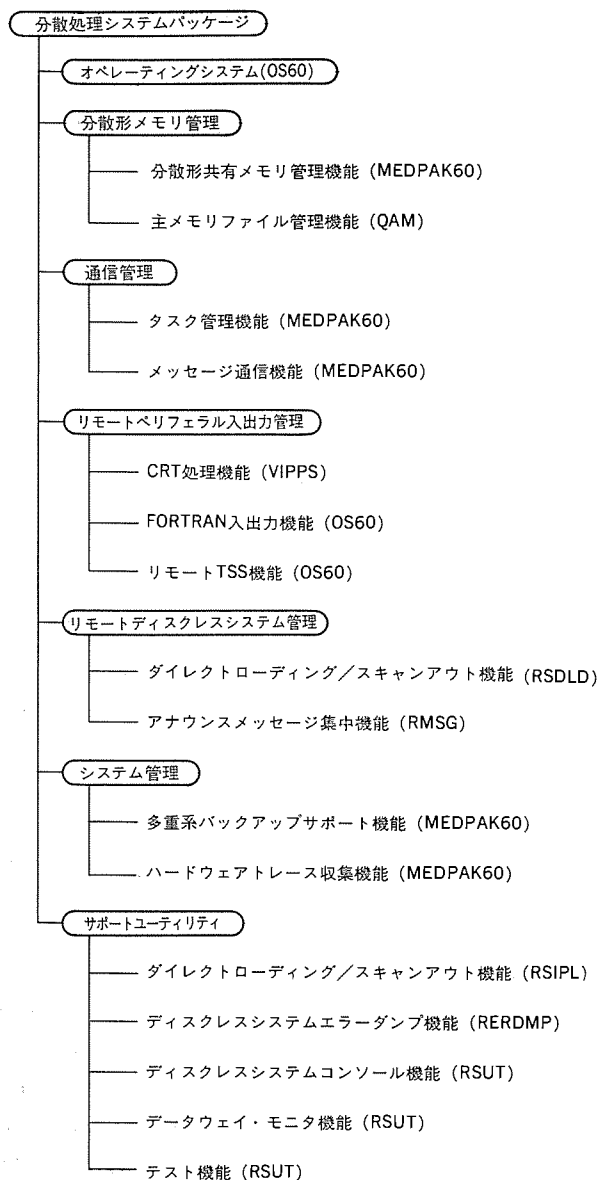


図 6. MEDPAK 60 機能構成図

あり、次の特長を持っている。

大幅なファームウェア化により高速/高機能を実現し、特に計算機負荷なしで主記憶内容を共有できる機能、主記憶を直接編成ファイルとして論理的に扱える機能は特徴的である。またソフトウェア設定可能

な論理ステーションアドレスによる多重系バックアップの容易化、ソフトウェア、ハードウェアによるトレース機能の拡充、遠隔ディスクレスシステムのサポート機能など高信頼化/保守性向上に配慮している。(図 6.)

6.4 通信回線サポートパッケージ (BTAM)

通信回線サポートパッケージ(BTAM)は、基本形データ伝送制御手順を使用する通信回線を利用するためのアクセスソッドであり、次の特長を持っている。

BSC 伝送手順及び JIS 基本形伝送手順に準拠しており、同期式/調歩式ともに伝送制御手順に柔軟に対応できるよう配慮している。またテスト機能としては、手順レベル、メッセージレベルでの会話形テストに加え、リアルタイムに手順エラーをシミュレートしユーザーまで含んだエラーテストが可能である。更にトレース機能/トレース印字機能を拡充し障害時の解析を容易にしている。

6.5 統計解析ソフトウェアパッケージ (MSP)

MSP (Mathematic Subroutine Package) は、科学技術計算、統計確率計算でしばしば用いられる計算処理をサブルーチンの形式にまとめたもので、100 種以上のサブルーチンが用意されている (表 2.)。

6.6 図形処理ソフトウェアパッケージ (GSP)

GSP(Graphic Subroutine Package) は、ACM (米国計算機協会) の分会 SIGGRAPH が提案している「CORE システム」に準拠したサブルーチンパッケージで、デバイス独立とプログラムのポータビリティを高めることを目的としている。CORE を基調としているが、円、だ円などの高水準プリミティブや、漢字 (JIS 水準 1)、ハッチングによる塗りつぶしなどが可能なように機能拡張を図るとともに、高速性に関しても十分配慮されている。

表 2. 科学技術計算、統計確立計算パッケージ (MSP)

サブルーチンパッケージ	概 要
(1) 行列サブルーチン	行列の和、差、積、商の演算をはじめ、転置行列、逆行列の作成、固有値と固有ベクトル、行列の入出力などを行う。
(2) 多項式サブルーチン	高次方程式の根、多項式の和、差、積、商、微積分など多項式に関する各種の演算、操作を行う。
(3) 連立方程式、微分、積分、特殊関数サブルーチン	連立方程式の解、数値積分、指数積分、Runge-Kutta 法による微分方程式の解、非線形方程式の解などを行う。
(4) 記述統計サブルーチン	ヒストグラム、各種データのプロット、基礎統計量、欠測値検査、モーメント計算などを行う。
(5) 確率統計サブルーチン	二項分布、ポアソン分布、正規分布などの分布関数の値の算出。検定 CU-検定、Q-検定などを行う。
(6) 分散分析サブルーチン、因子分析などの分析サブルーチン、重回帰分析、多項式回帰などの回帰分析サブルーチンなどが用意されている。	
(7) 乱数サブルーチン	一様乱数の発生、検定、一様乱数をもとにした各種の分布に従う乱数、マルコフ連鎖の乱数などのサブルーチンが用意されている。
(8) ノンパラメトリック統計サブルーチン	Kolmogorov-Smilnov の標本テスト、 χ^2 検定などのサブルーチンが用意されている。

7. 性能評価／障害管理

システムの制御性能は、設計時にはなかなか予測しがたい要因もあり、システムの最終調整で性能を定量的に測定することは重要である。同時に将来の拡張余裕といった情報も設備の増設が考えられる場合には必要となる。また、絶えずシステムを監視しておいて故障の場合、この原因を速かに検出することがシステム信頼性向上に有益である。OS 60 ではこれらのため次のような機能を用意している。

7.1 性能測定ツール

性能評価データを時系列に測定採集し、これらを編集、印刷するソフトウェアパッケージを用意している。どの程度の時間精度、期間で負荷変動を知りたいかによって、採集方法と印刷出力を選択することができる。採集方法には高精度と履歴があり、前者は短い期間内での変動を詳しく知るのに対し、後者は日、週、月といった長期間での変動をとらえるのに適している。

7.2 障害管理ツール

システムの障害が発生した場合、障害が発生するまでの経過を知ることとは障害の早期解決に有益である。タスクの実行状態、入出力の状

態など収集する項目をあらかじめ設定することにより、障害発生時に経過情報が得られ、自動時に待避されたシステム状態情報とともに有益な情報を提供する。

8. 互 換 性

OS 60 ではプログラムのみならず、データやファイルの互換性に留意した。ファイルシステムは M-50 のファイルと上位互換性をもたせ、固定小数点データ、浮動小数点データの表現形式の互換性を保った。M-50 の TSOS の SVC は、ほとんどのものがシミュレートされる。

9. む す び

32ビット工業用計算機《MELCOM 350-60》のソフトウェア、OS 60 について主にリアルタイムの制御に関係した機能を中心に説明した。このOSは《MELCOM 350-30》に始まる350シリーズの15年にわたる歴史をうけつぎ、ユーザー各位の貴重な御意見をとり入れて完成した。これからも工業用ユーザーの要求をとり入れ、より良いものへの改良を行い、工業用システムの発展に少しでも役立てれば幸いである。

参考として OS 60 の SVC マクロ命令の機能を示す(表 3.)。

表 3. OS 60 SVC マクロ命令一覧

分類	スーパーバイザマクロ名	機 能 概 要	分類	スーパーバイザマクロ名	機 能 概 要
タ ス ク 管 理	ABLE	タスクを起動可能状態にする。	同期 管 理	DELAY	タスクの実行を遅延させる1時間経過の報告を要求する。
	DISABL	タスクを起動不可能状態にする。		WAIT	単一事象の完了待ち合わせ。
	FORKG	タスクの生成及び実行要求(時間後起動、時刻指定起動、周期起動可能)。		WAITM	複数事象の完了待ち合わせ。
	FORK	タスクの生成及び実行要求(FORKGの予約パラメータタイプ、短縮形)。	資源 管理	LOCK	リソースの占有要求(排他使用と共有使用の2種類がある)。
	CANCEL	時間、時刻起動タスクの登録削除。		UNLOCK	リソースの解放要求。
	STOP/QUIT	タスクの実行を終了する。	管 理 エ リ ア	GETM	エリアの使用を動的に要求する。
	HALT	タスクの実行を中断させる。		FREEM	動的に確保したエリアを返却する。
	RESUME	タスクのHALT状態を解除する。	タ イ マ 管 理	TIMSET	時刻のセット。
	PURGE	タスクの実行をやめさせる。		TIMADJ	時刻の補正。
	EXTRCT	システムデータの内容を得る。		DATE	日付のセット。
管 ブ ロ グ ラ ム	LOAD	オーバレイセグメントのロード。		TIMGET	現在の日付、曜日、時刻を得る。
	LOADD	オーバレイプログラムのロード。	異 常 管 理	TIMBTC	バイナリタイムをキャラクタの時刻パターンに変換する。
	LOADG	セグメントのロードとエトリアドレからの実行開始。		TIMCTB	キャラクタの時刻をバイナリタイムに変換する。
入 出 力 管 理	EXIO	入出力機器への入出力要求。	メ ッ セ ー ジ 交 換	SPIE	プログラムチェック時の出口ルーチンの定義を行う。
	PACRD	補助記憶装置(ディスク装置)からの入力要求(入出力の終了同期もとる)。		STAE	タスク異常終了時出口ルーチンの定義を行う。
	PACWRT	補助記憶装置(ディスク装置)への出力要求(入出力の終了同期もとる)。	割 込 管 理	SNDMSG	相手タスクに対してメッセージの送信を行う。
	MSGANS	メッセージの出力要求(メッセージの出力要求の登録、出力は非同期に行われる)。		ANSMSG	受けとったメッセージに対する応答メッセージを返す。
				RCVMSG	送られたメッセージをタスクキューから読出す。
				TQINIT	タスクキューの初期設定とシステムへの登録を行う。
			割 込 管 理	CONNEC	割込発生時に実行するユーザーサブルーチンを登録する。
				DISCON	割込発生時に実行するユーザーサブルーチンの登録を削除する。

工業用計算機《MELCOM 350-60》のソフトウェア開発支援システム

加藤 幸男*・小林 博*・竹田 栄作*・David.G.BLIESNER*・大久保忠雄**

1. ま え が き

近年、産業界において、省力化、省エネルギー化の要求が強まるにつれ、工業用計算機システムの数急速に増加しつつある。またその規模も年々大形化の傾向にある。しかしながら、それらの計算機を動かすためのソフトウェア開発要員や保守要員の数はシステムの増大ほどには増加していない。

《MELCOM 350-60》(以下、M-60と称す)では、少ない人数で信頼性の高いシステムを効率良く開発し、保守するためにシステムの計画段階から製作、調整、改造にいたるライフサイクルのサポートを目指し、各種支援ソフトウェアを用意している。

2. 開発意図と特長

M-60の開発・保守支援システムは、計算機システムの計画から始まり保守に至るソフトウェア生産のライフサイクルの各フェーズごとに、プログラマの負担を軽くするための各種支援ツールをそろえている。M-60のユーザーは、これらの支援ツールの助けにより、ソフトウェアの生産性と信頼性の向上を図ることができる。M-60の開発・保守支援システムは、次のような特長を持っている。

(1) 信頼性の向上

ソフトウェアの信頼性は、プログラムの作成・試験段階だけでなく、計画・設計段階によっても大きく左右される。M-60開発・保守支援システムでは、プログラムのデバッグテスト用に会話形デバッグ、VM(バーチャルマシン)、インタフェースチェッカなどのツールをそろえているほか、テスト計画の妥当性をチェックするためのテストカバレッジ測定ツール、オンライン運転に支障をきたさずに被テストプログラムを実行できるデバッグモードなど多くの支援ツールを用意している。

また、計画・設計段階における支援ツールとしてMPSS(システム負荷シミュレータ)などを準備している。

(2) 生産性の向上

ソフトウェア生産性の向上のためのツールとして、TSSやエディタを始め、データベース用のエディタ(DBEDIT)、JCLの記述を助けるカタログプロシージャ、M-50のソフトウェアをM-60上で又はM-60のソフトウェアをホスト計算機上で開発するホストプロセッシングなどを用意している。ユーザーは、これらのツールを使うことにより効率良く作業を進めることができる。

(3) 保守性の向上

システムが完成したあとの保守は、ユーザーにとって大きな仕事となる。M-60では、システムの稼働状況を把

握するために、稼働管理機能を用意しているほか、計算機の操作を計算機室外(管理センターなど)から行えるリモート保守機能や、計算機内のプログラムの状況を管理する世代管理機能などを用意し、ユーザーの負担を極力軽くしている。

3. ライフサイクルサポート

《MELCOM 350-60》開発・保守支援システムにおける各種支援ツールとライフサイクルの関係を図1に示す。

4. 計画/設計

計算機システムが完成後うまく動くか否かは、システムの計画・設計段階に負うところが多い。特にシステムの負荷やスループットは、計画時点で予測しておかねばならず、システムエンジニアの負担になっている。また、システム全体の設計・製作手法を統一するためのガイドラインを確立することもこの段階の仕事である。

システム負荷シミュレータ(MPSS 60)は、計算機システムの計画・設計段階において、各種リソース(CPU、補助メモリほか)の負荷を予測するためのツールである。MPSS 60を使うことにより、ユーザーは自己のシステムに関する各種データをもとにシステムのシミュレーションを行い、応答性を調べ、それをもとにシステムの最適設計を行うことができる。MPSSからは次のような情報が得られる。

- (1) リソース占有率(CPU、主メモリ、補助メモリほか)
- (2) 待行列情報(最大待数、平均待数、平均待時間など)
- (3) プログラム実行サマリ
- (4) 許容以上遅れたプログラムの情報

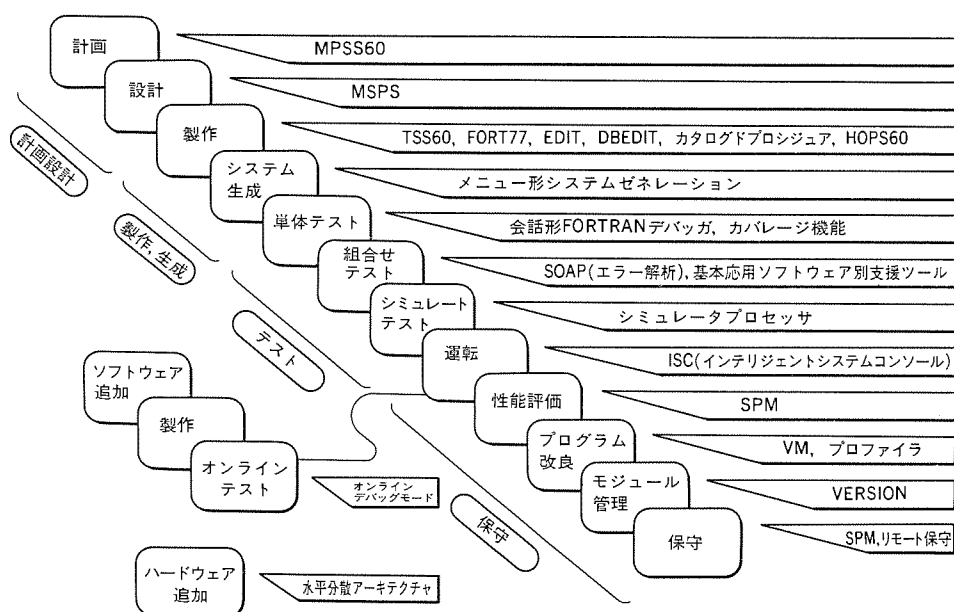


図1. ライフサイクルサポート

5. 製作／システム生成

計算機システムの開発過程で、プログラムやデータの製作作業はかなりの割合を占めている。また、メーカーから供給される標準プログラムを自分のシステムに合わせて組上げるいわゆるシステムゼネレーション作業は、プログラムの製作段階から調整段階においてパラメータを変更しながら何回となく実行される。これらの作業を効率良く行えるよう M-60 システムでは次のようなツール類を用意している。

5.1 タイムシェアリングシステム (TSS 60)

プログラムやデータの製作作業を効率良く行うために、TSS 60 を用意している。TSS 60 用の端末としては、オンライン運転用のタイプライタや CRT を流用できるので、プログラム開発用に特別な端末を準備する必要はない。

5.2 コマンド言語

ソフトウェアの開発、保守、システムの保守などを行うためのツールとして、豊富なユーティリティプログラムを用意しており、ジョブコントロール(JBCON)の下でオンラインの制御を妨げることなく処理することができる。これらのユーティリティプログラムは、会話形ジョブ、バッチ形ジョブ共通の簡単なコマンドで処理の記述ができる。定形作業に対しては、カタログドプロシージャにより作業の効率化が図れる。カタログドプロシージャの使用例を図 2. に示す。

また、システムで決められたコマンド名をユーザーの決めた他のコマンド名に変更するシノニム機能を備えているので、ユーザーは自分の覚えやすいコマンド言語を定義できる。

5.3 FORTRAN 77

《MELCOM 350-60》では、プログラミング用基本言語として FORT-

RAN 77 を準備している。FORTRAN 77 は ANSI(X 3.9 1978) の規格に準拠しており、当社独自の拡張機能として、スーパーバイザコール機能、ビット操作機能、リエントラントサブルーチン作成機能、基底付き構造体データ宣言機能などリアルタイム用の機能を備えており、より強力なプログラミング言語となっている。

5.4 ソースエディタ (EDIT)

プログラムやデータの作成、変更を TSS 端末から会話形成で、あるいはバッチジョブとして行うためにソースエディタを用意している。

5.5 データベースエディタ (DBEDIT)

計算機の利用分野の拡大とともに、プログラムやデータの量が増加している。大量のデータを簡単な操作で修正、変更できるツールとして、データベースエディタ (DBEDIT) がある。計算機システムで使用する各種コントロールワード、テーブルなどのデータベースを CRT などの端末装置から会話的に表示、検索、更新できる。その指定方法も論理レベルで(各レコード内の各アイテムに各々名前を付けてその名前前で)指定できる。これによりデータベースの保守が容易に、かつ確実に行え、また論理的な情報で表示するのでデータベースのドキュメント性が向上できる。DBEDIT のコマンドを表 1. に示す。

5.6 ホストプロセッシング

ホストプロセッシングとは、ターゲットマシン of ソフトウェア開発を、それより大形のプログラミング環境の良い計算機上で行うことにより、生産性の向上を図るものである。M-60 には、2 種類のホストプロセッシング機能がある。一つは図 3. に示すように、M-60 のプログラム開発を更に上位 (IBM マシン など) の計算機で行うものであり、もう一つは下位機種である M-50 のプログラム開発を M-60 上で行うものである。後者については、M-60 のプログラムファイルからデータウェイを経由して M-50

を IPL するなど、分散形システムの構築に必要な機能を備えている。

5.7 メニュー形システムゼネレーション
M-60 の標準プログラムは、すべてロードモジュール若しくは、オブジェクトモジュールとして供給する。これらのプログラムは全システム同一の内容であり、システムごとのゼネレーション作業は、各プログラムごとにあらかじめ用意され

表 1. データベースエディタコマンド一覧

コマンド	コ マ ン ド 機 能
DD	データ記述入力
FN	データファイル指定
BS	先頭レコードアドレス指定
ST	イントラレコードモードセット (順次)
SE	イントラレコードモードセット (一括)
DP	データ記述の表示
DK	ディスクデバイス指定
CD	CRT アクセス時のディスクデバイス指定
PO	ポインタオフセット値指定
PR	レコードの印字
DE	レコードの削除
IN	レコードの挿入
END	終了指定
	イントラレコードコマンド

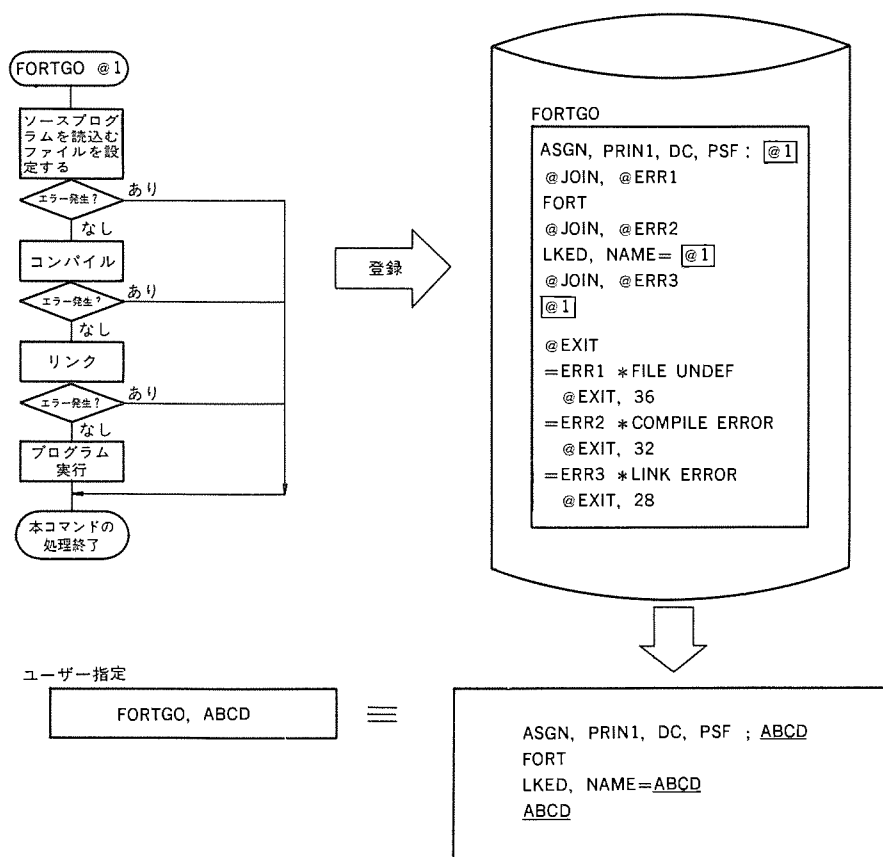


図 2. カタログドプロシージャ

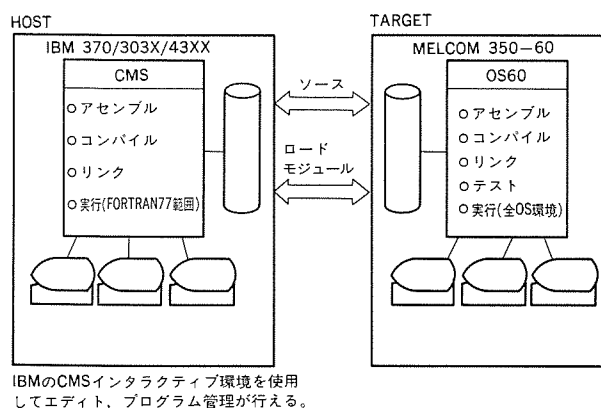


図 3. ホストプロセッシングシステム

た標準のテーブル類(ソース供給)を変更することによって行う。この方法により、システムゼネレーション作業を効率化するとともに、システムの信頼性の向上を図っている。

6. 単体・組合せ・シミュレートテスト

プログラムのテストは、システムの信頼性を決める重要な作業であり、またシステム開発過程の中で大きな部分を占めている。この段階の作業を効率良く行うためには、単体・組合せ・シミュレートの各テスト段階に合ったツールが必要である。

6.1 FORTRAN 会話形デバッガ

単体テスト用のツールであり、FORTRAN 77 で記述したプログラムを TSS 端末を使ってソースレベルでテストデバッグするための機能を備えている。すなわち従来のような 16 進のアドレス情報でなく、変数名や文番号などのシンボリックな情報を用いて作業ができる。また、テスト用のモジュールは、オリジナルソースを変更することなく、コンパイル時にオプション指定するだけで作れるようになっている。

主な機能として、テスト機能(プログラムの実行開始/停止、変数の

値のチェック、条件判定)、デバッグ機能(変数の値の変更、文単位の実行制御、実行トレース)、評価機能(文実行頻度の統計の収集、未実行文のリストアップ)などがある。(表 2.)

また FORTRAN 77 は、サブルーチンのコーリングシーケンス(パラメータ数とデータタイプ)をチェックする機能があるので、アプリケーションプログラムの BUG の中で最も多いと言われているサブルーチンコールの誤りを、単体テスト以前の段階で検出できる。

6.2 VM 60

VM 60 は、M-60 のハードウェア機能をシミュレートするプログラムである。対象計算機システムの全体(スーパーバイザを含めて)の動きをシミュレートしているため、タスクの並行動作、基本ソフトウェア及び基本応用ソフトウェアの動きもシミュレートされ、ターゲットマシンにおける各ソフトウェアの組合せテストに有効なツールである。更に、ソフトウェアの性能評価(命令実行回数測定機能など)、動作解析のツールとしても有効に活用できる。

VM 60 は、シミュレート対象計算機システムの全主メモリ領域を擬似化して持っているので、被シミュレートシステムの影響が実システムに及ばないようにになっている。また、豊富なテスト、デバッグコマンド(ブレークポイント指定、トレース、データのセット、ダンブなど)を用意しているので、様々な場面に応じて有効に活用できる。特に、通常のテスト環境では実現できないエラーテストケースなども簡単に設定できるため、きめ細かいテストが可能となる。VM 60 の使用例を図 4. に示す。

6.3 エラー解析ツール(SOAP)

組合せテストないしは総合テスト段階で発生したトラブルの原因追求は、単体テストのそれに比べ格段に難かしくなる。SOAP は、この段階でのトラブルの原因追求のためのツールであり、次のような機能を持っている。

(1) ユーザープログラムの動作事象(SVC 発行、サブルーチン呼出し)のトレース

(2) 障害発生時の主メモリ内容の保存と印字出力

これらのデータは、分かりやすい形で印字出力されるので、ユーザ

表 2. FORTRAN 会話形デバッグコマンド一覧

コ マ ン ド	コ マ ン ド 機 能
ASGN	論理装置名の物理装置への割付けを行う。
AT	ブレークポイントを設定する。またブレークポイントにプログラムのコントロールが渡ったときに実行するコマンドリストの指定ができる。
END	すべてのテストを中断し、会話形デバッグコマンドモードを終了させる。
GO	ブレークポイント、アテンション割込み後、又は実行エラー後のいずれかで停止しているプログラムの実行を再開させる。
HALT	このコマンドは IF コマンドのサブコマンドとしてのみ使用される。もし IF コマンドで与えられた条件が真の場合、そこでプログラムの実行は停止し、ユーザーにコントロールが渡る。
IF	条件をテストしその条件が真の場合は一つのサブコマンドを実行する。
LIST	変数値や記憶域の内容を表示する。その値は各種形式で表示される。
LISTBRKS	現在設定されているすべてのブレークポイントと、現在定義されているすべての WHEN 条件をリストアップする。
LISTFREQ	文の実行頻度をリストアップする。又は一度も実行されなかった文をリストアップする。
NEXT	次の文に一時的にブレークポイントを設定する。
OFF	AT コマンドで設定されたブレークポイントを解除する。
QUALIFY	現在実行しているプログラムユニット以外のプログラムユニットに対するコマンドを使用したいときに、このコマンドによって対象としたいプログラムユニット名を指定する。
RUN	このコマンドにより以後のテストは行わず、プログラムを再開し終了する。
SET	変数又は配列要素の値を変更する。
SKIP	指定された FORTRAN 文を実行しないようにする。
TRACE	プログラムの実行の流れのトレースを開始又は停止させる。
WHEN	条件のモニタリングの開始を設定する。
WHERE	現在どの文にいるか、又はアテンション割込みを行ったときどの文を実行中かを知りたいときに使用する。

** SPM HOURLY		REPORT ** (17/17/17 01:12 - 6/06/06 02:12)										12:34:56		82-09-12		PAGE 1	
CPU AND AREA:		CPU	WORK	TCB	LUCKQ	TIMEQ	MSG	POUL	CCB								
PK/AV UTIL(%)		/ 1	2/ 3	4/ 5	6/ 7	8/ 9	10/11	12/13	14/15								
ERROR ID:		PGCK	MCK(SD)	MCK(PD)	MCK(SR)	MCK(ED)	MCK(ER)										
COUNT		10006	20005	30004	20013	20012	20011										
DEVICE PUBNO:		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ACC (1/HR)		60	180	300	420	540	660	780	900	1020	1140	1260	1380	1500	1620	1740	1860
ERROR COUNT		2	4	5	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
DEVICE PUBNO:		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
ACC (1/HR)		1980	2100	2220	2340	2460	2580	2700	2820	2940	3060	3180	3300	3420	3540	3660	3780
ERROR COUNT		34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64
DEVICE PUBNO:		32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
ACC (1/HR)		3900	4020	4140	4260	4380	4500	4620	4740	4860	4980	5100	5220	5340	5460	5580	5700
ERROR COUNT		66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96
DEVICE PUBNO:		48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
ACC (1/HR)		5820	5940	6060	6180	6300	6420	6540	6660	6780	6900	7020	7140	7260	7380	7500	7620
ERROR COUNT		98	100	102	104	105	108	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128
TASK PIB NO:		1FF	1FF	1FF	1FF	1FF	1FF	1FF	1FF	1FF	1FF	1FF	1FF	1FF	1FF	1FF	1FF
FORKED(1/HR)		60	420	780	1140	1500	1860	2220	2580	2940	3300	3660	4020	4380	4740	5100	5460
PK RESP(MS)		2	8	14	20	26	32	38	44	50	56	62	68	74	80	86	92
AV RESP(MS)		3	9	15	21	27	33	39	45	51	57	63	69	75	81	87	93
PK EXEC(MS)		4	10	16	22	28	34	40	46	52	58	64	70	76	82	88	94
AV EXEC(MS)		5	11	17	23	29	35	41	47	53	59	65	71	77	83	89	95
DISK ACC		6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96
USER DATA NO:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
ADDRESS:		00002711	00002712	00002713	00002714	00002715	00002716	00002717	00002718	00002719	0000271A						
INCREASE		1	2	3	4	101	102	103	104	105	106						
** CASE 2 **																	
TIMBTC		TIME=05:03:05				ERR= 0											
TIMBTC		TIME=08:03:05				ERR= 0											
TIMGET		TIME=12:33:13				82-09-22				ERR= 0							

図 5. SPM 出力例

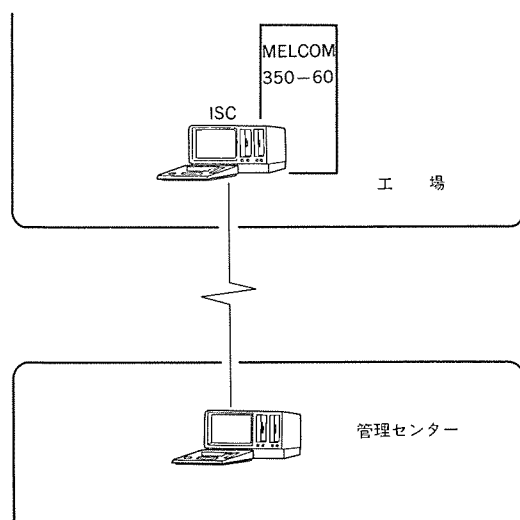


図 6. リモート保守

強くなることが予想されるので、これらの支援ソフトウェアも今後改良を重ね、より良いものに発展させたい。

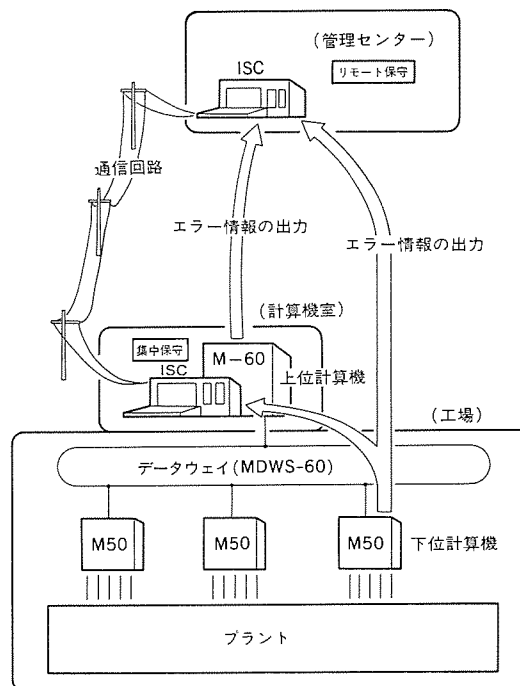


図 7. 分散形システムのリモート保守

工業用データウェイシステム《MDWS-60》

松本正弘*・那須昭吾*・池山茂樹*・三野容志郎*

1. ま え が き

データウェイは、工業用計算機と一群のプロセス入出力装置を結合する直列伝送システムから出発し、分散制御システムの構築に欠くことのできない中規模通信システムへと発展してきた。この間、光伝送の実用化も手伝って、その性能は著しく向上し、適用分野も拡大された。しかし伝送速度に依存した性能向上は、今や、頭打ちの状態であり、分散形システムへの適合性を高めるには、入出力インタフェース方式、通信方式などの見直しが必要であった。

《MDWS-60》は、通信プログラムの大幅なファームウェア化とメモリ共有の概念に基づいた通信方式の導入によって、高性能化を図った。本稿ではファームウェア機能、通信方式及びRAS機能の概要を紹介する。

2. 開発の意図と特長

2.1 高性能化

データウェイの高性能化は、これまで伝送速度の向上によって進めら

表 1. OSIプロトコル階層と《MDWS-60》の内蔵機能

プロトコル階層	MDWS-60の内蔵機能
アプリケーション層	—
プレゼンテーション層	・主記憶ファイル転送
セッション層	・論理チャネルの設定、解放 ・転送オーダーの整合
トランスポート層	・メッセージの組立、分解
ネットワーク層	・自局折返し通信（データウェイを経由しない）の制御
データリンク層	・伝送フレームの誤り制御
物理層	・LCPとのインタフェース

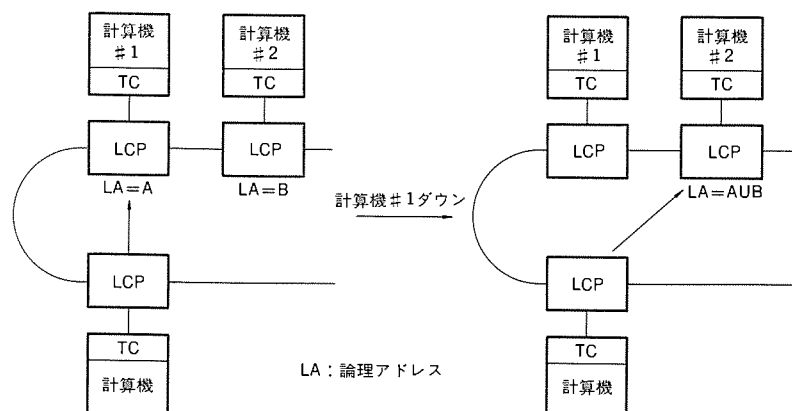


図 1. 論理アドレスによるバックアップ

れてきた。

従来のデータウェイの多くは、表 1. に示す OSI (Open System Interconnection) プロトコル階層のデータリンク層と物理層の下位 2 階層をハードウェアとファームウェアで実現し、その上位をソフトウェアに依存していた。この機能分担は、他の標準的な通信システムにおけるものに等しく、データウェイの高速性は、物理層が提供する伝送速度によるものであった。しかし、伝送速度が数十 Mb/s (メガビット/秒) となった現在では、通信プログラム性能や計算機負荷がネックとなり、伝送速度の向上だけでは高性能化に対応することはできない。今後は、上位プロトコルの性能改善による対応が必要となる。この観点から《MDWS-60》では、共有メモリの概念を実現するための通信方式の導入とそのファームウェア化によって高性能化を図った。

(1) 共有メモリの概念

従来、通信システムを介して接続した計算機間では、主記憶上のデータの共有に双方の通信プログラムの介入を必要とした。《MDWS-60》では、計算機が共有メモリを介して接続しているように、一方的な入出力制御によって他の計算機の主記憶にアクセスできる。この機能は、ファイル転送及びサイクリック転送と呼ばれる通信方式によって実現されていて、分散形共有メモリシステムとも言える構成を可能にする。これらの通信方式は、相手計算機あるいは自他双方の計算機のプログラム介入を必要としないため、高い応答性を保証する。

(2) 通信プログラムのファームウェア化

《MDWS-60》の通信制御部には、16ビットマイクロプロセッサのマルチプロセッサ構成を適用して、OSIモデルのセッション層までの機能を持たせた。これによって、アプリケーションからの接続要求に対する論理チャネルの設定や多重化、論理チャネルに対応したメッセージの組立、分解など、計算機負荷を大幅に削減している。

2.2 高信頼度化

データウェイは、分散制御システムの共通要素であり、その信頼性がシステムの稼働率に与える影響は大きい。《MDWS-60》では、基本的な通信機能は各局に等しく割当てられているが、RAS機能は、回復処理を高速化できること、異常検出を総合的に

行えることからループコントロールに集中化した。また、計算機を含めたトータルシステムの信頼度向上を目的として、論理アドレス方式を採用した。

(1) 論理アドレス方式

通信装置のアドレスは、計算機からプログラムで設定、変更できる。このアドレスは、通信のあて先、送り元アドレスとして使用される。したがって、計算機がダウンした場合、そのアドレスを他の計算機が引き継ぐことによって容易にバックアップできる(図 1.)。

(2) ステータスブロードキャスト

データウェイの構成要素の異常を検出すると、伝送系切替、ループバックなどの再構成制御を実行するとともに、系の構成状態を全計算機に伝達する。

表 2. 《MDWS-60》の高信頼度化対策

データウェイの冗長化構成	・伝送路の二重化 ・ループコントローラの二重化
冗長化システム構成の支援	・論理アドレス方式 ・ステータスブロードキャスト
障害の波及防止	・バイパス ・伝送路切換 ・ループバック ・ループカプラカードユニットの切換 ・ループコントローラカードユニットの切換
保守の支援	・エラートレース ・ループコントローラによる各ステーションの定周期診断

(3) エラートレース

各局で検出された通信上のエラーは、その情報と時刻がループコントローラに記録され、一定の条件のもとで参照することができるので、エラー解析の効率化や重故障の未然防止に効果がある。

(4) 周期診断

ループコントローラは、全局を同期的にテストする。異常を検出すると、その局の通信ユニットの切換（二重化システムの場合）を行うとともにエラートレース域に記録する。（表 2.）

3. 《MDWS-60》の構成、仕様

《MDWS-60》の構成例を図 2. に、仕様を表 3. に示し、その構成要素は次のとおりである。

(1) 伝送路

同軸ケーブル又は光ファイバケーブルであり、ループバックのために二重化することもできる。伝送信号は、15.36 Mb/s のベースバンド信号である。

(2) ループコントローラ (LCN)

ループ伝送路の同期の生成、データウェイの運用状態の監視、制御を行う。

(3) ループカプラ (LCP)

伝送信号の再生中継、ループバック、バイパス機能を含み、ターミナルコントローラに対して伝送路とのインタフェースを与える。

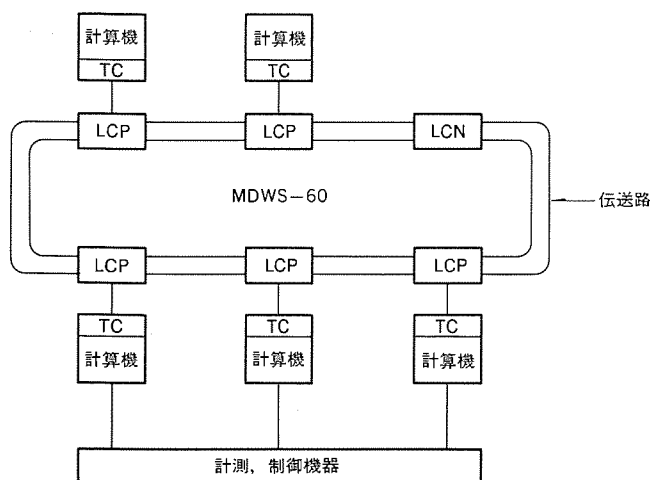


図 2. 《MDWS-60》の構成例

表 3. 《MDWS-60》仕様

ステーション数	最大 126 台
ステーション間距離	標準 1 km (同軸ケーブル) # 2 km (光ファイバケーブル)
伝送速度	15.36 Mb/s
ラインアクセス方式	フリーアクセスタイムスロット方式
多重化方式	パケット多重化方式 (最大パケット長 512 バイト)

(4) ターミナルコントローラ (TC)

入出力制御装置として計算機内に実装するカードであり、通信プロトコルを実行する。

4. ファームウェアの機能

(1) 論理チャネルの多重化

通信は、相手との接続、データの交換及び切断の手順で行う。従来の通信システムでは、アプリケーションプログラムの通信要求を多重処理し、通信装置の共有を実現するのは計算機内の通信プログラムであった。通信プログラムは、アプリケーションプログラムからの要求に対して、その接続から切断までの間、論理的なチャネルを割当て、更に実際に入出力が必要とされる場合にだけ、その論理チャネルに通信装置を割当てることによって多重化を実現していた。

《MDWS-60》では、計算機の入出力サブチャネルと TC 内のファームウェアが管理する論理チャネルとを 1 対 1 に対応させ、更にアプリケーションプログラムと入出力サブチャネルを 1 対 1 に対応させることによって、アプリケーションプログラムと論理チャネルの 1 対 1 を実現し、セッション層のファームウェア化を図った。この様子を図 3. に示す。

(2) メッセージの組立、分解

TC は、複数の論理チャネルからの出力要求に対して、図 4. に示すとおりメッセージを分割し、パケットとして送信することによって通信チャネルの共有を実現している。パケット長は、最大 512 バイトである。伝送エラーによるパケットの消失、重複を防止するため、パケットには論理チャネルごとにパケット番号を付ける。

(3) データリンク制御

HDLC に準拠した伝送フレームにより、パケットを送受信し、伝送フレームレベルの誤り制御を行う。したがってこの層では、論理チャネルの識別は不要となる。従来の通信システムでは、データリンク制御が通

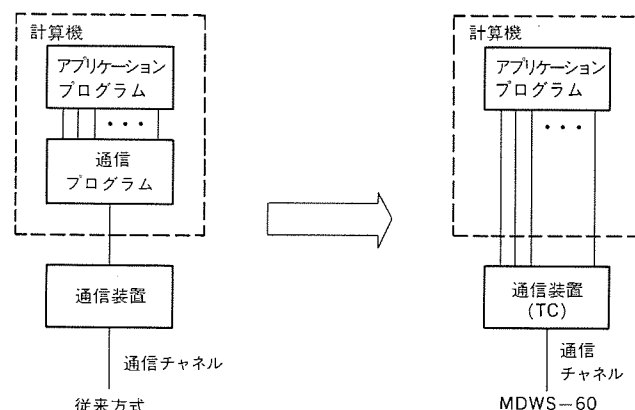


図 3. 通信機能のファームウェア化

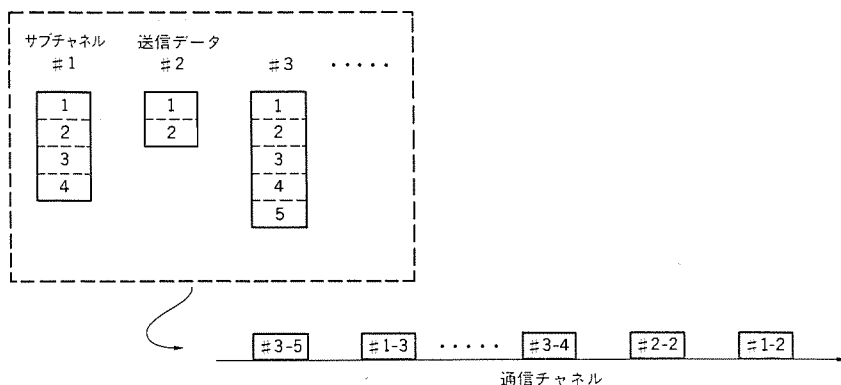


図 4. パケット多重化方式

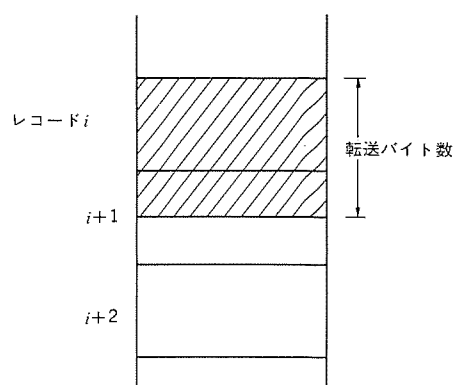


図 6. コンティニュアスアクセス

信装置の主機能であった。

5. 通信方式

5.1 メッセージ転送

メッセージ転送とは、データの転送が送受双方のプログラムの制御の下に行うものである。すなわち、送信側が WRITE オーダー、受信側が READ オーダーを発行して初めてデータの転送が可能となる。この転送は主に、システム管理情報に適用される。メッセージ転送は、接続、データ転送及び切断のフェーズからなり、その概要を図 5. に示す。

(1) 接続フェーズ

発呼側計算機から出された接続要求オーダーは、空きサブチャネルを介して TC へ伝える。TC は着呼側 TC へ接続要求メッセージを送信する。これを受けて着呼側 TC は、サブチャネル #0 に割込みを発生する。割込みによって該当プロセスが起動し、空きサブチャネルを介して接続応答オーダーを発行し、発呼側サブチャネルへ接続応答メッセージを返送する。以上により、発呼側、着呼側のサブチャネルあるいはアプリケーションプロセス同士の接続が完了する。

(2) データ転送フェーズ

データ転送フェーズでは、着呼側から出された WRITE (READ) オーダーが、データウェイを経由して発呼側に伝達し、発呼側から出されたオーダーとの整合を確認した後、データの転送を開始する。すなわちオーダーの整合は、発呼側 TC でとられる。データの転送は、アプリケーションプロセスのバッファ間の直接転送でありプログラムの介入を必要としない。

(3) 切断フェーズ

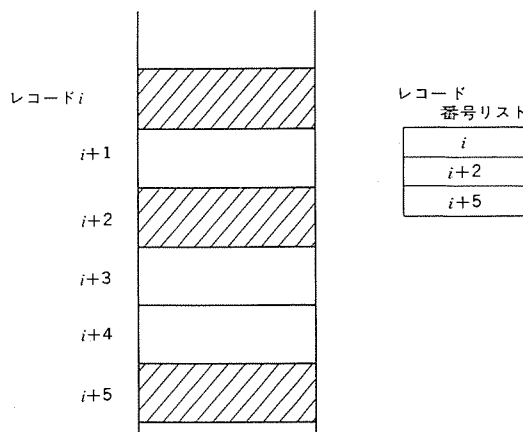


図 7. サンプリングアクセス

切断要求オーダーは、発呼側、着呼側いずれのプロセスからも発行することができる。このオーダーを発行すると、データウェイを経由して切断要求メッセージが伝達され、相手のサブチャネルに割込みが発生し双方のサブチャネルが解放される。

5.2 ファイル転送

ファイル転送とは、発呼側プロセスと着呼側計算機の主記憶の間のデータ転送であり、着呼側計算機のプログラム走行を全く必要としない。したがって着呼側では、あらかじめファイルを定義し、TC 内にそのディレクトリを初期設定しておく。ディレクトリの容量は 63 ファイルである。

ファイルは、システムでユニークに割当てられる識別子（ファイル ID）

により、いずれの計算機からでも READ 又は WRITE することができる。ファイル転送には、コンティニュアスアクセスとサンプリングアクセスの 2 種類がある。

(1) コンティニュアスアクセス

図 6. に示すとおり、ファイル内の連続する領域のアクセスである。アクセスに当たり、発呼プロセスはディレクトリ指定情報として、ファイル ID、先頭レコード番号及び転送バイト数を用意する。

(2) サンプリングアクセス

図 7. に示すとおり、離散してい

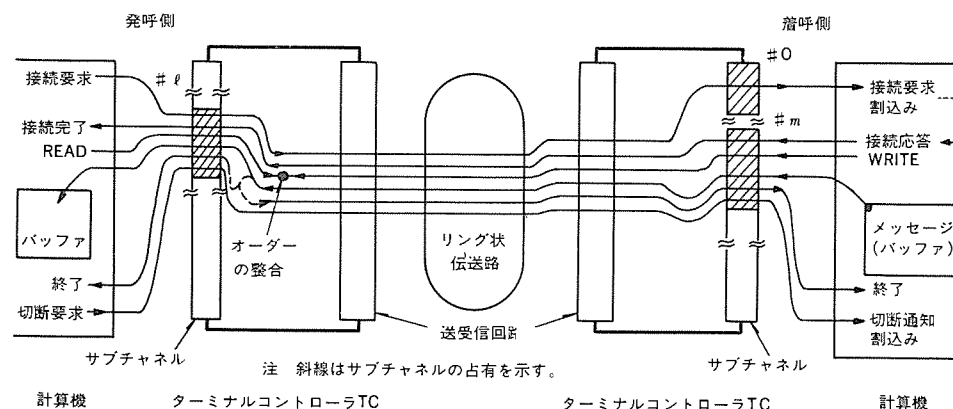


図 5. メッセージ転送シーケンス (リードの場合)

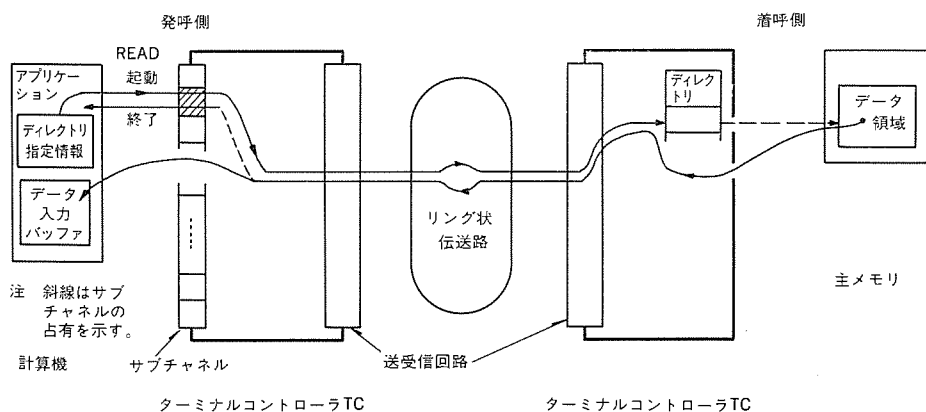


図 8. ファイル転送シーケンス (コンティニューアスリードの場合)

る複数のレコードのアクセスである。アクセスに当たり、発呼プロセスはファイル ID とレコード番号のリストを用意する。

ファイル転送は図 8. に示すとおり、メッセージ転送に比べて手順が簡潔であり、着呼計算機におけるプログラムの介入がないため、応答性が非常に高く、制御情報の転送に適している。

5.3 サイクリック転送

サイクリック転送とは、計算機の主記憶間のデータ転送であり、送信側においても受信側においても計算機プログラムの走行を全く伴わない。サイクリック転送が適用されるデータは、そのデータ識別子、データの先頭アドレス及びデータサイズをあらかじめ TC に設定しておき、その TC が周期的に送信権を得る度に送信される。データの受信側では、必要とするデータ ID とその格納アドレスを TC に初期設定しておくことにより、所定のメモリエリアが周期的に更新される。サイクリック転送は、

データに対する操作とデータ更新のタイミングとの同期を必要としない連続プロセスの制御情報の転送に適している。

6. む す び

- ・ プログラム間の通信 (メッセージ転送)
- ・ プログラム—メモリ間のデータ転送 (ファイル転送)
- ・ メモリ間のデータ転送 (サイクリック転送)

これら 3 種類の通信モードを計算機負荷をほとんど伴うことなく実

現することは、工業用データウェイの課題であった。《MDWS-60》は、これを十分に果たし、今後、市場分野を問わず多くのシステムへの適用が期待できる。しかし高性能化の努力は、継続する必要がある、通信処理の高速化、伝送速度の向上、通信機能の専用化など、市場ニーズを踏まえて取組む予定である。

参 考 文 献

- (1) 中塚ほか：分散制御に適した工業用データウェイ方式の提案，情報処理学会，分散処理システム研究会資料，分散処理システム 16-1，P. 1-8 (昭 57-11)
- (2) 村木ほか：《MELCOM 352-50》工業用計算機における分散システムの構成技術，三菱電機技報，55，No. 11 (昭 56)

特許と新案 有償開放

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

アナログ-デジタル変換装置 (特許 第997293号)

発明者 磯崎 真

この発明は、制御用計算機及び計測用データ収集システム等において、アナログ入力信号をデジタル信号に変換してデータ処理装置に導入させる入力装置に関するもので、その特徴は、稼働時に周期的に入力されるアナログ基準電圧のデジタル変換値を、アナログ基準電圧に対する既知のデジタル信号に近づけるよう増幅器の利得を制御することにより、アナログ入力スキャナ装置の高速化やアナログ-デジタル変換器の環境変化、経時変化による精度低下を防ぎ高精度化を実現することにある。

第1図において V_R はアナログ基準電圧 V_R に対する初期に設定された既知のデジタル値であり、複数のアナログ信号 $A_1 \sim A_n$ を周

期的に取込む入力スキャナ(1)の時間 t_n+1 に読込まれたアナログ電圧 V_R は、演算増幅器(2) サンプルホールド増幅器(3)を経た後 A-D変換器(4)でデジタル信号に変換され、比較器(5)において上記アナログ基準電圧 V_R に対する既知のデジタル値 V'_R と比較され、比較結果の比較値はゲート回路(7)及び加算回路(6)を経て、保持回路(8)に保持される。

演算増幅器(2)の利得調整器(9)は保持回路(8)に保持された比較値によって演算増幅器(2)の利得を増加、減少させることによって、基準アナログ電圧のデジタル信号を既知のデジタル値 V'_R に近づけるように働きアナログ-デジタル変換精度を一定に保つ。

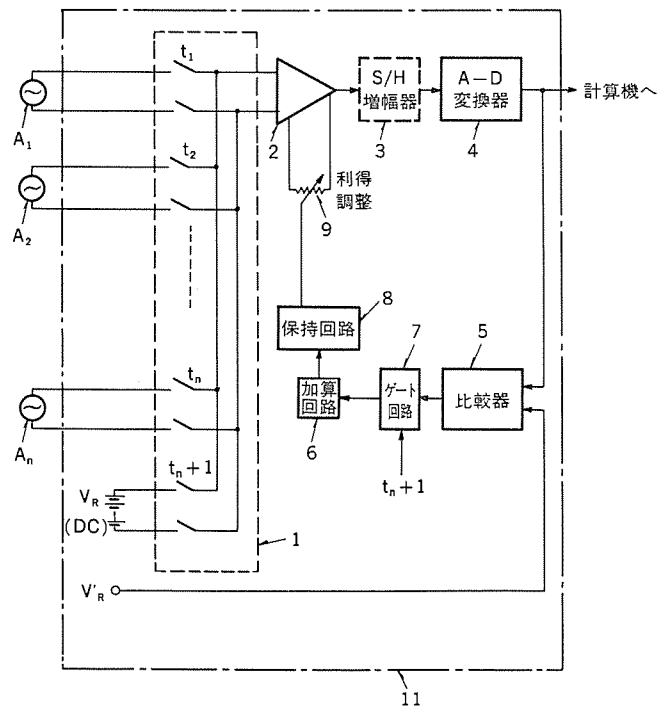


図1

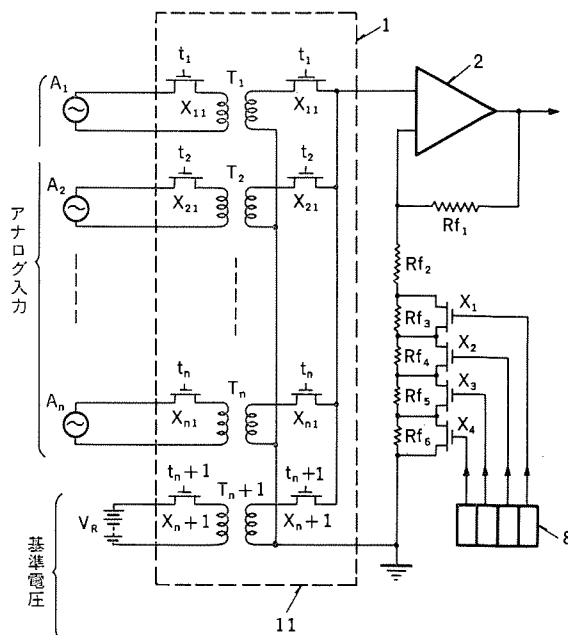
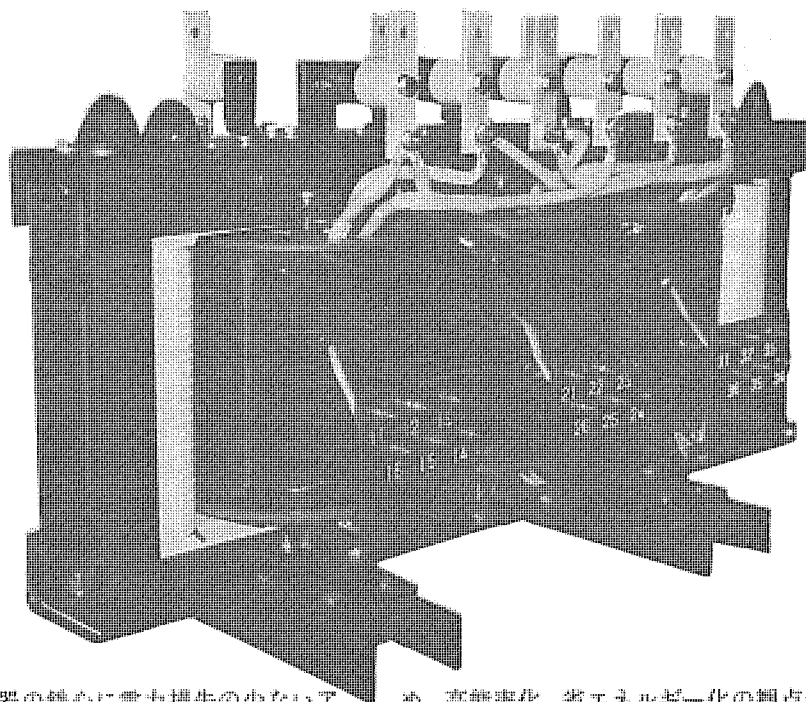


図2

利得調整器の具体例



このたび三菱電機では、変圧器の鉄心に電力損失の少ないアモルファス磁性材料を使用した三相35kVA、モールド式アモルファス変圧器の試作に成功しました。

この試作変圧器は、省エネルギー化、高能率化を目標とし、更にビル内配電用など、幅広い用途に使用できるように三相モールド式で製作したものです。

アモルファス変圧器の仕様、特性を、けい素鋼板鉄心を用いた従来の変圧器と対比して表に示します。けい素鋼板を用いた変圧器に比べて無負荷損は約 $\frac{1}{6}$ 、無負荷電流は約 $\frac{1}{10}$ に減少できます。また、騒音値も低く、特性の優れた変圧器であることを示しています。

このようにアモルファス磁性材料は、素材の電力損失が小さく、その製造方法もけい素鋼板に比べて比較的簡単であるた

め、高能率化、省エネルギー化の観点から国内外から大きく注目されています。

アモルファス磁性材料には

- (1)飽和磁束密度が1.6~1.7Teslaとけい素鋼板鉄心に比べて約20%低い。
- (2)厚さが0.03mm程度とけい素鋼板鉄心に比べて約 $\frac{1}{10}$ と薄く、鉄心の占積率が悪い。
- (3)素材が硬くて、また、焼鈍後脆くなり折損しやすいなど、加工性が悪い。
- (4)特性が高温領域において不安定になる。

等の難点をもっています。

今回の試作変圧器は、これらを考慮して専用の製作機械を使用して、特性に影響のないよう製作しました。

仕様および特性値

鉄 心 材 料		アモルファス鉄心変圧器	けい素鋼板鉄心変圧器
		アモルファス磁性材料METGLAS® 2605 S-2	方向性けい素鋼板 G-6H
仕 様	形 式	モールド式、自冷……F種絶縁	
	相 数	3 相	
	周 波 数	60Hz	
	容 量	35kVA	
	電 圧	F6.9-F6.6-R6.3-6.0-5.7kV / 210-105V	
特 性	無 負 荷 損	49W	238W
	無 負 荷 電 流	0.5%	5.0%
	負 荷 損	980W	954W
	インピーダンス電圧	5.00%	4.55%
	騒 音	58dB(A)	60dB(A)
	効 率	97.14%	96.71%

原子炉核計装用高温核分裂計数管—電離箱の開発

友田 利正*・深草 伸二*・山下 進一**・若山 直昭***・山岸 秀志***

1. ま え が き

核計装装置は原子炉の中性子束を測定し、そのレベルを表示するとともに、原子炉の運転、制御、保護に必要な信号を提供する装置である。高速炉や高温ガス炉などの新型炉の核計装には高温環境でも動作する中性子検出器が必要である。また一般に、原子炉においては、ガンマ線の混在する場において中性子を計測せねばならないが、高速炉においては、冷却材のナトリウムが放射化してガンマ線源となるため、原子炉の停止・起動時の低い中性子束領域においても非常に強いガンマ線環境下で正しい中性子計測ができなければならない。我々はこれらの条件を満たすものとして核分裂計数管を取りあげ、優れた中性子計測性能と耐熱性(600°C)を両立させた中性子検出器の開発に成功した。

一方、軽水炉においても核計装中性子検出器は、原子炉事故時の高温、高ガンマ線環境下でも動作することが要求されだしたため、開発した核分裂計数管は、これら軽水炉への適用も期待される。

2. 核分裂計数管による中性子の計測

核分裂計数管は、中性子有感物質として濃縮ウランが用いられる。通常、濃縮ウランは電極表面に膜状にコーティングされる。対向する陰陽電極間には、電離用ガスが封入されている。外部から中性子が到来すると電極表面上の ^{235}U と反応し核分裂が生じ、同時に大きなエネルギーが大部分、核分裂破片の運動エネルギーの形で解放される。したがって電極表面から飛び出した核分裂破片は、電極間のガス層を通過する際、多くのガス分子を電離する。

このようにして核分裂破片の飛跡に沿って生じたイオン、電子は、電極間の電界によりそれぞれ陰極及び陽極に引き寄せられ電氣的パルス信号を生じる。これをケーブルで測定回路に導き、計数すればその計数率は中性子束に比例した信号となる。ガンマ線も電極壁などとの相互作用で二次電子を発生させ、二次電子は同様にガスを電離するのでガンマ線も電気パルスを生じる。しかし、電子線の線エネルギー付与は、重荷電粒子のそれに比べ十分小さいので、ガンマ線によるパルスは中性子によるパルスに比べ十分小さくなり、波高弁別技術を用いることにより、容易に中性子によるパルスのみを計測することができる。しかし、周囲のガンマ線レベルが高くなると、ガンマ線パルスが数多く発生し、ガンマ線パルスの重なり合いが生じ、本来微小なパルスの波高が大きく成長し中性子パルスと同様に計測されるようになる。このガンマ線による妨害作用を減じるには、信号パルス幅が狭くなるよう設計すればよい。パルス幅が狭い方が時間的にランダムに発生するパルスの重なる確率が小さくなるためである。

中性子束が高くなって信号計数率が高くなると、信号パルス自体の重なりが発生や、計数回路の時間分解能の限界のためパルス計測が不正確となる。この場合、時間的積分をとり、直流電流にして計測することができるが、ガンマ線束に比べ中性子束が十分高くない領域ではガンマ線によるノイズ寄与分が無視できないため、通常は+

キャンベル法という、ゆらぎ計測が用いられる。これは、ゆらぎの大きさは、ゆらぎをもたす素過程の頻度に比例するという原理を用いるものである。ゆらぎの大きさは、素過程の作る信号パルスの大きさの二乗にも比例するので、直流法に比べガンマ線ノイズの寄与が小さくなり、許容できるガンマ線レベルは高くなる。

したがって、核分裂計数管は中性子束の低い領域ではパルス計数法を用い、中性子束が高くパルス計測のできない領域ではキャンベル法を用いることにより、1台の計数管で広い中性子束範囲を計測できるという利点をもっている。なお、キャンベル法では通常出力が対数表示となるので、原子炉の出力運転領域では、直流電流法をあわせて用いることも行われる。

しかし、パルスカウンタとしての動作特性が、主として核分裂計数管の優劣を決定するので、以下はパルス計数特性を中心に説明する。

3. 電離ガスと電極間隔

核分裂計数管の設計にあたって考慮すべき事項は多い。この章では、計数動作特性に関連する事項を取りあげて説明する。間隔 d の平行平板電極内のガス空間に核分裂破片の飛跡に沿って総電荷が $\pm Q_0$ の電子、イオン対が生じた場合を考える。飛跡は一方から他方の電極に達しており、飛跡に沿った電荷密度は一樣とする。このとき、電極に誘起される電流 $I(t)$ は、

$$I(t) = \frac{Q_0}{d} \left(1 - \frac{v_+}{d} t \right) v_+ + \frac{Q_0}{d} \left(1 - \frac{v_-}{d} t \right) v_-$$

と表される。ここで、 v_+ は陽イオンの、 v_- は電子の移動速度であり、第1項は $t > d/v_+$ では0、第2項は $t > d/v_-$ では0である。通常、陽イオンの移動速度は電子のそれに比べ、無視しうほど小さいので第1項は無視してもよい。すると $I(t)$ は、高さ I_0 が $Q \cdot v_-/d$ 、幅 T_c が d/v_- とする三角波となることがわかる。 T_c は電子の電荷収集時間と呼ばれている。

さて、電荷 Q_0 は電極間隔 d 、ガス圧 p を用いて近似的に $Q_0 = q_0 p d$ と表される。 q_0 はガスの種類によって決まり、エネルギー阻止能に比例し、 W 値(一対の電子、イオンを作るのに要する平均エネルギー)に反比例する定数である。また、電極間の電圧を V_0 とすると v_- は、電子のガス中での移動度 μ を用いて、近似的に $v_- = \mu V_0/pd$ と表されるので、パルスの大きさは $I_0 = \mu q_0 V_0/d$ 、パルスの幅は $T_c = pd^2/\mu V_0$ となる。以上は、かなりの近似を用いており、特に $v_- = \mu V_0/pd$ はガスの種類によってはあまりよい近似とはいえないが、次のことが言える。信号パルスは、波高が大きく、幅の狭いことが望ましいが、このためには、電子の移動度の大きいガスを選択せねばならないことは当然である。ガス圧と電極間隔に関しては、共に小さい方がよいが、電極間隔を小さくする方がより効果の大きいことがわかる。電離ガスとして希ガスを選ぶのが、放射線、高温に対する安定性の点で好ましいが、純粋な希ガスを用いたのでは電子の移動速度が小さすぎるため、アルゴンと窒素5%の混合ガスを選んだ。希ガスに多原子分子ガスを混合すると移動度が大幅に増加する。封入してあ

る窒素と電極材料などとの反応による電離ガス組成の変化を極力避けるため、ニッケルベースの超耐熱合金インコネルを主要金属材料に使用している。

また、電極間隔とガス圧の各種組合せについて試作品を作り、動作基本特性、高温特性などを検討した結果、電極間隔として1mm、ガス圧とし4kg/cm²を標準としている。

4. 中性子感度とウラン膜

中性子感度は使用するウラン量に依存するが、電極表面上にコーティングするウラン膜をあまり厚くしてもウラン膜による中性子吸収が増えるばかりでなく、ウランからのアルファ線によるバックグラウンド信号が増加するので好ましくない。またウラン膜内で生じた二つの核分裂破片のうち、どちらか一つが電極間のガス層に飛び出す平均確率 P_{av} は $P_{av}=1-t/2R$ (t はウラン膜厚、 R はウラン膜中での核分裂破片の飛程)となる。更に容器壁、電極などでの中性子の吸収も考慮する必要がある。これらの検討から所要感度を得るのに必要なコーティング面積が算出できる。我々はウラン膜厚を約1.5mg/cm²とし、0.12cps/nvの感度のものに対し約160cm²、0.3cps/nvのものに対し約410cm²を採用した。

なお、膜厚の一様性は、円筒の両端部5mmを除けば約±10%になっている。

5. 構造上の特長

600℃で長期にわたり正常に動作し、650℃でも破損や劣化の生じないものとするため、構造上種々の工夫を行った。図1に概念図を示す。電極は同筒形とし、膨張係数の差により発生する半径方向の「がた」を小さくするため、電極を支持するセラミック絶縁物は、小径の棒状とし電極円筒軸上に設置した⁽¹⁾。高温でのばねの緩和に伴う問題を避けるため、電極間などの軸方向の寸法誤差や熱膨張差を吸収するためのばねは設けず、電極は片端を固定し、他端は軸方向の運動を自由に許すしゅう(摺)動構造とした⁽²⁾。

容器は二重構造とし、電極を含む計数管本体部分は独立な内側気密容器に収納し、内側と外側の容器の間には、内側容器内の電離ガスと等しい圧力のガスを封入した⁽³⁾。内側容器の内外で圧力がバランしているため、内側容器には圧力がかからず、信号線引出しのため内側容器の一部を形成する金属—セラミックシールは、高温にしても内圧の上昇による破損を被ることはない。なお、金属—セラミックシールは封着部の形状寸法に改良を加えた⁽⁴⁾結果、常温—700℃の急熱急冷熱サイクルに耐えるものとなっている。

信号ケーブルは6章で述べるMIケーブルを用いており、外側容器

に2本のケーブルが一体的に接続されている。そのため、コネクタに付随して生じる接触不良や放電パルスノイズ発生の問題から解放されている。また陰陽電極にそれぞれ独立にケーブルを取付けているので、高電圧の供給と信号の取出しが別々に行え、直流電流計測も精度よく行える。

濃縮ウランは、対向する電極の両表面にコーティングしてあるので、片面のみコーティングしたもの比べ、中性子感度とガンマ線感度の比がほぼ2倍改善されている。また同じ中性子感度を得るのに電極長は約半分でよいので、電極間隔を一定に保つために必要な電極径などの工作精度に対する要求は緩和される。

検出部の外径は38mmであり、長さは感度0.1cps/nvのものが約350mm、感度0.3cps/nvのものが約530mmである。MIケーブルの外径は約5mmである。

6. MIケーブル

信号ケーブルが検出部の外側容器に一体的に取付けられていることは5章で述べた。耐熱性、耐放射線性の点からケーブルの絶縁材として有機物は使用できないので、酸化マグネシウム粉末を用いている。ケーブルの構造は三同軸であり、中心導体は銅線、内側のシールド導体は銅パイプ、外側のシールド導体はステンレス鋼である。高温での安定性の観点からは、すべてステンレス鋼を使用するのが好ましいが、パルス伝送特性や外来雑音に対する耐性の観点からは、固有抵抗の小さい銅が好ましく、中心導体と内側シールド導体にはあえて銅を使用している。

なお、酸化マグネシウムは吸湿性が強く、吸湿すると絶縁抵抗が低下するのみでなく、低い印加電圧でも微小放電パルスが発生し、中性子のパルス計測の妨害となるので、十分脱湿した後に端末を封止している。

7. 中性子計測特性

これまで数多くの試作を重ね、高温においても良好な中性子計測特性が安定して得られている。以下に各種特性を試験結果を示しながら説明する。

7.1 パルス波形

3章で述べたように、電流パルスは主として電子の運動によるものであることを述べた。信号パルスは、原理的には湿度の影響を受けないはずであるが、高温での封入ガス成分の変化や電極などの熱膨張の影響などがあり、これらの影響を受けにくい設計にする必要がある。この観点から窒素ガスの混合比として5%を、また主要金属材料としてインコネルを選び、構造面でも4章に述べたような工夫をこらしている。図2に600℃までの種々温度における信号パルス波形を示す。パルス幅は約100nsであり、有意な温度変化は認められず安定した特性が得られている。

7.2 波高分布特性

図3に電流パルスの波高分布特性を示す。これは横軸にパルス波高、縦軸にその計数率(一定時間内の計数値)を示したものである。核分裂破片は、ウラン膜から電極間のガス層へ等方的に飛び出すのでガス中での飛跡の長さはある分布を保つ。計算により、核分裂破片が電極間を垂直に走る場合に生じる電流パルスの頻度が最も大きくなり、波高

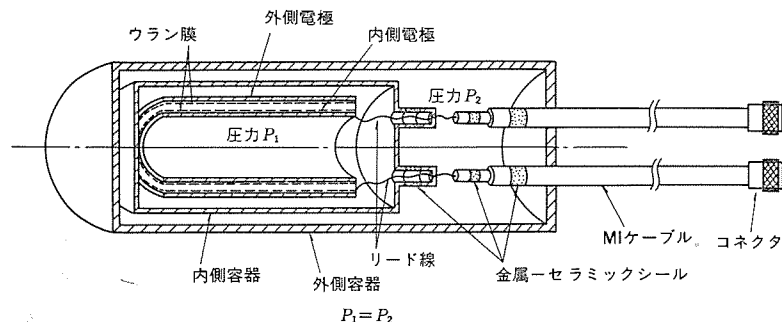
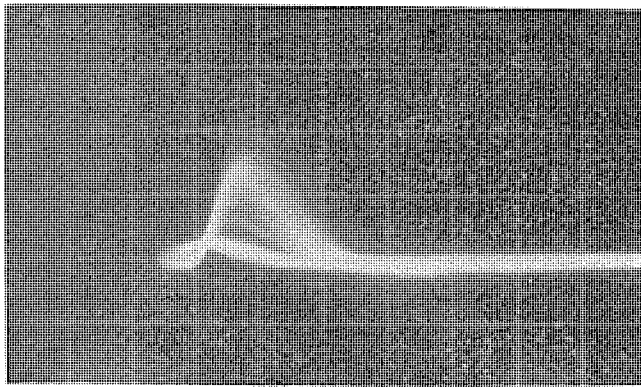
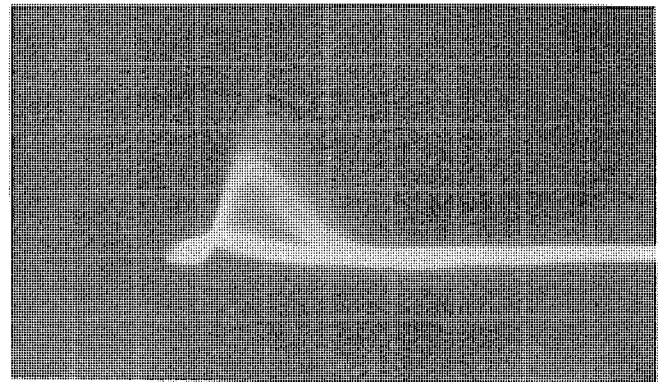


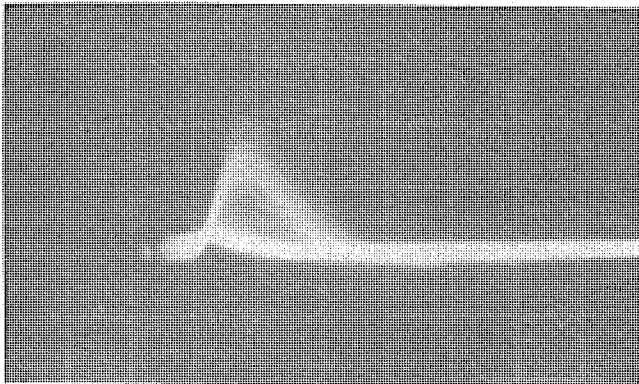
図 1. 核分裂計数管構造の概念図



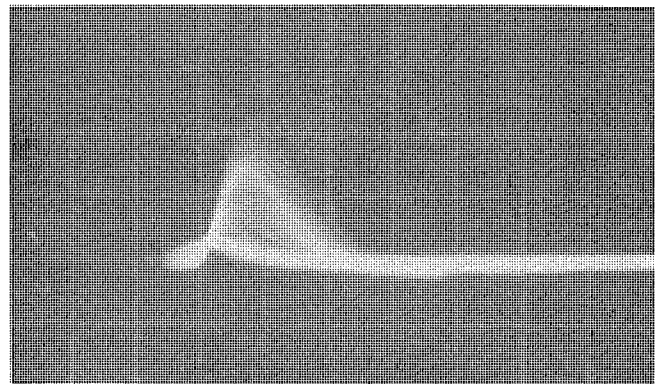
室温



200°C



400°C



600°C

図 2. 各種温度における信号パルス波形 (縦軸: 電流 $1 \mu\text{A}/\text{div.}$, 横軸: 時間 $50 \text{ ns}/\text{div.}$, 印加電圧 200 V)

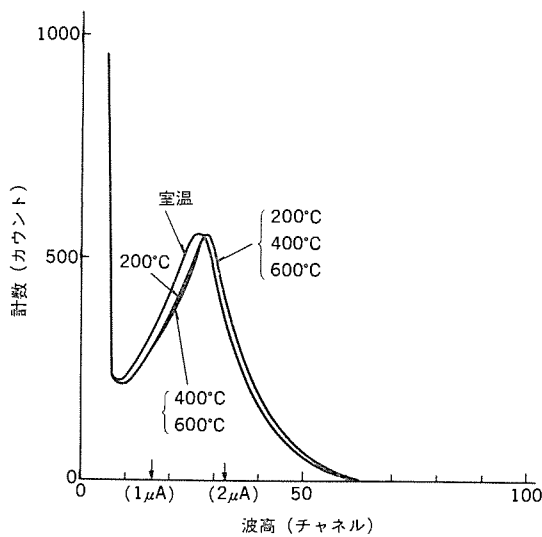


図 3. 電流パルス波高分布特性

分布は、これに対応した波高値にピークをもつ分布になることが示され、測定結果はよい対応を示している。左端の急なこう(勾)配部はウランから放出されるアルファ線の作る小さなパルスによるものである。室温での分布と、 200°C 、 400°C 、 600°C での分布が少し異なっているが、その差は小さく実用上問題とならない。なおこの原因は高温で、金属材料とガス中に微量に存在する多原子分子の平衡状態がずれるためと思われるが実証はなされていない。

7.3 ディスクリミネーション特性

中性子によるパルス信号のみを計数するために、波高弁別技術を用いることを2章で述べた。これは、ある設定レベル以上のパルスの

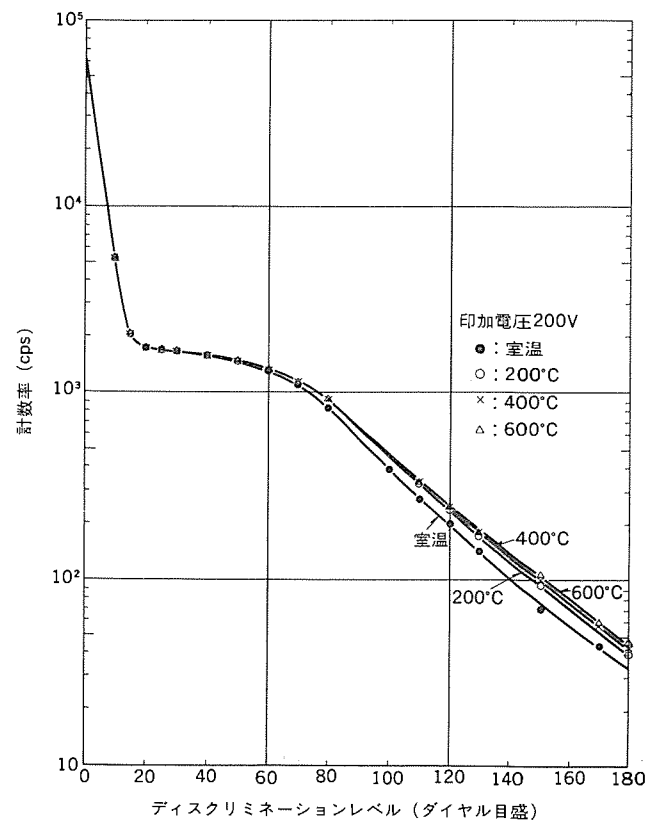


図 4. ディスクリミネーション特性

みを信号パルスとして計数するものである。図4.は、一定中性子束下でこのディスクリミネーションレベルを順次変え、そのときの計数率を測

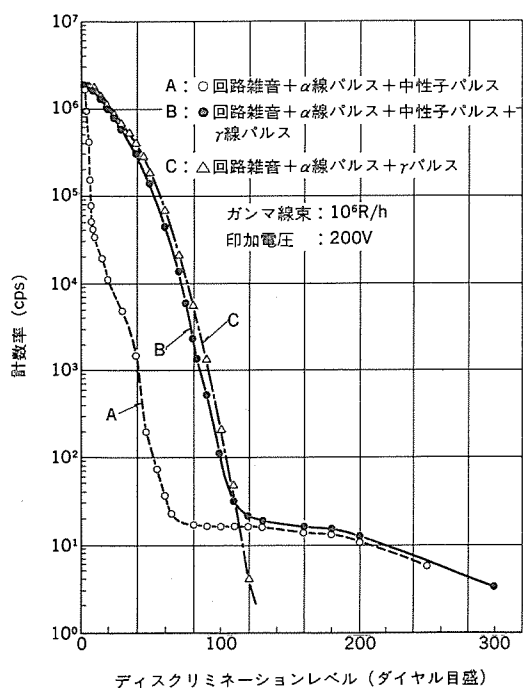


図 5. 高ガンマ線束下でのディスクリミネーション特性

定したものである。これは 7.2 節の波高分布特性を積分することによって得られるので、積分波高分布特性とも呼ばれる。したがって 7.2 節と同様にわずかの温度依存性を持つが、実用上は何ら問題ないことが理解される。つまり、左側のアルファ線によるパルスを計数しないようディスクリミネーションレベルは、40 前後に設定する必要があるが、このレベルでの計数率の温度変化は認められない程度であるのがわかる。

7.4 ガンマ線パルスとの弁別性能

図 5. は、 10^6 R/h のガンマ線環境下でも中性子パルスのみを正しく計測できることを示したものである。測定回路は 7.3 節で用いたものと異っており、数え落し補正機能付きの計数率計、及び増幅器出力の直流電位を一定に保つよう、直流再生器を組込んだ増幅器を用いて高計数率時にも高精度の測定を行えるようにした。曲線 A は、ガンマ線がなく中性子みの場合のディスクリミネーション特性である。低雑音前置増幅器を用いたので、アルファ線パルスも回路雑音からよく弁別できているのがわかる。曲線 B は、中性子束を A と同じにしておいて 10^6 R/h のガンマ線を追加した場合である。ガンマ線パルスの重なり合いが大きいため、アルファ線パルスは見えなくなっているが、中性子パルスは十分弁別できているのがわかる。曲線 C は参考のため、中性子源を取除きガンマ線のみの場合を示したものである。

7.5 プラットー特性

図 6. は一定中性子束下で、ディスクリミネーションレベルを一定にし核分裂計数管に印加する電圧を順次変えて計数率を測定したもので、プラットー特性と呼ばれる。高圧直流電源の電圧変動の計数率出力への影響を知ることにも利用できるが、実用的には、何らかの理由でディスクリミネーションレベルをあらかじめ設定したときに、選ぶべき印加電圧範囲を示すものとして用いられる。次節で述べるように動作電圧は低い方が望ましいが、図の場合には 120~200 V であれば十分であり良好である。この場合でも同様に温度依存性は無視できる程度である。

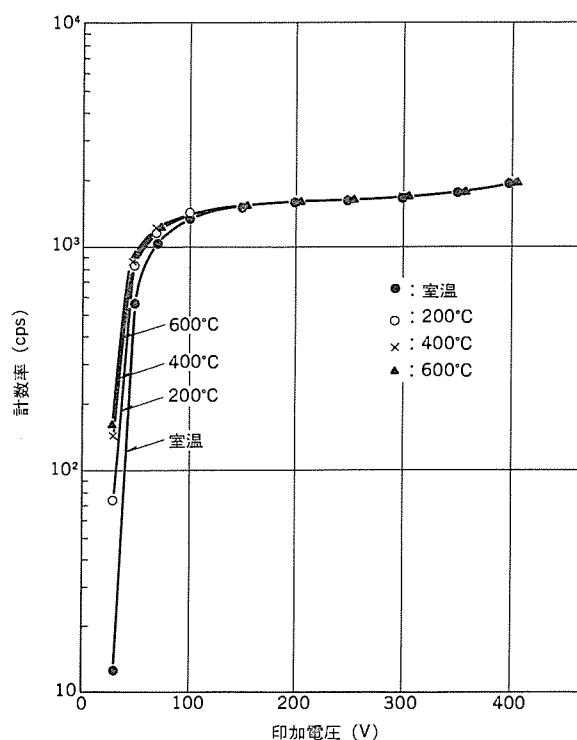


図 6. プラットー特性

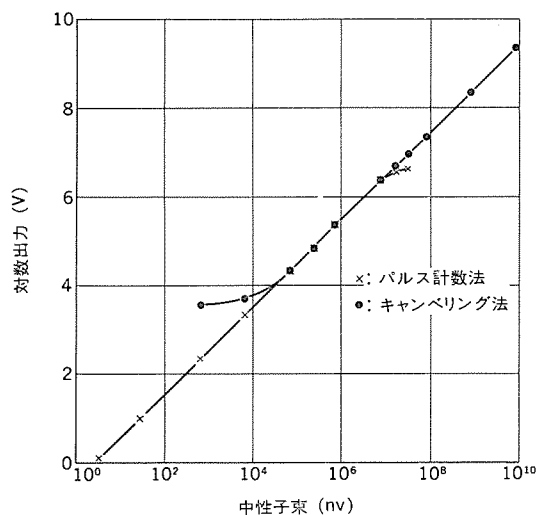


図 7. パルス計数法とキャンベリング法の計測レンジのオーバーラップ

7.6 バックグランドパルス

6 章で述べたように MI ケーブル内や計数管の他の部分で高電圧を印加したとき、外部放射線がない場合にも、微小放電パルスが発生する。この発生メカニズムはまだ明らかでないが、現象的には印加電圧が高くなるほど、また温度が高くなるほど放電パルスの発生頻度は増大し、またパルス波高も大きくなる。これは中性子パルス計数の妨害となり、この擬似信号パルスの発生頻度が中性子束の計測下限を決定する一要因となる。試験結果は、 600°C 、250 V でも放電パルスの発生頻度は 0.1 cps 以下であり良好である。

なお、ウランからのアルファ線によるパルスもバックグランドとなるが、図 2.、図 3. からわかるように中性子パルスに比べ十分小さいので問題とならない。

7.7 キャンベル法動作性能

2章で計数率が高くなるとパルス計数法では測定不能となり、キャンベル法が用いられることを述べた。1台の核分裂計数管で広い範囲の中性子束を連続的に測定できるためには、二つの計測法で使用したときに、正しく計測できる中性子束の領域が互いにオーバーラップしている必要がある。このためには、計数管だけでなく用いる測定回路が重要な役割を果たす。図7は三菱電機(株)で開発した広域系回路⁽⁵⁾を用いて測定した結果である。パルス計数領域とキャンベル法領域のオーバーラップは約2.5けた(桁)あり非常に良好である。

8. 原子炉照射試験

放射線の照射耐久性と長期安定性を実証するため、原子炉での照射試験を600°Cで行った。

8.1 加速照射試験

加速照射試験は、日本材料試験炉(JMTR)の炉内照射孔で行った。照射中中性子束は、通常、核計装用核分裂計数管が遭遇する中性子束よりほぼ2桁高い 2×10^{12} nvとし、積算照射量は 6.5×10^{18} nvt(中性子)及び 7.2×10^{10} R(ガンマ線)であった。照射中、核分裂計数管は600~620°Cの温度に保ち、電離ガスの加速劣化をはかるため200Vを印加し、26mAの電離電流を常時流した。照射期間中に数度及び照射後詳細な特性試験を実施し、照射の影響を調べたが、各種特性に有意な変化は認められなかった。図8に、ディスクリミネーション特性の例を示す。照射による特性変化は、認められず安定であることがわかる。

なお上記照射は、中性子照射量のみからいうと、核計装用として用いた場合のほぼ10年分に相当する。

8.2 長期実作動試験

2台の計数管を、日本原子力研究所の研究炉JRR-4のサーマルコラム内に設置し、600°Cでの長期実作動試験を実施した。200Vを印加し原子炉の運転に伴う0~約 10^8 nvの中性子束の変化を連続測定記録するとともに、随時特性試験を行った。また温度も変化させた。これまで炉内での試験日数は774日であり、このうち600°C保持時間は約404日分である。この間、パルス波形をはじめ各種特性に有

意な経時変化は認められず安定して作動した。

9. 加振試験

核計装装置は地震時においても、機能維持が要求される。中性子検出器に対する耐震の要求条件は、プラントの立地点や検出器の設置方式に依存して決定されるが、ここでは基本的な性能を調べるため、4台の核分裂計数管について加振試験を行った。検出部両端を固定支持し、加振方向は検出器の軸方向及び軸と直角方向の2方向、周波数は10~50Hzまで10Hz間隔で5点、加振波形は連続サイン波とし、加速度を順次増大しながら加振中に発生するバックグランドパルスを計測した。なお検出器に印加する電圧値もパラメータとした。また加振前後の特性も比較した。試験の結果、バックグランドパルスは、軸方向より軸に直角方向の加振の方が発生しやすいこと、また印加電圧の高い方が発生しやすいことが認められた。印加電圧200Vでは、4台ともどの方向の加振に対しても3gまで、バックグランドパルスの発生はなかった。また5gまで加振後も特性の変化は認められなかった。

10. むすび

以上、我々が開発した核分裂計数管の特長とその中性子計測特性、耐熱性、照射耐久性、長期安定性、耐震性などについて説明した。

電離ガスにアルゴンと窒素の混合ガス、電極などの主要金属材料にインコネルを用い、構造設計上でも種々の工夫を施すことにより、高性能の中性子計測特性と600°Cの耐熱性を両立させた信頼度の高いものとすることができた。新型炉のみでなくPWRの核計装へも適用が可能である。

従来、450°C以上では、ここで述べたような安定した高性能動作特性を実現することは困難とされていたものであり、世界に先がけた成功は海外からも注目され、国際協力協定に基づく依頼により、これまで西独、米国にサンプルを供給している。また、この「核分裂計数管——電離箱の開発」は、昭和54年の原子力学会技術賞受賞の対象ともなった。

参考文献

- (1) 田中：実用新案，昭52-32218「中性子検出器」
- (2) 若山ほか：特許出願中，特開昭54-139781
- (3) 若山ほか：特許出願中，特開昭54-145586
- (4) 若山ほか：特許，昭56-32270「金属・セラミック封着構造物」
- (5) Oda et al. : A wide range counting-Campbell nuclear instrumentation system, IEEE Transactions on Nuclear Science, NS-23, No. 1, P. 304-306 (1976)
- (6) 若山ほか：高温用核分裂計数管の開発(IV)，同(V)，同(VI)，53年原子力学会秋の分科会
- (7) Wakayama, Yamagishi, Tomoda, Kawashima : Development of fission chambers for high-temperature reactors, IAEA-SM-226/32 (1978)
- (8) Wakayama, Yamagishi, Tomoda, et al. Development on experimental VHTR instrumentation, IAEA IWG-GCR Specialist Meeting on GCR core and high-temperature instrumentation. (1982-6)

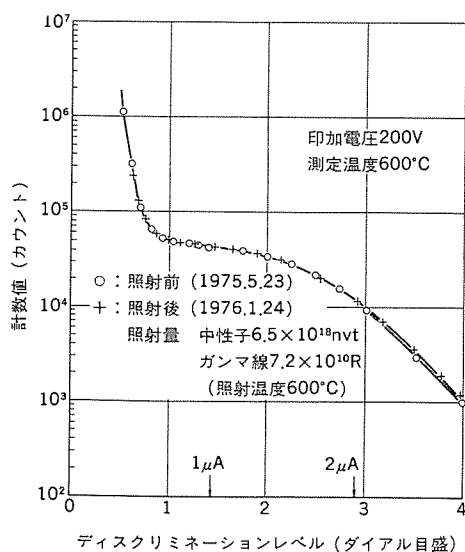


図8. 原子炉照射前後のディスクリミネーション特性

韓国KETRI(電気通信研究所)納め大容量短絡試験設備

辺 勝鳳*・林 重雄**・合田啓治***・斎藤博士***・斎藤伸朗*

1. ま え が き

このたび(1982年10月)完成した大容量短絡試験設備は、1982年1月に既に完工した超高压試験設備とともに、韓国電気通信研究所(Korea Electrotechnology and Telecommunications Research Institute: KETRI)の主試験研究設備となる。これは4年6か月の建設期間を要した韓国の国家的プロジェクトである。

ことに大容量短絡試験設備は韓国では初めてのもので、米国のウェスチングハウス社と韓国の現代総合技術(株)が設計を、三菱電機(株)が主設備の製作を、韓国の大宇開発(株)が建設工事を担当し成功裏に完成した。

これまで韓国は、日本、米国、オランダなどの外国の短絡試験設備と超高压試験設備を利用して新製品の開発試験や形式性能試験を実施してきたが、機器の外国への安全輸送、試験経費など不便な点が多かった。このたび試験設備の完成によって電力遮断現象の研究、大電流に対する強度の研究、大電流せん断特性の研究、超高压絶縁特性の研究、コロナ特性の研究などいろいろの実証試験研究が韓国国内で行えるようになった。同国の電力機器製造技術の開発、電力系統の実証試験研究に活用され、大きく寄与するものと期待されている。

2. 設備の概要

2.1 構成機器とレイアウト

図1.にこの設備の全景を、図2.に主要機器の配置図を、図3.に単線接続図を示す。全体の配置を決定するにあたっては、短絡発電機出力端子より短絡変圧器に至る距離が最短となるよう配置するとともに、短絡試験時の強大な電磁力に対抗しうる特殊な構造を考慮

している。したがって発電機室の機器配置も、主回路に係る機器は限流リアクトル側に、補機類はその反対側に配置している。

図2.において、①は短絡発電機で、②の駆動電動機によって、定格1,800 rpmで駆動される。発電機の始動停止を含み機器の運転は観測室⑫より制御される。発電機の励磁はサイリスタ形静止励磁装置によって行われ、発電機の強力なダンパ巻線の効果に加え、急速過励磁を付加して、短絡試験時の回復電圧を90%以上としている。短絡発電機の固定子巻線は二重巻線となっており、発電機の両端より各々別々に、③の保護遮断器に導かれる。その間にYΔ切換断路器、発電機保護用避雷器、アブソーバ及び中性点接地抵抗が地下室に設置されたキュービクルに収納されている。

限流リアクトル④は、幅14 m、長さ20 m、高さ6.8 mの鉄骨の中に、0.005Ωから5.12Ωまで2進法で値が進む11個のリアクトルが各相に設置されており、リアクトルの挿入は短絡断路器を開くことによって行われる。

限流リアクトルを出たケーブルは、短絡変圧器⑤に断路器を通して接続されるとともに、離相母線を通して⑦⑧⑨の屋内試験室にも導かれる。一方、変圧器で昇圧された電圧は、⑧の高圧試験室、⑨の合成試験室及び⑩の屋外試験場へ逆V字形がいしに支えられて供給される。合成試験機器室⑥にはキャパシタバンク、充電装置、線路模擬回路、高電圧用の乾式リアクトル、放電ギャップ及び測定用抵抗体など、合成試験に使用する機器が収納されている。⑫は観測室でこの建物から全試験室を展望することができ、試験進行の様子を監視することができるようにしている。



図1. 短絡試験設備全景(左より屋内試験場、変圧器ヤード、発電機建屋、屋内試験場の奥は合成試験設備建屋、発電機建屋の右手前は屋外試験場である)

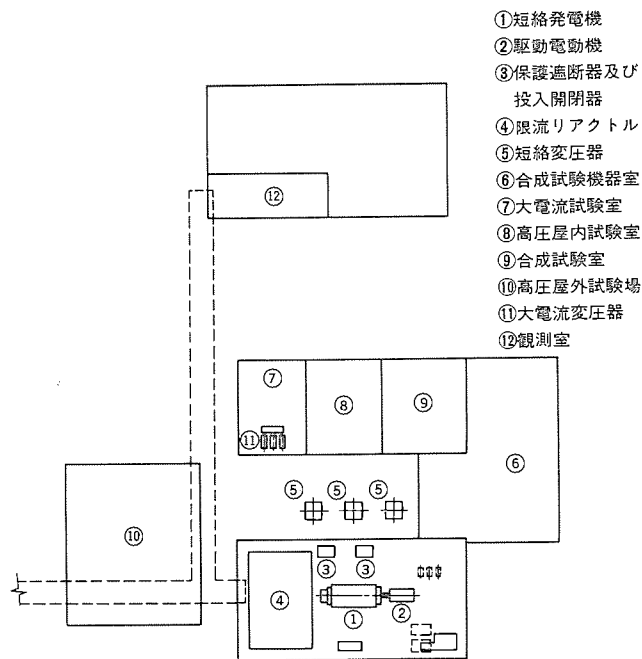


図2. 主要機器配置図

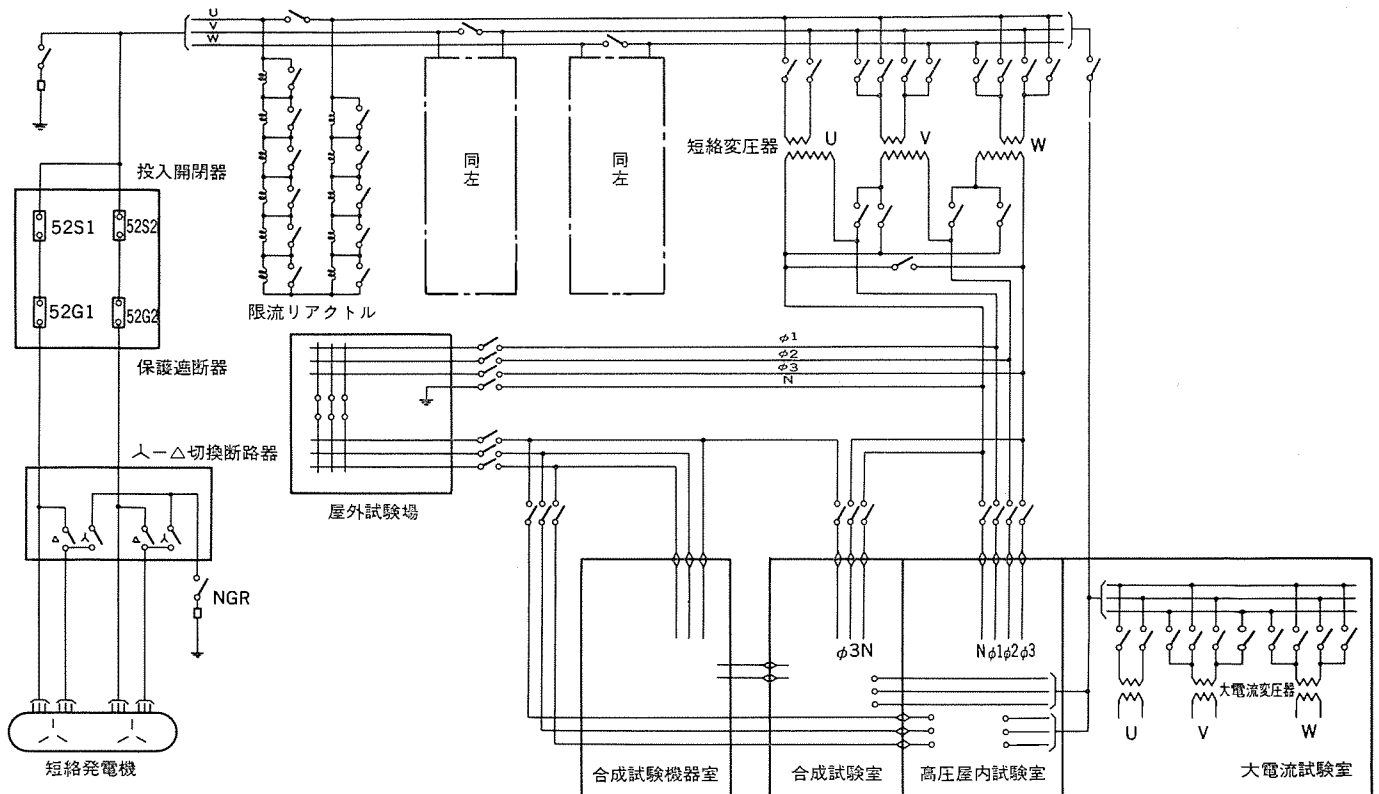


図 3. 単線接続図

2.2 設備能力

この設備は短絡発電機容量として、1/2 サイクル後 6,000 MVA、3 サイクル後 4,000 MVA を有し、次に示す試験能力を持っている。

(1) 遮断器

- (a) 電圧定格 : 3.6~25.8 kV (直接試験)
34.5~170 kV (全点合成試験)
230~362 kV (ユニット合成試験)

- (b) 短絡電流定格 : 50 kA まで

(2) 変圧器及び電圧調整器

- (a) 電圧定格 : 3.3~362 kV
- (b) MVA 定格 : 50~60 MVA

(3) 断路器

- (a) 電圧定格 : 362 kV まで
- (b) 短時間電流定格 : 60 kA まで

(4) 負荷断路器

- (a) 電圧定格 : 38 kV まで
- (b) 負荷電流定格 : 1,200 A まで

(5) ヒューズ

- (a) 電圧定格 : 52 kV まで
- (b) 遮断電流定格 : 60 kA まで

上記のほか、計器用変成器、避雷器、バスダクト及び限流リアクトルなどの試験が可能である。

3. 主要機器

3.1 短絡発電機

本機の短絡容量は発電機端子での三相短絡で、短絡 3 サイクル後 4,000 MVA 以上、試験運転責務としては 110 kA の三相 4 サイクル短絡試験繰返し 4 回 (O-15 サイクル-CO-15 サイクル-CO-20 サイクル-CO を

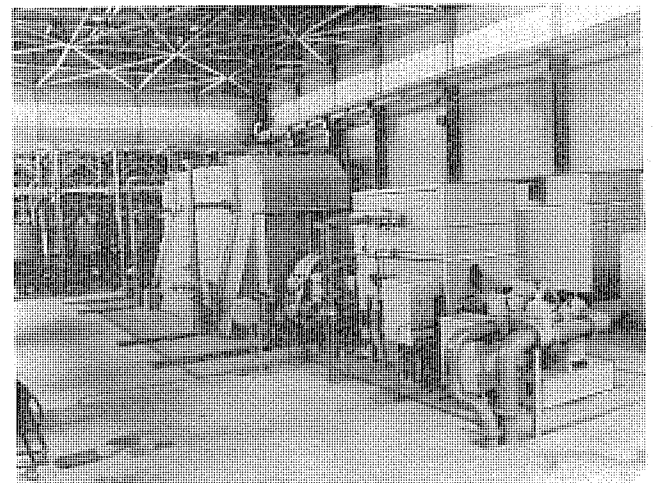


図 4. 短絡発電機及び駆動用電動機 (短絡容量 1/2 サイクル後、6,000 MVA、3 サイクル後 4,000 MVA の短絡発電機、手前は駆動用誘導電動機、向う側は限流用リアクトルである)

30 分に 1 回実施)、定格電圧運転 (10 分励磁-30 分無励磁の繰返し) 及び 50% 電圧運転 (連続励磁) が要求されている。

発電機の基本形式は、1,800 rpm、4 極、横軸円筒回転界磁形空気冷却同期発電機であり、全長 15 m、床上高さ 5 m、横幅 5.3 m、固定子重量 270 t、回転子重量 130 t と世界で有数の大容量短絡発電機である。図 4 に発電機の外観を示す。

電気設計上の特長として、空けき (隙) 磁束密度を通常機より高く設計するとともに固定子スロット形状は幅を広く、深さを浅くして磁気抵抗を大きくし、更に固定子コイル端部を銅製のダンパコンで包み端部漏れ磁束を短絡することにより、発電機リアクタンスを減少した。

また、短絡時定数を増加させるため、回転子に強力な制動巻線回路を組込んだ。回転子コイルスロット内及び磁極部表面に組込んだ制動バーと、端部のコイル押えリング内側に取付けた制動リングで構成するこの完全かご形制動巻線回路は、不平衡短絡時の逆相電流による回転子局部温度上昇も軽減させている。

機械設計上の特長として、短絡大電流により固定子コイル端部に働く電磁力に対し一体支持構造を採用した。巨大な短絡トルクに対する発電機フレームの固定法は、強度検討の上スプリングなどによる複雑な緩衝機構は設けず、基礎ボルトで直接基礎架台に固定した。また、発電機と駆動電動機はフレキシブル中間軸で結合し、駆動電動機への短絡衝撃力を中間軸で吸収する構造とした。励磁装置にはサイリスタ静止励磁を採用し、定格励磁電圧 350 V、頂上電圧 1,200 V として急速過励磁が可能な方式とした。

現地短絡試験結果より、180 MVA 基準での発電機リアクタンス値は $x''d=2.7\%$ 、 $x'd=4.2\%$ 、 $xd=33.8\%$ 、短絡時定数は $T''d=0.042\text{ s}$ 、 $T'd=0.93\text{ s}$ であり、発電機端子での三相短絡容量は、短絡 1/2 サイクル後 6,200 MVA、3 サイクル後 4,800 MVA に達した。

3.2 短絡変圧器

形式	： 外鉄形，单相，油入自冷式，60/50 Hz
容量	： 50 MVA（インピーダンス算出基準）
最大短絡容量	： 1,000 MVA
定格電圧	： 一 次 18 kV 二 次 96-72-48-24 kV
BIL	： 一 次 150 kV 二 次 1,425 kV（全絶縁）
インピーダンス	： 2%以下（50 MVA）

この変圧器は短絡容量が大きく、短絡責務も厳しい。また二次側絶縁階級が高い。このために、高電圧に対する絶縁と短絡による機械的、熱的強度についてバランスのとれた設計を行う必要がある。これらの要求を満足するため、変圧器としては、三菱電機(株)大容量

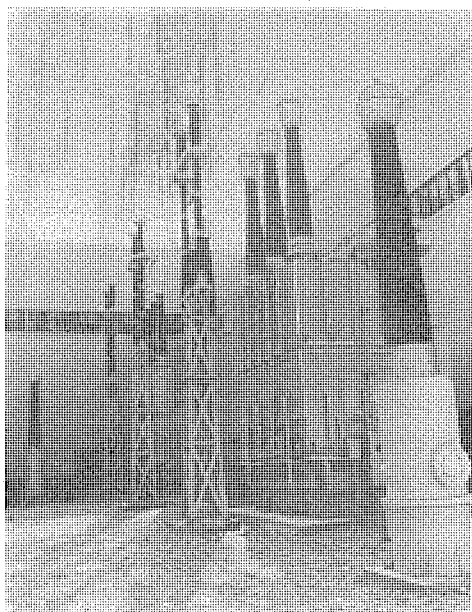


図 5. 短絡変圧器（最大短絡容量 1,000 MVA の单相短絡変圧器 3 台，二次電圧は内蔵されたタップにより 96-72-48-24 kV が得られる。また外部断路器により並列，直列に接続することができる）

変圧器の標準構造である外鉄形 フォームフィット 構造を採用した。外鉄形では巻線として交互配置を採用しているため、コイル群数を適当に増加させることにより、インピーダンス及び短絡電磁力を小さくできる特長がある。今回の場合はインピーダンスの仕様、短絡電磁力の点から 16 群配置とした。鉄心構造としては、外鉄形の標準構造であるが、断面形状は上下端部を段付きとし、コイルを小判形にした。これによってコイル上下部のコイル径方向に働く電磁力に対する機械的安全性を高めた。更に巻線構造については、コイルを小判形にしたことのほか、すべてのコイルを同じ大きさとすることによって不均衡電磁力の発生を抑えたこと、コイル面には絶縁ワッシャを密着させるとともに巻線絶縁紙には耐摩耗性に優れた絶縁紙を採用するなどの考慮が払われている。絶縁構造としては、標準的に採用されている E 形絶縁構造としている。設計にあたっては、電磁力、電位分布、温度上昇などの計算において、三菱電機(株)の有する技術を駆使した。図 5. に短絡変圧器の外観を示す。

3.3 保護遮断器

形式	： 20-C-63 L
定格電圧	： 24 kV
定格電流	： 3,000 A
定格周波数	： 50/60 Hz
定格遮断電流	： 63 kA
定格操作圧力	： 10 kg/cm ²
AC1 分間耐圧	： 50 kV（対地間），75 kV（極間）
BIL	： 110 kV

短絡試験設備用保護遮断器は、三菱電機(株)短絡試験設備にて既に二十数年間の実績を持つ 20-C-63 L 形空気遮断器を、発電機の二重巻線の各々に 1 台ずつ設置し、並列運転を行っている。20-C-63 L 形空気遮断器は、横吹付け形遮断方式を採用しており、過酷な再起電圧に対して優れた遮断性能を有し、1 遮断点にて良好な遮断性能を発揮する。また横吹付け方式のため、構造が非常に簡単で、接触子を消弧室から外すことなく外部から目視点検ができるうえ、消耗接触子の交換も容易で、高信頼度を要求される保護遮断器として好適である。

建設後の現地性能試験においても良好な遮断性能を示し、短絡発電機用保護遮断器としての性能を実証している。

3.4 投入開閉器

形式	： AC 形
定格電圧	： 18 kV
定格投入電流	： 対称電流 60 kA 非対称電流 104 kA
定格周波数	： 60 Hz
定格投入時間	： 0.02 s（誤差 $\pm 0.3\text{ ms}$ ）
定格操作圧力	： 10 kg/cm ²
AC1 分間耐圧	： 50 kV
BIL	： 110 kV（対地間）

AC 形投入開閉器は、タンク内圧力が 10 kg/cm² に充気されているため、可動、固定接触子間にはわずかな間隙で絶縁耐力があり、可動距離が非常に短いので投入時間及びそのばらつきは極めて小さい。投入動作は、投入信号により投入用電磁弁が動作し、制御ピストンを上押し上げ、操作シリンダ内の圧縮空気が抜け、タンク内圧力 10 kg/cm² の操作力で投入する。可動接触子側は、投入時の衝撃力を緩和するパンパが有効に作用しバウンスが少なく、接触子の消耗も

少ない。また投入開閉器全体がキュービクルから引き出せるようにしてあるため、消耗接点の交換が容易に行える。投入開閉器も保護遮断器と同様に2台設置し並列運転を行っている。

3.5 合成試験設備

高圧遮断器のための合成試験設備は、メインキャパシタバンク、メインキャパシタバンク充電用DC充電装置、放電ギャップ、チューニングインダクタ、波形調整用抵抗、波形調整用キャパシタバンク、近距離故障(SLF)試験用 π 回路、アーク時間延長装置などで構成し、170 kV、50 kA(遮断器の全点遮断試験、345 kV、50 kA 遮断器のユニット遮断試験までが可能である。

メインキャパシタバンクは、定格電圧375 kV DCにて最大10 μ F、280 kV DCにて最大17.8 μ F、187 kVにて最大20 μ Fの静電容量が接続導体の組合せによって得られる。各ユニットキャパシタを順次積み上げていく方式としたため、大幅な据付け面積の縮小ができた。

メインキャパシタバンク用充電装置は定格出力電圧400 kV DCで、整流器を内蔵しており、30秒以内に10 μ Fのメインキャパシタバンクを375 kV DCまで充電可能である。また接続導体の切換えにより、正負両極性の充電ができる。

放電ギャップは500 kV DCの放電が可能のように設計されており、光ファイバを用いて光パルスにより制御される。

チューニングインダクタは、7台の乾式リアクトルで構成しており、各々10 kA rms、600 Hz、35 msの耐量を有している。

波形調整用抵抗は、11個の無誘導抵抗を接続導体により、2 Ω から514 Ω まで2 Ω おきを選択することができる。11個の抵抗体は、絶縁ラック上に“コ”の字に配置し、設置スペースを小さくした。波形調整用キャパシタバンクは、メインキャパシタバンクと同様な構成とし、定格電圧350 kV DCにて最大4.5 μ F、260 kVにて最大8.1 μ F、175 kVにて最大9 μ Fの静電容量が得られる。

近距離故障(SLF)試験用 π 回路は、9段の π 回路であり、各ユニットは、7タップのインダクタ1台と9台のキャパシタで構成しており、0.9 I から0.6 I までの近距離故障試験が可能である。

アーク時間延長装置は、DC充電装置、キャパシタバンク、抵抗、インダクタ、放電ギャップなどの組合せにより、供試遮断器にサージ電流を与え、遮断試験時のアーク時間を延長する。放電ギャップは光にて制御され、正負両極性のサージ電流の発生ができる。図6に合成試験機

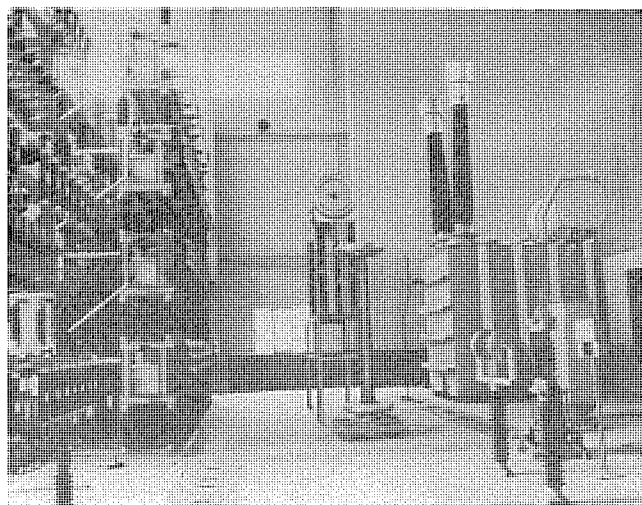


図6. 合成試験設備室(左よりメインキャパシタバンク、充電用抵抗、DC充電装置である)

器室の内部を示す。

4. 制御及び測定

発電機の始動及び停止は、観測室内制御機盤のマスタースイッチによる1人制御方式を採用している。表示灯により始動前条件の成立を確認し、マスタースイッチを入れると駆動電動機が回転を始め二次抵抗を順次減少しつつスピードを上げる。始動に要する時間は約10分である。駆動電動機の運転回転数は1,500 rpm から1,680 rpmの間、及び1,800 rpmに設定できる。

発電機運転中の電気系統、及び機械系統の運転に影響を及ぼす諸条件は保護継電器で保護しており、故障の程度により制動停止、無負荷無励磁運転、警報の3段階に分けて保護されている。発電機電圧の制御は、制御機盤上の電圧設定器により設定された電圧で自動制御される。電圧設定器は発電機定格電圧の10%から110%の間で任意に設定できる。

試験回路の設定は、制御パネル上の照光式押ボタンスイッチで行う。制御パネル上には回路図がモック母線にて書かれており、各断路器の位置に照光式選択スイッチが組込まれており直視的に回路の確認ができる。また回路設定が誤っている時には断路器の操作回路をロックするインタロックを組み込み、回路設定が正しく行われるよう配慮している。断路器の操作はマスター操作スイッチによるグループごとの一括操作方式としている。

短絡試験の実施に際しては、一連の機器の動作を数秒の間にきわめて正確に制御する必要がある。この設備においては、ソリッドステート化されたシーケンスタイマを使用している。発電機軸に取付けられた200スロットのインダクタと電磁ピックアップの組合せにより最少計数単位0.01サイクルの分解能を持ち、最大計数は999.99サイクルまで可能である。チャンネルはあり、それぞれ独立に時限の設定ができる。発電機軸に、発電機の波形と一致するように取付けられた永久磁石発電機(PMG)の波形をシーケンスタイマ内でモニタしているため、0.01サイクル単位でのスタートのタイミングを制御できる。

測定は、遅い現象は光オシログラフ、速い現象はブラウン管オシログラフで行う。光オシログラフは12チャンネルが2台、ブラウン管オシログラフは2現象が4台ある。ほかに2現象のデジタル式オシログラフが4台あり、フロッピーディスクにて記憶することができる。電圧の測定用として、RCタイプ及びRCRタイプの分圧器、PT、電流の測定用としてはCT及び

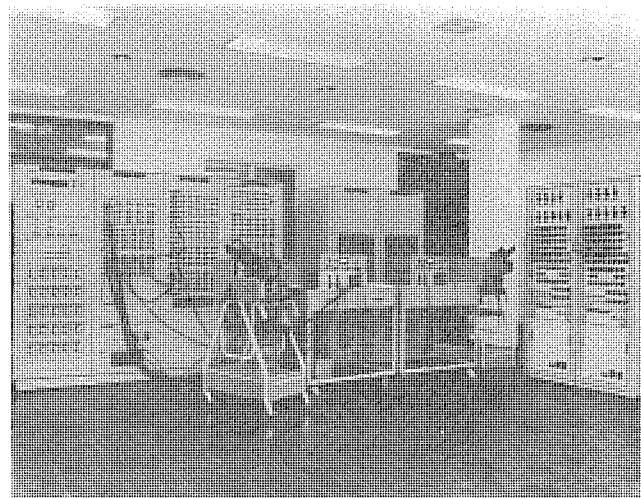


図7. 観測室内の測定装置

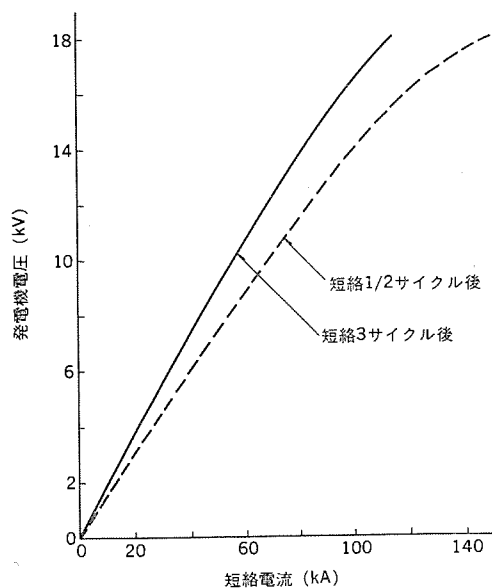


図 8. 試験室 18 kV 端子における三相短絡特性

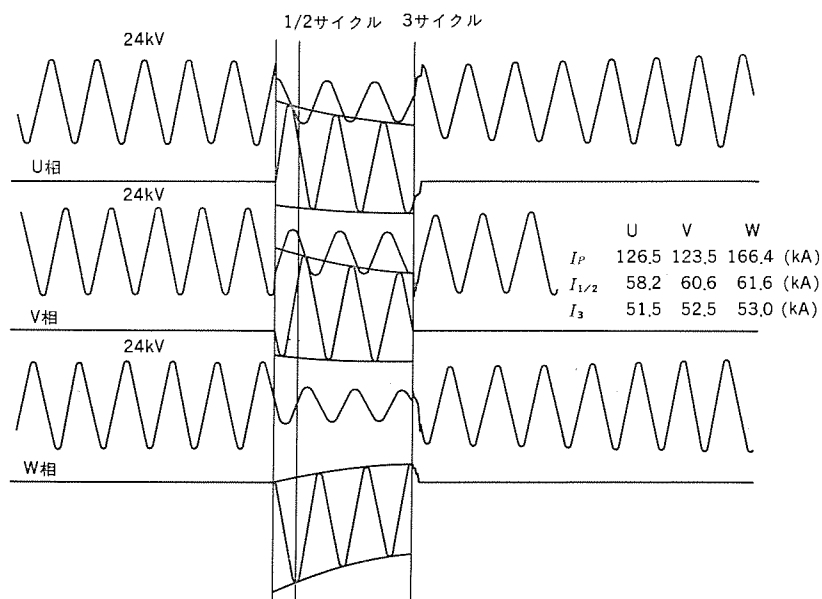


図 9. 24 kV, 50 kA 三相短絡試験 オシログラム

無誘導分路器を使用している。図 7. に観測室内の測定装置を示す。

5. 現地試験結果

据付け及び単体機器調整の後、突発短絡試験を含む各種試験を実施し、この試験設備の性能を確認した。

発電機に直接接続される試験室の 18 kV 試験端子において三相短絡回路を構成し、16 サイクル間の突発短絡試験を行った。結果を図 8. に示す。短絡電流波形を分析し、かつ外部インピーダンスを除去することにより発電機固有の特性を算出した。この結果、発電機端子における短絡容量は 3 サイクル後において 4,800 MVA である。

次に短絡変圧器を介して 24 kV, 50 kA の三相短絡直接試験を行う回路を構成し、3 サイクル短絡試験を行った。一定励磁にて 3 サイクル後の短絡電流 52.3 kA、回復電圧 90.4% の性能が得られた (図 9. 参照)。急速過励磁の効果は 2% 弱であり、発電機の強力な制動巻線により十分な特性が得られている。

このほかに合成試験、近距離故障 (SLF) π 回路特性試験などを

実施し、それぞれ所定の性能を有していることを確認した。

試験後、主要機器の内部点検を行ったが、異常無く結果良好であった。

6. む す び

試験結果を総合すれば、この設備は所期の性能を十分に満足している。更に特記すべきことは試験期間中、特別な支障もなく各機器がその責務を果たしたことである。これは三菱電機(株)が、短絡発電機を 1963 年電力中央研究所武山試験所に 1 号機を納入して以来 3 台目という実績を有していること、また保護遮断器、投入開閉器には三菱電機(株)伊丹製作所の短絡試験設備にて長年使用している実績ある機器を適用したことにある。

この設備を用いて既に各種機器の試験を実施しており、今後、韓国の電力機器製造技術の開発、電力系統の各種試験研究に活用し、電力技術の向上に大きな役割を果たすものと期待されている。

韓国KETRI(電気通信研究所)納め 6,000MVA短絡発電機

田中正昭*・田熊良行*・河相成孝*

1. ま え が き

韓国電気通信研究所 (Korea Electrotechnology and Telecommunications Research Institute : KETRI) 向けに製作した題記の短絡発電機及びその補機装置は、1982年9月に現地性能試験を完了し、同年10月に客先へ引渡した。ここにその概要を報告する。

本機の短絡容量仕様値は、発電機端子での三相短絡対称分で短絡1/2サイクル後6,000 MVA、3サイクル後4,000 MVAであり、当社が過去に製作した類似の短絡発電機2台をしのぐ最大容量機である。

表1. に大容量短絡発電機の製作実績を示す。

表 1. 大容量短絡発電機 (円筒形回転子) の製作実績

納入先	三相短絡容量(MVA)	極数/回転数(rpm)	製作年
超高压電力研究所	短絡3サイクル後にて 2,500	4/1,500	1962
当社伊丹製作所	短絡3サイクル後にて 4,000	4/1,800	1965
韓国電気通信研究所	短絡1/2サイクル後にて 6,000 短絡3サイクル後にて 4,000	4/1,800	1981

2. 仕 様

本機の概略仕様を次に示す。

(1) 短絡発電機

形 式： 横軸円筒回転界磁形、制動巻線付き

基準出力： 180 MVA (リアクタンス算出基準)

短絡容量： 三相、6,000 MVA (短絡1/2サイクル後、対称分)

三相、4,000 MVA (短絡3サイクル後、対称分)

試験条件： 試験設備における短絡3サイクル後110 kAの三相4サイクル短絡試験繰返し4回 (O-15サイクル-CO-15サイクル-CO-20サイクル-COを30分に1回実施する)

時間定格： a. 定格電圧での10分励磁-30分無励磁の繰返し運転
b. 50% 定格電圧での連続励磁運転

端子電圧： 18 kV

極 数： 4 極

同期速度： 1,800 rpm

結 線： 二重星形結線 (三角結線としても使用可能)

励磁方式： サイリスタ静止励磁、急速過励磁付き

励磁電圧： 350 V (定格電圧)、1,200 V (頂上電圧)

駆動方式： 誘導電動機に直結

冷却方式： 内部ファンによる全閉自己通風方式、空気冷却器内蔵

(2) 駆動用誘導電動機

形 式： 巻線形

定格出力： 4,000 kW/2,000 kW

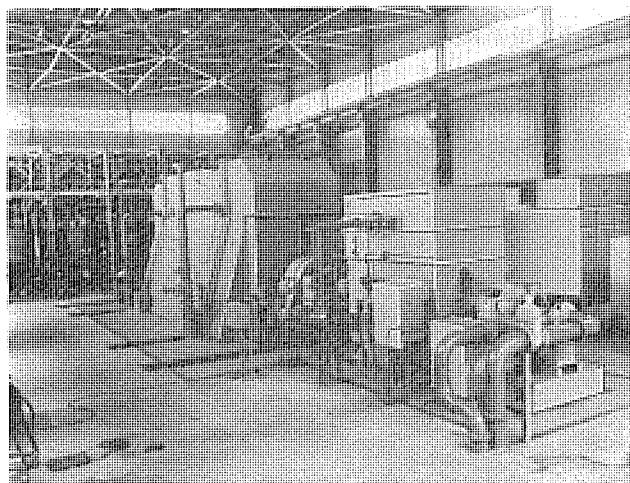


図 1. 短絡発電機・駆動電動機外観

時間定格： 10分/連続

端子電圧： 6,600 V

相 数： 三相

同期速度： 1,800 rpm

冷却方式： 内部ファンによる全閉自己通風方式、空気冷却器内蔵

図1. に現地据付後の発電機・駆動電動機外観を示す。短絡発電機の責務は、数サイクル単位の短い期間に減衰の少ない短絡大電流を試験装置へ供給することである。このため、電気的にはリアクタンスを小さくし時定数を増加させた設計が必要である。また、機械的には短絡時の衝撃力に対して発電機各部が長期間の試験運用に耐える構造とする必要がある。

3. 設計上の特長

3.1 リアクタンス

短絡発電機の要求仕様を満たすためにはリアクタンスの正確な把握が必要であり、本機の設計にあたっては、既設短絡発電機の試験データを参考にしつつリアクタンスを減少させる各種検討を実施した。空げき(隙)磁束密度は、通常機より約20%高めた高励束密度設計とした。固定子スロット数を少なくして有効導体数を減らすとともに、スロット形状は幅方向を広く、深さ方向を浅くしてパーミアンスを小さくし、コイル端部を銅製のダンパコーンで包み漏れ磁束を小さくした。

3.2 制動回路

短絡時定数は回転子の設計に大きく依存する。本機では回転子に強力な制動巻線回路(5.2節参照)を設置して、短絡時定数を増加させた。制動回路の設計にあたっては、線間短絡試験時の逆相磁界が誘起する渦電流による回転子表面の温度上昇を抑制することも考慮した。

3.3 固定子コイル

高励束密度下におけるラジアル磁束は、素線幅の3乗に比例して空隙

側素線の渦流損を増加させる。本機では4列素線を採用して、ラジアル磁束による渦流損を減少させた。更に直線部のレーベル転位及び端部つなぎ部でのグループ転位によって、漏れ磁束による渦流損を減少させた。

3.4 結線

固定子コイルの結線には二重星形結線を採用した。短絡試験設備の回路では、各相のバックアップ遮断器を2台並列設置する。それに対応して発電機端子は、フレーム両端の底部に線側及び中性点側各3本ずつ計12本を引き出した。この端子構成は三角結線へのつなぎ替えも可能である。

4. 冷却方式及び通風構造

本機の冷却方式には、全閉自己通風形間接空気冷却方式を採用した。発電機据付スペースを縮小するため、空気冷却器を発電機フレーム頭部両端に置き、送風能力1,800 m³/min (片側)のプロペラファンを回転子軸両端に取付けて機内空気を強制循環させる構造とした(図3. 参照)。固定子コア、固定子コイル直線部は積層コアパックごとに半径方向通風ダクトを設け、そこを流れる空気で冷却した。

回転子コイル直線部には冷却通風路として、コイルスロット底に軸方向通風溝を設けるとともに、スロット歯部に回転子表面よりスロット底通風溝に向って半径方向通風穴を開けた(図2. (a)参照)。コイル端部の通風路は、端部コイル間に挿入した間隔片のコイル支持面に半径方向通風溝を加工し、更に制動リング裏張り絶縁との当たり面に回転子ボディー端へ向う軸方向通風溝を加工した。スロット歯部ボディー端にはコイル端部冷却空気を空隙へ排出する通風孔を開けた(図2. (b)参照)。

5. 構造

図3. に発電機組立断面図を示す。本機の概略寸法重量は全長15 m、床上高さ5 m、横幅5.3 m、固定子重量270 t、回転子重量130 tである。

5.1 回転子軸系

図4. に軸系構成図を示す。軸系の設計では、ねじり共振周波数を、短絡トルクの加振周波数成分(60 Hz及び120 Hz)から離すように軸系寸法を決めた。既設機のねじり共振周波数を計算し、短絡試験時にねじり計測を行って計算精度を確認した上で、本機の検討を行った。表2. に本機のねじり共振周波数を示す。

発電機回転子軸材は、降伏応力67 kg/mm²級のNi-Mo-V鋼一体鍛造品を使用した。図5. にスロット加工後の回転子を示す。回転子

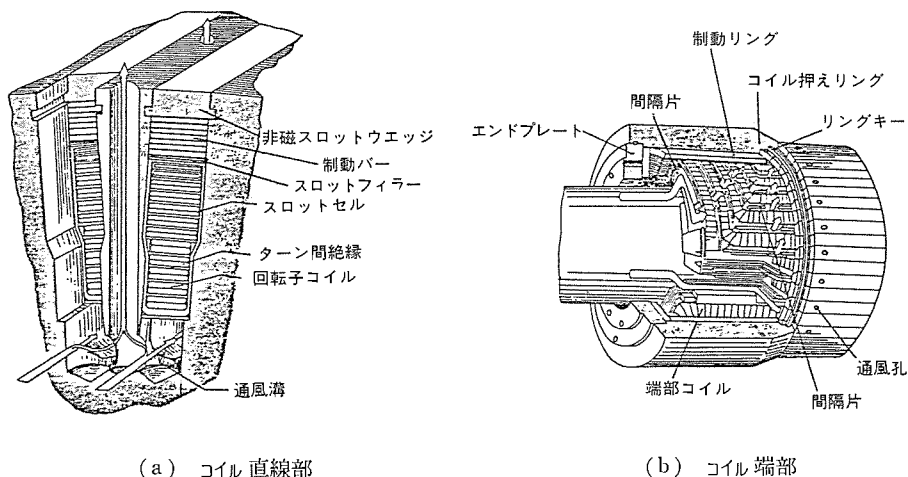


図2. 回転子コイルの通風

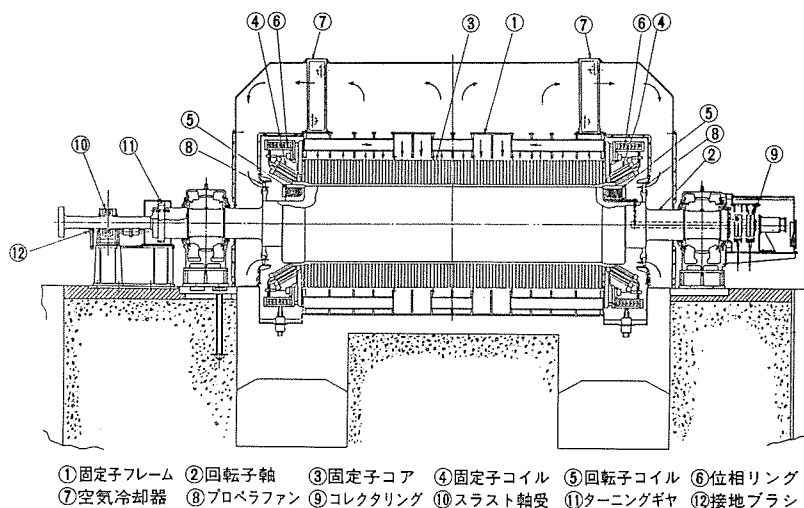


図3. 発電機組立断面図

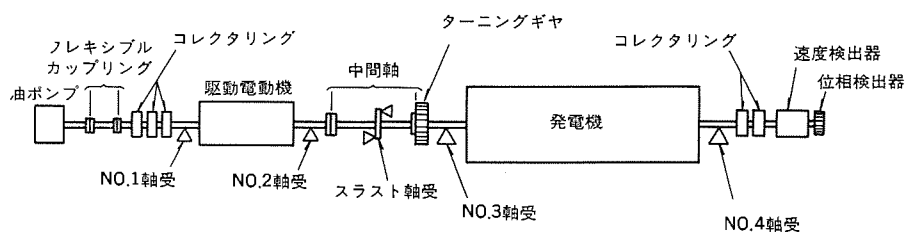


図4. 軸系構成図

表2. ねじり共振周波数 (単位: Hz)

	既 設 機		本機(KETRI)
	設 計 値	実 測 値	設 計 値
一 次	25.3	26.3	20.0
二 次	139.8	141.7	145.9

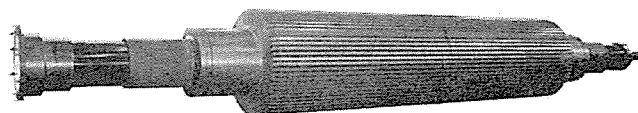
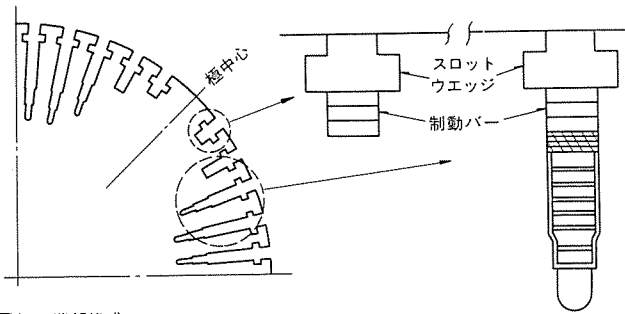


図5. 短絡発電機回転子(スロット加工後)

ボディー端で焼きばめ固定したコイル押えリングは、降伏応力95 kg/mm²級の非磁性Mn-Cr合金鋼を使用した。コイル押えリングの焼きばめ代は、線間短絡試験時のかん(嵌)合部温度上昇によって焼きばめ面

回転子スロット構成



回転子端部構成

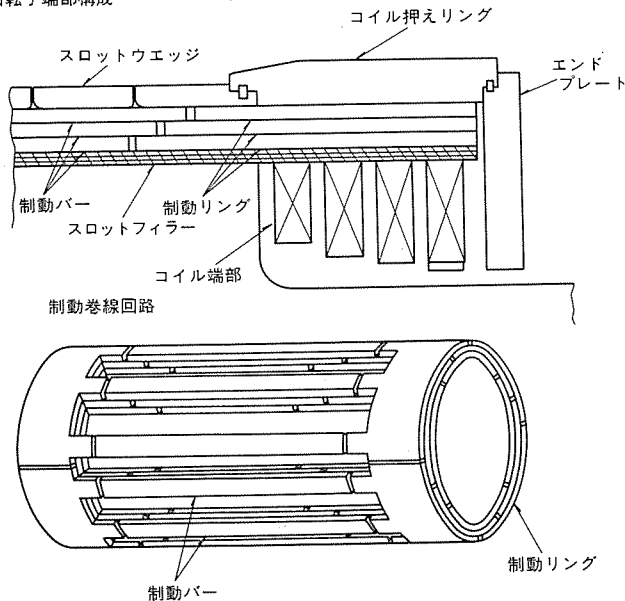


図 6. 制動巻線構成図

圧が減少しないように、短絡試験時の嵌合部温度上昇及び過速度時のコイル押えリングの変形を考慮して決めた。また、使用材の切欠き感度が高いため、コイル押えリングには通風穴を設けずに前述のコイル端部通風構造(図2.(b)参照)を採用した。

5.2 制動巻線

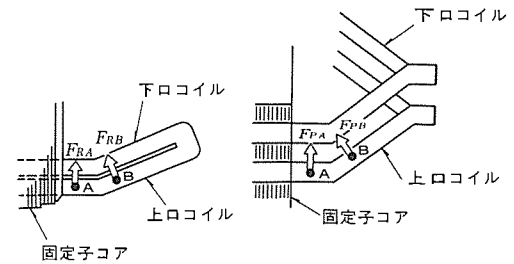
図6.に制動巻線構成図を示す。スロットウェッジに電気伝導度の高い銅クロム合金を使用して制動回路の一部を形成させるとともに、その下に数層の銅板を積層した制動バーを組込んだ。磁極部表面にも制動バー専用のスロットを加工して同様に制動バーを組込んだ。ボディー両端のコイル押えリングの下に銅板を積層した制動リングを設置した。制動リング各層は1円周に4分割しており、合わせ目は熱膨張に対する伸び代を考慮して隙間をあけた。また、制動リングにはくし(櫛)歯上の突起部を加工し、これをスロット内に挿入して制動バーに接続した。

5.3 固定子フレーム

固定子フレームは、短絡時衝撃力が繰返し加わっても耐えられるように、通常機より枠板の板厚、取付個数を増すとともに、枠板を貫くフレームボルトを溶接してフレーム剛性を増した。フレームの基礎支持方法は、基礎強度を考慮した上で巨大な基礎ボルトにより、フレームを直接基礎架台へ固定する従来方式を踏襲した。

5.4 固定子コア・コイル

コアの支持は、コアボルトのほかにフレームボルトを利用してコア両端のクランプを二重に締め上げた。コイル主絶縁は、F種相当のエポキシレジン含浸マイカガラステープを使用して、電気絶縁・機械強度特性を高め



F_{RA} : 上ロコイルA点の半径方向電磁力
 F_{RB} : 上ロコイルB点の半径方向電磁力
 F_{PA} : 上ロコイルA点の円周方向電磁力
 F_{PB} : 上ロコイルB点の円周方向電磁力

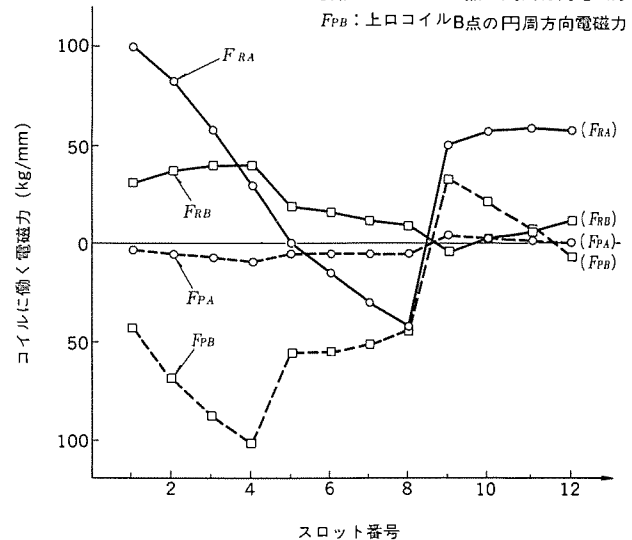


図 7. 固定子コイル 端部の電磁力

た。また、シリスコイル 接続部は、ろう付方式を採用して接続部の強度を増加した。

5.5 固定子コイル端部支持構造

固定子コイル 端部には、短絡電流により巨大な電磁力が生じる。電磁界解析プログラム“SCALAR”を用いて、コイル 端部電磁力を求めた結果、発電機端子での三相突発短絡時にはコイル1本に対し、100 kg/mmの力が加わる(図7. 参照)。この電磁力によるコイルの変形を抑制し、長期間の試験運用においてもコイル 支持機構に緩みを生じさせぬため、特殊な支持構造を採用した。基本的には、コイル 端部全体を一体リング構造に固めて固定子コア側より支持した。コイルの軸方向熱膨張については、リング支持部に可動機構を取付けた。また、コイルを支持する間隔片やコイル支えには、機械強度及びクリープ特性の高い絶縁材料を使用して、電磁力によるコイルひずみがコイル 絶縁の繰返し疲労に対する許容値(10^7 回繰返し疲労に対して 600×10^{-6} ストレイン)以下となるように支持構造を設計した。

コイル端部支持構造を図8.に示す。固定子コアクランプにコーン支持リングをボルト締めし、この支持リングに可動機構を介して巨大な円すい状円物の金属コーンを取付けた。コーンの内側にはコイル支えを並べてその上に下ロコイル、コイル支え、上ロコイル、コイル支えとサンドイッチ状に積重ね、最内層には羽子板状のコーンクランプ(非磁性金属)を並べて非磁性ボルトでコーンに締め付けた。円周方向の支持は、コイル間にブロック状のコイル支えを置き、コイルとの隙間には熱硬化性のポリエステルパテを詰めた。コイル先端部は、内外2本の支持リング、コイル支え及びポリエステルパテで押え、コーンにボルト固定した。固定子コア出口部は、コイル支えブロックをフィンガプレート歯部間及びコーン側

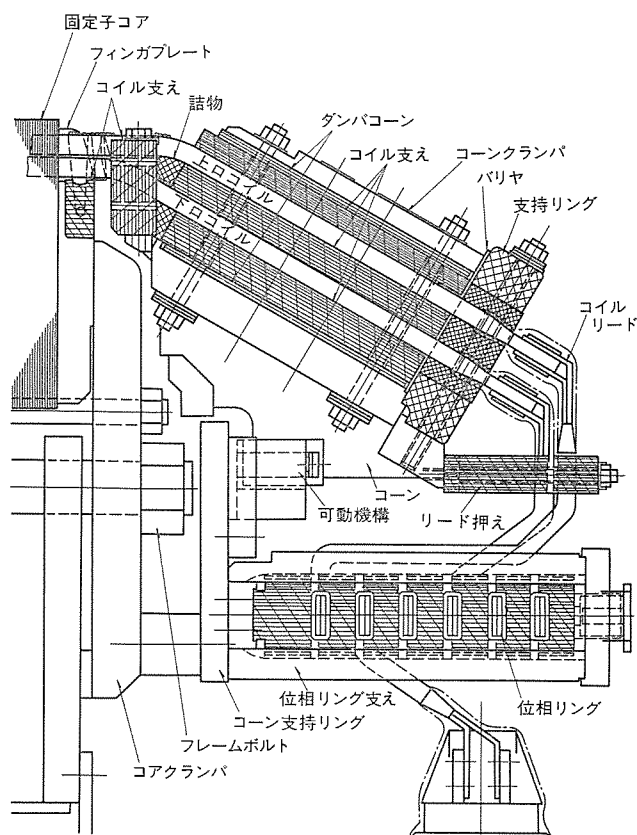


図 8. コイル 端部支持構造

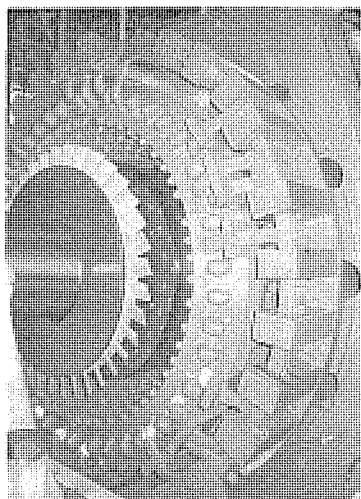


図 9. 固定子コイル 端部 (組立後)

に取付け ガラス ひもで相互に縛り上げた。位相リングは、コーン支持リングにボルト固定した位相リング支え内に絶縁物を挟んで固定した。

コーン及びコーンクランプの内側には、厚さ数mmの銅板を積層したダンパコーンを取付けた。また、コイル端部と支持部材との間には、バリアを挿入して耐圧試験時のフラッシュオーバーを防いだ。図 9. に組立後のコイル端部を示す。

6. 付 属 装 置

6. 1 空気冷却器

空気冷却器は発電機フレーム頭部両端に各 1 台設置した。冷却管は銅フィン付オーバル形アルミブラス管を使用して、円管形冷却管より体積を縮小した。冷却器の処理熱量は 1 台当たり 1,300 kW であり、冷

却水温 32°C、冷却水量 165 m³/h にて冷却器出口空気温を 40°C に保つことができる。

6. 2 軸受潤滑油供給システム

軸受潤滑油系統を図 10. に示す。潤滑油供給装置及び主油タンクは、発電機建屋の地下室に据付けられ、発電機軸受、駆動電動機軸受、スラスト軸受及びターニングギヤへ強制給油を行う。主油タンクは内容積 12 m³ であり、軸受配管を含め 10 m³ の軸受油を保持している。給油ポンプはすべて遠心形で計 3 台設置し、それぞれ異なった駆動源で運転する。主油ポンプは、発電機駆動電動機軸端にフレキシブルカップリングで接続され、吐出圧 6 kg/cm² で 3,300 l/min の油を供給する。交流補助油ポンプは、発電機始動・停止時及び主油ポンプのバックアップ用として軸系必要油量 1,260 l/min を供給する。更に停電などの緊急バックアップ用として、直流非常用油ポンプを設置した。補助油ポンプ及び非常用油ポンプの始動は、軸受給油系統の末端に当たる発電機コレクタリング側軸受の給油圧力を 2 段階に検出して、0.85 kg/cm² 以下で補助油ポンプ始動、0.5 kg/cm² 以下で非常用ポンプ始動及び発電機トリップのシーケンスを組込んだ。また、発電機始動時の補助油ポンプと主油ポンプの切換は、主油ポンプ給油圧を検出して 6 kg/cm² で補助油ポンプを自動停止させた。

主油ポンプと主油タンクの据付高低差により、主油ポンプ吸込み圧力が負圧となってキャビテーションが発生するのを防ぐために、主油ポンプ回路にエジェクタを取付けて、エジェクタの吸い上げ効果でポンプの吸い込み圧力を正圧に保つよう工夫した。

油冷却器は、処理熱量 520 kW で冷却水温 32°C、冷却水量 150 m³/h にて冷却器出口油温を 40°C に保つことができる。油冷却器出口に自動油温調整器を取付け、冷却水温や発生損失の変化に対して、供給油温を一定に保てるようにした。このほか、この装置には発電機始動停止時やターニング運転時の油切れ、ゴミの挟み込みなどによる軸受損傷を防止するために、150 kg/cm² の高圧油を発電機軸受に供給するオイルリフト装置を設置した。

6. 3 冷却水供給システム

このシステムは発電機空気冷却器、駆動電動機空気冷却器、軸受油冷却器及び液体抵抗冷却器へクーリングタワーで 32°C に冷却した計 580 m³/h の冷却水を供給する。50% 定格の冷却水ポンプを 3 台据付け常時 2 台運転とするとともに、万一のポンプ停止に備え、地上高 25 m の所に容量 300 m³ の非常用冷却水タンクを設置した。運転中の供給圧力を監視して、正常圧力 2.5 kg/cm² に対し 2.2 kg/cm² で予備冷却水ポンプを始動させ、1.7 kg/cm² で非常用冷却水タンクの電磁バルブを開くとともに発電機停止操作に入り、回転数が十分低下するまで各冷却器に冷却水を供給することができる。また、起動停止の繰返しや各種試験運転に対して、冷却水温度を一定に保つため自動冷却水温調整装置を設置した。

6. 4 炭酸ガス消火装置

発電機機内の万一の火災に備え、炭酸ガス消火装置を設置した。炭酸ガスは機内容積 160 m³ に対し、3 段階に分けて機内放出し、機内炭酸ガス純度を放出開始後 15 秒以内に 15%、1 分以内に 30% 以上に上昇させ、その後無制動時における回転子完全停止まで約 80 分間 30% 以上に保つことができる。消火装置の始動は、機内 6 箇所に取付けた温度感知器と、固定子コイル短絡保護用の比率差動継電器の動作を併用して誤動作を防止している。また、放出動作は通常全自動で行われるが状況に応じて手動操作も可能である。

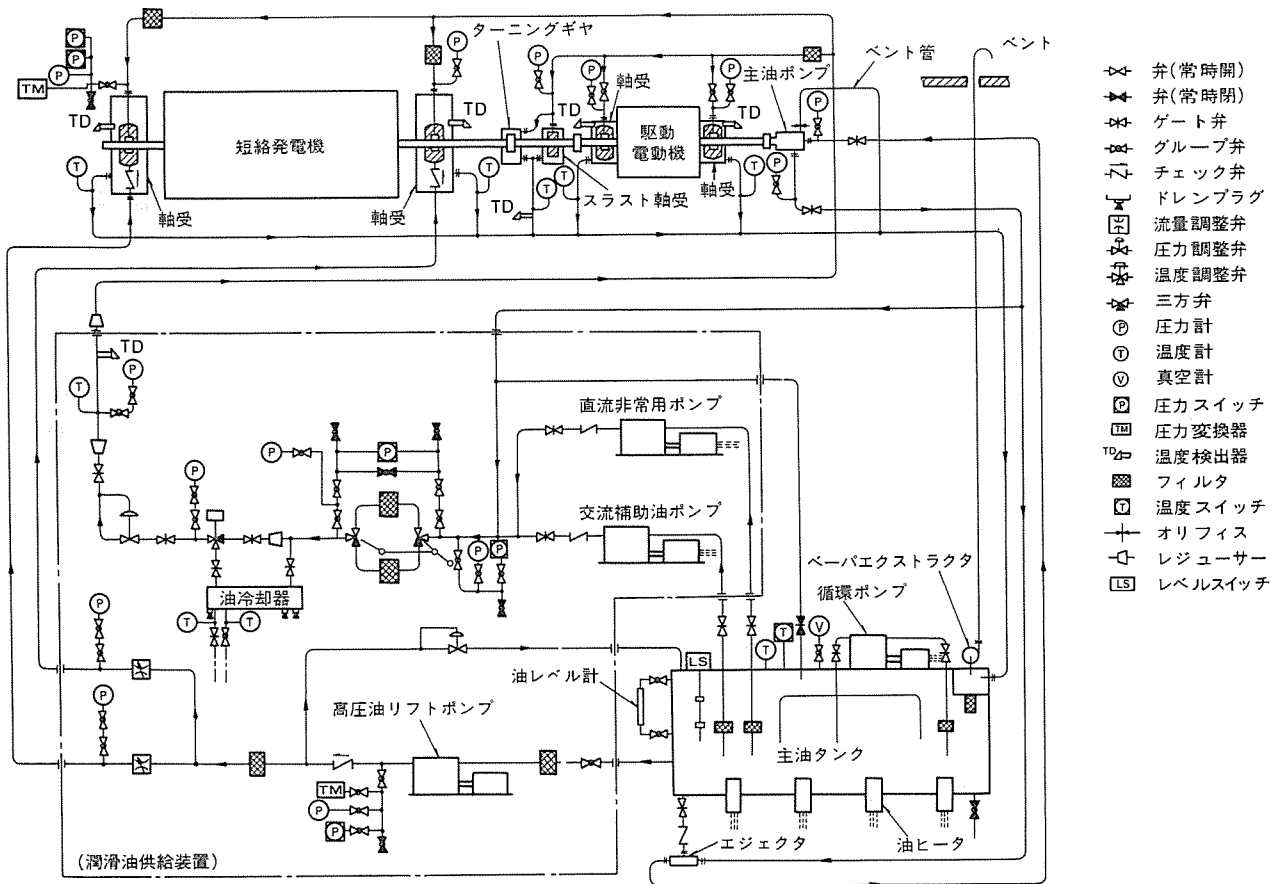


図 10. 軸 受 潤 滑 油 系 統

6.5 ターニング装置

長期停止時の回転子たわみ変形に起因する振動変化を防止するため、起動昇速前に回転子を低速回転させて、変形を矯正するターニング装置を設置した。発電機軸端と中間軸の間に挟み込んだギヤスペーサを、減速ギヤを介して11kWの渦電流継手付電動機で駆動し、回転子を約5rpmでターニングする。ギヤの嵌脱は、手動にて嵌合した後ターニングを行い、昇速時は発電機駆動電動機とターニングギヤの速度差により、自動的にターニングギヤが外れる構造を採用した。渦電流継手付電動機は可変速機構を備えており、ターニング開始時の駆動ショックを緩和するために使用した。

ターニング装置上には、回転子の軸方向移動を拘束するためのパッド形スラスト軸受と、軸電圧に対し一点接地を行うための接地ブラシ装置を設けた。

7. 試験結果

7.1 工場試験結果

工場試験は1981年5月に実施した。本機の無負荷飽和特性、三相及び線間短絡特性を図11.に示し、主な試験結果を次に示す。

(1) 発電機損失

機械損：1,400 kW (1,800 rpm 時)
鉄 損：1,310 kW (18 kV 発生時), 340 kW (9 kV 発生時)
界磁銅損：240 kW (18 kV 発生時), 20 kW (9 kV 発生時)

(2) 固定子コイルひずみ計測 (コーン支持内コイル絶縁ひずみ)

40% 定格電圧三相短絡にて

コイル絶縁最大ひずみ： 40×10^{-8} ストレイン

短絡瞬時電流：52.1 kA

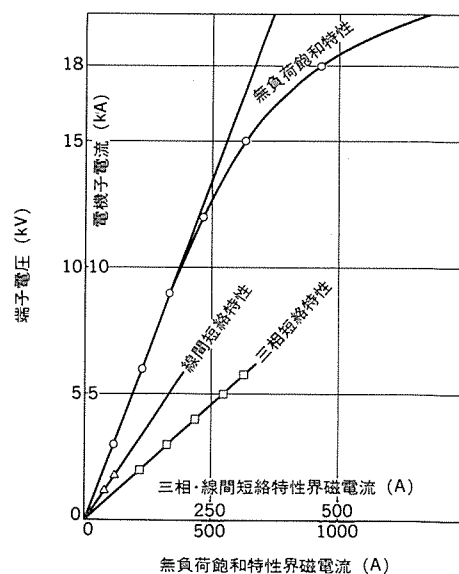
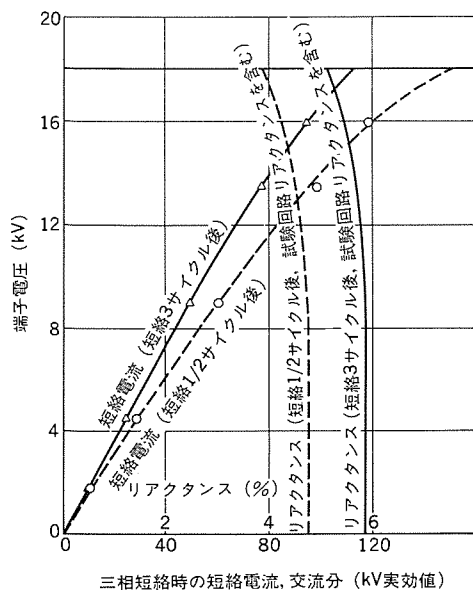
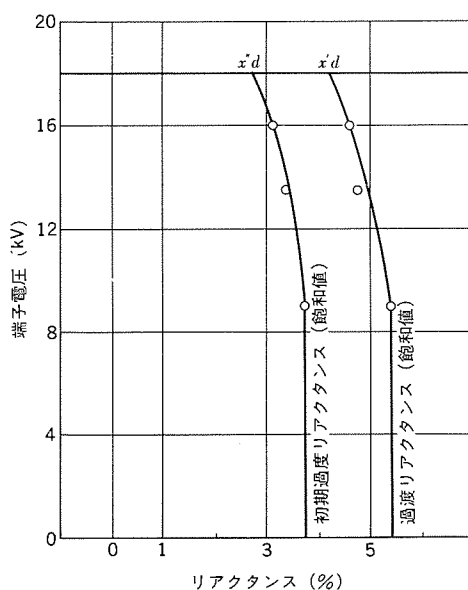


図 11. 短絡発電機特性曲線

三相突発短絡試験時に固定子コイル端部ひずみ計測を実施して、コイル端部支持強度を確認した。現地試験設備での最大短絡電流(瞬時約155kA)に対するコイル絶縁ひずみは、試験結果より 360×10^{-6} ストレイン以下と推定され、繰返し疲労許容値以下であった。ねじり振動の計測については、工場試験の軸系が実機と異なるため数値は示さないが、工場試験時の軸系に対応する計算値と一致した共振周波数が観測された。



(a) 三相短絡電流と電圧の関係



(b) 発電機リアクタンスと電圧の関係

図 12. 現地試験における短絡発電機の特性

表 3. 現地試験結果

(1) 発電機単体性能試験 (16 サイクル 三相短絡試験)

試験電圧 (kV)	短絡電流 (kA)		固定子コイル 温度上昇 (°C Rise)	軸振動 (1/100 mm.P-P)	
	1/2 サイクル後	3 サイクル後		モータ側	コレクタリング側
13.5	98.2	77.2	5.0	2.5	1.5
16.0	118.2	94.3	7.0	2.0	2.0

(2) 各種リアクタンス, 時定数 (180 MVA 基準, 飽和値)

発電機初期過渡リアクタンス: $X'd=2.7\%$
過渡リアクタンス: $X'd=4.2\%$
同期リアクタンス: $X_d=33.8\%$
初期過渡短絡時定数: $T'd=0.042\text{ s}$
過渡短絡時定数: $T'd=0.93\text{ s}$
試験回路リアクタンス: $X_e=1.03\%$

(3) 三相短絡直接試験

試験電圧 (kV)		短絡電流 (kA)		3 サイクル後 開放時回復電圧 (%)
試験回路	発電機端子	1/2 サイクル後	2.5 サイクル後	
24.0	18.0	60.1	52.3	90.4

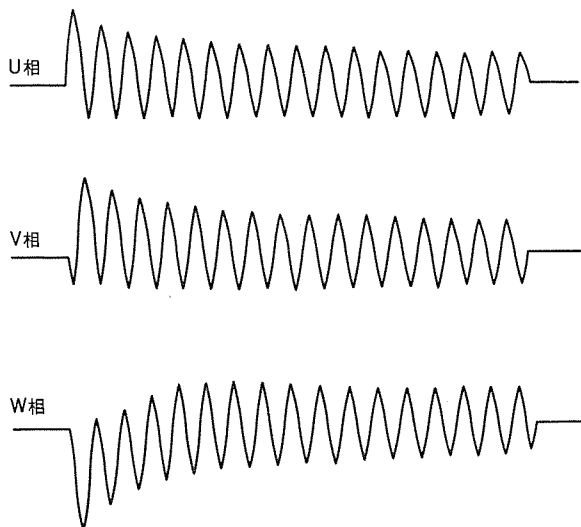


図 13. 三相短絡電流 オシログラム (16 kV)

7. 2 現地試験結果

現地試験は 1982 年 9 月に実施した。主な試験結果を表 3. に示す。発電機単体性能試験は、18 kV 試験回路で 16 サイクル 三相短絡試験を実施した。実測結果 (図 12. (a) 参照) より定格電圧三相短絡では、短絡 3 サイクル後 110 kA 以上の短絡電流が得られることを確認した。また、短絡中の固定子コイル温度上昇は数度であり、軸振動も許容値 17.5/100 mm・P-P 以下であった (表 3. 参照)。短絡電流実測値は、試験回路リアクタンスの影響を含んでいる。この影響を除くため、短絡中の発電機端子電圧を計測して試験回路リアクタンスを求めた。図 12. (b) は実測リアクタンスより試験回路リアクタンスを除いて求めた発電機リアクタンス特性を示す。

単体性能試験から得た発電機諸定数を表 3. に示す。短絡容量は発電機端子での三相短絡対称分で、短絡 1/2 サイクル後 6,200 MVA, 3 サイクル後 4,800 MVA に達した。図 13. に三相短絡電流 オシログラムを示す。なお、線間短絡容量は発電機端子での短絡対称分で、短絡 1/2 サイクル後 3,200 MVA, 3 サイクル後 2,800 MVA である。

一方、短絡変圧器を介した三相短絡直接試験を行い、発電機回復電圧を確認した (表 3. 参照)。短絡 3 サイクル後開放時の発電機端子回復電圧は、急速過励磁を行わずに 90% 以上を得た。この結果は強力な制動巻線による効果を示している。

現地試験終了後、発電機各部の詳細点検を実施したが異常は認められなかった。固定子コイル端部支持においても緩みは認められなかった。

8. む す び

1978 年設計開始以来、約 4 年にわたる各担当セクションでの努力の結果、ここに世界でも最大級の短絡発電機を完成することができた。今回の短絡発電機製作で得た技術を、今後の大容量短絡発電機及びタービン発電機の開発、製作に役立てていく所存である。最後に本機の製作に当たって、種々の御指導、御協力を賜った関係各位に厚く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 志岐ほか：超高压電力研究所向け大容量短絡発電機，三菱電機技報，37, No. 8 (昭 38)

24kV及び36kV, 40kA大容量ガス遮断器と閉鎖配電盤

堤 透*・片山 明*・古林 昇*・長谷川 裕*

1. ま え が き

近年、電力設備の単機容量が増大する中で、発電機主回路や超高圧変圧器の三次回路を含む調相設備などの電力プラント、鉄鋼プラント、化学プラントなど大容量設備として信頼性、安全性に優れたガス遮断器を収納した閉鎖配電盤を開発した。

優れた消弧性能、長寿命、サージを発生しないなど、多くの優れた性能をもつSF₆ガス遮断器は、既に我が国で18年（当社実績）以上の使用実績を積み、その適用範囲も普通高圧から超超高圧の領域に及んでいる。当社実績で言えば中電圧領域で3,000台、超高圧以上で8,000台に達している。

今回開発したSF₆ガス遮断器は、24kV及び36kV、遮断電流40kA定格のもので、接地タンク内部に小形のパuffa形消弧室を組込み、電動ばね操作機構と手動引出機構を備えた取扱性の優れた遮断器であり、これを収納する配電盤は絶縁母線を備えたG級メタラ相当の安全性の高い構造である。これらは既に1,500面以上の製作実績を持つ当社^①33kV、25kA定格、TGBA形特高配電盤を基に強化、格上げしたもので高い信頼性が確認されている。

以下、新たに開発した大容量ガス遮断器と、収納閉鎖配電盤の概要を紹介する。

2. 定 格

表1.に6～30kV級SFG形ガス遮断器（以下、GCBと称す）のシリーズ体系を示すが、このたび開発した20-SFG-40形及び30-SFG-40形を加え、中大容量域GCB全シリーズの完成を見た。図1.、図2.に34.5kV、2,000A、40kA、GCB収納のTGBA形屋内用閉鎖配電盤及び36kV、1,200A、40kAの30-SFG-40形GCBの外観を示す。また表2.には、20kV級、30kV級の閉鎖配電盤とGCBの各主要定格を示す。

表1. 三菱SFG形ガス遮断器シリーズ体系

定格電圧 (kV)	定格電流 (A)	定格遮断電流 (kA)			
		25	40	50	63
7.2	1,200	6-SFG-40		6-SFG-50	6-SFG-63
	2,000				
	3,000				
	4,000				
12	1,200	10-SFG-40		10-SFG-50	
	2,000				
	3,000				
	4,000				
24	600	20-SFG-25A	20-SFG-40		
	1,200				
	2,000				
	3,000				
36	600	30-SFG-25A	30-SFG-40		
	1,200				
	2,000				
	3,000				

注 斜線は今回の開発品

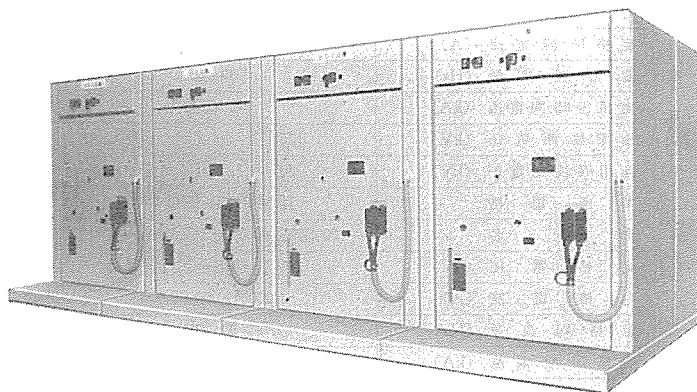


図1. 34.5kV、2,000A、40kA、30-TGBA形閉鎖配電盤

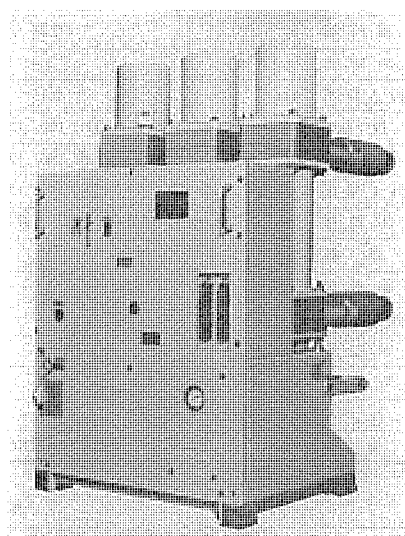


図2. 30-SFG-40形GCB (36kV、1,200A、40kA)

3. 特 長

図1.、図2.に示すGCB収納閉鎖配電盤の主な特長は、次のとおりである。

(1) 信頼性が高い

収納されているGCBは、SF₆ガスの極めて優れた消弧性能を最大限に活用した最新のパuffa形遮断部を、各相ごとに接地された金属タンクの中に密閉した遮断器である。また、主回路導体はエポキシモールドにより絶縁し、更に支持がいしを使用しないシンプルな構造を採用しており、遮断器室、母線室、ケーブル室の各コンパートメントは接地金属隔壁により、完全に区画されている。

(2) 安全性が高い

前述のとおりGCBは、高電圧部が露出しないよう接地タンク構造で、しかも密閉されているので、従来の空気遮断器（以下、ABBと称す）のように遮断時のガス放出などなく、火災や汚損の心配がない。更に遮断器室は、完全に低圧室となっており、感電事故の危険性も極めて少ない。遮断器の高圧断路部には、金属の自動シャッターが設け

表 2. 20/30-TGBA 形閉鎖配電盤と
20/30-SFG-40 形 GCB の定格

	項 目	仕 様	
		20 kV	30 kV
閉鎖配電盤	形 名	20-TGBA	30-TGBA
	JEM-1153 の形式	G 級	
	定 格 電 圧 (kV)	23	34.5
	定 格 母 線 電 流 (A)	2,000/3,000	
	定 格 周 波 数 (Hz)	50/60	
	定 格 短 時 間 電 流 (kA)	40 (3s)	
	衝 撃 波 耐 電 圧 (kV)	125	170
	商 用 周 波 耐 電 圧 (kV)	50	70
	準 拠 規 格	JEM-1153, IEC-298	
ガ ス 遮 断 器	形 名	20-SFG-40	30-SFG-40
	定 格 電 圧 (kV)	24	36
	定 格 電 流 (A)	1,200/2,000/3,000	
	定 格 周 波 数 (Hz)	50/60	
	定 格 遮 断 電 流 (kA)	40	
	定 格 再 起 電 圧 上 昇 率 (kV/ μ s)	0.50	0.60
	定 格 投 入 電 流 (kA)	100	
	定 格 短 時 間 電 流 (kA)	40 (3s)	
	定 格 開 閉 時 間 (s)	0.05	
	定 格 遮 断 時 間 (サイクル)	5	
	無 負 荷 投 入 時 間 (s)	0.15	
	定 格 投 入 操 作 電 圧 (V)	DC 100, 125	
	投 入 制 御 電 圧 (V)	DC 100, 125	
	定 格 引 外 し 電 圧 (V)	DC 100, 125	
	標 準 動 作 責 務	CO-15 秒-CO/O-1 分-CO-3 分-CO	
	絶 縁 階 級 (号)	20A	30A
	衝 撃 波 耐 電 圧 (kV)	150	200
	商 用 周 波 耐 電 圧 (kV)	50	70
器	定 格 ガ ス 圧 力 (kg/cm ² g)	5.0	
	補 給 指 令 圧 力 (kg/cm ² g)	4.5	
	鎖 錠 圧 力 (kg/cm ² g)	4.0	
	準 拠 規 格	JEC-181, IEC-56	

単位: %

	据付面積	体積	重量
30-TCB形配電盤	100	100	100
30-TGBA形配電盤	30	15	40

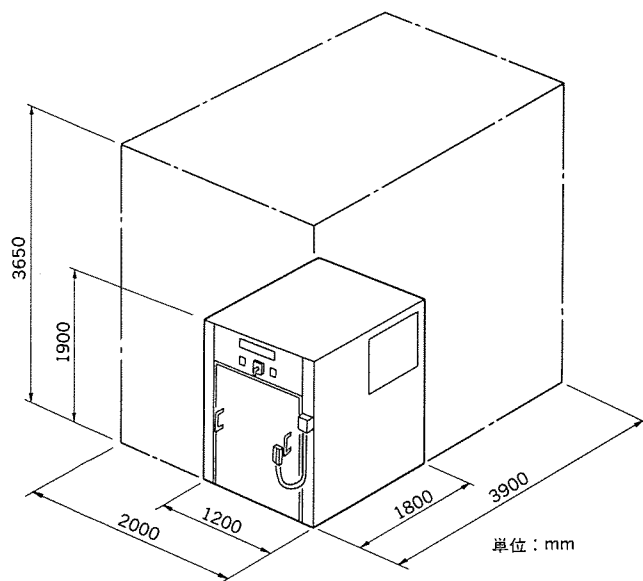


図 3. 30-TGBA 形配電盤と従来形 (ABB 収納) 配電盤の比較

てあり、この金属シャッタの遮断器側にブッシング形の変流器を配置した構成となっているので、CTの交換、変更、チェックなどは遮断器を引出すのみで停電なしで安全に実施できる。

更に母線は、エポキシ絶縁と空気絶縁による複合絶縁方式を採用しており、母線接地部などの裸部分を完全に追放したG級の閉鎖配電盤である。

(3) 小形軽量である

図 3. は、34.5 kV、2,000 A、40 kA 単母線方式についての当社製 ABB を収納した従来の TCB 形閉鎖配電盤と、GCB を収納した TGBA 形閉鎖配電盤の比較である。このように、体積で15%、据付スペースで30%に大幅に縮小された閉鎖配電盤は、収納する電気室の縮小化や、建屋スペースの有効利用、輸送や搬入を含めた据付工期の短期化などを可能にする近代的設備として、建設設備費低減に大いに寄与できる。

(4) メンテナンスの省力化

GCB の操作には、電動ばね方式を採用しているため、ABB のような圧縮空気発生装置や、電磁操作のような大きな動力源は不要である。更に消弧室は密閉された接地タンクの中にあるため、汚損など外部環境による影響を受けにくく、接触子部の電気的開閉寿命も長いので、保守作業は ABB に比べて大幅に軽減される。

そのほか、低騒音、取扱性の向上など近代的な設備としての環境調和が図られるよう十分な考慮がされている。

4. 構 造

4.1 閉鎖配電盤の構造

閉鎖配電盤の側断面構造は図 4. に示す。

(1) 母線及び導体

遮断器断路部の固定コンタクトと母線接続部間の導体は、エポキシ樹脂で一体モールドした特殊ブッシングで形成し、主母線の支持と固定コンタクトの支持を兼用した合理的な設計である。主母線は丸形導体をエポキシ樹脂でモールドし、特殊ブッシングの接地部に挿入され、特殊コンタクトで接続する構造である。更に挿入部分の裸部分は、EPゴムキャップにより完全に遮へいされている。このようにエポキシ樹脂と空気絶縁による複合絶縁方式を採用しているため、万一エポキシ樹脂が損傷、汚損しても常規運転に支障はないよう信頼性を高めた設計である。図 5. は母線室を示す。

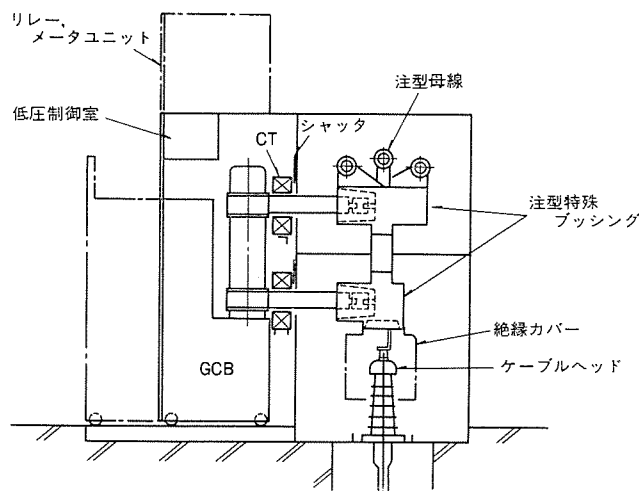


図 4. GCB 収納 TGBA 形閉鎖配電盤構造図

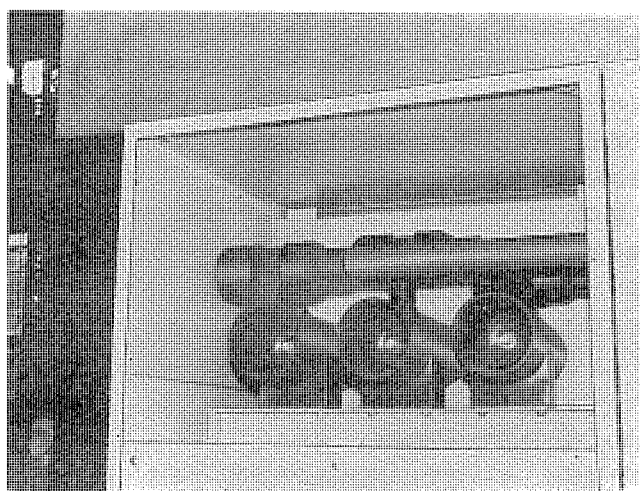


図 5. 母線室と特殊 ブッシング

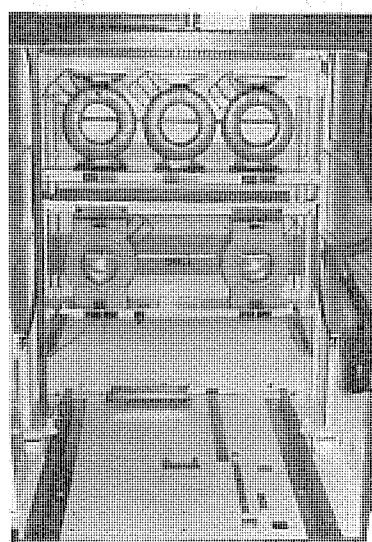


図 6. 36 kV, 40 kA TGBA 形閉鎖配電盤の遮断器室

(2) インタロック

GCB の挿入及び引出しは、GCB に操作 ハンドル を挿入してレバー 方式の上下操作にて行うが、この操作には次のような機構的なインタロック 装置が設けてある。

- (a) GCB が OFF 状態 でなければ引出し及び挿入操作はできない。
- (b) GCB の投入及び引外し操作は、GCB が完全に挿入位置にあるか、又は完全に試験位置にあるときのみ操作可能である。
- (c) GCB が引出し途中又は挿入途中にあるときは、GCB の投

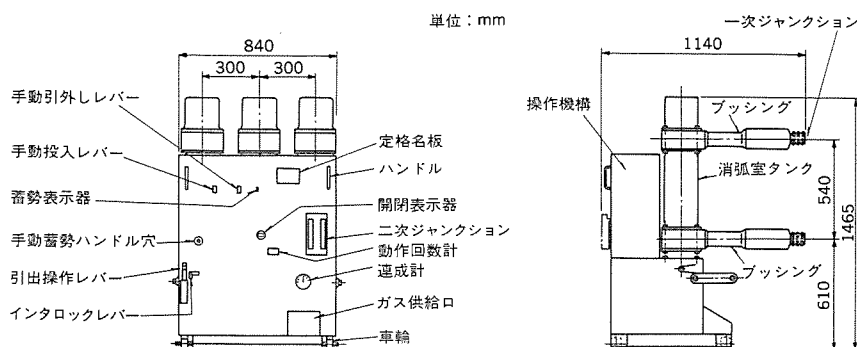


図 7. 30-SFG-40 形 GCB (36 kV, 40 kA, 1,200 A)

入操作はできない。

(3) 遮断器室

図 6. に GCB を引出した状態の遮断器室内を示す。

- (a) シャッタ：GCB のブッシングが貫通する部分には、上下一対の金属シャッタを設置し、GCB を引出すことによりシャッタは自動的に遮へいする。
- (b) CT：シャッタの手前側（低圧室側）には各 GCB のブッシング貫通部に対し、シングルコア 又は ダブルコア のブッシング CT が取付けられている。このように CT はシャッタ手前であるので、GCB を引出すのみで安全に交換、点検ができる。
- (c) 床面：GCB の電流定格を間違えて挿入しても、遮断器が挿入不可能なように誤挿入防止装置や接地母線、また必要に応じて GCB のポジションスイッチなどを設けている。

(4) 低圧制御室

GCB の制御は遮断器室前面上部に設けてあり、遮断器の入切操作スイッチ、信号灯、GCB のガス警報 リレー などを取付けている。また必要に応じて保護 リレー や計器類を別ユニットとし、低圧制御室上部に搭載できる。

4.2 ガス遮断器の構造

36 kV クラスの 30-SFG-40 形 GCB の外形を図 7. に示す。図は 1,200 A 定格器を示すが、2,000 A, 3,000 A 定格については、ブッシング 導体径、消弧室内部の導体断面積などが異なるのみである。なお 24 kV クラスの 20-SFG-40 形 GCB はブッシングを取換えるのみで構成可能な構造である。以下、36 kV 用について説明する。図 7. に示すようにこの GCB は引出形を標準としており、消弧室部は移動台車上に取付けた消弧室タンクと注型ブッシングで構成し、消弧室タンクは接地金属で構成している。操作機構は台車前面に配置し、遮断器前面からすべての操作が可能のように、制御装置、引出装置などを配置している。

この GCB の一次ジャンクション寸法（相間、極間寸法など）は、以下に詳述する遮断ユニットの開発により、遮断容量の飛躍的増大にも

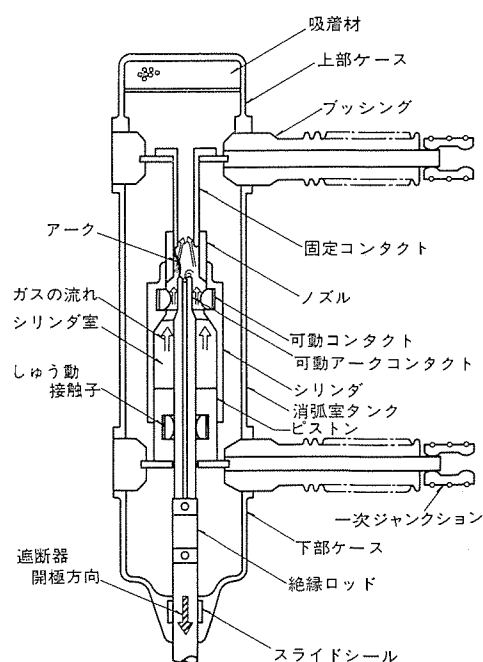


図 8. 消弧室の構造・動作

かわらず、36 kV、25 kA クラスの GCB (30-SFG-25 A 形) と同一であり、メタラの基本的構成が従来製品と同一となるよう配慮している。

(1) 消弧室の構造

消弧室は単圧式パフア形消弧方式を採用しており、その構造を図 8. に示す。図は遮断器開放途中を示しているが、操作機構の操作力により図のように、ピストンロッドが下方に動作し、ピストンロッドと一体に可動接触子、可動アーク接触子、シリンダが下方に移動する。これらの移動によりシリンダ室のガスが圧縮され、図で示す矢印の方向にガスを吹き付けアークを消弧する。

パフア形消弧方式による電流の遮断は、上述のように機械的操作力により、シリンダ室内のガス圧を上昇させる必要があり、その上昇圧力に打勝つだけの操作エネルギーが必要となる。この圧力上昇値は GCB の遮断性能に影響を与える重要な一要因であり、かつ操作機構の操作エネルギー決定のための一因子でもある。一方、GCB の満たすべき基本性能とそれらの性能を得るための基礎技術は、図 9. に示すような関係である。遮断性能に重要な影響を与えるガスの吹付方式についての技術的發展は、最近めざましいものがあり、合理的な設計によって消弧ユニット自体の小形化が大いに進められている。

特別高圧クラスの GCB の例を示すと、図 10. に示すように今回開発された GCB の消弧室ユニットは小形化が更に前進したことを示している。図はシリンダ容積を単位遮断容量当たりの値で示しており、約 10 年間で遮断に要するガスの有効利用率は、約 5 倍に向上したことを物語っている。この消弧ユニットの小形化を可能ならしめるためには概かに、図 8. で示すノズル、コンタクト、などの形状要素及びガ

ス圧力、開極速度など種々の要因が相互に影響しあう。また、SF₆ ガス自体の電流遮断時の高温時の物理的、熱力学的要因も影響し、これら種々の条件を適切に選定することが技術的に重要なポイントとなる。我々はこれらの要因の最適な組合せを選定するためにガス中遮断現象シミュレーションプログラム⁽²⁾を応用した。

図 11. は、そのシミュレーション結果の一例であり、40 kA の短絡電流を遮断した時の電流、アーク電圧、シリンダ内の圧力上昇、アーク室及びシリンダ室の温度などをシミュレートしている。これらを各種の消弧室形状、開極速度、遮断条件などの入力データによってシミュレートすることにより、前述の各種要因の最適設計を可能にし、図 10. で示すような非常に小形の消弧ユニットが実現できた。

(2) 操作機構及び制御装置

操作機構は、モータ蓄勢ばね操作方式を採用しており、消弧ユニットの小形化により、操作機構自身も低勢力化が可能となった。操作機構の主要部分は図 12. に示すようにフレーム内に組込まれており、このフレームを台車上に固定している。

この操作機構は図で示すように、通常はモータによって投入ばねを蓄勢することができ、蓄勢、投入、引外しとも比較的小さい電力で制御可能であるが、据付調整の時などで補助電源がない場合でも

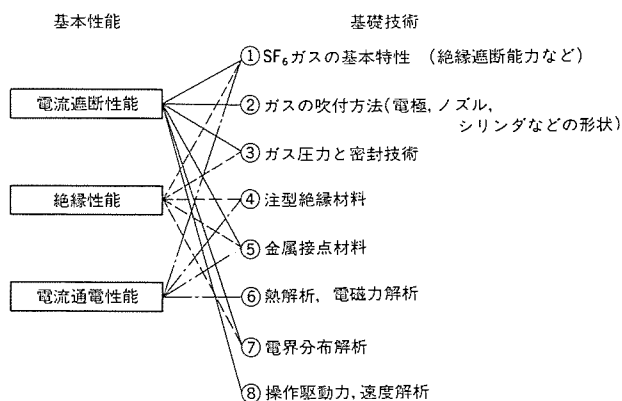


図 9. GCB の基本性能と基礎技術の関係

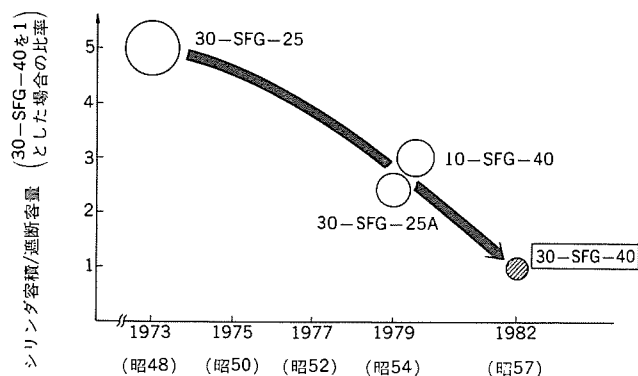


図 10. 特別高圧クラス GCB の遮断ユニットの変遷

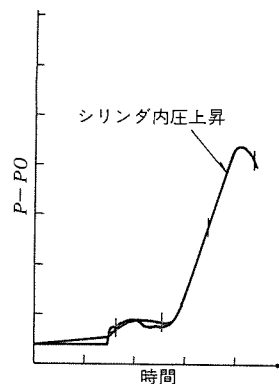
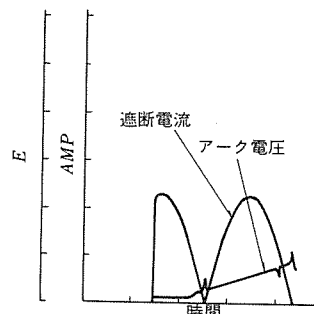


図 11. 消弧室モデルのシミュレーション結果

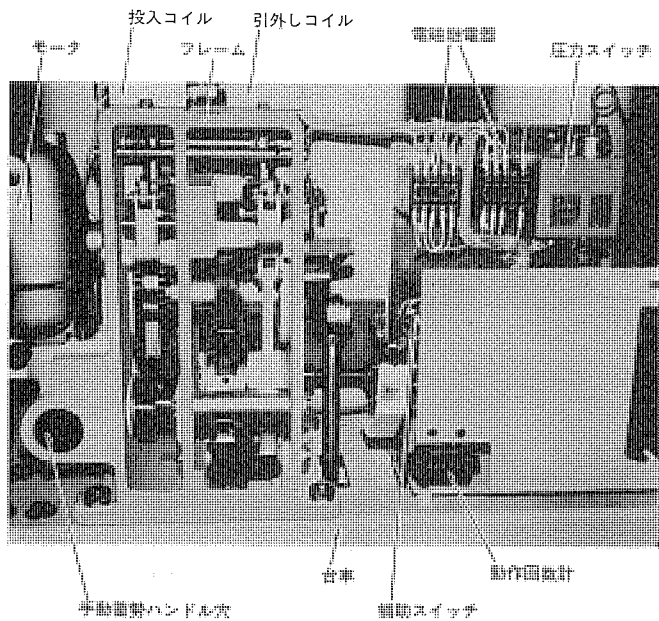


図 12. 操 作 機 構

簡単に手で操作出来るような構造としている。図は保護カバーを取外した状態であり、この状態で容易に機構内部の点検が可能である。投入ばね、引外しばねは台車下部に配置しており、これら機構の基本的構成は実績ある標準器（30-SFG-25 A 形 GCB など）と同一思想で設計している。

制御装置は図 12. に示すように、パネル上に圧力スイッチ、補助スイッチ、電磁継電器、閉鎖表示器を配置し、台車上に組立ててある。消弧室タンク内のガス圧力は、前記温度補償用圧力スイッチによって常に密度管理をしており、万一のガス漏れに対して、定格 5 kg/cm²・g (20℃ の状態で) のガス圧力が 4.5 kg/cm²・g に低下した場合は補給指令を、また 4.0 kg/cm²・g まで低下した場合は、制御回路をロックするシステムを採用している。また、日常点検時には圧力計で常にガス圧力の目視チェックが可能である。

電磁継電器、補助スイッチなどの制御用機器は、標準製品との共有化を図っており、これらの制御装置の基本的構成、システム設計なども標準化され統一した思想で設計している。

5. 試験結果

5. 1 温度試験

定格電流 1,200, 2,000, 3,000 A の閉鎖配電盤に、それぞれの定格の GCB を実装した状態で通電し、温度上昇値を測定し、いずれの遮断器、配電盤とも規格値を十分に満足する結果を得た。

5. 2 耐電圧試験

GCB を配電盤に実装した状態で 30 号 B の試験を実施したが、更に GCB 単体の状態で JEC-181 規定の 30 号 A の耐電圧試験を実施し、いずれのケースにおいても良好な結果を得た。また、GCB の単体試験において、万一のガス漏れ状態を想定し、O 気圧（大気圧相当）の状態で 36 kV の商用周波耐電圧試験を実施し、この状態での実用性能に支障のないことを確認した。

5. 3 短時間電流試験

1,200 A 用配電盤に同定格の GCB を実装した状態で、電流実効値 40 kA（非対称波高値 100 kA）を 3 秒間通電し、各部の機械的、熱的損傷もなく、試験前後における主回路の接触抵抗値の変化もないことを確認した。なお、この試験及び以後に述べる短絡試験については、社内における性能検証に加えて、電力中央研究所武山試験研究センターにおける認証試験も実施し、良好な結果を得た。図 13. は同試験場における供試器（1,200 A 配電盤と GCB）の試験実施状況

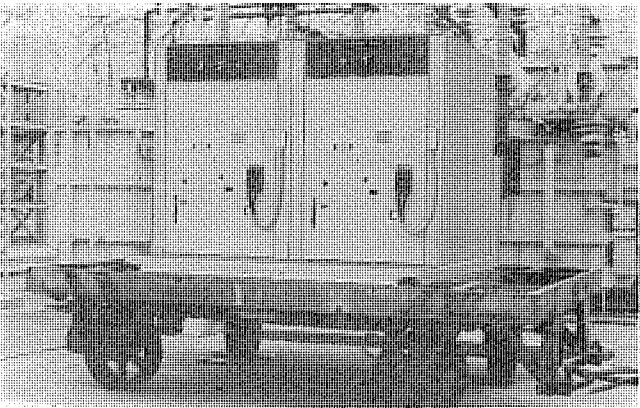


図 13. 電力中央研究所武山試験研究センターにおける短時間電流試験状況

表 3. 短 絡 試 験 条 件 及 び 結 果 一 覧

試 験 項 目		試 験 方 法	動 作 責 務	試 験 電 圧 (kV)	通電電流又は遮断電流 (kA)	再 起 電 圧		備 考
						上 昇 率 (kV/μs)	波 高 値 (kV)	
短 絡 試 験	1 号	単 相 合 成	O-1分-O-3分-O	31.2	4.1	3.06	76.9	31.2 kV=36 kV× $\frac{1.5}{\sqrt{3}}$
	2 号	単 相 合 成	O-1分-O-3分-O	31.2	12.5	3.02	70.2	〃
	3 号	単 相 合 成	O-1分-O-3分-O	31.2	24.5	1.44	68.8	〃
	4 a 号	三 相 直 接	C-3分-C	0.76	103 (ピーク値)	—	—	投入容量試験
	4 b 号	単 相 合 成	O-1分-O-3分-O	31.2	40.8	0.61	63.1	31.2 kV=36 kV× $\frac{1.5}{\sqrt{3}}$
	5 号	単 相 合 成	O-1分-O-3分-O	31.2	40.4 (DC分37%以上)	0.61	63.1	〃
異相地絡遮断試験		単 相 合 成	O-1分-O	36	35.3	0.63	76.2	—
脱調遮断試験		単 相 合 成	O-1分-O	52	10.2	0.50	106	52 kV=36 kV× $\frac{2.5}{\sqrt{3}}$

注 試験ガス圧はすべて額定圧力 (4.0 kg/cm²g, at 20°) にて実施

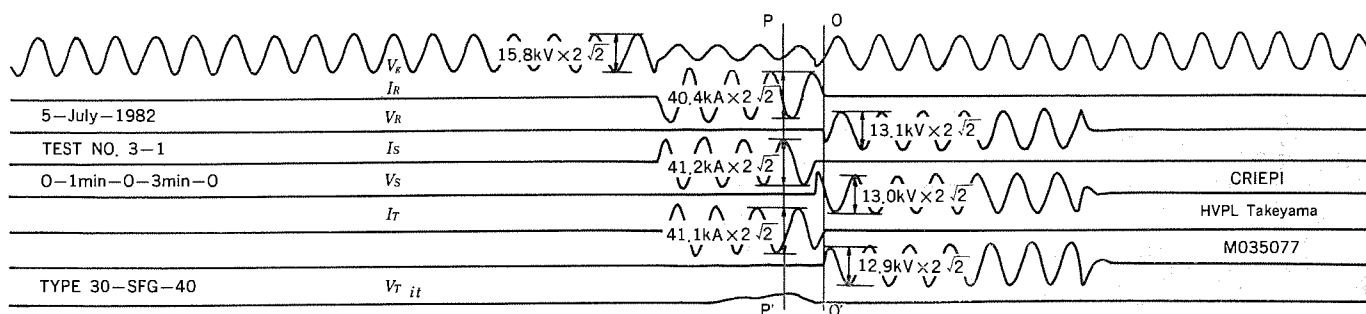


図 14. 三相短絡試験 (4b 号) オシログラム

表 4. 小電流遮断試験条件一覧

試験項目	試験方法	動作責務及び試験回数	試験電圧 (kV)	遮断電流 (A)	備 考
進み小電流遮断試験	単相直接	“0” 12回*	27	15.2 50.8	27 kV = 36 kV × 1.3 / √3 試験ガス圧は鎖錠圧力 (4 kg/cm ² g at 20°C)
遅れ小電流遮断試験	単相直接	“0” 12回*	31.2	5.6 20.4	31.2 kV = 36 kV × 1.5 / √3 試験ガス圧は最高使用圧力 (5 kg/cm ² g at 20°C)

注 * 遮断位相は $\pi/6$ 間隔で位相制御

況である。

5.4 短絡試験

表 3. に示す試験条件で各種の短絡試験を実施し、すべての条件で優れた遮断性能を有することを確認した。なお、表 3. に示す試験条件は JEC-181 及び IEC-Pub 56 の条件の内、厳しい方の条件で試験を実施したことを示している。また図 14. は前記武山試験センターでの 40 kA 三相直接短絡遮断時のオシログラムである。なおこの試験は試験設備の都合上 24 kV 回路にて試験を実施したものである。

5.5 小電流遮断試験

表 4. の試験条件で遅れ小電流、進み小電流遮断試験を実施し、いずれのケースも電流遮断時の発生過電圧値が低いこと及び無再点弧、無再弧で遮断できることを確認した。

5.6 その他の試験

前記各種試験のほかに、無負荷連続開閉試験 (10,000 回)、ガスリーク試験、過負荷電流通電試験、耐圧力試験、せん絡試験など、各種性能検証試験を実施したが、いずれの試験でも優れた性能を有していることを確認した。

6. む す び

高圧ガス遮断器は、信頼性、安全性が高く、小形軽量で省エネルギーのニーズにも対応するものとして広く適用されている。6 kV クラスでは、火力、原子力発電所を中心として、従来の磁気遮断器 (MBB) に代わってガス遮断器の採用が進められ、更に老朽化した既設配電盤の予防保全の一環として、既設 MBB を GCB に置き換える更新工事も実施されている。更に、20/30 kV クラスでは、従来の空気遮断器 (ABB) に代わって今回開発されたガス遮断器の採用が検討されている。

このように大容量電力プラントをはじめ、あらゆる電力設備の近代化の一手段として、高圧ガス遮断器が今後ますます広く適用されるものと期待される。

参 考 文 献

- (1) 梁川ほか：三菱電機技報，53，No. 4，P. 266 (昭 54)
- (2) 笹尾ほか：昭和 56 年度電気学会全国大会，第 12 分冊，No. 1173

インバータ駆動時の電動機の機械的諸特性

竹下 光夫*・佐藤 公夫**・柳沢 公人**・清水 正義**

1. ま え が き

省力化、自動化に対応して、可変周波数電源で誘導電動機（以下、電動機と称す）を運転するインバータの需要は、他の電気式、機械式の可変速装置と同様にそのメリットが認められ広く使用されてきた。最近、特に省エネルギーの要求に呼応したポンプ、ファンなどの可変速運転の必要性が急速に高まってきたのと、一方においては、パワーエレクトロニクス技術の技術進歩及び生産性の向上によるコストダウンなどが重畳し需要が増大してきた。

可変速装置としてのインバータは、電動機と組合せて使用した場合、他の可変速装置に比べ、次のような数々の特長を持っており本質的に汎用性に富んだ製品である。

- (1) 保守性が優れている。
- (2) 耐環境性が優れている。
- (3) トータル効率が高い。
- (4) 小形軽量である。
- (5) 操作性に優れている。

しかし一方では、経済性及び技術的制約のために、電動機に印加する電圧、電流波形が正弦波でなくひずみ波となり、この波形に多くの高調波が含まれている。この高調波の電磁力に起因する振動、騒音の発生、及び高調波による銅損、鉄損の発生に伴う温度上昇、効率の低下が生じる。そのほかに、軸電圧の発生による軸受への影響、電気振動トルクの発生など、インバータが電動機に及ぼす諸問題について留意しなければならないし、その対応が必要である。

従来、電磁振動、騒音についてはかなり検討されているが、それらは正弦波電源に関する定性的なものが主であった。インバータ駆動時におけるひずみ波電圧、電流（ひずみ波電源）が小形電動機に及ぼす機械的影響のうち、軸電圧の発生による軸受への影響及び電気振動トルクについては小形電動機については実用上ほとんど影響がないのでここでは割愛する。インバータ駆動時に一番注意しなければならないひずみ波電源による小形電動機の振動騒音についてその解析法と実験結果について述べ、更にひずみ波電源の高調波成分による電動機の各損失に対する解析及びその特異点について言及し、通風熱解析について例題を使って解説する。

2. 振 動 騒 音

電動機の振動騒音の要因を大別すると、電磁力、機械力、流体力に分類できる。ここでは、ひずみ波電圧印加時における電磁振動騒音について主に述べる。この場合について種々の電磁加振力を求め、電動機の振動系の伝達関数から振動応答を解析し、実験結果と比較検討する。また、電動機において工作精度上、起こりうる固定子と回転子との偏心についても考慮した各種検討結果についても述べる。

2.1 電磁加振力

インバータで電動機を運転した場合のひずみ波電源固有の電磁加振力は、

(1) 時間高調波による電磁加振力

であり、また商用電源の場合にも存在するものとして、

- (2) 相のアンバランスによる電磁加振力
- (3) 溝高調波による電磁加振力
- (4) 相帯高調波による電磁加振力

などがある。(3)、(4)項については、従来からよく検討⁽¹⁾⁽²⁾されている。ここでは、(1)、(2)項を中心に述べる。しかし、インバータ出力電圧の相間バランスは非常に良好なので、実際には問題にならない。

(1) 時間高調波による電磁加振力

(a) ひずみ波電源に含まれる N 次高調波による電磁加振力

回転子が固定子に対して偏心した場合をも考慮した高調波の空げき磁束による電磁加振力を解析的に求める。空げき磁束密度 B の分布は、近似的に次のようになる。

$$B = B_1 \left\{ \cos(\omega_0 t + P\theta) + \sum_{m=2}^N b_m \cos(m\omega_0 t + P\theta) \right\} (1 - \varepsilon \cos \theta) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで ω_0 : 電源の角振動数

B_1 : 基本波の磁束密度

P : 極対数

θ : 機械角

ε : 偏心率

b_m : 磁束密度の高調波成分/ B_1

この磁束による電磁加振力は $F = B^2/2\mu$ となる。電磁振動、騒音に関与する電磁加振力の主な項は、一次と m 次の成分によって生じ、次式で表される。

$$\begin{aligned} \frac{F}{(B_1^2/2\mu)} = & \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(2\omega_0 t + 2P\theta) \\ & + b_m [\cos\{(1+m)\omega_0 t + 2P\theta\} + \cos(1-m)\omega_0 t] \\ & - \varepsilon \left[\cos \theta + \frac{1}{2} \cos\{2\omega_0 t + (2P-1)\theta\} \right. \\ & \left. + \frac{1}{2} \cos\{2\omega_0 t + (2P+1)\theta\} \right] \\ & - 2\varepsilon b_m [\cos(1-m)\omega_0 t \cdot \cos \theta \\ & + \frac{1}{2} \cos\{(1+m)\omega_0 t + (2P-1)\theta\} \\ & + \frac{1}{2} \cos\{(1+m)\omega_0 t + (2P+1)\theta\}] \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

(b) 搬送周波数による電磁加振力

搬送周波数帯域成分と他の周波数、例えば電源周波数による電磁加振力を求める。この場合の磁束密度は、

$$B = B_1 \{ \cos(\omega_0 t + P\theta) + b_c \cos(\omega_c t \pm P\theta) \} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで ω_c : 搬送周波数帯の周波数

b_c : (搬送周波数帯の成分)/ B_1

と表せる。電磁加振力は、前項に述べた高調波による電磁加振力の場合と同様に求められ、その周波数は $\omega_0 \pm \omega_c$ となる。

(2) 相のアンバランスによる電磁加振力

空けき磁束が時間高調波を含み、その高調波がアンバランスの場合についての電磁加振力を求める。この時の空けき磁束密度は次のように表される。

$$B_0 = B_1 [\cos(\omega_0 t + P\theta) + \sum_{m=2}^N \{b_m \cos(m\omega_0 t + P\theta) + a_m \cos m\omega_0 t \cdot \cos P\theta\}] \dots\dots\dots (4)$$

(1)項と同様にして電磁加振力を求めると、偏心した場合を含む電磁加振力の主な項である $a_m \varepsilon$ は次のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{F'}{(B_1^2/2\mu_0)} = a_m \varepsilon & \left[\frac{1}{2} \cos\{(1+m)\omega_0 t + (2P+1)\theta\} \right. \\ & + \frac{1}{2} \cos\{(1+m)\omega_0 t + (2P-1)\theta\} \\ & + \cos \theta \cdot \cos(1+m)\omega_0 t \\ & - \frac{1}{2} \cos\{(1-m)\omega_0 t + (2P+1)\theta\} \\ & + \frac{1}{2} \cos\{(1+m)\omega_0 t + (2P-1)\theta\} \\ & \left. + \cos \theta \cdot \cos(1-m)\omega_0 t \right] \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

(3) 溝高調波による電磁加振力

回転子と固定子の溝数組合せによって生ずる溝高調波に起因する電磁加振力のうち、通常問題となるもの⁽¹⁾は次のとおりである。

$$f_k = \left\{ \frac{N_R}{P} (1-S) \pm 2 \right\} f_0 \dots\dots\dots (6)$$

$$k = N_R - N_S \pm 2P \dots\dots\dots (7)$$

ここで N_S : 固定子溝数
 N_R : 回転子溝数
 S : すべり
 f_k : 電磁加振力の周波数
 f_0 : 電源周波数
 k : 加振力のモード

加振力については文献(1)に詳細に述べられている。

2.2 振動応答式

回転子の軸方向を z 軸として円柱座標を用いると、電動機のある点の振動応答 A は次のようになる。

$$A = r_s \int_s M(r_1, r) F(\theta) ds \dots\dots\dots (8)$$

ここで M : 機械系の伝達関数
 r_1 : 振動の応答点の座標 [$r_1 = (r_1, \theta_1, z_1)$]
 s : 加振力点について積分

電動機の振動系の伝達関数を固有モード ϕ_n で展開すると次のようになる。

$$M(r_1, r) = \sum_{n=1}^{N'} \frac{\phi_n(r_1) \cdot \phi_n(r) \omega^2}{m_{en}(\omega_n^2 - \omega^2)} \dots\dots\dots (9)$$

ここで ω_n : 固有振動数
 m_{en} : 等価質量
 ω : 加振力の角振動数
 N' : 固有モードの数

式(8)は式(9)より次式のようにかきなおせる。

$$A = r_s \sum_{n=1}^{N'} \phi_n(r_1) \int_s \frac{\phi_n(r) \omega^2}{m_{en}(\omega_n^2 - \omega^2)} F(\theta) ds \dots\dots\dots (10)$$

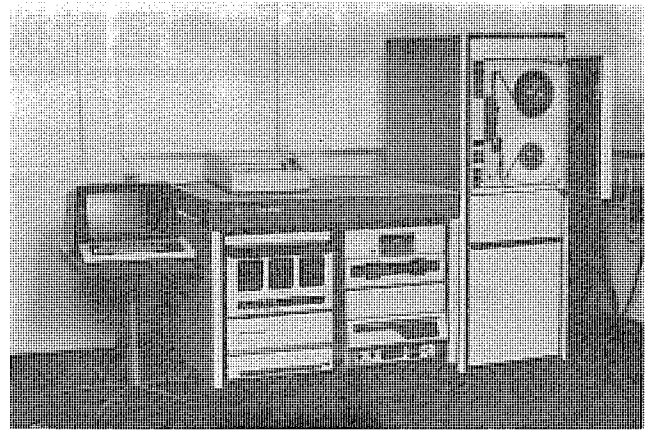
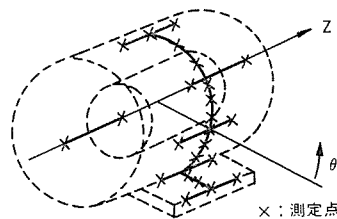
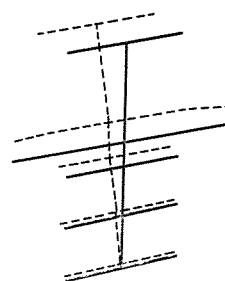


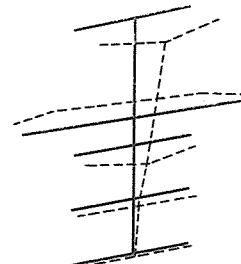
図 1. FFT 振動解析装置



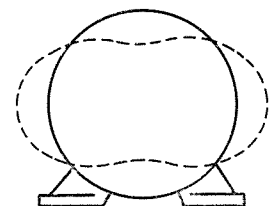
(a) 測定点 (振動方向は水平方向)



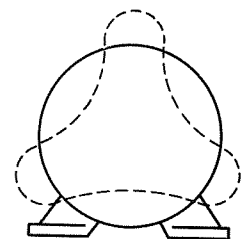
(b) 一次モード



(c) 二次モード



(d) だ円モード



(e) リングの三次モード

図 2. 固有モードの測定結果

2.1 節の結果から電磁加振力は、一般に基本振動数の l 倍の振動数で表されるから、式(10)は次のようになる。

$$A = r_s \sum_{n=1}^{N'} \phi_n(r_1) \int_s \frac{\phi_n(r) \omega^2}{m_{en}(\omega_n^2 - \omega^2)} h_{l,k} (l\omega_1 t - k\theta) ds \dots\dots (11)$$

ここで k : 整数
 $h_{l,k}$: 電磁加振力の振幅

2.3 振動系

式(9)の振動系の定数について、解析的に求める方法もあるが、ここでは図 1. に示す FFT(Fast Fourier Transform) 振動解析装置を用いて、インパルス法で伝達関数、固有モードを測定し式(11)に必要な

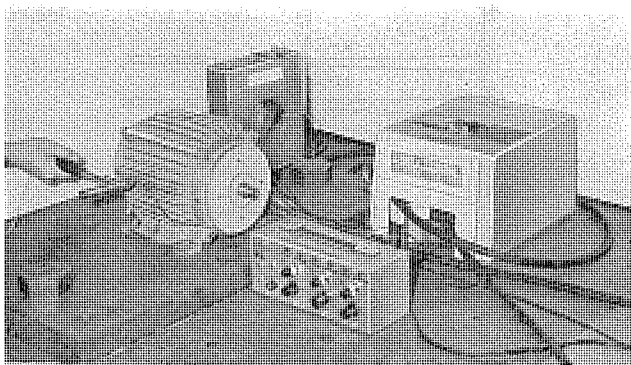


図 3. 試験モデル

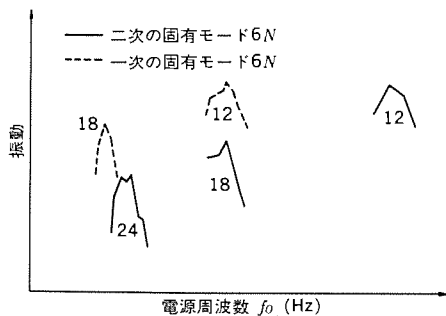


図 4. 電源周波数に対する振動 (2 極, 偏心量大)

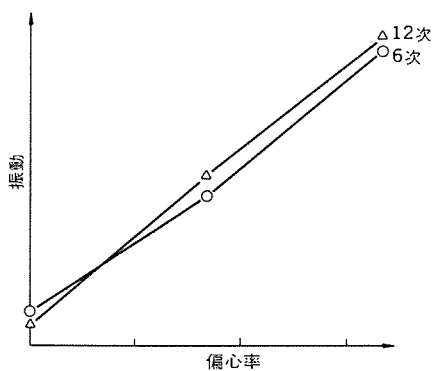


図 5. 偏心率に対する振動

振動系の定数を得る。固有モードの例を図 2. に示す。図 2. (b), (c)の固有モード図は図 2. (a)の点, 図 2. (d), (e)の固有モード図は, フレームの円周上の点に関するものである。図 2. (d)はリングの円形, 図 2. (e)はリングの三次の固有モードである。

2. 4 振動騒音の分析結果

2. 1 節で求めた電磁加振力に対して, 式(11)の応答式を用いると, 2. 3 節に示した各固有モードに対する共振時の応答の大きさが求まる。更に, 電動機をインバータで無負荷運転した場合の振動応答を測定して解析結果と比較検討する。測定に用いた試験モデルの例を図 3. に示す。

2. 4. 1 時間高調波による影響

(1) ひずみ波電源に含まれる N 次高調波

電源周波数に対する振動の各次数成分の代表例を図 4. に示す。電源周波数の $6N$ 次成分が一, 二次の共振振動数に一致して振動が大きくなっており, 解析結果と一致している。磁束密度 b_m は, 高次になると減少するため, これに対応して振動も減少している。次に偏心率に対する振動について述べる。

ひずみ波で電動機を駆動した場合, 式(2)より $6N$ 次成分の振動

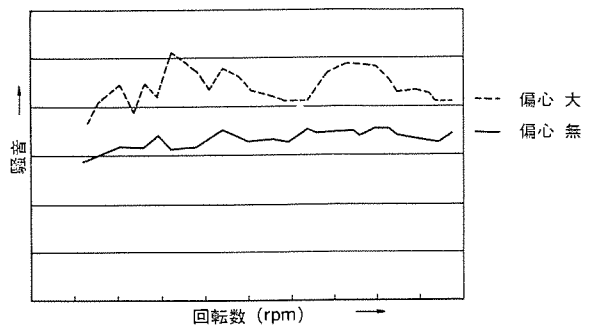


図 6. 回転数に対する騒音

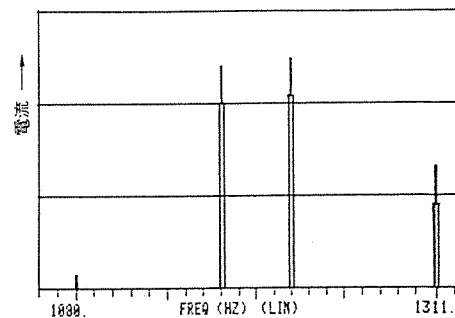


図 7. 電流波形の周波数分析

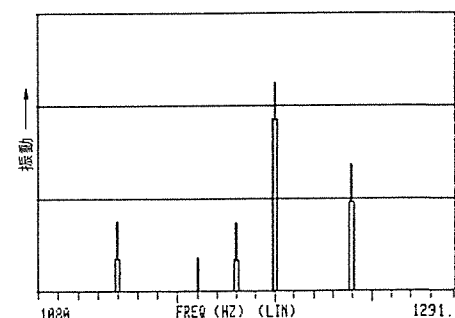


図 8. 振動の周波数分析

は, 偏心率に比例することがわかる。一方, 実機について偏心率を変えて, 振動を測定すると図 5. に示すように振動は偏心率にほぼ比例していることが確認された。また, 回転数を低速から連続的に上昇させた場合の騒音の測定結果を図 6. に示す。この図より, 回転子と固定子の偏心量をなくすと, 全回転数において騒音を 10 dB (A) 以上低減でき, その最大値は 20 dB (A) にも達し, この方法が非常に有効であることが明らかになった。

(2) 搬送周波数

電動機を 20 Hz の電源周波数で運転した場合の電流波形の周波数分析結果を図 7. に示す。この図より, 搬送周波数帯域の磁束波形の主成分は, $1,200 \pm 20$, $1,200 \pm 100$ Hz であることがわかる。したがって, 2. 1 節 (1)(b)より主な電磁加振力は, $1,200$, $1,200 \pm 40$, $1,200 \pm 80$ Hz となる。一方, 振動の実験結果によると図 8. に示すように, 電磁加振力に対応する周波数成分が顕著であり解析結果と一致している。

2. 4. 2 相のアンバランス

高調波の相のアンバランスによる加振力成分の大きさは, 式(5)より $a_m \varepsilon$ のオーダーである。商用電源における相電圧のアンバランスは問題となることもあるが, 一般には小さい。また, インバータ出力電圧のアンバランス成分 a_m は非常に小さい。したがって, ひずみ波電源で電動機を運転した場合, ひずみ波の高調波による電磁加振力より, 高

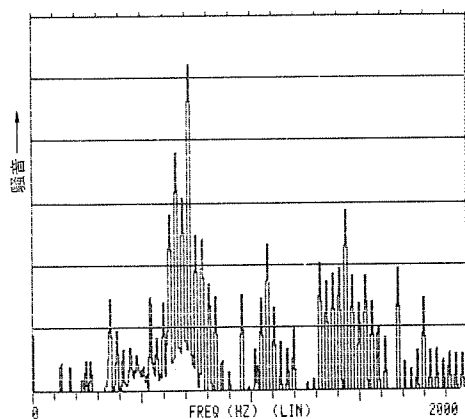


図 9. 騒音の周波数分析

調波の相のアンバランスによる加振力の方が小さくほとんど無視できる。

2. 4. 3 溝高調波

溝高調波による電磁加振力の周波数は、数kWの電動機においては1,000~2,000 Hzとなることが多い。従来、正弦波電源による運転に対して、十分に振動騒音が小さくなるように設計されてきたために、図9.に示す騒音のレベルにおいても、2.4.1節の基本波の高調波による成分より25 dB(A)程度低い。しかし、溝高調波の加振力の周波数近傍には、フレームがだ円形などに変形するリング形の固有モードが存在するために、これらについても十分に検討を行うことによって低振動化を図っている。

3. 熱 特 性

3. 1 発生熱損失の種類⁽³⁾

電圧形インバータにより駆動される電動機の等価回路は、図10.のように基本波成分に対するものと、 k 次時間高調波成分に対するものにより表される。インバータ駆動電動機の電流、効率、力率などの各種特性は、この等価回路を使用することにより計算できる。

ここでは、インバータ駆動電動機の発生熱損失の種類を列記する。

(1) 固定子銅損：高調波電流による導体の表皮効果を考慮した抵抗損失である。

$$W_{1e} = 3 \{ r_1 \cdot I_1^2 + \sum_k (r_{1k} \cdot I_{1k}^2) \} \quad (12)$$

(2) 固定子端損失：固定子積層部分に入ってくる漏れ磁束によって生じる渦電流損である。

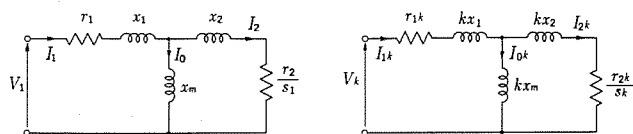
$$W_{1e} = 3c_1 \{ I_0^2 \cdot f_0 + \sum_k (I_{0k}^2 \cdot k \cdot f_0) \} \quad (13)$$

ここで c_1 = 機械定数

(3) 回転子銅損：固定子銅損と同様の抵抗損失である。

$$W_{c2} = 3 \{ r_2 \cdot I_2^2 + \sum_k (r_{2k} \cdot I_{2k}^2) \} \quad (14)$$

(4) 回転子ジグザグ損失：回転子歯部の脈動磁束により、回転子導



(a) 基本波成分に対する等価回路

(b) k 次時間高調波成分に対する等価回路

図 10. 誘導電動機の1相の等価回路

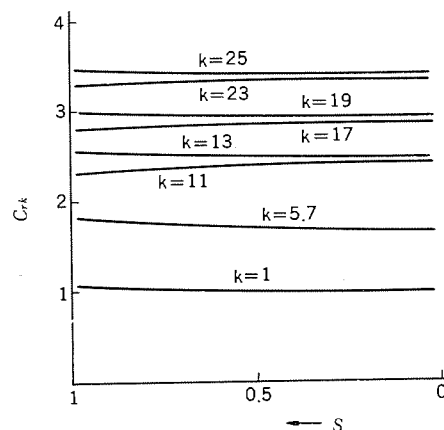


図 11. 二次抵抗増加係数

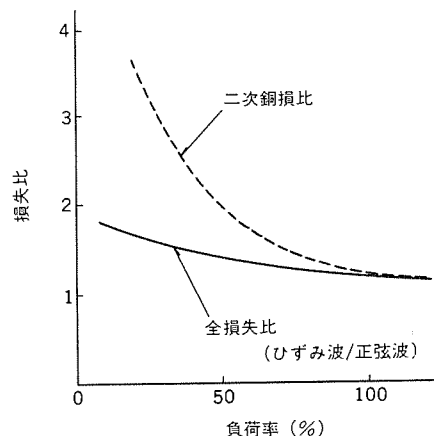


図 12. ひずみ波電源運転時の正弦波に対する電動機の損失比

体に誘導される抵抗損失である。

$$W_{z2} = 3 \{ c_0 \cdot r_2 \cdot I_0^2 + c_m (r_2 \cdot I_1^2 + \sum_k r_{2k} \cdot I_{1k}^2) \} \quad (15)$$

ここで c_0, c_m = 機械定数

(5) 鉄損：ヒステリシス損と渦電流損に分かれ、前者はほぼ磁束密度の二乗と周波数に比例し、後者は電流実効値の二乗に比例する。一般に高調波成分の磁束密度は、次のようになる。

$$B_k = B_1 / k^2 \quad (16)$$

ここで B_1 は基本波の磁束密度を表す。

3. 2 回転子銅損についての検討

前項に述べた各種損失の中で、一例として高調波による表皮効果の影響が大きい回転子銅損について述べる。第 k 次高調波に対するかご形回転子導体抵抗 r_{2k} は、表皮効果を考慮して次式で表される。

$$r_{2k} = c_{rk} \cdot r_{2-bar} + r_{2-end} \quad (17)$$

ここで c_{rk} は二次抵抗増加係数、 r_{2-bar} は導体のバーの部分の基本波分に対する抵抗値、 r_{2-end} は表皮効果の影響を受けにくいエンドリング部分の抵抗値を示す。

例えば、三相誘導電動機 2.2kW 4P をあるひずみ波電源で駆動した場合における二次抵抗増加係数を計算すると図11.のようになる。ひずみ波電圧と正弦波電圧印加時における二次銅損、及び全損失についてそれぞれの比を求めた結果を図12.に示す。

3. 3 通風熱解析

インバータ駆動電動機の発生熱損失は、正弦波電源駆動の場合より増大傾向にあるので、電動機の通風熱解析はより重要となってくる。当社では、従来より多くの基礎実験を基にして、熱回路網法による

この数年の間に、可変速製品は省エネルギーを目的とするのみならず、速応性、広域変速性、位置決め性、低速安定性などの必要分野への用途拡大、需要増大することは確実である。このためにも、今後のインパタの開発の中で、電動機の機械的諸特性の研究検討を続けて行く所存である。

参考文献

- (1) 衛藤ほか：誘導電動機の電磁騒音の解析，三菱電機技報，48，No. 10（昭49）
- (2) 小泉ほか：誘導電動機の電磁騒音低減法，三菱電機技報，51，No. 8（昭52）
- (3) P. L. ALGER：INDUCTION MACHINES（SECOND EDITION）
- (4) 三富ほか：全閉外扇形誘導電動機の通風冷却解析，三菱電機技報，48，No. 10（昭49）
- (5) 山崎ほか：新形はん用トランジスタインバータ，三菱電機技報，55，No. 9（昭56）

D

《MELCOM-COSMO 900II》の 高速ベクトル演算処理システム

益田 嘉直*・森 伯郎*・藤掛 遵*・佐々木良男*

1. ま え が き

当社の汎用電子計算機《MELCOM-COSMO 900II》は、パイプライン制御方式や高速バッファメモリなどの論理方式上の工夫と、それを支える最新のテクノロジーを結集して開発した《MELCOM-COSMO シリーズ》の最上位機種である。

科学技術の急速な発展に伴い、最近は大規模な科学技術計算における高速ベクトル演算処理の要求が一段と高まってきている。当社は《MELCOM-COSMO 900II》に付加機構として増設でき、完全プログラム互換を有する内蔵アレー処理装置 (Integrated Array Processor: IAP) を開発し、併せて自動ベクトル化 FORTRAN コンパイラを作成した。これらにより、ベクトル計算や行列計算を従来のプログラムを変更することなく高速処理することができ、性能価格比を大幅に向上させた。

本稿では、《MELCOM-COSMO 900II》の高速ベクトル演算処理システムの概要、特長、内蔵アレー処理装置の構造、及びコンパイラ的方式、利用効果について紹介する。

図 1. に《MELCOM-COSMO 900II》本体装置の外観を示す。

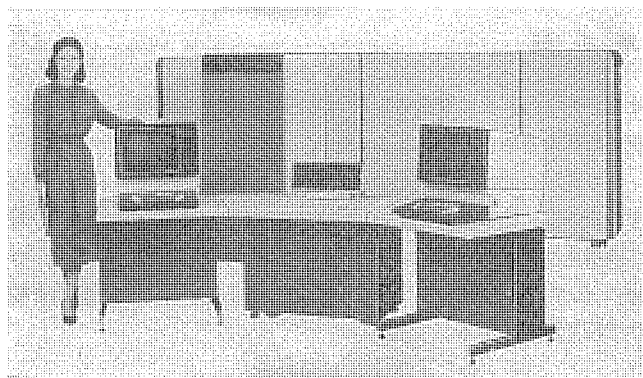


図 1. 《MELCOM-COSMO 900II》本体装置の外観

2. システムの概要

2.1 システムの特長

《MELCOM-COSMO 900II》の高速ベクトル演算処理システムは、本体内蔵形のアレー処理装置で構成しており、次のような特長を有している。

(1) 厳選されたベクトル命令による高速化

28種類のベクトル処理機能を厳選し、これらをベクトル命令として実現している。四則演算を行う基本命令のほかに、内積計算や累積加算を行う複合命令も準備している。

(2) マイクロプログラムによるパイプライン制御

パイプラインの乱れやキャッシュメモリの競合を吸収し、ベクトル要素（オペランド）のアドレス計算、読出しと演算実行をオーバラップさせて並列処理するマイクロプログラムを備えている。

(3) 高級言語 (FORTRAN) でのソース互換性

従来の外付アレー処理装置のように、副プログラム呼出し (CALL 文) を用いる必要はなく、コンパイルオプションを指定するだけで、対象となる DO ループを自動的にベクトル命令に変換できる。

(4) その他

《MELCOM-COSMO シリーズ》の下位機種 700III, 800III の内蔵アレー処理装置との互換性や仮想記憶への配慮はもちろんのこと、マルチプログラミング処理についてもベクトル演算命令を 256 要素ごとに分割処理し、割込み可能としている。実装上は、単に基板差し換えだけで在来機に設置でき、フィールドアップグレードビリティも非常によくなっている。

表 1. に《MELCOM-COSMO 900II》本体部⁽¹⁾の基本仕様を示す。

2.2 ベクトル演算命令

表 2. にベクトル演算命令一覧を示す。《MELCOM-COSMO シリーズ》のベクトル演算命令は 26 種類の浮動小数点ベクトル演算命令と、これ

表 1. 《MELCOM-COSMO 900II》本体部基本仕様

分類	項目	内容
主記憶装置	記憶素子	N-MOS LSI (64 K ビット/石)
	記憶容量	4~16 M バイト
	増設単位	4 M バイト
	インタリープ	8-way インタリープ
	アクセスタイム	560 ns/8 バイト
	読出し幅	8 バイト + 1 チェックバイト
	最大転送レート	114 MB/s (メガバイト/秒)
高速バッファメモリ	停電保護	バッテリー標準装備
	アクセスタイム	70 ns/8 バイト
	構成	16 ロー×32 カラム×64 バイト (ブロック)
基本処理装置	記憶容量	32 K バイト/64 K バイト
	命令アドレスレジスタ	2 組
	命令バッファ	16 バイト×2 組
	オペランドアドレスレジスタ	4 組
	オペランドバッファ	8 バイト×4 組
	命令キュー	4 組
	アドレス変換バッファ	128 エントリ×2 組
	アドレス空間スタック	29 組
	命令数	213 + IAP 命令
	命令長	4 バイト
	アドレス方式	直接、間接、インデックス、ベースレジスタ、直接オペランド
	アドレス変換	マップアドレス変換、テーブルアドレス変換 (1 レベル, 2 レベル)
	データ形式	2 進, 10 進, 浮動小数点 (単精度, 倍精度, 4 倍精度)
	割込レベル	最大 48 レベル
入出力処理装置	入出力総合転送能力	19 MB/s
	汎用入出力処理装置	2.2~3.0 MB/s (最大 12 台)
	多重入出力処理装置	70~90 KB/s (最大 4 台)

表 2. ベクトル 演算命令一覧

命 令 名 称	単 精 度		倍 精 度		動 作
	ニーモニック	サブOPコード	ニーモニック	サブOPコード	
ベクトル 転送	VMVS	00B1	VMVL	40B1	$Z_i \leftarrow X_i$
ベクトル 転送 コンプリメント	VMVCS	00B0	VMVCL	40B0	$Z_i \leftarrow -X_i$
ベクトル 加算	VAS	0001	VAL	4001	$Z_i \leftarrow X_i + Y_i$
ベクトル 減算	VSS	0000	VSL	4000	$Z_i \leftarrow X_i - Y_i$
ベクトル 乗算	VMS	0003	VML	4003	$Z_i \leftarrow X_i * Y_i$
ベクトル 除算	VDS	0002	VDL	4002	$Z_i \leftarrow X_i / Y_i$
ベクトル 内積	VIPS	0045	VIPL	4045	$Z \leftarrow Z + \sum X_i * Y_i$
ベクトル 内積 コンプリメント	VIPCS	0044	VIPCL	4044	$Z \leftarrow Z - \sum X_i * Y_i$
ベクトル 和	VSMS	00F3	VSML	40F3	$Z \leftarrow Z + \sum X_i$
ベクトル 和 コンプリメント	VSMCS	00F2	VSMCL	40F2	$Z \leftarrow Z - \sum X_i$
ベクトル イタレーション	VITRS	0018	VITRL	4018	$Z_{i+1} \leftarrow X_i + Y_i * Z_i$
ベクトル乗算後加算	VMAS	0017	VMAL	4017	$Z_i \leftarrow Z_i + X_i * Y_i$
ベクトル乗算後減算	VMSS	0016	VMSL	4016	$Z_i \leftarrow Z_i - X_i * Y_i$
精 度 変 換 (単精度→倍精度)	V CVS	00A0			$Z_i \leftarrow X_i$
精 度 変 換 (倍精度→単精度)			V CVL	40A0	$Z_i \leftarrow X_i$

に精度変換 2 命令を加えた合計 28 命令である。

図 2. にベクトル 演算命令の処理形式を示す。図中, FVAXO, FVAYO, FVAZO は、それぞれ X, Y, Z ベクトル 要素の先頭アドレスであり、また INCVX, INCVY, INCVZ はそれぞれ X, Y, Z ベクトル 要素のインクリメント値である。ベクトル 演算命令中の R₁ フィールドで指定される汎用レジスタには、ベクトル 要素中何番目の要素から演算を開始し (演算開始要素番号)、要素数いくつまで演算を続けるか (演算回数限界値) が保持されている。また、X₂ フィールドで指定される汎用レジスタには、X, Y, Z 各々のベクトル 要素の先頭アドレスとインクリメント値 (要素間距離) を保持する演算制御ブロック (OCB) のアドレスが入っている。

ベクトル 演算は、通常 R₁, X₂ で指定した汎用レジスタの値によるベクトル 要素 X, Y, Z 間で行い、ID₂ で示すサブオペレーションコードで指定したベクトル 演算を実行する。結果は要素 Z に格納する。この演算は汎用レジスタ R₁+1 に保持されている演算回数限界値だけ実行し、ベクトル 演算が正常に終了した場合には、汎用レジスタ R₁ には演算回数の値を加算し、汎用レジスタ R₁+1 の内容はゼロとなる。更に、演算制御ブロックのインクリメント値をゼロにすることにより、オペランドの一部をスカラとして処理させることも可能である。

ベクトル 演算命令の実行中に発生した割り込みは、演算の途中で受付けることができる。割り込みを受付けると汎用レジスタ R₁ には演算を再開すべきベクトル 要素の番号が保持され、そのベクトル 演算命令の実行は中断する。割り込み処理の後に再度このプログラムに戻った時には、引き続きこのベクトル 演算命令を実行する。

3. 論理構造と実装技術

3.1 方式設計

《MELCOM-COSMO 900 II》基本処理装置は、命令の読出し、命令の解釈、アドレス計算、オペランドの読出しなどを行う命令前処理部 (IPU) の処理と、命令実行部 (EXU) の処理を適宜オーバーラップさせて複数の命令を並列に処理することを特長とするパイプライン制御方式 (機械語レベル) によって高速処理を実現している。しかしながら、ベクトル 演算命令をマイクロプログラムで実現する場合、一般にベクトル 演算命令の処理はベクトル 要素数に比例して実行時間が長くなり、かつほとんど命令実行部に処理が依存するため、機械語レベルでのパイプライン制御は十分な効果を発揮できない。

そこで、ベクトル 演算で必要とするオペランド (ベクトル 要素) のアドレス計算並びに読出しと、演算実行を並列処理できる、いわゆるマイクロプログラムレベルでのパイプライン制御を実現し、内蔵アレー処理装置を開発した。

更に、内蔵アレー処理装置を《MELCOM-COSMO 900 II》基本処理装置に付加機構として内蔵する必要上、特に以下の点に十分な配慮と工夫を行った。

- (1) 互換性の実現
- (2) 論理構造の面での整合性
- (3) 実装技術上の結合性

図 3. にこの内蔵アレー処理装置 (IAP) を組込んだ《MELCOM-COSMO 900 II》の構成を示す。専用ハードウェアロジックのほかに、約 10K バイトのベクトル 演算命令専用マイクロプログラムを付加する。図 4. にベクトル 演算命令の概略処理フローを示す。

3.2 論理構造

通常、汎用処理装置における標準命令では 2 個以下のオペランド指定

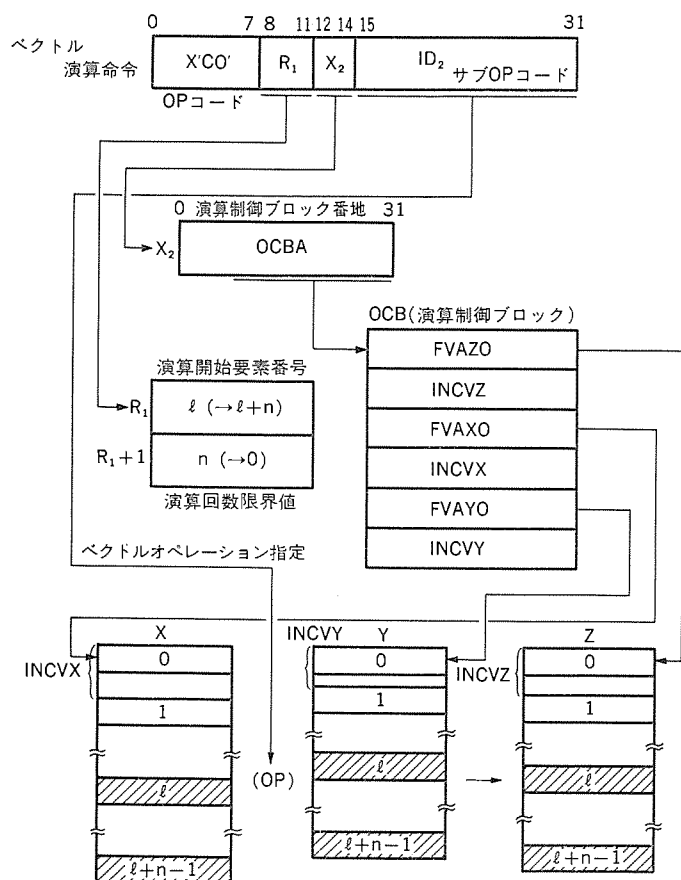


図 2. ベクトル 演算命令の処理形式

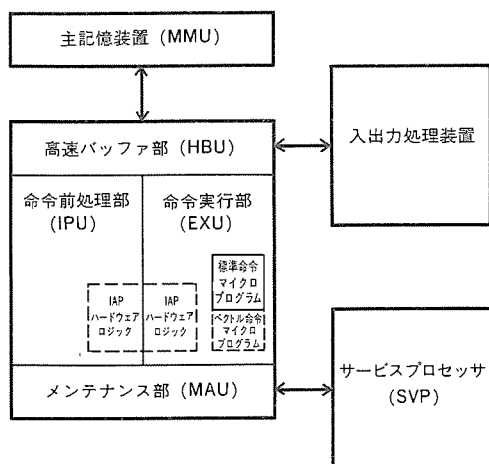


図 3. 内蔵アレー処理装置 (IAP) を組込んだ《MELCOM-COSMO 900 II》の構成図

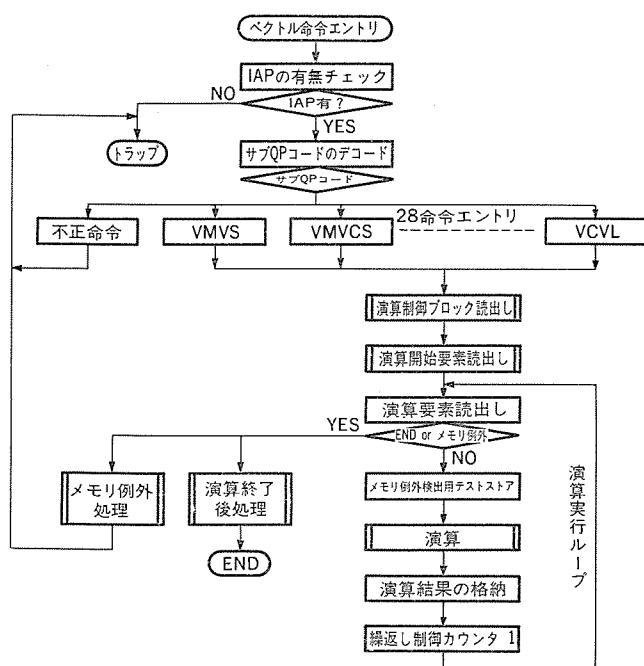


図 4. ベクトル演算命令の概略処理フロー

しか必要としないので、オペランドの番地を保持するオペランドアドレスレジスタと、オペランドの内容を保持するオペランドデータレジスタがそれぞれ2個あれば十分であった。しかしながら、ベクトル演算命令のように3個以上のオペランド指定が連続して必要な場合には、各々のオペランドに対する要求が起こるごとにオペランドアドレスレジスタの内容を入れ替えなければならない。また、ベクトル演算を行うためにはベクトル要素間の演算のほかに、ベクトル要素を読出すためのインデックスの加減算と、演算の繰返し回数を調べるための処理が必要である。これらの処理を標準の基本処理装置で行うためには、一つのベクトル要素間の演算を行うごとに命令実行部の演算回路を使用して処理をシーケンシャルに行わなくてはならず、ベクトル演算命令の処理の高速化は困難であった。

この内蔵アレー処理装置は、《MELCOM-COSMO 900 II》の標準基本処理装置に以下の回路、及びマイクロプログラムを付加することにより、ベクトル演算命令に必要なインデックス計算、ベクトル要素の読出し、繰返し制御をベクトル要素の演算と並列に実行できるように構成し、高速処理を実現した。

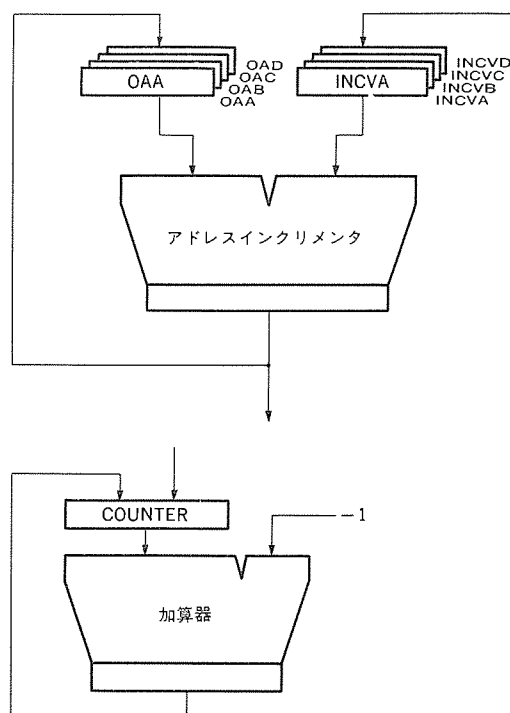


図 5. オペランドアドレス計算制御方式と繰返し制御カウンタ

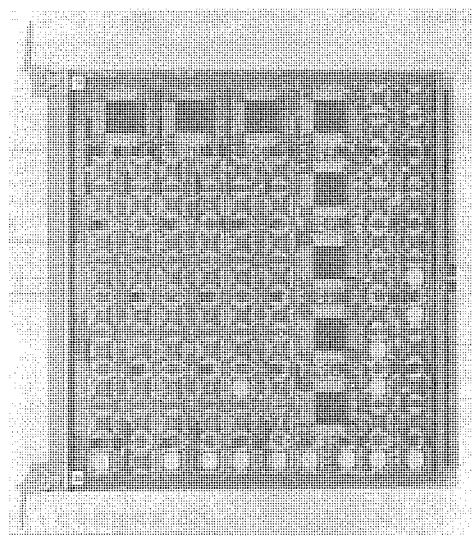


図 6. 論理素子を実装したプリント基板

- (1) オペランド指定に必要な数だけのオペランドアドレスレジスタ (OAA～OAD) の拡張と、各オペランドのインクリメント値を保持するレジスタ (INCVA～INCVD) の新設。
- (2) オペランドの読出し要求の種類拡張と、オペランドの読出しを効率よく実行するための制御回路の追加。
- (3) オペランドの読出しの終了条件を検出するための繰返し制御カウンタの新設。

図 5. にオペランドアドレス計算制御方式と繰返し制御カウンタの構成を示す。

このほかにも、次のような改良、工夫を施すことにより高速化を図った。

- (1) 単精度命令用オペランドデータアラインメント処理の追加。
- (2) 高速バッファ部 (HBU) のテーブル変換バッファの制御方式の改良。

(3) 例外処理, トラップ処理のための各種制御回路の充実。

3. 3 実装技術

《MELCOM-COSMO 900 II》システムでは、各種の内蔵アレー処理装置用ハードウェアロジックを盛り込んだ十数種の基板を、標準の基本処理装置の対応する基板と差し換えるだけで高速ベクトル演算処理を実現する、いわゆるフィールドアップグレードabilityを実現した。したがって、この内蔵アレー処理装置は基本処理装置に物理的にも内蔵されるので、実装技術は基本処理装置と全く同じである。

論理素子としては ECL-100 K ファミリー (0.75 ns/ゲート) の小規模集積回路 (SSI)、中規模集積回路 (MSI)、及び ECL-LSI (250~300 ファンクション/石) を使用し高速化を図っている。図 6. に論理素子を実装したプリント基板の例を示す。

4. ソフトウェアの方式

4. 1 コンパイラ

《MELCOM-COSMO 900 II》では、UTS/VS システムの拡張 FORTRAN コンパイラで、IAP のベクトル演算命令を配列処理に効果的に適用している。

FORTRAN のプログラムでベクトル計算や行列計算を行う場合は、図 7. に示すように FORTRAN の DO ループで表現するが、拡張 FORTRAN コンパイラでは VEC というコンパイルオプションを指定するだけで、標準の言語仕様で記述された DO ループを解析し、ベクトル演算命令を使用するオブジェクトプログラムを生成することができる。

4. 2 オブジェクトシーケンス

通常の DO ループをそのままコンパイルしたオブジェクトシーケンスとベクトル演算命令を利用したオブジェクトシーケンスとを比べてみると、通常の処理方式では各配列要素ごとの演算を複数の基本命令の列で構成し、これらを繰返し実行する。一方、ベクトル演算命令を利用する場合は、同じ演算が 1 個のベクトル演算命令で表現され、1 回だけ実行される。

拡張 FORTRAN と IAP

◎ IAP 化の指定……VEC オプション

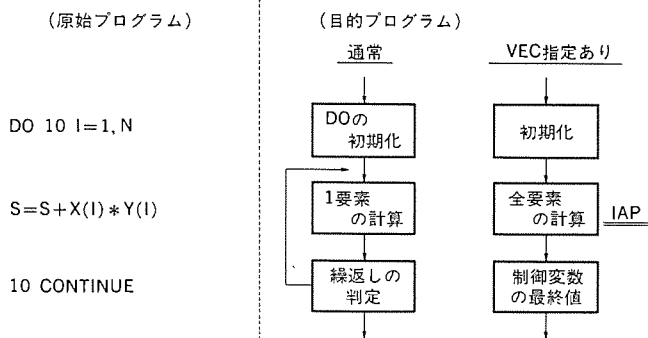


図 7. ベクトル演算のソース表現とオブジェクトシーケンス

オフセットチェック

可能な例

DO 10 I=1, N

① → A(I+1) = -----

② → ----- A(I) -----

10 CONTINUE

①のAi

2 → 3 → 4 → -----

②のAi

1 → 2 → 3 → -----

不可能な例

DO 10 I=1, N

③ → ----- = ---- A(I) ----

④ → A(I+1) = -----

10 CONTINUE

③のAi

1 → 2 → 3 → -----

④のAi

2 → 3 → 4 → -----

図 8. 添字チェック

また、各ベクトル命令はパイプライン制御により配列要素の読み出しと演算を並列処理するので、処理時間を大幅に短縮することができる。

4. 3 DO ループの条件

コンパイラは DO ループに対して、次のような条件を調べてベクトル演算命令の適用可否を決定する。ベクトル演算命令が適用されなかったループは、通常の処理シーケンスになる。

(1) ループ内の文は、算術代入文と CONTINUE 文であり、形は添字式を除き実数形又は倍精度実数形であること。

(2) DO の制御変数及びパラメータは、整数形であること。

(3) EQUIVALENCE 文で宣言された変数、配列は参照だけで定義されていないこと。

(4) 配列の定義と参照がベクトル演算命令の適用によって、演算順序を変更しても結果が変わらない関係にあること。

4. 4 定義と参照関係の問題

ベクトル演算命令を適用すると、対象となった DO ループを文ごとのループに分割して処理するのと同様になる。したがって、繰返し実行する一つの DO ループの実行結果と文ごとの DO ループ処理の結果とが一致しない場合は、この DO ループは論理的にベクトル命令の適用が不可能となる。例えば、図 8. の左側の例では、①の A(2) が定義された後で、②の A(2) で参照しているので、ベクトル演算命令を適用しても同じ結果になる。ところが、右側の例のように定義と参照の関係が逆転していると、③と④を別々のループに分割して処理した結果は、一つのループの時と異なった結果を得るので、このループはベクトル演算命令が適用できない。配列要素間だけでなく、単変数の場合も同様の問題があり、コンパイラは専用のフェーズでベクトル化可能条件をチェックしている。

4. 5 複合ベクトル演算命令の適用

ベクトル演算命令には加減乗除などの基本命令のほかに、内積計算やイタレーションを行う複合ベクトル演算命令がある。図 9. は内積計算を含む FORTRAN の DO ループを示したもので、コンパイラは、次のような条件を判定して内積命令を適用している。

- (1) 左辺の変数と等しい変数が右辺に 1 回だけ現われていること。
- (2) 左辺の変数は DO ループの他の箇所には現れないこと。
- (3) 代入文の右辺は、 $S + E_1 * E_2$ (又は $E_1 * E_2 + S$) の形であること。ただし、S は左辺と同じ変数、 E_1 、 E_2 は算術式とする。

他の複合ベクトル演算命令についても、データの参照関係、代入文の形をチェックし、適用可能な命令を決定している。内積命令は応用例にも示すように、線形計算に用いると特に効果がある。

DO 10 I=1, N

S=S+X(I)*Y(I)

10 CONTINUE

図 9. 内積計算の例

5. 性能評価

5. 1 ベクトル演算命令の基本性能

内蔵アレー処理装置の性能評価の方法には、大別して次の二つの方法がある。

- (1) 基本的なベクトル演算命令の性能を個々に調査し評価する方法。
- (2) 評価用の典型的なプログラム群により、総合的な処理性能を評

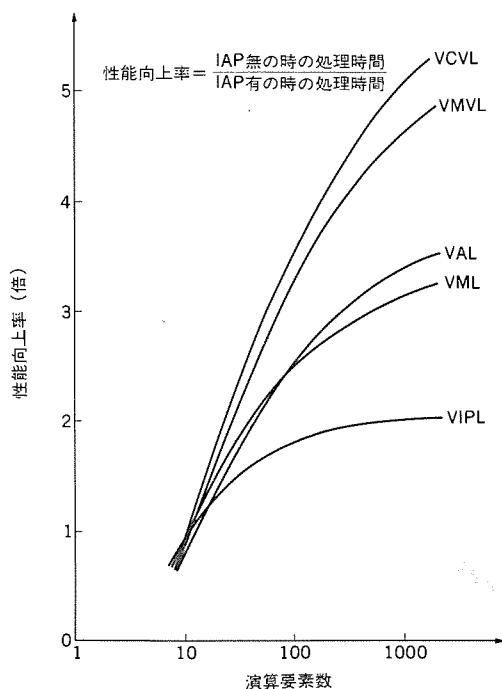


図 10. ベクトル演算命令の性能向上率

表 3. 応用プログラムでの性能評価

応 用 プ ロ グ ラ ム	倍 率 (IAP 無/IAP 有)	
	単 精 度	倍 精 度
マ ト リ ク ス の 積	3.23	3.02
ガ ウ ス ザ イ デ ル 法	2.83	2.55
逆 行 列	3.69	2.13

備考 $n \times n$ の行列を用い $n=350$ の時の例

価する方法。

ここでは、前者の方法による評価について述べる。測定はオペレー

ティングシステム UTS/VS H00 版のもとで、拡張 FORTRAN コンパイラにおいて行い、性能評価用 FORTRAN プログラムの実行により、ベクトル演算命令 28 種の各々についての評価を試みた。ベクトルオプションの選択により、スカラ処理 (IAP 無) と、ベクトル処理 (IAP 有) の各々の処理時間を測定比較することで内蔵アレー処理装置の性能向上率を調べた。測定に当たっては、3 回同じプログラムを実行し、その平均値を算出することで計算機環境の違いによる内蔵アレー処理装置への影響を減らすようにした。

図 10. にベクトル演算命令の性能向上率を示す。約 1,000 要素の処理で性能向上率 2～5 倍を達成した。

5. 2 応用プログラムによる性能評価

表 3. は、応用プログラムを用いてベクトル演算命令の効果を測定したものである。いずれも、数値計算でよく使用される手法である。これら以外にも、データ処理におけるコンボリューションやパワー法による行列の最大固有値を求める場合などでも同様に効果があった。測定方法は、前節と同じ方法を用いている。

6. む す び

以上述べたように、《MELCOM-COSMO 900 II》の高速ベクトル演算処理システムでは、かつてスーパーコンピュータのみに適用されていた高速ベクトル演算処理技術を、使いやすい形で利用者に提供することができ、性能価格比を大幅に向上させることに成功した。

今後は、性能の向上、操作性の向上などこのシステムの改良に努力するとともに、FORTRAN 8X などアレー処理用言語機能の動向にも着目し、新しい形での利用技術の積極的な取込みを行う予定である。

最後にこのシステムの開発にあたり、御指導、御協力をいただいた関係者各位に深く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 田淵ほか：《MELCOM-COSMO 900 II》の本体装置，三菱電機技報，54，No. 9 (昭 55)

《MELCOM 80》ビジネスグラフシステム

富沢 研三*・太田 将夫*・高橋 真理*・川上 孝仁*

1. ま え が き

オフィスコンピュータは、これまでオフィスオートメーションの中心的な担い手として、事務計算中心のデータ処理から日本語処理、文書処理へとそのレパートリーを拡大してきた。そして最近では、視覚に訴える資料すなわちグラフ化された資料を提供することが要求されている。

コンピュータを使ったビジネスグラフ処理の活用は、①手書きで処理されていたグラフ作成業務の省力化が図れる、②従来、数表として出力されていた経営資料をグラフ化することにより管理者の意志決定を容易にする、③カラーグラフィックディスプレイ装置を使用し、会議運営や資料の説明を効果的に行う、などオフィスオートメーションを推進する上での様々な効果が期待されている。

《MELCOM 80》ビジネスグラフシステムは、そうした期待にこたえたもので、簡単に美しいグラフを作成することができるシステムである(図1.)。



図1. オフィスコンピュータ《MELCOM 80 OFFICE LAND》

2. システムの概要と特長

2.1 システムの概要

《MELCOM 80》ビジネスグラフシステムは、従来よりのデータ処理、日本語処理、文書処理を行っているオフィスコンピュータ上でグラフ処理を同時に行うことができるように設計されたシステムである。コンピュータによるグラフ処理の利点は、グラフ作成用の専用機とは違い、ファイルとしてディスクなどに蓄積されたデータをコンピュータを使って加工・分析しグラフ化することができる点にある。このため最新の経営・管理情報を素早くグラフにして提供することが可能である。また《MELCOM 80》ビジネスグラフシステムは、グラフを作成し活用しようとする利用者の立場にたった“使いやすさ”を追求し開発したシステムである。

2.2 システムの特長

《MELCOM 80》ビジネスグラフシステムの特長について次に述べる。

- (1) 日本語処理ワークステーションにグラフィック機能を持たせており、日本語データ処理とビジネスグラフ処理を1台のワークステーション上で行うことができる。
- (2) 高分解能ディスプレイ装置(1,120×700ドット)により高品質な文字とグラフを表示する(図2., 図3.)。文字は24×24ドットの美しい明朝体である。
- (3) ディスプレイ装置はベクトル・円弧発生機構を内蔵しており高速な図形表示を行う。
- (4) グラフのハードコピーを連続帳票やカット紙(単票)にとることができる。カット紙へのハードコピーは業界で初めての機能である。
- (5) 対話形式で簡単にグラフが描けるユーティリティを用意している。
- (6) 利用者プログラムから呼び出されビジネスグラフを作成するグラフラ

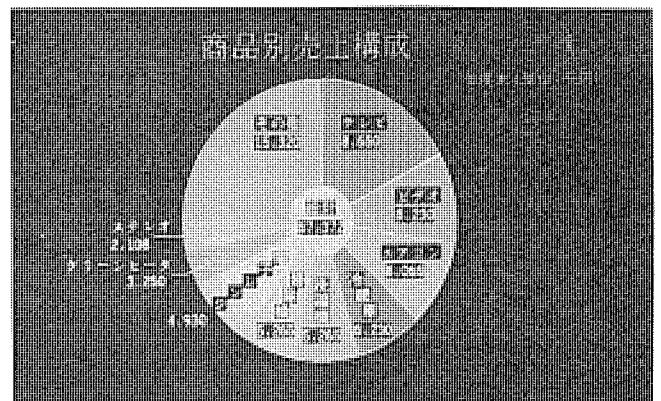


図2. グラフの表示例

製品別売上高増減率

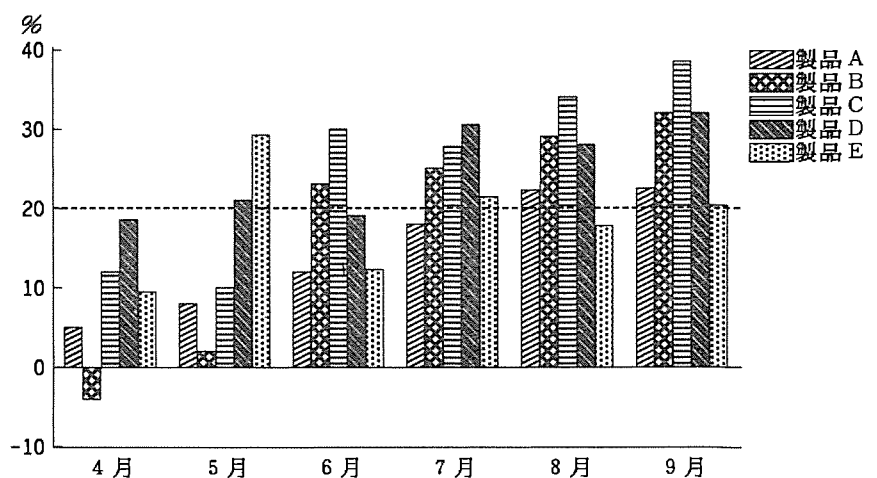


図3. グラフの印刷例

イブラリを用意しており、データ処理の結果をグラフとして表示することが可能である。

(7) グラフライブラリには、直線・円弧・多角形などを描く作画機能サブルーチンも用意しており、フローチャートや組織図などの利用者独自の用途にあった図表や絵を描くことも可能である。

(8) グラフのフォーマットの修飾機能が豊富にあり、最適なグラフ表現を簡単に行うことができる。

(9) グラフデータやパラメータをファイルとして保存することができる。

以上述べたこのシステムの特長は、オフィスコンピュータのグラフシステムでは最高水準の機能である。

3. ハードウェア

カラーグラフィック日本語ワークステーション(図4.)は《MELCOM 80》日本語システムの標準のディスプレイ装置にグラフィック機能をもたせ、日本語データ処理とビジネスグラフ処理を1台のワークステーション上で取り扱うことを可能としている。

カラーグラフィック日本語ワークステーションの接続方式及び機能について次に述べる。

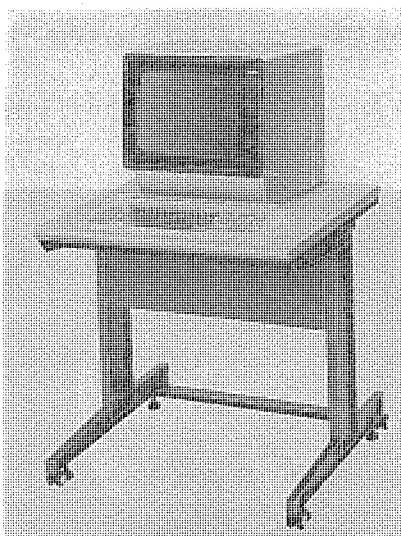


図 4. カラーグラフィック日本語ワークステーション

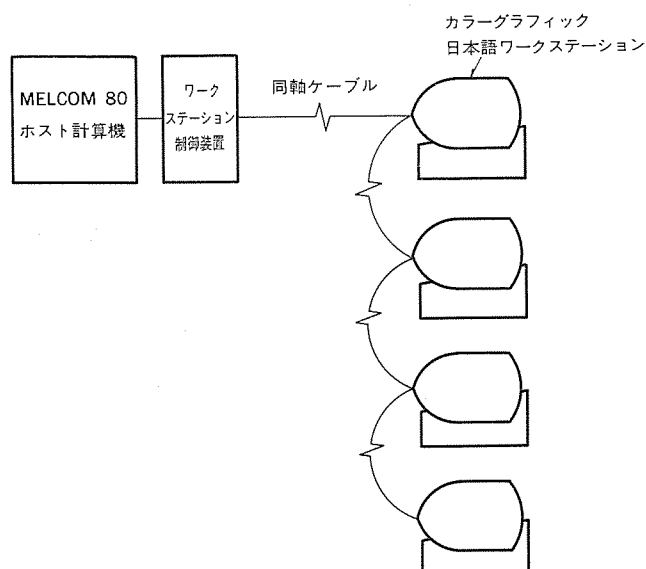


図 5. ホスト計算機との接続方法

(1) ホスト計算機との接続

ホスト計算機とカラーグラフィック日本語ワークステーションは1本の同軸ケーブルで接続しており、この同軸ケーブルで0.5 Mb/s (メガビット/秒)の高速なデータ伝送が可能である。同軸ケーブルは最大1 kmまで延長でき、1台の制御装置に最大4台のカラーグラフィック日本語ワークステーションの接続(図5.)が可能である。

(2) 高分解能グラフィック用ディスプレイ装置の採用

横1,120ドット×縦700ドットの高分解能グラフィック用ディスプレイ装置の採用により、ドット点が完全に連続し、ひずみのない美しいグラフを全画面に表示できる。また、このディスプレイは1画面に漢字であれば1,000字(40字×25行)、英数字であれば2,000字の表示ができる。

(3) ベクトル発生ハードウェア機構を内蔵

直線や円弧を高速に発生するハードウェア機構を内蔵している。ホスト計算機からは28種のグラフィックコマンドを送ることにより、多種多様な描画を行うことができる。これによりホスト計算機における図形生成の負荷の軽減と高速表示を実現している。グラフィックコマンドの一例を次にあげる。

- (a) 2点間の絶対又は相対座標指定により直線を描く。
- (b) 中心点、半径、角度を指定して円弧や扇形を描く。
- (c) 指定した座標間に線を引き、矩形、多角形、折れ線を描く。
- (d) 8種類の線種と2種類の線の太さの指定が可能である。
- (e) 座標の主目盛りと副目盛りを描く。
- (f) 8種類のプロットマーカ(数値を示すグラフ内の印)を描く。

(4) 円、矩形、多角形のエリアシェーディング(図形内の塗りつぶし)機構を内蔵

エリアシェーディングコマンドにより、円、矩形、多角形を任意の16種のシェーディングパターンにより塗りつぶすことができる。更にシェーディングは、模様の部分と模様の背景となる部分のそれぞれに色指定ができる。例えば、模様部分を赤色、背景の色を黄色に指定すれば、オペレータの目にはオレンジ色に見えるというふうに、中間色での表示が可能である。

(5) 文字の拡大、回転機構を内蔵

表示する文字を4倍に拡大したり、±90度回転することが可能である。4倍拡大はグラフの表題などの強調したい部分の表示に使用できる。±90度回転機構は縦軸に付けるタイトルを回転させて表示する場合などに使用できる。

(6) 自由自在な色指定

文字に対する色指定は1文字単位、又はフィールド単位に7色(緑、赤、青、白、黄、ピンク、空)、グラフの色指定は1ドット単位に8色(黒を含む)が可能である。この機能により例えば円グラフを青で描画し、円グラフ内の文字を白にするなどの色指定が自由自在に行える。

(7) ハードコピー機能

ディスプレイ装置に表示したグラフは、日本語プリンタ装置上の連続帳票やカット紙(単票)の任意の位置へハードコピーをとることができる。ハードコピーはディスプレイに表示した大きさのほかに、縦横それぞれ2倍づつ拡大した大きさのものをとることができる。更に、画面の一部分のハードコピーをとることも可能である。

4. ソフトウェア

ビジネスグラフシステムは、会話形式でビジネスグラフを容易に作成することができるユーティリティプログラムと、利用者プログラムから呼び出してグラ

フや図形の作成を行う サブルーチン 群 (グラフィブラリ) とで構成している (図 6.)。

4. 1 会話形グラフ作成ユーティリティ

会話形 グラフ 作成 ユーティリティ は、だれにでも簡単にグラフの作成が行えるように操作性を最大限に高めたユーティリティプログラムである。利用者はグラフを作成する場合、ディスプレイに表示されたメニュー画面 (図 7.) に従って必要な項目を入力するだけでよい。このため特別な知識も必要とせず、入力する項目も標準形式のグラフならば表 1. で示す程度のパラメータを入力するだけで済む。

更に、グラフ表現に対する利用者の多種多様な要求に対してきめ細かく対応できるように、表 2. に示すようなオプション機能を豊富に用意し、隔通性に富んだグラフ作成システムとしている。オプション機能を使用すれば、例えば円グラフの強調したい扇形部分を切り出して表示するといった処理を行うことができる。

会話形グラフ作成ユーティリティの優れた操作性は、図 8. に示すメニュー画面の構成とファンクションキーを使ったワンタッチオペレーションによるものである。例えば利用者はグラフの形式を修正しデザイン決

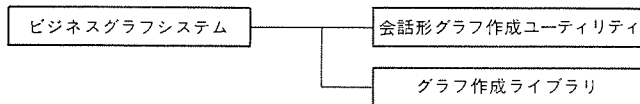


図 6. ビジネスグラフシステムの構成

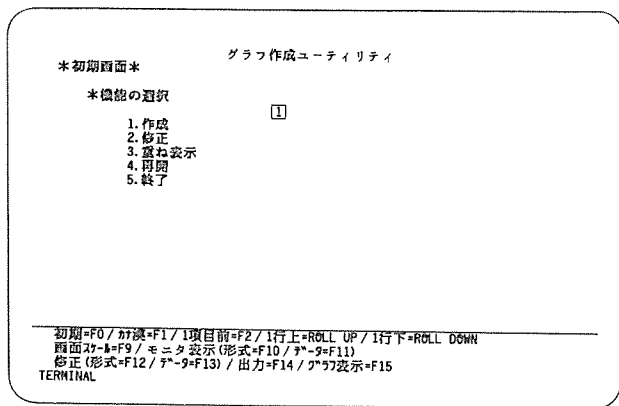


図 7. メニュー画面例

表 1. グラフ作成基本パラメータ

項 目	任 意/必 須
グ ラ フ の 種 類	必 須
表 題	任 意
凡 例 名 称	任 意
横 軸 ラ ベ ル	任 意
グ ラ フ 数 値 デ ー タ	必 須

表 2. オプション機能 (一部)

シェーディングパターンの変更	注釈文のグラフ内表示
色 の 変 更	数値のグラフ内表示
線 の 種 類 の 変 更	棒と棒の間隔の変更
凡 例 の 位 置 の 変 更	目盛り線の表示
扇 形 の 切 り 出 し	参照線の表示
内 円	フ レ ー ミ ン グ
ソ ー テ ィ ン グ	グ ラ フ の 縮 小・拡 大
項目名のインデクシング	グ ラ フ の 種 類 の 変 更

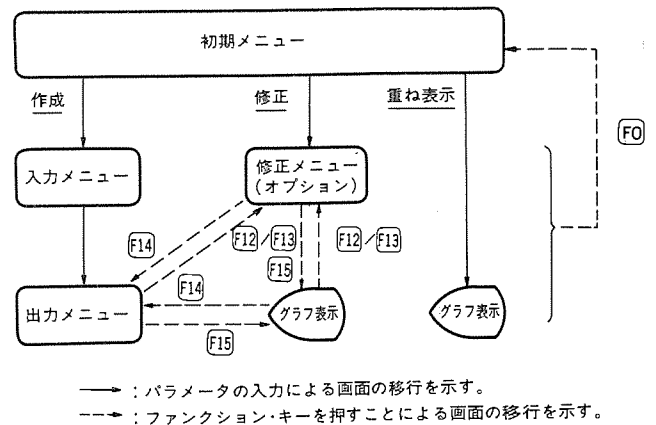


図 8. メニューの構成と処理によるメニューの流れ

行っているときに、いつでもファンクションキー「F15」を押してグラフを表示し見直すことができるので、スムーズに最適なデザインのグラフを決定することができる。

会話形グラフ作成ユーティリティの機能を次にまとめる。

(1) 作成できるグラフの種類

- 縦棒グラフ
- 横棒グラフ
- 折れ線グラフ
- 円グラフ
- 内訳図 (構成比率帯グラフ)
- 積上げ棒グラフ

(2) グラフの作成・修正及び表示機能

グラフの作成及び修正はディスプレイに表示されたガイダンスに従って、グラフ作成用パラメータと実際の数値データを入力することによって行う。ユーティリティは、入力されたパラメータと数値データに基づいて棒の幅、高さ、間隔などの計算や凡例付け、表題のセンタライズなどの作図処理を自動的に行いディスプレイ上にグラフを表示する。このため作図するためのわずらわしさは一切なく、簡単なパラメータを入力するだけで美しいグラフを描くことができる。

(3) 印刷機能

ディスプレイ上に表示されているグラフを印刷指示により、日本語シリアルプリンタ装置上の連続帳票やカット紙 (単票) の任意の位置に印刷することができる。印刷サイズとしては普通サイズと縦横2倍の4倍拡大サイズとを選択でき、複数枚の用紙への連続出力指示も可能である。

(4) グラフ情報のファイル出力機能

グラフの作成及び修正で入力したグラフ形式パラメータ (種類、レイアウト、項目名など) や数値データを、グラフ情報ファイルとしてディスクやフロッピーディスクに出力することができる。グラフ形式パラメータとは別ファイルとして出力することができ、それぞれが独立している。このため、どのグラフ形式ファイルと数値データファイルとを組合せてグラフ表示することも可能である。また、数値データファイルの内容はデータ処理で取り扱えるデータ形式なので、利用者プログラムでこのファイルを作成・更新することができる。グラフ情報ファイルを使用したグラフ作成処理の流れを図 9. に示す。

(5) グラフの重ね表示機能

ファイルとして出力した二つのグラフのグラフ情報ファイルを読み込んで、同一画面上にグラフを重ね表示 (図 10.) 又は分割表示 (図 11.)

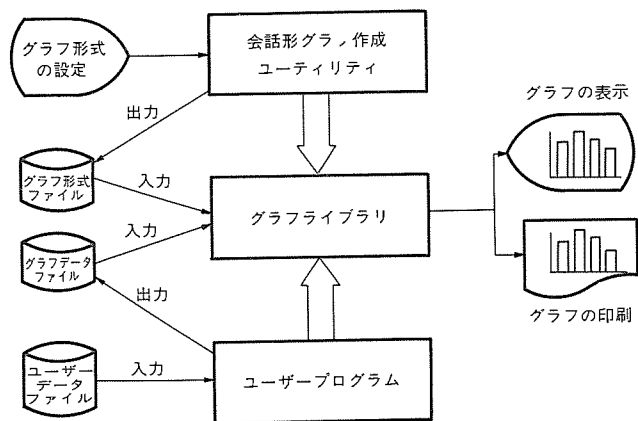


図 9. グラフ 情報 ファイル を使った グラフ 処理 の流れ

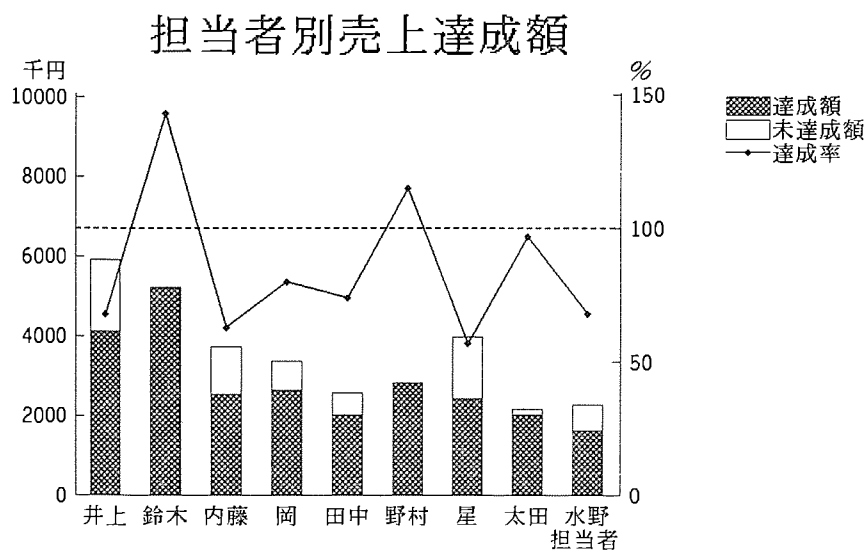


図 10. グラフ の重ね表示

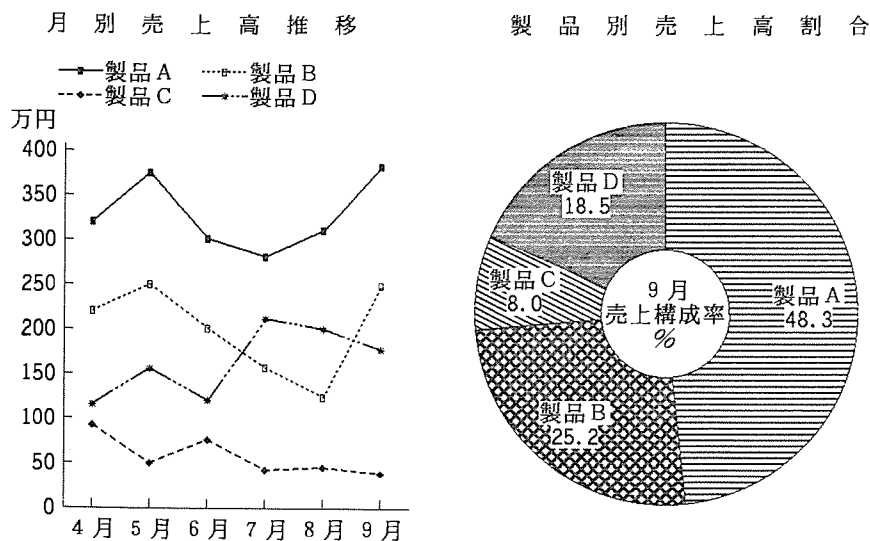


図 11. グラフ の分割表示

することができる。

(6) 漢字表示機能

グラフの表題、凡例名称、軸ラベルなどに漢字を使いたい場合には、

カナ漢字変換入力や漢字コード入力により漢字データを入力することができる。

4.2 グラフライブラリ

グラフライブラリは、COBOL や プログレス II で作成された利用者プログラムから CALL 命令で呼び出すことによって、カラーグラフィック日本語ワークステーション上にビジネスグラフや図形を表示したり、日本語プリンタ装置上に印刷したりするサブルーチンの集りである。グラフライブラリのサブルーチンは、次に示す機能別サブルーチン群に分類される。

(1) 制御機能サブルーチン

グラフライブラリの初期設定/終了、端末(ディスプレイ、プリンタ)へのグラフ及び図形の出力、グラフ情報ファイルへの入出力、エラー処理などを行うサブルーチン。

(2) グラフ作成機能サブルーチン

グラフの種類、タイトル、凡例、シェーディング(塗りつぶし)パターン、線の種類などのグラフの形式やグラフ化する数値データを設定するサブルーチン。

(3) 図形作画機能サブルーチン

カラーグラフィック日本語ワークステーションの図形生成機能(円弧、直線、シェーディング、マーカ、グラフ文字など)や図形要素の属性(色、線種、シェーディングパターン、文字の回転・拡大)を使って図形を描くサブルーチン。

ビジネスグラフを描くプログラムを作成するには、グラフ作成サブルーチンを使用してグラフの形式を設定する方法と、あらかじめ会話形グラフ作成ユーティリティで生成しておいたグラフ情報ファイルを読み込んで設定する方法との2通りの方法がある。特に、グラフ情報ファイルを利用する方法は、グラフ形式を定義する作業とプログラムを作成する作業とを併行してすすめることができるため、効率的なシステム開発を行うことができる。

5. む す び

オフィスオートメーションに対する関心が高まるにつれ、オフィスコンピュータはこれからの事務合理化の中心的な役割を果たすべく期待されている。オフィスのシステム化は現場のだれもがコンピュータを直接活用してこそ、その成果があらわれるものである。コンピュータにいくら機能があっても複雑な使いづらいシステムであっては合理化を推進することはできない。今回報告したビジネスグラフシステムはこの点に十分な考慮をはらい、利用者にとって使いやすいシステムとなるように開発したものである。我々は今後

共、オフィスコンピュータ《MELCOM 80》のハードウェア、ソフトウェアを利用者の“使いやすさ”を追求したシステムとして提供できるよう努力してゆくつもりである。

ソフトウェア品質評価支援システム“SQUARE”

中山 俊英*・佐伯 正夫*

1. ま え が き

1.1 ソフトウェアが抱えている問題点

近年、我が国のハードウェア技術、その生産技術、生産管理技術は急速な進歩を遂げ、特にその品質と生産性の向上は諸外国からも非常に注目されている。

ハードウェア技術の飛躍的改善に比べると、ソフトウェアの品質・生産性の向上は見劣りがしている。例えば、1974年にJ. B. スローターが報告した「ソフトウェアの抱える問題点」⁽¹⁾は、7年の歳月と国境を越えて我が国のソフトウェア産業の課題として、いまだに生き続けている。ソフトウェアの品質・生産性の向上がこのように遅れた理由は多々考えられるが、主たる理由は次の2件であろう。

- (1) ソフトウェアの特性が、ハードウェアとは異なっている。
 - (a) 鉛筆と紙があれば、だれでもソフトウェアを作ることができる。
 - (b) 科学的原理に基づく生産手法や基準が確立されていない。
 - (c) 品質、生産性は、ソフトウェア生産者の能力に大きく左右される。

- (2) ソフトウェア生産管理技術が確立されていない。

- (a) ソフトウェアの生産管理は主としてソフトウェア関係者の手で進められ、より進んだハードウェアの生産管理手法を導入できなかった。
- (b) ソフトウェアの特性に注目しすぎ、ハードウェアとの共通点を見い出せなかった。

こうして、ソフトウェアの生産は旧態依然とした生産方式から脱却できず、ソフトウェア産業は典型的な労働集約的産業となった。また、その生産技術、生産管理技術は未確立な分野として取残されていた。この問題を解決すべく種々のアプローチがソフトウェア工学として進められてきており、次第にその成果を上げつつある。

1.2 当社のアプローチ

当社では、ソフトウェアの特性を生かしつつ、IE的アプローチをソフトウェア生産管理に適用することによってソフトウェアの問題を解決しようと試みてきた。

当社の主なアプローチについて、その概要を次に示す。

- (1) 管理の強化
 - (a) 管理技術の開発とEDP化推進
 - (b) 管理目標の設定と達成度管理
- (2) 生産技術の強化
 - (a) 開発標準の整備と実施徹底
 - (b) レビューの徹底と検査内容の充実
- (3) 生産設備の充実・強化
 - (a) 開発・検査設備の増強・整備
 - (b) 開発・検査ツールの充実・整備
- (4) 要員対策の強化
 - (a) 開発標準の教育充実

- (b) 動機付け（小集団活動の利用など）

これらのアプローチを展開するにあたっては、次に示すように品質管理活動をその主体として位置付け、ブレークダウンしてきた。

- (1) ソフトウェアの問題は品質と生産性に帰着するが、品質の悪さが生産性の低下を招くケースが多く、品質管理を徹底すれば品質、生産性両面の問題解決になると期待できる。
- (2) 「評価尺度の設定は技術を進歩させる」という原理に従い、品質データの評価を徹底して品質問題の解決を図る。
- (3) したがって、品質データと評価尺度を設定し、その評価をベースとした品質管理活動を実施することによって、品質及び生産性の向上を実現する。

我々ソフトウェア品質管理部門は、品質データの中でも評価のベースとなるものとして、ソフトウェア製品出荷後のフィールドデータをとりあげた。すなわち、フィールドでの故障に関する種々のデータを収集・蓄積・評価し、それらのデータから得た情報、学びとった教訓・反省を各作業段階へタイムリーにフィードバックしていくことを品質向上（特に信頼性向上）の重要施策とした⁽²⁾。

1.3 “SQUARE”

先般、ソフトウェア生産管理オンラインシステムの一要素として開発完了したソフトウェア品質評価支援システム“SQUARE” (Software Quality & Reliability Evaluator) は、フィールド故障データを種々の角度から柔軟に集計・分析・レポートする機能などによってフィールド故障データベースに基づく品質向上施策を強力に支援するとともに、管理作業の省力化、管理密度の向上を実現した。ソフトウェア品質管理サイクルの中核に位置する部門が“SQUARE”を使用して一元化されたデータベースを活用することにより、適切な評価、タイムリーなフィードバックが自在にできる。このように、品質管理部門が、その立場を生かして各種品質管理活動の遂行にあたってフィールド故障データベースを活用することによって、ソフトウェア製品の品質向上が推進されている。

この論文では、まずフィールド故障データベースに基づく品質向上施策を紹介し、次いで“SQUARE”を紹介する。

なお、この論文で使用する用語を次のように規定する。

- (1) 故 障 : ソフトウェア製品に潜在している不良が表面化し、規定の機能を失うこと。
- (2) クレーム : フィールドにおけるユーザーからの苦情。

2. フィールド故障データベースに基づく品質向上施策

“SQUARE”を紹介する前に、フィールド故障データとしてどのようなデータを収集し、それらをどのように活用して品質向上を推進しているかを示す。

2.1 フィールド故障データベースの内容

フィールド故障データベースには、フィールドでの故障に関する種々のデータ（クレームデータ、故障データなど）を一元的に収集し蓄積している。次にそのクレームデータと故障データについてその主なものを示す。

(1) クレームデータ

- | | |
|---------------|--------------|
| (a) 受付日、処置完了日 | (b) 処置担当区分 |
| (c) プログラム区分 | (d) クレーム照会区分 |
| (e) 処置優先度 | (f) クレーム現象区分 |
| (g) 顧客番号 | (h) 処置区分 |

例えば、処置区分には主に次のような項目を設定している。

- ・純粋な質問に対する回答
- ・修正情報発行
- ・次版にて対処
- ・説明書の不良
- ・ユーザーの誤解・誤操作
- ・ハードウェアの不良

(2) 故障データ

- | | |
|----------------------|---------------|
| (a) 製品番号・版名 | (b) ユーザーへの影響度 |
| (c) 故障の検出段階 | (d) 修正人工・修正量 |
| (e) 故障の原因が作り込まれた作業段階 | |
| (f) 検査で発見できなかった理由 | |

例えば、検査で発見できなかった理由には、主に次のような項目を設定している。

- ・検査項目が設定されなかった。
- ・検査仕様が誤っていた。
- ・検査プログラムの誤りであった。
- ・検査データの不良であった。
- ・検査項目は設定されたが実施しなかった。
- ・検査環境が設定できなかった。

2.2 品質向上施策の紹介

ソフトウェア品質管理部門は、ソフトウェア製品の品質管理サイクルの中核に位置しており、その活動は開発計画段階から保守段階までを含んだすべての作業段階にわたっている。この立場を生かし、各作業段階における各種品質管理活動を通じてフィールド故障データベースを活用してきた。フィールド故障データを他の品質データや各種生産管理データとも突き合わせて多角的に分析・評価した結果を、関連部門へタイムリーにフィードバックすることによって品質向上を推進している。

以下に、フィールド故障データベースに基づく主な品質向上施策を示す。

2.2.1 クレーム処置の監視、信頼性監視

定期的に次のような作業を実施し、関連部門に対して対策検討又は処置を指示している。問題検出時には必要に応じて詳細分析（要因分析など）を実施する。

- (1) 顧客単位にクレーム件数、処置区分などを調べて、対策・処置を要する顧客を洗い出す。
- (2) 製品単位にクレーム件数、処置区分、故障件数などを調べて、対策・処置を要する製品を洗い出す。
- (3) 処置優先度、処置区分などの内訳を含めてクレーム件数の時系列変化を調べて、クレーム発生状況とクレーム処置状況とを評価する。
- (4) 処置優先度ごとに目標設定したクレーム処置日数の実績を評価し、クレーム処置日数の短縮を促進する。
- (5) クレーム件数と故障件数との時系列変化から信頼性を監視する。また、故障件数、修正情報発行件数の累積値をそれぞれ生産ステップ数、製品ステップ数でノーマライズしたものも信頼性評価尺度の一つとして使用する。

2.2.2 品質目標に対する実績監視

ソフトウェア製品全体の品質について長期目標（5年）と短期目標（1年）とを設定している。また、個々の製品についても、その開発計画時に品質目標を設定している。個別製品の品質目標の一例として

信頼性目標については、生産ステップ数でノーマライズした故障件数（限界値）を設定している。

これらの品質目標に対する実績を毎月監視し、関連部門に対して実績報告を行うとともに、限界値への近接又は超過などの問題があれば、必要に応じて詳細分析も実施して、対策検討又は処置を指示している。

2.2.3 品質評価、詳細分析

評価タイミング、評価対象単位、評価項目及びフィードバック方法についてその概略を示す。

(1) 評価タイミング

- (a) 品質目標における限界値への近接などの問題検出時点
- (b) 品質目標の標準評価期間の終りに達した時点
- (c) 期末、半期末など

(2) 評価対象単位

全製品総合、機種単位、担当グループ単位、属性に応じて群分けした製品群単位、製品単位など。

(3) 評価項目

(a) 絶対信頼性評価

故障件数の時系列変化、ノーマライズした故障累積件数、目標との比較など。

(b) 相対信頼性評価

過年度との比較、母体製品や同種製品との比較など。

(c) 詳細分析（信頼性要因分析など）

故障データの統計から、不良の作り込まれた作業段階、検査で発見できなかった理由などを分析する。また、他の品質データや各種生産管理データとも突き合わせて、例えば次のような多角的要因分析を行う。

- ・各種仕様書評価データとの相関
- ・テスト密度（テスト項目数をステップ数でノーマライズしたもの）との相関、又はテストカバレッジ（命令、分岐条件などの通過率）との相関
- ・不良検出率（各作業段階で検出した不良件数をノーマライズしたもの）との相関
- ・プロジェクト要員数、スキル（経験年数）との相関
- ・生産性との相関
- ・記述言語との相関
- ・プログラムの種類との相関

(4) 評価・分析結果のフィードバック

開発グループ別、プログラム種別、製品別、全製品総合などの評価対象単位に対応して、評価・分析結果、重点課題、改善対策などをまとめ、関連部門へ報告している。また、各作業段階に対応した活動を通じて設計・検査方法などの改善を図るとともに、審査規準や各種管理方式の改良に生かしている。更に、品質目標更新審査にも役立てている（実績に応じて、その20%から30%の向上を目安としている）。

3. 品質評価支援システム“SQUARE”

フィールド故障データに基づく品質向上施策をより効果的なものとするためには、主に次に示す要件を満たす支援システムを開発する必要があった。

- (1) 管理データの増大と多様化に伴う管理工数の増大を低減するとともに、管理密度を向上させる必要がある。

(2) 管理データを一元管理するとともに、正確な情報をタイムリーにフィードバックする必要がある。

(3) より可視的でわかりやすいレポートを提供する必要がある。

(4) 品質評価及び各種要因分析を行うにあたっては、個々のソフトウェア製品の属性やその製品を産み出したプロジェクトに関する各種生産管理データも含めて、データの持つ意味、有効範囲などを吟味し多角的な分析を行うことが大切である。したがって、支援システムは柔軟な集計・分析機能を提供するとともに、各種データ間の相関を分析することも支援すべきである。

我々は、上記のような要件を満たす品質評価支援システムとして“SQUARE”を開発した。“SQUARE”は、フィールド故障データベースを核とする情報検索システムでもある。“SQUARE”の機能を、図1.に概念的に示す。また、その出力例を図2.、図3.、図4.に示す。

次に、“SQUARE”の主な機能とその特長について述べる。

(1) 柔軟かつ多角的な集計・分析機能

各種品質データを任意の集計期間で集計できるとともに、累計値や時系列変化を求めることができる。また、集計対象単位については、最小集計単位ごとの集計データを任意の階層構造に従ってグループ化し集計する機能を持っている（利用者は、この階層的集計構造を定義することができる）。このことを利用して、プログラム種別、記述言語別などの任意の属性に応じて層別した分析を行うことができる。また、各種関連データとの相関を散布図として出力することも可能である。

これらの機能を駆使することによって、フィールド故障データに基づく品質向上施策を遂行する上で必要となる集計・分析作業のほとんどを容易に実施することができる。

(2) 日本語レポート、グラフ出力機能
日本語レポート、各種グラフを提供することによって、情報の可視化、見やすさの向上を図っている。例えば、各種データの時系列変化を表す折れ線グラフ、不良作込み段階、検査で発見できなかった理由などを表す円グラフを得ることができる。また、出力したい情報だけを表示するための各種選択編集機能

も用意しており、目的に応じて適切なレポートを得ることができる。

(3) 各種監視支援機能

保守監視、信頼性監視及び品質目標実績監視を行うために、パラメー

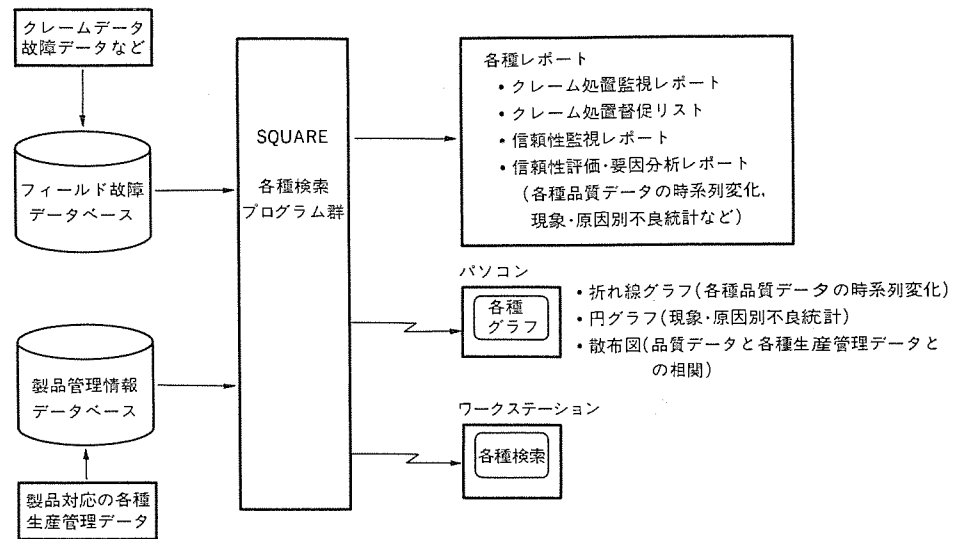


図 1. SQUARE の概念

集計項目名	故障件数		SIDR件数		故障発生率	SIDR発行率	信頼性目標値	生産規模	製品規模	登録日
	期間内	累計	期間内	累計						
M700系機種合計										
第一課分合計										
プログラム-1 合計										
プログラム-1 A00版										
プログラム-2 B00版										
プログラム-2 合計										
プログラム-2 A00版										
コンパイラ部										
ライブラリ部										
プログラム-2 B00版										
...										
第二課分合計										
プログラム-100合計										
...										

図 2. 信頼性監視 レポート の例

コンパイラ-A B00版		期間内	累計	'81 4月	5月	6月	7月	8月	9月
故障件数									
SIDR件数	A								
	B								
	C								
	D 合計								
不良作込み段階	1A 外部設計(機能仕様の抜け又は解釈誤り)	(%)	(%)						
	1B 外部設計(機能仕様の誤り)	(%)	(%)						
	1C 外部設計(インタフェースの誤り)	(%)	(%)						
	...								
	...								
検査で発見できなかった理由	A 検査項目もれ	(%)	(%)						
	B 検査仕様の誤り	(%)	(%)						
	C 検査プログラム、データ不良	(%)	(%)						
	D 検査実施もれ	(%)	(%)						
	...								
処置	A 改修完了								
	B 次版以降で改修								
...	...								
	...								

図 3. 信頼性評価・要因分析 レポート の例

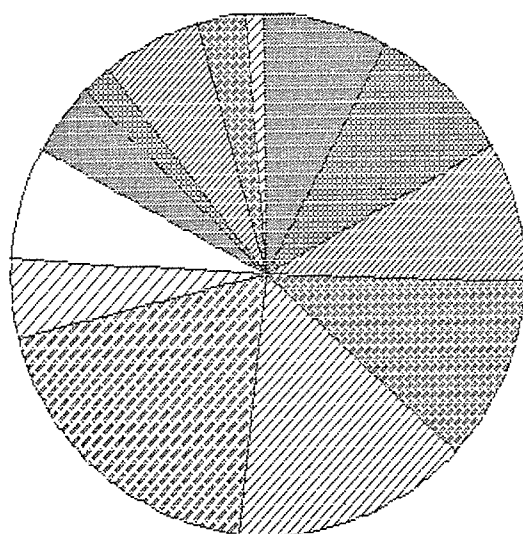


図 4. 現象・原因別不良統計の例

外仕抜け	7.809%	36
外仕誤り	9.1099%	42
外仕IF	8.6759%	40
内仕抜け	11.496%	53
内仕誤り	14.75%	68
内仕IF	19.305%	89
製造抜け	4.989%	23
製造誤り	6.941%	32
製造他	4.555%	21
改修誤り	1.952%	9
文書不良	6.29%	29
その他	3.036%	14
記入なし	1.084%	5

る。制御プログラム、言語プロセッサなどの基本ソフトウェア全般（約5,000 K ステップ）を対象にした例を用いて、その成果の一端を次に披露する（昭和55年度上期の値を1として指数で示す）。

(1) クレーム件数が減少した。

55年度上期=1.00

55年度下期=0.30

56年度上期=0.26

56年度下期=0.25

(2) 故障件数が減少した。

55年度上期=1.00

55年度下期=0.47

56年度上期=0.40

56年度下期=0.27

このシステムを発展させ、より実りある成果を得るために、今後とも次のことを主要課題として抱え、

改善努力を積み重ねていきたい。

(1) 各作業段階で収集した品質データ及び各種生産管理データとフィールド故障データとの相関分析に基づいた信頼性要因分析を積み上げていき、より特性の強い要因を探し出す。これに基づいて、各作業段階での審査規準を改良する。

(2) 製品のライフサイクル全体を通じて一貫性のある品質評価基準を確立するとともに、その方式を支援する総合的な生産管理システムへの統合化を推進する。

参考文献

- (1) J. B. Slaughter : Understanding the Software Problem, NCC p. 333~336(1974)
- (2) 桜井俊一：ソフトウェア・フィールド故障データバンクの活用，日科技連第12回信頼性・保全性シンポジウム発表報文集，p. 471~476

4. む す び

以上、フィールド故障データベースに基づくソフトウェア製品品質向上施策と、その支援システム“SQUARE”を紹介した。

我々は“SQUARE”を駆使することによって、品質管理密度の向上、より可視的な情報をタイムリーにフィードバックするというねらいを実現することができ、ソフトウェア製品の品質向上を加速させつつあ

高出力GaAs FETのパルス動作特性

大橋 光雄*・酒寄 隆雄*・鈴木 武*・西岡 保彦**・斎藤 日出夫**

1. ま え が き

CW (連続波) 動作高出力増幅器のひ(砒)化ガリウム電界効果トランジスタ (GaAs FET) による固体化が、マイクロ波通信装置において盛んに進められている。一方、レーダ応用などで重要なパルス動作高出力増幅器に関しては、消費電力及びチャネル温度の減少による効率や信頼性の向上が期待されるにもかかわらず、FET化の検討は近年まであまり意欲的に行われていなかった。これは従来、①FETの出力は降伏電圧と飽和電流の積で決定されるため、パルス動作とCW動作とでRF (高周波) 特性に大きな差は認められない、②パルスのオン・オフ時に位相の乱れを生じやすいと考えられていたためである。これに加え初期の試験結果で、パルス動作によるRF特性の性能向上が認められなかったことが起因している⁽¹⁾⁽²⁾。

1980年代になって、ドレイン電圧及び素子温度上昇とパルス特性の関連、そしてパルスドライブ方式に関する検討が行われた⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。これら一連の検討結果からドレイン電圧を高くすることができ、この結果出力電力が著しく大きくなることがわかった。例えば8GHzにおいてドレイン電圧9VのときCW出力2.3Wに対しドレインパルスドライブ方式 (パルス幅1.5μs, デューティ0.5%) ではドレイン電圧9Vでパルス出力3.5W, 14Vで5.9Wが得られており、CW動作に比べ大幅に改善された。

パルス動作時に高ドレイン電圧動作が可能なのは、降伏電圧のメカニズムの一つである熱不安定性による影響が小さいからと推定されている⁽⁶⁾。またGaAsの電子移動度は素子の温度と密接に関連し、FETの特性に大きな影響を与える。例えば温度変動25~99°Cの範囲で電子移動度はおよそ20%変動する。これに伴い1dBのRF出力変動が測定されている。すなわち、パルス動作時のチャネル温度上昇はCW動作時に比べ小さいため、特性が改善される。

パルスドライブ方式に関しては、ゲートパルスドライブ方式よりもドレインパルスドライブ方式の方が大きなRFピーク出力が得られている⁽⁴⁾。効率に関しては、三菱MGF-2124 (CW出力1W, 効率20%, @12GHz) を用いて、ゲートドライブ方式でB級動作させた場合、8GHzで付加電力効率45~48%が得られている⁽⁷⁾。

以上のような一連の研究成果により、GaAs FETのパルス動作応用が注目を浴びはじめている。当然、レーダ装置などへの応用の早期実現が期待されている。しかしながらこの要請にこたえるには、現在のところ、FETのパルス動作特性に関する報告は少なく、パルスドライブ方式による違い、パルス条件とパルス特性との関係、素子構造パラメータとパルス特性との関係など各種データの蓄積が必要である。

以上の観点から、ここではパルスドライブ方式の相異点、そして三菱高出力GaAs FETを用いたFET構造の違い及びパルスドライブ方式の違いによるパルス動作特性の評価結果について述べる。

2. パルスドライブ方式

FETのパルスドライブ方式は、ゲートをパルス駆動する方式とドレインを

パルス駆動する方式 (前者をゲートドライブ、後者をドレインドライブという) の二つに大別される。

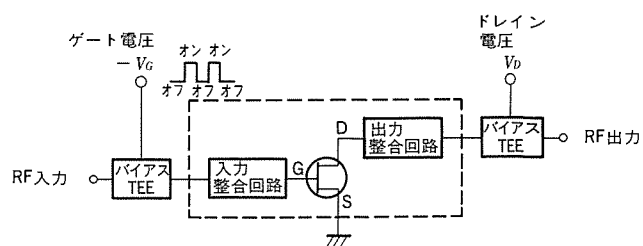
2.1 ゲートドライブ

ゲートドライブ方式は図1.(a)に示したように一定のドレイン電圧を加えておき、ゲートに素子がオフ (ドレイン電流が流れない) となる電圧と、オン (ドレイン電流が流れる) となる電圧からなるパルス電圧を印加して動作させる方式である。素子オン時にRF出力が得られる。

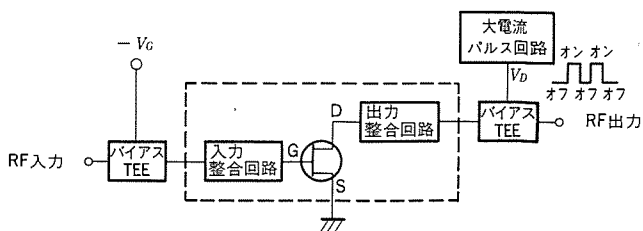
この方式では、パルスオン・オフを小信号スイッチ素子で行うことができ、スイッチング速度が早い、またパルス電源容量がドレインドライブ方式に比べ小さくできるという利点がある。装置の小形軽量化、省電力化が要求されるレーダ応用ではこの方式が有利と考えられる。他方、CW信号を入力した場合、素子がオフ状態でも信号が出力にもれるという欠点がある。これは高出力FETではピンチオフ電圧以下のゲート電圧を加えても、わずかではあるがドレイン電流が流れるからである。このもれ電流は素子温度上昇の要因ともなり出力の伸びを妨げる。この欠点は素子自体によるもので、素子の改良により解決可能である。

2.2 ドレインドライブ

ドレインドライブは図1.(b)に示したように、ゲートに所定のゲート電圧を加えておき、ドレイン電圧をパルスで加える方式である。この方式は素子オフ (ドレイン電圧パルス0V) の時、ドレイン電流を遮断でき、もれ電流による素子温度上昇はさけられる。現状ではゲートドライブよりも出力、利得共に大きな改善効果が期待できる。しかしながら、素子オン時にドレイン電流を流すために、VMOS FETなどによる大電流パルス回路を必要とする。このため、パルスの立上り、立下り時間もゲートドライブに比べ大きくなる。ゲートドライブ方式と比較する場合には、このパルス回路の効率も含めて総合的に評価する必要がある。



(a) ゲートパルスドライブ



(b) ドレインパルスドライブ

図1. パルスドライブ方式

ある。

3. パルス動作特性

3.1 評価用高出力 GaAs FET

測定に使用した高出力 FET は、6 GHz 帯で 5 W 出力を有する内部整合形素子である。アップサイドアップ形とアップサイドダウン形のチップマウント構造からなる 2 種の素子を用いた。図 2. (a), (b) にこれらの素子の構成断面図を示した。アップサイドアップ形高出力 FET は単位ゲート幅 250 μm 、全ゲート幅 16.0 mm で各ソース電極を Au めっきで架橋したプレーテッドソースブリッジ構造 (PSB 構造と称する) 素子である。アップサイドダウン形 (フリップチップ構造) 高出力 FET は 2 チップで構成している。1 チップの単位ゲート幅は 200 μm 、全ゲート幅は 7.2 mm である。各ソース電極は Au リボンで電氣的に接続し、パッケージヒートシンク面に直接取付けている⁽⁸⁾。

二つの素子構造の主な特長を列記すると次のようになる。

(1) アップサイドアップ構造

- (a) 各ソース電極間にワイヤを用いていないのでソースインダクタンスが小さくなり高周波特性の改善が期待できる。
- (b) ウェーハ及びアセンブリプロセスが容易になる。

(2) アップサイドダウン構造

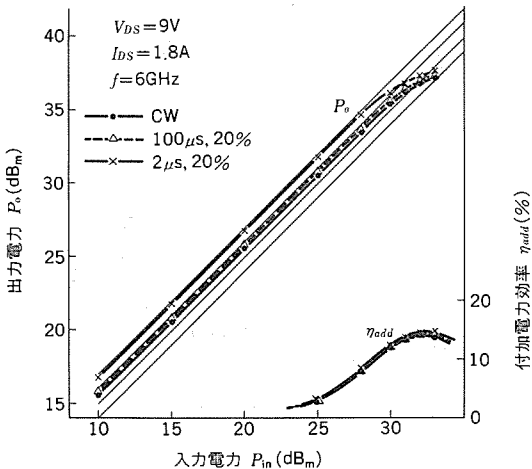
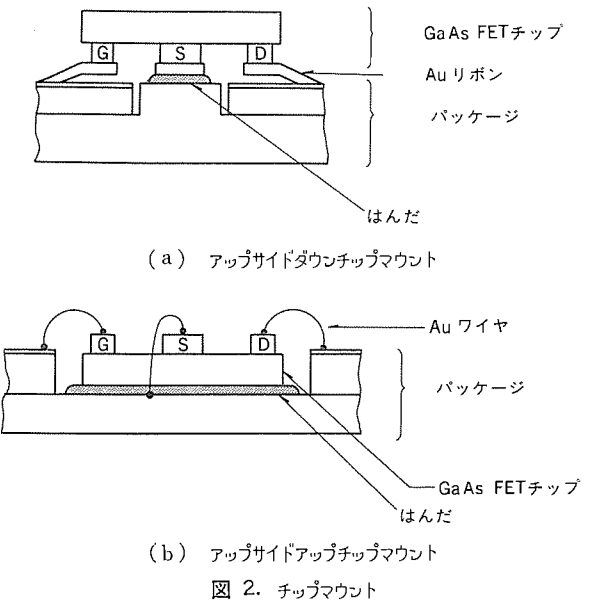


図 3. アップサイドアップ形素子のドレインパルスドライブ P_{in} - P_o , η_{add} 特性

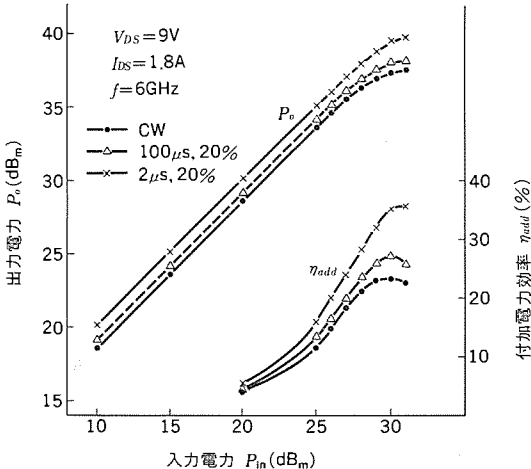


図 4. アップサイドダウン形素子のドレインパルスドライブ P_{in} - P_o , η_{add} 特性

表 1. CW 特性とドレインパルスドライブ特性比較

素子構造	アップサイドダウン形素子 5 W クラス		アップサイドアップ形素子 5 W クラス	
	パルス	CW	パルス	CW
バイアス条件	$V_{DS}=9V$ $I_{DS}=1.8A$ $f=6GHz$ パルス幅=2 μs (20%デューティ)	$V_{DS}=9V$ $I_{DS}=1.8A$ $f=6GHz$	$V_{DS}=9V$ $I_{DS}=1.8A$ $f=6GHz$ パルス幅=2 μs (20%デューティ)	$V_{DS}=9V$ $I_{DS}=1.8A$ $f=6GHz$
利得 (dB)	10.2	8.6	6.8	5.6
出力 (W) P_{1dB}	8.9	5.5	4.8	4.6
効率 (%)	35	23	14.5	14

(a) 各ソース電極をワイヤを用いず直接パッケージヒートシンクに取付けているので、ソースインダクタンスが極めて小さくなり、高周波特性の大幅な改善が期待できる。

(b) 熱抵抗が低い

などである。

3.2 FET 構造とパルス特性

アップサイドアップ形 FET とアップサイドダウン形 FET に関し、周波数 6 GHz におけるドレインドライブによるパルス動作特性を評価し、CW 特性と比較した。用いたパルスはパルス幅 2 μs と 100 μs でデューティはともに 20 % に設定した。

図 3. にアップサイドアップ形、図 4. にアップサイドダウン形素子のパルス特性を CW 特性とともにそれぞれ示した。バイアス条件はドレイン電圧 V_{DS} 9 V、ドレイン電流 I_{DS} 1.8 A に設定した。100 μs パルス特性は直線電力利得 5.8 dB、1 dB 利得抑圧出力電力 P_{1dB} 4.6 W であり、CW 特性の G_L 5.6 dB、 P_{1dB} 4.6 W と比べ、わずかの利得向上があっただけである。パルス幅が 2 μs と短くなると、 G_L 6.8 dB、 P_{1dB} 4.8 W となり、それぞれ 1.2 dB、0.2 W 向上した。しかしながら飽和出力 P_o は 2 μs 、100 μs 、CW とともに 5.7 W 前後であり差はほとんど現れない。効率に関しては、パルス動作、CW 動作で差は認められず、最大付加電力効率は 15 % である。

他方アップサイドダウン形の場合には、図 4. に示すようにパルス特性と CW 特性で顕著な差が現れる。パルス幅 100 μs では CW 特性に比べ G_L 、 P_{1dB} とともに 0.6 dB、1.6 dB (2.4 W) 向上する。2 μs になると G_L で 1.6 dB、 P_{1dB} で 2.1 dB (3.4 W) 向上した。更に、CW の場合飽和出力が約 5.7 W であるのに対し、パルス幅 2 μs の場合には 9.6 W と伸びている。また、効率もパルス動作と CW 動作とで大きな差が認められ、最大付加電力効率はパルス幅 2 μs で 36 %、CW で 23 % である。

表 1. に 2 μs パルス動作と CW 動作時の各構造 FET の RF 特性

をまとめた。素子マウント構造によるパルス特性の差の主な理由としては、

(1) 熱抵抗の違いによる素子温度上昇の違い。

(2) 熱時定数(熱抵抗と熱容量との積)の違い。

などが考えられる。

今回評価に使用したアップサイドアップ形高出力FETとアップサイドダウン形高出力FETの熱抵抗は、後者の方が約 $2^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 高い。通常

パルス動作時の過渡熱抵抗は定常時の約 $1/3$ 程度が見込まれることから、パルス動作時に 10°C 以上の温度上昇差が推定される。また、チャンネルの発生熱はアップサイドアップ形の場合FETのソース電極から直接ヒートシンクに放熱され、アップサイドダウン形の場合にはFETチップの表面からGaAs基板を通してヒートシンクに放熱される。したがって、アップサイドダウン形の場合には熱時定数が短く、パルスオフ間のチャンネル温度低下の割合がアップサイドアップ形よりも大きい。このため、出力電力に差が現れると考えられる。

図5. にアップサイドアップ形高出力FETをドレインドライブ(パルス幅 $2\mu\text{s}$, デューティ 20%)した場合の P_{1dB} , G_L のドレイン電圧依存性をCWの場合と比較して示した。図からパルス動作させた場合、 G_L はドレイン電圧によらず約 1dB の性能向上があった。また P_{1dB} はドレイン電圧 $5\sim 9\text{V}$ まではCWとほとんど差がないのに対し、 $11\sim 13\text{V}$ では著しい差が現れる。パルス動作ではドレイン電圧が高くなるに従い出力は増加傾向にある。他方CWの場合、出力が低下し始め素子温度の影響が大きく現れていることを示している。これらの傾向はFET構造には依存していない。またこの結果はWadeらの報告と類似している⁽⁴⁾。

3.3 パルスドライブ方式の違いによるパルス特性

図6. にアップサイドアップ構造を用いたゲートドライブによるパルス特性をCWと比較して示した。条件は3.2節で示したドレインドライブと比較できるように、周波数 6GHz , パルス幅 $2\mu\text{s}$, デューティ 20% のパルスを用い、ドレイン電圧 9V , ドレイン電流 1.8A とした。図6. から、パルス動作で G_L 6.0dB , P_{1dB} 4.8W とCWの G_L , P_{1dB} よりそれぞれ 0.4dB , 0.2W 大きくなった程度である。図3. に示したドレインドライブの場合に比べ、改善効果は小さい。これは素子オフ時の流れによる素子温度上昇によるものと考えられる。今回の測定で、入力にCW信号を加えた場合、素子オフ時に $15\sim 20\text{dB}$ 減衰された信号が出力されている。

もれ電流の問題はゲートドライブを採用する場合、解決すべき重要な問題点の一つであり、素子材料及び構造の検討が必要である。

4. む す び

6GHz 帯 5W 高出力GaAs FETを用いて、素子構造の違い及びパルスドライブ方式の差によるパルス特性を調べるとともに、CW特性と比較検討した。結果として、CW動作と比べドレインドライブ方式(パ

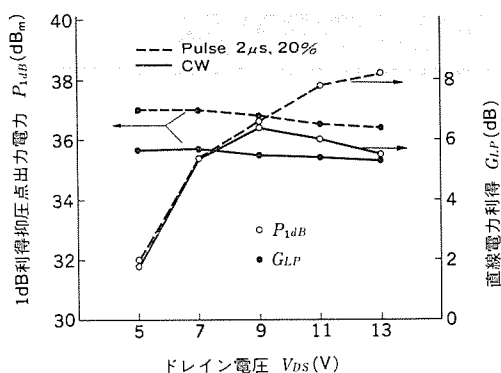


図5. アップサイドアップ形素子のドレインパルスドライブドレイン電圧特性

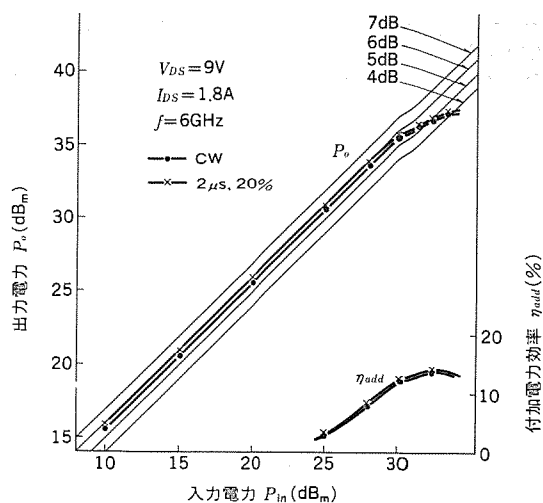


図6. アップサイドアップ形素子のゲートパルスドライブ方式 $P_{in}-P_o$, η_{add} 特性

ルス幅 $2\mu\text{s}$, デューティ 20%)で利得 1.6dB , 出力 3.4W , 付加電力効率 13% の向上が認められた。

今回の結果ではアップサイドダウン構造の方がアップサイドアップ構造より大きな改善効果が得られた。ドレインドライブ方式とゲートドライブ方式では、ドレインドライブの方が改善度が大きかった。これらの検討結果から、ドレインドライブ方式において高ドレイン電圧を動作させた場合、CW動作よりも出力電力、効率が著しく向上すること、更に素子構造の違いによりパルス特性改善度が異なり、素子熱時定数の小さいものほど改善効果が著しいことがわかった。このように高出力GaAs FETをパルス動作させると利得、出力、効率の点で著しく改善されるので、今後レーダ装置など高出力パルス応用装置の分野で団体化促進に重要な役割を果たすことは確実である。

参 考 文 献

- (1) Casima : Phase Characteristics of I-Band Pulse Gate FET Power Amplifiers, IEEE MTT-S p. 147~149 (1978)
- (2) Wissemann : X-Band Power Field Effect Transistor, AFAL-TR-78-148 p. 145~155 (1978)
- (3) Wade : Pulsed GaAs FET Operation for high Peak Output Powers, Electronics Letters, Sept. 13 (1979)
- (4) Wade : A 10 Watts X-Band Pulsed GaAs FET, IEEE IS SCC p. 158~159 (1980)
- (5) Temple : Pulsed Fets Yield X-Band Power, MSN p. 39~43 (1980)
- (6) Sze : Physics of Semiconductor devices, Wiley p. 109~110 (1969)
- (7) Cohn : Class B Operation of Microwave FETs for Array Module Applications, IEEE MTT-S Digest p. 169~171 (1982)
- (8) 小引ほか : 10GHz 帯内部整合形高出力GaAs FET, 三菱電機技報, 56, No. 4 (昭57)

MASS付カーラジオRX-240SY形

池田 洋介*・井上 弼文*・金森 一 憲*

1. ま え が き

最近のカーオーディオにおいては高性能、高機能化の傾向があり、マイクロコンピュータ（以下、マイコンと称す）の導入によりカーラジオの電子同調化、カーステレオのソフト操作化が一般的に普及しつつある。一方、自動車は安定成長期に入り競争が激化し商品性向上のため基本走行性能競争のほかに快適性、安定性を追求するようになり、その手段としてエレクトロニクス化が急速に進行しつつある。また、自動車のユーザーにおいては自分の個性を主張し、他人との差別化を求める傾向が強い。このような状況の中で自動車メーカーのライン装着においてもカーオーディオへの高性能、高機能化要求が強くなっている。

当社は業界に先がけて車載用電子同調式カーラジオを開発し、三菱自動車工業(株)デボネア車に搭載されたが、その後、電子同調式カーラジオの改良を進めてきた結果、車載用受信機としては非常に便利な放送内容自動選局MASS(Microcomputer Automatic Station Selector)、及びオートメモリ機能をもったカーラジオRX-240形を開発し、三菱自動車工業(株)ギャランシグマ83年モデルに搭載された。本稿ではこのMASS及びオートメモリの機能を中心に製品の概要を紹介する。

2. MASSシステム及びオートメモリの開発の背景

マイコン制御による最近の電子同調カーラジオでは、走行中に受信局のサービスエリアを外れてきたときの再選局操作の面倒さを改善するために、各種の方策が試みられて製品化されている。例えば、①受信中の電波が弱くなると自動的に他の強い局へ移動するカーラジオ、②受信帯域の受信可能局を数秒間のスポットでスキャンさせ、好みの番組を選択出来るようにしたカーラジオ、③あらかじめ周波数をメモリしておき強い局へ自動的に移動するカーラジオ、などが市場に出回っている。しかし、①の場合には放送内容に関係なく電波の強弱によってのみ切替わる欠点、②の場合には受信中の電波が弱くなると、その都度スキャンボタンの操作及び番組の選択操作を必要とする欠点、③の場合にはあらかじめ車の走行予定圏内の受信可能局の周波数を調べ、メモリのインプット作業をしなければならない煩雑さが問題となっている。

これらの不満な点を解決するために、当社では受信中に他局の電界レベル及び放送内容を常にチェックし、かつ受信中の局と比較することにより、自動的に受信状態のよい同一放送の他局へ切替えていくMASSシステムを開発し、試作評価の結果、実用性が高いことを確認したので、製品化の運びとなった。また、従来の電子同調カーラジオでは選局操作するのにMANUAL UP/DOWNとかSEEK UP/DOWNのボタンによって受信可能局をとらえて受信したり、あるいはメモリーネーグルボタンを押して数個連ねたプリセットチャンネルボタンにあらかじめ個々にメモリしておき、希望する放送局のチャンネルボタンを押して受信する方式をとっている。これは旧来からの機械式チューナーと基本的に同じで、ただ電子化しソフトタッチしただけに過ぎないといえる。このようにまだマイコンの真価が十分発揮しえない点

に着眼し、MASSシステムとともにオートメモリ機能の開発を行い製品の導入を実施した。

3. MASSシステムの概要

3.1 機能

我が国における電波事情はNHKのFM[®]放送、AMの第1、第2放送及び一部の民間放送が同一ネットワークで放送している。このように同一のプログラム内容で放送している局が、互いに一部に共通のサービスエリアを持っているような地域を車で走行するとき、このMASSシステムによって同じ番組を中断なく、かつ常に最良な受信状態で聴き続けることが可能となった。言い換えれば従来のカーラジオでは、1回の操作で1局分のサービスエリアしか選局出来なかったものが、数局のサービスエリアをまとめて選局出来るようになったといえる。

同一内容のサービスエリアがクロスしないで互いに孤立して存在する場合には、受信中の局が全く受信不可能になった後に次のサービスエリアに入るため、放送内容の同時比較が出来なくなり内容判別不能状態に陥ることになる。この問題を解消するために、FMの場合、受信中の局が受信不可能になると自動的に内容判別を中断し、電界レベル判定のみで他局を探し出し切替える方式をとった。これらの様子を図1.に示す。

3.2 構成

ある局を受信中に他局情報をキャッチするには、2台のチューナーを使

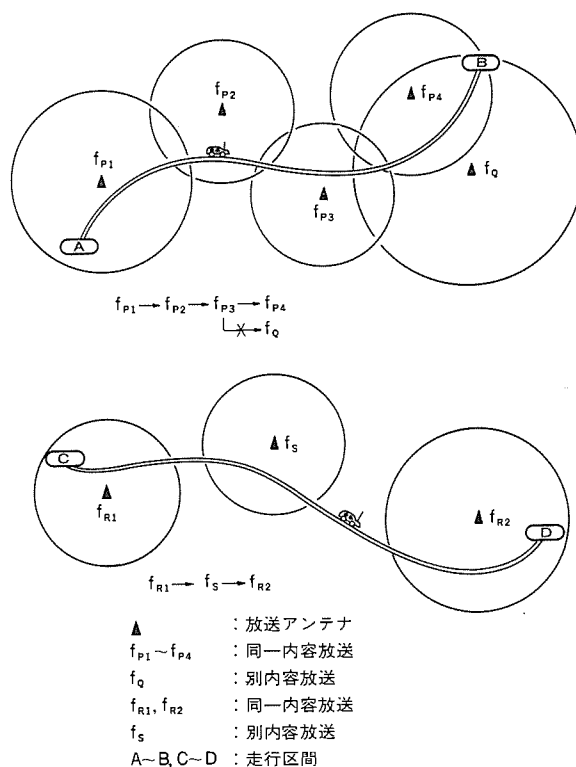


図1. 走行区間と放送局配置例 (FM局)

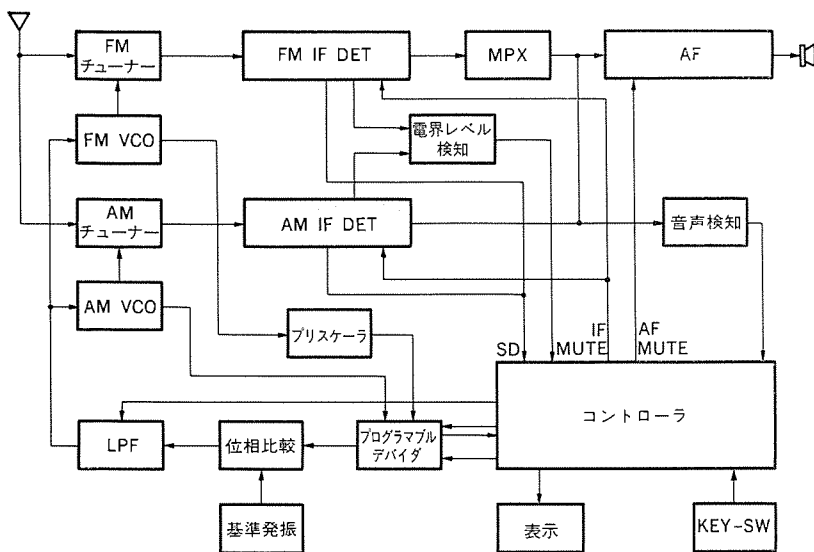


図 2. ブロックダイアグラム (ラジオ部)

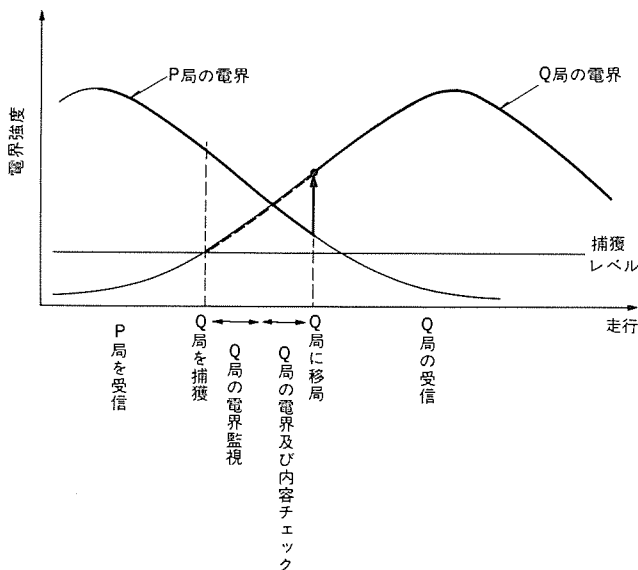


図 3. MASS システム 移局模式図

って一方を受信専用，他方を他局のモニター専用とするのが最も簡単で実現しやすい。しかしこの方法はチューナー 2 台分のスペースを必要とするのと当然コストも割高となり不利である。そこで当社では図 2. の MASS システムのブロック図に示すように，AM，FM 共各 1 台のチューナー部を有する PLL シンセサイザ方式で通常と変わらない受信機構成とした。したがってこのシステムでは，1 台のチューナーで 2 台分の機能をもたせるため時分割処理により短時間に他局の情報をキャッチする方法をとっている。更にこのシステムの重要な役割を果たすのは，ミュート回路と電界レベル検知回路，そして音声検知回路である。一方，ミュートパルスの発生，電界レベル検知及び音声検知結果の取込み処理をする機能，PLL シンセサイザの分周比制御，表示処理，KEY 入力の処理などはマイコンに受けもたせている。

3.3 動作

3.3.1 動作原理

走行中，聴き続けたい番組の放送局があるとき，まずその局を受信し MASS ボタンを押すと，バンド内を 1 回サーチしてその地点での受信可能局を一挙にメモリに蓄えた後，MASS 動作を開始する。MA

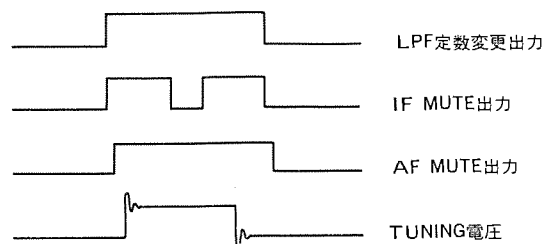


図 4. MASS 動作他局チェック時のタイミング

SS 動作中は，自局を受信中に逐次メモリ内の各局を時分割処理でサンプリングして呼び出し，電界レベルと音声パターンについて自局との比較チェックを行う。自局よりも電界レベルが強く，しかも同一内容と判定すると，その局へ受信局の切り換えが実行される。メモリに蓄えられた局がすべて自局よりも電界レベルが弱い，又は電界レベルが強くても内容が違うと判断した場合には，改めてバンド内から新しい受信可能局がないかどうか探索する。もし受信可能局があれば，メモリに蓄え込むか若しくは弱くなった元のメモリ局と入れ替えて，メモリ内容の更新をし再び自局との比較チェックを繰返す。

このようにして他局チェックを続行しながら，常に同一内容の最良受信局へ自動的に切り換えて行くようにしたのがこの MASS システムの基本的な動作原理である。図 3. に MASS システムの移局模式図を示す。

3.3.2 時分割処理

ワンチューナーシステム，すなわち 1 系統の受信回路で，ある局を受信しながら他局の状態を確認するためには，時分割処理方式をとらざるをえない。しかも，本来の受信品質を劣化させないようできるだけ短時間に他局のチェック処理をすませる必要がある。この時分割処理技術が本機開発の最大の重要ポイントといえよう。このシステムを実現するに当たって，①PLL の引込み応答時間の短縮，②他局チェック時間の短縮，③他局チェック時・瞬時に正確な情報の捕獲，④音切れ異和感の軽減，⑤強電界局へのスムーズな移行，等々幾多の改良検討を必要とした。しかし，この MASS システムの前身となる当社の MTS (Microcomputer Tuning System) を製品化した時点で時分割処理の基礎技術は確立しており，今回はその技術を応用発展させたものである。

PLL の応答時間の短縮には，TWO-MODULUS PRESCALER を用いたパルスフロー方式を採用し，更に 2 モードの LOW-PASS ルーパフィルターを用いマイコンからの定数変更出力により，サーチ中ループ定数を切換えて処理速度を早めている。チェック時の異音の軽減には IF MUTE と AF MUTE が重要な役割りを果たしている。図 4. に他局チェック時のタイミングを示す。

3.3.3 電界レベル及び音声検知

走行中に電界変動の比較的激しい FM 放送では，瞬時に判定した電界レベルはあまりあてにできない。このような条件下で自局と他局の電界比較を行うと，自局よりも受信状態の悪い局へ移局してしまう場合も考えられる。そのため，このような判定ミスをさけるため，一定期間の平均的な受信状態を把握し相互比較をする必要がある。

このシステムでは，電界レベル判定のため 4 本の電界レベル線を設け，マイコンでこの 4 本線の状態を読み取り演算処理の上，レベル判定をさせている。自局の電界レベルの場合は 2.2 秒間に 9 回このラインの

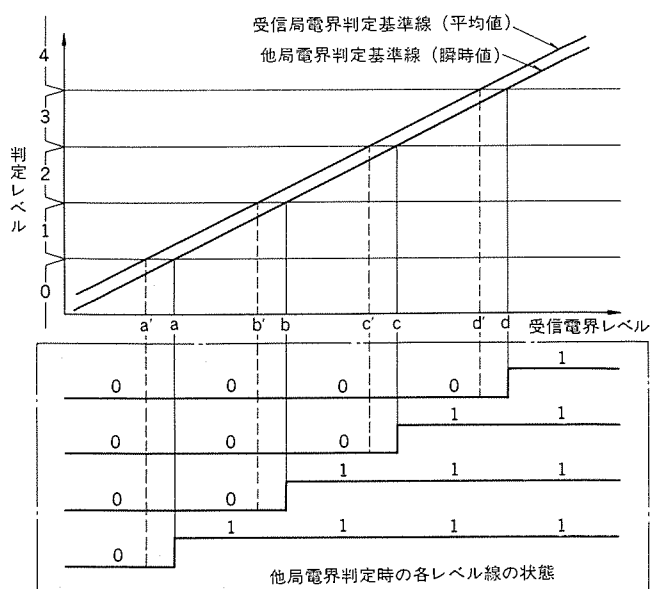


図 5. 受信電界レベル対判定レベルの関係

状態を読み取り、これを平均化して電界レベルを判定し、他局の場合には時分割動作による時間的制約のため瞬時電界レベルによらざるをえないが、許容される最大の時定数回路で平均化された瞬時レベルで判定している。更に、他局の電界判定レベルを自局の電界判定レベルに対し相対的に高くとすることにより、自局の受信状態より悪い局への切換えがおこることを防いでいる。この様子を図 5. に示す。実際には上記の確認を複数回行い、内容判別とともに所定の総合判定要件を満たしたときに受信局の切換えを実行するようにしている。

内容判別は、音声検知回路により自局及び他局の音声に含まれるパターンをサンプリングして、マイコンで認識比較を行い同一内容か否かを判定させている。なお、自局の電界レベルが十分強い場合には、他局に切換える必要性が低く、逆に自局の電界レベルが弱くなると、早く受信状態のよい他局へ移局させる必要性が高まることから、自局の電界レベルに相応して他局チェックの頻度を変えている。

4. オートメモリ機能の概要

このオートメモリ機能は、ワンタッチのボタン操作で短時間にバンド内をサーチして受信レベルの高いものから最大 5 局自動的にメモリするもので、最初に受信される局はこのメモリ中最高レベル局である。これらの局は CHANGE ボタンで順次呼び出すことができる。このオートメモリ機能は、自分の生活圏内での選局操作はもちろんのこと、特に全く知らない地域での選局操作が大幅に簡便化されたといえる。また、同一内容局が複数局オートメモリされた場合、強い局から順にメモリされているため最良受信局が容易に選択出来るメリットがある。

次にアルゴリズムの詳細について述べる。

- (1) メモリエリアに最初検出感度レベル 1 でサーチを始め、レベル 1 以上の局をすべて検出レベルとともにメモリしていく。
- (2) メモリエリアが満杯になると、そこからは検出感度をレベル 2 に上げサーチを続け、レベル 2 以上の局があると、この局をメモリ内で 1 レベルで検出されてメモリされていた局と入れ替えていく。
- (3) メモリ内にレベル 1 の局がなくなると、ここから検出感度をレベル 3 に上げサーチを続け、レベル 3 以上の局を検出するとメモリ内のレベル 2 の局と入れ替える。このように検出レベルを上げていく。

- (4) バンドエッジに達するか、メモリ内の局がすべて 4 レベルの局になるかするとサーチを終了する。
- (5) 次に、オートメモリ局のメモリエリアに高いレベル局から順に 5 局選んで転送する。

5. 新製品 RX-240 SY 形の概略仕様

マイコン集中制御による AM/EM-MPX 電子同調ラジオ部とオートパース式カセットデッキ部とを一体化した一体形カーステレオで、外観は図 6. に仕様は表 1. に示す。

主な特長としては次のものがあげられる。

- (1) 同一放送の他局を自動選局する MASS 機能
- (2) AM・FM 各々最大 5 局ワンタッチでオートメモリし CHANGE ボタンで順次呼び出す機能
- (3) プリセットチャンネルアドレスインジケータ付プリセットメモリボタン
- (4) ワンタッチマニュアル選局 (UP, DOWN), ワンタッチ自動選局 (UP, DOWN)
- (5) 高輝度緑色蛍光表示管による見やすいデジタル周波数表示
- (6) ワンレバー操作式オートパースカセットデッキ
- (7) 透過照明による夜間イルミネーションパネル

図 7. に内部の構成図を示す。

AM・FM 両受信回路部分とそのコントロール部分が、MASS システムを構成する中心部分をなす。本機で採用した主な回路方式は次のものがあげられる。

- (1) 基準発振に水晶を用いた PLL シンセサイザ方式によるデジタルチューニング式スーパーヘテロダイン
- (2) マイコン制御による MASS, AUTO-MEM, CHANGE, MANUAL UP/DOWN, AUTO UP/DOWN, FM/AM, MEM, CH1, CH2, CH3 のモーメンタリ KEY-SW 方式

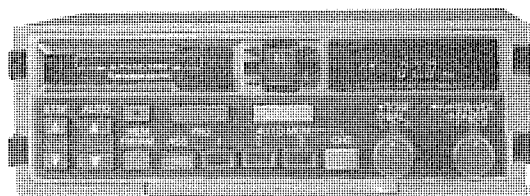


図 6. MASS 付カーラジオ RX-240 SY 形の外観

表 1. カーラジオ RX-240 形定格表

項	目	仕 様
1. ラジオ部	AM 受信周波数 (kHz)	522~1,611
	実用感度 (dBμ)	30 以下
	FM 受信周波数 (MHz)	76~90
	実用感度 (dBμ)	10 以下
	分離度 (dB)	26 以上
2. デッキ部	再生方式	4トラック2プログラム2チャンネルステレオ再生方式
	テープスピード (cm/s)	4.76
	ワウフラッター (%)	0.15 (JIS Wrms)
3. 総合	適合負荷インピーダンス	4Ω×2
	出力	最大 8W×2 定格 6W×2 (10% 歪)
	電源電圧 (V)	DC 13.2 ⊖GND
	消費電流	0.9A 以下 (1W 出力時), 10mA 以下 (バックアップ)
	外形寸法 (mm)	180(W)×60(H)×170(D)
	重量 (kg)	2.7
4. リモコン部	操作機能	POWER ON/OFF, FM/AM, VOL, AUTO-MEM, CHANGE

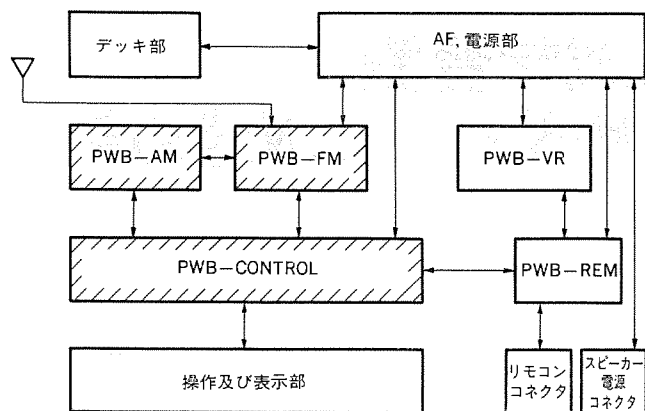


図 7. 構 成 図

- (3) デジタル 周波数表示の ダイナミック 点灯方式
- (4) PLL の応答を早めるために TWO-MODULUS PRESCALER を用いた パルススロー 方式
- (5) FM QUADRATURE 検波方式
- (6) PLL 方式 FM ステレオ 復調方式
- (7) 外来雑音を抑制する FM ノイズキラー 回路
- (8) マルチパス による影響を軽減する SRC 方式

6. 走行試験結果

主として MASS 及び オートメモリの機能確認のため、本試作機をギャラングマに装着し、名神高速及び東名高速並びにその周辺において走行試験を行った結果、主な内容を紹介します。

(1) AM 性能

一例として、民放で東海地方をネットワークしている静岡放送の電波と地域を図 8 に示す。この地域を MASS 動作で走行した場合、御殿場 (1,404 kHz) から浜松 (1,404 kHz) まで沿線の放送局を順次受信でき、実質上、静岡放送のサービスエリアが拡大した感を受ける。複数局のサービスエリアが重なる地域においては、地形によって電界強度が変動し受信周波数が度々変わるケースもあるが、放送内容が同じであるため使用者に違和感を与えない。NHK 第 1, 第 2 放送においても全国各地で同様の利用が可能である。夜間の受信でビートが混入する場合、内容判別が甘くなる点は今後の改良点として検討が必要である。

(2) FM 性能

東京、大阪間は NHK FM によって大略ネットワークされている。これらの局は、一部のローカル放送の時間帯を除いて同一放送内容である。大阪にて NHK FM 88.1 MHz を受信し、MASS 動作にて東

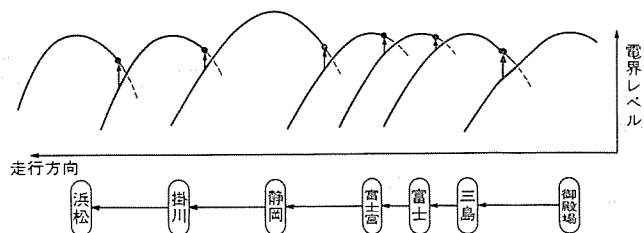


図 8. 走行テストにおける移局状況 (AM)

京までの受信状態を試験した。従来のカーラジオは、頻繁に手で選局する必要があるのに対し、このカーラジオでは、ほとんど再選局操作なしで NHK FM を受信できる。ただし、東京、大阪間の高速道路上での電界は、一部で非常に弱い地域があり、継続受信できない場合もあった。AM と同様に、地域によっては受信周波数が度々変化するが、同一内容を受信するため実用上問題ない。

(3) その他

実用感度、選択度、耐雑音性などの基本性能において従来のカーラジオと差がないことが確認された。ワンチューナー方式による MASS 機能は、この走行試験において特に大きな不具合点はなく、一般ユーザーに受け入れられる性能であった。トンネル内及びトンネル前後において電波状態が多様に変わるため、切替えるチャンスが多くなる現象が見られたが、この機能が確実に機能していることを示している。

以上のように弱電界地域での例外的な動作を除き、大勢的には移局動作が行われ、長距離走行時の実用性が高いことが実証された。またオートメモリについては、不案内な土地での選局に非常に威力を発揮することがわかった。MASS とオートメモリの 2 機能を使うことにより運転中のカーラジオの操作性が改善され、安全性にも寄与するものと思われる。

7. む す び

以上、この機種の特長を MASS の機能中心に述べた。今後カーオーディオにおいては、このような新機能開発の競争が激化すると予想されるが、当社においても、この機能の改良とともにコストの低減及び海外向けへの展開に鋭意取り組んでいる。

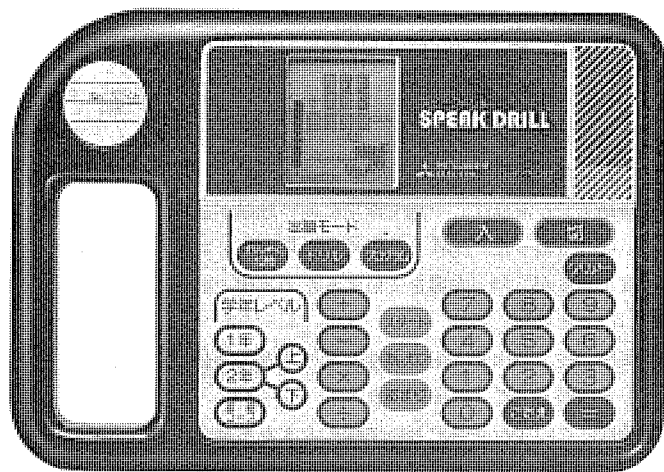
最後にこの開発にあたって、三菱自動車工業(株)乗用車技術センターの関係者各位から絶大な御助力をいただいたことに感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 平田ほか：カーラジオにおける受信局自動切換システム、三菱電機技報、55, No. 7 (昭 56)

三菱音声合成学習機

《さんすうめきめき》《えいごめきめき》



《さんすうめきめき》



《えいごめきめき》

《えいごめきめき》TM-21EW・21EK仕様

音声合成方式	分析合成方式
表示装置	液晶(有効表示部 73(W)×29(H)mm) ドットマトリックス表示部 ドット数7×5×8ドット
使用半導体	LSI4個使用(マイクロコンピュータ・液晶ドライバー 音声シンセサイザー、音声ROM(128Kビット))
スピーカー	5.0cm丸形スピーカー8Ω
動作周囲温度	0~40℃
電源	直流6V(単2乾電池4個使用、ACアダプター(別売))
電池寿命	連続18時間(三菱乾電池・バイタル使用時) 連続36時間(三菱アルカリ乾電池使用時)
外形寸法	258(幅)×182(奥行)×36.5(厚さ)mm
重量	約700g(乾電池を含む)
出力ジャック	イヤホンジャック(8Ωイヤホン)
付属品	単2乾電池4本、テキスト用絵本1冊 単語マスクカード1枚、取扱説明書
別売部品	ACアダプター(AA-61形)
入力部	フラットスイッチ(メンブレンスイッチ)・(46キー)
学習内容	アルファベット、たんご、プログラム
表示内容	アルファベット(大文字、小文字)、単語(最大8文字)、数字
収録単語数	たんごコース用 80単語(音声アリ) プログラムコース用 80単語(音声ナシ)
ジャンル選択	8ジャンル(かず、どうぶつ、からだ、くだもの/やさい、おかし/のみのもの、かぞく/いさなのもの、しぜん/いろ、のりもの/もちもの 各ジャンル10単語)
問題プログラム能力	最大10問(プログラム用 80単語の中から選定)
リピート機能	単語の発音を繰り返し聞くことが可能(マスター、ドリル時リピートキーによる。)
絵のNo表示	マスター時、絵のNo.キーを押すことにより絵本のNo.が液晶上に表示される。
オートパワーオフ	約5分

三菱電機では、このたび三菱音声合成学習機として《さんすうめきめき》に新たに《えいごめきめき》を加え、シリーズ化を図りました。

対象は、幼児から小学生全般であり、音声合成LSI、ワイド液晶画面の採用により、楽しく興味を持って学習できることが考慮されています。本格的学習の基調として、反復学習、解法の過程の理解、不得意内容などを集中学習できる機能を盛りこんでありますから、着実に学習効果を上げることができるよう配慮されています。

特長

●算数学習機《さんすうめきめき》

出題モードとして連続10問(問題の連続10問出題)、ドリル(約3分間の時間内に速く解く練習)、プログラム(母親などが子供の苦しい問題をプログラムし弱点を征服する)、この3つのモードを備えていて、業界で初めての筆算方式を採用しています。更に、2桁までの加減算については、解き方のステップ(繰り上がり、繰り下がり)が表示できます。前記の特長のほか、学年レベル(1年、2年、進級)の選択により、各学年の教科書の学習レベルに合致した学習ができます。反復学習により小学生の基礎計算力の向上を図ることもできます。

●英語学習機《えいごめきめき》

学習コースとしてアルファベット(アルファベットの書き方と発音をマスター)、たんご(英単語のスペルと、発音の学習)、プログラム(母親などによる単語出題機能)の3つのコースを備え、絵本とともに楽しく学習できるように工夫されています。絵と発音とスペル表示との立体的な学習で、英語のリズムを肌で感じることがができます。アルファベットコースは「ABCの歌」のメロディに合わせて発音を練習する機能をもっています。たんごコースでは、リピート機能を用いて、子供達に親しみやすい英単語(80語)の発音及びスペルを学習できます。更に、ドリルによる英単語のヒヤリング、スペルのテスト機能により理解力を判断できます。収録単語は、たんごコースの80語(発音有)とプログラムコース80語(発音無)の計160語が収録してあります。

《さんすうめきめき》TM-11MB・11MR仕様

音声合成方式	分析合成方式
表示装置	液晶(有効表示部 41×48.5mm) 筆算方式(3段)
使用半導体	LSI 3個使用(液晶ドライバー付マイクロコンピュータ、 音声シンセサイザー、音声ROM(128Kビット))
スピーカー	4.5cm 丸形スピーカー8Ω
動作周囲温度	0~40℃
電源	直流6V(単2乾電池4個使用) ACアダプター(別売)
電池寿命	連続22時間(三菱乾電池・バイタル使用時) 連続45時間(三菱アルカリ乾電池使用時)
外形寸法	258(幅)×182(奥行)×36.5(厚さ)mm
重量	約700g(乾電池を含む)
出力ジャック	イヤホンジャック(8Ωイヤホン)
付属品	単2乾電池4本 点数シール2枚 取扱説明書
別売部品	ACアダプター(AA-61形)
入力部	フラットスイッチ(メンブレンスイッチ)(30キー)
可能演算	四則(+、-、×、÷)
出題桁数	最大桁 加算 3桁+3桁 乗算 1桁×1桁 減算 3桁-3桁 除算 3桁÷1桁
問題プログラム能力	最大5問 最大桁数 加算 3桁+3桁 乗算 3桁×1桁 減算 3桁-3桁 除算 2桁×2桁 3桁÷1桁
モード選択	3モード(れんぞく10問、プログラム、ドリル)
学年レベル選択	1年、2年上、2年下、進級コース
解法の表示	2桁以下の加減算においては、筆算方式による1ステップごとの解法表示あり。
オートパワーオフ	約5分

スポットライト

《エレドラヒーポン霧ヶ峰》 MSHEシリーズ

三菱電機では、このたび新除湿方式エレクトロニクスドライメカを搭載した壁掛形暖房エアコンを新発売しました。この《エレドラヒーポン霧ヶ峰》は、冷房・暖房機能にエレクトロニクスドライメカによる新除湿方式を付加し、梅雨時などの除湿にも大きな効果を発揮します。エレクトロニクスドライメカとは、従来のドライタイプルームエアコンのようなドライ運転のための冷媒回路を持たず、エレクトロニクスにより送風機と圧縮機の制御を行ない、除湿を可能にしたものです。

また、《エレドラヒーポン霧ヶ峰》MSHEシリーズでは、ユーザ個性化時代のインテリアに対応したカラータイプも発売。本体パネルは木目、マーブルホワイト、ワインレッドとインテリアに合わせ選ぶことができます。

特長

エレクトロニクスドライメカのほかに、省スペース、省エネルギー、快適性向上について数々の特長を持っています。

●冷房・暖房・除湿の多目的な用途に使用できます
冬・梅雨・夏・秋と、10ヶ月間使用できます。

●省スペース

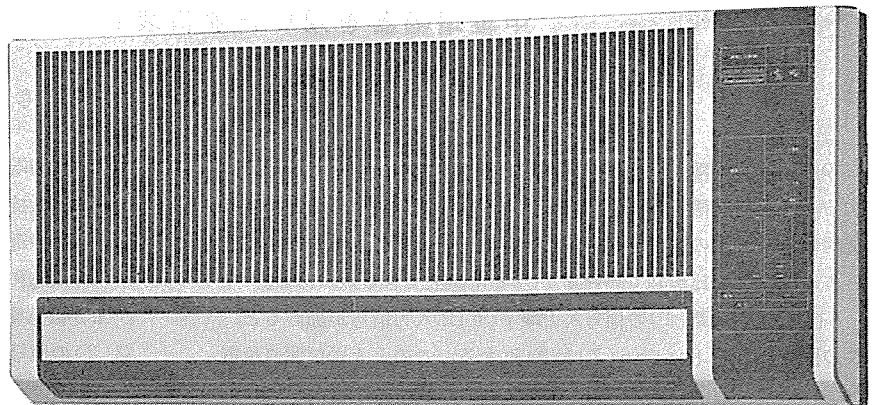
室内ユニット12.9cm、室外ユニット25cmのうす形ユニットです。

●経済性と快適性の両立

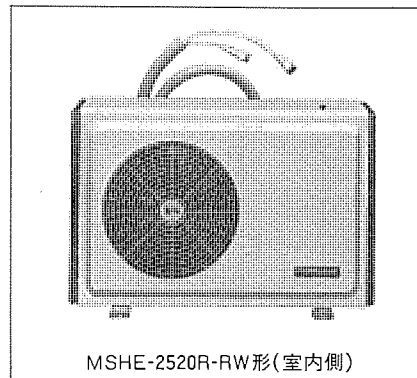
マイコン省エネ機能として室内表示《グリーンサイン》、節約冷房を行なう《ドライシフト回路》、低温時の暖房能力を強化した《ホットアップ回路》などの機能が付加されています。

●高暖房能力

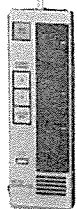
ヒータレスで3,300/3,700kcal/h (50/60Hz) の暖房能力を出すことができます。(外気7℃時) また、MSHE-2019R、MSHE-



MSHE-2520R-RW形



MSHE-2520R-RW形(室内側)



2520R・Sタイプはサブヒータを備え3,650/4,050kcal/h(50/60Hz)の暖房能力を出すことができます。(外気7℃時)

●サービス性

マイコン自己診断機能により、サービス時にスイッチひとつでチェックができます。

標準仕様

(50/60Hz)

中継増幅器を用いた通信装置 (実用新案 第1378342号)

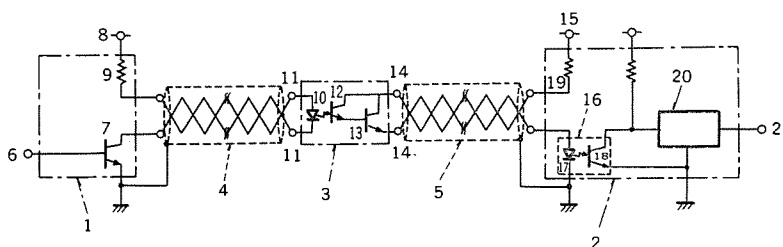
考案者 仁田周一・菱沼進

この考案は遠距離間の通信を行うため中継増幅器を用いた装置に関するもので、特徴は光電結合素子の中継増幅器に用いることにより送信側、受信側の電源を利用し、中継増幅器の電源を不要にする点にある。

ラインドライバ回路(1)の信号入力端子(6)に入力信号が加わると、この回路の出力トランジスタ(7)は飽和する。このとき送信側直流電源(8)より入力制限抵抗(9)、送電線路(4)、中継増幅器(3)の入力端子(11)を介して発光素子(10)に信号電流が流れ、信号電流が光電変換され受光素子(12)に伝達される。この受光素子(12)の出力電流が増幅され、出力トランジスタ(13)を導通させる。従って中継増幅器

(3)の出力端子(14)が短絡状態となり、受信側直流電源(15)から入力制限用抵抗(19)及び伝送路(5)を介して発光素子(17)に電流が流れる。この電流が光電変換され受光素子(18)に伝達されると受光素子(18)は飽和し、波形整形回路(20)に入力信号が加わる。この信号レベルが波形整形回路(20)の閾値を越えることによりラインレシーバ回路(2)の信号出力端子(21)に出力信号が得られる。

上記のようにこの考案の通信装置は中継増幅器用の電源を必要とせず、また光電結合素子により雑音絶縁性及び高周波ノイズの除去効果が高いものである。



〈次号予告〉 三菱電機技報 Vol. 57 No. 5 圧縮機と冷熱制御特集

特集論文

- 低温用半密閉形圧縮機の新シリーズ
- ツインロータリ式カーエアコンシステム
- 低温用ロータリ圧縮機 RL(Z) 形
- 冷凍機の運転制御
- 冷凍・冷蔵ショーケースシステムの省エネルギー制御
- パッケージエアコン《Mr. SLIM》の自己診断機能

普通論文

- 50 kW リン酸形燃料電池発電システム
- 発電プラント運転訓練用シミュレータの最近の動向
- 四国電力(株)本川発電所納め総合監視システム
- 水力発電所ディジタル保護継電装置 (HDPS)
- 分散処理システムのハードウェア、ソフトウェア
- 海洋観測衛星1号搭載用マイクロ波放射計
- トランジスタモータ
- 高速大容量 64 K ビットマスク ROM

三菱電機技報編集委員

委員長	志岐守哉	委員	野村兼八郎
副委員長	岸本駿二	"	山内 敦
"	三浦 宏	"	柳下昌平
委員	峯松雅登	"	櫻井 浩
"	翠川 祐	"	徳山 長
"	佐藤文彦	"	柴山 恭一
"	大年倉像	"	町野康男
"	井上 通	"	荒野 皓也
"	立川清兵衛	"	瀬辺 国昭
"	吉田太郎	"	倉橋浩一郎
"	野畑昭夫	"	小原 英一
"	田中克介	"	尾形 善弘
"	的場 徹	幹事	諸住康平
		4号特集担当	的場 徹

三菱電機技報 57 巻 4 号

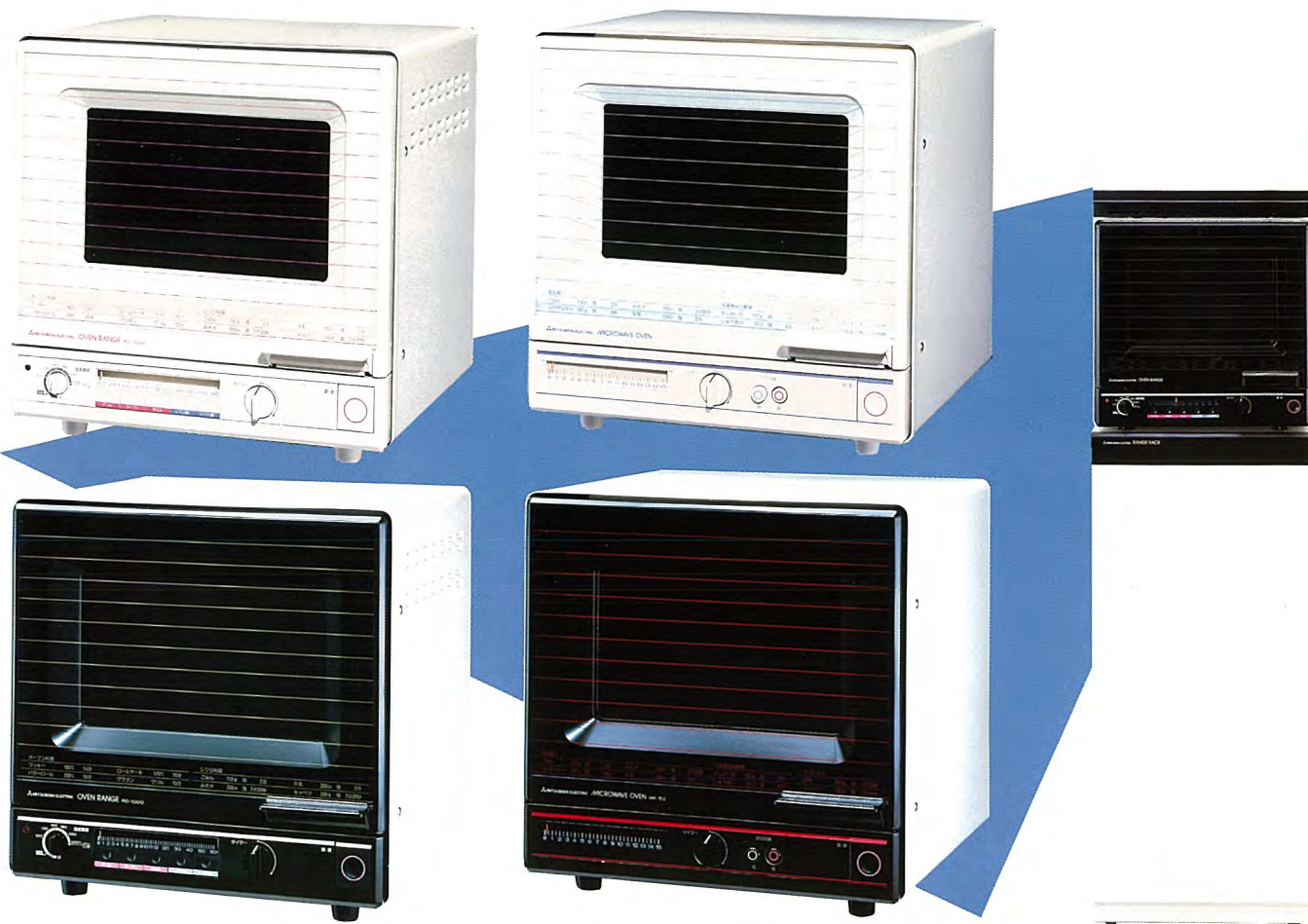
(無断転載を禁ず)

昭和 58 年 4 月 22 日 印刷
昭和 58 年 4 月 25 日 発行

編集兼発行人	諸住 康平
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
発行所	東京都千代田区丸の内2丁目1番2号 (〒100) 菱電エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」 Tel. (03) 218 局 2045
発売元	東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 (〒101) 株式会社 オーム社 Tel. (03) 233 局 0643(代), 振替口座東京 6-20018
定 価	1部 500 円送料別 (年間予約は送料共 6,700 円)

スポット ライト

55%ものスペースセーブ 横幅40cmのコンパクトサイズ 三菱オーブンレンジ RO-1000形 電子レンジ RR-50形



狭い台所などで、電子レンジの置き場所の悩みを解決するため、このたび三菱電機では、幅40cm、高さ40cmのオーブンレンジRO-1000形と、同サイズの電子レンジ単機能タイプRR-50形を発売しました。また、オーブンレンジの上部、下部の空間を有効に利用するために、専用の置台RC-30形も同時に発売しました。幅40cmは業界で最も小さく、設置に必要なスペース（排気のための空間を含めたスペース）は、当社従来品に比べ55%も縮減されています。

特長

●「タテ形」で幅40cmを実現

従来、電子レンジの操作部は本体の右側にありましたが、これを下部にもってこることにより、幅40cmを実現しました。マグネトロン、トランスなどの主要部品はオーブン室の下に入り、マイクロ波は導波管を通してオーブン室の左横から出る構造になっています。

●庫内は従来品とほぼ同じ大きさ

外形寸法はぐっと小さくなりましたが、庫内の有効寸法は、従来のオーブンレンジとほぼ同じです。大きなデコレーションケーキもゆったり焼け、2合徳利でのお酒のカンも簡単です。

●テレビのようなデザイン、リビングにもピッタリ

ドア部分は全面にガラスを採用。高級感あふれるデザインとしました。特に再加熱に力を発揮する電子レンジ単機能タイプは、キ

ッチンを離れた新しい生活スタイルを提案します。

●1台で6種類の機能切り換え (RO-1000形)

レンジ強…温め直し、酒のカンなどのスピード加熱に。
レンジ弱…冷凍食品の解凍に。
オーブン…お菓子やパン作りに。ローストチキンなどの肉料理に。
グリル…1000Wの上ヒーターで焼魚やグラタンを。
煮込み…400Wの下ヒーターでシチューなどをじっくり。
発酵……庫内を37℃に保ち、イースト発酵を。

●ヒーター着脱可、庫内の掃除が簡単です。(RO-1000形)

標準仕様

		RO-1000形	RR-50形
電子レンジ	消費電力	950W	930W
	高周波出力	500W/200W相当切換式	500W/200W相当切換式
	周波数	2,450MHz	2,450MHz
	消費電力	1,030W	
オーブン	ヒーター切	グリル	オープン
		上ヒーター	1000W
		下ヒーター	0
	温度調節	発酵(37℃)～250℃・グリル	
寸法	外形	幅400×奥行370×高さ400mm	幅400×奥行347×高さ400mm
法	庫内有効	幅280×奥行310×高さ180mm	幅300×奥行310×高さ210mm
重	量	23kg	19kg
色	調	ブラックブラウン クリスタルホワイト	ブラックブラウン クリスタルホワイト