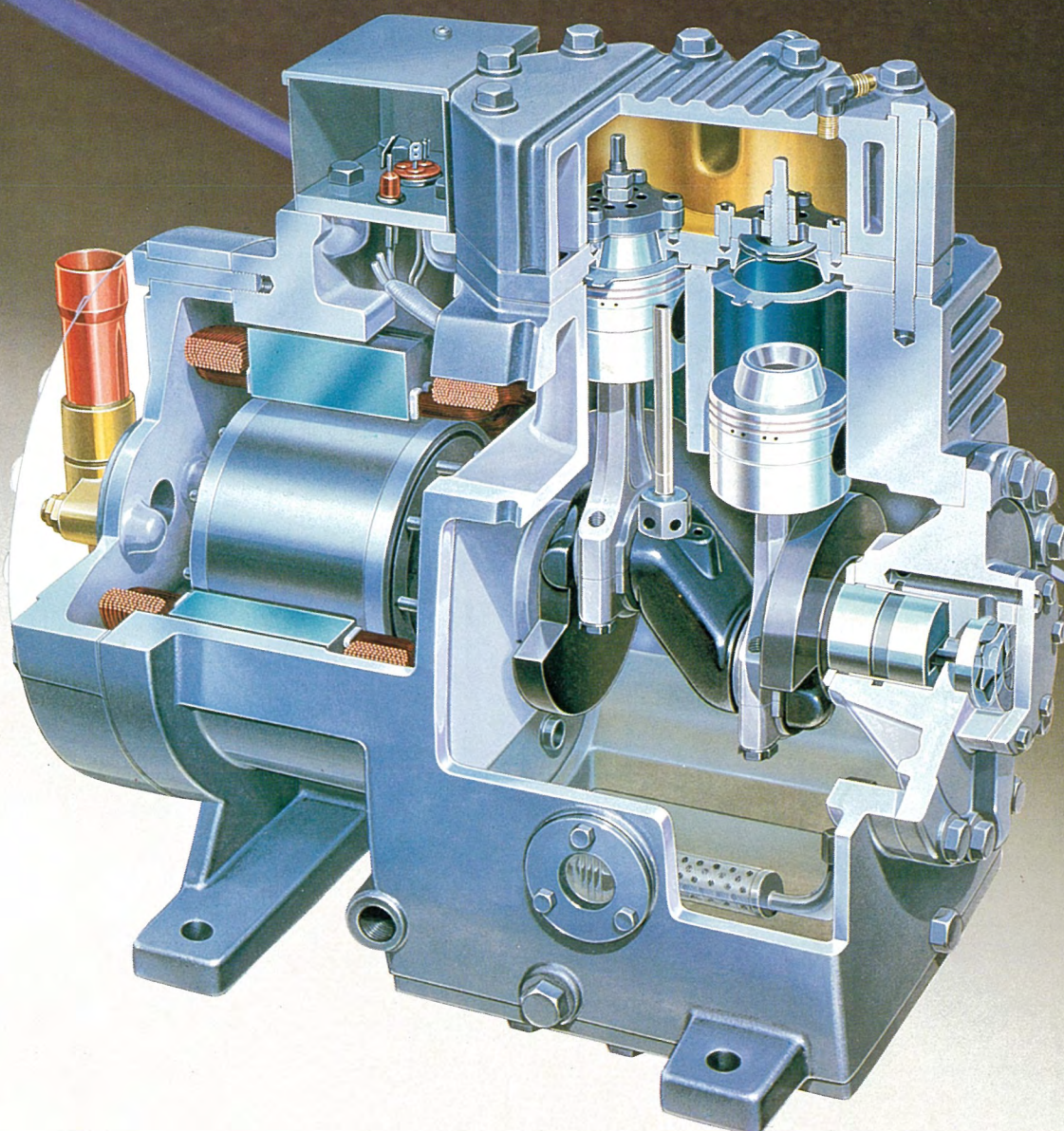



MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報



Vol.57 No.5

圧縮機と冷熱制御特集

 未来を開発する
三菱電機

5
1983

圧縮機と冷熱制御特集

目次

特集論文

低温用半密閉形圧縮機の新シリーズ.....	1
原 明・藤條邦雄・森 常德・大井手正彦	
ツインロータリ式カーエアコンシステム.....	6
西沢敏造・勇内和秀・川崎勝行	
低温用ロータリ圧縮機RL(Z)形.....	9
大石善堂・山田秀彦	
冷凍機の運転制御.....	12
川井 治・辻 弘之	
冷凍・冷蔵ショーケースシステムの省エネルギー制御.....	17
小松文昭・水原博久・岩瀬 進	
パッケージエアコン《Mr.SLIM》の自己診断機能.....	22
佐藤康夫・杉本達彦・小林靖夫・中島康雄	

普通論文

50kWりん酸形燃料電池発電システム.....	28
岸田公治・西山 杉・平田郁之・浜崎晏行	
発電プラント運転訓練用シミュレータの最近の動向.....	33
川畑哲二・若林繁久・長谷川紀夫	
四国電力(株)本川発電所納め総合監視システム.....	38
川崎品司・宮西洋太郎・倉光 寛・実松良次	
水力発電所デジタル保護継電装置(HDPS).....	44
小林倫明・川勝善治・畑田 稔・岡田 明・木村良一	
分散処理システムのハードウェア、ソフトウェア.....	48
古形 昌・中嶋 昇・鷹取東朋・三浦廣伸・岩間一男	
海洋観測衛星1号搭載用マイクロ波放射計.....	53
石沢禎弘・今谷敏夫	
トランジスタモータ.....	59
打田良平・山崎辰男・森 好春・浅妻定平・田中 博	
高速大容量64Kビット マスクROM.....	64
松尾龍一・張間寛一・高橋広成・田原次夫・松野葉子	

特許と新案..... 26, 68

密閉形圧縮機
回転式圧縮機
冷媒圧縮機

スポットライト

三相大電流ソリッドステートリレー.....	67
VHD方式ビデオディスクプレーヤーVDP-200形.....	(表3)

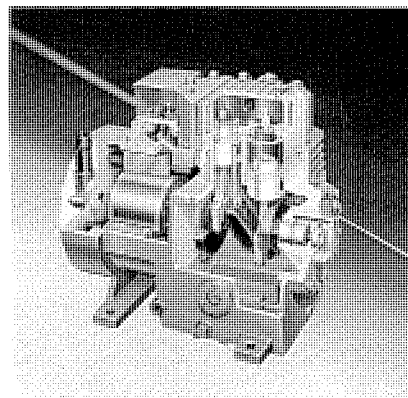
表紙

低温用小形半密閉圧縮機の新シリーズ

当社和歌山製作所では、2.2kWから15kWまで7機種からなる低温用半密閉形圧縮機の新シリーズを開発した。

低温用圧縮機は運転率が高く、年間運転率が90%に達するものもあり、したがって耐久性、省エネルギー、及び低騒音化に関する要求が強く、このシリーズはこれらの要求に応じて開発したものである。

写真は出力5.5kWの圧縮機で、このクラスの半密閉形圧縮機としては、業界で初めてコンベックス形ピストンとリング弁を採用するなどにより、大幅な効率向上及び低騒音化を達成した。更に、軸受への給油はオイルポンプ給油とし、クランク室内の均圧機構の改良により圧縮機からの油吐出量を低減させるとともに、オイルパンを大きくし、信頼性の向上を図っている。



アブストラクト

低温用半密閉形圧縮機の新シリーズ

原 明・藤條邦雄・森 常德・大井手正彦

三菱電機技報 Vol.57・No.5・P1～5

冷凍用圧縮機に対する市場の要求は、高信頼性は当然として低騒音化、高効率化の要求が高くなっている。これに対し圧縮機の優位性を目指して、Fシリーズ形半密閉圧縮機を開発した。この圧縮機は潤滑方式を改善すると同時に吐出弁の構造の最適化、省エネルギーモータの採用、また5.5kW以上の機種には外周二点支持方式のリング弁を採用することにより低騒音、高効率、高信頼性の三つの目標を達成できた。

本稿ではその内容について紹介する。

冷凍・冷蔵ショーケースシステムの省エネルギー制御

小松文昭・水原博久・岩瀬 進

三菱電機技報 Vol.57・No.5・P17～21

スーパーマーケットなどの食品店舗における冷凍・冷蔵ショーケースシステムの省エネルギー制御法を開発した。この制御法は、除霜周期とデューティサイクル制御の冷凍機停止時間を、ショーケースの熱負荷に応じて変化させるものである。

本稿では、この制御法の概要について述べるとともに、この制御法によるショーケースコントローラ、デューティサイクルコントローラの概要と省エネルギー効果について紹介する。

ツインロータリ式カーエアコンシステム

西沢敏造・勇内和秀・川崎勝行

三菱電機技報 Vol.57・No.5・P6～8

ツインロータリ式カーエアコンシステムは、可変容量式のローリングピストン式圧縮機を冷房負荷に応じて容量制御運転することにより、従来のエアミックス式カーエアコンに比べて約30%の省燃費が可能となった。また圧縮機のON-OFFショックが小さく、吹出し空気温度の変化も小さいため快適性に優れ、シンプルな構成であるため装着が容易である。

パッケージエアコン《Mr.SLIM》の自己診断機能

佐藤康夫・杉本達彦・小林靖夫・中島康雄

三菱電機技報 Vol.57・No.5・P22～25

事務所・店舗用エアコン《Mr. SLIM》は、昭和56年度品よりマイクロコンピュータの導入により、きめ細かい快適制御、極性のない2線式制御による省工事化などの高い評価を得たが、リモコンに自己診断機能を付加し、据付時の試運転及びサービス時の故障判定時のチェックとして兼用することによりメンテナンスの省力化を図った昭和58年度製品の開発が完了したのでここに紹介する。

低温用ロータリ圧縮機RL(Z)形

大石善堂・山田秀彦

三菱電機技報 Vol.57・No.5・P9～11

冷凍ショーケース及びコンテナユニット、クーリングユニット用の、0.6～1.1kWクラスの低温用ロータリ圧縮機RL(Z)形を開発した。このロータリ圧縮機は、従来から用いられているレシプロ圧縮機に対して、①体積67%減、重量54%減の大幅な小形軽量化、②成績係数30%向上の高効率化、③吐出ガスのエネルギーを利用した給油機構により、縦据付、横据付の双方を可能にした。

50kWりん酸形燃料電池発電システム

岸田公治・西山 槐・平田郁之・浜崎英行

三菱電機技報 Vol.57・No.5・P28～32

燃料電池発電システムは、その原理的特徴から新しい発電システムとして期待されている。当社ではMW級りん酸形燃料電池発電システム開発の一環として、システム動特性の把握及びシステム最適化を目的として50kW発電システムを設計製作し、運転を実施した。

今回は、そのシステム構成及び第一次の運転結果を電池系、燃料改質系、直交変換系及び総合したシステムの特長について報告する。

冷凍機の運転制御

川井 治・辻 弘之

三菱電機技報 Vol.57・No.5・P12～16

省エネルギーを目的として冷凍機も従来から変貌をとげ、容量制御運転が要求され、異容量圧縮機搭載マルチ冷凍機、インバータ制御冷凍装置などが出現しているが、冷凍サイクル中における油の挙動はより複雑となり圧縮機内の油面管理なども必要となる。

本稿では油面制御やそのための油センサを軸に、電子回路を駆使した油管理制御及び圧縮機駆動用電動機の保護センサなど圧縮機、冷凍装置を取巻く運転制御形態について述べる。

発電プラント運転訓練用シミュレータの最近の動向

川畑哲二・若林繁久・長谷川紀夫

三菱電機技報 Vol.57・No.5・P33～37

1966年に我が国で初めての本格的火力プラント運転訓練用シミュレータを世に送り出して以来17年になる。この間、運転機能・模擬手法は計算機及びソフトウェア技術の進歩と、20ユニットを越す納入実績とにより、著しい発達をみせ、更に1979年のスリーマイル島の原子力発電所の事故以来、シミュレータの有効性が一層見直され、より精度の高い、より訓練効果の高いものとなってきた。

ここでは最近のシミュレータの構成・機能と最近の動向について紹介する。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 5, pp. 17~21 (1983)

An Energy-Saving Control System for Refrigerated Display-Case Systems

by Fumiaki Komatsu, Hirohisa Mizuhara & Susumu Iwase

This energy-saving control system has been developed for the refrigerated display-case systems used in supermarkets and other grocery stores. The control system can vary the defrosting interval and the refrigerator off-time (duty cycle) in accordance with the refrigerating load of the display cases. As well as describing the control system, the article summarizes the display case and duty-cycle controller and discusses the system's effectiveness in securing energy savings.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 5, pp. 1~5 (1983)

New Semihermetic Compressors For Low-Temperature Applications

by Akira Hara, Kunio Tojo, Tsunenori Mori & Masahiko Oide

Demand has been growing for refrigerating compressors that achieve reduced noise, increased efficiency, and higher operating reliability. With the aim of achieving superior compressor performance, Mitsubishi Electric has developed Series F semihermetic compressors. As well as an improved lubrication system, Series F has an optimized discharge-valve design structure and energy-saving motor. Models rated at 5.5kW and over incorporate a ring valve supported at two points on its circumference. This approach has realized the three goals of reduced noise, increased efficiency, and higher reliability. The article describes these developments in detail.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 5, pp. 22~25 (1983)

Self-Checking Functions in Mr. Slim Packaged Air Conditioners

by Yasuo Sato, Tatsuhiko Sugimoto, Yasuo Kobayashi & Yasuo Nakashima

Since 1981, Mr. Slim packaged air conditioners for store and office use have incorporated a microprocessor. As a result, they have been acclaimed for their precise comfort control and nonpolar two-wire control (reducing the requirements for electrical work). Development of the 1983 models described in the article has now been completed. The remote-control unit has a self-checking function that performs double duty: first, as a test-run checker during installation, and second, as a faulty operation checker during service, thereby reducing maintenance.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 5, pp. 6~8 (1983)

A Twin Rotary-Compressor Automotive Air Conditioner

by Toshizo Nishizawa, Kazuhide Yuuchi & Katsuyuki Kawasaki

The twin rotary-compressor automotive air-conditioning system presented here uses a variable-capacity rolling-piston rotary compressor. The system capacity is controlled in accordance with the cooling load, enabling savings of about 30% over conventional mixed-air units. In addition, a small on-off shock and low intake-exhaust temperature differential increase service life and comfort, and the simple configuration eases installation.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 5, pp. 28~32 (1983)

A 50kW Phosphoric-Acid Fuel-Cell Power System

by Koji Kishida, Enju Nishiyama, Ikuyuki Hirata & Yasuyuki Hamasaki

Their unique principle of operation is the basis for expectations that fuel cells will emerge as the basis of a new power-generation system. As one link in the development of a multi-megawatt phosphoric-acid fuel-cell power system, Mitsubishi Electric has designed, manufactured, and operated a 50kW system to study dynamic characteristics and optimize design. The article reports on the system configuration and the initial operating results in terms of a discussion of the characteristics of the electrical cell, fuel processor, inverter, and the overall system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 5, pp. 9~11 (1983)

Series RL(Z) Low-Back-Pressure Rotary Compressors

by Yoshitaka Oishi & Hidehiko Yamada

Series RL(Z) 0.6~1.1kW-class low-back-pressure rotary compressors have been developed for use in refrigerated display cases, condensing units, and cooling units. Compared with conventional reciprocating compressors, these units have 67% less volume and weigh 54% less—a great reduction in bulk—while the coefficient of performance has been raised by 30%. In addition, the oil-supply mechanism has been designed to utilize discharge-gas energy, enabling the unit to be mounted vertically or horizontally.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 5, pp. 33~37 (1983)

Current Trends in Training Simulators for Power-Plant Operation

by Tetsuji Kawabata, Shigehisa Wakabayashi & Norio Hasegawa

Seventeen years have elapsed since Tokyo Electric Co., Inc. Mitsubishi Electric jointly developed the first full-scale thermal-power-plant training simulator in Japan in 1966. Since then, advances in computer and software technology, together with more than 20 actual deliveries, have resulted in a remarkable increase in operating functions and simulation accuracy. The 1979 accident at the Three Mile Island nuclear-power plant has brought a wider awareness of the simulator's value, and the levels of simulator precision and training effectiveness have been raised. The article introduces recently developed simulator functions and configurations, and reviews current trends.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 57, No. 5, pp. 12~16 (1983)

A Control System for Condensing Units

by Osamu Kawai & Hiroyuki Tsuji

A variety of cooling systems designed to save energy have appeared. These incorporate new condenser configurations, capacity-controlled operation, condensing units with compressors of different capacity running in parallel, and inverter-controlled refrigeration. This has added considerable complexity to the behavior of refrigerating-machine oil during the refrigeration cycle, necessitating oil-level management in the compressor. The article introduces an operation-control system with applications embracing compressor and refrigeration systems. Based on oil-level control and special-purpose oil sensors, the system consists of electronic circuitry linked to sensors for oil-level management, compressor-motor protection, and other functions.

アブストラクト

四国電力(株)本川発電所納め総合監視システム

川崎晶司・宮西洋太郎・倉光 寛・実松良次

三菱電機技報 Vol.57・No.5・P38～43

このシステムは、従来の監視保護装置では困難なプラントの早期異常発見、異常診断及びプラントの運転状況把握などの総合的な監視を行うことを目的とした水力発電プラント用の監視システムである。機能としては、発電機、水車などの各温度・振動・流量の監視、補機動作監視、機器の動作回数・動作時間の管理、シーケンスモニタ、サイリスタ始動装置監視、事故シーケンス記録などがあり、それらの内容を紹介する。

海洋観測衛星Ⅰ号搭載用マイクロ波放射計

石沢楨弘・今谷敏夫

三菱電機技報 Vol.57・No.5・P53～58

昭和61年に打上げ予定の海洋観測衛星Ⅰ号に搭載されるマイクロ波放射計は、地球上の観測物体から放射される微弱なマイクロ波帯の雑音を衛星上で検出するリモートセンシング装置であり、得られたデータを処理することにより、海洋上の水蒸気量及び水量、海水の分布、積雪量などの物理量を抽出するための基礎実験に使用される。

本稿ではマイクロ波放射計の観測原理、設計概要、主要性能及びエンジニアリングモデルを用いた開発試験結果について述べる。

水力発電所デジタル保護継電装置 (HDPS)

小林倫明・川勝善治・畑田 稔・岡田 明・木村良一

三菱電機技報 Vol.57・No.5・P44～47

マイクロプロセッサを用いたデジタル保護継電装置については、これまで送変電設備保護を対象として開発を行ってきたが、水力発電所における保護機能のデジタル化の要求にこたえるべく、この装置の開発を行い、デジタル保護継電装置の適用分野拡大が図れた。

本稿では、この装置の基本設計とその構成、試作機の概要、その検証試験結果などを報告する。

トランジスタモータ

打田良平・山崎辰男・森 好春・浅妻定平・田中 博

三菱電機技報 Vol.57・No.5・P59～63

VTRや計算機周辺機器に多用されるようになったトランジスタモータは長寿命、高性能、形状の自由度が大きい点などが特長である。

ここでは、まず当社VTRのドラムとキャプスタン用モータに関し、略仕様や制御法などを述べる。次に回転性能向上と周辺部品点数減をねらって、当社が今般開発した準正弦波制御方式のモータ駆動用ICについて原理や優れた特性を述べる。またこのICを用いたフロッピディスク用モータの紹介と、性能上の留意点その他について示す。

分散処理システムのハードウェア、ソフトウェア

古形 昌・中嶋 昇・鷹取東朋・三浦廣伸・岩間一男

三菱電機技報 Vol.57・No.5・P48～52

オフィス内のデータ処理の迅速性や、新たな機能の追加要求に対して、従来の集中処理方式では計算機の巨大化と、システムの複雑化（追加機能の実現時期の遅延）を招いており、これらの対処として分散処理方式が広まってきた。

今回某社向けにミニコンピュータ《MELCOM 70/150》、インテリジェント端末《MELCOM 2350/45》を使用した分散処理システムを開発したので、その機能の特長、ハードウェア、ソフトウェアの特長を述べる。

高速大容量64Kビット マスクROM

松尾龍一・張間寛一・高橋広成・田原次夫・松野葉子

三菱電機技報 Vol.57・No.5・P64～66

近年、少量多品種の電子機器に用いられるROMとしてEPROMが脚光を浴びているが、一方、同一メモリ内容のROMを大量に使用する場合、價格的に有利なマスクROMに置き換えたいという要望が強い。今回、微細化プロセス技術と低電力高速化回路設計技術を組合せて、64KビットEPROMと読出し時コンパチビリティを有した64Kビット マスクROM M5M2364- $\times\times\times$ Pを開発したので、その回路構成、動作特性などについて述べる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 5, pp. 53~58 (1983)

A Microwave Scanning Radiometer for Marine Observation Satellite-1

by Yoshihiro Ishizawa & Toshio Imatani

A microwave scanning radiometer (MSR) will be carried into orbit in 1986 by Marine Observation Satellite-1 (MOS-1). This MSR is a remote sensing device designed for satellite-based measurement of weak microwave radiation from the earth's atmosphere and surface. Measurement data from basic tests performed by the MSR will be used to determine marine atmospheric-moisture and water-vapor levels, marine-ice distribution, snowpack size, and other physical quantities. The article discusses the principles of microwave radiometric observation, describes the MSR design and main operating characteristics, and reports on the results of development testing based on an engineering model.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 5, pp. 38~43 (1983)

The Advanced Computerized Monitoring System for Shikoku Electric Power's Hongawa Power Station

by Shoji Kawasaki, Yotaro Miyanishi, Hiroshi Kuramitsu
& Yoshitsugu Sanematsu

This monitoring system for hydroelectric plants has been developed to overcome the difficulties encountered with conventional monitoring and protection devices in securing early detection and diagnosis of malfunctions and an accurate overview of plant operating conditions. The article discusses the system's functions, which include the monitoring of generator and turbine temperature, vibration, and flow; auxiliary-equipment and sequence-control monitoring; thyristor starter-unit monitoring; the supervision of the number of times and the duration during which equipment is used; and the logging of malfunction sequences.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 5, pp. 59~63 (1983)

A Transistor Motor

by Ryohei Uchida, Tatsuo Yamasaki, Yoshiharu Mori, Sadahira Asazuma
& Hiroshi Tanaka

The transistor motor widely used in VTRs and computer peripherals features a long service-life, high reliability, and a large degree of design flexibility. The article first describes the specifications and control scheme of the drum and capstan motor used for Mitsubishi VTRs. The article then discusses the operating principles and superior characteristics of a special motor-control IC. Based on the quasi-sinewave control method newly developed by Mitsubishi Electric, the IC was designed with the aim of increasing rotating performance while reducing the number of peripheral components. The article also introduces a flexible-disk motor controlled by the same IC and discusses points contributing to performance.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 5, pp. 44~47 (1983)

A Digital Protection System for Hydroelectric-Power Stations

by Michiaki Kobayashi, Zenji Kawakatsu, Minoru Hatata, Akira Okada
& Ryoichi Kimura

Microprocessor-controlled digital protection systems have already been developed for substation and power-transmission facilities. In response to a similar demand for digital protection functions in hydroelectric-power plants, a new system has been developed that extends the scope of digital protection systems to this application. The article discusses the basic system design and structure, describes the prototype system constructed, and reports on the results of verification testing.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 5, pp. 64~66 (1983)

A High-Speed, High-Density 64K-Bit Mask ROM

by Ryuichi Matsuo, Hirokazu Harima, Hiroshige Takahashi, Tsugio Tabaru
& Yoko Matsuno

The EPROM has attracted widespread attention for its use in small-batch production of a wide variety of electronic instruments. On the other hand, when large quantities of a ROM with the same memory content are required, the substitution of low-cost mask ROM devices is preferred. Using micro-photolithography techniques coupled with low-power high-speed circuit design, the M5M2364-XXXXP 64K-bit mask ROM with EPROM read-mode compatibility has been developed. The article discusses its circuit operation and operating characteristics.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 5, pp. 48~52 (1983)

The Functions and Hardware Configuration of a Distributed Processing System

by Masaru Kogata, Noboru Nakashima, Harutomo Takatoshi, Hironobu Miura
& Kazuo Iwama

For centralized processing to meet demands for higher data-processing speeds and new functions in office computers requires increases in computer size and system complexity that cause inevitable delays in the provision of these additional capabilities. The use of distributed processing to meet these same demands has therefore been spreading.

The article discusses the special functions and the hardware and software features of a specific corporate distributed processing system based on the MELCOM 70/150 minicomputer and the MELCOM 2350/45 intelligent terminal.

低温用半密閉形圧縮機の新シリーズ

原 明*・藤條邦雄*・森 常德*・大井手正彦*

1. ま え が き

冷凍機用圧縮機に関する市場の要求は、使用環境とエネルギー事情の変化により近年ますます厳しいものになっている。低温用圧縮機は、食品の鮮度維持及び貯蔵という目的に適うよう高い信頼性が求められるのは当然として、据付条件の過密化に対して低騒音化、エネルギーコストの上昇に対して高効率化などの要求が高まっている。これに対し従来は、複数台の圧縮機を採用する方法や制御方式の改善などで対応していたが、今回半密閉形圧縮機の基本的な特性改善を目標にFシリーズを開発した。このFシリーズ圧縮機は国内の低温市場だけでなく輸出への展開を考慮して、性能、コスト共に低温用半密閉形圧縮機として世界のトップレベルの達成をねらい、下記の目標の下に開発した。

1.1 騒 音

低温用圧縮機は主として食品の冷凍冷蔵に使用されるため、季節、昼夜の別なく運転される。一方、据付環境は住居の過密化により発音源と住居が接近して、特に低騒音化の要求が強い。したがって騒音値の目標としては国内及び海外の低温用圧縮機の騒音レベルを調査し、その最低レベル以下とした。

1.2 効 率

低温用圧縮機は稼働率が高く、一般に年間運転時間は7,000時間にも及ぶ。したがって効率改善は大きな省エネルギー効果を生み出す。このシリーズの低温用半密閉形圧縮機の開発に当っては、効率つまり成績係数の大幅な向上をねらい、冷媒R22、凝縮温度45℃、蒸発温度-15℃の条件において成績係数COP=2.1を目標とした。この値は世界のレシプロ式の従来機に比べてかなり優位であり、ロータリ式の圧縮機の同一条件の成績係数に対しても約5%優れた値である。

1.3 信 頼 性

低温用圧縮機は、季節を問わず高圧縮比での連続運転を要求され使用条件が厳しい上、万一の事故の影響が大きく、空調用圧縮機の数倍の寿命と高信頼性が要求される。半密閉形圧縮機の歴史を見ると、初期には弁機構の耐久性が問題であったが、最近では弁の耐力が強化されたので冷媒R22の使用による高圧縮比、長尺吸入配管据付による過熱運転に起因する寿命劣化が問題として残っている。したがってFシリーズでは、軸受しゅう（摺）動部の信頼性の向上、長寿命化を図り潤滑性能において最も信頼できる圧縮機を目標とした。

1.4 重 量

圧縮機の重量はケースとモータの重量で決まる。ケースの小形軽量化にはモータの形状寸法、及びケースの保有油量が重要な要素となる。モータの寸法は効率改善のためには小形化の限界があり、油量についても吸入配管の長尺化に対し、信頼性を確保するためには減らすことのできないものである。したがって重量については1.2節に示す効率目標を達成し、保有油量についても圧縮機容量に応じて最大の油量を確保した上で最軽量の圧縮機を目標とした。

以上の目標の下に開発した圧縮機（電動機定格出力5.5kW）の

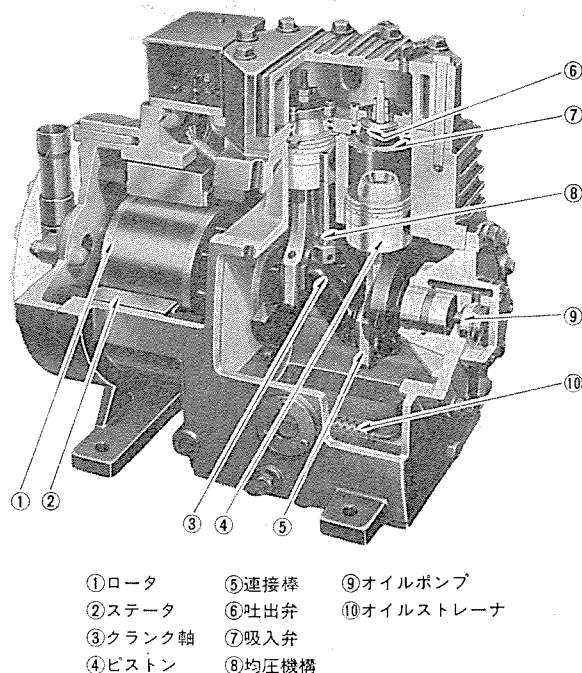


図 1. 新シリーズ圧縮機構造

構造例を図1.に示す。

2. 成績係数の向上

圧縮機は蒸発器から戻ってきた冷媒ガスを、シリンダ内に吸い込み、圧縮し、凝縮器に送り出す。この圧縮機の性能は、蒸発器において発生する冷凍能力を圧縮機を駆動するのに必要な動力で除した値、すなわち、成績係数（COP）と呼ばれる無次元の代表値で評価され次式で与えられる。

$$\text{成績係数 (COP)} = \frac{\text{冷凍能力 (kcal/h)}}{860 (\text{kcal/h/kW}) \times \text{電気入力 (kW)}} \\ = \varepsilon_0 \times \eta_C \times \eta_m \times \eta_M \cdots \cdots (1)$$

ε_0 ：定められた条件下で使用冷媒によって決まる熱力学上、理想のCOP（例えば、JIS B 8600 区分C 条件での冷媒R22で、約4.08）

η_C ：圧縮効率

η_m ：機械効率

η_M ：モータ効率

レシプロ式の機械効率 η_m は、長年の改善でほぼ限界値に近いと考えられ、成績係数の向上には、圧縮効率 η_C とモータ効率 η_M の改善が大きく寄与する。

2.1 圧縮効率の向上

圧縮効率 η_C は、吸入弁、吐出弁、ピストンの構造及びその周辺の冷媒通路の寸法・形状に大きく左右される。この新シリーズの低温用半密閉形圧縮機には、新しい弁機構を採用し大幅な性能向上を図った。

その新弁機構の検討例と向上の成果を述べる。

(1) 吸入・吐出弁及び周辺流路での圧力損失の低減
レシプロ式の圧縮機では、シリンダ内の冷媒ガスの挙動は、シリンダトップクリアランス分の残留した冷媒ガスの膨張、新たな冷媒ガスのシリンダ内への吸入、吸入した冷媒ガスの圧縮及び圧縮した冷媒ガスのシリンダ外への吐出の四行程を経て、吸入・吐出が完了する。

この吸入・吐出時には、弁及び周辺流路の流れ抵抗により圧力損失が生じるので、シリンダ内へ新たな冷媒ガスを吸入させるためには、シリンダ内圧が蒸発圧力より低い圧力となるまで、シリンダ内冷媒ガスを膨張させる必要がある。また吸入された冷媒ガスをシリンダ外へ吐出させるためには、シリンダ内圧が凝縮圧力より高い圧力となるまで、シリンダ内冷媒ガスを圧縮させる必要がある。これをシリンダ内圧の過膨張・過圧縮現象と呼ぶ。

このシリンダ内圧の過膨張・過圧縮による圧縮仕事の増分を低減することが、圧縮効率 η_c の改善につながる。このシリンダ内圧の過膨張・過圧縮の低減には、弁周辺の流路面積の拡大や弁・弁ばねの剛性の適正化が有効である。しかしながら、弁周辺の流路面積の拡大のために、単に弁孔の面積のみを拡大すれば、(2)項に述べるように、クリアランス比の増大を招き望ましくない。

(2) クリアランス比の適正化

低温用半密閉形圧縮機は、使用冷媒が R 12, R 22, R 502 と 3 冷媒共用形であるため、圧縮比(凝縮圧力/蒸発圧力)が約 2~15 と広い範囲で運転される。そして、圧縮比が 15 と大きい条件では、クリアランス比が 1% 増加すると、理論上の体積効率は 11% 低下することにもなり、シリンダ排除容積当たりの冷凍能力の低下が顕著となるため、低温用圧縮機のクリアランス比は可能な限り小さくする必要がある。したがって圧縮効率を改善するため、新弁機構のクリアランス比は 2.5% 前後と小さく設定した。

以上のように、低温用圧縮機としてできる限り小さなクリアランス比であって、かつ吸入・吐出流路での圧力損失を減少させるという相反する条件を満足させるため、この新シリーズ圧縮機には低温用半密閉圧縮機としては、初めてのピストン頂部に凸状突起を設けたコンベックスピストンとリング弁を組合せた新弁機構を採用した。

この新弁機構と従来弁機構のシリンダ内圧の実測例を図 2. に示す。図より明らかなように、新弁機構により過膨張・過圧縮量の大幅な低減が図れ、かつ過圧縮量の減少によりシリンダ内へ吸入されるまでの冷媒の受熱量も減少し、体積効率が 4% 向上したこともあわせて、圧縮効率 η_c を従来弁機構に対して新弁機構では 13% 向上させることができた。

更に、弁構造の諸元を変化させると騒音も変化するので、3 章に述べるように、騒音と性能が最良になる仕様にて圧縮効率 η_c を向上させた。

2.2 モータ効率の向上

モータ効率 η_M の向上の検討は、

(1) モータ単体の効率向上

(2) モータ負荷と圧縮機負荷の適正なマッチング

について行い、総合的な効率改善を図った。(1)モータ単体の効率向上には、コア材・コア形状の見直し及び巻線仕様について検討し、

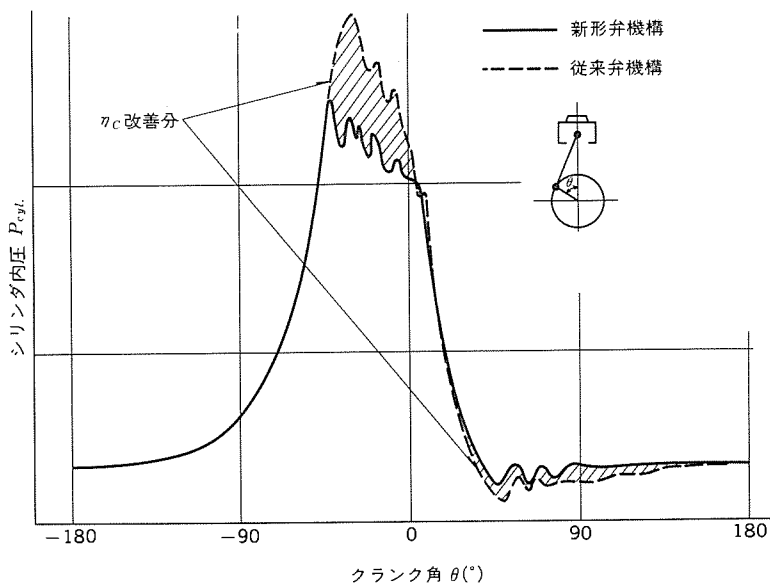


図 2. 新形弁と従来弁とのシリンダ内圧比較

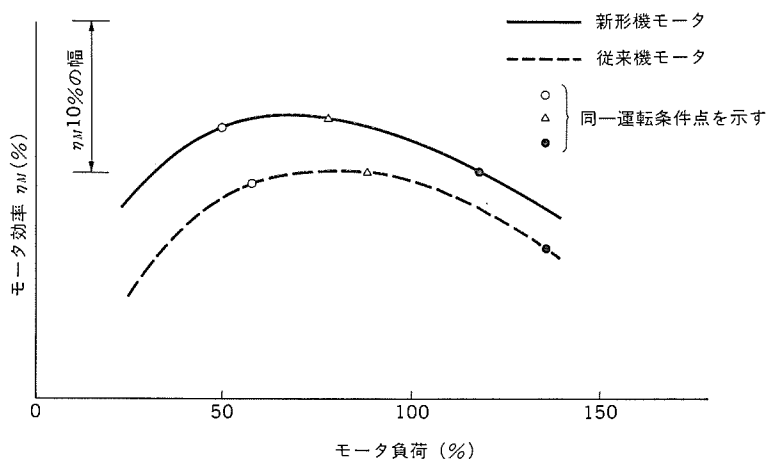


図 3. 新形機と従来機のモータ効率

(2)モータ負荷と圧縮機負荷の適正なマッチングでは、2.1 節で述べた圧縮効率 η_c の向上により、起動トルク及び圧縮機負荷が減少することをも含めて検討した。

図 3. には、従来機と新形機のモータ単体の効率を比較して示す。また、同一運転条件下での従来機と新形機の作動点を同一記号 (○, Δ, ●) にて示す。これより明かなように、モータ効率 η_M は従来機に対して新形機は 3% の向上が図れ、同時に小形軽量化も行えた。

2.3 機械効率の向上

機械効率 η_m は、レシプロ式では長年の改善により、ほぼ限界値に近い状態と考えられるが、軸受諸元、軸剛性、ピストン、シリンダ諸元及び給油機構について、総合的な見直しを行い向上を図った。

2.4 成績係数の向上の成果

2.1~2.3 節に述べた総合的な検討の結果、圧縮機に投入される入力に対しての圧縮機の仕事の内訳を図 4. に示す。図より明かなように、新形機は従来機に比してモータ及び過膨張・過圧縮による損失の大幅な低減が図れており、表 1. に示すように、成績係数 (COP) は、従来機に対して新形機は 15% の向上をみる事ができた。更に、圧縮効率 η_c 、モータ効率 η_M の向上の相乗作用によって、油温の低下・安定化が同時に図れ、信頼性も向上することがで

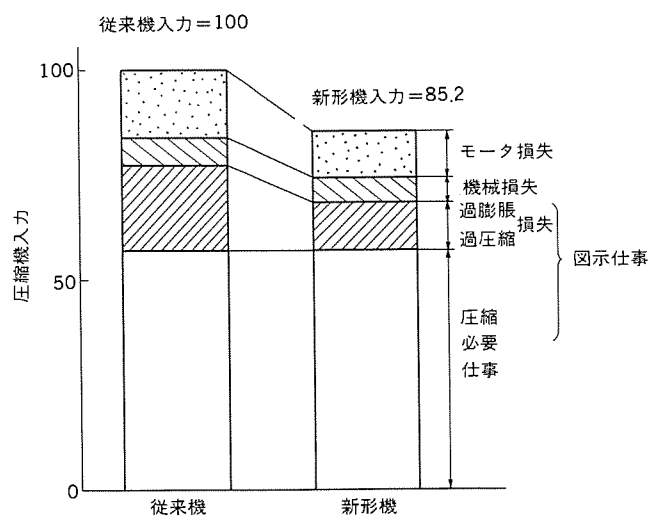


図 4. 同一運転条件下での新形機と従来機の仕事の内訳
(従来機を 100 とした)

表 1. 新形機と従来機の主要特性比較

	従 来 機	新 形 機
成績係数 (COP)	1.00	1.15
体積効率	1.00	1.04
圧縮効率	1.00	1.13
モータ効率	1.00	1.03
機械効率	1.00	1.01
温度		
油 吐 出 温	—	21°C 低下
	—	24°C 低下
重量	1.00	0.85

きた。

3. 騒音低下

試作機について騒音レベルを測定した結果、目標に近い値が得られたが、運転条件の変化に対応して騒音レベルが著しく変動する現象が認められ、騒音レベル変動を発生させる音源を明らかにし、対策を行うことによって目標値を達成できる見通しが得られた。

3.1 騒音源及び対策内容

クランク軸回転角を基準にして、シリンダ内圧力、弁運動、及びケーシング振動などを解析した結果、次のことが確認された。

(1) 騒音レベルの増大は、吐出弁が閉じた直後に発生するケーシングの振動増大に対応している。図 5. は、圧縮比 8.9 及び 7.1 の運転条件下におけるケーシングの振動を示すものであり、この場合の騒音レベルは、圧縮比 7.1 の条件の方が、圧縮比 8.9 の条件よりも 2.3 dB (A) 高いレベルを示す。

(2) 摺動部のクリアランスを極端に小さくするなどの実験を行ったが、騒音レベルはほとんど変化せず、またケーシングの振動レベルについても変化が認められなかった。

(3) ケーシング振動及びシリンダ内の圧力脈動を、1/3 オクターブバンドフィルタを通して同時測定した結果、吐出弁が閉じた直後におけるレベル変化に相関性が認められ、特に中心周波数が 1.6 kHz の帯域では明確であった。更に、スペクトル分析を行った結果、500 Hz~2 kHz の周波数範囲において、運転条件の変化に伴ってケーシング振動とシ

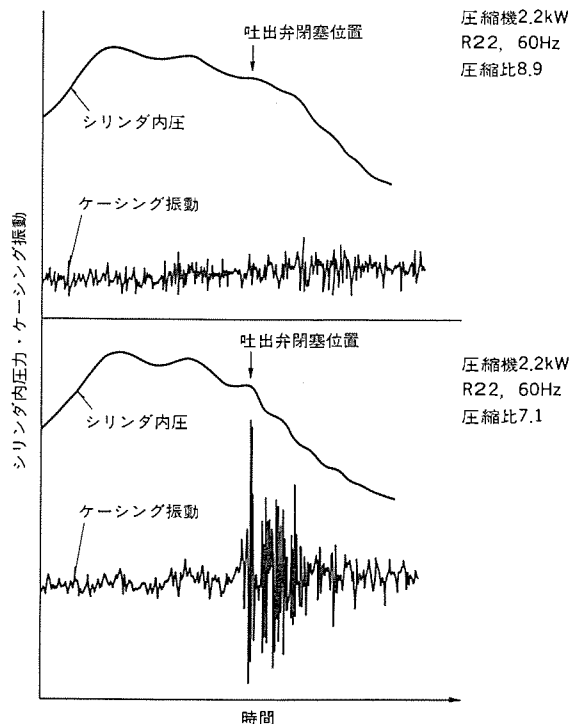


図 5. 運転条件の変化に対するケーシング振動

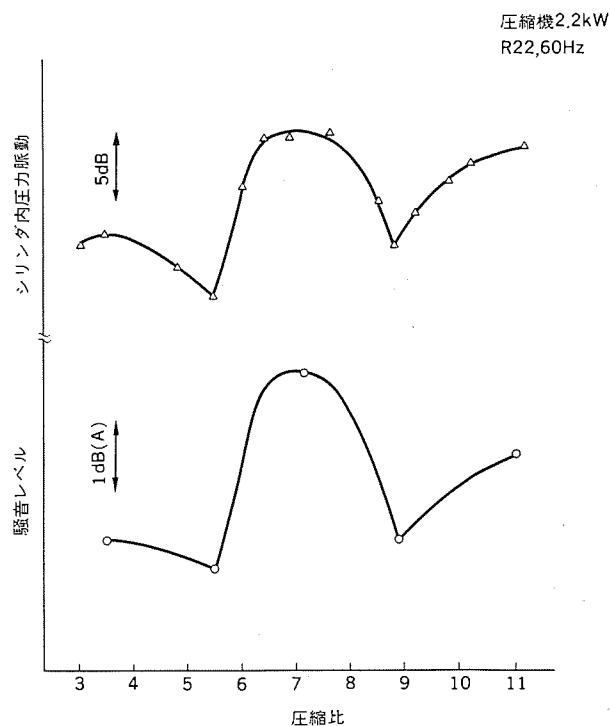


図 6. シリンダ内圧力脈動と騒音レベルとの相関

リンダ内の圧力脈動のレベルは相関的に変動し、このレベル変動は騒音レベルの変化に対応することが確認された。図 6. は、圧縮比に対する騒音レベルの変化と、シリンダ内圧力脈動をスペクトル分析した結果における代表的周波数の脈動レベルとの関係を示すものである。

以上の結果から、運転条件の変化による騒音レベルの変動は、シリンダ内の圧力脈動に起因するものであることが明らかになり、騒音レベルの変動を緩和するとともに、更に騒音を低下させるためには、シリンダ内の圧力脈動を低減する必要があることが確認された。この

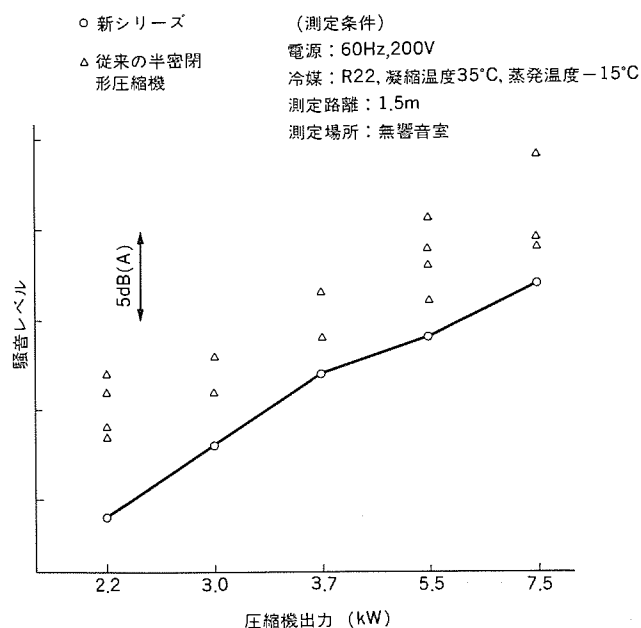


図 7. 圧縮機騒音レベル

対策として、最も効果的と考えられる吐出弁機構について仕様検討を行い、吐出ポートの形状、弁ばねの荷重、弁リフトなどをパラメータとして、効率及び騒音の両面から最適仕様を決定した。

3.2 新シリーズの騒音レベル

以上のような対策を行った結果による騒音値は、図 7. に示すとおりであり、国外をも含め現在市場で使用されている代表的な低温用半密閉形圧縮機について実測した騒音値よりも十分低いレベルにあり、業界の最低レベルに到達するという所期の目標を達成することができた。

4. 信頼性

4.1 給油方式及び軸受材料

軸受部の信頼性確保のために最も重要なことは、先づ十分な量の潤滑油を確実に給油することである。このため 2.2~3.0 kW の圧縮機は、連接棒に取り付けたオイルスプラッシャによりかくはん(攪拌)した潤滑油をクランク軸軸端部に設けたオイルポケットにため、ここからクランク軸内へ導びかれた油を遠心力を利用して軸受部に給油する遠心給油方式を採用している。また、クランク軸にガス抜き機構を設け、軸受部の冷媒流入による損傷を防止している(図 8. 参照)。3.7~15 kW は、クランク軸軸端部に取付けたトロコイドポンプによって、油溜部の潤滑油をクランク軸内へ導き、各軸受部へ圧送する強制給油方式を用いており、従来 2.2~7.5 kW に採用していた「はねかけ給油方式」に比べ、大幅な給油量の増加を図っている(図 9. 参照)。

軸受材料の選定については、耐焼付性、耐摩耗性に最も優れた材料を採用するため、静荷重試験機及び実機運転時に加わる荷重をシミュレートさせた変動荷重試験機による基礎試験、更に実機過酷運転試験などにより、各種材料の焼付・摩耗特性を把握し、もっとも適切な材料の選定を行った。

4.2 均圧方式と潤滑油量

モータを吸入冷媒ガスにて冷却する冷媒ガス冷却方式の半密閉形圧縮機では、モータ室に返ってきた油が溜ってロータの回転による攪拌で再循環し、クランク室内の油不足をきたすことが無いよう、モータ室に返ってきた油を確実にクランク室へ戻す必要がある。このため、従

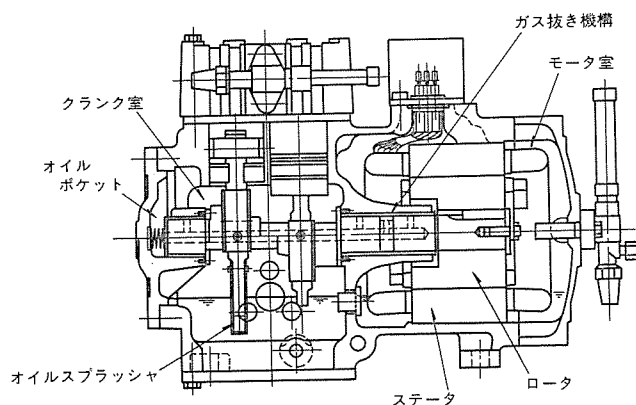
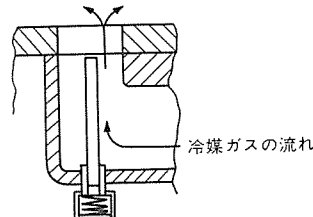
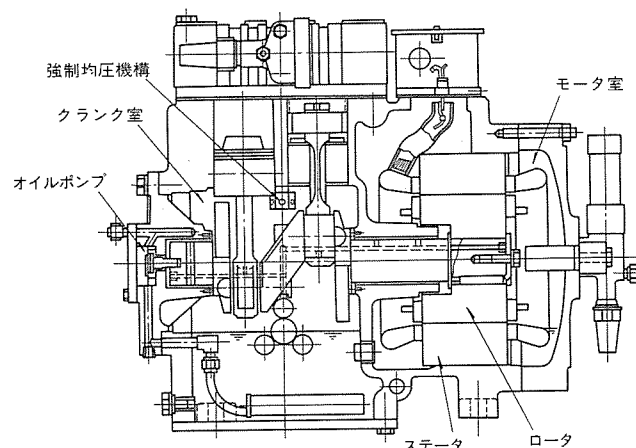


図 8. 2.2 kW 圧縮機構造図



強制均圧機構詳細図

図 9. 5.5 kW 圧縮機構造図

来の圧縮機では、クランク室とモータ室の隔壁に両室の均圧機構を設けていたが、新形では更に油返りを良くするため、クランク室の方がモータ室より圧力が低くなるように、吸入ガス通路の途中でクランク室と連通する強制均圧機構を設けている(図 9. 参照)。この強制均圧機構の採用により、モータ室に油が溜まることが無くなり、従来の圧縮機に比べ油循環量を大幅に低減することが出来た(図 10. 参照)。

更に、同一容量の従来の圧縮機に比べ、十分に大きな油溜めを設け、長尺配管など、油戻りの悪い冷凍システムに対して一層有利になるよう考慮している(図 11. 参照)。

4.3 油温、吐出ガス温度

油温上昇による粘度低下及び吐出ガス温度上昇による油の劣化は、軸受部及びピストンリング、シリンダ、更には弁の寿命に大きな影響を及ぼすとともに、油の劣化によるスラッジの発生により、圧縮不良を生じさせることもあり、油温及び吐出ガス温度の低減は、圧縮機の信頼性向上のための最重要項目の一つである。新形圧縮機では弁機構

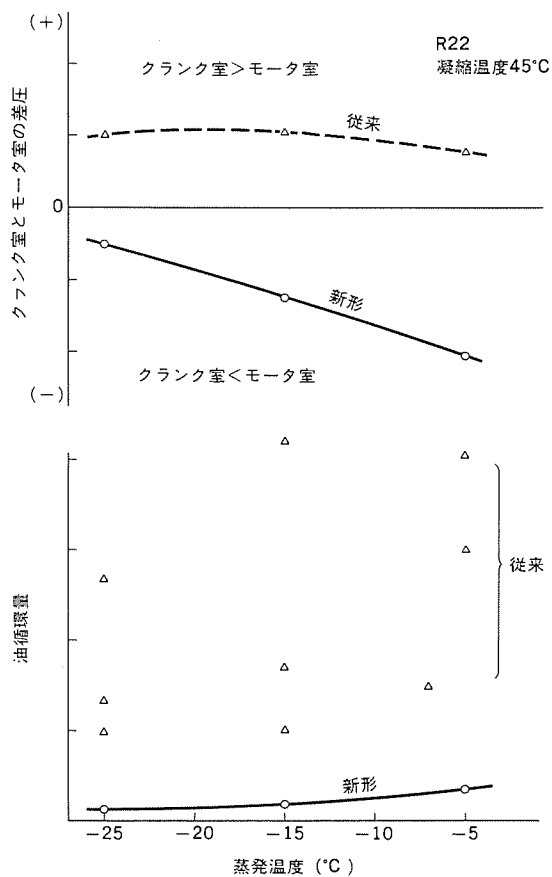


図 10. 油循環量

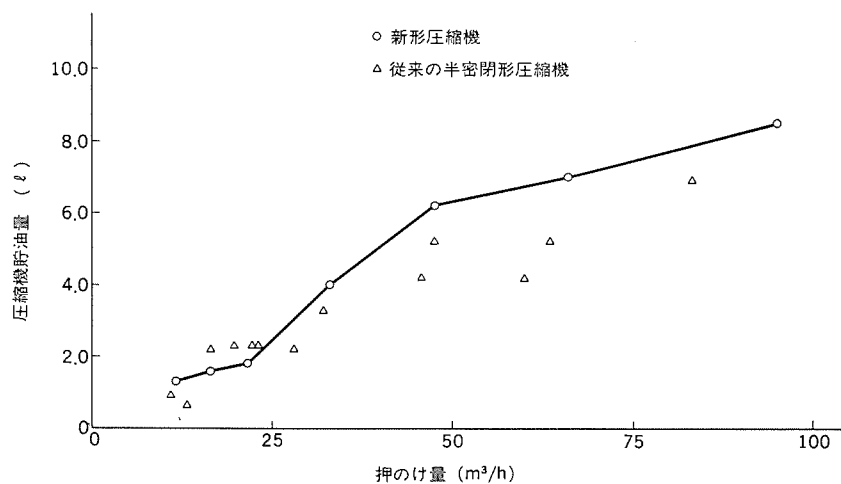


図 11. 圧縮機貯油量

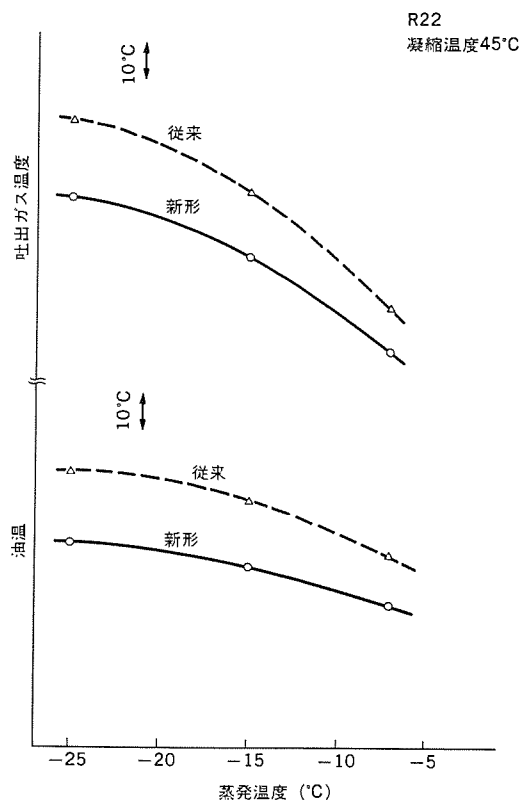


図 12. 油温・吐出ガス温度

の変更などにより、油温、吐出ガス温度共、従来の圧縮機に比べ約 20°C 低下させ、寿命の改善を行い、高温環境など、厳しい使用条件に対しても有利になった (図 12. 参照)。

5. む す び

以上、新しく開発した半密閉圧縮機の構成、特長、及び性能について概略を述べた。この圧縮機が冷凍冷蔵業界の省エネルギー策として広く利用されることを願うものである。

1. ま え が き

自動車の空調装置は乗員に快適感を与え、安全な運転を確保するために重要なものであり、今では自動車の重要な機能製品となり大衆車にまで広く普及している。カーエアコンの装着率は中形車で100%、小形車で90%、大衆車で60%であり、全車平均では70%近くになっている。最近の車の動向は、小形軽量化、エレクトロニクス化、ターボチャージャによるパワーアップが図られているが、基本的には省エネルギー化、軽量、エレクトロニクス化されている。カーエアコンの動向も車の動向と同じように、省エネルギー化、軽量化、エレクトロニクスによる快適化である。

ここで紹介するツインロータリ式カーエアコンシステムは、家庭用ルームエアコンのほとんどに使われているローリングピストン式コンプレッサを可変容量式とし、容量制御運転により省燃費、快適化を図ったものである。

2. ツインロータリ式カーエアコンシステム

2.1 開発の背景

自動車の空調装置は、車内のインストルメントパネル下部に装着されており、吹出し口としては前席乗員の上半身に冷風を送るためのセンター吹出しとサイド吹出しがある。また比較的暖かい風が乗員の足元に出るヒーター専用の吹出し口、及び窓ガラスの曇りを取り、視野を確保するためのデフロスト吹出しがある。車室内の温度は乗員の快適性に大きな影響を与えるため、車の走行状態や環境が大きく変わっても車内温度が適切になるように、吹出し、空気温度を調整する機構が必要である。従来使用されていた温度コントロール方式としては、図1.に示すエアミックス式である。この方法は冷却器で冷却された空気をヒーターコア入口にあるエアミックスダンパにより、ヒーターコアの通る風量を調整し、再加熱量を調節して、所定の吹出し空気温度を得る方式である。この方式によると冷風を再加熱するため、省エネルギーに反していた。すなわちカーエアコンにおいて、圧縮機はエンジンによりVベルトを介して駆動されるのでエンジン回転数に比例した回転数で運転される。

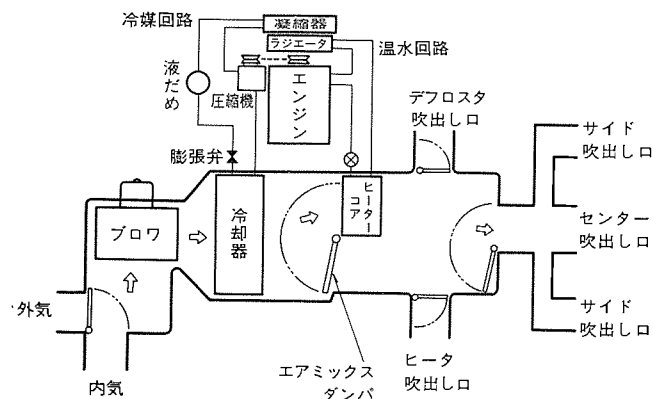


図1. エアミックス方式カーエアコンシステム

エンジン回転数は、アイドリング時の700rpmより高速運転時の4,000rpmまで広範囲に変化するため、圧縮機も冷房負荷とは全く無関係に回転数が変化する。このために一般的にはアイドルでの冷房能力を確保するため、通常走行では冷房能力に余剰をきたし冷風をヒーターコアにて再加熱することにより吹出し空気温度の調節を行ってきた。一般空調用、自動車用を問わず冷房負荷の変動に対応して冷房能力を変動させ運転効率を高めようとする動きは、省エネルギーという見地よりここ数年間高まってきており、一般空調用としても圧縮機の回転数を、電動機の極数変換やインバータによる周波数変換により制御したり、圧縮機にバイパス通路を設けた方法が実用化されている。

2.2 ツインロータリ式カーエアコンシステムの構造・特長

ツインロータリ式カーエアコンシステムの構造は、図2.に示すように可変容量式のローリングピストン式圧縮機、凝縮器、液だめ、温度式膨張弁、冷却器を順次配管でつなぎ閉回路として冷媒回路を形成する。圧縮機はエンジンの回転をVベルトにより伝達し回転する。凝縮器は、自動車の走行風や電動ファンで冷却する。冷却器はクーリングユニット内に膨張弁と一体にして組み込み、車室内の冷房を行う。

可変容量式のローリングピストン式圧縮機は図3.に示すように、2シリンダタイプであり、図3.では1シリンダ休筒運転状態を示す。構成としては、同一容量の圧縮要素を2個、クランクシャフトに直列配置し、吸入ガスの下流側シリンダ（リャーシリンダ）にアンローディングバルブをセット

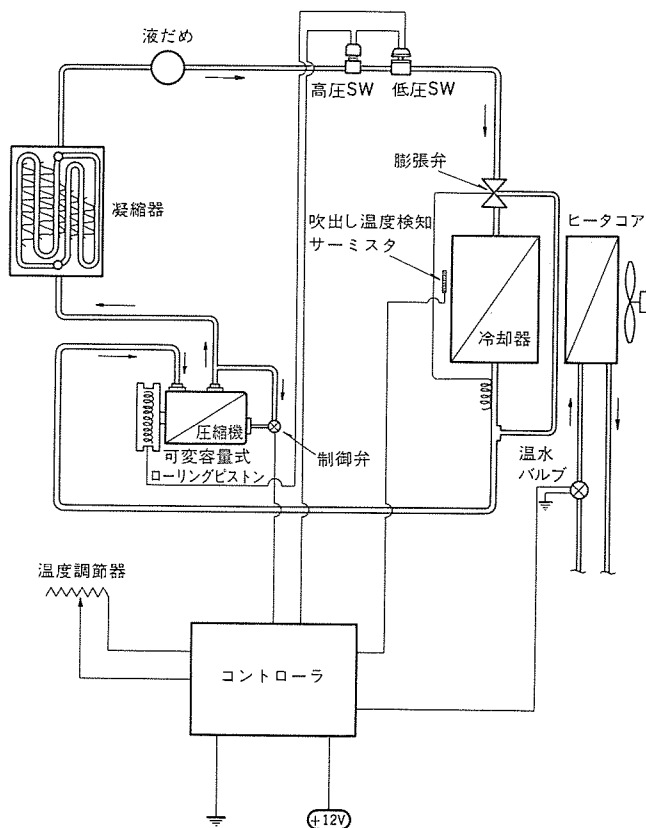
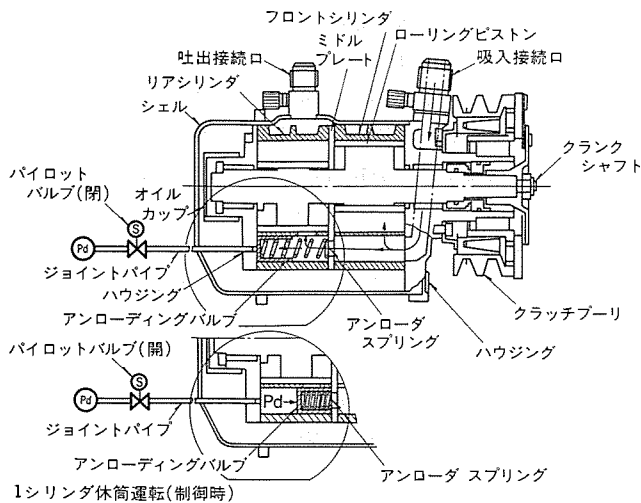
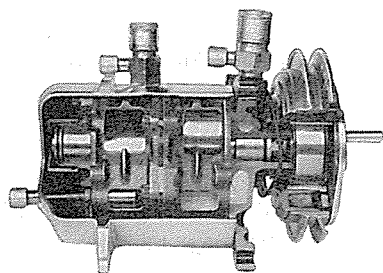


図2. ツインロータリ式カーエアコンシステム



(a) 容量制御形 SAC 439 圧縮機の外観と構造



(b) カーエアコン用 ローリングピストンタイプ
“ツインロータリ” コンプレッサ SAC 439

図 3. 可変容量式ローリングピストン 圧縮機

し、外部制御によりパイロットバルブを操作して、高圧ガスを流してアンローディングバルブを移動させることにより、リアシリンダへの吸入ガス供給を停止させて1シリンダ（フロントシリンダのみ）運転としている。2シリンダ運転の場合は、パイロットバルブを「閉」とすることにより、アンローディングバルブがアンローダスプリングの力により右方向へ移動し、吸入ガスがフロントシリンダ、リアシリンダの2シリンダで供給し、1シリンダ運転時は50%の容量可変が論理的に可能である。

容量可変の制御方法は図2.に示すように、吹出し空気温度感知サーミスタと設定温度により、比較演算して、車内負荷が少ない場合は1シリンダ運転とし、車内負荷が大きいクールダウン時などは2シリンダ運転を行う。また、ヒーターコアに流れる温水流量も同様に温水バルブによりコントロールする方式である。したがって、従来エアミックスダンパにより吹出し温度調節を行っていたため省燃費に反していたが、エアミックスダンパを廃止することが可能となり、ヒーターコアによる再加熱方式が不要となったため、省燃費形のカーエアコンシステムである。すなわち、負荷が大きい時は2シリンダ運転による冷房、負荷が少ない時は1シリンダ運転による冷房、また暖房が必要な場合は圧縮機の運転を停止して、温水バルブの温水流量制御によるヒーターコアでの暖房を行う。

3. 性能特性

3.1 ユニットチャンバ性能特性

図4.はシステム実装時のユニットチャンバテスト性能特性を示す。注目すべき点は、1シリンダ運転時の成績係数の値が大きいことである。このことは冷房負荷が小さい場合は、容量制御運転を行った方が高効率運転となり、省燃費となることを意味している。

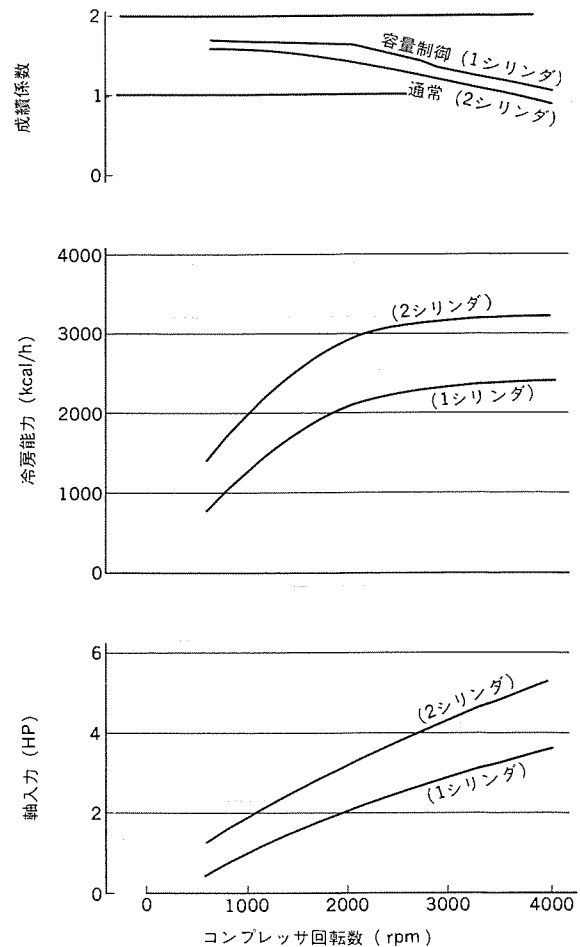


図 4. ユニットチャンバテスト性能 (JIS D 1618 に準ずる)

試験条件：恒温室テスト

ねかし条件 40°C 80% 日射0.7kW/m²h 30分間
ドア開放 車速風なし

試験条件 恒温室内40°C 80% 日射0.7kW/m²h
40km/h定地走行 車速風速度対応
車内全閉、内気循環

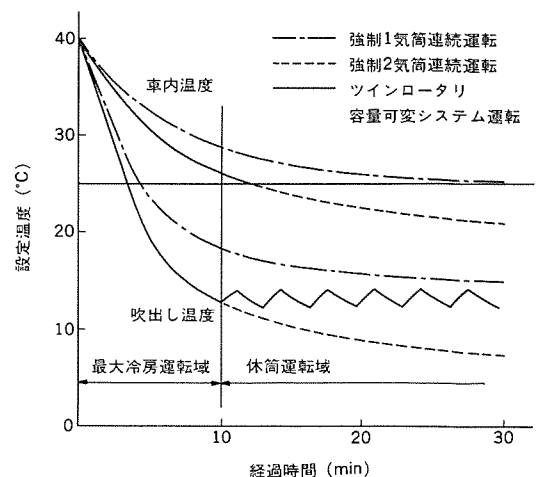


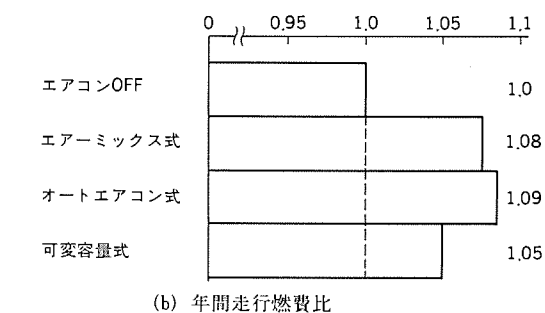
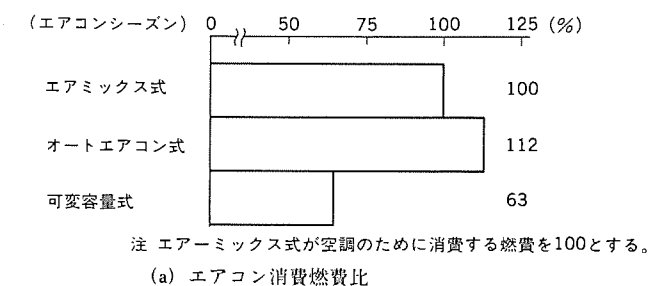
図 5. 実車冷房運転特性

3.2 実車冷房運転特性

図5.は実車にツインロータリ式カーエアコンシステムを組み込んだクールダウンテストを実施したデータである。運転開始時は、素早く設定した車内温度へ到達すべく、最大冷房能力運転（2シリンダ）を行い、設定

温度に達すれば容量制御運転（1シリンダ）で十分冷房負荷をまかなえることを示している。

図 6. は省燃費特性を示し、夏季シーズンにおけるエアコン消費燃費



—計算法—

年間総走行距離：12,000km, 車内温度25°C制御

$$\text{年間走行燃費比} = \frac{\text{エアコン装着車年間燃費消費量}}{\text{エアコン未装着車年間燃費消費量}}$$

図 6. 省燃費特性（実車走行）

比及び年間エアコン消費燃費比を表す。夏季シーズンにおいて、エアミックス方式が空調のために消費する燃費を100とすると、ツインロータリ式カーエアコン方式の場合は63となり約1/3の省燃費となる。また、年間の自動車走行距離を12,000kmとし、車室内温度を25°Cに制御することを前提とした場合、年間エアコン使用燃費比＝エアコン装着車年間燃費消費量／エアコン未装着車年間燃費消費量は、エアミックス式のときは1.08、ツインロータリ式カーエアコンシステムのときは1.05となる。

このようにツインロータリ式カーエアコンシステムは下記のような種々のメリットがある。

(1) 省燃費

冷房負荷に応じた容量制御が可能であり、効率の良い運転条件下でコンプレッサが稼働するために、従来のエアミックス方式より1/3の省燃費である。

(2) 快適性

コンプレッサON-OFFの突入ショックが小さく吹出し温度変化も小さい。

(3) シンプルなシステム

従来の冷媒回路に少ない部品追加にて容量制御システムが可能である。

4. む す び

ツインロータリ式カーエアコンシステムは、可変容量式のローリングピストン式圧縮機を使用し、冷房負荷に応じて容量制御運転を行うために、従来のエアミックス式に比べて省燃費率は1/3であり圧縮機のON-OFFショックが小さく、吹出し空気温度の変化も少ないため快適性に優れ、構造がシンプルであるため、据付が容易で据付スペースも従来と変わらないなどの数々の長所がある。時代のニーズとして省燃費、小形軽量化、快適性化に対応できるカーエアコン形式として、ツインロータリ式カーエアコンシステムは非常に優れている。

低温用ロータリ圧縮機RL(Z)形

大石 善堂*・山田 秀彦*

1. ま え が き

当社が業界に先がけて、家庭用冷凍冷蔵庫に低温用ロータリ圧縮機(KL(Z)形)を搭載して既に3年になる。小形軽量、高効率という特長をもつロータリ圧縮機は、ルームエアコンなど空調用同様、低温用の分野においても、これまでのレシプロ圧縮機に換わり急速に広がりつつある。

冷凍ショーケース及びコンデンシングユニット、クーリングユニットといった、いわゆる業務用冷凍機器においても、より小形に、しかも庫内容積はより広く利用したいという市場のニーズがあり、この要求にレシプロ圧縮機ではこたえることがむづかしく、レシプロ圧縮機と同容量の低温用ロータリ圧縮機の開発が望まれていた。この要望にこたえるべく、0.6~1.1kWクラスの出力レンジをもつRL(Z)形低温用ロータリ圧縮機を開発したので、ここに紹介する。図1.にRLZ形低温用ロータリ圧縮機を示す。今回開発したRL(Z)形ロータリ圧縮機は縦据付、横据付双方可能で、縦据付タイプをRL形、横据付タイプをRLZ形と称する。

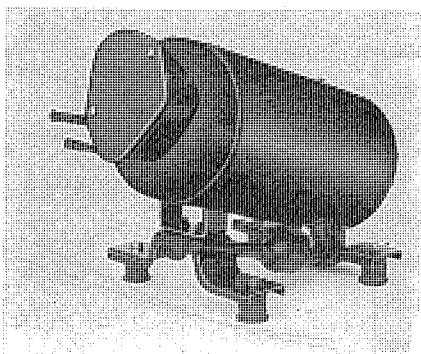


図 1. RLZ 形低温用ロータリ式圧縮機

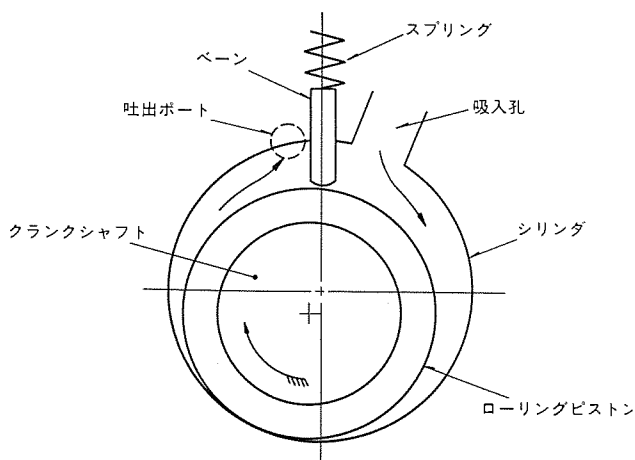


図 2. ロータリ式

2. ロータリ圧縮機

ローリングピストン形ロータリ圧縮機の特長をレシプロ式圧縮機との比較により説明する。

図2., 図3. はそれぞれロータリ圧縮機レシプロ式圧縮機の機構を示すものであるが、これらの図からもわかるようにレシプロ式には吸入弁と吐出弁を備え、ピストンの往復によってクランク軸1回転中に吸入・圧縮吐出を交互に行うが、ロータリ式の場合は吸入弁を備えておらずクランク軸1回転中に吸入と圧縮吐出を同時に行なうことが大きな特長として挙げられる。この機構の違いによって図4. に示すよ

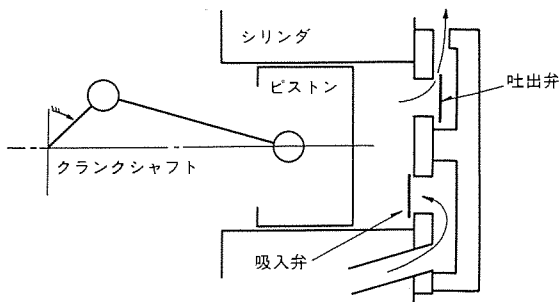


図 3. レシプロ式

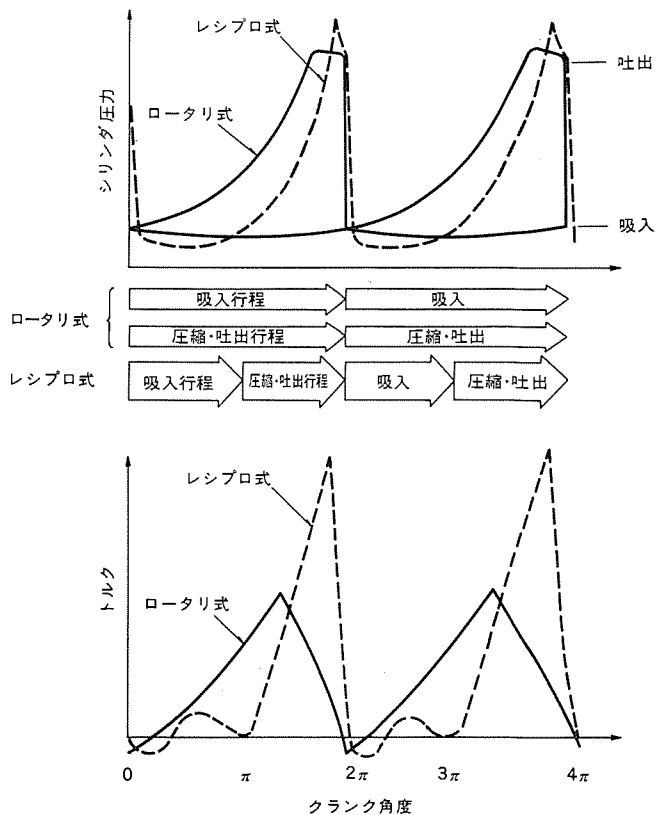


図 4. ロータリ式圧縮機の特長

うにシリンダ内圧やトルクの変動が異なり、ロータリ式はレシプロ式に比べシリンダ内圧変化が滑らかで、トルク変動は約半分である。このことはロータリ式の方が入力ロスが少なく（言い換えれば圧縮効率が良く）、起振力も小さいことを意味している。

したがって、レシプロ式では通常圧縮要素をスプリングを介して外被に固定しているのに対し、ロータリ式では圧縮要素を直接外被で固定しているので小形となる。また、レシプロ式においてはシリンダ室のシールをガスケットやピストンリングによって機械的にシールしているのに対し、ロータリ式ではローリングピストンやベーン（摺動部）に付着する油によってシールを行っているだけである。このようにロータリ式は機構が簡単であることから、部品点数の少ないことも大きな特長である。

しかしながら、低温機器などに使用した場合、

- (1) 圧縮比（吐出圧力/吸入圧力）が高いこと。
- (2) 冷媒流量が少ないこと。

などの理由により、圧縮室を構成する冷媒の漏れの影響が大きくなるため、高効率化はむずかしいとされていた。

3. RL(Z) 形低温用ロータリ式圧縮機の特長

今回開発した RL(Z) 形低温用ロータリ式圧縮機の特長は、次のとおりである。

3.1 小形、軽量

従来の当社レシプロ式圧縮機と比較して、

- (1) 体積 67% 減（密閉容器内容積比）
- (2) 重量 54% 減

と大幅な小形軽量化となっている。これは、2 章で述べたような理由からである。図 5. に GL 形レシプロ式圧縮機と RLZ 形ロータリ式圧縮機の比較を示す。

3.2 高効率

効率については、使用条件（凝縮温度、蒸発温度）を冷凍ショーケースや冷凍冷蔵庫における標準的な条件を定め、従来の当社のレシプロ式圧縮機と比較すると、

$$\text{成績係数は 30\%} \left(\text{成績係数} = \frac{\text{冷凍能力 (kcal/h)}}{\text{入力 (W)} \times 0.86} \right)$$

と大幅に向上している。

図 6. は、今回開発した RL(Z) 形低温用ロータリ式圧縮機と従来の当社 GL 形低温用レシプロ式圧縮機の性能を比較したものである。ロータリ式の特性として蒸発温度の変化に対し、能力・入力の変化が

レシプロ式に比べて少ない。また、凝縮温度の変化に対しては、入力の変化がレシプロ式に比べ顕著に現れる。凝縮温度の低い領域では、レシプロ式に比べロータリ式は格段と高効率となる。

これらは、レシプロ式に対しトップクリアランスが少ないこと、吸入弁がないことやシリンダからの吸熱の影響によるものである。したがって、従来のレシプロ式圧縮機からロータリ圧縮機へと乗せ替えを行う場合は、この特性を利用することにより、更に高い効率改善が可能である。

RL(Z) 形圧縮機では、低温用としてのメカニカル部品、冷凍機油、モータなどの最適化を行うことにより、低温用として使用される全領域において、従来の当社レシプロ圧縮機に対し、効率が向上した。

3.3 縦据付・横据付方式

冒頭で述べたように、今回開発した RL(Z) 形ロータリ圧縮機は、縦据付、横据付双方が可能である。冷凍冷蔵庫や冷凍ショーケースに使用する圧縮機は、普通背の低い方がスペースの有効利用の面から有利である。これは、圧縮機を設置する機械室が下後方に位置するため、内容積を大きくするには機械室の高さを低くしなければならぬからである。したがって、圧縮機を扁平にすればよいわけである

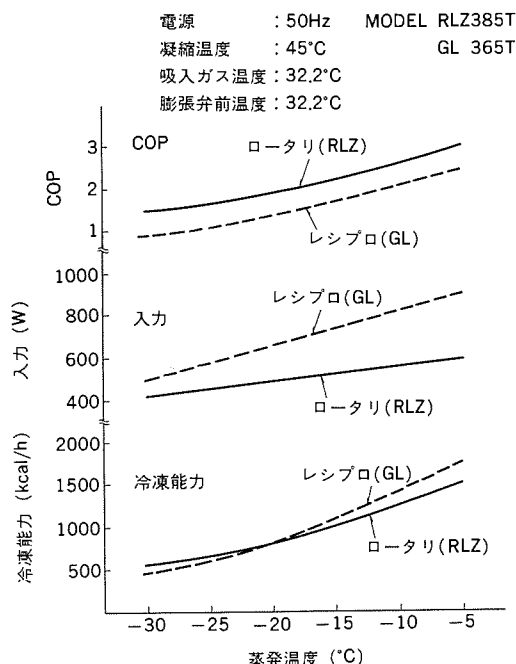
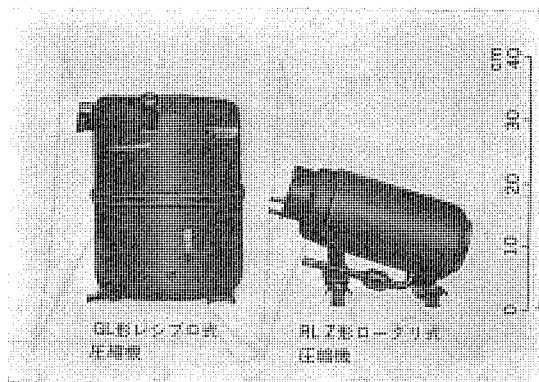
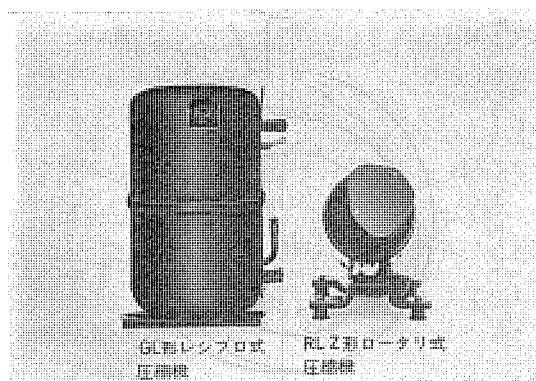


図 6. ロータリ式/レシプロ式圧縮機性能比較



(a)



(b)

図 5. GL 形レシプロ式圧縮機と RLZ 形ロータリ式圧縮機の比較

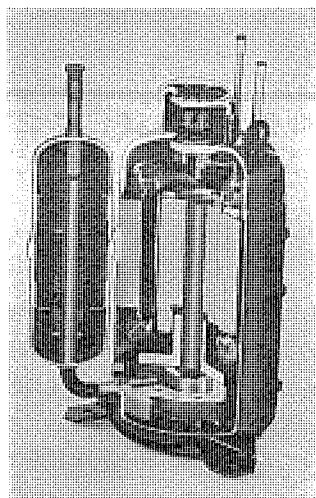


図 7. RL(縦据付)形低温用ロータリ式圧縮機の内部構造

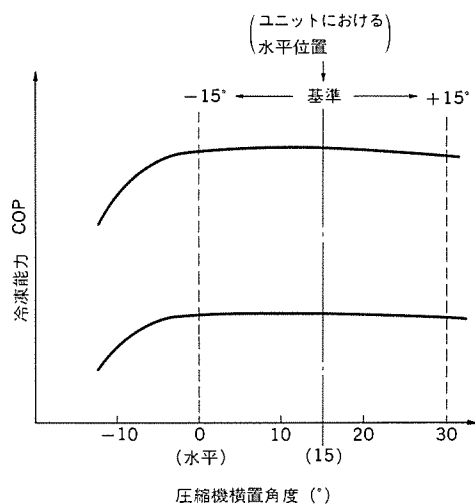


図 9. RLZ 形圧縮機、横置角度一性能曲線

位置まで圧送されて各摺動部に供給するシステムである。この給油システムによって、各摺動部に十分な油量を供給できるようになり、前述の冷媒ガスの漏れを低減し、機械損失も低減でき、横据付式にて縦据付式と同等の性能を有することができた。

更に今回開発した RL(Z) 形圧縮機は、これまでの KLZ 形低温用ロータリ式圧縮機が水平置であったのに対し、横置角度を斜め 15° 置きとしているところに大きな特長がある。これはユニットにおける据付角度は $\pm 10^\circ$ と考えられているが、このクラスのものでは、冷凍機器への応用範囲が広く、その据付性においてもユニットとして考えた場合、 $\pm 15^\circ$ という角度範囲まで想定したものである。

図 9. に RLZ 形圧縮機における横置角度と性能のグラフを示す。マイナス方向とは、圧縮要素部が上方になる方向である。このグラフからみてわかるよう

に、水平よりマイナス方向になると急激に性能が低下する。これは、圧縮要素へ潤滑油の供給がうまく行われなためである。したがって据付角度制限を $\pm 15^\circ$ とするためには、あらかじめ圧縮機を 15° 斜めにしておく必要がある。RLZ 形圧縮機では、このように汎用性のある圧縮機とするために 15° 斜めに置いた足回りとしている。このことは、高さをできる限り低くすることに対し、反しているが、このクラスの圧縮機では前述したとおり、広範囲の冷凍機器への応用を考えると重要なポイントであると判断し 15° 置きを採用した。

3. 4 騒音、振動

一般に圧縮機の騒音発生原因は大別すると、①機械音、②流体音、③電動機音に分けられる。これらの音源から種々の伝達系によって騒音が周囲に放射されるのであるが、レトロ式では音源となる内部機構が防振機構により、外被に対して防振されているために伝達系で大幅に減衰されているのに対し、外吊り方式のロータリ式は直接外被に固定されているため、騒音エネルギーの減衰はほとんど期待できない。特に低温用圧縮機では、機械音が主になるため、この機械音の低減が音対策の重要なポイントとなる。振動についても同様に、機械振動が直接配管へ伝達されるので、冷凍装置に搭載する時の配管についても重要なポイントになる。騒音については、各摺動部に対する高度な加工・組立技術の採用とともに、特に低温起動時の液圧縮防止のため、冷凍冷蔵庫における経験をもとにシリンダ内壁に若干の改良を加えた。

3. 5 信頼性

低温用として使用する場合、圧縮比が高くなり、効率へも影響を及ぼすとともに、寿命という点においても高い信頼性を必要とする。この点においても、RL(Z) 形低温用圧縮機は、優れた潤滑特性と効率改善による機械ロス低減などにより、高い信頼性を得ることができた。

4. む す び

以上述べたとおり、冷凍ショーケース及びコンデションユニット、クーリングユニットなどの業務用冷凍機器分野における市場ニーズを満足する低温用圧縮機を開発することができた。今後、省エネルギー、省スペース、低コストに対する要求は、より一層強くなる。このような要求に対し、一層の改良と機種拡大を推進していく所存である。

が、圧縮機の内部機構によって、その高さを極端に低くすることはできない。前述のように小形軽量化したロータリ式圧縮機においても、その高さをレトロ式より極端に小さくできないのは、そのためである。しかし、外つ(吊)り方式の採用によって、その直径は大幅に小形化となっている。この小形化したロータリ式圧縮機を横置形とすることにより高さを低くすることが可能となり、スペースの利用効率は更に向上することになる。

このようなことから RL(Z) 形圧縮機は、既に当社冷蔵庫用として使用している KL(Z) 形低温用ロータリ式圧縮機同様に、縦据付、横据付の両面から開発を行ったものであり、その双方が可能となった。

3. 3. 1 縦据付

一般的にロータリ式圧縮機は図 7. に見られるような縦据付形である。これは、圧縮要素である機械部品回りの潤滑上、冷凍機油中に浸した方が都合がよく、軸受部に対しても遠心力を利用した給油システムで対応できるためである。縦置きの場合の据付方法としては、従来空調用として用いられていたものと、ほぼ同様の形式となる。

3. 3. 2 横据付

横据付とする場合、縦据付形にて採用していた給油システムでは不可能なため、新たな給油システムが必要となる。

図 8. は、KLZ 形圧縮機に使用しているものと同様の原理によるもので、RLZ 形圧縮機用として再設計を行った。この給油システムは、圧縮機内部の冷媒ガスの運動エネルギーを利用したもので、シリンダから吐出したガスを小径のパイプ(A)に導き、それを潤滑油中で径の太いパイプ(B)内で放出することにより潤滑油を吸入孔より吸引する。この吸引された潤滑油は、太径パイプ(B)内部をクランク軸の中心

1. ま え が き

省エネルギー化の促進という社会的要請にこたえるため、容量制御方式の採用など冷凍機は従来の製品から大いに変わらざるを得ない(貌)をとげ、このため従来では取り上げられなかった問題がクローズアップされてきた。ここで省エネルギーを達成し信頼性を向上させるために、電子技術を利用したコンビネーションマルチ式冷凍機を例にとって冷凍機の運転制御や問題解決手法を紹介する。

2. 食品店舗用冷凍機の特徴

2.1 省エネルギーのための容量制御

生鮮食料品を主体に取り扱う食品店舗は、電力消費量の約50%を冷凍機動力として消費しており、効率の良い冷凍機運転が要望されている。食品店舗では商品を展示販売するためオープンショーケースが多数使用され、所要冷凍負荷構成中に占める外気置換による熱負荷は70~80%と大きく四季の気温変化、夏期の空調機稼働時と停止時の差異や昼夜の差異の影響を受けやすい。したがって、これらを冷却している冷凍機負荷の特徴は変動の幅が大きいことである。

更に冷凍機1台に数台のショーケースを接続して複数の冷媒系統に分け、各冷媒系統ごとに冷媒用電磁弁と温度調節器を設けている。この場合、全部の温度調節器が停止しないと冷凍機は停止しない。したがって、冬期・中間期に負荷が減少しても冷凍機は低負荷運転を続けなければならない場合が多い。このように変動する負荷や低い負荷を通常の冷凍機で冷却すると圧縮機の吸入圧力が下がり、効率の悪い運転になり、省エネルギーの見地から冷凍機の容量制御が必要となる。

2.2 保守管理の容易化

前述のように食品店舗の冷凍機は、負荷変動が激しく運転状態が常に変動している。更に最近の省エネルギー装置、例えばナイトカバー・デューティサイクル・ホットガスデフロスト・ヒートリクレームなど装置全体が複雑化し、熟練したサービスマンでも装置の状態を正確に判断することが難しくなっている。

一方、食品店舗では万一の事故が直ちに商品の損傷に結びつき、それも冷凍機1台に数台のショーケースが接続されているのでその影響は大きい。したがって、冷凍機自体の信頼性はもちろん、冷凍機の不調も容易にかつ早期に発見できるような監視方法も保守管理の面から要求されている。

3. 容量制御運転

3.1 容量制御方法

食品店舗で用いられる往復動式圧縮機では、長尺配管のため油潤滑などの点から回転数変化による容量制御は、まだ信頼性が確立されていない。したがって、マルチ式冷凍機として圧縮機の運転台数を制御する容量制御が、現在では一般的である。圧縮機1台では、低い蒸発温度で運転する時間も長くなり、それだけ無駄な電力を消費し

ている。

これに対し複数台の圧縮機を搭載したマルチ式冷凍機では、負荷減少に応じて吸入圧力が低下すると、これを検出して自動的に搭載圧縮機を順次停止し容量制御運転に入るため、負荷が減少しても比較的高い蒸発温度を維持し効率の高い運転が保たれる。同一条件での試算例では、単なる発停制御に比べて2段階では21%、3段階では27%の省エネルギーが算出されている。したがって、インisialコストや、保守管理の面と省エネルギー効果とを考えると、3段階制御程度が最も実用的と言える。更に容量の異なる圧縮機を並列搭載するコンビネーションマルチ式冷凍機では、圧縮機2台制御で3台制御と同様に3段階の省エネルギー効果が得られるので、今後の容量制御の主流になることが予想される。

3.2 圧縮機均油方法

冷凍機運転の際、冷媒とともに潤滑油も冷媒サイクルを循環するが、並列運転の圧縮機では油が均等にに戻りにくく、更に容量の異なる圧縮機の並列運転では圧縮機間に油面のアンバランスを生じ正常な油潤滑が行えないおそれがある。このため、コンビネーションマルチ式冷凍機では強制均油方式を採用している。2台の圧縮機のうち、容量の大きい方をNo.1、小さい方をNo.2圧縮機とすれば、蒸発器から返送される油のほとんどをNo.1圧縮機へ流入させ、No.2圧縮機への返油はNo.1圧縮機からの均油管より行わせている(図1.)。

(1) No.1圧縮機・No.2圧縮機運転の場合

No.2圧縮機クランク室圧力PC2を、吸入管圧力損失分だけNo.1圧縮機クランク室圧力PC1より低くなるように設定し、No.1圧縮機に返送された油は均油管を通してNo.2圧縮機に入る。

(2) No.1圧縮機運転、No.2圧縮機停止の場合

停止しているNo.2圧縮機のクランク室圧力PC2は、運転しているNo.1圧縮機のクランク室圧力PC1より高くなるが、均油管途中の逆止弁が閉となるため、その影響はなく通常の1台圧縮機と同様の運転となる。

(3) No.1圧縮機停止、No.2圧縮機運転の場合

(2)項と同様、圧縮機クランク室内圧力は運転することにより、No.2が下がり、No.1圧縮機クランク室内圧力PC1がNo.2圧縮機ク

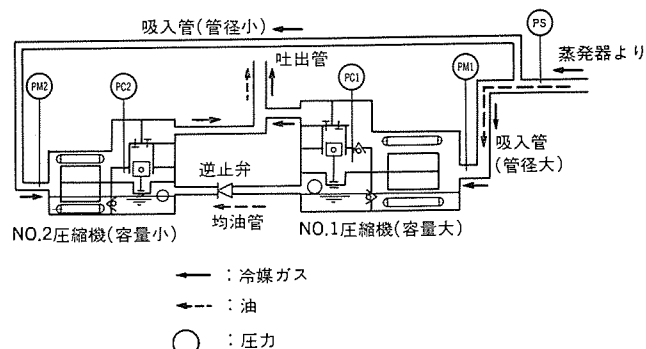


図1. 圧縮機強制均油機構

ランク室内圧力PC2より高くなり、No. 1圧縮機に滴下する油は均油管を通してNo. 2圧縮機に供給する。

なお、圧縮機均油管取出位置を、No. 1圧縮機では油窓中心よりも上とし、過剰の油がNo. 2圧縮機へ移動しないようにしている。以上のように、確実に圧縮機へ油が供給できる機構を採用することにより、異なる容量の圧縮機の並列運転制御を可能にした。

3.3 油戻し運転

圧縮機の潤滑に必要な油は冷媒ガスとともに吐出するので、冷媒配管中を循環して圧縮機へ戻らなければならない。この油の移動は主として冷媒ガスの流速によるが、冷凍機の容量制御運転で冷媒循環量が減少すれば、冷媒流速は低下するので油が移動しにくくなる。したがって、油が冷媒配管中や冷却器内に滞留し圧縮機へ戻りにくく、ひいては圧縮機の正常な潤滑に支障をきたす。

圧縮機へ油を十分に戻すためには冷媒流速を確保するため、コンビネーションマルチ式冷凍機では、軽負荷時に1台の圧縮機が一定時間継続して運転している場合、一時圧縮機を停止させて負荷をある程度確保し、再び圧縮機を2台運転して冷媒流速を上げている。このように冷凍機の軽負荷運転が続き、油が冷媒配管中に滞留しても定期的にその油を圧縮機に戻して容量制御を行う冷凍サイクルとしての信頼性を高めている。

3.4 油面検知及び運転制御

不安定になりがちな低温用コンビネーションマルチ式冷凍装置の圧縮機には、直接油を検知するオイルセンサを取付け、電子制御技術を駆使して油面の管理を行っている。以下この検知及び制御について説明する。

(1) 各種油面検知方法

従来より油面の直接検知は、小形フロートと磁気リードスイッチを用いる方式、静電容量式、電極式及びサーミスタの放熱系数が気液で相違する性質を利用する方式が知られ、用途にあわせて実用化されている。

しかし、フロートの浮力を利用する方式は、激しい油面変動にさらされたり、耐冷媒、耐冷凍機油、耐熱の必要な圧縮機内部などへの適用は困難であり、静電容量式は微小な検出信号のため高価格、不安定さが残り、電極式では導電性媒質以外適用できない。また、単純にサーミスタの自己放熱を利用する方式は、誤差許容範囲の広い温度の安定した液面検知には有効であるが、圧縮機の油だめ部への適用は次項の仕様を満足せず困難であった。

(2) オイルセンサの要求仕様

圧縮機内部の油面検出は、次の過酷な条件を満たさねばならない。

- (a) 使用条件：(i) 周囲温度 $-5\sim 100^{\circ}\text{C}$
(ii) 圧力 $70\text{ cmHg}\sim 30\text{ kg/cm}^2\text{ G}$
(iii) 冷媒 R12, R22, R502 が使用できること。
(iv) 耐油性 各種冷凍機油に安定であること
(v) 耐汚染性 タール生成分の付着の影響が小さいこと。
(vi) 耐湿度性 センサ部が耐湿度性を有すること。
- (b) 応答性：応答性が良く、誤動作なく油面を検知すること。
- (c) 取付性：圧縮機に簡単に取付けられ、信号取出部からの冷媒ガス漏れが年間5g以下のこと。
- (d) 温度依存性：検出特性の温度依存性が小さいこと。
- (e) 消費電力：消費電力が少なく、電子回路構成が容易なこと。

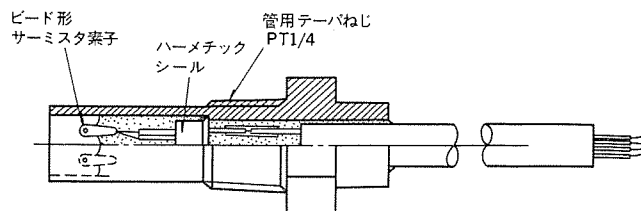


図2. オイルセンサ断面構成図 (サーミスタ素子2個適用方式)

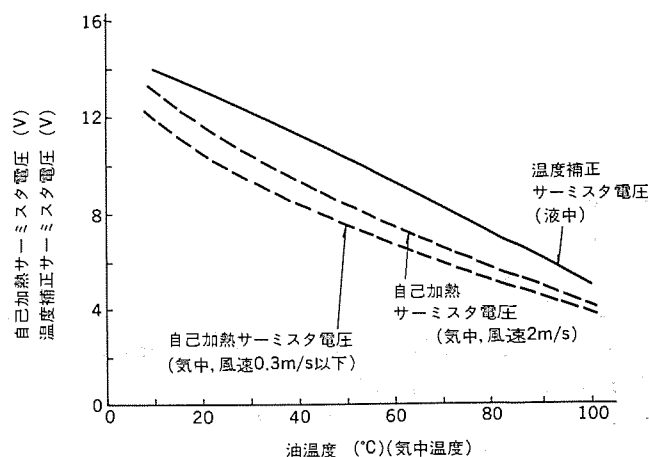


図3. オイルセンサ (サーミスタ素子) 電圧-温度特性

(f) 量産が可能で低価格で供給できること。

(g) 経年変化がなく長寿命であること。

これらの条件を満足するサーミスタ素子を利用したオイルセンサを開発した。オイルセンサは電子制御回路と一体で機能を果たし、回路構成の差でサーミスタ素子が1個又は2個となる。図2.はサーミスタ素子2個の例を示している。オイルセンサの検出原理はサーミスタの自己加熱領域における気中と液中の放熱系数 C_A と C_L の比若しくは差を利用している。放熱系数 C_A と C_L の差を大きくし、前述仕様を満足させるためにガラス被覆されたビード形サーミスタ素子を用い、サーミスタを含めた構成物間との熱絶縁に留意した構造としている。この構造で放熱系数比 (C_L/C_A) は栓形パッケージに実装した状態で最低1.8、最大3.1を確保している。

センサの開発は、検出素子自体よりもパッケージに困難が伴うことが通例である。このオイルセンサも $-5\sim 100^{\circ}\text{C}$ の周囲温度など前述の耐環境性を満足させ、圧縮機の油だめに取付けた場合のガス漏れを防止するため、内部にハーメチックシールを設けケーシングとろう付加工を行い側面部、リード線取出部など内外貫通部はすべて気密保持している。またサーミスタの自己加熱利用の液面検出方式は、素子自体の温度依存性のため周囲温度の変動により、検知精度が低下することがある。このオイルセンサは自己加熱用と周囲温度補正用の2個のサーミスタで温度依存性を補正したり、1個のサーミスタの場合自己加熱用と周囲温度補正用とを共用する回路の付加により、周囲媒質温度 $10\sim 100^{\circ}\text{C}$ の液面検知を保証している。

(3) 制御回路

オイルセンサは、気中雰囲気中で周囲温度よりも $50\sim 100^{\circ}\text{C}$ 高く、自己加熱するサーミスタ素子と、周囲媒質温度を検知する温度補正用サーミスタ素子の各々の電圧を検出し、自己加熱用サーミスタ素子の気液差による電圧変化をとらえて油面を検知している。

図3.はオイルセンサによる自己加熱用サーミスタ素子電圧と、温度補正用サーミスタ素子電圧の温度特性を示す。自己加熱用サーミスタ素子

電圧に関しては、気中雰囲気での周囲気体の流動有無の両状態を例示している。

(4) オイルセンサの適用

取付例としてひまつ(飛沫)給油方式圧縮機の油だめ部を図4.に示す。オイルセンサねじ部は管用テーパねじ1/4のためほとんどの機械の油だめ部に取付けることができる。

オイルセンサを飛沫給油方式の圧縮機に取付けた場合の自己加熱、及び温度補正用の各サーミスタ電圧の実測値を図5.に示す。実測値は飛沫給油方式のため、信号電圧の変動が激しく圧縮機の発停、フオーミングの影響をうけている。したがってオイルセンサ取付場所は回転方向、発停、冷媒溶込みによる

フオーミング状況など考慮して選定する必要がある。図5.の下図は、油を強制的に排出した場合の特性例を示している。オイルセンサは汚れに比較的強く、タール状物質が付着しても熱慣性により検出時間が数秒遅れる程度である。油面の変動にも液中から気中への変化に伴い自己加熱が本格化する時間、すなわち検出までの熱慣性を数秒に設定しているため、油面波立ち脈動で誤動作しない。

(5) オイルセンサと油圧保護開閉器の比較

オイルセンサと同一目的に適用される機械式油圧保護開閉器(ベローズを

表 1. オイルセンサと油圧保護圧力開閉器の比較

項 目 原 因 要 因			保 護 機 器		オ イ ル セ ン サ		油 圧 保 護 圧力用開閉器	
					制 御 回 路 構 成			
					マ イ コ ン	ディスクリット		
保 護 性 能	油 不 足 (圧縮機オイル パン部)	デフロスト回数不足、冷媒ガス 漏れ、ショートサイクル運転、 配管亀裂、低圧異常低下	◎	◎		油ポン プ方式	◎	
						飛沫給 油方式	×	
	過熱運転による 潤滑不良	空気混入、低圧異常低下、ガス 漏れ、弁割れ、電源不良	◎	×		×		
	冷媒混入による 潤滑不良	液バック、クランクケースシー タ断線	◎	×		×		
各 種 比 較	油圧制限 - 差圧、低圧（吸入圧）		○	○		×		
	本体の取付位置制限 - 設置場所		○	◎		×		
	異常表示機能 - 動作の有無確認		◎	○		×		
	接点導通不良 - 微小電流問題		○	○		×		
	既存圧縮機への適用		△	○		×		
	耐振動特性		○	○		×		
	耐外乱特性（耐ノイズ、雷サージ）		△	△		○		

注 ◎ 優れている, ○ 普通, 可能, △ 不要が残る, × 不満, 不可能

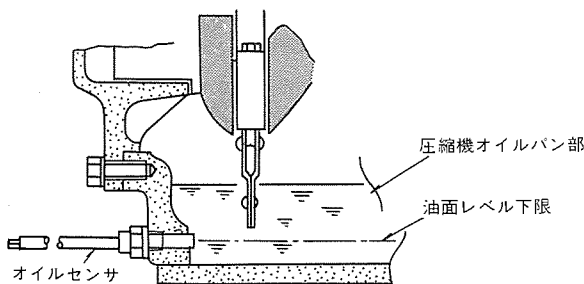


図 4. オイルセンサ取付例(飛沫給油方式)

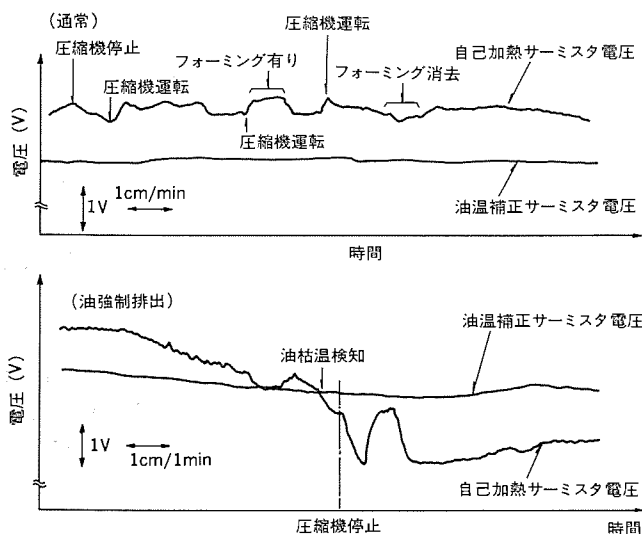


図 5. オイルセンサ(サーミスタ素子)時間-電圧特性

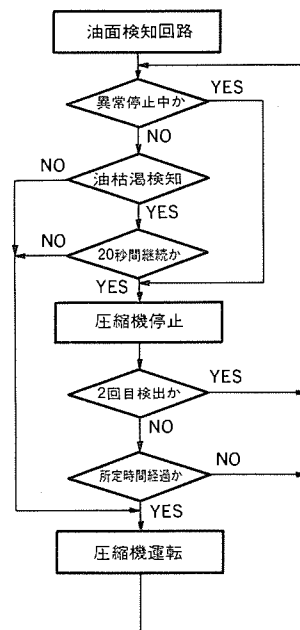


図 6. オイルセンサ制御

用いた差圧スイッチで、油圧ポンプ吐出圧力と吸入圧力を比較し、一定差圧以下の状態を検出してタイマ機構で出力遅延させた制御器)との比較を表1.に示す。ほとんどの項目でオイルセンサの方が優れ、特に飛沫給油方式の圧縮機の場合、油圧保護開閉器は適用できず、強制給油方式の場合でも構成上ポンプ吐出部の液体脈動が直接本体に作用するため、当社の経験ではベローズ部、伝達部の損傷が多かった。

(6) 運転制御

コンビネーションマルチ式冷凍機は、オイルセンサの持つ油量検知機能に加え、図6.に示す構成により更に安定した油面を保証する。油枯渇検知が20秒以上継続した場合圧縮機を停止させ、同時に油枯渇警報を発し所定時間停止する間に低圧上昇を図り油戻りの容易な条件を作り、強制的に再始動させる。再始動後順調に推移した場合、マイコン回路に記憶させて1回動作を表示し、再度油枯渇を検知した場合は外部より手動リセット操作するまで圧縮機停止を継続してサービスの

簡素化と圧縮機の保全を両立させている。

(7) ローテーション 運転制御

ローテーション 運転は同一容量圧縮機を搭載した通常のマルチ式冷凍機に適用し、圧縮機を交互に運転することにより運転率を均一にして圧縮機、電気制御機器の耐久性を向上させる。更に、並列運転する圧縮機間の油面のアンバランスが軽減できる。ただし、ローテーション 運転は異容量圧縮機搭載の冷凍機には容量制御上使用できない。

4. 保護 制御

4.1 ショートサイクル運転防止

冷凍 サイクル 中の冷媒漏れ、圧力開閉器不良、弁回りの漏れなどにより圧縮機が頻繁に発停を繰返すショートサイクル 運転を行うと油上がりが増えて圧縮機の損傷、電気品回りの損傷などの悪影響が生じる。ショートサイクル 防止のため、従来はタイマによりいったん停止した圧縮機の再始動を制限したり、圧縮機が発停1サイクルの時間を制限する方式が空調用途を中心に用いられている。

食品店舗の場合、温度制御が厳密なため3～5分間の始動制限は、敬遠されていた。コンビネーションマルチ 式冷凍機では一定時間内の所定回数以上のショートサイクル 運転を検知すると、ショーケース 冷媒配管中の電磁弁を開状態のまま圧縮機を強制的に一定時間停止して、低圧を上昇させてショートサイクル 運転になりにくい状態にする。更に外部警報を出し、復起後一定期間は短時間の再始動制限と警報継続して、単純な再始動制限でなく ショートサイクル 運転状態を把握した後、対策を講ずる構成としている。

4.2 クランクケースヒータ制御

諸外国では PTC(Positive Temperature Coefficient) ヒータを用い自動温度調整をしたり、圧縮機表面に温度 センサを取付け、ケースの温度が周囲温度より3～5℃加熱上昇するまで始動させない例が見られる。しかし食品店舗では冷却機能が最優先され、前述のような始動阻止は許されない。そこでコンビネーションマルチ 式冷凍機は、

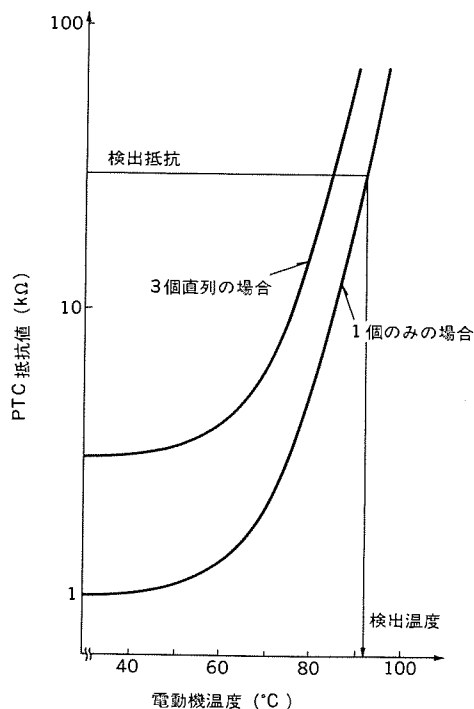


図 7. PTC センサの温度-抵抗特性

オイルセンサの油温度補正用 サーミスタ素子を利用して油温度を検出しヒータ通電を制御している。つまり油温度が設定値以上では無条件にヒータの通電を禁止し、設定値以下では無条件に通電させ、その他の条件では圧縮機停止時のみヒータに通電して節電を図りながら、冷媒の油中への溶け込みを防止している。

4.3 電動機過熱制御

圧縮機内蔵電動機の異常過熱を検知するモータプロテクタは種々存在するが、通常小形密封式 バイメタルを用いたインタルサーモスタットが多用されている。しかし、バイメタル式は動作速度が遅く冷媒漏れ、真空運転時の比較的緩慢な温度上昇に十分対応できるが、圧縮機ロック状態のように温度上昇が早く10～15℃/sの場合には追従できないため、PTC センサを用いたモータプロテクタを使用することがある。特性の安定性、電子回路構成の容易性、電動機への巻き込み性、三相各巻線への埋設後の直列接線などの点からモータプロテクタに関しては、PTC センサは優れており、間欠運転、負荷変動、三相不平衡、欠相、拘束などの異常に対しても保護可能である。図 7. に PTC センサを3個直列にした場合の特性を示す。

コンビネーションマルチ 式冷凍機はバイメタル式、PTC センサのいずれも使用可能であり、異常過熱時圧縮機をいったん停止し所定時間経過後、電動機が冷却した時点で再始動させる。再度異常を検知した場合のみ手動リセットするまで停止を継続し、自動、手動各リセットの長所を生かしている。

4.4 その他の保護制御

前述以外の各種保護制御、予防保全は吐出ガス温度検知、冷媒ガス不足を検知する装置、吸入ガス温度検知など実用化されている。

4.5 監視機能

(1) 油温度監視

油温度を検出し、吐出弁割れ、液バックなどの要因で油温度の異常上昇、低下を判断し、圧縮機の不具合を未然に防止することも行われている。コンビネーションマルチ 式冷凍装置は、図 8. に示す制御で油温度を監視し、警報、表示している。低油温度は検知後数秒で警報するが、周囲温度が低い時、電源投入直後の誤警報を防止するため所定時間警報を禁止する。また、油温度が上昇すれば低油温警報を自動解除する。高油温度はガス漏れ、許容範囲外運転などの危ぐ(俱)があるため、所定温度を超えると警報を発し、手動リセットにより解除されるまでは油温度が低下してもそのまま警報を続けている。

(2) 異常警報

食品店舗全体を制御するシステムの場合、定時診断して予防保全を図

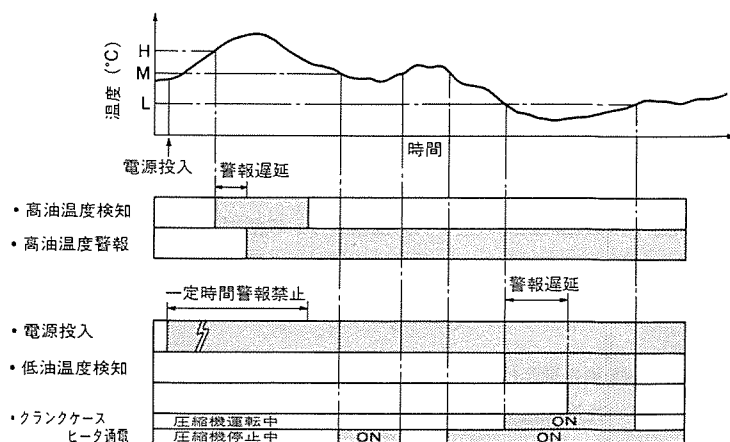


図 8. 油温度、クランクケースヒータ 制御 タイムチャート

表 2. コンビネーションマルチ式冷凍機仕様

形 名		SCR-920 GF		SCR-1100 GF		SCR-1300 GF		SCR-1650 GF		SCR-1850 GF		SCR-2250 GF		SCR-2600 GF		
圧縮機	形 名	SC-920 G		SC-1100 G		SC-1300 G		SC-1650 G		SC-1850 G		SC-2250 G		SC-2600 G		
	形 名	WA-2 LC	WB-2 LC	WA-2 LC	WB-3 MC	WB-2 LC	WB-3 MC	WB-2 LC	WB-4 MC	WB-3 MC	WB-4 MC	WB-3 MC	WB-6 SC	WB-4 MC	WB-6 SC	
	電動機冷却方式	冷媒冷却方式														
	冷凍機油種類	SUNISO-3 GS														
	潤滑方式	飛沫式						飛沫式	オイルポンプ式	飛沫式	オイルポンプ式	飛沫式	オイルポンプ式	オイルポンプ式		
	出力 (kW)	3.7	5.5	3.7	7.5	5.5	7.5	5.5	10.8	7.5	10.8	7.5	15.0	10.8	15.0	
	ユニット定格出力 (kW)	9.2		11.2		13.0		16.3		18.3		22.5		25.8		
	始動方式・容量制御 (%)	順次始動方式 0/39/62/100		順次始動方式 0/30/70/100		順次始動方式 0/42/58/100		順次始動方式 0/35/65/100		順次始動方式 0/43/57/100		順次始動方式 0/36/64/100		順次始動方式 0/43/57/100		
	保護装置	圧力開閉器	付 (DNS-D 306 MQ×2)													
		可溶栓	付 (口径 φ7.2, 溶融温度 75°C 以下)													
インタナルサーモスタット		付 (OFF 110°C, ON 88°C)														
油圧保護開閉器		—	—	—	—	—	—	—	付	—	付	—	付			
サクショナキユムレータ		5		8				20								
電熱器 (クランクケース)		100	100	100	180	100	180	100	180	180	180	180	180	180	180	
ニ置		制御電磁開閉器	M50-A20	M50-A25	M50-A20	M50-A50	M50-A25	M50-A50	M50-A25	M50-A65	M50-A50	M50-A65	M50-A50	M50-A80	M50-A65	M50-A80
		制御盤内蔵部品	圧縮機運転基盤・ホットガスデフロスト基盤及び電子コントローラ基盤取付可能													
		油冷却器	—						—	付	—	付	—	付		
		ドライヤ・サイトグラス・油分離器	付													
	VK (1系統)	VK-281 (冷媒吸入口 φ28.6 ろう付×1)						VK-341 (冷媒吸入口 φ34.9 ろう付×1)								
	VK (3系統)	VK-283 (冷媒吸入口 φ28.6 ろう付×3)										VK-343 (冷媒吸入口 φ34.9 ろう付×3)				
	EMS 制御盤 (電子コントローラ)	制御機能 デューティサイクル (32 分間・16 分間周期・1~15 分停止・オーバーライド, デフロスト後, 運転開始直後 30 分のキャンセル機構付) 保護機能 油枯渇検知, 油温検知, 油戻し運転回路, ショートサイクル防止タイマ														
	ヒートリククレイム用 S.V	三方弁 (接続口 φ28.6 ろう付)						三方弁 (接続口 φ34.9 ろう付)								
	重量 (kg)	380		480		510		530		560		700		730		
	リモートコンデンサ	形 名 (使用台数)	RM-110 F (1 台)		RM-110 F (1 台)		RM-150 F (1 台)		RM-150 F (1 台)		RM-185 F (1 台)		RM-110 F (2 台)		RM-110 F (1 台) + RM-150 F (1 台)	
送風機		プロペラファン														
出力 (W)		200×2		200×2		360×2		360×2		420×2		200×4		200×2+360×2		
熱交換器		プレートフィンチューブ														
重量 (kg)		200		200		260		260		280		400		460		

ることが多いが、冷凍機の場合も圧縮機に与える影響に応じて手動リセットにしたり、履歴表示したりすることが多い。

コンビネーションマルチ式冷凍機は、外部に異常警報する接点をもった総括異常表示、高圧圧力開閉器、過電流継電器などの動作を検出する外部機器異常検出、電動機過熱表示、油枯渇表示、ショートサイクル表示、低油温度、高油温度異常などを表示警報している。

5. コンビネーションマルチ式冷凍機

以上述べてきた冷凍機の保護制御機能を、製品として実現化したコンビネーションマルチ式冷凍機の仕様を表 2. に示す。食品店舗の省エネルギーをねらい、3.7kW から 15kW までの 5 種類、圧縮機を組合せて、7 機種のシリーズをラインアップしている。省エネルギー効果を一層発揮するため、冷凍機を間欠運転させる デューティサイクルに制御機能や、前述の保護監視機能に電子制御技術をフルに活用していることが大きな特長の一つである。製品の外観据付例を図 9. に示す。

6. む す び

最近の電子技術の進歩は目ざましいものがあり、従来機械技術中心で構成していた冷凍機も大きく様変わりしようとしている。これは省エネルギー化や信頼性をより一層向上させたいという社会的要請にこたえるため製品自体が変化してきた結果であろう。今後も機械的

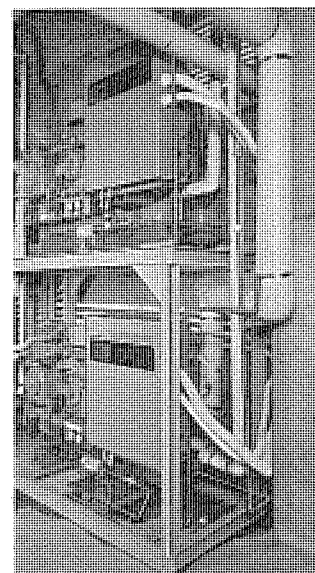


図 9. コンビネーションマルチ式冷凍機据付例

な効率や信頼性向上とともに、各種センサの開発とそれらを冷凍機へ導入する利用技術を確立し、総合技術を結集した冷凍機の実現を目指したい。

冷凍・冷蔵ショーケースシステムの省エネルギー制御

小松 文昭*・水原 博久**・岩瀬 進***

1. ま え が き

冷凍・冷蔵ショーケースシステムの省エネルギー制御に対するユーザーの関心は、長期的な景気低迷などの要因によって急激に高まってきた。

スーパーマーケットなどの食品店舗における電力事情を考えると、店舗全体の使用電力量の約50%は冷凍・冷蔵ショーケースなどの冷凍設備機器によるものであり、しかもその電気料金は全売上高の約2%を占め、スーパーマーケットの純利益に匹敵するほど膨大なものである。

当社は、このようなショーケースシステムの省エネルギー化の要請にこたえて、食品店舗用トータル省エネルギーコントローラ《MELTICシリーズ》と、シングルコントローラ《MELSICシリーズ》を発売し、店舗の規模に応じた省エネルギーコントローラとして好評を得ている。

ここでは、今回開発した冷凍・冷蔵ショーケースシステムの省エネルギー制御法の概要について述べ、併せてこの制御法を採用したショーケースコントローラ《MELTIC 606》とデューティサイクルコントローラ“DC-201 E”の概要と省エネルギー効果について紹介する。

2. ショーケースシステムの概要

図1. に一般的に行われている冷凍・冷蔵ショーケースシステムの構成を示す。ショーケースシステムの基本動作は、冷凍機と凝縮器によって圧縮・液化された冷媒が、各ショーケースに対応した電磁弁を通して膨張弁と蒸発器（冷却器）に流入し、ここで膨張・気化吸熱を行うことによってショーケース庫内空気を冷却するものである。ショーケースの前面は、エアカーテンによってショーケース庫内と庫外を隔てるようになっており、オープンショーケースと呼ばれるものである。

各ショーケースの電磁弁の開・閉は、各ショーケースの庫内温度、又は冷却空気の吹出し口温度をガス式のサーモスタットによって検出して温

度を一定にするように行っている。サーモスタットによって電磁弁が開・閉されているときの冷凍機の動作は、各電磁弁がすべて閉の状態となったときに冷凍機の低圧圧力スイッチが作動して運転を停止する。サーモスタットによって1個以上の電磁弁が開となり、低圧圧力スイッチが復帰したときに再び冷凍機の運転を開始するポンプダウン運転方式である。

ショーケースシステムのデフロスト（除霜）は、24時間形のタイムスイッチによる時間設定に従って、一定時間の周期（4～8時間程度）でデフロストヒータに通電するヒータデフロスト、又は定時的に冷凍サイクルを逆サイクルで運転するホットガスデフロストを行う。このため、季節や天候によるショーケースの負荷変動、すなわち蒸発器への着霜量の変動に関係なく、経験的にデフロスト時間間隔を決定しており、必要以上にデフロストを行うために消費電力量の増加を招いているのが現状である。なお、図1. はヒータデフロストシステムの構成例を示した。

3. 新制御方法

ショーケースシステム制御法の基本思想は、庫内収納品の温度を管理しながらどのようにして冷凍機を効率良く運転するか、どのような手段で着霜量を検知して適切な周期でデフロストを行うかということに極まる。

次に、今回開発したショーケースシステムの省エネルギー制御の概要について述べる。

3.1 デューティサイクル自動延長制御

ショーケース庫内に置かれた商品にはそれ自体に熱容量があり、ショーケース構成体の熱容量も大きいので、冷凍機が短時間停止しても商品の温度が急激に上昇することは極めてまれである。このため、冷凍機を一定周期ごとに強制的に短時間停止させ、消費電力量の節約を行う制御法をデューティサイクル制御と呼ぶ。冷凍機を停止させる時間と周期をタイムで設定し、商品温度が異常に上昇するのを防ぐため

のオーバライドサーモという保護機能を付加する簡単な制御法であるため広く普及している。

本稿によるデューティサイクル自動延長制御は、冷凍機の強制停止時間を冷凍機か、又はショーケース電磁弁の運転率に応じて自動的に延長させるもので、ショーケースの熱負荷を間接的に検知し、熱負荷に応じた冷凍停止時間を選定するものである。デューティサイクル制御によるショーケース庫内温度の上昇速度は、ショーケース冷却負荷に強く影響されるため、変動する負荷に応じて、低負荷のときは冷凍機停止時間を長くして商品の温度上昇を管理しながら効率の良いデューティサイクル制御を行う。

3.2 ブリクールデューティサイクル制御

ブリクールデューティサイクル制御は、前述のデューティ

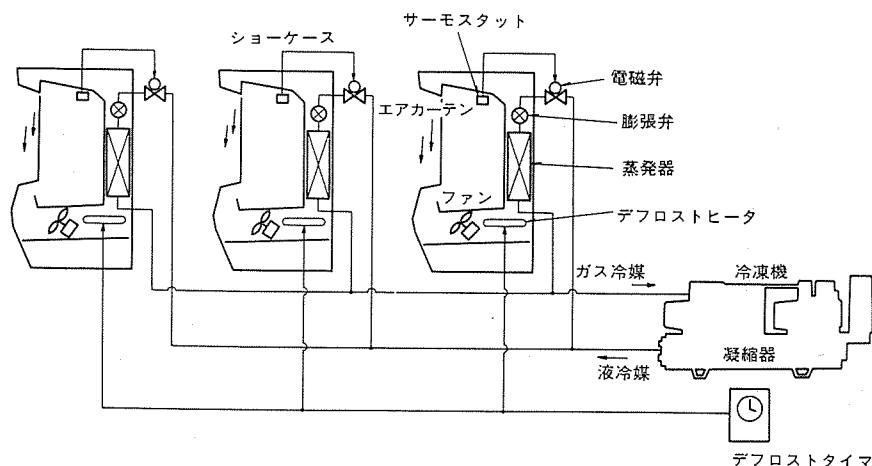
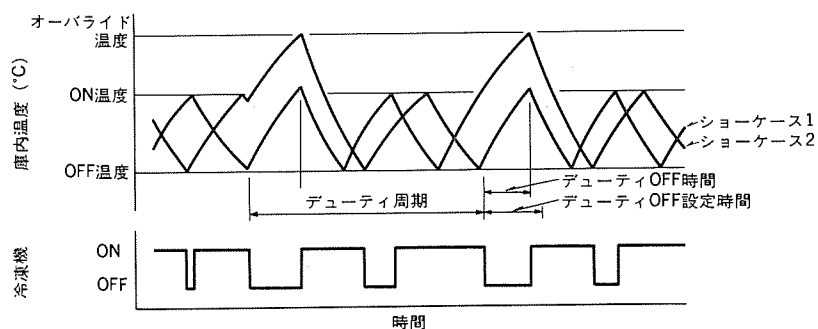
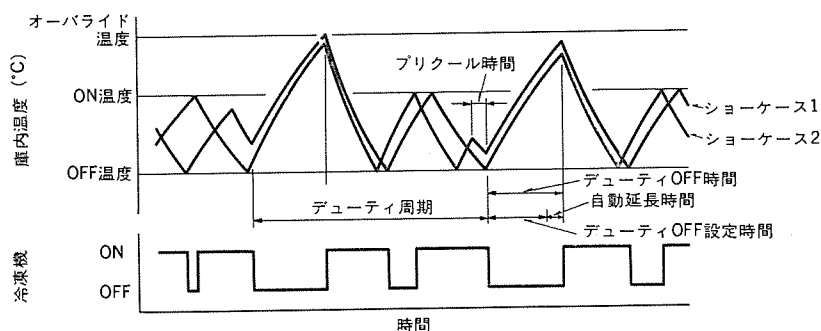


図1. ショーケースシステム構成

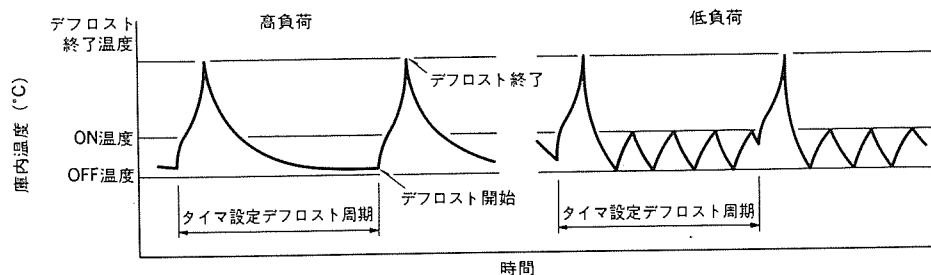


(a) 通常デューティサイクル制御

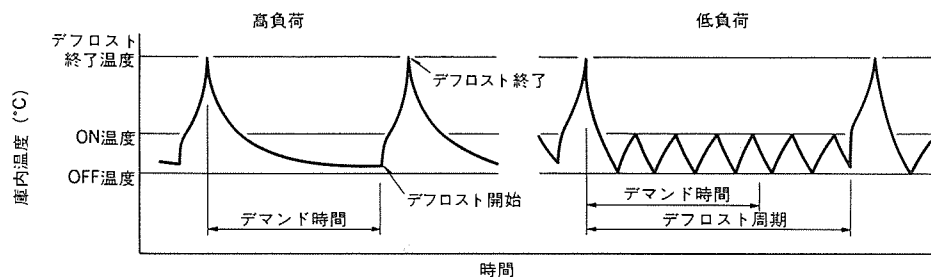


(b) プリクールデューティサイクル制御

図 2. デューティサイクル制御



(a) 通常デフロスト制御



(b) WIDデフロスト制御

図 3. デフロスト制御

サイクル制御の冷凍機停止にあたって、冷凍機の運転・停止を判別し、もし冷凍機が運転状態であれば全ショーケース電磁弁を一定時間開いて強制冷却を行い、各ショーケース庫内温度を温調範囲内で低温方向にそろえる制御法である。

図 2. に、通常のデューティサイクル制御と、プリクールデューティサイクル制御を行った場合のショーケースシステムの動作概念を示す。通常のデューティサイクル制御は、各ショーケースの温度状態に関係なく、一定周期ごとに設定時間だけ冷凍機を停止させるものである。したがって、各ショーケースのうちで1台でも庫内温度が温調範囲のON温度近くに

あった場合には、比較的に速くオーバーライド温度に達し、商品の鮮度維持のために冷凍機を運転する必要が生じる。このため、実際の冷凍機停止時間が短くなり、デューティサイクル制御の効果が十分に発揮されないおそれがある。

これに対して、プリクールデューティサイクル制御では、冷凍機強制停止の数分前に冷凍機の運転状態とショーケース庫内温度を検出し、冷凍機が運転している状態であれば、それまで開いていた電磁弁のほかに温調のOFF温度以上になっているショーケースの電磁弁も開いて数分間(プリクール時間)の強制冷却運転を行い、図 2. に示すように各ショーケースの庫内温度をそろえるものである。このため、庫内温度がオーバーライド温度に達するまでの時間が長くなり、デューティOFF設定時間を長く設定したり、前述のデューティサイクル自動延長制御と併用することによって、デューティサイクル制御の効果を十分に発揮することができる。

3.3 WID デフロスト制御

WID (Intelligence Integral Demand) デフロスト制御は、ショーケース蒸発器への着霜量がショーケース熱負荷に影響されるため、電磁弁の運転率によって熱負荷を検出してデフロスト周期を自動的に設定する制御法である。

図 3. に、通常デフロスト制御と WID デフロスト制御を行った場合のショーケースシステムの動作概念を示す。通常のデフロスト制御では、ショーケース熱負荷の高・低に関係なく、デフロスタイマに設定した時間周期でデフロストを行っている。このため、着霜量が極めて少ない低負荷状態でも定期的にデフロストを行い、デフロストヒータ消費電力と、デフロスト後の再冷却のために冷凍機消費電力の増加を招いてしまう。WIDデフロスト制御は、このような不必要なデフロスト回数を少なくし、着霜量に即した時間周期でデフロストを行うために、電磁弁の積算運転(開)時間が、あらかじめ設定されるデマンド時間に達したときにデフロストを行うものである。極端な高負荷で霜の着きやすい運転状況では、デマンド時間ごとにデフロストを行い、負荷が

軽くなるにつれて長い時間周期でデフロストを行う。このためにデフロスト回数が減少し、消費電力の低減化だけでなく、庫内収納商品の鮮度維持にも効果的である。

4. 制御器概要

4.1 ショーケースコントローラ《MELTIC 606》

ショーケースコントローラ《MELTIC 606》は、マイクロコンピュータとサーミスタ温度センサの採用により、1台の冷凍機に接続した6台までのショーケース群を一括して省エネルギー運転するもので、図 4. に示すような外観である。

この装置の内部構成は、図 5. に示すように 8ビットマイクロコンピュー

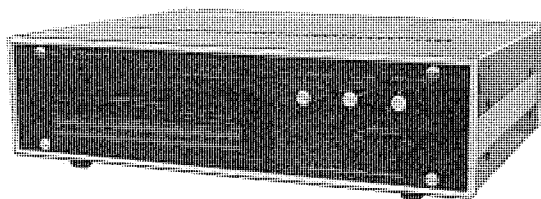


図 4. ショーケースコントローラ《MELTIC 606》外観

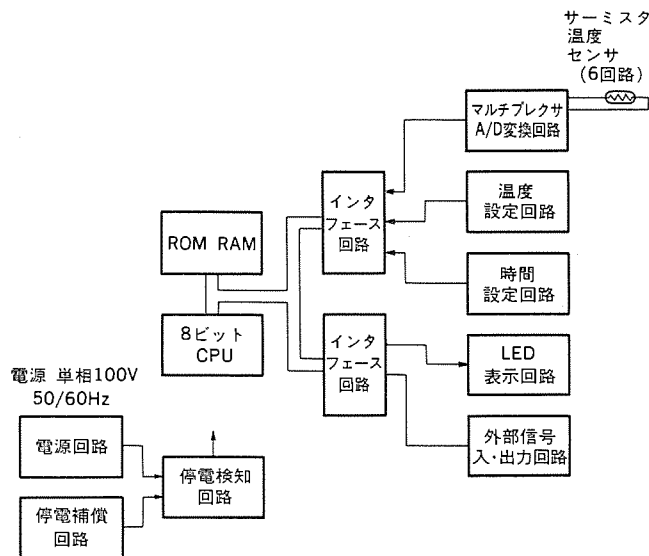


図 5. 《MELTIC 606》内部構成

表 1. 《MELTIC 606》仕様

項目	内容	回路数	条件
入力 (電源)	ショーケース温度入力(温度センサ6個付属)	6	-30~0~+30°C
	デフロスト終了信号	1	無電圧/DC12V 20mAの開閉
	外部強制デューティ信号	1	1a接点 に連するもの
	ナイトセットバック信号	1	ショーケース制御に連動したAC100V 50/60Hz
	AC100V±10% 50/60Hz両用	1	消費VA 50VA以下
出力 (接点容量 AC200V 2A 抵抗負荷)	電磁弁制御(温調用)	6	無電圧1b接点, 電磁弁開の時ON
	デフロスト制御	1	デフロスト時 最大30分間ON
	デューティ制御	1	デューティ強制停止 ON
	警報 (温度異常, 温度センサ異常 (設定エラー, ロータリスイッチ故障, 停電)	1	一括して出力 判別は表示による
	ショーケース庫内温度	1	任意選択表示LED数字表示2桁
表示	電磁弁制御出力	6	LED (緑)
	デフロスト中	1	LED (黄)
	デューティ中	1	LED (白…点灯時赤)
	ナイトセットバック中	1	LED (白…点灯時赤)
	警報	1	LED (赤…点滅)
	停電 (停電によるメモリ消失があった 場合の復元時より30分間点灯)	1	LED (白…点灯時赤)
	電源	1	LED (白…点灯時赤)
外形寸法図 (mm)			

タシステムであり、温度信号入力用のA/D変換回路、制御温度・時間の設定回路、庫内温度や制御状態の表示回路、外部制御信号の入・出力回路、それに停電補償付の電源回路で構成している。

表 1. にこの装置の仕様を示す。その特長は次のとおりである。

(1) 温度制御

サーミスタ温度センサで庫内温度を測定し、あらかじめ設定した目標温度に従って電磁弁の制御を行い、高精度な温度管理ができる。

(2) ナイトセットバック(夜間自動設定変更)

夜間のショーケース庫内は、庫内照明の消灯やナイトカバーの使用のため冷え過ぎる傾向にあり、夜間の目標温度を0~9°C上げて冷え過ぎを防止する。

(3) 温度警報

ショーケース庫内温度が目標温度より15°C以上上昇し、その状態が16分(デフロスト中は64分)以上継続したときに温度警報を発生して事故を防止する。

(4) デューティサイクル制御

あらかじめ設定した周期と停止時間とによって、電磁弁のデューティサイクル制御を行う。この際、電磁弁の運転率を検出して強制停止時間を設定時間の最大1.5倍まで延長する自動延長機能を有する。また、強制停止を行う前に電磁弁の開・閉状態を検知し、開の状態の電磁弁がある場合には一斉に冷却運転を行うプリクールデューティサイクルを行い、効果的なデューティサイクル制御で冷凍機消費電力量を削減する。

強制停止中に庫内温度が、ある設定温度(オーバーライド温度)以上になると、直ちに運転状態に復帰して過度な温度上昇を防止する。

(5) 温度表示機能

6台のショーケースの庫内温度をスイッチによって選択し、2けた(桁)の数字で表示し、制御状態の確認ができる。

(6) デフロスト制御

この装置は、従来行われている定時デフロストのほか、ショーケース電磁弁の運転率に応じて着霜量が異なることを利用し、デフロスト周期を決定するWIDデフロスト方式によるヒータデフロストやホットガスデフロストにも対応でき、効率の良いデフロスト運転が行える。

(a) 定時デフロスト

設定したデマンド時間ごとにデフロストを行うもので、一般的に行われているデフロスト方式である。

(b) WIDデフロスト

各ショーケース電磁弁の開時間を積算し、この時間があらかじめ設定したデマンド時間に達したショーケースがあった場合に、一斉にデフロストを行う。この際、電磁弁の運転率が小さく、着霜量が少ない場合にはデマンド時間を設定時間よりも延長し、過剰なデフロスト運転を防止する。ただし、デフロスト間隔がある設定時間以上に延長した場合には強制的にデフロストを行ったり、冷凍食品用の温度に設定したショーケースがある場合には、自動的に定時デフロスト運転となる保護機能を有している。

(c) ホットガスデフロスト

デフロスト開始条件はWIDデフロストと同じであるが、ホットガスデフロスト中は全電磁弁を開とする。

なお、デフロストの終了検知は、各デフロスト法ともショーケースに設置したデフロスト終了サーモスタットの信号を、入力することで行う。この信号がない場合には、デフロスト開始から30分経過すると自動的にデフロストを終了する。

(7) その他

この装置は、6台までのショーケースを接続した1系統の冷凍機に関する省エネルギー制御が行えるため、店舗全体の改造工事を考慮しなくても分割導入が行える。また、制御信号の入・出力数は表 1. に示したように少なく、配線はショーケース側の機器だけで行うことができ、この装置をショーケース上部に設置すれば配線工事也非常に簡単となる。その他、この装置には停電補償機能、フェイルセーフ設計、外部制御入・出力信号による他の制御器との組合せ制御などの優れた特長がある。

4.2 デューティサイクルコントローラ“DC-201 E”

デューティサイクルコントローラ“DC-201 E”は、冷凍・冷蔵ショーケースや冷凍庫用冷凍機、空調機をデューティサイクル制御によって強制的に間欠

運転停止を行い、省エネルギー運転を行う制御器である。
 図 6. にこの装置の外観、図 7. に内部構成、表 2. に仕様を示す。
 次に“DC-201 E”の特長を示す。

(1) デューティサイクル制御

冷凍機運転率や庫内温度調節器の開閉率により、デューティサイクル強制停止時間を設定 OFF 時間の 1.5 倍まで延長する自動延長機能によって、負荷変動に合わせた効果的なデューティサイクル制御を行う。

デフロストによってオーバライドサーモ信号が入力すると、次のデューティ ON 時間を設定時間より 30 分間自動延長して庫内商品の温度上昇を抑える。また、デューティサイクル強制停止中にオーバライドサーモ信号が入力すると、直ちに運転状態に復帰し、前述の 30 分間自動延長を行って庫内商品の鮮度低下を最小限に抑えるように制御する。

(2) デューティサイクルの外部同期

1 台の冷凍機に異なる温度域

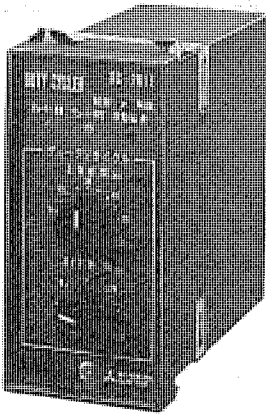


図 6. デューティサイクルコントローラ “DC-201 E 形” 外観

のショーケースを組合せて使用し、同一温度域ごとにこの装置を接続して強制停止開始信号を同期化させると、図 8. に示すように冷凍機が確実に停止して省エネルギー効果を発揮する。

(3) その他

デューティサイクル制御の ON・OFF 時間が連続的に個別に設定できる。また、制御入・出力信号の数が少ないため、配線工事が簡単に行え、小形軽量であるために取付場所の選択に困らないなどの特長がある。

5. 省エネルギー効果

冷凍・冷蔵ショーケースシステムの消費電力の変化要因は、庫内商品や店内空調状態などの熱負荷によるものだけでなく、温度制御によって

表 2. “DC-201 E” 仕様

形 名		DC-201 E
デ ュ ー ティ 出 力	出 力 信 号	b 接点出力(デューティ ON 時間中出力接点 ON / デューティ OFF 時間中出力接点 OFF)
	出 力 数	1
	運 転 時 間 設 定 (ON)	5～60 分及び連続
	停 止 時 間 設 定 (OFF)	0 及び 3～30 分
	停 止 時 間 自 動 延 長	冷凍機運転率により停止時間を、設定時間の 1.26, 1.53 倍に延長する。(手動解除可能)
	デューティサイクル周期	運転 (ON) 時間設定値+停止 (OFF) 時間設定値
	出 力 接 点 容 量	AC 100 V で 10 A (COS φ=1.0) AC 200 V で 5 A
負 荷 ON, OFF 入 力		AC 200 V 50/60 Hz
オーバライド機能		他に設ける温度開閉器の ON 信号(無電圧接点出力)により停止時間強制終了。また、オーバライド信号受信後 1 周期分のみ運転時間を 30 分間自動延長する。
周期同期機能		本機を複数台使用する場合、又は別に親機が設けられた場合に、周期同期端子に ON 信号(無電圧接点)を入力することにより、停止時間の同期が取れる。(終了は個別)
電 源 及 び 消 費 電 力		単相 200 V 50/60 Hz, 2 VA (60 Hz 印加時)
表 示		デューティ ON 時間 発光ダイオード〈緑〉 デューティ OFF 時間 “ ” 〈橙〉 デューティ OFF 自動延長中 “ ” 〈赤〉
外形寸法(幅×高さ×奥行) (mm)		48×96×112
概 略 重 量 (kg)		0.36

注 リード線付属の色は絶縁被覆色を示す。

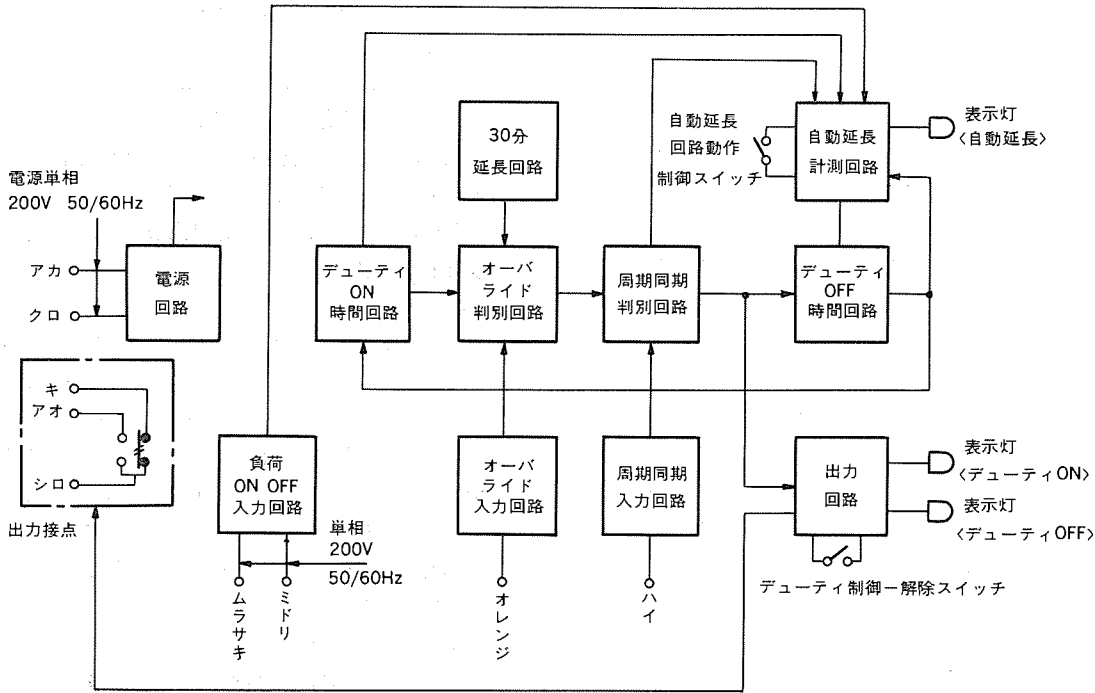


図 7. “DC-201 E” の内部構成

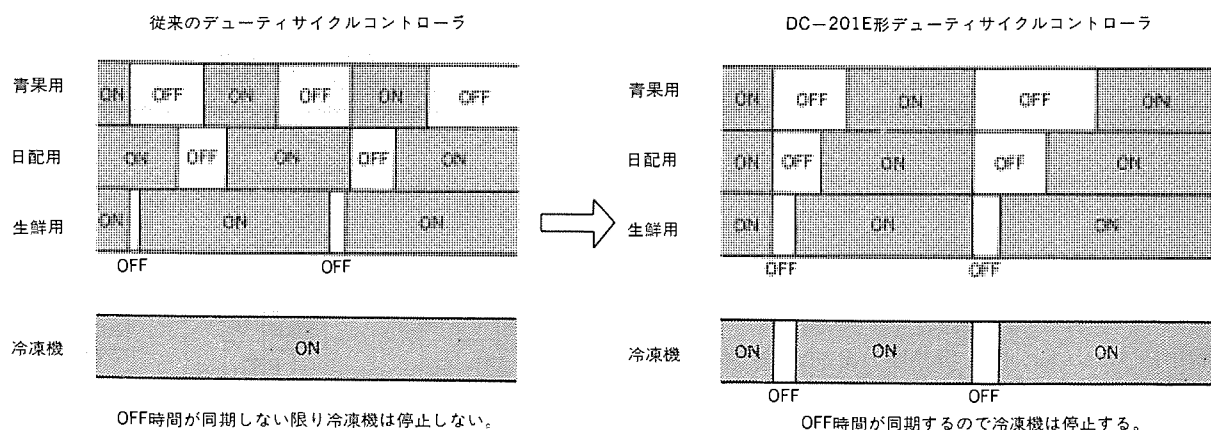


図 8. デューティサイクルの周期化の効果

複数の電磁弁が開閉されるための冷凍機運転効率の変化による要因も大きい。《MELTIC 606》や“DC-201 E”などのコントローラの省エネルギー効果を検討する場合には、これらの変化要因のほかに、ショーケースと冷凍機の組合せや各種温度設定、デューティサイクル時間設定などの要因も加わるため、シミュレーションだけでその効果を求めることは困難であり、実験とシミュレーションによる総合的な効果推定が有効と考えられる。

5. 1 《MELTIC 606》の省エネルギー効果

実験とシミュレーションによる《MELTIC 606》のトータル制御(全機能)の省エネルギー効果は、機械式サーモと定時デフロスト制御に比べて約25%となる。その内訳としては、庫内温度制御の高精度化やナイトセッパック機能による冷し過ぎ防止効果が、約10%、デューティサイクル制御やWIDデフロスト制御による効果が、約15%を占めるものと推定される。特に、WIDデフロスト制御によるデフロスト回数の減少を考えると、従来はタイマによって4回/日行っていたものが、1.8回/日程度にまで減少する場合も考えられ、省エネルギー化が著しい。

食品店舗の省エネルギー制御を考える場合、各々の個別制御法は互いに関連しあって働くため、トータル制御と個別制御を行った場合の各制御法の省エネルギー効果は相当異なってくる。例えば、庫内温度制御によって6%の省エネルギー効果を得た例や、デューティサイクル制御によって17%程度の省エネルギー効果を得た例(共に昭和57年12月、東京都内の某食品店舗)もあり、個別に制御を行った場合の方がトータル制御の項目別省エネルギー効果よりも大きくなる傾向にある。

5. 2 “DC-201 E”の省エネルギー効果

デューティサイクル制御を行った場合、強制停止時間中に庫内温度が上昇し、デューティON時間中の冷凍機運転時間は増加する。しかし、デューティON時間になると庫内温度が上昇しているために、各ショーケースが一斉に冷却され、冷凍機低圧圧力の上昇によって運転効力が向上し、省エネルギー効果が現れる。

表 3. にこの装置を実際のスーパーマーケット(昭和57年6月、東京

表 3. “DC-201 E”の省エネルギー効果

条 件	冷 凍 機		省エネルギー効果 (%)
	電力量(kWh)	稼働率(%)	
通 常 運 転	420	57.7	—
デューティサイクル OFF/ON=8/38分	375	50	10.7

注 冷凍機 SRW-37 PG 形 1台
ショーケース TDP-62 KA 形 4台

都内の某食品店舗)のショーケースシステムに取り付け、実証運転を行った結果を示す。デューティサイクル制御を行うことによって、約11%の省エネルギーとなり、冷凍機の発停回数が昼間で30%、夜間で60%少なくなるため、発停の繰返しによる冷凍機寿命も長くなるものと予測される。

6. む す び

食品店舗における冷凍・冷蔵ショーケースシステムの省エネルギー制御法として、デューティサイクル自動延長制御、プリクールデューティサイクル制御、WIDデフロスト制御の3種類の制御法を取り上げ、その制御法を説明し、ショーケースコントローラ《MELTIC 606》とデューティサイクルコントローラ“DC-201 E”の概要と省エネルギー効果について紹介した。

ショーケースシステムの制御は、温度と時間の設定によって運転していた従来の運転制御から負荷の状態や着霜量を検出して、運転制御を行うデマンド制御に移り変わってきた。今後、ショーケースシステムの省エネルギー化を更に進めるためには、個々のショーケースの温度管理だけに注目した制御だけでなく、ショーケース群の熱負荷の操作によって、冷凍機の運転効率を改善するようなシステムに主眼をおいた制御が必要と考えられる。

パッケージエアコン《Mr. SLIM》の自己診断機能

佐藤 康夫*・杉本 達彦*・小林 靖夫*・中島 康雄*

1. ま え が き

事務所・店舗用 パッケージエアコン《Mr. SLIM》は発売以来需要構造変化に伴い、空冷化、ヒートポンプ化、省スペース化へと推移し、小形化、操作性などの市場要求条件を満足するためにエレクトロニクスの導入は不可欠なものとなった。当社では昭和56年度製品よりマイクロコンピュータ（以下、マイコンと称す）の導入を行い、快適性、省エネルギー性などの機能向上を図るとともに、電源重畳2線式制御方式の採用により、リモコン、室内及び室外ユニットの現地配線を極性なしの2本とし、据付工事の省力化を図り高い評価を得ている。

しかしながら、点検サービス時の故障判定には専用チェックにより、リモコン室内及び室外ユニットの各制御器を個別にチェックし、正常動作することを確認して故障箇所を見つけ出す必要があり、メンテナンスに時間がかかるという指摘も受けていた。

そこでユーザーのニーズ、据付業者、サービスマンの意見にこたえて、ハードウェア、ソフトウェア構成の両面より改良を加え、高信頼性を図り、更に新たな付加メリットとして、梅雨時や秋の長雨時の空調としてエレクトロニクスドライと、据付時の試運転及びサービス時の故障判定を容易にするために、リモコンに自己診断機能付加して、温度表示用LED《グリーンサイン》でモニターできるチェック機能《マイコンドクター》を搭載した昭和58年度製品の開発が完了したのでここに紹介する。

2. ハードウェア構成

リモコン室内及び室外ユニットの制御器は、4ビットマイコン、送受信回路、入出力回路で構成し、極性のない2本配線で各制御器間を接続する（図1.）。

リモコンユニットからの運転指令及び各ユニットの運転制御に必要なデータは、トーンバースト信号を用いて室外ユニット主電源より得た直流電源に重畳してシリアル伝送する。各ユニット制御器においては、制御線よりローパスフィルタで直流分を分離して、制御回路の電源を得、送受信信号はトーンデコーダにより復調したのちマイコンに入力する。

2.1 送受信回路

マイコンのタイミング出力パルスを、フリップフロップで2分周したものを搬送波として用いる。搬送出力をフリップフロップのリセット端子への入力にて制御して、トーンバースト信号を得る。この信号をトランジスタを介してトランス一次側の発振回路に入力し、二次側出力信号をコンデンサを通して直流電源に重畳する。受信信号は、コンデンサで交流分を分離してトーンデコーダに入力し、その出力信号をマイコンに入力する。またこれをマイコンの割込端子にも入力してマイコンの割込機能を用いて信号の検出を行う（図2.）。

送受信回路は、各ユニットの制御器が正常に動作するためのデータの授受を行い、高信頼性が要求される。またトーンデコーダは、使用温度範囲で搬送周波数が検波帯域内に納まるよう、自己発振周波数を無信号時に調整する必要がある。そこで本機では、送受信回路のハイブリッドIC化を図るとともに、トーンデコーダの自己発振周波数を

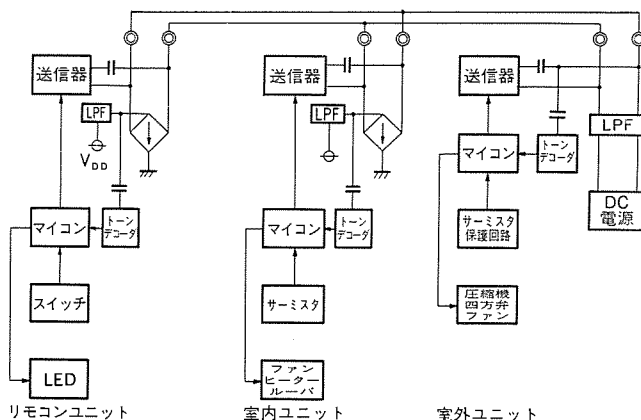


図 1. 回路構成

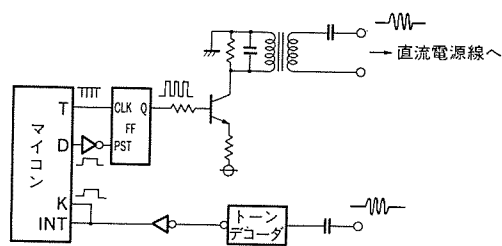


図 2. 送受信回路

ファンクショントリミングによる自動調整とし、制御器に組み込む前の単体動作チェック及び検査を可能とした。

2.2 ファンモータ制御回路

室内ファンの制御は、騒音、冷暖房能力、快適性など最も重要なポイントとなるため、リモコンの送風切替をスライドボリュームを用い、8段切替を可能にしてユーザーの選択自由度を拡大した（図3.）。

送風機の回転数は機種ごとに所要レベルが異なるが、多機種小ロット生産方式を実現するために、全機種同じ仕様のコントローラで制御可能であることが望ましい。そこで、出力ポート（S₀～S₇）に微風ノッチから全速ノッチまでを、8分割した基準電位が得られる抵抗を割り付け、スイッチ（SW1, SW2）の切替えにより、機種ごとに決まる弱風レベルを50/60Hz時にそれぞれ独立に選択できる並列抵抗を加えて、基準電位を持ち上げ、所定弱風レベルから全速ノッチまでの8段制御レベルを実現するようにした。スイッチ（SW3）の切替えにより、使用禁止段数を決定して、機種ごとに決まる強風レベルの補正を可能とした。

マイコンは、電源同期クロック入力により50/60Hzを判定し、受信データ及び配管温度より適性レベルを決定して、ハイレベルにする出力を選択して運転ノッチの基準電位を決定する。この基準電位と零点検知回路及びのこぎり（鋸）歯状波発生器で、出力する電源と同期した鋸歯状波電位とを比較器に入力し、フォトサイリスタに点孤信号を出力する。ファンモータはトライアックで位相制御し所定の回転数を得る。

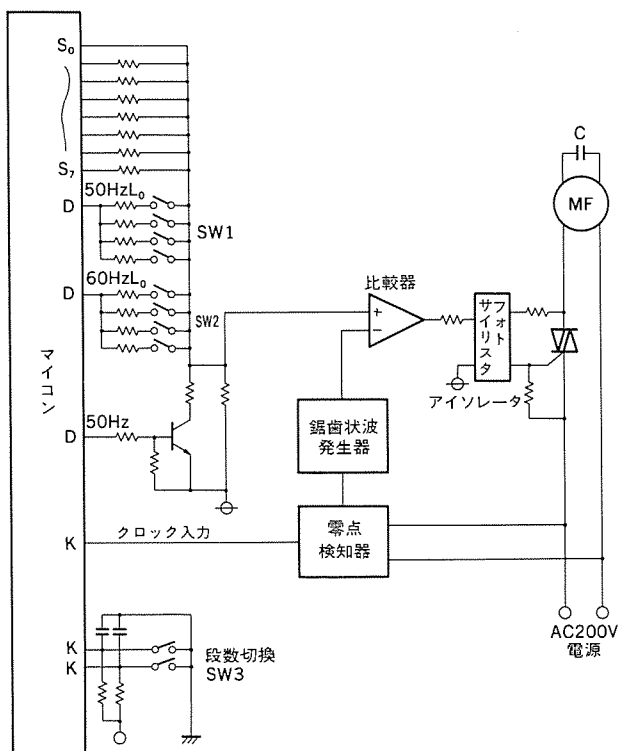


図 3. ファンモータ制御回路

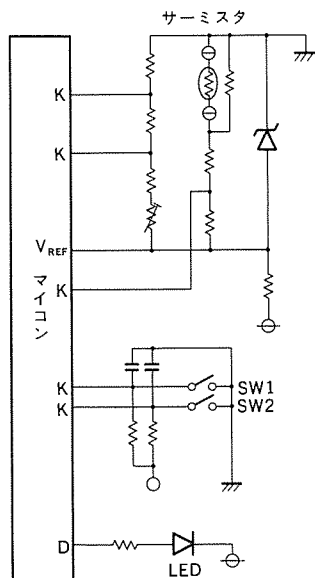


図 4. 温度検出回路

2.3 温度検知回路

室内ユニットでは吸込温度と配管温度、室外ユニットでは、配管温度を検知して各運転モードの適性制御を行う。検知温度範囲が広いのとヒートショックによる経年変化を考慮して、ビード形サーミスタを採用した(図4.)。

サービス時のコントローラ交換時に、サーミスタも一緒に交換しなければならないわずらわしさを解消するために、サーミスタの精度を上げて、サーミスタ自身の温度補正を不要にしてコントローラとの互換性を持たせた。マイコン内蔵のA/D変換器の精度の改善は、ソフトウェアで対応している。サーミスタ入力回路と、基準温度に相当する基準電位入力回路を設け、各々のアナログデータを入力しA/D変換器で分解されたデジタル量の差を演算し、その差が所定回数連続して一致した

場合のみ有効として、基準温度との差によりサーミスタの検知温度を演算する。基準電位の調整は、スイッチ(SW1)をONにすることにより調整プログラムに分歧し、サーミスタの代わりに基準温度に相当する標準抵抗を接続して、基準電位を調整することによりサーミスタ入力回路と基準電位入力回路のデータが一致した時LEDを点灯させる。

天つ(吊)りタイプ機種においては、暖房運転時の吸込温度と居住空間での室内温度との温度差を補正するために、スイッチ(SW2)をONすることにより、実際の吸込温度より4℃低く取り込むよう、基準ビット数を補正するようにした。また、手元開閉器(主電源)を落としたり、停電復帰後に温度設定が、インisialセット値に戻り再度設定し直すわずらわしさを解消するために、リモコンの温度調節はスライドボリュームとした。

3. ソフトウェア構成

基本的にはメインループ、送信ルーチン、受信ルーチンからなっており、通常はメインループで各ユニットの入出力制御を行う。受信入力により割り込みが生じた場合には、スタートビット検知を行った上で受信フラグを1にして受信ルーチンに入る。送信の必要が生じた場合には、送信フラグを1にして送信ルーチンに入る。

3.1 送受信制御

送受信制御の信頼度を向上させるために、送受信頻度を最小限に抑えることを考慮した。停止中の各制御器は送信を行わない。リモコンユニット制御器で運転指令が取り込まれると送信を開始し、運転中は状態変化した時及び変化のない場合にはある一定時間周期で送信を行う。反転返送照合方式により間違いなく送受信できていることをチェックし、誤りがあった時は再送するようにした。また、ある一定回数の送受信誤りが発生した場合には、制御線の断線、送受信回路故障が考えられるので、送受信エラーとして点検モードとし出力を全停止して送信を中止する。

リモコンユニット制御器は、自送信データを受信入力端子より、読み込みが一致しているか照合しながら送信し、送受信回路が正常動作しているかを自己診断している。

3.2 入出力制御

各制御器は、電源同期クロック入力により50/60Hzを判定して、各種タイマー用カウンタを駆動し、サーミスタ入力により温度検知して動作状態をチェックしながら、受信データに基づいた各運転モードの適正制御を行う(図5.)。

(1) サーモ早切れ防止

圧縮機起動時は、冷房モードでは低圧の引き、暖房モードでは、冷風吹出し防止の微風運転により、熱交換器の輻射熱による早切れを防止するために、圧縮機起動から定常運転にいたるまでの間(冷房モードでは2分間、暖房モードでは冷風防止モード「ホットアジャスト」から抜け出るまで)、サーモ機能を無視して運転を続ける。

(2) エレクトロニクスドライ

送風、冷房、暖房運転のほか梅雨時や秋の長雨期の空調として、吸込温度により圧縮機のON/OFFパターンを決め、室内ファンの風量を絞ることにより、室温の低下をできる限り防止した冷房サイクル運転による除湿を行うエレクトロニクスドライを加えた。

(a) 圧縮機制御

(i) サーモ機能(圧縮機起動後2分間は無効)

温度設定範囲19~30℃、ディファレンシャル1℃の吸込温度によるON/OFF制御。

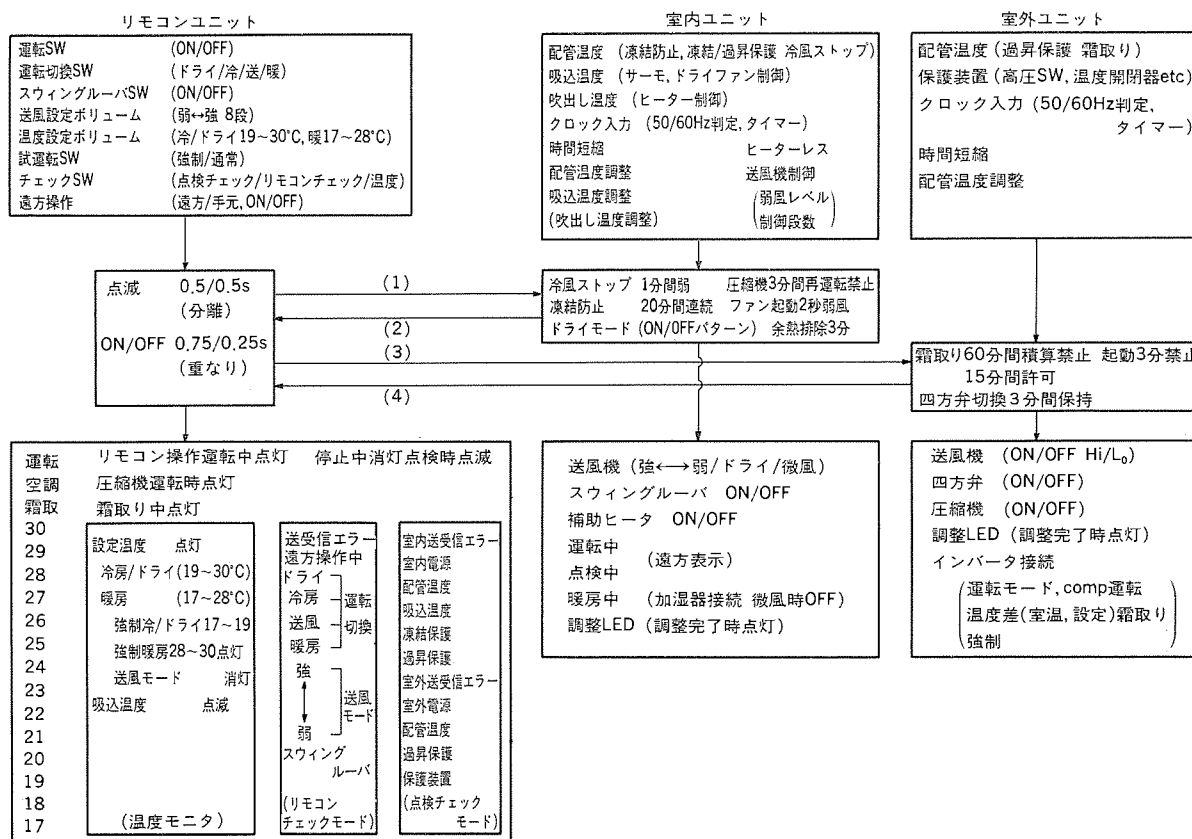


図 5. 入出力制御

(ii) サーモ ON 時の運転 パターン

吸込温度が 28°C 以上のとき 9 分, 26~28°C のとき 7 分, 24~26°C のとき 5 分, 24°C 以下のとき 3 分の ON 時間及び 3 分の OFF 時間の ON/OFF パターン で制御を行う。

(iii) サーモ OFF 時の運転 パターン

2 分の ON 時間, 10 分の OFF 時間の ON/OFF パターン で制御を行い, 吸込温度が 17°C 以下のときは圧縮機の運転を禁止し, 18°C 以上に復帰後解除する。

(b) 室内ファン制御

圧縮機起動と同期して《エドラ》/微風 ノッチ 運転を 10 秒間隔で繰返し, 圧縮機停止後室内配管温度が 10°C 以上を検知後停止する。

(c) 除湿効果

エレクトロニクスドライ の除湿効果を通常の冷房運転 (弱風運転) と比較すると, 例えば室温が 24°C, 湿度 80 % の状態で運転を開始した場合, 冷房負荷が小さいため通常の冷房運転では能力過多となり, 室温制御にオーバシュートが起こり ON/OFF 運転 (5 分 ON / 5 分 OFF) を繰返し, 除湿効果はほとんど得られないのに反し, エレクトロニクスドライ 運転では圧縮機は 5 分 ON / 3 分 OFF 運転を行い, 30 分で 65 % (60 分では 60 %) まで短時間で除湿効果を発揮する。また温度設定が 24°C にセットしている場合の圧縮機 ON 時間は, 2~5 分 OFF 時間は 3~10 分と負荷変動にも既応した室温制御も行う (図 6.)。

4. 自己診断機能

据付時の試運転及びサービス時の故障判定に時間がかかる要因として, 故障モード が同じでも故障推定箇所がいろいろ考えられ, その

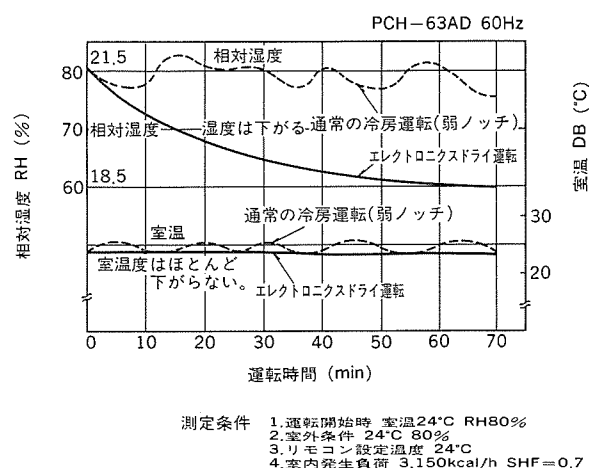


図 6. エドラ 運転時の除湿効果例 (部屋中央での温湿度変化)

仕分けが難しいところにある。例えば冷房運転時に圧縮機が運転できない原因としては, リモコンユニット 制御器においては, 運転切換スイッチ 不良による送風運転指令, 室内 ユニット 制御器においては, サーミスタ断線によるサーモ機能不良あるいは凍結防止モード, 室外 ユニット 制御器においては, クロック 入力不良による 3 分再起動防止 タイマカウンタ 不良, あるいは圧縮機駆動用出力回路不良などが考えられる。

そこで, 各制御器の入力回路のチェック を可能とし, 動作不良原因を容易に判定できるように, サーミスタの短絡及び断線, 電源同期クロック 入力不良の判定機能を各制御器に付加し, 入力 データ 不良時は点検モード として全停止させ, 誤動作を防止し, 更にリモコンユニット 制御器の従来温度表示機能として用いた《グリーンサイン》を チェッカ用 モニタ ーとして兼用した。

4.1 チェック機能

リモコンユニット制御器は、全体のシステムの制御を行うコントロールセンターとしての役割を兼ね、データの授受はすべてリモコンユニット制御器を経由し、室内ユニット制御器と室外ユニット制御器間の直接の送受信を行わない。そのため、自送信信号を受信入力端子より読み込んで照合することにより、リモコン送受信回路の自己診断を行い、送受信エラーが発生した時の故障ユニット判定を可能とした。

リモコンユニット制御器にチェックスイッチを設け、《グリーンサイン》の表示内容を「通常」時は吸込温度点滅、設定温度点灯で温度表示し、「リモコンチェック」時は、リモコン操作スイッチの運転指令モードを点灯、送受信回路不良を点滅表示し、本体チェック時は点検モード時の保護機能作動箇所の点滅表示に変更する。サービスをより正確に行うために、チェックパネルを用意して《グリーンサイン》に合わせると、表示内容、処理方法が判明するようにした(図7.)。

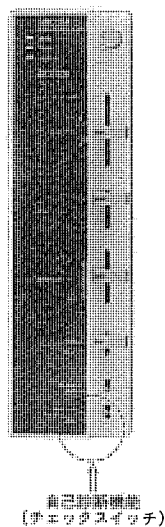


図 7. リモコン

4.2 動作不良時の故障判定

リモコンのチェックスイッチを「リモコンチェック」モードにセットすると、「通常」モードでモニター表示できない運転切換スイッチ、送風切換スイッチ、スイングルーバ切換スイッチによる運転指令モードを表示する。「チェックパネル」を《グリーンサイン》に合わせて、各スイッチを操作してセット位置と運転指令モードが一致していることを確認する。一致しない場合は、リモコン不良であるので交換する。「リモコンチェック」モードにセットすると《グリーンサイン》は2箇所以上点灯する。全消灯している場合は、リモコン制御端子板に直流電源が供給されているかテストでチェックし、供給されている場合はリモコン不良、供給されていない場合は、制御線の断線及び室外ユニット電源回路、ヒューズ、トランスのチェックを行い不良箇所を交換する(図8., 図9.)。

「リモコンチェック」モードでリモコン操作スイッチにより、正常な運転指令が出力されていることが確認できた後に、運転スイッチを操作して運転を開始する。運転表示灯が点灯し、各運転モードで正常に制御されているかを確認する。動作チェックをより明確にするために試運転スイッチを設け、「試運転」モードにするとサーモ機能のみを無視した強制運転を行う。空調表示灯は、室内ユニットの圧縮機運転指令を表示し、正常動作時は圧縮機の運転と同期がとれている。

運転モードと異なる動作をしている場合は、その機能部品が接続される出力端子電圧をチェックして、制御器出力駆動回路不良か、機能部品自身の不良かを判別する(例えばスイングルーバに運転指令がリモコンより出ているのに運転しない場合は、室内ユニット出力端子(L₀, L₁)間電圧をチェックする)。運転中に勝手に停止(運転表示灯消灯)したり、空調表示灯が点灯している時に、圧縮機が運転しないことがあるような誤動作は、制御線のかしめ不良による接触不良が考え

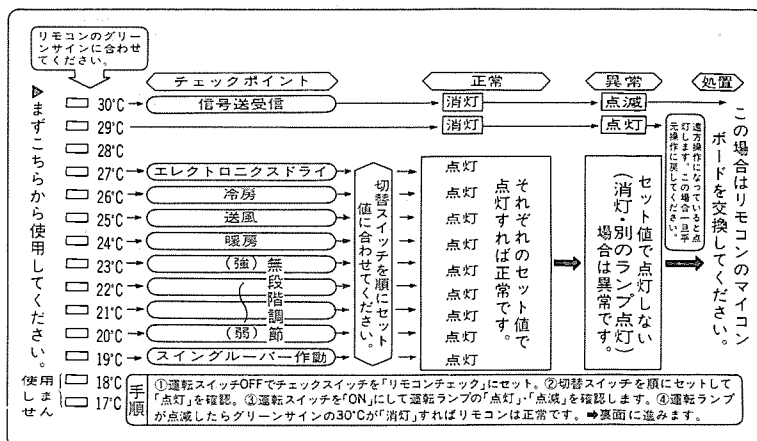


図 8. 《Mr. SLIM マイコンドクター》(チェックパネル) 1. リモコンチェック

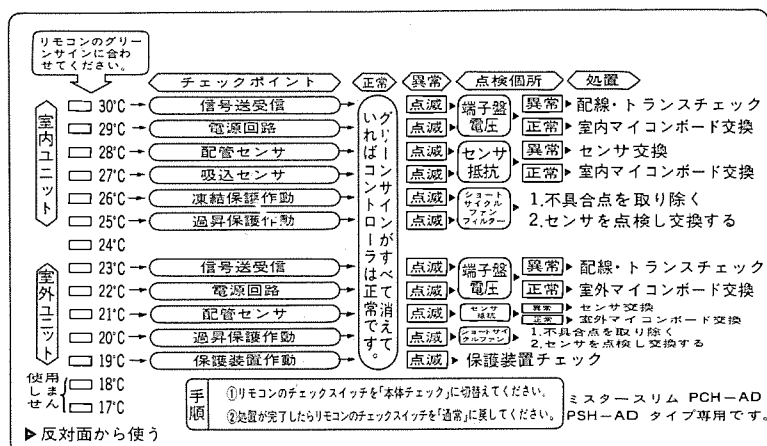


図 9. 《Mr. SLIM マイコンドクター》(チェックパネル) 2. 本体チェック

られる。

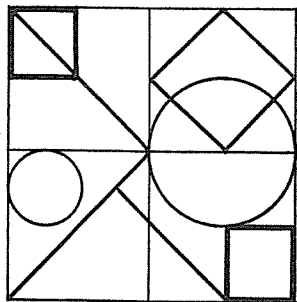
4.3 点検モード時の故障判定

運転中保護機能が作動すると点検モードに入り、運転表示灯が点滅して全停止する。保護機能としては、送受信エラー、クロック入力異常、センサ異常、圧縮機保護装置作動の入力データ異常検知による誤動作防止保護と、フィルターつまり、障害物によるショートサイクル、室内外ファン不良時の異常運転を禁止する凍結保護、過昇保護とがある。運転表示灯が点滅中にチェックスイッチ「本体チェック」モードにセットして「チェックパネル」を《グリーンサイン》に合わせて、点滅表示により保護機能作動箇所をチェックする。

点滅表示された箇所の入力チェック(サーミスタ抵抗、トランス電圧、保護装置等)を行い、制御回路入力回路不良か、機能部品自身の不良かを判別する。

5. む す び

極性なしの2線式制御配線で工事の省力化を実現し、更にハードウェア、ソフトウェア構成の両面より改良を加え、信頼性の向上を図ると同時に、メンテナンスの分野にも省力化を実現した。今後も市場のニーズを的確にとらえた製品を開発していく所存である。



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

密閉形圧縮機 (実用新案 第1384300号)

考案者 武 長 豊・河 村 求

この考案は、複数個の圧縮機を1個の圧力外被内に収めることにより、従来必要であった均圧管や均油管をなくした密閉形圧縮機に関するものである。

図1. は従来の圧縮機に関するもので、一つの冷媒閉回路に複数台の圧縮機(1)(2)を使用する場合、圧縮機(1)(2)に吸入ガスと均等に戻すための吸入分配管(5)が必要となり、また一方の圧縮機(1)のみの運転のとき、圧縮機(1)(2)間に圧力差がつき油が持ち去られて軸受が焼付くのを防ぐための均油管(11)、均圧管(12)が必要となるため、部品点数が多くなり、取付スペースも大きくなる欠点があった。

この考案はかかる欠点を改良したもので、その一実施例を図2. に示す。

すなわち、圧縮機本体(41)(51)は支持板(28)、中吊りばね(25)(26)(27)を介して下側圧力外被(23)に支持され、各ヘッド(43)(53)、吐出管(44)(54)を介して圧縮機本体(41)(51)が上側圧力外被(22)に支持されている。また、下側圧力外被(23)には冷凍機油(29)があり、この冷凍機油(29)の中に中吊りばね(25)(26)(27)、支持板(28)及び圧縮機本体(41)(51)の下部が浸漬してある。このようにして上下圧力外被(22)(23)によりなる1個の圧力外被により、圧縮機本体(41)(51)を密封状態に収納している。

この場合の冷媒ガスは、吸入管(24)→圧縮機(21)→圧縮機本体(41)(51)で吸入圧縮し、ヘッド(43)(53)→吐出管(44)(54)から合流し凝縮器(6)に入り以後膨張弁(7)→蒸発器(8)→圧縮機(21)の吸入管(24)に戻る。

したがって、圧縮機本体(41)又は(51)のみが起動、運転されても同一圧力外被内にあるため、冷凍機油(29)の持込みや流出などの心配がない。

このような構成にすることにより、均圧管、均油管などなしで各圧縮機間の圧力差、冷凍機油不足などの心配がなくなり、中吊りばね、吸入分配管、吸入管、取付足などが共通化でき、部品点数を減少し、全体として取付スペースも減少することができる。

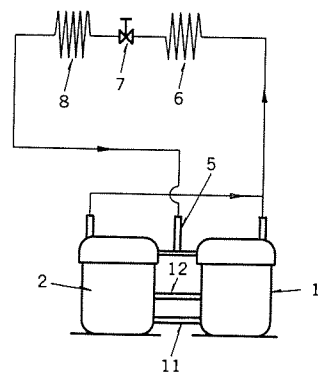


図1

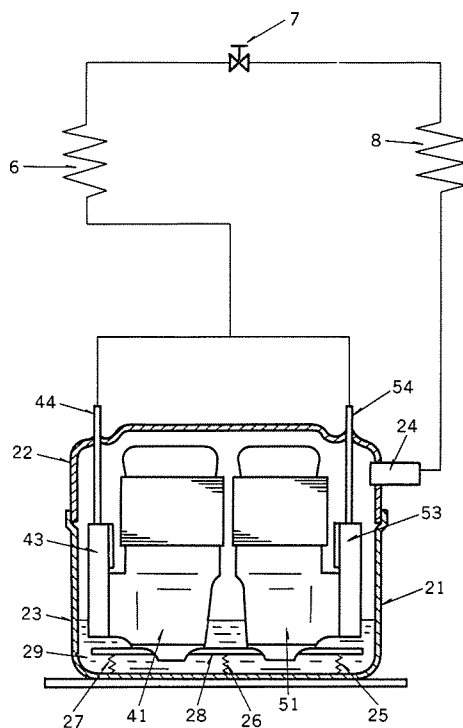


図2

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

回転式圧縮機 (実用新案 第1226753号)

考案者 越 桐 喜 一

この考案は回転式圧縮機の改良に関するものである。

この種の圧縮機は図1. に示すように、潤滑油(8)が貯留されている密閉ケース(1)の内側壁に、電動要素(2)と圧縮要素(3)が一体に連結されて固着し、クランク軸(6)が回転すると、クランクピン(7)は内部に穿設された潤滑油吸入路(20)の下端開口から遠心力により潤滑油(8)を吸入路(20)の内周壁に沿って上昇させて潤滑油を吸い上げ、摺動部を潤滑するよう作用し、一方、シリンダ(12)内のピストン(13)がガスを図2. 矢示a方向から低圧室(4)に流入し、圧縮させて高圧室(5)より矢示b方向に吐出するよう構成されている。

かかる構成の圧縮機にあっては、良好な性能を発揮するためには図1. sのサイドクリアランス並びに図2. cの隙間が十分に小さく、高圧室(5)の高圧ガスが低圧室(4)側に漏れる量を少なくする必要があり、特にサイドクリアランスsの影響は大きく、加工精度がきびしく要求される。

したがって、これが十分に管理されないと、サイドシールが悪くなり性能が低下するのみでなく、潤滑不良による圧縮要素(3)の焼付事故の危険性があった。更に加えてピストンの内周面とクランク軸偏心の外周面との間の潤滑は、従来図3. に示すように油穴から出

た潤滑油を油溝に導くことにより行っていたため、圧縮要素における焼付事故の一番大きな原因となっていた。

この考案は、かかる点にかんがみ従来の欠点を除去することを目的としたものである。

その具体例である回転式圧縮機の回転ピストン及びクランク軸偏心の拡大断面図を図4. に示す。すなわち、油穴(16)に連通し、かつクランク軸偏心部(9)の外周部に下方から上方に向かってらせん状に設け、その断面積は下方の流入側から上方の流出側に向って漸次小さくなり、流出口となる最終端は偏心部(9)の端面に達しない所で開口している油溝(17)と、回転ピストン(13)の内周部に設けた断面コ字状をなす環状の油溝(18)と、環状の油溝(18)と直角的に連係するよう回転ピストン(13)の肉部中に設け、両端部は断面楕円状に拡張された油穴(19)とよりなっている。

このように構成することにより、サイドクリアランスの良好な潤滑とシールを行い得るから、潤滑不良による焼付事故、シール不良による性能低下等が防止できる。

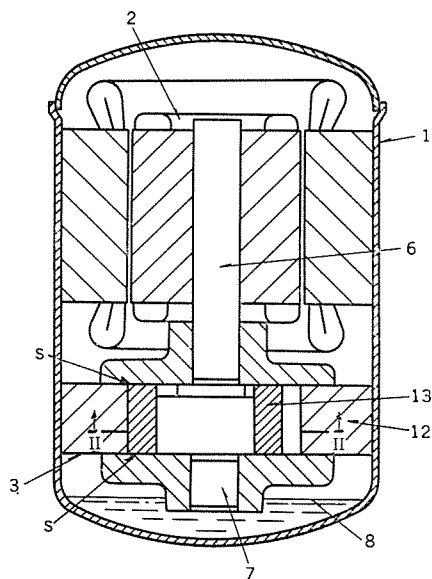


図1

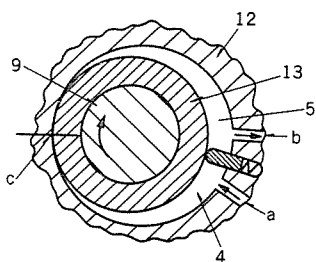


図2

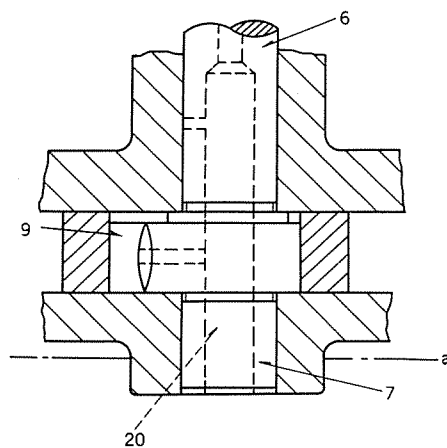


図3

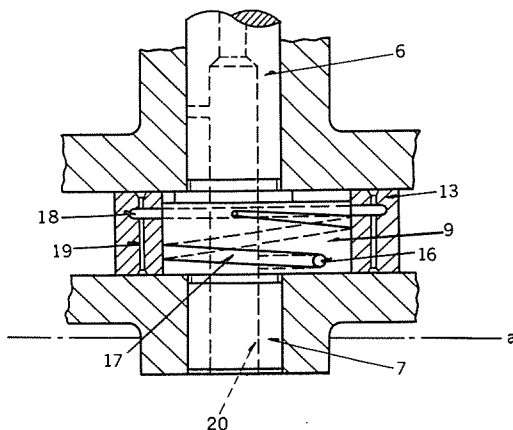


図4

50kWりん酸形燃料電池発電システム

岸田 公治*・西山 槐**・平田 郁之**・浜崎 晏行***

1. ま え が き

近年のエネルギー事情と大規模電源立地の困難さから、従来の電源を補完する高効率の発電システムの開発が望まれている。燃料電池発電システムは、発電効率が40%以上で、熱利用も含めると、総合熱効率が80%に達する高効率のシステムとして期待されている。また、燃料電池はそのモジュール構造から小規模でも効率がよく、燃焼を伴わないエネルギーの交換であるため、環境安全性が良好であり、部分負荷においても効率の変化が比較的少なく、分散型エネルギーシステムとして優れた特性を有する。

現在、天然ガスを燃料とするりん酸形燃料電池が、実用化に最も近い位置にあると考えられており、各方面で精力的な研究開発が進められている。当社では、M W級りん酸形燃料電池発電システムに重点をおいて、電池モジュール、燃料改質装置、直交変換装置及び制御装置から成るトータルシステムの研究開発を進めており、第一段階として、昭和55年に出力500Wの発電システムの試作・運転を行った⁽¹⁾。その後、セル技術、燃料改質技術などの要素技術の進展をもとに、出力50kWの発電システムを開発し運転を実施した。このプラントはシステムの動作特性の把握を主目標としており、プラントの運転経験を通じて、今後の実現規模プラント製作のための多くの貴重なデータが得られた。しかし、本格的な商用化に備えては、更に構成機器の効率及び信頼性の向上、発電システムとしての最適制御法の開発など、今後の開発課題もまだ多い。

この報告では、今回開発した50kWシステムについて、基礎となるセル技術、発電システムの概要、構成機器の諸元と特性、システムの運転特性について報告する。

2. 電池技術

2.1 電池の構成

りん酸形燃料電池発電システムの心臓部ともいえるべきところは、電池モジュールであり、これには次のような要求が課せられる。

- ・ 高効率（セル当たり出力電圧が高い）
- ・ 長期にわたる安定な動作特性
- ・ 均一な電池特性（モジュールを構成する多数のセルの特性のばらつきが少ない）
- ・ 低コスト

これらを考慮して電池の構成及び材料を決定した。

燃料電池の単セルは、外寸法600mm×700mm、有効電極面積3,540cm²の実用規模とし、図1.に示す電池構成を採用した。電極は炭素繊維の不織布（カーボンペーパー）に触媒層を塗布したガス拡散電極である。燃料極は触媒層の上にPTFE（ポリテトラフルオロエチレン）でSiC（炭化けい素）を結着し、電解質を保持するマトリクス層を形成した。これにより電池構成部品を減少させ、積層工程時の信頼性の向上を図った。

触媒にはファーンズブラック系のカーボン粒子に白金を担持させて使用し、カーボンと白金の重量比が9:1の組成とした。燃料極の触媒には白金にルテニウムを、10%添加して燃料ガス中の一酸化炭素による出力低下すなわち触媒被毒を防いだ。マトリクスと一体化した燃料極と空気極の積層時の厚さは約1.5mmである。セパレータであるカーボン板は、電極に燃料と空気を供給する流路を設けるとともに、電池の長寿命化を図るために、マトリクス層にりん酸を供給するためのリザーバをセパレータの燃料極側に設け、更に外部からも供給できる構造とした。カーボン板は、強度、電気抵抗、不透気性、耐食性を考慮してグラファイト質のカーボン板に、フェノール系樹脂を含浸した不透気性

カーボン板を用いた。なお、電極特性の安定化のため電極基材のカーボンペーパー及び触媒にPTFEで発水処理を施し、りん酸が過度に浸透するのを防いだ。

2.2 電池特性

(1) 単セル特性

50kW燃料電池に用いた有効電極面積3,540cm²のセルの特性を、100cm²の小形セルの特性と比較して示す。セルが大形化するとセル面内温度分布の不均一、セパレータ流路へのガス供給の不均一、電池反応の面内不均一などによって、特性の低下が予想される

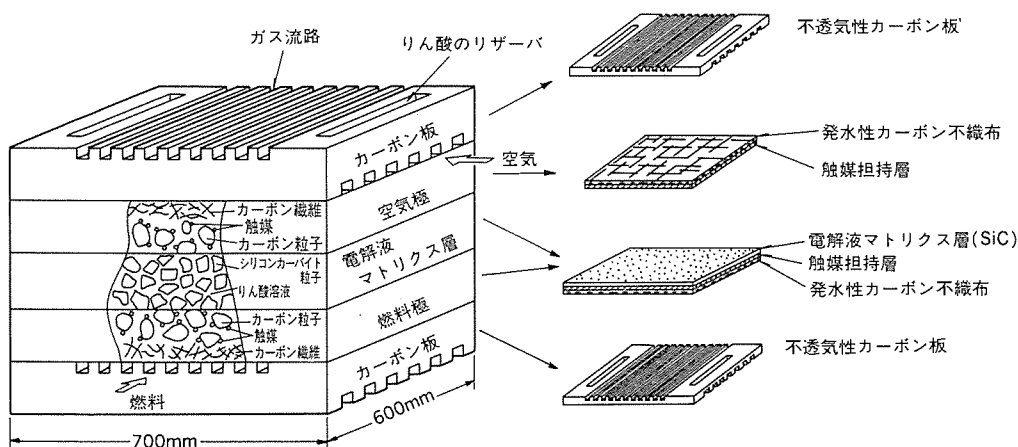


図1. 電池の基本構成

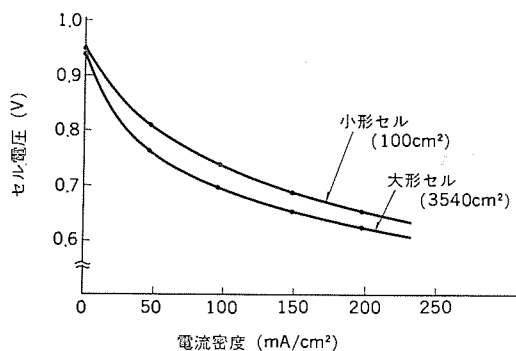


図 2. 小形セルと大形セルの特性比較

が、図 2. に示すようにあまり大きな低下は見られず 200 mA/cm² のとき、その低下率は 5 % 程度であった。流路の改善、温度分布の改良によってこの差は更に小さくなると予測している。

セル特性の温度依存性、圧力依存性、ガス流量依存性について有効電極面積 100 cm² の小形セルで測定を行った⁽²⁾。電池の動作温度を T_1 から T_2 まで上昇させたときのセル電圧の増加 ΔV は温度係数 α によって $\Delta V = \alpha(T_2 - T_1)$ で表される。温度係数 α は電極の種類及び電流密度によって変わり 0.8~1.7 mV/°C の値を示した。一方、動作圧力を P_1 から P_2 まで増加させるとセル電圧の増加 ΔV は圧力係数 β を用いて $\Delta V = \beta \log(P_2/P_1)$ で表される。圧力係数 β も電極及び電流密度依存性があり、160~250 mV の値を示した。最適動作温度、圧力は電池構成機の耐熱性、システム効率などを考慮して決めるが、現在は平均温度が約 190°C、圧力は 3~5 気圧の範囲を選定している。

(2) 寿命試験

燃料電池の目標寿命は 40,000 時間程度が想定されている。セルの寿命特性を規定する因子には電極触媒の劣化、電解質であるりん酸の消失や電極へのりん酸の浸透による反応性の低下などがある。

50 kW 燃料電池に用いたセルの長期運転特性を明らかにするため、約 1,800 時間のセル特性試験を行った。図 3. にその結果を示す。試験途中、電池特性の安定性の試験を意図して、70 数回に及ぶ負荷変動と 2 回の運転休止を行ったが、特性の低下は極めて少ない。#2 セルの特性の低下が #1 セルに比べて大きいのは、リザーバへのりん酸の導入路の構造からりん酸の供給量が不十分であったことによる。

これらの一連の実験から、動作温度と反応ガス中の水蒸気量に関連して生じる、りん酸消失のメカニズムの解明と、りん酸補給効果の確認及び含浸量に関する知見を得ることができ、電池の長期運転に対して十分に対処し得る見通しを得た。

2.3 製造技術

実用規模の燃料電池モジュールを製造するには、寸法誤差が許容範囲内で、特性のそろった均質な電極を数千~数万枚、安価に、短期間で製作する製造技術と品質の管理体制が必要となる。更に、これらの電極を積層し、モジュールを組み立てる積層技術も電池モジュールの信頼性に関係して重要である。当社においては、電極の触媒層形成に当たり、クラック・ピンホールの有無、気孔率、気孔径などが関係する塗膜の品質、膜厚の均一性、再現性、量産性及びコストを検討し、50 kW 燃料電池の電極製造では自動化した触媒ペーストの厚膜塗布装置、自動焼成装置などからなる電極製造工程を開発した。この製

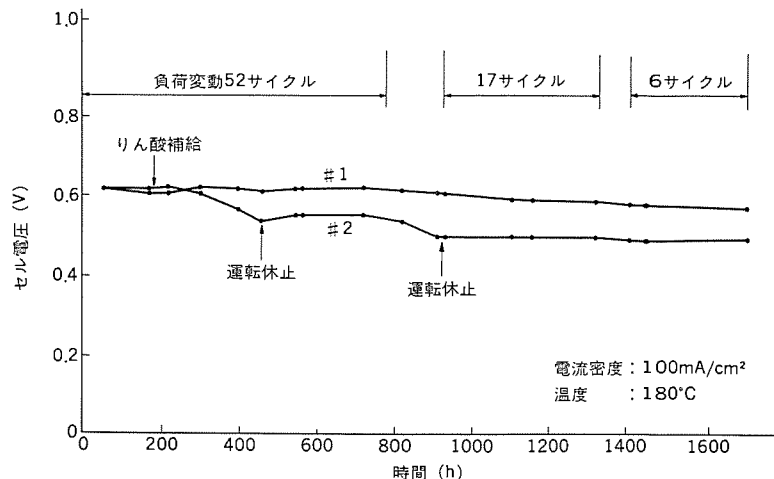


図 3. 大形セルの長期特性試験

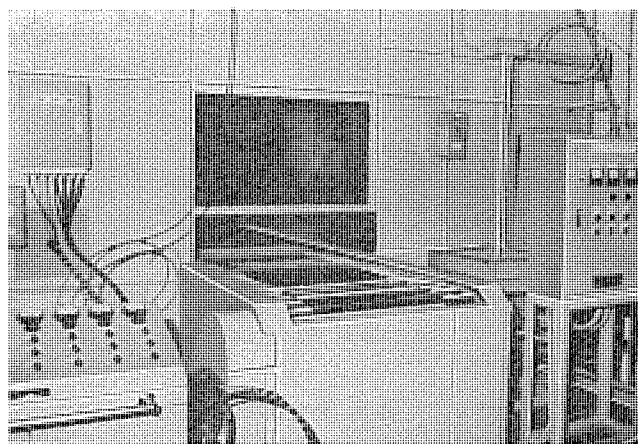


図 4. 電極製造設備

造設備の外観を図 4. に示す。この量産設備で製造した電極を用いた 50 kW 燃料電池 112 セルの各特性のばらつきは $\pm 2\%$ 以内であり、極めて均質な電極が得られることが実証された。

電池の構成要素である電極、マトリクスセパレータなどから、セル・スタック・モジュールと組み立てていく過程においては、りん酸は極めて吸湿性が強く、体積膨脹を起こしりん酸の漏えい・消失を招く可能性があるため、この製造工程は湿度が 30% 以下、温度 25°C 恒温恒湿の室内で行った。

3. 発電システムの概要

3.1 システム構成

今回試作した 50 kW 発電システムは、燃料改質装置、ガス供給温調ユニット、電池モジュール、直流開閉装置、インバータ及び制御装置で構成している。燃料改質装置は、天然ガスを燃料として改質ガスに転換し、ガス供給ユニットを通じて電池モジュールに供給する。改質ガス中の水素は電池モジュールで、空気中の酸素と反応して直流電力を発生する。この際、電池モジュールで発生する熱は温調ユニットで除去し、所定の温度に保たれる。また、電池モジュールで未反応の改質ガスは、燃料改質装置に戻し、改質反応の熱源として燃焼利用する。電池モジュールで発生した直流電力は、インバータによって交流に変換し負荷に供給する。このシステムの構成ブロック図を図 5.、主要な系統図を図 6.、発電システム主要部外観を図 7. に示す。

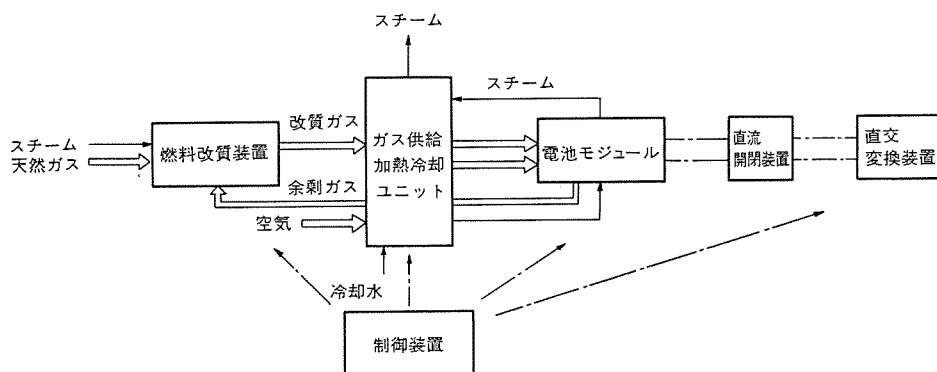


図 5. 燃料電池発電システム構成

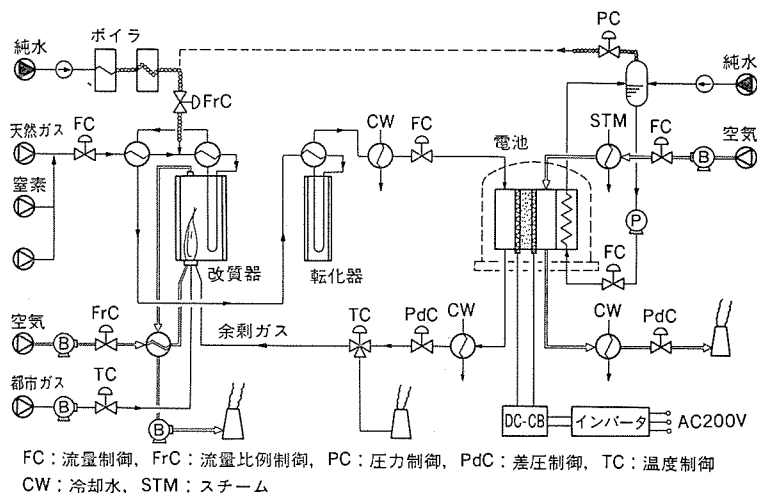


図 6. 発電システム系統図

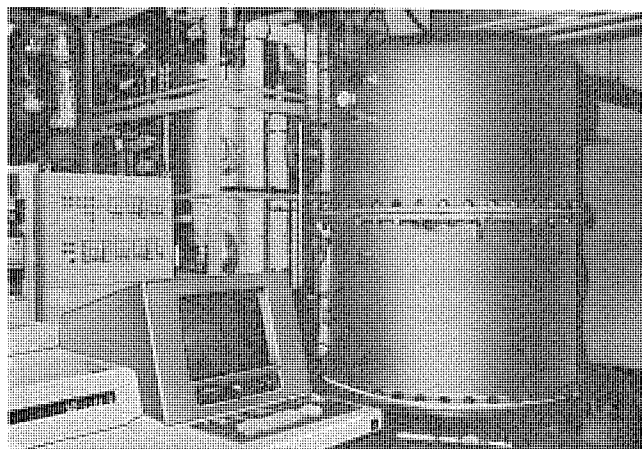


図 7. 発電システム主要部外観

3.2 電池モジュール

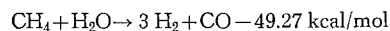
電池モジュールはマトリクスと一体化した燃料極、空気極と表裏に燃料・空気の供給流路を持ったカーボン板とが図 1. に示すように順次積層して構成する。このような単電池の積層構造の温度制御のために、電池 5 セルごとに冷却器を設置したカーボン板を挿入し、電池の加熱及び冷却を行っている。

冷却器の構成は、二重管構造の自己熱交換方式の冷却管部をカーボン板に装着し、純水を加圧循環している。昇温時には加工温水を循環させ、冷却時には加圧水が沸騰して二相流の状態で排出する。電池スタックの構成は、電池 56 セルと冷却器 11 台を積層し、燃料及び空気供給用のマニホールドを取り付けてある。このスタック 2 台を圧

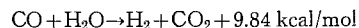
力容器に収納し、2 スタックを直列に接続し、定格動作温度 190℃、最高動作圧力 3.5 kg/cm²G で運転を行っている。

3.3 燃料改質装置

燃料改質装置は、天然ガスを水蒸気と反応させ、水素成分に富むガスに改質する装置であり、図 6. に示すように改質器、転化器の二つの反応器で構成している。改質器は、ニッケル系触媒を充填（填）した 8 本の反応管を炉に収め、下部からバーナ加熱している。改質器は、約 800℃ の反応温度で、次の吸熱反応を行って CH₄ を H₂ と CO に分解する。



転化器は酸化銅系の触媒を充填した反応管から成り、約 250℃ の反応温度で、次の発熱反応を行い、CO を CO₂ に転化し、改質ガス中の CO 濃度を 1% 以下にしている。



これらの反応器を所定の条件に維持し、更に改質装置の熱効率を高めるべく、幾つかの熱交換器を設けて熱回収を行っている。すなわち、改質器から出た高温の改質ガスは、天然ガス及びスチームを予熱後、更に転化器を出た低温の改質ガスと熱交換して温度制御を行っている。また、改質炉の燃焼廃ガスは、燃焼用空気の予熱に用いている。

3.4 インバータ、制御装置

直交変換装置は自励式インバータを採用し、独立電源としての運転及び系統併入運転のいずれも可能である。回路構成は電池の電流・電圧特性を考慮して昇圧チョップ・インバータとした。なお、力率調整機能を有し、有効電力はチョップの直流幅制御、無効電力はインバータの位相制御によっている。直交変換系の起動/停止は、ソフトスタート/ストップ方式であり、電池モジュールの保護系として、直流遮断器、起動抵抗及び非常停止抵抗を備えている。変換素子は GTO サイリスタを採用し、電圧ひずみ率はフィルタなしで約 3% である。

制御装置は制御系の応答性を高めると同時に柔軟性をもたせるために、DDC (Direct Digital Control) を全面的に採用している。燃料改質装置の天然ガスやスチーム流量、改質器温度、電池モジュールへの燃料や空気流量とその差圧、電池温度などのローカル制御には 1 ループコントローラ《MACTUS 200》を使用し、起動/停止などのシーケンス制御及び保護監視用には、プラントコントローラ《MELPLAC-10》を設置した。マンマシンインタフェースとして、運転状態の表示、1 ループコントローラの設定値指定などのために、プラントモニタ《MACTUS 670》も設置した。

4. 発電システムの動作特性

4.1 モジュール特性

56 セルスタック 2 台からなる電池モジュールの出力特性を図 8. に示す。電池の動作圧力を 0.5, 1.5, 2.5, 3.5 kg/cm²G と変えて測定し、燃料利用率は 75%、空気利用率は 50% とした。動作圧力が 0.5 kg/cm²G、セル平均温度が 180℃ のとき、電流値が 570 A（電流密度 160 mA/cm²）で 67 V の出力が得られた。圧力が 3.5 kg/cm²G で動作させると 780 A（電流密度 220 mA/cm²）、72 V の直流出力が得られ、各々の設計値を越えており、単セルのデータから予想された

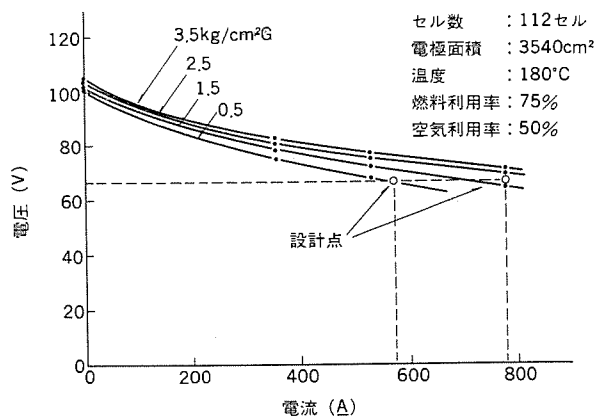


図 8. 電池 モジュール の出力特性

表 1. 燃料改質装置の改質性能

反 応 条 件		スチーム/カーボン比: 3.0 反応温度: 750°C (改質器) 200°C (転化器) 反応圧力: 1.7 kg/cm²G				
箇 所	成分(%)	H ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₃ H ₈
改 質 装 置 入 口	—	—	89.1	—	0.5	10.0
改 質 器 出 口	—	75.8	1.1	10.8	13.3	<0.1
転 化 器 出 口	—	79.3	0.9	<0.1	19.8	—

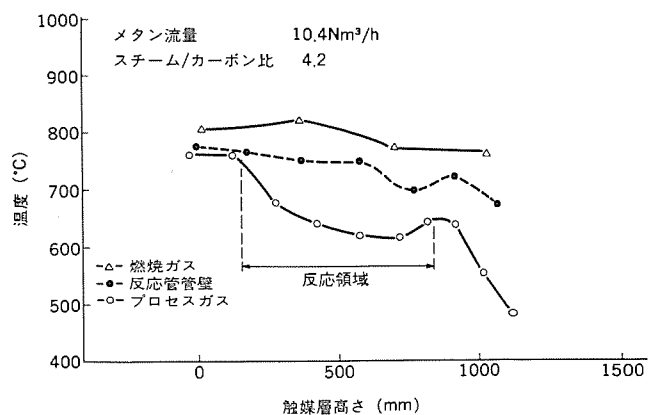


図 10. 改質器内温度分布

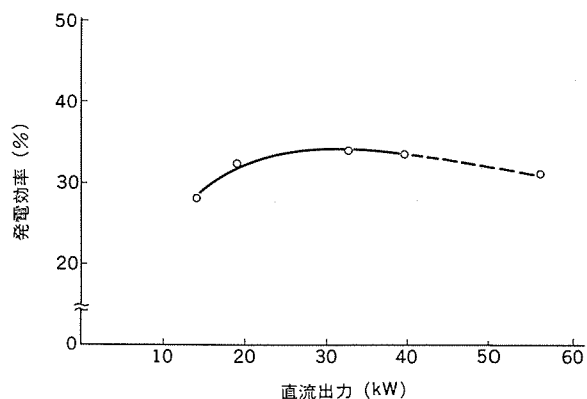


図 11. システム の発電効率

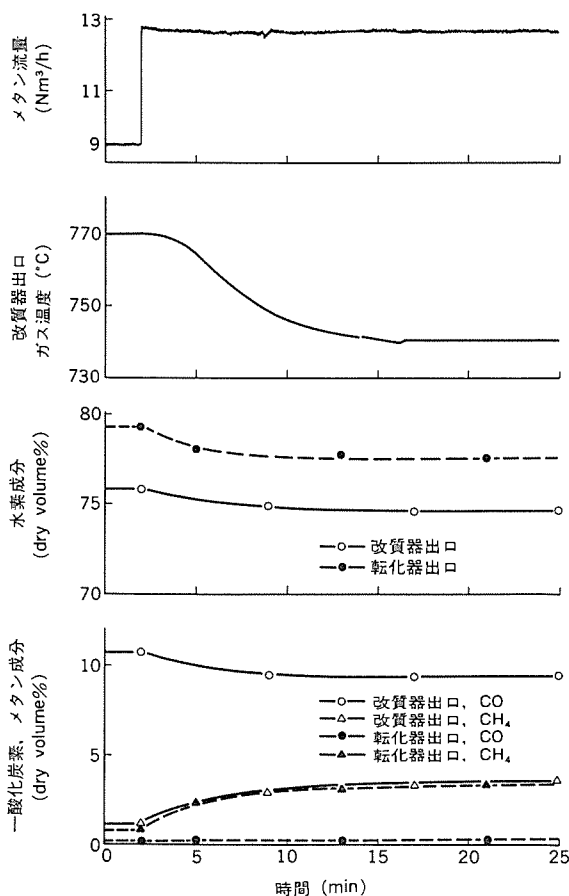


図 9. 改質装置の応答特性

値とほぼ一致している。56 セルスタックの積層方向の温度分布は、隣接セル間で10～15°Cの温度差、面内温度は±3°C以内に十分満足できる値であった⁽³⁾。

4. 2 燃料改質系の特性

スチーム/カーボン比、原料ガス流量、反応圧力を変えて、改質特性の計測を行った。代表例として、水素発生量 50 Nm³/h、スチーム/カーボン比 3.0、改質器動作圧力 1.7 kg/cm²G の場合のガス成分比を表 1. に示す。この例では、メタン残量 1% 以下、CO 成分 0.1% 以下であり、電池モジュールからの要求条件を十分満足している。

改質装置の負荷応答特性の一例として、原料ガス量のステップ変化に対する改質特性の計測を行った。代表例を図 9. に示す。約 30% の原料ガス量のステップ増加に対してガス成分は電池特性からの要求を十分満足している。

改質器の炉内各部の温度分布を各種の条件で測定した。図 10. はその代表例で、燃焼ガスは炉内でほぼ一様であり、プロセスガス温度の触媒層内における温度変化も予測結果と一致しており、改質器の設計の妥当性が検証された。

4. 3 直交変換系の特性

直交変換系の特性として入出力、変換効率、波形ひずみ率などを測定した。直交変換装置は、電池モジュールとの接続と昇圧チョップの安定性の点から、動作範囲を定格入力力の 20～100% とした。この範囲での変換効率は 80% 以上であり、特に 50～100% の範囲では 90% 以上の高効率を得られた。

また、直交変換系の起動/停止又は非常停止において、定格出力の約 20% に相当する負荷抵抗を使用することにより、電池モジュール

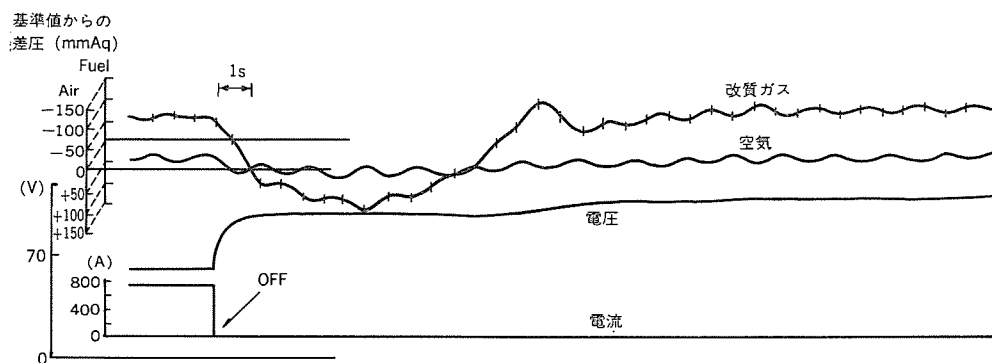


図 12. 負荷遮断時のガス圧変動

ル及び直交変換装置の起動/停止が安定に行われることを確認した。

4.4 システム効率

投入する原料ガスの発熱量 (HHV) を基準とした発電端の熱効率を、定格運転及び部分負荷において測定し、電池の動作圧力 $3.5 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ において図 11. に示す結果を得た。直交変換装置の容量の関係から、AC 出力を測定したのは図中実線部分であり、破線部分は直流出力から、直交変換装置の変換効率 90% を仮定して推定した値である。この結果、電池の動作圧力 $3.5 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ で運転した場合、直流出力 56 kW において全系統率 31% となり、部分負荷効率が良いであることを確認した。

4.5 システム過渡特性

システムの冷機状態からの起動時間は、燃料改質装置が 4～5 時間、電池モジュールが 1 時間、直交変換装置が数秒であり、起動時間は燃料改質装置の昇温時間で制約される。

電力負荷の遮断及び投入時の電池モジュールの応答特性及び改質ガス及び空気の供給圧力制御の過渡特性を計測した。負荷は抵抗負荷を使用し、開閉器の遮断、投入時の動作時間は 10 ミリ秒以下である。代表例として、定格負荷を遮断したときの特性を図 12. に示す。電流は開閉器の特性に従いほぼ即断され、電圧は時定数約 1 秒で変化している。このように電池モジュールの電流・電圧特性は十分な速応性のあることを確認した。

電池モジュールを保護するために、改質ガス、空気の供給圧力及び電池モジュールきょう(筐)体内の窒素圧力の間の差圧は、制限値内に維持する必要がある。測定結果では、定常時には 100 mmAq 以下、

過渡時においては最高 250 mmAq 以下で、数秒以内に定常値に復帰し、差圧制御が所期どおりに行われていることを確認した。

5. む す び

50 kW リン酸形燃料電池発電システムの概要と、その運転結果について述べた。このプラントは、システムの動作特性の把握を主目的としており、プラントの運転を通じて、今後の実規模プラント製作のために有効なデータが得られた。電池本体は、実用発電システム級の有効面積と電流密度を有しており、今後は、積層セル数増加に対する信頼性の向上、出力電圧の上昇、長期運転特性の実証などが必要である。燃料改質装置は、起動時間、負荷変動時のガス成分など燃料電池特有の性能が設計値以内であることを確認でき、今後は容量増大に対する構造上の検討、熱回収による熱効率の向上などが必要である。このデータをもとに、実用規模の発電システムの設計を行うと、発電効率は 40%、起動時間 4 時間以内、最大負荷までの応答時間 10 秒以内が実現できることを確認した。このためには、前述のように、電池、燃料改質装置などの主要構成要素の特性向上、製造技術の確立、システム制御技術の開発が必要であり、これらの技術的課題について、今後も引き続き鋭意研究開発を進める所存である。

参 考 文 献

- (1) 岸田ほか：三菱電機技報，55，No. 7，P. 475 (昭 56)
- (2) 三好ほか：第 22 回電池討論会講演要旨集，P. 75 (昭 56)
- (3) 水本ほか：電気学会資料，ESC-82-27，P. 59 (昭 57)

発電プラント運転訓練用シミュレータの最近の動向

川畑 哲二*・若林 繁久***・長谷川 紀夫**

1. ま え が き

発電プラント運転訓練用シミュレータ(以下、シミュレータと称す)は、航空機のパイロット訓練用シミュレータ(フライトシミュレータ)の成功に刺激され、まず原子力発電プラントシミュレータがヨーロッパ、そしてアメリカで開発された。次いで火力発電プラントシミュレータが開発され、日本、アメリカで発展した。我が国では、既に10の電力会社にシミュレータが設置され、毎年数千人の運転員の訓練に使用されている。1960年代後半からのデジタル計算機の進歩は、プラントの模擬範囲を広げ、シミュレータ機能を充実し、運転訓練に著しい効果を発揮することとなった。現在、シミュレータは、発電プラントの多様化、計装制御の進歩に対応した運転員の訓練には欠くことのできない教育ツールとなっており、全世界的に急速に普及しつつある。

当社では、1966年に東京電力(株)に我が国で初の本格的なシミュレータを納入して以来、現在17の発電所や訓練センターに24ユニットのシミュレータを納入又は製作中である。それらをプラント別で表すと、ドラム形ボイラプラントシミュレータが13ユニット(計4,145 MW)、貫流形ボイラプラントシミュレータが8ユニット(計4,400 MW)、PWR形原子力プラントシミュレータが1ユニット(870 MW)、電力系統シミュレータが2ユニットとなる。

2. シミュレータの特長と構成

シミュレータは、

- (1) プラントの起動停止、異常状態を通じて実時間で訓練できる。
- (2) 軽故障からプラント破壊に至る重大事故まで訓練できる。
- (3) 訓練中、任意のプラント状態に凍結できる。
- (4) 任意の修得したい操作を反復して訓練ができる。
- (5) 一度操作した運転を再現して確認できる。

のような特長を有しており、一般的に次の3要素から構成される。

- (1) 実物と全く同じ、あるいは訓練用に設計された制御盤・操作盤とそれらが設置される訓練室。
- (2) 制御盤、操作盤を通して制御・操作されるプラントの各機器のインタロック及び動特性を模擬する演算装置(計算機)。
- (3) シミュレータの運用、訓練員の指導・監視・評価をすることのできるインストラクタ卓。

以下各設備ごとにその動向を述べる。

2.1 制御盤、操作盤及び訓練室

シミュレータは、中央制御室での操作が訓練の中心である。訓練効果をあげる上で、実機を運転しているのと同じ感覚で訓練できることが重要であり、そのため種々の工夫がされてきた。訓練室自体の天井、床面、壁面及び設備の配置を実機の環境と同一とするのを始め、制御盤の各機器とその機能を実機の複製とし、更に視聴覚模擬を行い臨場感を与えている。例えば、

- (1) 照明模擬

一時的な過大負荷による電圧降下が引き起こす照明変化や、発電所

内全停時の照明断、非常灯点灯を模擬する。

- (2) 音響模擬

通常の中央制御室の暗騒音をベースに、安全弁蒸気吹出し音、補機起動音、タービン回転音、摩擦音を模擬し、更に要求により、サイレン、雨、風、雷をも模擬する。

- (3) ドラムレベルモニタテレビ

ドラムレベルを現場のテレビカメラで写して中央制御室で確認するプラントでは、この模擬も行う。

- (4) 炉内テレビ

ボイラ火炉の燃焼状態をテレビに写しモニタするシステムの模擬は、複数のVTRを切替えるもの、コンピュータグラフィックによるもの、ビデオディスクによるものがある。

- (5) 通話模擬

中央制御室での通話システムを模擬するが、通話の相手はすべてインストラクタを務める。

また、システムを効率的に訓練に使用するために、中央制御室の操作・監視機器のみ複数ユニット分を用意し、計算機を含むその他の設備は共用する操作端末切替方式による複数ユニットのシミュレータも実現している。

その上、最近では中央制御室運転員の訓練ではなく、保守員の訓練が行えるように実機と同じ制御装置、例えばボイラ制御装置、バーナ制御装置、シーケンス制御装置などを導入し、ハイブリッドシミュレータとして、中央制御室の機器以外に計器室の一部をも模擬したシミュレータとなっている。また、シミュレータの訓練効果をあげ、訓練範囲を広くする意味で、現場操作が可能な発電所全系統を表示したローカルグラフィック操作盤、グラフィックCRT表示による操作卓も設置している。

2.2 計算機

2.2.1 計算機ハードウェア

シミュレータのための計算機システムの特長としては、

- (1) 操作盤とのインタフェースに多量のプロセス入出力を使用
- (2) 多量のモデルを実時間で処理するための高速演算性
- (3) 訓練・教育システムとしての経済性
- (4) プログラム開発の容易性

などがあり、それらを強く求めるため、プロセス入出力処理及び実時間処理に優れた工業用計算機による負荷分散形複数計算機システム(図1.参照)を採用してきた。

また、プロセス入出力においては、膨大な点数、計算機室のスペース、コスト、及びシミュレータの特異性などによりシミュレータ用として、高密度実装カードを開発、A/O:16点/カード、D/O:32点/カード、D/I:64点/カードを実現した。

2.2.2 シミュレータモデル

シミュレータのモデルに要求されるのは、実時間性と模擬精度である。多量のモデルがすべての運転状態にわたり、これらの要求を満たすために、模擬対象の糸を集中定数系とした一点近似特性式や、解析用数学モデルのオフライン計算で得られた結果を、データベースとして利

* 三菱電機(株)制御製作所 ** 同コンピュータシステム製作所

*** 三菱電機コントロールソフトウェア(株)

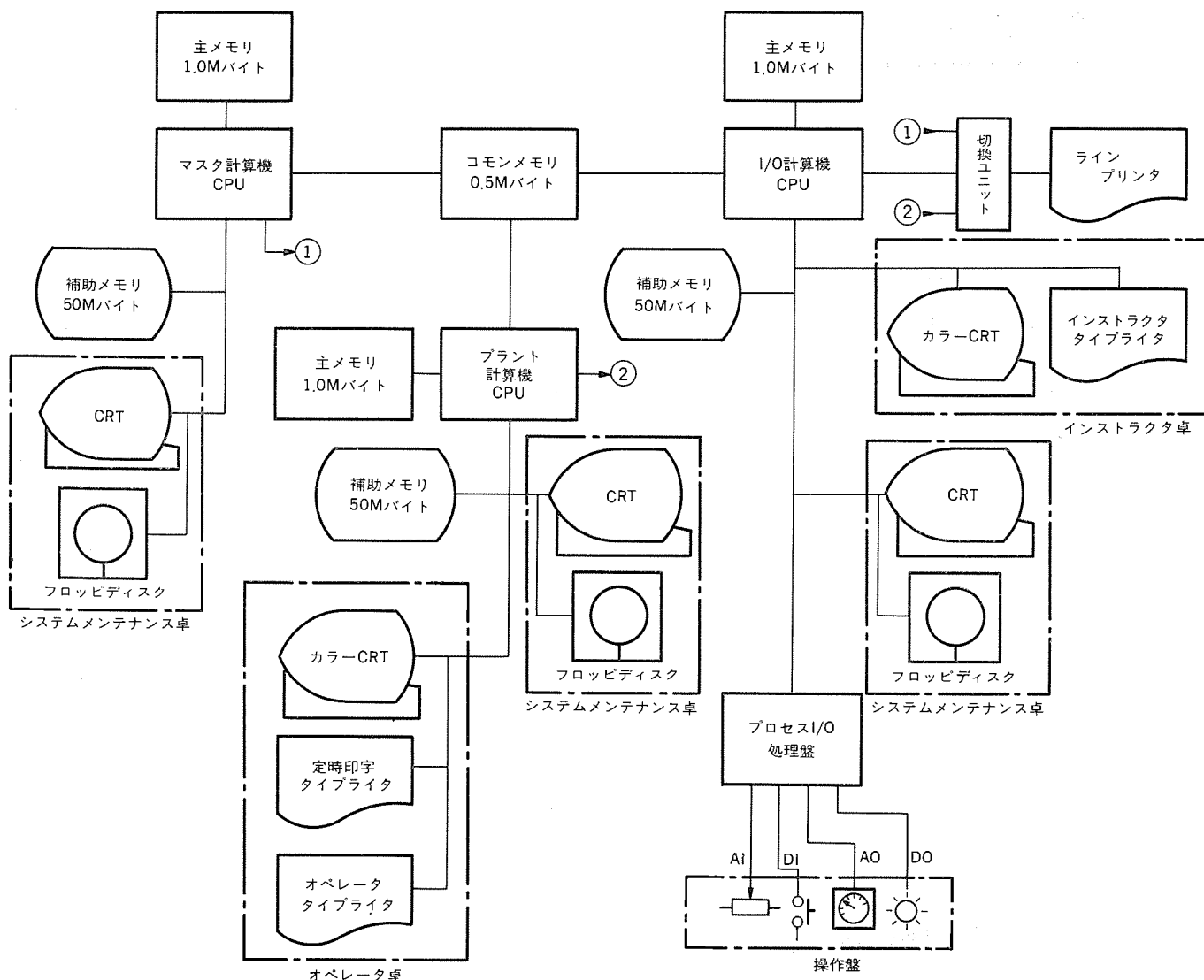


図 1. 負荷分散形計算機 システム 構成図

用する方法を適宜用いてきた。

しかし、最近の計算機能力の向上、ユーザー要求仕様の高度化に伴い、物理現象模擬モデルは、より高精度化に向っている。すなわち、集中定数から分布定数へと細分化し、物理的に忠実なモデルに近づけている。模擬すべき範囲は、対象の系統、プラント運転状態共拡大している。多量でしかも広範囲な状態変化にわたって模擬精度の要求されるモデルを、効率よく開発・調整するために、蒸気関数に代表される標準基本モデルのモジュール化、ポンプ特性、熱交換器特性などの動特性模擬式のモジュール化を行っている。制御ロジックモデルについても同様で、制御アルゴリズム処理のパッケージ化を図っている。

精度については、唯一 ANSI/ANS-3.5-1981 “Nuclear Power Plant Simulator” に規定されており、静的平衡状態では $\pm 2\%$ を基本とし、準静的状態で $\pm 10\%$ までは許容範囲としている。また、動特性模擬は、物理的な法則に反しない現象であることとなっている。当社の火力プラントシミュレータでは、静的平衡運転状態で、主要な状態量は $\pm 1\%$ 以内の精度を保証するまでに至っている。

電力系統の周波数や風煙道の空気・ガスの圧力・流量などの指示計、記録計にみられる微小な変動をも模擬し、運転訓練員にシミュレータを感じさせないための模擬手法を広くとり入れている。このよ

うに、高精度実時間模擬モデルの開発を進める一方で、プラント基本部分を標準モデル化し、コンパクトな汎用プラントモデルを整備して、多様化するユーザー仕様への対応力をつけている。

2.3 インストラクタ卓

シミュレータにおいて最も重要なことは、そのシステムをどのように運用して効果のあがる訓練をするかということであり、更に各機器をいかに使いやすくして、インストラクタの運用上の負担を軽減し、訓練の監視・指導に彼力を発揮させるかである。そのため当社では、グラフィック CRT を使用した会話形インストラクタ卓に、訓練経過記録用のタイプライタを設置した図 2. に見られるようなものを、標準的に採用している。また、離れた所からシミュレータを操作できるリモートインストラクタ装置も採用している。基本的な機能として、運用機能、プラント状態制御機能、監視機能、診断・評価機能がある。運用機能としては、初期状態設定、フリーズ/ゴー、スナップショット、バックトラック、時間軸変更などがある。

(1) 初期状態設定

あらかじめ準備されている代表的なプラント運転状態、例えば 100% 負荷運転状態、安全冷機状態などの中から訓練に最適の初期状態を選択する機能で、通常 20~30 個の初期状態が準備されている。運



図 2. 会話形 インストラクタ 卓

転要領の変更, 模擬システムの変更に伴う初期状態の変更は, 初期状態設定機能と対をなす初期状態格納機能で行うことができる。これらのデータは, 機械的に保護した記憶領域に格納している。マンマシンインタフェースの一例として示せば, この機能が選択されると一覧表が CRT に表示され, ダイアログラインに操作手順が表示される。また, 選択された初期状態と操作盤の状態は不正位置チェック機能で自動的に調査し, 不正部分を表示する機能も備えている。

(2) フリーズ/ゴー

インストラクタが望むタイミングで, プラント運転状態のシミュレーションを凍結(フリーズ)し, また再開(ゴー)できる機能である。特にフリーズ機能は操作に対するプラントの反応を標準化して見せ, 訓練生に理解を深めさせるのに有効なものである。

(3) スナップショット

任意の時点でプラントの模擬状態のデータを記録する機能で, 仮りの初期状態として使用できる。

(4) バックトラック

過去の一定時間のプラント状態を周期的に自動記憶する機能である。誤操作に気付いて再操作を行う場合や反復訓練をしたい場合に, 一定時間内の指定した過去の状態に戻って訓練を再開できる。

(5) 時間軸変更

実時間模擬が前提であるが, 操作も少なく, プラント状態変化もゆっくりした時間, 例えば火力発電プラントのボイラ昇温期間でシミュレーション時間を圧縮する機能である。また, 速い過渡現象をより理解させるために時間を引き伸ばす機能である。

次にプラント状態制御機能としては, 事故設定(マルファンクション)及び状態量(パラメータ)変更がある。

(6) 事故設定(マルファンクション)

シミュレータを特徴づける機能の一つで, 事故をインストラクタが発生させることができ, インストラクタ卓から事故項目の選択, 開始, 解除を行う。設定方法は, 各項目を単独で用いるもの, 複数の項目をグループ化して発生順序と発生タイミングを設定するもの(グループマルファンクション), また項目としては, プラント側の事故だけでなく, 操作盤の機器故障(メータ, ランプ, SWなどの断線など)を設定するもの(制御室マルファンクション)がある。事故の度合や, 時間的経緯の急峻さが任意に設定できるようになっており, 一つのマルファンクションで初心者から上級者まで, すべてのレベルに対して適切な事故訓練が可能となっている。

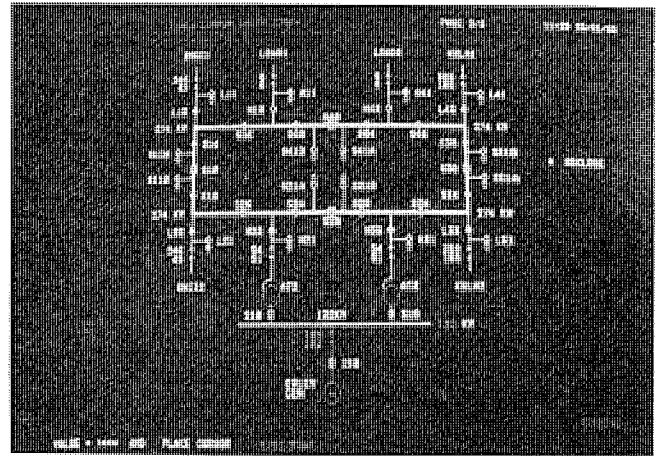


図 3. グラフィック CRT 画面

(7) 状態量(パラメータ)変更

図 3. にみられるように, システムの状態を変化させたり(訓練状態変更), 現場操作機器の運転状態などの操作対象外であるプラント状態を設定したり(現場操作代行), 大気温度, 冷却水温度などのプラント雰囲気の設定, 変更を行う(プラントパラメータ設定)機能である。また, 警報設定値変更, リミット値変更の機能も備えている。

監視機能としては, データモニタ, 運転操作記録, 警報項目表示などがあり, プラント監視用計算機が模擬範囲である場合, これに加えてオペレータ卓に付加されている点番号表示, 警報項目表示などの監視機能は, インストラクタ卓からもリクエスト, モニタできるようになっている。

(8) データモニタ

プラント運転状態を表すデータを CRT に表示, プリンタに印字, トレンド記録する機能である。訓練のチェック, 分析, 訓練の評価のためのデータ収集するために用いる。

(9) 運転操作記録, 警報項目表示

訓練生が操作した項目, 発生した警報を時間情報とともに記録する。診断, 評価機能としては, リプレイ, 訓練評価機能などがある。

(10) リプレイ

運転操作訓練の評価, 反省用として, 訓練中のデータを自動的に記録しておき, 操作盤上に, 計器に, 再現させる機能である。モニタ機能を一步前進させ, より視覚的に評価用データを提供できる。

(11) 訓練評価機能

主要なプラント状態量の標準値と, 訓練時の値とを同一 CRT 画面上に記憶し, 両者の偏差をみて訓練評価をする。又は, プラントの主要な運転状態時に, 運転状態の相異をモニタする機能である。

このほかにインストラクタを援助する機能, 自習用の CAI(Computer Aided Instruction) 機能も充実しつつある。これは, プラント運転状態のキー状態量から次に操作すべき項目を指示したり, 次の運転状態に進行するための不定条件を表示する機能である。また, 単に運転操作手順を表示する機能もある。

インストラクタ卓には, またシステム診断用として入出力信号テスト機能, データファイルのすべてのデータのモニタや修正を行う機能も備えている。

3. シミュレータ教育システム

我が国の各電力会社において, 教育体制は確立されており, 各社そ



図 4. 派遣 インストラクタ による トレーニング 風景

それぞれの運用方針に沿って効率的な訓練が行われている。しかし、海外においては、シミュレータを購入ということは、訓練装置のみではなく、それを含む教育システムを購入するとの感覚であり、シミュレータ教育システムの充実が必ず(須)となっている。最近では、ユーザー仕様として、総合的な教育システムの一環としての現地でのインストラクタサービスを含む場合が増加している。既納入シミュレータに例をとると、シミュレータシステムに加え、下記4項目が教育システムとして含まれていた。

- (1) シミュレータプラントの運転操作要領書の提供
- (2) 発電所運転員用の基礎知識修得のための教科書の提供
- (3) シミュレータ訓練とOJTを組み合わせた教育カリキュラムの作成
- (4) 3か月間のインストラクタ派遣、模範トレーニング(図4. 参照)

これらは、国内の電力会社系列の技術コンサルタントとの共同作業により好評のうちに納入した。

4. 三菱電機運転訓練用シミュレータシリーズ

当社は、特定の実プラントを模擬プラントとして発電所全体を模擬したシミュレータ納入の数多くの経験から、安価で機能を濃縮した標準形のシミュレータを開発した。また、それに付随したカスタム形、ミニ形を加え表1.のようなシミュレータシリーズを準備し、多様化するニーズに対応している。以下その概要を述べる。

(1) レプリカ形シミュレータ500形

原子力、火力、コンバインドサイクルなどの各発電プラントを実機に忠実に複製するシミュレータで、中央制御室よりすべての操作、表示、監視、そして現場の模擬も行うことができる。また、ガスタービン、地熱発電、

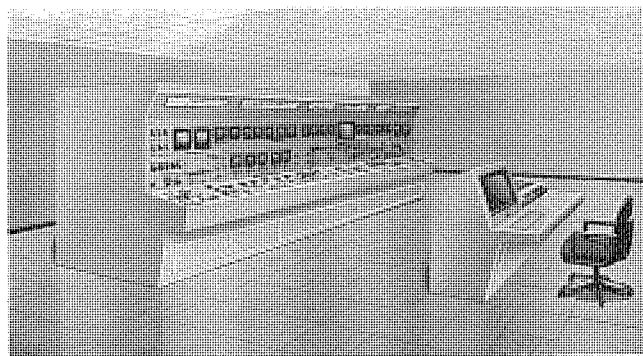


図 5. 標準形シミュレータ200形

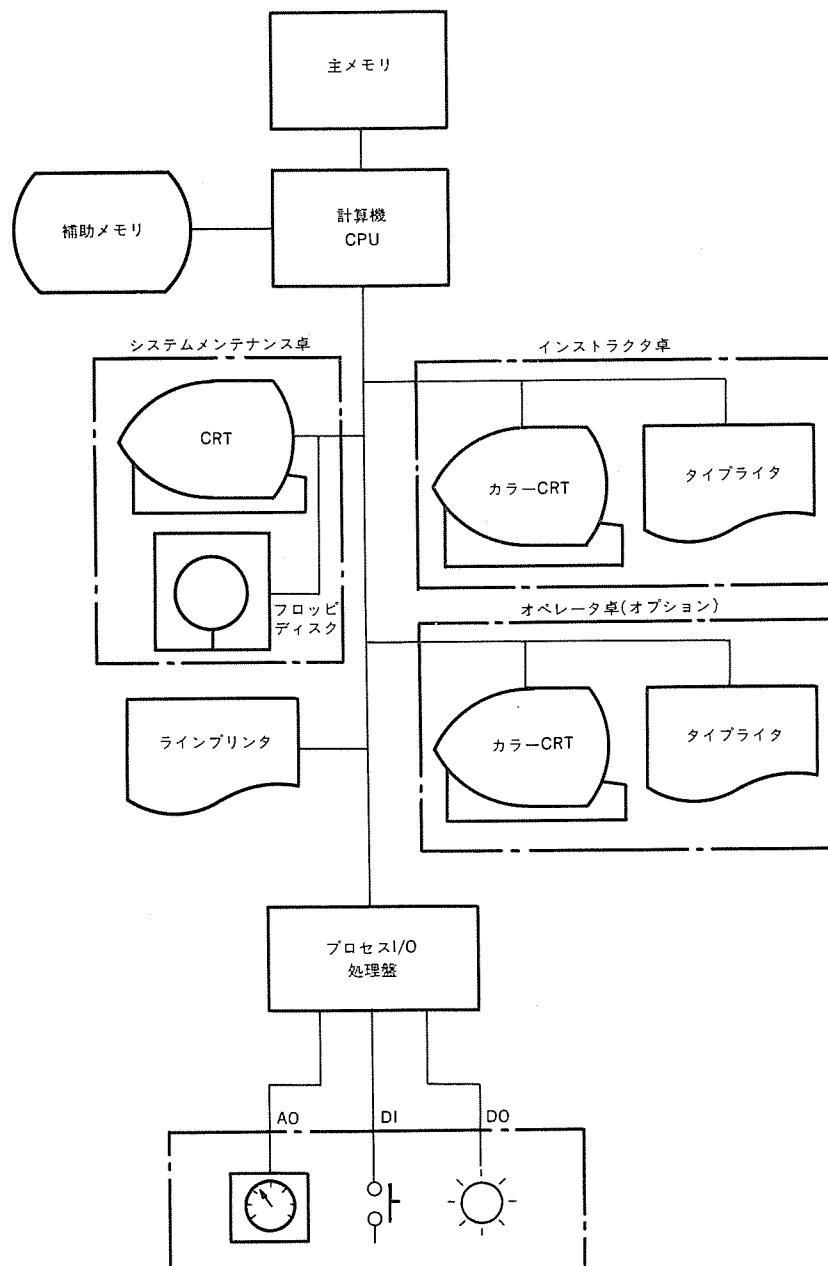


図 6. 標準形シミュレータ200形システム構成図

運炭設備、水処理、水力、電力系統の各プラントのシミュレータをはじめ、更にEHC、自動バーナなどの部分的シミュレータもこのシリーズに含む。

表 1. 三菱電機運転訓練用 シミュレータシリーズ

名 称	タ イ プ	入出力点数	特 長
500 形	レ プ リ カ	例 D/I=1,700 D/O=1,900 A/I=50 A/O=600	模擬プラントと同じに設計された盤 模擬プラントと同じ雰囲気の制御室 プラント全体が模擬範囲
300 形	カ ス タ ム	D/I=1,300 D/O=1,800 A/I=40 A/O=450	模擬プラントと同じに設計された盤 標準のモデル S/W
200 形	標 準	D/I=900 D/O=1,200 A/O=400	標準の盤 標準のモデル S/W 一般的な発電プラントの模擬 7タイプ
100 形	ミ ニ	D/I=200 D/O=300 A/O=100	基礎訓練用シミュレータ 教材として使用可能 標準盤、標準モデル S/W コンパクトで密度の高い可搬形盤 30タイプ

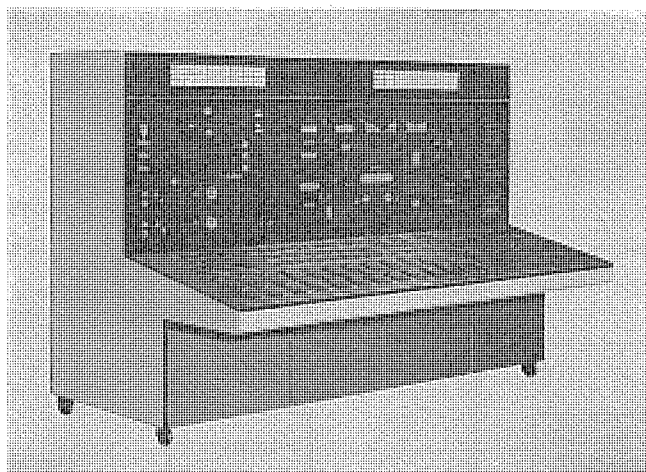


図 7. ミニ形 シミュレータ 100 形

(2) カスタム形 シミュレータ 300 形

盤面及び中央制御室の各機器のみを、ある特定の実プラントと同じに複製する シミュレータ である。シミュレータモデルは既存のプログラムにて応

じる。

(3) 標準形 シミュレータ 200 形

図 5. のように幅 6.3 m の操作盤とオペレータ卓（オプション）とインストラクタ卓及び計算機で構成し、レプリカ形に相当する訓練機能を有する。システム構成を図 6. に示す。操作盤をトレーニング向けに工夫しており、操作機器を精選し、7 種類のシステムを用意している。

(4) ミニ形 シミュレータ 100 形

図 7. のように、幅 2 m、高さ 1.8 m、奥行 1 m でインストラクタパネルを側面に取り付け、演算部はすべて盤内に組み込み、非常にコンパクトに設計している。しかも、学校や研究機関に設置し、基礎的なプラントの運転原理と操作学習教材として十分に使用できるように開発したものである。

5. む す び

今日、シミュレータへの関心が、運転員の対応をより確実に要求する事故・未発生の事故に対する訓練、プラント運転の資格認定、新設プラントの運転訓練、新設プラント自体のデザインレビューなどの点で高まり、1 プラント 1 シミュレータの導入も進められている。

また、運転訓練用以外のシミュレータとしては、オンラインでプラント診断を行うシステムのテストをするシミュレータ、運転員の操作を先回りして指示を与えるオンラインシミュレータ、プラント異常時にプロセスの予見をすることを目的とした擾乱解析シミュレータのような運転設備としてのシミュレータも、訓練用シミュレータ技術をベースとして、実プラントの中に取り入れられつつあり、シミュレータはますます有用になるであろう。

参 考 文 献

- (1) 中村ほか：制御保守訓練機能を付加した 100 万 kW 火力発電所運転員訓練用シミュレータの開発、火力原子力発電、32, No. 1, p. 29~42 (昭 56-1)
- (2) 本行ほか：発電プラント訓練用シミュレータ、システムと制御、27, No. 2 (昭 58-2) 掲載予定
- (3) 佐藤ほか：火力発電所運転員訓練用デジタルシミュレータ、三菱電機技報、50, No. 9 (昭 51)
- (4) Dr. I. D. Zanobetti : Simulators for the operation of nuclear power stations and the training of operators, Workshop on nuclear power plant simulators, Ispra. (1982-6)
- (5) 長町ほか：発電プラント訓練シミュレータ、電気学会雑誌、101, No. 10 (昭 56-10)

ス入出力装置を介して行っている。なお、地上・地下間は1km隔たっており、この間は光ファイバによるデータウェイで結合している。

全体システム及び各システムの関係を図1.に示す。水系制御システ

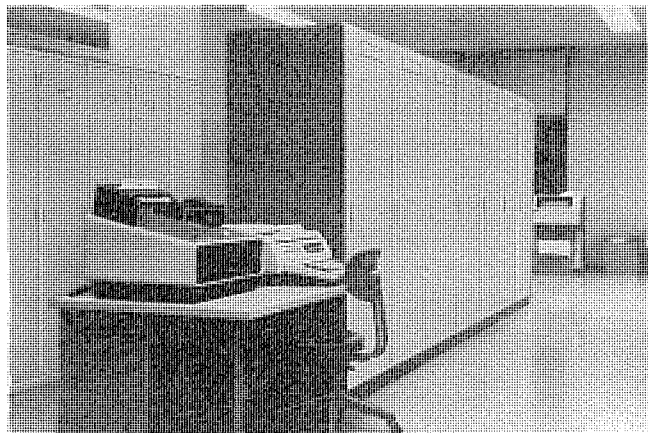


図 2. 計算機システム外観



図 3. 運転員室外観

ムは、CB 入切、主機の起動・停止などの制御指令、及び出力目標値などの数値指令を、テレコンを介して水力発電プラントに送出する。一方、地下発電所では、シーケンサが水系制御システムの制御指令、数値指令に対して発電プラントの各機器を運転制御して発電所全体の運転を統括し、総合監視システムがこれを監視する。総合監視システムの計算機外観及び地上制御所の運転員室を図2.、図3.に示す。以下、総合監視システムの構成と機能について述べる。

3. 計算機システム構成

図4.は、総合監視システムの計算機システム構成を示したものである。主計算機として《MELCOM 350-50/A 2100》(以下、A 2100 と称す)を用い、事故シーケンス記録の生データ収集専用 FEP (Front End Processor) として《MELCOM 350-50/A 2010》(以下、A 2010 と称す)を用いており、相互に計算機間結合装置により情報の授受を行う機能分散形システムを構成している。

A 2100 には、オペレータコンソール、グラフィックパネルがプロセス入出力装置により結合され CRT, TW, LP, FDD とともに、マンマシンインタフェースを行っている。

次に主要機器の仕様及び用途を示す。

(1) 中央処理装置 (CPU)

- ・ A 2100 (主メモリ容量 256 K バイト) 1 台
- ・ A 2010 (主メモリ容量 64 K バイト) 1 台
- ・ 用途: 各種プログラムを実行する。

(2) 補助記憶装置 (DISK)

- ・ M 2815 (メモリ容量 1 M バイト) 3 台
- ・ 用途: 各種プログラム、データを記憶する。

(3) CRT

- ・ M 2398 (表示容量 4,800 画素) 2 台
- ・ 用途: プラント状態などの監視結果を表示する。

(4) CRT ハードコピー

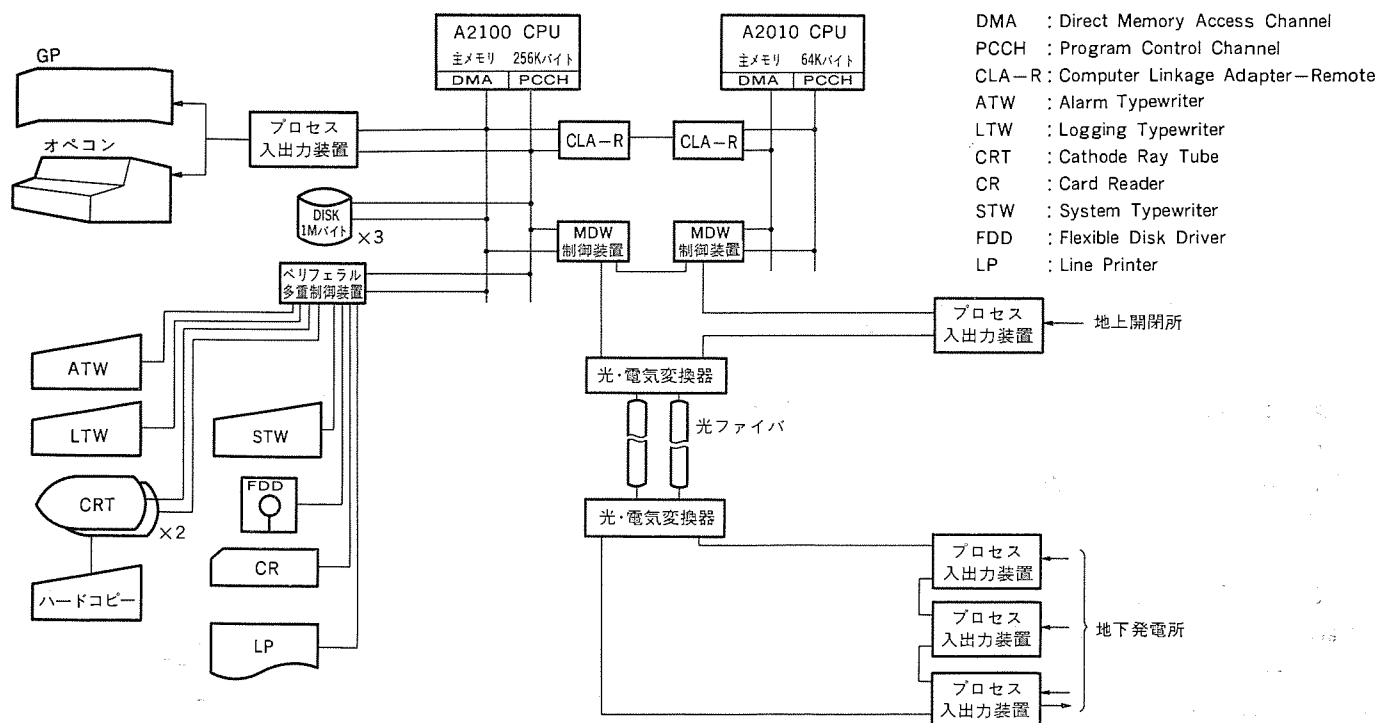


図 4. 計算機システム構成

- ・ M 2298 1 台
- ・ 用途：CRT 表示内容のコピーをとる。
- (5) アラームタイプライタ (ATW)
- ・ M 2215 (印字 163 文字/行) 1 台
- ・ 用途：アラーム 印字，オペコン 操作記録印字を行う。
- (6) ロギングタイプライタ (LTW)
- ・ M 2215 (印字 163 文字/行) 1 台
- ・ 用途：運転日誌を印字する。
- (7) システムタイプライタ (STW)
- ・ M 2216 (印字 163 文字/行) 1 台
- ・ 用途：ソフトウェアの保守，ATW・LTW・LP 故障時の代替印字を行う。
- (8) ラインプリンタ (LP)
- ・ M 2630 (印字 136 文字/行) 1 台
- ・ 用途：運転 データの記録，事故 シーケンス 記録，各種記録を行う。
- (9) カードリーダー (CR)
- ・ M 521 (読込速度 300 枚/分) 1 台
- ・ 用途：プログラム，データなどのソースカードを入力する。
- (10) フレキシブルディスク (FDD)
- ・ M 2877-2 (記録容量 256 K バイト) 1 台
- ・ 用途：ソフトウェアの保守，プラント 運転 データの保存を行う。
- (11) 計算機間結合装置 (CLA-R)
- ・ BT 001 [転送速度 10 KB/s (キロバイト/秒)] 1 式
- ・ 用途：A 2100 と A 2010 の情報交換及び A 2010 の IPL (Initial Program Load) を行う。
- (12) データウェイ (MDW)
- ・ 《MDWS-5》 [伝送速度 1 Mb/s (メガビット/秒)] 1 式
- ・ 光電気変換器 2 台
- ・ 用途：遠隔に設置された プロセス 入出力装置と CPU 間の データ 伝送を行う。
- (13) プロセス 入出力装置 (PIO)
- ・ デジタル 入力 1,532 点
- ・ デジタル 出力 416 点
- ・ アナログ 入力 128 点
- ・ 用途：地下発電所，地上開閉所の情報授受，及び オペコン・グラフィックパネル との情報授受を行う。

4. システムの機能

このシステムのシステム機能は，基本データ処理機能と応用データ処理機能に分類される。基本データ処理機能は，地下発電所，地上開閉所などのプラント情報のデジタル入力処理・アナログ入力処理・マンマシンインタフェース処理及び計算機異常処理などの基本的なデータ処理を行うものである。

応用データ処理機能は，地下発電所，地上開閉所などのプラントデータを用いて発電プラントの予防保全監視機能，運転ガイド機能，事故シーケンス記録機能，防災監視機能，記録機能などの総合監視システムの中心的な監視処理を行うものである。図 5. は，これらのシステム機能に関するソフトウェア構成についてまとめたものである。

4.1 シーケンスモニタ処理

(1) シーケンスモニタ (起動前)

主機停止中において，発電起動・揚水起動シーケンス制御を行うための各種機器の準備条件 (空気圧条件，油圧条件，機器自動運転モ-

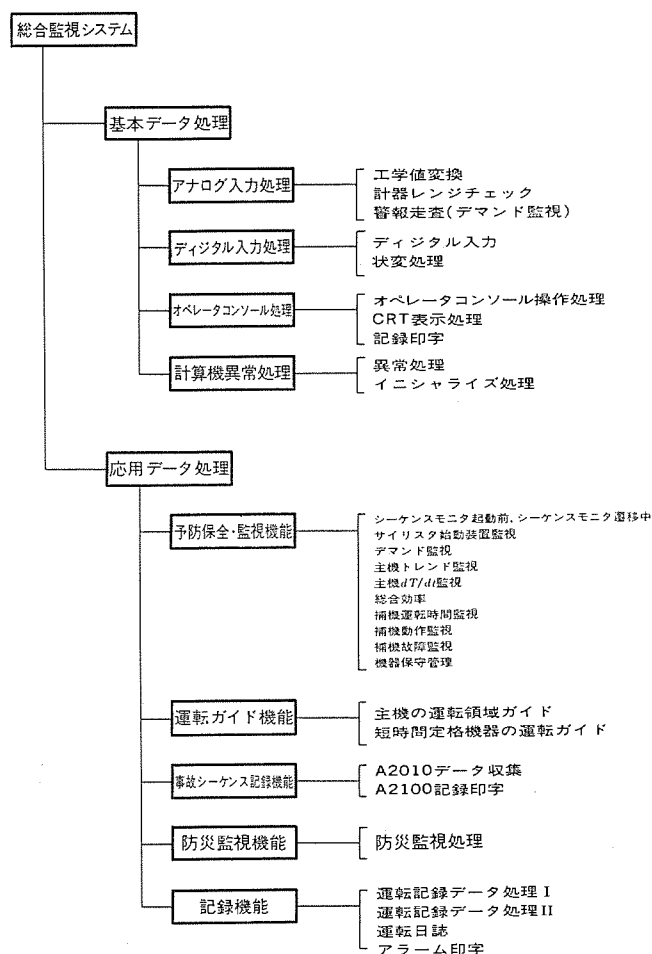


図 5. ソフトウェア 構成

ド，重故障・軽故障の有無) が整っているかを点検する。異常があればその旨を CRT，ATW に出力する。

(2) シーケンスモニタ (遷移中)

発電，揚水の起動・停止時のシーケンス制御される過程を監視する。制御異常が発生した場合には，異常原因を CRT，ATW に出力する。図 6. は，発電起動時のシーケンスモニタ (遷移中) の監視結果を CRT に表示したものである。

4.2 サイリスタ始動装置監視

サイリスタ始動装置は，揚水起動時の発電電動機の起動回路であり，常時動作している機器でないため，従来の監視保護装置では回路異常の監視ができなかった。これに対してこのシステムは，周期的に回路診断を行い異常の有無を CRT，ATW に出力することにより対処した。

(1) 制御回路の点検

サイリスタ始動装置の制御回路に計算機から点検信号を与えて，回路の異常有無の点検を行う。

(2) 素子回路の点検

サイリスタ始動装置のサイリスタ素子に計算機から点検信号を与えて，素子の異常有無の点検を行う。

4.3 主機の運転監視

主機各部の温度・振動・流量などを計測して，上昇の程度や計測値の上下限監視を行い，異常発生時には関連アナログデータの履歴を印字する (経過値印字と称す)。

(1) 上下限監視

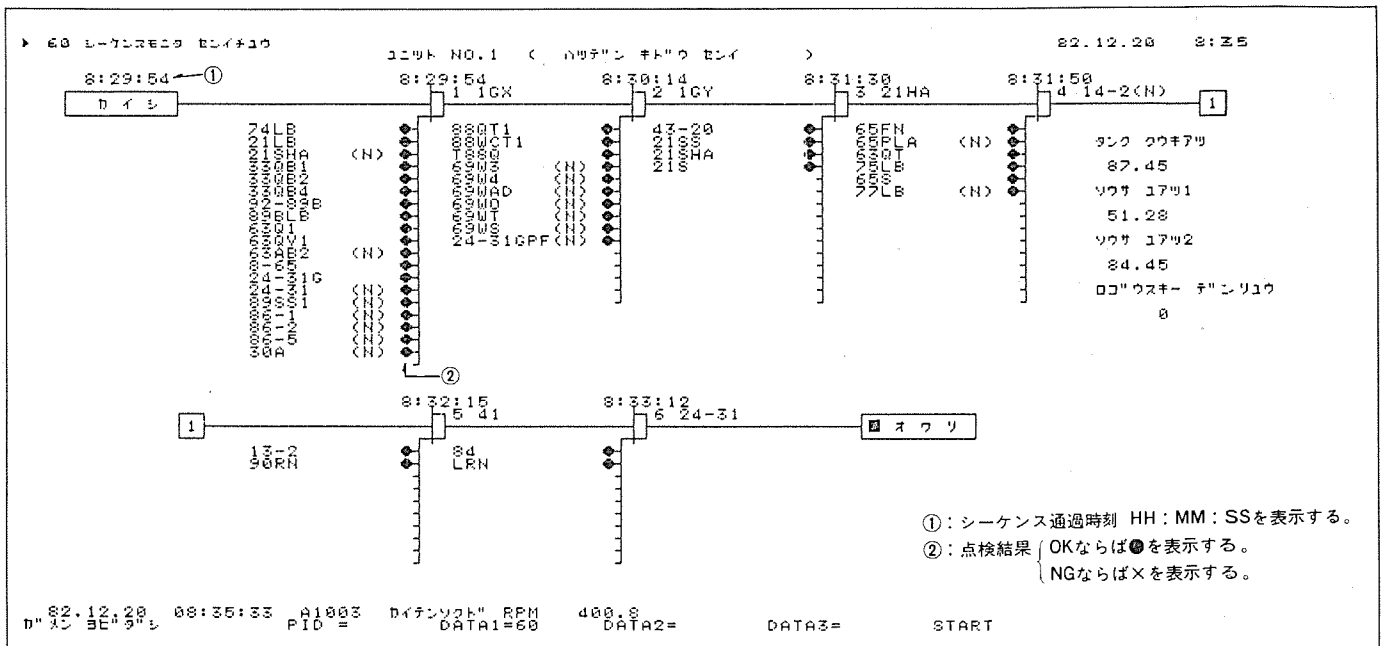


図 6. シーケンスモニタ（遷移中）の監視結果

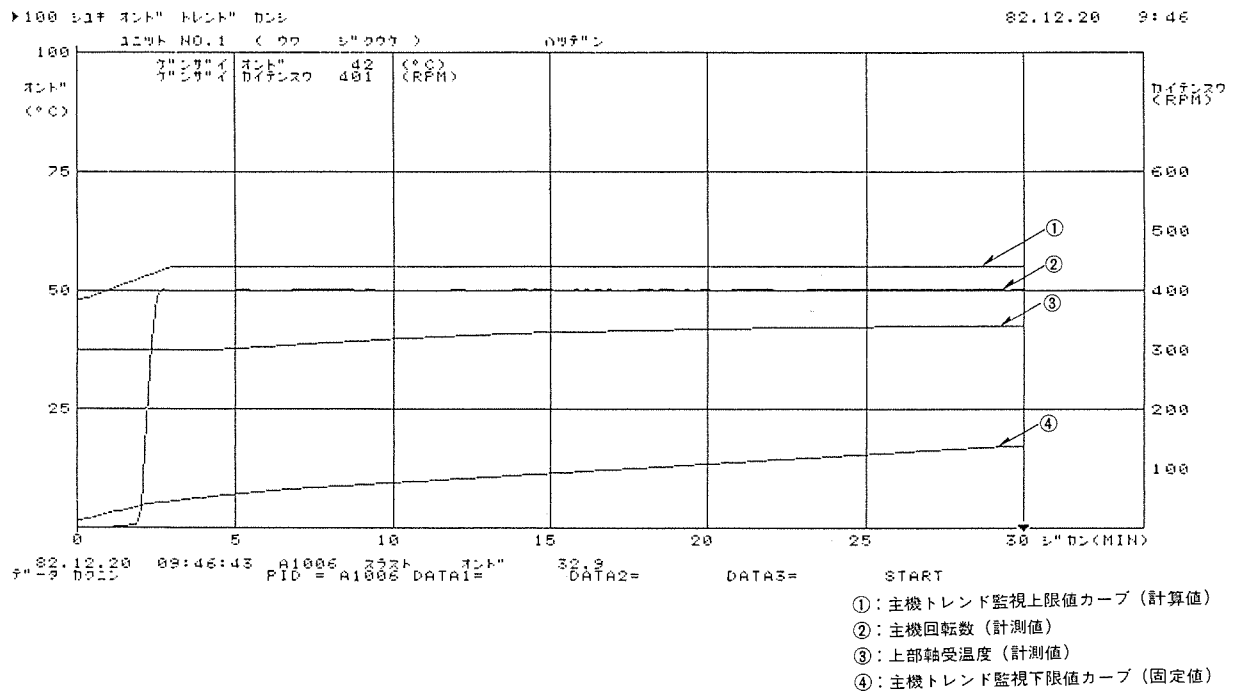


図 7. 上部軸受温度トレンド監視の監視結果

主機各部の温度・振動・流量などの上下限監視を行い、上下限値を逸脱すると ATW にその旨を印字する。また、主機の上部・下部・スラスト・水車の軸受温度が上下限値を逸脱した場合には、その要因データを収集して原因分析を行う。

(2) 主機トレンド監視

主機の起動直後から、上部・下部・スラスト・水車の軸受温度の温度上昇過程を予測値バンド内から逸脱しないことを監視する。図 7. は、上部軸受温度の監視結果を CRT に表示したものである。

(3) 主機 dT/dt 監視

主機の上部・下部・スラスト・水車の軸受温度を発電、又は揚水の定常運転中に、温度変化率 (dT/dt) を監視することにより、プラントの異常早期発見を行う。

(4) 総合効率

発電電力量、揚水電力量の累計及び上池貯水量により、揚水発電所の総合効率を求め、長期にわたる効率の推移を把握する。

4. 4 補機監視

補機監視には、間欠的に動作する機器の動作時間監視と、その他の機器の動作監視を行っている。

(1) 補機運転時間監視

補機の運転時間・停止時間を計測して運転時間が規定値以下であること、停止時間が規定値以上であること、などにより間欠運転機器の異常動作を監視する。

(2) 補機動作監視

補機の起動指令、又は起動条件（圧力低下などのアナログ量の規定

値)が成立した場合に、当該機器が正しく起動するかを監視する。

(3) 補機故障監視

補機の故障信号を入力して故障の有無を監視する。

4.5 機器保守管理

各種機器の動作回数・動作時間を累計して、適切な保守点検時期を決定するためのデータを提供する。保守点検後は、当該機器の累計値をリセットして次回の保守点検時期の決定に備える。図8.は、機器保守管理データの記録印字例である。

4.6 主機運転領域ガイド

主機が発電・揚水運転時の運転領域及び現在運転点(有効電力、無効電力、静落差)をCRTにグラフ表示して、運転状態の余裕を視覚的に把握する。

4.7 短時間定格機器の運転余裕ガイド

サイリスタ始動装置は、4.2節に述べた制御回路・素子回路以外に始動用変圧器、ACリアクトル、DCリアクトルのような短絡時間定格機器が接続されている。これらについて、運転時間及び機器内部温度上昇の予測による運転可能時間、又はその値が“0”になった場合には必要休止時間を求め、以上の計算結果をCRTに表示して始動装置を使用する揚水起動が、可能か否かの運転余裕ガイドを提供する。

4.8 事故シーケンス記録

主機の保護装置は、主機が発電又は揚水運転中にプラントに重故障が発生すると、主機を強制的に停止させてプラント全体への事故波及を防止するものである。事故シーケンス記録は、この重故障発生30秒前から発生後7分までのプラントにおける各種機器動作、各種リレーの発生順(シーケンス)を記録し、事故後の事故解析用データを提供し事故復旧に役立てる。

この事故シーケンス記録の性能は、分解能2ミリ秒以下で、最大2,040個の機器・リレー動作を記録することが可能である。事故シーケンス記録のデータ収集はA2100CPUで行い、そのデータをA2100に転送してデータ編集後LPに印字する。図9.はその印字例である。

4.9 防災監視

地上制御所、地下発電所の火災・発煙・室温異常・ハロン放出などの防災情報を入力して、その内容をCRTに表示して防災設備の動作状況を把握する。

4.10 記録機能

記録機能は運転記録、アラーム印字、保守記録がある。

(1) 運転記録

***** キヤノン カンリ インシム *****										32. 7.30 17:14 (SVCC) ページ 2									
NO.	PID	キヤメイ	カイスウ	カイスウ	カイスウ	カイスウ	カイスウ	カイスウ	カイスウ	カイスウ	カイスウ	カイスウ	カイスウ	カイスウ	カイスウ	カイスウ	カイスウ	カイスウ	カイスウ
			COUNT	LIMIT	COUNT	LIMIT	COUNT	LIMIT	COUNT	LIMIT	COUNT	LIMIT	COUNT	LIMIT	COUNT	LIMIT	COUNT	LIMIT	COUNT
61	D1001-24-31		77	100	218	2000			91	D2001-24-32		0	100	0	2000				
62	D1002-89G		17	1000	404				92	D2002-89G		0	1000	0					
63	D1003-89P		17	1000	185				93	D2003-89P		0	1000	0					
64	D1004-89		1	1000	588				94	D2004-89		0	1000	0					
65	D1134-8801		271	10000	233	5000			95	D2134-8802		0	10000	0	5000				
66	D1155-880V1		204	10000	14	5000			96	D2155-880V2		0	10000	0	5000				
67	D1161-880T1A		148	10000	16	5000			97	D2161-880T2A		0	10000	0	5000				
68	D1164-880T1B		84	10000	232	5000			98	D2164-880T2B		0	10000	0	5000				
69	D1169-88VB1		83	500	20	100			99	D2169-88VB2		0	500	0	100				
70	D1173-88GSH1		0	10000	0	5000			100	D2173-88GSH2		0	10000	0	5000				
71	D1174-880IL1		84	10000	231	5000			101	D2174-880IL2		0	10000	0	5000				
72	D1193-88WC1		85	10000	233	5000			102	D2193-88WC2		0	10000	0	5000				
73	D1197-88WBP1		0	10000	590	5000			103	D2197-88WBP2		0	10000	0	5000				
74	D1225-88SC1		23	500	0	500			104	D2225-88SC2		0	500	0	500				
75	D1227-88SBP1		60	500	1	500			105	D2227-88SBP2		0	500	0	500				
76	D1229-88SSA1		60	500	1	500			106	D2229-88SSA2		0	500	0	500				
77	D1231-88SSB1		60	500	0	500			107	D2231-88SSB2		0	500	0	500				
78	D1233-88SR1		29	500	0	500			108	D2233-88SR2		0	500	0	500				
79	D1241-TAP=C		555	500	0	500			109	D2241-TAP=C		0	500	0	500				
80	D1242-TAP=CLN		25	500	23	500			110	D2242-TAP=CLN		0	500	0	500				
81	番号	略称	動作回数	動作回数	動作時間	動作時間			111										
			リミット	リミット					112										
82									113										
83									114										
84									115										
85									116										
86									117										
87									118										
88									119										
89									120										
90																			
** ユニ ハツツツキ キシ カンリ **										PID= 00050 NAME= EG-GEN F=0.0003 N/3000=0.0003 H/15000=0.0000									

図8. 機器保守管理印字例

***** ショコ シーケンス 記録 *****

(2.38 D1257 86-1 トリック ニ ヨル) *****

82. 5. 3 2:46 (SVC C) ハーシ 1

NO.	シコク	1. コマンド PID	タキメ	NO.	シコク	2. コマンド PID	タキメ	NO.	シコク	3. コマンド PID	タキメ			
1	2:35:39.61	D0391	SAC1	OFF	1	2:35:39.61	D0391	SAC1	OFF	1	2:35:39.61	D0391	SAC1	OFF
2	2:35:39.61	D0392	SAC2	OFF	2	2:35:39.61	D0392	SAC2	OFF	2	2:35:39.61	D0392	SAC2	OFF
3	2:35:39.88	D0009	221	ON	3	2:35:39.88	D0009	221	ON	3	2:35:39.88	D0009	221	ON
4	2:35:40.12	D0390	525S	ON	4	2:35:40.12	D0390	525S	ON	4	2:35:40.12	D0390	525S	ON
5	2:35:49.72	D0388	586	ON	5	2:35:49.72	D0388	586	ON	5	2:35:49.72	D0388	586	ON
6	2:35:49.72	D0375	571GI	ON	6	2:35:49.72	D0375	571GI	ON	6	2:35:49.72	D0375	571GI	ON
7	2:35:49.76	D0391	SAC1	ON	7	2:35:49.76	D0391	SAC1	ON	7	2:35:49.76	D0391	SAC1	ON
8	2:35:49.77	D0392	SAC2	ON	8	2:35:49.77	D0392	SAC2	ON	8	2:35:49.77	D0392	SAC2	ON
9	2:35:49.77	D1257	86-1	ON	9	2:35:49.77	D1257	86-1	ON	9	2:35:49.77	D1257	86-1	ON
10	2:35:49.78	D0389	525ST	ON	10	2:35:49.78	D0389	525ST	ON	10	2:35:49.78	D0389	525ST	ON
11	2:35:49.78	D0395	525PT	ON	11	2:35:49.78	D0395	525PT	ON	11	2:35:49.78	D0395	525PT	ON
12	2:35:49.78	D1331	52TX	ON	12	2:35:49.78	D1331	52TX	ON	12	2:35:49.78	D1331	52TX	ON
13	2:35:49.84	D1333	41X	OFF	13	2:35:49.84	D1333	41X	OFF	13	2:35:49.84	D1333	41X	OFF
14	2:35:49.85	D1336	755	ON	14	2:35:49.85	D1336	755	ON	14	2:35:49.85	D1336	755	ON
15	2:35:49.85	D1336	755	ON	15	2:35:49.85	D1336	755	ON	15	2:35:49.85	D1336	755	ON
16	2:35:49.87	D0389	525ST	OFF	16	2:35:49.87	D0389	525ST	OFF	16	2:35:49.87	D0389	525ST	OFF
17	2:35:49.87	D0009	221	OFF	17	2:35:49.87	D0009	221	OFF	17	2:35:49.87	D0009	221	OFF
18	2:35:49.90	D0394	152ST	ON	18	2:35:49.90	D0394	152ST	ON	18	2:35:49.90	D0394	152ST	ON
19	2:35:49.94	D0395	525PT	OFF	19	2:35:49.94	D0395	525PT	OFF	19	2:35:49.94	D0395	525PT	OFF
20	2:35:49.94	D0394	152ST	OFF	20	2:35:49.94	D0394	152ST	OFF	20	2:35:49.94	D0394	152ST	OFF
21	2:42:47.27	D0375	571GI	OFF	21	2:42:47.27	D0375	571GI	OFF	21	2:42:47.27	D0375	571GI	OFF
22	2:42:47.43	D0388	586	OFF	22	2:42:47.43	D0388	586	OFF	22	2:42:47.43	D0388	586	OFF
23	2:44:07.19	D1257	86-1	OFF	23	2:44:07.19	D1257	86-1	OFF	23	2:44:07.19	D1257	86-1	OFF
24	2:44:07.20	D1331	52TX	OFF	24	2:44:07.20	D1331	52TX	OFF	24	2:44:07.20	D1331	52TX	OFF
25	2:44:07.72	D1336	755	OFF	25	2:44:07.72	D1336	755	OFF	25	2:44:07.72	D1336	755	OFF
順	時:分:秒 HH:MM:SS.XX	点番号	略称	ON/OFF動作	順	時:分:秒 HH:MM:SS.XX	点番号	略称	ON/OFF動作	順	時:分:秒 HH:MM:SS.XX	点番号	略称	ON/OFF動作

図 9. 事故 シーケンス 記録印字例

(a) 運転日誌

LTW に電力量, 主機軸受温度, 冷却水量, 変圧器 コイル 温度, ダム 水位, 気温, 総合効率を印字する。

(b) FDD ファイル 印字

主機のアナログデータを15分ごとに, 1日分 サンプリグしてLPに編集印字する。また, LP印字の内容はFDDシートに格納して保管することも可能である。

(c) 経過値印字

主機のアナログデータを10秒ごとに5分間分 サンプリグして, 上下限監視違反発生時, 又は主機の軸受温度の監視異常時(主機トレンド監視, 主機 dT/dt 監視)に自動的に印字し異常にいたる経過データを提供する。

(2) アラーム 印字

アラーム 印字は警報印字と操作記録印字がある。

(a) 警報印字

基本データ処理, 応用データ処理による監視異常の発生, 復帰時にその旨を印字する。

(b) 操作記録印字

オペレータコンソールのオペレーション内容を印字する。

(3) 保守記録

(a) 機器保守管理印字

4. 5 節の機器保守管理 データの印字を行う。

(b) 各種一覧印字

基本データ処理機能のアナログ入力・デジタル入力処理に関連する, 入力走査除外・計器レンジ逸脱・上下限監視違反入力点・上下限値などの一覧を印字してデジタル入力・アナログ入力装置の保守に役立てる。

5. む す び

以上, 本川発電所の総合監視システムの概要について述べた。このシステムは, 昭和57年6月の本川発電所1号機の営業運転開始とともに本格稼働し, 以来, 当初の目的であるプラントの高信頼化状態の維持及び異常の早期発見, 各種運転記録による運転状況の把握に役立っている。今後このシステムの経験をもとに, 更に発展させた監視システムの開発に努力していきたいと考えている。

最後に, 水力発電プラントの総合監視を行うミニコン集約形のシステムは, 他に類例のない初めての試みであり, このシステムの開発・設計に対して多大な御協力, 御助言をいただいた関係者各位に深く感謝の意を表するとともに, 今後とも一層の御指導をお願いしたい。

水力発電所デジタル保護継電装置(HDPS)

小林 倫明*・川勝 善治*・畑田 稔**・岡田 明**・木村 良一**

1. ま え が き

マイクロプロセッサを用いたデジタル保護継電装置については、これまで主に送変電設備保護を対象として、開発を行ってきたが、その技術の蓄積により現在では実用機納入実績も多くなっている。今後のLSI素子の一層の進歩とともに、保護継電装置部門においても、ますますデジタル化が進み、保護におけるソフトウェア処理技術の向上と相まってデジタル保護継電装置は、高性能化への要求にこたえつつ適用分野を広げていくと予想される。

一方、水力発電所においては設備信頼度の向上、制御・保護性能の向上、機器保全業務の省力化などをねらいとして各機能のデジタル化が拡大される傾向にあり、将来はトータルデジタル処理システムの導入も予想される。水力発電所のデジタル化については、“保護”“監視”“計測”“制御”“記録”“伝送”の各機能のうち、“保護”を除く各機能については、既に実績を有している(図1参照)。しかしながら保護機能は、送変電設備保護とは異なる特殊性(発電電動機起動時の低い周波数～定格周波数～負荷遮断時の周波数上昇域を対象とする広帯域保護及び周波数検出保護などの必要性)などから未着手であり、デジタル化が遅れているというのが実状である。

そこで保護機能のデジタル化について、関西電力(株)と三菱電機(株)が共同で研究開発を行い、水力発電所デジタル保護継電装置(Hydraulic Power Station Digital Protection System: HDPS)の試作装置を開発した。試作装置は送変電部門において蓄積したデジタル保護技術をベースとしつつ、新しいアルゴリズム採用などによりデジタル保護継電装置の適用拡大を図ろうとするものである。

試作装置は、工場での開発試験終了後、実検証を目的とし関西電力(株)兼山発電所において1年間のフィールドテストを行い、その結果から実用に供するとの確証が得られた。

以下、この装置の基本設計とその構成、試作装置の概要、その実証試験結果などを報告する。

2. HDPSの基本設計とその構成

2.1 基本設計

HDPSの基本設計は次のとおりである。

(1) 直並列二重化方式

保護継電装置の重要性を配慮して、誤不動作、誤動作を生じない構成とする。そのため、あらゆる事故点、事故様相に対しても“主保護”“後備保護”の2段検出方式を採用し、これらを完全に分離した別々のハードウェア構成とする。また、上記の“主保護”“後備保護”の検出要素は、主検出要素(メインリレー)と副検出要素(フェイルセーフリレー)とに分割し、これらの各要素は別々のマイクロプロセッサで検出処理を行い、トリップ指令は両要素の出力接点のAND二重化構成とする(図2参照)。

(2) 保護装置の分割方式

もし仮りに何らかの不良が一つの保護継電装置に発生しても、他の運転号機に影響を与えないシステム設計とするために、盤構成については、揚水発電所の場合、発電電動機単位、主要変圧器単位、主回路(起動回路含む)及び所内回路単位に分割した方式とする。一般水力発電所については、原則として発電機台単位に分割する。

(3) ソフトウェアによる保護機能

各マイクロプロセッサ及び周辺装置は、その経済性、増設時の柔軟性を重視し、ハードウェアは基本的に同一とし、ソフトウェアの変更により各保護継電器の機能が得られるものとする。特に、デジタル化の実績がない広帯域周波数特性継電器・周波数検出継電器などについても、これまで用いられてきた交流入力専用ハードウェアにより別の形に変換し判定する方式(整流方式による広帯域周波数特性継電器・パルスカウンタ形周波数検出継電器など)を用いるのではなく、交

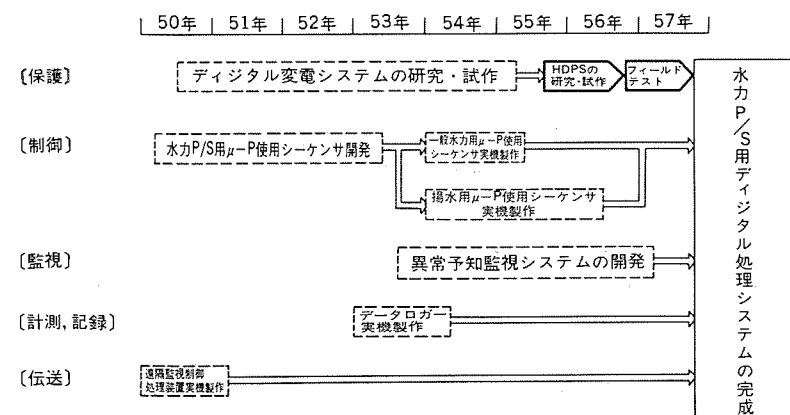


図1. HDPS研究開発の位置づけ

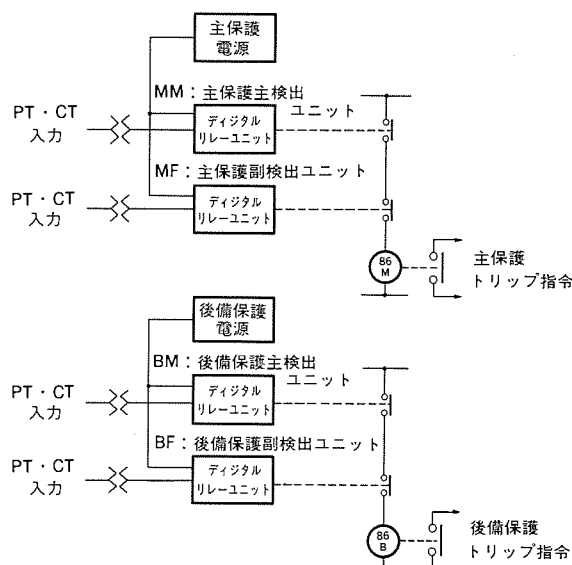


図2. 装置構成

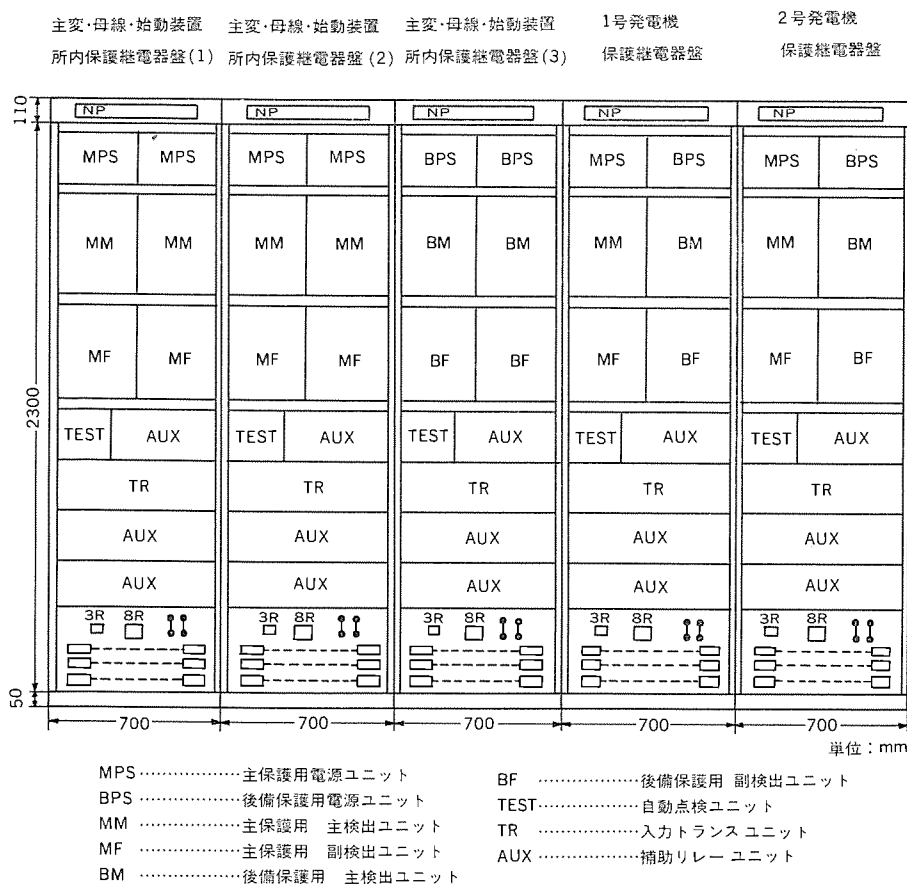


図 3. 揚水発電所 (主機 2 台) における盤構成例

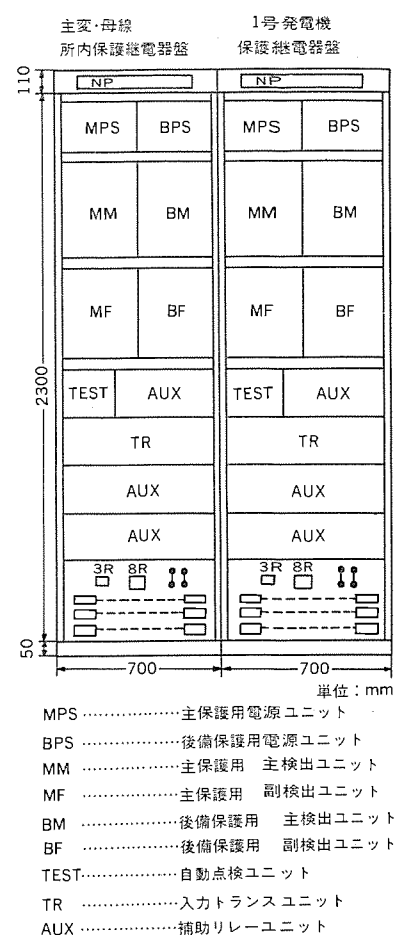


図 4. 一般水力発電所における盤構成例

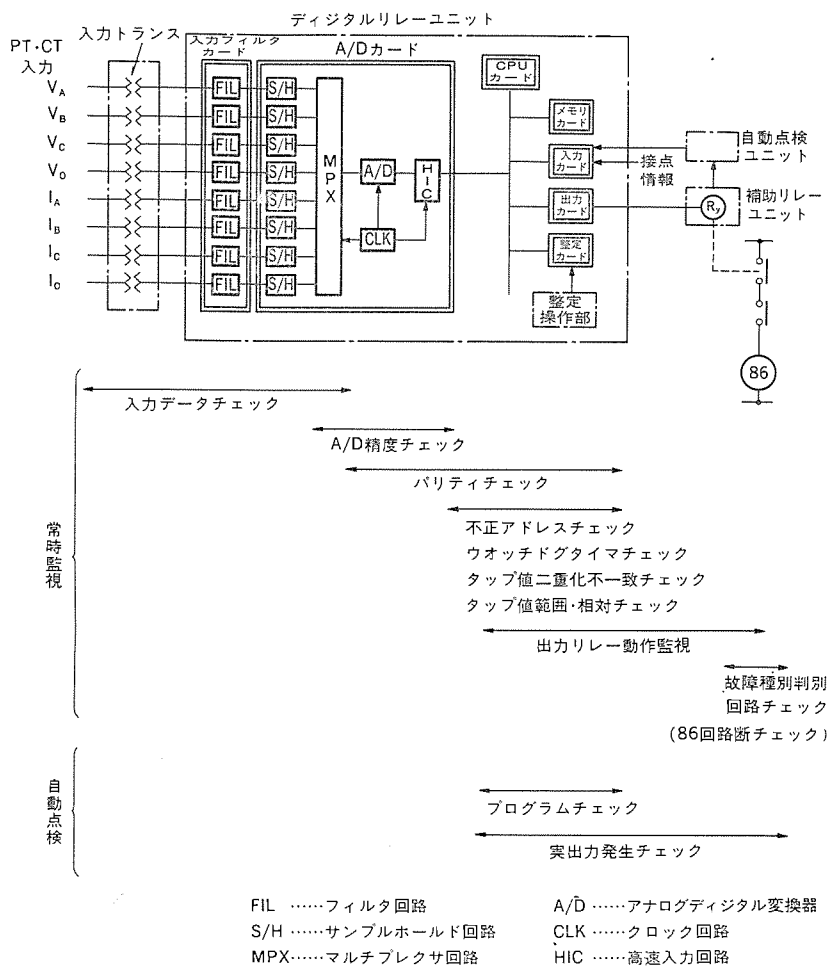


図 5. デジタルリレーユニットの内部構成及び常時監視・自動点検方式

流入力のサンプル情報をそのまま用いて判定を行うことにより、そのサンプル情報を多目的に利用できる拡張性を持たせておくものとする。そこで、それらの継電器特性実現に当たっては、新アルゴリズムを採用しソフトウェアにて対処する。

(4) 常時監視・自動点検機能

従来形機械式保護継電装置では、誤動作までには至らないような不動作側への故障とか特性変化などの潜伏故障が発生しても定期点検までは発見されず、そのまま長時間連続運転されるという問題があった。この装置では、装置に異常が発生した場合は直ちに発見可能であるように、自己診断チェック方式として「常時監視」及び「自動点検」を設け、不良状態での長時間連続運転を未然に防止できる設計とするとともに、この機能により保守点検の省力化を図る。

2.2 構成

前述の基本設計に基づく揚水発電所及び一般水力発電所用のデジタル保護継電装置全体の盤構成を図 3., 図 4. に示す。図 5. には、各デジタルリレーユニットの内部構成と、常時監視・自動点検方式を示す。また、基本仕様は表 1. に示すとおりである。

装置は、主保護回路と後備保護回路とを完全に分

表 1. デジタルリレーユニットの基本仕様

項 目		概 要
入 力 部	入 力 デ ー タ 分 解 能	12 ビット
	サ ン プ リ ン グ 周 波 数	240 Hz
処 理 部	素 子	4×4 ビットスライス バイポーラマイクロプロセッサ
	語 長	16 ビット+パリティ
	言 語	デジタルリレー専用 アセンブラ言語
	メ モ リ	IC メモリ 最大 64 K 語
整 定 部		・デジタル整定 ・不揮発性メモリ 最大 256 語

表 2. 4 台の デジタルリレーユニット 機能分担

	主 検 出 要 素	副 検 出 要 素
主 保 護	MM Ry ユニット	MF Ry ユニット
	発電機電流差動 (G 87)* 発電機地絡電流差動 (G 87 G)* 発電機コイル温度 (G 49) 励磁装置過電流 (E 51)* 励磁装置地絡過電圧 (E 64) 界 磁 喪 失 (G 40) 水車発電機過速度 1 段 (12-1)**	発電機電流差動 (G 87 F)* 発電機地絡電流差動 (G 87 GF)* 発電機コイル温度 (G 49 F) 励磁装置過電流 (E 51 F)* 励磁装置地絡過電圧 (E 64 F) 界 磁 喪 失 (G 40 F) 水車発電機過速度 1 段 (12-1 F)**
後 備 保 護	BM Ry ユニット	BF Ry ユニット
	発電機過電流 (G 51)* 発電機中性点過電流 (G 51 G)* 発電機過電圧 (G 59)* 励磁装置地絡過電圧 (E 64 B) 水車発電機過速度 2 段 (12-2)** PMG 断線検出 (37 PMG)*	発電機過電流 (G 51 F)* 発電機中性点過電圧 (G 64 F)* 発電機過電圧 (G 59 F)* 励磁装置地絡過電圧 (E 64 BF) 水車発電機過速度 2 段 (12-2 F)** PMG 断線検出 (37 PMGF)*

注 * 広帯域周波数特性リレー

** 周波数検出リレー

離し、各々の検出回路においても主検出要素と、副検出要素との二重化を図ったものである。内部ハードウェアは、装置ごとにより異なる入出力回路部を除けばすべて共通である。盤面数については、主機 2 台の揚水発電所の場合、従来形機械式保護継電装置では 13 面で構成されるのに対し、この装置では 図 3. に示したとおり 5 面で構成可能であり、大幅な縮小化となる。

3. 試作装置の概要

装置の性能及び実用性などを検証するため、これまでにデジタル化がされていない発電機保護盤を試作した（母線保護、変圧器保護、所内回路保護などについては、既に他装置にてデジタル化の実績を有している）。

図 6. に示す試作装置 1 台にて、一般水力発電所の水車発電機 1 台のすべての保護が可能である。収納しているデジタルリレーユニットの機能分担については、表 2. に示すとおりである。装置設計においては、これまでの蓄積技術、経験を生かし様々な信頼性向上策を実施している。耐サージ・ノイズに対しては、入出力の光絶縁などの採用によるサージ・ノイズ対策、熱に対しては大幅な低消費電力素子の使用と低消費電力化の回路方式を採用し、ファンレス化を実現した。

保護機能を構成するソフトウェアについても、 n 回連続照合などを採用し、高信頼度化を図っている。

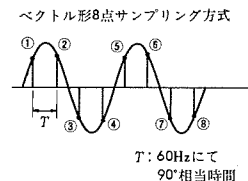
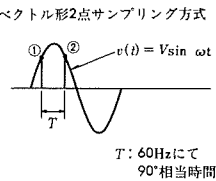
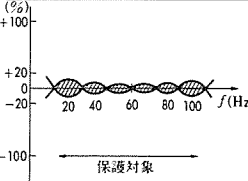
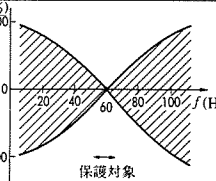
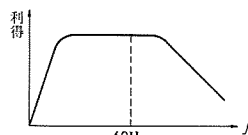
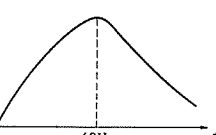
4. 新アルゴリズムとリレー特性

本章では、前述の試作装置に用いた新アルゴリズムとリレー特性について述べる。

(1) 広帯域周波数特性リレー

以前、本誌にてデジタル保護継電装置に用いているアルゴリズムを紹介したが⁽¹⁾、それらはいずれも送変電設備保護用のものであり、入力される交流量は定格周波数近傍のみに限られている。したがって、発電電動機起動時の低い周波数から負荷遮断時の周波数上昇域まで

表 3. ベクトル絶対値算出方式の比較

用途 項目	水車発電機保護用	送変電設備保護用
対象周波数	低い周波数～定格～周波数上昇域	定格周波数近傍
アルゴリズム	ベクトル形 8 点サンプリング方式  $T: 60\text{Hz}$ にて 90°相当時間	ベクトル形 2 点サンプリング方式  $v(t) = V \sin \omega t$ $T: 60\text{Hz}$ にて 90°相当時間
	8 点サンプリングデータの 2 乗和を 4 で除して演算	2 点サンプリングデータの 2 乗和で演算
アルゴリズム による 理論誤差	 保護対象	 保護対象
フィルタ	 60Hz	 60Hz

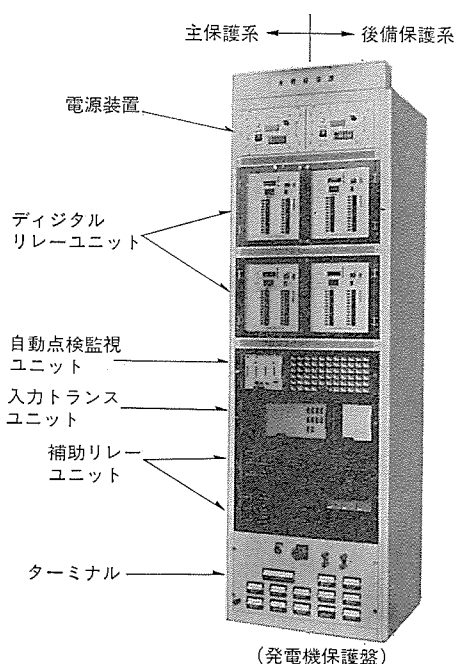


図 6. HDPS 試作機の構成

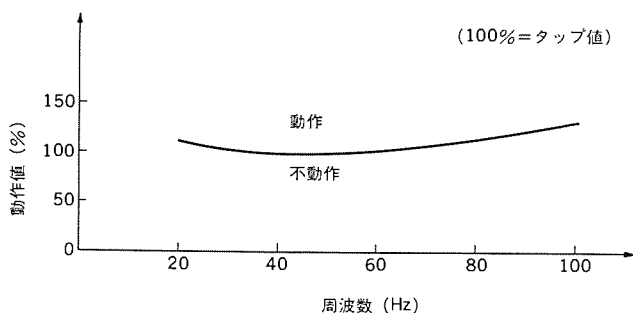


図 7. G 87 周波数-最小動作値特性

を保護対象とする水力発電所において、従来の送変電設備保護用のベクトル形2点サンプリング方式のアルゴリズムを用いたのでは、定格周波数外での誤差が大きくなるため、誤動作や誤不動作などの不都合が生ずる可能性がある。

周波数特性を良好にするための手段として、これまでの電流方式の採用は、専用のハードウェアが必要となること、及び入力情報を多目的に用いることのできる拡張性がなくなってしまうなどから問題である。このため、この装置では、新しいデジタル処理用のアルゴリズムとして「ベクトル形8点サンプリング方式」を用いることにした。また、入力フィルタについてもその特性が異なるものを採用している。送変電設備保護用との比較を表3.に示す。

この方式を基調として、ベクトル絶対値算出を行う過電流・過電圧・比率差動などの各継電器要素(表2.参照)の特性を実現したが、その特性の一例として、発電機のスター巻線の短絡保護に用いる比率差動継電器(G87)の周波数-最小動作値の実測結果を図7.に示す。対象とする20~100 Hz帯域にては誤差が少なく、かつ直流分及び高調波分に対しては応動しにくい所望の特性が得られている。

(2) 周波数検出継電器

水車発電機の過速度検出継電器は、回転速度に比例するところの周波数を検出している。その方式としては、従来のパルスカウント方式など(専用ハードウェアを必要とする)を用いず、デジタルリレーのハードウェアは従来と同様のままで、一定間隔のサンプル情報を用いて演算処理を行う「差分比形アルゴリズム」を新規採用することにより実現している。

差分比形アルゴリズムの原理

$$\frac{v(t+2T) - v(t-2T)}{v(t+T) - v(t-T)} = 2 \cos 3\omega t$$

T : 60 Hz にて 90° 相当時間

$$v(t) = V \sin \omega t$$

$$\omega = 2\pi f$$

上式において、右辺は周波数 f の関数であるので、60 Hz にて 90° ぐ

とのサンプリングデータを用いて左辺のような差分比演算を行えば、その時の周波数が算出できる。

この方式により得られた継電器特性は、精度など良好であり十分満足の行くものであった。

5. 検証試験結果

試作装置は、新アルゴリズムによる継電器特性の検証などを工場試験で行ったのち、実検証を目的として、そのフィールド試験を関西電力(株)兼山発電所(岐阜県加茂郡八百津町、出力 39,000 kW)で昭和56年10月~昭和57年9月の1年間行った。

(1) 実負荷試験

工場における総合動作試験(発電機などの故障を模擬したシミュレーション)及びこの装置と実機とを組み合わせた主機の負荷遮断試験にて、性能検証を実施した。更に遮断器及び断路器などの開閉試験を実施し、サージ及びノイズに対する耐性能を検証した。

(2) フィールド試験

フィールド試験中においては、送電線事故及び発電機などの故障障害がなかったため、試作装置の正動作を直接には検証できなかったが、約5,000時間を越える発電機の運転、430回にわたる系統並列・系統解列及び300回にわたる自動点検においてすべて良好な成績を得た。

また、1年間のフィールド試験期間中に5回実施したリレー特性試験においても特性変化なく、従来のリレー以上の精度性能を確認できた。

6. 本装置開発のメリットと今後の動向

水力発電所の保護機能のデジタル化により、従来装置と比較した場合、保護性能の向上・縮小化・保護信頼性の向上などを図ったことでこの開発の意義は大きい。今後は計測・制御・監視・記録・伝送などの他機能と有機的連系を持つシステム化への拡張という面で、デジタル化の価値を更に高めていく可能性を秘めている。

また、この開発で導入した技術は、水力機のみならず火力機、原子力機にも適用可能なものであることを付記しておく。

7. む す び

今回開発した水力発電所保護継電装置(HDPS)について、基本設計とその構成・試作装置の概要・その実証試験結果などを紹介した。

最後に、この装置の開発に当たり、御援助、御指導をいただいた関係者各位に厚くお礼を申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 畑田ほか: デジタル保護リレー, 三菱電機技報, 54, No. 11 (昭55)

分散処理システムのハードウェア、ソフトウェア

古形 昌*・中嶋 昇*・鷹取 東朋*・三浦 廣伸*・岩間 一男*

1. ま え が き

ミニコンピュータ《MELCOM 70/150》(以下、M 70/150 と称す)、インテリジェント 端末装置《MELCOM 2350/45》と、ホストコンピュータを接続した分散処理システムを構築したので、以下にこのシステムにおける処理の分担方法と各部に実現した分散処理システムとしての機能、特長を紹介する。

2. システムの概要

このシステムの全体構成図と、各機器で分担する処理機能を図 1、表 1. に示す。システムの導入効果として、ホストコンピュータの負荷軽減

表 1. 各機器の機能分担

機 器	分 担 機 能
ホストコンピュータ	基幹コンピュータとして、データの処理、データベースの保持
センターコンピュータ	<ul style="list-style-type: none"> ・端末装置の運用管理、保守 ・ファイル機能(エントリデータの蓄積、ホスト中継、部門間のメーリング) ・端末プログラムの開発、管理 ・TSS 処理
端 末 装 置	<ul style="list-style-type: none"> ・プログラムマスタ類のファイル機能 ・ユーザープログラムによるデータエントリとデータのチェック ・伝票発行 ・ユーザープログラムのソースエントリ ・センター TSS 端末機能

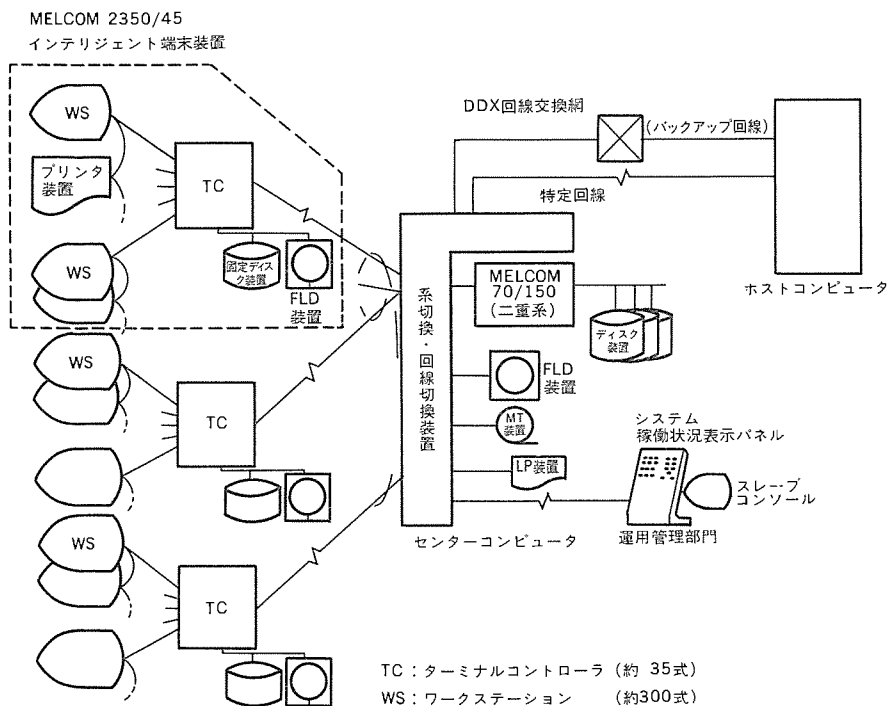


図 1. システム全体機器構成概要図

とターンアラウンドタイムの迅速性及びオフィス内の伝票類の配送業務を低減することができた。

3. 分散処理における機能特長

センターコンピュータ、インテリジェント 端末装置は、それ自身に標準の種々の機能を持っているが、特に分散処理システムとしてセンター、端末間の有機的結合とシステムの運用保守は、エンドユーザーに負担を掛けずに集中管理とするため、下記の機能を実現した。

3.1 集中制御機能

各所に設置した TC (ターミナルコントローラ) を、エンドユーザーが特に運用操作を行わなくても日常操作が行えるように、次の機能を持たせている。

- (a) TC の電源投入、切断をセンターより制御する機能
- (b) センター、TC 間の通信状態を遠隔監視する機能
- (c) センターの処理ステータス (リアル処理可否、エントリ可否) の通知機能
- (d) 指定 WS (ワークステーション) 又は全 WS へのメッセージ送信機能
- (e) 日付、時刻及び処理日付の管理と通知機能

3.2 端末プログラムの開発管理機能

端末プログラムの開発管理機能として、プログラムの入力を行うユーティリティは WS で動作し、コンパイルは処理能力の大きいセンターで動作するクロスコンパイラを開発した。また、開発中及び開発完了したプログラムは、センターのファイルに管理し、前者はプログラムがデバッグ時に

プログラム名を指定すれば、関連モジュールが端末で受信され利用可能となる。後者は、デバッグ完了時にセンターファイルに格納するが、その時の指定により全 TC に自動送信するか、TC 側からの要求により送信するかの取扱い区分の指定ができる。

3.3 端末ファイルの管理機能

端末のディスクに格納し使用するマスタファイル類は、センターで管理し、各 TC 別マスタの生成と TC へ自動送信すること及び内容変更の発生時、センターより自動的に対応 TC に対してレコード単位の消去・追加・更新を指令し実施することができる。

3.4 センターファイルのダイレクトアクセスと同期処理

センターには、多種、大量のデータを柔軟に効率良く使用できるファイル管理機能を持たせ、端末プログラムで直接この機能を利用可能とした。この機能を端末で利用することにより、データの他部門への転送はセンターファイルで自動的に行うことができる。ま

D

D

4. センターシステム

図 2. センターハードウェア構成図



49 (383)

4. 1. 3 CCU による自動ポーリング

従来、端末へのポーリングは、ソフトウェアによって実施してきた。これによるシステムへのCPU負荷は非常に大きい量であったが、ポーリングをCCUで実施することによって、この負荷はほぼゼロになった。更に、従来ソフトウェアで実施していた次の機能もCCUで実施するように改良し、CPU負荷を減少させた。

- (a) バイナリデータのDLE(データリンクエスケープ)の挿入
- (b) 1秒ごとに挿入するSYN(同期コード)
- (c) ポーリングタイムアウトの3秒監視

4. 2 ソフトウェアの構成

このセンター計算機システムのソフトウェアは、M70/150標準ソフトウェアVOS(Virtual Operating System)、TIMS(Transaction Information Management System)、をベースに二重系サポートパッケージ、端末サポートパッケージで構成している(図4.)。

4. 2. 1 標準システムの主な強化点

標準システムは次の目的のため改良を実施した。

- ・IO回数の低減
- ・リカバリの自動化
- ・多端末のサポート(255端末以上のサポート)

(1) VOSの改良設計ポイント

- (a) ディスクジャーナルのIO回数の5割低減
- (b) 二重系サポート用のIPCハンドラの改良開発
- (c) 待行列のディスク方式から主記憶方式への変更
- (d) 端末サポート台数を255台から1,200台へ拡張

(2) TIMSの改良設計ポイント

- (a) 1,200台のWSのサポート

(b) リカバリの自動化

(c) 待行列なしリカバリモード

(d) 伝票管理のためのアクセス法であるTFAMにオルタネートインデックス機能、4階層化及びインデックスの常駐化などの改良を実施した。

(3) 二重系サポートパッケージ(CATシステム)

CATシステムは次の機能の改良を実施した。

- (a) 二重系の相互システム監視
- (b) 主系ダウン時のディスク制御
- (c) 主系ダウン時の回線の切換
- (d) 主系ダウン時のリカバリシステムの起動

4. 2. 2 端末サポートパッケージ

端末サポート、パッケージは、システムのセンターサブシステム内に存在し、前述の分散処理システムにおける特長的機能を実現するものである。このパッケージは、種々の機能を実現しているが、これらの機能はセンター側のみで完結するものではなく、TC/WS側のプログラムと一体となって、あるいはユーザーのプログラミングと相まって機能を果たすものである。

5. 端末装置

5. 1 ハードウェアの構成と特長

この端末システムは、図5.に示すようにTC、WS、及びプリンタステーション(ROP)で構成し、1台のTCには最大16台のステーションを接続している(ただしWSは最大12台まで)。この端末の特長としては、下記の点が挙げられる。

(1) インテリジェントワークステーション

インテリ端末であり、WS上でユーザープログラムが実行できる。

(2) ハードウェアの統一性

TC、WS共、同じ16ビットの汎用マイクロプロセッサを使用した同一アーキテクチャで設計しているため、ソフトウェアの生産性が高く、また性能も良い。

(3) 大容量メモリ

処理メモリとしては、最大1Mバイトまで実装可能(WSは最大512Kバイトまで)であり、外部メモリとしては、8インチの大容量固定ディスク(50Mバイト)を標準装備している。

(4) マルチプロセッサ構成
TCは主プロセッサの負荷が軽減されるように、各IOC(入出力コントローラ)は、各々独立したマイクロプロセッサで処理するマルチ

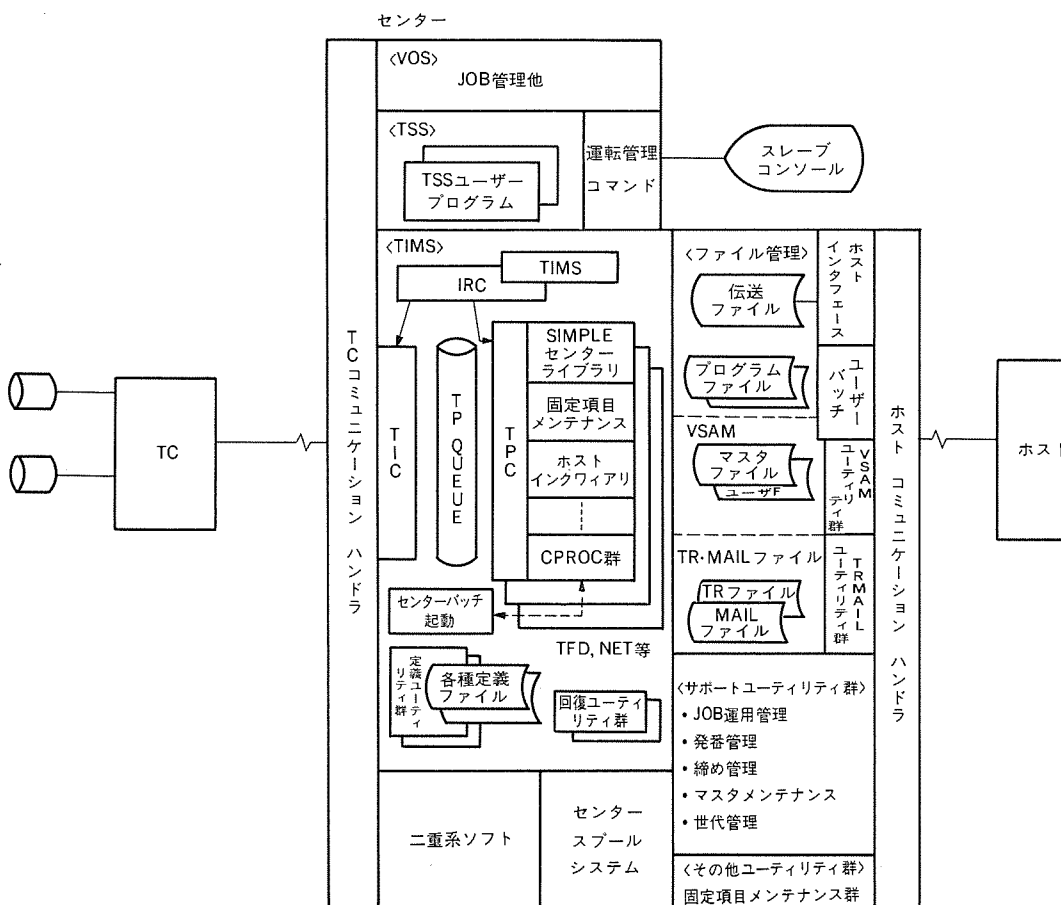


図4. センターソフトウェア概念図

Cに処理依頼する。ユーザープログラムのディスプレイ、キーボードへの入出力要求はWS内で処理する。

(2) ジョブ管理

WSでのユーザージョブを実行制御する。次の特長を持つ。

(a) メニュー機能

ユーザーはメニューを見て、ワンタッチでジョブ選択ができる。

(b) カタログコマンド機能

あらかじめジョブコマンドの流れを登録でき、ジョブ実行を容易にする。

(c) セキュリティ機能

ユーザーの誤ったジョブ実行を防止する。このためにオペレータの確認、資格チェックができる。

(3) TCモジュール

TC上にある共有資源を管理し、WSから発生する要求を処理する。

(4) データ管理

ユーザープログラムとシステムユーティリティが要求するディスクファイル入出力を処理する。データ管理はディスクファイルのダイナミックエリアアロケートにより有効な領域管理を行っている。

(5) システムユーティリティ

前述の分散処理に必要なファイル自動受信、センターメッセージ受信などの機能を実現している。

(6) センターインタフェース管理

センターとのデータ送受信制御を行う。

(7) 端末システム支援ユーティリティ

端末システムのディスクへの格納、保守、障害解析を行う。

(8) ファイルユーティリティ

ファイルの保守と更新を行う。

(9) ファイル伝送ユーティリティ

WSでオペレータ起動によりセンターとファイル伝送を行う。

(10) センターファイル状態表示ユーティリティ

WSでセンターファイル状態表示を行う。

(11) 診断ユーティリティ

装置の動作確認を行う(ディスク、プリンタ、回線など)。

5.2.2 簡易言語 (DD/SIMPLE)

DD/SIMPLE(Distributed Data System Immediately Programable Language)は分散処理システムに必要な適用業務、すなわちデータエントリ(ローカル/オンライン)、ビルディング、パッチ、問合せ及びオンラインの各処理を行うための端末簡易言語である。DD/SIMPLEは次の特長を持っている。

(1) 特長

(a) 様式の独立定義

画面、帳票、レコード、演算手続きの各様式が適用業務とは独立に

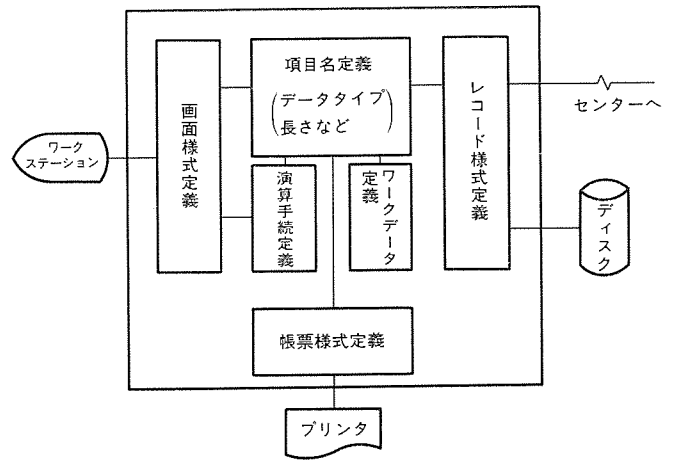


図 8. DD/SIMPLE の構成

定義できる(内部定義も可能である)。

(b) 会話形プログラム開発

各様式の定義はガイダンス付で会話形に行え、特に画面様式は実画面上で設計できる。

(c) データエントリの操作特性

データエントリ処理の操作特性(入力モード、更新モード、探索モードなど)をもつ。特に画面入力時には、項目単位の検査/編集/演算処理ができ、また数値項目の小数点などの編集入力や明細行の挿入/削除/追加などが伝票形式と同様に入力、表示できる。

(d) 上位機種との高度な通信機能

上位機種とのオンライン処理は、READ/WRITEレベルの論理ファイルとして指定できる。また、分散ホスト(このシステムでの《M70/150》)のパッケージとの連携で、オンラインデータエントリでのエントリ操作特性やトランザクションデータのメール機能をもつ。

(2) 言語仕様

DD/SIMPLEの言語仕様では、基本的に論理属性と物理属性とが区別されている。各様式(画面、帳票、レコード、参照項目名及び演算手続き)の定義が論理属性に対応する。DD/SIMPLEの命令は、これらの論理属性に対する物理属性及び処理制御を指定するものである。これらの関係は図8.のとおりである。

6. む す び

分散処理システムとして、このシステムはその一例であるが、企業の情報処理機能の分散が行われている一方、エンドユーザーの立場からは日常作業の向上、省スペースの観点から機器の一元化が求められている。

したがって、これからの端末機としては、単に計算機の端末としての機能にとどまらず、OA機器の一環としてオフィス内の作業にも利用できる多機能化が強く求められている。今後は、この面での強化を進めて行くこととしたい。

海洋観測衛星1号搭載用マイクロ波放射計

石沢 禎弘*・今谷 敏夫**

1. ま え が き

我が国は周囲を海に囲まれており、我々の生活及び産業は海と密接につながっている。そのために、我々は種々の海面情報を比較的短時間にしかも繰返し必要としており、更に海洋現象を的確にとらえるために昼夜全天候の観測を必要としている。したがって、これらを実現するためには、衛星からの海洋リモートセンシングに期待することが最適と思われる。つまり海洋観測は、光学センサなどによる陸域観測とは異なり、海洋あるいは海洋上の力学現象の変化を統計的に平滑化してとらえることを必要とし、その時系列変化の観測が重要な要素となっている。これらの条件を満たす観測機器の代表的なものとして、マイクロ波放射計があり、次の目的を有している。

- (1) 海流などに伴う海洋の状況を知るための、広域にわたる海面水温の分布の観測
- (2) 衛星観測データの補正に不可欠な海洋上の水蒸気量及び水量の観測
- (3) 極海における船舶の安全航行及び漁業情報に必要な海水海面状態の観測
- (4) 海上風及び波浪を推定するための海面状態の観測
- (5) 積雪量及び積雪分布の観測

以上の目的を達成するためには、多周波多チャネルのマイクロ波放射計を必要とするが、現在我が国で開発中のマイクロ波放射計(Microwave Scanning Radiometer: MSR)は、上記(2)、(3)、(5)を主目的とした基礎実験用の2周波マイクロ波放射計であり、昭和61年に打上げ予定の海洋観測衛星1号(Marine Observation Satellite-1: MOS-1)に搭載される。

MSRの開発スケジュールは次のとおりである。

- ・ブレッドボードモデル(BBM) 昭和55年3月完
- ・エンジニアリングモデル(EM) 昭和57年3月完
- ・プロトフライトモデル(PFM) 昭和58年11月完予定
- ・フライトモデル(FM) 昭和59年12月完予定

ここでは、マイクロ波放射計の観測原理に触れた後、MSRの概要として、構成、性能及び動作について述べるとともに、昭和57年3月に完了したEMの開発試験の概要とその結果について報告する。更にMSRによって得られるデータの温度校正法について、その概要を述べる。

2. 観 測 原 理

2.1 輝度温度

物体の表面からは、プランクの熱放射則に従って種々の波長の電磁波が放射されているが、特定温度の表面より単位面積、単位周波数、単位立体角あたりに放射される特定波長の電磁波の電力は輝度と呼ばれている。マイクロ波帯(1~100 GHz)においては、レーリジョーンズの放射式が成立し、黒体の輝度 B は次式で与えられる。

$$B = 2kT/\lambda^2 \quad (W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1} \cdot Sr^{-1}) \quad (1)$$

ここで、 k : ボルツマン定数 ($1.38 \times 10^{-23} J/K$)

T : 温度 (K)

λ : 波長 (m)

通常の物体は黒体とは異なり完全な放射の吸収体ではない。特定周波数について、物体の熱放射の輝度と等しい輝度で熱放射する黒体の温度をその物体の輝度温度 T_B と定義している。また特定周波数について、物体の温度とその物体と同温度の黒体の輝度との比は、その物体の放射率 $\varepsilon(\lambda)$ と定義されている。つまり、物体の温度 T と物体の輝度温度 T_B と放射率 $\varepsilon(\lambda)$ との間には、次の関係式が成立する。

$$T_B = \varepsilon(\lambda) \cdot T \quad (2)$$

したがって、温度 T の通常の物体表面より放射される輝度 B' は、式(1)に式(2)を代入した次式により与えられる。

$$B' = 2k\varepsilon(\lambda) T/\lambda^2 \quad (3)$$

物体の放射率は常に1より小さく、その物理的性質や測定パラメータによって異なり、このため輝度温度 T_B もこれらの性質、条件によって変化する。この物理的性質として物体の場合には、表面温度、表面の粗さ、含水率、成分組成、大気の場合には気温及び水蒸気の垂直分布などがあり、測定パラメータとしては観測周波数、入射角、偏波などがある。

2.2 受信輝度温度

物体の物理的性質や測定パラメータの相違による放射率の変化により、輝度温度に影響が及ぶことは前述のとおりである。

人工衛星にマイクロ波放射計を搭載して観測を行う場合には、この放射率以外に輝度温度に影響を及ぼす要因が生じ、それらを考慮するとマイクロ波放射計によって受信される輝度温度 T_B は次式で与えられる。

$$T_B = \int_0^H T(z) \alpha(z) \exp \left[- \int_z^H \alpha(z') \sec \theta dz' \right] \sec \theta dz + [\varepsilon(\lambda) T_0 + \{1 - \varepsilon(\lambda)\} T_r] \exp \left[- \int_0^H \alpha(z) \sec \theta dz \right] \quad (4)$$

ここで、 H : 衛星高度

T_z : 高度 z における気温

α_z : 高度 z における大気(水蒸気、酸素など)の吸収係数

θ : 入射角

$\varepsilon(\lambda)$: 観測対象物の放射率

T_0 : 観測対象物の温度

T_r : 大気の下向き放射と銀河あるいは太陽などからの雑音が途中の大気層で減衰して観測対象物に届いたものの和

式(4)の第1項は上向き(衛星方向)の大気放射(図1の①)、第2項の前半は観測対象物の放射(図1の②)、第2項の後半は T_r が観測対象物により反射(放射率 $= 1 -$ 放射率)された放射(図1の③、④)を表している。

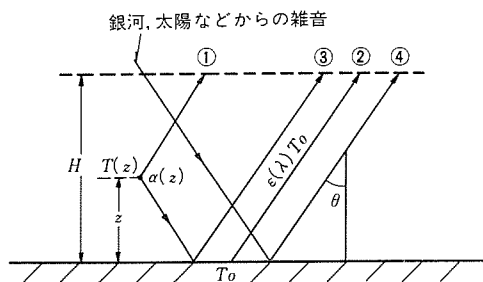


図 1. 人工衛星に搭載したマイクロ波放射計によって測定される放射

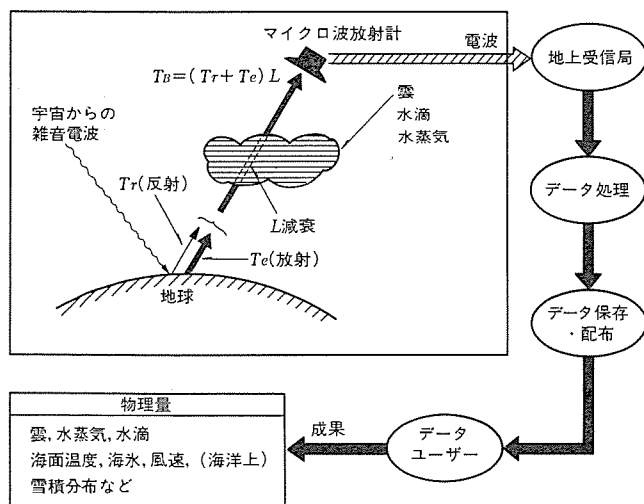


図 2. 観測概念図

表 1. マイクロ波受動観測に望ましい周波数

周波数 (GHz)	観測対象	所要帯域幅 (MHz)	周波数 (GHz)	観測対象	所要帯域幅 (MHz)
1.4 近傍	土壌水分, 塩分	100	125.61	酸化窒素	2,000
2.7 "	" "	60	150.74	"	"
5 "	河口付近水温	200	164.38	酸化窒素	"
6 "	海面温度	400	167.20	"	"
11 "	降雨, 雪, 湖水, 海面状態	100	175.86	酸化窒素	"
15 "	水蒸気, 降雨	200	183.31	水蒸気	"
18 "	降雨, 海面状態, 水蒸気, 海面温度	200	184.75	オゾン	"
21 "	水蒸気, 水滴	200	200.98	酸化窒素	"
22.235 "	" "	300	226.09	"	"
24 近傍	" "	400	230.54	一酸化炭素	"
30 "	海水, 水蒸気, 油もれ, 雲, 水滴	500	235.71	オゾン	"
37 "	降雨, 雲, 海水, 油もれ	1,000	237.15	"	"
55 "	温度	250	251.21	酸化窒素	"
90 "	雲, 油もれ, 氷, 雪	6,000	276.33	"	"
100.49	酸化窒素	2,000	301.44	"	"
110.80	オゾン	2,000	325.10	水蒸気	"
115.27	一酸化炭素	2,000	345.80	一酸化炭素	"
118.70	温度	2,000	364.32	オゾン	"
			380.20	水蒸気	"

出典: CCIR Doc. 2/1066-E Nov. 8/77

マイクロ波放射計の受信アンテナには、そのビームの覆う立体角の範囲にわたってアンテナパターン $F(\theta, \phi)$ の重み付けがされた平均輝度温度 $T(\theta, \phi)$ が出力される。一般にこれはアンテナ温度 T_A と呼ばれるものであり、次式で与えられる。

$$T_A = \frac{1}{4\pi} \int_{4\pi} G(\theta, \phi) \cdot T_B(\theta, \phi) d\Omega \quad (5)$$

ここで、 $G(\theta, \phi)$ はアンテナの利得関数である。

またアンテナ温度 T_A と受信電力 P との間には次の関係がある。

$$P = k T_A B_f \quad (6)$$

ここで、 k : ボルツマン定数

B_f : 帯域幅

マイクロ波放射計の受信電力 P より観測対象物の平均輝度温度が求められ、この平均輝度温度を解析し、輝度温度に影響を及ぼす種々の要因の影響度を分析することによって、観測対象物の物理的性質が明らかにされる。観測概念図を図 2. に示す。

2.3 観測周波数帯

海洋上における大気中の水蒸気量、水量及び海水あるいは雪の分布状況などの観測を主要ミッションとする MOS-1 搭載用 MSR においては、水蒸気の吸収帯に位置する周波数及び水量の観測に適した周波数を選ぶ必要がある。表 1. にマイクロ波受動観測に望ましい周波数を示す。実際に周波数を決定するにあたっては、更にその周波数が電波天文業務として保護されていることが必要であり、これらのことを考慮して MOS-1 搭載用 MSR では、必要最小限のものとして次の 2 周波を選定している。

- (1) 23 GHz 帯 : 23.8 GHz \pm 200 MHz
- (2) 31 GHz 帯 : 31.4 GHz \pm 250 MHz

3. MSR の概要

3.1 MSR の外観及び構成

MSR の外観図を図 3., 構成図を図 4. に示す。MSR はアルミニウム構造のベースプレートの両面に各コンポーネントが取り付けられた一体構造となっており、MOS-1 本体にはこのベースプレートを経由して固定される。

3.2 MSR 設計上の特長

MSR の設計上の特長を次に示す。

- ・ 2 周波共用の面から機械的走査アンテナとしている。
- ・ 衛星の姿勢に与える影響を小さくするためにコンカルスキャン方式とした。
- ・ RF 損失を小さくするため、オフセットカセグレンアンテナを採用し

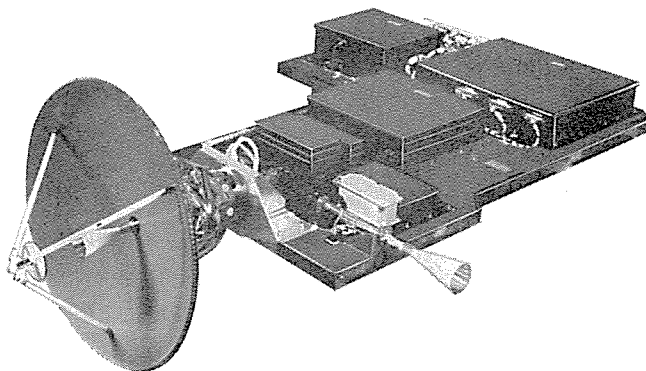


図 3. マイクロ波放射計の外観 (EM)

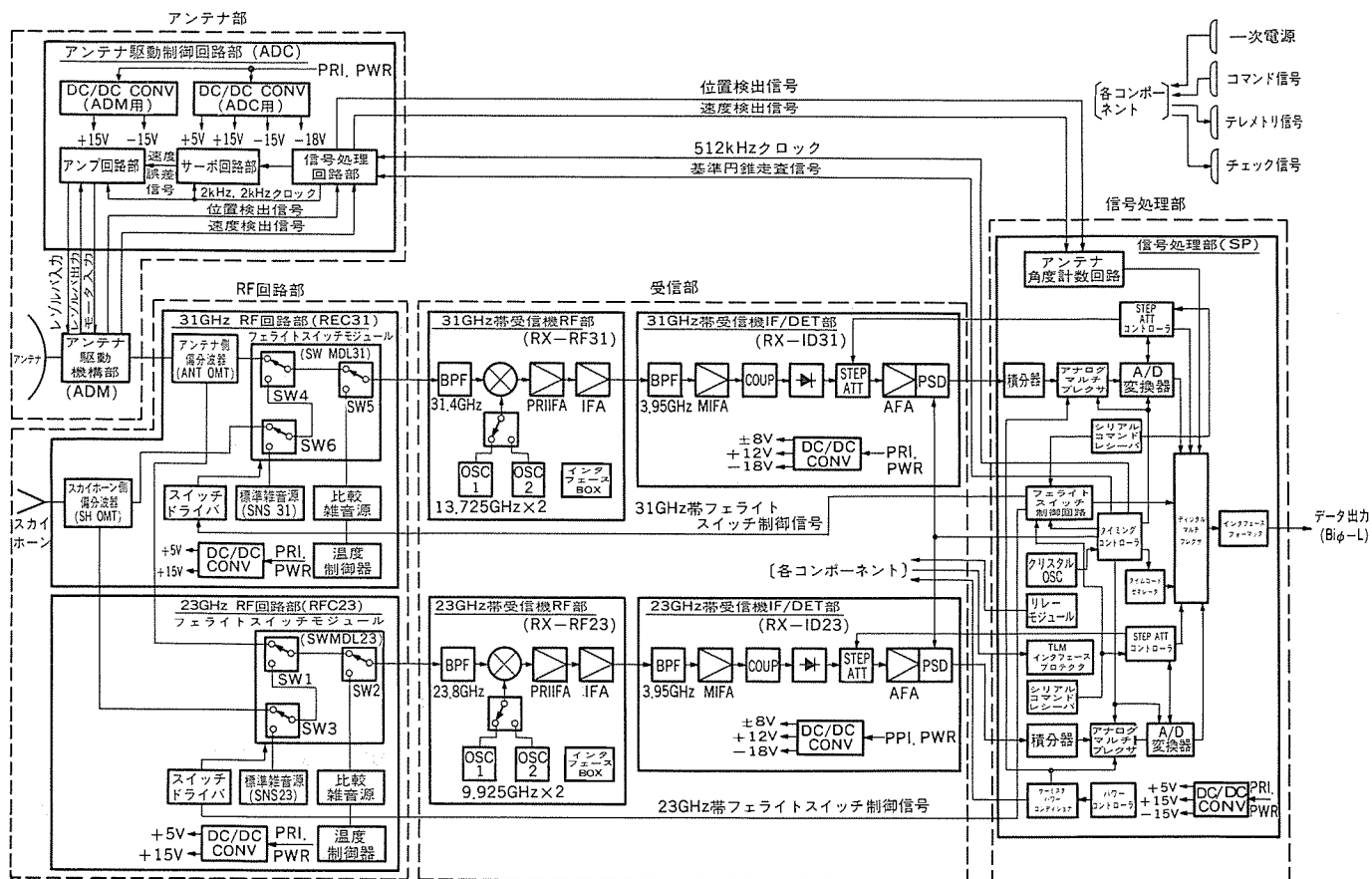


図 4. マイクロ波放射計構成図

ている。

- ・ 利得変動の影響を小さくするため、温度校正用雑音源として低温雑音源にはスカイホーン、高温雑音源には常温ダミーを用いたディック比較形放射計とした。
- ・ 受信感度の改善の面から帯域を広くとるため、IF帯を4GHz帯とするSSB(シングルサイドバンド)方式とした。
- ・ 積分器は充放電形とし、積分時間は47ms、10msの並列運用とした。

3.3 システム性能

(1) 受信感度(温度分解能)

受信感度は、受信機内部で発生する雑音のゆらぎなどの不確定成分に起因する受信機の最小識別雑音温度で代表され、通常アンテナ入力輝度温度(アンテナ温度)に対応する出力カウント値の統計的分布を取った場合の標準偏差値(1 σ 値)として定義される。

設計段階においては、以下の計算式により受信感度を求めることができる。

$$\Delta T = K \cdot (T_A + T_R) / \sqrt{B \cdot \tau} \quad (7)$$

ここで、 ΔT : 受信感度(温度分解能)

K : 受信機の構成によって決まる定数(約2)

T_A : アンテナ温度

T_R : アンテナ出力端換算受信機等価雑音温度

B : 検波前の受信機等価雑音帯域幅

τ : 検波後の積分器時定数

$$T_R = (L-1)T_0 + L(F-1)T_0 \quad (8)$$

ここで、 L : アンテナ出力端から受信機入力端までのRF挿入損失

T_0 : アンテナ出力端と受信機入力端間のRF回路の物理温度

表 2. 絶対精度の推定

観測周波数帯	23GHz帯(K)	31GHz帯(K)
(1) データベース誤差*	±0.62	±0.67
(2) スカイホーンの地球影響による誤差	±1.0	±0.5
(3) スカイホーンの太陽影響による誤差	±0.15	±0.1
(4) スカイホーンの衛星構体影響による誤差	±0.15	±0.1
(5) スカイホーン温度推定誤差	±0.15	±0.15
(6) スカイホーン温度の ΔT による誤差	±0.24	±0.31
(7) 高温雑音源温度の ΔT による誤差	±0.22	±0.28
(8) 観測信号のA/D変換誤差	±0.67	±0.66
(9) 高温雑音源の温度テレメトリA/D変換誤差	±0.3	±0.3
(10) アンテナ主反射鏡の鏡面損失による誤差	±0.14	±0.16
(11) アンテナ出力VSWRによる誤差	±0.61	±0.03
(12) スカイホーン出力VSWRによる誤差	±0.02	±0.03
トータル誤差(RSS)	±1.6	±1.2

注 * 入力信号データ、校正用雑音源データ及びそれぞれの出力カウント値自身が持つランダム性誤差の和(地上での温度校正試験時、取得するもの)

F : 受信機雑音指数

上記式(7)及び式(8)から、MSRの設計値として受信感度を計算すると、23GHz帯の場合、 $B=400$ MHz、 $F=6.5$ dB、 $L=1.02$ dB、 $\tau=47$ msとなり、 $\Delta T_{23\text{GHz}} \approx 0.76K$ が予測される。また31GHz帯の場合、 $B=500$ MHz、 $F=7.2$ dB、 $L=1.13$ dB、 $\tau=47$ msとなり、 $\Delta T_{31\text{GHz}} \approx 0.82K$ が予測される。

(2) 絶対精度

雑音レベルの測定では、雑音のゆらぎによる不確定性以外にバイアス性及びランダム性の誤差を伴う。このうちバイアス性誤差は、校正時

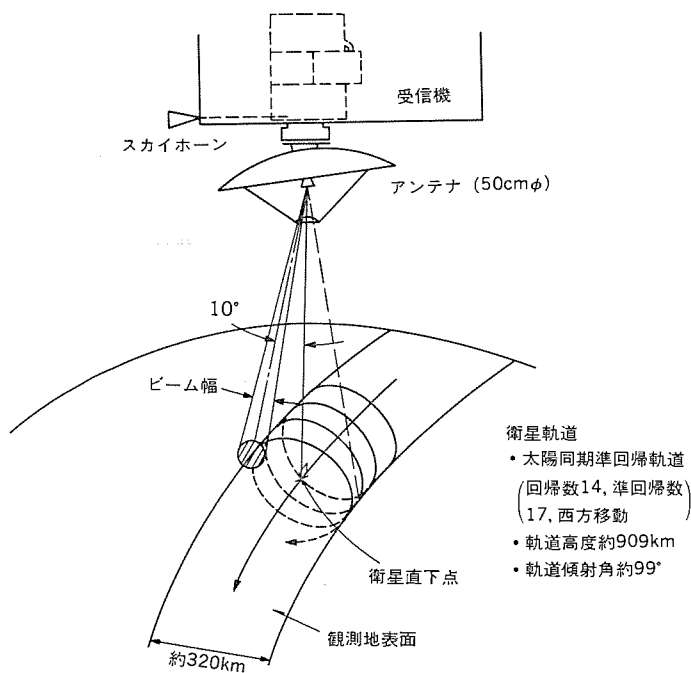


図 5. MSR 観測走査パターン

に補正を行い誤差範囲を狭くすることは可能であるが、ランダム性誤差については、そのまま測定値の不確定性成分となる。表 2. に絶対精度に影響を及ぼす誤差要因及び推定誤差を示す。

(3) 観測走査パターン

MSR の観測走査パターンを図 5. に示す。MSR はアンテナを地球に、スカイホーンを宇宙空間にビームが向くように MOS-1 に取り付けられる。アンテナビームは衛星直下点に対して 10° オフセットしており、地球上を図 5. のように掃引して行く。観測は進行方向に対して後半分 (1.6 秒間) で行い、前半分では校正データなどの取得を行う。瞬時視野については、23 GHz 帯の場合 約 31.1 kmφ、31 GHz 帯の場合 約 21.1 kmφ となる。

3. 4 MSR の主要仕様

MSR の主要仕様を次に示す。

- (1) 観測周波数帯 : 23.8±0.2 GHz 及び 31.4±0.25 GHz

- (2) 受信感度 : 23 GHz 帯及び 31 GHz 帯共 1 K 以下 (目標)
- (3) 絶対精度 : 23 GHz 帯及び 31 GHz 帯共 2 K 以下 (目標)
- (4) 測定温度範囲 : 30~330K
- (5) アンテナ形式 : オフセットカセグレンアンテナ
- (6) ビーム幅 (半値幅公称値) : 23 GHz 帯 (1.89°), 31 GHz 帯 (1.31°)
- (7) 走査方式 : コニカル連続走査, 円すい角 20°±5%
回転速度 約 18.75 rpm (3.2 s / 1 回転)
- (8) データサンプリング数 : 積分時間 10 ms が 128 点 / 1 走査
積分時間 47 ms が 32 点 / 1 走査
- (9) 出力信号
- 符号形式 : バイフェーズレベルシリアル
- フレームレート : 1 フレーム / 3.2 s
- ビットレート : 2,000 ビット / s
- フレーム長 : 640 ワード / フレーム
- ワード長 : 10 ビット / ワード

4. MSR-EM の開発試験概要及び結果

MSR-EM を用いて実施した開発試験の項目を表 3. に示す。MSR は、各コンポーネント単位で環境試験をも含めた試験を実施後、サブシステム試験を実施している。コンポーネント試験のうち、音響試験及び熱

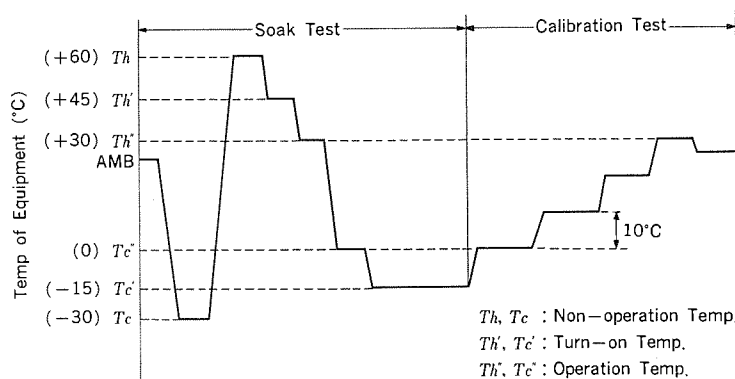


図 6. MSR 熱真空試験温度プロフィール

表 3. MSR-EM 試験項目／試験条件

試験項目		試験条件			
コンポーネント試験	MSR サブシステム試験	正弦波振動		ランダム振動	
電気性能試験	電気性能試験	5~28 Hz 12.7 mm DA	20 G	20~40 Hz +6 dB/oct	音圧 0 dB=2×10 ⁻⁵ N/m ²
熱真空試験	熱真空試験 (校正試験を含む)				
振動試験 (正弦波・ランダム)	EMC 試験 (CE, CS, RE, RS)				
EMC 試験 (CE・CS)	残留磁気ダイポールモーメント及び磁気特性測定	28~100	20 G	40~1,000	0.3 G ² /Hz
音響試験*		100~2,000	7.5 G	1,000~2,000	-12 dB/oct
熱バランス試験*		2 oct/min		3 軸 2 min 19.5 Grms	
				時間 120 s OASPL=145	

注 * ANT/ADM/ブラケット

表 4. MSR-EM 試験結果

	仕様値	計算値	実測値 (EM)
重量 (kg)	≦54.0	51.2*	45.4
消費電力 (W)	≦55	48.6	46.9
受信感度 (K)	23 GHz : ≦1	0.76	0.73
	31 GHz : ≦1	0.82	0.82
TLM/CMD	OK/NG	—	OK
EMC	CE	Noise Current from P. S. line ≦86~95 dBμA	OK
	CS	Added Noise Voltage to P. S. line 200 mVp-P~500 mVp-P	OK
	RE	MIL-STD-461 A (Notice 3) RE02	OK
	RS	Added Noise field-intensity 1 V/m~10 V/m	OK

注 * ベースプレート一部設計変更のため、PFM/FM で重量増あり。

バランス試験としては、MOS-1 本体の外部に露出するものについて実施している。試験条件については、コンポーネント試験における振動及び音響条件を表 3. に、MSR サブシステム試験における熱真空試験温度プロファイルを図 6. に示す。

試験結果については、コンポーネント単位及びサブシステム単位共良好であり、所要の性能を満足していることが確認された。MSR サブシステム試験結果の主な内容を表 4. に示す。

5. 温度校正法

MSR の出力は、アンテナ出力端における雑音温度に対応した電圧値を A/D 変換して得られるデジタルカウント値である。この出力カウ

ト値と、入力雑音温度の関係を表す温度校正式を得るため、図 6. に示すように熱真空試験時に温度校正試験を行っている。

5.1 温度校正試験

温度校正試験は、MSR をスペースチェンバの中に、宇宙環境を模擬して熱真空環境下で行う必要がある。MSR の設定温度は、動作温度範囲 (0~30°C) を、10° ステップごとに変化させデータ取得を行っている。また、アンテナ及びスカイホーンに入力する基準雑音源として、電波吸収体の周囲を液体窒素導入用銅パイプとヒータで覆われたピラミッド形疑似雑音源ターゲットを MSR のアンテナ一次放射器及びスカイホーンの前に取り付ける。この状態で観測アンテナ用ターゲット温度を、約 80K から約 330K のレンジで 25° ステップで増減させて、対応する MSR の出力データ及び MSR 各部の温度データなど、温度校正式に用いる各パラメータのデータを取得する。スカイホーン用ターゲットについては、約 80K 一定に維持されている。

5.2 一次温度校正式

MSR の温度校正は、基本的にはスカイホーン、標準雑音源 (高温雑音源用常温ダミー) の 2 点の校正源の内挿で行う。MSR 各部単体の損失及び温度を図 7. のようにモデル化すると、観測アンテナ温度 T_t は、式 (9) のように表すことができる。

$$T_t = \frac{L_u L_p L_t}{L_v L_q L_s} T_{ts} + \frac{L_u L_p L_t}{L_v L_q L_s} (L_s - 1) T_{tp} + \frac{L_u L_p L_t}{L_v L_q} (L_q - 1) T_{sq} - (L_t - 1) T_{tn} - L_t (L_p - 1) T_{tp} + \left\{ \frac{L_u L_p L_t}{L_v} (L_v - 1) - L_t L_p (L_u - 1) \right\} T_{ts} + \frac{N_s - N_t}{N_s - N_a} \left[\frac{L_u L_p L_t}{L_a} T_{ts} + \left\{ \frac{L_u L_p L_t}{L_a} (L_a - 1) - \frac{L_u L_p L_t}{L_v} (L_v - 1) \right\} T_{ts} - \frac{L_u L_p L_t}{L_v L_q L_s} T_{ts} - \frac{L_u L_p L_t}{L_v L_q L_s} (L_s - 1) T_{ts} - \frac{L_u L_p L_t}{L_v L_q} (L_q - 1) T_{sq} \right]$$

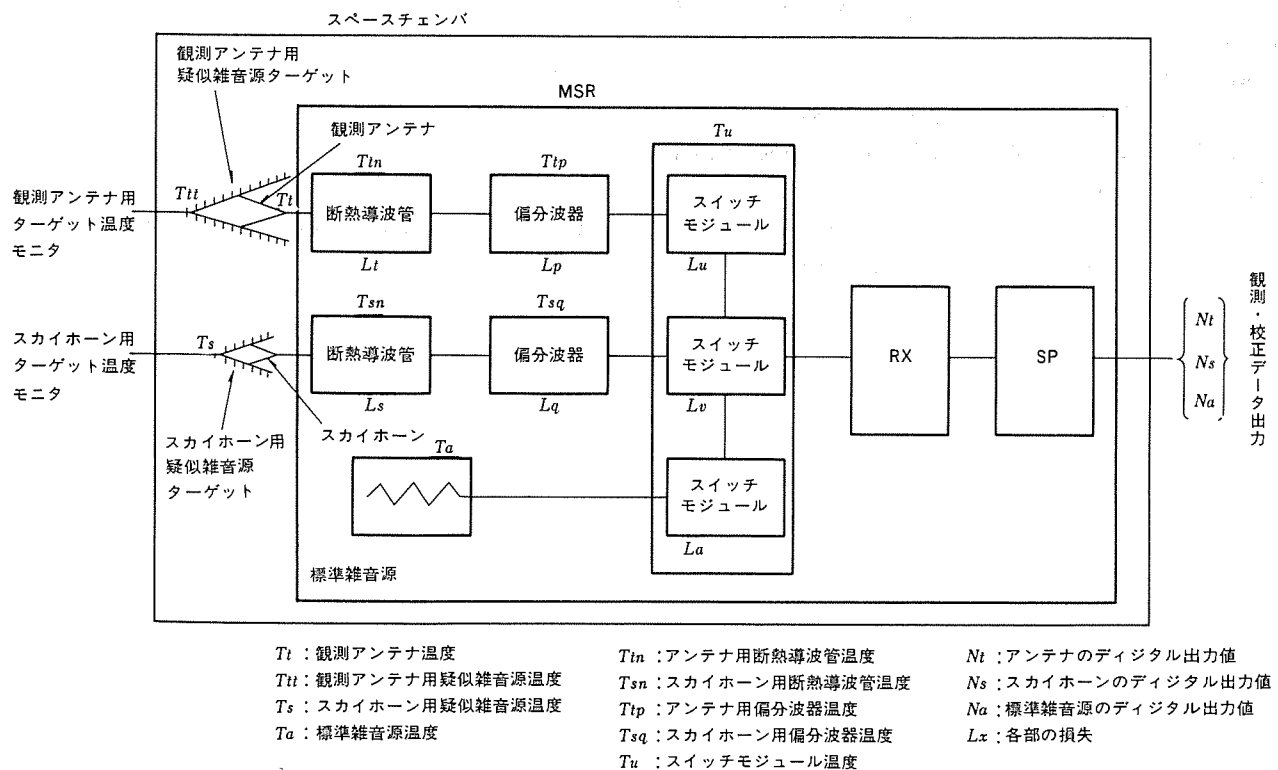


図 7. MSR 温度校正モデル

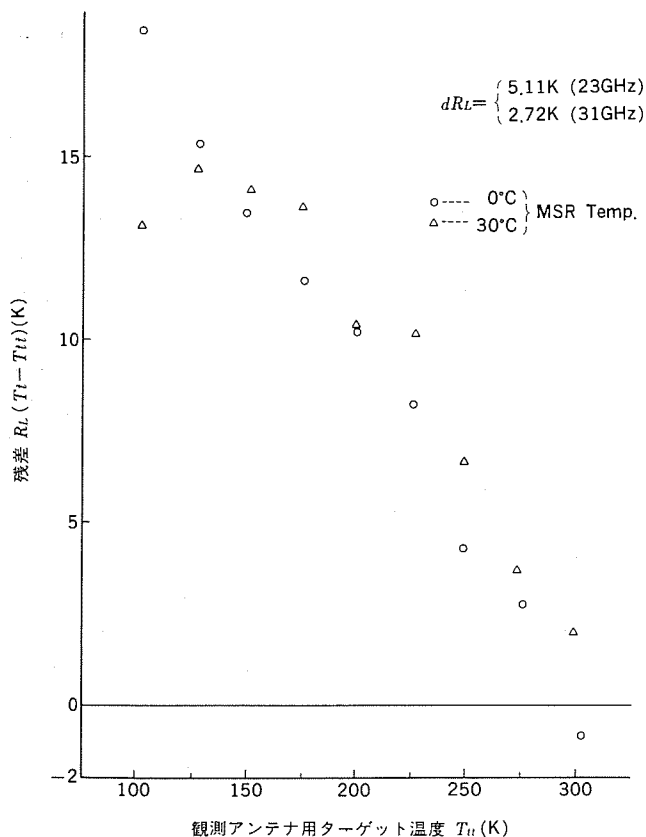


図 8. 残差 R_L (損失) の温度特性 (23 GHz 帯)

$$= F_1 T_s + F_2 T_{sn} + F_3 T_{sq} - F_4 T_{tn} - F_5 T_{tp} + F_6 T_u \\ + \frac{N_s - N_t}{N_s - N_a} (F_7 T_a + F_8 T_u - F_1 T_s - F_2 T_{sn} - F_3 T_{sq}) \quad \dots (9)$$

MSR-EM の温度校正試験の結果、式(9)を用いて得られた入出力の残差 $R_L = T_t - T_{it}$ (23 GHz 帯の場合) 及び残差の標準偏差 dR_L を図 8. に示す。

5.3 回帰分析

式(9)をもとに定数項、高次項などを考慮して、観測アンテナ用ターゲット温度 T_{it} を従属変数、その他を独立変数として作成した回帰式モデルを式(10)に示す。

$$T_{it} = a_0 + a_1 T_s + a_2 T_{sn} + a_3 T_{sq} + a_4 T_{tn} + a_5 T_{tp} + a_6 T_u \\ + a_7 E T_a + a_8 E T_u + a_9 E T_s + a_{10} E T_{sn} + a_{11} E T_{sq}$$

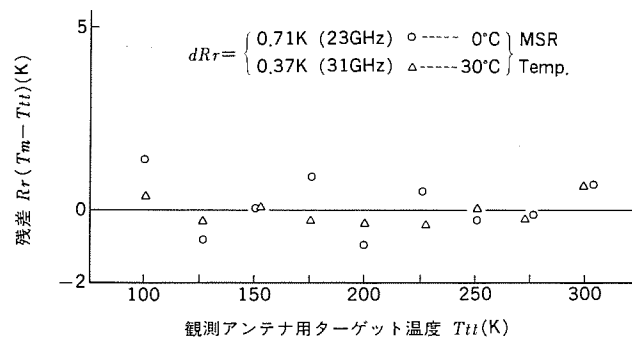


図 9. 残差 R_r (回帰式) の温度特性 (23 GHz 帯)

$$+ a_{12} E + a_{13} E^2 + a_{14} E F + a_{15} E^2 F + a_{16} E T_a^2 \quad \dots (10)$$

$$\text{ここで, } E = \frac{N_s - N_t}{N_s - N_a}, \quad F = N_s - N_t$$

MSR-EM の温度校正試験で取得した各種データより、回帰分析用データベースを作成し回帰分析を行った。得られた回帰式によるアンテナ温度の推定値 T_m と観測アンテナ用ターゲット温度 T_{it} との残差 $R_r = T_m - T_{it}$ (23 GHz 帯の場合) 及び残差の標準偏差 dR_r を図 9. に示す。この残差の標準偏差が、マイクロ波放射計の絶対精度に対応する。

更に、実際の軌道上での観測時においては、フライトデータを回帰分析用データベースに結合して、回帰式の補正を行うことも可能である。

6. む す び

MSR-EM の評価を完了し、この開発により得られた成果を次に示す。

- (1) MSR-PFM/FM に対する設計の妥当性の確認
(打上げ時及び軌道上での耐環境性能評価を含む)
- (2) 試験器の取扱い及び試験方法を含めた評価法の確立
- (3) MSR の製造技術の確立

以上の結果を反映して 今後 PFM/FM の製作を引き続き行う予定である。

参 考 文 献

- (1) 石沢, 今谷: MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE, 19, P. 11 (1982-3)

トランジスタモータ

打田良平*・山崎辰男*・森 好春**・浅妻定平***・田中 博+

1. ま え が き

ブラシレス直流モータの中で、最も小形で汎用性に富むトランジスタモータが、ここ数年来、VTRやコンピュータ周辺機器などの回転制御用モータとして急速に普及しつつある。それは次の二つのメリットが評価されたためである。まず第1に、従来形モータが持つ欠点をカバーしていること。すなわち、従来の直流機に比較してブラシレス故に長寿命で高性能である。また、従来の交流機よりも高効率で本体や駆動回路系が小形となり、電源周波数に依存しない広い速度制御範囲を持つ、などである。次いで第2には、回転子が永久磁石のみから成るので、応用面での形状に柔軟性があること。つまりVTRなどの製品性能向上に不可欠となってきたダイレクトドライブ(DD)方式に合わせて、薄形や筒形の形状が自由に採れる点である。

以上の背景を踏まえて、当社では昭和54年にまずVTRドラムのDDモータにトランジスタモータを採用し、以後各種キャプスタンモータにも適用して行った。ここでは、まず最近の当社VTR用トランジスタモータの概要とその制御の状況について述べる。次に回転性能の向上を目指して、今般、開発した準正弦波駆動方式の三相モータドライブ用ICの動作原理、構成などについて述べ、更にこのICを搭載したフロッピディスク用トランジスタモータについて、その性能や優れた特性を紹介する。

2. VTR用トランジスタモータ

家庭用VTRの、ここ数年間における国内外での普及は顕著であり、今後も同等以上の伸びが見込まれている。トランジスタモータの適用状況でも、この分野での需要が最も多い。当社のVTRにおいては、性能上特に注意を要する回転ビデオヘッドのDDドラムと、テープを走行駆動するキャプスタン軸のDDモータとをトランジスタモータ化し、ポータブルVTR、HV-7000や、据置形VTRの《ファンタス77G》、更にはたて形の《ファンタス22G》などの機種に採用している。

2.1 ドラムモータ

当社では昭和54年発売のVTR、HV-6000以来、一貫して回転ビデオヘッド用ドラムにはDDトランジスタモータを採用してきた。それはベルトによる駆動機構の複雑化を回避し、寿命の問題を解決するためである。更に画質を重視し、ドラムの回転性能が画質に与える影響が大きいので、ドラム専用のモータを設けて制御性の向上に努めてきたためである。

ポータブルVTR、HV-7000以来、当社では従来のドラムに代わり、図1に示す構造のドラムを搭載している。従来のドラムではトランジスタモータの構成上、必ず(須)の位置センサにより、その回転速度をも検出する方式の薄形モータをドラムに内蔵していた⁽¹⁾⁽²⁾。新タイプのドラムでは図1に示すように、上ドラムの上部にモータのロータとステータを配する新機構とした。この構成によれば、従来の上、下ドラム間にモータを内蔵した方式に比較して、オーディオ系のS/Nが改善された。また、ビデオヘッドや回転トランスの調整を含むドラム組立が容易

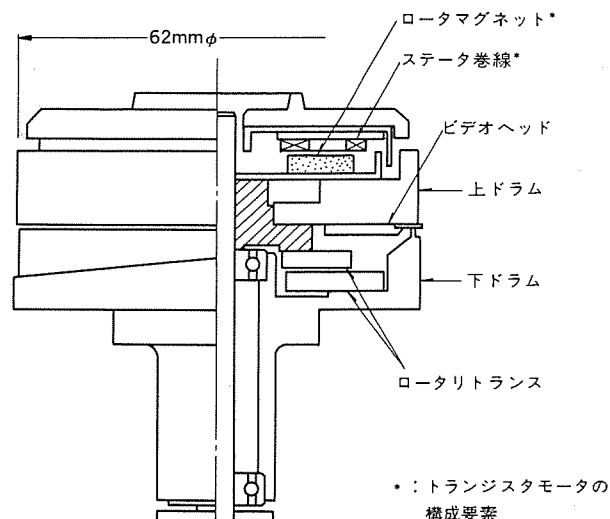


図1. DDドラムの構造

表1. ドラムモータの概略仕様

形 式	三相8極スロットレス形
定 格 電 圧 (V)	DC 12
定 格 回 転 数 (rpm)	1,800
定 格 負 荷 (g・cm)	10
起 動 ト ル ク (g・cm)	200
無 負 荷 回 転 数 (rpm)	3,700
寿 命 (h)	5,000 以上

となり、画質向上やコストダウンに寄与している。

表1. にドラムモータの概略仕様を示す。表中、起動トルクは慣性モータが $1\text{ g}\cdot\text{cm}\cdot\text{s}^2$ 余のドラムを、1.5秒程度の時間で定格回転数に立ち上げるために必要な値になっている。DDドラムでは回転むらの少ないことが最も重要な項目であり、駆動モータのトルクリプルは小さいほど良い。また玉軸受の精度と予圧の管理、組立時のミスアライメント防止及びグリースの選定などによって、0.003% W_{rms} 以下の回転むら性能を実現している。

2.2 キャプスタンモータ

最近のVTRはノイズバロック式のスピードサーチ(高速再生モード)、可変速ノイズレススローモーションなどの採用による多機能化が進歩してきている。この結果、キャプスタンモータには、例えばVHS方式の標準、3倍両モード機では、60~1,620rpmという広範囲な速度変化範囲が求められる。更に、スローモーション機能が求められた場合、間欠駆動を行うので極めて大きな起動トルクが要求される。一方では、特にポ

ータブル VTR で顕著であるが、セットの小型化、省電力化が進み、モータには小形、軽量、低消費電力化が求められている。当社では、これらの要求に各々こたえるべく、ポータブル機用と装置機用との2系統のDDキャプスタンモータを開発し対応している。

図2. にポータブル VTR 用三相キャプスタンモータのトルク-回転数特性を示す。このモータは高トルクと高速の双方の特性を満足させるために、電源電圧と電機子巻線の巻数とを動作モードに応じて適宜切換え、三つのモードの特性が得られるようにしたトランジスタモータ⁽³⁾である。スイッチSW1とSW2のいずれか一方を閉路することによって、モータのトルク定数(=逆起電力定数)を大小に切換えて図2. のI, 又はIIの特性を得る。Iの特性の時にスイッチSW3を切換えて電源電圧を高圧側にすれば、図のIIIの特性が得られる。通常の録画再生時はモードIで使用し、低電力化を図る。またスローモーション再生は、モードIIIで行うことにより高トルクを得、スピードサーチ時にはモードIIを用いて高速を得るようにしている。更にスイッチSW1とSW2を共に閉路するモードも作ることができるが、このモードは各相の電機子コイルを短絡した状態であり、電気制動モードと呼べる。このモードはテープ走行を高速(スピードサーチ時)から低速(通常再生や一時停止時)へ円滑に復帰させる際に有効で、平滑な制動トルクを得ている。

据置形 VTR, 《ファンタス 77 G》に搭載しているキャプスタンモータの外観を図3. に、またその概略仕様を表2. に示す。図2. のモータと異なり、このモータは電源電圧や電機子巻線の切換えを行わずに

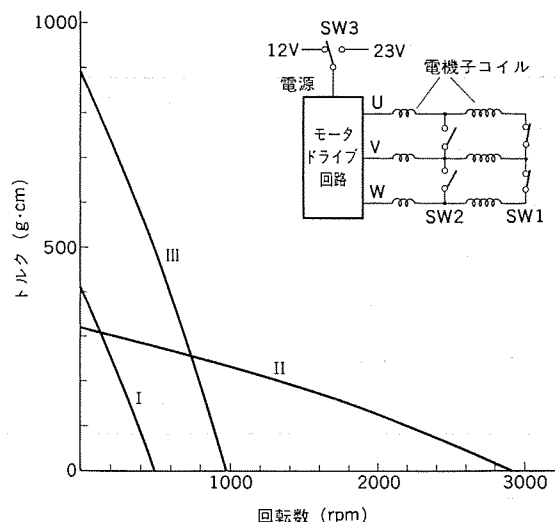


図2. ポータブル用キャプスタンモータの特性

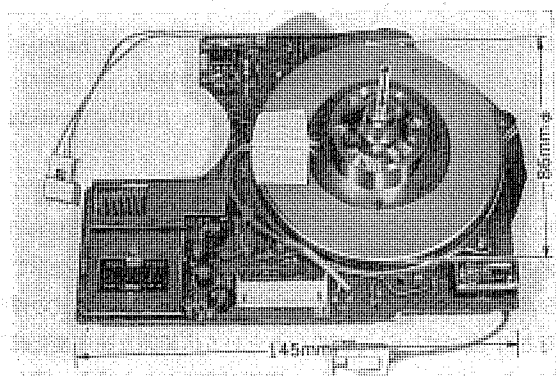


図3. 据置 VTR ; 77 G 用キャプスタンモータ

表2. 77 G VTR 用キャプスタンモータの概略仕様

形 式	三相8極スロットレス形
定 格 電 圧 (V)	DC 24
定 格 回 転 数 (rpm)	180±20/60±7
定 格 負 荷 (g·cm)	30
起 動 ト ル ク (g·cm)	約 900
無 負 荷 回 転 数 (rpm)	1,750±100

スピードサーチやスローモーション動作も行っている。したがって通常の録画再生時の電流が若干多いが、据置用なので特に問題はなく、むしろこのモータは、電機子コイルをフラットな台形状にして駆動回路と共通のプリント基板上に固定配置するなど、全体を簡素な構成にまとめて信頼性の向上に努めることを主眼に設計している。

2.3 駆動回路

ドラムモータ、キャプスタンモータ共、図4.の原理図に示した三相120度通電制御方式を採用してきている。この方式ではまず、界磁磁石回転子の位置をホール素子で検出し、この出力に応じて移相器を働かせる。移相器はトランジスタQ1～Q3と、Q4～Q6の内、各1個を選択し位相をずらせて電気角で120度区間ずつ順次スイッチオンする。したがって三相中、二相の電機子コイルに常時直列に電流が流れるが、この電流はトランジスタQ7とアンパAにより制御する。この方式は比較的トルクリプルが少なく、回路構成も簡素である。なお将来はトルクリプルの一層の低減と、周辺部品点数減とをねらって、次章に示す新ICを使う予定である。

2.4 キャプスタンモータの制御

VTR用キャプスタンモータは製品の多機能化に伴って、特殊再生時、つまりスチル(一時停止)やスローモーション、スピードサーチ時に基に基本設計するようになってきている。特にスチルやスローモーション時の仕様が起動トルクの大きさを左右し、モータ寸法に大きな影響を与える。

最近の当社VTRにおけるノイズレススチル制御では、テープが停止した後、画面上のノイズ位置を検出して、1回のキャプスタンモータのパルス駆動により、ノイズの無いスチル画を再生する新規なスチル制御回路を採用している。この制御の時のテープ送り量Lと、キャプスタンモータを駆動する時の力行時間T2との関係を示したのが図5.である。図中、T2-L特性曲線がキャプスタンモータの動きを表す。この動きを得るために、スイッチング制御によってT2時間の力行駆動を行った

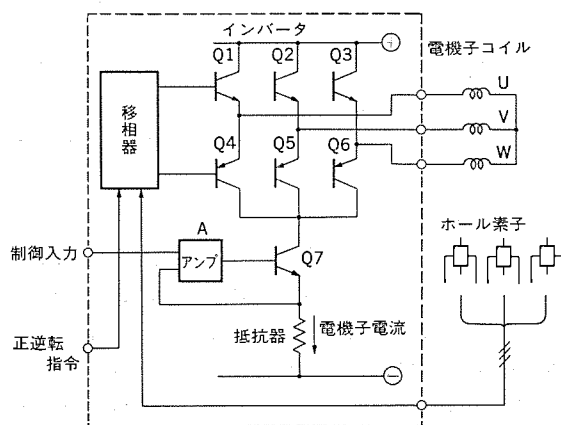


図4. 三相全波120度通電方式の原理回路

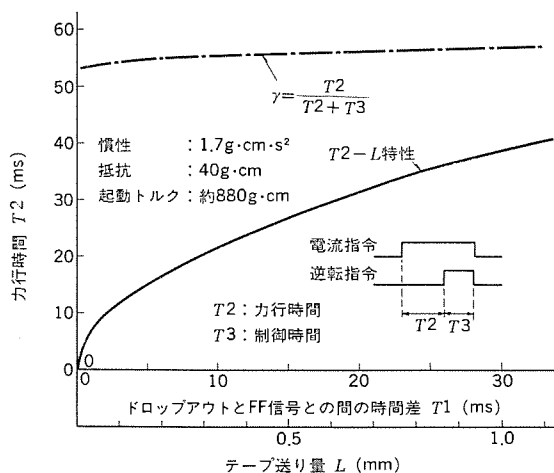


図 5. キャパスタンモータのステップ駆動特性

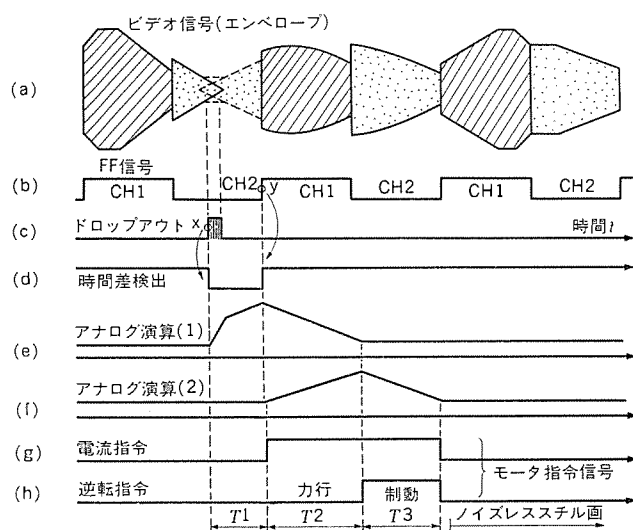


図 6. スチル制御の動作タイムチャート

後、 $T3$ 時間の逆転制動を行ってモータを停止させる。この力行と逆転制動の比、換言すれば全駆動時間における力行時間の割合 γ が、テープ送り量 L の大小にかかわらずほぼ一定である点が注目すべき事項である。この特性を用いることにより適切なスチル制御ができる⁽³⁾。

最初にテープ送り量、すなわちノイズ位置として検出するドロップアウトと、画面下部の基準点を示すドラムの回転 FF 信号のエッジとの間の時間差 $T1$ を基にして、モータの力行時間 $T2$ を求める。そして $T2$ に従属する逆転制動時間 $T3$ を定めることによって、所定量のテープを送りスチル制御を行っている。この間の動きを図 6. に示す。テレビ画面上のノイズは同図(c)の x のように検出される。これと画面の下部の点 y との間の時間差が $T1$ であり、この値を同図(e)のように算出する。そしてこの値に従属して、同図(f)のようなアナログ回路による演算を行い力行と制動の時間 $T2$ と $T3$ を算出する。なお図の(a)は磁気テープからのビデオ信号の振幅を示している。ところでノイズレススローモーション動作もおおむねスチル動作に準じた動きをする。スチル時と異なる点は、ドロップアウト信号に替わり、録画時テープ上に記録されたコントロールパルスに基づいて、力行、制動を行うこと、及び力行と制動の間に惰行動作が入り、その期間の長短によってテープの互換調整を図るようにする点である。

3. 準正弦波方式モータ駆動用 IC

トランジスタモータの制御法は、従来、図 4. に示すような電流制御形スイッチング方式が主流であった。しかしこの度、当社では新たにトルクリプルが少なく、応答性、制御性に優れた電圧制御形の三相モータニアドライブ方式による新 IC、M 51712 P を開発した。我々はこの IC が行う制御法を準正弦波方式と呼ぶが、この IC を用いたモータは従来方式のモータに比べてトルクリプルが少なく、振動、騒音も少ないほか、駆動回路全体が小形になるという良好な結果を得ている。

3.1 動作原理

ピーク値が等しく波形ひずみもない対称三相正弦波の各相 U, V, W について、図 7. に示すように、電気角 θ_0 の点における各値を a , b , c とする。これらにつき演算基準値 B を持つ正と負の値、 $B+$, $B-$ と比較して、 $B+$ より正の値と $B-$ より負の値について各々その差を検出し、その絶対値 a , b , c を求める。なお $B+$ と $B-$ の中間にくる値については、その絶対値を 0 とする。ここで、 $a+b+c$ の値は、演算基準値 B の値が適切であれば、任意の電気角 θ において常にほとんど一定の値をとる。したがって逆に、 $a+b+c$ の値が常に一定値となるように、正弦波形の振幅を加減することとすれば、各相の出力電圧波形は正弦波から若干ひずむものの、ほぼ正弦波に近い波形になる。この意味で、この性質を応用した新 IC の制御法を準正弦波方式と呼んでいる。また出力電圧から基準値を差し引いた残存電圧を制御するので、残差電圧制御法⁽⁴⁾と呼んでもよいものである。

3.2 構成

新 IC、M 51712 P の外形を図 8. に、制御ブロック図を図 9. に示す。この IC は、まず基本的には、位置センサであるホール素子の出力を線形増幅して、各相の電機子コイルに駆動電圧として印加する。この間、出力電圧は演算基準値との差が正、負について、検知(+), 検知(-)により検出する。これらの値の絶対値の和は帰還演算部で算出し、この出力である帰還信号が入力信号に一致した一定値となるように、ホール素子への印加電圧をバッファを介して制御する。モータ

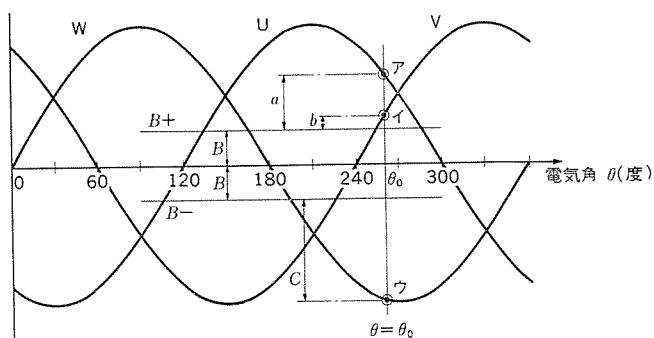


図 7. 準正弦波方式の原理説明図

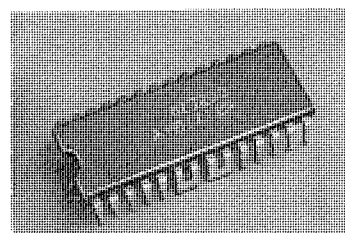


図 8. M 51712 P の外観

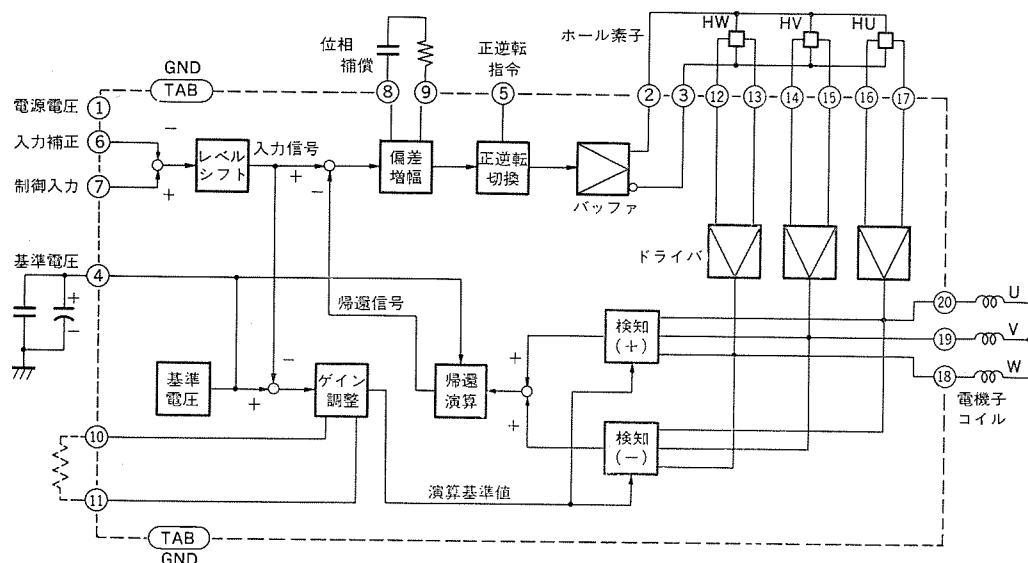


図 9. M 51712 P の制御ブロック図

表 3. M 51712 P 要目

項	目	仕 様	備 考
絶 対 最 大 定 格	電 源 電 圧 V_{CC} (V)	26	$T_a=25^\circ\text{C}$
	出 力 電 流 I_o (A)	1.2	
	消 費 電 力 P_{dFmax} (W)	3	
	動 作 周 囲 温 度 T_{opr} ($^\circ\text{C}$)	-20~70	
	保 存 温 度 T_{stg} ($^\circ\text{C}$)	-40~125	
電 気 的 特 性	無 信 号 時 電 流 I_{CC} (mA)	15	$T_a=25^\circ\text{C}$ $V_{CC}=12\text{V}$ * 印を除き各 項とも標準値 を示す
	ホ ー ル 素 子 駆 動 電 流 I_{HD} (mA)	25 最大*	
	ホ ー ル 素 子 駆 動 電 圧 利 得 G_{HD} (V/V)	2.8	
	出 力 アンプ電圧利得 G_{OA} (dB)	36	
	出 力 飽 和 電 圧(ソース) V_{sat} (V)	1.2	
	出 力 飽 和 電 圧(シンク) V_{sat} (V)	1.2	
	基 準 電 圧 V_{ref} (V)	6.0	

タ駆動のための制御入力制御入力端子へ与えられ、この値と任意に定める入力補正端子へのバイアス電圧との差の値が、前述の入力信号となっている。すなわち、各相の出力電圧は制御入力に比例した値のほぼ正弦波状の一定電圧となる。

新 IC の概略要目を表 3. に示す。この IC は単電源で駆動でき、パワー段を含むモノリシックバイポーラ IC である。この IC では、各出力段が線形動作を行うので電子的なノイズが少なく、外付け部品が少ないことなども重要な特長であるが、この IC の主な開発ポイントは次のとおりである。

- (1) パワーパッケージでありながら、原価低減や実装上のメリットを考慮して、DIL 28 ピンを基本にしたパッケージの開発を行った。
- (2) 実装上のスペースファクタ向上のため、中央部リード計 8 本を一部変更して放熱フィンを兼ねた接地リードとした。
- (3) 回路面では各ブロックを差動形式で構成し、パワートランジスタ部

での発熱による影響を極力抑えた。

3.3 特性

VTR 用三相キャプスタンモータに、この IC を適用した場合の各相の出力電圧波形を図 10. に示す。図のように、出力波形は正弦波から若干ひずんでいるが、回転トルクリップルは十分小さいレベルに抑制されている。なおホール素子は元来、個々にゲイン差やオフセットがあってモータごとのペアリングが容易でない。また界磁磁束量の位置誤差や IC 出力段のゲイン差などもあって、これらはすべてトルクリップルに影響する。

しかしこの IC では上述のように、出力電圧を負帰還して制御する方式を採用しているので、以上のトルクリップル要因は大幅に抑制され、モータ構成要素の精度を大幅に緩和できるという大きなメリットがある。

図 11. にこの IC の制御方式と、三相 120 度通電制御方式とにお

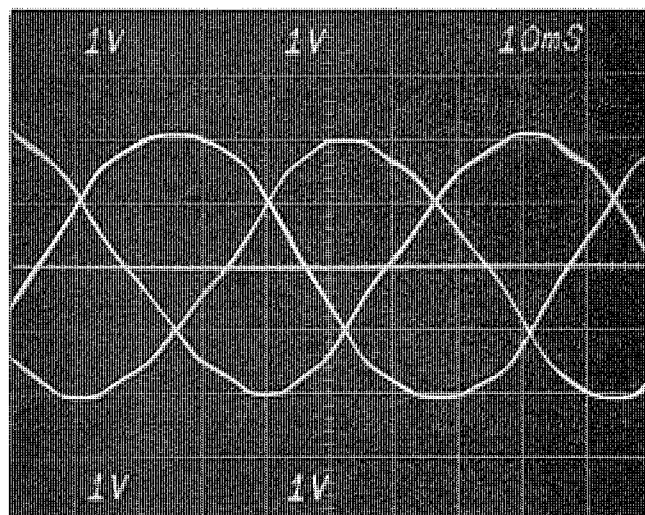


図 10. 電機子コイル印加電圧波形
(V : 1 V/div, H : 10 ms/div)

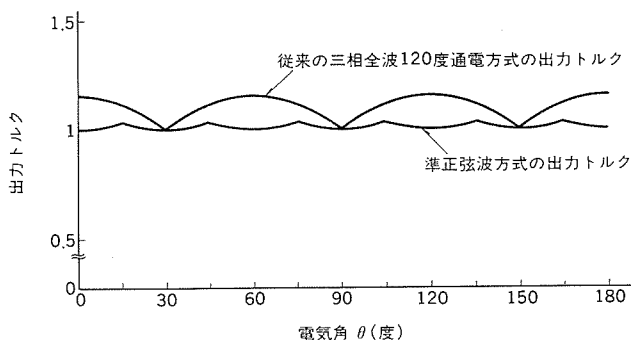


図 11. 出力トルクの比較

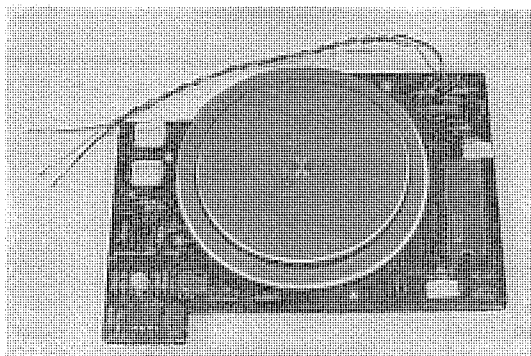


図 12. フロッピーディスク用モータの外観

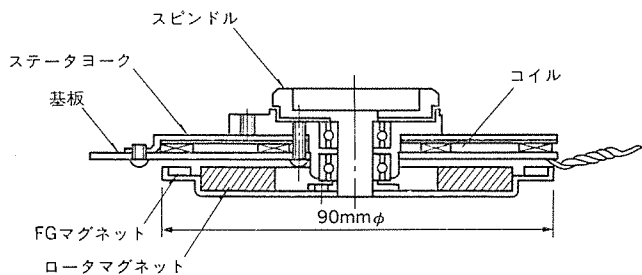


図 13. フロッピーディスク用モータの構造

表 4. フロッピーディスク用モータの概略仕様

形 式	三相 8 極スロットレス形
定 格 電 圧 (V)	DC 12 \pm 10%
定 格 回 転 数 (rpm)	300 \pm 1.5%
定 格 負 荷 (g \cdot cm)	150
起 動 ト ル ク (g \cdot cm)	350 以上
起 動 電 流 (mA)	650 以下

けるトルクリップルの計算値比較を示す。トルクのピーク値に対し後者は約 13% の幅のトルクリップルを持つに対し、前者のそれは約 3.1% と小さい。しかもリップル周波数も高いので、サーボ機構により容易に回転むらを抑圧できる。ただし、図 11. はモータロック時のトルク比較であり、前者の場合演算基準値が正弦波のピーク値 1 に対して、0.268 となる値に選定している。モータが回転すれば後者のトルクリップルは変わらないが、前者は増加する。しかし、逆起電力が印加電圧の半分の大きさに達した場合でも、トルクリップルは約 6% 強と十分小さい値である。回転数が大きくなる程、リップルも増大するが、モータはイナーシャのために、高速になるほど、トルクリップルによる回転むらは小さくなり問題はない。

この IC は電圧制御ゆえ、サーボから見たトランジスタモータは通常の直流モータと同じと考えてよい。すなわち、印加電圧に応じた自己帰還形の定速特性を持っており、したがって過渡応答にも優れ、サーボ回路構成を簡素化できる。更にまた、この IC の出力段は、線

形制御されているから、120 度通電制御方式がスイッチング制御故に本質的に必要であった、抵抗器とコンデンサの直列回路などによる比較的大形のフィルタが不用である。

3. 4 フロッピーディスク用モータ

新 IC を搭載したフロッピーディスクドライブ用モータの外観は図 12. に示すとおりである。その構造を図 13. に、概略仕様を表 4. に示す。フロッピーディスクへの適用では、薄形化の要請が強く、図 12. のモータは 40 mm 厚に収まり、1 セットに 2 台のディスク機構を駆動することができる。また寿命は 2 万時間程度以上が求められているが、これらの条件はトランジスタモータの採用に適切である。またディスクは比較的に高速回転するが、M 51712 P の採用により振動、騒音が従来方式に比較して少なくなっている。

モータの製作においては、回転子磁石からの磁気もれに対する配慮が必要であり、またディスクの偏心に対処するため、スピンドルの偏心は 5 \sim 6 μ m 程度に抑える必要があるなど厳しい仕様が与えられている。しかし上述のモータはこれらの仕様を満たしており、パソコンなどの普及とともに、将来広く普及するものと確信している。なおフロッピーディスクの外、デジタルオーディオディスクやビデオディスクといった新製品にもトランジスタモータの採用の兆しがみられ、事務機（プリンタ、プロッタなど）や光学機器分野についても需要が拡大してゆくと思える。これらについても上述のフロッピーディスク用モータをベースに対応を検討している。

4. む す び

VTR やコンピュータ周辺機器などは、ファインメカニズムとエレクトロニクスとの交点に位置し、いわゆるメカトロニクス製品であって、その中核域にトランジスタモータも存在する。このモータは半導体技術の進歩と、強力マグネット材料の普及に歩を合わせて進歩し、高性能、長寿命をうたうようになった。ただ、従来の直流機、交流機に比較すれば相対的に高価な点が当面の課題である。しかし、今後の IC 技術と磁石技術の一層の進歩によって、いずれ価格的にも同等になるものと期待できる。当社では当面、比較的付加価値の高い制御対象にこのモータを適用しているが、いずれあらゆる分野に適用してゆきたいと考えている。その折には、単にモータ単体で考えるのではなく、従来以上にメカニズムやサーボ制御系と一体での、全体系を眺めた視点から最適設計を図ってゆくことが必要である。

参 考 文 献

- (1) 中島, 正田ほか: 電子制御方式ビデオセッレコーダー, 三菱電機技報, 54, No. 6 (昭 55)
- (2) 打田, 山崎, 三村: 無整流子電動機における位置及び速度の複合検出法, 電気学会全国大会予稿集 531 (昭 54)
- (3) 打田, 藤井, 山崎: VTR 用トライステート DD キャプスタンモータ, 電気関係学会関西支部連合大会予稿集 G 14-7 (昭 56)
- (4) 打田, 浅妻, 山崎, 辰谷, 萩原: 残差電圧制御型トランジスタモータドライブ方式, 電気関係学会関西支部連合大会予稿集 G 3 A-6 (昭 57)

高速大容量64Kビット マスクROM

松尾 龍一*・張間 寛一*・高橋 広成*・田原 次夫*・松野 葉子*

1. ま え が き

近年、マイクロコンピュータのプログラムメモリなどに幅広く使用され、急速に市場を拡大しているLSIとして、MOS ROM (Metal Oxide Semiconductor Read Only Memory) がある。MOS ROMは大別すると、LSIを購入したユーザーが任意のメモリ内容をプログラムできるPROM (Programmable ROM) と、メモリ内容をLSI製造時に使用するマスクのパターンにより作り込むマスクROM (Mask Programmable ROM) がある。

PROMには、浮遊ゲートに電荷を蓄積することにより、プログラムを行い、紫外光照射により消去することができるUV-EPROM (Ultra Violet Erasable and Programmable ROM) や、エネルギーの井戸に電荷を蓄積することによりプログラムを行い、電気信号により消去することができるEEPROM (Electrically Erasable and Programmable ROM) などがある。これらのPROMは、比較的少量多品種の電子機器用、又は開発時の電子機器などに盛んに使用されている。これに対し同一メモリ内容のROMを大量に使用する場合は、大量生産性に富み、メモリ内容のプログラム作業が不要であることなどにより価格的に有利なマスクROMが用いられることが多い。

今回、筆者らは低電力高速回路設計技術とひ(砒)素のイオン注入を用いた微細化プロセス技術を組合せて、当社の64KビットEPROM M5L2764Kと読出し時ピンコンパチブルで、最大アクセスタイム250ns、電源電圧 $5V \pm 10\%$ の読出し特性を有する64KビットマスクROM M5M2364- $\times \times \times P$ を開発した。(形名中の $\times \times \times$ は、ROMの内容によって割り当てられる3けた(桁)の10進数である)。M5M2364- $\times \times \times P$ を用いることにより高性能16ビットマイクロプロセッサに対して、ウェイト状態なしで対応でき機能を向上させた低価格のシステムが実現可能になる。

ここでは、高速大容量64KビットマスクROMの製品概要、回路構成、動作諸特性について紹介する。

2. M5M2364- $\times \times \times P$ の製品概要

今回開発した64KビットマスクROM M5M2364- $\times \times \times P$ の主な特長は次のとおりである。

- (1) 大容量64Kビット : 8,192ワード \times 8ビット構成
- (2) 高速アクセスタイム : 最大250ns
- (3) 低消費電力 : 動作時最大 440mW
待機時最大 110mW
- (4) 広い電源電圧マージン : $V_{CC} = 5V \pm 10\%$
- (5) \overline{CE} と \overline{OE} の2ラインコントロール信号でOR接続が容易
- (6) 全入出力端子はTTLコンパチブル
- (7) パッケージは標準28ピンDIL (Dual in Line) プラスチックパッケージ
- (8) ピン接続は当社の64KビットEPROM M5L2764K、又は相本品とコンパチブル

64KビットマスクROM M5M2364- $\times \times \times P$ と64KビットEPROM

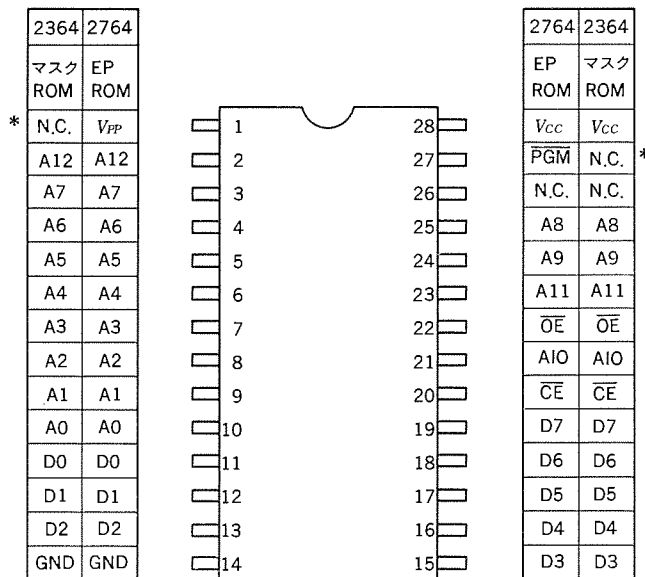


図 1. 64KビットマスクROMと64KビットEPROMのピン接続図

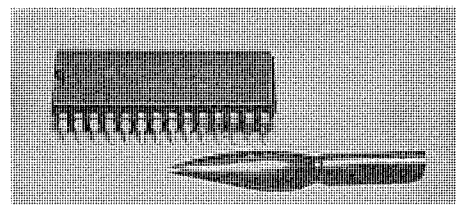


図 2. 64KビットマスクROM M5M2364- $\times \times \times P$ の外観

M5L2764Kを比較したピン接続図を図1.に示す。64KビットマスクROMは、64KビットEPROMの26ピン(N.C.:ノーコネクション)に加えて図中「*」マークのある27ピン(PGM)、1ピン(VPP)がN.C.(ノーコネクション)であり、N.C.ピンには、いかなる入力信号が加わっても読出し動作に支障がないようになっている。

64KビットマスクROM M5M2364- $\times \times \times P$ の外観写真を図2.に示す。

3. 回路構成と高性能化技術

3.1 回路構成

64KビットマスクROM M5M2364- $\times \times \times P$ のチップ写真を図3.に、ブロック図を図4.に示す。データ出力は、1ワード8ビット(D₀~D₇)あるので、8Kワードの選択に13本のアドレス信号(A₀~A₁₂)が必要となる。モード制御信号としては、チップ内回路全般の起動、待機を制御するチップイネーブル信号(\overline{CE})、出力バッファをコントロールするアウトプットイネーブル信号(\overline{OE})の2ラインコントロール方式でバス競合を回避できる。電源は5V単一電源(V_{CC})である。

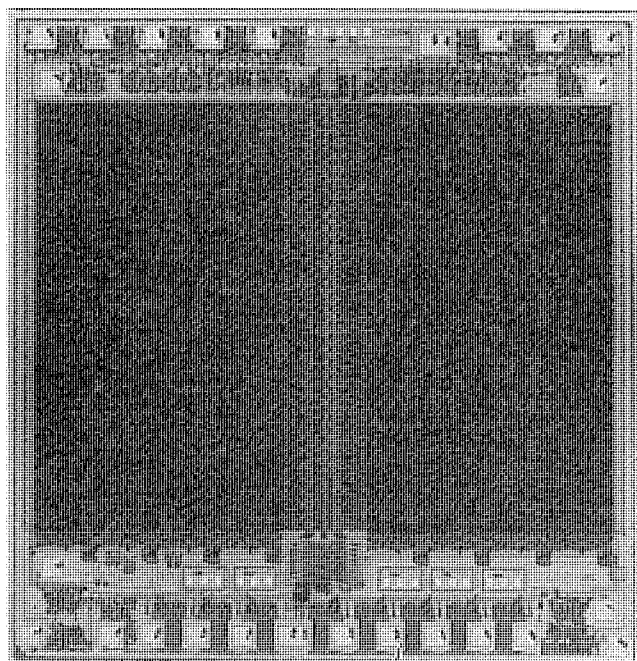


図 3. 64 Kビット マスク ROM M5M2364-xxP
のチップ写真

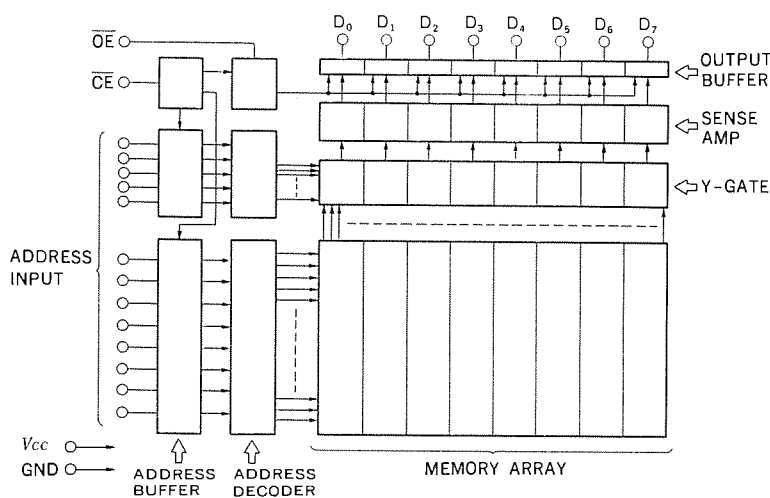


図 4. M5M2364-xxP のブロック図

3.2 回路の高速・低電力化

64 Kビット マスク ROM では、高性能 マイクロプロセッサ の性能を十分に発揮するため、高速 アクセスタイム を実現する必要があった。このため表 1. に示すような技術を駆使してこの要求を満たすことを可能にした。

第 1 に内部回路は、 $3\mu\text{m}$ デザインルール の高性能 Nチャネル 形 MOS トランジスタ を用いている。ソースドレイン の形成には砒素のイオン注入を行い、ゲート酸化膜厚は約 700 \AA と薄くなっている。シリコン基板は、高抵抗のものを使用して接合容量を減少し、配線による遅延を少なくしている。

第 2 に内部回路で大きな負荷容量を充放電する必要がある部分には、ブートストラップ回路を全面的に採用している。この結果、メモリアクセス時に特に速い立ち上がりが必要とするワード選択ラインや、スタンバイ時からチップを動作状態にする際パワーダウン回路の速やかな充放電を必要とするチップイネーブル信号系の応答が高速で行えるようにな

表 1. 64 Kビット マスク ROM の技術的ポイント

- ・砒素のイオン注入によるソースドレインの形成
(チャネル長 $L=3\mu\text{m}$)
- ・薄いゲート酸化膜
(膜厚 $t_{ox}=700\text{ \AA}$)
- ・ブートストラップ回路
- ・ $0 V_{th}$ トランジスタ

った。

第 3 に内部回路の構成は、従来のエンハンスメント/ディプレッション・インバータ回路に変わり、しきい値が約 0 V のトランジスタをロードトランジスタとすることにより低電力化が可能になっている。これにより、ドライバトランジスタが ON しても無駄に消費する電力は大幅に削減され、標準使用時 200 mW と低消費電力が実現できた。

4. 動作諸特性

4.1 アクセスタイム

読出し動作は、 $\overline{\text{CE}}$ と $\overline{\text{OE}}$ 信号でコントロールする。両信号を“L”レベルにすると、選択されたアドレスの情報がデータ端子 ($D_0\sim D_7$) に現れる。アクセスタイムは変化する入力信号により、 $\overline{\text{CE}}$ 、 $\overline{\text{OE}}$ 、アドレスアクセスタイムの 3 種類が存在する。標準サンプルにおける電源電圧 (V_{cc}) に対する前記 3 種類のアクセスタイムの変化を図 5. に示す。図より電源電圧 5 V の $\overline{\text{CE}}$ アクセスタイムは $130\sim 140\text{ ns}$ 、 $\overline{\text{OE}}$ アクセスタイムは 50 ns 、アドレスアクセスタイムは $120\sim 130\text{ ns}$ といずれも極めて高速である。アクセスタイムの周囲温度依存性を図 6. に示す。図よりアクセスタイムの温度による変化量は、 $\overline{\text{CE}}$ とアドレスアクセスタイムが $0.6\text{ ns}/1^\circ\text{C}$ 、 $\overline{\text{OE}}$ アクセスタイムが $0.1\text{ ns}/1^\circ\text{C}$ といずれも安定な動作をしていることがわかる。

4.2 電源電流

電源電流 (動作時及び待機時) の電源電圧依存性を図 7. に示す。図より電源電圧 $4\sim 6\text{ V}$ において、動作時の電源電流は $31\sim 36\text{ mA}$ で、待機時の電源電流は $8\sim 10\text{ mA}$ である。電源電流 (動作時及び待機時) の周囲温度依存性を図 8. に示す。図より周囲温度 $0\sim 75^\circ\text{C}$ において、動作時の電源電流は $38\sim 32\text{ mA}$ で、待機時の電源電流は $10\sim$

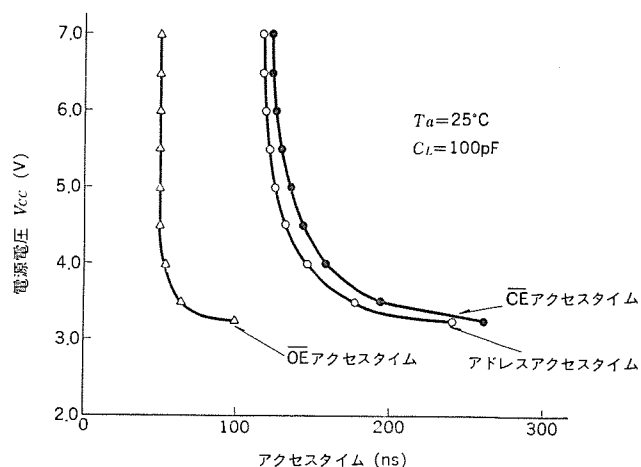


図 5. アクセスタイムの電源電圧依存性

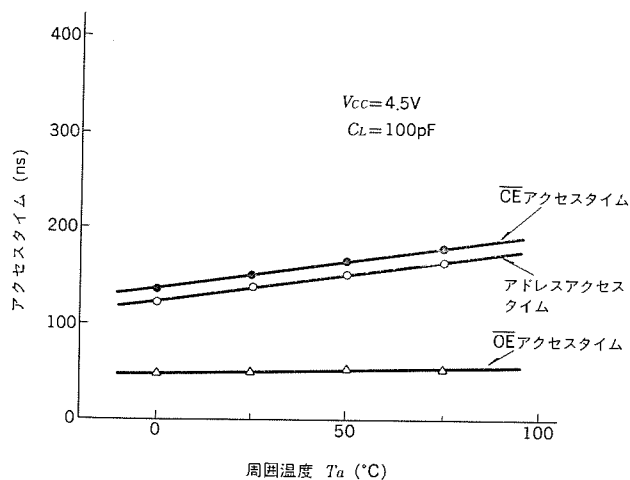


図 6. アクセスタイムの周囲温度依存性

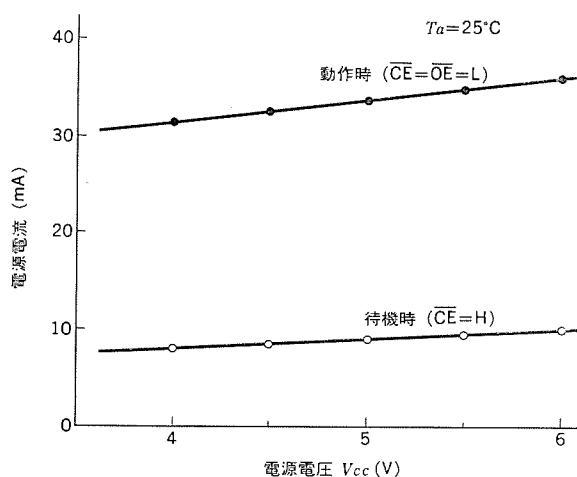


図 7. 電源電流（動作時及び待機時）の電源電圧依存性

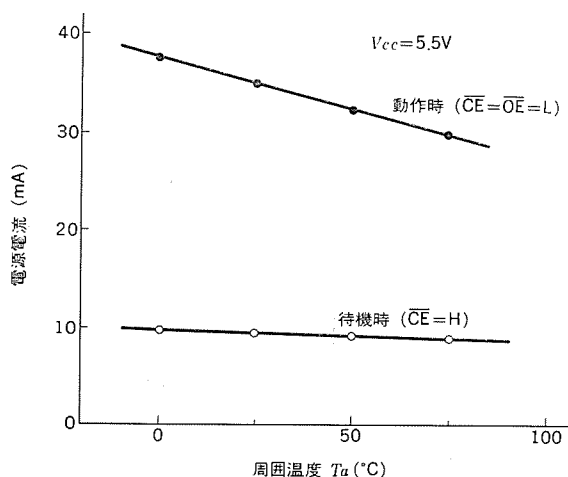


図 8. 電源電流（動作時及び待機時）の周囲温度依存性

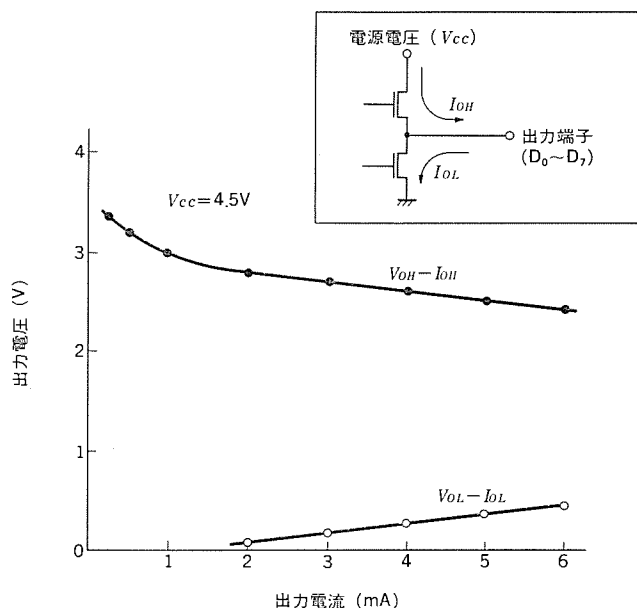


図 9. 出力電圧 (V_{OH} , V_{OL}) の出力電流 (I_{OH} , I_{OL}) 依存性

9 mA である。すなわち実使用における動作時の消費電力は、約 170 mW で、待機時の消費電力は約 47 mW と極めて低消費電力となっている。

4. 3 その他の特性

出力電圧 (V_{OH} , V_{OL}) の出力電流 (I_{OH} , I_{OL}) 依存性を図 9. に示す。

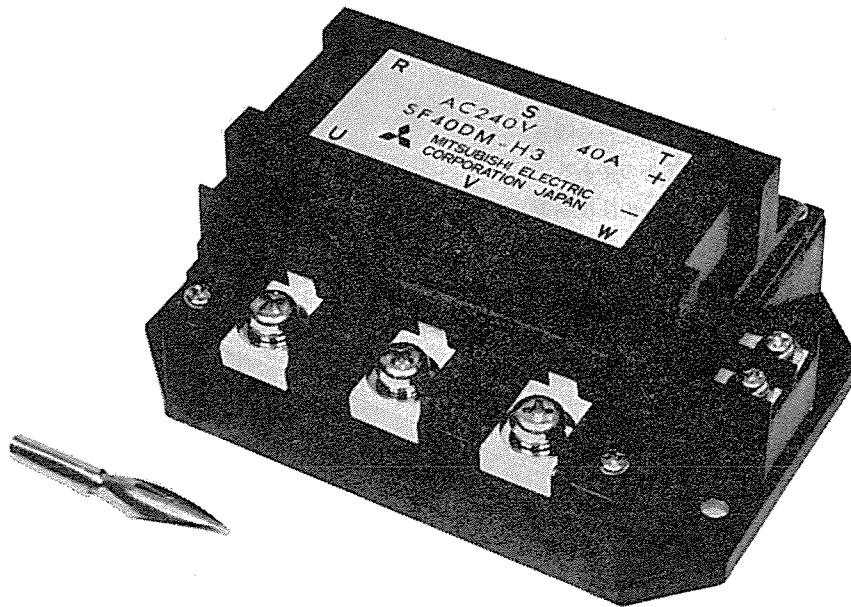
5. む す び

マイクロプロセッサの出現とともに、そのメモリとして発展してきたマスク ROM は、大容量・高速化・低消費電力の道を歩んできた。更に近年、ユーザーはシステムの開発時に EPROM を使用し、量産には価格的に有利なマスク ROM を使用するという傾向があり、EPROM と完全ピンコンパチブルで、差し換えが可能であるマスク ROM の要望が一段と強まっている。今回微細化プロセス技術と低電力高速回路設計技術を組合せて、64 K ビット EPROM M 5 L 2764 K と読出し時完全ピンコンパチブルで、差し換え可能な高速大容量 64 K ビットマスク ROM M 5 M 2364- $\times \times \times P$ の製品を完成させた。

今後、更に MOS・LSI の製造技術とくに微細化プロセス技術の革新と回路設計技術の向上により高集積化・高速化・低消費電力化を推進し、EPROM とのコンパチビリティを有した 128 K ビット・256 K ビットマスク ROM の開発を進める。

参 考 文 献

- (1) 外山ほか：三菱電機技報，56，No. 4，P. 4（昭 57）



このたび三菱電機では、三相汎用モータの無接点オン・オフ制御用に、三相大電流ソリッドステートリレーの開発に成功、4月より販売を開始しました。

工場で使用される電力の大部分(約70%)はモータによって消費されるといわれていますが、これまで1台の装置を稼動するのにライン全体を動かしたり、あるいはモータを回しっ放して負荷をかけ切ったりする使い方をするなどムダな使い方をすることが多くありました。また、モータを入り切りするには、従来は電磁接触器が使われてきましたが、頻繁に開閉すると、電磁接触器の接点が摩耗し、寿命に影響する点が指摘されてきました。今回開発した三相大電流ソリッドステートリレーは、高頻度開閉、悪環境に最適なリレーであり、無接点、アークレス、無騒音、省エネルギーを実現したものです。

品種は20AのSF20DM-H3(三相AC200~220V、3.7kWモータに適用)、30AのSF30DM-H3(同5.5kW適用)、40AのSF40DM-H3(同7.5kW適用)の3品種です。

主要定格、特性

項 目	単 位	SF20DM-H3	SF30DM-H3	SF40DM-H3
主 回 路 電 圧	V	80~240	80~240	80~240
通 電 電 流	A	20	30	40
電 源 周 波 数	Hz	40~70	40~70	40~70
開 路 時 も れ 電 流	mA	20	20	20
閉 路 時 電 圧 降 下	V	1.5	1.5	1.5
ピ ッ ク ア ッ プ 電 圧	V	3.0	3.0	3.0
入 力 抵 抗	kΩ	0.4	0.4	0.4
絶 縁 耐 力 (入 力 - 出 力)	V	2000 1分間	2000 1分間	2000 1分間
絶 縁 耐 力 (入 出 力 - ケース)	V	2000 1分間	2000 1分間	2000 1分間
適 用 電 動 機 容 量	—	3φAC200~220V 3.7kW	3φAC200~220V 5.5kW	3φAC200~220V 7.5kW

特長

- R、S、T、U、V、Wの6個の出力端子と+の入力端子を合理的に配置し、出力端子と入力端子はホトカブラで絶縁してあるので、電磁接触器と同様の接続ができます。
- 6ヶのサイリスタチップを組み込んだケースと非ゼロ電圧スイッチ回路を組み込んだケース、それにアブゾーバを収納したケースの三つからなり、それらが一体化となる新しい構造を採用しました。
- モータの突入電流、始動電流が通電できるようにサイリスタのチップサイズを選定し、系列化しています。
- 出力端子とパッケージの底面金属板とは電氣的に絶縁されており、従来の電磁接触器同様、筐体あるいは冷却フィン直付けが可能です。

用途

- 工場のライン制御に用いられている汎用モータのオン・オフ制御、可逆制御
- クレーン、ホイスト用モータのオン・オフ制御、可逆制御
- コンベア、コンプレッサ、ビルの空調等の汎用モータのオン・オフ制御
- 大容量の恒温槽、電気炉、温水器等の温度制御
- 電源、非常用電源のオン・オフ制御

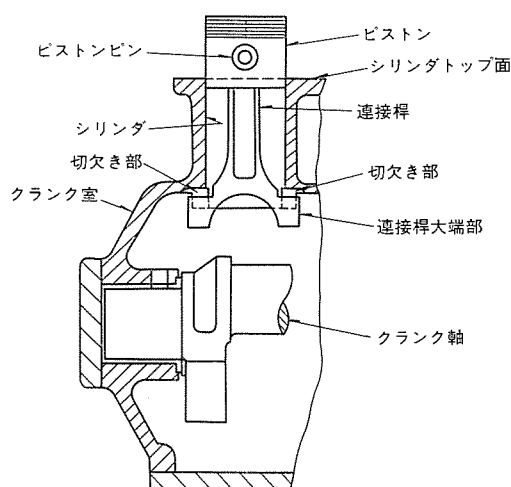
特許と新案 有償開放

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

冷媒圧縮機 (実用新案 第1161569号)

考案者 古川 博一

この考案は、ピストンの往復動により吸入並びに圧縮作用を行う開放形及び半密閉形の往復動式冷媒圧縮機の改良に関するものである。すなわち、この考案は、吸入及び圧縮作用を行うピストンの往復動を案内するシリンダと回転運動を行うクランク軸及びピストンとクランク軸を連結する連接桿とを備え、シリンダの端部に連接桿の大端部を一時的に収納する切欠き部をクランク軸方向に設けたことを特徴とするものである。したがって、保守などの際の連接桿及びピストンを外部へ取出す場合は、連接桿の大端部とクランク軸を連結しているボルトを取外して連接桿大端部と冠部を分離したのち、図に示すように連接桿を上方へ押上げるとともにクランク軸と連接桿との連結部を下方へ回転させ、そして連接桿を取付け時より90°回転させることにより連接桿の大端部を切欠き部に収納する。その結果、ピストンがシリンダのトップ面より上方に突出した状態となり、ピストンはシリンダトップ面より、また連接桿はクランク室底部あるいはクランク室のサービス窓より簡単に外部へ取出せ、従来のもののようにピストンをシリンダトップ面より取出すために連接桿を必要以上に長く設計する必要もなく、コンパクトで、かつ保守などの作業が容易な冷媒圧縮機を得ることができるものである。



〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 57 No. 6 表示・印字特集

特集論文

- 自動車用液晶メータ
- 高解像度カラーディスプレイモニタ
- M2312/M2315 キャラクタディスプレイ
- カラーブラウン管蛍光面構造の色純度への影響
- 映像表示システム《オーロラビジョン》
- 高解像度2色ファクシミリ《MELFAS 8500》
- ドライバ搭載形厚膜サーマルヘッド

普通論文

- 中部電力(株)新三河変電所 550 kV ガス絶縁開閉装置 (GIS)
- 電力用変圧器の計測の自動化
- エレベーターの振動解析—居室騒音低減への応用—
- マルチプロセッサ形1対N集中遠方監視制御装置
- 工業用マイクロコンピュータシステム《MELMUS 16》
- トランジスタインバータ式無停電電源装置
- 長崎県防災行政無線向け自動計測機能付き遠方監視制御装置

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
		5号特集担当	鈴木 正高

三菱電機技報 57 巻 5 号

(無断転載を禁ず) 昭和58年5月22日 印刷
昭和58年5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0641(代), 振替口座東京6-20018
定価 1部500円送料別 (年間予約は送料共6,700円)



このたび三菱電機では、VHD方式ビデオディスクプレーヤーを発売しました。VHD方式は直径26cmの塩化ビニールを主成分とするディスクに記録された映像、音声情報を静電容量方式で取出すもので、両面で最大2時間の演奏が楽しめます。この方式のビデオディスクはVTRと異なり、見たい画面をすばやく探し出せるのが特長で、テレビ放送、VTRに次ぐ新しい映像メディアとして将来の発展が期待されます。

特長

●映像が鮮明で、音質が良い

映像、音声回路ともS/Nの良い回路設計をしましたので、VHD方式の特長を生かし映像の解像度、音声の周波数特性を上げることができました。

●見たい画面をすばやく探し出す3つの機能

①クイック ランダムアクセス(指定頭出し)

見たい場面のチャプターあるいは時間を指定して直ちに頭出しを行うことができます。

②チャプターサーチ

ボタンを押した回数だけチャプターを進めたり、もどすことができますので、チャプターの少ないディスクの頭出しに便利です。

③スピードサーチ

画面を見ながら約10倍及び50倍のスピードで見たい場面を探すことができます。もちろん行きすぎた場合はもどせます。

●見たい範囲をくり返し再生可能

●静止画も可能で、再生スピードも思いのまま

静止画のコマ送り、スローモーション、クイックモーションなど

のトリックプレーが楽しめます。

●多機能ワイヤレスリモコン

電源スイッチ以外のほとんど全ての操作(35機能)を遠隔操作することができます。

●見やすく、使いやすい画面表示

ランダムアクセス、種々のサーチを行う場合にタイム、チャプターの表示が自動的に画面に出て、サーチ後自動的に消えるので便利です。

●カラオケ機能付

ベッドホン及びマイク端子付ですから、一般のカラオケディスクが楽しめます。更に二重音声の片チャンネルに歌手の声、他のチャンネルに伴奏のみが入っているカラオケディスクを使うとヘッドホンで歌手の声と自分の声を聞きながらスピーカーからは伴奏と自分の声が聞こえる特殊なカラオケ機能があり、カラオケの練習に便利です。

●RFコンバータ、音声多重エンコーダ内蔵

普通のテレビに簡単に接続して使用できます。また、音声多重機能付のテレビであれば、ステレオや二重音声も楽しむことができます。

仕様

方 式	VHD方式
信 号 方 式	NTSC方式標準テレビ受像機に適合 音声多重エンコーダ(ステレオ)内蔵
消 費 電 力	26W
V H F 出 力	1チャンネル又は2チャンネル切換
映 像 出 力	1,0Vp-p/75Ω
音 声 出 力	2チャンネル -6db/600Ω
外 形 寸 法	424W×373D×115H mm
重 さ	11kg